

NGHIÊN CỨU LÀM GIÀU CANXI HỮU HIỆU TỪ XỈ THẢI PHỐT PHO ĐỊNH HƯỚNG ỨNG DỤNG LÀM PHỤ GIA SẢN XUẤT PHÂN BÓN

STUDY ON EFFECTIVE CALCIUM ENRICHMENT FROM PHOSPHORUS WASTE SLAG FOR APPLICATION AS A FERTILIZER ADDITIVE

Phạm Thị Mai Hương^{1,*},
Chu Quý Thương¹, Phan Thị Quyên¹

TÓM TẮT

Xỉ thải phốt pho là chất thải rắn phát sinh trong quá trình sản xuất phốt pho vàng theo phương pháp lò điện. Thành phần chính của xỉ thải phốt pho Lào Cai gồm các oxit kim loại như SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO ,... trong đó hàm lượng CaO chiếm từ 33% - 47%. Trong nghiên cứu này hàm lượng CaO hữu hiệu được nghiên cứu tách làm giàu với định hướng làm phụ gia sản xuất phân bón. Quá trình tách làm giàu canxi được thực hiện ở pH là 3, khuấy liên tục với tốc độ 200 vòng/phút, gia nhiệt liên tục ở 70°C trong vòng 50 phút với tỷ lệ khối lượng xỉ thải:thể tích dung dịch chiết là 1:5 đã cho thấy hiệu quả tách canxi đạt hiệu suất cao. Hàm lượng canxi trong chế phẩm thu được phù hợp với tiêu chuẩn chất lượng phụ gia phân bón giàu canxi theo QCVN 01-189:2019/BNNPTNT.

Từ khóa: Xỉ thải phốt pho vàng, phụ gia, phân bón giàu canxi.

ABSTRACT

Phosphorus waste slag is the solid waste of producing yellow phosphorus in electrical furnace. The phosphorus waste slag contains metals oxide as SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO ,... in which the CaO is 40 - 50%. In this study, the effective calcium in phosphorus waste slag was separated and enriched using to product the fertilizer. The separated process was studied in pH 3, stirred with 200r.min⁻¹, the temperature was 70°C in 50 minutes, the ration of the extracts and the phosphorus waste slag was 1:5. The results showed that the effective calcium of product obtained was high, reached to quantity standard QCVN 01-189:2019/BTNMT as a calcium-rich fertilizer additive.

Keywords: Phosphorus waste slag, separated, calcium rich fertilizer.

¹Khoa Công nghệ Hóa, Trường Đại học công nghiệp Hà Nội

*Email: phammaihuong@hau.com.vn

Ngày nhận bài: 10/5/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 15/6/2022

Ngày chấp nhận đăng: 27/6/2022

1. GIỚI THIỆU

Tính đến năm 2019, khu công nghiệp Tăng Loông trở thành khu vực trọng điểm sản xuất phốt pho vàng với quy mô gồm 6 nhà máy sản xuất phốt pho. Tổng công suất sản xuất phốt pho vàng theo thiết kế trong khu công nghiệp là

72.000 tấn/năm [1, 2]. Cùng với lượng phốt pho được sản xuất thì lượng xỉ thải phát sinh cũng rất lớn, lên tới 840.000 tấn/năm. Lượng xỉ thải này chứa phần lớn là các oxit khoáng như silic oxit SiO_2 37 - 40%, canxi oxit CaO 40 - 50%, nhôm oxit Al_2O_3 2 - 5% và một số các chất khác như F, các kim loại nặng... [3]. Việc lưu trữ, xử lý xỉ thải phốt pho là vấn đề cấp bách với sản xuất công nghiệp tại Khu công nghiệp này. Đã có nhiều nghiên cứu đối với việc xử lý xỉ thải phốt pho như làm phụ gia xi măng, làm gạch ceramic...cần cứ vào từng thành phần có trong xỉ [4, 5]. Lượng CaO trong xỉ thải phốt pho khá lớn chiếm 40-50% cho thấy việc tách canxi trong xỉ thải ứng dụng làm phụ gia trong phân bón là rất thực tế và khả thi. Mặt khác, trong sản xuất nông nghiệp thì canxi là một trong những nguyên tố quan trọng của cây trồng và canxi giúp giảm độ chua của đất. Bên cạnh đó, nó cũng giúp ổn định vách tế bào của thực vật, điều hòa sự thẩm thấu của tế bào. Cây nếu thiếu canxi sẽ biểu hiện rối loạn sinh lý cho trái, gây hiện tượng nứt trái, các mô tế bào trở nên mềm yếu, xuất hiện những đốm nâu sậm trên bề mặt trái [6]; chồi non ở cây mất màu xanh, uốn cong và xoắn lại, sau đó sẽ chết dần. Vì vậy, việc bón phân Canxi cho cây ở từng thời kỳ là rất cần thiết, tránh hiện tượng thiếu hụt canxi, làm giảm năng suất cây trồng. Trong công nghiệp sản xuất phân bón thì phân bón giàu canxi cũng được các nhà sản xuất quan tâm nhằm phục vụ tốt nhất đối với nền sản xuất nông nghiệp đa dạng như ở Việt nam.

Trong nghiên cứu này, để làm giàu canxi hữu hiệu, phương pháp được ưu tiên là phương pháp ngâm chiết xỉ thải phốt pho bằng axit HNO_3 ở các điều kiện khảo sát [7, 8, 9, 10]. Sản phẩm nhóm nghiên cứu thực hiện trước hết được tách ở dạng dung dịch lỏng, là loại chế phẩm mà cây trồng cũng rất dễ hấp thu, đánh giá chất lượng ứng dụng làm phụ gia cho loại phân bón giàu canxi.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Hóa chất, thiết bị và nguyên liệu

Dung dịch chuẩn Ca, Fe, Cu, Pb, SiO_2 1000mg/L; HCl 36,5%; HNO_3 65%; NaOH; NaCl; KOH; KCN; Na_2EDTA ;

ZrOCl₂.8H₂O; chỉ thị calconcarboxylic (C₂₁H₁₄N₂O₇.3H₂O); chỉ thị bromocresol xanh lục; chỉ thị metyl đỏ; KH₂PO₄; HBO₃; etanol; hợp kim devada; (NH₄)₅Mo₇O₂₄.4H₂O; NH₄VO₃; Na₂CO₃; NH₄NO₃; axit ascobic.

Máy đo quang phổ phân tử UV-Vis U2910, máy đo quang phổ nguyên tử AAS Thermo, máy khuấy từ gia nhiệt, máy phá mẫu và chưng cất nitơ, lò vi sóng.

Mẫu xỉ thải được lấy tại bãi xỉ của Công ty Cổ phần photpho vàng Lào Cai. Công tác lấy mẫu được thực hiện theo TCVN 9462:2012 (ASTM D528409). Mẫu sau khi đưa về phòng thí nghiệm sẽ được nghiền nhỏ đến kích thước < 1mm. Thành phần của mẫu xỉ được phân tích bằng phương pháp phổ huỳnh quang tia X (XRF) có hàm lượng CaO là 46,62% [11].

2.2. Thục nghiệm

2.2.1. Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình làm giàu canxi hữu hiệu

a) Khảo sát ảnh hưởng của pH

Cân 20,00g mẫu xỉ vào cốc 250mL, thêm từ từ 100mL dung dịch chiết được điều chỉnh các giá trị pH lần lượt là 1, 3, 5, 7, 8. Tiến hành khuấy trên máy khuấy từ với tốc độ khoảng 200 vòng/phút, trong thời gian 1 giờ ở nhiệt độ phòng.

b) Khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ

Tiến hành quy trình thí nghiệm như đối với thí nghiệm 1 với dung dịch chiết là dung dịch HNO₃ đặc, điều chỉnh pH dung dịch về 3. Tiến hành thí nghiệm ở các điều kiện nhiệt độ là nhiệt độ phòng; 50 °C; 60 °C; 70 °C; 80 °C; 90 °C.

c) Ảnh hưởng của tỷ lệ khối lượng xỉ thải:thể tích dung dịch chiết

Cân 20 gam mẫu xỉ vào cốc 250ml, thêm 100ml dung dịch chiết có pH = 3, thực hiện ở nhiệt độ 70°C, với tỷ lệ xỉ thải phốt pho:thể tích dung dịch chiết lần lượt là 1:2; 1:5; 1:10; 1:20.

d) Khảo sát ảnh hưởng của thời gian chiết

Cân 20g mẫu xỉ, với tỷ lệ xỉ thải phốt pho:thể tích dung dịch chiết là 1:5, tiến hành khảo sát ở các điều kiện thời gian phản ứng lần lượt là 30 phút, 40 phút, 50 phút, 60 phút, 70 phút.

Các thí nghiệm sau khi tiến hành ngâm chiết đều được lọc tách 2 pha: pha rắn và pha lỏng để tiến hành phân tích hàm lượng canxi bằng phương pháp chuẩn độ complexon.

Hiệu quả làm giàu canxi hữu hiệu được đánh giá theo hàm lượng Ca trong dung dịch chiết và độ thu hồi Ca được tính theo công thức:

$$\text{Hiệu suất làm giàu Canxi (\%)} = \frac{C - C_0}{F} \cdot 100 (\%)$$

Trong đó:

C: là khối lượng Ca trong dung dịch sau khi chiết (g)

C₀: là khối lượng Ca trong dung dịch chiết ban đầu (g)

F: là khối lượng dung dịch chiết (g)

2.2.2. Đánh giá một số chỉ tiêu chất lượng của chế phẩm

Hàm lượng Canxi được phân tích theo TCVN 12598:2018; hàm lượng Nitơ tổng số được phân tích theo

TCVN 8557:2010; hàm lượng P₂O₅ hữu hiệu được phân tích theo TCVN 8559:2010; hàm lượng SiO₂ hữu hiệu được phân tích theo TCVN 11407:2019; hàm lượng Pb được phân tích theo TCVN 9290:2018; hàm lượng Cu được phân tích theo TCVN 9286:2018; hàm lượng Fe được phân tích theo TCVN 9283:2018; hàm lượng Cd được phân tích theo TCVN 9291:2018.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình làm giàu canxi hữu hiệu

3.1.1. Ảnh hưởng của pH

Quá trình khảo sát ảnh hưởng pH của dung dịch chiết được tiến hành ở các điều kiện pH khác nhau. Hỗn hợp thu được đem lọc lấy dịch lọc. Phân tích hàm lượng Ca thu được trong dịch lọc ở các điều kiện pH được thể hiện ở bảng 1.

Bảng 1. Hàm lượng Ca trong dịch chiết ở các giá trị pH

STT	pH	Pha lỏng	
		%Ca	Hiệu suất làm giàu (%)
1	1	4,17	1,25
2	3	3,51	1,05
3	5	0,93	0,28
4	7	0,36	0,11
5	8	0,15	0,05

Thục nghiệm cho thấy ở những môi trường dung dịch chiết có pH > 7, trong mẫu xuất hiện kết tủa trắng, điều này chứng tỏ rằng khi ở trong môi trường bazơ, Ca có khả năng tạo các kết tủa bền như Ca(OH)₂ hoặc các kết tủa khác với các ion trong dung dịch. Điều này làm cho hiệu suất làm giàu Ca giảm đáng kể. Hàm lượng Ca trong pha lỏng cũng tăng dần khi pH dung dịch giảm xuống. Vì vậy, việc sử dụng môi trường chiết là môi trường axit là phương án tối ưu hơn cả, ở pH là 1 thì hàm lượng Canxi thu được cao nhất, tuy nhiên nếu ở pH là 1 sẽ sử dụng rất nhiều axit, vừa tốn kém lại vừa không tốt cho cây trồng nếu sử dụng làm phân bón, vì vậy giá trị pH = 3 là được lựa chọn để thực hiện các bước khảo sát tiếp theo.

3.1.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ

Thục nghiệm được tiến hành với điều kiện pH là 3, nhiệt độ tăng dần từ nhiệt độ phòng đến 90°C. Hàm lượng Ca trong dung dịch lọc được phân tích và ghi lại trong bảng 2.

Bảng 2. Kết quả hàm lượng Ca ảnh hưởng bởi nhiệt độ chiết

STT	Nhiệt độ (°C)	Pha lỏng	
		%Ca	Hiệu suất làm giàu (%)
1	Nhiệt độ phòng	3,51	1,05
2	50	4,42	1,33
3	60	5,88	1,77
4	70	7,82	2,35
5	80	8,41	2,53
6	90	9,33	2,80

Hàm lượng Ca trong các pha lỏng có xu hướng tăng khi tăng điều kiện nhiệt độ. Tuy nhiên khi tăng đến nhiệt độ 70°C, sau đó tăng nhiệt độ lên 80°C và 90°C, hàm lượng Ca trong mẫu có tăng nhưng không đáng kể. Điều đó cho thấy nhiệt độ có ảnh hưởng rất lớn tới khả năng hòa tan và hiệu suất làm giàu mẫu.

Khi nhiệt độ tăng lên, tốc độ bay hơi của axit cũng tăng lên làm lượng dung dịch chiết giảm theo quá trình bay hơi. Ở nhiệt độ > 70°C, trong bình phản ứng xuất hiện các bọt khí, axit bay hơi nhiều làm thất thoát dung dịch chiết do vậy cần phải khống chế nhiệt độ phản ứng < 70°C. Vậy nên, chọn điều kiện phản ứng là dưới 70°C.

3.1.3. Ảnh hưởng của tỷ lệ khối lượng xỉ thải:thể tích dung dịch chiết

Các mẫu được tiến hành ở điều kiện pH 3, nhiệt độ chiết là 70°C, tỷ lệ khối lượng xỉ thải:thể tích dung dịch chiết lần lượt là 1:2; 1:5; 1:10. Sau khi lọc tách mẫu để phân tích phần dịch lọc, hàm lượng Ca trong các mẫu được thể hiện ở bảng 3.

Bảng 3. Kết quả hàm lượng Ca ảnh hưởng theo tỷ lệ rắn:lỏng đến quá trình chiết

STT	Tỷ lệ khối lượng xỉ thải:thể tích dung dịch chiết	Pha lỏng	
		%Ca	Hiệu suất làm giàu (%)
1	1:2	12,33	3,70
2	1:5	8,61	2,59
3	1:10	6,43	1,93
4	1:20	7,53	2,26

Từ kết quả thu được ta thấy, hàm lượng canxi ở các mẫu pha lỏng tăng lên khi thể tích dung dịch axit giảm. Tuy nhiên khi tỷ lệ rắn:lỏng là 1:20 thì hiệu suất làm giàu lại tăng lên nhưng tăng không đáng kể. Điều đó có thể do khi thể tích dung dịch axit tăng lên nhưng tốc độ khuấy không đổi sẽ làm giảm tốc độ hòa tan Ca trong mẫu. Trong khi đó ở có tỷ lệ rắn:lỏng là 1:2, mẫu có động lực cao, sự xáo động trong dung dịch quá lớn, có thể gây ăn mòn thiết bị. Do đó, lựa chọn mẫu có tỷ lệ rắn:lỏng là 1:5 để khảo sát tiếp theo.

3.1.4. Ảnh hưởng của thời gian chiết

Quá trình thực nghiệm ở thời gian khảo sát ở 30 phút, 40 phút, 50 phút, 60 phút, 70 phút. Sau đó lọc tách mẫu, thu được các kết quả phân tích Ca trong phần dịch lọc được thể hiện ở bảng 4.

Bảng 4. Kết quả hàm lượng Ca ảnh hưởng bởi thời gian đến quá trình chiết

STT	Thời gian (phút)	Pha lỏng	
		%Ca	Hiệu suất làm giàu (%)
1	30	2,29	0,69
2	40	3,12	0,94
3	50	8,90	2,67
4	60	9,82	3,15
5	70	11,15	3,35

Ảnh hưởng của thời gian phản ứng đối với việc làm giàu Canxi trong khoảng thời gian 30 đến 50 phút, hàm lượng %Ca trong mẫu pha lỏng sẽ tăng nhanh. Tuy nhiên khi tăng thời gian lên 60 phút hay 70 phút không làm hàm lượng canxi tăng đáng kể. Như vậy, thời gian chiết được lựa chọn là 50 phút cho phù hợp với thực tiễn, giảm chi phí.

3.2. Đánh giá một số chỉ tiêu của chế phẩm

Các điều kiện tối ưu đã khảo sát được sử dụng để thực hiện tách làm giàu canxi từ xỉ thải phốt pho. Mẫu chế phẩm sau khi được thực hiện chiết theo quy trình tối ưu, sẽ được lọc tách riêng 2 pha:pha rắn và pha lỏng (phần dịch lọc) để phân tích một số chỉ tiêu bằng các phương pháp phân tích công cụ thích hợp. Kết quả được thể hiện ở bảng 5.

Bảng 5. Bảng kết quả hàm lượng một số chỉ tiêu trong phần dịch lọc

STT	Thông số	Phương pháp thực hiện	Đơn vị	Mẫu xỉ thải ban đầu	Pha lỏng	QCVN 01-189:2019/BNNPTNT [7]
1	N _{ts}	TCVN 8557:2010	%	-	0,156	≥14,8
2	P ₂ O _{5sh}	TCVN 8559:2010	%	-	0,282	≥20
3	SiO _{2hh}	TCVN 11407:2019	%	16,03	0,152	≥5
4	Cu	TCVN 9286:2018	mg/kg	<15	<15	≥50
5	Fe	TCVN 9283:2018	mg/kg	<20	<20	≥50
6	Cd	TCVN 9291:2018	mg/kg	<0,05	<0,05	5
7	Pb	TCVN 9290:2018	mg/kg	<5	<5	200
8	Ca	TCVN 12598:2018	%	30,81	7,08	18

Dựa vào các kết quả trên ta thấy:

Hàm lượng N_{ts}

Mẫu pha lỏng có hàm lượng Nitơ tổng số < 0,156%. Điều này có thể là do hàm lượng Nitơ trong axit HNO₃ cung cấp vào mẫu tương đối nhỏ. Một phần Nitơ trong mẫu cũng có thể bị mất đi trong quá trình cung cấp nhiệt.

Hàm lượng P₂O_{5sh}

Hàm lượng P₂O_{5sh} trong mẫu pha lỏng là 0,282%, kết quả trên đã cho thấy phốt pho trong mẫu xỉ thải có thể tồn tại ở dạng P₂O₅ dễ tan trong axit hoặc các dạng khác của quặng apatit, floapatit hoặc các khoáng khác có khả năng hòa tan kém trong môi trường axit.

Hàm lượng SiO_{2hh}

Kết quả phân tích một số chỉ tiêu trong mẫu chế phẩm cho thấy, ngoài việc làm giàu Canxi, quy trình chế tạo còn tạo ra một lượng nhỏ SiO_{2hh}. Hàm lượng SiO_{2hh} trong mẫu phân bón chế tạo là 0,15%. Sản phẩm của quá trình chế tạo

có thể coi là phân bón đa lượng do có thêm các thành phần thiết yếu cho cây trồng.

Hàm lượng Ca

Hàm lượng Ca trong mẫu chế phẩm này là 10,82%. Tuy hàm lượng Ca thấp hơn so với quy chuẩn QCVN 01-189:2019/BNNPTNT ($\geq 18\%$) nhưng hàm lượng này cũng là tiềm năng rất lớn trong ứng dụng sử dụng làm phụ gia phân bón giàu Canxi [12]. Sau quá trình tách chiết, các nghiên cứu tiếp theo nhóm sẽ tiến hành làm giàu cũng như tách và kết hợp với một số nguyên liệu làm phân bón giàu canxi ở cả dạng lỏng và rắn.

Hàm lượng các nguyên tố vi lượng (Fe, Cu)

Kết quả hàm lượng các nguyên tố Fe, Cu đều rất nhỏ. Điều này có thể do hàm lượng Fe_2O_3 và CuO trong mẫu xỉ thải ban đầu rất nhỏ nên độ hòa tan của các thành phần này là không đáng kể.

Hàm lượng các yếu tố có hại (Pb, Cd)

Hàm lượng các yếu tố có hại (Pb, Cd) đều nằm trong ngưỡng cho phép theo QCVN 01-189:2019/BNNPTNT [12].

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy, việc tách canxi trong xỉ phốt pho có tính khả thi cao. Các điều kiện tối ưu để chiết làm giàu canxi hữu hiệu từ xỉ thải phốt pho là thực hiện ở môi trường pH = 3, khuấy liên tục với tốc độ 200 vòng/phút, gia nhiệt liên tục ở 70°C trong vòng 50 phút với tỷ lệ khối lượng xỉ thải:thể tích dung dịch chiết là 1:5. Mẫu chế phẩm cho thấy hàm lượng Ca trong mẫu pha lỏng (phần dịch lọc) là 7,08%. Một số chỉ tiêu khác như SiO_{2hh} là 0,15%, N_{ts} , P_2O_{5hh} và các kim loại nặng đều ở ngưỡng cho phép. Điều này cho thấy, các khoáng chất là chất dinh dưỡng đều ở dạng lỏng, là dạng mà cây trồng dễ hấp thu, dễ dàng ứng dụng cho việc làm phụ gia cho một số loại phân bón lá, phân bón sản xuất bằng công nghệ nano, đặc biệt là phân bón dạng lỏng phức hợp hay phân bón hữu cơ dạng lỏng. Việc tách Ca trong xỉ thải phốt pho là bước đầu cho việc làm giàu canxi, bổ sung vào trong nguyên liệu sản xuất phân bón vừa có ý nghĩa thực tiễn lớn vừa có ý nghĩa về khía cạnh môi trường, biến những chất thải bỏ trong công nghiệp thành các nguyên liệu thân thiện và có ích cho con người.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Du an sản xuất Phốt pho vàng 9.800 tấn/năm (2017). Nam Tien Group JSC.
- [2]. Vu Thi Huyen, 2020. *Nghiên cứu sử dụng xỉ thải phốt pho vàng (Lao Cai) làm gạch không nung*. Master thesis, Hanoi University of Industry.
- [3]. Tran Anh Tan, Nguyen Son Tung, 2019. *Giai pháp sử dụng xỉ thải tu hoạt động sản xuất phốt pho vàng*. Electronic Journal of Environmental Industry, Vietnam.
- [4]. Hong-pan Liu, Xiao-feng Huang, Li-ping Ma, Dan-li-Chen, Zhi-bio Shang, Ming Jiang, 2017. *Effect of Fe_2O_3 on the crystallization behavior of glass-*

ceramics produced from naturally cooled yellow phosphorus furnace slag. International Journal of Mineral, Metallurgy and Materials, 24(3), pp.1-6.

[5]. B. Xu, K.M. Liang, J.W. Cao, Y.H. Li, 2010. *Preparation of Foam Glass Ceramics from Phosphorus Slag*. Advanced Material Research, 105-106, pp. 600-603.

[6]. Tran Thi Bich Van, 2018. *Nghiên cứu sử dụng xỉ thải canxi của chom chom rongrien trong hạn chế hiện tượng nứt trái*. PhD Thesis, Cantho University.

[7]. Nguyen An, 1980. *Nghiên cứu khả năng sản xuất phân bón phức hợp nitrophot tu apatit loại II Lao Cai*. PhD Thesis.

[8]. Nguyen Huy Phieu, 1974. *Làm giàu quang apatit Lao Cai loại 2*. Chemical Industry Journal, Vol. 3, pp. 3 - 5 và 21.

[9]. M. Gharabaghi, M. Noaparast, M. Irannajad, 2009. *Selective leaching kinetics of low-grade calcareous phosphate ore in acetic acid*. Hydrometallurgy, 95, pp. 341-345.

[10]. Z.I. Zafar, T.M. Ansari, M. Ashraf, M.A. Abid, 2006. *Effect of Hydrochloric Acid on Leaching Behavior of Calcareous Phosphorites*. Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering (IJCCE), 25, pp. 47-57.

[11]. Pham Thi Mai Huong, Vu Minh Tan, Phan Thi Quyen, Vu Thi Huyen, 2020. *Composition and structural characteristics of Lao Cai phosphorus slags to product unburt material*. Journal of Science and Technology, Hanoi University of Industry, Vol. 56, No. 5, 125-128

[12]. QCVN 01-189:2019/BNNPTNT, National technical regulation on fertilizer quality.

AUTHORS INFORMATION

Pham Thi Mai Huong, Chu Qui Thuong, Phan Thi Quyen

Faculty of Chemical Technology, Hanoi University of Industry