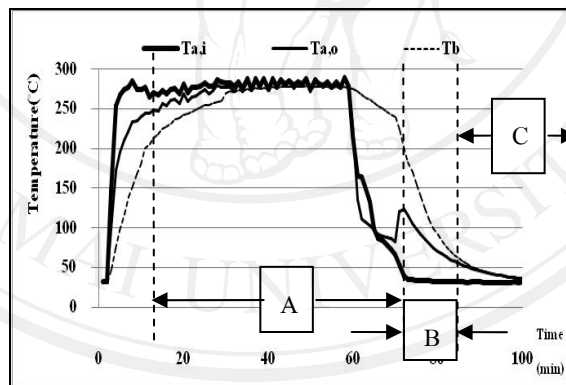


บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดสอบ

4.1 สมรรถนะของระบบเก็บสะสมพลังงานความร้อน

ปัจจัยที่ส่งผลต่อสมรรถนะของระบบเก็บสะสมพลังงานความร้อน คือ ความหนาของชั้นสะสมความร้อน ขนาดของวัสดุสะสมความร้อน อุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อน และอัตราการไหลของแหล่งจ่ายความร้อน ทั้งนี้ จากรูปที่ 4.1 มีการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่เข้า และออกชั้นสะสมความร้อน อุณหภูมิชั้นสะสมความร้อน ที่เวลาต่างๆ โดยในช่วงที่หนึ่ง มีการประจุความร้อนเข้าสู่ชั้นสะสมความร้อน (A) ในช่วงที่สอง มีการระบายความร้อนสะสมของอุโมงค์ลมด้วยน้ำจนกระทั่งมีอุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเพื่อเตรียมเข้าสู่การทดลองขั้นต่อไป (B) และในช่วงสุดท้าย มีการคายความร้อนให้กับอากาศ (C) ดังแสดงในหัวข้อที่ 4.1.1 -4.1.4 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างกราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศและชั้นสะสมความร้อน

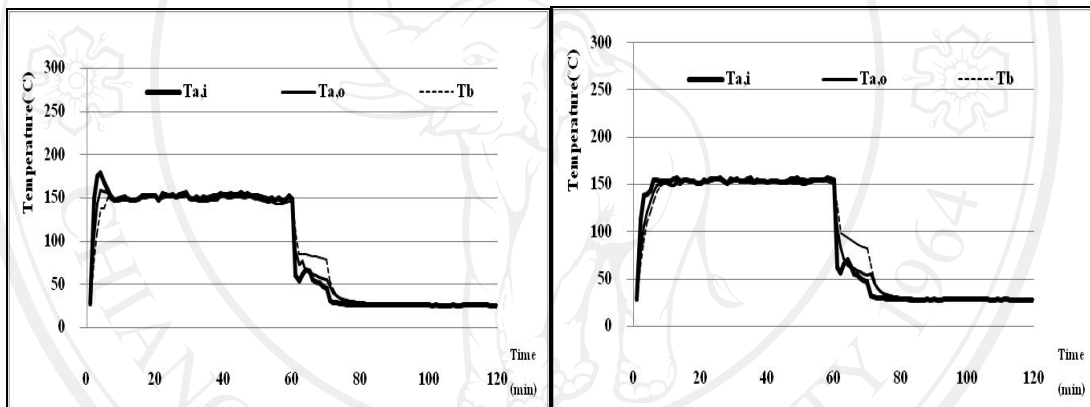
4.1.1 อิทธิพลของความหนาของชั้นสะสมความร้อน

ผลของความหนาชั้นสะสมความร้อนแสดงดังรูปที่ 4.2 (a-b) ในกรณีของหินภูเขาไฟ และรูปที่ 4.2 (c-d) ในกรณีของลูกบดเซรามิก

จากรูปที่ 4.2 (a-b) ในกรณีหินภูเขาไฟ จะเห็นได้ว่า ในขณะที่มีการประจุความร้อน อุณหภูมิของอากาศที่เข้าและออกชั้นสะสมความร้อนรวมถึงอุณหภูมิของหินภูเขาไฟนั้นไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากหินภูเขาไฟ มีค่าความจุความร้อนจำเพาะต่ำ และมีความเป็นรูพรุนสูง ทำให้มีพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูง ทำให้หินภูเขาไฟมีอุณหภูมิในขณะที่แลกเปลี่ยนความร้อน

ใกล้เคียงกับของอากาศร้อนที่เข้าและออกจากชั้นสะสมความร้อน เช่นเดียวกันในขณะที่มีการคายความร้อนมาใช้ประโยชน์ อุณหภูมิของหินภูเขาไฟจะลดลงอย่างรวดเร็ว และ เมื่อความหนาชั้นสะสมความร้อนเพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้ประจุความร้อน และเวลาที่ใช้ถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากค่าความจุความร้อนรวมเพิ่มขึ้นตามปริมาณของตัวสะสมพลังงาน

ในกรณีลูกบดเซรามิก ดังรูปที่ 4.2 (c-d) เนื่องจากมีค่าความจุความร้อนจำเพาะที่สูงกว่า ทำให้ใช้เวลาในการประจุความร้อนนานกว่าหินภูเขาไฟ และขณะเดียวกันในช่วงที่มีการคายความร้อน อุณหภูมิของลูกบดเซรามิกเองก็ลดลงช้ากว่าหินภูเขาไฟด้วย จากรูปจะเห็นได้ว่า เมื่อความหนาของชั้นสะสมความร้อนเพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้ในการประจุความร้อนจนกระทั่งอุณหภูมิของวัสดุสะสมความร้อนมีค่าเข้าสู่อุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อน ก็จะใช้เวลาเพิ่มขึ้น อีกทั้งระยะ เวลาที่สามารถดึงความร้อนออกมาใช้ประโยชน์ ก็จะนานขึ้นด้วยเช่นกัน



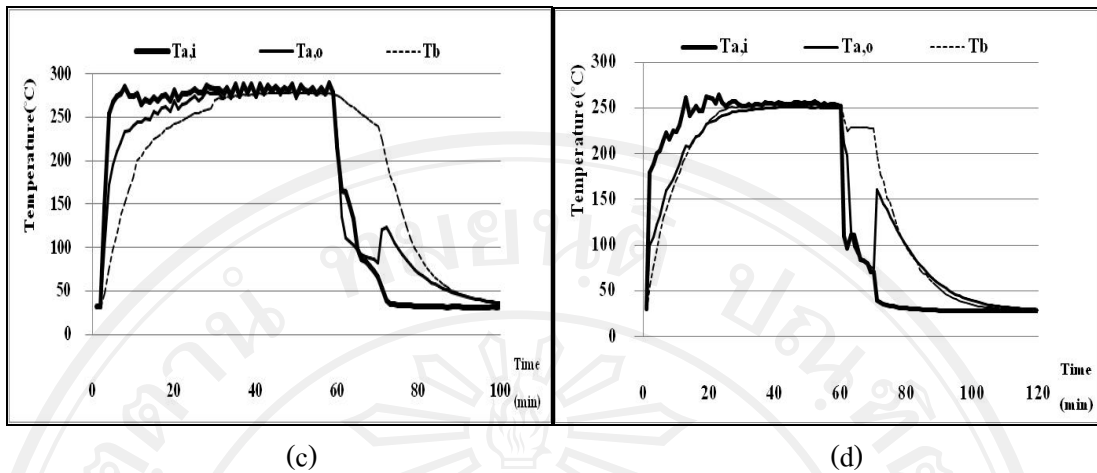
(a)

(b)

เงื่อนไข : (a) หินภูเขาไฟ, $\phi = 0.02$ m, $\dot{m} = 0.3$ kg/s, $T_{ai} = 150^\circ\text{C}$, $\Delta x = 0.10$ m

: (b) หินภูเขาไฟ, $\phi = 0.02$ m, $\dot{m} = 0.3$ kg/s, $T_{ai} = 150^\circ\text{C}$, $\Delta x = 0.15$ m

รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบในเชิงอิทธิพลของความหนาของชั้นสะสมความร้อน



เงื่อนไข : 4.2 (c) ลูกบดเซรามิก, $\phi = 0.03$ m, $\dot{m} = 0.3$ kg/s, $T_{ai} = 250^\circ\text{C}$, $\Delta x = 0.06$ m

: 4.2 (d) ลูกบดเซรามิก, $\phi = 0.03$ m, $\dot{m} = 0.3$ kg/s, $T_{ai} = 250^\circ\text{C}$, $\Delta x = 0.15$ m

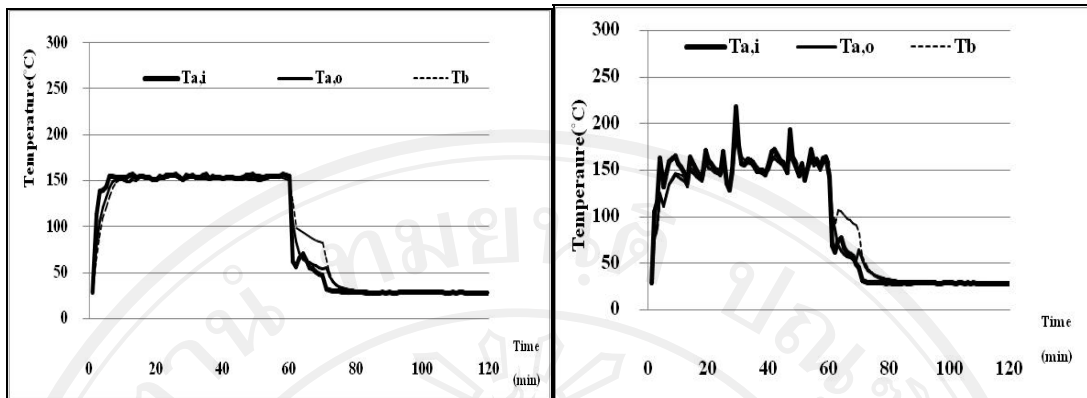
รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบในเชิงอิทธิพลของความหนาของชั้นสะสมความร้อน (ต่อ)

4.1.2 อิทธิพลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุสะสมความร้อน

ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุเก็บสะสมความร้อนที่บรรจุในชั้นสะสมความร้อนต่อการประจุและคายความร้อน แสดงดังรูปที่ 4.3 (a-b) ในกรณีของหินภูเขาไฟ และรูปที่ 4.3 (c-d) ในกรณีของลูกบดเซรามิก

ในกรณีหินภูเขาไฟดังรูปที่ 4.3 (a-b) เนื่องจากวัสดุ มีความเป็นรูพรุนสูง และมีค่าความจุความร้อนจำเพาะต่ำ ดังนั้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหินภูเขาไฟที่มีความแตกต่างกัน ไม่ส่งผลมากนักในด้านสมรรถนะในการถ่ายเทความร้อนในช่วงที่มีการประจุและคายความร้อน

สำหรับลูกบดเซรามิก ดังรูปที่ 4.3 (c-d) ในช่วงที่มีการประจุความร้อน ชั้นสะสมความร้อนที่มีลูกบดเซรามิกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่จะใช้เวลาในการประจุความร้อนนานกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก และในช่วงที่มีการคายความร้อน อุณหภูมิของชั้นสะสมความร้อนที่มีลูกบดเซรามิกขนาดใหญ่จะลดลงช้ากว่า เมื่อเทียบกับลูกบดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า

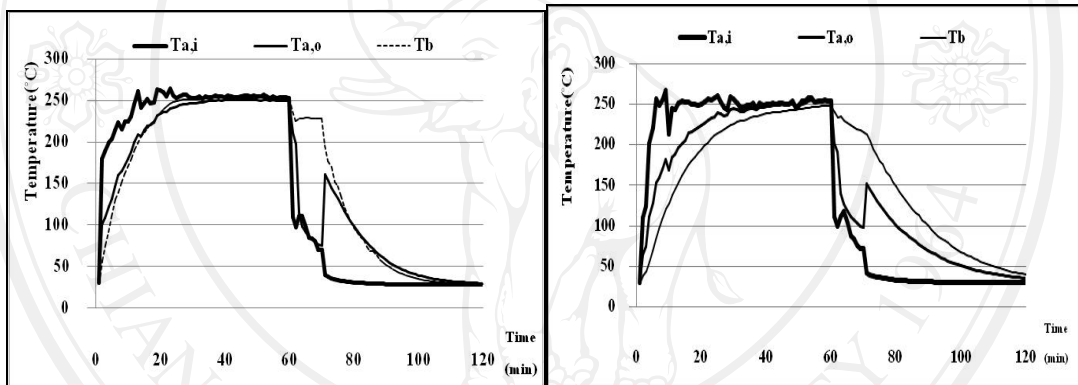


(a)

(b)

เงื่อนไข : (a) หินภูเขาไฟ, $\Delta x = 0.15$ m, $\dot{m} = 0.3$ kg/s, $T_{ai} = 150^\circ\text{C}$, $\varnothing = 0.02$ m

: (b) หินภูเขาไฟ, $\Delta x = 0.15$ m, $\dot{m} = 0.3$ kg/s, $T_{ai} = 150^\circ\text{C}$, $\varnothing = 0.04$ m



(c)

(d)

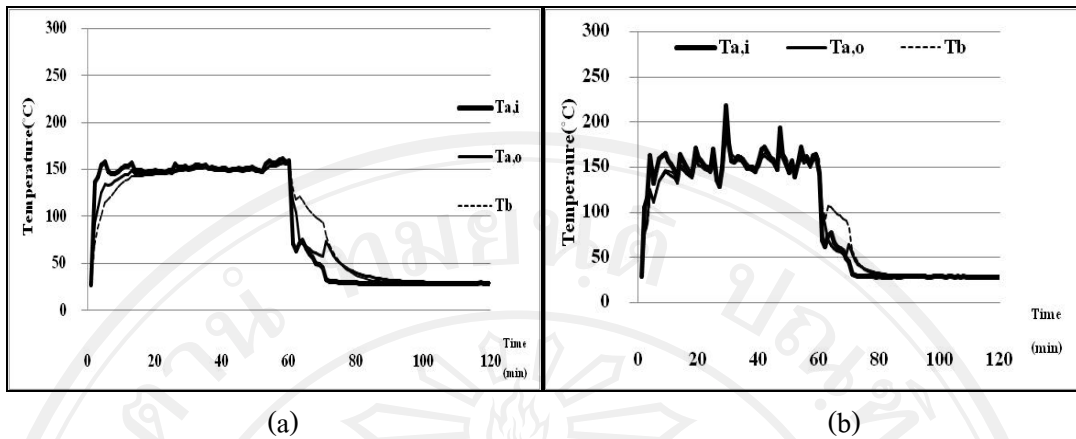
เงื่อนไข : (c) ลูกบดเซรามิก, $\Delta x = 0.15$ m, $\dot{m} = 0.15$ kg/s, $T_{ai} = 250^\circ\text{C}$, $\varnothing = 0.03$ m

: (d) ลูกบดเซรามิก, $\Delta x = 0.15$ m, $\dot{m} = 0.15$ kg/s, $T_{ai} = 250^\circ\text{C}$, $\varnothing = 0.04$ m

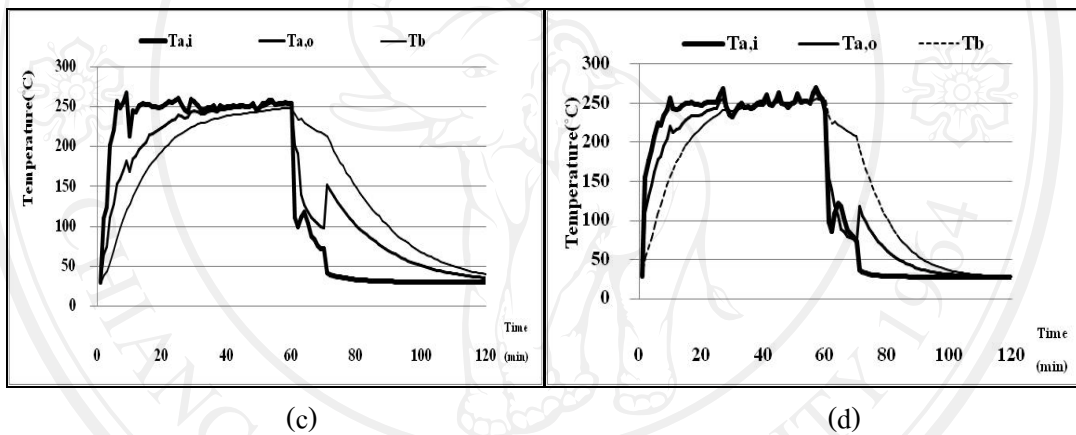
รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบในเชิงอิทธิพลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุสะสมความร้อน

4.1.3 อิทธิพลของอัตราการไหลเชิงมวลของแหล่งจ่ายความร้อน

ผลของอัตราการไหลเชิงมวลของแหล่งจ่ายความร้อนที่มีต่อการประจุความร้อนและการคายความร้อนของหินภูเขาไฟและลูกบดเซรามิกโดยแสดงดังรูปที่ 4.4 (a-d) ตามลำดับ พบว่าเมื่ออัตราการไหลเชิงมวลของอากาศเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อน ระหว่างอากาศและชั้นสะสมความร้อน ทำได้ดีขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากอุณหภูมิของชั้นสะสมความร้อนที่สามารถเพิ่มขึ้นได้อย่างรวดเร็วขึ้น ในช่วงประจุความร้อน และลดลงอย่างรวดเร็วขึ้น ในช่วงที่มีการคายความร้อน โดยที่ใช้หินภูเขาไฟและลูกบดเซรามิกเป็นวัสดุสะสมความร้อนภายในชั้นสะสมความร้อนจะให้ผลในลักษณะที่คล้ายคลึงกัน



เงื่อนไข : (a) หินภูเขาไฟ, $\Delta x = 0.15$ m, $\varnothing = 0.04$ m, $T_{ai} = 150^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 0.15$ kg/s
 : (b) หินภูเขาไฟ, $\Delta x = 0.15$ m, $\varnothing = 0.04$ m, $T_{ai} = 150^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 0.30$ kg/s



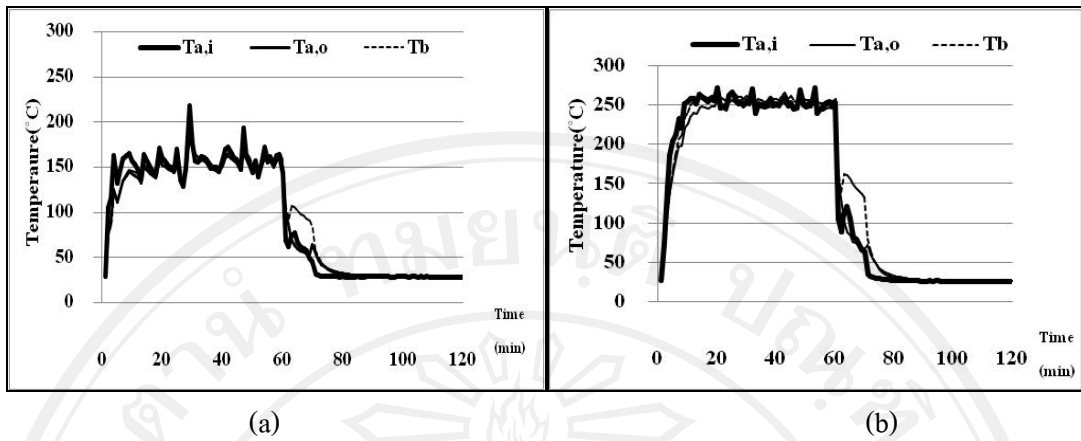
เงื่อนไข : (c) ลูกบดเซรามิก: $\Delta x = 0.15$ m, $\varnothing = 0.04$ m, $T_{ai} = 250^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 0.15$ kg/s
 : (d) ลูกบดเซรามิก: $\Delta x = 0.15$ m, $\varnothing = 0.04$ m, $T_{ai} = 250^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 0.30$ kg/s

รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบในเชิงอิทธิพลของอัตราการไหลเชิงมวลของแหล่งจ่ายความร้อน

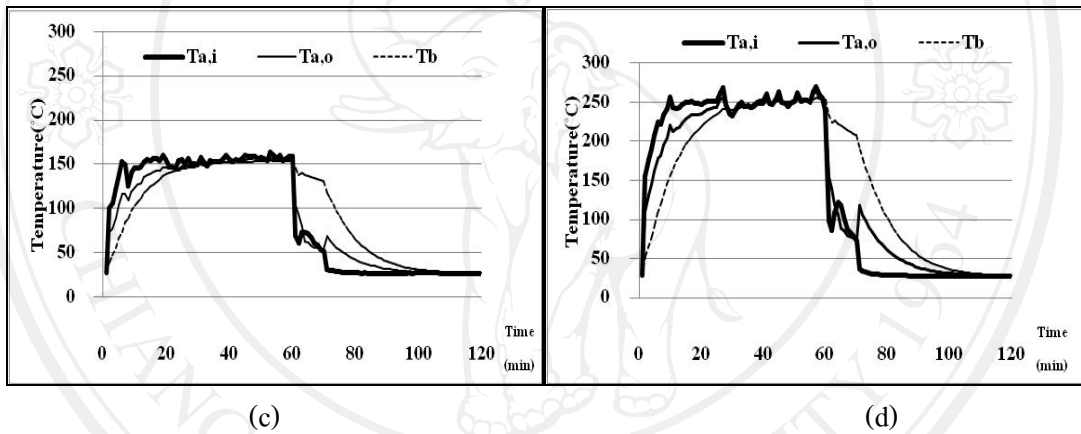
4.1.4 อิทธิพลของอุณหภูมิของแหล่งจ่ายความร้อน

ผลของอุณหภูมิอากาศด้านเข้าชั้นสะสมความร้อนที่มีต่อการประจุความร้อนและการคายความร้อนของหินภูเขาไฟและลูกบดเซรามิกแสดงดังรูปที่ 4.5 (a-d) ตามลำดับในกรณีของอุณหภูมิอากาศด้านเข้าชั้นสะสมความร้อนเท่ากับ 150°C และ 250°C ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.5 (a-d) จะเห็นได้ว่า ในช่วงที่มีการประจุความร้อน เมื่ออุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อนสูงขึ้น อัตราการเพิ่มอุณหภูมิของชั้นสะสมความร้อนและอุณหภูมิของอากาศก่อนและเข้าชั้นสะสมความร้อนจะสูงขึ้นตามค่าของอุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อน ซึ่งจะส่งผลในช่วงการคายความร้อน ซึ่งอุณหภูมิการทำงานจะสูงขึ้นด้วย



เงื่อนไข : (a) หินภูเขาไฟ, $\varnothing = 0.04\text{m}$, $\Delta x = 0.15\text{ m}$, $\dot{m} = 0.30\text{ kg/s}$, $T_{\text{ai}} = 150^\circ\text{C}$
 : (b) หินภูเขาไฟ, $\varnothing = 0.04\text{m}$, $\Delta x = 0.15\text{ m}$, $\dot{m} = 0.30\text{ kg/s}$, $T_{\text{ai}} = 250^\circ\text{C}$



เงื่อนไข : (c) ลูกบดเซรามิก, $\varnothing = 0.04\text{m}$, $\Delta x = 0.15\text{ m}$, $\dot{m} = 0.30\text{ kg/s}$, $T_{\text{ai}} = 150^\circ\text{C}$
 : (d) ลูกบดเซรามิก, $\varnothing = 0.04\text{m}$, $\Delta x = 0.15\text{ m}$, $\dot{m} = 0.30\text{ kg/s}$, $T_{\text{ai}} = 250^\circ\text{C}$

รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบในเชิงอิทธิพลของอุณหภูมิของแหล่งจ่ายความร้อน

4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและความดันอากาศตกคร่อมชั้นสะสมความร้อน

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร h_v , จะขึ้นกับอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ไหลผ่าน และมีรูปร่าง ตามสมการ (2.1) โดย $h_v = a \left(\frac{G}{D_b} \right)^b$ ซึ่งจะถูกนำไปแทนค่าในสมการ (2.2) ซึ่งอยู่ในรูป $T_{a,o} = T_{b,i} + (T_{a,i} - T_{b,i}) \cdot \exp \left(- \frac{h_v A_b \Delta x}{\dot{m}_a C_{p,a}} \right)$ เมื่อแทนค่าอุณหภูมิต่าง ๆ ที่วัดได้ จะมีการทดสอบ และเลือกค่า a และ b ที่เหมาะสมได้ ซึ่งผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.1

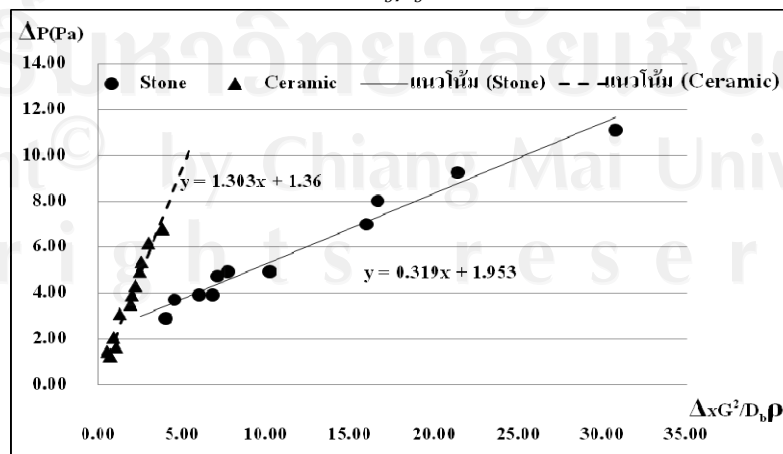
ตารางที่ 4.1 ค่าคงที่ a และ b สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร $h_v = a \left(\frac{G}{D_b} \right)^b$

Material	Diameter (m)	a _{new}	b _{new}
Pumice Stone	0.0075-0.04	222.3	0.736
Ceramic Ball	0.015-0.04	1173.2	0.716

สำหรับค่าความดันอากาศตกคร่อมชั้นสะสมความร้อนจากสมการ (2.5) โดย $\Delta p = \frac{\Delta x G^2}{D_b \rho_b} \left[C_2 + C_1 \frac{\mu}{G D_b} \right]$ จะเห็นว่า ค่า Δp แปรผันโดยตรงกับ $\frac{\Delta x G^2}{D_b \rho_b}$ ซึ่งเมื่อนำข้อมูลการทดสอบ มาแสดงความสัมพันธ์ จะได้ดังรูปที่ 4.6 และอาจจัดความสัมพันธ์ในรูปแบบที่ง่ายขึ้นเป็น ดังนี้

$$\text{ภูเขาไฟ: } \Delta p = 0.319 \frac{\Delta x G^2}{D_b \rho_b} + 1.953 \quad (4.1)$$

$$\text{ลูกบดเซรามิก: } \Delta p = 1.303 \frac{\Delta x G^2}{D_b \rho_b} + 1.36 \quad (4.2)$$

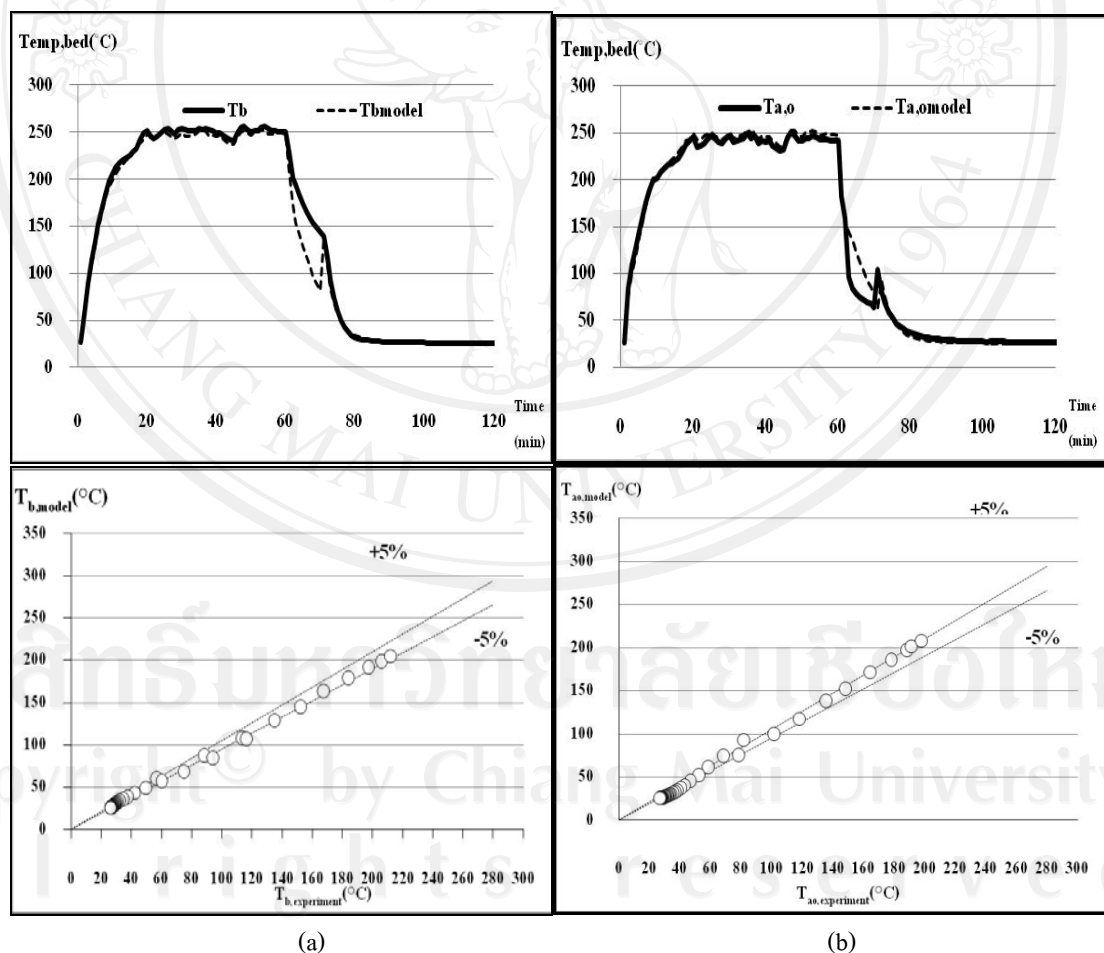


รูปที่ 4.6 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของค่าความดันตกคร่อมชั้นสะสมความร้อน

4.3 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองเทียบกับผลการทดลอง

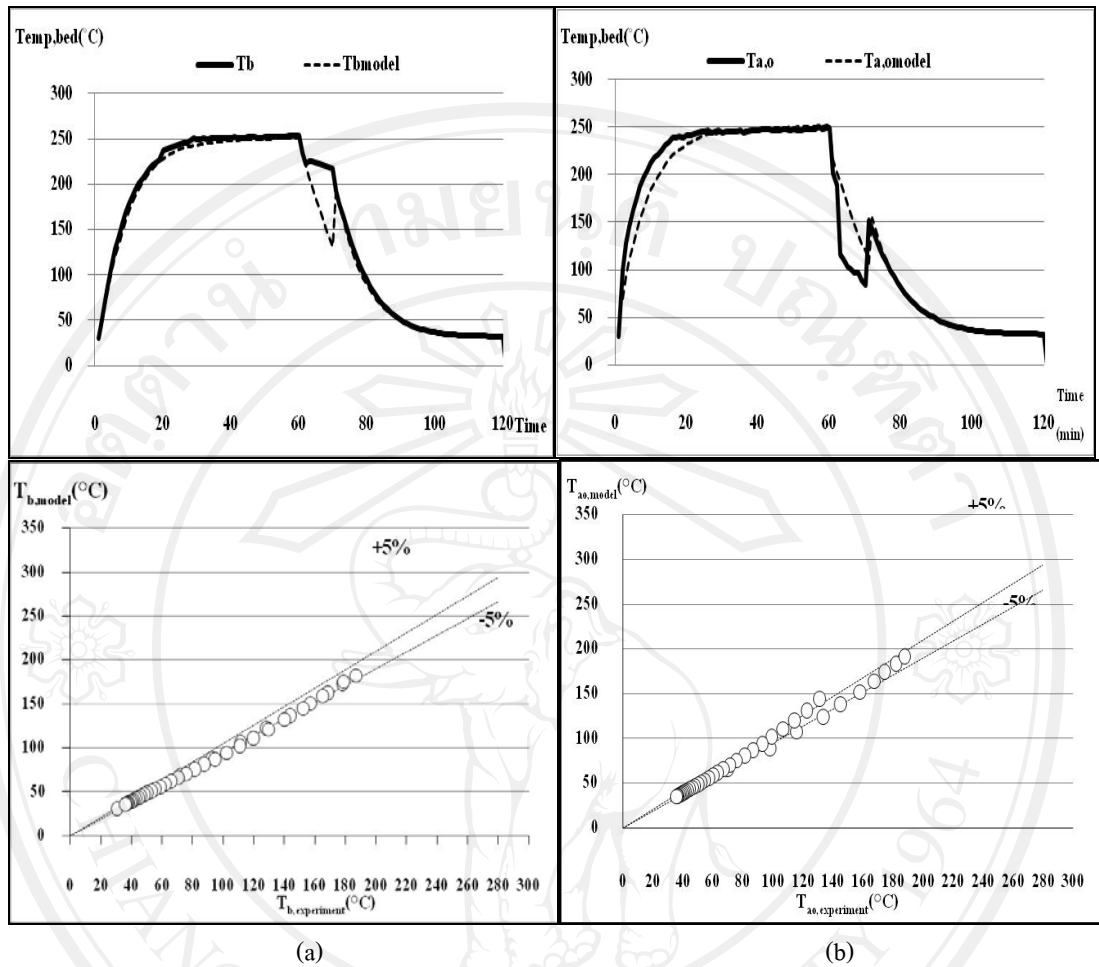
สมรรถนะของระบบเก็บสะสมพลังงาน ที่เงื่อนไขการทำงานต่างๆ จะถูกจำลองการทำงาน จากทฤษฎีในบทที่ 2 และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ที่ได้จากหัวข้อที่กล่าวมาแล้ว ผลที่ได้ จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

รูปที่ 4.7 และ 4.8 แสดงค่าอุณหภูมิภายในของชั้นสะสมความร้อน และอุณหภูมิก๊าซร้อน และอากาศที่ ออกจากชั้นสะสมความร้อน ในช่วงประจุ และคายความร้อน ของหินภูเขาไฟและลูก บดเซรามิกตามลำดับ พบว่า 80% ของข้อมูลของหินภูเขาไฟและลูกบดเซรามิกที่ได้จากแบบจำลอง ทางคณิตศาสตร์มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ได้จากการทดลอง มีค่าความผิดพลาดไม่เกิน ร้อยละ 5 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้คำนวณหาสมรรถนะของการเก็บสะสม ความร้อนของชั้นสะสมความร้อนในต่างๆ ได้เป็นอย่างดี



เงื่อนไข: (a) อุณหภูมิภายในชั้นสะสมความร้อน: (b) อุณหภูมิของอากาศร้อนขาออกชั้นสะสมความร้อน
: หินภูเขาไฟ, $\phi = 0.02m$, $\Delta x = 0.15 m$, $\dot{m} = 0.20 kg/s$, $T_{ai} = 250^{\circ}C$

รูปที่ 4.7 ตัวอย่างการเปรียบเทียบอุณหภูมิของหินภูเขาไฟที่ได้จากการทดลองและแบบจำลอง



เงื่อนไข: (a) อุณหภูมิภายในชั้นสะสมความร้อน: (b) อุณหภูมิของอากาศร้อนขาออกชั้นสะสมความร้อน
: ลูกบดเซรามิก, $\phi = 0.03\text{m}$, $\Delta x = 0.10\text{ m}$, $\dot{m} = 0.15\text{ kg/s}$, $T_{at} = 250^\circ\text{C}$

รูปที่ 4.8 ตัวอย่างการเปรียบเทียบอุณหภูมิของลูกบดเซรามิกที่ได้จากการทดลองและแบบจำลอง