

Ảnh hưởng của chỉ số axit của dầu hạt cao su Việt Nam tới quá trình epoxy hóa

Impact of the Acid Value of Vietnam Rubber Seed Oil on an Epoxidation

Nguyễn Thị Thủy*, Vũ Minh Đức, Nguyễn Thanh Liêm

Trường Đại học Bách khoa Hà Nội - Số 1, Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội

Đến Tòa soạn 20-11-2015, chấp nhận đăng 28-2-2017

Tóm tắt

Dầu hạt cao su ngoài thành phần chính là triglyxerit thì hàm lượng axit béo không no rất cao, gây khó khăn cho quá trình bảo quản cũng như cho các quá trình biến đổi hóa học. Este hóa là một trong nhiều phương pháp làm giảm chỉ số axit của dầu. Bằng việc chuyển các axit béo tự do trong dầu thành dạng metyl este và vẫn nằm lại trong dầu nên không làm ảnh hưởng tới thành phần không no trong dầu. Với thời gian este hóa khác nhau dầu thu được có chỉ số axit nằm trong khoảng 47,6 mgKOH/g tới 1,12 mgKOH/g. Ảnh hưởng của chỉ số axit của dầu nguyên liệu đến quá trình epoxy hóa được nghiên cứu thông qua hiệu suất chuyển hóa nối đôi, hiệu suất epoxy hóa và hàm lượng nhóm epoxy của dầu epoxy hóa. Khi chỉ số axit của dầu nguyên liệu lớn, hiệu quả quá trình epoxy hóa tăng cùng với sự giảm chỉ số axit, nhưng khi chỉ số axit đủ nhỏ (dưới 4,98 mgKOH/g) thì hiệu quả epoxy hóa hầu như không tăng nếu chỉ số axit tiếp tục giảm.

Từ khóa: Dầu hạt cao su, Este hóa, Degumming, Chỉ số axit, Axit béo tự do, Epoxy hóa.

Abstract

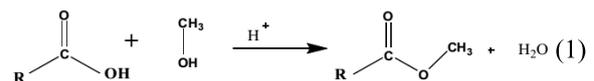
Besides triglycerides, Vietnam rubber seed oil contains a high amount of free fatty acids which make it difficult to preserve and take part in a chemical modification. An esterification is one of many methods to reduce the acid value of the oils by converting the free fatty acids to methyl esters. Furthermore, this process do not change a composition of unsaturated compounds in oils. It was found that the esterified oils have the acid value in the range of 47.6 to 1.12 mgKOH/g with different reaction time. Effect of the acid value of the oils on the epoxidation process is studied through a double bond conversion, an epoxidation yield and the oxirane content of an epoxidized oil. When the acid value of the oil reactant was above 4.98 mgKOH/g, the epoxidation yield increased with decreasing the acid value of the oil. However, when the acid value of the oil reactant was lower than 4.98 mgKOH/g, the epoxidation yield has almost no change if the acid value of the oil further declines.

Keywords: Rubber seed oil, Esterification, Degumming, Acid value, Free fatty acid, Epoxidation.

1. Mở đầu

Dầu hạt cao su có chứa glucozit cyanogenic nên không dùng được trong công nghiệp thực phẩm nhưng với hàm lượng axit béo không no lên tới 80-90% thì dầu hạt cao su lại rất hữu ích trong biến đổi hóa học. Tuy nhiên, dầu hạt cao su ngoài thành phần chính gồm các triglyxerit thì hàm lượng axit béo tự do rất cao [1-3] gây khó khăn cho quá trình bảo quản và đặc biệt ảnh hưởng tiêu cực cho các quá trình biến đổi hóa học dầu hạt cao su.

Este hóa là một trong các phương pháp làm giảm chỉ số axit của dầu bằng phản ứng giữa các axit béo tự do có trong dầu với rượu (CH₃OH) trong môi trường axit tạo ra metyl este theo sơ đồ phản ứng (1) [2, 3]. Các metyl este này không bị tách loại mà nằm lại trong dầu do đó các liên kết đôi có mặt trong các axit béo không bị thay đổi trong quá trình este hóa.



Epoxy hóa là một trong nhiều quá trình biến đổi hóa học nhằm biến tính dầu. Với mục đích chuyển nối đôi của các axit béo không no trong dầu thành nhóm epoxy, có thể sử dụng một trong nhiều loại xúc tác như xúc tác axit, xúc tác kim loại, xúc tác nhựa trao đổi ion, xúc tác enzyme [4]. Trong đó, xúc tác trên cơ sở dẫn xuất của wonfram được cho là hiệu quả cao với thời gian phản ứng rút ngắn và hạn chế các phản ứng phụ. Xúc tác này hoạt động dựa trên sự tạo phức với chất oxy hóa hydro peroxit trong môi trường axit. Tùy thuộc vào độ pH của môi trường có thể hình thành các phức PW-4 ([PO₄{WO(O₂)₂}₄]³⁻), PW-3 ([PO₄{WO(O₂)₂}₂{WO(O₂)₂(H₂O)}³⁻) và PW-2 ([HPO₄{WO(O₂)₂]₂)²⁻) với độ hoạt động giảm dần từ PW-4 > PW-3 > PW-2 [5].

* Địa chỉ liên hệ: Tel: (+84) 904505335

Email: thuy.nguyenthil@hust.edu.vn

Dầu hạt cao su sau khi este hóa với các chỉ số axit khác nhau sẽ ảnh hưởng tới quá trình hình thành phức xúc tác từ đó ảnh hưởng tới khả năng chuyển hóa nối đôi, khả năng hình thành nhóm epoxy cũng như khả năng mở vòng nhóm epoxy mới hình thành. Nghiên cứu ảnh hưởng của chỉ số axit của dầu nguyên liệu tới quá trình epoxy hóa là nội dung nghiên cứu của công trình này.

2. Thực nghiệm

2.1. Nguyên liệu

Hạt cây cao su được thu lượm ở khu vực Long Khánh tỉnh Đồng Nai, sau ba tháng để khô được ép tại công ty EC 364/1 Cộng Hòa Tân Bình có chỉ số axit 47,6 mgKOH/g, chỉ số iôt 147 cgI₂/g. Thuốc thử Wijs của Mecrk (Đức), ống chuẩn Na₂S₂O₃ 0,1N của Việt Nam, CH₃OH, C₂H₅OH, H₂SO₄, H₃PO₄, NaOH của Trung Quốc. Muối Na₂WO₄ của Merck (Đức). H₃PO₄ 85% (Việt Nam). Thuốc thử Wijs của Merck (Đức). Axit bromic 33% của Sigma-Aldrich (Mỹ). Hydro peroxit 30% của Xilong (Trung Quốc). Muối QCl (Q⁺ là cation muối amoni của hợp chất hữu cơ) của Tokyo Chemical industry Co., LTD (Nhật) và một số hóa chất khác.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp degumming

Chuẩn bị dầu và nước với tỉ lệ thể tích 3/1 trong bình phản ứng. Axit H₃PO₄ với tỉ lệ thể tích 15/1 được bổ sung vào bình phản ứng tại 50°C. Nâng nhiệt độ tới 60°C và tiếp tục khuấy trộn trong thời gian 15 phút. Dầu sau khi degumming phân làm 3 lớp: lớp trên cùng là dầu, tiếp đến là nước và cuối cùng là lớp lắng cặn. Loại bỏ phần nước và lắng cặn phía dưới. Phần dầu ở trên được rửa lại bằng nước và sấy khô thu được dầu degumming (DHCS_{deg}).

2.2.2. Phương pháp este hóa

Dầu hạt cao su đã degumming và metanol theo tỉ lệ mol 1/7 được bổ sung vào bình phản ứng. Hỗn hợp phản ứng được nâng tới nhiệt độ 50°C. Bổ sung axit H₂SO₄ 0,6% khối lượng dầu và nâng hỗn hợp phản ứng tới 60°C. Hỗn hợp sau phản ứng được để phân lớp, tách lắng cặn ở phía dưới. Hỗn hợp được rửa lại bằng nước cất, tách lấy lớp dầu phía trên cho vào bình sấy khô đến khối lượng không đổi thu được dầu hạt cao su este hóa (DHCS_{deg-este}).

2.2.3. Tổng hợp dầu epoxy hóa

Dầu hạt cao su, chất oxy hóa, xúc tác với tỉ lệ BD/H₂O₂/Na₂WO₄/QCl/H₃PO₄ = 1/2/0,13/0,0042/0,039 (BD - số liên kết đôi - được tính từ chỉ số iôt của dầu) được cho vào thiết bị phản ứng. Hệ phản ứng được nâng tới 60°C. Thời gian phản ứng được tính sau khi nhỏ giọt H₂O₂. Sản phẩm phản ứng được chiết tách, rửa và sấy khô.

2.2.4. Các phương pháp phân tích

Chỉ số axit được xác định theo tiêu chuẩn ASTM D974-02: mẫu được hòa tan trong dung môi và được chuẩn độ bằng dung dịch KOH 0,1N. Chỉ số iôt được xác định theo tiêu chuẩn D5768-02: mẫu được hòa tan trong dung môi với sự có mặt của dung dịch wijs và được chuẩn độ bằng dung dịch Na₂S₂O₃ 0,1N. Hàm lượng nhóm epoxy được xác định theo tiêu chuẩn ASTM D1652: mẫu được hòa tan trong dung môi và được chuẩn trực tiếp bằng dung dịch HBr 0,1N.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Ảnh hưởng của thời gian este hóa đến chỉ số axit của dầu

Bằng việc sử dụng nước và axit H₃PO₄ quá trình degumming đã làm tăng độ phân cực của các thành phần phân hao nước như phospholipid, protein, cacbonhydrat và tạp chất keo hòa tan trong dầu nên làm giảm độ hòa tan của chúng trong dầu và kết tủa lại để dễ dàng tách ra. Các phospholipid cũng như các tạp chất keo có tính axit bị kết tủa và tách ra nên quá trình degumming cũng có tác dụng làm giảm chỉ số axit của dầu. Đồng thời, một lượng rất nhỏ axit béo tự do cũng bị kéo theo kết tủa nên cũng góp phần làm giảm chỉ số axit của dầu nhưng trên thực nghiệm chỉ số axit cũng chỉ giảm được từ 47,6 mgKOH/g xuống 47,2 mgKOH/g (bảng 1).

Dầu sau khi degumming có chỉ số axit hầu như không thay đổi. Để giảm chỉ số axit của dầu tiến hành este hóa dầu trong những khoảng thời gian khác nhau. Kết quả thực nghiệm ở bảng 1 cho thấy chỉ sau 15 phút este hóa chỉ số axit của dầu đã giảm hơn một nửa xuống 21,59 mgKOH/g. Điều này chứng tỏ phản ứng este hóa diễn ra rất nhanh. Tiếp tục kéo dài thời gian este hóa tới 30 phút chỉ số axit của dầu xuống 15,63 mgKOH/g và 7,85 mgKOH/g nếu thời gian este hóa là 1 giờ. Tuy nhiên, tốc độ phản ứng este hóa chậm lại khi thời gian este hóa kéo dài hơn 1 giờ, do vậy sau 4 giờ este hóa chỉ số axit của dầu là 4,98 mgKOH/g và 1,12 mgKOH/g sau 8 giờ este hóa.

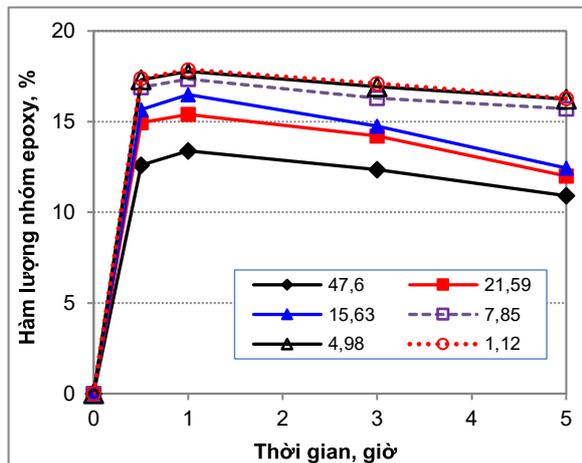
Bảng 1. Chỉ số axit của dầu theo thời gian este hóa

Dầu	Thời gian este hóa, giờ	Chỉ số axit, mgKOH/g	Chỉ số iôt, cgI ₂ /g
DHCS	0	47,6	147
DHCS _{deg}	0	47,2	147,48
DHCS _{deg-este}	0,25	21,59	147,49
	0,5	15,63	147,50
	1	7,85	147,50
	4	4,98	147,50
	8	1,12	147,50

Dầu sau khi degumming đã loại bỏ được phospholipid, protein, cacbonhydrat và tạp chất keo hòa tan nên đã làm tăng nhẹ chỉ số iốt của dầu từ 147 cgI₂/g lên 147,48 cgI₂/g. Este hóa dầu sau khi đã degumming với phản ứng chuyển các axit béo tự do thành dạng metyl este mà không làm thay đổi các liên kết đôi có mặt trong các axit béo do đó hầu như không làm thay đổi chỉ số iốt của dầu.

3.2. Ảnh hưởng của chỉ số axit của dầu đến hàm lượng nhóm epoxy của dầu epoxy hóa

Do chỉ số axit của dầu hạt cao su degumming gần như bằng với chỉ số axit của dầu hạt cao su nên để nghiên cứu ảnh hưởng của chỉ số axit của dầu tới quá trình epoxy hóa đã tiến hành epoxy hóa dầu hạt cao su và dầu hạt cao su sau khi đã este hóa ở những khoảng thời gian khác nhau. Sản phẩm sau khi lọc, rửa và sấy khô tiến hành chuẩn độ hàm lượng nhóm epoxy theo tiêu chuẩn ASTM. Kết quả phân tích trình bày trên hình 1.



Hình 1. Ảnh hưởng của chỉ số axit của dầu đến hàm lượng nhóm epoxy của dầu epoxy hóa

Các số: 47,60; 21,59; 15,63; 7,85; 4,98 và 1,12 là chỉ số axit của dầu hạt cao su sử dụng làm nguyên liệu epoxy hóa

Từ hình 1 nhận thấy, không phụ thuộc vào chỉ số axit ban đầu của dầu, hàm lượng nhóm epoxy vẫn tăng nhanh ngay trong nửa giờ đầu phản ứng. Điều này chứng tỏ phản ứng epoxy hóa diễn ra rất mạnh ngay trong nửa giờ đầu phản ứng, tốc độ phản ứng sẽ chậm hơn khi kéo dài thời gian phản ứng.

Đường biểu diễn hàm lượng nhóm epoxy của dầu epoxy hóa với dầu nguyên liệu có chỉ số axit 47,6 mgKOH/g nằm phía dưới cùng, tiếp đến là đường ứng với dầu nguyên liệu có chỉ số axit 21,59 mgKOH/g và 15,63 mgKOH/g chứng tỏ hàm lượng nhóm epoxy của dầu epoxy hóa tăng cùng với sự giảm chỉ số axit của dầu nguyên liệu. Có nghĩa là chỉ

số axit của dầu nguyên liệu ảnh hưởng đáng kể tới quá trình epoxy hóa.

Chỉ số axit của dầu nguyên liệu giảm tiếp xuống 7,85 mgKOH/g và 4,98 mgKOH/g hàm lượng nhóm epoxy của dầu epoxy hóa tiếp tục tăng, tuy nhiên khi chỉ số axit của dầu nguyên liệu tiếp tục giảm xuống 1,12 mgKOH/g thì đường biểu diễn hàm lượng nhóm epoxy của dầu epoxy hóa lại gần như trùng với đường biểu diễn hàm lượng nhóm epoxy với dầu nguyên liệu có chỉ số axit 4,98 mgKOH/g. Điều đó chứng tỏ khi dầu nguyên liệu có chỉ số axit đủ nhỏ (nhỏ hơn 4,98 mgKOH/g) thì chỉ số axit của dầu nguyên liệu hầu như không ảnh hưởng tới quá trình epoxy hóa.

Cũng từ hình 1 nhận thấy, với mọi chỉ số axit của dầu nguyên liệu, hàm lượng nhóm epoxy luôn có giá trị lớn nhất lúc 1 giờ sau đó hàm lượng nhóm epoxy sẽ suy giảm. Sự suy giảm hàm lượng nhóm epoxy được cho là do hiện tượng mở vòng nhóm epoxy mới hình thành và khi đó tốc độ mở vòng epoxy lớn hơn tốc độ hình thành vòng epoxy [6-8], kết quả hàm lượng nhóm epoxy giảm nếu kéo dài thời gian phản ứng.

Các đường biểu diễn hàm lượng nhóm epoxy của dầu epoxy hóa sau 1 giờ phản ứng với dầu nguyên liệu có chỉ số axit lớn (từ 15,63 mgKOH/g tới 47,6 mgKOH/g) có độ dốc lớn hơn nhiều so với độ dốc của đường biểu diễn hàm lượng nhóm epoxy với dầu nguyên liệu có chỉ số axit nhỏ (từ 7,85 mgKOH/g xuống 1,12 mgKOH/g). Điều này chứng tỏ chỉ số axit của dầu nguyên liệu càng lớn càng thúc đẩy quá trình mở vòng epoxy hóa.

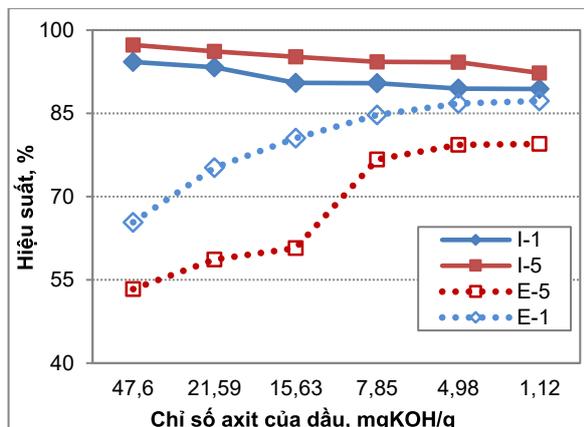
3.3. Ảnh hưởng của chỉ số axit của dầu đến hiệu suất epoxy hóa và hiệu suất chuyển hóa nối đôi

Sản phẩm epoxy hóa tiếp tục được chuẩn độ để xác định chỉ số iốt (CI_{TN}), kết hợp với chỉ số iốt của dầu nguyên liệu (CI_{NL}) để dàng tính được hiệu suất chuyển hóa nối đôi (I) theo công thức (1). Cũng từ chỉ số iốt ban đầu của dầu nguyên liệu tính được hàm lượng oxy-oxyran lý thuyết (O_{LT}) theo công thức (2), trong đó A_I và A_O lần lượt là khối lượng nguyên tử của iốt và ôxi. Từ hàm lượng nhóm epoxy (E_{TN}) ở mục 3.2 sử dụng công thức (3) để xác định hàm lượng oxy-oxyran thực nghiệm (O_{TN}) sau đó sử dụng công thức (4) để tính hiệu suất epoxy hóa [6,7]. Kết quả tính toán trình bày trên hình 2.

$$I = \frac{CI_{NL} - CI_{TN}}{CI_{NL}} \cdot 100 \tag{1}$$

$$O_{LT} = \frac{CI_{NL}}{2A_I} \cdot A_O \cdot 100 \tag{2}$$

$$O_{TN} = \frac{16}{43} E_{TN} \quad (3) \quad E = \frac{O_{TN}}{O_{LT}} 100 \quad (4)$$



Hình 2. Ảnh hưởng của chỉ số axit của dầu đến hiệu suất chuyển hóa nôi đôi và hiệu suất epoxy hóa

*I-1 và I-5 hiệu suất chuyển hóa nôi đôi lúc 1 giờ và 5 giờ
E-1 và E-5 hiệu suất epoxy hóa lúc 1 giờ và 5 giờ*

Từ hình 2 nhận thấy, hiệu suất chuyển hóa nôi đôi đều tăng rất mạnh ngay trong giờ đầu phản ứng, chứng tỏ tốc độ liên kết đôi bị bẻ gãy rất lớn. Tuy nhiên, nếu tiếp tục kéo dài thời gian epoxy hóa thì hiệu suất chuyển hóa nôi đôi tăng lên không nhiều và đường biểu diễn hiệu suất chuyển hóa nôi đôi lúc 5 giờ (I - 5) nằm phía trên nhưng gần với đường biểu diễn hiệu suất chuyển hóa nôi đôi lúc 1 giờ (I - 1).

Cả đường biểu diễn I - 1 và I - 5 đều có xu hướng giảm cùng với sự giảm chỉ số axit của dầu nguyên liệu. Tuy nhiên, sự giảm này không nhiều như: hiệu suất chuyển hóa nôi đôi lúc 1 giờ giảm từ 94,26% xuống 89,38% và lúc 5 giờ giảm từ 97,33% xuống 92,28% khi chỉ số axit của dầu nguyên liệu giảm từ 47,6 mgKOH/g xuống 1,12 mgKOH/g. Điều này chứng tỏ chỉ số axit của dầu nguyên liệu không ảnh hưởng nhiều đến hiệu suất chuyển hóa nôi đôi trong quá trình epoxy hóa.

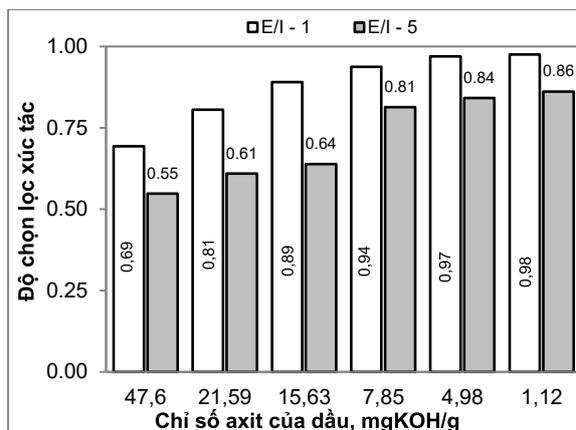
Đường E-1 biểu diễn hiệu suất epoxy hóa lúc 1 giờ với giá trị tăng mạnh từ 65,38% tới 87,23% khi chỉ số axit của dầu nguyên liệu giảm từ 47,6 mgKOH/g xuống 1,12 mgKOH/g. Điều này chứng tỏ chỉ số axit của dầu nguyên liệu ảnh hưởng rất nhiều tới hiệu suất epoxy hóa.

Đường E-5 biểu diễn hiệu suất epoxy hóa lúc 5 giờ nằm phía dưới đường E-1 chứng tỏ hiệu suất epoxy hóa lúc 5 giờ thấp hơn so với lúc 1 giờ. Mà đường I-5 tuy gần nhưng vẫn ở phía trên đường I-1 chứng tỏ phản ứng epoxy vẫn diễn ra nhưng tốc độ nhỏ hơn tốc độ phản ứng mở vòng epoxy. Với chỉ số axit của dầu nguyên liệu lớn (15,63 mgKOH/g tới 47,6 mgKOH/g) khoảng cách giữa đường E-1 và E-5

lớn hơn so với khi chỉ số axit của dầu nguyên liệu nhỏ (1,12 mgKOH/g tới 7,85 mgKOH/g), chứng tỏ chỉ số axit của dầu nguyên liệu càng cao càng thúc đẩy phản ứng mở vòng epoxy.

3.4. Ảnh hưởng của chỉ số axit của dầu đến độ chọn lọc xúc tác

Độ chọn lọc của xúc tác được đánh giá thông qua tỉ số giữa hiệu suất epoxy hóa và hiệu suất chuyển hóa nôi đôi [6-8]. Xúc tác lý tưởng có độ chọn lọc đạt 1. Từ hiệu suất chuyển hóa nôi đôi và hiệu suất epoxy hóa ở mục 3.3 dễ dàng tính được độ chọn lọc xúc tác khi dầu nguyên liệu có chỉ số axit khác nhau. Kết quả tính toán trình bày trên hình 3.



Hình 3. Ảnh hưởng của chỉ số axit của dầu đến độ chọn lọc xúc tác

E/I-1 và E/I-5 độ chọn lọc xúc tác lúc 1 giờ và 5 giờ

Từ hình 3 nhận thấy, độ chọn lọc xúc tác tại 1 giờ hay 5 giờ phản ứng đều tăng cùng với sự giảm chỉ số axit của dầu nguyên liệu. Khi chỉ số axit của dầu nguyên liệu đủ lớn và giảm từ 47,6 mgKOH/g xuống 7,85 mgKOH/g độ chọn lọc xúc tác lúc 1 giờ tăng mạnh từ 0,69 tới 0,94. Độ chọn lọc xúc tác tiếp tục tăng chậm tới 0,98 khi chỉ số axit của dầu nguyên liệu đủ nhỏ (từ 4,98 mgKOH/g xuống 1,12 mgKOH/g).

Mục 3.3 cho thấy hiệu suất chuyển hóa nôi đôi tăng chậm từ 1 giờ tới 5 giờ phản ứng nhưng hiệu suất epoxy hóa không những không tăng mà còn giảm khi kéo dài thời gian phản ứng tới 5 giờ vì vậy độ chọn lọc xúc tác cũng sẽ giảm so với lúc 1 giờ phản ứng (hình 3).

Khi dầu nguyên liệu có chỉ số axit càng lớn (từ 47,6 mgKOH/g xuống 15,63 mgKOH/g) càng thúc đẩy phản ứng mở vòng epoxy và độ chọn lọc xúc tác lúc 5 giờ càng nhỏ. Ngược lại, với dầu nguyên liệu có chỉ số axit đủ nhỏ (từ 7,85 mgKOH/g xuống 1,12 mgKOH/g) phản ứng mở vòng epoxy diễn ra ít hơn do vậy độ chọn lọc xúc tác tuy nhỏ hơn lúc 1 giờ

phản ứng nhưng lớn hơn khá nhiều so với khi dầu nguyên liệu có chỉ số axit lớn hơn 7,85 mgKOH/g.

Cũng từ hình 3 nhận thấy, khi chỉ số axit của dầu nguyên liệu đủ nhỏ (nhỏ hơn 7,85 mgKOH/g) thì độ chọn lọc xúc tác chỉ tăng nhẹ cùng với sự giảm chỉ số axit.

4. Kết luận

Bằng việc thực hiện quá trình este hóa ở những khoảng thời gian khác nhau thu được các sản phẩm dầu hạt cao su có chỉ số axit khác nhau. Sử dụng các sản phẩm này làm nguyên liệu để tiến hành epoxy hóa. Các kết quả thực nghiệm cho thấy, cùng với việc giảm chỉ số axit của dầu nguyên liệu từ 47,6 mgKOH/g xuống 1,12 mgKOH/g, hàm lượng nhóm epoxy của dầu epoxy hóa tăng từ 13,39% tới 17,86% (lúc 1 giờ phản ứng).

Trong khi chỉ số axit của dầu nguyên liệu không ảnh hưởng nhiều tới hiệu suất chuyển hóa nổi đôi thì nó lại ảnh hưởng rất nhiều tới phản ứng mở vòng epoxy khi thời gian epoxy hóa kéo dài và kết quả là độ chọn lọc xúc tác giảm cùng với sự tăng chỉ số axit của dầu nguyên liệu.

Như vậy, chất lượng dầu nguyên liệu sử dụng để epoxy hóa sẽ ảnh hưởng đáng kể tới hiệu quả của quá trình epoxy hóa cũng như chất lượng của sản phẩm.

Lời cảm ơn

Công trình này được hỗ trợ bởi PTN Trọng điểm Polyme & Composit, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, sinh viên Nguyễn Thị Yến K55.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Roy A. Carr, Refining and Degumming Systems for Edible Fats and Oils, Journal of the American Oil Chemists' Society, 55 (1978) 765-771.
- [2]. O.E Ikwuagwu, I.C. Ononogbu, O.U. Njoku, Production of Biodiesel using Rubber [Hevea brasiliensis] (Kunth. Muell.) seed oil, Industrial Crops and Products 12 (2000), 57-92.
- [3]. UlfSchuchardt, Ricardo Sercheli, and Rogério Matheus Vargas, Transesterification of Vegetable Oils: Review, Journal of the Brazilian Chemical Society, 9(1) (1998), 199-210.
- [4]. Harshal Patil, Jyotsna Waghmare, Catalyst for epoxidation of Oils: A Review, Discovery, 3(7) (2013) 10-14.
- [5]. Edited by S.Ted.Oyama, Mechanisms in Homogeneous and Heterogeneous Epoxidation catalyst, Section 3. Heterogeneous catalyst, Chapter 15. Ulrich Arnold, Metal Species Supported on Organic Polymers as Catalysts for the Epoxidation of Alkenes, 387-412, Section 4. Phase-Transfer Catalysis, Chapter 17. Shuang Gao and Zuwei Xi, Reaction-Controlled Phase-Transfer Catalysis for Epoxidation of Olefin, 430-446 ISBN: 978-0-444-53188-9 (2008).
- [6]. Srikanta Dinda, Anand V. Patwardhan, Vaibhav V. Goud, Narayan C. Pradhan, Epoxidation of Cottonseed Oil by Aqueous Hydrogen Peroxide Catalysed by Liquid Inorganic Acids, Bioresource Technology 99 (2008) 3737-3744.
- [7]. Vaibhav V. Goud, Anand V. Patwardhan, Narayan C. Pradhan, Studies on the Epoxidation of Mahua Oil (Madhumica Indica) by Hydrogen Peroxide, Bioresource Technology 97(2006), 1365-1371.
- [8]. P. Saithai, J. Lecomete, E. Dubreucp, V. Tanrattanakul, Effect of Different Epoxidation Methods of Soybean Oil on the Characteristics of Acrylated Epoxidized Soybean Oil-co-poly(methyl methacrylate) Copolymer, eXPRESS Polymer Letters, 7(11) (2013), 910-924.