

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานฉบับสมบูรณ์
โครงการวิจัยโดยใช้เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์
ประจำปี 2551

เครื่องกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ประสิทธิภาพสูง

RCH
TP
248
.A5
0192 ค

หัวหน้าโครงการวิจัย

ผศ.ดร. อภินันท์ นัมคณิศรณ

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 105812.....

วัน,เดือน,ปี.....

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถ.ฉลองกรุง ลาดกระบัง กทม. 10520

b. 12160938
i.

บทคัดย่อ

แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมรังสีพาราโบลิคทำหน้าที่รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ และสะท้อนไปยังท่อทองแดงเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนให้แก่สารป้อนน้ำ-เมทานอลในท่อ แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาดกว้าง 1000 มิลลิเมตร ยาว 1000 มิลลิเมตร และหนา 2 มิลลิเมตร แผงรับแสงอาทิตย์จะสะท้อนลำแสงที่ตกกระทบไปยังท่อที่มี เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 6 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4.5 มิลลิเมตรและยาว 110 มิลลิเมตร ความร้อนจากท่อจะถูกส่งไปยังของผสมทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นและป้อนเข้าสู่หอกลั่นแบบบรรจุ เพื่อแยกเมทานอลออกจากน้ำ

ความเข้มข้นของเมทานอลในสายป้อนที่ศึกษามี 2 ค่า ได้แก่ 40 และ 80 เปอร์เซ็นต์โดย ปริมาตร ทำการกลั่นที่อัตราป้อนกลับ (Reflux Ratio) ที่ 0.5 และ 1 พลังงานที่ได้จากแผงรับ พลังงานแสงอาทิตย์มีค่า 506.8 วัตต์ จากผลการทดลองพบว่า เมื่อผ่านสายป้อนที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) และอัตราการไหลของสายป้อนที่ 1 ลิตรต่อชั่วโมง เข้าสู่ท่อทองแดง ของผสมขา ออกมีอุณหภูมิ 61 องศาเซลเซียส ของผสมนี้จะถูกบีบเข้าสู่หอกลั่น เมื่อทำการกลั่นที่อัตราป้อนกลับ 0.5 พบว่าความเข้มข้นของเมทานอลที่กลั่นได้อยู่ที่ 99.4 และ 99.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเมื่อความ เข้มข้นของสายป้อนมีค่า 40 และ 80 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ เมื่อกลั่นที่อัตราป้อนกลับ เท่ากับ 1 ความเข้มข้นของเมทานอลที่กลั่นเพิ่มเป็น 99.55 และ 99.70 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ

1. บทนำ

1.1. ความเป็นมาของโครงการ

เนื่องจากปัจจุบันธุรกิจปิโตรเคมีมีการเจริญเติบโตอย่างสูง ซึ่งเมทานอลถูกใช้เป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในการผลิตปิโตรเคมีรวมถึงการผลิตไบโอดีเซล ดังนั้นจึงมีความต้องการที่จะใช้เมทานอลที่บริสุทธิ์เป็นสารตั้งต้นในการผลิตมากตามไปด้วย การทำให้เมทานอลบริสุทธิ์จะใช้วิธีการกลั่นเพื่อแยกเมทานอลออกจากสารละลาย ซึ่งในโครงการนี้เป็นการศึกษากระบวนการกลั่นแยกเมทานอลให้บริสุทธิ์มากกว่า 99 % โดยปริมาตร โดยใช้หอกลั่นแบบเบดบรรจุซึ่งภายในบรรจุด้วยขดลวดสแตนเลส สารป้อนจะได้รับความร้อนจากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ก่อนป้อนเข้าสู่หอกลั่นเป็นการลดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้ในหม้อต้มของหอกลั่น

1.2. วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อกลั่นเมทานอลให้มีความบริสุทธิ์สูงกว่า 99 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
- 1.2.2 เพื่อหาแนวทางในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการกลั่น โดยอาศัยการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้รับจากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมรังสีพาราโบลิก
- 1.2.3 เพื่อพัฒนาแนวทางในการนำพลังงานทดแทนมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการกลั่น อันก่อให้เกิดการลดต้นทุนการผลิตและลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม

1.3 ขอบเขตของโครงการ

โครงการวิจัยนี้ จะนำความรู้ทางด้านวิศวกรรมเคมีเพื่อออกแบบและสร้างแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมรังสีพาราโบลิก โดยใช้แสงอาทิตย์เทียม (หลอดอินฟราเรด) เพื่อกลั่นแยกเมทานอลให้มีความบริสุทธิ์สูงมากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยศึกษาผลของความเข้มข้นของสายป้อนและอัตราการป้อนกลับที่ใช้ในการกลั่น และเปรียบเทียบผลที่ได้กับการกลั่นตามปกติที่อาศัยพลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การกลั่นและการคำนวณขนาดของหอกลั่น [7]

เมื่อพิจารณาการควบคุมมวลทั้งหมดของทั้งหอกลั่น อาจพิจารณาระบบ 2 องค์ประกอบ ได้ดังนี้

ควบคุมมวล

สมการดุลรวม เขียนเป็นสมการดังนี้

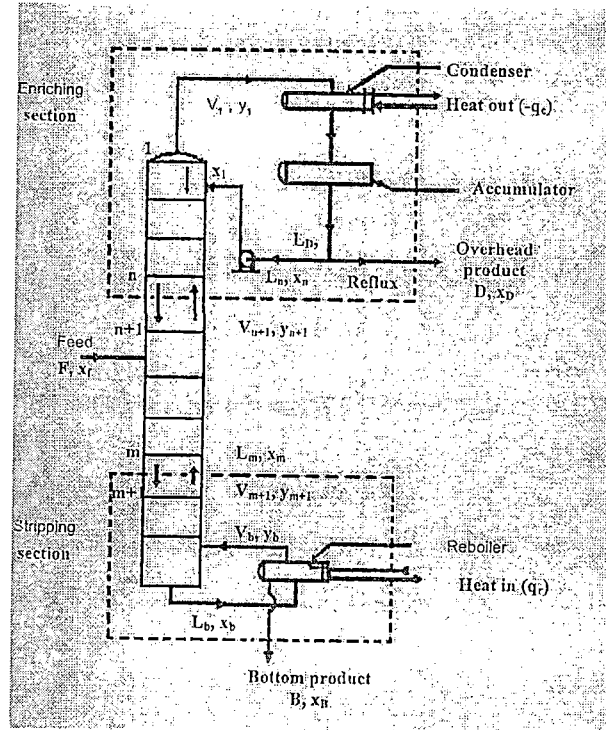
$$F = D + B \quad (1)$$

เมื่อ F : อัตราการไหลของสายป้อน (kmol/hr)

D : อัตราการไหลของสายการกลั่น (kmol/hr)

B : อัตราการไหลของสายกั้นหอ (kmol/hr)
และสมการดุลองค์ประกอบ A เขียนได้ดังนี้

$$F x_{A,F} = D x_{A,D} + B x_{A,B} \quad (2)$$



รูปที่ 2.1 การดุลมวลสารสำหรับการกลั่นลำดับส่วนอย่างต่อเนื่อง [8]

2.1.1 เส้นปฏิบัติการ (Operating line)

การทำดุลมวลสารในหอกลั่น เมื่อพิจารณาเป็น 2 ส่วน คือส่วนบน และส่วนล่างของหอกลั่น สามารถทำได้ดังแสดงในรูปที่ 2.1 เพื่อเขียนเป็นสมการเส้นปฏิบัติการได้ดังนี้ ให้ x_n และ L_n คือสัดส่วนเชิงโมลและอัตราการไหลของของเหลวที่ไหลออกจากชั้นที่ n นับจากยอดหอกลั่นลงมา ให้ y_{n+1} และ V_{n+1} คือส่วนประกอบและอัตราการไหลของไอที่ลอยขึ้นมาจากชั้นที่ $n+1$ จะได้เส้นปฏิบัติการของ Enriching section ดังสมการต่อไปนี้

$$y_{n+1} = \frac{L_n}{L_n + D} x_n + x_D \quad (3)$$

ถ้าให้อัตราส่วนป้อนกลับ (Reflux ratio) คือ $R = \frac{L}{D}$ แล้วแทนลงในสมการที่ 3 จะได้

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1} x_n + \frac{1}{R+1} x_D \quad (4)$$

ในทำนองเดียวกันให้ y_{m+1} , V_{m+1} คือส่วนประกอบและอัตราการไหลของไอที่ลอยขึ้นมาจากชั้นที่ $m+1$ และให้ x_m , L_m คือส่วนประกอบและอัตราการไหลของของเหลวที่ไหลออกจากชั้นที่ m จะได้เส้นปฏิบัติการของ Stripping section ดังสมการต่อไปนี้

$$y_{m+1} = \frac{L_m}{V_{m+1}} x_m - \frac{B}{V_{m+1}} x_B \quad (5)$$

2.1.2 เส้น q (q-line)

ถ้าสารป้อน 1 โมล มีสัดส่วนของเหลวอิ่มตัว q และสัดส่วนไอ $1-q$ หรือ q คืออัตราส่วนพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยน feed 1 โมล เป็น saturated vapor ต่อ molar heat of vaporization ดังนั้น

$q > 1$ subcooled-liquid feed

$q = 1$ saturated-liquid feed

$1 > q > 0$ partially flash feed

$q = 0$ saturated-vapor feed

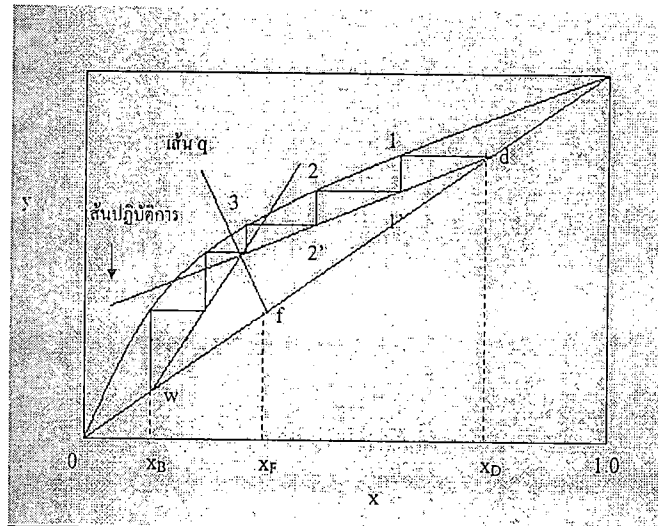
$q < 0$ superheated-vapor feed

และสมการเส้น q-line คือ

$$x_F = qx + (1-q)y \quad (6)$$

ในทางปฏิบัติควรจะทำให้ค่าของ x บนจุดตัดระหว่างเส้น q กับเส้นปฏิบัติการ มีค่าใกล้เคียง มากที่สุดกับส่วนประกอบของของเหลวบนชั้นที่ป้อนสารเข้า ความชันของเส้น q จะขึ้นกับสมบัติของสารป้อนเช่น อุณหภูมิ ความดัน ฯลฯ

สมการเส้นปฏิบัติการทั้งสองช่วงนี้และสมการเส้น q-line สามารถเขียนได้ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การหาจำนวนชั้นทางทฤษฎีของ McCabe-Thiele [9]

2.2 การออกแบบหอกลิ้นแบบเบดบรรจุ

2.2.1 ความสูงของหอกลิ้นแบบเบดบรรจุ

หอกลิ้นแบบเบดบรรจุ เป็นอุปกรณ์ที่ซึ่งทำให้ไอและของเหลวสัมผัสกันบนพื้นผิวของวัสดุ บรรจุซึ่งทำให้เกิดกระบวนการกลั่นอย่างต่อเนื่องเป็นค่อยไปตลอดความสูงของหอกลิ้น โดยส่วนประกอบ A ในเฟสหนึ่งจะถ่ายเทไปยังอีกเฟสหนึ่งตลอดความยาวหอกลิ้นขณะที่ของไหลผ่านหอ ดังนั้นอัตราการไหลของของไหลและความเข้มข้นของสาร A ในทั้งสองเฟส จะเปลี่ยนแปลงตลอดความยาวของหอ ซึ่งจะยังผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลเปลี่ยนแปลงไปตามความยาวของหอด้วย ดังนั้นใจการออกแบบหอกลิ้นประเภทบรรจุจะพิจารณาในส่วนย่อยของหอก่อน แล้วทำการอินทิเกรตเพื่อจะได้ค่าความสูงของหอทั้งหมด

การถ่ายเทมวลของสารละลายจากไอแก๊สไปไอของเหลวจะใช้ทฤษฎี 2 เฟส โดยสมมติให้ที่ผิวสัมผัส (interface) อยู่ในสถานะสมดุล ซึ่งสามารถใช้ในการหาอัตราการไหลของไอและของเหลวที่น้อยที่สุดได้จะ ได้สมการ

$$r = k_y a(y - y_1) = k_x a(x_1 - x) \quad (7)$$

เมื่อ k_y : สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสำหรับสถานะแก๊ส

k_x : สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสำหรับสถานะของเหลว

a: พื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุบรรจุ

อัตราการถ่ายเทมวลสารต่อหน่วยปริมาตรของเบด (r) ซึ่งเขียนในเทอมของ overall driving forces สำหรับเฟสแก๊สหรือเฟสของเหลวจะเขียนได้เป็น

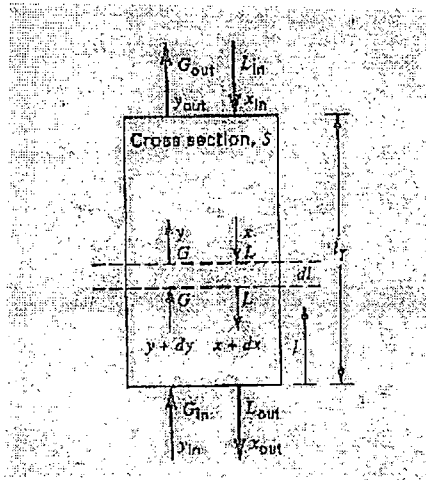
$$r = K_y a(y - y^*) = K_x a(x^* - x) \quad (8)$$

จากสมการที่ 16 และ 17 จะได้

$$\frac{1}{K_y a} = \frac{1}{k_y a} + \frac{1}{k_x a} \left(\frac{y_1 - y^*}{x_1 - x} \right) \quad (9)$$

$$\frac{1}{K_x a} = \frac{1}{k_x a} + \frac{1}{k_y a} \left(\frac{x^* - x_1}{y - y_1} \right) \quad (10)$$

การหาความสูงของหอพิจารณาจากหอคูดูดซึมการไหลแบบสวนทางดูจากรูปที่ 4 โดยเป็นระบบสารละลายเจือจาง



รูปที่ 2.3 แผนผังแสดงการไหลแบบสวนทางในหอกถัน [8]

คุณมวลของสาร คือ

$$-GSdy = K_y a (y - y^*) S dl \quad (11)$$

ทำการ Integrate ;
$$\frac{K_y a}{G} \int_0^{l_T} dl = \frac{K_y a l_T}{G} = - \int_{y_{in}}^{y_{out}} \frac{dy}{y - y^*}$$

$$l_T Z = H_{OG} N_{OG} = \frac{G}{K_y a} \int_{y_{in}}^{y_{out}} \frac{dy}{y - y^*} \quad (12)$$

จากสมการข้างบนถ้าให้

$$H_{OG} = \frac{G}{K_y a} \quad \text{และ} \quad N_{OG} = \int_{y_{in}}^{y_{out}} \frac{dy}{y - y^*} \quad (13)$$

จะเขียนได้ว่า

$$Z = H_{OG} N_{OG} \quad (14)$$

เมื่อ H_{OG} : ความสูงต่อหน่วยของการถ่ายเท (m)

N_{OG} : จำนวนหน่วยของการถ่ายเท

2.2.2 การหาความสูงของหอกถันโดยวิธีของ Seader [5]

$$Z = (HETP)(NTP) \quad (15)$$

Z : ความสูงของชั้นวัสดุ (m)

$HETP$: ความสูงเทียบเท่าหนึ่งชั้นทางทฤษฎี (m)

NTP : จำนวนชั้นทางทฤษฎี

การหาค่า HTU ของเฟสที่เป็นของเหลว (H_L)

$$Z_{em} = H_{OG} N_{OG} mf \{ \mu_L \} \quad (16)$$

การหาค่า การแพร่ของที่เป็นเฟสของเหลว (D_G)

$$D_G = \frac{10^{-3} T^{1.75} \left(\frac{1}{M_{etOH}} + \frac{1}{M_{water}} \right)^{\frac{1}{2}}}{P \left[(\sum v)_{etOH}^{\frac{1}{3}} + (\sum v)_{water}^{\frac{1}{3}} \right]^2} \quad (17)$$

การหาค่า superficial gas velocity ในหอกลิ้นแบบแพค (u_0)

$$u_0^2 = y \frac{g}{F_p} \left(\frac{\rho_{water}}{\rho} \right) \left(\frac{1}{f\{\rho_L\} f\{\mu_L\}} \right) \quad (18)$$

การหาค่า HTU ของที่เป็นเฟสแก๊ส (H_G)

$$H_L = \frac{1}{C_v} (\epsilon - h_L)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{4\epsilon}{a^4} \right)^{\frac{1}{2}} (N_{Re,G})^{-\frac{3}{4}} \frac{u_0 a}{D_G a_h} \quad (19)$$

การหา ความสูงทั้งหมดของหน่วยแลกเปลี่ยนที่เป็นเฟสแก๊ส (H_{OG})

$$H_{OG} = H_G + \left(\frac{mV}{L} \right) H_L \quad (20)$$

การหา จำนวนชั้นทั้งหมดของหน่วยแลกเปลี่ยนที่เป็นเฟสแก๊ส (N_{OG})

$$N_{OG} = N_t \left(\frac{\ln\left(\frac{1}{A}\right)}{\frac{(1-A)}{A}} \right) \quad (21)$$

การหา Z (enriching)

$$Z_{en} = H_{OG} N_{OG} \quad (22)$$

การหา Z (stripping)

ทำตามวิธีข้างบนโดยเปลี่ยนตัวแปร m , $f\{\rho_L\}$, $f\{\mu_L\}$

$$Z = Z_{en} + Z_{strip} \quad (23)$$

2.2.3 ความดันลดของหอกลิ้นประเภทบรรจุ

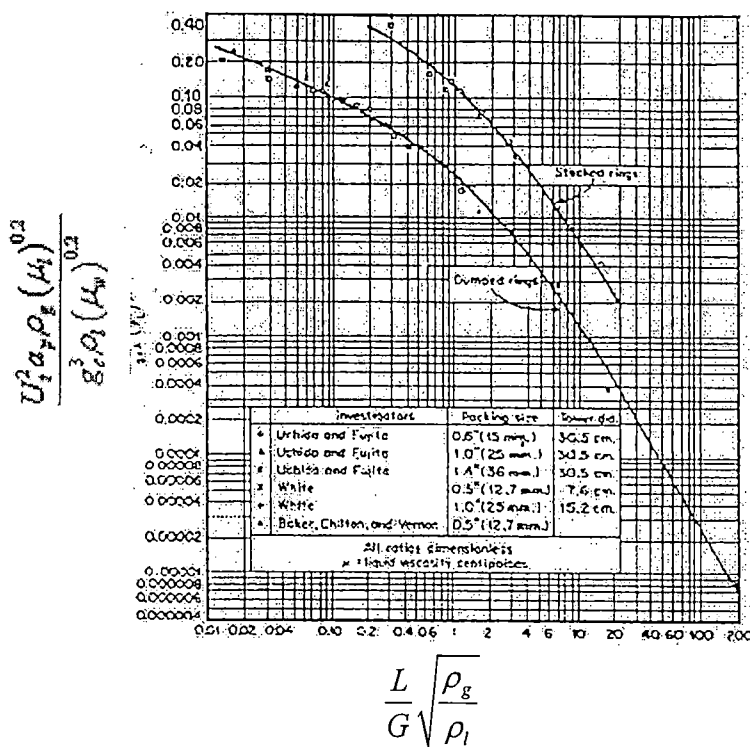
เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องประมาณค่าความดันลดของหอกลิ้นประเภทบรรจุ เมื่อมีของไหลสองสายไหลสวนทางกันในหอและรูปแบบความสัมพันธ์โดยทั่วไประหว่างความดันลด และอัตราการไหลเชิงปริมาตรของแก๊สต่อพื้นที่หน้าตัดของหอ (u_t) โดยที่ $(-\Delta P)$ จะเป็นสัดส่วนกับปริมาตร $u_t^{1.8}$ ถ้าขณะที่แก๊สไหลขึ้นมีของเหลวเริ่มไหลลงหอ จะพบว่าที่อัตราการไหลของของเหลวต่ำ เส้นความดันลดจะคล้ายกับกรณีที่ไม่มีของเหลวไหลอยู่ด้วย นั่นคือการไหลของของเหลวไม่มีผลต่อทางเดินของแก๊ส แต่เมื่อความเร็วของแก๊สเพิ่มขึ้นค่าค่าหนึ่งค่า $-\Delta P$ จะเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและ $-\Delta P$ จะแปรผันตาม $u_t^{2.5}$ การไหลของของเหลว มีผลต่อการไหลของ

แก๊ส และค่า Hold up ของของเหลวจะเพิ่มขึ้น เกิดการสะสมของของเหลวอยู่ภายในช่องว่างของวัสดุบรรจุ ส่งผลให้การต้านทานการไหลเพิ่มสูงขึ้น

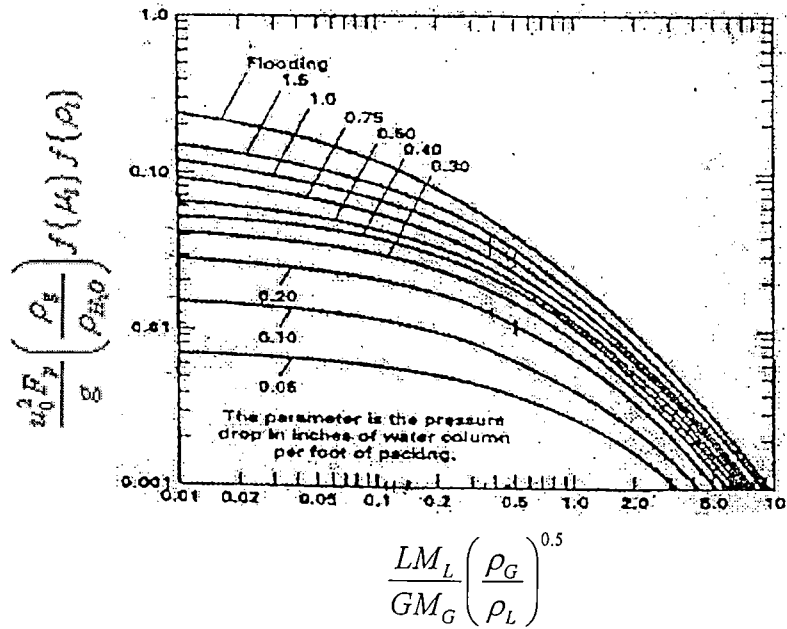
$$\text{ซึ่งความสัมพันธ์เชิงกราฟระหว่าง } \frac{U_i^2 a_p \rho_g (\mu_l)^{0.2}}{g_c^3 \rho_l (\mu_w)^{0.2}} = \frac{L'}{G'} \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_l}}$$

- เมื่อ U_i : ความเร็วของแก๊สที่คำนวณโดยพื้นที่หน้าตัดของเบด (หรือท่อ)
- a_p : พื้นที่ผิวของแพคกิ้งต่อหน่วยปริมาตรของเบด
- g_c : ความเร่งเนื่องจากความถ่วง
- L' : อัตราเชิงมวลของการไหลของของเหลว
- G' : อัตราเชิงมวลของการไหลของแก๊ส
- μ_l : ความหนืดของน้ำที่ 298K

ตัวแปรที่ห้อยท้าย g แทนแก๊สและ l แทนของเหลว



รูปที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์จุดท่วมของหอกลิ้นแบบเบดบรรจุ [6]



รูปที่ 2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความดันตก [5]

และวิธีการหา Specific liquid holdup

หาได้จากสมการ

$$h_L = \left[12 \left(\frac{N_{Fr,L}}{N_{Re,L}} \right) \right]^{\frac{1}{3}} \left(\frac{a_h}{a} \right)^{\frac{2}{3}} \tag{24}$$

เมื่อ $N_{Re,L}$: liquid Reynolds number $= \frac{u_L \rho_L}{\mu_L a}$

$N_{Fr,L}$: liquid Froude number $= \frac{u_L^2 a}{g}$

$\frac{a_h}{a}$: อัตราส่วนของ Specific hydraulic area of packing ต่อ Specific surface area of packing

โดยถ้า $N_{Re} < 5$ จะได้ $\frac{a_h}{a} = C_h N_{Re,L}^{0.15} N_{Fr,L}^{0.1}$

$N_{Re} > 5$ จะได้ $\frac{a_h}{a} = 0.85 C_h N_{Re,L}^{0.25} N_{Fr,L}^{0.1}$

เมื่อ a : specific surface area of packing

c_h, c_p, c_L, c_V : Characteristic of the particular type and size of packing

F_p : packing factor

ϵ : Fraction porosity

โดยค่าต่างๆ สามารถดูได้จากตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 Characteristic of packing [5]

Packing	material	Size	Characteristics from Billet						
			F_p (ft ² /ft ³)	a (m ² /m ³)	ε (m ² /m ³)	c_h	c_p	c_L	c_V
RANDOM PACKING									
Raching ring	Ceramic	15 mm.	380	312.0	0.690	0.648		1.276	0.40
Raching ring	ceramic	10 mm.	1000	440.0	0.650	0.791		1.303	0.27
Raching ring	metal	15 mm.	170	378.4	0.917	0.455			

2.3 ทฤษฎีพลังงานแสงอาทิตย์

แผงรวมรังสีมีอยู่หลายชนิดซึ่งหน้าที่หลัก คือ การเพิ่มสนามพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงและสะท้อนหรือหักเหรังสีไปยังส่วนรับพลังงาน อาทิ รูปทรงกระบอกผ่าครึ่ง จะสะท้อนรังสีเป็นลักษณะเส้นตรง อย่างไรก็ตามในหลักการและทฤษฎีพื้นฐานโดยรวมยังคงเป็นลักษณะเดียวกัน ดังจะแสดงต่อไปนี้

2.3.1 คุณสมบัติของผิวสะท้อน

อุปกรณ์รวมแสงอาทิตย์ (Concentrator) จะต้องใช้แผ่นสะท้อนที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (ρ) โดยตรงสูง มีความเรียบและมัน ซึ่งในงานวิจัยได้เลือกเหล็กไร้สนิม เนื่องจากคงทนต่ออุณหภูมิอากาศ ไม่ต้องขัดเงาบ่อย สามารถทำให้ผิวโค้งได้ง่าย ราคาค่อนข้างแพง ขึ้นกับความหนาของแผ่น

2.3.2 อัตราส่วนพื้นที่การรวมรังสี

C คือ อัตราส่วนพื้นที่ของช่องรับแสง A_C ต่อพื้นที่ของตัวรับแสง A_A [4]

$$C = \frac{A_C}{A_A} = \frac{WL}{\pi DL} \quad (25)$$

สมการนี้ใช้ได้เฉพาะแผงรวมรังสีแบบสามมิติ อาทิ แบบจานกลม หรือแผงรวมรังสีแบบสองมิติ อาทิ แผงรวมรังสีทรงกระบอก

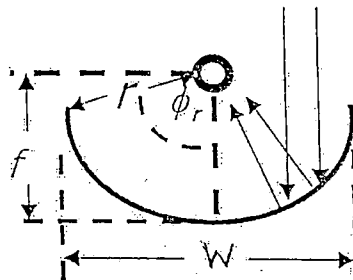
ค่าความสามารถในการดูดกลืนรังสี (Absorbance, α) และค่าความสามารถในการส่งผ่านรังสี (Transmittance, τ) การเลือกวัสดุจะต้องเป็นวัสดุที่มีค่าการดูดกลืนรังสีความร้อนออกจากดวงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุด และมีการสูญเสียพลังงานจากการแผ่รังสีความร้อนออกน้อยที่สุด สำหรับระยะโฟกัสสั้น สามารถป้องกันการสูญเสียความร้อนได้บ้างเพราะระยะโฟกัสอยู่ต่ำแต่การสร้างผิวโค้งทำได้ยากเนื่องจากมีความโค้งมาก สำหรับระยะโฟกัสยาว การสูญเสียความร้อนจะมากเนื่องจากระยะโฟกัสอยู่สูง แต่การสร้างผิวโค้งสะท้อนทำได้ง่ายเพราะความโค้งน้อย

2.3.3 ประสิทธิภาพเชิงแสง (Optical Efficiency, η_0)

ความสามารถในการสะท้อนแสงและรวมแสงหรือที่เรียกว่าประสิทธิภาพเชิงแสง ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ค่ามุมตกกระทบ ค่าอินเทอร์แฟคเตอร์ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง ค่าแฟคเตอร์เลขาคณิต ค่าการส่งผ่านและดูดกลืนรังสี มีความสัมพันธ์ดังนี้ [4]

$$\eta_0 = \rho\gamma\tau\alpha \left[(1 - A_f \tan \theta) \cos \theta \right] \quad (26)$$

2.3.4 การคำนวณหาขนาดของแผง [3]



รูปที่ 2.6 ระยะต่างของแผงแบบรางรวมแสงพาราโบลิก

$$r = \frac{W}{2 \sin \phi_r} \quad (27)$$

$$f = \frac{W}{4 \tan \left(\frac{\phi_r}{2} \right)} \quad (28)$$

2.3.5 การหาสัมประสิทธิ์การแผ่ความร้อนระหว่างผิวของตัวดูดกลืน (Absorber) กับบรรยากาศ

$$h_r = 4\sigma\epsilon_A \left(\frac{T_r + T_a}{2} \right) \quad (29)$$

2.3.6 การคำนวณพลังงานความร้อนที่ตัวรับพลังงาน

$$U_L = \left[\frac{1}{h_w + h_r} \right]^{-1} \quad (30)$$

$$Q_u = A_c \left[I\eta_0 - \left(\frac{U_L}{c} \right) (T_r - T_a) \right] \quad (31)$$

3. แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรวมแสงด้วยแผงพาราโบลิก

3.1 การออกแบบแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรวมแสงด้วยแผงพาราโบลิก [2]

สำหรับแผงรวมแสงพื้นที่ $A_c = 1 \text{ m}^2$ โดยให้ความกว้าง 1 m , มุมตกกระทบ $= 0^\circ$, $T_r = 70^\circ \text{ C}$, $D_o = 0.0127 \text{ m}$, $D_i = 0.0107 \text{ m}$

สามารถนำค่าที่ได้นี้มาคำนวณในส่วนของแผงรับแสงอาทิตย์แบบรวมรังสีพาราโบลิกได้ ดังนี้

เนื่องจากถือว่ารังสีที่ได้รับนั้นทำมุมตกกระทบ 0° ผลคือ

- หาค่าประสิทธิภาพเชิงแสง

$$\eta_0 = \rho\gamma\tau\alpha \left[(1 - A_f \tan \theta) \cos \theta \right]$$

$$\eta_0 = 0.85(0.85)(0.40)$$

- หาค่าอัตราส่วนพื้นที่การรวมรังสี

$$c = \left(\frac{A_c}{A_r} \right) = \left(\frac{WL}{\pi DL} \right)$$

$$= \frac{1}{3.14(0.0127)}$$

$$= 25.1$$

หากสมมติให้วัสดุมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับวัสดุค่าจะได้ $\varepsilon_A = 1$

- หาสัมประสิทธิ์การแผ่ความร้อนระหว่างผิวของตัวดูดกลืนกับบรรยากาศ

$$h = 4\sigma\varepsilon_A \left(\frac{T_r + T_a}{2} \right)^3$$

$$= 4(5.67 \times 10^{-8})(1) \left(\frac{343 + 298}{2} \right)^3$$

$$= 7.47 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

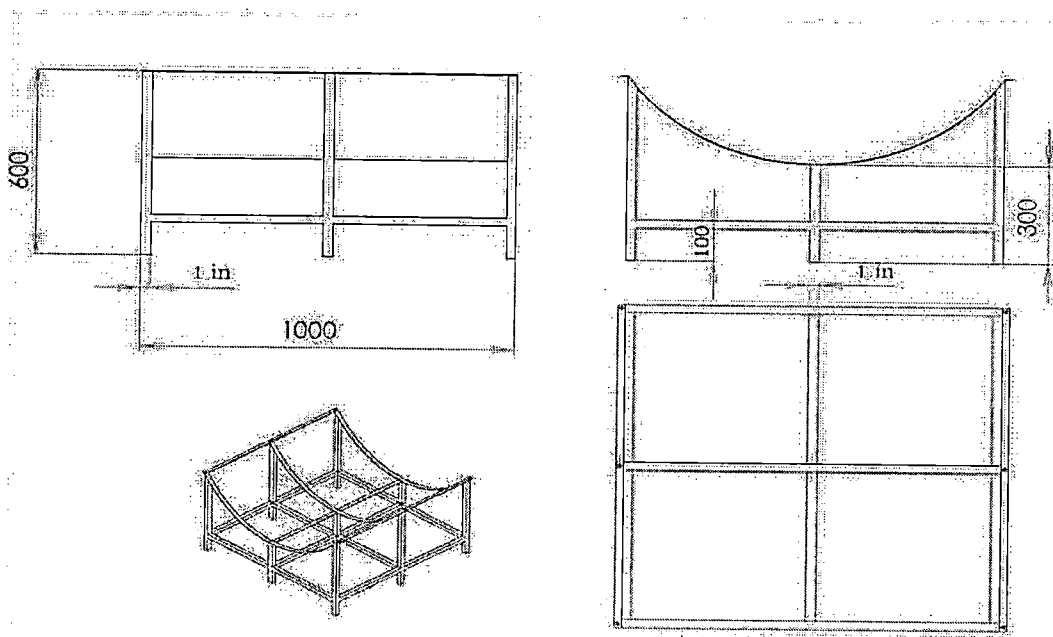
- การคำนวณพลังงานความร้อนที่ตัวรับพลังงาน

$$\begin{aligned}
 U_L &= \left[\frac{1}{h_w + h_r} \right]^{-1} \\
 &= \left[\frac{1}{0 + 7.47} \right]^{-1} \\
 &= 7.47 \frac{W}{mK}
 \end{aligned}$$

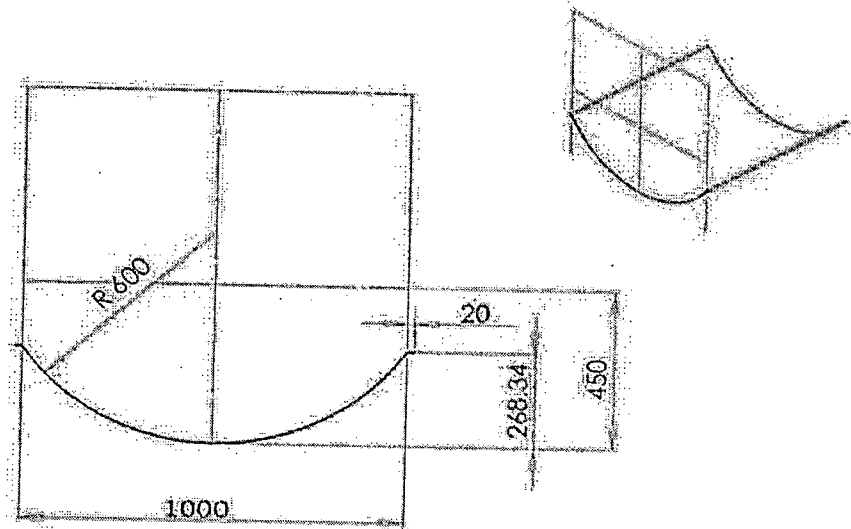
$$Q_u = A_c \left[I\tau_0 - \left(\frac{U_L}{c} \right) (T_r - T_a) \right]$$

$$Q_u = 1 \left[1800(0.289) - \left(\frac{7.47}{25.1} \right) (343 - 298) \right]$$

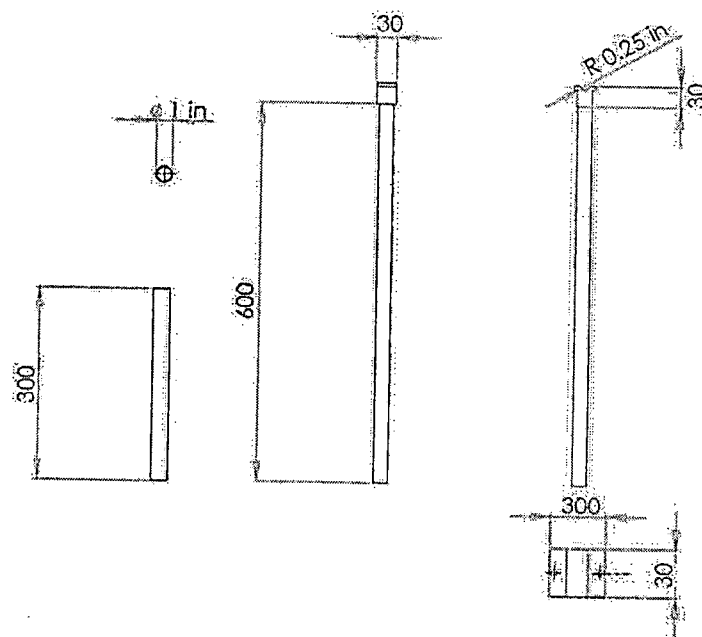
$$Q_u = 506.81J$$



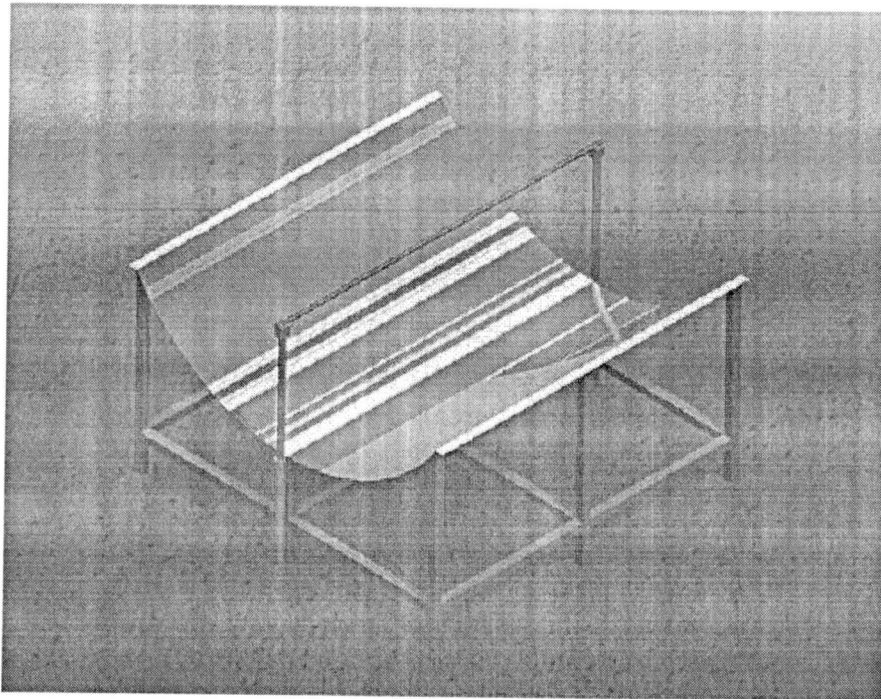
(ก)



(๗)



(๘)



(ง)

รูปที่ 3.1 องค์ประกอบของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ (ก) ส่วนฐานที่รองรับแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ (ข) ส่วนของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ (ค) ส่วนท่อที่รองท่อทองแดง (ง) ลักษณะของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ออกแบบ

4. ผลการทดลอง

4.1 วิธีการทดลอง

4.1.1 การหาตำแหน่งของหลอดไฟที่ทำให้ท่อร้อนที่สุด

ตอนที่ 1 หาระยะห่างของแถวหลอดไฟที่ทำให้ท่อร้อนที่สุด

- กำหนดระยะความสูงจากท่อที่กำหนดไว้ให้คงที่ตลอดการทดลอง
- นำเทอร์โมมิเตอร์ไปห้อยไว้ที่บริเวณท่อ 3 ส่วน คือ ต้นท่อ กลางท่อ และปลายท่อ ซึ่งอยู่ตรงกลางของแผง
- ปรับระยะห่างของหลอดไฟที่ตำแหน่งต่างๆ 5 จุด คือ 12, 33, 53, 73 และ 93 เซนติเมตร

- จากนั้นจับเวลาที่ 5 นาทีแล้วอ่านค่าอุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์และบันทึกข้อมูล

ตอนที่ 2 หาความสูงของหลอดไฟที่ทำให้ท่อร้อนที่สุด

- จากตอนที่ 1 จะได้ระยะห่างของหลอดไฟที่ทำให้ท่อร้อนที่สุด ซึ่งจะนำมาใช้ในตอนที่ 2
- แขนงเทอร์โมมิเตอร์ไว้ที่ตรงกลางแผงที่ระยะคั่นท่อ กลางท่อ และปลายท่อ
- ปรับระยะความสูงของหลอด 4 ค่า ที่ 41, 51, 61 และ 71 เซนติเมตร
- จากนั้นจับเวลาที่ 5 นาทีแล้วอ่านค่าอุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์และบันทึกข้อมูล

4.1.2 ขนาดของท่อที่ทำให้ของผสมร้อนที่สุด

ตอนที่ 1 หาเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อที่ทำให้ของผสมในท่อร้อนที่สุด

- กำหนดอัตราการไหลของสารป้อนไว้คงที่ที่ 1 ลิตรต่อชั่วโมง โดยใช้ความยาวท่อ 1 เมตร
- วัดผลต่างของอุณหภูมิของของผสมขาออกโดยใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/8 และ 1/4 นิ้ว

ตอนที่ 2 หาความยาวท่อที่ทำให้ของผสมในท่อร้อนที่สุด

- กำหนดอัตราการไหลของสารป้อนไว้คงที่ที่ 1 ลิตรต่อชั่วโมง โดยใช้เส้นผ่าศูนย์กลางท่อขนาด 1/4 นิ้ว
- วัดผลต่างของอุณหภูมิของของผสมขาออกโดยใช้ท่อที่มีความยาว 1, 2, 4 และ 8 เมตร

4.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและอุณหภูมิของของผสมขาออก

- กำหนดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อขนาด 1/4 นิ้ว และยาว 8 เมตร
- เปลี่ยนอัตราการไหลที่ 1, 1.4 และ 1.5 ลิตรต่อชั่วโมง และวัดผลต่างของอุณหภูมิของของผสมขาออก

4.1.4 การกลั่นเมทานอลในหอกลั่นแบบเบดบรรจุ

- กำหนดอัตราการไหลที่ 1 ลิตรต่อชั่วโมง
- ทำการกลั่นโดยใช้อัตราการป้อนกลับที่ 0.5 และ 1 ตามลำดับ วิเคราะห์ความเข้มข้นของเมทานอลที่กลั่นได้

4.1.5 ประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรวมแสงพาราโบลิก

- กำหนดพลังงานที่ได้รับจากแผงรับแสง
- หาประสิทธิภาพของการเปลี่ยนพลังงานแสงไปเป็นพลังงานความร้อน

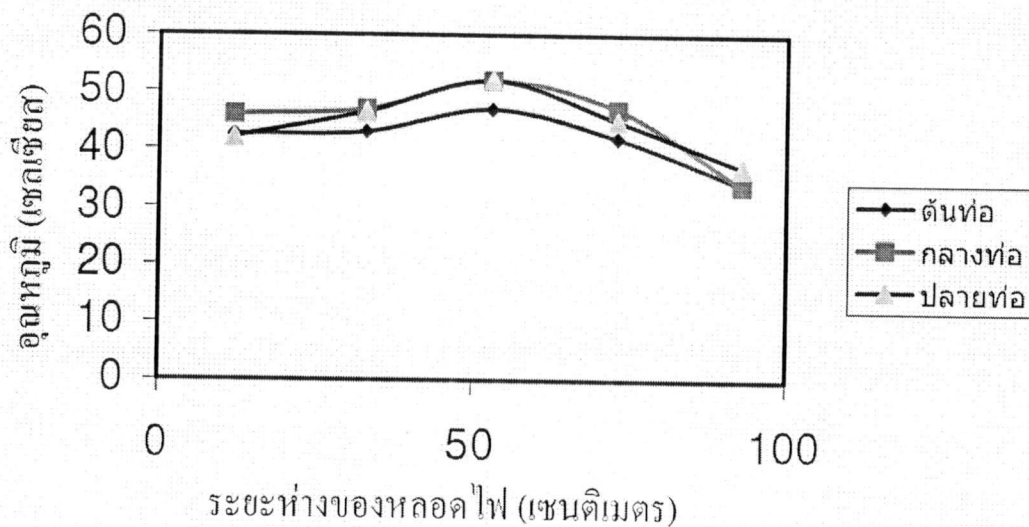
4.2 ผลการทดลอง

4.2.1 การหาตำแหน่งของหลอดไฟที่ทำให้ท่อร้อนที่สุด

ตารางที่ 4.1 ผลของระยะห่างของแถวหลอดไฟต่ออุณหภูมิของของผสมขาออก
(ที่ระยะความสูง 51 เซนติเมตร)

ระยะห่างหลอดไฟ 2 แถว (เซนติเมตร)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)		
	ต้นท่อ	กลางท่อ	ปลายท่อ
12	42.5	46	42
33	43	47	46.5
53	47	52	52
73	42	47	45
93	34	34	37

หมายเหตุ : แถวที่แรงงคือระยะห่างที่เลือกเพื่อใช้ในการกลั่นเมทานอล



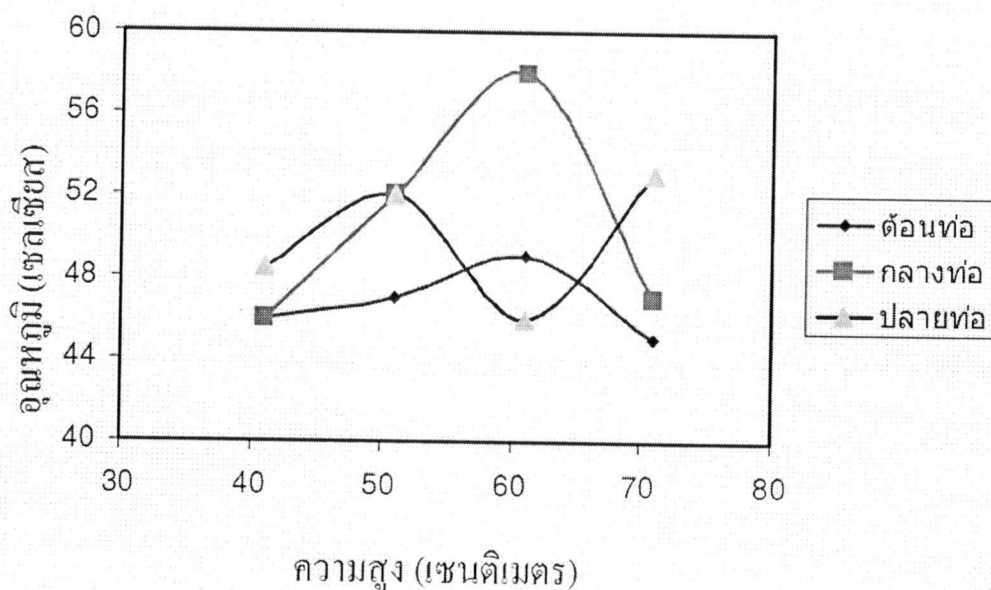
รูปที่ 4.1 ผลของระยะห่างของหลอดไฟต่ออุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์

ตารางที่ 4.2 ความสูงของหลอดไฟจากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทำให้ท่อร้อนที่สุด
(ที่ระยะห่างของแถวหลอดไฟ 53 เซนติเมตร)

ความสูงของหลอดไฟ (เซนติเมตร)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)		
	ต้นท่อ	กลางท่อ	ปลายท่อ
41	46	46	48.5

51	47	52	52
61	49	58	46
71	45	47	53

หมายเหตุ: แถวที่แรงก็คือความสูงของหลอดไฟที่เลือก เพื่อใช้ในการกลั่นเมทานอล



รูปที่ 4.2 ผลของความสูงต่ออุณหภูมิที่ได้จากเทอร์โมมิเตอร์

จากผลการทดลองตอนที่ 4.1 และตอนที่ 4.2 จะเห็นว่าตำแหน่งที่ทำให้อุณหภูมิที่ท่อสูงที่สุดหรือจุดไฟก๊สของแผง อยู่ที่ตำแหน่งที่มีระยะห่างของหลอดไฟเท่ากับ 53 เซนติเมตรและมีความสูงจากแผง 61 เซนติเมตร

4.2.2 ขนาดของท่อที่ทำให้ของผสมร้อนที่สุด

ตอนที่ 1 เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของท่อที่ทำให้ของผสมร้อนที่สุด

ตารางที่ 4.3 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อที่ทำให้ของผสมในท่อร้อนที่สุด

เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (นิ้ว)	อุณหภูมิขาเข้า (เซลเซียส)	อุณหภูมิขาออก (เซลเซียส)	ผลต่างอุณหภูมิ (เซลเซียส)
3/8	32	47	15
1/4	30	48	18

ตอนที่ 2 ความยาวท่อที่ทำให้ของผสมร้อนที่สุด

ตารางที่ 4.4 ความยาวท่อที่ทำให้ของผสมในท่อร้อนที่สุด

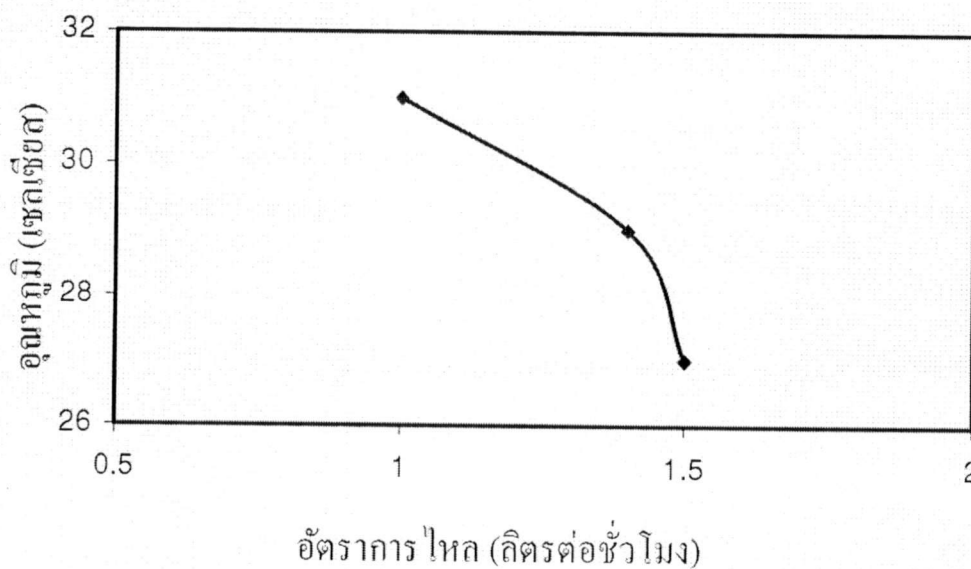
ความยาวของท่อ (เมตร)	อุณหภูมิขาเข้า (เซลเซียส)	อุณหภูมิขาออก (เซลเซียส)	ผลต่างอุณหภูมิ (เซลเซียส)
1	30	48	18
2	30	53	23
4	28	56	28
8	29	60	31

4.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและอุณหภูมิของของผสมขาออก

ตารางที่ 4.5 อัตราการไหลของสายป้อนที่ทำให้ของผสมขาออกมีอุณหภูมิสูงสุด

อัตราการไหล (ลิตร ต่อชั่วโมง)	อุณหภูมิขาเข้า (เซลเซียส)	อุณหภูมิขาออก (เซลเซียส)	ผลต่างอุณหภูมิ (เซลเซียส)
1.0	31	62	31
1.4	29	58	29
1.5	30	57	27

หมายเหตุ: แถวที่แรเงาคือค่าที่เลือก เพื่อใช้ในการกลั่นเมทานอล



รูปที่ 4.3 ผลของอัตราการใช้ของสายป้อนต่ออุณหภูมิขาออก

จากผลการทดลองพบว่าอัตราการใช้ของสายป้อนที่ทำให้อุณหภูมิขาออกสูงที่สุด คือ 1 ลิตรต่อชั่วโมง

4.2.4 การกลั่นเมทานอลในหอกลั่นแบบเบดบรรจุ

ตารางที่ 4.6 ความเข้มข้นของเมทานอลที่กลั่นได้

อัตราการใช้ (ลิตร/ชม.)	ความเข้มข้นของสารป้อน (%v)	อัตราป้อนกลับ (Reflux Ratio)	%ความเข้มข้นที่ได้จากการใช้แผงแสงอาทิตย์	%ความเข้มข้นที่ได้จากการใช้หม้อต้ม
1	40	0.5	99.40	98.93
1	40	1	99.55	98.90
1	80	0.5	99.50	98.96
1	80	1	99.70	99.02

4.2.5 ประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรวมแสงพาราโบลิก

ประสิทธิภาพของแผงรับแสงคำนวณได้จาก

$$= \left(\frac{Q_{actual}}{Q_{theory}} \right) \times 100\%$$

$$= \left(\frac{30W}{506.91W} \right) \times 100\%$$

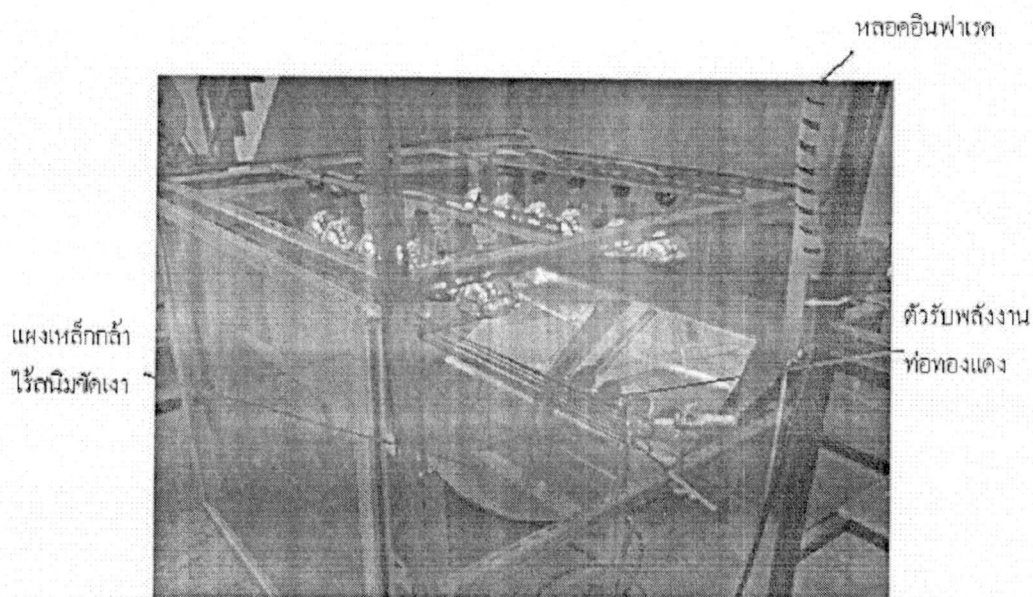
$$= 6\%$$

พลังงานที่มีการถ่ายเทไปยังของผสม คำนวณได้จาก

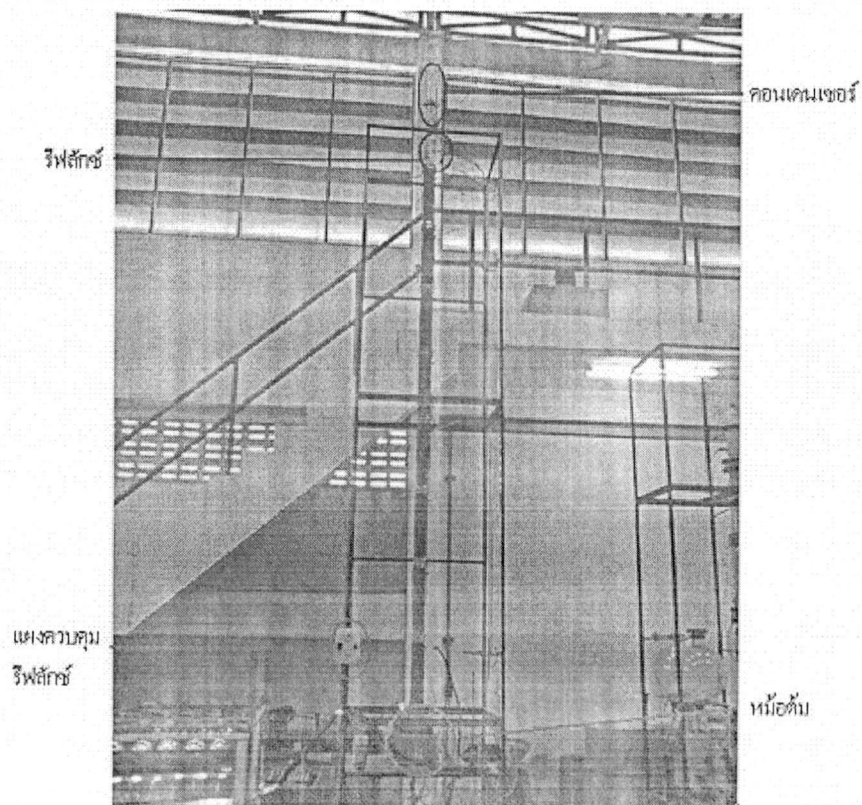
$$Q = mc_p \Delta T$$

$$Q = \left(8.6 \times 10^{-3} \frac{gmol}{s} \right) \left(112.53 \frac{J}{gmol \cdot K} \right) (31K)$$

$$Q = 30W$$



รูปที่ 4.4 แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรวมแสงพาราโบลาที่สร้างขึ้น



รูปที่ 4.5 หอคอยแบบเบดบรจู่ที่ใช้ในการกลั่นแยกเมทานอล

5. สรุปผลการทดลอง

5.1 ความสัมพันธ์ของพลังงานที่ได้รับจากแผงและพลังงานที่ตกกระทบแผง

5.1.1 ประสิทธิภาพรวมของระบบ มีได้ขึ้นกับอัตราการไหลของสายป้อนเพียงอย่างเดียว แต่จะอยู่ภายใต้อิทธิพลของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน และค่าผลต่างอุณหภูมิของเมทานอล ดังนั้นประสิทธิภาพรวมของระบบจึงต้องพิจารณาค่าตัวแปรหลักร่วมกันระหว่างอุณหภูมิและอัตราการไหลของเมทานอล ซึ่งจากการทดลองพบว่าอัตราการไหลของเมทานอลที่เหมาะสมเท่ากับ 1 ลิตร/ชั่วโมงและมีผลต่างอุณหภูมิเมทานอลเท่ากับ 31 องศาเซลเซียส

5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวท่อกับอุณหภูมิ

5.2.1 ความยาวท่อแปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิของของผสมที่ออกจากท่อ ยิ่งท่อเนื่องจากระยะเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับผนังท่อทองแดงสูงขึ้น

5.2.2 เมื่อเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อมีขนาดเล็กลง ของผสมขาออกจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น

5.3 อุณหภูมิของสารป้อนที่เข้าสู่หอกลับแปรผัน โดยตรงกับความเข้มข้นของเมทานอลที่กลั่นได้ และอัตราป้อนกลับที่สูงกว่าจะทำให้เมทานอลที่กลั่นได้บริสุทธิ์มากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

จากการสังเกตขณะทำการทดลองพบสิ่งที่ควรปรับปรุงกับแผงสะท้อนและท่อรับแสง ดังนี้

1. ท่อรวมรังสีที่ทำจากท่อทองแดงสีดำที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4.5 มิลลิเมตร มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 83 W/(m K) หากเปลี่ยนเป็นท่ออะลูมิเนียม ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 171 W/(m K) และเพิ่มความยาวท่อ จะช่วยเพิ่มอุณหภูมิของของผสมขาออก
2. ควรใช้เมทานอลที่มีความเข้มข้นสาร ไม่เกินสารป้อนใส่ไปในหม้อต้มเพื่อให้ถึงสภาวะคงตัว (steady state) ได้เร็วขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

1. Kalogirou, S., Lloyd and Ward, J. "Modeling, Optimisation and Performance Evaluation of A Parabolic Trough Solar Collector Stream Generation System" Solar. (1997)
2. มนูญ พิฐวรณ,ชนาคม สุนทรชัยนาคแสง และสมบัติ ทีฆทรัพย์, "การออกแบบและทดสอบแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรวมแสงด้วยแผงพาราโบลิก" วิทยานิพนธ์บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,พ.ศ.2543

3. อติศักดิ์ แก้วประเสริฐ, “การจำลองแบบทางคณิตศาสตร์ของระบบรวมแสงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิก” วิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, พ.ศ. 2546
4. Duffie, J. A. and Beckman, W. A. “Solar Energy Thermal Process” Wiley, New York, 1974
5. Seader, J. D. and E. J. Henry “Separation Process Principle” New York: John Wiley & Sons, Inc 1998
6. Perry, R. H., D. W. Green, and J. O. Maloney “Perry’s Chemical Engineers Handbook 6th ED.” New York: McGraw-Hill, 1984
7. Chistie J. Geankoplis. “Transport Process and Unit Operation of Chemical Engineering” International Edition 3rd, Singapore: Prentice Hall, 1995
8. นันทวุธ พัฒนาและวรพงษ์ สีหาอินทร์ “สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลในหอกลับแบบบรรจุด้วยขดลวดสแตนเลส” วิทยานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พ.ศ. 2547
9. McCabe, W. L., J. C. Smith and P. Harriott “Unit Operation of Chemical Engineering” International Edition. 6th ED., Singapore: McGraw-Hill. 2001