

Ảnh hưởng của hydrocarbon thơm đến đặc tính bồ hóng của nhiên liệu hàng không trong ngọn lửa khuếch tán

- **Hồng Đức Thông**

Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM

- **Osamu Fujita**

Division of Mechanical and Space Engineering, Hokkaido University, Japan

(Bài nhận ngày 13 tháng 7 năm 2015, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 16 tháng 10 năm 2015)

TÓM TẮT

Đặc tính hình thành bồ hóng trong ngọn lửa khuếch tán, cháy tầng bằng bắc trong giới hạn của điểm khói được khảo sát cho dodecane ($C_{12}H_{26}$) và các hỗn hợp của nó với 10, 20 và 25% thể tích propylbenzene (C_9H_{12}). Bằng phương pháp hấp thụ ánh sáng, thể tích bồ hóng hình thành trong ngọn lửa (VS) được xác định như là một hàm biến thiên theo chiều cao ngọn lửa (H_f) và khối lượng nhiên liệu tiêu thụ trong một đơn vị thời gian (\dot{m}_f). Từ dữ liệu thực nghiệm thu được, một mô hình toán học được xây dựng để ước lượng VS của các hỗn hợp dodecane/propylbenzene theo hai biến là \dot{m}_f và nồng độ của propylbenzene (%PB) trong

hỗn hợp. Kết quả cho thấy thể tích bồ hóng tạo thành tỉ lệ thuận với chiều cao ngọn lửa, lượng nhiên liệu tiêu thụ và nồng độ của propylbenzene. Trong đó, tác động đến bồ hóng hình thành của H_f , \dot{m}_f và %PB tương ứng là một hàm bậc hai, hàm lũy thừa và hàm tuyến tính. Nghiên cứu này tạo ra một cơ sở dữ liệu để tối ưu hóa các tính năng ưu nhược của nhóm hydrocarbon thơm trong nhiên liệu hàng không. Điều này có ý nghĩa rất quan trọng khi mà hydrocarbon thơm được hòa trộn vào paraffin sinh học – được sản xuất từ các acid béo có trong dầu thực vật bằng phương pháp xử lý Hydro – để sử dụng như là nhiên liệu hàng không.

Từ khóa: dodecane, propylbenzene, bồ hóng, ngọn lửa khuếch tán.

1. GIỚI THIỆU

Nhiên liệu thay thế như diesel sinh học, methanol và ethanol đã được biết đến như là một giải pháp cho an ninh năng lượng thế giới và biến đổi khí hậu. Trong thực tế, đã có rất nhiều thành tựu trong nghiên cứu và ứng dụng các nhiên liệu tái sinh này trên động cơ tĩnh tại và ô tô ở nhiều quốc gia trên thế giới. Tuy nhiên, các nhiên liệu sinh học chỉ nhận được sự chú ý trong ngành công

nghiệp hàng không [1 – 17] từ năm 2008 khi mà Ủy ban Châu Âu thông qua Kế hoạch Kinh doanh Khí thải của Liên hiệp Châu Âu (European Union Emissions Trading Scheme – EU ETS). Chỉ dẫn 2008/101/EC của Hội đồng Châu Âu [18] thống nhất từ năm 2012, khí CO_2 thải ra từ tất cả các chuyến bay thương mại bay đến, xuất phát và trong Liên hiệp Châu Âu đều phải thực thi EU ETS. Trong EU ETS, nhiên liệu sinh học được

xem là trung tính với khí CO₂ [19, 20] và các hãng hàng không có thể hưởng lợi từ việc chuyển nhượng các chỉ tiêu về CO₂.

Quy trình sản xuất nhiên liệu sinh học hàng không hiện nay chủ yếu là sử lý Hydro (Hydrotreating) và Fischer-Tropsch. Cả hai quy trình này đều cho sản phẩm cuối cùng là hợp chất paraffin sinh học có mạch carbon nằm trong dãy thích hợp của nhiên liệu phản lực (Jet fuel). Để thỏa mãn các tiêu chuẩn nghiêm ngặt của nhiên liệu hàng không các paraffin sinh học này được hòa trộn với các hydrocarbon thơm (<25% thể tích) để tạo thành nhiên liệu hàng không sinh học. Các nhiên liệu hàng không sinh học này được hòa trộn với kerosene hóa thạch (Jet A-1) để tạo ra kerosene sinh học sử dụng trên các máy bay mà không cần phải thiết kế hay hiệu chỉnh động cơ và cơ sở hạ tầng cung cấp nhiên liệu.

Hydrocarbon thơm được pha vào các paraffin sinh học để (a) hạn chế nhiên liệu rò rỉ ở hệ thống nhiên liệu của máy bay [7, 17]; và (b) cải thiện điểm đông (freezing point) của nhiên liệu [21]. Tuy nhiên, hydrocarbon thơm cũng được biết đến như là một chất phát sinh ra bồ hóng rất mạnh trong khi cháy. Bồ hóng sinh ra có thể gây quá nhiệt buồng cháy, giảm hiệu suất và tuổi thọ của động cơ máy bay [22, 23]; khi các bồ hóng này thoát ra ngoài, chúng gây tác hại nghiêm trọng lên sức khỏe con người và làm trái đất ấm lên [24 – 29]. Do đó đặc tính bồ hóng của nhiên liệu hàng không sinh học cần được làm sáng tỏ trước khi sử dụng trên động cơ máy bay.

Trong nghiên cứu này, các tác giả đã khảo sát bồ hóng sinh ra trong ngọn lửa khuếch tán cháy tầng bằng bắc của các hỗn hợp dodecane và propylbenzene với tỉ lệ 0, 10, 20 và 25% thể tích. Dodecane và propylbenzene được lựa chọn làm nhiên liệu thí nghiệm trong nghiên cứu này vì (a) chúng là nhiên liệu đặc trưng cho nhiên liệu hàng không, trong đó dodecane đại diện cho nhóm paraffin và propylbenzene đại diện cho nhóm hydrocarbon thơm [30]; (b) công thức phân tử trung bình của các paraffin sinh học gần giống

với dodecane [21].

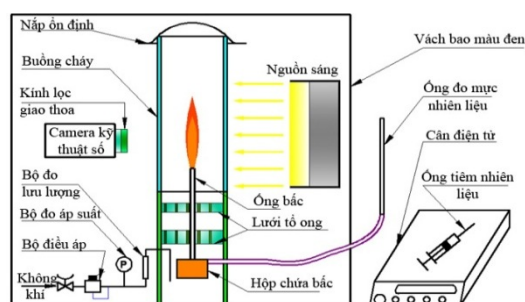
Lưu lượng khối lượng nhiên liệu tiêu thụ (\dot{m}_f) và thể tích bồ hóng hình thành (V_S) được khảo sát theo chiều cao ngọn lửa (H_f), $\dot{m}_f = f(H_f)$ và $V_S = f(H_f)$, cho từng hỗn hợp nhiên liệu kể trên bằng phương pháp hấp thụ ánh sáng. Mối liên hệ giữa V_S và \dot{m}_f được tính toán, $V_S = f(\dot{m}_f)$. Từ kết quả thực nghiệm, thể tích bồ hóng được thiết lập như là một hàm theo hai biến là \dot{m}_f và nồng độ propylbenzene (%PB) cho các hỗn hợp dodecane/propylbenzene, $V_S = f(\dot{m}_f, \%PB)$.

Mục đích của nghiên cứu này để thấy được ảnh hưởng của hydrocarbon thơm đến sự hình thành bồ hóng của nhiên liệu hàng không. Đây là một cơ sở dữ liệu rất quan trọng để tối ưu hóa các tác động ưu nhược điểm của hydrocarbon thơm trong nhiên liệu hàng không sinh học để từ đó có thể tối ưu hóa tỉ lệ hòa trộn propylbenzene vào paraffin sinh học.

2. MÔ TẢ THÍ NGHIỆM

2.1 Hệ thống thí nghiệm

Hình 1 thể hiện sơ đồ của hệ thống thí nghiệm để tính toán xác định đặc tính bồ hóng hình thành trong ngọn lửa khuếch tán, cháy tầng, cùng dòng và bằng bắc thông qua phương pháp hấp thụ ánh sáng. Chiều cao ngọn lửa được điều chỉnh bằng cách điều chỉnh chiều cao của bắc. Ống chứa bắc có đường kính trong là 7 mm và đường kính ngoài là 8 mm. Buồng cháy hình trụ tròn được làm bằng thủy tinh Pyrex có đường kính trong 90 mm và chiều dài là 250 mm.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống thí nghiệm

Không khí được cung cấp từ đáy của buồng cháy với lưu lượng không đổi 30 lít/phút (tương ứng với vận tốc là 7.86 cm/s). Để dòng không khí đồng nhất trong khu vực cháy, không khí được cung cấp vào buồng cháy thông qua hai lưới tổ ong có cấu trúc 750 lục giác trên mỗi inch vuông. Để giữ ổn định ngọn lửa, một cái nắp làm bằng inox có đường kính 120 mm, trên đó có nhiều lỗ tròn với đường kính 6 mm, được đặt trên đỉnh của buồng cháy. Hệ thống thí nghiệm được đặt trong các vách xung quanh màu đen để giảm tác động nhiễu ánh sáng từ môi trường.

Một kính lọc giao thoa XBPA540, cung cấp bởi Công ty Spectra Asahi – Hoa Kỳ, dùng để chọn bước sóng ánh sáng cho hình ảnh thí nghiệm. Kính lọc này chỉ cho phép ánh sáng có bước sóng 540 nm đi qua. Một máy ảnh kỹ thuật số Panasonic HDC-TM750 – Nhật Bản, được gắn kính lọc trên đó, để ghi hình nguồn ánh sáng khi có và không có ngọn lửa. Video ghi hình được chuyển sang các hình ảnh tĩnh. Sau đó, các hình ảnh được phân tích để so sánh cường độ ánh sáng của chúng bởi một chương trình Matlab. Thê tích bề hóng được xác định bằng cách áp dụng định luật Beer – Lambert trong giới hạn Rayleigh.

Lưu lượng khối lượng nhiên liệu tiêu thụ được đo bằng một cân kỹ thuật số Shimadzu UX2200H với khả năng đọc 0.01g và một đồng hồ điện tử. Để tăng độ chính xác, mỗi lần đo được thực hiện với một khối lượng nhiên liệu lớn hơn 1g và mỗi điểm thử nghiệm được lặp lại ba lần để lấy giá trị trung bình.

Nhiên liệu thí nghiệm là dodecane ($C_{12}H_{26}$) và propylbenzene (C_9H_{12}) được cung cấp từ Công ty Millipore Merck, Nhật Bản. Bốn mẫu nhiên liệu trong nghiên cứu này được liệt kê trong Bảng 1.

Bảng 1. Các mẫu nhiên liệu thí nghiệm

Nhiên liệu	Ký hiệu	Thành phần, (% thể tích)	
		$C_{12}H_{26}$	C_9H_{12}
(1)	Do100%	100	0
(2)	Do90%+10%PB	90	10
(3)	Do80%+20%PB	80	20
(4)	Do75%+25%PB	75	25

2.2 Cơ sở lý thuyết tính toán bề hóng bằng phương pháp thu ánh sáng

Định luật Beer – Lambert phát biểu rằng sự truyền ánh sáng qua một vật chất là một hàm logarit của mật cắt ngang hấp thụ, C_{ext} , mật độ các hạt hấp thụ, N , và khoảng cách ánh sáng truyền qua vật chất, L .

$$\frac{I}{I_0} = e^{-LNC_{ext}} \quad (1)$$

$$C_{ext} = A_C Q_{ext} = \frac{\pi d^2}{4} Q_{ext} \quad (2)$$

Trong đó: I , I_0 là cường độ ánh sáng truyền qua vật chất và cường độ ánh sáng truyền thẳng, A_C là diện tích mặt cắt ngang của hạt, d là đường kính của hạt, và Q_{ext} là hiệu suất cản ánh sáng.

Theo lý thuyết tán xạ Mie cho hạt cầu [31, 32], khi kích thước hạt nhỏ hơn nhiều so với bước sóng của tia bức xạ tới ($x \ll 1$) và nếu $|m|x \ll 1$, thì hiệu suất được tính gần đúng:

$$Q_{ext} = 4x \operatorname{Im} \left\{ \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right\} \quad (3)$$

Trong đó: $x = \pi d / \lambda$ là độ lớn đường kính hạt, λ là bước sóng ánh sáng, $m = n - ik$ là chỉ số phức khúc xạ của hạt, n và k lần lượt là phần thực và ảo của m , và Im là giá trị ảo của số phức. Trong

nghiên cứu này, $m = 1,57 - 0,51i$ được chọn để phân tích bồ hóng. Giá trị của trị số này được tính toán từ kết quả nghiên cứu thực nghiệm của Dalzell và Sarofim [33].

Thay (2) và (3) vào (1) ta có:

$$\ln\left(\frac{I}{I_0}\right) = -\frac{\pi^2 d^3 N L}{\lambda} \operatorname{Im}\left\{\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2}\right\} \quad (4)$$

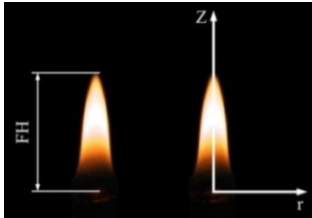
Tỉ lệ thể tích bồ hóng, f_v , có thể được biểu diễn theo một hàm của tổng số hạt trên một đơn vị thể tích, N , và đường kính hạt, d , như sau:

$$f_v = \frac{\pi}{6} d^3 N \quad (5)$$

Thay (5) vào (4) ta có:

$$f_v = -\frac{\lambda \ln\left(\frac{I}{I_0}\right)}{6\pi L \operatorname{Im}\left\{\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2}\right\}} \quad (6)$$

Với giả thuyết các hạt bồ hóng có cùng kích thước, tỉ lệ thể tích bồ hóng dựa trên phép đo quang học có thể được tính toán từ phương trình (6) bằng cách thu được cường độ của ánh sáng khi có và không có ngọn lửa, chiều dài ánh sáng truyền qua ngọn lửa và bước sóng ánh sáng.



Hình 2. Chiều cao để xác định lượng bồ hóng phát sinh trong ngọn lửa

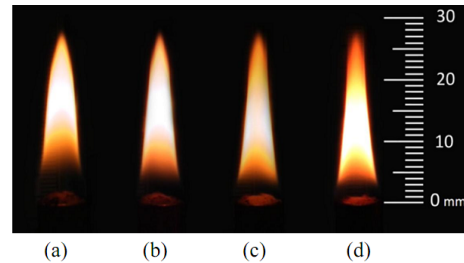
Từ kết quả so sánh cường độ ánh sáng của các hình ảnh 2D, trường phân bố tỉ lệ thể tích bồ hóng trong ngọn lửa 3D, $f_v(Z, r)$, được xây dựng bằng thuật toán Abel ba điểm [34]. Thể tích soot, V_s , trong ngọn lửa được tính như sau:

$$V_s = \int_0^{FH} dZ \int_0^R f_v(Z, r) 2\pi r dr \quad (7)$$

Trong đó: r là bán kính của ngọn lửa tại chiều cao Z , R và FH là bán kính ngoài cùng và chiều cao của ngọn lửa. Chiều cao tính toán bồ hóng của ngọn lửa được thể hiện ở Hình 2, trên độ cao này thì lượng bồ hóng tồn tại không đáng kể.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

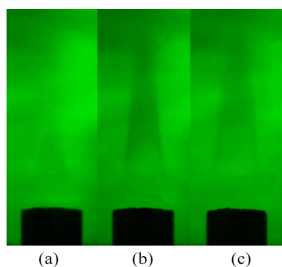
Các hình ảnh ngọn lửa của 4 mẫu nhiên liệu được ghi lại ở độ cao 28 mm thể hiện trong Hình 3. Các hình dạng và màu sắc của các ngọn lửa thay đổi đáng kể khi nồng độ hydrocarbon thơm thay đổi. Khi %PB tăng lên thì đường kính ngọn lửa thu hẹp và biên dạng của nó chuyển từ lồi sang lõm. Vùng không có bồ hóng ở phần dưới ngọn lửa giảm (ngắn) đi và vùng ánh sáng vàng ở phần trên di chuyển xuống dưới (gần ống bắc), điều này cho thấy bồ hóng được hình thành rất gần miệng ống bắc. Khuynh hướng thay đổi cấu trúc hình dạng của ngọn lửa khảo sát trong nghiên cứu này rất giống với thí nghiệm của Kobayashi và công sự [35] đã nghiên cứu cho benzene (C_6H_6) và hexane (C_6H_{14}).



Hình 3. Hình ảnh ngọn lửa ở độ cao 28 mm, (a) - (d) tương ứng với nhiên liệu (1) - (4)

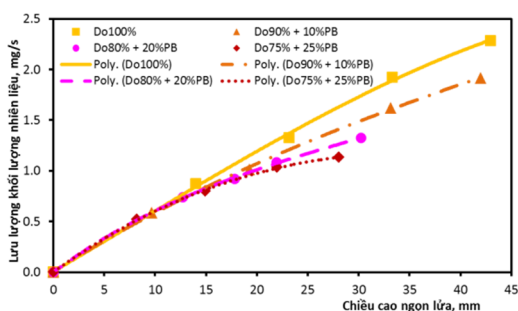
%PB càng cao thì ngọn lửa càng sáng. Dodecane tinh khiết, ngọn lửa (1), có đỉnh ngọn lửa kín. Khi hydrocarbon thơm được hòa trộn vào dodecane thì đỉnh của ngọn lửa dần mở rộng và xuất hiện "cánh" bồ hóng trên đỉnh ngọn lửa. Điều này có thể dự đoán rằng lượng bồ hóng tăng lên khi tăng nồng độ propylbenzene.

Hình 4 thể hiện ánh sáng đơn sắc của các ngọn lửa có cùng nhiên liệu với chiều cao khác nhau (Hình 4a và 4b) và các ngọn lửa có cùng chiều cao nhưng nhiên liệu khác nhau (Hình 4b và 4c). Các bóng của ánh sáng (vết đen) được gây ra bởi sự hiện diện của bồ hóng và chúng trở nên rõ ràng hơn ở H_f cao hơn và %PB lớn hơn. Điều này lại một lần nữa cho thấy rằng bồ hóng sinh ra nhiều hơn khi chiều cao ngọn lửa và tỷ lệ propylbenzene trong hỗn hợp tăng lên.



Hình 4. Ảnh đơn sắc của ngọn lửa – (a) và (b) là nhiên liệu (4) ở độ cao ngọn lửa 14 mm và 28 mm; (c) là nhiên liệu (2) ở độ cao ngọn lửa 28 mm.

Hình 5 trình bày sự tương quan giữa lưu lượng khối lượng nhiên liệu tiêu thụ và chiều cao ngọn lửa của 4 mẫu nhiên liệu. Dodecane có mối quan hệ tuyến tính giữa lượng nhiên liệu tiêu thụ và chiều cao ngọn lửa. Kết quả này phù hợp với lý thuyết ngọn lửa khuếch tán [36, 37] và các nghiên cứu thực nghiệm của Olson và các cộng sự [38], Glassman và Yaccarino [39].



Hình 5. Tương quan giữa lượng nhiên liệu tiêu thụ và chiều cao ngọn lửa của 4 mẫu nhiên liệu

Theo lý thuyết ngọn lửa khuếch tán [37, 38], chiều cao ngọn lửa, H_f , được tính như sau:

$$H_f = \frac{22400 \dot{m}_f}{4\pi D_0 MW} \left(\frac{T_0}{T_f} \right)^{0.67} \frac{1}{\ln(1+S^{-1})} \quad (8)$$

Trong đó: \dot{m}_f là lưu lượng khối lượng nhiên liệu tiêu thụ, D_0 là hệ số khuếch tán tại 300K, MW là khối lượng phân tử, T_f và T_0 là nhiệt độ trung bình của ngọn lửa và nhiệt độ nhiên liệu/không khí ban đầu, và S là thể tích không khí cần để đốt cháy một thể tích nhiên liệu.

Áp dụng công thức gần đúng sau đây:

$$\ln(1+S^{-1}) \sim S^{-1} \quad (9)$$

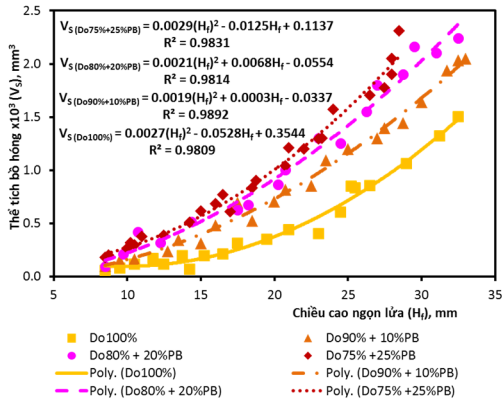
Ta có:

$$H_f = \frac{22400 \dot{m}_f}{4\pi D_0 MW} \left(\frac{T_0}{T_f} \right)^{0.67} S \quad (10)$$

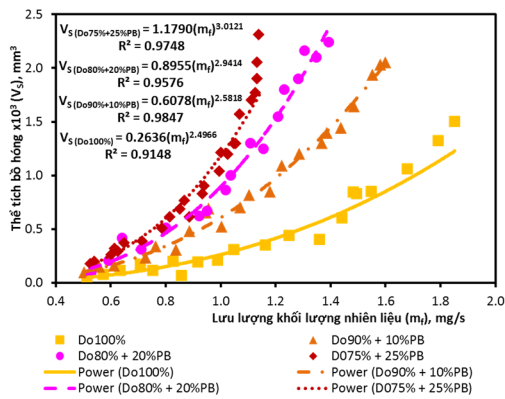
Phương trình (10) cho thấy H_f tỉ lệ tuyến tính với \dot{m}_f nếu các thông số khác giữ không đổi. Tuy nhiên kết quả thí nghiệm cho thấy mối liên hệ trên trở nên phi tuyến khi thêm propylbenzene vào dodecane. %PB càng lớn thì chiều cao ngọn lửa với cùng một lượng nhiên liệu tiêu thụ càng tăng lên so với cách tính H_f bằng công thức (10). Sự tăng lên của chiều cao ngọn lửa trong trường hợp này được cho là do sự gia tăng tổn thất nhiệt do bức xạ (vì bồ hóng tạo thành trong ngọn lửa tăng lên) làm giảm nhiệt độ trung bình ngọn lửa.

Một lý do khác là khi bồ hóng tăng trong ngọn lửa có thể đã thay đổi cơ chế xác định chiều dài ngọn lửa theo công thức (10), ví dụ như là cần phải xét đến thời gian phản ứng oxy hóa bồ hóng hơn là thời gian khuếch tán oxy vào tâm của ngọn lửa. Kết quả của nghiên cứu này khá tương đồng với kết quả của Roper và các cộng sự [40] trong đó mối quan hệ phi tuyến cũng được tìm thấy giữa H_f và \dot{m}_f đối với propylen với giải thích là

khi nồng độ bồ hóng cao, vùng oxy hóa bồ hóng sẽ tăng lên trong ngọn lửa khuếch tán.



Hình 6. Thể tích bồ hóng biến thiên theo chiều cao ngọn lửa của 4 mẫu nhiên liệu



Hình 7. Thể tích bồ hóng biến thiên theo lượng nhiên liệu tiêu thụ của 4 mẫu nhiên liệu

Hình 6 và 7 thể hiện thể tích bồ hóng biến thiên theo chiều cao ngọn lửa và lượng nhiên liệu tiêu thụ của 4 mẫu nhiên liệu. Kết quả cho thấy lượng bồ hóng tăng lên khi tăng H_f , m_f và %PB. Sự gia tăng bồ hóng theo m_f cao hơn so với H_f . Các đường cong gần đúng thể hiện là hàm bậc hai cho mối quan hệ giữa V_s với H_f và mối quan hệ giữa V_s với m_f là hàm lũy thừa.

Từ các dữ liệu thu được, các tác giả đã xây dựng mô hình thực nghiệm để ước lượng thể tích bồ hóng, $V_s(m_f, \%PB)$, như là một hàm hai biến của m_f và %PB, cho các hỗn hợp dodecane và

propylbenzene (Do/PB) với các giả thuyết sau:

- Ảnh hưởng của m_f và %PB là độc lập đến sự hình thành bồ hóng trong ngọn lửa, do đó phương trình thể tích bồ hóng, $V_s(m_f, \%PB)$, có dạng:

$$V_s(m_f, \%PB) = f(m_f) \times f(\%PB) \quad (11)$$

Trong đó $f(m_f)$ và $f(\%PB)$ là các hàm tác động độc lập của m_f và %PB đến bồ hóng hình thành.

- Hàm ảnh hưởng của lượng nhiên liệu tiêu thụ, $f(m_f)$, được giả định là bằng với phương trình thể tích bồ hóng của dodecane, $V_s(m_f, 0)$. Từ phương trình ở Hình 7 ta có hàm $f(m_f)$ của hỗn hợp Do/PB là:

$$f(m_f)_{\text{hh Do/PB}} = V_s(m_f, 0) = V_{s, \text{dodecane}} = 0.2636(m_f)^{2.4966} \quad (12)$$

- Sự chênh lệch thể tích bồ hóng hình thành giữa dodecane nguyên chất và các hỗn hợp của nó với 10, 20, 25 % vol. propylbenzene là do sự tác động của propylbenzene, bao gồm cả các tác động kết hợp các hợp chất nhiên liệu, sự khác biệt của các đặc tính nhiên liệu v.v... Từ phương trình (11) và (12) ta có hàm $f(\%PB)$ của hỗn hợp Do/PB:

$$f(\%PB)_{\text{hh Do/PB}} = \frac{V_s(m_f, \%PB)_{\text{hh Do/PB}}}{0.2636(m_f)^{2.4966}} \quad (13)$$

Bằng cách thay thế tất cả các dữ liệu thực nghiệm thu được vào phương trình (13) ta có thể xác định được hàm gần đúng nhất của ảnh hưởng %PB đến thể tích bồ hóng hình thành, $f(\%PB)$, cho các hỗn hợp nhiên liệu Do/PB.

Hệ số xác định của hàm này, R_{total}^2 , được tính như sau:

$$R_{\text{total}}^2 = 1 - \frac{\sum_i^n (y_i - f_i)^2}{\sum_i^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (14)$$

Trong đó: n là số mẫu khảo sát, y_i and f_i là giá trị thực nghiệm và giá trị ước lượng, và \bar{y} là giá trị trung bình của các giá trị thực nghiệm.

Kết quả hàm thể tích bồ hóng hình thành trong ngọn lửa và hệ số xác định của hỗn hợp nhiên liệu dodecane/propylbenzene:

$$V_S(\bar{m}_f, \%PB)_{\text{hh Do/PB}} = 0.2636(\bar{m}_f)^{2.4966} * [12.499(\%PB) + 1.0419] \quad (15)$$

$$R_{\text{total}}^2 = 0.94$$

Phương trình (15) cho thấy thể tích bồ hóng sinh ra tỷ lệ tuyến tính với %PB. Với giá trị \bar{m}_f nhất định, thể tích bồ hóng của hỗn hợp nhiên liệu dodecane/propylbenzene tăng lên khoảng 12% khi mỗi 1% thể tích propylbenzene thêm vào hỗn hợp. Điều này giải thích tại sao các hydrocarbon thơm có ảnh hưởng đáng kể rất đến sự phát ra bồ hóng trong quá trình cháy.

4. KẾT LUẬN

Đặc tính bồ hóng của các hỗn hợp nhiên liệu dodecane và propylbenzene ở các tỉ lệ thể tích khác nhau với các kết luận như sau:

- Lượng nhiên liệu tiêu thụ và chiều cao ngọn lửa có liên hệ tuyến tính đối với dodecane nguyên chất. Tuy nhiên, mối quan hệ này trở nên phi tuyến khi propylbenzene được thêm vào dodecane do sự gia tăng đáng kể về sự hình thành bồ hóng trong ngọn lửa. Nồng độ hydrocarbon thơm càng cao thì chiều cao ngọn lửa thực nghiệm thu được càng lớn hơn so với lý thuyết ngọn lửa khuếch tán. Điều này mở ra một hướng

nghiên cứu mới về các yếu tố ảnh hưởng đến chiều cao ngọn lửa bên cạnh sự khuếch tán oxy từ màng lửa vào tâm của ngọn lửa.

- Thể tích bồ hóng sinh ra trong ngọn lửa tăng lên khi tăng chiều cao ngọn lửa, lượng nhiên liệu tiêu thụ và nồng độ propylbenzene trong hỗn hợp. Kết quả thực nghiệm cho thấy thể tích bồ hóng là một hàm lũy thừa đối với lượng nhiên liệu tiêu thụ và là một hàm bậc hai đối với chiều cao ngọn lửa.

- Một mô hình thực nghiệm đã được xây dựng để ước lượng bồ hóng hình thành cho hỗn hợp nhiên liệu dodecane/propylbenzene theo hai biến là lượng nhiên liệu tiêu thụ và đồng độ propylbenzene. Từ mô hình toán học ta có bồ hóng hình thành trong ngọn lửa tỷ lệ tuyến tính với nồng độ của propylbenzene trong hỗn hợp. Với một lượng nhiên liệu tiêu thụ nhất định, mỗi 1% thể tích propylbenzene thêm vào hỗn hợp thì thể tích bồ hóng sinh ra trong ngọn lửa tăng khoảng 12%. Điều này cho thấy ảnh hưởng của hydrocarbon thơm đến sự hình thành bồ hóng là rất đáng kể như đã đề cập ở phần giới thiệu.

Nghiên cứu này có ý nghĩa quan trọng khi xem xét tỉ lệ hòa trộn tối ưu các hydrocarbon thơm vào paraffin sinh học nhằm tận dụng các ưu điểm của hydrocarbon thơm để đạt được các yêu cầu khắt khe của nhiên liệu hàng không và cũng hạn chế được các tác hại do chúng gây ra cho động cơ, con người và môi trường xung quanh. Mặc dù quá trình cháy trong động cơ máy bay khác rất nhiều so với điều kiện thí nghiệm của nghiên cứu này nhưng đây là công việc đơn giản nhất và hiệu quả kinh tế nhất để có được nền tảng cơ bản cho việc tìm hiểu cơ chế phức tạp xảy ra trong động cơ thật.

Effects of aromatic on soot characteristics of aviation fuel surrogates in diffusion flames

- **Hong Duc Thong**

Ho Chi Minh City University of Technology, VNU-HCM

- **Osamu Fujita**

Division of Mechanical and Space Engineering, Hokkaido University, Japan

ABSTRACT

Co-annular smoke-free laminar diffusion wick-fed flames of dodecane and its blended with various amounts of propylbenzene of 10, 20, 25 vol.% have been used to study soot formation characteristics. Dodecane and propylbenzene are selected as the surrogates for paraffin class and aromatic class of aviation fuel. A light extinction method is adopted to determine the total soot volume (TSV) as a function of flame height (H_f) and fuel mass consumption rate (FMCR). An empirical model has been built to predict soot formation of dodecane and propylbenzene (Do/PB) mixtures as the

function of two variables of FMCR and concentration of propylbenzene (%PB). TSVs of Do/PB mixtures increase with increasing H_f , FMCR and %PB. The effect of H_f , FMCR and %PB on soot formation are respectively expressed as the quadratic, power law and linear functions. The result of current work creates a database for optimizing the trade-off impacts of aromatic in aviation fuel. This information is of high importance when blending aromatic to bio-paraffins, which is produced from triglycerides and fatty acids in the vegetable by hydrotreating process, for using as a fuel in aircraft engines.

Keyword: dodecane, propylbenzene, soot, diffusion flame.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Cromarty J, Abanteriba S, Utilisation of bio-fuels in gas-turbine engines: An experimental and theoretical evaluation, *Proc. SAME* 2009; FEDSM2009-78589: 1649-1653.
- [2]. Llamas A, et al., Biokerosene from coconut and palm kernel oils: Production and properties of their blends with fossil kerosene, *Fuel* 2012; 102: 483-490.
- [3]. Llamas A, et al., Biokerosene from babassu and camelina oils: Production and properties of their blends with fossil kerosene, *Energy Fuels* 2012; 26: 5968-5976.
- [4]. Jenkins RW, Munro M, Nash S, Chuck CJ, Potential renewable oxygenated biofuels for the aviation and road transport sectors, *Fuel* 2013; 103: 593-599.

- [5]. Hileman JJ, et al., The Feasibility and potential environmental benefits of alternative fuels for commercial aviation, *26th International Congress of the Aeronautical Sciences*, ICAS 2008.
- [6]. Corporan E, et al., Emissions characteristics of a turbine engine and research combustor burning a Fischer-Tropsch jet fuel, *Energy Fuels* 2007; 21: 2615–2626.
- [7]. DeWitt MJ, et al., Effects of aromatic type and concentration in Fischer-Tropsch fuel on emissions production and material compatibility, *Energy Fuels* 2008; 22: 2411–2418.
- [8]. Moses CA, Roets PN, Properties, characteristics, and combustion performance of Sasol fully synthetic jet fuel, *Eng J. Gas Turbines Power* 2009; 131 (4): 041502.
- [9]. Timko MT, et al., Combustion products of petroleum jet fuel, a Fischer-Tropsch synthetic fuel, and a biomass fatty acid methyl ester fuel for a gas turbine engine, *Combust. Sci. Technol.* 2011; 183: 1039–1068.
- [10]. Rahmes TF, et al., Sustainable bio-derived synthetic paraffinic kerosene (Bio-SPK) jet fuel flights and engine tests program results, *9th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference (ATIO)* 2009, Hilton Head, South Carolina.
- [11]. Holmgren J, Bio aviation fuel, *World Biofuels Markets Congress*, Brussels, Belgium, 2008.
- [12]. Holmgren J, Creating alternative fuel options for the aviation industry: Role of biofuel, *ICAO Alternative Fuel Workshop*, Montreal, Canada, 2009.
- [13]. Kinder JD, Rahmes T, *Evaluation of bio-derived synthetic Paraffinic kerosenes (Bio-SPK)*, Boeing Company, 2009.
- [14]. UOP Honeywell Company, Commercial technologies for green jet fuels, *RUSI Alternative Fuels & Energy Resources Workshop*, London, UK, 2009.
- [15]. Bertelli C, Current status of biofuels production and use for commercial aviation, *BIO – V Seminario Latinoamericano y del Caribe de Biocombustibles*, Chile, 2010.
- [16]. Miake-Lye RC, Wood EC, Timko MT, Yu Z, Effects of alternative fuels on hydrocarbon and particle emissions from aircraft engines, *TAC-2 Proceedings, 2nd International Conference on Transport, Atmosphere and Climate*, Aachen and Maastricht, 2009: 26–32.
- [17]. Beyersdorf A, Anderson B, An overview of the NASA alternative aviation fuel experiment (AAFEX), *TAC-2 Proceedings, 2nd International Conference on Transport, Atmosphere and Climate*, Aachen and Maastricht, 2009: 21–25.
- [18]. Directive 2008/101/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008, Official Journal of the European Union, 2009.
- [19]. Commission Decision 2009/339/EC of 16 April 2009, Official Journal of the European Union, 2010.
- [20]. International Air Transport Association, *IATA 2010 report on alternative fuels*, 5th ed., Montreal – Geneva, 2010.
- [21]. Hong TD, Soerawidjaja TH, Reksowardojo IK, Fujita O, Duniani Z, Pham MX, A study on developing aviation biofuel for the Tropics: Production process - experimental and theoretical evaluation of their blends with fossil kerosene, *Chem. Eng. and Process* 2013; 74: 124–130.
- [22]. Blazowski WS, Combustion considerations for future jet fuels, *Proc. Combust. Inst.* 1977; 16: 1631–1639.
- [23]. Blazowski WS, Future jet fuel combustion problems and requirements, *Prog. Energy Combust. Sci.* 1978; 4: 177–199.

- [24].Pope III CA, Burnett RT, Thun MJ, et al., Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution, *J. The American Medical Association* 2002; 287: 1132-1141.
- [25].Kennedy IM, The health effects of combustion-generated aerosols, *Proc. Combust. Inst.* 2007; 31: 2757–2770.
- [26].Janssen NA, et al., *Health effects of black carbon*, World Health Organization, Regional Office for Europe, 2012.
- [27].Webb S, et al., *Airport Cooperative Research Program, Report 6: Research needs associated with particulate emissions at airports*, Transportation Research Board, Washington DC, 2008.
- [28].Ramanathan V, et al., Indian ocean experiment: An integrated analysis of the climate forcing and effects of the great Indo-Asian haze, *J. Geophysical Research* 2001; 106: 28,371-398.
- [29].Bond TC, et al., Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment, *J. of Geophysical Research* 2013; 118: 5380–5552. DOI: 10.1002/jgrd.50171.
- [30].Colket M, et al., Development of an experimental database and kinetic models for surrogate jet fuels, *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, 2007.
- [31].Bohren CF, Huffman DR., *Absorption and scattering of light by small particles*, Canada: A Wiley – Interscience Publication, 1998.
- [32].Bohren CF, *Scattering by particles*, the McGraw, Hill Companies, 2010.
- [33].Dalzell WH, Sarofim AF, Optical constants of soot and their application to heat-flux calculations, *Trans. ASME J. Heat Transfer* 1969; 91:100-104.
- [34].Dasch CJ, One-dimensional tomography: a comparison of Abel, onion-peeling, and filtered backprojection methods, *Appl. Optics* 1992; 31: 1146-1152.
- [35].Kobayashi Y, Furuhashi T, Amagai K, Arai M, Soot precursor measurements in benzene and hexane diffusion flames, *Combust. Flame* 2008; 154: 346-355.
- [36].Burke SP, Schumann TEW, Diffusion flames, *Ind. Eng. Chem.* 1928; 20: 998-1004.
- [37].Roper FG, The prediction of laminar jet diffusion flame sizes: Part I. theoretical model, *Combust. Flame* 1977; 29: 219-226.
- [38].Olson DB, et al., The effects of molecular structure on soot formation II. Diffusion flames, *Combust. Flame* 1985; 62: 43-60.
- [39].Glassman I, Yaccarino P, The effect of oxygen concentration on sooting diffusion flames, *Combust. Sci. Tech.* 1980; 24: 107-114.
- [40].Roper FG, et al, The prediction of laminar jet diffusion flame sizes: Part II. Experimental Verification, *Combust. Flame* 1977; 29: 227-234.