

การศึกษาศักยภาพเชิงพลังงานโดยวิธีการเผาไหม้และแยกสลายด้วยความร้อนของวัสดุเหลือใช้ทาง

การเกษตรและอุตสาหกรรม

STUDY OF ENERGY POTENTIAL OF AGRICULTURAL AND AGRO-INDUSTRIAL WASTE

USING COMBUSTION AND PYROLYSIS TECHNIQUE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การศึกษาศักยภาพเชิงพลังงานโดยวิธีการเผาไหม้และแยกสลายด้วยความร้อนของวัสดุเหลือใช้ทาง  
การเกษตรและอุตสาหกรรม

STUDY OF ENERGY POTENTIAL OF AGRICULTURAL AND AGRO-INDUSTRIAL WASTE  
USING COMBUSTION AND PYROLYSIS TECHNIQUE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมเกษตร  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาศักยภาพเชิงพลังงานโดยวิธีการเผาไหม้และแยกสลายด้วยความร้อนของวัสดุเหลือใช้ทาง  
การเกษตรและอุตสาหกรรม  
STUDY OF ENERGY POTENTIAL OF AGRICULTURAL AND AGRO-INDUSTRIAL WASTE  
USING COMBUSTION AND PYROLYSIS TECHNIQUE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมเกษตร  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF ENERGY POTENTIAL OF AGRICULTURAL AND AGRO-INDUSTRIAL WASTE  
USING COMBUSTION AND PYROLYSIS TECHNIQUE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์

การศึกษาศักยภาพเชิงพลังงานโดยวิธีการเผาไหม้และแยกสลายด้วยความร้อนของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรม  
Study of Energy Potential of Agricultural and Agro-Industrial Waste Using Combustion and Pyrolysis Technique

นักศึกษาผู้จัดทำ

นาย ธนภัทร สมสกุล รหัสนักศึกษา 53010644  
นาย ชีระชัย แดงสมุทร รหัสนักศึกษา 53010763  
นาย วงศ์ชัยวัชร ธนาภิวัดน์ รหัสนักศึกษา 53011381

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

หลักสูตร

วิศวกรรมเกษตร

สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา

2556

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร. ปานมนัส ศิริสมบุรณ์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษาศักยภาพเชิงพลังงานโดยวิธีการเผาไหม้และแยกสลายด้วยความร้อนของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรม

นักศึกษาผู้จัดทำ นาย ธนภัทร สมสกุล 53010644  
นาย ธีระชัย แดงสมุทร 53010763  
นาย วงศ์ชัยวัชร ธนาภิวัฒน์ 53011381  
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ปานมนัส ศิริสมบุรณ์

ปีการศึกษา 2556

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาศักยภาพทางด้านพลังงานทดแทนจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรได้แก่ 8 ชนิด คือ เปลือกกล้วยหอม เปลือกฝักข้าวโพดอ่อน ต้นมันสำปะหลัง เปลือกฝักข้าวโพดหวาน เปลือกลำไย เมล็ดลำไย ใบอ้อย และเปลือกฝักถั่วลิสง ที่ยังไม่มีใครเคยศึกษา มาก่อน โดยใช้หลักการทางวิศวกรรมศาสตร์ในการศึกษา โดยเน้นการได้พลังงานจากวิธีการเผาไหม้ (Combustion) และการแยกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) โดยพิจารณาจากค่าความร้อนต่ำ (Low heating value) สมรรถนะในการเผาไหม้ ได้แก่ อุณหภูมิจุดเผาไหม้ (Ignition temperature) อุณหภูมิที่เผาไหม้สลายจนหมด (Burnout temperature) เวลาในการเผาไหม้ (Burning time) อุณหภูมิเตาเผา (Furnace temperature) และดัชนีสมรรถนะในการเผาไหม้ (Combustion performance index) สมรรถนะในการแยกสลายด้วยความร้อน ได้แก่ โพรไฟล์อัตราเร็วในการสลายตัวของชีวมวล ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา (Reactivity) และอุณหภูมิที่สอดคล้องกับอัตราการแยกสลายด้วยความร้อนสูงสุด และยังศึกษาถึงความคุ้มทุนเกี่ยวกับการนำวัสดุเหลือใช้เหล่านั้นมาใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้า

**คำหลัก:** ศักยภาพเชิงพลังงาน, การเผาไหม้, การแยกสลายด้วยความร้อน, วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และอุตสาหกรรมเกษตร

**Thesis Title** Study of Energy Potential of Agricultural and Agro-Industrial Waste Using Combustion and Pyrolysis Technique

**Authors** Thanapat Somsakuln 53010644  
Teerachai Dangsamut 53010763  
Wongchaiwat Thanapiwat 53011381

**Thesis Advisor** Assoc. Prof. Dr. Panmanas Sirisomboon

**Year** 2013

### Abstract

This research was investigated the energy potential of agricultural and agro-industrial waste including banana peel, baby corn husk, cassava trunk, sweet corn husk, longan peel, longan seed, sugar cane leaf, peanut husk using engineering principles. The study focussed on the low heating value of the waste, the combustion performance including ignition temperature, burnout temperature, burning time, furnace temperature, combustion performance index, and pyrolysis performance including mass loss rate profile, reactivity and temperature corresponded to maximum mass loss rate. In addition, the break- even-point for electricity production by using the waste was calculated.

**Keyword:** Energy potential, Combustion, Pyrolysis, Agricultural and agro-industrial waste.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้คงไม่อาจสำเร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับคำแนะนำ ความช่วยเหลือ และความร่วมมือจากหลายๆ ฝ่าย บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ก็คือ อาจารย์ ปานมนัส ศิริสมบุรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำ ความเอาใจใส่ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง และจะเป็นไปไม่ได้หากจะไม่ขอบพระคุณหลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนสถานที่ เครื่องมือ และเงินทุนในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

อีกทั้งต้องขอขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ซึ่งก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ที่ได้เลี้ยงดูข้าพเจ้ามาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังคงคอยให้กำลังใจ เอาใจใส่ รวมถึงให้คำปรึกษาเสมอมา ในทุกๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสูงสุดไม่มีประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นาย ธนภัทร สมสกุล  
นาย ธีระชัย แดงสมุทร  
นาย วงศ์ชัยวัชร ธนาภิวัฒน์

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูปภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.4 วิธีการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ชีวมวล	5
2.2 การเผาไหม้	6
2.3 การแยกสลายด้วยความร้อน	7
2.4 ค่าความร้อน	8
2.4.1 ค่าความร้อนสูง	8
2.4.2 ค่าความร้อนต่ำ	9
2.4.3 การวิเคราะห์ค่าความร้อน	9
2.4.3.1 Isoperibol Calorimeter	10
2.4.3.2 Adiabatic Calorimeter	10
2.4.3.3 Dynamic IKA Calorimeter	11
2.5 สมรรถนะการเผาไหม้	11
2.6 สมรรถนะการแยกสลายด้วยความร้อน	13
2.7 จุดคุ้มทุนและการวิเคราะห์	14
2.7.1 ต้นทุนรวม	14
2.7.2 รายได้รวม	14
2.8 การวิเคราะห์แบบเทอร์โมกราวิเมตริก	14
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3 การทดลอง	
3.1 ขั้นตอนการทดลอง	16
3.2 วัสดุและการเตรียม	16
3.3 การทำแห้งและวัดความชื้น	17
3.4 การวิเคราะห์ค่าความร้อน	17
3.5 การวิเคราะห์สมรรถนะการเผาไหม้	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การวิเคราะห์สมรรถนะการแยกสลายด้วยความร้อน	18
3.7 การวิเคราะห์จุดค้ำพุน	18
3.7.1 ต้นทุนรวม	19
3.7.2 รายได้รวม	21
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 ค่าความชื้น	25
4.2 ค่าความร้อน	25
4.3 สมรรถนะการเผาไหม้	26
4.4 สมรรถนะการแยกสลายด้วยความร้อน	29
4.5 จุดค้ำพุน	33
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	35
ภาคผนวก	36
ภาคผนวก ก. กราฟจากกระบวนการวิเคราะห์แบบ Thermogravimetric	37
ภาคผนวก ข. ตารางข้อมูลการคิดจุดค้ำพุน	74
บรรณานุกรม	83



## สารบัญตาราง

หน้าที่

ตารางที่ 1 ปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร	2
ตารางที่ 3.1 ตัวแปรที่เกี่ยวกับจุดคุ้มทุน	18
ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์ในโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 2 MW อายุโครงการ 15 ปี	19
ตารางที่ 4.1 ค่าความชื้นของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร	25
ตารางที่ 4.2 ค่าความร้อนของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ที่ได้จากวิธีการ Bomb calorimetry เปรียบเทียบกับค่าความร้อนของ ลิกไนท์และซบปิทูนินัส	26
ตารางที่ 4.3 ปริมาณองค์ประกอบของชีวมวลและอุณหภูมิเริ่มต้นและสิ้นสุดกระบวนการ การสลายองค์ประกอบต่างๆของกระบวนการเผาไหม้ที่ได้จากวิธีการ Thermogravimetric analysis	27
ตารางที่ 4.4 ปริมาณการสูญเสียมวลในแต่ละช่วงของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและ อุตสาหกรรมเกษตรของกระบวนการเผาไหม้ที่ได้จากวิธีการ Thermogravimetric analysis	27
ตารางที่ 4.5 พารามิเตอร์ที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้และดัชนีแสดงสมรรถนะของ การเผาไหม้ที่ได้จากวิธีการ Thermogravimetric analysis	28
ตารางที่ 4.6 ปริมาณองค์ประกอบของชีวมวลและอุณหภูมิเริ่มต้นและสิ้นสุดกระบวนการ การสลายองค์ประกอบต่างๆของกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนที่ ได้จากวิธีการ Thermogravimetric analysis	30
ตารางที่ 4.7 ปริมาณการสูญเสียมวลในแต่ละช่วงของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและ อุตสาหกรรมเกษตรของกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนที่ได้จากวิธี การ Thermogravimetric analysis	30
ตารางที่ 4.8 พารามิเตอร์ที่ได้จากกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนได้จากวิธีการ Thermogravimetric analysis	31
ภาคผนวก ข. ตารางที่ ข.1 ต้นทุนรวมและรายได้รวมของเปลือกกล้วย	75
ตารางที่ ข.2 ต้นทุนรวมและรายได้รวมของต้นมันสำปะหลัง	76
ตารางที่ ข.3 ต้นทุนรวมและรายได้รวมของใบอ้อย	77
ตารางที่ ข.4 ต้นทุนรวมและรายได้รวมของเปลือกฝักถั่วลิสง	78
ตารางที่ ข.5 ต้นทุนรวมและรายได้รวมของเปลือกลำไย	79
ตารางที่ ข.6 ต้นทุนรวมและรายได้รวมของเมล็ดลำไย	80
ตารางที่ ข.7 ต้นทุนรวมและรายได้รวมของเปลือกฝักข้าวโพดหวาน	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปร่างภาพ

หน้าที่

รูปที่ 1 ราคาน้ำมันในช่วงปี ค.ศ. 1986-2012	1
รูปที่ 2.1 ช่วงการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ประเภทรถยนต์ในกระบวนการการเผาไหม้	6
รูปที่ 2.2 ช่วงการสลายองค์ประกอบทางเคมีในกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อน	7
รูปที่ 2.3 ช่วงการสลายองค์ประกอบทางเคมีในกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อน จากบทความวิจัยของ Yang et al	8
รูปที่ 2.4 Isoperibol Calorimeter	10
รูปที่ 2.5 Adiabatic Calorimeter	11
รูปที่ 2.6 วิเคราะห์ตัวแปรในกระบวนการการเผาไหม้	12
รูปที่ 2.7 การพิจารณาความเร็วในการเกิดปฏิกิริยา และความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา	13
รูปที่ 3.1 อุปกรณ์ของโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 2 MW อายุโครงการ 15 ปี	20
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน	24
รูปที่ 4.1 ช่วงการสลายองค์ประกอบทางเคมีในกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนของ วัสดุแต่ละชนิด	32
รูปที่ 4.2 จุดคุ้มทุนของชีวมวลทั้ง 8 ชนิด	34
ภาคผนวก ก. ภาพที่ ก.1 กราฟ TG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 3 ซ้ำการทดลอง ของเปลือกฝักข้าวโพดอ่อน	38
ภาพที่ ก.2 กราฟ DTG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 3 ซ้ำการทดลอง ของเปลือกฝักข้าวโพดอ่อน	39
ภาพที่ ก.3 กราฟ TG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 3 ซ้ำการทดลองของเปลือกฝักข้าวโพดอ่อน	40
ภาพที่ ก.4 กราฟ TG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 3 ซ้ำการทดลองของเปลือกฝักข้าวโพดอ่อน	41
ภาพที่ ก.5 กราฟ TG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 3 ซ้ำการทดลอง ของเปลือกกล้วยหอม	42
ภาพที่ ก.6 กราฟ DTG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 3 ซ้ำการทดลอง ของเปลือกกล้วยหอม	43
ภาพที่ ก.7 กราฟ TG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 3 ซ้ำการทดลองของเปลือกกล้วยหอม	44
ภาพที่ ก.8 กราฟ TG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 3 ซ้ำการทดลองของเปลือกกล้วยหอม	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ก.9 กราฟ TG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 3 ชั่วโมง ของใบอ้อย	46
ภาพที่ ก.10 กราฟ DTG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 3 ชั่วโมง ของใบอ้อย	47
ภาพที่ ก.11 กราฟ TG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 3 ชั่วโมงการทดลองของใบอ้อย	48
ภาพที่ ก.12 กราฟ TG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 3 ชั่วโมงการทดลองของใบอ้อย	49
ภาพที่ ก.13 กราฟ TG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 3 ชั่วโมงการทดลอง ของเปลือกลำไย	50
ภาพที่ ก.14 กราฟ DTG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 3 ชั่วโมงการทดลอง ของเปลือกลำไย	51
ภาพที่ ก.15 กราฟ TG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 3 ชั่วโมงการทดลองของเปลือกลำไย	52
ภาพที่ ก.16 กราฟ TG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 3 ชั่วโมงการทดลองของเปลือกลำไย	53
ภาพที่ ก.17 กราฟ TG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 3 ชั่วโมงการทดลอง ของเมล็ดลำไย	54
ภาพที่ ก.18 กราฟ DTG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 3 ชั่วโมงการทดลอง ของเมล็ดลำไย	55
ภาพที่ ก.19 กราฟ TG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 3 ชั่วโมงการทดลองของเมล็ดลำไย	56
ภาพที่ ก.20 กราฟ TG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 3 ชั่วโมงการทดลองของเมล็ดลำไย	57
ภาพที่ ก.21 กราฟ TG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 3 ชั่วโมงการทดลอง ของเปลือกฝักข้าวโพดหวาน	58
ภาพที่ ก.22 กราฟ DTG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 3 ชั่วโมงการทดลอง ของเปลือกฝักข้าวโพดหวาน	59
ภาพที่ ก.23 กราฟ TG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 3 ชั่วโมงการทดลองของเปลือกฝักข้าวโพดหวาน	60
ภาพที่ ก.24 กราฟ TG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 3 ชั่วโมงการทดลองของเปลือกฝักข้าวโพดหวาน	61
ภาพที่ ก.25 กราฟ TG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 3 ชั่วโมงการทดลอง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเปลือกฝักถั่วลิสง	62
ภาพที่ ก.26 กราฟ DTG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 3 ขั้นตอนการทดลอง ของเปลือกฝักถั่วลิสง	63
ภาพที่ ก.27 กราฟ TG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 3 ขั้นตอนการทดลองของเปลือกฝักถั่วลิสง	64
ภาพที่ ก.28 กราฟ TG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 3 ขั้นตอนการทดลองของเปลือกฝักถั่วลิสง	65
ภาพที่ ก.29 กราฟ TG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 3 ขั้นตอนการทดลอง ของต้นมันสำปะหลัง	66
ภาพที่ ก.30 กราฟ DTG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 3 ขั้นตอนการทดลอง ของต้นมันสำปะหลัง	67
ภาพที่ ก.31 กราฟ TG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 3 ขั้นตอนการทดลองของต้นมันสำปะหลัง	68
ภาพที่ ก.32 กราฟ TG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 3 ขั้นตอนการทดลองของต้นมันสำปะหลัง	69
ภาพที่ ก.33 กราฟ TG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 8 ขั้นตอน	70
ภาพที่ ก.33 กราฟ DTG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 8 ขั้นตอน	71
ภาพที่ ก.33 กราฟ TG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 8 ขั้นตอน	72
ภาพที่ ก.33 กราฟ DTG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 8 ขั้นตอน	73

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มา

เนื่องจากในปัจจุบันน้ำมันจากซากดึกดำบรรพ์ (Fossil) มีราคาแพงและอนาคตจะมีราคาที่สูงขึ้น (รูปที่ 1)<sup>[1]</sup> คณะผู้จัดทำจึงได้เล็งเห็นความสำคัญทางด้านพลังงานทดแทนซึ่งได้มาจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรที่มีอยู่จำนวนมาก ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งได้จากการสืบค้นจากฐานข้อมูลทางอินเทอร์เน็ตและการสอบถามจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจและเป็นประโยชน์ในการใช้หลักการทางวิศวกรรมศาสตร์ในการศึกษาศักยภาพของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเชิงพลังงาน โดยการวิเคราะห์แบบเทอร์โมกราวิเมตริกและการใช้บอมบ์แคลอริมิเตอร์โดยเน้นการได้พลังงานจากวิธีการเผาไหม้ (Combustion) และการแยกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ยังไม่มีใครเคยศึกษามาก่อน โดยพิจารณาจากค่าความร้อน (Heating value) สมรรถนะในการเผาไหม้ ได้แก่ อุณหภูมิจุดเผาไหม้ (Ignition temperature) อุณหภูมิที่เผาไหม้สลายจนหมด (Burnout temperature) เวลาในการเผาไหม้ (Burning time) อุณหภูมิเตาเผา (Furnace temperature) และดัชนีสมรรถนะในการเผาไหม้ (Combustion performance index) สมรรถนะในการแยกสลายด้วยความร้อน ได้แก่ โพรไฟล์อัตราเร็วในการสลายตัวของชีวมวล ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา (Reactivity) และอุณหภูมิที่สอดคล้องกับอัตราการแยกสลายด้วยความร้อนสูงสุด และยังศึกษาต่อเนื่องถึงด้านเศรษฐศาสตร์เรื่องความคุ้มค่าเกี่ยวกับการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ผลิตพลังงานโดยการเผาไหม้และการแยกสลายด้วยความร้อน



รูปที่ 1 ราคาน้ำมันในช่วงปี ค.ศ. 1986-2012<sup>[1]</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

วัสดุทางการเกษตร	วัสดุเหลือใช้	ปริมาณผลผลิต (ตัน/ปี)	ปี	%ของวัสดุเหลือใช้	ปริมาณของวัสดุเหลือใช้ (ตัน/ปี)
อ้อยโรงงาน	ยอดและใบ	98,400,465 <sup>[2]</sup>	2555	25-27 <sup>[11]</sup>	2,399,173 – 2,591,107
มันสำปะหลังโรงงาน	ต้น	26,601,090 <sup>[3]</sup>	2555	13.7-14 <sup>[12]</sup>	3,644,349 – 3,724,153
ถั่วเหลือง	เปลือกฝัก	78,883 <sup>[4]</sup>	2555	8 <sup>[13]</sup>	6,310.64
ถั่วลิสง	เปลือกฝัก	47,680 <sup>[5]</sup>	2555	20-40*	9,600 – 19,200
ข้าวโพดฝักอ่อน	เปลือกฝัก	262,942 <sup>[6]</sup>	2553	18 <sup>[14]</sup>	47,329.56
ข้าวโพดหวาน	เปลือกฝัก	460,850 <sup>[7]</sup>	2553	28 <sup>[15]</sup>	129,038
กล้วยหอม	เปลือก	233,200 <sup>[8]</sup>	2555	35.6-36 <sup>[16]</sup>	83,019 – 83,952
ลิ้นจี่	เปลือก/เมล็ด	65,965 <sup>[9]</sup>	2555	28-35*	18,470 – 23,088
ลำไย	เปลือก/เมล็ด	853,780 <sup>[10]</sup>	2555	32-39*	273,280 – 333,060

\*สอบถามทางโทรศัพท์จากโรงงานแปรรูปอาหาร

การวิเคราะห์แบบเทอร์โมกราวิเมตริก เป็นวิธีที่สะดวกและง่ายต่อการศึกษาจลศาสตร์ของกระบวนการเผาไหม้และกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน ในวิธีนี้มีการชั่งมวลของชีวมวลเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของมวลและปริมาณผลผลิตในกระบวนการเผาไหม้ และกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน ที่ระดับอุณหภูมิใดๆ โดยสามารถแบ่งกระบวนการเผาไหม้ และกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนออกได้เป็น 3 ช่วง<sup>[17]</sup> คือ ในช่วงแรกอุณหภูมิระหว่าง 30-110 °C จะเกิดการระเหยน้ำในชีวมวล ช่วงที่สองอุณหภูมิระหว่าง 110-700 °C จะเกิดการระเหยสารระเหย ซึ่งในกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนสามารถถูกแบ่งออกได้สองช่วงย่อยๆคือ ช่วงการเกิดสารระเหยหลัก (Main devolatilisation) และช่วงการเกิดสารระเหยรอง (Continuous slight devolatilisation) ช่วงสุดท้ายจะเกิดกระบวนการเผาไหม้คาร์บอน และส่วนที่เหลือจากกระบวนการเผาไหม้จะเป็นเถ้า (Ash) ซึ่งเคยมีผู้ศึกษามาก่อนเกี่ยวกับลักษณะการเผาไหม้ของปาล์มน้ำมันมาเลเซีย โดยใช้การวิเคราะห์แบบเทอร์โมกราวิเมตริก<sup>[18]</sup> และการตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อนของปาล์มน้ำมันมาเลเซียด้วยกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนโดยใช้การวิเคราะห์แบบเทอร์โมกราวิเมตริก<sup>[19]</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ค่าความร้อนแบบ Bomb calorimetry เป็นการวัดค่าความร้อนโดยจำลองการเผาไหม้ของวัสดุ โดยวิธี Isoperibol ซึ่งค่าความร้อนที่ได้เป็นค่าความร้อนต่ำ (Low heating value) เนื่องจากชีวมวลที่ใช้ผ่านการทำแห้งจนเหลือความชื้นต่ำแล้ว ซึ่งเคยผู้ศึกษามาก่อนเกี่ยวกับการวัดค่าความร้อนของแกลบโดยใช้วิธี Bomb calorimetry<sup>[20]</sup> และการประมาณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลในประเทศสเปน<sup>[21]</sup>

ความหมายของจุดคุ้มทุน คือ จุดที่ปริมาณขาย ณ จุดนั้นทำให้รายรับรวมเท่ากับต้นทุนรวมพอดี เป็นแนวทางในการตัดสินใจในการลงทุนของผู้ที่สนใจในการลงทุน ได้มีการศึกษาจุดคุ้มทุนของพลังงานชีวมวล เช่น แกลบ ฟาง ชังข้าวโพด<sup>[22]</sup> และไม้ยูคาลิปตัส<sup>[23, 24]</sup>

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาคัญภาพเชิงพลังงานของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร โดยพิจารณาจากอุณหภูมิการติดไฟ (Ignition temperature) อุณหภูมิที่เผาไหม้หมด (Burnout temperature) เวลาในการเผาไหม้ (Burning time) อุณหภูมิเตาเผา (Furnace temperature) ดัชนีสมรรถนะในการเผาไหม้ (Combustion performance index) และสมรรถนะในการแยกสลายด้วยความร้อน ได้แก่ โพรไฟล์อัตราเร็วในการสลายตัวของชีวมวล ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา (Reactivity) และอุณหภูมิที่สอดคล้องกับอัตราการแยกสลายด้วยความร้อนสูงสุด

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มทุนเชิงเศรษฐศาสตร์ ในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าที่ใช้พลังงานทดแทนจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรเป็นเชื้อเพลิง

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาคัญภาพเชิงพลังงานของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรจำนวน 8 ชนิด ได้แก่ เปลือกกล้วยหอม เปลือกฝักข้าวโพดอ่อน ต้นมันสำปะหลัง เปลือกฝักข้าวโพดหวาน เปลือกลำไย เมล็ดลำไย ใบอ้อย และเปลือกฝักถั่วลิสงโดยวิธีการเผาไหม้และการแยกสลายด้วยความร้อน พร้อมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์

## 1.4 วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยในโครงการนี้จะเริ่มด้วยการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งมีเรื่องหลักๆอยู่ 8 เรื่องด้วยกัน คือ ความหมายของชีวมวล หลักการการเผาไหม้ หลักการการแยกสลายด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อน ค่าความร้อนและการวิเคราะห์ สมรรถนะการเผาไหม้ สมรรถนะการแยกสลายด้วยความร้อน จุดคุ้มทุนและการวิเคราะห์ และการวิเคราะห์แบบเทอร์โมกราวิเมตริก ซึ่งมีรายละเอียดดังในบทที่ 2 จากนั้นได้นำความรู้ที่ได้ศึกษาทั้งหมดมาวิเคราะห์ วางแผนการทดลอง และทำการทดลอง ซึ่งมีรายละเอียดในบทที่ 3

สำหรับบทที่ 4 เป็นการแสดงให้เห็นถึงผลการทดลองทั้งหมดซึ่งแสดงถึง ค่าความร้อน สมรรถนะการเผาไหม้ สมรรถนะการแยกสลายด้วยความร้อน และจุดคุ้มทุนของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรทั้ง 8 ชนิด และบทที่ 5 ซึ่งเป็นบทสุดท้ายเป็นการสรุปการทดลองผลที่ได้รับจากงานวิจัยชิ้นนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชีวมวล

ชีวมวล (Biomass)<sup>[25]</sup> คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติ และสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ เพราะในขั้นตอนของการเจริญเติบโตนั้น พืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เนื่องจากพืชเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงได้แบ่งและน้ำตาล แล้วกักเก็บไว้ตามส่วนต่างๆ ของพืช ดังนั้น เมื่อนำพืชมาเป็นเชื้อเพลิง จะได้พลังงานออกมา การใช้ประโยชน์จากพลังงานชีวมวลสามารถใช้ได้ทั้งในรูปของพลังงานความร้อน ไอน้ำ หรือผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า โดยจะใช้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดใดชนิดหนึ่ง หรือหลายชนิดรวมกันก็ได้ เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือกากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร ชีวมวลจึงเป็นแหล่งเชื้อเพลิงราคาถูก หากมีการใช้ประโยชน์ในบริเวณที่ไม่ไกลจากแหล่งเชื้อเพลิงมากนัก เพื่อลดต้นทุนในการขนส่ง ชีวมวลมีอยู่ทั่วไปในประเทศไทย การนำชีวมวลมาใช้จะช่วยลดการสูญเสียเงินตราต่างประเทศในการนำเข้าเชื้อเพลิงและสร้างรายได้ให้กับคนท้องถิ่น นอกจากนี้การผลิตพลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสมจะไม่ก่อให้เกิดมลภาวะและไม่สร้างสภาวะเรือนกระจก เนื่องจากการปลูกทดแทนทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดการหมุนเวียนและไม่มีการปลดปล่อยเพิ่มเติม เรายังมุ่งหวังว่าการพัฒนาโครงการเกี่ยวกับชีวมวลจะสามารถเสริมสร้างความเข้มแข็งและการมีส่วนร่วมของชุมชนได้อีกด้วย

ซึ่งองค์ประกอบของชีวมวลหรือสสารทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ

ความชื้น (Moisture) คือ ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในชีวมวล ส่วนมากจะมีความชื้นค่อนข้างสูง เพราะเป็นผลผลิตทางการเกษตร ถ้าต้องการนำชีวมวลเป็นพลังงานโดยการเผาไหม้ ความชื้นไม่ควรเกิน 50 เปอร์เซ็นต์

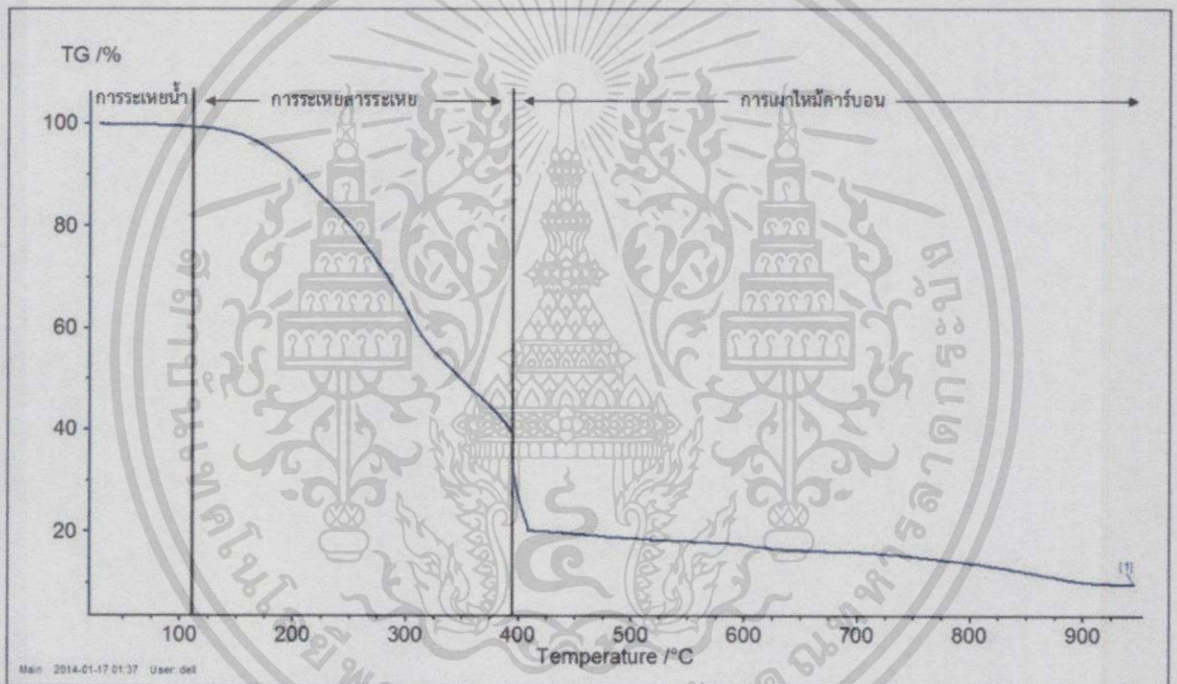
ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible substance) จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ Volatiles matter และ Fixed Carbon Volatiles matter คือส่วนที่ลุกเผาไหม้ได้ง่าย ดังนั้นชีวมวลใดที่มีค่า Volatiles matter สูงแสดงว่าติดไฟได้ง่าย

ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ คือ ขี้เถ้า (Ash) ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีขี้เถ้าประมาณ 1-3 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นแกลบและฟางข้าว จะมีสัดส่วนขี้เถ้าประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะมีปัญหาในการเผาไหม้และกำจัดพอสมควร

## 2.2 การเผาไหม้

การเผาไหม้ (Combustion) คือ กระบวนการที่เปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานความร้อนโดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาของการรวมตัวกันของเชื้อเพลิงกับออกซิเจน ( $O_2$ ) เพื่อทำให้เกิดการจุดระเบิด (จุดวาบไฟ) และคายความร้อนออกมา ซึ่งในกระบวนการการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะไม่ใช้ออกซิเจนเพียงอย่างเดียว แต่จะเป็นการใช้อากาศ (อากาศ,  $O_2+3.76N_2$ ) เนื่องจากอากาศมีออกซิเจนอยู่ 21 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร หรือ 23 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งเชื้อเพลิงชีวมวลประกอบด้วยธาตุต่างๆ เช่น คาร์บอน (C) ออกซิเจน ( $O_2$ ) ไฮโดรเจน ( $H_2$ ) ไนโตรเจน (N) และซัลเฟอร์ (S)

ในกระบวนการการเผาไหม้สามารถแบ่งช่วงของการเผาไหม้องค์ประกอบทางเคมีได้ 3 ช่วง (รูปที่ 2.1) ดังนี้



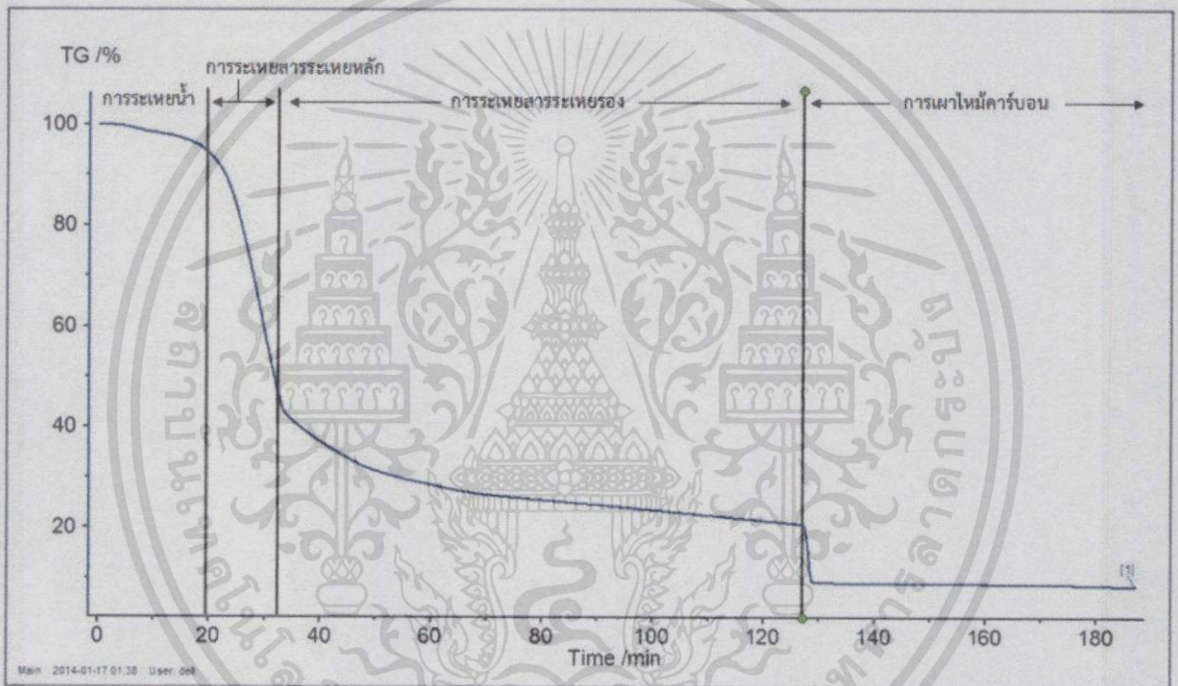
รูปที่ 2.1 ช่วงการเผาไหม้องค์ประกอบทางเคมีในกระบวนการการเผาไหม้

ช่วงการระเหยของน้ำ คือ ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 30-110 °C ช่วงการระเหยสารระเหย คือ ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 110 °C เป็นต้นไป และช่วงการเผาไหม้คาร์บอน คือ ช่วงอุณหภูมิที่ต่อจากช่วงการระเหยสารระเหย (อุณหภูมิที่เริ่มช่วงการเผาไหม้คาร์บอนจะขึ้นอยู่กับจุดวาบไฟของวัสดุ) โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วงย่อยๆ ได้ดังนี้ ในช่วงแรกจะเกิดการเผาไหม้คาร์บอนอย่างรวดเร็ว และช่วงท้ายจะเป็นการเผาไหม้คาร์บอนอย่างช้าๆ สิ่งที่เหลือจากกระบวนการการเผาไหม้คือ ขี้เถ้า (Ash)

## 2.3 การแยกสลายด้วยความร้อน

การแยกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) คือ การสลายตัวของวัสดุอินทรีย์จากของแข็งเป็นก๊าซ เชื้อเพลิงเนื่องจากถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง โดยไม่เกิดการลุกไหม้หรือจุดระเบิด (ไม่อาศัยออกซิเจน) ซึ่งเชื้อเพลิงชีวมวลมีองค์ประกอบทางเคมีหลักๆ อยู่ 3 ชนิด คือ เซมิเซลลูโลส เซลลูโลส ลิกนิน และแร่ธาตุบางชนิด โดยองค์ประกอบทางเคมีแต่ละชนิดมีการสลายที่อุณหภูมิแตกต่างกัน รวมถึงอัตราการสลายตัวขององค์ประกอบทางเคมีก็มีสัดส่วนแตกต่างกันด้วย โดยขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ

ในกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนสามารถแบ่งช่วงสลายองค์ประกอบทางเคมีได้ 3 ช่วง (รูปที่ 2.2) ดังนี้

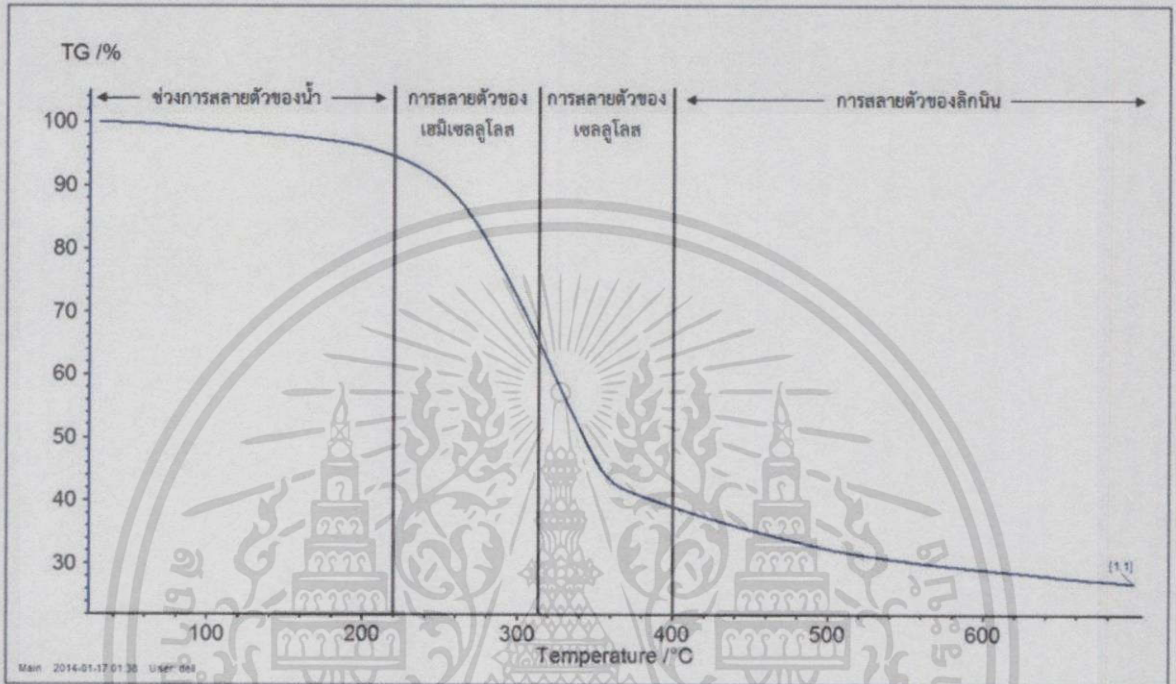


รูปที่ 2.2 ช่วงการสลายองค์ประกอบทางเคมีในกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อน

ช่วงการระเหยของน้ำ คือ ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 30-220 °C (0-19 min) ช่วงการระเหยสารระเหยคือ ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 220 °C เป็นต้นไป สามารถแบ่งออกได้เป็นสองช่วงคือ ช่วงการระเหยสารระเหยหลัก (Main devolatilisation) และช่วงการระเหยสารระเหยรอง (Continuous slight devolatilisation)<sup>[17]</sup> สารระเหยเหล่านี้เป็นก๊าซเชื้อเพลิง หลังจากได้สารระเหยจากการสลายด้วยความร้อนแล้ว สิ่งที่เหลือคือคาร์บอนและเถ้า จากรูปที่ 2.2 ช่วงสุดท้ายจะทำให้เกิดกระบวนการเผาไหม้คาร์บอน คือ ช่วงอุณหภูมิที่ต่อจากช่วงการระเหยสารระเหย (อุณหภูมิที่เริ่มช่วงการเผาไหม้คาร์บอนจะขึ้นอยู่กับจุดวาบไฟของวัสดุ) โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วงย่อยๆ ได้ดังนี้ ในช่วงแรกจะเกิดการเผาไหม้คาร์บอนอย่างรวดเร็ว และช่วงท้ายจะเป็นการเผาไหม้คาร์บอนอย่างช้าๆ สิ่งที่เหลือจาก

กระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนคือ ชี้ถ้ำ และผลผลิตที่ได้จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนคือ ก๊าซเชื้อเพลิง และคาร์บอนหรือเรียกว่า Char

แต่หากพิจารณาจากบทความวิจัยของ Yang et al, 2006<sup>[26]</sup> รายงานไว้ว่ากระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนสามารถแบ่งช่วงสลายองค์ประกอบทางเคมีได้ 4 ช่วง (รูปที่ 2.3) ดังนี้



รูปที่ 2.3 ช่วงการสลายองค์ประกอบทางเคมีในกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนจากบทความวิจัยของ Yang et al<sup>[26]</sup>

ช่วงการสลายตัวของน้ำ คือ ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 30-220 °C ช่วงการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลส คือ ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 220-315 °C ช่วงการสลายตัวของเซลลูโลส คือ ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 315-400 °C และช่วงการสลายตัวของลิกนิน คือ ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 400 °C เป็นต้นไป

## 2.4 ค่าความร้อน

ค่าความร้อน (Heating Value) คือ ปริมาณของความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงหนึ่งหน่วย มีหน่วยเป็น kJ/kg หรือ MJ/kg ซึ่งค่าความร้อนแบ่งออกเป็นสองชนิด

### 2.4.1 ค่าความร้อนสูง (Gross or upper, higher heating value)

ค่าความร้อนสูง คือ ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงหนึ่งหน่วย จะได้ออกมาเมื่อผลผลิตทั้งหมดของการเผาไหม้ถูกทำให้เย็นตัวลงถึงอุณหภูมิก่อนเผาไหม้และไอน้ำที่เกิดขึ้นระหว่างการเผาไหม้ถูกควบแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความร้อนสูงวัดด้วยบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter) ซึ่งเป็นการวัดความร้อนที่ปลดปล่อยจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงด้วยออกซิเจน น้ำเป็นผลผลิตของปฏิกิริยาการเผาไหม้ ค่าความร้อนสูงรวมค่าพลังงานที่ปลดปล่อยโดยการควบแน่นของน้ำที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงตอนเริ่มต้นและน้ำที่เกิดจากไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง

#### 2.4.2 ค่าความร้อนต่ำ (Net or lower heating value)

ค่าความร้อนต่ำได้มาจากการลบค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของไอน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ออกจากค่าความร้อนสูงในทางปฏิบัติการเอาพลังงานที่ปลดปล่อยการควบแน่นของไอน้ำกลับคืนมา เป็นไปได้ค่อนข้างยากสำหรับการเผาไหม้ชีวมวล

ค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิงขึ้นเท่ากับ

$$HHV(1 - MC) \quad \dots\dots (2.1)$$

เมื่อ  $HHV$  คือค่าความร้อนสูงของชีวมวลแห้ง

$MC$  คือปริมาณความชื้นของชีวมวลฐานเปียก (หน่วยเป็นทศนิยม)

ดังนั้น ค่าความร้อนต่ำ ( $LHV$ )

$$LHV = HHV(1 - MC) - (\lambda)(MC) - (1 - MC)(\lambda)\left(\frac{18H}{200}\right) \quad \dots\dots (2.2)$$

เมื่อ  $H$  คือ ปริมาณไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง (หน่วยเป็น%โดยน้ำหนักแห้ง)

$\lambda$  คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ

เทอมที่ 2 ของสมการที่ (2.1) คือความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำในเชื้อเพลิง

เทอมที่ 3 ของสมการที่ (2.2) คือพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากการสร้างน้ำจากไฮโดรเจนของเชื้อเพลิง

#### 2.4.3 การวิเคราะห์ค่าความร้อน

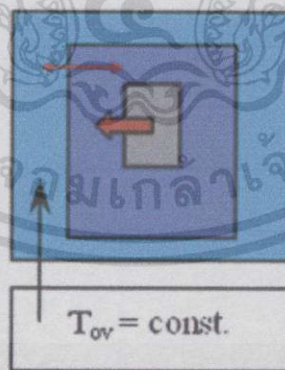
การวิเคราะห์ค่าความร้อนแบบ Bomb calorimetry เป็นการวัดค่าความร้อนด้วยบอมบ์แคลอริมิเตอร์ ซึ่งเป็นการวัดความร้อนที่ปลดปล่อยจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงด้วยออกซิเจน น้ำเป็นผลผลิตของปฏิกิริยาการเผาไหม้ ค่าความร้อนที่ได้จึงเป็นค่าความร้อนสูง ซึ่งค่าความร้อนสูงรวมค่าพลังงานที่ปลดปล่อยโดยการควบแน่นของน้ำที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงตอนเริ่มต้นและน้ำที่เกิดจากไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง แต่ในงานวิจัยนี้ค่าความร้อนที่ได้เป็นค่าความร้อนสูงของชีวมวลที่ผ่านการทำให้แห้งแล้ว ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความร้อนต่ำ

ซึ่งเคยมีผู้ศึกษามาก่อนเกี่ยวกับการวัดค่าความร้อนของชีวมวลเช่น แกลบโดยใช้วิธี Bomb calorimetry<sup>[20]</sup> อธิบายว่า ค่าความร้อนของแกลบแตกต่างกันอันเนื่องมาจากความหลากหลายของเงื่อนไขการทดสอบ และพันธุ์ข้าว ในการศึกษาที่ค่าความร้อนสูงของแกลบถูกวัดโดยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์โดยใช้เม็ดเป็นโซอิกแอซิกเป็นตัวเสริมการเผาไหม้ ซึ่งค่าความร้อนขึ้นกับมวลตัวอย่าง ความดันเกจของออกซิเจน และอัตราส่วนมวลระหว่างเม็ดเป็นโซอิกแอซิกและแกลบ และอีกหนึ่งบทความคือ การประมาณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลในประเทศสเปน<sup>[21]</sup> ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนสูงของชีวมวลสเปน 100 ชนิดกับข้อมูลจากการทดลองแบบ Proximate Analysis พบว่าปริมาณคาร์บอน ออกซิเจน เถ้า และคาร์บอนคงที่เป็นตัวแปรสำคัญและการรวมตัวแปรความชื้นในสมการทำให้คำนวณค่าความร้อนได้แม่นยำขึ้น

โดยการวิเคราะห์ค่าความร้อนแบบ Bomb calorimetry แบ่งออกเป็น 3 ประเภท

#### 2.4.3.1 Isoperibol Calorimeter<sup>[27]</sup>

ในการวัดแบบ Isoperibol Calorimeter อุณหภูมิของเวสเซล (Vessel) ด้านนอกจะถูกทำให้คงที่ตลอดการทดลอง ถึงแม้ว่าอุณหภูมิของเวสเซลด้านนอกจะถูกทำให้คงที่แต่ไม่ได้หมายความว่าระบบจะถูกแยกออกอย่างสมบูรณ์ ยังคงมีอุณหภูมิเล็กน้อยแลกเปลี่ยนกันระหว่างเวสเซลด้านในและด้านนอก ควรรักษาอุณหภูมิห้องด้วยเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิห้องเพื่อทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทดลองน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ปัจจัยการคลาดเคลื่อนเหล่านี้จะถูกคำนวณกลับหลังจากการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 2.4



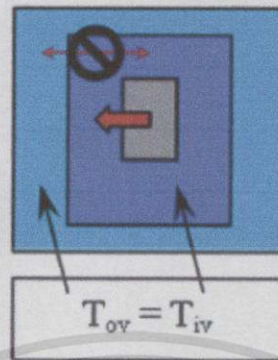
รูปที่ 2.4 Isoperibol Calorimeter<sup>[27]</sup>

#### 2.4.3.2 Adiabatic Calorimeter<sup>[27]</sup>

ในการวัดแบบ Adiabatic Calorimeter อุณหภูมิของเวสเซลด้านนอกจะมีอุณหภูมิเดียวกับเวสเซลด้านในตลอดการทดลอง จึงทำให้ใกล้เคียงกับการแยกระบบออกจากสิ่งแวดล้อมได้สมบูรณ์ ถึงอย่างไรก็ตามยังคงต้องรักษาอุณหภูมิห้องด้วยเครื่องปรับอากาศที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิห้องเพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทดลองน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ไม่มีปัจจัยการคลาดเคลื่อนที่ถูกคำนวณทกลับหลังจากการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 Adiabatic Calorimeter<sup>[27]</sup>

#### 2.4.3.3 Dynamic IKA Calorimeter<sup>[27]</sup>

ขั้นตอนการวัดนี้ไม่มีหลักการจริง การวัดแบบนี้ถูกออกแบบมาสำหรับความต้องการเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เร็วกว่าแต่ยังคงมาตรฐานเหมือนการวัดในสองแบบแรก สรุปคือการวัดแบบ Dynamic IKA Calorimeter เป็นการทอนการวัดให้มีระยะเวลาสั้นลงแต่ยังคงมาตรฐานเหมือนการวัดแบบปกติ

### 2.5 สมรรถนะการเผาไหม้

สมรรถนะการเผาไหม้ (Combustion performance) คือ ความสามารถในการเกิดกระบวนการการเผาไหม้ โดยมีองค์ประกอบในการพิจารณาดังนี้ ดัชนีสมรรถนะการเผาไหม้ (Combustion performance index,  $S$ )<sup>[28]</sup> ดัชนีจุดระเบิด (Ignition index,  $D_i$ )<sup>[29]</sup> และดัชนีเผาไหม้หมด (Burnout index,  $D_f$ )<sup>[29]</sup> ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ดัชนีสมรรถนะการเผาไหม้} \quad S = \frac{(dW/dt)_{max}^c \times (dW/dt)_{mean}^c}{T_i^2 \times T_h} \quad \dots (2.3)$$

$$\text{ดัชนีจุดระเบิด} \quad D_i = \frac{(dW/dt)_{max}}{t_{pte}} \quad \dots (2.4)$$

$$\text{ดัชนีเผาไหม้หมด} \quad D_f = \frac{(dW/dt)_{max}}{\frac{\Delta t_1 t_{ptf}}{2}} \quad \dots (2.5)$$

ซึ่งหากชีวมวลมีค่าดัชนีเหล่านี้สูงแสดงว่าชีวมวลชนิดนั้นมีความสามารถในการเกิดกระบวนการการเผาไหม้ หรือมีสมรรถนะการเผาไหม้ดีนั่นเอง

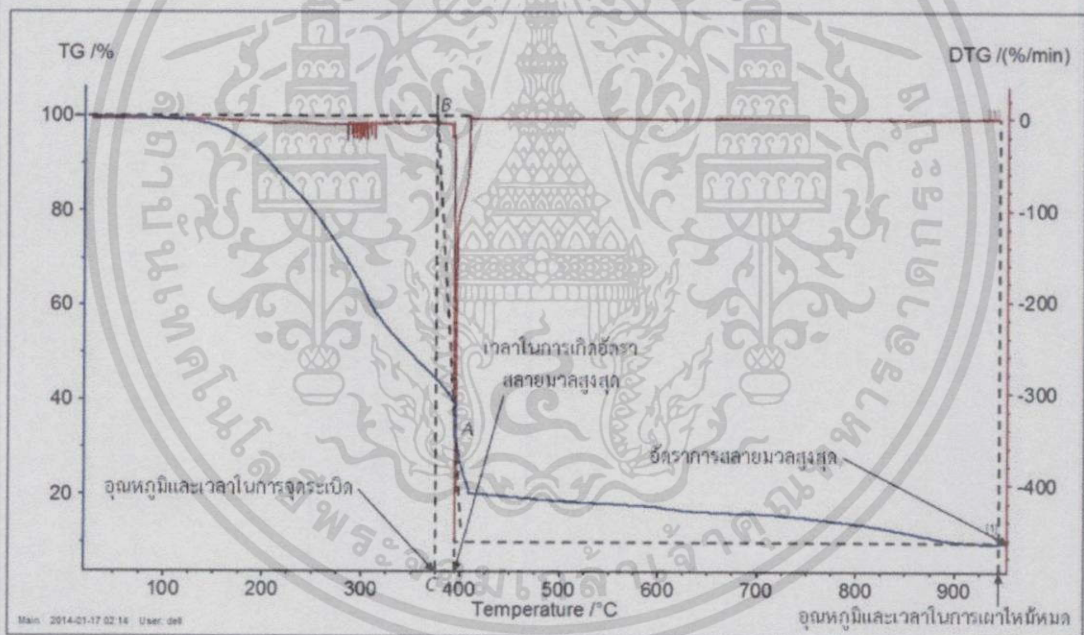
โดยตัวแปรต่างๆ มีความหมายดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $(dW/dt)^c_{max}$  คือ อัตราการสูญเสียมวลสูงสุด
- $(dW/dt)^c_{mean}$  คือ อัตราการสูญเสียมวลเฉลี่ย
- $T_i$  คือ อุณหภูมิในการจุดระเบิด
- $T_h$  คือ อุณหภูมิในการเผาไหม้หมด
- $t_p$  คือ เวลาที่เกิดอัตราการสูญเสียมวลสูงสุด
- $t_e$  คือ เวลาที่จุดระเบิด
- $t_f$  คือ เวลาที่เผาไหม้หมด

$\Delta t_{1/2}$  คือ เวลาที่  $(dW/dt)/(dW/dt)^c_{max} = 1/2$

โดยสามารถหาตัวแปรต่างๆ ได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 วิธีวิเคราะห์ตัวแปรในกระบวนการการเผาไหม้

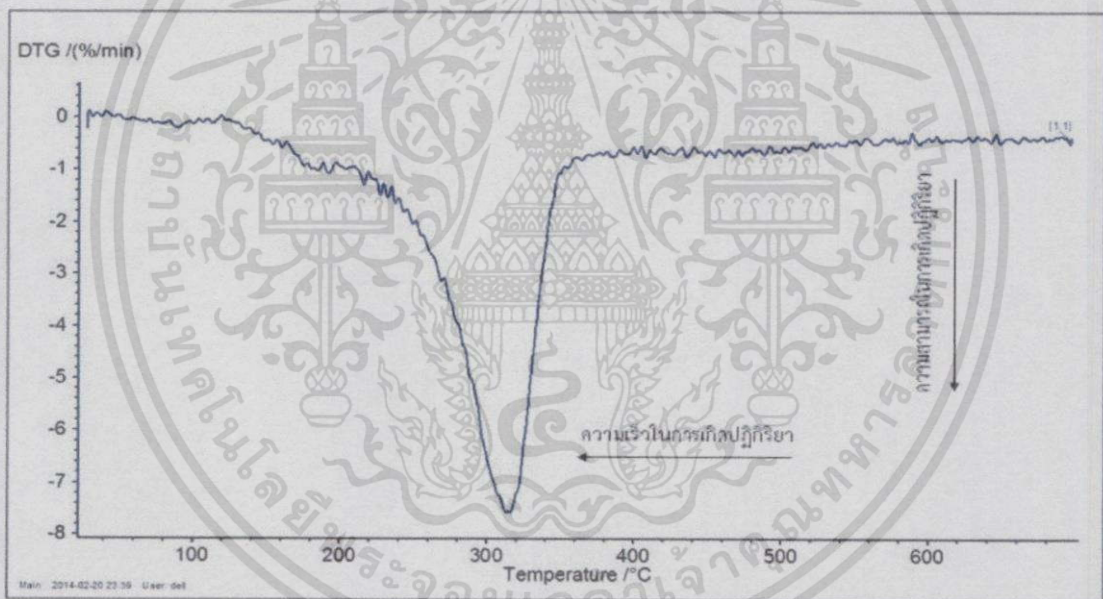
จากรูปที่ 2.6 แสดงวิธีวิเคราะห์ตัวแปรในกระบวนการการเผาไหม้ ซึ่งเป็นการวาดเส้นกราฟบน 2 แกนคือ แกน x เป็นแกนของอุณหภูมิ (ในหน่วย °C) ซึ่งอยู่ในฐานเดียวกับเวลา (ในหน่วย min) และ แกน y จะถูกแยกออกเป็น 2 แกน คือ แกน y สีน้ำเงินเป็นแกนของ Thermogravimetric (TG) หรือ ปริมาณการสูญเสียมวลของชีวมวล (ในหน่วย %) และแกน y สีแดงเป็นแกนของ 1<sup>st</sup> Derivative Thermogravimetric (DTG) หรืออัตราการสูญเสียมวลของชีวมวล (ในหน่วย %/min) โดยเริ่มพิจารณาจากจุดพีคที่ลึกที่สุดของเส้นกราฟ DTG เทียบกับแกน x จะได้เวลาในการเกิดอัตราการสูญเสียมวลสูงสุด ( $t_p$ ) และเมื่อเทียบกับแกน y จะได้อัตราการสูญเสียมวลสูงสุด  $(dW/dt)^c_{max}$  อุณหภูมิและเวลาในการเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใหม่หมดหาได้จากจุดสิ้นสุดกระบวนการบนเส้นกราฟ DTG เทียบกับแกน x จะได้อุณหภูมิและเวลาในการเผาไหม้หมด ( $T_h$  และ  $t_f$  ตามลำดับ) และอุณหภูมิและเวลาในการจุดระเบิดสามารถหาได้โดยมีขั้นตอนทั้งหมด 3 ขั้นตอน โดยเริ่มจากหาจุดตัวระหว่างเส้นกราฟ TG และเส้นกราฟ DTG ซึ่งจะได้จุดตัด A จากนั้นลากเส้นสัมผัสกราฟผ่านจุดตัด A ขึ้นไปตัดกับเส้น Initial level line ของเส้นกราฟ TG จะได้จุดตัด B จากนั้นลากจากจุดตัด B ลงสู่แกน x จะได้จุดตัด C ซึ่งก็คือ อุณหภูมิและเวลาในการจุดระเบิด ( $T_i$  และ  $t_e$  ตามลำดับ)

## 2.6 สมรรถนะการแยกสลายด้วยความร้อน

สมรรถนะการแยกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis performance) คือ ความสามารถในการเกิดกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อน โดยมีองค์ประกอบในการพิจารณา ดังนี้ ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา และความเร็วในการเกิดปฏิกิริยา



รูปที่ 2.7 การพิจารณาความเร็วในการเกิดปฏิกิริยา และความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา

จากรูปที่ 2.7 แสดงการพิจารณาความเร็วในการเกิดปฏิกิริยา และความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา พิจารณาจากอัตราการสลายมวลสูงสุดในกราฟ DTG (%/min) โดยหากมีอัตราการสลายมวลสูงสุดที่ค่าติดลบมากแสดงว่า มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาสูง และความเร็วในการเกิดปฏิกิริยา พิจารณาจากอุณหภูมิหรือเวลาในการเกิดอัตราการสลายมวลสูงสุด โดยหากเกิดอัตราการสลายมวลสูงสุดที่อุณหภูมิต่ำหรือเวลาน้อย ( $^{\circ}\text{C}$  และ min ตามลำดับ) แสดงว่า มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาได้เร็ว

## 2.7 จุดคุ้มทุนและการวิเคราะห์

จุดคุ้มทุน คือ ตำแหน่งของเวลาที่ ต้นทุนรวมเท่ากับรายได้รวมพอดี มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องทั้งหมดดังนี้

2.7.1 ต้นทุนรวมคือ ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการดำเนินงาน ประกอบด้วย

- ต้นทุนคงที่ (Fix cost) คือ ต้นทุนที่ไม่แปรผันกับปริมาณการผลิต ได้แก่ ต้นทุนในการสร้างโรงไฟฟ้า และต้นทุนคงที่ในการดำเนินงานและซ่อมบำรุง
- ต้นทุนแปรผัน คือ (Variable cost) คือ ต้นทุนที่แปรผันกับปริมาณการผลิต ได้แก่ ต้นทุนค่าไฟฟ้าในการดำเนินงาน ต้นทุนชีวมวลรวมการทำแห้ง และต้นทุนแปรผันในการดำเนินงานและซ่อมบำรุง

2.7.2 รายได้รวม คือ ผลตอบแทนที่กิจการได้รับจากการขายสินค้าหรือบริการ ประกอบด้วย

- รายได้จากการขายไฟฟ้าให้แก่การไฟฟ้าฝ่ายผลิต แบ่งเป็น 2 ช่วงเวลาได้แก่
  - ช่วงเวลาช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (On peak) คือ ช่วงเวลาตั้งแต่ 09.00 – 22.00 น. ของวันจันทร์-ศุกร์ และวันพีชมงคล
  - ช่วงเวลา ช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุด (Off Peak) คือ ช่วงเวลาตั้งแต่ 22.00 – 09.00 น. วันเสาร์-วันอาทิตย์วันหยุดราชการตามปกติ ไม่รวมวันหยุดชดเชย
- รายได้จากการขายชี้เถ่า

## 2.8 การวิเคราะห์แบบเทอร์โมกราวิเมตริก

การวิเคราะห์แบบเทอร์โมกราวิเมตริก (Thermogravimetric analysis) คือ การศึกษาจลนศาสตร์ของกระบวนการการเผาไหม้ หรือกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อน ซึ่งมีการชั่งมวลของชีวมวลเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในขั้นตอนของกระบวนการการเผาไหม้ หรือกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อน โดยมีระดับอุณหภูมิที่กระทำต่อตัวอย่างชีวมวลเปลี่ยนแปลงไป

เมื่อทราบมวลที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา หรืออุณหภูมิ ทำให้ทราบปริมาณผลผลิตในกระบวนการต่างๆที่ออกแบบไว้ เช่น ปริมาณน้ำที่ระเหยในช่วงแรก ปริมาณก๊าซจากการแยกสลายด้วยความร้อนในช่วงถัดมา ปริมาณถ่านในช่วงการแยกสลายด้วยความร้อน และปริมาณเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ ปัจจัยที่ใช้ควบคุมได้แก่ อุณหภูมิ อัตราการให้ความร้อน (Heating rate) เวลาที่รักษาอุณหภูมิให้คงที่ (Holding time) และสมบัติของชีวมวล ข้อระวังคือ ขนาดของชีวมวล ถ้าใช้ขนาดเล็กหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละเอียดเกินไป จะทำให้เกิดการฟุ้งกระจาย หรือลอยออกจากภาชนะที่บรรจุในเครื่องได้ รวมถึงความชื้นของชีวมวลก็มีผลกระทบเช่นเดียวกัน หากชีวมวลมีความชื้นมากเกินไประบบก็ไม่สามารถทำงานได้ อย่างไรก็ตามหากชีวมวลมีเนื้อไม้สม่ำเสมอหรือไม่ได้คลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกัน ก็จะได้ผลที่แปรเปลี่ยนไม่แน่นอน

## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

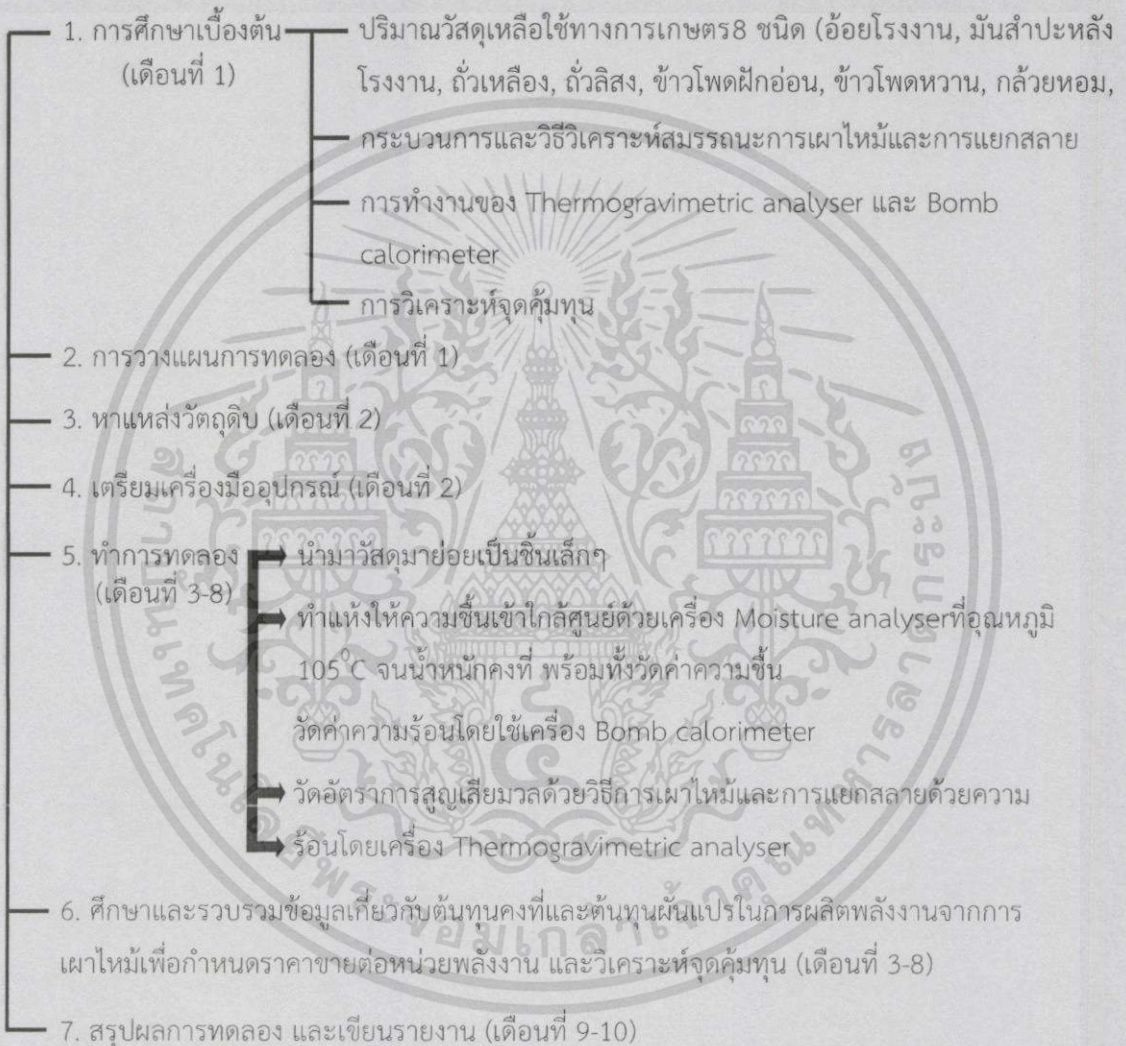
ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาบทความวิจัยที่เกี่ยวข้อง 2 บทความคือ บทความการวิจัยเรื่องคุณสมบัติในเชิงการเผาไหม้ของชีวมวลจากปาล์มน้ำมันพินธมาเลเซีย ถ่านหิน bituminous และ ส่วนผสมของทั้งสองอย่างโดยวิธี Thermogravimetric<sup>[18]</sup> อธิบายไว้ว่า ลักษณะของการเผาไหม้ของชีวมวลจากปาล์มน้ำมันมาเลเซีย ซึ่งได้แก่ เปลือกกะลาปาล์ม (PKS), เปลือกผลปาล์ม (PMF), และทลายปาล์มเปล่า (EFB), ถ่านหิน, bituminous และส่วนผสมถ่านหินกับชีวมวล โดยวิธี Thermogravimetric อัตราส่วนผสม 6 ระดับ ระหว่างของผสมชีวมวลกับถ่านหิน ได้ถูกเตรียมขึ้นแล้วนำไปเผาในออกซิเจนภายใต้สภาวะ dynamic ตั้งแต่อุณหภูมิ 25-110°C ที่ A ระดับการให้ความร้อน TGA ได้ถูกแสดงให้เห็นว่า EFB และ PKS มีทิศเพิ่มเติมขึ้นมาจากเหนือจากระบวนการทำแห้ง คือตอนที่ระเหยน้ำการระเหยถูกผลิตออกมาและการเผาไหม้ของถ่านในระหว่างกระบวนการเผาไหม้อุณหภูมิของการจุดระเบิดและการเผาก็ได้อุณหภูมิที่ปรับโดยเปรียบเทียบกับกระบวนการเผาไหม้ถ่านหิน ในการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาระหว่างถ่านหินกับชีวมวลในระหว่างมีการเผาไหม้ พลังงานกระตุ้นปรากฏในระหว่างกระบวนการได้ถูกประเมินโดยใช้แบบจำลอง iso – conversional model free kinetics ซึ่งให้ผลว่าพลังงานกระตุ้นสูงสุดในระหว่างการเผาไหม้ คือ จาก PKS ตามด้วย PMF, EFB, ถ่านหิน MB การผสมชีวมวลจากปาล์มน้ำมันลงไปในการเผาไหม้จะลดค่า Apparent activation energy value. และจากบทความวิจัยเรื่อง การศึกษาพฤติกรรมทางเคมีความร้อนของถ่านหินมาเลเซียแบบ low rank ชีวมวลจากปาล์ม น้ำมัน และส่วนผสมของปาล์มระหว่าง Pyrolysis โดยใช้วิธีเทอร์โมกราวิเมตริก (TGA)<sup>[19]</sup> อธิบายไว้ว่า พฤติกรรมของถ่านหินมาเลเซียชื่อ (MB) ชีวมวลจากปาล์มน้ำมันได้แก่ EFB PKS PME และส่วนผสมของถ่านหินกับชีวมวลจากปาล์มในระหว่างการ Pyrolysis (คือ การเผาไหม้โดยใช้ออกซิเจน) โดยใช้ TGA ส่วนผสมของชีวมวลจากปาล์มและถ่านหินถูกเตรียมขึ้นที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 6 ระดับ แตกต่างกัน และการทดลอง Dynamic conditions โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนในก๊าซเฉื่อยที่ระดับอัตราการให้ความร้อนแตกต่างกัน เพื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 25 °C ถึง 900 °C แสดงผลให้เห็นว่าการสลายเชิงความร้อนของ EFB PMF PKS แสดง 1, 2, 3 profiles ตามลำดับแตกต่างกันอย่างชัดเจน profiles ถึงความร้อนของส่วนผสมถ่านหิน กับชีวมวล ปรากฏว่ามีสัมพันธ์กันกับเปอร์เซ็นต์ของชีวมวลที่เติมเข้าไปในส่วนผสม ซึ่งชี้ให้เห็นว่าไม่มีปฏิกิริยาระหว่างถ่านหินกับชีวมวลแบบจำลองปฏิกิริยาลำดับที่ 1 ถูกใช้ในการหาพารามิเตอร์ Kinetics สำหรับ การ Pyrolysis ถ่านหินชีวมวลจากปาล์มและส่วนผสมของมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### การทดลอง

##### 3.1 ขั้นตอนการทดลอง



##### 3.2 วัสดุและการเตรียม

วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรทั้ง 8 ชนิด คือ เปลือกกล้วยหอม เปลือกฝักข้าวโพดอ่อน ต้นมันสำปะหลัง เปลือกฝักข้าวโพดหวาน เปลือกลำไย เมล็ดลำไย ใบอ้อย และเปลือกฝักถั่วลิสงถูกนำไปหั่นหรือตัดชิ้นเล็กๆ หลังจากนั้นนำไปทำแห้งและวัดความชื้นด้วยเครื่อง Infrared

moisture analyser (HB43-S, METTLER TOLEDO, Switzerland) ที่อุณหภูมิ 105 °C และแบ่งออกเป็นสองส่วนเพื่อวิเคราะห์ค่าความร้อนด้วยวิธีการ Bomb calorimetry และวิเคราะห์สมรรถนะการเผาไหม้และการแยกสลายด้วยความร้อนโดยวิธี Thermogravimetric analysis

### 3.3 การทำแห้งและวัดความชื้น

ทำแห้งและวัดความชื้นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรด้วยเครื่อง Infrared moisture analyser (HB43-S, METTLER TOLEDO, Switzerland) ที่อุณหภูมิ 105 °C

### 3.4 การวิเคราะห์ค่าความร้อน

นำตัวอย่างประมาณ 0.75 g มาอัดเป็นเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ด แล้วชั่งน้ำหนักละเอียดด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า (AR2140 Adventure, OHAUSS ความละเอียด 0.0001 g) แล้วนำมาวัดค่าความร้อนด้วยเครื่อง บอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (C200, IKA, Germany) โดยวิธี Isoperibol ทั้งนี้ได้เปรียบเทียบกับมาตรฐานเครื่องโดยใช้เม็ด Benzoic acid ขนาด 0.5 g (C723, IKA, Germany) ค่าความร้อนที่ได้เป็นค่าความร้อนสูง (High heating value) ของชีวมวลที่ผ่านการทำแห้งจนเหลือความชื้นเข้าใกล้ศูนย์แล้ว

### 3.5 การวิเคราะห์สมรรถนะการเผาไหม้

การวิเคราะห์สมรรถนะการเผาไหม้ทำโดยวิธี Thermogravimetric analysis โดยใช้เครื่อง Thermogravimetric analyser (TG 209 F3 Tarsus, Netzsch, Germany) ความละเอียด 0.1 µg โดยนำตัวอย่างขนาดประมาณ 2x2 mm (1-5 mg) ใส่ลงในถ้วยครุซีเบิลชนิดอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6.7 mm จากนั้นนำด้วยครุซีเบิลวางลงบนจุดตรวจวัดภายในเครื่อง Thermogravimetric analyser แล้วทำการตั้งค่าการทำงาน จากนั้นกดเริ่มการทดลอง โดยแต่ละชนิดของชีวมวลทำการทดลอง 2-3 ซ้ำ

การวิเคราะห์สมรรถนะการเผาไหม้เริ่มจากการเพิ่มอุณหภูมิจาก 30-950 °C ด้วยอัตราการให้ความร้อน 20 °C/min โดยใช้อัตราการไหลของออกซิเจน เท่ากับ 20 ml/min ซึ่งจะบันทึกมวลที่สูญเสียและอัตราการสูญเสียมวลตลอดกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 การวิเคราะห์สมรรถนะการแยกสลายด้วยความร้อน

การวิเคราะห์สมรรถนะการแยกสลายด้วยความร้อนทำโดยวิธี Thermogravimetric analysis โดยใช้เครื่อง Thermogravimetric analyser (TG 209 F3 Tarsus, Netzsch, Germany) ความละเอียด 0.1  $\mu\text{g}$  โดยนำตัวอย่างขนาดประมาณ 2x2 mm (1-5 mg) ใส่ลงในถ้วยครุชีเบิลชนิดอะลูมิเนียมออกไซด์ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6.7 mm จากนั้นนำถ้วยครุชีเบิลวางลงบนจุดตรวจวัดภายในเครื่อง Thermogravimetric analyser แล้วทำการตั้งค่าการทำงาน จากนั้นกดเริ่มการทดลอง โดยแต่ละชนิดของชีวมวลทำการทดลอง 2-3 ซ้ำ

การวิเคราะห์สมรรถนะการแยกสลายด้วยความร้อนเริ่มจากการรักษาอุณหภูมิที่ 30  $^{\circ}\text{C}$  โดยใช้อัตราการไหลของไนโตรเจน เท่ากับ 20 ml/min เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเพิ่มอุณหภูมิจาก 30-700  $^{\circ}\text{C}$  ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  โดยใช้อัตราการไหลของไนโตรเจน เท่ากับ 20 ml/min หลังจากนั้นรักษาอุณหภูมิที่ 700  $^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วป้อนออกซิเจนด้วยอัตรา 20 ml/min เพื่อเผาไหม้เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง ซึ่งจะบันทึกมวลที่สูญเสียและอัตราการสูญเสียมวลตลอดกระบวนการ

### 3.7 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนสามารถวิเคราะห์ได้โดยการหาค่าต้นทุนรวม และรายได้รวมในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าชีวมวล ขนาด 2 MW อายุโครงการ 15 ปี ทั้งนี้มีต้นทุน และรายได้ ชนิดต่างๆดังแสดงในตารางที่ 3.1 จากนั้นทำการคำนวณต้นทุนและรายได้จากการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า และคำนวณหารายได้จากการขายชี้แก่ของวัสดุเหลือใช้แต่ละชนิด โดยศึกษาต้นทุนในการสร้างโรงไฟฟ้า การดำเนินงาน และซ่อมบำรุงจากโครงการ<sup>22)</sup>

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับจุดคุ้มทุน

ต้นทุนรวม	Fix cost	ค่าสร้างโรงไฟฟ้า	160.85	ล้านบาท
		O & M	10	ล้านบาทต่อปี
	Variable cost	ค่าไฟฟ้า	3.50%	ของปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้
		ค่าชีวมวล	0.5 + ราคาทำแห้งชีวมวล	บาทต่อกิโลกรัม
รายได้รวม	รายได้จากการขายไฟฟ้า	on Peak	3.8548	บาทต่อหน่วย
		off Peak	2.0424	บาทต่อหน่วย
	รายได้จากการขายชี้แก่	0.1บาทต่อกิโลกรัม	ขึ้นอยู่กับปริมาณชี้แก่ของชีวมวลแต่ละชนิด	

\*O&M คือ Operation & Maintenance (การดำเนินงานและซ่อมบำรุง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7.1 ต้นทุนรวม

ต้นทุนคงที่ (Fix cost) แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

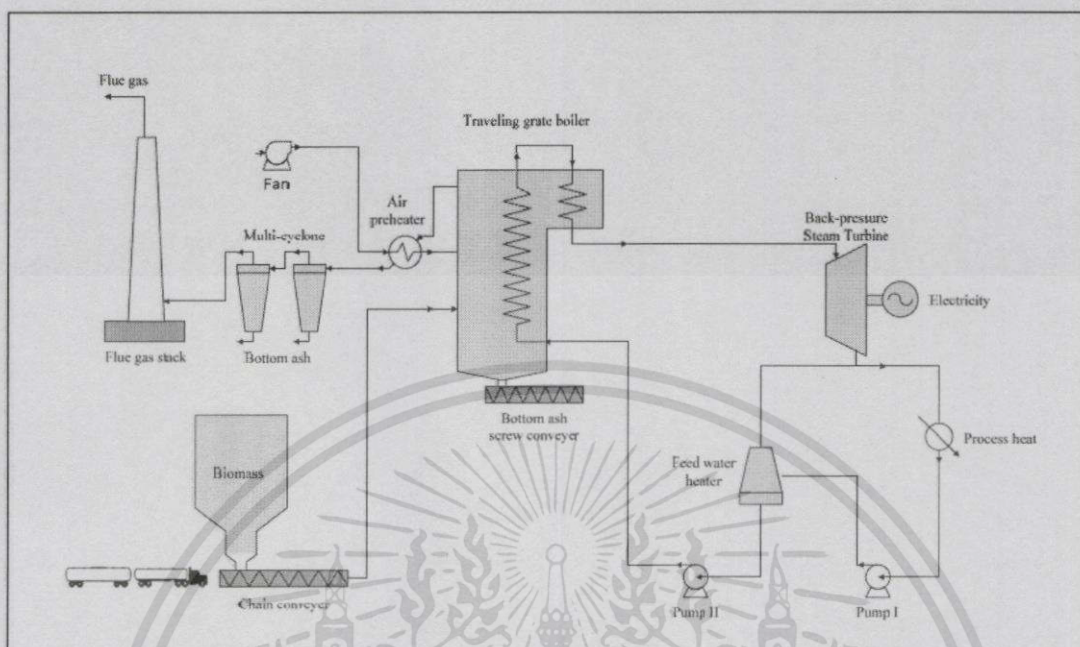
- ราคาสร้างโรงไฟฟ้ามีราคา 160.85 ล้านบาท เป็นโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 2 MW อายุโครงการ 15 ปี ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.1)

ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์ในโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 2 MW อายุโครงการ 15 ปี

1. หม้อไอน้ำ	
ประเภทของหม้อไอน้ำ	Grate fired boiler
กำลังการผลิตไอน้ำ	17.08 t/h
อุณหภูมิไอน้ำ	400.00 °C
แรงดันไอน้ำ	4.00 MPa
ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	75%
2. กังหันไอน้ำ	
ประเภทของกังหันไอน้ำ	Back-pressure steam turbine
กำลังการผลิตไอน้ำ	17.08 t/h
อุณหภูมิไอน้ำ	400.00 °C
ความดันไอน้ำก่อนขยายตัวผ่านกังหัน	4.00 MPa
กำลังการผลิตไอน้ำ	17.08 t/h
อุณหภูมิไอน้ำ	400.00 °C
ความดันไอน้ำหลังขยายตัวผ่านกังหันไอน้ำ	0.60 MPa
3. ความร้อนและกระบวนการ	
กำลังการผลิตความร้อนและกระบวนการ	10 MW
อุณหภูมิไอน้ำของความร้อนกระบวนการ	173.06 °C
ความดันไอน้ำของความร้อนกระบวนการ	0.60 MPa
อัตราการไหลของความร้อนกระบวนการ	15.19 t/h
4. ระบบกำจัดฝุ่น	
ประสิทธิภาพระบบกำจัดฝุ่นประเภท Multi-cyclone	90%
5. เครื่องอบแห้ง	
เครื่องอบแห้ง	Rotary-Dryer
กำลังผลิต	3000 - 5000 kg/h
ประสิทธิภาพเครื่องทำแห้ง	90%
6. การผลิตไฟฟ้า	
กำลังการผลิตไฟฟ้าสุทธิ	2.0 MW
แฟกเตอร์ภาระ	80%
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิต	12864 MWh/year

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มา จิรศร สันติศิริสมบูรณ์<sup>[22]</sup>



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์ของโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 2 MW อายุโครงการ 15 ปี<sup>[22]</sup>

ต้นทุนคงที่ในการดำเนินงานและซ่อมบำรุง (Fix cost of Operation & Maintenance, O&M) ราคาปีละ 10 ล้านบาทประกอบด้วยต้นทุนค่าซ่อมบำรุงประจำปี และ ต้นทุนค่าอุปกรณ์ใช้ในการดำเนินงาน

ต้นทุนแปรผัน (Variable cost) ประกอบด้วย

- ต้นทุนค่าไฟฟ้า คิดจาก 3.5 % หน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมดแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลาคือ On Peak และ Off Peak คำนวณดังนี้

กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในช่วงเวลา On Peak และ Off Peak คือ 6,968,000 หน่วย/ปี และ 5,896,000 หน่วย/ปี ตามลำดับ

- ต้นทุนค่าไฟฟ้าช่วงเวลา On Peak

$$= 6,968,000 \times 0.035 = 243,880 \text{ หน่วย/ปี}$$

คิดเป็นเงิน

$$= 243,880 \times (3.8548 + 0.54 + 0.3) = 1,144,968 \text{ บาท/ปี}$$

- ต้นทุนค่าไฟฟ้าช่วงเวลา Off Peak

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 5,896,000 \times 0.035 = 206,360 \text{ บาท/ปี}$$

คิดเป็นเงิน

$$= 206360 \times (2.0424 + 0.54 + 0.3) = 594,812 \text{ บาท/ปี}$$

- ต้นทุนค่าชีวมวล

กำหนดให้ชีวมวลทั้ง 8 ชนิดมีราคา 0.5 บาทต่อกิโลกรัม (เทียบกับแกลบที่มีราคา 0.85 บาทต่อกิโลกรัม) รวมราคาทำแห้งของชีวมวลแต่ละชนิดโดยคิดอัตราการใช้เชื้อเพลิงของชีวมวลแต่ละชนิดได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{อัตราการใช้เชื้อเพลิงแห้งของชีวมวลแต่ละชนิด} \left( \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) = \frac{\text{กำลังการผลิต} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \right)}{\text{ค่าความร้อนของชีวมวลแห้งแต่ละชนิด} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)}$$

- ต้นทุนแปรผันในการดำเนินงานและซ่อมบำรุง (Fix cost of Operation & Maintenance)

ราคา 4 ล้านบาทต่อปี ประกอบด้วย ต้นทุนค่าเชื้อเพลิงในของเครื่องผลิตไอน้ำ (น้ำมันเตา) ต้นทุนค่าซ่อมอุปกรณ์ต่างๆหากมีการเสียหายก่อนซ่อมบำรุงประจำปี

3.7.2 รายได้รวม แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

- รายได้จากถ่านขายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตรายได้หลักทางการเงินของโรงไฟฟ้าชีวมวลที่ใช้เชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร คือ รายรับจากการขายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย สำหรับอัตราซื้อไฟฟ้า เป็นไปตามระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนขนาดเล็กมาก (Very Small Power Producer: VSPP) สูญเสียไฟฟ้าจากระบบสายส่ง 7.0 % ทั้งนี้กำหนดให้โรงไฟฟ้าชีวมวลมีกำลังการผลิตทั้งสิ้น 335 วัน (จำนวนวันที่ทำการบำรุงรักษาเครื่องจักร 30 วัน) โดยทำการผลิต 24 ชั่วโมงต่อวัน (ช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (On peak) 13 ชั่วโมงต่อวัน และ ช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุด (Off peak) 11 ชั่วโมงต่อวัน) คิดเป็นจำนวน 8,040 ชั่วโมงต่อปี

On Peak เวลา 09.00 – 22.00 น. วันจันทร์-ศุกร์ และวันพืชมงคล

Off Peak เวลา 22.00 – 09.00 น. วันเสาร์-วันอาทิตย์

วันหยุดราชการตามปกติ ไม่รวมวันหยุดชดเชย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตรารับซื้อไฟฟ้า On peak หน่วยละ 3.8548 บาท

Off peak หน่วยละ 2.0424 บาท

โดยกำหนดค่า ต้นทุนค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าของ กฟผ. และค่าซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตเอกชน (Fuel Adjustment Charge, หรือใช้ตัวย่อว่า Ft ซึ่งมาจากคำว่า Float time)<sup>[30]</sup> ที่ 0.54 บาทต่อหน่วย อัตราส่วนเพิ่ม (Adder)<sup>[31]</sup> ซึ่งก็คือเงินส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 0.3 บาทต่อหน่วย

ประมาณการรายได้ค่าไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าชีวมวลที่ใช้เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิงขนาดกำลังการผลิตที่ 2 MW โดยโรงไฟฟ้ามีประสิทธิภาพในการผลิต 80 %

ระยะเวลาในการเดินเครื่อง	335 day/year
▪ คิดเป็นระยะเวลาในการเดินเครื่อง	8,040 h/year
กำลังการผลิตของโครงการ	2 MW → 2,000 kW
▪ คิดเป็นชั่วโมง On-Peak	4,355 h/year
จำนวนการขายไฟฟ้า ช่วงเวลา On Peak	
	$4,355 \times 2000 \times 0.8 = 6,968,000 \text{ unit/year}$
คิดเป็นเงินค่าไฟฟ้ารวมค่า adder และค่า Ft	
	$(3.8548 + 0.54 + 0.3) \times 6,968,000 = 32,713,366.4 \text{ บาท/ปี}$
▪ คิดเป็นชั่วโมง Off Peak	3,685 h/year

จำนวนการขายไฟฟ้าช่วงเวลา Off Peak

$$3,685 \times 2000 \times 0.8 = 5,896,000 \text{ unit/year}$$

คิดเป็นเงินค่าไฟฟ้ารวมค่า adder และค่า Ft

$$(2.0424 + 0.54 + 0.3) \times 5,896,000 = 16,994,630.4 \text{ บาท/ปี}$$

รวมผลประโยชน์จากการขายไฟฟ้า (On peak + Off peak)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 32,713,366.4 + 16,994,630.4 = 49,707,996.8 \text{ บาท/ปี}$$

สูญเสียพลังงานจากสายส่ง 7 %

ช่วงเวลา On peak สูญเสียพลังงานไป

$$= 6,968,000 \times 0.07 = 487,760 \text{ unit}$$

เป็นจำนวนเงิน

$$= 487,760 \times (3.8548 + 0.54 + 0.3) = 2,289,935.7 \text{ บาท/ปี}$$

ช่วงเวลา Off peak สูญเสียพลังงานไป

$$= 589,600 \times 0.07 = 412,720 \text{ unit}$$

เป็นจำนวนเงิน

$$= 412,720 \times (2.0424 + 0.54 + 0.3) = 1,189,624.2 \text{ บาท/ปี}$$

ดังนั้น รายได้จากการขายไฟฟ้าจึงเป็นจำนวนเงิน

$$= 49,707,996.8 - 2,289,935.7 - 1,189,624.128 = 46,228,437.02 \text{ บาท/ปี}$$

รายได้จากการขายผลพลอยได้ (ชี้เถ้า) สามารถคำนวณได้ดังนี้

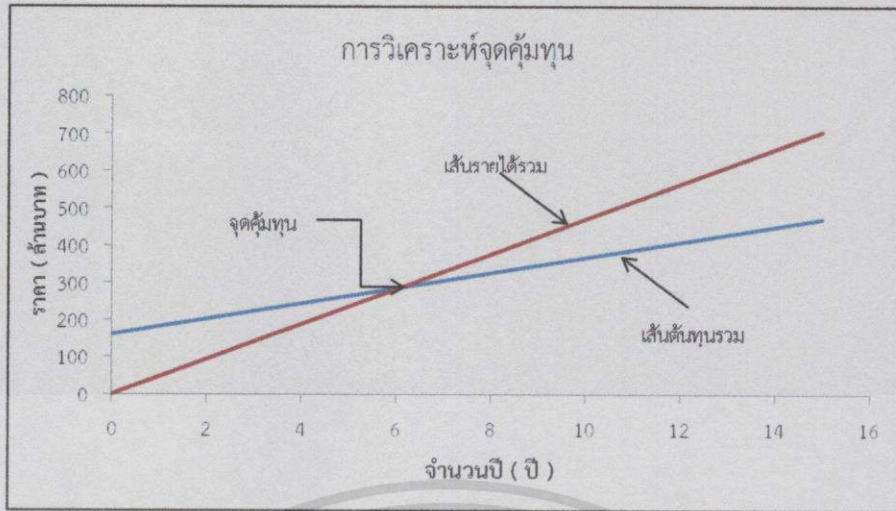
รายได้จากการขายชี้เถ้าจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณชี้เถ้าของชีวมวลแต่ละชนิด สามารถหารรายได้จากการขายชี้เถ้าได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{รายได้จากการขายชี้เถ้า} = \text{ปริมาณชี้เถ้าของชีวมวลแต่ละชนิด} \times \text{ราคาชี้เถ้า}$$

โดยที่ กำหนดให้ชี้เถ้ามีราคา 0.1 บาท/กิโลกรัม

เมื่อได้ข้อมูล (ภาคผนวก) ครบแล้วทำการพล็อตกราฟระหว่างต้นทุนรวม และรายได้รวม จุดตัดของทั้ง 2 เส้นนี้คือจุดคุ้มทุน โดยให้แกน X เป็นราคา (ล้านบาท) และ แกน Y เป็นจำนวนปีในการดำเนินงาน (ปี) ดังแสดงในรูปที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 ค่าความชื้น

จากการศึกษาคัญภาพเชิงพลังงานของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรโดยวิธีการเผาไหม้และแยกสลายด้วยความร้อนของวัสดุทั้ง 8 ชนิด ได้แก่ เปลือกกล้วยหอม เปลือกฝักข้าวโพดอ่อน ต้นมันสำปะหลัง เปลือกฝักข้าวโพดหวาน เปลือกลำไย เม็ดลำไย ใบอ้อย และเปลือกฝักถั่วลิสง ถูกแสดงค่าความชื้นดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าความชื้นของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

วัสดุเหลือใช้	ค่าความชื้น(%wb)	เวลาที่ใช้ในการทำให้แห้ง (นาท)	น้ำหนักวัสดุ(กรัม)
เปลือกกล้วย	89.14	60	15
เปลือกฝักข้าวโพดอ่อน	88.57	70	12.26
ต้นมันสำปะหลัง	61.36	33.45	8.95
เปลือกฝักข้าวโพดหวาน	68.46	21.56	3.07
เปลือกลำไย	13.6	11.34	5.72
เม็ดลำไย	24.76	31.31	6.41
ใบอ้อย	68.63	42.07	3.45
เปลือกฝักถั่วลิสง	15.1	26.58	9.16

จะเห็นได้ว่าเปลือกกล้วยมีความชื้นมากที่สุดอยู่ที่ 89.14 %wb และเปลือกลำไยมีค่าความชื้นน้อยที่สุดอยู่ที่ 13.60 %wb

#### 4.2 ค่าความร้อน

จากตารางที่ 4.2 แสดงค่าความร้อนของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรที่ได้จากวิธีการ Bomb calorimetry เปรียบเทียบกับค่าความร้อนของลิกไนท์และซบปิทูมินัสพบว่าวัสดุที่มีค่าความร้อนมากที่สุดคือฝักถั่วลิสงอยู่ที่ 19.19 MJ/kg แต่เมื่อคิดเป็นค่าพลังงานต่อปีพบว่าวัสดุที่มีค่า

276,283,200 MJ/year ซึ่งคิดเป็น 76,745,333kWh ซึ่งน้อยกว่าต้นมันสำปะหลังซึ่งมีค่าความร้อน 16.98 MJ/kg แต่มีค่าพลังงานต่อปีเท่ากับ 62,554,897,728.99 MJ/year ซึ่งคิดเป็น 17,376,360,480kWh เนื่องจากปริมาณฝักกล้วยฝักมีอยู่น้อยที่ 9,600-19,200ton/year และปริมาณต้นมันสำปะหลังมี 3,644,349-3,724,153 ton/year

ตารางที่ 4.2 ค่าความร้อนของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรที่ได้จากวิธีการ Bomb calorimetry เปรียบเทียบกับค่าความร้อนของลิกไนท์และซับปิทูนีส

วัสดุเหลือใช้	ค่าความร้อน(MJ/kg)	ค่าความร้อนต่อปริมาณของวัสดุ(MJ/ปี)
ลิกไนท์	12	
เปลือกกล้วย	15.81±0.15	1.32×10 <sup>9</sup>
เปลือกฝักข้าวโพดอ่อน	16.58±0.26	7.85×10 <sup>8</sup>
ต้นมันสำปะหลัง	16.98±0.24	6.26×10 <sup>10</sup>
เปลือกฝักข้าวโพดหวาน	17.02±0.12	2.20×10 <sup>9</sup>
เปลือกลำไย	17.44±0.09	5.29×10 <sup>9</sup>
เม็ดลำไย	17.55±0.12	5.32×10 <sup>9</sup>
ใบอ้อย	17.62±0.066	4.40×10 <sup>10</sup>
ซับปิทูนีส	18	
เปลือกฝักกล้วย	19.19±0.13	2.76×10 <sup>8</sup>

#### 4.3 สมรรถนะการเผาไหม้

จากการวิเคราะห์แบบเทอร์โมกราวิเมตริกในกระบวนการเผาไหม้ของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรทั้ง 8 ชนิด ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณองค์ประกอบของชีวมวลและอุณหภูมิเริ่มต้นและสิ้นสุดกระบวนการสลายองค์ประกอบต่างๆของกระบวนการเผาไหม้ ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณการสูญเสียมวลในแต่ละช่วงของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรของกระบวนการเผาไหม้ และตารางที่ 4.5 แสดงพารามิเตอร์ที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้และดัชนีแสดงสมรรถนะของการเผาไหม้

ตารางที่ 4.3 ปริมาณองค์ประกอบของชีวมวลและอุณหภูมิเริ่มต้นและสิ้นสุดกระบวนการสลายองค์ประกอบต่างๆของกระบวนการเผาไหม้ที่ได้จากวิธีการ Thermogravimetric analysis

ชีวมวล	จำนวนซ้ำ การทดลอง	น้ำ			สารระเหย			คาร์บอน 1			คาร์บอน 2			% ซี้เถ้า
		%	Ti	Tf	%	Ti	Tf	%	Ti	Tf	%	Ti	Tf	
เปลือกฝักข้าวโพดอ่อน	3	2.24 ± 0.62	30.00	110.00	67.27 ± 6.66	110.00	454.17 ± 1.81	-	-	-	10.41 ± 6.20	454.17 ± 1.81	950.00	23.35 ± 14.85
เปลือกกล้วยหอม	3	0.51 ± 0.35	30.00	110.00	56.57 ± 4.54	110.00	378.97 ± 17.05	22.61 ± 4.95	378.97 ± 17.05	400.29 ± 6.75	10.04 ± 1.61	400.29 ± 6.75	950.00	10.33 ± 2.88
ใบอ้อย	3	3.40 ± 0.49	30.00	110.00	68.76 ± 2.27	110.00	413.17 ± 2.29	21.61 ± 2.49	413.17 ± 2.29	435.67 ± 11.11	2.06 ± 1.03	435.67 ± 11.11	950.00	4.01 ± 1.09
เปลือกลำไย	3	2.21 ± 0.18	30.00	110.00	63.32 ± 1.82	110.00	432.47 ± 8.95	29.18 ± 0.69	432.47 ± 8.95	465.33 ± 12.86	1.61 ± 0.38	465.33 ± 12.86	950.00	3.50 ± 1.05
เมล็ดลำไย	3	1.77 ± 0.53	30.00	110.00	67.28 ± 4.59	110.00	391.17 ± 13.28	29.00 ± 4.64	391.17 ± 13.28	431.10 ± 11.41	0.72 ± 0.21	431.10 ± 11.41	950.00	1.24 ± 0.34
เปลือกฝักถั่วลิสง	3	3.98 ± 1.97	30.00	110.00	66.15 ± 1.70	110.00	425.07 ± 4.57	26.51 ± 0.84	425.07 ± 4.57	441.97 ± 12.21	0.09 ± 0.07	441.97 ± 12.21	950.00	4.51 ± 3.53
เปลือกฝักข้าวโพดหวาน	2	4.39 ± 0.28	30.00	110.00	80.68 ± 0.49	110.00	453.15 ± 9.12	9.92 ± 0.59	453.15 ± 9.12	455.15 ± 6.69	0.95 ± 0.57	455.15 ± 6.69	950.00	5.51 ± 1.29
ต้นมันสำปะหลัง	3	4.38 ± 0.25	30.00	110.00	28.71 ± 5.28	110.00	278.60 ± 8.68	61.39 ± 3.49	278.60 ± 8.68	329.80 ± 2.62	1.83 ± 0.33	329.80 ± 2.62	950.00	3.29 ± 0.58

ตารางที่ 4.4 ปริมาณการสูญเสียมวลในแต่ละช่วงของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรของกระบวนการเผาไหม้ที่ได้จากวิธีการ Thermogravimetric analysis

ชีวมวล	จำนวนซ้ำ การทดลอง	น้ำหนัก ตัวอย่าง (mg)	น้ำ			สารระเหย			คาร์บอน 1			คาร์บอน 2			ซี้เถ้า		
			%	mg	ต่อ 1 kg	%	kg	ต่อ 1 kg	%	mg	ต่อ 1 kg	%	mg	ต่อ 1 kg	%	mg	ต่อ 1 kg
เปลือกฝักข้าวโพดอ่อน	3	0.3239	2.24	0.0073	0.0224	67.27	0.2179	0.6727	-	-	-	10.41	0.0337	0.1041	23.35	0.0756	0.2335
เปลือกกล้วยหอม	3	4.6115	0.51	0.0235	0.0051	56.57	2.6087	0.5657	22.61	1.0427	0.2261	10.04	0.4630	0.1004	10.33	0.4764	0.1033
ใบอ้อย	3	4.5752	3.40	0.1556	0.0340	68.76	3.1459	0.6876	21.61	0.9887	0.2161	20.60	0.9425	0.2060	4.01	0.1835	0.0401
เปลือกลำไย	3	5.8445	2.21	0.1292	0.0221	63.32	3.7007	0.6332	29.18	1.7054	0.2918	1.61	0.0941	0.0161	3.50	0.2046	0.0350
เมล็ดลำไย	3	9.8306	1.77	0.1740	0.0177	67.28	6.6140	0.6728	29.00	2.8509	0.2900	0.72	0.0708	0.0072	1.24	0.1219	0.0124
เปลือกฝักถั่วลิสง	3	2.9308	3.98	0.1166	0.0398	66.15	1.9387	0.6615	26.51	0.7770	0.2651	0.09	0.0026	0.0009	4.51	0.1322	0.0451
เปลือกฝักข้าวโพดหวาน	2	1.7209	4.39	0.0755	0.0439	80.68	1.3884	0.8068	9.92	0.1707	0.0992	0.95	0.0163	0.0095	5.51	0.0948	0.0551
ต้นมันสำปะหลัง	3	8.0588	4.38	0.3530	0.0438	28.71	2.3137	0.2871	61.39	4.9473	0.6139	1.83	0.1475	0.0183	3.29	0.2651	0.0329

ตารางที่ 4.5 พารามิเตอร์ที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้และดัชนีแสดงสมรรถนะของการเผาไหม้ที่ได้จากวิธีการ Thermogravimetric analysis

ดัชนี	เปลือกข้าวโพดอ่อน	เปลือกกล้วยหอม	ใบอ้อย	เปลือกลำไย	เมล็ดลำไย	เปลือกฝักถั่วลิสง	เปลือกข้าวโพดหวาน	ต้นมันสำปะหลัง
อัตราการสูญเสียมวลสูงสุด (%/นาที)	13.62 ± 1.24	454.09 ± 43.45	346.88 ± 62.42	255.87 ± 83.38	192.58 ± 95.06	454324 ± 166.93	537.64 ± 28.09	424.72 ± 284.69
เวลาในการเกิดอัตราการสูญเสียมวลสูงสุด (นาที)	21.19 ± 0.14	17.79 ± 0.84	19.49 ± 0.11	20.48 ± 0.46	18.32 ± 0.74	20.10 ± 0.22	21.46 ± 0.49	12.85 ± 0.44
อุณหภูมิจุดระเบิด (°C)	343.45 ± 6.76	366.67 ± 15.40	402.62 ± 0.90	424.41 ± 6.27	368.57 ± 6.84	415.24 ± 2.68	450.10 ± 10.96	272.74 ± 8.15
เวลาในการจุดระเบิด (นาที)	16.10 ± 0.33	17.22 ± 0.75	18.99 ± 0.04	20.09 ± 0.03	17.42 ± 0.24	19.65 ± 0.13	21.42 ± 0.52	12.57 ± 0.40
อุณหภูมิเผาไหม้หมด (°C)	950.00	950.00	950.00	950.00	950.00	950.00	950.00	950.00
เวลาในการเผาไหม้หมด (นาที)	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00
ดัชนีสมรรถนะการเผาไหม้	2.10x10 <sup>-7</sup> ± 3.0x10 <sup>-8</sup>	1.58x10 <sup>-5</sup> ± 1.89x10 <sup>-6</sup>	7.02x10 <sup>-6</sup> ± 1.14x10 <sup>-6</sup>	4.37x10 <sup>-6</sup> ± 1.26x10 <sup>-6</sup>	4.78x10 <sup>-6</sup> ± 2.43x10 <sup>-6</sup>	8.88x10 <sup>-6</sup> ± 2.33x10 <sup>-6</sup>	5.27x10 <sup>-6</sup> ± 1.20x10 <sup>-7</sup>	3.19x10 <sup>-5</sup> ± 1.87x10 <sup>-5</sup>
ดัชนีจุดระเบิด	0.04 ± 0.003	1.48 ± 0.09	0.94 ± 0.17	0.62 ± 0.21	0.60 ± 0.26	1.16 ± 0.45	1.17 ± 0.006	2.56 ± 1.54
ดัชนีเผาไหม้หมด	0.0020 ± 0.00001	0.0025 ± 0.0001	0.0023 ± 0.00001	0.0022 ± 0.00005	0.0024 ± 0.0001	0.0022 ± 0.00002	0.0021 ± 0.00005	0.0035 ± 0.0001

ทำให้ทราบถึง อัตราการสูญเสียมวลสูงสุด ( $(dw/dt)_{max}$ ) อัตราการสูญเสียมวลเฉลี่ย ( $(dw/dt)_{mean}$ ) อุณหภูมิจุดระเบิด (Ignition temperature,  $T_i$ ) อุณหภูมิเผาไหม้หมด (Burnout temperature,  $T_b$ ) เวลาที่เกิดอัตราการสูญเสียมวลสูงสุด (Time at maximum mass loss,  $t_p$ ) เวลาเกิดการระเบิด (Ignition time,  $t_e$ ) เวลาในการเผาไหม้หมด (Burnout time,  $t_f$ ) ดัชนีสมรรถนะการเผาไหม้ (Combustion performance index) ดัชนีจุดระเบิด (Ignition index) และดัชนีเผาไหม้หมด (Burnout index)

โดยในวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ต้นมันสำปะหลังมีดัชนีสมรรถนะการเผาไหม้ ดัชนีจุดระเบิด และดัชนีเผาไหม้หมดที่ดีที่สุดที่  $3.19 \times 10^{-5} \pm 1.87 \times 10^{-5}$ ,  $2.56 \pm 1.54$  และ  $0.0035 \pm 0.0001$  ตามลำดับ และใบอ้อยมีดัชนีสมรรถนะการเผาไหม้ ดัชนีจุดระเบิดและดัชนีเผาไหม้หมดต่ำที่สุดที่  $7.02 \times 10^{-6} \pm 1.14 \times 10^{-6}$ ,  $0.94 \pm 0.17$  และ  $0.0023 \pm 0.00001$  ตามลำดับ และในวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เปลือกกล้วยหอมมีดัชนีสมรรถนะการเผาไหม้ ดัชนีจุดระเบิดและดัชนีเผาไหม้หมดที่ดีที่สุดที่  $1.58 \times 10^{-5} \pm 1.89 \times 10^{-6}$ ,  $1.48 \pm 0.09$  และ  $0.0025 \pm 0.0001$  ตามลำดับ โดยเปลือกฝักข้าวโพดหวาน เปลือกฝักถั่วลิสง เมล็ดลำไย เปลือกลำไย และเปลือกฝักข้าวโพดอ่อนมีดัชนีสมรรถนะการเผาไหม้ ดัชนีจุดระเบิดและดัชนีเผาไหม้หมดรองลงมา ตามลำดับ โดยเปลือกฝักข้าวโพดอ่อนมีดัชนีสมรรถนะการเผาไหม้ ดัชนีจุดระเบิดและดัชนีเผาไหม้หมดต่ำที่สุดที่  $2.10 \times 10^{-7} \pm 3.00 \times 10^{-8}$ ,  $0.04 \pm 0.003$  และ  $0.0020 \pm 0.00001$  ตามลำดับ

#### 4.4 สมรรถนะการแยกสลายด้วยความร้อน

จากการวิเคราะห์แบบเทอร์โมกราวิเมตริกในกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรทั้ง 8 ชนิด ตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณองค์ประกอบของชีวมวลและอุณหภูมิเริ่มต้นและสิ้นสุดกระบวนการสลายองค์ประกอบต่างๆของกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน ตารางที่ 4.7 แสดงปริมาณการสูญเสียมวลในแต่ละช่วงของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรของกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน และตารางที่ 4.8 แสดงพารามิเตอร์ที่ได้จากกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน ทำให้ทราบถึง โพรไฟล์อัตราเร็วในการสลายตัวของชีวมวลความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา (Reactivity) และอุณหภูมิที่สอดคล้องกับอัตราการแยกสลายด้วยความร้อนสูงสุด

ตารางที่ 4.6 ปริมาณองค์ประกอบของชีวมวลและอุณหภูมิเริ่มต้นและสิ้นสุดกระบวนการสลายองค์ประกอบต่างๆของกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนที่ได้จากวิธีการ Thermogravimetric analysis

ชีวมวล	No. of Experiment	น้ำ			สารระเหย 1			สารระเหย 2			คาร์บอน 1			คาร์บอน 2			% ซี้เต้า
		%	Ti	Tr	%	Ti	Tr	%	Ti	Tr	%	Ti	Tr	%	Ti	Tr	
เปลือกฝักข้าวโพดอ่อน	3	0.31 ± 0.11	30.00	110.00	42.85 ± 3.22	110.00	312.33 ± 3.66	46.29 ± 9.26	312.33 ± 3.66	700.00	0.06 ± 0.03	700.00	700.00	2.20 ± 0.70	700.00	700.00	7.36 ± 5.56
เปลือกกล้วยหอม	3	0.32 ± 0.28	30.00	110.00	33.49 ± 0.88	110.00	298.53 ± 2.89	52.83 ± 2.85	298.53 ± 2.89	700.00	0.03 ± 0.02	700.00	700.00	1.02 ± 0.84	700.00	700.00	12.96 ± 1.02
ใบอ้อย	3	0.66 ± 0.36	30.00	110.00	38.06 ± 2.22	110.00	312.70 ± 4.56	53.11 ± 3.92	312.70 ± 4.56	700.00	0.36 ± 0.33	700.00	700.00	0.65 ± 0.62	700.00	700.00	7.59 ± 3.42
เปลือกลำไย	3	1.69 ± 0.68	30.00	110.00	38.85 ± 2.42	110.00	327.80 ± 8.07	56.83 ± 4.80	327.80 ± 8.07	700.00	0.03 ± 0.01	700.00	700.00	1.25 ± 0.43	700.00	700.00	2.31 ± 1.87
เมล็ดลำไย	3	1.71 ± 0.85	30.00	110.00	24.82 ± 1.69	110.00	287.07 ± 3.21	51.44 ± 6.36	287.07 ± 3.21	700.00	17.29 ± 5.13	700.00	700.00	1.95 ± 1.55	700.00	700.00	2.79 ± 2.64
เปลือกฝักถั่วลิสง	3	0.80 ± 0.47	30.00	110.00	39.25 ± 2.89	110.00	345.27 ± 2.52	51.52 ± 2.04	345.27 ± 2.52	700.00	0.05 ± 0.04	700.00	700.00	0.22 ± 0.18	700.00	700.00	8.69 ± 8.33
เปลือกฝักข้าวโพดหวาน	3	0.49 ± 0.08	30.00	110.00	57.19 ± 3.04	110.00	340.83 ± 3.21	39.03 ± 10.33	340.83 ± 3.21	700.00	0.06 ± 0.05	700.00	700.00	6.16 ± 4.93	700.00	700.00	10.31 ± 3.57
ต้นมันสำปะหลัง	3	1.45 ± 0.11	30.00	110.00	34.65 ± 9.83	110.00	313.37 ± 19.37	45.61 ± 11.47	313.37 ± 19.37	700.00	10.73 ± 0.87	700.00	700.00	0.92 ± 0.49	700.00	700.00	6.18 ± 2.59

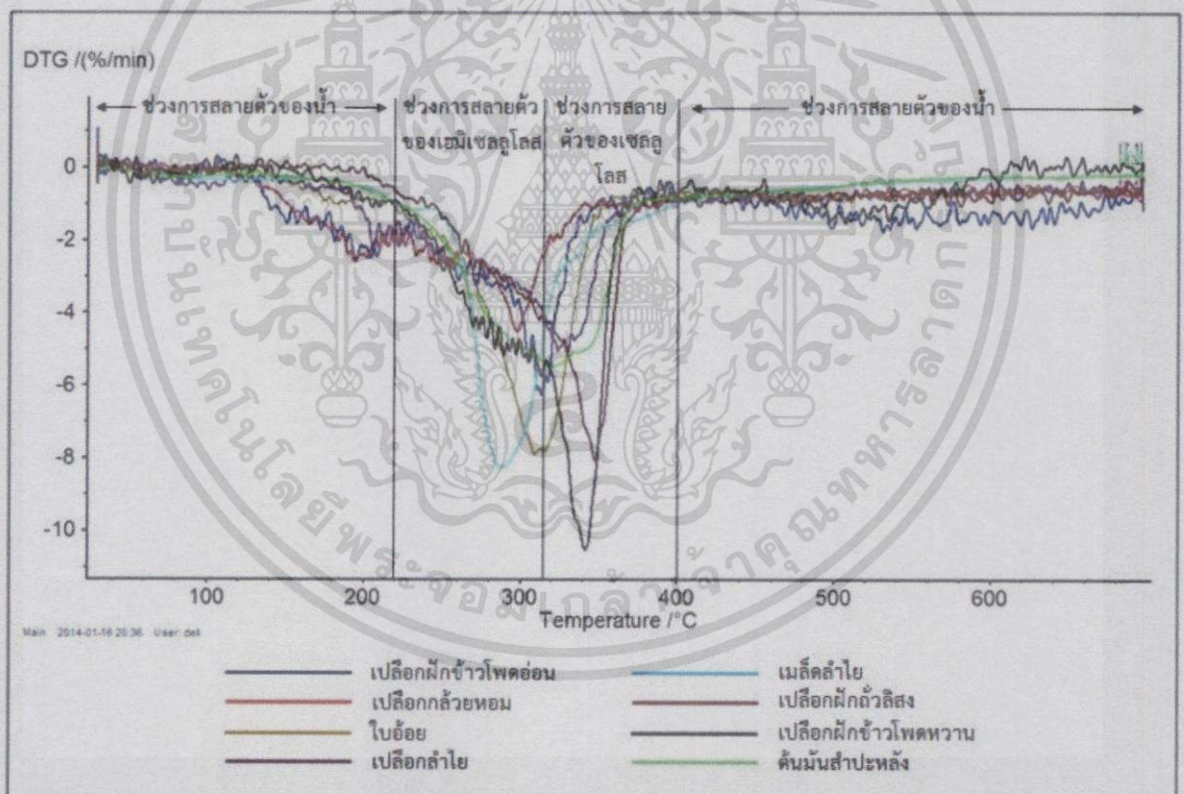
ตารางที่ 4.7 ปริมาณการสูญเสียมวลในแต่ละช่วงของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรของกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนที่ได้จากวิธีการ Thermogravimetric analysis

ชีวมวล	จำนวนซ้ำการทดลอง	น้ำหนักตัวอย่าง (mg)	น้ำ			สารระเหย 1			สารระเหย 2			คาร์บอน 1			คาร์บอน 2			ซี้เต้า		
			%	mg	ต่อ 1 kg	%	kg	ต่อ 1 kg	%	mg	ต่อ 1 kg	%	mg	ต่อ 1 kg	%	mg	ต่อ 1 kg	%	mg	ต่อ 1 kg
เปลือกฝักข้าวโพดอ่อน	3	0.8583	0.31	0.0027	0.0031	42.85	0.3678	0.4285	46.29	0.3973	0.4629	0.06	0.0005	0.0006	2.20	0.0189	0.0220	7.36	0.0632	0.0736
เปลือกกล้วยหอม	3	1.5376	0.32	0.0049	0.0032	33.49	0.5149	0.3349	52.83	0.8123	0.5283	0.03	0.0005	0.0003	1.02	0.0157	0.0102	12.96	0.1993	0.1296
ใบอ้อย	3	2.2920	0.66	0.0151	0.0066	38.06	0.8723	0.3806	53.11	1.2173	0.5311	0.36	0.0083	0.0036	0.65	0.0149	0.0065	7.59	0.1740	0.0759
เปลือกลำไย	3	1.8982	1.69	0.0321	0.0169	38.85	0.7375	0.3885	56.83	1.0787	0.5683	0.03	0.0006	0.0003	1.25	0.0237	0.0125	2.31	0.0438	0.0231
เมล็ดลำไย	3	12.8904	1.71	0.2204	0.0171	24.82	3.1994	0.2482	51.44	6.6308	0.5144	17.29	2.2288	0.1729	1.95	0.2514	0.0195	2.79	0.3596	0.0279
เปลือกฝักถั่วลิสง	3	1.7170	0.80	0.0137	0.0080	39.25	0.6739	0.3925	51.52	0.8846	0.5152	0.05	0.0009	0.0005	0.22	0.0038	0.0022	8.69	0.1492	0.0869
เปลือกฝักข้าวโพดหวาน	3	0.8886	0.49	0.0044	0.0049	57.19	0.5082	0.5719	39.03	0.3468	0.3903	0.06	0.0005	0.0006	6.16	0.0547	0.0616	10.31	0.0916	0.1031
ต้นมันสำปะหลัง	3	8.8024	1.45	0.1276	0.0145	34.65	3.0500	0.3465	45.61	4.0148	0.4561	10.73	0.9445	0.1073	0.92	0.0810	0.0092	6.18	0.5440	0.0618

ตารางที่ 4.8 พารามิเตอร์ที่ได้จากกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนได้จากวิธีการ Thermogravimetric analysis

ลำดับการเกิดพีค	จำนวนซ้ำการทดลอง		เปลือกฝักข้าวโพดอ่อน	เปลือกกล้วยหอม	ใบอ้อย	เปลือกลำไย	เมล็ดลำไย	เปลือกฝักถั่วลิสง	เปลือกฝักข้าวโพดหวาน	ต้นมันสำปะหลัง
พีค 1	3	อุณหภูมิ	87.33 ± 9.12	90.33 ± 21.13	82.63 ± 5.68	96.57 ± 5.38	102.53 ± 9.58	95.87 ± 16.76	68.73 ± 3.62	84.40 ± 4.33
	3	(dw/dt) <sub>max</sub>	0.44 ± 0.13	0.15 ± 0.07	0.26 ± 0.06	0.51 ± 0.12	0.39 ± 0.11	0.22 ± 0.10	0.37 ± 0.07	0.33 ± 0.04
พีค 2	3	อุณหภูมิ	193.9 ± 1.27	193.87 ± 6.40	-	195.63 ± 35.21	-	-	-	-
	3	(dw/dt) <sub>max</sub>	3.57 ± 1.41	2.53 ± 0.07	-	1.69 ± 0.90	-	-	-	-
พีค 3	3	อุณหภูมิ	227.27 ± 70.67	248.47 ± 3.23	195.60 ± 16.79	251.80 ± 38.04	224.3 ± 3.76	-	290.83 ± 21.70	280.15 ± 17.18
	3	(dw/dt) <sub>max</sub>	3.05 ± 0.18	2.62 ± 0.14	1.10 ± 0.13	2.61 ± 0.46	1.23 ± 0.04	-	6.08 ± 1.47	4.66 ± 1.53
พีค 4	3	อุณหภูมิ	314.33 ± 3.66	299.80 ± 1.44	313.93 ± 5.10	329.43 ± 8.30	287.37 ± 3.62	343.30 ± 7.62	342.07 ± 3.13	314.17 ± 18.91
	3	(dw/dt) <sub>max</sub>	6.36 ± 1.06	4.52 ± 0.42	7.83 ± 0.25	4.89 ± 0.38	7.75 ± 1.27	8.15 ± 1.27	10.28 ± 1.64	6.21 ± 0.87
พีค 5	3	อุณหภูมิ	513.50 ± 34.18	384.70 ± 16.58	681.13 ± 40.43	494.53 ± 2.27	344.65 ± 18.46	417.40 ± 5.48	534.07 ± 33.44	434.95 ± 138.95
	3	(dw/dt) <sub>max</sub>	1.87 ± 1.07	1.27 ± 0.06	0.86 ± 0.10	1.16 ± 0.09	2.15 ± 0.81	1.01 ± 0.06	1.44 ± 0.28	1.00 ± 0.81

วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรต่างๆมีองค์ประกอบทางเคมีหลักอยู่ 3 ชนิด ได้แก่ เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เซลลูโลส (Cellulose) ลิกนิน (Lignin) และแร่ธาตุบางชนิดปนอยู่ด้วย ในกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ถูกแบ่งออกเป็น 4 ช่วง คือ 1) ช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 220 °C จะเป็นการระเหยน้ำ 2) ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 220-315 °C เฮมิเซลลูโลสสลายตัวเป็นส่วนใหญ่ 3) ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 315-400 °C เซลลูโลสสลายตัว 4) ช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า 400 °C เป็นการสลายลิกนิน (Yang et al, 2006)<sup>[26]</sup> เมื่อพิจารณาอุณหภูมิการสลายตัว (ตารางที่ 4.6) สามารถแบ่งวัสดุทั้ง 8 ชนิดออกได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้ 1) กลุ่มที่มีการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินเป็นส่วนใหญ่ คือ เปลือกฝักข้าวโพดอ่อน ใบอ้อยและต้นมันสำปะหลัง 2) กลุ่มที่มีการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่ คือ เปลือกกล้วยหอมและเมล็ดลำไย 3) กลุ่มที่มีการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลสและลิกนินเป็นส่วนใหญ่ คือ เปลือกลำไยและเปลือกฝักข้าวโพดหวาน 4) กลุ่มที่มีการสลายตัวของเซลลูโลสและลิกนินเป็นส่วนใหญ่ คือเปลือกฝักถั่วลิสง



รูปที่ 4.1 ช่วงการสลายองค์ประกอบทางเคมีในกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนของวัสดุแต่ละชนิด

จากรูปที่ 4.1 แสดงช่วงการสลายองค์ประกอบทางเคมีในกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนของวัสดุแต่ละชนิด โดยเมื่อพิจารณาจุดที่เกิดพีคสูงสุด หรือจุดที่เกิดอัตราการสลายมวลสูงสุด จะทำให้สามารถแบ่งกลุ่มการสลายองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุแต่ละชนิดได้ 2 กลุ่มดังนี้ กลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มที่มีเกิดอัตราการสลายมวลสูงสุดที่ช่วงการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลส ได้แก่ เมล็ดลำไย เปลือกกล้วย

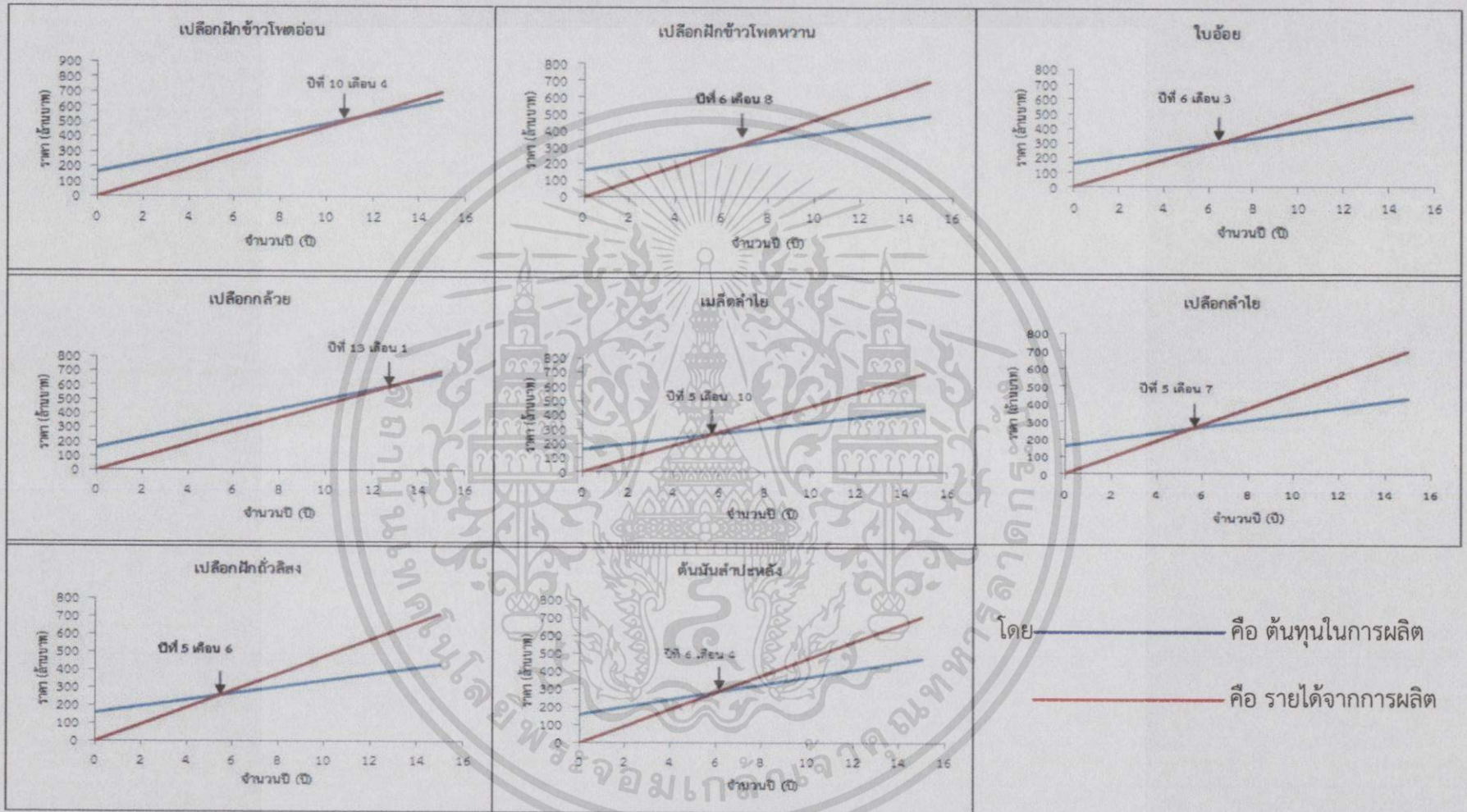
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หอม ใบอ้อย และเปลือกฝักข้าวโพดอ่อน ตามลำดับ และกลุ่มที่ 2 คือกลุ่มที่มีการเกิดอัตราการสลายมวลสูงสุดที่ช่วงการสลายตัวของเซลลูโลส ได้แก่ ต้นมันสำปะหลัง เปลือกลำไย เปลือกฝักข้าวโพดหวาน และเปลือกฝักถั่วลิสง ตามลำดับ (โดยเรียงจากการเกิดอัตราการสลายมวลสูงสุดอันดับ 1 ไปยังการเกิดอัตราการสลายมวลสูงสุดอันดับสุดท้ายในช่วงนั้นๆ)

โดยในวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ใบอ้อยมีความสามารถและความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาดีที่สุดในที่ 7.83 ± 0.25 %/min และ 313.93 ± 5.10 °C ตามลำดับ และต้นมันสำปะหลังมีความสามารถและความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาต่ำที่สุดในที่ 6.21 ± 0.87 และ 314.17 ± 18.91 °C ตามลำดับ และในวัสดุเหลือใช้ทางอุตสาหกรรมเกษตร ในเชิงความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา เปลือกฝักข้าวโพดหวานมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาสูงสุดที่ 10.28 ± 1.64 %/min โดยเปลือกฝักถั่วลิสง เมล็ดลำไย เปลือกฝักข้าวโพดอ่อน เปลือกลำไย และเปลือกกล้วยหอม มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยารองลงมาตามลำดับ โดยเปลือกกล้วยหอม มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาต่ำที่สุดในที่ 4.52 ± 0.42 %/min ในเชิงความเร็วในการเกิดปฏิกิริยา เมล็ดลำไยมีความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาเร็วที่สุดในที่ 287.37 ± 3.62 °C เปลือกกล้วยหอม เปลือกฝักข้าวโพดอ่อน เปลือกลำไย เปลือกฝักข้าวโพดหวาน และเปลือกฝักถั่วลิสงมีความเร็วในการเกิดปฏิกิริยารองลงมาตามลำดับ โดยเปลือกฝักถั่วลิสงมีความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาเร็วที่สุดในที่ 343.30 ± 7.62 °C

#### 4.5 จุดคุ้มทุน

จากรูปที่ 4.2 แสดงจุดคุ้มทุนของชีวมวลทั้ง 8 ชนิด สามารถสรุปได้ดังนี้ สำหรับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรกรรมพบว่า ใบอ้อยมีจุดคุ้มทุนเร็วกว่าต้นมันสำปะหลังคือ 6 ปี 3 เดือน และต้นมันสำปะหลังมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 6 ปี 4 เดือน ซึ่งทั้ง 2 ชนิดนี้มีจุดคุ้มทุนช้ากว่าวัสดุเหลือใช้ทางอุตสาหกรรมเกษตรบางชนิด คือ เปลือกฝักถั่วลิสง เมล็ดลำไย และ เปลือกกล้วยตามลำดับ สำหรับวัสดุเหลือใช้ทางโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรสรุปได้ว่า เปลือกฝักถั่วลิสงมีจุดคุ้มทุนเร็วที่สุดคือ 5 ปี 6 เดือน รองลงมาคือ เมล็ดลำไย เปลือกลำไย เปลือกฝักข้าวโพดหวาน เปลือกฝักข้าวโพดอ่อน เปลือกกล้วย ตามลำดับ โดยที่เปลือกกล้วยมีจุดคุ้มทุนช้าที่สุดคือ 13 ปี 1 เดือน



รูปที่ 4.2 จุดคุ้มทุนของชีวมวลทั้ง 8 ชนิด

## บทที่ 5

### บทวิจารณ์และสรุป

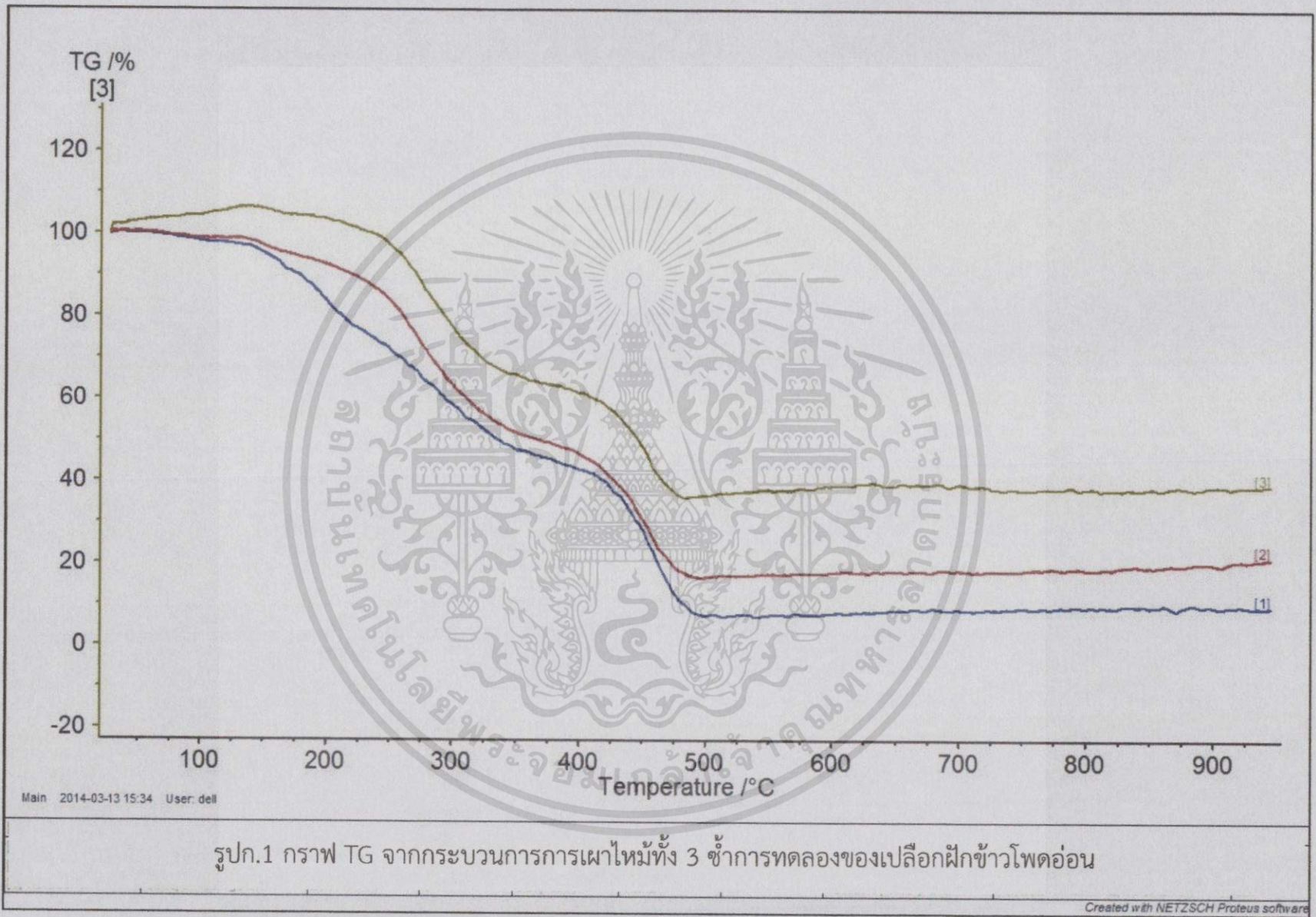
จากการศึกษาสรุปว่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรทั้ง 8 ชนิด คือ เปลือกกล้วยหอม เปลือกฝักข้าวโพดอ่อน ต้นมันสำปะหลัง เปลือกฝักข้าวโพดหวาน เปลือกลำไย เมล็ดลำไย ใบอ้อย และเปลือกฝักถั่วลิสง มีศักยภาพที่จะนำมาใช้ในการผลิตพลังงานมากน้อยแตกต่างกัน โดยในวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต้นมันสำปะหลังและใบอ้อยมีศักยภาพในการนำมาเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานใกล้เคียงกัน โดยพิจารณาจากค่าความร้อน ดัชนีสมรรถนะการเผาไหม้ ดัชนีจุดระเบิด ดัชนีเผาไหม้หมด และจุดคุ้มทุน และในวัสดุเหลือใช้ทางอุตสาหกรรมเกษตรเปลือกฝักถั่วลิสงมีศักยภาพในการนำมาเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานมากที่สุด แต่เนื่องจากเปลือกฝักถั่วลิสงมีปริมาณวัสดุเหลือใช้ต่อน้อยกว่าเปลือกกล้วยหอม เปลือกฝักข้าวโพดอ่อน เปลือกฝักข้าวโพดหวาน เปลือกลำไย และเมล็ดลำไย แต่เนื่องจากเปลือกกล้วยหอมมีค่าความชื้นที่สูงมาก และเปลือกฝักข้าวโพดอ่อนมีจุดคุ้มทุนซ้ำจึงไม่นแนะนำให้นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงาน ดังนั้นการนำเปลือกฝักข้าวโพดหวาน เปลือกลำไย หรือเมล็ดลำไย มาผลิตพลังงานจะทำให้เกิดเสถียรภาพทางพลังงานมากกว่า เนื่องจากมีปริมาณวัสดุเหลือใช้ต่อปีมาก รวมถึงมีค่าความร้อน ดัชนีสมรรถนะการเผาไหม้ ดัชนีจุดระเบิด ดัชนีเผาไหม้หมด และจุดคุ้มทุนอยู่ที่ระดับปานกลาง



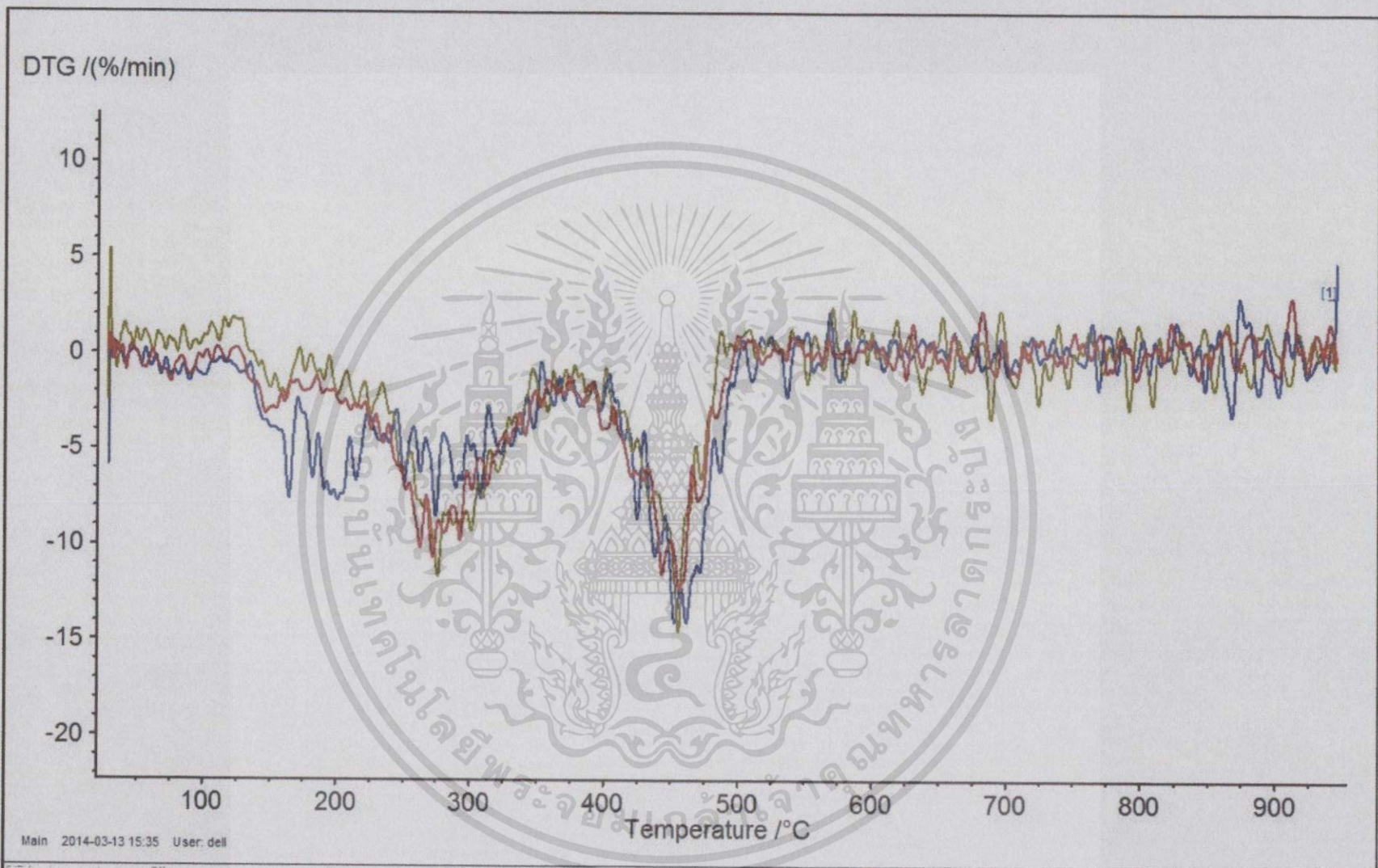
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



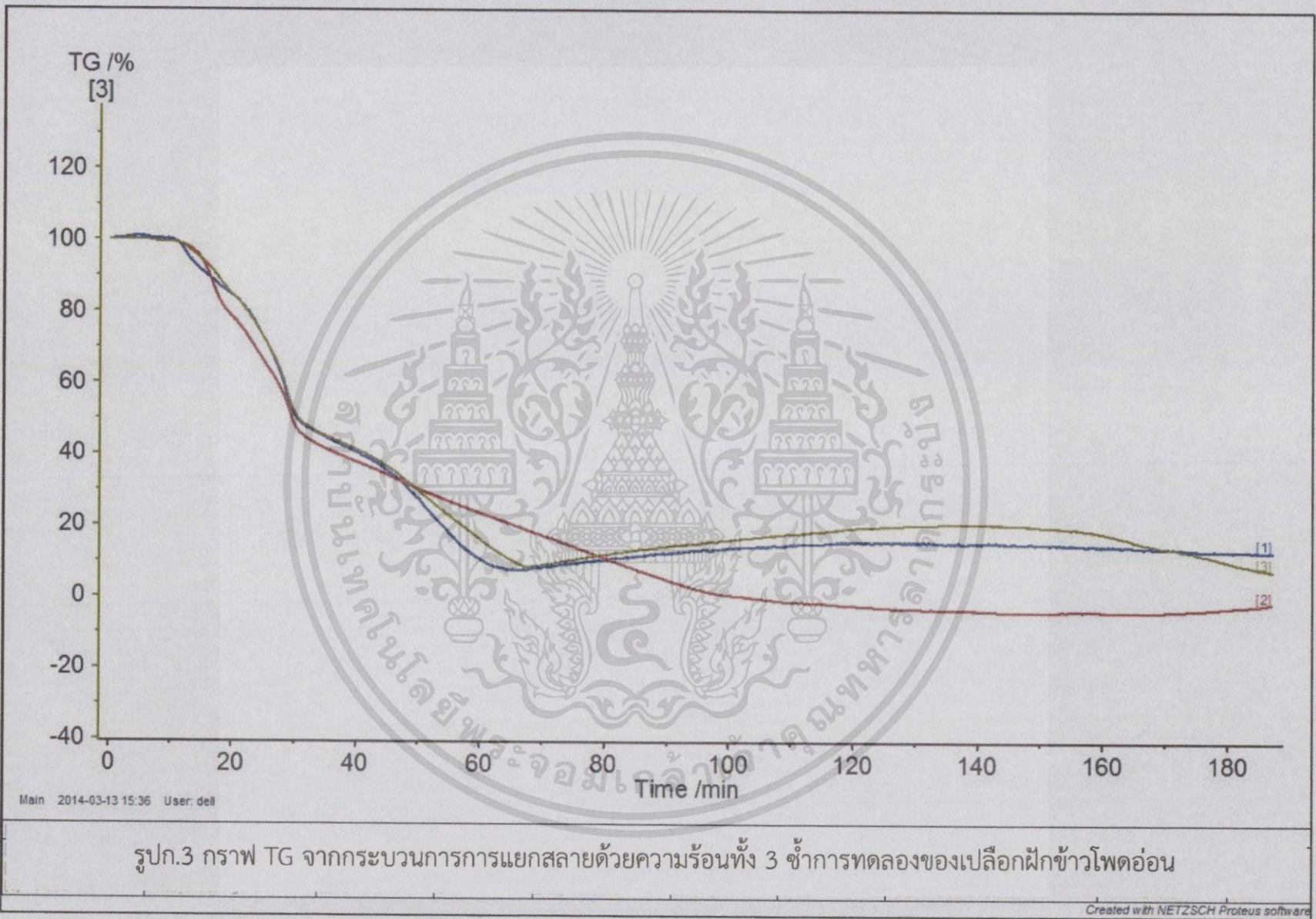
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



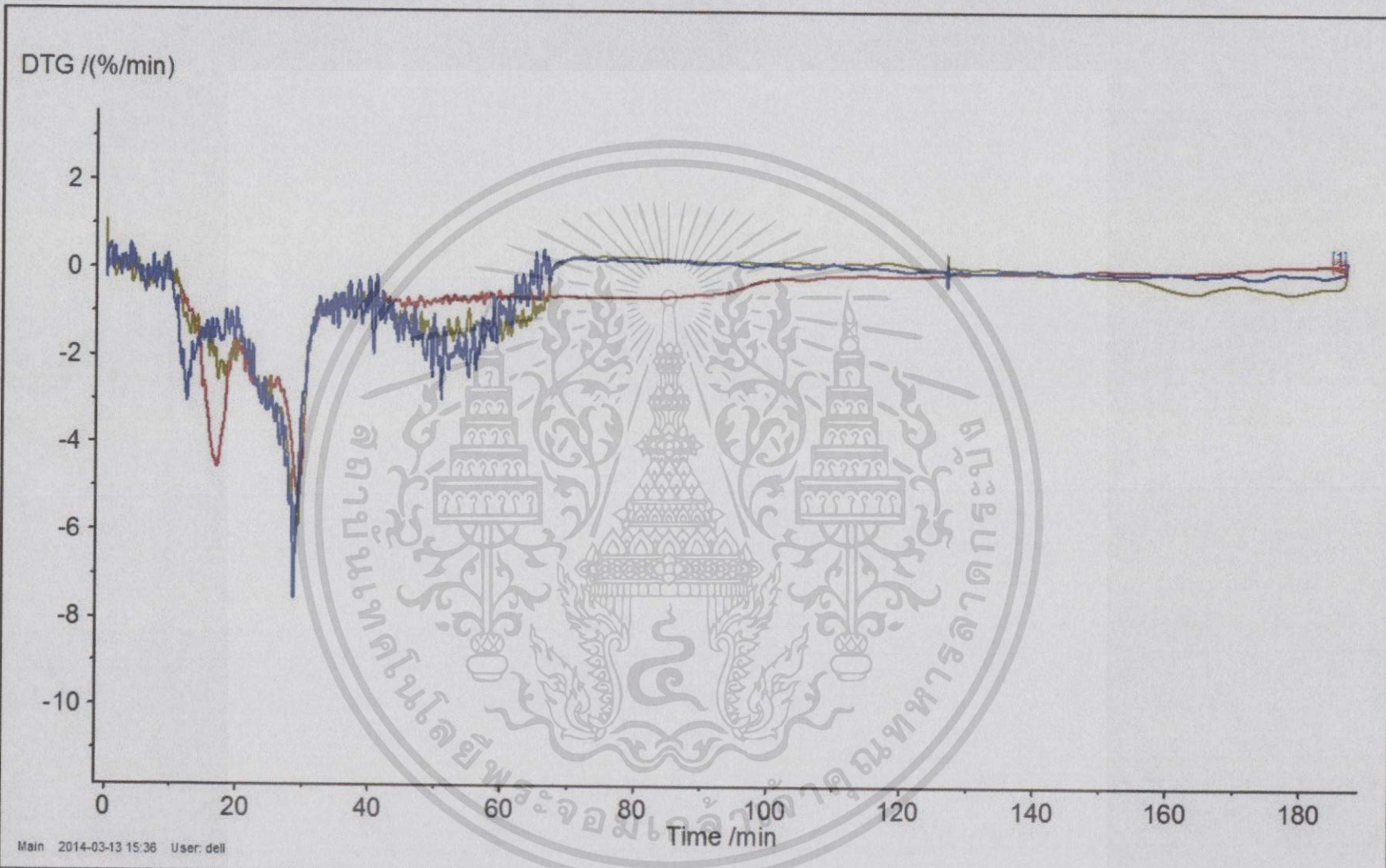
รูปก.1 กราฟ TG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 3 ซ้ำการทดลองของเปลือกฝักข้าวโพดอ่อน



รูปก.2 กราฟ DTG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 3 ขั้นตอนการทดลองของเปลือกฝักข้าวโพดอ่อน



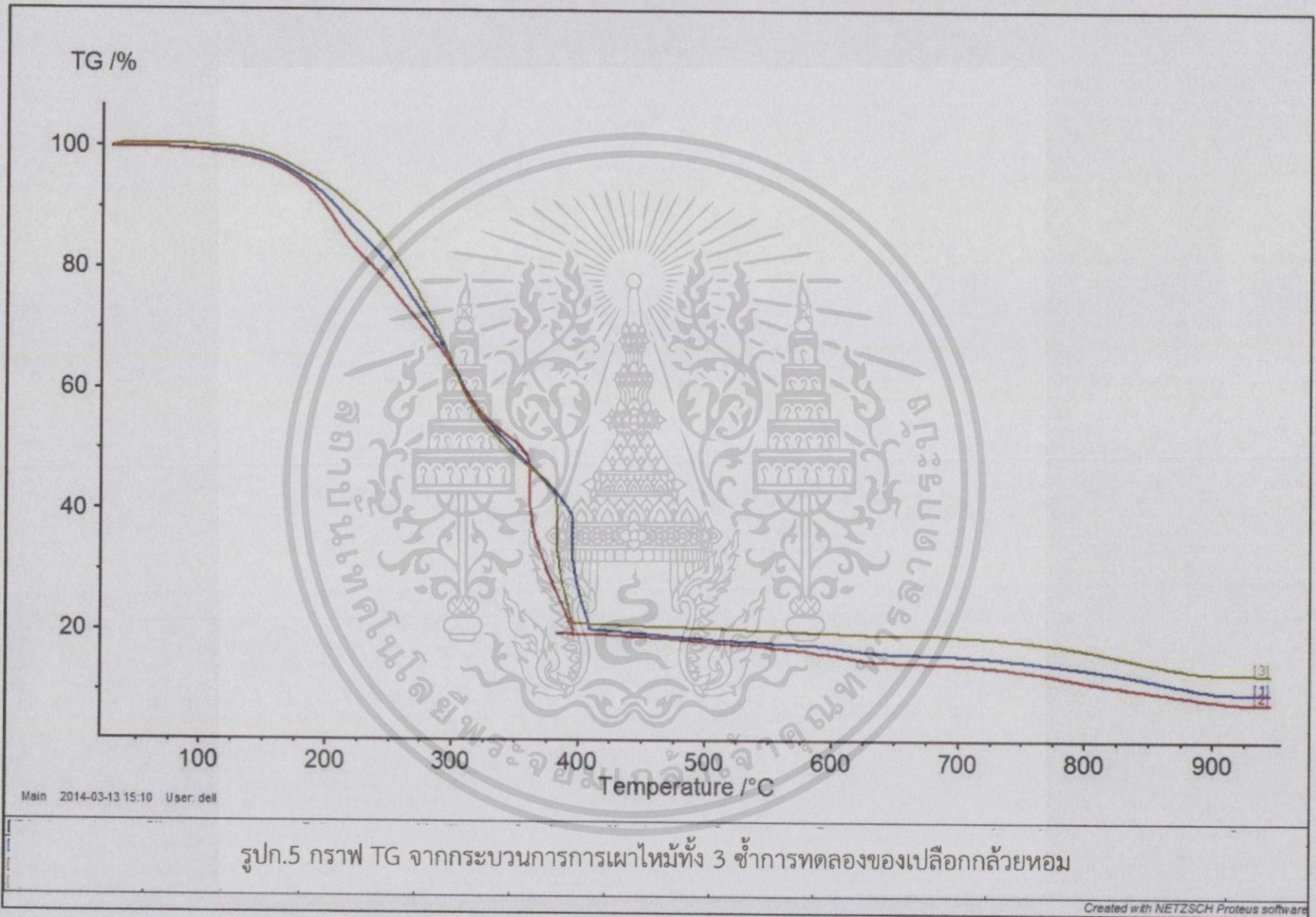
รูปก.3 กราฟ TG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 3 ขั้นตอนการทดลองของเปลือกฝักข้าวโพดอ่อน



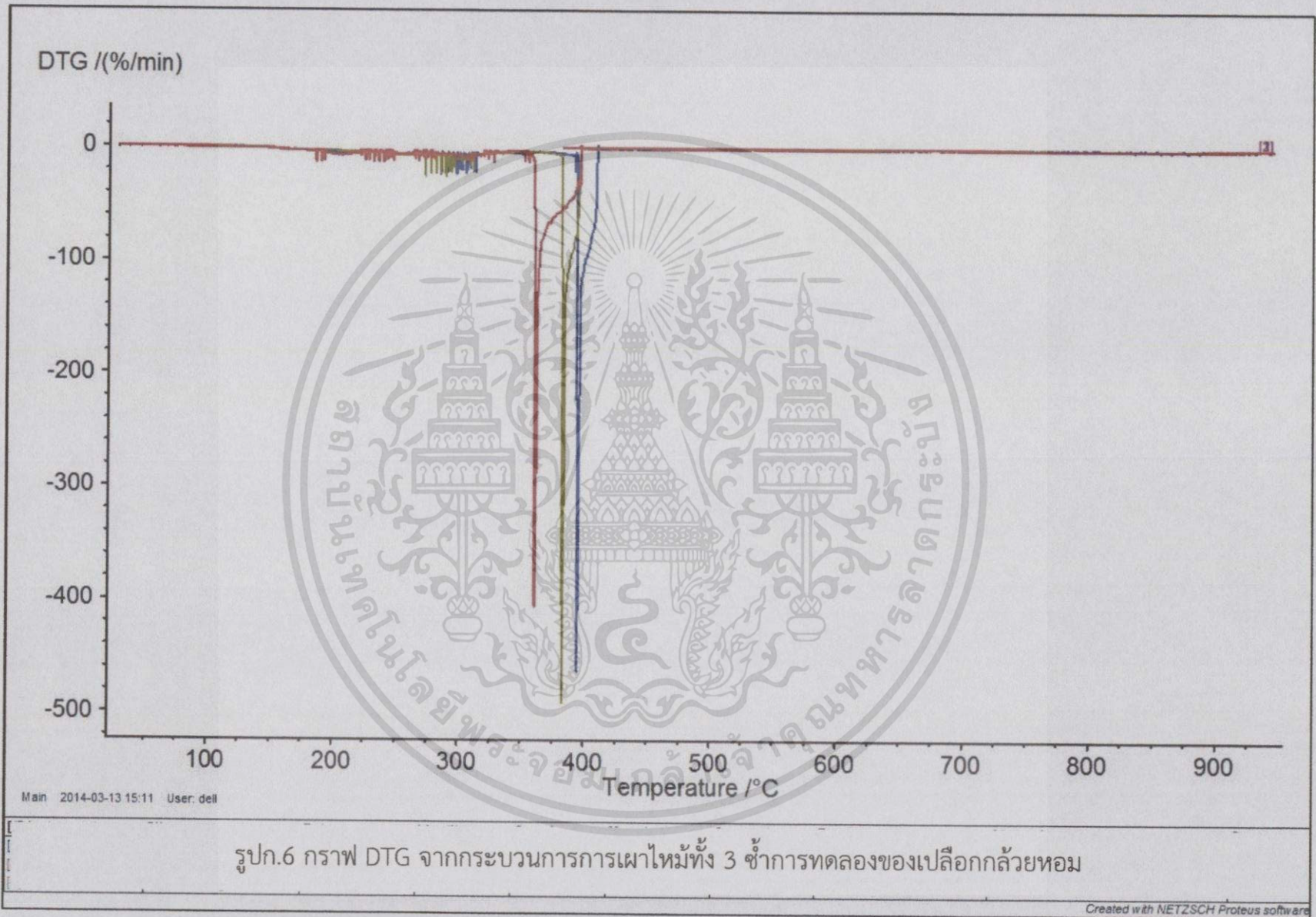
Main 2014-03-13 15:36 User: dell

รูปก.4 กราฟ DTG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 3 ซ้ำการทดลองของเปลือกฝักข้าวโพดอ่อน

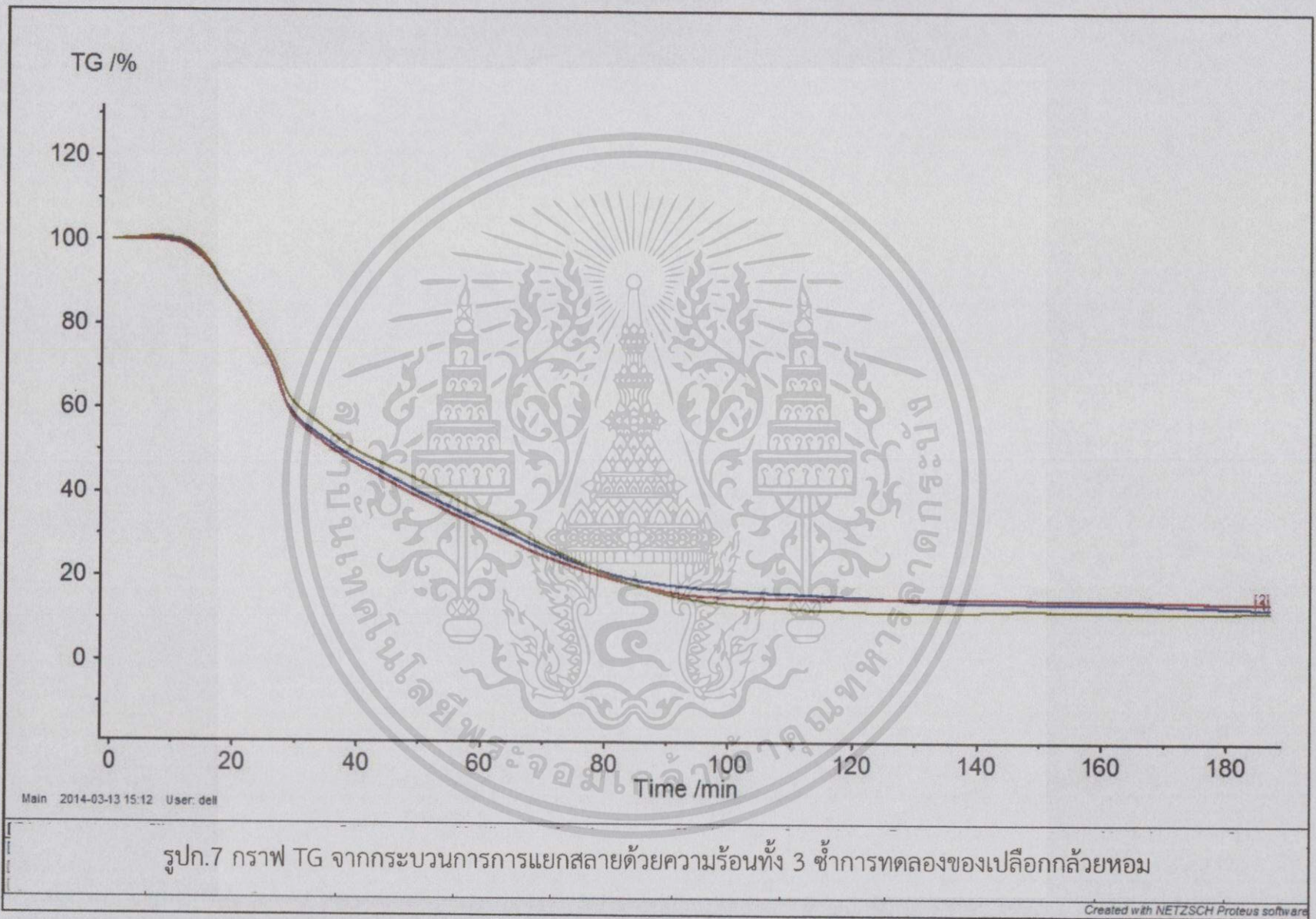
Created with NETZSCH Proteus software



รูปก.5 กราฟ TG จากกระบวนการเผาไหม้ทั้ง 3 ขั้นตอนการทดลองของเปลือกกล้วยหอม

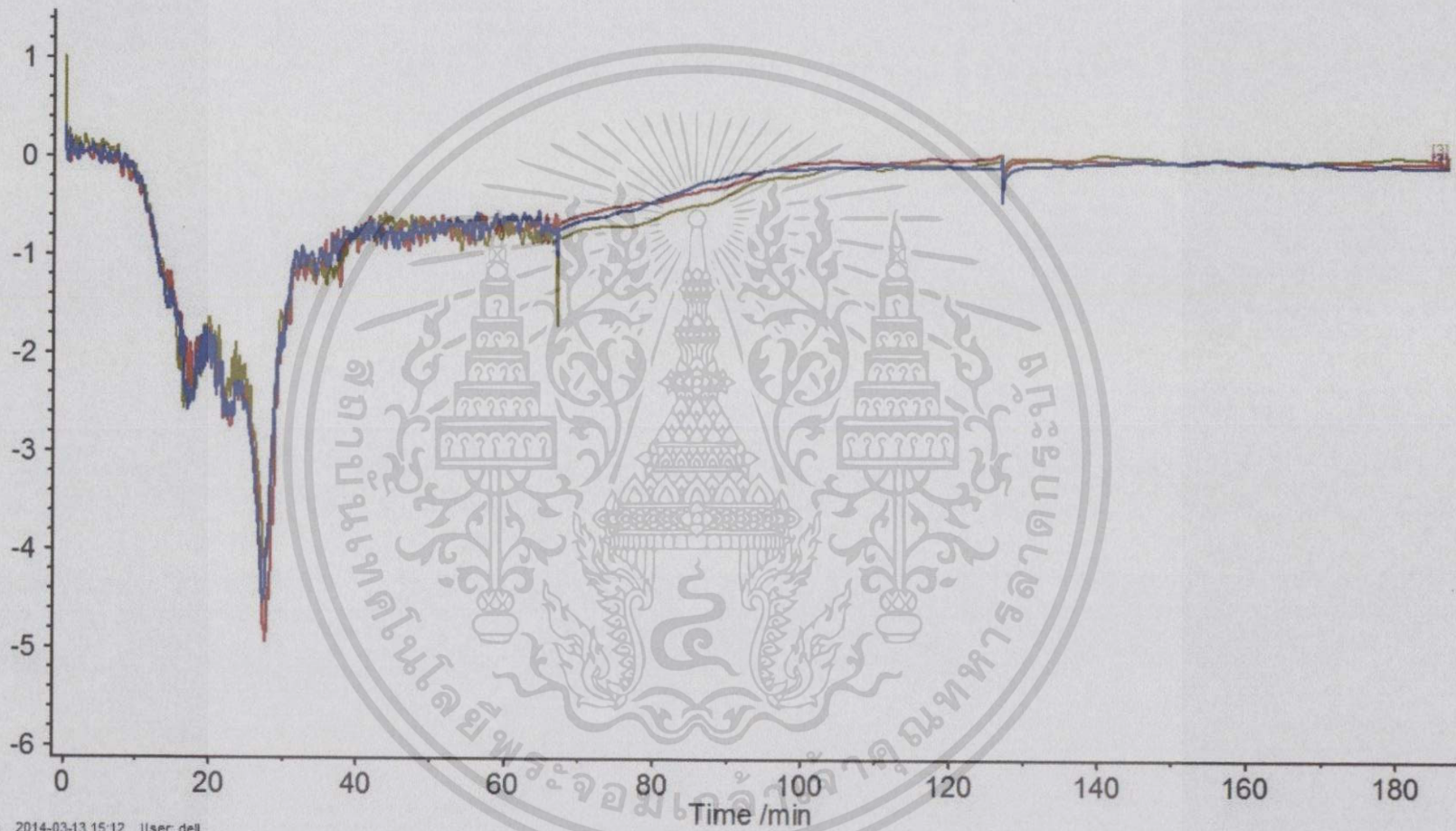


รูปก.6 กราฟ DTG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 3 ซ้ำการทดลองของเปลือกกล้วยหอม



รูปก.7 กราฟ TG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 3 ขั้นตอนการทดลองของเปลือกกล้วยหอม

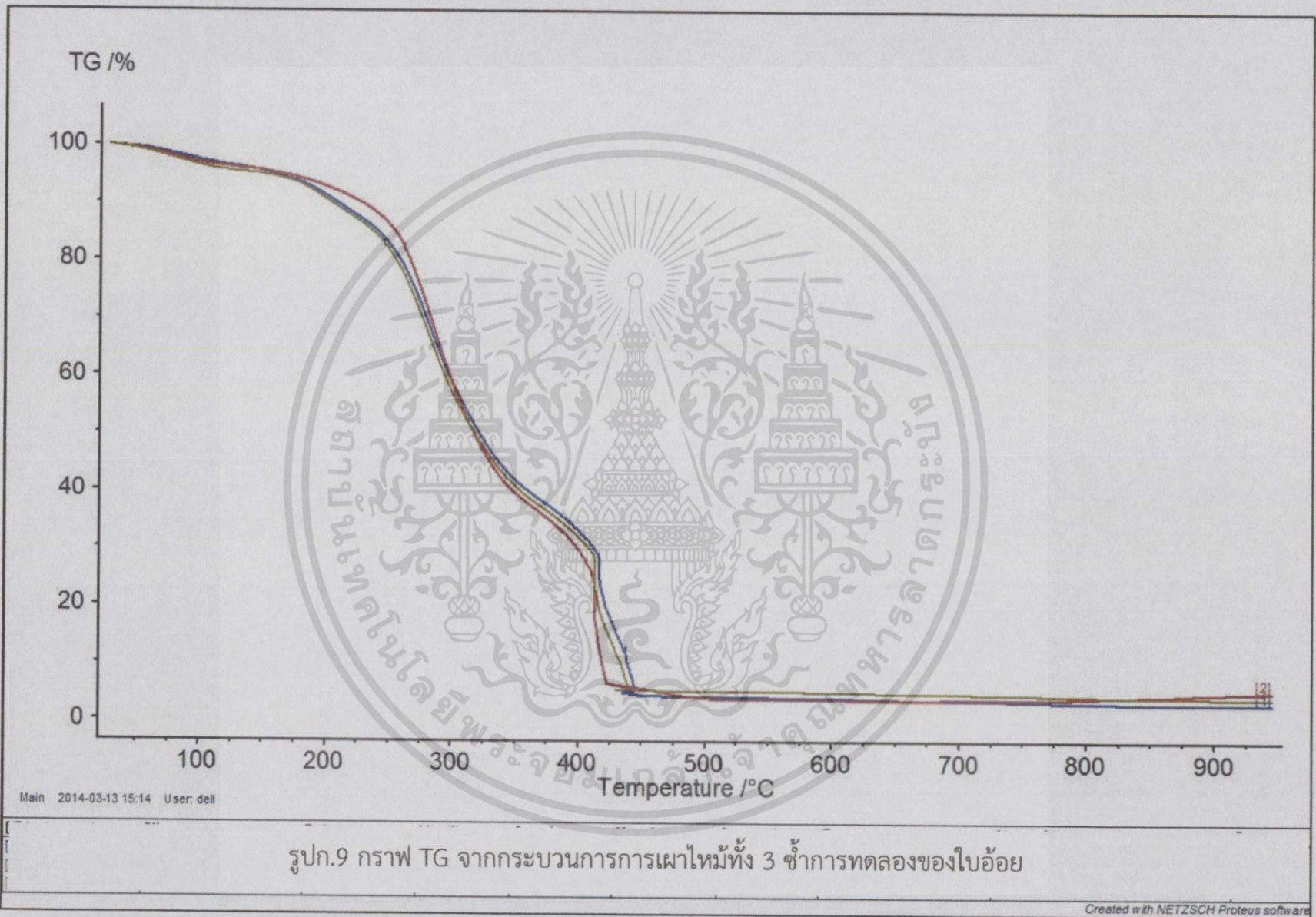
DTG /(%/min)



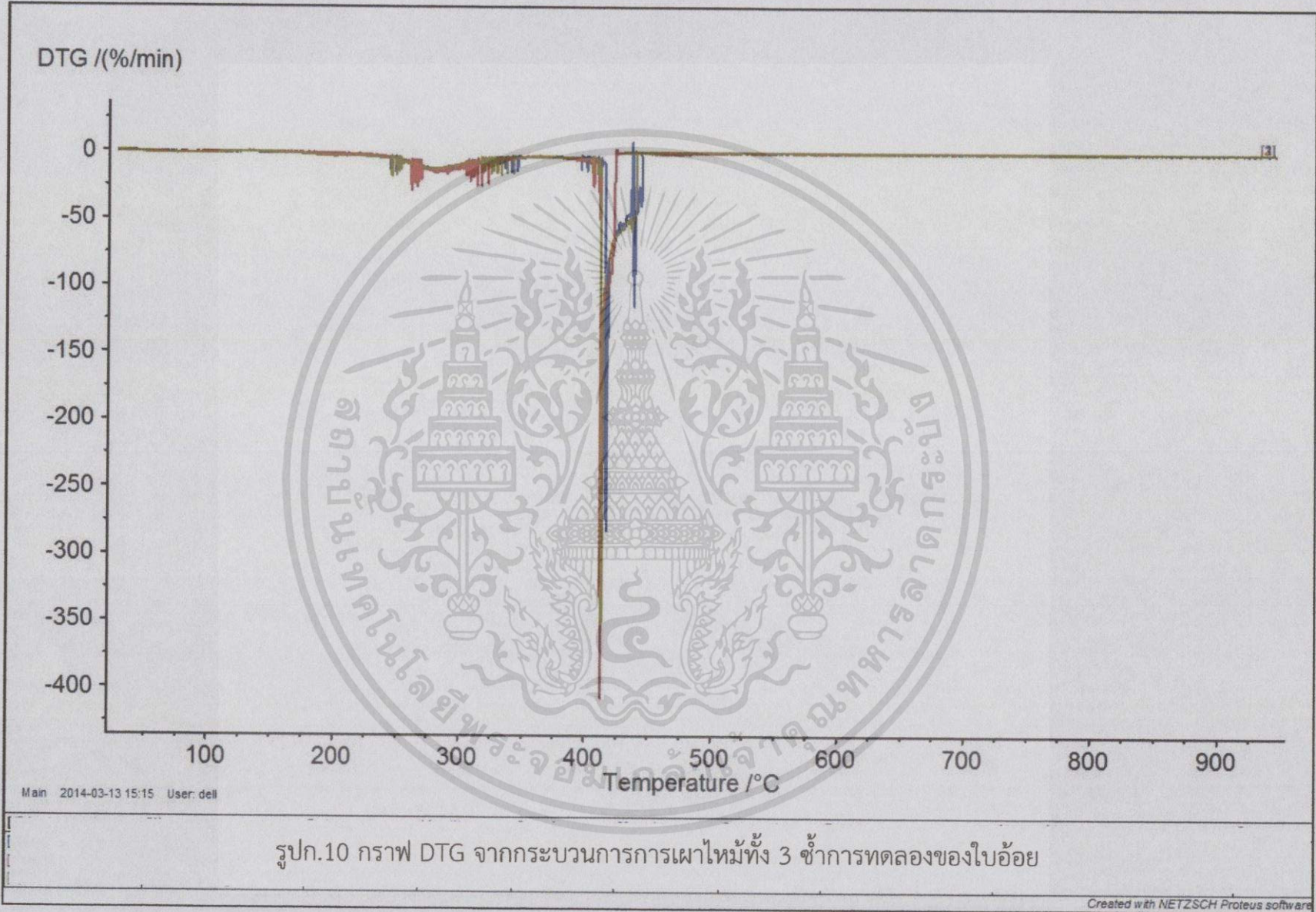
Main 2014-03-13 15:12 User: dell

รูปก.8 กราฟ DTG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 3 ซ้ำการทดลองของเปลือกกล้วยหอม

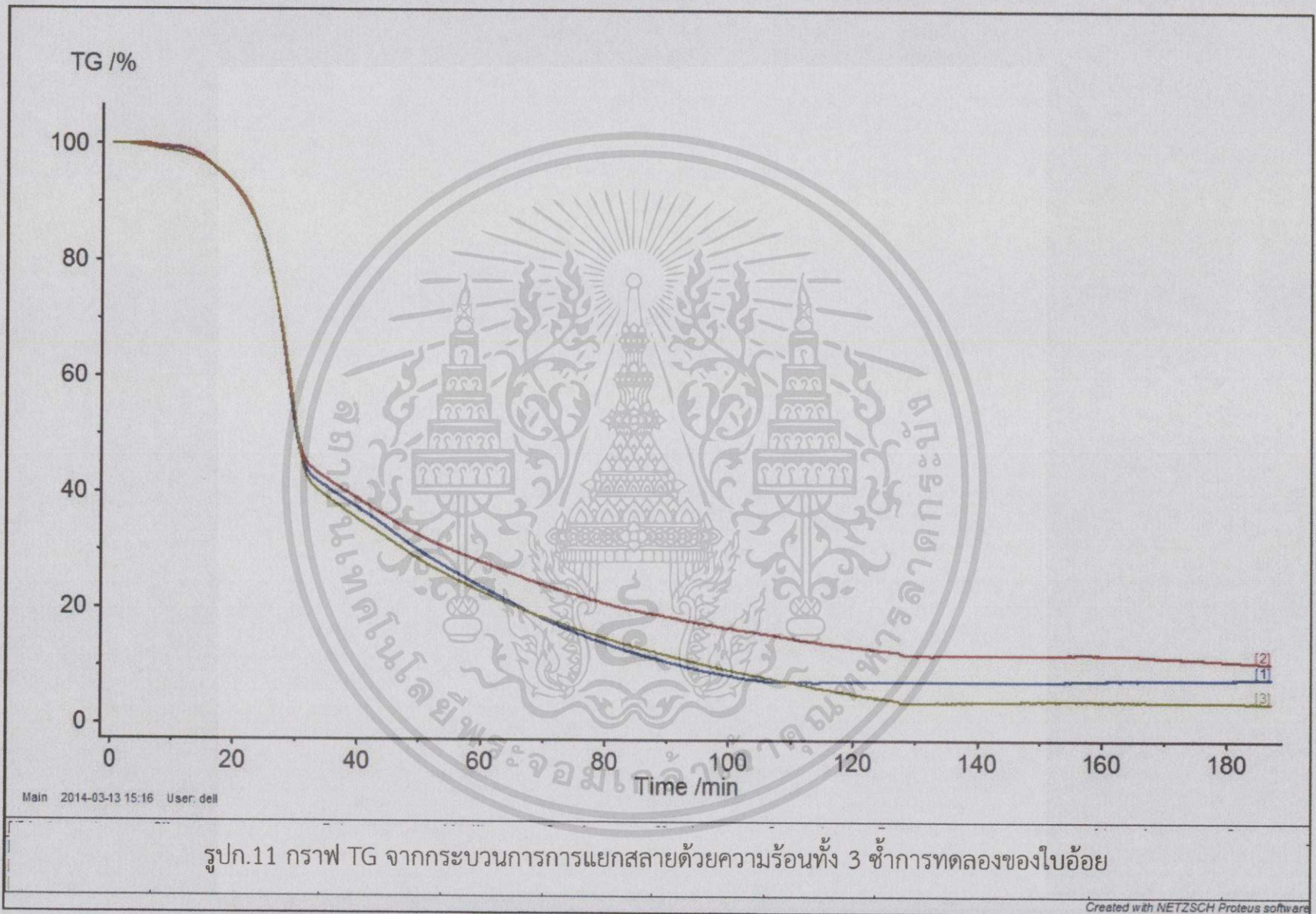
Created with NETZSCH Proteus software



รูปก.9 กราฟ TG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 3 ขั้นตอนการทดลองของใบอ้อย

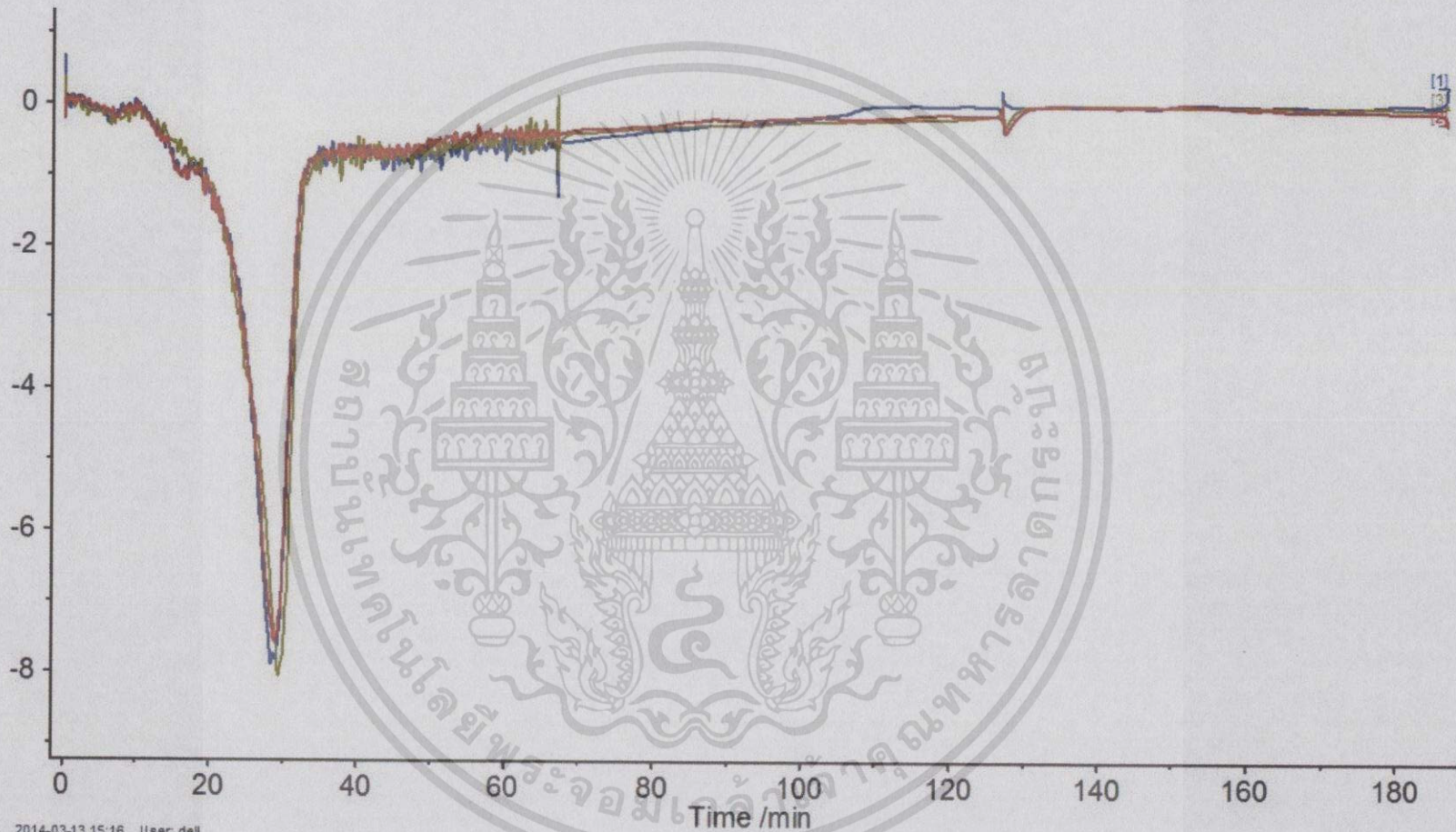


รูปก.10 กราฟ DTG จากกระบวนการเผาไหม้ทั้ง 3 ขั้นตอนการทดลองของใบอ้อย



รูปก.11 กราฟ TG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 3 ชั่วโมงทดลองของไบอ้อย

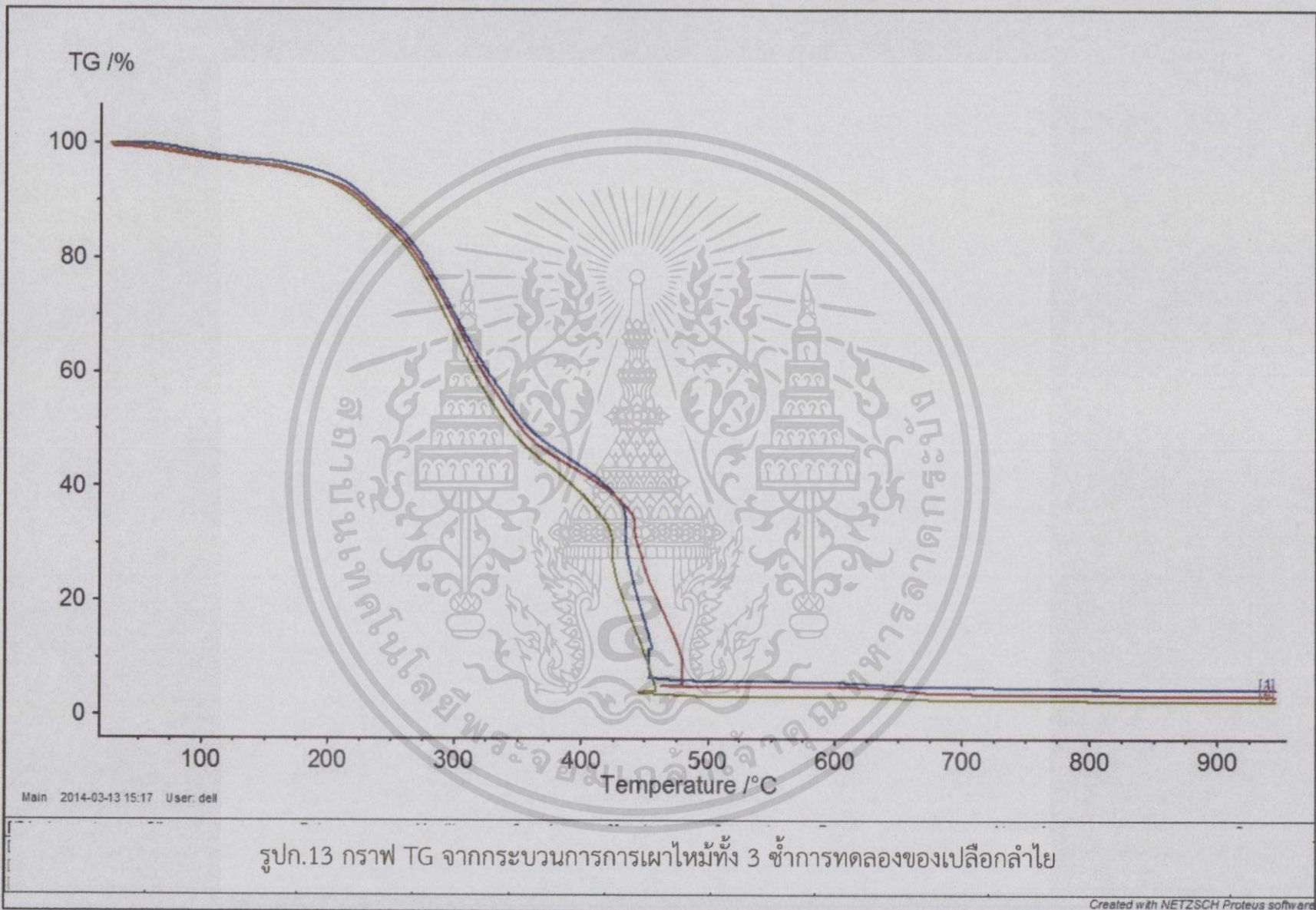
DTG /(%/min)



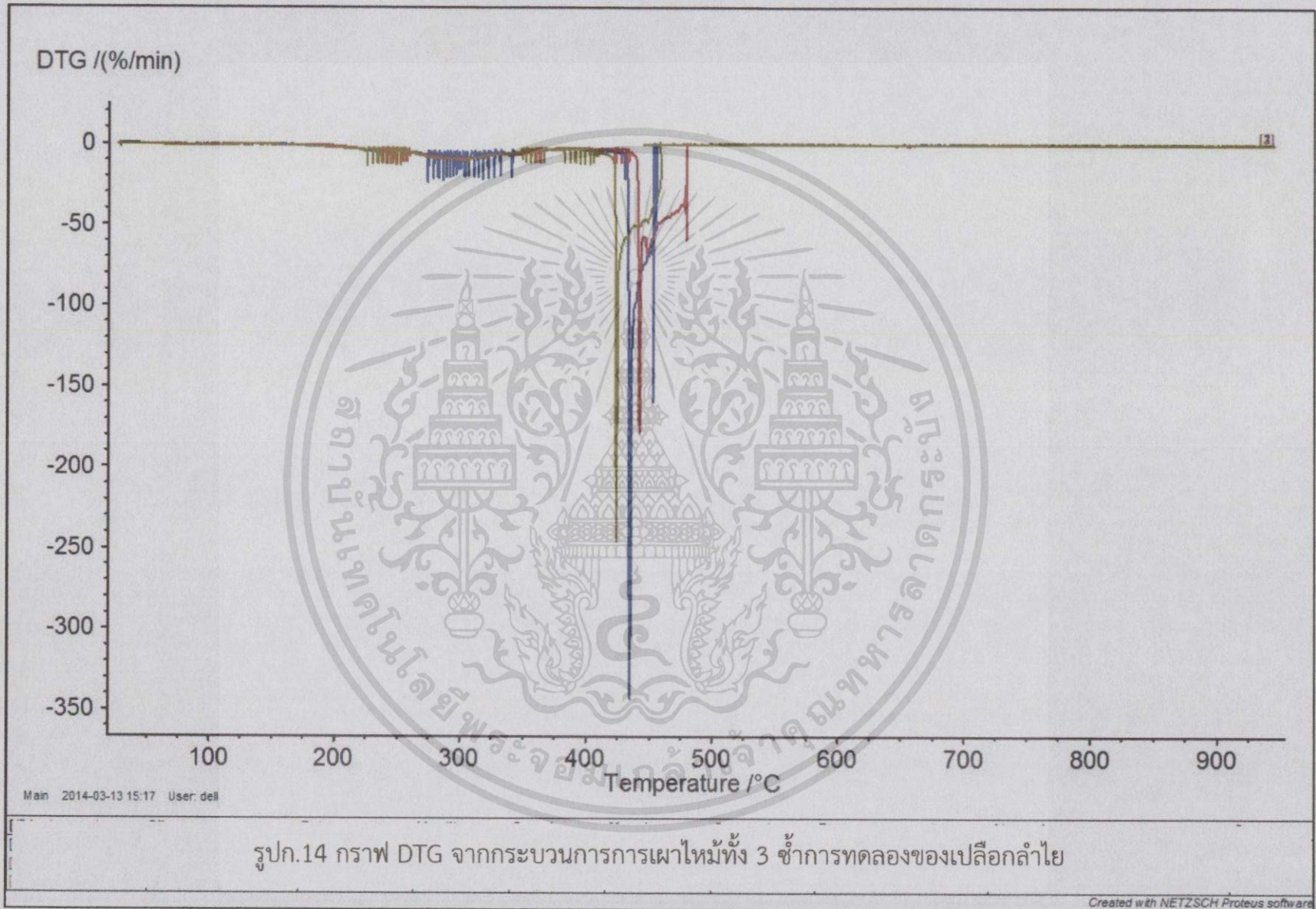
Main 2014-03-13 15:16 User: dell

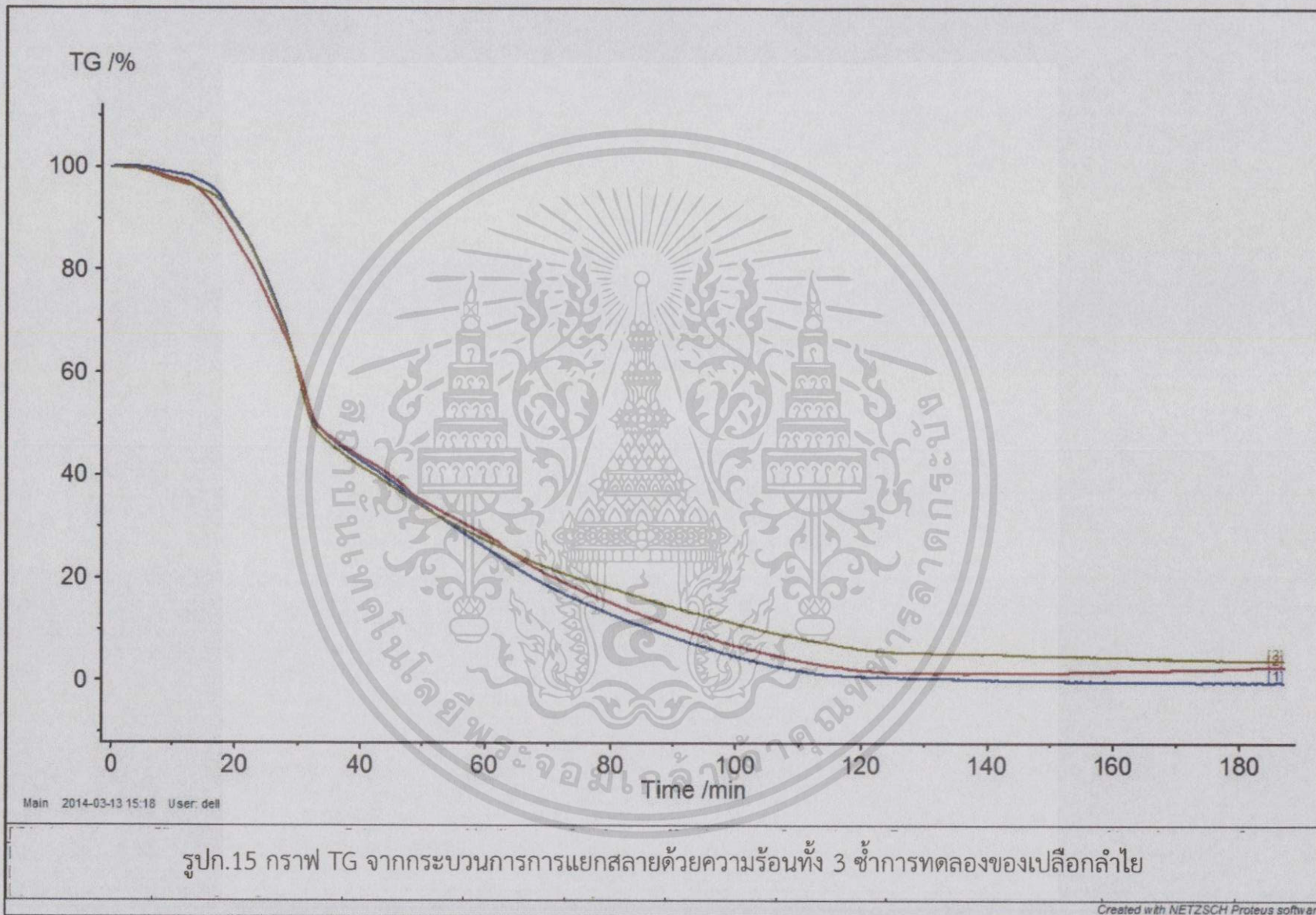
รูปก.12 กราฟ DTG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนที่ 3 ชั่วโมงทดลองของใบอ้อย

Created with NETZSCH Proteus software

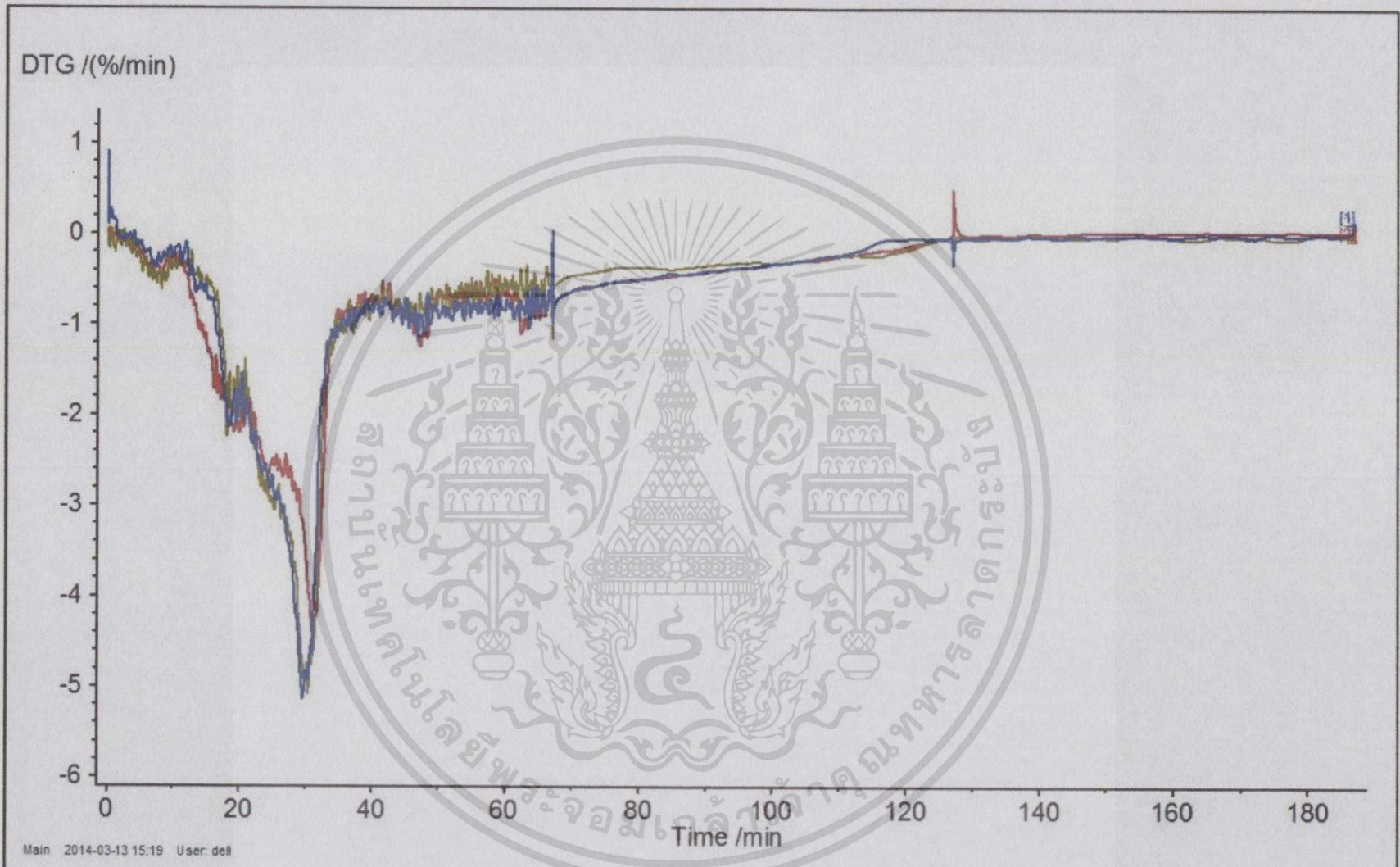


รูปก.13 กราฟ TG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 3 ขั้นตอนการทดลองของเปลือกลำไย





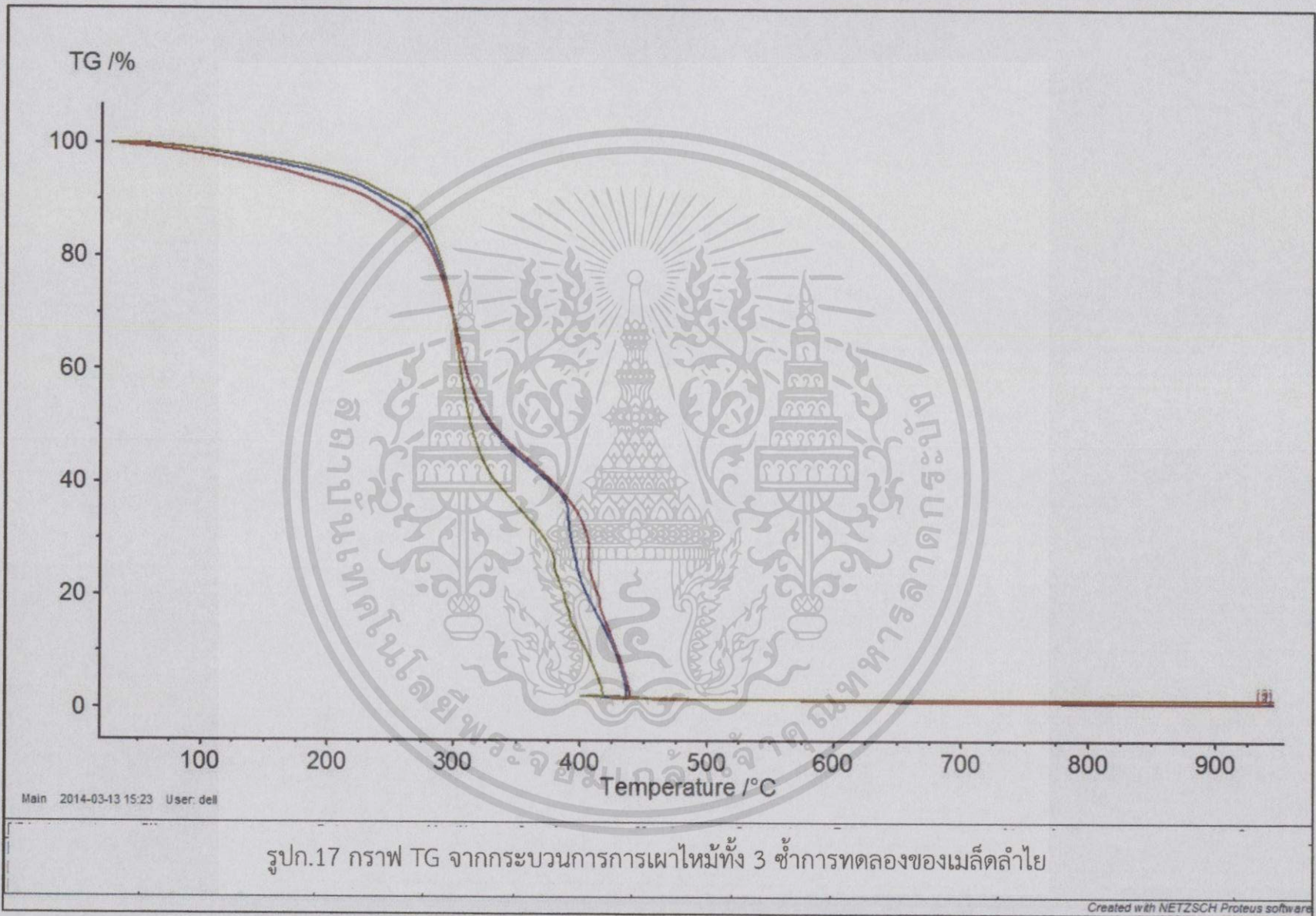
รูปก.15 กราฟ TG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 3 ขั้นตอนการทดลองของเปลือกลำไย



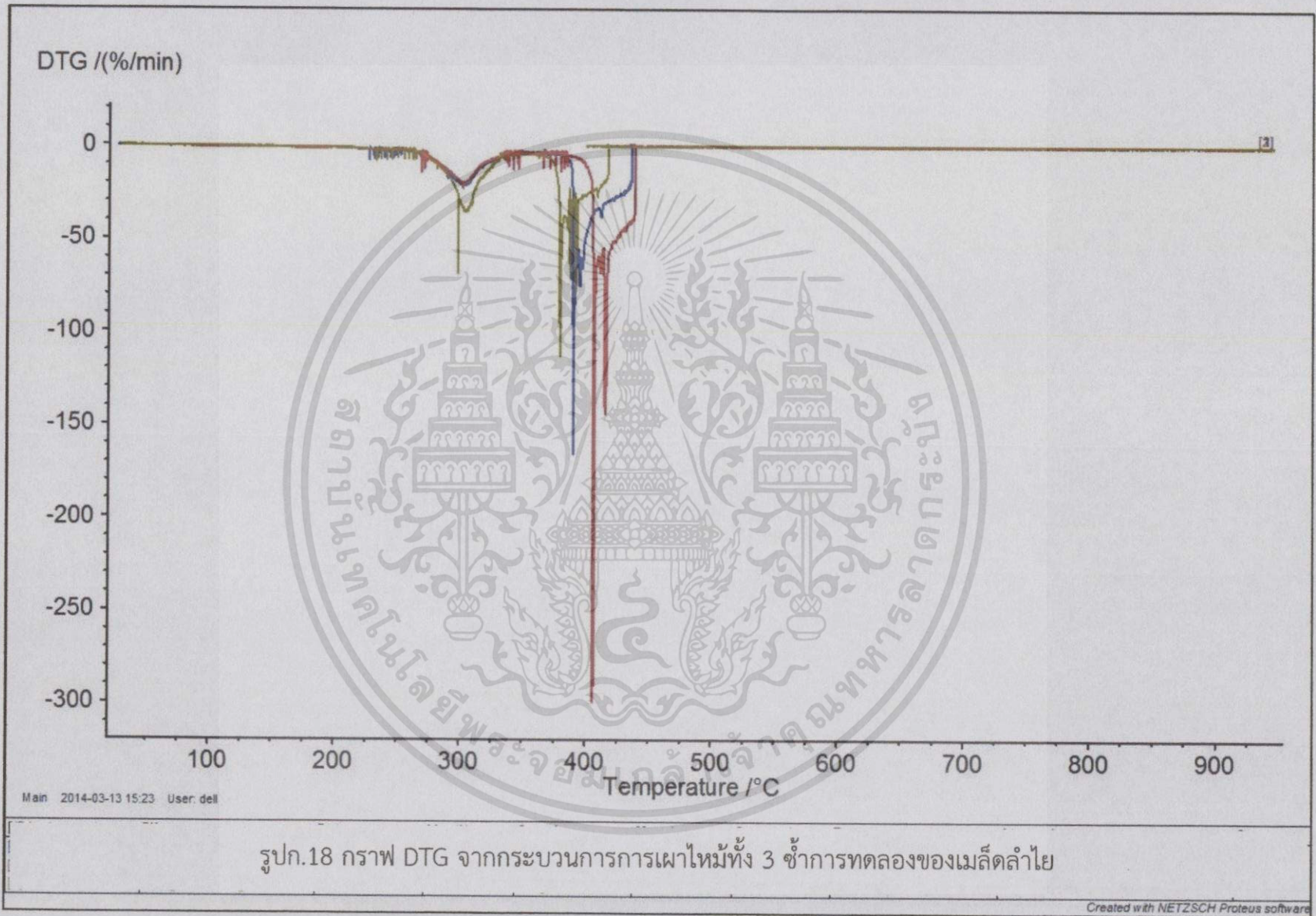
Main 2014-03-13 15:19 User: dell

รูปก.16 กราฟ DTG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 3 ซ้ำการทดลองของเปลือกลำไย

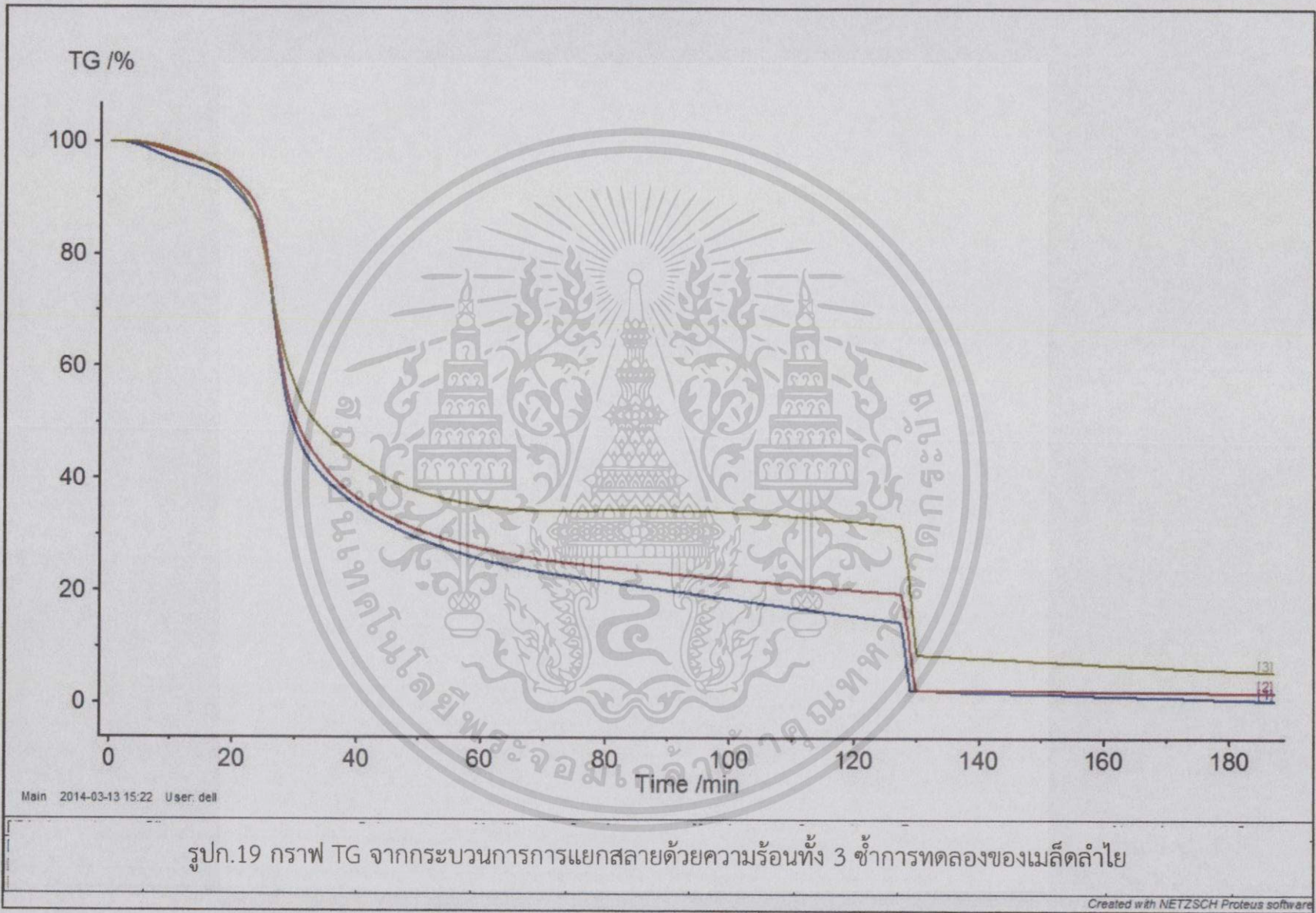
Created with NETZSCH Proteus software



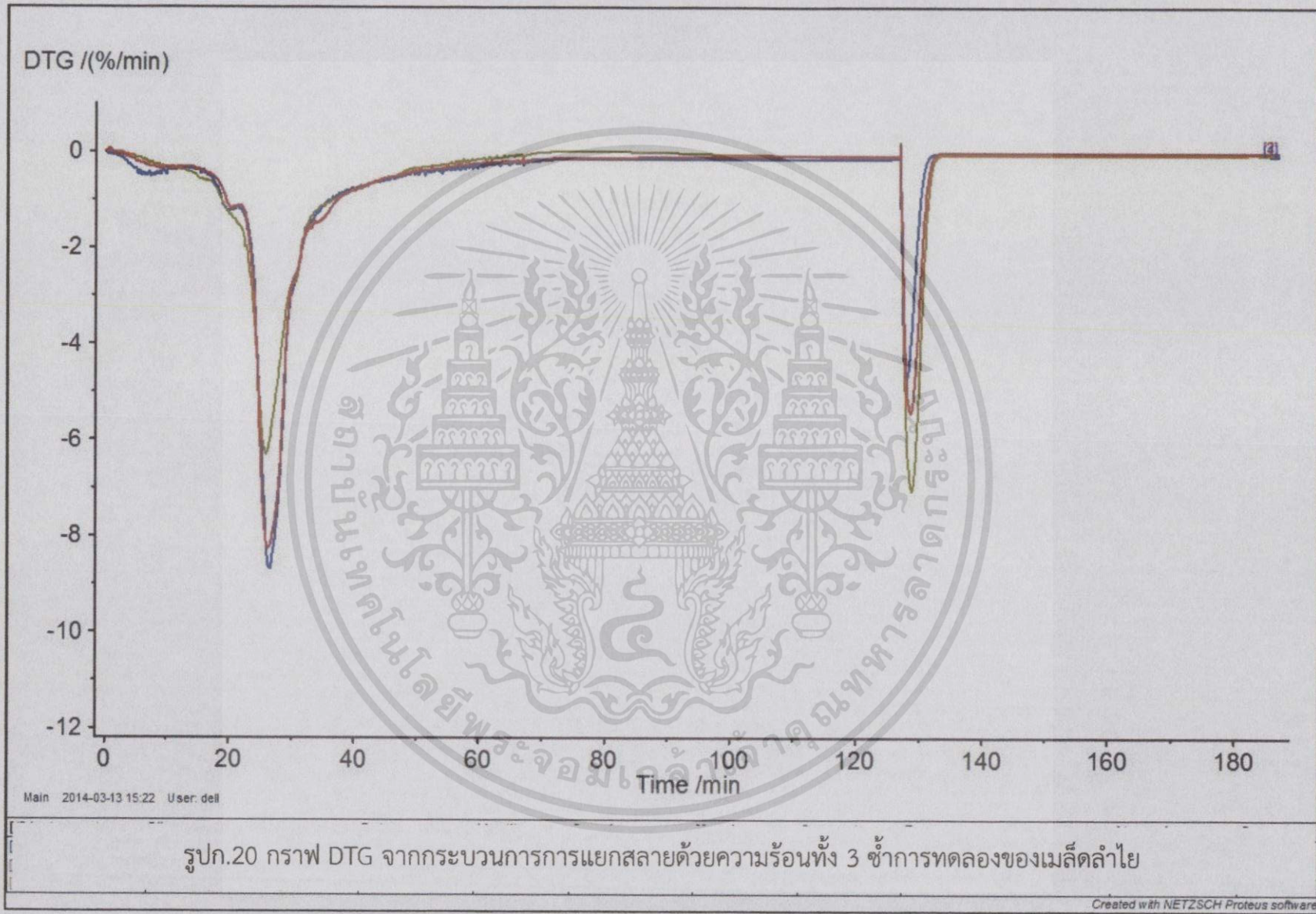
รูปก.17 กราฟ TG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 3 ขั้นตอนการทดลองของเมล็ดลำไย

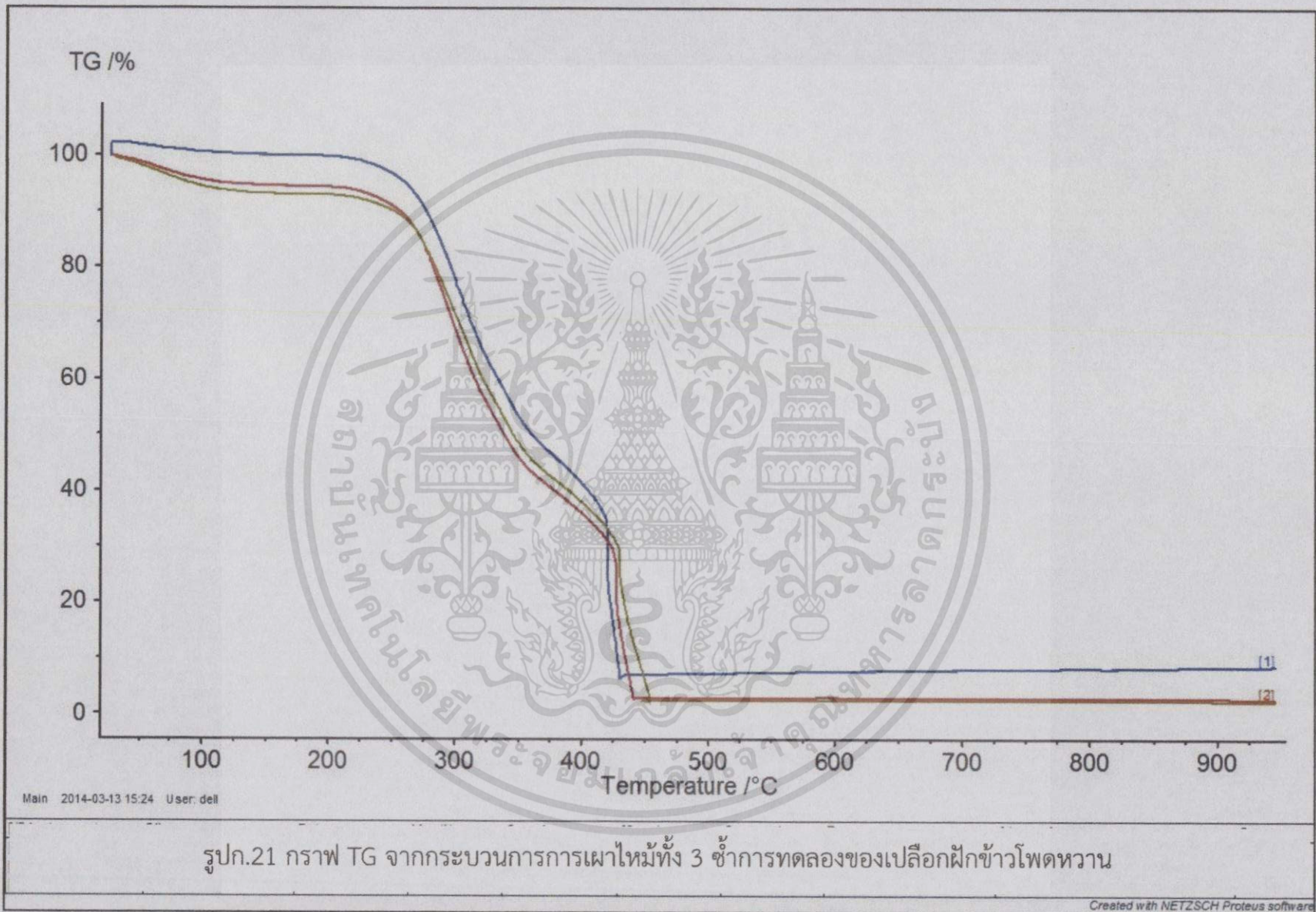


รูปก.18 กราฟ DTG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 3 ซ้ำการทดลองของเม็ลต์ลำไย

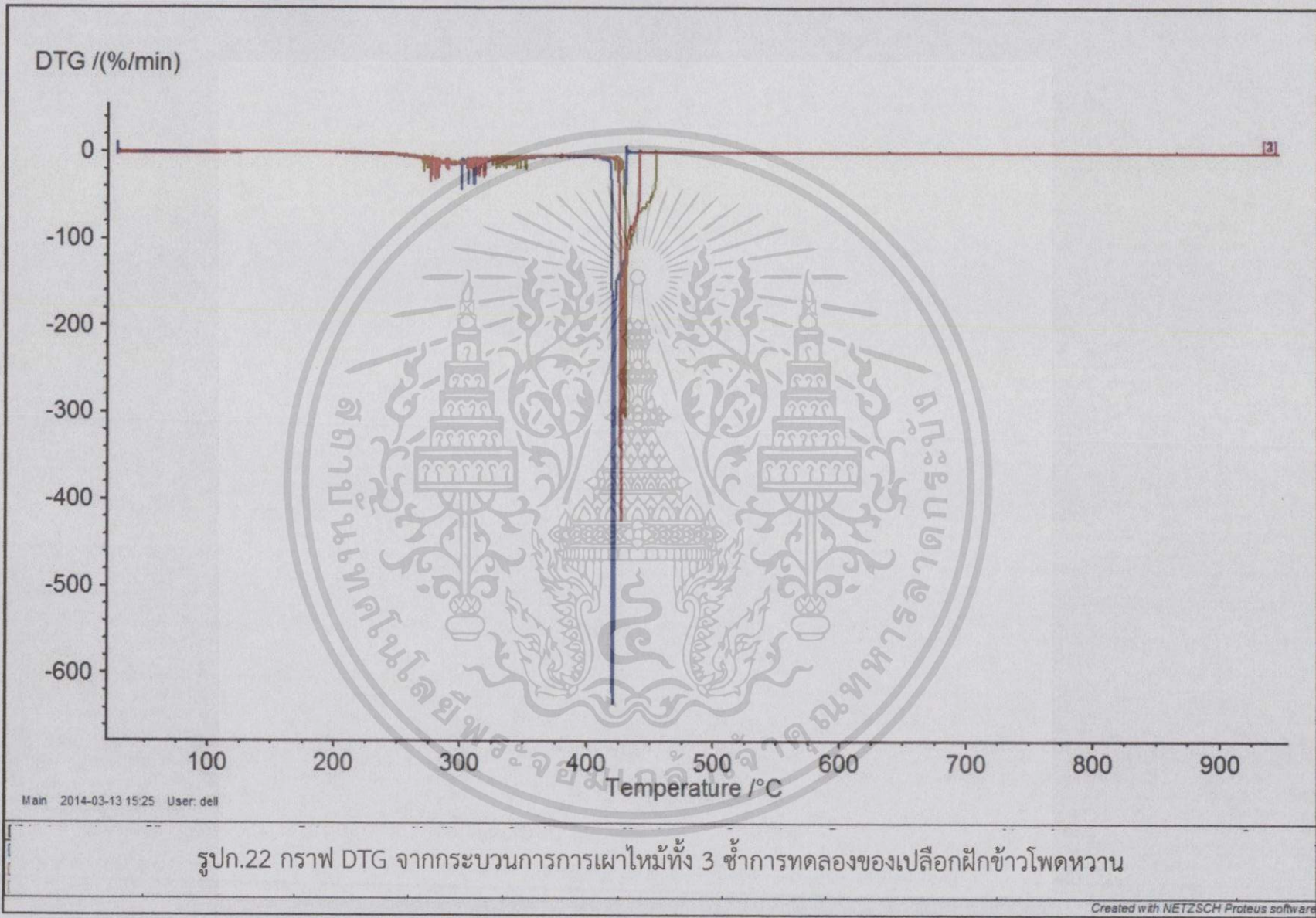


รูปก.19 กราฟ TG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 3 ขั้นตอนการทดลองของเมล็ดลำไย

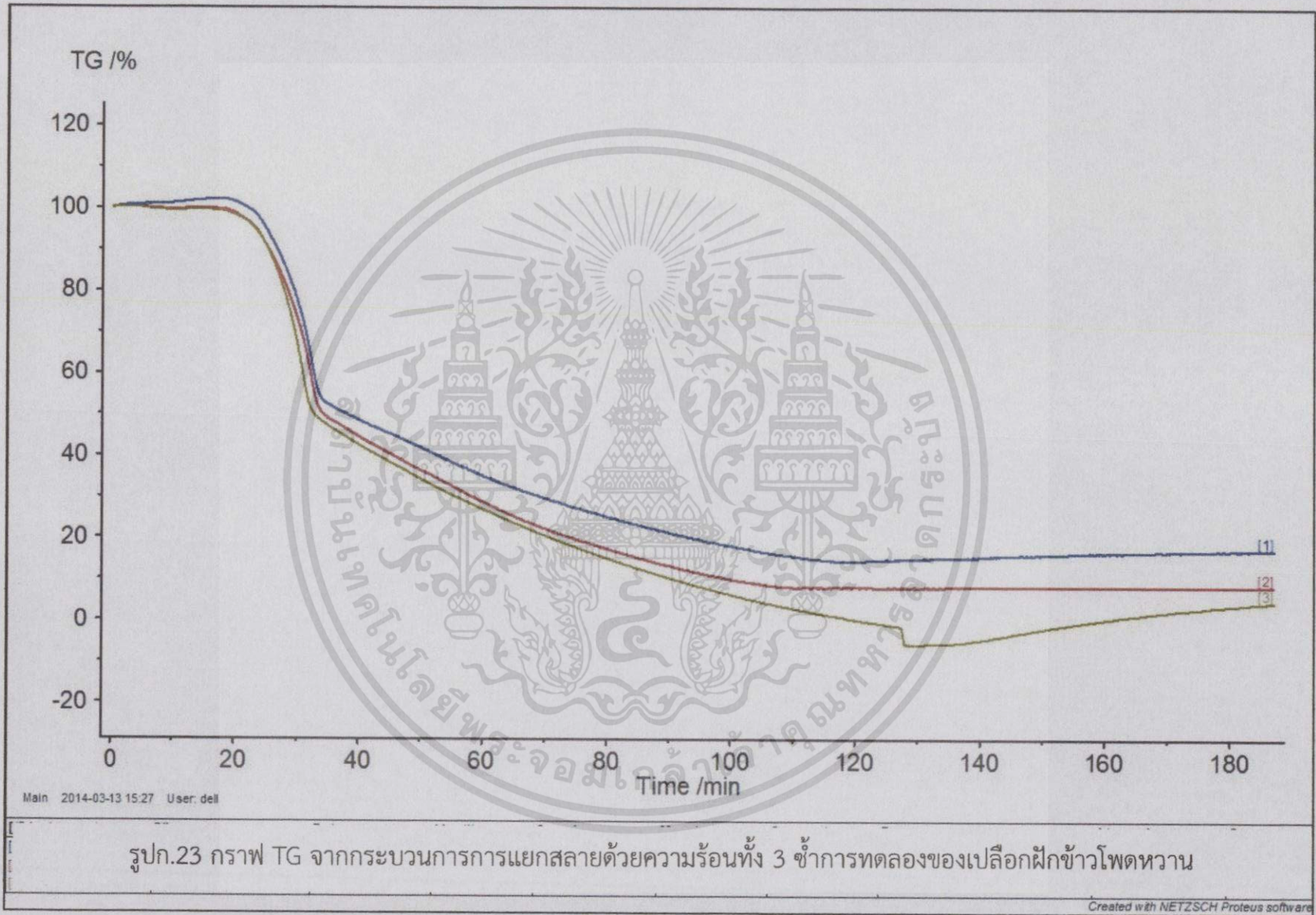




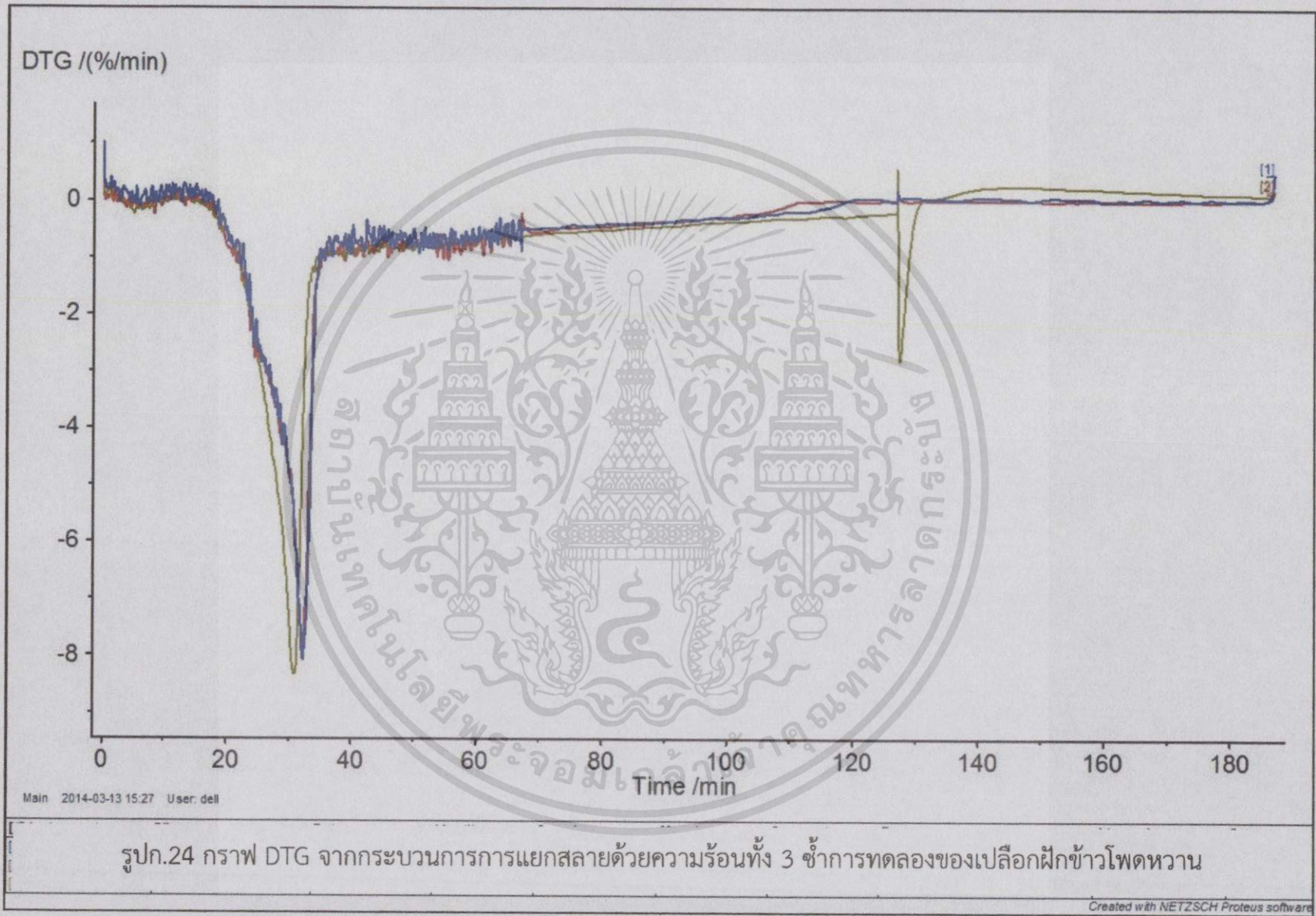
รูปก.21 กราฟ TG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 3 ซ้ำการทดลองของเปลือกฝักข้าวโพดหวาน



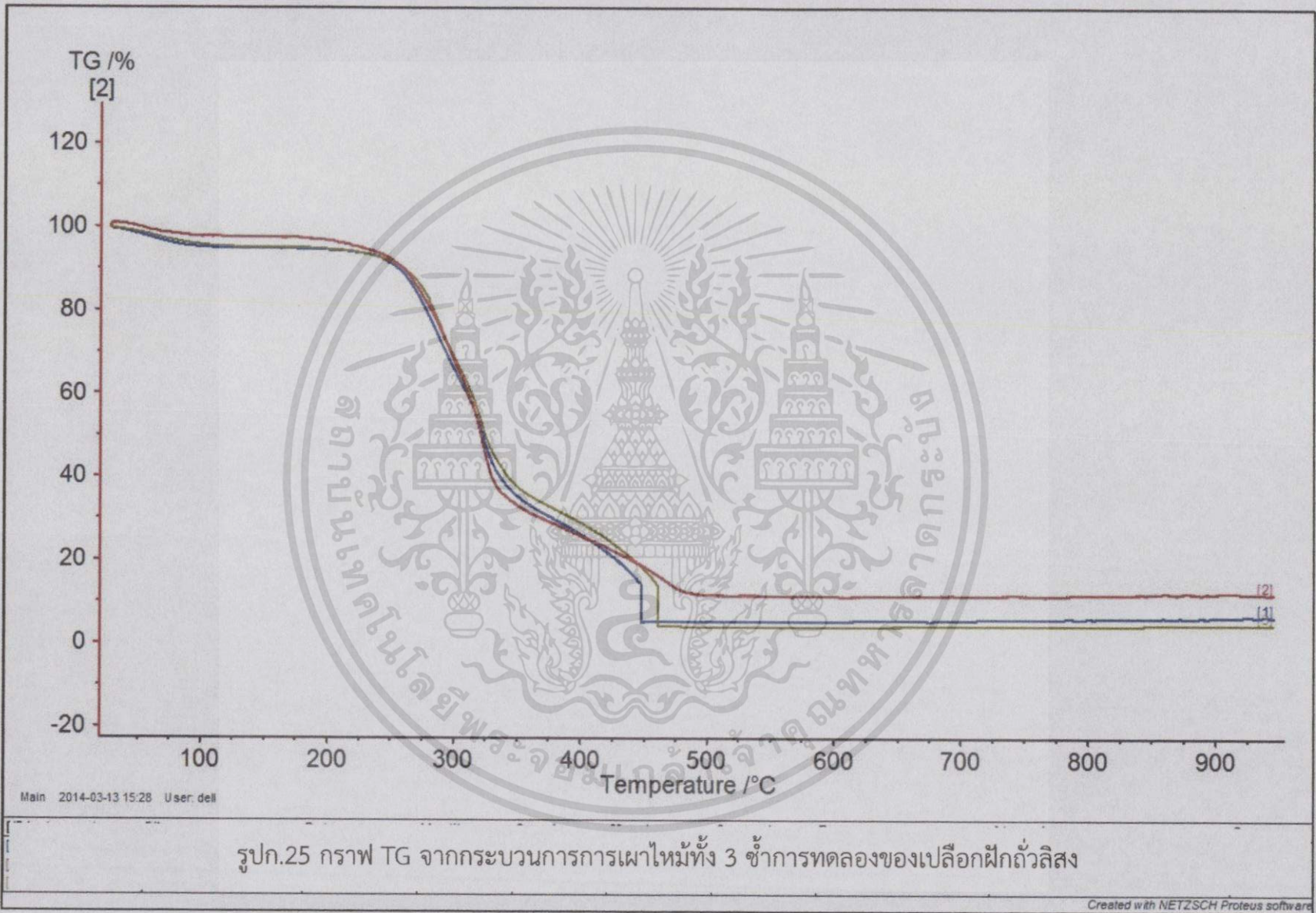
รูปก.22 กราฟ DTG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 3 ซ้ำการทดลองของเปลือกฝักข้าวโพดหวาน



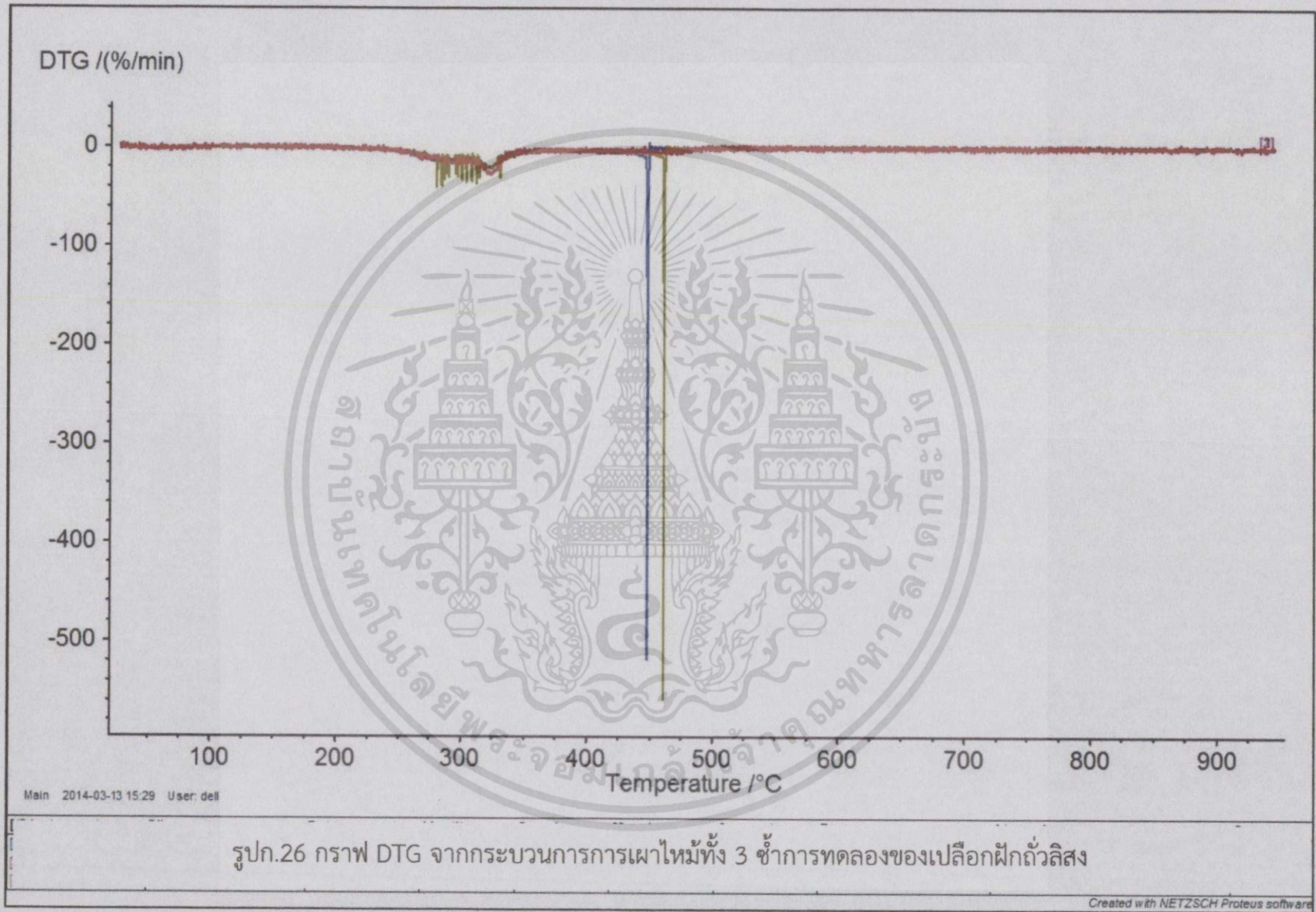
รูปก.23 กราฟ TG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 3 ขั้นตอนการทดลองของเปลือกฝักข้าวโพดหวาน

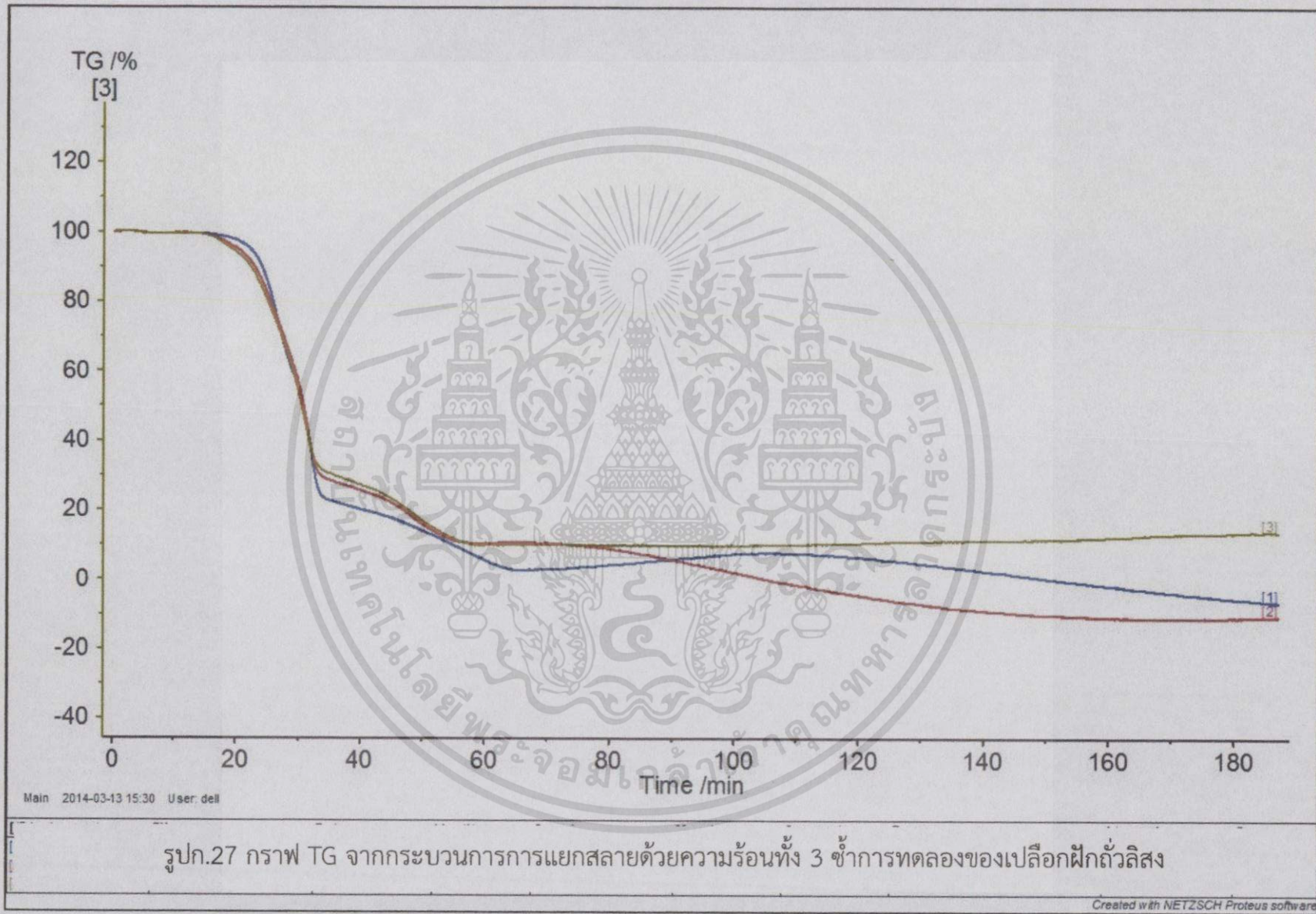


รูปก.24 กราฟ DTG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 3 ขั้นตอนการทดลองของเปลือกฝักข้าวโพดหวาน

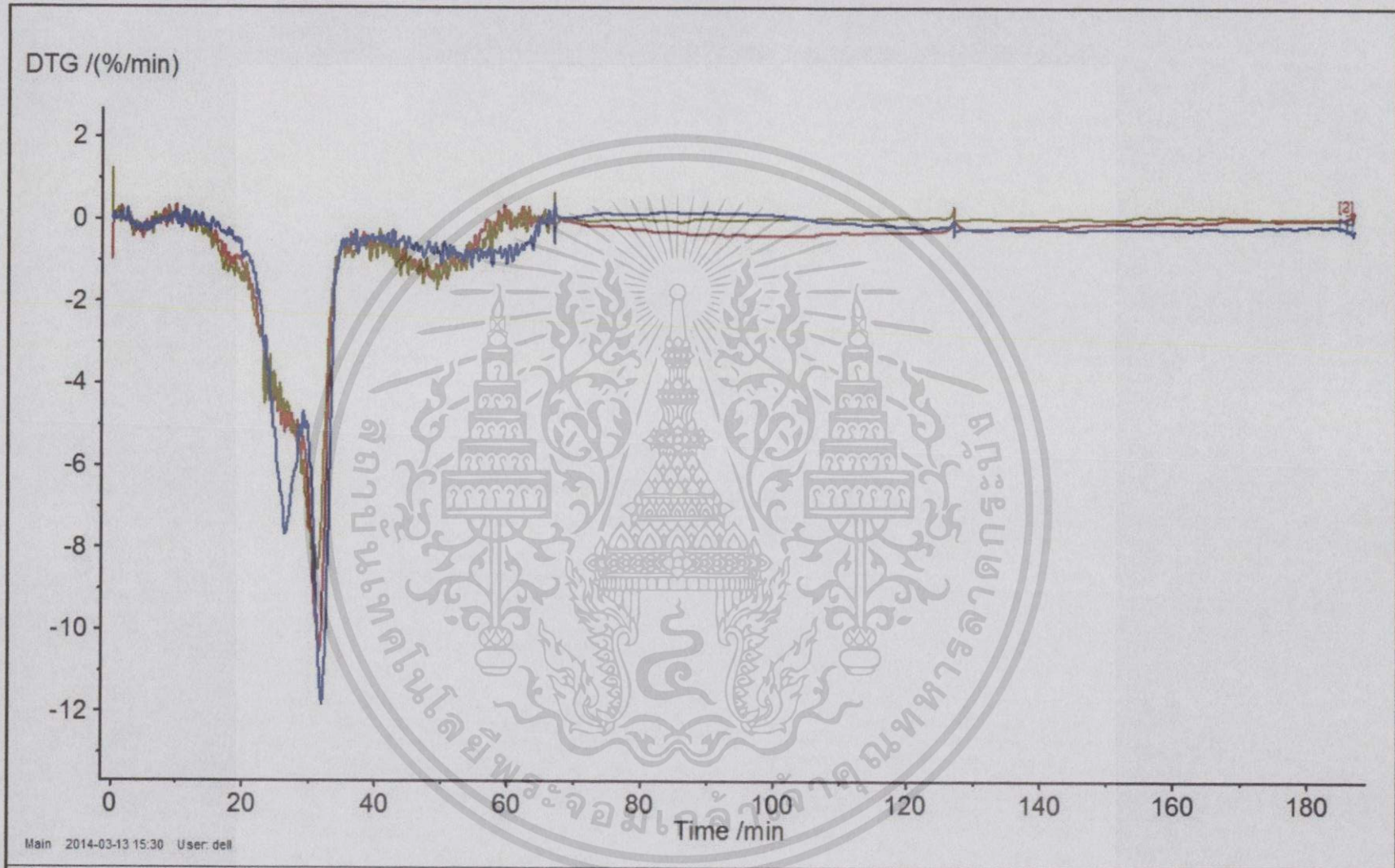


รูปก.25 กราฟ TG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 3 ซ้ำการทดลองของเปลือกฝักถั่วลิสง





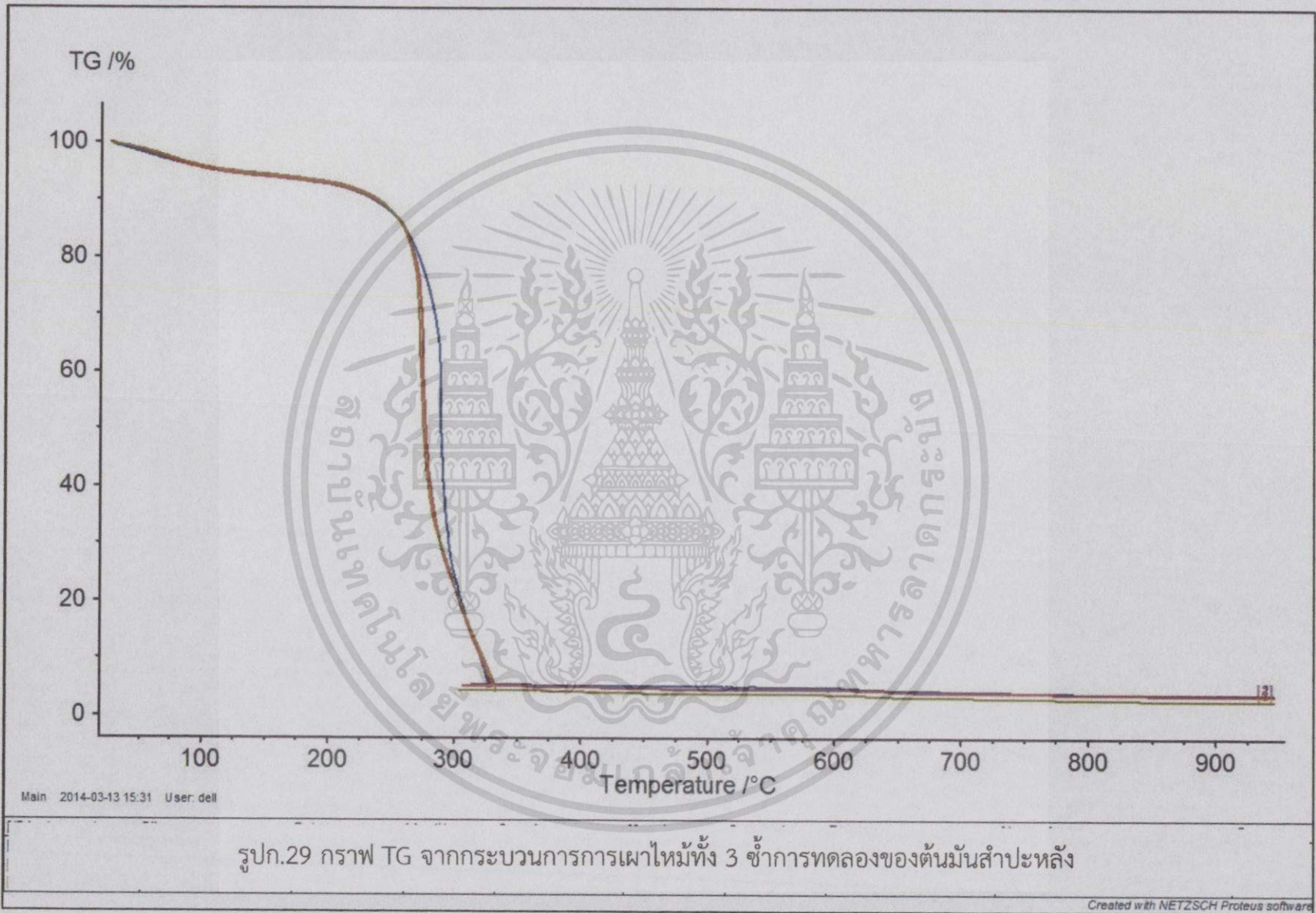
รูปก.27 กราฟ TG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 3 ชั่วโมงทดลองของเปลือกฝักถั่วลิสง



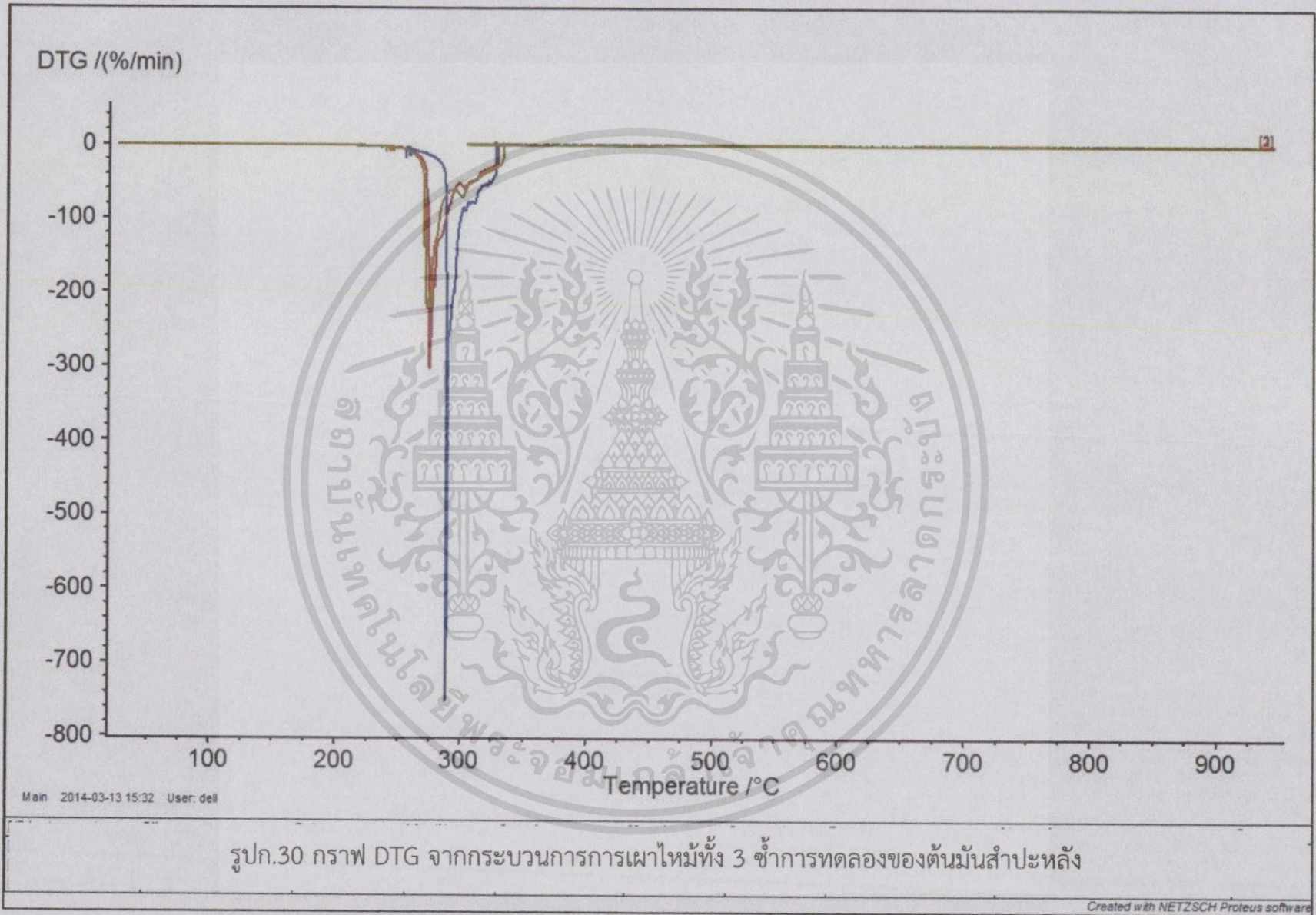
Main 2014-03-13 15:30 User: dell

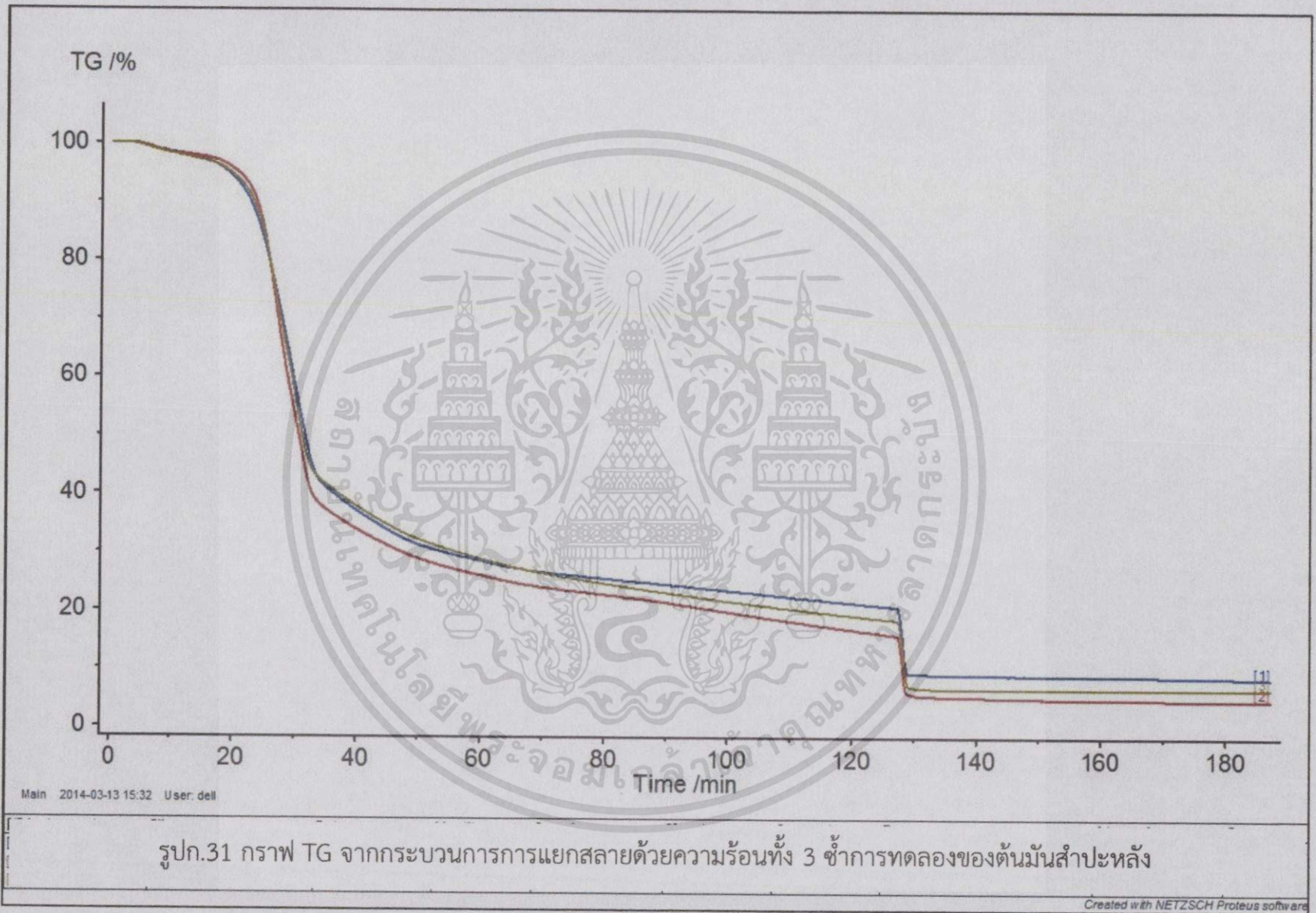
รูปก.28 กราฟ DTG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 3 ซ้ำการทดลองของเปลือกฝักถั่วลิสง

Created with NETZSCH Proteus software

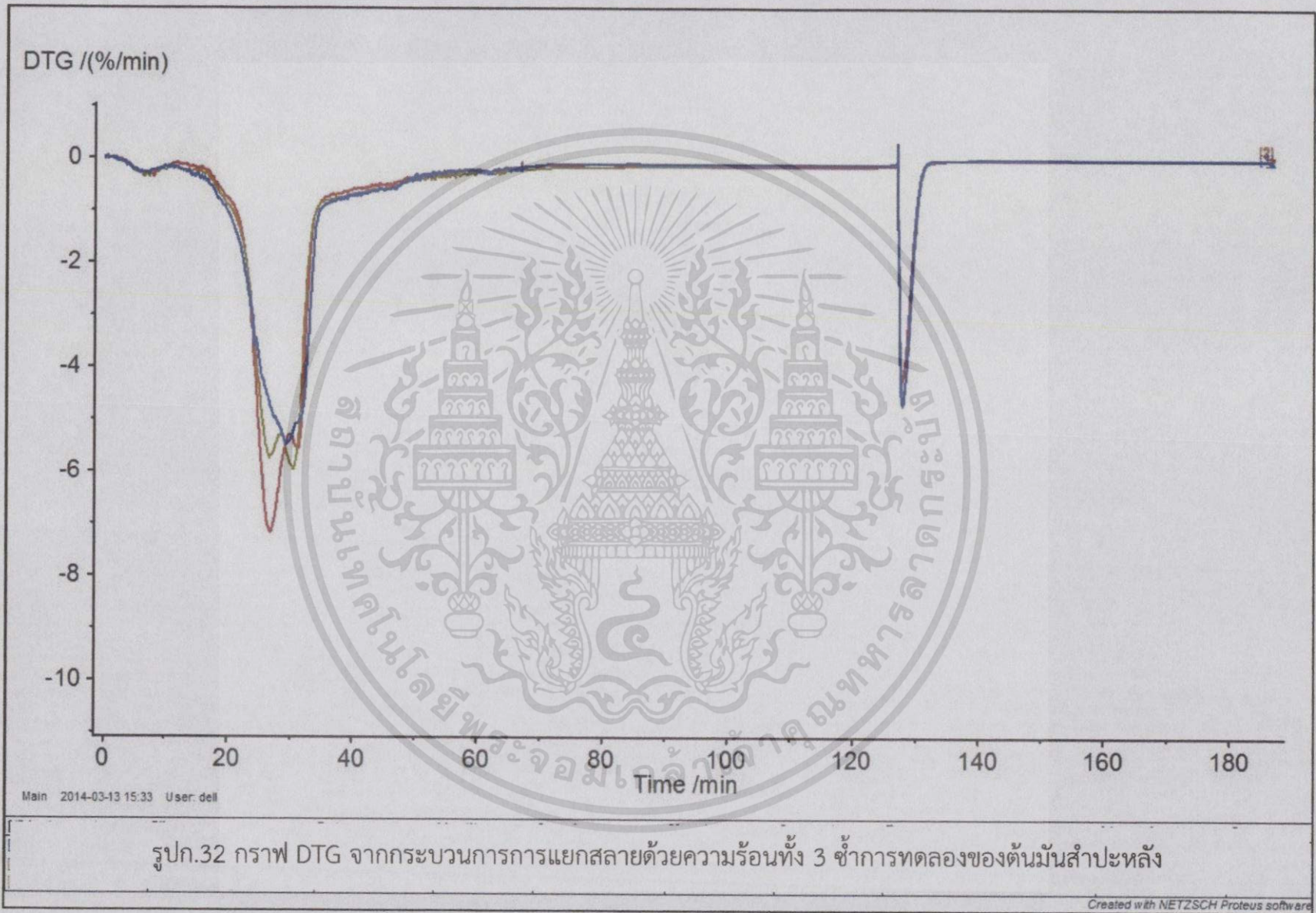


รูปก.29 กราฟ TG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 3 ซ้ำการทดลองของต้นมันสำปะหลัง



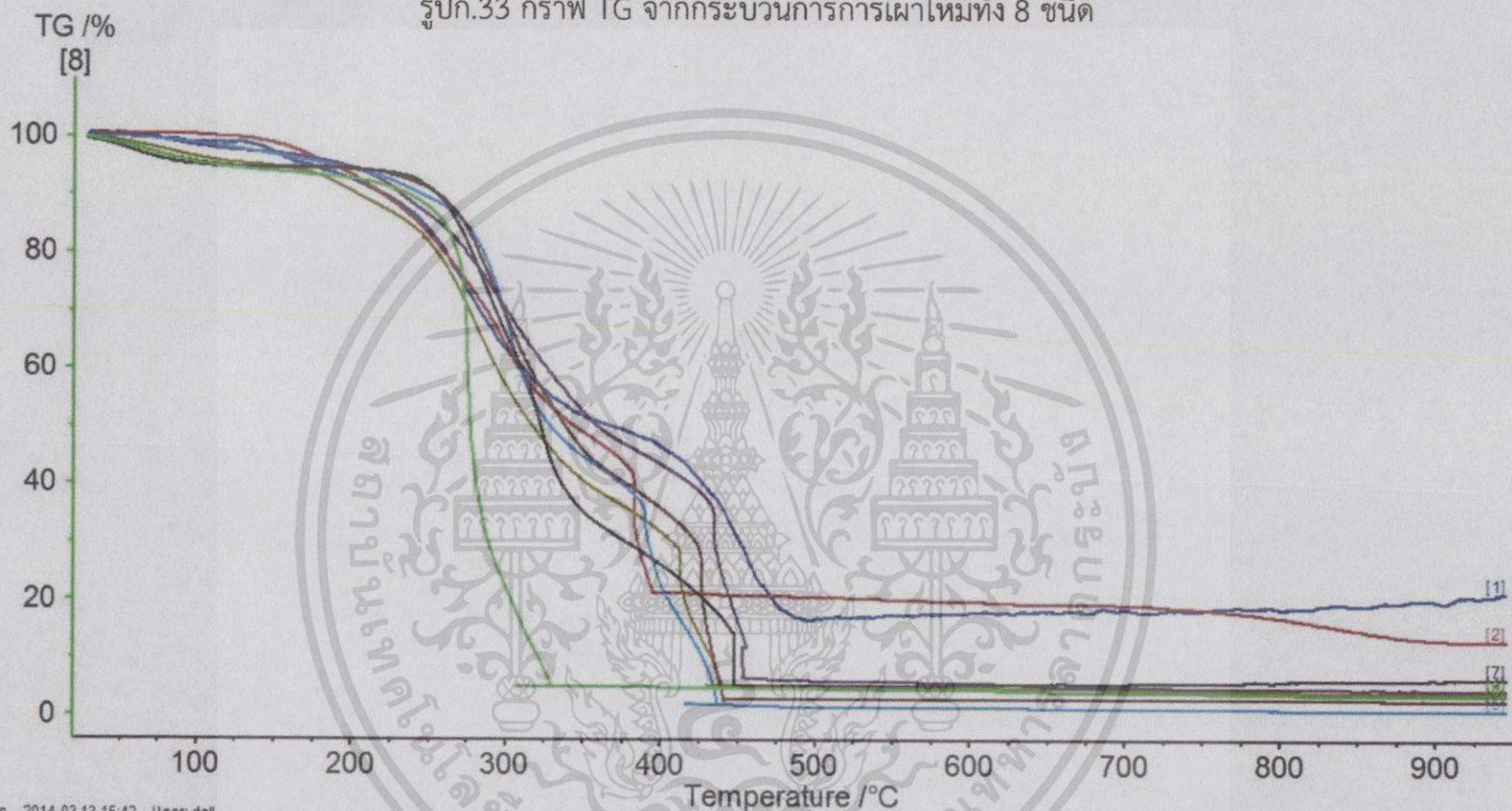


รูปก.31 กราฟ TG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 3 ขั้นตอนการทดลองของต้นมันสำปะหลัง



รูปก.32 กราฟ DTG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 3 ซ้ำการทดลองของต้นมันสำปะหลัง

รูปก.33 กราฟ TG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 8 ชนิด



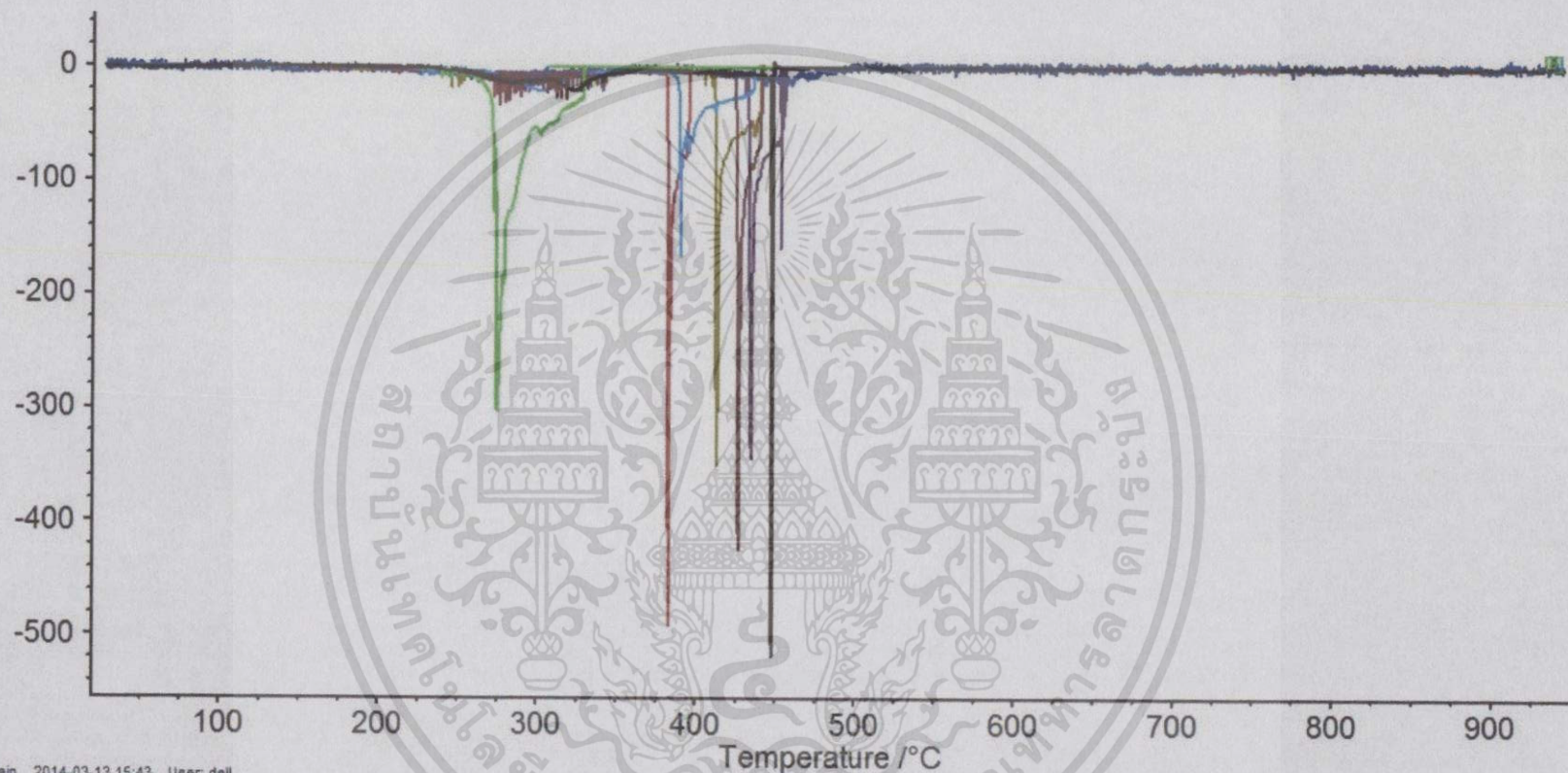
Main 2014-03-13 15:42 User: dell

[#] Instrument	File	Date	Identity	Sample	Mass/mg	Segment	Range	Atmosphere	Corr.
[1] TG 209F3	Cbabycone2.ngb-dt6	2013-11-08	2	Baby corn	0.2921	1/1	30/20.0(K/min)/ 950	O2, 20.0ml/min / N2, 10.0ml/min	020
[2] TG 209F3	Cbanana3.ngb-dt6	2013-09-18	3	Banana	3.4443	1/1	30/20.0(K/min)/ 950	O2, 20.0ml/min / N2, 10.0ml/min	020
[3] TG 209F3	Ccaneleaf3.ngb-dt6	2013-10-18	3	ans leaf	4.9603	1/1	30/20.0(K/min)/ 950	O2, 20.0ml/min / N2, 10.0ml/min	020
[4] TG 209F3	Clongan1.ngb-dt6	2013-09-05	1	Longan	3.8011	1/1	30/20.0(K/min)/ 950	O2, 20.0ml/min / N2, 10.0ml/min	020
[5] TG 209F3	Clonganseed1.ngb-dt6	2013-08-30	1	Longan seed	11.9195	1/1	30/20.0(K/min)/ 950	O2, 20.0ml/min / N2, 10.0ml/min	020
[6] TG 209F3	Cpeanut2.ngb-dt6	2013-10-16	2	Peanut peel	2.7464	1/1	30/20.0(K/min)/ 950	O2, 20.0ml/min / N2, 10.0ml/min	020
[7] TG 209F3	Ccornleaf1.ngb-dt6	2013-10-17	1	corn leaf	1.1518	1/1	30/20.0(K/min)/ 950	O2, 20.0ml/min / N2, 10.0ml/min	020
[8] TG 209F3	Ctapioca2.ngb-dt6	2013-10-18	2	Tapioca trunk	9.5371	1/1	30/20.0(K/min)/ 950	O2, 20.0ml/min / N2, 10.0ml/min	020

Created with NETZSCH Proteus software

DTG /(%/min)

รูปก.34 กราฟ DTG จากกระบวนการการเผาไหม้ทั้ง 8 ชนิด

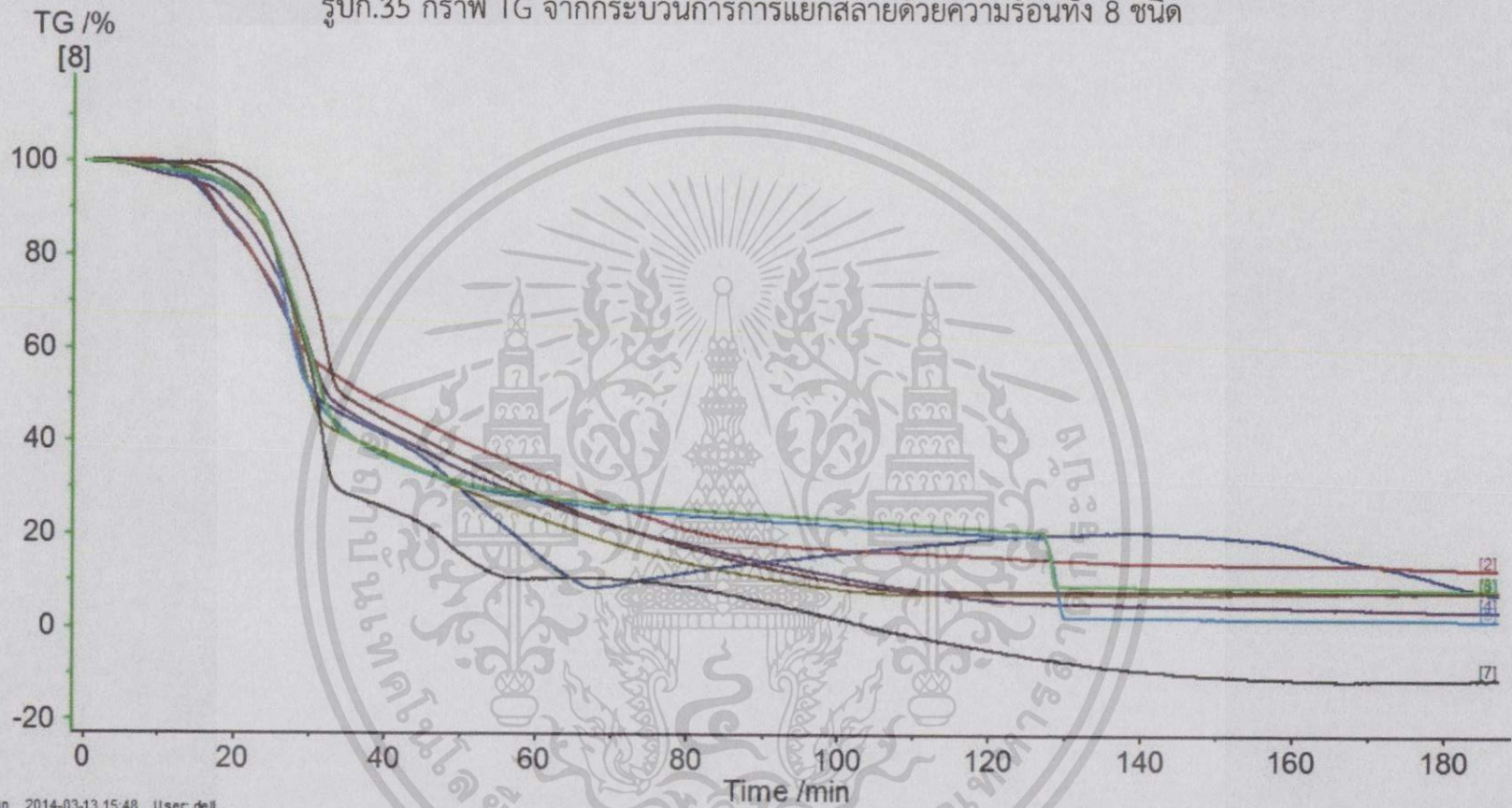


Main 2014-03-13 15:43 User: dell

[#] Instrument	File	Date	Identify	Sample	Mass/mg	Segment	Range	Atmosphere	Corr.
[1] TG 209F3	Cbabycone2.ngb-dt6	2013-11-08	2	Baby corn	0.2921	1/1	30/20.0(K/min)/ 950	O2, 20.0ml/min / N2, 10.0ml/min	---
[2] TG 209F3	Cbanana3.ngb-dt6	2013-09-18	3	Banana	3.4443	1/1	30/20.0(K/min)/ 950	O2, 20.0ml/min / N2, 10.0ml/min	---
[3] TG 209F3	Ccaneleaf3.ngb-dt6	2013-10-18	3	ana leaf	4.9603	1/1	30/20.0(K/min)/ 950	O2, 20.0ml/min / N2, 10.0ml/min	---
[4] TG 209F3	Clongan1.ngb-dt6	2013-09-05	1	Longan	3.8011	1/1	30/20.0(K/min)/ 950	O2, 20.0ml/min / N2, 10.0ml/min	---
[5] TG 209F3	Clonganseed1.ngb-dt6	2013-08-30	1	Longan seed	11.9195	1/1	30/20.0(K/min)/ 950	O2, 20.0ml/min / N2, 10.0ml/min	---
[6] TG 209F3	Cpeanut2.ngb-dt6	2013-10-16	2	Peanut peel	2.7464	1/1	30/20.0(K/min)/ 950	O2, 20.0ml/min / N2, 10.0ml/min	---
[7] TG 209F3	Ccornleaf1.ngb-dt6	2013-10-17	1	corn leaf	1.1518	1/1	30/20.0(K/min)/ 950	O2, 20.0ml/min / N2, 10.0ml/min	---
[8] TG 209F3	Ctapioca2.ngb-dt6	2013-10-18	2	Tapioca trunk	8.5371	1/1	30/20.0(K/min)/ 950	O2, 20.0ml/min / N2, 10.0ml/min	---

Created with NETZSCH Proteus software

รูปก.35 กราฟ TG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 8 ชนิด



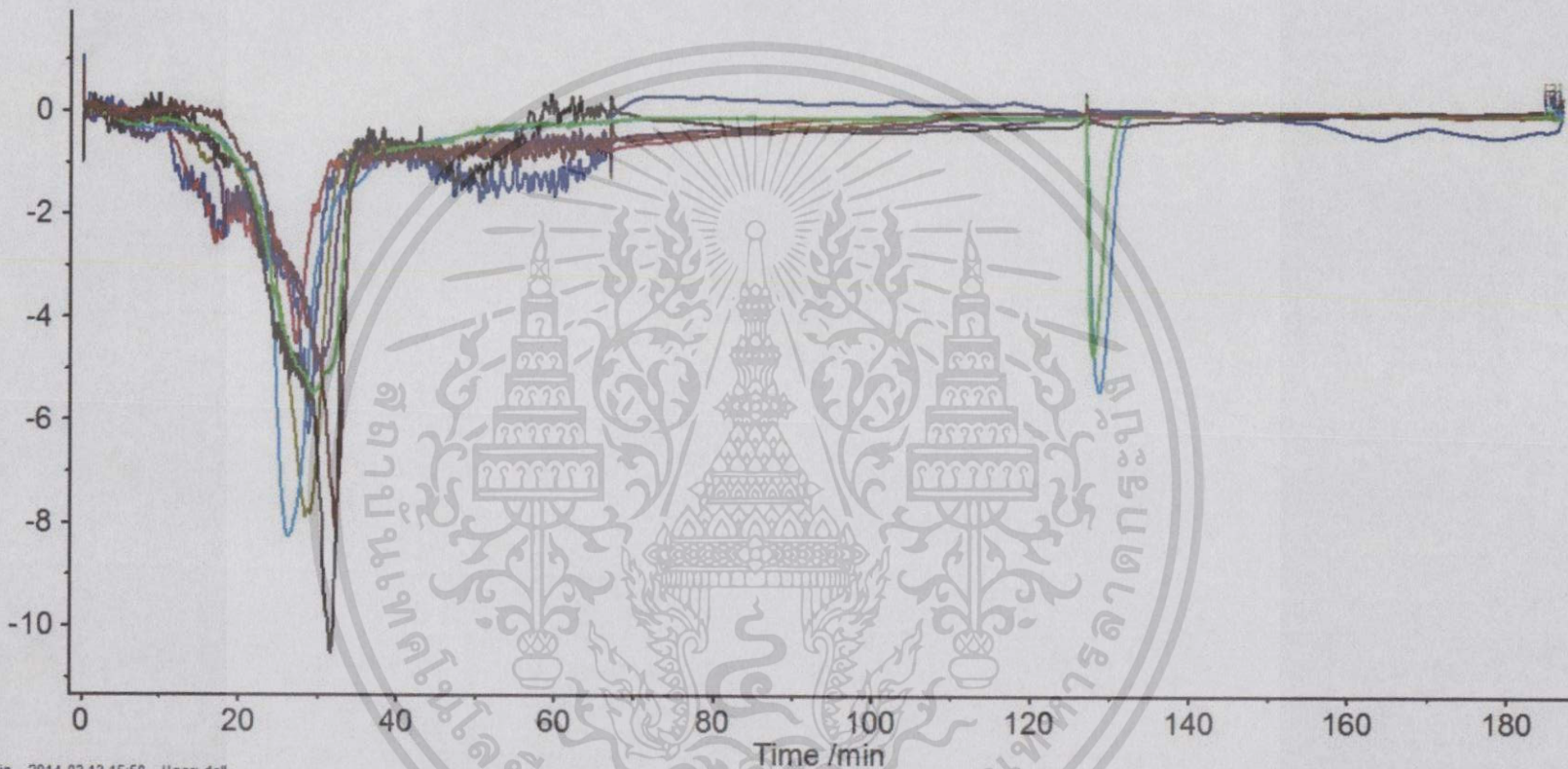
Main 2014-03-13 15:48 User: dell

[#] Instrument	File	Date	Identity	Sample	Mass/mg	Segment	Range	Atmosphere	Corr.
[1] TG 209F3	Pbabycone3.ngb-dt6	2013-11-24	3	Baby cone leaf	0.6401	1-3/3	30 ... 700/0.0 ... 10.0K/min	O2 / N2 / N2	020
[2] TG 209F3	NEW Pbanana1.ngb-dt6	2013-11-25	1	Banana peel	1.5670	1-3/3	30 ... 700/0.0 ... 10.0K/min	O2 / N2 / N2	020
[3] TG 209F3	Pcaneleaf1.ngb-dt6	2013-11-28	1	Cane leaf	2.0853	1-3/3	30 ... 700/0.0 ... 10.0K/min	O2 / N2 / N2	020
[4] TG 209F3	NEW Plongan3.ngb-dt6	2013-11-07	3	Longan	1.8804	1-3/3	30 ... 700/0.0 ... 10.0K/min	O2 / N2 / N2	020
[5] TG 209F3	NEW Plongansseed2.ngb-dt6	2013-11-13	2	Longan seed	16.2000	1-3/3	30 ... 700/0.0 ... 10.0K/min	O2 / N2 / N2	020
[6] TG 209F3	Ppeanut2.ngb-dt6	2013-11-16	2	Peanut peel	1.4740	1-3/3	30 ... 700/0.0 ... 10.0K/min	O2 / N2 / N2	020
[7] TG 209F3	Pcornleaf2.ngb-dt6	2013-11-30	2	Sweet corn leaf	0.7445	1-3/3	30 ... 700/0.0 ... 10.0K/min	O2 / N2 / N2	020
[8] TG 209F3	Plapoca2.ngb-dt6	2013-11-21	2	Tapoca trunk	8.0959	1-3/3	30 ... 700/0.0 ... 10.0K/min	O2 / N2 / N2	020

Created with NETZSCH Proteus software

รูปก.36 กราฟ DTG จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนทั้ง 8 ชนิด

DTG /(%/min)



Main 2014-03-13 15:50 User: dell

[#] Instrument	File	Date	Identity	Sample	Massing	Segment	Range	Atmosphere	Corr.
[1] TG 209F3	Pbabycone3.ngb-dt6	2013-11-24	3	Baby cone leaf	0.6401	1-3/3	30 ... 700/0.0...10.0K/min	O2 / N2 / N2	7
[2] TG 209F3	NEW Pbanana1.ngb-dt6	2013-11-25	1	Banana peel	1.5670	1-3/3	30 ... 700/0.0...10.0K/min	O2 / N2 / N2	7
[3] TG 209F3	Pcaneleaf1.ngb-dt6	2013-11-28	1	Cane leaf	2.0853	1-3/3	30 ... 700/0.0...10.0K/min	O2 / N2 / N2	7
[4] TG 209F3	NEW Plongan3.ngb-dt6	2013-11-07	3	Longan	1.8804	1-3/3	30 ... 700/0.0...10.0K/min	O2 / N2 / N2	7
[5] TG 209F3	NEW Plonganseed2.ngb-dt6	2013-11-13	2	Longan seed	16.2000	1-3/3	30 ... 700/0.0...10.0K/min	O2 / N2 / N2	7
[6] TG 209F3	Ppeanut2.ngb-dt6	2013-11-16	2	Peanut peel	1.4740	1-3/3	30 ... 700/0.0...10.0K/min	O2 / N2 / N2	7
[7] TG 209F3	Pcornleaf2.ngb-dt6	2013-11-30	2	Sweet corn leaf	0.7445	1-3/3	30 ... 700/0.0...10.0K/min	O2 / N2 / N2	7
[8] TG 209F3	Ptapioca2.ngb-dt6	2013-11-21	2	Tapioca trunk	8.0959	1-3/3	30 ... 700/0.0...10.0K/min	O2 / N2 / N2	7

Created with NETZSCH Proteus software



ภาคผนวก ข.  
ตารางข้อมูลการคิดจุดคุ้มทุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.1 ต้นทุนรวมและรายได้รวมของเปลือกกล้วย

ปีที่	ต้นทุน					รายรับ	
	Fixed Cost		Variable Cost			รายได้จากการขายไฟฟ้า ( ล้านบาท/ปี )	รายได้จากการขายถ่าน ( บาท/ปี )
	ราคาโรงไฟฟ้า ( ล้านบาท )	O & M ( ล้านบาท/ปี )	ต้นทุนค่าไฟฟ้า ( ล้านบาท/ปี )	ต้นทุนค่าชีวมวล ( ล้านบาท/ปี )	O & M ( ล้านบาท/ปี )		
0	160.85						
1		10	1.93	18.05	4	46.3	0.04
2		10	1.93	18.05	4	46.3	0.04
3		10	1.93	18.05	4	46.3	0.04
4		10	1.93	18.05	4	46.3	0.04
5		10	1.93	18.05	4	46.3	0.04
6		10	1.93	18.05	4	46.3	0.04
7		10	1.93	18.05	4	46.3	0.04
8		10	1.93	18.05	4	46.3	0.04
9		10	1.93	18.05	4	46.3	0.04
10		10	1.93	18.05	4	46.3	0.04
11		10	1.93	18.05	4	46.3	0.04
12		10	1.93	18.05	4	46.3	0.04
13		10	1.93	18.05	4	46.3	0.04
14		10	1.93	18.05	4	46.3	0.04
15		10	1.93	18.05	4	46.3	0.04
			ต้นทุนรวม ( ล้านบาท/ปี )		33.98	รายได้รวม ( ล้านบาท/ปี )	46.34

ตาราง ข.2 ต้นทุนรวมและรายได้รวมของต้นมันสำปะหลัง

ปีที่	ต้นทุน					รายรับ	
	Fixed Cost		Variable Cost			รายได้จากการขายไฟฟ้า ( ล้านบาท/ปี )	รายได้จากการขายถ่าน ( บาท/ปี )
	ราคาโรงไฟฟ้า ( ล้านบาท )	O & M ( ล้านบาท/ปี )	ต้นทุนค่าไฟฟ้า ( ล้านบาท/ปี )	ต้นทุนค่าซิงมวล ( ล้านบาท/ปี )	O & M ( ล้านบาท/ปี )		
0	160						
1		10	1.93	4.72	4	46.3	0.011
2		10	1.93	4.72	4	46.3	0.011
3		10	1.93	4.72	4	46.3	0.011
4		10	1.93	4.72	4	46.3	0.011
5		10	1.93	4.72	4	46.3	0.011
6		10	1.93	4.72	4	46.3	0.011
7		10	1.93	4.72	4	46.3	0.011
8		10	1.93	4.72	4	46.3	0.011
9		10	1.93	4.72	4	46.3	0.011
10		10	1.93	4.72	4	46.3	0.011
11		10	1.93	4.72	4	46.3	0.011
12		10	1.93	4.72	4	46.3	0.011
13		10	1.93	4.72	4	46.3	0.011
14		10	1.93	4.72	4	46.3	0.011
15		10	1.93	4.72	4	46.3	0.011
			ต้นทุนรวม ( ล้านบาท/ปี )		20.65	รายได้รวม ( ล้านบาท/ปี )	46.31

ตาราง ข.3 ต้นทุนรวมและรายได้รวมของใบอ้อย

ปีที่	ต้นทุน					รายรับ	
	Fixed Cost		Variable Cost			รายได้จากการขายไฟฟ้า ( ล้านบาท/ปี )	รายได้จากการขายถ่าน ( บาท/ปี )
	ราคาโรงไฟฟ้า ( ล้านบาท )	O & M ( ล้านบาท/ปี )	ต้นทุนค่าไฟฟ้า (ล้านบาท/ปี)	ต้นทุนค่าชีวมวล ( ล้านบาท/ปี )	O & M ( ล้านบาท/ปี )		
0	160.85						
1		10	1.93	5.6	4	46.3	0.01
2		10	1.93	5.6	4	46.3	0.01
3		10	1.93	5.6	4	46.3	0.01
4		10	1.93	5.6	4	46.3	0.01
5		10	1.93	5.6	4	46.3	0.01
6		10	1.93	5.6	4	46.3	0.01
7		10	1.93	5.6	4	46.3	0.01
8		10	1.93	5.6	4	46.3	0.01
9		10	1.93	5.6	4	46.3	0.01
10		10	1.93	5.6	4	46.3	0.01
11		10	1.93	5.6	4	46.3	0.01
12		10	1.93	5.6	4	46.3	0.01
13		10	1.93	5.6	4	46.3	0.01
14		10	1.93	5.6	4	46.3	0.01
15		10	1.93	5.6	4	46.3	0.01
			ต้นทุนรวม (ล้านบาท/ปี)		21.53	รายได้รวม ( ล้านบาท/ปี )	46.31

ตาราง ข.4 ต้นทุนรวมและรายได้รวมของเปลือกฝักกล้วยลิสง

ปีที่	ต้นทุน					รายรับ		
	Fixed Cost		Variable Cost			รายได้จากการขายไฟฟ้า ( ล้านบาท/ปี )	รายได้จากการขายถ่าน ( บาท/ปี )	
	ราคาโรงไฟฟ้า ( ล้านบาท )	O & M ( ล้านบาท/ปี )	ต้นทุนค่าไฟฟ้า(ล้านบาท/ปี)	ต้นทุนค่าชีวมวล ( ล้านบาท/ปี )	O & M ( ล้านบาท/ปี )			
0	160.85							
1		10	1.93	1.9	4	46.3	0.01	
2		10	1.93	1.9	4	46.3	0.01	
3		10	1.93	1.9	4	46.3	0.01	
4		10	1.93	1.9	4	46.3	0.01	
5		10	1.93	1.9	4	46.3	0.01	
6		10	1.93	1.9	4	46.3	0.01	
7		10	1.93	1.9	4	46.3	0.01	
8		10	1.93	1.9	4	46.3	0.01	
9		10	1.93	1.9	4	46.3	0.01	
10		10	1.93	1.9	4	46.3	0.01	
11		10	1.93	1.9	4	46.3	0.01	
12		10	1.93	1.9	4	46.3	0.01	
13		10	1.93	1.9	4	46.3	0.01	
14		10	1.93	1.9	4	46.3	0.01	
15		10	1.93	1.9	4	46.3	0.01	
	ต้นทุนรวม (ล้านบาท/ปี)					17.83	รายได้รวม ( ล้านบาท/ปี )	46.31

ตาราง ข.5 ต้นทุนรวมและรายได้รวมของเปลือกลำไย

ปีที่	ต้นทุน				รายรับ		
	Fixed Cost		Variable Cost			รายได้จากการขายไฟฟ้า ( ล้านบาท/ปี )	รายได้จากการขายถ่าน ( บาท/ปี )
	ราคาโรงไฟฟ้า ( ล้านบาท )	O & M ( ล้านบาท/ปี )	ต้นทุนค่าไฟฟ้า (ล้านบาท/ปี)	ต้นทุนค่าชีวมวล ( ล้านบาท/ปี )	O & M ( ล้านบาท/ปี )		
0	160						
1		10	1.93	2.06	4	46.3	0.01
2		10	1.93	2.06	4	46.3	0.01
3		10	1.93	2.06	4	46.3	0.01
4		10	1.93	2.06	4	46.3	0.01
5		10	1.93	2.06	4	46.3	0.01
6		10	1.93	2.06	4	46.3	0.01
7		10	1.93	2.06	4	46.3	0.01
8		10	1.93	2.06	4	46.3	0.01
9		10	1.93	2.06	4	46.3	0.01
10		10	1.93	2.06	4	46.3	0.01
11		10	1.93	2.06	4	46.3	0.01
12		10	1.93	2.06	4	46.3	0.01
13		10	1.93	2.06	4	46.3	0.01
14		10	1.93	2.06	4	46.3	0.01
15		10	1.93	2.06	4	46.3	0.01
ต้นทุนรวม (ล้านบาท/ปี)					17.99	รายได้รวม ( ล้านบาท/ปี )	46.31

ตาราง ข.6 ต้นทุนรวมและรายได้รวมของเมล็ดลำไย

ปีที่	ต้นทุน					รายรับ	
	Fixed Cost		Variable Cost			รายได้จากการขายไฟฟ้า ( ล้านบาท/ปี )	รายได้จากการขายถ่าน ( บาท/ปี )
	ราคาโรงไฟฟ้า ( ล้านบาท )	O & M ( ล้านบาท/ปี )	ต้นทุนค่าไฟฟ้า ( ล้านบาท/ปี )	ต้นทุนค่าชีวมวล ( ล้านบาท/ปี )	O & M ( ล้านบาท/ปี )		
0	160.85						
1		10	1.93	2.35	4	46.3	0.004
2		10	1.93	2.35	4	46.3	0.004
3		10	1.93	2.35	4	46.3	0.004
4		10	1.93	2.35	4	46.3	0.004
5		10	1.93	2.35	4	46.3	0.004
6		10	1.93	2.35	4	46.3	0.004
7		10	1.93	2.35	4	46.3	0.004
8		10	1.93	2.35	4	46.3	0.004
9		10	1.93	2.35	4	46.3	0.004
10		10	1.93	2.35	4	46.3	0.004
11		10	1.93	2.35	4	46.3	0.004
12		10	1.93	2.35	4	46.3	0.004
13		10	1.93	2.35	4	46.3	0.004
14		10	1.93	2.35	4	46.3	0.004
15		10	1.93	2.35	4	46.3	0.004
		ต้นทุนรวม ( ล้านบาท/ปี )			18.28	รายได้รวม ( ล้านบาท/ปี )	46.3

ตาราง ข.7 ต้นทุนรวมและรายได้รวมของเปลือกฝักข้าวโพดหวาน

ปีที่	ต้นทุน				รายรับ		
	Fixed Cost		Variable Cost		รายได้จากการขายไฟฟ้า ( ล้านบาท/ปี )	รายได้จากการขายถ่าน ( บาท/ปี )	
	ราคาโรงไฟฟ้า ( ล้านบาท )	O & M ( ล้านบาท/ปี )	ต้นทุนค่าไฟฟ้า ( ล้านบาท/ปี )	ต้นทุนค่าชีวมวล ( ล้านบาท/ปี )			O & M ( ล้านบาท/ปี )
0	160.85						
1		10	1.93	5.77	4	46.3	0.02
2		10	1.93	5.77	4	46.3	0.02
3		10	1.93	5.77	4	46.3	0.02
4		10	1.93	5.77	4	46.3	0.02
5		10	1.93	5.77	4	46.3	0.02
6		10	1.93	5.77	4	46.3	0.02
7		10	1.93	5.77	4	46.3	0.02
8		10	1.93	5.77	4	46.3	0.02
9		10	1.93	5.77	4	46.3	0.02
10		10	1.93	5.77	4	46.3	0.02
11		10	1.93	5.77	4	46.3	0.02
12		10	1.93	5.77	4	46.3	0.02
13		10	1.93	5.77	4	46.3	0.02
14		10	1.93	5.77	4	46.3	0.02
15		10	1.93	5.77	4	46.3	0.02
			ต้นทุนรวม ( ล้านบาท/ปี )		21.7	รายได้รวม ( ล้านบาท/ปี )	46.32

ตาราง ข.8 ต้นทุนรวมและรายได้รวมของเปลือกฝักข้าวโพดอ่อน

ปีที่	ต้นทุน				รายรับ		
	Fixed Cost		Variable Cost		รายได้จากการขายไฟฟ้า ( ล้านบาท/ปี )	รายได้จากการขายถ่าน ( บาท/ปี )	
	ราคาโรงไฟฟ้า ( ล้านบาท )	O & M ( ล้านบาท/ปี )	ต้นทุนค่าไฟฟ้า ( ล้านบาท/ปี )	ต้นทุนค่าชีวมวล ( ล้านบาท/ปี )			O & M ( ล้านบาท/ปี )
0	160.85						
1		10	1.93	16.35	4	46.3	0.08
2		10	1.93	16.35	4	46.3	0.08
3		10	1.93	16.35	4	46.3	0.08
4		10	1.93	16.35	4	46.3	0.08
5		10	1.93	16.35	4	46.3	0.08
6		10	1.93	16.35	4	46.3	0.08
7		10	1.93	16.35	4	46.3	0.08
8		10	1.93	16.35	4	46.3	0.08
9		10	1.93	16.35	4	46.3	0.08
10		10	1.93	16.35	4	46.3	0.08
11		10	1.93	16.35	4	46.3	0.08
12		10	1.93	16.35	4	46.3	0.08
13		10	1.93	16.35	4	46.3	0.08
14		10	1.93	16.35	4	46.3	0.08
15		10	1.93	16.35	4	46.3	0.08
ต้นทุนรวม ( ล้านบาท/ปี )					32.28	รายได้รวม ( ล้านบาท/ปี )	46.38

## บรรณานุกรม

1. U.S. Energy Information Administration. 2013. [Online]. U.S. Energy Information Administration : <http://www.eia.gov/dnav/pet/hist/LeafHandler.ashx?n=PET&s=RWTC&f=M>.
2. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2013. อ้อยโรงงาน. [Online]. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร : <http://www.oae.go.th/download/prcai/DryCrop/sugarcane53-55.pdf>.
3. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2013. มันสำปะหลังโรงงาน. [Online]. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร : <http://www.oae.go.th/download/prcai/DryCrop/cassava53-55.pdf>.
4. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2013. ถั่วเหลือง. [Online]. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร : <http://www.oae.go.th/download/prcai/DryCrop/soybean52-54.pdf>.
5. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2013. ถั่วลิสง. [Online]. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร : [http://www.oae.go.th/download/download\\_journal/yearbook55.pdf](http://www.oae.go.th/download/download_journal/yearbook55.pdf).
6. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2013. ข้าวโพดฝักอ่อน. [Online]. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร : [http://www.oae.go.th/download/prcai/vegetable/baby\\_corn52-53.pdf](http://www.oae.go.th/download/prcai/vegetable/baby_corn52-53.pdf).
7. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2013. ข้าวโพดหวาน. [Online]. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร : [http://www.oae.go.th/download/prcai/vegetable/sweet\\_corn52-53.pdf](http://www.oae.go.th/download/prcai/vegetable/sweet_corn52-53.pdf).
8. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2013. ถั่วพุด. [Online]. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร : [http://www.oae.go.th/download/download\\_journal/yearbook55.pdf](http://www.oae.go.th/download/download_journal/yearbook55.pdf), เข้าดูเมื่อวันที่ 18/06/2556
9. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2013. ลิ้นจี่. [Online]. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร : <http://www.oae.go.th/download/prcai/farmcrop/lychee52-54.pdf>.
10. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2013. ลำไย. [Online]. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร : <http://www.oae.go.th/download/prcai/farmcrop/longan52-54.pdf>.
11. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2013. อ้อยโรงงาน. [Online]. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร : [http://www.oae.go.th/download/download\\_journal/yearbook55.pdf](http://www.oae.go.th/download/download_journal/yearbook55.pdf).
12. พืชพลังงาน. 2013. มันสำปะหลังโรงงาน. [Online]. พืชพลังงาน : <http://energyplantmag.blogspot.com/2012/09/30.html>.
13. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 2013. การใช้เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองทดแทนข้าวโพดบดในอาหารโคนม. [Online]. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี : [http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/2525/2/Nattanit\\_fulltext.pdf](http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/2525/2/Nattanit_fulltext.pdf).
14. กรมปศุสัตว์. 2013. การใช้เศษวัสดุเหลือใช้ของข้าวโพดฝักอ่อนและข้าวโพดหวานเป็นอาหารสัตว์, [Online]. กรมปศุสัตว์ : <http://www.dld.go.th/inform/article/artileg.html>.
15. กรมปศุสัตว์. 2013. การใช้เศษวัสดุเหลือใช้ของข้าวโพดฝักอ่อนและข้าวโพดหวานเป็นอาหารสัตว์, [Online]. กรมปศุสัตว์ : <http://www.dld.go.th/inform/article/artileg.html>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. สถาบันอินทรีจันทร์สถิตย์เพื่อการค้นคว้าและพัฒนาพืชศาสตร์. ศึกษาคุณภาพและผลผลิตกล้วยหอมพันธุ์ Tumok (AAA group) ที่ระยะเก็บเกี่ยวต่างกัน, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.iicrd.ku.ac.th/pcrs/TUMOK.DOC>, เข้าดูเมื่อวันที่ 18/06/2556
17. Munir, S., Daood, S.S., Nimmo, W., Cunliffe, A.M., Gibbs, B.M., 2009. Thermal analysis and devolatilisation kinetics of cotton stalk, sugar cane bagasse and shea meal under nitrogen and air atmospheres. *Bioresource Technology* 3, 1413-1418.
18. Idris, S.S., Rahman, N.A., Ismail, K., 2012. Combustion characteristics of Malaysian oil palm biomass, sub-bituminous coal and their blend via thermogravimetric analysis (TGA). *Bioresource Technology* 123, 581-591.
19. Idris, S.S., Rahman, N.A., Ismail, K., Alias, A.B., Rashid, Z.A., Aris M.J., 2010. Investigation on thermochemical behaviour of low rank Malaysian coal, oil palm biomass and their blends during pyrolysis via thermogravimetric analysis (TGA). *Bioresource Technology* 101, 4584-4592.
20. Shen, J., Zhu, S., Liu, X., Zheng, H., Tan, J., 2012. Measurement of heating value of rice husk by using oxygen bomb calorimeter with benzoic acid as combustion. *SciVerse ScienceDirect* 17, 208-213.
21. Garcia, R., Pizarro, C., Lavin, A.G., Bueno, J.L., 2014. Spanish biofuels heating value estimation Part II: Proximate analysis data. *Fuel* 117, 1139-1147.
22. จิรสรณ์ สันติสิริสมบุรณ์, จารุทัศน์ สันติสิริสมบุรณ์, ทรงศักดิ์ ช่วยบำรุง, ขวัญฤทัย ศรีฉายแสง (2551). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์เรื่อง การศึกษาศักยภาพของพลังงานชีวมวลเพื่อผลิตไฟฟ้า, สำนักงานกองทุนเพื่อการวิจัย.
23. ปกรศพรณี ณะคำปา (2552). อิทธิพลของต้นทุนภายนอกต่ออัตราการรับซื้อไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. สาขาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
24. ชนากา วรณศรี (2551). การประเมินวัฏจักรชีวิตและต้นทุนของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแก๊สซิฟิเคชันของไม้โตเร็ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
25. บริษัท เอ็นเนอร์จี เซฟวิ่ง โปรดักส์ จำกัด. ความหมายของชีวมวล, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.espthailand.com/article/definition-of-biomass.html>, เข้าดูเมื่อวันที่ 4/06/2556.
26. Yang, H., Yan, R., Chen, H., Zheng, C., Lee, D.H., Liang, D.T., 2006. Influence of mineral matter on pyrolysis of palm oil wastes. *Combustion and Flame* 146, 605-611.
27. IKA. How does a calorimeter work?, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://oxygenbombcalorimeter.com/how-does-a-calorimeter-work.htm>, เข้าดูเมื่อวันที่ 6/06/2556.
28. Qing, W., Hao, X., Hongpeng, L., Chunxia, J., Jingru, Bai., 2011. Thermogravimetric analysis of the combustion characteristics of oil shale semi-coke / biomass blends. *Oil shall* vol.28, NO.2, 284-295.
29. Ma, B.G., Li, X.G., Xu, L., Wang, K., Wang, X.G., 2006. Investigation on catalyzed combustion of high ash coal by thermogravimetric analysis. *Thermochimica Acta* 445, 19-22.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

30. การไฟฟ้านครหลวง. 2013. ค่า Ft. [Online]. การไฟฟ้านครหลวง : <http://www.mea.or.th/profile/index.php?l=th&tid=3&mid=2986&pid=2985>.
31. มุลินธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. 2013. ส่วนเพิ่มอัตราซื้อไฟฟ้า (adder). [Online]. มุลินธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม : [http://www.efe.or.th/datacenter/ckupload/files/1\\_Policy%20Part%202.pdf](http://www.efe.or.th/datacenter/ckupload/files/1_Policy%20Part%202.pdf).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้