

THIẾT KẾ MÁY ÉP VIÊN NÉN NHIÊN LIỆU RDF TỪ CHẤT THẢI SINH HOẠT

DESIGN OF A PRESS FOR RDF PRODUCTION FROM HOUSEHOLD WASTE

Bùi Văn Ga¹, Võ Anh Vũ¹, Huỳnh Văn Thanh¹, Nguyễn Xuân Thịnh¹, Ngô Thành Tín¹, Huỳnh Quốc Bảo¹

¹Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng; vavu@dut.udn.vn

(Nhận bài: 18/01/2021; Chấp nhận đăng: 12/02/2021)

Tóm tắt - Thu hồi năng lượng từ chất thải rắn thông qua sản xuất viên nén nhiên liệu RDF là giải pháp công nghệ xử lý triệt để chất thải rắn, giảm tối đa chất thải cần phải chôn lấp và hạn chế phát thải các chất khí gây ô nhiễm. Chất lượng RDF phụ thuộc vào thành phần nguyên liệu và điều kiện chế tạo. Cần xác lập bộ thông số tối ưu cho việc sản xuất RDF từ chất thải có thành phần xác định. Trong công trình này, chúng tôi nghiên cứu chế tạo thiết bị ép thí nghiệm RDF. Máy ép kiểu xi lanh thủy lực với xi lanh 80mm, áp suất dầu 140 bar, khuôn nén có góc côn nhỏ hơn 45 độ phù hợp với điều kiện sản xuất RDF từ chất thải rắn ở Đà Nẵng. Mặt ngoài khuôn được sấy nóng bằng điện trở có thể thay đổi được cường độ dòng điện. Nhiệt độ cực đại đặt được ở mặt ngoài viên nén trước khi thoát ra khỏi khuôn ép. Nhiệt độ này ảnh hưởng đến cấu trúc bề mặt của viên nén RDF.

Từ khóa - RDF; thu hồi năng lượng từ rác; xử lý chất thải rắn; ô nhiễm môi trường; máy ép.

Abstract - Energy recovery from solid waste through RDF production is a technological measure for thorough treatment of solid waste, minimizing waste that needs to be buried and limiting pollutant gases emissions. RDF quality depends on the fuel compositions and the manufacture conditions. Thus, the optimal parameters are needed for RDF production from given wastes. Hydraulic type press with 80mm-diameter cylinder, 140-bar oil pressure, compression section with conical angle less than 45 degrees are suitable for RDF pressing test conditions of wastes from Danang City. The outside surface of the mold is heated by a controllable heating source. The maximum temperature is found in the outside surface of the RDF as leaving the mold. The surface structure of RDF is affected by this temperature.

Key words - RDF; solid waste energy recovery; solid waste treatment; environment pollution; press.

1. Giới thiệu

Xử lý chất thải rắn ở nước ta hiện nay là vấn đề rất bức xúc. Lượng rác thải phát sinh ngày càng lớn trong khi các bãi chôn lấp rác đã quá tải, gây ra những hệ lụy lớn đối với môi trường. Nhiều nơi dân chúng bức xúc ngăn cản hoạt động của bãi rác, khiến tình hình càng trở nên trầm trọng hơn. Hiện nay, ở nước ta có 28,9% chất thải rắn được xử lý đốt hoặc sản xuất phân hữu cơ; 71,1% chôn lấp trực tiếp và 6% chôn sau khi đốt.

Công nghệ đốt rác phải đi kèm với việc xử lý các chất khí gây ô nhiễm và không chế phát sinh dioxin và furan. Nếu không xử lý triệt để thì chúng ta sẽ biến ô nhiễm thể rắn thành ô nhiễm thể khí. Do rác thải chứa rất nhiều chất khó phân hủy như nylon, nhựa nên phân compost sản xuất từ rác thải làm tro đất canh tác. Vì vậy, việc tiêu thụ phân compost trở nên khó khăn, không như kỳ vọng. Chôn lấp rác ngày nay không còn là giải pháp lựa chọn vì quỹ đất ngày càng eo hẹp. Thu hồi năng lượng từ rác là giải pháp được nhiều nước trên thế giới áp dụng ngày nay.

Chuyển đổi rác thành năng lượng có thể được thực hiện bằng nhiều giải pháp khác nhau. Thành phần hữu cơ dễ phân hủy trong chất thải có thể sử dụng để sản xuất khí sinh học. Thành phần có thể cháy trong rác thải có thể được đốt để sử dụng nhiệt chạy turbine phát điện. Đó là những giải pháp truyền thống đã được sử dụng phổ biến. Những giải pháp này có những nhược điểm riêng như tỉ lệ chất thải rắn cần phải chôn lấp sau khi xử lý lớn, xử lý khí thải phức tạp và tốn kém. Phương pháp xử lý chất thải rắn triệt để hơn dựa trên việc sản xuất viên nén nhiên liệu RDF để linh hoạt trong sản xuất năng lượng tùy thuộc vào các ứng dụng khác nhau.

Viên nén nhiên liệu từ rác thải có thể được sử dụng làm nhiên liệu cho các lò nung xi măng. Ở Châu Âu, có đến hơn 70% năng lượng tiêu thụ cho sản xuất xi măng sinh ra từ RDF. Viên nén nhiên liệu có thể được khí hóa thành syngas để làm nhiên liệu cho động cơ đốt trong. Thành phần thể tích của syngas từ RDF khi sử dụng không khí làm chất ô xy hóa thường 18-20% H₂, 18-20% CO, 2% CH₄, 11-13% CO₂, một ít H₂O, còn lại là N₂ [1]. Nhiệt trị thấp của syngas thông thường trong khoảng 4-6 MJ/kg [2], chỉ bằng khoảng 10% nhiệt trị của khí thiên nhiên, LPG hay xăng dầu. Tuy nhiên, do lượng không khí cần thiết để đốt cháy một đơn vị khối lượng syngas cũng chỉ bằng 10% các loại nhiên liệu truyền thống nên việc tiết giảm công suất động cơ không tỉ lệ với nhiệt trị nhiên liệu. Thực tế cho thấy, khi chạy bằng syngas công suất động cơ giảm khoảng 15%-20% so với động cơ diesel và giảm 30%-40% so với động cơ xăng [3]. So với phương pháp đốt cháy cùng một khối lượng biomass thì phương pháp khí hóa có mức độ phát thải CO, S, NO_x thấp hơn [4].

Việc ứng dụng nhiên liệu khí nói chung và syngas nói riêng để chạy động cơ đốt trong đã được phát triển ở nước ta từ rất sớm. Những năm đầu thập niên 1980 của thế kỷ trước do thiếu nhiên liệu xăng dầu truyền thống nên chúng ta đã sử dụng syngas để chạy ô tô và kéo máy công tác. Bộ môn Động lực - Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng đã tiến hành các nghiên cứu sử dụng nhiên liệu rắn than, gỗ để chạy động cơ tĩnh tại trong những năm đầu thập niên 1980. Sau đó, Nhóm GATEC, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng đã nghiên cứu động cơ sử dụng nhiên liệu khí từ những năm 1990 [5]. Những kết quả nghiên cứu về nhiên liệu LPG đã được ứng dụng trên xe

¹ The University of Danang - University of Science and Technology (BUI Van Ga, Anh Vu Vo, Huynh Van Thanh, Nguyen Xuan Thinh, Ngo Thanh Tin, Huynh Quoc Bao)

gắn, ô tô [6]. Các kết quả nghiên cứu đã được phát triển để ứng dụng hỗn hợp biogas và hydrogen hay HHO [7]. Trên cơ sở nguyên lý đó, chúng ta có thể phát triển công nghệ ứng dụng syngas trên động cơ kéo máy phát điện.

Chế biến rác thải sinh hoạt thành RDF qua một số công đoạn cơ học: Phân loại, cắt rác, sấy, sàng, nghiền, ép đùn. Các nghiên cứu gần đây cho thấy, có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến mật độ của RDF. Các yếu tố này bao gồm cả quá trình chế biến lẫn tính chất vật liệu. Các yếu tố liên quan đến quá trình chế tạo bao gồm nhiệt độ, áp suất nén, thời gian nén, dạng hình học viên nén [8-9]. Nhiều nghiên cứu cho thấy, độ ẩm 8-12 % cho viên nén có mật độ và chất lượng cao hơn [8]. Áp suất nén tối ưu trong quá trình chế tạo viên nén phụ thuộc vào điều kiện vật liệu đầu vào vì độ xốp của viên nén có tác động mạnh đến quá trình sinh khí. Do thành phần và tính chất rác thải rất khác nhau nên để tạo được viên nén nhiên liệu đảm bảo chất lượng chúng ta cần tiến hành nhiều thí nghiệm.

Hiện nay, có 2 công nghệ ép được sử dụng phổ biến, đó là máy ép đùn kiểu trục vít và máy ép kiểu piston thủy lực.

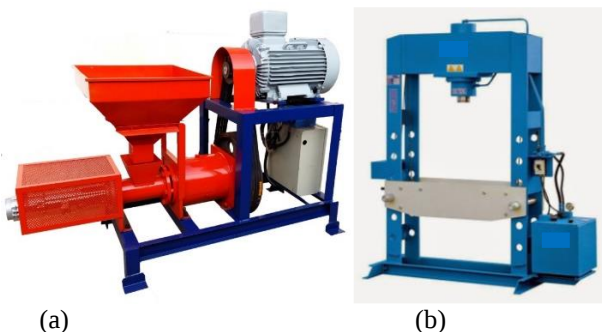
- Máy ép đùn kiểu trục vít

Phương án này áp dụng để sản xuất liên tục RDF sau khi đã xác định được các thông số cơ bản của qui trình sản xuất. Máy có dạng như Hình 1a.

Nguyên liệu được cấp vào trục vít nén qua phễu hứng. Trục vít là bộ phận quan trọng nhất của máy ép. Nó có tác dụng tiếp tục nghiền nhỏ nguyên liệu và tạo ra lực ép để nén nguyên liệu thành viên nén. Nguyên liệu được ép qua khuôn để tạo dáng cho viên nén. Khuôn ép được tích hợp điện trở để gia nhiệt. Công suất nhiệt có thể điều chỉnh phù hợp với các loại nguyên liệu khác nhau. Nhờ lượng nhiệt này cùng với lượng nhiệt tỏa ra trong quá trình ép, vật liệu trong viên nén được gắn kết lại.

Máy hoạt động nhờ động cơ truyền lực đến trục vít qua bộ truyền đai. Tốc độ động cơ có thể điều chỉnh nhờ bộ điều khiển động cơ.

Phương án này có ưu điểm là tạo ra sản phẩm ra liên tục và đồng nhất; Máy chạy êm và không rung sóc hoặc tải trọng đột ngột. Tuy nhiên, hiệu suất của máy thấp và không điều chỉnh được lực ép trong quá trình nghiên cứu sản xuất RDF.



(a)

(b)

Hình 1. Máy ép kiểu trục vít (a) và máy ép thủy lực (b)

- Máy ép kiểu piston thủy lực

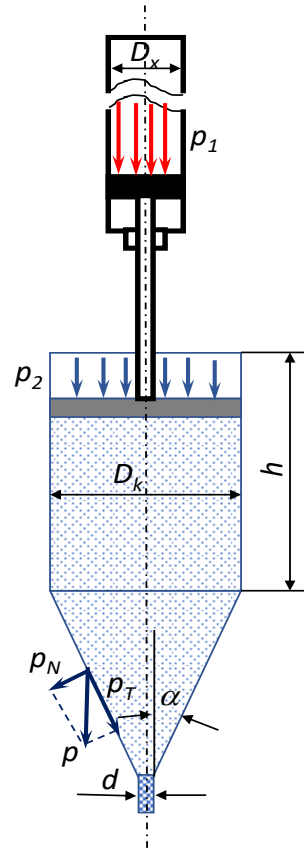
Máy ép kiểu piston thủy lực có ưu điểm là cấu tạo đơn giản, lực ép lớn và có thể điều chỉnh được (Hình 1b). Máy gồm xi lanh thủy lực, bơm dầu áp lực, van điều khiển và đồng hồ áp suất dầu. Máy có thể được điều khiển một cách tự động theo những chương trình được lập sẵn. Máy ép kiểu kiểu

piston phù hợp với thí nghiệm vì các thông số hoạt động có thể kiểm soát được để từ đó xác định được bộ thông số tối ưu trong sản xuất RDF ứng với các loại nguyên liệu khác nhau.

Nhược điểm của máy ép thủy lực là không nạp liệu liên tục nên năng suất thấp. Tuy nhiên, máy ép này phù hợp với mục đích thí nghiệm vì có thể điều chỉnh các thông số vận hành. Trong phạm vi nghiên cứu này nhóm tác giả nghiên cứu thiết kế chế tạo máy ép viên nén RDF kiểu piston thủy lực để làm thí nghiệm xác định các thông số cơ bản phù hợp với việc sản xuất viên nén từ rác thải Đà Nẵng.

2. Tính toán lực ép và truyền nhiệt

2.1. Tính toán lực ép



Hình 2. Sơ đồ lực tác dụng lên nguyên liệu RDF

Sơ đồ lực tác dụng lên nguyên liệu dùng để sản xuất viên nén được giới thiệu trên Hình 2. Giả sử lực ma sát giữa nguyên liệu và phễu cấp liệu có thể bỏ qua, ta có phương trình cân bằng lực như sau:

$$p_1.S_x = p_2.S_k = p.S_c$$

Trong đó, S_x là tiết diện piston của xi lanh thủy lực, S_k là tiết diện ngang của thân phễu và S_c là diện tích xung quanh của phần côn ép.

Ta có:

$$\begin{aligned} p &= p_1.S_x/S_c \\ S_x &= \frac{\pi D_x^2}{4} \\ S_c &= \pi \left(\frac{D_k}{2} + \frac{d}{2} \right) \frac{\left(\frac{D_k}{2} - \frac{d}{2} \right)}{\sin \alpha} \\ S_c &= \frac{\pi}{4 \sin \alpha} (D_k^2 - d^2) \end{aligned}$$

Áp lực tác dụng lên thành của côn ép:

$$p = p_1 \frac{\sin \alpha \cdot D_x^2}{D_k^2 - d^2}$$

Áp lực tác dụng lên nguyên liệu trong côn ép:

$$p_N = p_1 \frac{(\sin \alpha)^2 \cdot D_x^2}{D_k^2 - d^2}$$

Áp lực trượt tác dụng lên thành côn:

$$p_T = p_1 \frac{\sin \alpha \cdot \cos \alpha \cdot D_x^2}{D_k^2 - d^2}$$

Gọi k là hệ số ma sát giữa thành côn và nguyên liệu. Áp lực ma sát của nguyên liệu lên thành côn là:

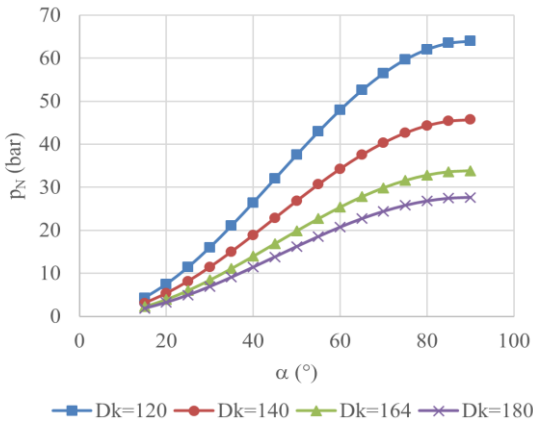
$$p_f = k \cdot p_1 \frac{(\sin \alpha)^2 \cdot D_x^2}{D_k^2 - d^2}$$

Để nguyên liệu có thể trượt trên thành côn, ta phải có $p_T > p_f$, nghĩa là:

$$\cos \alpha > k \cdot \sin \alpha$$

$$\text{hay} \quad \tan \alpha < \frac{1}{k}$$

Hệ số ma sát k nằm trong khoảng 0,3-0,7.



Hình 3. Ảnh hưởng của đường kính phễu cấp liệu D_k đến biến thiên áp suất nén p_N theo góc côn α

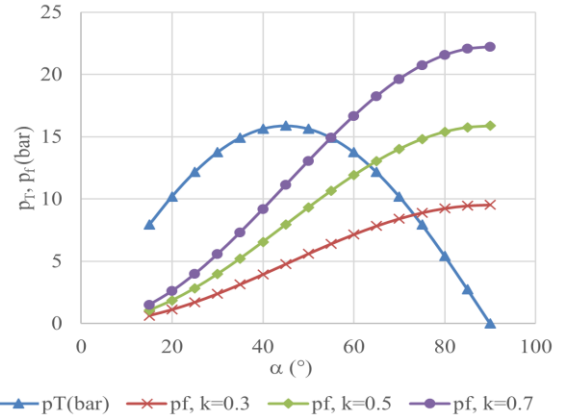
Hình 3 giới thiệu ảnh hưởng của đường kính khuôn D_k đến biến thiên áp suất nén p_N theo góc côn α . Chúng ta thấy, cùng một góc côn cho trước, áp lực nén tăng khi giảm đường kính D_k . Điều này là do diện tích mặt côn giảm làm tăng áp lực nén khi áp suất dầu không thay đổi. Tuy nhiên, khi giảm đường kính D_k thì thể tích nguyên liệu mỗi lần nén giảm làm giảm năng suất sản xuất RDF.

Hình 4 giới thiệu ảnh hưởng của hệ số ma sát giữa nguyên liệu và thành côn đến tương quan p_T và p_f . Như đã phân tích ở phần lý thuyết trên đây, để nguyên liệu có thể thoát ra khỏi khuôn tạo viên nén RDF thì lực ma sát giữa nguyên liệu và thành côn phải nhỏ hơn lực trượt p_T . Hình 4 cho thấy, cùng kết cấu khuôn, khi hệ số ma sát tăng thì góc côn α phải giảm. Theo các tài liệu thống kê thì hệ số ma sát giữa nguyên liệu và thành thép $k=0,3-0,7$. Với đường kính khuôn $D_k=164\text{mm}$ thì góc α dao động từ $55-63^\circ$. Ta chọn $\alpha=45^\circ$ là tốt nhất vì ở giá trị này p_T đạt giá trị cực đại.

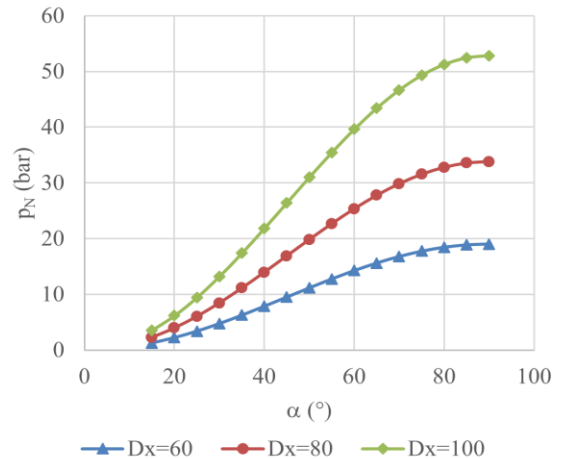
Áp suất nén của dầu trong xi lanh thủy lực thường 140 bar. Đường kính xi lanh thủy lực càng lớn thì lực ép càng cao. Hình 5 giới thiệu ảnh hưởng của đường kính xi lanh thủy lực D_x đến áp lực nén p_N . Ta thấy cùng một áp

lực nén thì lực nén tỉ lệ với tiết diện mặt cắt ngang của xi lanh, nghĩa là tỉ lệ bậc 2 đường kính. Do đó, khi kết cấu khuôn cố định, để tăng áp lực nén, ta có thể chọn xi lanh thủy lực có đường kính lớn hơn.

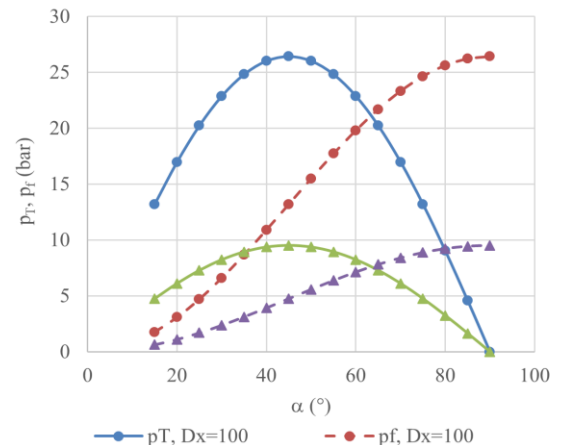
Chúng ta thấy, khi hệ số ma sát cố định thì góc côn giới hạn không thay đổi theo đường kính xi lanh thủy lực D_x . Tuy nhiên, khi tăng đường kính D_x thì áp lực p_T tăng sẽ làm cho nguyên liệu dịch chuyển trong khuôn đến đầu ra RDF thuận lợi hơn, góp phần tăng năng suất sản xuất RDF.



Hình 4. Ảnh hưởng của hệ số ma sát giữa nguyên liệu và thành côn đến tương quan p_T và p_f (đường kính khuôn $D_k=164\text{mm}$)



Hình 5. Ảnh hưởng của đường kính xi lanh thủy lực đến lực nén p_N ($D_k=164$)



Hình 6. Ảnh hưởng của đường kính xi lanh thủy lực đến p_T và p_f ($D_k=164$, $k=0,5$)

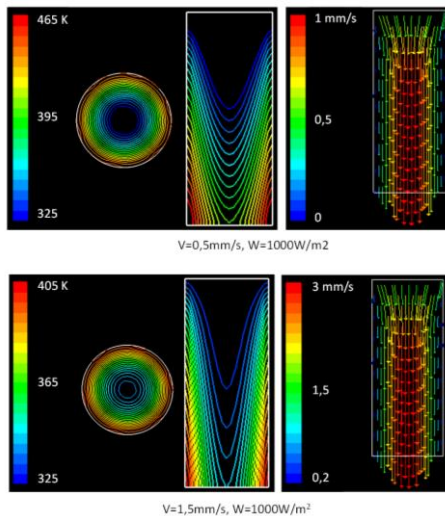
2.2. Tính toán truyền nhiệt qua khuôn ép

Để giữ cho vật liệu bên trong các thỏi RDF kết dính lại với nhau ta phải gia nhiệt quanh khuôn. Khi được nung nóng, thành phần nhựa trong nguyên liệu sẽ nóng chảy và kết dính lại, tạo thành một lớp vỏ quanh thỏi RDF.

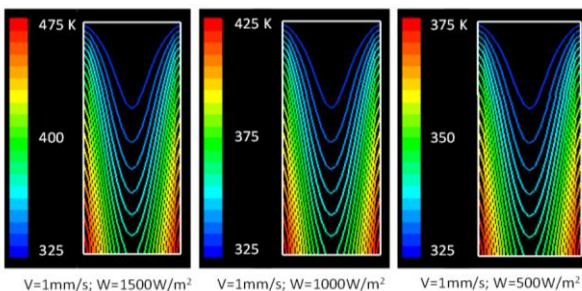
Sự phân bố nhiệt trong thỏi RDF được tính toán mô phỏng nhờ phần mềm FLUENT. Nhiệt lượng do điện trở cung cấp bên ngoài vỏ khuôn được xem như một nguồn nhiệt có thông lượng nhiệt truyền qua thành W (W/m^2). Trong quá trình ép nguyên liệu trong phễu tiếp liệu, do ma sát nên nhiệt độ vật liệu khi bắt đầu vào khuôn khoảng 325 K. Tốc độ dịch chuyển của thỏi RDF qua khuôn phụ thuộc vào tốc độ dịch chuyển của piston xi lanh thủy lực. Trong tính toán mô phỏng, chúng ta thay đổi tốc độ dịch chuyển của RDF và thông lượng nhiệt truyền qua thành khuôn.

Hình 7 giới thiệu ảnh hưởng của tốc độ dịch chuyển của vật liệu qua khuôn đến sự phân bố nhiệt độ trong thỏi RDF. Ta thấy nhiệt độ cao đạt được ở lớp vỏ ngoài của thỏi RDF trước khi thoát ra khỏi khuôn. Chính vùng nhiệt độ cao này là chảy chất nhựa trong vật liệu và tạo thành vỏ bao quanh, giữ cho thỏi RDF không bị vỡ vụn. Cùng công suất cấp nhiệt, khi tốc độ dịch chuyển của vật liệu trong khuôn tăng thì nhiệt độ truyền cho thỏi RDF giảm. Vì vậy, khi tăng năng suất sản xuất RDF thì phải tăng công suất cấp nhiệt.

Tính toán mô phỏng cho thấy, khi đi qua khuôn thì phần vật liệu trong lõi di chuyển nhanh hơn. Điều này là do ma sát giữa vật liệu và thành khuôn làm giảm tốc độ dịch chuyển của lớp vật liệu sát thành khuôn.



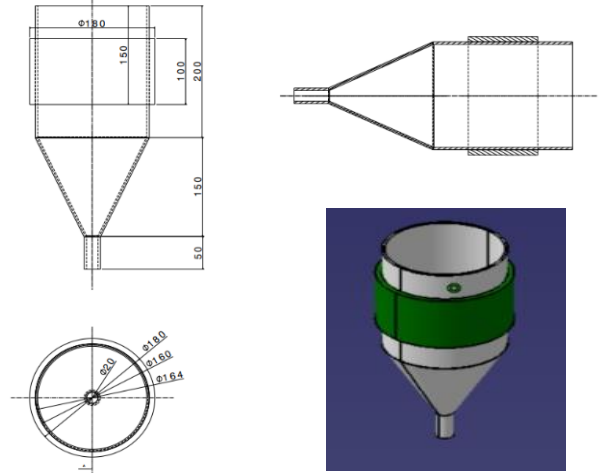
Hình 7. Ảnh hưởng của tốc độ dịch chuyển thỏi RDF đến phân bố nhiệt độ



Hình 8. Ảnh hưởng của công suất cấp nhiệt đến sự phân bố nhiệt độ trong thỏi RDF

Hình 8 giới thiệu ảnh hưởng của công suất cấp nhiệt đến sự phân bố nhiệt độ trong thỏi RDF. Ta thấy cùng tốc độ dịch chuyển của vật liệu đi qua khuôn, khi tăng công suất cấp nhiệt thì profil phân bố nhiệt độ trong thỏi RDF không thay đổi nhưng nhiệt độ cực đại tăng. Do đó, tùy vào thành phần rác thải chúng ta có thể điều chỉnh công suất cấp nhiệt để đạt được chất lượng thỏi RDF mong muốn.

3. Chế tạo thiết bị và thử nghiệm



Hình 9. Thiết kế chế tạo khuôn ép RDF

Hình 9 giới thiệu khuôn ép RDF. Khuôn gồm có 3 phần: Phễu chứa liệu hình trụ đường kính 160mm; Vùng nén ép hình côn có chiều cao 150mm; Và khuôn RDF hình trụ đường kính trong 20mm. Khuôn RDF được bao quanh bởi điện trở gia nhiệt. Dòng điện qua điện trở được thay đổi nhờ dimer để đảm bảo nhiệt độ của RDF đạt giá trị tối ưu.



Hình 10. Ảnh chụp máy ép RDF sau khi chế tạo

Hình 10 giới thiệu ảnh chụp máy ép viên nhiên liệu nén sau khi chế tạo lắp đặt theo nguyên lý đã mô tả ở Hình 2. Lực ép được tạo ra từ xi lanh thủy lực 2 chiều nhờ áp suất dầu do bơm áp lực cung cấp. Khuôn và xi lanh thủy lực được gắn cứng trên giá đỡ bằng thép. Áp suất dầu được chỉ thị trên đồng hồ áp suất. Nguyên liệu rác sinh hoạt sau khi được phân loại, sấy khô và cắt nhỏ được bỏ vào phễu cấp liệu và được piston của xi lanh thủy lực ép xuống và thoát ra khỏi khuôn để tạo thành viên nén RDF. Nhiệt độ nguyên liệu khi đi qua khuôn có thể được điều chỉnh nhờ thay đổi dòng điện của điện trở cấp nhiệt thông qua dimer.

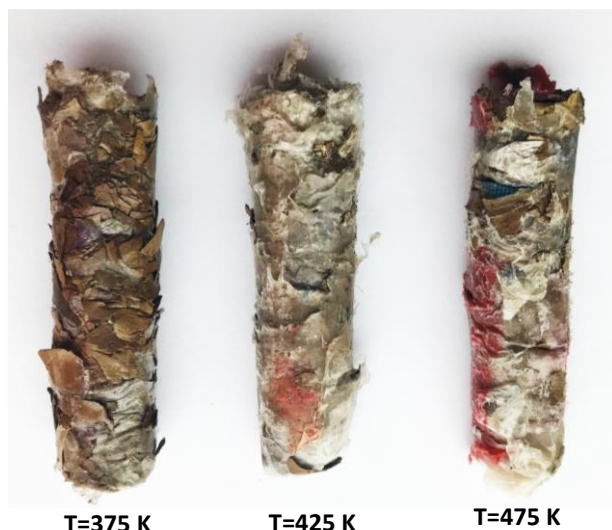
Thành phần chất thải rắn nói chung ở nước ta chứa hơn

50% là các chất hữu cơ, tương tự như một số nước ở Châu Á như Hàn Quốc. Thành phần này cao hơn nhiều so với chất thải ở các nước phát triển như Đức, Mỹ... Các chất cháy được khác như giấy, nhựa... trong rác thải ở nước ta thấp hơn rất nhiều so với các nước phát triển [10]. Rác thải ở các thành phố lớn nước ta cũng chủ yếu chất hữu cơ, thành phần chất thải nhựa trên 10%, tương đương với các nước phát triển [10].

Thành phần khối lượng rác thải sinh hoạt ở các khu vực Thành phố Đà Nẵng cho ở Bảng 1.

Bảng 1. Thành phần chất thải rắn sinh hoạt ở các khu vực TP. Đà Nẵng

TT	Phân loại	Thành phần (% khối lượng)			
		Hòa Khánh Bắc	Hòa Khánh Nam	Hòa Khương	Sơn Trà
1	Rác hữu cơ	50,1	56,4	55,3	58,7
2	Giấy	4,6	6,7	7,2	8,5
3	Vải	6,5	7,2	8,35	9,3
4	Túi nilong	9,7	10,3	10,6	11,5
5	Nhựa	15,3	8,9	3,5	2,8
6	Hộp sữa	2,9	1,4	0,8	0,6
7	Xốp	1,7	1,1	0,2	0,1
8	Đất và cát	4,5	2,7	6,6	1,3
9	Bùn	0,5	0,6	0,8	0,2
10	Thủy tinh	1,1	1,5	3,2	4,6
11	Lon kim loại	2,0	1,8	1,2	1,5
12	Các thành phần khác	1,1	1,4	2,25	0,9
Tổng		100,0	100,0	100,0	100,0



Hình 11. Ảnh hưởng của nhiệt độ khuôn đến bề mặt viên nén nhiên liệu

Hình 11 giới thiệu sản phẩm viên nén nhiên liệu từ rác thải sinh hoạt ở khu vực Hòa Khánh. Thành phần rác chủ yếu là những chất có thể cháy được như lá cây, giấy, nhựa... Như đã giới thiệu ở phần tính toán truyền nhiệt qua khuôn, bề mặt viên nén chịu ảnh hưởng bởi nhiệt độ khuôn. Khi nhiệt độ khuôn cao, nhựa trong nguyên liệu chảy ra và kết dính, tạo ra lớp vỏ giữ ổn định hình dạng viên nén.

4. Kết luận

Nghiên cứu trên đây cho phép chúng ta rút ra được những kết luận sau đây:

- Thu hồi năng lượng từ chất thải rắn thông qua sản xuất viên nén nhiên liệu RDF là giải pháp công nghệ xử lý triệt để chất thải rắn, giảm tối đa chất thải cần phải chôn lấp và hạn chế phát thải các chất khí gây ô nhiễm.

- Thành phần rác thải nước ta phần lớn chứa các chất hữu cơ nên việc chế biến rác thải thành viên nén nhiên liệu RDF có nhiều lợi thế so với các phương pháp xử lý rác khác như nhiệt trị RDF cao, có thể sử dụng linh hoạt nhiên liệu RDF để sử dụng cho những mục đích khác nhau.

- Máy ép viên nén RDF kiểu xi lanh thủy lực tuy không cấp liệu liên tục được nhưng đơn giản, có thể điều chỉnh các thông số vận hành, phù hợp với mục đích thí nghiệm sản xuất viên nén nhiên liệu RDF.

- Máy nén với xi lanh thủy lực 80mm, áp suất dầu 140 bar, khuôn nén có góc côn nhỏ hơn 45° phù hợp với điều kiện thí nghiệm ép viên nén nhiên liệu RDF với các loại rác thải khác nhau.

- Kết cấu bề mặt của viên nén nhiên liệu có thể được điều chỉnh nhờ thay đổi nhiệt độ thành khuôn thông qua điều chỉnh công suất cấp nhiệt của điện trở.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Bộ Giáo dục và Đào tạo đã hỗ trợ công trình nghiên cứu này thông qua đề tài Khoa học - Công nghệ cấp Bộ “*Mô-đun điện rác thông qua RDF sản xuất từ chất thải rắn ở nông thôn*”, mã số B2021-DNA-03.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Rakopoulos C, Michos N. “Development and validation of a multi-zone combustion model for performance and nitric oxide formation in syngas fueled spark ignition engine”. *Energy Conversion and Management*. 2008; (49):2924-14.
- [2] Hagos F, Aziz A, Sulaiman S. “Trends of syngas as a fuel in internal combustion engines”. *Advances in Mechanical Engineering*. 2014; 1-10. Article id: 401587.
- [3] Keith W. *Have wood will travel complete plans for the Keith gasifier*. 1st edn. Wayne Keith; 2013.
- [4] Whitty K, Zhang H, Eddings E. “Emissions from syngas combustion”. *Combustion Science and Technology*. 2008; (180): 1117-19.
- [5] Bui Van Ga, “Nghiên cứu kỹ thuật tạo hỗn hợp phân lớp cho động cơ dùng nhiên liệu khí dầu mỏ hóa lỏng LPG”. *International Conference on Automotive Technology ICAT'99*, pp. 101-107 Hà Nội, October 21-24, 1999.
- [6] Bui Van Ga, Tran Van Nam, Tran T. H. Tung, Ho Tan Quyen, “Một số kết quả thực nghiệm trên xe máy sử dụng nhiên liệu khí dầu mỏ hóa lỏng LPG”. *Tạp chí Giao thông Vận tải* số 5, pp. 35-37, 2000.
- [7] Bui Van Ga, Bui Thi Minh Tu, Trương Lê Bích Trâm, Bui Van Hung, “Technique of Biogas-HHO Gas Supply for SI Engine”. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Vol. 8 Issue 05, May-2019, pp. 669-674.
- [8] Sokhansanj S., Mani S., Bi X., Zaini P., Tabil L., *Binderless pelletization of biomass*, Presented at the ASAE Annual International Meeting, July 17–20, 2005, Tampa, Florida. ASAE Paper No. 056061. ASAE, 2950 Niles Road, St. Joseph, MI 49085-9659 USA.
- [9] Yaman S., Şahan M., Haykiri-çama H., Şeşen K., Küçükbayrak S., “Production of fuel briquettes from olive refuse and paper mill waste”, *Fuel Processing Technology*, 68 (2000) 23–31.
- [10] http://gizenergy.org.vn/media/app/media/bai%20trinh%20bay/1-_Amrehn_Module_1-VIE.pdf