

ผลงานทางวิชาการ

1. วารสารระดับนานาชาติฐาน ISI หรือ Scopus 1 บทความ
1.1. P. Eawlex and K. Somnuk, "Optimization of solid-to-solvent ratio and time for oil extraction process from spent coffee grounds using response surface methodology," ARPN J. Eng. Appl. Sci., vol. 10, no. 16, 2015.
2. จำนวนผลงานที่นำเสนอในที่ประชุม/สัมมนา ระดับชาติ 2 บทความ
2.1 P. Eawlex, K. Somnuk, 2015. Utilization of spent coffee grounds to produce liquid-fuel and solid-fuel. In Proceedings of the 8th Thailand Renewable Energy for Community Conference (TREC-8), 4-6 November 2015, Pathum Thani, Thailand, pp. 338-341. (IR032)
2.2 J. Thawornprasert, T. Suwanwipakorn, P. Eawlex and K. Somnuk, "A study of extraction process from spent coffee grounds with solvent and extraction time," In Proceedings of the 16th Thai Society of Agricultural Engineer National conference (TSAE-2015), 17-19 March 2015, Bangkok, Thailand, pp. 390-392. (TET-07)



OPTIMIZATION OF SOLID-TO-SOLVENT RATIO AND TIME FOR OIL EXTRACTION PROCESS FROM SPENT COFFEE GROUNDS USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

E. Pichai and S. Krit

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla, Thailand

E-Mail: pichai.eawlex@gmail.com

ABSTRACT

In this study, the optimization of two parameters: solid-to-solvent ratio and extraction time of the oil extraction process from the dried spent coffee grounds (DSCG) after brewing coffee were investigated by using the response surface methodology (RSM). The results showed that the 14.75 wt.% of calculated yield of coffee oil from the predicted model was obtained, when the optimal condition: the 1:22.5 g/g of mass ratio of DSCG-to-hexane and 30.4 min of extraction time under the 30 °C of room temperature was used. The model was verified by the experiment, the 14.68 wt.% experimental yield of coffee oil was achieved after passing the extraction process under the optimal condition. Moreover, the composition of coffee oil after eliminate the residual hexane were analyzed by the thin layer chromatograph with flame ionization detection (TLC/FID). The 81.156 wt.% triglyceride, 5.926 wt.% diglyceride, 11.428 wt.% monoglyceride, 1.078 wt.% ester, and 0.412 wt.% free fatty acid were found.

Keywords: spent coffee grounds, coffee oil, optimization, response surface methodology.

INTRODUCTION

The coffee grounds are consumed in coffee shop, homes, bars and restaurants, large factories of instant coffee (Wikipedia Contributors 2015). Consequently, the coffee beverage is consumed worldwide. In Thailand, the coffee beans were used to produce the instant coffee, roasted and ground coffee, and canned coffee (Pongsiri 2013). Therefore, the increasing domestic consumption of coffee bean is affected on the amount of coffee grounds increased as well. Many organic residues, spent coffee grounds (SCG), after brewing coffee of both instant coffee and roasted coffee processes were dumped to the garbage, where the other organic waste may be decomposed to methane, and thus encourage to climatic change (Mussatto *et al.* 2011), (Hansen *et al.* 2006). The SCG can be extracted the coffee oil using solvent extraction method. Thus, the SCG have the potential feedstock to produce the biodiesel from the coffee oil. The SCG containing the 7-17 wt.% oils content, depending on coffee varieties (Speer & Kölling-speer 2006). Moreover, the yield of coffee oil from SCG depends on the various parameters: moisture content, particle size, amount of solvent, type of solvent, extraction method, and extraction time (Al-Hamamre *et al.* 2012), (Caetano *et al.* 2012). Table I shows the various conditions of coffee oil extraction from SCG. The hexane solvent extraction is most commonly used for extracting the coffee oil by Soxhlet extractor. Moreover, the 12-16% oil yield from SCG was achieved in the extraction process, when Soxhlet and ultrasound extractions were used. Certainly, the ratio of solvent-to-SCG has a high significance of oil yield; however, the researchers have not yet studied the variation of this parameter. For instance, Al-Hamamre *et al.* studied the oil extraction from the dried spent coffee grounds (DSCG) as a renewable source for biodiesel production, the 60 g dried sample and 250 ml solvent (or the ratio of solvent-to-SCG is equal to 1:4.2 g/mL), were fixed at the different time spans to determine

the yield. Caetano *et al.* studied the effect of different solvents on the coffee oil yield by using Soxhlet extractor with the condition: 2.5 to 9.5 h of extraction time, the 10 g of DSCG and 200 mL of solvent were fixed. Therefore, the optimal condition of coffee oil extraction should be studied to reduce the extraction costs, such as type of solvent, ratio of DSCG-to-solvent, and extraction time. This present study was undertaken to evaluate and optimize the highest yield of coffee oil for the solvent extraction process from DSCG, when the two parameters: ratios of DSCG-to-hexane and extraction time were studied by using the response surface methodology (RSM).

MATERIALS AND METHODS

Materials

In the Espresso coffee shops, many organic residues, spent coffee grounds (SCG) from brewing coffee were dumped to the garbage, as shown in Figure-1. The SCG were obtained from local coffee shop in Prince of Songkla University (PSU), which Arabica coffee grounds were used to brew the Espresso. An approximately 66% of moisture content in the SCG were measured by the drying oven method at 105 °C and 24 h (Abdullah & Bulent Koc 2013). The SCG must be dried to eliminate the moisture content before introduced into the extraction process. Moreover, the SCG drying process will prevent the spoilage and microbial growth (Abdullah & Bulent Koc 2013). The commercial grade of hexane solvent was used to extract the coffee oil from the dried spent coffee grounds (DSCG). All chemicals were analytical grade to analysis the compositions of coffee oil by the thin layer chromatograph with flame ionization detection (TLC/FID).

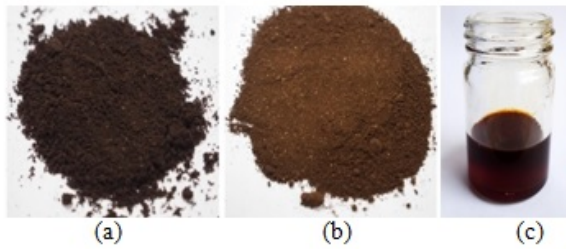


Figure-1. (a) spent coffee grounds, (b) oil-free spent coffee grounds, and (c) coffee oil.

Methods

Extraction Procedures

After complete the SCG drying process, the 10 g of DSCG and the required mass ratios of DSCG-to-hexane were loaded into the 250 mL flask for weighing by the Mettler-Toledo digital analytical balance. All experiments, the solvent extraction were operated in the batch process. The mass ratios of DSCG-to-hexane were varied under the experimental design matrixes. The magnetic bar was instantaneously put into the flask to mix the DSCG with hexane. In the coffee oil extraction process, the flask was placed on the digital magnetic stir plate to mix the DSCG with solvent by the magnetic stirrer at 30 °C of room temperature, and immediately start the timer to monitor the extraction time. After complete extraction oil, the oil-free spent coffee grounds (OFSCG) will rapidly fall to the bottom of the flask, and the solutions of hexane-to-coffee oil are on the top layer. The suspensions of OFSCG in the solutions were filtered by the filter paper (W. & R. Balston Ltd. Genuine Whatman No. 1) to separate the OFSCG and solutions. In the hexane distillation process, the solutions of hexane-to-coffee oils were still by the simple distillation process to remove the most hexane. In the final process, the coffee oil from the distillation process will be heated by the electrical oven at 104 °C for 6 h, to remove

the residual hexane, which might also be left in the coffee oil (Abdullah & Bulent Koc 2013).

Analysis Method

Two independent parameters: mass ratios of DSCG-to-hexane and extraction time, were studied to optimize the coffee oil yield from DSCG. The yield of coffee oil was determined with equation (1). The TLC/FID (model: IATROSCAN MK-65; Mishubishi Kagaku Iatron Inc.; Tokyo, Japan) was used to analyze the percentage of tri-, di-, mono-glycerides, ester, and free fatty acid (FFA) in the coffee oils.

Experimental Design

The experimental design of the solid-liquid extraction process was aimed to optimize the effects of the ratios of DSCG-to-hexane (R), and extraction time (T) on the coffee oil yield by the response surface methodology (RSM) approach. Twelve experiments were designed for 5-coded-level (-1.414, -1, 0, +1, +1.414) followed by the coded level, as shown in Table-2.

$$Y = (W_o / W_d) \times 100 \quad (1)$$

Where Y is the coffee oil yield, W_o (g) is weight of extracted oil and W_d (g) is weight of DSCG.

RESULTS AND DISCUSSION

Experimental Results

Table-3 is the experimental design matrixes of 2-independent-variable: DSCG-to-hexane (g/g), extraction time (min), and 1-dependent-variable: coffee oil yield (wt.%) of the solid-liquid extraction process by solvent.

Response Surface Model and Statistical Analysis

The coefficient values and statistical analysis of response surface model were analyzed by using the multiple regression equation to fit a second-order polynomial model, as shown in Table-4.

Table-1. Conditions of coffee oil extraction from SCG.

Time (min)	Type of solvent	Yield (wt.%)	DSCG-to-solvent (g/mL)	Extraction method	References
45	hexane	12.00	1:4	Ultrasound	(Rocha <i>et al.</i> 2014)
30	pentane	15.18	1:4.2	Soxhlet	(Al-Hamamre <i>et al.</i> 2012)
30	hexane	15.28	1:4.2	Soxhlet	(Al-Hamamre <i>et al.</i> 2012)
30	toluene	14.32	1:4.2	Soxhlet	(Al-Hamamre <i>et al.</i> 2012)
40	chloroform	11.15	1:4.2	Soxhlet	(Al-Hamamre <i>et al.</i> 2012)
30	acetone	12.92	1:4.2	Soxhlet	(Al-Hamamre <i>et al.</i> 2012)
50	isopropanol	10.92	1:4.2	Soxhlet	(Al-Hamamre <i>et al.</i> 2012)
40	ethanol	11.90	1:4.2	Soxhlet	(Al-Hamamre <i>et al.</i> 2012)
180	50:50 (hexane: 2-propanol)	21.50	1:20	Soxhlet	(Caetano <i>et al.</i> 2012)
408	isopropanol	21.00	1:20	Soxhlet	(Caetano <i>et al.</i> 2012)
150	80:20 (hexane:2-propanol)	19.50	1:20	Soxhlet	(Caetano <i>et al.</i> 2012)
570	n-octane	26.00	1:20	Soxhlet	(Caetano <i>et al.</i> 2012)
N/A	hexane	16.00	1:20	Soxhlet	(Caetano <i>et al.</i> 2012)
N/A	ethanol	16.00	1:20	Soxhlet	(Caetano <i>et al.</i> 2012)
N/A	60:40 (hexane:2-propanol)	17.00	1:20	Soxhlet	(Caetano <i>et al.</i> 2012)
N/A	70:30 (hexane:2-propanol)	21.00	1:20	Soxhlet	(Caetano <i>et al.</i> 2012)
N/A	heptane	18.00	1:20	Soxhlet	(Caetano <i>et al.</i> 2012)

N/A: the extraction time was varied in the range between 150 and 570 min

**Table-2.** Coded level of independent variables.

Independent variable	Coded level				
	-1.414	-1	0	+1	+1.414
<i>R</i> : Ratios of DSCG-to-hexane (g/g)	1:5.1	1:8	1:15	1:22	1:24.9
<i>T</i> : Extraction time (min)	0.2	6	20	34	39.8

In Table-4, the positive sign of coefficient values of each parameter mean the coffee oil yield has increased. In contrast, the negative sign of coefficient values mean the decreasing of oil yield. All analysis of results were conducted with “Excel” solver from Microsoft Excel add-in tool to solve the optimization of equation (2). It was found that the predicted model of the relationship between the coffee oil yield and two independent variables were classified under the polynomial equation. The model of the two responses is expressed in equation (2) to obtain the highest yield of coffee oil from the solid-liquid extraction process. This model was tested for its ability to describe the experimental results and to prove for statistical significance by the *t*-test at the confidence level of 95%.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_2 R + \beta_3 T^2 + \beta_4 TR + \beta_5 R^2 \quad (2)$$

where *Y*: coffee oil yield, *R*: ratio of DSCG-to-hexane, *T*: extraction time, and β : coefficient value.

Figure-2 shows the contour plot of the relationship between the extraction time and the mass ratio of DSCG-to-hexane on the coffee oil yield under the 30 °C room temperature. To investigate the optimal condition for the highest coffee oil yield, therefore, the Excel solver was used to solve the equation 2. The results showed that the 14.75 wt.% calculated yield of coffee oil was achieved, when the optimal condition: the 1:22.5 g/g of mass ratio of DSCG-to-hexane and 30.4 min of extraction time at the 30 °C was used. The yield of calculated coffee oil under the optimal condition can be proved by the experiment. The results from the experiment showed that the 14.68 wt.% actual experimental yield of coffee oil can be extracted from DSCG under the optimal condition, which the experimental yield are close to the calculated coffee oil yield. Moreover, the compositions of coffee oil after eliminate the residual hexane were analyzed by TLC/FID, 81.156 wt.% TG, 5.926 wt.% DG, 11.428 wt.% MG, 1.078 wt.% ester, and 0.412 wt.% FFA were found. The major problem of biodiesel production from vegetable oil is the FFA, which the FFA is transesterification reaction was used. As the results, the ester conversion was reduced by the saponification reaction (Somnuk *et al.* 2013). However, the coffee oil has the FFA content lower than 0.5 wt.%. Consequently, the coffee oil will be produced the biodiesel by using a base-catalyzed direct transesterification reaction.

CONCLUSIONS

The aim of this study was to optimize the highest yield of coffee oil for the solvent extraction process from SCG after brewing coffee as a potential alternative raw material for biodiesel from coffee oil. In the part of oil extraction process, the results of this research demonstrates that the 14.68 wt.% actual experimental yield of coffee oil can be extracted from dried spent coffee grounds (DSCG) under the optimal condition: the 1:22.5 g/g of mass ratio of DSCG-to-hexane and 30.4 min of extraction time under the 30 °C of room temperature. Increasing of mass ratio of DSCG-to-hexane will enhances the diffusion of solid and solvent, and improves the transport of the solvent while mixture flow through the pores and surface area of DSCG in the oil extraction process. Therefore, the organic residues, the SCG have the potential raw material to use for biodiesel production from the coffee oil and to use for combustion energy from OFSCG.

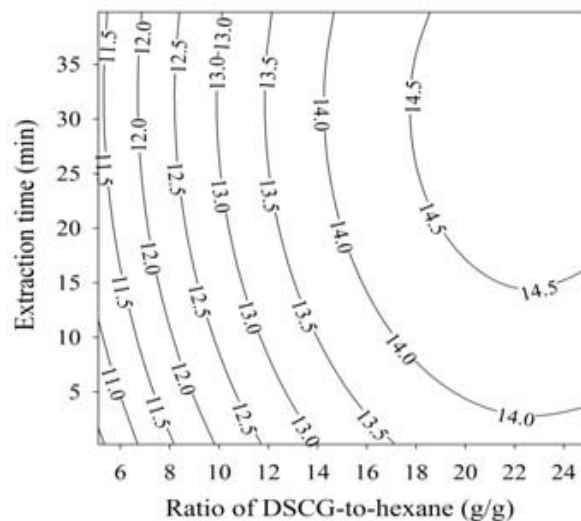


Figure-2. Contour plot of extraction time and mass ratio of DSCG-to-hexane on the yield of coffee oil under the room temperature of 30 °C.

**Table-3.** Experimental design matrix.

Run	Ratio of DSCG-to-hexane, R (g/g)	Extraction time, T (min)	Yield of coffee oil, Y (wt.%)
1	1: 22.0	34.0	14.5700
2	1: 8.0	34.0	12.6580
3	1: 15.0	20.0	14.0237
4	1: 22.0	6.0	14.4017
5	1: 24.9	20.0	14.6323
6	1: 15.0	20.0	14.0283
7	1: 8.0	6.0	12.4070
8	1: 15.0	39.8	14.1125
9	1: 15.0	20.0	13.9887
10	1: 5.1	20.0	10.7623
11	1: 15.0	0.2	12.6600
12	1: 15.0	20.0	13.9773

Table-4. Coefficient values of response surface model.

Coefficient	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
Value	8.130	0.06448	0.500	-0.00098	-0.00021	-0.01096
p -value	0.000263	0.231	0.00453	0.296	0.926	0.01861

($R^2 = 0.927$, and $R^2_{\text{adjusted}} = 0.866$)

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by Prince of Songkla University for providing research funds.

REFERENCES

- [1] Abdullah M. AND Bulent Koc A. 2013. Oil removal from waste coffee grounds using two-phase solvent extraction enhanced with ultrasonication. *Renewable Energy*, Vol. 50, pp.965–970.
- [2] Al-Hamamre Z. *et al.* 2012. Oil extracted from spent coffee grounds as a renewable source for fatty acid methyl ester manufacturing. *Fuel*, Vol. 96, No. 10, pp.70–76.
- [3] Caetano N.S., Silva V.F.M. and Mata T.M. 2012. Valorization of Coffee Grounds for Biodiesel Production. *Chemical Engineering Transactions*, Vol. 26, pp.267–272.
- [4] Hansen T.L. *et al.* 2006. Methane production during storage of anaerobically digested municipal organic waste. *Journal of environmental quality*, Vol. 35, No. 3, pp.830–6.
- [5] Mussatto S.I. *et al.* 2011. Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues. *Food and Bioprocess Technology*, Vol. 4, No. 5, pp.661–672.
- [6] Pongsiri K. 2013. Market Feasibility for New Brand Coffee House: The Case Study of Thailand. *International Journal of Social, Education, Economics and Management Engineering*, Vol. 7, No. 8, pp.1142–1145.
- [7] Rocha, M.V.P. *et al.* 2014. Ultrasound-assisted production of biodiesel and ethanol from spent coffee grounds. *Bioresource technology*, Vol. 167, pp.343–8.
- [8] Somnuk K., Smithmaitrie P. and Prateepchaikul G. 2013. Two-stage continuous process of methyl ester from high free fatty acid mixed crude palm oil using static mixer coupled with high-intensity of ultrasound. *Energy Conversion and Management*, Vol. 75, pp.302–310.
- [9] Speer K. and Kölling-speer I. 2006. The lipid fraction of the coffee bean. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, Vol. 18, (1965), pp.201–216.
- [10] Wikipedia Contributors. 2015. Coffee. *Wikipedia, The Free Encyclopedia.*, p.653370198. Available at: <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Coffee&oldid=653370198> [Accessed March 30, 2015].

การใช้ประโยชน์จากกากกาแฟเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงแข็ง Utilization of Spent Coffee Grounds to Produce Liquid-Fuel and Solid-Fuel

พิชัย เอี้ยวเล็ก^{1,*} และกฤษฎ สมณี²

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

^{1,*}Email : pichai.eawlex@gmail.com, ²Email : krit.s@psu.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้กล่าวถึงการใช้ประโยชน์จากกากกาแฟเพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานในรูปของเหลวและของแข็ง ซึ่งทั่วโลกมีการผลิตเมล็ดกาแฟดิบ ประมาณ 8.2 ล้านตัน/ปี เนื่องจากในปัจจุบันมีการบริโภคกาแฟในปริมาณที่สูงขึ้นทำให้เกิดกากกาแฟเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก หลังจากผ่านกระบวนการผลิตกาแฟสำเร็จรูป และแบบการชงกาแฟสด กากกาแฟกลายเป็นขยะอินทรีย์ความชื้นสูง บางส่วนของขยะชนิดนี้จะทำให้เกิดก๊าซมีเทนและส่งผลต่อสภาวะโลกร้อนได้ นักวิจัยหลายคนได้มีการศึกษาการใช้ประโยชน์จากกากกาแฟเป็นพลังงานทดแทน โดยกากกาแฟแห้งมีค่าความร้อนสูงประมาณ 19.3 MJ/kg ซึ่งพลังงานชีวมวลระดับนี้สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงแข็งได้ และพบว่าในกากกาแฟมีปริมาณน้ำมันประมาณ 7-17 wt.% ดังนั้นน้ำมันกาแฟสามารถนำมาใช้เป็นตัวดูดซับเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลว เช่น ไบโอดีเซล และผลพลอยได้จากกระบวนการสกัดน้ำมันคือ กากกาแฟไร้ไขมัน สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบชีวมวลเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงแข็งอัดเม็ด นอกจากนี้การใช้น้ำมันจากกากกาแฟจะช่วยลดการใช้วัตถุดิบเพื่อผลิตไบโอดีเซล เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันเรพซีด เนื่องจากน้ำมันกาแฟไม่ได้จัดอยู่ในกลุ่มของน้ำมันเพื่อบริโภค

คำสำคัญ: กากกาแฟ น้ำมันกาแฟ เชื้อเพลิงเหลว เชื้อเพลิงแข็ง

Abstract

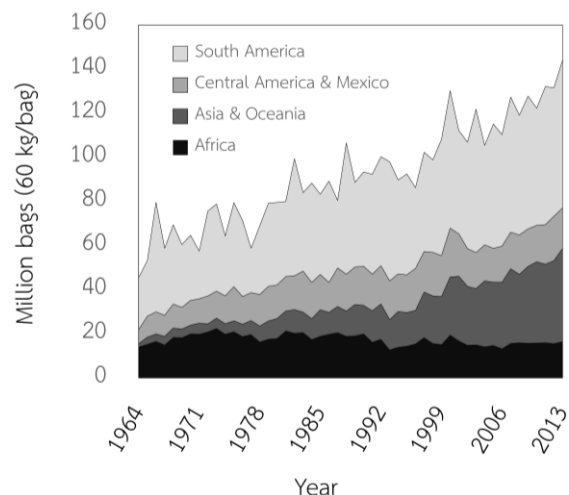
The utilization of spent coffee grounds (SCG) was discussed to produce the liquid- and solid-fuel. Based on close to 8.2 million tonnes of green coffee beans (GCB) produced globally each year. The SCG is the waste after brewing to produce an instant coffee and a fresh roasted coffee. After brewing, the high moisture content of organic wastes, SCG will be dumped. Therefore, the SCG decomposes partly to methane, and contributing more to climate change, which are the partial cause of global warming. Many researchers have studied on the utilization of SCG as the renewable energy. The 19.3 MJ/kg higher heating value (HHV) of SCG can be detected, which is the high level of biomass energy, and can be directly converted to solid fuel. The oil of 7 to 17 wt.% were found in SCG, therefore, it can be used as the feedstock to produce the biodiesel (for liquid-fuel). The by-product after oil extraction process, the defatted spent coffee grounds (DFSCG) can be used as the biomass resource to produce the pellets (for solid-fuel). In addition to the use of oil from SCG will lessen competition with food resources

(crude palm oil, coconut oil, and rapeseed oil) for biodiesel production.

Keywords: spent coffee grounds, coffee oil, liquid-fuel, solid-fuel

1. บทนำ

การบริโภคกาแฟเพิ่มขึ้นประมาณศตวรรษที่ 16 และได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นตลอดมาโดยจะเห็นได้จากปริมาณการผลิตเมล็ดกาแฟที่เพิ่มขึ้นทั่วโลกตลอดระยะเวลา 50 ปีที่ผ่านมา ดังแสดงในรูปที่ 1 [1] จากข้อมูลองค์การกาแฟระหว่างประเทศ (International Coffee Organization, ICO) ระหว่างปี พ.ศ. 2556-2557 มีปริมาณเมล็ดกาแฟค้าขายในตลาดโลกประมาณ 8.2 ล้านตัน [2] สำหรับประเทศไทยการบริโภคกาแฟเริ่มแพร่หลายในกรุงรัตนโกสินทร์ สมัยรัชกาลที่ 4 และมีความนิยมเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ จากข้อมูลกระทรวงพาณิชย์ ในปี พ.ศ. 2557 ประเทศไทยมีความต้องการใช้เมล็ดกาแฟ 75,000 ตัน มีความสามารถปลูกได้ 37,366 ตัน (มีผลผลิตเป็นอันดับที่ 19 ของโลก) ส่วนที่เหลือต้องพึ่งพานำเข้าจากเวียดนามและอินโดนีเซีย [3] จากความนิยมบริโภคและความต้องการเมล็ดกาแฟที่เพิ่มมากขึ้น สร้างกากกาแฟเหลือทิ้งกลายเป็นขยะอินทรีย์ความชื้นสูงซึ่งยากต่อการจัดการ อาจเกิดปัญหาเรื่องเชื้อรา กลิ่น น้ำเสีย และก๊าซเรือนกระจกจากการหมักที่บด แต่ประโยชน์ของกากกาแฟคือ กากกาแฟมีคุณสมบัติด้านการนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานชีวมวล ทั้งในรูปแบบของแข็งและของเหลว เนื่องจากกากกาแฟมีองค์ประกอบค่าพลังงานความร้อนสูง และมีน้ำมันในกากกาแฟประมาณ 7-17 wt.% [4] บทความฉบับนี้จึงได้รวบรวมการศึกษางานวิจัยเพื่อเป็นพื้นฐานในการวิจัยด้านการนำกากกาแฟไปใช้ประโยชน์ด้านพลังงาน



รูปที่ 1 ปริมาณการผลิตเมล็ดกาแฟ [1]

2. ลักษณะกากกาแฟ

ประเภทกาแฟที่นิยมปลูกมีเพียง 2 สายพันธุ์หลักๆ ได้แก่ พันธุ์อาราบิก้า (*Coffea arabica* L.) และ พันธุ์โรบัสตา (*Coffea canephora*, var. *Robusta*) โดยความแตกต่างของกาแฟทั้งสองชนิดนี้คือ สายพันธุ์อาราบิก้าเจริญเติบโตได้ดีในที่อากาศเย็นจึงต้องปลูกในพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 600–2,200 เมตร ปริมาณน้ำฝน 1,200–2,200 มิลลิเมตร/ปี ที่อุณหภูมิประมาณ 15–24 °C มีกลิ่นหอมมากกว่า ความขมน้อยกว่า และมีปริมาณคาเฟอีนน้อยกว่าสายพันธุ์โรบัสตาสองเท่า ส่วนกาแฟพันธุ์โรบัสตาสามารถปลูกได้ทุกพื้นที่ที่มีฝนตกชุก อากาศร้อนชื้น ความสูงจากระดับน้ำทะเล ประมาณ 0–800 เมตร มีปริมาณน้ำฝน 2,200–3,000 มิลลิเมตร/ปี อุณหภูมิประมาณ 18–36 °C ผู้ผลิตกาแฟมักจะนำกาแฟพันธุ์อาราบิก้ามาผสมกับพันธุ์โรบัสตาเพื่อเพิ่มความหอม [5] ทั้งสองสายพันธุ์สามารถสกัดน้ำมันกาแฟได้จากทั้งเมล็ดกาแฟดิบ (green coffee bean, GCB) และกาแฟคั่ว (roasted coffee bean, RCB) โดยปริมาณน้ำมันในเมล็ดกาแฟอาราบิก้า จะมีปริมาณมากกว่าโรบัสตา [4] ในขั้นตอนการผลิตกาแฟ หลังจากเมล็ดกาแฟสด (GCB) ผ่านการคั่วแล้ว จะได้เมล็ดกาแฟคั่ว (roasted coffee bean, RCB) เมล็ดกาแฟคั่วจะถูกนำมาแปรรูปเป็นน้ำกาแฟและเข้าสู่กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) เพื่อผลิตเป็นกาแฟของสำเร็จรูป และบดละเอียดเพื่อใช้ในการชงกาแฟสดโดยนิยมใช้เครื่องชงกาแฟแบบเอสเปรสโซ คือการผ่านน้ำร้อนอุณหภูมิ 88±2 °C และความดันสูง 9±1 bar ลงบนผงกาแฟเพื่อสกัดน้ำกาแฟไปใช้งาน ภายในเครื่องมีเศษเหลือทิ้งคือกากกาแฟ (spent coffee grounds, SCG) โดยมีองค์ประกอบทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 1 [6]

3. การใช้ประโยชน์ด้านพลังงาน

จากคุณสมบัติที่ให้พลังงานความร้อนสูงกว่าชีวมวลชนิดอื่นๆ และมีปริมาณขี้เถ้า (ash) ต่ำประกอบกับมีองค์ประกอบของน้ำมันผสมอยู่ในกากกาแฟ ทำให้มีโอกาสในการพัฒนากากกาแฟให้เป็นพลังงานทางเลือกทั้งแบบเชื้อเพลิงแข็งและเชื้อเพลิงเหลว ซึ่งได้แสดงแผนผังการนำกากกาแฟมาใช้ประโยชน์ด้านพลังงาน ตามรูปที่ 2

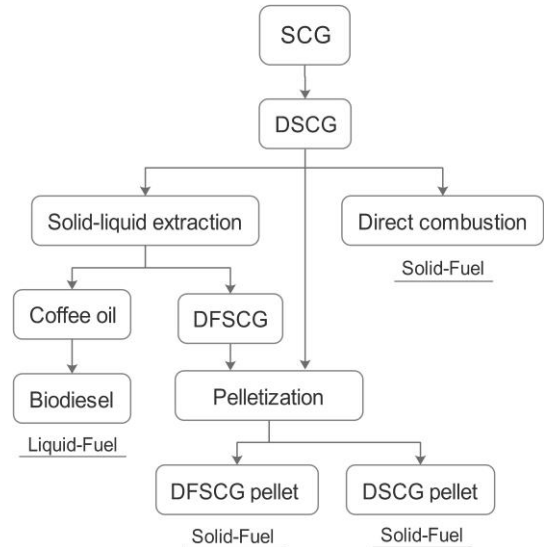
ตารางที่ 1 คุณสมบัติของ SCG และ DFSCG [6]

Characterization	SCG	DFSCG
Higher heating value (MJ/kg)	19.3	19.0
Moisture (wt.%)	65.7	9.4
Total carbon (wt.%)	67.3	12
Total nitrogen (wt.%)	2.2	2.0
Protein (wt.%)	13.7	12.3
Ash (wt.%)	2.2	1.7
Cellulose (wt.%)	13.8	15.3
Klason lignin (wt.%)	31.9	30.9
Soluble lignin (wt.%)	1.7	1.6
Total lignin (wt.%)	33.6	32.5

3.1 การเผาไหม้โดยตรง

กากกาแฟมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่เผาไหม้ให้พลังงานความร้อนสูง ประกอบกับมีปริมาณขี้เถ้าที่ต่ำ ปัจจุบันมีการใช้กากกาแฟเผาไหม้โดยตรงในเตาเผาของหม้อไอน้ำในโรงงานผลิตกาแฟสำเร็จรูป เนื่องจากมีกากกาแฟเป็นวัสดุเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ซึ่งง่ายต่อการจัดการ ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง การกำจัดและช่วยลดต้นทุนด้านพลังงานในการผลิต Silva และคณะ [7] ทดสอบการเผาไหม้ของกากกาแฟ

เหลือทิ้งจากโรงงานในประเทศบราซิลโดยให้ความร้อนกับหม้อต้มน้ำด้วยการเผากากกาแฟพบว่า กากกาแฟใช้งานได้เทียบเท่าชีวมวลชนิดอื่นๆ และหากการกำจัดความชื้นออกจากกากกาแฟก่อนจะทำให้ประสิทธิภาพของหม้อต้มน้ำเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2 แผนผังการใช้ประโยชน์จากกากกาแฟเป็นเชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงแข็ง

3.2 เชื้อเพลิงอัดเม็ดจาก SCG และ DFSCG

เนื่องจากเชื้อเพลิงอัดเม็ด (pellet fuel) มีลักษณะที่ง่ายต่อการจัดเก็บ การขนส่ง รวมทั้งมีมาตรฐานกำหนดคุณลักษณะที่ชัดเจนง่ายต่อการนำไปใช้งานสำหรับเตาเผามาตรฐาน อีกทั้งกากกาแฟมีคุณสมบัติเหมาะสมเป็นวัตถุดิบผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด ดังแสดงในตารางที่ 2 [8,9] จึงมีการศึกษาและทดสอบเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกากกาแฟโดย Limousy และคณะ [10] ทำการศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตจากกากกาแฟเพียงอย่างเดียวเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากขี้เลื่อยไม้สน และกากกาแฟผสมขี้เลื่อยจากไม้สนในอัตราส่วนที่กำหนด จากนั้นทดสอบการใช้งานในหม้อน้ำขนาด 12 kW พบว่า เชื้อเพลิงที่อัดเม็ดทำจากกากกาแฟ, ขี้เลื่อยไม้สน และ กากกาแฟผสมขี้เลื่อยไม้สน มีค่าความร้อนเท่ากับ 19.55, 19.23 และ 19.63 MJ/kg ตามลำดับ ในขณะที่ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และปริมาณเขม่าในก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกากกาแฟมีค่ามากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งกล่าวได้ว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกากกาแฟผสมขี้เลื่อย มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากขี้เลื่อยทั่วไป แต่จากค่าความร้อนและความหนาแน่นที่แตกต่างกันของกากกาแฟและขี้เลื่อยทำให้การผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดและการใช้งานในหม้อน้ำอาจต้องศึกษาปรับแต่งอัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่ออากาศ และประเภทเตาเผาไหม้ที่เหมาะสม อีกทั้งกรณีกากกาแฟที่เหลือจากการสกัดน้ำมันยังคงมีคุณสมบัติในการเป็นวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิง ซึ่งควรมีการศึกษานำไปประยุกต์ใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็ง เนื่องจากค่าความร้อนของ DFSCG ก็ยังมีค่าที่สูง ถึงแม้ว่าจะถูกสกัดน้ำมันออกไปแล้ว ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด [8,9]

คุณสมบัติ	SCG	DFSCG
ค่าความร้อน (HHV) ไม่ควรต่ำกว่า 12.55 MJ/kg	19.3	16
คาร์บอนคงตัว (fixed carbon) ไม่ควรต่ำกว่า 15 wt.%	19.83	12
เถ้า (ash) ไม่ควรเกิน 20 wt.%	2.2	1.65

กำมะถันรวม (total sulfur) ไม่ควรเกิน 2 wt.%	0	14
ไม่มีสารสารออกซิไดเซอร์ (oxidizer)	n/a	n/a
ไม่มีสารที่ก่อให้เกิดการระเบิดเมื่อถูกทำให้ร้อน	n/a	n/a
ไม่มีสารกัดกร่อนที่เป็น strong oxidizing agent	n/a	n/a

ตารางที่ 3 การทดสอบใช้งานเชื้อเพลิงอัดเม็ดในหม้อต้ม [10]

คุณสมบัติ	SCG	Pine sawdust	Blend 50:50
CO (ppm/vol)	11.8	7.9	6.7
Particles (mg/Nm ³)	17.5	14.2	13.9
HHV (MJ/kg)	19.6	19.2	19.6
Boiler combustion efficiencies (%)	86.3	90.8	91.9

3.3 การสกัดน้ำมันและการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกากกาแฟ

3.3.1 การสกัดน้ำมัน

การสกัดน้ำมันจากกากกาแฟจะจัดอยู่ในประเภทการสกัดด้วยวิธีของแข็ง-ของเหลว (solid-liquid extraction) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าการชะ (leaching) คือ การละลายส่วนประกอบที่ต้องการออกจากของผสมแข็งด้วยตัวทำละลายของเหลว สำหรับกรณีที่มีส่วนประกอบที่ต้องการละลายอยู่ในผิวของแข็งที่ไม่ละลาย เป็นเพียงกระบวนการชะน้ำมันออกด้วยตัวทำละลาย [11] เมล็ดกาแฟที่ผลิตในภูมิภาคต่างๆมีปริมาณน้ำมันเฉลี่ยประมาณ 7-17 wt.% [4] การสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ (SCG) กำลังเป็นที่สนใจในศึกษาในหลายประเทศ ปัจจุบันมีงานวิจัยที่ศึกษาและทดสอบความสามารถในการสกัดน้ำมันจาก SCG ในระดับห้องปฏิบัติการโดยใช้ตัวทำละลายหลายประเภท เช่น hexane, isopropanol, pentane และ acetone เป็นต้น ทีมวิจัยของ Ferrari และคณะ [12] ได้ศึกษาการสกัดน้ำมันจากเมล็ดกาแฟคั่ว (roasted coffee bean, RCB) ของทั้งเมล็ดกาแฟพันธุ์อาราบิก้าและพันธุ์โรบัสต้า โดยใช้สารละลาย pentane ทำการสกัดด้วยวิธี Soxhlet extraction เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่า กากกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้าและสายพันธุ์โรบัสต้าให้น้ำมัน 16.5±0.4 wt.% และ 9.2±0.1 wt.% ตามลำดับ Al-Hamamre และคณะ [13] ได้ทำการศึกษากการสกัดน้ำมันจาก SCG จากตัวทำละลายแบบมีขั้ว (polar) และไม่มีขั้ว (non-polar) ด้วย Soxhlet extraction ใช้เวลาสกัด 30 นาที ด้วยตัวทำละลายแบบไม่มีขั้ว (pentane, hexane, toluene และ chloroform) ได้ปริมาณน้ำมัน 15.18, 15.28, 14.32 และ 8.60 wt.% ตามลำดับ และ ตัวทำละลายแบบมีขั้ว (acetone, isopropanol และ ethanol) ได้ปริมาณน้ำมัน 12.92, 10.68 และ 9.18 wt.% ตามลำดับ และมีทีมวิจัยอื่นๆ ที่ได้ศึกษาการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟซึ่งได้สรุปเงื่อนไขการสกัดน้ำมันด้วยเงื่อนไขต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4 [13-15] ในขณะที่ Thawomprasert และคณะ [16] ทดสอบสกัดด้วยวิธีกวนผสมโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซนอุตสาหกรรม พบว่าอัตราส่วนโดยมวลของกากกาแฟต่อเฮกเซน 1:15 g/g สามารถสกัดน้ำมันได้สูงสุด 14.0 wt.% และ Eawlex และ Somnuk [17] ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดอัตราส่วนโดยมวลของกากกาแฟกับเฮกเซนและเวลาในการสกัดด้วยเทคนิค response surface methodology (RSM) พบว่าอัตราส่วนกากกาแฟต่อเฮกเซน 1:22.5 g/g เวลา 30.4 นาที สามารถสกัดน้ำมันได้สูงสุด 14.75 wt.% ทั้งนี้ Vardon และคณะ [18], Caetano และคณะ [6], Todaka และคณะ [19] ศึกษาสมบัติน้ำมันจากการสกัดในลักษณะใกล้เคียงกันด้วยวิธี Soxhlet extraction โดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย ขณะที่ Abdullah และคณะ [20] ศึกษาใช้เฮกเซนและคลีนเสี่ยอัลตราโซนิคในการสกัด โดยคุณสมบัติน้ำมันสกัด ได้แสดงดังในตารางที่ 5

3.3.2 การผลิตไบโอดีเซล

จากกากกาแฟที่มีปริมาณไตรกลีเซอไรด์ Caetano และคณะ [6] ศึกษาการสกัดน้ำมันกากกาแฟด้วยตัวทำละลาย hexane และ isopropanol ที่อัตราส่วนและความเข้มข้นต่างๆ เพื่อทดสอบปริมาณน้ำมันที่สามารถสกัดได้ จากนั้นเข้าสู่กระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบสองขั้นตอนโดยใช้แอลกอฮอล์ประเภทเมทานอล และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60°C ความเร็วรอบกวนผสม 80 รอบ/นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง สามารถผลิตไบโอดีเซลได้ความบริสุทธิ์ 86% Todaka และคณะ [19] ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกากกาแฟ น้ำมันสบู่ดำ และ น้ำมันเรพซิด ด้วย methanol, ethanol, 1-propanol และ 1-butanol โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าไบโอดีเซลจากน้ำมันกากกาแฟที่ใช้ 1-butanol มีคุณสมบัติในด้านเชื้อเพลิงที่ดี, มีความเสถียรต่ออุณหภูมิ (thermal stability) และ ทนต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี โดยคุณสมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันกากกาแฟได้แสดงในตารางที่ 6

4. บทสรุป

การบริโภคกาแฟมีแนวโน้มได้รับความนิยมอย่างต่อเนื่องในอนาคต ด้วยศักยภาพของผู้ผลิตและความเสถียรของตลาด จะทำให้มีกากกาแฟจำนวนมากเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องซึ่งเป็นผลดีสำหรับการใช้กากกาแฟเพื่อผลิตพลังงานทางเลือก ประกอบกับกากกาแฟมีปริมาณคาร์บอนคงที่สูง (fixed carbon) ส่งผลให้ค่าความร้อนสูง (heating value) สำหรับน้ำมันสกัดจากกากกาแฟมีคุณสมบัติสามารถเปลี่ยนโครงสร้างจากไตรกลีเซอไรด์เป็นเอสเทอร์หรือไบโอดีเซลได้และยังสามารถนำกากที่เหลือทิ้งที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วปรับปรุงเป็นเชื้อเพลิงแข็งได้ จากผลการค้นคว้าและรวบรวมงานวิจัยข้างต้นนี้ แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติด้านปริมาณและด้านพลังงานของกากกาแฟที่มีความเป็นไปได้ในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงแข็งและเชื้อเพลิงเหลวจากขยะกากกาแฟเหลือทิ้ง ซึ่งสามารถวิจัยปรับปรุงประสิทธิภาพและการนำไปใช้เป็นพลังงานทางเลือกที่อาจจะมีศักยภาพได้ในอนาคต

ตารางที่ 4 การทดสอบสกัดน้ำมันกากกาแฟ

Extraction method	Time (min)	Type of solvent	Solvent to SCG (mL/g)	Yield (wt.%)	Ref.
Ultrasound	45	hexane	4.0:1	12	[14]
Soxhlet	30	pentane	4.2:1	15.18	[13]
Soxhlet	30	hexane	4.2:1	15.28	[13]
Soxhlet	30	toluene	4.2:1	14.32	[13]
Soxhlet	40	chloroform	4.2:1	11.15	[13]
Soxhlet	30	acetone	4.2:1	12.92	[13]
Soxhlet	50	isopropanol	4.2:1	10.92	[13]
Soxhlet	40	ethanol	4.2:1	11.9	[13]
Soxhlet	180	50:50 (hex:iso)	20:01	21.5	[15]
Soxhlet	408	isopropanol	20:01	21	[15]
Soxhlet	150	80:20 (hex:iso)	20:01	19.5	[15]
Soxhlet	570	n-octane	20:01	26	[15]
Soxhlet	n/a	hexane	20:01	16	[15]
Soxhlet	n/a	ethanol	20:01	16	[15]
Soxhlet	n/a	60:40 (hex:iso)	20:01	17	[15]
Soxhlet	n/a	70:30 (hex:iso)	20:01	21	[15]
Soxhlet	n/a	heptane	20:01	18	[15]

ตารางที่ 5 คุณสมบัติน้ำมันกากกาแฟ

คุณสมบัติ	[15]	[18]	[6]
Color	Dark brown	Dark brown	Dark brown

Moisture (%)	-	-	0.118
HHV (MJ/kg)	-	-	40.8
Density at 15°C (kg/m ³)	941	904.2	912
Viscosity 40°C (mm ² /s)	49.64	33.92	39.8
Acid value (mg KOH/g)	11.27	8.0	9.9
Iodine value (g Iodine/g)	-	-	0.476

ตารางที่ 6 คุณสมบัติไบโอดีเซลจากน้ำมันกาแฟเปรียบเทียบกับมาตรฐาน

คุณสมบัติ	[6]	[15]	[18]	EN 14214
Color	brown	brown	brown	
Appearance	Liquid	Liquid	Liquid	
Reaction yield (wt.%)	37.3	60.5	-	
Water content (ppm)	2708	-	632	< 500
Iodine value (g I ₂ /100 g)	70.0	2.14	-	< 120
Acid value (mg KOH/g)	1.9	-	0.11	< 0.5
Methyl ester content (wt.%)	86.0	69.3	-	> 96.5

เอกสารอ้างอิง

[1] International Coffee Organization, "World coffee trade (1963 – 2013): A review of the markets, challenges and opportunities facing the sector," 2014. [Online]. Available: <http://www.ico.org/news/icc-111-5-r1e-world-coffee-outlook.pdf>. [Accessed: 05-Sep-2015].

[2] International Coffee Organization, "Annual Review 2013-2014," 2015. [Online]. Available: <http://dev.ico.org/documents/cy2014-15/annual-review-2013-14-electronic-e.pdf>. [Accessed: 05-Sep-2015].

[3] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, "ภาพรวมสภาพการผลิต การตลาด และราคาในประเทศ," 2014. [Online]. Available: http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=17878&filename=index. [Accessed: 05-Sep-2015].

[4] K. Speer and I. Kölling-Speer, "The lipid fraction of the coffee bean," *Braz. J. Plant Physiol.*, vol. 18, no. 1, pp. 201–216, 2006.

[5] Rivera Joseph coffeechemistry.com, "Differences: Arabica and Robusta Coffee," 2015. [Online]. Available: http://www.coffeechemistry.com/agriculture/differences-between-arabica-and-robusta-coffee.html#disqus_thread. [Accessed: 05-Sep-2015].

[6] N. Caetano, V. Silva, A. Melo, A. Martins and T. Mata, "Spent coffee grounds for biodiesel production and other applications," *Clean Technol. Environ. Policy*, vol. 16, no. 7, pp. 1423–1430, 2014.

[7] M. Silva, S. Nebra, M. Machado Silva and C. Sanchez, "The use of biomass residues in the Brazilian soluble coffee industry," *Biomass Bioenergy*, vol. 14, no. 5–6, pp. 457–467, 1998.

[8] กรมโรงงานอุตสาหกรรม, คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบล็อกประสาน. กรุงเทพฯ: 2013.

[9] J. Bok, H. Choi, Y. Choi, H. Park and S. Kim, "Fast pyrolysis of coffee grounds: Characteristics of product yields and biocrude oil quality," *Energy*, vol. 47, no. 1, pp. 17–24, 2012.

[10] L. Limousy, M. Jeguirim, P. Dutournié, N. Kraiem, M. Lajili

and R. Said, "Gaseous products and particulate matter emissions of biomass residential boiler fired with spent coffee grounds pellets," *Fuel*, vol. 107, pp. 323–329, May, 2013.

[11] ไชยเรืองศรี ธรณินทร์, การสกัดของแข็ง-ของเหลว. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์, 2549.

[12] M. Ferrari, F. Ravera, E. De Angelis, F. Liverani and L. Navarini, "Interfacial properties of coffee oils," *Colloids Surf, A*, vol. 365, no. 1–3, pp. 79–82, 2010.

[13] Z. Al-Hamamre, S. Foerster, F. Hartmann, M. Kröger and M. Kaltschmitt, "Oil extracted from spent coffee grounds as a renewable source for fatty acid methyl ester manufacturing," *Fuel*, vol. 96, pp. 70–76, Jun. 2012.

[14] M. Rocha, L. de Matos, L. Lima, P. Figueiredo, I. Lucena, F. Fernandes and L. Gonçalves, "Ultrasound-assisted production of biodiesel and ethanol from spent coffee grounds," *Bioresour. Technol.*, vol. 167, pp. 343–348, Sep. 2014.

[15] N. Caetano, V. Silva, and T. M. Mata, "Valorization of coffee grounds for biodiesel production," *Chem. Eng. Trans.*, vol. 26, pp. 267–272, May. 2012.

[16] J. Thawornprasert, T. Suwanwipakorn, P. Eawlex and K. Somnuk. "A study of extraction process from spent coffee grounds with solvent and extraction time," In *Proc. of the 16th Thai Society of Agricultural Engineer Nat. Conf.*, Bangkok, Thailand, 2015, pp. 390–392.

[17] P. Eawlex and K. Somnuk, "Optimization of solid-to-solvent ratio and time for oil extraction process from spent coffee grounds using response surface methodology," *ARPN J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 10, no. 16, pp. 7049–7052. 2015.

[18] D. Vardon, B. Moser, W. Zheng, K. Witkin, R. Evangelista, T. Strathmann, K. Rajagopalan and B. Sharma "Complete utilization of spent coffee grounds to produce biodiesel, bio-oil, and biochar," *ACS Sustainable Chem. Eng.*, vol. 1, no. 10, pp. 1286–1294, 2013.

[19] M. Todaka, W. Kowhakul, H. Masamoto, M. Shigematsu and S. Onwona-Agyeman, "Thermal decomposition of biodiesel fuels produced from rapeseed, jatropha, and coffee oils with different alcohols," *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 113, no. 3, pp. 1355–1361, 2013.

[20] M. Abdullah and A. Bulent Koc, "Oil removal from waste coffee grounds using two-phase solvent extraction enhanced with ultrasonication," *Renew Energy*, vol. 50, pp. 965–970, Feb. 2013.



เกี่ยวกับผู้เขียน

นายพิชัย เอี้ยวเล็ก นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



เกี่ยวกับผู้เขียน

ดร.กฤษ สมนึก อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์