

TỔNG HỢP DẦU DIESEL SINH HỌC TỪ DẦU THẦU DẦU

Nguyễn Văn Đạt¹, Lưu Cẩm Lộc², Bùi Thị Bửu Huệ¹, Dương Kim Hoàng Yến¹,
Trần Phát Đạt¹, Phạm Văn Thanh¹, Nguyễn Văn Nhã¹ và Lê Văn Thức³

ABSTRACT

Objective of the current work is to study an optimized protocol for the production of biodiesel through alkaline-catalyzed transesterification of Castor oil. The reaction variables used were methanol/oil molar ratio (4:1–8:1), catalyst concentration (0.25–1.50%), temperature (40–65 °C) and reaction time (45–150 minutes). The biodiesel with best yield was produced at methanol/oil molar ratio, 6:1; potassium hydroxide catalyst concentration, 0.5%; mixing intensity, 500 rpm (revolutions per minute), reaction temperature, 60 °C and reaction time, 120 minutes. The yield of the biodiesel produced under optimal condition was 95.84%. The quality of the biodiesel produced was evaluated by the determinations of important properties such as kinematic viscosity at 40 °C, gross heating value, acid value, copper strip corrosion value at 50 °C. However, kinematic viscosity at 40 °C of biodiesel from Castor oil (CastorBDF) is unsuitable in pure state for its direct use as fuel in internal combustion engines. Thus, blends with reference diesel have been prepared and evaluated. The results showed that kinematic viscosity at 40 °C of the blends of CastorFAME and reference diesel was satisfactory according to ASTM D6751 (1.9–6.0 mm²/s) and EN 14214 (3.5–5.0 mm²/s).

Keywords: Biodiesel, Castor oil, CastorBDF

Title: Synthesis of biodiesel from Castor oil

TÓM TẮT

Mục tiêu của nghiên cứu là nhằm xây dựng một quy trình tối ưu hóa cho việc sản xuất biodiesel từ dầu thầu dầu thông qua phản ứng transester hóa với xúc tác base. Phản ứng được thực hiện dưới sự thay đổi các thông số như: tỷ lệ mol methanol: dầu (4:1-8:1), nồng độ chất xúc tác (0.25-1.50%), nhiệt độ (40-60 °C) và thời gian phản ứng (45-150 phút). Hiệu suất cực đại của phản ứng đạt được tại các điều kiện: tỷ lệ mol methanol:dầu, 6:1; nồng độ xúc tác potassium hydroxide, 0.5%; tốc độ khuấy trộn, 500 vòng/phút; nhiệt độ phản ứng 60°C và thời gian phản ứng, 120 phút. Hiệu suất tối ưu đạt được dưới những điều kiện này là 95.84%. Chất lượng của biodiesel được đánh giá thông qua các đặc tính hóa lý quan trọng như độ nhớt động học ở 40 °C, nhiệt lượng tổng, chỉ số acid, ăn mòn lá đồng ở 50 °C. Tuy nhiên, độ nhớt động học ở 40 °C của diesel sinh học từ dầu thầu dầu quá cao không phù hợp để sử dụng trực tiếp cho động cơ đốt trong, vì thế, sự pha trộn biodiesel với nhiên liệu diesel được thực hiện và đánh giá. Kết quả cho thấy độ nhớt động học ở 40 °C của hỗn hợp biodiesel từ dầu Thầu dầu và diesel thỏa mãn các tiêu chuẩn ASTM D6751 (1.9-6.0 mm²/s) và EN 14214 (3.5-5.0 mm²/s).

Từ khóa: Diesel sinh học, dầu thầu dầu, dầu diesel sinh học tổng hợp từ dầu thầu dầu

¹ Khoa Khoa học Tự nhiên, Trường Đại học Cần Thơ

² Viện Công nghệ Hóa học tại Tp. Hồ Chí Minh

³ Nevorie Crescent Maroubra, Australia

1 ĐẶT VẤN ĐỀ

Sự cạn kiệt của nguồn dầu mỏ trên thế giới và tình trạng ô nhiễm môi trường đã đặt ra cho toàn nhân loại một nhiệm vụ to lớn, một nhiệm vụ chung của các quốc gia, không phân biệt giàu nghèo, thể chế kinh tế, chính trị,... Nhiệm vụ đó chính là việc nghiên cứu tìm ra nguồn năng lượng mới thay thế cho năng lượng có nguồn gốc từ dầu mỏ. Trước tình hình đó, nhiên liệu sinh học (biofuel) ra đời như là một loại nhiên liệu thay thế cho nhiên liệu truyền thống.

Biodiesel (dầu diesel sinh học) là thuật ngữ dùng để chỉ loại nhiên liệu dùng cho động cơ diesel được sản xuất từ dầu thực vật hay mỡ động vật, một loại nhiên liệu được biết đến như là một nhiên liệu xanh, sạch, có tính chất hóa lý tương tự như dầu diesel. Thành phần chính của biodiesel là các alkyl ester, thông dụng nhất là methyl ester (Demirbas A., 2009).

Nguyên liệu dùng để sản xuất biodiesel tùy thuộc vào điều kiện khí hậu cũng như những nguồn nguyên liệu sẵn có của địa phương. Điều đó cho thấy tại sao biodiesel từ rapeseed chiếm phần lớn tại châu Âu, biodiesel từ dầu cọ được sử dụng nhiều tại các nước nằm trong vùng khí hậu nhiệt đới hay ở Mỹ biodiesel được sản xuất từ nguồn nguyên liệu chính là dầu đậu nành và mỡ động vật. (Mittelbach *et al.*, 2004; Knothe *et al.*, 2005; Moser, B.R., 2009). Tuy nhiên, trong số những nguồn nguyên liệu này, có những loại giá rất cao vì chúng thuộc loại có thể dùng làm thực phẩm cho con người. Nhằm tìm hiểu loại nguyên liệu có ở địa phương, dầu thầu dầu đã được chọn và nghiên cứu để sản xuất biodiesel.

Thầu dầu có tên khoa học là *Ricinus communis* L., cũng được biết với một tên khác mà người Nam Bộ hay gọi là cây đu đủ dầu. Thầu dầu có nguồn gốc từ vùng Đông Phi, nhưng ngày nay nó đã phổ biến trên toàn thế giới. Loại cây đó rất dễ thích nghi với môi trường sống mới nên ta có thể tìm thấy nó ở bất cứ đâu, từ các vùng đất bị bỏ hoang cho đến các bụi cây cảnh công viên hay các nơi công cộng khác. Cây thầu dầu được trồng bằng hạt vào tháng 12, thu hoạch vào tháng 4-5. Mỗi hecta cho khoảng 375-750 kg hạt. Dầu thầu dầu là chất lỏng không màu hoặc màu vàng, rất sánh, mùi đặc biệt, vị khó chịu và gây buồn nôn.

Cho đến nay, một số nước đã thành công trong việc nghiên cứu và bước đầu đưa vào sản xuất dầu diesel sinh học từ dầu thầu dầu như Brazil, Ấn Độ,... Tuy nhiên, hầu như chưa có thông tin về nghiên cứu tổng hợp dầu diesel sinh học từ dầu thầu dầu tại Việt Nam.

Trong nghiên cứu này, dầu thầu dầu được sử dụng làm nguyên liệu cho tổng hợp biodiesel bằng phản ứng transester hóa với xúc tác base. Các điều kiện phản ứng nhằm để thu được hiệu suất tối đa đã được nghiên cứu. Bên cạnh đó, hỗn hợp nhiên liệu pha trộn biodiesel/diesel dưới dạng B5, B10 và B20 cũng được đánh giá thông qua một số tính chất vật lý như độ nhớt động học tại 40°C, khối lượng riêng tại 15°C, nhiệt lượng tổng và ăn mòn lá đồng.

2 VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Vật liệu

Hạt thầu dầu được thu gom từ một số tỉnh ở vùng đồng bằng sông Cửu Long.

Tất cả các hóa chất được sử dụng là các hóa chất tinh khiết thương mại.

2.2 Phương pháp nghiên cứu

2.2.1 Ly trích dầu thầu dầu

20 gam hạt thầu dầu được làm khô dưới ánh sáng tự nhiên và nghiền, sau đó, được cho vào một túi giấy hình trụ (cylindrical filter paper) và ly trích Soxhlet với dung môi hexan. Sau khi ly trích, hexan được tách ra khỏi dầu thầu dầu bằng hệ thống cô quay (Buchi Rotavapor R-205). Hàm lượng dầu trong hạt thầu dầu là: 26.74%

2.2.2 Tổng hợp biodiesel từ dầu hạt Thầu dầu

Dầu thầu dầu nguyên liệu sau khi ly trích có chỉ số acid thấp (1.06 mg KOH/gam) thích hợp cho quá trình tổng hợp biodiesel trực tiếp bằng phản ứng transester với xúc tác base. Quá trình thí nghiệm được tiến hành như sau: cân lượng methanol cần thiết cho vào bình tam giác 250 mL rồi cho vào đó xúc tác base (KOH) cần thiết để tạo dung dịch KOH trong methanol. Dầu được cân và cho vào bình phản ứng, đặt lên máy khuấy từ, điều chỉnh nhiệt độ cần thiết. Sau đó, rót từ từ dung dịch KOH trong methanol vào bình phản ứng trên, khuấy hỗn hợp phản ứng và theo dõi quá trình phản ứng. Sau khi phản ứng xong, hỗn hợp phản ứng được để ổn định trong phễu chiết và tách lớp. Sản phẩm biodiesel được tinh chế bằng cách rửa nhiều lần với nước ấm nhằm loại bỏ xúc tác, methanol và làm khan bằng Na_2SO_4 .

2.2.3 Phân tích tính chất hóa lý và thành phần methyl ester

Sản phẩm biodiesel được phân tích thành phần hóa học bằng sắc ký khí ghép khối phổ GC-MS tại phòng thí nghiệm Hóa sinh thuộc Bộ môn Hóa học, khoa Khoa học Tự nhiên – Đại học Cần Thơ

Bên cạnh đó, một số chỉ tiêu hóa lý (độ nhớt động học tại 40°C, nhiệt lượng tổng, ăn mòn lá đồng, khối lượng riêng tại 15°C) của sản phẩm B100 cũng như hỗn hợp nhiên liệu pha trộn biodiesel/diesel dưới dạng B5, B10 và B20 cũng được phân tích tại Trung tâm Phân tích thí nghiệm CASE chi nhánh tại Cần Thơ.

3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1 Những tính chất hóa lý của dầu thầu dầu nguyên liệu

Dầu thầu dầu sau khi ly trích được tiến hành đánh giá chất lượng thông qua một số chỉ tiêu hóa lý cơ bản. Kết quả được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1: Tính chất hóa lý của dầu nguyên liệu để tổng hợp biodiesel

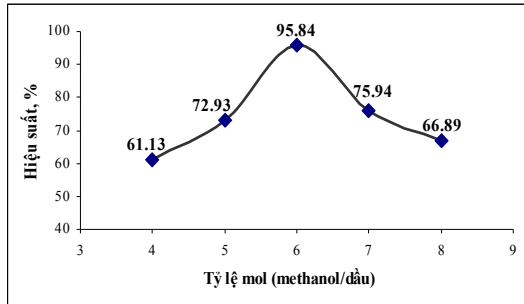
Thông số	Dầu thầu dầu	Diesel
Chỉ số acid, mg KOH/gam	1.06	-
Độ nhớt động học ở 40°C (mm ² /s)	165.10	3.152

Bảng 1 cho thấy độ nhớt của dầu thầu dầu cao hơn độ nhớt của dầu diesel khoảng 50 lần, có thể nói đây là một trong số dầu thực vật có độ nhớt cao nhất. Do đó, quá trình chuyển chúng thành dạng monoester có những tính chất tương tự dầu diesel là cần thiết.

3.2 Các yếu tố ảnh hưởng đến phản ứng transester hóa xúc tác base

3.2.1 Ảnh hưởng của tỉ lệ mol methanol:dầu

Tỷ lệ mol methanol:dầu là một trong những yếu tố quan trọng nhất ảnh hưởng đến hiệu suất phản ứng. Trong nghiên cứu này một loạt các thí nghiệm đã được thực hiện với tỉ lệ mol methanol:dầu thay đổi từ 4:1 đến 8:1 và cố định các yếu tố còn lại như sau: nhiệt độ là 60°C, tốc độ khuấy 500 vòng/phút. Yếu tố thời gian được cố định là 2 giờ. Kết quả được biểu diễn bằng đồ thị hình 1.



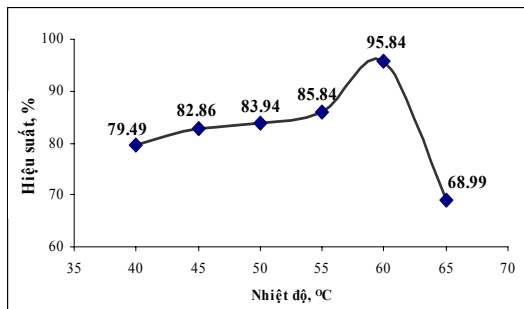
Hình 1: Ảnh hưởng của tỷ lệ mol methanol:dầu đến hiệu suất tổng hợp CastorBDF

Theo đồ thị hình 1, theo hướng tăng tỷ lệ mol methanol:dầu thì hiệu suất cũng tăng. Khi tỷ lệ mol (6:1) thì hiệu suất đạt cao nhất, tuy nhiên, nếu tỷ lệ mol cao hơn (6:1) thì hiệu suất có khuynh hướng giảm, điều này do methanol có nhóm OH phân cực đóng vai trò như một chất nhũ hóa, làm tăng khả năng hòa tan của glycerol trong dung dịch phản ứng.

Glycerol còn lại trong dung dịch phản ứng sẽ làm cho cân bằng chuyển dịch theo chiều ngược với hướng tạo monoester, hiệu suất sẽ giảm.

3.2.2 Ảnh hưởng nhiệt độ

Khoảng nhiệt độ của phản ứng transester hóa tương đối rộng thường từ nhiệt độ phòng đến gần nhiệt độ sôi của alcohol ở áp suất khí quyển (Srivastava A, Prasad R., 2000; Pramanik K., 2003). Trong nghiên cứu này alcohol được sử dụng là methanol (nhiệt độ sôi của methanol 65°C), nên các thí nghiệm được tiến hành ở các nhiệt độ khác nhau 40, 45, 50, 55, 60, 65°C với việc cố định các yếu tố như: nồng độ xúc tác KOH 0.5% (theo khối lượng dầu), tỷ lệ mol methanol:dầu là 6:1, tốc độ khuấy 500 vòng/phút, thời gian khoảng ứng là 2 giờ. Kết quả được biểu diễn bằng đồ thị Hình 2. Theo đồ thị trình bày ở Hình 2, cho thấy hiệu suất cao nhất đạt tại 60°C.

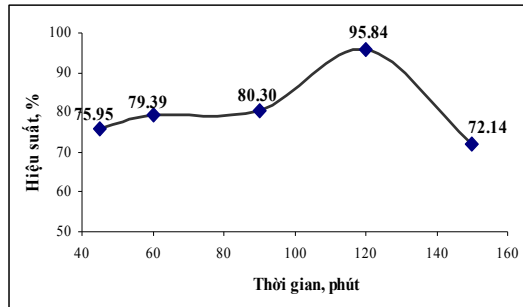


Hình 2: Ảnh hưởng của nhiệt độ đến hiệu suất tổng hợp CastorBDF

Khi tăng nhiệt độ hiệu suất phản ứng tạo CastorBDF tăng. Tuy nhiên, nhiệt độ tăng cao hơn 60°C, thì hiệu suất phản ứng có khuynh hướng giảm, điều này có thể do phản ứng xà phòng hóa dầu xảy ra trước khi hoàn tất phản ứng transester hóa. Mặt khác, nhiệt độ cao dẫn đến thất thoát methanol làm giảm hiệu suất.

3.2.3 Ảnh hưởng của thời gian

Các thí nghiệm được tiến hành với việc cố định các yếu tố như: tỷ lệ mol methanol:dầu là 6:1, nồng độ xúc tác KOH 0.5% (theo khối lượng dầu), tốc độ khuấy 500 vòng/phút, nhiệt độ ở 60°C và thay đổi yếu tố thời gian từ 45 phút đến 150 phút. Kết quả được biểu thị hình 3.

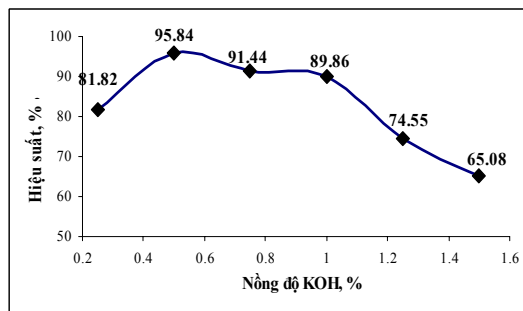


Hình 3: Ảnh hưởng của thời gian đến hiệu suất tổng hợp CastorBDF

Theo đồ thị hình 3, hiệu suất đạt cao nhất ở thời gian 120 phút, nếu thời gian trước 120 phút phản ứng xảy ra không hoàn toàn màu của biodiesel thu được tốt hơn so với màu của biodiesel thu được ở 120 phút và tồn tại nhiều chất bẩn trong biodiesel hơn. Ngược lại, nếu thời gian dài hơn 120 phút, lượng biodiesel thu được có khuynh hướng giảm.

3.2.4 Ảnh hưởng của hàm lượng xúc tác KOH

Để khảo sát ảnh hưởng của xúc tác KOH, các thí nghiệm được tiến hành với nồng độ xúc tác KOH thay đổi từ 0.25 đến 1.5% (so với khối lượng dầu) và cố định các yếu tố còn lại như sau: nhiệt độ 60°C, tốc độ khuấy là 500 vòng/phút. Yếu tố thời gian được cố định là 120 phút, tỉ lệ mol methanol:dầu là 6:1.



Hình 4: Ảnh hưởng của %KOH đến hiệu suất tổng hợp CastorBDF

Kết quả được biểu diễn bằng đồ thị hình 4. Hiệu suất phản ứng cao nhất khi hàm lượng xúc tác KOH là 0.5% (theo khối lượng dầu).

Ở nồng độ KOH nhỏ hơn 0.5%, lượng KOH không đủ cho phản ứng hoàn tất. Ngược lại, khi nồng độ KOH lớn hơn 0.5%, thì làm tăng lượng xà phòng tạo thành, do đó làm giảm hiệu suất thu sản phẩm.

Tóm lại

Vậy điều kiện tối ưu cho phản ứng transester hóa để tổng hợp CastorBDF như sau:

- Hàm lượng xúc tác KOH : 0.5% (so với khối lượng dầu)
- Tỷ lệ mol methanol/dầu : 6:1
- Nhiệt độ phản ứng : 60°C
- Thời gian : 120 phút
- Hiệu suất : 95.84%

3.3 Những tính chất hóa lý của CastorBDF

Bảng 2 trình bày những tính chất hóa lý của CastorBDF có so sánh với diesel.

Bảng 2: Những tính chất lý hóa của CastorBDF có so sánh với diesel

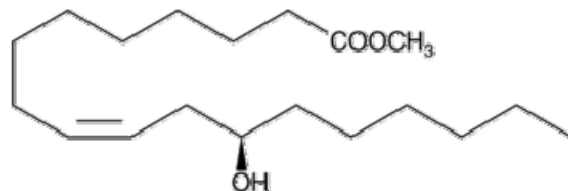
Các tính chất hóa lý	Các tiêu chuẩn			CastorBDF	Diesel
	JIS	EN	ASTM		
Chỉ số acid, mg KOH/g	≤0.5	≤0.5	≤0.5	0.14	-
Nhiệt lượng tổng, MJ/kg	-	-	-	35.34	45.68
Độ nhớt động học ở 40°C, mm ² /s	3.5-5.0	3.5-5.0	1.9-5.0	20.76	3.152
Ăn mòn lá đồng ở 50°C				1a	1a

Chỉ số acid của CastorBDF đạt được yêu cầu của các tiêu chuẩn hiện hành.

Nhiệt lượng tổng là một trong những đại lượng quan trọng nhất để xem xét một nguồn nguyên liệu có đáp ứng được nhu cầu cho sản xuất nhiên liệu sinh học hay không. Nhiệt lượng tổng của CastorBDF thấp hơn nhiệt lượng tổng của diesel khoảng 20%, điều này do sự có mặt của nguyên tử O trong phân tử methyl ester.

Kết quả nghiên cứu ăn mòn lá đồng được thực hiện tại nhiệt độ 50 trong 3 giờ cho thấy kết quả này vẫn nằm trong phạm vi tiêu chuẩn của ASTM, JIS và EN.

Độ nhớt động học tại 40°C của CastorBDF là 20.76 mm²/s không thỏa được tiêu chuẩn EN và JIS (3.5–5.0 mm²/s), hoặc ASTM D6751 (1.9–6.0 mm²/s). Điều này do liên kết hydro liên phân tử được tạo ra giữa các phân tử ricinoleic acid methyl ester, là thành phần chủ yếu của CastorBDF. Vì vậy, không thể dùng biodiesel dạng nguyên chất (B100) cho động cơ đốt trong mà phải dùng dạng pha trộn.



Hình 5: Công thức cấu tạo của Ricinoleic Acid methyl ester

3.4 Tính chất của hỗn hợp nhiên liệu pha trộn biodiesel/diesel

Theo ASTM tỉ lệ pha trộn theo phần trăm thể tích (biodiesel/diesel) tối đa là 20%, một trong những lý do cho điều này là khi tăng thể tích biodiesel thì độ bền oxi hóa của hỗn hợp nhiên liệu sẽ giảm.

Trong nghiên cứu này, biodiesel được pha trộn dưới các hình thức B5, B10, B20 có so sánh với dầu diesel (B0) và CastorBDF (B100). Mẫu được tiến hành phân tích các chỉ tiêu như: khối lượng riêng tại 15°C, độ nhớt động học tại 40°C, nhiệt lượng tổng và ăn mòn lá đồng tại 50°C. Kết quả thí nghiệm chi tiết được trình bày ở Bảng 3 và minh họa bằng các đồ thị Hình 6-8.

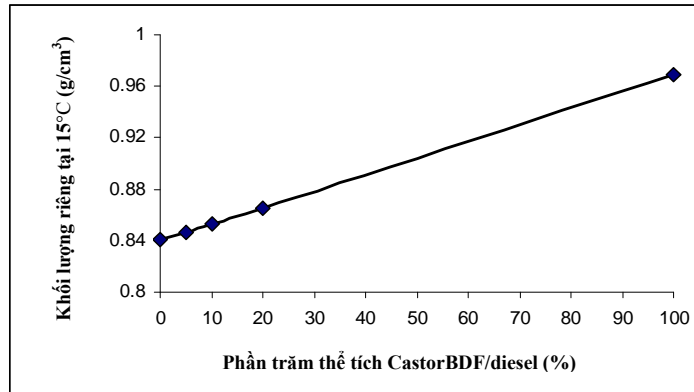
Khối lượng riêng tại 15°C của hỗn hợp pha trộn đã giảm nhiều, các dạng pha trộn B5 và B10 đã đạt được yêu cầu của tiêu chuẩn EN590.

Độ nhớt động học tại 40°C và ăn mòn lá đồng của tất cả các dạng pha trộn đều thỏa mãn yêu cầu của tiêu chuẩn EN590.

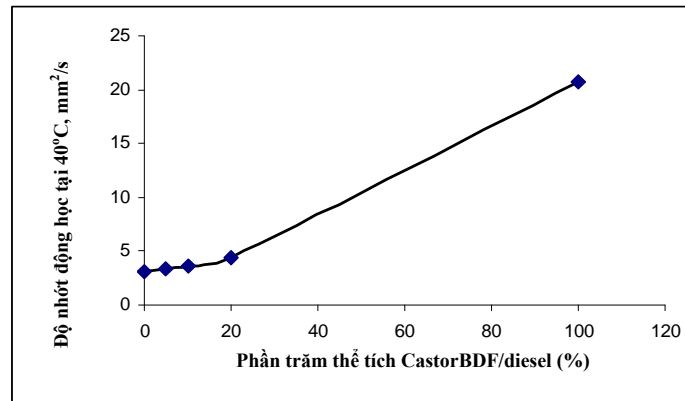
Bên cạnh đó, khối lượng riêng tại 15°C, độ nhớt động học tại 40°C của hỗn hợp pha trộn giảm dần theo chiều tăng thể tích của dầu diesel. Ngược lại, nhiệt lượng tổng giảm khi giảm thể tích dầu diesel.

Bảng 3: Những tính chất của hỗn hợp nhiên liệu pha trộn biodiesel/diesel

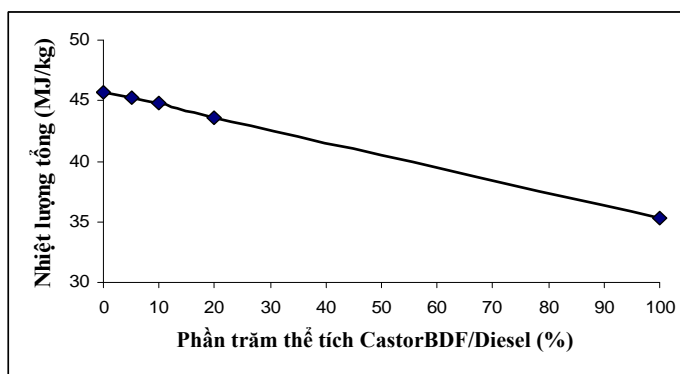
Các tính chất vật lý	CastorBDF/ Diesel (% thể tích)					EN 590
	0/100	5/95	10/90	20/80	100/0	
Khối lượng riêng tại 15°C, g/cm ³	0.84	0.84	0.85	0.86	0.96	0.82–0.85
Độ nhớt động học tại 40°C, mm ² /s	3.15	3.37	3.65	4.43	20.76	2.00–4.50
Nhiệt lượng tổng, MJ/kg	45.68	45.20	44.78	43.54	35.34	
Ăn mòn lá đồng ở 50°C	1°	1a	1a	1a	1a	



Hình 6: Sự thay đổi khối lượng riêng của hỗn hợp pha trộn CastorBDF/Diesel



Hình 7: Sự thay đổi độ nhớt động học tại 40°C của hỗn hợp pha trộn CastorBDF/Diesel



Hình 8: Sự thay đổi nhiệt lượng tổng của hỗn hợp pha trộn CastorBDF/Diesel

3.5 Thành phần acid béo của CastorBDF

Thành phần acid béo chính của CastorBDF được phân tích bằng sắc ký khí ghép khối phổ. Kết quả phân tích thành phần được tóm tắt trong bảng 4.

Bảng 4: Thành phần acid béo chính của CastorBDF, %

Tên acid	CastorBDF ¹⁾	CastorBDF ²⁾
Acid ricinoleic (C18:1 OH)	90.75	87.10
Acid linoleic (C18:2)	4.61	5.27
Acid eicosadienoic (C20:2)	4.65	-
Thành phần khác	-	7.63 ^{*)}

¹⁾ Nghiên cứu này; ²⁾ Laureano Canoira; ^{*)} Palmitic acid (C16:0): 1.25, stearic acid (C18:0): 1.31, oleic acid (C18:1): 3.81

Thành phần acid béo của CastorBDF chủ yếu là C18 đến C20. Trong đó, thành phần C18:1 có một nhóm OH chiếm nhiều nhất (90.75%), tiếp đến là C20:2 (4.65%), còn lại là C18:2 (4.61%). Kết quả nghiên cứu này cũng tương tự như công trình của tác giả Laureano Canoira, tuy nhiên, có sự khác nhau của một số thành phần tồn tại dạng lượng vết so với biodiesel tổng hợp từ dầu thầu dầu của Việt Nam.

4 KẾT LUẬN

Đã ly trích được dầu thầu dầu với hàm lượng 26.74% so với khối lượng hạt. Đã tổng hợp được CastorBDF với hiệu suất 95.84% ở quy mô phòng thí nghiệm theo quy trình một giai đoạn. Nhiều đặc tính hóa lý của sản phẩm CastorBDF đã đạt được yêu cầu về chất lượng của một số tiêu chuẩn hiện hành. Tuy nhiên, do ricinoleic methyl ester là thành phần chính của CastorBDF nên sự xuất hiện lực liên kết hydro liên phân tử làm cho độ nhớt động học tại 40°C tăng đáng kể và không đạt được yêu cầu của bất kỳ loại tiêu chuẩn nào được biết. Do vậy, để làm giảm độ nhớt động học tại 40°C buộc phải sử dụng dạng pha trộn. Kết quả nghiên cứu cho thấy tất cả các dạng pha trộn đều có độ nhớt động học tại 40°C thỏa mãn tất cả các tiêu chuẩn hiện hành.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Demirbas A., 2009. *Biofuels: Securing the Planet's Future Energy Needs*. Springer
- Knothe, G., Steidley, K.R., 2005. Kinematic viscosity of biodiesel fuel components and related compounds. Influence of compound structure and comparison to petrodiesel fuel components. *Fuel* 84, 1059–1065.
- Mittelbach, M., Renschmidt, C., 2004. *Biodiesel—A Comprehensive Handbook*. Martin Mittelbach, Graz.
- Moser, B.R., 2009a. Biodiesel production, properties, and feedstocks. *In vitro Cell. Dev. Biol.-Plant* 45, 229–266.
- Pramanik K., 2003. Properties and use of *Jatropha curcas* oil and diesel fuel blends in compression ignition engine. *Renew Energ* 2003;28: 239–48.
- Srivastava A, Prasad R., 2000. Triglycerides-based diesel fuels. *Renew Sust Energ Rev*; 4:111.