

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการใช้พลังงานในอัตราที่เพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากมีการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรม ปริมาณที่อยู่อาศัย และการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมด้านต่าง ๆ โดยพลังงานส่วนใหญ่ได้มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันเชื้อเพลิงและถ่านหิน ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไปและปริมาณสำรองลดน้อยลงอย่างต่อเนื่องและการใช้พลังงานเหล่านี้ยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อีกทางหนึ่งด้วย ดังนั้นจึงมีการสนับสนุนการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อช่วยลดต้นทุนด้านพลังงานของกิจกรรมการผลิตของภาคอุตสาหกรรมและภาคธุรกิจอื่น ๆ

ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มักใช้พลังงานเป็นปริมาณที่มาก และมีพลังงานส่วนหนึ่งเหลือทิ้งอยู่เสมอ พลังงานดังกล่าวอยู่ในรูปของแก๊สไอเสียจากเตาเผาต่าง ๆ และน้ำร้อนจากหม้อต้มน้ำจึงเป็นการสมควรที่จะนำพลังงานเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ในกระบวนการอื่น โดยติดตั้งระบบดึงความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ เช่น อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ระบบสะสมพลังงานความร้อน เป็นต้น

ระบบสะสมความร้อนนั้นแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือระบบความร้อนสัมผัส (Sensible heat storage) ระบบสะสมความร้อนโดยอาศัยความร้อนจากการเปลี่ยนสถานะ (Latent heat storage) หรือใช้วัสดุที่เปลี่ยนสถานะได้ เรียกว่า PCM (Phase change material) และระบบสะสมความร้อนแบบเคมี (Chemical energy storage) ถึงแม้ระบบความร้อนสัมผัสจะเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพทางพลังงานต่ำสุด แต่ด้วยข้อดีคือ สร้างง่าย ราคาถูก และใช้งานง่าย จึงเป็นระบบที่ได้รับความนิยมมาก โดยวัสดุที่นิยมใช้เป็นตัวสะสมความร้อนสัมผัสมากที่สุดตัวหนึ่งคือ น้ำ แต่อุณหภูมิของระบบจะต้องต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำ (100°C ที่ความดันบรรยากาศ) เพราะถ้ามีอุณหภูมิสูงกว่า 100°C น้ำจะเดือดกลายเป็นไอน้ำทำให้ระบบมีความดันสูงและอาจก่อให้เกิดอันตรายได้

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า วัสดุที่นิยมใช้เป็นตัวสะสมความร้อนสัมผัสมากที่สุดตัวหนึ่งคือ ก้อนกรวด เนื่องจากมีราคาถูก มีความแข็งแรง และไม่มีปัญหาด้านการสึกกร่อน แต่อย่างไรก็ตาม ขนาดของก้อนกรวดนั้นจะไม่มีควมสม่ำเสมอ ทำให้การไหลของอากาศผ่านชั้นก้อนกรวดเกิด

ความดันตกคร่อมที่สูง ในกรณีของการสะสมพลังงานความร้อนจากแก๊สไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ ความดันตกคร่อมดังกล่าวมักส่งผลกระทบต่อกระบวนการเผาไหม้ภายในเตาเผาไหม้

เพื่อเป็นการแก้ปัญหาเรื่องความดันตกคร่อมของแก๊สไอเสียร้อนที่ไหลผ่านชั้นก้อนกรวด งานวิจัยนี้ได้เสนอวัสดุที่เป็นตัวกลางรับความร้อน 2 ประเภท ได้แก่ ลูกบดเซรามิก (Ceramic ball) และหินภูเขาไฟ (Pumice stone) ซึ่งวัสดุทั้งสองมีจุดเด่นที่เหนือกว่าก้อนกรวด กล่าวคือ

กรณีของลูกบดเซรามิก ซึ่งมีลักษณะกลม ผิวเรียบ และมีความสม่ำเสมอด้านรูปทรง สามารถลดแรงเสียดทานของอากาศที่ไหลผ่านชั้นสะสมความร้อน นั่นคือความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นจะต่ำกว่ากรณีที่ใช้ก้อนกรวด

กรณีของหินภูเขาไฟ ซึ่งมีน้ำหนักเบา และพรุน การไหลของแก๊สไอเสียร้อนจะสามารถสอดแทรกเข้าไปในเนื้อของวัสดุได้ดี ทำให้อุณหภูมิของหินภูเขาไฟมีความสม่ำเสมอมากกว่ากรณีของวัสดุตัน อีกทั้งความดันตกคร่อมมีแนวโน้มที่น้อยกว่ากรณีของก้อนกรวด และเนื่องจากวัสดุประเภทนี้มีน้ำหนักเบา ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านโครงสร้างรองรับได้

อนึ่งเพื่อเป็นการลดปัญหาของความดันตกคร่อม ชั้นสะสมความร้อนของวัสดุอย่างเป็นรูปธรรม งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการทำท่อบายพาส (By-pass) อากาศ โดยฝังท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.025 m จำนวน 9 ท่อโดยมีความยาวเท่ากับความหนาของชั้นสะสมความร้อนวางกระจายทั่วทั้งชั้นสะสมความร้อน เพื่อให้อากาศบางส่วนสามารถไหลผ่านท่อเหล่านี้ ซึ่งจะเป็นการลดความดันอากาศตกคร่อมที่เกิดขึ้น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้ศึกษาสมรรถนะของระบบเก็บสะสมพลังงานความร้อนแบบสัมผัส ที่ใช้ลูกบดเซรามิก และหินภูเขาไฟเป็นตัวกลางสะสมความร้อน โดยมีการติดตั้งท่อบายพาสอากาศเพื่อลดปัญหาความดันอากาศตกคร่อม

1.2 สารสำคัญของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาระบบเก็บสะสมพลังงานความร้อนมีรายละเอียดดังนี้

Lof & Hawley (1948) ได้ทำการทดลองหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังชั้นสะสมความร้อนของก้อนแกรไนท์ (Granitic gravel) ขนาดของก้อนแกรไนท์มีขนาดเท่ากับ 0.5-1.5 นิ้ว ความพรุนของชั้นสะสมความร้อนอยู่ระหว่าง 0.426-0.454 อัตราการไหลของอากาศมีค่าเท่ากับ 12.05-66.3 ลูกบาศก์ฟุตต่ออนาทีต่อตารางฟุตของพื้นที่หน้าตัดของชั้นสะสมความร้อนและให้อากาศที่เข้าไปยังชั้นสะสมความร้อนมีอุณหภูมิคงไว้ในช่วง 100-200°F ชั้นสะสมความร้อนวางอยู่ในแนวนอนจากการทดลอง พบว่า การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศที่เข้าสู่ชั้นสะสมความร้อนไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

Dunkle & Ellul (1972) ได้สรุปวิธีการออกแบบและวิธีการคาดคะเนการพาความร้อน การถ่ายเทมวลและการไหลของของไหลในระบบที่เกี่ยวข้องกับชั้นสะสมความร้อนของอนุภาคที่ใส่แบบแรนดอม พบว่า ถ้ากำหนดรูปแบบทางเรขาคณิตของอนุภาคแล้ว ความพรุนของชั้นสะสมความร้อนจะมีค่าคงที่เมื่อมีการใส่อนุภาคแบบแรนดอมและความพรุนของชั้นสะสมไม่แสดงนัยสำคัญ

Chandra & Willit (1981) ได้ทำการทดลองหาความดันลดและลักษณะเฉพาะของชั้นสะสมความร้อนสำหรับการถ่ายเทความร้อน โดยมีอากาศเป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อน โดยใช้ก้อนหินที่ใช้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.01-0.03m ชั้นสะสมความร้อนวางตัวในแนวนอนและมีความพรุนระหว่าง 0.38-0.46 พบว่าทั้งความดันลดและสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเชิงปริมาตรระหว่างอากาศกับชั้นสะสมความร้อนขึ้นอยู่กับขนาดก้อนหินและอัตราการไหลของอากาศ นอกจากนี้ความดันลดยังขึ้นอยู่กับความพรุนของชั้นสะสมความร้อนด้วย

N. Trinest Sampan (1981) ได้สร้างชั้นสะสมความร้อนรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 0.5m x 0.5m และสูง 0.67m หุ้มฉนวนด้วยเอสเบสทอสและมีอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิของอากาศให้เข้าสู่ชั้นสะสมความร้อนมีค่าคงที่ที่ 50 และ 65°C อัตราการไหลของอากาศที่ใช้ทดลองคือ 135, 110, 90, 60, 40 และ 25m³/hr ก้อนหินที่ใช้เป็นตัวกลางสะสมพลังงานความร้อนมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.0432m (1.7in) ความพรุนของชั้นสะสมความร้อนเท่ากับ 0.496 ความหนาแน่นของหินเท่ากับ 2,517 kg/m³ ความจุความร้อนของหินเท่ากับ 0.736kJ/kg.K พบว่า อัตราการสะสมพลังงานความร้อนและการปล่อยพลังงานความร้อนออกจากชั้นสะสมความร้อนจะขึ้นกับอัตราการไหลของอากาศ อุณหภูมิของอากาศที่เข้ามาและเวลาที่ใช้ในการทำงาน

สมศรี จรุงเรือง และวิทยา ขงเจริญ (2528) ทำการศึกษาระบบสะสมพลังงานความร้อนที่มีตัวกลางเป็นก้อนหิน โดยหาความดันลดและสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเชิงปริมาตรพบว่าความดันลดแปรผันตรงกับอัตราการไหลของอากาศและแปรผกผันกับขนาดของก้อนหิน สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเชิงปริมาตร มีแนวโน้มจะลดลง เมื่อก้อนหินมีขนาดใหญ่ขึ้นหรือมีปริมาตรเพิ่มขึ้น

สมศรี จรุงเรือง และวิทยา ขงเจริญ (2530) ทำการศึกษาทำการศึกษาเพิ่มเติม โดยศึกษาสมบัติของชั้นสะสมความร้อนทั้งตอนประจุความร้อน (Charge) และตอนจ่ายความร้อน (Discharge) โดยขยายความสูงชั้นสะสมความร้อนจากเดิม 0.175 เมตร เป็น 1.05 เมตรพบว่า อุณหภูมิของอากาศร้อนผ่านชั้นสะสมความร้อนจะมีการแบ่ง ระดับอุณหภูมิกัน โดยชั้นบนจะมีอุณหภูมิสูงกว่าชั้นล่างอัตราการประจุความร้อนและจ่ายความร้อนของก้อนหิน ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศ

จำริญ ดันติวงศ์วัฒน์ (2538) ทำการจำลองแบบระบบเก็บสะสมพลังงานความร้อนด้วยน้ำ โดยใช้ฮีทเตอร์เป็นแหล่งความร้อน อุณหภูมิถึงสะสมประมาณ 80°C อุณหภูมิน้ำร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ประมาณ 40°C พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการป้อนความร้อนและถ่ายเทความร้อนให้ถึงอุณหภูมิตามต้องการจะเป็นผันผกผันกับอัตราการไหล ประสิทธิภาพของระบบเก็บสะสมความร้อนขณะป้อนความร้อนและถ่ายเทความร้อนมีค่าประมาณ 89% ถึง 63% ตามลำดับ

Aboul-Enen et al.(2000) ได้ศึกษาเปรียบเทียบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีและไม่มีวัสดุเก็บสะสมความร้อน โดยศึกษาวัสดุเก็บสะสมความร้อน 3 ชนิด ได้แก่ ทราช กรวด แกรนิต และน้ำ วัสดุเก็บสะสมความร้อนนี้จะติดตั้งอยู่ที่ด้านหลังของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ จากการศึกษาพบว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีวัสดุเก็บสะสมความร้อนจะมีประสิทธิภาพสูงกว่ากรณีไม่มี วัสดุเก็บสะสมความร้อนและทราชเป็นวัสดุเก็บสะสมความร้อนที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด นอกจากนี้ การที่มีวัสดุเก็บสะสมความร้อนจะเป็นเสมือนแหล่งพลังงานเพื่อใช้ในการทำความร้อนในเวลากลางคืนทำให้ระยะเวลาการทำงานของแผ่นดูดกลืนรับรังสีอาทิตย์ยาวนานขึ้น ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิ ที่ทางออกของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบมีวัสดุเก็บสะสมความร้อนภายในซึ่งได้แก่ ทราช กรวดแกรนิต น้ำ และแบบไม่มีวัสดุเก็บสะสมความร้อนกับอุณหภูมิแวดล้อมที่อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ 0.00117 kg/s ขนาดความกว้างของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ที่ $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ มีระยะช่องว่างของการไหลของอากาศ 0.05 m พบว่าแบบมีทราชให้อุณหภูมิสูงสุดที่ 98°C ที่อุณหภูมิแวดล้อม 32°C ส่วนอุณหภูมิของ กรวดแกรนิต น้ำ และแบบไม่มีวัสดุเก็บสะสมความร้อนได้เท่ากับ 82.63 และ 54°C ตามลำดับ

Choudhury et al. (2002) ศึกษาและออกแบบเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานความร้อนในชั้นกรวดรวมกับอุปกรณ์การให้ความร้อน พบว่า ขนาดของก้อนกรวดและช่องว่างระหว่างการจัดเรียงไม่มีผลกระทบมากมายนักต่อประสิทธิภาพและราคา

จากข้อมูลข้างต้น จะเห็นได้ว่า ระบบเก็บสะสมพลังงานความร้อนสามารถช่วยดึงเอาพลังงานที่ทิ้งไปกลับมาใช้ใหม่ได้ซึ่งเป็นการลดการใช้พลังงานโดยรวมของทั้งระบบ แต่ระบบดังกล่าวยังมีปัญหาในเรื่องความดันตกคร่อมภายในชั้นสะสมความร้อนที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มขนาดความหนาของชั้นสะสมความร้อน ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาและจำลองระบบเก็บสะสมความร้อนแบบก้อนกรวดที่มีการไหลบายพาส เพื่อลดปัญหาของความดันตกคร่อมของชั้นสะสมความร้อนของระบบ ซึ่งประเด็นดังกล่าวยังไม่มีผู้ทำการศึกษามาก่อน ผลการวิจัยจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาระบบเก็บสะสมพลังงานความร้อนระดับสูงต่อไป

1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.3.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมในการเก็บพลังงานและการจ่ายพลังงานออกไปใช้งานของระบบเก็บสะสมพลังงานความร้อนแบบก้อนกรวดที่มีการไหลบายพาส

1.3.2 เพื่อศึกษาศักยภาพอัตราการประหยัดเชื้อเพลิงและความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ในการประยุกต์ใช้ระบบเก็บสะสมพลังงานความร้อนแบบก้อนกรวดที่มีการไหลบายพาสร่วมกับระบบหัวเผาภายในห้องเผาไหม้เพื่อช่วยประหยัดเชื้อเพลิง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1.4.1 ได้แนวทางในการพัฒนาระบบเก็บสะสมพลังงานความร้อน ลดการใช้เชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม

1.4.2 ได้แนวทางพัฒนาระบบเก็บสะสมพลังงานความร้อนแบบก้อนกรวดให้มีสมรรถนะสูงขึ้น โดยการเพิ่มการบายพาสลดความดันตกคร่อม

1.4.3 สามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิต จากการที่นำเอาพลังงานความร้อนส่วนเกินกลับไปใช้ ซึ่งเป็นการช่วยประหยัดพลังงาน

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

การทดสอบสมรรถนะของระบบเก็บสะสมพลังงานความร้อนแบบก้อนกรวดที่มีการไหลบายพาสในท่ออุโมงค์ลม ในช่วงการประจุพลังงาน (Charge) ในช่วงการจ่ายพลังงานออก (Discharge) ไปใช้งาน มีขอบเขตดังต่อไปนี้

- วัสดุที่ใช้ในชั้นสะสมความร้อนมี 2 ชนิด คือ ลูกบดเซรามิกและหินภูเขาไฟ
- ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยวัสดุที่ใช้ในชั้นสะสมความร้อน หินภูเขาไฟมี 3 ขนาด แต่ละขนาดมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 0.0075m, 0.02 m และ 0.04m
- ลูกบดเซรามิกมี 4 ขนาด แต่ละขนาดมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยขนาดเฉลี่ยประมาณ 0.015m, 0.02 m, 0.03m และ 0.04m
- ขนาดความหนาของชั้นสะสมความร้อนแบ่งเป็น 3 ขนาดคือ 0.06m, 0.10m และ 0.15m

ตารางที่ 1.1 ลักษณะการบรรจุวัสดุภายในชั้นสะสมความร้อน

กรณี	ขนาดความหนาของ ชั้นสะสมความร้อน (m)	วัสดุที่ใช้บรรจุภายใน ชั้นสะสมความร้อน	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ของวัสดุ (m)
1	0.06	หินภูเขาไฟ	0.0075
2		ลูกบดเซรามิก	0.015
3			0.02
4			0.03
5	0.10	หินภูเขาไฟ	0.02
6		ลูกบดเซรามิก	0.04
7			0.03
8			0.04
9	0.15	หินภูเขาไฟ	0.02
10		ลูกบดเซรามิก	0.04
11			0.03
12			0.04

- อุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อนมี 3 ระดับ คือ 150°C 200°C และ 250°C โดยมีการใช้ แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อน
- อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ไหลผ่านชั้นสะสมความร้อนมี 4 ระดับคือ 0.15, 0.2, 0.25 และ 0.3 kg/s
- มีการบายพาสการไหลของอากาศผ่านชั้นสะสมความร้อนโดยใช้ท่อเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.025m หนา 0.001m จำนวน 9 ท่อ วางตัวตามขนาดความหนาของชั้นสะสมความร้อน