

การศึกษาเบื้องต้นการออกซิเดชันบางส่วนและการไฟโรไลซิสของซีลีเนียม
ในเกลือผสมหลอมเหลวซิงก์คลอไรด์และโปตัสเซียมคลอไรด์



นางสาวภัทสรินทร์ จงวิสุทธิสันต์
นางสาวลดาวัลย์ สุวรรณรังษี
นางสาวนิตา ฮูเซ็น

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 45685
วัน, เดือน, ปี..... 13 ก.พ. 2546

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ใดๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**A Preliminary Study of Partial Oxidation and Pyrolysis of Saw Dust
in Molten Salt Mixture of ZnCl₂ and KCl**



Miss Passarin Jongvisuttisun

Miss Ladawan Suwannarungsri

Miss Wanida Hoosen

A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Bachelor of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang


2001

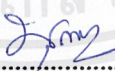
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

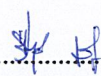
ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาเบื้องต้นการออกซิเดชันบางส่วนและการไพโรไลซิสของ
จี้อยู่ในเกลือผสมหลอมเหลวซิงค์คลอไรด์และ โปตัสเซียมคลอไรด์
โดย นางสาวภัศรรินทร์ จงวิสุทธิศักดิ์
นางสาวศศิวัลย์ สุวรรณรัมย์
นางสาววนิดา ชูเซ็น
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดร. ประกอบ กิจไชยา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์บุญชัย โชติวิริยวานิชย์


ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา)


.....กรรมการร่วม
(อาจารย์บุญชัย โชติวิริยวานิชย์)


.....กรรมการ
(อาจารย์รัตนฤดี เบญจางคประเสริฐ)


.....กรรมการ
(อาจารย์เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรินญาณินพนธ์เรื่อง การศึกษาเบื้องต้นการออกซิเดชันบางส่วนและการไพโรไลซิสของ
 จี๊เลื่อยในเกลือผสมหลอมเหลวซิงก์คลอไรด์และโปแตสเซียมคลอไรด์
 โดย นางสาวภัสสรินทร์ จงวิสุทธิตันต์
 นางสาวลดาวัลย์ สุวรรณรังษี
 นางสาววนิดา ฮูเซ็น
 ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
 อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดร. ประกอบ กิจไชยา
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์บุญชัย โชติวิริยวานิชย์
 ปรินญาณินพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
 ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นการนำเกลือหลอมเหลวมาใช้ในการเก็บพลังงานความร้อนที่ได้จากการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วนของจี๊เลื่อย เพื่อถ่ายเทพลังงานความร้อนต่อไปยังปฏิกิริยาไพโรไลซิสของจี๊เลื่อย โดยใช้เกลือผสมยูเทคติก $KCl / ZnCl_2$ ในอัตราส่วน 51 : 49 โมลเปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีจุดหลอมเหลว 430 องศาเซลเซียส สิ่งที่ทำการศึกษาคือ คุณสมบัติเบื้องต้นทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาข้างต้น ซึ่งมีทั้ง 3 สถานะคือ ของแข็งของเหลวและก๊าซ โดยก๊าซที่ได้เป็นก๊าซผสมที่มีคุณสมบัติเป็นกรดและมีพันธะคู่ระหว่างอะตอมของคาร์บอนในโมเลกุลของก๊าซ ผลิตภัณฑ์ของเหลวจะมีลักษณะเป็นของเหลวผสมที่มีสีน้ำตาล แสดงคุณสมบัติเป็นกรดอินทรีย์ มีพันธะคู่ระหว่างอะตอมของคาร์บอนในโมเลกุลของเหลว มีจุดเดือดอยู่ในช่วง 105 – 110 องศาเซลเซียส เป็นสารผสมที่มีขี้สามารถละลายได้ในน้ำ และเอทานอล แต่ไม่ละลายในเฮกเซน และมีความหนาแน่น 1.1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนที่เป็นของแข็งจะปนอยู่กับเกลือยูเทคติกในดังปฏิกิริยา จึงต้องนำมาละลายน้ำเพื่อแยกตะกอนของแข็งออกมา ซึ่งตะกอนที่ได้จะมีลักษณะใหม่เป็นสีดำคล้ายถ่านไม้ สำหรับเกลือยูเทคติกที่ละลายอยู่ในน้ำเมื่อนำไประเหยน้ำออกก็พบว่า ยังคงเป็นเกลือชนิดเดิม

Report Title A Preliminary Study of Partial Oxidation and Pyrolysis of Saw Dust in Molten Salt Mixture of $ZnCl_2$ and KCl

By Miss Passarin Jongvisuttisun
Miss Ladawan Suwannarungsri
Miss Wanida Hoosen

Advisor Asst. Dr. Prakob Kitchaiya

Co-Advisor Mr. Boonchai Chotiviriyavanich

Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This project is the preliminary study of molten salt mixture as a thermal energy storage. The energy from partial oxidation of saw dust was stored in the molten salts and transferred to the pyrolysis saw dust. The eutectic composition of $KCl / ZnCl_2$ salts is at the weight ratio of 51 : 49 that has the melting point of $430^\circ C$. Basic physical and chemical properties of reaction products were studied. There were three phases of the products : solid, liquid and gas. Gas product contained a gas mixture that has an acid component and component containing double-bonds between carbon-atoms. Liquid product has organic acid component and component containing double-bonds between carbon-atoms. Its colour is dark brown with boiling point in range of $105 - 110^\circ C$ and the density of $1.1 g/cm^3$. It has the polar compositions that is soluble in water and ethanol and insoluble in hexane. The solid left in the reaction was mixed in the eutectic salts and look like charcoal. After separation of the charcoal from the eutectic salts by dissolve the salts in water and filtration, the filtrate was evaporated, and obtaining recovery of the eutectic salts.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์และบุคลากร
หลายฝ่าย ทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณ

ผศ.ดร. ประกอบ กิ่งไชยา และอาจารย์บุญชัย โชติวิริยวานิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาและ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือในการจัดหาอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้
ในโครงการนี้ และตรวจแก้ไขโครงการ ทำให้โครงการฉบับนี้มีความสมบูรณ์

อาจารย์รณฤดี เบญจางคประเสริฐ และอาจารย์เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์ ภาควิชา
วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้
คำแนะนำ และตรวจแก้ไขโครงการ ทำให้โครงการฉบับนี้มีความสมบูรณ์

คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยเหลือในการติดตั้งอุปกรณ์ และอำนวยความสะดวก
ตลอดการทำงานของโครงการนี้

คุณจักรพงษ์ ไชยบุรี คุณธีระโชติ ศรีธีระวิโรจน์ และคุณชัชวีร์ ไทยสุชาติ นักศึกษา
ปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง ที่คอยให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการทำโครงการ

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณบุคลากร เพื่อนนักศึกษา และผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้
กำลังใจมาโดยตลอด ถ้ามีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำขออภัย และขออภัยมา ณ ที่นี้
ด้วย

คณะผู้จัดทำ

14 มีนาคม 2545

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่	
1. บทนำ	1
2. เกลือหลอมเหลว	4
3. มวลชีวภาพ	16
4. การไฟโรไลซิส	19
5. การเก็บพลังงานความร้อน	28
6. การทดลอง	32
7. ผลการทดลอง	43
8. สรุปผลการทดลอง	47
เอกสารอ้างอิง	49
ภาคผนวก	50

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การแบ่งชนิดของเกลือหลอมเหลวตามลักษณะของไอออน	5
2.2 ขอบเขตทั่วไปของการประยุกต์ใช้เกลือหลอมเหลว	6
2.3 ตัวอย่างของการประยุกต์ใช้เกลือหลอมเหลวในกระบวนการต่างๆ	7
2.4 คุณสมบัติทั่วไปของเกลือหลอมเหลวทั้งทางเคมีและทางกายภาพ	8
2.5 ตัวอย่างคุณสมบัติเฉพาะของเกลือหลอมเหลว	9
2.6 ตัวอย่างของวัสดุที่จะนำมาใช้กับเกลือหลอมเหลว	10
4.1 ลักษณะทางกายภาพของของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิส	24
7.1 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในสถานะก๊าซ	44
7.2 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในสถานะของเหลว	45
ก.1 คุณสมบัติต่างๆ ของเกลือที่ใช้ในการทดลอง	51
ก.2 คุณสมบัติต่างๆ ของเกลือยูเทคติกที่ใช้ในการทดลอง	51
ค.1 คุณสมบัติทางกายภาพของสารในสถานะของเหลว	62
ค.2 คุณสมบัติของก๊าซที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ	63

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 รูปแบบการทำงานของตัวกลางในการเก็บพลังงานความร้อนในกระบวนการ	1
2.1 กระบวนการกำจัดของเสียโดยใช้เกลือหลอมเหลว	12
2.2 ตัวอย่างแผนภาพสมดุลของระบบยูเทกติก	14
3.1 การใช้พลังงานจากมวลชีวภาพในสหรัฐอเมริกา	17
3.2 ผลกระทบต่างๆที่ได้จากมวลชีวภาพ	18
4.1 ผลกระทบจากการไพโรไลซิส	19
4.2 การผลิตก๊าซสังเคราะห์โดยสารป้อนเข้า (Feedstock) คือ มวลชีวภาพ และภายในเครื่องปฏิกรณ์บรรจุเกลือหลอมเหลวอุณหภูมิ 1224 องศาเซลวิน	20
4.3 ปริมาณมวลถ่านหินที่หายไป (Differential mass loss) ที่อุณหภูมิต่างๆ	21
4.4 กระบวนการไพโรไลซิสอย่างรวดเร็วแบบฟลูอิดไคซ์เบด (Fluidize bed)	23
4.5 การประยุกต์ใช้ไบโอออยล์	26
4.6 โมเดลของมวลชีวภาพเมื่อถูกไพโรไลซิส	27
5.1 แผนภาพระบบการเก็บพลังงานความร้อน	28
6.1 ขวดแก้วทรงกลม 4 คอ	32
6.2 ไบพัต ท่อนำสารป้อน และท่อนำอากาศ	32
6.3 ไบพัตสแตนเลสแบบพับได้	33
6.4 การจัดอุปกรณ์สำหรับการทดลอง	34
6.5 การหาช่วงจุดเดือด โดยใช้หลอดครุเด็ก	40
7.1 ผลกระทบที่ได้จากการทดลอง	43
7.2 ผลกระทบส่วนที่เป็นของแข็ง	43
7.3 การฟอกจางสีโปติสเทียมเปอร์มังกานेटของผลิตภัณฑ์ของเหลว	45
7.4 การฟอกจางสีไอโอดีนในคาร์บอนเตตระคลอไรด์ของผลิตภัณฑ์ของเหลว	46

บทที่ 1

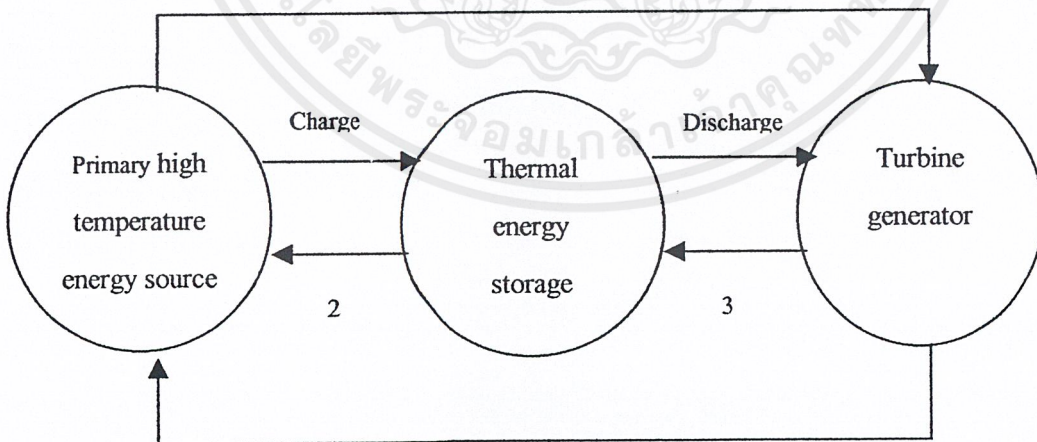
บทนำ

1.1 ความเป็นมา

การที่มนุษย์จะสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้จะต้องใช้พลังงานในการดำรงชีวิต พลังงานที่นำมาใช้แบ่งเป็น 2 ชนิดตามลักษณะการนำกลับมาใช้ใหม่ คือ พลังงานที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Renewable energy) เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ และพลังงานอีกชนิดคือพลังงานที่ใช้แล้วหมดไปหรือเรียกอีกอย่างว่าพลังงานสิ้นเปลือง (One-time-over energy) เช่น พลังงานที่ได้จากการเผาถ่านหิน หรือพลังงานที่ได้จากก๊าซธรรมชาติ ในปัจจุบันพลังงานสิ้นเปลืองเป็นแหล่งพลังงานหลักของมนุษย์แต่พลังงานสิ้นเปลืองเหล่านี้จะถูกใช้หมดไปในไม่ช้าเนื่องจากไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ดังนั้นจึงควรใช้พลังงานนี้ให้คุ้มค่าที่สุด

การเก็บรักษาพลังงานความร้อนเป็นวิธีหนึ่งที่จะสามารถใช้พลังงานสิ้นเปลืองได้อย่างคุ้มค่า โดยการเก็บรักษาพลังงานความร้อนจะใช้สารตัวกลาง (Medium) เป็นตัวเก็บพลังงานความร้อนจากแหล่งพลังงานไว้ก่อนที่จะถ่ายเทพลังงานนี้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ดังในรูปที่ 1.1

1



รูปที่ 1.1 รูปแบบการทำงานของตัวกลางในการเก็บพลังงานความร้อนในกระบวนการ

- (1) เมื่อไม่มีตัวเก็บพลังงานความร้อน
- (2) วัฏจักรของการเก็บพลังงานความร้อน
- (3) วัฏจักรของการถ่ายเทพลังงานความร้อน[1]

ถ้าพิจารณาแต่ในด้านของการเก็บพลังงานความร้อนแล้วปิโตรเลียมจะเป็นตัวกลางในการเก็บพลังงานความร้อนที่ดีที่สุดเนื่องจากปิโตรเลียมมีความสามารถในการเก็บพลังงานความร้อนสูง (High storage density : 36 GJ/m^3) [3] แต่การที่ปิโตรเลียมจะนำกลับมาใช้ใหม่นั้นทำได้ยาก จึงได้มีการศึกษาและค้นคว้าวิธีการเก็บรักษาพลังงานความร้อนด้วยวิธีอื่น ซึ่งการเก็บรักษาพลังงานความร้อนด้วยเกลือหลอมเหลว (Molten salt) เป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาขึ้น ทั้งนี้เพราะเกลือหลอมเหลวมีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาพลังงานความร้อน เช่น มีความจุความร้อนสูง มีคุณสมบัติการไหลที่เหมือนกับของไหล สามารถมีเสถียรภาพอยู่ได้ที่อุณหภูมิสูง เป็นต้น กลุ่มผู้ทำการทดลองมีความสนใจที่จะนำเอาคุณสมบัติที่ศึกษากลับไปใช้ในกระบวนการออกซิเดชันบางส่วน (Partial oxidation) และไพโรไลซิส (Pyrolysis) ของขี้เลื่อย (Saw dust) โดยใช้เกลือหลอมเหลวชนิด $\text{ZnCl}_2 - \text{KCl}$ เป็นตัวกลางเก็บพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วน และถ่ายเทพลังงานที่เก็บไว้ใช้ในปฏิกิริยาไพโรไลซิสต่อไป เพื่อให้สามารถใช้พลังงานได้อย่างคุ้มค่า

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาทฤษฎีและข้อมูลเบื้องต้นของเกลือหลอมเหลว มวลชีวภาพ รวมทั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วนและไพโรไลซิส
2. ศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ เช่น สถานะ จุดเดือด

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาค้นคว้าเอกสารวิชาการต่างๆเกี่ยวกับเกลือหลอมเหลว มวลชีวภาพ รวมทั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและไพโรไลซิส
2. เลือกชนิดของเกลือที่จะนำมาเป็นตัวกลางในการเก็บความร้อน โดยพิจารณาทั้งจากคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์
3. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ในการทดลอง
4. ศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความเข้าใจทฤษฎีและข้อมูลเบื้องต้นของเกลือหลอมเหลว มวลชีวภาพ รวมถึงปฏิกิริยาออกซิเดชันและไพโรไลซิส
2. เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำเอา มวลชีวภาพ มาใช้ให้เกิดประโยชน์ และยังอาจได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่ามากขึ้น
3. เพื่อเป็นการเพิ่มทักษะการวางแผนและการควบคุมการดำเนินงานวิจัยเพื่อให้บรรลุผลตามวัตถุประสงค์

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาข้อมูลและรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้อง เพื่อวางแผนการดำเนินงาน
2. ออกแบบและจัดทำอุปกรณ์การทดลอง
3. ดำเนินการทดลอง
4. การวิเคราะห์ผลการทดลอง
5. สรุปผลและเสนอแนะผลงานวิจัย

บทที่ 2

เกลือหลอมเหลว

2.1. เกลือหลอมเหลว (Molten salt)

Molten salt หรือเกลือหลอมเหลวสามารถเรียกอีกอย่างว่า Fused salt คือ เกลือที่ได้รับความร้อนจนถึงจุดหลอมเหลวของเกลือชนิดนั้นๆ ซึ่งที่จุดนี้เกลือที่ส่วนมากจะมีสถานะเป็นของแข็งจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นของเหลว ตัวอย่างเช่นเกลือ โซเดียมคลอไรด์เมื่อได้รับความร้อนมีอุณหภูมิถึง 801 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นจุดหลอมเหลวของโซเดียมคลอไรด์เกลือก็จะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งกลายเป็นของเหลว หรืออีกนัยหนึ่งก็คือเป็นเกลือหลอมเหลวนั่นเอง[2] ซึ่งเกลือแต่ละชนิดก็จะกลายเป็นเกลือหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่างๆกันขึ้นอยู่กับจุดหลอมเหลวของเกลือแต่ละชนิด [3]

เนื่องจากเกลือที่หลอมเหลวจะอยู่ในสภาพที่แตกตัวเป็นไอออน เช่น โซเดียมคลอไรด์จะแตกตัวให้โซเดียมไอออนซึ่งเป็นไอออนบวก (Cation) และคลอไรด์ไอออนซึ่งเป็นไอออนลบ (Anion) ดังนั้นจึงได้มีนิยามของเกลือหลอมเหลวอีกอย่างว่าเป็นไอออนิกลิควิดเมทริกซ์ (Ionic liquid metrix) ซึ่งทำให้สามารถแบ่งชนิดของเกลือหลอมเหลวได้ตามลักษณะของไอออน[4] ดังนี้

- Single คือ เมื่อเกลือหลอมเหลวแล้วจะมีไอออนบวกและไอออนลบเพียงอย่างละหนึ่งชนิดไอออน
- Binary mixture คือ เมื่อเกลือหลอมเหลวแล้วจะมีไอออนบวกสองชนิดไอออนและไอออนลบหนึ่งชนิดไอออน
- Ternary mixture คือ เมื่อเกลือหลอมเหลวแล้วจะมีไอออนบวกสามชนิดไอออนและไอออนลบหนึ่งชนิดไอออน
- Quaternary mixture คือ เมื่อเกลือหลอมเหลวแล้วจะมีไอออนบวกสี่ชนิด ไอออนและไอออนลบหนึ่งชนิด ไอออน
- Reciprocal คือ เมื่อเกลือหลอมเหลวแล้วจะ ไม่มีไอออนชนิดเดียวกันเลย

ตัวอย่างของเกลือหลอมเหลวที่แบ่งตามลักษณะของ ไอออนแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การแบ่งชนิดของเกลือหลอมเหลวตามลักษณะของไอออน[4]

Type	Examples
Single (one cation + one anion)	LiCl; NaNO ₃ ; K ₂ CO ₃
Binary mixture (two cations + same anion)	LiCl + KCl; Na ₂ SO ₄ + K ₂ SO ₄
Ternary mixture (three cations + same anion)	LiNO ₃ + NaNO ₃ + KNO ₃
Quaternary mixture (four cations + same anion)	NaCl + KCl + MgCl ₂ + CaCl ₂
Reciprocal (different anions and cations)	LiNO ₃ + NH ₄ NO ₃ + NH ₄ Cl

2.2 ความเป็นมาของเทคโนโลยีเกลือหลอมเหลว[1]

การเริ่มนำเอาเกลือหลอมเหลวมาใช้ประโยชน์เริ่มขึ้นตั้งแต่เมื่อใดยังไม่ปรากฏเป็นที่แน่ชัด จึงได้มีการค้นคว้าหาถึงที่มาจากหลักฐานทางประวัติศาสตร์ต่างๆ ซึ่งจากการค้นคว้าข้อมูลและหลักฐานต่างๆสามารถสันนิษฐานได้ว่าการนำเอาเกลือหลอมเหลวมาใช้งานอาจเริ่มขึ้นที่ประเทศโปนิเซีย โดยสันนิษฐานว่าเริ่มนำเกลือหลอมเหลวมาใช้เป็นวัสดุสำหรับละลายในเครื่องบดกรีเป็นอย่างแรก

อีกสมมุติฐานหนึ่งเชื่อว่าการนำเกลือหลอมเหลวมาใช้ประโยชน์นั้นมีมาตั้งแต่สมัยก่อนปี 1900 โดยเกลือหลอมเหลวมักจะถูกใช้เกี่ยวกับกระบวนการแยกโลหะออกจากโลหะผสมด้วยไฟฟ้า ต่อมาเทคโนโลยีเกลือหลอมเหลวจึงได้รับการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่องจนสามารถใช้งานได้หลากหลายกระบวนการ เช่น

- สามารถนำไปใช้ในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับพลังงาน ซึ่งอาจใช้ในการเก็บความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ ใช้ในเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิง เป็นต้น
- สามารถนำไปใช้ในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับสารประกอบโลหะได้เช่น ใช้ในกระบวนการสกัดแยกโลหะ หรืออาจใช้ในการลดหรือให้ความร้อนแก่กระบวนการ
- สามารถนำไปใช้กับกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีได้เช่น ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้ในกระบวนการไพโรไลซิส เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่างที่กล่าวมาข้างต้นเป็นเพียงบางส่วนของขอบเขตการประยุกต์ใช้เกลือหลอมเหลว ซึ่งได้แสดงไว้ดังตารางที่ 2.2 และตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 ขอบเขตทั่วไปของการประยุกต์ใช้เกลือหลอมเหลว[1]

Power	Metals/materials	Chemicals
Solar/thermal: collection, storage, transfer	Extraction: refractory metals, actinides,lanthanides, transition, and light metals	Fuels: cracking, catalysts
Nuclear: homogeneous reactors, reprocessing	Processing: heat treatment, annealing, quenching, cleaning, cementation, electroforming	Plastics: curing, etching, vulcanizing
Batteries: load leveling, traction, reserve (military)	Surface finishing: anodizing plating	Pyrolysis: recycling, scrap treatment, hazardous materials disposal
Fuel cells: power stations, autonomous units	Joining: fluxes and slags for welding, brazing,soldering, and electros slag refining	Synthesis: organics, gases
	Composites: glasses, ceramics, slags	Special applications: liquid crystals, single-crystal growing, matrix
	Recycling	

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างของการประยุกต์ใช้เกลือหลอมเหลวในกระบวนการต่างๆ[4]

Process	Operational	Projected
Metals extraction	Aluminum, beryllium, alkali metals, alkaline earth metals, refractory metal, transuranic elements	Transition metals, lanthanides, noble metals
Metals purification and recycling	Aluminum, beryllium, magnesium, lanthanides, actinides	Alkali metals, alkaline earth metals, noble metals, transition metals, coinage and white metals
Metals treatment	Annealing, quenching, cleaning, cementation, welding, brazing, soldering, electroslag refining and welding	Metallizing, electroplating, electroforming, anodizing, leaching, partitioning
Nonmetals production	Fluorine, other halogenes, glasses and ceramics	Carbon, silicon, phosphorus, sulfur, germanium, semiconductors
Nonmetals/organics processing	Fuel cracking, catalysis, organics synthesis and modification, plastics curing, etching, recycling rubber; vulcanizing, waste disposal, pyrolysis, gasification, gas scrubbing	Extension and expansion in most areas
Power generation and storage	Thermal energy storage, batteries (reserve)	Heat transfer, fuel cells, batteries (load-leveling and traction), nuclear (fission and fusion), solar energy conversion (various routes)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 คุณสมบัติของเกลือหลอมเหลว

จากตารางที่ 2.2 และตารางที่ 2.3 จะเห็นว่าสามารถนำเกลือหลอมเหลวมาใช้ได้อย่างกว้างขวาง เช่น ใช้ในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้าเคมี การถ่ายเทความร้อน ปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือปฏิกิริยารีดักชัน เป็นต้น เนื่องจากคุณสมบัติทั่วไปบางประการ เช่น

- สามารถใช้เป็นตัวทำละลายได้
- มีความจุความร้อนสูง
- สามารถคงอยู่ได้ที่อุณหภูมิสูง
- สามารถนำไฟฟ้าได้
- เกลือหลอมเหลวบางชนิดสามารถเร่งปฏิกิริยาได้

นอกจากตัวอย่างคุณสมบัติของเกลือหลอมเหลวที่กล่าวมาแล้วยังมีคุณสมบัติอีกหลายประการที่เป็นสาเหตุให้เกลือหลอมเหลวสามารถใช้งานได้อย่างหลากหลาย เช่น ความหนาแน่นต่ำ คุณสมบัติเหล่านี้แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทั่วไปของเกลือหลอมเหลวทั้งทางเคมีและทางกายภาพ[4]

Physical	Chemical/electrochemical
<ul style="list-style-type: none"> ● High thermal conductivity ● High thermal capacity ● Low density ● Moderate viscosity ● Optically transparent (pure) ● High electrical conductivity ● Mutual miscibility ● High surface energy, good wetting with low contact angles ● Newtonian fluids ● Low vapor pressure 	<ul style="list-style-type: none"> ● Wide range of thermochemical stability ● Good solvents ● High reaction rates ● Good electrochemical stability ● Low gas solubilities (except by chemical interactions) ● Low dielectric constants ● Adjustable acid-base properties ● Nonaqueous environment ● Standard potentials depend on system and differ from aqueous ● Corrosive ● Hygroscopic

ในการเลือกชนิดของเกลือหลอมเหลวที่จะนำมาใช้ในกระบวนการหนึ่งๆนั้นจะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติเฉพาะของเกลือหลอมเหลวแต่ละชนิดว่ามีคุณสมบัติเฉพาะเป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่ ซึ่งในตารางที่ 2.5 ได้แสดงถึงตัวอย่างคุณสมบัติเฉพาะของเกลือหลอมเหลวที่จะนำมาใช้ในกระบวนการต่างๆ

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างคุณสมบัติเฉพาะของเกลือหลอมเหลว[4]

Type	Examples	Typical characteristics
Simple ionic	LiBr, NaCl, KF	Ionized, stable, high melting, low vapor pressure, low density, low viscosity, good solvent
Simple polyanionic	LiNO ₃ , Na ₂ SO ₄ , KCN, metal carboxylates	Ionized, fairly stable, moderate on temperature and pressure, low density, low viscosity, tendency to glass formation
Network/polymer/glass	CaB ₂ O ₄ , Na ₃ PO ₄ , Be ₂ SiO ₄	Limited ionization dependent on Temperature and composition, stable, high melting, very low vapor pressure, dense, viscous, glassy
Molecular	ICl, AlBr ₃ , HgI ₂ , picric acid, sodium benzoate	Limited dissociation depending on temperature and pressure, limited stability, low melting, high vapor pressure
Aqueous/hydrated	LiClO ₃ · 3H ₂ O Na ₂ S ₂ O ₃ · 5H ₂ O Ba(OH) ₂ + 48% wt. H ₂ O	Ionized, stable, very low melting, vapor pressure (H ₂ O) dependent on temperature, pressure and atmosphere, dense, viscous, supercooling tendency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การเลือกอุปกรณ์ที่จะใช้กับเกลือหลอมเหลว

เป็นที่รู้กันว่าเกลือหลอมเหลวส่วนใหญ่จะมีอุณหภูมิสูงอีกทั้งยังมีคุณสมบัติการกัดกร่อน และยังมีคุณสมบัติเฉพาะของเกลือหลอมเหลวชนิดนั้นๆด้วย เช่น เกลือหลอมเหลวบางตัวอาจทำปฏิกิริยากับโลหะทำให้เปลี่ยนสภาพหรืออาจเกิดพิษได้ ด้วยเหตุนี้ในกระบวนการที่มีการนำเกลือหลอมเหลวมาใช้งานนั้นจะต้องคำนึงถึงวัสดุที่จะใช้และจะต้องคำนึงถึงสถานะของกระบวนการ เช่น อุณหภูมิ ความดัน เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยในการทำงานเพราะถ้าหากเลือกวัสดุที่จะนำมาใช้ผิดแล้วอาจทำให้เกิดความเสียหายใหญ่ได้ เช่น อาจระเบิดได้ เป็นต้น

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างของวัสดุที่จะนำมาใช้กับเกลือหลอมเหลว[4]

Material	Temperature range	Uses	Limitations
Borosilicate glass	<450 C	Containment, insulator	Devitrification, poor seals to noble metals
PTFE (Teflon)	<300 C	Containment, insulator, fabrication	Opaque, low temperatures
Special glassas and silica	<700 C	Containment, optics	Cost, fabrication problems
Oxide ceramics (Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ , etc.)	<1500 C	Containment, insulator	Fabrication restricted, soluble in some melts
Refractories, minerals (BN, SiC, pyrophyllite, diamond, etc.)	Very high	Containment, insulator	Expensive, limited fabrication, variable composition
Noble and refractory metals	Various	Containment, conductors, furnace shields	Expensive, reactive or soluble in some melts
Vitreous carbon	<1500 C	Containment, conductors	Fabrication restricted, variable properties accordind to source
Graphite/pyprolytic graphite	<1500 C	Containment, conductors, furnace shields	Porous/anisotropic, unsuitable for oxidizing conditions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ตัวอย่างของการประยุกต์ใช้เกลือหลอมเหลว[2]

2.5.1 นำเกลือหลอมเหลวมาเป็นตัวกลางในการเก็บความร้อนจากแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า (Molten salt heat transfer – solar power tower)

เนื่องจากเกลือหลอมเหลวสามารถเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิสูงได้ ดังนั้นจึงได้มีการนำเอาเกลือหลอมเหลวไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังแสงอาทิตย์โดยโรงไฟฟ้านี้ตั้งอยู่ในประเทศสหรัฐอเมริกาที่รัฐแคลิฟอร์เนียใช้เกลือผสมระหว่างเกลือไนไตรต์และเกลือไนเตรทรับความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่หอ โดยจะใช้กระจกสะท้อนแสงอาทิตย์ให้ไปรวมกันที่หอรับแสง เมื่อเกลือได้รับความร้อนแล้วจะนำความร้อนที่เกลือรับไว้ไปถ่ายเทให้กับน้ำยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) เพื่อผลิตเป็นไอน้ำสำหรับนำไปหมุนใบพัดเพื่อผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าต่อไป กระบวนการนี้มีข้อจำกัด คือ ทำเลที่ตั้งจะต้องมีแสงอาทิตย์ในปริมาณมาก ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้กับประเทศที่มีภูมิอากาศหนาวได้

2.5.2 เกลือหลอมเหลวสามารถนำมาใช้ในการผลิตโลหะที่ไม่มีส่วนประกอบของเหล็ก (Pyroprocessing of non-ferrous metals)

เกลือหลอมเหลวสามารถนำมาใช้ในการผลิตโลหะที่ไม่มีส่วนประกอบของเหล็กได้ เช่น อลูมิเนียม ไททาเนียม โดยกระบวนการผลิตอลูมิเนียมจะใช้วิธีแยกอลูมิเนียมออกจากอลูมินา (อลูมิเนียมออกไซด์ Al_2O_3) ด้วยไฟฟ้าซึ่งเป็นกระบวนการที่มีชื่อเสียงและมีมาเป็นเวลานานที่สุด ส่วนกระบวนการผลิตไททาเนียมจะเป็นกระบวนการที่ไม่ใช้กระแสไฟฟ้าในการผลิต ขั้นตอนการผลิตไททาเนียมคือ ขั้นแรกไททาเนียมออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับคลอรินและคาร์บอน (มักใช้ถ่านปิโตรเลียม) กลายเป็น ไททาเนียมเตตระคลอไรด์ ($TiCl_4$) ซึ่งเป็นเกลือของไททาเนียม เมื่อได้ไททาเนียมเตตระคลอไรด์แล้วจะต้องหลอมเพื่อให้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น จากนั้นจะต้องนำไปทำปฏิกิริยากับโซเดียมหรือแมกนีเซียมในกระบวนการฮันเตอร์หรือโคลล์ (Hunter or Kroll process) จะได้ผลิตภัณฑ์คือ ไททาเนียมสปอง (Titanium sponge) และโซเดียมคลอไรด์ หรือ แมกนีเซียมคลอไรด์ ซึ่งไททาเนียมสปองนี้จะเป็นสารตั้งต้นในการผลิตไททาเนียมต่อไป

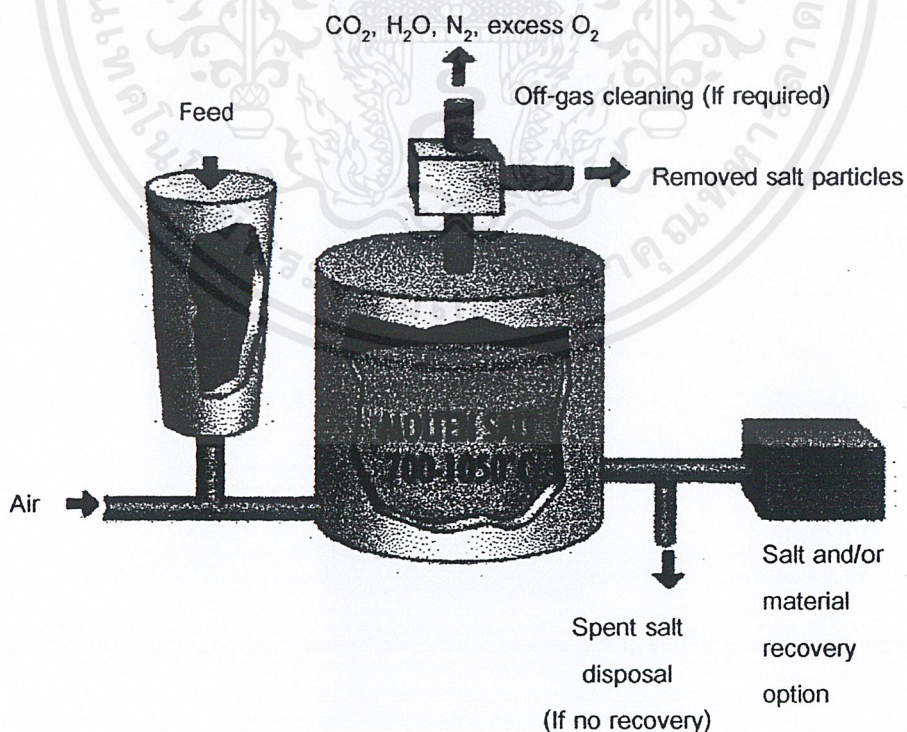
2.5.3 การประยุกต์ใช้เกลือหลอมเหลวในเซลล์เชื้อเพลิง (Molten salt electrolytics – fuel cell)

เกลือหลอมเหลวที่นิยมใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงมากที่สุดคือเกลือผสมของเกลือคาร์บอเนต (โซเดียมคาร์บอเนตและเกลือคาร์บอเนตอื่นๆเช่นลิเทียมหรือโปแตสเซียม) โดยจะใช้เกลือหลอมเหลวเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ในเซลล์เชื้อเพลิง ข้อดีของเกลือชนิดนี้คือ เกลือหลอมเหลวจะกัดกร่อนขั้วโลหะทำให้อายุการใช้งานสั้น

2.6 ตัวอย่างของเทคโนโลยีการออกซิเดชันโดยใช้เกลือหลอมเหลว (Molten salt oxidation technology) [5], [6]

2.6.1 การกำจัดของเสีย (Waste treatment)

เกลือหลอมเหลวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการออกซิเดชันของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ได้โดยลักษณะของกระบวนการจะเป็นดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กระบวนการกำจัดของเสียโดยใช้เกลือหลอมเหลว[5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารตั้งต้นจะถูกส่งเข้าไปยังด้านล่างของถังปฏิกรณ์พร้อมกับอากาศ ในถังปฏิกรณ์จะมีเกลือหลอมเหลวอยู่ (นิยมใช้เกลือ Na_2CO_3) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาจะอยู่ในรูปของก๊าซซึ่งจะออกจากถังปฏิกรณ์ทางด้านบน ส่วนเกลือที่ใช้แล้วอาจนำกลับมาใช้ใหม่หรือทิ้งไปก็ได้

หน้าที่ของเกลือหลอมเหลวในปฏิกิริยา

- เป็นแหล่งพลังงานของปฏิกิริยา
- ทำให้สารตั้งต้นได้รับความร้อนอย่างทั่วถึงเพราะเกลือหลอมเหลวเป็นตัวกลางในการถ่ายเท พลังงานความร้อน
- เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
- จับของเสียที่เกิดจากปฏิกิริยาเช่น char
- จับก๊าซกรดเช่น ไฮโดรเจนคลอไรด์ ไฮโดรเจนฟลูออไรด์
- จับสารที่ไม่ใช่สารอินทรีย์ เช่น โลหะ

ข้อดีของกระบวนการนี้คือ

- สามารถสลายสารอินทรีย์ได้ถึง 99.99 เปอร์เซ็นต์
- ไม่ต้องมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่กำจัดก๊าซกรด
- ไม่มีปัญหาในเรื่องของสารไดออกซิน
- ราคาถูก

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะประกอบด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ ก๊าซไนโตรเจน และก๊าซออกซิเจน ส่วนก๊าซที่เป็นกรดจะถูกเกลือหลอมเหลวจับไว้ดังนั้นจึงไม่ต้องมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่กำจัดก๊าซกรด

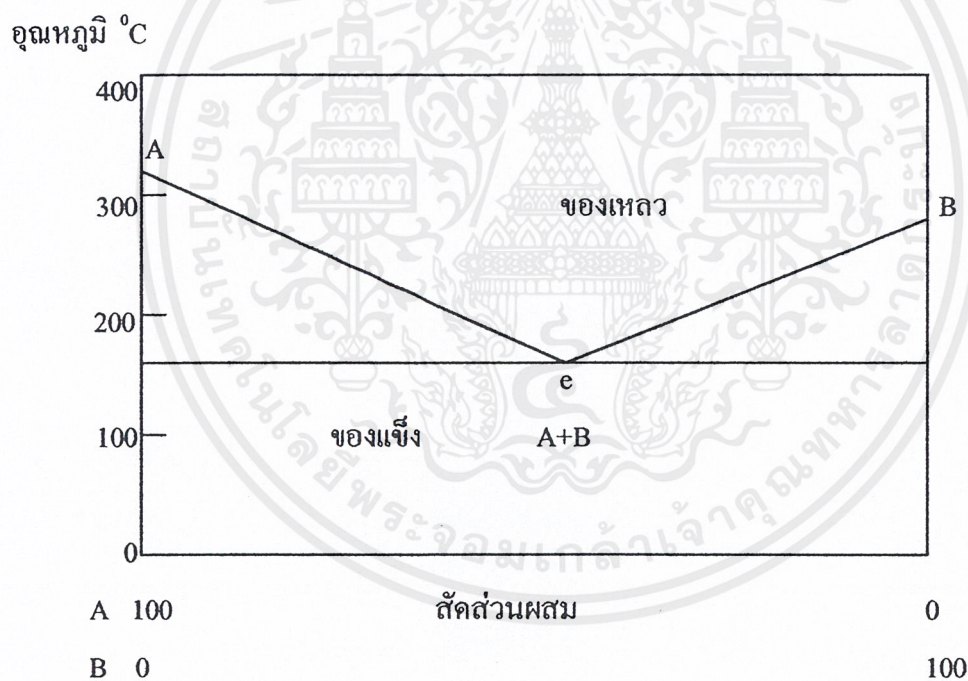
2.6.2 Coal gasification

เกลือหลอมเหลวสามารถช่วยในปฏิกิริยาออกซิเดชันของถ่านหินทำให้ถ่านหินแตกตัวกลายเป็นก๊าซได้(นิยมใช้เกลือโซเดียมคาร์บอเนตในปฏิกิริยา) ซึ่งสภาวะของกระบวนการจะอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 900 – 1,000 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมินี้เกลือจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน เมื่อถ่านหินผ่านเข้าไปยังถังปฏิกรณ์จะแตกตัวอย่างรวดเร็วและให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซ ซึ่งส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับความดันดังนี้

- ถ้าสถานะของกระบวนการอยู่ที่ความดันบรรยากาศผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนซึ่งสามารถนำไปใช้ในรูปของก๊าซสังเคราะห์ได้
- ถ้าสถานะของกระบวนการอยู่ที่ความดันสูงๆ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในรูปของโมเลกุลที่ใหญ่กว่ากระบวนการที่อยู่ความดันบรรยากาศ เช่น มีเทน เป็นต้น

2.7 ระบบยูเทกติก (Eutectic system) [7]

ระบบยูเทกติก คือ ระบบที่มีธาตุหรือสาร 2 ชนิดผสมกันในอัตราส่วนต่าง ๆ ทำให้อุณหภูมิลดลงเหลือต่ำกว่าจุดหลอมเหลวปกติของธาตุหรือสารบริสุทธิ์นั้นๆ สำหรับอัตราส่วนที่มีจุดหลอมเหลวนต่ำที่สุดเรียกว่า จุดยูเทกติก (Eutectic point)



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างแผนภาพสมดุลของระบบยูเทกติก[7]

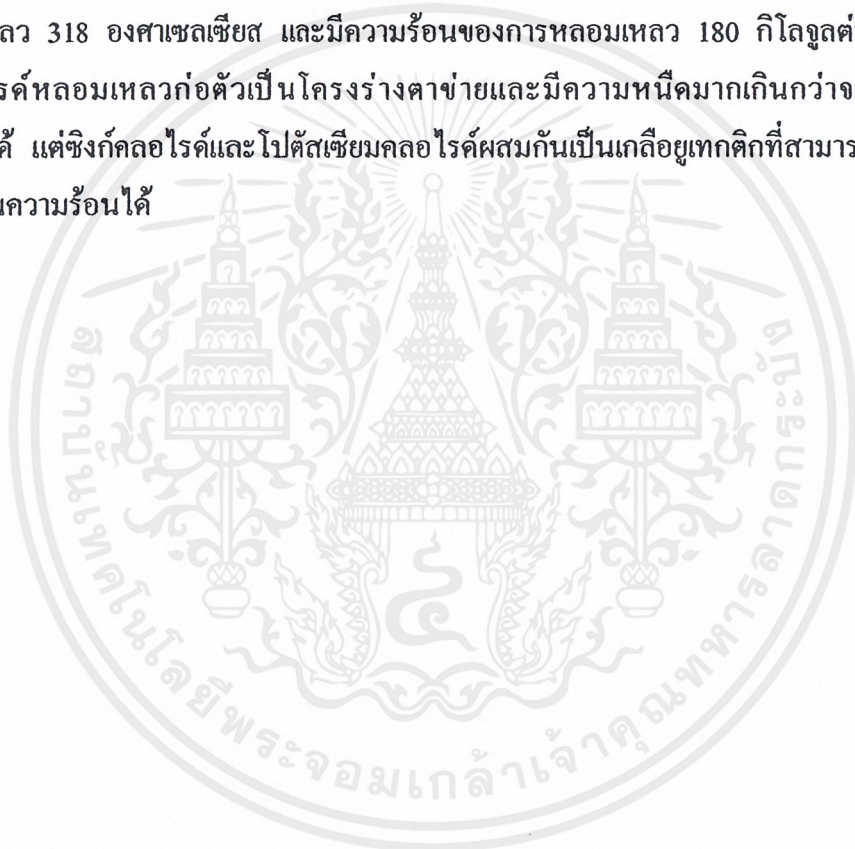
จากแผนภาพอธิบายได้ดังนี้ อุณหภูมิลดลงของสารจะลดลงเมื่อมีอีกธาตุหนึ่งผสมอยู่ เส้นของเหลวทั้งสองคือ เส้น Ae และ Be จะพบกันที่จุด e ซึ่งเรียกว่า จุดยูเทกติก ที่จุดนี้จะมีอุณหภูมิลดลงเหลือต่ำกว่าจุดหลอมเหลวปกติของระบบ สารผสมที่จุดยูเทกติกมีคุณสมบัติเหมือนธาตุหรือสารบริสุทธิ์ในด้านจะหลอมเหลวจึงอุณหภูมิกงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 เกลือและยูเทกติกสำหรับอุณหภูมิต่ำกว่า 450 องศาเซลเซียส [8]

เกลือและยูเทกติกที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า 450 องศาเซลเซียส และเป็นวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงเฟสสำหรับการเก็บพลังงานความร้อนมีดังนี้ เกลือไนเตรท (และไนไตรท์) ไฮดรอกไซด์ คลอไรด์ และฟลูออไรด์

โดยทั่วไปคลอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่า 450 องศาเซลเซียส แต่เกลือยูเทกติกที่มีจุดหลอมเหลวต่ำที่เหมาะสมสามารถใช้เป็นวัสดุเก็บความร้อนได้ ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับซิงก์คลอไรด์ มีจุดหลอมเหลว 318 องศาเซลเซียส และมีความร้อนของการหลอมเหลว 180 กิโลจูลต่อกิโลกรัม ซิงก์คลอไรด์หลอมเหลวก่อตัวเป็นโครงร่างตาข่ายและมีความหนืดมากเกินกว่าจะนำมาใช้ประโยชน์ได้ แต่ซิงก์คลอไรด์และโปแตสเซียมคลอไรด์ผสมกันเป็นเกลือยูเทกติกที่สามารถนำมาใช้เก็บพลังงานความร้อนได้



บทที่ 3 มวลชีวภาพ

3.1 มวลชีวภาพ (Biomass) [9], [10]

มวลชีวภาพ หมายถึง เชื้อเพลิงที่ได้จากต้นไม้หรือสิ่งมีชีวิต ในมวลชีวภาพจะมีพลังงานสะสมอยู่และสามารถดึงออกมาใช้ได้ เพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น จะอธิบายถึงการที่มวลชีวภาพสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ ดังนี้

คาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ในบรรยากาศและในน้ำจะถูกดึงไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อผลิตเป็นคาร์โบไฮเดรต (หรือน้ำตาล) ซึ่งก็จะอยู่ในรูปของมวลชีวภาพ พลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้เกิดการสังเคราะห์แสงถูกเก็บไว้ในพันธะเคมีของโครงสร้างของมวลชีวภาพซึ่งเราสามารถดึงพลังงานที่ถูกเก็บไว้ในพันธะเคมีไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศจะถูกดึงไปรวมกับคาร์บอนในมวลชีวภาพออกมาเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ กระบวนการทั้งหมดนี้จะวนมาเริ่มใหม่อีกครั้งโดยคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกนำไปใช้สร้างมวลชีวภาพใหม่ขึ้น แล้วเมื่อเกิดการสังเคราะห์แสงคาร์บอนก็จะกลับออกมาจากมวลชีวภาพจึงกล่าวได้มวลชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงที่น่ากลับมาใช้ได้

เนื่องจากมวลชีวภาพเป็นทรัพยากรที่มีความหลากหลายของเคมีและวัสดุ มวลชีวภาพจึงเป็นสินค้าที่มีความสำคัญอย่างหนึ่งของเศรษฐกิจโลกเพราะมวลชีวภาพสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นการนำมาทำเป็นอาหาร เส้นใย หรือเมล็ดคัพันธุ์ และมวลชีวภาพยังสามารถใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงโดยมวลชีวภาพสามารถเปลี่ยนเป็นเชื้อเพลิงได้โดยอาศัยกระบวนการต่างๆ

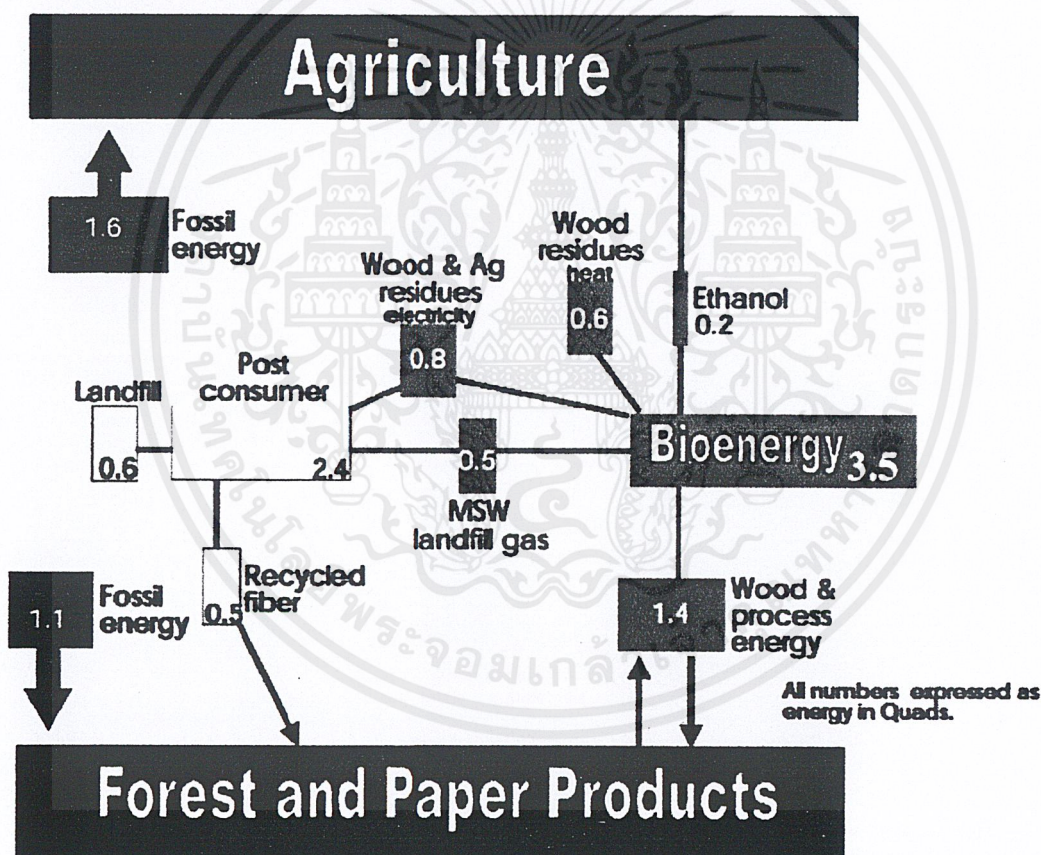
3.2 ส่วนประกอบของมวลชีวภาพโดยประมาณ

- Lignin 25 %
- Carbohydrates or sugar 70 % (Cellulose and hemi-cellulose)
- Extractive 5 % (Smaller molecular fragment)

3.3 ตัวอย่างของปริมาณการนำมวลชีวภาพไปใช้ในรูปพลังงาน [9]

พลังงานทั้งหมดที่ใช้ในสหรัฐอเมริกาผลิตเองและนำเข้าประมาณ 94.2 quads* ซึ่ง 7.1 quad จากทั้งหมดเป็นพลังงานที่นำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งปริมาณของพลังงานที่นำกลับมาใช้ใหม่นี้มากกว่า 3 quad ใช้สำหรับที่พักอาศัยและใช้เป็นพลังงานในกระบวนการอุตสาหกรรม พลังงานที่ใช้สำหรับการกำจัดขยะและเชื้อเพลิงสำหรับพาหนะบางส่วนได้มาจากมวลชีวภาพ มวลชีวภาพมีหลากหลายชนิดซึ่งแต่ละชนิดก็นำมาใช้เป็นพลังงานในปริมาณต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.1

* (1 quad = 10,000,000,000,000 BTU)



รูปที่ 3.1 การใช้พลังงานจากมวลชีวภาพในสหรัฐอเมริกา[9]

แต่ในความเป็นจริงแล้ว การใช้มวลชีวภาพยังไม่เป็นที่นิยมเท่าการใช้ก๊าซธรรมชาติ เนื่องจากการใช้ก๊าซธรรมชาตินั้นจะใช้เงินทุนต่ำกว่า ค่าเชื้อเพลิงปานกลางและมีความแน่นอน จุดคิดที่สำคัญ

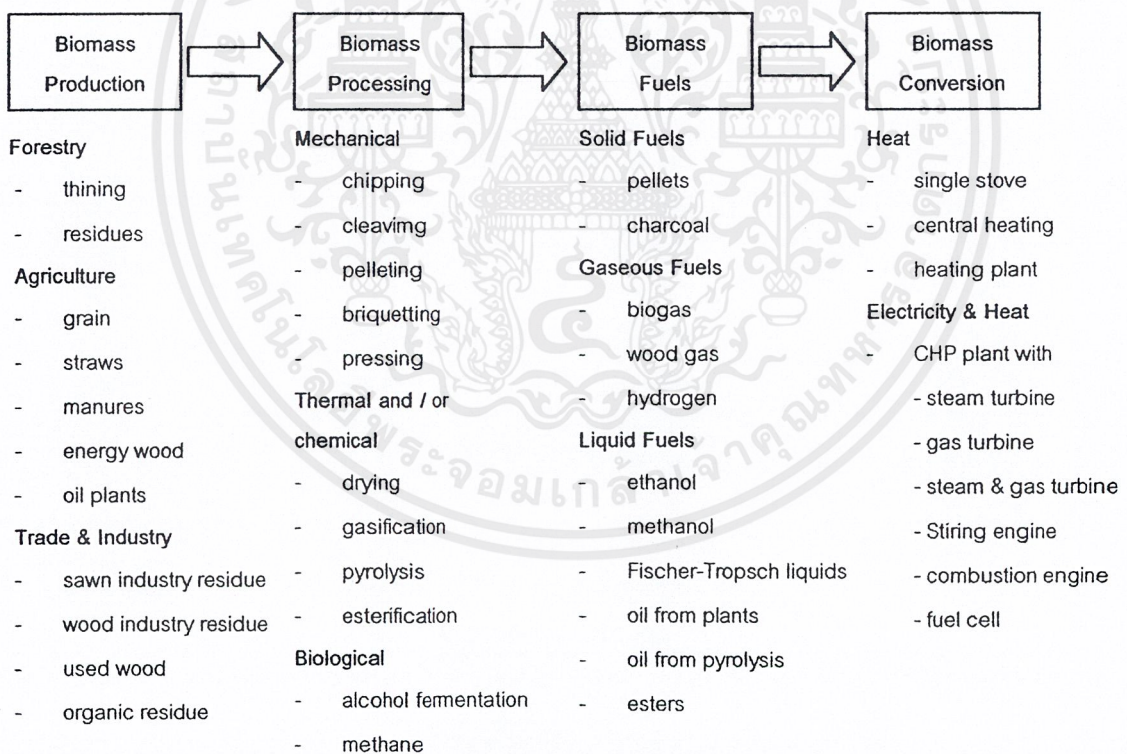
ของมวลชีวภาพก็คือช่วยในการประหยัดเรื่องการจัดการกับสิ่งเวดล้อม เช่น ไม้คองการที่สำหรับเก็บกาก

3.4 พลังงานที่ได้จากมวลชีวภาพ

มวลชีวภาพเป็นทรัพยากรอย่างหนึ่งที่สามารถนำมาผ่านกระบวนการได้หลายทาง เพื่อให้ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น

- สามารถเปลี่ยนเป็นเอทานอล
- นำไปเผาไหม้เพื่อให้เกิดเป็นพลังงานความร้อนและกระแสไฟฟ้า
- หรือใช้ปฏิกิริยาการทำให้เกิดเป็นก๊าซ (Gasification) จะเป็นวิธีทำให้เกิดเป็นก๊าซสังเคราะห์ (Syn-gas) แล้วทำให้เป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด เช่น เมทานอล และอื่นๆ ดังรูป

3.2

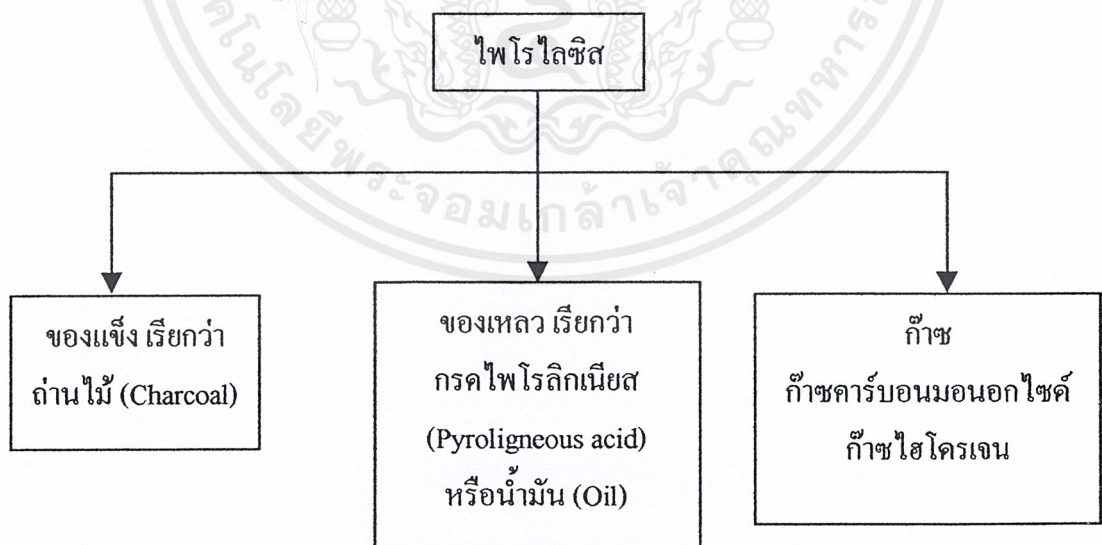


รูปที่ 3.2 ผลิตภัณฑ์ต่างๆที่ได้จากมวลชีวภาพ[9]

บทที่ 4 ไพโรไลซิส

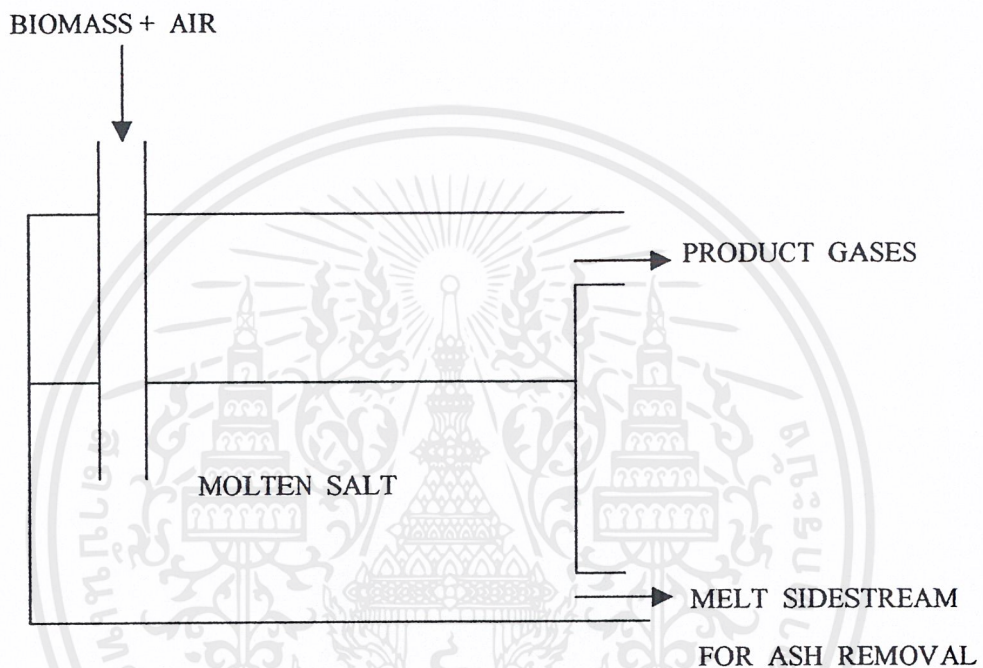
4.1 การไพโรไลซิส (Pyrolysis) [11]

เป็นกระบวนการแตกสลายโมเลกุลของสารอินทรีย์ เช่น ปิโตรเลียม (Petroleum) มวลชีวภาพ ด้วยความร้อนในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจน ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 200 – 600 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยามีทั้งของแข็ง ของเหลวและก๊าซ โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งจะได้แก่ ถ่านไม้ (Charcoal) ส่วนที่เป็นของเหลวจะประกอบด้วยสารละลายที่ละลายน้ำได้เรียกว่า กรดไพโรลิกเนียส (Pyrolygneous acid) เช่น เมทานอล อะซิโตน กรดอะเซติก เป็นต้น กับส่วนที่ไม่ละลายน้ำ เช่น น้ำมันดิน (Tar) และยางมะตอย (Pitch) สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซมีเทน ก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซไนโตรเจน ดังเช่นในแผนภาพ



รูปที่ 4.1 ผลิตภัณฑ์จากการไพโรไลซิส[12]

ถ้าหากกระบวนการไพโรไลซิสเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงถึง 1000 องศาเซลเซียสหรือมากกว่า ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะเป็นก๊าซ ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้เป็นกระบวนการผลิตก๊าซสังเคราะห์ได้ ซึ่งประกอบด้วย ก๊าซไฮโดรเจนกับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งก๊าซชนิดนี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารเคมีต่าง ๆ รวมทั้งการผลิตเชื้อเพลิงเหลวด้วย



รูปที่ 4.2 การผลิตก๊าซสังเคราะห์โดยสารป้อนเข้า (Feedstock) คือ มวลชีวภาพ และภายในเครื่องปฏิกรณ์บรรจุเกลือหลอมเหลวอุณหภูมิ 1224 องศาเซลวิน[11]

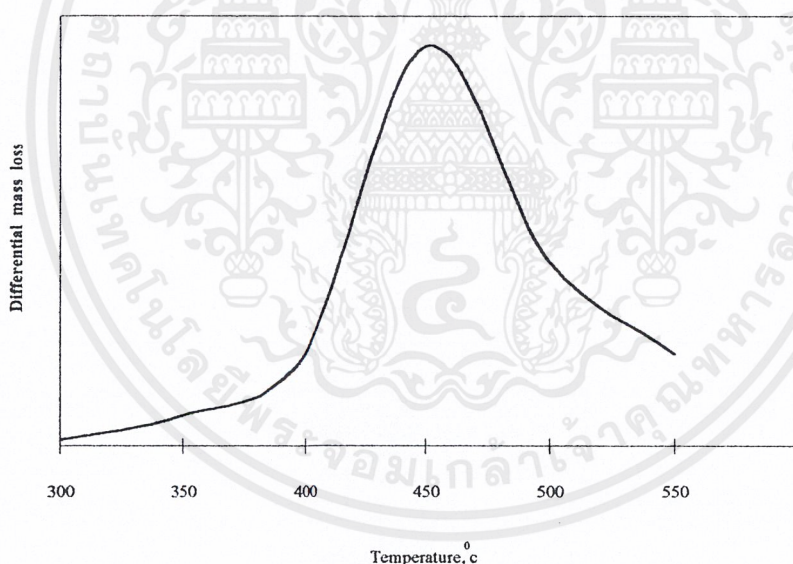
4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์

4.2.1 องค์ประกอบของวัตถุดิบ (Composition of the raw material)

องค์ประกอบของวัตถุดิบจะสามารถบ่งถึงคุณสมบัติเบื้องต้นของวัตถุดิบได้ โดยระบุเป็นอัตราส่วนของไฮโดรเจนต่อคาร์บอน ชนิดของวัตถุดิบที่ป้อนสู่กระบวนการไพโรไลซิสเป็นปัจจัยสำคัญที่สามารถบอกถึงการเกิดสารไอระเหย (Volatile matter) ได้

4.2.2 อุณหภูมิของการไพโรไลซิส (Pyrolysis temperature)

อุณหภูมิของการไพโรไลซิสจะมีผลต่อทั้งปริมาณและองค์ประกอบของสารไอระเหย อย่างเช่น เมื่อมีการให้ความร้อนอย่างช้า ๆ แก่ถ่านหิน ที่อุณหภูมิ 350 – 400 องศาเซลเซียส จะเกิดสารไอระเหยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีปริมาณมากที่สุดที่อุณหภูมิประมาณ 450 องศาเซลเซียสและจะมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 500 องศาเซลเซียส ดังนั้น ในเบื้องต้นจะแบ่งการไพโรไลซิสออกเป็น 3 ขั้นตอน ขั้นที่ 1 ในช่วงอุณหภูมิ 100 - 300 องศาเซลเซียส ก๊าซที่เป็นผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นออกไซด์ของคาร์บอนและน้ำ ขั้นที่ 2 จะได้สารไอระเหยถึง 3 ใน 4 ส่วนของสารไอระเหยที่จะได้ทั้งหมด และขั้นสุดท้ายจะเกิดก๊าซไฮโดรเจนเป็นส่วนใหญ่ซึ่งเป็นก๊าซที่ไม่ควมแน่น ดังในรูปที่ 4.3 แสดงมวลของถ่านหินที่หายไปที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.3 ปริมาณมวลถ่านหินที่หายไป (Differential mass loss) ที่อุณหภูมิต่างๆ[13]

4.2.3 อัตราการให้ความร้อน (Heating rate)

อัตราการให้ความร้อนจะมีผลต่อทั้งปริมาณและองค์ประกอบของสารไอระเหย เช่น ถ้าหากมีการเพิ่มความร้อนให้แก่ถ่านหินอย่างรวดเร็ว จะทำให้เกิดสารไอระเหยมากกว่าที่ประมาณการไว้ สำหรับการนิยามอัตราการให้ความร้อนว่า เร็ว หรือช้า ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ในการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบจนถึงอุณหภูมิสุดท้ายของการไพโรไลซิส (T_H) ว่ามากหรือน้อยกว่าระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไพโรไลซิส (T_R)

$T_H \gg T_R$ แสดงว่ามีอัตราการให้ความร้อนช้า

$T_H \ll T_R$ แสดงว่ามีอัตราการให้ความร้อนเร็ว

4.2.4 ขนาดของอนุภาค (Particle size)

ขนาดของอนุภาคมีอิทธิพลต่อผลผลิตที่ได้จากการไพโรไลซิสและมีความสัมพันธ์กับอัตราการให้ความร้อนด้วย ในกรณีที่ขนาดของอนุภาคมีขนาดใหญ่กว่า อัตราการให้ความร้อนจะช้าและอุณหภูมิเฉลี่ยจะต่ำกว่า ดังนั้นจะได้สารไอระเหยปริมาณน้อยกว่า

4.2.5 ความดัน (Pressure)

เป็นที่คาดหมายว่าจะมีผลต่อการเกิดสารไอระเหย เมื่อความดันสูงขึ้นจะลดปริมาณผลผลิตที่ได้

4.3 การไพโรไลซิสอย่างรวดเร็ว (Fast pyrolysis) [14]

กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง มวลชีวภาพจะถูกให้ความร้อนอย่างรวดเร็วโดยปราศจากออกซิเจน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายตัวโดยส่วนใหญ่เป็นไอ ละอองของเหลวและถ่านไม้ หลังจากผ่านการกลั่นตัว (Condensation) จะได้ของเหลวสีน้ำตาลเข้มที่มีค่าการให้ความร้อน (Heating value) เท่า ๆ กับครึ่งหนึ่งของน้ำมันเชื้อเพลิง ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตถ่านไม้โดยการไพโรไลซิสแล้ว การไพโรไลซิสอย่างรวดเร็วนี้เมื่อได้รับการควบคุมอย่างดีจะให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิต (Yield) ของของเหลวสูง

4.3.1 ลักษณะของกระบวนการไพโรไลซิสอย่างรวดเร็ว

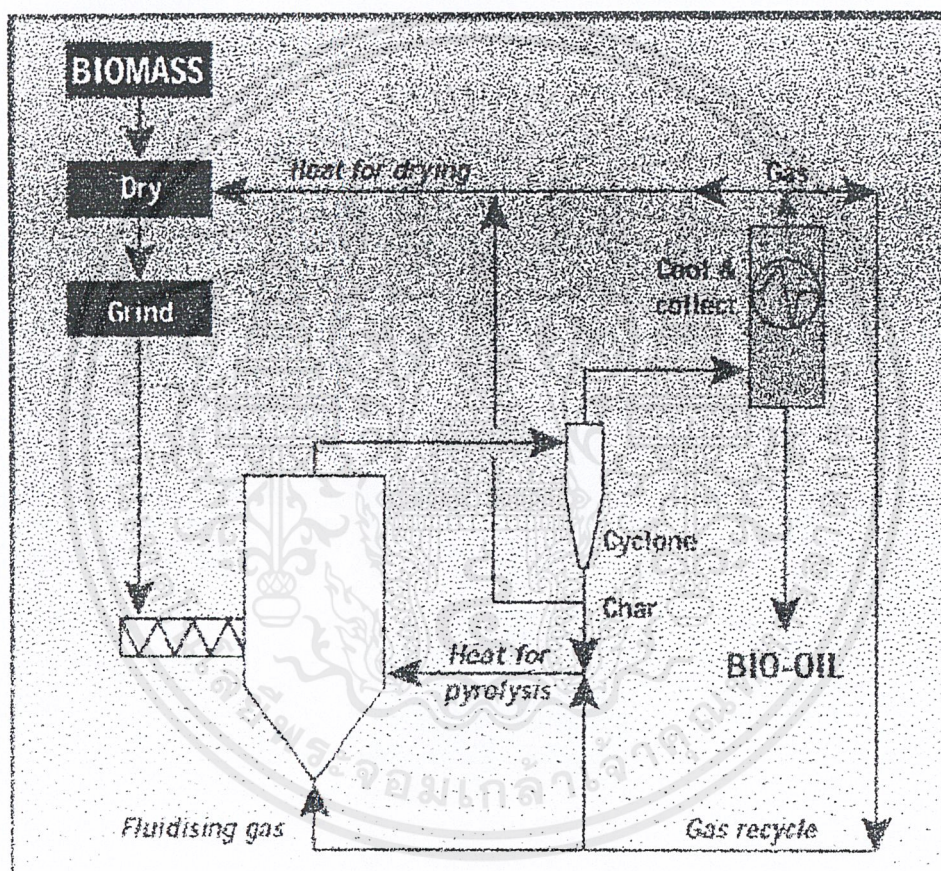
ลักษณะที่สำคัญของกระบวนการนี้ได้แก่

- มีอัตราการให้ความร้อนและอัตราการถ่ายเทความร้อนสูง จึงทำการป้อนมวลชีวภาพที่มีขนาดเล็ก ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ต้องมีการควบคุมอุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสเป็นอย่างดี อยู่ที่ประมาณ 500 องศาเซลเซียส
- การให้ความเย็น (Cooling) อย่างรวดเร็วแก่อิฐก๊าซที่เกิดจากการไพโรไลซิสจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นไบโอยล์ (Bio-oil)

ผลิตภัณฑ์หลักก็คือ ไบโอยล์ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ถึง 30 % เมื่อเทียบกับสารตั้งต้น ส่วนก๊าซและถ่านไม้จะถูกนำกลับมาใช้ในกระบวนการอีก ดังรูป



รูปที่ 4.4 กระบวนการไพโรไลซิสอย่างรวดเร็วแบบฟลูอิดไชน์เบด (Fluidize bed) [14]

โครงสร้างของถังปฏิกรณ์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือแบบฟลูอิดไชน์เบด เนื่องจากง่ายต่อการปฏิบัติงานและการขยายขนาด (Scale-up) ในกระบวนการต้องมีขั้นตอนการอบแห้ง (Drying) ให้มวลชีวภาพมีความชื้นต่ำกว่า 10 % เพื่อควบคุมให้ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้มีปริมาณน้ำอยู่น้อยที่สุด และขนาดของมวลชีวภาพที่ป้อนเข้าไปก็ควรมีขนาดประมาณ 2 ไมโครเมตร ซึ่งจะต้องเป็นขนาดที่เล็กเพียงพอที่จะทำให้มั่นใจได้ว่า ปฏิกิริยาเกิดขึ้น ได้อย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิส (Pyrolysis liquid)

ของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสสามารถเรียกได้หลายชื่อตั้งแต่ ของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิส Pyrolysis oil Bio-oil Bio-crude-oil Bio-fuel-oil Wood liquid Wood oil Liquid smoke Wood distillates Pyrolygneous tar Pyrolygneous acid และ Liquid wood ซึ่งของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสนี้จะให้ค่าความร้อนใกล้เคียงกับค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง (ประมาณ 16-18 MJ/Kg) ซึ่งลักษณะโดยทั่วไปของของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิส จะมีลักษณะเป็นของเหลวสามารถใช้แทนเชื้อเพลิงที่ใช้ทั่วไปได้หลายอย่างเช่น ใช้ในหม้อต้มน้ำ (Boiler) กังหัน (Turbine) ได้ โดยลักษณะทางกายภาพของของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิส จะแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิส [14]

Physical properties	Typical value
Moisture content	15-30%
pH	2.5
Specific gravity	1.20
Elemental analysis dry basis	
C	56.4%
H	6.2%
O (by difference)	37.3%
N	0.1%
Ash	0.1%
HHV as produced (depends on moisture)	16-19 MJ/Kg
Viscosity (at 40 °c and 25% water)	40-100 cp
Solid (char)	0.5%
Distillator	Max 50% as liquid degrades

จากตารางที่ 4.1 สามารถอธิบายลักษณะของ ของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิส ได้ดังนี้

1. สี

สีของของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสนั้นจะขึ้นอยู่กับสารตั้งต้นหรือมวลชีวภาพที่ใช้ ซึ่งของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิส อาจจะมีสีตั้งแต่ ดำ น้ำตาลเข้ม น้ำตาลแดง ไปจนถึงเขียวเข้ม แต่ส่วนมากแล้วของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิส มักจะมีสีน้ำตาลเข้ม

2. กลิ่น

ของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสที่ได้จะมีกลิ่นคล้ายกับกรด ซึ่งของเหลวนี้จะประกอบด้วยสารประกอบเป็นร้อยละ ซึ่งมีตั้งแต่สารที่มีมวลโมเลกุลต่ำ เช่น ฟอร์มาลดีไฮด์ กรดอะซิติก ไปจนถึง สารประกอบที่มีมวลโมเลกุลสูงและมีโครงสร้างของพันธะที่ซับซ้อน

3. ความสามารถในการละลาย

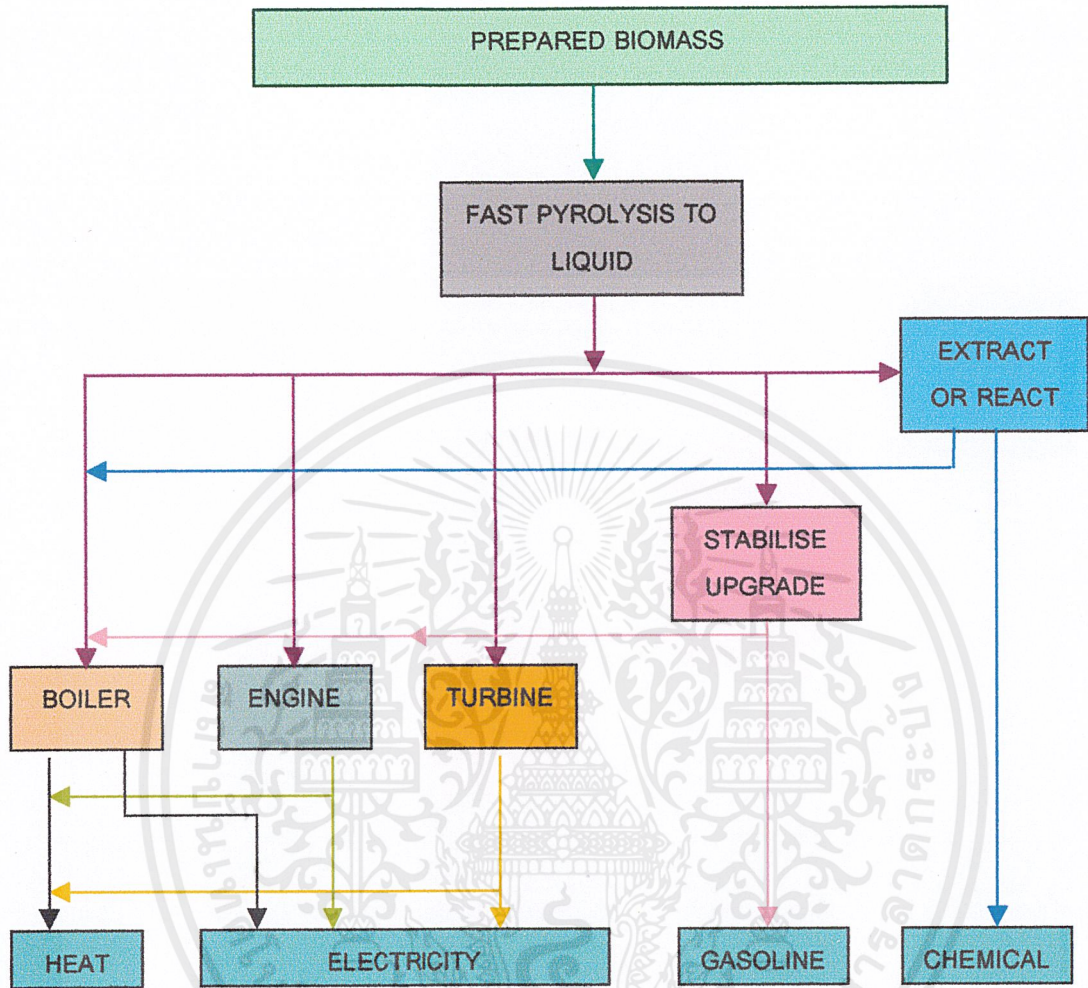
ส่วนใหญ่แล้วของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสจะสามารถละลายได้ในน้ำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตด้วย ในทางกลับกันถ้าของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสไม่สามารถละลายได้ในน้ำ จะสามารถละลายได้ในเชื้อเพลิงปิโตรเลียม(Petroleum fuel)

4. ความหนาแน่น

ของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสมีความหนาแน่นสูง(1.2 กิโลกรัมต่อลิตร) เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงเบา(0.85 กิโลกรัมต่อลิตร) ซึ่งหมายความว่าของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสจะมีพลังงาน(Energy content) เทียบกับน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากับ 42%โดยน้ำหนัก แต่จะเท่ากับ 61% โดยปริมาตร ซึ่งความแตกต่างนี้จะมีผลสำคัญในการคำนวณการใช้งานของอุปกรณ์ที่จะนำของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิส ไปใช้เป็นเชื้อเพลิง

4.3.3 การประยุกต์ใช้ไบโอออยล์(Bio oil)

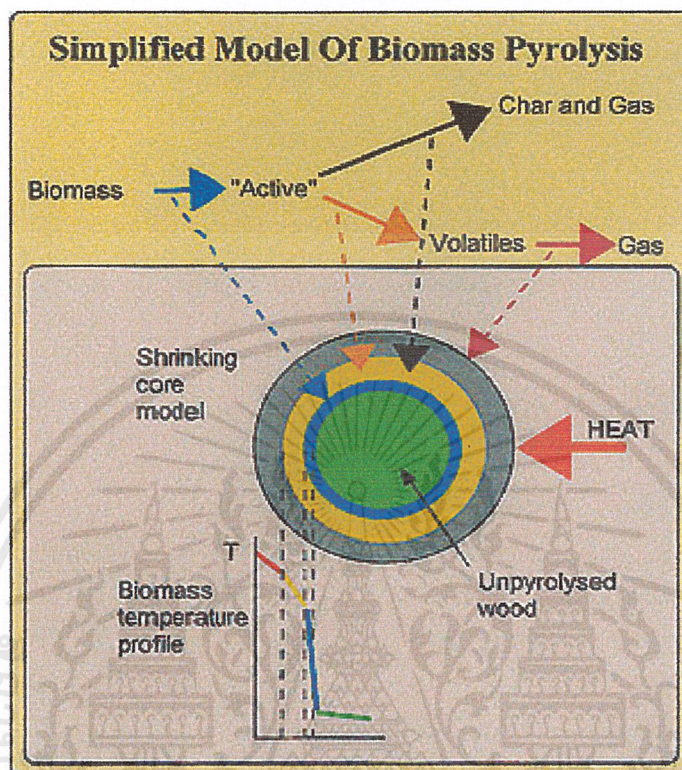
ของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิส หรือ ไบโอออยล์ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายอย่าง เช่นอาจใช้แทนที่เชื้อเพลิงที่ใช้ในอุตสาหกรรม ใช้เป็นเชื้อเพลิงของหม้อน้ำ เตาเผา (Furnaces) และกังหัน สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าทั้งยังสามารถนำไปสกัดทำให้บริสุทธิ์เพื่อใช้เป็นสารเคมี เช่นใช้เป็นเรซินชนิดพิเศษ (Specialities resin) สารเคมีทางการเกษตร (Agri-chemical) หรือนำไปใช้ทำปุ๋ยคอกแสดงในรูปที่ 4.5 ในอนาคตอาจมีการพัฒนาเอาของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิส มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ ก็เป็นไปได้



รูปที่ 4.5 การประยุกต์ใช้ไบโอโออยล์ [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ลักษณะของมวลชีวภาพเมื่อถูกไพโรไลซิส(โมเดล)



รูปที่ 4.6 โมเดลของมวลชีวภาพเมื่อถูกไพโรไลซิส [14]

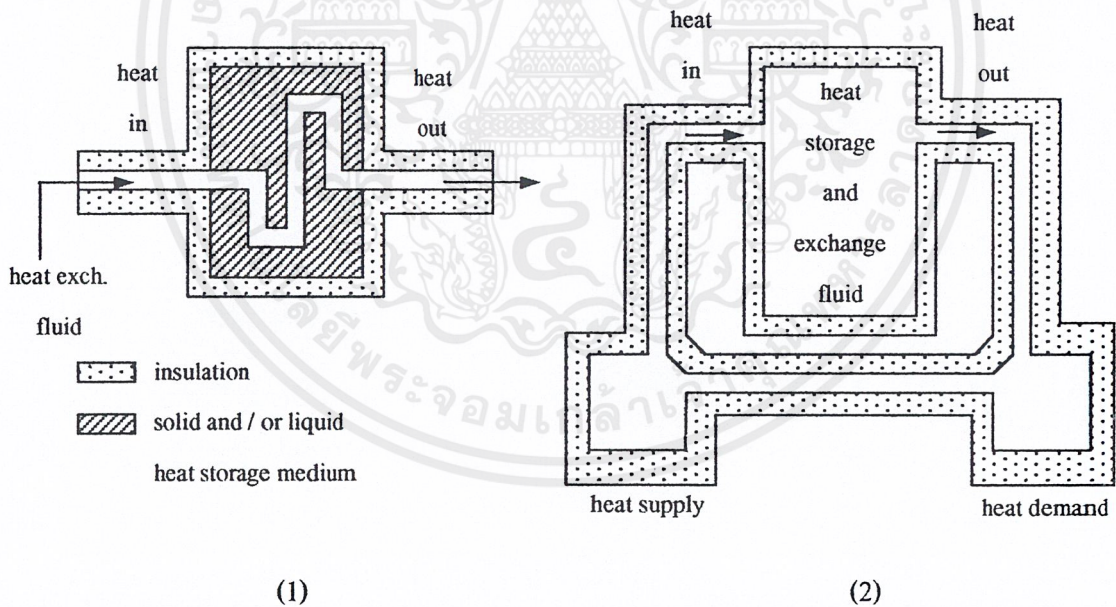
จากรูปจะเห็นว่าเมื่อมวลชีวภาพเข้าทำปฏิกิริยาจะมีส่วนภายนอกสุดเท่านั้นที่เกิดปฏิกิริยาเนื่องจากภายในของมวลชีวภาพจะมีอุณหภูมิน้อยกว่าจึงอาจไม่เกิดปฏิกิริยา

บทที่ 5

การเก็บพลังงานความร้อน

5.1 การเก็บพลังงานความร้อนเนื่องจากการเปลี่ยนอุณหภูมิและความร้อนแฝงของการเปลี่ยนสถานะ (Sensible and Latent heat storage) [1]

วัสดุที่ใช้ในการเก็บพลังงานความร้อนสามารถจำแนกได้เป็นวัสดุที่ใช้เป็นตัวกลางในการเก็บพลังงานความร้อนเพียงอย่างเดียว และวัสดุที่ใช้เป็นทั้งตัวกลางในการเก็บความร้อนและถ่ายเทความร้อน โดยวัสดุอย่างแรกจะเป็นได้ทั้งของเหลว ของแข็ง หรือเป็นของผสมระหว่างของเหลวและของแข็ง ส่วนวัสดุที่ใช้เป็นทั้งตัวกลางในการเก็บความร้อนและถ่ายเทความร้อนส่วนใหญ่จะเป็นของเหลว ความแตกต่างของทั้ง 2 ระบบแสดงดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แผนภาพระบบการเก็บพลังงานความร้อน (1) เก็บพลังงานความร้อนเท่านั้น (2) เก็บพลังงานความร้อนและถ่ายเทความร้อน[1]

ถ้าวัสดุที่ใช้ในการเก็บพลังงานความร้อนและถ่ายเทความร้อนเป็นของเหลว มีเพียงวิธีเดียวที่วัสดุนั้นจะดูดซับและเก็บพลังงานความร้อน ซึ่งก็คือการเก็บในรูปของความร้อนเนื่องจากการ

เปลี่ยนอุณหภูมิ โดยการเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุนั้น ปริมาณของพลังงานความร้อนที่ถูกเก็บต่อหน่วย ปริมาตรของวัสดุ (s) หาได้จาก

$$s = Q / V = \int_{T_1}^{T_2} c_p \rho \, dT$$

เมื่อ Q คือปริมาณความร้อนที่ถูกเก็บ (จูล)

$V = V(T)$ คือปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร)

$c_p = c_p(T)$ คือความร้อนจำเพาะ (จูลต่อกิโลกรัม เคลวิน)

$\rho = \rho(T)$ คือความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

T คืออุณหภูมิ (เคลวิน) โดย T_1 และ T_2 คืออุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดของอุปกรณ์
ถ้าค่าความร้อนจำเพาะและความหนาแน่นเป็นค่าเฉลี่ยตลอดช่วงอุณหภูมิ จะได้

$$s = c_{p,m} \rho_m (T_2 - T_1) = c_{p,m} \rho_m \Delta T$$

ในกรณีของความร้อนแฝงในการเปลี่ยนสถานะ จะเกิดขึ้นเมื่อมีการดูดซึมหรือปล่อยพลังงาน ในช่วงที่เกิดการเปลี่ยนอุณหภูมิน้อยๆ (ประมาณ 5 เคลวิน) ปริมาณของพลังงานความร้อนที่ถูกเก็บต่อหน่วยปริมาตรหาได้จาก

$$s = \int_{T_1}^{T_m} c_p(s) \rho(s) \, dT + \Delta H^F \rho_m / M + \int_{T_m}^{T_2} c_p(l) \rho(l) \, dT$$

เมื่อ ΔH^F คือความร้อนของการหลอมเหลว

M คือน้ำหนัก (โมล)

s และ l คือเฟสของแข็งและของเหลวตามลำดับ

เนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงน้อย (ประมาณ 5 เคลวิน) จึงใช้ค่าความร้อนจำเพาะและความหนาแน่นเป็นค่าเฉลี่ย ได้ดังนี้

$$s = c_{p,m}(s) \rho_m(s) (T_m - T_1) + \Delta H^F [\rho_m(s) + \rho_m(l)] / 2M + c_{p,m}(l) \rho_m(l) (T_2 - T_m)$$

ซึ่งพจน์แรกและพจน์ที่สามทางด้านขวามือของสมการมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับพจน์ที่สอง

5.2 คุณสมบัติทั่วไปของวัสดุที่ใช้เก็บพลังงานความร้อน

นอกเหนือจากคุณสมบัติสำหรับวัสดุที่เก็บพลังงานในรูปของความร้อนเนื่องจากการเปลี่ยนอุณหภูมิ จะต้องมียุทธศาสตร์ความร้อน (c_p) สูง และสำหรับวัสดุที่เก็บพลังงานความร้อนแฝงเนื่องจากการเปลี่ยนสถานะต้องมีค่า $\Delta H^f/M$ สูงแล้ว คุณสมบัติทั่วไปของวัสดุที่ใช้เก็บพลังงานความร้อนมีดังนี้

1. มีความคงตัวด้านความร้อนและทางเคมี
2. ไม่กัดกร่อนวัสดุที่ใช้บรรจุ
3. ราคาถูก และหาได้ง่าย
4. มีค่าการนำความร้อนสูง

คุณสมบัติอื่นๆ รวมถึงมีความเป็นพิษน้อยและติดไฟยากด้วย มิฉะนั้นจะทำให้ระบบจะต้องมีการควบคุมมากทำให้เกิดความสิ้นเปลือง

5.3 การเก็บความร้อนในวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงเฟส (Phase change materials)

สำหรับการถ่ายเทความร้อนระหว่างของแข็งกับของแข็ง ปริมาณความร้อนที่ถูกเก็บในรูปของความร้อนเนื่องจากการเปลี่ยนอุณหภูมิสามารถเพิ่มได้ด้วยความร้อนแฝงของการเปลี่ยนสถานะซึ่งเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิที่ความร้อนเนื่องจากการเปลี่ยนอุณหภูมิถูกเก็บไว้ในเกลือที่เป็นของแข็ง แต่ก็สามารถประยุกต์ใช้ได้กับการถ่ายเทความร้อนระหว่างของแข็งกับของเหลวได้โดยการใช้เกลือหลอมเหลว วัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงเฟส (Phase change materials : PCMs) สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. PCMs การถ่ายเทความร้อนระหว่างของแข็งกับของแข็ง เช่น สารอินทรีย์ และเกลือ
2. PCMs สำหรับอุณหภูมิต่ำ เช่น สารอินทรีย์ และเกลือไฮเดรต
3. PCMs สำหรับอุณหภูมิที่สูงขึ้น เช่น เกลือหลอมเหลว
4. สารละลายเกลืออิ่มตัวที่เป็นวัสดุเก็บความร้อน
5. ระบบเกลือที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนกัน

5.4 วัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงเฟสที่อุณหภูมิสูง

วัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงเฟสที่สามารถใช้ได้ที่อุณหภูมิสูงคือเกลือที่ไม่มีน้ำผสม (Anhydrous salt) เช่น ฟลูออไรด์ของลิเทียม โซเดียม และโพแทสเซียม คลอไรด์ของลิเทียม โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม และอลูมิเนียม คาร์บอเนต ไนเตรต และซัลเฟตของโลหะอัลคาไลน์ โซเดียมซัลไฟด์และโพแทสเซียมซัลไฟด์ และลิเทียมโบรไมด์และไอโอไดด์ รวมทั้งเกลือยูเทกติกของเกลือเหล่านี้ ทั้งไบนารีและเทอร์นารี

การคำนวณหาเอนทัลปีของการหลอมเหลวของเกลือยูเทกติกสามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned} \Delta H_{cu}^F &= x_{A,cu} \Delta H_A^F + x_{B,cu} \Delta H_B^F + \Delta H^M(x_{A,cu}, T_2) - \Delta H_f(x_{A,cu}, T_1) \\ &+ x_{A,cu} \left[\int_{T_1}^{T_{m,A}} c_{pA}(s) dT + \int_{T_{m,A}}^{T_2} c_{pA}(l) dT \right] \\ &+ x_{B,cu} \left[\int_{T_1}^{T_{m,B}} c_{pB}(s) dT + \int_{T_{m,B}}^{T_2} c_{pB}(l) dT \right] \\ &- \left[\int_{T_1}^{T_{cu}} c_{pcu}(s) dT + \int_{T_{cu}}^{T_2} c_{pcu}(l) dT \right] \end{aligned}$$

เมื่อ x_{cu} คือสัดส่วนโมลของสารประกอบที่ระบุ (A หรือ B) ในสารผสมยูเทกติก

c_{pcu} คือความจุความร้อน

T_{cu} คือจุดหลอมเหลวยูเทกติก

ΔH^M คือความร้อนของการผสมของสาร A และ B ที่อุณหภูมิ T_2 โดยสารประกอบทั้ง 2 เป็นของเหลว

ΔH_f คือปริมาณความร้อนของการเกิดสถานะของแข็งที่อุณหภูมิ T_1 โดยสารประกอบทั้ง 2 เป็นของแข็ง

ในการคำนวณเอนทัลปีของการหลอมเหลวดังกล่าว สำหรับของผสมของแข็งที่เป็นอุดมคติ และการเพิ่มความร้อนจำเพาะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับพจน์อื่นๆ ทำให้สามารถละ 4 พจน์สุดท้ายได้ คิดเพียง 3 พจน์แรกเท่านั้น

บทที่ 6
การทดลอง

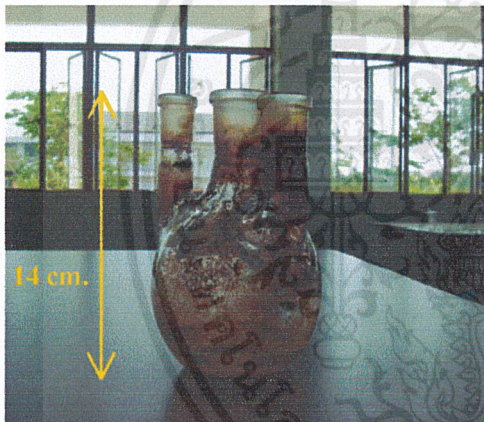
6.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1 ชุดตั้งปฏิบัติการประกอบค้วย

ขวดแก้วทรงกลม 4 คอหุ้มฉนวน ปริมาตร 500 มิลลิลิตร 1 ใบ

ท่อนำอากาศ

ท่อนำสารป้อน(ขี้เลื่อย)

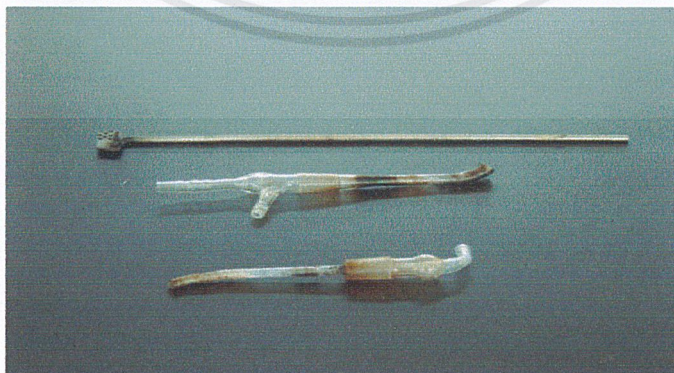


(1)



(2)

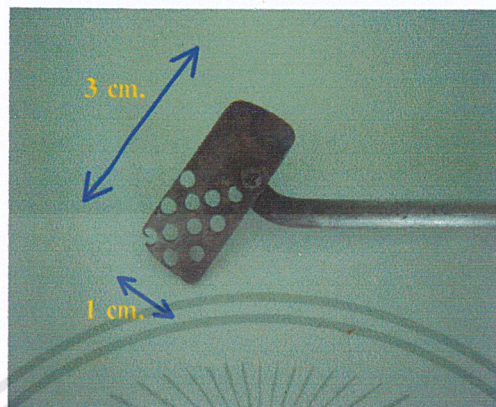
รูปที่ 6.1 ขวดแก้วทรงกลม 4 คอ (1) ด้านข้าง (2) ด้านบน



รูปที่ 6.2 ใบพัด ท่อนำสารป้อนและท่อนำอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เทอร์โมคัพเปิดและมิเตอร์ 1 ชุด
3. ไขควงคัสแตนเลสแบบพับได้และมอเตอร์ 1 ชุด



รูปที่ 6.3 ไขควงคัสแตนเลสแบบพับได้

4. คอนเดนเซอร์ 1 อัน
5. ปืนอากาศ 2 ตัว
6. แผ่นให้ความร้อน (Hot plate) 1 เครื่อง

6.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

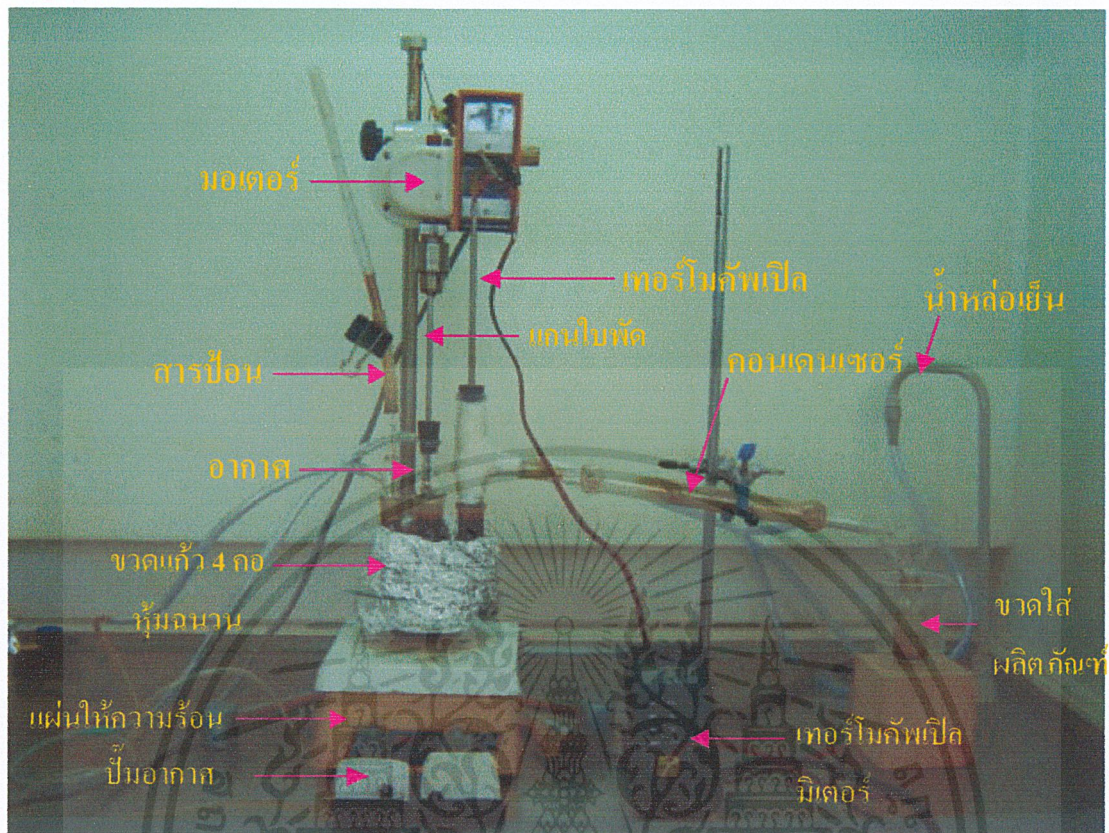
1. $ZnCl_2$
2. KCl
3. จีลลี่

6.3 ขั้นตอนการทดลอง

ตอนที่ 1 การเตรียมเกลือหลอมเหลว

1. ผสม $ZnCl_2$ 66.78 กรัม และ KCl 38.03 กรัม ให้เข้ากัน
2. นำเข้าเตาอบ โดยอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที
3. หลังจากอบแล้ว นำมาชั่งน้ำหนัก และจดบันทึก
4. ใส่เกลือลงในขวดแก้วทรงกลม 4 คอที่หุ้มฉนวนแล้ววางบนแผ่นให้ความร้อน และจัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 6.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 การจัดอุปกรณ์สำหรับการทดลอง

5. ให้ความร้อนจนเกลือหลอมเหลว

ตอนที่ 2 การดำเนินการทดลอง

1. เมื่อเกลือภายในขวดแก้วทรงกลม 4 กอหลอมเหลวทั้งหมดแล้ว ที่อุณหภูมิประมาณ 460 องศาเซลเซียส เปิดป้อนอากาศและใบพัด ความเร็ว 180 รอบต่อนาที
2. เริ่มใส่ขี้เกลือทีละ 1 กรัม โดยใส่อย่างช้าๆ และใส่ทุกๆ 1 นาที ทำการทดลองประมาณ 50 นาที
3. เมื่อ ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซ ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติดังนี้
 - วัดค่า pH
 - สังเกตการฟอกสีไอโอดีนในคาร์บอนเตตระคลอไรด์
 - สังเกตการฟอกสีโปตัสเซียมเปอร์มันганเตต
4. เก็บผลิตภัณฑ์ส่วนที่เป็นของเหลว และของแข็งนำไปชั่งน้ำหนัก และวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติบางประการของซีลีเยที่นำมาใช้

6.4.1 ความหนาแน่นของซีลีเย

มีขั้นตอนตามหลัก ASTM Designation: E 873 – 82 ดังนี้

1. นำกล่องที่ฝาปิดมาชั่งพร้อมฝาเพื่อหาน้ำหนักของกล่อง
2. หาปริมาตรของกล่องโดยเติมน้ำจนเต็มแล้วนำไปชั่งหาน้ำหนัก น้ำหนักที่เกินจากน้ำหนักของกล่องก็คือปริมาตรของกล่องเนื่องจากความหนาแน่นของน้ำคือ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
3. นำซีลีเยใส่ลงในกล่องที่ได้ทำการหาปริมาตรแล้วจนล้นจากนั้นปาดซีลีเยส่วนที่เกินออก
4. ปิดฝานำไปชั่งน้ำหนักจะหาความหนาแน่นของซีลีเยได้จากสูตร

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{น้ำหนักของซีลีเยในกล่อง}}{\text{ปริมาตรของกล่อง}}$$

6.4.2 ปริมาณความชื้นของซีลีเย

ใช้เครื่องหาปริมาณความชื้น Shizuoka Seiki รุ่น CR-2

6.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติของเกลือ

6.5.1 การหาค่าความเป็นกรด-เบสของเกลือก่อนและหลังทำการทดลอง

ขั้นตอนนี้จะทำเพื่อเป็นการวิเคราะห์ว่าเกลือที่ถูกใช้ในการเกิดปฏิกิริยาแล้วจะมีความเป็นกรด-เบสเปลี่ยนไปจากเกลือเดิมที่ยังไม่ถูกใช้ในการเกิดปฏิกิริยาหรือไม่ โดยจะทำการวิเคราะห์ในอัตราส่วนเกลือต่อน้ำเท่ากับ 1:2.5 (เกลือ 1 กรัมต่อน้ำ 2.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร) โดยมีขั้นตอนคือ

1. ชั่งเกลือยูเทคติก ตามอัตราส่วนให้ได้มวลรวม 10 กรัม นำไปละลายในน้ำกลั่น ปริมาตร 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นวัดค่าพีเอชด้วยพีเอชมิเตอร์ แล้วบันทึกผล
2. เกลือที่ใช้ในการทดลองจะใช้น้ำหนัก 100 กรัมดังนั้นเมื่อทำการทดลองแล้วจะต้องเจือจางเกลือที่เหลือด้วยน้ำ 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยก่อนจะทำการวัดค่าพีเอช

จะต้องกรองตะกอนของแข็งออกให้หมดเสียก่อน แล้วจึงนำไปวัดค่าพีเอชด้วยพีเอชมิเตอร์

3. เปรียบเทียบค่าพีเอชว่าเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่อย่างไร

6.5.2 การหาคุณสมบัติการละลายของเกลือที่ถูกใช้ในปฏิกิริยาแล้วในเฮกเซน

มีขั้นตอนดังนี้

1. นำเกลือที่ถูกใช้ในปฏิกิริยาแล้วละลายด้วยน้ำจากนั้นกรองตะกอนออกให้หมด
2. แบ่งน้ำเกลือที่ได้จากการกรองบางส่วนประมาณ 30-40 มิลลิลิตรไประเหยบนแผ่นให้ความร้อน โดยให้ความร้อนช้าๆ ให้น้ำค่อยๆ ระเหยไปที่ละน้อยโดยไม่เดือดจนกระทั่งน้ำระเหยออกไปหมด
3. นำของแข็งที่ได้จากการระเหยแล้วทาบให้แตกเป็นก้อนเล็กๆ
4. นำของแข็งที่ได้จากการระเหยนั้น ไปใส่ลงในหลอดทดลองที่บรรจุเฮกเซนอยู่เขย่าหลอดทดลองพร้อมทั้งสังเกตการละลาย

6.6 การวิเคราะห์การทดลองในส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จะประกอบด้วย 3 สถานะ คือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลการทดลองจะทำการวิเคราะห์แยกตามสถานะดังนี้

6.6.1 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในสถานะก๊าซ

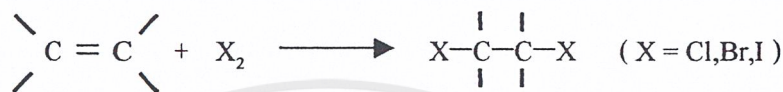
ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในสถานะก๊าซจะทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นดังต่อไปนี้

6.6.1.1 ทดสอบความเป็นกรด-เบสด้วยยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์

เมื่อทำการป้อนจีลีส้อยเข้าไปในถังปฏิกรณ์ แล้ว รอจนได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซสีน้ำตาลอ่อน จากนั้นนำ กระดาษยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์ ไปอังยังปลายคอนเดนเซอร์ ทิ้งไว้ประมาณ 5 วินาที นำกระดาษยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์ที่เปลี่ยนสีแล้วไปเทียบสีมาตรฐานเพื่ออ่านค่าพีเอชที่ได้ (ค่าที่อ่านได้จะเป็นค่าประมาณอย่างคร่าวๆ)

6.6.1.2 ทดสอบการฟอกจางสี I_2/CCl_4 (ไอโอดีนในคาร์บอนเตตระคลอไรด์)

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบโดยใช้ปฏิกิริยาการเติมเฮโลเจน (Addition of halogen) โดยปฏิกิริยาการเติมธาตุเฮโลเจนนั้นเป็นปฏิกิริยาที่สำคัญของสารประกอบที่มีพันธะคู่ ซึ่งเขียนเป็นสมการทั่วไปได้ดังนี้



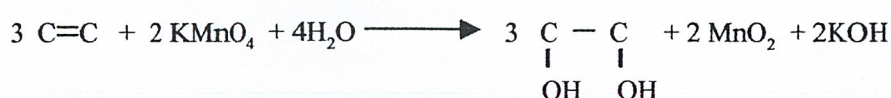
ปฏิกิริยานี้มีความสำคัญในการทดสอบสารที่ไม่อิ่มตัว เช่น แอลคีน โดยใช้ I_2 ใน CCl_4 เป็นรีเอเจนต์ โดยถ้าสารตัวอย่างฟอกสีม่วงของไอโอดีนแสดงว่าสารตัวอย่างเป็นสารประกอบไม่อิ่มตัวอาจมีพันธะคู่หรือพันธะสาม

ขั้นตอนการทดสอบ

1. เตรียมสารละลายไอโอดีนในคาร์บอนเตตระคลอไรด์โดยละลายไอโอดีนประมาณ 1 มิลลิกรัมในคาร์บอนเตตระคลอไรด์ที่มีปริมาตรประมาณ 40 มิลลิกรัม เก็บสารละลายที่ได้ไว้ในที่มืด
2. นำสารละลายไอโอดีนในคาร์บอนเตตระคลอไรด์ใส่ในขวดเก็บสารตัวอย่างประมาณ 1 มิลลิกรัม
3. เมื่อทำการทดลองเก็บก๊าซที่เป็นผลิตภัณฑ์ลงในขวดเก็บสารแล้วปิดฝาให้สนิท
4. เขย่าขวดเก็บสารที่ได้เพื่อให้ก๊าซเข้าไปทำปฏิกิริยากับไอโอดีนในสารละลาย
5. สังเกตการฟอกจางสีโดยนำมาเทียบกับสารละลายที่ไม่ได้ฟอกจางสี

6.6.1.3 ทดสอบการฟอกจางสีโพตัสเซียมเปอร์มันกานेट ($KMnO_4$)

การทดสอบนี้ใช้หลักของปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยแอลคีนจะถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายด้วยสารละลายต่างทันทิม ($KMnO_4$) โดยถ้าทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้องและใช้สารละลายเจือจางของค่างทันทิมจะได้อัลคินไดออล (Vicinal diol) ซึ่งเรียกว่า ไกลคอล (Glycol) เกิดขึ้นตามสมการตัวอย่างดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจากสมการจะเกิดตะกอนสีน้ำตาลของ MnO_2 ขึ้นทำให้สามารถสังเกตได้ง่าย โดยสารละลายต่างที่บวมจะถูกฟอกจนกลายเป็นสีน้ำตาลขึ้น
ขั้นตอนการทดสอบ

1. นำโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้สีม่วงอ่อนแล้วใส่ในขวดเก็บสารตัวอย่าง
2. เมื่อทำการทดลองเก็บก๊าซที่เป็นผลิตภัณฑ์ลงในขวดเก็บสารแล้วปิดฝาให้สนิท
3. เขย่าขวดเก็บสารที่ได้เพื่อให้ก๊าซเข้าไปทำปฏิกิริยากับโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนตในสารละลาย
4. สังเกตการฟอกจางสีโดยนำมาเทียบกับสารละลายที่ไม่ได้ฟอกจางสี

6.6.2 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในสถานะของเหลว

6.6.2.1 ความสามารถในการละลายในตัวทำละลายมีขั้ว (น้ำ)

ปีเปตน้ำ 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้หยดลงในหลอดทดลองประมาณ 4-5 หยด เขย่าหลอดทดลองพร้อมทั้งสังเกตการละลาย

6.6.2.2 การละลายในตัวทำละลายไม่มีขั้ว (เฮกเซน)

ปีเปตเฮกเซน 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้หยดลงในหลอดทดลองประมาณ 4-5 หยด เขย่าหลอดทดลองพร้อมทั้งสังเกตการละลาย

6.6.2.3 การละลายในตัวทำละลายที่เป็นแอลกอฮอล์ (เอทานอล)

ปีเปตเอทานอล 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้หยดลงในหลอดทดลองประมาณ 4-5 หยด เขย่าหลอดทดลองพร้อมทั้งสังเกตการละลาย

6.6.2.4 ทดสอบการฟอกจางสี I_2/CCl_4 (ไอโอดีนในคาร์บอนเตตระคลอไรด์)

ขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์ความไม่อิ่มตัวของผลิตภัณฑ์โดยจะมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. นำสารละลายไอโอดีนในคาร์บอนเตตระคลอไรด์ที่เตรียมไว้ใส่ในหลอดทดลองประมาณ 2 มิลลิลิตร

2. หยดผลิตภัณฑ์ที่ได้ประมาณ 4-5 หยดลงในหลอดทดลอง เขย่าหลอดทดลองเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาคีขึ้น
3. สังเกตการฟอกจางสีโดยเทียบกับสารละลายที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยา

6.6.2.5 ทดสอบการฟอกจางสีโปตัสเซียมเปอร์มันганเนต ($KMnO_4$)

1. นำโปตัสเซียมเปอร์มันганเนตเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้สีม่วงอ่อนแล้วใส่ในหลอดทดลอง
2. หยดผลิตภัณฑ์ที่ได้ประมาณ 4-5 หยดลงในหลอดทดลอง เขย่าหลอดทดลองเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาคีขึ้น
3. สังเกตการฟอกจางสีโดยเทียบกับสารละลายที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยา

6.6.2.6 ทดสอบความสามารถในการติดไฟได้

นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองหยดลงบนเพลท ประมาณ 4-5 หยด จากนั้นจุดไม้ขีดไฟแล้วจุ่มลงในผลิตภัณฑ์ที่อยู่บนเพลท สังเกตการติดไฟได้ของผลิตภัณฑ์ โดยการวิเคราะห์นี้จะต้องทำการทดลองในตู้ดูดควันเพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุ ในกรณีถ้าสารเกิดติดไฟให้ความร้อนรุนแรง

6.6.2.7 ทดสอบความเป็นกรด-เบสของผลิตภัณฑ์

1. บีบแต่น้ำมา 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง
2. หยดสารผลิตภัณฑ์ในส่วนที่เป็นของเหลว 4 หยดในหลอดทดลองเขย่าให้เข้ากันกับน้ำ
3. วัดค่าพีเอชด้วยพีเอชมิเตอร์
4. ทำซ้ำอีกครั้งพร้อมทั้งบันทึกผล

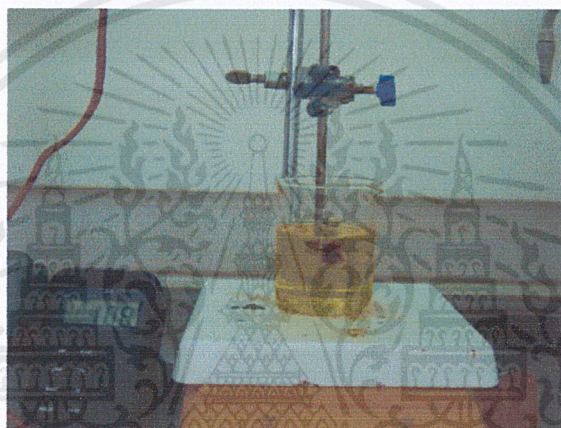
6.6.2.8 หาความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์

ใช้หลักการเกี่ยวกับการหาความหนาแน่นของจีเล็อยโดยเปลี่ยนกลองให้เล็กลงเพื่อจะได้ใช้สารน้อยลง

6.6.2.9 หาช่วงจุดเดือด

มีขั้นตอนดังนี้

1. นำหลอดครูเล็กไปปลนไฟให้ปลายปิดหนึ่งด้าน
2. นำหลอดครูเล็กไปใส่ลงในหลอดทดลองขนาดเล็กซึ่งบรรจุผลิตภัณฑ์ที่อยู่โดยให้ปลายปิดอยู่ด้านบน
3. นำหลอดทดลองใส่ลงในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำมันอยู่
4. จัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 6.5 โดยระดับของเทอร์โมคัพเบิลจะต้องอยู่ในระดับเดียวกันกับขอบของเหลวในหลอดทดลอง



รูปที่ 6.5 การหาช่วงจุดเดือดโดยใช้หลอดครูเล็ก

5. สังเกตผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในหลอดทดลองแล้วจับบันทึกอุณหภูมิตั้งแต่ฟองอากาศเริ่มออกมาจากหลอดครูเล็กจนกระทั่งผลิตภัณฑ์จะแทนที่ก๊าซในหลอดครูเล็กจนเต็ม จะได้ช่วงของจุดเดือด

6.6.2.10 ทดสอบความเป็นสารอินทรีย์-อนินทรีย์

1. ชั่งน้ำหนักครูซิเบิลเปล่า
2. นำครูซิเบิลไปบรรจุผลิตภัณฑ์หนัก 2 กรัม
3. เผาครูซิเบิลที่ได้จากข้อ 2 ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที
4. ทิ้งไว้ให้เย็นในเคซิเคเตอร์เพื่อป้องกันการควบแน่น

- นำครุชิวเปิดที่เย็นแล้วไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักของสารที่เหลือ ถ้าไม่มีสารเหลืออยู่เลยแสดงว่าผลิตภัณฑ์เป็นสารอินทรีย์ทั้งหมด แต่ถ้ามีสารหลงเหลืออยู่จะต้องคำนวณหาร้อยละของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ด้วย

6.6.2.11 ทหาความเป็นกรด (Acidity)

เป็นการหาความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยเทียบกับกรดที่มีช่วงจุดเดือดใกล้เคียงกันซึ่งจะได้ผลการวิเคราะห์ในรูปของร้อยละ โดยมวล มีขั้นตอนดังนี้

- วิเคราะห์หาช่วงจุดเดือดของสารผลิตภัณฑ์
- เลือกกรดที่มีช่วงจุดเดือดใกล้เคียงกับสารผลิตภัณฑ์ (ในที่นี้ใช้กรดอะซิติก)
- ไทเทรตกรดอะซิติก 10 มิลลิลิตรด้วยเบสเพื่อหาความเข้มข้นของเบสที่เหมาะสมโดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ซึ่งจะเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นมีสี
- นำผลิตภัณฑ์ 1 กรัมไปละลายน้ำ 20 มิลลิลิตร จากนั้นเปิดสารละลายมา 10 มิลลิลิตร นำไปไทเทรตกับเบสที่ใช้ในข้อ 3 โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์เช่นเดียวกัน
- บันทึกปริมาตรของเบสที่ใช้ไป เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้
- คำนวณหากรัมของกรด โดยใช้มวล โมเลกุลของกรดอะซิติกเป็นตัวเทียบ
- เทียบหาร้อยละของกรดอะซิติกว่าผลิตภัณฑ์มีความเป็นกรดเทียบเท่ากับสารละลายมีกรดอะซิติกปริมาณเท่าใด

6.6.3 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ในส่วนที่เป็นของแข็ง

ขั้นตอนนี้จะเป็นการหาปริมาณน้ำหนักของของแข็งที่เกิดขึ้นเพื่อนำไปทำสมมูลมวลสารมีขั้นตอนดังนี้

- ชั่งน้ำหนักของเกลือรวมทั้งเครื่องแก้วที่อยู่ในส่วนของท่อนำสารป้อน ท่อนำอากาศ และพร้อมทั้งขวด 4 คอ ก่อนทำการทดลอง
- เมื่อทำการทดลองแล้วรอจนเย็นแล้วจึงนำไปชั่งหาน้ำหนักทั้งหมดอีกครั้ง
- ละลายเกลือแล้วทำการกรองตะกอนทั้งหมด
- นำตะกอนที่ได้จากการกรองไปอบให้แห้ง

- นำตะกอนที่อบแห้งแล้วไปชั่งหาน้ำหนักของตะกอนทั้งหมดโดยหักน้ำหนักของกระดาษกรองออกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

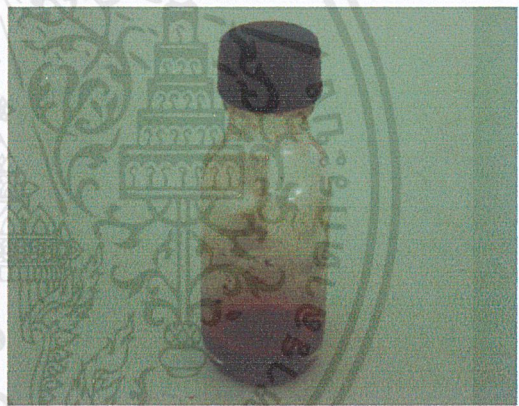
ผลการทดลอง

7.1 ผลการทดลอง

เมื่อใส่ขี้เถ้าลงในขวดแก้ว 4 คอที่มีเกลือหลอมเหลวอยู่ โดยอุณหภูมิของเกลือหลอมเหลว ประมาณ 460 องศาเซลเซียส จะเกิดก๊าซออกมาทางปลายคอนเดนเซอร์ ก๊าซที่ได้มีสีขาว ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวมีสีน้ำตาลเข้ม และผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งอยู่ภายในขวดแก้ว 4 คอมี สีดำดังแสดงในรูปที่ 7.1 และ 7.2

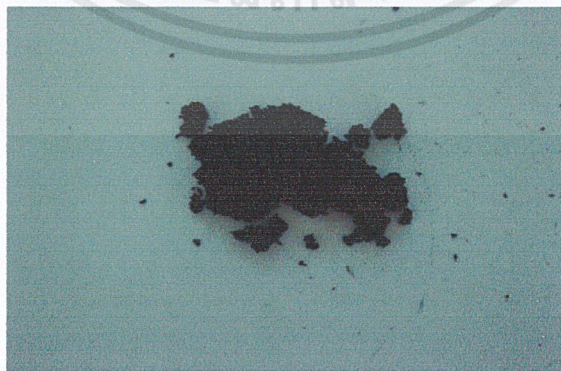


(1)



(2)

รูปที่ 7.1 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลอง (1) ก๊าซ (2) ของเหลว



รูปที่ 7.2 ผลิตภัณฑ์ส่วนที่เป็นของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติบางประการของซีลีเนียมที่นำมาใช้

ความหนาแน่นของซีลีเนียม	0.348	กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
ความชื้นในซีลีเนียม	10.8	เปอร์เซ็นต์

7.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของเกลือ

ค่าพีเอชของเกลือก่อนทำการทดลอง	5.0 – 5.3
หลังทำการทดลอง	4.5 – 5.5
การละลายในเฮกเซนของเกลือหลังทำการทดลอง	ได้ของแข็งสีขาวขุ่น ไม่ละลายในเฮกเซน

7.4 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์

จากการทดลองเมื่อนำซีลีเนียมมาป้อนเข้าสู่ตัวตั้งปฏิกรณ์ที่ภายในบรรจุเกลือหลอมเหลว พร้อมทั้งป้อนอากาศเข้าไปด้วย เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วนและไพโรไลซิส ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นมีทั้งก๊าซ ของเหลวและของแข็ง ดังนั้นจึงขอแยกพิจารณาออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

7.4.1 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในสถานะก๊าซ

ตารางที่ 7.1 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในสถานะก๊าซ

การวิเคราะห์	ผลการวิเคราะห์
ทดสอบความเป็นกรด-เบสด้วยยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์	ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 1-2
การฟอกขาวสีไอโอดีนในคาร์บอนเตตระคลอไรด์	เปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีน้ำตาล
การฟอกขาวสีโปตัสเซียมเปอร์มันганเนต	เปลี่ยนจากสีชมพูเป็นสีน้ำตาล

7.4.2 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในสถานะของเหลว

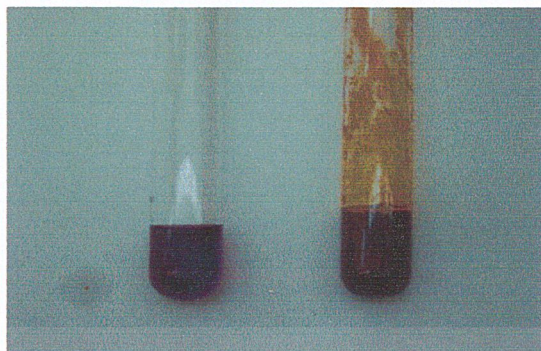
ตารางที่ 7.2 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในสถานะของเหลว

การวิเคราะห์	ผลการทดลอง
การละลายในตัวทำละลายต่าง ๆ -น้ำ -เฮกเซน -เอทานอล	ละลาย ไม่ละลายจะแยกชั้นอยู่ด้านล่างของเฮกเซน ละลาย
การฟอกจางสีไอโอดีนในคาร์บอนเตตระคลอไรด์	เปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีน้ำตาล
การฟอกจางสีปรัสเซียนเปอร์มันแกนต	เปลี่ยนจากสีชมพูเป็นสีน้ำตาล
ความสามารถในการจุดติดไฟ	ไม่ติดไฟ
ทดสอบความเป็นกรด-เบสด้วยพีเอชมิเตอร์	ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 1.7-2.3
ความหนาแน่น	1.1 กรัม/ลบ.ซม.
จุดเดือด	105-110 องศาเซลเซียส
ทดสอบการเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์	เป็นสารอินทรีย์
ความเป็นกรด	11.16%



รูปที่ 7.3 การฟอกจางสีปรัสเซียนเปอร์มันแกนตของผลิตภัณฑ์ของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.4 การฟอกจางสีไอโอดีนในคาร์บอนเตตระคลอไรด์ของผลิตภัณฑ์ของเหลว

7.4.3 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ในส่วนที่เป็นของแข็ง

สถานะของแข็ง มีลักษณะเป็นตะกอนสีดำคล้ายถ่านไม้ ปนอยู่ในเกลือยูเทกติก เมื่อนำไปละลายน้ำแล้วมากรองตะกอนออก ซึ่งน้ำหนักตะกอนได้ 25.38 กรัม นำมาทำการหาค่ามวลสาร ของซีลีออยได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{มวลของซีลีออยที่ป้อนเข้าถังปฏิกรณ์} &= \text{มวลของผลิตภัณฑ์ของแข็ง} + \text{ของเหลว} + \text{ก๊าซ} \\
 33.40 \text{ กรัม} &= 25.38 + 7.58 \text{ กรัม} + \text{ก๊าซ} \\
 &= 32.96 \text{ กรัม} + \text{ก๊าซ} \\
 \text{ดังนั้นก๊าซ} &= 0.44 \text{ กรัม}
 \end{aligned}$$

บทที่ 8

สรุปผลการทดลอง

8.1 สรุปผลการทดลอง

ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการทดลองมีทั้ง 3 สถานะคือ ของแข็ง ของเหลวและก๊าซ จึงขอสรุปผลได้ดังนี้

1. ก๊าซที่เกิดขึ้นเป็นก๊าซผสมที่มีฤทธิ์เป็นกรด และมีก๊าซที่มีพันธะคู่ระหว่างอะตอมคาร์บอนในโมเลกุล ซึ่งจากคุณสมบัติทางกายภาพที่ได้จากการทดลองมีแนวโน้มว่าจะเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เอทิลีนและไอน้ำ เป็นต้น

2. ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้เป็นของผสมของพวกกรดอินทรีย์ที่มีพันธะคู่ระหว่างอะตอมคาร์บอนในโมเลกุล เป็นสารที่มีขี้สามารถละลายได้ในน้ำกับเอทานอล ไม่ละลายในเฮกเซน มีจุดเดือดอยู่ในช่วง 105 –110 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 1.1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และสามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์ของของเหลวที่ได้เทียบกับสารตั้งต้นที่ป้อนเข้าซึ่งในที่นี้ก็คือขี้กล้วยได้ดังนี้

ปริมาณของเหลวที่ได้	7.58	กรัม
ปริมาณขี้กล้วยที่ป้อนเข้า	33.40	กรัม
เปอร์เซ็นต์ของผลผลิต	$(7.58/33.40) \times 100 = 22.96 \%$	

และผลิตภัณฑ์ในส่วนนี้นั้นเองที่ทางคณะผู้ทำการวิจัยคาดว่าจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ หากผ่านกระบวนการแยกและการทำให้บริสุทธิ์เสียก่อน

3. เมื่อนำสารละลายเกลือยูเทคติกที่แยกตะกอนถ่านออกไปแล้ว ไปวัดค่าพีเอชพบว่าจะมีค่าใกล้เคียงกับเกลือยูเทคติกก่อนที่จะนำไปหลอมเหลว และเมื่อระเหยน้ำออกก็จะได้ของแข็งมีสีขาวขุ่น จึงพอสรุปได้ว่า เกลือยูเทคติกที่ใช้นี้ไม่เกิดการแปรสภาพเป็นสารชนิดอื่น

8.2 ข้อเสนอแนะ

1. ทำการปรับปรุง พัฒนา อุปกรณ์และเครื่องปฏิกรณ์ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น มีเปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์สูงขึ้นหรือออกแบบให้เครื่องปฏิกรณ์เป็นแบบมีการป้อนสารอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งทำการทดลองที่สภาวะอื่นที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้
2. ศึกษาและค้นคว้าความเป็นไปได้ในการนำเกลือยูเทคติกที่ผ่านการหลอมเหลวแล้วนำกลับมาใช้ใหม่
3. ศึกษาและค้นคว้าหาวิธีที่เหมาะสมในการแยกผลิตภัณฑ์ของเหลวผสมที่ได้จากปฏิกิริยารวมทั้งวิธีการทำให้บริสุทธิ์ จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ที่เหมาะสมเพื่อจะได้ทราบถึงชนิดของสารที่ต้องการ
4. ศึกษาและค้นคว้าทางด้านกลไกการเกิดปฏิกิริยา และคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน รวมทั้งปริมาณความร้อนที่การไฟฟระ โวลติสต้องการ เพราะหากมีปริมาณความร้อนจากการออกซิเดชันที่เพียงพอสำหรับการไฟฟระ โวลติสแล้ว การให้ความร้อนจากภายนอกในขณะเกิดปฏิกิริยาก็ไม่จำเป็น

เอกสารอ้างอิง

1. David G. Lovering. Molten Salt Technology. New York: Plenum Press, 1982.
2. www.WhatIsMoltenSalt&ItsTechnology.html
3. George J. Janz. Molten Salts Handbook. New York: Academic Press, 1967.
4. David G. Lovering, Robert J. Gale. Molten Salt Techniques Volume 1. New York: Plenum Press, 1983.
5. www.MSO/Applications.html
6. www.Molten-SaltOxidationofWaste.html
7. ชาญวุฒิ ตังจิตวิทยา, ศาโรจน์ จูติเกียรติพงศ์. วัสดุในงานวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2529.
8. David G. Lovering, Robert J. Gale. Molten Salt Techniques Volume 4. New York: Plenum Press, 1991.
9. www.nrel.gov/lab/pao/biomass-energy.html
10. Osamu Kitani, Carl W. Hall. Biomass Handbook. New York: Gordon and Beach Science, 1989.
11. Ian Compbell. Biomass, Catalysts and Liquid Fuels. Lancaster, PA: Technomic, 1983.
12. www.Biomass/GasificationProcess.html
13. Ronald F. Probst, R. Edwing Hicks. Synthesis Fuels. Auckland: McGraw-Hill International, 1982.
14. www.pyne.com
15. www.MERCK.com
16. Richard M.Felder , Ronald W. Rousseau, Elementary Principle of Chemical Process New York: John Willey&Sons



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติต่าง ๆ ของเกลือที่ใช้ในการทดลอง [3]

ชื่อ	MW	mp(^o c)	bp(^o c)	Cp (cal/deg mole)	H _f at mp (kcal/mole)	$\rho = a - [b \times 10^{-3}]T$ (gm/cm ³)		
						a	b x 10 ³	Rang (K)
KCl	74.56	772	1407	16.0	6.34	2.1359	0.5831	1050-1220
CuCl ₂	134.44	498	-	23.6	-	-	-	-
MgCl ₂	95.22	714	1418	22.0	10.3	1.976	0.302	1000-1240
ZnCl ₂	136.28	286	732	24.1	2.45	2.69	0.512	723-910

ตารางที่ ก.2 คุณสมบัติต่างๆ ของเกลือยูเทกติกที่ใช้ในการทดลอง [1]

ชื่อ	mp(^o c)	$\Delta H^F/M$ (kJ/kg)	ρ_s (kg/l)	Cp (s) (kJ/K kg)	Cp (l) (kJ/K kg)	s (MJ/m ³)
KCl - ZnCl ₂ (51-49)	430	218	2.41	0.67	0.88	530
KCl - MgCl ₂ (67-33)	435	351	2.11	0.79	0.96	740

MW มวลโมเลกุล

mp จุดหลอมเหลว

bp จุดเดือด

Cp ค่าความจุความร้อน

H_f ความร้อนในการหลอมเหลว

ρ ความหนาแน่น

s ปริมาณความร้อนที่ถูกเก็บต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุ

ภาคผนวก ข

Safety data sheet (ZnCl₂) [15]

MERCK

1. Identification of the substance/preparation and of the company/undertaking

Identification of the product

Product name: Zinc chloride technical grade

2. Composition/information on ingredients

M: 136.28 g/mol

Molecular formula (Hill): Cl₂Zn

Molecular formula (struc.): ZnCl₂

3. Hazards identification

Causes burns. Very toxic to aquatic organisms, may cause long-term adverse effects in the aquatic environment.

4. First aid measures

After inhalation: fresh air. Summon doctor.

After skin contact: wash off with plenty of water. Dab with polyethylene glycol 400.

Immediately remove contaminated clothing.

After eye contact: rinse out with plenty of water for at least 10 minutes with the eyelid held wide open. Immediately summon eye specialist.

After swallowing: make victim drink plenty of water (if necessary several litres), avoid vomiting (risk of perforation!). Immediately summon doctor. Do not attempt to neutralize.

5. Fire-fighting measures

Suitable extinguishing media:

In adaption to materials stored in the immediate neighbourhood.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special risks:

Non-combustible. Ambient fire may hazardous vapours. The following may develop in event of fire: hydrochloric acid.

Special protective equipment for fire fighting:

Do not stay in dangerous zone without suitable chemical protection clothing and self-contained breathing apparatus.

Other information:

Contain escaping vapours with water. Prevent fire-fighting water from entering surface water or groundwater.

6. Accidental release measures

Person-related precautionary measures:

Avoid generation of dusts; do not inhale dusts. Avoid substance contact.

Environmental-protection measures:

Do not allow to enter sewerage system.

Procedures for cleaning/absorption:

Take up dry. Forward for disposal. Clean up affected area. Avoid generation of dusts.

7. Handling and storage

Handling:

No further requirements.

Storage:

Tightly closed. Dry. In a well-ventilated place. At +15°C to +25°C.

8. Exposure controls/personal protection

Personal protective equipment:

Protective clothing should be selected specifically for the working place, depending on concentration and quantity of the hazardous substances handle. The resistance of the protective clothing to chemicals should be ascertained with the respective supplier.

Respiratory protection: required when dusts are generated.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Eye protection: required

Hand protection: required

Industrial hygiene:

Immediately change contaminated clothing. Apply skin-protective barrier cream. Wash hands and face after working with substance.

9. Physical and chemical properties

Form:	solid
Colour:	white
Odour:	Odourless
pH value at 100 g/l H ₂ O (20°C)	≈5
Melting point	283°C
Boiling point	732°C
Ignition temperature	not available
Flash point	not available
Explosion limits	lower not available upper not available
Density (25°C)	2.91 g/cm ³
Bulk density	1400 – 1800 kg/m ³
Solubility in	
water (25°C)	4320 g/l
ethanol (20°C)	soluble

10. Stability and reactivity

Conditions to be avoided

no information available

Substances to be avoided

no information available

Hazardous decomposition products

in the event of fire: See chapter 5.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. Toxicological information

Acute toxicity

LD₅₀ (oral, rat): 350 mg/kg.

Further toxicological information

When dusts are generated: Damage of: respiratory tract. Inhalation may lead to the information of oedemas in the respiratory tract.

After contact with substance: Burn of: eyes, skin, mucous membrane.

After swallowing: irritations of mucous membranes in the mouth, pharynx, oesophagus and gastrointestinal tract. Pain, vomiting, diarrhoea.

After uptake of large quantities: drop in blood pressure, cardiovascular disorders, collapse.

Further data

The product should be handled with the care usual when dealing with chemicals.

12. Ecological information

Ecotoxic effects:

Biological effects: Highly toxic for aquatic organisms. May cause long-term adverse effects in the aquatic environment. Hazard for drinking water supplies.

Fish toxicity: *L.macrochirus* LC₅₀: 3.3 mg/l/96h;

The literature data available to us do not conform with the labelling prescribed by the EC.

The EC has dossiers which have not been published.

Further ecologic data:

Do not allow to enter waters, waste water, or soil.

13. Disposal considerations

Product:

There are no uniform EC regulations for the disposal of chemicals or residues. Chemical residues generally count as special waste. The disposal of latter is regulated in the EC member countries through corresponding laws and regulations. We recommend that you contact either the authorities incharge or approved waste disposal companies which will advise you on how to dispose of special waste.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Packaging:

Disposal in compliance with official regulations. Handle contaminated packaging in the same way as the substance itself. If not officially specified differently, non-contaminated packaging may be treated like household waste or recycle.

14. Transport information

Land transport	GGVS, GGVE, ADR, RID
Classification	8/11c
Name	2331 ZINKCHLORIDE, WASSERFREI
River transport	AND, ADNR
Classification	not tested
Sea transport	IMDG, GGVSee
Classification	8/UN 2331/PG III
Ems	8-06
MFAG	145
Name	ZINC CHLORIDE, ANHYDROUS
Air transport	ICAO, IATA
Classification	8/UN 2331/PG III
Name	ZINC CHLORIDE, ANHYDROUS

The transport regulations are cited according to international regulations and in the form applicable in Germany (GGVS/GGVE). Possible national deviations in other countries are not considered.

15. Regulatory information

Labelling according to EC Directives

Symbol:	C	Corrosive
	N	Dangerous for the environment
R-phrases:	34-50/53	Causes burns. Very toxic to aquatic organisms, may cause long-term adverse effects in the aquatic environment.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EC-No.:

231-592-0

EC label

16. Other information*Reason for alteration*

Change in labelling.

General update.

Regional representation:

This information is given on the authorised Safety Data Sheet for your country.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Safety data sheet (KCl) [15]

MERCK

1. Identification of the substance/preparation and of the company/undertaking*Identification of the product*

Name : Potassium chloride

2. Composition/information on ingredients

Molar mass : 74.55

Molecular formula : KCl

3. Hazards identification

No hazardous product as specified in Directive 67/548/EEC.

4. First aid measures :

After inhalation : fresh air.

After skin contact : wash off with plenty of water. Remove contaminated clothing.

After eye contact : rinse out with plenty of water. If pain persists, summon eye specialist.

After swallowing : make the victim drink plenty of water, induce vomiting. Summon doctor if feeling unwell.

5. Fire-fighting measures :

Suitable extinguishing media :

In adaption to materials stored in the immediate neighbourhood.

Special risks :

Non-combustible. Ambient fire may liberate hazardous vapours. The following may develop in event of fire ; hydrochloric acid.

Special protective equipment for fire fighting :

Do not stay in dangerous zone without self-contained breathing apparatus.

Other information :

Prevent fire-fighting water from entering surface water or groundwater.

6. Accidental release measures

Person-related precautionary measures:

Avoid generation of dust ; do not inhale dust.

Procedures for cleaning / absorption:

Take up dry. Forward for disposal. Clean up affected area.

7. Handling and storage

Handling :

No further requirements.

Storage :

Tightly closed. At +15 °C to +25 °C. The data apply to the entire pack.

8. Exposure controls / personal protection

Personal protective equipment :

Protection clothing should be selected specifically for the working place, depending on concentration and quantity of the hazardous substances handled. The resistance of the protective clothing to chemicals should be ascertained with the respective supplier.

Respiration protection : required when dusts are generated.

Eye protection : required

Hand protection : required

Industrial hygiene :

Wash hands after working with substance.

9. Physical and chemical properties

Form : solid

Colour : white

Odour : odourless

pH value : at 50 g/l H₂O (20 °C) 5.5-8.5

Melting point : 773 °C

Boiling point : 1413 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sublimation point :	1500 °C
Ignition temperature :	not available
Flash point :	not available
Explosion limits : lower	not available
upper	not available
Density : (20 °C)	1.98 g/cm ³
Bulk density :	~ 1000 kg/m ³
Solubility in : water (20 °C)	330 g/l
ethanol (20 °C)	almost insoluble
ether (20 °C)	insoluble

10. Stability and reactivity :

Conditions to be avoided :

no information available

Substances to be avoided :

no information available

Hazardous decomposition products :

in the event of fire : See chapter 5.

11. Toxicological information

Acute toxicity

LD₅₀ (oral rat) : 2600 mg/kg.

Specific symptoms in animal studies :

Eye irritation test (rabbit) : Slight irritation.

Further toxicological information :

After eye contact : Slight irritations.

After swallowing of large amounts : cardiac dysrhythmia, cardiovascular failure.

Further data : However, when the product is handled appropriately, hazardous effects are unlikely to occur.

12. Ecological information

Ecotoxic effects :

Quantitative data on the ecological effect of this product are not available.

Further ecologic data :

No ecological problems are to be expected when the product is handled and used with due care and attention.

13. Disposal considerations

Product :

There are no uniform EC Regulation for the disposal of chemicals or residues. Chemical residues generally count as special waste. The disposal of the latter is regulated in the EC member countries through corresponding laws and regulations. We recommended that you contact either the authorities in charge or approved waste disposal companies which will advise you on how to dispose of special waste.

Packaging :

Disposal in compliance with official regulations. Handle contaminated packaging in the same ways the substance itself. If not officially specified differently, non-contaminated packaging may be treated like household waste or recycled.

14. Transport information

Not subject to transport regulations.

15. Other information

Reason for alteration :

Change in the chapter on toxicology. Change / addition in the chapter 5. General update.

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติทางกายภาพของสารต่างๆในสถานะของเหลว [16]

ชื่อสาร	สูตรโครงสร้าง	จุดเดือด (°C)	ความหนาแน่น(g/cm ³)
กรดอะซิติก	CH ₃ COOH	118.2	1.049
เบนซีน	C ₆ H ₆	80.10	0.879
ไซโคลเฮกเซน	C ₆ H ₁₂	80.7	-
เอทิลอะซิเตต	C ₄ H ₈ O ₂	77.0	-
เอทานอล	C ₂ H ₅ OH	78.0	0.789
3-เอทิล เฮกเซน	C ₈ H ₁₈	118.5	-
กรดฟอร์มิก	CH ₂ O ₂	100.5	-
นอร์มอลเฮปเทน	C ₇ H ₁₆	98.43	-
นอร์มอลเฮกเซน	C ₆ H ₁₄	68.74	-
เมทิลแอลกอฮอล์	CH ₃ OH	64.7	0.791
เมทิลเอทิลอีโธน	C ₄ H ₈ O	78.2	-
นอร์มอลออกเทน	C ₈ H ₁₈	125.5	-
โทลูอิน	C ₇ H ₈	110.62	0.703

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 คุณสมบัติของก๊าซที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ[10]

ชื่อสาร	สูตร โครงสร้าง	ความหนาแน่น(kg/m ³)
มีเทน	CH ₄	0.650
คาร์บอนมอนอกไซด์	CO	1.137
คาร์บอนไดออกไซด์	CO ₂	1.787
อะเซทิลีน	C ₂ H ₂	1.056
เอทิลีน	C ₂ H ₄	1.137
อีเทน	C ₂ H ₆	1.219
โพรเพน	C ₃ H ₈	1.787
ไฮโดรเจน	H ₂	0.081
ออกซิเจน	O ₂	1.300
ไนโตรเจน	N ₂	1.137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การคำนวณหาค่าความเป็นกรดเมื่อเทียบกับกรดอะซิติก

การหาจำนวน โมลของกรดเมื่อไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 9.3 มิลลิลิตร

ปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร

จาก

$$N_1 V_1 = N_2 V_2$$

โดย

N_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

N_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง

V_1 คือ ปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง

$$\begin{aligned} N_1 &= (0.1 \times 9.3) / 10 \\ &= 0.093 \text{ โมลาร์} \end{aligned}$$

ซึ่งสารละลายตัวอย่างนี้มาจากผลิตภัณฑ์ของเหลว 1 กรัมในน้ำ 20 มิลลิลิตร จะได้ว่า

ในสารละลายตัวอย่าง 1000 มิลลิลิตร มีปริมาณของกรด 0.093 โมล

ถ้าในสารละลาย 20 มิลลิลิตร จะมีปริมาณของกรด 1.86×10^{-3} โมล

เทียบกับกรดอะซิติก โดยนำมวลโมเลกุลของกรดอะซิติกมาคูณให้เป็นจำนวนกรัม

มวลโมเลกุลของกรดอะซิติก 60 กรัมต่อโมล

จะได้ ปริมาณของกรด $1.86 \times 10^{-3} \times 60 = 11.16 \times 10^{-2}$ กรัม CH_3COOH

แสดงว่า 1 กรัมของผลิตภัณฑ์ของเหลวมีปริมาณกรด 11.16×10^{-2} กรัม CH_3COOH

ดังนั้น 100 กรัมของผลิตภัณฑ์ของเหลวมีปริมาณกรด 11.16 กรัม CH_3COOH