

## NGHIÊN CỨU LOẠI BỎ CATION $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ TỪ DUNG DỊCH BẰNG NHỰA TRAO ĐỔI ION LEWATIT MONO S108

Vũ Thế Ninh\*, Lưu Minh Đại, Đào Ngọc Nhiệm, Phạm Ngọc Chức

*Viện Khoa học Vật liệu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam,  
18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội*

\*Email: [ninhvt@ims.vast.ac.vn](mailto:ninhvt@ims.vast.ac.vn)

Đến Tòa soạn: 18/9/2014, Chấp nhận đăng: 25/3/2015

### TÓM TẮT

Nhựa trao đổi ion trên cơ sở poly styren được sunfo hóa tạo thành vật liệu trao đổi cation dạng R-SO<sub>3</sub>Na (Lewatit Mono S108) đã được nghiên cứu làm mềm nước. Các kết quả nghiên cứu đã chỉ ra dung lượng trao đổi bão hòa tính theo mô hình đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir trên vật liệu Lewatit Mono S108 đạt tương ứng 239,09 mg/g và 185,19 mg/g đối với  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ . Đã xác định dung lượng trao đổi cation  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  trên cột, dung lượng trao đổi cation toàn phần của vật liệu Lewatit Mono S108 đạt tương ứng 176 mg/g, 172 mg/g và 169 mg/g đối với dung dịch riêng rẽ của cation  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  và tổng các cation tương ứng trong nước máy. Cột trao đổi bão hòa được tái sinh bằng dung dịch nước muối biển, sau tái sinh dung lượng trao đổi vận hành trên cột cho quá trình làm mềm đạt ~97 mg/g.

*Từ khóa:* Lewatit mono S108, làm mềm nước, dung lượng toàn phần, dung lượng vận hành.

### 1. MỞ ĐẦU

Một trong những ứng dụng phổ biến nhất của vật liệu trao đổi ion là xử lý nước để uống, làm nước cấp (thương mại, công nghiệp và dân cư) và xử lý nước thải. Trao đổi ion có thể làm mềm nước, khử ion và có thể còn được sử dụng trong việc khử muối. Quá trình xử lý nước bằng trao đổi ion có các ưu điểm như: quá trình vận hành đơn giản, hiệu quả xử lý cao, chi phí vận hành và tái sinh thấp [1, 2].

Trong số các chất hòa tan trong nước, thường thấy nhất là tổng cứng, gồm các thành phần chủ yếu canxi và magiê hòa tan trong nước. Các ion này có thể nhận biết được khi hình thành cặn bám cục bộ trong các thiết bị đun sôi, gây thiệt hại cho đường ống, nồi hơi và thất thoát năng lượng khi sử dụng. Làm "mềm" nước "cứng" bằng cách thực hiện một quá trình trao đổi giữa các cation cứng ( $\text{Ca}^{2+}$  và  $\text{Mg}^{2+}$ ) với một số cation khác không hình thành cặn bám bởi khả năng hòa tan tốt trong nước như là ion  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  [3].

Bài báo này trình bày một số kết quả đánh giá dung lượng trao đổi, hiệu suất vận hành và tái sinh của nhựa Lewatit Mono S108 được áp dụng trong quá trình làm mềm nước.



## 2. THỰC NGHIỆM

### 2.1. Hóa chất vật tư

Các hóa chất có độ sạch phân tích:  $Ca(NO_3)_2$ ,  $Mg(NO_3)_2$ , EDTA,  $NH_4OH$ ,  $NH_4Cl$ ,  $Mn(NO_3)_2$ ,  $Fe(NO_3)_3$ , KCl, NaCl, ETOO, muối biển. Nhựa trao đổi cation Lewatit mono S108 nguyên sinh của Hãng Lanxess (vật liệu S108) [5].

Máy khuấy từ IKA (Đức), cân phân tích. Cốc, bình tam giác, pipet, buret thủy tinh các loại. Nước khử ion được sử dụng cho các thí nghiệm.

### 2.2. Phương pháp phân tích

Xác định tổng cứng của mẫu nước bằng phương pháp chuẩn độ tạo phức EDTA với chất chỉ thị ETOO trong môi trường pH = 10 (với mẫu nước có mặt các cation như sắt, mangan cần loại bỏ ảnh hưởng trước) [4].

### 2.3. Quy trình xác định dung lượng trao đổi cực đại trên vật liệu S108

Thí nghiệm trao đổi được tiến hành khi khuấy trộn liên tục 100 ml dung dịch có chứa  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  có nồng độ ban đầu  $C_i$  trong khoảng 880 - 35.000 mg/l với 1 g vật liệu S108 trong thời gian đạt cân bằng trao đổi. Sau đó, lọc phần dung dịch để xác định nồng độ cation còn lại  $C_f$  (mg/l) và dung lượng trao đổi bão hòa cation  $q_{bh}$  (mg/g).

Xác định dung lượng trao đổi trao đổi cực đại đối với  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  từ dung dịch theo mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir [6]. Dung lượng trao đổi cực đại được xác định bằng phương trình hồi quy tuyến tính ( $y = ax + b$ ) là sự tương quan giữa các số liệu thực nghiệm  $C_f$  và  $C_i/q_{bh}$  trên đồ thị, dung lượng trao đổi cực đại được tính theo công thức:  $a = 1/q_{max}$ .

### 2.4. Quy trình trao đổi và tái sinh vật liệu S108 trên cột

Cột trao đổi ion (Hình 1) là một ống thủy tinh có đường kính 1 cm có chứa 10 g vật liệu S108 (Hình 1). Đầu trên nối với bình đựng dung dịch nước cứng cần xử lý, đầu dưới nối với van có thể điều chỉnh tốc độ dòng.



Hình 1. Cột trao đổi cation làm mềm nước.

Dung lượng trao đổi toàn phần  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  từ dung dịch và dung lượng trao đổi toàn phần tổng cứng từ nước máy trên cột được tiến hành bằng cách cho dòng dung dịch chứa cation  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  (440 mg/l), tổng cứng (66 mg/l) chảy qua cột chứa thể tích vật liệu S108 (tốc độ dòng trao đổi 25 ml/phút). Quá trình trao đổi liên tục cho tới khi cột đạt bão hòa. Phân tích tổng cứng trong 50 ml dung dịch mỗi lần chảy qua cột.

Quá trình tái sinh được tiến hành khi cột trao đổi đạt bão hòa. Chất tái sinh được sử dụng là dung dịch muối biển NaCl 23,08 % có tổng cứng đạt 22.500 mg/l, quá trình tái sinh và trao đổi cùng dòng, tốc độ dòng tái sinh 5 ml/phút. Phân tích tổng cứng trong 10 ml dung dịch tái sinh chạy mỗi lần qua cột.

Dung lượng trao đổi vận hành là lượng trao đổi tổng cứng của cột sau mỗi lần cột được tái sinh, nước cấp được sử dụng làm mềm trên cột có độ cứng 66 mg/l.

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Xác định dung lượng trao đổi cực đại cation $Mg^{2+}$ và $Ca^{2+}$ trên vật liệu S108

##### 3.1.1. Phân loại nước cứng, độ cứng

Để xác độ cứng của nước, nồng độ cation kim loại trong nước thường được quy đổi ra tổng cứng (mgCaCO<sub>3</sub>/lít). Việc quy đổi này phụ thuộc vào khối lượng nguyên tử và hóa trị của cation, như với nồng độ 10 mg/L của các cation  $Mg^{2+}$  và  $Ca^{2+}$  được quy đổi tương ứng 24,97 mgCaCO<sub>3</sub>/L và 41,15 mgCaCO<sub>3</sub>/L.

Độ cứng của nước có thể được phân loại theo tổng cứng (Bảng 1). Tùy theo các yêu cầu về độ cứng của nước trong sinh hoạt và trong công nghiệp tương ứng mà quá trình làm mềm nước được áp dụng vận hành.

Bảng 1. Phân loại nước cứng theo độ cứng.

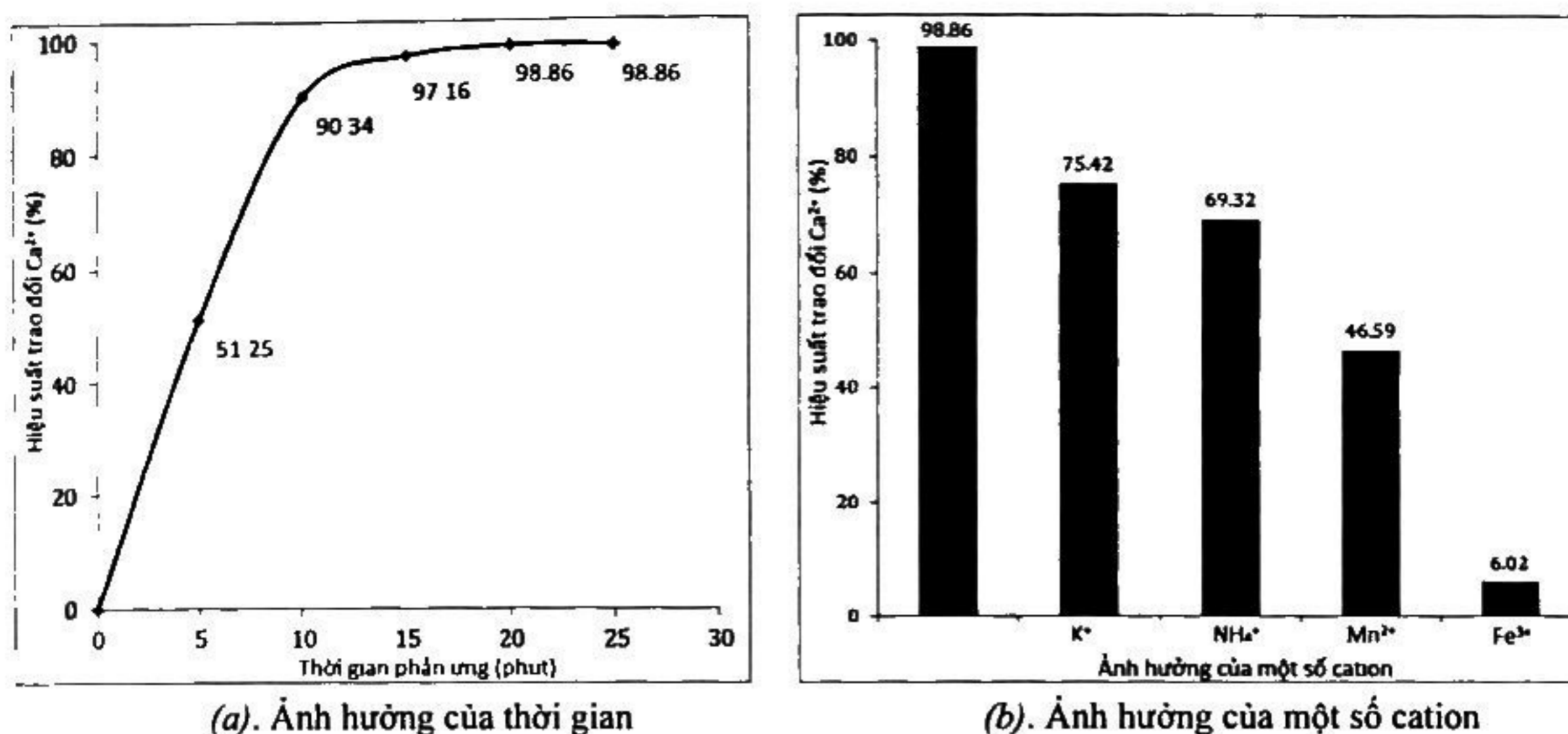
Phân loại	Nước sinh hoạt (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	Nước công nghiệp (mg/l CaCO <sub>3</sub> )
Nước mềm	0 - 75	0 - 50
Nước cứng nhẹ	76 - 150	51 - 100
Nước cứng	151 - 300	101 - 150
Nước rất cứng	≥ 301	≥ 151

##### 3.1.2. Ảnh hưởng thời gian và sự có mặt một số cation đến hiệu suất trao đổi trên vật liệu S108

Sự ảnh hưởng của thời gian và một số cation trong dung dịch đến hiệu suất trao đổi cation  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  (nồng độ ban đầu,  $C_1 = 880$  mg/l) trong quá trình làm mềm nước trên vật liệu S108 được tiến hành, trong khảo sát này quá trình trao đổi cation  $Ca^{2+}$  được chọn để thí nghiệm.

Ảnh hưởng của theo thời gian đến hiệu suất trao đổi cation  $Ca^{2+}$  được thể hiện trên hình 2a. Kết quả cho thấy, quá trình trao đổi ion xảy ra rất nhanh và đạt cân bằng sau thời gian 20 phút. Do vậy, để tính dung lượng trao đổi bão hòa của vật liệu S108 đối với  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ , thời gian phản ứng được chọn là 20 phút (thời gian cân bằng phản ứng của cation  $Mg^{2+}$  cũng tương tự cation  $Ca^{2+}$ ).





Hình 2(a, b). Ảnh hưởng của thời gian và sự có mặt của một số cation đến hiệu suất trao đổi trên vật liệu S108.

Kết quả ảnh hưởng của một số cation khác có mặt trong dung dịch như là  $K^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  đến hiệu suất trao đổi cation  $Ca^{2+}$  trên vật liệu S108 được thể hiện trên Hình 2b. Hình 2b cho thấy, sự có mặt của các cation khác (độ cứng quy đổi  $C_1 = 880$  mg/l) đều làm giảm hiệu suất trao đổi cation  $Ca^{2+}$ , hiệu suất trao đổi của vật liệu giảm dần theo thứ tự các cation  $K^+ < NH_4^+ < Mn^{2+} < Fe^{3+}$ . Sự ảnh hưởng này cũng được Kunin và Miyers [7] giải thích là do phản ứng trao đổi cation  $Ca^{2+}$  trên vật liệu S108 bị cạnh tranh, thay thế bởi các cation khác có ái lực mạnh hơn.

### 3.1.3. Dung lượng trao đổi cực đại cation $Ca^{2+}$ , $Mg^{2+}$ trên vật liệu S108

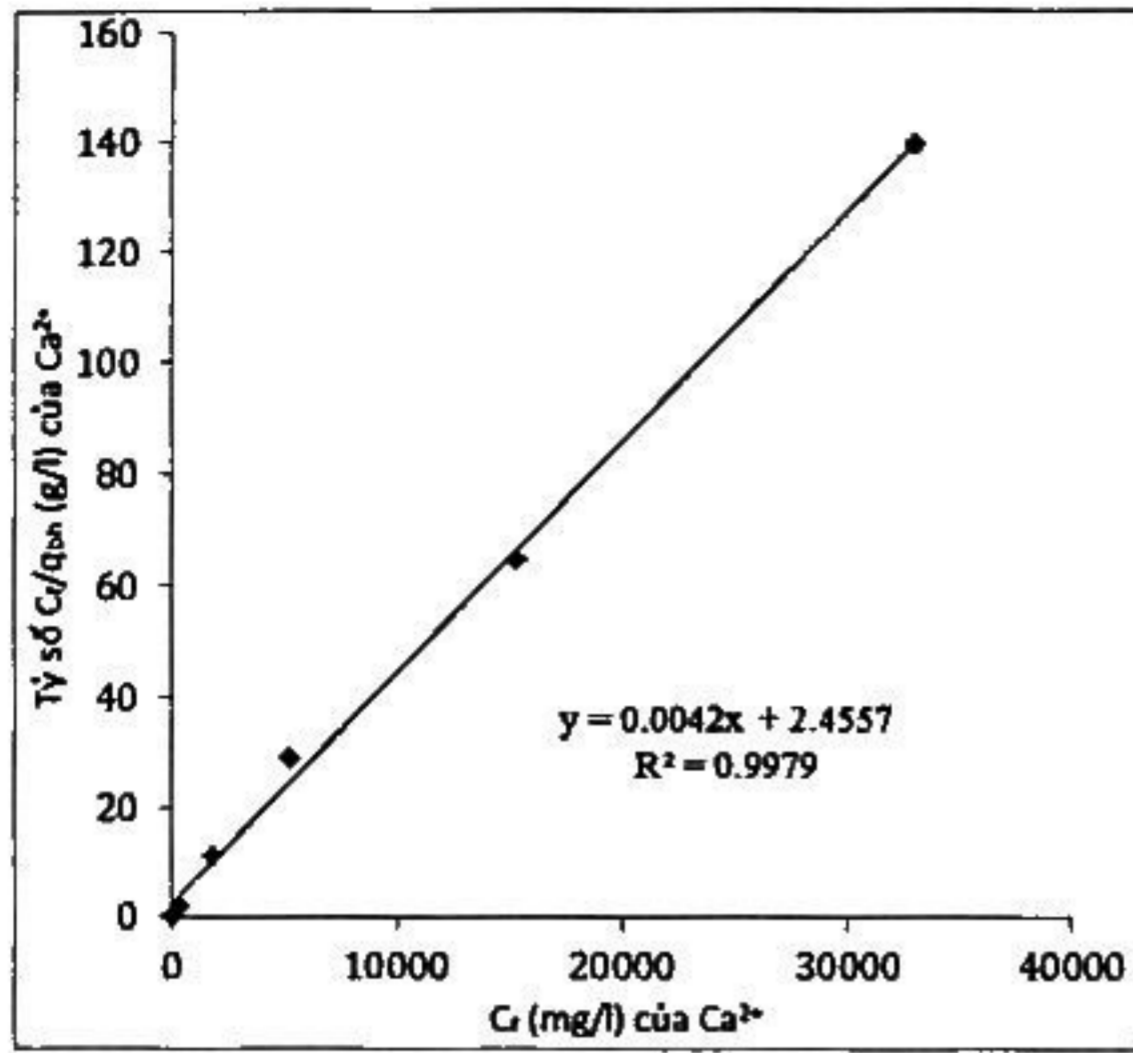
Kết quả khảo sát ảnh hưởng của nồng độ ban đầu của cation  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  đến dung lượng trao đổi bão hòa trên vật liệu S108 được thể hiện trên Bảng 2.

Bảng 2. Dung lượng trao đổi bão hòa cation  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  trên vật liệu S108 theo nồng độ ban đầu.

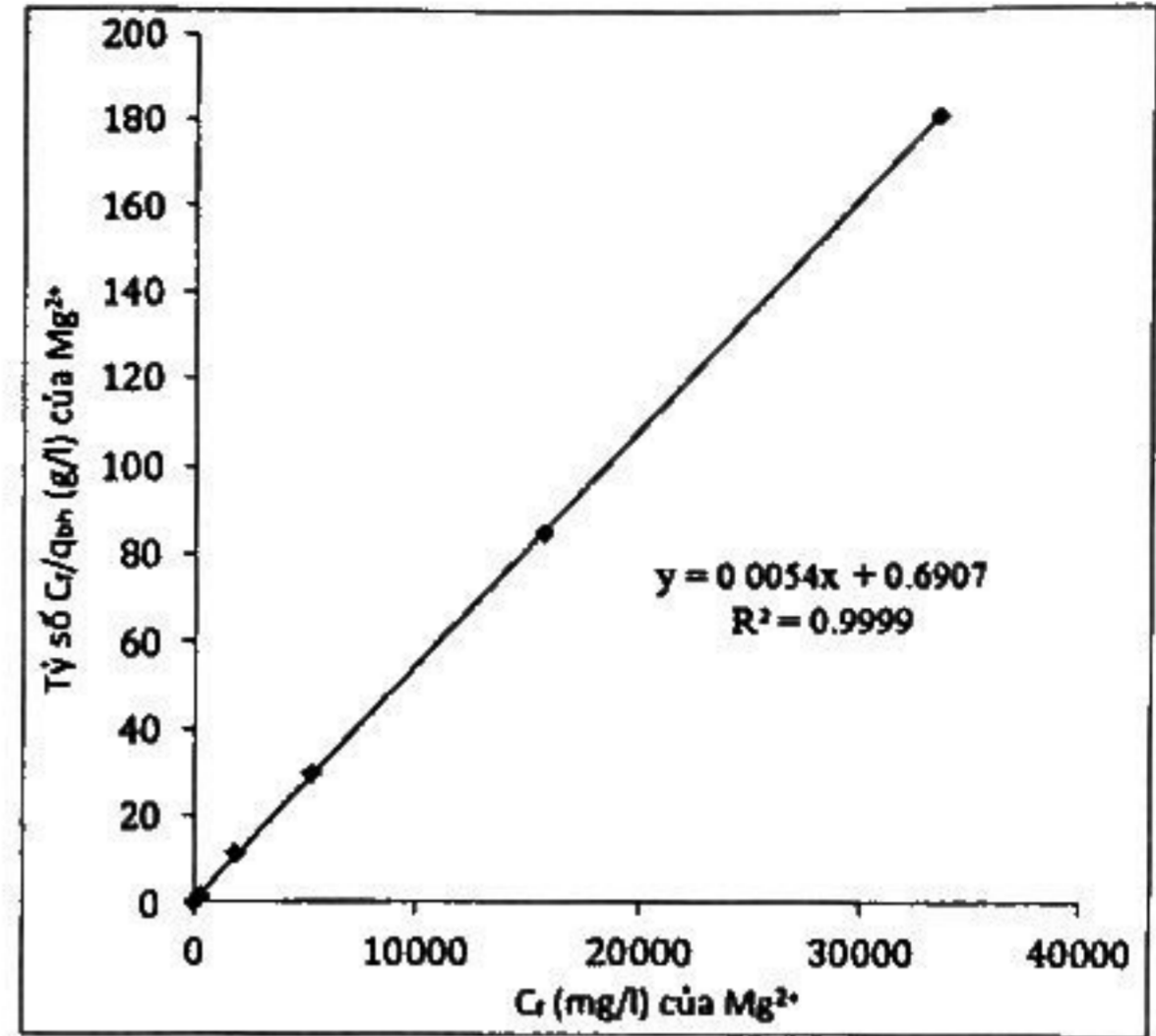
Đối với cation $Ca^{2+}$			Đối với cation $Mg^{2+}$		
$C_1$ (mg/l)	$C_r$ (mg/l)	$q_{bh}$ (mg/g)	$C_1$ (mg/l)	$C_r$ (mg/l)	$q_{bh}$ (mg/g)
880	10	87,0	880	8	87,2
1.760	320	144,0	1.760	250	151,0
3.520	1.860	166,0	3.520	1.870	165,0
7.040	5.225	181,5	7.040	5.275	176,5
17.600	15.259	235,0	17.600	15.750	185,0
35.200	32.850	235,0	35.200	33.500	185,0

Kết quả tính toán và biểu diễn trên Hình 3(a, b) cho thấy, các kết quả thực nghiệm mô tả phù hợp với mô hình Langmuir và cho dung lượng trao đổi cực đại theo mô hình đối với cation  $Ca^{2+}$  và  $Mg^{2+}$  tương ứng đạt 238,09 mg/g và 185,19 mg/g. Dung lượng trao đổi cực đại của vật

liệu S108 đối với cation  $\text{Ca}^{2+}$  cao hơn cation  $\text{Mg}^{2+}$  là do ái lực của cation  $\text{Ca}^{2+}$  mạnh hơn cation  $\text{Mg}^{2+}$ .



(a). Đối với cation  $\text{Ca}^{2+}$



(b). Đối với cation  $\text{Mg}^{2+}$

Hình 3(a, b). Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc  $C_f/q_{bh}$  vào  $C_r$  của cation  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ .

### 3.2. Quá trình trao đổi cation $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ của vật liệu S108 trên cột

#### 3.2.1. Xác định dung lượng trao đổi toàn phần cation $\text{Ca}^{2+}$ và $\text{Mg}^{2+}$ trên cột

Trong quá trình làm mềm nước thông thường, một cột nhồi thể tích vật liệu S108 được sử dụng. Khi cột hoạt động, tổng cứng ( $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) trong nước sẽ liên tục tiếp xúc với các lớp vật liệu, tại đó nước cứng có nồng độ tổng cứng giảm sẽ luôn được tiếp xúc với lớp nhựa mới để thiết lập cân bằng theo chiều hướng giảm độ cứng.

Kết quả quá trình chạy cột trên vật liệu S108 đối với từng cation  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  riêng rẽ ( $C_i = 440 \text{ mg/l}$ ) được thể hiện trên Bảng 3. Tính toán, xác định dung lượng trao đổi toàn phần cation  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  của vật liệu S108 trên cột.

Bảng 3. Kết quả trao đổi cation  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  trên cột.

TT	Đối với cation $\text{Ca}^{2+}$		Đối với cation $\text{Mg}^{2+}$	
	V (l)	$C_r$ (mg/l)	V (l)	$C_r$ (mg/l)
1	1,6	0	1,60	0
2	2,0	1	1,70	1
3	2,2	5	2,10	2
4	2,5	10	2,50	5
5	3,0	20	3,00	18
6	3,5	55	3,80	89
7	4,0	384	4,20	243
8	4,8	440	4,60	440
$V_{\text{Thu hồi}}$	2,85	108	2,65	99



Dung lượng trao đổi toàn phần cation  $Ca^{2+}$  trên toàn cột =  $\{4,8 \times 440 - 2,85 \times 108 - 0,05 \times (1 + 5 + 10 + 20 + 55 + 384 + 440)\} = 1.759$  (mg). Dung lượng trao đổi toàn phần cation  $Ca^{2+}$  của vật liệu S108 trên cột =  $1.759/10 = 176$  (mg/g). Tương tự, dung lượng trao đổi toàn phần của vật liệu S108 đối với cation  $Mg^{2+}$  trên cột đạt 172 mg/g.

Từ các kết dung lượng trao đổi toàn phần cation  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  của vật liệu S108 cho thấy khả năng trao đổi rất tốt cation  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , khả năng trao đổi cation  $Ca^{2+}$  cao hơn cation  $Mg^{2+}$  trên vật liệu S108. Vật liệu S108 có tiềm năng ứng dụng lớn trong quá trình làm mềm nước.

### 3.2.2. Xác định dung lượng trao đổi toàn phần làm mềm nước, hiệu suất tái sinh

Ngoài khả năng làm mềm nước, cột trao đổi còn có khả năng loại bỏ cation kim loại nặng khác ở nồng độ thấp như  $Fe^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  có hàm lượng  $< 1$  mg/l, với nước có hàm lượng Fe, Mn cao hơn điều kiện cho phép cần được xử lí trước bằng một phương pháp khác [8] bởi vì Fe, Mn ở nồng độ cao sẽ kết tủa trên nhựa rất khó có thể tái sinh. Cột cation không có khả năng loại bỏ vi khuẩn, keo  $SiO_2$  hay các hợp chất hữu cơ tan trong nước.

Mẫu nước được sử dụng làm mềm trong nghiên cứu này hàm lượng tổng cứng 66 mg/l (tổng cứng có mặt trong nước máy phân tích được), tổng Fe 0,15 mg/l và tổng Mn 0,1 mg/l. Kết quả làm mềm nước của vật liệu S108 trên cột được thể hiện trên Bảng 4.

Dung lượng trao đổi toàn phần tổng cứng trên toàn cột =  $\{29 \times 66 - 11,65 \times 17 - 0,05 \times (1 + 3 + 4 + 12 + 22 + 36 + 66)\} = 1690$  mg. Dung lượng trao đổi toàn phần tổng cứng của vật liệu S108 trên cột =  $1690/10 = 169$  (mg/g). Kết quả dung lượng trao đổi toàn phần tổng cứng khi chạy cột với mẫu nước cứng (mẫu thực tế) thấp hơn so với dung dịch riêng rẽ chứa cation  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  là do một phần dung lượng trao đổi của cột đã trao đổi với Fe và Mn có trong mẫu nước, bản thân sự có mặt của Fe và Mn trong nước đã trao đổi cạnh tranh làm giảm dung lượng trao đổi toàn phần đối với nước cứng trên cột [7].

Bảng 4. Kết quả làm mềm nước, tái sinh cột lần 1.

TT	Quá trình trao đổi		Quá trình tái sinh	
	$V_{\text{nước cứng}}$ (l)	$C_f$ (mg/l)	$V_{NaCl}$ (ml)	$C_{\text{tái sinh}}$ (mg/l)
1	17	0	10	64.919
2	19	1	20	32.119
3	20	3	30	32.133
4	22	4	40	33.626
5	24	12	50	32.105
6	25	22	60	30.105
7	26	36	70	29.739
8	29	66	80	22.639
$V_{\text{thu hồi}}$	11,65	17	90	22.500

Đối với vật liệu S108 thì chất tái sinh có thể được sử dụng như là HCl,  $H_2SO_4$ , NaCl (KCl sẽ được thay thế trong trường hợp không muốn sự có mặt cation  $Na^+$  trong nước sau làm mềm). Thông thường, chất tái sinh axit được sử dụng phổ biến nhất là HCl bởi vì  $HNO_3$  có tính oxi hóa



mạnh sẽ ảnh hưởng đến tính bền của nhựa còn với  $H_2SO_4$  có thể gây kết tủa  $BaSO_4$ ,  $CaSO_4$  trên nhựa khó loại bỏ.

Đối với cột trao làm mềm nước sinh hoạt trong thực tế thì chất tái sinh thường được sử dụng là muối ăn NaCl do tính an toàn, ít độc hại. Nồng độ dung dịch muối ăn thường được sử dụng là dung dịch NaCl đạt tới bão hòa (30 gNaCl/100 ml nước). Kết quả tái sinh cột trao đổi bão hòa cation lần 1 bằng dung dịch NaCl 23,08 % được thể hiện trên Bảng 6.

Tổng cứng được rửa khỏi cột =  $0,01 \times (64919 + 32119 + 32133 + 33626 + 32105 + 30105 + 29739 + 22639 + 22500 - 9 \times 22500) = 973,9$  mg. Hiệu suất tái sinh toàn phần =  $973,9/1690 \times 100 = 57,6$  (%).

Từ kết quả hiệu suất tái sinh có thể thấy, khi tái sinh cột trao đổi bão hòa bằng dung dịch NaCl 23,08 % thì quá trình tái sinh không hoàn toàn, nghĩa là tồn tại cân bằng trong quá trình tái sinh mà chỉ có 57,6 (%) tổng cứng được rửa khỏi nhựa nguyên sinh sau khi bão hòa. Nguyên nhân cột không thể được tái sinh hoàn toàn là do bản thân dung dịch NaCl không tinh khiết với sự có mặt của tổng cứng (với nồng độ tổng cứng 22.500 mg/l) trong dung dịch tái sinh đã làm cho quá trình tái sinh đạt cân bằng khi chỉ có 57,6 % tổng lượng cứng hấp thu bị rửa khỏi cột.

### 3.2.3. Xác định dung lượng trao đổi vận hành đối với nước cứng

Dung lượng trao đổi thực tế hay còn gọi là dung lượng trao đổi vận hành của cột được tính bằng dung lượng trao đổi của cột sau tái sinh lần 1. Kết quả chạy cột lần 2 được thể hiện trên Bảng 5.

Bảng 5. Kết quả làm mềm nước, tái sinh cột lần 2.

TT	Quá trình trao đổi		Quá trình tái sinh	
	$V_{\text{nước cứng}}$ (l)	$C_r$ (mg/l)	$V_{\text{NaCl}}$ (ml)	$C_{\text{tái sinh}}$ (mg/l)
1	0,1	25	10	65.919
2	0,1	7	20	32.226
3	0,1	1	30	32.133
4	10	1	40	33.547
5	11	3	50	32.300
6	12	7	60	30.105
7	14	12	70	27.735
8	15	18	80	22.639
9	16	24	90	22.500
10	18	36	-	-
11	20	66	-	-
$V_{\text{thu hồi}}$	19,6	17,5	-	-

Trên Bảng 5, ta thấy phải mất 300 ml nước cấp để cột có thể làm việc bình thường và thực tế nước cứng sau làm mềm có chứa độ cứng nhất định (1 mg/l), tiếp theo chạy 10 lít nước cấp nồng độ đầu ra ứng với 1 mg/l, sau đó độ cứng nước sau xử lý tăng dần tới bão hòa.



Dung lượng trao đổi vận hành tổng cứng thực tế của vật liệu S108 trên cột =  $\{20 \times 66 - 19,6 \times 17,5 - 0,05 \times (1 + 3 + 7 + 12 + 18 + 24 + 36 + 66)\} = 968,7$  (mg).

Khối lượng tổng cứng được rửa khỏi cột =  $0,01 \times (65919 + 32226 + 32133 + 33547 + 32300 + 30105 + 27735 + 22639 + 22500 - 9 \times 22500) = 966$  mg. Hiệu suất tái sinh lần 2 (làm việc) =  $966/968,7 \times 100 = 99,7$  (%). Các kết quả khác như dung lượng trao đổi vận hành theo yêu cầu về độ cứng sau xử lý có thể tính được khi sử dụng số liệu trên Bảng 5.

Các kết quả thu được có thể thấy, quá trình làm mềm nước trên cột trao đổi cation có sử dụng chất tái sinh là dung dịch muối ăn 23,08 % NaCl: dung lượng toàn phần của vật liệu S108 đối với mẫu nước máy nghiên cứu đạt ~169 mg/g, dung lượng trao đổi vận hành đạt ~97 mg/g và công suất hoạt động của vật liệu S108 đạt 57,6 %, hiệu suất tái sinh vận hành đạt trên 99 % tính từ lượt chạy cột thứ 2 về sau. Do vậy, vật liệu S108 có khả năng tái sinh, sử dụng lại nhiều lần trên cột.

#### 4. KẾT LUẬN

Đã xác định vật liệu trao đổi cation monoplus S108 có dung lượng trao đổi cực đại đối với các cation  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  tương ứng đạt 238,19 mg/g, 185,19 mg/g. Vật liệu trao đổi cation Lewatit Mono S108 được áp dụng thực tế làm mềm nước với hiệu quả cao với dung lượng trao đổi toàn phần đạt ~ 170 mg/g. Quá trình trao đổi vận hành và tái sinh bằng dung dịch muối ăn NaCl bão hòa cho thấy: Dung lượng trao đổi vận hành của vật liệu S108 trên cột đối với nước cứng đạt ~ 97 mg/g với hiệu suất tái sinh làm việc đạt 99,7 %.

Do vậy, làm mềm nước bằng cách sử dụng vật liệu trao đổi ion là một phương pháp hiệu quả để loại bỏ sự ảnh hưởng của các cation canxi và magie từ nước, đồng thời quá trình làm mềm nước cũng loại bỏ hoàn toàn một lượng nhỏ các cation kim loại nặng khác như sắt, mangan có trong nước.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Edwards W. R., Schwartz M. G. - Removal of chlorides and sulfates by synthetic resins, Boudreaux G. Ind. Eng. Chem 32 (1940) 1462-1466.
2. Stefan Neumann and Phil Fataula - Principles of Ion exchange in wastewater treatment: techno focus, Asian water, 2009.
3. Miller W. S, Castagna C. J., Pieper A. W. - Understanding ion exchange for water treatment systems: Technical Paper, Plant Engineering (1981) 1-13.
4. Nguyễn Tinh Dung - Hóa học phân tích: Các phương pháp định lượng Hóa học, Nhà xuất bản Giáo dục, Hà Nội, 2006.
5. Lanxess Energizing Chemistry - Product Information Lewatit MonoPlus S108, 2011, pp. 1-5.
6. Nguyễn Hữu Phú - Giáo trình hấp phụ và xúc tác trên bề mặt vật liệu vô cơ mao quản, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 1998.
7. Kunin R, Miyers R.J - Exchange equilibria in anion exchange resins, Discussions Faraday Soc 7 (1949) 114-118.