

คู่มือสารชีวมวลเอเชีย

แนวทางสำหรับการผลิตและการใช้สารชีวมวล

**โครงการสนับสนุนการสร้างเอเชียพันธมิตร เพื่อการเกษตรไร้ใจถึงแวดล้อม
รับมอบหมายจาก กระทรวงเกษตร, ป่าไม้และประมง**

The Japan Institute of Energy

คู่มือเล่มนี้จัดทำขึ้นในฐานะที่เป็นส่วนหนึ่งของโครงการที่ได้รับมอบหมายจากกระทรวงเกษตร, ป่าไม้ และ ประมง ของประเทศญี่ปุ่น ด้วยความช่วยเหลือของสมาคมสารชีวมวลเอเชีย

คำนำ

การที่ได้มีส่วนร่วมด้วยหนังสือคู่มือสารชีวมวลเล่มนี้เป็นเกียรติสำหรับผม ในปี 2002 เราได้ตีพิมพ์คู่มือสารชีวมวลฉบับภาษาไทยด้วยความช่วยเหลือจากผู้เชี่ยวชาญในสาขาความรู้ี้มากกว่า 60 คน ในเวลานี้ฉบับภาษาอังกฤษได้ออกตีพิมพ์ โดยความร่วมมือของบรรดานักวิทยาศาสตร์และวิศวกรของประเทศต่างๆ ในเอเชีย นอกจากนี้ยังได้รับความร่วมมือจากผู้เชี่ยวชาญในประเทศญี่ปุ่น

จากที่เราทราบกันดีว่า ผลกระทบจากภาวะโลกร้อนนั้นแสดงออกมาให้เห็นอย่างชัดเจน คาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยมากจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ได้สะสมในบรรยากาศนานเท่าที่เราได้ใช้ถ่านหิน, น้ำมันปิโตรเลียม และก๊าซธรรมชาติ ในอีกด้านหนึ่ง ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงจากซากดึกดำบรรพ์มีอย่างจำกัด ยกตัวอย่างเช่น ระยะเวลาที่ยังสามารถใช้เชื้อเพลิงจากซากดึกดำบรรพ์ได้อีก หากจากอัตราส่วนของปริมาณสำรองต่อการผลิตของน้ำมันปิโตรเลียม, ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ อยู่ที่ประมาณ 41, 160, 65 ปี ตามลำดับ ผมเชื่อว่าเรากำลังมุ่งไปสู่ยุคใหม่ที่ไม่ขึ้นกับน้ำมันเชื้อเพลิงจากซากดึกดำบรรพ์ และสารชีวมวลเป็นกุญแจสำคัญที่จะเปิดไปสู่แนวคิดใหม่ในอนาคต

สารชีวมวล มีความหมายโดยทั่วไปว่า แหล่งทรัพยากรต้นกำเนิดทางชีวภาพจำนวนมหาศาลที่สามารถถูกใช้ในรูปแบบของพลังงานและวัตถุดิบ โดยที่ไม้, หญ้าทะเล, สาหร่ายขนาดจุลภาค, ของเสียจากการเกษตร, ของเสียจากการป่าไม้ และขยะมูลฝอยจัดอยู่ในหมวดของสารชีวมวล พืชพลังงานเป็นหนึ่งในสารชีวมวลที่มีแนวโน้มจะผลิตแหล่งพลังงานที่เป็นไปได้ขนาดใหญ่ ถึงแม้ว่าจะยังไม่ได้เป็นในเชิงธุรกิจในปัจจุบัน

พลังงานหมุนเวียน เป็นหนึ่งในวิธีการแก้ปัญหาการลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ พลังงานหมุนเวียน หมายถึงพลังงานสารชีวมวล, พลังงานจากแสงอาทิตย์, พลังงานใต้พิภพ, พลังงานลม, พลังงานน้ำ, พลังงานน้ำขึ้นน้ำลง และพลังงานคลื่น สารชีวมวลแตกต่างกันจากพลังงานหมุนเวียนอื่นอย่างไร

สารชีวมวลเกิดจากการสังเคราะห์แสง ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศยังคงไม่เปลี่ยนแปลงเท่าที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ของสารชีวมวลหลังจากการใช้พลังงาน นำมาทดแทนอีกครั้ง ยกตัวอย่างเช่น โครงการปลูกป่า เป็นการเรียกว่า ความเป็นกลางคาร์บอนของสารชีวมวล พลังงานที่เข้ามาแทนที่น้ำมันได้รับมาจากวัฏจักรนั้น คือการเผาไหม้ของสารชีวมวล, การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ และการทดแทนคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถลดลงได้โดยสารชีวมวลเข้ามาแทนที่การใช้้ำมัน

สารชีวมวลเป็นสารอินทรีย์ หรือ คาร์บอนเนเชียส ในกลุ่มพลังงานทดแทน ในอีกด้านหนึ่ง เอทานอล, เมทานอล, ไคเมทิลอีเทอร์ และไฮโดรคาร์บอน สามารถผลิตได้จากสารชีวมวลในกลุ่มพลังงานทดแทนเท่านั้น สารชีวมวลสามารถขนและเก็บในรูปแบบของวัตถุ พลังงานลม, พลังงานแสงอาทิตย์, พลังงานน้ำขึ้นน้ำลง, พลังงานคลื่น และพลังงานใต้พิภพ สามารถผลิตความร้อนและไฟฟ้าได้แต่ไม่ใช่สารเคมีและน้ำมัน แต่อย่างไรก็ตามการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้สารชีวมวลจะถูกสะสมในบรรยากาศที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันกับการใช้เชื้อเพลิงจากซากดึกดำบรรพ์ เว้นแต่การปลูกป่า การจัดการปลูกป่าไม้อย่างยั่งยืนเป็นสิ่งจำเป็นต่อการใช้พลังงานทางชีวภาพที่ยาวนานและมีเสถียรภาพ

คู่มือสารชีวมวลเล่มนี้มีเนื้อหาครอบคลุมในลักษณะของสารชีวมวลและทรัพยากรของสารชีวมวล, ค่าการเปลี่ยนแปลงของสารชีวมวลในเชิงกระบวนการเคมีความร้อนสูงและชีวเคมี และการพัฒนาระบบความยั่งยืน อย่างไรก็ตามแง่มุมที่สำคัญที่สุดคือความช่วยเหลือของผู้เชี่ยวชาญจากหลายประเทศในเอเชีย นั่นคือ บรูไน, กัมพูชา, สาธารณรัฐประชาชนจีน, อินเดีย, อินโดนีเซีย, เกาหลีใต้, มาเลเซีย, พม่า, ฟิลิปปินส์, สิงคโปร์, ไทย, ไทย และเวียดนาม ข้าพเจ้าขอขอบคุณทุก

ท่านที่ช่วยเหลือคู่มือเล่มนี้ และขอขอบคุณกระทรวงเกษตร, ป่าไม้และประมง ที่ให้ความสนับสนุนในเรื่องของการเงิน ทำให้
ออกคู่มือเล่มนี้ขึ้นมาได้

มกราคม 2008

หัวหน้าบรรณาธิการ

Shinya Yokoyama

บรรณาธิการ

Yokoyama, Shinya The University of Tokyo, Japan
Matsumura, Yukihiko Hiroshima University, Japan

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

Ando, Shotaro National Agriculture and Food Research Organization, National Institute of Livestock and Grassland Science, Japan
Sakanishi, Kinya National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan
Sano, Hiroshi Lab. of Global-Energy-System, Japan
Minowa, Tomoaki National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan
Yamamoto, Hiromi Central Research Institute of Electric Power Industry, Japan
Yoshioka, Takuyuki Nihon University, Japan

คณะกรรมการที่ปรึกษา

Kitani, Osamu Nihon University, Japan
Saka, Shiro Kyoto University, Japan
Shirai, Yoshihito Kyushu Institute of Technology, Japan
Yamaji Kenji The University of Tokyo, Japan

ผู้ให้ข้อมูล

Abe, Toshimi The Chugoku Electric Power Co. Inc., Japan
Amano, Masahiro Waseda University, Japan
Ando, Shotaro National Agriculture and Food Research Organization, National Institute of Livestock and Grassland Science, Japan
Arai, Yoshiaki Meidensya Corporation, Japan
Cai, Yimin National Agriculture and Food Research Organization, National Institute of Livestock and Grassland Science, Japan
Chollacoop, Nuwaong National Metal and Materials Technology Center, NSTDA, Thailand
Elauria, Jessie Cansanay University of the Philippines Los Banos, Philippines
Fukui, Hisatomo Kajima Corporation, Japan
Fujii, Shigeo Takuma Co., Ltd, Japan
Fujino, Junichi National Institute for Environmental Studies, Japan
Hada, Kenichiro Mizuho Information & Research Institute, Inc., Japan
Hirata, Satoshi Kawasaki Heavy Industries, Ltd, Japan
Hoki, Makoto Mie University Japan
Kamide, Mitsushi Hokkaido Industrial Research Institute, Japan
Kawamoto, Sumire Forestry and Forest Products Research Institute, Japan

Kitani, Osamu	Nihon University, Japan
Lee, Jin-Suk	Korea Institute of Energy Research, Korea
Liang, David Tee	Nanyang Technological University Innovation Center, Singapore
Liu, Dehua	Tsinghua University, China
Malaykham, Bouathep	Ministry of Energy and Mines, Laos
Man, Tran Dinh	Institute of Biotechnology, VAST, Vietnam
Matsuto, Toshihiko	Hokkaido University, Japan
Matsumura, Yukihiko	Hiroshima University, Japan
Miura, Masakatsu	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan
Minowa, Tomoaki	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan
Mohamad, Ali	Hassan University Putra, Malaysia
Nakagawa, Hitoshi	National Institute of Agrobiological Science, Japan
Nakamata, Keiichi	Hokuestu Paper Mills, Ltd, Japan
Nivitchanyong, Siriluck	National Metal and Materials Technology Center, NSTDA, Thailand
Ogi, Tomoko	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan
Osada, Takashi	National Agriculture and Food Research Organization, National Agricultural Research Center for Hokkaido Region, Japan
Panaka. Petrus	PT Gikoko Kogyo, Indonesia
Saiki, Takashi	Japan Alcohol Association, Japan
Saka, Shiro	Kyoto University, Japan
Sakai, Masayasu	Nagasaki Institute of Applied Science, Japan
Smai,Jai-in	National Metal and Materials Technology Center, NSTDA, Thailand
Sano, Hiroshi	Lab. ofico de Global-Energi-Sistemo, Japan
Sawayama, Shigeki	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan
Shiau, Tzay-An	National Taiwan Ocean University, Taipei Chinese
Shirai, Yoshihito	Kyushu Institute of Technology, Japan
Sovanna, Toch	Ministry of Industry Mines and Energy, Cambodia
Suzuki, Tsutomu	Kitami Institute of Technology, Japan
Sekiguchi, Shizuo	Lion Corporation, Japan
Takahashi, Masayuki	Kochi University, Japan
Tonosaki, Mario	Forestry and Forest Products Research Institute, Japan
Tomari, Miyuki	Biomass Industrial Society Network (BIN), NPO, Japan
Topaiboul, Subongkoj	National Metal and Materials Technology Center, NSTDA, Thailand
Yagishita, Tatsuo	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan
Yagita, Hiroshi	Nippon Institute of Technology, Japan
Yamamoto, Hiromi	Central Research Institute of Electric Power Industry, Japan

Yamamoto, Kazutaka	National Agriculture and Food Research Organization, National Food Research Institute, Japan
Yamamoto, Susumu	Okayama University, Japan
Yokoyama, Shinya	The University of Tokyo, Japan
Yoshioka, Takuyuki	Nihon University, Japan

สารบัญ

1. ประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้สารชีวมวล	1
1.1 ข้อดีของสารชีวมวล.....	1
1.1.1 สารชีวมวลคืออะไร.....	1
1.2 คุณสมบัติพิเศษของสารชีวมวล.....	2
1.2.1 ขอบข่ายทั่วไป.....	2
1.2.2 หมุนเวียนไม่มีวันหมด.....	3
1.2.3 สภาวะคาร์บอนสมดุล.....	3
1.2.4 การเกษตรที่ยั่งยืน.....	3
1.3 การใช้สารชีวมวล.....	5
1.3.1 ขอบข่ายทั่วไป.....	5
1.3.2 การเปลี่ยนและการใช้ประโยชน์.....	6
1.4 ประโยชน์ของการใช้สารชีวมวล.....	7
1.4.1 ขอบข่ายทั่วไป.....	7
1.4.2 การลดลงของปริมาณน้ำมัน.....	7
1.4.3 ภาวะโลกร้อน.....	8
1.4.4 ยกระดับของคุณภาพชีวิต.....	8
1.4.5 เพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกร.....	8
1.4.6 ความมั่นคงทางพลังงาน.....	9
1.4.7 สกูลเงินต่างชาติ.....	9
2. ทรัพยากรชีวมวล.....	10
2.1 การจัดแบ่งประเภทสารชีวมวล.....	10
2.1.1 คำนิยามของสารชีวมวล.....	10
2.1.2 คำนิยามของสารชีวมวล (พลังงาน) ในเชิงกฎหมาย.....	10
2.1.3 ลักษณะพิเศษของพลังงานจากสารชีวมวล.....	11
2.1.4 ประเภทของสารชีวมวล.....	11
2.1.5 ตัวอย่างในการจัดแบ่งสารชีวมวลในเชิงของการใช้.....	11
2.2 ความพร้อมใช้ของสารชีวมวล.....	13
2.2.1 การประมาณศักยภาพของของเสียชีวมวล.....	13
2.3 องค์ประกอบของสารชีวมวล.....	17
2.3.1 ภาพรวมขององค์ประกอบของสารชีวมวล.....	17
2.3.2 องค์ประกอบทั่วไปของสารชีวมวล.....	17
2.3.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวอย่างชนิดของสารชีวมวล.....	18
2.4 ปริมาณความจุพลังงานชีวมวล.....	20
2.4.1 ตัวบ่งชี้ปริมาณความจุพลังงานชีวมวล.....	20
2.4.2 ค่าความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของสารชีวมวลชนิดต่างๆ.....	20

2.4.3 การประมาณค่าความร้อนจากการเผาไหม้โดยการคำนวณ.....	22
2.5 วัฏจักรคาร์บอน.....	23
2.5.1 ปริมาณของคาร์บอนสำรองทั่วโลก.....	23
2.5.2 วัฏจักรคาร์บอนในระบบนิเวศน์ในป่า.....	24
2.5.3 โมเดลของวัฏจักรคาร์บอน.....	24
2.6 ไม้ชีวมวล.....	26
2.6.1 ชนิดของไม้ชีวมวลและคุณลักษณะ.....	26
2.6.2 อัตราการเจริญเติบโต.....	26
2.6.3 แหล่งไม้ชีวมวล.....	27
2.7 เซอร์บาเซียชีวมวล (Herbaceous biomass).....	28
2.7.1 ความหมายของเซอร์บาชีวมวล.....	28
2.7.2 พืช C ₃ และ C ₄	28
2.7.3 การผลิตขั้นปฐมภูมิและปริมาณของเซอร์บาเซียชีวมวลที่มีอยู่.....	30
2.7.4 หญ้าสวิตซ์.....	31
2.8 กลุ่มน้ำตาลและแป้ง.....	33
2.8.1 ขอบข่ายทั่วไปของกลุ่มน้ำตาลและแป้ง.....	33
2.8.2 มันสำปะหลัง.....	35
2.8.3 อ้อย.....	37
2.9 สารชีวมวลที่สามารถผลิตน้ำมัน.....	39
2.9.1 สารชีวมวลที่สามารถผลิตน้ำมันคืออะไร.....	39
2.9.2 วิธีการผลิตไขมันและน้ำมัน.....	39
2.9.3 ปริมาตรของการผลิตน้ำมันด้วยสารชีวมวล.....	40
2.9.4 เชื้อเพลิงไบโอดีเซล.....	40
2.9.5 น้ำมันปาล์ม.....	40
2.9.6 มะพร้าว.....	41
2.9.7 สบู่ดำ.....	44
2.10 พืชน้ำชีวมวล.....	45
2.10.1 พืชน้ำชีวมวลคืออะไร.....	45
2.10.2 ผลผลิตภาพ.....	46
2.10.3 การใช้ประโยชน์จากแหล่งที่มาในปัจจุบัน.....	46
2.10.4 ปริมาณทรัพยากรชีวมวลที่มีอยู่ในปัจจุบัน.....	48
2.11 เศษเหลือใช้ทางเกษตรกรรม.....	48
2.11.1 ชนิดและลักษณะของเศษเหลือใช้ทางเกษตรกรรม.....	49
2.11.2 ปริมาตรของการผลิต.....	49
2.11.3 ศักยภาพของการผลิตพลังชีวมวลของโลก.....	50
2.12 เศษ ไม้เหลือใช้.....	51
2.12.1 คุณลักษณะและความสำคัญทางสิ่งแวดล้อม.....	51

2.12.2 เศษไม้เหลือใช้จากอุตสาหกรรมผลิตไม้.....	51
2.12.3 ไม้เหลือใช้จากการนำไม้ไปใช้ประโยชน์.....	53
2.12.4 เทคโนโลยีในการใช้พลังงาน.....	53
2.13 ของเสียจากสัตว์.....	54
2.13.1 ของเสียจากสัตว์คืออะไร.....	54
2.13.2 คุณลักษณะของเสียจากสัตว์.....	54
2.13.3 การผลิตของเสียจากสัตว์.....	55
2.13.4 การดูแลและการใช้ทั่วไปของของเสียจากสัตว์.....	56
2.13.5 คุณค่าของของเสียจากสัตว์และปริมาณทั้งหมดในโลก.....	57
2.14 กากตะกอนจากน้ำเสีย (Sewage Sludge).....	57
2.14.1 กากตะกอนจากน้ำเสีย คืออะไร.....	57
2.14.2 ชนิดและคุณลักษณะของกากตะกอนจากน้ำเสีย.....	58
2.14.3 การใช้ประโยชน์กากตะกอนน้ำเสีย.....	59
2.15 ขยะมูลฝอย.....	60
2.15.1 การดึงมีเทนออกจากพื้นที่ฝังกลบขยะมูลฝอย.....	60
2.15.2 ไบโอดีกรีฟิเคชัน (การหมักมีเทน).....	60
2.15.3 การเผาโดยที่มีการกู้คืนพลังงาน.....	61
2.15.4 การผลิตขยะเชื้อเพลิงและการนำขยะเชื้อเพลิงไปผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า.....	61
2.15.5 ไพโรไลซิส.....	62
2.16 น้ำยางดำ.....	63
2.16.1 น้ำยางดำ.....	63
2.16.2 กระบวนการการผลิตของน้ำยางดำ.....	63
2.16.3 คุณลักษณะความสำคัญของน้ำยางดำ.....	65
2.17 ของเสียจากการแปรรูปอาหาร.....	66
2.17.1 ศักยภาพของของเสียจากการแปรรูปอาหาร.....	66
2.17.2 ขานอ้อย.....	67
2.17.3 ชังข้าวโพด.....	69
2.17.4 กากน้ำตาล.....	70
3. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของสารชีวมวล.....	72
3.1 ฟืน.....	72
3.1.1 ขอบข่ายทั่วไป.....	72
3.1.2 อุปทานฟืน (ปริมาณฟืนที่มีอยู่).....	73
3.1.3 การใช้ประโยชน์ของฟืน.....	74
3.2 การอัดไม้เป็นก้อนเล็กๆ (Palletizing).....	75
3.2.1 ไม้อัดเป็นก้อนเล็กๆและการอัดเป็นก้อนเล็กๆคืออะไร.....	75
3.2.2 คุณลักษณะของพาเลทและ CCB.....	78
3.2.3 การทดสอบพื้นฐานสำหรับการทำถ่านก้อน.....	78

3.2.4 ประสิทธิภาพพลังงาน.....	80
3.3 การผลิตพาร์ติเคิลบอร์ค.....	81
3.3.1 พาร์ติเคิลบอร์ค.....	81
3.3.2 การผลิตและการใช้พาร์ติเคิลบอร์ค.....	81
3.3.3 กระบวนการผลิตพาร์ติเคิลบอร์ค.....	81
3.3.4 การใช้พาร์ติเคิลบอร์คสำหรับการรีไซเคิลวัสดุ.....	82
3.3.5 สถิติของไม้ชีวมวลรวมถึงปานลไม้.....	83
3.3.6 การประยุกต์ใช้ในภูมิภาคเอเชีย.....	83
4. การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและความร้อนของสารชีวมวล.....	84
4.1 การเผาไหม้.....	84
4.1.1 ขอบข่ายทั่วไป.....	84
4.1.2 CHP.....	86
4.1.3 การใช้สารชีวมวลและถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงร่วมกัน (Co-firing).....	87
4.2 แก๊สซิฟิเคชัน.....	90
4.2.1 คำจำกัดความ.....	90
4.2.2 การจัดประเภทของวิธีแก๊สซิฟิเคชัน.....	90
4.2.3. การตรวจสอบคุณสมบัติของสารชีวมวล.....	90
4.2.4 สารที่ทำให้เกิดแก๊สซิฟิเคชัน.....	91
4.2.5 ปรากฏการณ์พื้นฐานของแก๊สซิฟิเคชันของสารชีวมวล.....	91
4.2.6 คุณสมบัติของก๊าซผลิตภัณฑ์ของแก๊สซิฟิเคชัน.....	92
4.2.7 อุปกรณ์แก๊สซิฟิเคชันและตัวอย่างในการใช้งาน.....	92
4.3 ไพโรไลซิส.....	94
4.3.1 ไพโรไลซิสคืออะไร.....	94
4.3.2 คุณลักษณะของไพโรไลซิส.....	94
4.3.3 เครื่องปฏิกรณ์ในห้องทดลอง.....	95
4.3.4 เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ใน R&D (Research & Development).....	95
4.3.5 ผลิตภัณฑ์.....	95
4.3.6 สถานภาพของเทคโนโลยี.....	96
4.4 คาร์บอนไนเซชัน.....	97
4.4.1 คาร์บอนไนเซชันคืออะไร.....	97
4.4.2 คุณลักษณะของคาร์บอนไนเซชัน.....	97
4.4.3 ปฏิริยาของคาร์บอนไนเซชัน.....	97
4.4.4 ประสิทธิภาพพลังงานของคาร์บอนไนเซชัน.....	98
4.4.5 ผลิตภัณฑ์ของคาร์บอนไนเซชัน.....	99
4.4.6 เทคโนโลยีในรูปแบบปัจจุบัน.....	100
4.5 ไฮโดรเทอร์มัลแก๊สซิฟิเคชัน (Hydrothermal gasification).....	100
4.5.1 ไฮโดรเทอร์มัลแก๊สซิฟิเคชันคืออะไร.....	100

4.5.2 คุณสมบัติของไฮโดรเทอร์มัลแก๊สซิฟิเคชัน.....	101
4.5.3 เครื่องปฏิกรณ์ของไฮโดรเทอร์มัลแก๊สซิฟิเคชัน.....	101
4.5.4 ประสิทธิภาพพลังงานของไฮโดรเทอร์มัลแก๊สซิฟิเคชัน.....	102
4.5.5 ผลกระทบจากไฮโดรเทอร์มัลแก๊สซิฟิเคชัน.....	102
4.5.6 เทคโนโลยีในรูปการณปัจจุบัน.....	102
4.6 ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟคชัน.....	103
4.6.1 ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟคชันคืออะไร.....	103
4.6.2 คุณสมบัติของไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟคชัน.....	103
4.6.3 แผนผังของปฏิกริยาไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟคชัน.....	104
4.6.4 น้ำมันผลิตภัณฑ์จากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟคชัน.....	104
4.6.5 ประสิทธิภาพของพลังงานจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟคชัน.....	105
4.6.6 เทคโนโลยีในรูปการณปัจจุบัน.....	105
4.7 การผลิตไบโอดีเซล.....	106
4.7.1 ไบโอดีเซลคืออะไร.....	106
4.7.2 คุณสมบัติของการผลิตไบโอดีเซล.....	106
4.7.3 เครื่องปฏิกรณ์ในการผลิตไบโอดีเซล.....	106
4.7.4 ประสิทธิภาพของพลังงานจากการผลิตไบโอดีเซล.....	108
4.7.5 เทคโนโลยีในรูปการณปัจจุบัน.....	108
5. การแปลงสภาพทางไบโอเคมีคอลของมวลชีวภาพ.....	109
5.1 กระบวนการผลิตก๊าซมีเทนทางชีวภาพ.....	109
5.1.1 กระบวนการผลิตก๊าซมีเทนทางชีวภาพคืออะไร.....	109
5.1.2 ลักษณะกระบวนการผลิตก๊าซมีเทนทางชีวภาพ.....	109
5.1.3 กลไกของกระบวนการผลิตก๊าซมีเทนทางชีวภาพ.....	109
5.1.4 สถานการณปัจจุบัน.....	110
5.2. การหมักเมทานอล.....	111
5.2.1 ขอบเขต.....	111
5.2.2 กระบวนการหมักเมทานอลของแซคคาไรด์.....	112
5.2.3 การหมักเมทานอลของแป้ง.....	113
5.2.4 การหมักเมทานอลของลิกโนเซลลูโลซิก.....	115
5.3 การหมักอะซิโตน-บิวทานอล.....	117
5.3.1 การหมักอะซิโตน-บิวทานอล คืออะไร.....	117
5.3.2 ลักษณะของการหมักอะซิโตน-บิวทานอล.....	117
5.3.3 ปฏิกริยาของการหมักอะซิโตน-บิวทานอล.....	117
5.3.4 ประสิทธิภาพพลังงานของการหมักอะซิโตน-บิวทานอล.....	118
5.3.5 ผลกระทบของการหมักอะซิโตน-บิวทานอล.....	118
5.4 การหมักไฮโดรเจน.....	119
5.4.1 การหมักไฮโดรเจนคืออะไร.....	119

5.4.2 ลักษณะของการหมักไฮโดรเจน.....	120
5.4.3 ปฏิกริยาการหมักไฮโดรเจน.....	120
5.4.4 ประสิทธิภาพพลังงานของการหมักไฮโดรเจน.....	121
5.4.5 ผลกระทบของการหมักไฮโดรเจน.....	121
5.5 การหมักกรดแลคติก.....	122
5.5.1 การหมักกรดแลคติกคืออะไร.....	122
5.5.2 แบคทีเรียแลคติก.....	122
5.5.3 แหล่งทรัพยากรของสารชีวมวลสำหรับการหมักกรดแลคติก.....	123
5.5.4 การใช้ประโยชน์ของสารชีวมวลจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม.....	123
5.5.5 การหมักกรดแลคติกจากขยะในครัวเรือน.....	124
5.5.6 การทำกรดแลคติกให้บริสุทธิ์.....	124
5.6 ญู้าหมัก.....	125
5.6.1 ญู้าหมัก คืออะไร.....	125
5.6.2 การทำญู้าหมัก.....	125
5.6.3 การหมักญู้าหมัก.....	126
5.6.4 ญู้าหมักแบบมัดม้วน.....	126
5.6.5 เทคโนโลยีในปัจจุบัน.....	127
5.7 การทำปุ๋ยหมัก.....	127
5.7.1 การทำปุ๋ยหมักคืออะไร.....	127
5.7.2 หลักการเบื้องต้นของการทำปุ๋ยหมัก.....	127
5.7.3 องค์ประกอบเบื้องต้นของการทำปุ๋ยหมัก.....	128
5.7.4 เทคโนโลยีการทำปุ๋ยหมักในปัจจุบัน.....	129
6. การพัฒนาระบบที่ยั่งยืน.....	131
6.1 หลักพื้นฐานของ LCA.....	131
6.1.1 ภาพรวมของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์.....	131
6.1.2 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต.....	131
6.1.3 การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Lifecycle inventory analysis : LCI).....	132
6.1.4 การประเมินผลกระทบ (Lifecycle impact assessment : LCIA).....	133
6.1.5 การแปลผล (Interpretation).....	134
6.2 ประสิทธิภาพพลังงาน.....	135
6.2.1 การใช้พลังงานสำหรับการเพาะปลูกและการเก็บเกี่ยวของสารชีวมวล.....	135
6.2.2 การใช้พลังงานของการบำบัดก่อนหน้าสำหรับค่าการเปลี่ยนพลังงานของสารชีวมวล.....	137
6.2.3 ประสิทธิภาพพลังงานเปรียบเทียบระหว่างพลังงานชีวมวลและเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์.....	137
6.3 การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม.....	139
6.3.1 การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของสารชีวมวล.....	139
6.3.2 การเปรียบเทียบระหว่างการผลิตไฟฟ้าจากสารชีวมวลและอื่นๆ.....	140
6.3.3 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของสารชีวมวล.....	142

6.4 การประเมินในเชิงเศรษฐศาสตร์ของพลังงานชีวภาพ.....	143
6.4.1 ต้นทุนของพลังงานชีวภาพ.....	143
6.4.2 ต้นทุนแหล่งทรัพยากรพลังงานชีวภาพ.....	143
6.4.3 ต้นทุนเทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงของสารชีวมวล.....	144
6.4.4 ต้นทุนพลังงานทุติยภูมิ.....	145
6.5 การประเมินอื่นๆ.....	146
6.5.1 มาตรฐานความเป็นอยู่.....	146
6.5.2 รายได้ของเกษตรกร.....	146
6.5.3 เสถียรภาพพลังงานและเงินตราต่างประเทศ.....	147
6.6 ปัญหาที่ต้องนำมาพิจารณา.....	148
6.6.1 ความหลากหลายทางชีวภาพ (ตัวอย่าง การผลิตน้ำมันปาล์ม).....	148
6.6.2 การแข่งขันการใช้ที่ดิน.....	149
6.7 แบบจำลองพลังงาน.....	151
6.7.1 แบบจำลองพลังงานโดยสังเขป.....	151
6.7.2 แบบจำลองพลังงานทั่วไป.....	151
6.7.3 แบบจำลอง DNE21.....	151
6.7.4 แบบจำลอง GLUE.....	152
6.7.5 การแข่งขันการใช้พื้นที่ในแบบจำลอง GLUE.....	152
7. สถานการณ์ของสารชีวมวลในประเทศแถบเอเชีย.....	153
7.1 สาธารณรัฐประชาชนจีน.....	153
7.2 เกาหลี.....	155
7.3 พม่า.....	157
7.4 ลาว.....	159
7.5 บรูไน.....	160
7.6 อินโดนีเซีย.....	162
7.7 กัมพูชา.....	166
7.8 มาเลเซีย.....	168
7.9 ฟิลิปปินส์.....	172
7.10 สิงคโปร์.....	174
7.11 ไทย.....	175
7.12 เวียดนาม.....	177
7.13 ญี่ปุ่น.....	178
7.14 ไทเป (จีน).....	180
8. ตัวอย่างสำหรับการใช้ประโยชน์ของสารชีวมวล.....	182
8.1 การผลิตก๊าซมีเทนทางชีวภาพขนาดเล็ก.....	182
8.1.1 ก๊าซมีเทนทางชีวภาพและการผลิตก๊าซมีเทนทางชีวภาพคืออะไร.....	182
8.1.2 สถานการณ์ของก๊าซมีเทนทางชีวภาพในสาธารณรัฐประชาชนจีน.....	182

8.1.3 ลักษณะของการผลิตก๊าซมีเทนทางชีวภาพขนาดเล็ก.....	183
8.1.4 กระบวนการของการผลิตก๊าซมีเทนทางชีวภาพขนาดเล็ก.....	183
8.1.5 อุปทานของพลังงานของการผลิตก๊าซมีเทนทางชีวภาพขนาดเล็ก.....	183
8.2 การผลิตก๊าซมีเทนทางชีวภาพขนาดใหญ่.....	184
8.2.1 การผลิตก๊าซมีเทนทางชีวภาพขนาดใหญ่.....	184
8.2.2 ระบบการผลิตก๊าซมีเทนทางชีวภาพขนาดใหญ่.....	184
8.2.3 ตัวอย่างของระบบการผลิตก๊าซมีเทนทางชีวภาพขนาดใหญ่.....	186
8.3 การปลูกสับค้ำ.....	187
8.3.1 การเก็บเกี่ยวสับค้ำ.....	188
8.3.2 วิธีการแปรพันธุ์.....	188
8.3.3 ไบโอดีเซลจากสับค้ำ.....	189
8.4 การผลิตไฟฟ้าจากแกลบ.....	190
8.4.1 การส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย.....	190
8.4.2 โรงผลิตไฟฟ้าจากสารชีวมวลในประเทศไทย.....	191
8.4.3 เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันสำหรับแกลบ.....	191
8.5 การผลิตเอทานอล.....	193
8.5.1 อะไรคือแหล่งทรัพยากรที่ดีของการผลิตเอทานอล.....	193
8.5.2 สารชีวมวลลิกโนเซลลูโลส สารป้อนเข้าสำหรับเอทานอลในประเทศไทย.....	193
8.5.3 การดำเนินงานสำรวจการวิจัยและพัฒนา.....	194
ภาคผนวก.....	196
A1 ประกาศโตเกียวว่าด้วยสารชีวมวลของเอเชีย.....	197
A2 พิธีสารเกียวโต.....	206
A3 สถิติในประเทศเอเชีย.....	246
A4 การเปลี่ยนหน่วย.....	247
A5 น้ำหนักอะตอม.....	259
A6 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์.....	263
A7 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงฟอสซิลและช่วงชีวิต.....	265
A8 แผนงาน APEC.....	265
A9 เป้าหมายของแต่ละประเทศ.....	266
A10 ประวัติที่เกี่ยวข้อง.....	268
A11 ภาษาของแต่ละประเทศ.....	269
A12 หนังสือที่เกี่ยวข้อง.....	270