



TUYỂN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC

KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG

Hà Nội, 12 - 11 - 2020

ERSD 2020



NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI



**TUYỂN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC
KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN
VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG**

**TIỂU BAN
VẬT LIỆU VÀ KẾT CẤU**

ĐƠN VỊ TỔ CHỨC

Trường Đại học Mở - Địa chất (HUMG)

CÁC ĐƠN VỊ PHỐI HỢP TỔ CHỨC

Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam

Tập đoàn Dầu khí Việt Nam

Tổng cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam

Tổng hội Địa chất Việt Nam

Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam

Hội Khoa học Công nghệ Mỏ Việt Nam

Hội Công trình ngầm Việt Nam

Hội Địa chất Thủy văn Việt Nam

Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam

Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam

Hội Khoa học Kỹ thuật Địa vật lý Việt Nam

Hội Trắc địa - Bản đồ - Viễn thám Việt Nam

Viện Địa chất và Địa vật lý biển

Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản

Trường Đại học Công nghệ Đồng Nai

Trường Đại học Đông Á

Trường Đại học Thủ Dầu Một

BAN TỔ CHỨC

Trưởng ban

GS.TS Trần Thanh Hải, *Trường Đại học Mở Địa - chất*

Phó Trưởng ban

GS.TS Bùi Xuân Nam, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Triệu Hùng Trường, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

Ủy viên

GS.TS Võ Chí Mỹ, *Hội Trắc địa - Bản đồ - Viễn thám Việt Nam*

GS.TS Nguyễn Quang Phích, *Hội Công trình ngầm Việt Nam*

PGS.TS Trần Tuấn Anh, *Viện Địa chất, Viện HLKH&CN Việt Nam*

PGS.TS Đoàn Văn Cảnh, *Hội Địa chất Thủy văn Việt Nam*

PGS.TS Tạ Đức Thịnh, *Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam*

PGS.TS Nguyễn Như Trung, *Viện Địa chất và Địa vật lý biển, Hội Khoa học kỹ thuật Địa vật lý Việt Nam*

TS Nguyễn Đại Đồng, *Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam*

TS Trần Xuân Hòa, *Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam*

TS Hoàng Văn Khoa, *Tổng hội Địa chất Việt Nam*

TS Đỗ Hồng Nguyên, *Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam*

TS Nguyễn Văn Nguyên, *Tổng cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam*

TS Lê Văn Quyền, *Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam*

TS Trịnh Hải Sơn, *Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, Bộ Tài nguyên và Môi trường*

TS Nguyễn Quốc Thập, *Tập đoàn Dầu khí quốc gia Việt Nam*

TS Đặng Kim Triết, *Trường Đại học Công nghệ Đồng Nai*

TS Trần Văn Trung, *Trường Đại học Thủ Dầu Một*

TS Đỗ Trọng Tuấn, *Trường Đại học Đông Á*

TS Nguyễn Thanh Tùng, *Viện Dầu khí Việt Nam*

BAN KHOA HỌC

Trưởng ban

GS.TS Bùi Xuân Nam, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

Phó trưởng ban

PGS.TS. Đỗ Ngọc Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

Ủy viên

GS.TSKH Hoàng Ngọc Hà, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

GS.TS Võ Trọng Hùng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

GS.TS Trương Xuân Luận, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

GS.TS Đỗ Như Tráng, *Trường Đại học Công nghệ GTVT*

PGS.TS Bùi Hoàng Bắc, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Đỗ Văn Bình, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Phùng Mạnh Đắc, *Hội KHCN Mỏ Việt Nam*

PGS.TSKH Hà Minh Hòa, *Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ*

PGS.TS Phạm Văn Hòa, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Lê Văn Hưng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Hoàng Văn Long, *Viện Dầu khí Việt Nam*

PGS.TS Phạm Văn Luận, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Nguyễn Quang Minh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Phạm Xuân Núi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Khổng Cao Phong, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Nguyễn Văn Sáng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Ngô Xuân Thành, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Đặng Trung Thành, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Tạ Đức Thịnh, *Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam*

PGS.TS Nguyễn Thế Vinh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Lê Hồng Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Trần Quốc Cường, *Viện Địa chất, Viện HLKH&CN Việt Nam*

TS Công Tiến Dũng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Trần Tuấn Dũng, *Viện Địa chất và Địa vật lý biển, Viện HL KH&CN Việt Nam*

TS Nguyễn Đại Đồng, *Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam*

TS Nguyễn Mạnh Hùng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Quốc Phi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Bùi Thị Thu Thủy, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Thế Truyền, *Viện NC Điện tử, Tin học, Tự động hóa*

TS Nguyễn Văn Xô, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

BAN BIÊN TẬP

Trưởng ban

TS Nguyễn Viết Nghĩa, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

Phó Trưởng ban

TS Nguyễn Thạc Khánh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

Ủy viên

PGS.TS Bùi Hoàng Bắc, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Phạm Văn Luận, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Trần Tuấn Minh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Bùi Ngọc Quý, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Đỗ Như Ý, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Thị Mai Dung, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Mạnh Hùng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Phạm Trung Kiên, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Quốc Phi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

BAN THƯ KÝ

Trưởng ban

PGS.TS Đỗ Ngọc Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

Phó Trưởng ban

TS Nguyễn Thạc Khánh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

Ủy viên

PGS.TS Phạm Văn Luận, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Nguyễn Văn Sáng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Tô Xuân Bản, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Trọng Dũng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Lê Quang Duyệt, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Duy Huy, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Quốc Phi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Ngô Thanh Tuấn, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Mạnh Hùng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

ThS Nguyễn Ngọc Dung, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

ThS Hoàng Thu Hằng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

ThS Nguyễn Thanh Hải, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

ThS Phạm Đức Nghiệp, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

LỜI NÓI ĐẦU

Hội nghị Toàn quốc Khoa học Trái đất và Tài nguyên với Phát triển bền vững - ERSĐ được Trường Đại học Mở - Địa chất (HUMG) và các đối tác tổ chức 2 năm một lần để các nhà chuyên môn trong và ngoài nước tụ hội, giới thiệu những kết quả và hướng nghiên cứu khoa học mới, thảo luận về các xu thế phát triển, thách thức và cơ hội mới đối với nhiều lĩnh vực khác nhau của Khoa học Trái đất, Tài nguyên và các ngành khác có liên quan.

Tiếp nối thành công của Hội nghị lần thứ nhất năm 2018 (ERSĐ 2018) và được sự cho phép của Bộ Giáo dục và Đào tạo, Hội nghị Toàn quốc Khoa học Trái đất và Tài nguyên với Phát triển bền vững lần thứ hai (ERSĐ 2020) được Trường Đại học Mở - Địa chất (HUMG) đăng cai tổ chức với sự phối hợp đồng tổ chức của nhiều đơn vị quản lý, nghiên cứu khoa học, đào tạo và sản xuất có uy tín trong nước gồm Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam, Tập đoàn Dầu khí Quốc gia Việt Nam, Tổng cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam, Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam, Viện Địa chất và Địa vật lý biển, Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, Trường Đại học Công nghệ Đồng Nai, Trường Đại học Đông Á, Trường Đại học Thủ Dầu Một, Tổng hội Địa chất Việt Nam, Hội Khoa học Công nghệ Mỏ Việt Nam, Hội Công trình ngầm Việt Nam, Hội Địa chất Thủy văn Việt Nam, Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam, Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam, Hội Khoa học Kỹ thuật Địa vật lý Việt Nam, Hội Trắc địa - Bản đồ - Viễn thám Việt Nam, và với sự tham gia của nhiều tổ chức và cá nhân khác.

Các chủ đề chính của Hội nghị lần này tập trung vào thảo luận các kết quả khoa học công nghệ và hướng nghiên cứu mới của Khoa học Trái đất và Tài nguyên thiên nhiên, Khai thác và sử dụng tài nguyên địa chất, Môi trường và các lĩnh vực khoa học khác có liên quan như Cơ - Điện, Công nghệ Thông tin, Xây dựng, ... cũng như việc ứng dụng chúng vào phát triển bền vững đối với nhiều lĩnh vực khác nhau của khoa học công nghệ, kinh tế và xã hội.

Trong quá trình tổ chức Hội nghị, Ban Tổ chức đã nhận được sự quan tâm của đông đảo các nhà khoa học, chuyên môn và quản lý trong và ngoài nước, trong đó có hơn 300 báo cáo khoa học liên quan tới các chủ đề của Hội nghị đã được gửi tới Ban biên tập. Trên cơ sở đó, 255 báo cáo có chất lượng đã được lựa chọn và xuất bản trong Tuyển tập tóm tắt các báo cáo và Tuyển tập các báo cáo toàn văn của Hội nghị. Báo cáo toàn văn được tập hợp thành 16 tập, mỗi tập ứng với một chủ đề khoa học sau:

1. *Địa chất khu vực*
2. *Địa chất công trình - Địa chất thủy văn*
3. *Tài nguyên địa chất và phát triển bền vững*
4. *Môi trường trong khai thác tài nguyên và phát triển bền vững*
5. *An toàn mỏ*
6. *Công nghệ và thiết bị khai thác*
7. *Thu hồi và chế biến khoáng sản*
8. *Công trình ngầm và Địa kỹ thuật*
9. *Vật liệu và kết cấu*
10. *Kỹ thuật dầu khí tích hợp*
11. *Trắc địa*
12. *Bản đồ, Viễn thám và Hệ thống thông tin địa lý*
13. *Khoa học Cơ bản trong lĩnh vực Khoa học Trái đất và Môi trường*
14. *Cơ khí, điện và Tự động hóa*
15. *Công nghệ thông tin*
16. *Phân tích dữ liệu và học máy*

Toàn bộ thông tin khoa học về hội nghị, trong đó có Tuyển tập các báo cáo toàn văn, được đưa lên trang Website chính thức của Hội nghị tại địa chỉ: <http://ersd2020.humg.edu.vn/>.

Ban tổ chức xin trân trọng cảm ơn Trường Đại học Mở - Địa chất, với tư cách là đơn vị đăng cai tổ chức Hội nghị, cùng các đơn vị đồng tổ chức đã hợp tác và góp phần quan trọng vào sự thành công của Hội nghị này. Cảm ơn các nhà khoa học đã đóng góp các công bố khoa học có giá trị cho Hội nghị. Ban tổ chức cũng đánh giá cao sự nỗ lực của Ban biên tập và các chuyên gia biên tập để nâng cao chất lượng của các báo cáo khoa học cũng như sự cố gắng lớn của Ban thư ký trong việc chuẩn bị và tổ chức hội nghị này.

Ban tổ chức mong muốn tiếp tục nhận được sự hợp tác chặt chẽ và góp ý chân thành của các đơn vị và cá nhân đối với việc chuẩn bị, tổ chức, biên tập, và xuất bản các báo cáo khoa học, nhằm nâng cao chất lượng của các hội nghị tiếp theo, góp phần thúc đẩy sự phát triển bền vững của các hoạt động nghiên cứu khoa học, chuyển giao công nghệ thuộc các lĩnh vực Khoa học Trái đất và Tài nguyên và các lĩnh vực khoa học khác có liên quan.

TRƯỞNG BAN TỔ CHỨC

GS.TS Trần Thanh Hải

MỤC LỤC

TIỂU BAN VẬT LIỆU VÀ KẾT CẤU

Tổng quan về tính chất và ứng dụng bê tông bọt <i>Vũ Kim Diễm, Bazhenova Sofya Ildarovna, Tăng Văn Lâm</i>	1
Nghiên cứu khả năng ứng dụng vật liệu composite gốc xi măng áp điện trong xây dựng <i>Nguyễn Đình Hải, Nguyễn Tiến Dũng, Trần Anh Tuấn, Phạm Đức Thọ</i>	8
Nghiên cứu cường độ của bê tông sử dụng cốt liệu tái chế từ bê tông phế thải <i>Đặng Quang Huy, Hoàng Đình Phúc, Bùi Anh Thắng</i>	14
Nghiên cứu khả năng sử dụng gạch không nung trong xây dựng ở vùng Tây Bắc Việt Nam <i>Tăng Văn Lâm, Nguyễn Sỹ Đức, Dương Hải Anh, Vũ Kim Diễm, Bazhenova Sofia Ildarovna, Nguyễn Tài Năng Lượng, Nguyễn Đức Du</i>	20
Ảnh hưởng của tổ hợp phụ gia biến tính đến độ nở sun phát của bê tông dùng trong công trình biển và hải đảo <i>Tăng Văn Lâm, Phạm Đức Lương, Phạm Ngọc Dương, Ngô Xuân Hùng, Bulgakov Boris Igorevich, Đặng Văn Phi, Nguyễn Tài Năng Lượng</i>	26
Sử dụng bê tông chất lượng siêu cao, tự đầm trong xây dựng <i>Nguyễn Xuân Mãn, Nguyễn Duyên Phong, Phạm Mạnh Hào</i>	33
Nghiên cứu xác định chiều sâu ăn mòn cốt thép khi bắt đầu xuất hiện nứt bê tông trong môi trường biển <i>Nguyễn Văn Mạnh</i>	39
Dự báo tuổi thọ mỏi của các công trình cầu thép cũ trên đường sắt ở Việt Nam <i>Đoàn Bảo Quốc, Bùi Đức Dũng, Nguyễn Đức Hiếu, Trần Thế Truyền</i>	45
Ảnh hưởng của hàm lượng tro bay thay thế xi măng đến cường độ của bê tông <i>Nguyễn Chí Thành, Đỗ Ngọc Thái, Đặng Văn Kiên</i>	51

Tổng quan về tính chất và ứng dụng bê tông bọt

Vũ Kim Diễm^{1,*}, Bazhenova Sofya Ildarovna¹, Tăng Văn Lâm²

¹ Đại học Xây dựng Quốc gia Mát-xcơ-va, Liên Bang Nga

² Trường Đại học Mở - Địa chất

TÓM TẮT

Bê tông bọt là một loại vật liệu được sử dụng phổ biến trong xây dựng dân dụng ở Việt nam và trên thế giới. Chúng được sử dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau như: làm block sàn, tường, chống nóng... cho các công trình xây dựng. Ở nước ta Chính phủ đã có quyết định 567/QĐ-TTg 28/4/2010, các công trình xây dựng sẽ sử dụng 30-40% gạch không nung vào năm 2020. Bê tông bọt là loại bê tông thân thiện môi trường, tận dụng chất thải công nghiệp như, tro bay, tro đáy, xỉ lò cao... làm cốt liệu. Sản xuất và sử dụng bê tông bọt là sự đóng góp lớn với sự phát triển bền vững của đô thị. Bài báo này trình bày về các tính chất cơ bản của bê tông bọt, vật liệu và phương pháp chế tạo, cũng như ứng dụng của bê tông bọt. Từ đó có cái nhìn tổng quát về bê tông bọt giúp người tiêu dùng hiểu hơn về bê tông bọt.

Từ khóa: Bê tông bọt; chất thải công nghiệp; gạch không nung; ô nhiễm môi trường; phát triển bền vững.

1. Đặt vấn đề

Bê tông bọt là một loại bê tông nhẹ có cấu trúc xốp do các lỗ rỗng được tạo ra bởi bọt trong quá trình đông cứng, chúng có khối lượng thể tích dao động từ 250÷1800 kg/m³ thậm chí nhỏ hơn. Bê tông bọt được sản xuất bằng cách trộn chất kết dính cốt liệu mịn, bọt, phụ gia (nếu có) và nước. Bê tông bọt có độ chảy cao, khả năng cách nhiệt tuyệt vời. Bên cạnh đó bê tông bọt được sử dụng trong các công trình xây dựng như làm vách ngăn, gạch bê tông bọt... Năm 1923, Axel Eriksson đã nghiên cứu phát minh ra bê tông bọt (Ramamurthy et al., 2009). Trên thế giới, bê tông bọt được sử dụng rộng rãi trong các công trình xây dựng ở các nước như Đức, Nga, Anh, Philippines, Thổ Nhĩ Kỳ, Thái Lan và một số nước khác.

Hiện nay, việc sử dụng gạch đất sét nung dẫn đến ô nhiễm môi trường, cạn kiệt tài nguyên thiên nhiên, gây ra hiệu ứng nhà kính và biến đổi khí hậu toàn cầu. Tại Việt Nam, trong những năm gần đây bê tông bọt cũng đã được nghiên cứu và đưa vào ứng dụng, đặc biệt sau khi có quyết định 567/QĐ-TTg 28/4/2010 về việc sử dụng gạch không nung thay thế gạch đất sét nung (Thủ tướng Chính phủ, 2010). Tuy nhiên, việc sử dụng bê tông bọt chủ yếu ứng dụng trong các công trình có vốn đầu tư nhà nước, các công trình dân dụng chưa được sử dụng nhiều. Điều này được giải thích rằng do thói quen sử dụng bê tông truyền thống cũng như chưa hiểu rõ về các tính chất của bê tông bọt nên việc sử dụng còn hạn chế.

Việc sản xuất bê tông bọt phụ thuộc nhiều yếu tố như chất tạo bọt, phương pháp chuẩn bị bọt, thành phần vật liệu, phương pháp bảo dưỡng... Với những đề cập trên bài báo này đánh giá tổng quan về các tính chất cũng như ứng dụng của bê tông bọt giúp người đọc hiểu hơn về chúng.

2. Vật liệu và phương pháp chế tạo

Bê tông bọt bao gồm các thành phần cơ bản và phụ gia. Các thành phần cơ bản là xi măng, cát, chất thải công nghiệp (tro bay, tro đáy, xỉ lò cao...), nước kết hợp với phụ gia (muối silic, siêu dẻo) và bọt. Hiện nay, thành phần cốt liệu của bê tông bọt chủ yếu là chất thải công nghiệp. Các loại chất thải này là sản phẩm thải của quá trình sản xuất điện, thép luyện kim. Sử dụng các loại chất thải này giúp giảm giá thành sản phẩm cũng như giảm ô nhiễm môi trường. Tất cả các loại vật liệu sử dụng làm thành phần trong bê tông bọt được đề cập chi tiết ở bên dưới.

2.1. Chất kết dính

Chất kết dính sử dụng chủ yếu trong bê tông bọt là xi măng. Ngoài ra, các vật liệu khác cũng được coi là chất kết dính như: Muối silic, vôi, tro bay, tro đáy, xỉ lò cao... Các loại vật liệu này có thể thay thế xi

* Tác giả liên hệ

Email: kimdienxdtb@gmail.com

măng từ 10÷70% làm chất kết dính trong bê tông bọt. Mỗi loại vật liệu này khi thay thế xi măng có thể làm thay đổi tính chất của bê tông bọt tại các thời điểm khác nhau.

2.2. Cốt liệu mịn

Các loại vật liệu có thể được sử dụng làm cốt liệu mịn trong bê tông bọt như tro bay, tro đáy, xỉ lò cao và cát với đường kính hạt <1,25mm. Nếu sử dụng cốt liệu có đường kính lớn sẽ dẫn đến tình trạng phân tầng vì các hạt cốt liệu có đường kính lớn sẽ bị chìm trong hỗn hợp bê tông bọt hay nói cách khác là không đậu bọt.

2.3. Bọt

Bọt là một thành phần vật liệu không thể thiếu trong bê tông bọt. Nó là thành phần chính giúp bê tông giảm khối lượng thể tích do phần bong bóng bọt chiếm chỗ trong bê tông giúp giảm khối lượng thể tích của bê tông. Đối với bê tông thường khối lượng thể tích là 2500kg/m³ nhưng đối với bê tông bọt ta có thể chế tạo được bê tông với khối lượng thể tích nhỏ hơn gấp nhiều lần bê tông thường, thậm chí có thể đạt 200÷300kg/m³. Hàm lượng bọt trong bê tông càng lớn thì đồng nghĩa với việc sẽ giảm độ bền của bê tông. Hiện nay tại Việt Nam chủ yếu sử dụng các loại như: DT2N2_Foam, EABASSOC, NEPOR...

2.4. Nước và phụ gia giảm nước

Lượng nước yêu cầu trong bê tông bọt phụ thuộc vào thành phần vật liệu của như việc sử dụng phụ gia giảm nước. Nếu lượng nước quá thấp khiến hỗn hợp quá cứng và bong bóng bọt sẽ bị vỡ trong quá trình trộn dẫn đến mật độ bê tông tăng. Ngược lại nếu lượng nước quá lớn sẽ dẫn đến sự phân tách bọt khỏi hỗn hợp bê tông. Theo tài liệu (Kim et al, 2020) nói rằng tỷ lệ Nước/Chất kết dính đối với hỗn hợp bê tông bọt không có phụ gia giảm nước nằm trong khoảng 0,5÷0,6 là tối ưu.

Chúng ta biết rằng muốn bê tông đạt cường độ cao thì cần giảm nước. Tuy nhiên nếu giảm nước mà không có phụ gia siêu dẻo sẽ dẫn đến hỗn hợp bê tông khô và không đồng nhất. Phụ gia giảm nước sử dụng trong hỗn hợp bê tông bọt giúp cải thiện đáng kể khả năng làm việc. Hàm lượng phụ gia giảm nước phụ khoảng 0,5÷5% tổng khối lượng bọt (Shi, 2002).

2.5. Phương pháp tính toán thành phần cấp phối

Hiện nay, phương pháp tính toán thành phần cấp phối bê tông bọt dựa trên lý thuyết phương pháp thể tích tuyệt đối. Mục tiêu của phương pháp này là dựa trên giá trị cho trước của khối lượng thể tích ướt của bê tông nhẹ. Công thức tính toán các thành phần được đưa ra trong phương trình (1) và (2) (Kim và nnk, 2020).

$$D = XM + C + FG + N \quad (1)$$

$$V_b = 1000 - \left(\frac{XM}{\rho_{XM}} + \frac{C}{\rho_C} + \frac{FG}{\rho_{FG}} + \frac{N}{\rho_N} \right) \quad (2)$$

Trong đó:

D là mật độ ướt mục tiêu, (kg/m³).

XM, C, FG, N lần lượt là khối lượng: xi măng, cát, phụ gia, nước, (kg)

V_b là thể tích bọt, (m³)

ρ_{XM} , ρ_C , ρ_{FG} , ρ_N lần lượt là khối lượng riêng của xi măng, cát, phụ gia và nước, (kg/m³)

2.6. Quy trình trộn bê tông bọt

Trong thực tế có 2 phương pháp trộn bê tông bọt là phương pháp tạo bọt trước và phương pháp tạo bọt trong quá trình trộn. Tuy nhiên sử dụng phổ biến hiện nay là phương pháp tạo bọt trước. Phương pháp này được thực hiện theo quy trình. Đầu tiên, pha chất tạo bọt với nước theo tỷ lệ định sẵn sau đó khí nén và dung dịch tạo bọt được thổi qua dụng cụ tạo bọt. Khí nén sẽ thổi dung dịch chất tạo bọt thành bọt. Quy trình tạo bọt xem hình 1.



Hình 1. Quy trình tạo bọt

3. Tính chất của bê tông bọt

3.1. Tính chất hỗn hợp bê tông tươi

Trạng thái hỗn hợp tươi có các tính chất khác nhau như tính đồng nhất, tính lưu động... Các tính chất này chịu ảnh hưởng bởi tỷ lệ Nước/Xi măng, cốt liệu mịn, phụ gia siêu dẻo cũng như hàm lượng bọt. Tính đồng nhất và lưu động là những đánh giá đầu tiên về hỗn hợp bê tông bọt ở trạng thái tươi. Chúng thường

được kiểm tra bằng cách sử dụng các côn hình nón để thử nghiệm. Các yếu tố ảnh hưởng tới các tính chất này chủ yếu liên quan đến các thành phần trong hỗn hợp bê tông bọt. Trong đó yếu tố quan trọng nhất là hàm lượng nước sử dụng trong hỗn hợp.

3.2. Tính chất cơ học

3.2.1. Cường độ nén

Bảng 1 tóm tắt một số kết quả nghiên cứu gần đây về cường độ nén, khối lượng thể tích và thành phần hỗn hợp của bê tông bọt. Có thể thấy rằng khối lượng thể tích khô của bê tông bọt nằm trong khoảng $280 \div 1800 \text{ kg/m}^3$, cường độ nén tại tuổi 28 ngày nằm trong khoảng $0,6 \div 43 \text{ MPa}$. Nói chung, cường độ nén của bê tông bọt phụ thuộc vào khối lượng thể tích của bê tông bọt. Nếu khối lượng thể tích cao thì cường độ nén cao và ngược lại. Ngoài ra, cường độ nén còn phụ thuộc vào các yếu tố khác như tỷ lệ Nước/Xi măng và một số yếu tố khác.

Bảng 1. Tỷ lệ Nước/Chất kết dính và tính chất của bê tông bọt (Ramamurthy, Kunhanandan Nambiar, and Indu Siva Ranjani 2009)

STT	Tỷ lệ Nước/Chất kết dính	KL thể tích (kg/m^3)	Cường độ nén tại 28 ngày tuổi (Mpa)
1	$0,45 \div 0,60$	$280 \div 1200$	$0,6 \div 10,0$
2	$0,3 \div 0,6$	$800 \div 1800$	$7,3 \div 43,0$
3	$0,6 \div 1,17$	$1000 \div 1500$	$33,5 \div 42,1$
4	$0,48 \div 0,58$	$800 \div 900$	$2,58 \div 3,72$
5	$0,4 \div 0,65$	$738 \div 1632$	$0,9 \div 14,5$
6	$0,45 \div 0,53$	$500 \div 1800$	$4,2 \div 27,6$
7	0,7	$430 \div 1490$	$1,5 \div 9,9$
8	0,3	$367 \div 820$	$0,36 \div 7,85$
9	$0,55 \div 0,85$	$696 \div 1312$	$2,85 \div 19,17$

Tỷ lệ Nước/Xi măng là yếu tố ảnh hưởng đến cường độ nén của bê tông bọt. Hàm lượng nước thích hợp giúp tăng cường tính đồng nhất và độ ổn định của hỗn hợp cũng như làm giảm bọt kích thước lớn dẫn đến làm tăng cường độ nén (Lim và nnk, 1987).

Không chỉ tỷ lệ Nước/Xi măng ảnh hưởng đến cường độ nén mà tỷ lệ Cát/Xi măng cũng ảnh hưởng đến cường độ bê tông bọt. Trong bê tông bọt, tỷ lệ Cát/Xi măng từ 1:1 đến 1:4. Theo (Ramamurthy và nnk, 2009) tỷ lệ Cát/Xi măng là 1:1 không ảnh hưởng nhiều đến cường độ nén. Tuy nhiên, nếu hàm lượng cát thô quá nhiều sẽ ảnh hưởng đến cường độ của bê tông bọt vì nó sẽ tạo ra các lỗ rỗng bọt có kích thước lớn dẫn đến cường độ bê tông bọt giảm. Vì vậy, trong bê tông bọt người ta khuyến cáo nên sử dụng cát hạt mịn hoặc các loại cốt liệu có đường kính hạt $< 1,25 \text{ mm}$, vì việc sử dụng cốt liệu mịn giúp các bong bóng bọt được phân bố đồng đều và tạo ra các ma trận liên kết tương đối làm tăng cường độ của bê tông (E.K. Kunhanandan Nambiar, 2006).

Ngoài ra, việc thay thế xi măng bằng silica-fume và tro bay cũng làm thay đổi giá trị cường độ nén của bê tông bọt. Đối với tro bay có thể thay thế xi măng lên tới 65% mà không làm giảm cường độ (Thanoon và nnk, 2004), riêng đối với silica-fume hàm lượng thay thế xi măng thấp hơn ($0,05 \div 0,2\%$).

Phương pháp bảo dưỡng cũng là một trong những yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến cường độ bê tông bọt. Theo tiêu chuẩn ASTM C 76, các mẫu bê tông bọt cần được bảo dưỡng trong môi trường với độ ẩm 100%.

3.2.2. Cường độ uốn khi uốn và kéo

Trong bê tông bọt cường độ kéo và cường độ kéo khi uốn thấp hơn bê tông thường. Theo (Narayanan và nnk, 2000) báo cáo rằng, giá trị cường độ uốn và kéo của bê tông bọt nằm khoảng $15 \div 35\%$ cường độ nén của nó. Ngoài ra khi mật độ bê tông bọt $< 300 \text{ kg/m}^3$ cường độ kép khi uốn gần như bằng không (Narayanan et al, 2000). Đã có một số nghiên cứu chỉ ra rằng, để tăng cường độ kéo của bê tông bọt có thể bổ sung các phụ gia khoáng hoặc các vật liệu sợi làm thành phần trong bê tông bọt (Othuman and Wang, 2011). Tuy nhiên, các sợi cần phải đủ chiều dài, kích thước và số lượng. Ưu điểm của sợi là biến đổi các khối bê tông bọt từ đặc tính giòn sang đặc tính dẻo. Sự biến đổi này giúp cải thiện tính linh hoạt, tăng cường đặc tính dẻo và tăng khả năng chống nứt của bê tông bọt.

3.2.3. Modul đàn hồi

Modul đàn hồi liên quan trực tiếp đến khối lượng thể tích của bê tông bọt. Modul đàn hồi của bê tông bọt thấp hơn khoảng 4 lần so với bê tông thường. Dựa trên các nghiên cứu cho thấy, khi khối lượng thể tích nằm

trong khoảng $500 \div 1600 \text{ kg/m}^3$ thì giá trị modul đàn hồi nằm trong khoảng $1 \div 12 \text{ kN/m}^2$ (Jones and McCarthy, 2005). Modul đàn hồi phụ thuộc vào loại và hàm lượng cốt liệu sử dụng. Bê tông bọt có hàm lượng cốt liệu thô cao sẽ có giá trị modul đàn hồi thấp hơn so với bê tông bọt sử dụng cốt liệu mịn.

3.3. Tính chất vật lý và một số đặc tính khác

3.3.1. Khối lượng thể tích

Khối lượng thể tích có hai loại là khối lượng thể tích khô và khối lượng thể tích tươi. Sự khác nhau giữa giá trị khô và tươi là khối lượng thể tích khô luôn nhỏ hơn $100 \div 120 \text{ kg/m}^3$ (Thanoon và nnk, 2004). Khối lượng thể tích tươi thực tế thường được đo bằng cách đổ đầy hỗn hợp tươi vào một dụng cụ tiêu chuẩn đã biết khối lượng và thể tích sau đó đem cân lấy kết quả, kết quả này trừ đi khối lượng của dụng cụ tiêu chuẩn sau đó chia cho thể tích.

Hiện nay, ảnh hưởng của các thành phần hỗn hợp như hàm lượng chất tạo bọt, chất kết dính, cốt liệu đến khối lượng thể tích đã được nhắc đến nhiều. Ví dụ, khối lượng thể tích của bê tông bọt giảm khi tăng hàm lượng thể tích bọt. Ngoài ra, nó cũng bị ảnh hưởng bởi loại cốt liệu.

3.3.2. Độ co ngót

Độ co ngót khô được coi là một trong những nhược điểm của bê tông bọt thường xảy ra trong khoảng thời gian 20 ngày đầu tiên sau khi đúc. Theo nghiên cứu (Roslan và nnk, 2013) mức độ co ngót nằm trong khoảng $0,1 \div 0,35\%$ tổng thể tích. Nếu so sánh độ co khô của bê tông bọt với bê tông truyền thống thì nó cao hơn từ $4 \div 10$ lần.

Trong thực tế, ít người biết về sự ảnh hưởng của hàm lượng xi măng đến độ co ngót của bê tông bọt. Đã có một số nghiên cứu báo cáo rằng, hàm lượng xi măng có ảnh hưởng tiêu cực đến hiệu suất của bê tông bọt về độ co ngót, điều này có thể khắc phục bằng cách thay thế một phần hàm lượng xi măng bằng các vật liệu khác như tro bay, silica-fume (Chindaprasirt và nnk,). Bên cạnh đó, theo nghiên cứu (Roslan và nnk, 2013) báo cáo rằng sự gia tăng thể tích bọt làm tăng độ co ngót do tăng kích thước lỗ rỗng. Nói chung, nên giảm tỷ lệ Nước/Chất kết dính cũng như chọn chất tạo bọt với lượng thể tích bọt thích hợp.

3.3.3. Độ xốp

Độ xốp của bê tông bọt là một đặc tính quan trọng vì nó ảnh hưởng đáng kể đến các tính chất khác như cường độ nén, uốn cũng như độ bền. Có nhiều yếu tố có thể ảnh hưởng đến độ xốp của bê tông bọt như thành phần hỗn hợp, chất tạo bọt cũng như điều kiện bảo dưỡng. Theo (Ramamurthy và nnk, 2009) nói rằng, tỷ lệ Nước/Xi măng cao sẽ ảnh hưởng đến độ xốp của bê tông bọt. Phụ gia khoáng cũng có thể được sử dụng để làm giảm độ xốp và sự phân bố kích thước lỗ rỗng trong bê tông bọt như muối silic, xi lò cao, vôi....

Một yếu tố khác cũng ảnh hưởng đến độ xốp là thể tích chất tạo bọt. Đa số các nghiên cứu trước đây đều nói rằng, hàm lượng chất tạo bọt cao dẫn đến ảnh hưởng đáng kể đến độ xốp do hình dạng, kích thước, khoảng cách giữa các lỗ rỗng và thể tích các lỗ chân lông bị mở rộng dẫn đến giảm cường độ của các bong bóng (Jones et al, 2005). Bên cạnh đó, nhiệt độ đóng rắn cũng ảnh hưởng đáng kể đến sự gia tăng cường độ của bê tông bọt. Điều này dẫn đến làm giảm thời gian bê tông đóng rắn dẫn đến giảm cường độ và giảm độ xốp.

3.3.4. Đặc tính thấm

Đặc tính thấm của bê tông bọt là chỉ tiêu không chỉ quan trọng với các cấu kiện tiếp xúc trực tiếp với nước mà còn quan trọng cả đối với các cấu kiện ngoài trời tiếp xúc trực tiếp với thời tiết. Độ hấp thụ nước của bê tông bọt cao gần gấp 2 lần bê tông thường với tỷ lệ nước và chất kết dính tương tự.

Hiện nay, các nhà nghiên cứu đã nghiên cứu sự ảnh hưởng của cốt liệu và phụ gia khoáng đến khả năng thấm của bê tông bọt. Theo nghiên cứu (Nyame và nnk, 1986) đã nói rằng, khả năng thấm của bê tông bọt giảm khi độ xốp bê tông bọt giảm. Việc bổ sung các phụ gia khoáng như tro bay đã được nghiên cứu và cho thấy có ảnh hưởng đến đặc điểm cấu trúc lỗ mao quản và tính thấm của bê tông bọt. Bên cạnh đó, việc sử dụng tro bay thay thế 75% xi măng được đánh giá là có mức độ thấm cao hơn so với hỗn hợp không có tro bay.

3.3.5. Đặc tính cách âm

Theo nghiên cứu (Narayanan and Ramamurthy, 2000) cho thấy khả năng cách âm của bê tông bọt cao hơn bê tông truyền thống do cấu trúc của nó giống cấu trúc rỗng tổ ong. Dựa trên lý thuyết về khả năng cách âm người ta đã chứng minh rằng tần số phản xạ âm thanh phụ thuộc chiều dày bức tường và mật độ của nó.

Bê tông bọt có tốc độ hấp thụ âm thanh cao hơn 10 lần so với bê tông đặc. Khả năng cách âm của bê tông bọt bị ảnh hưởng bởi hàm lượng bọt, số lượng, kích thước và sự phân bố lỗ mao quản (Narayanan và nnk, 2000).

3.3.6. Đặc tính dẫn nhiệt

Bê tông bọt là một loại bê tông nhẹ được hình thành do các lỗ rỗng kín có độ dẫn nhiệt lên tới 0,66 W/mK với khối lượng thể tích 1600kg/m³. Trong khi đó độ dẫn nhiệt của bê tông truyền thống là 1,6W/mK với mật độ 2200kg/m³ (Mydin và nnk, 2012). Trong thực tế sử dụng bê tông bọt cho thấy nó có khả năng cách nhiệt vượt trội so với bê tông truyền thống. Ngoài ra, một nghiên cứu khác về gạch bê tông bọt với khối lượng thể tích 800kg/m³ sử dụng trong xây tường có khả năng cách nhiệt cao hơn 23% so với gạch đất sét nung (Park, et al, 1999). Độ dẫn nhiệt của bê tông bọt thấp là do việc sử dụng các hạt cốt liệu mịn như tro bay, xỉ lò cao và bọt... dẫn đến sự hình thành các lỗ rỗng li ti giúp cản trở khả năng dẫn nhiệt.

3.3.7. Đặc tính chống cháy

Theo các nghiên cứu về bê tông cho thấy, bê tông bọt có khả năng chống cháy ở mức độ chấp nhận được, mặc dù nó bị co ngót khi tiếp xúc với nhiệt độ cao do tốc độ bay hơi cao khi tiếp xúc trong điều kiện nhiệt độ cao. Khả năng chống cháy của bê tông bọt phụ thuộc vào tỷ lệ hỗn hợp, thành phần vật liệu. Nói chung khả năng chống cháy của bê tông bọt tỷ lệ thuận với khối lượng thể tích. Bê tông bọt có khả năng chống cháy gần tương đương với bê tông thường. Theo (Vilches và nnk, 2013), bê tông bọt có khối lượng thể tích 950÷1200kg/m³ có thể chịu được lửa tương ứng 2÷3,5 giờ.

4. Ứng dụng của bê tông bọt

Bê tông bọt có khối lượng thể tích nhỏ hơn bê tông truyền thống, độ dẫn nhiệt thấp, độ chảy và khả năng tự đầm cao. Vì vậy, bê tông bọt có thể ứng dụng vào nhiều vị trí trong các công trình xây dựng như sản xuất các block sàn nhẹ, các tấm tường cách nhiệt, cách âm, chống cháy, các lớp tôn nền...

Trên thế giới bê tông bọt đã được sử dụng rộng rãi, đặc biệt là tại các khu vực có nền đất yếu cần giảm tải trọng tác dụng xuống nền móng. Tại Anh, nhu cầu sử dụng bê tông bọt khoảng 250.000÷300.000m³/năm. Trong khi đó nhu cầu này tại Canada khoảng 50.000m³/năm. Một số nước khác cũng có nhu cầu sử dụng bê tông bọt lớn như Hàn Quốc 250.000m³/năm, Hà Lan 280.000m³/năm (Falliano và nnk, 2018; Ramamurthy et al, 2009).

Ở Việt Nam, từ xưa đến nay vật liệu xây dựng làm tường bao che chủ yếu là loại gạch đất sét nung. Theo nghiên cứu (Chánh, 2010), hàng năm cả nước sử dụng khoảng 60.000.000 m³ gạch đất sét nung trong đó 70÷80% là gạch nung thủ công điều này đã ảnh hưởng nghiêm trọng đến môi trường. Trước tình hình đó, chính phủ Việt Nam đã có chương trình phát triển vật liệu gạch không nung đến năm 2020 thay thế 30÷40% gạch đất sét nung và tiến tới xóa bỏ hoàn toàn gạch đất sét nung sản xuất bằng lò thủ công (Thủ tướng Chính phủ, 2010), (Hà Văn Thảo, Nguyễn Đình Tiến, 2012). Đây là một cơ sở pháp lý vô cùng quan trọng cho những người quan tâm nghiên cứu phát triển sản xuất bê tông bọt tại Việt Nam.

Đặc biệt, trong những năm gần đây xu hướng xây nhà cao tầng ngày càng tăng, Việt Nam lại có nhiều khu vực có nền đất yếu, việc sử dụng bê tông bọt sẽ mang lại hiệu quả hết sức to lớn:

- Giảm tải cho công trình, dẫn tới giảm kinh phí xử lý nền móng và hệ thống kết cấu của nhà. Giảm tác động tiêu cực của việc sử dụng gạch nung đồng thời góp phần giảm tổng mức đầu tư xây dựng công trình 7÷10% (Chánh, 2010).

- Các Block bê tông nhẹ thường có kích thước lớn hơn viên gạch nung nhiều lần nên có thể góp phần tăng tốc độ thi công và hoàn thiện phần bao che của công trình từ 2÷5 lần (Chánh 2010).

- Tại Việt Nam, bê tông bọt được sản xuất dựa trên cốt liệu mịn, xỉ măng, chất tạo bọt, phụ gia và nước. Khối lượng thể tích dao động từ 320÷1920kg/m³ và cường độ nén tương ứng từ 2,5÷12,5MPa (Hà Văn Thảo, Nguyễn Đình Tiến, 2012; Chánh 2010). Khả năng cách nhiệt của chúng cao hơn nhiều lần so với gạch nung hoặc bê tông thường, nên khi sử dụng làm tường bao che hoặc chống nóng cho công trình sẽ làm cho ngôi nhà mát vào mùa hè và ấm vào mùa đông, góp phần giảm lượng điện tiêu thụ cho điều hòa hoặc sưởi.

5. Kết luận và kiến nghị

Dựa trên những phân tích tổng quan về bê tông bọt có thể đưa ra một số kết luận sau:

- Bê tông bọt không sử dụng cốt liệu lớn. Thành phần chủ yếu là cốt liệu mịn, chất kết dính, phụ gia, nước và chất tạo bọt. Khối lượng thể tích của bê tông bọt nhẹ hơn bê tông truyền thống, nó dao động trong khoảng 320÷1920kg/m³. Chúng có khả năng cách âm, cách nhiệt tốt hơn nhiều lần bê tông truyền thống. Vì vậy, có thể ứng dụng để làm kết cấu bao che, cách âm, cách nhiệt trong các công trình xây dựng.

- Bộ Tài nguyên Môi trường cần thu thuế nguyên liệu đất để nhà nước có thể thu được kinh phí trên cơ sở giá trị thật của nguyên liệu đất. Điều này cũng góp phần giảm sản lượng sản xuất gạch đất sét nung thúc đẩy doanh nghiệp phát triển gạch không nung theo quyết định 567/QĐ-TTg 28/4/2010. Điều này có ý nghĩa thực tiễn to lớn, góp phần làm giảm những tác động tiêu cực do quá trình sản xuất gạch đất sét nung gây ra như: ô nhiễm môi trường, cạn kiệt nguồn tài nguyên, gây ra hiệu ứng nhà kính...

- Các cơ quan liên quan của nhà nước cần khuyến khích các nhà khoa học, các cán bộ nghiên cứu trong

việc đầu tư nghiên cứu phát triển bê tông nhẹ theo đúng tinh thần của Thủ tướng Chính phủ về định hướng phát triển ngành Vật liệu Xây dựng Việt Nam.

Tài liệu tham khảo

Nguyễn Văn Chánh, 2010. *Sử dụng bê tông nhẹ trong xây dựng nhà ở hướng tới sự phát triển đô thị bền vững*. Trường Đại Học Bách Khoa TP.HCM: 9.

Chindaprasirt, P., S. Rukzon, and V. Sirivivatnanon, 2008. Resistance to Chloride Penetration of Blended Portland Cement Mortar Containing Palm Oil Fuel Ash, Rice Husk Ash and Fly Ash. *Construction and Building Materials*, 22(5): 932-38.

Dien, V. K., Ly, N. C., Lam, T. V., Bazhenova, S. I., 2020. Foamed Concrete Containing Various Amounts of Organic-Mineral Additives. *Journal of Physics: Conference Series* 1425: 10.

Kunhanandan Nambiar, E.K., Ramamurthy, K., 2006. Influence of Filler Type on the Properties of Foam Concrete. *Cement & Concrete Composites*, 28(5): 475-80.

Hà Văn Thảo, Nguyễn Đình Tiến, Võ Quốc Việt, 2012. Nghiên cứu sử dụng vật địa phương để chế tạo bê tông nhẹ. *Tuyển tập Báo cáo Hội nghị Sinh viên Nghiên cứu Khoa học lần thứ 8 Đại học Đà Nẵng*: 6.

Jones, M. R., and A. McCarthy, 2005. Preliminary Views on the Potential of Foamed Concrete as a Structural Material. *Magazine of Concrete Research* 57(1): 21-31.

Kim, Dien Vu, Ly Nguyen Cong, Lam Tang Van, and S I Bazhenova, 2020. Foamed Concrete Containing Various Amounts of Organic- Mineral Additives. *Journal of Physics: Conference Series* 1425: 12.

Lim, T. Y., C. T. Tam, S. L. Lee, and R. Sri Ravindrarajah, 1987. Relationship between Strength and Volumetric Composition of Moist-Cured Cellular Concrete. *Magazine of Concrete Research* 39(138): 12-18.

Mydin, Azree Othuman, and Sara Soleimanzadeh, 2012. Effect of Polypropylene Fiber Content on Flexural Strength of Lightweight Foamed Concrete at Ambient and Elevated Temperatures. *Advances in Applied Science Research* 3(5): 2837-46.

Narayanan, N., and K. Ramamurthy, 2000. Structure and Properties of Aerated Concrete: A Review. *Cement and Concrete Composites* 22(5): 321-29.

Nyame, B. K., and Nick Buenfeld. 1986. Permeability of Normal and Lightweight Mortars. *Magazine of Concrete Research* 38(134): 51-53.

Othuman, Md Azree, and Y. C. Wang, 2011. Elevated-Temperature Thermal Properties of Lightweight Foamed Concrete. *Construction and Building Materials* 25(2): 705-16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.07.016>.

Park, Seung Bum, Eui Sik Yoon, and Burtrand I. Lee, 1999. Effects of Processing and Materials Variations on Mechanical Properties of Lightweight Cement Composites. *Cement and Concrete Research* 29(2): 193-200.

Phủ, Thủ tướng chính. 2010. Quyết Định về Việc Phê Duyệt Chương Trình Phát Triển Vật Liệu Xây Không Nung Đến Năm 2020. : 7.

Ramamurthy, K., E. K. Kunhanandan Nambiar, and G. Indu Siva Ranjani, 2009. A Classification of Studies on Properties of Foam Concrete. *Cement and Concrete Composites* 31(6): 388-96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.04.006>.

Roslan, Ahmad Farhan, Hanizam Awang, and Md Azree Othuman Mydin, 2013. Effects of Various Additives on Drying Shrinkage, Compressive and Flexural Strength of Lightweight Foamed Concrete (LFC). *Advanced Materials Research* 626: 594-604.

Shi, Caijun, 2002. Composition of Materials for Use in Cellular Lightweight Concrete and Methods Thereof. *Advanced Materials Technologies LLC* 1(12): 3-7.

Thanoon, Waleed A. et al., 2004. Development of an Innovative Interlocking Load Bearing Hollow Block System in Malaysia. *Construction and Building Materials* 18(6): 445-54.

Vilches, Juan, Maziar Ramezani, and Thomas Neitzert, 2013. Advances in Civil and Environmental Engineering Experimental Investigation of the Fire Resistance of Ultra-Lightweight Foam Concrete. *Advances in Civil and Environmental Engineering* 01.

ABSTRACT

Overview of properties and foam concrete applications

Vu Kim Dien^{1,*}, Bazhenova Sofya Ildarovna¹, Tang Van Lam²

¹*National Research Moscow State University of Civil Engineering*

²*Ha Noi University of Mining and Geology*

Foam concrete is a material that is widely used in civil engineering in Vietnam and around the world. It is used in many different fields such as; floor blocks, walls, against heat in the constructions. In Vietnam, the Government has issued a decision 567/QĐ-TTg 28/4/2010, which requires buildings to use 30-40% of unburnt bricks by 2020. Foam concrete is an environmentally friendly material that uses industrial waste such as: fly ash, bottom ash, blast furnace slag... as fine aggregates. The production and use of foam concrete are a significant contribution to the sustainable development of the city. This paper presents the basic properties of foam concrete, materials and manufacturing methods, and the application of foam concrete. Since then, there is an overview of foam concrete to help consumers better understand the foam concrete.

Keywords: Foam concrete; industrial waste; unburnt bricks; environmental pollution; sustainable development.

Nghiên cứu khả năng ứng dụng vật liệu composite gốc xi măng áp điện trong xây dựng

Nguyễn Đình Hải^{1,*}, Nguyễn Tiến Dũng¹, Trần Anh Tuấn², Phạm Đức Thọ³

¹Bộ môn Vật liệu xây dựng, Trường Đại học Giao thông Vận tải

²Bộ môn Cầu Hầm, Trường Đại học Giao thông Vận tải

³Bộ môn Xây dựng hạ tầng cơ sở, Trường Đại học Mỏ - Địa chất

TÓM TẮT

Để đáp ứng nhu cầu ngày càng phát triển của các kết cấu thông minh trong xây dựng dân dụng thì yêu cầu cần có các vật liệu mới tương thích với các kết cấu này. Nghiên cứu này sẽ giới thiệu vật liệu composite gốc xi măng có đặc tính áp điện, vật liệu này nhận được bằng cách đưa bột gốm áp điện vào bê tông. Vật liệu áp điện là loại vật liệu có khả năng chuyển hoá cơ năng thành điện năng và ngược lại. Tính chất đó cho phép thu thập năng lượng tái tạo một cách bền vững và qua đó các kết cấu cầu, đường, nhà cửa có thể trở thành tự cảm biến thông minh. Hơn nữa, dựa trên các kĩ thuật mới nhất cho phép sử dụng vật liệu áp điện trong lĩnh vực thu năng lượng, cảm biến và truyền động với các hệ công trình khác nhau. Bài báo này đưa ra các dự báo cho việc áp dụng vật liệu áp điện composite gốc xi măng cho các mục đích khác nhau trong xây dựng.

Từ khóa: Áp điện; Vật liệu composite gốc xi măng áp điện; năng lượng tái tạo; cảm biến tự thân bền vững.

1. Tổng quan về hiệu ứng áp điện

1.1. Hiệu ứng áp điện

Áp điện là một hiệu ứng quan sát thấy ở một số loại vật liệu: thường ở dạng gốm hoặc đơn tinh thể, có khả năng tạo điện thế khi chịu tác động của một ứng suất cơ học nào đó và ngược lại bị biến dạng khi chịu tác động của một hiệu điện thế. Hiệu ứng áp điện được Jacques và Pierre Curie phát hiện lần đầu tiên vào năm 1880 (Jacques and Pierre Curie, 1880). Theo đó, hiệu điện thế đo được tỉ lệ thuận với lực tác dụng và có thể nhận giá trị âm hay dương tùy thuộc vào tác động là nén hay kéo lên vật liệu đó. Hiệu ứng này còn được gọi là hiệu ứng áp điện thuận. Một năm sau, hiệu ứng áp điện nghịch được Gabriel Lippmann phát hiện ra khi ông đặt vật liệu áp điện vào trong một điện trường để tạo ra điện thế thì kích thước của vật liệu sẽ bị kéo dài ra hay co ngắn lại tùy thuộc vào chiều của điện trường (Lippman, 1881).

Bản thân hiệu ứng áp điện có liên quan mật thiết đến sự xuất hiện của các momen lưỡng cực điện bên trong vật liệu. Ở điều kiện bình thường, điện tích âm và điện tích dương trong tinh thể vật liệu áp điện được sắp xếp đối xứng và triệt tiêu lẫn nhau làm cho điện tích của vật liệu được trung hòa. Như chúng ta đã biết, một hệ hai điện tích điểm có độ lớn bằng nhau nhưng trái dấu nhau được gọi là một lưỡng cực điện. Bất kỳ một tinh thể nào cũng chứa nhiều đomen điện sắp xếp ngẫu nhiên mà mỗi một đomen điện chỉ chứa các lưỡng cực điện song song với nhau và được định hướng ngẫu nhiên. Để tạo ra sự phân cực tổng cộng trong một mẫu gốm nào đó thì cần định hướng các đomen điện nói trên bằng cách phân cực hoá. Để làm được điều đó cần đến một điện trường ngoài để định hướng các đomen điện theo hướng của điện trường áp dụng. Khi tác động lực lên tinh thể thì tính đối xứng của tinh thể bị mất đi một phần và các điện tích không còn triệt tiêu nhau hoàn toàn được nữa, do đó tạo thành sự phân cực điện tích âm, dương ở các mặt tinh thể đối diện nhau.

1.2. Phương trình chủ đạo của hiệu ứng áp điện

Ứng xử của vật liệu áp điện được mô tả bằng phương trình sau (Chen và nnk, 2019):

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl}\epsilon_{kl} + H_{ijk}e_k \quad (1)$$

* Tác giả liên hệ

Email: nguyendinhai.1986@utc.edu.vn

$$d_i = L_{ikl}\epsilon_{kl} + K_{lk}e_k \quad (2)$$

trong đó:

σ_{ij} và ϵ_{kl} : là các thành phần của tensor ứng suất và biến dạng;

e_k và d_i : là các thành phần của vector dịch chuyển điện tích và điện trường;

C_{ijkl} : là các thành phần của tensor đàn hồi bậc bốn;

$H_{ijk} = -L_{kij}$: là các thành phần của tensor áp điện bậc ba;

K_{lk} : là các thành phần của tensor điện thẩm bậc hai.

Dựa vào phương trình (1) và (2) ta hoàn toàn có thể thấy đối với vật liệu có hiệu ứng áp điện khi áp 1 điện trường e_k vào vật liệu sẽ sinh ra ứng suất σ_{ij} ngược lại khi áp một biến dạng ϵ_{kl} vật liệu sẽ sinh ra các dịch chuyển điện tích d_i từ đó sinh ra dòng điện.

Trong trường hợp không có lực thể tích và dòng điện ban đầu phương trình cân bằng có dạng sau:

$$\nabla \cdot \sigma = 0 \quad (3)$$

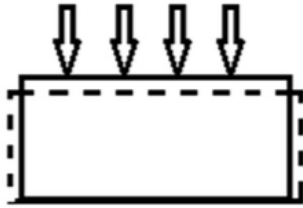
$$\nabla \cdot d = 0 \quad (4)$$

Các phương trình liên hệ giữa biến dạng - chuyển vị và điện trường điện thế được trình bày như sau

$$\epsilon = \frac{1}{2}(\nabla \mathbf{u} + \nabla^T \mathbf{u}) \quad (5)$$

$$\mathbf{d} = -\nabla \phi \quad (6)$$

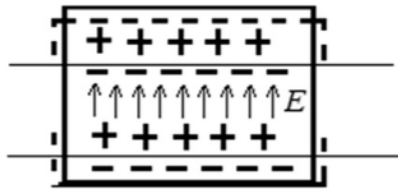
trong đó: \mathbf{u} và ϕ lần lượt là chuyển vị cơ học và hiệu điện thế.



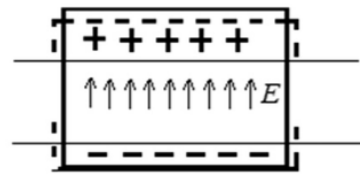
Hình 1. Biến dạng gây ra bởi ứng suất
 $\epsilon = C^{-1}\sigma$.



Hình 2. Dịch chuyển điện tích gây ra bởi ứng suất
 $\mathbf{d} = L\sigma^{-1}$.



Hình 3. Ngoại dịch chuyển điện tích thông qua
điện trường $\mathbf{d} = K\epsilon$.



Hình 4. Ngoại biến dạng từ nội lực gây ra bởi nội
điện trường Dịch chuyển điện tích gây ra bởi ứng
suất $\epsilon = H\epsilon$.

1.3. Ứng dụng của hiệu ứng áp điện

Hiệu ứng áp điện được sử dụng lần đầu tiên trong các thiết bị siêu âm, với các tinh thể tự nhiên được sử dụng làm vật liệu áp điện, cụ thể là tinh thể thạch anh mỏng đã được dùng làm bộ biến đổi cơ sang điện ở trong các máy siêu âm phát hiện tàu ngầm trong chiến tranh thế giới thứ I.

Trong chiến tranh thế giới lần thứ II, vật liệu sắt điện được phát hiện và hiện tượng sắt điện (ferroelectricity) là cơ sở tạo ra bước tiến lớn cho ngành tổng hợp vật liệu áp điện khi mà lần đầu tiên người ta có thể tổng hợp được gốm áp điện đa tinh thể.

Điều này đã mở rộng phạm vi phát triển của vật liệu áp điện và không lâu sau đó, gốm áp điện (PZT) đã được tổng hợp với các phẩm chất ưu việt thay thế dần các đơn tinh thể tự nhiên trong các ứng dụng áp điện.

Vật liệu áp điện chủ yếu được sử dụng trong các cảm biến, bộ dịch chuyển tinh vi (actuator), và thiết bị chuyển đổi xung - điện (transducer)... Về cơ bản thì các bộ cảm biến tận dụng hiệu ứng áp điện thuận để

nhận biết các dao động hay ứng lực của đối tượng nghiên cứu và cho ra tín hiệu điện phản hồi về lực tác động. Hiện nay, ngoài những lĩnh vực kể trên, vật liệu áp điện được ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực phục vụ cuộc sống chẳng hạn như làm phòng triệt tiêu âm thanh, động cơ có kích thước nhỏ và siêu nhỏ, các cấu trúc thông minh, các máy tái tạo năng lượng...

2. Vật liệu Composite gốc xi măng áp điện

Với sự phát triển của các kết cấu thông minh trong lĩnh vực xây dựng nói chung và ngành xây dựng công trình giao thông nói riêng, hệ thống quan trắc biến dạng và dao động của kết cấu là một phần không thể thiếu trong các công trình vĩnh cửu. Trong các kết cấu thông minh, cảm biến và các bộ dịch chuyển tĩnh vi là một phần không thể thiếu của công trình. Nhìn chung các thiết bị này được làm ra từ các loại vật liệu thông minh với hiệu ứng áp điện.

Tuy nhiên sự khác nhau về tính chất giữa các loại vật liệu thông minh này với vật liệu tạo nên công trình - Bê tông xi măng đã làm giảm tính chính xác của các quan trắc. Nguyên nhân có thể kể ra như trở kháng âm thanh, hệ số dẫn nhiệt, các tính chất đàn hồi và từ biến của bê tông... khác so với các vật liệu kim loại. Do vậy chúng ta mong muốn có các loại vật liệu thông minh tương thích với bê tông hơn so với các loại vật liệu áp điện truyền thống.

2.1. Hiệu ứng áp điện của đá xi măng

Một số tác giả đã xem xét khả năng áp điện của vật liệu đá xi măng (Chena và nnk, 2019; Dong và Li, 2005; Guo và Lu, 2017; Li, 2002; Sun và nnk, 2004; Jacques và Pierre Curie, 1880). Theo đó, dòng điện có thể được sản sinh trong đá xi măng ở một mức độ nào đó khi chịu tải trọng nén ở một mức độ nhất định. Dưới tác động của chu kỳ tải trọng, cường độ dòng điện lớn nhất được tìm thấy ở chu kỳ đầu tiên và giảm nhẹ trong các chu kỳ tiếp theo. Hiện tượng này được giải thích bởi sự phân phối lại nước trong pha xi măng. Các nghiên cứu đã chứng minh rằng sự hiện tượng áp điện trong đá xi măng có liên quan đến sự chuyển động của các ion và phân tử nước tự do bên trong các sản phẩm thủy hoá của xi măng khi vật liệu này chịu tải.

Khi đá xi măng ở trong điều kiện khô, hiệu ứng áp điện không thực sự rõ ràng. Hiệu ứng áp điện rõ rệt hơn và được thể hiện thông qua cường độ dòng điện tăng khi đá xi măng ở trong một môi trường ẩm. Mặc dù có hiệu ứng áp điện nhưng vật liệu gốc xi măng vẫn chưa thể khai thác dưới dạng một vật liệu áp điện. Để khắc phục vấn đề này, nhiều nghiên cứu (Chena và nnk, 2019; Dong và Li, 2005; Guo và Lu, 2017; Li, 2002; Sun và nnk, 2004) trong thời gian gần đây đã cải thiện đặc tính áp điện của vật liệu gốc xi măng bằng cách thêm các chất khác dưới dạng sợi hoặc hạt và kiểm soát điều kiện môi trường xung quanh.

2.2. Một số loại composite gốc xi măng áp điện

- Sử dụng sợi các bon và sợi thép

Một số nghiên cứu đã chỉ ra rằng hiệu ứng áp điện của vật liệu gốc xi măng được cải thiện đáng kể khi sử dụng sợi các bon với hàm lượng nhất định (lớn hơn 1% khối lượng xi măng). Các kết quả tương tự cũng được tìm thấy khi sử dụng sợi thép (B. Dong, Z. Li, 2005).

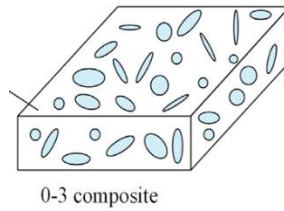
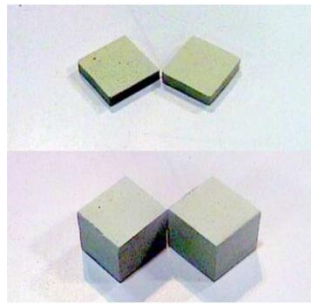
- Sử dụng chì zirconititan (lead zirconate titanate PZT)

Đây là một loại vật liệu thông minh và được sử dụng trong nhiều lĩnh vực trong đó có cảm biến. PZT được chế tạo bằng cách nung kết hợp hợp kim chì- zircon và chì-titan ở nhiệt độ khoảng 800°C. Trong những năm gần đây, PZT đã thu hút sự chú ý trên toàn thế giới vì nó có thể được kết hợp với xi măng để tạo thành một loại composite mới và có thể được sử dụng trong xây dựng công trình.

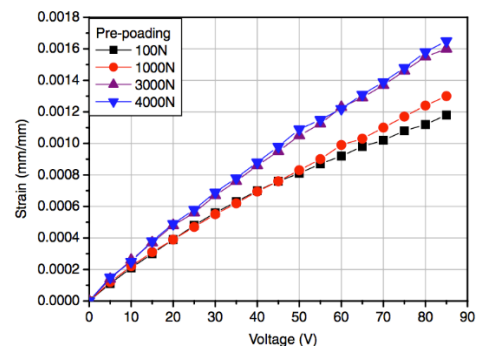
Loại composite này cho thấy khả năng tương thích tốt, đặc biệt là các đặc tính về nhiệt và âm thanh. Composite xi măng-PZT thể hiện tính chất áp điện rõ nét và có thể dễ dàng phát hiện bằng một vôn kế thông thường. Để cải thiện mức độ phân cực, vật liệu composite xi măng-PZT với các hạt các bon hoặc silic được kết hợp như một pha vật liệu mới trong hệ thống gần đây đã được nghiên cứu (Chena và nnk, 2019; Dong và Li, 2005; Guo và Lu, 2017; Li, 2002; Sun và nnk, 2004; Jacques và Pierre Curie, 1880; Lippman, 1881; Faisal và nnk, 2017). Hơn nữa, nhiều nghiên cứu đã cho thấy việc kết hợp các pha khác như sulfoaluminate, ống nano carbon (CNTs), silica fume và nhôm vào composite xi măng-PZT giúp cải thiện đáng kể tính chất áp điện.

Để đáp ứng các yêu cầu nêu trên các nhà khoa học đã phát triển ra loại vật liệu thông minh tương thích cho các công trình xây dựng đó chính là Composite gốc xi măng áp điện 0 - 3 bằng việc tích hợp bột PZT trong vữa xi măng. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng bằng việc đưa một hàm lượng PZT thích hợp vào vữa xi măng thì sẽ nhận được một vật liệu tổng hợp có tính áp điện đủ để chế tạo cảm biến áp điện.

Composite PZT gốc xi măng có thể được phát triển dưới nhiều dạng khác nhau: 0-3 (dạng pha cốt được phân bố ngẫu nhiên trong pha nền trong không gian), 1-3 (pha cốt phân bố tuần hoàn theo 2 chiều không gian), 2-2 (dạng vật liệu xếp lớp).



Hình 5. Mẫu gốm đá xi măng áp điện 0 - 3.



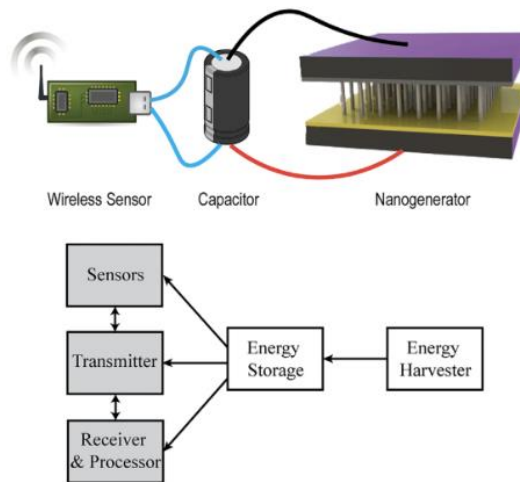
Hình 6. Quan hệ cơ điện giữa hiệu điện thế áp vào và biến dạng của vật liệu.

3. Ứng dụng composite gốc xi măng áp điện trong công trình xây dựng

Đối với lĩnh vực xây dựng, phát triển bền vững là một xu thế tất yếu. Một trong những yếu tố thu hút sự quan tâm đó là vấn đề sử dụng năng lượng có hiệu quả. Từ vật liệu áp điện, việc sử dụng điện được tiết kiệm thông qua các hệ thống thu năng lượng từ loại vật liệu này. Bên cạnh đó, vật liệu áp điện còn được ứng dụng rất hiệu quả để cung cấp năng lượng cho các loại cảm biến khác nhau.

- Thu điện năng:

Thu điện năng là chìa khóa để chuyển đổi những tài nguyên năng lượng chưa được khai thác thành năng lượng điện, qua đó cho phép duy trì hoạt động của các thiết bị điện tử không dây. Đối với các kết cấu xây dựng, công nghệ áp điện cho phép chuyển đổi năng lượng của các biến dạng cơ học thành điện năng. Do đó, các công trình chịu tác động của rung động mạnh và tải trọng động lớn từ gió, động đất, các phương tiện giao thông và các hoạt động của con người được coi là những công trình phù hợp nhất để triển khai các máy thu năng và cảm biến áp điện như trình bày ở hình 7.



Hình 7. Máy phát điện từ vật liệu áp điện

- Cảm biến áp điện:

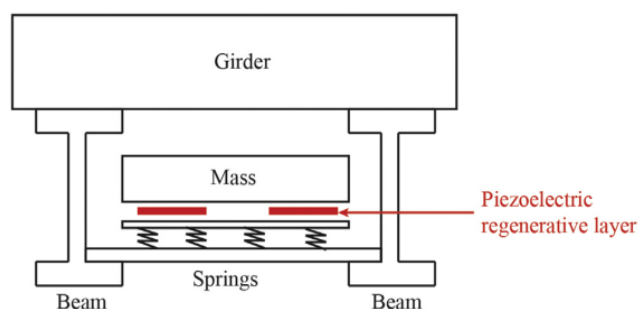
Do sự khác biệt về biến dạng, vật liệu áp điện gốc polymer thường hiếm khi được sử dụng trong các kết cấu xây dựng. Các nhà nghiên cứu (Z. Li, 2002) đã phát triển composite gốm áp điện gốc xi măng 0-3. Cảm biến này có thể được lắp đặt trong bê tông để thu thập các phản hồi từ các dải tần số khác nhau. (Jchena và nnk, 2019) đã phát triển các cảm biến đo biến dạng dựa trên vật liệu áp điện gốc xi măng để theo dõi ứng suất trong kết cấu bê tông.

Bên cạnh đó, cảm biến áp điện còn được sử dụng để theo dõi sự ăn mòn của cốt thép trong bê tông (Guo và Lu, 2017) sử dụng cảm biến composite áp điện và cường độ phát xạ âm để đánh giá tốc độ ăn mòn của cốt thép trong dầm bê tông. Thí nghiệm của họ đã chứng minh những cảm biến đó rất phù hợp cho theo dõi quá trình ăn mòn của cốt thép trong kết cấu bê tông.

Kiểm soát tình trạng quá tải là một chỉ số quan trọng của các công trình hạ tầng. Vật liệu áp điện gốc xi măng có thể được sử dụng trong các hệ thống giám sát giao thông thông minh để thu thập thông tin giao thông theo thời gian thực, bao gồm lưu lượng xe, tốc độ xe và trọng lượng xe. Vật liệu áp điện cho phép cân trọng lượng xe khi di chuyển và thu năng lượng dưới tác dụng của áp lực và ma sát.

- Kiểm soát rung động:

Trong thiết kế kiểm soát rung thông thường, giảm chấn là một thiết bị được sử dụng rộng rãi để hấp thụ và giảm thiểu năng lượng rung động. Các vật liệu áp điện có thể chuyển đổi rung động xung quanh thành năng lượng. Ví dụ, các cầu trục đúc hẫng có tính năng áp điện đã được sử dụng không chỉ để thu năng lượng mà còn giúp triệt tiêu rung động của các tòa nhà như bộ giảm chấn, thể hiện trên hình 8.



Hình 8. Bộ giảm chấn cho tòa nhà.

Ngoài ra, vật liệu áp điện còn có thể được khai thác với nhiều ứng dụng khác. Ví dụ, Faisal và nnk 2017 đã thiết kế một tấm composite áp điện để làm tan băng trên mặt đường và vỉa hè. Nghiên cứu báo cáo rằng năng lượng thu được từ tấm áp điện đủ để tăng nhiệt độ của vỉa hè 20 °C trong vòng 2,5 giờ.

4. Kết quả và thảo luận

Xây dựng bền vững đòi hỏi sử dụng năng lượng hiệu quả và giảm thiểu các tác động đến môi trường. Vật liệu áp điện đã cho thấy rất nhiều tiềm năng ứng dụng cho xây dựng theo xu thế phát triển bền vững. Vật liệu áp điện là một giải pháp kỹ thuật cho phép tận dụng các nguồn năng lượng hao phí, tiêu thụ năng lượng ít hơn và giảm thiểu các rủi ro tiềm ẩn của công trình.

Tài liệu tham khảo

- J. Chena, Q. Qiua, Y. Hanb, D. Laua, 2019. Piezoelectric materials for sustainable building structures: Fundamentals T and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101: 14-25.
- B. Dong, Z. Li, 2005. Cement-based piezoelectric ceramic smart composites. *Composites Science and Technology* 65: 1363-1371.
- L. Guo, Q. Lu, 2017. Potentials of piezoelectric and thermoelectric technologies for harvesting energy from pavements. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 72: 761-773.
- Z. Li, 2002. Cement-Based 0-3 Piezoelectric Composites. *J. Am. Ceram. Soc.*, 85: 305-13.
- M. Sun, Z. Li, X. Song, 2004. Piezoelectric effect of hardened cement paste. *Cement & Concrete Composites* 26: 717-720.
- Jacques and Pierre Curie (1880). Développement par compression de l'électricité polaire dans les cristaux hémihédres à faces inclinées. *Bulletin de la Société minéralogique de France*, 3: 90-93.
- Lippman, G., 1881. Principe de la conservation de l'électricité. *Annales de chimie et de physique*, 24: 145.
- Faisal. Q, Amir. S, Zeeshan. A, Zubair. B, 2017. Investigation of Electrical Properties & Mechanical Quality Factor of Piezoelectric Material (PZT-4A). *Journal of Electrical Engineering and Technology* 12(2): 846-851.

ABSTRACT

Cement - based piezoelectric composite

Nguyen Dinh Hai^{1,*}, Nguyen Tien Dung¹, Tran Anh Tuan², Pham Duc Tho³

¹ *Section Building materials and construction technology, University of Transport and Communications*

² *Section Bridge-Tunnel, University of Transport and Communications*

³ *Section Infrastructure engineering, Hanoi University of Mining and Geology*

To meet the requirements of development for intelligent structure in civil engineering, new materials that have good compatibility with structural materials are needed. The purpose of this work is to introduce cement - based piezoelectric functional composites whose were produced by incorporating piezoelectric ceramic powders into Portland cement matrix. Piezoelectric materials are capable of transforming tress and/or strain into electrical energy and vice versa. This property allows opportunities for implementing renewable and sustainable energy through power harvesting and self-sustained smart sensing in buildings, bridge and highway. In addition, basing newest technique for utilizing the piezoelectric materials in energy harvesters, sensors, and actuators for various construction systems this paper discusses the anticipated techniques for applying the cement - based piezoelectric materials for different structural functions.

Keywords: Piezoelectricity; cement - based piezoelectric composite; renewable energy; self-sustained smart sensor.

Nghiên cứu cường độ của bê tông sử dụng cốt liệu tái chế từ bê tông phế thải

Đặng Quang Huy^{1,*}, Hoàng Đình Phúc¹, Bùi Anh Thắng¹

¹ Trường Đại học Mở - Địa chất

TÓM TẮT

Tái sử dụng chất thải rắn từ bê tông phế thải để làm cốt liệu cho bê tông không những mang lại hiệu quả kinh tế to lớn mà còn góp phần bảo vệ môi trường. Tuy vậy, việc sử dụng cốt liệu này chưa được phổ biến trong thực tế ở Việt Nam do những nghiên cứu về vấn đề này còn hạn chế, cường độ của bê tông sử dụng cốt liệu tái chế chưa được kiểm soát chính xác. Bằng phương pháp thực nghiệm, sử dụng cốt liệu lớn thu được từ bê tông phế thải để chế tạo bê tông, các tác giả đã tiến hành thí nghiệm trong phòng để thấy được sự thay đổi cường độ của bê tông mác trung bình sử dụng cốt liệu tái chế. Kết quả cho thấy, nếu lượng cốt liệu tái chế thay thế cốt liệu tự nhiên ở mức dưới 30% thì cường độ bê tông đạt được có thể tương đương với bê tông đối chứng. Khi lượng cốt liệu tái chế tăng lên, cường độ của bê tông giảm đi tuy nhiên vẫn có thể đáp ứng được yêu cầu cường độ của bê tông thông thường.

Từ khóa: Cốt liệu tái chế; cốt liệu tự nhiên; bê tông; cường độ.

1. Đặt vấn đề

Bê tông là loại vật liệu được sử dụng phổ biến nhất trong ngành Xây dựng. Trải qua hàng trăm năm kể từ khi được phát minh, các công trình xây dựng bằng loại vật liệu này đã đạt đến khối lượng không thể đo đếm được. Hiện nay, nhiều công trình xây dựng bằng bê tông cốt thép đã đạt đến tuổi thọ và bị phá hủy tạo nên một lượng phế thải rắn rất lớn cho môi trường. Theo ước tính, hàng năm lượng bê tông phế thải được tạo ra ở Trung Quốc vào khoảng 200 triệu tấn (Xiao J., 2012), ở Anh 100 triệu tấn (Purnell & Dunster, 2010), ở Pháp 300 triệu tấn (Faisabilité PN Recycbéton, 2011) và ở Brazil là 70 triệu tấn (Ulsen, 2013). Lượng bê tông phế thải theo dự đoán sẽ còn tiếp tục tăng lên nữa trong tương lai. Mặt khác, nhu cầu sử dụng bê tông trong xây dựng cũng không ngừng được mở rộng do quá trình đô thị hóa diễn ra rất nhanh trên thế giới, đặc biệt là ở các nước đang phát triển như Việt Nam. Các loại cốt liệu tự nhiên để chế tạo bê tông như cát, đá, sỏi ngày càng cạn kiệt và trở nên đắt đỏ, thêm vào đó, việc khai thác quá mức các loại vật liệu này còn tạo nên những nguy hại cho môi trường. Từ những hiện trạng đó, nhiều nhà khoa học đã nghiên cứu tái sử dụng bê tông phế thải làm cốt liệu cho bê tông. Và một trong những vấn đề cốt lõi đó là liệu cường độ của bê tông sử dụng cốt liệu tái chế có đáp ứng được yêu cầu về cường độ hay không?

Nhiều nhà nghiên cứu trên thế giới đã chỉ ra rằng cường độ của bê tông sử dụng cốt liệu tái chế (CLTC) từ bê tông phế thải nhỏ hơn cường độ của bê tông thông thường sử dụng cốt liệu tự nhiên (CLTN). Hansen (1986) cho rằng cường độ nén của bê tông sử dụng cốt liệu tái chế có thể giảm tới 25% tùy thuộc vào chất lượng của cốt liệu tái chế đó. Một số kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng tỉ lệ cốt liệu tái chế có ảnh hưởng quyết định đến cường độ của bê tông (K.Y. Ann, et al., 2008), (Kou SC et al., 2007). Kwan và các đồng sự (Kwan, 2012) tin rằng khi tỉ lệ cốt liệu tái chế thay thế cốt liệu tự nhiên trong bê tông tăng lên thì cường độ nén của bê tông sẽ giảm đi. Nguyên nhân của việc này là do cường độ của vữa dư thừa bám xung quanh cốt liệu tự nhiên đá, sỏi có cường độ nhỏ hơn nhiều so với bản thân cốt liệu tự nhiên. Salau cùng đồng nghiệp (Salau, 2014) xác nhận kết quả này và cho rằng vữa dư thừa còn là nguyên nhân cho khối lượng riêng nhỏ và độ thấm hút nước cao của cốt liệu tái chế. Họ cũng tin rằng cường độ thấp của cốt liệu tái chế còn được chi phối bởi sự liên kết yếu của bề mặt tiếp xúc giữa vữa dư thừa với đá và bề mặt vữa dư thừa với vữa mới. McNeil (2013) lại cho rằng cường độ nén của bê tông còn bị ảnh hưởng của một số yếu tố khác nữa như tỉ lệ nước/xi măng, tỉ lệ sỏi, đá bị thay thế bởi cốt liệu tái chế và lượng vữa dư thừa trong cốt liệu tái chế.

Tại Việt Nam, vấn đề nghiên cứu sử dụng cốt liệu tái chế (CLTC) từ bê tông cũng đã bắt đầu được nghiên cứu và đạt được một số kết quả ban đầu. Lê Việt Hùng (2007) đã chỉ ra rằng khi sử dụng hoàn toàn cốt liệu tái chế thì cường độ block xi măng cốt liệu tái chế giảm 12-25%. Tổng Tôn Kiên (2011) sử dụng

* Tác giả liên hệ

Email: dangquanghuy@humg.edu.vn

cốt liệu nhỏ tái chế từ phế thải phá dỡ công trình để chế tạo mẫu thí nghiệm bê tông và vữa xây dựng. Kết quả thí nghiệm cho thấy cường độ nén và kéo khi uốn của mẫu vữa xi măng sử dụng cốt liệu nhỏ tái chế có cường độ giảm 30-50% ở tuổi 28 ngày, mức độ suy giảm phụ thuộc vào thành phần và nguồn gốc của phế thải xây dựng. Tổng Tôn Kiên (2016) cũng đã sử dụng cốt liệu lớn từ bê tông tái chế (BTTC) để chế tạo bê tông, kết quả thí nghiệm cho thấy mẫu bê tông sử dụng 100% cốt liệu bê tông tái chế có cường độ nén giảm tới khoảng 28% và cường độ kéo khi uốn giảm tới 22% so với mẫu đối chứng. Phương pháp trộn bê tông mà các tác giả trên lựa chọn sử dụng là phương pháp trộn có xử lý bề mặt hỗn hợp hạt cốt liệu, đây là phương pháp trộn cho chất lượng bê tông tốt nhất, tuy nhiên lại phức tạp khó áp dụng trong thực tiễn.

Mục đích của nghiên cứu này là tiếp tục nghiên cứu về ảnh hưởng của cốt liệu tái chế từ bê tông phế thải đến cường độ của bê tông sử dụng cốt liệu tái chế đó. Phương pháp trộn vật liệu được sử dụng là phương pháp trộn thông thường để đảm bảo khả năng thi công trong thực tế cao nhất. Các thí nghiệm kiểm tra cường độ được thực hiện ở các mốc thời gian 7 ngày và 28 ngày. Ở cả hai mốc thời gian này, cường độ của bê tông sử dụng cốt liệu tái chế đã có những thay đổi đáng kể so với cường độ bê tông đối chứng.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu sử dụng

Xi măng được sử dụng trong nghiên cứu này là xi măng Portland Vicem Bút Sơn PC40 có các chỉ tiêu kỹ thuật thỏa mãn tiêu chuẩn TCVN 2682-2009. Đây là loại xi măng phổ biến, thường được dùng trong các công trình xây dựng ở Việt Nam.

Cốt liệu lớn tự nhiên sử dụng trong nghiên cứu này là loại đá dăm có $D_{max} = 19\text{mm}$ được lấy từ mỏ đá Hoà Thạch - Quốc Oai - Hà Nội. Đá dăm được sàng qua các mắt sàng 19; 12,5; 9,5; 4,75mm, sau đó được phối trộn lại để có thành phần hạt thỏa mãn theo tiêu chuẩn ASTM C33.

Cốt liệu nhỏ tự nhiên sử dụng là loại cát vàng sông Lô có thành phần hạt và các chỉ tiêu kỹ thuật thỏa mãn tiêu chuẩn. Các tính chất kỹ thuật của cốt liệu lớn và cốt liệu nhỏ được giới thiệu trong Bảng 1.

Nước dùng để trộn bê tông là loại nước sinh hoạt của nhà máy nước Hà Nội, lấy trực tiếp tại phòng thí nghiệm Công trình ngầm và Mỏ, Trường đại học Mỏ-Địa chất. Nước sinh hoạt này đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật dành cho nước trộn bê tông quy định trong tiêu chuẩn TCVN 4506-2012.

Bảng 1. Các tính chất kỹ thuật của hạt cốt liệu

TT	Tên chỉ tiêu	CLL tự nhiên	CLN tự nhiên	CLTC
1	Khối lượng riêng (g/cm^3)	2,71	2,66	2,55
2	Khối lượng thể tích đầm chặt (g/cm^3)	1,65	1,6	1,52
3	Độ hút nước sau 5' (%)	0,2	0,6	5
4	Độ hút nước sau 24h (%)	0,7	1,1	7,9
5	Mô đun độ lớn	-	2,8	



Xi măng Bút Sơn PC40



Cốt liệu lớn tự nhiên



Cốt liệu nhỏ tự nhiên (cát vàng)

Hình 1. Vật liệu sử dụng để chế tạo bê tông đối chứng

Bê tông phế thải được thu gom từ một số công trình dân dụng phá dỡ quanh khu vực Cổ Nhuế, Bắc Từ Liêm, Hà Nội. Trong quá trình thu gom, một vài cấu kiện phế thải lớn (có kích thước $>20\text{cm}$) được tách riêng để khoan rút lõi lấy mẫu xác định cường độ của bê tông phế thải gốc. Mẫu khoan hình trụ có tiết diện đường kính D50mm và cao 100mm. Sau khi tiến hành thí nghiệm nén, kết quả cho thấy cường độ nén trung bình của bê tông phế thải gốc là 21,43MPa.

Với lượng bê tông phế thải còn lại, ta tiến hành đập nhỏ bằng búa tay sao cho đạt được các cỡ hạt tương

đương với cốt liệu lớn tự nhiên (trong nghiên cứu này, các tác giả chỉ thay thế cốt liệu lớn tự nhiên bằng cốt liệu tái chế). Các hạt cốt liệu lớn tái chế (CLLTC) sau khi được đập nhỏ được sàng qua các mắt sàng từ 19 đến 4,75mm theo ASTM C33. Sau đó cốt liệu tái chế được kiểm tra thành phần hạt và phối trộn lại để thoả mãn theo ASTM C33 (bảng 2). Cấp phối của cốt liệu tự nhiên và cốt liệu tái chế có sự khác nhau nhưng vẫn nằm đáp ứng tiêu chuẩn ASTM C33.

Độ hút nước của cốt liệu tái chế được đo ở các thời điểm sau 5 phút và sau 24h. Kết quả thí nghiệm cho thấy độ hút nước của cốt liệu tái chế nhanh và nhiều hơn so với cốt liệu tự nhiên rất nhiều (bảng 1). Sau 5 phút, độ hút nước của cốt liệu tự nhiên đạt khoảng 28% so với sau 24 giờ, trong khi đó với cốt liệu tái chế, tỉ lệ này là 63%. Ngoài ra, lượng nước hút vào của cốt liệu tái chế nhiều gấp 11 lần so với cốt liệu tự nhiên sau 24h. Điều này cần phải chú ý khi thiết kế thành phần bê tông.

Bảng 2. Thành phần hạt của cốt liệu lớn tự nhiên và tái chế

Đường kính cỡ sàng (mm)	Lượng lọt CLTN (%)	Lượng lọt CLTC (%)	Lượng lọt tiêu chuẩn (%) (ASTM C33)
25	100	100	100
19	91	99	90-100
12,5	-	-	-
9,5	36	51	20-55
4,75	2	7	0-10
2,36	0	0	0-5



Thu thập bê tông phế thải



BTTC trước khi đập nhỏ



BTTC sau khi đập nhỏ

Hình 2. Bê tông tái chế

2.2. Phương pháp thí nghiệm

2.2.1. Tính toán cấp phối bê tông

Cấp phối bê tông được tính toán để bê tông thí nghiệm đạt được cường độ nén 30MPa. Độ sụt yêu cầu đối với bê tông thông thường và thi công thủ công thường khoảng $SN=10\pm 2\text{cm}$. Dựa trên độ sụt yêu cầu và đường kính D_{\max} của cốt liệu lớn, ta chọn sơ bộ lượng nước cho một 1m^3 bê tông đối chứng là 205l/m^3 . Dựa trên cường độ yêu cầu của bê tông và cường độ xi măng, lượng xi PC40 cần thiết cho 1m^3 bê tông là 359kg, lượng cát và đá cho 1m^3 bê tông đối chứng lần lượt là 1085kg và 742kg.

Đối với bê tông sử dụng cốt liệu tái chế, lượng đá đầm bị thay thế bởi cốt liệu tái chế tính theo phần trăm thể tích lần lượt tương ứng tỉ lệ: 10%, 20%, 30%, 40%, 60% và 100%. Ứng với mỗi tỉ lệ % đó, nhóm chế tạo ba mẫu thí nghiệm hình lập phương cạnh 15cm. Do lượng nước hấp thụ bởi cốt liệu tái chế là rất lớn trong 5 phút đầu tiên, do vậy ngoài lượng nước tự do giống như trong cấp phối của bê tông đối chứng, cần thêm vào một lượng nước tương ứng với độ hút nước của cốt liệu tái chế trong vòng 5 phút đầu tiên để đảm bảo độ sụt của bê tông (Bảng 3).

Bảng 3. Thành phần cấp phối bê tông

STT	Bê tông	Xi măng (kg)	CLLN (kg)	CLLTC (kg)	Cát vàng (kg)	Nước tự do (l)	Nước thêm (l)
1	BT đối chứng	359	1085	0	742	205	0
2	10%CLTC+90%CLTN	359	977	102	742	205	5
3	20%CLTC+80%CLTN	359	781	286	742	205	14
4	30%CLTC+70%CLTN	359	760	306	742	205	15
5	40%CLTC+60%CLTN	359	586	470	742	205	23
6	60%CLTC+40%CLTN	359	434	613	742	205	31
7	100%CLTC+0%CLTN	359	0	1021	742	205	51

2.2.2. Chế tạo và bảo dưỡng mẫu bê tông.

Quy trình trộn sử dụng trong nghiên cứu này là quy trình trộn thông thường, hay được áp dụng tại các công trình riêng lẻ. Theo quy trình này, hỗn hợp xi măng, cát, đá sẽ được trộn đều với nhau trước, sau 1 phút ta thêm ½ nước và tiếp tục trộn, cuối cùng thêm lượng nước còn lại vào và tiếp tục trộn 3 phút để hỗn hợp hoàn toàn đồng đều. Khi quá trình trộn kết thúc, ta tiến hành thử độ sụt và đúc mẫu.

Hỗn hợp bê tông được nhồi vào khuôn kim loại để đúc mẫu, bề mặt trên của mẫu được ủ khăn ẩm để bảo dưỡng bê tông. Sau một ngày, các mẫu được tháo khuôn và ngâm trong nước ở nhiệt độ phòng đến tuổi thí nghiệm là 7 và 28 ngày.

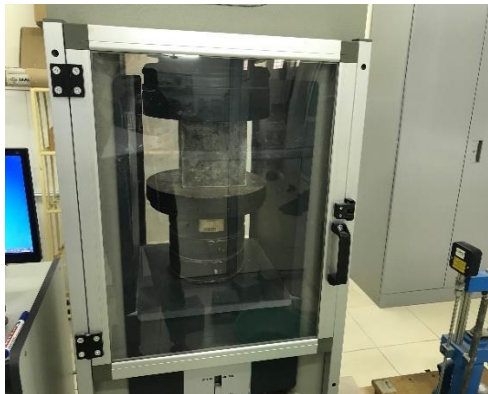
2.2.3. Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén của bê tông.

Cường độ chịu nén của mẫu bê tông được xác định sau 7 ngày và 28 ngày nhờ vào thí nghiệm nén trong tiêu chuẩn TCVN 3118:1993. Mẫu sẽ bị nén đến khi phá hủy, tải trọng nén khi đó được ghi lại và cường độ của bê tông được tính theo công thức:

$$R_n = \frac{P}{F} \quad (1)$$

Trong đó: P: Tải trọng phá hoại mẫu (N)

F: tiết diện chịu lực của mẫu bê tông (mm²)



Máy nén bê tông (Phòng TN Công trình ngầm)



Mẫu bê tông bị phá hủy

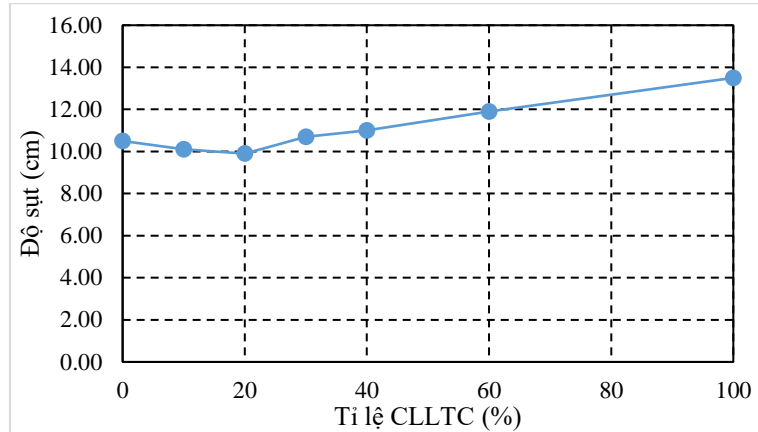
Hình 3. Thí nghiệm nén bê tông.

3. Kết quả và thảo luận

3.1 Độ sụt bê tông

Kết quả thí nghiệm cho thấy tỉ lệ cốt liệu tái chế thay thế cốt liệu tự nhiên có ảnh hưởng đáng kể tới độ sụt của bê tông đo tại thời điểm vừa trộn xong. Với các hỗn hợp bê tông mà tỉ lệ cốt liệu tái chế thay thế nhỏ hơn 60% thì độ sụt SN vẫn nằm trong khoảng yêu cầu 10 ± 2 cm, chỉ khi thay thế toàn bộ đá dăm bằng cốt liệu tái chế thì độ sụt mới tăng lên gần 14cm. Độ sụt có xu hướng giảm đi khi tỉ lệ cốt liệu tái chế còn thấp và đạt giá trị nhỏ nhất tại tỉ lệ cốt liệu tái chế thay thế 20%, sau đó nó tăng tỉ lệ thuận với tỉ lệ cốt liệu tái chế thay thế (hình 4). Xu hướng tăng độ sụt này có vẻ không hợp lý bởi cốt liệu tái chế có hình dạng góc cạnh, xù xì hơn so với cốt liệu tự nhiên, hình dạng này thông thường sẽ làm giảm độ sụt của hỗn hợp

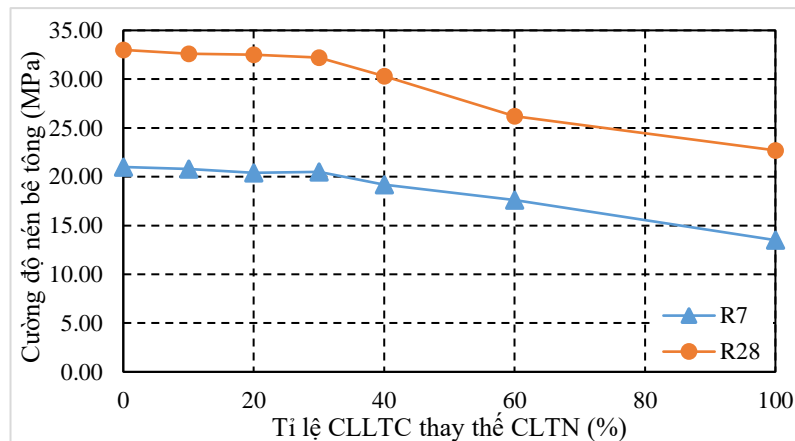
bê tông. Sự bất hợp lý này có thể giải thích bởi lượng nước hấp thụ được thêm vào khi trộn bê tông sử dụng cốt liệu tái chế. Các hạt cốt liệu tái chế hút nước rất lớn nên cần phải thêm một lượng nước tương ứng trong quá trình trộn bê tông, tuy nhiên, trong thực tế khi trộn các hạt cốt liệu tái chế có thể đã hút nước ít hơn và chậm hơn, khiến dư ra một lượng nước so với tiêu chuẩn trộn bê tông thông thường làm bê tông linh động và có độ sụt cao hơn.



Hình 4. Ảnh hưởng của cốt liệu lớn tái chế tới độ sụt của bê tông

3.2 Cường độ nén của bê tông

Cường độ nén của bê tông được xác định tại thời điểm 7 ngày và 28 ngày sau khi chế tạo mẫu. Kết quả nén cho thấy cường độ của bê tông giảm dần khi tỉ lệ cốt liệu tái chế thay thế cốt liệu tự nhiên tăng lên. Cường độ của bê tông đối chứng luôn cao nhất, tuy nhiên với lượng cốt liệu tự nhiên bị thay thế nhỏ hơn 30%, cường độ của bê tông sử dụng cốt liệu tái chế gần như tương đương nhau và tương đương với cường độ bê tông đối chứng. Khi tỉ lệ cốt liệu thay thế từ 30% trở lên, cường độ bê tông giảm mạnh và đạt giá trị nhỏ nhất 22,7 MPa khi toàn bộ đá dăm bị thay bởi cốt liệu tái chế. Giá trị này chỉ đạt 69% so với cường độ của bê tông đối chứng nhưng vẫn lớn hơn cường độ của bê tông phế thải gốc, do đó, bê tông sử dụng cốt liệu tái chế hoàn toàn có thể sử dụng được cho những công trình không yêu cầu bê tông cường độ cao. Với các công trình thông thường, chỉ nên sử dụng cốt liệu tái chế thay thế với tỉ lệ thấp hơn 30%.



Hình 5. Ảnh hưởng của cốt liệu lớn tái chế tới cường độ nén của bê tông

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã cho thấy tỉ lệ cốt liệu tái chế thay thế có tác dụng làm tăng độ sụt và giảm cường độ của bê tông. Sự suy giảm này không đáng kể khi lượng cốt liệu bị thay thế nhỏ hơn 30%.

Nghiên cứu sử dụng bê tông phế thải có cường độ khá thấp, các thí nghiệm với bê tông phế thải có cường độ cao hơn cũng như theo dõi sự tiến triển của độ sụt, cường độ bê tông ở thời gian lâu hơn là rất cần thiết. Các biện pháp sử dụng phụ gia, hóa chất hay tăng lượng xi măng để nâng cao cường độ bê tông phế thải cũng là những hướng đi cần xem xét để có cái nhìn toàn diện về vấn đề này.

Lời cảm ơn

Các tác giả xin chân thành cảm ơn Phòng thí nghiệm công trình ngầm, Khoa Xây dựng cùng các sinh viên Phan Thị Thanh, Trương Đình Tiếp, Nhữ Xuân Sơn đã tham gia giúp đỡ thực hiện các thí nghiệm.

Tài liệu tham khảo

- Faisabilité PN Recybéton, 2011. *Etude de faisabilité*. Projet R&D. PN Recybéton RECYclage complet des Bétons.
- Hansen, T., 1986. Recycled aggregates and recycled aggregate concrete: second state of-the-art report, developments 1945-1985. *Mater. Struct.*, 19: 201-246.
- Hùng, L. V., 2007. *Nghiên cứu sử dụng phế thải phá dỡ công trình làm bê tông và vữa xây dựng*. Báo cáo tổng kết đề tài - Mã số MT17-07, Viện Vật liệu xây dựng, Bộ Xây dựng.
- K. McNeil, T. K., 2013. Recycled concrete aggregates: a review. *Int. J. Concr. Struct. Mater.*, 7 61-69.
- Ann, K.Y., Moon, H.Y., Kim, Y.B., Ryou, J., 2008. Durability of recycled aggregate concrete using pozzolanic materials. *Waste Management*, 28: 993-999.
- Kiên, T. T., 2011. *Nghiên cứu khả năng sử dụng phế thải phá dỡ công trình để sản xuất vật liệu xây dựng*. Báo cáo đề tài NCKH cấp Trường ĐH Xây dựng.
- Kiên, T. T., 2016. *Nghiên cứu sử dụng phế thải xây dựng trong chế tạo bê tông*. Hà Nội: Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường đại học Xây dựng Hà Nội.
- Kou SC, Poon CS, Dixon C., 2007. Influence of fly ash as cement replacement on the properties of recycled aggregate concrete. *J Mater Civil Eng*, 199: 709-717.
- M.A. Salau, E. I., 2014. Shrinkage deformation of concrete containing recycled coarse aggregate, . *Br. J. Appl. Sci. Technol*, 4(12): 1791-1807.
- Purnell, P., & Dunster, A., 2010. Recycling of concrete. In *Management, recycling and reuse of waste composites* pp. 569-591. Oxford, UK: Woodhead Publishing Limited.
- Ulsen C., K. H., 2013. Production of recycled sand from construction and demolition waste. *Construction and Building Materials*, 40: 1168-1173.
- W.H. Kwan, M. R., 2012. Influence of the amount of recycled coarse aggregate in concrete design and durability properties. *Constr. Build. Mater.*, 26(1): 565-573.
- Xiao J., L. W., 2012. An overview of study on recycled aggregate concrete in China 1996-2011. *Construction and Building Materials*, 31: 364-383.

ABSTRACT

Study the strength of conventional concrete produced with recycled aggregates from waste concrete

Dang Quang Huy^{1,*}, Hoang Dinh Phuc¹, Bui Anh Thang¹
¹ Hanoi University of Mining and Geology

Reutilization solid waste from waste concrete to make aggregate for conventional concrete not only brings great economic efficiency but also contributes to environmental protection. However, the use of this recycled aggregate has not been popular in reality in Vietnam due to studies on this issue are limited, the strength of the concrete using recycled aggregate has not been precisely controlled. By experimental methods, using large aggregates collected from waste concrete to make normal concrete, the authors carried on laboratory tests to investigate the variation in intensity of conventional concrete using recycled aggregate. The results showed that, if the amount of recycled aggregate replaced natural aggregate at less than 30%, the achieved concrete strength could be equivalent to the control concrete. As the amount of recycled aggregate increases, the intensity of the concrete decreases but can still meet the strength requirements of conventional concrete.

Keywords: Solid waste; recycled aggregate; concrete strength; natural aggregate.

Nghiên cứu khả năng sử dụng gạch không nung trong xây dựng ở vùng Tây Bắc Việt Nam

Tăng Văn Lâm^{1,*}, Nguyễn Sỹ Đức¹, Dương Hải Anh¹, Vũ Kim Diễm², Bazhenova Sofia Ildarovna²,
Nguyễn Tài Năng Lượng³, Nguyễn Đức Du⁴

¹Trường Đại học Mỏ - Địa chất

²Đại học Xây dựng Quốc gia Mát-cơ-va, Liên Bang Nga

³Đại học Phòng cháy chữa cháy

⁴Công ty TNHH tư vấn thiết kế xây dựng KXC. Số 13, Đường Yết Kiêu, Ngõ Quyền, TP. Bắc Giang

TÓM TẮT

Những năm gần đây, vật liệu thân thiện với môi trường với chi phí hợp lý, đặc biệt là vật liệu không nung đã phát triển mạnh mẽ và mang lại nhiều hiệu quả kinh tế - xã hội to lớn. Hiện nay, các loại vật liệu không nung đang được khuyến khích sử dụng rộng rãi trong hầu hết các công trình xây dựng. Công nghệ vật liệu không nung là công nghệ sạch, không phát thải các loại khói bụi, khí độc hại gây ô nhiễm môi trường trong quá trình sản xuất như các loại vật liệu nung truyền thống. Ngoài ra, vật liệu không nung còn tận dụng và tái sử dụng các loại phế liệu rắn công nghiệp để làm nguyên vật liệu sử dụng trong quá trình sản xuất để giảm giá thành sản phẩm. Bài báo này trình bày một số đặc điểm và lợi thế của các loại gạch đất sét không nung trong xây dựng các công trình tại khu vực vùng núi phía Bắc của Việt Nam, cũng như trình bày các giải pháp công nghệ chế tạo chúng. Từ đó đã đề xuất các giải pháp công nghệ chế tạo vật liệu này tại công trường xây dựng nhằm mục đích tận dụng các nguồn nguyên liệu sẵn có tại chỗ dẫn đến giảm giá thành sản phẩm.

Từ khóa: Vật liệu không nung; gạch đất sét không nung; ô nhiễm môi trường; chất thải công nghiệp; xây dựng bền vững.

1. Đặt vấn đề

Những năm gần đây, vật liệu thân thiện với môi trường, đặc biệt là vật liệu không nung đã phát triển mạnh mẽ. Chính phủ đã ban hành quyết định số 567/QĐ-TTg 28/4/2010 về việc phê duyệt Chương trình phát triển vật liệu xây không nung đến năm 2020. Hiện nay, việc sử dụng các loại vật liệu không nung được khuyến khích sử dụng rộng rãi trong hầu hết các công trình xây dựng (Bộ xây dựng, 2013). Công nghệ vật liệu không nung là công nghệ sạch, không phát thải các loại khí độc hại gây ô nhiễm môi trường trong quá trình sản xuất như vật liệu truyền thống (Duong và nnk, 2014; Trần Hoàng Quang, 2019). Vật liệu không nung tận dụng nguồn phế liệu trong công nghiệp để sản xuất, là sự đóng góp lớn đối với việc phát triển đô thị bền vững trong lĩnh vực xây dựng công trình (Lê Văn Quang, 2019; Akbarnezhad, Xiao, 2017).

Khu vực vùng núi phía Bắc Việt Nam có vị trí địa lý đặc biệt, diện tích rộng lớn, mật độ dân cư vừa phải và có nhiều dân tộc ít người sinh sống. Khí hậu của vùng mang đặc điểm nhiệt đới ẩm gió mùa, có mùa đông lạnh nhưng lại chịu ảnh hưởng sâu sắc của địa hình vùng núi nên mùa đông lạnh nhất Việt Nam.



Hình 1. Xây dựng công trình tại khu vực xã Pa Ủ, huyện Mường Tè, tỉnh Lai Châu.

* Tác giả liên hệ





Email: lamvantang@gmail.com

Hạ tầng của khu vực vùng núi phía Bắc còn nhiều hạn chế, đường xá khó đi và bị chia cắt bởi nhiều đồi núi, sông ngòi. Dân cư sống không tập trung và đa phần là các dân tộc ít người nên hạn chế về kỹ thuật xây dựng. Do đó, việc sử dụng nguồn nguyên liệu có sẵn tại chỗ để sản xuất vật liệu xây dựng có chất lượng cao, giá thành rẻ và chế tạo đơn giản là một trong những ưu thế to lớn dành cho xây dựng trong những địa bàn vùng núi đi lại khó khăn, hiểm trở (Dự án xây dựng, 2013).

Việc sử dụng các loại vật liệu xây dựng truyền thống như tre nứa, tuy giá thành rẻ, nhưng qua thời gian sử dụng đã bộc lộ nhiều nhược điểm, không phù hợp kết cấu bao che xung quanh và tuổi thọ công trình thấp (Dhonde B.N. và nnk, 2017; Kiều Quý Nam, 2006). Do vậy, việc nghiên cứu loại vật liệu xây dựng thay thế các loại vật liệu xây dựng truyền thống, có các tính năng tốt, tiện lợi và có giá thành hợp lý sẽ đem lại lợi ích cho người sử dụng và đáp ứng nhu cầu phát triển của xã hội. Giải pháp sử dụng các loại vật liệu gạch đất sét không nung, có thành phần chính là đất sét tại chỗ và xi măng Portland, là giải pháp xây dựng mang lại nhiều hiệu quả kinh tế, kỹ thuật và thực tiễn (Vũ Minh Đức, 1999; Kiều Quý Nam, Nguyễn Ánh Dương, 2010).

Từ thực tiễn sử dụng, khi so sánh một số phương pháp xây dựng công trình Trường học cho trẻ em vùng núi tại khu vực Pa Ủ, Mường Tè - Lai Châu, đã cho thấy được một số nhận xét cơ bản nêu trong Bảng 1.

Bảng 1. So sánh các phương pháp xây dựng nhà một tầng

Phương pháp xây dựng	Vật liệu chính	Đặc điểm
<p><u>Vật liệu tre nứa truyền thống</u></p> 	<ul style="list-style-type: none"> + Nhà gỗ xẻ, lắp ráp. + Nhà phen tre. + Nhà đất với phương pháp làm thấp. + Mái lá, mái tôn hoặc mái bằng tấm lợp fibro xi măng. 	<ul style="list-style-type: none"> - Các nhà trên hầu hết đều bị gió lùa, dễ tốc mái, và cách nhiệt kém. - Với nhà đất có mái lá thì phương pháp thủ công, chất lượng kém, nhanh hư hỏng. - Chi phí xây dựng: rẻ.
<p><u>Bao tải đất</u></p> 	<ul style="list-style-type: none"> + Nhà bao tải đất (Earth bag). + Cột gỗ. + Mái tôn. 	<ul style="list-style-type: none"> - Nhồi đất vào bao tải, mỗi bao như là một viên gạch rất lớn. - Rất dễ làm, thi công nhanh nhưng năng nề thi công khó khăn. - Tường dày, có thể gác thẳng vì kèo hay hoặc xà gỗ chịu lực. - Khó tạo hình kết cấu bao che. - Chi phí xây dựng: rẻ.
<p><u>Gạch đất sét nung</u></p> 	<ul style="list-style-type: none"> + Nhà gạch đất sét nung. + Cột bê tông (hoặc cột gạch). + Mái tôn hoặc mái bằng tấm lợp fibro xi măng. 	<p>Tất cả các vật liệu phải mua tại Mường Tè và vận chuyển tới Pa Ủ.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Chi phí cho vật liệu và vận chuyển lớn. - Khả năng tự xây dựng thấp (phải thuê thợ xây dựng). - Dễ tạo hình kết cấu bao che, kết cấu chắc chắn. - Chi phí xây dựng: Đắt hơn.
<p><u>Gạch đất sét không nung</u></p> 	<ul style="list-style-type: none"> + Gạch đất sét không nung. + Cột bê tông. + Mái tôn. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vật liệu sản xuất tại chỗ, không phải vận chuyển. - Gạch không nung, không tổn nhiên liệu và không ô nhiễm môi trường. - Máy ép gạch nhỏ gọn, chắc chắn có thể sử dụng lâu dài. - Dễ làm. - Dễ tạo hình kết cấu bao che, kết cấu chắc chắn. - Chi phí xây dựng: rẻ

Trong những năm gần đây, trên thế giới đã ứng dụng nhiều vật liệu không nung vào trong xây dựng các công trình thân thiện với môi trường. Theo (Andabati, 2009; Lewis, 2009) cho rằng ngành công nghiệp Xây dựng và quá trình xây dựng được coi là một nhân tố then chốt trong phát triển bền vững, có khả năng tác động đáng kể xã hội và môi trường sống (Shelter Initiative for Climate Change Mitigation). Giống như ở Uganda (Lewis, 2009), kỹ thuật xây dựng truyền thống thường tiêu tốn rất nhiều gỗ và quá trình tái thiết có nguy cơ lớn làm suy thoái môi trường sống. Một khía cạnh quan trọng của xây dựng bền vững là việc sử dụng các công nghệ thích hợp để giúp bảo vệ môi trường, giảm chi phí và tạo ra các cơ hội tái sử dụng các loại phế thải, phế liệu hiện có của các ngành công nghiệp, giảm ô nhiễm môi trường.

Do đó, đối với nhiều dự án xây dựng tại các khu vực vùng núi, có địa hình khó khăn, mục tiêu đặt ra là sử dụng biện pháp xây dựng phù hợp với một số tiêu chí với các tiêu chí như sau (Dự án xây dựng, 2013):

1. Rẻ, nhiều người có thể tham gia xây dựng, thi công nhanh gọn.
2. Vật liệu tại chỗ, không tốn nhiều công sức hay chi phí cho vận chuyển.
3. Dễ làm, người dân địa phương sẽ dễ dàng tiếp cận và sử dụng được phương pháp xây dựng.

Áp dụng gạch đất sét không nung thay cho gạch nung thông thường để xây dựng trường tiểu học số 1 và số 2 Pa Ủ, tại địa điểm xã Pa Ủ, huyện Mường Tè, tỉnh Lai Châu, trên cơ sở một số lý do sau:

(i)- Nhà nội trú nằm trong khuôn viên khu đất trường học, có diện tích hạn chế, gần khu vực đất sét đỏ, tối xốp và có độ ẩm nhỏ.

(ii)- Với phương án gạch đất sét kết hợp với trang trí, các mảng tường sẽ được trang trí linh hoạt hơn, phù hợp với không gian cho trẻ em.

(iii)- Khi sử dụng gạch đất và vữa đất sẽ có rất nhiều cách trang trí sinh động.

Từ dự án trên đã thấy rõ được nhiều ưu điểm nổi bật của loại vật liệu không nung kết hợp từ đất sét đỏ và xi măng Portland theo phương pháp bán khô, đặc biệt là sản xuất ngay tại công trường xây dựng.

Cùng với đó, theo Thông tư số: 09/2012/TT-BXD ngày 28 tháng 11 năm 2012 quy định về việc “*Sử dụng vật liệu xây không nung*” (Bộ Xây dựng, 2013) đã nêu rõ:

1. Các công trình xây dựng được đầu tư bằng nguồn vốn Nhà nước theo quy định hiện hành bắt buộc phải sử dụng vật liệu xây không nung theo lộ trình:

+ Tại các đô thị loại 3 trở lên trong cả nước phải sử dụng 100% vật liệu xây không nung kể từ ngày 15 tháng 01 năm 2013.

+ Tại các khu vực còn lại phải sử dụng tối thiểu 50% vật liệu xây không nung kể từ ngày 15 tháng 01 năm 2013 đến hết năm 2015, sau năm 2015 phải sử dụng 100%.

2. Các công trình xây dựng từ 9 tầng trở lên không phân biệt nguồn vốn, từ nay đến năm 2015 phải sử dụng tối thiểu 30% và sau năm 2015 phải sử dụng tối thiểu 50% vật liệu xây không nung loại nhẹ trong tổng số vật liệu xây (tính theo thể tích khối xây).

Qua một số tóm lược trên có thể thấy rằng việc sử dụng các loại gạch đất sét không nung từ nguồn đất sét đỏ sẵn có tại các địa phương kết hợp với xi măng để sản xuất vật liệu không nung là rất quan trọng và có ý nghĩa thực tiễn lớn, đặc biệt là giảm phát thải các loại khói bụi và khí độc gây ô nhiễm môi trường, phù hợp với chủ trương của các Bộ ngành liên quan.

2. Đặc điểm khi sử dụng gạch đất sét không nung

Theo các nghiên cứu (Bùi Văn Chén và Đào Tiến Đạt, 1985; Vũ Minh Đức, 2010) khi sử dụng gạch đất sét không nung trong các công trình xây dựng có đặc điểm chính như sau:

- + Trên 80% là nguyên liệu đất sét tại chỗ nên không phải vận chuyển vật liệu từ nơi khác đến,
- + Gạch không cần nung luyện, không tốn nhiên liệu đốt, không phát thải khí độc hại nên không ô nhiễm môi trường sống.
- + Máy nén - ép gạch nhỏ gọn, dễ chế tạo và có thể sản xuất thủ công ngay tại công trường.
- + Thiết bị bền chắc, có thể sử dụng lâu dài.
- + Chi phí sản xuất thấp và thời gian thi công nhanh gọn.

3. Công nghệ sản xuất

3.1. Nguyên liệu sử dụng

- Nguyên liệu chế tạo chủ yếu là đất sét và đất đồi có sẵn ngay tại công trường.
- Chất kết dính là các loại xi măng Portland hỗn hợp PCB30 hoặc PCB40 và nước.

Trong công nghệ này, đất sét đóng vai trò là cốt liệu, chiếm thể tích lớn nhất trong sản phẩm, khoảng 80%. Còn xi măng và nước có vai trò là hỗn hợp chất kết dính, liên kết các hạt đất sét lại với nhau, tạo ra cường độ của sản phẩm mà không cần phải nung luyện.



Hình 2. Nguyên vật liệu chế tạo

3.2. Công nghệ chế tạo

a) Với sản xuất thủ công tại công trường khi áp dụng theo phương pháp ép bán khô:

1. Trộn hỗn hợp nguyên liệu gồm đất sét đã khai thác và bảo quản, xi măng Portland với nhau theo một tỷ lệ từ 20÷30% xi măng. Đối với trường hợp đất sẽ quá khô, hỗn hợp phối liệu có thể phải bổ sung thêm nước để cho xi măng thủy hóa, trong trường hợp hỗn hợp đất sẽ có độ ẩm từ 10-15% thì phối liệu không cần bổ sung thêm nước nào trộn từ bên ngoài.

2. Đổ hỗn hợp phối liệu trên vào khuôn máy ép gạch.

3. Dùng lực của tay tì vào cánh tay đòn, sinh ra lực ép gạch với cường độ từ 4÷8 MPa để lèn chặt hỗn hợp phối liệu và tạo ra cường độ ban đầu cho viên gạch.

4. Mở khuôn của máy nén.

5. Lấy viên gạch mộc đất sét vừa tạo hình ra phơi và tĩnh định tự nhiên trong khoảng thời gian 2 - 4 tuần trước khi xây dựng (khoảng 28 ngày) nhằm mục đích cho xi măng thủy hóa với nước, tạo ra cường độ cao nhất của sản phẩm.

Với công nghệ sản xuất thủ công ngay tại công trường, công suất của một máy tạo hình và ba nhân công trong một ngày khoảng $200 \div 400$ viên gạch.



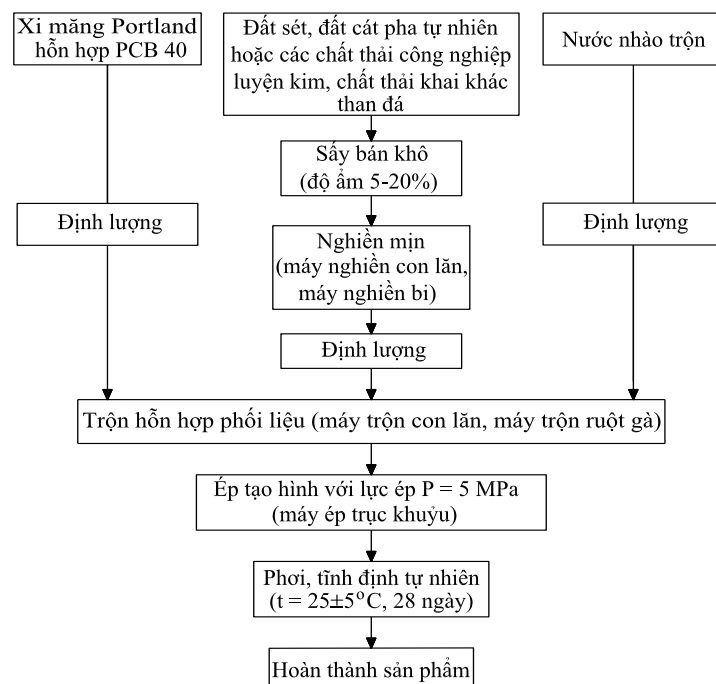
Hình 3. Công nghệ sản xuất gạch đất sét không nung tại công trường



Hình 4. Gạch đất sét không nung

b) Sản xuất công nghiệp trong nhà máy:

Để bảo đảm quá trình sản xuất được liên tục, tăng công suất chế tạo, ta có thể chế tạo sản phẩm trong nhà máy. Một khía cạnh khác cũng rất quan trọng, sản xuất trong nhà máy có thể tận dụng được các loại nguyên liệu có độ ẩm cao hơn, hoặc có thể tái sử dụng các loại chất thải rắn công nghiệp (xi lò cao, tro bay, bùn thải), phế liệu khai thác than - khoáng sản để làm nguyên vật liệu cho quá trình sản xuất (Duong và nnk, 2014; Lê Văn Quang, 2019; Kiều Quý Nam, 2006; Vũ Minh Đức, 2010). Sơ đồ công nghệ sản xuất gạch đất sét không nung theo phương pháp bán khô được sơ bộ đưa ra như trong hình 5.



Hình 5. Sơ đồ công nghệ sản xuất gạch đất sét không nung theo phương pháp bán khô

Trong phương án công nghệ sản xuất nêu trên cần phải lưu ý các vấn đề sau:

- Do nguyên liệu chính là đất sét có độ ẩm thay đổi tùy theo địa hình và phụ thuộc vào thời tiết, do đó cần bố trí thiết bị sấy sơ bộ để đưa đất sét về dạng bán khô, có độ ẩm dao động trong khoảng 5÷20% trước khi đưa nguyên liệu đi nghiền nhỏ. Nếu sử dụng các loại đất đồi, có độ ẩm thấp, đất tơi xốp thì có thể sử dụng ngay, không qua giai đoạn sấy và nghiền sơ bộ (Bùi Văn Chén, Đào Tiến Đạt, 1985).
- Khi nguyên liệu chính là các loại phế thải, phế liệu khai thác than đá, chúng có chứa các khoáng đá cứng, vì vậy cần gia công đập hàm để làm giảm kích thước nguyên liệu (Andabati, 2009).
- Cần tạo ra một cấp hạt phối liệu nhất định nhằm mục đích tăng khả năng liên kết của đất sét với chất kết dính và quá trình tạo hình sản phẩm được dễ dàng. Do đó phải gia công nguyên liệu qua máy nghiền con lăn hoặc máy nghiền bi.
- Do sản phẩm không có quá trình nung luyện, có khả năng dính kết thấp, lượng chất kết dính chỉ chiếm khoảng 10÷25% khối lượng đất sét. Vì vậy để đảm bảo cho xi măng thủy hóa tạo ra cường độ cho sản phẩm, theo nghiên cứu của (Lewis, 2009), người ta phải đưa thêm vào một lượng nước nhào trộn, chiếm khoảng 10÷15% khối lượng đất sét. Nếu trong thành phần đất sét có sẵn một lượng ẩm nhất định thì không cần phải đưa thêm vào lượng nước này.
- Trong phương án trên, sản phẩm được tạo hình theo phương pháp ép bán khô trên máy ép trục khuỷu. Gạch sau khi ép được đưa đi tĩnh định và phơi sấy tự nhiên trong nhà xưởng với thời gian 28 ngày để xi măng thủy hóa tối đa với nước tạo ra cường độ cao nhất cho sản phẩm. Nếu sử dụng phương pháp sấy nhân tạo có thể rút ngắn thời gian bảo dưỡng sản phẩm xuống còn 1÷2 tuần.

4. Kết luận

Từ quá trình nghiên cứu, rút ra một số kết luận như sau:

- Các sản phẩm xây từ đất sét không nung, có bề mặt bằng phẳng, ít cong vênh. Nên có thể kết hợp vừa bao che vừa trang trí, không cần lớp vữa áo trát bên ngoài.
- Quá trình sản xuất đơn giản, không cần nung luyện, sản phẩm có chất lượng đồng đều, không có các loại phế phẩm khi nung.
- Không phát thải các loại khí độc hại, giảm ô nhiễm môi trường.
- Công nghệ sản xuất tại công trường rất phù hợp với thi công ở các khu vực vùng núi, có địa bàn hiểm trở và các công trình có chi phí xây dựng thấp.

Một điểm cần lưu ý đối với gạch đất sét không nung đó là sản phẩm này kém bền nước so với các loại vật liệu nung khác, vì vậy đối với những kết cấu thường xuyên tiếp xúc trực tiếp với nước hoặc thường xuyên ẩm ướt thì cần phải có các lớp phủ thích hợp cho các loại sản phẩm này.

Kiến nghị: Cần tiếp tục nghiên cứu thêm các tính chất khác của gạch đất sẽ không nung, đồng thời so sánh hiệu quả kinh tế và kỹ thuật với các loại vật liệu không nung khác trong xây dựng các công trình xanh phù hợp với điều kiện khí hậu của Việt Nam.

Tài liệu tham khảo

- Akbarnezhad A., Xiao, J., 2017. Estimation and minimization of embodied carbon of buildings: a review. *Buildings*, 7(1): 5.
- Andabati D. (2009). Construction Manual. Double Interlocking Rectangular Blocks for House Construction. In *Good Earth Trust*.
- Bộ xây dựng, 2013. *Thông tư số: 09/2012/TT-BXD ngày 28 tháng 11 năm 2012* “Quy định sử dụng vật liệu xây không nung trong các công trình xây dựng.
- Bùi Văn Chén, Đào Tiến Đạt, 1985. *Kỹ thuật sản xuất gạch không nung*, NXB Xây dựng, Hà Nội.
- Duong N.A., Nam K.Q., Anh T.T., 2014. Red basaltic soils-the raw material source for production of non-calcined brick. *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 36(3): 214-220.
- Dhonde B.N., Panchal V.R., Thakker J.N., 2017. Parametric Study on Eco-Friendly Bricks. *Kalpa Publications in Civil Engineering*, 1: 490-494.
- Dự án xây dựng, 2013. *Nhà nội trú cho học sinh tiểu học xã Pa Ủ, huyện Mường Tè, tỉnh Lai Châu*. Từ tháng 3 đến tháng 11 năm 2013.
- Vũ Minh Đức, 1999. *Công nghệ Gốm Xây dựng*. Nhà xuất bản Xây dựng.
- Vũ Minh Đức, 2010. *Sử dụng phế thải trong công nghệ gốm*. Tài liệu cao học trường đại học Xây dựng.
- Lewis D., 2009. Interlocking Stabilised Soil Blocks. In *Appropriate earth technologies in Uganda*. 22.
- Kiều Quý Nam, Nguyễn Ánh Dương, 2010. Nguyên liệu và công nghệ sản xuất vật liệu xây dựng không nung - một vài kết quả thử nghiệm. *Tạp chí Địa chất, loạt A* (322 12 2010), Tr. 54-65.
- Kiều Quý Nam, 2006. Nghiên cứu sử dụng puzolan trong sản xuất vật liệu xây dựng không nung. *Tạp chí Địa chất, loạt A* (293/3-4), Tr. 16-24.
- Trần Hoàng Quang, 2019. Nghiên cứu sử dụng đất Feralit trên địa bàn xã Hà Bàu, huyện Đăk Đoa, tỉnh Gia Lai có gia cố vôi để sản xuất gạch xây không nung. Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Bách khoa-Đại học Đà Nẵng.
- Lê Văn Quang, 2019. *Nghiên cứu chế tạo gạch xây không nung hệ geopolimer từ bùn đỏ tân rai Lâm Đồng*. Luận văn tiến sĩ kỹ thuật. Viện khoa học công nghệ xây dựng - IBST.

ABSTRACT

Research on the possibility of using non-fired clayey soil bricks for building construction projects in the Northwest region of Vietnam

Tang Van Lam^{1,*}, Nguyen Sy Đức¹, Duong Hai Anh¹, Bazhenova Sofia Ildarovna²,
Nguyen Tai Nang Luong³, Nguyen Duc Du⁴

¹Hanoi University of Mining and Geology, 18 Pho Vien, Duc Thang, Bac Tu Liem, Ha Noi, Vietnam

²National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation

³University of Fire prevention and Fighting

⁴KXC construction design consultancy company limited, 13, Yet Kieu Street, Ngo Quyen, Bac Giang City

In recent years, environmentally friendly materials with reasonable costs, especially non-fired materials, have strongly developed and have great socio-economic effects. Currently, non-fired materials are being encouraged to be widely used in most construction projects. Unburnt material technology is a clean, environmentally friendly technology and energy efficiency as traditional clay bricks. In addition, non-fired materials are also reused industrial solid waste as raw materials used in the production process to reduce product costs. This paper presents some features and advantages of non-fired clayey soil bricks in the construction of buildings in the northern mountainous regions of Vietnam, as well as presents technological solutions making them possible. Since then, it has proposed the technology of manufacturing this non-fired materials at the construction site with the aim of making use of local and available raw materials to reduce product costs.

Keywords: Non-fired materials; non-fired clayey soil bricks; Environmental pollution; industrial waste; sustainable construction.

Ảnh hưởng của tổ hợp phụ gia biến tính đến độ nở sun phát của bê tông dùng trong công trình biển và hải đảo

Tăng Văn Lâm^{1,*}, Phạm Đức Lương¹, Phạm Ngọc Dương¹, Ngô Xuân Hùng^{1,2}, Bulgakov Boris Igorevich², Đặng Văn Phi^{1,3}, Nguyễn Tài Năng Lượng⁴

¹Đại học Mỏ - Đại Chất, số 18 Phố Viên - Phường Đức Thắng - Q. Bắc Từ Liêm - Hà Nội

²Đại học Xây dựng Moscow, Nga, D. 26, Yaroslavskoe Shosse, Moscow, 129337, Russian Federation

³Đại học SEJONG, Hàn Quốc

⁴Đại học Phòng cháy chữa cháy

TÓM TẮT

Phát triển các loại vật liệu thân thiện với môi trường trên cơ sở sử dụng vật liệu tại chỗ, tái sử dụng các loại chất thải gồm tro bay, tro đáy và xỉ nhiệt điện của các nhà máy nhiệt điện làm vật liệu xây dựng phù hợp với điều kiện môi trường biển là một trong các nhiệm vụ quan trọng hiện nay. Bài viết này trình bày kết quả nghiên cứu tính chất của bê tông dùng để xây dựng công trình biển, có thành phần cấp phối sơ bộ được xác định theo tiêu chuẩn TCVN 8218:2009 và ACI 211.4R-2008. Bên cạnh đó sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm bậc nhất đã xác định được mô hình toán học để mô phỏng ảnh hưởng của tổ hợp phụ gia gồm: tỷ lệ nước/chất kết dính, hàm lượng tro bay nhiệt điện, silica fume SF90 và phụ gia siêu dẻo SR 5000F đến hàm mục tiêu là độ nở sun phát của bê tông ở tuổi 28 ngày được xác định theo tiêu chuẩn GOST P 56687-2015. Từ phương trình hồi quy cho thấy tỷ lệ tỷ lệ nước/chất kết dính, hàm lượng của tro bay nhiệt điện và silica fume SF90 có ảnh hưởng đáng kể đến độ nở sun phát của mẫu bê tông, trong khi đó hàm lượng phụ gia siêu dẻo SR 5000F không có ảnh hưởng đến giá trị của hàm mục tiêu và có thể bỏ qua.

Từ khóa: Xi măng poóc lăng bền sun phát; độ nở sun phát; cường độ nén; hỗn hợp phụ gia khoáng; quy hoạch thực nghiệm; phương trình hồi quy.

1. Đặt vấn đề

Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép với khả năng chống ăn mòn nên đã được sử dụng trong hầu hết các công trình xây dựng và nhiều loại công trình biển khác nhau, do chúng có rất nhiều ưu điểm so với các loại vật liệu khác, như: tuổi thọ lớn, cường độ cao, dễ dàng thi công để tạo ra kết cấu công trình có nhiều hình dạng, kích thước khác nhau; có độ bền lớn đối với tác động ăn mòn trong môi trường xâm thực (Anufrieva, 2009; Tang Van Lam và nnk, 2019).

Trong những năm gần đây, quá trình xây dựng công trình biển trên thế giới chủ yếu tập trung vào việc xây dựng các công trình ở các khu vực ven biển và thềm lục địa (Mehta, 2003; Phạm Hữu Hanh và nnk, 2015). Các dạng công trình hạ tầng ven biển bao gồm: Trụ bê tông của cầu, đập trọng lực của máy thủy điện, cửa vào và cửa xả của đường ống dẫn và thoát nước, tường chắn, cầu cảng, bến cảng, âu thuyền... phải chịu ảnh hưởng của yếu tố khô - ẩm dưới tác động của nhiệt độ môi trường và sự mài mòn của dòng chảy xoáy. Ngoài ra, phổ biến nhất là môi trường chứa ion sun phát (SO_4^{2-}), sẽ gây ra sự ăn mòn sun phát đối với kết cấu bê tông (Safarov, 2017; Ryazanova, 2016) và sẽ đặc biệt nguy hiểm khi đồng thời sự xuất hiện sự ăn mòn do thẩm thấu kiềm cốt liệu ở bên trong và ăn mòn sun phát bên ngoài của bê tông (Safarov và nnk, 2016; Si-Huy Ngo và nnk, 2018). Trong môi trường xâm thực có chứa ion SO_4^{2-} với nồng độ lớn hơn 300 mg/l ion sun phát sẽ thâm nhập vào trong vi cấu trúc của bê tông gây ra hiện tượng ăn mòn sun phát (Phạm Hữu Hanh nnk, 2015; Ryazanova, 2016). Sự phá hủy vi cấu trúc do khoáng Ettringite, loại khoáng có tính nở thể tích mạnh, hình thành trong các phản ứng của các ion sun phát với các thành phần khoáng của bê tông chính là nguyên nhân dẫn đến việc nứt vỡ cấu trúc, giảm cường độ và có thể làm cho kết cấu bị hư hỏng hoàn toàn (Tikalsky, 2008).

Theo nhiều kết quả nghiên cứu (Chiara, 2006; Ngo Xuan Hung và nnk, 2018) thì hiệu quả của bê tông chống lại sự tấn công của sun phát có liên quan đến tính chống thấm và khối lượng riêng của nó. Hơn nữa, trong các nghiên cứu (Sahmaran và nnk, 2007) đã chỉ ra rằng độ nở thể tích của bê tông trong các môi

* Tác giả liên hệ

Email: lamvantang@gmail.com

trường xâm thực mạnh phụ thuộc chủ yếu vào thành phần cấp phối của hỗn hợp bê tông và đặc biệt là loại xi măng được sử dụng. Đồng thời cũng nhận định việc sử dụng tổ hợp các phụ gia khoáng biến tính đã có tác dụng làm chặt và lấp đầy vi cấu trúc bê tông khi đông rắn. Nghiên cứu về ảnh hưởng phụ gia khoáng - hóa đến mật độ, cường độ và độ bền của bê tông dùng trong công trình biển và công trình thủy cũng đã được quan tâm và nghiên cứu (Chindaprasirt và nnk, 2007; Tang Van Lam và nnk, 2017).

Trong bài viết này trình bày kết quả của nghiên cứu độ nở sun phát trong môi trường Na_2SO_4 5% của mẫu bê tông có sử dụng xi măng lăng bèn sun phát và tổ hợp phụ gia khoáng - hóa biến tính bao gồm: tro bay nhiệt điện, silica fume SF90 và phụ gia siêu dẻo SR 5000F. Đồng thời sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm bậc nhất đối với bốn biến đầu vào để mô phỏng ảnh hưởng của tổ hợp phụ gia này đến độ nở sun phát của bê tông ở tuổi 28 ngày.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu sử dụng

Trong nghiên cứu này đã sử dụng các loại vật liệu như sau:

- Chất kết dính sử dụng gồm: hỗn hợp của Portland bèn sun phát, tro bay nhiệt điện và silica fume. Xi măng Portland bèn sun phát PC40 Hoàng Thạch (X) với khối lượng riêng là $3,15\text{g/cm}^3$ và cường độ nén trung bình ở tuổi 28 ngày là $48,6\text{MPa}$. Tro bay (TB) của nhà máy nhiệt điện Vĩnh Tân 4 và silica fume SF90 (SF90) được cung cấp bởi nhà sản xuất “Vina Pacific” với hàm lượng SiO_2 hoạt tính lần lượt là 54,62% và 91,65%.

- Cốt liệu sử dụng gồm cát vàng sông Lô và đá dăm từ đá vôi. Cát vàng của sông Lô (C) loại thô với mô đun độ lớn $M_K = 3,1$; khối lượng riêng $2,65\text{g/cm}^3$; khối lượng thể tích trung bình ở trạng thái đầm chặt 1650kg/m^3 . Đá dăm được nghiền đá vôi (Đ) với $D_{\max}=10\text{mm}$, khối lượng riêng $2,65\text{g/cm}^3$, khối lượng thể tích trung bình ở trạng thái đầm chặt 1540kg/m^3 . Thành phần hạt của cốt liệu lớn và cốt liệu nhỏ thỏa mãn yêu cầu theo TCVN 7572:2006.

- Phụ gia siêu dẻo (SD) loại SR 5000F của nhà sản xuất “SilkRoad” với khối lượng riêng $1,1\text{g/cm}^3$ ở nhiệt độ $20 \pm 5^\circ\text{C}$, được sử dụng để giảm tỷ lệ nước/xi măng, nhưng vẫn giữ được tính công tác tốt của hỗn hợp bê tông và tăng cường động của bê tông nghiên cứu.

- Nước sạch (N) được sử dụng để làm nước nhào trộn hỗn hợp bê tông và bảo dưỡng mẫu thí nghiệm sau khi đúc.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

- Cấp phối sơ bộ của hỗn hợp bê tông xác định theo tiêu chuẩn TCVN 8218:2009; ACI 211.4R-2008 (America) và kết hợp với phương pháp thể tích tuyệt đối.

- Tính công tác của hỗn hợp bê tông được xác định thông qua độ sụt (SN, cm) của côn hình nón cụt tiêu chuẩn, phù hợp với tiêu chuẩn GOST 10181-2014 (Russian).

- Cường độ nén của bê tông được xác định trên mẫu hình lập phương, cạnh 15 cm theo tiêu chuẩn GOST 10180-2012 (Russian).

- Độ nở sun phát của mẫu bê tông trong môi trường Na_2SO_4 5% thí nghiệm theo tiêu chuẩn GOST P 56687-2015 (GOST R 56687-2015, 2015) trên các mẫu thí nghiệm tiêu chuẩn có kích thước $25 \times 25 \times 285\text{mm}$ và $70 \times 70 \times 280\text{mm}$.

- Để mô phỏng ảnh hưởng của tổ hợp phụ gia khoáng-hóa biến tính đến độ nở sun phát của các mẫu bê tông trong môi trường Na_2SO_4 5%, nghiên cứu này đã được thực hiện theo phương pháp quy hoạch thực nghiệm bậc nhất đối với bốn biến ảnh hưởng (Nguyễn Minh Tuyền, 2007; Astakhova, 2013).

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Yêu cầu và tính toán cấp phối sơ bộ của hỗn hợp bê tông nghiên cứu

Hỗn hợp bê tông và bê tông dùng trong công trình ven biển và trên các hải đảo cần đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật của TCVN 8218:2009, cụ thể như sau:

- Tính công tác của hỗn hợp bê tông xác định theo độ sụt của côn hình nón cụt tiêu chuẩn $\text{SN}=9 \div 20\text{cm}$.
- Bê tông dùng cho công trình ven biển đảm bảo mức thiết kế M400 ở tuổi 28 ngày với hệ số an toàn $k = 1,15$ theo TCVN 9382:2012. Cường độ bê tông kháng nén thiết kế ở tuổi 28 ngày đạt trên 50MPa .

- Sử dụng tro bay và silica fume SF90 để thay thế lần lượt 30% (ACI 211.4R-2008) và 10% khối lượng xi măng Poóc lăng bèn sun phát trong hỗn hợp bê tông (Ngo Xuan Hung và nnk, 2018).

- Hàm lượng phụ gia siêu dẻo SR 5000F được sử dụng bằng 1% khối lượng xi măng bèn sun phát (Lam Van Tang và nnk, 2018).

- Từ kết quả của các nghiên cứu trước đây (Ngo Xuan Hung và nnk, 2018; Tang Van Lam và nnk, 2019) đã chọn được tỉ lệ nước/chất kết dính ban đầu là: $\text{N/CKD} = 0,3$. Thể tích của không khí cuốn vào là 2,5%.

Sử dụng tiêu chuẩn TCVN 8218:2009; ACI 211.4R-2008 và kết hợp với quá trình thực nghiệm điều chỉnh đã xác định được thành phần cấp phối cơ sở của hỗn hợp bê tông như trong Bảng 1. Các tính chất cơ - lý của bê tông với thành phần từ cấp phối sơ bộ đã được xác định và liệt kê trong Bảng 2.

Bảng 1. Cấp phối và tính chất của hỗn hợp bê tông thí nghiệm

Cấp phối bê tông (kg/m ³)							N CKD	SN (cm)	Khối lượng thể tích trung bình của hỗn hợp bê tông (kg/m ³)
X	C	Đ	TB	SF-90	SD	N			
405	595	1027	122	40,3	4,0	170	0,3	16	2355

Bảng 2. Tính chất của bê tông nghiên cứu

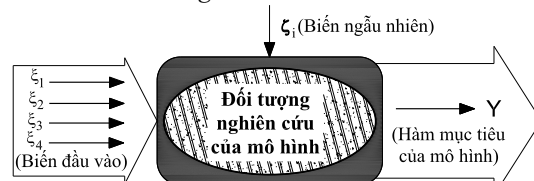
Cường độ kháng nén của bê tông (MPa) tại các tuổi thí nghiệm					Cường độ kéo khi uốn của bê tông ở tuổi 28 ngày (MPa)	Khối lượng thể tích trung bình (kg/m ³)	Tính chống thấm nước ở tuổi 28 ngày (MPa)
1 ngày	3 ngày	7 ngày	14 ngày	28 ngày			
23,5	34,5	48,1	50,8	58,2	4,2	2286	0,66

Từ các kết quả thực nghiệm trong Bảng 1 và 2, thấy được rằng: thành phần cấp phối của hỗn hợp bê tông nghiên cứu có tính công tác thỏa mãn điều kiện thiết kế ban đầu và cường độ nén ở tuổi 28 ngày có độ lớn 58,2MPa, đặc biệt tại tuổi 14 ngày cường độ kháng nén của mẫu thí nghiệm đã đạt trên 50MPa. Ngoài ra, giá trị cường độ nén thực nghiệm đã cho thấy rằng tốc độ phát triển cường độ của loại bê tông là khá nhanh, ngay ở tuổi 1 ngày đã được trên 40% cường độ tính toán ở 28 ngày.

3.2. Mô phỏng ảnh hưởng của các biến ảnh hưởng đến độ nở sun phát của bê tông

3.2.1. Xây dựng mô hình thực nghiệm bậc nhất cho bốn biến ảnh hưởng

Phương pháp quy hoạch thực nghiệm nhằm mục đích tạo ra mô hình toán học để mô phỏng và dự đoán ảnh hưởng của các biến đầu vào đến tính chất của đối tượng thực nghiệm, được coi là các hàm mục tiêu đầu ra của quá trình nghiên cứu (Nguyễn Minh Tuyên, 2007; Astakhova, 2013). Cấu trúc của mô hình thực nghiệm trong nghiên cứu này được mô tả trên hình 1.



Hình 1. Cấu trúc mô hình thực nghiệm

Trong nghiên cứu này đã sử dụng mô hình thực nghiệm bậc nhất đối với bốn biến để nghiên cứu về ảnh hưởng của tỉ lệ N/CKD và hỗn hợp phụ gia biến tính (Tro bay, silicafume và phụ gia siêu dẻo) đến độ nở sun phát trung bình của bê tông. Bên cạnh đó hàm lượng cát vàng (C, kg) và đá dăm (Đ, kg) được giữ không đổi như trong cấp phối cơ sở (theo bảng 3) và tương ứng bằng 595 kg và 1027 kg.

Hàm mục tiêu Y của mô hình thực nghiệm bậc nhất trong nghiên cứu này đã lựa chọn là hàm đa biến biểu diễn độ nở sun phát trung bình (ε_{28} , %) của các mẫu bê tông với kích thước 70x70x280mm sau 28 ngày thí nghiệm trong dung dịch Na_2SO_4 5%, được xác định theo công thức (1):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \xi_1 + \beta_2 \xi_2 + \beta_3 \xi_3 + \beta_4 \xi_4 + \beta_5 \xi_1 \cdot \xi_2 + \beta_6 \xi_1 \cdot \xi_3 + \beta_7 \xi_1 \cdot \xi_4 + \beta_8 \xi_2 \cdot \xi_3 + \beta_9 \xi_2 \cdot \xi_4 + \beta_{10} \xi_3 \cdot \xi_4 + \beta_{11} \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3 + \beta_{12} \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_4 + \beta_{13} \xi_1 \cdot \xi_3 \cdot \xi_4 + \beta_{14} \xi_2 \cdot \xi_3 \cdot \xi_4 + \beta_{15} \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3 \cdot \xi_4 \quad (1)$$

Trong đó: $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \dots$ và β_{15} - là các hệ số của phương trình hồi quy;
 ξ_1, ξ_2, ξ_3 và ξ_4 - là các biến ảnh hưởng mô hình thực nghiệm.

Các biến đầu vào ảnh hưởng đến mô hình thực nghiệm và các khoảng giá trị khảo sát đã được chọn tương ứng và trình bày ở Bảng 3.

Số lượng điểm thí nghiệm trong quy hoạch thực nghiệm bậc nhất cho bốn biến ảnh hưởng đầu vào được xác định theo công thức (2) (Nguyễn Minh Tuyên, 2007; Astakhova L.G., 2013):

$$N = 2^k = 2^4 = 16, \text{ (với } k \text{ là số biến ảnh hưởng, } k = 4) \quad (2)$$

Thành phần cấp phối của hỗn hợp bê tông trong thực nghiệm được tính toán chi tiết trên cơ sở các tỷ lệ trong Bảng 3 và kết hợp với phương pháp thể tích tuyệt đối và tiết hành thí nghiệm trong phòng thí nghiệm. Từ các thành phần cấp phối, quá trình chế tạo mẫu tiêu chuẩn theo GOST P 56687-2015, các giá trị độ nở sun phát trung bình của mẫu bê tông sau 28 ngày thí nghiệm trong môi trường Na_2SO_4 5% đã được xác định và thể hiện cụ thể trong Bảng 4.

Bảng 3. Khoảng biến thiên các biến số trong kế hoạch thực nghiệm bậc nhất

TT	Các biến ảnh hưởng đầu vào		Các điểm quy hoạch bậc nhất trên mô hình			Khoảng biến thiên (δ)
	Biến thực	Biến mã hóa	-1	0	+1	
1	Tỉ lệ nước/chất kết dính - N/CKD	ξ_1	0,26	0,30	0,34	0,04
2	Hàm lượng tro bay - TB (%)	ξ_2	20	30	40	10
3	Hàm lượng Silicafume - SF90 (%)	ξ_3	5	10	15	5
4	Hàm lượng phụ gia siêu dẻo - SD (%)	ξ_4	0,5	1	1,5	0,5

Bảng 4. Độ nở Sun phát trung bình của bê tông trong môi trường Na_2SO_4 5%

TT	Biến mã hóa				Biến thực				Độ nở sun phát trung bình ở tuổi 28 ngày $Y = \varepsilon_{28}$ (%)						Phương sai, $S_i^2 \cdot 10^{-7}$
	ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_4	$\frac{N}{CKD}$	TB (%)	SF90 (%)	SD (%)	$\varepsilon_1 \cdot 10^{-2}$	$\varepsilon_2 \cdot 10^{-2}$	$\varepsilon_3 \cdot 10^{-2}$	$Y_i^{tb} \cdot 10^{-2}$	$\bar{Y}_i \cdot 10^{-2}$	$(Y_i^{tb} - \bar{Y}_i)^2 \cdot 10^{-6}$	
1	+	+	+	+	0,34	40	15	1,5	3,42	3,52	3,51	3,48	3,49	0,0002	3,03
2	-	+	+	+	0,26	40	15	1,5	1,92	2	1,95	1,96	2,62	44,3334	1,63
3	+	-	+	+	0,34	20	15	1,5	1,41	1,45	1,42	1,43	1,70	7,5167	0,43
4	-	-	+	+	0,26	20	15	1,5	1,08	1,15	1,16	1,13	0,83	8,4827	1,90
5	+	+	-	+	0,34	40	5	1,5	4,31	4,35	4,2	4,29	4,20	1,2284	6,03
6	-	+	-	+	0,26	40	5	1,5	3,12	3,3	3,24	3,22	3,33	0,8789	8,40
7	+	-	-	+	0,34	20	5	1,5	1,52	1,55	1,56	1,54	2,41	72,0377	0,43
8	-	-	-	+	0,26	20	5	1,5	1,34	1,32	1,35	1,34	1,53	3,7378	0,23
9	+	+	+	-	0,34	40	15	0,5	3,51	3,56	3,64	3,57	3,49	0,7296	4,30
10	-	+	+	-	0,26	40	15	0,5	2,8	3,1	2,94	2,95	2,62	10,5084	22,53
11	+	-	+	-	0,34	20	15	0,5	1,56	1,43	1,51	1,50	1,70	4,0334	4,30
12	-	-	+	-	0,26	20	15	0,5	1,28	1,31	1,25	1,28	0,83	19,4702	0,90
13	+	+	-	-	0,34	40	5	0,5	4,35	4,65	4,05	4,35	4,20	3,0334	90,00
14	-	+	-	-	0,26	40	5	0,5	3,25	3,47	3,42	3,38	3,33	0,4389	13,30
15	+	-	-	-	0,34	20	5	0,5	3,34	3,5	3,2	3,35	2,41	91,1229	22,53
16	-	-	-	-	0,26	20	5	0,5	1,38	1,35	1,35	1,36	1,53	2,8900	0,30
Max $S^2 = 9 \cdot 10^{-6}$					$\sum (Y_i^{tb} - \bar{Y}_i)^2 = 27,467 \cdot 10^{-5}$						$S_{ii}^2 = \sum S_i^2 = 180,266 \cdot 10^{-7}$				

a). Kiểm tra độ tin cậy của mô hình thực nghiệm theo chuẩn số Kochren.

Từ các giá trị thực nghiệm thu được trong bảng 4 đã tiến hành kiểm tra độ tin cậy của mô hình thực nghiệm theo chuẩn số Kochren:

- Phương sai lặp (S_{ii}^2) của kết quả thí nghiệm được tính theo công thức sau:

$$S_{ii}^2 = \sum S_i^2 = 180,266 \cdot 10^{-7} \text{ và } \max S^2 = 9 \cdot 10^{-6} \text{ (Bảng 4).}$$

- Giá trị tính toán chuẩn số Kochren (G_{tt}) theo công thức (3): $G_{tt} = \frac{S_{\max}^2}{S_{ii}^2} = \frac{9 \cdot 10^{-6}}{180,266 \cdot 10^{-7}} = 0,499$ (3)

Giá trị tra bảng của chuẩn số Kochren $G_{\alpha}(f_1, f_2)$ được xác định theo bảng phân bố các giá trị của chuẩn số Kochren tại bảng số 4.36 của tài liệu (Bolshev L.N. và nnk, 1983) với sai số $\alpha = 0,05$ và các bậc tự do: $f_1 = k-1 = 4-1 = 3$; $f_2 = N = 16$. Thu được: $G_{0,05}(3, 16) = 0,5466$.

Vì $G_{0,05}(3, 16) > G_{tt}$ như vậy các giá trị thực nghiệm thu được là rất đáng tin cậy.

b). Lập phương trình hồi quy bậc nhất

Sử dụng phần mềm Matlab và các công thức toán học theo lý thuyết quy hoạch thực nghiệm bậc nhất đã thu được phương trình đầy đủ của hàm hồi quy (4):

$$\begin{aligned}
 Y = & 0,0251 + 0,0043\xi_1 + 0,0089\xi_2 - 0,0035\xi_3 - 0,0021\xi_4 + 0,00092\xi_1 \cdot \xi_2 - 0,00098\xi_1 \cdot \xi_3 \\
 & - 0,00044\xi_1 \cdot \xi_4 - 0,00064\xi_2 \cdot \xi_3 + 0,00047\xi_2 \cdot \xi_4 + 0,00047\xi_3 \cdot \xi_4 - 0,00112\xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3 \\
 & - 0,0017\xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_4 + 0,0017\xi_1 \cdot \xi_3 \cdot \xi_4 - 0,0015\xi_2 \cdot \xi_3 \cdot \xi_4 - 0,00066\xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3 \cdot \xi_4.
 \end{aligned} \quad (4)$$

c). Kiểm tra tính có nghĩa của các hệ số trong phương trình (4)

Kiểm tra tính có nghĩa của các hệ số trong phương trình (4) được đánh giá theo chuẩn số Student ($t_{\alpha}(f_2)$). Hệ số β_j được coi là có nghĩa nếu: $t_{\beta_j} \geq t_{\alpha}(f_2)$, (5)

Trong đó: $t_{\alpha}(f_2)$ - là giá trị tra bảng độ lớn chuẩn số Student với mức độ có nghĩa $\alpha = 0,025$ và bậc tự do lặp $f_2 = N \times (k-1) = 16 \times (4-1) = 48$ từ bảng 3.2 của tài liệu (Bolshev L.N. và nnk, 1983) thu được $t_{0,025}(48) = 2,4066$.

- Giá trị tính toán chuẩn số Student (t_{β_j}) đối với hệ số β_j xác định theo công thức: $t_{\beta_j} = \frac{|\beta_j|}{S_{\beta_j}} \Rightarrow |\beta_j| = t_{\beta_j} \times S_{\beta_j}$, (6)

- Độ lệch chuẩn (S_{β_j}) của các hệ số trong hàm hồi quy xác định theo công thức: $S_{\beta_j} = \sqrt{\frac{S_{\text{II}}^2}{N}}$, (7)

+ Với N là tổng số thí nghiệm ($N = 16$) và $S_{\text{II}}^2 = \sum S_i^2 = 180,266.10^{-7}$ (Bảng 4).

Đã thu được: $S_{\beta_j} = \sqrt{\frac{180,266.10^{-7}}{16}} = 0,00106$.

Theo điều kiện của giá trị chuẩn số Student: $t_{\beta_j} \geq t_{\alpha}(f_2)$ trong đó $t_{\beta_j} = \frac{|\beta_j|}{S_{\beta_j}} \Rightarrow |\beta_j| \geq t_{\alpha}(f_2) \times S_{\beta_j}$.

Do đó, hệ số β_j của phương trình hàm hồi quy được cho là có nghĩa nếu thỏa mãn điều kiện:

$$|\beta_j| \geq t_{0,025}(48) \times S_{\beta_j} = 2,4066 \times S_{\beta_j} = 2,4066 \times 0,00106 = 0,00255.$$

Sau khi loại bỏ các hệ số không có nghĩa đã thu được phương trình hồi quy thu gọn:

$$Y = 0,0251 + 0,0043\xi_1 + 0,0089\xi_2 - 0,0035\xi_3 \quad (8)$$

d). Kiểm tra tính tương hợp của mô hình thực nghiệm

Tính tương hợp của mô hình thực nghiệm này được kiểm tra theo chuẩn số Fisher như sau:

- Tính phương sai dư (S_d^2) của mô hình theo công thức: $S_d^2 = \frac{\sum (Y_i^{\text{th}} - \bar{Y}_i)^2}{N - m}$ (9)

Trong đó: Y_i^{th} và \bar{Y}_i - Giá trị trung bình của từng thí nghiệm và giá trị tính toán theo phương trình (8); N - Số thí nghiệm ($N = 16$); m - Số các hệ số trong phương trình hồi quy (8) ($m = 4$).

$$\sum (Y_i^{\text{th}} - \bar{Y}_i)^2 = 27,467.10^{-5} \text{ (Bảng 5) và thu được } S_d^2 = \frac{27,467.10^{-5}}{16-4} = 2,288.10^{-5}$$

- Tính phương sai lặp (S_{II}^2) của kết quả thí nghiệm: $S_{\text{II}}^2 = \sum S_i^2 = 180,266.10^{-7}$.

$$\text{Vậy giá trị tính toán của chuẩn số Fisher thu được: } F_{\text{tt}} = \frac{S_d^2}{S_{\text{II}}^2} = \frac{2,288.10^{-5}}{180,266.10^{-7}} = 1,269.$$

Giá trị tra bảng của chuẩn số Fisher $F_{\alpha}(f_1, f_2)$ được xác định theo bảng phân bố chuẩn số Fisher trong bảng 3.5 của tài liệu (Bolshev L.N. và nnk, 1983) với các bậc tự do $f_1 = N = 16$ và $f_2 = N - m = 16 - 4 = 12$ tại sai số $\alpha = 0,01$ đã thu được giá trị tra bảng của chuẩn số Fisher $F_{0,01}(16, 12) = 4,0096$.

Vì $F_{\text{tt}} = 1,269 < F_{0,01}(16, 12) = 4,0096$, do đó mô hình thực nghiệm được mô tả bằng phương trình hồi quy (8) được coi là tương hợp với bức tranh thực nghiệm và phản ánh đúng quy luật phụ thuộc bậc nhất của hàm mục tiêu vào các biến thí nghiệm ξ_1, ξ_2 và ξ_3 .

Từ phương trình hồi quy (8) cho thấy khi tăng tỉ lệ N/CKD (biến ξ_1) và hàm lượng tro bay (biến ξ_2), đồng thời giảm hàm lượng silica fume SF90 (biến ξ_3) thì độ nở sun phát trung bình của các mẫu bê tông ở tuổi 28 ngày tăng. Sự gia tăng độ nở sun phát của mẫu bê tông cùng với sự gia tăng hàm lượng tro bay trong khoảng nghiên cứu đã được giải thích bởi khi lượng dùng tro bay là đáng kể, có chứa 24,17% Al_2O_3 và 6,15% Fe_2O_3 , trong môi trường Na_2SO_4 5% và đồng thời có mặt $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tự do trong vi cấu trúc của bê tông, đã thúc đẩy sự hình thành trong mao quản của đá xi măng các khoáng hydrosunfat aluminat canxi và hydrosunfat ferrit canxi, bao gồm cả Ettringite ngậm nhiều phân tử nước và trương nở thể tích. Mặt khác, ảnh hưởng của hàm lượng phụ gia siêu dẻo SR 5000F (biến ξ_4) trong khoảng từ 0,5% đến 1,5% đối với độ nở sun phát trung bình của các mẫu thí nghiệm ở trong môi trường Sun phát Natri 5% là không đáng kể và có thể bỏ qua.

4. Kết luận.

Dựa trên các kết quả thí nghiệm thu được, có thể rút ra kết luận sau:

1. Trên cơ sở các loại vật liệu sẵn có kết hợp với tổ hợp phụ gia biến tính gồm: Tro bay, silicafume và

phụ gia siêu dẻo đã thu được bê tông có cường độ kháng nén là 58,2 MPa và cường độ kéo khi uốn là 4,2 MPa ở tuổi 28 ngày và tính chống nước ở tuổi 28 ngày bằng 0,66 MPa, đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 9346:2012 và có thể được sử dụng trong kết cấu bê tông cốt thép trong môi trường ăn mòn, xâm thực của nước biển.

2. Bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm đã thu được hàm mục tiêu là phương trình hồi quy bậc nhất số (8). Đồng thời, phương trình hồi quy thu được đã mô tả đầy đủ sự phụ thuộc của độ nở sun phát trung bình của các mẫu bê tông tại tuổi 28 ngày thí nghiệm trong môi trường Sun phát Natri 5% đến bốn biến ảnh hưởng ξ_1 (tỷ lệ N/CKD), ξ_2 (hàm lượng tro bay), ξ_3 (hàm lượng silica fume SF90) và ξ_4 (hàm lượng phụ gia siêu dẻo SR 5000F).

3. Trong phạm vi nghiên cứu, các biến khảo sát gồm: tỷ lệ (N/CKD), các hàm lượng tro bay và silica fume SF90 có ảnh hưởng đáng kể đến độ nở thể tích ở tuổi 28 ngày trong môi trường sun phát của các mẫu bê tông. Tuy nhiên, ảnh hưởng của hàm lượng phụ gia siêu dẻo SR 5000F đến độ nở sun phát của bê tông là không đáng kể và có thể bỏ qua.

Tài liệu tham khảo

ACI 211.4R-2008, 2008. Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash. 2010. 13 p.

Astakhova L.G., 2013. Lectures on the discipline "Mathematical theory of experimental design". Vladikavkaz. (In Russia)

Bolshev L.N., Smirnov N.V., 1983. Tables of mathematical statistics. Publisher Mosow. (In Russia)

Chiara F.F., Paul E.S., Kenneth A.S., 2006. Sulfate Resistance of Concrete: A New Approach. Published by PCA.

Chindaprasirt P., Kanchanda P., Sathonsaowaphak A., Cao H.T., 2007. Sulfate resistance of blended cements containing fly ash and rice husk ash. *Construction and Building Materials*, 21(6), 1356-61.

GOST R 56687-2015., 2015. Protection of concrete and reinforced concrete structures from corrosion. Method for determining the sulfate resistance of concrete. Moscow. (In Russia)

Mehta K.P., 2003. Concrete in the marine environment. Taylor & Francis Books.

Phạm Hữu Hanh, Lê Trung Thành, 2015. Bê tông công trình biển. NXB Xây dựng, Hà Nội.

Ngo Xuan Hung, Tang Van Lam, Bulgakov B.I., Alexandrova O.V., Larsen, O.A., Ha Hoa Ki, Melnikova A.I., 2018. Effect of rice husk ash on the properties of hydraulic concrete. *Scientific and Engineering Journal for Construction and Architecture*, 6 (117), 768-777. (In Russia)

Tang Van Lam, Ngo Xuan Hung, Vu Kim Dien, Nguyen Trong Chuc, Bulgakov B.I., Bazhenova O.Y., 2019. Effect of water-binder ratio and complex organic-mineral additive on properties of concrete for marine hydrotechnical constructions. *Industrial and Civil Engineering*, 3, 11-21. (In Russia)

Lam Van Tang, Bulgakov B., Aleksandrova O., Anh Ngoc Pham, Bazhenov Y., 2018. Effect of rice husk ash on hydrotechnical concrete behavior. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*.

Tikalsky P.J., Beh D.E., 2008. Synthesis guide to best practices for corrosion resistant concrete. Utah Department of Transportation, Salt Lake City, Utah, USA, report UT-08.27.

Nguyễn Minh Tuyên, 2007. Quy hoạch thực nghiệm. NXB Khoa học và Kỹ thuật. Hà Nội.

Ryazanova V.A., 2016. Features of sulfate corrosion of concrete in conditions of directional moisture transfer. *Bashkir Chemical Journal*, 23(3), 45-52. (In Russia)

Safarov K.B., Stepanova V.F., Falikman V.R., 2017. The effect of mechanically activated low-calcium fly ash on the corrosion resistance of hydraulic concrete of the Rogun hydroelectric station. *Building materials*, 9, 20-24. (In Russia)

Safarov K.B., Stepanova V.F., 2016. Regulation of the reactivity of aggregates and increase the sulfate resistance of concrete by the combined use of low-calcium fly ash and highly active metakaolin. *Building materials*, 5, 70-74. (In Russia)

Sahmaran M., Kasap O., Duru K., Yaman I.O., 2007. Effects of mix composition and water-cement ratio on the sulfate resistance of blended cements. *Cement and Concrete composites*, 29(3), 159-167.

Si-Huy Ngo, Trong-Phuoc Huynh, Thanh-Tam Thi Le, Ngoc-Hang Thi Mai, 2018. Effect of high loss on ignition-fly ash on properties of concrete fully immersed in sulfate solution. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 371(012007).

Nguyễn Minh Tuyên, 2007. Quy hoạch thực nghiệm. NXB Khoa học và Kỹ thuật. Hà Nội.

ABSTRACT

Effects of complex organo-mineral additive on the sulphate expansion of concrete used for marine construction

Tang Van Lam ^{1,*}, Pham Duc Luong¹, Pham Ngoc Duong¹, Ngo Xuan Hung^{1,2}, Bulgakov Boris Igorevich², Dang Van Phi^{1,3}, Nguyen Tai Nang Luong⁴

¹*Hanoi University of Mining and Geology*

²*National Research Moscow State University of Civil Engineering, Russian Federation*

³*SEJONG University, South Korea*

⁴*University of Fire prevention and Fighting*

This paper presents the experimental results of an investigation on the effect of the water-binding ratio (W/B) and the complex organo-mineral modifying additive, consisting of fly ash (FA) TPP "Vinh Tan 4", silica fume SF90 (SF90) and polycarboxylate superplasticizer SR 5000F (SR5000) on the deformations of concrete specimens fully immersed in 5% sodium sulfate solution according to Russian standard GOST P 56687-2015. In addition, using the mathematical planning method for four factors and the Matlab program obtained the first-order regression equation of the mathematical model, which was adequately described the influence of the W/B, FA, SF90 and SR5000 contents on the sulphate expansion of concrete. From the regression equation shows the W/B ratio, the contents of FA and SF90 have a significant effect on the sulphate expansion of concrete samples, while the effect of SR5000 content on the objective function is negligible, so it was discarded.

Keywords: Sulfate-resistant Portland cement; sulphate expansion; complex organo-mineral additive; experimental model; objective function.

Sử dụng bê tông chất lượng siêu cao, tự đầm trong xây dựng

Nguyễn Xuân Mãn^{1,*}, Nguyễn Duyên Phong¹, Phạm Mạnh Hào²

¹Khoa Xây dựng, Đại học Mở - Địa chất

²Trung tâm Phát triển công nghệ cao, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

TÓM TẮT

Bê tông chất lượng siêu cao UHPC (Ultra High Performance Concrete) có các chỉ tiêu cơ - lý rất cao so với bê tông thường. Bê tông chất lượng siêu cao cần có các chỉ tiêu cơ - lý rất tốt đáp ứng độ bền và tuổi thọ lâu dài cho các kết cấu xây dựng trong các môi trường xâm thực bất lợi. Bê tông chất lượng siêu cao thường có cường độ chịu nén cao, hệ số thấm nhỏ, tính ổn định cao và có thể tự đầm khi thi công các cấu kiện bê tông cốt thép có mật độ cốt thép lớn, chống ăn mòn bê tông và cốt thép trong môi trường xâm thực như môi trường ven biển, hải đảo hay dưới ngầm có nước xâm thực. Báo cáo này đề cập đến ứng dụng và thí nghiệm để xác định thành phần của bê tông chất lượng siêu cao trong xây dựng. Phương pháp nghiên cứu được sử dụng là phương pháp lý thuyết kết hợp với thực nghiệm. Kết quả nghiên cứu đã đưa ra thành phần cấp phối của bê tông chất lượng siêu cao, tự đầm hợp lý có thể đáp ứng yêu cầu trong xây dựng.

Từ khóa: Bê tông chất lượng siêu cao; bê tông tự đầm; cấp phối hợp lý; độ linh hoạt của bê tông.

1. Đặt vấn đề

Bê tông có chất lượng siêu cao, tự đầm (BTCLSC-TĐ) là kết quả nghiên cứu của các nhà khoa học Hoa Kỳ, Nhật Bản và Âu châu những năm 70-80 của thế kỷ trước; trên cơ sở phát triển phụ gia siêu dẻo Polyme thế hệ mới. Ngày nay, BTCLSC-TĐ được sử dụng rộng rãi trên thế giới; có các đặc tính cơ bản như sau (AFGC-SETRA, 2002):

- Cường độ chịu kéo R_k : ở tuổi 3 ngày: $R_k \geq \text{MPa}$; 7 ngày: $R_k \geq \text{MPa}$; 28 ngày: $R_k \geq \text{MPa}$;
- Cường độ chịu nén R_n : ở tuổi 3 ngày: $R_n \geq 50 \text{ MPa}$; 7 ngày: $R_n \geq 80 \text{ MPa}$; 28 ngày: $R_n \geq 120 \text{ MPa}$;
- Hệ số thấm thấp, do đó cấu kiện làm từ loại bê tông này có khả năng chống thấm cao;
- Độ chảy từ 500-700mm và độ linh động (độ sụt SN) từ 160-180mm; do đó hỗn hợp bê tông này có thể tự chảy dưới tác dụng của trọng lượng bản thân và lấp đầy hoàn toàn ván khuôn khi có mật độ cốt thép dày đặc mà không cần đầm rung (còn gọi là bê tông tự đầm, bê tông tự lên hay bê tông chảy);
- Hỗn hợp bê tông giữ nguyên tính đồng nhất trong suốt quá trình vận chuyển và thi công, không bị phân tách các thành phần riêng và không phân lớp khi thi công.

Ưu điểm của BTCLSC-TĐ là không độc hại, các thành phần trộn sẵn, thi công dễ dàng; hỗn hợp có khả năng tự chảy, không tách nước - phân tầng; cường độ chịu uốn và cường độ chịu nén cao, tăng khả năng chống thấm, chống ăn mòn lớn; khả năng chịu va đập, mài mòn cao.

Bê tông chất lượng siêu cao, tự đầm thường ứng dụng cho các cấu kiện bê tông cốt thép sau đây: bê tông móng máy, đường ray, gôi cầu; mặt đường chịu va đập (xe bánh xích...); các kết cấu dầm cầu, tấm móng; các kết cấu chịu ăn mòn, mài mòn; các vị trí yêu cầu bê tông có cường độ cao, khả năng chịu va đập mài mòn lớn; cấu kiện có mật độ cốt thép dày đặc, điều kiện thi công khó khăn như vỏ hầm bê tông cốt thép, cột khung nhà, các dầm, sàn thi công với việc vận chuyển vữa theo đường ống. Trong Bảng 1 là một số công trình xây dựng sử dụng BTCLSC - TĐ trên thế giới (Graybeal, 2005).

Bảng 1. Sử dụng BTCLSC - TĐ trong một số công trình xây dựng.

TT	Tên công trình sử dụng	R_n^{28} , MPa	$E_{đh}$, GPa	SN, cm	Năm
1	Cat Point Creek Bridge, Richmond County, Virginia, USA	170	45	16	2013
2	Hawkeye Bridge Buchanan County, Iowa, USA	148	45	16	2015
3	Footbbridge in Changsha, China	90	45	16	2016

* Tác giả liên hệ

Email: mannxdky@gmail.com

Ở Việt Nam đã có một số công trình nghiên cứu về BTCLSC - TĐ, đã đưa ra khuyến nghị sử dụng tổ hợp phụ gia khoáng silica fume và tro bay để thay thế một phần xi măng trong chế tạo bê tông chất lượng siêu cao (Nguyễn Công Thắng và nnk, 2015). Tại Trung tâm Phát triển Công nghệ cao thuộc Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đang tiến hành đề tài khoa học độc lập cấp Nhà nước “Nghiên cứu công nghệ chế tạo bê tông tính năng siêu cao (UHPC) phục vụ xây dựng một số công trình quốc phòng”; mã số: TĐLCN.37/18; giai đoạn 2019-2021. Tuy nhiên, các kết quả nghiên cứu còn dừng ở những kết luận lý thuyết và thực nghiệm sơ khai, chưa được đưa vào ứng dụng rộng rãi trong xây dựng. Đồng thời để chế tạo BTCLSC - TĐ đòi hỏi nhập các vật liệu thành phần và giá thành của sản phẩm còn khá cao nên hạn chế sử dụng trong thực tế xây dựng. Trong bài viết này chúng tôi tiến hành xác định các thành phần của BTCLSC-TĐ bằng lý thuyết và thực nghiệm. Điều này góp phần quan trọng trong việc phát triển và ứng dụng loại bê tông này trong xây dựng ở Việt Nam.

2. Nội dung và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu sử dụng làm các thành phần của bê tông chất lượng siêu cao, tự đầm

Theo các tác giả (Phùng Văn Lự và nnk, 2007) thì vật liệu để chế tạo BTCLSC-TĐ bao gồm cát thạch anh ($d = 100 \div 600\mu\text{m}$), xi măng, silica fume, nước và phụ gia siêu dẻo (PGSD). Do lượng xi măng khoảng 900-1000 kg/m³ nên nhược điểm lớn nhất của loại bê tông này là giá thành sản phẩm cao và ảnh hưởng đến tính chất kỹ thuật, ảnh hưởng về môi trường do lượng khí cacbonic thải ra trong quá trình sản xuất xi măng (RICHARD, P. and CHEYREZY, M.H., 1994). BTCLSC-TĐ yêu cầu tỷ lệ N/X rất thấp. Để bê tông có cường độ cao mà vẫn đảm bảo độ chảy lớn việc sử dụng PGSD là yếu tố bắt buộc. Hiện nay người ta dùng 5 loại thuộc 3 thể hệ PGSD để chế tạo BTCLSC-TĐ như sau:

- Phụ gia A1 - Ligno Sulphonates (LS) từ các chất cao phân tử tự nhiên lignin (từ gỗ và senlulo), độ giảm nước tối đa 10%, làm chậm ninh kết, lượng dùng 2,5% xi măng;
- Phụ gia B1 - Polyme gốc sulphonated melamine (MFS) có tác dụng giảm nước tối đa đến 25%; lượng dùng 1,5 - 2,5% xi măng; cho phép đạt cường độ sớm ($R_{3\text{ng}} = 0,85R_{28\text{ng}}$).
- Phụ gia B2 - Naphthalene Sulphonate Polycondesate (NSP), có nguồn gốc từ than đá, giảm nước tối đa 25%; lượng dùng 1,5 - 2,5% xi măng.
- Phụ gia B3 - Vinylcopolymers (VC), thành phần chính là: Sunfonated Vinylcopolymers (dầu thô), giảm nước tối đa đến 30%; lượng dùng 1,5 - 2% xi măng; độ sụt đến 22 cm.
- Phụ gia C - Polycarboxylates (PC), gốc Polyme cao phân tử tổng hợp, tạo ra độ sụt của bê tông từ 15 đến 22 cm, thời gian đông cứng từ 1 - 4 giờ; có thể tăng cường độ; giảm lượng nước từ 30 - 40%. Loại phụ gia đặc biệt này có thể thay đổi cấu tạo phân tử để phù hợp với các yêu cầu đặc biệt. Với bê tông cường độ cao và siêu cao thường dùng chất PGSD loại PC, với bê tông tự đầm có thể dùng loại cải tiến là: Polyme Viscocrete (PV).

Tác dụng tăng dẻo của loại phụ gia này nhờ hai loại lực đẩy khác nhau giữa các hạt xi măng giúp chúng bị phân tán, cụ thể: lực đẩy tĩnh điện xuất hiện do sự hấp phụ lên bề mặt các hạt xi măng các ion âm được cung cấp bởi các nhóm carboxylic; hiệu ứng phân tán nhờ cấu trúc mạch nhánh của các phân tử polyme trong phụ gia, bao gồm mạch chính và mạch nhánh hình răng lược.

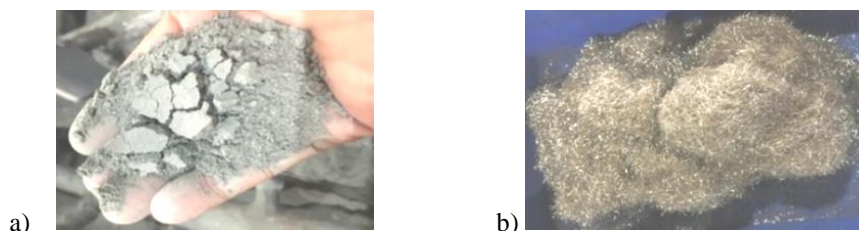
Trong bài viết này sử dụng các vật liệu thành phần để nghiên cứu BTCLSC-TĐ như sau:

- Xi măng Poocăng PC40 với đường kính hạt trung bình khoảng 14 μm ; có các tính chất cơ lý trình bày ở Bảng 2.
- Nước sinh hoạt không dầu mỡ; các thành phần hữu cơ trong nước hợp quy chuẩn.
- Cốt liệu là cát thạch anh, đường kính cỡ hạt trung bình khoảng 300 μm ; độ rỗng khi chưa lên chặt 45,1%; khô.
- Sợi thép các bon của CHLB Đức: Mác 2500; đường kính sợi $d = 0,16\text{mm}$; chiều dài sợi $l = 15\text{mm}$.

Bảng 2. Một số tính chất cơ lý của xi măng (Nguyễn Công Thắng và nnk, 2015).

Tính chất của xi măng	Giá trị		Tiêu chuẩn áp dụng
	Thực tế	Theo quy phạm	
Độ mịn:			
- Lượng sót sàng 0,09mm, %	2,1	≤ 10	TCVN 4030-2003
- Độ mịn bề mặt riêng xác định theo phương pháp Blaine, cm ² /g	3380	≥ 2800	
Độ dẻo tiêu chuẩn, %	29,0		TCVN 6017-1995
Giới hạn bền nén:			
- Sau 3 ngày, MPa	26,4	$\geq 21,0$	TCVN 6016-1995
- Sau 28 ngày, MPa	49,6	$\geq 40,0$	

- Sử dụng PGSD thể hệ 3 có gốc polycarboxylate (PC) của hãng BASF. Đây là PGSD với hàm lượng chất khô 30%; có khả năng duy trì độ chảy của hỗn hợp bê tông tốt hơn so với các loại phụ gia siêu dẻo khác, thuận lợi cho việc chế tạo bê tông có tỷ lệ N/X thấp nhưng có độ chảy cao. Một số đặc tính của phụ gia siêu dẻo này cụ thể như sau: sản phẩm dạng lỏng; màu nâu nhạt; khối lượng riêng: 1,07g/cm³; theo tiêu chuẩn ECC 99/45 thì không độc. Trên hình 1 là hỗn hợp xi măng với PGSD có gốc polycarboxylate và sợi thép.



Hình 1. Vật liệu thành phần: a) Hỗn hợp xi măng với phụ gia siêu dẻo có gốc polycarboxylate; b) Sợi thép các bon của CHLB Đức

2.2. Lựa chọn cấp phối bê tông sử dụng trong nghiên cứu

Tỷ lệ thành phần hỗn hợp được sử dụng trong nghiên cứu cho trong bảng 3. Tỷ lệ cát/xi măng là 1,6 theo khối lượng (cát được sử dụng là cát thạch anh (quart) nghiền mịn); tỷ lệ N/X lấy bằng 0,25; tỷ lệ sợi thép (ST)/X là 0,18. Để nghiên cứu ảnh hưởng của PGSD đến cường độ chịu nén của BTCLSC thì hàm lượng PGSD lấy theo tỷ lệ khối lượng so với xi măng thay đổi từ 0,50 đến 1,10 thể hiện trong Bảng 3.

Bảng 3. Thành phần cấp phối BTCLSC-TĐ sử dụng trong nghiên cứu cho 1m³

Mẫu số	X, kg	N, lít	C, kg	ST, kg	Phụ gia siêu dẻo (PC), %	
					Tỷ lệ, %	Lượng, kg
1	840	210	1345	151	1,1	9,24
2	840	210	1345	151	1,0	8,40
3	840	210	1345	151	0,9	7,56
4	840	210	1345	151	0,8	6,72
5	840	210	1345	151	0,7	5,88
6	840	210	1345	151	0,6	5,04
7	840	210	1345	151	0,5	4,20

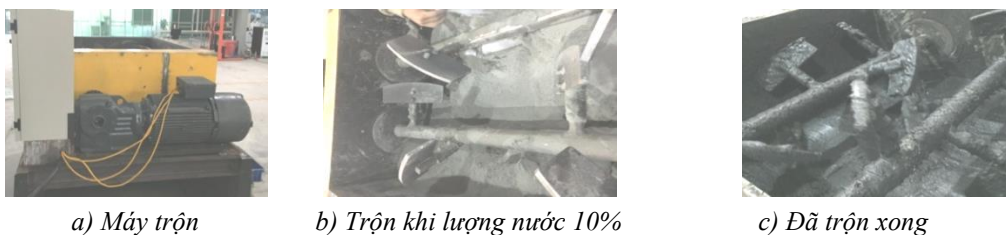
2.3. Quá trình nhào trộn các thành phần của bê tông

Hỗn hợp được trộn bằng máy trộn cưỡng bức với tốc độ cao khoảng 200 vòng/phút. Hỗn hợp gồm xi măng, cát và phụ gia được cho từ từ vào buồng máy và trộn đều. Lượng nước lần đầu cho vào khoảng 10% lượng nước đã xác định trước sau đó máy trộn làm việc để khuấy đều. Tiếp theo là cho sợi thép đã xác định trước vào buồng trộn (cần đảm bảo tính đồng đều phân bố sợi thép trong hỗn hợp trộn) rồi cho lượng nước còn lại vào để trộn tiếp. Hình 2 là máy trộn cưỡng bức để trộn hỗn hợp bê tông.

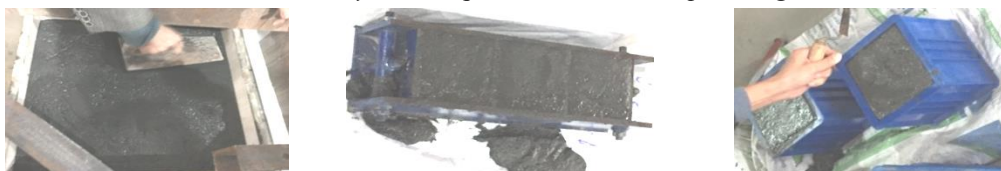
2.4. Phương pháp thực nghiệm

Tính công tác của hỗn hợp bê tông được xác định bằng thí nghiệm độ chảy của côn nhỏ theo tiêu chuẩn Anh BS4551-1:1998. Giá trị độ chảy loang của các hỗn hợp được điều chỉnh trong khoảng 250÷300mm.

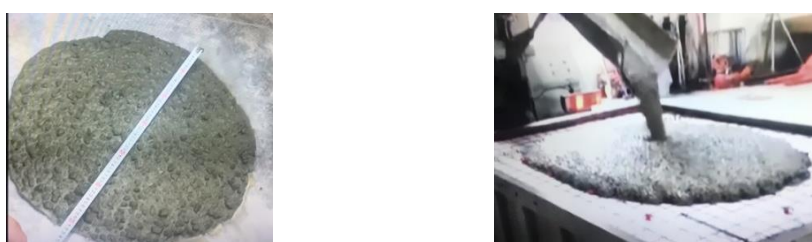
Xác định cường độ nén theo tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN3118-1993) với kích thước mẫu 150×150×150mm³. Theo (N.V. Tuan. 2011) thì khi cường độ nén của BTCLSC ít phụ thuộc vào kích thước mẫu do đó thường đúc mẫu với kích thước như trên. Các mẫu sau khi đúc được bảo dưỡng (BD) ở điều kiện tiêu chuẩn (nhiệt độ 27±2°C, thời gian 24±3h); mẫu được tháo ra khỏi khuôn và tiếp tục BD trong điều kiện tiêu chuẩn (27±2°C, độ ẩm > 95%). Cường độ chịu nén của bê tông được xác định ở các tuổi 3; 7 và 28 ngày sau khi đúc. Hình 3 là quá trình tạo mẫu thí nghiệm. Hình 4 xác định độ xòe của hỗn hợp bê tông tại hiện trường.



Hình 2. Máy trộn và quá trình trộn hỗn hợp bê tông



Hình 3. Tạo mẫu thí nghiệm BTCLSC-TĐ



Hình 4. Xác định độ xòe côn nhỏ của hỗn hợp bê tông CLSC-TĐ ở hiện trường

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Độ linh động và độ xòe của hỗn hợp bê tông

Thí nghiệm cho ta kết quả về độ sụt và độ xòe của hỗn hợp bê tông như trong bảng 4. Các dụng cụ và cách đo độ xòe, độ sụt của hỗn hợp bê tông được minh họa trên hình 5 và hình 6.

Bảng 4. Độ sụt và độ xòe của hỗn hợp bê tông

Mẫu thử số	Tỷ lệ phụ gia siêu dẻo PC, %	Độ sụt, SN, cm	Độ xòe, mm
1	1,1	20	240
2	1,0	19	235
3	0,9	18	230
4	0,8	16	220
5	0,7	14	215
6	0,6	13	213
7	0,5	10	210

Phân tích các số liệu trong bảng 4 cho ta các nhận xét sau đây:

- Độ sụt của hỗn hợp bê tông có phụ gia siêu dẻo PC dao động từ 10 đến 20 cm phụ thuộc vào hàm lượng tỷ lệ phụ gia với khối lượng xi măng.

- Độ xòe của hỗn hợp bê tông từ 210mm đến 240 mm - là độ xòe thích hợp của bê tông tự đầm có chứa sợi thép. Độ sụt và độ xòe nhận được do chất phụ gia siêu dẻo có trong thành phần bê tông sẽ tạo ra lực đẩy các hạt chất dính kết xa nhau, từ đó khả năng chảy loang của hỗn hợp tăng lên. Đây là tính chất công tác của hỗn hợp bê tông, giúp thi công thuận tiện, không cần đầm.



Hình 5. Dụng cụ và cách xác định độ xòe



Hình 6. Dụng cụ và cách xác định độ sụt

3.2. Cường độ của bê tông

Phân tích kết quả thí nghiệm nén các mẫu bê tông (bảng 5) có các nhận xét như sau:

- Cường độ chịu nén sau 3 ngày bảo dưỡng ở điều kiện tiêu chuẩn đạt (ĐKTC) $R_3 = 28,0 \text{ MPa} \div 37,9 \text{ MPa}$; giá trị lớn nhất: $R_3^{\max} = 39,7 \text{ MPa}$ ứng với hàm lượng phụ gia siêu dẻo PC là 0,9% khối lượng của xi măng.

- Cường độ chịu nén sau 7 ngày bảo dưỡng ở ĐKTC đạt $R_7 = 49,6 \text{ MPa} \div 67,2 \text{ MPa}$; giá trị lớn nhất là $R_7^{\max} = 69,2 \text{ MPa}$ ứng với hàm lượng phụ gia siêu dẻo PC là 0,9% khối lượng của xi măng.

- Cường độ chịu nén sau 28 ngày bảo dưỡng ở ĐKTC đạt $R_{28} = 85,6 \text{ MPa} \div 115,2 \text{ MPa}$; giá trị lớn nhất là $R_{28}^{\max} = 115,2 \text{ MPa}$ tương ứng với hàm lượng phụ gia siêu dẻo PC là 0,9% khối lượng của xi măng. Có thể thấy rằng hàm lượng phụ gia tối ưu là 0,9% khối lượng của xi măng.

- Đối với bê tông thường không có cốt sợi bằng thép và không có phụ gia siêu dẻo PC thì cường độ chịu nén ở tuổi 28 ngày sau đúc được tính theo công thức (Phùng Văn Lự và nnk, 2007): $R_{28}^{\max BT} = A_1 \cdot R_x \cdot (X/N + 0,5)$, trong đó: A_1 là hệ số lấy theo quy phạm, lấy $A_1 = 0,34$; cường độ của xi măng ở 28 ngày, lấy $R_x = 40 \text{ MPa}$; tỷ lệ xi măng với nước, lấy $X/N = 4,0$. Đưa các giá trị vừa nói vào công thức để tính, cho kết quả: $R_{28}^{\max BT} = 61,2 \text{ MPa}$.

- Như vậy bê tông có phụ gia siêu dẻo PC và có cốt sợi thép đã cho ta cường độ chịu nén ở 28 ngày sau đúc tăng gấp 1,88 lần so với cường độ chịu nén của bê tông thường ở 28 ngày sau đúc. Điều này xảy ra là do phụ gia siêu dẻo đã làm tăng mức độ chặt của bê tông cũng như sự có mặt của cốt thép sợi đã gia tăng liên kết và tăng độ bền nén của bê tông.

Bảng 5. Cường độ chịu nén của bê tông

Mẫu thử nghiệm số	Lượng phụ gia siêu dẻo PC		Cường độ chịu nén, MPa			Ghi chú
	Tỷ lệ PGSD, %	Lượng PGSD, kg	3 ngày	7 ngày	28 ngày	
1	1,1	1,1	32,3	57,2	98,3	
2	1,0	1,0	36,9	65,4	112,4	
3	0,9	0,9	37,9	67,2	115,2	Giá trị lớn nhất
4	0,8	0,8	36,2	64,2	110,5	
5	0,7	0,7	31,9	56,6	97,7	
6	0,6	0,6	30,3	53,7	92,4	
7	0,5	0,5	28,0	49,6	85,6	

4. Kết luận

Dựa trên những kết quả đạt được có thể đưa ra một số kết luận như sau:

- Sử dụng bê tông CLSC-TH là một xu hướng tất yếu khi thi công các công trình có điều kiện thi công đặc biệt, các cấu kiện có mật độ bố trí cốt thép dày, không gian sau ván khuôn nhỏ hẹp và vận chuyển vừa bằng cách bơm theo đường ống. Trong điều kiện đó sẽ không cần phải đầm mà vừa bê tông sẽ tự lèn, tự

chảy, tự đầm lấp kín không gian cần đổ mà vẫn đảm bảo tính đồng đều, độ chặt của kết cấu;

- Bê tông CLSC-TĐ chế tạo từ các vật liệu thành phần: xi măng Portland PC40, cát thạch anh nghiền mịn, sợi thép mác 2500 của Đức, PGSD thể hệ 3 có gốc polycarboxylate (PC) của hãng BASF và nước với cấp phối phù hợp ($X=840\text{kg/m}^3$, $C=1345\text{kg/m}^3$, $\text{PGSD}=9\%X=7,56\text{kg/m}^3$, $\text{ST}=151\text{kg/m}^3$, $N=210\text{ l/m}^3$).

- Sử dụng PGSD thể hệ 3 có gốc polycarboxylate (PC) của hãng BASF với lượng dung bằng 9% khối lượng xi măng cho phép tạo ra BTCLSC-TĐ, có cường độ chịu nén ở 28 ngày tuổi là 115,2MPa, độ sụt SN=18cm và độ xóc là 230mm.

Tài liệu tham khảo

AFGC-SETRA, 2002. *Ultra High Performance Fibre-Reinforced Concretes*. Paris, France: Interim Recommendations, AFGC publication. p.124

Graybeal, B.A., 2005. *Characterization of the Behavior of Ultra-High Performance Concrete*, in *PhD Dissertation*, University of Maryland, College Park, Maryland.p.67.

Kollmorgen, G.A., 2004, *IMPact of Age and Size on the Mechanical Behavior of an Ultra High Performance Concrete*, in *MS Thesis in Civil Engineering*. Michigan Technological, University, Houghton, Michigan. p.98.

Nguyễn Công Thắng và nnk, 2015. Nghiên cứu chế tạo bê tông chất lượng siêu cao sử dụng hỗn hợp phụ gia khoáng silica fume và tro bay sẵn có ở Việt Nam. *Hội nghị Khoa học Công nghệ*, ĐH Xây dựng.

Phùng Văn Lự, Phạm Duy Hữu, Phan Khắc Trí 2007. *Giáo trình Vật liệu xây dựng*. Nhà xuất bản Giáo dục và Đào tạo.

Richard, P. and Cheyrezy, M.H., 1994, "Reactive Powder concretes with high ductility and 200-800 MPa compressive strength" in Mehta, P.K. ED. *Concrete Technology: Past, Present and Future, Proceedings of the V. Mohan Malhotra Symposium*: p.ACI SP 144-24, 507-518. Detroit: Victoria Wieczorek

Tuan, N.V., 2011, Rice Husk Ash as a Mineral Admixture for Ultra High Performance Concrete, in *Faculty of Civil Engineering and Geosciences*, Delft University of Technology, the Netherlands. p.165.

Vooa, Y.L. and S.J. Fosterb, 2010, Characteristics of ultra-high performance 'ductile' concrete and its iMPact on sustainable construction. *The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering*, 3: p.168-187.

ABSTRACT

Using Ultra High Performance Concrete, self-coMPacting in construction

Nguyen Xuan Man^{1,*}, Nguyen Duyen Phong¹, Pham Manh Hao²

¹ Faculty of Civil Engineering, Hanoi University of Mining and Geology

²Center for High Technology Development, Vietnam Academy of Science and Technology

Ultra High Performance Concrete (UHPC) has very high mechanico-physical properties compared to conventional concrete. Ultra - high quality concrete needs very high mechanic - physical properties to meet durability and long service life of construction structures in adverse aggressive environments. Ultra High Performance Concrete often has high compressive strength, small permeability coefficient, high stability and can compact itself when constructing reinforced concrete structures with high reinforcement density, anti-corrosion concrete and Reinforcement in aggressive environments such as coastal, island or underground environments with erosionwater. In the paper have shown the application and determination of the composition of Ultra High Performance Concrete in construction. The research method used is a theoretical method combined with experiment. The results of the study have shown that the reasonable composition of Ultra High Performance concrete, Self-compacting meets the requirements in construction.

Keywords: Ultra high performance concrete; self-compacting concrete; reasonable gradation of concrete.

Nghiên cứu xác định chiều sâu ăn mòn cốt thép khi bắt đầu xuất hiện nứt bê tông trong môi trường biển

Nguyễn Văn Mạnh^{1,*}

¹ Trường Đại học Mở - Địa chất

TÓM TẮT

Khi kết cấu bê tông cốt thép làm việc trong môi trường biển sẽ xuất hiện hiện tượng ăn mòn cốt thép do sự xâm nhập của ion clorua (Cl^-) có trong nước biển. Khi ion Cl^- khuếch tán xuyên qua chiều dày lớp bê tông bảo vệ sẽ tích tụ trên bề mặt thanh cốt thép đến giá trị tới hạn sẽ bắt đầu ăn mòn cốt thép. Cốt thép trong bê tông bị ăn mòn sẽ tạo ra gỉ sắt làm tăng thể tích tạo ra áp lực lên bê tông, dẫn tới gây nứt bê tông và phá hủy kết cấu bê tông cốt thép. Bài báo trình bày phương pháp tính toán chiều sâu ăn mòn cốt thép tại thời điểm xuất hiện vết nứt đầu tiên trong kết cấu trên cơ sở tính toán thể tích gỉ thép tạo ra do ăn mòn và áp lực gây nứt bê tông. Kết quả tính toán chiều sâu ăn mòn cốt thép là cơ sở để xác định tuổi thọ của cấu kiện bê tông cốt thép làm việc trong môi trường biển.

Từ khóa: Ăn mòn; ion Cl^- ; cốt thép; bê tông; môi trường biển.

1. Đặt vấn đề

Do đặc thù điều kiện khí hậu nóng ẩm ở nước ta và môi trường biển có hàm lượng ion Cl^- cao nên kết cấu bê tông cốt thép (BTCT) thường bị ăn mòn dẫn tới làm nứt vỡ và phá hủy, không đảm bảo tuổi thọ của công trình. Kết quả khảo sát thực tế cho thấy các công trình BTCT sau một thời gian sử dụng thường có dấu hiệu gỉ sắt ở mức độ khác nhau không đảm bảo tuổi thọ công trình (Cao Duy Tiến và nnk, 2003; Nguyễn Nam Thắng, 2007).

Hiện tượng ăn mòn cốt thép trong kết cấu bê tông cốt thép làm việc trong môi trường biển là do sự xâm nhập của ion Cl^- có trong nước biển. Khi ion Cl^- xâm nhập xuyên qua chiều dày lớp bê tông bảo vệ sẽ tích tụ trên bề mặt thanh cốt thép đến giá trị tới hạn sẽ bắt đầu ăn mòn cốt thép. Cốt thép trong bê tông bị ăn mòn sẽ tạo ra gỉ sắt làm tăng thể tích, dẫn tới gây nứt bê tông và phá hủy kết cấu bê tông cốt thép.

Bài báo trình bày phương pháp tính toán chiều sâu ăn mòn cốt thép tại thời điểm xuất hiện vết nứt đầu tiên trong kết cấu bê tông cốt thép làm việc trong môi trường có ăn mòn clorua với giả thiết bỏ qua ảnh hưởng của ion Cl^- đến bê tông.

2. Cơ chế ăn mòn cốt thép do nước biển

Quá trình giảm độ bền của kết cấu bê tông cốt thép do hiện tượng ăn mòn cốt thép của ion Cl^- có thể được chia ra thành 3 giai đoạn (Suwito and Xi, 2008):

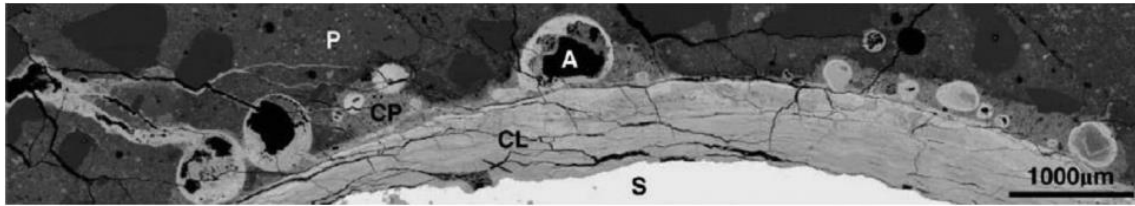
- Giai đoạn khuếch tán ion Cl^- : trong giai đoạn này, các ion Cl^- từ nước biển xâm nhập vào trong bê tông và lan tỏa đến bề mặt cốt thép trong bê tông làm phá vỡ màng bảo vệ trên bề mặt cốt thép. Khi nồng độ ion Cl^- đạt đến giá trị tới hạn, màng bảo vệ bị phá hủy và cốt thép bắt đầu bị ăn mòn. Giai đoạn khuếch tán ion Cl^- thường là khoảng thời gian dài nhất trong quá trình suy giảm khả năng chịu lực của kết cấu bê tông cốt thép. Giai đoạn này có thể kéo dài trong nhiều năm, tùy thuộc vào chất lượng của bê tông và điều kiện môi trường xung quanh kết cấu. Các nghiên cứu thực nghiệm gần đây của tác giả Xi và các cộng sự cho thấy rằng phải mất từ 7 đến 20 năm để các ion Cl^- có thể đạt đến giá trị tới hạn và cốt thép bắt đầu bị ăn mòn. Khoảng thời gian này có sự biến động trong phạm vi lớn như vậy là do chất lượng bê tông khác nhau, điều kiện môi trường khác nhau ...

- Giai đoạn tích lũy gỉ sắt: gỉ sắt bắt đầu hình thành khi có sự ăn mòn cốt thép. Các lớp gỉ tích tụ trong vùng chuyển tiếp giữa cốt thép và bê tông, đồng thời gỉ sắt cũng phân bố vào trong các lỗ rỗng của bê tông. Do thể tích của gỉ sắt lớn hơn cốt thép ban đầu nhiều lần, cho nên nó sẽ chiếm thể tích của bê tông. Khi các lỗ rỗng trong vùng bê tông tiếp xúc với cốt thép được lấp đầy bởi gỉ sắt sẽ tạo ra áp lực ở vùng tiếp xúc này. Áp lực vùng tiếp xúc sẽ tạo ra ứng suất kéo trong bê tông. Khi giá trị ứng suất kéo này đạt đến cường

* Tác giả liên hệ

Email: nguyenvanmanh@hmg.edu.vn

độ chịu kéo của bê tông thì bắt đầu hình thành các vết nứt trong bê tông. Giai đoạn này kết thúc khi xuất hiện các vết nứt đầu tiên trong bê tông.

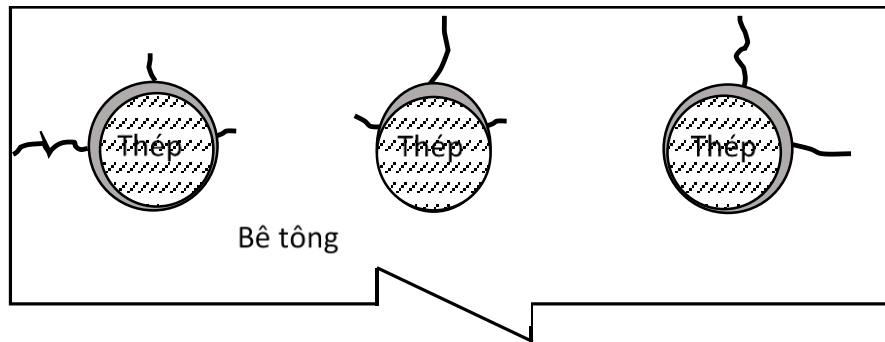


Hình 1. Sự xâm nhập của gỉ sắt trên mặt tiếp xúc giữa cốt thép và bê tông (Wong et. al., 2010)
S: cốt thép; CL: lớp bị ăn mòn; CP: gỉ sắt lấp nhét vào lỗ rỗng; P: vùng bê tông; A: lỗ rỗng khí

- Giai đoạn phát triển nứt: khi bê tông bị nứt do sự trương nở thể tích của gỉ sắt sẽ làm giảm khả năng chịu tải của kết cấu. Quá trình ăn mòn vẫn tiếp tục diễn ra, khi khối lượng gỉ sắt tích tụ tăng dần lên sẽ làm cho vết nứt phát triển nhanh chóng và dẫn tới phá hủy nứt vỡ hoặc bong tách lớp bê tông làm cho kết cấu mất khả năng làm việc.

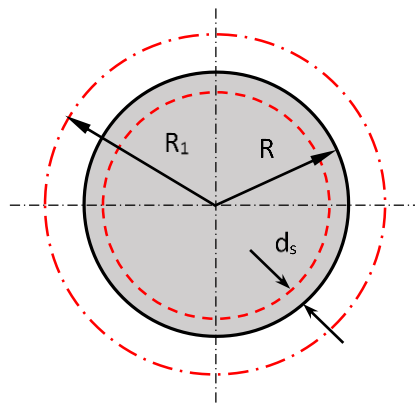
3. Xác định chiều sâu ăn mòn cốt thép khi bê tông bắt đầu bị nứt

Khi ăn mòn cốt thép bắt đầu xảy ra, giả thiết có đủ nguồn cung cấp clorua và oxy cho quá trình ăn mòn tiếp tục phát triển. Quá trình ăn mòn sẽ làm giảm lượng thép, nhưng sản phẩm ăn mòn sinh ra lại có thể tích lớn hơn lượng thép bị ăn mòn. Do đó nó tạo ra áp lực lên bê tông và khi đủ lớn sẽ gây nứt dẫn đến phá hủy kết cấu bê tông cốt thép như thể hiện trên hình 2.



Hình 2. Vị trí cốt thép và dạng ăn mòn

Qua hình 2 có thể thấy, tùy theo vị trí của thanh cốt thép ở góc hay ở giữa mà cơ chế ăn mòn khác nhau. Đối với các thanh thép ở giữa do sự xâm nhập của ion Cl^- từ phía biên gần nhất đến nên sẽ bị ăn mòn gần đúng theo biên $\frac{1}{2}$ đường e-líp. Đối với các thanh cốt thép ở góc (tức là có 2 biên có thể bị ăn mòn) có thể xem như bị ăn mòn đều trên toàn bộ chu vi của thanh thép. Như vậy, để nghiên cứu cơ chế ăn mòn cốt thép nên chia thành 2 trường hợp như trên tùy thuộc vào vị trí của thanh cốt thép để đảm bảo mức độ chính xác.



Hình 3. Bán kính trương nở của gỉ sắt R_1 và chiều sâu ăn mòn d_s

Trong nghiên cứu này sẽ tập trung vào trường hợp thanh cốt thép ở góc của kết cấu, tức là coi thanh thép bị ăn mòn đều trên toàn bộ chu vi của nó. Giả thiết thanh thép có mặt cắt ngang là hình tròn bán kính R như trên hình 3. Sau khi bị ăn mòn chiều sâu d_s , bán kính thanh thép giảm đi còn $(R - d_s)$. Tuy nhiên, sản phẩm

do ăn mòn tạo ra lại có thể tích lớn hơn so với thể tích cốt thép bị ăn mòn. Vì thế nó sẽ tạo ra áp lực phân bố đều trên bề mặt tiếp xúc giữa thanh thép và lớp vữa xi măng xung quanh.

Với giả thiết toàn bộ gỉ sắt sinh ra trong quá trình ăn mòn sẽ gây ra áp lực phân bố đều lên mặt tiếp xúc giữa cốt thép và bê tông. Khi áp lực trên mặt tiếp xúc gây ra ứng suất tiếp trên mặt tiếp xúc có giá trị lớn hơn độ bền kéo của bê tông thì vết nứt bắt đầu xuất hiện trong bê tông.

Giả sử bán kính ban đầu của thanh thép chưa bị ăn mòn là R ; sau một khoảng thời gian cốt thép bị ăn mòn sâu vào một khoảng là d_s .

Thể tích cốt thép ban đầu tính cho một đơn vị dài:

$$V_0 = \pi R^2 \quad (1)$$

Thể tích thép bị ăn mòn tính cho một đơn vị dài:

$$V_1 = \pi[R^2 - (R - d_s)^2] = \pi(2Rd_s - d_s^2) \quad (2)$$

Nhưng do sản phẩm ăn mòn có tính trương nở thể tích, nên phần thể tích do sản phẩm ăn mòn tạo ra sẽ là:

$$V_s = n \cdot V_1 = n \cdot \pi(2Rd_s - d_s^2) \quad (3)$$

Với n là hệ số nở thể tích của sản phẩm ăn mòn. Giá trị của n phụ thuộc vào sản phẩm tạo ra khi bị ăn mòn. Theo tác giả Liu và Weyers (1998), hệ số nở thể tích dao động trong khoảng từ 1,7 đến 6,15 như trong Bảng 1.

Bảng 1. Giá trị trương nở thể tích của sắt khi bị ăn mòn (Liu và Weyers, 1998)

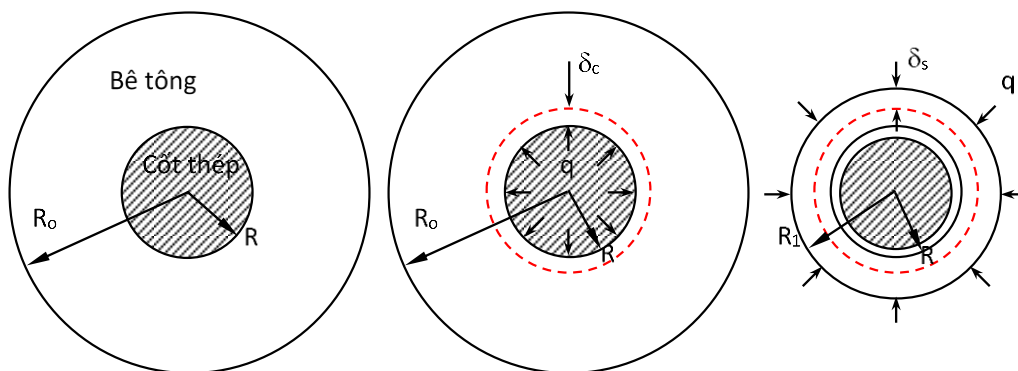
Sản phẩm do ăn mòn	Tỉ lệ trương nở thể tích (n)
FeO	1,70
Fe ₃ O ₄	2,00
Fe ₂ O ₃	2,10
Fe(OH) ₂	3,60
Fe(OH) ₃	4,00
Fe(OH) ₃ .3H ₂ O	6,15

Giả thiết không có sự ngăn cản của lớp bê tông bảo vệ phía ngoài, khi đó phần thể tích gỉ sắt sẽ chiếm chỗ và tạo ra một thanh thép danh nghĩa có bán kính là:

$$R_1 = \sqrt{(R - d_s)^2 + n \cdot [R^2 - (R - d_s)^2]} = R\sqrt{(n - 1)\rho + 1} \quad (4)$$

Với ρ là tốc độ ăn mòn cốt thép.

Bài toán được quy về bài toán ống trụ thành dày chịu áp lực bên trong (q). Trong đó chiều dày lớp bê tông phủ (a) là chiều dày của thành ống; đường kính thanh cốt thép ban đầu ($2R$) là đường kính trong của ống như trên hình 4 (với $R_0 = R + a$).



Hình 4. Các vùng biến dạng do áp lực phân bố đều của gỉ sắt

Dưới tác dụng của áp lực (q), bê tông sẽ bị dãn ra một khoảng là δ_c . Cần chú ý, do sản phẩm gỉ sắt có tính chất cơ học hoàn toàn khác so với hai vật liệu ban đầu là cốt thép và bê tông. Do đó phần vật liệu này cũng sẽ bị biến dạng co lại một khoảng là δ_s (do sự cản trở của bê tông) như trên hình 4. Như vậy trên mặt tiếp xúc giữa cốt thép và bê tông chúng ta có:

$$R + \delta_c = R_1 - \delta_s \quad (5)$$

Theo lý thuyết đàn hồi, ứng suất trong ống trụ thành dày chịu áp lực bên trong q được tính như sau:

$$\sigma_r = \frac{q \cdot R^2}{R_0^2 - R^2} \left(1 - \frac{R_0^2}{r^2}\right) \quad (6)$$

$$\sigma_\theta = \frac{q \cdot R^2}{R_0^2 - R^2} \left(1 + \frac{R_0^2}{r^2}\right) \quad (7)$$

Với $R_0 = R + a$; a là chiều dày lớp bê tông phủ cốt thép.

Chuyển vị tiếp tuyến và pháp tuyến được tính như sau:

$$\varepsilon_r^e = \frac{1+\nu_c}{E_c} \cdot \frac{q \cdot R^2}{R_0^2 - R^2} \left(1 - 2\nu_c - \frac{R_0^2}{r^2}\right) \quad (8)$$

$$\varepsilon_\theta^e = \frac{1+\nu_c}{E_c} \cdot \frac{q \cdot R^2}{R_0^2 - R^2} \left(1 - 2\nu_c + \frac{R_0^2}{r^2}\right) \quad (9)$$

trong đó:

E_c và ν_c lần lượt là mô đun đàn hồi và hệ số Poát-xông của bê tông.

Vết nứt bắt đầu xuất hiện khi chuyển vị tiếp tuyến trên mặt tiếp xúc giữa cốt thép và bê tông đạt đến giá trị chuyển vị tiếp tuyến tới hạn của bê tông. Bởi vì có sự xuất hiện biến dạng dẻo trong bê tông trước khi đạt đến giá trị ứng suất kéo tới hạn, do đó mô đun đàn hồi E_c trong phương trình trên phải được thay thế bằng mô đun biến dạng ($E'_c = 0,5 \cdot E_c$) tại thời điểm ứng suất kéo đạt giá trị tới hạn khi tính toán chuyển vị trên biên mặt tiếp xúc:

$$\varepsilon_r = \frac{1+\nu_c}{E'_c} \cdot \frac{q \cdot R^2}{R_0^2 - R^2} \left(1 - 2\nu_c - \frac{R_0^2}{r^2}\right) \quad (10)$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{1+\nu_c}{E'_c} \cdot \frac{q \cdot R^2}{R_0^2 - R^2} \left(1 - 2\nu_c + \frac{R_0^2}{r^2}\right) \quad (11)$$

Do chuyển vị là đạo hàm của biến dạng nên chúng ta có:

$$\varepsilon_r = \frac{\partial u_r}{\partial r} \quad (12)$$

$$\text{Suy ra: } u_r = \frac{1+\nu_c}{E'_c} \cdot \frac{q \cdot R^2}{R_0^2 - R^2} \left(1 - 2\nu_c + \frac{R_0^2}{R^2}\right) \cdot r \quad (13)$$

Khi xảy ra nứt thì:

$$\varepsilon_\theta|_{r=R} = \varepsilon_t \quad (14)$$

Với $\varepsilon_t = f_t/E'_c$ là giá trị biến dạng kéo tới hạn của bê tông; f_t là độ bền kéo của bê tông.

Giá trị áp lực trên mặt tiếp xúc giữa cốt thép và bê tông trước khi nứt được tính từ phương trình (11) như sau:

$$q = \frac{E'_c}{1+\nu_c} \cdot \frac{\varepsilon_t (R_0^2 - R^2)}{R^2} \cdot \frac{1}{1 - 2\nu_c + \frac{R_0^2}{R^2}} \quad (15)$$

Biến dạng của bê tông trên mặt tiếp xúc ($r = R$) theo phương trình (13) là:

$$\delta_c = u_r = \frac{1+\nu_c}{E'_c} \cdot \frac{q \cdot R^2}{R_0^2 - R^2} \left(1 - 2\nu_c + \frac{R_0^2}{R^2}\right) \cdot R \quad (16)$$

Biến dạng của gỉ sắt do áp lực q gây ra (Zhao and Jin, 2016):

$$\delta_s = \frac{n(1-\nu_r^2)R}{E_r} \cdot \frac{\sqrt{(n-1)\rho+1}}{[(1+\nu_r)n-2]+2/\rho} q \quad (17)$$

trong đó:

E_r và ν_r là mô đun đàn hồi và hệ số Poát-xông của gỉ sắt.

Theo Zhao và Jin (2016) có: $E_r = 100$ MPa, $\nu_r = 0,25$.

Thay các phương trình (4), (16) và (17) vào phương trình (5) được:

$$R + \frac{1+\nu_c}{E'_c} \cdot \frac{q \cdot R^2}{R_0^2 - R^2} \left(1 - 2\nu_c + \frac{R_0^2}{R^2}\right) \cdot R = R\sqrt{(n-1)\rho+1} - \frac{n(1-\nu_r^2)R}{E_r} \cdot \frac{\sqrt{(n-1)\rho+1}}{[(1+\nu_r)n-2]+2/\rho} q \quad (18)$$

Từ phương trình cân bằng (18) tính được giá trị của q như sau:

$$q = \frac{\sqrt{(n-1)\rho+1}-1}{\frac{1+\nu_c}{E'_c} \cdot \frac{R^2}{R_0^2 - R^2} \left(1 - 2\nu_c + \frac{R_0^2}{R^2}\right) + \frac{n(1-\nu_r^2)}{E_r} \cdot \frac{\sqrt{(n-1)\rho+1}}{[(1+\nu_r)n-2]+2/\rho}} \quad (19)$$

Đặt:

$$x = \sqrt{(n-1)\rho+1} \quad \text{suy ra: } \rho = \frac{x^2-1}{n-1} \quad (20)$$

$$A_1 = \frac{1+\nu_c}{E'_c} \cdot \frac{R^2}{R_0^2 - R^2} \left(1 - 2\nu_c + \frac{R_0^2}{R^2}\right)$$

$$A_2 = \frac{n(1-\nu_r^2)}{E_r}$$

$$A_3 = [(1+\nu_r)n-2]$$

Thay các giá trị trên vào phương trình (19) chúng ta được:

$$q = \frac{x-1}{A_1 + A_2 \cdot \frac{x}{A_3 + 2(n-1)/(x^2-1)}} \quad (21)$$

Biến đổi phương trình (20) được:

$$x^3(A_2q - A_3) + x^2(A_1A_3q + A_3) + x(A_3 - 2(n-1) - A_2q) + 2A_1q(n-1) + 2(n-1) - A_1A_3q - A_3 = 0 \quad (22)$$

Đặt:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= (A_1A_3q + A_3)/(A_2q - A_3) \\ \alpha_2 &= (A_3 - 2(n-1) - A_2q)/(A_2q - A_3) \\ \alpha_3 &= [2A_1q(n-1) + 2(n-1) - A_1A_3q - A_3]/(A_2q - A_3) \end{aligned}$$

Khi đó phương trình (21) sẽ trở thành:

$$x^3 + \alpha_1 \cdot x^2 + \alpha_2 \cdot x + \alpha_3 = 0 \quad (23)$$

Nghiệm của phương trình có dạng:

$$x = \frac{a}{3b} - b - \frac{\alpha_1}{3} \quad (24)$$

trong đó:

$$a = \alpha_2 - \frac{\alpha_1^2}{3} \quad (25)$$

$$b = \sqrt[3]{\frac{c}{2} \pm \sqrt{\frac{c^2}{4} + \frac{a^3}{27}}} \quad (26)$$

$$c = \alpha_3 + \frac{2\alpha_1^3 - 9\alpha_1\alpha_2}{27} \quad (27)$$

Sau khi tìm được giá trị của x sẽ tính được tốc độ ăn mòn cốt thép ρ theo (20) và tính được chiều sâu ăn mòn cốt thép d_s như công thức sau:

$$d_s = R(1 - \sqrt{1 - \rho}) \quad (28)$$

4. Kết luận

Quá trình ăn mòn cốt thép trong kết cấu bê tông cốt thép làm việc trong môi trường biển là một quá trình phức tạp bao gồm nhiều quá trình khác nhau: quá trình khuếch tán của ion Cl^- trong nước biển vào bê tông và tiếp cận tới cốt thép. Khi các ion Cl^- tiếp xúc với cốt thép sẽ xảy ra hiện tượng ăn mòn clorua. Quá trình ăn mòn cốt thép sinh ra gỉ sắt là các hợp chất có tính nở thể tích lớn nên gây ra áp lực tác động lên lớp bê tông phủ ngoài cốt thép. Sự tác động này sinh ra ứng suất kéo trong bê tông. Do cường độ chịu kéo của bê tông rất thấp so với cường độ chịu nén nên khi ứng suất kéo đạt tới giá trị cường độ kéo của bê tông sẽ gây nứt do kéo.

Với giả thiết toàn bộ thể tích của sản phẩm ăn mòn gây ra áp lực lên bê tông, bài báo đã sử dụng lời giải của bài toán ống thành dày chịu tải trọng phân bố đều bên trong để tính toán được chiều dày ăn mòn cốt thép d_s tại thời điểm gây nứt bê tông. Đây là cơ sở để tính toán được tuổi thọ làm việc của kết cấu bê tông cốt thép trong môi trường có ăn mòn clorua.

Tài liệu tham khảo

- Cao Duy Tiến và nnk, 2003. *Báo cáo tổng kết dự án Chống ăn mòn và bảo vệ các công trình bê tông và bê tông cốt thép vùng biển*. Viện Khoa học công nghệ Xây dựng.
- Nguyễn Nam Thắng, 2007. *Nghiên cứu ứng dụng canxi nitrit làm phụ gia ức chế ăn mòn cốt thép cho bê tông cốt thép trong điều kiện Việt Nam*. Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Viện Khoa học công nghệ Xây dựng.
- C. Suwito and Y. Xi, 2008. The effect of chloride-induced steel corrosion on service life of reinforced concrete structures. *Structure and Infrastructure Engineering*. Vol. 4, No. 3, pp. 177-192.
- H.S. Wong et. al., 2010. On the penetration of corrosion products from reinforcing steel into concrete due to chloride-induced corrosion. *Corrosion Science*. Vol. 52, pp. 2469-2480.
- T.K. Kim, S.J. Choi, J.H. Choi and J.H. Kim, 2019. Prediction of chloride penetration depth rate and diffusion coefficient rate of concrete from curing condition variations due to climate change effect. *International journal of Concrete Structures and Materials*. Vol. 13, Article number 15.
- Y. Xi, N. Abu-Hejleh, A. Asiz and A. Suwito, 2004. Performance evaluation of various corrosion protection systems of bridges in Colorado, Colorado Department of Transportation. *Report No. CDOT-DTD-R-2004-1*.
- Y. Liu and R.E. Weyers, 1998. Modeling the time-to-corrosion cracking in chloride contaminated reinforced concrete structures. *ACI Materials Journal*. Vol. 95, pp.675-680.
- Y. Zhao and W. Jin, 2016. *Steel corrosion - induced concrete cracking*. Published by Elsevier.

ABSTRACT

Study of the determining of the steel bars corrosion depth when the concrete cracks appear under marine environment

Nguyen Van Manh^{1,*}

¹*Hanoi University of Mining and Geology*

Chloride - induced corrosion is one of the most important deterioration mechanisms in reinforced concrete structure under marine environment. Chloride ions from seawater penetrate into concrete towards the surface of rebar. The concentration of chloride ions at the depth of rebar corrosion starts. The rust deposits in the interface transition zone between the rebar and the concrete. Since the rust normally has a volume greater than that of original steel and generate interface pressure. The interface pressure will also generate high tensile stress in concrete reaches the capacity of the tensile strength of concrete, the crack starts to form. This paper presents the method of calculating the steel bars corrosion depth at the time of the crack starts to form in the reinforced concrete structures based on the volume of rust and interface pressure. The result can then be used to estimate the service life of reinforced concrete structures.

Keywords: Corrosion; chloride ions; rebars; concrete; marine environment.

Dự báo tuổi thọ mới của các công trình cầu thép cũ trên đường sắt ở Việt Nam

Đoàn Bảo Quốc^{1,*}, Bùi Đức Dũng¹, Nguyễn Đức Hiếu², Trần Thế Truyền¹

¹ Trường Đại học Giao thông Vận tải

² Trường đại học Giao thông Vận tải, Phân hiệu tại Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Các công trình cầu bằng thép ở Việt Nam trong đó có các công trình cầu đường sắt có tuổi khai thác khá lớn; có những công trình cầu lên đến gần 100 năm. Việc đánh giá khả năng khai thác còn lại của các công trình cầu này dựa trên nguy cơ phá hoại do mỏi của thép là một trong những tiêu chí quan trọng; đặc biệt là khi trên bộ phận kết cấu công trình có tiềm ẩn các vết nứt phát sinh do quá trình khai thác dài hạn. Bài báo này góp phần phân tích đặc điểm phá hoại mỏi của cấu kiện dầm thép điển hình trên các công trình cầu đường sắt, làm cơ sở cho tính toán dự báo tuổi thọ mới của công trình. Cơ học rạn nứt được sử dụng với giả định tồn tại vết nứt có trước trong kết cấu dầm thép. Tuổi thọ công trình được đánh giá thông qua số chu kỳ tải trọng làm cho vết nứt có sẵn lan truyền đến giá trị giới hạn gây phá hoại kết cấu dầm thép. Kết quả có được sẽ là cơ sở cho việc đề xuất tải trọng khai thác với số chu kỳ giới hạn, cũng như có các biện pháp tăng cường cho kết cấu công trình.

Từ khóa: Dầm thép; cơ học rạn nứt; vết nứt; chu kỳ tải; mỏi; tuổi thọ; mô hình dự báo; cầu đường sắt.

1. Đặt vấn đề

Tuyến đường sắt Hà Nội - TP Hồ Chí Minh được xây dựng từ đầu thế kỷ 20, đến nay đã được hơn 100 năm khai thác sử dụng. Bên cạnh các công trình cầu bê tông cốt thép bị xuống cấp đáng kể do bê tông suy giảm chất lượng; các công trình cầu thép trên tuyến đường sắt quốc gia này cũng đã có tuổi thọ khai thác lớn; nhiều hư hỏng có thể kiểm tra bằng mắt thường như han gỉ thép, giảm yếu tiết diện, nghiêng lệch biến dạng kết cấu, các đường nứt... Các hư hỏng này tiềm ẩn các nguy cơ ảnh hưởng đến tuổi thọ khai thác của các công trình cầu.

Một trong các hư hỏng có thể gây suy giảm tuổi thọ công trình theo tiêu chí độ bền mỏi là sự xuất hiện các đường nứt trên vật liệu thép. Các vết nứt có liên quan đến quá trình gia công chế tạo kết cấu liên quan đến như quá trình tạo mối hàn, quá trình gia công nguội tạo lỗ khoan trên kết cấu thép quá trình cắt nhiệt. Đối với các công trình cầu cũ đang khai thác, các vết nứt có thể xuất hiện do hiện tượng ăn mòn, do chịu tác động của tải trọng lặp đủ lớn. Đặc biệt là với các công trình cầu cũ ở khu vực ven biển, vùng nguy cơ bị ăn mòn cao; theo thời gian, thép bị ăn mòn làm xuất hiện các vết nứt; các vết nứt do ăn mòn này có hình dạng và mức độ phức tạp. Nếu không có giải pháp khảo sát đánh giá cẩn thận thì khi có tác động cộng hưởng của tải trọng sẽ có nguy cơ cao gây suy giảm độ bền mỏi của công trình.

Việc đánh giá khả năng khai thác còn lại của các công trình cầu này dựa trên nguy cơ phá hoại do mỏi của thép là một trong những tiêu chí quan trọng; đặc biệt là khi trên bộ phận kết cấu công trình có tiềm ẩn các vết nứt phát sinh do quá trình khai thác dài hạn. Bài báo này góp phần phân tích đặc điểm phá hoại mỏi của cấu kiện dầm thép điển hình trên các công trình cầu đường sắt, làm cơ sở cho tính toán dự báo tuổi thọ mới của công trình cầu đường sắt ở Việt Nam.

2. Lý thuyết cơ học rạn nứt và đánh giá độ bền mỏi của kết cấu thép

2.1. Giới thiệu chung

Cơ học rạn nứt là lý thuyết cho phép phân tích trạng thái phá hủy dần do hiện tượng mỏi. Có 2 tiếp cận chính về lý thuyết cơ học rạn nứt:

- Tiếp cận theo cơ học rạn nứt đàn hồi tuyến tính (LEFM – Linear Elastic Fracture Mechanics) phù hợp giả thuyết tại khu vực nứt thép được coi là dòn, khi đó các đặc trưng nứt và điều kiện lan truyền nứt hoàn toàn được mô phỏng theo lý thuyết cơ bản của cơ học rạn nứt có xét đến các đặc điểm về hình học được suy ra từ thực nghiệm.

* Tác giả liên hệ

Email: quocutc.nd@gmail.com

- Các tiếp cận phi tuyến về lan truyền nứt (NFM – Nonlinear Fracture Mechanics) có xét đến sự phát triển của một vùng có ứng xử phi tuyến cục bộ đầu đường nứt (có thể là vùng dẻo hoặc vùng phá hủy giòn) cho phép mô tả chính xác hơn.

Tại những vị trí vết nứt do môi gây ra thép bị mất tính dẻo hay bị giòn nên cơ học rạn nứt đàn hồi tuyến tính (LEFM) là một công cụ hữu ích để dự đoán tuổi thọ lan truyền vết nứt môi. Mô hình Paris's là mô hình được sử dụng rộng rãi nhất trong cơ học rạn nứt đàn hồi tuyến tính để dự đoán sự phát triển vết nứt. Trong mô hình này, phạm vi của hệ số cường độ ứng suất (ΔK) là yếu tố chính thúc đẩy sự phát triển vết nứt với hai tham số C và m phản ánh các tính chất vật liệu:

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m \quad (1)$$

Trong đó:

a là kích thước ban đầu của vết nứt;

N là số chu kỳ tác dụng;

C và m là hệ số, phụ thuộc vào tính chất của vật liệu;

ΔK là chênh lệch hệ số cường độ ứng suất ($\Delta K = K_{\max} - K_{\min}$).

2.2. Hệ số cường độ ứng suất

Đối với kết cấu khai thác có vết nứt, mức độ mạnh, yếu của trường ứng suất tại chóp vết nứt, có thể dùng một tham số cơ học phá hủy gọi là hệ số cường độ ứng suất K để tính toán.

Hệ số cường độ ứng suất được phát triển bởi George R Irwin vào năm 1957. Hệ số cường độ ứng suất K được xác định trong công thức:

$$K = \beta \sigma \sqrt{\pi a} \quad (2)$$

Trong đó:

σ là ứng suất tác dụng;

a là chiều sâu vết nứt;

β là hệ số không có thứ nguyên phụ thuộc vào hình dạng của mẫu hoặc thành phần kết cấu. Một đặc điểm quan trọng mà phương trình này minh họa là phân bố ứng suất xung quanh chóp vết nứt có thể được mô tả như là một hàm tuyến tính. Nó có thể là hằng số, có thể là hàm của "a"; "a" là kích thước vết nứt.

2.3. Hệ số cường độ ứng suất giới hạn (Độ bền rạn nứt)

Hệ số cường độ ứng suất tới hạn (hay còn gọi là Độ bền rạn nứt) là giá trị đặc trưng cho hệ số cường độ ứng suất lớn nhất khi vết nứt ổn định và được kí hiệu K_{IC} . Tùy vào các loại hình thành và phát triển nứt thì có hệ số cường độ giới hạn tương ứng K_I (K_{IC}), K_{II} (K_{IIC}), K_{III} (K_{IIIC}).

Bất luận hình thức kết cấu và loại hình vết nứt nào thì hệ số cường độ ứng suất K đều phải thỏa mãn yêu cầu $K \leq K_c/n$ thì mới đảm bảo không bị phá hủy. Trong đó, K_c là độ bền rạn nứt, trị số của nó có thể dùng thử nghiệm cơ học rạn nứt tiêu chuẩn đo được, n là hệ số an toàn.

Đối với kết cấu chịu tải trọng biến động, theo lý thuyết cơ học rạn nứt có thể chia ra hai loại sau để xử lý:

+ Nếu số gia hệ số cường độ ứng suất $\Delta K < \Delta K_c$ thì vết nứt sẽ không tiếp tục phát triển; ΔK_c là trị số tới hạn của vết nứt phát triển thêm, có thể dùng thử nghiệm tiêu chuẩn để xác định.

+ Nếu số gia hệ số cường độ ứng suất $\Delta K > \Delta K_c$ thì vết nứt sẽ tiếp tục phát triển từ từ theo một quy luật nào đó. Nhưng trước khi kích thước a của vết nứt phát triển tới kích thước tới hạn a_{crit} , thì kết cấu sẽ không phát sinh mất ổn định hoặc bị phá hủy.

2.4. Mô hình dự báo tuổi thọ môi có xét đến vết nứt trước

Thời gian sử dụng còn lại được tính dựa trên tốc độ lan truyền vết nứt (phương trình (1)). Kích thước vết nứt giới hạn được tính toán dựa trên hệ số cường độ ứng suất giới hạn và ứng suất lớn nhất tác dụng (suy ra từ công thức (2)):

$$a_{crit} = \frac{K_c}{\pi \beta^2 \sigma^2} \quad (3)$$

Thay công thức (2) vào (1) và biến đổi để tính toán số lượng chu kỳ phá hủy.

$$N_f = \int_{a_0}^{a_{crit}} \frac{da}{C(\Delta \sigma \beta \sqrt{\pi a})^m} \quad (4)$$

Phương trình (4) sau khai triển tích phân,

$$N_f = \frac{a_{crit}^{1-\frac{m}{2}} - a_0^{1-\frac{m}{2}}}{C \left(1 - \frac{m}{2}\right) (\Delta \sigma \beta \sqrt{\pi})^m} \quad (5)$$

Kích thước vết nứt, sau số chu kỳ ứng suất N, có thể được tính toán bằng:

$$a_n = \left(NC \left(1 - \frac{m}{2} \right) (\Delta\sigma\beta\sqrt{\pi})^m + a_0^{1-\frac{m}{2}} \right)^{\frac{2}{2-m}} \quad (6)$$

Do đó, thời gian tích lũy vết nứt từ thời gian lan truyền vết nứt mới được viết bằng phần trăm của tuổi thọ môi bằng cách chia kích thước vết nứt hiện tại, cho kích thước vết nứt giới hạn tại thời điểm phá hủy.

$$d_{\text{propagation}} = \frac{a_n}{a_{\text{crit}}} \quad (7)$$

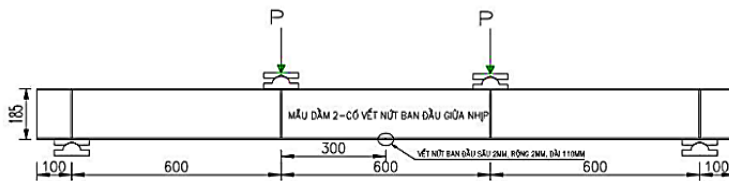
Thời gian sử dụng còn lại có thể được xác định bằng cách xác định từ chu kỳ phá hủy còn lại N_f

$$t = \frac{N_f}{N_0} \quad (\text{năm}) \quad (8)$$

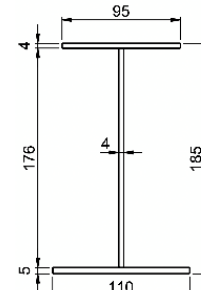
Trong đó: N_0 là chu kỳ tính toán dựa trên số liệu thống kê thực thể của kết cấu trong 1 năm.

3. Áp dụng tính toán dự báo tuổi thọ môi kết cấu dầm cầu bằng thép khi có vết nứt trước dưới tác dụng của tải trọng môi

Kết quả nghiên cứu lý thuyết mà tác giả đã trình bày ở trên sẽ được áp dụng để tính toán dự báo tuổi thọ môi cho một kết cấu dầm cầu bằng thép thu nhỏ của các công trình cầu thép trên tuyến đường sắt Việt Nam, với giả định có một vết nứt ban đầu. Vết nứt trước được tạo mới bằng phương pháp cơ học. Kết quả tính toán trong bài báo này sẽ là kết quả để tác giả đối chứng, so sánh với kết quả nghiên cứu thực nghiệm trong các nghiên cứu sau. Các thông số cơ bản của dầm thép như Hình 1 và 2.



Hình 1. Kích thước dầm tính toán



Hình 2. Kích thước mặt cắt dầm

Hệ số và chỉ số “c” và “m” phụ thuộc vào tính chất của vật liệu và nó có thể được xác định bằng thực nghiệm. Và hệ số điều chỉnh hình dạng β phụ thuộc vào hình dạng của cấu kiện và khuyết tật. Và do chưa có điều kiện để thí nghiệm vật liệu, nên trong nghiên cứu này, tác giả tham khảo các thông số cơ học cơ bản của vật liệu thép cùng với các hệ số đặc trưng trong cơ học rạn nứt từ luận án tiến sĩ “Nghiên cứu đánh giá độ bền mỏi và tuổi thọ môi của khung giá chuyển hướng và trục bánh xe của đầu máy D19E vận dụng trên đường sắt Việt Nam” của Phạm Lê Tiến, được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông số vật liệu

Giới hạn chảy	$\sigma_y = 370 \text{ MPa}$
Giới hạn bền	$\sigma_b = 700 \text{ MPa}$
Giới hạn mỏi	$\sigma_f = 347 \text{ MPa}$
Mô đun đàn hồi	$E = 2,112 \times 10^5 \text{ MPa}$
Giá trị giới hạn của hệ số cường độ ứng suất	$K_{IC} = 25 \text{ MPa.m}^{0.5}$
Hằng số phụ thuộc tính chất vật liệu	$C = 2,62724 \times 10^{-10}$
	$m = 2,6436$
Hệ số điều chỉnh hình dạng β	$\beta = 1,814$

Biên độ ứng suất $\Delta\sigma$ là dữ liệu rất quan trọng và cần thiết trong nghiên cứu đánh giá tuổi thọ môi được xác định theo định luật Paris’s và chúng ta có thể lấy dữ liệu này từ phân tích phần tử hữu hạn cho một kết cấu dầm.

Để có được biên độ ứng suất $\Delta\sigma$ tác động tới kết cấu dầm. Tác giả thực hiện tính toán, phân tích ứng suất kết cấu dầm bằng phương pháp phân tích phần tử hữu hạn ở trạng thái dầm được gia tải và dỡ tải.

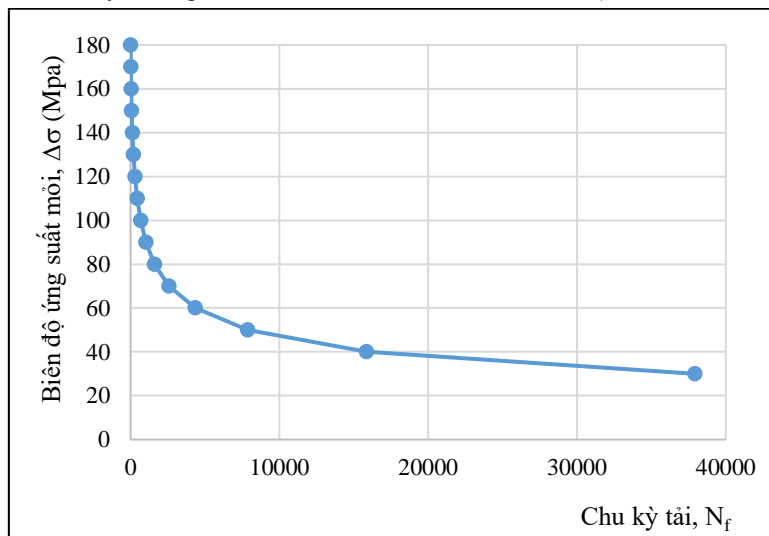
Việc phân tích mối quan hệ giữa biên độ ứng suất, kích thước vết nứt ban đầu, kích thước vết nứt tới hạn và số chu kỳ tải còn lại (tuổi thọ môi) được tác giả thực hiện bằng cách đưa ra một dải các biên độ ứng suất từ 30-160 MPa dựa trên cơ sở giá trị ứng suất lớn nhất nhất trong dầm (tại bản cánh dưới của dầm) từ tính toán của Hồ Sĩ Vị ($\sigma_{\text{max}} = 143 \text{ MPa}$) và kích thước vết nứt ban đầu thay đổi từ 0,1-2mm

Áp dụng công thức (3) và (5) ta xác định kích thước vết nứt giới hạn và số chu kỳ còn lại theo các dải biên độ ứng suất, được trình bày trong bảng 2.

Bảng 2. Kết quả tính toán a_{crit} , N_f với $a_0 = 2mm$

$\Delta\sigma$ (MPa)	a_{crit} (mm)	N_f (chu kỳ)	$\Delta\sigma$ (MPa)	a_{crit} (mm)	N_f (chu kỳ)
30	67,2	37919	100	6,0	675
40	37,8	15839	110	5,0	447
50	24,2	7870	120	4,2	295
60	16,8	4350	130	3,6	192
70	12,3	2579	140	3,1	120
80	9,4	1604	150	2,7	70
90	7,5	1030	160	2,4	34

Từ các kết quả trình bày ở bảng 2. Số chu kỳ tải còn lại (Tuổi thọ mỗi) được biểu diễn như hình 3.



Hình 3. Biểu đồ biểu diễn biên độ ứng suất mỗi và chu kỳ tải còn lại

Từ Hình 3 cho thấy, biên độ ứng suất càng cao, số chu kỳ chịu tải còn lại của kết cấu dầm thép càng nhỏ.

Khi dải biên độ ứng suất nhỏ hơn 60MPa, kết quả tính cho số chu kỳ chịu tải còn lại lớn, và giảm nhẹ khi biên độ ứng suất tăng. Cụ thể, khi biên độ ứng suất tăng 2 lần từ 30-60MPa thì số chu kỳ tải còn lại giảm 8,72 lần.

Khi dải biên độ ứng suất tăng, lớn hơn 60Mpa, số chu kỳ chịu tải còn lại nhỏ và giảm mạnh. Cụ thể, khi biên độ ứng suất tăng 2 lần từ 60-120MPa thì số chu kỳ tải còn lại giảm 14,75 lần. Và số chu kỳ tải bị coi là rất nhỏ khi phải chịu biên độ ứng suất là 160MPa. Kết quả này sẽ dẫn đến việc, kết cấu bị phá hoại nhanh chóng.

Tính toán tương tự như trường hợp xét đến dải biên độ ứng suất thay đổi, kết quả tính toán số chu kỳ tải còn lại theo kích thước vết nứt ban đầu a_0 thay đổi từ 0,1-2mm ở điều kiện biên độ ứng suất $\Delta\sigma = 90$ MPa được thể hiện trong Hình 4.

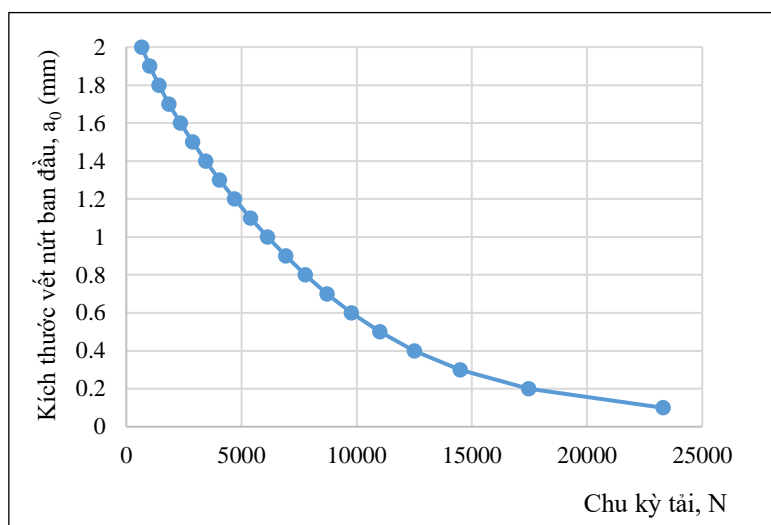
Hình 4 cho thấy, kích thước vết nứt ban đầu ảnh hưởng lớn đến tuổi thọ mỗi của kết cấu dầm thép. Kích thước vết nứt ban đầu lớn, sẽ dẫn đến kết quả tuổi mỗi nhỏ. Tốc độ tăng kích thước vết nứt ban đầu, tỉ lệ thuận với tốc độ giảm của tuổi thọ mỗi. Cụ thể khi kích thước vết nứt ban đầu tăng 10 lần từ 0,2-2mm thì số chu kỳ tải còn lại giảm 21 lần.

Điều này cho thấy tuổi thọ mỗi của kết cấu dầm rất nhạy cảm với kích thước vết nứt ban đầu. Việc tìm ra và khắc phục, xử lý kịp thời các vết nứt ban đầu sẽ có ý nghĩa rất quan trọng trong khai thác kết cấu chịu tác động của tải trọng lặp.

4. Kết quả và thảo luận

Bằng cách thay đổi các giá trị của tham số a_0 và a_{crit} , chúng ta có thể ước tính tương ứng tuổi thọ thiết kế và tuổi thọ còn lại của kết cấu dầm thép trong giai đoạn khai thác, đồng thời có được đánh giá toàn diện hơn về tuổi thọ. Phương pháp cụ thể là: ta có thể tính toán ứng suất trên kết cấu dầm bằng phương pháp phần tử hữu hạn, sau đó tính kích thước vết nứt tới hạn a_{crit} , Khi a_0 là kích thước vết nứt ban đầu, a_{crit} là

kích thước vết nứt giới hạn, chúng ta có thể nhận được tuổi thọ thiết kế; khi a_0 là kích thước vết nứt hiện tại, a_{crit} là kích thước vết nứt tới hạn, và chúng ta có thể nhận được tuổi thọ còn lại; khi a_0 là kích thước vết nứt ban đầu, a_{crit} là kích thước vết nứt hiện tại, và chúng ta có thể có được thời hạn sử dụng.



Hình 4. Biểu đồ biểu diễn kích thước vết nứt ban đầu và chu kỳ tải còn lại

Tuổi thọ của dầm thép rất nhạy cảm với kích thước vết nứt ban đầu. Qua tính toán và so sánh trên cho thấy rằng khi kích thước vết nứt ban đầu thay đổi từ 0,1mm đến 2,0mm thì tuổi thọ giảm 175%. Điều này cho thấy vết nứt ban đầu có ảnh hưởng quyết định đến tuổi thọ nghiên cứu, để có được tuổi thọ thiết kế chính xác, chúng ta phải phát hiện chính xác vết nứt ban đầu của nó, và cần nâng cao độ chính xác của phương pháp kiểm tra không phá hủy.

Từ kết quả tính được số chu kỳ còn lại mà kết cấu chịu được đến khi đạt tới kích thước vết nứt giới hạn. Cùng với số liệu khảo sát, đo đạc được thực tế số chu kỳ trong 1 đơn vị thời gian tương ứng với biên độ ứng suất tính toán. Ta sẽ xác định được thời gian khai thác còn lại. Khi thời gian này là rất nhỏ so với tuổi thọ thiết kế thì cần dừng khai thác và có các giải pháp sửa chữa kịp thời.

Tài liệu tham khảo

- Dawari, V.B., Vesmawala, G. R., 2014. Application of nonlinear concrete model for finite element analysis of reinforced concrete beams. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5-9.
- Halahla, Abdulsamee M, 2019. Identification of Crack in Reinforced Concrete Beam Subjected to Static Load Using Non-linear Finite Element Analysis. *Civil Engineering Journal*, 5.7: 1631-1646.
- Pilkey, Walter D., 2005. *Formuals for Stress, Strain, and Structural Matrices*. Vol. 2. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Schijve, Jaap, 2009. *Fatigue of Structures and Materials*. Vol. Second Edition. Netherlands: Springer Science + Business Media B.V.
- Zerbst, U., Madia, M., Vormwald, M., Beier, H.Th., 2017. Fatigue Strength and Fracture Mechanics – A General Perspective, *Engineering Fracture Mechanics*.
- Willam, Kaspar J., 1975. *Constitutive model for the triaxial behaviour of concrete*. Proc. Intl. Assoc. Bridge Structl. Engrs, 19: 1-30.
- Phạm Lê Tiến, 2011. *Nghiên cứu đánh giá độ bền mỏi và tuổi thọ mỏi của khung giá chuyển hướng và trục bánh xe của đầu máy D19E vận dụng trên đường sắt Việt Nam*, Luận án Tiến sĩ, 2011.
- Hồ Sĩ Vĩ, Nguyễn Danh Thắng, Hồ Thu Hiền, 2017. Ảnh hưởng của ăn mòn dầm thép đến khả năng chịu lực của cầu thép – bê tông cốt thép liên hợp giản đơn dưới tác dụng của hoạt tải xe, *Tạp chí Khoa học Đại học Thủ Dầu Một*, Số 1(32)-2017.

ABSTRACT

Forecast fatigue life of old steel bridges on railway in Vietnam

Doan Bao Quoc^{1,*}, Bui Duc Dung¹, Nguyen Duc Hieu², Tran The Truyen¹

¹ *University of Transport and Communications*

² *University of Transport and Communications Campus in Ho Chi Minh City*

Steel bridge works in Vietnam, including railway bridges with a relatively large age; there are bridges up to nearly 100 years. Evaluating the remaining exploitation capacity of these bridges based on the risk of fatigue damage of steel is one of the important criteria; especially when there is potential for cracks on the structural part of the building due to long-term exploitation. This paper contributes to the analysis of fatigue damage characteristics of typical steel girder structures on railway bridge constructions, as the basis for the calculation of the project's fatigue life forecast. Mechanism of cracking is used assuming pre-existing crack in a steel beam structure. Building life is assessed through the number of load cycles that make available cracks propagate to limit values that cause damage to the steel beam structure. The results obtained will be the basis for proposing the operational load with a limited number of cycles, as well as for reinforcement measures for the structure.

Keywords: Steel beams; mechanical cracks; cracks; load cycles; fatigue; longevity; predictive modeling; railway bridges.

Ảnh hưởng của hàm lượng tro bay thay thế xi măng đến cường độ của bê tông

Nguyễn Chí Thành^{1,*}, Đỗ Ngọc Thái¹, Đặng Văn Kiên¹

¹ Trường Đại học Mở - Địa chất

TÓM TẮT

Hiện nay, để phục vụ nhu cầu về năng lượng cho việc phát triển kinh tế ở Việt Nam, rất nhiều nhà máy nhiệt điện sử dụng than đã được xây dựng và đi vào hoạt động. Các nhà máy nhiệt điện này đã và đang thải ra ngoài môi trường một lượng tro bay lớn được tạo thành trong quá trình cháy của than trong nhà máy nhiệt điện và thuộc loại chất thải rắn. Bài báo này trình bày nghiên cứu, sử dụng tro bay trong thành phần cấp phối của bê tông xi măng (BTXM) để sử dụng khi thi công các công trình. Việc sử dụng tro bay trong thành phần cấp phối bê tông xi măng sẽ đạt được hai mục đích: mục đích thứ nhất là tận dụng được lượng chất thải tro bay rất lớn như đã nêu ở trên, làm sạch môi trường và mục đích thứ hai là tiết kiệm được nguồn nhiên liệu để chế tạo xi măng sử dụng trong các cấp phối BTXM, từ đó có thể làm giảm giá thành xây dựng của các công trình. Bài báo đã tiến hành phân tích nguyên lý làm việc của tro bay trong cấu trúc của hỗn hợp bê tông và thực hiện việc nghiên cứu, chế tạo một số mẫu cấp phối bê tông tro bay và sử dụng các thí nghiệm với các phương tiện hiện đại để kiểm tra tính chất cơ lý của các mẫu cấp phối bê tông tro bay này. Từ các kết quả thu được, đưa ra một số tỷ lệ cấp phối của tro bay với các cốt liệu chế tạo thành hỗn hợp bê tông xi măng tro bay (BTXMTB) để hỗn hợp bê tông tro bay có thể đạt được tính chất cơ lý như mong muốn.

Từ khóa: Bê tông; xi măng; tro bay; cấp phối.

1. Đặt vấn đề

Bê tông xi măng từ lâu đã trở thành một loại vật liệu không thể thiếu trong thi công các công trình xây dựng, đặc biệt là với các công trình đòi hỏi thời gian tồn tại lâu và chịu nhiều ảnh hưởng, tác động của môi trường. Tuy nhiên, để có thể chế tạo được bê tông xi măng với các yêu cầu kỹ thuật như trên thì điều kiện tiên quyết là phải đảm bảo được hàm lượng xi măng cũng như tính chất của xi măng đúng theo yêu cầu thiết kế. Hiện nay, việc chế tạo và sử dụng xi măng gây ra sự ảnh hưởng rất lớn đến môi trường và điều kiện sống của cư dân xung quanh các khu vực khai thác và chế biến xi măng. Để giải quyết được vấn đề này, việc nghiên cứu và sử dụng các loại vật liệu khác thay thế cho xi măng đã và đang được tập trung đẩy mạnh. Một trong những loại vật liệu được dùng để thay thế cho xi măng là tro bay trong các nhà máy nhiệt điện. Đây là giải pháp thỏa mãn được rất nhiều yêu cầu như: giảm thiểu tác động đến môi trường (vì tro bay cũng là một yếu tố lớn gây ra ô nhiễm môi trường do kích cỡ hạt của tro bay rất nhỏ có thể tác động mạnh vào các hệ động và thực vật chịu ảnh hưởng), giảm giá thành chế tạo bê tông (do giá thành của tro bay là khá rẻ so với giá thành của xi măng). Đã có rất nhiều các nghiên cứu trong và ngoài nước về việc thay thế xi măng bằng tro bay trong cấp phối chế tạo bê tông xi măng. Có thể thấy được điều này thông qua các công bố của các tác giả: Nguyễn Đức Trọng và những người khác (2017); Đinh Quốc Dân và những người khác (2019); Nguyễn Lê Thị (2018); C.S. Poon. L. et al., (2000); Heidrich, C. (2005), Qiang Wang. Jingjing Feng. Peiyu Yan (2012); E. Sakai. et al., (2005), ... Tuy nhiên, để có thể sử dụng tro bay vào thực tế nhằm thay thế một phần lớn lượng xi măng trong việc chế tạo hỗn hợp bê tông, cần phải có những nghiên cứu cụ thể với từng loại tro bay do với mỗi loại tro bay lại có những thành phần khoáng vật khác nhau. Bài báo này tập trung nghiên cứu, phân tích cơ chế làm việc của tro bay trong hỗn hợp bê tông xi măng cũng như tiến hành tính toán cấp phối cho một mác bê tông xi măng có sử dụng tro bay cụ thể (tro bay của nhà máy nhiệt điện Phả Lại, Quảng Ninh), để tìm ra được hàm lượng tro bay thích hợp có thể thay thế được xi măng, tiến hành các thí nghiệm để kiểm tra tính chất của hỗn hợp bê tông xi măng có sử dụng tro bay nhằm kiểm chứng cấp phối mới tính toán là hợp lý.

* Tác giả liên hệ

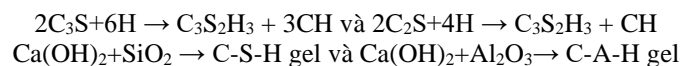
Email: nguyenthanh.xdctn47@gmail.com

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp thí nghiệm

2.1. Cơ chế làm việc của tro bay trong hỗn hợp bê tông xi măng

Khi sử dụng tro bay trong hỗn hợp bê tông xi măng với mục đích làm giảm một phần xi măng, tro bay sẽ ảnh hưởng đến quá trình và sản phẩm thủy hóa của hồ xi măng xảy ra trong quá trình chế tạo hỗn hợp bê tông thông qua phản ứng pozzolanic, là phản ứng giữa silica hoạt tính và Ca(OH)_2 trong xi măng với nước để hình thành chuỗi C-H-S. Đây là phản ứng quan trọng nhất của hỗn hợp xi măng - tro bay. Ngoài ra hàm lượng oxit nhôm (Al_2O_3) trong tro bay cho vào hỗn hợp bê tông xi măng khá cao sẽ làm hình thành các sản phẩm thủy hóa khác trong hỗn hợp bê tông xi măng-tro bay: canxi aluminat hydrate C_4AH_{19} , gehlenite hydrate C_2ASH_8 , ettringite và canxi monosulfo aluminat. Khả năng xảy ra phản ứng thủy hóa cũng như hiệu quả của phản ứng thủy hóa tùy thuộc vào nồng độ các ion canxi, alkali, sunphat và aluminat có trong tro bay và xi măng.

Hai phản ứng chính xảy ra trong hỗn hợp bê tông xi măng-tro bay trong quá trình thủy hóa có thể kể đến là:



Theo các nghiên cứu của các nhà khoa học (Nguyễn Lê Thi, 2018), nhiệt độ bảo dưỡng cũng như độ ẩm bảo dưỡng ảnh hưởng rất nhiều đến cường độ của hỗn hợp bê tông xi măng-tro bay. Theo nghiên cứu, nếu hàm lượng tro bay càng ít và được bảo dưỡng trong môi trường dưỡng nhiệt ẩm thì tốc độ phản ứng đặc trưng của tro bay trong quá trình thủy hóa sẽ tăng lên. Cũng theo các nghiên cứu trên, tốc độ này sẽ giảm sau 28 ngày dưỡng nhiệt ẩm. Có thể kết luận, với hàm lượng tro bay thay thế xi măng càng cao trong hỗn hợp bê tông xi măng thì thời gian để phản ứng thủy hóa xảy ra và hoàn thành trong bê tông xi măng-tro bay càng lớn.

2.2. Vật liệu sử dụng trong cấp phối bê tông xi măng-tro bay đang nghiên cứu

Bài báo này tính toán việc cấp phối bê tông xi măng tro bay với mác 200 với độ sụt 2-4 cm. Các loại vật liệu sử dụng cho cấp phối bê tông xi măng-tro bay này bao gồm:

Xi măng Vicem Sơn La PCB30 có cường độ nén ở 28 ngày đạt cường độ 33 MPa. Các tiêu chuẩn kỹ thuật khác của xi măng đạt tiêu chuẩn TCVN 2682-2009.

Các cốt liệu nhỏ gồm cát vàng Sông Lô với modul độ lớn của cát là 2.15. Tỷ trọng thể tích của cát là 2.599 T/m^3 ;

Cốt liệu lớn sử dụng đá kích cỡ 1x2 cm, đá có nguồn gốc từ mỏ đá Phú Lý, Hà Nam. Tỷ trọng thể tích của đá là 2.763 T/m^3 ;

Tro bay được lấy từ nhà máy nhiệt điện Phả Lại, Hải Dương với khối lượng riêng 2.275 T/m^3 . Trên cơ sở các tính chất của vật liệu nói trên, nhóm tác giả đã tiến hành tính toán và đưa ra cấp phối cho bê tông xi măng tro bay theo Bảng 1.

Bảng 1. Thành phần cấp phối vật liệu cho 1m^3 hỗn hợp bê tông xi măng-tro bay, mác 200, tỷ lệ tro bay 20% so với xi măng

Loại	Tên gọi	Đơn vị	Khối lượng	Tỷ lệ
Xi măng	PCB 30 Vicem Sơn La	Kg	290	1.0
Cát	Sông Lô	Kg	680	2.34
Đá	Phú Lý-Hà Nam	Kg	1200	4.13
Tro bay	Phả Lại	Kg	60	0.2
Nước	Sinh hoạt	lít	190	0.65

2.3. Tiến hành phối trộn chế tạo các mẫu thí nghiệm

Trên cơ sở tính toán thành phần cấp phối lý thuyết cho hỗn hợp bê tông xi măng tro bay như Bảng 1, tiến hành phối trộn vật liệu đúng tiêu chuẩn thực hiện thí nghiệm xác định độ sụt của hỗn hợp bê tông. Sau đó chế tạo mẫu bê tông xi măng-tro bay sử dụng các hàm lượng tro bay khác nhau thay thế xi măng trong thành phần chất kết dính (với các tỷ lệ của tro bay/xi măng là 15%; 20%; 25%). Lần lượt thí nghiệm xác định cường độ chịu nén (R_n) của mẫu thí nghiệm sau khi bảo dưỡng ở tuổi 3, 7 và 28 ngày. Đồng thời, đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng tro bay đến tính chất của bê tông xi măng tro bay và từ đó rút ra kết luận. Các dạng mẫu bê tông xi măng tro bay được chế tạo để thực hiện quá trình thí nghiệm này bao gồm: Mẫu hình lập phương kích thước 10x10x10 (cm) cùng với các mẫu lăng trụ kích thước 15x30 (cm) để xác định cường độ chịu nén (R_n), mẫu hình chữ nhật kích thước 10x10x40 (cm) để kiểm tra độ bền kéo khi uốn của bê tông xi măng tro bay (ở 28 ngày).

Các mẫu thí nghiệm sau khi đúc được bảo dưỡng trong vòng 24 giờ ở nhiệt độ $27 \pm 2^\circ\text{C}$ trong khuôn thép (hình trụ và hình lập phương với thí nghiệm xác định cường độ giới hạn bền nén và khuôn mẫu tạo đầm bê tông theo đúng TCVN 3119:1993) trước khi được ngâm trong nước với nhiệt độ nước duy trì ở $27 \pm 2^\circ\text{C}$, độ ẩm 90-100% cho đến ngày thực hiện các đợt thí nghiệm.

Sử dụng máy móc thí nghiệm tại phòng thí nghiệm của khoa Xây dựng, Đại học Mỏ-Địa chất và các tiêu chuẩn hiện hành (TCVN 3118-1993, TCVN 3119-1993, TCVN 5726-1993,...) để thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý của bê tông xi măng tro bay (BTXMTB).



Hình 1. Quá trình tính toán cấp phối và phối trộn các mẫu bê tông xi măng tro bay (BTXMTB)



Hình 2. Chế tạo mẫu bê tông xi măng tro bay (BTXMTB)



Hình 3. Mẫu BTXMTB hình trụ bị phá hủy sau khi nén đơn trục (sử dụng thiết bị ADVANCEDTEST 9)



Hình 4. Mẫu BTXMTB hình lập phương bị phá hủy sau khi nén đơn trục (sử dụng thiết bị ADVANCEDTEST 9)



Hình 5. Mẫu BTXMTB trước khi uốn (sử dụng thiết bị ADVANCEDTEST 9)



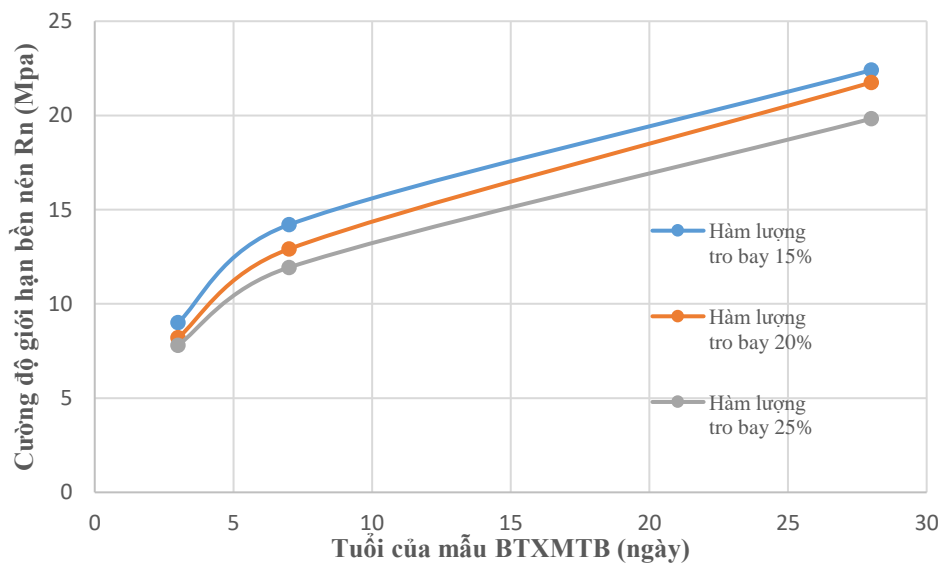
Hình 6. Mẫu BTXMTB bị phá hủy sau khi uốn đơn trục (sử dụng thiết bị ADVANCEDTEST 9)

3. Kết quả và thảo luận

Tiến hành các thí nghiệm kiểm tra độ sụt của mẫu bê tông xi măng tro bay khi tạo xong hỗn hợp bê tông xi măng tro bay. Tiếp theo, kiểm tra cường độ nén đơn trục ở thời điểm 3 ngày, 7 ngày và 28 ngày cũng như một số thí nghiệm để xác định cường độ uốn của mẫu bê tông xi măng tro bay tại thời điểm 28 ngày. Tiến hành đánh giá các kết quả thí nghiệm thu được từ các tổ mẫu đã chế tạo và bảo dưỡng. Thu được một số các kết quả như sau:

Với bê tông xi măng tro bay có hàm lượng tro bay/xi măng là 15% thì độ sụt của hỗn hợp bê tông chỉ có thể đạt được 2-6 cm khi lượng nước tăng lên 195 lít/m³; với hàm lượng tro bay/xi măng là 20%, để đạt độ sụt 2-6 cm thì lượng nước là 190 lít/m³; với hàm lượng tro bay/xi măng là 25%, lượng nước cần thiết là 183 lít/m³. Điều này cho thấy càng có nhiều lượng tro bay trong hỗn hợp bê tông xi măng tro bay thì khả năng linh động của hỗn hợp càng tăng. Có thể giải thích cho hiện tượng này là khi hàm lượng tro bay trong hỗn hợp bê tông xi măng tro bay tăng thì càng có nhiều hạt mịn hình cầu trong hỗn hợp bê tông nên ngoài khả năng lấp đầy các lỗ rỗng giữa các hạt cốt liệu trong hỗn hợp bê tông, các hạt mịn này còn có tác dụng bôi trơn làm tăng sự linh động của các hạt cốt liệu, tăng tính công tác của hỗn hợp bê tông, làm tăng tính dẻo cho bê tông, giảm lượng nước nhào trộn.

Với các biểu đồ trong Hình 7 có thể thấy cường độ của hỗn hợp bê tông xi măng tro bay giảm dần và tỷ lệ nghịch với hàm lượng tro bay có trong hỗn hợp. Điều này có thể nhận thấy ở cả trong cường độ nén đơn trục ở thời gian 3 ngày, 7 ngày và thời gian 28 ngày với các mẫu BTXMTB đã được bảo dưỡng theo đúng tiêu chuẩn. Các mẫu bê tông có hàm lượng tro bay là 15%, cường độ nén đơn trục tại thời gian bảo dưỡng 3 ngày là bằng 109% so với cường độ nén đơn trục của các mẫu bê tông có hàm lượng tro bay là 20% và bằng 115% so với cường độ nén đơn trục trung bình của các mẫu có hàm lượng tro bay là 25% ($R_{n15\%}=9,0$ MPa; $R_{n20\%}=8,2$ MPa; $R_{n25\%}=7,8$ MPa). Với các mẫu bê tông có hàm lượng tro bay là 15%, cường độ nén đơn trục ở 7 ngày là bằng 110% so với cường độ nén đơn trục của các mẫu bê tông có hàm lượng tro bay là 20% và bằng 119% so với cường độ nén đơn trục trung bình của các mẫu có hàm lượng tro bay là 25% ($R_{n15\%}=14,2$ MPa; $R_{n20\%}=12,9$ MPa; $R_{n25\%}=11,9$ MPa). Với cường độ nén đơn trục ở tuổi 28 ngày, cường độ nén đơn trục 28 ngày của các mẫu có hàm lượng tro bay 15% bằng 103% so với cường độ nén đơn trục của các mẫu bê tông có hàm lượng tro bay là 20% và bằng 113% so với cường độ nén đơn trục trung bình của các mẫu có hàm lượng tro bay là 25% ($R_{n15\%}=22,4$ MPa; $R_{n20\%}=21,75$ MPa; $R_{n25\%}=19,82$ MPa). Hiện tượng này có thể giải thích rằng: quá trình thủy hóa của xi măng hình thành tạo ra các chất khoáng tạo cường độ cho bê tông. Hàm lượng tro trong hỗn hợp BTXMTB càng cao, đồng nghĩa với hàm lượng xi măng trong hỗn hợp BTXMTB ít, dẫn đến giảm R_n của bê tông.



Hình 7. Biểu đồ cường độ giới hạn bền nén của mẫu BTXMTB

Cũng có thể nhận thấy một đặc điểm nữa được thể hiện rõ trong hỗn hợp BTXMTB, đó là: ở giai đoạn 3 ngày sau khi đúc và được bảo dưỡng, cường độ nén đơn trục R_n của hỗn hợp BTXMTB đạt các giá trị: R_n của BTXMTB ở hàm lượng tro bay 15 % đạt 45% cường độ thiết kế; ở hàm lượng tro bay 20% đạt 41% cường độ thiết kế; ở hàm lượng tro bay 25 % đạt 39% cường độ thiết kế tương ứng ở tuổi 28 ngày; ở giai đoạn 7 ngày sau khi đúc, cường độ nén đơn trục R_n của hỗn hợp bê tông xi măng tro bay tiếp tục phát triển, tuy nhiên hàm lượng tro bay càng lớn thì tốc độ phát triển R_n của hỗn hợp bê tông xi măng tro bay càng chậm. R_n của BTXMTB ở hàm lượng tro bay 15 % đạt 71% cường độ thiết kế; ở hàm lượng tro bay 20% đạt 65% cường độ thiết kế; ở hàm lượng tro bay 25 % đạt 60% cường độ thiết kế tương ứng ở tuổi 28 ngày. Ở giai đoạn 28 ngày, sau quá trình bảo dưỡng theo đúng quy chuẩn thì cường độ giới hạn bền nén của các mẫu BTXMTB thu được, gồm: ở hàm lượng tro bay 15%, R_n đạt 112% R_{ntk} ($R_{ntk}=20$ MPa); với hàm lượng tro bay là 20%, R_n đạt 108% so với cường độ nén giới hạn; ở hàm lượng tro bay 25%, $R_n=88\%R_{ntk}$ ($R_{n15\%}=22,4$ MPa; $R_{n20\%}=21,75$ MPa; $R_{n25\%}=19,8$ MPa). Từ các kết quả thu được như trên, có thể rút ra kết luận: tốc độ phát triển cường độ của hỗn hợp BTXMTB tỷ lệ nghịch với hàm lượng tro bay có trong hỗn hợp BTXMTB. Hiện tượng này có thể giải thích là do, phản ứng hydrat hóa của xi măng tỏa nhiều nhiệt làm tăng nhiệt độ của hỗn hợp bê tông, dẫn đến quá trình hydrat hóa của các khoáng xi măng xảy ra càng nhanh hơn, vì vậy quá trình đông kết và rắn chắc của hỗn hợp bê tông xi măng-tro bay có hàm lượng tro bay thấp tăng lên nhanh hơn. Kiểm tra kết quả cường độ chịu kéo khi uốn của mẫu BTXMTB ở thời gian 28 ngày, thu được kết quả tương ứng với độ bền nén đơn trục của mẫu BTXMTB ($R_{u15\%}=2,04$ MPa; $R_{u20\%}=1,67$ MPa; $R_{u25\%}=1,32$ MPa).

4. Kết luận và kiến nghị

Trong bài báo này, nhóm tác giả đã không sử dụng phụ gia để tăng cường độ của hỗn hợp BTXMTB nhằm mục đích có thể nhận thấy được tác dụng và ảnh hưởng của tro bay khi thay thế lượng xi măng theo tính toán. Từ nghiên cứu lý thuyết và các kết quả thu được khi tiến hành thí nghiệm trên các mẫu BTXMTB, nhóm tác giả có thể rút ra được một số kết luận như sau:

- Có thể sử dụng tro bay để chế tạo ra hỗn hợp BTXMTB với mức thiết kế đạt 20 MPa (khi không cần sử dụng phụ gia) với lượng tro bay thay thế xi măng lên đến 20%;
- Cường độ của hỗn hợp BTXMTB sẽ tỷ lệ nghịch với lượng tro bay thay thế xi măng trong hỗn hợp;
- Vận tốc phát triển cường độ của hỗn hợp BTXMTB tỷ lệ nghịch với hàm lượng tro bay trong hỗn hợp BTXMTB.

Để có thể chế tạo được hỗn hợp BTXMTB với hàm lượng tro bay cao hơn, nhóm nghiên cứu đề xuất cần thiết phải tiến hành nghiên cứu và sử dụng các loại phụ gia thích hợp. Đây cũng là hướng nghiên cứu tiếp theo của nhóm nghiên cứu để có thể phát triển và ứng dụng tro bay trong các cấp phối BTXMTB phục vụ cho các công trình xây dựng tại Việt Nam với mục đích tận dụng được lượng tro bay thải ra của các nhà máy nhiệt điện ở Việt Nam, giảm giá thành xây dựng cũng như làm giảm ô nhiễm môi trường trong quá trình xây dựng các công trình.

Tài liệu tham khảo

- Đinh Quốc Dân, 2019. Sử dụng tro xỉ nhiệt điện làm vật liệu san lấp. *Tạp chí KHCN Xây dựng* - số 1/2019. 35-43.
- Nguyễn Đức Trọng, Trương Văn Đoàn, Trương Quang Việt, 2017. Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng tro bay đến một số tính chất cơ lý của bê tông đầm lăn sử dụng xỉ thép trong xây dựng đường ô tô ở Bà Rịa - Vũng Tàu. *Khoa học kỹ thuật thủy lợi và môi trường* - số 59 (12/2017). 101-107.
- Nguyễn Lê Thị, 2018. Ảnh hưởng của hàm lượng tro bay thay thế xi măng và quy trình dưỡng hộ nhiệt ẩm đến mức độ phản ứng pozzolanic của hệ xi măng - tro bay. *Tạp chí KHCN Xây dựng* - số 3/2018. 34-41.
- Heidrich, C., 2005. Summary of Technical Options for Coal Combustion Products Utilisation in Australia. *Ed.1 ed. Ash Development Association of Australia*.
- C.S. Poon, L. Lam, Y.L. Wong, 2000. A study on high strength concrete prepared with large volumes of low calcium fly ash. *Cement and Concrete Research* 30, 447 – 455.
- E. Sakai, S. Miyahara, S. Ohsawa, S. H. Lee, M. Daimon, 2005. Hydration of fly ash cement. *Cement and Concrete Research*. vol. 35., pp. 1135-1140.
- Qiang Wang, Jingjing Feng, Peiyu Yan, 2012. The microstructure of 4-year-old hardened cement-fly ash paste. *Construction and Building Materials* 29, pp 114–119

ABSTRACT

Research on the using fly ash mix of the thermal power plant to produce fly ash concrete

Nguyen Chi Thanh^{1,*}, Do Ngoc Thai¹, Dang Van Kien¹,
¹ Hanoi University of Mining and Geology

Currently, to serve the energy needs for economic development in Vietnam, many coal-fired thermal power plants have been built and put into operation. These thermal power plants have been releasing into the environment a large amount of fly ash generated during the burning process of coal in thermal power plants and are of solid. This paper conducts research on fly ash, using fly ash in the composition of cement concrete to use when constructing works. The use of fly ash in cement concrete aggregate will achieve two purposes: the first is to take advantage of the huge amount of fly ash waste as mentioned above, cleaning the environment and the secondary purpose. second is to save fuel resources to make cement used in the concrete mix, which can reduce construction costs of works. The paper has analyzed the working principle of fly ash in forming concrete support and conducted research, fabrication of some fly ash concrete mixing samples with different content of fly ash and using experiments with laboratory equipment modern to test the mechanical properties of these fly ash concrete samples. From the results obtained, given the content of fly ash into fly ash concrete mixture so that the fly ash concrete mixture can achieve mechanical properties such as desire.

Keywords: Concrete; cement; fly ash; mixed design.

KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG



ISBN 978-604762277-1



9 786047 622771