



CÁC ĐẶC TÍNH KỸ THUẬT CỦA BÊ TÔNG BỊ XÂM THỰC BỞI MUỐI SUNPHAT

Mai Thị Ngọc Hằng¹, Lưu Đình Thi², Hà Văn Sơn³

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu các đặc tính của bê tông bị xâm thực bởi muối sunphat. Các hỗn hợp bê tông được thiết kế với tỷ lệ nước - chất kết dính 0,35, 0,40 và 0,45. Tro bay thô của nhà máy nhiệt điện Nghi Sơn được sử dụng để thay thế 10% xi măng trong thành phần cấp phối hỗn hợp bê tông. Các mẫu bê tông được ngâm trong dung dịch Na_2SO_4 nồng độ 5% và trong nước để so sánh kết quả. Các thí nghiệm về cường độ chịu nén và vận tốc truyền xung siêu âm được tiến hành tại 3, 7, 14, 28, 56 và 91 ngày tuổi. Kết quả thí nghiệm cho thấy, cường độ chịu nén và vận tốc truyền xung siêu âm của các mẫu bị xâm thực sunphat nhỏ hơn các mẫu bê tông thường được bảo dưỡng trong nước. Các phản ứng giữa muối sunphat và các sản phẩm thủy hóa và puzolan hóa tạo nên gypsum và ettringite là nguyên nhân gây nên sự trương nở, nứt nẻ và làm giảm cường độ chịu lực của bê tông.

Từ khóa: Bê tông, xâm thực sunphat, cường độ chịu nén, vận tốc truyền xung siêu âm, gypsum, ettringite.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Chất lượng của các kết cấu bê tông cốt thép bị giảm đáng kể do hiện tượng xâm thực từ môi trường bên ngoài. Các hóa chất từ bên ngoài như axit, muối... khi xâm nhập vào bên trong bê tông sẽ tác động tiêu cực và làm thay đổi khả năng chịu lực cũng như độ bền của bê tông. Hiện tượng bê tông bị xâm thực bởi các muối sunphat được phát hiện từ năm 1908, tuy nhiên cho đến nay các nhà nghiên cứu vẫn chưa thực sự hiểu biết về nó một cách đầy đủ [8]. Với các nghiên cứu trên hồ xi măng, Sahmaran và cộng sự [8] đã chỉ ra rằng cường độ chịu nén của chúng giảm đáng kể sau 16 tuần ngâm trong dung dịch Na_2SO_4 nồng độ 5%. Các nghiên cứu trước cũng chỉ ra rằng hồ xi măng không phù hợp để sử dụng trong điều kiện môi trường bị xâm thực sunphat bởi vì sự tấn công của các muối sunphat dẫn đến sự giãn nở và làm mất khả năng chịu lực của chúng [4,8]. Tuy nhiên, các nghiên cứu trên cũng chỉ ra rằng khả năng chống lại sự xâm thực sunphat của hồ xi măng được cải thiện đáng kể khi sử dụng thêm tro bay và tro trấu với hàm lượng phù hợp.

Những tác động tiêu cực của sunphat lên bê tông được thể hiện thông qua sự giãn nở, mất khối lượng và giảm cường độ chịu lực [6,7,10,11,12]. Đặc biệt các nghiên cứu của Torii và cộng sự (1995); Li và cộng sự (2003) đều cho rằng với bê tông thường chỉ sử dụng xi măng làm chất kết dính bị giãn nở lớn và mất khả năng chịu lực sau 1 năm bị xâm thực bởi dung dịch Na_2SO_4 nồng độ 10% hoặc H_2SO_4 nồng độ 2%. Để cải thiện khả năng chống ăn mòn sunphat, Summer [10] đã sử dụng 10÷17% tro bay loại F hoặc C để thay thế xi măng.

^{1,2,3} Giảng viên khoa Kỹ thuật Công nghệ, Trường Đại học Hồng Đức



Kết quả tương tự khi Torii và cộng sự (1995); Iassar và cộng sự (1996) sử dụng lần lượt 50% và 20% tro bay thay thế xi măng. Việc sử dụng kết hợp tro bay với xi lò cao và muối silic cũng làm tăng khả năng chống lại sự xâm thực sunphat của bê tông [7,12].

Với tốc độ phát triển mạnh mẽ của ngành công nghiệp xây dựng hiện nay, ngày càng nhiều các công trình được xây dựng với các yêu cầu kỹ thuật ngày càng khắt khe, đặc biệt là các công trình tiếp xúc trực tiếp với môi trường có tồn tại sunphat (đất, nước ngầm, nước biển, nước thải, không khí, ...). Hiện nay các công trình nghiên cứu thực nghiệm ở Việt Nam về ăn mòn sunphat còn rất hạn chế, trong khi các nghiên cứu trên thế giới vẫn chưa hoàn toàn hiểu hết về hiện tượng này. Việc sử dụng tro bay và các phụ gia khoáng khác có thể tăng khả năng chống lại sự xâm thực sunphat, tuy nhiên hiệu quả của chúng phụ thuộc nhiều vào chất lượng của vật liệu được sử dụng. Các kết quả nghiên cứu trước đây sử dụng tro bay tuyển (được tuyển chọn với chất lượng cao) có lượng mất khi nung từ 0,45% đến 3,2%. Bài báo này nghiên cứu các đặc tính của bê tông sử dụng tro bay của nhà máy nhiệt điện Nghi Sơn để thay thế 10% xi măng bị xâm thực bởi dung dịch Na_2SO_4 nồng độ 5%. Chú ý rằng tro bay được sử dụng trong bài báo này là tro bay thô (chưa qua tuyển chọn) có lượng mất khi nung lớn, 15,8%.

2. NỘI DUNG

2.1. Vật liệu và phương pháp thí nghiệm

2.1.1. Vật liệu

Chất kết dính sử dụng trong nghiên cứu này là xi măng Nghi Sơn PC40 và tro bay của nhà máy nhiệt điện Nghi Sơn, các thành phần hóa học của chúng được thể hiện trong bảng 1, khối lượng riêng của chúng lần lượt là $3,12\text{tấn/m}^3$ và $2,16\text{tấn/m}^3$. Theo tiêu chuẩn ASTM C618 [2005], tro bay sử dụng trong nghiên cứu này là tro bay loại F, với tổng hàm lượng SiO_2 , Al_2O_3 và Fe_2O_3 lớn hơn 70% (bảng 1). Chú ý rằng, các nghiên cứu trước [4-7,10-12] sử dụng tro bay tuyển có lượng mất khi nung nhỏ hơn 6%, phù hợp với tiêu chuẩn ASTM C618 (). Tro bay sử dụng trong nghiên cứu này là tro bay thô, với lượng mất khi nung 15,8%, lớn hơn yêu cầu theo quy định của tiêu chuẩn ASTM C618. Việc sử dụng tro bay thô chưa qua tuyển chọn trong các công trình chịu xâm thực sunphat sẽ được đánh giá trong nghiên cứu này.

Đá và cát được khai thác từ các mỏ tự nhiên trên địa bàn tỉnh Thanh Hóa với các đặc trưng được trình bày trong bảng 2. Phụ gia hóa dẻo Sikament R7 với khối lượng riêng là $1,15\text{tấn/m}^3$ được sử dụng để giảm lượng nước và tăng tính công tác cho bê tông. Hàm lượng phụ gia hóa dẻo được sử dụng bằng 1% tổng khối lượng các chất kết dính.

Bảng 1. Thành phần hóa học của xi măng và tro bay

Thành phần (%)	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O	Khác	Lượng mất khi nung (%)
Xi măng	22,4	5,3	4,0	55,9	2,8	2,1	0,8	0,3	4,5	1,9
Tro bay	48,4	20,4	4,8	2,8	1,4	0,2	1,1	0,8	4,3	15,8

Bảng 2. Các đặc trưng của cốt liệu

Cốt liệu	Kích thước hạt lớn nhất (mm)	Khối lượng riêng (T/m^3)	Khối lượng thể tích khô (T/m^3)	Độ ẩm (%)	Độ hút nước (%)
Cát	5,0	2,62	1,50	4,35	1,08
Đá	15,0	2,69	1,45	0,11	0,08

2.1.2. Thiết kế thành phần cấp phối hỗn hợp bê tông

Bảng 3 trình bày thành phần cấp phối của các hỗn hợp bê tông. Các hỗn hợp bê tông được thiết kế theo tiêu chuẩn ACI 211-91 [2] với các tỷ lệ nước-chất kết dính (N/CKD) 0,35, 0,40 và 0,45. Chú ý rằng, hàm lượng tro bay sử dụng bằng 10% tổng hàm lượng chất kết dính, được kế thừa từ nghiên cứu trước với cùng loại vật liệu [1].

Bảng 3. Thành phần cấp phối mẫu bê tông (tính cho $1m^3$)

Tên mẫu	Tỷ lệ N/CKD	Xi măng (kg)	Tro bay (kg)	Cát (kg)	Đá (kg)	Nước (kg)	Phụ gia hóa dẻo (kg)
M35	0,35	469,1	52,1	811,6	898,4	177,2	5,2
M40	0,40	410,8	45,6	867,1	899,1	178,0	4,6
M45	0,45	365,4	40,6	910,3	899,7	178,7	4,1

2.1.3. Chuẩn bị mẫu và phương pháp thí nghiệm

Khối lượng bê tông tươi và độ sụt của các hỗn hợp bê tông được xác định ngay sau khi trộn. Sau đó các mẫu bê tông được đúc trong khuôn hình trụ có đường kính 10cm, chiều cao 20cm. Sau một ngày, tháo khuôn và bảo dưỡng các mẫu bê tông trong nước và trong dung dịch Na_2SO_4 nồng độ 5% cho đến khi tiến hành các thí nghiệm. Các thí nghiệm được tiến hành bao gồm cường độ chịu nén và vận tốc truyền xung siêu âm tại 3, 7, 14, 28, 56 và 91 ngày tuổi. Kết quả trình bày trong bài báo này là giá trị trung bình của 3 mẫu thử.

2.2. Kết quả và thảo luận

2.2.1. Độ sụt và khối lượng bê tông tươi

Độ sụt và khối lượng đơn vị thể tích của các hỗn hợp bê tông tươi được trình bày trong bảng 4. Độ sụt và khối lượng đơn vị thể tích của bê tông thay đổi lần lượt từ $5,2 \div 6,0$ cm và $2408 \div 2372 kg/m^3$ khi tỷ lệ N/CKD thay đổi từ 0,35 đến 0,45. Kết quả cho thấy độ sụt tăng và khối lượng đơn vị thể tích của bê tông giảm khi tăng tỷ lệ N/CKD. Với hàm lượng nước gần như nhau, khi tỷ lệ N/CKD tăng thì hàm lượng xi măng giảm, dẫn đến khối lượng đơn vị thể tích mẫu giảm, bởi vì khối lượng riêng của xi măng lớn nhất trong các thành phần cấu tạo nên bê tông. Mặt khác, cường độ chịu nén của bê tông phụ thuộc chủ yếu vào tỷ lệ N/CKD [9], khi tỷ lệ N/CKD giảm thì cường độ bê tông tăng.

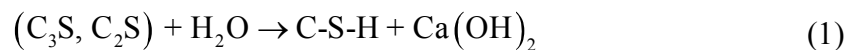
Bảng 4. Độ sụt và khối lượng đơn vị thể tích của các mẫu

Hỗn hợp bê tông	N/CKD	Phụ gia hóa dẻo (kg/m ³)	Độ sụt (cm)	Khối lượng đơn vị thể tích (kg/m ³)
M35	0,35	5,2	4,2	2408
M40	0,40	4,6	5,1	2388
M45	0,45	4,1	6,0	2372

2.2.2. Cường độ chịu nén

Cường độ chịu nén của các mẫu bê tông thường được bảo dưỡng trong nước và các mẫu bị xâm thực sunphat (ngâm trong dung dịch Na₂SO₄ nồng độ 5%) được thể hiện lần lượt như hình 1a và 1b. Cường độ chịu nén của tất cả các mẫu vẫn tiếp tục tăng theo thời gian, bởi vì các phản ứng thủy hóa của xi măng (1) và puzolan hóa của tro bay (2) vẫn tiếp tục phát triển theo thời gian. Ở cùng ngày tuổi, các mẫu với tỷ lệ N/CKD nhỏ có cường độ chịu nén cao hơn các mẫu với tỷ lệ N/CKD cao. Điều này được giải thích bởi Shetty [9], cường độ chịu nén của bê tông tỷ lệ nghịch với tỷ lệ N/CKD.

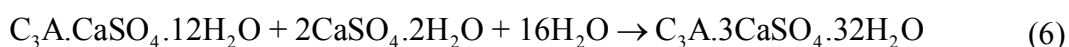
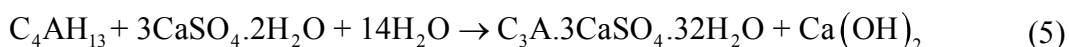
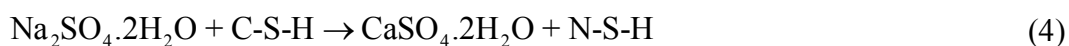
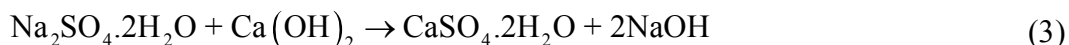
Phản ứng thủy hóa:

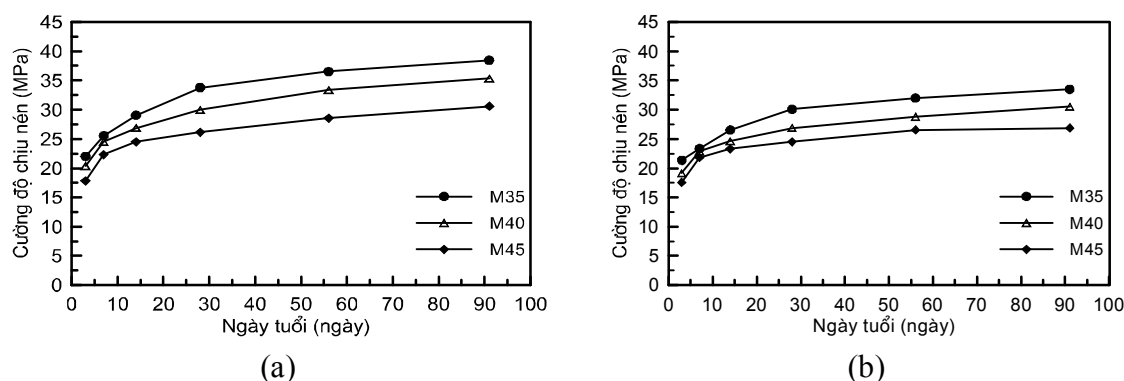


Phản ứng Puzolan hóa:



Cường độ chịu nén tại các ngày tuổi ban đầu không có sự khác biệt nhiều giữa các mẫu ngâm trong nước và dung dịch muối sunphat. Tuy nhiên ở các ngày tuổi càng dài, cường độ chịu nén của các mẫu bê tông được ngâm trong dung dịch muối sunphat thấp hơn các mẫu bê tông tương ứng được ngâm trong nước. Tại 91 ngày tuổi, cường độ chịu nén của các mẫu bị ăn mòn sunphat chỉ bằng khoảng 86÷88% so với các mẫu thường, và sự giảm cường độ này có xu hướng tiếp diễn theo thời gian. Đây là kết quả của các phản ứng giữa muối sunphat và các sản phẩm thủy hóa và puzolan hóa để tạo thành thạch cao (gypsum: CaSO₄.2H₂O) và ettringite (C₃A.3CaSO₄.32H₂O) như phương trình (3)÷(6). Tại các ngày tuổi ban đầu, các phản ứng thủy hóa và puzolan hóa chiếm ưu thế nên cường độ của các mẫu tiếp tục phát triển. Tuy nhiên, càng về sau, các phản ứng tạo ra gypsum và ettringite ngày càng nhiều, đây là các hợp chất gây giãn nở, làm nứt nẻ và giảm khả năng chịu lực của bê tông.

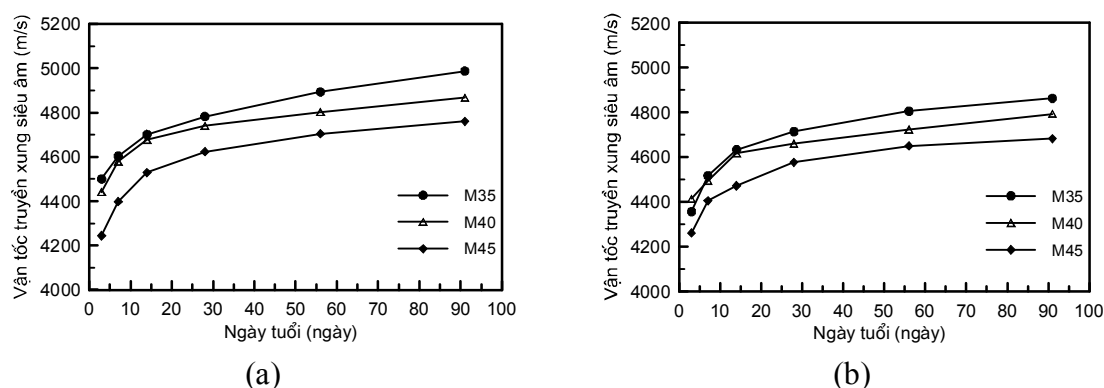




Hình 1. Cường độ chịu nén (a) mẫu ngâm nước; (b) mẫu ngâm trong dung dịch Na_2SO_4

2.2.3. Vận tốc truyền xung siêu âm

Vận tốc truyền xung siêu âm là một thí nghiệm không phá hủy mẫu, được dùng để đánh giá độ bền của bê tông liên quan đến tính đặc chắc, tính đồng nhất và các khuyết tật bên trong bê tông như vết nứt, lỗ rỗng. Vận tốc truyền xung siêu âm trong bê tông càng cao, độ đặc chắc của kết cấu càng tốt, chất lượng bê tông càng cao. Theo Carcano và Moreno [5], bê tông có vận tốc truyền xung siêu âm lớn hơn 4100m/s được xếp vào loại bê tông có chất lượng cao. Hình 2a và 2b lần lượt thể hiện vận tốc truyền xung siêu âm của các mẫu thường và mẫu bị ăn mòn sunphat. Kết quả thí nghiệm chỉ ra rằng, vận tốc truyền xung siêu âm có liên quan mật thiết đến khả năng chịu nén của bê tông. Các mẫu bê tông có cường độ chịu nén cao thì tương ứng có vận tốc truyền xung siêu âm cao. Tương tự như kết quả chịu nén, các mẫu bê tông bị ăn mòn sunphat có vận tốc truyền xung siêu âm nhỏ hơn các mẫu bê tông tương ứng ở điều kiện thường. Kết quả này cũng được giải thích tương tự như kết quả thí nghiệm xác định cường độ chịu nén, do sự hình thành gypsum và ettringite làm giảm chất lượng bê tông. Tuy nhiên, tất cả các mẫu bê tông trong nghiên cứu này đều có vận tốc truyền xung siêu âm lớn hơn 4100m/s, được phân loại là bê tông có chất lượng tốt như đã đề cập ở trên [5]. Kết quả này một phần là do sự có mặt của tro bay đã làm tăng khả năng chống ăn mòn sunphat, tương tự như kết quả từ các nghiên cứu trước [4,6-7,10-12].



Hình 2. Vận tốc truyền xung siêu âm
(a) mẫu ngâm nước; (b) mẫu ngâm trong dung dịch Na_2SO_4



3. KẾT LUẬN

Bài báo này trình bày kết quả thí nghiệm về các đặc tính kỹ thuật của bê tông bị xâm thực bởi dung dịch Na_2SO_4 nồng độ 5%. Các mẫu bê tông thường được bảo dưỡng trong nước cũng được thí nghiệm để làm mẫu so sánh. Các kết quả chính được rút ra từ thí nghiệm cho thấy :

Sau 91 ngày tuổi, cường độ chịu nén của các mẫu bê tông bị xâm thực sunphat giảm còn $86 \div 88\%$ so với các mẫu bê tông thường.

Vận tốc truyền xung siêu âm của các mẫu bê tông bị xâm thực thấp hơn các mẫu bê tông thường.

Sự giảm chất lượng của bê tông trong môi trường bị xâm thực sunphat là do sự hình thành gypsum và ettringite gây giãn nở, nứt và giảm khả năng chịu lực của bê tông.

Các mẫu bê tông trong nghiên cứu này có chất lượng tương đối tốt khi có vận tốc truyền xung siêu âm lớn hơn 4100m/s, một phần do sự có mặt của tro bay trong thành phần cấp phối mẫu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ngô Sĩ Huy, Lê Thị Thanh Tâm, Huỳnh Trọng Phước (2017), *Effect of fly ash content on the compressive strength development of concrete*”, Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, Số 2, trang 31-36.
- [2] ACI Committee 211 (1991), *Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete*.
- [3] ASTM C618 (2005), *Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete*.
- [4] Chindaprasart P., Kanchanda P., Sathonsaowaphak A., and Cao H. T. (2007), *Sulfate resistance of blended cements containing fly ash and rice husk ash*, Construction and Building Materials, 21, pp. 1356-1361.
- [5] Carcano R. S., and Moreno E. I. (2008), *Evaluation of concrete made with crushed limestone aggregate based on ultrasonic pulse velocity*, Construction and Building Materials, 22, pp. 1125-1131.
- [6] Irassar E. F., Maio A. D., and Batic O. R. (1996), *Sulfate attack on concrete with mineral admixtures*, Cement and Concrete Research, 26(1), pp. 113-123.
- [7] Li G., and Zhao X. (2003), *Properties of concrete incorporating fly ash and ground granulated blast-furnace slag*, Cement and Concrete Composite, 25, 293-299.
- [8] Sahmaran M., Kasap O., Duru K., and Yaman I. O. (2007), *Effects of mix composition and water-cement ratio on the sulfate resistance of blended cements*, Cement and Concrete Composite, 29, pp. 159-167.
- [9] Shetty M. S. (2005), *Concrete technology theory and practice*, Ram Nagar, New Delhi, India.



- [10] Sumer M. (2012), *Compressive strength and sulfate resistance properties of concretes containing Class F and Class C fly ashes*, Construction and Building Materials, 34, pp. 531-536.
- [11] Torii K., Taniguchi K., and Kawamura M. (1995), *Sulfate resistance of high fly ash content concrete*, Cement and Concrete Research, 25(4), pp. 759-768.
- [12] Thomas M. D. A., Shehata M. H., Shashiprakash S. G., Hopkins D. S., and Cail K. (1999), *Use of ternary cementitious systems containing silica fume and fly ash in concrete*, Cement and Concrete Research, 29, pp. 1207-1214.

THE ENGINEERING PROPERTIES OF CONCRETE UNDER SULFATE ATTACK

Mai Thi Ngoc Hang, Luu Dinh Thi, Ha Van Son

ABSTRACT

This paper investigates the properties of concrete under sulfate attack. Concrete mixtures were designed with water to binder ratios of 0.35, 0.40, and 0.45. The raw fly ash of Nghi Son power plant was used to substitute 10% of cement in concrete mixtures. Concrete samples were immersed in 5% Na₂SO₄ solution and fresh water for comparison. The compressive strength and ultrasonic pulse velocity tests were conducted at 3, 7, 14, 28, 56 and 91 days. Testing results indicate that the compressive strength and ultrasonic pulse velocity of concrete samples immersed in sulfate solution were lower than those of corresponding samples immersed in fresh water. The chemical reactions between sulfate ion with the hydration and pozzolanic products to form gypsum and ettringite are causes of expansion, cracks, and reduction in strength of concrete.

Keywords: *Concrete, sulfate attack, compressive strength, ultrasonic pulse velocity, gypsum, ettringite.*