



## โครงการ

# การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การพัฒนาฟองน้ำกำจัดกลิ่นจากยางธรรมชาติ

Development of a deodorizing sponge from natural rubber

ชื่อนิสิต นางสาวจรรยาพร ทัບยุง

เลขประจำตัว 5932906123

นายกฤตวัฒน์ สุวานิชย์

เลขประจำตัว 5932903223

ภาควิชา เคมีวิศวกรรม

ปีการศึกษา 2562

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานโครงการวิจัย

การพัฒนาฟองน้ำกำจัดกลิ่นจากยางธรรมชาติ

(Development of a deodorizing sponge from natural rubber)

โดย

นายกฤตวัฒน์ สุวานิชย์ รหัสนิต 5932903223

นางสาวจรรยาพร ทับยุง รหัสนิต 5932906123

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริลักษณ์ พุ่มประดับ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โรจน์ฤทธิ์ โจนธเนศ

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ปีการศึกษา 2562

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีโดยได้รับความช่วยเหลือจาก รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริลักษณ์ พุ่มประดับ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โรจน์ฤทธิ์ โจรนธเนศ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ในด้านการให้คำแนะนำแนวทาง การให้คำปรึกษา และข้อคิดเห็นต่าง ๆ ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านของ ภาควิชาเคมีเทคนิค และคณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านเครื่องมือและดูแลอำนวยความสะดวก ในการปฏิบัติงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณเงินทุนสนับสนุนการวิจัยจากภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประจำปีการศึกษา 2562 นอกจากนี้ ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยนี้จนสำเร็จ

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ชื่อโครงการ                      การพัฒนาฟองน้ำกำจัดกลิ่นจากยางธรรมชาติ

ชื่อนิสิตผู้ทำโครงการ        นางสาว จรรย์พร ทับยูง

นาย กฤตวัฒน์ สุวานิชย์

อาจารย์ที่ปรึกษา                รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริลักษณ์ พุ่มประดับ

ภาควิชา เคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2562

### บทคัดย่อ

กลิ่นไม่พึงประสงค์นับเป็นมลภาวะอย่างหนึ่งที่เกิดความรำคาญและเป็นสิ่งรบกวนผู้ที่อยู่ในบริเวณนั้น ซึ่งกลิ่นอาจใช้เวลานานในการจางหายไป เพื่อทำให้กลิ่นไม่พึงประสงค์จางไวขึ้น งานวิจัยนี้ได้พัฒนาโฟมยางธรรมชาติดูดซับกลิ่นจากยางธรรมชาติเพื่อดูดซับกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ อย่างไรก็ตาม การดูดซับกลิ่นจากโฟมยางธรรมชาติเพียงอย่างเดียวมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารต่ำ จึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพยางโดยการเติมสารเคมีเข้าไปผสม ในงานวิจัยนี้ยางธรรมชาติถูกออกแบบให้เป็นโฟมยางร่วมกับสาร Trapital ซึ่งเป็นสารที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และไม่อันตรายต่อสิ่งมีชีวิต โดยโฟมยางธรรมชาติถูกออกแบบเป็น 3 ชนิด ได้แก่ โฟมยางธรรมชาติ โฟมยางธรรมชาติที่ผสมร่วมกับ Trapital ระหว่างชั้นรูป และโฟมยางธรรมชาติที่แช่ในสารละลาย Trapital 25% โดยน้ำหนัก นำไปทำการทดสอบการดูดซับกลิ่นแอมโมเนียและการนำกลับมาใช้ใหม่ด้วยการล้างน้ำสะอาด ทำให้โฟมยางธรรมชาติแห้งสนิท แล้วนำมาทดสอบการดูดซับกลิ่นแอมโมเนียซ้ำ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเติม Trapital ทำให้โฟมยางสามารถดูดซับกลิ่นแอมโมเนียได้ โดยโฟมยางธรรมชาติที่แช่ในสารละลาย Trapital 25% โดยน้ำหนักสามารถดูดซับกลิ่นได้ดีที่สุด ใช้เวลาเฉลี่ยในการดูดซับกลิ่น 65 วินาที และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ถึง 5 ครั้ง

คำสำคัญ: โฟมยางธรรมชาติ, Trapital, สารดูดซับกลิ่น

ภาควิชา เคมีเทคนิค

ลายมือชื่อนิสิต..... จรรย์พร ทับยูง

สาขาวิชา เคมีวิศวกรรม

ลายมือชื่อนิสิต..... กฤตวัฒน์ สุวานิชย์

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก.....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม.....

**Title** Development of a deodorizing sponge from natural rubber

**Student name** Ms. Janyaporn Tubyoong

Mr. Krittawat Suwanich

**Advisor** Assoc. Prof. Dr. Sirilux Poompradub

**Department of Chemical Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University,**

**Academic Year 2019**

### ABSTRACT

Unwanted odors are considered one of the pollutions which cause annoyance to people living nearby. It takes a while for those unpleasant odors to disappear. In order to accelerate the elimination of the odor in question, the present research aims at developing a natural rubber foam made from natural rubber. However, the usage of a natural rubber foam reveals a low odor adsorption efficiency; therefore, the natural rubber foam needed to be added some chemicals to improve the odor adsorption ability. In this research, the natural rubber foam was designed to be rubber foam together with Trapital, a substance which is environmentally friendly and not harmful to organisms. The natural rubber foam resulted from this research can be divided into three types: natural rubber foam, natural rubber foam together with Trapital during forming, and natural rubber foam with Trapital 25% w/w. These three types of the natural rubber foams then were tested their ammonia adsorption and their reusability with clean washing which yielded to completely dry natural rubber foam. The process of ammonia adsorption was repeated. The results show that the natural rubber foam with Trapital 25% w/w can adsorb the most ammonia odor and can be reused for 5 times.

**Keywords:** Natural rubber foam, Trapital, deodorizing chemicals

Department of Chemical Technology

Student's signature .....

Janyaporn Tubyoong

Major: Chemical Engineering

Student's signature .....

Krittawat Suwanich

Advisor's signature.....

Sirilux P.

Co-Advisor's signature .....

Brit DC.

## สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
Abstract.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR).....	3
2.2 ยางคอมพอสิต (Rubber composite).....	8
2.3 เครื่องมือในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากยาง.....	9
2.4 การดูดซับ (Adsorption).....	11
2.5 สารดูดซับกลิ่น.....	13
2.6 การทดสอบการดูดซับกลิ่น.....	15
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
บทที่ 3 เครื่องมือและวิธีการทดลอง.....	22
3.1 วัสดุดิบและสารเคมี.....	22
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	23
3.3 การดำเนินงานวิจัย.....	23
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	27
4.1 ลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับกลิ่น.....	25
4.2 การดูดซับกลิ่น.....	27
4.3 การนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุโพลียูรีเทนธรรมชาติดูดซับกลิ่น.....	29

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	31
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	31
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	31
บรรณานุกรม.....	32
ภาคผนวก ก.....	33
ภาคผนวก ข.....	35

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1 วัตถุประสงค์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	22
ตารางที่ 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	23
ตารางที่ 3.3 สูตรการเตรียมขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติ.....	23
ตารางที่ 3.4 สูตรการเตรียมขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติและโฟมยางธรรมชาติผสมร่วมกับ Trapital.....	24
ตารางที่ ก.1 เวลาที่โฟมยางธรรมชาติใช้ในการดูดซับกลิ่น.....	33
ตารางที่ ก.2 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการดูดซับกลิ่นและจำนวนครั้งในการนำกลับมาใช้ใหม่ของ NT-5.....	33
ตารางที่ ก.3 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการดูดซับกลิ่นและจำนวนครั้งในการนำกลับมาใช้ใหม่ของ NT-s.....	34



## สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 ต้นยางธรรมชาติ.....	3
รูปที่ 2.2 ลักษณะของยางแผ่น.....	4
รูปที่ 2.3 ลักษณะของยางเครฟ.....	5
รูปที่ 2.4 ลักษณะของยางแท่ง.....	5
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของ Polyisoprene.....	6
รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของคอมพอสิต.....	8
รูปที่ 2.7 ถ่านกัมมันต์.....	14
รูปที่ 2.8 ซีโอไลต์.....	14
รูปที่ 3.1 การฉีตสารละลายแอมโมเนียผสมกับฟีนอลฟทาสนลงบนโพลียาธรรมชาติ.....	25
รูปที่ 3.2 แผนการทดลองในการดำเนินงานวิจัย.....	26
รูปที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของโพลียาธรรมชาติที่เติมสาร Trapital.....	27
รูปที่ 4.2 แผนภูมิแท่งแสดงเวลาเฉลี่ยในการดูดซับกลิ่นของโพลียาธรรมชาติที่เติมสาร Trapital ระหว่างขึ้นรูป.....	28
รูปที่ 4.3 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยในการดูดซับกลิ่นระหว่างโพลียาธรรมชาติที่เติมสาร Trapital หลังขึ้นรูป กับ NT-5.....	29
รูปที่ 4.4 แผนภูมิแท่งแสดงเวลาเฉลี่ยในการดูดซับกลิ่นและจำนวนครั้งการนำกลับมาทดสอบของ NT-5 และ NT-s.....	30

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

มลภาวะทางกลิ่นไม่พึงประสงค์ภายในห้องหรืออาคารเป็นปัญหามลพิษทางอากาศที่ก่อให้เกิดความรำคาญและเป็นสิ่งรบกวนผู้ที่อยู่ในบริเวณนั้น ซึ่งกลิ่นเหล่านี้อาจใช้เวลาานกว่าจะหายไป โดยปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นจากหลายปัจจัย เช่น ความชื้นภายในห้อง กลิ่นของสัตว์เลี้ยง กลิ่นจากขยะที่เน่าเสีย กลิ่นที่เกิดจากการรับประทานอาหาร หรือกลิ่นจากการประกอบอาหารภายในร้านอาหาร เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีสาเหตุมาจากอัตราการถ่ายเทของอากาศที่น้อยลง เนื่องจากความหนาแน่นที่สูงขึ้นของอาคารที่อยู่อาศัยในปัจจุบัน วัสดุดูดซับกลิ่นถือเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการกำจัดกลิ่นต่าง ๆ ภายในห้องหรืออาคาร เนื่องจากสามารถใช้งานได้สะดวก มีประสิทธิภาพ และยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ง่ายกับอุปกรณ์ที่สามารถกรองอากาศได้ เช่น เครื่องกรองอากาศ เครื่องปรับอากาศ ตู้ดูดควันในห้องครัว เป็นต้น ซึ่งวัสดุดูดซับที่ใช้ควรมีปริมาณรูพรุนสูง พื้นที่ผิววัสดุที่มีรูพรุนสูง มีสมบัติความเป็นรูพรุน และมีความสามารถในการดูดซับสูง

งานวิจัยนี้มีแนวคิดที่จะพัฒนาวัสดุดูดซับกลิ่นจากวัสดุธรรมชาติที่หาได้ง่าย มีราคาต้นทุนไม่สูงนัก และมีความสามารถในการดูดซับได้ดี ดังนั้น ยางธรรมชาติจึงเป็นทางเลือกที่ดีในการนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับ นอกจากนี้ยังมีการใช้ร่วมกับสารดูดซับ อย่างเช่น Trapital มาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับกลิ่นให้ดียิ่งขึ้น โดยศึกษาการดูดซับกลิ่นของโพลียเอทิลีนจากยางธรรมชาติที่เตรียมสารละลาย Trapital ด้วยวิธีการและความเข้มข้นที่แตกต่างกัน โดยจะพิจารณาจากประสิทธิภาพในการดูดซับเป็นหลัก

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับกลิ่นของวัสดุดูดซับโพลียเอทิลีนจากยางธรรมชาติที่เติมสาร Trapital

1.2.2 ศึกษาความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุดูดซับโพลียเอทิลีนจากยางธรรมชาติที่เติมสาร Trapital

### 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ทราบถึงความสามารถในการดูดซับกลิ่นของโพลียเอทิลีนจากยางธรรมชาติที่เติมสาร Trapital

1.3.2 ผลผลิตภัณฑ์วัสดุดูดซับจากคอมพอสิตยางธรรมชาติที่สามารถกำจัดกลิ่นได้

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 1.4.1 สืบค้นข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.2 เตรียมโพนยางธรรมชาติขนาด 30x30 ตารางเซนติเมตร โดยแบ่งออกเป็น 3 ชนิด
  - 1.4.2.1 โพนยางธรรมชาติ
  - 1.4.2.2 โพนยางธรรมชาติที่ผสมร่วมกับ Trapital ระหว่างขึ้นรูป (3, 5 และ 7 กรัม)
  - 1.4.2.3 โพนยางธรรมชาติที่แช่ในสารละลาย Trapital 25% โดยน้ำหนัก
- 1.4.3 ศึกษาและเปรียบเทียบผลความสามารถการดูดซับกลิ่นของวัสดุดูดซับโพนยางธรรมชาติ โดยการฉีดสารละลายแอมโมเนียผสมฟีนอล์ฟทาลีนเพื่อทดสอบ
- 1.4.4 ศึกษาการและเปรียบเทียบผลการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุดูดซับโพนยางธรรมชาติ โดยการนำวัสดุดูดซับกลิ่นไปฟื้นฟูด้วยการล้าง ทำการทดสอบซ้ำ
- 1.4.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง
- 1.4.7 สรุปผลการทดลองและจัดทำเล่มรายงาน

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) [1-2]

ยางธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นยางที่ได้มาจากต้นยางพันธ์ *Hevea Brazilliensis* ซึ่งมีต้นกำเนิดจากกลุ่มแม่น้ำอเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ น้ำยางสดที่กรีดจากต้นยางมีลักษณะสีขาวขุ่น และมีเนื้อยางแห้ง (Dry rubber) ประมาณ 30% แขนงลอยอยู่ในน้ำ ถ้านำน้ำยางที่ได้นี้ไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) และแยกน้ำออก จนกระทั่งได้น้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 60% เรียกว่า น้ำยางข้น (Concentrated latex) และมีการเติมสารแอมโมเนียลงไป เพื่อช่วยรักษาสภาพของน้ำยางข้นเก็บไว้ในระยะเวลา

##### 2.1.1 รูปแบบของยางธรรมชาติ

น้ำยางสดที่กรีดได้จากต้นยาง (รูปที่ 2.1) มีลักษณะเป็นสีขาว ปริมาณของเนื้อยางแห้งขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ยาง อายุต้นยาง และฤดูกาล โดยทั่วไปยางธรรมชาติสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ น้ำยางและยางแห้ง



รูปที่ 2.1 ต้นยางธรรมชาติ [3]

##### 2.1.1.1 น้ำยาง

เนื่องจากน้ำยางสดที่กรีดได้จากต้นยางมีปริมาณน้ำมากเกินไป จึงไม่เหมาะที่จะนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์และยังทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ดังนั้นจึงต้องมีการนำน้ำออกจากน้ำยางสดด้วยการนำไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (Centrifugation) จนกระทั่งมีเนื้อยางแห้งเพิ่มขึ้นจาก 30% เป็น 60% โดนน้ำยางที่ได้นี้เรียกว่า น้ำยางข้น แต่ในน้ำยางมีสารอินทรีย์ต่าง ๆ เช่น โปรตีน และฟอสโฟลิปิด

(Phospholipid) ผสมอยู่ในปริมาณเล็กน้อย ทำให้เกิดการบูดเน่าและสั่นคลอนได้ง่าย จึงต้องมีการเติมแอมโมเนีย หรืออาจเติมสารอื่นร่วมด้วย เพื่อเก็บรักษาให้น้ำยางข้น น้ำยางข้นที่ใช้แอมโมเนียอย่างเดียวจะต้องใช้แอมโมเนียในการเก็บรักษาที่มีความเข้มข้นสูงถึง 0.7% โดยน้ำหนักของเนื้อยาง น้ำยางชนิดนี้เรียกว่า น้ำยางเข้มข้นชนิดแอมโมเนียสูง (High ammonia concentrated latex or HA latex) ส่วนน้ำยางข้นที่มีการเก็บรักษาด้วยแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นต่ำ เช่น ไม่เกิน 0.2% จะใช้ร่วมการสารเคมีอื่น ๆ เช่น ซิงค์ออกไซด์และเตตระเมทิลไฮดรอกไซด์ (ZnO/TMTD) 0.02% และกรดบอริก 0.2% หรือ Santobrite 0.2% เป็นต้น น้ำยางชนิดนี้เรียกว่า น้ำยางเข้มข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ (Low ammonia concentrated latex or LA latex)

### 2.1.1.2 ยางแห้ง

ยางแห้งได้มาจากการแยกเนื้อยางออกจากน้ำโดยการทำให้อนุภาคยางสูญเสียความเสถียรเรียกว่า “การจับตัวน้ำยาง” เช่น การเติมกรดซัลฟูริก เมื่ออนุภาคยางสูญเสียความเสถียร ยางก็จะจับตัวกันเป็นก้อนยาง ยางแห้งได้มีการผลิตและจำหน่ายหลายรูปแบบเพื่อความสะดวกและเหมาะสมตามการใช้งาน

2.1.1.2.1 ยางแผ่น (Rubber sheet) ได้จากการจับตัวของน้ำยางแล้วนำมารีดเป็นแผ่น และถูกทำให้แห้งด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การรมควัน เรียกว่า “ยางแผ่นรมควัน” (Ribbed smoked sheet rubber, RSS) การอบแห้งโดยใช้อากาศร้อน เรียกว่า “ยางแผ่นผึ่งแห้ง” (Air dried sheet, ADS) ลักษณะของยางแผ่นแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะของยางแผ่น [4-5]

2.1.1.2.2 ยางเครฟ (Crepe rubber) เป็นยางที่ได้จากการนำเศษยาง เช่น ยางกันถ้วย ยางติดเปลือกไม้ หรือเศษยางจากแผ่นรมควัน ไปรีดในเครื่องในเครื่องเครฟ (Creping machine) พร้อมกับชะล้างด้วยน้ำสะอาดเพื่อนำสิ่งสกปรกออกแล้วทำให้แห้งด้วยการนำไปผึ่งลม ยางเครฟมีอยู่หลายรูปแบบและหลายเกรดขึ้นอยู่กับคุณภาพของยางที่นำมาเครฟ โดยยางที่นำมาทำยางเครฟที่คุณภาพดีที่สุดคือยางเครฟขาว ซึ่งได้มาจากน้ำยางที่ใส่สารฟอกขาวแล้วจับตัวเป็นก้อน ลักษณะของยางเครฟแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะของยางเครฟ [6]

2.1.1.2.3 ยางแท่ง (Block rubber) เป็นยางที่มีคุณภาพสม่ำเสมอกว่ายางแผ่นและยางเครฟ เนื่องจากมีการควบคุมคุณภาพของยางดิบ ผ่านการทดสอบและจัดชั้นยางเพื่อรับรองคุณภาพตามหลักวิชาการ การจัดชั้นของยางแท่งพิจารณาจากปริมาณของสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในยางเป็นหลัก และมีการพิจารณาตัวแปรอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่น ปริมาณเถ้า ดัชนีความอ่อนตัว เป็นต้น ปัจจุบันประเทศไทยมีมาตรฐานยางแท่งเรียกว่า Standard Thai rubber (STR) ลักษณะของยางแท่งแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะของยางแท่ง [7]

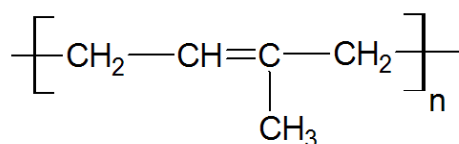
2.1.1.2.4 ยางแห้งชนิดพิเศษ นอกจากที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ยางธรรมชาติยังสามารถเตรียมให้อยู่ในรูปแบบพิเศษต่าง ๆ ได้ เช่น

1. ยางแท่งความหนืดคงที่ (Constant viscosity rubber) หรือที่เรียกว่า CV rubber เป็นยางที่มีการปรับสภาพโครงสร้างโมเลกุล ทำให้ไม่เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของยางดิบที่เก็บไว้ก่อนนำมาแปรรูป

2. ยางเอสพี (SP Rubber หรือ Superior Processing Rubber) เป็นยางที่มีพันธะเชื่อมโยงบางส่วนในโครงสร้างโมเลกุลของยาง ทำให้ยางสามารถรักษารูปทรงได้ดี
3. ยางธรรมชาติปรับสภาพด้วยน้ำมัน (Oil-extended natural rubber, OENR) เป็นยางธรรมชาติที่ใส่น้ำมันเข้าไปปริมาณมากเพื่อช่วยในกระบวนการแปรรูปยางชนิดนี้เหมาะแก่การทำยางรถยนต์ที่ใช้ในฤดูหนาว
4. ยางธรรมชาติสกัดโปรตีน (Deproteinized natural rubber, DPNR) เป็นยางที่ปรับสภาพให้มีปริมาณโปรตีนในยางต่ำ เพื่อลดปัญหาการแพ้โปรตีน
5. ยางผง (Powder Rubber) เป็นยางที่อยู่ในรูปเม็ดเพื่อนำมาใช้ในกระบวนการผลิต

### 2.1.2 โครงสร้างของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมี คือ ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (*cis-1,4-polyisoprene*) กล่าวคือ ในโมเลกุลยาง 1 โมเลกุลจะประกอบด้วยหน่วยของไอโซพรีน ( $C_5H_8$ ) มาต่อกันเป็นสายยาว (แบบเส้นตรง) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ในช่วง 200,000 ถึง 400,000 และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลที่กว้างมาก ยางธรรมชาติมีความหนาแน่นเท่ากับ  $0.93 \text{ g/cm}^3$  ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature,  $T_g$ ) ประมาณ  $-72$  องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของ Polyisoprene

### 2.1.3 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ

1. ความยืดหยุ่น (Elasticity) เป็นลักษณะเด่นอีกประการหนึ่งของยางธรรมชาติที่คงรูปแล้วจะมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกมากกระทำกับยางหมดไปยางจะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) ได้อย่างรวดเร็ว
2. ความเหนียวติดกัน (Tack) ยางธรรมชาติ (ในสภาพที่ยังไม่คงรูป) มีสมบัติดีเยี่ยมในด้านความเหนียวติดกัน ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางรถยนต์ เป็นต้น

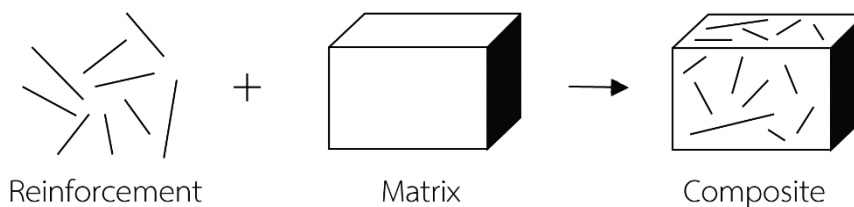
3. ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีความเป็นระเบียบสูงจึงทำให้ยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้ง่ายเมื่อถูกยืด ซึ่งผลึกที่เกิดขึ้นจะช่วย เสริมความแข็งแรงให้กับยาง ดังนั้นยางธรรมชาติจึงมีค่าความทนทานสูงมากโดยที่ไม่ต้องใช้สารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วย การเติมสารตัวเติมเสริมแรงลงไปก็จะช่วยทำให้ความทนทานต่อแรงดึงสูงขึ้น ซึ่งสมบัตินี้จะแตกต่างจากยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่ที่มักมีค่าความทนทานต่อแรงดึงต่ำ จึงไม่สามารถนำไปใช้งานในทางวิศวกรรมได้ นอกจากนี้จะมีการใช้สารตัวเติมเสริมแรงเข้าไปช่วย
4. ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) เนื่องจากยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้เมื่อถูกยืด ดังนั้นยางธรรมชาติจึงมีความทนทานต่อการฉีกขาดสูงมากทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิสูง การเติมสารตัวเติมเสริมแรงลงไปก็จะช่วยให้ทำให้ค่าความทนทานต่อการฉีกขาดของยางสูงขึ้น
5. ความต้านทานการขัดสี (Abrasion resistance) ยางธรรมชาติมีค่าความต้านทานการขัดสีสูงเมื่อเปรียบเทียบกับยางสังเคราะห์ชนิดอื่น ๆ
6. ความกระด้างตัว (Resilience) ยางธรรมชาติมีความกระด้างตัวสูง มีความร้อนสะสมต่ำทำให้ยางธรรมชาตินิยมใช้ในการทำยางรถบรรทุกซึ่งต้องรับแรงหนัก
7. ความเป็นฉนวนไฟฟ้า (Insulation) ยางธรรมชาติมีค่าความเป็นฉนวนสูงมาก
8. ความทนทานต่อของเหลวและสารเคมี (Liquid and chemical resistance) เนื่องจากองค์ประกอบของยางธรรมชาติเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางดิบจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีนเฮกเซน โทลูอีน เป็นต้น ความสามารถในการละลายนี้จะลดลงหากยางเกิดการคงรูปเนื่องจากการเชื่อมโยงทางพันธะทางเคมีของโมเลกุลเกิดเป็นโครงสร้าง 3 มิติ ในยางคงรูปไปขัดขวางกระบวนการละลายของยาง ยางคงรูปจึงเพียงแต่เกิดการบวมตัวในตัวทำละลายเท่านั้น อย่างไรก็ตาม การบวมตัวของยางดังกล่าวจะทำให้สมบัติเชิงกลของยางด้อยลง ด้วยเหตุนี้ยางธรรมชาติจึงไม่ทนต่อตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วต่าง ๆ แต่ยางจะทนของเหลวที่มีขั้ว เช่น แอซิโตน หรือแอลกอฮอล์ นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังทนต่อกรดและด่างเจือจางได้ดี แต่ไม่ทนต่อกรดในตริกและกรดกำมะถันเข้มข้น



9. อุณหภูมิของการใช้งาน (Service temperature) ยางธรรมชาติสามารถใช้งานได้ตั้งแต่อุณหภูมิ  $-70^{\circ}\text{C}$  ถึง  $70^{\circ}\text{C}$  โดยที่ยางทั่วไปจะแข็งตัวเมื่อเย็นและอ่อนตัวลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น
10. การเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน (Aging properties) เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่อยู่มาก ทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เรียกปฏิกิริยานี้ว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยมีแสงหรือความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้น ยางธรรมชาติจึงถูกออกซิไดส์ได้ง่าย นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังไม่ทนต่อโอโซนเพราะเมื่อยางถูกยึดและได้รับโอโซนนาน ๆ ยางจะเกิดรอยแตกขนาดเล็กจำนวนมากที่บริเวณผิวในทิศตั้งฉากกับทิศทางการยึดของยาง ด้วยเหตุนี้ในระหว่างการผสมยางจึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิด คือ สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Anti-Degradants) และไข (Wax) ลงไปเพื่อยืดอายุการใช้งานของยางธรรมชาติ

## 2.2 ยางคอมพอสิต (Rubber composite) [1]

ยางคอมพอสิตเป็นวัสดุที่ไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แต่เป็นวัสดุที่ประกอบด้วยวัสดุอย่างน้อยสองส่วนร่วมกันเพื่อให้สมบัติของยางดีขึ้น เช่น ความแข็งแรง การนำไฟฟ้า เป็นต้น โดยวัสดุทั้งสองนั้นต้องไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน มียางธรรมชาติเป็นเนื้อหลัก (Matrix) ซึ่งเป็นเฟสต่อเนื่อง และอีกชนิดเป็นวัสดุเสริมแรง (Reinforcing material) ซึ่งเป็นเฟสกระจาย กระจายอยู่ในวัสดุเนื้อหลักดังรูปที่ 2.6 วัสดุเสริมแรงอาจมีลักษณะเป็นเส้น ก้อน อนุภาค หรือเกล็ด ก็ได้ วัสดุที่เป็นเนื้อหลักจะรองรับวัสดุเสริมแรงให้อยู่ในรูปร่างที่กำหนด ในขณะที่วัสดุเสริมแรงจะเป็นตัวช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของวัสดุเนื้อหลักให้มีสมบัติสูงขึ้น ผลของการรวมวัสดุต่างชนิดเข้าด้วยกันทำให้ได้วัสดุผสมที่มีสมบัติแข็งแรงขึ้นกว่าวัสดุดั้งเดิม



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของคอมพอสิต [8]

วัสดุคอมพอสิตมีสมบัติเด่นกว่าการใช้ยางธรรมชาติบริสุทธิ์เพียงอย่างเดียวในหลายด้าน เช่น

1. มีค่าความแกร่งและแข็งสูง (High stiffness & strength)

2. มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำ (Low density)
3. น้ำหนักเบา เมื่อเทียบกับความแข็งแรงต่อน้ำหนัก
4. นำไปขึ้นรูปได้ง่าย ติดตั้งและประกอบได้ง่าย
5. ทนทานต่อสภาพแวดล้อมหรือสารเคมีกัดกร่อน
6. อายุการใช้งานสูง คุ่มราคา

## 2.3 เครื่องมือในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากยาง [1-2]

ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากยางแข็ง เมื่อกำหนดสูตรยางได้แล้ว ต่อไปเป็นขั้นตอนการผสมยางกับสารต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ มีดังนี้

### 2.3.1 เครื่องผสมยาง สามารถแบ่งได้เป็น 2 ระบบ ได้แก่

2.3.1.1 ระบบเปิด (Open mill) ได้แก่ เครื่องผสมยางแบบ 2 ลูกกลิ้ง (Two-roll mill) เป็นเครื่องที่ประกอบด้วยลูกกลิ้ง 2 ลูกเรียงตัวกันในแนวขนานกัน หมุนเข้าหากันด้วยความเร็วที่ต่างกัน ทำให้เกิดแรงเฉือนที่จำเป็นต่อการผสมยางกับสารเคมี ในการผสมนั้นยางกับสารเคมีจะถูกใส่ลงในช่องระหว่างลูกกลิ้ง ยางจะถูกรีดออกมาเป็นแผ่นรอบลูกกลิ้งด้านหน้า จากนั้นจึงเติมสารเคมีลงไปในยาง ยางที่ถูกพับจะถูกใส่กลับไปในห้องว่างระหว่างลูกกลิ้งอีกครั้ง แรงเฉือนที่เกิดขึ้นจะช่วยให้สารเคมีต่าง ๆ กระจายเข้ากับเนื้อยางได้ดี เครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้งนี้ใช้ผสมยางในปริมาณที่ไม่มาก

2.3.1.2 ระบบปิด (Internal mill) แบ่งตามลักษณะของโรเตอร์ออกเป็น 4 แบบ ได้แก่

1. เครื่องผสมระบบปิดแบนบูรี (Banbury internal mixer) โดยทั่วไปเครื่องผสมระบบปิดมีองค์ประกอบที่สำคัญ 4 ส่วนได้แก่ ห้องผสม (Chamber) โรเตอร์ (Rotor) แท่งกดหรือแรม (Ram) และระบบหล่อเย็น (Cooling system) เครื่องผสมระบบปิดให้ประสิทธิภาพและความรวดเร็วในการผสมมากกว่าการใช้เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง เพราะสารเคมีไม่ฟุ้งกระจายระหว่างการผสม ลดการสูญเสียสารเคมีขณะผสม และลดการผิดพลาดเนื่องจากการใช้แรงงานคนในการผสม สามารถผสมยางกับสารเคมีได้ในปริมาณสูง เช่น 50-100 กิโลกรัม โรเตอร์ทั้งสองของเครื่องผสมระบบปิดแบนบูรีจะเป็นแบบไม่คาบเกี่ยวกัน หรือที่เรียกว่า “Non-interlocking หรือ Non-intermeshing” หมุนด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน ขึ้นกับรุ่นของเครื่อง การทำงานของเครื่องผสม

เพื่อให้เกิดการผสมคลุกเคล้าของยางกับสารเคมีส่วนใหญ่จะมาจากแรงเฉือนที่เกิดขึ้นระหว่างปีกของโรเตอร์กับผนังของห้องผสมยางและสารเคมีจะถูกบีบอัดผสมกันในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิของห้องผสมอย่างเหมาะสม ทำให้สารเคมีต่าง ๆ กระจายตัวในยางได้ดีขึ้น

2. เครื่องผสมระบบปิดแบบอินเตอร์มิกซ์ (Intermix internal mixer) เครื่องผสมชนิดนี้มีองค์ประกอบเหมือนกับเครื่องผสมระบบปิดแบบนบุรี แต่โรเตอร์ทั้ง 2 จะเป็นแบบคาบเกี่ยวกัน หมุนด้วยอัตราเร็วที่เท่ากัน แรงเฉือนเกิดขึ้นที่ช่องว่างระหว่างปีกของโรเตอร์ ยางและสารเคมีถูกบีบอัดผสมคลุกเคล้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีกว่าเครื่องผสมระบบปิดแบบนบุรี จึงมีประสิทธิภาพการผสมที่ดี สารตัวเติมสามารถแตกตัวและกระจายตัวในยางได้ดี แต่โรเตอร์แบบคาบเกี่ยวกันมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ทำให้ยางคอมพอสิตที่ได้จากการผสมแต่ละครั้งมีปริมาณค่อนข้างน้อย จึงไม่ค่อยเป็นที่นิยม
3. เครื่องผสมระบบปิดแบบปรับระยะห่างระหว่างโรเตอร์ได้ (Variable Intermeshing clearance internal mixer) เครื่องผสมชนิดนี้มีโรเตอร์เหมือนเครื่องผสมระบบปิดแบบอินเตอร์มิกซ์ แต่สามารถปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างโรเตอร์ทั้ง 2 ระวังผสมได้
4. เครื่องนวดยางหรือนีดเดอร์ (Kneader) เครื่องนวดยางหรือนีดเดอร์เป็นเครื่องผสมระบบปิด แม้ว่าเครื่องนวดยางจะมีหลักการทำงานคล้ายกับเครื่องผสมระบบปิดแบบนบุรี แต่รูปแบบของโรเตอร์แตกต่างจากโรเตอร์ของเครื่องผสมระบบปิดแบบนบุรีมาก ทำให้ประสิทธิภาพในการผสมต่ำกว่ามาก อย่างไรก็ตาม เครื่องนวดยางมีราคาต่ำกว่าเครื่องผสมระบบปิดแบบนบุรีมาก จึงเป็นที่นิยมสำหรับ ผู้ประกอบการไทยในปัจจุบัน

### 2.3.2 เบ้าพิมพ์ (Molding)

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางโดยเบ้าพิมพ์ เป็นกระบวนการที่มีผลในรูปทรงของผลิตภัณฑ์และทำให้ยางคงรูป โดยอาศัยความร้อนและแรงอัดภายในสถานะที่สามารถอ่อนตัวได้และไหลได้ในเบ้าพิมพ์รูปร่างตามที่ต้องการ สามารถแบ่งลักษณะของเบ้าพิมพ์ออกเป็น 3 แบบ ได้แก่

1. เบ้าพิมพ์แบบอัดธรรมดา เบ้าพิมพ์แบบอัดธรรมดาถูกใช้อย่างกว้างขวางในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางชนิดต่าง ๆ ลักษณะของพิมพ์ประกอบด้วย 2 ส่วนซึ่งยึดกันด้วยสลัก ใส่

อย่างที่ผสมสารเคมีแล้ว ลงในช่องของเบ้าพิมพ์ โดยให้ยางมีขนาดเล็กกว่าขนาดของเบ้าพิมพ์เล็กน้อย เพื่อที่จะได้แผ่กระจายเต็มช่องของเบ้าพิมพ์เมื่อปิดเบ้าพิมพ์ และอาศัยเครื่องอัดเบ้าพิมพ์ ส่วนของยางที่เกินความจุของเบ้าพิมพ์จะล้นออกมาข้างเบ้าพิมพ์ไหลไปตามร่องและเรียกยางที่ล้นจากเบ้าพิมพ์ว่า “ซียาง” (Mold flash)

2. เบ้าพิมพ์แบบกึ่งฉีด หลักการของเบ้าพิมพ์แบบกึ่งฉีด คือ ยางจะอ่อนตัวและถูกอัดให้กระจายจากส่วนหนึ่งของเบ้าพิมพ์ที่เรียกว่า Pot ไปยังช่องของเบ้าพิมพ์ที่เป็นรูปทรงของผลิตภัณฑ์ วิธีการนี้สามารถใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างซับซ้อนหรือมีชิ้นส่วนของสิ่งอื่น ๆ ประกอบอยู่ภายในส่วนของผลิตภัณฑ์ หรือแม้กระทั่งผลิตภัณฑ์ชนิดที่มีส่วนของโลหะประกอบด้วย ซึ่งชิ้นส่วนโลหะจะถูกวางยึดในช่องว่างของเบ้าพิมพ์ และยางจะถูกฉีดให้เชื่อมติดกับส่วนที่เป็นโลหะ แต่หากใช้เบ้าพิมพ์ธรรมดา โลหะอาจเคลื่อนที่ ทำให้เกิดความเสียหายกับเบ้าพิมพ์ได้
3. เบ้าพิมพ์แบบฉีด เบ้าพิมพ์แบบนี้อาจถือว่าพัฒนามาจากเบ้าพิมพ์แบบกึ่งฉีด เครื่องที่ใช้อัดยางเข้าไปในเบ้าพิมพ์อาจใช้ชนิดสกรูหรือชนิดลูกสูบ ซึ่งลักษณะตัวเครื่องฉีดมีทั้งแบบแนวตรงและแนวราบ เป็นเครื่องที่มีหลักการเดียวกันกับเครื่องฉีดเทอร์โมพลาสติก ยางที่ถูกป้อนเข้าไปในเครื่องฉีดอาจอยู่ในลักษณะที่เป็นรีหรือชิ้นเล็ก ๆ

## 2.4 การดูดซับ (Adsorption) [9]

การดูดซับเป็นวิธีการที่ใช้แยกองค์ประกอบที่ต้องการออกจากของเหลวหรือแก๊สและเป็นกระบวนการที่สะสมความเข้มข้นของอนุภาคที่ผิวหน้าหรือระหว่างผิวของสารสองสถานะไม่ว่าจะเป็นแก๊สกับของเหลว แก๊สกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลที่ถูกดูดซับเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนพื้นผิวที่เป็นที่เกาะจับสารถูกดูดซับเรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent) โดยสามารถแบ่งสารดูดซับเป็น 2 ชนิด ตามลักษณะของผิวคือ ชนิดที่มีขั้ว ได้แก่ ซีโอไลต์ (Zeolites), อะลูมินา (Porous alumina), ซิลิกาเจล (Silica gel) เป็นต้น และชนิดไม่มีขั้ว ได้แก่ ถ่านกัมมันต์, ตัวดูดซับพอลิเมอร์ (Polymer adsorbent) เป็นต้น กระบวนการดูดซับสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) และการดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

### 2.4.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physisorption)

การดูดซับทางกายภาพ คือ การดูดหรือดึงสารถูกดูดซับไว้บนผิวของตัวดูดซับด้วยแรงกายภาพชนิดใดชนิดหนึ่งหรือหลายชนิดร่วมกัน แรงกายภาพของการดูดซับประเภทนี้ ได้แก่

- แรงดึงดูดระหว่างขั้วของสารถูกดูดซับกับขั้วบนผิวตัวดูดซับ (Electrostatic force) เช่น การดูดซับความชื้นด้วยผลึกดูดความชื้น ซึ่งเป็นแรงดึงดูดระหว่างขั้วบวกของโมเลกุลไอน้ำกับขั้วลบบนผิวผลึกดูดความชื้นหรือแรงดึงดูดระหว่างขั้วลบของโมเลกุลไอน้ำกับขั้วบวกบนผิวผลึกดูดความชื้น เป็นต้น
- แรงดึงดูดระหว่างประจุของสารถูกดูดซับชนิดไอออนกับประจุบนผิวตัวดูดซับ (Ion Exchange) เช่น การดูดซับไอออนแคลเซียมและไอออนแมกนีเซียมในน้ำกระด้างด้วยการแลกเปลี่ยนไอออนบนผิวตัวดูดซับชนิดพอลิเมอร์ เป็นต้น
- แรงดึงดูดมวลระหว่างโมเลกุลสารถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับ (Vanderwaals' force) เช่น การดูดซับกลิ่นซึ่งมักเป็นไอระเหยของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดต่าง ๆ ด้วยถ่านดูดซับหรือการดูดซับไอสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วยถ่านดูดซับ เป็นต้น

ลักษณะสำคัญของการดูดซับประเภทนี้คือ การดูดซับเกิดขึ้นได้ดี ณ อุณหภูมิปกติ หรือ ณ อุณหภูมิบรรยากาศทั่วไป และเกิดได้ดีมากยิ่งขึ้น ณ อุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิบรรยากาศ เช่น การดูดซับกลิ่นอับต่าง ๆ ในตู้เย็นและในห้องโดยสารปรับอากาศ เป็นต้น สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งบนผิวของตัวดูดซับโดยตรงและเกิดขึ้นบนชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับที่เหมาะสมบนผิวของตัวดูดซับแล้ว โดยไม่จำกัดจำนวนโมเลกุลของสารถูกดูดซับที่ซ้อนทับกัน จึงมักเรียกรวมการดูดซับที่ซ้อนทับกันว่า “การดูดซับหลายชั้น (Multilayer adsorption)”

#### 2.4.2 การดูดซับทางเคมี (Chemisorption)

การดูดซับทางเคมีเกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจากตัวถูกดูดซับเดิมคือ มีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมและกลุ่มอะตอมเดิม แล้วมีการจัดเรียงอะตอมขึ้นใหม่โดยมีพันธะเคมีที่แข็งแรง มักเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤตของสารที่ถูกดูดซับ มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงการกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับทำได้ยากและการดูดซับเป็นแบบขั้นเดียว

#### 2.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

1. พื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุนของสารดูดซับพื้นที่ผิวเป็นสมบัติอย่างหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถของตัวดูดซับในการดูดซับเมื่อพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มมากขึ้นอย่างไรก็ตาม พื้นที่ผิวของตัวดูดซับเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะบ่งบอกได้ถึงความสามารถในการดูดซับ โครงสร้างของรูพรุนก็มีส่วนช่วยให้พื้นที่

ผิวมีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น ถ้าตัวดูดซับไม่มีรูพรุน พื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของตัวดูดซับมีขนาดลดลง ซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่ถ้าตัวดูดซับมีรูพรุนมาก ๆ พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดซับอยู่ในรูพรุน ขนาดของตัวดูดซับจะไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับ

2. ความสามารถในการละลายของสารดูดซับแนวโน้มของการดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับจะลดลงเมื่อโมเลกุลตัวถูกดูดซับละลายน้ำได้ดี เนื่องจากก่อนที่จะเกิดกระบวนการดูดซับจะต้องมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับโมเลกุลของน้ำ เพื่อให้โมเลกุลของตัวถูกดูดซับหลุดออกจากน้ำไปเกาะบนพื้นผิวของตัวดูดซับ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับขนาดใหญ่มีความสามารถในการละลายน้ำลดลง จึงมีแนวโน้มที่จะถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับมากขึ้น
3. ความเป็นกรด-เบสประสิทธิภาพของการดูดซับขึ้นอยู่กับความเป็นขั้วของพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเมื่อ สารละลายมีสภาพความเป็นกรดต่ำ ส่งผลให้เกิดไฮโดรเนียมไอออน ( $H_3O^+$ ) บนพื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ทำให้กระบวนการดูดซับไอออนลบเพิ่มขึ้นและเมื่อสารละลายมีความเป็นกรด-เบสเพิ่มขึ้นมีผลให้  $OH^-$  บนพื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มขึ้นและสามารถดูดซับไอออนบวกได้มากขึ้น
4. อุณหภูมิการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ทำให้การแพร่ผ่านของสารถูกดูดซับไปยังรูพรุนของตัวดูดซับเร็วขึ้น แต่จะส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของที่ถูกดูดซับกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับลดลง

## 2.5 สารดูดซับกลิ่น

### 2.5.1 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) [10]

โดยทั่วไปเป็นวัสดุที่ประกอบด้วยคาร์บอนที่ได้จากถ่าน ถูกระบุว่าเป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวสูงมาก ความสามารถในการดูดซับไนโตรเจนมีสูงมาก เพราะว่ามีรูเล็ก ๆ (Microporosity) อยู่บนพื้นผิวจำนวนมาก และสามารถเพิ่มพลังการดูดซับได้อีกโดยใช้สารเคมีปรับสภาพ การผลิตถ่านกัมมันต์โดยทั่วไปมีสองกระบวนการ ได้แก่

1. การกระตุ้นทางเคมี (Chemical activation) โดยส่วนใหญ่จะใช้กรดผสมเข้ากับวัสดุเริ่มต้นเพื่อที่จะกัดสิ่งสกปรก (Cauterization) ออกจากรูเล็ก ๆ
2. การกระตุ้นด้วยไอน้ำ (Steam activation) วัสดุที่ทำจากคาร์บอนจะถูกผสมกับไอน้ำและหรือแก๊สที่อุณหภูมิสูงเพื่อกระตุ้น วัสดุเริ่มต้นสามารถใช้เป็นวัสดุคาร์บอนหลายชนิด

เช่น กะลามะพร้าว ไม้ ถ่านถ่านกัมมันต์ ทำให้นำกลับมาใช้ได้ใหม่ (Regeneration)  
โดยการใช้ความร้อน



รูปที่ 2.7 ถ่านกัมมันต์ [11]

### 2.5.2 ซีโอไลต์ (Zeolite) [12]

ซีโอไลต์เป็นโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันของหน่วยทรงสี่หน้าของซิลิเกตและอะลูมิเนต จากการก่อตัวที่เป็นระเบียบดังกล่าวทำให้ภายในโครงสร้างของซีโอไลต์เกิดรูพรุนและโพรงที่มีขนาดใหญ่เพียงพอกับการแลกเปลี่ยนไอออนบวกได้ นอกจากนี้ยังสามารถเกิดกระบวนการดูดซับและคายซับโมเลกุลสารอินทรีย์จากขนาดเล็กจนถึงขนาด 1 นาโนเมตร โครงสร้างผลึกมีผลโดยตรงต่อการควบคุมสมบัติของซีโอไลต์ เช่น ความเป็นกรดความจำเพาะต่อรูปร่างและเสถียรภาพเหล่านี้จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของซีโอไลต์โดยตรงเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การแลกเปลี่ยนไอออน การแยก การดูดซับ และการเร่งปฏิกิริยา ปัจจุบันได้มีการนำเอาซีโอไลต์มาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอย่างหลากหลาย เช่น อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมน้ำมัน และอุตสาหกรรมเครื่องฟอกอากาศ



รูปที่ 2.8 ซีโอไลต์ [13]

### 2.5.3 Trapital

Trapital เป็นโมเลกุลที่มีโครงสร้างคล้ายถ้วย สามารถสร้างแรงระหว่างโมเลกุลกับโมเลกุลอื่นที่มีขนาดเล็กได้ดี จึงสามารถกักเก็บโมเลกุลเล็กๆ เช่นโมเลกุลของกลิ่นบางชนิดได้ดี

## 2.6 การทดสอบการดูดซับกลิ่น [14]

### 2.6.1 การตรวจวัดกลิ่นโดยวิธีทางเคมี

สารที่ทำให้เกิดกลิ่นเป็นสารเคมี แต่สารเคมีทุกตัวไม่ได้ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่นเสมอไป ในการวิเคราะห์ว่ากลิ่นที่เกิดขึ้นนั้นมาจากสารเคมีชนิดใดหรือปริมาณเท่าใดนั้น ควรมีความรู้ความเข้าใจว่าแหล่งกำเนิดนั้นมีแนวโน้มที่จะระบายสารกลุ่มใดหรือสารชนิดใดออกมา เพื่อที่จะได้เลือกวิธีการตรวจวัดที่เหมาะสมที่สุด ในการตรวจวัดกลิ่นหรือตรวจหาว่าสารเคมีชนิดใดทำให้เกิดกลิ่น สามารถทำได้โดยตรวจวัดที่บริเวณภาคสนามโดยตรงหรือเก็บตัวอย่างแล้วนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะได้กล่าวถึงวิธีการทั้ง 3 ประเภท ดังนี้

#### 2.6.1.1 การเก็บตัวอย่างสารเคมีที่ทำให้เกิดกลิ่น

2.6.1.1.1 การเก็บตัวอย่างโดยตรง การเก็บตัวอย่างสารเคมีที่ก่อให้เกิดกลิ่นในอากาศนั้น จะเป็นการเก็บอากาศที่มีกลิ่นในภาคสนามลงในถุงเก็บตัวอย่างอากาศ (Inert flexible bags) หรืออัดอากาศเข้าไปในถังเก็บอากาศที่ทำด้วยเหล็กปลอดสนิม

1. การเก็บโดยใช้ถุงเก็บอากาศ ถุงที่ใช้เก็บตัวอย่างอากาศทำจากวัสดุที่ไม่ไวต่อปฏิกิริยาเคมี เช่น เทดลาร์ (Tedlar) โดยทั่วไปมีขนาด 1 ถึง 100 ลิตร มีลักษณะเป็นถุงรูปสี่เหลี่ยมซึ่งมีท่อและวาล์วสำหรับเปิดปิดให้อากาศเข้าไปในถุงได้ ถุงเก็บอากาศแบบนี้ใช้ได้ดีเมื่อเก็บตัวอย่างกลิ่นในอากาศที่อุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องและความเข้มข้นของสารเคมีมากกว่า 1 ppm วิธีการนี้เสียค่าใช้จ่ายไม่มากนักสำหรับการเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการต่อไป
2. การใช้ถังเก็บตัวอย่างอากาศ (Steel canisters) ถังเก็บตัวอย่างอากาศมีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกค่อนข้างกลม ทำด้วยเหล็กที่มีความหนาและทนทานต่อแรงกดดันได้ การใช้จะง่ายกว่าการใช้ถุงเก็บตัวอย่างอากาศ โดยเฉพาะในขั้นตอนของการทำความสะอาดถังเก็บตัวอย่างนั้น สามารถใช้ความร้อนทำความสะอาดสารเคมีที่ระเหยได้ยากออกจากถังได้ ถังเก็บตัวอย่างอากาศประเภทนี้มีสมบัติทนความดันได้ในระดับปานกลาง



ส่วนอีกประเภทหนึ่งสามารถทนความดันได้สูงมาก เนื่องจากทำจากวัสดุที่มีความหนาเป็นพิเศษ นอกจากนี้ยังมีถังเก็บอากาศอีกประเภทหนึ่งที่เรียกว่า ซัมมา แคนนิสเตอร์ (Summa canister) ซึ่งผนังภายในถังจะเคลือบด้วยสารที่มีฤทธิ์เป็นกรด เพื่อป้องกันไม่ให้สารเคมีเกิดการทำปฏิกิริยากับผิวของผนังภายในถัง ซึ่งถังดังกล่าวต่อเข้ากับอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลเข้าของอากาศภายในถัง จึงสามารถควบคุมเวลาในการเก็บตัวอย่างอากาศได้ตามต้องการ ความยุ่งยากของการใช้ถังเก็บตัวอย่างอากาศประเภทนี้อยู่ที่การนำตัวอย่างอากาศออกจากถังซึ่งต้องให้แรงดันอย่างน้อย 2 เท่าของความดันบรรยากาศ (2 atm) ทำให้ตัวอย่างอากาศเจือจางลงครึ่งหนึ่ง ปริมาณสารที่ต้องการวิเคราะห์ลดลงครึ่งหนึ่งเช่นกัน

2.6.1.1.2 การเก็บตัวอย่างโดยวิธีเพิ่มความเข้มข้นของตัวอย่าง (Concentration techniques) วิธีการเก็บตัวอย่างกลิ่นในอากาศ โดยวิธีนี้จะนำอากาศผ่านตัวกลางที่ทำหน้าที่เป็นตัวจับสารเคมีที่ทำให้เกิดกลิ่นในตัวอย่างอากาศเพื่อหาชนิดของสารที่ทำให้เกิดกลิ่น โดยใช้กับตัวอย่างอากาศที่มีปริมาณสารที่ทำให้เกิดกลิ่นอยู่น้อยมากหรือเจือจางมาก ชนิดตัวกลางที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง มีดังนี้

1. สารพอลิเมอร์ที่มีรูพรุน (Porous polymers) มีพื้นที่ผิวมากพอในการใช้จับสารเคมีที่ก่อให้เกิดกลิ่นในตัวอย่างอากาศที่ผ่านเข้ามา และปล่อยหลุดออกมาได้เมื่อนำไปวิเคราะห์โดยที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางปฏิกิริยาเคมี ตัวอย่างของสารพอลิเมอร์เหล่านี้ได้แก่ Tenax, XAD และสารที่ใช้เป็นวัสดุห่อหุ้ม (Packing material) ที่ใช้ใน GC Column
2. ถ่าน (Charcoal) ใช้เป็นสารดูดซับสารเคมีที่ทำให้เกิดกลิ่นในตัวอย่างอากาศที่เข้ามา คล้าย ๆ กับสารพอลิเมอร์ที่มีรูพรุน แต่ในขั้นตอนการจับสารเคมีที่ถูกดูดซับให้หลุดออกมานั้นไม่เหมาะที่จะใช้ความร้อนช่วย เพราะจะทำให้โมเลกุลของสารเคมีเกิดการเปลี่ยนแปลงไปได้ โดยทั่วไปใช้ตัวทำละลายในการดึงเอาโมเลกุลของสารเคมีที่ทำให้เกิดกลิ่นออกมา ตัวทำละลายที่นิยมใช้ได้แก่ คาร์บอนไดซัลไฟด์ (Carbon disulfide) ข้อดีของการใช้ถ่านเป็นตัวกลางในการดูดซับสารเคมีคือ ถ่านถูกบรรจุอยู่ในหลอดแก้วขนาดเล็ก (Small glass cartridges) ซึ่งสะดวกในการนำมาใช้งาน และสามารถนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการได้โดยง่าย
3. วิธีไครโอเจนิค (Cryogenic techniques) การเก็บตัวอย่างสารเคมีในอากาศโดยวิธีไครโอเจนิคนั้น เป็นวิธีที่นำเอาหลอดที่มีรูปร่างเป็นตัวยู (U) แช่ในสารที่ให้อุณหภูมิ

ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง สารเหล่านี้ได้แก่ น้ำแข็ง น้ำแข็งแห้ง ไนโตรเจนเหลว หรือ ฮีเลียมเหลว ซึ่งสารเหล่านี้ต้องให้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของสารเคมีที่ต้องการ ตรวจวัด ซึ่งเป็นการทำให้สารเคมีอยู่ในสภาพแข็งตัว จุดอ่อนของวิธีนี้ก็คือ หากใน ตัวอย่างอากาศนั้นมีไอน้ำเป็นจำนวนมาก ทำให้น้ำแข็งตัวอยู่ในหลอดรูปร่าง และท่อ ตัวที่ใช้เก็บตัวอย่างอุดตันทำให้เป็นอุปสรรคในการเก็บตัวอย่างอากาศได้

4. การใช้อิมพิงเจอร์ (Impingers) เป็นวิธีการบีบตัวอย่างอากาศให้ผ่านเข้ามาใน สารละลายที่บรรจุในหลอดแก้วที่มีลักษณะพิเศษที่ช่วยให้ตัวอย่างอากาศสัมผัสกับ สารละลายได้ดี ซึ่งสารเคมีในอากาศจะละลายในสารละลายที่เป็นตัวกลางนี้ จากนั้น นำสารละลายไปตรวจวิเคราะห์อีกครั้งในห้องปฏิบัติการ ข้อควรระวังในการใช้วิธี อิมพิงเจอร์คือ ต้องมีการเตรียมสารละลายที่ใช้เป็นตัวกลางที่จะให้จับสารเคมีที่ทำให้ เกิดกลิ่นในอากาศอย่างพอเพียง และควรแช่อิมพิงเจอร์ในน้ำแข็งหรือทำให้เย็น ทั้งนี้ เพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายของแก๊สในของเหลว

#### 2.6.1.2 การนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

หลังจากที่มีการเก็บตัวอย่างสารเคมีที่ทำให้เกิดกลิ่นมาโดยวิธีต่าง ๆ ดังกล่าวแล้ว จำเป็นต้องนำ ตัวอย่างอากาศมาวิเคราะห์หาสารเคมีที่ทำให้เกิดกลิ่นในห้องปฏิบัติการ ซึ่งต้องใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมี ดังต่อไปนี้

1. Gas Chromatography (GC)
2. Gas Chromatography-Mass spectrometry (GC-MS)
3. High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

#### 2.6.1.3 การตรวจวัดกลิ่นในภาคสนาม

การตรวจวัดกลิ่นในภาคสนามเป็นการนำเอาเครื่องมือไปดำเนินการวัดในบริเวณพื้นที่ที่มีปัญหาเรื่อง กลิ่น เครื่องมือที่ใช้มีดังนี้

1. เครื่องวัดไอสารอินทรีย์ (Organic vapor analyzer) เครื่องวัดชนิดนี้เป็นเครื่อง ประเภท Gas Chromatography ซึ่งไม่มี Column สำหรับแยกสารแต่ละชนิดออกจากกัน จึงเป็นการวัดปริมาณรวมของสารอินทรีย์ ก่อนใช้เครื่องมือดังกล่าวต้องมีการ ปรับความถูกต้องของเครื่องมือ (Calibrate) ด้วยสารอินทรีย์ที่ทราบค่าความเข้มข้น แน่นนอน เช่น ใช้แก๊สไอโซบิวเทน (Isobutane) ที่ความเข้มข้น 100 ppm ในการปรับ

ความถูกต้องของเครื่องมือจะอ่านค่าไอสารอินทรีย์ที่อยู่ในความเข้มข้นที่เทียบเท่ากับ ความเข้มข้นของไอโซบิวเทน เป็นต้น เครื่องมือชนิดนี้เหมาะสำหรับงานสำรวจในพื้นที่ที่มีปัญหาเรื่องกลิ่นจากสารอินทรีย์ว่ามีอยู่ในบริเวณใดบ้าง แต่จะไม่สามารถบอกชนิดของสารอินทรีย์นั้น โดยทั่วไปแล้วจะมีค่าขีดจำกัดของการตรวจวัด (Detection limit) ที่ 500 ส่วนในพันล้านส่วน (ppb)

2. หลอดดูดซับสาร (Absorption tubes) เป็นการใส่หลอดเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ซึ่งสารอินทรีย์ทำปฏิกิริยากับตัวดูดซับซึ่งบรรจุอยู่ในหลอดแก้วแล้วเกิดปฏิกิริยาเคมีทำให้เกิดเป็นสี ทำให้อ่านค่าความเข้มข้นโดยประมาณของสารที่ทำให้เกิดกลิ่นได้ ในการเลือกใช้หลอดดูดซับสารอินทรีย์นั้นต้องเลือกให้เหมาะสมกับช่วงค่าความเข้มข้นที่ต้องการตรวจวัด โดยทั่วไปแล้วในการเก็บตัวอย่างใช้วิธีการปั๊มอากาศผ่านเข้าหลอดเก็บตัวอย่างด้วยมือ (Hand pump) ซึ่งจำนวนครั้งที่ปั๊มอากาศเข้าไว้ในหลอดแก้วนั้นมีคำแนะนำอยู่ในคู่มือ ข้อดีของการเก็บตัวอย่างแบบนี้ก็คืออ่านค่าความเข้มข้นโดยประมาณของสารที่ตรวจวัดได้อย่างรวดเร็ว จึงนิยมใช้ในงานด้านสุขศาสตร์อุตสาหกรรม (Industrial hygiene) มาก
3. การใช้ Portable GC และ GC-MS ในปัจจุบันได้มีการผลิตเครื่องมือ GC และ GC-MS ที่สามารถนำไปใช้งานในภาคสนามได้ โดยเครื่องมือดังกล่าวได้รับการออกแบบให้มีขนาดเล็กกะทัดรัด โดยมีหลักการและวิธีการใช้งานเหมือนเครื่องมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ แต่สามารถนำไปใช้งานในภาคสนามได้โดยตรง ไม่จำเป็นต้องเก็บตัวอย่างเข้ามาตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

### 2.6.2 การตรวจวัดกลิ่นโดยวิธีการดมกลิ่น

ในการตรวจวัดกลิ่นนั้น นอกจากจะใช้การตรวจวัดในรูปความเข้มข้นของสารที่มีกลิ่นโดยการวิเคราะห์ทางเคมีดังกล่าวแล้ว ในการวัดระดับความรู้สึกของคนที่มีต่อกลิ่นชนิดต่าง ๆ นั้น จะต้องทำการตรวจวัดกลิ่นโดยใช้การดมกลิ่นแล้วหาค่าความสัมพันธ์ของความเข้มข้นกับความรู้สึกของคน ASTM และสมาคมบริหารจัดการด้านอากาศและของเสีย (Air and waste management association; AWMA) ได้เสนอแนะวิธีการที่ใช้ในการตรวจวัดไว้ในเอกสาร ดังนี้

- ASTM E 679-91 Standard Practice for Determination of Odor Taste Thresholds by Forced Choice Ascending Concentration Series Method of Limits

- ASTM E 544-75 Standard Practices for Referencing Suprathreshold Odor Intensity
- W.H Prokap, Develop Odor Control Regulations Guidelines and Considerations, JAPCA, 1987, 28: 9-22 (APCA Committee TT-4 Position Paper)

แนวทางที่ใช้ในการตรวจวัดกลิ่นโดยการดมกลิ่น มีขั้นตอนดังนี้

#### 1. การเลือกกลุ่มคนที่จะใช้ในการทดสอบ

การหาค่าความเข้มข้นของกลิ่นที่มีผลกระทบต่อคนนั้น จำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากความรู้สึกของกลุ่มคนมาใช้ตัดสิน ดังนั้นในการเลือกคุณสมบัติของคนที่จะตัดสินว่าได้รับกลิ่นหรือไม่ จะต้องเป็นคนที่มีประสาทรับกลิ่นเป็นปกติ ซึ่งต้องมีการคัดเลือกกลุ่มบุคคลที่มีคุณสมบัติดังกล่าว โดยทั่วไปกลุ่มบุคคลที่นำมาเป็นผู้ทดสอบกลิ่นได้จากคนที่ทำงานในโรงงาน โดยเป็นผู้ที่ทำงานในระดับบริหารมากกว่าจะเป็นที่ทำงานในระดับปฏิบัติ ซึ่งอาจจะมีปัญหาเรื่องไม่สามารถตอบสนองต่อกลิ่นเนื่องจากในการทำงานประจำจะได้รับกลิ่นอยู่เสมอจนความไวในเรื่องกลิ่นลดลงก็ได้ ในกรณีที่กลิ่นเป็นผลกระทบต่อชุมชนในพื้นที่ อาจเลือกกลุ่มคนจากประชาชนที่อาศัยอยู่ในท้องถิ่นนั้น เพื่อจะได้มีส่วนร่วมในการตัดสินแก้ไขปัญหา

ในการศึกษาแต่ละครั้ง จำนวนคนที่อยู่ในกลุ่มผู้ทดสอบกลิ่นต้องมีอย่างน้อยจำนวน 6 คน ซึ่งคนเหล่านี้จะต้องไม่ใช่คนที่มีความไวต่อกลิ่นเป็นพิเศษ หรือขาดความสามารถในการดมกลิ่น จะต้องเป็นคนที่มีประสาทรับกลิ่นอยู่ในระดับปกติ ซึ่งต้องมีการทดสอบเพื่อทำการคัดเลือกคนที่มีคุณสมบัติดังกล่าว ขั้นตอนในขั้นการคัดเลือก (Screening) มี 2 ขั้นตอน ซึ่งเป็นวิธีการที่เสนอแนะโดย ASTM STP 440 ดังนี้

1.1 การทดสอบการรับรู้กลิ่นในสามตัวอย่าง (Triangle test) เป็นวิธีการทดสอบความสามารถของผู้ทดสอบเรื่องกลิ่นว่าสามารถรับรู้กลิ่นจากไอของสาร 1-Butanol ที่ละลายอยู่ในน้ำซึ่งบรรจุอยู่ในขวดที่ทำด้วยเทพลอนหรือไม่ โดยจะให้ดมกลิ่นไอของสาร 1-Butanol ที่อยู่ในสารละลายน้ำ (มีความเข้มข้นต่ำ) 1 ตัวอย่าง และให้ดมกลิ่นน้ำที่บรรจุในขวดชนิดเดียวกันอีก 2 ตัวอย่าง หากผู้ทดสอบกลิ่น สามารถเลือกขวดตัวอย่างได้ถูกต้อง ก็จะผ่านการทดสอบข้างต้นนี้

1.2 การทดสอบความเข้มของกลิ่น (Intensity test) เป็นการทดสอบความสามารถในการเลือกความเข้มของกลิ่นกับกลิ่นที่ได้รับ ในช่วงแรกมีการเตรียมสารละลาย 1-Butanol ที่มีความเข้มข้นน้อยไปจนถึงมีความเข้มข้นมากเป็นลำดับกันไปและผู้ทดสอบกลิ่นจะต้องทำความคุ้นเคยกับกลิ่นและการจัดเรียงตามลำดับความเข้มดังกล่าว จากนั้นมีการนำขวดตัวอย่างออก 1 ขวด โดยไม่ให้ทราบว่าเป็นขวดตัวอย่างใดถูก

ดึงออกมา ขวดที่เหลือที่จะถูกจัดเรียงตามลำดับความเข้มข้นเช่นเดิม ผู้ทดสอบกลิ่นจะต้องนำขวดตัวอย่างที่ถูกแยกออกมากลับเข้าไปตำแหน่งเดิมให้ถูกต้อง รายละเอียดในการทดสอบนี้ปรากฏในเอกสาร ASTM E 544-75

เมื่อผู้ถูกทดสอบได้ผ่านการทดสอบทั้ง 2 วิธีแล้ว ก็จะได้รับคัดเลือกให้อยู่ในกลุ่มบุคคลผู้ทดสอบกลิ่น (Panelists) ซึ่งต้องมีวิธีการปฏิบัติตัวในแต่ละวันที่ทำหน้าที่ในการประเมินตัดสินเรื่องกลิ่น แนวทางการปฏิบัติของบุคคลที่ทำหน้าที่ทดสอบเรื่องกลิ่น มีดังนี้

#### 1.2.1 การเตรียมตัวในวันที่ทำหน้าที่ทดสอบกลิ่น

1. ต้องไม่สระผมด้วยแชมพูที่มีกลิ่นแรง
2. ต้องไม่ใช้น้ำหอม แป้งที่มีกลิ่น หรือเครื่องประทินผิวที่มีกลิ่นหอม
3. ต้องไม่รับประทานอาหารที่มีรสจัด
4. ต้องไม่สวมใส่เสื้อผ้าทำจากวัสดุที่มีกลิ่น เช่น หนังสัตว์

#### 1.2.2 การปฏิบัติตัวในช่วงเวลาก่อนที่จะทำหน้าที่ทดสอบกลิ่น

1. ต้องไม่สูบบุหรี่
2. ห้ามดื่มกาแฟ น้ำชา หรือน้ำโซดา
3. หลีกเลี่ยงการรับประทานอาหารใด ๆ อย่างหนักในช่วงเวลาหนึ่งชั่วโมงก่อนที่จะทำหน้าที่ประเมินตัดสินเรื่องกลิ่น
4. ต้องไม่เคี้ยวหมากฝรั่ง

### 2. การดำเนินการทดสอบตัวอย่างกลิ่น

การดำเนินการทดสอบตัวอย่าง โดยใช้การดมกลิ่นจะมีการหาค่า 3 ชนิด ดังนี้

- 2.1 การหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่คนรู้สึกกลิ่นได้ (Detection Threshold)
- 2.2 การหาค่าความเข้มของกลิ่น (Intensity)
- 2.3 การหาค่าลักษณะเฉพาะของกลิ่น (Character)

### 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Frank Holzer และคณะ [15] ศึกษาการฟื้นฟูตัวดูดซับกลิ่นด้วยเทคนิคนอน-เทอร์มอลพลาสมา (Non-thermal plasma: NTP) โดยวัสดุที่ใช้ในการดูดซับกลิ่นในการทดลองนี้คือซีโอไลต์เบตที่ไม่ชอบน้ำ การทดลองนี้เป็นการผสมผสานสองกระบวนการเข้าด้วยกัน ได้แก่ กระบวนการดูดซับ (Adsorption) และกระบวนการฟื้นฟูตัวดูดซับ (Regeneration) โดยสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ที่ถูกตรวจจับในการทดลองนี้ได้แก่ 2-methylthiophene, 2-methylpyrazine, 2-acetylthiazole, nonanal และ trans-2-nonenal ซึ่ง

เป็นสารที่พบในอากาศที่มีความชื้นและมักเกิดขึ้นขณะประกอบอาหาร กระบวนการทั้งสองถูกนำไปทดสอบในวัฏจักร Adsorption-regeneration-adsorption จำนวน 2 การทดลอง ได้แก่ ทดลองติดตั้งในเครื่องกรองอากาศ และทดลองติดตั้งในตู้ดูดควันภายในห้องครัวขณะที่มีการทอดกระเทียม ทำการวัดผลด้วยการเปรียบเทียบปริมาณออกแก๊นิกคาร์บอนที่อยู่ในตัวดูดซับซีโอไลต์เบด

Xin Huang และคณะ [16] ศึกษาความสามารถในการดูดซับกลิ่นต่าง ๆ ของผงถ่านกัมมันต์ที่ลักษณะโครงสร้างแตกต่างกันออกไป โดยปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ขนาดของรูพรุน และ pH เริ่มต้นของผงถ่านกัมมันต์ การทดลองนี้ใช้จำนวน 14 กลิ่นเพื่อหากลิ่นที่ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับได้ดีที่สุด โดยใช้ GC-MS ในการตรวจวัดปริมาณของกลิ่นก่อนและหลังการดูดซับ ผลการวิจัยพบว่าผงถ่านกัมมันต์ไม่เหมาะสมในการใช้ดูดซับกลิ่นจากสารประกอบซัลเฟอร์ ได้แก่ ไดเมทิลไดซัลไฟด์ (Dimethyl disulfide) ไดเอทิลไดซัลไฟด์ (Diethyl disulfide) และไดเมทิลไตรซัลไฟด์ (Dimethyl trisulfide) นอกจากนี้ยังพบว่าไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างความสามารถในการดูดซับของผงถ่านกัมมันต์และคุณสมบัติของสารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่น

### บทที่ 3

#### เครื่องมือและวิธีการทดลอง

#### 3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

สารเคมี	บริษัท
น้ำยางธรรมชาติ (เนื้อยางร้อยละ 60) (60% DRC Natural rubber latex dispersion)	สถาบันวิจัยยาง (ประเทศไทย)
10% สารละลายโพแทสเซียมโอเลต (10% Potassium oleate dispersion)	สถาบันวิจัยยาง (ประเทศไทย)
50% สารละลายซิงค์ไดเอทิลไทโอคาร์บอเนต (50% Zinc diethylthiocarbonate dispersion)	สถาบันวิจัยยาง (ประเทศไทย)
50% สารละลายซิงค์เมอร์แคปโทเบนโซไทอะโซล (50% Zinc 2-mercaptobenzothiazole dispersion)	สถาบันวิจัยยาง (ประเทศไทย)
50% สารละลายวิงค์สเตย์แอล (50% Wingstray L dispersion)	สถาบันวิจัยยาง (ประเทศไทย)
33% สารละลายไดฟีนิลกวานิดีน (33% Diphenyl guanidine dispersion)	สถาบันวิจัยยาง (ประเทศไทย)
50% สารละลายซิงค์ออกไซด์ (50% Zinc oxide dispersion)	สถาบันวิจัยยาง (ประเทศไทย)
12.5% สารละลายโซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (12.5% Sodium silicofluoride dispersion)	สถาบันวิจัยยาง (ประเทศไทย)
50% สารละลายซัลเฟอร์ (50% Sulfur dispersion)	บริษัท PAN Innovation (ประเทศไทย)
สารตัวเติม Trapital	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โรจน์ฤทธิ์ โรจนธเนศ เป็น ผู้สนับสนุน
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)	บริษัท Qrec chemicals (ประเทศไทย)
แอมโมเนีย (Ammonia)	บริษัท Qrec chemicals (ประเทศไทย)
เอทานอล (Ethanol)	บริษัท Qrec chemicals (ประเทศไทย)
ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein)	บริษัท Kemaus (ประเทศไทย)

### 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือ	รุ่น/ยี่ห้อ
เครื่องกวนสาร	ยี่ห้อ OTTO รุ่น HM-273 ประเทศไทย
ตู้อบ (Oven)	ยี่ห้อ WTB Binder รุ่น FD115 ประเทศสหรัฐอเมริกา
ตู้อบแบบสุญญากาศ (Vacuum oven)	ยี่ห้อ MMM Medcenter รุ่น Vacucell 55 ประเทศเยอรมัน
เครื่องชั่งสาร	ยี่ห้อ Mettler Toled รุ่น PL1502s ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

### 3.3 การดำเนินงานวิจัย

#### 3.3.1 การเตรียมโพลียางธรรมชาติ

โพลียางธรรมชาติที่ใช้ในการทดลองมี 3 แบบ ได้แก่

##### 1. โพลียางธรรมชาติ

ตารางที่ 3.3 แสดงสูตรในการเตรียมโพลียางธรรมชาติ นำน้ำยางธรรมชาติ 100 phr ใส่ลงในเครื่องกวน จากนั้นนำสาร Set A, B, C และ D ใส่ลงไปผสม โดยระยะเวลาในการกวนแต่ละเซตคือ 7, 1, 1 และ 0.5 นาที ตามลำดับ นำคอมพาวนด์ยางธรรมชาติที่เตรียมได้เทใส่ในแม่พิมพ์ นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โพลียางธรรมชาติแทนด้วย Sample code คือ NR

ตารางที่ 3.3 สูตรการเตรียมขึ้นรูปโพลียางธรรมชาติ

Composition	Weight (phr)
60% DRC Natural rubber latex	100
<b>Set A</b>	
10% Potassium oleate dispersion	15
<b>Set B</b>	
50% Sulfur dispersion	4
50% Zinc diethylthiocarbonate dispersion	2
50% Zinc 2-mercaptobenzothiazole dispersion	2



ตารางที่ 3.3 สูตรการเตรียมขึ้นรูปโพลียางธรรมชาติ (ต่อ)

Composition	Weight (phr)
50% Wingstray L dispersion	2
<b>Set C</b>	
33% Diphenyl guanidine dispersion	2
50% Zinc oxide dispersion	10
<b>Set D</b>	
12.5% Sodium silicofluoride dispersion	8

2. โพลียางธรรมชาติที่ผสมร่วมกับ Trapital ระหว่างขึ้นรูป

เตรียมสารละลาย Trapital โดยนำ Trapital ปริมาณ 3, 5, และ 7 กรัม นำมาละลายด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์จนหมด แล้วปรับ pH ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์ให้มี pH เท่ากับน้ำย้าง (pH 10) โดยปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการนำมาละลายและปรับ pH รวมทั้งหมด 40 มิลลิลิตร สารละลาย Trapital ที่เตรียมได้จะใส่พร้อมกับ Set A ตามตารางที่ 3.4 โพลียางธรรมชาติที่ผสมร่วมกับ Trapital จะแทนด้วย NT-3, NT-5 และ NT-7 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.4 สูตรการเตรียมขึ้นรูปโพลียางธรรมชาติและโพลียางธรรมชาติผสมร่วมกับ Trapital

Composition	Weight (g)			
	NR	NT-3	NT-5	NT-7
60% DRC Natural rubber latex	250	250	250	250
<b>Set A</b>				
10% Potassium oleate dispersion	22.5	22.5	22.5	22.5
Trapital	-	3	5	7
<b>Set B</b>				
50% Sulfur dispersion	6	6	6	6
50% Zinc diethylthiocarbonate dispersion	3	3	3	3
50% Zinc 2-mercaptobenzothiazole dispersion	3	3	3	3
50% Wingstray L dispersion	3	3	3	3
<b>Set C</b>				
33% Diphenyl guanidine dispersion	3	3	3	3
50% Zinc oxide dispersion	15	15	15	15
<b>Set D</b>				
12.5% Sodium silicofluoride dispersion	12	12	12	12

### 3. โฟมยางธรรมชาติที่แช่สาร Trapital 25% โดยน้ำหนัก

นำโฟมยางธรรมชาติที่ได้จากตารางที่ 3.3 มาแช่ในสารละลาย Trapital solution 25% โดยน้ำหนัก โดยแช่โฟมยางธรรมชาติในอัตราส่วนนี้อย่างต่อเนื่องต่อ Trapital solution 25% โดยน้ำหนัก คือ 1 ต่อ 1 โดยใช้ Trapital ตามสูตรคำนวณในภาคผนวก ข. แช่โฟมยางธรรมชาติจนโฟมยางธรรมชาติดูดสารละลาย Trapital หมด ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นอบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โฟมยางธรรมชาติที่ได้แทนด้วย Sample code คือ NT-s

#### 3.3.2 การทดสอบความสามารถในการดูดซับกลิ่น

นำสารละลายแอมโมเนียผสมกับฟีนอล์ฟทาลีนซึ่งเป็นอินดิเคเตอร์สีลงในขวดสเปรย์ฉีดลงบนโฟมยางธรรมชาติ จากนั้นจับเวลาการจางหายไปของกลิ่นแอมโมเนีย โดยสังเกตจากการจางของสีฟีนอล์ฟทาลีนที่เปลี่ยนไปจากสีชมพูจนกลายเป็นใสไม่มีสี เมื่อฉีดสารละลายแอมโมเนียผสมฟีนอล์ฟทาลีนลงบนโฟมยางธรรมชาติ สังเกตเห็นเป็นสีชมพูบริเวณที่ฉีด ดังรูปที่ 3.1 (a) เมื่อเวลาผ่านไปสังเกตว่าสีชมพูของฟีนอล์ฟทาลีนหายไป ซึ่งแสดงถึงกลิ่นแอมโมเนียที่หายไป ดังรูปที่ 3.1 (b) โดยการทดสอบจะฉีดสารละลายแอมโมเนียผสมกับฟีนอล์ฟทาลีนลงบนโฟมยางธรรมชาติทั้งหมด 5 จุดที่แตกต่างกัน

(a)



(b)

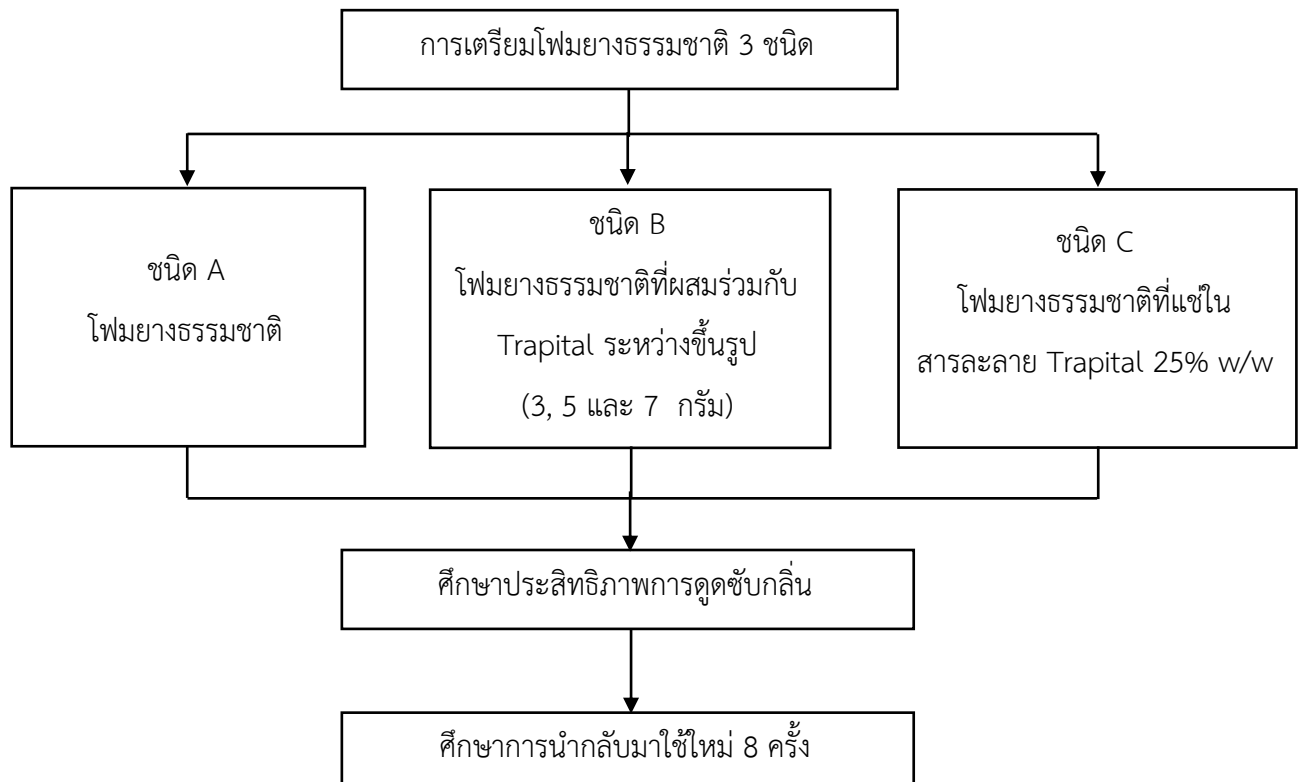


รูปที่ 3.1 การฉีดสารละลายแอมโมเนียผสมกับฟีนอล์ฟทาลีนลงบนโฟมยางธรรมชาติ

#### 3.3.3 การทดสอบความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่

นำวัสดุดูดซับกลิ่นที่ผ่านการทดสอบไปทำการนำกลับมาใช้ใหม่ โดยการนำวัสดุดูดซับกลิ่นที่ผ่านการทดสอบแล้วไปล้างน้ำสะอาด แล้วนำไปผึ่งกับแดดเพื่อไล่ความชื้นจนแห้งสนิท โดยจะทำการทดสอบจนกว่าเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการดูดซับกลิ่นคงที่

แผนการดำเนินงานวิจัยสามารถสรุปได้ดังแผนการทดลองดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนการทดลองในการดำเนินงานวิจัย

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 ลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับกลิ่น

วัสดุดูดซับโพนยางธรรมชาติที่เติมสาร Trapital ขนาด 30x30 ตารางเซนติเมตรมีลักษณะเป็นแผ่นโพนยางธรรมชาติสีเหลืองอ่อนคล้ายกับโพนยางธรรมชาติเปล่าดั้งเดิม แต่ละแผ่นถูกนำไปตัดแบ่งเป็นขนาด 5x5 ตารางเซนติเมตรจำนวน 4 ชิ้นเพื่อใช้ในการทดสอบต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 4.1



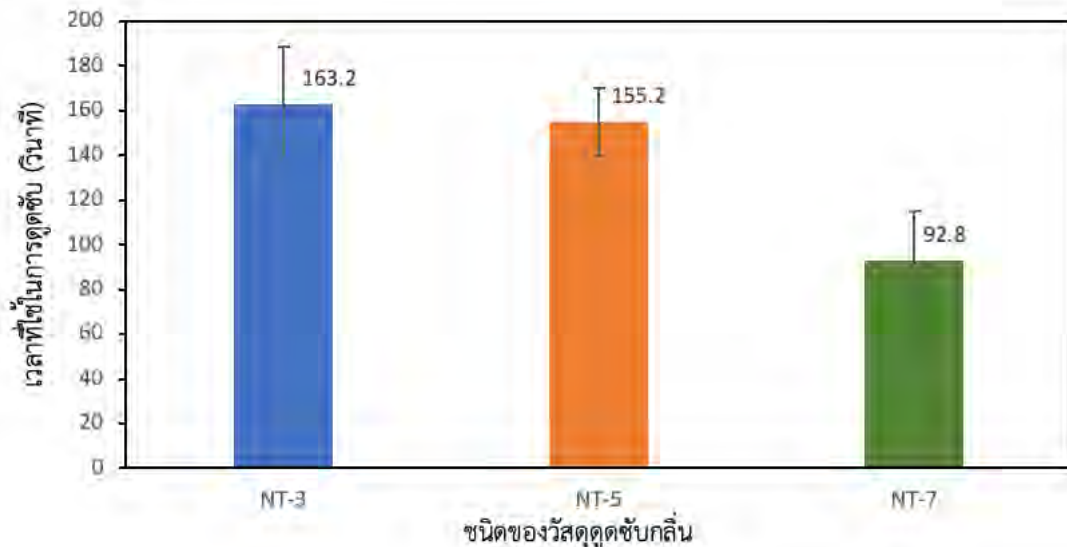
รูปที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของโพนยางธรรมชาติที่เติมสาร Trapital

#### 4.2 การดูดซับกลิ่น

##### 4.2.1 การดูดซับกลิ่นของโพนยางธรรมชาติที่เติมสาร Trapital ระหว่างขึ้นรูป

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับกลิ่นของวัสดุดูดซับโพนยางธรรมชาติที่เติมสาร Trapital ระหว่างขึ้นรูปโดยการฉีดสารละลายแอมโมเนียผสมฟีนอล์ฟทาลีนลงบนพื้นผิวของ NT-3 NT-5 และ NT-7 จำนวน 5 จุด จากการทดลอง พบว่า กลิ่นที่ถูกทดสอบบน NT-7 ใช้เวลาในการถูกดูดซับน้อยที่สุด โดยเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการดูดซับอยู่ที่ 92.8 วินาที ลำดับถัดไป คือ NT-5 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการดูดซับอยู่ที่ 155.2 วินาที และ NT-3 ใช้เวลาในการดูดซับกลิ่นนานที่สุด เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการดูดซับอยู่ที่ 163.2 วินาที ดังแสดงในรูปที่

4.2

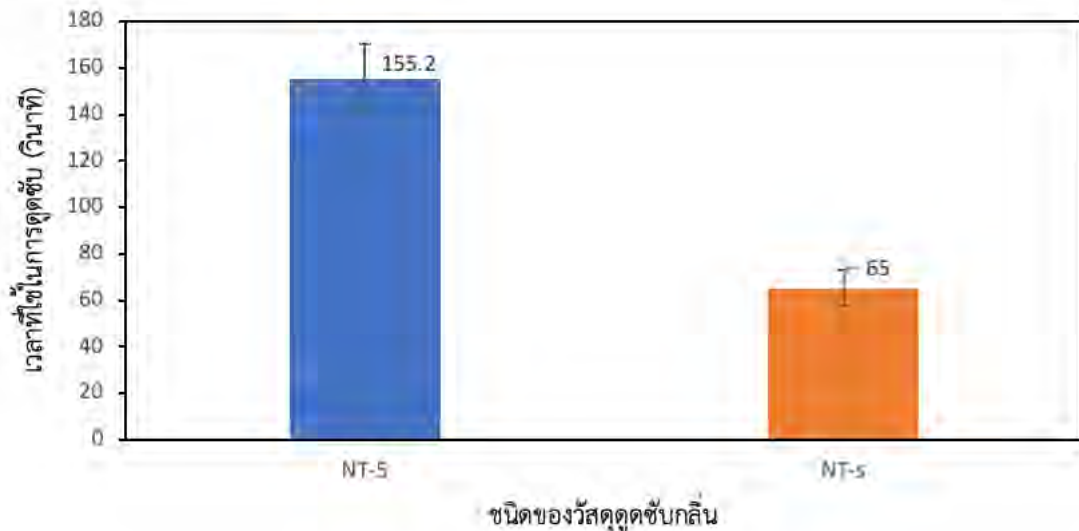


รูปที่ 4.2 แผนภูมิแท่งแสดงเวลาเฉลี่ยในการดูดซับกลิ่นของโพนยางธรรมชาติที่เติมสาร Trapital ระหว่างขึ้นรูป

เมื่อนำข้อมูลจากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับกลิ่นของโพนยางธรรมชาติที่เติมสาร Trapital ระหว่างขึ้นรูปทั้ง 3 ตัวอย่างมาวิเคราะห์ พบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับกลิ่นของวัสดุดูดซับโพนยางธรรมชาติสูงขึ้นตามปริมาณของสาร Trapital ที่เติมระหว่างขึ้นรูป

#### 4.2.2 การดูดซับกลิ่นของโพนยางธรรมชาติที่เติมสาร Trapital หลังขึ้นรูป

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับกลิ่นของวัสดุดูดซับโพนยางธรรมชาติที่เติมสาร Trapital หลังขึ้นรูปโดยการฉีดสารละลายแอมโมเนียผสมพินอล์ฟทาลีนลงบนพื้นผิวของ NT-s จำนวน 5 จุด เปรียบเทียบกับ NT-5 เนื่องจากมีสัดส่วนของสาร Trapital ในโพนยางใกล้เคียงกันจากการคำนวณ โดย NT-s มีสาร Trapital อยู่ในโพนยาง 4.17 กรัม และ NT-5 มีสาร Trapital อยู่ในโพนยาง 5 กรัม จากการทดลองพบว่า กลิ่นที่ถูกทดสอบบน NT-s ใช้เวลาในการถูกดูดซับน้อยกว่า NT-5 โดยเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการดูดซับของ NT-s อยู่ที่ 65 วินาที ในขณะที่เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการดูดซับของ NT-5 อยู่ที่ 155.2 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.3

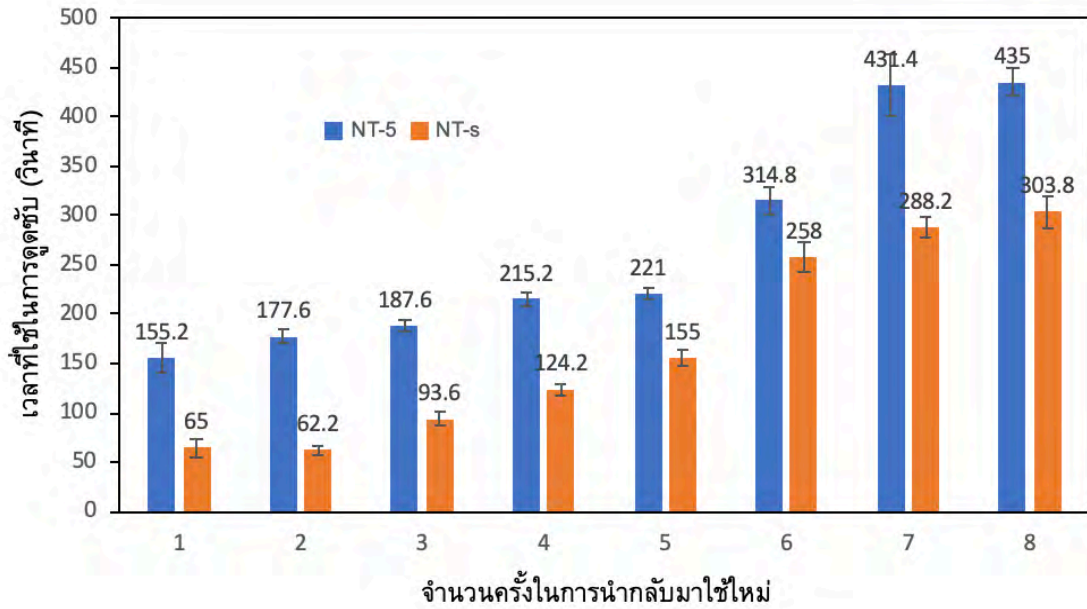


**รูปที่ 4.3** แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยในการดูดซับกลั่นระหว่างโพลีเอทิลีนที่เติมสาร Trapital หลังขึ้นรูป กับ NT-5

เมื่อนำข้อมูลจากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับกลั่นของ NT-s เปรียบเทียบกับ NT-5 พบว่า การเติมสาร Trapital หลังขึ้นรูปมีประสิทธิภาพมากกว่าการเติมสาร Trapital ระหว่างการขึ้นรูปสังเกตได้จากการที่ NT-s ใช้เวลาเฉลี่ยในการดูดซับกลั่นน้อยกว่า NT-5 แม้ว่าจะมีสาร Trapital อยู่ในโพลีเอทิลีนน้อยกว่า เนื่องจากการเติมสาร Trapital หลังขึ้นรูปทำให้สารดูดซับกลั่นสามารถเกาะอยู่บนผิวหน้าของโพลีเอทิลีนได้ดีกว่า จึงมีพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาดูดซับกลั่นได้สูงกว่า

#### 4.3 การนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุโพลีเอทิลีนดูดซับกลั่น

วัสดุดูดซับที่ผ่านการดูดซับกลั่นแอมโมเนีย โดยการฉีดสารละลายแอมโมเนียผสมกับฟีนอลฟทาไลน์ ถูกนำมาศึกษาความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่ทั้งหมด 2 ตัวอย่าง ได้แก่ NT-5 และ NT-s เนื่องจากมีสัดส่วนของสาร Trapital ในโพลีเอทิลีนใกล้เคียงกันจากการคำนวณ โดย NT-s มีสาร Trapital อยู่ในโพลีเอทิลีน 4.17 กรัม และ NT-5 มีสาร Trapital อยู่ในโพลีเอทิลีน 5 กรัม ศึกษาโดยการนำโพลีเอทิลีนที่ถูกทดสอบแล้วนำไปล้างกับน้ำสะอาด นำไปผึ่งกับแดดเพื่อไล่ความชื้นจนแห้งสนิท แล้วทำการทดสอบซ้ำโดยการฉีดสารละลายแอมโมเนียผสมฟีนอลฟทาไลน์ลงบนพื้นผิวจำนวน 5 จุด พบว่า วัสดุดูดซับทั้งสองชนิดสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ 5 ครั้ง โดยเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการดูดซับของ NT-5 คือ 155.2 177.6 187.6 215.2 และ 221 วินาทีตามลำดับ และเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการดูดซับของ NT-s คือ 65 62.2 93.6 124.2 และ 155 วินาทีตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.4 แผนภูมิแท่งแสดงเวลาเฉลี่ยในการดูซ้ำกลับและจำนวนครั้งการนำกลับมาทดสอบของ NT-5 และ NT-s

เมื่อนำข้อมูลจากการศึกษาการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุโฟมยางธรรมชาติดูซ้ำกลับ NT-5 และ NT-s มาวิเคราะห์ข้อมูล พบว่า การทดสอบครั้งที่ 6 ของวัสดุดูซ้ำกลับทั้งสองใช้เวลาในการดูซ้ำกลับที่มากกว่าการทดสอบครั้งที่ 5 ค่อนข้างมาก เนื่องจากการทำความสะอาดครั้งที่ 5 ทำให้สาร Trapital ที่อยู่บนพื้นผิวของโฟมยางธรรมชาติหลุดออกไปปริมาณมาก บนพื้นผิวของวัสดุดูซ้ำกลับจึงเหลือสารที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาดูซ้ำกลับน้อยลง การดูซ้ำกลับของวัสดุดูซ้ำกลับจึงมีประสิทธิภาพลดลง การดูซ้ำกลับในการทดสอบครั้งที่ 6 จึงใช้เวลามากกว่าครั้งที่ 5

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

โพลีเมอร์ธรรมชาติสามารถผลิตเป็นวัสดุดูดซับกลิ่นได้ โดยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับกลิ่นด้วยการเติมสาร Trapital วัสดุดูดซับกลิ่นที่สามารถดูดซับกลิ่นได้มีประสิทธิภาพที่สุด คือโพลีเมอร์ธรรมชาติที่แช่ในสารละลาย Trapital ซึ่งใช้เวลาในการดูดซับกลิ่นแอมโมเนียเฉลี่ย 65 วินาที และจากการศึกษาการนำกลับมาใช้ใหม่ พบว่าสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ถึง 5 ครั้ง

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1 ศึกษาการตกตะกอนของสารละลาย Trapital ที่เกิดขึ้นระหว่างการปรับ pH ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์
- 5.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับด้วยเทคนิคอื่น ๆ เช่น การใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography)



## บรรณานุกรม

- [1] พฤติพงษ์ พันธมนัสโสสภา. ความคงทนและสมบัติของเส้นใยปอกระเจาที่ปรับปรุงผิว ผสมในวัสดุยางคอมโพสิต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2557.
- [2] ขวัญกมล สุขสม. การเตรียมแผ่นยางลดความเมือล้าจากวัสดุคอมโพสิตยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2561.
- [3] Látex de caucho extraído del árbol de caucho en tailandia Foto Premium. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : [https://www.freepik.es/fotos-premium/latex-caucho-extraido-arbol-caucho-tailandia\\_2799008.htm](https://www.freepik.es/fotos-premium/latex-caucho-extraido-arbol-caucho-tailandia_2799008.htm) [2563, เมษายน 12]
- [4] ทำยางแผ่นด้วยน้ำส้มช้ำยาง. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.kimhong.co.th/การทำยางแผ่น/> [2563, เมษายน 12]
- [5] ซึ้อย่างแสนตัน ภาคใต้กก.ละ 45 อีสานเริ่มฮีม-ตั้งโต๊ะแกลงข่าว. ไทยรัฐออนไลน์. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.thairath.co.th/news/local/563026> [2563, เมษายน 12]
- [6] ชาวสวนระนองรวมกลุ่มแปรรูปยางเครป เพิ่มราคายางพารา. บุญเลื่อน พรหมประทานกุล. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.77kaoded.com/news/bunluan/663759> [2563, เมษายน 12]
- [7] โรงงานแปรรูปยางแท่ง STR 20 ของสหกรณ์กองทุนสวนยางอำเภอบ่อทอง ยกเป็นต้นแบบสถาบันเกษตรกร ช่วยแก้ปัญหาราคายางพาราดตกต่ำได้สำเร็จ. [ออนไลน์] . แหล่งที่มา: <https://rubberplasma.com/2018/06/27/โรงงานแปรรูปยางแท่ง-str-20-ขอ/> [2563, เมษายน 12]
- [8] S. Indran, R.Edwin Raj and V.S. Sreenivasan. Characterization of new natural cellulosic fiber from Cissusquadrangularis root. *Carbohydrate Polymers*. vol.110 (2014): 423-429.
- [9] เดชา ฉัตรศิริเวช. กระบวนการดูดซับ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.
- [10] ถ่านกัมมันต์. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://th.wikipedia.org/wiki/ถ่านกัมมันต์> [2563, เมษายน 12]
- [11] Cocobnut SHELL Activated Carbon. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://thai.alibaba.com/product-detail/cocobnut-shell-charcoal-activated-carbon-60811938014.html> [2563, เมษายน 12]
- [12] ศิรินุช ลอยหา. ซีโอไลต์และเทคโนโลยีซีโอไลต์. วารสารวิทยาศาสตร์ มข. ปีที่ 41. 1 (1998): 1.

- [13] ซีโอไลต์ธรรมชาติ Clinoptilolite ผงสำหรับอาหารสัตว์. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://thai.alibaba.com/product-detail/natural-zeolite-clinoptilolite-powder-for-animal-feed-60717479980.html> [2563, เมษายน 25]
- [14] วิธีตรวจวัดกลิ่น. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: [http://www.pcd.go.th/info\\_serv/Datasmell/P3.htm](http://www.pcd.go.th/info_serv/Datasmell/P3.htm) [2563, เมษายน 13]
- [15] Holzer, F., Kopinke, F. D., & Roland, U. 2019. Adsorbent regeneration by non-thermal plasma for elimination of odorous compounds from indoor air. 1144-1152.
- [16] Huang, X. 2019. Evaluation of the treatability of various odor compounds by powdered activated carbon. 414-424.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

เวลาที่วัสดุดูดซับโพลีเมยางธรรมชาติใช้ในการดูดซับกลิ่นและจำนวนครั้งการนำกลับมาใช้ใหม่

ตารางที่ ก.1 เวลาที่โพลีเมยางธรรมชาติใช้ในการดูดซับกลิ่น

Sample code	เวลาที่ใช้ในการดูดซับ (s)					
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	เวลาเฉลี่ย
NR	436	419	593	463	481	478.4
NT-3	119	185	158	163	191	163.2
NT-5	141	137	176	154	168	155.2
NT-7	78	76	134	99	77	92.8
NT-s	63	54	78	63	67	65

ตารางที่ ก.2 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการดูดซับกลิ่นและจำนวนครั้งในการนำกลับมาใช้ใหม่ของ NT-5

จำนวนครั้งการนำกลับมาใช้	เวลาที่ใช้ในการดูดซับ (s)					
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	เวลาเฉลี่ย
ครั้งที่ 1	141	137	176	154	168	155.2
ครั้งที่ 2	170	183	179	168	188	177.6
ครั้งที่ 3	191	184	179	193	191	187.6
ครั้งที่ 4	213	203	220	217	223	215.2
ครั้งที่ 5	218	220	230	213	224	221
ครั้งที่ 6	290	319	323	328	314	314.8
ครั้งที่ 7	401	458	423	477	398	431.4
ครั้งที่ 8	453	444	431	410	437	435

ตารางที่ ก.3 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการดูดซับกลิ่นและจำนวนครั้งในการนำกลับมาใช้ใหม่ของ NT-s

จำนวนครั้งการนำกลับมาใช้	เวลาที่ใช้ในการดูดซับ					เวลาเฉลี่ย
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	
ครั้งที่ 1	63	54	78	53	67	65
ครั้งที่ 2	58	60	59	67	67	62.2
ครั้งที่ 3	98	103	83	89	95	93.6
ครั้งที่ 4	123	123	115	133	127	124.2
ครั้งที่ 5	146	169	158	155	147	155
ครั้งที่ 6	241	243	279	256	271	258
ครั้งที่ 7	307	278	283	282	291	288.2
ครั้งที่ 8	287	289	332	301	310	303.8

## ภาคผนวก ข.

### การคำนวณการเตรียมสารละลาย Trapital solution 25% โดยน้ำหนัก

การคำนวณปริมาตรของ Trapital solution 25% ในการแช่ฟอยมยาง

ตัวอย่าง NT-s

#### วิธีการคำนวณ

น้ำยางธรรมชาติ	100	กรัม	มีเนื้อยางธรรมชาติ	60	กรัม
น้ำยางธรรมชาติ	250	กรัม	มีเนื้อยางธรรมชาติ	150	กรัม

ในการเตรียมฟอยมยางธรรมชาติ 1 ตัวอย่างใช้แม่พิมพ์ขนาด 30x30 ตารางเซนติเมตร นำมาตัดเป็นตัวอย่างขนาด 5x5 ตารางเซนติเมตร จะได้ว่า

ฟอยมยางธรรมชาติขนาด 30x30 ตารางเซนติเมตร	มีเนื้อยางธรรมชาติ	150	กรัม
ฟอยมยางธรรมชาติขนาด 5x5 ตารางเซนติเมตร	มีเนื้อยางธรรมชาติ	$= \frac{5 \times 5 \times 150}{30 \times 30} = 4.17$ กรัม	

ในยางธรรมชาติขนาด 5x5 ตารางเซนติเมตร มีเนื้อยางธรรมชาติ 4.17 กรัม ต้องการนำไปแช่ใน Trapital solution 25% w/w ในอัตราส่วนเนื้อยางธรรมชาติต่อสาร Trapital คือ 1 ต่อ 1 จึงต้องคำนวณหาปริมาตร Trapital solution 25% w/w ที่มีสาร Trapital 4.17 กรัม เพื่อนำไปแช่ฟอยมยางธรรมชาติ ซึ่ง Trapital solution 25% w/w ปริมาตร 100 มิลลิลิตร มีสาร Trapital 25 กรัม ในน้ำ 75 กรัม จะได้ว่า Trapital 25% solution w/w% มีสาร Trapital 25 กรัม ในสารละลายทั้งหมด 100 กรัม (น้ำ 1 กรัม = 1 มิลลิลิตร)

Trapital	25	กรัม	ใน Trapital solution 25% w/w	100	มิลลิลิตร
Trapital	4.17	กรัม	ใน Trapital solution 25% w/w	16.68	มิลลิลิตร

ดังนั้นต้องใช้ Trapital solution 25% w/w ปริมาตร 16.68 มิลลิลิตร ในการแช่ฟอยมยางธรรมชาติ 5x5 ตารางเซนติเมตร