

เอกสารอ้างอิง

1. Kiwjaroun, C., Tubtimdee, C. and Piumsomboon, P., 2009, "LCA Studies Comparing Biodiesel Synthesized by Conventional and Supercritical Methanol Methods", **Journal of Cleaner Product**, Vol. 17, No. 2, pp. 143-153.
2. Dennis, Y.C., Wu, X. and Leung, M.K.H., 2010, "A Review on Biodiesel Production Using Catalyzed Transesterification", **Applied Energy**, vol 87, No. 4, pp. 1083-1095
3. Demirbas, A., 2005, "Biodiesel Production from Vegetable Oils Via-catalytic and Non-catalytic Supercritical Methanol Transesterification Methods", **Journal of Applied Phycology**, Vol. 31, No. 5-6, pp. 466-487.
4. ภัทษานุกร รัตไชยดำรง และ จุฑาทิพย์ เสนียังศ์ ณ อยุธยา, 2548, **สมุดคำพืชพลังงานทดแทน, สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม, กรุงเทพฯ, หน้า 16-36**
5. พรชัย เหลืองอาภาวงศ์, 2549, **สมุดคำเพื่อไบโอดีเซล, สำนักพิมพ์มติชน, กรุงเทพฯ, หน้า 7-42**
6. รักษ์ พฤษชาติ, 2549, **การปลูกและการพัฒนาสมุดคำเพื่อทดแทนน้ำมันดีเซล, สำนักพิมพ์ นีออน บั๊ค มีเดีย, กรุงเทพฯ, หน้า 15-23**
7. Lui X., He, H., Wang, Y., Zhu, S. and Piao, X., 2008, "Transesterification of Soybean Oil to Biodiesel using CaO as a Solid Base Catalyst", **Fuel**, vol 87, No. 2, pp. 216-221
8. Chung, K.H., 2010, "Transesterification of Camellia Japonica and Vernicia Fordii Seed Oils on Alkali Catalysts for Biodiesel Production", **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, Vol. 16, No. 4, pp. 508-509.
9. Kim, H.J., Kang and al., 2004, "Transesterification of Vegetable Oil to Biodiesel Using Heterogeneous Base Catalyst", **Catalyst Today**, Vol. 93-95, No. 1. pp. 315-320.

10. Prueksakorn, K., Gheewala, S.H., Mlakul, P. and Bonnet, S., 2010, "Energy Analysis of Jatropha Plantation Systems for Biodiesel Production in Thailand", **Energy for Sustainable Development**, Vol. 14, No. 1. pp. 1-5.
11. Vyas, A.P., Subrahmanyam, N. and Patel P.A., 2009, "Production of Biodiesel through Transesterification of Jatropha Oil Using $\text{KNO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ ", **Fuel**, Vol. 88, No. 4. pp. 625-628.
12. Hawash, S., Kamal, N., Diwani G., Zaher F. and Kenaw, O., 2009, "Biodiesel Fuel from Jatropha Oil Via Non-catalytic Supercritical Methanol Transesterification", **Biomass and Bioenergy**, Vol. 88, No. 3, pp. 113-118.
13. Demirbas, A., 2009, "Production of Biodiesel Fuels from Linseed Oil using Methanol and Ethanol in non-Catalytic SCF Conditions", **Biomass and Bioenergy**, Vol. 33, No. 1, pp. 113-118.
14. Kok, T.T., Keat, T.L., and Abdul, R.M., 2009, "Production of FAME by Palm Oil Transesterification Via Supercritical Methanol Technology", **Biomass and Bioenergy**, Vol. 33, No. 8, pp. 1096-1099.
15. Kok, T.T., Meei, M.G., and Keat, T.L., 2010, "An Optimized Study of Methanol and Ethanol in Supercritical Alcohol Technology for Biodiesel Production", **The Journal of Supercritical Fluids**, Vol. 53, No. 1-3, pp. 82-87.
16. Kusdiana, D. and Saka, S., 2004, "Effects of Water on Biodiesel Fuel Production by Supercritical Methanol Treatment", **Bioresource Technology**, Vol. 91, No. 3, pp. 289-295.
17. Kok, T.T., Keat, T.L., and Abdul, R.M., 2010, "A Glycerol-free Process to Produce Biodiesel by Supercritical Methyl Acetate Technology , An Optimiztion Study Via Response Surface Methodology", **Bioresource Technology**, Vol. 101, No. 3, pp. 965-969.

18. Ayhan Demirbas, 2009, "Biodiesel from Waste Cooking Oil Via Base-Catalytic and Supercritical Methanol Transesterification", **Energy Conversion and Management**, Vol. 50, No. 2, pp. 923-927.
19. Kusdiana, D. and Saka, S., 2001, "Kinetics of Transesterification in Rapeseed Oil to Biodiesel Fuel as treated in Supercritical Methanol", **Fuel**, Vol. 80, No. 5, pp. 693-698.
20. Patil, P., Deng, S., Rhodes, I.J. and Lammers, J.P., 2001, "Conversion of Waste Cooking Oil to Biodiesel Using Ferric Sulfate and Supercritical Methanol Processes", **Fuel**, Vol. 89, No. 2, pp. 360-364.
21. Tan, K.T., Teong K. L., Rahman, A. M., 2008, "Effects of Free Fatty Acids, Water Content and Co-Solvent on Biodiesel Production by Supercritical Methanol Reaction", **The Journal of Supercritical Fluids**, Vol. 53, No. 1-3, pp. 88-91.
22. บัญชา โลหรัตน์ และ มยุรี สุรนอดิศรวงศ์, 2009, "การผลิตโมโนกลีเซอไรด์ด้วยปฏิกิริยากลีเซอโรไลซิส"
23. Ferretti, C., Olcese, R., Apestegu, C., and Cosimo, D. I., 2011, "Monoglyceride synthesis by glycerol transesterification on solid bases", **Applied Catalysis**, Vol. 399, No. 1-2, pp. 146-153
24. Tan, K.T., Teong K, L., Rahman, A. M., 2010, "A glycerol-free process to produce biodiesel by supercritical methyl acetate technology: An optimization study via Response Surface Methodology", **Bioresource Technology**, Vol.101, No. 3, pp.965-969.
25. Saka, S., Isayama, I., 2009, "A new process for catalyst-free production of biodiesel using supercritical methyl acetate" **Fuel**, Vol. 88, No. 7, pp.1307-1313.
26. Kasteren, J.M.N., Nisworo, A.P., 2007, "A process model to estimate the cost of industrial scale biodiesel production from waste cooking oil by supercritical transesterification" **Resources, Conservation and Recycling**, Vol.50, No. 4, pp. 442-458.

27. Basha, S.A., Gopal, K. R., Jebaraj, S., 2009, "A review on biodiesel production, combustion, emissions and performance" **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Vol. 13, No. 6-7, pp. 1628-1634.
28. Tan, K.T., Gui, M.M., Lee, K.T. and Mohamed, A.R., 2010, "An optimized study of methanol and ethanol in supercritical alcohol technology for biodiesel production" **Journal of Supercritical Fluids**, Vol. 53, No. 1-3, pp. 82-87
29. Tanawan, P. and Phillip, E. S., 2008, "Assessment of Noncatalytic Biodiesel Synthesis Using Supercritical Reaction Conditions", **Ind. Eng. Chem. Res.**, Vol 47, 6801–6808
30. Yin, J.Z., Xiao, M., Song, J.B., 2008, "Biodiesel from soybean oil in supercritical methanol with co-solvent" **Energy Conversion and Management**, Vol. 49, No.5, pp. 908–912.
31. Demirbas, A., 2007, "Biodiesel from sunflower oil in supercritical methanol with calcium oxide" **Energy Conversion and Management**, Vol.48, No. 3, pp.937–941.
32. Demirbas, A., 2002, "Biodiesel from vegetable oils via transesterification in supercritical methanol", **Energy Conversion and Management**, Vol. 43, No. 17, pp. 2349–2356.
33. Saka, S. and Kusdiana, D., 2001 "Biodiesel fuel from rapeseed oil as prepared in supercritical methanol", **Fuel**, Vol. 80, No. 2, pp. 225-231.
34. Demirbas, A., 2005, "Biodiesel fuels from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods: a survey" **Energy Conversion and Management**, Vol.31, No. 5-6, pp. 466–487.
35. Gerpen, J.V., 2005, "Biodiesel processing and production", **Fuel Processing Technology**, Vol. 86, No. 10, pp. 1097– 1107.



36. Isayama, Y. and Saka, S., 2008, "Biodiesel production by supercritical process with crudebio-methanol prepared by wood gasification", **Bioresource Technology**, Vol. 99, No. 11, pp. 4775–4779.
37. Berchmans H.J., Hirata S., 2008, "Biodiesel production from crude *Jatropha curcas* L. seed oil with ahigh content of free fatty acids", **Bioresource Technology**, Vol. 99, No. 6, pp. 1716–1721.
38. Tiwari, A.K., Kumar, A. and Raheman H., 2007, "Biodiesel production from jatropha oil (*Jatropha curcas*) with high freefatty acids: An optimized process", **Biomass and Bioenergy**, Vol. 31, No. 8, pp.569–575.
39. Kasim N.S., Tsai T.H., Gunawan, S. and Ju Y.H., 2009, "Biodiesel production from rice bran oil and supercritical methanol", **Bioresource Technology**, Vol. 100, No. 8, pp.2399–2403.
40. Chena, C.H., Chena, W.H., Changa, C.J.M., Lai S.M. and Tuc, C.H., 2010," Biodiesel production from supercritical carbon dioxide extracted *Jatropha* oilusing subcritical hydrolysis and supercritical methylation", **Journal of Supercritical Fluids**, Vol. 52, No. 2, pp.228–234.
41. Demirbas, A., 2005, "Biodiesel production from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical methanol transesterification methods" **Progress in Energy and Combustion Science**, Vol.31, No. 5-6, pp.466–487.
42. Demirbas, A., 2006, "Biodiesel production via non-catalytic SCF methodand biodiesel fuel characteristics", **Energy Conversion and Management**, Vol.47, No. 15-16, pp.2271–2282.
43. Demirbas, A., 2008. "Comparison of transesterification methods for production ofbiodiesel from vegetable oils and fats", **Energy Conversion and Management**, Vol. 49, No. 1, pp.125–130.
44. He, H., Wang, T. and Zhu S., 2007," Continuous production of biodiesel fuel from vegetable oil using supercritical methanol process", **Fuel**, Vol. 86, No. 3, pp.442–447.

45. Patil, P., Deng, S., Rhodes, J.I. and Lammers, P.J., 2010, "Conversion of waste cooking oil to biodiesel using ferric sulfate and supercritical methanol processes", **Fuel**, Vol. 89, No. 2, pp.360–364.
46. Monteiro, M.R., Regina, A., Ambrozina, P., Morais L.L. and Ferreirac, G.A., 2008, "Critical review on analytical methods for biodiesel characterization", **Talanta**, Vol. 77, No. 2, pp.593–605.
47. Ilham, Z. and Saka, S., 2009, "Dimethyl carbonate as potential reactant in non-catalytic biodiesel production by supercritical method", **Bioresource Technology**, Vol. 100, No. 5, pp. 1793–1796.
48. Imahara, H., Xin, J. and Saka, S., 2009, "Effect of CO₂/N₂ addition to supercritical methanol on reactivities and fuel qualities in biodiesel production", **Fuel**, Vol.88, No. 7, pp. 1329–1332.
49. Prueksakorn, K., Shabbir, H., Malakul, P., Bonnet, S., 2010, "Energy analysis of Jatropha plantation systems for biodiesel production in Thailand", **Energy for Sustainable Development**, Vol. 14, No. 1, pp.1–5.
50. Alenezi, R., Leeke, G.A., Winterbottom, J.M., Santos, R.C.D., Khan, A.R., 2010, "Esterification kinetics of free fatty acids with supercritical methanol for biodiesel production", **Energy Conversion and Management**, Vol. 51, No. 5, pp.1055-1059.
51. Yujaroen, D., Goto, M., Sasaki, M. and Shotipruk, A., 2009, "Esterification of palm fatty acid distillate (PFAD) in supercritical methanol: Effect of hydrolysis on reaction reactivity", **Fuel**, Vol. 88, No. 10, pp.2011–2016.
52. Pleanjai, S. and Gheewala, H.S., 2009, "Full chain energy analysis of biodiesel production from palm oil in Thailand", **Applied Energy**, Vol. 86, No. 1, pp. 209–214.

53. Carvalho, C.R., Clarindo, W.R., Prac, M.M., Arau, F.S., Carels, N., 2008, "Genome size, base composition and karyotype of *Jatropha curcas* L., an important biofuel plant", **Plant Science**, Vol. 174, No. 6, pp.613-617.
54. Hegel, P., Andreatta, A., Pereda, S., Bottini, S. and Brignole, E.A., 2008, "High pressure phase equilibria of supercritical alcohols with triglycerides, fatty esters and co-solvents", **Fluid Phase Equilibria**, Vol. 266, No. 1-2, pp. 31-37.
55. Achtena, W.M.J., Verchotb, L., Frankenc, Y.J., Mathijds, E., Singhe, V.P., Aertsa, R. and Muysa, B., 2008, "Jatropha bio-diesel production and use", **Biomass and Bioenergy**, Vol. 32, No. 12, pp. 1063-1084.
56. Minami, E. and Saka, S., 2006, "Kinetics of hydrolysis and methyl esterification for biodiesel production in two-step supercritical methanol process", **Fuel**, Vol. 85, No. 17-18, pp. 2479-2483.
57. Kusdiana, D. and Saka, S., 2001, "Kinetics of transesterification in rapeseed oil to biodiesel fuel as treated in supercritical methanol", **Fuel**, Vol. 80, No. 5, pp. 693-698.
58. Shah, S., Gupta, M.N., 2007, "Lipase catalyzed preparation of biodiesel from Jatropha oil in a solvent free system", **Process Biochemistry**, Vol. 42, No. 3, pp. 409-414.
59. Qian, J., Shi, H. and Yun, Z., 2010, "Preparation of biodiesel from *Jatropha curcas* L. oil produced by two-phasesolvent extraction", **Bioresource Technology**, Vol. 101, No. 18, pp. 7025-7031.
60. Han, H., Cao, W. and Zhang, J., 2005, "Preparation of biodiesel from soybean oil using supercriticalmethanol and CO₂ as co-solvent", **Process Biochemistry**, Vol. 40, No. 9, pp. 3148-3151.

61. Vyas, A.P., Subrahmanyam N. and Patel, P.A., 2009, "Production of biodiesel through transesterification of Jatropha oil using $\text{KNO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ solid catalyst", **Fuel**, Vol. 88, No. 4, pp. 625–628.
62. Warabi, Y., Kusdiana, D. and Saka, S., 2004, "Reactivity of triglycerides and fatty acids of rapeseed oil in supercritical alcohols", **Bioresource Technology**, Vol. 91, No. 3, pp. 283–287.
63. Gui, M.M., Lee, K.T., Bhatia, S., 2009, "Supercritical ethanol technology for the production of biodiesel: Process optimization studies", **Journal of Supercritical Fluids**, Vol. 49, No. 2, pp. 286–292.
64. Rathore, V. and Madras, G., 2007, "Synthesis of biodiesel from edible and non-edible oils in supercritical alcohols and enzymatic synthesis in supercritical carbon dioxide", **Fuel**, Vol. 86, No. 17-18, pp. 2650–2659.
65. Yoo, S.J., Lee, H.S., Veriansyah, B., Kim, J., Kim, J.D. and Lee, Y.W., 2010, "Synthesis of biodiesel from rapeseed oil using supercritical methanol with metal oxide catalysts", **Bioresource Technology**, Vol. 101, No. 2, pp. 8686–8689.
66. Yin, J.Z., Xiao, M., Wang, A.Q. and Xiu, Z.L., 2008, "Synthesis of biodiesel from soybean oil by coupling catalysis with subcritical methanol", **Energy Conversion and Management**, Vol. 49, No. 12, pp. 3512–3516.
67. Varma, M.N., Deshpande, P.A. and Madras, G., 2009, "Synthesis of biodiesel in supercritical alcohols and supercritical carbon dioxide", **Fuel**, Vol. 49, No. 12, pp. 3512–3516.
68. Madras, G., Kolluru, C. and Kumar, R., 2004, "Synthesis of biodiesel in supercritical fluids", **Fuel**, Vol. 83, No. 14-15, pp. 2029–2033.
69. Marchetti, J.M. and Errazu, A.F., 2008, "Technoeconomic study of supercritical biodiesel production plant", **Energy Conversion and Management**, Vol. 49, No. 8, pp. 2160–2164.

70. Glisic, S. and Skala, D., 2009, "The problems in design and detailed analyses of energy consumption for biodiesel synthesis at supercritical conditions", **Journal of Supercritical Fluids**, Vol. 49, No. 2, pp. 293–301.
71. Imahara, H., Minami, E., Hari, S. and Saka, S., 2008, "Thermal stability of biodiesel in supercritical methanol", **Fuel**, Vol. 87, No. 1, pp. 1–6.
72. Chung, K.H., 2010. "Transesterification of Camellia japonica and Vernicia fordii seed oils on alkaline catalysts for biodiesel production", **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, Vol. 16, No. 4, pp. 506–509.
73. Song, E.S., Lim, J.W., Lee, H.S. and Lee, Y.W., 2008, "Transesterification of RBD palm oil using supercritical methanol", **Journal of Supercritical Fluids**, Vol. 44, No. 3, pp. 356–363.
74. Ilham, Z. and Saka, S., 2010, "Two-step supercritical dimethyl carbonate method for biodiesel production from *Jatropha curcas* oil", **Bioresource Technology**, Vol. 101, No. 8, pp. 2735–2740.
75. Deng, X., Fang, Z. and Liu, Y.H., 2010, "Ultrasonic transesterification of *Jatropha curcas* L. oil to biodiesel by a two-step process", **Energy Conversion and Management**, Vol. 51, No. 12, pp. 2802–2807.
76. Furukawa S., Uehara, Y. and Yamasaki, H., 2010, "Variables affecting the reactivity of acid-catalyzed transesterification of vegetable oil with methanol", **Bioresource Technology**, Vol. 101, No. 10, pp. 3325–3333.

ภาคผนวก ก

วิธีการคำนวณค่าดัชนีชี้แทนและค่าความร้อนจากการเผาไหม้

วิธีการคำนวณค่าดัชนีซีเทน (Cetane index; CI)

จากสมการที่ 3.6 และข้อมูลที่ได้จากรายงานผลการทดสอบตามคำขอบริการที่: 15-54/0298 และ 15-54/0245 จะได้ค่าของ SN = 192.13 และ IV = 97.32

$$CI = 43.3 + \frac{5458}{SN} - 0.225 IV$$

$$CI = 43.3 + \frac{5458}{192.13} - 0.225 \times 97.32$$

$$CI = 49.81$$

วิธีการคำนวณค่าความร้อนจากการเผาไหม้เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมัน

จากสมการที่ 3.7 และข้อมูลที่ได้จากรายงานผลการทดสอบตามคำขอบริการที่: 15-54/0298 และ 15-54/0245 จะได้ค่าของ SN = 192.13 และ IV = 97.32

$$HF = \left[\frac{618000}{SN} - 0.08 IV - 430 \right] \frac{SN}{56000}$$

$$HF = \left[\frac{618000}{192.13} - 0.08 \times 97.32 - 430 \right] \frac{192.13}{56000}$$

$$HF = 9.5 \text{ Mcal/Kg}$$

วิธีการคำนวณค่าความร้อนจากการเผาไหม้ของน้ำมัน

จากสมการที่ 3.8 และข้อมูลที่ได้จากรายงานผลการทดสอบตามคำขอบริการที่: บข.ค. 390/53 จะได้ค่าของ SN = 206.49 และ IV = 97.64

$$HO = \left[\frac{1896000}{SN} - 0.618IV - 1600 \right] \frac{SN}{168000} \quad \text{Kcal/kg}$$

$$HO = \left[\frac{1896000}{206.49} - 0.618 \times 97.64 - 1600 \right] \frac{206.49}{168000} \quad \text{Kcal/kg}$$

$$HO = 892.57 \text{ Kcal/Kg}$$

ภาคผนวก ข

รายงานวิจัยที่นำเสนอ ณ มหาวิทยาลัยเรศวร ณ วันที่ 29 กรกฎาคม 2554

การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำโดยใช้สภาวะแอลกอฮอล์เหนือวิกฤติ

จิรภัทร บุรพุกุลศรี¹, รัตน์ชัย ไพรินทร์², ชนกานต์ อาษาสุจริต³ และเก๋กัญญา สูดประเสริฐ¹

Biodiesel Production from Jatropha Oil by Supercritical Alcohol

Jeerapat Burapakusolsri¹, Ratarachai Pairintra², Chanakarn Arsasudjarid³ and Kaokanya Sudaprasert¹

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

²คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

³สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์แห่งชาติ

¹Department of Energy Technology, School of Energy Environmental and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi

²School of Bioresources and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi

³Thailand Institute of Scientific and Technological Research

126 Pracha-utid Road, Bangmod, Toongkru, Bangkok, 10140 Thailand Tel: 0-2470-8000 E-mail: jeerapat.bu@gmail.com

บทคัดย่อ

น้ำมันไบโอดีเซลจัดเป็นพลังงานหมุนเวียนเพราะสามารถผลิตได้จากพืชที่พบเห็นได้ทั่วไปในท้องถิ่น เช่น ปาล์ม ถั่วเหลือง มะพร้าว หรือแม้แต่เมล็ดสบู่ดำซึ่งเป็นพืชน้ำมันที่สามารถปลูกได้ทั้งในสภาพที่แห้งแล้งหรือฝนตกชุก อีกทั้งยังเป็นพืชที่มีอายุยาวนานถึง 20 ปี และให้ผลผลิตค่อนข้างคงที่ นอกจากนี้ ยังไม่ส่งผลกระทบต่อพืชบริโภคหรือพืชเศรษฐกิจอื่น ๆ เพราะไม่สามารถนำมาใช้บริโภคได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้นำเมล็ดสบู่ดำมาผลิตไบโอดีเซลที่สภาวะเหนือวิกฤติโดยเน้นการศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละของผลผลิต (%yield) ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (%FAMES) และสมบัติของไบโอดีเซลที่ได้ โดยตัวแปรที่เลือกมาพิจารณาในการผลิตประกอบด้วย 4 ตัวแปร คือ อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันสบู่ดำ อุณหภูมิ เวลาในการทำปฏิกิริยา และความบริสุทธิ์ของแอลกอฮอล์โดยมีขอบเขตของตัวแปรดังนี้ อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันอยู่ที่ 30 ถึง 60 ต่อ 1, อุณหภูมิในเตาปฏิกรณ์ 250 ถึง 350°C, ระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 30 ถึง 120 นาที และความบริสุทธิ์ของแอลกอฮอล์ร้อยละ 85 ถึง 99 จากนั้นนำน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้มาตรวจสอบความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลด้วย High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ผลการทดลองพบว่าการเพิ่มอัตราส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันสามารถเพิ่มผลิตผลของน้ำมันไบโอดีเซลให้มากขึ้นได้ เนื่องจากปฏิกิริยาสมดุลเลื่อนไปข้างหน้า นอกจากนี้ ทั้งการเพิ่มอุณหภูมิที่ช่วยเพิ่มพลังงานในระบบทำให้เกิดโอกาสการสร้างพันธะ รวมถึงการเพิ่มเวลาจะทำให้ปฏิกิริยาของไบโอดีเซลเกิดสมบูรณ์ยิ่งขึ้นและทำให้ได้ผลิตผลไบโอดีเซลเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยในกระบวนการผลิตได้ใช้สภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ อัตราส่วนแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน 30:1, อุณหภูมิที่ใช้ในเตาปฏิกรณ์ 300°C และใช้

ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 120 นาที สามารถผลิตไบโอดีเซลได้มากที่สุดถึงร้อยละ 95 และมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 ถึง 100 นอกจากนี้ ยังศึกษาผลของความบริสุทธิ์ของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาพบว่าในแอลกอฮอล์ที่มีความบริสุทธิ์ ร้อยละ 85 ถึง 95 สามารถผลิตไบโอดีเซลได้ผลิตผลสูงถึงร้อยละ 90 นอกจากนี้เมื่อตรวจสอบสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้พบว่ามีมาตรฐานใกล้เคียงกับน้ำมันไบโอดีเซลมาตรฐานชุมชนตามกรมธุรกิจพลังงาน จึงสามารถแก้ปัญหาในด้านวัตถุดิบและกระบวนการผลิต

คำสำคัญ : น้ำมันสุบุดำ, ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา, เมทานอล, ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล, สภาวะเหนือวิกฤต

Biodiesel is renewable energy because it can be made from plants, widely found in the local, such as palm, soy, coconut and even *Jatropha curcas* seed, which is oily plant that can be planted in both arid and rainy condition. *Jatropha curcas* seed exists for long term about 20 years and constantly yields. Moreover it also will not affect the consumption of plants or other crops according from being inedible plants. In this study use *Jatropha curcas* seeds as producing biodiesel by the supercritical conditions, emphasis of variables that affect the percent of yield (%yield), the percent of Methyl Ester's (%FAMES) and properties of biodiesel. Four variables, selected for consideration in the production, are the mole ratio of methanol to *Jatropha* oil, temperature, the reaction time and purity of the alcohol with the scope of the following variables. Molar ratio of alcohol to oil was 30 to 60 to 1, the temperature in the reactor 250 °C to 350°C, which takes in the reaction of 30 to 120 minutes, and purity of the alcohol 85 to 99 percent. Then biodiesel production is checked the purity of biodiesel by high performance liquid chromatography (HPLC). It was found that increasing the molar ratio of alcohol to oil will increase more biodiesel production due to the fact that Reaction equilibrium move forward. Besides, raising temperature also increases the energy of system that contributes to chances of forming bond and adding time will make biodiesel's reaction be more complete. All of that makes biodiesel yield be productive. The proper conditions are molar ratio 30:1, 300°C of temperature and 120 minute of reaction time. It was found that biodiesel production maximum is 95% and the purity of FAMES is 99 to 100%. In addition, to study the result of alcohol, used in 85 to 95% of purity, shows that the maximum of biodiesel yield is 90%. Furthermore, to check properties of produced biodiesel yield was found that the standard is close to community standard biodiesel so this reduces a problem about material and production process. Moreover, Produced biodiesel can be used as the alternative energy by replacing or mixing diesel readily.

Keywords: jatropha oil, non-catalyst, methanol, purity of biodiesle, supercritical alcohol



1. บทนำ

การใช้พลังงานส่วนใหญ่ที่ได้มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิลนั้นทำให้เกิดกาปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศมากขึ้น และพบว่าสัดส่วนของน้ำมันได้ถูกใช้ไปในปริมาณมากที่สุด เมื่อวิกฤติน้ำมันของโลกมีมากขึ้นตามลำดับ ราคาของน้ำมันดิบจึงสูงมากขึ้นเป็นประวัติการณ์และไม่มีแนวโน้มว่าจะลดลง เนื่องจากการคาดการณ์ว่าทรัพยากรน้ำมันกำลังจะหมดลงในอนาคตอันใกล้นี้ และสิ่งสำคัญคือปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่มีเพิ่มมากขึ้น อันส่งผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน ปัญหาต่างๆ เหล่านี้ทำให้มีการสรรหาพลังงานทางเลือก ซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลเป็นน้ำมันทางเลือกใหม่ที่ผลิตจากพืช หรือไขมันสัตว์ โดยน้ำมันชนิดนี้เมื่อนำมาใช้กับเครื่องยนต์แล้วพบว่ามีความสมบัติในการเผาไหม้ได้ดีไม่ต่างกับน้ำมันจากปิโตรเลียม นอกจากนั้นยังพบว่ามีความดีกว่าหลายประการ กล่าวคือ มีการเผาไหม้ที่สะอาดกว่าและไอเสียมีคุณภาพดีกว่า เพราะออกซิเจนในไบโอดีเซลทำให้เกิดการสันดาปที่สมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซลปกติ จึงมีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนน้อยกว่า และเนื่องจากไม่มีกำมะถันในไบโอดีเซล จึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพแวดล้อมทางอากาศ เช่น ฝนกรด อีกทั้งยังมีเขม่าคาร์บอนน้อย การอุดตันของระบบไอเสียจึงเกิดขึ้นยาก ช่วยยืดอายุการใช้งานได้เป็นอย่างดี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความต้องการที่จะลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและเลือกใช้วัตถุดิบที่ไม่มีผลกระทบต่อพืชอันเป็นแหล่งบริโภคหลักของมนุษย์ ทั้งนี้โดยเลือกใช้ใช้น้ำมันจากพืชที่ไม่สามารถนำมาบริโภคได้ จึงใช้ทดแทนในอุตสาหกรรมและการขนส่งได้เป็นอย่างดี

ในปัจจุบันมีการศึกษาพืชน้ำมันเพื่อนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล ซึ่งเป็นน้ำมันที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลแต่ทำจากพืชหรือไขมันสัตว์ ในประเทศไทยสามารถปลูกพืชน้ำมันได้หลายชนิด เช่น ปาล์ม ถั่วเหลือง มะพร้าว ถั่วลิสง สบู่ดำ ละหุ่ง เป็นต้น อย่างไรก็ตามในการผลิตระดับอุตสาหกรรมมักประสบปัญหาต่างๆ เช่น ปัญหาราคาวัตถุดิบ ปัญหาการเลือกพืชน้ำมันมาผลิตและปัญหาความเพียงพอของวัตถุดิบ เป็นต้น ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาความเหมาะสมของพืชน้ำมันชนิดต่างๆ ซึ่งปัญหาหลักในการผลิตไบโอดีเซล คือ ราคาวัตถุดิบในประเทศไทยส่วนใหญ่นำมาใช้ผลิตไบโอดีเซลนั้นมีราคาสูงซึ่งราคาของต้นทุนวัตถุดิบเพียงประการเดียวมีผลต่อราคาของไบโอดีเซลถึง 60% ดังนั้นจึงต้องเลือกวัตถุดิบที่มีราคาต้นทุนต่ำลง จึงจะทำให้ราคาของไบโอดีเซลสามารถแข่งขันกับราคาดีเซลที่ผลิตจากปิโตรเลียมได้ นอกจากนั้นพืชน้ำมันส่วนใหญ่ในประเทศไทยในปัจจุบันยังเป็นพืชน้ำมันที่ใช้ในการบริโภคซึ่งในอนาคตเมื่ออุตสาหกรรมไบโอดีเซลขยายตัวอาจส่งผลให้พืชที่ใช้ในการบริโภคขาดตลาดและมีราคาสูงขึ้นได้ ดังนั้นเมื่อมองในระยะยาวแล้วควรจะต้องแก้ปัญหาด้วยการเลือกใช้พืชน้ำมันที่ไม่สามารถบริโภคได้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นไบโอดีเซล ดังนั้นคณะวิจัยจึงสนใจสบู่ดำ ซึ่งเป็นพืชน้ำมันที่ไม่สามารถบริโภคได้ สามารถปลูกได้ทั้งสภาพขาดน้ำและฝนตกชุก อีกทั้งเป็นพืชที่มีอายุ

นานถึง 20 ปี และให้ผลผลิตค่อนข้างคงที่ แม้ปัจจุบันเมล็ดสบู่ดำยังมีราคาแพงแต่ในระยะยาวสบู่ดำอาจมีโอกาสดูถูกพัฒนาเป็นพืชน้ำมันเพื่อนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงซึ่งอาจส่งผลให้ต้นทุนของวัตถุดิบต่ำลงอีกด้วย

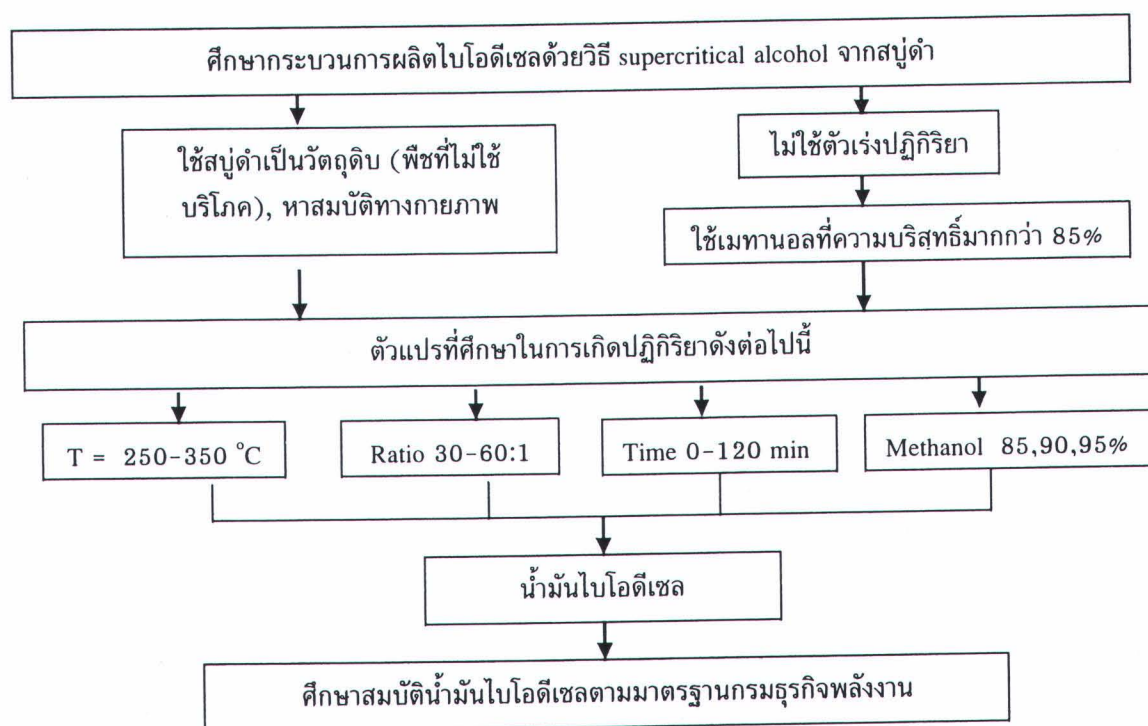
กระบวนการผลิตไบโอดีเซลสามารถทำได้หลายวิธีซึ่งวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบันมักเป็นกระบวนการทางเคมี (ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน, Transesterification) โดยการเติมแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอลหรือเอทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยาต่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของน้ำมันที่เป็นไตรกลีเซอไรด์ให้เกิดเป็นเอสเทอร์ เรียกว่า ไบโอดีเซล และในขณะเดียวกัน จะได้ผลพลอยได้คือกลีเซอริน ออกมาด้วย ซึ่งในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันนั้นกลีเซอรินที่ได้ออกมานั้นเป็นปัญหาในการกำจัดอย่างมาก เนื่องจากมีความบริสุทธิ์ต่ำและยังเกิดน้ำเสียมากในกระบวนการ อีกทั้ง หากน้ำมันตั้งต้นมีค่าความเป็นกรดสูง ($\text{FFA} > 3\%$) จะไม่สามารถทำปฏิกิริยาได้ เนื่องจากจะทำให้เกิดปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชัน (Saponification) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาข้างเคียงที่ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสบู่ทำให้ผลผลิตของไบโอดีเซลลดลง และไบโอดีเซลที่ผลิตได้ต้องนำมาล้างน้ำปริมาณมากเพื่อให้น้ำมันไบโอดีเซลสะอาดพอที่จะนำไปใช้งานต่อไปซึ่งจะก่อให้เกิดน้ำเสียขึ้นในกระบวนการ นอกจากนั้นยังเกิดกลีเซอรินซึ่งมีความบริสุทธิ์ต่ำ (น้อยกว่า 40%) และในปัจจุบันยังหาวิธีกำจัดไม่ได้ ปัญหาที่เกิดขึ้นข้างต้นนี้สามารถแก้ด้วยการเปลี่ยนมาใช้กระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้สภาวะเหนือจุดวิกฤติโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

การผลิตไบโอดีเซลด้วยสภาวะเหนือจุดวิกฤติโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิและความดันสูง น้ำมันสบู่ดำดิบจะถูกเมทานอลซึ่งอยู่ในสภาวะเหนือวิกฤติที่มีพลังงานสูงสามารถเข้าแทรกกระหว่างโมเลกุลของน้ำมันจึงเกิดปฏิกิริยาได้ทำให้มีข้อดีหลายประการ เช่น ในกระบวนการผลิตที่น้ำมันพืชที่มีค่าความเป็นกรดและปริมาณน้ำ (Water content) สูง หากใช้วิธีทางเคมีในการผลิตไบโอดีเซลมักจะพบปัญหาจากปฏิกิริยาข้างเคียงได้ ดังนั้นการผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธีสภาวะเหนือจุดวิกฤติโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิและความดันสูงจึงสามารถแก้ปัญหาด้านคุณภาพของวัตถุดิบได้อีกด้วย นอกจากนั้นของเสียจากกระบวนการดังกล่าว เช่น กลีเซอรินยังมีความบริสุทธิ์ค่อนข้างสูง นอกจากนั้นทางคณะวิจัยได้สนใจการผลิตไบโอดีเซลด้วยเมทานอลที่มีความบริสุทธิ์น้อยกว่า 99% ซึ่งพบว่าน้ำมันมีส่วนช่วยให้เกิดไบโอดีเซลได้ดีขึ้น (Kusdiana, D. and Saka, S., 2547) ดังนั้นปัญหาเรื่องวัตถุดิบที่มีความชื้นสูงและค่าความเป็นกรดสูงจะไม่ส่งผลเสียต่อการเกิดปฏิกิริยาด้วยกระบวนการผลิตนี้ งานวิจัยนี้จึงออกแบบกระบวนการการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิและความดันสูงโดยอุณหภูมิที่ใช้จะต้องสูงกว่าจุดเหนือวิกฤติของเมทานอล คือ มากกว่า 250°C และความดันต้องมากกว่า 80 บาร์ โดยทางคณะวิจัยต้องการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเกิดปฏิกิริยา โดยทำ

การเปลี่ยนแปลงค่าต่าง ๆ ในการทดลอง เช่น อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน อุณหภูมิ เวลา และผลของความบริสุทธิ์ของเมทานอล โดยคาดหวังว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้จะมีคุณภาพใกล้เคียงกับมาตรฐานเชิงพาณิชย์

2. วัตถุประสงค์ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำภายใต้เมทานอลเหนือจุดวิกฤติที่สภาวะต่าง ๆ เช่นที่สัดส่วน โมลของเมทานอลต่อน้ำมันแตกต่างกัน และในช่วงอุณหภูมิในช่วงเหนือจุดวิกฤติของแอลกอฮอล์ที่ 250°C ถึง 350°C และทำปฏิกิริยาในความดันสูงถึง 8.0-20.0 MPa (1 Mpa = 10 Bars) ณ เวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ กันโดยมีขั้นตอนดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

2.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์

การสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี คือ 1. การสกัดทางเคมี 2. การสกัดทางกล ในการสกัดด้วยวิธีการใช้สารเคมี (hexane) จะได้ปริมาณน้ำมันดิบมากกว่าแต่จะมีราคาแพงดังนั้นจึงเลือกวิธีหีบเมล็ดน้ำมันสบู่ดำ จากนั้นกรองเอากากและตะกอนออกและบรรจุเก็บไว้ในถังพลาสติกขนาด 50 ลิตรซึ่งมีราคาถูกกว่าวิธีใช้สารเคมีสกัดจากนั้นนำน้ำมันมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องและในที่มืด

เพื่อป้องกันน้ำมันเปลี่ยนสภาพจากนั้นนำน้ำมันสุ้ด้ามาวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบไขมันอิสระในน้ำมันสุ้ด้าดิบ

องค์ประกอบของกรดไขมัน	ร้อยละผลทดสอบ
Myristic acid (C 14:0)	0.07
Palmitic acid (C 16:0)	15.19
Palmitoleic acid (C 16:0 n-7)	0.82
Heptadecanoic acid (C 17:0)	0.12
Stearic acid (C 18:0)	6.32
Cis-9, Octadecenoic acid (C 18:1 n-9)	41.53
Cis-9,12-Octadecadienoic acid (C 18:2 n-6)	35.27
Arachidic acid (C 20:1 n-9)	0.07
Cis-11-Eicosenoic acid (C 20:1 n-9)	0.04
Behenic acid (C 22:0)	0.04
Ligoceric acid (C 24:0)	0.04
Unidentified peak	0.15

จากตารางที่ 1 สามารถคำนวณค่ามวลโมเลกุลของน้ำมันสุ้ด้าได้ประมาณ 867 กรัมต่อโมล และสามารถหาความความเป็นกรด (Acid Value) โดยการไทเทรตกับ 0.1 N KOH ดังสมการที่ 1 ได้เท่ากับ 14

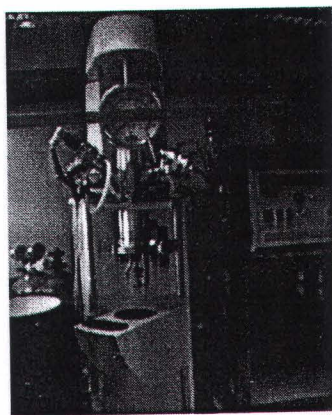
$$Av = \frac{56.1 \times c \times V}{m} \quad \text{-----} \quad (1)$$

Av = ค่าความเป็นกรด (mg.KOH/gน้ำมัน)

c = ความเข้มข้นของ (KOH mol/l)

V = ปริมาตรสารละลายมาตรฐานในการไทเทรต (ml)

ในกระบวนการเกิดปฏิกิริยาต้องใช้เตาปฏิกรณ์ทนความดันและอุณหภูมิสูง ($P_{\max} = 300$ bars, $T_{\max} = 500$ °C) โดยเตาปฏิกรณ์มีความจุ 250 มิลลิลิตร ทำด้วยสแตนเลสกล้า ประกอบกับชุดควบคุมที่สามารถปรับความเร็วรอบของใบพัดและชุดควบคุมอุณหภูมิ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 เตาปฏิกรณ์ทนความดันและอุณหภูมิสูงขนาด 250 ml รุ่น model 4848

2.2.1 อัตราส่วนระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาการเกิดไบโอดีเซล

หาอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันที่เหมาะสมที่สุดในการเกิดปฏิกิริยาโดยควบคุมอุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์ที่ 300°C ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที และทำการเปลี่ยนค่าอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 30:1 , 40:1 , 50:1 และ 60:1 เพื่อสังเกตผลของอัตราส่วนโดยโมลที่เกิดขึ้นต่อปฏิกิริยาการเกิดไบโอดีเซล

2.2.2 ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาการเกิดไบโอดีเซล

กำหนดอัตราส่วนโดยโมลตามขั้นตอนที่ 2.2.1 โดยทำการเปลี่ยนเวลาในการทำปฏิกิริยา เป็น 30, 60 และ 120 นาที เพื่อดูผลที่เกิดขึ้นต่อปฏิกิริยาการเกิดไบโอดีเซล

2.2.3 อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อปฏิกิริยาการเกิดไบโอดีเซล

หาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการเกิดปฏิกิริยาโดยควบคุมอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันจาก ขั้นตอนที่ 2.2.1 ใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที โดยเปลี่ยนอุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์ เป็น 250 300 และ 350°C เพื่อดูผลของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นต่อปฏิกิริยาการเกิดไบโอดีเซล

2.2.4 เมทานอลที่ความบริสุทธิ์แตกต่างกัน

เลือกใช้เมทานอลที่มีความบริสุทธิ์ 85 90 และ 95% ตามลำดับ เพื่อหาผลที่เกิดขึ้นต่อผลิตผลของไบโอดีเซลโดยควบคุมอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันจาก ขั้นตอนที่ 2.2.1 และควบคุมอุณหภูมิในขั้นตอนที่ 2.2.2 ใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 120 นาที

หมายเหตุ เมทานอลที่ความบริสุทธิ์ 85% จะมีเพียงส่วนผสมของน้ำกับแอลกอฮอล์เท่านั้นทำการเตรียมในห้องทดลองโดยใช้เมทานอลที่ความบริสุทธิ์ 99 %v ผสมกับน้ำ 15%v จะได้เมทานอลความบริสุทธิ์ 85%

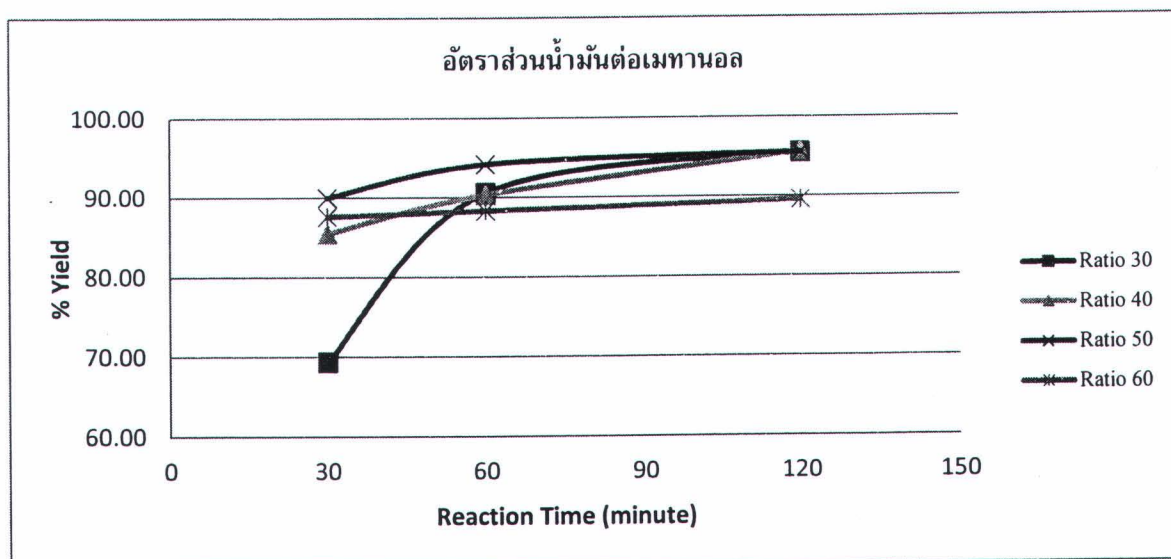
2.3 การวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล

การวิเคราะห์หาร้อยละของเมทิลเอสเทอร์หรือความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่ได้จากเครื่องผลิตไบโอดีเซลโดยทำการวิเคราะห์ด้วย High performance liquid chromatography (HPLC) ซึ่งการวิเคราะห์ใช้คอลัมน์ Phenogel ขนาด 7.8x300 มิลลิเมตร ขนาดอนุภาค 5 μ ความพรุน 100 Å โดยใช้ 0.10% ของกรดอะซิติกในโทลูอีนเป็นวัฏภาคเคลื่อนที่ ที่อัตราการไหล 1 มิลลิเมตรต่อนาที ตรวจวัดโดยเครื่องตรวจวัดชนิด ELSD

3. ผลการทดลอง

3.1 ผลของอัตราส่วนโดยโมลและเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาการเกิดไบโอดีเซล

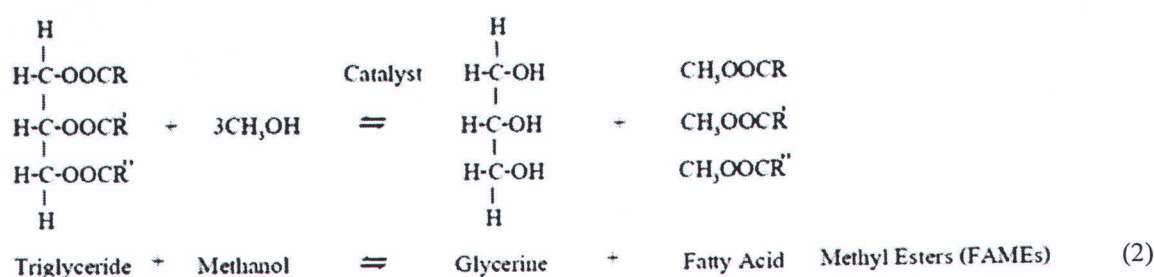
ในปฏิกิริยาจะควบคุมไว้ที่อุณหภูมิ 300°C และวัดความดันจากเตาปฏิกรณ์ได้ประมาณ 100 ถึง 120 บาร์โดยทำการเปลี่ยนอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน จาก 30: 1 ไปจนถึง 60: 1 พบว่าเมื่ออัตราส่วนโดยโมลในการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้นจะทำให้เกิดไบโอดีเซลได้มากขึ้นและปฏิกิริยามีความสมบูรณ์สูงขึ้นดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงผลกระทบต่อการเกิดไบโอดีเซลเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยโมล

จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน เพิ่มมากขึ้นจาก 30 เป็น 50 ทำให้เกิดผลิตผลไบโอดีเซลเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้

การเพิ่มจำนวนโมลของแอลกอฮอล์จะทำให้สมดุลของปฏิกิริยาเคมีเลื่อนไปข้างหน้างสมการที่ 2 ทำให้เกิดผลิตผลของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น



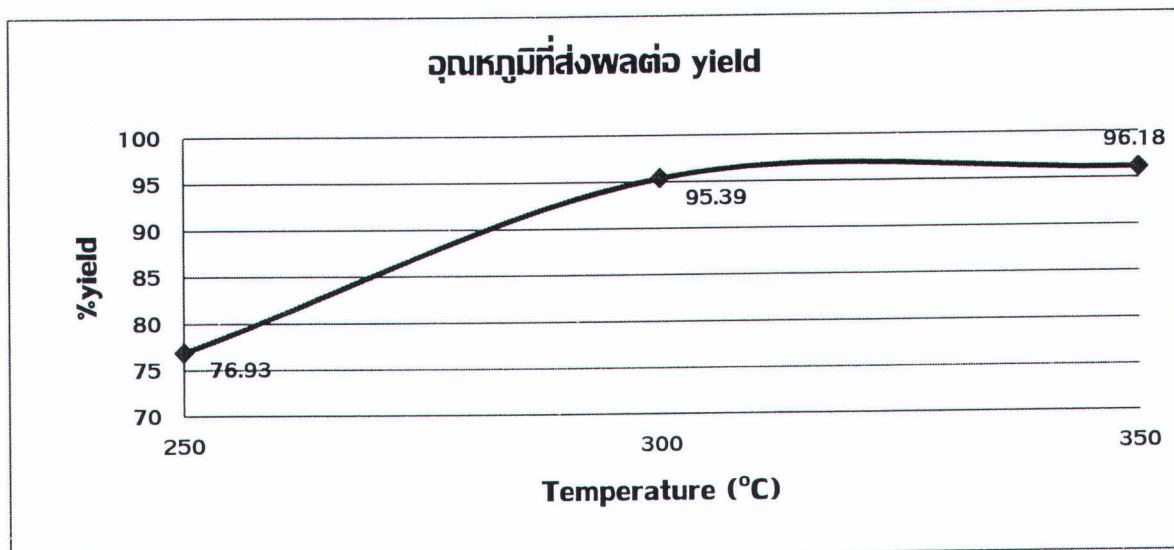
แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลเพิ่มขึ้นจาก 50:1 เป็น 60:1 ส่งผลให้เกิดไบโอดีเซลได้น้อยลง เนื่องจากการใช้แอลกอฮอล์มากเกินไป การใช้แอลกอฮอล์ที่สัดส่วน 50:1 จึงเป็นจุดสูงสุดของการเพิ่มอัตราการผลิตปฏิกิริยา ดังนั้นการเพิ่มจำนวนที่มากขึ้นของโมลของแอลกอฮอล์สามารถเพิ่มผลิตผลในการเกิดไบโอดีเซลได้ แต่ในทางกลับกัน อาจยังไปลดโอกาสการเกิดทำให้ผลิตผลของไบโอดีเซลลดลงอีกด้วย

3.2 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาการเกิดไบโอดีเซล

จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่า ทุกอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันจะมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจาก 30 นาที เป็น 120 นาที จะทำให้ความสมบูรณ์ของการเกิดปฏิกิริยามากขึ้น เนื่องจากการทำปฏิกิริยาโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานั้น ต้องการพลังงานสูงในการสลายพันธะและจัดเรียงพันธะใหม่ ทำให้โอกาสในการเกิดไบโอดีเซลนั้นน้อยกว่าปฏิกิริยาที่มีตัวเร่งปฏิกิริยามาก แต่ด้วยสภาวะที่ใช้อุณหภูมิและความดันสูงทำให้พลังงานในระบบสูงมากขึ้นจนแต่ละโมเลกุลมีพลังงานสูงและเพิ่มโอกาสการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นเมื่อใช้เวลาเพิ่มขึ้นโอกาสการเกิดปฏิกิริยาก็จะเพิ่มขึ้นด้วยทำให้ได้ผลิตผลของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นตามผลการทดลอง และเมื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าของอัตราส่วนโดยโมลแล้วจะเห็นได้ว่าควรเลือกใช้อัตราส่วนโดยโมลอยู่ที่ 30:1 และใช้ระยะเวลาในการผลิต 120 นาที เพื่อที่จะนำไปทดสอบผลของอุณหภูมิต่อไป

3.3 ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาการเกิดไบโอดีเซล

ในการทดลองนี้จะเลือกใช้อัตราส่วนโดยโมลที่ 30:1 ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 120 นาที เนื่องจากผลการทดลองในขั้นตอนที่ 2.2.1 ปรากฏว่าให้ผลิตผลที่ดีที่สุด ดังนั้นจึงเลือกสภาวะนี้มาทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ โดยทำการเปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 250°C และ 350°C เพื่อดูผลที่เกิดขึ้นกับ yield ของไบโอดีเซล ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4

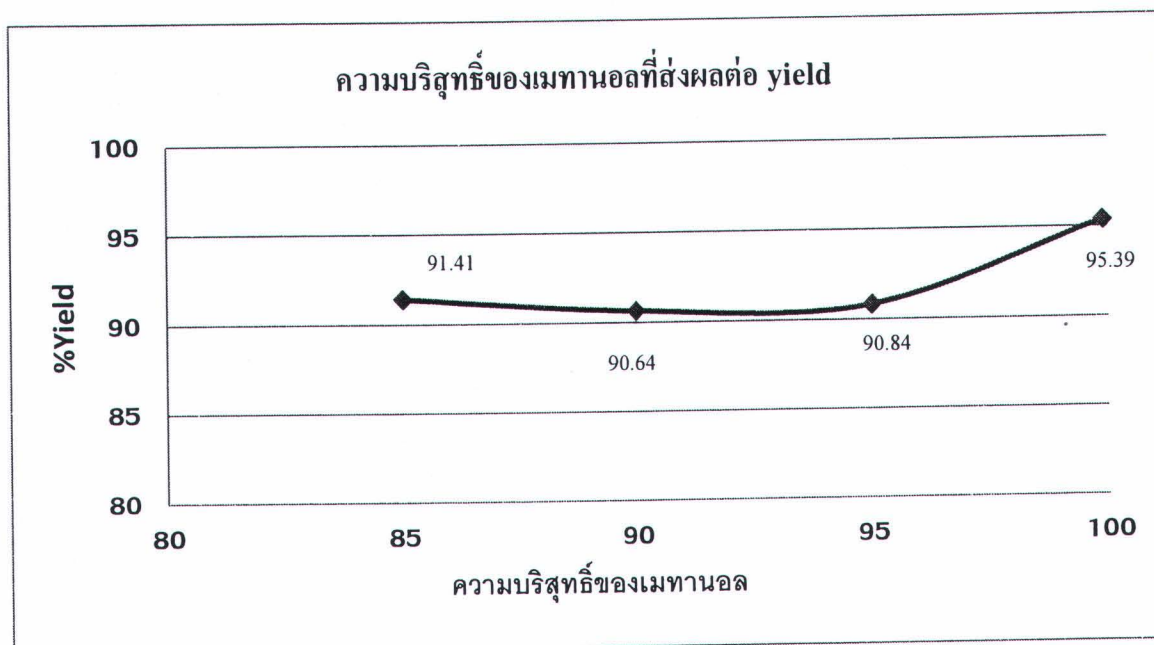


รูปที่ 4 ผลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดผลิตผลของไบโอดีเซล ณ 30:1 , time 120 นาที

จากรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิในระบบจะช่วยให้พลังงานในระบบสูงขึ้น ดังนั้นจึงช่วยเพิ่มโอกาสในการเกิดปฏิกิริยาไบโอดีเซลมากขึ้นด้วย จากผลการทดลองสามารถเพิ่มผลิตผล 95% เป็น 96% และเมื่อลดอุณหภูมิลงมาเป็น 250°C จะทำให้ผลิตผลของไบโอดีเซลลดลงเป็นอย่างมากจาก 95% เหลือ 78% โดยมีสาเหตุมาจากการลดอุณหภูมิลงซึ่งทำให้พลังงานในระบบลดลงด้วย ดังนั้นพลังงานที่จะนำไปใช้ในการสลายพันธะและโอกาสการสร้างพันธะใหม่ก็จะลดลงด้วยทำให้ผลิตผลของไบโอดีเซลลดลง

3.4 ผลของเมทานอลที่ความบริสุทธิ์แตกต่างกัน

ในการทดลองนี้จะเลือกใช้อัตราส่วนโดยโมลที่ 30:1 ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 2 ชม. ที่อุณหภูมิ 300°C เนื่องจากให้ผลิตผลดีที่สุด ดังนั้นจึงเลือกสภาวะนี้มาทดสอบการเปลี่ยนความบริสุทธิ์ของเมทานอลเป็น 85 90 และ 95% ตามลำดับ เพื่อดูผลที่เกิดขึ้นกับ yield ของไบโอดีเซล ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 5

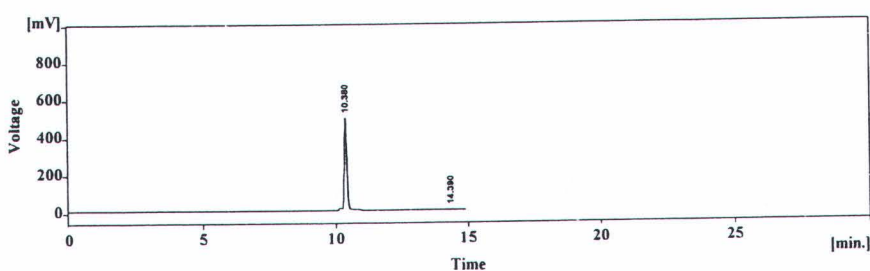


รูปที่ 5 ผลของความบริสุทธิ์ของเมทานอลที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดผลิตผลของไบโอดีเซล ณ 30:1 ,
time 120 นาที

จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าการผลิตไบโอดีเซลด้วยเมทานอลที่มีความบริสุทธิ์ 85 90 และ 95% ตามลำดับ สามารถที่จะเกิดไบโอดีเซลได้แต่ผลิตผลจะลดลงจาก 95% เหลือ 90% ซึ่งอาจเกิดจากโมเลกุลของน้ำมีสภาวะวิกฤติที่สูงกว่าเมทานอลมาก ($P_{critical}น้ำ = 2200$ bars) ดังนั้นการใช้อุณหภูมิเท่าเดิมจึงทำให้น้ำไม่สามารถอยู่ในสภาวะวิกฤติได้จึงอาจจะมีการขัดขวางโอกาสการเกิดปฏิกิริยาจากเดิมที่มีอยู่ แต่อย่างไรก็ตามการผลิตไบโอดีเซลจากเมทานอลที่มีความบริสุทธิ์ต่ำนั้นสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ ซึ่งมีความเหมาะสมที่จะพัฒนาหาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ต่อไป

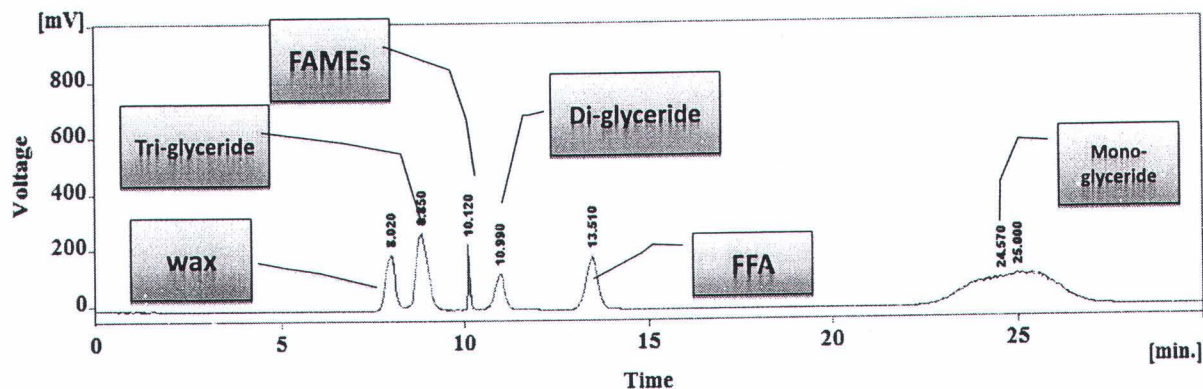
3.5 ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล

เมื่อนำน้ำไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากสภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ อัตราส่วนแอลกอฮอล์ต่อน้ำ 30:1, อุณหภูมิ 300°C, เวลา 120 นาที ซึ่งได้ค่าผลิตผลไบโอดีเซลมากที่สุดคือ 95% จึงนำมาวิเคราะห์หาความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิค HPLC ได้ผลดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของน้ำมันไบโอดีเซลด้วยเทคนิค HPLC

จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่ามีพีคปรากฏ ณ ตำแหน่ง 10 นาทีและ 15 นาที ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์ตามพีคมาตรฐานได้ตามรูปที่ 7 คือ พีคของ เมทิลเอสเทอร์ (FAMES) และกรดไขมันอิสระ (FFA) ดังนั้นความบริสุทธิ์ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้จะมีความบริสุทธิ์ค่อนข้างสูง คือ 99.9 ถึง 100%



รูปที่ 7 standard peak จากการวิเคราะห์ทางเทคนิคด้วย HPLC

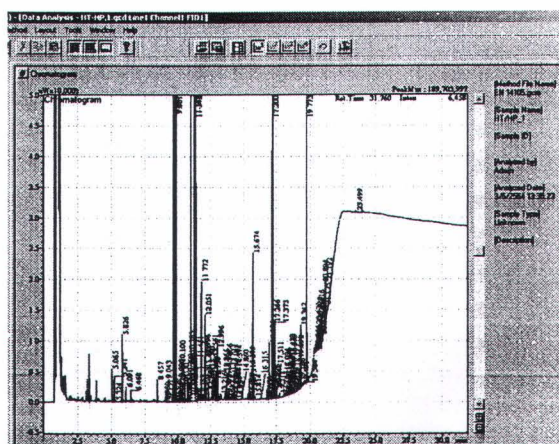
3.6 มาตรฐานไบโอดีเซลตามมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงาน

ตารางเปรียบเทียบมาตรฐานไบโอดีเซลที่ผลิตได้กับมาตรฐานชุมชนและเชิงพาณิชย์

รายการ	วิธีทดสอบ	ชุมชน	เชิงพาณิชย์	ผลที่ได้
เมทิลเอสเทอร์ (%wt)	EN 14103	-	มากกว่า 96.5	93.58
ความหนาแน่น(kg/m ³)	ASTM D 1298	860-900	860-900	887±5
ความหนืด (cSt)	ASTM D 445	3.5-5.0	3.5-5.0	4.7±0.2
จุดวาบไฟ (°C)	ASTM D 93	มากกว่า 120	มากกว่า 120	มากกว่า 150
จำนวนซีเทน	ASTM D 613	มากกว่า 51	มากกว่า 51	49.39
น้ำ	ASTM D 2709	น้อยกว่า 0.2	น้อยกว่า 0.050	0.10
ความเป็นกรด	ASTM D 664	น้อยกว่า 0.8	น้อยกว่า 0.05	0.01
ค่าไอโอดีน	EN 14111	น้อยกว่า 120	น้อยกว่า 120	97.32
Mono-glyceride	EN 14105	-	0.80	3.6
Di-glyceride	EN 14105	-	0.20	0.30
Tri-glyceride	EN 14105	-	0.20	0
กลีเซอรินอิสระ	EN 14105	0.02	0.02	0.10
กลีเซอรินทั้งหมด	EN 14105	1.5	0.25	0.85

จากตารางพบว่าการผลิตไบโอดีเซลด้วยสภาวะเหนือจุดวิกฤติโดยใช้น้ำมันสุบุดำดับเป็นวัตถุดิบนั้นสามารถทำการผลิตไบโอดีเซลได้ผ่านมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงานชุมชนแต่คุณภาพส่วนใหญ่ยังไม่ผ่านตามมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงานเชิงพาณิชย์ แต่มีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานที่ตั้งไว้ เช่น เมทิลเอสเทอร์ทำการทดสอบด้วยวิธี EN 14103 ต้องได้ค่ามากกว่า 96.5 แต่ในกระบวนการผลิตด้วยสภาวะน้ำมันต่อเมทานอล 30:1 อุณหภูมิ 300°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าได้เมทิลเอสเทอร์สูงสุดเพียง 93.65% สาเหตุหลักอาจเกิดจาก 3 กรณีดังนี้คือ

1. จากการผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธีที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ต้องใช้พลังงานสูงในการสลายพันธะของไตรกลีเซอไรด์ มาเป็นไดกลีเซอไรด์ และจึงค่อยเป็นโมโนกลีเซอไรด์ตามลำดับ ดังนั้นจากการทดลองที่เกิดขึ้นอุณหภูมิ 300 °C อาจจะไม่เหลือเพียงพอที่จะสลายพันธะโมโนกลีเซอไรด์ไปเป็นกลีเซอริน จึงทำให้ยังมีโมโนกลีเซอไรด์เหลืออยู่ในระบบมาก ซึ่งแก้ไขได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิและความดันของระบบเพื่อเพิ่มพลังงานในระบบในการเกิดปฏิกิริยาให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น
2. ในตอนเริ่มต้นปฏิกิริยาจำนวนโมลของเมทานอลยังมีอยู่มากดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาของเมทิลเอสเทอร์นั้นจะเกิดขึ้นมาก แต่เมื่อปฏิกิริยาดำเนินไป เมทานอลในระบบจะเหลือปริมาณน้อยลงเนื่องจากถูกใช้ไปเกิดปฏิกิริยาขึ้นบางส่วนจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียง คือ กลีเซอรอลไลซิส (Glycerolysis) ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นจาก เมทิลเอสเทอร์ + กลีเซอรินทำปฏิกิริยา ณ อุณหภูมิสูง ได้ผลิตภัณฑ์เป็น โมโนกลีเซอไรด์และเมทานอล จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้โมโนกลีเซอไรด์ในระบบเพิ่มมากขึ้น
3. พลังงานในระบบบางส่วนถูกใช้ไปในกระบวนการสลายโมเลกุล (Cracking) ซึ่งจากรูปที่ 8 เป็นผลของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC พบว่ามีโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กของสารที่ไม่ทราบชนิดเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก พลังงานในระบบจึงสูญเสียไปกับกระบวนการนี้ด้วยเช่นกัน



4. สรุปผลการศึกษา

จากผลการทดลองสามารถสรุปผลได้ว่า

- อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันที่สูงขึ้นจะทำให้เกิดผลิตผลของไบโอดีเซลสูงขึ้นโดยอัตราส่วนที่ดีที่สุดที่สามารถทำให้เกิดผลิตผลสูงสุด 90% คือ 50:1 โดยใช้เวลาน้อยที่สุดคือ 30 นาที
- การเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาทำให้ผลิตผลของไบโอดีเซลสูงขึ้นโดยเวลาที่เหมาะสมที่สุดคือ 120 นาทีซึ่งทำให้ได้ไบโอดีเซลสูงที่สุดถึง 95%
- การเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาทำให้ผลิตผลของไบโอดีเซลสูงขึ้นโดยอุณหภูมิที่สูงที่สุด คือ 350°C สามารถผลิตไบโอดีเซลผลิตผลถึง 95%
- สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตไบโอดีเซล คือ อัตราส่วนแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน 30:1 , อุณหภูมิ 300°C , ระยะเวลา 120 นาที เพราะให้ผลิตผลสูงถึง 95% โดยใช้อัตราส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน และอุณหภูมิน้อยที่สุดจึงน่าจะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สูงที่สุด
- เมื่อใช้เมทานอลที่มีความบริสุทธิ์ 85, 90, 95% ตามลำดับ ยังสามารถผลิตไบโอดีเซลให้มีผลิตผลที่สูงได้ถึง 90%

ข้อเสนอแนะ

- เนื่องจากการผลิตไบโอดีเซลด้วยสภาวะเหนือจุดวิกฤติทำให้อุณหภูมิสูงและความดันสูงทำให้เกิดกระบวนการสลายโมเลกุลใหญ่เป็นโมเลกุลเล็กของโมเลกุลน้ำมัน (Cracking) เป็นปฏิกิริยาข้างเคียง ดังนั้นจะได้ผลิตผลข้างเคียงที่เป็นไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลสั้นอยู่บ้าง ดังนั้นควรหาวิธีการผลิตโดยลดอุณหภูมิระหว่างปฏิกิริยา เช่น ใช้ CO_2 หรือ ตัวเร่งปฏิกิริยา มาช่วยในการทำปฏิกิริยา
- เนื่องจากสภาวะเหนือวิกฤติของเมทานอลมีความจำเป็นต้องใช้ปริมาณของเมทานอลมากเกินไปมากกว่าระบบทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นเพื่อให้ปฏิกิริยาสมบูรณ์ขึ้นจึงอาจเพิ่มจำนวนอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันสบู่อีก

- เนื่องจากในปฏิกิริยาไม่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยามาทำในปฏิกิริยาจึงควรเพื่ออุณหภูมิ และความดัน เพื่อเพิ่มพลังงานให้กับระบบทำให้ปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ขึ้นผลิตภัณฑ์ของไบโอดีเซลก็จะสูงขึ้นอีกทั้ง ค่าความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ก็จะสูงขึ้นอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณบิดา มารดาและสมาชิกในครอบครัวทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการศึกษาตลอดมา
 วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาและการช่วยเหลือให้คำแนะนำอย่างดีจากอาจารย์ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัตนชัย ไพรินทร์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.ชนากานต์ อาษาสุจริต กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย และ ดร. แก้วกันยา สุดประเสริฐ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อีกทั้งคณะกรรมการสอบ คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิรินุช จินดารักษ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกจากมหาวิทยาลัยนเรศวร รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริชัย เทพา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กรณ์กนก อายุสุข คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำเพิ่มเติมจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นผู้วิจัยจักขอบพระคุณไว้เป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอบพระคุณสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์แห่งชาติ (วว.) ภาคพลังงาน และคณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้การอนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่ทำการทดลอง

ขอบพระคุณหน่วยงานลงทะเบียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่เอื้อเฟื้อและให้ข้อมูลนักศึกษาประโยชน์อันใดที่เกิดจากคู่มือการเขียนและพิมพ์วิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษานี้ ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านดังกล่าวข้างต้นขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- ภัทชาณากร รัตโรยดำรง และ จุฑาทิพย์ เสนีย์วงศ์ ณ อยุธยา, 2548, สบู่ดำพืชพลังงานทดแทน, สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม, กรุงเทพฯ, หน้า 16-36
- รศ.ดร. พรชัย เหลืองอาภาพงศ์, 2549, สบู่ดำเพื่อไบโอดีเซล, สำนักพิมพ์มติชน, กรุงเทพฯ, หน้า 7-42
- รักษ์ พฤษชาติ, 2549, การปลูกและการพัฒนาสบู่ดำเพื่อทดแทนน้ำมันดีเซล, สำนักพิมพ์ นีออน บุ๊ค มีเดีย, กรุงเทพฯ, หน้า 15-23
- Kiwjaroun, C., Tubtimdee, C. and Piumsomboon, P., 2009, "LCA Studies Comparing Biodiesel Synthesized by Conventional and Supercritical Methanol Methods", **Journal of Cleaner Product**, Vol. 17, No. 2, pp. 143-153.
- Dennis, Y.C., Wu, X. and Leung, M.K.H., 2010, "A Review on Biodiesel Production Using Catalyzed Transesterification", **Applied Energy**, vol 87, No. 4, pp. 1083-1095
- Demirbas, A., 2005, "Biodiesel Production from Vegetable Oils Via-catalytic and Non-catalytic Supercritical Methanol Transesterification Methods", **Journal of Applied Phycology**, Vol. 31, No. 5-6, pp. 466-487.
- Lui X., He, H., Wang, Y., Zhu, S. and Piao, X., 2008, "Transesterification of Soybean Oil to Biodiesel using CaO as a Solid Base Catalyst", **Fuel**, vol 87, No. 2, pp. 216-221
- Chung, K.H., 2010, "Transesterification of Camellia Japonica and Vernicia Fordii Seed Oils on Alkali Catalysts for Biodiesel Production", **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, Vol. 16, No. 4, pp. 508-509.
- Kim, H.J., Kang and al., 2004, "Transesterification of Vegetable Oil to Biodiesel Using Heterogeneous Base Catalyst", **Catalyst Today**, Vol. 93-95, No. 1. pp. 315-320.
- Prueksakorn, K., Gheewala, S.H., Mlakul, P. and Bonnet, S., 2010, "Energy Analysis of Jatropha Plantation Systems for Biodiesel Production in Thailand", **Energy for Sustainable Development**, Vol. 14, No. 1. pp. 1-5.
- Vyas, A.P., Subrahmanyam, N. and Patel P.A., 2009, "Production of Biodiesel through Transesterification of Jatropha Oil Using $\text{KNO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ ", **Fuel**, Vol. 88, No. 4. pp. 625-628.
- Hawash, S., Kamal, N., Diwani G., Zaher F. and Kenaw, O., 2009, "Biodiesel fuel from Jatropha Oil Via Non-catalytic Supercritical Methanol Transesterification", **Biomass and Bioenergy**, Vol. 88, No. 3, pp. 113-118.
- Demirbas, A., 2009, "Production of Biodiesel Fuels from Linseed Oil using Methanol and Ethanol in non-Catalytic SCF Conditions", **Biomass and Bioenergy**, Vol. 33, No. 1, pp. 113-118.
- Kok, T.T., Keat, T.L., and Abdul, R.M., 2009, "Production of FAME by Palm Oil Transesterification Via Supercritical Methanol Technology", **Biomass and Bioenergy**, Vol. 33, No. 8, pp. 1096-1099.
- Kok, T.T., Meei, M.G., and Keat, T.L., 2010, "An Optimized Study of Methanol and Ethanol in Supercritical Alcohol Technology for Biodiesel Production", **The Journal of Supercritical Fluids**, Vol. 53, No. 1-3, pp. 82-87.
- Kusdiana, D. and Saka, S., 2004, "Effect of Water on Biodiesel Fuel Production by Supercritical Methanol Treatment", **Bioresorce Technology**, Vol. 91, No. 3, pp. 289-295.

- Kok, T.T., Keat, T.L., and Abdul, R.M., 2010, "A Glycerol-free Process to Produce Biodiesel by Supercritical Methyl Acetate Technology , An Optimization Study Via Response Surface Methodology", **Bioresource Technology**, Vol. 101, No. 3, pp. 965-969.
- Ayhan Demirbas, 2009, "Biodiesel from Waste Cooking Oil Via Base-Catalytic and Supercritical Methanol Transesterification", **Energy Conversion and Management**, Vol. 50, No. 2, pp. 923-927.
- Kusdiana, D. and Saka, S., 2001, "Kinetics of Transesterification in Rapeseed Oil to Biodiesel Fuel as treated in Supercritical Methanol", **Fuel**, Vol. 80, No. 5, pp. 693-698.
- Patil, P., Deng, S., Rhodes, I.J. and Lammers, J.P., 2001, "Conversion of Waste Cooking Oil to Biodiesel Using Ferric Sulfate and Supercritical Methanol Processes", **Fuel**, Vol. 89, No. 2, pp. 360-364.
- Tan, K, T., Teong K, L., Rahman, A. M., 2008, "Effects of Free Fatty Acids, Water Content and Co-Solvent on Biodiesel Production by Supercritical Methanol Reaction", **The Journal of Supercritical Fluids**, Vol. 53, No. 1-3, pp. 88-91

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล

นายจิรภัทร บุรพกุลศศรี

วัน เดือน ปีเกิด

21 กุมภาพันธ์ 2530

ประวัติการศึกษา

ระดับมัธยมศึกษา

โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศิลปากร พ.ศ. 2548

ระดับปริญญาตรี

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยศิลปากร พ.ศ. 2552

ระดับปริญญาโท

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน

คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2554

ทุนการศึกษา หรือทุนวิจัย

ทุนการศึกษาแบบเต็มรูปแบบ (มจร.) ปีงบประมาณ 2553

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

จิรภัทร บุรพกุลศศรี, รัตนชัย ไพรินทร์, ชนากานต์ อาษาสุจริต และแก้วกันยา สุดประเสริฐ, 2554, “การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันสนดำโดยใช้สภาวะแอลกอฮอล์เหนือจุดวิกฤต”, นเรศวรวิจัย, ครั้งที่ 7, 29-30 กรกฎาคม 2554, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 131

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ข้อตกลงว่าด้วยการโอนสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาของนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

วันที่ 3 ตุลาคม 2554

ข้าพเจ้า นายจิรภัทร บุรพุกศศิริ

รหัสประจำตัว 52402603

เป็นนักศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ระดับปริญญา ☒ โท ☐ ปร.ค

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

อยู่บ้านเลขที่ 221/10 ตรอก/ซอย ถนน

ตำบล/แขวง อำเภอ/เขต จังหวัด

รหัสไปรษณีย์ เป็น "ผู้โอน" ขอโอนสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาให้ไว้กับมหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยมี ดร.พัฒนา รักความสุข ตำแหน่ง คณบดีคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

เป็นตัวแทน "ผู้รับโอน" สิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาและมีข้อตกลง ดังนี้

1. ข้าพเจ้าได้จัดทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำโดยใช้สภาวะแอลกอฮอล์เหนือจุดวิกฤติ"

ซึ่งอยู่ในความควบคุมของ ผศ.ดร. รัตนชัย ไพรินทร์, ดร. เก้ากันยา สุดประเสริฐ, ดร. ชนากานต์ อาษาสุจริต ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 และถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

2. ข้าพเจ้าตกลงโอนลิขสิทธิ์จากผลงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการสร้างสรรค์ของข้าพเจ้าในวิทยานิพนธ์ให้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ตลอดอายุแห่งการคุ้มครองลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 ตั้งแต่วันที่ได้รับอนุมัติโครงร่างวิทยานิพนธ์จากมหาวิทยาลัย

3. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปใช้ในการเผยแพร่ในสื่อใดๆ ก็ตาม ข้าพเจ้าจะต้องระบุว่าวิทยานิพนธ์เป็นผลงานของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีทุกครั้งที่มีการเผยแพร่

4. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปเผยแพร่ หรือให้ผู้อื่นทำซ้ำหรือดัดแปลงหรือเผยแพร่ต่อสาธารณชนหรือกระทำการอื่นใด ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 โดยมีคำตอบแทนในเชิงธุรกิจ ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีก่อน

5. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำข้อมูลจากวิทยานิพนธ์ไปประดิษฐ์หรือพัฒนาต่อยอดเป็นสิ่งประดิษฐ์หรืองานทรัพย์สินทางปัญญาประเภทอื่น ภายในระยะเวลาสิบ (10) ปีนับจากวันลงนามในข้อตกลงฉบับนี้ ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีมีสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญานั้น พร้อมกับได้รับชำระค่าตอบแทนการอนุญาตให้ใช้สิทธิดังกล่าว รวมถึงการจัดสรรผลประโยชน์อันพึงเกิดจากส่วนใดส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ในอนาคต โดยให้เป็นไปตามระเบียบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ว่าด้วยการบริหารผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญา พ.ศ. 2538

6. ในกรณีที่มีผลประโยชน์เกิดขึ้นจากวิทยานิพนธ์หรืองานทรัพย์สินทางปัญญาอื่นที่ข้าพเจ้าทำขึ้นโดยมีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีเป็นเจ้าของ ข้าพเจ้าจะมีสิทธิได้รับการจัดสรรผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญาดังกล่าวตามอัตราที่กำหนดไว้ในระเบียบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ว่าด้วยการบริหารผลประโยชน์อันเกิดทรัพย์สินทางปัญญา พ.ศ. 2538

ลงชื่อ.....จิรภัทร นุรพทผลศรี.....ผู้โอนสิทธิ

(นายจิรภัทร นุรพทผลศรี)

ลงชื่อ.....[Signature].....ผู้รับโอนสิทธิ

(ดร. พัฒนะ รักความสุข)

ลงชื่อ.....[Signature].....พยาน

(ผศ. ดร. รัตนชัย ไพรินทร์)

ลงชื่อ.....[Signature].....พยาน

(ดร. เก้ากันยา สุดประเสริฐ)



