

ner) ซึ่งอยู่ในชั้นที่สอง ตัวเผาไหม้ดังกล่าวทำด้วยเซรามิกและมีรูพรุนอยู่ตลอดผิวหน้าคล้ายรังผึ้ง ส่วนตัวกระจายส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศที่อยู่ในชั้นล่างสุดนั้นทำมาจากตาข่ายสแตนเลสซึ่งมีความถี่ของตาข่าย 20 ช่องต่อนิ้ว โดยตัดเป็นรูปแผ่นสี่เหลี่ยมแล้วนำมาซ้อนทับกันเป็นชั้น ๆ ให้ความหนาประมาณ 10 mm ชั้นที่สามจะเป็นส่วนของห้องเผาไหม้ และเนื่องจากมีอุณหภูมิสูงจึงมีปูนทนไฟฉาบอยู่ที่ผิวทั้งสองด้านโดยรอบ ในชั้นนี้จะมีภาวะความร้อนคือท่อน้ำ (water pipe) ทำด้วยท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 mm เสียบทะลุผนังด้านข้างผ่านกึ่งกลางของห้องเผาไหม้โดยมีตัวผสม (mixer) ติดตั้งอยู่ที่ปลายเพื่อกวนน้ำให้ดีก่อนที่จะวัดอุณหภูมิขาออกของน้ำ ตำแหน่งของท่อน้ำได้รับการออกแบบให้เปลี่ยนตำแหน่งติดตั้งได้ถึงสามตำแหน่งคือตำแหน่ง 1 2 และ 3 ซึ่งแต่ละตำแหน่งอยู่ห่างจากผิวของตัวเผาไหม้ขึ้นมาประมาณ 15 mm 65 mm และ 95 mm ตามลำดับ นอกจากนี้ที่ผนังด้านข้างที่เหลือของห้องเผาไหม้ยังได้มีการเจาะรูแล้วต่อท่อสำหรับติดตั้งกระจกทนความร้อน (sight glass) เพื่อสังเกตสภาพของท่อน้ำทั้งสามตำแหน่งและสังเกตสภาพของเปลวไฟที่อยู่เหนือผิวตัวเผาไหม้อีกด้วย ชั้นบนสุดจะเป็นส่วนของ porous medium ซึ่งทำมาจากวัสดุและมีโครงสร้างเหมือนเช่นเดียวกันกับตัวกระจายส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศทุกประการ เนื้อ porous medium เป็นฝาปิดและมีท่อน้ำแกสไอเสียออกติดตั้งอยู่พร้อมกับท่อที่ต่อมาจากเครื่องวิเคราะห์แกสมาต่อร่วมเพื่อทำการวิเคราะห์แกสไอเสียอีกด้วย เพื่อที่จะลดปริมาณความร้อนที่จะสูญเสียออกสู่ภายนอกเตาจึงได้ใช้ฉนวนกันความร้อน (ceramic fiber) หนาประมาณ 25 mm หุ้มสองชั้นโดยรอบเตาเผา

ในการวัดอุณหภูมิภายในเตาเผาชั้นนี้ได้ใช้ลวดเทอร์โมคัปเปิลชนิด alumel/chromel ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเท่ากับ 0.5 mm ทุกตำแหน่งและตำแหน่งติดตั้งก็ได้แสดงไว้ในรูปที่ 1 โดยแทน

ด้วยวงกลมทึบพร้อมสัญลักษณ์กำกับ โดยที่ T_1 หมายถึงอุณหภูมิของส่วนผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงที่ทางด้านล่างสุดของเตาเผา ก่อนไหลเข้าสู่ตัวกระจายส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศ T_{bd} หมายถึงอุณหภูมิของแกสบนผิวของตัวเผาไหม้ T_1 หมายถึงอุณหภูมิของแกสที่ตำแหน่งที่ 1 T_{2d} และ T_{2u} หมายถึงอุณหภูมิของแกสที่อยู่ห่างจากผิวของท่อ น้ำเพียงเล็กน้อยที่ทางด้านบนของท่อ น้ำ (downstream) และทางด้านล่างของท่อ น้ำ (upstream) ตามลำดับ ไม่ใช่อุณหภูมิที่ผิวของท่อ น้ำ ตัวห้อย d และ u นั้นหมายถึง downstream และ upstream ของทิศทางการไหลของแกสร้อน T_3 หมายถึงอุณหภูมิของแกสร้อนที่ตำแหน่งที่ 3 T_{pd} และ T_{pu} หมายถึง อุณหภูมิ porous medium ที่ผิวทางด้าน downstream และ upstream ตามลำดับ ส่วน T_e หมายถึงอุณหภูมิของแกสไอเสียที่จะออกไปจากเตาเผา T_{wi} และ T_{wo} หมายถึงอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำออกจากท่อ น้ำตามลำดับ เทอร์โมคัปเปิลตามตำแหน่งต่าง ๆ เหล่านี้ถูกนำแยกออกมาจากเตาเผาในตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อต่อเข้ากับเครื่องอ่านค่าอุณหภูมิแบบตัวเลขเพื่อทำการบันทึกค่าต่อไป

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้คือ LPG หรือแกสหุงต้มที่ใช้อยู่ในประเทศซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญคือโพรเพน (C_3H_8) 40% และ บิวเทน (C_4H_{10}) 60% โดยมีค่าความร้อนทางสูง 108 MJ/m^3 (normal) หรือประมาณ $26,000 \text{ kcal/m}^3$ อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้มาจากเครื่องเป่าลม (blower) ส่วนน้ำที่จะถูกส่งผ่านท่อ น้ำมาจากถังสะสมน้ำซึ่งตั้งอยู่ในระดับที่สูงกว่าเตาเผาและระดับน้ำในถังถูกควบคุมให้คงที่โดยลูกลอย

ในการทดลองเริ่มต้นด้วยการสอดลวดสำหรับจุดประกายไฟ (ignition wire) เข้าไปตามท่อมองเปลวไฟเหนือตัวเผาไหม้แล้วทำให้เกิดประกายไฟจากนั้นจึงป้อนส่วนผสมระหว่างแกส LPG และอากาศที่ภาวะการเผาไหม้ที่กำหนดด้วยสัดส่วนเริ่มต้นที่พอเหมาะโดยใช้ค่า equivalence ratio Φ (ปริมาณ

อากาศทางทฤษฎีต่อปริมาณอากาศที่ใช้จริง) ประมาณ 0.8 ผ่านเข้าไปในห้องเผาไหม้ขณะเดียวกันก็คอยสังเกตผ่านกระจกด้านข้างเพื่อดูว่าเปลวไฟเกิดขึ้นหรือไม่เมื่อเปลวไฟเกิดขึ้นแล้วจึงดึงคู่วัดสำหรับจุดประกายไฟออกแล้วประกอบกระจกกลับเข้าไปตามเดิม เมื่อการเผาไหม้ดำเนินไปได้ประมาณครึ่งชั่วโมงให้ทำการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศเผาไหม้ให้สูงขึ้น (ลดค่า Φ) เพื่อลดอุณหภูมิการเผาไหม้ไม่ให้สูงเกินไปมากนักจนได้ค่า Φ มีค่าประมาณ 0.51 ซึ่งเป็นค่าคงที่ตลอดการทดลองทั้งหมด ลักษณะของเปลวไฟที่ได้จะเป็นเปลวสีน้ำเงิน (blue flame) ลอยอยู่เหนือผิวตัวเผาไหม้ จากนั้นจึงค่อย ๆ เพิ่มภาวะความร้อนของการเผาไหม้โดยการค่อย ๆ ปล่อยน้ำหล่อเย็นให้ไหลผ่านท่อน้ำและพยายามควบคุมอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นให้ดีเพื่อให้ได้อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นออก $T_{wo} = 45^{\circ}\text{C}$ คงที่ หรือ $T_{wo} - T_{wi} = 14^{\circ}\text{C}$ (T_{wi} มีค่าคงที่ตลอดเท่ากับ 31°C) ทั้งนี้เพราะว่าถ้า T_{wo} สูงกว่า 45°C แล้วน้ำบางส่วนในท่อน้ำจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอทำให้การไหลของน้ำที่ออกจากท่อไม่สม่ำเสมอทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการชั่งตวงเพื่อวัดอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น m_w จากนั้นรอให้เตาเผาเข้าสู่ภาวะ steady ซึ่งจะใช้เวลาประมาณหนึ่งชั่วโมงนับตั้งแต่ปล่อยน้ำหล่อเย็นแล้วจึงดำเนินการบันทึกค่าอุณหภูมิตามตำแหน่งต่าง ๆ และผลการวิเคราะห์แกสไอเสียต่อไป

ในการทดลองมีตัวแปรที่สำคัญที่ต้องการศึกษาถึงอิทธิพลที่มีต่อการส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนให้กับท่อที่อยู่สามตัวแปรด้วยกันคือ ภาวะการเผาไหม้ ตำแหน่งติดตั้งท่อน้ำ และวัสดุพอรูน (porous medium) (ใช้ porous medium) หรือผนังกันความร้อนธรรมดา (insulated wall) นอกจากนั้นแล้วคุณสมบัติของแกสไอเสียก็ได้รับการวิเคราะห์เพื่อทราบคุณลักษณะของการเผาไหม้ในเตาเผาอีกด้วย

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. อิทธิพลของอัตราการเผาไหม้ CL

รูปที่ 2 แสดงอิทธิพลของอัตราการเผาไหม้

CL ที่มีต่ออุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในเตาเผา โดยที่ตำแหน่งติดตั้งของท่อน้ำ (water pipe) อยู่ที่ตำแหน่งที่ 2 ค่า equivalence ratio $\Phi = 0.51$ และ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำออกและเข้า $T_{wo} - T_{wi} = 14^{\circ}\text{C}$ คงที่ จากรูปจะเห็นได้ว่า เมื่อ CL เพิ่มขึ้นอุณหภูมิในห้องเผาไหม้จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ อุณหภูมิเหนือผิวตัวเผาไหม้ไม่ค่อยจะสูงมากนักโดยมีค่าประมาณ 140°C ซึ่งแสดงให้เห็นถึงเกิดการอุ่น (preheat) ขึ้นอันเนื่องมาจากเกิดการหมุนเวียนของความร้อนจาก enthalpy ของแกสไอเสียไปยังส่วนผสมระหว่างอากาศและแกส LGP ในห้องเผาไหม้โดยการแผ่รังสีและการพาความร้อน อุณหภูมิของแกสจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วที่ระยะห่างจากผิวของตัวเผาไหม้ออกมาประมาณ 60 mm ซึ่งเป็นช่วงระยะที่มีเปลวไฟเกิดขึ้น เมื่อแกสร้อนไหลผ่านท่อน้ำอุณหภูมิของแกสจะตกลงอย่างรวดเร็วประมาณ 300°C ในช่วงระยะทางเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ $CL = 0.4 \text{ kW}$ ทั้งนี้เป็นผลอันเนื่องมาจากเกิด quenching effect นั้นเอง หลังจากนั้นอุณหภูมิของแกสร้อนก็จะเพิ่มสูงขึ้นอีกก่อนไหลเข้า porous medium อันเนื่องมาจากการผสมกันระหว่างแกสร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำซึ่งไหลผ่านสัมผัสผิวท่อเข้ากับแกสร้อนที่มีอุณหภูมิสูงซึ่งไม่ได้สัมผัสผิวท่อ เมื่อแกสร้อนไหลผ่าน porous medium อุณหภูมิก็จะตกต่ำลงอันเนื่องมาจากเกิด enthalpy conversion ตามหลักการของ porous medium และไหลออกภายนอกเตาไปตามท่อไอเสียซึ่งจะสูญเสียความร้อนส่วนหนึ่งผ่านผนังเตาสู่ภายนอกเป็นผลทำให้อุณหภูมิของแกสไอเสียต่ำลงไปอีก

2. อิทธิพลของตำแหน่งท่อน้ำ

รูปที่ 3 แสดงอิทธิพลของตำแหน่งการติดตั้งท่อน้ำที่มีต่อการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาที่อัตราการเผาไหม้ $CL = 0.8 \text{ kW}$ ค่า equivalence ratio $\Phi = 0.51$ และอุณหภูมิความแตกต่างระหว่างน้ำออกและเข้า $(T_{wo} - T_{wi}) = 14^{\circ}\text{C}$ คงที่ จากรูปจะเห็นได้ว่าเฉพาะตำแหน่งท่อที่ 2 และที่ 3 เท่านั้น

ที่เห็นผลของ quenching effect อย่างชัดเจน ส่วนที่ตำแหน่งท่อที่ 1 นั้นไม่เห็นผลของ quenching effect และยังให้อุณหภูมิการเผาไหม้ที่ต่ำกว่าอีกด้วย เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าที่ตำแหน่งท่อที่ 1 นั้นอยู่ต่ำกว่าเปลวไฟมีผลให้อุณหภูมิของส่วนผสมระหว่างอากาศและแก๊ส LPG ที่ออกจากตัวเผาไหม้ต่ำลงเป็นผลให้อุณหภูมิสูงสุดของการเผาไหม้ต่ำกว่าของตำแหน่งที่ 2 และที่ 3

3. อิทธิพลของ Porous Medium

รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอิทธิพลของ porous medium และ insulated wall ที่มีต่อโครงสร้างทางความร้อนในรูปของการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาที่ตำแหน่งท่อน้ำที่ 3 อัตราการเผาไหม้ $CL = 0.8 \text{ kW}$ ค่า equivalence ratio $\Phi = 0.51$ และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำออกและเข้า $(T_{wo}-T_{wi}) = 14^{\circ}\text{C}$ คงที่ insulated wall ดังกล่าวนั้นก็คือฝาปิดเตาเผาด้านบนสุดที่มีท่อน้ำไอเสียออกเชื่อมติดอยู่ตรงกลางนั่นเอง ในการใช้ insulated wall แทน porous medium นั้น จำเป็นต้องรักษาตำแหน่งติดตั้งของวัสดุทั้งสองให้อยู่ในระดับเดียวกันเสมอ ดังนั้นจึงกระทำได้โดยการถอดฝาปิดเตาด้านบนสุดและเตาชั้นบนสุดออกซึ่งเป็นส่วนของ porous medium และยึดติดกับชั้นล่างถัดลงมาด้วยหน้าแปลน จากนั้นจึงเลื่อนฝาปิดเตาดังกล่าวลงมาปิดแทนชั้นของ porous medium ซึ่งสามารถกระทำได้โดยสะดวกเพราะยึดติดกันด้วยหน้าแปลนจากรูปจะเห็นได้ว่าการใช้ porous medium จะให้อุณหภูมิการอุ่นของส่วนผสมระหว่างอากาศ และแก๊ส LPG ขณะออกจากตัวเผาไหม้มีค่าที่สูงและยังให้อุณหภูมิสูงสุดของการเผาไหม้ที่สูงกว่าของ insulated wall นอกจากนี้แล้วยังให้อุณหภูมิแก๊สที่ตกคร่อมผิวท่อน้ำที่สูงกว่าอีกด้วยซึ่งแสดงให้เห็นว่าเกิด quenching effect มากกว่า เป็นการแสดงให้เห็นถึงการถ่ายเทความร้อนสู่ท่อน้ำเย็นที่สูงกว่านั่นเอง

4. สมรรถนะการส่งเสริมการถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 5 แสดงภาพรวมทั้งหมดของอิทธิพลต่าง ๆ ดังได้กล่าวมาในแง่ของการส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนสู่ท่อน้ำเย็น สมรรถนะการส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนสู่ท่อน้ำเย็นของการศึกษานี้ดูได้จากปริมาณการไหลของน้ำเย็น m_w ที่ให้ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำออกและเข้า $(T_{wo}-T_{wi}) = 14^{\circ}\text{C}$ คงที่ซึ่งปริมาณการไหลของน้ำเย็น m_w นี้จะแปรผันโดยตรงกับปริมาณความร้อนที่ถ่ายผ่านผนังท่อให้กับน้ำเย็นนั่นเอง จากรูปจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าที่ตำแหน่งท่อที่ 3 จะให้ค่า m_w สูงกว่าตำแหน่งอื่น ๆ ทุกอัตราการเผาไหม้ เหตุที่เป็นเช่นนี้อาจจะเนื่องมาจากความจริงที่ว่าค่า view factor ของการแผ่รังสีจาก porous medium มายังท่อน้ำเย็นมีค่ามากขึ้นเมื่อติดตั้งท่อน้ำเย็นใกล้ porous medium มากขึ้น ตำแหน่งติดตั้งท่อน้ำเย็นที่ 2 นั้นให้ค่า m_w รองลงมาทั้ง ๆ ที่อยู่ใกล้เปลวไฟมากกว่าตำแหน่งที่ 3 ส่วนตำแหน่งที่ 1 นั้นให้ค่า m_w ต่ำสุดเพราะอยู่ต่ำกว่าบริเวณเผาไหม้นอกจากนั้นแล้วยังอยู่ห่างจาก porous medium มากที่สุดอีกด้วย

อิทธิพลของ porous medium ต่อการส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนสู่ท่อน้ำเย็นสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนจากกรณีที่ไม่มีติดตั้ง porous medium (without porous medium) หรือติดตั้ง insulated wall แทน ซึ่งจะให้ค่าอัตราการไหลของน้ำ m_w ที่ต่ำกว่าคิดเป็นปริมาณครึ่งหนึ่งของกรณีที่ติดตั้ง porous medium ที่ทุก ๆ อัตราการเผาไหม้และตำแหน่งติดตั้งท่อน้ำที่ 3 ตำแหน่งเดียวกัน ด้วยผลลัพธ์ดังกล่าวสามารถที่จะคาดคะเนได้ว่าจะได้รับผลที่มีแนวโน้มเหมือนกันสำหรับตำแหน่งติดตั้งท่อน้ำที่ 1 และ 2 อีกด้วย อัตราการไหลของน้ำ m_w ของกรณีที่ไม่มี porous medium ที่ตำแหน่งท่อที่ 3 มีค่าประมาณได้เท่ากับ m_w ของกรณีที่มี porous medium ที่ตำแหน่งท่อน้ำที่ 2 เท่านั้นนั้นแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าการติดตั้ง porous medium มีอิทธิพลที่เด่นมากต่อการส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนสู่ผนังท่อน้ำเย็นด้านนอกทั้งนี้เพราะความร้อนที่

ถ่ายเทความร้อนสู่อากาศนั้นไม่เพียงแต่เกิดจากการพาความร้อนเท่านั้นยังได้รับเพิ่มเติมโดยตรงจากพลังงานการแผ่รังสีที่แผ่มาจาก porous medium อีกด้วย เป็นผลทำให้คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนสู่อากาศที่ผิวด้านนอกโดยเฉพาะครึ่งบนของท่ออามีลักษณะเป็น combined mode of heat transfer ระหว่างการพาและการแผ่รังสีซึ่งจะช่วยยกระดับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวดังกล่าวให้มีความสูงมากขึ้นกว่ากรณีที่ไม่มีการติดตั้ง porous medium

5. ตัวอย่างคุณสมบัติแก๊สไอเสีย

รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติแก๊สไอเสียระหว่างกรณีที่มีการติดตั้งและไม่ติดตั้ง porous medium หรือใช้ insulated wall แทน ที่ตำแหน่งติดตั้งท่ออากาศ 3 ค่า equivalence ratio $\Phi = 0.51$ และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิหน้าออกและเข้า $(T_{wo} - T_{wi}) = 14^{\circ}\text{C}$ คงที่ จากรูปจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ากรณีที่มีการติดตั้ง porous medium จะให้ปริมาณ CO ที่ต่ำคิดเป็นปริมาณครึ่งหนึ่งของกรณีที่ไม่ติดตั้ง porous medium นั้นแสดงให้เห็นว่าการติดตั้ง porous medium ไม่เพียงแต่จะช่วยส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนสู่อากาศแล้วยังช่วยส่งเสริมการเผาไหม้ให้สมบูรณ์มากขึ้นอีกด้วยโดยการก่อให้เกิดการหมุนเวียนของความร้อนในเตาเผาจาก enthalpy ส่วนหนึ่งของแก๊สร้อนไปเป็น thermal radiation ซึ่งบางส่วนของมันตกกระทบบนท่ออากาศแต่จะไปตกกระทบบนผิวเผาไหม้และเป็นผลทำให้เกิดการอุ่นส่วนผสมระหว่างอากาศเผาไหม้และแก๊ส LPG ทำให้อุณหภูมิของส่วนผสมดังกล่าวขณะไหลออกจากผิวเผาไหม้และอุณหภูมิการเผาไหม้มีค่าสูงขึ้นกว่ากรณีที่ไม่มีการติดตั้ง porous medium ดังแสดงในรูปที่ 5 สำหรับปริมาณของ SO_2 นั้นก็ให้ผลเช่นเดียวกันกับ CO ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากว่ากรณีที่มีการติดตั้ง porous medium อาจจะมีผลทำให้ SO_2 บางส่วนถูกดูดซับไว้ (adsorption) ที่ผิวของโลหะ porous medium ซึ่งทำมาจาก stainless steel

ส่วนปริมาณ NO_x นั้นจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการติดตั้ง porous medium จะมีแนวโน้มให้ค่าที่สูงกว่ากรณีที่ไม่ติดตั้ง porous medium แม้ว่าที่อัตราการเผาไหม้ที่ 0.8 kW จะให้ค่าที่ต่ำกว่าก็ตาม ทั้งนี้เนื่องมาจากว่ากรณีที่มีการติดตั้ง porous medium นั้นให้อุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงกว่ากรณีที่ไม่ติดตั้ง porous medium นั้นเอง อย่างไรก็ตามแต่ ทั้งปริมาณ SO_2 และ NO_x ที่เกิดขึ้นยังถือได้ว่ามีปริมาณที่เล็กน้อยมากเกินกว่าที่จะก่อให้เกิดอันตรายได้

บทสรุป

การศึกษาเชิงทดลองนี้ได้เสนอแนวทางการนำเอาเทคโนโลยีของวัสดุพรุน (porous medium) ไปประยุกต์ใช้ในการส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนสู่อากาศในเตาเผาโดยการนำเอาวัสดุพรุนไปติดตั้งตรงทางออกของแก๊สไอเสียเพื่อเปลี่ยน enthalpy บางส่วนของไอเสียมาเป็น thermal radiation สู่อากาศ พร้อมกับนั้นก็ได้มีการศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่จะมีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนสู่อากาศและได้มีการวิเคราะห์คุณสมบัติของแก๊สไอเสียเพื่อทราบคุณลักษณะของการเผาไหม้อีกด้วย จากผลการทดลองสามารถสรุปผลลัพธ์ที่สำคัญ ๆ ได้ดังต่อไปนี้

1. วัสดุพรุนสามารถช่วยส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนสู่อากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงให้ปริมาณการถ่ายเทความร้อนสู่อากาศคิดเป็นปริมาณเกือบสองเท่าของในกรณีที่ไม่ติดตั้งวัสดุพรุนที่การเผาไหม้และตำแหน่งติดตั้งท่ออากาศเดียวกัน

2. พลังงานการแผ่รังสีจากวัสดุพรุนไม่เพียงแต่จะช่วยให้เกิดการส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนสู่อากาศแล้วยังช่วยส่งเสริมการเผาไหม้ในเตาเผาอีกด้วย โดยที่พลังงานการแผ่รังสีจากวัสดุพรุนบางส่วนจะช่วยยกระดับอุณหภูมิของส่วนผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงให้สูงขึ้นระดับหนึ่งก่อนเข้าสู่บริเวณเผาไหม้ ทำให้อุณหภูมิเผาไหม้สูงขึ้นแล้วให้แก๊สผสมภาวะที่ต่ำกว่าในกรณีที่ไม่ติดตั้งวัสดุพรุน

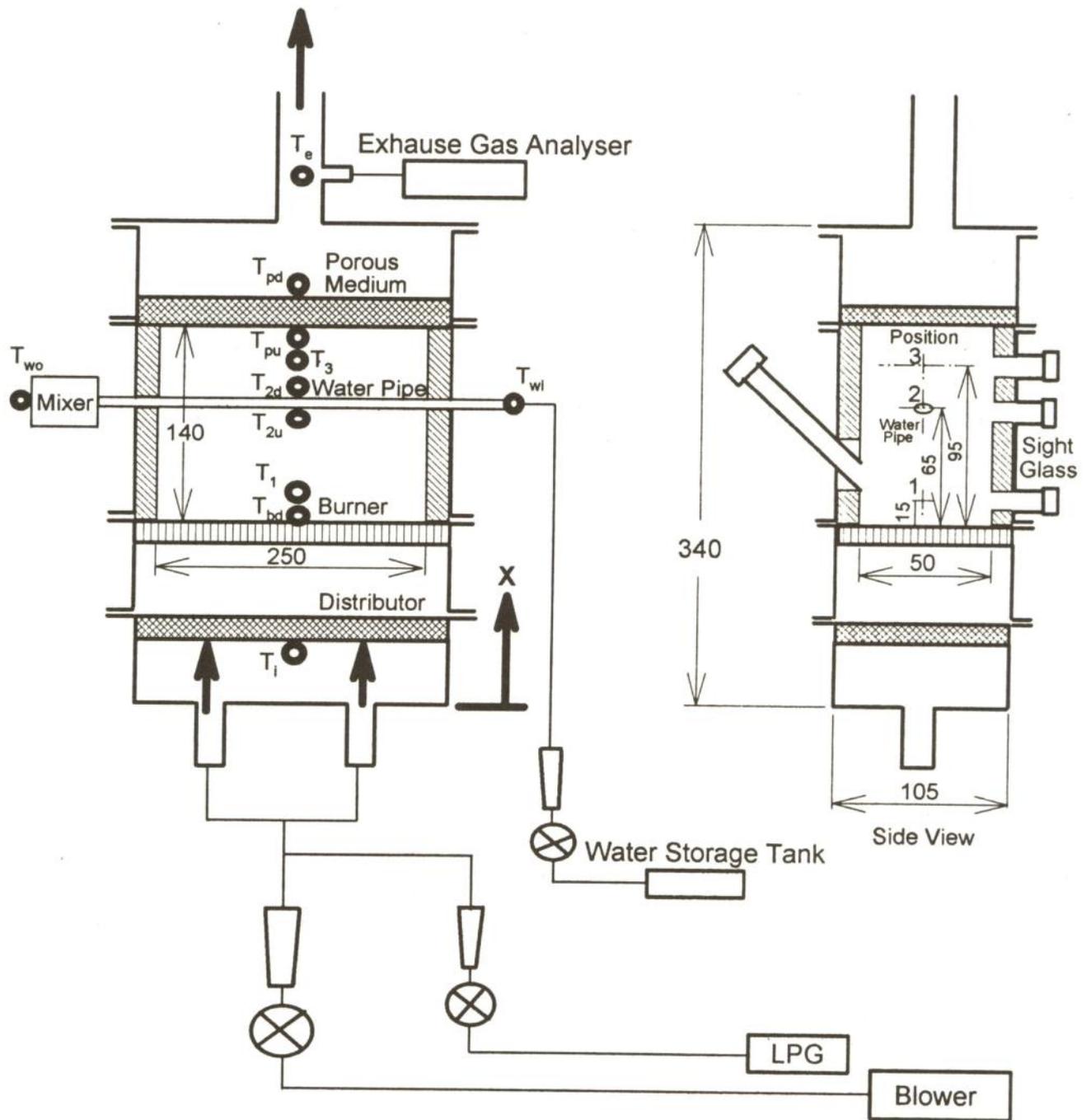
3. ตำแหน่งการติดตั้งท่อน้ำเย็นควรให้อยู่ใกล้กับวัสดุพอรุนให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ทั้งนี้เพื่อเพิ่ม view factor ให้สูงมากขึ้น

4. ปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อนสู่ท่อน้ำเย็นเมื่อติดตั้งวัสดุพอรุนเป็นลักษณะ combined mode of heat transfer (radiation และ convection) ดังนั้นขนาดของ heat exchanger จะทำให้เล็กลงได้ (compact) ทำให้ได้เปรียบทั้งในเชิงเศรษฐศาสตร์และวิศวกรรม

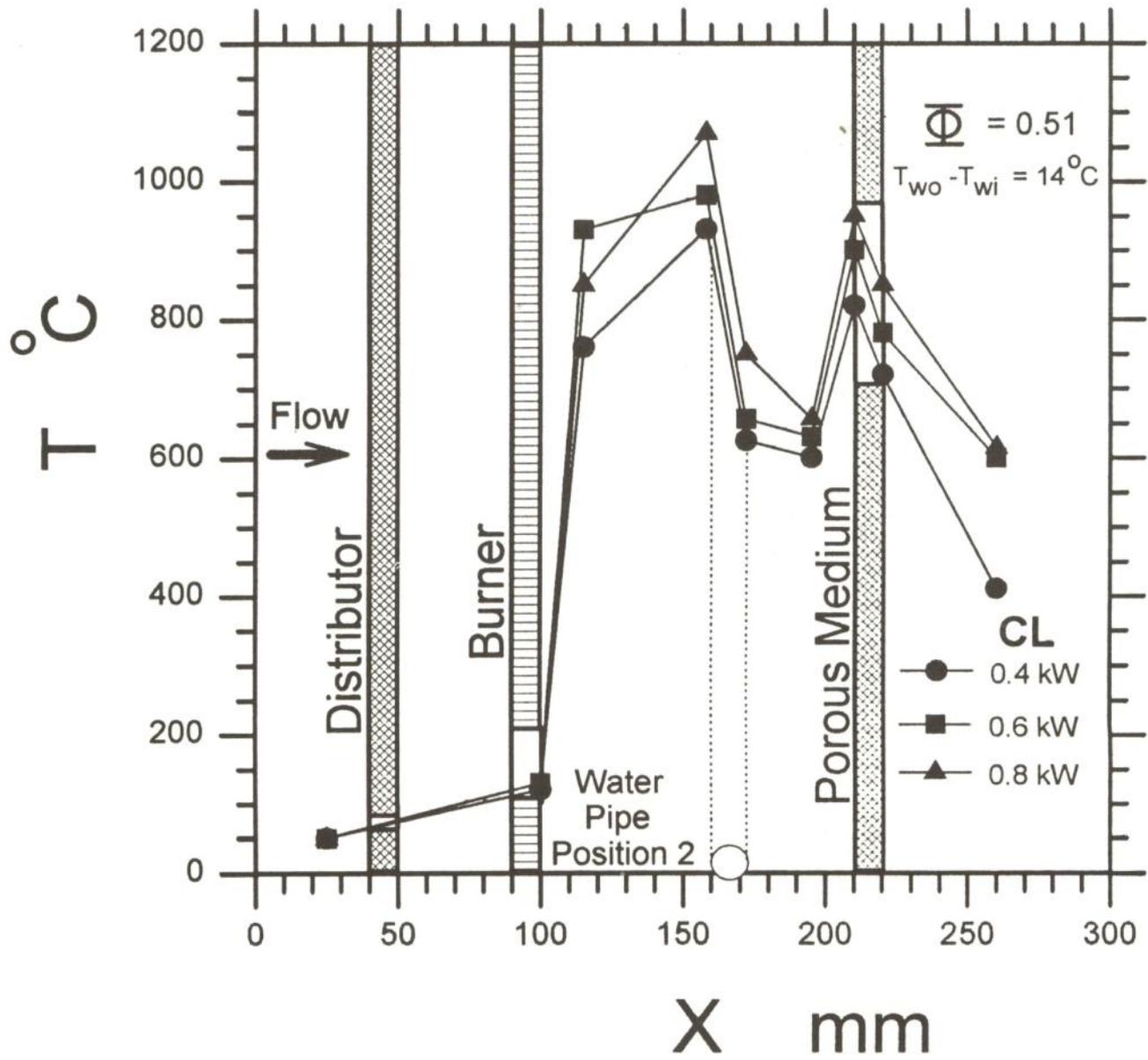
เอกสารอ้างอิง

1. Echigo, R. and Hasegawa, S., "Radiative Heat Transfer by Flowing Multiphase Medium-Part I. An Analysis on Heat Transfer of Laminar Flow between Parallel Flat Plates", *Int. J. Heat Transfer*, 1972, 15, 2519-2534.
2. Echigo, R., Hasegawa, S. and Tamehiro, H., "Radiative Heat Transfer by Flowing Multiphase Medium-Part II. An Analysis on Heat Transfer of Laminar Flow in an Entrance Region of Circular Tube", *Int. J. Heat Transfer*, 1972, 15, 2595-2610.
3. Tamehiro, H., Echigo, R. and Hasegawa, S., "Radiative Heat Transfer by Flowing Multiphase Medium-Part II. An Analysis on Heat Transfer of Turbulent Flow in a Circular Tube", *Int. J. Heat Transfer*, 1973, 16, 1199-1213.
4. Hasegawa, S., Echigo, R. and Shimizu, A., *Handbook of Heat and Mass Transfer*, Heat Transfer Operation, Gulf Publishing Company, 1986, 1, 523-557.
5. Sarofim, A.F., "Radiative Heat Transfer in Combustion: Friend and Foe", *Twenty-First Symposium (International) on Combustion*, The Combustion Institute, Pittsburg, PA, 1987, 1-23.
6. Viskanta, R. and Ramadhyani, S., "Radiative Heat Transfer in Directly-Fired Natural Gas Furnaces: A Review of Literature", Gas Research Institute, Topical Report, GRI-88/0154, 1988.
7. Dryuzer, V. Ya., Kokarev, N.I., Kut'in, V.B., Bodovkin, V. Yu., Draseev, S.S. and Duda, A.I., "Method of Intensifying Heat Transfer from Flame to Melt", *Glass and Ceramics*, 1980, 37, 373-376.
8. Khinkis, M.J., "Oxygen Enriched Combustion", United State Patent No.4, 761, 132, August 2, 1988.
9. Abbasi, H.A., Khinkis, M.H. and Fleming, D.K. "Development of NO_x Control Methods for Glass Melting Furnaces", Annual Reported for Gas Research Institute under Contract No. 5082-251-0674, 1983.
10. Echigo, R., "Effective Conversion Method Between Gas Enthalpy and Thermal Radiation and Application to Industrial Furnaces", *Proc, 7th Int. Heat Transfer Conf.*, Muncial, 1982, 6, 361-366.
11. Echigo, R., "High Temperature Heat Transfer Augmentations", in *High Temperature Heat Exchangers*, A.E. Sheidlin, and N.Afghan eds., Hemisphere, Washington, Dd, 1986a, 230-259.
12. Echigo, R., "Heat Transfer Augmentation in High Temperature Heat Exchangers", A.E Sheidlin, ed., *High Temperature Equipment*, Hemisphere, Washington, DC., 1986b, 41-72.
13. Echigo, R., "Sophisticated Applications of Radiation Heat Transfer", *Heat Transfer in High Technology and Power Engineering*, W.J. Wang and Y. Mori, Hemisphere, Washington, DC, 1989, 503-514.
14. Echigo, R., Yoshida, H. and Mochizuki, T., "Temperature Equalization by Radiative Converter for a Slab in Continuous Casting Direct Rolling", *Proceedings of 2nd ASME/JSME Thermal Engineering Joint Conference*, New York/Tokyo, 1987, 5, 63-39.

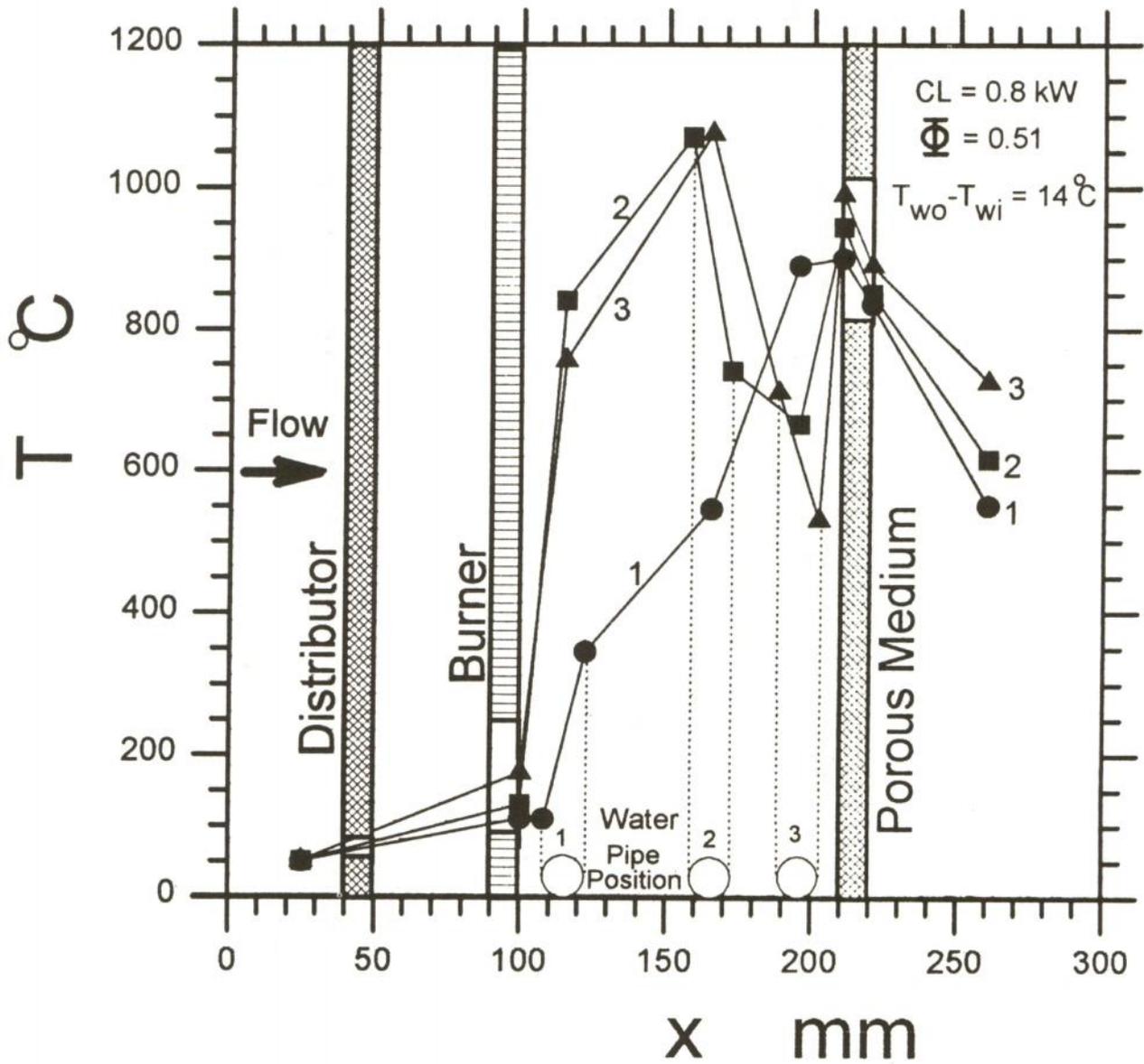
15. Sumrerng Jaujai, "Augmentation of Counterflow Spray Combustion by Convection-Radiation Converters", *ASEAN Journal on Science & Technology for Development*, 1993, 10, 1, 63-92.
16. สำเร็จ จักรใจ นพนนท์ จิโรจน์กุล สมาร์ท แก้วสุโข และ อาทิตย์ วงศ์มาลาพานิช "การส่งเสริมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงก๊าซที่มีค่าความร้อนต่ำโดยวัสดุพรุน" *วารสาร สจธ.* ปีที่ 15 ฉบับที่ 2 ธันวาคม 2535 และปีที่ 16 ฉบับที่ 1 มิถุนายน 2536 หน้า 48-70
17. สำเร็จ จักรใจ สรุชัย สนิทใจ สุรพงศ์ ทรัพย์วัฒนาไพศาล ดัยวัฒน์ อยู่บุรี สรุชัย ศศิวิมลพันธุ์ และ สมชาย จันทรชานา "เตาเผาเชื้อเพลิงแก๊สที่มีค่าความร้อนต่ำ โดยวัสดุเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อน ระหว่างการแผ่รังสีและการพาความร้อน ชนิดหมุนได้" *การประชุมทางวิชาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจธ.* ครั้งที่ 2 7-8 มิถุนายน 2537 หน้า 123-139



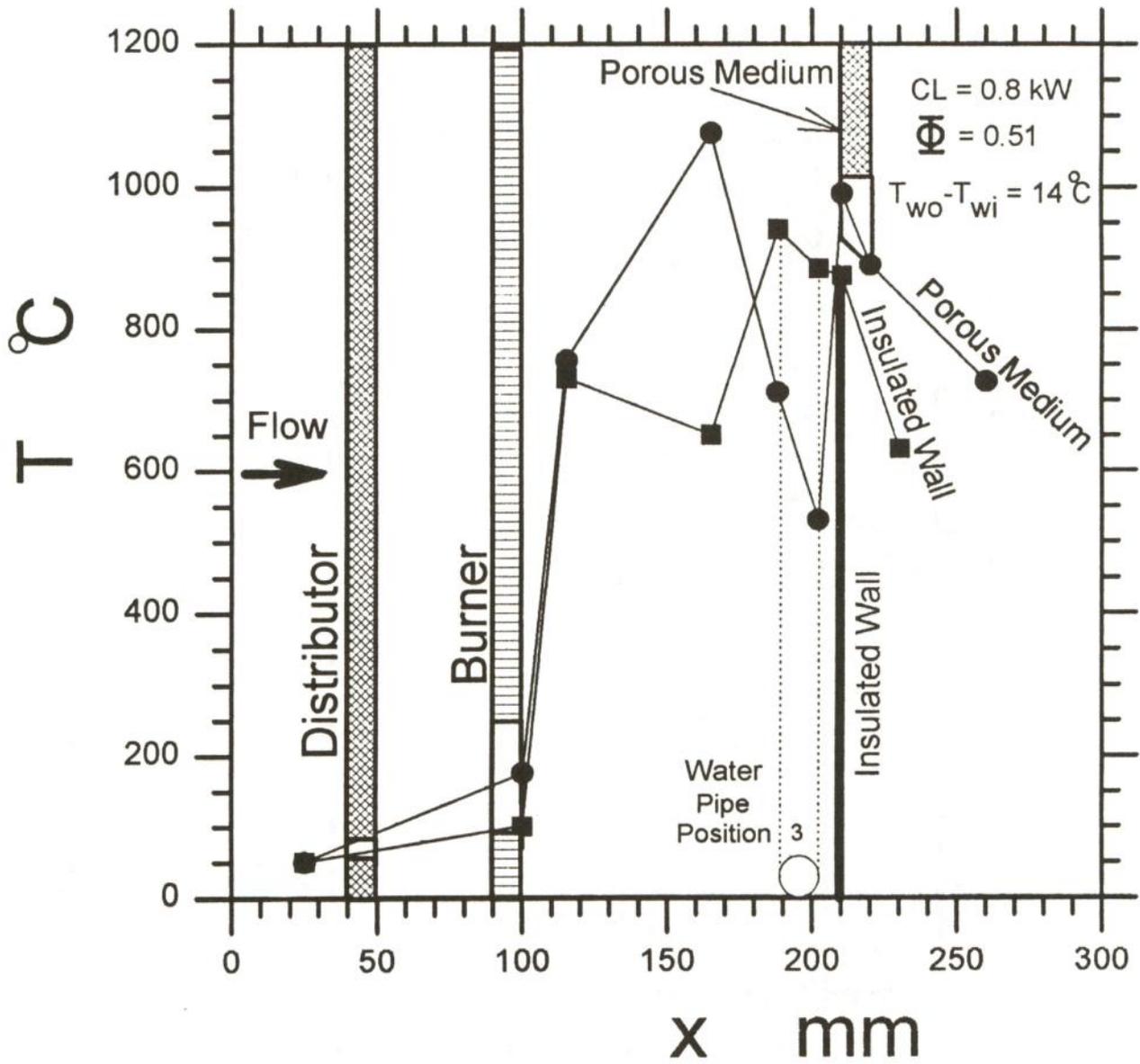
รูปที่ 1 อุปกรณ์การทดลอง



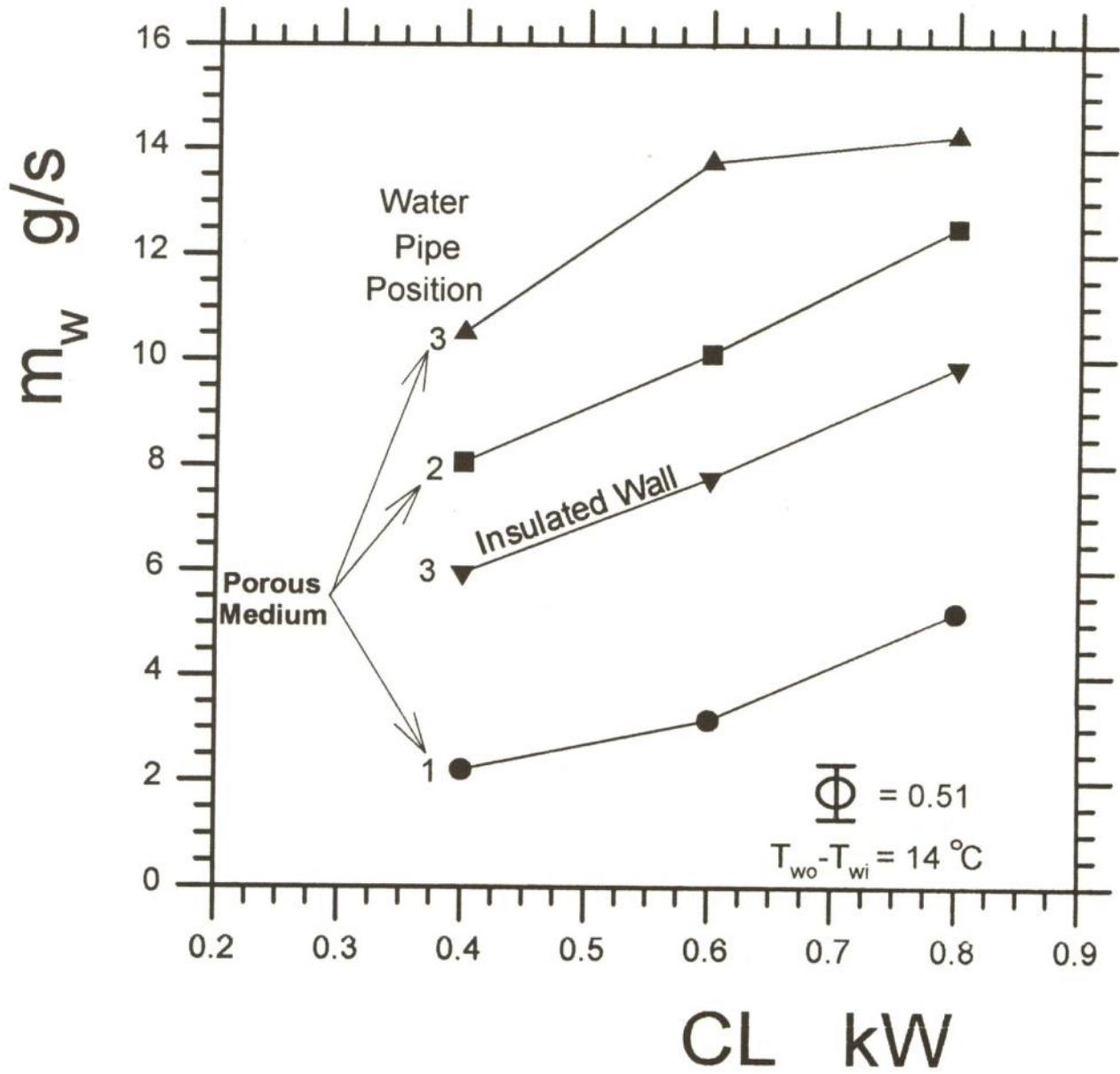
รูปที่ 2 อิทธิพลของอัตราการเผาไหม้



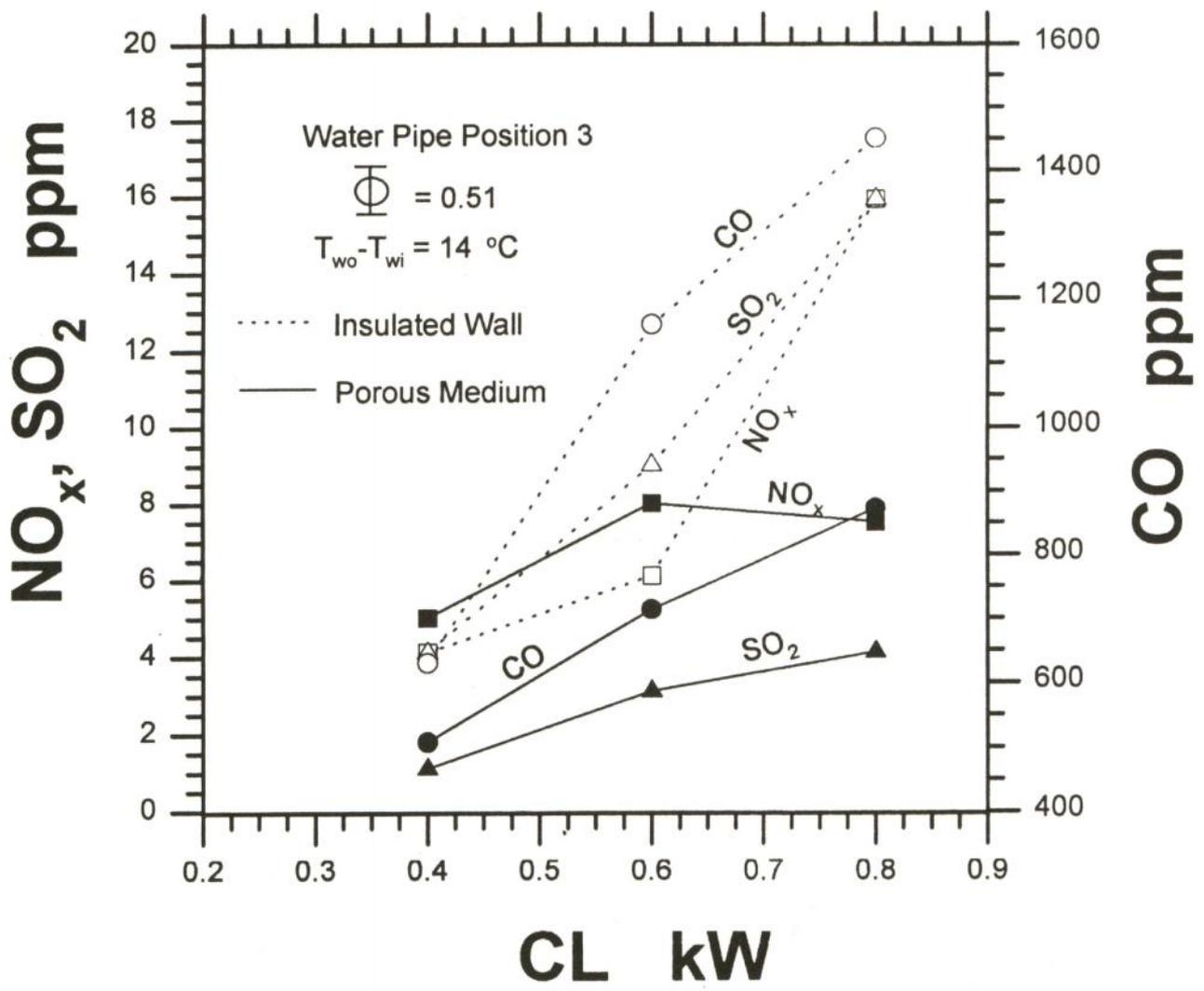
รูปที่ 3 อิทธิพลของตำแหน่งท่อน้ำ



รูปที่ 4 อิทธิพลของ porous medium



รูปที่ 5 สมรรถนะการส่งเสริมการถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 6 ตัวอย่างคุณสมบัติแก๊สไอเสีย