

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ XÂY DỰNG

TRƯỜNG ĐẠI HỌC KIẾN TRÚC HÀ NỘI

LÊ THÁI BÌNH

**SỰ LÀM VIỆC CỦA MẶT ĐƯỜNG
BÊ TÔNG XI MĂNG NỘI BẢO DƯỠNG
TRONG ĐIỀU KIỆN VIỆT NAM**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT CƠ SỞ HẠ TẦNG

Hà Nội - 2022

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ XÂY DỰNG

TRƯỜNG ĐẠI HỌC KIẾN TRÚC HÀ NỘI

LÊ THÁI BÌNH

**SỰ LÀM VIỆC CỦA MẶT ĐƯỜNG
BÊ TÔNG XI MĂNG NỘI BẢO DƯỠNG
TRONG ĐIỀU KIỆN VIỆT NAM**

CHUYÊN NGÀNH: KỸ THUẬT CƠ SỞ HẠ TẦNG

MÃ SỐ: 9580210

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

1. PGS.TS. Trần Thị Kim Đăng

2. PGS.TS. Nguyễn Duy Hiếu

Hà Nội - 2022

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Các số liệu, kết quả nêu trong luận án là trung thực và chưa được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Tác giả luận án

LỜI CẢM ƠN

Để hoàn thành luận án, NCS trân trọng cảm ơn các quý cơ quan đã tạo điều kiện giúp đỡ: Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội; Khoa Sau đại học; Bộ môn Sau đại học Kỹ thuật Cơ sở hạ tầng; Trường Đại học Giao thông Vận tải; Trung tâm Khoa học công nghệ Giao thông Vận tải; Trường Đại học Điện lực; các đồng nghiệp ...

NCS cũng xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến tập thể Người hướng dẫn khoa học là PGS.TS. Trần Thị Kim Đăng và PGS.TS. Nguyễn Duy Hiếu đã tận tình giúp đỡ trong quá trình nghiên cứu thực hiện luận án.

Cảm ơn gia đình và bạn bè đã luôn quan tâm, động viên.

MỤC LỤC

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT VÀ KÝ HIỆU	vi
DANH MỤC CÁC BẢNG, BIỂU	viii
DANH MỤC CÁC HÌNH ẢNH, BIỂU ĐỒ	x
MỞ ĐẦU	1
1. Giới thiệu	1
2. Tính cấp thiết của đề tài	1
3. Mục tiêu nghiên cứu	3
4. Đối tượng và nội dung nghiên cứu	4
4.1. Đối tượng nghiên cứu	4
4.2. Phạm vi nghiên cứu	4
4.3. Nội dung nghiên cứu	4
4.4. Cấu trúc của luận án	4
5. Ý nghĩa khoa học	5
6. Ý nghĩa thực tiễn	5
7. Kết quả nghiên cứu và những đóng góp mới của luận án	6
7.1. Kết quả nghiên cứu	6
7.2. Đóng góp mới của luận án	6
8. Các thuật ngữ	6
CHƯƠNG 1. NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN VỀ XÂY DỰNG MẶT ĐƯỜNG	7
Ô TÔ CÓ SỬ DỤNG BÊ TÔNG XI MĂNG NỘI BẢO DƯỠNG	7
1.1. Mặt đường bê tông xi măng	7
1.2. Bê tông xi măng nội bảo dưỡng	11
1.3. Các nghiên cứu về BTXM nội bảo dưỡng và nghiên cứu ứng dụng trong xây dựng mặt đường BTXM	14
1.3.1. Các nghiên cứu về bê tông xi măng nội bảo dưỡng trên thế giới	14
1.3.2. Các nghiên cứu và sử dụng bê tông xi măng nội bảo dưỡng tại Việt Nam	19
1.4. Những vấn đề cần phải nghiên cứu giải quyết của luận án	23
CHƯƠNG 2. NGHIÊN CỨU CƠ SỞ KHOA HỌC XÂY DỰNG MẶT ĐƯỜNG Ô TÔ SỬ DỤNG BÊ TÔNG XI MĂNG NỘI BẢO DƯỠNG	25
2.1. Cơ sở khoa học xây dựng mặt đường BTXM sử dụng bê tông nội bảo dưỡng và vai trò của các thành phần của bê tông nội bảo dưỡng	25
2.1.1. Các thành phần vật liệu cơ bản	25
2.1.2. Cát nhẹ trong bê tông nội bảo dưỡng dùng cho mặt đường BTXM	25
2.1.3. Xi lò cao phối hợp cát nhẹ trong bê tông nội bảo dưỡng dùng cho mặt đường BTXM	31

2.1.4. Phụ gia trong bê tông nội bảo dưỡng dùng cho mặt đường BTXM	33
2.2. Giảm mất nước, co mềm của bê tông nội bảo dưỡng đối với mặt đường bê tông xi măng.....	36
2.2.1. Quá trình thủy hoá của xi măng.....	36
2.2.2. Tính co ngót của bê tông.....	37
2.3. Giảm co khô của bê tông nội bảo dưỡng đối với mặt đường bê tông xi măng.....	43
2.4. Nứt co ngót và giải pháp hạn chế co ngót - nứt trong bê tông làm mặt đường	45
2.5. Bảo dưỡng mặt đường bê tông và các yếu tố ảnh hưởng.....	46
CHƯƠNG 3. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM VẬT LIỆU BÊ TÔNG XI MĂNG NỘI BẢO DƯỠNG LÀM MẶT ĐƯỜNG Ô TÔ.....	54
3.1. Nội dung nghiên cứu, các chỉ tiêu nghiên cứu và phương pháp thí nghiệm.....	54
3.1.1. Các chỉ tiêu cơ bản của BTXM làm mặt đường và phương pháp thí nghiệm ...	54
3.1.2. Các chỉ tiêu kỹ thuật mặt đường BTXM.....	55
3.1.3. Nội dung nghiên cứu thực nghiệm.....	57
3.2. Vật liệu thành phần của BTXM nội bảo dưỡng trong nghiên cứu	59
3.2.1. Các vật liệu thành phần và tính chất cơ bản	59
3.2.2. Lựa chọn thành phần bê tông nghiên cứu	66
3.2.3. Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến tính chất của hỗn hợp bê tông nội bảo dưỡng đối với mặt đường bê tông xi măng	74
3.2.4. Khả năng duy trì tính công tác của hỗn hợp bê tông nội bảo dưỡng đối với mặt đường bê tông xi măng	77
3.2.5. Phân tầng của hỗn hợp bê tông nội bảo dưỡng đối với mặt đường bê tông xi măng.....	80
3.3. Nghiên cứu thực nghiệm, các kết quả, phân tích và bình luận	83
3.3.1. Cường độ chịu nén của mặt đường bê tông xi măng sử dụng bê tông nội bảo dưỡng	83
3.3.2. Cường độ chịu kéo khi uốn của mặt đường bê tông xi măng sử dụng bê tông nội bảo dưỡng	87
3.3.3. Độ mài mòn của mặt đường BTXM sử dụng bê tông nội bảo dưỡng	90
3.3.4. Lựa chọn khoảng hệ số dư vữa đối với cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo khi uốn và độ mài mòn cho bê tông làm mặt đường bê tông xi măng.....	92
3.3.5. Mất nước và co mềm	93
3.3.6. Co ngót khô của bê tông	97
3.3.7. Độ chống thấm.....	98
3.3.8. Mô đun đàn hồi.....	99
CHƯƠNG 4. ỨNG DỤNG BÊ TÔNG XI MĂNG NỘI BẢO DƯỠNG TRONG THIẾT KẾ VÀ XÂY DỰNG MẶT ĐƯỜNG BÊ TÔNG XI MĂNG TRONG ĐIỀU KIỆN KHÍ HẬU VIỆT NAM	101
4.1. Nghiên cứu hệ số giãn nở nhiệt của BTXM nội bảo dưỡng	101
4.2. Nghiên cứu thực nghiệm đánh giá chế độ bảo dưỡng bê tông IC.....	102

4.3. Xây dựng bài toán tính toán kết cấu mặt đường BTXM sử dụng vật liệu BTXM nội bảo dưỡng theo AASHTO	105
4.3.1. Số liệu tính toán	105
4.3.2. Tính toán số liệu giao thông – thiết kế kết cấu mặt đường cứng theo AASHTO 1993 [45].....	106
4.4. Kiểm toán kết cấu mặt đường theo hướng dẫn hiện hành của Việt Nam	109
4.4.1. Số liệu tính toán	109
4.4.2. Tính toán số liệu giao thông	110
4.4.3. Tính toán thiết kế kết cấu mặt đường cứng	112
4.5. Kiểm tra kết cấu theo phương pháp cơ học – thực nghiệm dự báo hư hỏng của mặt đường	115
4.6. Các kết luận về ứng dụng BTXM nội bảo dưỡng làm mặt đường BTXM trong điều kiện của Việt Nam	119
KẾT LUẬN, KIẾN NGHỊ VÀ DỰ KIẾN HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP TỤC.....	121
1. Kết luận.....	121
2. Kiến nghị các hướng nghiên cứu chuyên sâu và mở rộng sau Bảo vệ luận án.....	122
CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ	KH1
TÀI LIỆU THAM KHẢO	TL1
PHỤ LỤC	PL1

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT VÀ KÝ HIỆU

Chữ viết tắt	Tên đầy đủ
AASHTO	Hiệp hội những người làm đường và vận tải Hoa Kỳ
ACI	Viện bê tông Hoa Kỳ
ASTM	Hiệp hội về thí nghiệm và vật liệu Hoa Kỳ
AS	Co nội sinh
BT	Bê tông
BTCT	Bê tông cốt thép
BTN	Bê tông nhựa
BTT	Bê tông xi măng thông thường
BTXM	Bê tông xi măng
CKD	Chất kết dính
CL	Cốt liệu
CLL	Cốt liệu lớn
CLN	Cốt liệu nhỏ
CN	Cát nhẹ (Keramzit)
CP	Cấp phối
CS	Co hóa học
CTE	Hệ số giãn nở nhiệt
CV	Cát vàng tự nhiên hạt thô
DS	Co khô
Đ	Đá dăm
EC	Bảo dưỡng bên ngoài
HHBT	Hỗn hợp bê tông
HPC	Bê tông chất lượng cao
IC	Nội bảo dưỡng (Internal Curing)
ICC	Bê tông nội bảo dưỡng (Internal Curing Concrete)
K_d	Hệ số dư vữa
KLTT	Khối lượng thể tích
LWA	Cốt liệu nhẹ, cốt liệu rỗng

N	Nước
NCS	Nghiên cứu sinh
NWA	Cốt liệu thường
PCB40	Xi măng Poóc lăng hỗn hợp
PG	Phụ gia
PGSD	Phụ gia siêu dẻo
RH	Đôi độ ẩm tương đối
R_b	Cường độ của bê tông
R_{ku}	Cường độ chịu kéo khi uốn
R_{ku28}	Cường độ chịu kéo khi uốn ở tuổi 28 ngày
R_n	Cường độ chịu nén
R_{n28}	Cường độ chịu nén ở tuổi 28 ngày
R_x	Cường độ của xi măng
SCUC	Bê tông tự bảo dưỡng
SN	Độ sụt của hỗn hợp bê tông
TCVN	Tiêu chuẩn Việt Nam
TCXDVN	Tiêu chuẩn Xây dựng Việt Nam
TS	Cơ nhiệt
UHPC	Bê tông chất lượng siêu cao
XLC	Xi lò cao
XM	Xi măng

DANH MỤC CÁC BẢNG, BIỂU

Số hiệu bảng, biểu	Tên bảng, biểu
Bảng 1.1.	Cường độ của BT cho những cây cầu ở NYSDOT
Bảng 1.2.	Một vài kết quả thí nghiệm về ảnh hưởng của IC
Bảng 2.1.	Co hóa học của các khoáng xi măng
Bảng 3.1.	Một số quy định đối với mặt đường bê tông xi măng
Bảng 3.2.	Tổng hợp một số yêu cầu về đặc tính cơ học BTXM làm mặt đường
Bảng 3.3.	Trị số mô đun đàn hồi của BTXM tương ứng cường độ nén và cường độ kéo khi uốn
Bảng 3.4.	Các chỉ tiêu cơ lý của bê tông và độ sụt của hỗn hợp BTXM
Bảng 3.5.	Nội dung nghiên cứu thực nghiệm – các chỉ tiêu vật lý của BTXM nội bảo dưỡng
Bảng 3.6.	Nội dung nghiên cứu thực nghiệm các chỉ tiêu cơ học của BTXM nội bảo dưỡng
Bảng 3.7.	Tính chất cơ lý của xi măng Nghi Sơn PCB40
Bảng 3.8.	Tính chất kỹ thuật của xỉ lò cao S95 Hoà Phát
Bảng 3.9.	Thành phần hóa học của xỉ lò cao S95
Bảng 3.10.	Thành phần hạt của cát vàng
Bảng 3.11.	Tính chất vật lý của cát vàng
Bảng 3.12.	Tính chất kỹ thuật của cát nhẹ
Bảng 3.13.	Thành phần hạt của cát nhẹ (thử theo ASTM C136/C136M)
Bảng 3.14.	Thành phần hạt và tính chất cơ lý của cốt liệu lớn
Bảng 3.15.	Thành phần bê tông nghiên cứu
Bảng 3.16.	Kết quả thí nghiệm tính chất hỗn hợp bê tông các cấp phối
Bảng 3.17.	Kết quả tính chất cơ lý của bê tông
Bảng 3.18.	Thành phần bê tông đối chứng
Bảng 3.19.	Kết quả thí nghiệm tính chất hỗn hợp bê tông thường
Bảng 3.20.	Kết quả tính chất cơ lý của bê tông đối chứng

<i>Bảng 3.21.</i>	<i>Thành phần bê tông nghiên cứu</i>
<i>Bảng 3.22.</i>	<i>Kết quả thí nghiệm tính chất hỗn hợp bê tông các cấp phối</i>
<i>Bảng 3.23.</i>	<i>Kết quả thí nghiệm độ sụt hỗn hợp bê tông các cấp phối</i>
<i>Bảng 3.24.</i>	<i>Kết quả thí nghiệm tính chất hỗn hợp bê tông</i>
<i>Bảng 3.25.</i>	<i>Kết quả cường độ chịu nén của bê tông</i>
<i>Bảng 3.26.</i>	<i>Kết quả cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông</i>
<i>Bảng 3.27.</i>	<i>Kết quả độ mài mòn của bê tông</i>
<i>Bảng 3.28.</i>	<i>Khoảng hệ số dư vừa hợp lý đối với các chỉ tiêu kỹ thuật của 03 loại bê tông thí nghiệm</i>
<i>Bảng 3.29.</i>	<i>Kết quả thí nghiệm mất nước của hỗn hợp bê tông và bê tông</i>
<i>Bảng 3.30.</i>	<i>Kết quả thí nghiệm đo co mềm của bê tông</i>
<i>Bảng 3.31.</i>	<i>Kết quả thí nghiệm đo co khô của bê tông</i>
<i>Bảng 3.32.</i>	<i>Kết quả thí nghiệm độ chống thấm nước của bê tông</i>
<i>Bảng 3.33.</i>	<i>Kết quả thí nghiệm mô đun đàn hồi của bê tông</i>
<i>Bảng 4.1.</i>	<i>Kết quả thí nghiệm ITS mẫu 14 ngày tuổi</i>
<i>Bảng 4.2.</i>	<i>Kết quả thí nghiệm ITS mẫu 28 ngày tuổi</i>
<i>Bảng 4.3.</i>	<i>Tính toán lượng giao thông theo AASHTO 1993</i>
<i>Bảng 4.4.</i>	<i>Lưu lượng giao thông và tính toán cấp đường</i>
<i>Bảng 4.5.</i>	<i>Lượng giao thông nặng tính toán cho mặt đường BTXM</i>
<i>Bảng 4.6.</i>	<i>Tính lưu lượng trục xe nặng trung bình ngày đêm năm đầu tiên</i>

DANH MỤC CÁC HÌNH ẢNH, BIỂU ĐỒ

Số hiệu hình	Tên hình
Hình 1.1.	Mặt đường bê tông xi măng
Hình 1.2.	Mặt đường BTXM nội bảo dưỡng
Hình 1.3.	Bảo dưỡng bên ngoài (EC) mặt đường bê tông xi măng
Hình 2.1.	Xác định hàm lượng cát nhẹ trong bê tông nội bảo dưỡng theo đồ thị
Hình 2.2.	Mô hình về vai trò bù nước của IC
Hình 2.3.	Mô hình áp suất phụ (Laplace)
Hình 2.4.	Co hóa học của đá xi măng
Hình 2.5.	Độ co các khoáng của xi măng Poóc lăng
Hình 2.6.	Mối quan hệ giữa co hóa học và co nội sinh
Hình 2.7.	Toán đồ tốc độ bay hơi của BTXM phụ thuộc vào nhiệt độ của BTXM và điều kiện môi trường
Hình 3.1.	Độ hút nước của cát nhẹ theo thời gian ngâm mẫu
Hình 3.2.	Độ nhả nước của CN đã bão hòa theo thời gian
Hình 3.3.	Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến độ sụt của hỗn hợp bê tông
Hình 3.4.	Sự suy giảm độ sụt của các hỗn hợp bê tông nội bảo dưỡng không sử dụng XLC theo thời gian
Hình 3.5.	Sự suy giảm độ sụt của các hỗn hợp bê tông nội bảo dưỡng sử dụng 35% XLC theo thời gian
Hình 3.6.	Sự suy giảm độ sụt của các hỗn hợp bê tông thường (đối chứng) theo thời gian
Hình 3.7.	Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến cường độ chịu nén của bê tông ở tuổi 3 ngày
Hình 3.8.	Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến cường độ chịu nén của bê tông ở tuổi 7 ngày
Hình 3.9.	Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến cường độ chịu nén của bê tông ở tuổi 28 ngày
Hình 3.10.	Sự phát triển cường độ chịu nén theo thời gian

Hình 3.11.	<i>Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông ở tuổi 3 ngày</i>
Hình 3.12.	<i>Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông ở tuổi 7 ngày</i>
Hình 3.13.	<i>Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông ở tuổi 28 ngày</i>
Hình 3.14.	<i>Sự phát triển cường độ chịu kéo khi uốn theo thời gian</i>
Hình 3.15.	<i>Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến độ mài mòn của BT ở tuổi 3 ngày</i>
Hình 3.16.	<i>Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến độ mài mòn của BT ở tuổi 7 ngày</i>
Hình 3.17.	<i>Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến độ mài mòn của BT ở tuổi 28 ngày</i>
Hình 3.18.	<i>Quá trình mất nước của hỗn hợp bê tông và bê tông theo thời gian</i>
Hình 3.19.	<i>Thay đổi nhiệt độ theo thời gian</i>
Hình 3.20.	<i>Thay đổi độ ẩm theo thời gian</i>
Hình 3.21.	<i>Quá trình co mềm của bê tông theo thời gian</i>
Hình 3.22.	<i>Co khô của bê tông theo thời gian</i>
Hình 4.1.	<i>Ảnh hưởng của hàm lượng cát nhẹ trong bê tông IC đến hệ số CTE</i>
Hình 4.2.	<i>Mẫu BTXM cát nhẹ, bảo dưỡng chế độ B – 28 ngày tuổi</i>
Hình 4.3.	<i>Một số hình ảnh thí nghiệm ép chế mẫu BTXM</i>
Hình 4.4.	<i>Xu thế phát triển cường độ của các loại bê tông với các chế độ bảo dưỡng khác nhau</i>
Hình 4.5.	<i>Các số liệu đầu vào cơ bản thiết kế</i>
Hình 4.6.	<i>Số liệu đầu vào khí hậu theo trạm Phú Thọ</i>
Hình 4.7.	<i>Các kết quả dự báo hư hỏng</i>
Hình 4.8.	<i>Dự báo phát triển độ gồ ghề của mặt đường</i>
Hình 4.9.	<i>Dự báo tỉ lệ tấm bị nứt ngang theo thời gian</i>
Hình 4.10.	<i>Dự báo chiều dài khe nối trung bình bị hư hỏng theo thời gian</i>

MỞ ĐẦU

1. Giới thiệu

Mặt đường bê tông xi măng (BTXM) hay mặt đường cứng là loại hình mặt đường được sử dụng ngày càng phổ biến cho giao thông đường bộ và sân bay, đóng vai trò quan trọng trong việc hình thành nên mạng lưới giao thông của Việt Nam.

Mặt đường BTXM có mặt trên tất cả các cấp đường giao thông đường bộ, từ đường quốc lộ, đường tỉnh, đường đô thị, đường giao thông nông thôn, từ đường có lưu lượng xe thấp đến đường có lưu lượng xe cao và tải trọng trục nặng. Mặt đường BTXM cũng được sử dụng phổ biến cho các sân bay, bến cảng, các đường chuyên dụng và các bãi đỗ xe.

Nội bảo dưỡng là phương pháp sử dụng cốt liệu rỗng ngậm nước để hấp thụ và giữ nước trong nó. Lượng nước này sẽ dần dần được đưa ra ngoài trong quá trình đông kết của bê tông để các hạt xi măng thủy hoá được triệt để.

Một số công trình nghiên cứu và thực tế sử dụng trên thế giới đã chứng minh rằng phương pháp nội bảo dưỡng đáp ứng được việc bảo dưỡng bê tông cường độ cao, thực hiện đơn giản, không làm ảnh hưởng đến cường độ của bê tông và làm giảm chi phí cho việc dưỡng hộ từ bên ngoài. Đối với công trình đường ô tô với đặc điểm là trải dài qua nhiều điều kiện địa hình tự nhiên khác nhau, bảo dưỡng mặt đường và bảo dưỡng đúng cách để đảm bảo BTXM hình thành cường độ tốt, tránh phát sinh các hư hỏng của BTXM trong quá trình hình thành cường độ là một thách thức kỹ thuật. Việc sử dụng được BTXM nội bảo dưỡng làm mặt đường ô tô sẽ là một điểm mạnh để giải quyết được các vấn đề liên quan đến quá trình bảo dưỡng mặt đường BTXM.

2. Tính cấp thiết của đề tài

Mặt đường BTXM chịu ảnh hưởng nhiều bởi công tác bảo dưỡng. Hiện nay có nhiều cách bảo dưỡng khác nhau: Phủ bề mặt bê tông bằng cát ẩm và bổ sung nước thường xuyên để duy trì độ ẩm, trải bao bố đã tẩm ướt, tưới nước... Việc bảo dưỡng bê tông đã có từ lâu và phương pháp thông thường mà chúng ta sử dụng là bổ sung lượng nước lên bê tông mặt ngoài hoặc che chắn để giảm thiểu ảnh hưởng của các nhân tố khí hậu đến bê tông. Các phương pháp này hiện nay trở nên kém hiệu quả thực tế đối với bê tông cường độ cao nói riêng và bê tông với tỷ lệ nước - chất kết

dính thấp nói chung, là loại BTXM thường dùng cho đường ô tô và sân bay. Mặt khác, tại công trường việc bảo dưỡng bê tông từ bên ngoài không phải lúc nào cũng dễ thực hiện, đặc biệt đối với các kết cấu có bề mặt hờ lớn, thi công theo tuyến dài, nằm ở các khu vực có địa hình khó khăn, nguồn nước khan hiếm.

Thực tế xây dựng ở Việt Nam hiện nay cho thấy rất nhiều hạng mục bê tông và bê tông cốt thép vẫn bị nứt ở tuổi sớm, mặc dù đã tuân thủ quy trình thi công và bảo dưỡng. Trong nhiều sự cố đó đều kết luận nguyên nhân nứt là do bê tông co ngót. Như vậy, biến dạng thể tích của bê tông không chỉ chịu ảnh hưởng của điều kiện môi trường trên bề mặt mà còn phụ thuộc vào quá trình biến đổi hóa lí và cấu trúc bên trong sản phẩm. Việc nghiên cứu giải pháp để có thể kiểm soát biến dạng thể tích nội tại trong từng giai đoạn đóng rắn của bê tông được thực hiện trong một số năm gần đây đã chứng minh được giá trị khoa học và thực tiễn của các nghiên cứu theo hướng này. Các nghiên cứu này khai thác đặc tính cấu trúc và khả năng giữ nước của một số loại vật liệu như: cốt liệu rỗng, hạt polime siêu thấm hút, sợi thực vật,... Giải pháp bảo dưỡng bê tông bằng nước dự trữ bên trong, thông qua khả năng hút và giữ nước của một số vật liệu, được gọi là *nội bảo dưỡng - Internal Curing (IC)*. Phương pháp *nội bảo dưỡng* đáp ứng được việc bảo dưỡng bê tông thực hiện đơn giản, không làm ảnh hưởng đến cường độ của bê tông và làm giảm chi phí cho việc dưỡng hộ từ bên ngoài. Lượng nước dự trữ này không tham gia vào nước trộn ban đầu, nó có vai trò duy trì độ ẩm cao trong hệ mao quản của đá xi măng, bù và giảm co ngót, hạn chế nứt, thúc đẩy quá trình thủy hóa xi măng làm tăng độ đặc chắc và khả năng chống thấm của bê tông.

Trong các công trình giao thông đường bộ, mặt đường BTXM cho ưu thế vượt trội về cường độ so với bê tông asphalt. BTXM có các chỉ tiêu cơ học cơ bản như cường độ kháng nén, cường độ kháng kéo, và đặc biệt là mô đun đàn hồi lớn hơn hẳn so với bê tông asphalt. Mặt đường BTXM không bị lún, xô trượt vật liệu khi chịu tải trọng lớn. Đặc thù của BTXM là sự mất nước, co ngót do mất nước trên bề mặt hờ lớn, quá trình thi công chịu tác động của các yếu tố khí hậu như nhiệt độ, gió, địa hình, trong nhiều trường hợp khá khó khăn để bố trí bảo dưỡng ẩm từ bên ngoài. Các đặc điểm và yêu cầu cơ bản của mặt đường BTXM bao gồm: yêu cầu cường độ chịu kéo khi uốn cao, yêu cầu khả năng chịu mài mòn tốt, cho phép co giãn khi nhiệt độ thay đổi bằng cách bố trí phân tẩm và thiết kế các khe nối, có độ nhám bề mặt tốt, có

khả năng chống thấm tốt. Những đặc tính cơ lý phụ thuộc nhiều không chỉ về cấp phối và thành phần của hỗn hợp BTXM khi thiết kế, mà còn phụ thuộc khá nhiều vào công tác bảo dưỡng để BTXM có cấu trúc vật liệu tốt, đảm bảo độ bền lâu. Thực tế cho thấy bảo dưỡng BTXM mặt đường là công tác quan trọng, nhưng ít được quan tâm đúng mức, đặc biệt ở các vùng địa hình khó không có nguồn nước hoặc nguồn nước hiếm. Công tác bảo dưỡng do vậy khá tốn kém và khó đảm bảo qui định. Chất lượng kết cấu BT mặt đường BTXM hiện tại thường bị suy giảm do nguyên nhân từ bảo dưỡng.

Việc sử dụng IC nghĩa là đưa vào cấp phối BTXM một lượng vật liệu giữ nước đem lại hiệu quả về giảm co, hạn chế nứt trong quá trình hình thành cường độ. Tuy nhiên, cũng có thể làm thay đổi sự làm việc của kết cấu mặt đường với các chỉ tiêu cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo khi uốn, mô đun đàn hồi, hệ số thấm, độ mài mòn... mà chắc chắn cần được nghiên cứu làm rõ. Do đó, đề tài *“Sự làm việc của mặt đường bê tông xi măng nội bảo dưỡng trong điều kiện Việt Nam”* được tiến hành, góp phần chứng tỏ khả năng sử dụng giải pháp nội bảo dưỡng trong BTXM có thể cải thiện được nhiều tính chất của hỗn hợp bê tông và đánh giá khả năng sử dụng BTXM nội bảo dưỡng để làm mặt đường ô tô ở Việt Nam.

3. Mục tiêu nghiên cứu

Nghiên cứu bê tông xi măng nội bảo dưỡng làm mặt đường ô tô trong điều kiện khí hậu Việt Nam nhằm đạt các mục tiêu sau đây:

- Thiết kế thành phần hỗn hợp và đánh giá các chỉ tiêu vật lý và cơ học cơ bản của BTXM nội bảo dưỡng để đáp ứng yêu cầu kỹ thuật của BTXM làm mặt đường ô tô;
- Đánh giá khả năng thực hiện nội bảo dưỡng của BTXM thiết kế để ứng dụng làm mặt đường ô tô;
- Đánh giá các ứng xử cơ bản của BTXM nội bảo dưỡng thiết kế khi được áp dụng làm BTXM mặt đường ô tô, từ đó nêu bật được khả năng và phạm vi ứng dụng của BTXM nội bảo dưỡng để làm mặt đường BTXM đường ô tô trong điều kiện khí hậu Việt Nam

4. Đối tượng và nội dung nghiên cứu

4.1. Đối tượng nghiên cứu

Mặt đường bê tông xi măng sử dụng Bê tông nội bảo dưỡng đáp ứng yêu cầu cho đường ô tô với công nghệ thi công thông thường.

4.2. Phạm vi nghiên cứu

Nghiên cứu sử dụng hỗn hợp cát nhẹ keramzit và xi lò cao hạt hóa nghiền mịn cho bê tông nội bảo dưỡng hướng tới ứng dụng cho xây dựng mặt đường bê tông xi măng trong điều kiện Việt Nam (từ cấp III trở xuống).

4.3. Nội dung nghiên cứu

- Nghiên cứu tổng quan về bê tông nội bảo dưỡng trên thế giới và ở Việt Nam để xây dựng các vấn đề khoa học cần giải quyết.

- Nghiên cứu cơ sở khoa học về chế độ bảo dưỡng BTXM mặt đường và khả năng thích hợp của nội bảo dưỡng.

- Nghiên cứu lựa chọn vật liệu và thiết kế thành phần bê tông nội bảo dưỡng, thí nghiệm các chỉ tiêu cơ bản của vật liệu.

- Nghiên cứu thực nghiệm các tính chất vật lý và cơ học cơ bản của vật liệu BTXM nội bảo dưỡng: sự mất nước, co mềm, co khô và khả năng chống nứt; các chỉ tiêu cơ bản của BTXM nội bảo dưỡng khi được áp dụng làm mặt đường: cường độ nén, cường độ kéo, mô đun đàn hồi, hệ số giãn nở nhiệt, độ mài mòn, độ nhám bề mặt.

- Nghiên cứu sự làm việc của BTXM nội bảo dưỡng làm mặt đường ô tô thông qua phân tích kết cấu mặt đường sử dụng tiêu chuẩn thiết kế mặt đường cứng hiện hành ở Việt Nam, tiêu chuẩn thiết kế mặt đường cứng của AASHTO và phần mềm cơ học thực nghiệm M-E.

4.4. Cấu trúc của luận án

Gồm phần mở đầu, tiếp theo là 4 chương, phần kết luận, kiến nghị và dự kiến hướng nghiên cứu tiếp tục, các công trình khoa học đã công bố, danh mục tài liệu tham khảo và phụ lục.

Cụ thể như sau:

- Mở đầu.

- Chương 1. Nghiên cứu tổng quan về xây dựng mặt đường ô tô có sử dụng bê tông xi măng nội bảo dưỡng.

- Chương 2. Nghiên cứu cơ sở khoa học xây dựng mặt đường ô tô sử dụng bê tông xi măng nội bảo dưỡng.

- Chương 3. Nghiên cứu thực nghiệm vật liệu bê tông xi măng nội bảo dưỡng làm mặt đường ô tô.

- Chương 4. Ứng dụng bê tông xi măng nội bảo dưỡng trong thiết kế và xây dựng mặt đường bê tông xi măng trong điều kiện khí hậu Việt Nam.

- Kết luận, kiến nghị và dự kiến hướng nghiên cứu tiếp tục.

- Các công trình khoa học đã công bố.

- Tài liệu tham khảo.

- Phụ lục.

5. Ý nghĩa khoa học

Từ những kết quả nghiên cứu về lý thuyết và thực nghiệm đề tài đã góp phần khẳng định giả thuyết khoa học của luận án là “Mặt đường ô tô sử dụng BTXM nội bảo dưỡng bằng cát nhẹ bảo hòa nước kết hợp xi lò cao hạt hóa nghiền mịn, đảm bảo cường độ chịu nén yêu cầu, cải thiện cường độ chịu kéo khi uốn và co ngót; phù hợp cho mặt đường giao thông từ cấp III trở xuống”.

Nghiên cứu đã làm sáng tỏ thêm về đặc điểm, tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông sử dụng riêng cát nhẹ, sử dụng cát nhẹ phối hợp xi lò cao. Từ đó, đưa ra giải pháp thích hợp để nâng cao khả năng chống nứt cho bê tông xi măng làm đường áp dụng cho cấp đường cụ thể.

6. Ý nghĩa thực tiễn

Kết quả nghiên cứu đã cho thấy có thể sử dụng cát nhẹ để chế tạo bê tông nội bảo dưỡng đáp ứng được yêu cầu kỹ thuật đối với bê tông làm đường giao thông. Khi phối hợp xi lò cao với cát nhẹ là vật liệu nội bảo dưỡng thì có thể chế tạo bê tông nội bảo dưỡng đáp ứng yêu cầu kỹ thuật đối với mặt đường bê tông xi măng đến cấp III, theo hướng dẫn thiết kế mặt đường BTXM hiện hành ở Việt Nam.

Từ kết quả nghiên cứu thực nghiệm BTXM nội bảo dưỡng sử dụng cát nhẹ kết hợp xi lò cao đáp ứng yêu cầu làm công trình mặt đường, đã thực hiện tính toán phân tích kết cấu để ứng dụng vật liệu trong công trình giao thông đường bộ thực tế.

7. Kết quả nghiên cứu và những đóng góp mới của luận án

7.1. Kết quả nghiên cứu

Đã nghiên cứu khảo sát tính chất của vật liệu, tính chất của bê tông nội bảo dưỡng và xác định được cấp phối bê tông nội bảo dưỡng hợp lý dùng cho mặt đường BTXM theo yêu cầu kỹ thuật.

Lựa chọn được vật liệu nội bảo dưỡng hợp lý là cát nhẹ cho Bê tông nội bảo dưỡng; lựa chọn được thành phần Bê tông nội bảo dưỡng có sử dụng phụ gia khoáng xỉ lò cao nghiền mịn.

Đã tìm thấy tồn tại khoảng hệ số dư vừa hợp lý ($K_d = 1,47 \div 1,56$) đối với cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo khi uốn và độ mài mòn của Bê tông nội bảo dưỡng đáp ứng yêu cầu kỹ thuật đối với bê tông xi măng làm đường giao thông tới cấp III.

Đã nghiên cứu sự làm việc của Bê tông nội bảo dưỡng trong kết cấu mặt đường giao thông, kiểm tra độ bền và dự đoán tuổi thọ của kết cấu.

Sử dụng kết quả nghiên cứu để kiểm toán các tiêu chuẩn tính toán kết cấu mặt đường sử dụng Bê tông nội bảo dưỡng cho mặt đường giao thông.

7.2. Đóng góp mới của luận án

- Lựa chọn được hàm lượng hợp lý cát nhẹ là vật liệu cho Bê tông nội bảo dưỡng với phụ gia khoáng xỉ lò cao nghiền mịn.

- Xác định được khoảng hệ số dư vừa hợp lý đối với cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo khi uốn và độ mài mòn của Bê tông nội bảo dưỡng đáp ứng yêu cầu kỹ thuật đối với bê tông xi măng làm đường giao thông tới cấp III.

- Đã xác định được sự làm việc của BTXM nội bảo dưỡng trong kết cấu mặt đường giao thông.

- Kết quả nghiên cứu sử dụng để kiểm toán các tiêu chuẩn tính toán kết cấu mặt đường sử dụng Bê tông nội bảo dưỡng cho mặt đường giao thông.

8. Các thuật ngữ

“Mặt đường BTXM” – là kết cấu mặt đường ô tô sử dụng bê tông xi măng

“BTXM nội bảo dưỡng” – là bê tông có sử dụng các loại vật liệu giữ nước làm nhiệm vụ cung cấp nước từ bên trong cho quá trình thủy hóa xi măng khi bê tông hình thành cường độ

CHƯƠNG 1. NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN VỀ XÂY DỰNG MẶT ĐƯỜNG Ô TÔ CÓ SỬ DỤNG BÊ TÔNG XI MĂNG NỘI BẢO DƯỠNG

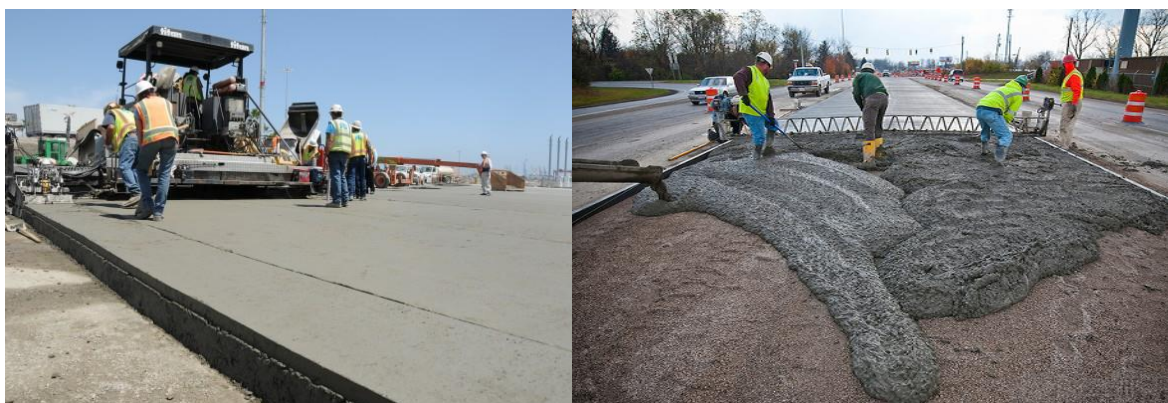
Trong chương này sẽ giới thiệu tổng quan về vật liệu bê tông xi măng nội bảo dưỡng và những nghiên cứu ứng dụng bê tông xi măng nội bảo dưỡng làm mặt đường ô tô.

1.1. Mặt đường bê tông xi măng

Mặt đường BTXM xuất hiện vào cuối thế kỷ 19, bắt đầu ở Anh vào những năm 1950, sau đó lan dần sang Pháp, Đức, Hoa Kỳ và Nga... Trong suốt hơn 100 năm qua, mặt đường BTXM đã được tiếp tục xây dựng và phát triển ở hầu hết các nước trên thế giới, tập trung nhiều nhất ở các nước có nền kinh tế phát triển như: Canada, Hoa Kỳ, CHLB Đức, Anh, Bỉ, Hà Lan, Australia, Trung Quốc...[15]

Mặt đường BTXM, còn được gọi là mặt đường cứng cùng với mặt đường mềm là 2 loại hình mặt đường chính được sử dụng cho giao thông đường bộ và sân bay, đóng vai trò quan trọng trong việc hình thành nên mạng lưới giao thông của Việt Nam và nhiều quốc gia trên thế giới.

Mặt đường BTXM có mặt trên tất cả các cấp đường giao thông đường bộ, từ đường địa phương, tỉnh lộ, quốc lộ, từ đường giao thông nông thôn có lưu lượng xe thấp đến đường phố, trục giao thông chính quốc gia, đường cao tốc. Mặt đường BTXM cũng thường được sử dụng ở các sân bay, bến cảng, các đường chuyên dụng và các bãi đỗ xe.



Hình 1.1. Mặt đường bê tông xi măng [15]

Ngày nay, mặt đường BTXM vẫn luôn được các nhà nghiên cứu các nhà quản lý rất quan tâm. Hệ thống Tiêu chuẩn ngày càng hoàn thiện và công nghệ xây dựng

ngày càng phát triển đồng bộ và hiện đại. Hàng năm, những hội nghị tổng kết phổ biến kinh nghiệm và những nghiên cứu phát triển mới về loại hình mặt đường BTXM của thế giới vẫn được duy trì thường niên và phạm vi áp dụng của mặt đường BTXM ngày càng được mở rộng.

Tổng kết về khối lượng mặt đường BTXM đã xây dựng ở một số nước theo báo cáo của Cục Đường bộ Liên bang Hoa Kỳ - FHWA công bố năm 2007 [48] cho thấy: Tại Hoa Kỳ, mặt BTXM chiếm khoảng 9% trong số 490.179 km đường đô thị và 4% của 1.028.491 km đường ngoài đô thị; Tỉnh Québec, Canada có 1.239 km (đường 2 làn xe) trong tổng số 29.000 km đường (khoảng 4%) là mặt đường BTXM nhưng lại phục vụ tới 75% lượng giao thông ở Québec; Tại Đức, mặt đường BTXM không cốt thép, phân tẩm chiếm khoảng 25% mạng lưới đường cao tốc có lưu lượng giao thông cao; Tại Áo, đường cao tốc chiếm khoảng 25% mạng lưới đường bộ quốc gia (14.000 km), trong đó mặt đường BTXM chiếm đến 2/3; Tại Bỉ, đường cao tốc có khoảng 1.700 km, chỉ chiếm 1% tổng số chiều dài mạng lưới đường, trong đó mặt đường BTXM chiếm 40% chiều dài đường cao tốc và 60% đường nông thôn; Ở Hà Lan, có 5% trong số 2.300 km đường cao tốc là mặt đường BTXM, trong đó một nửa là mặt đường BTCT liên tục và một nửa là BTXM không cốt thép, phân tẩm, Hà Lan còn có 20.000 km đường xe đạp, trong đó 10% là mặt đường BTXM; Vương quốc Anh có 1.500 km là mặt đường BTXM trong tổng số 285.000 km chiều dài toàn bộ mạng lưới đường.

Cho tới đầu những năm 1980, mặt đường BTXM phân tẩm, không hoặc có cốt thép vẫn là loại mặt đường BTXM chủ yếu. Từ giữa những năm 1980 đến giữa những năm 1990, mặt đường BTXM điển hình lại là BTCT liên tục. Từ cuối những năm 1990, do yêu cầu về giảm tiếng ồn, mặt đường BTXM thường có lớp mặt bê tông nhựa mỏng bên trên. Ở Vương quốc Anh, yêu cầu có lớp mặt bê tông nhựa trên tẩm bê tông xi măng là để giảm tiếng ồn là bắt buộc trong phạm vi xứ Anh (England). Mặt đường BTXM chiếm khoảng 67% đường cao tốc ở Úc và chiếm 60% đường cao tốc ở Trung Quốc [15].

Qua hơn 100 năm phát triển, mặt đường BTXM xét về cấu tạo bao gồm các loại: BTXM không cốt thép, phân tẩm, đổ tại chỗ (còn gọi là mặt đường BTXM thông thường); mặt đường BTXM cốt thép; mặt đường BTXM cốt thép ứng suất trước; mặt đường BTXM lưới thép; mặt đường BTXM cốt thép liên tục; mặt đường BTXM cốt

phân tán. Theo phương pháp thi công gồm có: Mặt đường BTXM đổ tại chỗ; mặt đường BTXM dùng lu; mặt đường BTXM lắp ghép. Tương ứng với mỗi loại mặt đường BTXM có những đặc điểm và phạm vi áp dụng nhất định.

Mặt đường BTXM không cốt thép, phân tằm ra đời sớm nhất và vẫn đang được áp dụng phổ biến ở nhiều nơi. Chiều dày của tằm từ 15 - 40cm; kích thước tằm thay đổi tùy theo từng điều kiện khí hậu của từng khu vực dự án có thể từ khoảng 3 - 7m, thông thường khoảng 5m. Mặt đường BTXM không cốt thép (không kể cốt thép dùng làm thanh truyền lực giữa các tằm) sử dụng cho hầu hết đường ô tô các cấp, các bãi đỗ, bến cảng và sân bay. Móng của mặt đường BTXM phân tằm thông thường là vật liệu hạt, cát gia cố vôi hay xi măng; đá dăm gia cố xi măng; đôi khi là đá gia cố nhựa đường, hoặc thậm chí là BTN hoặc BTXM nghèo. Móng là vật liệu hạt không gia cố chỉ được sử dụng cho mặt đường BTXM đường cấp thấp, đường GTNT.

Mặt đường BTXM cốt thép thường được sử dụng đối với những tuyến đường có tải trọng lớn như sân bay, đường chuyên dụng, đường có lưu lượng xe lớn và các công trình đặc biệt có yêu cầu tuổi thọ cao. Về cơ bản, kích thước tằm mặt đường BTXM cốt thép tương tự như BTXM phân tằm thông thường nhưng được tăng cường thêm 02 lớp cốt thép để tăng cường khả năng chịu lực. Trong tính toán thiết kế, có kể đến khả năng cùng chịu lực của cốt thép.

Mặt đường BTXM lưới thép ra đời chủ yếu nhằm khắc phục và hạn chế các vết nứt do co ngót của bê tông và nứt do nhiệt. Trên cơ sở tính toán thiết kế như mặt đường BTXM thông thường, lưới thép với thép có đường kính 10 - 14 mm, và khoảng cách 10 - 20cm được bổ sung và bố trí cách bề mặt mặt đường từ 6 - 10 cm nhằm hạn chế sự phát triển các vết nứt trong quá trình bê tông hình thành cường độ và trong khai thác. Mặt đường BTXM lưới thép xuất hiện sau BTXM thông thường và có phạm vi áp dụng tương tự như mặt đường BTXM thông thường.

Mặt đường BTXM cốt thép liên tục ra đời nhằm khắc phục những nhược điểm cơ bản của mặt đường BTXM phân tằm thông thường là giảm thiểu các khe nối ngang mặt đường là khe co và khe giãn. Trong mặt đường BTXM cốt thép liên tục, hàm lượng cốt thép khoảng 0,54%, bao gồm cốt thép dọc đường kính 16 mm, cốt thép ngang đường kính 12 mm được bố trí liên tục suốt chiều dài đường và đặt ở vị trí khoảng từ $\frac{1}{3}$ đến $\frac{1}{2}$ bề dày tằm BTXM. Mục đích của việc bố trí cốt thép này không phải là ngăn ngừa sự xuất hiện vết nứt do tải trọng và ứng suất nhiệt, mà chỉ nhằm

hạn chế việc mở rộng khe nứt. Trong trường hợp này, yêu cầu khoảng cách khe nứt là 1,05 - 2,4m (3,5 - 8,0 feet) với độ mở rộng khe nứt không được quá 1,0mm nhằm hạn chế nước thấm qua khe nứt phá hoại cốt thép và bảo đảm mặt đường khai thác được bình thường. Với đặc điểm khắc phục nhược điểm không êm thuận do nhiều khe nối của BTXM phân tằm, mặt đường BTXM cốt thép liên tục được áp dụng chủ yếu đối với các tuyến đường có lưu lượng xe lớn, đường cao tốc, đường băng sân bay và với kinh phí đầu tư ban đầu lớn.

BTXM cốt phân tán (cốt sợi) chỉ được sử dụng trong những trường hợp đặc biệt yêu cầu mặt đường có khả năng chịu lực rất lớn và chống mài mòn cao. Trong khi trộn bê tông tươi, ngoài cốt liệu đá và cát thông thường người ta bổ sung thêm và trộn đều với các loại cốt sợi: thủy tinh, kim loại, tổng hợp (acrylic, aramid, cacbon, nylon, polyester, polyethylene, polypropylene) và cốt sợi tự nhiên.

Mặt đường BTXM dùng lu là loại mặt đường sử dụng hỗn hợp BTXM có độ công tác rất thấp, thi công liên tục sử dụng thiết bị lu thông thường và không cần khe tạo mối nối. Mặt đường BTXM dùng lu vẫn tự nứt nên trên đó phải làm thêm lớp đá dăm láng nhựa (lớp láng nhựa) nhằm khắc phục các vết nứt do co ngót và do nhiệt độ, hoạt tải gây ra. Chiều dày của lớp BTXM dùng lu dao động trong khoảng 20 cm với lớp móng dưới là vật liệu hạt gia cố hay đá dăm. BTXM dùng lu được áp dụng cho các tuyến đường có lưu lượng xe không cao và làm làm lớp móng cho mặt đường BTXM hoặc mặt đường bê tông nhựa.

Mặt đường BTXM ứng suất trước ra đời cũng nhằm khắc phục các vết nứt của mặt đường BTXM thông thường đồng thời tăng cường khả năng chịu lực của kết cấu dạng tằm. Có loại mặt đường BTXM ứng suất trước sử dụng các sợi thép căng trước và mặt đường BTXM cốt thép ứng suất trước căng sau. Mặt đường BTXM cốt thép ứng suất trước có phạm vi áp dụng hạn chế vì công nghệ thi công phức tạp.

Mặt đường BTXM lắp ghép là loại mặt đường BTXM có hoặc không có cốt thép được chế tạo sẵn tại xưởng và vận chuyển đến công trường lắp ghép thành mặt đường. Các tấm BTXM đúc sẵn có thể đặt trực tiếp trên nền đất, nền cát hoặc móng đá dăm. Phạm vi áp dụng đối với các đường lâm nghiệp, đường có thời hạn sử dụng ngắn, công vụ và các tấm BTXM có thể được sử dụng lại.

Tuổi thọ của mặt đường BTXM tương đối cao, cao hơn mặt đường bê tông nhựa (BTN). Tuy theo cấp hạng đường và tiêu chí đánh giá của từng nước nhưng nói

chung tuổi thọ của mặt đường BTXM được lấy vào khoảng 20 - 50 năm. Tuổi thọ thực tế của mặt đường BTXM có thể lớn hơn dự kiến khi thiết kế. Theo thống kê, có những đoạn mặt đường BTXM sau khi xây dựng sau 50 năm mới phải tăng cường và thậm chí có đoạn tồn tại đến 70 năm sử dụng.

Cường độ mặt đường BTXM cao và không thay đổi theo nhiệt độ như mặt đường nhựa, thích hợp với tất cả các loại xe, ổn định cường độ đối với ẩm và nhiệt, cường độ không những không bị giảm mà có giai đoạn còn tăng theo thời gian và không có hiện tượng bị lão hoá như mặt đường BTN. Mặt đường BTXM có màu sáng nên thuận lợi cho việc chạy xe ban đêm, hơn nữa chi phí duy tu, bảo dưỡng thấp.

Mặt đường BTXM có nhược điểm cơ bản như đã được đề cập là không bằng phẳng do tồn tại các khe nối. Hệ thống các khe nối vừa làm phức tạp và tốn kém thêm cho công tác thi công và duy tu, bảo dưỡng, vừa ảnh hưởng đến chất lượng khai thác đường. Khe nối cũng là vị trí xung yếu nhất của mặt đường BTXM, là nơi nước dễ dàng thâm nhập, làm suy yếu và/hoặc xói lớp móng khiến tấm BTXM mặt đường bị nứt, vỡ ở cạnh và góc tấm. Sau khi xây dựng xong, phải bảo dưỡng một thời gian mới cho phép thông xe, do vậy ít thích hợp đối với trường hợp nâng cấp mặt đường cũ, cần đảm bảo giao thông.

Móng đường BTXM yêu cầu có độ bằng phẳng cao, chất lượng đồng đều và liên tục. Không xây dựng mặt đường BTXM trên nền đường còn tiếp tục lún như đi qua vùng đất yếu. Xây dựng mặt đường BTXM chất lượng cao cho các tuyến đường cấp cao và đường cao tốc đòi hỏi phải có thiết bị thi công đồng bộ, hiện đại và quy trình công nghệ thi công chặt chẽ. Sau thi công, yêu cầu bảo dưỡng mặt đường khá chặt chẽ cho đến khi BTXM hình thành đủ cường độ.

Khi mặt đường BTXM bị hư hỏng thì rất khó sửa chữa, và công tác sửa chữa ảnh hưởng nhiều đến việc đảm bảo giao thông. Nâng cấp cải tạo mặt đường BTXM đòi hỏi chi phí cao, do phải tăng cường lớp BTN dày để tránh nứt phản ánh hoặc tái chế BTXM cũ mặt đường rất phức tạp. Chi phí xây dựng ban đầu của mặt đường BTXM thường cao hơn so với mặt đường BTN và các loại mặt đường khác.

1.2. Bê tông xi măng nội bảo dưỡng

Nội bảo dưỡng (IC) là quá trình mà sự thủy hóa XM được tiếp tục do sự có mặt của nước bên trong mà không phải là một phần của nước nhào trộn theo ACI CT-13 [47]. Khi đó, lượng nước cung cấp cho một hỗn hợp CKD mới đông kết được sử

dụng từ những bể chứa, ví dụ như cốt liệu nhẹ bão hòa nước, để thay thế độ ẩm mất đi do thoát hơi nước hay do sự tự khô. IC đã được định nghĩa bởi Viện BT Hoa Kỳ (ACI) là “việc cung cấp nước xuyên suốt hỗn hợp CKD vừa mới đóng rắn sử dụng ‘bể chứa’ CL nhẹ bão hòa nước mà sẵn sàng nhả nước khi cần cho sự thủy hóa hoặc để thay đổi độ ẩm đã mất trong quá trình bay hơi nước hay do sự tự khô”.

Ảnh hưởng của nội bảo dưỡng đối với bê tông được thể hiện là: Giảm co tự sinh và nứt ở tuổi sớm; Giảm nứt do co dãn (tính bền vững của công trình); Tăng cường độ (nén và uốn), đặc biệt là ở tuổi muộn; Giảm mô đun đàn hồi; Cải thiện vi cấu trúc vùng chuyển tiếp; Giảm độ nở dưới điều kiện thí nghiệm xâm nhập sun-phát; Giảm độ thấm hút và xâm nhập clo-rua (rõ rệt nhất trong việc trì hoãn sự ăn mòn); Tăng hiệu quả của việc sử dụng vật liệu CKD (nhằm tăng cường độ hoặc giảm hàm lượng XM); Tăng tuổi thọ và giảm chi phí vòng đời công trình (tăng tuổi thọ đối với những mặt cầu khi so sánh với BT thông thường chỉ dựa vào những tính chất phổ biến mà không quan tâm đến những lợi ích thêm vào của việc giảm khả năng nứt).

Năm 2009 – 2011, Sở Giao thông vận tải tiểu bang New York [78] đã xây dựng một chuỗi các cây cầu sử dụng LWA cho IC, thay thế 30% LWA (theo thể tích) và tỷ lệ nước/chất kết dính ($N/CKD = 0,4$). Dữ liệu từ báo cáo bởi Streeter và các cộng sự 2012 [86] cho thấy IC có ảnh hưởng không đáng kể đến cường độ hoặc còn có thể làm tăng cường độ (Bảng 1.1).

Bảng 1.1. Cường độ của BT cho những cây cầu ở NYSDOT [86]

		Cường độ nén 7 ngày (psi)		Cường độ nén 28 ngày (psi)		Cường độ nén 56 ngày (psi)	
Quốc lộ	Tên cầu	BT thường	BT IC	BT thường	BT IC	BT thường	BT IC
I-81	East Hill Road	3720	3335	5040	5273	5900	5853
I-290 Ramp D	I-290	3040	3500	4677	4683	5343	5417
Court Street	I-81	4727	4859	6309	6976	no data	no data

Độ cứng của CL trong HHBT ảnh hưởng trực tiếp đến mô đun đàn hồi [73]. Một nghiên cứu được thực hiện bởi Golias (2010) [62] đã sử dụng hỗn hợp đối chứng và hỗn hợp IC với tỉ lệ $N/CKD = 0,3$ và $0,5$ và hàm lượng LWA thay thế tương ứng

là 28% và 25%. Những kết quả kiểm tra này cho thấy sự giảm mô đun đàn hồi khi so sánh với hỗn hợp đối chứng. Điều này có thể có lợi bởi vì nó sẽ làm giảm ứng suất dưới trạng thái căng do co [85].

Hỗn hợp vữa IC sử dụng LWA bão hòa có thể làm giảm đáng kể hoặc loại trừ co dãn. Khả năng xuất hiện vết nứt do co dãn giảm khi thể tích LWA thay thế tăng. Những vết nứt do co dãn có thể bị loại trừ nếu sử dụng hàm lượng LWA thay thế phù hợp. Ví dụ như trong kết quả nghiên cứu này, xác suất nứt tương ứng với tất cả các chiều rộng vết nứt đều bằng 0 khi hàm lượng thay thế lên đến 18%.

Một trong những cách sử dụng ban đầu được nghiên cứu cho IC là để làm giảm độ co tự sinh với tỉ lệ N/CKD thấp. Bentur [55] đã mô tả rằng khi thay thế 25% LWA bão hòa có thể loại trừ co tự sinh và lượng LWA bão hòa thay thế 20% là hiệu quả đối với co tự sinh.

Có thể giảm co ngót không đều bằng việc cung cấp một độ ẩm tương đối đồng đều xuyên suốt bề dày của tấm. Điều này có thể thực hiện bằng cách sử dụng lượng nước thoát ra từ LWA bão hòa. Trong một nghiên cứu thực hiện bởi Wei và Hansen năm 2008 [87], HHBT IC làm giảm sự cong vênh đến 70%. Hỗn hợp sử dụng tỉ lệ N/CKD = 0,45 và được làm khô trong 16 ngày [87].

Độ thấm hút được đặc biệt quan tâm vì nó có thể chỉ ra độ bền lâu tiềm năng vì liên quan đến độ bền của bê tông theo El-Dieb và Hooton [60].

Sử dụng mẫu vữa được làm với 0,08 đơn vị nước IC mỗi khối XM và tỉ lệ N/CKD = 0,4, Bentz [56] đã chỉ ra sự giảm hệ số khuếch tán Chloride là 25% so với 45% của những mẫu đối chứng. Sự giảm này là do hàm lượng hồ thấm qua [56].

Cusson và Margeson [57] đã sử dụng những mẫu BT với tỉ lệ N/CKD = 0,5 và 0,075 đối với nước IC mỗi khối XM. Nghiên cứu này cho thấy độ thấm Chloride giảm 25% và độ thấm nước giảm 19%. Nó cũng chỉ ra BT IC có hàm lượng C-S-H lớn hơn 20% (xác định ở tuổi 28 ngày sử dụng phép phân tích trọng lượng nhiệt) làm tăng quá trình thủy hóa XM. Kết quả nghiên cứu này được trình bày ở bảng 1.2.

Bảng 1.2. Một vài kết quả thí nghiệm về ảnh hưởng của IC [57]

Các chỉ tiêu	BT đối chứng (N/X = 0.35)	BT nội bảo dưỡng (N/X = 0.35)	Tỷ lệ cải thiện (%)
N/X _{ic} (kg/kg)	0	0.075	
C–S–H tại 28 ngày (%)	10.2	12.3	21
Cường độ nén 7 ngày (MPa)	45	50	11
Cường độ nén 28 ngày (MPa)	60	65	8
Khả năng thấm nước (m/s)	2.1×10^{-11}	1.7×10^{-11}	19
Thấm Clo-rua (Coulomb)	553	415	25

1.3. Các nghiên cứu về BTXM nội bảo dưỡng và nghiên cứu ứng dụng trong xây dựng mặt đường BTXM

1.3.1. Các nghiên cứu về bê tông xi măng nội bảo dưỡng trên thế giới

Từ nhiều năm trước, việc nghiên cứu cơ chế dưỡng hộ từ bên trong (nội bảo dưỡng - IC) đã được đề xuất và phát triển. Một số công trình nghiên cứu và thực tế sử dụng trên thế giới đã chứng minh rằng phương pháp nội bảo dưỡng đáp ứng được việc bảo dưỡng bê tông cường độ cao, thực hiện đơn giản, không làm ảnh hưởng đến cường độ của bê tông và làm giảm chi phí cho việc dưỡng hộ từ bên ngoài. Nội bảo dưỡng là phương pháp sử dụng cốt liệu rỗng ngậm nước để hấp thụ và giữ nước trong nó. Lượng nước này sẽ dần dần được đưa ra ngoài trong quá trình đông kết của bê tông để các hạt xi măng thủy hoá được triệt để.

Tiền đề cơ bản của IC được công nhận lần đầu tiên vào năm 1957 phát triển từ Hội nghị thế giới về BT ứng suất trước, Paul Klieger [66] đã viết rằng “LWA thấm hút lượng nước đáng kể trong quá trình nhào trộn, lượng nước này có vẻ như có thể dịch chuyển tới hồ XM trong suốt quá trình thủy hóa”.

IC được kiến nghị trực tiếp vào năm 1991, Philleo [81] đã viết “...cần tìm ra một phương pháp để có được nước dưỡng hộ vào phía bên trong của các thành phần cấu trúc cường độ cao... Sự thay thế một phần của CLN bởi LWA bão hòa nước có thể đem tới một giải pháp khả thi”. Ông đã đề nghị kết hợp lượng cốt liệu nhỏ bão

hoà vào hỗn hợp bê tông để cung cấp một nguồn nước bên trong trong suốt quá trình thủy hoá của hỗn hợp. Cốt liệu nhẹ thường có 24h hấp thụ nước trong khoảng từ 5% đến 25% và nếu đúng như điều kiện đầu tiên để đưa chúng vào hỗn hợp, có thể cung cấp thêm một lượng nước bên trong cho quá trình dưỡng hộ bê tông. Đề nghị của ông cuối cùng cũng có được một số công nhận với một khối lượng công việc đáng kể đã được hoàn thành về việc sử dụng LWA bảo hoà để giảm co tự sinh. Rất nhiều nghiên cứu đã được mô tả trong các báo cáo sau này. Tiếp sau đó, IC được nghiên cứu rộng rãi tại Đức, Israel, Đan Mạch và Hoa Kỳ từ giữa những năm 90s của thế kỷ trước đến nay. Những “bể chứa nước” thường gặp là LWA, polime siêu thấm hút và sợi gỗ.

Vai trò của nước trong hỗn hợp bê tông là rất lớn. Các nghiên cứu [70][71] đã chỉ ra co tự sinh do khô tự xảy ra khi tỉ lệ N/X dưới 0,42. Một điều lưu ý khác là tỉ lệ N/X giới hạn có thể khác nhau giữa 0,36 và 0,48 tùy thuộc vào loại xi măng. Khi mà tỉ lệ N/X thấp hơn nhiều so với 0,42 và có thể không còn nước để thủy hoá, xi măng tìm kiếm thêm nước từ các lỗ mao quản bên trong và do đó làm giảm độ ẩm của hỗn hợp.

Một số giải thích tương đối hợp lí về cốt liệu nhẹ làm giảm bớt hay loại trừ co tự sinh được Bentz và các cộng sự đưa ra trong [74]. Theo tài liệu này, trong suốt quá trình thủy hoá, một hệ thống các lỗ mao quản được hình thành trong hỗn hợp hồ xi măng. Bán kính của các lỗ mao quản này nhỏ hơn bán kính lỗ mao quản trong cốt liệu nhẹ. Cốt liệu nhẹ hoạt động như một hồ chứa nước, các lỗ mao quản của hồ xi măng hấp thụ nước từ cốt liệu nhẹ bởi lực hút mao quản. Các hạt xi măng chưa thủy hoá trong hỗn hợp xi măng bây giờ sẽ có thêm lượng nước cho quá trình thủy hoá. Nhóm nghiên cứu đã phát triển phương trình để ước lượng mức độ thay thế của cốt liệu nhẹ, vật liệu cung cấp tất cả nước cần thiết cho việc hoàn thành nội bảo dưỡng cho bê tông cường độ cao.

Năm 2002, một số chuyên gia đã tiến hành nghiên cứu hiện tượng co ngót trong bê tông cường độ cao [61] và chỉ ra rằng phương pháp bảo dưỡng thông thường không đem lại hiệu quả trong trường hợp này, nó chỉ có thể loại bỏ những co nhỏ ở bề mặt. Nhóm này đã đưa ra những khuyến nghị trong các quá trình chuẩn bị vật liệu, pha trộn, đúc mẫu và thiết kế hỗn hợp bê tông theo tiêu chí tối ưu hóa thành phần, loại và tính chất của bê tông. Nghiên cứu này được thực hiện theo cách cụ thể hoá trong từng điều kiện môi trường và xét đến ảnh hưởng của các yếu tố bên ngoài. Các

đặc tính như co ngót, từ biến, hiệu ứng nhiệt, nứt và các chỉ tiêu chất lượng được tập trung thử nghiệm. Từ những kết quả này, các nhà nghiên cứu đã tiến hành phát triển phương pháp nội bảo dưỡng cho các loại bê tông khác nhau, chẳng hạn như với bê tông bình thường cần tỷ lệ N/X lớn hơn 0,4.

Nghiên cứu [84] đã được thực hiện và phát hiện ra rằng hỗn hợp bê tông với tỉ lệ N/X nhỏ hơn 0,4 thì dễ bị nứt do co ngót. Để giảm bớt co ngót trong bê tông, họ đã sử dụng cốt liệu nhẹ bão hoà thay thế một phần cốt liệu thường trong bê tông. Quá trình thử nghiệm để kiểm tra việc phát triển cường độ của khối bê tông ở 56 ngày tuổi, sự biến dạng cũng như sự phát triển của hỗn hợp. Họ kết luận rằng sự thay thế một phần của cốt liệu thường bằng cốt liệu nhẹ được sử dụng để làm giảm co ngót trong bê tông chất lượng cao với tỉ lệ N/X thấp và cốt liệu nhẹ thay thế có kích cỡ nhỏ, hoàn toàn bão hoà thì đạt hiệu quả cao nhất. Một nghiên cứu về tác dụng của cốt liệu nhẹ được sử dụng để thay thế cốt liệu thường trong bê tông cường độ cao bao gồm phương pháp làm giảm thiểu co ngót trong bê tông đã được thực hiện. Các nghiên cứu cho thấy cường độ nén và cường độ uốn đều tăng khi có sự thay thế của cốt liệu nhẹ trong hỗn hợp bê tông. Việc thay thế cốt liệu thường trong bê tông cường độ cao bằng cốt liệu nhẹ cung cấp khả năng làm việc tốt hơn và có thể làm giảm thiểu co ngót trong bê tông. Các nhà nghiên cứu đã kết luận: Thay thế một phần của NWA lên đến 25% bởi LWA bão hoà không có ảnh hưởng tiêu cực đến cường độ nén. Ở tỉ lệ N/X thấp vào khoảng 0.33, tỉ lệ thay thế từ 10% đến 17.5% dẫn đến cải thiện được cường độ nén trong bê tông khi không có sự thay thế của LWA; Với tỉ lệ thay thế lên đến 25% sẽ làm giảm đáng kể co ngót tồn tại dưới điều kiện đẳng nhiệt. Một trong các loại LWA, sự dẫn nở vẫn tiếp tục sau ít nhất 144 giờ sau khi trộn.

Tại Canada, sử dụng LWA ướt như là một nguồn nước bên trong để làm mất tác dụng của quá trình tự khô và sự phát triển của ứng suất trong điều kiện cho phép đã được nghiên cứu [59]. Kích thước cỡ hạt đơn (4.5 đến 9 mm) của LWA đã được sử dụng. Bởi vì mẫu thử kích thước nhỏ đã được ước tính, cỡ hạt kích thước này được sàng qua sàng cỡ 7 mm với độ mịn 1.52. NWA được trộn với dolomite đập nhỏ và cát vàng mịn với độ mịn 3.95. LWA có sức hút đặc trưng ở điều kiện bão hoà khô bề mặt nước hấp thụ ở 24h là 8.9% và tăng lên 11.0% trong 72h.

Trong báo cáo tại hội thảo bê tông quốc tế năm 2005, Dale P. Bentz, Pietro Lura and John Roberts [58] đã đưa ra tỉ lệ pha trộn cốt liệu trong hỗn hợp bê tông.

Phương pháp nội bảo dưỡng được đưa ra cho hỗn hợp bê tông xi măng Poóc lăng bằng cách bổ sung cốt liệu nhẹ bão hoà. Lượng nước cung cấp cho quá trình nội bảo dưỡng sẽ được tính toán để cân bằng với lượng nước tiêu thụ bởi co hoá học trong suốt quá trình thủy hoá của xi măng. Ngoài tỉ lệ pha trộn cụ thể, hai vấn đề cốt yếu được đưa ra để xem xét là co hóa học của xi măng, nhiệt độ bảo dưỡng và thuộc tính hút thấm bề mặt của cốt liệu nhẹ [65].

Tập đoàn Northeast Solite của Hoa Kỳ [54] đã sử dụng cốt liệu là đá phiến sét trương nở nghiền vụn để làm vật liệu nội bảo dưỡng bê tông lát đường có tỉ lệ N/X khoảng 0.4 đến 0.45. Trong các thí nghiệm đã thực hiện thì tiêu chuẩn vữa lát đường có một phần cốt liệu thường được thay thế bởi cốt liệu nhẹ mịn và cốt liệu nhẹ thô (2.4 đến 9.5mm). Một cách trộn vữa khác, là cả cát tự nhiên và cốt liệu thô thường có LWA thay thế 59kg/m³, 119kg/m³, 178kg/m³. LWA từ 2 nguồn khác nhau được sử dụng trong vữa có thể so sánh được. LWA mịn bị bão hòa khi dùng và có độ hấp thụ là 15%. Năm 2001, chương trình bổ sung đã kiểm tra phần thay thế của xi măng với tro bay và giảm tỉ lệ N/X để sản xuất vữa lát đường cường độ cao (Hình 1.2).



Hình 1.2. Mặt đường BTXM nội bảo dưỡng [54]

Nghiên cứu để giảm bớt thậm chí loại bỏ hoàn toàn nứt gãy do co tự sinh và sự tự khô được Bentz và Jensen thực hiện [74]. Nghiên cứu chỉ ra rằng cấu trúc lỗ rỗng trong các hạt cốt liệu có thể có hiệu ứng mạnh trong co khô và các hạt cốt liệu này chứa nước trong các lỗ rỗng thô có thể phát triển nội bảo dưỡng (IC) cho thủy hóa vữa xi măng. Trong trường hợp này, sự hình thành của các lỗ rỗng trống để co hóa học chiếm vị trí trước tiên trong lỗ rỗng của cốt liệu thô và không kể các lỗ rỗng nhỏ trong vữa xi măng. Để sử dụng hiệu quả nguyên lý này lưu ý rằng phải thực hiện

với cốt liệu nhẹ bão hòa nước. Cốt liệu nhẹ mịn đã bão hòa có sự phân phối đồng đều lượng nước cần dùng để bảo dưỡng bê tông khắp cấu trúc vi mô. Các tác giả kết luận rằng việc sử dụng phương pháp này có thể loại bỏ hoàn toàn co khô.

Năm 2015, một nghiên cứu của Đại học bang Iowa [63] về tác động của việc bảo dưỡng bên trong đối với các đặc tính của bê tông. Hiện nay, ICC đang được ứng dụng rộng rãi ở nhiều nước trên thế giới, đặc biệt là ở Hoa Kỳ.

Tài liệu [76] là nghiên cứu bao gồm việc sử dụng phụ gia giảm co polyethylene glycol (PEG400) trong BT giúp tự bảo dưỡng, quá trình thủy hóa tốt hơn và cải thiện cường độ. Trong nghiên cứu này, ảnh hưởng của PG (PEG400) đối với cường độ nén, cường độ kéo và mô đun nứt vỡ bằng việc thay đổi phần trăm PEG theo khối lượng XM từ 0% đến 2% được nghiên cứu cho cả BT mác M20 và M40. Các tác giả nhận thấy PEG400 có thể giúp tự bảo dưỡng bằng cách tạo cường độ giống như BT thông thường.

Năm 2015 tại Ai Cập, đã có nghiên cứu đặc trưng cơ học của bê tông tự bảo dưỡng (SCUC) [72]. Trong nghiên cứu này, 02 loại vật liệu được lựa chọn làm tác nhân tự bảo dưỡng với những hàm lượng khác nhau, và việc sử dụng thêm silicafume cũng được nghiên cứu.

Tài liệu [775] xuất bản năm 2017 đã tổng hợp các nghiên cứu về bê tông tự bảo dưỡng (SCUC) với các minh chứng về cường độ và độ bền của BT phụ thuộc vào việc bảo dưỡng BT.

Năm 2017, Giáo sư Kumar và sinh viên khoa xây dựng Học viện Kỹ thuật PSR (Ấn Độ) đã nghiên cứu thực nghiệm về bê tông tự bảo dưỡng (SCUC) [67]. Nghiên cứu này bao gồm việc sử dụng phụ gia (PG) giảm co trong BT giúp tự dưỡng hộ, thủy hóa tốt hơn và cải thiện cường độ. SCUC là một loại BT đặc biệt để làm giảm bớt việc dưỡng hộ không đầy đủ do sơ suất của con người hay việc thiếu nước ở vùng khô hạn, không thể tiếp cận được những kết cấu ở địa hình khó khăn và ở những khu vực mà sự có mặt của florua trong nước ảnh hưởng xấu đến tính chất của BT.

Một đề tài nghiên cứu khác tại Ấn Độ cũng thực hiện vào năm 2017 [69] đã tiến hành nghiên cứu thực nghiệm BTXM nội bảo dưỡng sử dụng các tác nhân nội bảo dưỡng: Poly Ethylene Glycol 4000 (PEG 4000), Poly Ethylene Glycol 6000 (PEG 6000), và Poly Vinyl Alcohol (PVA). Hỗn hợp BTXM được thiết kế mác M25 được

thực hiện theo tiêu chuẩn IS: 10262-2009 với thành phần: xi măng (399.12 kg), cốt liệu nhỏ (679,78 kg), cốt liệu lớn (1208.73 kg), nước (191.58 lít). Sử dụng hàm lượng tác nhân nội bảo dưỡng khác nhau: từ 0.5-2% PEG 4000; từ 0,5-2% PEG 6000; từ 0.25-1% PVA và từ 0.25-1% Polime siêu thấm nước.

1.3.2. Các nghiên cứu và sử dụng bê tông xi măng nội bảo dưỡng tại Việt Nam

Bê tông là loại vật liệu được sử dụng phổ biến trong các công trình xây dựng ở Việt Nam. Cùng với sự phát triển của các loại bê tông thì các phương thức bảo dưỡng bê tông đã được thực hiện nhằm cải thiện cường độ cũng như giúp bê tông tránh được những ảnh hưởng dưới những tác động của ngoại cảnh bên ngoài. Nếu không bảo dưỡng bê tông tốt thì đó chính là cách phá huỷ kết cấu một cách nhanh chóng. Hậu quả của việc bảo dưỡng không tốt chính là sự xuất hiện của các vết nứt. Phẩm chất của bê tông chỉ đạt đúng mức của nó khi quá trình ninh kết được hoàn toàn trong môi trường ẩm và không có va đập. Do đó bê tông phải được giữ ẩm càng lâu càng tốt sau khi đổ. Theo quy định, bê tông sau khi thi công cần được bảo dưỡng ẩm tự nhiên. Quá trình dưỡng ẩm tự nhiên được chia làm 2 giai đoạn: bảo dưỡng ban đầu và bảo dưỡng tiếp theo.

Quá trình bảo dưỡng ban đầu được tiến hành sau khi tạo hình xong và được thực hiện bằng cách phủ vật liệu đã được làm ẩm lên bề mặt hở của bê tông. Lúc này không tác động cơ học cũng như không tưới nước lên bề mặt bê tông để tránh cho bê tông bị hư hại bề mặt. Khi cần có thể tưới nước nhẹ lên vật liệu phủ ẩm, cũng có thể phủ bề mặt bê tông bằng các vật liệu cách nước như nilon, vải bạt, phun chất tạo màng ngăn nước bốc hơi hay dùng thiết bị phun sương để phun nước thành sương trực tiếp lên bề mặt bê tông mà không cần phủ bề mặt. Việc phủ ẩm bề mặt bê tông trong giai đoạn bảo dưỡng ban đầu là nhất thiết phải có khi thi công trong điều kiện mất nước nhanh. Dưỡng ẩm bê tông trong giai đoạn ban đầu kéo dài cho đến khi bê tông đạt tới cường độ nhất định, đảm bảo tưới nước lên bề mặt bê tông mà không bị hư hại (Hình 1.3).



Hình 1.3. Bảo dưỡng bên ngoài (EC) mặt đường bê tông xi măng [12]

Giai đoạn bảo dưỡng giai đoạn sau được tiến hành ngay sau giai đoạn bảo dưỡng ban đầu. Đây là giai đoạn cần tưới nước giữ ẩm liên tục mọi bề mặt hở của bê tông cho tới khi ngừng quá trình bảo dưỡng. Số lần tưới nước trong một ngày tùy thuộc vào khí hậu địa phương sao cho bề mặt bê tông luôn được ẩm ướt. Việc tưới nước cần được duy trì cả ban ngày lẫn ban đêm để đảm bảo cho bề mặt bê tông luôn được giữ ẩm, tránh bị khô ban đêm. Khi tháo cốp pha mà bê tông đã đạt cường độ bảo dưỡng tới hạn thì không cần dưỡng ẩm tiếp nữa. Nếu chưa đạt cường độ bảo dưỡng tới hạn thì phải tiếp tục tưới nước dưỡng ẩm cho tới khi bê tông đạt cường độ bảo dưỡng tới hạn theo quy định. Quá trình bảo dưỡng tiếp theo có thể tiến hành bằng phương pháp phủ mặt bằng màng chắn hơi. Màng chắn hơi được tạo lên bề mặt bê tông bằng cách phun dung dịch polime tạo màng chuyên dùng sau khi hoàn thiện. Sau khi phun xong, trên mặt bê tông sẽ tạo thành một màng mỏng có tác dụng ngăn nước trong bê tông không bị bốc hơi. Phương pháp phủ mặt bằng màng chắn hơi thường được áp dụng đối với các kết cấu có bề mặt thoáng lớn và có nhu cầu không tưới nước giữ ẩm trong cả giai đoạn bảo dưỡng tiếp theo. Trong suốt quá trình bảo dưỡng, lớp màng này cần được bảo vệ khỏi hư hỏng bởi những tác động cơ học (như đi lại, va đập, cào xước...) [12].

Phụ gia bảo dưỡng cho bê tông cũng đã xuất hiện tại Việt Nam và được sử dụng trong các công trình xây dựng. Bắt đầu từ năm 1988, nhà sản xuất BASF (chi nhánh tại Úc) có đưa ra một loại phụ gia tự bảo dưỡng 736 (Rechocure 736). Với loại phụ gia này thì bê tông không cần bảo dưỡng mà vẫn đạt cường độ, giảm tỉ lệ lỗ rỗng và độ chống mài mòn tương đương như các phương pháp bảo dưỡng bằng nước hoặc

bằng màng bọc thông thường. Đặc biệt trị số co ngót dẻo của bê tông giảm đi so với bê tông được bảo dưỡng bằng phương pháp thông thường. Cơ chế tự bảo dưỡng là tạo ra chất kết dính hydrogen giữa các phân tử nước với nhóm OH^- trên một phân tử polime. Sử dụng dung dịch bảo dưỡng như dung dịch natri silicat và một loại nhũ tương parafin. Cả 2 loại cùng có tác dụng chống bay hơi nước nhanh nhưng để sử dụng hiệu quả những loại dung dịch này không phải đơn giản vì còn phụ thuộc nhiều vào loại bê tông, cấu tạo kiến trúc, đặc điểm thời tiết...[12].

Điều kiện khí hậu Việt Nam ảnh hưởng tác động đến công tác bê tông: Lãnh thổ Việt Nam nằm trong vùng Nhiệt đới thuộc Bắc bán cầu. Khí hậu Việt Nam thuộc vùng khí hậu nhiệt đới, gió mùa, cơ bản là nóng ẩm và thay đổi theo mùa và vùng miền rõ rệt. Theo Quy chuẩn xây dựng Việt Nam 02/2009 khí hậu xây dựng Việt Nam được phân chia theo các vùng miền, trong mỗi vùng lại có các mùa. Các công trình được thi công trải dài các mùa trong năm theo tiến độ đầu tư xây dựng công trình. Qua theo dõi trong khoảng 10 năm trở lại đây, các kết cấu bê tông, bê tông cốt thép kích thước lớn thường bị nứt mạch, thậm chí nứt sâu, nứt xuyên trong thời gian đầu đông cứng. Nhiều vết nứt được phát hiện sau khi tháo dỡ cốp pha như vách hầm, trụ cầu, mặt thượng lưu đập... các kết cấu này thường được thiết kế với Bê tông cấp độ cao, lượng xi măng sử dụng nhiều trong thành phần cấp phối và được thi công vào mùa hè nắng nóng ở Hà Nội (như trụ cầu Vĩnh Tuy) hay mùa khô ở thành phố Hồ Chí Minh (hầm Thủ Thiêm), đã gây bức xúc công luận và mất nhiều thời gian khắc phục sửa chữa [13]. Các hình thái khí hậu nóng ẩm như vậy có tác động ảnh hưởng lớn đến chất lượng bê tông và độ bền của kết cấu BT và BTCT, đặc biệt trong quá trình đông cứng và hình thành cấu trúc ban đầu của bê tông. Trời nắng, không khí khô nóng làm cho bê tông bị mất nước nhanh trong thời gian đầu đông cứng tạo nên cấu trúc rỗng làm suy giảm cường độ và khả năng chống thấm hoặc gây nứt bê tông. Bức xạ mặt trời cao và gió mạnh cũng làm tăng khả năng này. Gió phơn làm cho quá trình mất nước xảy ra mạnh hơn, nhanh hơn là điều cần hết sức lưu ý với khu vực miền Trung, đặc biệt đối với công tác bảo dưỡng kỹ thuật bê tông trong thời kỳ đầu đông cứng. Khu vực trời khô nóng bảo dưỡng ẩm cần dài hơn. Bê tông khối lớn, dưới trời nắng nóng sẽ làm tăng tích tụ nhiệt bên trong do nhiệt thủy hóa xi măng. Bên ngoài tỏa nhiệt nhanh lại chịu tác động của nhiệt độ môi trường thấp ở bề mặt khi nhiệt độ không khí hạ thấp vào ban đêm hay vào mùa lạnh, tạo sự chênh lệch nhiệt

độ lớn giữa trong và ngoài khối Bê tông gây nứt sâu bề mặt Bê tông, ảnh hưởng nhiều đến khả năng chịu lực nếu không được khắc phục [13].

Các giải pháp bảo dưỡng bê tông tại Việt Nam có những ưu và nhược điểm khác nhau và đang dần được hoàn thiện để đáp ứng yêu cầu bảo dưỡng. Việc đưa ra một phương pháp bảo dưỡng mới là cần thiết nhằm đáp ứng nhu cầu cũng như phù hợp với những điều kiện bảo dưỡng cụ thể tại Việt Nam, đặc biệt trong tình hình xây dựng đang phát triển mạnh mẽ và nhu cầu sử dụng bê tông cường độ cao trong các công trình là rất lớn. Đó chính là chế độ nội bảo dưỡng cho bê tông chất lượng cao và siêu cao (HPC và UHPC) [9], [11].

Hướng dẫn bảo dưỡng mặt đường BTXM ở Việt Nam theo Quyết định số 1951/QĐ-BGTVT ngày 17/8/2012 [1] thì: Công tác bảo dưỡng phải bắt đầu ngay sau khi rải BTXM hoặc tạo nhám xong. Nên sử dụng phương pháp phun tạo màng giữ ẩm để bảo dưỡng. Ở các vùng sẵn nước và vào mùa mưa có thể dùng cách rải màng giữ ẩm, vải địa kỹ thuật, bao tải ẩm phủ lên mặt BTXM kết hợp với tưới nước để bảo dưỡng; Nếu sử dụng phương pháp phun tạo màng thì nên phun ngay khi mặt bê tông vừa ráo nước. Phải phun đều để tạo thành một màng kín, phun xong trên mặt bê tông không được có sự khác biệt về màu sắc. Vòi phun khi phun nên giữ ở chiều cao 0,5 - 1,0 m trên mặt bê tông. Lượng chất tạo màng tối thiểu là 0,35 kg/m². Không được dùng các chất tạo màng dễ bị nước xói trôi và các chất tạo màng có ảnh hưởng xấu đến sức chịu mài mòn và cường độ của BTXM. Có thể dùng cách phun thêm lớp tạo màng thứ hai lên trên lớp thứ nhất hoặc sau khi phun tạo màng một lớp lại rải thêm lớp giấy (vải) giữ ẩm lên trên; Nếu bảo dưỡng bằng cách rải màng chất dẻo giữ ẩm mỏng thì có thể bắt đầu khi việc rải màng không làm hư hại các rãnh tạo nhám vừa làm xong. Phải rải màng chất dẻo phủ kín mặt BTXM và rộng thêm mỗi phía 600mm. Chỗ nối tiếp phải rải chồng lên nhau 400mm. Trong quá trình bảo dưỡng không được để màng bị rách, hở; Nếu sử dụng cách phủ kín BTXM bằng màng giữ ẩm, vải địa kỹ thuật giữ ẩm, bao tải ẩm hoặc rơm rạ ẩm thì phải kịp thời tưới nước bảo dưỡng. Các vải, giấy, bao tải giữ ẩm có thể rửa và sử dụng lại sau khi bảo dưỡng xong mỗi đoạn. Số lần và lượng nước tưới hàng ngày phải được xác định để đảm bảo mặt BTXM cần bảo dưỡng luôn ở trạng thái ẩm ướt; Thời gian bảo dưỡng phải được xác định tùy theo thời gian cường độ kéo khi uốn của hỗn hợp BTXM vừa rải đạt được tối thiểu 80% cường độ kéo khi uốn thiết kế. Cần đặc biệt chú trọng việc bảo

đường trong 7 ngày đầu. Thông thường nên bảo dưỡng trong vòng 14-21 ngày. Mùa nóng nên bảo dưỡng tối thiểu 14 ngày, mùa lạnh tối thiểu 21 ngày; nhiệt độ không khí càng thấp càng phải kéo dài thời gian bảo dưỡng. Nếu bê tông có thêm tro bay thì thời gian bảo dưỡng tối thiểu nên là 28 ngày; Trong thời gian đầu bảo dưỡng cấm cả người cũng không được đi lên trên BTXM. Người chỉ được đi lên BTXM khi cường độ BTXM đạt 40% cường độ thiết kế.

Năm 2009, các tác giả Nguyễn Duy Hiếu và Trần Bá Việt đã nghiên cứu ảnh hưởng của việc dưỡng hộ bên trong đến tính chất cơ lý của bê tông cốt liệu rỗng chịu lực có độ chảy cao [8]. BT thông thường đa phần được dưỡng hộ sử dụng phương pháp bên ngoài (EC). EC ngăn chặn sự khô bề mặt, cho phép hỗn hợp giữ ẩm và ẩm, dẫn đến tiếp tục quá trình thủy hóa XM. Nội bảo dưỡng (IC) là một kỹ thuật khá gần đây đã được phát triển để kéo dài quá trình thủy hóa XM bằng cách cung cấp những buồng trữ nước bên trong HGBT mà không ảnh hưởng xấu đến HGBT tươi hoặc tăng độ bền các tính chất vật lý. IC được phát triển từ nhu cầu cho nhiều hơn những loại BT kết cấu bền lâu mà phải chống chọi với sự nứt do co [10].

Hiện nay, nước ta cũng đã có những đề tài nghiên cứu về nội bảo dưỡng trong bê tông sử dụng các vật liệu thấm hút cao. Trong đó, tác giả Nguyễn Duy Hiếu là một trong những người tiên phong về lĩnh vực này, đồng thời đưa ra được cơ sở khoa học cũng như cơ chế chuyển dịch nước trong bê tông nội bảo dưỡng [5], [7]. Phân tích cơ sở khoa học và thực tiễn ở nước ta về giải pháp bảo dưỡng từ bên trong khối bê tông - nội bảo dưỡng (Internal Curing - IC), qua đó thúc đẩy quá trình thủy hóa xi măng nhờ lượng nước dự trữ, không phải là nước trộn, chứa sẵn trong cốt liệu. Nghiên cứu cho thấy, giải pháp IC có đầy đủ cơ sở khoa học và thực tiễn, có hiệu quả nâng cao chất lượng bê tông trong điều kiện khí hậu nước ta [6].

1.4. Những vấn đề cần phải nghiên cứu giải quyết của luận án

Trên cơ sở phân tích tổng quan các nghiên cứu về BTXM nội bảo dưỡng có thể thấy rằng vấn đề nghiên cứu bê tông xi măng nội bảo dưỡng dùng cho mặt đường BTXM và hiệu quả nội bảo dưỡng sử dụng cát nhẹ kết hợp với XLC còn ít được các nhà khoa học quan tâm nghiên cứu. Đây là cơ sở để luận án tập trung đi sâu vào nghiên cứu bê tông xi măng nội bảo dưỡng sử dụng cho mặt đường BTXM tới cấp III. Luận án tập trung vào nghiên cứu các nội dung sau:

- Nghiên cứu cơ sở khoa học về chế độ nội bảo dưỡng bê tông đối với mặt đường bê tông xi măng.
- Nghiên cứu lựa chọn các vật liệu đầu vào.
- Nghiên cứu chọn cấp phối BT nội bảo dưỡng.
- Nghiên cứu về mất nước, co mềm, co khô và khả năng chống nứt của bê tông.
- Nghiên cứu một số tính chất khác của bê tông: sự phát triển cường độ của bê tông theo thời gian, mô đun đàn hồi, độ chống thấm nước, chống mài mòn, độ hút nước.
- Nghiên cứu tính toán kết cấu BTXM nội bảo dưỡng làm mặt đường.

CHƯƠNG 2. NGHIÊN CỨU CƠ SỞ KHOA HỌC XÂY DỰNG MẶT ĐƯỜNG Ô TÔ SỬ DỤNG BÊ TÔNG XI MĂNG NỘI BẢO DƯỠNG

2.1. Cơ sở khoa học xây dựng mặt đường BTXM sử dụng bê tông nội bảo dưỡng và vai trò của các thành phần của bê tông nội bảo dưỡng

2.1.1. Các thành phần vật liệu cơ bản

Các loại vật liệu thành phần sử dụng trong bê tông nội bảo dưỡng bao gồm.

* **Xi măng:** Sử dụng xi măng đạt yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 6260:2009.

* **Xi lò cao hạt hoá nghiền mịn:** là loại phụ gia khoáng dùng cho xi măng và bê tông.

* **Cốt liệu nhỏ:** Sử dụng cát vàng đạt yêu cầu kỹ thuật chế tạo bê tông theo TCVN 7570:2006.

* **Vật liệu nội bảo dưỡng:** Vật liệu nội bảo dưỡng có thể là các loại cốt liệu nhẹ (LWA) vô cơ hay các loại po-ly-me dạng hạt siêu hút nước, sợi thực vật xốp nhẹ...

* **Cốt liệu lớn:** Lựa chọn đá dăm có kích thước hạt lớn nhất 20mm, tính chất cơ lý của loại đá này hoàn toàn đáp ứng được các yêu cầu để làm cốt liệu cho bê tông dùng cho mặt đường bê tông xi măng.

* **Phụ gia:** Sử dụng phụ gia siêu dẻo nhằm mục đích giảm tỷ lệ N/X, đồng thời đảm bảo cho hỗn hợp có độ lưu động đáp ứng yêu cầu kỹ thuật đối với mặt đường bê tông xi măng.

* **Nước:** Sử dụng nước máy để trộn bê tông, thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 4506:2012 [38].

2.1.2. Cát nhẹ trong bê tông nội bảo dưỡng dùng cho mặt đường BTXM

Cốt liệu rỗng (LWA) keramzit là vật liệu xốp tạo thành do nung nở khoáng Silicat (đất sét, á sét, đá phiến các loại, đất khuê tảo dạng tấm trepen, điatômit, arginit, alevrolit) được dùng làm cốt liệu cho chế tạo bê tông - TCVN 6220:1997 [29].

LWA là một loại đá nhẹ, khi LWA được sử dụng trong bê tông nội bảo dưỡng (ICC) thì các yêu cầu về CL (ngoại trừ cấp độ), trạm trộn và phương pháp trộn, phụ gia, phương pháp thiết kế thành phần đều tương tự như bê tông cốt liệu thông thường. Tỷ lệ N/X không bị ảnh hưởng bởi lượng nước thấm hút trong LWA.

LWA là một sản phẩm được sản xuất tại nhà máy. Nguyên liệu thô là đá phiến sét, đất sét hoặc đá phiến, nung trong lò quay ở nhiệt độ $>1093^{\circ}\text{C}$. Vật liệu đã được làm mềm phòng nở như cấu trúc bong bóng. Sau khi làm nguội, trạng thái phòng nở được duy trì. Phương pháp lò quay được phát triển vào đầu thế kỷ 20 và sử dụng lần đầu tiên vào năm 1918 cho một con tàu sử dụng bê tông nhẹ.

LWA không phải là một vật liệu mới. LWA được sử dụng lần đầu tiên cho BT của một dự án cầu vịnh San Francisco Oakland, xây dựng vào năm 1936 sử dụng bê tông nhẹ LWA ($1,521 \text{ kg/cm}^3$) cho mặt trên của cầu dây văng và vẫn được sử dụng đến ngày nay.

Yêu cầu kỹ thuật của LWA cho ICC: Việt Nam đã có tiêu chuẩn TCVN 6220:1997 [29] “Cốt liệu nhẹ cho bê tông - sỏi, dăm sỏi và cát keramzit - yêu cầu kỹ thuật”. Còn tại Hoa Kỳ có tiêu chuẩn ASTM C1761/C1761M-13b [53], trong đó bao gồm yêu cầu tối thiểu của LWA để sử dụng cho IC, phương pháp kiểm tra độ hút - nhả nước và phương pháp tính toán hàm lượng LWA.

Độ hút nước của LWA (A_{72}) là lượng tăng lên của mẫu LWA đã được sấy khô trong lò sấy, sau khi ngâm trong vòng 72h, được biểu thị bằng % so với khối lượng mẫu khô. Hàm lượng này được tính toán phổ biến cho mọi loại CL [53].

Độ nhả nước (D) là sự giảm khối lượng của LWA trước tiên, bao gồm lượng nước hấp thụ, do nước rời khỏi những lỗ rỗng thấm qua được khi CL đạt tới trạng thái cân bằng ẩm. Độ nhả nước cho biết hàm lượng nước hấp thụ có thể nhả ra và kích thước lỗ rỗng trong LWA. Đối với LWA của ESCSI: $D = 85-98\%A$. Tiêu chuẩn ASTM C1761 yêu cầu $D \geq 85\%A$ đối với LWA dùng cho ICC [53].

Theo D.P.Bentz, Pietro Lura và John W.Roberts [58], vật liệu thực hiện chức năng dự trữ nước phục vụ nội bảo dưỡng có thể là các dạng cốt liệu rỗng (CLR), hạt polime siêu thấm hoặc sợi thực vật; CLR thường có hệ thống lỗ rỗng mao quản với cấu trúc phù hợp để hút và giữ nước, đồng thời có khả năng trao đổi nước với nền chất kết dính trong những điều kiện nhất định.

Nguyên tắc cơ bản của IC là giữ cho độ ẩm tương đối trong các lỗ rỗng của đá chất kết dính, với tỷ lệ nước - xi măng thấp, luôn ở trạng thái bão hoà; Từ quan điểm thể tích nước dự trữ bởi CLR sẽ bù lại co hoá học của chất kết dính, ta có thể xác định lượng CLR (với độ rỗng nhất định) theo công thức sau [58]:

$$M_{CLR} = \frac{V_n}{S \cdot P_{CLR}} \quad (\text{kg /m}^3 \text{ bê tông}) \quad (2.1)$$

Trong đó:

M_{CLR} : khối lượng cốt liệu nhẹ;

S : tỷ lệ trả lại nước từ cốt liệu rỗng bão hoà cho nền xi măng;

P_{CLR} : độ rỗng của cốt liệu;

V_n : thể tích nước bù co hoá học, xác định theo phương trình:

$$V_n = \frac{CKD \cdot CS \cdot \alpha_{\max}}{\rho_n} \quad (\text{m}^3 \text{ nước/m}^3 \text{ bê tông}) \quad (2.2)$$

CKD : lượng chất kết dính, (kg/m^3 bê tông);

$\rho_n \approx 1 \text{ g/cm}^3$ là khối lượng riêng của nước;

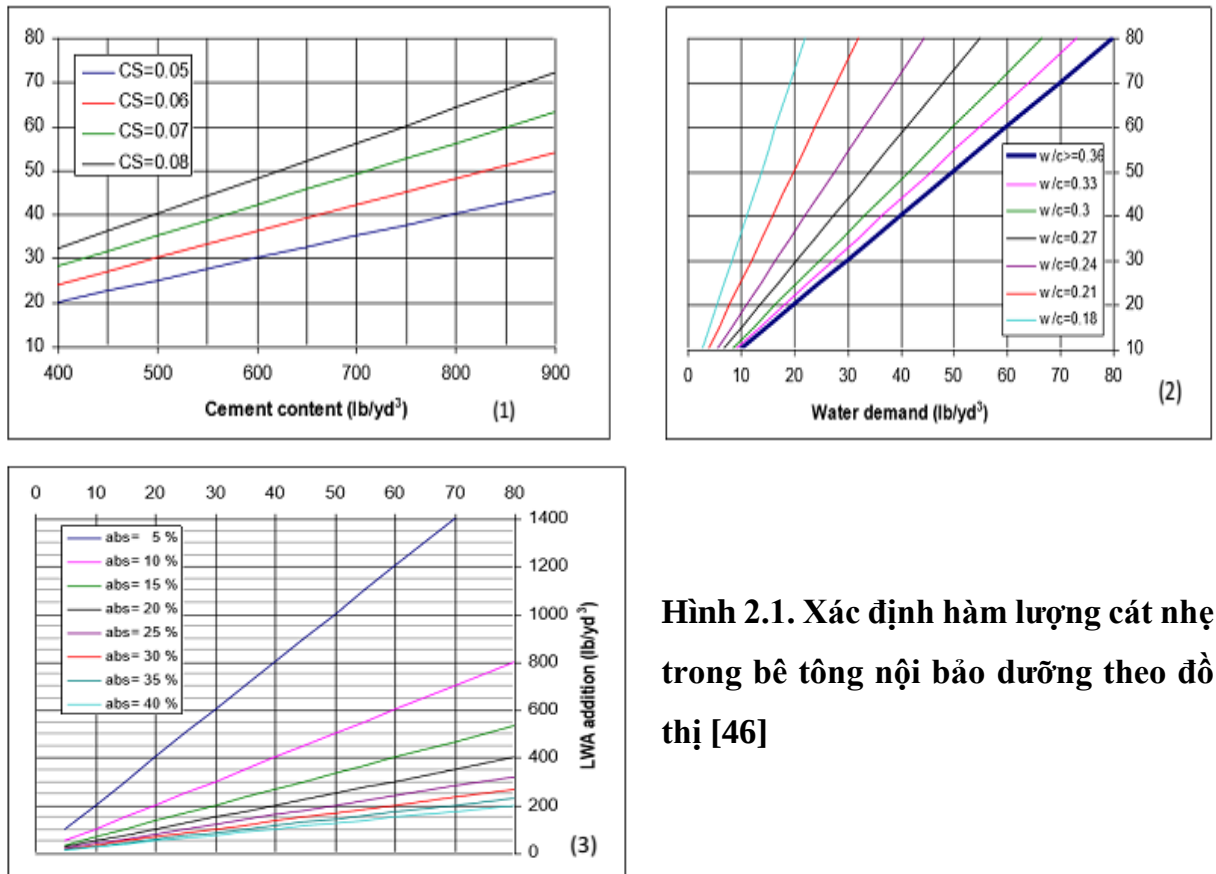
CS : co hoá học do hydrat của chất kết dính ($CS \approx 0.06 \div 0.07 \text{ g N/1g CKD}$);

$\alpha_{\max}$: mức độ thủy hoá lớn nhất có thể của quá trình hydrat;

$\alpha_{\max} = (w/c)/0.36$ khi tỷ lệ nước – xi măng: $w/c \leq 0.36$ và $\alpha_{\max} = 1$ khi tỷ lệ nước – xi măng: $w/c > 0.36$ [58].

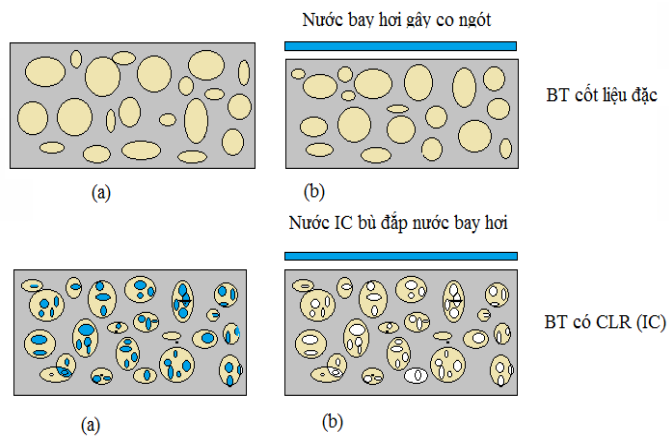
Tiêu chuẩn ACI (308-213)R-13 [46] đã chỉ ra phương pháp xác định hàm lượng cát nhẹ trong bê tông nội bảo dưỡng theo đồ thị. Bắt đầu từ hàm lượng XM thể hiện ở đồ thị (1) và mức độ co hóa học của hỗn hợp (giá trị tiêu chuẩn là 0.07) để tìm giá trị trên trục đứng. Từ giá trị tương ứng trên trục đứng ở đồ thị (2), xác định đường biểu thị tỷ lệ nước/chất kết dính (w/c). Cần lưu ý rằng có một đường đơn đậm cho tất cả các tỉ lệ bởi vì với những tỉ lệ này có thể xảy ra quá trình thủy hóa hoàn toàn của XM. Gióng xuống trục ngang, ta xác định được lượng nước yêu cầu, tìm giá trị tương ứng ở trục ngang của đồ thị (3). Từ đường hút nước (theo khối lượng khô của cốt liệu nhẹ), ta có thể tìm được ở trục đứng hàm lượng cốt liệu nhẹ (LWA) đề xuất (theo khối lượng khô) cần thêm vào hỗn hợp bê tông. Sự thay thế này cần được quy đổi về thể tích, thay thế cho một phần thể tích ngang bằng của cốt liệu nặng thông thường (NWA) chính là cốt liệu nhẹ bão hòa nước.

Theo đồ thị ACI (308-213) R-13 [46]

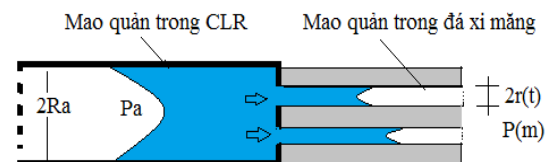


Hình 2.1. Xác định hàm lượng cát nhẹ trong bê tông nội bảo dưỡng theo đồ thị [46]

Quá trình trao đổi nước giữa cát nhẹ bão hòa nước và đá xi măng trong bê tông tự bảo dưỡng [7].



Hình 2.2. Mô hình về vai trò bù nước của IC[7]
 (a) - BT mới trộn; (b) - BT sau đông kết, rắn chắc



Hình 2.3. Mô hình áp suất phụ (Laplace) [7]

(Mao quản nhỏ của đá xi măng $r(t)$ tạo sức hút kéo nước dự trữ bên trong hệ mao quản lớn của cốt liệu rỗng R_a)

Xét mô hình trên Hình 2.2 đối với bê tông sử dụng toàn bộ cốt liệu đặc, trong quá trình thi công nước bay hơi làm giảm thể tích bê tông và để lại cấu trúc rỗng trong cấu trúc của nó; đối với bê tông áp dụng IC, một lượng CLR (đã tiền xử lý bão hòa

nước) thay thế một phần cốt liệu đặc, nước từ mao quản của CLR sẽ tự chuyển dịch ra bù đắp và duy trì độ ẩm bão hòa trong hệ mao quản của đá xi măng trong quá trình đông kết và rắn chắc của bê tông. Dễ thấy rằng, kích thước của hệ mao quản trong CLR gần như bất biến theo thời gian và lớn hơn nhiều so với kích thước mao quản trong đá xi măng ngày càng nhỏ lại do sự thủy hóa tiếp tục của nó. Do đó, khi nền đá xi măng đã khô tương đối so với cốt liệu, dưới tác dụng của sức hút mao quản, nước sẽ từ các mao quản lớn của CLR chuyển dịch về các mao quản nhỏ hơn trong đá xi măng, và xi măng tiếp tục thủy hoá. Quá trình này sẽ tắt dần theo thời gian khi cân bằng áp lực trong hệ các mao quản được thiết lập. Nếu biết cách khai thác, rõ ràng đây là một đặc điểm tích cực của CLR, tăng cường quá trình tự bảo dưỡng cho bê tông giàu xi măng. Dĩ nhiên, tùy thuộc tính chất và hàm lượng của CLR thay cho cốt liệu đặc mà tính chất cơ học của bê tông có thể bị ảnh hưởng, điều đó đòi hỏi việc lựa chọn loại CLR, tính toán kiểm tra và đánh giá hiệu quả khi áp dụng IC [7].

Hình 2.3 là mô hình mô tả hệ lỗ rỗng nhỏ của đá xi măng kết nối với mao quản lớn trong CLR, bề mặt các lỗ rỗng đều có tính thấm ướt ($\varphi < 90^\circ$). Hệ thống lỗ rỗng trong đá xi măng gồm lỗ rỗng gel và lỗ rỗng mao quản có kích thước bé hơn, giảm dần theo thời gian, so với hệ lỗ rỗng lớn hơn nhiều và gần như bất biến trong cốt liệu nhẹ. Để đơn giản, có thể mô tả kích thước của lỗ rỗng trong đá xi măng bằng một bán kính tương đương $r = r(t)$ là hàm số của thời gian rắn chắc, bán kính của mao quản trong CLR là R_a . Gọi áp suất hơi trên mặt cong chất lỏng trong CLR, trong mao quản đá xi măng và trên mặt phẳng chất lỏng lần lượt là P_a , $P(m)$ và P . Xét lỗ rỗng có bán kính R_a của CLR thông với mao quản có bán kính $r(t)$ trong đá xi măng ($r(t) \ll R_a$). Áp dụng điều kiện cân bằng nhiệt động lớp bề mặt giữa pha lỏng và bề mặt mao quản, tại một thời điểm nào đó của quá trình ta có:

$$P - P(m) = \frac{2 \cdot \sigma_m \cdot \cos \varphi_m}{r(t)} \quad (2.3)$$

$$P - P_a = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \varphi}{R_a} \quad (2.4)$$

Trong đó: σ_m và σ - tương ứng là sức căng bề mặt của dung dịch lỏng (trong nền xi măng) và nước (trong CLR);

φ_m và φ - tương ứng là góc thấm ướt của dung dịch lỏng trong mao quản nền đá xi măng và nước trong CLR;

$r(t)$ và R_a - bán kính mao quản tương ứng của đá xi măng và của CLR.

Từ (2.3) và (2.4) suy ra:

$$\Delta P(t) = P_a - P(m) = \frac{2 \cdot \sigma_m \cdot \cos \varphi_m}{r(t)} - \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \varphi}{R_a} \gg 0 \quad (2.5)$$

Có thể coi rằng bản chất hoạt động bề mặt của nước và của dung dịch trong nền xi măng là khác nhau không đáng kể và bất biến, do đó sức căng bề mặt và góc thấm ướt của chúng là không đổi và như nhau đối với nền đá xi măng và CLR. Khi đó $\Delta P(t)$ chỉ còn phụ thuộc $r(t)$ và rõ ràng có giá trị dương đáng kể và tăng theo tuổi của bê tông.

Do hiệu ứng thể hiện bởi công thức (2.5) mà nước trong cốt liệu rỗng sẽ chuyển cho đá xi măng ngày càng khô hơn với hệ lỗ rỗng giảm dần kích thước do quá trình thủy hóa tiếp tục của nó. Nhờ tác dụng của nguồn nước dự trữ trong CLR, tự động cấp cho đá xi măng khi cần thiết, nên sẽ giảm co nội sinh, giảm co mềm; tăng sự thủy hóa của xi măng, giảm vết nứt trong bê tông nhờ giảm co ngót không thực hiện được; giảm độ rỗng, tăng cường độ và khả năng chống thấm cho sản phẩm [7].

Theo tính toán sơ bộ, khoảng cách thấm nhập của nước từ CLR vào đá xi măng trong bê tông đạt khoảng 20 - 30 mm ở tuổi 3 - 14 ngày, 5 - 8 mm ở tuổi 28 ngày và khoảng 2 - 4 mm ở tuổi 56 - 90 ngày. Kết quả này cho thấy, nước IC có thể thấm nhập phần lớn vùng đá chất kết dính trong bê tông nếu kiểm soát được khoảng cách giữa các hạt của cốt liệu hay hệ số dư vữa của bê tông [7].

Từ kết quả phân tích và tính toán trên cơ sở lý thuyết kết hợp thực nghiệm, có thể kết luận: Nội bảo dưỡng là giải pháp có cơ sở khoa học, được luận giải trên cơ sở phân tích các quá trình hóa lý và trao đổi vật chất xảy ra trong bê tông và giữa bê tông với môi trường thông qua mô hình hóa. Lượng nước chứa sẵn trong các hạt CLR bão hòa trước sẽ chuyển dịch cho nền đá chất kết dính trong bê tông, phát huy vai trò bù co, duy trì độ ẩm bão hòa trong hệ lỗ rỗng của đá xi măng, thúc đẩy sự thủy hóa của chất kết dính... nghĩa là sẽ phát huy hiệu quả của nội bảo dưỡng.

Cơ sở lý thuyết và nghiên cứu thực nghiệm cho thấy lượng nước chứa sẵn trong cốt liệu rỗng bão hòa trước có khả năng chuyển dịch, thấm nhập để phát huy vào trò bù co, duy trì độ ẩm để thúc đẩy quá trình thủy hóa, đảm bảo vai trò bảo dưỡng bê tông trong quá trình hình thành cường độ. Đây chính là cơ sở để đề xuất nghiên cứu sử dụng BTXM nội bảo dưỡng làm mặt đường ô tô và cơ sở để nghiên

cứu và đề xuất phương pháp tính toán thiết kế và qui trình thi công mặt đường BTXM tự bảo dưỡng.

2.1.3. Xi lò cao phối hợp cát nhẹ trong bê tông nội bảo dưỡng dùng cho mặt đường BTXM

Xi lò cao là một trong các thải phẩm công nghiệp có khối lượng lớn. Tùy theo độ hoạt tính, xi lò cao có thể được sử dụng làm cốt liệu cho bê tông, vật liệu rải đường, chất kết dính trong sản xuất gạch không nung, sản xuất vật liệu chưng áp, bê tông nhẹ, bê tông tổ ong. Xi lò cao có thể được dùng làm phụ gia khoáng trong sản xuất các loại xi măng có các tính năng khác nhau (xi măng mác thấp dùng xây trát, xi măng póoc lăng - xi, xi măng xi bền sun phát). Xi lò cao cũng có thể được sử dụng làm phụ gia khoáng để thay thế một phần xi măng hoặc một phần cốt liệu trong chế tạo bê tông và bê tông cốt thép.

Loại xi lò cao sử dụng làm phụ gia khoáng cho bê tông hoặc để nghiền cùng xi măng thành xi măng póoc lăng xi là loại xi lò cao đã hạt hóa, có độ hoạt tính cao. Loại xi này thu được bằng cách dùng nước để làm nguội nhanh xi lỏng nóng chảy từ lò cao. Việc làm nguội nhanh này làm cho xi có cấu trúc thủy tinh, và vỡ vụn thành các hạt nhỏ với cấu trúc xốp, nên gọi là xi hạt hóa. Còn xi lò cao sử dụng làm cốt liệu cho bê tông là loại xi thu được sau khi làm nguội chậm xi lỏng trong không khí. Loại xi này có dạng tảng, cấu trúc tinh thể, đặc chắc và vì vậy không có hoạt tính. Khi sử dụng làm cốt liệu, xi tảng được đập nhỏ và phân loại thành các cấp hạt yêu cầu.

Theo E.L Demone và M.N.Soutos [82] khi sử dụng xi lò cao hạt hóa trong bê tông có tác dụng tăng tính công tác, giảm đáng kể nhiệt thủy hóa, cho cường độ bê tông phát triển ở các tuổi dài lâu, tăng độ bền, giảm thấm nước, giảm đáng kể phản ứng kiềm-silic, tăng hiệu quả kinh tế. Qua nghiên cứu nhiệt thủy hóa khi thay thế một phần xi măng bằng xi lò cao hạt hóa hai ông đưa ra kết luận chúng có tác dụng giảm đáng kể nhiệt thủy hóa. Ngoài ra xi lò cao hạt hóa cũng có tác dụng tốt trong việc chế tạo bê tông cường độ cao. Các mẫu bê tông cường độ cao được chế tạo với hàm lượng xi sử dụng 10%, 30%, 60% khối lượng xi măng và cường độ của bê tông xi được so sánh với bê tông đối chứng (không có xi) ở các tuổi 7, 28, 56, 91, 180, 400, 570 ngày. Kết quả nghiên cứu cho thấy bê tông xi có cường độ thấp hơn bê tông đối chứng ở các tuổi sớm, nhưng có cường độ cao hơn ở các tuổi dài lâu. Có thể sản xuất bê tông xi có cường độ > 100 MPa với tỷ lệ $N/CKD = 0.26$ ở tuổi 56 ngày.

Tại các nước công nghiệp phát triển, hầu hết xi lò cao được sử dụng làm vật liệu xây dựng. Ví dụ, tại Nhật bản, lượng xi măng xi chiếm khoảng 5% tổng lượng xi măng tiêu thụ ở trước những năm 70, tăng từ từ vào những năm 80, và đạt khoảng 25% vào những năm 2000, lượng tiêu thụ xi măng xi của Nhật năm 2004 khoảng 15 triệu tấn.

Ở Việt Nam xi lò cao cũng được quan tâm nghiên cứu làm vật liệu xây dựng. Viện Vật liệu xây dựng đã nghiên cứu sử dụng xi lò cao hạt hóa Nhật Bản, Thái Nguyên để sản xuất xi măng poóc lăng xi ít tỏa nhiệt [42], [43].

Kết quả cho thấy khi đưa xi lò cao hạt hóa vào thay thế một phần xi măng với hàm lượng hợp lý thì cường độ, độ tách nước, cấp chống thấm của bê tông xi đã được cải thiện so mẫu bê tông đối chứng.

Các nghiên cứu về xi lò cao cho thấy khi sử dụng xi lò cao làm phụ gia khoáng trong bê tông có thể gây ra một số tác dụng sau:

- + Làm tăng sự tách nước trong hỗn hợp bê tông, đặc biệt khi xi có độ mịn thấp do sự không ưa nước của xi.
- + Giảm cường độ của bê tông ở tuổi sớm so với bê tông đối chứng, nhưng cho cường độ cao hơn ở tuổi dài ngày.
- + Có thể sử dụng với hàm lượng lớn (đến 60%) để thay thế một phần xi măng mà không ảnh hưởng xấu đến cường độ bê tông ở tuổi dài ngày.

Các tính chất này của xi lò cao sẽ rất có lợi khi phối hợp nó với cát nhẹ trong bê tông. Vì khi phối hợp với cát nhẹ thì các hiệu ứng có hại như tách nước và giảm cường độ bê tông ở tuổi sớm do sử dụng xi sẽ được triệt tiêu hoặc giảm bớt, mặt khác do cát nhẹ có độ xốp lớn, khả năng giữ nước tốt nên làm giảm sự tách nước. Sử dụng xi lò cao trong bê tông đặc biệt có lợi vì thay thế một lượng khá lớn xi măng mà không gây ảnh hưởng xấu tới cường độ bê tông. Do đó có thể sử dụng một lượng lớn chất kết dính trong bê tông mà vẫn đảm bảo lượng dùng xi măng nằm ở mức thấp. Ví dụ, nếu hàm lượng phụ gia khoáng hỗn hợp trong chất kết dính là 40% thì với lượng dùng chất kết dính tới 600 kg/m^3 , lượng dùng xi măng chỉ có 360 kg/m^3 . Với lượng dùng xi măng tương đối thấp như vậy sẽ rất có lợi đối với các tính chất của bê tông đã rắn chắc, ví dụ như độ co hóa học, sự tỏa nhiệt. Trong bê tông có tỷ lệ N/X thấp, độ co hóa học là một trong các yếu tố có thể làm cho bê tông bị nứt trong những ngày đầu rắn chắc. Độ co hóa học phụ thuộc vào lượng dùng xi măng, mức độ thủy hóa

của xi măng. Độ co này tăng lên khi tăng lượng dùng xi măng và mức độ thủy hóa của xi măng. Có thể suy luận rằng, sử dụng hỗn hợp cát nhẹ cùng với xi lò cao làm giảm lượng dùng xi măng do đó làm giảm độ co hóa học trong bê tông, nên giảm được nguy cơ phát sinh các vết nứt trong bê tông ở những ngày đầu rắn chắc hình thành cường độ.

2.1.4. Phụ gia trong bê tông nội bảo dưỡng dùng cho mặt đường BTXM

2.1.4.1. Phụ gia khoáng trong bê tông xi măng

Trong bê tông có tỷ lệ N/X thấp thì một phần xi măng không thủy hoá hết. Phần xi măng không thủy hoá này có thể coi như là một loại vi cốt liệu và do đó có thể thay thế bằng phụ gia khoáng hoạt tính. Ba loại sản phẩm được sử dụng nhiều nhất làm phụ gia khoáng hoạt tính cho bê tông là tro bay, xi lò cao nghiền mịn, và silica fume.

Phụ gia khoáng hoạt tính khi được phân tán tốt trong hồ xi măng có thể nâng cao độ đặc chắc của đá xi măng nhờ phản ứng puzolanic và hiệu ứng điền đầy khoảng trống. Phản ứng puzolan-ic là phản ứng giữa các thành phần hoạt tính trong phụ gia khoáng với hydroxit canxi và nước tạo thành các hợp chất hydrat như hydrôsilicat canxi (C-S-H), hydrôaluminat canxi. Các sản phẩm phản ứng này kết tinh trong các lỗ rỗng của đá xi măng làm tăng độ đặc chắc của nó. Mặt khác, phản ứng puzolanic làm giảm hàm lượng hydroxit canxi là vật liệu có khả năng hoà tan trong nước và có cường độ thấp, đồng thời làm tăng hàm lượng C-S-H, sản phẩm chủ yếu quyết định cường độ của đá xi măng, do đó góp phần quan trọng trong việc tăng cường độ và độ bền chống xâm thực của bê tông. Hiệu ứng điền đầy xảy ra khi các hạt phụ gia khoáng có kích thước hạt nhỏ lấp đầy khoảng trống giữa các hạt xi măng có kích thước lớn hơn.

Trong bê tông không có phụ gia khoáng, do sự tách nước nên tỷ lệ N/X ở vùng chuyển tiếp giữa đá xi măng và cốt liệu cao hơn và các tinh thể Ca(OH)_2 ở vùng này có kích thước lớn hơn so với ở các vùng khác trong bê tông. Do đó vùng chuyển tiếp giữa đá xi măng và cốt liệu trong loại bê tông này là khu vực có độ rỗng lớn và cường độ thấp nhất trong bê tông. Sử dụng phụ gia khoáng hoạt tính có thể làm giảm, thậm chí (khi sử dụng silica fume) triệt tiêu sự tách nước của hỗn hợp bê tông cũng như lượng nước tụ tập dưới các hạt cốt liệu. Kết quả là phụ gia khoáng hoạt tính làm giảm

đáng kể độ rỗng ở vùng chuyển tiếp giữa đá xi măng và cốt liệu, ngoài ra nó còn làm giảm số lượng và kích thước của các tinh thể Ca(OH)_2 hình thành ở vùng này.

Với một loại cốt liệu nhất định, thì lượng nước cần thiết để hỗn hợp bê tông đạt được một độ lưu động nhất định là không đổi. Do đó để giảm tỷ lệ N/X nhằm nâng cao cường độ của bê tông thì có thể tăng lượng dùng xi măng. Tuy nhiên hiệu quả gia tăng cường độ khi tăng lượng dùng xi măng giảm dần khi lượng dùng xi măng vượt quá 400 kg/m^3 và có thể đạt giá trị cực đại trong khoảng $550\text{-}600 \text{ kg/m}^3$. Phụ gia khoáng hoạt tính được dùng để thay thế một phần xi măng, cho phép giảm lượng xi măng trong khi vẫn duy trì được tỷ lệ N/CKD ở mức thấp để đạt được cường độ cao. Hàm lượng phụ gia khoáng hoạt tính có thể sử dụng từ 5-20%, hoặc hơn. Việc giảm lượng dùng xi măng sẽ làm giảm độ co hoá học, độ co khô và lượng nhiệt thuỷ hoá trong những ngày đầu rắn chắc, do đó làm giảm nguy cơ xuất hiện các vết nứt té vi trong bê tông ở tuổi sớm. Mặt khác do hoạt tính hoá học của phụ gia khoáng thấp hơn nên việc thay thế một phần xi măng bằng phụ gia khoáng sẽ có lợi cho việc khống chế tính công tác của hỗn hợp bê tông, cụ thể là có thể giảm được lượng dùng phụ gia siêu dẻo cần thiết để hỗn hợp bê tông đạt được một độ sụt nhất định và giảm được tốc độ suy giảm độ sụt theo thời gian.

2.1.4.2. Phụ gia siêu dẻo trong bê tông xi măng

Phụ gia tăng dẻo là một loại phụ gia hoá học có khả năng làm tăng độ lưu động (hay tính dễ đổ khuôn) của hỗn hợp bê tông mà không cần tăng lượng nước nhào trộn. Sử dụng hiệu ứng tăng dẻo của phụ gia này trong công nghệ bê tông cho phép tạo hình cấu kiện dễ dàng hơn hoặc nếu giữ độ lưu động của hỗn hợp bê tông không đổi, thì làm giảm lượng nước nhào trộn dẫn đến làm tăng độ đặc chắc, cường độ và một số tính chất khác của bê tông. Chính vì khả năng của phụ gia tăng dẻo cho phép chế tạo hỗn hợp bê tông với tỷ lệ N/X thấp hơn so với hỗn hợp bê tông không chứa phụ gia có cùng tính công tác, được biểu thị bằng độ sụt hoặc độ cứng, nên loại phụ gia này còn được gọi là phụ gia giảm nước.

Khả năng giảm nước của phụ gia tăng dẻo thông thường không quá 15%. Mức độ giảm nước nhào trộn này chưa đủ lớn để loại bỏ toàn bộ phần nước thừa trong hỗn hợp bê tông, không cần thiết để thuỷ hoá hoàn toàn các hạt xi măng. Phụ gia siêu dẻo được sử dụng với hàm lượng lớn hơn so với phụ gia tăng dẻo thông thường mà không gây ra tác dụng phụ như kéo dài thời gian đông kết, cuốn quá nhiều

không khí. Phụ gia siêu dẻo làm giảm lượng nước nhào trộn nhiều tới mức mà không có một loại phụ gia tăng dẻo thông thường nào có thể đạt được, trong khi vẫn bảo đảm cho hỗn hợp có độ lưu động cao. Khả năng giảm nước của phụ gia siêu dẻo thế hệ mới gốc polycarboxylate có thể đạt tới 40%. Hiện nay, bê tông cường cao được chế tạo từ hỗn hợp bê tông có tỷ lệ N/X thấp (< 0.4) và độ sụt cao. Không thể chế tạo hỗn hợp bê tông có độ sụt cao, với tỷ lệ N/X đến 0.35 nếu không sử dụng phụ gia tăng dẻo, còn với tỷ lệ $N/X < 0.35$ thì bắt buộc phải sử dụng phụ gia siêu dẻo.

Phụ gia siêu dẻo có tác dụng phân tán tổ hợp các hạt chất rắn vón tụ trong hồ xi măng của hỗn hợp bê tông thành các hạt có kích thước nhỏ hơn. Hiệu ứng phân tán này làm tăng độ linh động của hồ xi măng và do đó làm tăng độ lưu động của hỗn hợp bê tông. Phụ gia siêu dẻo phân tán các hạt chất rắn trong hồ xi măng thông qua 2 cơ chế: 1) phụ gia siêu dẻo làm các hạt chất rắn trong hồ xi măng tích điện cùng dấu làm chúng đẩy nhau nhờ lực tĩnh điện, và 2) tác động phân tán nhờ cấu trúc mạch nhánh của các phân tử polime khi chúng hấp phụ lên bề mặt hạt chất rắn. Phụ gia siêu dẻo làm tăng độ linh động của hồ xi măng theo cơ chế thứ 1 bao gồm các phụ gia gốc naphthalene formaldehyde sulphonate, melamine formaldehyde sulphonate và lignosulfonate biến tính. Phụ gia siêu dẻo tác động theo cả 2 cơ chế bao gồm các phụ gia gốc polycarboxylate.

Ngoài tác động tăng dẻo, phụ gia siêu dẻo còn ảnh hưởng đến quá trình thủy hoá rắn của xi măng và tới cấu trúc của đá xi măng. Trong hồ xi măng phụ gia siêu dẻo hấp phụ mạnh lên bề mặt pha aluminat làm giảm tốc độ thủy hoá của khoáng này, đồng thời làm giảm tốc độ thủy hoá của khoáng C_3S . Đồng thời khi có phụ gia siêu dẻo, các hạt xi măng sẽ được phân tán đến kích thước ban đầu của chúng như khi mới nhào trộn với nước, làm tăng bề mặt tiếp xúc giữa xi măng với nước. Điều này làm tăng mức độ thủy hoá của xi măng, tạo điều kiện hình thành nhiều “sản phẩm thủy hoá trong”, làm giảm độ rỗng trong đá xi măng. Như vậy phụ gia siêu dẻo làm giảm tốc độ thủy hoá ban đầu của xi măng, song lại làm tăng mức độ thủy hoá cuối cùng của nó.

Nguyên nhân suy giảm độ bền của các công trình bê tông cốt thép là do quá trình cacbonat hoá, tác động của môi trường xâm thực, ăn mòn sunphát, rỉ cốt thép... Điều kiện để các quá trình trên xảy ra là các tác nhân xâm thực như oxy, nước, ion clo, ion sunphát, khí cacbonic ... thâm nhập được vào bê tông. Sự thâm nhập của các

tác nhân ăn mòn phụ thuộc vào độ đặc chắc của bê tông. Bê tông càng đặc chắc các tác nhân ăn mòn càng khó xâm nhập vào. Sử dụng phụ gia siêu dẻo làm giảm tỷ lệ N/X, tăng độ đặc chắc của bê tông do đó làm tăng độ bền của nó.

2.2. Giảm mất nước, co mềm của bê tông nội bảo dưỡng đối với mặt đường bê tông xi măng

2.2.1. Quá trình thủy hoá của xi măng

Xi măng sau khi được nhào trộn với nước trải qua 3 giai đoạn. Đầu tiên trong khoảng 1-3 giờ sau khi nhào trộn, nó tạo thành một loại hồ dẻo, dễ tạo hình, sau đó bắt đầu ninh kết, hỗn hợp đặc sệt dần lại mà mất dần tính dẻo nhưng cường độ không lớn. Giai đoạn này kết thúc trong 5-10 giờ sau khi nhào trộn, hỗn hợp chuyển từ trạng thái đặc sệt sang trạng thái rắn chắc, có nghĩa là kết thúc ninh kết và bắt đầu rắn chắc. Giai đoạn rắn chắc được đặc trưng bằng sự tăng cường nhanh cường độ.

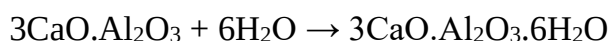
Khi nhào trộn xi măng với nước ở giai đoạn đầu xảy ra quá trình tác dụng nhanh của alit với nước tạo ra hydrosilicat canxi và hydroxit canxi [14]:



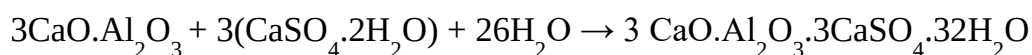
Vì đã có hydroxit canxi tách ra từ alit nên belit thủy hóa chậm hơn alit và tách ra ít $\text{Ca}(\text{OH})_2$ hơn:



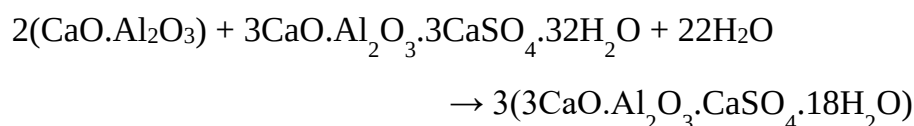
Hydrosilicat canxi hình thành khi thủy hóa hoàn toàn đơn khoáng silicat tricanxi ở trạng thái cân bằng với dung dịch bão hòa hydroxit canxi. Tỷ lệ CaO/SiO_2 trong các hydro silicat trong hồ xi măng có thể thay đổi phụ thuộc vào thành phần vật liệu, điều kiện rắn chắc và các yếu tố khác. Pha chưa aluminat chủ yếu trong xi măng là aluminat tricanxi $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$ pha hoạt động nhất. Ngay sau khi trộn với nước trên bề mặt các hạt xi măng đã có lớp sản phẩm xốp không bền có tinh thể dạng tấm lục giác mỏng $4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.9\text{H}_2\text{O}$ và $2\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.8\text{H}_2\text{O}$. Cấu trúc dạng tấm xốp này làm giảm độ bề nước của xi măng. Dạng ổn định sản phẩm phản ứng nhanh với nước của nó là hydroaluminat 6 nước có tinh thể hình lập phương được tạo:



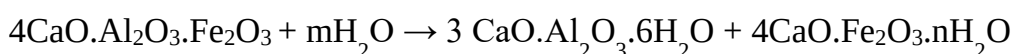
Để làm chậm quá trình ninh kết khi nghiền clanke cần cho thêm 1 lượng đá thạch cao (3-5% so với khối lượng xi măng). Sunphat canxi đóng vai trò là chất hoạt động hóa học của xi măng tác dụng với aluminat tricanxi ngay từ đầu để tạo thành sunphoaluminat canxi ngậm nước (khoáng etringit):



Trong dung dịch bão hòa $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ngay từ đầu etringit sẽ tách ra ở dạng keo phân tán mịn đọng lại trên bề mặt $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$ làm chậm lại sự thủy hóa của nó và kéo dài thời gian ninh kết của xi măng. Sự ninh kết của $\text{Ca}(\text{OH})_2$ từ dung dịch quá bão hòa sẽ làm giảm nồng độ hydroxit canxi trong dung dịch etringit chuyển sang tinh thể dạng sợi tạo ra cường độ ban đầu cho xi măng. Etringit có thể tích lớn gấp 2 lần so với thể tích chất tham gia phản ứng có tác dụng chèn lấp lỗ rỗng của đá xi măng, làm cường độ và ổn định của đá xi măng tăng lên. Cấu trúc của đá xi măng cũng sẽ tốt hơn do hạn chế được những chỗ yếu của hydroalumiát canxi. Sau đó etringit cộng tác dụng với $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$ còn lại sau khi tác dụng với thạch cao để tạo ra muối kép một sunphat:



Feroalumiát tetracacxi tác dụng với nước tạo ra hydroalumiát và hydroferit canxi:



Hidroferit sẽ nằm lại trong vùng thành phần của gen xi măng, còn hydroalumiát sẽ lại tác dụng với thạch cao như phản ứng trên.

2.2.2. Tính co ngót của bê tông

Bê tông chịu một sự biến dạng đáng kể đặc biệt là trong giai đoạn tuổi sớm, phần lớn những biến dạng này xảy ra ở phần vữa do lượng nước mất vào môi trường hoặc trong các phản ứng hóa học, tuy nhiên cốt liệu cũng góp phần vào những biến dạng trên do những đặc tính vật lý và thành phần hóa học của nó.

Trong xây dựng, tính biến dạng của bê tông là một vấn đề quan trọng bậc nhất cần lưu ý. Biến dạng của bê tông có thể gây ra ứng suất đủ lớn gây ra nứt, vỡ công trình. Vì bản thân bê tông có tính biến dạng, còn vật liệu bên ngoài thì không, điều đó gây ra ứng suất kéo đủ lớn phá hoại công trình. Việc nghiên cứu làm hạn chế biến dạng của bê tông luôn là nhiệm vụ hàng đầu.

Để phục vụ cho nhiệm vụ đó, ta cần hiểu kỹ về tính co nở, đặc biệt là tính co ngót của bê tông. Quá trình co của bê tông có thể chia ra 2 giai đoạn: co mềm và co

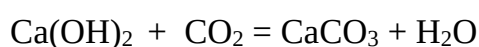
cứng. Co mềm là co trong khi bê tông vừa được trộn trong giai đoạn đầu của quá trình ninh kết. Co cứng hay co khô là co khi bê tông đã bắt đầu có cường độ khá cao.

Sự co ngót của BT có thể xảy ra trong 2 giai đoạn khác nhau: tuổi sớm và tuổi muộn. Giai đoạn đầu tiên (trong vòng 24h đầu) được xác định như là khoảng thời gian mà BT đóng rắn và bắt đầu cứng. Mặt khác, giai đoạn thứ hai lại liên quan đến tuổi sau 24h. Sự co ở cả hai giai đoạn này chủ yếu bao gồm co nội sinh (AS), co khô (DS) và co nhiệt (TS) mà có kết quả chồng lên nhau nhưng với cơ chế khác nhau. Trong thời kỳ dài, co carbonat cũng được kể đến với hệ quả tích lũy thêm. Có thể nhận thấy AS là nguyên nhân của phần lớn sự thay đổi thể tích trong bê tông chất lượng cao (HPC) ở tuổi sớm khi so sánh với các loại co khác [7]. Sự nhìn nhận vào điểm khác biệt có thể giúp làm rõ hơn cơ chế và những nhân tố ảnh hưởng đến AS trong HPC [72].

Trong co mềm, có 2 nguyên nhân chính: co hóa học và co nội sinh. Co hóa học liên quan đến sự mất mát về khối lượng của các sản phẩm thủy hóa. Co tự sinh liên quan đến sự mất nước trong các mao quản của đá xi măng.

Trong quá trình thủy hóa, xi măng phản ứng với nước tạo ra các sản phẩm thủy hóa như: entringit, Ca(OH)_2 ; hidro ferit canxi; CSH;...các sản phẩm này có khối lượng riêng lớn hơn khối lượng riêng của các sản phẩm tham gia phản ứng. Theo lý thuyết bảo toàn khối lượng trong các phản ứng thì các sản phẩm sinh ra với thể tích nhỏ hơn thể tích các chất ban đầu. Khi đó, sự co là tất yếu. Ngoài ra, sau phản ứng thủy hóa, các sản phẩm dạng sợi sẽ thay thế các sản phẩm dạng tinh thể, dạng định hình này có ưu điểm là chui vào các lỗ rỗng và làm đặc chắc cho hỗn hợp, tuy nhiên, nó lại là một phần trong việc làm co ngót trong bê tông. Sự co ngót loại này không có biện pháp nào khắc phục vì việc làm tăng cường độ bê tông được ưu tiên hàng đầu.

Mặt khác, co hóa học còn xảy ra với co do cacbonat hóa. Đó là do phản ứng giữa Ca(OH)_2 với CO_2 trong không khí. Hay còn là sự hòa tan tinh thể vôi. Nếu không có sự hòa tan thì không có co ngót.



Sau khi xảy ra phản ứng, nước sinh ra sẽ mất đi trong quá trình rắn chắc của bê tông, dẫn đến sự co do mất mát về thành phần vật chất của bê tông.

Khi mà cacbonic không chỉ phản ứng với $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mà còn phản ứng với nhiều thành phần khác thì sự co còn diễn ra nghiêm trọng hơn. Sự co ngót này tỉ lệ với co ngót do mất nước bên ngoài. Co ngót do cacbonat hóa xảy ra trước khi mất nước thì không có co ngót bổ sung nào nữa.

Như vậy, nếu sự thủy hóa trong bê tông diễn ra càng mạnh thì sự co ngót xảy ra càng mạnh mẽ, nhanh chóng.

Co tự sinh là quá trình co do mất nước trong các mao quản cỡ nhỏ. Trong quá trình rắn chắc, một hỗn hợp bê tông sẽ bão hòa nước, nước ở thể tự do sẽ thoát ra ngoài hoặc phản ứng thủy hóa mà mất đi. Sự mất nước trong các mao quản hay lỗ rỗng lớn không gây ra co ngót. Mà co ngót chỉ xảy ra khi nước trong các mao quản nhỏ cỡ 0.1 micromet trở xuống.

Giải thích về vấn đề này, theo lí thuyết mao dẫn, thì việc lấp đầy nước vào các lỗ rỗng trong khối bê tông tạo ra một ứng suất. Với lượng nước cho trước, tồn tại một kích thước giới hạn mà vượt qua đó thì nước trong các khoang rỗng là không bão hòa. Trong các khoang không bão hòa, bề mặt phân chia các pha chịu kéo gây ra một ứng suất co, dẫn đến co về cấu trúc các lỗ rỗng. Ứng suất co càng lớn nếu lỗ rỗng, mao quản càng nhỏ.

Xét co ngót trong giai đoạn này, so sánh các mẫu bê tông khác nhau, người ta thấy rằng co ngót tăng khi đường kính mao quản nhỏ, đường kính mao quản lại tỉ lệ với tỉ số N/X . Vì vậy, độ co tăng nếu hỗn hợp bê tông trộn ít nước.

Trong giai đoạn co mềm, nếu trong môi trường nóng, khô thì độ co cao hơn và diễn biến trong thời gian lâu hơn. Còn ngược lại, nếu bê tông được bảo dưỡng trong môi trường ẩm, nóng thì sự co ngót ban đầu diễn ra mạnh mẽ tuy nhiên tính cho tổng độ co ngót thì lại ít hơn không được bảo dưỡng.

Sau giai đoạn co mềm, khi bê tông đạt cường độ xác định thì co mềm dần giảm đi. Thay vào đó là co khô, co do mất nước trong các lỗ rỗng.

Cấu trúc xi măng bao gồm những tinh thể đá xi măng nối với nhau thành một chuỗi. Nhiều chuỗi nối lại tạo thành mạng lưới tinh thể. Mỗi tinh thể được bọc bằng một lớp nước liên kết. Tất cả tạo nên một mạng không gian mà các mắt chứa đầy nước. Trong quá trình đóng rắn của xi măng, nước mất dần trong các phản ứng thủy hóa, do bay hơi, sự dịch chuyển nước trên bề mặt bê tông. Nước tự do mất dần, tiếp

đó lớp nước liên kết cũng mất đi. Điều này khiến cho các tinh thể xích lại gần nhau dẫn đến co cho bê tông.

Nhiều nghiên cứu cho rằng co khô của bê tông tăng khi mà tỉ lệ N/X tăng. Tuy nhiên, nếu xét cho cả 2 giai đoạn co thì độ co tổng cộng của hỗn hợp có tỉ lệ nước cao hơn thì ít hơn.

Đá xi măng được xem như một loại composite bao gồm pha rắn (sản phẩm thủy hóa và các hạt xi măng chưa thủy hóa), pha lỏng (nước chưa tham gia vào quá trình thủy hóa), và pha khí (bọt khí bị cuốn vào trong quá trình trộn và bọt khí sinh ra do phản ứng thủy hóa), co hóa học được coi là sự giảm thể tích tuyệt đối của các sản phẩm thủy hóa so thể tích tuyệt đối của xi măng và nước trước khi thủy hóa. Co hóa học được thể hiện theo công thức sau [4]:

$$S_{hy} = \frac{(V_c + V_w) - V_{hy}}{V_{ci} + V_{wi}} \times 100 \quad (2.6)$$

Trong đó: S_{hy} : Tỷ lệ co hóa học, %

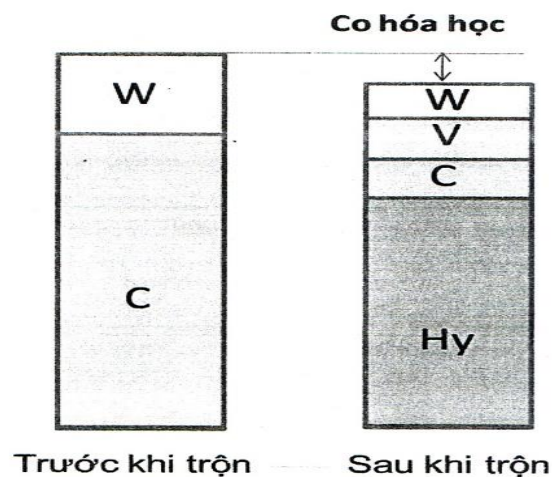
V_c : Thể tích của xi măng thủy hóa

V_w : Thể tích của nước phản ứng thủy hóa

V_{hy} : Thể tích của sản phẩm thủy hóa

V_{ci} : Thể tích của xi măng trước khi trộn

V_{wi} : Thể tích của nước trước khi trộn



Hình 2.4. Co hóa học của đá xi măng [4]

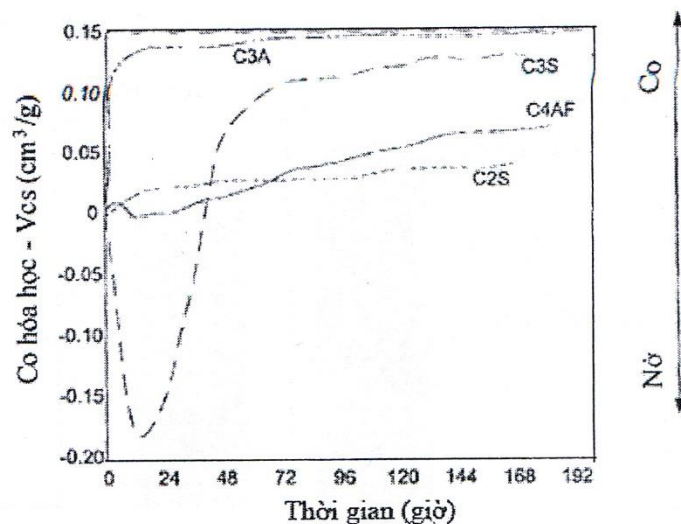
C - Xi măng chưa thủy hóa; W - Nước chưa tham gia thủy hóa; H_y - sản phẩm thủy hóa; V - Lỗ rỗng tạo ra bởi quá trình thủy hóa.

Như vậy, co hóa học sẽ phụ thuộc vào mức độ thủy hóa của xi măng, tỷ lệ N/CKD, loại và lượng xi măng, và phụ gia sử dụng. Trong xi măng, các khoáng xi măng cũng co ngót với mức độ khác nhau (Bảng 2.1). Theo Jensen [74], cứ 100g xi măng tham gia phản ứng sẽ gây co ngót khoảng 6-7ml, không chỉ các khoáng chính clanhke xi măng tham gia phản ứng mà các sản phẩm thứ cấp cũng tham gia phản ứng gây ra hiện tượng thay đổi thể tích.

Bảng 2.1. Co hóa học của các khoáng xi măng [4]

Khoáng XM	Độ co ngót (cm ³ /g)				
	1 ngày	3 ngày	7 ngày	14 ngày	28 ngày
C ₃ S	0,0188	0,0300	0,0336	0,0409	0,0481
C ₂ S	0,0110	0,0126	0,0106	0,0140	0,0202
C ₃ A	0,0632	0,0759	0,1133	0,1201	0,1091
C ₄ AF	0,0190	0,0202	0,0415	0,0352	0,0247

Theo kết quả nghiên cứu đến tuổi 7 ngày của xi măng poóc lăng cho thấy, với khoáng C₃A có độ co là lớn nhất trong khi đó khoáng C₂S cho độ co nhỏ nhất. Với khoáng C₃S ở thời điểm ban đầu có dấu hiệu tăng thể tích (gây nở) cho đá xi măng tuy nhiên theo thời gian khoáng C₃S tiếp tục tham gia thủy hóa và gây ra biến dạng co ngót khá lớn (Hình 2.5).



Hình 2.5. Độ co các khoáng của xi măng poóc lăng [4]

Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu, công thức tính toán độ co của xi măng theo các khoáng của xi măng như sau:

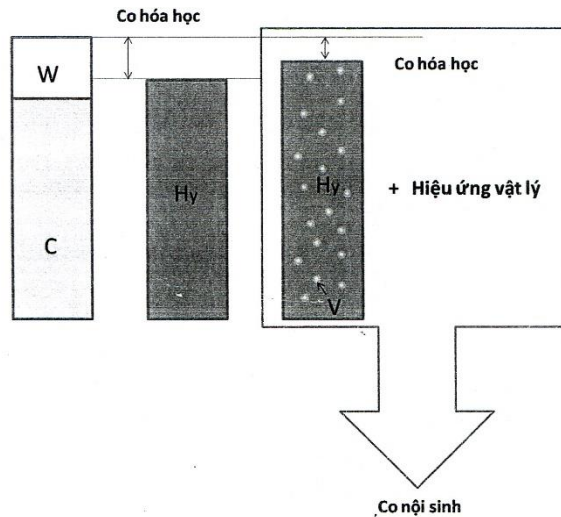
$$V_{cs} = 0.0532[C_3S] + 0.0400[C_2S] + 0.1113[C_4AF] + 0.1785[C_3A] \quad (2.7)$$

Vì vậy, để giảm co hóa học của đá xi măng nên giảm hàm lượng của các khoáng C_3A và C_4AF trong xi măng poóc lăng.

Co hóa học (CS) đề cập đến sự thay đổi thể tích trong suốt tuổi sớm của quá trình thủy hóa, được gây ra bởi sự tạo thành các sản phẩm thủy hóa với thể tích nhỏ hơn thể tích của các chất phản ứng ban đầu (nước và XM) trong suốt quá trình đông rắn. Co hóa học là sự giảm thể tích tuyệt đối bên trong, được coi như là nguyên nhân của AS. Sau khi hình thành cấu trúc ban đầu của hồ XM (gần như đề cập đến sự đông kết ở tuổi sớm), quá trình thủy hóa sau đó gây ra khoảng trống trong hỗn hợp. Ở giai đoạn này, giá trị $AS < \text{giá trị CS}$ do phép đo trước thể tích bên ngoài của sự giảm thể tích. Thể tích tích lũy của khoảng trống được cho là kết quả đo được của giá trị co hóa học.

Trong giai đoạn dẻo, thuật ngữ AS và CS có thể được sử dụng thay thế cho nhau. Tuy nhiên, trong một nghiên cứu của Holt, giá trị AS ở tuổi sớm và CS không bằng nhau trong mẫu BT khi sử dụng tỉ lệ $N/CKD = 0.3$. Bên cạnh đó, sự thêm vào của PGSD với tỉ lệ N/CKD thấp làm tăng giá trị co hóa và co nội sinh với tỉ lệ khác nhau. Cần lưu ý rằng BT có tỉ lệ $N/CKD = 0.45$ thì không xuất hiện AS trong khi CS có thể nhận thấy được.

Co nội sinh là hiện tượng co ngót của bê tông xảy ra do quá trình thủy hóa của xi măng và được xác định sau thời điểm xi măng kết thúc đông kết. Co nội sinh không bao gồm sự thay đổi thể tích do sự thay đổi nhiệt độ, độ ẩm ở bên ngoài môi trường, các tác động của ngoại lực mà là hệ quả của quá trình thủy hóa của xi măng xảy ra do sự mất nước cục bộ gây ra do phản ứng thủy hóa của xi măng, hay còn gọi là hiện tượng tự làm khô (self - desiccation). Co nội sinh là tổng của một phần co hóa học và co do tự khô (Hình 2.6). Co nội sinh trong bê tông phụ thuộc vào mức độ thủy hóa của xi măng, tỉ lệ N/X càng nhỏ thì mức độ co nội sinh càng lớn. Đây chính là biến dạng co chủ yếu của hệ bê tông có tỉ lệ N/CKD rất thấp chứa lượng xi măng lớn như bê tông chất lượng siêu cao (tỉ lệ N/CKD thường < 0.25 và hàm lượng xi măng khoảng $900-1000 \text{ kg/m}^3$).



Hình 2.6. Mối quan hệ giữa co hóa học và co nội sinh [6]

C - Xi măng chưa thủy hóa; N - Nước chưa tham gia thủy hóa, Hy - sản phẩm thủy hóa; V - Lỗ rỗng tạo ra bởi quá trình thủy hóa.

Nguyên nhân gây ra hiện tượng co nội sinh liên quan đến các quá trình hóa lý xảy ra trong cấu trúc đá xi măng. Khi xi măng thủy hóa sẽ làm mất dần nước trong hệ thống mao quản và hình thành các lỗ rỗng nhỏ trong cấu trúc đá xi măng, theo thời gian lượng nước trong hệ thống lỗ rỗng mao quản giảm (hiện tượng tự làm khô) và gây ra áp lực lên hệ thống lỗ rỗng mao quản này dẫn đến các phần tử vật chất xích lại gần nhau gây nên hiện tượng co ngót, hiện tượng này gọi là co nội sinh.

2.3. Giảm co khô của bê tông nội bảo dưỡng đối với mặt đường bê tông xi măng

Co khô hay co cứng là hiện tượng giảm thể tích xảy ra trong điều kiện môi trường có độ ẩm thấp do sự bay hơi nước trên bề mặt của bê tông đã rắn chắc. Bản chất của co cứng cũng giống với co mềm nhưng xảy ra khi bê tông đã rắn chắc. Mức độ co cứng phụ thuộc vào các yếu tố như điều kiện môi trường, tỷ lệ N/CKD, hình dạng và kích thước cấu kiện bê tông,... Hiện tượng co ngót này có thể làm thay đổi các áp lực mao quản, áp lực tách liên kết hay sức căng bề mặt. Các tương tác này là kết quả của quá trình thủy hóa của xi măng đã tạo ra một lượng lớn hệ thống các lỗ rỗng mao quản với kích thước nhỏ, làm tăng diện tích bề mặt và độ rỗng vì cấu trúc bên trong của sản phẩm thủy hóa C-S-H.

Co khô (DS) được gây ra bởi sự bay hơi nước bên trong hỗn hợp do độ ẩm môi trường bên ngoài thấp của vật liệu nền XM. Sự phát triển của co khô trong BT

liên quan nhiều đến co nội sinh (AS). Phép đo chính xác của co khô là một thử thách do sự biến dạng AS của mẫu kín có thể bị trừ đi từ tổng biến dạng đo được của BT do sự định nghĩa khác biệt về vật lý. Giá trị co khô đo được bằng phương pháp truyền thống bao gồm một phần của co nội sinh, tuy nhiên, nó không phải là sự chồng chéo đơn giản, do điều kiện co khô có ảnh hưởng nghiêm trọng đến quá trình thủy hóa của XM. Sự thêm vào của vật liệu chất kết dính bổ sung SCMs trong HPC có thể gây ra những ảnh hưởng khác nhau đến DS và AS dựa vào những phản ứng và sự ảnh hưởng đến quá trình thủy hóa. Nhóm tác giả [70] đã nghiên cứu ảnh hưởng của những hàm lượng SCMs khác nhau đối với AS và DS. Có thể nhận thấy, có một mối quan hệ đối nghịch giữa DS và AS khi hàm lượng xỉ tăng. Ngược lại, bột đá vôi với tính chất gần như trơ ảnh hưởng đến AS chỉ ở tuổi sớm và gần như ảnh hưởng rất nhỏ đến co khô. Điều này có thể là do sự phản ứng tốt hơn của xỉ có thể làm tăng quá trình thủy hóa và tăng sự tự khô trong hỗn hợp. Tuy nhiên, mối quan hệ trực tiếp giữa co khô và AS có thể được công nhận khi sử dụng SF. Nghiên cứu đã báo cáo rằng khi tăng hàm lượng SF sẽ làm tăng AS và DS trong BT, đặc biệt là ở tuổi sớm.

Co nhiệt: Kinh nghiệm công trường về HPC cho thấy BT có cường độ cao dễ bị nứt ở tuổi sớm do co nội sinh (AS) và co nhiệt (TS) lớn [70]. Co nhiệt là do sự giảm thể tích gây ra bởi biến thiên nhiệt độ vượt quá giữa lớp bên trong và bên ngoài hoặc nhiệt độ giảm ở tuổi sớm khi BT đang đóng rắn. Khác biệt về nhiệt độ có được là do sự tăng nhiệt độ so với nhiệt độ ngoài môi trường gây ra bởi tiến triển nhiệt trong quá trình thủy hóa XM. Nhiệt của quá trình thủy hóa có thể ảnh hưởng đến AS do nó làm tăng sự tự khô trong hệ thống. Nhiệt độ gây ra bởi quá trình thủy hóa được tái hiện và sự ảnh hưởng của nó đối với AS đã được nghiên cứu. Kết quả cho thấy xuất hiện một điểm đột biến mà xu hướng co được chia làm 2 giai đoạn. AS của mẫu trước điểm đột biến cho thấy sự tăng lớn hơn khi nhiệt độ thấp trong khi sau điểm đột biến, độ co tăng khi nhiệt độ cao. Trong giai đoạn đầu, AS tăng mà không thay đổi độ ẩm tương đối (RH), trong khi nó tăng cùng với sự giảm RH sau điểm đột biến. Trong một vài trường hợp, sự nở nhiệt đi kèm với nở vì nhiệt thường xảy ra khi có sự xuất hiện của AS. Có thể nhận thấy BT với tỉ lệ N/CKD rất thấp phòng lên miễn là sự nở vì nhiệt lớn hơn AS. Tuy nhiên, về cơ bản, AS vượt quá sự nở một cách nhanh chóng và BT co sau khi phòng lên ban đầu. Nếu nhiệt độ BT giảm nhanh, sự co vì nhiệt có thể tích lũy cùng với AS [70].

Co carbonat được gây ra bởi quá trình carbonat hóa của BT khi tiếp xúc với CO_2 . Sự carbonat hóa có thể xảy ra bởi sự xâm nhập của CO_2 sẵn có trong không khí và phản ứng với Calcium silicate hydrates [70]. Sự giảm tập trung của $\text{Ca}(\text{OH})_2$, tính toàn vẹn thấp của C-S-H cùng với sự mất độ ẩm có thể gây ra co carbonat. Với BT ở tuổi muộn (sau 24h), co carbonat và AS có thể xảy ra đồng thời, tuy nhiên, co carbonat thường thấp trong HPC. Trong một nghiên cứu bởi Persson [80], một sự so sánh tốt đã được thực hiện giữa co carbonat và AS trong HPC. Nghiên cứu đã khẳng định rằng co carbonat xảy ra đồng thời với sự tăng khối lượng mẫu, trong khi không xảy ra hiện tượng giảm khối lượng khi có co nội sinh AS. Thêm vào đó, có một sự tương quan giữa độ ẩm tương đối bên trong RH và tỉ lệ N/CKD của hỗn hợp với AS. Không có co carbonat xuất hiện khi $\text{N/CKD} < 0.3$ và sử dụng 10% SF. Điều này phù hợp với nghiên cứu trước đó với tỉ lệ $\text{N/CKD} < 0.25$. Cũng trong nghiên cứu tương tự, Persson đã báo cáo rằng co carbonat không làm giảm RH bên trong của hỗn hợp, điều này khác biệt so với cơ chế co nội sinh.

2.4. Nứt co ngót và giải pháp hạn chế co ngót - nứt trong bê tông làm mặt đường

Vết nứt có thể xuất hiện trên kết cấu bê tông cốt thép do rất nhiều nguyên nhân riêng lẻ, cũng có thể do một nhóm các nguyên nhân cùng kết hợp gây nên. Về mặt tổng quát, có thể chia nguyên nhân nứt trên kết cấu bê tông cốt thép do yếu tố vật lý và yếu tố cơ học. Chi tiết hơn, có thể phân nguyên nhân gây nứt thành các nhóm [4]: Vết nứt do hiện tượng co ngót liên quan đến bản chất vật liệu và công nghệ chế tạo; Vết nứt do kỹ thuật, quy trình thi công các kết cấu bê tông; Vết nứt do tác động của môi trường nhiệt ẩm; Vết nứt do tác động của cốt thép ứng lực trước; Vết nứt do cốt thép bị ăn mòn; Vết nứt do tải trọng; Vết nứt do các tác động và một số nguyên nhân phụ khác,...

Nứt do co nở mềm: Co nở mềm là hiện tượng thay đổi thể tích của bê tông ở tuổi sớm khi bê tông còn mềm, chưa có cường độ hoặc cường độ còn thấp. Các vết nứt do co nở mềm thường xuất hiện trên bề mặt các kết cấu bê tông có mặt thoáng lớn do bị mất nước quá nhanh. Các vết nứt này có độ sâu khoảng 1-3 cm tùy theo đặc tính của bê tông và tốc độ mất nước. Thường các vết nứt chạy dọc theo cốt thép trong bê tông, và nứt không định hướng trên kết cấu bê tông không cốt thép.

Nứt do biến dạng cứng của bê tông: Biến dạng cứng là quá trình thay đổi thể tích của bê tông (gồm có co và nở) khi đã có cường độ. Trong điều kiện khí hậu nóng

ấm nước ta, quá trình biến dạng cứng dưới tác động của khí hậu có thể coi bắt đầu từ sau 8-10h đóng rắn của bê tông. Trước đó là quá trình biến dạng mềm. Biến dạng cứng không thực hiện được sẽ phát sinh ứng suất kéo trong bê tông. Khi ứng suất kéo vượt quá giới hạn kéo của bê tông thì bê tông sẽ bị nứt.

Nứt do thay đổi nhiệt độ môi trường: Sự thay đổi nhiệt độ không khí thường xuyên theo mùa và theo ngày làm cho bê tông bị biến dạng nhiệt ẩm thường xuyên. Biến dạng này thường xảy ra không đều và bị kìm giữ. Sau nhiều chu kỳ, bê tông bị mỏi, và bị nứt. Bảo vệ kết cấu khỏi tác động trực tiếp của bức xạ mặt trời là giải pháp hữu hiệu để hạn chế loại hình vết nứt này. Nhiệt độ tăng đột ngột do hỏa hoạn có thể gây nứt bê tông do biến dạng nhiệt, hoặc do phân hủy các pha rắn trong bê tông.

Nứt do hiệu ứng nhiệt: Các vết nứt do co ngót nhiệt xuất hiện do sự chênh lệch nhiệt độ lớn giữa những vị trí khác nhau trong khối đổ bê tông. Sự chênh lệch này có thể phát sinh do bê tông là vật liệu có tính dẫn nhiệt tương đối thấp. Điều này thường xảy ra đối với những khối đổ lớn, khi nhiệt độ tăng trong suốt quá trình thủy hóa của xi măng, đặc biệt tại tâm khối đổ nhiệt độ tăng rất cao. Khi quá trình cân bằng nhiệt trong khối đổ bê tông xảy ra, sẽ sinh ra ứng suất nội vì vùng nhiệt độ cao sẽ co lại nhiều hơn so với vùng nhiệt độ thấp. Nếu ứng suất nội này vượt quá khả năng chịu kéo của bê tông, vết nứt sẽ xuất hiện.

2.5. Bảo dưỡng mặt đường bê tông và các yếu tố ảnh hưởng

Bảo dưỡng đặc biệt quan trọng đối với mặt đường vì so với các loại kết cấu bê tông thì mặt đường bê tông xi măng có tỉ lệ bề mặt trên tổng thể tích khối bê tông cao. Bảo dưỡng kém có thể dẫn đến hư hỏng mặt đường bê tông: hư hỏng xảy ra do nứt co dãn, do ứng suất nhiệt hoặc nứt co ngót khi bay hơi nước. Mặt đường bê tông được bảo dưỡng kém cũng có thể có khả năng chống mài mòn kém và không thể chống ảnh hưởng của muối đối với đường trong khu vực duyên hải, hoặc tác động của các quá trình xuống cấp mặt đường khác.

Khi lớp bê tông xi măng mặt đường được đặt trên các lớp móng gia cố hay lớp móng thấm nước, tác động của co ngót, uốn vòng và cong võng do bảo dưỡng không đúng cách sẽ tăng lên đáng kể. Cần đặc biệt chú ý trong việc bảo dưỡng bê tông mặt đường trong trường hợp có lớp móng gia cố hoặc lớp móng thấm nước, như là: móng đá dăm gia cố xi măng (CTB – Cement Treated Base); móng bê tông nghèo (LCB – Lean Concrete Base); móng bê tông xi măng rỗng thấm nước (CTPB – Cement

Treated Permeable Base) do có sự tác động cộng hưởng của co ngót, hay biến dạng của lớp móng gia cố hoặc mất nước vào lớp móng thấm nước.

Thành phần của BTXM, loại vật liệu thành phần, đặc tính và đặc điểm phát triển cường độ trong các ngày tuổi ban đầu cùng với điều kiện thời tiết thời điểm đổ bê tông và vài ngày sau khi đổ bê tông rất quan trọng không chỉ đối với bảo dưỡng BTXM mặt đường mà còn ảnh hưởng đến cường độ và độ bền lâu dài của mặt đường BTXM. Loại xi măng được sử dụng có vai trò quan trọng, chủ yếu từ quan điểm tăng cường độ của xi măng. Bảo dưỡng thường được chỉ định trong một khoảng thời gian cụ thể (số ngày) hoặc cho đến khi đạt được cường độ bê tông nhất định. Xi măng sử dụng cho đường BTXM tại Việt Nam yêu cầu cường độ nén và cường độ kéo uốn ở 3 ngày tuổi và 28 ngày tuổi tùy thuộc cấp đường [1]. Xi măng rất mịn có thể ảnh hưởng đến quá trình tách nước và làm khô bên trong với tốc độ chậm. Các loại xi măng rất mịn có thể tạo tốc độ tách nước rất chậm trong điều kiện thời tiết khô. Các vật liệu có độ mịn lớn như các loại puzolan, đặc biệt như muối silic có thể làm chậm thời gian ninh kết và làm chậm hình thành cường độ. Do đó, thời gian tối ưu cho bảo dưỡng cuối cùng cũng bị chậm lại và làm tăng nguy cơ xảy ra nứt co dãn. Chậm hình thành cường độ cũng làm kéo dài thời gian bảo dưỡng yêu cầu. Lượng tách nước của bê tông phụ thuộc vào tỷ lệ N/X. Nếu tốc độ bay hơi nước của BTXM vượt quá tốc độ tách nước, thì hiện tượng nứt co dãn sẽ xảy ra. Mặt khác, tách nước quá nhanh sẽ dẫn đến tỷ lệ N/X còn lại quá thấp ở bề mặt bê tông, lớp bề mặt trở nên yếu và có khả năng chống mài mòn kém. Tốc độ tách nước (Bleeding Rate -BR), tính bằng kg nước / m² / giờ, có thể được tính bằng công thức thực nghiệm [83]:

$$BR = (0.051 \cdot N/X - 0.015) \cdot D \quad (2.8)$$

Với :

BR – tốc độ tách nước, kg/m²/giờ

N/X – tỉ lệ nước/ xi măng

D – chiều dày tấm BTXM mặt đường, cm

Bê tông rải mặt đường có xu thế có tỉ lệ N/X nằm trong khoảng từ 0,38 đến 0,48. Đối với mặt đường dày 30 cm, tốc độ tách nước tương ứng với tỉ lệ này sẽ dao động trong khoảng 0,13 đến 0,28 kg/m²/giờ. Tốc độ này thấp hơn so với các loại bê tông cho các cấu kiện thông thường khác, khoảng từ 0,5 đến 1,5 kg/m²/giờ. Tốc độ bay hơi do đó có nguy cơ cao hơn tốc độ tách nước, nghĩa là BTXM mặt đường có

khả năng mất nước nhanh hơn khối lượng nước tách để bay hơi. Do vậy, giới hạn tách nước an toàn hơn cho BTXM rải mặt đường được cho là khoảng 0,3 kg/m²/h.

Hàm lượng vật liệu xi măng cao, hay là vật liệu có đặc tính pozzolans cao, có xu hướng làm giảm tách nước. Sử dụng tỉ lệ CKD cao sẽ làm tăng co khô dài hạn.

Thời điểm bắt đầu đông cứng rất quan trọng, nó đánh dấu thời điểm kết thúc tách nước và có thể bắt đầu thực hiện bảo dưỡng. BTXM thông thường thường được bảo dưỡng sau thời điểm bắt đầu đông cứng. Khi mặt đường được thi công bằng phương pháp ván khuôn trượt, hoàn thiện bề mặt được hoàn thành vài phút sau khi BTXM được rải, ngay trước thời điểm bắt đầu đông cứng và kết thúc tách nước. Nếu tốc độ tách nước thấp so với tốc độ bay hơi, thì việc mất lớp văng bề mặt sẽ xảy ra sớm ngay sau khi rải bê tông, như vậy bảo dưỡng nên được bắt đầu ngay trong quá trình tách nước [71]. Tuy nhiên, bảo dưỡng bắt đầu khi quá trình tách nước chưa kết thúc có thể dẫn đến vấn đề đối với BTXM mặt đường, vì lượng nước tách tiếp tục nổi lên trên bề mặt đường có thể rửa trôi các hạt mịn và đọng lại thành một lớp trên bề mặt, hoặc làm hỏng lớp màng bảo dưỡng.

Sự bay hơi của nước tách ra từ bề mặt của bê tông phụ thuộc vào tốc độ gió, nhiệt độ của bê tông, nhiệt độ của không khí và độ ẩm tương đối. Tốc độ bay hơi nước theo truyền thống được xác định bằng toán đồ được công bố trong [83] (Hình 2.7) hoặc tính toán theo phương trình dưới đây.

$$ER = 4.88 \left[0.1113 + 0.04224 \frac{WS}{0.447} \right] (0.0443) \left(c^{0.0302(CT-1.8)+32} \right) - \left[\left(\frac{RH}{100} \right) \left(c^{0.0302(AT-1.8)+32} \right) \right] \quad (2.9)$$

Với ER – tốc độ bay hơi nước (kg/m²/h);

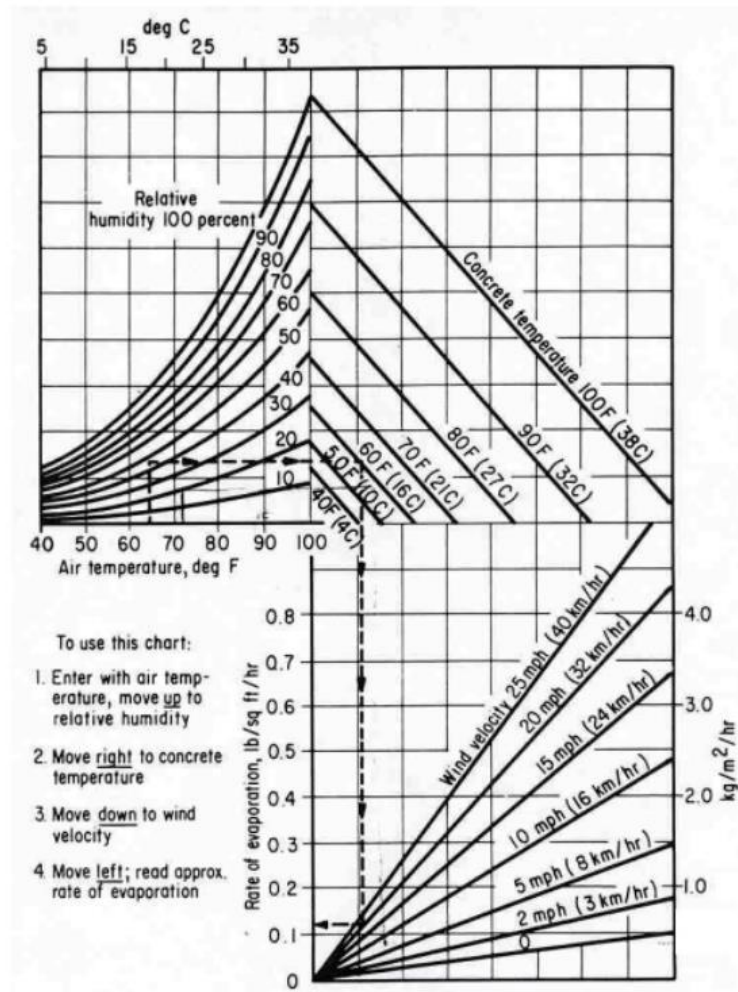
WS – tốc độ gió (m/s) (đo ở 0,5 m trên bề mặt đường)

CT – nhiệt độ của bê tông xi măng (°C)

AT – nhiệt độ của không khí (°C)

RH – độ ẩm tương đối (%)

C – hàm lượng xi măng (kg)



Hình 2.7. Toán đồ tốc độ bay hơi nước của BTXM phụ thuộc vào nhiệt độ của BTXM và điều kiện môi trường [83]

Tốc độ bốc hơi nước tăng khi tốc độ gió, nhiệt độ không khí hoặc nhiệt độ của BTXM tăng hoặc khi độ ẩm tương đối giảm. Với mặt đường BTXM, chỉ có thể kiểm soát tốc độ bay hơi một cách hiệu quả và tin cậy bằng kiểm soát nhiệt độ của BTXM. Trước khi rải BTXM, có thể ước tính tốc độ bay hơi có thể xảy ra trong điều kiện môi trường dự báo.

Hướng dẫn thi công mặt đường BTXM trong [83] khuyến cáo khi lượng bay hơi vượt quá lượng tách nước, cần phải giảm tốc độ bay hơi. Các biện pháp bảo dưỡng như sử dụng tấm phủ, màng dung dịch phun sương thường được áp dụng. Chọn thời gian rải mặt (tránh thời gian nhiệt độ không khí cao) cũng là một giải pháp để kiểm soát tương quan giữa lượng bay hơi và lượng tách nước.

Bảo dưỡng có thể xem bắt đầu từ các hoạt động xác minh điều kiện môi trường và thực hiện các hoạt động điều chỉnh trong trộn và rải BTXM mặt đường. Ví dụ: đo nhiệt độ bê tông khi rải BTXM mặt đường trong điều kiện thời tiết nóng và điều chỉnh

bằng cách giảm tốc độ bay hơi bằng cách giảm nhiệt độ bê tông: làm mát nước trộn bê tông, phun ni-tơ lỏng vào xe bồn trộn bê tông. Giảm bay hơi còn có thể thực hiện trực tiếp bằng cách phun nhũ tương tạo màng trên bề mặt lớp rải, ngăn cách tiếp xúc với nhiệt độ không khí, gió. Tùy thuộc điều kiện tự nhiên tại thời điểm thi công, có thể thực hiện kết hợp các giải pháp hay sử dụng nhiều lần các giải pháp.

Tưới bổ sung nước là một giải pháp để cân bằng giữa tốc độ bay hơi và lượng nước tách. Tần suất tưới nước có thể tính toán theo phương trình sau, giải định giải pháp bay hơi làm giảm lượng bay hơi 40%:

$$F = \frac{AR}{ER*(1-0.4)-BR} \quad (2.10)$$

Với:

F – tần suất tưới nước, h

AR - tỉ lệ nước tưới, kg/m²

ER – tốc độ bay hơi lượng nước tách, kg/m²/h

BR – tốc độ tách nước của BTXM, kg/m²/h

Theo hướng dẫn thi công mặt đường BTXM hiện nay ở Việt Nam [1], chất tạo màng dạng lỏng phù hợp với tiêu chuẩn AASHTO C309-98 với chiều dày tối thiểu 0,05 mm hay màng nhựa được sử dụng để bảo dưỡng BTXM mặt đường. Ngoài ra, các phương pháp và vật liệu lớp phủ khác như: vải địa kỹ thuật, bao tải ẩm, rơm rạ ẩm và kết hợp tưới nước cho đến khi BTXM hình thành hoàn toàn cường độ cũng là giải pháp thường được áp dụng cho mặt đường BTXM. Trong trường hợp sử dụng các chất tạo màng, cần phải có thử nghiệm và phân tích cụ thể để xác định thời điểm và tỉ lệ tưới.

Thời điểm tưới chất tạo màng là rất quan trọng. Hướng dẫn trong [83] cho rằng thời điểm tốt nhất là sau khi bắt đầu đông kết, khi mà màng nước trên bề mặt BTXM đóng rắn biến mất. Tuy nhiên, với mặt đường BTXM, hướng dẫn này có thể không phù hợp do BTXM mặt đường thường có tỉ lệ N/X thấp (tính công tác thấp), vì vậy không thấy rõ màng nước trên bề mặt hoặc màng nước này có thể biến mất khi mà chưa tách nước xong. Lớp màng phủ sẽ làm chậm quá trình bay hơi lượng nước tách. Lượng nước tách tích tụ và làm lỏng chất tưới tạo màng, gây hư hỏng lớp màng đã rải và ảnh hưởng đến giai đoạn bảo dưỡng sau.

Tỉ lệ rải phải thích hợp để tạo màng kín liên tục trên bề mặt của BTXM. Thiết bị rải đảm bảo rải đều và đủ lượng hợp chất tạo màng là một thách thức đối với công nghệ thi công mặt đường BTXM hiện nay ở Việt Nam. Các dạng lớp phủ khác như bao tải, rơm rạ, cát phủ, ... kết hợp tưới nước không kiểm soát một cách chủ động được nhiệt độ cũng như tốc độ bay hơi.

Điều quan trọng là phải quản lý sự thay đổi nhiệt độ trong mặt đường bê tông cũng như tiến trình mát mát độ ẩm. Như đã biết, mặt đường bê tông xi măng nở và co ngót theo điều kiện thay đổi nhiệt độ. Bê tông sinh nhiệt bên trong bắt đầu ngay sau khi rải do quá trình thủy hóa của vật liệu xi măng. Sự sinh nhiệt mạnh nhất do thủy hóa xảy ra trong 24 giờ đầu tiên, đạt cực đại trong khoảng 6 đến 8 giờ sau khi rải, tùy thuộc vào thành phần hóa học của xi măng. Trong kết cấu mặt đường có chiều dày lớp bê tông xi măng mỏng, lượng nhiệt sinh ra này thường được phân tán ra môi trường nhanh chóng như nó được sinh ra mà không làm ảnh hưởng đáng kể đến việc nung nóng toàn bộ mặt đường. Đối với mặt đường cao tốc hay đường cấp cao có chiều dày lớn, một lượng nhiệt có thể tích tụ lại làm nóng mặt đường. Bê tông mặt đường cũng có thể bị làm nóng lên nếu nhiệt độ không khí cao hơn nhiệt độ bê tông khi rải và có mức bức xạ nhiệt mặt trời cao. Điều kiện khí hậu mát mẻ và quá trình bốc hơi nước từ bề mặt bê tông chống lại sự nóng lên. Thông thường, tăng nhiệt trong rải bê tông xi măng mặt đường là nhỏ, nhưng nếu thi công trong điều kiện thời tiết nóng đồng thời với quá trình sinh nhiệt lớn nhất do thủy hóa kết hợp bức xạ nhiệt cao thì mặt trời thì nhiệt độ mặt đường có thể cao đến 60°C nếu không áp dụng giải pháp giảm nhiệt [83].

Như vậy, có thể thấy bảo dưỡng BTXM mặt đường sau khi rải là một quá trình phức tạp và chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố, các yếu tố có khả năng kiểm soát được (thành phần và loại vật liệu thành phần sử dụng), và có yếu tố không thể kiểm soát mà chỉ có thể giảm thiểu (nhiệt độ, tốc độ gió, độ ẩm), ngoài ra còn quyết định bởi tốc độ tách nước và thời điểm bắt đầu đông cứng, các chỉ tiêu mà cũng bị ảnh hưởng bởi rất nhiều các yếu tố mà cũng có thể có hoặc không có khả năng kiểm soát.

Việc có một hỗn hợp với cơ chế tự thực hiện bảo dưỡng, với cơ chế tự điều chỉnh cung cấp nước theo tốc độ tách nước của BTXM và với các yếu tố ảnh hưởng sẽ là một giải pháp không chỉ có hiệu quả do tối giản hóa công tác bảo dưỡng mà

hoàn toàn có thể kiểm soát được các rủi ro hư hỏng do bảo dưỡng và đảm bảo sự hình thành cường độ và cường độ của BTXM mặt đường.

Như đã được trình bày ở các phần trên đối với BTXM nội bảo dưỡng, khi trộn hỗn hợp bê tông, nếu cốt liệu rỗng ở trạng thái khô, nó sẽ hút một phần nước của đá xi măng. Quá trình này xảy ra mạnh mẽ trong khoảng 10-15 phút kể từ khi bắt đầu trộn. Như vậy cần điều chỉnh tăng lượng nước trộn. Tuy nhiên rất khó xác định chính xác lượng nước mà cốt liệu rỗng hút từ đá xi măng. Sự hút nước của cốt liệu rỗng gây tổn thất độ sụt mạnh cho hỗn hợp bê tông và ảnh hưởng không tốt đến chất lượng sản phẩm. Sử dụng cốt liệu rỗng ở trạng thái ướt hay bão hoà nước trước khi đem trộn sẽ tránh được các bất cập trên.

Nhận xét:

Từ việc phân tích cơ sở lý thuyết của BTXM nội bảo dưỡng sử dụng cát nhẹ, phân tích bản chất và các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình và hiệu quả bảo dưỡng BTXM mặt đường, có thể xây dựng được cơ sở khoa học cho nghiên cứu sử dụng BTXM nội bảo dưỡng làm mặt đường ô tô như sau:

- Nhược điểm của BTXM nội bảo dưỡng sử dụng cát nhẹ là có cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo khi uốn thấp hơn bê tông cát thô (bê tông thường) khi sử dụng cùng lượng dùng xi măng và có cùng độ sụt thi công. Ngoài ra bê tông cát nhẹ còn có khả năng chịu mài mòn thấp hơn so với bê tông cát thô, tuy nhiên do cấu trúc xốp rỗng của cát nhẹ nên việc giữ ẩm trong bê tông có thể hạn chế mất nước, co mềm, co khô của hỗn hợp bê tông và bê tông từ đó có thể giảm hiện tượng nứt của bê tông.

- Lượng ẩm giữ trong cấu trúc xốp của cát nhẹ cho phép BTXM tự điều chỉnh quá trình bảo dưỡng, không chỉ tối giản được công tác bảo dưỡng BTXM mặt đường khá phức tạp, mà còn có khả năng tự kiểm soát lượng cung cấp ẩm cần thiết phù hợp với tốc độ tách nước của BTXM. Điều này tuy khó có thể chứng minh bằng lý thuyết, nhưng hoàn toàn có thể đối chứng để đánh giá hiệu quả của “ngoại bảo dưỡng” theo qui trình thi công mặt đường BTXM thông thường hiện nay, và của “nội bảo dưỡng” sử dụng BTXM cát nhẹ.

- Với BTXM nội bảo dưỡng thì đối với cường độ chịu kéo khi uốn thì hệ số dư thừa cũng có ảnh hưởng tương tự như cường độ chịu nén, tuy nhiên do cơ chế phá hoại nén và kéo khi uốn khác nhau nên có thể tồn tại hai khoảng giá trị hệ số dư thừa tối ưu khác nhau. Mặt khác, do đặc thù cơ chế phá hoại mài mòn của bê tông, cho

nên đề cải thiện đáng kể khả năng chống mài mòn của bê tông sử dụng cát nhẹ cần phải phối hợp cát nhẹ với cát thô theo tỷ lệ phù hợp và khi đó có thể tồn tại một khoảng giá trị hệ số dư vừa hợp lý đối với cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo khi uốn và độ mài mòn đáp ứng được yêu cầu kỹ thuật đối với mặt đường bê tông xi măng tới cấp III.

CHƯƠNG 3. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM VẬT LIỆU BÊ TÔNG XI MĂNG NỘI BẢO DƯỠNG LÀM MẶT ĐƯỜNG Ô TÔ

Trong chương 3 sẽ giới thiệu các thí nghiệm sử dụng vật liệu bê tông xi măng nội bảo dưỡng làm mặt đường ô tô. Nghiên cứu sinh đã thực hiện các nội dung sau:

- Xây dựng các nội dung nghiên cứu về các chỉ tiêu cơ bản của vật liệu và các chỉ tiêu kỹ thuật của mặt đường bê tông xi măng.
- Lựa chọn thành phần bê tông nghiên cứu.
- Các kết quả nghiên cứu thực nghiệm về cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo khi uốn, độ mài mòn của mặt đường bê tông xi măng; các đặc tính mất nước, co mềm, co khô, độ chống thấm và mô đun đàn hồi.

3.1. Nội dung nghiên cứu, các chỉ tiêu nghiên cứu và phương pháp thí nghiệm

3.1.1. Các chỉ tiêu cơ bản của BTXM làm mặt đường và phương pháp thí nghiệm

Với các loại vật liệu thành phần của BTXM nội bảo dưỡng, có một loạt các tiêu chuẩn quốc gia đã được ban hành được sử dụng để xác định các đặc trưng cơ lý của vật liệu thành phần được liệt kê sau đây.

- Các tính chất kỹ thuật của xi măng được xác định theo TCVN 6016:2011 [26], TCVN 6017:2015 [27], thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 6260:2009 [33].
- Tính chất của xỉ lò cao nghiền mịn được xác định thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 11586:2016 [40].
- Tính chất của cốt liệu nặng cho bê tông được xác định theo TCVN 7572:2006 [30], TCVN 7572-2:2006 [31], TCVN 7572-4:2006 [32].
- Nước cho bê tông. Yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 4506: 2012 [38].
- Xác định mô đun đàn hồi khi nén tĩnh của bê tông theo ASTM C469-10 [52].
- Đúc mẫu, bảo dưỡng mẫu BT được thực hiện theo TCVN 3105:1993 [16].
- Độ sụt của hỗn hợp bê tông được xác định theo TCVN 3106: 1993 [17].
- Khối lượng thể tích của HGBT thực hiện theo TCVN 3108:1993 [18].
- Tách vữa và tách nước của hỗn hợp bê tông thực hiện theo TCVN 3109:1993 [19].
- Hàm lượng bọt khí của hỗn hợp bê tông thực hiện theo TCVN 3111:1993 [20].

- Độ mài mòn của bê tông xác định theo TCVN 3114: 1993 [21].
- Phương pháp xác định độ chống thấm nước theo TCVN 3116: 1993 [22].
- Cường độ chịu nén của bê tông được xác định theo TCVN 3118: 1993 [23].
- Cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông được xác định theo TCVN 3119: 1993 [24].
- Cường độ chịu kéo khi bẻ được xác định theo TCVN 3120:1993 [25].
- Thành phần hạt của cát nhẹ được thí nghiệm theo ASTM C136/C136M [49].
- Hàm lượng sét cục và các hạt mềm của cát nhẹ được thí nghiệm theo ASTM C142-97 [50].
- Độ hút nước, độ nhả nước của cát nhẹ được thí nghiệm theo ASTM C1761/C1761M-13b [53].
- Mất khi nung của cát nhẹ được thí nghiệm theo TCVN 11586 [40].

3.1.2. Các chỉ tiêu kỹ thuật mặt đường BTXM

Theo Quyết định số 3230/QĐ-BGTVT ngày 14/12/2012 [2] yêu cầu kỹ thuật của mặt đường bê tông xi măng trình bày như Bảng 3.1

Bảng 3.1. Một số quy định đối với mặt đường bê tông xi măng

Chỉ tiêu	Yêu cầu kỹ thuật	Tiêu chuẩn áp dụng
Độ bằng phẳng	Đường cao tốc cấp I, II, III $\leq 2,0$; các cấp đường khác $\leq 3,2$ (m/km).	TCVN 8864 : 2011 [35]; TCVN 8865 : 2011) [36]
Độ nhám	Đối với đoạn đường bình thường của đường cao tốc cấp I, II, III thì $0,7 \leq H_{tb} \leq 1,10$; Đối với đoạn đường đặc biệt của đường cao tốc cấp I, II, III thì $0,8 \leq H_{tb} \leq 1,20$; Đối với đoạn đường bình thường của các cấp đường khác thì $0,5 \leq H_{tb} \leq 0,9$; đối với đoạn đường đặc biệt của các cấp đường khác thì $0,6 \leq H_{tb} \leq 1,0$;	TCVN 8866 : 2011 [37]
Độ mài mòn	Đối với mặt đường BTXM đường cao tốc cấp I, II, III hoặc các đường có quy mô	TCVN 3114 : 1993 [21]

	giao thông cực nặng, rất nặng và nặng $\leq 0,3 \text{ g/cm}^2$; Đối với mặt đường BTXM đường ô tô cấp IV trở xuống hoặc các đường giao thông có quy mô giao thông trung bình và nhẹ $\leq 0,6 \text{ g/cm}^2$	
--	---	--

Theo hướng dẫn thiết kế này, các chỉ tiêu cơ học của BTXM mặt đường được sử dụng làm các tham số thiết kế và yêu cầu cơ bản như trong Bảng 3.2

Bảng 3.2. Tổng hợp một số yêu cầu về đặc tính cơ học của BTXM làm mặt đường [2]

Chỉ tiêu	Yêu cầu kỹ thuật	Tiêu chuẩn áp dụng
Cường độ chịu kéo khi uốn, f_r	$f_r \geq 5.0 \text{ MPa}$ đối với BTXM mặt đường cao tốc, đường cấp I, cấp II và các đường có quy mô giao thông nặng, rất nặng và cực nặng. $f_r = 4.5$ đối với đường các cấp khác, có quy mô giao thông trung bình và nhẹ nhưng có xe nặng trục đơn $> 100\text{KN}$ thông qua $f_r = 4.0$ đối với đường các cấp khác, có quy mô giao thông cấp nhẹ, không có xe nặng với trục đơn $> 100 \text{ KN}$ thông qua	TCVN 3105 ÷ 3119:1993
Mô đun đàn hồi, E_c	Không có yêu cầu – theo thí nghiệm	ASTM C469 - 10
Hệ số giãn nở nhiệt, α_c	Không có yêu cầu – theo thí nghiệm	AASHTO T336-15

Hướng dẫn thiết kế [2] cho phép dự tính mô đun đàn hồi của BTXM từ cường độ chịu nén và/hoặc cường độ chịu kéo khi uốn của mẫu tương ứng 28 ngày tuổi.

Bảng 3.3. Trị số mô đun đàn hồi của BTXM tương ứng cường độ nén và cường độ kéo khi uốn

Cường độ kéo uốn, MPa	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
Cường độ nén, MPa	5	7	11	15	20	25	30	36	42	49
Mô đun đàn hồi, GPa	10	15	18	21	23	25	27	29	31	33

Theo TCCS 40: 2022/TCĐBVN [41], các chỉ tiêu cơ lý của bê tông và độ sụt tối ưu của hỗn hợp bê tông xi măng được quy định ở Bảng 3.4, trừ khi có các yêu cầu khác của thiết kế:

Bảng 3.4. Các chỉ tiêu cơ lý của bê tông và độ sụt của hỗn hợp BTXM [41]

Các chỉ tiêu cơ lý	Trị số yêu cầu			Phương pháp thử
	Công nghệ ván khuôn trượt (tốc độ rải từ 0,5 đến 2,0m/min)	Ván khuôn cố định		
		Công nghệ ván khuôn ray và các công nghệ thi công liên hợp khác	Công nghệ thi công đơn giản	
Cường độ kéo khi uốn thiết kế R_{ku}^{tk} ở tuổi 28 ngày, MPa, không nhỏ hơn	5,0 với mặt đường BTXM đường cao tốc, cấp I, cấp II			TCVN 3105:1993
	4,5 với mặt đường BTXM đường ô tô cấp III trở xuống			TCVN 3119:1993
Độ mài mòn, g/cm ² , không lớn hơn	0,3 với mặt đường BTXM đường cao tốc, cấp I, cấp II, cấp III			TCVN 3114:1993
	0,6 với mặt đường BTXM đường ô tô cấp IV trở xuống			
Độ sụt, mm	10-20	20-30	20-40	TCVN 3106:1993

3.1.3. Nội dung nghiên cứu thực nghiệm

Nội dung nghiên cứu thực nghiệm được thiết kế với quy mô rộng hơn các loại cấp phối và với các chỉ tiêu vật lý và cơ học cơ bản của BTXM nội bảo dưỡng nhằm mục đích nghiên cứu ảnh hưởng của IC đến tính chất của bê tông có hàm lượng xỉ lò cao (XLC) nghiền mịn và tỷ lệ N/CKD khác nhau, có đối chứng với bê tông IC không

có XLC và với BTXM thông thường không sử dụng cát nhẹ. Nội dung nghiên cứu thực nghiệm của luận án tiếp cận theo nguyên tắc sử dụng lượng dùng xi măng tối thiểu và không thay đổi, với 30 cấp phối cốt liệu được ký hiệu từ CP1 đến CP30 và 05 cấp phối đối chứng là bê tông thường sử dụng toàn bộ cốt liệu nhỏ là cát vàng được ký hiệu từ CV1 đến CV5. Từ kết quả nghiên cứu thực nghiệm bao gồm các tính chất vật lý và cơ học cơ bản của BTXM nội bảo dưỡng. Nội dung nghiên cứu thực nghiệm với các chỉ tiêu thí nghiệm và số lượng thành phần cấp phối hỗn hợp đưa vào thí nghiệm được trình bày trong Bảng 3.5 và Bảng 3.6.

Bảng 3.5. Nội dung nghiên cứu thực nghiệm – các chỉ tiêu vật lý của BTXM nội bảo dưỡng

TT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Số lượng cấp phối thí nghiệm
1	Độ sụt	35
2	% Bọt khí	35
3	Độ tách nước	35
4	Độ tách vữa	35
5	Khối lượng thể tích	35
6	Mất nước	03
7	Co mềm	03
8	Co khô	03

Bảng 3.6. Nội dung nghiên cứu thực nghiệm các chỉ tiêu cơ học của BTXM nội bảo dưỡng

TT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Số lượng cấp phối
1	Cường độ chịu nén 3 ngày	35
2	Cường độ chịu nén 7 ngày	35
3	Cường độ chịu nén 28 ngày	35
4	Cường độ chịu kéo khi uốn 3 ngày	35
5	Cường độ chịu kéo khi uốn 7 ngày	35
6	Cường độ chịu kéo khi uốn 28 ngày	35
7	Độ mài mòn ở tuổi 3 ngày	15
8	Độ mài mòn ở tuổi 7 ngày	15

TT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Số lượng cấp phối
9	Độ mài mòn ở tuổi 28 ngày	15
13	Chống thấm	03
14	Mô đun đàn hồi	03

3.2. Vật liệu thành phần của BTXM nội bảo dưỡng trong nghiên cứu

3.2.1. Các vật liệu thành phần và tính chất cơ bản

Việc lựa chọn vật liệu thành phần nhằm chế tạo bê tông thỏa mãn được các yêu cầu kỹ thuật đối với mặt đường bê tông xi măng là rất quan trọng. Các loại vật liệu thành phần sử dụng trong quá trình nghiên cứu đều được định hướng chọn từ nguồn tự nhiên, sẵn có và phổ biến trong nước.

a. Xi măng: Trong quá trình nghiên cứu NCS đã sử dụng cả hai loại xi măng Nghi Sơn PC40 và PCB40, tuy nhiên do một số thời điểm bị ảnh hưởng của dịch COVID 19 nên nguồn cung cấp xi măng PC40 gặp khó khăn, không đáp ứng được tiến độ nghiên cứu. Hơn nữa, trên thị trường xi măng PCB40 rất phổ biến, nhiều nguồn cung, hầu như các công trình xây dựng đều đang sử dụng loại xi măng này. Chính vì vậy, để đảm bảo tiến độ NCS cũng đã mạnh dạn sử dụng loại xi măng PCB40 để nghiên cứu, có các tính chất như bảng 3.7, đạt yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 6260:2009.

Bảng 3.7. Tính chất cơ lý của xi măng Nghi Sơn PCB40

STT	Chỉ tiêu	Giá trị
1	Khối lượng riêng, g/cm ³	3,10
2	Lượng sót trên sàng 0,09mm, %	0,8
3	Tỷ diện Blain, cm ² /g	4250
3	Độ dẻo tiêu chuẩn, %	29,0
4	Độ ổn định thể tích, mm	1,0
5	Thời gian đông kết, phút	
	Bắt đầu	120
	Kết thúc	180
6	Cường độ, MPa	
	Ở tuổi 3 ngày	Chịu uốn
		Chịu nén
	Ở tuổi 28 ngày	Chịu uốn
		Chịu nén

b. Xi lò cao hạt hoá nghiền mịn:

Để giảm bớt lượng dùng xi măng với mục đích kinh tế và cải thiện một số tính chất của bê tông, đề tài sử dụng xi lò cao nghiền mịn thay thế một phần xi măng. Trong quá trình nghiên cứu, NCS cũng đã sử dụng tro bay để thay thế một phần xi măng và cũng đã đạt được những kết quả đáng khích lệ nhưng chưa đạt được độ chụm để đánh giá khả năng sử dụng phù hợp với mục tiêu nghiên cứu. Hiện tại, trên địa bàn Thành phố Hà Nội, Công ty Hòa Phát đang cung cấp sản phẩm thương mại xi lò cao S95 được sản xuất trên dây chuyền hiện đại, có kiểm soát chất lượng chặt chẽ. Sản phẩm xi lò cao S95 đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật, giá thành không cao và cung cấp rất thuận tiện, cho nên NCS đã lựa chọn loại xi này để đưa vào nghiên cứu. Các tính chất kỹ thuật của xi lò cao S95 Hoà Phát được trình bày trong Bảng 3.8.

Kết quả trong Bảng 3.8 cho thấy khi xi lò cao nghiền mịn sử dụng trong nghiên cứu đạt loại S95 thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 11586:2016 [40].

Bảng 3.8. Tính chất kỹ thuật của xỉ lò cao S95 Hoà Phát

Ký hiệu: d - ngày

	Tính chất								
	Khối lượng riêng, g/cm ³	Bề mặt riêng, cm ² /g	Chỉ số hoạt tính cường độ, %	Tỷ lệ độ lưu động, %	Độ ẩm, %	Hàm lượng MgO %	Hàm lượng SO ₃ , %	Hàm lượng Cl ⁻ , %	Mất khi nung, %, (ở 700 ± 25 °C)
Giá trị	2,9	5200	7 d: 80 28 d: 98 91 d: 116	96	0,5	6,5	2,6	0,01	1,2
Phương pháp thử	TCVN 4030: 2003	TCVN 11586:2016 (viện dẫn TCVN 4030 và TCVN 6016:2011)		TCVN 3121-3: 2003	TCVN 8265:2009			TCVN 141: 2008	TCVN 11586 (viện dẫn TCVN 8265)

Thành phần hóa học trung bình của Xi hạt lò cao được thể hiện trong bảng 3.9

Bảng 3.9. Thành phần hóa học trung bình của Xi hạt lò cao S95

Ô xit	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Na ₂ O _{eq}	TiO ₂	FeO	MnO
%	35,88	12,99	38,13	7,5	0,23	0,78	0,74	0,76	0,32	1,25

c. Cốt liệu nhỏ:

Cốt liệu nhỏ được sử dụng là cát vàng (CV) sông Lô - Việt Trì, là nguồn vật liệu tự nhiên sẵn có, trữ lượng lớn đang cung cấp cho các khu vực Thành phố Hà Nội và các vùng lân cận, đạt yêu cầu kỹ thuật chế tạo bê tông theo TCVN 7570:2006. Thành phần hạt và tính chất vật lý của CV được trình bày trong Bảng 3.10 và Bảng 3.11

Bảng 3.10. Thành phần hạt của cát vàng

Chỉ tiêu	Kích thước cỡ sàng, mm					
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14
Lượng sót tích lũy (%)	0	8,5	22,6	50,7	87,5	97,3
Theo TCVN 7572-2:2006	0	0-20	15-45	35-70	70-90	90-100

Bảng 3.11. Tính chất vật lý của cát vàng

TT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	2,67
2	Khối lượng thể tích ở trạng thái bão hoà nước, khô bề mặt	g/cm ³	2,64
3	Khối lượng thể tích ở trạng thái khô	g/cm ³	2,63
4	Khối lượng thể tích xộp	kg/m ³	1410
5	Độ hút nước	%	0,7
6	Độ hồng	%	46,4
7	Lượng hạt lớn hơn 5mm	%	0
8	Hàm lượng bụi, sét	%	0,7
9	Tạp chất hữu cơ, (so với màu chuẩn)	--	Sáng hơn
10	Mô đun độ lớn	--	2,7

d. Vật liệu nội bảo dưỡng: Vật liệu nội bảo dưỡng hay vật liệu chứa nước được lựa chọn là cát nhẹ, với tính chất và thành phần được thể hiện trong Bảng 3.12 và Bảng 3.13. Cát nhẹ sử dụng được lấy tại Nhà máy sản xuất sỏi đá nhẹ Đồng Nai. Đây là loại cát nhẹ Keramzit được sản xuất và sẵn có trong nước, là loại cốt liệu rỗng nhân tạo được chế tạo trên cơ sở nung nở phòng đất sét.

Theo ASTM C1761 [53] quy định yêu cầu kỹ thuật của LWA sử dụng cho bê tông nội bảo dưỡng (ICC): khối lượng thể tích, hàm lượng mất khi nung, hàm lượng sét cục và hạt mềm yếu và thành hạt phải đạt yêu cầu theo ASTM C330-17A [51]; độ hút nước sau khi ngâm 72h (A_{72}) không nhỏ hơn 5%; độ nhả nước (D) không nhỏ hơn 85% trị số A_{72} .

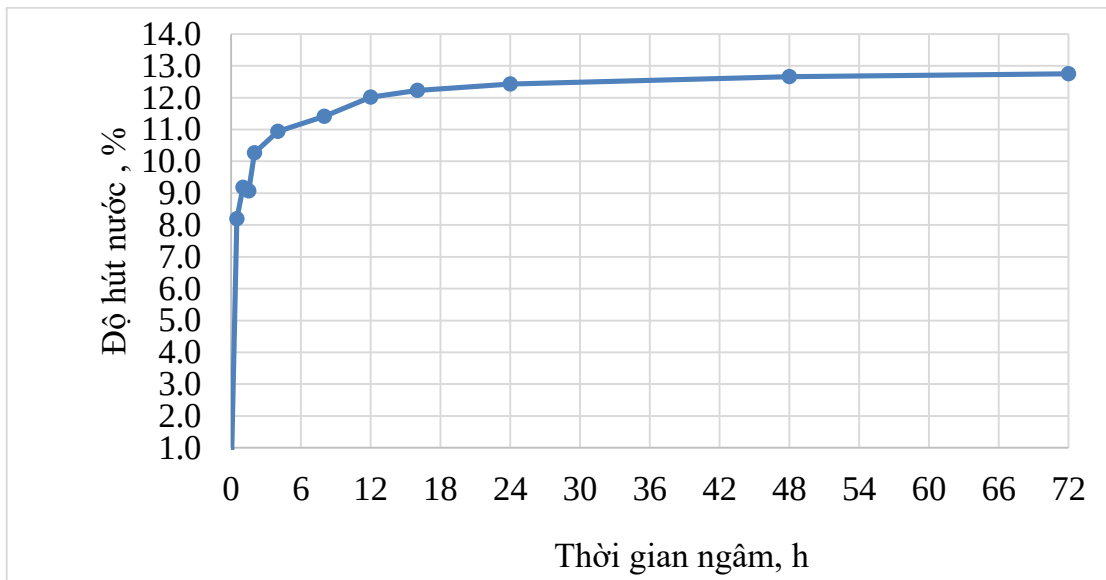
Bảng 3.12. Tính chất kỹ thuật của cát nhẹ

TT	Chỉ tiêu	PP thí nghiệm	Đơn vị	Giá trị	Yêu cầu theo ASTM C1761 [53]
1	Khối lượng riêng	TCVN 6221	g/cm ³	1,88	-
2	Khối lượng thể tích (hạt)	TCVN 6221	g/cm ³	1,52	-
3	Khối lượng thể tích xốp	TCVN 7572-6	kg/m ³	930	≤1120
4	Hàm lượng sét cục và các hạt mềm	ASTM C142	%	1,9	≤ 3
5	Hàm lượng bụi bùn sét	TCVN 7572-8	-	Sáng hơn màu chuẩn	Sáng hơn màu chuẩn
6	Mô đun độ lớn	TCVN 7572-2	-	2,7	-
7	Độ ẩm	TCVN 7572-7	%	2,6	-
8	Độ hút nước sau 72h	ASTM C1761	%	12,8	≥5
9	Độ nhả nước so với độ hút nước bão hòa ban đầu	ASTM C1761	%	96,8	≥85
10	Hàm lượng mất khi nung	TCVN 11586, TCVN 8265	%	0,2	≤5

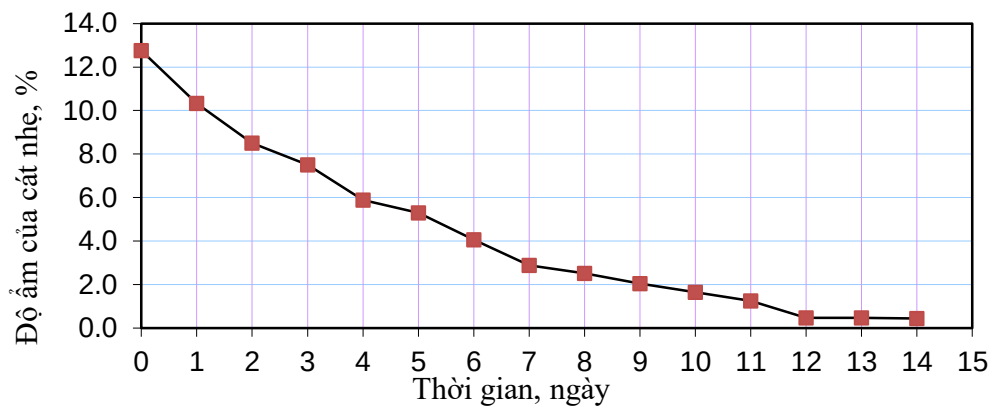
Bảng 3.13. Thành phần hạt của cát nhẹ (thử theo ASTM C136/C136M [49])

Chỉ tiêu	Kích thước cỡ sàng, mm					
	9,5	4,75	2,36	1,18	0,3	0,15
Khối lượng sót sàng m _i (g)	0	57,8	452,0	234,2	141,9	94,1
Tỷ lệ lọt sàng, %	100	94,2	49,0	25,6	11,5	10,1
Thành phần hạt yêu cầu theo ASTM C1761-17	100	65-100	-	15-80	0-35	0-25

Khả năng hút và nhả nước của CN đã được khảo sát, kết quả thể hiện trên hình 3.1 và 3.2.



Hình 3.1. Độ hút nước của cát nhẹ theo thời gian ngâm mẫu



Hình 3.2. Độ nhả nước của CN đã bão hòa theo thời gian

Kết quả nghiên cứu cho thấy vật liệu CN hút nước mạnh trong khoảng 6 giờ đầu, sau 12 giờ thì chậm lại và đến khoảng 48 giờ thì gần như bão hòa trong điều kiện thí nghiệm. Điểm bão hòa nước ở trạng thái ướt bề mặt (độ ẩm tổng) của cát nhẹ xác định sau 72h ngâm mẫu: $M_t = 34.3\%$; độ hút nước bão hòa khô bề mặt (độ ẩm thấm hút): $A_{72} = 12.8\%$, như vậy độ ẩm bề mặt: $M_s = M_t - A_{72} = 21.5\%$.

Trong môi trường có độ ẩm tương đối $94 \pm 2\%$, cát nhẹ mất ẩm, sau 12 ngày gần như ổn định ở độ ẩm 0.4% . Theo đó tính toán được độ nhả ẩm $D = 96.8\%$.

Như vậy, cát nhẹ sản xuất ở Việt Nam sử dụng trong nghiên cứu đạt yêu cầu kỹ thuật theo ASTM C330-17A [51] và ASTM C1761/C1761M-13b [53].

e. Cốt liệu lớn: Luận án lựa chọn đá dăm có kích thước hạt lớn nhất 20mm được sản xuất từ mỏ đá vôi Kiện Khê - Hà Nam để sử dụng trong nghiên cứu. Tính chất cơ lý của loại đá này hoàn toàn đáp ứng được các yêu cầu để làm cốt liệu cho bê

tông dùng cho mặt đường bê tông xi măng. Kết quả thí nghiệm một số tính chất cơ lý của đá dăm được trình bày trong Bảng 3.14.

Bảng 3.14. Thành phần hạt và tính chất cơ lý của cốt liệu lớn

Kích thước mắt sàng, (mm)	100	70	40	20	10	5
Lượng sót tích lũy, (%)	0	0	0	3,8	68,5	96,1
Khối lượng riêng, (g/cm ³)	2,73					
Khối lượng thể tích ở trạng thái bão hoà trong, khô bề mặt, (g/cm ³)	2,72					
Khối lượng thể tích ở trạng thái khô, (g/cm ³)	2,71					
Khối lượng thể tích xốp, (kg/m ³)	1450					
Khối lượng thể tích ở trạng thái lèn chặt, (kg/m ³)	1760					
Độ hút nước, (%)	0,6					
Độ hong, (%)	46,5					
Độ hong ở trạng thái lèn chặt, (%)	35,1					
Độ nén dập, (%)	9					
Cỡ hạt nhỏ nhất – D _{min} , (mm)	5					
Cỡ hạt lớn nhất – D _{max} , (mm)	20					
Hàm lượng bụi, sét, (%)	0,5					
Hàm lượng thoi dẹt, (%)	9					
Độ mài mòn LA, (%)	22					

g. Phụ gia: Trong bê tông, phụ gia siêu dẻo được sử dụng nhằm mục đích giảm tỷ lệ N/X, đồng thời đảm bảo cho hỗn hợp có độ lưu động đáp ứng yêu cầu kỹ thuật đối với mặt đường bê tông xi măng. Độ lưu động này phải được duy trì trong một thời gian cần thiết đủ để quá trình vận chuyển và thi công hỗn hợp bê tông diễn ra thuận lợi. Vì vậy việc lựa chọn loại phụ gia siêu dẻo thoả mãn các yêu cầu trên là rất quan trọng. Phụ gia siêu dẻo gốc polycarboxylate có khả năng duy trì độ sụt của hỗn hợp bê tông tốt hơn so với các loại phụ gia siêu dẻo khác.

Trong luận án này, phụ gia siêu dẻo gốc Polycarboxylate của hãng BASF, có tên thương phẩm MasterGlenium SKY 8588 được lựa chọn để sử dụng. Phụ gia **MasterGlenium SKY 8588** có một số đặc tính như sau:

- Dạng sản phẩm: dạng lỏng
- Màu sắc: Thô nâu
- Khối lượng riêng: $1.06 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$
- Hàm lượng ion clorua: không có
- Mức độ độc hại theo tiêu chuẩn ECC 99/45: không độc
- Liều lượng sử dụng: 0.8-2.0 lit/100 kg xi măng
- Khả năng giảm nước: 25-30%

Phụ gia siêu dẻo lựa chọn đảm bảo yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 8826:2011 [34] đối với phụ gia siêu dẻo chậm đông kết loại G.

h. Nước: Trong nghiên cứu đã sử dụng nước máy Hà Nội để trộn bê tông, thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 4506:2012 [38].

3.2.2. Lựa chọn thành phần bê tông nghiên cứu

Tính công tác của hỗn hợp bê tông phụ thuộc chủ yếu vào lượng nước trộn bê tông. Mặt khác, kích thước hạt lớn nhất của cốt liệu lớn, mô đun độ lớn của cốt liệu nhỏ, tính chất và lượng dùng xi măng, loại và lượng dùng phụ gia giảm nước cũng có ảnh hưởng lớn đến tính công tác của hỗn hợp bê tông.

Hỗn hợp bê tông nội bảo dưỡng làm mặt đường bê tông xi măng có độ sụt yêu cầu thấp, nên để đảm bảo cho hỗn hợp bê tông có tính công tác tốt trong quá trình thi công thì nên sử dụng phụ gia siêu dẻo để duy trì độ sụt. Hàm lượng phụ gia siêu dẻo sử dụng phụ thuộc vào năng lực tăng dẻo của phụ gia, tỷ lệ N/X, loại và lượng dùng xi măng, tính công tác yêu cầu.

Yếu tố quan trọng nhất ảnh hưởng tới cường độ bê tông là tỷ lệ N/X. Để giảm tỷ lệ N/X với mục đích nâng cao cường độ bê tông thì có thể giảm lượng nước sử dụng, tăng lượng dùng xi măng hoặc áp dụng đồng thời cả hai biện pháp đó. Đối với một hỗn hợp gồm các vật liệu thành phần đã cho thì chỉ có thể giảm lượng nước nhào trộn đến một giới hạn nhất định, nhỏ hơn giới hạn đó thì tính công tác của hỗn hợp bê tông không đảm bảo yêu cầu. Do đó, để đảm bảo điều kiện thi công cũng như ứng dụng trong thực tiễn thì trong bê tông nội bảo dưỡng làm mặt đường bê tông xi măng cần phải giảm lượng nước nhào trộn đến mức thấp nhất có thể và lượng dùng xi măng

phù hợp.

Các phương pháp thiết kế thành phần bê tông được sử dụng phổ biến hiện nay trên thế giới bao gồm:

- Phương pháp của Ban môi trường Anh (The British Department of the Environment);
- Phương pháp của Viện Bê tông Hoa Kỳ (The American Concrete Institute);
- Phương pháp “Dreux – Gorisse” của Pháp;
- Phương pháp Mođoóc (L. J. Murdock) của Anh;
- Phương pháp của Hội bê tông xi măng Poóclăng Niuzilân;
- Phương pháp Bolomey – Skramtaev (Nga);
- Phương pháp của Viện Bê tông và bê tông cốt thép (Nga);
- Quyết định số 778/1998/QĐ-BXD “Chỉ dẫn kỹ thuật chọn thành phần bê tông các loại” (Việt Nam).

Các phương pháp trên đều là phương pháp lý thuyết kết hợp với thực nghiệm dựa trên cơ sở lý thuyết “thể tích tuyệt đối”, có nghĩa tổng thể tích tuyệt đối (hoàn toàn đặc) của vật liệu trong một mét khối bê tông bằng 1000 lít, các phương pháp chỉ khác nhau ở việc lựa chọn thành phần hạt cốt liệu, mỗi phương pháp có những ưu điểm nhất định [14]. Trong nghiên cứu của luận án, đã sử dụng phương pháp được quy định trong Quyết định số 778/1998/QĐ-BXD “Chỉ dẫn kỹ thuật chọn thành phần bê tông các loại” [3], để thiết kế lựa chọn thành phần bê tông.

Theo Quyết định số 1951/QĐ-BGTVT [1] cho thấy đối với mặt đường BTXM các cấp hàm lượng xi măng sử dụng nằm trong khoảng $(300 \div 400) \text{ kg/m}^3$, tỷ lệ $N/X = 0.44 \div 0.48$ (hay $X/N = 2.08 \div 2.30$) tùy theo cấp đường cụ thể. Để lựa chọn cấp phối bê tông nội bảo dưỡng dùng cho mặt đường bê tông xi măng cần nghiên cứu, luận án đã tiến hành thí nghiệm khảo sát sơ bộ các cấp phối bê tông được chế tạo với cùng loại và lượng xi măng.

Nhiều nghiên cứu đã kết luận rằng xỉ lò cao hoạt hóa nghiền mịn là phụ gia khoáng hoạt tính, có thể sử dụng trong bê tông với vai trò như chất kết dính bổ sung và phát huy hiệu quả hoạt tính của nó ở tuổi muộn. Xỉ lò cao trong bê tông thường được tính toán theo tỷ lệ thay thế xi măng, dao động trong khoảng tương đối rộng, từ 15% đến 60% theo Chỉ dẫn kỹ thuật của Viện Vật liệu xây dựng [44]. Tuy nhiên với

mục tiêu nghiên cứu ảnh hưởng của IC đến tính chất của bê tông có hàm lượng xỉ lò cao nghiền mịn và tỷ lệ N/CKD khác nhau, Luận án tiếp cận theo nguyên tắc lượng dùng xỉ măng trong các cấp phối là tối thiểu (300 kg/m^3) và không đổi, xỉ lò cao đóng vai trò vừa là chất kết dính bổ sung đồng thời là vi cốt liệu thêm vào bê tông, với lượng dùng được tính toán theo tỷ lệ từ 15% đến 55% so với lượng xỉ măng.

Lượng cát nhẹ được tính toán theo phương trình 2.1 và 2.2 hoặc hình 2.1 (Chương 2) với độ co hóa học của chất kết dính (CS) nhận một số giá trị trong khoảng 0.06 – 0.08. Các cấp phối thí nghiệm được thiết kế với hệ số dư vữa khác nhau từ 1.20 đến 1.69.

Trên cơ sở các mẻ trộn và khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông đã tính toán thành phần bê tông thực tế (phụ lục 3) dùng trong nghiên cứu được trình bày trong Bảng 3.15.

Bảng 3.15. Thành phần bê tông nghiên cứu

TT	Ký hiệu CP	Lượng dùng vật liệu, kg/m^3 , và các hệ số								
		XM	XLC	Nước	CN (bão hòa)	Cát	Đá	PG	Tỷ lệ XLC/XM	K_d
1	CP1	300	0	136	202	472	1325	2,69	0%	1.20
2	CP2	300	0	136	219	511	1257	2,69	0%	1.33
3	CP3	300	0	136	235	547	1199	2,69	0%	1.45
4	CP4	300	0	136	249	581	1146	2,69	0%	1.57
5	CP5	300	0	136	262	611	1097	2,69	0%	1.69
6	CP6	300	45	136	191	445	1324	2,69	15%	1.21
7	CP7	300	45	136	208	486	1261	2,69	15%	1.32
8	CP8	300	45	136	224	523	1202	2,69	15%	1.44
9	CP9	300	45	136	238	556	1148	2,69	15%	1.57
10	CP10	300	45	136	251	587	1100	2,69	15%	1.68
11	CP11	300	75	136	184	429	1325	2,69	25%	1.20
12	CP12	300	75	136	201	469	1260	2,69	25%	1.32
13	CP13	300	75	136	216	505	1200	2,69	25%	1.45
14	CP14	300	75	136	231	539	1148	2,69	25%	1.56

TT	Ký hiệu CP	Lượng dùng vật liệu, kg/m ³ , và các hệ số								
		XM	XLC	Nước	CN (bão hòa)	Cát	Đá	PG	Tỷ lệ XLC/XM	K _d
15	CP15	300	75	136	244	568	1098	2,69	25%	1.69
16	CP16	300	105	136	176	411	1324	2,69	35%	1.21
17	CP17	300	105	136	193	451	1259	2,69	35%	1.33
18	CP18	300	105	136	209	488	1201	2,69	35%	1.45
19	CP19	300	105	136	223	521	1147	2,69	35%	1.57
20	CP20	300	105	136	236	551	1098	2,69	35%	1.69
21	CP21	300	135	136	169	394	1325	2,69	45%	1.20
22	CP22	300	135	136	186	434	1259	2,69	45%	1.33
23	CP23	300	135	136	202	470	1201	2,69	45%	1.45
24	CP24	300	135	136	216	504	1149	2,69	45%	1.56
25	CP25	300	135	136	229	534	1098	2,69	45%	1.69
26	CP26	300	165	136	161	376	1323	2,69	55%	1.21
27	CP27	300	165	135	178	416	1257	2,69	55%	1.33
28	CP28	300	165	136	194	452	1200	2,69	55%	1.45
29	CP29	300	165	136	208	486	1148	2,69	55%	1.57
30	CP30	300	165	136	222	517	1100	2,69	55%	1.69

Kết quả thí nghiệm các tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông được trình bày trong Bảng 3.16 và Bảng 3.17.

Bảng 3.16. Kết quả thí nghiệm tính chất hỗn hợp bê tông các cấp phối

TT	Ký hiệu CP	KLTT, kg/m ³	Độ sụt, cm sau thời gian, phút			Bọt khí, %	Độ tách nước, %	Độ tách vữa, %
			0'	30'	60'			
1	CP1	2430	10.0	9.0	8.0	1.5	0.0	3.9
2	CP2	2420	9.0	8.5	6.5	1.6	0.0	4.1
3	CP3	2410	7.5	6.0	5.0	1.9	0.0	4.2
4	CP4	2410	6.5	5.5	4.0	2.1	0.0	4.3

TT	Ký hiệu CP	KLTT, kg/m ³	Độ sụt, cm sau thời gian, phút			Bột khí, %	Độ tách nước, %	Độ tách vữa, %
			0'	30'	60'			
5	CP5	2400	5.0	4.0	2.0	2.3	0.0	4.5
6	CP6	2440	11.0	10.0	9.5	1.4	0.0	4.1
7	CP7	2440	10.0	9.0	7.5	1.5	0.0	4.2
8	CP8	2430	8.5	7.0	6.0	1.7	0.0	4.4
9	CP9	2420	7.5	6.0	5.0	1.8	0.0	4.5
10	CP10	2410	6.0	5.0	3.5	2.0	0.0	4.7
11	CP11	2450	12.5	12.0	11.0	1.2	0.0	4.3
12	CP12	2440	11.0	10.0	8.5	1.4	0.0	4.5
13	CP13	2430	9.0	7.5	7.0	1.5	0.0	4.6
14	CP14	2430	8.0	6.5	6.0	1.6	0.0	4.8
15	CP15	2420	6.5	5.5	4.5	1.8	0.0	5.1
16	CP16	2450	13.5	12.5	12.0	1.1	0.0	0,0
17	CP17	2440	11.5	10.5	9.5	1.3	0.0	0,0
18	CP18	2440	10.0	9.0	8.0	1.4	0.0	0,0
19	CP19	2430	9.0	8.5	7.0	1.5	0.0	0,0
20	CP20	2430	7.5	6.0	5.5	1.6	0.0	0,0
21	CP21	2460	15.0	14.5	14.0	1.1	0.0	4.4
22	CP22	2450	12.5	12.0	11.5	1.2	0.0	4.7
23	CP23	2440	11.0	10.5	9.5	1.4	0.0	4.8
24	CP24	2440	10.0	9.0	8.5	1.4	0.0	5.0
25	CP25	2430	8.5	8.0	7.5	1.5	0.0	5.3
26	CP26	2460	15.5	15.0	14.5	1.0	0.0	4.6
27	CP27	2450	13.0	12.5	11.5	1,1	0.0	4.8
28	CP28	2450	11.5	11.0	10.0	1.1	0.0	5.0
29	CP29	2440	11.0	10.5	9.5	1.2	0.0	5.2
30	CP30	2440	9.5	9.0	8.0	1.4	0.0	5.6

Theo bảng 3.16 cho thấy tất cả các cấp phối đều không bị tách nước với giá trị thể hiện là 0%, thỏa mãn yêu cầu cho phép theo TCVN 9340:2012 [39]. Hiện tượng tách nước, tách vữa ảnh hưởng đến bề mặt bê tông xi măng của mặt đường ô tô, có nghĩa là ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng chống mài mòn của mặt đường thì các phối CP (16, 17, 18, 19, 20) hoàn toàn không có sự tách vữa.

Bảng 3.17. Kết quả tính chất cơ lý của bê tông

TT	Ký hiệu CP	R _n , MPa ở độ tuổi (ngày)			R _{ku} , MPa ở độ tuổi (ngày)			Độ mài mòn, g/cm ² ở độ tuổi (ngày)		
		3	7	28	3	7	28	3	7	28
1	CP1	14.2	27.1	31.4	2.34	2.98	3.35	0.91	0.81	0.78
2	CP2	14.7	27.6	32.3	2.49	3.06	3.59	0.94	0.85	0.81
3	CP3	15.6	29.4	33.0	2.53	3.15	3.75	0.80	0.74	0.70
4	CP4	14.9	27.8	32.6	2.61	3.48	3.99	0.97	0.87	0.83
5	CP5	13.9	26.9	30.9	2.51	3.25	3.84	0.93	0.90	0.87
6	CP6	14.8	27.7	32.1	2.48	3.07	3.75	0.70	0.65	0.55
7	CP7	15.3	28.2	33.0	2.58	3.29	3.94	0.72	0.68	0.57
8	CP8	16.4	29.9	33.7	2.72	3.41	4.01	0.67	0.63	0.51
9	CP9	15.7	28.6	33.3	2.89	3.63	4.59	0.74	0.70	0.63
10	CP10	14.6	27.4	31.8	2.67	3.53	4.47	0.80	0.76	0.67
11	CP11	15.0	27.9	32.7	2.53	3.14	3.83	0.65	0.59	0.51
12	CP12	15.7	28.5	33.4	2.63	3.38	4.01	0.67	0.63	0.53
13	CP13	16.7	30.2	34.7	2.77	3.50	4.09	0.61	0.57	0.48
14	CP14	16.2	29.0	33.8	2.95	3.72	4.68	0.68	0.65	0.55
15	CP15	15.0	27.8	32.2	2.72	3.62	4.56	0.72	0.68	0.57
16	CP16	16.4	29.8	34.6	3.58	3.89	4.77	0.59	0.54	0.41
17	CP17	16.6	30.5	35.4	3.72	4.18	5.15	0.61	0.58	0.43
18	CP18	17.7	32.3	36.5	3.91	4.33	5.57	0.56	0.52	0.40
19	CP19	17.0	30.8	35.6	4.17	4.60	5.85	0.63	0.59	0.47
20	CP20	15.8	29.4	33.9	3.97	4.48	5.69	0.67	0.61	0.49
21	CP21	15.7	27.1	31.8	2.49	3.13	3.77	0.65	0.61	0.57

TT	Ký hiệu CP	R _n , MPa ở độ tuổi (ngày)			R _{ku} , MPa ở độ tuổi (ngày)			Độ mài mòn, g/cm ² ở độ tuổi (ngày)		
		3	7	28	3	7	28	3	7	28
22	CP22	16.2	27.8	32.6	2.56	3.29	3.96	0.67	0.65	0.59
23	CP23	17.1	29.4	33.8	2.70	3.41	4.03	0.63	0.59	0.53
24	CP24	16.6	28.1	33.1	2.87	3.63	4.61	0.70	0.67	0.63
25	CP25	15.3	26.8	31.4	2.60	3.53	4.51	0.72	0.68	0.65
26	CP26	13.8	25.1	29.4	2.32	2.86	3.50	0.70	0.67	0.63
27	CP27	14.2	25.8	30.2	2.38	3.08	3.67	0.74	0.70	0.65
28	CP28	15.1	27.4	31.8	2.51	3.17	3.74	0.68	0.63	0.59
29	CP29	14.5	27.0	31.5	2.79	3.52	4.47	0.78	0.72	0.69
30	CP30	13.5	24.4	28.9	2.56	3.25	4.12	0.82	0.76	0.73

Từ bảng 3.17 cho thấy cường độ chịu nén của các cấp phối có sự chênh lệch nhau không nhiều. Tuy nhiên, cường độ chịu kéo khi uốn trung bình của các cấp phối bê tông IC + 35%XLC tương ứng là CP (16, 17, 18, 19, 20) cao hơn các mẫu còn lại, điều này thể hiện sự có mặt của XLC kết hợp cát nhẹ đã cải thiện tốt cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông.

Luận án cũng nghiên cứu thực nghiệm các cấp phối bê tông tương ứng với hàm lượng xi măng tối thiểu và không thay đổi, sử dụng toàn bộ cát vàng để đối chứng (phụ lục 3). Các thành phần của bê tông đối chứng được trình bày trong Bảng 3.18.

Bảng 3.18. Thành phần bê tông đối chứng

TT	Ký hiệu CP	Lượng dùng vật liệu, kg/m ³ , và các hệ số dư vữa							
		XM	XLC	Nước	CN	Cát vàng	Đá	PG	K _d
1	CPV1	300	0	136	0	733	1322	2.69	1.21
2	CPV2	300	0	136	0	793	1254	2.68	1.34
3	CPV3	300	0	136	0	849	1194	2.68	1.46
4	CPV4	300	0	136	0	900	1140	2.67	1.59
5	CPV5	300	0	136	0	946	1090	2.67	1.71

Kết quả thí nghiệm các tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông với cốt liệu nhỏ chỉ là cát nặng (bê thông thường) được trình bày trong Bảng 3.19 và Bảng 3.20.

Bảng 3.19. Kết quả thí nghiệm tính chất hỗn hợp bê tông thường

TT	Ký hiệu CP	KLTT, kg/m ³	Độ sụt, cm sau thời gian, phút			Bọt khí, %	Độ tách nước, %	Độ tách vữa, %
			0'	30'	60'			
1	CPV1	2490	12.0	11.5	10.0	1.2	0.0	0.1
2	CPV2	2480	10.5	9.0	8.0	1.5	0.0	0.3
3	CPV3	2480	9.0	7.5	6.5	1.6	0.0	0.5
4	CPV4	2470	8.0	6.5	5.0	1.7	0.0	0.7
5	CPV5	2470	5.5	4.5	3.5	1.9	0.0	1.2

Trên bảng 3.19 cho thấy kết quả thí nghiệm các tính chất của bê tông đối chứng là bê tông thường sử dụng cốt liệu nhỏ là cát nặng hay cát vàng cho các giá trị độ tách nước, tách vữa và % bọt khí đều nằm trong giới hạn cho phép.

Bảng 3.20. Kết quả tính chất cơ lý của bê tông đối chứng

TT	Ký hiệu CP	R _n , ở độ tuổi, MPa			R _{ku} , ở độ tuổi, MPa			Độ mài mòn, ở độ tuổi, g/cm ²		
		3	7	28	3	7	28	3	7	28
1	CPV1	14.8	27.8	32.1	2.86	3.11	3.58	0.87	0.73	0.70
2	CPV2	15.0	28.4	32.8	2.98	3.34	3.86	0.90	0.78	0.73
3	CPV3	15.9	29.9	33.9	3.13	3.47	4.17	0.76	0.70	0.67
4	CPV4	15.3	28.7	33.2	3.33	3.68	4.38	0.92	0.82	0.75
5	CPV5	14.3	27.5	31.3	3.17	3.58	4.27	0.90	0.85	0.79

Trên bảng 3.20 cho thấy kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo khi uốn và độ mài mòn của bê tông thường với hàm lượng xi măng 300kg/m³ chưa đáp ứng được yêu cầu kỹ thuật đối với đường cấp III.

Kết quả nghiên cứu khảo sát cho thấy cấp phối CP (16, 17, 18, 19, 20) có cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo khi uốn lớn nhất và độ mài mòn là nhỏ nhất. Trên cơ sở kết quả thí nghiệm khảo sát và kết quả thí nghiệm luận án đã lựa chọn các cấp phối dùng trong nghiên cứu như Bảng 3.21.

Bảng 3.21. Thành phần bê tông nghiên cứu

TT	Ký hiệu CP	Lượng dùng vật liệu, kg/m ³							Thông số	
		XM	XLC	Nước	CN	Cát	Đá	PG	Tỷ lệ XLC/XM	K _d
1	CP1	300	0	136	202	472	1325	2,69	0%	1.20
2	CP2	300	0	136	219	511	1257	2,69	0%	1.33
3	CP3	300	0	136	235	547	1199	2,69	0%	1.45
4	CP4	300	0	136	249	581	1146	2,69	0%	1.57
5	CP5	300	0	136	262	611	1097	2,69	0%	1.69
6	CP16	300	105	136	176	411	1324	2,69	35%	1.21
7	CP17	300	105	136	193	451	1259	2,69	35%	1.33
8	CP18	300	105	136	209	488	1201	2,69	35%	1.45
9	CP19	300	105	136	223	521	1147	2,69	35%	1.57
10	CP20	300	105	136	236	551	1098	2,69	35%	1.69
11	CPV1	300	0	136	0	733	1322	2,69	0	1.21
12	CPV2	300	0	136	0	793	1254	2,68	0	1.34
13	CPV3	300	0	136	0	849	1194	2,68	0	1.46
14	CPV4	300	0	136	0	900	1140	2,67	0	1.59
15	CPV5	300	0	136	0	946	1090	2,67	0	1.71

3.2.3. Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến tính chất của hỗn hợp bê tông nội bảo dưỡng đối với mặt đường bê tông xi măng

Hệ số dư vữa thể hiện tương quan giữa thể tích vữa xi măng với thể tích lỗ hổng giữa các hạt cốt liệu lớn trong hỗn hợp bê tông [64]. Trong hỗn hợp bê tông, vữa xi măng trước tiên bao phủ quanh các hạt cốt liệu lớn làm gia tăng khoảng cách giữa các hạt, một phần khác của vữa xi măng nằm trong lỗ hổng giữa hạt cốt liệu lớn, làm giảm thể tích pha khí của hỗn hợp. Ở đây cần chú ý rằng, trong khái niệm cổ điển về hệ số dư vữa không tính đến hàm lượng bọt khí trong vữa. Ngoài ra, độ hổng của hỗn hợp cốt liệu được tính toán ở trạng thái xốp không lèn chặt.

Các nghiên cứu trước đây đều chỉ ra rằng đối với hỗn hợp bê tông và bê tông trong cùng điều kiện nhất định, tồn tại các giá trị hệ số dư vữa mà ở đó, hỗn hợp bê

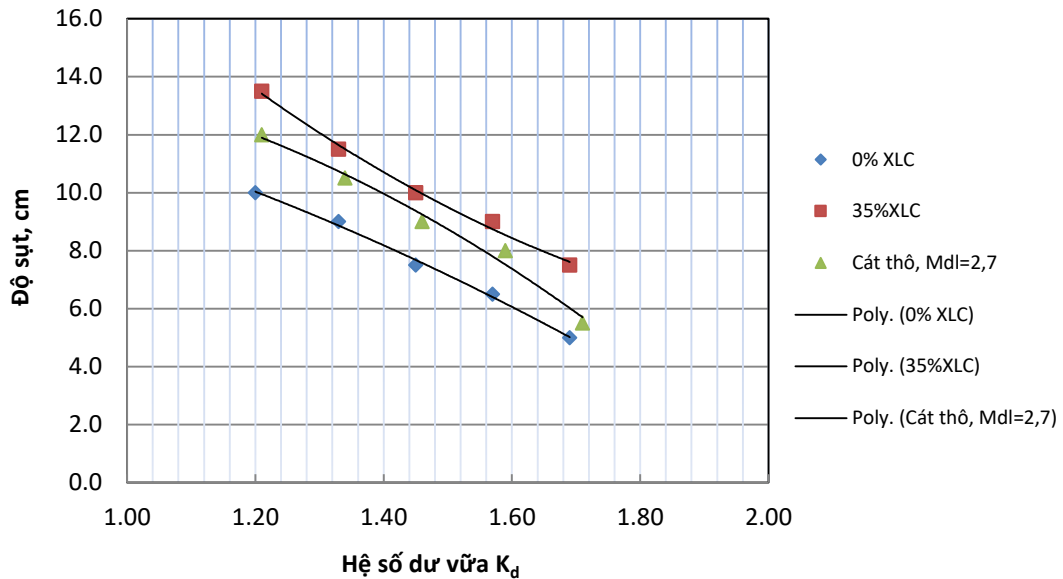
tông có tính công tác tốt nhất và cường độ bê tông đạt giá trị lớn nhất. Giá trị hệ số dư vữa tối ưu được khuyến cáo trong các tài liệu kỹ thuật. Giá trị này phụ thuộc vào độ hồng của cốt liệu lớn và độ hồng của cốt liệu nhỏ cũng như đặc điểm của kết cấu. Theo tài liệu [3], hệ số dư vữa tối ưu lại phụ thuộc chủ yếu vào mô đun độ lớn của cát, thể tích hồ xi măng, độ sụt của hỗn hợp bê tông.

Để làm rõ ảnh hưởng của hệ số dư vữa tới tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông nội bảo dưỡng làm mặt đường bê tông xi măng, luận án đã tiến hành thí nghiệm các cấp phối bê tông theo Bảng 3.21, kết quả các tính chất của hỗn hợp bê tông được trình bày tại Bảng 3.22.

Bảng 3.22. Kết quả thí nghiệm tính chất hỗn hợp bê tông các cấp phối

TT	Ký hiệu CP	KLTT, kg/m ³	Độ sụt, cm sau thời gian, phút			Bọt khí, %	Độ tách nước, %	Độ tách vữa, %
			0'	30'	60'			
1	CP1	2430	10.0	9.0	8.0	1.5	0.0	3.9
2	CP2	2420	9.0	8.5	6.5	1.6	0.0	4.1
3	CP3	2410	7.5	6.0	5.0	1.9	0.0	4.2
4	CP4	2410	6.5	5.5	4.0	2.1	0.0	4.3
5	CP5	2400	5.0	4.0	2.0	2.3	0.0	4.5
6	CP16	2450	13.5	12.5	12.0	1.1	0.0	0,0
7	CP17	2440	11.5	10.5	9.5	1.3	0.0	0,0
8	CP18	2440	10.0	9.0	8.0	1.4	0.0	0,0
9	CP19	2430	9.0	8.5	7.0	1.5	0.0	0,0
10	CP20	2430	7.5	6.0	5.5	1.6	0.0	0,0
11	CPV1	2490	12.0	11.5	10.0	1.2	0.0	0.1
12	CPV2	2480	10.5	9.0	8.0	1.5	0.0	0.3
13	CPV3	2480	9.0	7.5	6.5	1.6	0.0	0.5
14	CPV4	2470	8.0	6.5	5.0	1.7	0.0	0.7
15	CPV5	2470	5.5	4.5	3.5	1.9	0.0	1.2

Dựa vào kết quả nghiên cứu, có thể xây dựng đường tương quan giữa hệ số dư vữa và độ sụt của hỗn hợp bê tông được xây dựng bằng phương pháp bình phương nhỏ nhất theo mô hình bậc hai được thể hiện trên Hình 3.3.



Hình 3.3. Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến độ sụt của hỗn hợp bê tông

Các kết quả nghiên cứu cho thấy với cùng lượng nước trộn và tỷ lệ phụ gia giảm nước, độ sụt của hỗn hợp bê tông nhìn chung có xu hướng giảm khi tăng hệ số dư vữa (Hình 3.3). Điều này được lý giải là khi tăng hệ số dư vữa, lượng cát trong hỗn hợp bê tông tăng khiến lượng cần nước của hỗn hợp bê tông tăng theo, điều này khiến độ sụt của hỗn hợp bê tông bị suy giảm.

Việc bổ sung thay thế xỉ lò cao vào Bê tông IC ảnh hưởng không nhiều đến tính công tác cũng như mức độ suy giảm độ sụt theo các hệ số dư vữa. Điều đó được thể hiện ở kết quả nghiên cứu đó là khi tăng hệ số dư vữa ở trạng thái xốp không lèn chặt từ 1.20 đến 1.71 thì đối với cát thô (CV) độ sụt giảm từ 12.0cm đến 5.5cm, đối với Bê tông IC (XLC/XM=35%) độ sụt giảm từ 13.5cm đến 7.5cm, đối với Bê tông IC (XLC/XM=0%) độ sụt giảm từ 10.0cm đến 5.0cm. Điều này minh chứng rằng việc sử dụng cát nhẹ làm vật liệu nội bảo dưỡng với tỷ lệ 30% cát nặng cùng với lượng xỉ lò cao (XLC/XM=35%) có thể coi như là giải pháp hợp lý.

Kết quả thí nghiệm chỉ ra rằng, để đảm bảo độ sụt yêu cầu của hỗn hợp bê tông, khi tăng lượng cát sử dụng thì phải tăng khả năng giảm nước của phụ gia bằng cách tăng lượng dùng hoặc thay đổi chủng loại phụ gia.

Khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông và hàm lượng bọt khí của hỗn hợp bê tông sử dụng các loại cốt liệu nhỏ khác nhau ứng với khoảng thay đổi hệ số dư vữa trong nghiên cứu, thì chênh lệch không nhiều. Hàm lượng bọt khí trong hỗn hợp bê tông trong trường hợp này phụ thuộc nhiều vào mức độ cuốn khí của phụ gia sử dụng.

3.2.4. Khả năng duy trì tính công tác của hỗn hợp bê tông nội bảo dưỡng đối với mặt đường bê tông xi măng

Vật liệu theo các cấp phối thiết kế ngay sau khi trộn đều với nước, hỗn hợp bê tông đã có một tính công tác nhất định. Về mặt công nghệ và thực tế thi công thì tính công tác tại thời điểm, ở vị trí tạo hình mới có ý nghĩa quyết định. Theo thời gian, tính công tác của hỗn hợp bê tông dần suy giảm. Để đảm bảo tính công tác cần thiết, theo phương pháp thông thường cần tăng tính công tác ban đầu lên hoặc sử dụng biện pháp công nghệ để duy trì được tính công tác theo thời gian.

Mức độ cần thiết của việc duy trì tính công tác của hỗn hợp bê tông phụ thuộc vào đặc điểm công nghệ thi công. Đối với mặt đường bê tông xi măng trong điều kiện trạm trộn ở xa vị trí thi công, thời gian thi công lâu thì đây là vấn đề có tính bức thiết cao, ảnh hưởng đáng kể đến chỉ tiêu kinh tế - kỹ thuật của bê tông. Việc duy trì tính công tác sẽ giúp hạn chế được việc phải nâng cao độ sụt ban đầu sau khi trộn thông qua việc tăng lượng nước trộn và hệ quả là không cần phải tăng lượng dùng xi măng để giữ tỷ lệ N/X cố định nhằm đáp ứng yêu cầu về cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo khi uốn, độ mài mòn đối với bê tông làm đường.

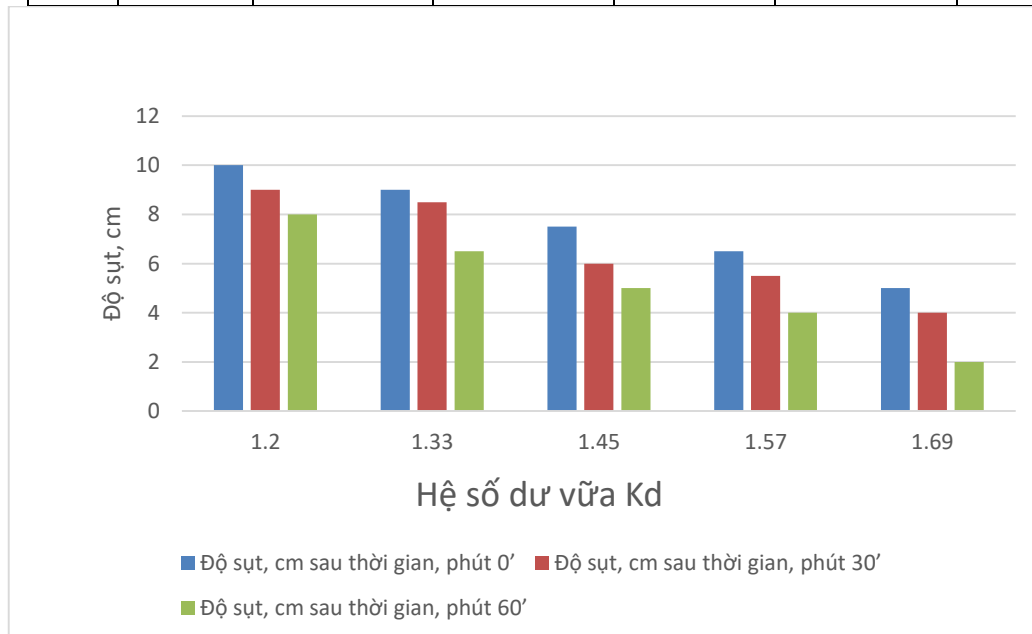
Ảnh hưởng đến khả năng duy trì tính công tác của hỗn hợp bê tông có nhiều yếu tố. Ngoài các ảnh hưởng của điều kiện tự nhiên bên ngoài như nhiệt độ, độ ẩm, bức xạ mặt trời, gió... không thể không kể đến ảnh hưởng của tính công tác ban đầu, đặc điểm tính chất của xi măng, cốt liệu sử dụng, đặc biệt là chủng loại, tỷ lệ phụ gia giảm nước.

Việc nghiên cứu ảnh hưởng của thành phần bê tông tới tính công tác và sự suy giảm tính công tác theo thời gian được tiến hành với các cấp phối bê tông trong Bảng 3.21. Độ sụt được đo ở các thời điểm ngay sau khi trộn xong và 30, 60 phút sau khi trộn. Kết quả thí nghiệm sự suy giảm độ sụt theo thời gian của các cấp phối bê tông trong Bảng 3.23, được thể hiện ở Hình (3.4, 3.5, 3.6).

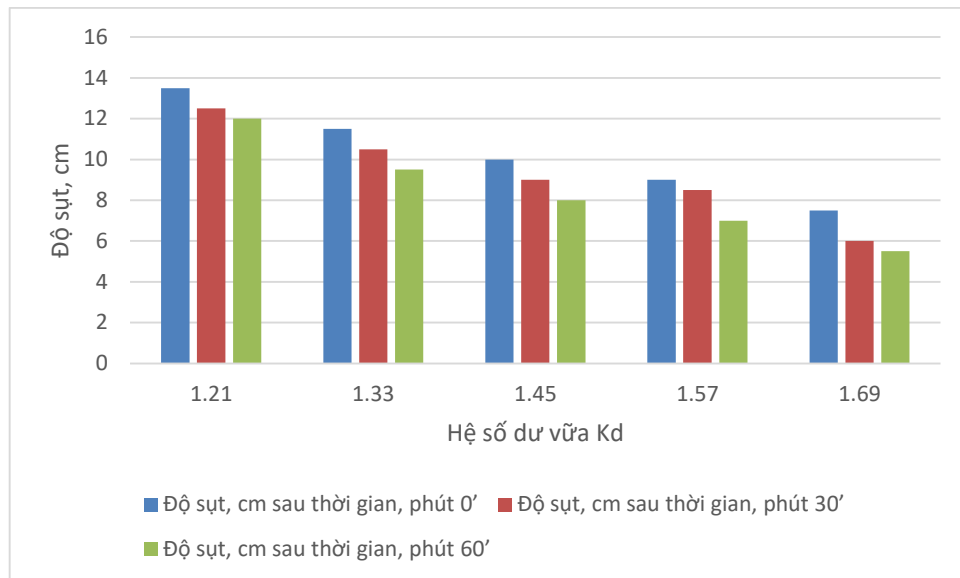
Bảng 3.23. Kết quả thí nghiệm độ sụt hỗn hợp bê tông các cấp phối

TT	Ký hiệu CP	K_d	KLTT, kg/m^3	Độ sụt, cm sau thời gian, phút		
				0'	30'	60'
1	CP1	1.20	2430	10.0	9.0	8.0

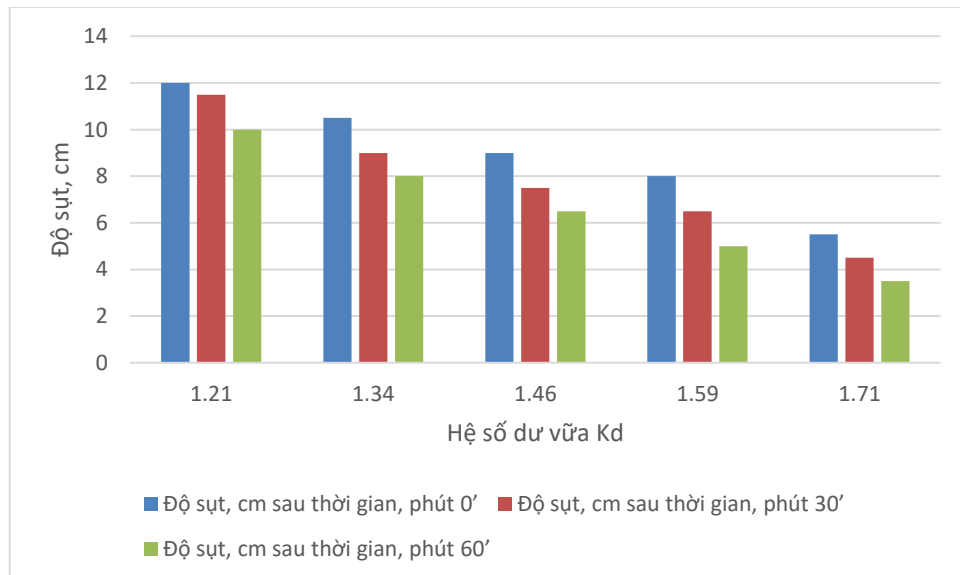
TT	Ký hiệu CP	K_d	KLTT, kg/m^3	Độ sụt, cm sau thời gian, phút		
				0'	30'	60'
2	CP2	1.33	2420	9.0	8.5	6.5
3	CP3	1.45	2410	7.5	6.0	5.0
4	CP4	1.57	2410	6.5	5.5	4.0
5	CP5	1.69	2400	5.0	4.0	2.0
6	CP16	1.21	2450	13.5	12.5	12.0
7	CP17	1.33	2440	11.5	10.5	9.5
8	CP18	1.45	2440	10.0	9.0	8.0
9	CP19	1.57	2430	9.0	8.5	7.0
10	CP20	1.69	2430	7.5	6.0	5.5
11	CPV1	1.21	2490	12.0	11.5	10.0
12	CPV2	1.34	2480	10.5	9.0	8.0
13	CPV3	1.46	2480	9.0	7.5	6.5
14	CPV4	1.59	2470	8.0	6.5	5.0
15	CVP5	1.71	2470	5.5	4.5	3.5



Hình 3.4. Sự suy giảm độ sụt của các hỗn hợp bê tông nội bảo dưỡng không sử dụng XLC theo thời gian



Hình 3.5. Sự suy giảm độ sụt của các hỗn hợp bê tông nội bảo dưỡng sử dụng 35% XLC theo thời gian



Hình 3.6. Sự suy giảm độ sụt của các hỗn hợp bê tông thường đối chứng theo thời gian

Kết quả thí nghiệm cho thấy các hỗn hợp bê tông bị suy giảm độ sụt không nhiều theo thời gian. Sau 60 phút khi tăng hệ số dư vữa từ 1,20 đến 1,71, thì độ sụt giảm từ 5,5cm đến 12,0cm xuống còn 3,5cm đến 10,0cm đối với cát nặng (CV), từ 7,5cm đến 13,5cm xuống còn từ 5,5cm đến 12,0cm đối với hỗn hợp Bê tông IC sử dụng xỉ lò cao (XLC/XM=35%), từ 5,0cm đến 10,0cm xuống còn từ 2,0cm đến 8,0cm đối với hỗn hợp Bê tông IC không sử dụng xỉ lò cao (XLC/XM=0%). Có thể thấy sau 60 phút độ sụt hỗn hợp bê tông suy giảm theo thời gian khoảng (2÷3) cm. Hỗn hợp bê tông IC có xỉ lò cao 35% cho mức giảm độ sụt ít hơn cả (1,5 ÷ 1,8) cm so với mức

giảm 2,0 cm của BTXM thường và $(2\div 3)$ cm của bê tông IC không sử dụng xi măng. Tuy nhiên, với tất cả các mức giảm tính công tác này, các hỗn hợp bê tông vẫn có thể đáp ứng thi công được cho mặt đường bê tông xi măng. Nếu muốn duy trì độ sụt của hỗn hợp bê tông đảm bảo yêu cầu về tính công tác trong thi công đối với mặt đường bê tông xi măng thì phải sử dụng các biện pháp công nghệ như sử dụng hoặc tăng lượng dùng phụ gia giảm nước. Do đó, để đảm bảo khả năng duy trì độ sụt của hỗn hợp bê tông cần phải lựa chọn loại phụ gia phù hợp thông qua thí nghiệm thực tế.

3.2.5. Phân tầng của hỗn hợp bê tông nội bảo dưỡng đối với mặt đường bê tông xi măng

Trong hỗn hợp bê tông hiện tượng phân tầng xảy ra khi các thành phần của hỗn hợp bê tông không có sự đồng nhất mà bị phân tách theo một chiều nhất định, chủ yếu theo phương tạo hình. Trong quá trình tạo hình, dưới tác động cơ học và trọng lực bản thân, các phần tử trong hỗn hợp bê tông có sự dịch chuyển nhất định. Theo đó, các phần tử có khối lượng thể tích nhỏ có xu hướng dịch chuyển lên trên còn các phần tử có khối lượng thể tích lớn có xu hướng dịch chuyển xuống dưới.

Trong thành phần hỗn hợp bê tông các bọt khí là nhẹ nhất và luôn có xu hướng dịch chuyển lên trên. Tuy nhiên, không khí trong các bọt khí khi lên tới bề mặt thì thoát ra ngoài làm tăng sự đồng nhất và đặc chắc của hỗn hợp bê tông. Hiện tượng này có tác động tích cực đến tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông.

Sự dịch chuyển của các thành phần còn lại của hỗn hợp bê tông sẽ làm suy giảm sự đồng nhất của hỗn hợp. Khi đó có thể xem xét hỗn hợp bê tông bao gồm pha rắn và pha lỏng (nước) hay bao gồm cốt liệu lớn và vữa. Từ góc độ đó, độ phân tầng của hỗn hợp bê tông được đánh giá theo độ tách nước và độ tách vữa.

Hiện tượng tách nước và tách vữa có ảnh hưởng khác nhau đến tính chất hỗn hợp bê tông và bê tông. Nước tách ra khỏi hỗn hợp bê tông sẽ dịch chuyển lên bề mặt theo các đường dẫn tạo thành một lớp nước che phủ bề mặt. Sự xuất hiện của lớp nước này ở một khía cạnh nào đó, có tác dụng hạn chế sự bay hơi nước của hỗn hợp bê tông làm giảm co mềm. Tuy nhiên, các đường dẫn nước lên bề mặt hình thành do tách nước sẽ làm tăng độ hút nước, hút nước mao mạch, ảnh hưởng đến độ bền lâu của bê tông, nhất là trong các môi trường xâm thực. Còn tách vữa khiến cho một phần của khối đổ có quá nhiều vữa, trong khi phần khác lại có quá nhiều cốt liệu lớn khiến tính đồng nhất của bê tông bị suy giảm. Khi đó, phần có nhiều vữa thường co ngót

nhều hơn, dễ bị nứt và có khả năng chống mài mòn kém hơn. Còn phần có nhiều đá thường là quá thô, khó đầm và hoàn thiện, dễ bị rỗ tổ ong [68].

Để nghiên cứu về phân tầng của hỗn hợp bê tông nội bảo dưỡng đối với mặt đường bê tông xi măng, luận án đã tiến hành thí nghiệm các cấp phối bê tông theo Bảng 3.21, kết quả thí nghiệm được trình bày theo Bảng 3.24.

Bảng 3.24. Kết quả thí nghiệm tính chất hỗn hợp bê tông

TT	Ký hiệu CP	K _d	KLTT, kg/m ³	Độ sụt, cm	Bọt khí, %	Độ tách nước, %	Độ tách vữa, %
1	CP1	1.20	2430	10.0	1.5	0.0	3.9
2	CP2	1.33	2420	9.0	1.6	0.0	4.1
3	CP3	1.45	2410	7.5	1.9	0.0	4.2
4	CP4	1.57	2410	6.5	2.1	0.0	4.3
5	CP5	1.69	2400	5.0	2.3	0.0	4.5
6	CP16	1.21	2450	13.5	1.1	0.0	0,0
7	CP17	1.33	2440	11.5	1.3	0.0	0,0
8	CP18	1.45	2440	10.0	1.4	0.0	0,0
9	CP19	1.57	2430	9.0	1.5	0.0	0,0
10	CP20	1.69	2430	7.5	1.6	0.0	0,0
11	CPV1	1.21	2490	12.0	1.2	0.0	0.1
12	CPV2	1.34	2480	10.5	1.5	0.0	0.3
13	CPV3	1.46	2480	9.0	1.6	0.0	0.5
14	CPV4	1.59	2470	8.0	1.7	0.0	0.7
15	CPV5	1.71	2470	5.5	1.9	0.0	1.2

Độ tách vữa và độ tách nước được xác định theo tiêu chuẩn TCVN 3109:1993 [19]. Nước trong hỗn hợp bê tông có thể tham gia vào phản ứng thủy hóa xi măng, hấp thụ lên các bề mặt chất rắn, bị hút bởi cốt liệu hoặc ở trạng thái tự do. Trong đó, nước tự do là nguyên nhân gây ra hiện tượng tách nước. Nước là phân tử có khối lượng thể tích nhẹ hơn nên có xu hướng dịch chuyển lên trên. Khi tăng dần lượng nước trộn, tính công tác của hỗn hợp bê tông có thể gia tăng đến một giá trị nhất định

mà khi vượt qua đó, hỗn hợp bê tông bắt đầu bị tách nước. Hiện tượng này phụ thuộc vào khả năng giữ nước của vật liệu sử dụng. Tiêu chuẩn TCVN 9340:2012 [39] “Hỗn hợp bê tông trộn sẵn - Yêu cầu cơ bản đánh giá chất lượng và nghiệm thu” quy định độ tách nước của hỗn hợp bê tông có mác hỗn hợp bê tông theo tính công tác D1 và D2 không vượt quá 0,4 %; D3 và D4 không vượt quá 0,8 %.

Các kết quả thí nghiệm Bảng 3.24, cho thấy hỗn hợp bê tông có độ sụt từ 5,0cm đến 13,5cm hầu như không tách nước, nghĩa là nằm trong giới hạn cho phép theo TCVN 9340:2012 [39]. Độ tách nước của hỗn hợp có thể điều chỉnh được thông qua việc lựa chọn lượng nước trộn, loại và lượng phụ gia giảm nước phù hợp.

Các kết quả trên cho thấy hoàn toàn có thể sử dụng vật liệu nội bảo dưỡng là cát nhẹ theo tỷ lệ 30% cát nặng cùng với xỉ lò cao (theo tỷ lệ thay thế 35% xỉ măng) đáp ứng được yêu cầu về độ tách nước của hỗn hợp bê tông đối với mặt đường bê tông xi măng.

Xét trên góc độ hỗn hợp bê tông gồm hai thành phần cốt liệu lớn và hỗn hợp vừa thì có thể thấy rằng trong quá trình tạo hình cốt liệu lớn có khối lượng thể tích lớn hơn nên có xu hướng dịch chuyển xuống dưới còn vừa xi măng có khối lượng thể tích nhỏ hơn sẽ tách ra và dịch chuyển lên trên. Quá trình dịch chuyển này chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố, trong đó có sự tương tác giữa các phần của hai pha. Ở đây có thể xem tách vừa có liên quan trực tiếp tới sự dịch chuyển, lắng đọng các hạt chất rắn dưới tác động của trọng lực trong điều kiện lưu biến của pha lỏng bị thay đổi dưới tác động của ngoại lực (tác động rung). Như vậy, tính xúc biến của hỗn hợp bê tông có ảnh hưởng tới độ tách vừa của hỗn hợp. Trong phạm vi nghiên cứu của luận án, đã tiến hành đánh giá ảnh hưởng của tính công tác và lượng nước tới độ tách vừa.

Ảnh hưởng của tính công tác đến độ tách vừa của hỗn hợp bê tông với hệ số dư vừa khác nhau thể hiện khá rõ khi so sánh các kết quả thí nghiệm trên Bảng 3.20 và Bảng 3.23.

Điều này được thể hiện ở kết quả nghiên cứu đó là khi tăng hệ số dư vừa từ 1,20 đến 1,71 thì với cát nặng (CV) độ sụt giảm từ 12,0cm đến 5,5cm và độ tách vừa tăng từ (0,1÷1,2)%, với hỗn hợp cốt liệu nhỏ (cát nặng + cát nhẹ + xỉ lò cao $XLC/XM=35\%$) độ sụt giảm từ 13,5cm đến 7,5cm và độ tách vừa không xảy ra có giá trị 0%, và với hỗn hợp cốt liệu nhỏ (cát nặng + cát nhẹ + xỉ lò cao $XLC/XM=0\%$) độ sụt giảm từ 10,0cm đến 5,0cm và độ tách vừa tăng từ 3,9% đến 4,5%.

Như vậy, cùng tỷ lệ $X/N = 2,20$ thì độ tách vữa có xu hướng tăng dần theo chiều tăng của hệ số dư vữa, độ tách vữa đối với cát nặng (CV) từ $(0,1 \div 1,2)\%$, với hỗn hợp cốt liệu nhỏ (cát nặng + cát nhẹ + xỉ lò cao $XLC/XM=35\%$) độ tách vữa không xảy ra có giá trị 0%, và với hỗn hợp cốt liệu nhỏ (cát nặng + cát nhẹ + xỉ lò cao $XLC/XM=0\%$) độ tách vữa tăng từ 3,9% đến 4,5%. Mặt khác, đối với mặt đường bê tông xi măng thì độ mài mòn của bê tông là chỉ tiêu rất quan trọng, bên cạnh đó hiện tượng tách vữa và tách nước ảnh hưởng trực tiếp đến bề mặt trên cùng của mặt đường bê tông xi măng, tức là ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng chống mài mòn của bê tông, từ đó có thể nói việc sử dụng hỗn hợp cốt liệu nhỏ (cát nặng + cát nhẹ + xỉ lò cao $XLC/XM=35\%$) là giải pháp hợp lý đảm bảo yêu cầu kỹ thuật đối với mặt đường bê tông xi măng.

3.3. Nghiên cứu thực nghiệm, các kết quả, phân tích và bình luận

3.3.1. Cường độ chịu nén của mặt đường bê tông xi măng sử dụng bê tông nội bảo dưỡng

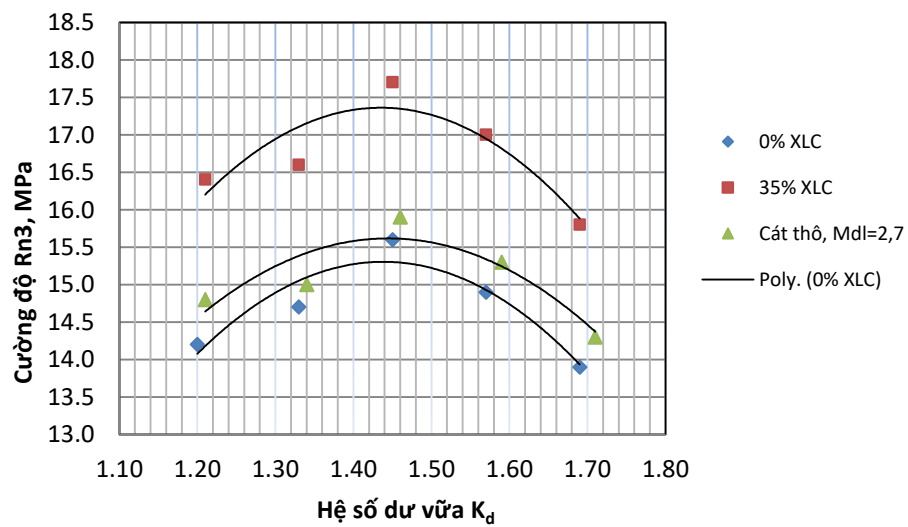
a) Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến cường độ chịu nén của bê tông nội bảo dưỡng đối với mặt đường bê tông xi măng

Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến cường độ chịu nén của bê tông được nghiên cứu trên các cấp phối đã được trình bày tại Bảng 3.21. Kết quả xác định cường độ chịu nén của bê tông được trình bày trong Bảng 3.25. Các đường tương quan biểu diễn quan hệ giữa hệ số dư vữa và cường độ chịu nén của bê tông ở tuổi 3, 7 và 28 ngày được thiết lập theo mô hình bậc 2 theo phương pháp bình phương nhỏ nhất và được trình bày tại Hình (3.7, 3.8, 3.9).

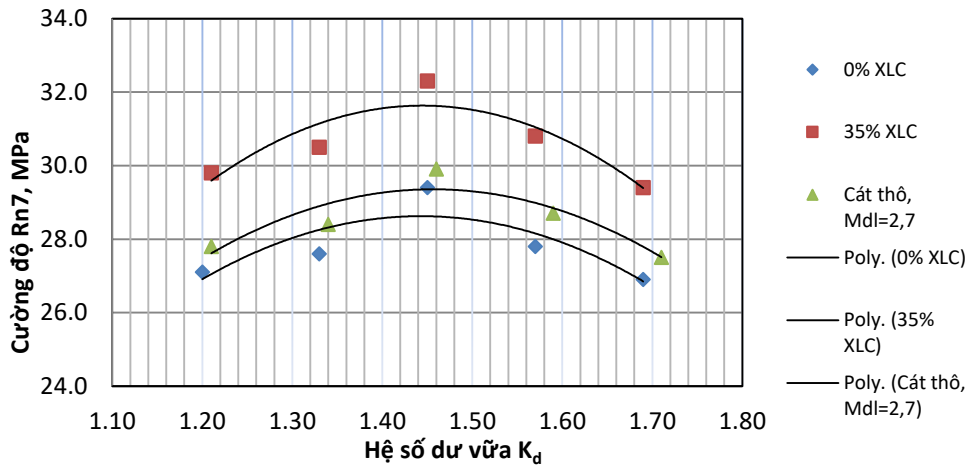
Bảng 3.25. Kết quả cường độ chịu nén của bê tông

TT	Ký hiệu CP	K_d	R_n ở độ tuổi, MPa		
			3	7	28
1	CP1	1.20	14.2	27.1	31.4
2	CP2	1.33	14.7	27.6	32.3
3	CP3	1.45	15.6	29.4	33.0
4	CP4	1.57	14.9	27.8	32.6
5	CP5	1.69	13.9	26.9	30.9
6	CP16	1.21	16.4	29.8	34.6

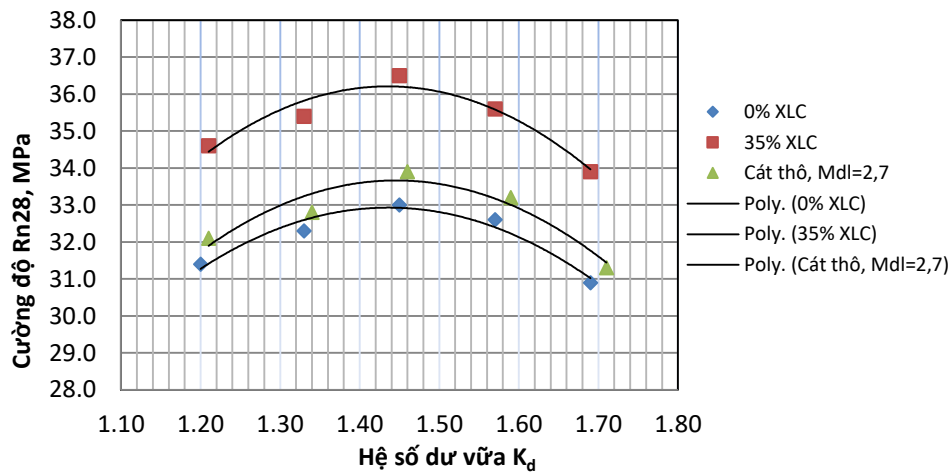
TT	Ký hiệu CP	K_d	R_n , ở độ tuổi, MPa		
			3	7	28
7	CP17	1.33	16.6	30.5	35.4
8	CP18	1.45	17.7	32.3	36.5
9	CP19	1.57	17.0	30.8	35.6
10	CP20	1.69	15.8	29.4	33.9
11	CPV1	1.21	14.8	27.8	32.1
12	CPV2	1.34	15.0	28.4	32.8
13	CPV3	1.46	15.9	29.9	33.9
14	CPV4	1.59	15.3	28.7	33.2
15	CPV5	1.71	14.3	27.5	31.3



Hình 3.7. Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến cường độ chịu nén của bê tông ở tuổi 3 ngày



Hình 3.8. Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến cường độ chịu nén của bê tông ở tuổi 7 ngày



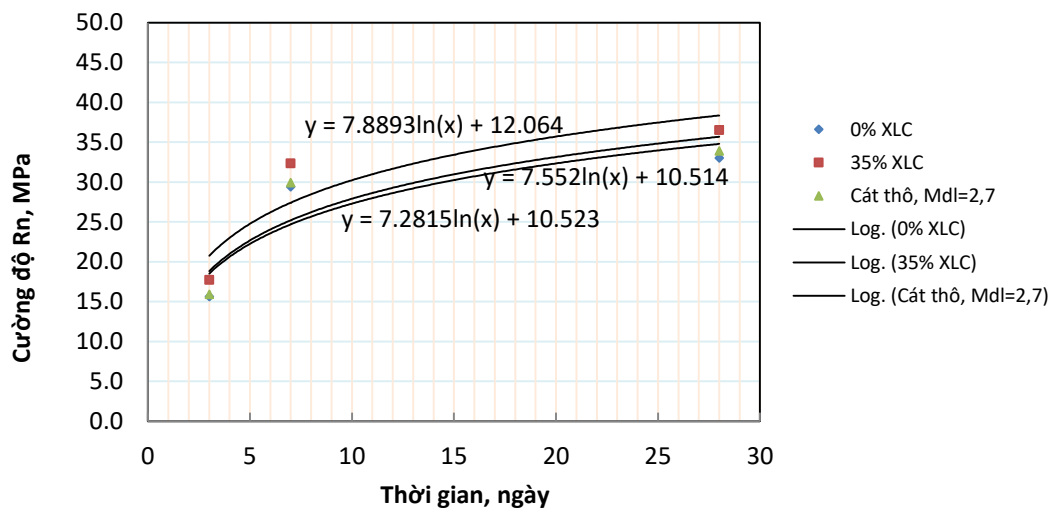
Hình 3.9. Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến cường độ chịu nén của bê tông ở tuổi 28 ngày

Một xu thế rất rõ ràng nhận thấy qua các biểu đồ hình 3.7, 3.8 và 3.9: (i) Bê tông IC có 35% XLC có cường độ nén vượt trội (khoảng 10%) so với hỗn hợp BTXM thường và bê tông IC không sử dụng XLC, tương ứng với tất cả các hệ số dư vữa và ở cả ba độ tuổi; (ii) Tồn tại một khoảng giá trị hệ số dư vữa cho cường độ kháng nén lớn nhất. Cụ thể: khi hệ số dư tăng từ 1,20 lên khoảng 1,45 Hình (3.7, 3.8, 3.9), thì cường độ chịu nén của bê tông ở tuổi 3, 7 và 28 ngày có xu hướng tăng dần. Khi tiếp tục tăng hệ số dư vữa quá 1,45 thì cường độ chịu nén giảm xuống. Chênh lệch giữa giá trị cường độ chịu nén của bê tông lớn nhất và nhỏ nhất không vượt quá 5 MPa. Nếu coi mức biến động cường độ chịu nén của bê tông 2% là nằm trong phạm vi sai số thí nghiệm, thì cường độ chịu nén của bê tông có giá trị lớn nhất khi hệ số dư vữa thay đổi trong khoảng từ 1,22 đến 1,56, sự thay đổi cường độ chịu nén của bê tông

trong khoảng hệ số dư vữa này không có ý nghĩa về mặt thống kê. Điều đó có nghĩa ở khoảng hệ số dư vữa từ 1,22 đến 1,56, thì hỗn hợp bê tông có tính công tác tốt nhất, bê tông đạt cường độ chịu nén cao nhất, hay nói cách khác khoảng hệ số dư vữa từ 1,22 đến 1,56, là khoảng hệ số dư vữa tối ưu đối với cường độ chịu nén của bê tông sử dụng (cát nặng, cát nhẹ + cát nặng, cát nhẹ + cát nặng + xi lò cao). Khi hệ số dư vữa tăng cường độ chịu nén của bê tông có xu hướng giảm. Do đó, có thể thấy rằng việc tăng hệ số dư vữa có ảnh hưởng tiêu cực đến cường độ chịu nén của bê tông nội bảo dưỡng.

b) Phát triển cường độ chịu nén của bê tông nội bảo dưỡng đối với mặt đường bê tông xi măng

Đánh giá sự phát triển cường độ chịu nén của bê tông theo thời gian, luận án đã sử dụng một số cấp phối đại diện như CP3 ($K_d=1,45$); CP18 ($K_d=1,45$) và CPV3 ($K_d=1,46$), để thể hiện trên biểu đồ phát triển cường độ chịu nén theo thời gian, kết quả được trình bày trên Hình 3.10.



Hình 3.10. Sự phát triển cường độ chịu nén theo thời gian

Trên cơ sở kết quả thí nghiệm, luận án đã xây dựng đường tương quan giữa cường độ chịu nén của bê tông và tuổi mẫu theo phương pháp bình phương nhỏ nhất. Đánh giá thống kê cho thấy tương quan dạng hàm logarit mô tả tốt các kết quả thí nghiệm. Sự phát triển cường độ chịu nén của bê tông sử dụng (cát nhẹ + cát nặng, cát nhẹ + cát nặng + xi lò cao) đều tuân theo quy luật chung.

Mức độ phát triển cường độ chịu nén theo thời gian của các mẫu bê tông có thể được đánh giá thông qua hệ số của phương trình hồi quy. Hệ số của phương trình của bê tông sử dụng cát nhẹ + cát nặng + xi lò cao có giá trị cao nhất, điều này cho

thấy mức phát triển cường độ chịu nén của bê tông này cao hơn so với bê tông chỉ sử dụng cát nặng và bê tông sử dụng cát nhẹ + cát nặng.

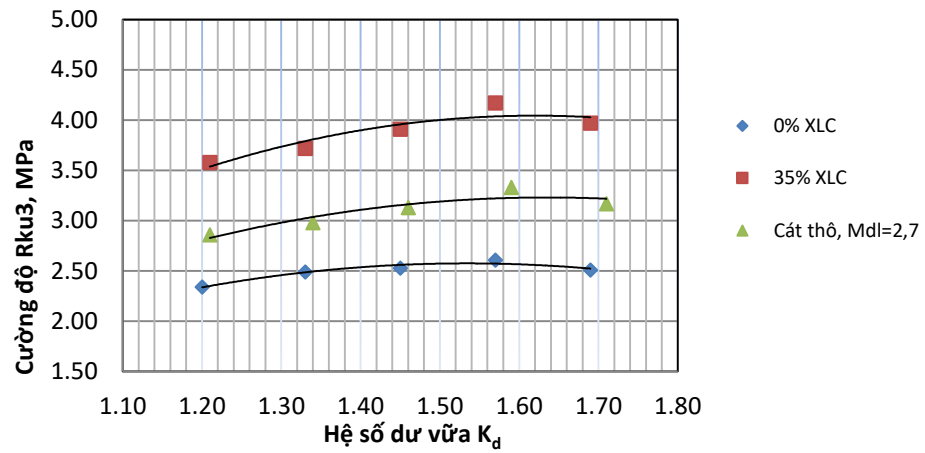
3.3.2. Cường độ chịu kéo khi uốn của mặt đường bê tông xi măng sử dụng bê tông nội bảo dưỡng

a) Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông nội bảo dưỡng đối với mặt đường bê tông xi măng

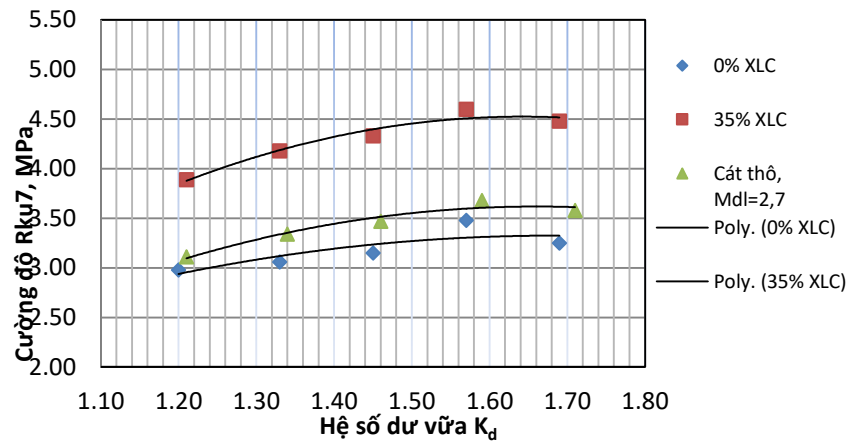
Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông được nghiên cứu trên các cấp phối đã được trình bày tại Bảng 3.21. Kết quả xác định cường độ chịu kéo khi uốn được trình bày trong Bảng 3.26. Các đường tương quan biểu diễn quan hệ giữa hệ số dư vữa và cường độ chịu kéo khi uốn ở tuổi 3, 7 và 28 ngày được thiết lập theo mô hình bậc 2 theo phương pháp bình phương nhỏ nhất và được trình bày tại Hình (3.11, 3.12, 3.13).

Bảng 3.26. Kết quả cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông

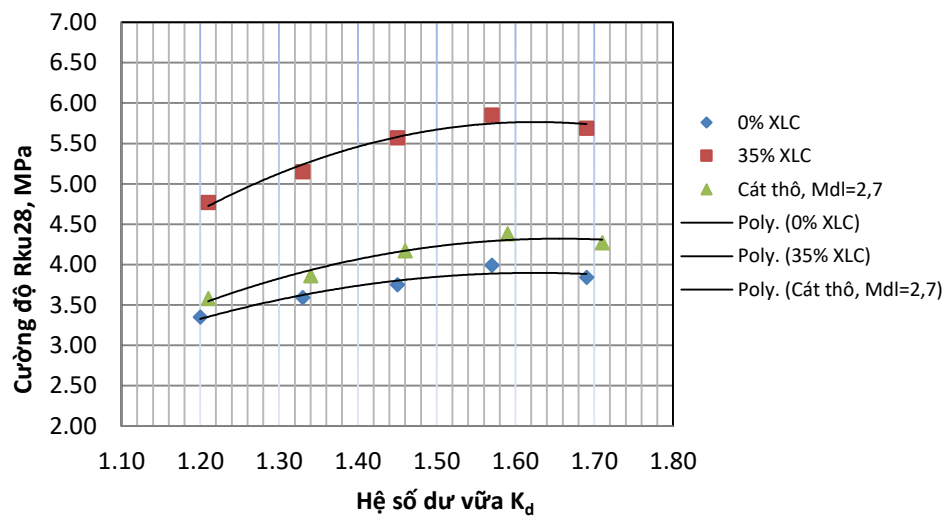
TT	Ký hiệu CP	K_d	R_{ku} , ở độ tuổi, MPa		
			3	7	28
1	CP1	1.20	2.34	2.98	3.35
2	CP2	1.33	2.49	3.06	3.59
3	CP3	1.45	2.53	3.15	3.75
4	CP4	1.57	2.61	3.48	3.99
5	CP5	1.69	2.51	3.25	3.84
6	CP16	1.21	3.58	3.89	4.77
7	CP17	1.33	3.72	4.18	5.15
8	CP18	1.45	3.91	4.33	5.57
9	CP19	1.57	4.17	4.60	5.85
10	CP20	1.69	3.97	4.48	5.69
11	CPV1	1.21	2.86	3.11	3.58
12	CPV2	1.34	2.98	3.34	3.86
13	CPV3	1.46	3.13	3.47	4.17
14	CPV4	1.59	3.33	3.68	4.38
15	CPV5	1.71	3.17	3.58	4.27



Hình 3.11. Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông ở tuổi 3 ngày



Hình 3.12. Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông ở tuổi 7 ngày

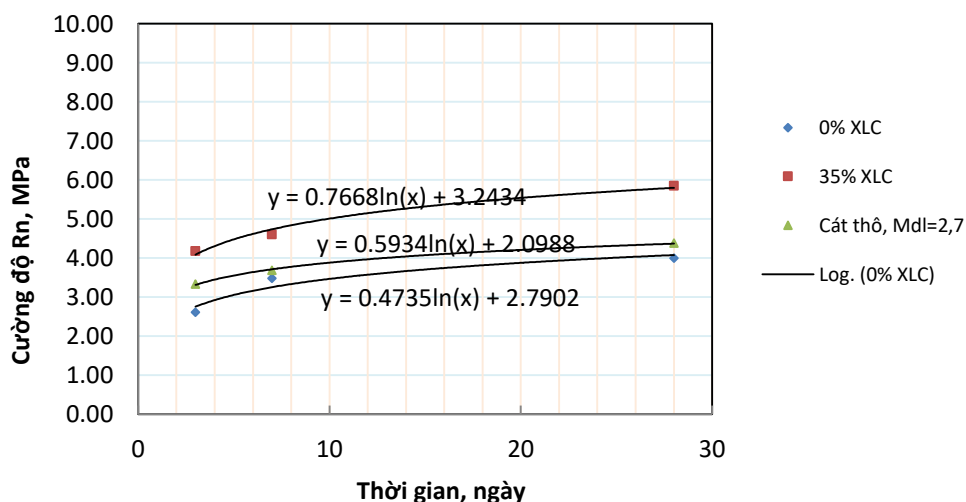


Hình 3.13. Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông ở tuổi 28 ngày

Các kết quả nghiên cứu ở Bảng 3.25 cho thấy, khi hệ số dư tăng từ 1,20 lên 1,59, Hình (3.11, 3.12, 3.13), thì cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông ở tuổi 3, 7 và 28 ngày có xu hướng tăng dần. Khi tiếp tục tăng hệ số dư vừa quá 1,57 thì cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông có xu hướng giảm. Chênh lệch giữa giá trị cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông lớn nhất và nhỏ nhất không vượt quá 2 MPa. Nếu coi mức biến động cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông 2% là nằm trong phạm vi sai số thí nghiệm, thì cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông có giá trị lớn nhất khi hệ số dư vừa thay đổi trong khoảng từ 1,47 đến 1,68, sự thay đổi cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông trong khoảng hệ số dư vừa này không có ý nghĩa về mặt thống kê. Điều đó có nghĩa ở khoảng hệ số dư vừa từ 1,47 đến 1,68, thì hỗn hợp bê tông sử dụng cát nhẹ + cát nặng + xi lò cao có tính công tác tốt nhất, bê tông đạt cường độ chịu kéo khi uốn cao nhất, hay nói cách khác khoảng hệ số dư vừa từ 1,47 đến 1,68, là khoảng hệ số dư vừa tối ưu đối với cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông sử dụng (cát nặng, cát nhẹ + cát nặng, cát nhẹ + cát nặng + xi lò cao). Khi hệ số dư vừa tăng cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông tăng.

b) Phát triển cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông nội bảo dưỡng đối với mặt đường bê tông xi măng

Đánh giá sự phát triển cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông theo thời gian, luận án đã sử dụng một số cấp phối đại diện như CP4 ($K_d=1,57$); CP19 ($K_d=1,57$) và CPV4 ($K_d=1,59$), để thể hiện trên biểu đồ phát triển cường độ chịu kéo khi uốn theo thời gian, kết quả được trình bày trên Hình 3.14.



Hình 3.14. Sự phát triển cường độ chịu kéo khi uốn theo thời gian

Trên cơ sở kết quả thí nghiệm, luận án đã xây dựng đường tương quan giữa cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông và tuổi mẫu theo phương pháp bình phương nhỏ nhất. Đánh giá thống kê cho thấy tương quan dạng hàm logarit mô tả tốt các kết quả thí nghiệm. Sự phát triển cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông sử dụng (cát nhẹ + cát nặng, cát nhẹ + cát nặng + xỉ lò cao) đều tuân theo quy luật chung.

Mức độ phát triển cường độ chịu kéo khi uốn theo thời gian của các mẫu bê tông có thể được đánh giá thông qua hệ số của phương trình hồi quy. Hệ số của phương trình của bê tông sử dụng cát nhẹ + cát nặng + xỉ lò cao có giá trị cao nhất, điều này cho thấy không chỉ có cường độ chịu kéo khi uốn cao hơn ở tất cả các ngày tuổi, mức phát triển cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông này cao hơn so với bê tông chỉ sử dụng cát nặng và bê tông sử dụng cát nhẹ + cát nặng.

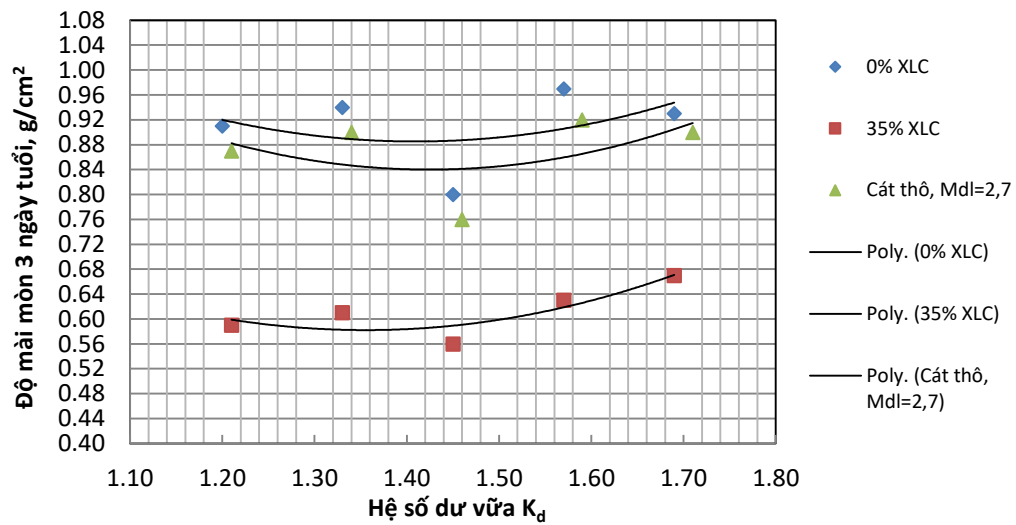
3.3.3. Độ mài mòn của mặt đường BTXM sử dụng bê tông nội bảo dưỡng

Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến độ mài mòn của bê tông nội bảo dưỡng đối với mặt đường bê tông xi măng được nghiên cứu trên các cấp phối đã được trình bày tại Bảng 3.19. Kết quả xác định độ mài mòn được trình bày trong Bảng 3.27. Các đường tương quan biểu diễn quan hệ giữa hệ số dư vữa và độ mài mòn ở tuổi 3, 7 và 28 ngày được thiết lập theo mô hình bậc 2 theo phương pháp bình phương nhỏ nhất và được trình bày tại Hình (3.15, 3.16, 3.17).

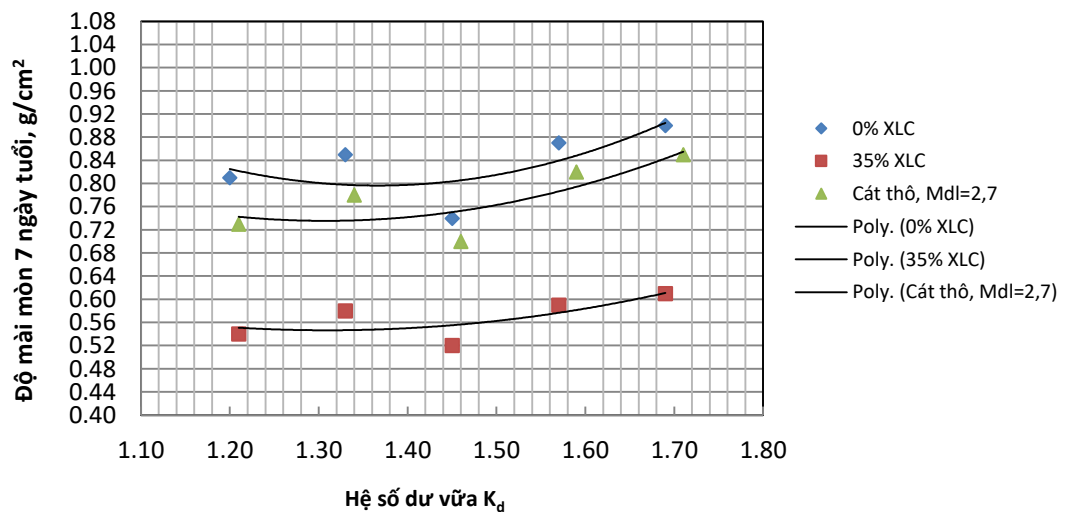
Bảng 3.27. Kết quả độ mài mòn của bê tông

TT	Ký hiệu CP	K_d	ĐMM, ở độ tuổi, g/cm ²		
			3	7	28
1	CP1	1.20	0.91	0.81	0.78
2	CP2	1.33	0.94	0.85	0.81
3	CP3	1.45	0.80	0.74	0.70
4	CP4	1.57	0.97	0.87	0.83
5	CP5	1.69	0.93	0.90	0.87
6	CP16	1.21	0.59	0.54	0.41
7	CP17	1.33	0.61	0.58	0.43
8	CP18	1.45	0.56	0.52	0.40
9	CP19	1.57	0.63	0.59	0.47
10	CP20	1.69	0.67	0.61	0.49

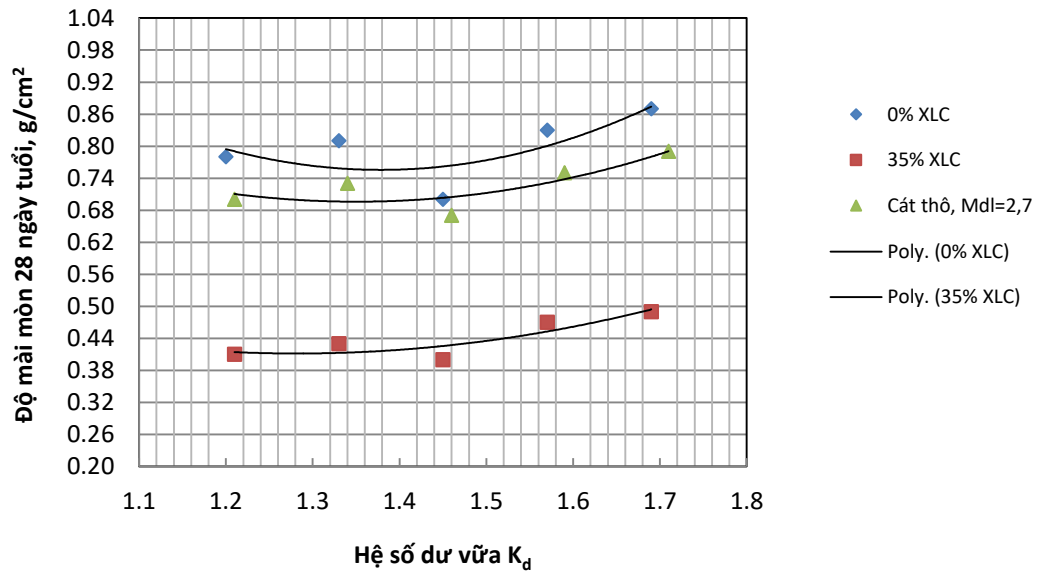
11	CPV1	1.21	0.87	0.73	0.70
12	CPV2	1.34	0.90	0.78	0.73
13	CPV3	1.46	0.76	0.70	0.67
14	CPV4	1.59	0.92	0.82	0.75
15	CPV5	1.71	0.90	0.85	0.79



Hình 3.15. Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến độ mài mòn của BT ở tuổi 3 ngày



Hình 3.16. Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến độ mài mòn của BT ở tuổi 7 ngày



Hình 3.17. Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến độ mài mòn của BT ở tuổi 28 ngày

Từ kết quả nghiên cứu ở Bảng 3.26, các hình (3.15, 3.16, 3.17) thể hiện mối quan hệ giữa độ mài mòn và hệ số dư vữa của 03 loại BTXM nghiên cứu ở các ngày tuổi khác nhau. Ngoài kết quả đương nhiên là số ngày tuổi thọ tăng, khả năng chống mài mòn sẽ tăng tức là độ mài mòn giảm, có thể kết quả rất rõ ràng về ưu điểm vượt trội của bê tông IC có sử dụng XLC với giá trị nhỏ hơn đáng kể về độ mài mòn của loại bê tông này. Đây là ưu điểm vượt trội mang lại khả năng ứng dụng hiệu quả loại bê tông này làm mặt đường.

Đánh giá xu thế đường cong quan hệ giữa độ mài mòn và hệ số dư vữa, có thể thấy sự tương đồng với mối quan hệ giữa chỉ tiêu cường độ (nén và kéo khi uốn) và độ dư vữa. Xu thế có giá trị (khoảng giá trị) cực tiểu của độ mài mòn có thể được nhận rõ trong các biểu đồ hình (3.15, 3.16, 3.17).

3.3.4. Lựa chọn khoảng hệ số dư vữa đối với cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo khi uốn và độ mài mòn cho bê tông làm mặt đường bê tông xi măng

Trên cơ sở kết quả nghiên cứu của luận án, có thể thấy được là hệ số dư vữa có mối quan hệ rõ ràng và khá chặt chẽ với các chỉ tiêu cường độ: cường độ nén; cường độ kéo khi uốn; và khả năng chống mài mòn. Mối quan hệ hàm bậc hai với tồn tại của giá trị cực trị cho thấy tồn tại khoảng giá trị hệ số dư vữa hợp lý để cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông có giá trị lớn nhất, và độ mài mòn đạt giá trị nhỏ nhất. Khoảng hệ số dư vữa tương ứng với các giá trị cực trị được tổng hợp trong Bảng 3.26 cho cường độ nén, cường độ kéo uốn, và Bảng 3.27 với độ mài

mòn. Xu thế và khoảng giá trị hệ số dư vừa ứng với cường độ cao nhất và độ mài mòn nhỏ nhất của 03 loại bê tông (thông thường; bê tông IC không có XLC, bê tông IC có 35% XLC) không khác nhau. Tổng hợp kết quả khoảng hệ số dư vừa hợp lý với các chỉ tiêu kỹ thuật của bê tông nghiên cứu như Bảng 3.28.

Bảng 3.28. Khoảng hệ số dư vừa hợp lý đối với các chỉ tiêu kỹ thuật của 03 loại bê tông thí nghiệm

TT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Hệ số dư vừa, K_d
1	Cường độ chịu nén	$1,22 \div 1,56$
2	Cường độ chịu kéo khi uốn	$1,47 \div 1,68$
3	Độ mài mòn	$1,20 \div 1,56$

Từ kết quả nghiên cứu các chỉ tiêu cường độ và đối chứng kết quả nghiên cứu thực nghiệm của 03 loại: bê tông thông thường; bê tông IC không sử dụng XLC; bê tông IC sử dụng XLC, có thể có một số nhận xét sơ bộ như sau:

- Bê tông IC có 35% XLC có cường độ vượt trội so với BTXM thông thường và bê tông IC không sử dụng XLC với hàm lượng xi măng tối thiểu là 300 kg/m³. Điều này hoàn toàn hợp lý do việc thêm XLC sẽ tăng tổng hàm lượng CKD và cải thiện được cường độ của BTXM khi thay thế một phần thành phần cốt liệu nhỏ (cát thô) bằng cát nhẹ. Cường độ 28 ngày tuổi của bê tông IC có 35% XLC hoàn toàn có khả năng đáp ứng cường độ yêu cầu và khả năng chống mài mòn của BTXM làm mặt đường.
- Bê tông IC có 35% nghiên cứu để làm mặt đường, cũng như 02 loại bê tông đối chứng đều có khoảng hệ số dư vừa cho cường độ tốt nhất (cường độ nén, cường độ kéo uốn và khả năng chống mài mòn). Tổ hợp khoảng giá trị hệ số dư vừa hợp lý là là ($K_d = 1,47 \div 1,56$).

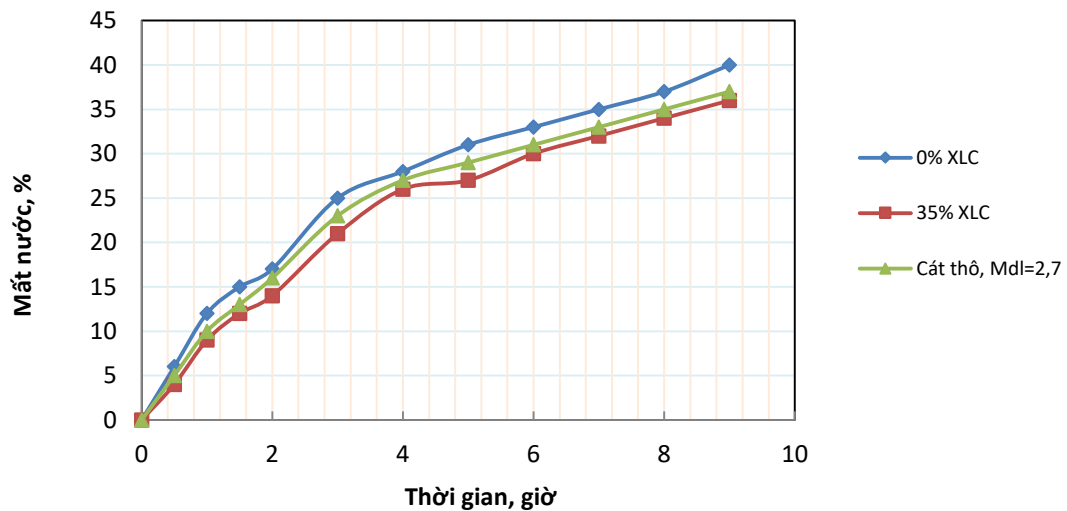
3.3.5. Mất nước và co mềm

Để nghiên cứu tính chất co ngót và một số tính chất khác của hỗn hợp bê tông và bê tông IC như tính chất mất nước, co mềm, co khô, độ chống thấm nước và mô đun đàn hồi, luận án đã sử dụng các thành phần cấp phối CP4, CP19 và CPV4 đại diện cho 03 loại: bê tông IC không có XLC; bê tông IC có 35% XLC và BTXM thường. Quá trình mất nước, co mềm của hỗn hợp bê tông và bê tông cũng được xác

định trên mẫu bê tông có kích thước 100x100x400 mm với mô đun hơ $M_h=30 \text{ m}^{-1}$, điều kiện thí nghiệm như nhau. Kết quả thí nghiệm quá trình mất nước của hỗn hợp bê tông và bê tông được trình bày cụ thể trong Bảng 3.29 và Hình 3.18.

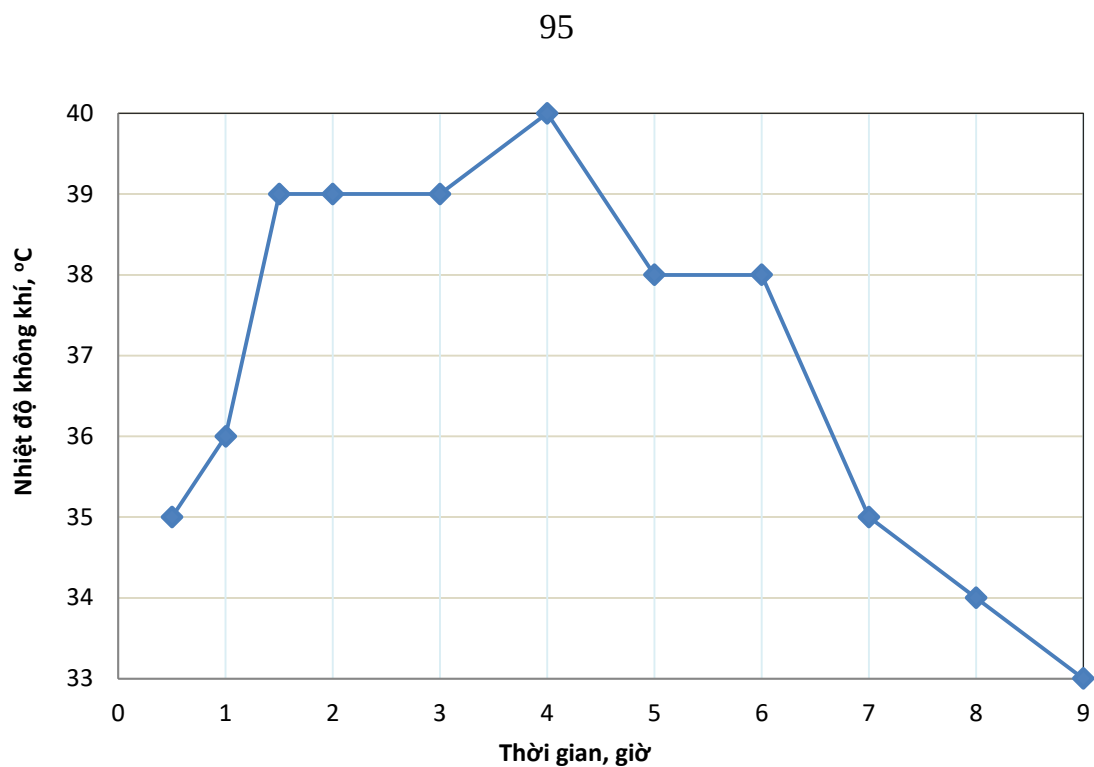
Bảng 3.29. Kết quả thí nghiệm mất nước của hỗn hợp bê tông và bê tông

TT	Ký hiệu CP	XLC /XM	K_d	Mất nước, %											
				0h	0,5h	1h	1,5h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h
1	CP4	0%	1,57	0	6	12	15	17	25	28	31	33	35	37	40
2	CP19	35%	1,57	0	4	9	12	14	21	26	27	30	32	34	36
3	CPV4	0	1,59	0	5	10	13	16	23	27	29	31	33	35	37

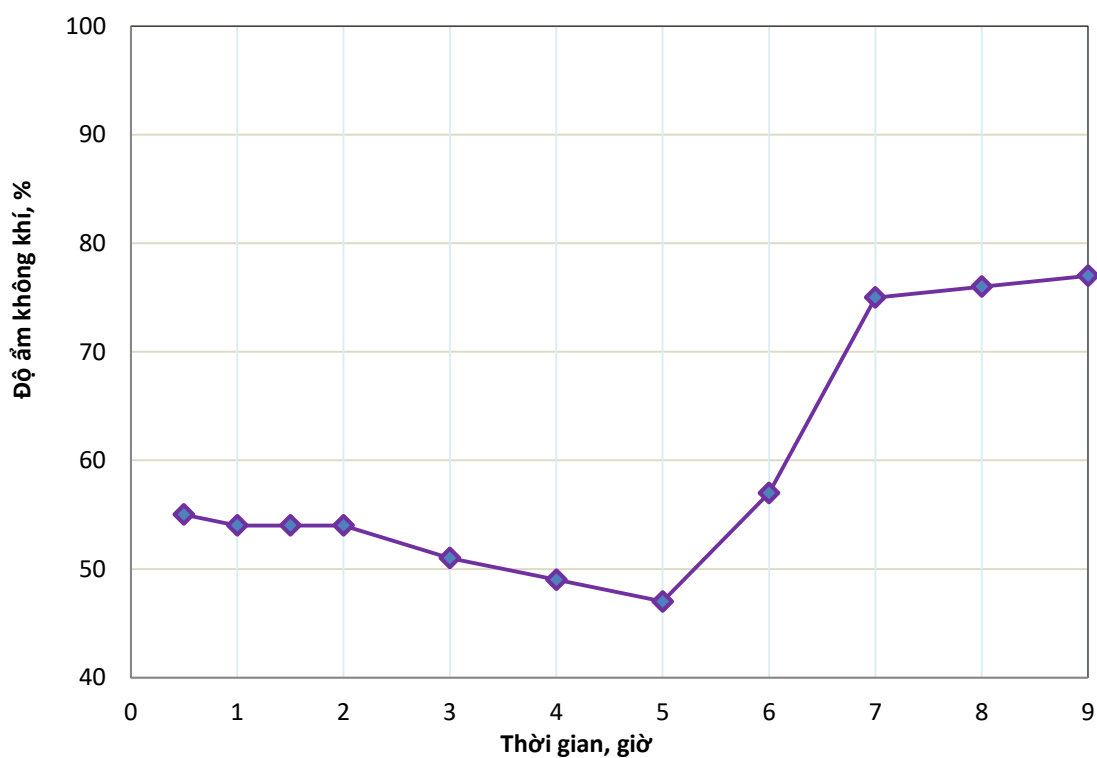


Hình 3.18. Quá trình mất nước của hỗn hợp bê tông và bê tông theo thời gian, $M_h=30 \text{ m}^{-1}$

Sự thay đổi nhiệt độ và độ ẩm trong thời gian thí nghiệm quá trình mất nước và co mềm của hỗn hợp bê tông và bê tông cũng được theo dõi và trình bày trong Hình 3.19 và Hình 3.20.



Hình 3.19. Nhiệt độ theo thời gian

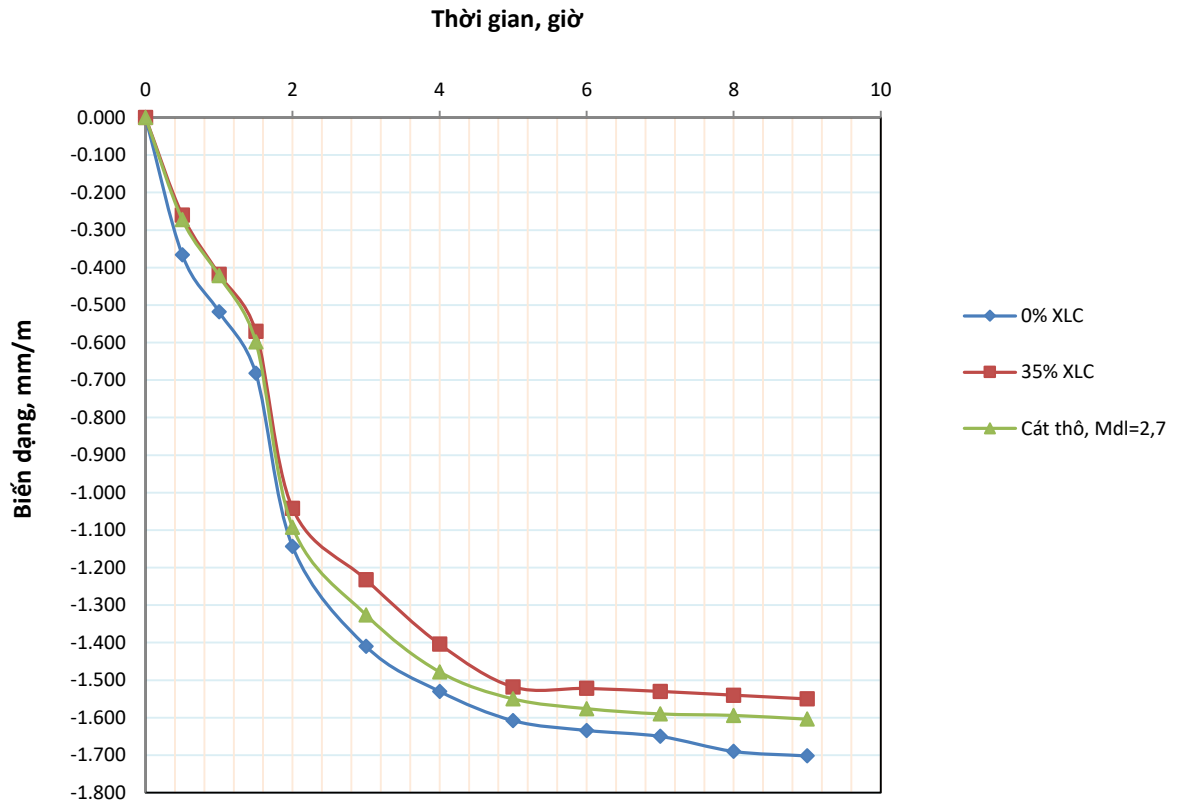


Hình 3.20. Độ ẩm theo thời gian

Kết quả thí nghiệm co mềm của bê tông được trình bày cụ thể trong Bảng 3.30 và Hình 3.21.

Bảng 3.30. Kết quả thí nghiệm đo co mềm của bê tông

T T	Ký hiệu CP	XLC /XM	Biến dạng mm/m											
			0h	0,5h	1h	1,5h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h
1	CP4	0%	0	-0,366	-0,518	-0,682	-1,144	-1,410	-1,530	-1,608	-1,634	-1,650	-1,690	-1,702
2	CP19	35%	0	-0,260	-0,418	-0,570	-1,042	-1,232	-1,404	-1,518	-1,522	-1,530	-1,540	-1,550
3	CPV4	0	0	-0,272	-0,422	-0,598	-1,092	-1,326	-1,478	-1,550	-1,576	-1,590	-1,594	-1,604

**Hình 3.21. Quá trình co mềm của bê tông theo thời gian, $M_h=30 \text{ m}^{-1}$**

Kết quả thí nghiệm cho thấy, cả hai loại bê tông IC và bê tông thường đều mất nước nhanh trong khoảng (2÷4) giờ đầu, cụ thể đến (14 ÷ 17) % trong 2 giờ đầu và (26 ÷ 28) % tính trong 4 giờ đầu. 04 giờ sau đó lượng nước mất chỉ tăng lên khoảng (8 ÷ 9) % đạt lượng mất nước trong 08 giờ là (34 ÷ 37) % tổng lượng nước trộn ban đầu.

Tốc độ co mềm của 03 loại bê tông thí nghiệm khá tương đồng (Hình 3.21) với xu thế tăng nhanh trong 4 giờ đầu (khoảng $0,35 \div 0,38$ mm/m/giờ), sau đó rất chậm ($0,03$ mm/m/giờ và gần như dừng lại. Bê tông IC không có XLC tốc độ và tổng độ co mềm theo dõi trong 9 giờ là lớn nhất.

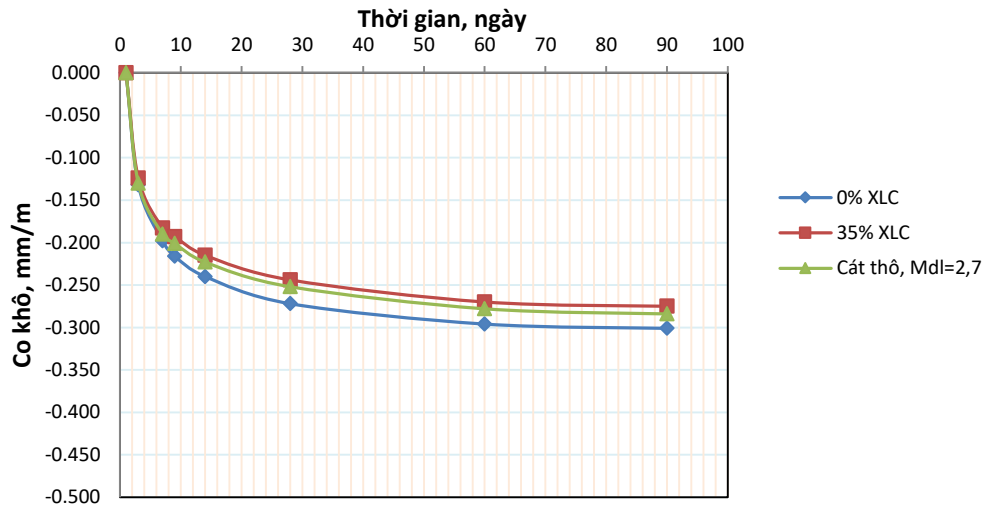
Có thể thấy rằng co mềm của bê tông sử dụng (cát nhẹ + cát nặng + xỉ lò cao) nhỏ hơn so về giá trị tuyệt đối so với 02 loại bê tông đối chứng. Điều này có thể giải thích trong điều kiện cốt liệu nhỏ có cùng mô đun độ lớn, cùng một tỷ lệ X/N và lượng dùng xỉ măng, cùng mô đun hồ $M_h=30m^{-1}$ và điều kiện thí nghiệm như nhau, thành phần cốt liệu nhỏ với sự có mặt của XLC (35%) sẽ làm cho hỗn hợp có độ đặc chắc cao hơn, lượng dùng nước giảm và khi đó lượng nước tự do trong hỗn hợp bê tông tăng, dẫn tới quá trình mất nước giảm và do đó độ co mềm giảm. Phối hợp sử dụng XLC là giải pháp làm chậm quá trình mất nước, giảm co mềm và hạn chế nứt cho bê tông IC.

3.3.6. Co ngót khô của bê tông

Kết quả thí nghiệm co ngót của 03 loại bê tông được thể hiện Bảng 3.31 và mô tả trong Hình 3.22.

Bảng 3.31. Kết quả thí nghiệm đo co khô của bê tông

TT	Ký hiệu CP	XLC/XM	Biến dạng mm/m tương ứng ngày tuổi							
			1	3	7	9	14	28	60	90
1	CP4	0%	0	-0,132	-0,198	-0,216	-0,240	-0,272	-0,296	-0,301
2	CP19	35%	0	-0,124	-0,183	-0,193	-0,215	-0,244	-0,270	-0,275
3	CPV4	0	0	-0,130	-0,190	-0,201	-0,223	-0,252	-0,278	-0,284



Hình 3.22. Co khô của bê tông theo thời gian

Kết quả thí nghiệm đo co cho thấy trong cùng điều kiện thí nghiệm, cả 03 loại bê tông đều có xu hướng co mạnh trong khoảng thời gian 28 ngày đầu, và giảm dần trong những ngày tiếp theo. Mức co gần như dừng lại sau 60 ngày. Sau 90 ngày giá trị độ co lần lượt là - 0,301 mm/m; - 0,284 mm/m; - 0,275 mm/m tương ứng với bê tông IC không sử dụng XLC; BTXM thường và bê tông IC với 35% XLC. Có thể thấy co khô của bê tông IC có 35% XLC nhỏ hơn cả về giá trị tuyệt đối nhỏ nhất. Sử dụng XLC cho bê tông IC giúp giảm mức co, và giảm nguy cơ nứt của bê tông IC khi sử dụng làm mặt đường.

3.3.7. Độ chống thấm

Chống thấm là yêu cầu đặc biệt của kết cấu BTXM cốt thép khi sử dụng trong môi trường có các tác nhân ăn mòn. Yêu cầu này không là cấp thiết đối với BTXM làm mặt đường ô tô. Thí nghiệm độ chống thấm nước theo TCVN 3116:1993 [22] được thực hiện với 03 loại bê tông lựa chọn. Kết quả thí nghiệm được trình bày tại Bảng 3.32.

Bảng 3.32. Kết quả thí nghiệm độ chống thấm nước của bê tông

TT	Ký hiệu CP	XLC/XM	K_d	Độ chống thấm nước
1	CP4	0%	1,57	B8
2	CP19	35%	1,57	B12
3	CPV4	0	1,59	B10

Kết quả thí nghiệm cho thấy độ chống thấm nước của bê tông IC có 35% XLC đạt được B12 cao hơn so các mẫu đối chứng là B8 với bê tông IC không sử dụng XLC và B10 với BTXM thông thường. Sử dụng 35% XLC trong cốt liệu nhỏ làm tăng độ đặc chắc, dẫn tới độ chống thấm nước của bê tông tăng.

3.3.8. Mô đun đàn hồi

Mô đun đàn hồi của 03 loại bê tông được thí nghiệm theo tiêu chuẩn ASTM C469-10 [52] với mẫu 28 ngày tuổi và trình bày trong Bảng 3.33 cùng với cường độ nén và cường độ kéo khi uốn của mẫu.

Bảng 3.33. Kết quả thí nghiệm mô đun đàn hồi của bê tông

TT	Ký hiệu CP	XLC/XM	K_d	R_{ku28} , MPa	R_{n28} , MPa	Mô đun đàn hồi, GPa
1	CP4	0%	1,57	3,99	32,6	24,8
2	CP19	35%	1,57	5,85	35,6	27,5
3	CPV4	0	1,59	4,38	33,2	26,4

Từ Bảng 3.33 có thể thấy bê tông IC có 35% XLC cho giá trị mô đun đàn hồi phù hợp với yêu cầu kỹ thuật của mặt đường bê tông xi măng, tương ứng với cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo khi uốn.

Như vậy, bê tông IC có 35% XLC cho các chỉ tiêu cường độ lớn hơn so với các loại đối chứng: BTXM thường và IC không sử dụng XLC có cùng hàm lượng xi măng sử dụng là tối thiểu cho BTXM làm mặt đường (300 kg/m^3). Cường độ chịu kéo khi uốn, là cường độ cơ bản nhất của BTXM làm mặt đường, của bê tông IC có 35% XLC có tính năng vượt trội hơn cả so với 02 loại đối chứng, cụ thể cao hơn 47% so với BTXM thông thường và cao hơn 34% so với bê tông IC không sử dụng XLC. Các giá trị cường độ này của IC có 35% XLC đều đáp ứng yêu cầu làm BTXM mặt đường.

Nhận xét:

Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu có thể đưa ra một số kết luận sau:

- ❖ Sử dụng XLC trong bê tông IC góp phần cải thiện các chỉ tiêu cường độ cơ bản của BTXM như cường độ nén, cường độ kéo khi uốn, mô đun đàn hồi.

- ❖ Bê tông nội bảo dưỡng sử dụng cát nhẹ + 35% XLC với hàm lượng XM tối thiểu theo qui định đối với BTXM làm mặt đường ô tô có mức độ phát triển cường độ cũng như giá trị cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông tại 28 ngày tuổi đạt yêu cầu mặt đường BTXM đến cấp IV.
- ❖ Bê tông nội bảo dưỡng sử dụng cát nhẹ + 35% XLC cải thiện được khả năng chống mài mòn hay làm giảm độ mài mòn của bê tông. Kết quả thí nghiệm bê tông nội bảo dưỡng sử dụng cát nhẹ + 35% XLC có độ mài mòn $(0,41 \div 0,49) \text{ g/cm}^2$ nhỏ hơn so với độ mài mòn của BTXM thông thường và bê tông IC không có XLC tương ứng là $(0,70 \div 0,79) \text{ g/cm}^2$ và $(0,78 \div 0,87) \text{ g/cm}^2$.
- ❖ Độ mài mòn của bê tông nội bảo dưỡng sử dụng cát nhẹ + 35% XLC đáp ứng yêu cầu kỹ thuật đối với mặt đường bê tông xi măng tới cấp III với độ mài mòn nhỏ hơn $0,6 \text{ g/cm}^2$.
- ❖ Kết quả nghiên cứu đã cho thấy tồn tại khoảng hệ số dư vừa hợp lý đối với cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo khi uốn và độ mài mòn của bê tông IC đáp ứng yêu cầu kỹ thuật đối với bê tông làm đường đặc biệt là mặt đường bê tông xi măng tới cấp III tương đương bê tông thường, cụ thể khoảng hệ số dư vừa đó là ($K_d = 1,47 \div 1,56$). Giá trị K_d này có thể tham khảo khi thiết kế thành phần bê tông IC làm mặt đường ô tô.

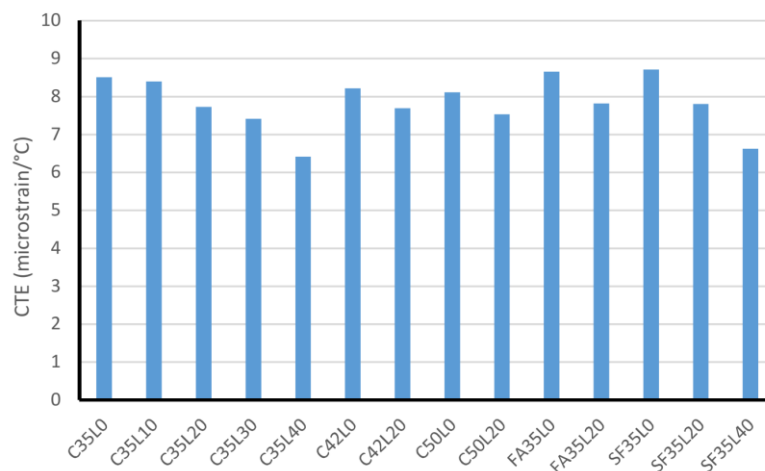
CHƯƠNG 4. ỨNG DỤNG BÊ TÔNG XI MĂNG NỘI BẢO DƯỠNG TRONG THIẾT KẾ VÀ XÂY DỰNG MẶT ĐƯỜNG BÊ TÔNG XI MĂNG TRONG ĐIỀU KIỆN KHÍ HẬU VIỆT NAM

Chương 4 tập trung nghiên cứu ứng dụng bê tông IC trong thiết kế và xây dựng mặt đường BTXM ở Việt Nam với các nội dung như sau:

- Nghiên cứu hệ số giãn nở nhiệt của bê tông IC, một chỉ tiêu cơ bản trong tính toán thiết kế mặt đường BTXM
- Nghiên cứu thực nghiệm đánh giá sơ bộ về chế độ bảo dưỡng bê tông IC, làm cơ sở ban đầu cho chỉ dẫn thi công mặt đường BTXM
- Xây dựng bài toán và tính toán thiết kế mặt đường BTXM sử dụng bê tông IC được nghiên cứu theo các tiêu chuẩn thiết kế mặt đường BTXM phổ biến

4.1. Nghiên cứu hệ số giãn nở nhiệt của BTXM nội bảo dưỡng

Hệ số giãn nở nhiệt (CTE) của BTXM là chỉ tiêu quan trọng, được dùng trong tính toán mặt đường BTXM liên quan đến ứng suất do nhiệt, kích thước tấm và kích thước khe giãn. Một nghiên cứu mới [79] nghiên cứu về hệ số giãn nở nhiệt của bê tông IC và theo kết quả của nghiên cứu này, thay thế cốt liệu nhỏ bằng cát nhẹ có ảnh hưởng rất đáng kể đến hệ số giãn nở nhiệt của bê tông. Nghiên cứu đã thực hiện thay thế 40% cốt liệu nhỏ bằng cát nhẹ và cho hệ số CTE giảm theo qui luật tuyến tính đến 25%. Trong khi đó, nghiên cứu này cũng cho thấy tỉ lệ N/X thay đổi trong phạm vi từ 0,4 ÷ 0,6 không làm thay đổi hệ số CTE.



Hình 4.1. Ảnh hưởng của hàm lượng cát nhẹ trong bê tông nội bảo dưỡng đến hệ số CTE [79]

Trong hình 4.1, C35 là kí hiệu BTXM không sử dụng phụ gia khoáng có tỉ lệ N/X là 0,35; L là kí hiệu cát nhẹ thay thế với hàm lượng là số tiếp sau, ví dụ L30 là BTXM có lượng cát nhẹ thay thế cốt liệu nhỏ là 30%. FA và SF là kí hiệu loại phụ gia khoáng sử dụng, tương ứng là tro bay (Fly Ash) và muối silic (Densified Silica Fume). Kết quả cho thấy khi sử dụng đến 40% cát nhẹ thay thế cốt liệu nhỏ, theo nghiên cứu này tương ứng với tỉ lệ nước nội bảo dưỡng là $18,4 \text{ kg/m}^3$), hệ số CTE giảm xuống khoảng $6,7 \text{ microstrain/}^{\circ}\text{C}$) đối với cả hỗn hợp có và không sử dụng phụ gia khoáng. Tương ứng với tỉ lệ thay thế cát nhẹ 30% của hỗn hợp không sử dụng phụ gia khoáng là khoảng $7,3 \text{ microstrain/}^{\circ}\text{C}$, và 20% là khoảng $7,8 \text{ microstrain/}^{\circ}\text{C}$. Kết quả nghiên cứu này phù hợp với nhiều đánh giá trước đó [77] về một trong các ưu điểm của bê tông IC là giảm hệ số giãn nở nhiệt (CTE) và hệ số truyền nhiệt, giảm gradient nhiệt trong bê tông và do đó làm giảm mức uốn vòng của tấm bê tông mặt đường. Trong công bố này [77], bê tông IC được làm thí nghiệm ở cả trong phòng và hiện trường với lượng thay thế cát nhẹ vào thành phần cốt liệu nhỏ đến 20%. Phát hiện từ nghiên cứu này khẳng định hệ số CTE giảm hơn 10%. Theo dõi biến dạng tấm ngoài thử nghiệm hiện trường còn khẳng định uốn vòng của tấm giảm.

Tham khảo kết quả nghiên cứu CTE của nước ngoài, với loại hỗn hợp nghiên cứu sử dụng 40% cát nhẹ thay thế lượng cốt liệu nhỏ và 35% phụ gia khoáng SF, hệ số CTE được đề xuất là $7,0 \text{ microstrain/}^{\circ}\text{C}$.

4.2. Nghiên cứu thực nghiệm đánh giá chế độ bảo dưỡng bê tông IC

Để thử nghiệm khả năng có thể tự bảo dưỡng của bê tông IC, hai chế độ bảo dưỡng được áp dụng, gọi là chế độ bảo dưỡng A và chế độ bảo dưỡng B đối với mẫu bê tông IC điển hình sử dụng cát nhẹ và 35% xỉ lò cao tính theo khối lượng xi măng. Chế độ A theo qui trình bảo dưỡng BTXM thông thường: phủ khăn ẩm và tưới nước hàng ngày. Chế độ bảo dưỡng B: phủ khăn và tưới nước 1 lần sau khi đúc mẫu. Mẫu đúc có kích thước lớn, khoan lõi mẫu hình trụ làm thí nghiệm ITS khi đạt 14 và 28 ngày tuổi. Kết quả thí nghiệm được tổng kết trong bảng 4.1 và 4.2.

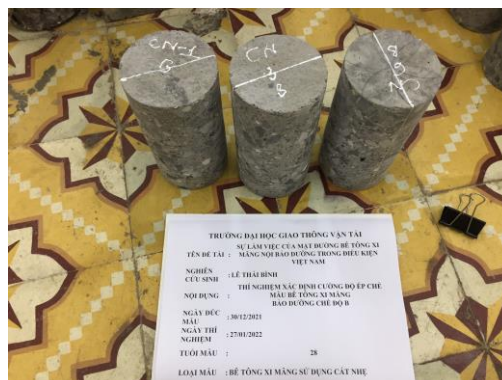
Bảng 4.1. Kết quả thí nghiệm ITS mẫu 14 ngày tuổi

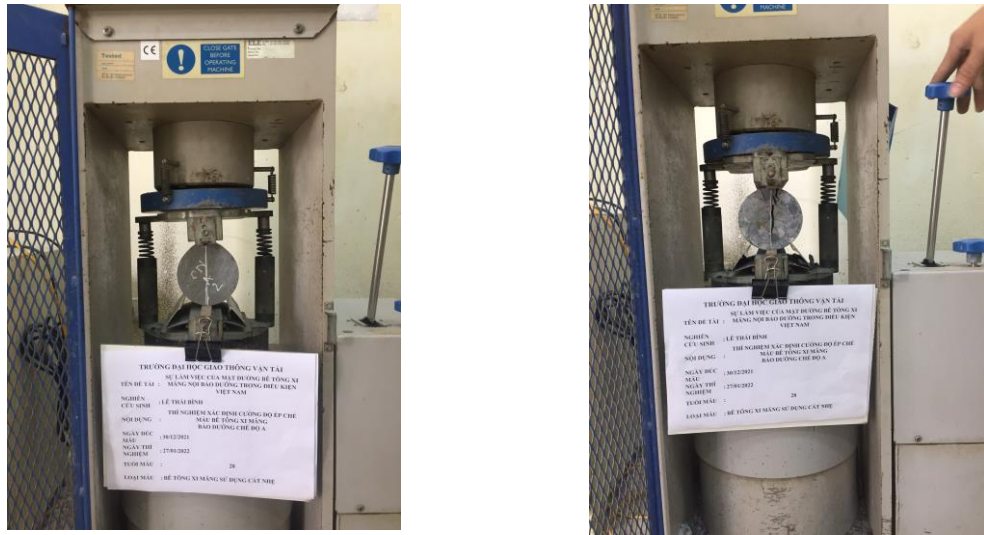
Ký hiệu mẫu	Cường độ ép chẻ mẫu 14 ngày tuổi, MPa	
	Bê tông IC_A	Bê tông IC_B
1	1.945	2.886
2	2.628	2.434
3	1.959	2.702
4	2.060	2.095
Giá trị trung bình	2.148	2.529
Độ chụm	0.324	0.344
Hệ số biến thiên, %	15.091	13.603

Bảng 4.2. Kết quả thí nghiệm ITS mẫu 28 ngày tuổi

Ký hiệu mẫu	Cường độ ép chẻ mẫu 28 ngày tuổi, MPa	
	Bê tông IC_A	Bê tông IC_B
1	3.619	3.940
2	3.745	4.027
3	3.625	4.110
Giá trị trung bình	3.663	4.026
Độ chụm	0.071	0.085
Hệ số biến thiên, %	1.933	2.114

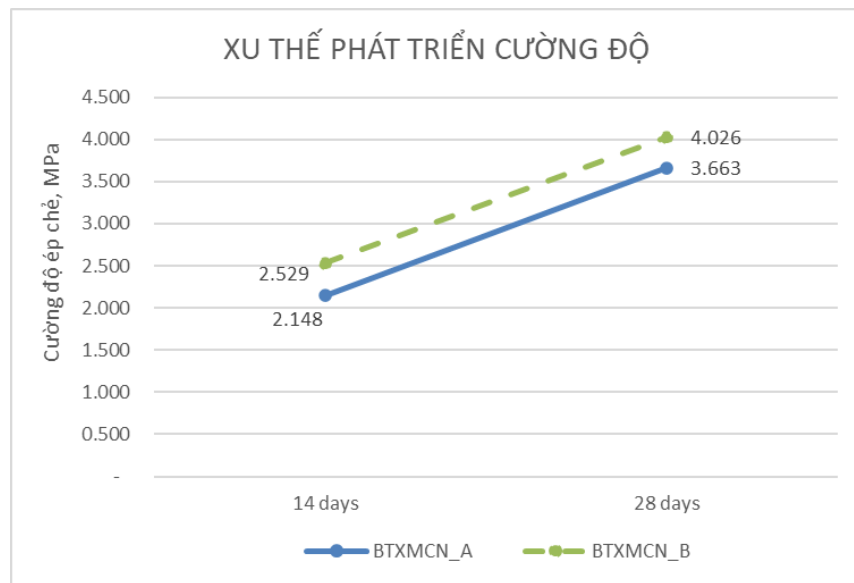
Một số hình ảnh thí nghiệm cường độ ép chẻ của các mẫu BTXM được bảo dưỡng ở hai chế độ A và B được thể hiện trong Hình 4.2 và Hình 4.3.

**Hình 4.2. Mẫu BTXM cát nhẹ, bảo dưỡng chế độ B – 28 ngày tuổi**



Hình 4.3. Một số hình ảnh thí nghiệm ép thử mẫu BTXM

Xu thế phát triển cường độ từ 14 ngày tuổi đến 28 ngày tuổi của các loại BTXM với các chế độ bảo dưỡng nghiên cứu được thể hiện trong đồ thị Hình 4.4.



Hình 4.4. Xu thế phát triển cường độ của các loại bê tông với các chế độ bảo dưỡng khác nhau

Qua số liệu thí nghiệm, có thể có một số nhận xét như sau:

- Bê tông IC bảo dưỡng ở chế độ B (phủ vải, tưới nước chỉ 1 lần sau khi đúc) có cường độ cao hơn so với mẫu bảo dưỡng ở chế độ ngoài hoàn toàn (phủ vải, tưới nước hàng ngày), là 17,7 % đối với mẫu 14 ngày tuổi và 10% đối với mẫu 28 ngày tuổi.

- Xu thế trong biểu đồ cho thấy chế độ bảo dưỡng B không làm ảnh hưởng đến khả năng phát triển cường độ của BTXMCN.

Kết quả thực nghiệm này có thể được giải thích như sau: đối với mẫu bảo dưỡng chế độ A sẽ không mất nước dư qua quá trình bay hơi bởi mẫu được bảo dưỡng ẩm liên tục, độ ẩm tương đối bên trong bê tông có thể chỉ giảm nhẹ, theo đó chưa tạo động lực thúc đẩy nội bảo dưỡng (nước trong cát nhẹ chưa chuyển dịch nhiều cho nền đá chất kết dính). Đối với mẫu bảo dưỡng theo chế độ B, sau khi phủ vải và tưới ẩm duy nhất một lần, giai đoạn ngắn ban đầu mẫu bê tông chưa bị mất nước do bay hơi, tuy nhiên ngay sau một phần nước tự do (dư) sẽ bay hơi khi bề mặt mẫu không còn duy trì độ ẩm cao, theo đó tỷ lệ N/CKD giảm xuống và điều này góp phần làm tăng cường độ của bê tông. Bên cạnh đó, các yếu tố tiêu cực do mất nước tự do (tăng co ngót, giảm thủy hoá chất kết dính...) lại được bù đắp bởi hiệu quả của IC (nước nội bảo dưỡng chuyển dịch ra nền đá chất kết dính), bù mất ẩm và bù co ngót, tạo điều kiện thuận lợi để chất kết dính thủy hoá, do đó góp phần cải thiện cường độ của bê tông.

Kết quả thực nghiệm ITS cũng như quy luật phát triển cường độ tương đồng giữa các nhóm mẫu bảo dưỡng theo chế độ A và B cũng minh chứng có thể giảm nhẹ mức độ bảo dưỡng từ bên ngoài đối với bê tông nội bảo dưỡng.

Với các nhận xét về mức cường độ đạt được và xu thế phát triển cường độ, có thể thấy rõ khả năng tự bảo dưỡng của bê tông IC từ nguồn nước chứa trong cát nhẹ. Từ kết quả nghiên cứu, có thể đề xuất quy trình bảo dưỡng mặt đường bê tông sau khi đổ đơn giản, với giải pháp che phủ bề mặt và tưới ẩm một lần sau khi rải và hoàn thiện bề mặt bê tông.

4.3. Xây dựng bài toán tính toán kết cấu mặt đường BTXM sử dụng vật liệu BTXM nội bảo dưỡng theo AASHTO

4.3.1. Số liệu tính toán

Kết cấu mặt đường dự kiến, như sau:

- Tầng mặt BTXM tự bảo dưỡng, có chiều dày $h = 26 \text{ cm}$;
- + Cường độ kéo uốn $f_r = 5,5 \text{ MPa}$;
- + Mô đun đàn hồi vật liệu $E_c = 27,5 \text{ GPa}$;
- + Hệ số Poisson, do không có điều kiện thí nghiệm nên lấy theo BTXM thường trong hướng dẫn $\mu_c = 0,15$;

- + Hệ số giãn nở nhiệt lấy theo hỗn hợp sử dụng đá dăm $\alpha_C = 7,0.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$.
- Tấm BTXM kích thước 4.8m x 3.5m; khe dọc có thanh liên kết; khe ngang không bố trí thanh truyền lực.
- Móng trên bằng cấp phối đá dăm gia cố xi măng 5% dày $h_b = 0,20\text{m}$ với mô đun đàn hồi 600 MPa, hệ số Poisson $\mu_b = 0,20$;
- Lớp móng dưới bằng cấp phối đá dăm dày 0,18m có mô đun đàn hồi bằng 300 MPa hệ số Poisson $\mu_{sb} = 0,35$;
- Nền đất: á sét ở độ ẩm tương đối 0,65 có $E_0 = 44 \text{ MPa}$;

4.3.2. Tính toán số liệu giao thông – thiết kế kết cấu mặt đường cứng theo AASHTO 1993 [45]

Theo hướng dẫn AASHTO 1993, thông số giao thông trong thiết kế kết cấu mặt đường cứng là tổng lượng trục xe 82 kN (18 kips) tích lũy trong thời kì thiết kế, được tính tương đương với tính toán theo Hướng dẫn 3230 ứng với đường cấp 4 là 15 năm.

Công thức tính toán tổng lượng trục đơn thiết kế:

$$ESALs = \sum_1^n ESAL_i \quad (4.1)$$

$$ESAL_i = f_d * G_{jt} * AADT_i * 365 * N_i * F_{Ei} \quad (4.2)$$

Trong đó:

$ESAL_i$ – số trục tương đương 18,000 lb của loại trục xe i

$AADT_i$ – lưu lượng xe ngày đêm năm đầu của loại xe i

G_{jt} – tỉ lệ tăng trưởng j và thời kỳ thiết kế t (tương ứng 3% đối với xe nặng và 15 năm;

f_d – hệ số làn xe thiết kế (lấy bằng 0,5)

$ESAL$ – số trục tương đương 18,000 lb của tất cả các xe

F_{Ei} – hệ số tải trọng tương đương (Phụ lục D – hướng dẫn AASHTO 1993)

n – số loại xe tính toán

Theo số liệu giao thông đã cho, tính toán tổng trục tương đương đối với các loại xe để tính toán kết cấu mặt đường BTXM được thể hiện trong bảng 4.3.

Bảng 4.3. Tính toán lượng giao thông theo AASHTO 1993

Loại xe	Trục xe	Loại trục	Trọng lượng trục xe P_i	Trọng lượng trục xe P_i	Số trục	Hệ số tải trọng tương đương	$ESAL_i$
			(kN)	(kips)		F_{Ei}	
Xe buýt loại nhỏ	Trước	Đơn	25	5.62023	42	0.01	1,426
	Sau	Đơn	50	11.2405	42	0.56	79,839
Xe buýt loại lớn	Trước	Đơn	45	10.1164	38	0.08	10,319
	Sau	Đơn	90	20.2328	38	1.58	203,806
Xe tải vừa	Trước	Đơn	20	4.49618	89	0.02	6,042
	Sau	Đơn	50	11.2405	89	0.56	169,182
Xe tải vừa	Trước	Đơn	45	10.1164	67	0.08	18,195
	Sau	Đơn	100	22.4809	67	2.4	545,836
Xe tải nặng	Trước	Đơn	60	13.4885	34	0.255	29,430
	Sau	Kép	120	26.9771	34	14.2	1,638,865
Xe kéo móc	Trước	Đơn	56	12.5893	25	0.24	20,367
	Sau	Kép	110	24.729	25	10.27	871,538
	Sau	Ba	110	24.729	25	16.2	1,374,773
Tổng cộng							4,969,616

Kết quả tính toán lượng giao thông qui đổi tải trọng đơn tiêu chuẩn 82 kN trong thời kì thiết kế 15 năm, với tỉ lệ tăng trưởng xe nặng 3%/năm là: 4,969616 * 10⁶ trục.

Chuyển đổi số liệu đầu vào tương ứng với hướng dẫn thiết kế AASHTO 1993:

- Tầm mặt đường BTXM nội bảo dưỡng:
- + Chiều dày $D = 0,26$ m (10,24 inches)
- + Cường độ kéo uốn $S'_c = 4,8$ MPa (800 psi);
- + Mô đun đàn hồi $E_c = 24000$ MPa (4000000 psi);
- + Kích thước tấm 4.8m x 3.5m; lề đường gia cố, có liên kết.

- Các lớp móng và nền đường: do không có điều kiện thí nghiệm mô đun đàn hồi hữu hiệu của các lớp móng và nền đường, kiến nghị lấy mô đun đàn hồi của các lớp móng và nền tương ứng với các chỉ tiêu sau:

- + Móng trên cấp phối đá dăm gia cố xi măng 5% dày $h_b = 0,20$ m (7,87 inches) với mô đun đàn hồi $E_b = 522,132$ MPa (87022 psi);
- + Móng dưới cấp phối đá dăm dày $h_{sb} = 0,18$ m (7,07 inches) với mô đun đàn hồi $E_{sb} = 261,066$ MPa (43511 psi);
- + Nền đất có mô đun đàn hồi $M_R = 38,286$ MPa (6381 psi);

- Điều kiện thoát nước tốt $C_d = 1$; hệ số mất mát gối đỡ $LS = 1$; Hệ số truyền tải trọng $J = 3,8$ (không có thanh truyền lực tại khe ngang, có thanh truyền lực ở khe nối dọc và liên kết với lề gia cố xi măng)

- Đường tỉnh cấp IV: Độ lệch chuẩn: $R = 85\% \rightarrow Z = -1,037$; $S_0 = 0,35$; $p_0 = 4,5$; $p_t = 2,5$

- Tổng trục giao thông tích lũy tính toán: $W_{18} = 4,97 \times 10^6$ ESALs

Tính toán mặt đường BTXM theo hướng dẫn AASHTO 1993:

- Xác định mô đun phản lực nền tổng hợp có xét đến lớp móng dưới (toán đồ hình 3.3, trang II-39, hướng dẫn AASHTO 1993 [45]): $M_R = 38,286$ MPa (6381 psi); $D_{SB} = 0,18$ m (7,07 inches); $E_{sb} = 261,066$ MPa (43511 psi); $\rightarrow$ mô đun phản lực nền xét đến móng dưới $k = 2,1$ MPa (350 psi)

- Tính mô đun đàn hồi hữu hiệu có xét đến lớp móng dưới theo công thức (công thức 12-24, trang 637, Pavement Analysis and Design):

$$k = \frac{M_R}{18,8} \quad (4.3)$$

Có mô đun đàn hồi hữu hiệu có xét đến lớp móng dưới: $M_R = 350 \times 18,8 = 39,48$ MPa (6580 psi)

- Xác định mô đun phản lực nền tổng hợp có xét đến lớp móng trên (toán đồ hình 3.6, trang II-42, hướng dẫn AASHTO 1993 [45]): $M_R = 39,48$ MPa (6580 psi); $D_B = 0,20$ m (7,87 inches); $E_b = 522,132$ MPa (87 022 psi); $\rightarrow$ mô đun phản lực nền xét đến móng trên $k = 500$ pci

- Xét đến hệ số mất mát gối đỡ (toán đồ hình 3.3, trang II-39, hướng dẫn AASHTO 1993): $LS = 1$; $k = 500$ KPa/mm $\rightarrow$ mô đun phản lực nền xét đến mất mát gối đỡ $k = 165$ KPa/mm

- Tính toán chiều dày cần thiết của tấm BTXM (toán đồ hình 3.7, trang II-45, II-46, hướng dẫn AASHTO 1993 [45]):

- + Số tải trọng tích lũy $W_{18} = 4,97 \times 10^6$ trục
- + Độ tin cậy: 85%
- + Mất mát mức độ phục vụ: $\Delta PSI = p_0 - p_t = 2,5$
- + Mô đun đàn hồi tấm BTXM: $E_c = 24000 \text{ MPa}$ (4000000 psi);
- + Cường độ kéo uốn BTXM: $S'_c = 4,8 \text{ MPa}$ (800 psi);
- + Hệ số truyền tải trọng: $J = 3,8$;
- + Hệ số thoát nước: $C_d = 1$;
- + Mô đun phản lực nền tính toán: $k = 165 \text{ pci}$;

Tra toán đồ, có chiều dày yêu cầu của tấm BTXM tương ứng $D = 9,0 \text{ inches} = 23 \text{ cm}$.

Kết luận: Theo phương pháp tính toán của AASHTO, với các tham số dự kiến tương ứng, chiều dày tấm BTXM tự bảo dưỡng được đưa vào nghiên cứu tương ứng là 23 cm.

Thiết kế tấm dày 26 cm thỏa mãn yêu cầu với mức vượt khoảng 11 %.

4.4. Kiểm toán kết cấu mặt đường theo hướng dẫn hiện hành của Việt Nam

Tính toán kết cấu mặt đường BTXM sử dụng hướng dẫn thiết kế hiện hành của Việt Nam – Quyết định số 3230/QĐ-BGTVT ngày 14/12/2012 [2]

4.4.1. Số liệu tính toán

Hỗn hợp BTXM nội bảo dưỡng được đề xuất để thiết kế cho tuyến đường cấp huyện, địa bàn huyện Thanh Ba, một huyện miền núi nằm ở phía Tây Bắc thuộc tỉnh Phú Thọ. Lưu lượng giao thông và tính toán cụ thể cấp đường tương ứng với thời kì thiết kế 20 năm và tỉ lệ tăng trưởng xe với xe máy và xe con 6%/ năm, với xe nặng 3%/năm, được thể hiện trong Bảng 4.4.

Bảng 4.4. Lưu lượng giao thông và tính toán cấp đường

Loại xe	Số xe N_i (xe)	Hệ số đổi xe về xcqd (a_i)	Số xe qui đổi N_{xcqdi} (xcqd)
Xe máy	100	0.3	30
Xe con	50	1	50
Xe buýt nhỏ	42	2.5	105

Xe buýt lớn	38	3	114
Xe tải nhẹ	89	2.5	222.5
Xe tải vừa	67	2.5	167.5
Xe tải nặng	34	3	102
Xe kéo mooc	25	5	125
Tổng	395		916

Tính lưu lượng xe con qui đổi năm thiết kế thứ 20 tính toán: 1707 xqcđ/ngày đêm, tương ứng với đường cấp IV, địa hình miền núi.

4.4.2. Tính toán số liệu giao thông

Theo Hướng dẫn 3230, lượng giao thông nặng được tính toán tương ứng với 3000 xe được điều tra. Với lưu lượng xe nặng có mặt trên đường, lượng xe tương ứng với 3000 xe điều tra được tính toán như trong bảng 4.5.

Bảng 4.5. Lượng giao thông nặng tính toán cho mặt đường BTXM

Loại xe	Số xe N_i (xe)	Hệ số quy đổi a_i	Số xe quy đổi $N_i(xqcđ)$	% xe trong tổng số xe đã điều tra (p_i)	Số lượng xe trong tổng số 3000 xe điều tra
Xe buýt nhỏ	42	2.5	105	13%	377
Xe buýt lớn	38	3	114	14%	410
Xe tải nhẹ	89	2.5	222.5	27%	799
Xe tải vừa	67	2.5	167.5	20%	602
Xe tải nặng	34	3	102	12%	367
Xe kéo mooc	25	5	125	15%	449
Tổng	295		836	100%	3,000

Với số liệu tải trọng trực điều tra được, với lưu lượng xe nặng/làn/ngày đêm $295 \times 0.55 = 162$, tính toán số trục xe nặng cho năm đầu tiên được thực hiện theo công thức (4.4) và thể hiện trong bảng 4.6

Bảng 4.6. Tính lưu lượng trục xe nặng trung bình ngày đêm năm đầu tiên

Loại xe	Trục xe	Số trục xe (m)	Trọng lượng trục xe P_i (kN)	Lưu lượng xe nặng trong số 3000 xe	Số lượng trục xe trong số 3000 xe $n=m \cdot n_i$	$k_{pi} = \left(\frac{P_i}{P_s}\right)^{16}$	% số trục đơn có tải trọng P_i (p_i)	$\Sigma(k_{pi} \cdot p_i)$
Xe buýt loại nhỏ	Trước	1	25	377	377	2.33×10^{-10}	0.13	3.029×10^{-11}
	Sau	1	50		377	1.52×10^{-5}	0.13	1.976×10^{-6}
Xe buýt loại lớn	Trước	1	45	410	410	2.83×10^{-6}	0.14	3.962×10^{-7}
	Sau	1	90		410	0.185	0.14	0.0259
Xe tải vừa	Trước	1	20	799	799	6.55×10^{-12}	0.27	1.769×10^{-12}
	Sau	1	50		799	1.52×10^{-5}	0.27	4.104×10^{-6}
Xe tải vừa	Trước	1	45	602	602	2.83×10^{-6}	0.20	5.66×10^{-7}
	Sau	1	100		602	1	0.20	0.20
Xe tải nặng	Trước	1	60	367	367	2.82×10^{-4}	0.12	3.384×10^{-4}
	Sau	2	120		734	18.489	0.12	2.219
Xe kéo móc	Trước	1	56	449	449	9.35×10^{-5}	0.15	1.4025×10^{-5}
	Sau	5	110		2245	4.59	0.15	0.6885
Tổng cộng				836	8171			3.134

$$N_S^1 = ADTT * \left(\frac{n}{3000}\right) \sum_1^n (k_{pi} * p_i) \quad (4-4)$$

Trong đó:

N_S^1 – Lưu lượng trục xe nặng ngày đêm trung bình năm quy đổi về trục tiêu chuẩn trên làn xe thiết kế, ở năm đầu tiên đưa đường vào khai thác

$ADTT$ - số xe nặng ngày đêm trung bình năm trên làn xe thiết kế ở năm đầu tiên đưa đường vào khai thác (xe/ngày.làn);

n - tổng số trục đơn thông qua trong 3000 xe điều tra (loại xe có 2 trục, 6 bánh);

k_{pi} – hệ số qui đổi trục xe trong tính toán mặt đường cứng;

p_i - % số trục đơn có trọng lượng trục P_i trong phổ trục xe nặng điều tra.

$$N_S^1 = ADTT * \left(\frac{n}{3000}\right) \sum_1^n (k_{ni} * p_i) = 162 * \left(\frac{8171}{3000}\right) * 3.134 = 1328 \quad \text{trục/làn/ngày đêm}$$

Tính tổng số trục trong thời kì thiết kế

$$N_e = \frac{N_S^1[(1+g_r)^t-1]*365}{g_r} \eta = \frac{1328[(1+0.03)^{14}-1]*365}{0.03} * 0.55 = 4960347 = 4.96 * 10^6 \text{ trục}$$

Với :

N_e – Tổng trục xe 100 KN tích lũy trong thời kỳ thiết kế (thời kỳ thiết kế được lấy 15 năm tương ứng đường cấp 4 – Bảng 9 – Hướng dẫn thiết kế 3230)

N_S^1 – Lưu lượng trục xe nặng ngày đêm trung bình năm quy đổi về trục tiêu chuẩn trên làn xe thiết kế, ở năm đầu tiên đưa đường vào khai thác

g_r – hệ số tăng trưởng xe nặng: 3%/năm

η - hệ số phân bố ngang của vệt bánh xe, lấy bằng 0.55 (Bảng A-2, Phụ lục A – Hướng dẫn thiết kế 3230)

Với số lượng tải trọng trục lặp thiết kế tính toán: $4.96*10^6$ trục, theo phân cấp quy mô (Bảng 1 – Hướng dẫn thiết kế 3230), cấp quy mô giao thông cho đường thiết kế là “Giao thông nặng”, tham khảo có thể chọn chiều dày tấm BTXM mặt đường từ 24 ÷ 27 cm (theo Bảng 2 – Hướng dẫn thiết kế 3230).

4.4.3. Tính toán thiết kế kết cấu mặt đường cứng

- Đường cấp IV làm mới hai làn xe;
- Gradient nhiệt lớn nhất: (cho khu vực phía Bắc) $T_g = 86^\circ\text{C/m}$;
- Tải trọng trục tiêu chuẩn $P_s = 100 \text{ kN}$;
- Qua điều tra, dự báo trên đường có trục xe nặng nhất $P_{\max} = 120 \text{ kN}$.

- Số lần tác dụng quy đổi về trục xe tiêu chuẩn $P_s = 100$ kN tích lũy là $N_e = 4.96 \cdot 10^6$ lần/làn trong thời hạn phục vụ thiết kế 15 năm.

Dự kiến kết cấu mặt đường:

- Tầng mặt BTXM tự bảo dưỡng, có chiều dày $h = 26$ cm;
- + Cường độ kéo uốn $f_r = 5.5$ MPa;
- + Mô đun đàn hồi vật liệu $E_c = 27,5$ GPa;
- + Hệ số Poisson, do không có điều kiện thí nghiệm nên lấy theo BTXM thường trong hướng dẫn $\mu_c = 0,15$;
- + Hệ số giãn nở nhiệt $\alpha_c = 7,0 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$.
- Tấm BTXM kích thước $4.8\text{m} \times 3.5\text{m}$; khe dọc có thanh liên kết; khe ngang không bố trí thanh truyền lực.
- Móng trên bằng cấp phối đá dăm gia cố xi măng 5% dày $h_b = 0,20\text{m}$ với mô đun đàn hồi 600 MPa, hệ số Poisson $\mu_b = 0.20$;
- Lớp móng dưới bằng cấp phối đá dăm dày $0,18\text{m}$ có mô đun đàn hồi bằng 300 MPa hệ số Poisson $\mu_{sb} = 0.35$;
- Nền đất : á sét ở độ ẩm tương đối 0,65 có $E_0 = 44$ MPa.

Kiểm toán kết cấu áo đường

a. Tính toán mô đun đàn hồi chung E_t của nền đất và móng dưới bằng vật liệu hạt: Do chỉ có một lớp móng dưới bằng cấp phối đá dăm, $n = 1$ nên:

$$E_x = \frac{\sum_1^n (h_i^2 \cdot E_i)}{\sum_1^n h_i^2} = \frac{h_1^2 \cdot E_1}{h_1^2} = 300 \text{ MPa}$$

$$h_x = \sum_1^n h_i = h_1 = 0,18 \text{ m};$$

$$\alpha = 0,86 + 0,26 \ln h_x = 0,86 + 0,26 \ln 0,18 = 0,414;$$

$$E_t = \left(\frac{E_x}{E_0} \right)^\alpha \cdot E_0 = \left(\frac{300}{44} \right)^{0,414} \cdot 44 = 97,40 \text{ MPa};$$

b. Tính độ cứng tương đối chung của cả kết cấu r_g

$$D_c = \frac{E_c h_c^3}{12(1-\mu_c^2)} = \frac{27500 \cdot 0,26^3}{12(1-0,15^2)} = 41,20 \text{ MN.m};$$

$$D_b = \frac{E_b h_b^3}{12(1-\mu_b^2)} = \frac{600 \cdot 0,20^3}{12(1-0,20^2)} = 0,417 \text{ MN.m};$$

$$r_g = 1,21 \left(\frac{D_c + D_b}{E_t} \right)^{1/3} = 1,21 \left(\frac{41,20 + 0,417}{97,40} \right)^{1/3} = 0,911 \text{ m};$$

c. Tính ứng suất do tải trọng trục xe gây ra :

$$\sigma_{ps} = \frac{1,45 \cdot 10^{-3}}{1 + \frac{D_b}{D_c}} \cdot r_g^{0,65} \cdot h_c^{-2} \cdot P_S^{0,94}$$

$$\sigma_{ps} = \frac{1,45 \cdot 10^{-3}}{1 + \frac{0,417}{41,20}} \cdot 0,911^{0,65} \times 0,26^{-2} \times 100^{0,94} = 1,498 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{pm} = \frac{1,45 \cdot 10^{-3}}{1 + \frac{0,417}{41,20}} \cdot 0,911^{0,65} \times 0,26^{-2} \times 120^{0,94} = 1,779 \text{ MPa}$$

- Theo (8-5) tính được: $\sigma_{pr} = k_r \cdot k_f \cdot k_c \cdot \sigma_{ps}$ trong đó $k_r = 0,87$ (lề đất); $k_c = 1,05$; $k_f = N_e^{0,057}$ từ đó có:

$$\sigma_{pr} = k_r \cdot k_f \cdot k_c \cdot \sigma_{ps} = 0,87 \times (4,96 \cdot 10^6)^{0,057} \times 1,05 \times 1,498 = 3,295 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{pmax} = k_r \cdot k_c \cdot \sigma_{pm} = 0,87 \times 1,05 \times 1,779 = 1,625 \text{ MPa};$$

d. Tính ứng suất kéo uốn do gradien nhiệt độ gây ra:

$$k_n = 1/2 \left[\frac{h_c}{E_c} + \frac{h_b}{E_b} \right]^{-1} = 1/2 \cdot \left[\frac{0,26}{27500} + \frac{0,20}{600} \right]^{-1} = 1458 \text{ MPa/m}; \text{ (không có lớp BTN cách ly);}$$

$$r_\beta = \left[\frac{(D_c \cdot D_b)}{(D_c + D_b) k_n} \right]^{1/4} = \left[\frac{(41,20 \times 0,417)}{(41,20 + 0,417) \times 1458} \right]^{1/4} = 0,129;$$

$$\xi = - \left[\frac{(k_n \cdot r_g^4 - D_c) \cdot r_\beta^3}{(k_n \cdot r_\beta^4 - D_c) \cdot r_g^3} \right] = - \frac{(1458 \times 0,911^4 - 41,20) \times 0,130^3}{(1458 \times 0,129^4 - 41,20) \times 0,911^3} = 0,067;$$

$$t = \frac{L}{3 \cdot r_g} = \frac{4,8}{3 \cdot 0,911} = 1,756;$$

$$C_L = 1 - \left(\frac{1}{1 + \xi} \right) \cdot \frac{Sht \cdot \cos t + Cht \cdot \sin t}{\cos t \cdot \sin t + Sht \cdot Cht}$$

$$\text{Với:} \quad Sht = \frac{e^t - e^{-t}}{2} = 2,809 \quad ; \quad Cht = \frac{e^t + e^{-t}}{2} = 0,508$$

$$C_L = 1 - \left(\frac{1}{1 + 0,065} \right) \cdot \frac{Sht \cdot \cos 1,756 + Ch \cdot \sin 1,756}{\cos 1,756 \cdot \sin 1,756 + Sht \cdot Ch}$$

$$C_L = 1,014;$$

$$B_L = 1,77 \cdot e^{-4,48 \cdot h_c} \cdot C_L - 0,131 (1 - C_L)$$

$$= 1,77 \cdot e^{-4,48 \times 0,26} \times 1,014 - 0,131 (1 - 0,934) = 0,551;$$

$$\sigma_{tmax} = \frac{\alpha_c \cdot h_c \cdot E_c \cdot T_g}{2} B_L = \frac{7 \cdot 10^{-6} \cdot 0,26 \cdot 27500 \cdot 86}{2} \cdot 0,551 = 1,186 \text{ MPa}$$

α_c - hệ số giãn nở nhiệt của bê tông IC, $\alpha_c = 7,0 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$.

h_c – chiều dày tấm BTXM (= 0,26m)

E_c – Mô đun đàn hồi tấm BTXM, (=27500 MPa)

T_g – Gradient nhiệt độ lớn nhất tùy thuộc vùng xây dựng mặt đường, (0.86 °C/cm)

B_L – Hệ số ứng suất nhiệt độ tổng hợp (= 0,551 theo tính toán ở trên)

- Tính hệ số môi nhiệt k_t

$$k_t = \frac{f_r}{\sigma_{tmax}} [a_t \left(\frac{\sigma_{tmax}}{f_r} \right)^{b_t} - c_t] = \frac{5,5}{1,186} \left[0,841 \left(\frac{1,186}{5,5} \right)^{1,323} - 0,058 \right] = 0,243$$

σ_{tmax} - ứng suất kéo uốn lớn nhất do gradient nhiệt lớn nhất gây ra tại vị trí giữa cạnh dọc tấm, (=1.186 MPa)

Các hệ số a_t ; b_t và c_t là các hệ số hồi qui lấy tương ứng:

$$a_t = 0,841 \quad b_t = 1,323 \quad c_t = 0,058$$

f_r - cường độ kéo uốn của BTXM (lấy = 5,5 MPa);

Tính được ứng suất nhiệt gây môi:

$$\sigma_{tr} = k_t \cdot \sigma_{tmax} = 0,243 \times 1,186 = 0,289 \text{ MPa}$$

e. Kiểm toán các điều kiện giới hạn:

Tuyến đường thiết kế thuộc cấp IV nên lấy độ tin cậy $\gamma_r = 1,13$ từ đó:

- Theo điều kiện (8-1 của hướng dẫn)

$$\gamma_r (\sigma_{pr} + \sigma_{tr}) \leq f_r \text{ hay } 1,13 \times (3,295 + 0,289) = 4,05 \text{ MPa} \leq 5,5 \text{ MPa};$$

- Theo điều kiện (8-2 của hướng dẫn)

$$\gamma_r (\sigma_{pmax} + \sigma_{tmax}) \leq f_r \text{ hay } 1,13 \times (1,779 + 1,186) = 3,35 \text{ MPa} \leq 5,5 \text{ MPa};$$

Như vậy, có thể kết luận: kết cấu mặt đường BTXM dự kiến gồm 26 cm tầng mặt BTXM trên móng cấp phối đá dăm gia cố xi măng 20 cm, móng dưới cấp phối đá dăm 18 cm đã đạt được các điều kiện giới hạn cho phép do đó có thể chấp nhận kết cấu này làm kết cấu thiết kế. Mức vượt tương ứng về cường độ là 26,36 %.

4.5. Kiểm tra kết cấu theo phương pháp cơ học – thực nghiệm dự báo hư hỏng của mặt đường

Phương pháp thiết kế theo cơ học thực nghiệm sử dụng phần mềm ME, với các tham số giới hạn cuối thời kì thiết kế ứng với độ tin cậy thiết kế 85%, bao gồm:

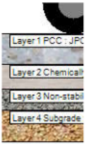
- Độ gồ ghề IRI: 2,7 m/km
- Tỷ lệ các tấm xuất hiện nứt ngang: 15%
- Chiều dài trung bình khe nổi bị hư hỏng: 3mm.

Các tham số đầu vào thiết kế mặt đường BTXM theo phương pháp cơ học thực nghiệm và các giá trị đưa vào phần mềm, bao gồm như sau:

Các số liệu đầu vào thiết kế:

Số liệu đầu vào thiết kế cơ bản đưa vào trong chương trình được thể hiện trong Hình 4.5 và chi tiết như mô tả dưới đây và từ phần mềm đưa vào Phụ lục 1.

Design Inputs			
Design Life:	15 years	Existing construction:	-
Design Type:	Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP)	Pavement construction:	June, 2024
		Traffic opening:	September, 2024
		Climate Data	21.5, 105
		Sources (Lat/Lon)	

Design Structure			Traffic	
	Layer type	Material Type	Thickness(mm):	Joint Design:
	PCC	JPCP Default	260.0	Joint spacing (m) 4.5
	Cement_Base	Cement stabilized	200.0	Dowel diameter (mm) 32.0
	NonStabilized	Crushed stone	180.0	Slab width (m) 3.7
	Subgrade	A-2-6	Semi-infinite	
	Age (year)	Heavy Trucks (cumulative)		
	2024 (initial)	445		
	2031 (7 years)	428,968		
	2039 (15 years)	963,871		

Hình 4.5. Các số liệu đầu vào cơ bản thiết kế

Số liệu đầu vào thiết kế thể hiện trên Hình 4.5 cụ thể là:

- Loại hình thiết kế: Thiết kế mới
- Loại mặt đường: BTXM phân tằm – kích thước tằm: 3,7 x 4,5 (m)
- Thời kì phân tích: 15 năm, hệ số tăng trưởng xe nặng 3 %/năm

Các tham số về tằm BTXM mặt đường

- Chiều dày: 260mm; Khối lượng thể tích: 2400 Kg/m³
- Hệ số Poisson: 0,15
- Hệ số giãn nở nhiệt của bê tông IC: 7,0 (mm/mm/⁰C)x10⁻⁶
- Hàm lượng xi măng: 300 Kg/m³; Tỷ lệ N/X: 0,452
- Loại cốt liệu thô: đá vôi.
- Cường độ chịu kéo uốn 28 ngày tuổi: 5,5 MPa
- Mô đun đàn hồi 28 ngày tuổi: 30,000 MPa

Các tham số về móng trên và móng dưới

- Móng trên cấp phối đá dăm gia cố xi măng: 200 mm; Mô đun đàn hồi: 600 MPa; Hệ số Poisson: 0,20.
- Móng cấp phối đá dăm: 180 mm; Mô đun đàn hồi: 300 MPa; Hệ số Poisson: 0,35.

Các tham số điều kiện khí hậu: Lấy tại trạm Phú Thọ, Việt Nam theo số liệu trên phần mềm được tóm tắt trong Hình 4.6.

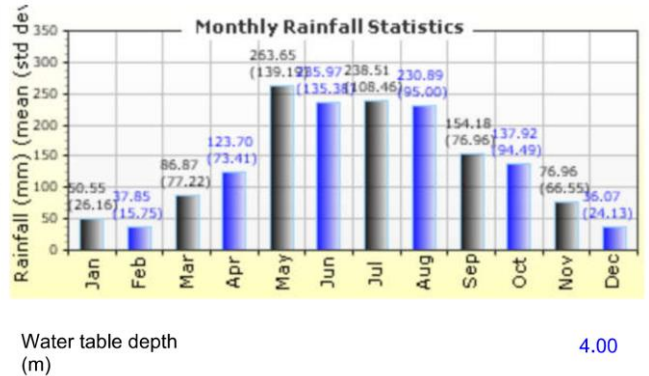
Climate Inputs

Climate Data Sources:

Climate Station Cities: Location (lat lon elevation(m))
 PHU_THO, VN 21.50000 105.00000 51

Annual Statistics:

Mean annual air temperature (°C) 24.01
 Mean annual precipitation (mm) 1691.13
 Freezing index (°C - days) 0.00
 Average annual number of freeze/thaw cycles: 0.00



Hình 4.6. Số liệu đầu vào khí hậu theo trạm Phú Thọ

Theo số liệu đầu vào khí hậu tại trạm Phú Thọ trên hình 4.6 thì nhiệt độ trung bình hàng năm là 24,01°C và lượng mưa trung bình hàng năm là 1691,133 mm.

Kết quả tính toán:

Các kết quả tính toán cho thấy các tham số đều đạt với các kết quả dự báo hư hỏng ở năm thứ 15 như sau:

- Độ gồ ghề IRI dự báo ở năm thứ 15: 1,33 m/km
- Tỷ lệ các tấm xuất hiện nứt ngang: 4,26 %
- Chiều dài trung bình khe nổi bị hư hỏng: 0,44 mm.

Kết quả và các biểu đồ dự báo phát triển hư hỏng tương ứng như ở trong hình từ 4.7 đến 4.10 như sau:

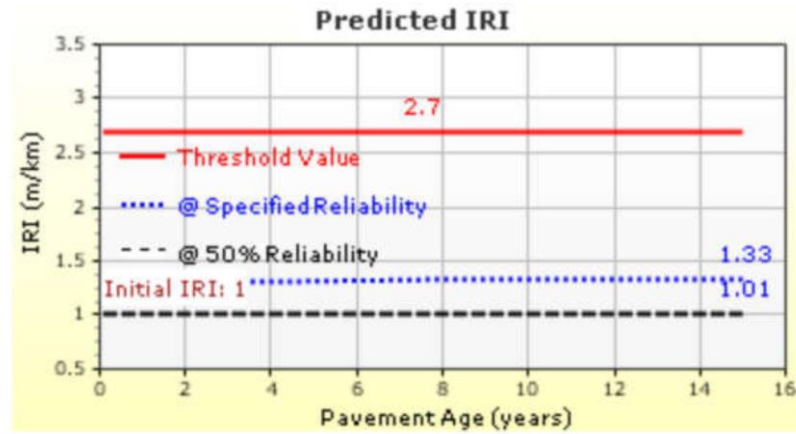
Design Outputs

Distress Prediction Summary

Distress Type	Distress @ Specified Reliability		Reliability (%)		Criterion Satisfied?
	Target	Predicted	Target	Achieved	
Terminal IRI (m/km)	2.70	1.33	85.00	100.00	Pass
Mean joint faulting (mm)	3.00	0.44	85.00	100.00	Pass
JPCP transverse cracking (percent slabs)	15.00	4.26	85.00	99.99	Pass

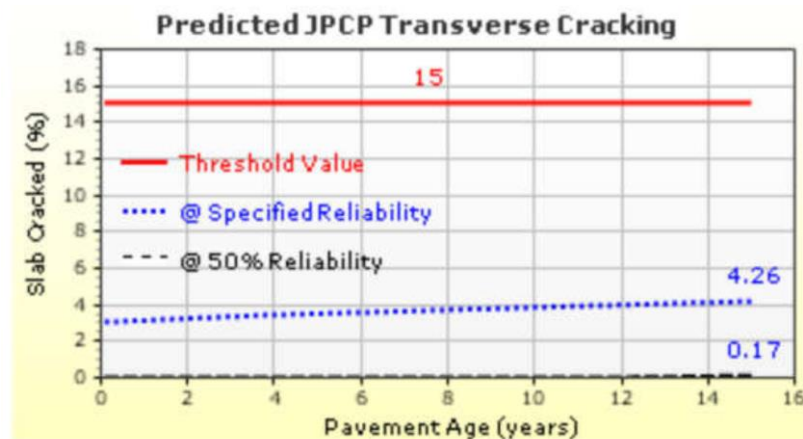
Hình 4.7. Các kết quả dự báo hư hỏng

Trên hình 4.7 cho thấy kết quả dự báo hư hỏng ở năm thứ 15 với độ tin cậy thiết kế 85% đã thể hiện: Độ gồ ghề IRI là 1,33 m/km < 2,70 m/km; Chiều dài trung bình khe nổi bị hư hỏng là 0,44 mm < 3,00 mm; Tỷ lệ các tấm xuất hiện nứt ngang là 4,26 % < 15,00 %.



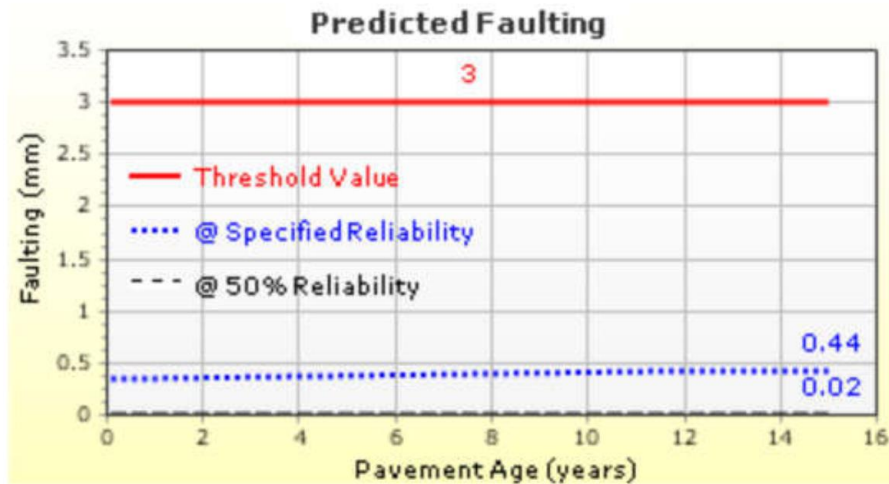
Hình 4.8. Dự báo phát triển độ gồ ghề của mặt đường

Hình 4.8 cho thấy kết quả dự báo phát triển độ gồ ghề của mặt đường IRI chỉ bằng một nửa giá trị cho phép (1,33 m/km so với 2,7 m/km) ở cuối thời kỳ thiết kế ứng với độ tin cậy 85%. Hay nói cách khác là khả năng khai thác của mặt đường vẫn tốt, đảm bảo điều kiện chạy xe an toàn.



Hình 4.9. Dự báo tỉ lệ tấm bị nứt ngang theo thời gian

Kết quả dự báo tỉ lệ các tấm bị nứt ngang theo thời gian trên hình 4.9 cho thấy ở cuối thời kỳ thiết kế tại năm thứ 15 với độ tin cậy 85% chưa đến 30% giá trị cho phép ($4,26/15=28,4\%$). Như vậy, các tấm bê tông vẫn rất bền và có thể khai thác tốt trong thời gian dài.



Hình 4.10. Dự báo chiều dài khe nổi trung bình bị hư hỏng theo thời gian

Kết quả dự báo chiều dài khe nổi trung bình bị hư hỏng theo thời gian trên hình 4.10 là 0,44 mm ở năm thứ 15 với độ tin cậy 85% chỉ bằng 15% giá trị cho phép ($0,44/3=15\%$). Tức là, khe nổi bị hư hỏng rất ít, điều này đem lại hiệu quả khai thác lâu dài cho mặt đường bê tông xi măng nội bảo dưỡng.

4.6. Các kết luận về ứng dụng BTXM nội bảo dưỡng làm mặt đường BTXM trong điều kiện của Việt Nam

Với các nội dung cơ bản đã thực hiện, có thể có các kết luận như sau:

- Vật liệu thỏa mãn các chỉ tiêu cơ bản, đồng thời thỏa mãn thiết kế theo cả 03 phương pháp thiết kế kết cấu mặt đường BTXM (hướng dẫn thiết kế hiện hành của Việt Nam, hướng dẫn AASHTO và phần mềm cơ học thực nghiệm ME) cho mặt đường BTXM từ cấp IV trở xuống, với lưu lượng giao thông trung bình cho đường địa phương từ đường tỉnh trở xuống.

- Nghiên cứu với 02 chế độ bảo dưỡng: thông thường theo qui trình (A) và phủ bề mặt + tưới ẩm một lần sau thi công (B), cho thấy xu thế phát triển cường độ và cường độ 14 và 28 ngày không bị ảnh hưởng. Mẫu bê tông IC bảo dưỡng theo chế độ B cho cường độ ép chế cải thiện hơn so với bảo dưỡng ở chế độ A. Như vậy, bê tông xi măng tự bảo dưỡng có thể thi công với chế độ bảo dưỡng đơn giản, tiết kiệm chi phí và thích hợp với điều kiện thi công địa phương.

- Các bước thi công cho mặt đường BTXM sử dụng bê tông IC bao gồm: (i) Xác định lượng cát nhẹ sử dụng cho ca thi công; (ii) Ngâm bão hòa cát nhẹ trong vòng 24 giờ; (3) Trộn hỗn hợp, rải và đầm bê tông theo qui trình thi công mặt đường

BTXM thông thường; (4) Rải phủ chống mất nước bề mặt bằng vật liệu phù hợp, tưới ẩm một lần sau thi công. Để thiết lập qui trình thi công chi tiết, cần có các nghiên cứu thử nghiệm hiện trường.

KẾT LUẬN, KIẾN NGHỊ VÀ DỰ KIẾN HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP TỤC

1. Kết luận

Dựa trên các kết quả nghiên cứu đạt được trong luận án, có thể đưa ra một số kết luận sau:

- Lượng ẩm giữ trong cấu trúc xốp của cát nhẹ phân bố đều khắp trong hỗn hợp đầm nén cho phép bê tông IC tự điều chỉnh quá trình bảo dưỡng, không chỉ tối giản được công tác bảo dưỡng BTXM mặt đường khá phức tạp, mà còn có khả năng tự kiểm soát lượng cung cấp ẩm cần thiết phù hợp với tốc độ tách nước của BTXM. Luận án đã chứng minh bằng thực nghiệm ưu điểm của “nội bảo dưỡng” so với “ngoại bảo dưỡng” theo qui trình thi công mặt đường BTXM thông thường hiện nay.
- Sử dụng XLC trong bê tông IC góp phần cải thiện các chỉ tiêu cường độ cơ bản của BTXM như cường độ nén, cường độ kéo khi uốn, mô đun đàn hồi và khả năng chống mài mòn.
- Bê tông nội bảo dưỡng sử dụng cát nhẹ + 35% XLC với hàm lượng XM tối thiểu theo qui định đối với BTXM làm mặt đường ô tô (300 kg/m^3) có tốc độ phát triển cường độ cũng như giá trị cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông tại 28 ngày tuổi, độ mài mòn đạt yêu cầu mặt đường BTXM đến cấp IV.
- Tồn tại khoảng hệ số dư vừa hợp lý đối với cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo khi uốn và độ mài mòn của bê tông IC đáp ứng yêu cầu kỹ thuật đối với bê tông làm đường đặc biệt là mặt đường bê tông xi măng tới cấp III tương đương bê tông thường, là ($K_d = 1,47 \div 1,56$). Giá trị K_d này có thể tham khảo khi thiết kế thành phần bê tông IC làm mặt đường ô tô.
- Với các chỉ tiêu cơ học ban đầu được xác định trong nghiên cứu thực nghiệm, với bài toán được thiết lập tương ứng cho một tuyến đường cụ thể, các tính toán thiết kế kết cấu mặt đường theo 03 phương pháp (hướng dẫn thiết kế hiện hành của Việt Nam, hướng dẫn AASHTO và phần mềm cơ học thực nghiệm ME) đều cho kết quả đạt yêu cầu.

- Nghiên cứu thực nghiệm với mẫu bảo dưỡng ở 02 chế độ khác nhau: thông thường theo qui trình (A) và phủ bề mặt + tưới ẩm một lần sau thi công (B), cho thấy xu thế phát triển cường độ và cường độ 14 và 28 ngày không bị ảnh hưởng. Mẫu bê tông IC bảo dưỡng theo chế độ B cho cường độ ép chỉ cải thiện hơn so với bảo dưỡng ở chế độ A. Như vậy, bê tông xi măng tự bảo dưỡng có thể thi công với chế độ bảo dưỡng đơn giản, tiết kiệm chi phí và thích hợp với điều kiện thi công địa phương.
- Đề xuất các bước thi công mặt đường BTXM sử dụng bê tông IC: (i) Xác định lượng cát nhẹ sử dụng cho ca thi công; (ii) Ngâm bão hòa cát nhẹ trong vòng 24 giờ; (iii) Trộn hỗn hợp, rải và đầm bê tông theo qui trình thi công mặt đường BTXM thông thường; (iv) Rải phủ chống mất nước bề mặt bằng vật liệu phù hợp, tưới ẩm một lần sau thi công.

2. Kiến nghị các hướng nghiên cứu chuyên sâu và mở rộng sau Bảo vệ luận án

Trên cơ sở các kết quả đã đạt được, để tiếp tục phát triển hướng nghiên cứu Bê tông sử dụng nội bảo dưỡng sử dụng xỉ lò cao trong thực tế, luận án đề xuất một số kiến nghị các hướng nghiên cứu chuyên sâu và mở rộng sau Bảo vệ luận án, cụ thể:

- Nghiên cứu chuyên sâu và mở rộng thêm về tuổi thọ của mặt đường bê tông xi măng nội bảo dưỡng trong các vùng khí hậu khác nhau.
- Nghiên cứu thêm các tính chất và khả năng liên kết của lớp bê tông xi măng nội bảo dưỡng với lớp mặt đường bê tông Asphalt.
- Nghiên cứu, xây dựng chương trình áp dụng thử nghiệm.

CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ

*** Bài báo khoa học**

1. Lê Thái Bình, Trần Thị Kim Đăng (2022), *Kết quả nghiên cứu thực nghiệm các chỉ tiêu cường độ của bê tông xi măng nội bảo dưỡng làm mặt đường ô tô*; Tạp chí Giao thông vận tải (ISSN 2354-0818), tháng 9/2022.
2. Lê Thái Bình (2022), *Ảnh hưởng của hệ số dư vữa đến cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông nội bảo dưỡng cho mặt đường bê tông xi măng*; Tạp chí Vật liệu và Xây dựng (ISSN 1859-381X), số 04, tập 12, 2022.
3. Lê Thái Bình, Nguyễn Duy Hiếu (2022), *Hiệu quả nội bảo dưỡng vữa xi măng cường độ cao*; Tạp chí khoa học Kiến trúc và Xây dựng (ISSN 1859-350X), số 45/2022.

*** Hội thảo khoa học Quốc tế**

1. Nguyễn Duy Hiếu, Lê Thái Bình, Trương Thị Kim Xuân (2019), *Ảnh hưởng của nội bảo dưỡng đến co mềm và cường độ của bê tông xi măng*; Hội thảo quốc tế về Kiến trúc và Xây dựng 2019 (ISBN: 978-604-67-1457-6), tháng 9/2019.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

* Tiếng Việt

1. Bộ Giao thông vận tải (2012), Quyết định số 1951/QĐ-BGTVT ngày 17/8/2012 ban hành “Quy định tạm thời về kỹ thuật thi công và nghiệm thu mặt đường bê tông xi măng trong xây dựng công trình giao thông”, Việt Nam.
2. Bộ Giao thông vận tải (2012), Quyết định số 3230/QĐ-BGTVT ngày 14/12/2012 ban hành “Quy định tạm thời về thiết kế mặt đường bê tông xi măng thông thường có khe nối trong xây dựng công trình giao thông”, Việt Nam.
3. Bộ Xây dựng (1998), Chỉ dẫn kỹ thuật chọn thành phần bê tông các loại theo Quyết định số 778/1998/QĐ-BXD ngày 05/9/1998, Việt Nam.
4. Nguyễn Thái Dương (2015), Nghiên cứu nứt trong kết cấu bê tông cốt thép, Đại học Kiến trúc Hà Nội.
5. Nguyễn Duy Hiếu (2016), Công nghệ bê tông nhẹ cốt liệu rỗng chất lượng cao, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
6. Nguyễn Duy Hiếu (2016), “Cơ sở khoa học về nội bảo dưỡng cho bê tông”, Tạp chí Xây dựng.
7. Nguyễn Duy Hiếu (2017), “Quá trình trao đổi nước giữa cốt liệu rỗng và đá xi măng trong bê tông tự bảo dưỡng”, Tạp chí Khoa học Kiến trúc và Xây dựng.
8. Nguyễn Duy Hiếu, Trần Bá Việt (2009), “Ảnh hưởng của việc dưỡng hộ bên trong đến tính chất cơ lý của bê tông cốt liệu rỗng chịu lực có độ chảy cao”, Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng.
9. Nguyễn Duy Hiếu, Trần Bá Việt, Phùng Văn Lự (2009), “Nghiên cứu biện pháp giảm phân tầng cho hỗn hợp bê tông keramzit tự lên”, Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng.
10. Nguyễn Duy Hiếu, Trần Bá Việt, Phùng Văn Lự (2010), “Nghiên cứu co ngót và chống thấm của bê tông keramzit chịu lực tự đầm”, Tạp chí Vật liệu xây dựng Việt Nam.
11. Nguyễn Duy Hiếu, Trương Thị Kim Xuân (2009), Nghiên cứu nâng cao chất lượng cho bê tông cốt liệu rỗng chịu lực có độ chảy cao bằng giải pháp dưỡng hộ từ bên trong, Báo cáo kết quả NCKH, Đại học Kiến trúc Hà Nội.

12. Trần Đăng Hoàng, Nguyễn Công Thành, Nguyễn Hữu Ánh, Chu Minh Hai, Nguyễn Duy Hiếu, Trương Thị Kim Xuân (2011), Nghiên cứu nâng cao chất lượng bê tông bằng phương pháp nội bảo dưỡng, Báo cáo kết quả NCKH, Đại học Kiến trúc Hà Nội.

13. Hội Kết cấu và Công nghệ Xây dựng Việt Nam (2018), Điều tra khảo sát thực trạng công tác thi công bê tông khối lớn, đề xuất giải pháp nâng cao chất lượng trong điều kiện Việt Nam, Hà Nội.

14. Phùng Văn Lự - Phạm Duy Hữu - Phan Khắc Trí (2013), Vật liệu xây dựng, Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam, Hà Nội.

15. Nguyễn Hữu Trí, Lê Anh Tuấn, Vũ Đức Chính (2009), “Nghiên cứu ứng dụng mặt đường BTXM ở Việt Nam trong điều kiện hiện nay”, Trang tin điện tử Liên hiệp các Hội Khoa học và Kỹ thuật Việt Nam.

16. Tiêu chuẩn Việt Nam (1993), TCVN 3105:1993 Hỗn hợp bê tông nặng và bê tông nặng – Lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu thử, Việt Nam.

17. Tiêu chuẩn Việt Nam (1993), TCVN 3106:1993 Hỗn hợp bê tông nặng – Phương pháp thử độ sụt, Việt Nam.

18. Tiêu chuẩn Việt Nam (1993), TCVN 3108:1993 Hỗn hợp bê tông nặng – Phương pháp xác định khối lượng thể tích, Việt Nam.

19. Tiêu chuẩn Việt Nam (1993), TCVN 3109:1993 Hỗn hợp bê tông nặng – Phương pháp xác định tách vữa và độ tách nước, Việt Nam.

20. Tiêu chuẩn Việt Nam (1993), TCVN 3111:1993 Hỗn hợp bê tông nặng – Phương pháp xác định hàm lượng bọt khí, Việt Nam.

21. Tiêu chuẩn Việt Nam (1993), TCVN 3114:1993 Bê tông nặng – Phương pháp xác định độ mài mòn, Việt Nam.

22. Tiêu chuẩn Việt Nam (1993), TCVN 3116:1993 Bê tông nặng – Phương pháp xác định độ chống thấm nước, Việt Nam.

23. Tiêu chuẩn Việt Nam (1993), TCVN 3118:1993 Bê tông nặng – Phương pháp xác định cường độ nén, Việt Nam.

24. Tiêu chuẩn Việt Nam (1993), TCVN 3119:1993 Bê tông nặng – Phương pháp xác định cường độ chịu kéo khi uốn, Việt Nam.

25. Tiêu chuẩn Việt Nam (1993), TCVN 3120:1993 Bê tông nặng – Phương pháp thử cường độ kéo khi bẻ, Việt Nam.

26. Tiêu chuẩn Việt Nam (1995), TCVN 6016:2011 Xi măng – Phương pháp thử - Xác định độ bền, Việt Nam.

27. Tiêu chuẩn Việt Nam (1995), TCVN 6017:2015 Xi măng – Phương pháp thử - Xác định thời gian đông kết và độ ổn định, Việt Nam.

28. Tiêu chuẩn Việt Nam (1996), TCVN 6227:1996 Cát tiêu chuẩn ISO để xác định cường độ của xi măng, Việt Nam.

29. Tiêu chuẩn Việt Nam (1997), TCVN 6220:1997 Cốt liệu nhẹ cho bê tông - sỏi, dăm sỏi và cát keramzit - yêu cầu kỹ thuật, Việt Nam.

30. Tiêu chuẩn Việt Nam (2006), TCVN 7570:2006 Cốt liệu cho bê tông và vữa – Yêu cầu kỹ thuật, Việt Nam.

31. Tiêu chuẩn Việt Nam (2006), TCVN 7572-2:2006 Cốt liệu cho bê tông và vữa – Phương pháp thử - Xác định thành phần hạt, Việt Nam.

32. Tiêu chuẩn Việt Nam (2006), TCVN 7572-4:2006 Cốt liệu cho bê tông và vữa – Phương pháp thử - Xác định khối lượng riêng, khối lượng thể tích và độ hút nước, Việt Nam.

33. Tiêu chuẩn Việt Nam (2009), TCVN 6260:2009 Xi măng Poóc lăng hỗn hợp – Yêu cầu kỹ thuật, Việt Nam.

34. Tiêu chuẩn Việt Nam (2011), TCVN 8826:2011 Phụ gia hóa học cho bê tông, Việt Nam.

35. Tiêu chuẩn Việt Nam (2011), TCVN 8864:2011 Mặt đường ô tô – Xác định độ bằng phẳng bằng thước dài 3 mét, Việt Nam.

36. Tiêu chuẩn Việt Nam (2011), TCVN 8865:2011 Mặt đường ô tô – Phương pháp đo và đánh giá xác định độ bằng phẳng theo chỉ số độ gồ ghề quốc tế IRI, Việt Nam.

37. Tiêu chuẩn Việt Nam (2011), TCVN 8866:2011 Mặt đường ô tô – Xác định độ nhám mặt đường bằng phương pháp rắc cát – Thử nghiệm, Việt Nam.

38. Tiêu chuẩn Việt Nam (2012), TCVN 4506:2012 Nước cho bê tông và vữa – Yêu cầu kỹ thuật, Việt Nam.

39. Tiêu chuẩn Việt Nam (2012), TCVN 9340:2012 Hỗn hợp bê tông trộn sẵn - Yêu cầu cơ bản đánh giá chất lượng và nghiệm thu, Việt Nam.

40. Tiêu chuẩn Việt Nam (2016), TCVN 11586:2016 Xi hạt lò cao nghiền mịn dùng cho bê tông và vữa, Việt Nam.

41. Tổng cục đường bộ Việt Nam (2022), TCCS 40:2022 Thi công và nghiệm thu mặt đường bê tông xi măng trong xây dựng công trình giao thông, Việt Nam.

42. Viện Vật liệu Xây Dựng (2005), Sử dụng xỉ lò cao hạt hóa Nhật Bản để sản xuất xi măng PCB40 tại Lafarge xi măng, Báo cáo tổng kết đề tài, TP. HCM.

43. Viện Vật liệu Xây Dựng (2005), Nghiên cứu sử dụng xỉ hạt lò cao Nippon Nhật bản làm phụ gia khoáng cho sản xuất xi măng tại công ty xi măng Holcim Việt Nam, Báo cáo tổng kết đề tài, Nhật Bản.

44. Viện Vật liệu Xây Dựng (2021), Chỉ dẫn kỹ thuật sử dụng xỉ hạt lò cao nghiền mịn làm phụ gia khoáng cho sản xuất bê tông, Việt Nam.

*** Tiếng nước ngoài**

45. AASHTO (1993), Guide for Design of Pavement Structures, USA.

46. ACI (308-213)R-13 (2013), Report on Internally Cured Concrete Using Prewetted Absorptive Lightweight Aggregate, USA.

47. ACI CT-13 (2017), ACI Concrete Terminology - An ACI Standard, USA.

48. American Association of State Highway and Transportation Officials (2007), Long - Life Concrete Pavements in Europe and Canada, USA.

49. ASTM C136/C136M (2019), Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, USA.

50. ASTM C142-97 (2004), Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates, USA.

51. ASTM C330/C330M-17A (2017), Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete, USA.

52. ASTM C469-10 (2010), Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression, USA.

53. ASTM C1761/C1761M-13b (2017), Standard Specification for Lightweight Aggregate for Internal Curing of Concrete, USA.

54. American Society of Testing Materials (2006), Internal Curing Using Expanded Shale, Clay and Slate Lightweight Aggregate, Lightweight Concrete and Aggregate, 2006.

55. Bentur, A., Igarashi, S.-i., and Kovler, K. (2001). Prevention of autogenous shrinkage in highstrength concrete by internal curing using wet lightweight aggregates. *Cement and Concrete Research*, 31(11), 1587-1591.
56. Bentz, D. P. (2009). Influence of internal curing using lightweight aggregates on interfacial transition zone percolation and chloride ingress in mortars. *Cement and Concrete Composites*, 31(5), 285-289
57. Cusson, D., and Margeson, J. (2010). Development of low-shrinkage high-performance concrete with improved durability. In *Concrete Under Severe Conditions*. Taylor & Francis Group, London.
58. Dale P. Bentz, Pietro Luna, John W Roberts (2005), *Mixture Proportioning for Internal curing*, NIST- National Institute of Standards and Technology.
59. Daniel Cusson and Ted Hoogeveen (2008), *Internal curing of high-performance concrete with pre-soaked fine lightweight aggregate for prevention of autogenous shrinkage cracking*, National Research Council Canada, Ottawa, Ontario, Canada.
60. El-Dieb, A. S., and Hooton, R. D. (1995). Water-permeability measurement of high performance concrete using a high-pressure triaxial cell. *Cement and Concrete Research*, 25(6), 1199- 1208.
61. George C. Hoff, P.E., Deng. President (2002), *The use of light weight fines for the internal curing of concrete*, Hoff Consulting LLC.
62. Golias, M. R. (2010). *The use of soy methyl ester-polystyrene sealants and internal curing to enhance concrete durability*. Master's thesis, Purdue University
63. Institute for Transportation (2015), *Impacts of Internal Curing on Concrete Properties*, Iowa State University.
64. IU. M. Bazenov, Bạch Đình Thiên, Trần Ngọc Tính (2011), *Công nghệ bê tông*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
65. Jason Weiss, Dale Bentz, Anton Schindler, P.E and Pietro Lura (2012), *Internal curing*, STRUCTURE magazine.
66. Klieger, P. (1957). Early High-Strength Concrete for Prestressing. *Proc., World Conference on Prestressed Concrete*, A5-1 to A5-14

67. K.Nithya, K.Ranjitha, P.Kuma (Mar -2017), EXPERIMENTAL STUDY ON SELF- CURING CONCRETE, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), e-ISSN: 2395 -0056, Volume: 04 Issue: 03.
68. Kosmatka S.H., Kerkhoff B., Panarese W.C. (2008), Disign and control of concrete mixtures. EB001 14th Edition, Portland Cement Association, USA.
69. K V S Gopala krishna sastry, Putturu manoj kumar (2017), Self-curing concrete with different self-curing agents, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, ICRAMMCE.
70. Limmei Wu, Nima Farzadnia, Caijun shi, Zuhua Zhang, Hao Wang (2017), Autogenous shrinkage of high performance concrete: a review, Construction and Building Materials.
71. Lura P. (2003), Autogenous Deformation and Internal Curing of Concrete, Technische Universiteit Delft.
72. Magda I. Mousaa, Mohamed G. Mahdy, Ahmed H. Abdel-Reheem (2015), Mechanical properties of self-curing concrete, HBRC Journal 11, 311–320.
73. Mehta, P. K., and Monteiro, P. J. M. (2006). Concrete: microstructure, properties, and materials. McGraw-Hill Education, New York, NY.
74. MR Geiker, D.P Bentz, O.M.Jensen (2004), Mitigating Autogeneous Shrinkage by Internal Curing, NIST.
75. Muddassir Bora, Mausam Vohra, Mohammed Sakil Patel, Dhruv Vyas (2017), Self-Curing Concrete – Literature Review, IJEDR, Volume 5, Issue 1, ISSN: 2321-9939.
76. M.V.Jagannadha Kumar, M. Srikanth, K. Jagannadha Rao (Sep-2012), STRENGTH CHARACTERISTICS OF SELF-CURING CONCRETE, IJRET - International Journal of Research in Engineering and Technology, ISSN: 2319-1163, Volume: 01 Issue: 01.
77. National CP Tech Center Iowa State University (11/ 2017), Impacts of Internally Cured Concrete Paving on Contraction Joint Spacing, Research Project Report.
78. NYSDOT. (2010). Specification 584.3101--18. Albany, NY: New York State Department of Transportation.

79. Payam Vosoughi (2019), Improving engineering properties of cement-based materials by internal curing, Ph.D thesis , Iowa State University.

80. Persson, B. (1997). Self-desiccation and its importance in concrete technology. *Materials and*

Structures, 30(5), 293-305.

81. Philleo, R.E. (1991), Concrete Science and Reality, in: J. Skalny, S. Mindess (Eds.), *Materials Science of Concrete II*, American Ceramic Society, Westerville, OH, pp. 1-8.

82. P. L. Domone* and M. N. Soutsos (1995), Properties of high-strength concrete mixes containing PFA and ggbs, *Magazine of Concrete Research*, 1995, 47, No. 173

83. Poole, T.S. (2005), *Guide for Curing of Portland Cement Concrete Pavements*, Volume I, FHWA-RD-02-099, Washington, DC: Federal Highway Administration, United States Department of Transportation.

84. Reid W. Castrodale, PhD, PE, Expanded Shale (2014), *Internal Curing with Lightweight Aggregate for Transportation Structures and Pavements*, Clay and State Institute, NESMEA Annual Meeting.

85. Shah, S. P., and Weiss, W. J. High performance concrete: strength, permeability, and shrinkage cracking. *Proc., PCI/FHWA/FIB International Symposium on High Performance Concrete*. Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL, 331-339.

86. Streeter, D. A., Wolfe, W. H., and Vaughn, R. E. (2012). Field performance of internally cured concrete bridge decks in New York State. In *The Economics, Performance and Sustainability of Internally Cured Concrete*, ACI Special Publication 290. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1-16.

87. Wei, Y., and Hansen, W. (2008). Pre-soaked lightweight fine aggregates as additives for internal curing in concrete. In *Internal Curing of High Performance Concrete: Lab and Field Experiences*, ACI Special Publication 256. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 35-44

PHỤ LỤC

1. Kết quả tính toán kết cấu mặt đường BTXM theo phương pháp cơ học thực nghiệm sử dụng phần mềm ME
2. Một số hình ảnh thí nghiệm trong quá trình nghiên cứu
3. Tính toán, thiết kế thành phần vật liệu bê tông

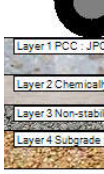
PHỤ LỤC 1

KẾT QUẢ TÍNH TOÁN KẾT CẤU MẶT ĐƯỜNG BÊ TÔNG XI MĂNG THEO PHƯƠNG PHÁP CƠ HỌC THỰC NGHIỆM SỬ DỤNG PHẦN MỀM ME

Design Inputs

Design Life: 15 years Existing construction: - Climate Data 21.5, 105
Design Type: Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP) Pavement construction: June, 2024 Sources (Lat/Lon)
Traffic opening: September, 2024

Design Structure



Layer type	Material Type	Thickness(mm)
PCC	JPCP Default	260.0
Cement_Base	Cement stabilized	200.0
NonStabilized	Crushed stone	180.0
Subgrade	A-2-6	Semi-infinite

Joint Design:

Joint spacing (m)	4.5
Dowel diameter (mm)	32.0
Slab width (m)	3.7

Traffic

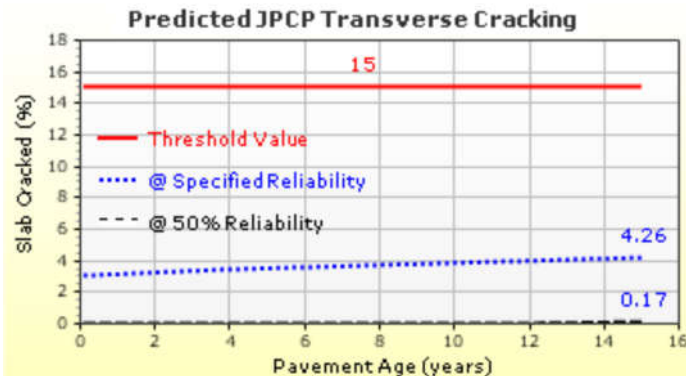
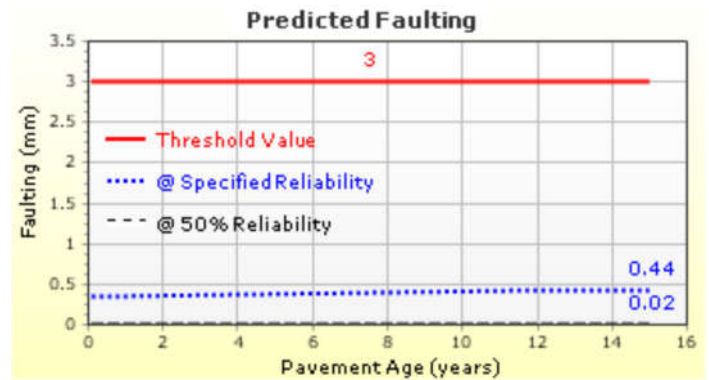
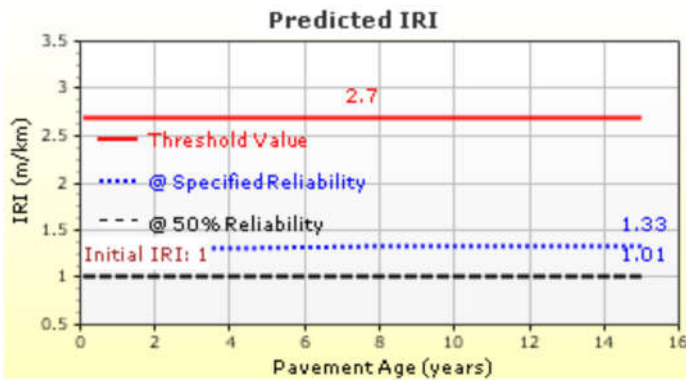
Age (year)	Heavy Trucks (cumulative)
2024 (initial)	445
2031 (7 years)	428,968
2039 (15 years)	963,871

Design Outputs

Distress Prediction Summary

Distress Type	Distress @ Specified Reliability		Reliability (%)		Criterion Satisfied?
	Target	Predicted	Target	Achieved	
Terminal IRI (m/km)	2.70	1.33	85.00	100.00	Pass
Mean joint faulting (mm)	3.00	0.44	85.00	100.00	Pass
JPCP transverse cracking (percent slabs)	15.00	4.26	85.00	99.99	Pass

Distress Charts

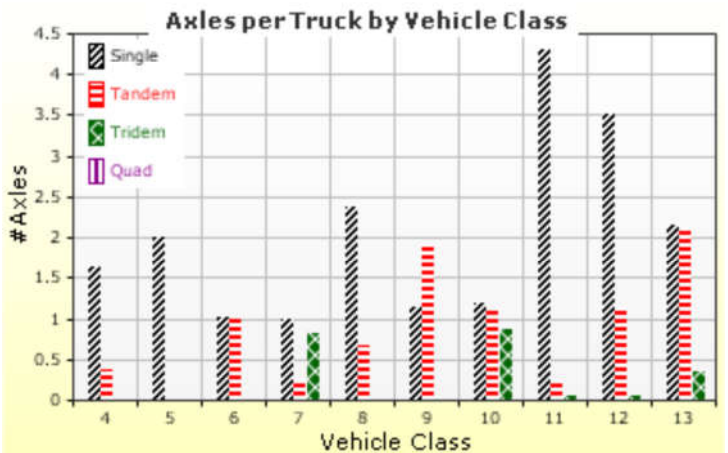
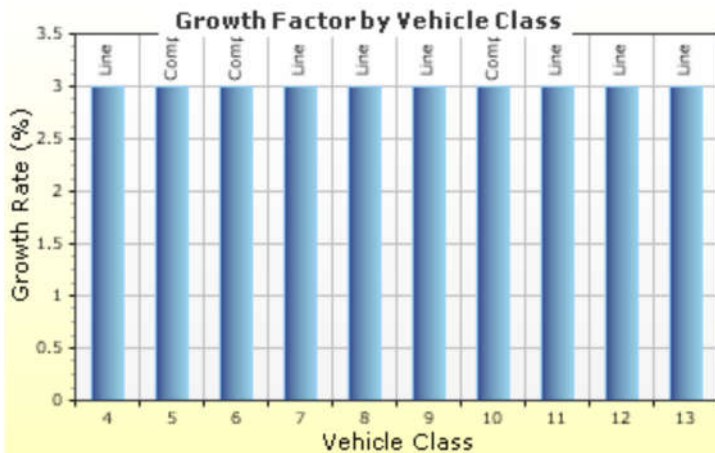
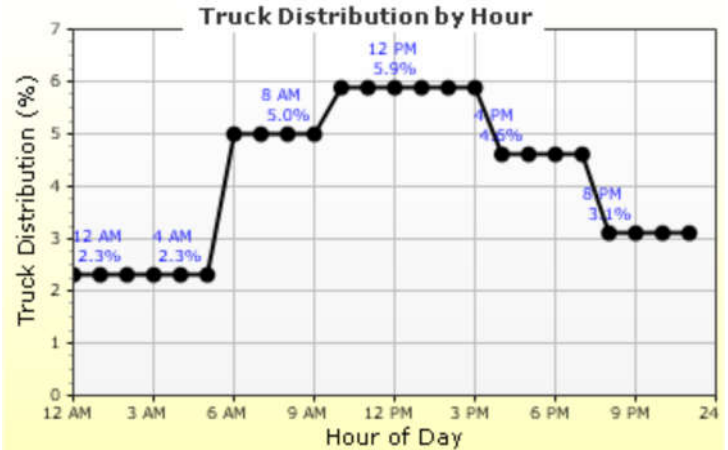
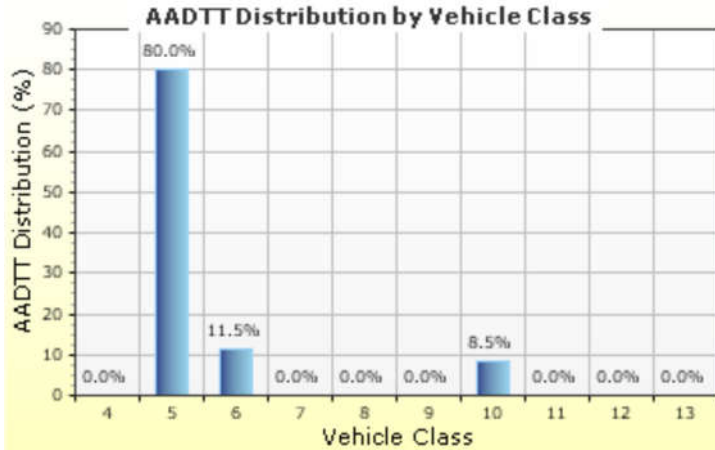


Traffic Inputs

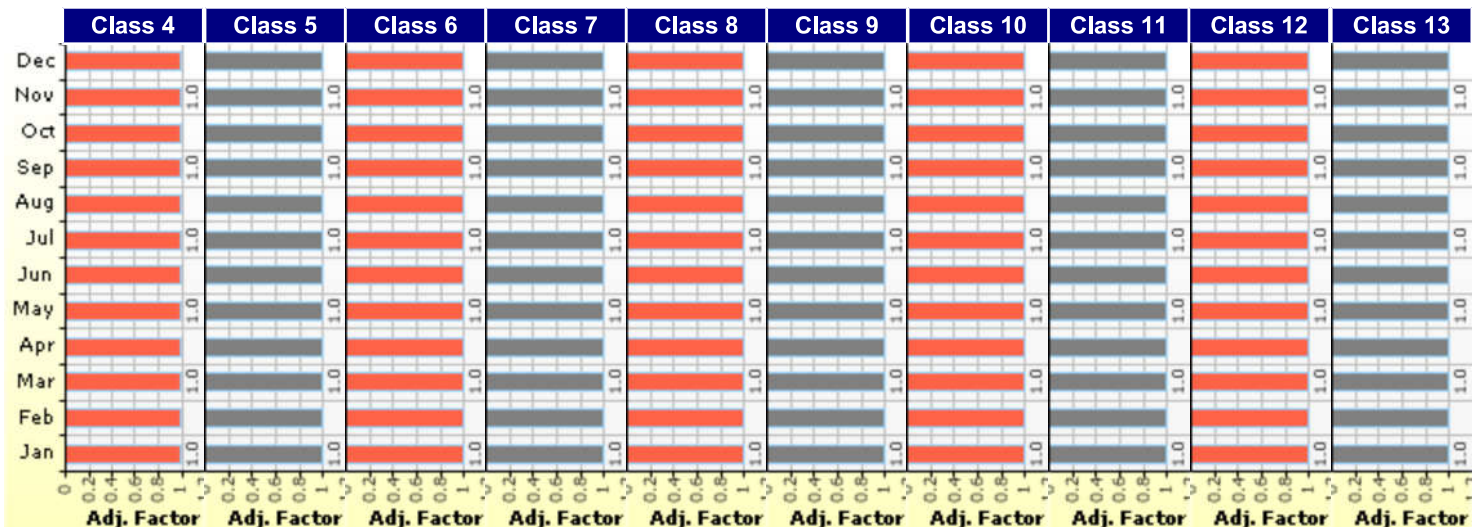
Graphical Representation of Traffic Inputs

Initial two-way AADTT: 445
Number of lanes in design direction: 2

Percent of trucks in design direction (%): 48.3
Percent of trucks in design lane (%): 66.0
Operational speed (kph): 60.0



Traffic Volume Monthly Adjustment Factors



Tabular Representation of Traffic Inputs

Volume Monthly Adjustment Factors

Level 3: Default MAF

Month	Vehicle Class									
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
January	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
February	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
March	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
April	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
May	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
June	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
July	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
August	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
September	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
October	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
November	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
December	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Distributions by Vehicle Class

Vehicle Class	AADTT Distribution (%) (Level 3)	Growth Factor	
		Rate (%)	Function
Class 4	0%	3%	Linear
Class 5	80%	3%	Compound
Class 6	11.53%	3%	Compound
Class 7	0%	3%	Linear
Class 8	0%	3%	Linear
Class 9	0%	3%	Linear
Class 10	8.47%	3%	Compound
Class 11	0%	3%	Linear
Class 12	0%	3%	Linear
Class 13	0%	3%	Linear

Truck Distribution by Hour

Hour	Distribution (%)	Hour	Distribution (%)
12 AM	2.3%	12 PM	5.9%
1 AM	2.3%	1 PM	5.9%
2 AM	2.3%	2 PM	5.9%
3 AM	2.3%	3 PM	5.9%
4 AM	2.3%	4 PM	4.6%
5 AM	2.3%	5 PM	4.6%
6 AM	5%	6 PM	4.6%
7 AM	5%	7 PM	4.6%
8 AM	5%	8 PM	3.1%
9 AM	5%	9 PM	3.1%
10 AM	5.9%	10 PM	3.1%
11 AM	5.9%	11 PM	3.1%
		Total	100%

Axle Configuration

Traffic Wander		Axle Configuration	
Mean wheel location (mm)	460	Average axle width (m)	2.59
Traffic wander standard deviation (mm)	254	Dual tire spacing (mm)	305
Design lane width (m)	3.7	Tire pressure (kPa)	827.4

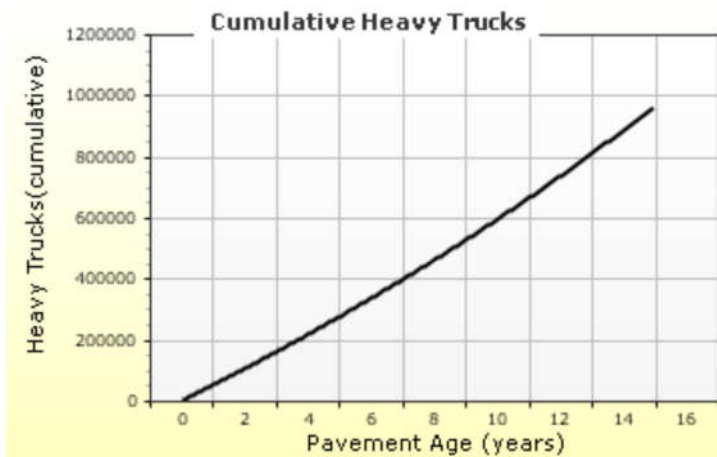
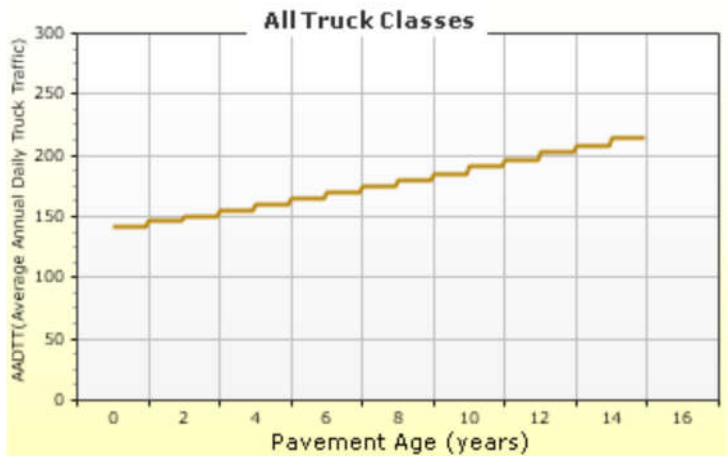
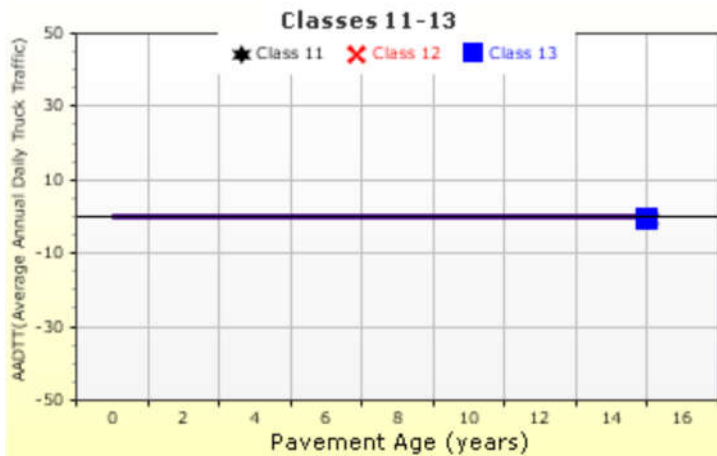
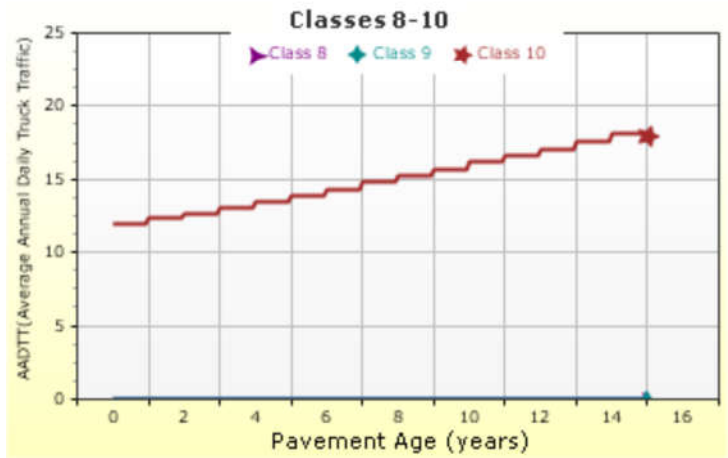
Average Axle Spacing		Wheelbase			
Value Type	Axle Type	Short	Medium	Long	
Tandem axle spacing (m)	1.31				
Tridem axle spacing (m)	1.25				
Quad axle spacing (m)	1.25				
Average spacing of axles (m)		3.66	4.57	5.49	
Percent of Trucks (%)		33	33	34	

Number of Axles per Truck

Vehicle Class	Single Axle	Tandem Axle	Tridem Axle	Quad Axle
Class 4	1.62	0.39	0	0
Class 5	2	0	0	0
Class 6	1.02	0.99	0	0
Class 7	1	0.26	0.83	0
Class 8	2.38	0.67	0	0
Class 9	1.13	1.93	0	0
Class 10	1.19	1.09	0.89	0
Class 11	4.29	0.26	0.06	0
Class 12	3.52	1.14	0.06	0
Class 13	2.15	2.13	0.35	0

AADTT (Average Annual Daily Truck Traffic) Growth

* Traffic cap is not enforced



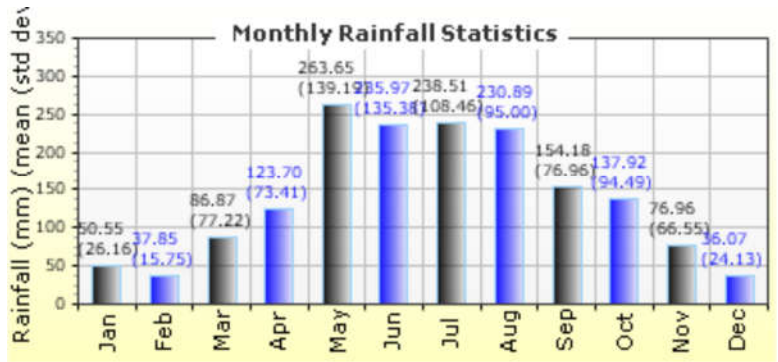
Climate Inputs

Climate Data Sources:

Climate Station Cities: Location (lat lon elevation(m))
PHU_THO, VN 21.50000 105.00000 51

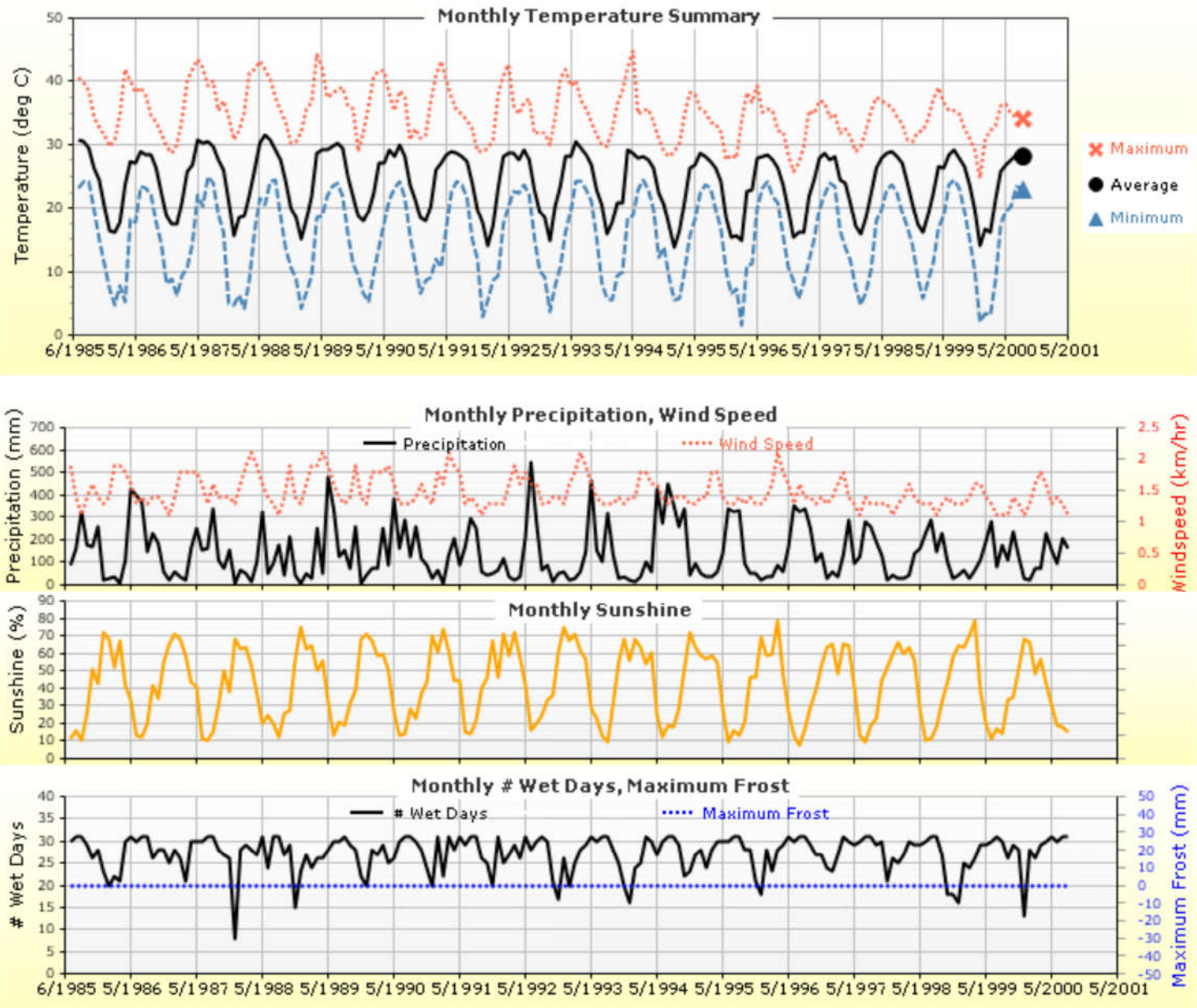
Annual Statistics:

Mean annual air temperature (°C) 24.01
 Mean annual precipitation (mm) 1691.13
 Freezing index (°C - days) 0.00
 Average annual number of freeze/thaw cycles: 0.00

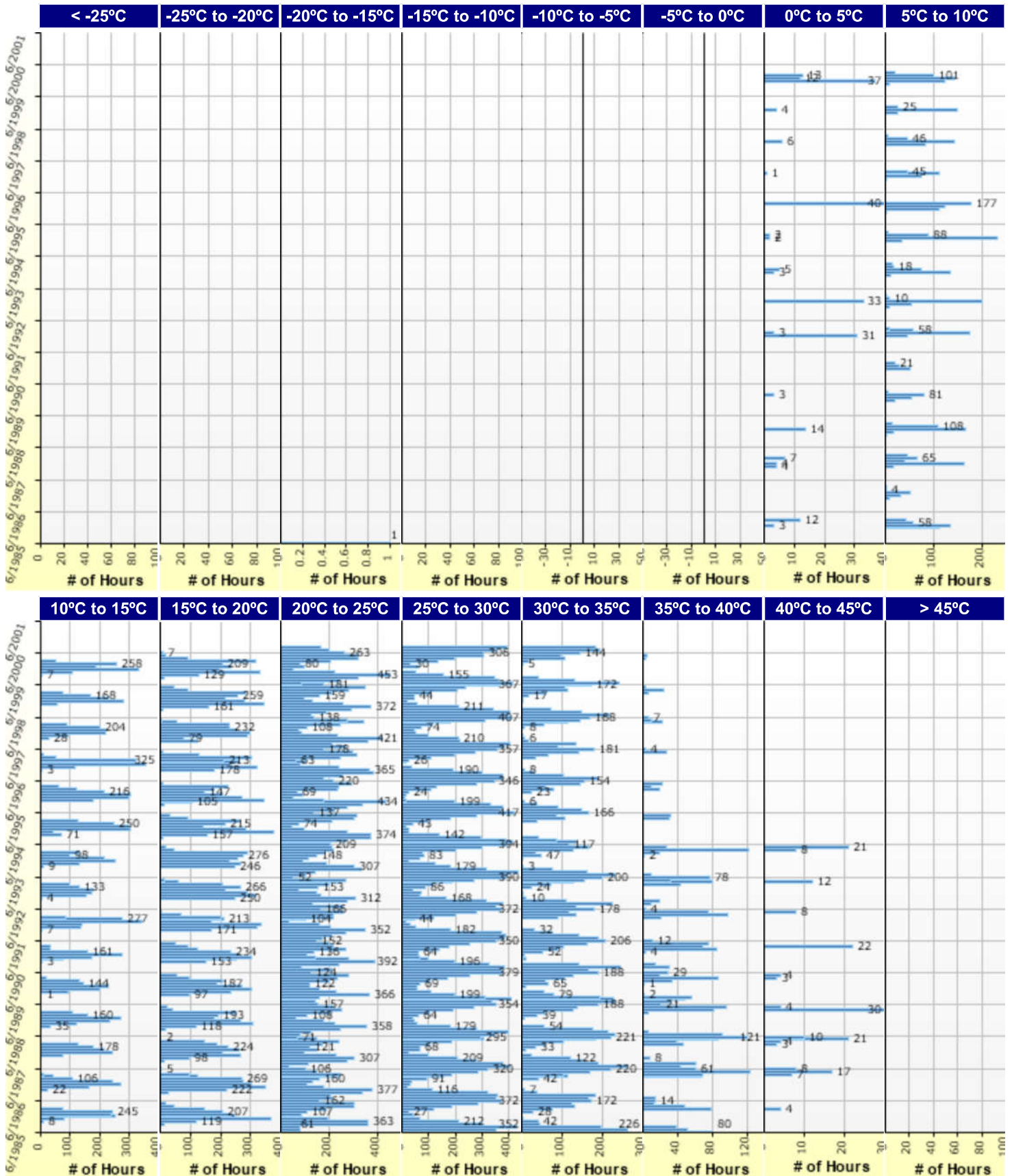


Water table depth (m) 4.00

Monthly Climate Summary:



Hourly Air Temperature Distribution by Month:



Design Properties

JPCP Design Properties

Structure - ICM Properties

PCC surface shortwave absorptivity	0.85
------------------------------------	------

PCC joint spacing (m)

Is joint spacing random ?	False
Joint spacing (m)	4.50

Doweled Joints

Is joint doweled ?	True
Dowel diameter (mm)	32.00
Dowel spacing (mm)	300.00

Widened Slab

Is slab widened ?	False
Slab width (m)	3.66

Sealant type	Preformed
--------------	-----------

Tied Shoulders

Tied shoulders	False
Load transfer efficiency (%)	-

PCC-Base Contact Friction

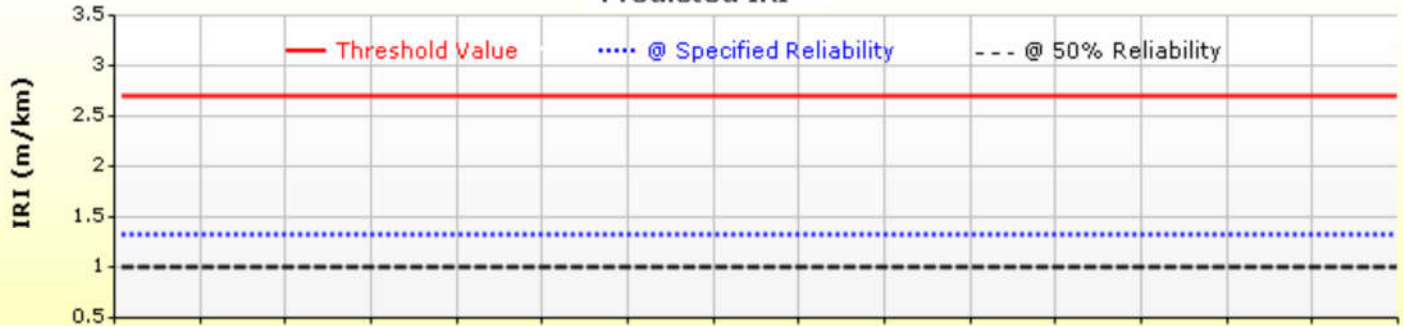
PCC-Base full friction contact	True
Months until friction loss	240.00

Erodibility index	5
-------------------	---

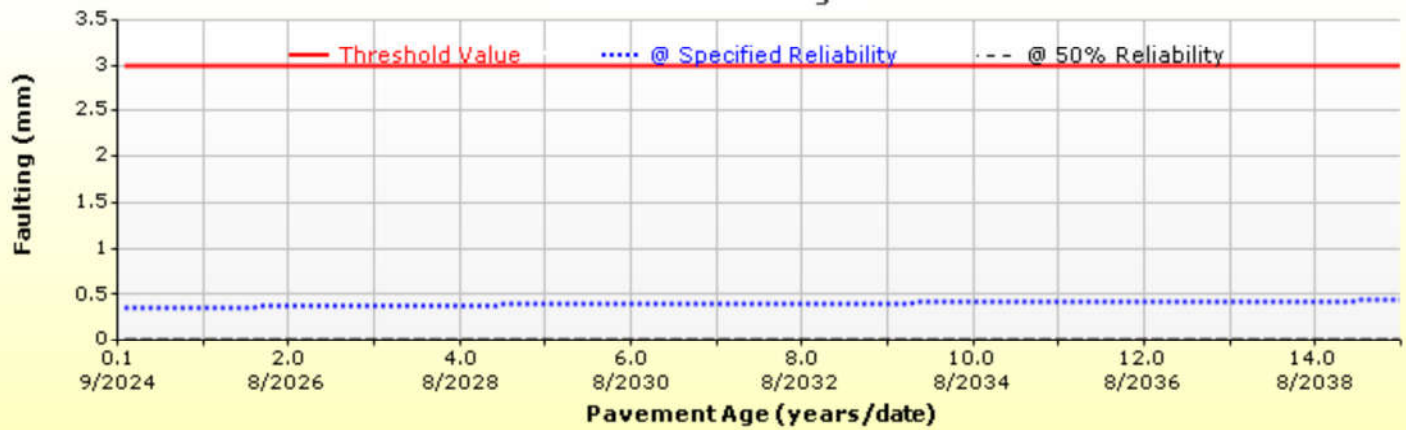
Permanent curl/warp effective temperature difference (°C)	-5.60
---	-------

Analysis Output Charts

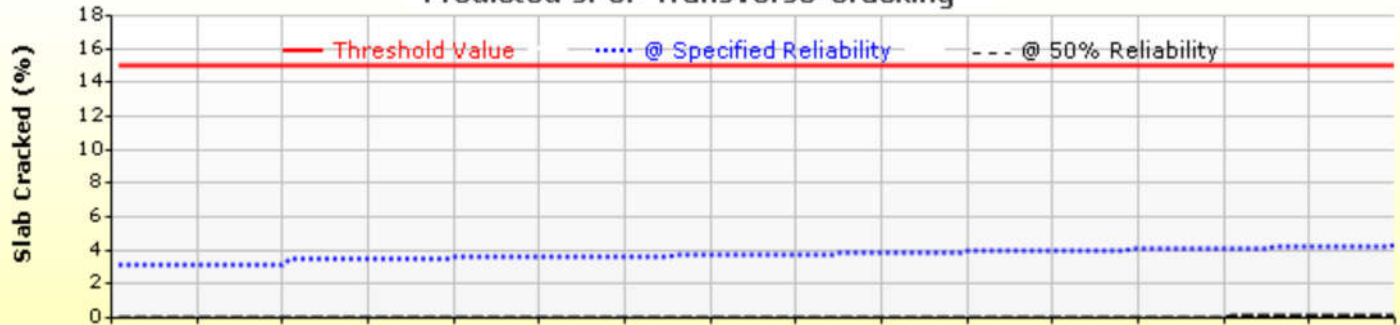
Predicted IRI



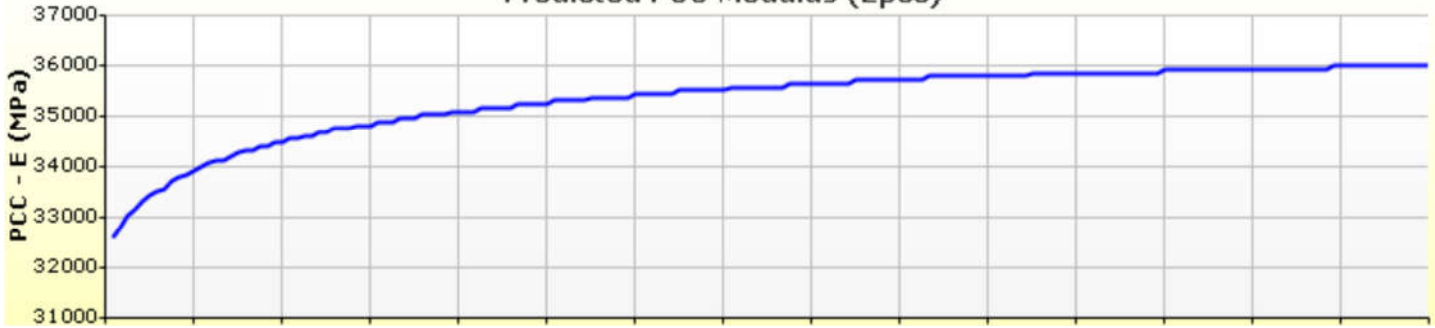
Predicted Faulting



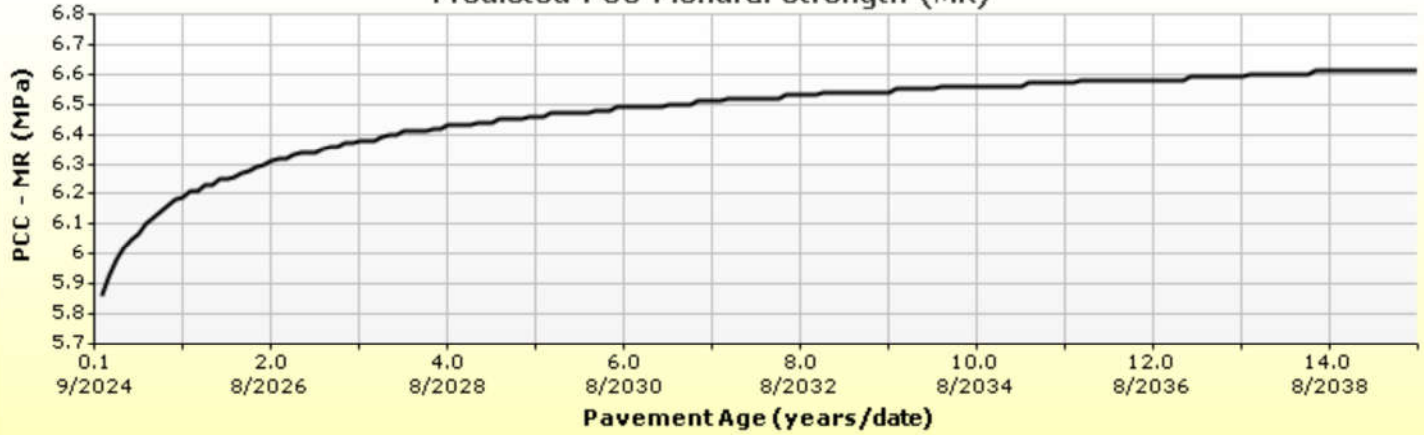
Predicted JPCP Transverse Cracking



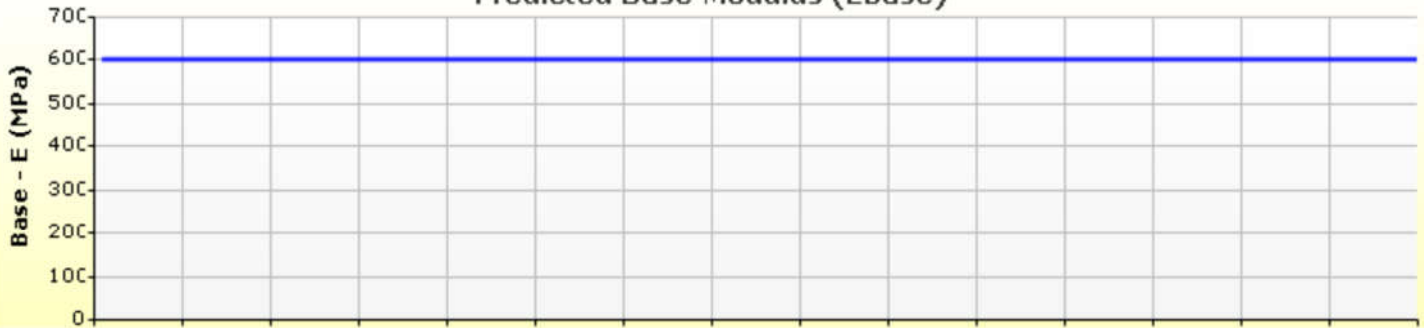
Predicted PCC Modulus (Epcc)



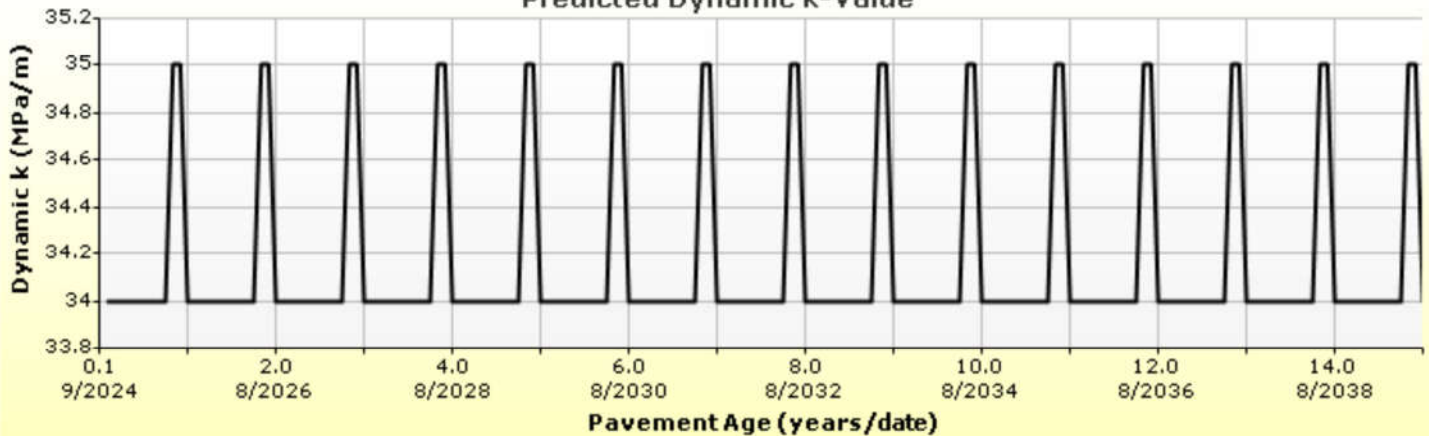
Predicted PCC Flexural Strength (MR)



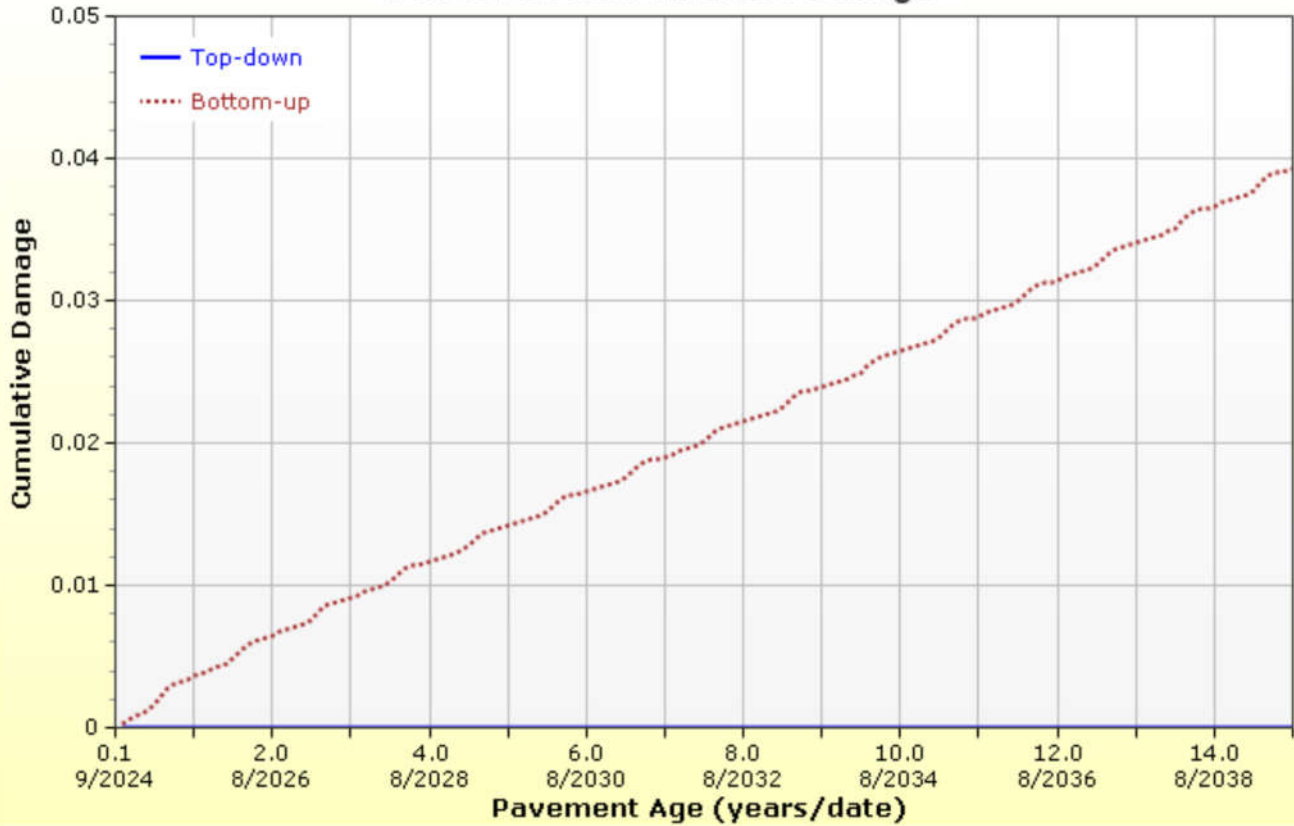
Predicted Base Modulus (Ebase)



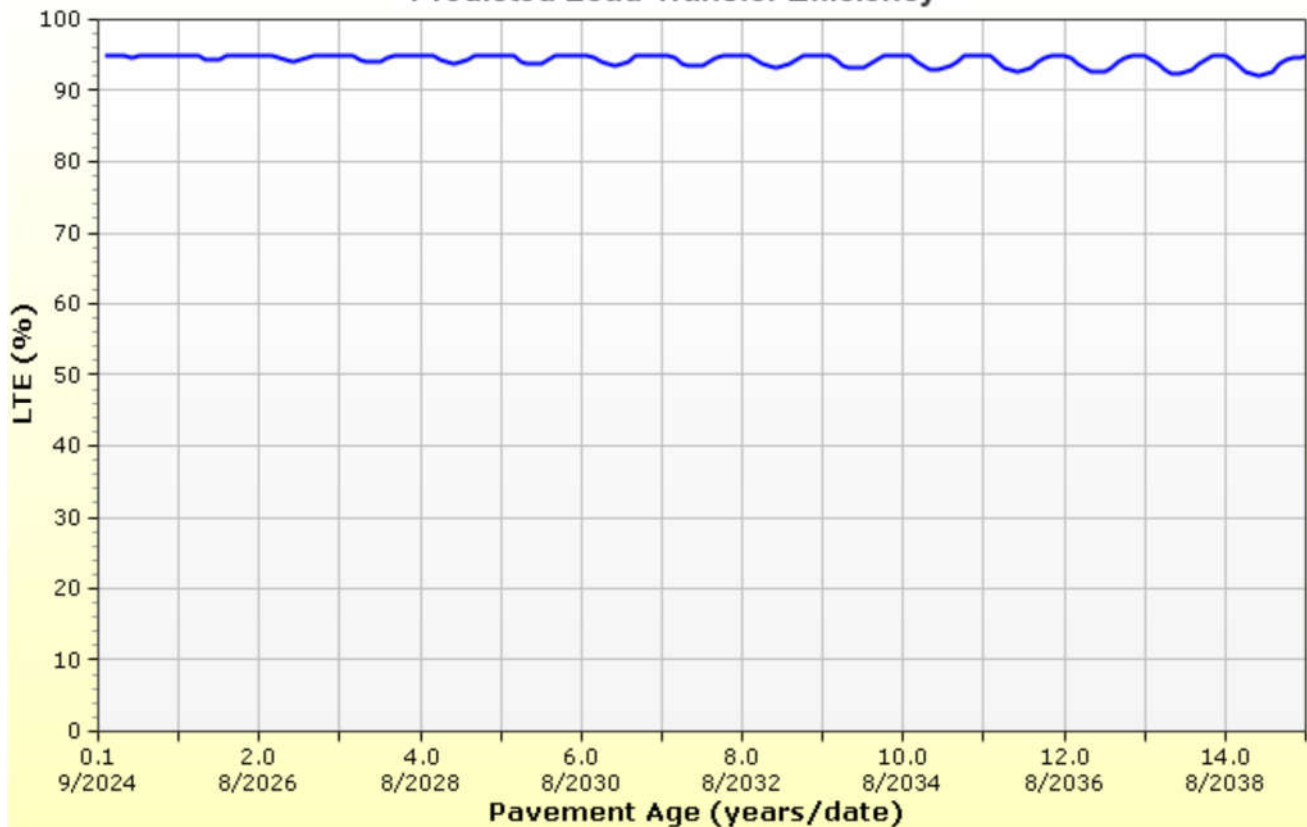
Predicted Dynamic k-Value



Predicted PCC Cumulative Damage



Predicted Load Transfer Efficiency



Layer Information

Layer 1 PCC : JPCP Default

PCC	
Thickness (mm)	260.0
Unit weight (kgf/m ³)	2400.0
Poisson's ratio	0.2

Thermal	
PCC coefficient of thermal expansion (mm/mm/°C x 10 ⁻⁶)	7
PCC thermal conductivity (watt/meter-kelvin)	2.16
PCC heat capacity (joule/kg-kelvin)	1172.3

Mix		
Cement type		GU(Type I)(1)
Cementitious material content (kgf/m ³)		300
Water to cement ratio		0.45
Aggregate type		Limestone (1)
PCC zero-stress temperature (°C)	Calculated Internally?	True
	User Value	-
	Calculated Value	45.9
Ultimate shrinkage (microstrain)	Calculated Internally?	True
	User Value	-
	Calculated Value	553.4
Reversible shrinkage (%)		50
Time to develop 50% of ultimate shrinkage (days)		35
Curing method		Curing Compound

PCC strength and modulus (Input Level: 3)

28-Day PCC modulus of rupture (MPa)	5.5
28-Day PCC elastic modulus (MPa)	30000.0

Identifiers

Field	Value
Display name/identifier	JPCP Default
Description of object	
Author	
Date Created	2/27/2022 10:47:07 AM
Approver	
Date approved	2/27/2022 10:47:07 AM
State	
District	
County	
Highway	
Direction of Travel	
From station (km)	
To station (km)	
Province	
User defined field 2	
User defined field 3	
Revision Number	0

Layer 2 Chemically Stabilized : Cement stabilized

Chemically Stabilized

Layer thickness (mm)	200
Poisson's ratio	0.2
Unit weight (kgf/m^3)	2400

Strength

Elastic/resilient modulus (MPa)	600
---------------------------------	-----

Thermal

Heat capacity (joule/kg-kelvin)	1172.3
Thermal conductivity (watt/meter-kelvin)	2.16

Identifiers

Field	Value
Display name/identifier	Cement stabilized
Description of object	Default material
Author	AASHTO
Date Created	1/1/2011 12:00:00 AM
Approver	
Date approved	1/1/2011 12:00:00 AM
State	
District	
County	
Highway	
Direction of Travel	
From station (km)	
To station (km)	
Province	
User defined field 2	
User defined field 3	
Revision Number	0

Layer 3 Non-stabilized Base : Crushed stone

Unbound

Layer thickness (mm)	180.0
Poisson's ratio	0.35
Coefficient of lateral earth pressure (k0)	0.5

Modulus (Input Level: 3)

Analysis Type:	Modify input values by temperature/moisture
Method:	Resilient Modulus (MPa)

Resilient Modulus (MPa)

300.0

Use Correction factor for NDT modulus?	-
NDT Correction Factor:	-

Identifiers

Field	Value
Display name/identifier	Crushed stone
Description of object	Default material
Author	AASHTO
Date Created	1/1/2011 12:00:00 AM
Approver	
Date approved	1/1/2011 12:00:00 AM
State	
District	
County	
Highway	
Direction of Travel	
From station (km)	
To station (km)	
Province	
User defined field 2	
User defined field 3	
Revision Number	0

Sieve

Liquid Limit	6.0
Plasticity Index	1.0
Is layer compacted?	False

	Is User Defined?	Value
Maximum dry unit weight (kgf/m ³)	False	2038.2
Saturated hydraulic conductivity (m/hr)	False	5.054e-02
Specific gravity of solids	False	2.7
Optimum gravimetric water content (%)	False	7.4

User-defined Soil Water Characteristic Curve (SWCC)

Is User Defined?	False
af	7.2555
bf	1.3328
cf	0.8242
hr	117.4000

Sieve Size	% Passing
0.001mm	
0.002mm	
0.020mm	
0.075mm	8.7
0.150mm	
0.180mm	12.9
0.250mm	
0.300mm	
0.425mm	20.0
0.600mm	
0.850mm	
1.18mm	
2.0mm	33.8
2.36mm	
4.75mm	44.7
9.5mm	57.2
12.5mm	63.1
19.0mm	72.7
25.0mm	78.8
37.5mm	85.8
50.0mm	91.6
63.0mm	
75.0mm	
90.0mm	97.6

Layer 4 Subgrade : A-2-6

Unbound

Layer thickness (mm)	Semi-infinite
Poisson's ratio	0.35
Coefficient of lateral earth pressure (k0)	0.5

Modulus (Input Level: 3)

Analysis Type:	Modify input values by temperature/moisture
Method:	Resilient Modulus (MPa)

Resilient Modulus (MPa)

44.0

Use Correction factor for NDT modulus?	-
NDT Correction Factor:	-

Identifiers

Field	Value
Display name/identifier	A-2-6
Description of object	Default material
Author	AASHTO
Date Created	1/1/2011 12:00:00 AM
Approver	
Date approved	1/1/2011 12:00:00 AM
State	
District	
County	
Highway	
Direction of Travel	
From station (km)	
To station (km)	
Province	
User defined field 2	
User defined field 3	
Revision Number	0

Sieve

Liquid Limit	32.0
Plasticity Index	15.0
Is layer compacted?	False

	Is User Defined?	Value
Maximum dry unit weight (kgf/m ³)	False	1953
Saturated hydraulic conductivity (m/hr)	False	7.651e-06
Specific gravity of solids	False	2.7
Optimum gravimetric water content (%)	False	10

User-defined Soil Water Characteristic Curve (SWCC)

Is User Defined?	False
af	75.5741
bf	0.9351
cf	0.4315
hr	500.0000

Sieve Size	% Passing
0.001mm	
0.002mm	
0.020mm	
0.075mm	24.8
0.150mm	
0.180mm	32.4
0.250mm	
0.300mm	
0.425mm	43.5
0.600mm	
0.850mm	
1.18mm	
2.0mm	59.4
2.36mm	
4.75mm	67.2
9.5mm	78.8
12.5mm	83.3
19.0mm	90.4
25.0mm	94.5
37.5mm	97.7
50.0mm	99.4
63.0mm	
75.0mm	
90.0mm	99.9

Calibration Coefficients

PCC Faulting

$C_{12} = C_1 + (C_2 * FR^{0.25})$ $C_{34} = C_3 + (C_4 * FR^{0.25})$ $FaultMax_0 = C_{12} * \delta_{curling} * \left[\log(1 + C_5 * 5.0^{EROD}) * \log\left(P_{200} * \frac{WetDays}{p_s}\right) \right]^{C_6}$ $FaultMax_i = FaultMax_0 + C_7 * \sum_{j=1}^m DE_j * \log(1 + C_5 * 5.0^{EROD})^{C_6}$ $\Delta Fault_i = C_{34} * (FaultMax_{i-1} - Fault_{i-1})^2 * DE_i$ $C_8 = DowelDeterioration$			
C1: 1.0184	C2: 0.91656	C3: 0.0021848	C4: 0.000883739
C5: 250	C6: 0.4	C7: 1.83312	C8: 400
PCC Reliability Faulting Standard Deviation			
Pow(0.0097*FAULT,0.5178)+0.014			

IRI-jpcp

C1 - Cracking	C1: 0.8203	C2: 0.4417
C2 - Spalling	C3: 1.4929	C4: 25.24
C3 - Faulting	Reliability Standard Deviation	
C4 - Site Factor	5.4	

PCC Cracking

$\log(N) = C1 \cdot \left(\frac{MR}{\sigma}\right)^{C2}$ $CRK = \frac{100}{1 + C4 \cdot FD^{C5}}$	Fatigue Coefficients		Cracking Coefficients	
	C1: 2	C2: 1.22	C4: 1	C5: -1.98
	PCC Reliability Cracking Standard Deviation			
	Pow(5.3116*CRACK,0.3903) + 2.99			

PHỤ LỤC 2

MỘT SỐ HÌNH ẢNH THÍ NGHIỆM

**Tập hợp ảnh TN tại PTN VILAS047 – Trung tâm Khoa học Công nghệ GTVT –
Trường ĐH GTVT**









Tập hợp ảnh TN tại – Trường ĐH Kiến trúc Hà Nội







PHỤ LỤC 3

TÍNH TOÁN, THIẾT KẾ THÀNH PHẦN VẬT LIỆU BÊ TÔNG

Điều kiện thiết kế:

- Mác: 35 MPa, ở tuổi 28, 56 ngày, mẫu chuẩn: 150 x 150 x 150 mm.
- Môi trường sử dụng: Thông thường
- Độ sụt chọn: SN = 2 - 4cm

A. Tính toán sơ bộ thành phần BT mác M35

Trên cơ sở “*Chỉ dẫn kỹ thuật chọn thành phần bê tông các loại*” [3], sử dụng các vật liệu: xi măng, đá dăm, cát vàng, PGSD và nước với các tính chất đã nêu ở mục

3.2.1

+ BT có độ sụt SN = 2 – 4 cm, sử dụng PGSD giảm nước, xi măng Pooclăng, cốt liệu lớn là đá dăm có kích thước hạt lớn nhất 20 mm.

+ Thiết kế bê tông đạt mác M35, vì trong nghiên cứu có sử dụng phụ gia khoáng xi lò cao nên chọn hệ số chất lượng cốt liệu là trung bình, A=0,5

$$\Rightarrow \frac{X}{N} = \frac{1,1.R_b}{AR_x} + 0,5 \text{ với hệ số an toàn là 1,1 đối với trộn thủ công}$$

+ Lượng dùng xi măng: Theo Quyết định số 1951/QĐ-BGTVT [1] cho thấy đối với mặt đường BTXM các cấp hàm lượng xi măng sử dụng nằm trong khoảng (300 ÷ 400) kg/m³, tỷ lệ N/X = 0.44 ÷ 0.48 (hay X/N = 2.08 ÷ 2.30) tùy theo cấp đường cụ thể. Để lựa chọn cấp phối bê tông nội bảo dưỡng dùng cho mặt đường bê tông xi măng cần nghiên cứu, luận án đã tiến hành thí nghiệm khảo sát sơ bộ các cấp phối bê tông được chế tạo với cùng loại và lượng xi măng.

Sử dụng hàm lượng xi măng tối thiểu: X = 300 (kg)

+ Hàm lượng PGSD được nhà sản xuất khuyến cáo dùng theo lượng dùng XM là: (0,8-2,0) lít/100 kg XM nên lượng PGSD sử dụng là: PG = 0,89%.X = 2,69(l)

Để đảm bảo mục đích tăng cường độ cho bê tông, ta sử dụng phụ gia giảm nước nhưng vẫn giữ nguyên hàm lượng xi măng nên lượng dùng nước thực tế là :

$$+ \text{PGSD giảm 22\% lượng nước} \Rightarrow N' = 175 - 175.22\% = 136 \text{ (l)}$$

+ Hàm lượng xi lò cao: Xi lò cao trong bê tông thường được tính toán theo tỷ lệ thay thế xi măng, dao động trong khoảng tương đối rộng, từ 15% đến 60% theo Chỉ dẫn

kỹ thuật của Viện Vật liệu xây dựng [43]. Tuy nhiên với mục tiêu nghiên cứu ảnh hưởng của IC đến tính chất của bê tông có hàm lượng xỉ lò cao nghiền mịn và tỷ lệ N/CKD khác nhau, Luận án tiếp cận theo nguyên tắc lượng dùng xỉ măng trong các cấp phối là tối thiểu (300 kg/m^3) và không đổi, xỉ lò cao đóng vai trò vừa là chất kết dính bổ sung đồng thời là vi cốt liệu thêm vào bê tông, với lượng dùng được tính toán theo tỷ lệ từ 15% đến 55% so với lượng xỉ măng.

Tỷ lệ XLC/XM	0%	15%	25%	35%	45%	55%
Hàm lượng XLC (kg)	0	45	75	105	135	165

$$+ \text{Thể tích hồ XM là: } V_h = \frac{X}{\rho_x} + \frac{XLC}{\rho_{XLC}} + N \quad (I)$$

Trong đó $\rho_x = 3,1 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ là khối lượng riêng của XM

+ Cát vàng tự nhiên có $M_{dl} = 2,7$ (theo 3.2.1), BT có $SN = 2 - 4 \text{ cm}$, tra bảng ta có K_d

$$+ \text{Lượng dùng đá dăm: } D = \frac{1000}{\frac{r_d \cdot K_d}{\rho_{vd}} + \frac{1}{\rho_d}} \quad (\text{kg})$$

Trong đó độ rỗng giữa các hạt CLL: $r_d = 1 - \frac{\rho_{vd}}{\rho_d}$

Với $\rho_{vd} = 1,45 \text{ (g/cm}^3\text{)}$; $\rho_d = 2,73 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ là khối lượng thể tích đồ đồng và khối lượng riêng của đá dăm (theo 3.2.1).

$$+ \text{Lượng dùng cát vàng: } C_v = \left[1000 - \left(\frac{X}{\rho_x} + \frac{D}{\rho_d} + N + PG \right) \right] \cdot \rho_c$$

Với $\rho_x = 3,1 \text{ (g/cm}^3\text{)}$, $\rho_{xlc} = 2,9 \text{ (g/cm}^3\text{)}$; $\rho_c = 2,67 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ là khối lượng riêng của xi măng, xỉ lò cao và cát vàng (theo mục 3.2.1).

$$+ \text{Mức ngậm cát của cốt liệu: } S_c = \frac{C}{C + D}$$

Bảng 1. Cấp phối cho 1m³ BT đối chứng

TT	Ký hiệu CP	Lượng dùng vật liệu, kg/m ³ , và các hệ số dư vữa							
		XM	XLC	Nước	CN	Cát vàng	Đá	PG	K _d
1	CPV1	300	0	136	0	733	1322	2.69	1.21
2	CPV2	300	0	136	0	793	1254	2.68	1.34
3	CPV3	300	0	136	0	849	1194	2.68	1.46
4	CPV4	300	0	136	0	900	1140	2.67	1.59
5	CPV5	300	0	136	0	946	1090	2.67	1.71

B. Tính toán đối với BT sử dụng phương pháp nội bảo dưỡng (IC)

B.1. Tính toán lượng nước bổ sung cho quá trình nội bảo dưỡng

- Thể tích nước bù co hóa học tính theo phương trình 2.2:

$$V_n = CKD.CS. \frac{\alpha_{\max}}{\rho_{H_2O}} \quad (m^3 N/m^3 BT)$$

B.2. Tính toán lượng cát nhẹ thay thế cốt liệu

Lượng cát nhẹ được tính toán theo phương trình 2.1 và 2.2 hoặc hình 2.1 (Chương 2) với độ co hóa học của chất kết dính (CS) nhận một số giá trị trong khoảng 0.06 – 0.08. Các cấp phối thí nghiệm được thiết kế với hệ số dư vữa khác nhau từ 1.20 đến 1.69.

- Tính khối lượng cát nhẹ cần dùng cho IC, theo phương trình 2.1:

$$M_{CLR} = \frac{V_n}{S. P_{CLR}} \quad (kg CN/m^3 BT)$$

- Tổng thể tích cát cần dùng: $V_C = \frac{C_v}{\rho_v} \quad (m^3 C/ m^3 BT)$

- Hàm lượng cát nhẹ thay thế: $\% V_{CN} = \frac{V_{CN}}{V_C} \times 100$

- Do cát nhẹ thay thế một phần cát vàng theo thể tích nên lượng dùng cát vàng là:

$$M_{CV} = \left(\frac{C_{CV}}{\rho_v} - \frac{C_{CN}}{\rho_v} \right) \cdot \rho_v^{CV} \quad (kg CV/m^3 BT)$$

- Như vậy, thành phần bê tông mẫu nội bảo dưỡng là:

$$\frac{X}{X} : \frac{C_v}{X} : \frac{C_n}{X} : \frac{D}{X} : \frac{XLC}{X} : \frac{N}{X} : \left(\frac{PG}{X} \right) = 1 : x_1 : x_2 : y : z : u : (t)$$

- Cấp phối BT mẫu nội bảo dưỡng là:

Bảng 2. Cấp phối cho 1m³ bê tông nội bảo dưỡng

TT	Ký hiệu CP	Lượng dùng vật liệu, kg/m ³ , và các hệ số								K _d
		XM	XLC	Nước	CN (bão hòa)	Cát	Đá	PG	Tỷ lệ XLC/XM	
1	CP1	300	0	136	202	472	1325	2,69	0%	1.20
2	CP2	300	0	136	219	511	1257	2,69	0%	1.33
3	CP3	300	0	136	235	547	1199	2,69	0%	1.45
4	CP4	300	0	136	249	581	1146	2,69	0%	1.57
5	CP5	300	0	136	262	611	1097	2,69	0%	1.69
6	CP6	300	45	136	191	445	1324	2,69	15%	1.21
7	CP7	300	45	136	208	486	1261	2,69	15%	1.32
8	CP8	300	45	136	224	523	1202	2,69	15%	1.44
9	CP9	300	45	136	238	556	1148	2,69	15%	1.57
10	CP10	300	45	136	251	587	1100	2,69	15%	1.68
11	CP11	300	75	136	184	429	1325	2,69	25%	1.20
12	CP12	300	75	136	201	469	1260	2,69	25%	1.32
13	CP13	300	75	136	216	505	1200	2,69	25%	1.45
14	CP14	300	75	136	231	539	1148	2,69	25%	1.56
15	CP15	300	75	136	244	568	1098	2,69	25%	1.69
16	CP16	300	105	136	176	411	1324	2,69	35%	1.21
17	CP17	300	105	136	193	451	1259	2,69	35%	1.33
18	CP18	300	105	136	209	488	1201	2,69	35%	1.45
19	CP19	300	105	136	223	521	1147	2,69	35%	1.57
20	CP20	300	105	136	236	551	1098	2,69	35%	1.69
21	CP21	300	135	136	169	394	1325	2,69	45%	1.20

TT	Ký hiệu CP	Lượng dùng vật liệu, kg/m ³ , và các hệ số								
		XM	XLC	Nước	CN (bão hòa)	Cát	Đá	PG	Tỷ lệ XLC/XM	K _d
22	CP22	300	135	136	186	434	1259	2,69	45%	1.33
23	CP23	300	135	136	202	470	1201	2,69	45%	1.45
24	CP24	300	135	136	216	504	1149	2,69	45%	1.56
25	CP25	300	135	136	229	534	1098	2,69	45%	1.69
26	CP26	300	165	136	161	376	1323	2,69	55%	1.21
27	CP27	300	165	135	178	416	1257	2,69	55%	1.33
28	CP28	300	165	136	194	452	1200	2,69	55%	1.45
29	CP29	300	165	136	208	486	1148	2,69	55%	1.57
30	CP30	300	165	136	222	517	1100	2,69	55%	1.69