



Nghiên cứu sử dụng chất xúc tác FCC đã qua sử dụng từ Nhà máy lọc dầu Dung Quất làm phụ gia hoạt tính cho xi măng Portland

Study on reusing of spent fluid catalytic cracking (sFCC) catalyst from the Dung Quat Refinery as an active additive to Portland cement

Nguyễn Thanh Tú, Nguyễn Phi Hùng*

Trường Đại học Quy Nhơn, 170 An Dương Vương, TP. Quy Nhơn, Bình Định

*Email: nguyenphihung@qnu.edu.vn

ARTICLE INFO

Received: 20/5/2020

Accepted: 30/6/2020

Keywords:

spent FCC, cement additive, Portland blended cement

ABSTRACT

Spent fluid catalytic cracking (sFCC) catalyst from the Dung Quat refinery has been studied as an active aluminosilicate additive to Portland cement. The experimental results showed that the heat-treated sFCC materials have high lime absorption capacity in accordance with Vietnamese Standard TCVN 3735:1982 ($> 100 \text{ mg CaO g}^{-1}$). The Portland blended cement products prepared by blending pure Portland cement PC40 with 10-20 wt-% of sFCC materials achieve good 28-day compressive strength ($R_{28} > 50 \text{ N mm}^{-2}$), the compressive strength ratio indexes (I_R) of sFCC additives meet TCVN 6882:2016's requirements ($I_R > 75\%$). The other physico-mechanical properties such as initial setting time, final setting time, volume stability also meet requirements in TCVN 6260:2009 about *Portland blended cement - Specifications*. Hence, the spent FCC catalyst from Dung Quat refinery is expected to effectively reuse as an active additive to Portland cement in appropriate experimental conditions (10-20 wt-% sFCC heat-treated at 600 °C in Portland cement blended).

Giới thiệu chung

Sự ra đời và hoạt động của Nhà máy lọc dầu Dung Quất đã góp phần rất quan trọng đến phát triển kinh tế - xã hội khu vực Miền Trung, từng bước bảo đảm nhu cầu nhiên liệu và nguyên liệu hóa dầu cho đất nước. Bên cạnh đó, hằng năm Nhà máy loại bỏ ra khoảng 2000 tấn chất xúc tác FCC đã qua sử dụng (sFCC, spent Fluid Catalytic Cracking), sẽ là gánh nặng cho môi trường nếu không được xử lý và tái chế triệt để. sFCC có thể trở thành chất thải có hại do nhiễm kim loại nặng, bị cốc hóa, hạt vỡ vụn gây bệnh bụi phổi silic. Thành phần chính của sFCC là SiO_2 , Al_2O_3 tương tự như các hợp chất aluminosilicat trong vật liệu

xây dựng. Vì vậy, trên thế giới đã có nhiều công bố về kết quả nghiên cứu tái chế chất thải xúc tác FCC để làm phụ gia hoặc hợp phần trong sản xuất xi măng [1-5], bê-tông [6, 7], vật liệu xây dựng cầu đường [8], vật liệu gốm [9],... Một số nghiên cứu tái chế chất thải FCC từ Nhà máy lọc dầu Dung Quất đã được công bố theo các hướng như: tái tạo tính axit bề mặt và hoạt tính xúc tác cracking [10, 11], tái sinh làm chất xúc tác cracking dầu nhờn thải [12], thu hồi đất hiếm [13, 14], phối trộn chế tạo gạch không nung [15], đặc biệt Đào Thị Thanh Xuân và cộng sự [16] trên cơ sở tổng hợp các kinh nghiệm thế giới, phân tích các yếu tố kỹ thuật và kinh tế tại khu vực, đã đề xuất các giải pháp tái sử dụng xúc tác FCC thải theo hướng khả thi và lâu dài, trong đó

chú trọng đến phương án tái chế làm vật liệu xây dựng.

Bài báo này trình bày kết quả khảo sát khả năng sử dụng chất thải xúc tác FCC từ Nhà máy lọc dầu Dung Quất làm phụ gia hoạt tính cho xi măng Portland.

Thực nghiệm và phương pháp nghiên cứu

Vật liệu

Mẫu sFCC là chất xúc tác FCC đã qua sử dụng từ nhà máy lọc dầu Dung Quất.

Xi măng PC40 từ Nhà máy Xi măng Constrexim (Công ty CP BICEM Bình Định). Thành phần hóa học của clinker xi măng được nêu ra ở Bảng 1 (số liệu phân tích từ Nhà máy theo TCVN 141:2008).

Bảng 1: Thành phần hóa học của clinker xi măng Portland Constrexim (% trọng lượng)

| SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ | CaO _{td} | MKN | CKT |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-----------------|-------------------|------|------|
| 21,09 | 5,23 | 4,00 | 65,08 | 1,33 | 0,41 | 0,99 | 0,41 | 0,40 |

(MKN: lượng mất khi nung, CKT: cặn không tan, CaO_{td}: CaO tự do)

Xi măng gốc PC40 được tạo nên từ clinker Portland Constrexim Bình Định và thạch cao (hàm lượng SO₃ 43,02%) với tỷ lệ tương ứng là 96 : 4 (theo khối lượng), có các tính chất cơ lý như sau: cường độ chịu nén 3 ngày: 34,1 N/mm², 28 ngày: 59,8 N/mm²; thời gian đông kết: bắt đầu: 104 phút, kết thúc: 116 phút; hàm lượng SO₃: 1,93%; độ ổn định thể tích: 0,6 mm.

Cát xây tiêu chuẩn có hàm lượng SiO₂ ≥ 98%, độ ẩm < 0,2%, kích thước hạt chủ yếu 0,2-0,5 mm.

Các phương pháp xác định thành phần, cấu trúc

Thành phần, cấu trúc của sFCC được xác định theo các phương pháp: nhiễu xạ tia X (XRD), tiến hành trên máy Siemen D-5005 với tia bức xạ Cu-K α ($\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$), bước quét là 0,02°; chụp ảnh hiển vi điện tử quét (SEM) trên máy JEOL JEM 100 tại phòng thí nghiệm Hiển vi điện tử (Viện Vệ sinh dịch tễ Trung ương, Hà Nội); tán sắc năng lượng tia X (EDX) được đo trên máy Hitachi S4800 tại Viện Khoa học Vật liệu Việt Nam.

Phương pháp xác định độ hoạt tính phụ gia xi măng của sFCC

Hoạt tính của một phụ gia xi măng thể hiện qua khả năng phản ứng với vôi tự do và Ca(OH)₂ (sản phẩm của quá trình hydrat hóa xi măng), nhờ đó làm tăng cường độ và độ bền của xi măng đóng rắn. Độ hoạt tính của phụ gia xi măng được xác định bằng số miligam vôi bị hấp thụ bởi một gam phụ gia trong 30

ngày đêm sau 15 lần chuẩn độ. Độ hoạt tính phụ gia xi măng của vật liệu sFCC được xác định theo phương pháp nhanh khi đun nóng dung dịch theo TCVN 3735:1982, dùng dung dịch chuẩn HCl 0,1 N, chất chỉ thị metyl da cam.

Phương pháp xác định các chỉ số cơ lý của xi măng Portland hỗn hợp chứa phụ gia sFCC

Các mẫu xi măng Portland hỗn hợp được tạo ra từ sự phối trộn giữa xi măng gốc PC40 từ Nhà máy Xi măng Constrexim Bình Định với vật liệu sFCC đã xử lý nhiệt ở các tỉ lệ khối lượng 10, 20, 30, 40% sFCC. Hỗn hợp pha rắn được nghiền trộn bằng máy nghiền qua đêm đến khi đồng nhất và đạt độ mịn của xi măng theo TCVN 6260:2009. Cường độ nén (R_n) của xi măng được thử nghiệm theo TCVN 6016:2011 và ISO 679:2009; thời gian đông kết và độ ổn định thể tích của xi măng được xác định theo TCVN 6017:2015. Chỉ số hoạt tính cường độ (I_R) của sFCC được tính theo TCVN 6882-2001: là tỉ số giữa cường độ nén của mẫu xi măng Portland có pha phụ gia sFCC (R_B) và cường độ nén của mẫu xi măng Portland nền (gốc) không pha phụ gia (R_A) sau 28 ngày đông kết mẫu, tính bằng %, theo công thức: $I_R = (R_B/R_A) \cdot 100$. Quá trình tạo vữa, tạo hình, bảo dưỡng đóng rắn và thử nghiệm cơ lý của xi măng được tiến hành tại Phòng thí nghiệm Vật liệu Xây dựng và Cơ lý đất, Trung tâm Phân tích và Kiểm nghiệm, Sở Khoa học và Công nghệ Bình Định.

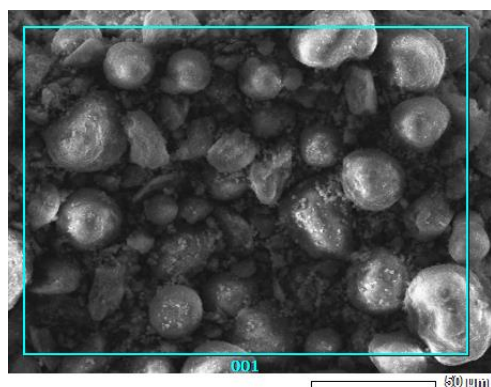
Kết quả và thảo luận

Xác định đặc tính của sFCC từ Nhà máy lọc dầu Dung Quất

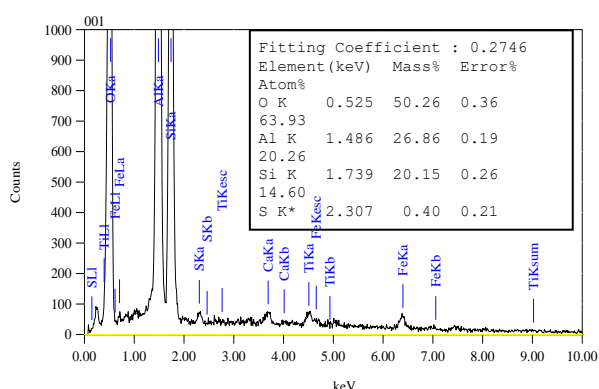
Hình thái học của mẫu sFCC được xác định qua ảnh SEM (Hình 1a). Quan sát nhận thấy sFCC rất mịn, hầu hết các hạt có kích thước trong khoảng 20-30 μm . Như vậy, xúc tác FCC sau khi sử dụng đã bị vỡ vụn so với xúc tác FCC ban đầu (thường có kích thước trung bình khoảng 60-70 μm [17]). Cỡ hạt rất nhỏ của sFCC sẽ tạo điều kiện thuận lợi trong việc phối trộn, các phản ứng thủy hóa, thủy phân và tạo cường độ trong vai trò làm phụ gia xi măng.

Thành phần hóa học của sFCC được xác định theo phương pháp EDX, kết quả thể hiện trong Hình 1b. Từ bảng thành phần các nguyên tố hóa học cơ bản cho thấy, các oxit trong mẫu chất thải FCC chủ yếu là Al₂O₃ và SiO₂, với phần trăm khối lượng tương ứng khoảng 50,74% và 43,18%, phù hợp với nguyên liệu cho các vật liệu xây dựng họ silicat. Nhận định này cũng phù hợp với kết quả XRD. Giản đồ XRD của mẫu sFCC được trình bày ở Hình 2. Kết quả tính từ XRD cho thấy ngoài

pha vô định hình, mẫu chứa khoảng 20% khối lượng pha tinh thể zeolit, chủ yếu là zeolit Y (Si/Al = 4,48).



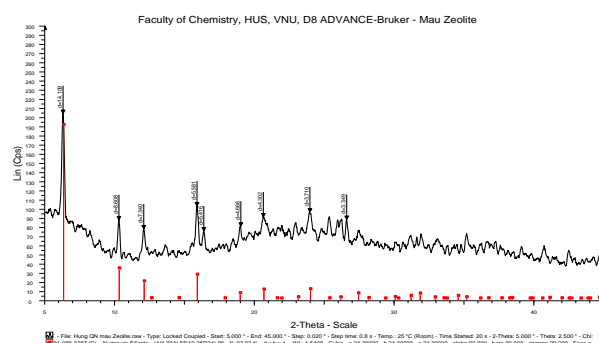
(a)



(b)

Hình 1: (a) Ảnh SEM; (b) Phổ EDX của mẫu sFCC

So sánh từ hai kết quả EDX và XRD, tính được phần trăm khối lượng của Al_2O_3 và SiO_2 trong pha vô định hình của sFCC tương ứng khoảng 47,79% và 25,55%. Đây là thành phần quan trọng tạo nên độ hoạt tính khi làm phụ gia trong xi măng.



Hình 2: Giải đồ XRD của mẫu sFCC

Độ hoạt tính phụ gia xi măng của sFCC

Vật liệu sFCC được hoạt hóa nhiệt ở các nhiệt độ 500, 600, 700 và 800 °C (mẫu được ký hiệu tương ứng là F500, F600, F700 và F800). Để có đánh giá ban đầu về khả năng sử dụng sFCC làm phụ gia hoạt tính cho xi măng, chúng tôi kiểm tra độ hoạt tính của sFCC thông

qua độ hút vôi theo phương pháp kiểm tra nhanh. Kết quả tổng lượng CaO hấp thu sau 15 lần chuẩn độ được trình bày ở Bảng 2.

Bảng 2: Độ hoạt tính của các mẫu sFCC ban đầu và sau xử lý nhiệt

| Mẫu | sFCC | F500 | F600 | F700 | F800 |
|---------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Độ hoạt tính (mg CaO/g phụ gia) | 92,68 | 103,46 | 104,16 | 122,08 | 100,80 |

Theo phân loại trong TCVN 3735:1982 về phụ gia hoạt tính pozzolan, phụ gia có độ hoạt tính pozzolan mạnh, trung bình, và yếu tương ứng với lượng vôi hút (m) từ dung dịch vôi bão hòa sau 30 ngày đêm của 1 gam phụ gia trong các khoảng $m > 100$, $m = 60-100$, và $30 < m < 60$ (mg CaO/g). Đối chiếu kết quả khảo sát ở Bảng 2 với TCVN 3735:1982 thấy rằng, mẫu sFCC chưa nung có độ hoạt tính thuộc loại trung bình. Khi xử lý nhiệt, độ hoạt tính hút vôi của mẫu tăng lên đáng kể. Các mẫu sFCC nung đều thuộc vùng chất phụ gia có độ hoạt tính mạnh. Độ hoạt tính của sFCC tăng khi tăng nhiệt độ nung từ 500 đến 700 °C, do đẩy mạnh sự phân hủy các sản phẩm hữu cơ gây bít tắt bề mặt xúc tác như cốc, hợp chất đa vòng ngưng tụ, tạo thuận lợi cho sự tương tác giữa pha SiO_2 vô định hình với CaO tạo khoáng. Tuy nhiên, khi nhiệt độ nung vượt quá 800 °C, độ hoạt tính của sFCC lại giảm đi rõ rệt, có thể ở nhiệt độ cao, sự chuyển pha của SiO_2 vô định hình đã bắt đầu diễn ra dẫn đến độ hoạt động của pha này giảm.

Việc đánh giá độ hoạt tính (độ hút vôi) chỉ cung cấp thông số ban đầu về chất lượng phụ gia. Bởi lẽ, độ hút vôi của phụ gia bao gồm hai phần: (1) hấp phụ vật lý thuần túy vào mao quản, lỗ rỗng của các hạt phụ gia, và (2) phản ứng hóa học. Vì vậy, để đánh giá đầy đủ hơn về chất lượng và khả năng sử dụng của phụ gia hoạt tính trong xi măng, cần phải khảo sát tiếp theo các chỉ tiêu cơ lý của xi măng hỗn hợp chứa phụ gia.

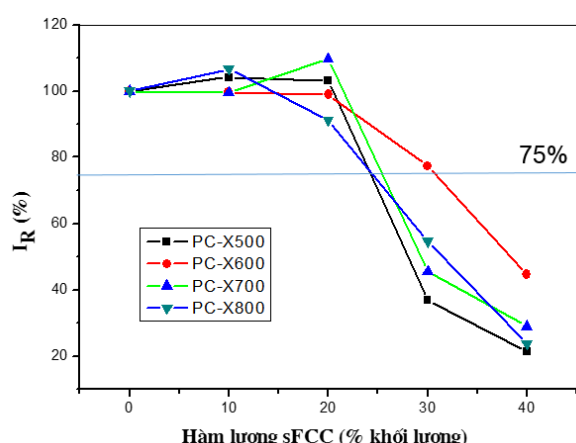
Chỉ số hoạt tính cường độ của sFCC

Các mẫu xi măng Portland hỗn hợp chứa phụ gia sFCC đã xử lý nhiệt với hàm lượng sFCC thay đổi trong khoảng 10-40% khối lượng. Kết quả xác định cường độ nén sau 28 ngày đóng rắn (R_{28}) và chỉ số hoạt tính cường độ (I_R) của các mẫu xi măng Portland hỗn hợp được trình bày ở Bảng 3. Ký hiệu mẫu ví dụ PC-X500 có nghĩa mẫu xi măng Portland được pha trộn với sFCC đã nung ở 500 °C. Đồ thị biểu diễn sự biến thiên chỉ số

hoạt tính cường độ theo hàm lượng sFCC ở các nhiệt độ nung sFCC khác nhau được nêu ra ở Hình 3.

Bảng 3. Cường độ nén 28 ngày và chỉ số hoạt tính cường độ của mẫu xi măng chứa phụ gia sFCC với hàm lượng sFCC thay đổi (mẫu so sánh có $R_{28} = 59,8$ N/mm²)

| Mẫu | Cường độ nén 28 ngày R_{28} (N/mm ²) | | | | Chỉ số hoạt tính cường độ I_R (%) | | | |
|---------|--|------|------|------|-------------------------------------|--------|-------|-------|
| | % khối lượng sFCC | | | | % khối lượng sFCC | | | |
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 10 | 20 | 30 | 40 |
| PC-X500 | 62,3 | 61,7 | 22,1 | 12,8 | 104,18 | 103,18 | 36,96 | 21,40 |
| PC-X600 | 59,6 | 59,2 | 46,3 | 26,7 | 99,67 | 99,00 | 77,42 | 44,65 |
| PC-X700 | 59,6 | 65,6 | 27,3 | 17,3 | 99,67 | 109,70 | 45,65 | 28,93 |
| PC-X800 | 63,8 | 54,6 | 32,7 | 14,2 | 106,69 | 91,30 | 54,68 | 23,75 |



Hình 3: Sự biến thiên chỉ số hoạt tính cường độ theo hàm lượng sFCC ở các nhiệt độ nung sFCC khác nhau

Kết quả cho thấy, các mẫu phối trộn với sFCC hàm lượng 10-20% đạt độ bền nén sau 28 ngày đóng rắn là xấp xỉ, thậm chí cao hơn ở một số mẫu so với mẫu đối chứng (dùng xi măng không trộn sFCC) có $R_{28} = 59,8$ N/mm². Khi hàm lượng sFCC tăng lên quá 20%, cường độ nén của mẫu giảm rõ rệt.

Đồ thị Hình 3 cho thấy, các mẫu PC-F500 (%sFCC=10-20), PC-F600 (%sFCC=10-30), PC-F700 (%sFCC=10-20), PC-F800 (%sFCC=10-20) có chỉ số hoạt tính cường độ I_R đạt chất lượng của phụ gia hoạt tính cho xi măng theo TCVN 6882-2016 ($I_R \geq 75\%$). Độ giảm chỉ số hoạt tính cường độ I_R theo hàm lượng sFCC của mẫu PC-X600 là thấp hơn đáng kể so với các mẫu còn lại. Đối chiếu với kết quả ở Bảng 2, độ hút vôi lại cao nhất ở mẫu sFCC nung ở 700 °C. Điều đó cho thấy, xử lý nhiệt

sFCC ở 600 °C là thích hợp cho việc tạo độ hoạt tính hút vôi bằng phản ứng hóa học của phụ gia. Nhiệt độ nung cao hơn là không cần thiết vì vừa tốn kém năng lượng, mà chỉ tăng khả năng hút vôi của phụ gia ở phần hấp phụ vật lý thuần túy vào mao quản, lỗ rỗng giữa các hạt.

Thời gian đông kết và độ ổn định thể tích của xi măng PC hỗn hợp với sFCC

Để khẳng định thêm khả năng sử dụng sFCC làm phụ gia hoạt tính cho xi măng, các chỉ tiêu cơ lý khác (thời gian đông kết, độ ổn định thể tích) của mẫu PC-X600 cũng đã được xác định, kết quả trình bày ở Bảng 4.

Bảng 4: Thời gian đông kết và độ ổn định thể tích của mẫu xi măng hỗn hợp PC-X600 với hàm lượng sFCC thay đổi

| Chỉ tiêu | TCVN 6260:2009 | Mẫu PC-X600 | | | |
|------------------------------------|----------------|--|-----|----|-----|
| | | Hàm lượng sFCC thay thế (% khối lượng) | | | |
| | | 10 | 20 | 30 | 40 |
| Thời gian bắt đầu đông kết (phút) | ≥ 45 | 105 | 82 | 38 | 36 |
| Thời gian kết thúc đông kết (phút) | ≤ 420 | 123 | 110 | 61 | 57 |
| Độ ổn định thể tích (mm) | ≤ 10 | 0,6 | 0,2 | 1 | 0,2 |

Kết quả cho thấy, mẫu PC-X600 với hàm lượng sFCC 10-20% khối lượng đều có các chỉ tiêu thời gian bắt đầu và kết thúc đông kết, độ ổn định thể tích đáp ứng TCVN 6260:2009 về xi măng Portland hỗn hợp - yêu cầu kỹ thuật.

Tổng hợp các kết quả trên cho thấy, phế phẩm sFCC từ Nhà máy lọc dầu Dung Quất hoàn toàn có thể sử dụng làm phụ gia hoạt tính cho xi măng Portland ở điều kiện thực nghiệm thích hợp được xác định như sau: sFCC xử lý nhiệt ở 600 °C, hàm lượng phối trộn vào xi măng khoảng 10-20% khối lượng.

Kết luận

Kết quả khảo sát đặc tính của chất xúc tác FCC đã qua sử dụng (sFCC) từ Nhà máy lọc dầu Dung Quất cho thấy: sFCC rất mịn với kích thước hạt 20-30 μm , có thành phần chủ yếu là các aluminosilicat trong pha nền và khoảng 20% khối lượng pha tinh thể zeolit, chủ yếu là zeolit Y (Si/Al = 4,48), phần trăm khối lượng của Al_2O_3 và SiO_2 trong pha vô định hình tương ứng khoảng 47,79% và 25,55%. Vật liệu sFCC xử lý nhiệt 500-800 °C có độ hoạt tính (thể hiện qua khả năng hút

vôi) mạnh theo TCVN 3735:1982 (trên 100 mg CaO/gam phụ gia).

Các thông số cơ lý và chỉ số hoạt tính cường độ của xi măng Portland hỗn hợp giữa PC40 nền với sFCC xử lý nhiệt ở các hàm lượng khác nhau đã được xác định. Kết quả cho thấy, các mẫu phối trộn với 10-20% khối lượng sFCC đều đạt độ bền nén tốt sau 28 ngày đóng rắn (trên 50 N/mm²), chỉ số hoạt tính cường độ I_R đạt chất lượng của phụ gia hoạt tính cho xi măng theo TCVN 6882:2001 (và cả TCVN 6882:2016). Các thông số về thời gian bắt đầu và kết thúc đông kết, độ ổn định thể tích đều đáp ứng TCVN 6260:2009 về xi măng Portland hỗn hợp - yêu cầu kỹ thuật. Điều đó cho phép khẳng định rằng, chất xúc tác FCC đã qua sử dụng từ Nhà máy lọc dầu Dung Quất hoàn toàn có thể tái chế làm phụ gia hoạt tính cho xi măng Portland ở điều kiện thực nghiệm thích hợp (sFCC được xử lý nhiệt ở 600 °C, phối trộn vào xi măng 10-20% khối lượng).

Tài liệu tham khảo

- Nancy T. C. and Janneth T. A., Using spent fluid catalytic cracking (FCC) catalyst as pozzolanic addition - a review, *Ing. Investig.*, 30(2), (2010) 35-42. <https://doi.org/S0120-56092010000200004>
- Payá J., Monzó J., Borrachero M. V., Physical, chemical and mechanical properties of fluid catalytic cracking catalyst residue (FC3R) blended cements, *Cem. Concr. Res.* 31, (2001) 57-61. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00432-4](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00432-4)
- Su N., Fang H. Y. Chen Z. H. and Liu F. S., Reuse of waste catalysts from petrochemical industries for cement substitution, *Cem. Concr. Res.* 30, (2000) 1773-1783. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00401-4](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00401-4)
- Al-Dhamri H., Melghit K., Use of alumina spent catalyst and RFCC wastes from petroleum refinery to substitute bauxite in the preparation of Portland clinker, *J Hazard Mater.*, 179(1-3), (2010) 852-859. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.03.083>
- Hsu K.Ch., Tseng Y.S., Ku F. F. and Su N., Oil cracking catalyst as an active pozzolanic material for superplasticized mortars, *Cem. Concr. Res.* 31, (2001) 1815-1820. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00693-7](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00693-7)
- Monzó J., Payá J., Borrachero M. V., Velázquez S., Soriano L., Serna P., Rigueira J., Reusing of spent FCC catalyst as a very reactive pozzolanic material: formulation of high performance concretes, *Proceedings of International RILEM Conference on the Use of Recycled Materials in Buildings and Structures, Spain*, (2004) 1008. <https://doi.org/10.1617/2912143756.111>
- Pacewska B., Wilinska I. and Kubissa J., Use of spent catalyst from catalytic cracking in fluidized bed as a new concrete additive, *Thermochim. Acta*, 322, (1998) 175-181. [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(98\)00498-5](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(98)00498-5)
- Taha R., Al-Kamyani Z., Al-Jabri K., Baawain M., Al-Shamsi K., Recycling of waste spent catalyst in road construction and masonry blocks, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 229/230, (2012) 122-127. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.05.083>
- Ramezani A, Emami S. M., Nemat S., Reuse of spent FCC catalyst, waste serpentine and kiln rollers waste for synthesis of cordierite and cordierite-mullite ceramics, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 338, (2017) 177-185. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.05.029>
- Vũ Thị Minh Hồng, Nguyễn Trung Kiên, Đào Đức Cảnh, Đặng Tuyết Phương, Vũ Anh Tuấn, Phan Vũ Anh, Hoàng Thị Thu Thủy, Trần Thị Kim Hoa, Nghiên cứu tăng cường tính chất axit của xúc tác FCC phế thải từ nhà máy lọc dầu Dung Quất, *Tạp chí hoá học*, 49(5AB), (2011) 659-664.
- Phạm Thị Thu Giang, Vũ Văn Giang, Vũ Thị Minh Hồng, Nguyễn Trung Kiên, Đào Đức Cảnh, Hoàng Thị Thu Thủy, Trần Thị Kim Hoa, Vũ Anh Tuấn, Đặng Tuyết Phương, Chế tạo xúc tác từ FCC thải của nhà máy lọc dầu Dung Quất sử dụng để nhiệt phân rơm rạ thành dầu sinh học, *Tạp chí hoá học*, 49(5AB), (2011) 609-613.
- Lê Quang Hưng, Vũ Thị Thu Hà, Đinh Thị Ngọc, Nguyễn Khánh Diệu Hồng, Nghiên cứu tỉ lệ phối trộn xúc tác FCC tái sinh với một số vật liệu có tính axit như H-ZSM-5, HY, Al₂O₃ cho phản ứng cracking dầu nhờn thải, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ*, 50(3E), (2012) 176-182.
- Nguyễn Anh Đức và cộng sự, Nghiên cứu tối ưu điều kiện thu hồi La³⁺ từ xúc tác FCC thải của nhà máy lọc dầu Dung Quất bằng phương pháp ngâm chiết sử dụng HNO₃, *Tạp chí Dầu khí*, 8, (2017) 34-40. <https://doi.org/10.25073/petrovietnam%20journal.v8i0.195>
- Lê Phúc Nguyên, Bùi Nguyễn Vĩnh Phúc, Trần Văn Trí, Phạm Thị Hải Yến, Ngô Thúy Phương, Trần Vĩnh Lộc, Lê Thị Hoài Nam, Nghiên cứu loại Fe(III) khỏi dung dịch sau hoà tách xúc tác FCC thải bằng HNO₃ nhằm tinh chế đất hiếm, *Tạp chí Xúc tác và Hấp phụ*, 8(4), (2019) 49-54.
- Nguyễn Phi Hùng, Đặng Văn Sỹ, Trần Quang Hữu, Nguyễn Hữu Hạnh, Hồ Mạnh Hùng, Nghiên cứu chế tạo gạch không nung từ chất thải xúc tác FCC của Nhà máy lọc dầu Dung Quất, *Tạp chí Xúc tác và Hấp phụ*, 2(1), (2013) 107-112.
- Đào Thị Thanh Xuân, Nguyễn Sưa, Nguyễn Hiền Phong, Bùi Ngọc Pha, Các giải pháp tiềm năng cho việc tái sử dụng triệt để xúc tác FCC thải của Nhà máy Lọc dầu Dung Quất, đăng trên website của Tập đoàn Dầu khí Quốc gia Việt Nam, (2017).
- Scherzer J., Octane-enhancing, zeolitic FCC catalysts: scientific and technical aspects, *Catal. Rev. -Sci. Eng.*, 31(3), (1989) 215-354.