XỬ LÝ PHÂN BÙN BỂ TỰ HOẠI BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHÂN HỦY KỴ KHÍ, THU HỒI BIOGAS

Nguyễn Phương Thảo[1], Nguyễn Việt Anh [2]

Tóm tắt: *Các tác giả đã thực hiện một số thí nghiệm phân hủy kỵ khí theo mẻ trong phòng thí nghiệm ở chế độ lên men nóng để đánh giá khả năng xử lý phân bùn bể tự hoại bằng phương pháp lên men kỵ khí. Kết quả nghiên cứu cho thấy với tỷ lệ phối trộn bùn bể tự hoại và chất thải thực phẩm là 1:1 theo COD, tương ứng 9:1 theo thể tích cho hiệu suất sinh khí metan cao, 72-80% và lượng khí metan sinh ra (Nml/gCOD) cao hơn 1,3 - 1,4 lần so với xử lý riêng bùn bể tự hoại. Kết quả nghiên cứu cho thấy hướng xử lý kết hợp bùn bể tự hoại và chất thải thực phẩm là hướng đi khả thi, không chỉ xử lý được chất thải mà còn thu hồi được năng lượng khí biogas.*

Từ khóa: *Bùn bể tự hoại; thu hồi biogas; xử lý kỵ khí.*

Summary: *The authors have made a number of batch experiments in laboratory to assess the ability of thermophilic fermentation of septic tank sludge. The results showed that with the mixing ratio of septic tank sludge and food waste 1:1 by COD values, 9:1 by volume respectively, high methane gas concentration (72-80%) and more methane gas were yielded (Nml/gCOD) (1,3-1,4 times higher than that produced via anaerobic digestion of septic tank sludge only). The study results show that anaerobic co-digestion of septic tank sludge and food waste has a potential application, not only for waste treatment but also for biogas-based energy recovery.*

Keywords: *Anaerobic co-digestion; biogas recovery; septic tank sludge.*

Nhận ngày 25/6/2014, chỉnh sửa ngày 15/8/2014, chấp nhận đăng 10/9/2014

1. Đặt vấn đề

Hàng ngày, một lượng lớn bùn bể tự hoại phát sinh tại các đô thị. Chỉ tính riêng Hà Nội, lượng bùn bể tự hoại cần được hút, vận chuyển và xử lý khoảng 500 m^3/ngày [9]. Hiện nay, bùn bể tự hoại chủ yếu được xả thẳng ra hệ thống thoát nước hoặc ra bãi chôn lấp, gây ô nhiễm môi trường. Trong khi đó, bùn bể tự hoại chứa hàm lượng chất hữu cơ và dinh dưỡng cao. Nếu loại chất thải này có thể được phân hủy kỵ khí, sẽ cho phép thu hồi được khí sinh học (biogas) để sản xuất điện năng và nhiệt năng.

Trên thực tế, đã có nhiều công nghệ được áp dụng để xử lý bùn bể tự hoại, như sân phơi bùn, bãi lọc trồng cây, ổn định kỵ khí, ổn định hiếu khí, ủ compost hoặc kết hợp các loại trên. Xử lý bùn bể tự hoại trong điều kiện kỵ khí có nhiều ưu điểm, như tạo ra sản phẩm là khí biogas, phục vụ cho sản xuất điện năng hoặc nhiệt năng và phân bón cho cây trồng. Tuy nhiên, bùn bể tự hoại khó xử lý riêng bằng phương pháp kỵ khí, do trong bùn bể tự hoại chứa hàm lượng nitơ amoni cao, tỷ lệ C/N thấp, không thích hợp cho quá trình xử lý kỵ khí. Nghiên cứu này xem xét giải pháp phối trộn bùn bể tự hoại với nguồn chất thải giàu các bon hữu cơ là chất thải thực phẩm, nhằm tăng cường hiệu suất phân hủy kỵ khí, thu hồi khí metan. Chất thải thực phẩm được nghiên cứu là thức ăn thừa. Loại chất thải này thường bao gồm cọng rau thừa, thịt, cá trứng, cơm,... có khả năng phân hủy sinh học cao. Chất thải thực phẩm thường chiếm tỷ lệ 9% trong thành phần chất thải rắn đô thị và chiếm 20% chất thải rắn hữu cơ [11]. Tại Việt Nam, chất thải thực phẩm chiếm tỷ lệ 20 - 30% trong thành phần rác thải sinh hoạt sinh hoạt hộ gia đình [2]. Tại các làng nghề chế biến lương thực, thực

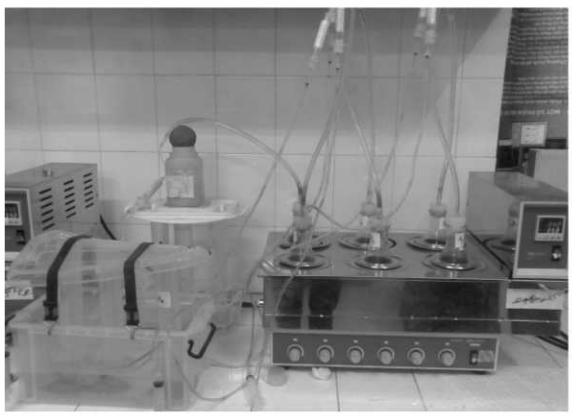
[1] *NCS.ThS, Khoa Kỹ thuật Môi trường. Trường Đại học Xây dựng. E-mail: phuongthaodhxd@gmail.com.*
[2] *PGS.TS, Khoa Kỹ thuật Môi trường. Trường Đại học Xây dựng.*

phẩm, tỷ lệ này lên tới 46% [3]. Do bùn sau phân hủy có thể được sử dụng làm phân bón, chế độ lên men kỵ khí lựa chọn là chế độ lên men nóng (55°C), cho phép nâng cao hiệu suất sinh metan và tiêu diệt mầm bệnh có trong bùn.

2. Mô tả thí nghiệm

Thí nghiệm được thực hiện tại Viện Khoa học và Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Xây dựng. Nguyên liệu thí nghiệm là bùn bể tự hoại và chất thải thực phẩm (Bảng 1). Bùn bể tự hoại được thu gom từ các bể tự hoại gia đình trên địa bàn Hà Nội. Kết quả phân tích thành phần, tính chất của 13 mẫu bùn bể tự hoại lấy tại khu vực Hà Nội cho thấy giá trị COD dao động từ 12.600 đến 79.500 mg/l, VS từ 2.860 đến 22.400mg/l, tỷ lệ VS/TS dao động từ 63 đến 82%. Điều này chứng tỏ bùn bể tự hoại có khả năng phân hủy bằng phương pháp sinh học. Kết quả nghiên cứu này tương đồng với các kết quả nghiên cứu khác về thành phần, tính chất của bùn bể tự hoại [10]. Tương tự, chất thải thực phẩm được thu gom từ các nhà hàng thuộc khu vực quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, có giá trị COD cao, trong khoảng 135.000 - 241.000 mg/l.

Bùn bể tự hoại và chất thải thực phẩm được trộn với bùn cơ chất, giàu vi khuẩn sinh metan đã được nuôi cấy ở 55°C từ trước, theo tỷ lệ trong Bảng 2. Thí nghiệm được thực hiện theo mẻ, với 2 hệ, mỗi hệ gồm 6 bình tam giác có dung tích 500ml, được bịt kín, phía trên có đường ống thu khí, Các bình được đặt trong hệ ổn nhiệt ở nhiệt độ 55°C, được khuấy trộn bằng khuấy từ. Khí sinh ra từ mỗi bình được thu qua ống dẫn silicon, qua xy lanh nhựa chứa soda khô để hấp thụ, loại bỏ CO_2 và dẫn vào các ống xy lanh nhựa để đo lượng khí metan sinh ra (xác định bằng cách hút khí ra khỏi xy lanh, tạo chân không và đánh dấu mực nước dâng lên trong xy lanh, sau đó đo thể tích khí choán chỗ làm mực nước trong xy lanh tụt xuống sau mỗi ngày) (Hình 1).



Hình 1. *Mô hình thí nghiệm phân hủy kỵ khí theo mẻ ở 55°C*

Thành phần, tính chất của nguyên liệu nạp vào thí nghiệm được trình bày trong Bảng 1. Mỗi đợt thí nghiệm (mẻ 1 và 2) được thực hiện với 6 bình phản ứng. Một bình chứa mẫu đối chứng, với 500ml bùn cơ chất. Năm bình khác, mỗi bình chứa 400ml bùn cơ chất và 100ml hỗn hợp bùn bể tự hoại và chất thải thực phẩm, được phối trộn với tỷ lệ khác nhau, tương ứng là 1,2:0, 1:1, 1:10; 1:100, 0:1,2 theo COD, hay 10:0, 9:1; 1:1; 1:9; 0:10 theo thể tích (Bảng 2 và 3). Thí nghiệm với các tỷ lệ phối trộn khác nhau sẽ cho biết ảnh hưởng của tải trọng hữu cơ, tỷ lệ F/M, môi trường trong bể phản ứng, vai trò của việc xử lý kết hợp các nguyên liệu khác nhau so với xử lý riêng biệt. Việc lựa chọn tỷ lệ phối trộn chủ yếu dựa vào kết quả phân tích mẫu bùn và chất thải thực phẩm, đảm bảo tỷ lệ F/M và tỷ lệ C/N/P phù hợp. Hàm lượng axit béo dễ bay hơi (VFA), sản phẩm trung gian sinh ra trong quá trình phân hủy kỵ khí, là thông số có ảnh hưởng rõ rệt đến hoạt động của hệ vi sinh vật trong bể phản ứng. Lượng VFA không được vượt quá 1000 mg/l. Để kiểm soát được VFA, nên khống chế lượng F/M trong giới hạn 0,1 - 0,5. Tỷ lệ F/M trong thí nghiệm là 0,3 (xem công thức (1). Tỷ lệ phối trộn trên cho phép kiểm soát được pH và hàm lượng VFA để hệ hoạt động ổn định [2][13]. Tải lượng COD nạp vào các bình thí nghiệm trong mỗi mẻ được trình bày trong Bảng 4.

Bảng 1. *Thành phần, tính chất của nguyên liệu nạp vào thí nghiệm*

Nguyên liệu	Giá trị COD (mg/l)		Độ ẩm (%)	
	Mẻ 1	Mẻ 2	Mẻ 1	Mẻ 2
Bùn cơ chất	9.600	6.900	99,0	98,7
Bùn bể tự hoại	12.600	16.100	99,7	99,8
Chất thải thực phẩm	135.000	172.000	88,2	88,5

Công thức xác định tỷ lệ F/M:

$$F/M = (V_{\text{bùn bể tự hoại}} \times COD_{\text{bùn bể tự hoại}} + V_{\text{chất thải thực phẩm}} \times COD_{\text{chất thải thực phẩm}}) / (V_{\text{bùn cơ chất}} \times COD_{\text{bùn cơ chất}}) \quad (1)$$

Bảng 2. *Tỷ lệ phối trộn Bùn bể tự hoại: Chất thải thực phẩm nạp vào hệ thí nghiệm lần 1*

Chế độ lên men	Tỷ lệ phối trộn (Bùn bể tự hoại: Chất thải thực phẩm)					
Tỷ lệ phối trộn theo COD (g)	Đối chứng	1,2:0	1:1	1:10	1:100	0:1,2
Tỷ lệ phối trộn theo thể tích	Đối chứng	10:0	9:1	1:1	1:9	0:10

Bảng 3. *Tỷ lệ phối trộn bùn bể tự hoại: chất thải thực phẩm nạp vào hệ thí nghiệm lần 2*

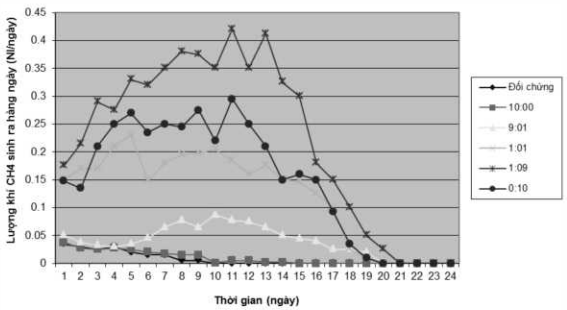
Chế độ lên men	Tỷ lệ phối trộn (Bùn bể tự hoại: Chất thải thực phẩm)					
Tỷ lệ phối trộn theo COD (g)	Đối chứng	0.8:0	1:1	1:10	1:100	0:0.8
Tỷ lệ phối trộn theo thể tích	Đối chứng	10:00	9:1	1:1	1:9	0:10

Bảng 4. *Tải lượng COD nạp vào hệ thí nghiệm lần 1 và lần 2*

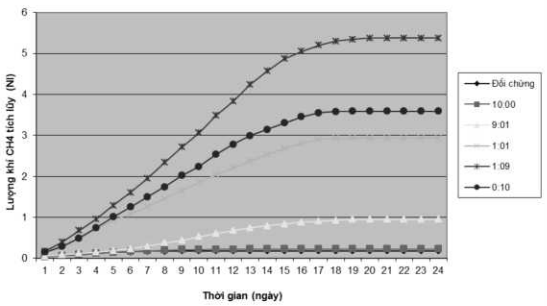
Mẻ	Đơn vị	Tỷ lệ phối trộn theo thể tích (Bùn bể tự hoại: Chất thải thực phẩm)					
		Đối chứng	10:00	9:1	1:1	1:9	0:10
Mẻ 1	g/l	9.6	10.2	16.3	49.0	106.6	119.8
Mẻ 2	g/l	6.9	8.7	11.5	45.6	90.1	101.4

3. Kết quả và thảo luận

Lượng khí metan sinh ra hàng ngày và lượng khí metan tích lũy theo ngày của các thí nghiệm (mẻ 1 và 2) được thể hiện tương ứng trong Hình 2 và Hình 3. Với các tỷ lệ phối trộn bùn bể tự hoại: Chất thải thực phẩm tương ứng là 10:0, 9:1, 1:1, 1:9, 0:10, so sánh với mẫu đối chứng chỉ có bùn cơ chất, kết quả biểu đồ sinh metan (Hình 2) cho thấy mẫu chỉ có bùn bể tự hoại (tỷ lệ 10:0 theo thể tích) cho lượng khí metan thấp nhất. Khi lượng chất thải thực phẩm trong hỗn hợp bùn: Chất thải thực phẩm tăng lên, lượng khí metan sinh ra tăng dần theo các tỷ lệ 9:1, 1:1, 1:9. Tuy nhiên, với tỷ lệ bùn bể tự hoại: Chất thải thực phẩm tương ứng 0:10, lượng khí metan sinh ra ít hơn so với tỷ lệ 1:9. Nguyên nhân do không có môi trường đệm là bùn bể tự hoại, khi lượng thức ăn thừa nhiều, quá trình lên men axit diễn ra mạnh. Trong giai đoạn axit hóa, pH của môi trường bị giảm do sự hình thành axit béo dễ bay hơi (VFAs) và các hợp chất trung gian có tính axit. Các chủng vi khuẩn tạo metan chỉ phát triển thuận lợi trong môi trường trung tính pH = 6,8 - 7,2. Vì vậy, chúng sẽ trở nên kém hoạt động khi lượng axit sinh ra dư thừa so với lượng tiêu thụ của bể phản ứng tạo thành metan, đồng nghĩa với nồng độ VFA cao (hiện tượng chua trong bể kỵ khí). Để khắc phục tình trạng trên, cần tạo ra thế cân bằng giữa hai quá trình axit hóa và metan hóa, bằng cách thúc đẩy hoạt tính của vi sinh vật metan hóa và duy trì môi trường đệm hợp lý.

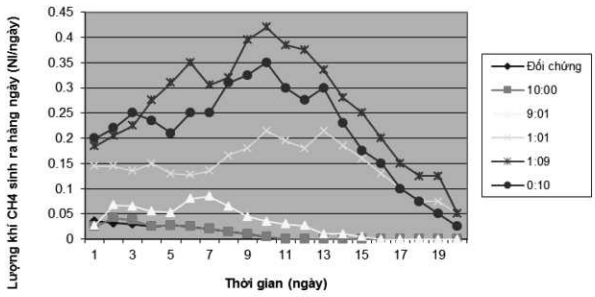


Hình 2. *Lượng khí metan sinh ra hàng ngày ở mẻ thí nghiệm 1*

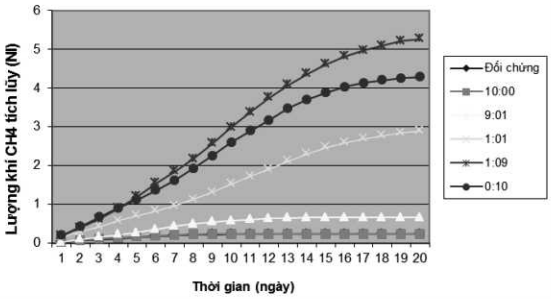


Hình 3. *Lượng khí metan tích lũy theo thời gian ở mẻ thí nghiệm 1*

Thí nghiệm theo mẻ lần 2 được tiến hành lặp lại, tương tự như thí nghiệm theo mẻ lần 1, với các tỷ lệ phối trộn bùn bể tự hoại : Chất thải thực phẩm tương ứng theo thể tích : Mẫu đối chứng (0:0), 10:0, 9:1, 1:1, 1:9, 0:10. Lượng khí metan sinh ra hàng ngày và lượng khí metan tích lũy được thể hiện trong Hình 4, Hình 5. Tương tự như mẻ 1, kết quả thí nghiệm cho thấy lượng khí metan sinh ra tăng dần theo các tỷ lệ 9:1, 1:1, 1:9 so với mẫu chỉ có bùn bể tự hoại (tỷ lệ 10:0) (Hình 4). Tuy nhiên, với tỷ lệ bùn bể tự hoại: Chất thải thực phẩm tương ứng 0:10, lượng khí metan sinh ra ít hơn tỷ lệ 1:9 do thiếu môi trường đệm là bùn bể tự hoại.



Hình 4. *Lượng khí metan sinh ra hàng ngày ở mẻ thí nghiệm 2*



Hình 5. *Lượng khí metan tích lũy theo thời gian ở mẻ thí nghiệm 2*

Hiệu suất sinh khí metan được xác định dựa vào kết quả phân tích giá trị CODvào, CODra và thể tích khí metan đo được. Hiệu suất của quá trình chuyển hóa chất hữu cơ (tính theo COD) thành khí metan được tính với giả thiết hiệu suất sẽ đạt 100% nếu toàn bộ lượng COD nạp liệu vào bể, một phần tạo ra lượng sinh khối vi sinh vật sinh axit và mêtan, phần còn lại được chuyển hóa hoàn toàn sinh metan. Hiệu suất sinh metan được tính theo công thức sau:

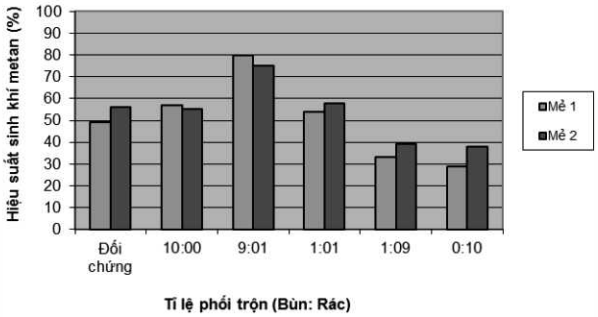
$$\eta = \frac{COD_{CH_4}}{COD_{vào} - COD_{ra}} \times 100,\% \quad (2)$$

trong đó VCH_4 là tổng lượng khí metan sinh ra từ thí nghiệm (ml); CODloại bỏ là lượng COD bị loại bỏ (g).

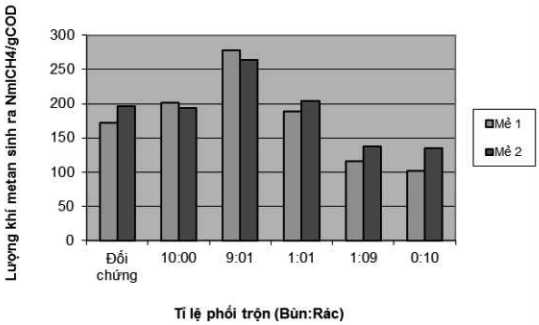
$$COD_{loaibo} = \frac{COD_{vào} - COD_{ra}}{V_{mauthinghiem}} \quad (3)$$

trong đó $V_{mẫu\ thí\ nghiệm}$ là thể tích mẫu thí nghiệm (ml); COD_{CH4} là lượng COD được chuyển hóa thành CH_4 (g); $COD_{vào}$ là tổng lượng COD nạp liệu vào bình thí nghiệm, (g); COD_{ra} là lượng COD của bùn còn lại trong bể khi kết thúc thí nghiệm (g); và 1g COD sinh ra 350ml khí CH_4.

Kết quả thí nghiệm cho thấy hiệu suất sinh khí metan ở chế độ lên men nóng cao nhất với tỷ lệ phối trộn bùn bể tự hoại: Chất thải thực phẩm tương ứng theo COD 1:1 hay tỷ lệ thể tích 9:1. Hiệu suất sinh metan khi đó đạt 72 - 79% (Hình 6). Lượng khí metan sinh ra (Nml/gCOD) cao hơn 1,3 - 1,4 lần so với xử lý riêng bùn bể tự hoại (Hình 7). Nếu chỉ xử lý bùn bể tự hoại riêng (tỷ lệ 10:0 theo thể tích), lượng khí metan sinh ra rất thấp, do bùn bể tự hoại đã tương đối ổn định và môi trường không thuận lợi cho phân hủy kỵ khí (C/N thấp, amoni cao [4]). Khi lượng thức ăn thừa tăng lên, tương ứng tỷ lệ phối trộn theo thể tích 1:1, 1:9, 0:10, hiệu suất sinh khí metan giảm, tương tự như kết quả thu được từ mẻ thí nghiệm 1.



Hình 6. *Hiệu suất sinh khí metan từ 2 mẻ thí nghiệm*



Hình 5. *Lượng khí metan sinh ra từ 2 mẻ thí nghiệm*

Dựa vào tải lượng COD, ta xác định được khả năng sinh năng lượng (điện và nhiệt) từ khí biogas thu được từ quá trình phân hủy kỵ khí bùn bể tự hoại và chất thải thực phẩm (Bảng 5). Cứ 1g COD bị loại bỏ sẽ tạo thành 0,35 Nl khí metan ở điều kiện tiêu chuẩn [4]. Các tính toán được thực hiện với giá trị COD của bùn bể tự hoại trung bình 25.283 mg/l; COD chất thải thực phẩm trung bình 186.152 mg/l.

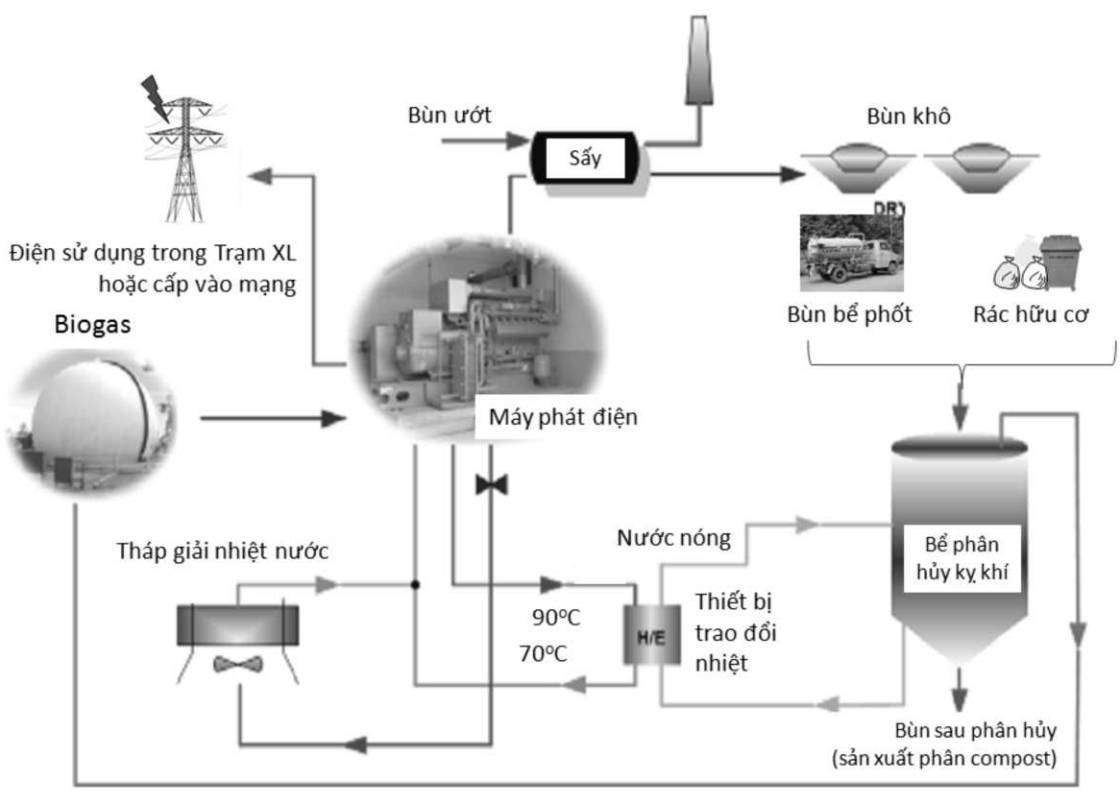
Bảng 5. *Tiềm năng sinh năng lượng (kWh/Tấn chất thải)*

Tiềm năng sinh năng lượng	Bùn bể tự hoại	Chất thải thực phẩm
	Giá trị TB	Giá trị TB
Khả năng sinh khí metan (Nm^3CH_4/tấn chất thải)	8,8	65,8
Tiềm năng sinh năng lượng (MJ/ tấn chất thải)	277	2.070
Tiềm năng sinh điện (kWh/ tấn chất thải)	30	230
Tiềm năng sinh nhiệt (MJ/ tấn chất thải)	139	1035
Tiềm năng sinh nhiệt (kWh/ tấn chất thải)	38	288
Năng lượng điện năng cần cung cấp xử lý kỵ khí (kWh/ tấn chất thải)	50	50

Chú thích: 1 m^3 CH_4 = 31,46 MJ; 1MJ = 0,278 kWh [6]; Hiệu suất sản xuất điện: 40% [6]; Hiệu suất sinh nhiệt: 50% [6]; Tiềm năng sinh điện(kWh/tấn) = Tiềm năng sinh năng lượng x 0,278 x 40%; Tiềm năng sinh nhiệt (MJ/tấn) = Tiềm năng sinh năng lượng x 50%.

Bảng 5 cho thấy: tiềm năng sinh điện trung bình của chất thải thực phẩm 230 kWh/tấn chất thải, cao hơn so với bùn bể tự hoại 30 kWh/tấn chất thải. Tương tự, tiềm năng sinh nhiệt trung bình của chất thải thực phẩm cao nhất là 288 kWh/tấn chất thải, cao hơn so với bùn bể tự hoại 38 kWh/tấn chất thải.

Hình 8 trình bày sơ đồ nguyên lý xử lý kỵ khí kết hợp bùn bể tự hoại và chất thải thực phẩm trong khu đô thị, với nhiều mục đích: xử lý được chất thải, kiểm soát ô nhiễm, tạo ra năng lượng điện năng và nhiệt năng phục vụ cho vận hành trạm xử lý và cho các mục đích khác.



Hình 8. *Sơ đồ nguyên lý thu hồi năng lượng nhiệt và điện từ quá trình xử lý kỵ khí kết hợp bùn bể tự hoại và chất thải thực phẩm*

4. Kết luận và kiến nghị

Xử lý kết hợp bùn bể tự hoại và chất thải thực phẩm cho phép hiện thực hóa được việc xử lý các loại chất thải này bằng phương pháp phân hủy sinh học kỵ khí. Kết quả nghiên cứu cho thấy tỷ lệ phối trộn bùn bể tự hoại: chất thải thực phẩm 1:1 theo COD, hay 9:1 theo thể tích cho hiệu suất sinh khí metan cao nhất,

đạt 72 - 79%. Hướng xử lý kết hợp bùn bể tự hoại và chất thải thực phẩm có nhiều hứa hẹn áp dụng ở các đô thị Việt Nam, với nhiều lợi ích: xử lý được chất thải, phát huy hiệu quả khai thác các công trình hạ tầng kỹ thuật, cho phép thu hồi được năng lượng nhiệt, điện từ khí biogas, phục trong quá trình vận hành bản thân trạm xử lý và các mục đích khác.

Ký hiệu và từ viết tắt

C: Cacbon; N: Nitơ; C/N: Tỷ lệ Cacbon: Nitơ; VS: Chất rắn bay hơi; VS/TS: Tỷ lệ giữa chất rắn bay hơi và tổng chất rắn; F/M: Tỷ lệ thức ăn/vi sinh; VFA: Hàm lượng axit béo bay hơi; Nml: Lượng khí đo (ml) ở điều kiện tiêu chuẩn; Nl: Lượng khí đo (lít) ở điều kiện tiêu chuẩn; Nm^3: Lượng khí đo (m^3) ở điều kiện tiêu chuẩn; Bùn cơ chất: Bùn chứa nguồn vi sinh vật phân hủy kỵ khí, sinh metan.

Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Việt Anh, Wagner M, Yasui H, Prehn D (2011), "Xử lý chất thải và thu hồi tài nguyên - giải pháp bền vững cho các đô thị Việt Nam", *Báo cáo Hội thảo*, Trường ĐH Xây dựng - Trường ĐH Tổng hợp Darmstadt (Đức) - Trường ĐH Tổng hợp Kitakyushu (Nhật Bản) - Công ty Môi trường Đô thị Hà Nội - Tổ chức GIZ (Đức), Hà Nội.

2. Nguyễn Văn Phước (2009), *Giáo trình quản lý và xử lý chất thải rắn*, NXB Xây dựng.

3. Dan - Tâm (2014), "Khái niệm quản lý rác và nước thải tổng hợp cho các làng nghề ở Việt Nam. Hướng tiếp cận và kinh nghiệm của dự án INHAND", *Hội thảo Nghiên cứu về nước và phát triển bền vững trong hợp tác khoa học và công nghệ Việt Nam - CHLB Đức*, Hà Nội.

4. Bitton G (1999), *Wastewater microbiology*, John Wiley & Sons, New York.

5. *Creating a Recycling - Based Community*, http: //kururun.jp.

6. Dieter D, Angelika S (2008), *Biogas from Waster and renewable Resources.*

7. Hartmann, H. and Ahring, B.K (2005), "Anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste: influence of co-digestion with manure". *Water research*, Vol. 39: 1543-1552.

8. Nayono. Satoto Endar (2009), *Anaerobic digestion of organic solid waste for energy production.*

9. Pham Nguyet Anh, Harada H, Fujii S, Nguyen VA, Huynh TH, Tanaka S (2014), *"Accumulation rates and Characteristicss of sludge in septic tanks of Hanoi"*, 37th WEDC International Conference, Hanoi.

10. L.Shoebitz, M.Bassan, A. Ferr, T.H.A. Vu, V.A. Nguyen, L. Strandle (2014), *"Faecal Sludge Quantification and Chareacterization - field trial of methodology in Hanoi, Vietnam",* 37th WEDC International Conference, Hanoi.

11. Tchobanoglous G, Theisen H, Vigil S (1993), *Intergrated Solid Waste Management*, McGraw-Hill Inc.

12. Urenco (2011), *Số liệu điều tra khảo sát của URENCO 12 - tháng 4/2011 tiến hành tại Nội thành Hà Nội.*

13. Yasui.H, Goel.R, Li.Y.Y, Noike.T (2008), "Modified ADM1 structure for modelling municipal primary sludge hydrolysis", *Water research* 42, 249-259.