**XÁC ĐỊNH CÁC YẾU TỐ VẬN HÀNH ẢNH HƯỞNG ĐẾN HIỆU QUẢ THU HỒI DẦU SINH HỌC TỪ QUÁ TRÌNH NHIỆT PHÂN NHANH SINH KHỐI**

DETERMINATION OF OPERATING PARAMETERS ON THE PERFORMANCE OF BIOMASS FAST PYROLYSIS

Phạm Duy Vũ1, Nguyễn Quốc Huy1, Hoàng Dương Hùng2, Trần Văn Vang1

1 Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng, Email: [phamduyvubk@gmail.com](mailto:phamduyvubk@gmail.com)

2 Đại học Quảng Bình, Email: hdhung@gmail.com

**Tóm tắt -** Sản xuất dầu sinh học từ quá trình nhiệt phân nhanh bằng công nghệ tầng sôi đã và đang được nhiều nhà khoa học trên thế giới nghiên cứu phát triển và ứng dụng. Tuy nhiên, ở Việt Nam hiện nay việc nghiên cứu ứng dụng công nghệ này chưa được nhiều. Trong bài báo này, dựa vào kết quả nghiên cứu thực nghiệm của các nhà nghiên cứu trên thế giới tác giả đi sâu vào việc phân tích và xác định các thông số vận hành ảnh hưởng lớn đến hiệu suất thu hồi dầu sinh học từ quá trình nhiệt phân nhanh. Đồng thời, nghiên cứu thực nghiệm một số yếu tố vận hành chính ảnh hưởng đến hiệu suất thu hồi dầu sinh học từ bã mía trên hệ thống nhiệt phân nhanh sinh khối công suất 500 g/h. Kết quả cho thấy hiệu suất thu hồi dầu sinh học tối đa khi nhiệt độ lò phản ứng khoảng 480 °C và kích cỡ hạt từ 1 – 1,5 mm.

**Từ khóa -** sinh khối; nhiệt phân nhanh; lò tầng sôi; dầu sinh học; các thông số vận hành. **Abstract –** Biomass fast pyrolysis using fluidized bed technologies for bio-oil production has been widely researched by scientists. However, there has been very limited studying this technology in Vietnam’s condition. In this paper, based on the experimental result researchers in the world, the author analyzed and determined operating parameters on the performance of fast pyrolysis reactor. At the same time, experimental studies some main operational factors affecting performance bio-oil from bagasse based on system fast pyrolysis of biomass capacity of 500 g/h. It was absorbed that the reaction temperature of bagasse should be about 480 °C in order to obtain the maximum the bio-oil yield. Furthermore, the particle size of bagasse should be in the range of 1 – 1,5 mm.

**Key words -** biomass; fast pyrolysis; fluidized bed; bio-oil; operation parameters.

# Đặt vấn đề

Nhiệt phân sinh khối là quá trình phân hủy sinh khối dưới tác động nhiệt trong môi trường không có ôxy. Sản phẩm của quá trình nhiệt phân sinh khối là khí, rắn, lỏng. Chất khí bao gồm các khí như H2, CO, CO2, CH4, C2H4, C2H2, các khí này được tái sử dụng lại một phần để cung cấp năng lượng cho quá trình nhiệt phân. Chất rắn là cốc được sử dụng làm than hoạt tính phục vụ trong công nghiệp, đời sống. Sản phẩm mong muốn của quá trình nhiệt phân sinh khối là sản phẩm lỏng được gọi là dầu sinh học. Thông qua các quá trình xử lý về hóa lý, dầu sinh học sẽ được sử dụng như một loại nhiên liệu thay thế cho các loại nhiên liệu hóa thạch. Việc tạo ra dầu sinh học từ sinh khối rất thuận tiện cho vấn đề bảo quản và vận chuyển. Tuy nhiên, quá trình nhiệt phân sinh khối là quá trình phức tạp, tỷ lệ và chất lượng các loại sản phẩm phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố thiết kế và vận hành như: cấu tạo lò, tốc độ gia nhiệt, nhiệt độ lò phản ứng, thời gian nhiệt phân và chế độ động lực học trong lớp sôi. Tùy thuộc vào tốc độ gia nhiệt và thời gian nhiệt phân người ta phân biệt thành các quá trình nhiệt phân chậm, nhiệt phân trung bình và nhiệt phân nhanh. Trong 3 phương pháp đó thì hiệu quả thu hồi dầu sinh học của quá trình nhiệt phân nhanh là cao nhất, khoảng từ 60% đến 70%. Do đó, rất nhiều nghiên cứu đang tập trung nghiên cứu ứng dụng công nghệ nhiệt phân nhanh cho sinh khối để sản xuất dầu sinh học thay thế cho các loại nhiên liệu hóa thạch.

Hiện nay, các kiểu lò thường được sử dụng để thực hiện quá trình nhiệt phân nhanh là: lò tầng sôi, hình nón quay, chân không và ly tâm. Trong đó, kiểu lò tầng sôi có ưu điểm là khả năng trao đổi nhiệt cao, dễ dàng điều chỉnh nhiệt độ và chế tạo dễ dàng nhất. Với những ưu điểm vượt trội này kiểu lò tầng sôi được nhiều nhà nghiên cứu lựa chọn để nghiên cứu nhiệt phân nhanh. Tuy nhiên, quá trình nhiệt phân trong lò tầng sôi phụ thuộc vào nhiều yếu tố vận hành như kích cỡ hạt nguyên liệu, tốc độ môi chất khí truyền nhiệt, nhiệt độ lò phản ứng, đặc điểm loại nhiên liệu, v.v…. Vì vậy, việc phân tích các yếu tố vận hành ảnh hưởng đến hiệu suất thu dầu sinh học cần được xác định cụ thể, đây là cơ sở để thiết kế, vận hành hệ thống nhiệt phân nhanh bằng công nghệ tầng sôi. Các công việc này thường xuyên mang tính kế thừa từ các nhà nghiên cứu trên thế giới.

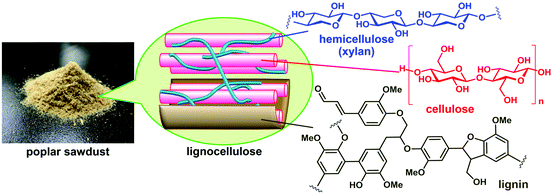
Trong bài báo này, dựa trên cơ sở các kết quả nghiên cứu thực nghiệm của các nhà nghiên cứu trên thế giới chúng tôi tổng hợp và đánh giá các yếu tố vận hành ảnh hưởng đến hiệu suất thu hồi dầu sinh học từ quá trình nhiệt phân nhanh. Đồng thời nghiên cứu thực nghiệm một số yếu tố vận hành ảnh hưởng đến hiệu suất thu hồi nhiên liệu sinh học từ bã mía ở Việt Nam trên mô hình thiết bị thí nghiệm nhiệt phân nhanh công suất 500 g/h.

# Các yếu tố vận hành ảnh hưởng đến hiệu suất thu hồi dầu sinh học

## Ảnh hưởng của thành phần hóa học trong sinh khối

Thành phần hóa học của sinh khối bao gồm hemicellulose, cellulose, lignin, chiếm 90 đến 95% khối lượng của sinh khối [2], còn lại từ 5 đến 10% là các chất khoáng và một số hợp chất hữu cơ khác. Tính chất của mỗi loại sinh khối phụ thuộc chủ yếu vào tỉ lệ phần trăm khối lượng của 3 thành phần trên. Nhiệt phân sinh khối chính là sự phân hủy nhiệt hay quá trình bẻ gãy các liên kết cao phân tử dưới tác dụng nhiệt tới hemicellulose, cellulose và lignin. Do đó, tỉ lệ phần trăm của các thành phần hóa học có ảnh hưởng rất lớn đến hiệu suất và chất lượng sản phẩm của các quá trình nhiệt phân đặc biệt là nhiệt phân nhanh.

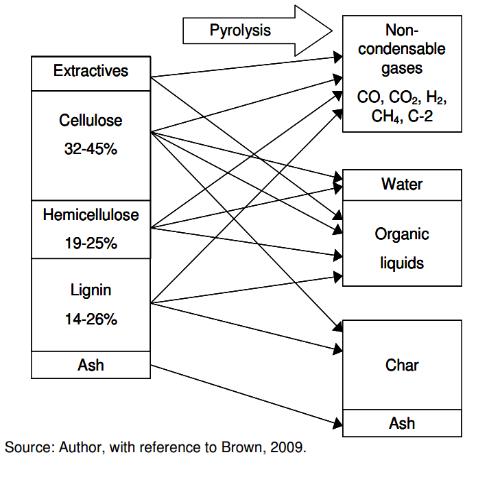
Hình 1. Cấu trúc phân tử của sinh khối



Cellulose là một polyme mạch thẳng của cấu trúc β - (1 → 4) – D –, có khối lượng mol khoảng 106 g/mol [10]. Cấu trúc phân tử của cellulose là chuỗi liên kết của 2 đơn vị anhydride glucose với 1 đơn vị cellobiose được thể hiện trên hình 1. Trong khi đó, hemicellulose là một hỗn hợp của nhiều polyme monosaccharides như là glucose, mannose, galactose, xylose, arabinose, 4-O-ethyl glucuronic acid và galacturonic acid. Sự phân hủy cellulose trong suốt quá trình nhiệt phân diễn ra ở dải nhiệt độ khoảng từ 240 – 335 °C [4, 5] và sản sinh ra chủ yếu là anhydrocellulose và levoglucosan. Đối với hemicelluloses, điều kiện để xảy ra quá trình phân hủy nhiệt trong khoảng nhiệt độ từ 200 – 260 °C [4, 5].

Lignin là một chất [cao phân tử](https://vi.wikipedia.org/wiki/H%E1%BB%A3p_ch%E1%BA%A5t_cao_ph%C3%A2n_t%E1%BB%AD) có [cấu trúc vô định hình](https://vi.wikipedia.org/w/index.php?title=C%E1%BA%A5u_tr%C3%BAc_v%C3%B4_%C4%91%E1%BB%8Bnh_h%C3%ACnh&action=edit&redlink=1) khác với cellulose. Do đó, lignin là thành phần khó bị phân hủy hơn so với celluloses và hemicelluloses dẫn đến trong quá trình nhiệt phân, hàm lượng lignin tăng sẽ tăng hàm lượng cốc (char). Sự phân hủy nhiệt của lignin diễn ra trong khoảng nhiệt độ từ 280 – 500 °C [4, 5]. Hàm lượng dầu sinh học (bio-oil) thu được từ quá trình nhiệt phân nhanh sinh khối chịu ảnh hưởng bởi hàm lượng tro và lignin [10]. Sinh khối có lượng tro càng cao thì khả năng thu hồi dầu sinh học càng thấp [10]. Điều này là do khi hàm lượng tro trong sinh khối tăng lên sẽ làm tăng hàm lượng cốc và khí không ngưng (non-condensable gases), dẫn đến giảm hàm lượng dầu. Sản phẩm chuyển hóa của các thành phần trong sinh khối qua quá trình nhiệt phân được thể hiện trong hình 2.

Hình 2. Sơ đồ chuyển hóa của thành phần sinh khối qua quá trình nhiệt phân [6]



## Ảnh hưởng của nhiệt độ phản ứng

### Ảnh hưởng đến hiệu suất thu hồi dầu sinh học

Đã có nhiều nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ phản ứng đến hiệu suất thu hồi sản phẩm từ quá trình nhiệt phân nhanh [7 - 9]. Các nghiên cứu cho thấy rằng, nhiệt độ phản ứng càng tăng thì hiệu quả thu hồi dầu sinh học càng tăng còn hàm lượng cốc và khí không ngưng càng giảm [7]. Tuy nhiên, nếu tiếp tục tăng nhiệt độ phản ứng lên quá cao (> 510 °C) thì sẽ xuất hiện các phản ứng thứ cấp làm phân hủy các hợp chất hữu cơ ở thể khí (tar). Điều này sẽ dẫn đến sự giảm hàm lượng dầu sinh học thu được từ quá trình ngưng tụ tar. Các nghiên cứu chỉ ra rằng khi nhiệt phân nhanh sinh khối trong lò tầng sôi, vùng nhiệt độ tối ưu để hiệu quả thu hồi dầu lớn nhất là khoảng từ 450 – 510°C [1]. Cụ thể, ảnh hưởng của nhiệt độ phản ứng lên hiệu quả thu hồi dầu sinh học của một số loại sinh khối phổ biến (bã mía, gỗ phong, gỗ bạch dương, 100% cenllulose, vỏ cây thông) đã được Toft và các cộng sự [11] tổng hợp như hình 3. Bằng nghiên cứu lý thuyết kết hợp với thực nghiệm, Xiong và các cộng sự (2013) kết luận rằng, hàm lượng dầu sẽ giảm đáng kể khi nhiệt độ phản ứng trong lò tầng sôi lớn hơn 550°C. Có thể kết luận rằng, nhiệt độ phản ứng đóng vai trò rất quan trọng trong việc nâng cao hiệu suất thu hồi dầu sinh học từ quá trình nhiệt phân nhanh. Do đó, trong quá trình thiết kế, chế tạo và vận hành việc kiểm soát chặt chẽ nhiệt độ là rất cần thiết để thu được hàm lượng và chất lượng dầu tối ưu.

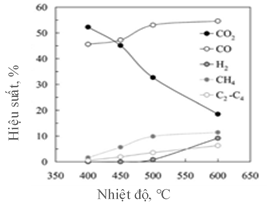
Hình 3. Ảnh hưởng nhiệt độ phản ứng đến hiệu quả thu hồi dầu của một số sinh khối [11]



### Ảnh hưởng đến thành phần và đặc tính của sản phẩm khí

M. Amutio cùng các cộng sự [12] đã nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ phản ứng trong lò tầng sôi đến sự thay đổi các thành phần hóa học trong hỗn hợp khí không ngưng (hình 4.). Sản phẩm khí không ngưng từ quá trình nhiệt phân chủ yếu là CO2­ và CO. Khi tăng nhiệt độ nhiệt phân thì tăng các tốc độ phản ứng decarboxylation và decarbonylation dẫn đến làm tăng hàm lượng hỗn hợp khí không ngưng. Số liệu trên hình 4 cho thấy rằng khi nhiệt độ tăng thì hàm lượng CO2 giảm rất nhanh. Trong khi đó các thành phần còn lại đều có xu hướng tăng lên. Nguyên nhân chủ yếu là do hầu hết CO2 tạo ra bởi quá trình thoát carboxyl ở nhiệt độ thấp còn CO và CH4 được tạo ra ở nhiệt độ cao hơn do các phản ứng cracking thứ cấp của khí. Hàm lượng hydrocarbon từ C1 - C4 tăng khi nhiệt độ tăng. Lượng hydro thu được không đáng kể ở nhiệt độ thấp và khoảng 10% ở 600 °C.

Hình 4. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến thành phần khí [19]



## Ảnh hưởng thời gian lưu

Đối với quá trình nhiệt phân nhanh trong lò tầng sôi, thời gian lưu liệu trong lò đóng vai trò rất quan trọng trong việc nâng cao hiệu suất thu hồi dầu cũng như chất lượng của dầu. Các nghiên cứu chỉ ra rằng nếu thời gian lưu liệu càng lâu thì hiệu quả thu hồi dầu càng giảm [1]. Sau khi nhiệt phân, sản phẩm chính là các hợp chất hữu cơ sẽ bị craking dưới điều kiện nhiệt độ cao để tạo ra các khí không ngưng nếu như chúng không được tách ra khỏi lò phản ứng. Bằng các nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm, các tác giả [1] đã kết luận rằng khả năng thu hồi dầu sinh học tối đa khi thời gian lưu liệu của các hạt sinh khối trong lò phản ứng nhiệt phân nhanh không được quá 2s. Scott [3] đã nghiên cứu ảnh hưởng của thời gian lưu đối với quá trình nhiệt phân bã mía trong lò tầng sôi và kết quả chỉ ra rằng hàm lượng dầu giảm từ 75% đến 60% khi thời gian lưu tăng từ 0,2 đến 0,9 giây tại 525 °C. Do đó, trong quá trình tính toán thiết kế cũng như vận hành hệ thống nhiệt phân nhanh sinh khối trong lò tầng sôi, không thể không cân nhắc đến thời gian lưu liệu trong lò phản ứng để đạt được sản lượng dầu thu hồi lớn nhất.

## Ảnh hưởng kích cỡ nguyên liệu

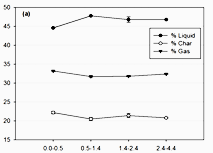
Đối với quá trình nhiệt phân nhanh, thì tốc độ truyền nhiệt giữa hạt liệu với môi trường khí nóng xung quanh ảnh hưởng rất lớn đến sự phân hủy nhiệt các cao phân tử để tạo dầu sinh học. Một trong những nhân tố có ảnh hưởng trực tiếp đến tốc độ truyền nhiệt là kích cỡ hạt liệu sinh khối. Để đánh giá ảnh hưởng của kích cỡ hạt sinh khối đến hiệu quả nhiệt phân nhanh, Gustavo Aguilar cùng các cộng sự [13] đã nghiên cứu thực nghiệm nhiệt phân nhanh cho các khoảng kích cỡ hạt sinh khối khác nhau trên bã mía ở nhiệt độ 550 oC (hình 5).

Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng, hiệu suất thu hồi dầu sinh học lớn nhất khi nhiệt phân nhanh bã mía có kích cỡ từ 0,5 – 1,4 mm. Mỗi loại nguyên liệu có một khoảng kích cỡ phù hợp khi nhiệt phân nhanh. Việc chọn kích thước tối ưu cho quá trình nhiệt phân phụ thuộc rất lớn vào các tính chất vật lý của hạt liệu (độ ẩm, khối lượng riêng, hệ số dẫn nhiệt…).

Việt Nam chúng ta nằm trong vùng khí hậu nóng ẩm, nên tính chất vật lý của các loại sinh khối có những đặc trưng riêng biệt. Do đó, cần có những nghiên cứu để xác định kích thước hạt liệu phù hợp trước khi ứng dụng công nghệ sản xuất dầu sinh học vào điều kiện Việt Nam chúng ta.

Kích cỡ hạt liệu, mm

Hiệu suất, %



Hình 5. Ảnh hưởng của kích thước hạt bã mía lên hiệu quả thu hồi dầu

# Mô tả hệ thống nhiệt phân nhanh bã mía sản xuất dầu sinh học công suất 500 g/h

Trên cơ sở các phân tích các yếu tố vận hành ảnh hưởng đến hiệu quả thu hồi dầu sinh học của các nhà nghiên cứu trên thế giới cùng với các cơ sở động lực học của dòng nhiều pha và quá trình truyền nhiệt trong lớp sôi nhóm nghiên cứu đã thiết kế chế tạo hệ thống thiết bị nhiệt phân nhanh thu hồi dầu sinh học trong lò tầng sôi công suất 500 g/h thể hiện trên hình 6.

Bã mía sau khi được sấy đạt đến độ ẩm nhỏ hơn 10 %, nghiền đến kích cỡ yêu cầu và cấp vào lò phản ứng. Tại đây, bã mía nhận nhiệt từ dòng khí nitơ nóng (nhiệt độ từ 400 – 520 °C) và lớp cát để phân hủy thành hỗn hợp khí và các chất rắn. Năng lượng dự trữ trong lớp cát làm cho phân bố nhiệt độ phản ứng trong lò đồng đều, hạn chế hình thành nhiệt độ cực đại tại một số vùng trong lò tầng sôi. Quá trình truyền nhiệt cho hạt sinh khối trong lò phản ứng chủ yếu là dẫn nhiệt từ những hạt cát và quá trình trao đổi nhiệt từ dòng khí nitơ. Bã mía sau khi nhận nhiệt sẽ nhiệt phân thành hỗn hợp cốc cùng với hỗn hợp các khí hữu cơ và vô cơ. Lượng cốc trong hỗn hợp này khi đi qua cyclone sẽ được phân tách hoàn toàn, hỗn hợp khí còn lại sẽ được dẫn qua liên tiếp các thiết bị ngưng tụ. Tại đây các khí hữu cơ trong hỗn hợp sẽ ngưng thành dầu và chảy xuống phễu chứa, phần khí không ngưng theo ống dẫn thoát ra ngoài.

# Nghiên cứu thực nghiệm một số yếu tố vận hành ảnh hưởng lớn đến hiệu quả thu hồi dầu sinh học

## Thành phần hóa học và thành phần nhiên liệu của bã mía sử dụng thí nghiệm

Thành phần hóa học và nhiên liệu của mẫu bã mía thí nghiệm được trình bày trong bảng 1.

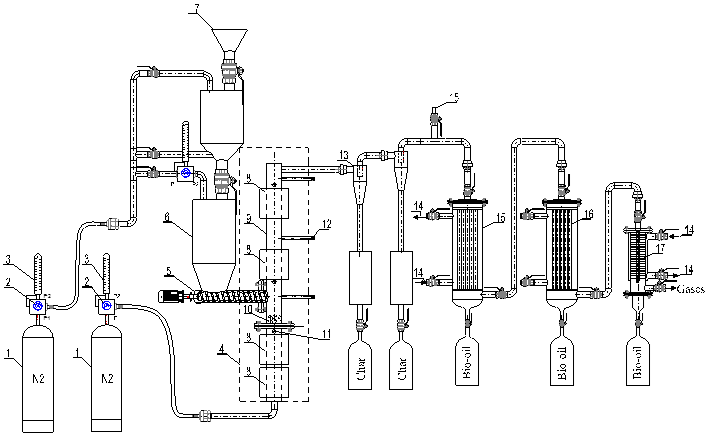
Bảng 1. Thành phần hóa học và nhiên liệu của bã mía

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Tên chỉ tiêu** | **Giá trị, %** | **Tên chỉ tiêu** | **Giá trị, %** |
| **Thành phần hóa học** | | **Thành phần nhiên liệu** | |
| Hemicellulose | 24,44 | C | 45,1 |
| Cellulose | 44,5 | H | 6,2 |
| Ligin | 18,6 | N | 0,46 |
|  |  | O | 41,5 |

Phương pháp thủy phân được sử dụng để xác định các thành phần hóa học như cellulose, hemicelluloses, ligin của mẫu nhiên liệu. Độ ẩm được xác định bằng thiết bị Memert. Các thành phần nhiên liệu như C, H, O, N được xác định theo tiêu chuẩn ASTM D5373-08 và AOAC 993.13.

Hình 6. Sơ đồ nguyên lý hệ thống nhiệt phân nhanh sinh khối trong lò tầng sôi sản suất dầu sinh học

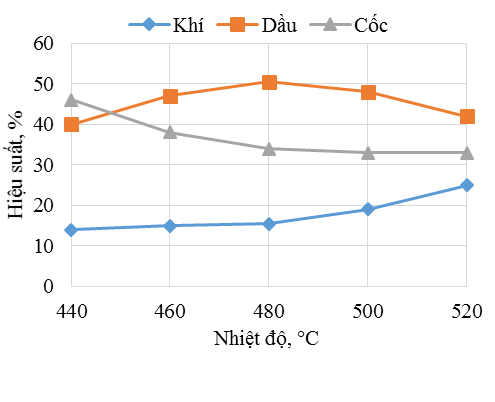
1. Bình cấp khí nitơ; 2. Áp kế; 3. Lưu lượng kế; 4. Vật liệu bảo ôn; 5. Vít tải liệu; 6. Bình chứa liệu 7. Phễu cấp liệu; 8. Điện trở; 9. Lò phản ứng; 10. Ống phun; 11. Sensor áp suất; 12. Sensor nhiệt độ; 13. Cyclone, 14. Nước giải nhiệt; 15, 16, 17. Bình ngưng cấp 1,2,3.



Để nâng cao độ tin cậy của kết quả thu được, mỗi mẫu thí nghiệm được tiến hành 3 lần trong cùng điều kiện. Mỗi lần thí nghiệm được tiến hành trong vòng 1 tiếng. Kết quả thu được là trung bình cộng của 3 lần thí nghiệm đó.

## Ảnh hưởng nhiệt độ đến hiệu quả thu hồi sản phẩm

Từ hệ thống thực nghiệm đã xây dựng, tác giả đã tiến hành thí nghiệm nhiệt phân nhanh bã mía có kích thước nằm từ 1 – 1,5 mm trong môi trường khí Nitơ nóng ở khoảng nhiệt độ khác nhau từ 440 – 520 °C. Lưu lượng khí Nitơ là 25 L/phút.

****

Hình 7. Ảnh hưởng nhiệt độ lò phản ứng đến hàm lượng các sản phẩm quá trình nhiệt phân nhanh bã mía

Kết quả thí nghiệm hiệu quả thu hồi các loại sản phẩm của quá trình nhiệt phân nhanh đối với bã mía ở các nhiệt độ khác nhau thể hiện trong hình 7. Kết quả thực nghiệm cho thấy rằng khi nhiệt độ lò phản ứng tăng dần thì hàm lượng dầu có xu hướng tăng lên và đạt giá trị cao nhất tại ttu = 480 °C. Khi nhiệt độ vượt quá ngưỡng giá trị này hàm lượng dầu giảm nhanh. Trong khi đó, hàm lượng khí không ngưng thu được tăng lên khi mà nhiệt độ phản ứng tăng quá giá cực đại. Kết quả nghiên cứu này phù hợp với các kết quả nghiên cứu của các tác giả B. M. Phan cùng các cộng sự [1], Q. Xue cùng các cộng sự [7] và Toft AJ [11]. Ngoài ra, hiện tượng hàm lượng khí sinh ra tăng vọt khi nhiệt độ vượt quá ngưỡng giá trị nhiệt độ tối ưu cũng minh chứng cho việc các phản ứng phân hủy nhiệt thứ cấp sẽ diễn ra mạnh mẽ hơn, làm chuyển dịch hàm lượng sản phẩm tạo ra từ phía cốc và dầu về phía khí.

## Ảnh hưởng kích cỡ hạt sinh khối đến hiệu quả thu hồi sản phẩm

Nhóm nghiên cứu cũng đã tiến hành thực nghiệm kiểm tra ảnh hưởng của kích cỡ hạt sinh khối đến hiệu quả thu hồi dầu sinh học. Kết quả thí nghiệm nhiệt phân nhanh cho 3 mẫu hạt bã mía có khoảng kích cỡ khác nhau là: 0,5 – 1 mm, 1 – 1,5 mm và 1,5 – 2 mm. Các mẫu bã mía sẽ được tiến hành nhiệt phân nhanh trong điều kiện lưu lượng và nhiệt độ của khí nitơ cấp vào 25 lít/phút và t = 500 oC. Kết quả thí nghiệm được thể hiện trên hình 8.

Từ kết quả thí nghiệm trên hình 8 ta thấy hiệu suất thu hồi dầu phụ thuộc vào kích cỡ hạt sinh khối. Khi lưu lượng khí nitơ là 25 lít/min và nhiệt độ lò phản ứng tf = 500 °C, hiệu quả thu hồi dầu đạt cực đại của bã mía có kích cỡ hạt Φtu = 1 – 1,5 mm. Khi kích cỡ vượt quá ngưỡng các giá trị này hàm lượng dầu giảm nhanh. Ngược lại khi kích cỡ hạt nhỏ hơn Φtu quá trình nhiệt phân diễn ra nhanh hơn và có một lượng dầu tiếp tục phân hủy thành khí nên hiệu suất thu hồi dầu thấp nhất và hàm lượng khí cao nhất. Khi tăng kích cỡ, thời gian phản ứng diễn ra lâu hơn, khả năng trao đổi nhiệt từ bề mặt hạt liệu đến tâm giảm dần nên hàm lượng cốc tăng dần. Vì vậy, với mỗi khoảng kích cỡ hạt liệu sẽ tương ứng với khoảng thời gian nhiệt phân khác nhau để hiệu quả thu hồi dầu cao nhất. Kết quả nghiên cứu này phù hợp với các kết quả nghiên cứu của tác giả Gustavo Aguilar cùng các cộng sự [13]. Đây là cơ sở khi thiết kế chiều cao lò phản ứng phù hợp với với mỗi khoảng kích cỡ hạt sinh khối khác nhau.

Hình 8. Ảnh hưởng kích cỡ bã mía đến hiểu quả thu dầu (ở lượng khí nitơ 25 lít/phút và nhiệt độ phản ứng 500 oC)

**5. Kết luận**

Dựa trên kết quả nghiên cứu thực nghiệm của các nhà khoa học trên thế giới về nhiệt phân nhanh sinh khối sản xuất dầu sinh học, tác giả đánh giá các yếu tố vận hành như nhiệt độ phản ứng, kích cỡ hạt sinh khối, loại sinh khối, thời gian lưu khí ảnh hưởng đến hiệu suất thu hồi dầu sinh học. Đây là cơ sở để nghiên cứu phát triển và ứng dụng công nghệ nhiệt phân nhanh sinh khối tại Việt Nam sản xuất nhiên liệu sinh học.

Nhóm tác giả đã nghiên cứu thực nghiệm một số yếu tố vận hành chính ảnh hưởng đến hiệu suất thu hồi dầu sinh học từ bã mía ở Việt Nam dựa trên hệ thống thí nghiệm nhiệt phân nhanh công suất 500 g/h. Kết quả nghiên cứu cho thấy hiệu suất thu hồi dầu sinh học tối đa khi nhiệt độ lò phản ứng khoảng 480 °C và kích cỡ hạt từ 1 – 1,5 mm.

Tài liệu tham khảo

B. M. Phan, L. T. Duong, V. D. Nguyen, T. B. Tran, M. H. Nguyen, L. H. Nguyen, et al., "Evaluation of the production potential of bio-oil from Vietnamese biomass resources by fast pyrolysis," Biomass and Bioenergy, vol. 62, pp. 74-81, 2014.

Bridgwater, A.V., Meier, D., Radlein, D., “An overview of fast pyrolysis of biomass”, Org. Geochem., 1999, 30 pp. 1479-1493.

Ph.D. Thesis Trung Ngoc Trinh, Fast pyrolysis of lignin, macroalage and sewage sludge, 2013.

Mohan D, Pittman C U, Jr, Steele P H, Energ Fuels 2006.

Venderbosch R.H, Prins W. Bioprod, Bioref 2010, 4, 178-208.

Peter Alexander Brownsort, Biomass pyrolysis processes: performance parameters and their influence on biochar system benefits, 2009.

Q. Xue, D. Dalluge, T.J. Heindel, R.O. Fox, R.C. Brown, “Experimental validation and CFD modeling study of biomass fast pyrolysis in ﬂuidized-bed reactors”, Fuel 97 (2012) 757–769

Qingang Xiong; Soroush Aramideh, Song-Charng Kong, “Modeling effects of operating conditions on biomass fast pyrolysis in bubbling fluidized bed reactors”, Energy & Fuels, (27) 2013, 5948-5956

Y. Haseli, J.A. van Oijen, L.P.H. de Goey, “Modeling biomass particle pyrolysis with temperature – dependent heat of reactions”, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 90 (2011) 140 - 154

Park HJ, Park Y-K, Dong J-I, Kim J-S, Jeon J-K, Kim S-S, et al. Fuel Process Technol 2009, 90, 186–195.

Toft AJ. PhD Thesis, Aston University; 1998.

M. Amutio, G. Lopez, M. Artetxe, G. Elordi, M. Olazar, J. Bilbao, Influence of temperature on biomass pyrolysis in a conical spouted bed reactor, Resources conservation and recycling 59 (2012) 23-31

Gustavo Aguilar, Pranjali D. Muley, Charles Henkel and Dorin Boldor, Effects of biomass particle size on yield and composition of pyrolysis bio-oil derived from Chinese tallow tree (Triadica Sebifera L.) and energy cane (Saccharum complex) in an inductively heated reactor.

Uzun B.B., Pütün A. E., Pütün E, Fast Pyrolysis of Soybean Cake: products yields and composition, Bioresource Technology 97, 569-576, 2006.

**NỘI DUNG CHỈNH SỬA THEO GÓP Ý CỦA PHẢN BIỆN**

1. Phần đặt vấn đề khá dài, đoạn bôi màu đỏ không rõ ý nghĩa của việc tác giả đang làm. Tại sao dựa trên kết quả thực nghiệm của các nhà nghiên cứu khác mà tác giả đánh giá được ảnh hưởng của các yếu tố... đến hiệu suất thu hồi và thiết kế chế tạo mô hình -> viết lại đoạn này.

*“Trong bài báo này, dựa trên cơ sở các kết quả nghiên cứu thực nghiệm của các nhà nghiên cứu trên thế giới chúng tôi tổng hợp và đánh giá các yếu tố vận hành ảnh hưởng đến hiệu suất thu hồi dầu sinh học từ quá trình nhiệt phân nhanh. Đồng thời nghiên cứu thực nghiệm một số yếu tố vận hành ảnh hưởng đến hiệu suất thu hồi nhiên liệu sinh học từ bã mía ở Việt Nam trên mô hình thiết bị thí nghiệm nhiệt phân nhanh công suất 500 g/h.”*

2. Cách trình bày của bài báo chưa hợp lý, phần đầu tác giả sử dụng các kết quả nghiên cứu của người khác rồi thiết kế chế tạo thử nghiệm một mô hình của mình tuy nhiên phản biện chưa thấy phần so sánh đánh giá giữa kết quả của tác giả và kết quả của người khác.

- Tác giả đã viết thêm phần so sánh kết quả nghiên cứu thực nghiệm của mình với một số kết quả nghiên cứu trên thế giới như sau:

+ Với kết quả nghiên cứu ảnh hưởng nhiệt độ đến sản phẩm nhiệt phân (mục 4.2): *“Kết quả nghiên cứu này phù hợp với các kết quả nghiên cứu của các tác giả B. M. Phan cùng các cộng sự [1], Q. Xue cùng các cộng sự [7]*  *và Toft AJ [11].”*

# *+* Với kết quả nghiên cứu ảnh hưởng kích cỡ hạt sinh khối liệu đến sản phẩm nhiệt phân (mục 4.3): *“Kết quả nghiên cứu này phù hợp với các kết quả nghiên cứu của tác giả Gustavo Aguilar cùng các cộng sự [13]”* - Ngoài ra tác giả sửa lại tiêu đề mục 3: Thay “*Thiết kế, chế tạo hệ thống nhiệt phân nhanh bã mía sản xuất dầu sinh học công suất 500 g/h” 🡺 “ Mô tả thống nhiệt phân nhanh bã mía sản xuất dầu sinh học công suất 500 g/h”*

3. Viết lại phần kết luận theo file phản biện gửi

*“Dựa trên kết quả nghiên cứu thực nghiệm của các nhà khoa học trên thế giới về nhiệt phân nhanh sinh khối sản xuất dầu sinh học, tác giả đánh giá các yếu tố vận hành như nhiệt độ phản ứng, kích cỡ hạt sinh khối, loại sinh khối, thời gian lưu khí ảnh hưởng đến hiệu suất thu hồi dầu sinh học. Đây là cơ sở để nghiên cứu phát triển và ứng dụng công nghệ nhiệt phân nhanh sinh khối tại Việt Nam sản xuất nhiên liệu sinh học.*

*Nhóm tác giả đã nghiên cứu thực nghiệm một số yếu tố vận hành chính ảnh hưởng đến hiệu suất thu hồi dầu sinh học từ bã mía ở Việt Nam dựa trên hệ thống thí nghiệm nhiệt phân nhanh công suất 500 g/h. Kết quả nghiên cứu cho thấy hiệu suất thu hồi dầu sinh học tối đa khi nhiệt độ lò phản ứng khoảng 480 °C và kích cỡ hạt từ 1 – 1,5 mm.”*

4. Xem lại chú thích hình 6:

Sửa lại: “Sơ đồ nguyên lý hệ thống nhiệt phân nhanh sinh khối trong lò tầng sôi sản suất dầu sinh học”

**CÁM ƠN CÁC Ý KIẾN GÓP Ý CỦA PHẢN BIỆN ĐỂ BÀI BÁO HOÀN THIỆN HƠN**