

คอสติกไซเซชั่นโดยตรงของน้ำยางดำโดยตัวเร่งปฏิกิริยาไททานเต
และแมงกานะในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น



นาย อนุสรณ์ วงษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

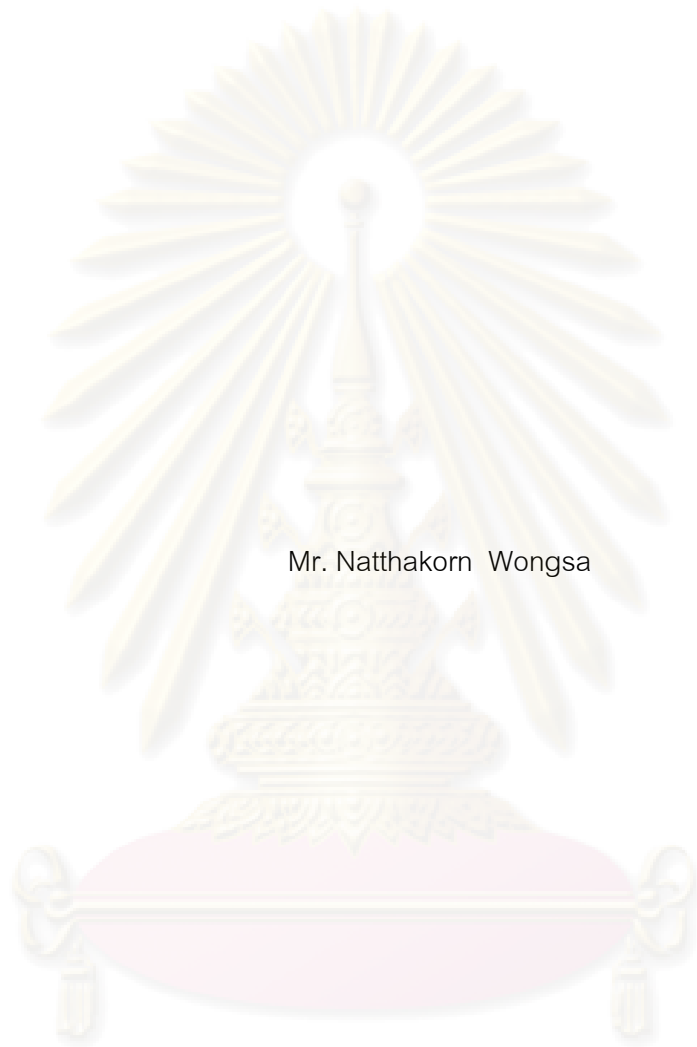
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DIRECT CAUSTICIZATION OF BLACK LIQUOR USING TITANATE
AND MANGANATE CATALYSTS IN GASIFICATION PROCESS



Mr. Natthakorn Wongsu

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

คอสติกไซเซชันโดยตรงของน้ำยางดำโดยตัวเร่งปฏิกิริยาไททานเตต
และแมงกานีสในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

โดย

นายณัฐกร วงษา

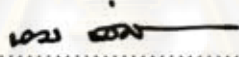
สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม


อาจารย์ที่ปรึกษา


อาจารย์ ดร.วิบูลย์ ศรีเจริญชัยกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศนिरองศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ชาวเอียร)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.วิบูลย์ ศรีเจริญชัยกุล)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธิกุล)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชมรัฐ โอสถาพันธ์)

ณัฐกร วงษา : คอสดิกไซเซชันโดยตรงของน้ำยางดำโดยตัวเร่งปฏิกิริยาไททาเนต และแมงกานีสในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน. (DIRECT CAUSTICIZATION OF BLACK LIQUOR USING TITANATE AND MANGANATE CATALYSTS IN GASIFICATION PROCESS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : อ. ดร.วิบูลย์ ศรีเจริญชัยกุล, 92 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาทางเลือกในการเปลี่ยนโซเดียมคาร์บอเนตในน้ำยางดำ ไปเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ (น้ำยาล้างเยื่อ หรือน้ำยางขาว) ด้วยการคอสดิกไซเซชันโดยตรงของน้ำยางดำร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาไททาเนต และแมงกานีส ผ่านกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา ซึ่งประกอบด้วยผลของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยา ซึ่งใช้น้ำยางดำจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษแบบโซดา และโซเดียมคาร์บอเนตมาทำปฏิกิริยาร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาโดยการแก๊สซิฟิเคชันด้วยเตาปฏิกรณ์ที่อุณหภูมิ 700 และ 900 องศาเซลเซียส ในเวลา 0-60 นาที ก๊าซร้อยละ 2 ของคาร์บอนไดออกไซด์ในไนโตรเจน และความดันบรรยากาศ โดยพิจารณาปริมาณค่าสภาพต่างแอกทิฟ (ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์) และร้อยละของแอกติวิตี (ความสามารถในการเปลี่ยนจากโซเดียมคาร์บอเนตไปเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์) ที่มีค่าสูงสุดเป็นปฏิกิริยาที่เหมาะสม ผลการทดลองพบว่า น้ำยางดำทำปฏิกิริยาได้ดีกับทั้งไททาเนต และแมงกานีส โดยจากการทำปฏิกิริยาของน้ำยางดำกับไททาเนตมีปริมาณสภาพต่างแอกทิฟเกิดขึ้นสูงสุดถึง 2.25 กรัมต่อลิตร และมีค่าร้อยละของแอกติวิตีถึงร้อยละ 69.87 ที่อุณหภูมิ 700 ที่เวลา 60 นาที ส่วนน้ำยางดำกับแมงกานีสนั้นมีค่าน้อยกว่า คือมีปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงสุดที่ 1.67 กรัมต่อลิตร และมีค่าร้อยละของแอกติวิตีสูงสุดที่ร้อยละ 56.84 ที่อุณหภูมิ 700 ที่เวลา 60 นาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....

ปีการศึกษา..... 2551.....

ลายมือชื่อนิสิต..... 14575.....

ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์.....

4870603821 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD : BLACK LIQUOR / DIRECT CAUSTICIZATION / GASIFICATION PROCESS /
CHEMICAL RECOVERY PROCESS

NATTHAKORN WONGSA : DIRECT CAUSTICIZATION OF BLACK LIQUOR
USING TITANATE AND MANGANATE CATALYSTS IN GASIFICATION
PROCESS. THESIS ADVISOR : VIBOON SRICHAROENCHAIKUL, Ph.D.
92 pp.

Direct causticization of black liquor with titanate and manganate via gasification process is an alternative method for converting sodium carbonate to sodium hydroxide. The objectives were to suggest optimum operating parameters including catalyst, temperature and reaction time which would yield the highest sodium hydroxide (active alkali) and %conversion (%activity). Strong black liquor from soda process and sodium carbonate were gasified with titanate, and manganate catalysts at 700 and 900°C, 0-60 min, 2% CO₂ in N₂ and atmospheric conditions. Generally, black liquor reacted well with titanate and manganate, active alkali and %activity increased with temperature and reaction time. Although at 900°C, active alkali decreased at longer reaction time while %activity increased. Highest active alkali and %activity were 2.25 g/L and 69.87% at 700°C, 60 min in black liquor with titanate. For black liquor with manganate, highest active alkali and %activity were 1.67 g/L and 56.84% at 700°C, 60 min.

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Environmental Engineering

Student's Signature : *Natthakorn*

Field of Study : Environmental Engineering

Advisor's Signature : *V. M.*

Academic Year : 2008

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.วิบูลย์ ศรีเจริญชัยกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำ ปรึกษาและช่วยเหลือ ทั้งในด้านวิชาการและอุปกรณ์ต่างๆ ในการวิจัย รวมถึงช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์และสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว ประธานกรรมการสอบผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธิกุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เขมรัฐ โอสถาพันธุ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาใช้เวลาเพื่อเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำอันเป็นแนวทางที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ให้ความช่วยเหลือและให้ความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ คุณวีรวิทย์ คลังบุญเสริม และบริษัท เยื่อกระดาษสยาม จำกัด (มหาชน) ที่ให้การสนับสนุนในด้านน้ำยางดำ และข้อมูลต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณ คุณลุงสนิท ปรีนคร ที่ให้ความช่วยเหลืออย่างดีในการแก้ไขแก้วควอทซ์ที่ใช้ในการทดลองตลอดการทำวิจัย

ขอขอบคุณ พี่ไธต และพี่เหม้ม รวมถึงเพื่อนๆ ที่ให้ความอนุเคราะห์และแนะนำในด้านการใช้เครื่องมือวิเคราะห์และอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำวิจัย

สุดท้ายขอขอบพระคุณ คุณพ่อ เสมมา คุณแม่ จันทอง วงษา และทุกคนในครอบครัวที่ทำให้กำลังใจและสนับสนุนช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน ที่ได้เสมอมา

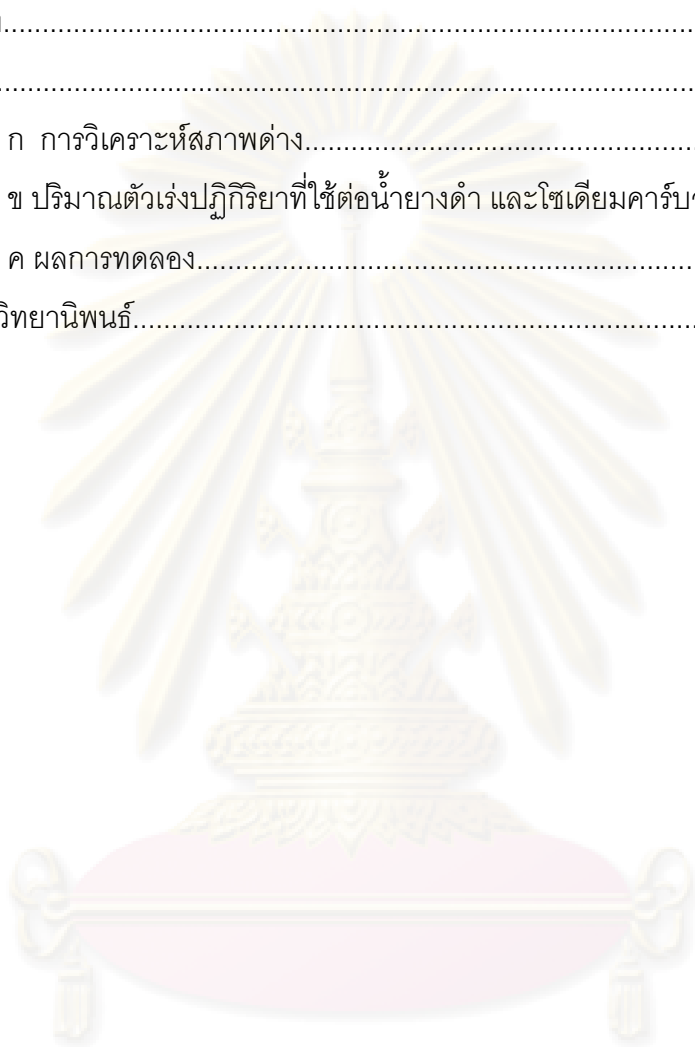
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 การผลิตเยื่อกระดาษ.....	5
2.1.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษ.....	5
2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย.....	6
2.1.3 กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ.....	7
2.2 กระบวนการนำสารเคมีกลับคืน.....	10
2.3 น้ำยางดำ.....	11
2.4 กระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง หรือแก๊สซิฟิเคชัน.....	12
2.4.1 ความหมายของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน.....	12
2.4.2 วิวัฒนาการของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน.....	12
2.4.3 การแก๊สซิฟิเคชันน้ำยางดำ.....	13
2.5 กระบวนการคอสติกไซเซชัน.....	13
2.5.1 ออโตคอสติกไซเซชัน.....	14
2.5.2 คอสติกไซเซชันโดยตรง.....	14
2.5.2.1 คอสติกไซเซชันโดยตรงของน้ำยางดำกับไททานต.....	15

	หน้า
2.5.2.2 คอสติ๊กไซเซชันโดยตรงของน้ำยางดำกับแมงกานีส.....	15
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	20
3.1 เครื่องมืออุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	20
3.1.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์.....	20
3.1.2 สารเคมี.....	21
3.2 ตัวอย่างน้ำยางดำที่ใช้ในงานวิจัย.....	22
3.3 การดำเนินงานวิจัย.....	22
3.3.1 ศึกษาลักษณะทางเคมีของน้ำยางดำ.....	22
3.3.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา.....	23
3.4 การวิเคราะห์งานวิจัย.....	25
4 ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	26
4.1 สมบัติทางเคมีของน้ำยางดำ.....	26
4.1.1 องค์ประกอบแบบแยกธาตุ.....	26
4.1.2 ค่าความร้อน.....	27
4.1.3 ค่าสภาพต่าง.....	28
4.2 การแก๊สซิฟิเคชันน้ำยางดำร่วมกับไททานีต และแมงกานีส.....	28
4.2.1 ชนิดของสารตั้งต้น.....	29
4.2.2 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	35
4.2.3 ผลของอุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา.....	44
4.2.4 อัตราส่วนก่อน-หลังการทำปฏิกิริยา.....	52
4.3 ความคุ้มค่าของกระบวนการ.....	53
5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	55
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	55
5.2 อภิปรายผลการวิจัย.....	56

	หน้า
5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต.....	57
รายการอ้างอิง.....	59
ภาคผนวก.....	61
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์สภาพต่าง.....	62
ภาคผนวก ข ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ต่อน้ำยางดำ และโซเดียมคาร์บอเนต.....	64
ภาคผนวก ค ผลการทดลอง.....	65
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	92



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบโดยทั่วไปของน้ำยางดำ.....	11
ตารางที่ 3.1 วิธีการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของน้ำยางดำ.....	23
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำยางดำ.....	27
ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างน้ำยางดำเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิง ชีวมวลอื่นๆที่ใช้ในประเทศไทย ของ วีรัชย์ อัจฉาญ และคณะ (2551).....	28
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์สภาพต่างของไซเตียมคาร์บอนเนต และน้ำยางดำ.....	29
ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบผลการทดลอง กับค่าจริงจากกระบวนการ นำสารเคมีกลับคืนแบบทั่วไป.....	52
ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบ อัตราส่วนก่อน-หลังของผลการทดลอง กับค่าจริงจากกระบวนการนำสารเคมีกลับคืนแบบทั่วไป.....	52
ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าของกระบวนการต่างๆ.....	53
ตารางที่ ค1 ผลการทดลองจากการแก๊สซิฟิเคชันไซเตียมคาร์บอนเนต ที่ 700 องศาเซลเซียสพลังงานของน้ำยางดำ.....	66
ตารางที่ ค2 ผลการทดลองจากการแก๊สซิฟิเคชันไซเตียมคาร์บอนเนต ที่ 900 องศาเซลเซียสพลังงานของน้ำยางดำ.....	68
ตารางที่ ค3 ผลการทดลองจากการแก๊สซิฟิเคชันไซเตียมคาร์บอนเนต กับไททาเนต ที่ 700 องศาเซลเซียสพลังงานของน้ำยางดำ.....	70
ตารางที่ ค4 ผลการทดลองจากการแก๊สซิฟิเคชันไซเตียมคาร์บอนเนต กับไททาเนต ที่ 900 องศาเซลเซียสพลังงานของน้ำยางดำ.....	72
ตารางที่ ค5 ผลการทดลองจากการแก๊สซิฟิเคชันไซเตียมคาร์บอนเนต กับแมงกานีส ที่ 700 องศาเซลเซียสพลังงานของน้ำยางดำ.....	74
ตารางที่ ค6 ผลการทดลองจากการแก๊สซิฟิเคชันไซเตียมคาร์บอนเนต กับแมงกานีส ที่ 900 องศาเซลเซียสพลังงานของน้ำยางดำ.....	76
ตารางที่ ค7 ผลการทดลองจากการแก๊สซิฟิเคชันน้ำยางดำ ที่ 700 องศาเซลเซียสพลังงานของน้ำยางดำ.....	78

ตาราง	หน้า
ตารางที่ ค8 ผลการทดลองจากการแก๊สซิฟิเคชันน้ำยางดำ ที่ 900 องศาเซลเซียสพลังงานของน้ำยางดำ.....	80
ตารางที่ ค9 ผลการทดลองจากการแก๊สซิฟิเคชันยางดำ กับไททานิต ที่ 700 องศาเซลเซียสพลังงานของน้ำยางดำ.....	82
ตารางที่ ค10 ผลการทดลองจากการแก๊สซิฟิเคชันยางดำ กับไททานิต ที่ 900 องศาเซลเซียสพลังงานของน้ำยางดำ.....	84
ตารางที่ ค11 ผลการทดลองจากการแก๊สซิฟิเคชันน้ำยางดำ กับแมงกานิต ที่ 700 องศาเซลเซียสพลังงานของน้ำยางดำ.....	86
ตารางที่ ค12 ผลการทดลองจากการแก๊สซิฟิเคชันน้ำยางดำ กับแมงกานิต ที่ 900 องศาเซลเซียสพลังงานของน้ำยางดำ.....	88

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ.....	9
รูปที่ 2.2 กระบวนการนำสารเคมีกลับคืน.....	10
รูปที่ 2.3 การทำคอสติกไซเซชัน.....	14
รูปที่ 2.4 กระบวนการคอสติกไซเซชันโดยตรงด้วยไททาเนต.....	16
รูปที่ 2.5 กระบวนการคอสติกไซเซชันโดยตรงด้วยแมงกานีส.....	17
รูปที่ 2.6 กระบวนการนำสารเคมีกลับคืนแบบปกติ.....	17
รูปที่ 3.1 แผนภาพการทดลองของเตาปฏิกรณ์.....	21
รูปที่ 3.2 สรุปขั้นตอนการศึกษาระยะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา.....	24
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าสภาพต่างแอกทีฟ ที่เวลาต่างๆ และที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส.....	30
รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าสภาพต่างแอกทีฟ ที่เวลาต่างๆ และที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส.....	31
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าร้อยละของแอกติวิตี้ ที่เวลาต่างๆ และที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส.....	32
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าร้อยละของแอกติวิตี้ ที่เวลาต่างๆ และที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส.....	33
รูปที่ 4.5 ผลของร้อยละของความเปลี่ยนแปลงของโซเดียมคาร์บอเนต ที่เวลา 0-5 วินาที ของ Nohlgren, Sricharoenchaikul และคณะ (2003).....	34
รูปที่ 4.6 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อค่าสภาพต่างแอกทีฟ ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ (a) 0 นาที (b) 1 นาที (c) 5 นาที (d) 15 นาที (e) 30 นาที และ (f) 60 นาที.....	36
รูปที่ 4.7 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อค่าสภาพต่างแอกทีฟ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ (a) 0 นาที (b) 1 นาที (c) 5 นาที (d) 15 นาที (e) 30 นาที และ (f) 60 นาที.....	37
รูปที่ 4.8 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อค่าร้อยละของแอกติวิตี้ ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ (a) 0 นาที (b) 1 นาที (c) 5 นาที (d) 15 นาที (e) 30 นาที และ (f) 60 นาที.....	39

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.9 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อค่าร้อยละของแอกติวิตี้ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ (a) 0 นาที (b) 1 นาที (c) 5 นาที (d) 15 นาที (e) 30 นาที และ (f) 60 นาที.....	41
รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบค่าสภาพต่างแอกทีฟของคอสติกไซเซชันน้ำยาดำกับไททานิต และแมงกานีส ที่อุณหภูมิเวลา 700 และ 900 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ.....	42
รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบค่าร้อยละแอกติวิตี้ของคอสติกไซเซชันน้ำยาดำกับไททานิต และแมงกานีส ที่อุณหภูมิเวลา 700 และ 900 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ.....	43
รูปที่ 4.12 ผลของอุณหภูมิต่อค่าสภาพต่างแอกทีฟ ที่เวลาต่างๆ (a) 1 นาที (b) 5 นาที (c) 15 นาที (d) 30 นาที และ(e) 60 นาที.....	45
รูปที่ 4.13 ผลของอุณหภูมิต่อค่าร้อยละของแอกติวิตี้ ที่เวลาต่างๆ (a) 1 นาที (b) 5 นาที (c) 15 นาที (d) 30 นาที และ(e) 60 นาที.....	47
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง การเปลี่ยนแปลงของโซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมไฮดรอกไซด์ และค่าร้อยละแอกติวิตี้ ของการทำปฏิกิริยาของ (a) น้ำยาดำกับไททานิต ที่ 700 องศาเซลเซียส (b) น้ำยาดำกับไททานิต ที่ 900 องศาเซลเซียส (c) น้ำยาดำกับแมงกานีส ที่ 700 องศาเซลเซียส และ (d) น้ำยาดำกับแมงกานีส ที่ 900 องศาเซลเซียส.....	48
รูปที่ 4.15 ผลของการเปลี่ยนแปลงของโซเดียมคาร์บอเนต แมงกานีส และ คาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อเวลาผ่านไป ของ Eames และ Empie (2001).....	50
รูปที่ 4.16 ผลของร้อยละของความเปลี่ยนแปลงของโซเดียมคาร์บอเนตเมื่อเวลาผ่านไป ของ Nohlgren, Sricharoenchaikul และคณะ (2003).....	51
รูปที่ ค1 ภาพการทดลองในส่วนการแก๊สซิฟิเคชัน.....	90
รูปที่ ค2 เรือทดลองควอทซ์.....	90
รูปที่ ค3 เครื่องวัดอุณหภูมิ.....	90
รูปที่ ค4 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ.....	90
รูปที่ ค5 เครื่องเครื่องควบคุม และกำหนดสภาวะก๊าซ.....	91
รูปที่ ค6 ถังก๊าซที่ใช้ในการทดลอง.....	91

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ ค7 ตัวอย่างน้ำยาดำที่ใช้ในการทดลอง.....	91
รูปที่ ค8 ผลิตภัณฑ์น้ำยาราวจากการทดลอง.....	91



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการพัฒนาให้มีความเจริญในด้านต่างๆ รวมทั้งด้านอุตสาหกรรม ส่งผลให้ทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัดลดลงอย่างน่าเป็นห่วง การพัฒนาทางด้านเทคโนโลยี และอุตสาหกรรมตลอดจนความเจริญของสังคมยังเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากการเพิ่มขึ้นของของเสียจากอุตสาหกรรมรวมถึงการขาดการกำจัดของเสียที่ถูกต้อง

อุตสาหกรรมเยื่อกระดาษเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ สามารถทดแทนการนำเข้าได้อย่างมาก อัตราการขยายตัวของอุตสาหกรรมนี้เป็นตัวบ่งชี้ ความเจริญก้าวหน้าทาง สังคม และการขยายตัวของเศรษฐกิจของประเทศได้เป็นอย่างดี โดยอัตราการใช้กระดาษของคนไทยโดยเฉลี่ยมีประมาณ 40 กิโลกรัม/คน/ปี และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี (ศูนย์ข้อมูลเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2547) อุตสาหกรรมเยื่อกระดาษเป็นอุตสาหกรรมที่มีความต่อเนื่องกันอย่างเห็นได้ชัด การผลิตของอุตสาหกรรมดังกล่าวแต่ละประเภทเริ่มมีความสมดุลมากขึ้น ทั้งนี้เพราะอุตสาหกรรมขั้นต้น คืออุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ โดยเฉพาะเยื่อสั้นมีกำลังการผลิตที่สามารถรองรับอุตสาหกรรมต่อเนื่องได้อย่างเพียงพอ ดังนั้นปัญหาที่จะตามมาเมื่ออัตราการผลิตเพิ่มสูงขึ้นทำให้โรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษจำเป็นต้องใช้ทรัพยากรในการผลิตสูงตามไปด้วย จึงส่งผลให้เกิดของเสียต่างๆ สูงเช่นกัน

การทำเยื่อกระดาษมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ กรรมวิธีทั่วไปแยกออกเป็น 3 วิธี ด้วยกันคือ การทำเยื่อจากการบดไม้ด้วยแรงกล (mechanical) การทำเยื่อแบบกึ่งเคมี (semi-chemical) และการทำเยื่อโดยวิธีเคมี (chemical) ซึ่งการจะเลือกกรรมวิธีแบบใดขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ทำ และคุณลักษณะของเยื่อที่ต้องการ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับราคาของวัตถุดิบด้วยในกระบวนการผลิตกระดาษโดยวิธีซัลเฟต (Sulphate or Kraft Process) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมและมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในการย่อยสลายลิกนิน (Lignin) ในเนื้อไม้ เพื่อแยกออกจากเส้นใยเซลลูโลส (Cellulose Fiber) และเฮมิเซลลูโลส (Hemi-Cellulose) ให้มาละลายอยู่ในน้ำ และใช้โซเดียมซัลไฟด์ (Na₂S) เพื่อปรับค่าพีเอชของสารละลายให้ปฏิกิริยาการย่อยเกิดได้ดีขึ้นในสภาวะที่เป็นด่าง เส้นใยเซลลูโลสที่แยกออกมาได้จะถูกส่งไปผลิตเป็นกระดาษต่อไปส่วนของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยซึ่งจะประกอบด้วยลิกนินเป็นองค์ประกอบหลักที่เหลือจะเป็นสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการย่อยเศษไม้ สารเหล่านี้จะ

ผสมกันอยู่ในรูปของของเหลวสีดำ เรียกว่า“น้ำยางดำ” (Black Liquor) (Calzavara และคณะ, 2005) ซึ่งจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษของไทยใน 1 ปีนั้นเกิดน้ำยางดำทั้งหมดสูงถึง 338,400 ตันเยื่อแห้ง (air dry tons) (ศูนย์ข้อมูลเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2547) ด้วยเหตุนี้ทำให้อุตสาหกรรมการผลิตกระดาษมีของเสียเกิดขึ้นในปริมาณมาก

น้ำยางดำนั้นเมื่อประกอบที่สามารถนำไปผ่านกระบวนการนำสารเคมีกลับคืนไปใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษได้ใหม่ โดยกระบวนการนี้ คือกระบวนการการนำสารเคมีกลับคืน (Chemical Recovery Process) ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการย่อย 3 กระบวนการคือ กระบวนการระเหย (Evaporation), กระบวนการเผาไหม้ไอน้ำ (Recovery Boiler) และกระบวนการคอสติกไซซึ่งหรือ กระบวนการผลิตโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Causticizing) โดยแต่ละกระบวนการจะทำการเปลี่ยนน้ำยางดำต้มเยื่อ (Weak Black Liquor) ที่ผ่านกระบวนการการต้มเยื่อ (Cooking) ให้มีความเข้มข้นมากขึ้นจากประมาณร้อยละ 15 ไปเป็นประมาณร้อยละ 80 ของของแข็งแห้ง (dry solid) กระบวนการเผาไหม้จะเปลี่ยนน้ำยางดำเข้มข้น (Strong Black Liquor) ไปเป็นน้ำสีเขียวเรียกว่า น้ำยางเขียว (Green Liquor) และกระบวนการคอสติกไซเป็นการผลิตโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยใช้ปูนขาวเป็นตัวเปลี่ยนน้ำยางเขียวเป็นน้ำยาต้มเยื่อ หรือน้ำยางขาว (White Liquor) ซึ่งมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก และมีคุณสมบัติในการย่อยเยื่อได้เหมือนสารตั้งต้นเพื่อใช้ในการต้มเยื่อต่อไป ซึ่งการนำสารเคมีกลับคืนนี้ต้องใช้พลังงาน และทรัพยากรสูงมาก และก่อให้เกิดของเสียมากตามมาด้วย จึงจำเป็นจะต้องหาทางเลือกอื่นเพื่อการนำสารเคมีกลับคืนที่ประหยัดพลังงาน และทรัพยากร และช่วยลดการเกิดของเสียอีกด้วย

คอสติกไซเซชันโดยตรงเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่โดยการนำน้ำยางดำมาเผาพร้อมกับตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนไปเป็นน้ำยางขาว โดยการทำคอสติกไซเซชันนั้นแบ่งออกเป็น 2 แบบตามการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ละลาย และไม่ละลายน้ำ การทำคอสติกไซเซชันกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ละลายน้ำนั้นเรียกว่า ออโตคอสติกไซเซชัน (autocausticization) ส่วนแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบไม่ละลายน้ำเรียกว่าคอสติกไซเซชันโดยตรง (direct causticization) โดยกระบวนการคอสติกไซเซชันกับตัวเร่งปฏิกิริยานั้นจะทำให้ช่วยลดกระบวนการการนำสารเคมีกลับคืน โดยจะนำน้ำยางดำเข้มข้นทำปฏิกิริยากับตัวเร่งภายใต้สภาวะที่เหมาะสมทำให้ได้สารผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นน้ำยางขาวได้เลยโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการที่ทำให้เกิดน้ำยางเขียว

ในปัจจุบันได้มีงานวิจัยบางส่วนได้ทำการศึกษาการทำคอสติกไซเซชันน้ำยางดำร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาไปบ้างแล้วเช่น งานวิจัยที่ศึกษาปฏิกิริยาคอสติกไซเซชันโดยตรงของโซเดียมคาร์บอเนตกับแมงกานีสออกไซด์ โดยใช้อุณหภูมิที่ 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาที่ 1, 12 และ 24 ชั่วโมง ใช้ขนาดอนุภาค 3 ขนาดคือ 23, 104 และ 227 ไมโครเมตร (Eames และ

Empie, 2001), การศึกษาจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาคอสดิกไฮเซชันโดยตรงระหว่างโซเดียมไทรโททาเนต กับ โซเดียมคาร์บอเนต และน้ำยางดำ โดยใช้เตาปฏิกรณ์แบบไหลตาม (Entrained-flow reactor) ซึ่งศึกษาทั้งโซเดียมคาร์บอเนตบริสุทธิ์ และน้ำยางดำ โดยทดลองที่อุณหภูมิ 900, 950 และ 1000 องศาเซลเซียส และที่ความดัน 0.5 และ 1 เมกะปาสคาล ใช้ก๊าซเป็นไนโตรเจนบริสุทธิ์ และร้อยละ 2 ของคาร์บอนไดออกไซด์ในไนโตรเจน (Nohlgren, Sricharoenchaikul และคณะ, 2003) และการศึกษาการคอสดิกไฮเซชันโดยตรงที่อุณหภูมิสูงและต่ำของน้ำยางดำกับตัวเร่งปฏิกิริยาไททาเนต และแมงกานีส ซึ่งศึกษา 2 สภาวะอุณหภูมิคือที่อุณหภูมิต่ำ (600 องศาเซลเซียส, ความดัน 1 บาร์, ก๊าซร้อยละ 50 ของไอน้ำในไนโตรเจน, ที่เวลา 50 ชั่วโมง) และอุณหภูมิสูง (950 องศาเซลเซียส, ความดัน 5 และ 15 บาร์, ก๊าซร้อยละ 5 ของคาร์บอนไดออกไซด์ในไนโตรเจน, ที่เวลา 5 วินาที) (Nohlgren, Sinquefield และคณะ, 2004) จากงานวิจัยข้างต้น พบว่ามีการทำงานวิจัยที่เกี่ยวกับการทำคอสดิกไฮเซชันกับตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ แต่ก็เป็นงานวิจัยที่ใช้น้ำยางดำของต่างประเทศ บางงานวิจัยก็ใช้โซเดียมคาร์บอเนตเป็นตัวแทนน้ำยางดำ และไม่ได้ทำกับน้ำยางดำในประเทศไทย

ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมุ่งทำการศึกษาคอสดิกไฮเซชันโดยตรงกับน้ำยางดำที่เกิดขึ้นจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษภายในประเทศไทย และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นไททาเนตและแมงกานีส เพื่อเป็นแนวทางในการนำสารเคมีกลับมาใช้ ช่วยประหยัดทรัพยากรธรรมชาติ ช่วยลดการเกิดของเสีย และช่วยลดต้นทุนในการผลิตเยื่อกระดาษ รวมไปถึงช่วยส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์ต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมของประเทศอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาการทำกระบวนการคอสดิกไฮเซชันโดยตรงของน้ำยางดำ
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการคอสดิกไฮเซชันโดยตรงกับน้ำยางดำในประเทศไทย
3. ศึกษาชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. การวิจัยครั้งนี้จะทดลองกับเครื่องปฏิกรณ์ระดับห้องปฏิบัติการ (Bench scale)
2. ทำการศึกษาทดลองด้วยเตาปฏิกรณ์แบบกะ (Batch Reactor)

3. ตัวอย่างน้ำยางดำที่ใช้นำมาจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษที่ใช้กระบวนการผลิตแบบไฮดา และเยือกึ่งเคมี โดยใช้ยูคาลิปตัสกับขาน้อยเป็นวัตถุดิบในการผลิตโดยเก็บตัวอย่างที่จุดหลังผ่านเครื่องระเหยไอน้ำของกระบวนการนำสารเคมีกลับคืน
4. ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดไททานเตต และแมงกานีส
5. ศึกษาภายใต้สภาวะของอุณหภูมิที่ 700 และ 900 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ ภายใต้ร้อยละ 2 ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไนโตรเจน และที่เวลา 0, 1, 5, 15, 30 และ 60 นาที

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถประยุกต์ใช้กระบวนการคอสติกไซเซชันโดยตรงกับน้ำยางดำในประเทศไทย และเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาการใช้ในงานวิจัย หรือใช้ในงานออกแบบจริงต่อไป
2. ช่วยลดต้นทุน และทรัพยากรในการนำน้ำยางดำกลับมาใช้ใหม่
3. ช่วยลดของเสียจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อศึกษาสภาวะต่างๆ ที่เหมาะสมในการคอสติกไซเซชันโดยตรงของน้ำยางดำที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อกระดาษเป็นวัตถุดิบในการทดลองภายในเตาปฏิกรณ์ และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไททานิต และแมงกานีส โดยมีรายละเอียดทางทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 การผลิตเยื่อกระดาษ

2.1.1 วัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษ

พืชทุกชนิดประกอบด้วยเส้นใย ซึ่งมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก แต่ไม่ได้หมายความว่าพืชทุกชนิดจะสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษได้พืชที่สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบได้ ต้องมีเส้นใยแข็งแรง เหมาะสมกับการนำไปผลิตกระดาษ นอกจากนี้จะคำนึงถึงคุณสมบัติของเส้นใยแล้ว ยังต้องมีความเป็นไปได้ทางธุรกิจ คือ หาง่าย ราคาไม่แพง การเก็บ การขนส่งไม่ยุ่งยาก

พืชที่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

- ไม้ยืนต้น (wood) หมายถึงพืชที่เป็นต้นไม้มีลำต้นแข็งแรง อายุยืน แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ
 - ไม้เนื้ออ่อน (Softwood) เป็นไม้ที่ขึ้นในที่สูง อากาศเย็น โตช้า ใบมีลักษณะแคบ เรียวยาว เส้นใยในเนื้อไม้อ่อน เรียกว่า เยื่อใยยาว มีลักษณะหยาบ ความแข็งแรงสูง มีความยาวประมาณ 3 มิลลิเมตร กว้างประมาณ 0.02-0.04 มิลลิเมตร ไม้ในกลุ่มนี้ได้แก่ สน (Pine)
 - ไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) เป็นไม้ที่ขึ้นในบริเวณเขตร้อน โตเร็ว ใบมีลักษณะกว้าง เส้นใยในไม้เนื้อแข็งเรียกว่า เส้นใยสั้น มีลักษณะเล็ก ละเอียด ความแข็งแรงต่ำ มีความยาวประมาณ 0.01-0.12 มิลลิเมตร ไม้ในกลุ่มนี้ได้แก่ เบิร์ช (Birch) แอสเพน (Aspen) ยูคาลิปตัส (Eucalyptus) กระจิงเทพา (Acacia)
- ไม้ล้มลุก (Non-wood) ได้แก่ พืชอื่นๆ นอกเหนือจากไม้ยืนต้น ที่เส้นใยมีคุณสมบัติเหมาะสม สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษได้ ได้แก่ ปอ ใผ่ ฝ้าย หรือเป็นส่วนที่เหลือจากการเกษตรและอุตสาหกรรม เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย เป็นต้น สมบัติของเส้นใยจากไม้ล้มลุกมีลักษณะไม่แน่นอน อาจมีความยาวตั้งแต่น้อยกว่า 1 มิลลิเมตร ไปจนถึงหลายเซนติเมตร

เส้นใยที่ได้จากไม้เนื้ออ่อน (ใยยาว) และเส้นใยที่ได้จากไม้เนื้อแข็ง (ใยสั้น) มีสมบัติแตกต่างกันมาก เยื่อกระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีจากไม้เนื้ออ่อน เรียกว่าเยื่อใยยาวมีคุณสมบัติเหมาะสมกับการนำไปผลิตกระดาษที่ต้องรับแรงขณะใช้งาน เช่น กระดาษบรรจุภัณฑ์ ถุง กระดาษห่อต่างๆ ก่อหล่ง ลูกฟูก เนื่องจากเส้นใยมีความแข็งแรงสูง เยื่อกระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีจากไม้เนื้อแข็ง เรียกว่าเยื่อใยสั้น มีสมบัติเหมาะสมกับการนำไปผลิตกระดาษที่ใช้ในการพิมพ์ หรือเขียน เนื่องจากเส้นใยมีความละเอียด จึงสามารถผลิตกระดาษที่มีความเรียบสูง มีเนื้อละเอียดได้ ส่วนการผลิตเยื่อจาก ไม้ล้มลุก นั้นมีไม่มากเมื่อเทียบกับเยื่อจากไม้ยืนต้น เพราะมีปัญหาค่อนข้างมาก เช่น ต้องใช้พื้นที่ในการจัดเก็บมาก เนื่องจากวัตถุดิบมีความหนาแน่นต่ำ พืชบางอย่างมีเป็นฤดูกาล เช่น ฟางข้าว มีเฉพาะช่วงเก็บเกี่ยว ในปัจจุบันจึงไม่นิยมผลิตเยื่อกระดาษจากวัตถุดิบเหล่านี้

2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย

ในเส้นใยประกอบด้วยสารเคมีหลายชนิด สารเหล่านี้เป็นสารอินทรีย์ที่เกิดจากการสังเคราะห์แสง ได้แก่

- **เซลลูโลส (Cellulose)** เป็นสารที่มีปริมาณมากที่สุด และมีความแข็งแรงมากที่สุด เมื่อเทียบกับสารตัวอื่น การที่ต้นไม้มีความแข็งแรงก็เนื่องจากเซลลูโลสนี้เอง เซลลูโลสบริสุทธิ์มีสีขาว เช่น เส้นใยของฝ้ายมีสีขาวเนื่องจากมีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบมากกว่าร้อยละ 90 โมเลกุลของเซลลูโลสเป็นเส้นตรงยาว ประกอบด้วยหน่วยย่อย คือกลูโคส (Glucose) เช่นเดียวกับแป้ง แต่มีสูตรโครงสร้างต่างกัน แป้งจึงอมน้ำและพองตัวเมื่อโดนน้ำ ในขณะที่เซลลูโลสไม่เป็นเช่นนั้น ในการผลิตเยื่อต้องรักษาเซลลูโลสให้ถูกทำลายน้อยที่สุด

- **เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)** เป็นสารที่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่นเดียวกับเซลลูโลส แต่โครงสร้างของโมเลกุลเป็นแบบมีกิ่งก้านสาขา ไม่ได้เป็นเส้นตรงยาวเหมือนเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสจึงมีความแข็งแรงต่ำ สามารถอมน้ำและพองตัวได้คล้ายแป้ง

- **ลิกนิน (Lignin)** มีอยู่ประมาณร้อยละ 20-40 เป็นโพลีเมอร์เชิงซ้อน (Complex Polymer) เป็นสารประกอบประเภทอะโรมาติกทำหน้าที่เป็นสารยึดเส้นใยในเนื้อไม้ให้เกาะติดกัน มีสีน้ำตาลดังนั้นการที่เนื้อไม้มีสีน้ำตาลก็เนื่องมาจากในเนื้อไม้มีลิกนินนั่นเอง ลิกนินจะละลายออกมาจากเส้นใยในขณะถูกย่อยสลาย เช่น ละลายในสารละลายกรดในกระบวนการผลิตเยื่อแบบซัลไฟต์ (Sulfite process) หรือละลายในด่างร้อนในกระบวนการผลิตกระดาษแบบคราฟท์ (Kraft) หรือกระบวนการแบบซัลเฟต (Sulfate process) เยื่อที่มีลิกนินมากจะมีสีคล้ำ เปลี่ยนสีง่าย เป็นสารที่ต้องกำจัดออกในการผลิตเยื่อกระดาษ

- อื่น ๆ (Extraneous component) ส่วนนี้จะมีประมาณร้อยละ 2-10 เป็นสารประกอบที่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายที่มีปริมาณน้อย ได้แก่ เทอร์พีน (Terpene) เป็นต้น

2.1.3 กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ

ในการผลิตเยื่อกระดาษ สามารถแบ่งประเภทกระบวนการผลิตได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. กระบวนการผลิตเยื่อเชิงกล (Mechanical Pulping)

เป็นการใช้พลังงานกลในการแยกเส้นใยออกจากกัน กระบวนการนี้เน้นที่การบด (Grinding) การนำไม้มาบดกับหินโดยตรงเส้นใยจะถูกหินบดจนหลุดออกมา ความร้อนที่เกิดขึ้นทำให้ลิกนินอ่อนตัว เส้นใยจึงแยกออกจากกันได้ง่าย เยื่อไม้บดที่ได้จะมีลักษณะเป็นไม้แท้อยู่มากและมีคุณสมบัติไม่ดีเพราะไม่ใช่เยื่อเซลลูโลสบริสุทธิ์ เยื่อที่ได้จากกระบวนการนี้มีปริมาณสูงที่สุด คือ ร้อยละ 85-95 และเยื่อที่ได้จะมีความทึบแสงสูง ราคาถูก จึงนิยมใช้ทำกระดาษหนังสือพิมพ์ กระดาษอนามัยบางชนิด และกระดาษกันสำหรับบรรจุสิ่งของกันแตกภายในกล่อง

2. กระบวนการผลิตเยื่อกึ่งเคมี (Semi-Chemical Pulping)

กระบวนการนี้จะคล้ายกับกระบวนการเชิงกลแต่มีการใช้สารเคมีร่วมด้วย และมีการใช้พลังงานในการบดเยื่อน้อยกว่า ไม้สับจะถูกต้มด้วยสารเคมีโดยสภาพกึ่งดิบกึ่งสุก แล้วจึงนำไปบดด้วยเครื่องบดเยื่อ คุณภาพของเยื่อที่ได้อยู่ระหว่างเยื่อเชิงกลและเยื่อเคมี นิยมใช้ทำกระดาษลูกฟูก

3. กระบวนการผลิตเยื่อเคมี (Chemical Pulping)

กระบวนการนี้จะให้เยื่อที่มีปริมาณลิกนิน เจือปนอยู่น้อยมากจึงเหมาะสำหรับทำกระดาษคุณภาพดี และมีความเหนียว แต่ปริมาณเยื่อที่ได้จะมีปริมาณน้อยกว่า กระบวนการผลิตเยื่อเชิงกล กระบวนการผลิตเยื่อเคมีแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ ตามสารเคมีที่ใช้ดังนี้

- กระบวนการซัลไฟต์ (Sulphite Process) กระบวนการนี้เหมาะสำหรับทำเยื่อจากพันธุ์ไม้เนื้อแข็ง และพันธุ์ไม้จำพวกหญ้า น้ำยาต้มเยื่อที่ใช้มีฤทธิ์เป็นกรด มักใช้กรดซัลฟูริก (Sulfuric Acid, H_2SO_4) และสารประกอบไบซัลไฟต์ เยื่อที่ได้เรียกว่าเยื่อซัลไฟต์ มีสมบัติเป็นกรด เส้นใยที่ได้มีความแข็งแรงต่ำ ใช้ได้กับไม้บางชนิดเท่านั้น แต่ข้อดีคือน้ำยาต้มเยื่อมีราคาถูก

- กระบวนการแบบอัลคาไลน์ (Alkaline process) กระบวนการนี้สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 2 กระบวนการคือ

- กระบวนการโซดา (Soda process)

เป็นกระบวนการที่ใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวทำละลายลิกนินในการต้มเยื่อ กระบวนการโซดาใช้สำหรับการทำเยื่อแบบง่าย ๆ เช่น ฟางข้าว และไม้เนื้อแข็งบางชนิดซึ่งบางครั้งอาจเติม Anthraquinone เพื่อลดการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต เยื่อกระดาษที่ได้เมื่อนำไปฟอกขาวแล้วจะเหมาะสำหรับทำกระดาษพิมพ์เขียว กระดาษจดหมาย แลกระดาษที่ต้องการความนุ่ม

- กระบวนการคราฟท์ (Kraft process)

กระบวนการแบบคราฟท์ (Kraft process) หรือเรียกว่า กระบวนการแบบซัลเฟต (Sulfate process) เป็นกระบวนการที่พัฒนาต่อมาจากกระบวนการโซดาโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมซัลไฟด์ เยื่อที่ได้จากกระบวนการนี้จะมีความแข็งแรงกว่ากระบวนการแบบโซดา เยื่อที่ได้ชนิดไม่ฟอกสีใช้ทำถุงกระดาษ กระดาษห่อของ และกระดาษผิวกล่องชนิดฟอกขาว ใช้ทำกระดาษพิมพ์เขียน กระดาษหนังสือคุณภาพดี

กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษโดยทั่วไปจะเป็นดังรูปที่ 2.1 โดยเริ่มจากการนำวัตถุดิบซึ่งก็คือไม้ นำมาทำให้เป็นชิ้นเล็กๆ หรือเรียกว่าการสับชิ้นไม้ (Wood chipping) แล้วจึงนำมาต้มในหม้อต้มเยื่อในกระบวนการต้มเยื่อ (Cooking) แล้วนำเยื่อไปทำการล้างเยื่อ (Washing) แล้วทำการสกัดลิกนิน (Delignification) เป็นการฟอกเยื่อขั้นต้นและแยกลิกนินออกจากเยื่อ แล้วจึงทำการฟอกเยื่อ (Bleaching) เป็นการปรับปรุงคุณภาพเยื่อให้มีความขาวมากขึ้น เมื่อได้เยื่อฟอกขาวแล้วนำมาทำให้แห้ง (Drying) และสุดท้ายจึงนำเยื่อที่ได้ส่งโรงงานผลิตกระดาษ

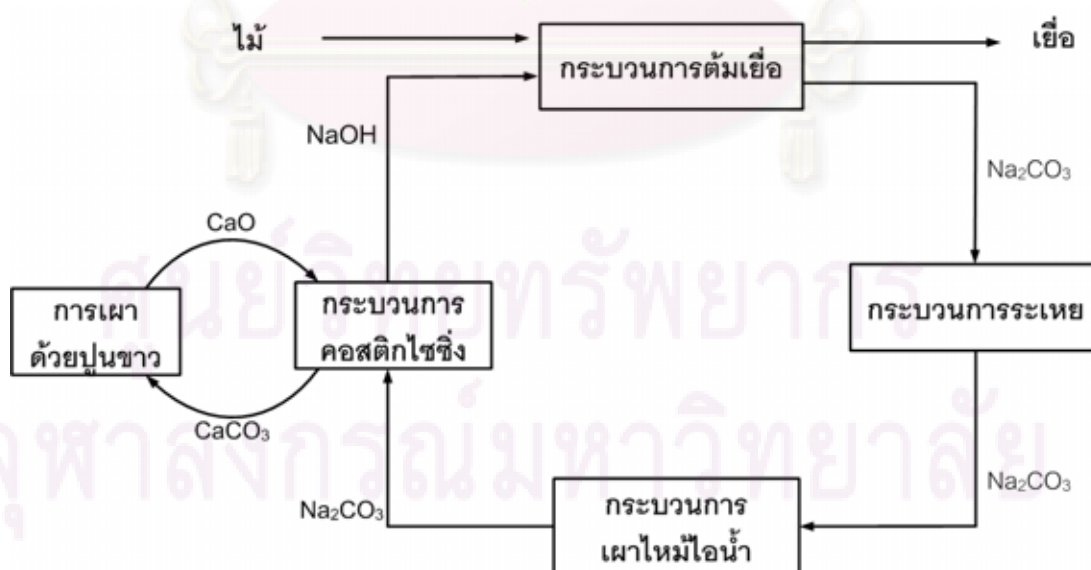
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ

2.2 กระบวนการนำสารเคมีกลับคืน (Chemical Recovery Process)

กระบวนการนำสารเคมีกลับคืนไปใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษได้ใหม่ โดยกระบวนการนี้คือ กระบวนการการนำสารเคมีกลับคืน (Chemical Recovery Process) ซึ่งประกอบด้วย กระบวนการย่อย 3 กระบวนการคือ กระบวนการระเหย (Evaporation), กระบวนการเผาไหม้ไอน้ำ (Recovery boiler) และกระบวนการคอสติกไซซิ่ง หรือกระบวนการผลิตโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Causticizing) โดยเมื่อชิ้นไม้เข้ามาในกระบวนการต้มเยื่อ (Cooking) จะได้เยื่อ และน้ำยางดำต้มเยื่อ (Weak Black Liquor) เยื่อจะเข้าสู่กระบวนการฟอกเยื่อต่อไป ส่วนน้ำยางดำต้มเยื่อซึ่งมีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 15 ของของแข็งแห้ง (dry solid) จะถูกนำเข้าสู่กระบวนการระเหยเพื่อให้มีความเข้มข้นมากขึ้นจากประมาณร้อยละ 15 ของของแข็งแห้ง ไปเป็นน้ำยางดำเข้มข้น (Strong Black Liquor) ที่มีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 80 ของของแข็งแห้ง แล้วจะเข้าสู่กระบวนการเผาไหม้ไอน้ำเพื่อให้ได้พลังงาน และเปลี่ยนน้ำยางดำเข้มข้นไปเป็นน้ำสีเขียวเรียกว่าน้ำยางเขียว (Green Liquor) และกระบวนการคอสติกไซซิ่งเป็นการผลิตโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยใช้ปูนขาวในการเปลี่ยนน้ำยางเขียวเป็นน้ำยาต้มเยื่อหรือน้ำยางขาว (White Liquor) ซึ่งมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก และมีคุณสมบัติในการย่อยเยื่อได้เหมือนสารตั้งต้นเพื่อใช้ในการต้มเยื่อ ส่วนปูนขาวที่ใช้ในกระบวนการคอสติกไซซิ่งจะถูกนำกลับมาใหม่ด้วยการเผาปูนขาว ด้วยเตาเผาปูนขาว (Lime Kiln) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กระบวนการนำสารเคมีกลับคืน

2.3 น้ำยางดำ (Black Liquor)

น้ำยางดำ คือ ของเหลวจากกระบวนการทางเคมีของการต้มเยื่อกระดาษซึ่งมีสีดำ องค์ประกอบของน้ำยางดำจะเปลี่ยนแปลงไปตามวัตถุดิบที่นำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเยื่อกระดาษ และกรรมวิธีที่ใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษ แต่โดยเฉลี่ยแล้วน้ำยางดำจากทุกกระบวนการทางเคมีในการต้มเยื่อจะโดยมีองค์ประกอบทั่วไปดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบโดยทั่วไปของน้ำยางดำ

องค์ประกอบ	ค่าร้อยละของของแข็ง
สารอินทรีย์	ทั้งหมดร้อยละ 78
ลิกนิน	37.5
กรดแซกคารีน (เฮมิเซลลูโลส)	22.6
กรดอลิฟาติก (ลิกนิน, คาร์โบไฮเดรต)	14.4
ไขมัน และ กรดเรซินีเยส (Extractives)	0.5
โพลีแซกคาไรด์ (เซลลูโลส และ เฮมิเซลลูโลส)	3.0
สารอนินทรีย์	ทั้งหมดร้อยละ 22
NaOH	2.4
NaHS	3.6
Na ₂ CO ₃ &K ₂ CO ₃	9.2
Na ₂ SO ₄	4.8
Na ₂ S ₂ O ₈ &Na ₂ S	0.5
NaCl	0.5
อื่นๆ (Si, Ca, Mn, Mg)	0.2

ที่มา : Knowpulp, 2005

ในการผลิตเยื่อแบบโซดา และคราฟท์ น้ำยางดำที่ได้ออกมาบางส่วนจะถูกส่งไปผสมกับน้ำยาที่ใช้ในการต้มเยื่อเพื่อให้น้ำยาต้มเยื่อมีปริมาณมากพอสำหรับการต้มเยื่อ น้ำยางดำส่วนที่เหลือ จะถูกนำเข้ากระบวนการนำสารเคมีกลับคืน ซึ่งเริ่มต้นจากหน่วยทำระเหยเพื่อให้ น้ำยางดำมี

ความเข้มข้นเพียงพอที่จะติดไฟและให้พลังงานความร้อนออกมาในส่วนเตาเผา เมื่อทำการเผาแล้วสารเคมี หรือสารอินทรีย์ที่เหลือจะละลายเป็นของเหลวไหลลงสู่ด้านล่างของเตาเผา เมื่อผสมกับของเหลวเจือจางในสารละลายกลายเป็นของเหลวสีเขียวย ซึ่งจะถูกส่งไปยังถังตกตะกอนเพื่อแยกสิ่งเจือปนที่ได้เป็นของแข็งออก แล้วส่งต่อไปยังหน่วยที่ทำด่างเพื่อทำปฏิกิริยากับปูนขาวกลายเป็นน้ำยากลับเข้าสู่การผลิตเยื่อต่อไป พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาน้ำยางดำเข้มข้นในกระบวนการเผาไหม้ไอน้ำ ถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปไอน้ำ และนำไปใช้ในหน่วยทำระเหยต่อไป

2.4 กระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง หรือแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification Process)

2.4.1 ความหมายของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

“แก๊สซิฟิเคชัน” เป็นกระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงโดยการแปรสภาพจากเชื้อเพลิงแข็ง เช่น ถ่านหิน ไม้ หรือพวกชีวมวลต่างๆ ให้เปลี่ยนรูปกลายเป็นเชื้อเพลิงก๊าซ เช่น ไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ และมีเทน เป็นต้น โดยการทำปฏิกิริยากับอากาศ ออกซิเจน ไอน้ำ หรือส่วนผสมของตัวทำปฏิกิริยาเหล่านี้ ในทางปฏิบัติกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันนั้นจะรวมขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดตั้งแต่การเกิดการสลายวัตถุดิบภายใต้ความร้อนในขั้นต้นจนถึงการปรับปรุงคุณภาพก๊าซในขั้นตอนต่อไปด้วย

2.4.2 วิวัฒนาการของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

การค้นพบก๊าซสังเคราะห์เริ่มมีบันทึกไว้ประมาณปี ค.ศ. 1699 เมื่อ Clayton ทดลองกลั่นสลายถ่านหินแล้วพบว่าก๊าซที่ปล่อยออกจากเตาผลิตก๊าซสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ต่อมาในปี ค.ศ. 1791 Gardner และ Barker ค้นพบว่าก๊าซร้อนที่ปล่อยออกมาจากปล่องควันของหม้อไอน้ำที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงสามารถนำกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้สำหรับหม้อน้ำได้อีกครั้งหนึ่ง เตาผลิตก๊าซในระยะแรกเป็นแบบใช้อากาศโดยการใส่ถ่านโค้ก ถ่านหิน หรือไม้ ลงไปในท่อทรงกระบอกเหนือแผ่นรองที่มีรูพรุน และเป่าอากาศผ่านขึ้นไปผลิตก๊าซที่ได้ส่วนใหญ่เป็น คาร์บอนมอนอกไซด์ นอกนั้นจะเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทนอีกเล็กน้อย เครื่องมือนี้มีปัญหาในการใช้งาน คือมีน้ำมันดินจำนวนมากปะปนอยู่กับก๊าซผลิตภัณฑ์ทำให้ไม่สามารถนำก๊าซนั้นไปใช้กับเครื่องยนต์ได้ จึงมีการพัฒนารูปแบบเตาผลิตก๊าซเป็นแบบไหลลง (down-draft) คือเตาที่มีการดึงเอาก๊าซผลิตภัณฑ์ออกที่ด้านล่างของเตาโดยผ่านชั้นเบดของคาร์บอนเพื่อกำจัดน้ำมันดินส่งผลให้ก๊าซที่ได้สะอาดขึ้น

ระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 เกิดการขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิงทำให้มีการหันมาค้นคว้ารูปแบบของเตาผลิตก๊าซให้ดีขึ้น ในช่วงนั้นก๊าซเชื้อเพลิงถูกนำมาใช้แทนน้ำมันในรถยนต์ เตาผลิตก๊าซจึงได้รับการพัฒนาเพื่อให้สามารถนำไปใช้ได้ทั้งเครื่องยนต์ดีเซล และเครื่องยนต์ออตโต (otto)

หลังสงครามโลกในช่วงปี ค.ศ. 1950-1960 ผลิตภัณฑ์ทางด้านปิโตรเลียมหาง่ายขึ้นอีกทั้งราคาถูกลง การใช้งานสะดวกเป็นเหตุให้การใช้ก๊าซเชื้อเพลิงจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันลดลงจนแทบจะหมดไปที่ยังเหลืออยู่ก็ไม่มีการพัฒนาให้ดีขึ้นแต่อย่างใดสำหรับประเทศไทยแม้ว่าความรู้ทางด้านก๊าซชีววมวลยังมีเหลืออยู่บ้างจากสงครามโลกครั้งที่ 2 และได้มีการทดลองเกี่ยวกับการใช้ก๊าซชีววมวลในเครื่องยนต์มาบ้างแล้วแต่ก็ยังไม่ได้มีการวิจัยพัฒนาอย่างจริงจัง และเป็นระบบ (เบญจมาศ ปุຍ้ออก, 2547)

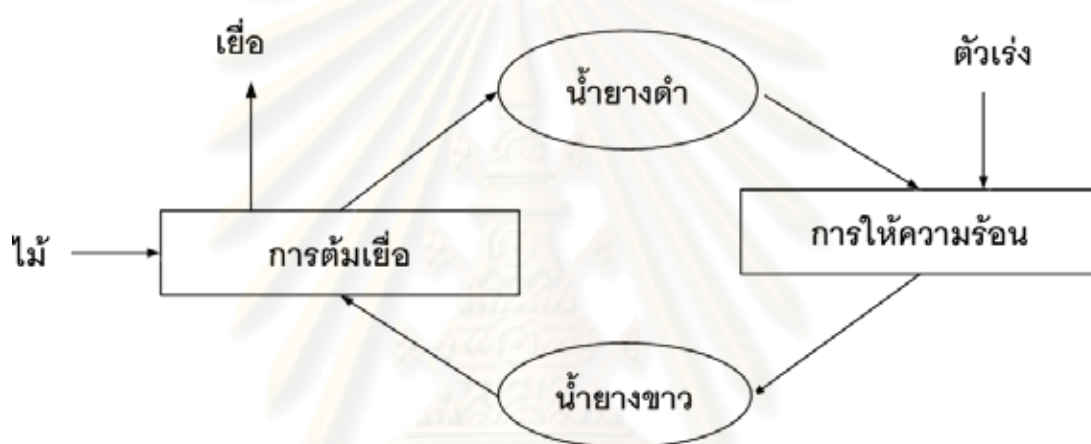
2.4.3 การแก๊สซิฟิเคชันน้ำยางดำ

ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีของเตาแบบเผาไหม้หม้อน้ำ (recovery boiler) อย่างกว้างขวางบนพื้นฐานของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันเพื่อต้องการปรับปรุงและหาเทคโนโลยีใหม่มาแทนที่โดยนำน้ำยางดำไปเข้าสู่กระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงโดยใช้ความร้อนแบบแก๊สซิฟิเคชันที่อุณหภูมิในการเผาไหม้สูงกว่า 1,000 องศาเซลเซียส ทำให้มีก๊าซผลิตภัณฑ์ต่างๆ เกิดขึ้น เช่น ไฮโดรเจน มีเทน คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ และนำเชื้อเพลิงก๊าซที่เกิดขึ้นจากกระบวนการไปใช้ในการปั่นกังหันก๊าซ (gas turbine) และนำก๊าซร้อนที่ผ่านจากการปั่นกังหันก๊าซไปใช้ในการต้มน้ำในหม้อต้มเพื่อใช้ในการปั่นกังหันไอน้ำอีกครั้งหนึ่งเรียกว่ากระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าแบบร่วม (combined-cycle power generation) (Marklud, 2005) ส่วนสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจะนำไปเข้าสู่กระบวนการแยกให้เป็นสารเคมีที่ใช้ในการย่อยใหม่อีกครั้งซึ่งจะมีศักยภาพสูงกว่าการเผาไหม้แบบเดิมโดยจะให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าที่สูงกว่าซึ่งมีค่าประมาณร้อยละ 22 และมีค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำกว่าสามารที่จะปรับปรุงและควบคุมปริมาณ และขนาดของอนุภาคก๊าซไอเสียที่จะปล่อยทิ้งได้ง่ายรวมถึงมีความปลอดภัยในการผลิตสูง ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ (Nasholm และ Westermarck, 1997)

2.5 กระบวนการคอสติกไซเซชัน

คอสติกไซเซชันเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่โดยการนำน้ำยางดำมาเผาพร้อมกับตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนไปเป็นน้ำยางขาว หรือเป็นกระบวนการนำไฮดรอกไซด์กลับมา โดยการนำคอสติกไซเซชันนั้นแบ่งออกเป็น 2 แบบตามการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ละลายและไม่ละลายน้ำ การทำคอสติกไซเซชันกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ละลายน้ำนั้นเรียกว่า ออโตคอสติกไซ

เซชัน (autocausticization) ส่วนแบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบไม่ละลายน้ำเรียกว่า คอสติกไซเซชันโดยตรง (direct causticization) โดยกระบวนการคอสติกไซเซชันกับตัวเร่งปฏิกิริยานั้นจะทำให้ช่วยลดกระบวนการการนำสารเคมีกลับคืน โดยจะนำน้ำยาดำเข้มข้นทำปฏิกิริยากับตัวเร่งภายใต้ความร้อนที่เหมาะสมทำให้ได้สารผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นน้ำยาราวได้เลยโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการที่ทำให้เกิดน้ำยารว (Gershon, 2004) ดังรูปที่ 2.3 และยังช่วยลดการใช้พลังงานและทรัพยากรในการนำสารเคมีกลับคืน



รูปที่ 2.3 การทำคอสติกไซเซชัน

2.5.1 ออโตคอสติกไซเซชัน (autocausticization)

โดยการทำออโตคอสติกไซเซชันนั้นจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ละลายน้ำ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น บอเรต เป็นต้น และหลังจากทำปฏิกิริยาตัวเร่งจะยังละลายอยู่ในระบบต่อไป

2.5.2 คอสติกไซเซชันโดยตรง (direct causticization)

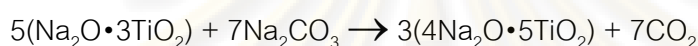
ในการคอสติกไซเซชันโดยตรงนั้นจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ละลายน้ำ โดยตัวเร่งจะเป็นพวกโลหะออกไซด์ เช่น ไททาเนียมออกไซด์ แมงกานีสออกไซด์ และเหล็กออกไซด์ เป็นต้น และหลังจากทำปฏิกิริยาตัวเร่งจะถูกกรองออกแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ในระบบรอบถัดไป

2.5.2.1 การคอสติคไซเซชันโดยตรงของน้ำยางดำกับไททานเนต

การใช้ไททานเนตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยากอสติคไซเซชันโดยตรงซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ละลายน้ำ โดยการคอสติคไซเซชันโดยตรงของน้ำยางดำกับไททานเนตนั้นจะเกิดขึ้น 2 ขั้นตอน หรือ 2 ปฏิกิริยา ภายหลังจากทำการผสมกันแล้ว

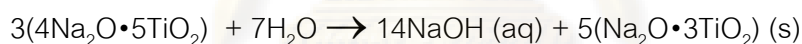
โดยปฏิกิริยาที่ 1 เป็นขั้นตอนการแก๊สซิฟิเคชัน เมื่อให้ความร้อนกับโซเดียมคาร์บอเนตซึ่งเป็นตัวแทนของน้ำยางดำเข้าทำปฏิกิริยากับโซเดียมไตรไททานเนตจะได้โซเดียมเพนตาไททานเนตกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา

ปฏิกิริยาที่ 1 การแก๊สซิฟิเคชัน (ไททานเนต)



และปฏิกิริยาที่ 2 เป็นขั้นตอนการชะละลายด้วยน้ำ (Leaching) หรือการทำให้เกิดโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Causticizing) โดยนำโซเดียมเพนตาไททานเนตที่ได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันมาทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วจะเกิดเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นตัวแทนของน้ำยางขาว และโซเดียมไตรไททานเนตที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาที่ 2 การชะละลายด้วยน้ำ (ไททานเนต)



หลังจากการทำปฏิกิริยาแล้วโซเดียมไตรไททานเนตที่อยู่ในน้ำยางขาวนั้นก็จะถูกกรองแยกออกจากกระบวนการนำสารเคมีกลับคืน แล้วจะถูกนำไปใช้ใหม่ในกระบวนการถัดไป โดยการคอสติคไซเซชันโดยตรงของน้ำยางดำกับไททานเนตในกระบวนการเป็นดังรูปที่ 2.4 (Nohlgren, Sricharoenchaikul และคณะ, 2003)

2.5.2.2 การคอสติคไซเซชันโดยตรงของน้ำยางดำกับแมงกานีส

การใช้แมงกานีสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยากอสติคไซเซชันโดยตรงซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ละลายน้ำ โดยการคอสติคไซเซชันโดยตรงของน้ำยางดำกับแมงกานีสนั้นจะเกิดขึ้น 2 ขั้นตอน หรือ 2 ปฏิกิริยา ภายหลังจากทำการผสมกันแล้ว

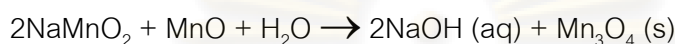
โดยปฏิกิริยาที่ 1 เป็นขั้นตอนการแก๊สซิฟิเคชัน เมื่อให้ความร้อนกับโซเดียมคาร์บอเนต ซึ่งเป็นตัวแทนของน้ำยางดำเข้าทำปฏิกิริยากับ แมงกานีส (II, III) ออกไซด์จะได้โซเดียมแมงกานีส, แมงกานีส (II) ออกไซด์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา

ปฏิกิริยาที่ 1 การแก๊สซิฟิเคชัน (แมงกานีส)



และปฏิกิริยาที่ 2 เป็นขั้นตอนการชะละลายด้วยน้ำ (Leaching) หรือการทำให้เกิดโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Causticizing) โดยนำโซเดียมแมงกานีส และแมงกานีส (II) ออกไซด์ ที่ได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันมาทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วจะเกิดเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นตัวแทนของน้ำยางขาว และแมงกานีส (II, III) ออกไซด์ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

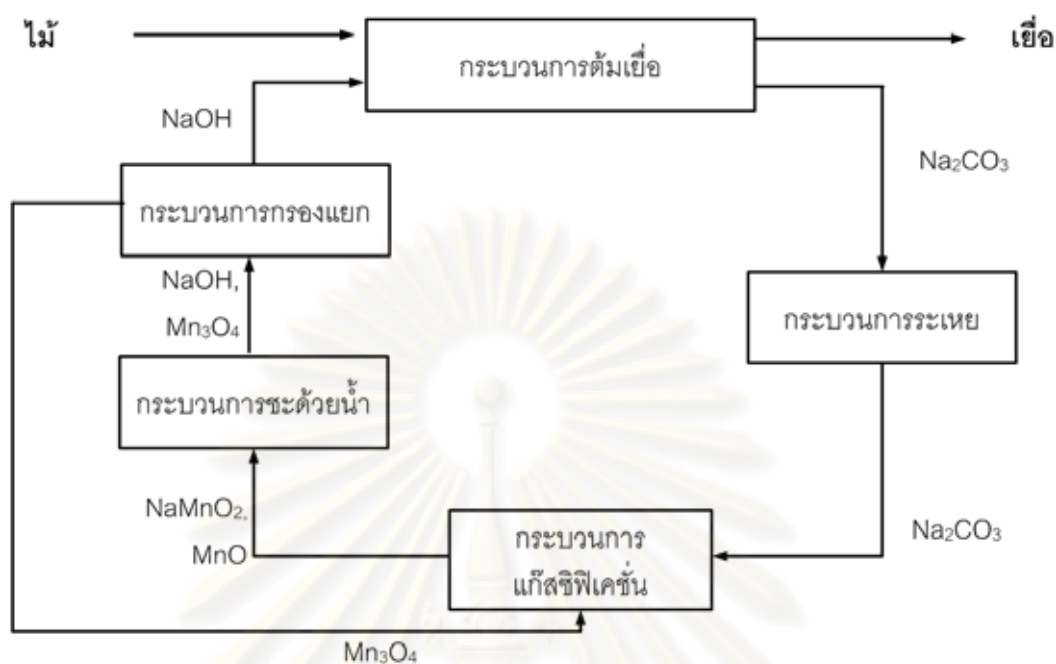
ปฏิกิริยาที่ 2 การชะละลายด้วยน้ำ (แมงกานีส)



หลังจากการทำปฏิกิริยาแล้วแมงกานีส (II, III) ออกไซด์ที่อยู่ในน้ำยางขาวนั้นก็ถูกกรองแยกออกจากกระบวนการนำสารเคมีกลับคืน แล้วจะถูกนำไปใช้ใหม่ในกระบวนการถัดไปโดยการคอสติคไซเซชันโดยตรงของน้ำยางดำกับไททานเนียมในกระบวนการเป็นดังรูปที่ 2.5 (Eames และ Empie, 2001)

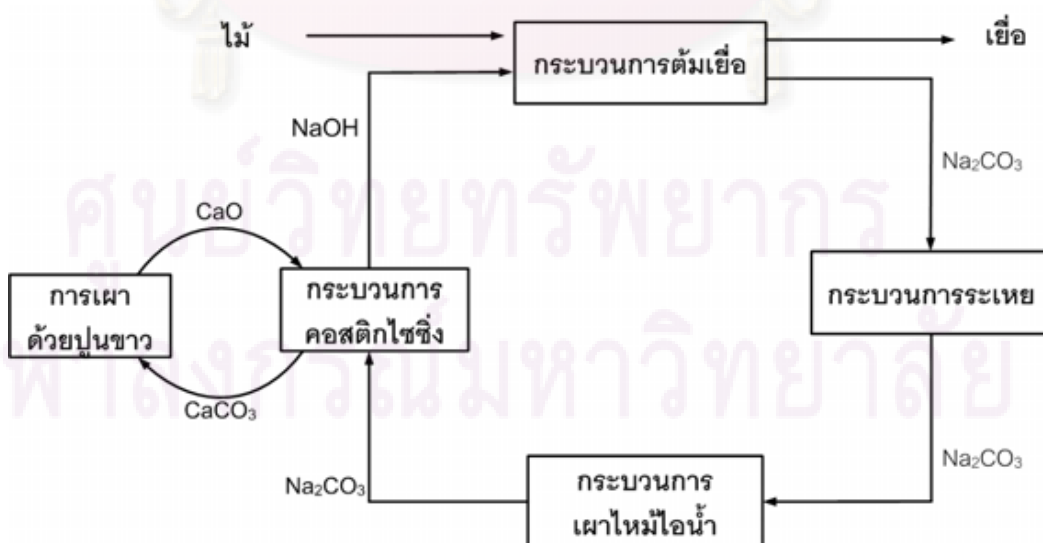


รูปที่ 2.4 กระบวนการคอสติคไซเซชันโดยตรงด้วยไททานเนียม



รูปที่ 2.5 กระบวนการคอสติกไซเซชันโดยตรงด้วยแมงกานีส

เมื่อดูรูปที่ 2.6 ซึ่งเป็นกระบวนการนำสารเคมีกลับคืนแบบเดิมที่ใช้ในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษแบบโซดา มาเปรียบเทียบกับรูปที่ 2.4 และ 2.5 ซึ่งเป็นกระบวนการนำสารเคมีกลับคืนโดยคอสติกไซเซชันโดยตรงด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาไททานเนียม และแมงกานีส ซึ่งตัวเร่งจะถูกกรองแยกออกจากระบบและจะถูกนำมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของกระบวนการคอสติกไซเซชันโดยตรงต่อไป



รูปที่ 2.6 กระบวนการนำสารเคมีกลับคืนแบบปกติ

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Nohlgren, Sricharoenchaikul และคณะ (2003) ศึกษาจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาออกสติกไฮเซชันโดยตรงระหว่างไฮเดียมไตรโทเทเนต กับ ไฮเดียมคาร์บอนเนต กับตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดียมไททานเนต ในเตาปฏิกรณ์แบบไหลตาม (Entrained-flow reactor) ซึ่งศึกษาทั้งไฮเดียมคาร์บอนเนตบริสุทธิ์ และน้ำยางดำ โดยทดลองที่อุณหภูมิ 900, 950 และ 1000 องศาเซลเซียส และที่ความดัน 0.5 และ 1 เมกะปาสคาล ใช้ก๊าซเป็นไนโตรเจนบริสุทธิ์ และร้อยละ 2 ของคาร์บอนไดออกไซด์ในไนโตรเจน โดยผลการทดลองที่ได้พบว่าไฮเดียมเพนตาโทเทเนต เกิดขึ้นกับน้ำยางดำได้เร็วกว่าไฮเดียมคาร์บอนเนต และอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามคาร์บอนไดออกไซด์ในปฏิกิริยาทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาช้าลง และผลของความดันที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยายังไม่ชัดเจน อัตราการเกิดปฏิกิริยาของปฏิกิริยาออกสติกไฮเซชันโดยตรงระหว่างไตรโทเทเนต และไฮเดียมคาร์บอนเนตนั้น พบว่ามีความเร็วพอที่จะใช้กับระบบเตาปฏิกรณ์แบบไหลตาม

Nohlgren และ Sinquefield (2004) ศึกษาการคำนวณสมดุลโดยการเปรียบเทียบทางเลือกในการนำน้ำยางดำกลับมาใช้ใหม่ โดยเปรียบเทียบระบบการแก๊สซิฟิเคชันน้ำยางดำ 3 ระบบ ทำปฏิกิริยาออกสติกไฮเซชันโดยตรงน้ำยางดำกับตัวเร่งปฏิกิริยาไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยใช้ระบบ MTCI (ที่สภาวะ 600 องศาเซลเซียส และ 0.3 เมกะปาสคาล) ระบบ Chemrec (Atmospheric) (ที่สภาวะ 950 องศาเซลเซียส และ 0.1 เมกะปาสคาล) และระบบ Chemrec (Pressurized) (ที่สภาวะ 950 องศาเซลเซียส และ 3 เมกะปาสคาล) โดยจากการทดลองอัตราส่วนโมลาร์ของ TiO_2/Na_2O ที่เหมาะสมคือ 0.5

Nohlgren, Sinquefield และคณะ (2004) ศึกษาการทำออกสติกไฮเซชันโดยตรงระหว่างที่อุณหภูมิต่ำและสูง ระหว่างน้ำยางดำ กับ ไททานเนตและแมงกานีส ซึ่งศึกษา 2 สภาวะอุณหภูมิคือที่อุณหภูมิต่ำ (600 องศาเซลเซียส, ความดัน 1 บาร์, ก๊าซร้อยละ 50 ของไอน้ำไนโตรเจน, ที่เวลา 50 ชั่วโมง) และอุณหภูมิสูง (950 องศาเซลเซียส, ความดัน 5 และ 15 บาร์, ก๊าซร้อยละ 5 ของคาร์บอนไดออกไซด์ในไนโตรเจน, ที่เวลา 5 วินาที) โดยผลการทดลองที่ได้พบว่าการเปลี่ยนจากไฮเดียมคาร์บอนเนตไปเป็นไฮเดียมไฮดรอกไซด์ของน้ำยางดำกับไททานเนตนั้นเกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์ร้อยละ 65 ทั้งที่อุณหภูมิต่ำ และสูง ส่วนค่าการเปลี่ยนจากไฮเดียมคาร์บอนเนตไปเป็นไฮเดียมไฮดรอกไซด์ของน้ำยางดำกับแมงกานีสเกิดได้ร้อยละ 45 เกิดขึ้นเพียงที่อุณหภูมิต่ำ

Eames และ Empie (2001) ศึกษาปฏิบัติการออกแบบสถาปัตยกรรมด้วยตนเองของโซเดียมคาร์บอเนตกับแมงกานีสออกไซด์ โดยใช้อุณหภูมิที่ 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาที่ 1, 12 และ 24 ชั่วโมง ใช้ขนาดอนุภาค 3 ขนาดคือ 23, 104 และ 227 ไมโครเมตร ซึ่งจากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการทดลองคือที่อุณหภูมิ 650-850 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1 ชั่วโมง และที่ขนาดอนุภาค 227 ไมโครเมตร



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

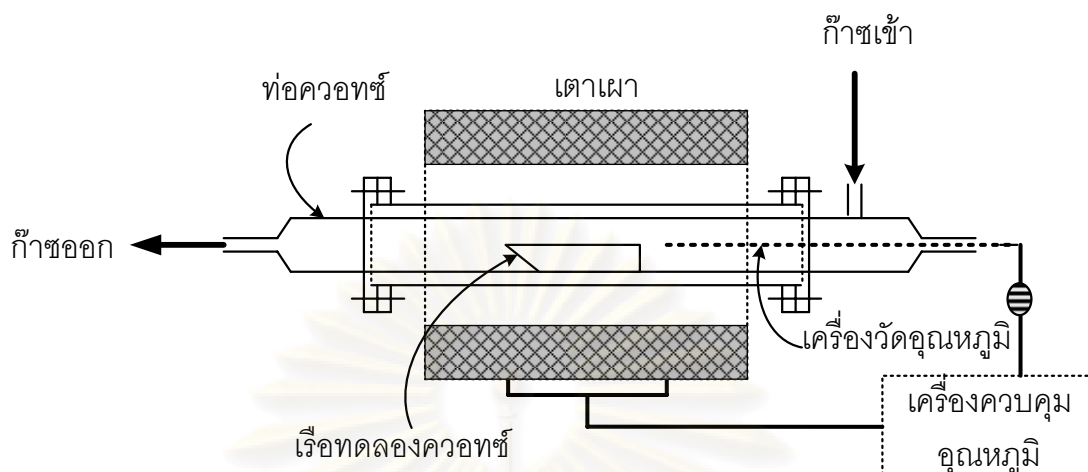
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการคอสติคไซเซชันโดยตรงของน้ำยางดำร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาไททาเนต และแมงกานีส ในกระบวนการแก๊สซีพีเคชั่น โดยทำการศึกษาเพื่อหาปริมาณของไซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากผลิตภัณฑ์น้ำยางขาวที่เกิดขึ้น โดยมีอุปกรณ์ และสารเคมี ขั้นตอนการศึกษา และวิธีการทดลองดังนี้

3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี

3.1.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์

- ชุดเตาปฏิกรณ์แบบกะ (Batch) ประกอบด้วย
 - เตาเผาให้ความร้อนแบบท่อกลวง (Tubular Furnace)
 - ท่อแก้วควอทซ์ (Quartz Tube)
 - เรือทดลองควอทซ์ (Quartz Sample Boat)
 - เครื่องวัดอุณหภูมิและเครื่องควบคุมอุณหภูมิ
- เตาอบ และตู้ดูดความชื้น
- เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
- นาฬิกาจับเวลา
- แมกเนติก สเตอเวอร์
- อุปกรณ์เครื่องแก้วต่าง ๆ

หลักการทำงานโดยรวมในส่วนแก๊สซีพีเคชั่นมีดังนี้ เตาเผาจะให้ความร้อนแก่ท่อควอทซ์ โดยสามารถวัดอุณหภูมิได้ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิ และแก๊สที่เข้าไปจะทำการไล่อากาศที่มีอยู่ก่อนแล้วแทนที่เพื่อให้เกิดสภาวะที่กำหนด เมื่อถึงอุณหภูมิที่กำหนดเครื่องควบคุมอุณหภูมิจะควบคุมให้เตามีอุณหภูมิคงที่ จึงทำการนำตัวอย่างที่เตรียมไว้ใส่ไปในเรือทดลองควอทซ์ แล้วจึงนำเรือทดลองควอทซ์ใส่เข้าไปในท่อควอทซ์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา เมื่อได้เวลาที่กำหนดก็นำเรือทดลองควอทซ์ออกมาจากท่อควอทซ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพการทดลองของเตาปฏิกรณ์

3.1.2 สารเคมี

1. น้ำยาดำ
2. น้ำกลั่น
3. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก
4. สารละลายแบเรียมคลอไรด์
5. สารละลายเมธิลออเรนจ์ อินดิเคเตอร์
6. สารละลายฟีนอล์ฟธาไลน์ อินดิเคเตอร์
7. โซเดียมคาร์บอเนต
8. ไททานเนต
9. แมงกานีส
10. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
11. ก๊าซไนโตรเจน

3.2 ตัวอย่างน้ำยางดำที่ใช้ในการวิจัย

1. กรรมวิธี สารเคมีและวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ

การผลิตเยื่อกระดาษของโรงงานเป็นกระบวนการเคมีประเภทกระบวนการแบบโซดา และเยื่อกึ่งเคมี ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นน้ำยาต้มเยื่อ และใช้ไม้ ยูคาลิปตัสกับชานอ้อยเป็น วัตถุดิบ

2. การเก็บตัวอย่างน้ำยางดำ

การเก็บตัวอย่างน้ำยางดำมาใช้ในงานวิจัยจะเก็บที่จุดหลังผ่านเครื่องระเหยไอน้ำ

3. การเตรียมน้ำยางดำ

ทำการอบน้ำยางดำให้แห้งด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน หรือจนน้ำหนักคงที่ หลังจากนั้นนำไปบดให้ละเอียด

3.3 การดำเนินการวิจัย

3.3.1 ศึกษาลักษณะทางเคมีของน้ำยางดำ

1. การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง CHNS/O Elemental Analyzer (Perkin Elmer PE2400 Series II) ธาตุที่วิเคราะห์ประกอบด้วย

- คาร์บอน (C)
- ไฮโดรเจน (H)
- ออกซิเจน (O)
- ไนโตรเจน (N)
- ซัลเฟอร์ (S)

2. คุณสมบัติอื่นๆ

- ค่าความร้อน (Heating Value)

วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bomb calorimeter

- สภาพด่าง (Alkalinity)

วิเคราะห์ด้วยวิธี TAPPI Method T 624 (ภาคผนวก ก)

ตารางที่ 3.1 วิธีการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของน้ำยางดำ

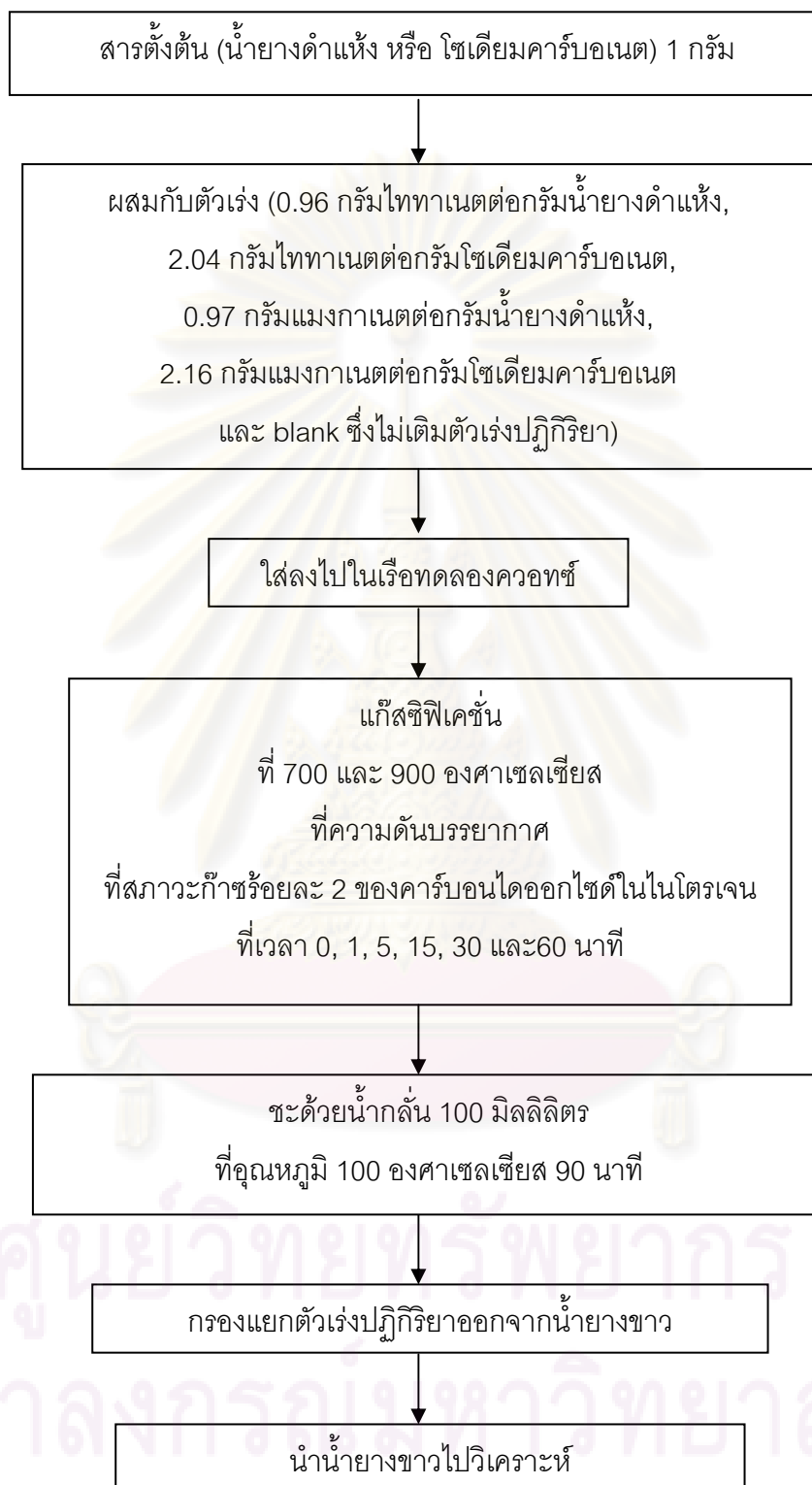
รายการวิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์
คาร์บอน	CHNS/O Elemental Analyzer
ไฮโดรเจน	
ออกซิเจน	
ไนโตรเจน	
ซัลเฟอร์	
ค่าความร้อน	Bomb calorimeter
สภาพต่าง	TAPPI Method T 624

3.3.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา

ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาโดยสารตั้งต้นคือ น้ำยางดำ กับโซเดียมคาร์บอเนต และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไททานต และแมงกานต ซึ่งใช้ปริมาณของตัวเร่งต่อสารตั้งต้น คือ ไททานต 0.96 กรัม และแมงกานต 0.97 กรัมต่อน้ำยางดำแห้ง 1 กรัม กับไททานต 2.04 กรัม และแมงกานต 2.16 กรัมต่อโซเดียมคาร์บอเนต 1 กรัม และทำ blank โดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา (โดยส่วนที่ไม่เติมตัวเร่งจะเป็น blank ของการทดลอง) ให้อุณหภูมิที่ 700 และ 900 องศาเซลเซียส และ เวลา 0, 1, 5, 15, 30 และ 60 นาที โดยใช้ปริมาณก๊าซร้อยละ 2 ของคาร์บอนไดออกไซด์ในไนโตรเจน และที่ความดันบรรยากาศ

ซึ่งการทดลองจะนำน้ำยางดำแห้ง และโซเดียมคาร์บอเนตที่ได้มาผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วใส่ลงในเรือทดลองเซรามิคแล้วจึงทำการแก๊สซิฟิเคชัน ดังรูปที่ 3.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 สรุปรูปขั้นตอนการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา

3.4 การวิเคราะห์งานวิจัย

ในการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการเปลี่ยนน้ำยางดำให้เป็นน้ำยางขาวนั้น จำเป็นจะต้องหาชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา ระยะเวลา และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาที่ สภาวะก้ำกึ่ง และความดันเดียวกัน โดยจะพิจารณาที่ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็น องค์ประกอบหลักสำคัญของน้ำยางขาว ซึ่งเป็นสารที่ทำหน้าที่ในการย่อยเยื่อที่เกิดขึ้นในน้ำยาง ขาวเป็นหลัก โดยจะพิจารณาจากการทดลองที่มีปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ในรูปของสภาพ ต่างแอกทีฟ (Active alkali) และร้อยละของแอกติวิตี้ (%activity) ที่สูงที่สุดเป็นค่าที่เหมาะสมใน การทดลอง โดยทำการเปรียบเทียบปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ในรูปของสภาพต่างแอกทีฟ และ ร้อยละของแอกติวิตี้ที่เกิดขึ้นในแต่ละการทดลอง



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการวิจัยนี้เป็นการศึกษาปฏิกิริยาของสติกไซเซชันโดยตรงในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของน้ำยางดำด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาไททานเนียม และแมงกานีส โดยตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยองค์ประกอบหลักที่สำคัญของน้ำยางดำก็คือ โพลีเมอร์ไฮดรอกไซด์ เพราะฉะนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงกำหนดให้สภาวะที่เหมาะสมนั้นต้องทำให้น้ำยางดำมีไฮดรอกไซด์ในรูปของสภาพต่างแอกทีฟ และร้อยละของแอกทีฟมีปริมาณมากที่สุด

ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการคอสติกไซเซชันโดยตรงของน้ำยางดำในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาไททานเนียมและแมงกานีส แบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 การศึกษาสมบัติทางเคมีของน้ำยางดำหาธาตุองค์ประกอบ C, H, N และ S ด้วยเครื่อง CHNS/O Elemental analyzer วิเคราะห์ค่าความร้อนด้วยเครื่อง Bomb calorimeter และวิเคราะห์หาสภาพต่างด้วยวิธี TAPPI Method T624

ส่วนที่ 2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการคอสติกไซเซชันโดยตรงของน้ำยางดำในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาไททานเนียมและแมงกานีส ประกอบด้วยผลของสารตั้งต้น สารเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ และระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา

4.1 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำยางดำ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบ และคุณสมบัติของน้ำยางดำตัวอย่างที่จะใช้ในการดำเนินงานวิจัย โดยได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1

4.1.1 องค์ประกอบแบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบแยกธาตุของน้ำยางดำด้วยเครื่อง CHNS/O Elemental analyzer พบว่า น้ำยางดำมีปริมาณธาตุคาร์บอน และไฮโดรเจน ร้อยละ 34.29 และ 4.79 ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณสูง ส่วนปริมาณออกซิเจนนั้นจะหาได้จากผลต่างของสารอื่นๆ ที่อยู่ในน้ำยางดำจึงต้องหาปริมาณของสารอื่นๆ ที่อยู่ในน้ำยางดำเพื่อหาปริมาณออกซิเจน โดยปริมาณออกซิเจนคือ ร้อยละ 40.46 เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชีวมวลอื่นตามตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าน้ำยางดำมีปริมาณใกล้เคียงกับแกลบซึ่งเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้กันอย่าง

แพร่หลายในปัจจุบัน จึงถือว่าน้ำยางดำตัวอย่างเหมาะสมสำหรับที่จะเป็นวัตถุดิบในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน และมีองค์ประกอบที่สามารถเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ก๊าซเชื้อเพลิงที่มีคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นองค์ประกอบได้

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำยางดำ

การวิเคราะห์	องค์ประกอบ	ค่าวิเคราะห์			
		1	2	3	เฉลี่ย
องค์ประกอบแบบ แยกธาตุ (Ultimate analysis)	ร้อยละของคาร์บอน	34.91	33.54	34.41	34.29
	ร้อยละของไฮโดรเจน	4.84	4.79	4.75	4.79
	ร้อยละของไนโตรเจน	0.88	0.86	0.81	0.85
	ร้อยละของซัลเฟอร์	0.44	0.49	0.66	0.49
	ร้อยละของคลอรีน	2.54	2.51	3.11	2.72
	ร้อยละของโซเดียม	14.42	14.84	15.14	14.80
	ร้อยละของโปแตสเซียม	1.30	1.22	1.38	1.30
	ร้อยละของซิลิกา	0.32	0.25	0.33	0.30
	ร้อยละของออกซิเจน	-	-	-	40.46
ค่าความร้อน	ค่าความร้อน (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)	11.90	11.92	11.91	11.91
ค่าสภาพต่าง	สภาพต่างทั้งหมด (กรัมต่อลิตร)	4.09	3.78	3.97	3.95
	สภาพต่างแอกทีฟ (กรัมต่อลิตร)	0.62	0.50	0.62	0.58
	ร้อยละของแอกติวิตี	15.15	13.12	15.63	14.63

4.5.2 ค่าความร้อน (Heating Value)

ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของตัวอย่างน้ำยางดำด้วยเครื่อง Bomb calorimeter พบว่า น้ำยางดำมีค่าความร้อน 11.91 เมกะจูลต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชีวมวลอื่นตามตารางที่ 4.2 แสดงว่าตัวอย่างน้ำยางดำมีค่าความร้อนสูงใกล้เคียงกับ

แกลบซึ่งเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน จึงถือว่าน้ำยางดำมีศักยภาพที่เหมาะสมในการแก๊สซิฟิเคชันเป็นอย่างดี

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างน้ำยางดำเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชีวมวลอื่นๆ ที่ใช้ในประเทศไทย ของ วีรชัย อัจหาญ และคณะ (2551)

องค์ประกอบทางเคมี (%)	น้ำยางดำ	แกลบ	ไม้กระถิน	ซังข้าวโพด
คาร์บอน	34.29	37.40	47.61	48.11
ไฮโดรเจน	4.79	4.64	6.66	7.53
ไนโตรเจน	0.85	0.55	0.40	0.41
ซัลเฟอร์	0.49	0.01	0.01	44.14
ออกซิเจน	40.46	57.40	45.50	0.01
ค่าความร้อน (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)	11.91	12.40	15.91	15.60

4.5.3 ค่าสภาพต่าง (Alkalinity)

ผลการวิเคราะห์สภาพต่างของน้ำยางดำด้วยวิธี TAPPI Method T 624 โดยแบ่งสภาพต่างออกเป็น 3 แบบคือ สภาพต่างทั้งหมด (Total Alkali) สภาพต่างแอกทีฟ (Active Alkali) และร้อยละของแอกติวิตี (%activity) พบว่า น้ำยางดำมีค่าสภาพต่างทั้งหมด 3.95 กรัมต่อลิตร แสดงว่าน้ำยางดำมีปริมาณของโซเดียมคาร์บอเนต ซึ่งจำเป็นในการเปลี่ยนเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ ค่าสภาพต่างแอกทีฟ 0.58 กรัมต่อลิตรแสดงว่าน้ำยางดำมีปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์อยู่ด้วย ซึ่งอาจจะหลงเหลือมาจากกระบวนการย่อยเยื่อ และร้อยละของแอกติวิตี ร้อยละ 14.63 แสดงว่าน้ำยางดำมีความสามารถในการเปลี่ยนโซเดียมคาร์บอเนตไปเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้

4.2 การแก๊สซิฟิเคชันน้ำยางดำร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาไททานเต และแมงกานเต

จากการศึกษาความเป็นไปได้และสภาวะการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสมของการแก๊สซิฟิเคชันน้ำยางดำร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาไททานเตและแมงกานเต สามารถสรุปผลการทดลองความสัมพันธ์และความเหมาะสมของสภาวะต่างๆ ในการเกิดปฏิกิริยาค่าสภาพต่างของผลิตภัณฑ์ โดยการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะใช้ค่าสภาพต่างแอกทีฟซึ่งเป็นตัวแทนของการเกิดโซเดียมไฮดรอกไซด์ และค่าร้อยละของแอกติวิตีซึ่งแสดงถึงความสามารถในการเปลี่ยนจาก

โซเดียมคาร์บอเนตไปเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ โดยแบ่งการวิเคราะห์เป็น 4 ส่วน ประกอบด้วย ชนิดของสารตั้งต้น ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา ผลของอุณหภูมิ และระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา

4.2.1 ชนิดของสารตั้งต้น

ตัวอย่างน้ำยาดำที่ใช้ในการศึกษานั้นมาจากโรงงานที่ใช้กระบวนการโซดา เปรียบเทียบกับโซเดียมคาร์บอเนตซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำยาดำ และเป็นสารสำคัญที่จะเปลี่ยนไปเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ค่าสภาพต่าง ประกอบด้วย สภาพต่าง ทั้งหมด สภาพต่างแอกทีฟ และค่าร้อยละของแอกติวิตี้ ได้แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์สภาพต่างของโซเดียมคาร์บอเนต และน้ำยาดำ

สารตั้งต้น	สภาพต่าง ทั้งหมด (กรัมต่อลิตร)	สภาพต่าง แอกทีฟ (กรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ แอกติวิตี้ (ร้อยละ)
โซเดียมคาร์บอเนต	3.70	0.00	0.00
น้ำยาดำ	3.95	0.58	14.63

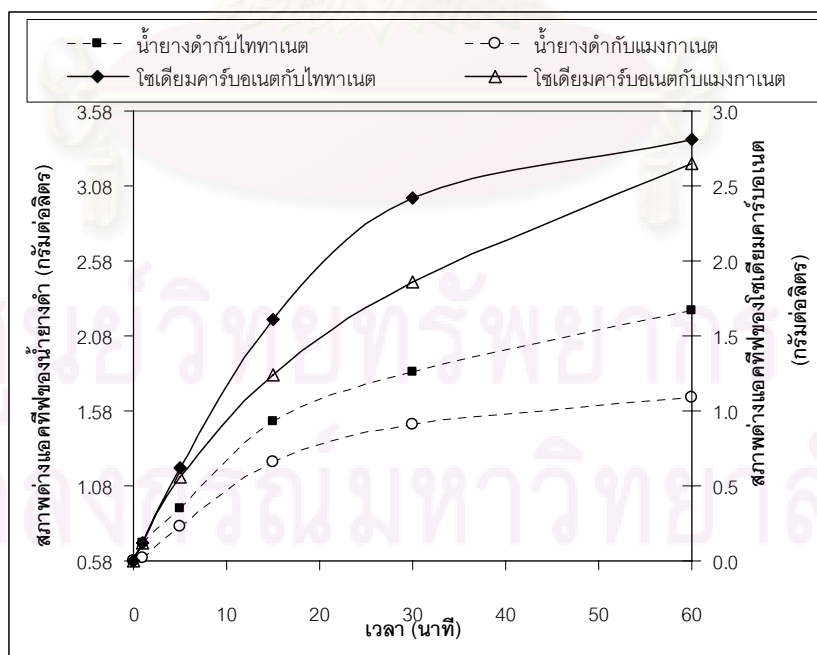
จากข้อมูล พบว่า โซเดียมคาร์บอเนต และน้ำยาดำมีค่าสภาพต่างทั้งหมดเป็น 3.70 และ 3.95 กรัมต่อลิตร เนื่องจากมีปริมาณของโซเดียมคาร์บอเนตเหมือนกันจึงทำให้มีค่าสภาพต่างทั้งหมดค่อนข้างสูง น้ำยาดำมีค่าสภาพต่างแอกทีฟเป็น 0.58 กรัมต่อลิตร แสดงให้เห็นว่าในน้ำยาดำนั้นมีปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์อยู่ก่อนแล้วจากน้ำยาย่อยเยื่อในกระบวนการย่อยเยื่อ ส่วนโซเดียมคาร์บอเนตมีค่าสภาพต่างแอกทีฟเป็น 0 กรัมต่อลิตร เพราะว่าเป็นโซเดียมคาร์บอเนตนั้นไม่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์ผสมอยู่จึงไม่มีค่าสภาพต่างแอกทีฟ ทำให้ร้อยละของแอกติวิตี้ของโซเดียมคาร์บอเนตเป็นร้อยละ 0 เพราะค่าร้อยละของแอกติวิตี้แสดงถึงค่าการเปลี่ยนจากโซเดียมคาร์บอเนตไปเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์

การศึกษาผลของสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยาที่เวลา 0, 1, 5, 15, 30 และ 60 นาที โดยใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 700 และ 900 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันและสภาวะก๊าซเหมือนกัน โดยผลการทดลองการแก๊สซิฟิเคชันน้ำยาดำ และโซเดียมคาร์บอเนตด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแมงกานีสและไททานีสแสดงดังรูปที่ 4.1-4.4

จากรูปที่ 4.1 ซึ่งแสดงค่าสภาพต่างแอกทีฟของการคอสติกไซเซชันโดยตรงของ โซเดียมคาร์บอเนตผสมกับไททานเนต และแมงกานเนต น้ำยางดำผสมไททานเนต และแมงกานเนต ที่ อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นการทำให้ปฏิกิริยาที่ 0, 1, 5, 15, 30 และ 60 นาที และให้มี จุดเริ่มต้นเดียวกัน โดยให้น้ำยางดำแสดงค่าสภาพต่างแอกทีฟเริ่มที่ 0.58 กรัมต่อลิตร ส่วนโซเดียม คาร์บอเนตเริ่มที่ 0 กรัมต่อลิตร

ค่าสภาพต่างแอกทีฟของโซเดียมคาร์บอเนตกับไททานเนต ที่ 0, 1, 5, 15, 30 และ 60 นาที เป็น 0, 0.12, 0.62, 1.61, 2.42 และ 2.81 กรัมต่อลิตรตามลำดับ ค่าสภาพต่างแอกทีฟ ของโซเดียมคาร์บอเนตกับแมงกานเนต ที่ 0, 1, 5, 15, 30 และ 60 นาที เป็น 0, 0.12, 0.56, 1.24, 1.86 และ 2.65 กรัมต่อลิตรตามลำดับ ค่าสภาพต่างแอกทีฟของน้ำยางดำกับไททานเนต ที่ 0, 1, 5, 15, 30 และ 60 นาที เป็น 0.58, 0.70, 0.93, 1.51, 1.84 และ 2.25 กรัมต่อลิตรตามลำดับ และค่า สภาพต่างแอกทีฟของน้ำยางดำกับแมงกานเนต ที่ 0, 1, 5, 15, 30 และ 60 นาที เป็น 0.58, 0.60, 0.81, 1.24, 1.49 และ 1.67 กรัมต่อลิตรตามลำดับ

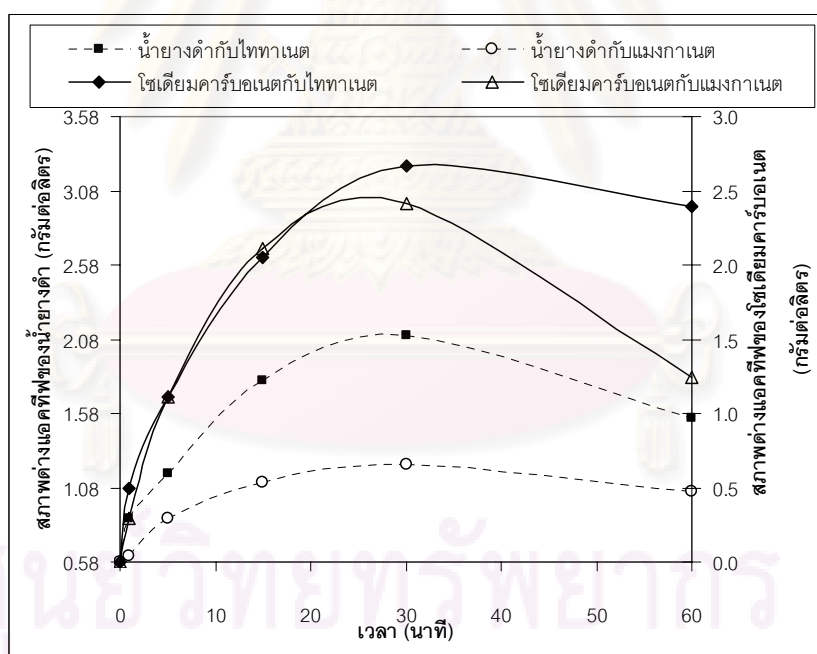
แสดงให้เห็นว่า น้ำยางดำ และโซเดียมคาร์บอเนตทำปฏิกิริยากับไททานเนตได้ดีที่ 700 องศาเซลเซียส ที่ 0-60 นาที โดยค่าสภาพต่างแอกทีฟเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ผ่านไป และโซเดียม คาร์บอเนตบริสุทธิ์นั้นทำปฏิกิริยาได้ดีกว่าน้ำยางดำ เนื่องจากการรบกวนจากสารเคมีอื่นที่ผสมอยู่ ในน้ำยางดำนั่นเอง



รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าสภาพต่างแอกทีฟ ที่เวลาต่างๆ และที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.2 ซึ่งแสดงสภาพต่างแอกทีฟของการคอสติกไซเซชันโดยตรงของ โซเดียมคาร์บอเนตผสมกับไททานเต และแมงกานเต น้ำยาดำผสมไททานเต และแมงกานเต ที่ อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ทำปฏิกิริยาที่เวลา 0, 1, 5, 15, 30 และ 60 นาที และให้มีจุดเริ่มต้น เดียวกัน โดยให้น้ำยาดำแสดงค่าสภาพต่างแอกทีฟเริ่มที่ 0.58 กรัมต่อลิตร ส่วนโซเดียม คาร์บอเนตเริ่มที่ 0 กรัมต่อลิตร

ค่าสภาพต่างแอกทีฟของโซเดียมคาร์บอเนตกับไททานเต ที่ 0, 1, 5, 15, 30 และ 60 นาที เป็น 0, 0.50, 1.12, 2.05, 2.67 และ 2.40 กรัมต่อลิตรตามลำดับ ค่าสภาพต่างแอกทีฟ ของโซเดียมคาร์บอเนตกับแมงกานเต ที่ 0, 1, 5, 15, 30 และ 60 นาที เป็น 0, 0.29, 1.12, 2.11, 2.42 และ 1.24 กรัมต่อลิตรตามลำดับ ค่าสภาพต่างแอกทีฟของน้ำยาดำกับไททานเต ที่ 0, 1, 5, 15, 30 และ 60 นาที เป็น 0.58, 0.87, 1.18, 1.80, 2.11 และ 1.55 กรัมต่อลิตรตามลำดับ และค่า สภาพต่างแอกทีฟของน้ำยาดำกับแมงกานเต ที่ 0, 1, 5, 15, 30 และ 60 นาที เป็น 0.58, 0.62, 0.87, 1.12, 1.24 และ 1.05 กรัมต่อลิตรตามลำดับ

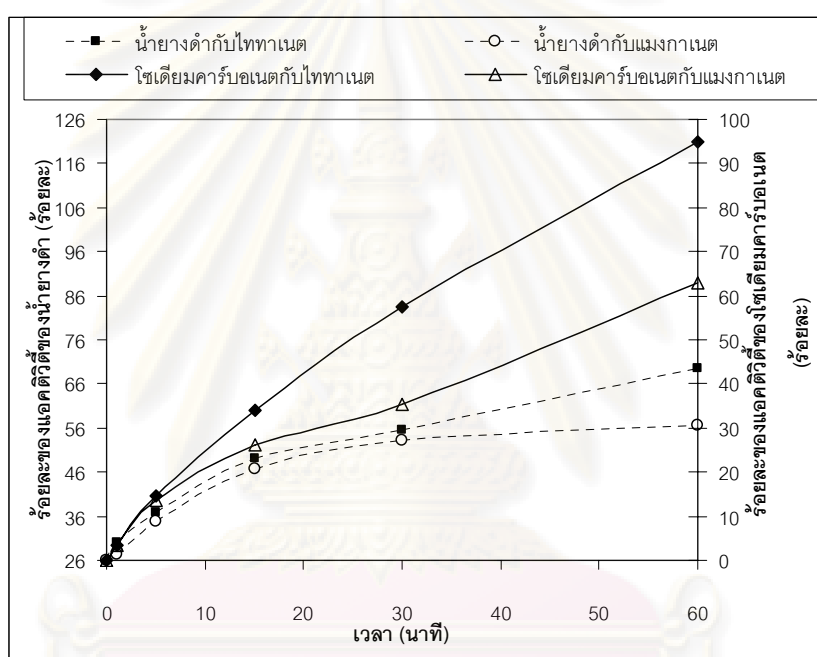


รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าสภาพต่างแอกทีฟ ที่เวลาต่างๆ และที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส

แสดงให้เห็นว่า น้ำยาดำ และโซเดียมคาร์บอเนตทำปฏิกิริยากับไททานเตได้ดีที่ 900 องศาเซลเซียส ที่ 0-30 นาที ซึ่งค่าสภาพต่างแอกทีฟเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเวลา ผ่านไปจนถึง 60 นาที ค่าสภาพต่างแอกทีฟกลับลดลง เนื่องจากผ่านจุดที่เหมาะสมในการทำ ปฏิกิริยาจึงทำให้ความสามารถในการเปลี่ยนจากโซเดียมคาร์บอเนตไปเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์

ลดลง และโซเดียมคาร์บอเนตบริสุทธิ์นั้นทำปฏิกิริยาได้ดีกว่าน้ำยาดำ เนื่องจากการรบกวนจากสารเคมีอื่นที่ผสมอยู่ในน้ำยาดำนั่นเอง

จากรูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของการคอสติกโซเซชั่นโดยตรงของโซเดียมคาร์บอเนตผสมกับไททาเนต และแมงกานีส น้ำยาดำผสมไททาเนต และแมงกานีส ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นการทำปฏิกิริยาที่ 0, 1, 5, 15, 30 และ 60 นาที และให้มีจุดเริ่มต้นเดียวกัน โดยให้น้ำยาดำแสดงค่าร้อยละของแอกติวิตี้เริ่มที่ร้อยละ 26.17 ส่วนโซเดียมคาร์บอเนตเริ่มที่ร้อยละ 0

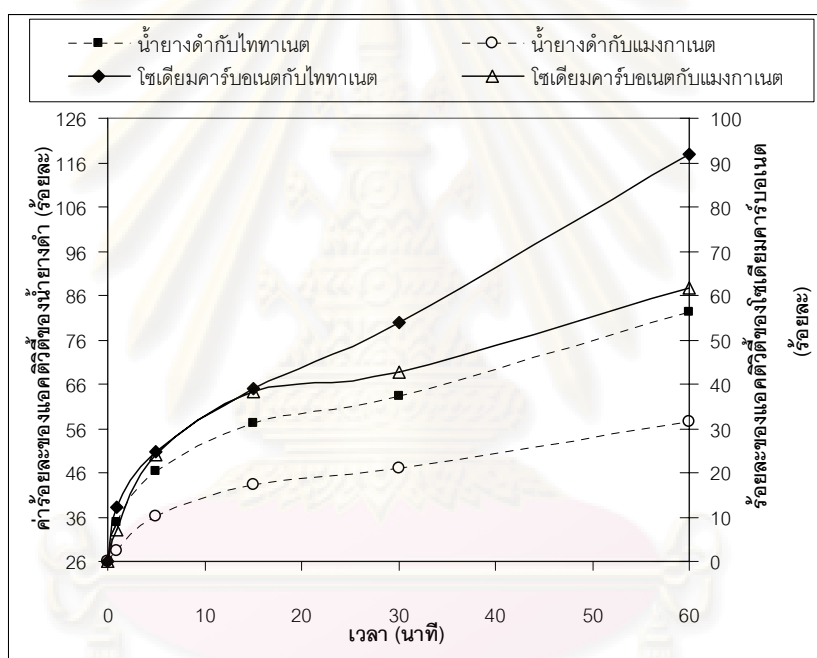


รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าร้อยละของแอกติวิตี้ ที่เวลาต่างๆ และที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

ค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของโซเดียมคาร์บอเนตกับไททาเนต ที่ 0, 1, 5, 15, 30 และ 60 นาที เป็น 0, 3.28, 14.65, 33.91, 57.35 และ 94.77 กรัมต่อลิตรตามลำดับ พบว่าโซเดียมคาร์บอเนตทำปฏิกิริยาได้ดีกับไททาเนตที่ 700 องศาเซลเซียส ที่ 0-60 นาที นั้นค่าร้อยละของแอกติวิตี้เพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น ค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของโซเดียมคาร์บอเนตกับแมงกานีส ที่ 0, 1, 5, 15, 30 และ 60 นาที เป็น 0, 3.33, 13.71, 26.32, 35.43 และ 63.05 กรัมต่อลิตรตามลำดับ พบว่าโซเดียมคาร์บอเนตทำปฏิกิริยาได้ดีกับแมงกานีสที่ 700 องศาเซลเซียส ที่ 0-60 นาที นั้นค่าร้อยละของแอกติวิตี้เพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น ค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของน้ำยาดำกับไททาเนต ที่ 0, 1, 5, 15, 30 และ 60 นาที เป็น 26.17, 30.36, 37.04, 49.32, 55.63 และ 69.87 กรัมต่อลิตรตามลำดับ พบว่าโซเดียมคาร์บอเนตทำปฏิกิริยาได้ดีกับแมงกานีสที่ 700 องศาเซลเซียส ที่ 0-60

นาที่ นั้นค่าร้อยละของแอกติวิตี้เพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น ค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของน้ำยางดำกับแมงกานีส ที่ 0, 1, 5, 15, 30 และ 60 นาที เป็น 26.17, 27.61, 34.98, 47.06, 53.55 และ 56.84 กรัมต่อลิตรตามลำดับ พบว่าโซเดียมคาร์บอเนตทำปฏิกิริยาได้ดีกับแมงกานีสที่ 700 องศาเซลเซียส ที่ 0-60 นาที นั้นค่าร้อยละของแอกติวิตี้เพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าที่ 700 องศาเซลเซียส ค่าสภาพต่างเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.4 ซึ่งแสดงค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของการคอสติกโซเซชันโดยตรงของโซเดียมคาร์บอเนตผสมกับไททานีต และแมงกานีส น้ำยางดำผสมไททานีต และแมงกานีส ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นการทำให้ปฏิกิริยาที่ 0, 1, 5, 15, 30 และ 60 นาที

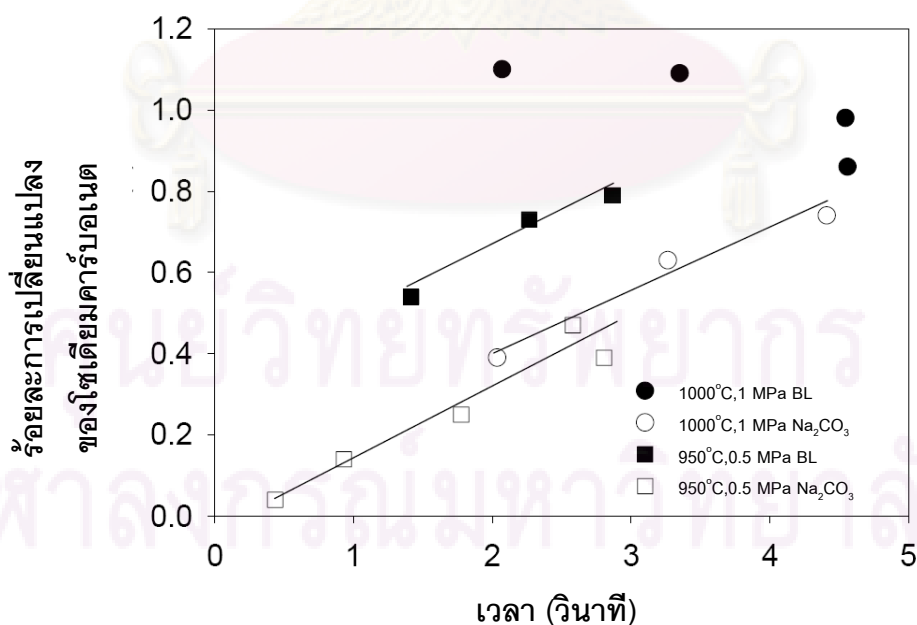


รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าร้อยละของแอกติวิตี้ ที่เวลาต่างๆ และที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส

โดยค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของโซเดียมคาร์บอเนตกับไททานีต ที่ 0, 1, 5, 15, 30 และ 60 นาที เป็น 0, 12.31, 24.83, 38.82, 53.86 และ 91.70 กรัมต่อลิตรตามลำดับ พบว่าโซเดียมคาร์บอเนตทำปฏิกิริยาได้ดีกับไททานีตที่ 900 องศาเซลเซียส ที่ 0-60 นาที นั้นค่าร้อยละของแอกติวิตี้เพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น ค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของโซเดียมคาร์บอเนตกับแมงกานีส ที่ 0, 1, 5, 15, 30 และ 60 นาที เป็น 0, 7.27, 24.05, 38.42, 42.62 และ 61.54 กรัมต่อลิตรตามลำดับ พบว่าโซเดียมคาร์บอเนตทำปฏิกิริยาได้ดีกับแมงกานีสที่ 900 องศาเซลเซียส ที่ 0-60 นาที นั้นค่าร้อยละของแอกติวิตี้เพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น ค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของน้ำยางดำกับไททานีต ที่ 0, 1, 5, 15, 30 และ 60 นาที เป็น 26.17, 34.85, 46.53, 57.43, 63.35 และ

82.42 กรัมต่อลิตรตามลำดับ พบว่าโซเดียมคาร์บอเนตทำปฏิกิริยาได้ดีกับแมงกานีสที่ 900 องศาเซลเซียส ที่ 0-60 นาที นั้นค่าร้อยละของแอกติวิตี้เพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น ค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของน้ำยาดำกับแมงกานีส ที่ 0, 1, 5, 15, 30 และ 60 นาที เป็น 26.17, 28.44, 36.36, 43.55, 47.06 และ 57.63 กรัมต่อลิตรตามลำดับ พบว่าโซเดียมคาร์บอเนตทำปฏิกิริยาได้ดีกับแมงกานีสที่ 900 องศาเซลเซียส ที่ 0-60 นาที นั้นค่าร้อยละของแอกติวิตี้เพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าที่ 900 องศาเซลเซียส ค่าสภาพต่างเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น

จากผลข้างต้น พบว่า ในช่วงเวลาสั้นๆ น้ำยาดำจะมีค่าสภาพต่างแอกทีฟ และร้อยละของแอกติวิตี้สูงกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ทั้งที่ทำปฏิกิริยากับไททานิต และแมงกานีส แต่เมื่อเวลาผ่านไปค่าสภาพต่างแอกทีฟ และร้อยละของแอกติวิตี้ของน้ำยาดำ กลับน้อยกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ทั้งที่ทำปฏิกิริยากับไททานิต และแมงกานีส ซึ่งคล้ายกับงานวิจัยของ Nohlgren, Sricharoenchaikul และคณะ (2003) ซึ่งทำคอสติกไซเซชันโดยตรงของน้ำยาดำ และโซเดียมคาร์บอเนต กับตัวเร่งปฏิกิริยาไททานิต ดังรูปที่ 4.5 เปรียบเทียบผลของค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของโซเดียมคาร์บอเนตไปเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ กับเวลา 0-5 วินาที โดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 950 และ 1000 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 และ 0.5 เมกะปาสคาล โดยเมื่อทำปฏิกิริยาพบว่า ค่าร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของโซเดียมคาร์บอเนต ในน้ำยาดำนั้นมีค่าสูงกว่าโซเดียมคาร์บอเนต ซึ่งเป็นเวลาสั้นๆ เหมือนกัน



รูปที่ 4.5 ผลของร้อยละของความเปลี่ยนแปลงของโซเดียมคาร์บอเนต ที่เวลา 0-5 วินาที

ของ Nohlgren, Sricharoenchaikul และคณะ (2003)

4.2.2 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา

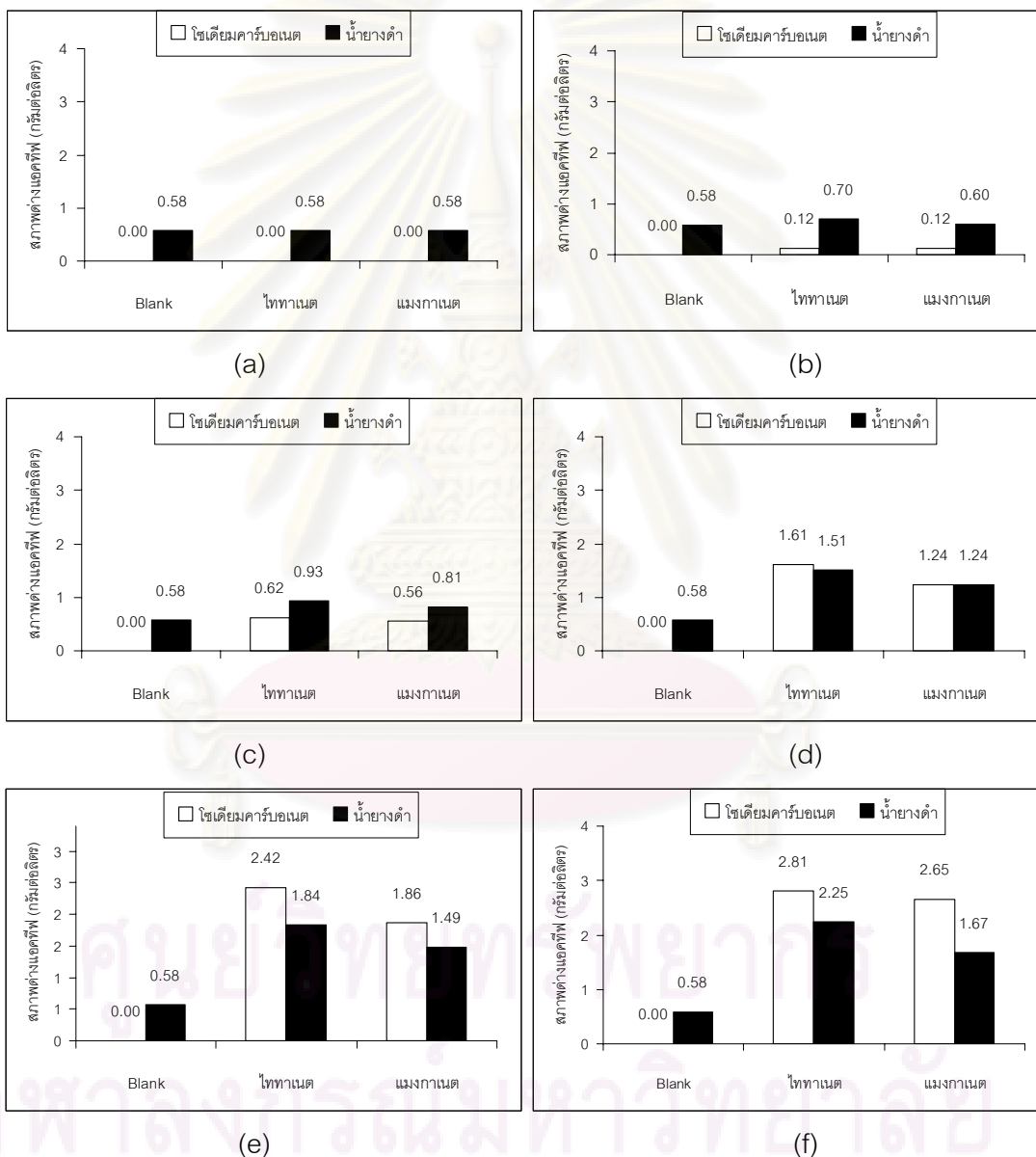
การวิจัยนี้ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไททานต และแมงกานต ใช้อัตราส่วนผสมกับน้ำยางดำและโซเดียมคาร์บอเนต โดยใช้ปริมาณไททานต 0.96 กรัมต่อน้ำยางดำแห้ง 1 กรัม, ไททานต 2.04 กรัมต่อโซเดียมคาร์บอเนต 1 กรัม, แมงกานต 0.97 กรัมต่อน้ำยางดำแห้ง 1 กรัม และแมงกานต 2.16 กรัมต่อโซเดียมคาร์บอเนต 1 กรัม และทำ blank ซึ่งใช้เพียงน้ำยางดำ และโซเดียมคาร์บอเนต โดยไม่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 700 และ 900 องศาเซลเซียส ที่สภาวะความดัน และก๊าซเดียวกัน ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.6-4.9

จากรูปที่ 4.6 ซึ่งแสดงค่าสภาพต่างแอกทีฟของการคอกสติกไซเซชันโดยตรงน้ำยางดำ และโซเดียมคาร์บอเนต ร่วมกับไททานต และแมงกานต ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส โดยรูปที่ 4.6 (a) เป็นการทำให้ปฏิกิริยาที่ 0 นาที พบว่าค่าสภาพต่างแอกทีฟของน้ำยางดำที่ไม่ผสมตัวเร่งผสมไททานต และแมงกานต เป็น 0.58 กรัมต่อลิตรเท่ากันทั้ง 3 อย่าง และโซเดียมคาร์บอเนตที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททานต และแมงกานต เป็น 0 กรัมต่อลิตรเท่ากันทั้ง 3 อย่าง เนื่องจากการเติมตัวเร่งโดยที่ไม่ได้ทำการแก๊สซิฟิเคชันจะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพต่างแอกทีฟแต่อย่างใด

แต่เมื่อดูรูปที่ 4.6 (b) - (f) พบว่าค่าสภาพต่างแอกทีฟเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยจากรูปที่ 4.6 (b) ค่าสภาพต่างแอกทีฟของน้ำยางดำที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททานต และแมงกานตที่ 1 นาทีเป็น 0.58, 0.70 และ 0.60 กรัมต่อลิตรตามลำดับ และค่าสภาพต่างแอกทีฟของโซเดียมคาร์บอเนตที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททานต และแมงกานตที่ 1 นาทีเป็น 0, 0.12 และ 0.12 กรัมต่อลิตรตามลำดับ รูปที่ 4.6 (c) ค่าสภาพต่างแอกทีฟของน้ำยางดำที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททานต และแมงกานตที่ 5 นาทีเป็น 0.58, 0.93 และ 0.81 กรัมต่อลิตรตามลำดับ และค่าสภาพต่างแอกทีฟของโซเดียมคาร์บอเนตที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททานต และแมงกานตที่ 5 นาทีเป็น 0, 0.62 และ 0.56 กรัมต่อลิตรตามลำดับ รูปที่ 4.6 (d) ค่าสภาพต่างแอกทีฟของน้ำยางดำที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททานต และแมงกานตที่ 15 นาทีเป็น 0.58, 1.51 และ 1.24 กรัมต่อลิตรตามลำดับ และค่าสภาพต่างแอกทีฟของโซเดียมคาร์บอเนตที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททานต และแมงกานตที่ 15 นาทีเป็น 0, 1.61 และ 1.24 กรัมต่อลิตรตามลำดับ รูปที่ 4.6 (e) ค่าสภาพต่างแอกทีฟของน้ำยางดำที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททานต และแมงกานตที่ 30 นาทีเป็น 0.58, 1.84 และ 1.49 กรัมต่อลิตรตามลำดับ และค่าสภาพต่างแอกทีฟของโซเดียมคาร์บอเนตที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททานต และแมงกานตที่ 30 นาทีเป็น 0, 2.42 และ 1.86 กรัมต่อลิตรตามลำดับ รูปที่ 4.6 (f) ค่าสภาพต่างแอกทีฟของน้ำยางดำที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททานต และแมงกานตที่ 60 นาทีเป็น 0.58, 2.25 และ

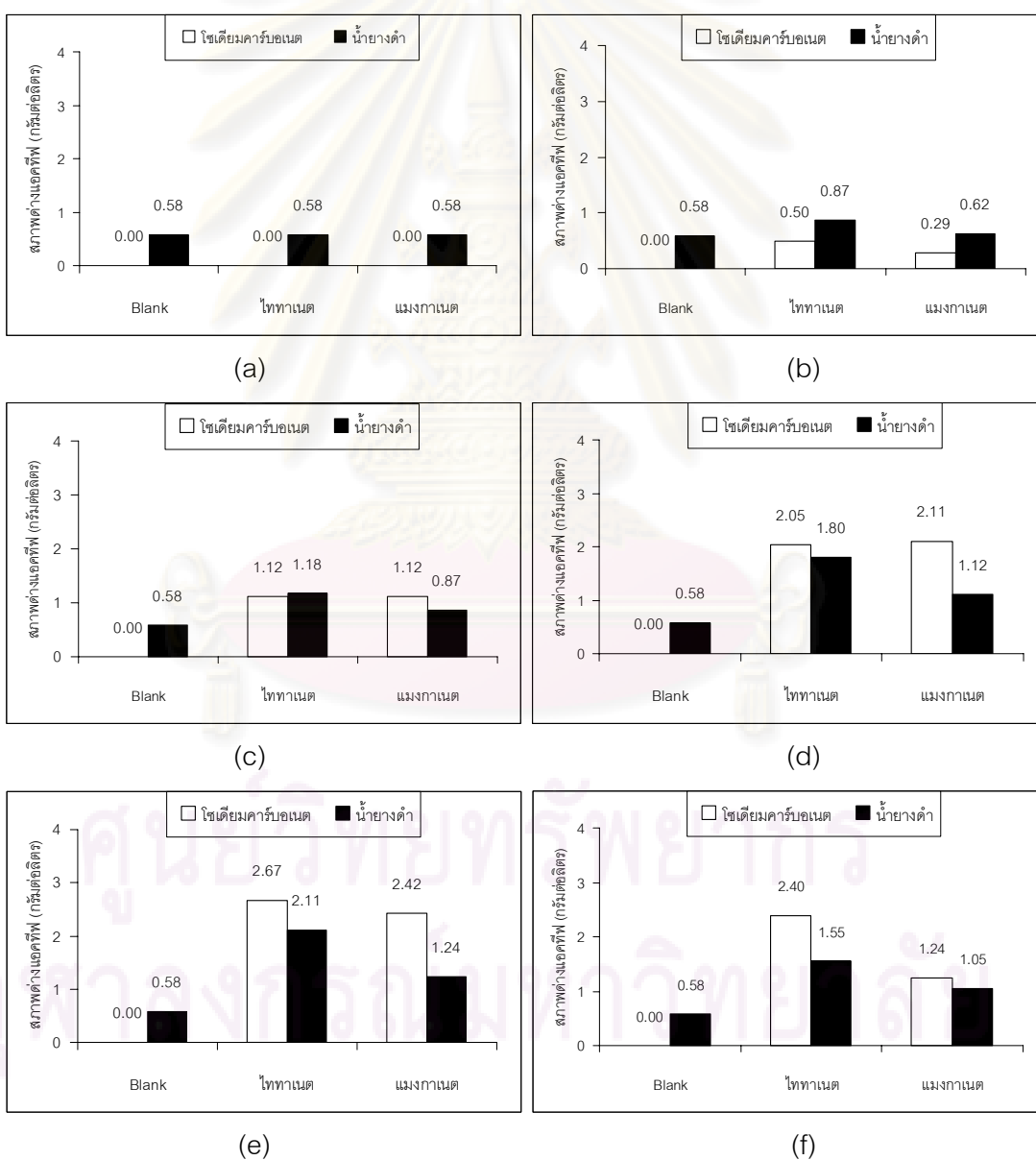
1.67 กรัมต่อลิตรตามลำดับ และค่าสภาพต่างแอกทีฟของโซเดียมคาร์บอเนตที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททานิต และแมงกานิตที่ 60 นาทีเป็น 0, 2.81 และ 2.65 กรัมต่อลิตรตามลำดับ

แสดงให้เห็นว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาไททานิต และแมงกานิตนั้นมีผลกับน้ำยางดำ และโซเดียมคาร์บอเนต เมื่อทำการแก๊สซิฟิเคชันที่ 700 องศาเซลเซียส โดยค่าสภาพต่างแอกทีฟจะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ผ่านไป



รูปที่ 4.6 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อค่าสภาพต่างแอกทีฟ ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ (a) 0 นาที (b) 1 นาที (c) 5 นาที (d) 15 นาที (e) 30 นาที และ (f) 60 นาที

จากรูปที่ 4.7 ซึ่งแสดงค่าสภาพต่างแอดคทีฟของกรคาร์บอนดิกไซเซชันโดยตรงน้ำยางดำ และโซเดียมคาร์บอเนต ร่วมกับไททานิต และแมงกานีส ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส โดยรูปที่ 4.7 (a) เป็นการทำให้ปฏิกิริยาที่ 0 นาที พบว่าค่าสภาพต่างแอดคทีฟของน้ำยางดำที่ไม่ผสมตัวเร่งผสมไททานิต และแมงกานีส เป็น 0.58 กรัมต่อลิตรเท่ากันทั้ง 3 อย่าง และโซเดียมคาร์บอเนตที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททานิต และแมงกานีส เป็น 0 กรัมต่อลิตรเท่ากันทั้ง 3 อย่าง เนื่องจากการเติมตัวเร่งโดยที่ไม่ได้ทำการแก๊สซิฟิเคชันไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพต่างแอดคทีฟเช่นเดียวกับที่ 900 องศาเซลเซียส



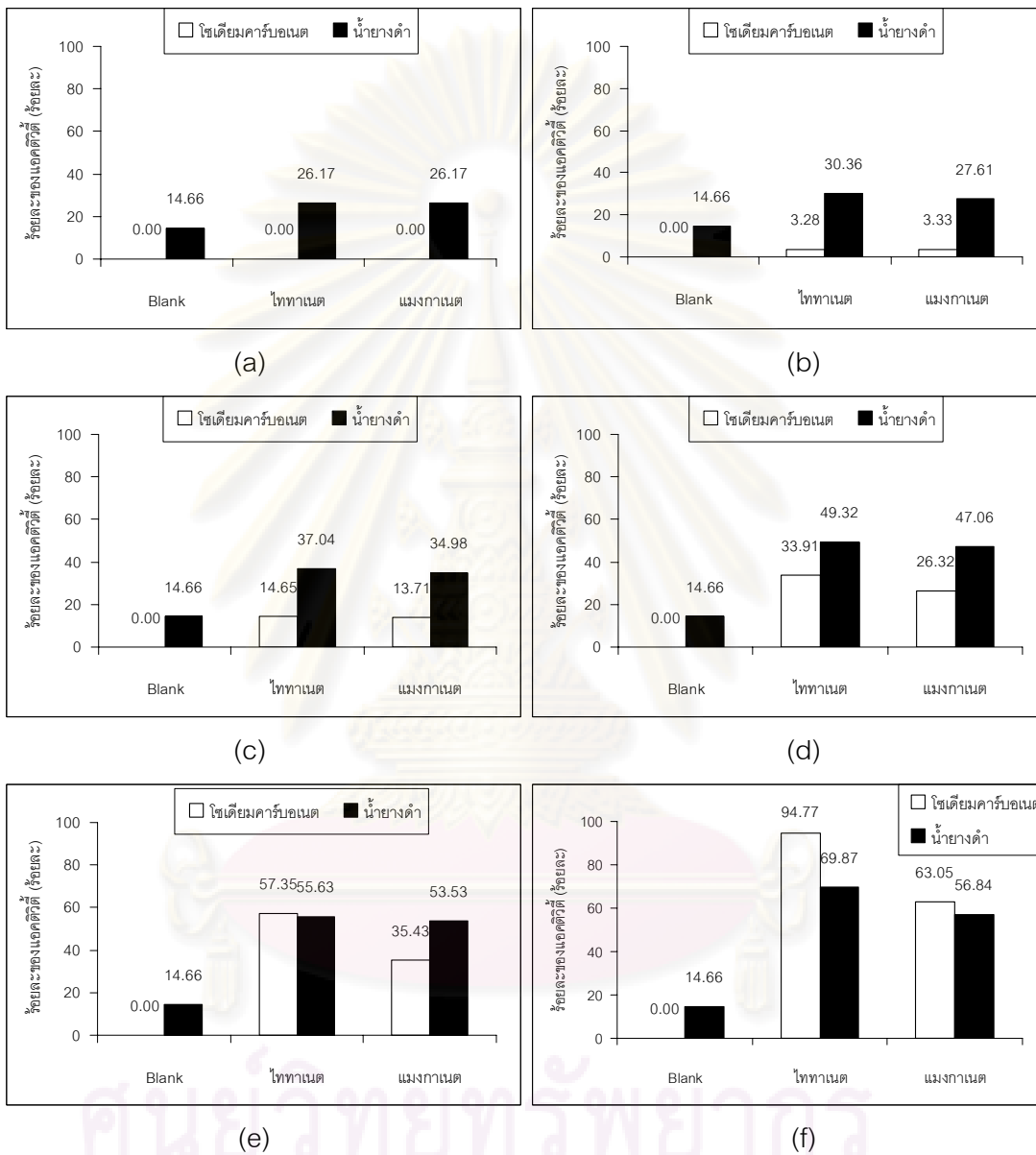
รูปที่ 4.7 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อค่าสภาพต่างแอดคทีฟ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ (a) 0 นาที (b) 1 นาที (c) 5 นาที (d) 15 นาที (e) 30 นาที และ (f) 60 นาที

แต่เมื่อดูรูปที่ 4.7 (b)-(e) พบว่าค่าสภาพต่างแอกทีฟเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยจากรูปที่ 4.7 (b) ค่าสภาพต่างแอกทีฟของน้ำยาดำที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีสที่ 1 นาที่เป็น 0.58, 0.87 และ 0.62 กรัมต่อลิตรตามลำดับ และค่าสภาพต่างแอกทีฟของโซเดียมคาร์บอเนตที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีสที่ 1 นาที่เป็น 0, 0.50 และ 0.29 กรัมต่อลิตรตามลำดับ รูปที่ 4.7 (c) ค่าสภาพต่างแอกทีฟของน้ำยาดำที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีสที่ 5 นาที่เป็น 0.58, 1.18 และ 0.87 กรัมต่อลิตรตามลำดับ และค่าสภาพต่างแอกทีฟของโซเดียมคาร์บอเนตที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีสที่ 5 นาที่เป็น 0, 1.12 และ 1.12 กรัมต่อลิตรตามลำดับ รูปที่ 4.7 (d) ค่าสภาพต่างแอกทีฟของน้ำยาดำที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีสที่ 15 นาที่เป็น 0.58, 1.80 และ 1.12 กรัมต่อลิตรตามลำดับ และค่าสภาพต่างแอกทีฟของโซเดียมคาร์บอเนตที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีสที่ 15 นาที่เป็น 0, 2.05 และ 2.11 กรัมต่อลิตรตามลำดับ รูปที่ 4.7 (e) ค่าสภาพต่างแอกทีฟของน้ำยาดำที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีสที่ 30 นาที่เป็น 0.58, 2.11 และ 1.24 กรัมต่อลิตรตามลำดับ และค่าสภาพต่างแอกทีฟของโซเดียมคาร์บอเนตที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีสที่ 30 นาที่เป็น 0, 2.67 และ 2.42 กรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนรูปที่ 4.7 (f) ค่าสภาพต่างแอกทีฟของน้ำยาดำที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีสที่ 60 นาที่เป็น 0.58, 1.55 และ 1.05 กรัมต่อลิตรตามลำดับ และค่าสภาพต่างแอกทีฟของโซเดียมคาร์บอเนตที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีสที่ 60 นาที่เป็น 0, 2.40 และ 1.24 กรัมต่อลิตรตามลำดับ

แสดงให้เห็นว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาไททาเนต และแมงกานีสนั้นมีผลกับน้ำยาดำ และโซเดียมคาร์บอเนต เมื่อทำการแก๊สซิฟิเคชันที่ 900 องศาเซลเซียส โดยค่าสภาพต่างแอกทีฟจะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ผ่านไป แต่เมื่อผ่านจุดที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา พบว่าค่าสภาพต่างแอกทีฟลดลง เนื่องจากผ่านจุดที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา เนื่องจากความสามารถในการเปลี่ยนจากโซเดียมคาร์บอเนตไปเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ลดลง

จากรูปที่ 4.8 ซึ่งแสดงค่าร้อยละของแอกติวิตีของการคอสติกไซเซชันโดยตรงน้ำยาดำ และโซเดียมคาร์บอเนต ร่วมกับไททาเนต และแมงกานีส ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส โดยรูปที่ 4.8 (a) เป็นการทำการปฏิกิริยาที่ 0 นาที่ พบว่าค่าร้อยละของแอกติวิตีของน้ำยาดำที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีส เป็นร้อยละ 14.66, 26.17 และ 26.17 ตามลำดับ และโซเดียมคาร์บอเนตที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีส เป็นร้อยละ 0 เท่ากันทั้ง 3 อย่าง เนื่องจากการเติมตัวเร่งโดยที่ไม่ได้ทำการแก๊สซิฟิเคชันไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพต่างแอกทีฟ แต่มีผลต่อสภาพต่างทั้งหมดมีค่าลดลงจึงส่งผลให้ค่าร้อยละของแอกติวิตีเพิ่มขึ้นในน้ำ

ยางดำ ส่วนโซเดียมคาร์บอเนตนั้นมีค่าสภาพต่างแอกทีฟเป็น 0 กรัมต่อลิตรอยู่แล้วค่าร้อยละของแอกติวิตี้จึงไม่เปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4.8 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อค่าร้อยละของแอกติวิตี้ ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

ที่เวลาต่างๆ (a) 0 นาที (b) 1 นาที (c) 5 นาที (d) 15 นาที (e) 30 นาที และ (f) 60 นาที

เมื่อดูรูปที่ 4.8 (b)-(f) พบว่าค่าร้อยละของแอกติวิตี้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยจากรูปที่ 4.8 (b) ค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของน้ำยางดำที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททานด์ และแมงกานด์ที่ 1 นาทีเป็นร้อยละ 14.66, 30.36 และ 27.61 ตามลำดับ และค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของโซเดียมคาร์บอเนตที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททานด์ และแมงกานด์ที่ 1 นาทีเป็นร้อยละ

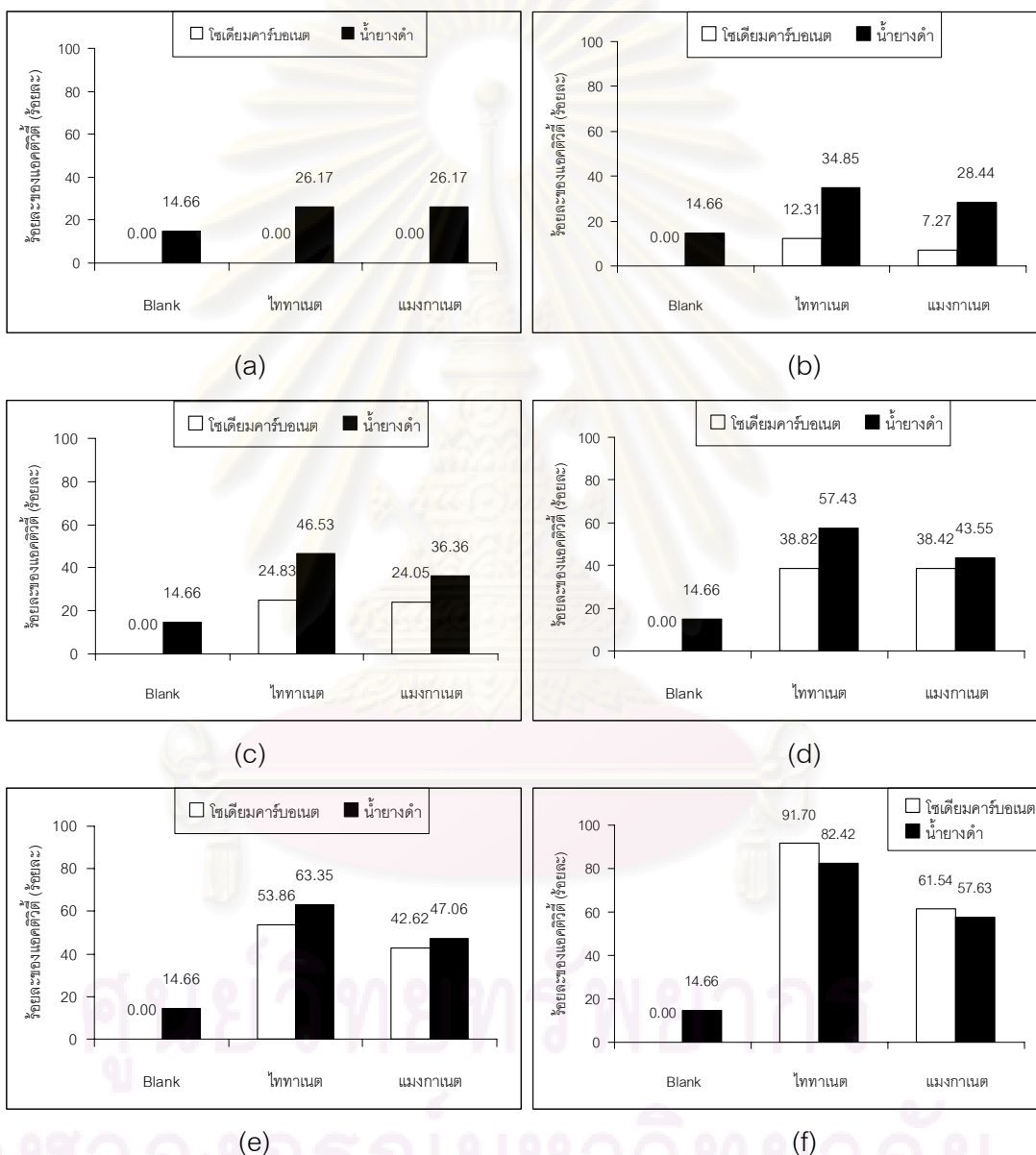
0, 3.28 และ 3.33 ตามลำดับ รูปที่ 4.8 (c) ค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของน้ำยาดำที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีสที่ 5 นาทีเป็นร้อยละ 14.66, 49.32 และ 34.98 ตามลำดับ และค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของโซเดียมคาร์บอเนตที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีสที่ 5 นาทีเป็นร้อยละ 0, 14.65 และ 13.71 ตามลำดับ รูปที่ 4.8 (d) ค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของน้ำยาดำที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีสที่ 15 นาทีเป็นร้อยละ 14.66, 49.32 และ 47.06 ตามลำดับ และค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของโซเดียมคาร์บอเนตที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีสที่ 15 นาทีเป็นร้อยละ 0, 33.91 และ 26.32 ตามลำดับ รูปที่ 4.8 (e) ค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของน้ำยาดำที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีสที่ 30 นาทีเป็นร้อยละ 14.66, 55.63 และ 53.53 ตามลำดับ และค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของโซเดียมคาร์บอเนตที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีสที่ร้อยละ 30 นาทีเป็น 0, 57.35 และ 35.43 ตามลำดับ รูปที่ 4.8 (f) ค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของน้ำยาดำที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีสที่ 60 นาทีเป็นร้อยละ 14.66, 69.87 และ 56.84 ตามลำดับ และค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของโซเดียมคาร์บอเนตที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีสที่ 60 นาทีเป็นร้อยละ 0, 94.77 และ 63.05 ตามลำดับ

แสดงให้เห็นว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาไททาเนต และแมงกานีสนั้นมีผลกับน้ำยาดำ และโซเดียมคาร์บอเนต เมื่อทำการแก๊สซิฟิเคชันที่ 700 องศาเซลเซียส โดยค่าร้อยละของแอกติวิตี้จะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ผ่านไป

จากรูปที่ 4.9 ซึ่งแสดงค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของการคอสติกไซเซชันโดยตรงน้ำยาดำ และโซเดียมคาร์บอเนต ร่วมกับไททาเนต และแมงกานีส ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส โดยรูปที่ 4.9 (a) เป็นการทำให้ปฏิกิริยาที่ 0 นาที พบว่าค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของน้ำยาดำที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีส เป็นร้อยละ 14.66, 26.17 และ 26.17 ตามลำดับ และโซเดียมคาร์บอเนตที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีส เป็นร้อยละ 0 เท่ากันทั้ง 3 อย่าง เนื่องจากการเติมตัวเร่งโดยที่ไม่ได้ทำการแก๊สซิฟิเคชันไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพต่างแอกทีฟ แต่มีผลต่อสภาพต่างทั้งหมดมีค่าลดลงจึงส่งผลให้ค่าร้อยละของแอกติวิตี้เพิ่มขึ้นในน้ำยาดำ ส่วนโซเดียมคาร์บอเนตนั้นมีค่าสภาพต่างแอกทีฟเป็น 0 กรัมต่อลิตรอยู่แล้วค่าร้อยละของแอกติวิตี้จึงไม่เปลี่ยนแปลง

เมื่อดูรูปที่ 4.9 (b)-(f) พบว่าค่าร้อยละของแอกติวิตี้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยจากรูปที่ 4.9 (b) ค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของน้ำยาดำที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีสที่ 1 นาทีเป็นร้อยละ 14.66, 34.85 และ 28.44 ตามลำดับ และค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของโซเดียมคาร์บอเนตที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีสที่ 1 นาทีเป็นร้อยละ

0, 12.31 และ 7.27 ตามลำดับ รูปที่ 4.9 (c) ค่าร้อยละของแอดติวิตี้ของน้ำยาดำที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีสที่ 5 นาทีเป็นร้อยละ 14.66, 46.53 และ 36.36 ตามลำดับ และค่า ร้อยละของแอดติวิตี้ของโซเดียมคาร์บอเนตที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีสที่ 5 นาที เป็นร้อยละ 0, 24.83 และ 24.05 ตามลำดับ

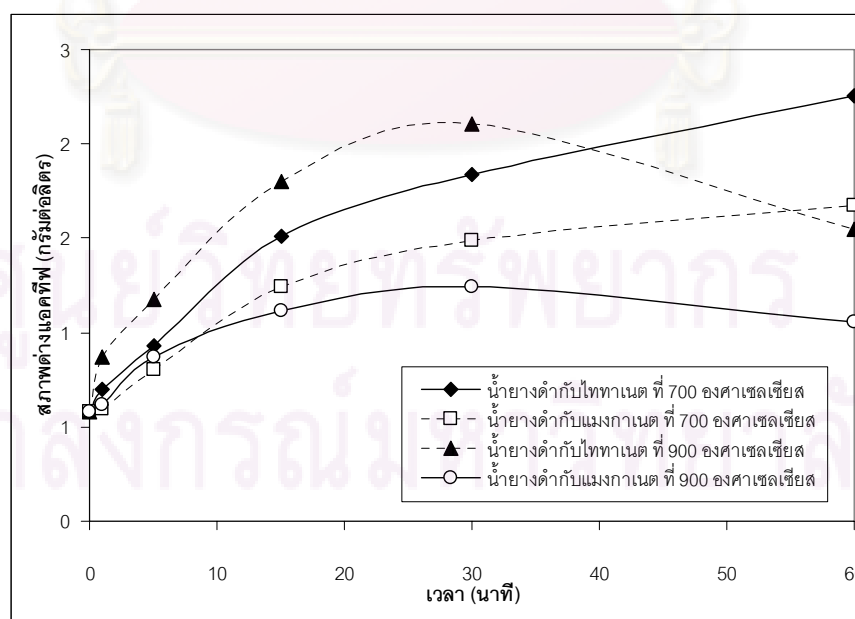


รูปที่ 4.9 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อค่าร้อยละของแอดติวิตี้ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ที่เวลา ต่างๆ (a) 0 นาที (b) 1 นาที (c) 5 นาที (d) 15 นาที (e) 30 นาที และ (f) 60 นาที

รูปที่ 4.9 (d) ค่าร้อยละของแอดติวิตี้ของน้ำยาดำที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีสที่ 15 นาทีเป็นร้อยละ 14.66, 57.43 และ 43.55 ตามลำดับ และค่าร้อยละของแอด

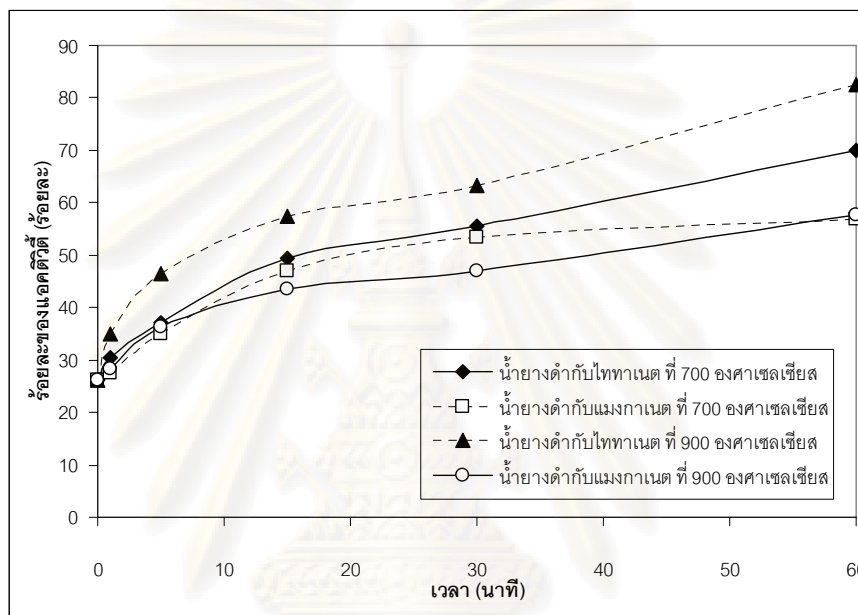
คิติวิตีของโซเดียมคาร์บอเนตที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีสที่ 15 นาทีเป็นร้อยละ 0, 38.82 และ 38.42 ตามลำดับ รูปที่ 4.9 (e) ค่าร้อยละของแอกติวิตีของน้ำยาดำที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีสที่ 30 นาทีเป็นร้อยละ 14.66, 63.35 และ 47.06 ตามลำดับ และค่าร้อยละของแอกติวิตีของโซเดียมคาร์บอเนตที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีสที่ร้อยละ 30 นาทีเป็น 0, 53.86 และ 42.62 ตามลำดับ รูปที่ 4.9 (f) ค่าร้อยละของแอกติวิตีของน้ำยาดำที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีสที่ 60 นาทีเป็นร้อยละ 14.66, 82.42 และ 57.63 ตามลำดับ และค่าร้อยละของแอกติวิตีของโซเดียมคาร์บอเนตที่ไม่ผสมตัวเร่ง ผสมไททาเนต และแมงกานีสที่ 60 นาทีเป็นร้อยละ 0, 91.70 และ 61.54 ตามลำดับ แสดงว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาไททาเนต และแมงกานีสนั้นมีผลกับน้ำยาดำ และโซเดียมคาร์บอเนต เมื่อทำการแก๊สซิฟิเคชันที่ 900 องศาเซลเซียส โดยค่าร้อยละแอกติวิตีจะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ผ่านไป

เมื่อนำค่าสภาพต่างแอกทีฟ และค่าร้อยละแอกติวิตีมาเปรียบเทียบกัน ที่เวลา และอุณหภูมิต่างๆ ดังรูปที่ 4.10-4.11 โดยจากรูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบค่าสภาพต่างแอกทีฟของน้ำยาดำกับตัวเร่งปฏิกิริยาไททาเนต และแมงกานีส พบว่าค่าสภาพต่างแอกทีฟของน้ำยาดำกับไททาเนตมีปริมาณสูงกว่าน้ำยาดำกับแมงกานีส โดยค่าสูงสุดของค่าสภาพต่างแอกทีฟของการทำปฏิกิริยาน้ำยาดำกับไททาเนต ที่ 700 และ 900 องศาเซลเซียส คือ 2.25 และ 2.11 กรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนค่าสูงสุดของค่าสภาพต่างแอกทีฟของการทำปฏิกิริยาน้ำยาดำกับแมงกานีสที่ 700 และ 900 องศาเซลเซียส คือ 1.67 และ 1.24 กรัมต่อลิตรตามลำดับ



รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบค่าสภาพต่างแอกทีฟของคอสติกโซเซชันน้ำยาดำกับไททาเนต และแมงกานีส ที่อุณหภูมิเวลา 700 และ 900 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ

จากรูปที่ 4.11 พบว่าค่าร้อยละของแอกติวิตี้ หรือค่าร้อยละของการเปลี่ยนแปลงไฮเดียมคาร์บอเนต ที่การทำปฏิกิริยาน้ำยาดำกับไททาเนตมีค่าสูงกว่าการทำปฏิกิริยาน้ำยาดำกับแมงกานีส โดยค่าสูงสุดของการทำปฏิกิริยาน้ำยาดำกับไททาเนต ที่อุณหภูมิ 700 และ 900 องศาเซลเซียส คือร้อยละ 69.87 และ 82.42 ตามลำดับ และค่าสูงสุดของการทำปฏิกิริยาน้ำยาดำกับแมงกานีส ที่อุณหภูมิ 700 และ 900 องศาเซลเซียส คือร้อยละ 56.84 และ 57.63 ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบค่าร้อยละแอกติวิตี้ของคอสติกไฮเซชันน้ำยาดำกับไททาเนตและแมงกานีส ที่อุณหภูมิเวลา 700 และ 900 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ

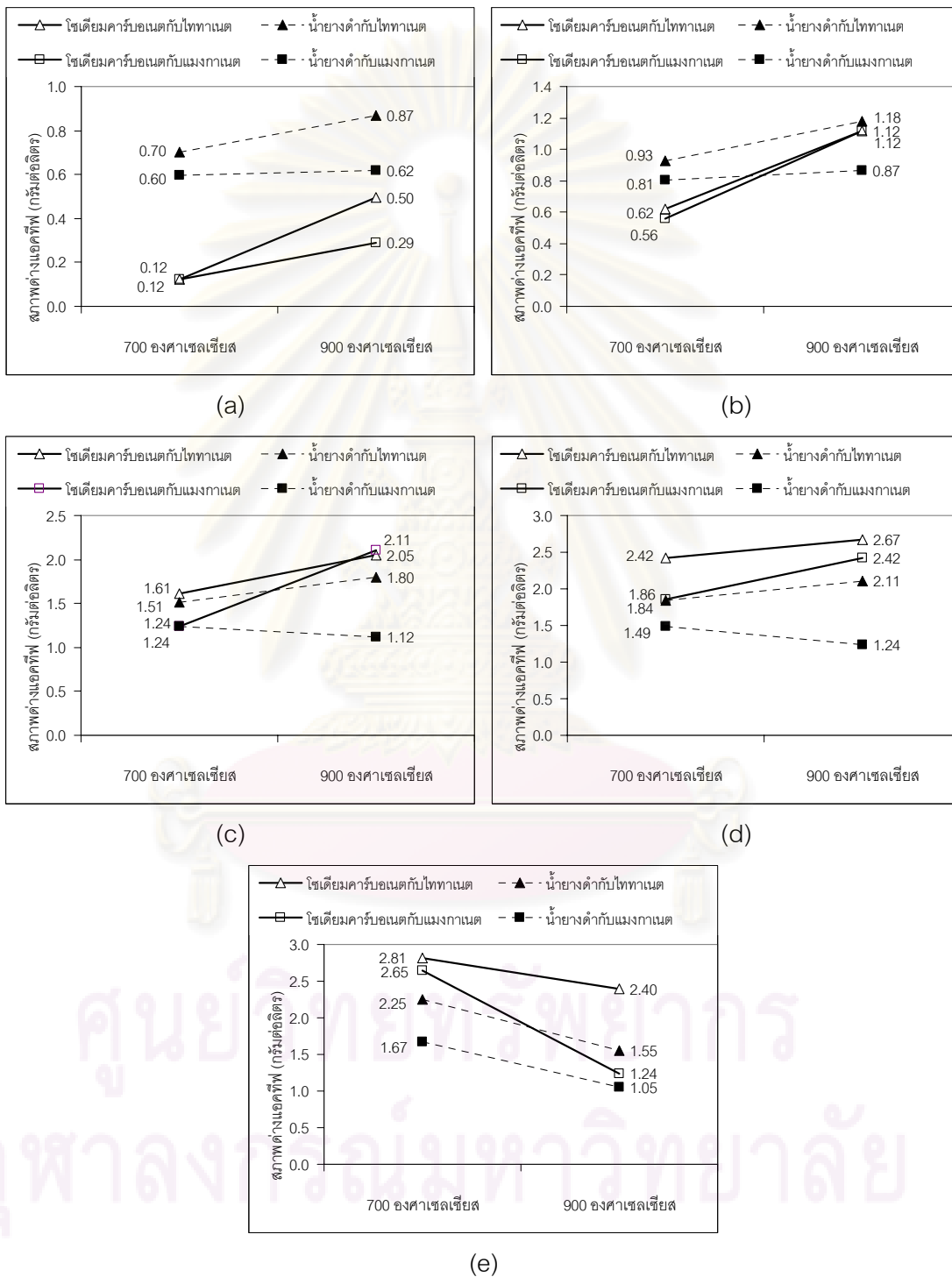
เมื่อพิจารณาแล้วพบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาไททาเนตทำปฏิกิริยาได้ดีกว่าแมงกานีส โดยมีค่าร้อยละของแอกติวิตี้สูงสุดของการทำปฏิกิริยาของน้ำยาดำกับไททาเนต มีค่าร้อยละ 82.42 ส่วนค่าร้อยละของแอกติวิตี้สูงสุดของการทำปฏิกิริยาของน้ำยาดำกับแมงกานีส มีค่าร้อยละ 57.63 ซึ่งเหมือนกับงานวิจัยของ Nohlgren, Sinquefield และคณะ (2004) ที่ศึกษาการทำคอสติกไฮเซชันโดยตรงระหว่างที่อุณหภูมิต่ำ และสูง ระหว่างน้ำยาดำกับไททาเนต และแมงกานีส ซึ่งพบว่าค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของไฮเดียมคาร์บอเนตทำปฏิกิริยาสมบูรณ์ที่ร้อยละ 65 ส่วนแมงกานีสมีค่าร้อยละ 45 แสดงว่าไททาเนตสามารถทำปฏิกิริยาได้ดีกว่าแมงกานีสเช่นกัน

4.2.3 ผลของอุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา

การศึกษาผลของอุณหภูมิที่แตกต่างกันโดยใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 700 และ 900 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน และสภาวะก๊าซเหมือนกัน ที่เวลา 1, 5, 15, 30 และ 60 นาที โดยผลการทดลองการแก๊สซิพีเคชันน้ำยาดำ และโซเดียมคาร์บอเนตด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแมงกานีสและไททาเนตแสดงดังรูปที่ 4.12 และ 4.13

จากรูปที่ 4.12 ซึ่งแสดงค่าสภาพต่างแอกทีฟของการคอกสติกไซเซชันโดยตรงน้ำยาดำ และโซเดียมคาร์บอเนต ร่วมกับไททาเนต และแมงกานีส โดยจากรูปที่ 4.12 (a) ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ค่าสภาพต่างแอกทีฟของน้ำยาดำผสมไททาเนต กับแมงกานีส และโซเดียมคาร์บอเนตผสมไททาเนต กับแมงกานีสที่ 1 นาทีเป็น 0.70, 0.60, 0.12 และ 0.12 กรัมต่อลิตรตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ค่าสภาพต่างแอกทีฟของน้ำยาดำผสมไททาเนต กับแมงกานีส และโซเดียมคาร์บอเนตผสมไททาเนต กับแมงกานีสที่ 1 นาทีเป็น 0.87, 0.62, 0.50 และ 0.29 กรัมต่อลิตรตามลำดับ รูปที่ 4.12 (b) ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ค่าสภาพต่างแอกทีฟของน้ำยาดำผสมไททาเนต กับแมงกานีส และโซเดียมคาร์บอเนตผสมไททาเนต กับแมงกานีสที่ 5 นาทีเป็น 0.93, 0.81, 0.62 และ 0.56 กรัมต่อลิตรตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ค่าสภาพต่างแอกทีฟของน้ำยาดำผสมไททาเนต กับแมงกานีส และโซเดียมคาร์บอเนตผสมไททาเนต กับแมงกานีสที่ 5 นาทีเป็น 1.18, 0.87, 1.12 และ 1.12 กรัมต่อลิตรตามลำดับ รูปที่ 4.12 (c) ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ค่าสภาพต่างแอกทีฟของน้ำยาดำผสมไททาเนต กับแมงกานีส และโซเดียมคาร์บอเนตผสมไททาเนต กับแมงกานีสที่ 15 นาทีเป็น 1.51, 1.24, 1.61 และ 1.24 กรัมต่อลิตรตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ค่าสภาพต่างแอกทีฟของน้ำยาดำผสมไททาเนต กับแมงกานีส และโซเดียมคาร์บอเนตผสมไททาเนต กับแมงกานีสที่ 15 นาทีเป็น 1.80, 1.12, 2.05 และ 2.11 กรัมต่อลิตรตามลำดับ รูปที่ 4.12 (d) ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ค่าสภาพต่างแอกทีฟของน้ำยาดำผสมไททาเนต กับแมงกานีส และโซเดียมคาร์บอเนตผสมไททาเนต กับแมงกานีสที่ 30 นาทีเป็น 1.84, 1.49, 2.42 และ 1.86 กรัมต่อลิตรตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ค่าสภาพต่างแอกทีฟของน้ำยาดำผสมไททาเนต กับแมงกานีส และโซเดียมคาร์บอเนตผสมไททาเนต กับแมงกานีสที่ 30 นาทีเป็น 2.11, 1.24, 2.67 และ 2.42 กรัมต่อลิตรตามลำดับ รูปที่ 4.12 (e) ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ค่าสภาพต่างแอกทีฟของน้ำยาดำผสมไททาเนต กับแมงกานีส และโซเดียมคาร์บอเนตผสมไททาเนต กับแมงกานีสที่ 60 นาทีเป็น 2.25, 1.67, 2.81 และ 2.65 กรัมต่อลิตรตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ค่าสภาพต่างแอกทีฟของน้ำยาดำผสมไททาเนต กับแมงกานีส และ

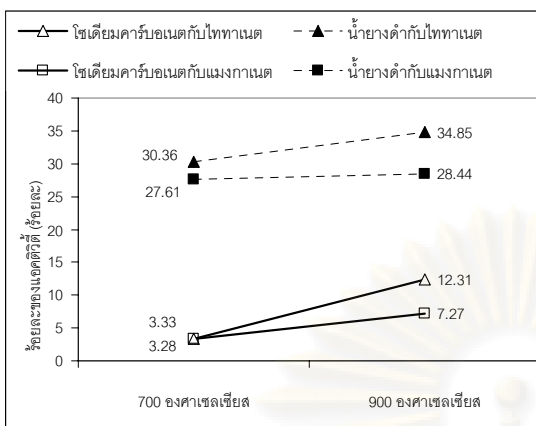
โซเดียมคาร์บอเนตผสมไททานเนต กับแมงกานีสที่ 60 นาทีเป็น 1.55, 1.05, 2.40 และ 1.24 กรัมต่อลิตรตามลำดับ



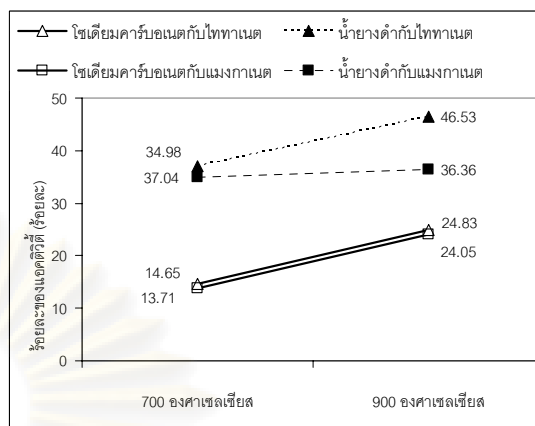
รูปที่ 4.12 ผลของอุณหภูมิต่อค่าสภาพต่างแอกทีฟ ที่เวลาต่างๆ (a) 1 นาที (b) 5 นาที (c) 15 นาที (d) 30 นาที และ (e) 60 นาที

จากรูปที่ 2.12 (a) และ (b) พบว่า ค่าสภาพต่างแอกทีฟจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่จากรูปที่ 2.12 (c)-(e) สภาพต่างแอกทีฟกลับลดลง เนื่องจากอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงทำให้เมื่อเวลาผ่านไปความสามารถในการเปลี่ยนจากโซเดียมคาร์บอเนตไปเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ลดลงจึงทำให้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ลดลงตามไปด้วย

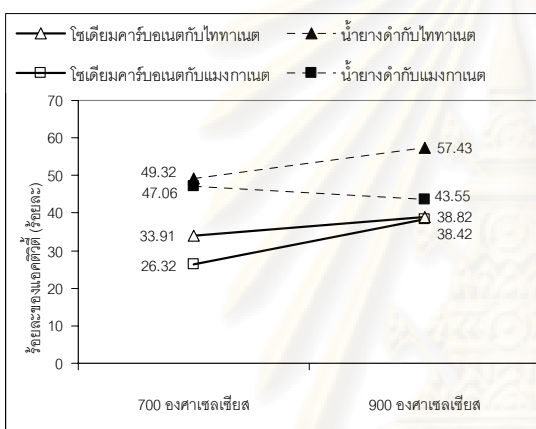
จากรูปที่ 4.13 ซึ่งแสดงค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของการคอสติกโซเซชันโดยตรงน้ำยางดำ และโซเดียมคาร์บอเนต ร่วมกับไททานเนต และแมงกานเนต โดยจากรูปที่ 4.13 (a) ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของน้ำยาดำผสมไททานเนต กับแมงกานเนต และโซเดียมคาร์บอเนตผสมไททานเนต กับแมงกานเนตที่ 1 นาที่เป็นร้อยละ 30.36, 27.61, 3.28 และ 3.33 ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของน้ำยาดำผสมไททานเนต กับแมงกานเนต และโซเดียมคาร์บอเนตผสมไททานเนต กับแมงกานเนตที่ 1 นาที่เป็นร้อยละ 34.85, 28.44, 12.31 และ 7.27 ตามลำดับ รูปที่ 4.13 (b) ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของน้ำยาดำผสมไททานเนต กับแมงกานเนต และโซเดียมคาร์บอเนตผสมไททานเนต กับแมงกานเนตที่ 5 นาที่เป็นร้อยละ 37.04, 34.98, 14.65 และ 13.71 ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของน้ำยาดำผสมไททานเนต กับแมงกานเนต และโซเดียมคาร์บอเนตผสมไททานเนต กับแมงกานเนตที่ 5 นาที่เป็นร้อยละ 46.53, 36.36, 24.83 และ 24.05 ตามลำดับ รูปที่ 4.13 (c) ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของน้ำยาดำผสมไททานเนต กับแมงกานเนต และโซเดียมคาร์บอเนตผสมไททานเนต กับแมงกานเนตที่ 15 นาที่เป็นร้อยละ 49.32, 47.06, 33.91 และ 26.32 ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของน้ำยาดำผสมไททานเนต กับแมงกานเนต และโซเดียมคาร์บอเนตผสมไททานเนต กับแมงกานเนตที่ 15 นาที่เป็นร้อยละ 57.43, 43.55, 38.82 และ 38.42 ตามลำดับ รูปที่ 4.13 (d) ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของน้ำยาดำผสมไททานเนต กับแมงกานเนต และโซเดียมคาร์บอเนตผสมไททานเนต กับแมงกานเนตที่ 30 นาที่เป็นร้อยละ 55.63, 53.53, 57.35 และ 35.43 ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของน้ำยาดำผสมไททานเนต กับแมงกานเนต และโซเดียมคาร์บอเนตผสมไททานเนต กับแมงกานเนตที่ 30 นาที่เป็นร้อยละ 63.35, 47.06, 53.86 และ 42.62 ตามลำดับ รูปที่ 4.13 (e) ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของน้ำยาดำผสมไททานเนต กับแมงกานเนต และโซเดียมคาร์บอเนตผสมไททานเนต กับแมงกานเนตที่ 60 นาที่เป็นร้อยละ 69.87, 56.84, 94.77 และ 63.05 ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละของแอกติวิตี้ของน้ำยาดำผสมไททานเนต กับแมงกานเนต และโซเดียมคาร์บอเนตผสมไททานเนต กับแมงกานเนตที่ 60 นาที่เป็นร้อยละ 82.42, 57.63, 91.70 และ 61.54 ตามลำดับ



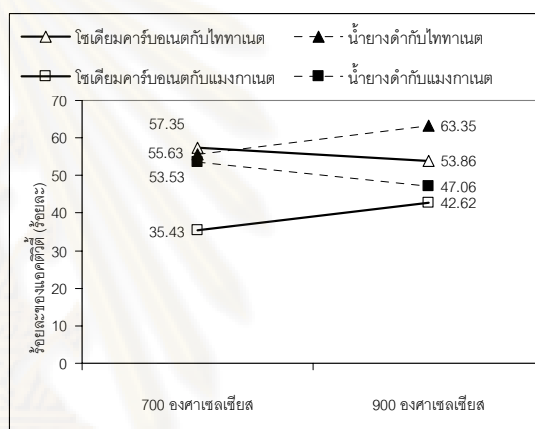
(a)



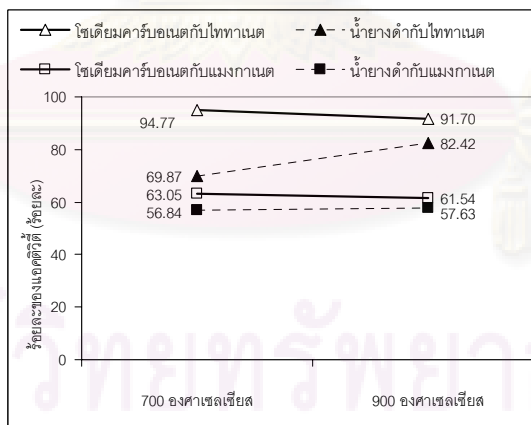
(b)



(c)



(d)



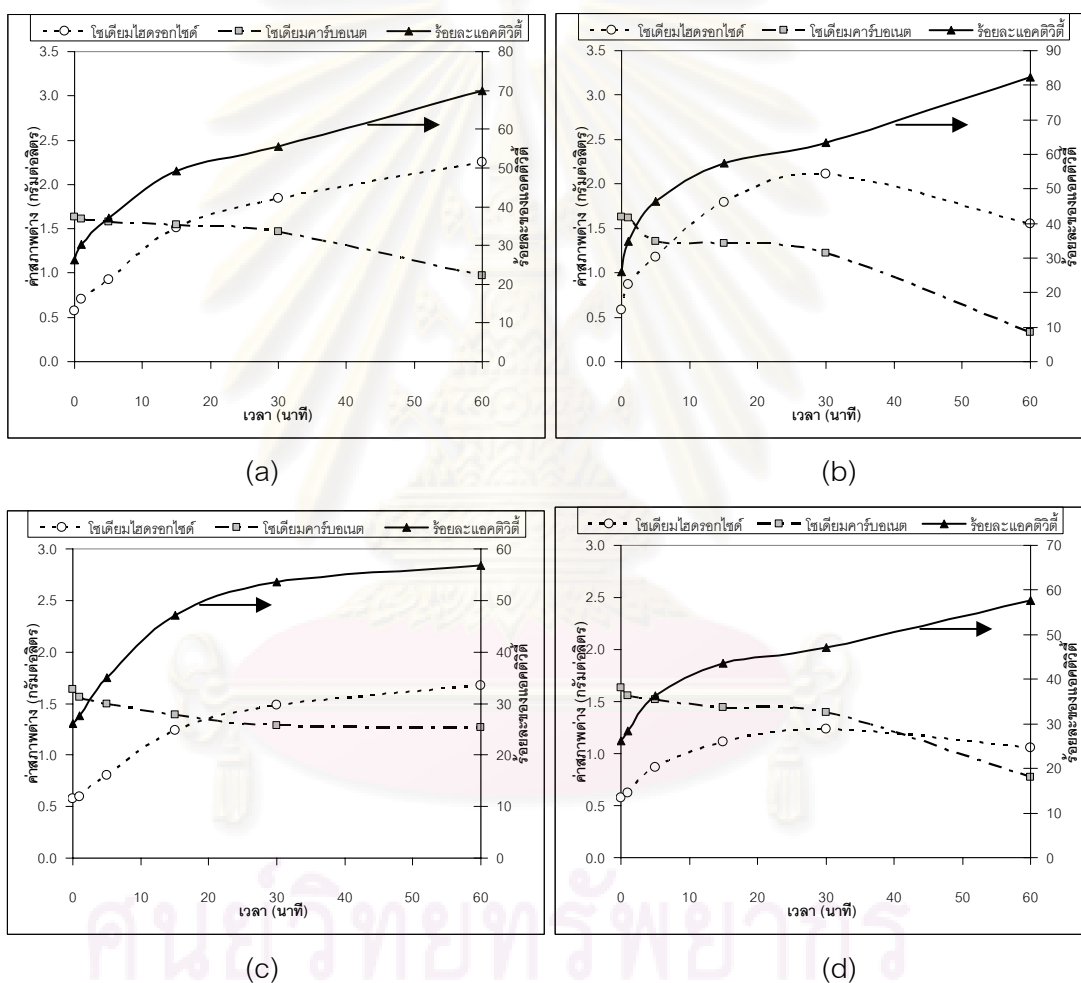
(e)

รูปที่ 4.13 ผลของอุณหภูมิต่อค่าร้อยละของแอดติวตี ที่เวลาต่างๆ (a) 1 นาที (b) 5 นาที (c) 15 นาที (d) 30 นาที และ (e) 60 นาที

จากรูปที่ 2.13 (a)-(e) พบว่า ค่าร้อยละของแอดติวตีจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่จากรูปที่ 2.13 (b)-(e) ค่าร้อยละของแอดติวตีก็กลับลดลงในบางส่วน เนื่องจากอุณหภูมิ 900

องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงทำให้เมื่อเวลาผ่านไปจึงทำให้ความสามารถในการเปลี่ยนจากโซเดียมคาร์บอเนตไปเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ลดลง

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของโซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมไฮดรอกไซด์ และค่าร้อยละแอกติวิตี ของการทำปฏิกิริยาของน้ำยาดำกับไททานेट ที่ 700 และ 900 องศาเซลเซียส น้ำยาดำกับแมงกานेट ที่ 700 และ 900 องศาเซลเซียสดังแสดงในรูปที่ 4.14 (a)-(d)



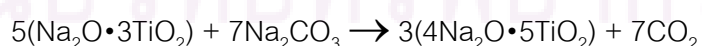
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของโซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมไฮดรอกไซด์ และค่าร้อยละแอกติวิตี ของการทำปฏิกิริยาของ (a) น้ำยาดำกับไททานेट ที่ 700 องศาเซลเซียส (b) น้ำยาดำกับไททานेट ที่ 900 องศาเซลเซียส (c) น้ำยาดำกับแมงกานेट ที่ 700 องศาเซลเซียส และ (d) น้ำยาดำกับแมงกานेट ที่ 900 องศาเซลเซียส

โดยจากรูปที่ 4.14 (a) แสดงการทำปฏิกิริยาของน้ำยาดำกับไททาเนต ที่ 700 องศาเซลเซียส ที่เวลา 0,1,5, 15, 30 และ 60 นาที ปริมาณของโซเดียมคาร์บอเนตคือ 1.63, 1.61, 1.58, 1.55, 1.47 และ 0.97 กรัมต่อลิตรตามลำดับ ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์คือ 0.58, 0.70, 0.93, 1.51, 1.84 และ 2.25 กรัมต่อลิตรตามลำดับ และค่าร้อยละแอมคิตวิตี้คือ ร้อยละ 26.17, 30.36, 37.04, 49.32, 55.63 และ 69.87 ตามลำดับ รูปที่ 4.14 (b) แสดงการทำปฏิกิริยาของน้ำยาดำกับไททาเนต ที่ 900 องศาเซลเซียส ที่เวลา 0,1,5, 15, 30 และ 60 นาที ปริมาณของโซเดียมคาร์บอเนตคือ 1.63, 1.62, 1.35, 1.33, 1.22 และ 0.33 กรัมต่อลิตรตามลำดับ ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์คือ 0.58, 0.87, 1.18, 1.80, 2.11 และ 1.55 กรัมต่อลิตรตามลำดับ และค่าร้อยละแอมคิตวิตี้คือ ร้อยละ 26.17, 38.85, 46.53, 57.43, 63.35 และ 82.42 ตามลำดับ รูปที่ 4.14 (c) น้ำยาดำกับแมงกานีส ที่ 700 องศาเซลเซียส ที่เวลา 0,1,5, 15, 30 และ 60 นาที ปริมาณของโซเดียมคาร์บอเนตคือ 1.63, 1.56, 1.50, 1.40, 1.29 และ 1.27 กรัมต่อลิตรตามลำดับ ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์คือ 0.58, 0.60, 0.81, 1.24, 1.49 และ 1.67 กรัมต่อลิตรตามลำดับ และค่าร้อยละแอมคิตวิตี้คือ ร้อยละ 26.17, 27.61, 34.98, 47.06, 53.53 และ 56.84 ตามลำดับ และรูปที่ 4.14 (d) น้ำยาดำกับแมงกานีส ที่ 900 องศาเซลเซียสที่เวลา 0,1,5, 15, 30 และ 60 นาที ปริมาณของโซเดียมคาร์บอเนตคือ 1.63, 1.56, 1.52, 1.45, 1.40 และ 0.78 กรัมต่อลิตรตามลำดับ ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์คือ 0.58, 0.62, 0.87, 1.12, 1.24 และ 1.05 กรัมต่อลิตรตามลำดับ และค่าร้อยละแอมคิตวิตี้คือ ร้อยละ 26.17, 28.44, 36.36, 43.55, 47.06 และ 57.63 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.14 พบว่า การทำปฏิกิริยาของน้ำยาดำกับไททาเนต และแมงกานีส เมื่อทำการแก๊สซิฟิเคชันเวลาผ่านไป โซเดียมคาร์บอเนตในน้ำยาดำจะทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วเปลี่ยนไปเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นไปตามสมการ

การทำปฏิกิริยากับไททาเนต

ปฏิกิริยาที่ 1 การแก๊สซิฟิเคชัน (ไททาเนต)

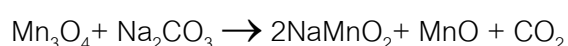


ปฏิกิริยาที่ 2 การชะละลายด้วยน้ำ (ไททาเนต)

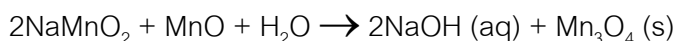


การทำปฏิกิริยากับแมงกานีส

ปฏิกิริยาที่ 1 การแก๊สซิฟิเคชัน (แมงกานีส)

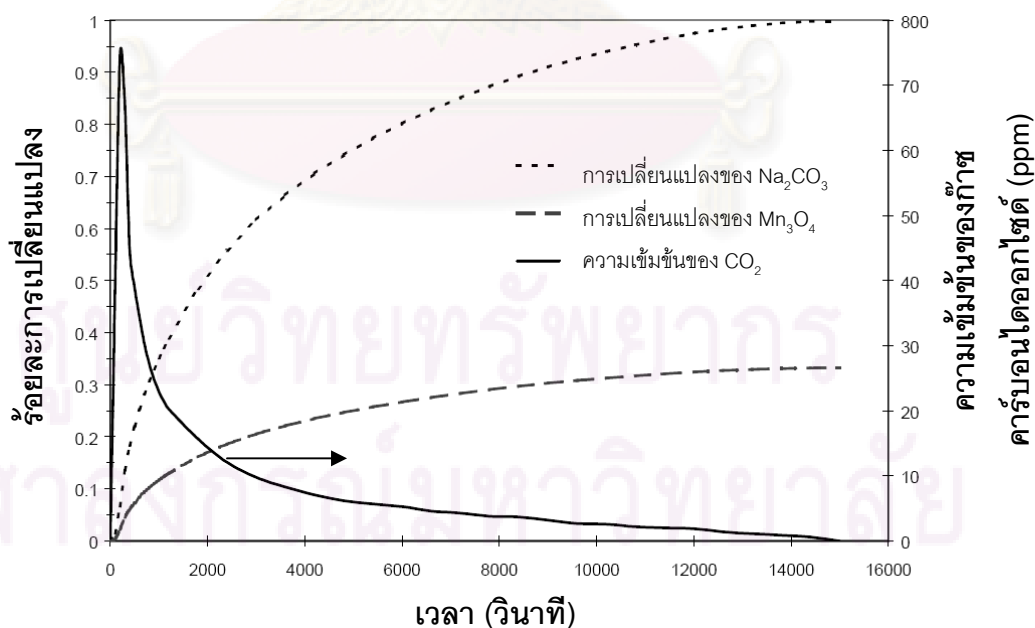


ปฏิกิริยาที่ 2 การชะละลายด้วยน้ำ (แมงกานีส)



เมื่อเวลาผ่านไปโซเดียมคาร์บอเนตเปลี่ยนไปเป็น $4\text{Na}_2\text{O} \cdot 5\text{TiO}_2$ กับ NaMnO_2 และ MnO ซึ่งเป็นของแข็ง กับ CO_2 ซึ่งเป็นก๊าซ เมื่อนำของแข็งมาชะละลายด้วยน้ำ จะได้ NaOH ที่เป็นของเหลว กับ $5(\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{TiO}_2)$ และ Mn_3O_4 ที่เป็นของแข็ง โดยจากการศึกษาจะเน้นเพียงปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้น สรุปคือ โซเดียมคาร์บอเนตจะเปลี่ยนไปเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

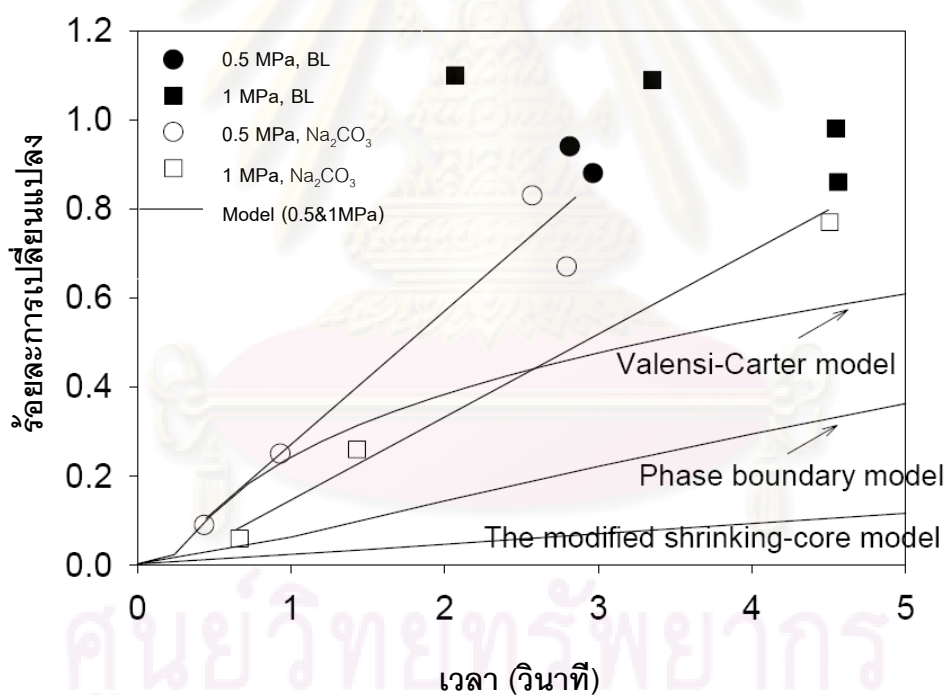
จากผลงานวิจัยพบว่า ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไปโซเดียมคาร์บอเนต ลดลง และโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น แต่ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ลดลง เนื่องจากโซเดียมคาร์บอเนตไม่สามารถเปลี่ยนไปเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้อีก หรือโซเดียมคาร์บอเนตเกิดการลดลงจนหมดไปก็เป็นได้ ซึ่งเหมือนกับงานวิจัยของ Eames และ Empie (2001) ที่ศึกษาการคอสติกไซเซชันโดยตรงของโซเดียมคาร์บอเนตกับแมงกานีส โดยพิจารณาจากปริมาณการเปลี่ยนแปลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นหลัก พบว่าเมื่อทำปฏิกิริยาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ผ่านไป และเมื่อผ่านจุดที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็ลดต่ำลง เนื่องจากความสามารถในการเปลี่ยนจากโซเดียมคาร์บอเนตไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ผลของการเปลี่ยนแปลงของโซเดียมคาร์บอเนต แมงกานีส และคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อเวลาผ่านไป ของ Eames และ Empie (2001)

เมื่อพิจารณาค่าร้อยละของแอกติวิตี้ หรือค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของโซเดียมคาร์บอเนต พบว่าเมื่อทำปฏิกิริยาค่าร้อยละของแอกติวิตี้จะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น และที่อุณหภูมิที่สูงกว่าจะมีค่าร้อยละของแอกติวิตี้สูงกว่าเช่นกัน ซึ่งในงานวิจัยของ Eames และ Empie (2001) ที่ศึกษาการคอสติกไซเซชันโดยตรงของโซเดียมคาร์บอเนตกับแมงกานีส ในรูปที่ 4.15 พบว่า ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของโซเดียมคาร์บอเนต จะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น

Nohlgren, Srirachoenchaikul และคณะ (2003), Nohlgren, Siquefield และคณะ (2004) ซึ่งทำการ คอสติกไซเซชันโดยตรงของน้ำยางดำ และโซเดียมคาร์บอเนต กับตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไททาเนต โดยจากรูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของโซเดียมคาร์บอเนต ของน้ำยางดำที่ ความดัน 0.5 และ 1 เมกะปาสคาล โซเดียมคาร์บอเนตที่ ความดัน 0.5 และ 1 เมกะปาสคาล และแบบจำลองแบบต่างๆ (ที่ความดัน 0.5 และ 1 เมกะปาสคาล) พบว่าค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของโซเดียมคาร์บอเนตจะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ผ่านไป



รูปที่ 4.16 ผลของร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของโซเดียมคาร์บอเนตเมื่อเวลาผ่านไปของ Nohlgren, Srirachoenchaikul และคณะ (2003)

4.2.4 อัตราส่วนก่อน-หลังการทำปฏิกิริยา

จากการวิเคราะห์ทั้งหมดพบว่า ตัวอย่างน้ำยางดำสามารถเปลี่ยนไปเป็นน้ำยาย่อยเยื่อได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำยาย่อยเยื่อที่ได้จากการกระบวนการนำสารเคมีกลับคืนแบบปกติ ของบริษัทที่ใช้กระบวนการโซดา ดังตารางที่ 4.4 ค่าโดยทั่วไปของ บริษัท เยื่อกระดาษสยาม จำกัด (มหาชน) จะมีค่าสภาพต่างแอกทีฟ ประมาณ 85-90 กรัมต่อลิตร และมีค่าร้อยละของแอกติวิตี้ประมาณร้อยละ 80-90 ซึ่งสูงกว่าค่าที่ได้จากการวิจัยมาก อาจเนื่องจากผลของปัจจัยหลายอย่าง

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบผลการทดลอง กับค่าจริงจากกระบวนการนำสารเคมีกลับคืนแบบทั่วไป

สภาพต่าง	สภาพต่าง แอกทีฟ (กรัมต่อลิตร)	สภาพต่าง ทั้งหมด (กรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ แอกติวิตี้
น้ำยางดำในการทดลอง	0.62	3.95	14.63
โซเดียมคาร์บอเนตกับไททานต	2.67-2.81	4.62-4.95	91.70-94.77
โซเดียมคาร์บอเนตกับแมงกานต	2.42-2.65	5.25-5.67	61.54-63.05
น้ำยางดำกับไททานต	2.11-2.25	3.22-3.33	69.87-82.42
น้ำยางดำกับแมงกานต	1.24-1.67	2.64-2.95	56.84-57.63
บริษัท เยื่อกระดาษสยาม จำกัด (มหาชน), 2544	น้ำยางดำ	60-70	50-60
	น้ำยาย่อยเยื่อ	85-90	80-95

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบ อัตราส่วนก่อน-หลังของผลการทดลอง กับค่าจริงจากกระบวนการนำสารเคมีกลับคืนแบบทั่วไป

อัตราส่วนก่อน-หลัง	สภาพต่างแอกทีฟ	ร้อยละของแอกติวิตี้
น้ำยางดำกับไททานต	1:3.6	1:5.6
น้ำยางดำกับแมงกานต	1:2.7	1:3.9
น้ำยาย่อยเยื่อจากกระบวนการนำสารเคมีกลับคืน	1:1.4	1:1.6

ค่าอัตราส่วนก่อน-หลัง คือการนำปริมาณก่อนทำปฏิกิริยามาหารปริมาณหลังทำปฏิกิริยา เพื่อดูอัตราส่วนความแตกต่างของก่อน-หลังทำปฏิกิริยา และจากตารางที่ 4.5 พบว่า

จากการทำปฏิกิริยาของน้ำยางดำกับไททานเนต มีอัตราส่วนก่อน-หลังของค่าสภาพต่างแอดคทีฟ 1:3.6 และค่าร้อยละของแอดคทีวิตี 1:5.6 การทำปฏิกิริยาของน้ำยางดำกับแมงกานเนต มีอัตราส่วนก่อน-หลังของค่าอัตราส่วนก่อน-หลังของค่าสภาพต่างแอดคทีฟ 1:2.7 และค่าร้อยละของแอดคทีวิตี 1:3.9 ส่วนข้อมูลจากบริษัทซึ่งมีอัตราส่วนก่อน-หลังของสภาพต่างแอดคทีฟ 1:1.4 และค่าร้อยละของแอดคทีวิตีเป็น 1:1.6 เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วพบว่า การคอสติกไซเซชันโดยตรงของน้ำยางดำกับไททานเนต และแมงกานเนตมีอัตราส่วนก่อน-หลังของผลการทดลองสูงกว่าอัตราส่วนก่อน-หลังของการนำสารเคมีกลับคืนแบบทั่วไป จึงสรุปได้ว่า การทำคอสติกไซเซชันโดยตรงนั้นมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนจากน้ำยางดำไปเป็นน้ำย่าย่อยเยื่อได้ดีกว่ากระบวนการนำสารเคมีกลับคืนแบบทั่วไป

4.3 ความคุ้มค่าของกระบวนการ

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าของกระบวนการต่างๆ

กระบวนการ	กระบวนการนำสารเคมีกลับคืนแบบทั่วไป	คอสติกไซเซชันน้ำยางดำกับไททานเนต	คอสติกไซเซชันน้ำยางดำกับแมงกานเนต
สารเคมีที่ใช้	ปูนขาว	ไททานเนต	แมงกานเนต
ปริมาณที่ใช้ (กิโลกรัมต่อน้ำยางดำ 1 กิโลกรัม)	0.90	0.96	0.97
ราคา(บาทต่อกิโลกรัม)	3	12	15
การแยกสารเคมีออกจากน้ำยางขาว	กรองแยก	กรองแยก	กรองแยก
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ ใน 1 รอบกระบวนการ (บาทต่อ 1 รอบกำลังผลิตน้ำยางดำ 1000 กิโลกรัม)	1200	1000	1000
ค่าใช้จ่ายรวม 1 รอบกระบวนการ	3900	12520	15550
ค่าใช้จ่ายรวม 10 รอบกระบวนการ	39000	21520	24550
ค่าใช้จ่ายรวม 100 รอบกระบวนการ	390000	111520	114550

จากตารางเปรียบเทียบกระบวนการนำสารเคมีกลับคืนแบบทั่วไป กับกระบวนการคอสติกไซเซชันโดยตรงของน้ำยางดำกับไททาเนต และแมงกานีส โดยสารเคมีที่ใช้ในการนำสารเคมีกลับคืน คือ ปูนขาว ไททาเนต และแมงกานีส ใช้สารเคมีในปริมาณ 0.90, 0.96 และ 0.97 กิโลกรัมต่อน้ำยางดำ 1 กิโลกรัมตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีปริมาณการใช้ใกล้เคียงกันมาก สารเคมีมีราคาเฉลี่ยประมาณ 3, 12 และ 15 บาทต่อกิโลกรัมตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีราคาแตกต่างกัน 4-5 เท่า

เปรียบเทียบในกรณีกรองแยกเพียงอย่างเดียว โดยค่าใช้จ่ายอื่น เช่น ค่าน้ำ ค่าไฟฟ้า ใน 1 รอบกระบวนการที่กำลังผลิตน้ำยางดำ 1000 กิโลกรัม 1200, 1000 และ 1000 บาทต่อ 1 รอบกำลังผลิตน้ำยางดำ 1000 กิโลกรัมตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมด โดยคิดค่าสารเคมีต่อน้ำยางดำ 1000 กิโลกรัม + ค่าใช้จ่ายอื่นๆ จะพบว่าใน 1 รอบกระบวนการผลิตน้ำยางดำ 1000 กิโลกรัมใช้ค่าใช้จ่ายในการนำสารเคมีกลับคืนแบบทั่วไปคือ 3900 บาท คอสติกไซเซชันโดยตรงกับไททาเนตคือ 12520 บาท และคอสติกไซเซชันโดยตรงกับแมงกานีสคือ 15550 บาทต่อ 1 รอบกำลังตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่า ค่าใช้จ่ายของแบบทั่วไปจะถูกกว่าประมาณ 4-5 เท่า แต่เมื่อคิดค่าใช้จ่ายรวม 10 รอบกระบวนการผลิต โดยในการนำสารเคมีกลับคืนแบบทั่วไปจะพิจารณาการทิ้งสารเคมีที่ใช้แล้วไป แล้วซื้อสารเคมีมาใช้ใหม่ หรือนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่โดยคิดพลังงานในการเผาปูนขาวกลับคืนเทียบเท่ากับการซื้อสารเคมีใหม่ จะได้ค่าใช้จ่ายรวม 10 รอบคือ 39000 บาท ส่วนคอสติกไซเซชันโดยตรงกับไททาเนต และแมงกานีสนั้นจะนำสารเคมีที่กรองได้กลับมาใช้ใหม่คือ 21520 บาท และ 24550 บาทต่อ 10 รอบกำลังตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าค่าใช้จ่ายของแบบทั่วไปจะแพงกว่า เล็กน้อย ประมาณ 1-2 เท่า และเมื่อคิดค่าใช้จ่ายรวม 10 รอบกระบวนการผลิต จะใช้ค่าใช้จ่าย 390000, 111520 และ 114550 บาทพบว่าค่าใช้จ่ายของแบบทั่วไปจะแพงกว่าเป็นอย่างมาก ประมาณ 4 เท่า

สรุปว่า หากเปรียบเทียบความคุ้มค่าของกระบวนการเพียง 1 รอบกำลังผลิตน้ำยางดำ 1000 กิโลกรัม พบว่าค่าใช้จ่ายของการคอสติกไซเซชันโดยตรงจะสูงกว่ามาก แต่เมื่อพิจารณาเพิ่มรอบของกระบวนการผลิต พบว่า ยิ่งเพิ่มรอบมาก ค่าใช้จ่ายของการคอสติกไซเซชันโดยตรงจะต่ำกว่าเป็นอย่างมาก แสดงว่า ในระยะยาวคอสติกไซเซชันโดยตรงของไททาเนต และคอสติกไซเซชันโดยตรงกับแมงกานีสมีความคุ้มค่ามากกว่าการนำสารเคมีกลับคืนแบบทั่วไป

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้ศึกษาการคอสติกไซเซชันน้ำยางดำด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาไททาเนต และแมงกานีส โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน โดยใช้น้ำยางดำจากกระบวนการย่อยเยื่อแบบไซดา และเยื่อกิ่งเคมีใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ในการย่อยเยื่อไม้เป็นวัตถุดิบในการวิจัย โดยได้ทำการศึกษาสภาวะต่างๆ ในการเกิดปฏิกิริยาได้แก่ อุณหภูมิ 700 และ 900 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา 0-60 นาที ที่ความดันบรรยากาศ ภายใต้ร้อยละ 2 ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไนโตรเจน เพื่อพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา โดยคำนึงถึงสภาวะเกิดโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักสำคัญของน้ำยางขาว ซึ่งเป็นสารที่ทำหน้าที่ในการย่อยเยื่อที่เกิดขึ้นในน้ำยางขาวเป็นหลัก โดยจะพิจารณาจากการทดลองที่มีปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ในรูปของสภาพต่างแอกทีฟ และร้อยละของแอกติวิตี้ที่สูงเป็นค่าที่เหมาะสม จากการทดลองได้ผลสรุปดังนี้

5.1.1 จากผลการศึกษาพบว่าน้ำยางดำเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการแก๊สซิฟิเคชันร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาในการคอสติกไซเซชันโดยตรง โดยองค์ประกอบของคาร์บอนและไฮโดรเจน ในวัตถุดิบสามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซเชื้อเพลิงได้ดี และมีค่าความร้อนสูงเหมาะแก่การแก๊สซิฟิเคชันเพื่อให้ได้ก๊าซเชื้อเพลิง ไฮโดรเจน มีเทน คาร์บอนมอนอกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสามารถนำมาเป็นก๊าซเชื้อเพลิงได้

5.1.2 จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการคอสติกไซเซชันน้ำยางดำร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ที่อุณหภูมิ 700 และ 900 องศาเซลเซียส ที่เวลาเกิดปฏิกิริยา 0, 1, 5, 15, 30 และ 60 นาที พบว่าค่าสภาพต่างแอกทีฟที่สูงที่สุดของการคอสติกไซเซชันน้ำยางดำร่วมกับไททาเนตที่อุณหภูมิ 700 ที่เวลา 60 นาที คือ 2.25 กรัมต่อลิตร และการคอสติกไซเซชันน้ำยางดำร่วมกับแมงกานีสที่อุณหภูมิ 700 ที่เวลา 60 นาที คือ 1.67 กรัมต่อลิตร ค่าร้อยละของแอกติวิตี้สูงสุดของการคอสติกไซเซชันน้ำยางดำร่วมกับไททาเนตที่อุณหภูมิ 900 ที่เวลา 60 นาที คือร้อยละ 82.42 และการคอสติกไซเซชันน้ำยางดำร่วมกับแมงกานีสที่อุณหภูมิ 900 ที่เวลา 60 นาที คือร้อยละ 57.63 โยสภาวะที่เหมาะสมของงานวิจัยนี้คือ คอสติกไซเซชันน้ำยางดำกับตัวเร่ง

ปฏิกิริยาไททานเต ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที ร้อยละ 2 ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และความดันบรรยากาศ

5.1.3 จากการเทียบอัตราส่วนก่อน-หลังทำปฏิกิริยา พบว่า อัตราส่วนก่อน-หลัง ของการทดลองของคอสติกไซเซชันโดยตรงของน้ำยางดำกับไททานเตมีค่าสภาพต่างแอกทีฟ 1:3.6 และค่าร้อยละของแอกติวิตี้ 1:5.6 และคอสติกไซเซชันโดยตรงของน้ำยางดำกับแมงกานีสมีค่าสภาพต่างแอกทีฟ 1:2.7 และค่าร้อยละของแอกติวิตี้ 1:3.9 ซึ่งมากกว่าอัตราส่วนก่อน-หลังของข้อมูลจากบริษัทซึ่งมีอัตราส่วนก่อน-หลังของสภาพต่างแอกทีฟ 1:1.4 และค่าร้อยละของแอกติวิตี้เป็น 1:1.6

5.1.4 จากการเปรียบเทียบความคุ้มค่าของกระบวนการพบว่า ในระยะยาวคอสติกไซเซชันโดยตรงของไททานเต และคอสติกไซเซชันโดยตรงกับแมงกานีสมีความคุ้มค่ามากกว่าการนำสารเคมีกลับคืนแบบทั่วไป

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

โดยทั่วไป ภายใต้ขอบเขตของการทดลองนี้ พบว่ามีความเป็นไปได้ในการนำน้ำยางดำของเสียจากโรงงานกระดาษมาใช้เป็นวัตถุดิบในการแก๊สซิฟิเคชันร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาในการคอสติกไซเซชันโดยตรง ซึ่งสามารถเปลี่ยนไซเดียมคาร์บอเนตในน้ำยางดำไปเป็นไซเดียมไฮดรอกไซด์ในน้ำยางขาวได้ โดยมีปริมาณไซเดียมไฮดรอกไซด์เกิดขึ้นสูงสุดถึง 2.25 กรัมต่อลิตร ที่สภาวะการทดลองการคอสติกไซเซชันน้ำยางดำกับไททานเต ที่อุณหภูมิ 700 ที่เวลา 60 นาที และมีค่าร้อยละของแอกติวิตี้ถึงร้อยละ 69.87 ถึงแม้ว่าจะไม่ใช่ค่าร้อยละแอกติวิตี้ที่สูงที่สุด แต่เนื่องจากเป็นสภาวะที่ทำให้เกิดสภาพต่างแอกทีฟสูงสุดจึงถือว่าเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา ส่วนค่าร้อยละของแอกติวิตี้ที่สูงที่สุดของการคอสติกไซเซชันน้ำยางดำกับไททานเตที่อุณหภูมิ 900 ที่เวลา 60 นาที คือร้อยละ 82.42 แต่เหตุที่มีค่ามากนั้นเกิดจากการลดลงของสภาพต่างทำให้ค่าร้อยละของแอกติวิตี้สูงจึงไม่ถือว่าเป็นสภาวะที่เหมาะสม ส่วนการคอสติกไซเซชันน้ำยางดำกับแมงกานีสนั้นถึงแม้จะมีค่าสภาพต่างแอกทีฟ และร้อยละของแอกติวิตี้ต่ำกว่าการคอสติกไซเซชันน้ำยางดำกับไททานเต แต่สภาวะที่เหมาะสมของการคอสติกไซเซชันโดยตรงของน้ำยางดำกับแมงกานีส คือ ที่อุณหภูมิ 700 ที่เวลา 60 นาที มีค่าสภาพต่างแอกทีฟเป็น 1.67 กรัมต่อลิตร และมีค่าร้อยละของแอกติวิตี้ถึงร้อยละ 56.84 ถึงแม้ว่าจะไม่ใช่ค่าร้อยละแอกติวิตี้ที่สูงที่สุด แต่เนื่องจาก

เป็นสภาวะที่ทำให้เกิดสภาพต่างแอกทีฟสูงสุดจึงถือว่าเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา ส่วนค่าร้อยละของแอกติวิตีที่สูงที่สุดของการคอสติกไซเซชันน้ำยางดำกับแมงกานีสที่อุณหภูมิ 900 ที่เวลา 60 นาที คือร้อยละ 57.63 แต่เหตุที่มีค่ามากนั้นเกิดจากการลดลงของสภาพต่างทำให้ ค่าร้อยละของแอกติวิตีสูงจึงไม่ถือว่าเป็นสภาวะที่เหมาะสม และการทำคอสติกไซเซชันโดยตรง นั้นมีประสิทธิภาพ และคุ้มค่าในการเปลี่ยนจากน้ำยางดำไปเป็นน้ำยาย่อยเยื่อได้ดีกว่า กระบวนการนำสารเคมีกลับคืนแบบทั่วไป

5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

5.3.1 ควรศึกษาอุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยาอื่นเพิ่มเติม เนื่องจากในงานวิจัยนี้ในช่วงอุณหภูมิ การเกิดปฏิกิริยา 700 และ 900 องศาเซลเซียส ค่าสภาพต่างแอกทีฟ และร้อยละของ แอกติวิตียังไม่ค่อยสอดคล้องกันในด้านอุณหภูมิ หากศึกษาอุณหภูมิในช่วงที่กว้างกว่า นี้ เช่น ที่ 600, 800 และ 1000 องศาเซลเซียส อาจทำให้ได้อุณหภูมิที่เหมาะสม มากกว่านี้

5.3.2 ควรศึกษาระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยาอื่นเพิ่มเติม เนื่องจากในงานวิจัยนี้ในช่วง อุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยา 0,1,5, 15, 30 และ 60 นาที ค่าสภาพต่างแอกทีฟ และร้อยละ ของแอกติวิตีที่ได้ยังมีช่วงห่างของค่าอยู่จึงควรเพิ่มช่วงเวลารับยาวขึ้น เช่น 12 หรือ 24 ชั่วโมง หรือนานกว่านั้น และควรเพิ่มความถี่ของเวลาให้มากขึ้นด้วย เช่น ทุกๆ 1 หรือ 5 นาที เพื่อให้ได้เวลาที่เหมาะสมมากกว่านี้

5.3.3 ควรศึกษาสภาวะก๊าซ และความดันอื่นเพิ่มเติม เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้สภาวะก๊าซร้อยละ 2 ของคาร์บอนไดออกไซด์ในไนโตรเจน และที่ความดันบรรยากาศ ทำให้ค่าสภาพ ต่างแอกทีฟ และร้อยละของแอกติวิตีจำกัดในเพียงสภาพเดียว จึงควรใช้สภาวะก๊าซ และความดันอื่น เช่น ใช้ไอน้ำ หรือร้อยละของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มากกว่านี้ หรือใช้ ความดัน 5 หรือ 15 บาร์ เพื่อให้ได้สภาวะก๊าซ และความดันที่เหมาะสมมากกว่านี้

5.3.4 ควรศึกษาปริมาณ และชนิดของก๊าซที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการทดลอง เพื่อประโยชน์ในการประยุกต์ใช้ด้านพลังงานต่อไป

5.3.5 ควรศึกษาการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาอื่นๆ เพื่อสร้างทางเลือกในการคอสติกไซเซชันโดยตรงของน้ำยางดำ

5.3.6 การทดลองนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้และสภาวะการเกิดปฏิกิริยาพื้นฐานในการคอสติกไซเซชันโดยตรงของน้ำยางดำร่วมกับไททานิต และแมงกานีสโดยกระบวนการแก๊สซีพีเคชั่น จึงควรมีการนำไปทดลองในระดับขนาดนำร่อง (pilot plant) เพื่อสามารถนำไปใช้ได้จริงในอุตสาหกรรมต่อไป



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

บริษัท เยื่อกระดาษสยาม จำกัด(มหาชน). คู่มือการปฏิบัติงาน (Work Instruction). ราชบุรี : บริษัท เยื่อกระดาษสยาม จำกัด (มหาชน), 2544.

เบญจมาศ ปุยอ้อก. แกซีพีเคชั่นของแบล็กลิเคอร์เร่งปฏิกิริยาด้วยเหล็กบนโดโลไมต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

มันสิน ตันฑุลเวศม์. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

มันสิน ตันฑุลเวศม์ และมันรัช ตันฑุลเวศม์. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

วีรชัย อัจหาญ, นิวัฒน์ คงกะพี, กฤษกร รับสมบัติ, ทิพย์สุกินทร์ หินชุย, ปภัส ชนะโรค, ญัฐพงษ์ ประภาการ, สาวิตรี คำหอม, สุภัทร หนูแย้ม, พจนาลัย ชาวห้วยหมาก, ชัยชนะ เลิศศรีสกุล, ศรัลย์ ปานศรีพงษ์, ชิงชัย วิริยะบัญชา, สมิต บุญเสริมสุข และจิราวัดน์ วงษ์มาศจันทร์. โรงไฟฟ้าต้นแบบชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชนแบบครบวงจร. รายงานการวิจัยภารกิจโครงการและประสานงานวิจัย. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2551.

ศูนย์ข้อมูลเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. สถิติอุตสาหกรรม 2546. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2547.

ภาษาอังกฤษ

Eames, D. J., and Empie, H. J., Direct Causticizing of Sodium Carbonate using Manganese Oxide. Poster paper for 2001 International Chemical Recovery Conference. Atlanta, GA, June, 2001.

Gershon, D., Kinetics of Autocausticization Using Borates in a Black liquor Gasification Process. Master's Thesis. Department of Paper Science Engineering, Georgia Institute of Technology, 2004.

Knowpulp. Birch black liquor composition. [online]. Available from:

http://www.knowpulp.com/english/demo/english/pulping/cooking/1_process/1_pr

[inciple/mustalip_koost.html](#)[2005, October 05]

Marklund, M. [Black liquor recovery: how does it work?](#)[online]. Available from: [http://etcpitea.se/blg/document/PBLG or RB.pdf](http://etcpitea.se/blg/document/PBLG_or_RB.pdf)[2005, October 14]

Nasholm, A. S., and Westermark, M. Energy studies of different cogeneration systems for black liquor gasification. [Energy Conversion and Management](#). 38(1997): 1655-1663.

Nohlgren, I., and Sinquefield, S., Black Liquor Gasification with Direct Causticization Using Titanates: Equilibrium Calculations. [Ind. Eng. Chem. Res.](#) 43(2004): 5996-6000.

Nohlgren, I., Sricharoenchaikul, V., Sinquefield, S., Frederick, Jr.,W., and Theliander, H., Black Liquor Gasification with Direct Causticization using Titanates in a Pressurized Entrained-Flow Reactor. Part I: Kinetics of the Causticization Reaction. [Journal of Pulp and Paper Science](#). 29(2003): 107-113.

Nohlgren, I., Sinquefield, S.A., Ball, A.W., Zeng, X. and Empie, H.J., Direct Causticization for Low and High Temperature Black Liquor Gasification. [2004 International Chemical Recovery Conference.](#), Charleston, S.C., USA, June, 2004

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์สภาพต่าง

1. การวิเคราะห์สภาพต่าง ด้วยวิธี TAPPI Method T 624 (บริษัท เขื่อกระดาษสยามจำกัด (มหาชน), 2544)

1.1 การหาค่า สภาพต่างทั้งหมด (TA, TOTAL ALKALI)

สภาพต่างทั้งหมด (Total Alkali) คือ ค่าสภาพต่างที่บอกถึงปริมาณต่างทั้งหมดในรูปของ โซเดียมคาร์บอเนต + โซเดียมไฮดรอกไซด์ สำหรับ กระบวนการแบบโซดา หรือ โซเดียมคาร์บอเนต + โซเดียมไฮดรอกไซด์ + โซเดียมซัลไฟด์ สำหรับ กระบวนการแบบคราฟท์ ซึ่งมีวิธีหาค่าดังนี้

- 1.1.1 นำตัวอย่างมาทิ้งไว้ประมาณ 5 - 10 นาที เพื่อให้ตกตะกอน
- 1.1.2 บีบกระดาษละลายใส่ 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 1.1.3 เติมน้ำกลั่นให้ได้ประมาณ 100 มิลลิลิตร
- 1.1.4 ใส่ เมธิลออเรนจ์ 2 - 3 หยด
- 1.1.5 ไตเตรตด้วยกรดเกลือ 1.0 N จนกระทั่งสารละลายเริ่มเปลี่ยนเป็นสีส้มอมแดง และบันทึกค่ากรดเกลือที่อ่านได้จากบิวเรต เป็นค่า A มิลลิลิตร

1.2 การหาค่า สภาพต่างแอกทีฟ (AA, ACTIVE ALKALI)

สภาพต่างแอกทีฟ (Active Alkali) คือ ค่าสภาพต่างที่บอกถึงปริมาณต่างของ โซเดียมไฮดรอกไซด์ สำหรับ กระบวนการแบบโซดา หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ + โซเดียมซัลไฟด์ สำหรับ กระบวนการแบบคราฟท์ ซึ่งมีวิธีหาค่าดังนี้

- 1.2.1 บีบกระดาษละลายใส่ 25 มิลลิลิตร ใส่ขวดปริมาตร 250 มิลลิลิตร
- 1.2.2 ใช้บีกเกอร์ ตวงสารละลายร้อยละ 20 ของแบเรียมคลอไรด์ 50 มิลลิลิตร

- 1.2.3 เติมน้ำกลั่นให้ได้ 250 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายผสมกัน
- 1.2.4 ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนนาน 15 - 20 นาที
- 1.2.5 บีบเปิดสารละลายส่วนใส 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 1.2.6 เติมน้ำกลั่นให้ได้ประมาณ 100 มิลลิลิตร
- 1.2.7 ใส่ ฟีนอล์ฟทาลีน 2-3 หยด
- 1.2.8 ไตเตรตด้วยกรดเกลือ 1.0 N จนกระทั่งสารละลายเริ่มเปลี่ยนเป็นใสไม่มีสี และบันทึกค่ากรดเกลือที่อ่านได้จากบิวเรต เป็นค่า B มิลลิลิตร
- 1.2.9 ใส่ เมธิลออเรนจ์ 2 - 3 หยด
- 1.2.10 ไตเตรตด้วยกรดเกลือ 1.0 N จนกระทั่งสารละลายเริ่มเปลี่ยนเป็นสีส้มแดง และบันทึกค่ากรดเกลือที่อ่านได้จากบิวเรตอ่านปริมาตรกรดเกลือที่ใช้ไป เป็นค่า C มิลลิลิตร

1.3 การหาค่าร้อยละของแอกติวิตี้ (% ACTIVITY)

ร้อยละของแอกติวิตี้ (%activity) คือ อัตราส่วนของสภาพต่างแอกทีฟต่อสภาพต่างทั้งหมด ที่บอกถึงความสามารถในการเปลี่ยนจากโซเดียมคาร์บอเนตไปอยู่ในรูปของโซเดียมไฮดรอกไซด์มากน้อยเพียงไร ซึ่งมีวิธีหาค่าดังนี้

$$\text{ร้อยละของแอกติวิตี้} = \frac{\text{สภาพต่างแอกทีฟ} \times 100}{\text{สภาพต่างทั้งหมด}}$$

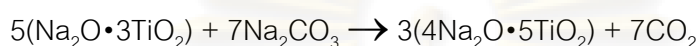
(ค่า AA และค่า TA จะต้องเป็นค่าที่หาจากตัวอย่างเดียวกัน)

ภาคผนวก ข

ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ต่อน้ำยางดำ และโซเดียมคาร์บอเนต

จากงานวิจัยของ Nohlgren, Sinquefield และคณะ (2004) แสดงการใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาณน้ำยางดำ และโซเดียมคาร์บอเนต คือ

ปฏิกิริยาของไททาเนต



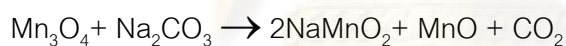
โซเดียมคาร์บอเนต : $7[(23 \times 2) + (12) + (16 \times 3)] = 742$ กรัม

ไททาเนต : $5\{(23 \times 2) + (16) + 3[48 + (16 \times 2)]\} = 1510$ กรัม

ใช้ไททาเนตต่อ โซเดียมคาร์บอเนต = 2.04 กรัมไททาเนต ต่อกรัมโซเดียมคาร์บอเนต

ส่วนน้ำยางดำซึ่งมีปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตน้อยกว่านั้นจึงใช้ 0.96 กรัมไททาเนต ต่อกรัมน้ำยางดำ

และปฏิกิริยาของแมงกานีส



โซเดียมคาร์บอเนต : $[(23 \times 2) + (12) + (16 \times 3)] = 106$ กรัม

แมงกานีส : $[(55 \times 3) + (16 \times 4)] = 229$ กรัม

ใช้แมงกานีสต่อ โซเดียมคาร์บอเนต = 2.16 กรัมแมงกานีส ต่อกรัมโซเดียมคาร์บอเนต

ส่วนน้ำยางดำซึ่งมีปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตน้อยกว่านั้นจึงใช้ 0.97 กรัมไททาเนต ต่อกรัมน้ำยางดำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแก๊สซิฟิเคชันจะทำการวิเคราะห์หาค่าสภาพต่าง แอคทีฟ และค่าร้อยละของแอกติวิตี้ โดยค่าทั้ง 2 จะได้มาจากการไตเตรทด้วยวิธี TAPPI method T 624 โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

1. การคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{โซเดียมคาร์บอเนต (กรัมต่อลิตร)} &= 6.2 \times (A - 2C) \\ \text{โซเดียมไฮดรอกไซด์ (กรัมต่อลิตร)} &= 12.4 B \\ \text{สภาพต่างทั้งหมด} &= 6.2 \times (A - 2C) + 6.2 B \\ \text{สภาพต่างแอคทีฟ} &= 12.4 B \\ \text{ร้อยละของแอกติวิตี้} &= \frac{\text{สภาพต่างแอคทีฟ} \times 100}{\text{สภาพต่างทั้งหมด}} \end{aligned}$$

2. ตัวอย่างการคำนวณ

จากข้อมูลในตาราง ข.7 ที่การทดลองที่ 1 ของการทำปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันน้ำยาดำ ที่เวลา 0 นาที อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส $A = 8.20$ มิลลิลิตร, $B = 0.50$ มิลลิลิตร และ $C = 1.30$ มิลลิลิตร

$$\begin{aligned} \text{โซเดียมคาร์บอเนต} &= 6.2 \times (8.20 - (2 \times 1.3)) = 3.47 \text{ กรัมต่อลิตร} \\ \text{โซเดียมไฮดรอกไซด์} &= 12.4 \times 0.50 = 0.62 \text{ กรัมต่อลิตร} \\ \text{สภาพต่างทั้งหมด} &= 3.47 + 0.62 = 4.09 \text{ กรัมต่อลิตร} \\ \text{สภาพต่างแอคทีฟ} &= 0.62 \text{ กรัมต่อลิตร} \\ \text{ร้อยละของแอกติวิตี้} &= (0.62/4.09) \times 100 = \text{ร้อยละ } 15.15 \end{aligned}$$

ตารางที่ ค1 ผลการทดลองจากการแก้สฟิเคชั่นไซเดียมคาร์บอเนต ที่ 700 องศาเซลเซียส

เวลา	การทดลองที่	A	B	C	ไซเดียมคาร์บอเนต	ไซเดียมไฮดรอกไซด์	สภาพต่างทั้งหมด	สภาพต่างแอกทีฟ	ร้อยละของแอกติวิตี้
(นาที)		มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	ร้อยละ
0	1	12.50	0.00	3.20	3.78	0.00	3.78	0.00	0.00
	2	12.50	0.00	3.40	3.53	0.00	3.53	0.00	0.00
	3	12.50	0.00	3.20	3.78	0.00	3.78	0.00	0.00
	เฉลี่ย	12.50	0.00	3.27	3.70	0.00	3.70	0.00	0.00
1	1	12.50	0.00	3.20	3.78	0.00	3.78	0.00	0.00
	2	12.50	0.00	3.40	3.53	0.00	3.53	0.00	0.00
	3	12.50	0.00	3.20	3.78	0.00	3.78	0.00	0.00
	เฉลี่ย	12.50	0.00	3.27	3.70	0.00	3.70	0.00	0.00
5	1	12.50	0.00	3.20	3.78	0.00	3.78	0.00	0.00
	2	12.50	0.00	3.40	3.53	0.00	3.53	0.00	0.00
	3	12.50	0.00	3.20	3.78	0.00	3.78	0.00	0.00
	เฉลี่ย	12.50	0.00	3.27	3.70	0.00	3.70	0.00	0.00

ตารางที่ ค1 ผลการทดลองจากการแก้สปีเคชั่นโซเดียมคาร์บอเนต ที่ 700 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เวลา	การทดลองที่	A	B	C	โซเดียมคาร์บอเนต	โซเดียมไฮดรอกไซด์	สภาพต่างทั้งหมด	สภาพต่างแอกทีฟ	ร้อยละของแอกติวิตี้
(นาที)		มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	ร้อยละ
15	1	12.50	0.00	3.20	3.78	0.00	3.78	0.00	0.00
	2	12.50	0.00	3.40	3.53	0.00	3.53	0.00	0.00
	3	12.50	0.00	3.20	3.78	0.00	3.78	0.00	0.00
	เฉลี่ย	12.50	0.00	3.27	3.70	0.00	3.70	0.00	0.00
30	1	12.50	0.00	3.20	3.78	0.00	3.78	0.00	0.00
	2	12.50	0.00	3.40	3.53	0.00	3.53	0.00	0.00
	3	12.50	0.00	3.20	3.78	0.00	3.78	0.00	0.00
	เฉลี่ย	12.50	0.00	0.80	3.70	0.00	3.70	0.00	0.00
60	1	12.50	0.00	3.20	3.78	0.00	3.78	0.00	0.00
	2	12.50	0.00	3.40	3.53	0.00	3.53	0.00	0.00
	3	12.50	0.00	3.20	3.78	0.00	3.78	0.00	0.00
	เฉลี่ย	12.50	0.00	3.27	3.70	0.00	3.70	0.00	0.00

ตารางที่ ค2 ผลการทดลองจากการแก้สซิพีเคชั่นโซเดียมคาร์บอเนต ที่ 900 องศาเซลเซียส

เวลา	การทดลองที่	A	B	C	โซเดียมคาร์บอเนต	โซเดียมไฮดรอกไซด์	สภาพต่างทั้งหมด	สภาพต่างแอกทีฟ	ร้อยละของแอกติวิตี้
(นาที)		มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	ร้อยละ
0	1	12.50	0.00	3.20	3.78	0.00	3.78	0.00	0.00
	2	12.50	0.00	3.40	3.53	0.00	3.53	0.00	0.00
	3	12.50	0.00	3.20	3.78	0.00	3.78	0.00	0.00
	เฉลี่ย	12.50	0.00	3.27	3.70	0.00	3.70	0.00	0.00
1	1	12.50	0.00	3.20	3.78	0.00	3.78	0.00	0.00
	2	12.50	0.00	3.40	3.53	0.00	3.53	0.00	0.00
	3	12.50	0.00	3.20	3.78	0.00	3.78	0.00	0.00
	เฉลี่ย	12.50	0.00	3.27	3.70	0.00	3.70	0.00	0.00
5	1	12.50	0.00	3.20	3.78	0.00	3.78	0.00	0.00
	2	12.50	0.00	3.40	3.53	0.00	3.53	0.00	0.00
	3	12.50	0.00	3.20	3.78	0.00	3.78	0.00	0.00
	เฉลี่ย	12.50	0.00	3.27	3.70	0.00	3.70	0.00	0.00

ตารางที่ ค2 ผลการทดลองจากการแก้สฟิเคชั่นโซเดียมคาร์บอเนต ที่ 900 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เวลา	การทดลองที่	A	B	C	โซเดียมคาร์บอเนต	โซเดียมไฮดรอกไซด์	สภาพต่างทั้งหมด	สภาพต่างแอกทีฟ	ร้อยละของแอกติวิตี้
(นาที)		มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	ร้อยละ
15	1	12.25	0.00	3.20	3.63	0.00	3.63	0.00	0.00
	2	12.25	0.00	3.30	3.50	0.00	3.50	0.00	0.00
	3	12.25	0.00	3.20	3.63	0.00	3.63	0.00	0.00
	เฉลี่ย	12.25	0.00	3.23	3.59	0.00	3.59	0.00	0.00
30	1	12.00	0.00	3.20	3.47	0.00	3.47	0.00	0.00
	2	12.00	0.00	3.20	3.47	0.00	3.47	0.00	0.00
	3	12.00	0.00	3.20	3.47	0.00	3.47	0.00	0.00
	เฉลี่ย	12.00	0.00	3.20	3.47	0.00	3.47	0.00	0.00
60	1	11.90	0.00	3.20	3.41	0.00	3.41	0.00	0.00
	2	11.90	0.00	3.20	3.41	0.00	3.41	0.00	0.00
	3	11.90	0.00	3.20	3.41	0.00	3.41	0.00	0.00
	เฉลี่ย	11.90	0.00	3.20	3.41	0.00	3.41	0.00	0.00

ตารางที่ ค3 ผลการทดลองจากการแก้สฟิเคชั่นไซเตียมคาร์บอเนต กับไททานิต ที่ 700 องศาเซลเซียส

เวลา	การทดลองที่	A	B	C	ไซเตียมคาร์บอเนต	ไซเตียมไฮดรอกไซด์	สภาพต่างทั้งหมด	สภาพต่างแอกทีฟ	ร้อยละของแอกติวิตี้
(นาที)		มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	ร้อยละ
0	1	12.50	0.00	3.20	3.78	0.00	3.78	0.00	0.00
	2	12.50	0.00	3.40	3.53	0.00	3.53	0.00	0.00
	3	12.50	0.00	3.20	3.78	0.00	3.78	0.00	0.00
	เฉลี่ย	12.50	0.00	3.27	3.70	0.00	3.70	0.00	0.00
1	1	11.50	0.10	2.90	3.53	0.12	3.66	0.12	3.39
	2	11.50	0.10	2.70	3.78	0.12	3.91	0.12	3.17
	3	11.50	0.10	2.80	3.66	0.12	3.78	0.12	3.28
	เฉลี่ย	11.50	0.10	2.80	3.66	0.12	3.78	0.12	3.28
5	1	10.00	0.40	2.30	3.35	0.50	3.84	0.50	12.90
	2	10.30	0.50	2.20	3.66	0.62	4.28	0.62	14.49
	3	10.50	0.60	2.15	3.84	0.74	4.59	0.74	16.22
	เฉลี่ย	10.27	0.50	2.22	3.61	0.62	4.23	0.62	14.65

ตารางที่ ค3 ผลการทดลองจากการแก๊สซิฟิเคชันไซเดียมคาร์บอเนต กับไททานิต ที่ 700 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เวลา	การทดลองที่	A	B	C	ไซเดียมคาร์บอเนต	ไซเดียมไฮดรอกไซด์	สภาพต่างทั้งหมด	สภาพต่างแอกทีฟ	ร้อยละของแอกติวิตี้
(นาที)		มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	ร้อยละ
15	1	8.65	1.20	1.85	3.07	1.49	4.56	1.49	32.65
	2	8.75	1.40	1.90	3.07	1.74	4.81	1.74	36.13
	3	9.00	1.30	1.85	3.29	1.61	4.90	1.61	32.91
	เฉลี่ย	8.80	1.30	1.87	3.14	1.61	4.75	1.61	33.91
30	1	6.65	1.90	1.80	1.89	2.36	4.25	2.36	55.47
	2	6.75	2.00	1.80	1.95	2.48	4.43	2.48	55.94
	3	6.00	1.95	1.75	1.55	2.42	3.97	2.42	60.94
	เฉลี่ย	6.47	1.95	1.78	1.80	2.42	4.22	2.42	57.35
60	1	3.70	2.30	1.80	0.06	2.85	2.91	2.85	97.87
	2	3.80	2.40	1.70	0.25	2.98	3.22	2.98	92.31
	3	3.75	2.10	1.75	0.16	2.60	2.76	2.60	94.38
	เฉลี่ย	3.75	2.27	1.75	0.16	2.81	2.97	2.81	94.77

ตารางที่ ค4 ผลการทดลองจากการแก้สฟิเคชั่นไซเตียมคาร์บอเนต กับไททานิต ที่ 900 องศาเซลเซียส

เวลา	การทดลองที่	A	B	C	ไซเตียมคาร์บอเนต	ไซเตียมไฮดรอกไซด์	สภาพต่างทั้งหมด	สภาพต่างแอกทีฟ	ร้อยละของแอกติวิตี้
(นาที)		มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	ร้อยละ
0	1	12.50	0.00	3.20	3.78	0.00	3.78	0.00	0.00
	2	12.50	0.00	3.40	3.53	0.00	3.53	0.00	0.00
	3	12.50	0.00	3.20	3.78	0.00	3.78	0.00	0.00
	เฉลี่ย	12.50	0.00	3.27	3.70	0.00	3.70	0.00	0.00
1	1	11.30	0.40	2.80	3.53	0.50	4.03	0.50	12.31
	2	11.40	0.30	2.90	3.47	0.37	3.84	0.37	9.68
	3	11.50	0.50	2.85	3.60	0.62	4.22	0.62	14.71
	เฉลี่ย	11.40	0.40	2.85	3.53	0.50	4.03	0.50	12.31
5	1	10.25	1.00	2.45	3.32	1.24	4.56	1.24	27.21
	2	10.30	0.90	2.50	3.29	1.12	4.40	1.12	25.35
	3	10.50	0.80	2.40	3.53	0.99	4.53	0.99	21.92
	เฉลี่ย	10.35	0.90	2.45	3.38	1.12	4.50	1.12	24.83

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค4 ผลการทดลองจากการแก้สฟิเคชั่นไซเดียมคาร์บอเนต กับไททานิต ที่ 900 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เวลา	การทดลองที่	A	B	C	ไซเดียมคาร์บอเนต	ไซเดียมไฮดรอกไซด์	สภาพต่างทั้งหมด	สภาพต่างแอกทีฟ	ร้อยละของแอกติวิตี้
(นาที)		มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	ร้อยละ
15	1	9.20	1.65	2.00	3.22	2.05	5.27	2.05	38.82
	2	9.30	1.70	2.00	3.29	2.11	5.39	2.11	39.08
	3	9.10	1.60	2.00	3.16	1.98	5.15	1.98	38.55
	เฉลี่ย	9.20	1.65	2.00	3.22	2.05	5.27	2.05	38.82
30	1	6.80	2.20	1.60	2.23	2.73	4.96	2.73	55.00
	2	6.85	2.10	1.50	2.39	2.60	4.99	2.60	52.17
	3	6.90	2.15	1.65	2.23	2.67	4.90	2.67	54.43
	เฉลี่ย	6.85	2.15	1.58	2.28	2.67	4.95	2.67	53.86
60	1	2.30	1.90	1.00	0.19	2.36	2.54	2.36	92.68
	2	2.35	2.00	1.00	0.22	2.48	2.70	2.48	91.95
	3	2.40	1.90	1.00	0.25	2.36	2.60	2.36	90.48
	เฉลี่ย	2.35	1.93	1.00	0.22	2.40	2.61	2.40	91.70

ตารางที่ ค5 ผลการทดลองจากการแก้สปีเคชั่นไซเตียมคาร์บอเนต กับแมงกานีส ที่ 700 องศาเซลเซียส

เวลา	การทดลองที่	A	B	C	ไซเตียมคาร์บอเนต	ไซเตียมไฮดรอกไซด์	สภาพต่างทั้งหมด	สภาพต่างแอกทีฟ	ร้อยละของแอกติวิตี้
(นาที)		มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	ร้อยละ
0	1	12.50	0.00	3.20	3.78	0.00	3.78	0.00	0.00
	2	12.50	0.00	3.40	3.53	0.00	3.53	0.00	0.00
	3	12.50	0.00	3.20	3.78	0.00	3.78	0.00	0.00
	เฉลี่ย	12.50	0.00	3.27	3.70	0.00	3.70	0.00	0.00
1	1	12.50	0.10	2.80	3.78	0.12	3.91	0.12	3.17
	2	12.10	0.10	3.00	3.53	0.12	3.66	0.12	3.39
	3	12.40	0.10	2.50	3.47	0.12	3.60	0.12	3.45
	เฉลี่ย	12.33	0.10	2.77	3.60	0.12	3.72	0.12	3.33
5	1	11.90	0.54	2.50	3.41	0.50	3.91	0.50	12.70
	2	11.70	0.45	2.40	3.29	0.56	3.84	0.56	14.52
	3	11.80	0.50	2.20	3.84	0.62	4.46	0.62	13.89
	เฉลี่ย	11.80	0.50	2.37	3.51	0.56	4.07	0.56	13.71

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค5 ผลการทดลองจากการแก้สซิพีเคชั่นไซเดียมคาร์บอเนต กับแมงกานีส ที่ 700 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เวลา	การทดลองที่	A	B	C	ไซเดียมคาร์บอเนต	ไซเดียมไฮดรอกไซด์	สภาพต่างทั้งหมด	สภาพต่างแอกทีฟ	ร้อยละของแอกติวิตี้
(นาที)		มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	ร้อยละ
15	1	10.40	1.00	1.80	3.35	1.24	4.59	1.24	27.03
	2	10.80	0.90	2.10	3.47	1.12	4.59	1.12	24.32
	3	10.90	1.10	1.95	3.60	1.36	4.96	1.36	27.50
	เฉลี่ย	10.70	1.00	1.95	3.47	1.24	4.71	1.24	26.32
30	1	8.80	1.40	1.80	3.22	1.74	4.96	1.74	35.00
	2	8.90	1.60	1.70	3.41	1.98	5.39	1.98	36.78
	3	9.00	1.50	1.65	3.53	1.86	5.39	1.86	34.48
	เฉลี่ย	8.90	1.50	1.72	3.39	1.86	5.25	1.86	35.43
60	1	6.60	2.20	1.25	1.55	2.73	4.28	2.73	63.77
	2	6.50	2.20	1.20	1.55	2.73	4.28	2.73	63.77
	3	6.70	2.00	1.35	1.55	2.48	4.03	2.48	61.54
	เฉลี่ย	6.60	2.13	1.27	1.55	2.65	4.20	2.65	63.05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค6 ผลการทดลองจากการแก้สปีเคชั่นไซเตียมคาร์บอเนต กับแมงกานีส ที่ 900 องศาเซลเซียส

เวลา	การทดลองที่	A	B	C	ไซเตียมคาร์บอเนต	ไซเตียมไฮดรอกไซด์	สภาพต่างทั้งหมด	สภาพต่างแอกทีฟ	ร้อยละของแอกติวิตี้
(นาที)		มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	ร้อยละ
0	1	12.50	0.00	3.20	3.78	0.00	3.78	0.00	0.00
	2	12.50	0.00	3.40	3.53	0.00	3.53	0.00	0.00
	3	12.50	0.00	3.20	3.78	0.00	3.78	0.00	0.00
	เฉลี่ย	12.50	0.00	3.27	3.70	0.00	3.70	0.00	0.00
1	1	12.30	0.20	3.10	3.78	0.25	4.03	0.25	6.15
	2	12.35	0.30	3.20	3.69	0.37	4.06	0.37	9.16
	3	12.40	0.20	3.30	3.60	0.25	3.84	0.25	6.45
	เฉลี่ย	12.35	0.23	3.20	3.69	0.29	3.98	0.29	7.27
5	1	11.60	1.00	2.20	3.47	1.24	4.71	1.24	26.32
	2	11.55	0.80	1.80	3.81	0.99	4.81	0.99	20.65
	3	11.50	0.90	2.10	3.29	1.12	4.40	1.12	25.35
	เฉลี่ย	11.55	0.90	2.03	3.52	1.12	4.64	1.12	24.05

ตารางที่ ค6 ผลการทดลองจากการแก้สซิพีเคชั่นโซเดียมคาร์บอเนต กับแมงกานีส ที่ 900 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เวลา	การทดลองที่	A	B	C	โซเดียมคาร์บอเนต	โซเดียมไฮดรอกไซด์	สภาพต่างทั้งหมด	สภาพต่างแอกทีฟ	ร้อยละของแอกติวิตี้
(นาที)		มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	ร้อยละ
15	1	9.80	1.60	1.20	3.47	1.98	5.46	1.98	36.36
	2	9.85	1.80	1.25	3.38	2.23	5.61	2.23	39.78
	3	9.90	1.70	1.30	3.29	2.11	5.39	2.11	39.08
	เฉลี่ย	9.85	1.70	1.25	3.38	2.11	5.49	2.11	38.42
30	1	8.25	2.00	1.00	3.26	2.48	5.74	2.48	43.24
	2	8.30	1.95	1.05	3.29	2.42	5.70	2.42	42.39
	3	8.20	1.90	1.30	3.22	2.36	5.58	2.36	42.22
	เฉลี่ย	8.25	1.95	1.12	3.26	2.42	5.67	2.42	42.62
60	1	3.25	1.00	1.00	0.78	1.24	2.02	1.24	61.54
	2	3.30	1.00	1.00	0.81	1.24	2.05	1.24	60.61
	3	3.20	1.00	1.00	0.74	1.24	1.98	1.24	62.50
	เฉลี่ย	3.25	1.00	1.00	0.78	1.24	2.02	1.24	61.54

ตารางที่ ค7 ผลการทดลองจากการแก้สซิพีเคชั่นน้ำยางดำ ที่ 700 องศาเซลเซียส

เวลา	การทดลองที่	A	B	C	โซเดียมคาร์บอเนต	โซเดียมไฮดรอกไซด์	สภาพต่างทั้งหมด	สภาพต่างแอกทีฟ	ร้อยละของแอกติวิตี้
(นาที)		มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	ร้อยละ
0	1	8.20	0.50	1.30	3.47	0.62	4.09	0.62	15.15
	2	8.30	0.40	1.50	3.29	0.50	3.78	0.50	13.11
	3	8.20	0.50	1.40	3.35	0.62	3.97	0.62	15.63
	เฉลี่ย	8.23	0.47	1.40	3.37	0.58	3.95	0.58	14.66
1	1	8.20	0.50	1.30	3.47	0.62	4.09	0.62	15.15
	2	8.30	0.40	1.50	3.29	0.50	3.78	0.50	13.11
	3	8.20	0.50	1.40	3.35	0.62	3.97	0.62	15.63
	เฉลี่ย	8.23	0.47	1.40	3.37	0.58	3.95	0.58	14.66
5	1	8.20	0.50	1.30	3.47	0.62	4.09	0.62	15.15
	2	8.30	0.40	1.50	3.29	0.50	3.78	0.50	13.11
	3	8.20	0.50	1.40	3.35	0.62	3.97	0.62	15.63
	เฉลี่ย	8.23	0.47	1.40	3.37	0.58	3.95	0.58	14.66

ตารางที่ ค7 ผลการทดลองจากการแก้สฟิเคชั่นน้ำยางดำ ที่ 700 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เวลา	การทดลองที่	A	B	C	โซเดียมคาร์บอเนต	โซเดียมไฮดรอกไซด์	สภาพต่างทั้งหมด	สภาพต่างแอกทีฟ	ร้อยละของแอกติวิตี้
(นาที)		มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	ร้อยละ
15	1	8.20	0.50	1.30	3.47	0.62	4.09	0.62	15.15
	2	8.30	0.40	1.50	3.29	0.50	3.78	0.50	13.11
	3	8.20	0.50	1.40	3.35	0.62	3.97	0.62	15.63
	เฉลี่ย	8.23	0.47	1.40	3.37	0.58	3.95	0.58	14.66
30	1	8.20	0.50	1.30	3.47	0.62	4.09	0.62	15.15
	2	8.30	0.40	1.50	3.29	0.50	3.78	0.50	13.11
	3	8.20	0.50	1.40	3.35	0.62	3.97	0.62	15.63
	เฉลี่ย	8.23	0.47	0.80	3.37	0.58	3.95	0.58	14.66
60	1	8.20	0.50	1.30	3.47	0.62	4.09	0.62	15.15
	2	8.30	0.40	1.50	3.29	0.50	3.78	0.50	13.11
	3	8.20	0.50	1.40	3.35	0.62	3.97	0.62	15.63
	เฉลี่ย	8.23	0.47	1.40	3.37	0.58	3.95	0.58	14.66

ตารางที่ ค8 ผลการทดลองจากการแก้สซิพีเคชั่นน้ำยางดำ ที่ 900 องศาเซลเซียส

เวลา	การทดลองที่	A	B	C	โซเดียมคาร์บอเนต	โซเดียมไฮดรอกไซด์	สภาพต่างทั้งหมด	สภาพต่างแอกทีฟ	ร้อยละของแอกติวิตี้
(นาที)		มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	ร้อยละ
0	1	8.20	0.50	1.30	3.47	0.62	4.09	0.62	15.15
	2	8.30	0.40	1.50	3.29	0.50	3.78	0.50	13.11
	3	8.20	0.50	1.40	3.35	0.62	3.97	0.62	15.63
	เฉลี่ย	8.23	0.47	1.40	3.37	0.58	3.95	0.58	14.66
1	1	8.20	0.50	1.30	3.47	0.62	4.09	0.62	15.15
	2	8.30	0.40	1.50	3.29	0.50	3.78	0.50	13.11
	3	8.20	0.50	1.40	3.35	0.62	3.97	0.62	15.63
	เฉลี่ย	8.23	0.47	1.40	3.37	0.58	3.95	0.58	14.66
5	1	8.20	0.50	1.30	3.47	0.62	4.09	0.62	15.15
	2	8.30	0.40	1.50	3.29	0.50	3.78	0.50	13.11
	3	8.20	0.50	1.40	3.35	0.62	3.97	0.62	15.63
	เฉลี่ย	8.23	0.47	1.40	3.37	0.58	3.95	0.58	14.66

ตารางที่ ค8 ผลการทดลองจากการแก้สฟิเคชั่นน้ำยางดำ ที่ 900 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เวลา	การทดลองที่	A	B	C	โซเดียมคาร์บอเนต	โซเดียมไฮดรอกไซด์	สภาพต่างทั้งหมด	สภาพต่างแอกทีฟ	ร้อยละของแอกติวิตี้
(นาที)		มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	ร้อยละ
15	1	8.20	0.50	1.30	3.47	0.62	4.09	0.62	15.15
	2	8.30	0.40	1.50	3.29	0.50	3.78	0.50	13.11
	3	8.20	0.50	1.40	3.35	0.62	3.97	0.62	15.63
	เฉลี่ย	8.23	0.47	1.40	3.37	0.58	3.95	0.58	14.66
30	1	8.20	0.50	1.30	3.47	0.62	4.09	0.62	15.15
	2	8.30	0.40	1.50	3.29	0.50	3.78	0.50	13.11
	3	8.20	0.50	1.40	3.35	0.62	3.97	0.62	15.63
	เฉลี่ย	8.23	0.47	1.40	3.37	0.58	3.95	0.58	14.66
60	1	8.20	0.50	1.30	3.47	0.62	4.09	0.62	15.15
	2	8.30	0.40	1.50	3.29	0.50	3.78	0.50	13.11
	3	8.20	0.50	1.40	3.35	0.62	3.97	0.62	15.63
	เฉลี่ย	8.23	0.47	1.40	3.37	0.58	3.95	0.58	14.66

ตารางที่ ๑๙ ผลการทดลองจากการแก้สปีเคชั่นน้ำยางดำ กับไททานเนียม ที่ 700 องศาเซลเซียส

เวลา	การทดลองที่	A	B	C	โซเดียมคาร์บอเนต	โซเดียมไฮดรอกไซด์	สภาพต่างทั้งหมด	สภาพต่างแอกทีฟ	ร้อยละของแอกติวิตี้
(นาที)		มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	ร้อยละ
0	1	8.00	0.50	2.50	1.86	0.62	2.48	0.62	25.00
	2	7.70	0.40	2.60	1.55	0.50	2.05	0.50	24.24
	3	7.80	0.50	2.70	1.49	0.62	2.11	0.62	29.41
	เฉลี่ย	7.83	0.47	2.60	1.63	0.58	2.21	0.58	26.17
1	1	7.50	0.50	2.50	1.55	0.62	2.17	0.62	28.57
	2	7.60	0.60	2.50	1.61	0.74	2.36	0.74	31.58
	3	7.50	0.60	2.40	1.67	0.74	2.42	0.74	30.77
	เฉลี่ย	7.53	0.57	2.47	1.61	0.70	2.31	0.70	30.36
5	1	7.10	0.80	2.30	1.55	0.99	2.54	0.99	39.02
	2	7.05	0.75	2.20	1.64	0.93	2.57	0.93	36.14
	3	7.00	0.70	2.25	1.55	0.87	2.42	0.87	35.90
	เฉลี่ย	7.05	0.75	2.25	1.58	0.93	2.51	0.93	37.04

ตารางที่ ค9 ผลการทดลองจากการแก้สซิพีเคชั่นน้ำยางดำ กับไททานิต ที่ 700 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เวลา	การทดลองที่	A	B	C	โซเดียมคาร์บอเนต	โซเดียมไฮดรอกไซด์	สภาพต่างทั้งหมด	สภาพต่างแอกทีฟ	ร้อยละของแอกติวิตี้
(นาที)		มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	ร้อยละ
15	1	6.90	1.30	2.20	1.55	1.61	3.16	1.61	50.98
	2	6.80	1.15	2.15	1.55	1.43	2.98	1.43	47.92
	3	6.70	1.20	2.10	1.55	1.49	3.04	1.49	48.98
	เฉลี่ย	6.80	1.22	2.15	1.55	1.51	3.06	1.51	49.32
30	1	6.50	1.50	2.10	1.43	1.86	3.29	1.86	56.60
	2	6.70	1.55	2.10	1.55	1.92	3.47	1.92	55.36
	3	6.50	1.40	2.10	1.43	1.74	3.16	1.74	54.90
	เฉลี่ย	6.57	1.48	2.10	1.47	1.84	3.31	1.84	55.63
60	1	4.20	1.90	1.30	0.99	2.36	3.35	2.36	70.37
	2	4.10	1.70	1.30	0.93	2.11	3.04	2.11	69.39
	3	4.00	1.85	1.20	0.99	2.29	3.29	2.29	69.81
	เฉลี่ย	4.10	1.82	1.27	0.97	2.25	3.22	2.25	69.87

ตารางที่ ค10 ผลการทดลองจากการแก๊สซิฟิเคชั่นน้ำยางดำ กับไททานิต ที่ 900 องศาเซลเซียส

เวลา	การทดลองที่	A	B	C	โซเดียมคาร์บอเนต	โซเดียมไฮดรอกไซด์	สภาพต่างทั้งหมด	สภาพต่างแอกทีฟ	ร้อยละของแอกติวิตี้
(นาท)		มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	ร้อยละ
0	1	8.00	0.50	2.50	1.86	0.62	2.48	0.62	25.00
	2	7.70	0.40	2.60	1.55	0.50	2.05	0.50	24.24
	3	7.80	0.50	2.70	1.49	0.62	2.11	0.62	29.41
	เฉลี่ย	7.83	0.47	2.60	1.63	0.58	2.21	0.58	26.17
1	1	7.35	0.60	2.50	1.46	0.74	2.20	0.74	33.80
	2	7.40	0.70	2.40	1.61	0.87	2.48	0.87	35.00
	3	7.30	0.80	2.20	1.80	0.99	2.79	0.99	35.56
	เฉลี่ย	7.35	0.70	2.37	1.62	0.87	2.49	0.87	34.85
5	1	6.85	0.95	2.40	1.27	1.18	2.45	1.18	48.10
	2	6.80	1.00	2.30	1.36	1.24	2.60	1.24	47.62
	3	6.90	0.90	2.30	1.43	1.12	2.54	1.12	43.90
	เฉลี่ย	6.85	0.95	2.33	1.35	1.18	2.53	1.18	46.53

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค10 ผลการทดลองจากการแก๊สซิฟิเคชั่นน้ำยางดำ กับไททานิต ที่ 900 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เวลา	การทดลองที่	A	B	C	โซเดียมคาร์บอเนต	โซเดียมไฮดรอกไซด์	สภาพต่างทั้งหมด	สภาพต่างแอกทีฟ	ร้อยละของแอกทีวิตี้
(นาที)		มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	ร้อยละ
15	1	6.00	1.50	1.90	1.36	1.86	3.22	1.86	57.69
	2	5.90	1.45	1.80	1.43	1.80	3.22	1.80	55.77
	3	5.95	1.40	2.00	1.21	1.74	2.95	1.74	58.95
	เฉลี่ย	5.95	1.45	1.90	1.33	1.80	3.13	1.80	57.43
30	1	4.80	1.70	1.40	1.24	2.11	3.35	2.11	62.96
	2	4.70	1.80	1.40	1.18	2.23	3.41	2.23	65.45
	3	4.60	1.60	1.30	1.24	1.98	3.22	1.98	61.54
	เฉลี่ย	4.70	1.70	1.37	1.22	2.11	3.33	2.11	63.35
60	1	3.20	1.20	1.40	0.25	1.49	1.74	1.49	85.71
	2	3.40	1.25	1.35	0.43	1.55	1.98	1.55	78.13
	3	3.10	1.30	1.30	0.31	1.61	1.92	1.61	83.87
	เฉลี่ย	3.23	1.25	1.35	0.33	1.55	1.88	1.55	82.42

ตารางที่ ค11 ผลการทดลองจากการแก๊สซิฟิเคชั่นน้ำยางดำ กับแมงกานีส ที่ 700 องศาเซลเซียส

เวลา	การทดลองที่	A	B	C	โซเดียมคาร์บอเนต	โซเดียมไฮดรอกไซด์	สภาพต่างทั้งหมด	สภาพต่างแอกทีฟ	ร้อยละของแอกทีวิตี
(นาที)		มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	ร้อยละ
0	1	8.00	0.50	2.50	1.86	0.62	2.48	0.62	25.00
	2	7.70	0.40	2.60	1.55	0.50	2.05	0.50	24.24
	3	7.80	0.50	2.70	1.49	0.62	2.11	0.62	29.41
	เฉลี่ย	7.83	0.47	2.60	1.63	0.58	2.21	0.58	26.17
1	1	6.80	0.55	2.30	1.36	0.68	2.05	0.68	33.33
	2	6.85	0.40	2.20	1.52	0.50	2.02	0.50	24.62
	3	6.90	0.50	2.00	1.80	0.62	2.42	0.62	25.64
	เฉลี่ย	6.85	0.48	2.17	1.56	0.60	2.16	0.60	27.61
5	1	6.50	0.60	1.80	1.80	0.74	2.54	0.74	29.27
	2	6.00	0.65	2.00	1.24	0.81	2.05	0.81	39.39
	3	6.25	0.70	1.95	1.46	0.87	2.33	0.87	37.33
	เฉลี่ย	6.25	0.65	1.92	1.50	0.81	2.30	0.81	34.98

ตารางที่ ค11 ผลการทดลองจากการแก๊สซิฟิเคชั่นน้ำยาดำ กับแมงกานีส ที่ 700 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เวลา	การทดลองที่	A	B	C	โซเดียมคาร์บอเนต	โซเดียมไฮดรอกไซด์	สภาพต่างทั้งหมด	สภาพต่างแอกทีฟ	ร้อยละของแอกทีวิตี้
(นาที)		มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	ร้อยละ
15	1	5.75	1.00	1.80	1.33	1.24	2.57	1.24	48.19
	2	5.80	1.00	1.75	1.43	1.24	2.67	1.24	46.51
	3	5.70	1.00	1.70	1.43	1.24	2.67	1.24	46.51
	เฉลี่ย	5.75	1.00	1.75	1.40	1.24	2.64	1.24	47.06
30	1	4.70	1.20	1.25	1.36	1.49	2.85	1.49	52.17
	2	4.50	1.30	1.20	1.30	1.61	2.91	1.61	55.32
	3	4.55	1.10	1.30	1.21	1.36	2.57	1.36	53.01
	เฉลี่ย	4.58	1.20	1.25	1.29	1.49	2.78	1.49	53.53
60	1	3.15	1.30	0.55	1.27	1.61	2.88	1.61	55.91
	2	3.20	1.35	0.60	1.24	1.67	2.91	1.67	57.45
	3	3.10	1.40	0.50	1.30	1.74	3.04	1.74	57.14
	เฉลี่ย	3.15	1.35	0.55	1.27	1.67	2.95	1.67	56.84

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

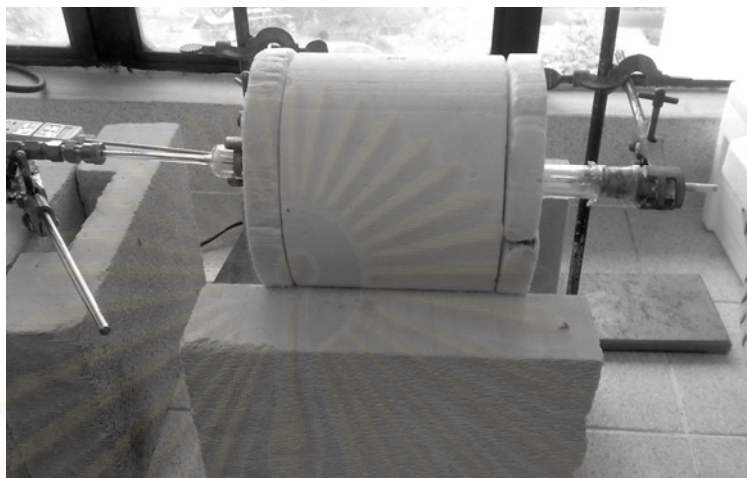
ตารางที่ ค12 ผลการทดลองจากการแก๊สซิฟิเคชั่นน้ำยางดำ กับแมงกานีส ที่ 900 องศาเซลเซียส

เวลา	การทดลองที่	A	B	C	โซเดียมคาร์บอเนต	โซเดียมไฮดรอกไซด์	สภาพต่างทั้งหมด	สภาพต่างแอกทีฟ	ร้อยละของแอกทีวิตี
(นาที)		มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	ร้อยละ
0	1	8.00	0.50	2.50	1.86	0.62	2.48	0.62	25.00
	2	7.70	0.40	2.60	1.55	0.50	2.05	0.50	24.24
	3	7.80	0.50	2.70	1.49	0.62	2.11	0.62	29.41
	เฉลี่ย	7.83	0.47	2.60	1.63	0.58	2.21	0.58	26.17
1	1	6.90	0.50	2.15	1.61	0.62	2.23	0.62	27.78
	2	6.85	0.50	2.15	1.58	0.62	2.20	0.62	28.17
	3	6.80	0.50	2.20	1.49	0.62	2.11	0.62	29.41
	เฉลี่ย	6.85	0.50	2.17	1.56	0.62	2.18	0.62	28.44
5	1	6.30	0.70	1.90	1.55	0.87	2.42	0.87	35.90
	2	6.20	0.80	1.90	1.49	0.99	2.48	0.99	40.00
	3	6.25	0.60	1.90	1.52	0.74	2.26	0.74	32.88
	เฉลี่ย	6.25	0.70	1.90	1.52	0.87	2.39	0.87	36.36

ตารางที่ ค12 ผลการทดลองจากการแก๊สซิฟิเคชั่นน้ำยางดำ กับแอมมอกาเนต ที่ 900 องศาเซลเซียส (ต่อ)

เวลา	การทดลองที่	A	B	C	โซเดียมคาร์บอเนต	โซเดียมไฮดรอกไซด์	สภาพต่างทั้งหมด	สภาพต่างแอกทีฟ	ร้อยละของแอกทีวิตี้
(นาที)		มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	มิลลิลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	กรัมต่อลิตร	ร้อยละ
15	1	5.10	0.90	1.50	1.30	1.12	2.42	1.12	46.15
	2	5.20	0.80	1.40	1.49	0.99	2.48	0.99	40.00
	3	5.30	1.00	1.40	1.55	1.24	2.79	1.24	44.44
	เฉลี่ย	5.20	0.90	1.43	1.45	1.12	2.56	1.12	43.55
30	1	4.20	1.00	1.00	1.36	1.24	2.60	1.24	47.62
	2	4.25	1.00	1.00	1.40	1.24	2.64	1.24	47.06
	3	4.30	1.00	1.00	1.43	1.24	2.67	1.24	46.51
	เฉลี่ย	4.25	1.00	1.00	1.40	1.24	2.64	1.24	47.06
60	1	2.20	0.90	0.50	0.74	1.12	1.86	1.12	60.00
	2	2.30	0.80	0.50	0.81	0.99	1.80	0.99	55.17
	3	2.25	0.85	0.50	0.78	1.05	1.83	1.05	57.63
	เฉลี่ย	2.25	0.85	0.50	0.78	1.05	1.83	1.05	57.63

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ ค1 ภาพการทดลองในส่วนการแก๊สซิฟิเคชั่น



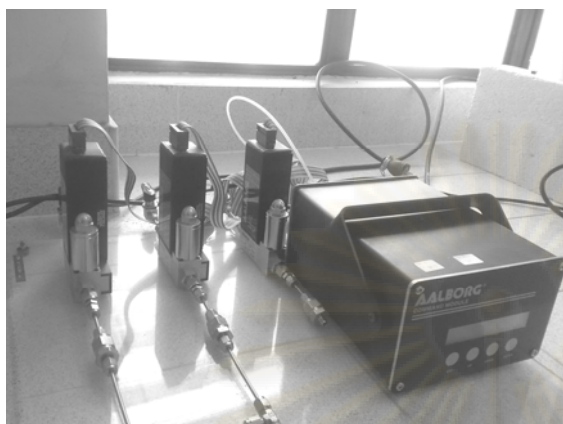
รูปที่ ค2 วัสดุทดลองควอทซ์



รูปที่ ค3 เครื่องวัดอุณหภูมิ



รูปที่ ค4 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ



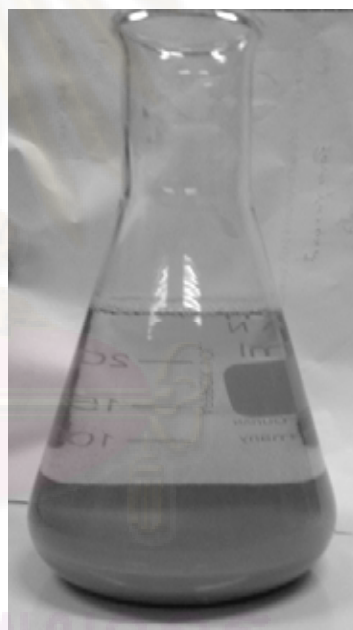
รูปที่ ค5 เครื่องควบคุม และกำหนดสภาวะก๊าซ



รูปที่ ค6 ถังก๊าซที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ ค7 ตัวอย่างน้ำยางดำที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ ค8 ผลิตภัณฑ์น้ำยางขาวจากการทดลอง

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย ณัฐกร วงษา เกิดเมื่อวันที่ 19 เมษายน พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดสุรินทร์ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2547 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2548



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย