



THU HỒI NHIÊN LIỆU LỎNG TỪ NHỰA HDPE, PE VÀ LỚP XE PHẾ THẢI BẰNG PHƯƠNG PHÁP NHIỆT PHÂN

Nguyễn Văn Cường¹, Lê Hùng Anh², Nguyễn Hữu Sơn¹, Phạm Hoàng Ái Lệ¹, Đoàn Vũ Chí¹ và Trịnh Ngọc Nam³

¹ Khoa Công nghệ Hóa học, Đại học Công nghiệp, Thành phố Hồ Chí Minh

² Viện Khoa học Công nghệ và Quản lý môi trường, Đại học Công nghiệp, Thành phố Hồ Chí Minh

³ Viện Công nghệ Sinh học và Thực phẩm, Đại học Công nghiệp, Thành phố Hồ Chí Minh

Thông tin chung:

Ngày nhận: 08/08/2015

Ngày chấp nhận: 17/09/2015

Title:

Recovery of liquid fuel from HDPE, PE and tyre waste by pyrolysis

Từ khóa:

Chất thải rắn, nhiệt phân, xúc tác, nhựa HDPE, nhựa PE và cao su butyl

Keywords:

Solid waste, pyrolysis, catalytic, HDPE, PE, butyl rubber

ABSTRACT

In this study, we conducted liquid fuel recovery from solid waste by pyrolysis. 3 solid wastes (HDPE, butyl rubber and polypropylene) were used as a feedstock for pyrolysis. The results showed that 86% of liquid products were obtained for pyrolysis of the HDPE solid waste with slow and fast heating. However, liquid products obtained in the fast heating rate were of wax state at the room temperature. When applying pyrolysis for solid waste tyres, the results showed that slow heating rate delivered 44% of the liquid product in comparison to 52% for fast heating rate. Additionally, the composition of liquid pyrolysis product yielded 30% of gasoline, 63% of FO and DO. For solid waste polypropylene, the amount of liquid products increased with the heating rate. Specifically, liquid product was of 85% for the slow heating rate while it was of 93% for the fast heating rate. Liquid pyrolysis product from pyrolysis of polypropylene contained more gasoline than that of pyrolysis of the PE solid wastes and butyl rubber. This study also showed that the catalyst affected the amount of liquid pyrolysis products, but insignificantly affected the composition of the pyrolysis products. The results of this initial study may contribute to the use of waste for energy recovery in the future.

TÓM TẮT

Trong nghiên cứu này, chúng tôi tiến hành thu hồi nhiên liệu lỏng từ chất thải rắn là nhựa HDPE, PP và cao su butyl từ lớp xe phế thải bằng phương pháp nhiệt phân. Kết quả nghiên cứu cho thấy, HDPE khi gia nhiệt theo chế độ chậm và chế độ nhanh cho hàm lượng sản phẩm lỏng (SPL) sau nhiệt phân bằng nhau (86%). Tuy nhiên SPL thu được ở chế độ gia nhiệt nhanh hơn bị đóng rắn tại nhiệt độ phòng. Với cao su butyl, kết quả cho thấy chế độ gia nhiệt chậm cho 44% SPL trong khi chế độ gia nhiệt nhanh cho 52% SPL. Khi phân tích, SPL có hàm lượng xăng 30% và 63% FO và DO. Đối với nhựa PP, chế độ gia nhiệt chậm SPL đạt 85% trong khi tại chế độ gia nhiệt nhanh đạt 93%. SPL từ nhiệt phân nhựa PP chứa thành phần xăng nhiều hơn so với chất thải rắn có nguồn gốc nhựa PE và cao su butyl. Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy xúc tác ảnh hưởng trực tiếp tới lượng SPL thu được sau nhiệt phân, tuy nhiên ít ảnh hưởng đến thành phần của sản phẩm thu được sau nhiệt phân. Các kết quả nghiên cứu bước đầu đóng góp vào việc sử dụng chất thải rắn để thu hồi năng lượng trong tương lai.

1 GIỚI THIỆU

Chất thải công nghiệp được xác định là chất thải phát sinh do sản xuất hoặc các quy trình công nghiệp. Các loại chất thải công nghiệp phát sinh bao gồm vỏ cà phê, bụi bần, sỏi, gạch, bê tông, kim loại phế liệu, phế thải công nghiệp. Kết quả nghiên cứu thành phần chất thải rắn công nghiệp của 15 ngành công nghiệp cho thấy chất thải từ ngành chế biến thực phẩm chiếm 31,4%, nhựa và cao su 31,2%, dệt nhuộm 12,8%, giấy và bột giấy 12,2%, gỗ 5,6%, may mặc 2,7%, da 2%, dầu khí 0,06%. Phần lớn chất thải từ các ngành này đều có thể cháy được (chiếm 73,16%). Trong số đó có 24,2% chất thải từ ngành giấy, nhựa, cao su, gỗ có thể tái sử dụng. Khối lượng chất thải có thể thiêu đốt còn lại khoảng 48,96% tổng khối lượng chất thải, tương đương 2.832 tấn/ngày năm 2010 và 7.345 tấn/ngày vào năm 2020 (Theo TTXVN, 20/01/2011). Nhựa là một trong những vật liệu được sử dụng rộng rãi nhất do lợi thế khác nhau của chúng trong cuộc sống mỗi ngày của chúng ta. Lượng nhựa sản xuất ra đã tăng trung bình gần 10% mỗi năm trên toàn cầu kể từ năm 1950. Polyethylene mật độ cao (HDPE) đã chiếm một tỷ trọng lớn trong tiêu thụ ethylene những năm gần đây (Jan, M.R *et al.*, 2010). Nhu cầu HDPE đã tăng lên 4,4% mỗi năm và vào khoảng 31,3 triệu tấn/năm. Lượng sản xuất HDPE tăng lên dẫn đến lượng rác thải có nguồn gốc từ HDPE đóng góp vào trong nguồn rác thải ngày một tăng (Xinmin Liu *et al.*, 2012; Vasile *et al.*, 2006).

Trên thế giới, gần 1 tỷ lốp xe cho xe ô tô chở khách, xe con, xe tải, xe đường dài được sản xuất mỗi năm. Mỗi năm một số lượng gần như bằng lượng của lốp xe sản xuất ra được loại bỏ vĩnh viễn khỏi xe và xác định là chất thải. Hiện nay, các chất thải có nguồn gốc từ lốp xe đang được lưu trữ thành từng đống lớn, điều này đã trở thành khó khăn khi những nơi lưu trữ này tiềm tàng nguy cơ gây cháy và là môi trường sống cho ký sinh trùng và muỗi. Lốp xe cũ tái chế có thể được dành cho một loạt các mục đích. Trong đó quan trọng nhất là: kiện xây dựng, các sản phẩm carbon, kỹ thuật chôn lấp, khe co giãn, ổn định, rào cản âm thanh, đắp, bề mặt sân chơi thể thao (Murugan S *et al.*, 2009).

Trong nghiên cứu này, các quá trình nhiệt phân và cracking xúc tác của nhựa thải đồ dùng sinh hoạt gia đình, công nghiệp và vỏ xe đã được tiến hành bằng cách sử dụng một lò phản ứng ống 1000 mL trong khoảng nhiệt độ từ 200-550°C. Hiệu suất và thành phần của sản phẩm sau nhiệt phân được đánh giá để xác định việc tái sử dụng trong tương lai của chúng.

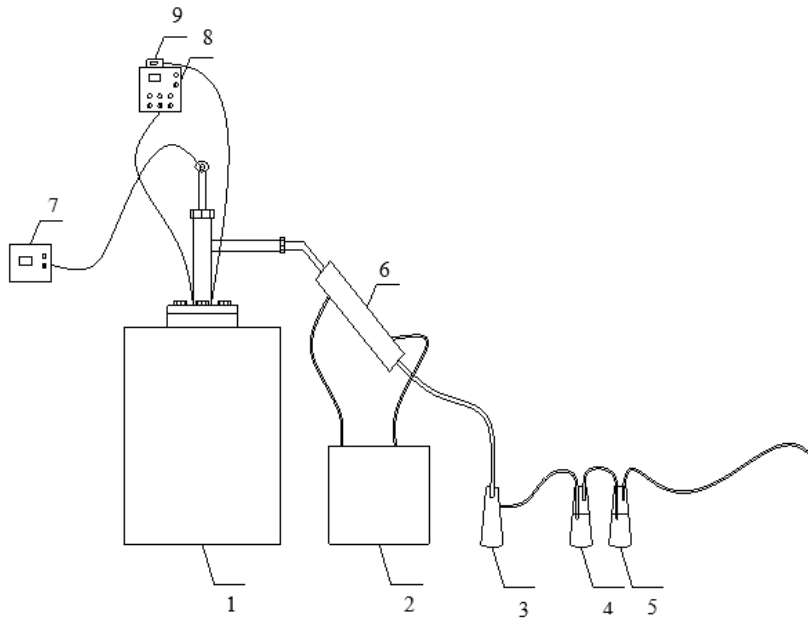
2 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Vật liệu

Chất thải rắn HDPE, PE được thu thập từ rác thải sinh hoạt, hoạt động công nghiệp trong khuôn viên và xung quanh trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh sau đó sấy khô. Các chất thải nhựa được cắt thành từng miếng nhỏ (khoảng 1-2 cm²) và được sử dụng trong phản ứng nhiệt phân bằng nhiệt và xúc tác. Vỏ và ruột xe thải được thu thập từ các tiệm sửa xe xung quanh trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh và cắt thành những miếng nhỏ (kích thước từ 1-3 cm²) bằng máy cắt sau khi đã gỡ bỏ dây thép, sợi vải.

2.2 Quá trình nhiệt phân

Thí nghiệm nhiệt phân nhựa thải và vỏ-ruột xe thải được tiến hành bằng thiết bị nhiệt phân dạng mẻ trong phòng thí nghiệm của chúng tôi bao gồm một lò phản ứng có thể gia nhiệt đến 550°C và bộ phận làm lạnh để thu hồi sản phẩm lỏng. Đối với mỗi thí nghiệm, các nguyên liệu thải (500 g) được cho vào thiết bị phản ứng sau đó tiến hành gia nhiệt trong điều kiện không có hoặc có xúc tác Hydro-Zeolite Socony Mobil-5 (H-ZSM5) (1-3%). Các thí nghiệm được tiến hành gia nhiệt với các chế độ gia nhiệt khác nhau từ 1-5°C/phút, thời gian thu hồi giọt nhiên liệu lỏng đầu tiên phụ thuộc vào nguyên liệu đầu vào và chế độ gia nhiệt. Sản phẩm khí từ thiết bị phản ứng được đi qua thiết bị ngưng tụ để thu sản phẩm lỏng. Sản phẩm nhiệt phân lỏng và cặn được đem cân để xác định hiệu suất thu hồi. Để xác định thành phần của nhiên liệu, sản phẩm lỏng sau khi nhiệt phân được đem chưng cất phân đoạn để thu hồi các phân đoạn chính là xăng, DO và FO. Sản phẩm sau nhiệt phân được đánh giá bằng màu sắc, tỷ trọng và nhiệt trị.



Hình 1: Sơ đồ thiết bị phản ứng cho nhiệt phân nhựa và vỏ-ruột xe thải

1- Lò nhiệt phân; 2- Bồn chứa nước; 3- Bình chứa sản phẩm lỏng; 4, 5- Bình chứa nước hấp thụ; 6- Ống sinh hàn; 7- Thiết bị đo nhiệt độ khí; 8- Hộp điều khiển nhiệt độ lò; 9- Thiết bị đo nhiệt độ lỏng

3 KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

3.1 Nhiệt phân nhựa thải (HDPE và PE)

Nhựa thải chủ yếu được sử dụng trong nghiên cứu này là các xô, chậu nhựa từ rác thải sinh hoạt và các chai dầu nhớt sau khi sử dụng từ các cửa hàng xe máy. Sau khi thu thập, mẫu nhựa thải được làm sạch và đem sấy khô, cắt nhỏ cho phù hợp với thiết bị phản ứng nhiệt phân. Quá trình nhiệt phân HDPE và PE tạo ra 4 loại sản phẩm khác nhau là dầu, wax, cặn và khí tùy vào tốc độ gia nhiệt của quá trình nhiệt phân. Kết quả nghiên cứu cho thấy,

khí tăng tốc độ gia nhiệt làm cho quá trình Cracking bị quá nhiệt, dẫn tới việc tạo thành sản phẩm nặng, có nhiệt độ đông đặc cao hơn nhiệt độ thường. Sản phẩm thu được từ quá trình nhiệt phân với tốc độ gia nhiệt với 3 °C/phút trở lên dưới dạng wax, trong khi nhiệt phân với tốc độ gia nhiệt chậm (1 °C/phút), sản phẩm thu được dạng dầu (Hình 2). Tỷ lệ từng sản phẩm sau nhiệt phân được thể hiện trong Bảng 1. Sản phẩm dầu sau khi đem chưng cất phân đoạn cho ra 30% xăng, 45% DO và còn lại là cặn và các sản phẩm nặng khác.

Bảng 1: Kết quả thu được khi nhiệt phân nhựa thải HDPE

| Tốc độ gia nhiệt | 1 °C/phút | 3 °C/phút | 5 °C/phút |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Thời gian phản ứng (phút) | 380 | 220 | 120 |
| Sản phẩm lỏng (wt%) | 86 | 0 | 0 |
| Sản phẩm wax (wt%) | 0 | 83 | 80 |
| Sản phẩm khí (wt%) | 12 | 11 | 10 |
| Cặn (wt%) | 2 | 2 | 3 |
| Nhiệt độ sôi dầu của mẫu (°C) | 102 | 108 | 110 |
| Tỷ trọng mẫu | 0,7842 | - | - |



Hình 2: Sản phẩm của quá trình nhiệt phân nhựa HDPE với tốc độ gia nhiệt (a) 1°C/phút và (b) 3°C/phút

Không giống như khi nhiệt phân HDPE, nhựa thải PE cho thấy tốc độ gia nhiệt không ảnh hưởng nhiều đến bản chất của sản phẩm sau nhiệt phân, sản phẩm sau nhiệt phân chỉ thu được dầu lỏng, không có sản phẩm wax với tốc độ gia nhiệt trong khoảng từ 1 -5°C/phút. Khi tăng tốc độ gia nhiệt thì hiệu suất thu sản phẩm lỏng cũng tăng từ 85% lên 93% và sản phẩm khí giảm từ 13% xuống 5%. Điều này có thể được giải thích, khi tăng tốc độ gia nhiệt làm cho quá trình cracking xảy ra nhanh hơn và các mạch hydrocarbon ít bị cắt ngắn hơn nên hiệu suất sản phẩm khí thấp hơn trong khi hiệu suất sản phẩm lỏng tăng lên. Khi tiếp tục tăng tốc độ gia nhiệt thì các thành phần hydrocarbon nặng

chiếm tỷ lệ lớn trong sản phẩm lỏng dẫn đến sản phẩm lỏng chuyển từ dạng dầu sang dạng wax tại nhiệt độ thường. Kết quả cũng cho thấy, khi nhiệt phân nhựa thải PP cho hiệu suất sản phẩm lỏng tốt hơn so với khi nhiệt phân nhựa thải HDPE. Tỷ trọng của dầu nhiệt phân cao hơn xăng nhưng thấp hơn DO, điều này do sản phẩm sau nhiệt phân có chứa xăng. Sản phẩm lỏng đem chưng cất phân đoạn cho ra 40% xăng, 40% FO, 14% DO và còn lại là cặn. Tốc độ gia nhiệt nhanh vẫn không làm giảm hiệu suất thu hồi cũng như tăng khối lượng cặn. Điều này có thể giải thích vì mẫu không chứa hydrocarbon vòng thơm khi gia nhiệt nhanh mẫu dầu có hiện tượng dễ đông đặc khi gặp nhiệt độ thấp do lượng parafin mạch dài tăng lên đáng kể.

Bảng 2: Kết quả thu được khi nhiệt phân nhựa thải PP

| Tốc độ gia nhiệt | 1°C/phút | 3°C/phút | 5°C/phút |
|-------------------------------|----------|----------|----------|
| Thời gian phản ứng (phút) | 410 | 230 | 200 |
| Sản phẩm lỏng (wt%) | 85 | 93 | 93 |
| Sản phẩm khí (wt%) | 13 | 5 | 4,7 |
| Cặn (wt%) | 2 | 2 | 2,3 |
| Nhiệt độ sôi đầu của mẫu (°C) | 154 | 158 | 163 |
| Tỷ trọng mẫu | 0,7739 | 0,7739 | 0,7740 |

3.2 Nhiệt phân cao su butyl vỏ xe thải

Kết quả nhiệt phân cao su butyl vỏ xe thải được trình bày trong Bảng 3. Với sự gia tăng của tốc độ gia nhiệt hiệu suất sản phẩm lỏng tăng lên 62% trong khi hiệu suất sản phẩm khí đầu tiên giảm đến khoảng 37% trọng lượng và sau đó hầu như không giảm khi tăng tốc độ gia nhiệt. Khi gia nhiệt nhanh, lượng dầu thu được giảm, đồng thời lượng cặn tăng. Điều này là do hiện tượng quá nhiệt dẫn tới

cốc hóa. Mẫu dầu nhiệt phân của cao su butyl có tỷ trọng lớn hơn DO thông thường. Mẫu lỏng, màu đen, mùi khó chịu tuy nhiên không đông rắn khi gặp nhiệt độ thấp chứng tỏ mẫu không chứa Parafin như các mẫu nhựa. Sau thời gian 1 tuần để trong chai nhựa, quan sát thấy chai nhựa bị mọt nhiều. Điều này chứng tỏ mẫu chứa một lượng lớn các chất dễ bị Oxi hóa (hydrocarbon vòng thơm, alkene, hợp chất chứa lưu huỳnh).

Bảng 3: Kết quả thu được khi nhiệt phân cao su butyl

| Tốc độ gia nhiệt | 1 °C/phút | 3 °C/phút | 5 °C/phút |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Thời gian phản ứng (phút) | 410 | 190 | 150 |
| Sản phẩm lỏng (wt%) | 53 | 62 | 62 |
| Sản phẩm khí (wt%) | 43 | 37 | 37 |
| Cặn (wt%) | 4 | 1 | 1 |
| Nhiệt độ sôi đầu của mẫu (°C) | 100 | 106 | 104 |
| Tỷ trọng mẫu | 0,88676 | 0,88677 | 0,88864 |

3.3 Nhiệt phân nhựa thải HDPE và PP sử dụng xúc tác

Nhằm đánh giá hiệu quả của việc sử dụng xúc tác trong quá trình nhiệt phân nhựa thải, chúng tôi tiến hành nhiệt phân nhựa thải HDPE và PP với xúc tác H-ZSM5 với 2 phương thức là xúc tác pha khí và xúc tác pha lỏng. Ảnh hưởng của chất xúc tác lên hiệu suất tạo thành chất lỏng được thể hiện trong Bảng 4 và 5. Từ những bảng này có thể thấy rằng hiệu suất của các sản phẩm dạng lỏng là cao nhất 86% (nhựa thải HDPE) và 93% (nhựa thải PP) khi chất xúc tác ở dạng pha lỏng và bằng với nhiệt phân không sử dụng xúc tác. Tuy nhiên, thời gian thu sản phẩm lỏng của nhiệt phân sử dụng xúc tác ngắn hơn nhiều so với nhiệt phân không sử dụng xúc tác. Điều này có thể được giải thích do sự có mặt của xúc tác làm cho phản ứng nhiệt phân xảy ra nhanh hơn. Tuy nhiên ta cũng có thể thấy rằng hiệu suất của các sản phẩm dạng lỏng giảm xuống 78% (nhựa HDPE) và 91% (nhựa PP) khi sử dụng xúc tác pha khí và hiệu suất sản phẩm khí tăng lên

đáng kể so với khi nhiệt phân sử dụng xúc tác pha lỏng và không sử dụng xúc tác. Khi chất xúc tác được sử dụng, hiệu suất của sản phẩm chất lỏng giảm mạnh do sự vỡ đáng kể của các mạch phân tử carbon và thực tế là hợp chất khí được tạo ra nhiều hơn. Đặc biệt, hàm lượng cặn gần như thay đổi không đáng kể khi nhiệt phân (khoảng 2%). Nhiệt độ giọt lỏng đầu của thí nghiệm không có xúc tác cao hơn đáng kể so với khi dùng xúc tác. Điều này cho thấy tác dụng xúc tác làm cho mạch hydrocarbon ngắn hơn, do đó cho nhiệt độ sôi đầu của sản phẩm lỏng thấp hơn. Tuy nhiên, khoảng nhiệt độ thu sản phẩm lỏng lại cao hơn khi không sử dụng xúc tác. Điều này có thể giải thích là do xúc tác ngắt mạch ở đầu mạch, dẫn tới nhiệt độ sôi của phần lớn mẫu cao hơn. Ngoài ra, việc sử dụng xúc tác làm cho tỷ trọng sản phẩm lỏng thu được nhẹ hơn tỷ trọng sản phẩm lỏng nhiệt phân không xúc tác. Điều này cho thấy việc sử dụng xúc tác làm cho phản ứng cracking mãnh liệt hơn dẫn đến sản phẩm nhẹ nhiều hơn (Bảng 5).

Bảng 4: Đánh giá tương quan giữa việc dùng và không dùng xúc tác

| | Không xúc tác | Xúc tác pha khí | Xúc tác pha lỏng |
|---|---------------|-----------------|------------------|
| Nhiệt độ sôi đầu của mẫu (°C) | 159 | 107 | 142 |
| Khoảng nhiệt độ thu nhiều sản phẩm lỏng | 300 - 309 | 315 - 323 | 302 - 333 |
| Sản phẩm lỏng (wt%) | 86 | 78 | 86 |
| Sản phẩm khí (wt%) | 12 | 18 | 11 |
| Cặn (wt%) | 2 | 4 | 3 |
| Tỷ trọng mẫu | 0,7842 | 0,7839 | 0,7841 |
| Tổng thời gian thu mẫu (phút) | 98 | 109 | 78 |
| Nhiệt trị (kcal/kg) | 10.960 | 10.790 | 10.745 |

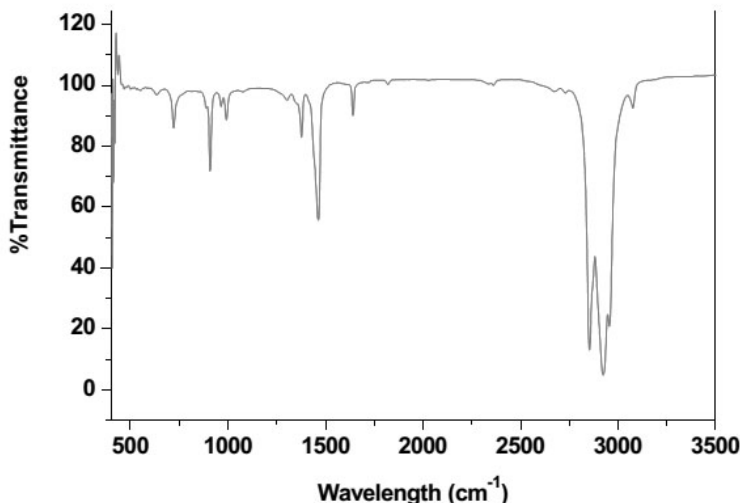
Bảng 5: Bảng đánh giá tương quan giữa nhiệt phân dùng và không dùng xúc tác

| | Không xúc tác | Xúc tác pha khí | Xúc tác pha lỏng |
|---|---------------|-----------------|------------------|
| Nhiệt độ sôi đầu của mẫu (°C) | 158 | 100 | 147 |
| Khoảng nhiệt độ thu nhiều sản phẩm lỏng | 253 - 290 | 218 - 281 | 214 - 293 |
| Sản phẩm lỏng (wt%) | 93 | 91 | 93 |
| Sản phẩm khí (wt%) | 5 | 8 | 5 |
| Cặn (wt%) | 2 | 1 | 2 |
| Tỷ trọng mẫu | 0,77395 | 0,76093 | 0,7709 |
| Tổng thời gian thu mẫu (phút) | 120 | 88 | 62 |
| Nhiệt trị (kcal/kg) | 10.915 | 10.920 | 10.840 |

3.4 Phổ FT-IR của sản phẩm lỏng

FT-IR là một kỹ thuật phân tích quan trọng nhằm phát hiện nhiều nhóm chức đặc trưng có trong dầu. Khi tương tác của ánh sáng hồng ngoại với dầu, liên kết hóa học có thể hấp thụ bức xạ hồng ngoại ở bước sóng cụ thể phạm vi phụ thuộc

vào cấu trúc của phần còn lại của các phân tử. Hình 2 cho thấy quang phổ FT-IR của dầu khi nhiệt phân HDPE. Từ phổ FT-IR cho thấy các peaks đặc trưng cho dao động của C-H ankan tại $2950-2910\text{ cm}^{-1}$, 2855 cm^{-1} và 1370 cm^{-1} . Ngoài ra phổ FT-IR còn cho thấy các peaks chỉ dao động của nhóm C=C tại 1640 cm^{-1} và 1460 cm^{-1} .



Hình 2: Phổ FT-IR của sản phẩm lỏng

4 KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này chúng tôi đã bước đầu thành công phân hủy nhiệt có xúc tác và không có xúc tác nhựa thải HDPE và PP tạo thành các sản phẩm dầu lỏng hữu ích. Hiệu suất sản phẩm lỏng sau nhiệt phân phụ thuộc trực tiếp vào tốc độ gia nhiệt. Khi tốc độ gia nhiệt tăng hiệu suất sản phẩm lỏng giảm đi và sản phẩm khí tăng lên. Sản phẩm sau khi chưng cất có tỷ lệ sản phẩm như sau: 40% xăng, 40% FO, 14% DO. Đồng thời chúng tôi cũng thành công khi nhiệt phân sản phẩm vỏ xe phế thải thành sản phẩm lỏng. Sản phẩm lỏng sau khi chưng cất chứa 30% xăng, 30% FO và 36% DO. Tuy nhiên hiệu quả sử dụng các sản phẩm của nghiên cứu này là nhiên liệu cho động cơ chưa được thử nghiệm. Trong tương lai chúng tôi sẽ tiếp tục nghiên cứu để đánh giá hiệu quả việc sử dụng sản phẩm lỏng làm nhiên liệu cho động cơ.

5 LỜI CẢM ƠN

Các tác giả trong bài báo này chân thành gửi lời cảm ơn đến Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh đã hỗ trợ kinh phí cho nghiên cứu dưới dạng đề tài cấp cơ sở.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Jan M.R, Shah J, Gulab H, 2010. Degradation of waste high-density polyethylene into fuel oil using basic catalyst. *Fuel* 89: 474-80.
2. Liu X, Wang Z, Xu D and Guo Q, 2012. Pyrolysis of waste plastic crusts of televisions. *Environmental Technology*, 33 (17): 1987-1992.
3. Murugan S, Ramaswamy MC, Nagarajan G, 2009. Assessment of pyrolysis oil as an energy source for Diesel engines. *Fuel Process Technol*, 90:67-74.
4. Vasile C, Brebu M.A, Karayildirim T, Yanik J, and Darie. H, 2006. Feedstock recycling from plastic and thermoset fractions of used computers (I): Pyrolysis, *J. Mater. Cycles Waste Manag.* 8: 99-108.