

Đánh giá hiệu quả trợ nghiền của phụ gia TEA và DEIPA

Trần Lê Hồng¹, Hoàng Vĩnh Long^{1*}, Nguyễn Trường Giang¹, Phạm Minh Đức¹, Nguyễn Văn Vũ¹

¹ Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

TỪ KHOÁ

Xi măng Poóc-lăng hỗn hợp
Phụ gia trợ nghiền
Thạch cao nhân tạo
Triethanolamine-TEA
Diethanolisopropanolamine-DEIPA

TÓM TẮT

Hiện nay, phần lớn xi măng được sản xuất theo phương pháp khô vì những hiệu quả về mặt kinh tế và kỹ thuật mà nó mang lại. Trong quá trình sản xuất, công đoạn nghiền xi măng có ảnh hưởng trực tiếp độ mịn từ đó ảnh hưởng đến chất lượng xi măng. Trong các biện pháp nâng cao hiệu quả nghiền, phụ gia trợ nghiền là giải pháp thường được sử dụng. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu đánh giá hiệu quả trợ nghiền của hai loại phụ gia Diethanolisopropanolamine (DEIPA) và Triethanolamine (TEA). Trong nghiên cứu sử dụng các nguyên liệu chế tạo xi măng PCB30 của xi măng Hải Phòng gồm: clinker, đá vôi PG, đá vôi đen, xi măng điện và thay thế thạch cao tự nhiên bằng thạch cao nhân tạo PG Đình Vũ. Hiệu quả của việc sử dụng phụ gia trợ nghiền được đánh giá thông qua độ sót sàng, tỷ diện tích bề mặt và cường độ nén ở tuổi 28 ngày của xi măng theo các phương pháp tiêu chuẩn TCVN. Kết quả nghiên cứu cho thấy phụ gia trợ nghiền TEA và DEIPA có giúp tăng tỷ diện tích bề mặt của các mẫu xi măng cùng sử dụng thạch cao nhân tạo PG Đình Vũ với lần lượt các giá trị là 5730 và 5800 cm²/g.

KEYWORDS

Portland blended cement
Grinding aid additives
Artificial gypsum
Diethanolisopropanolamine-DEIPA
Triethanolamine-TEA

ABSTRACT

Most cement is produced by the dry method because of its economic and technical efficiency. During the production process, the cement grinding stage directly impacts the fineness, thereby affecting the quality of cement. In measures to improve grinding efficiency, grinding aids are a commonly used a solution. This paper presents the results of a study evaluating the grinding aid effectiveness of two additives, Diethanolisopropanolamine (DEIPA) and Triethanolamine (TEA). In the study, the raw materials used to produce Hai Phong cement PCB30 include clinker, PG limestone, black limestone, and slag, and natural gypsum was replaced with Dinh Vu PG artificial gypsum. The effectiveness of grinding aids is evaluated through the fineness, specific surface area, and compressive strength at 28 days of cement according to TCVN methods. The results showed that grinding aids TEA and DEIPA increase the surface area ratio of cement samples using PG Dinh Vu artificial gypsum with values of 5730 and 5800 cm²/g, respectively.

1. Giới thiệu

Trong sản xuất xi măng, quá trình nghiền là một quá trình quan trọng. Năng lượng tiêu tốn trong các máy nghiền xi măng từ 16,5 - 63,5 kWh/tấn, trung bình là 36 kWh/tấn (tùy thuộc độ mịn). Các nghiên cứu cho thấy, chỉ 15 % năng lượng nghiền đó biến thành công có ích phục vụ quá trình phân chia hạt [1]. Phần còn lại biến đổi thành nhiệt năng làm nóng máy, bị dạn, vật liệu nghiền và khí nén gây cản trở quá trình nghiền, tổn hại động cơ, ô nhiễm môi trường (tiếng ồn, sức nóng, bụi phổi liệu...). Trong khi đó, chi phí năng lượng bằng 15 – 25 % giá thành sản xuất [2, 3], nên giảm được năng lượng tiêu hao không cần thiết, tăng năng suất quá trình nghiền sẽ giảm được một lượng chi phí rất lớn cho sản xuất.

Cùng với đó, khí hậu nước ta có đặc trưng phức tạp nóng ẩm, phân vùng, phân mùa rõ rệt. Tháng lạnh nhất thường có nhiệt độ trung bình 15 – 16 °C, đôi khi lạnh tới 7 °C. Tháng nóng nhất có khi nhiệt độ lên đến 35 – 39 °C. Do ảnh hưởng của gió mùa, độ ẩm nước ta tương đối cao (mùa mưa trung bình là 78 – 91 %). Với điều kiện khí hậu như vậy, chất

lượng xi măng suy giảm nhiều theo thời gian bảo quản. Trung bình hàng năm các cơ sở sản xuất phải xử lý một lượng sản phẩm kém phẩm chất từ 5 – 10 % tổng lượng sản phẩm, gây lãng phí và tổn kém [2].

Quá trình nghiền xi măng sẽ phụ thuộc chủ yếu vào các dạng lực và năng lượng sau [1, 4, 5, 6]: (1) *Lực tĩnh điện*: Quá trình nghiền clinker là nghiền khô nên sự nóng, bụi và khô của buồng nghiền rất dễ tạo nên các lực tĩnh điện tự nhiên. Mặt khác trong phối liệu nghiền có sự khác nhau về: thành phần hoá học, cấu trúc mạng tinh thể, số phối trí, tính chất bề mặt. Dưới tác dụng cơ học, các loại tinh thể ion bị phá vỡ và xuất hiện sự phân cực hoá ion. Một phần vật liệu sẽ tích điện dương, một phần vật liệu sẽ tích điện âm với phân bố không cân bằng. Sự hút nhau của các phần tử tích điện trái dấu sẽ tạo nên sự dính kết giữa các hạt, giữa các hạt với bi, dạn, thành vách máy nghiền làm cản trở quá trình nghiền mịn; (2) *Năng lượng bề mặt hạt*: Trong tập hợp hạt vật liệu nghiền, những nguyên tử, nhóm nguyên tử trên lớp bề mặt hạt (nhất là những vùng dị hình như đỉnh, góc) không bao hoà hoá trị đã tạo nên năng lượng tự do bề mặt hạt. Quá trình nghiền làm vỡ liên tục các hạt vật liệu khiến các liên kết bề mặt không ổn định, mật độ diện tích bề

*Liên hệ tác giả: longhv@huce.edu.vn

Nhận ngày 09/01/2025, sửa xong ngày 27/02/2025, chấp nhận đăng ngày 28/02/2025

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.02.2025.829>

mặt tự do tăng gây ra sự mất cân bằng nhiệt động trong dòng nguyên liệu. Một xu hướng tự nhiên xảy ra mảnh liệt là sự kết tụ bám dính của các hạt vật liệu với nhau để giảm năng lượng tự do bề mặt. Đặc biệt kích thước hạt vật liệu càng nhỏ thì năng lượng tự do bề mặt càng lớn; (3) *Tác động va đập cơ học*: Hoạt động của các vật liệu và vật thể nghiền va đập theo các nhịp xung. Khi đó, các hạt nhỏ sẽ bị ép vào bề mặt sần sùi vết nứt của hạt lớn hơn hay thành vách bi đạn nghiền làm tăng độ ma sát của vật thể nghiền, đồng thời là một nguyên nhân gây nên hiện tượng bám dính của vật liệu nghiền trong máy nghiền. Vì thế làm giảm hiệu quả va đập, làm hệ nghiền nóng lên, năng suất máy nghiền giảm.

Khi nghiền xi măng mặc dù vật liệu đưa vào nghiền đã được sấy khô nhưng lượng ẩm còn tích lũy sâu bên trong vật liệu. Trong quá trình hơi nước tiếp tục bay ra và duy trì một khối lượng không đổi trong máy nghiền. Các hạt còn có điều kiện hút ẩm trở lại hình thành nên lực mao dẫn bám dính vào nhau, vào bi đạn tẩm lót, thành vách máy nghiền. Khi các vật liệu nghiền bám dính vào nhau, vào bi đạn thành vách máy nghiền sẽ làm cản trở quá trình nghiền các hạt tiếp theo dẫn đến năng suất máy nghiền bị giảm, có khi còn xảy ra sự cố cho máy nghiền.

Để tăng hiệu quả nghiền, một giải pháp được sử dụng phổ biến là các phụ gia trợ nghiền. Chúng là các chất hoạt động bề mặt mạnh, có khả năng hấp phụ rất tốt lên bề mặt các hạt vật liệu làm cho sức căng bề mặt của vật liệu nghiền giảm. Trong khi tổng diện tích bề mặt riêng không đổi do đó năng lượng tự do bề mặt sẽ giảm làm cho các hạt rời, rớt, trơn trượt lên nhau, hệ trở thành linh động hơn việc nghiền các hạt tiếp theo dễ dàng hơn từ đó nâng cao hiệu quả nghiền. Trong quá trình nghiền cấu trúc hạt rắn luôn tồn tại các vết vi nứt không liên tục, hạt chỉ vỡ khi có một lực va đập đủ lớn. Các khoáng trong clinker xi măng thường là các khoáng có mang điện tích dương trong khi các chất trợ nghiền lại thường mang điện tích âm. Vì vậy khi chất trợ nghiền hấp phụ vào bề mặt các hạt clinker thì chúng không chỉ bao bọc thành màng mỏng xung quanh hạt mà nó còn có khả năng xâm nhập sâu vào trong các vết vi nứt của hạt vật liệu và hấp phụ lên thành vách vết vi nứt đó làm giảm lực tương tác giữa hai thành vách đồng thời hai thành vách vết nứt tích điện cùng dấu sẽ đẩy nhau, tạo nên lực chèn làm giảm độ cứng của hạt do đó hạt dễ vỡ hơn, làm cho năng suất máy nghiền tăng lên.

Cùng với sự phát triển của nền công nghiệp xi măng, các loại phụ gia trợ nghiền hữu cơ đi từ các chất hoạt động bề mặt đã ra đời và ứng dụng ở nhiều nước trên thế giới. Từ năm 1930, phế thải của công nghiệp giấy, xà phòng (serodit, serolit, hỗn hợp olein canxi và olein alumin với hydroxitcanxi...) đã được dùng làm nguyên liệu chế tạo phụ gia trợ nghiền ở Liên Xô. Năm 1935 (ở Mỹ), trên cơ sở Natri Naphtalen sunfonat đã ra đời sản phẩm TDA, amin- axetat đã ra đời sản phẩm HEA-2,... Năm 1987, Liên Xô đã sử dụng các loại chất kị nước mufloorap, acidol - munônáp, axit oleic, dầu mỡ được oxi hoá, các chất lỏng silic hữu cơ... để chế tạo phụ gia trợ nghiền. Đến năm 1993, hỗn hợp các dẫn xuất của Lignin, phenol, monopropylenglycol lại được sử dụng chủ yếu làm nguyên liệu chế tạo phụ gia trợ nghiền trong sản xuất xi măng. Sản phẩm được công bố làm tăng năng suất máy nghiền, tính kị ẩm và

tính chất cơ lý của xi măng [1, 7, 8]. Như vậy, bên cạnh khái niệm "trợ nghiền", thuật ngữ "bảo quản" xi măng cũng ra đời và hiện nay không còn được tách rời giữa hai khía cạnh này. Các loại phụ gia trợ nghiền bảo quản đã được sử dụng rộng rãi trong quá trình nghiền clinker dưới nhiều cái tên như phụ gia kị nước, trợ nghiền kị ẩm.... Ngoài mục đích tăng năng suất quá trình nghiền, loại phụ gia này còn tăng cường khả năng tự bảo quản cho các hạt xi măng cũng như nhiều chỉ tiêu kỹ thuật khác. Các thể hệ phụ gia đã ra đời như: CBA- 1104, TDA-770, TDA-370,... có khả năng tăng năng suất máy nghiền 9- 12 %, tăng độ linh động, hạn chế sự vón cục, suy giảm chất lượng, tăng cường độ xi măng 4-15 % [9, 10]. Sự xuất hiện của các loại phụ gia trợ nghiền đã góp phần không nhỏ trong việc làm tăng trưởng nền công nghiệp xi măng thế giới ngày nay.

Ở Việt Nam, các loại phụ gia cho quá trình nghiền cũng được nghiên cứu, chế tạo như: Trietanolamine được Viện Vật liệu xây dựng ứng dụng trợ nghiền cho xi măng Bim Sơn, Thái Bình; Phụ gia trợ nghiền B.A.C. (hỗn hợp của DBSA, silicol và chế phẩm từ dầu thực vật) của Công ty xi măng Hà Tiên 2 cho phép tăng năng suất máy nghiền tăng 15%; Công ty Bách Khoa - Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội đã nghiên cứu sản xuất chất trợ nghiền BK - 1 dùng cho quá trình nghiền clinker lò, nhằm nâng cao năng suất các máy nghiền xi măng, chất trợ nghiền BK - II dùng cho quá trình nghiền clinker ẩm (clinker ở ngoài bãi) bước đầu thành công và ứng dụng tại Công ty Xi măng Bim Sơn.

Báo cáo này đưa ra kết quả nghiên cứu đánh giá hiệu quả trợ nghiền của phụ gia DEIPA (Diethanolisopropanolamine) và phụ gia TEA (Trietanolamine). Kết quả nghiên cứu có thể góp phần cung cấp bộ số liệu nhằm giúp lựa chọn loại phụ gia trợ nghiền phù hợp cho xi măng.

2. Nguyên vật liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Nguyên vật liệu sử dụng

Trong nghiên cứu sử dụng các nguyên liệu chế tạo xi măng PCB30 của xi măng Hải Phòng gồm clinker, đá vôi PG, đá vôi đen và xi măng điện; đồng thời, hai loại thạch cao tự nhiên và thạch cao nhân tạo Đình Vũ được dùng để so sánh, đánh giá. Hai loại phụ gia trợ nghiền được sử dụng là phụ gia DEIPA (Diethanolisopropanolamine) và phụ gia TEA (Trietanolamine).

Thành phần khoáng của clinker xi măng Hải Phòng và tính chất cơ lý của thạch cao tự nhiên và thạch cao nhân tạo Đình Vũ lần lượt được nêu ra trong các Bảng 1, 2 và 3.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Các bước chuẩn bị mẫu xi măng

Hỗn hợp lấy theo tỷ lệ phối liệu của nhà máy xi măng Hải Phòng (như nêu trong Bảng 4) được định lượng 5 kg/mẻ và cho vào máy nghiền bi, điều chỉnh thời gian và chế độ theo yêu cầu sản phẩm gồm 2 khoang, bên trái là mẫu thí nghiệm, bên phải là mẫu đối chứng.

Các phụ gia trợ nghiền được pha loãng với một nồng độ nhất định, qua định lượng và phun vào phối liệu nghiền dưới dạng sương.

Bảng 1. Thành phần khoáng trong clinker xi măng Hải Phòng.

Các khoáng	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Thành phần (%)	57,74	16,07	6,63	12,53

Bảng 2. Tính chất cơ lí của thạch cao tự nhiên.

Các chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả	Phương pháp thử
Độ ẩm tự nhiên	%	> 15	TCVN 9807: 2013
Màu sắc		Trắng ngà	Quan sát
Khối lượng riêng	g/cm ³	2,32	TCVN 9807: 2013
Hàm lượng CaSO ₄ .2H ₂ O	%	≥ 90	TCVN 9807: 2013
Độ mịn (phần còn lại trên sàng 0,2 mm)	%	≤ 5	TCVN 9807: 2013

Bảng 3. Tính chất cơ lí của thạch cao nhân tạo (thạch cao PG Đình Vũ).

Các chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả	Phương pháp thử
Độ ẩm tự nhiên	%	> 15	TCVN 9807: 2013
Màu sắc		Trắng xám	Quan sát
Khối lượng riêng	g/cm ³	2,29	TCVN 9807: 2013
Hàm lượng CaSO ₄ .2H ₂ O	%	≥ 85	TCVN 9807: 2013
Độ mịn (phần còn lại trên sàng 0,2 mm)	%	≤ 5	TCVN 9807: 2013

Bảng 4. Cấp phối PCB30.

Clanke	Đá vôi PG	Đá vôi đen	Thạch cao	Xi nhiệt điện	Tổng
63,2 %	18 %	10 %	2,8 %	6 %	100 %

Các mẫu thí nghiệm bao gồm:

- Cấp mẫu 1: mẫu đối chứng (ĐC1): sử dụng thạch cao tự nhiên và mẫu thí nghiệm (TN1): sử dụng thạch cao nhân tạo (PG)
- Cấp mẫu 2: mẫu đối chứng (ĐC2): sử dụng thạch cao nhân tạo (PG) và phụ gia TEA (Trietanolamine); mẫu thí nghiệm (TN2): sử dụng thạch cao nhân tạo (PG) và phụ gia DEIPA (Diethanolisopropanolamine)

Quá trình nghiền phối liệu được thực hiện bởi máy nghiền bi 2 khoang. Các mẫu nghiền được tạo ra với chế độ nghiền như sau: thời gian nghiền: 120phút; vận tốc thùng nghiền 41 vòng/phút; hệ số điền đầy: $\varphi = 0,35$; khối lượng bi, đạn: 50,4 kg.

2.2.2. Các phương pháp xác định tính chất của xi măng

Xi măng sau khi nghiền được đánh giá tính chất theo các phương pháp tiêu chuẩn gồm: TCVN 13605:2023 để xác định độ mịn bằng lượng còn lại trên sàng có kích thước lỗ 0,09 mm, tỷ diện tích bề mặt bằng phương pháp thẩm khí (Blaine) và khối lượng riêng; TCVN 6016:2011 xác định cường độ nén ở tuổi 28 ngày.



Hình 1. Máy nghiền bi 2 khoang nghiền xi măng.

3. Kết quả nghiên cứu và bàn luận

3.1. Độ sót sàng

Các mẫu xi măng được sàng 0,09 theo TCVN 13605:2023 để xác định hàm lượng sót sàng. Kết quả xác định độ sót sàng 0,09 được thể hiện trong Bảng 5.

Bảng 5. Kết quả xác định độ sót sàng, %.

Lần	ĐC1	TN1	ĐC2	TN2
1	10,2	10,0	10,1	9,8
2	10,0	9,8	9,9	10,1
3	9,8	9,7	9,8	10,0
Trung bình	10	9,83	9,93	9,95

Từ kết quả thí nghiệm cho thấy các mẫu TN1, ĐC2 và TN2 có độ sót sàng < 10 % đạt yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 6260: 2020. Còn các mẫu ĐC1 là 10 % sát ngưỡng so với yêu cầu kỹ thuật. Để đảm bảo yêu cầu kỹ thuật về độ sót sàng 0,09, cần điều chỉnh tăng thời gian nghiền.

3.2. Tỷ diện bề mặt

Kết quả xác định tỷ diện tích bề mặt và khối lượng riêng của các mẫu xi măng được thể hiện trong bảng 6. Kết quả cho thấy, tỷ diện tích bề mặt của các mẫu xi măng đều vượt nhiều so với yêu cầu kỹ thuật với xi măng Poóc lăng hồ hợp là 2800 cm²/g. Khi cho thêm phụ gia trợ nghiền TEA và DEIPA giúp cải thiện quá trình nghiền. Phụ gia DEIPA có hiệu quả trợ nghiền tốt hơn với tỷ diện tích bề mặt là 5800 cm³/g so với phụ gia TEA là 5730 cm³/g. Đánh giá cảm quan cũng nhận thấy rằng: mẫu có sử dụng DEIPA mịn hơn và ít bị vón cục hơn sau khi nghiền, mẫu sử dụng TEA thì trông thô hơn.

Bảng 6. Tỷ diện tích bề mặt và khối lượng riêng của các mẫu xi măng.

Ký hiệu mẫu	Tỷ diện bề mặt, cm ² /g	Khối lượng riêng, g/cm ³
ĐC1	5730	2,87
TN1	5690	2,91
ĐC2	5730	2,92
TN2	5800	2,95

Sự tăng hiệu suất nghiền có thể giải thích là do DEIPA thuộc nhóm alkanolamine có đầu phân cực (-OH) và nhóm không phân cực hydrocacbon (-CH₃) bảo vệ nó và có cấu trúc mạch nhánh không đối xứng. Khi các phân tử DEIPA hấp phụ trên bề mặt vết nứt sẽ giúp che chắn các vị trí hoạt động, giảm ứng suất bên ngoài cần thiết do sự phát triển của vết nứt và giúp ngăn các hạt xi măng kết tụ với nhau.

3.3. Cường độ nén

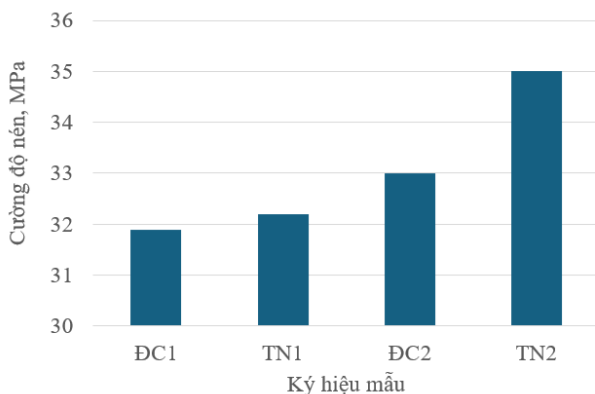
Kết quả xác định cường độ nén của các mẫu vữa sử dụng 4 loại xi măng trên được thí nghiệm theo phương pháp tiêu chuẩn TCVN 6016:2011 được thể hiện trong Bảng 7 và Hình 2.

Bảng 7. Cường độ nén các mẫu vữa ở tuổi 28 ngày.

Ký hiệu mẫu	Cường độ nén, MPa
ĐC1	31,9
TN1	32,2
ĐC2	33
TN2	35

Khi so sánh kết quả giữa thạch cao tự nhiên và thạch cao nhân tạo có thể thấy loại thạch cao ít ảnh hưởng đến cường độ nén ở tuổi 28 ngày 31,85 MPa so với 32,19 MPa tương ứng với thạch cao tự nhiên và thạch cao nhân tạo. Như vậy, việc sử dụng thạch cao nhân tạo PG thay thế cho thạch cao tự nhiên là không gây ảnh hưởng đến sự phát triển cường độ của xi măng. Bên cạnh đó, quan sát trực tiếp cho thấy mẫu xi măng sử dụng thạch cao nhân tạo PG có màu sắc sẫm hơn và hạt tách rời hơn so với mẫu xi măng đối chứng.

Phụ gia DEIPA cho thấy hiệu quả rõ rệt nhất trong việc tăng cường độ nén của xi măng, đạt 35 MPa, cao hơn đáng kể so với các mẫu khác. Phụ gia TEA có hiệu quả tăng độ nghiền mịn không mạnh bằng DEIPA và cũng có cường độ nén thấp hơn.



Hình 2. Cường độ nén của các mẫu vữa ở tuổi 28 ngày.

4. Kết luận

Trên cơ sở các thiết bị, dụng cụ, phương pháp nghiên cứu đã sử dụng và kết quả đạt được có thể đưa ra một số kết luận sau:

- Hai loại phụ gia trợ nghiền TEA và DEIPA có tác động tích cực đến hiệu quả nghiền giúp tăng tỷ diện tích bề mặt của các mẫu xi măng cùng sử dụng thạch cao nhân tạo PG Đình Vũ với lần lượt các giá trị là 5730 và 5800 cm²/g so với mẫu không dùng phụ gia trợ nghiền là 5690 cm²/g.
- Hai loại phụ gia trợ nghiền cũng làm tăng cường độ nén của mẫu vữa sử dụng thạch cao nhân tạo PG ở tuổi 28 ngày từ 32,2; 33 và 35 MPa tương ứng với các mẫu không dùng phụ gia trợ nghiền, dùng TEA và DEIPA.
- Khi thay thế thạch cao tự nhiên bằng thạch cao nhân tạo cho thấy không gây ảnh hưởng đáng kể đến sự phát triển cường độ của các mẫu xi măng.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (HUCE).

Tài liệu tham khảo

- [1]. J. C. Fröberg, O. J. Rojas, and P. M. Claesson, "Surface forces and measuring techniques," *International Journal of Mineral Processing*, vol. 56, pp. 1-30, 1999
- [2]. T. Fujimoto, *New Introduction to Surface Active Agents*, Sanyo Chemical Industries, 1985
- [3]. Bùi Văn Chén, *Kỹ thuật sản xuất xi măng pooclang và các chất kết dính*, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội, 1984
- [4]. Nguyễn Thị Thùy Trang, *Nghiên cứu ảnh hưởng của một số chất trợ nghiền tới hiệu suất nghiền và tính chất cơ lý của xi măng PCB40 FICO*, Luận văn thạc sĩ kỹ thuật hóa học, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội, 2017
- [5]. E. Roblot, P. Grosseau, B. Guilhot, B. Classen, C. Haehnel, and E. Gaffet, "A study on the action mechanisms of grinding aids used for clinker comminution," *Conference: Process of Industrials Minerals PIM*, 2005
- [6]. Xi măng Việt Nam, "Hiệu quả của phụ gia trợ nghiền trong công nghiệp xi măng (P2)," 13/04/2018 3:26:28 PM, <https://ximang.vn/nguyen-nhien-lieu/hieu-qua-cua-phu-gia-tro-nghien-trong-cong-nghiep-xi-mang-p2--10586.htm>, truy cập ngày 02/01/ 2025
- [7]. Đặng Văn Tấn, *Nghiên cứu chế tạo chất trợ nghiền tăng mức cho quá trình nghiền xi măng*, Luận văn thạc sĩ kỹ thuật hóa học, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội, 2014
- [8]. Nguyễn Minh Tuyền, Nguyễn Trường Giang, *Giáo trình cơ sở công nghệ hóa học*, Nhà xuất bản Xây dựng, 2018
- [9]. Moothedath, SK., Ahluwalia, SC., "Mechanism of action of grinding aids in comminution," *Powder Technology*, 71(3), 229-237,1992
- [10]. M. Weibel and R. Mishra, "Comprehensive understanding of grinding aids," *ZKG INTERNATIONAL*, vol. 6, pp. 28-39, 2014.