ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารของฟางข้าว

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารทำได้ดังนี้

1.วิธีวิเคราะห์ความชื้น (ASTM E871-82)

ชั่งตัวอย่างฟางข้าวที่ผ่านตะแกรงคัดขนาด 40 เมช (420 ไมโครเมตร) จำนวน 1 กรัม ใส่ในถ้วยพอสเลน (Porcelain Crucible) ที่ทราบน้ำหนัก แล้วนำไปอบในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 16 ชั่วโมง นำฟางข้าวมาชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักฟางข้าวไว้ จากนั้นนำไปอบต่อที่ 105 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักของฟางข้าวหลังอบ (อบต่อเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ถ้าน้ำหนักหลังอบที่ได้ต่างกันเกิน 0.2 เปอร์เซ็นต์) คำนวณหาปริมาณความชื้นเป็นร้อยละดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{\text{น.น.ของฟางข้าว-น.น.ของฟางข้าวหลังอบ}}{\text{น.น.ของฟางข้าว}} \times 100$$

2. วิธีวิเคราะห์ปริมาณสารระเหย (ASTM E872-82)

ชั่งตัวอย่างฟางข้าวที่ผ่านตะแกรงคัดขนาด 40 เมช (420 ไมโครเมตร) จำนวน 1 กรัม ใส่ในถ้ายพอสเลน (porcelain crucible) ที่ทราบน้ำหนักพร้อมทั้งปิดฝา แล้วนำไปอบในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 7 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักที่หายไปคำนวณปริมาณของสารระเหยเป็นร้อยละดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์สารระเหย} = \frac{\text{น้ำหนักฟางข้าวก่อนอบ-น้ำหนักฟางข้าวหลับอบ}}{\text{น้ำหนักฟางข้าวก่อนอบ}} \times 100$$

3. วิธีวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (ASTM D1102-84)

ชั่งตัวอย่างฟางข้าวที่ผ่านตะแกรงคัดขนาด 40 เมช (420 ไมโครเมตร) จำนวน 1 กรัม ใส่ในถ้วยพอสเลน (porcelain crucible) ที่ทราบน้ำหนักพร้อมทั้งปิดฝา (ถ้วยพอสเลนผ่านการอบที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 1 ชั่วโมง) แล้วนำไปอบในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 30 นาที และที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักแล้วคำนวณปริมาณของเถ้าเป็นร้อยละดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของเถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้า}}{\text{น้ำหนักฟางข้าว}} \times 100$$

4.วิธีหาค่าคาร์บอนคงตัว

ค่าผลต่างของร้อยละลบด้วยผลบวกของความชื้น เถ้าและสารระเหยคิดเป็นร้อยละ

ร้อยละของคาร์บอนคงตัว = 100 – (เปอร์เซ็นต์ความชื้น+เปอร์เซ็นต์สารระเหย+เปอร์เซ็นต์เถ้า)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ข

การคำนวณหาค่าความร้อนและปริมาณซัลเฟอร์ของฟางข้าว

ทำการ Standardized Calorimeter เพื่อหา Energy Equivalent of Calorimeter โดยใช้กรดเบนโซอิก (Benzoic Acid) ทำการทดลองเหมือนการหาค่าความร้อนทุกประการ

$$W = \frac{Hm+e_1+e_2}{t}$$

เมื่อ W = Energy Equivalent of Calorimeter (แคลอรีต่อองศาเซลเซียส)

H = ค่าความร้อนในการเผาไหม้ของสารมาตรฐานกรดเบนโซอิก (2,440 แคลอรีต่อกรัม)

m = มวลของสารมาตรฐานกรดเบนโซอิกที่ใช้ (กรัม)

t = ค่าแก้ไขของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (องศาเซลเซียส)

e_1 = ค่าแก้ไขสำหรับความร้อนในการเกิดของ HNO_3

e_2 = ค่าแก้ไขสำหรับความร้อนในการเผาไหม้ของลวด (2.3 แคลอรี/เซนติเมตร), (แคลอรี)

ข้อมูลที่เก็บได้มีดังนี้

a = เวลาที่เริ่มกดปุ่ม Ignition

b = เวลาที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 60 ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทั้งหมด (ละเอียดถึง 0.01 องศาเซลเซียส)

c = เวลาอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะคงที่ (หลังจากการเผาไหม้แล้ว)

t_a = อุณหภูมิที่เวลา a

t_c = อุณหภูมิที่เวลา c

r_1 = อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (องศาเซลเซียสต่อนาที) ภายใน 5 นาทีก่อนการเผาไหม้

r_2 = อัตราการลดลงของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียสต่อนาที) หลังจาก 5 นาที หลังเวลา c (ถ้าหลังเวลา c ไปแล้วอุณหภูมิมีการเพิ่มขึ้นอีกก็ให้ลบค่า $r_2(c-b)$ ออกจากค่า t แทนที่จะให้การบวก)

c_1 = มิลลิลิตรของ 0.0725 N Na_2CO_3 ที่ใช้ในการไตเตรท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

c_2 = ร้อยละของสารกำมะถันในสารตัวอย่าง

c_3 = เซนติเมตรของลวดที่ถูกเผาไหม้

W = Energy Equivalent of Calorimeter ซึ่งหาได้จากการ Standardized

m = มวลของสารตัวอย่าง (กรัม)

Corrected Temperature rise (t)

$$t = t_c - t_a - r_1(b - a) + r_2(c - b)$$

ถ้าหลังจากเวลา c แล้วอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอีก ให้คำนวณดังนี้

$$t = t_c - t_a - r_1(b - a) - r_2(c - b)$$

Thermo Chemical Corrections

1.ถ้าใช้ 0.0725 N Na_2CO_3 แล้ว $c_1 = e_1$ = ค่าแก้ไขสำหรับความร้อนในการเกิด HNO_3 (แคลอรี) ถ้าไม่ได้ใช้ 0.0725 N ต้องคิดเทียบเป็น 0.0725 N Na_2CO_3 กี่มิลลิลิตรที่ใช้

2. e_2 = ค่าแก้ไขสำหรับความร้อนในการเกิดของ H_2SO_4 (แคลอรี)

$= 14(c_2)(m)$

3. e_3 = ค่าแก้ไขสำหรับความร้อนในการเผาไหม้ของลวด (แคลอรี)

$= 2.3(c_3)$

ค่าความร้อนสูงของสารตัวอย่าง

$$W = \frac{tW - e_1 - e_2 - e_3}{m}$$

ร้อยละกำมะถัน

$$\text{ร้อยละกำมะถัน} = \frac{\text{น.น.}BaSO_4 \times 13.738}{\text{น.น.สาร}}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว

วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวทำได้ดังนี้

1. การเตรียมตัวอย่างฟางข้าวที่ปราศจากสารแทรก (TAPPI T264 cm-88)

1.1 ตั้งเครื่องมือสกัดสารแทรกโดยใช้เครื่องซอกห์เลต

1.2 สกัดฟางข้าวน้ำหนักประมาณ 10 กรัม ซึ่งมีขนาดระหว่าง 40-60 เมช (Mesh) ด้วยสารละลายผสมของเอทานอล และเบนซิน (1:2 โดยปริมาตร) ปริมาตร 200 มิลลิลิตร เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

1.3 นำฟางข้าวไปสกัดใหม่โดยสกัดด้วย 95 เปอร์เซ็นต์เอทานอลเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.4 กรองตัวอย่างฟางข้าวผ่านกรวยบูซเนอร์ (Buchner Funnel) และกำจัดตัวทำละลายที่มากเกินไปด้วยน้ำกลั่นเพื่อกำจัดเอทานอล เทตัวอย่างฟางข้าวลงในบีกเกอร์ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร และเติม 500 มิลลิลิตรของน้ำกลั่นต้มให้เดือดเป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง เพื่อให้ฟางข้าวแห้งแล้วกรองไม้ผ่านกรวยบูซเนอร์ และล้างด้วยน้ำกลั่นที่ต้มเดือน ปล่อยฟางข้าวทิ้งไว้ในอากาศ

1.5 เก็บตัวอย่างฟางข้าวไว้ในภาชนะที่มิชิด และนำตัวอย่างฟางข้าวที่เตรียมได้นี้ไปใช้ในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบต่างๆทางเคมี

2. การวิเคราะห์หาปริมาณเพนโตแซน (เฮมิเซลลูโลส) วิเคราะห์ตาม TAPPI T223 cm-84

2.1 ใส่ตัวอย่างฟางข้าวที่แห้งปราศจากสารแทรกหนักประมาณ 0.5 กรัม ลงในขวดก้นกลม ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมโซเดียมคลอไรด์ 20 กรัม กรดไฮโดรคลอริก 3.85 นอร์มอล100 มิลลิลิตร และ Boiling Stones ต่อขวดก้นกลมเข้ากับเครื่องมือกลั่นและทำขีดเครื่องหมายของระดับของกรดในขวดก้นกลม เติม 2.5 มิลลิลิตร ของ 3.85 นอร์มอล ของกรดไฮโดรคลอริก ลงไปใน Separatory Funnel ที่ต่ออยู่เหนือขวดก้นกลม

2.2 ให้ความร้อนและทำให้กรดกลั่นตัวในอัตราประมาณ 2.5 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บส่วนที่กลั่นได้ในขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ที่วางอยู่ในอ่างน้ำเย็น (Ice Bath)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 ในระหว่างการกลั่น รักษาระดับปริมาตรที่ขีดไว้ที่ขวดก้นกลมที่ 100 มิลลิลิตรของกรดโดยการค่อยๆเติมกรดไฮโดรคลอริก ทีละน้อยๆจาก Separatory Funnel หรือเพิ่ม 25 มิลลิลิตร ทุก 10 นาที กลั่นต่อไปเรื่อยๆเป็นเวลา 90 นาที ในช่วงเวลาที่ปริมาตรของของเหลวที่กลั่นได้มีปริมาตรรวม 225 + 10 มิลลิลิตร

2.4 ทำอุณหภูมิของของเหลวที่กลั่นได้ให้มีอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียล แล้วเติม 3.85 นอลมอล ของกรดไฮโดรคลอริก ลงไปในขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตร และผสมโดยเขย่าขวดปรับปริมาตร แล้วจึงปิเปต 5 มิลลิลิตรของของเหลวที่กลั่นได้ใส่ลงไปในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร เติม Orcinol Reagent 25 มิลลิลิตร เขย่าและวางขวดปรับปริมาตร ลงใน Water Bath ที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 25+1 องศาเซลเซียล หลังจากเวลา 60+5 นาที เติมเอทานอลบริสุทธิ์ จนถึงระดับขีดที่ 50 มิลลิลิตร เขย่าและนำกลับไปไว้ใน Water Bath ที่อุณหภูมิ 25+1 องศาเซลเซียล และหลังจากเวลา 60+5 นาที ให้นำไปวัดค่าการดูดซับ (Absorbance) ของสารละลายด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร

2.5 อ่านจำนวนมิลลิกรัมของไซโลสในตัวอย่างจากกราฟมาตรฐานที่เตรียมไว้แล้ว

ไซเลน (มิลลิกรัม) = ไซโลส (มิลลิกรัม) x 0.88

2.6 คำนวณหาปริมาณเพนโตแซนในตัวอย่างฟางข้าวจากสูตร

$$\text{ร้อยละเพนโตแซน} = \frac{A}{10W}$$

เมื่อ A = น้ำหนักไซเลนในตัวอย่าง (มิลลิกรัม)

W = น้ำหนักแห้ง (กรัม) ของตัวอย่าง

การทำกราฟมาตรฐานไซโลส

1. ชั่งไซโลส (10,20,40,60,80 และ100 ไมโครกรัม) ใส่ขวดก้นกลมขนาด 500 มิลลิลิตร แล้วทำการทดลองตามหัวข้อการวิเคราะห์หาปริมาณเพนโตแซน (เฮมิเซลลูโลส)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. นำมาวัดค่าการดูดซับ (Absorbance) ที่ความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร

3. คำนวณหาค่าของไซเลนในไซโลสในหน่วยของมิลลิกรัม

ไซเลน (มิลลิกรัม) = ไซโลส (มิลลิกรัม) x 0.88

4. นำค่าไซเลนที่คำนวณได้มาพล๊อตกราฟกับค่าการดูดซับที่วัดได้

3. การหาปริมาณโฮโลเซลลูโลสด้วยวิธี Acid Chloride ด้วยวิธีของ Browing ใน Method of Wood Chemistry

3.1 ชั่งน้ำหนักแห้งของตัวอย่างฟางข้าวที่ปราศจากสารแทรกประมาณ 3 กรัม ใส่ลงในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร

3.2 เติมน้ำกลั่น 160 มิลลิลิตร และกรดอะซิติก 0.5 มิลลิลิตร และโซเดียมคลอไรด์ 1.5+1 กรัม ตามลำดับ ลงในขวดก้นกลมและทำการทดลองในตู้ควัน

3.3 นำขวดก้นกลมไปตั้งใน Water Bath ที่มีอุณหภูมิประมาณ 70-80 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 1 ชั่งโมงโดยเขย่าขวดอย่างสม่ำเสมอ

3.4 หลังจากครบ 1 ชั่งโมง เติมกรดอะซิติก 0.5 มิลลิลิตร ตามด้วย โซเดียมคลอไรต์ 1.5 กรัม ลงในสารละลายที่ยังร้อนอยู่แล้วเขย่าขวด

3.5 หลังจากครบ 2 ชั่วโมงและ 3 ชั่วโมง ให้ปฏิบัติตามข้อ 4 เมื่อครบชั่วโมง

3.6 นำขวดก้นกลมมาวางในอ่างน้ำแข็งจนกระทั่งสารละลายในขวดมีอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียล แล้วนำสารละลายมากรองผ่าน Sinter Glass Crucible เบอร์ 3 ล้างด้วยน้ำเย็นและอะซิโตนหลังจากนั้นนำปอบให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 100+5 องศาเซลเซียล หลังจากอบแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก และเก็บตัวอย่างไว้วิเคราะห์หาปริมาณแอลฟาเซลลูโลสต่อไป

3.7 คำนวณหาร้อยละโฮโลเซลลูโลสจาก

$$\text{ร้อยละโฮโลเซลลูโลส} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของโฮโลเซลลูโลสหลังการอบ}}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่างฟางข้าว}} \times 100$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. การหาปริมาณเซลลูโลส วิเคราะห์ตาม TAPPI T203 om-88

4.1 ชั่งตัวอย่างจากการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์โฮโลเซลลูโลสประมาณ 1.5+1 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ ขนาด 400 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 75 มิลลิลิตร ลงไป ปรับอุณหภูมิของสารละลายให้อยู่ที่ปริมาณ 2.5+0.2 องศาเซลเซียล คนสารละลายด้วยเครื่องกวนจนกระทั่งเยื่อกระจายอย่างสมบูรณ์

4.2 ล้างเครื่องกวนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5 เปอร์เซ็นต์ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร(ปริมาตรรวมของสารละลายเท่ากับ 100 มิลลิลิตร) คนสารละลายด้วยแท่งแก้วนำไปแช่ในอ่างน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิ 2.5+0.2 องศาเซลเซียลเป็นเวลา 30 นาที

4.3 เติมน้ำกลั่นลงในสารละลายปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วคนด้วยแท่งแก้ว ทิ้งไว้อีก 30 นาที

4.4 กรองสารละลายโดยใช้ Sinter Glass Crucible เบอร์ 3

4.5 ล้างเยื่อที่เหลือด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งเป็นกลาง และ 10 เปอร์เซ็นต์กรดอะซิติก ปริมาตร 40 มิลลิลิตร นำไปอบแห้งที่ 105 องศาเซลเซียลในเตาอบ

4.6 คำนวณหาร้อยละเซลลูโลสจาก

$$\text{ร้อยละเซลลูโลส} = \frac{\text{น้ำหนักเซลลูโลส}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

5. การหาปริมาณลิกนิน วิเคราะห์ตาม TAPPI T222 om-88

5.1 ชั่งน้ำหนักแห้งที่ปราศจากสารแทรกของฟางข้าวหนัก 1+0.1 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร

5.2 วางบีกเกอร์ลงในอ่างน้ำแข็งแล้วค่อยๆเติม 72 เปอร์เซ็นต์กรดซัลฟูริก ที่แช่เย็นไว้ในตู้เย็นลงไป 15 มิลลิลิตร พร้อมทั้งคนอย่างสม่ำเสมอ ทุกๆ 15 นาที เพื่อให้ผสมกันดีขึ้น

5.3 ปิดบีกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกา แล้วนำออกจากอ่างน้ำแข็งมาตั้งทิ้งไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 20 +1 องศาเซลเซียลเป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง พร้อมคนสารละลายอย่างสม่ำเสมอ ทุกๆ 15 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5.4 เติมน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร ลงในขวดก้นกลมขนาด 1000 มิลลิลิตร แล้วเทสารละลายในบีกเกอร์ลงไปในขวดก้นกลม พร้อมทั้งเติมน้ำกลั่นลงไปอีกจนถึงระดับ 575 มิลลิลิตร ที่ขีดไว้ข้างขวดก้นกลม

5.5 ทำการรีฟรักซ์ สารละลายนาน 4 ชั่วโมง เมื่อเสร็จเทสารละลายทั้งหมดใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร แล้วตั้งบีกเกอร์ทิ้งไว้ 1 คืน

5.6 กรองผ่าน Sinter Glass Crucible เบอร์ 3 ที่ทราบน้ำหนัก แล้วล้างตะกอนด้วยน้ำร้อน จากนั้นนำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 6 ชั่วโมง นำออกมาทำให้เย็นลงใน Dessicater หลังจากนั้นจึงชั่งน้ำหนักรวมของ Sinter Glass Crucible และลิกนิน

5.7 คำนวณหาร้อยละลิกนิน จาก

$$\text{ร้อยละลิกนิน} = \frac{A}{W} \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักของลิกนินเป็นกรัม

W = น้ำหนักแห้งเป็นกรัมของฟางข้าวตัวอย่าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

1.การเตรียมสารละลาย 1% Dinitrosalicylic Acid Reagent Solution (DNS)

3, 5–Dinitrosalicylic	10 กรัม
Phenol	2 กรัม
Sodium Sulfite	0.5 กรัม
Sodium hydroxide	10 กรัม

ชั่งสารตามปริมาณดังกล่าว ละลายในน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร

2. การเตรียมสารละลาย 40% Potassium Sodium Tartrate Solution

ชั่ง Potassium Sodium Tartrate 40 กรัม ละลายในน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

3. ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

3.1 ปิเปตตัวอย่าง 3 มิลลิลิตร ลงหลอดทดลอง

3.2 เติม1% Dinitrosalicylic Acid Reagent Solution (DNS) 3 มิลลิลิตร จากนั้นปิดปากหลอด แล้วผสมให้เข้ากัน

3.3 ให้ความร้อนเป็นเวลา 5-15 นาที

3.4 เติม 40% Potassium Sodium Tartrate Solution 1 มิลลิลิตร แล้วผสมให้เข้ากัน

3.5 ทำให้เย็นโดยผ่านน้ำไหล จากนั้นจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยไวโอเลตและวิสิเบิลสเปกโทรสโกปีที่ 575 นาโนเมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก จ

การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. การเตรียมอาหารเลี้ยงยีสต์ (yeast media) ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

ยีสต์เอ็กซ์แทรก (Yeast Extract)	10.0 กรัม
เปปโทน (Peptone)	20.0 กรัม
เด๊กโทรส (Dextrose)	20.0 กรัม
น้ำกลั่น	1000 มิลลิลิตร

2. การเตรียมอาหารเลี้ยงรา (mucus media) ปริมาตร 200 มิลลิลิตร

กลูโคส (Glucose)	5.0 กรัม
ยีสต์เอ็กซ์แทรก (Yeast Extract)	1.0 กรัม
แอมโมเนียมซัลเฟต (Amonium Sulphate, $(NH_4)_2SO_4$)	1.5 กรัม
ไดโพแทสเซียมฟอสเฟต (Dipotassium Phosphate, K_2HPO_4)	0.7 กรัม
แมกนีเซียมซัลเฟต (Magnesium Sulphate, $MgHO_4.7H_2O$)	0.15 กรัม
แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium Chloride, $CaCl_2.2H_2O$)	0.20 กรัม
0.05 โมลาร์ บัฟเฟอร์ซิเตรต พีเอส 5.5 ± 0.1	100 มิลลิลิตร
น้ำกลั่น	200 มิลลิลิตร

3. การเตรียมสารละลาย บัฟเฟอร์ซิเตรตความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ พีเอส 5.5 ± 0.1 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3.1 ชั่งกรดซิตริก (Citric Acid, $C_6H_8O_7.H_2O$) 2.102 กรัม และโซเดียมซิเตรต (Sodium Citrate, $Na_3C_6H_5O_7.2H_2O$) 2.942 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 150 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่นในบีกเกอร์ ถ่ายสารละลายในบีกเกอร์ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร โดยใช้กรวยแก้ว ล้างภาชนะซ้ำอีกด้วยน้ำกลั่น และเทสารละลาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2 นำกรวยแก้วออก เติมตัวทำละลายลงในขวดวัดปริมาตรประมาณ 2 ใน 3 ส่วน เขย่าสารละลาย

3.3 เติมตัวทำละลายจนถึงขีดบอกปริมาตร โดยมองสารละลายในระดับสายตา

3.4 เขย่าสารละลายจนแน่ใจว่าสารละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

4. การเตรียมอาหารเลี้ยงแบคทีเรีย (Luria-Bertani media) ปริมาตร 400 มิลลิลิตร

โซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride, NaCl)	2.0 กรัม
ทริบโตน (Tryptone)	4.0 กรัม
ยีสต์เอ็กซ์แทรก (Yeast Extract)	2.0 กรัม

5. การเตรียมอาหารเลี้ยงแบคทีเรีย (Zymomonas medium) ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

เปปโทน (Peptone)	10 กรัม
ยีสต์เอ็กซ์แทรก (Yeast Extract)	10 กรัม
เด็กโทรส (Dextrose)	20 กรัม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ฉ

ก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas chromatography, GC) [47]

ก๊าซโครมาโตกราฟีเป็นเครื่องมือที่มีการประยุกต์ใช้งานในการวิเคราะห์ สารอินทรีย์อย่างกว้างขวางในงานหลาย ๆ ด้าน เนื่องจากมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ

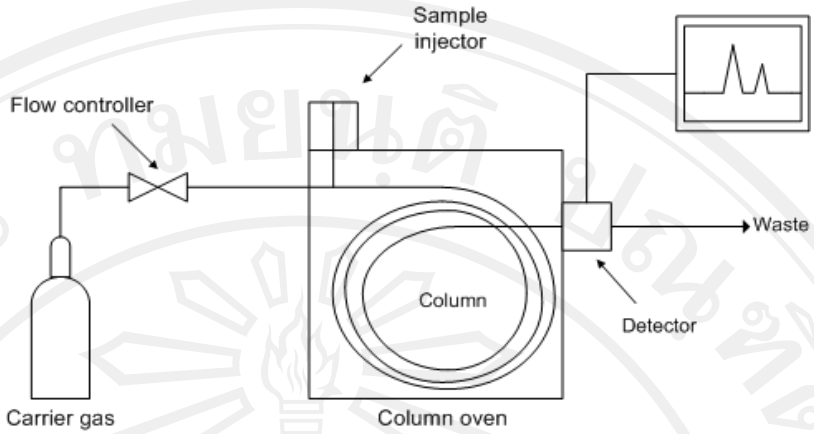
1. มีคอลัมน์หลายชนิดหลายขนาดในการใช้งานจึงสามารถเลือกให้เหมาะสมกับสารอินทรีย์ได้ทุกประเภท

2. มีส่วนตรวจวัดสัญญาณได้หลายประเภทจึงสามารถตรวจวัดสัญญาณสารอินทรีย์ได้ทุกกลุ่ม

1. หลักการทำงานของเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี

หลักการทำงานเครื่อง GC อธิบายด้วยรูป 1.19 ในระบบ GC จะมีแก๊สพา (Carrier Gas) เคลื่อนที่อยู่ในระบบตลอดเวลา ในการวิเคราะห์ตัวอย่างจะถูกนำเข้าสู่ระบบ GC ทางช่องทางเข้า (Injection Port) ซึ่งอยู่ภายในห้องควบคุมอุณหภูมิและเป็นระบบปิดมีการป้องกันการรั่วไหลของก๊าซไม่ให้ออกจากระบบภายใต้อุณหภูมิสูงของช่องทางเข้า สารตัวอย่างจะถูกทำให้กลายเป็นไอ และเคลื่อนที่ไปตามคอลัมน์พร้อมกับแก๊สพาภายในคอลัมน์ซึ่งมีเฟสคงที่ (Stationary Phase) เคลือบอยู่บนของแข็งรองรับ (Solid Support) หรือเคลือบอยู่ผนังด้านในของคอลัมน์ สารอินทรีย์ในตัวอย่างจะเกิดแรงกระทำกับเฟสคงที่ ด้วยสมบัติของสารอินทรีย์ที่แตกต่างกัน ทำให้สารอินทรีย์แต่ละชนิดมีแรงกระทำที่แตกต่างกันเป็นผลให้เฟสคงที่เหนี่ยวรั้งสารอินทรีย์แต่ละชนิดได้ไม่เท่ากัน สารอินทรีย์จึงเกิดการแยกออกจากกันภายในคอลัมน์นี้ และสุดท้ายสารอินทรีย์จะเดินทางออกจากคอลัมน์เข้าสู่ส่วนตรวจวัดสัญญาณ (Detector) ในเวลาที่ต่างกัน สัญญาณที่ถูกตรวจวัดได้จะถูกแปลงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าด้วยระบบอิเลคทรอนิกส์ และส่งผลไปยังส่วนประมวลผลและบันทึกผลสารอินทรีย์เมื่อเดินทางผ่านส่วนตรวจวัดสัญญาณก็จะถูกระบายทิ้งออกจากระบบ GC ไปพร้อมกับ แก๊สพา ปัจจุบันระบบ GC จะอยู่ภายใต้การควบคุมของระบบคอมพิวเตอร์ และทำการประมวลผลเป็นข้อมูลต่าง ๆ ด้วยระบบคอมพิวเตอร์เช่นกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป ฉ-1 หลักการทำงานของเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี

2. การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี

เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟีเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สารที่ทำให้เป็นไอได้ภายใต้อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส จึงหมายถึง สารอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลไม่สูงมากนัก (ส่วนสารอินทรีย์โมเลกุลขนาดใหญ่ หรือสารกลุ่มชีวโมเลกุลจะต้องใช้วิธีวิเคราะห์ด้าน Liquid Chromatography) ในการวิเคราะห์สารอินทรีย์ตัวอย่างมักจะมีวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์อยู่สองประการ ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ของกระบวนการวิเคราะห์โดยทั่วไป คือ

1. การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative Analysis)

2. การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Analysis)

ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะ และความเหมาะสมในการเลือกใช้งานให้เหมาะสมกับสารตัวอย่างแต่ละชนิด

2.1 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโตกราฟี หมายถึง การวิเคราะห์ที่ต้องการทราบชนิดขององค์ประกอบที่มีอยู่ในตัวอย่าง เช่น การวิเคราะห์สิ่งที่สกัดได้จากพืชสมุนไพร เพื่อให้ทราบแน่ชัดว่ามีสารอินทรีย์ชนิดใดเป็นองค์ประกอบ เช่น การวิเคราะห์ตัวอย่างจากผู้ป่วยที่ได้รับสารพิษเพื่อให้ทราบแน่ชัดว่าเป็นสารพิษชนิดใด เป็นต้น การวิเคราะห์เชิงคุณภาพสามารถทำได้โดย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. การเปรียบเทียบเวลารีเทนชัน (tR) ของสารองค์ประกอบกับรีเทนชันของสารมาตรฐาน ซึ่งผู้วิเคราะห์จะต้องมีข้อมูลเบื้องต้นว่าสารที่เราสนใจและกำลังวิเคราะห์เป็นสารชนิดใด จึงจะสามารถเลือกสารมาตรฐานเพื่อค้นหาคำตอบได้ อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบค่ารีเทนชันมีโอกาสผิดพลาดได้ง่ายหากวิธีการในการฉีดสารไม่แม่นยำพอ ดังนั้นจึงต้องยืนยันผลอีกครั้งโดยการเติมสารมาตรฐานที่มีรีเทนชันตรงกันนั้นลงไปในตัวอย่างแล้ว สังเกตดูพีคที่เกิดขึ้นหากเป็นสารชนิดเดียวกันพีคที่ได้จะสูงขึ้นและซ้อนกันอย่างสนิท แต่ถ้าหากผู้วิเคราะห์ไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับสารตัวอย่างเลยหรือไม่สามารถหาสารมาตรฐานเป้าหมายได้ก็ไม่สามารถวิเคราะห์สารโดยใช้วิธีนี้ได้

2. การวิเคราะห์เพื่อบอกเอกลักษณ์ด้วย GC/MS วิธีนี้ไม่ต้องการสารมาตรฐานแต่อย่างใดเพียงแต่บันทึกแมสสเปคตรัมของสารองค์ประกอบเป้าหมาย แล้วค้นหาในห้องสมุดของแมสสเปคตรัมก็จะทราบชนิดของสาร อย่างไรก็ตามความต้องการของการใช้วิธีนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง โดยเฉพาะสมรรถนะของระบบ GC/MS

2.2 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ

การวิเคราะห์เชิงปริมาณเป็นการวิเคราะห์ความเข้มข้นขององค์ประกอบที่เราสมใจในสารตัวอย่าง การวิเคราะห์ลักษณะนี้จะมีเป้าหมายอยู่แล้วว่าจะวิเคราะห์หาสารใดเพื่อให้ทราบว่ามีความเข้มข้นเท่าใด เช่น การวิเคราะห์สารปราบศัตรูพืชกลุ่มออร์คลอรีนตามมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน, การวิเคราะห์ปริมาณสารคลอโรฟอร์มในน้ำดื่มมาตรฐานของ WHO เป็นต้น การวิเคราะห์เชิงปริมาณที่นิยมใช้ในปัจจุบันมี 2 วิธี คือ

ก. วิธี External Standard

เทคนิคนี้สำคัญที่การเตรียมสารมาตรฐานและสารตัวอย่างให้มีความเข้มข้นใกล้เคียงกันและจะต้องทำการวิเคราะห์ด้วย GC โดยใช้สภาวะเดียวกัน โครมาโตแกรมที่ได้นำไปหาพื้นที่ใต้พีคหรือความสูงของพีค และนำไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคหรือความสูงของพีคกับความเข้มข้น สิ่งที่ควรระวังในการทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้คือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. ปริมาณของสารที่จะวิเคราะห์ต้องอยู่ในช่วงของกราฟมาตรฐาน (Calibration Curve)

2. สารที่วิเคราะห์จะต้องไม่ฉีดเข้าไปมากจนก่อให้เกิดการ overload คอลัมน์

3. สารมาตรฐานและสารตัวอย่างที่ใช้ต้องทราบปริมาณแน่นอน

ข. วิธี Internal standard

เป็นเทคนิคที่ใช้หาปริมาณของสารได้ถูกต้องที่สุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้Internal Standard หลักการเลือกสารที่จะใช้เป็น Internal Standard คือ

1. สารนั้นจะต้องมีสมบัติคล้ายคลึงกับสารที่จะทำการวิเคราะห์
2. สารนั้นจะต้องถูกชะออกจากคอลัมน์ไม่เร็วหรือช้าเกินไป
3. สารนั้นจะต้องให้พีคที่แยกออกจากพีคอื่น ๆ
4. สารนั้นจะต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

3. กราฟมาตรฐานเอทานอล

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองนี้ได้ใช้คอลัมน์ HP-FFAP polyethylene glycol TPA ในการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี

3.1 สภาวะที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 Oven

Initial temp: 60°C Maximum temp: 300°C

initial time: 4.00 min equilibrium time: 1.00 min

ramp :

#	rate	final temp	final time
1	10.00	200	2.00
2	0.0(off)		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

post temp: 0°C

post time: 0.00 min

run time: 20.0 min

3.1.2 back inlet (split/splitless)

mode	:	split
initial temp	:	220°C
pressure	:	10.30 psi
split ratio	:	20:1
split flow	:	49.9 ml/min
total flow	:	55.1 ml/min
gas saver	:	on
saver flow	:	20.0 ml/min
gas type	:	helium

3.1.3 column

capillary column

model number : HP19091F-112 (HP-FFAP polyethylene glycol TPA)

Max temperature	:	240°C
Nominal length	:	25.0 m
Nominal diameter	:	320.00 um
Nominal film thickness	:	0.50 um
Mode	:	constant flow
Initial flow	:	2.5 ml/min
Nominal init pressure	:	10.30 psi
Average velocity	:	42 cm/sec
Inlet	:	back inlet

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

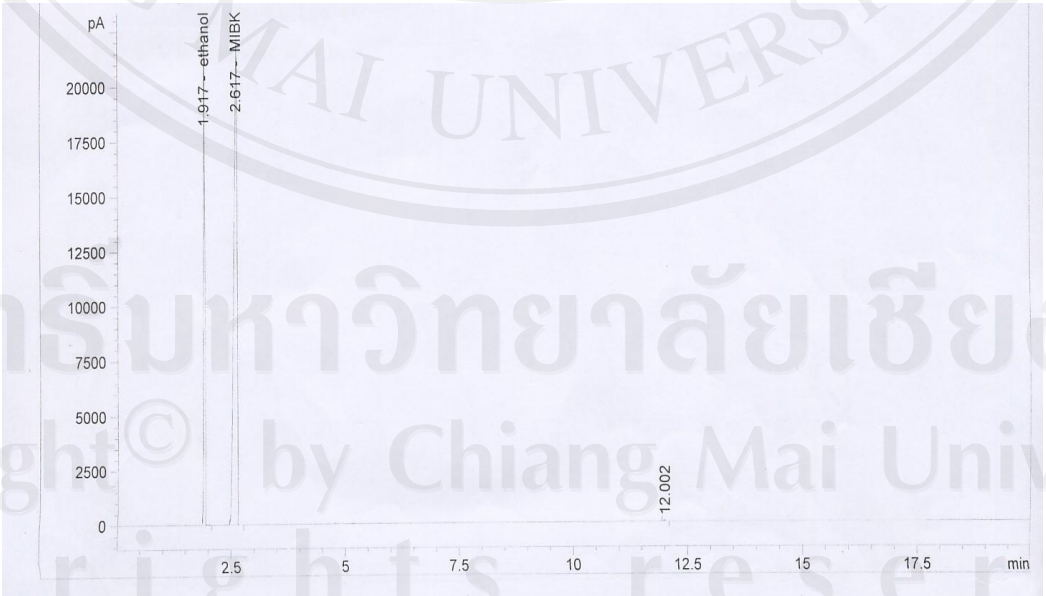
Outlet	:	front detector
Outlet pressure	:	ambient

3.1.4 front detector (FID)

temperature	:	250°C
hydrogen flow	:	30.0 ml/min
air flow	:	350.0 ml/min
mode	:	constant makeup flow
makeup flow	:	35.0 ml/min
makeup gas type	:	nitrogen
flame	:	on
electrometer	:	on
lit offset	:	2.0

4. โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานของเอทานอล

โครมาโตแกรมของสารละลายมาตรฐานเอทานอล ซึ่งได้จากการวิเคราะห์โดยแก๊สโครมาโตกราฟีแสดงดังรูป ฉ-2



รูป ฉ-2 โครมาโตแกรมของสารละลายมาตรฐานเอทานอล โดยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5. การทำกราฟมาตรฐานของเอทานอล

5.1การทำกราฟมาตรฐานสำหรับคอลัมน์ HP-FFAP polyethylene glycol TPA

5.1.1 เตรียมสารละลายเอทานอลมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ

ปิเปตเอทานอลบริสุทธิ์ปริมาตร 0.005 0.01 0.02 0.04 และ 0.08 ไมโครลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 250 100 50 25 และ 25 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นปรับปริมาตรด้วยสารละลาย MIBK (Methyl Isobutyl Ketone)

5.1.2 วิเคราะห์ปริมาตรเอทานอลโดยแก๊สโครมาโตกราฟี

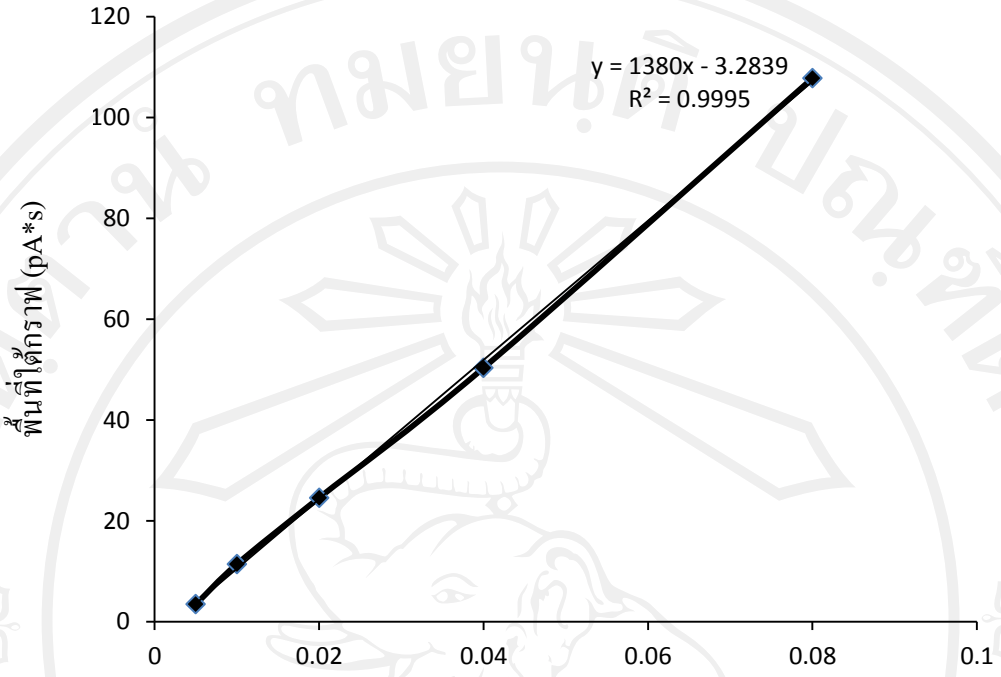
นำสารละลายมาตรฐานเอทานอลที่เตรียมได้มาวิเคราะห์หาพื้นที่ใต้กราฟด้วยแก๊สโครมาโตกราฟี นำพื้นใต้กราฟที่วิเคราะห์ได้ มาเขียนกราฟกับปริมาณความเข้มข้นของเอทานอลที่เตรียม ดังตาราง ฉ-1 เพื่อนำไปเขียนกราฟมาตรฐานในการหาปริมาณเอทานอลที่สามารถผลิตได้ในสารตัวอย่าง

ตาราง ฉ-1 ปริมาณพื้นที่ใต้กราฟของสารละลายมาตรฐานเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อปริมาตรสารละลาย)	พื้นที่ใต้กราฟ (pA*s)
0.08	107.75133
0.04	50.31536
0.02	24.56413
0.01	11.9694
< 0.01*	3.44765

หมายเหตุ : * การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลของสารละลายมาตรฐานเอทานอลที่ความเข้มข้นน้อยกว่า 0.01 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อปริมาตรสารละลาย โดยทำการวิเคราะห์เอทานอลที่ความเข้มข้น 0.005 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อปริมาตรสารละลาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ความเข้มข้นของเอทานอล

(เปอร์เซ็ต์โดยปริมาตรต่อปริมาตรสารละลาย)

รูป ฉ-3 กราฟมาตรฐานสารละลายเอทานอล

สมการเชิงเส้นที่ได้จากการทำกราฟมาตรฐานสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆ คือ

$y = 1380x - 3.283$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ช

การคำนวณปริมาณไอน้ำที่ใช้ในการปรับสภาพฟางข้าว

1. วิธีการใช้เครื่องปรับสภาพฟางข้าวด้วยไอน้ำ

1.1 ตวงน้ำ 2.5 ลิตรใส่ลงในเครื่องปรับสภาพฟางข้าว (m_0) ซึ่งปริมาตรถังคือ 20 ลิตร

1.2 นำฟางข้าวใส่ลงในเครื่องปรับสภาพ ปิดฝา และทำการเร่งความร้อนให้สูงที่สุด

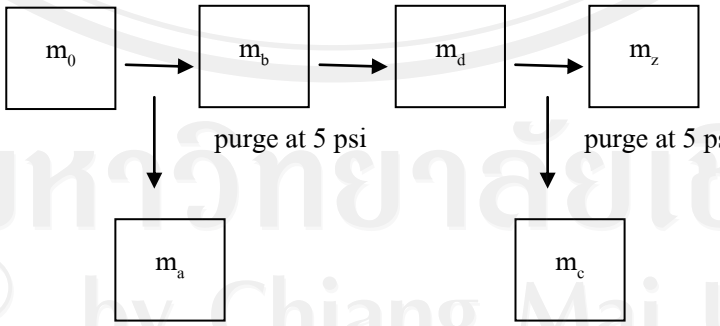
1.3 เมื่อความดันของเครื่องปรับสภาพอยู่ที่ 5 psi ทำการปล่อยไอน้ำ (m_a) ออกที่จุดปล่อยไอน้ำเพื่อไล่อากาศภายในเครื่องปรับสภาพ

1.4 รอให้อุณหภูมิและความดันของไอน้ำภายในเครื่องปรับสภาพถึงจุดที่ต้องการ ทำการจับเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ แล้วปรับให้อุณหภูมิของเครื่องอยู่ในจุดที่ต้องการตลอดระยะเวลาการปรับสภาพฟางข้าว

1.5 เมื่อครบตามเวลาที่ต้องการแล้ว ให้ลดอุณหภูมิและความดันของเครื่องปรับสภาพลง และเมื่อความดันลดลงอยู่ที่ 5 psi ให้ทำการปล่อยไอน้ำออก (m_c) แล้วทำการปิดเครื่อง

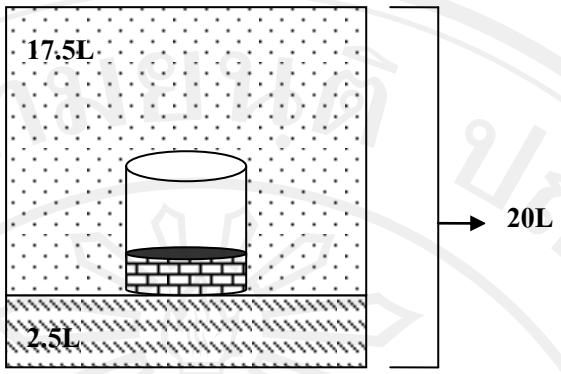
1.6 วัดปริมาณน้ำที่เหลือจากการปรับสภาพ (m_z)

2. คำนวณหามวลน้ำที่ใช้



รูป ช-1 ผังมวลน้ำในกระบวนการปรับสภาพ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป ช-2 ภาพจำลองปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการปรับสภาพ

เมื่อ m_0 = น้ำหนักน้ำเริ่มต้น = 2.5 ลิตร

m_a = น้ำหนักไอน้ำที่ปล่อยออกที่ 5 psig (ก่อนการปรับสภาพฟางข้าว)

m_b = น้ำหนักน้ำภายหลังการปล่อยไอน้ำออกไปที่ 5 psi ($m_0 - m_a$)

m_d = มวลน้ำที่ทำปฏิกิริยากับฟางข้าว

m_c = น้ำหนักไอน้ำที่ปล่อยที่ 5 psi (หลังการปรับสภาพฟางข้าวเสร็จสิ้นแล้ว)

m_z = น้ำหนักน้ำที่เหลือหลังจากการปรับสภาพฟางข้าว = 2.15 ลิตร

จากวิธีการทดลอง จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$m_0 - m_a = m_b = m_z + m_c + m_d$$

ให้ $m_c = m_a$

$$m_d = m_0 - 2m_c - m_z \qquad (1)$$

2.1 หา m_c จากสมการ PV = nRT

เมื่อ R, T และ V คงที่ จะได้สมการ $\frac{P_1}{n_1} = \frac{P_2}{n_2}$ (2)

P_1, n_1 คือ สภาวะ ณ ความดัน 5 psig (P_1 = 5+14.7 psi = 1.34 atm)

P_2, n_2 คือที่สภาวะหลังปล่อยไอน้ำออกไปเมื่อความดันถึง 5 psig (P_2 = 14.7 psi = 1 atm)

แทนค่า P_1 และ P_2ลงในสมการ 2 จะได้

$$\frac{1.34}{n_1} = \frac{1}{n_2}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$n_2 = \frac{1}{1.34} \times n_1$$

$$n_1 - n_2 = n_1 - \frac{n_1}{1.34}$$

$$n_1 - n_2 = 0.254 n_1$$

$$m_c = 0.254 n_1 \times 18 \quad (3)$$

จากสมการ $PV = nRT$ จะใช้คำนวณหา n_1 ได้

$$(1.34 \times 17.5) = n_1 \times 0.08206 \times 369.2$$

$$n_1 = 0.77 \text{ mole}$$

นำค่า n_1 ที่คำนวณได้แทนในสมการ 3 จะได้ $m_c = 3.52$ g

นำค่าที่ได้ทั้งหมดแทนลงในสมการ 1 จะได้

$$m_d = 2{,}500 - 2(3.52) - 2{,}150 = 342.96 \text{ กรัม}$$

คำนวณเป็นปริมาณไอน้ำที่ใช้ จาก $PV = nRT$

$$(1.16)(V) = (342.96/18)(0.08206)(396.2)$$

$$V = 543.02 \text{ ลิตร}$$

ดังนั้น ปริมาณไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการปรับสภาพนี้คือ 543.02 ลิตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ซ

การคำนวณการเปลี่ยนหน่วยเอทานอล

การคำนวณการเปลี่ยนหน่วยเอทานอล

จากผลการทดลอง ปริมาณเอทานอลจากกระบวนการหมักฟางข้าวแบบต่อเนื่องที่ได้สูงที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้คือ 3.19 %v/wt ผู้วิจัยต้องการนำปริมาณเอทานอลที่ได้นี้เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องจึงต้องทำการเปลี่ยนหน่วย %v/wt เป็น mg/L

จาก 3.19 %v/wt เทียบบรรญัติไตรยางค์ได้ดังนี้

ฟางข้าว 100 กรัม สามารถผลิตเอทานอลได้ 3.19 มิลลิลิตร

ในการทดลองนี้ได้มีการใช้สารละลายในการปรับสภาพฟางข้าว 100 กรัม คือ 1000 มิลลิลิตร ดังนั้น

ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร สามารถผลิตเอทานอลได้ 3.19 มิลลิลิตร

จากนั้น ต้องการทราบมวลของเอทานอลต่อสารละลาย 1000 มิลลิลิตร (1 ลิตร) ซึ่งทราบค่าความหนาแน่นเอทานอลคือ 0.789 g/cm^3

มวลของเอทานอล คือ 0.789 $g/cm^3 \times 3.19\ cm^3 = 2.52$ g ต่อสารละลาย 1 ลิตร

ดังนั้นปริมาณเอทานอลในหน่วย mg/L คือ 2,517 มิลลิกรัมต่อลิตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ฌ

การประมาณค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตเอทานอลจากฟางข้าว

1. การประมาณค่าใช้จ่ายในการปรับสภาพฟางข้าว

ตาราง ฌ-1 ค่าพลังงานไฟฟ้าตามหน่วยที่ใช้งาน

อัตรารายเดือน: ค่าพลังงานไฟฟ้า		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท)
หน่วยที่ 1-5	เป็นเงิน	0.00
หน่วยที่ 6-15	หน่วยละ	1.3576
หน่วยที่ 16-25	หน่วยละ	1.5445
หน่วยที่ 26-35	หน่วยละ	1.7968
หน่วยที่ 36-100	หน่วยละ	2.1800
หน่วยที่ 101-150	หน่วยละ	2.2734
หน่วยที่ 151-400	หน่วยละ	2.7781
เกิน 401 หน่วยขึ้น	หน่วยละ	2.9780

ตาราง ฌ-2 ค่าวัตถุดิบและสารเคมี

ชนิด	ราคา (บาท) / กิโลกรัม
ฟางข้าว	1.00
โซเดียมไฮดรอกไซด์	45.00

หมายเหตุ *ฟางข้าว 1 กิโลกรัมใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 200 กรัม คิดเป็นราคา 9 บาท*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง ฌ-3 ค่าไฟฟ้าที่ต้องเสียในการปรับสภาพฟางข้าวด้วยไอน้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2%wt/v ที่อุณหภูมิ 75-90°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เครื่องมือ	เตาอบ	เครื่องผลิตไอน้ำ
กำลังของเครื่อง (kw)	1.6	1.05
จำนวนชั่วโมงที่ใช้เครื่อง (hr)	1	2
จำนวนหน่วยที่ใช้ (kw-hr)/ 1 ครั้งการทดลอง	1.6	2.1
หน่วยที่ใช้ 20 ครั้งการทดลอง/1 กิโลกรัม	32	42
ค่าไฟฟ้า (บาท)	57.50	91.56

ตาราง ฌ-4 ค่าใช้จ่ายในการปรับสภาพฟางข้าว 1 กิโลกรัม

ชนิด	ราคา (บาท) / กิโลกรัม
ฟางข้าว	1.00
โซเดียมไฮดรอกไซด์	9.00
เตาอบ	57.50
เครื่องผลิตไอน้ำ	91.56
รวม	159.06

ค่าใช้จ่ายในการปรับสภาพฟางข้าว 1 กิโลกรัม ด้วยไอน้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2%wt/v ที่อุณหภูมิ 85°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง คิดเป็นเงิน 159.06 บาท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. การประมาณค่าใช้จ่ายในการผลิตเอทานอลจากฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพแล้ว

2.1 ค่าใช้จ่ายของอาหารเลี้ยงจุลินทรีย์แต่ละชนิดปริมาณ 5000 มิลลิลิตร ต่อการหมักฟางข้าว 1 กิโลกรัม

ตาราง ฌ-5 ค่าใช้จ่ายในการเตรียมอาหารเลี้ยงยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* V1116 (S1)

การเตรียมอาหารเลี้ยงยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* V1116 (S1)			
สารเคมี	น้ำหนัก (กรัม) / ราคา (บาท)	น้ำหนักที่ใช้ (กรัม)	ราคา (บาท)
Yeast Extract	500/1,400	50	140
Peptone	500/2,700	100	540
Dextrose	500/60	100	12
น้ำกลั่น	20,000/100	5,000	25
รวม			717

ตาราง ฌ-6 ค่าใช้จ่ายในการเตรียมอาหารเลี้ยงรา *Mucor Indicus* (M)

การเตรียมอาหารเลี้ยงรา *Mucor Indicus* (M)			
สารเคมี	น้ำหนัก (กรัม) / ราคา (บาท)	น้ำหนักที่ใช้ (กรัม)	ราคา (บาท)
Glucose	500/60	125	15
Yeast Extract	500/1,400	25	70
Amonium Sulphate	1,000/340	37.5	12.75
Dipotassium Phosphate	500/360	17.5	12.6
Magnesium Sulphate	500/255	3.75	1.91
Calcium Chloride	500/252	5	2.52
Citric Acid	500/215	52.55	22.60
Sodium Citrate	500/130	73.55	19.12
น้ำกลั่น	20,000/100	5,000	25
รวม			181.50

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง ฌ-7 ค่าใช้จ่ายในการเตรียมอาหารเลี้ยงแบคทีเรีย *Zymomonas sp.* TISTR1102 (Z1)

การเตรียมอาหารเลี้ยงแบคทีเรีย *Zymomonas sp.* TISTR1102 (Z1)			
สารเคมี	น้ำหนัก (กรัม) / ราคา (บาท)	น้ำหนักที่ใช้ (กรัม)	ราคา (บาท)
Peptone	500/2,700	50	270
Yeast Extract	500/1,400	50	140
Dextrose	500/60	100	12
น้ำกลั่น	20,000/100	5,000	25
รวม			447

ตาราง ฌ-8 ค่าใช้จ่ายในการเตรียมอาหารเลี้ยงแบคทีเรีย *Pumilus*

การเตรียมอาหารเลี้ยงแบคทีเรีย *Pumilus*			
สารเคมี	น้ำหนัก (กรัม) / ราคา (บาท)	น้ำหนักที่ใช้ (กรัม)	ราคา (บาท)
Sodium Chloride	1,000/165	25	4.12
Tryptone	500/2,400	50	240
Yeast Extract	500/1,400	25	70
น้ำกลั่น	20,000/100	5,000	25
รวม			339.12

ตาราง ฌ-9 ค่าไฟฟ้าที่ต้องเสียในการเขย่าขวดรูปชมพู่ขณะเลี้ยงจุลินทรีย์เป็นเวลา 30 ชั่วโมง

เครื่องมือ	เครื่องเขย่า
กำลังของเครื่อง (kw)	0.05
จำนวนชั่วโมงที่ใช้เครื่อง (hr)	30
จำนวนหน่วยที่ใช้ (kw-hr)/ 1 ครั้งการทดลอง	1.5
หน่วยที่ใช้ 4 ครั้งการทดลอง/1 กิโลกรัม	6
ค่าไฟฟ้า (บาท)	8.14

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง ฌ-10 ค่าไฟฟ้าที่ต้องเสียในการหมักฟางข้าวที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 วัน

เครื่องมือ	ตู้ 37 องศาเซลเซียส
กำลังของเครื่อง (kw)	0.2
จำนวนชั่วโมงที่ใช้เครื่อง (hr)	48
จำนวนหน่วยที่ใช้ (kw-hr)/ 1 ครั้งการทดลอง	9.6
หน่วยที่ใช้ 4 ครั้งการทดลอง/1 กิโลกรัม	38.4
ค่าไฟฟ้า	83.71

ตาราง ฌ-11 ค่าไฟฟ้าที่ต้องเสียในการใช้เครื่องปั่นแยกตะกอนเซลล์

เครื่องมือ	เครื่องปั่นแยกตะกอนเซลล์
กำลังของเครื่อง (kw)	0.65
จำนวนชั่วโมงที่ใช้เครื่อง (hr)	0.08
จำนวนหน่วยที่ใช้ (kw-hr)/ 1 ครั้งการทดลอง	0.052
หน่วยที่ใช้ 25 ครั้งการทดลอง/1 กิโลกรัม	1.3
ค่าไฟฟ้า	-

ตาราง ฌ-12 ค่าไฟฟ้าที่ต้องเสียในการใช้เครื่องวอร์เทซ (Vortex)

เครื่องมือ	เครื่องวอร์เทซ
กำลังของเครื่อง (kw)	0.031
จำนวนชั่วโมงที่ใช้เครื่อง (hr)	0.08
จำนวนหน่วยที่ใช้ (kw-hr)/ 1 ครั้งการทดลอง	0.00248
หน่วยที่ใช้ 100 ครั้งการทดลอง/1 กิโลกรัม	0.248
ค่าไฟฟ้า	-

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง ฌ-13 ค่าไฟฟ้าที่ต้องเสียในการใช้เครื่องออโต้เครป (Autoclave)

เครื่องมือ	ออโต้เครป
กำลังของเครื่อง (kw)	1.0
จำนวนชั่วโมงที่ใช้เครื่อง (hr)	0.5
จำนวนหน่วยที่ใช้ (kw-hr)/ 1 ครั้งการทดลอง	0.5
หน่วยที่ใช้ 5 ครั้งการทดลอง/1 กิโลกรัม	2.5
ค่าไฟฟ้า	-

ตาราง ฌ-14 ค่าใช้จ่ายในการหมักฟางข้าว 1 กิโลกรัม

กระบวนการ	ราคา (บาท) / กิโลกรัม
การเตรียมอาหารเลี้ยงยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* V1116 (S1)	717
การเตรียมอาหารเลี้ยงรา *Mucor Indicus* (M)	181.5
ค่าใช้จ่ายในการเตรียมอาหารเลี้ยงแบคทีเรีย *Zymomonas sp.* TISTR1102 (Z1)	447
ค่าใช้จ่ายในการเตรียมอาหารเลี้ยงแบคทีเรีย *Pumilus*	339.12
ค่าไฟฟ้าที่ต้องเสียในการเขย่าขวดรูปชมพู่ขณะเลี้ยงจุลินทรีย์เป็นเวลา 30 ชั่วโมง	8.14
ค่าไฟฟ้าที่ต้องเสียในการหมักฟางข้าวที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 วัน	83.71
ค่าไฟฟ้าที่ต้องเสียในการใช้เครื่องปั่นแยกตะกอนเซลล์	-
ค่าไฟฟ้าที่ต้องเสียในการใช้เครื่องวอร์เทซ (Vortex)	-
ค่าไฟฟ้าที่ต้องเสียในการใช้เครื่องออโต้เครป (Autoclave)	-
รวม	1,776.47

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง ฌ-15 รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดในกระบวนการหมักฟางข้าว 1 กิโลกรัม

กระบวนการ	ราคา (บาท)
ปรับสภาพฟางข้าว	159.06
หมักฟางข้าว	1,776.47
รวม	1,935.53

หมายเหตุ *ค่าใช้จ่ายยังไม่รวมค่าแรง และค่าต้นทุนคงที่*

ดังนั้น ในกระบวนการผลิตเอทานอลจากกระบวนการหมักแบบต่อเนื่องของฟางข้าว 1 กิโลกรัม มีค่าใช้จ่ายทั้งหมด 1,935.53บาท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวบุษกร คงสมอรรถ
วัน เดือน ปี เกิด	25 กุมภาพันธ์ 2529
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนมัธยมสังคีตวิทยา จังหวัดกรุงเทพมหานคร ปีการศึกษา 2542 สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสันติราษฎร์วิทยาลัย จังหวัดกรุงเทพมหานคร ปีการศึกษา 2546 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยชียงใหม่ ปีการศึกษา 2550
ผลงานวิชาการ	เสนอผลงานวิจัยแบบโปสเตอร์เรื่อง การปรับสภาพฟางข้าวด้วยไอน้ำและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจางเพื่อผลิตเอทานอล, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6 ระหว่างวันที่ 5 - 7 พฤษภาคม 2553 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
การฝึกอบรม	ฝึกอบรมทางด้านวิศวกรรมเคมี ณ ประเทศญี่ปุ่น เป็นเวลา 1 ปี ระหว่างวันที่ 1 ตุลาคม 2554 ถึง 30 กันยายน 2555 โดยได้รับทุนสนับสนุนจาก JASSO Scholar ประเทศญี่ปุ่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved