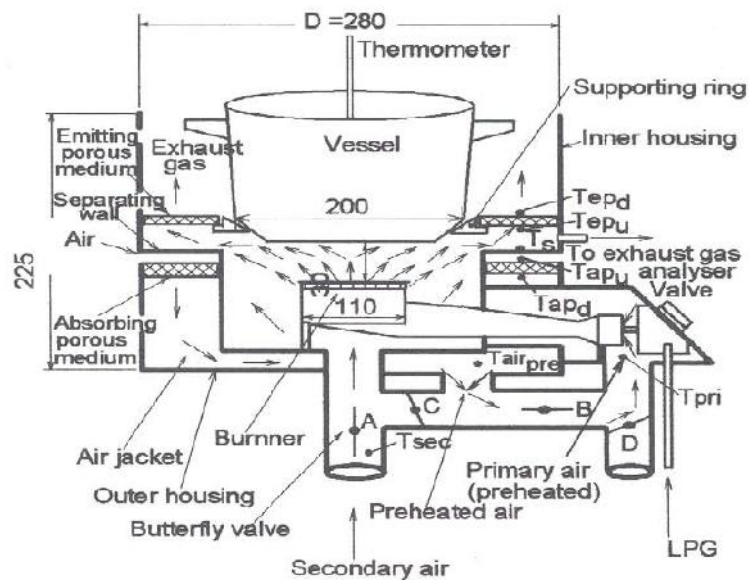


บทที่ 2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยที่ผ่านมาหลายงานวิจัยที่พยายามเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาเชื้อเพลิงแก๊สโดยเทคนิคในการเพิ่มประสิทธิภาพที่มีการนำเสนอก็มีอยู่หลายเทคนิคที่นิยมใช้เช่น การเปลี่ยนรูปแบบการไหลของmixture เพื่อเป็นการเพิ่ม residence time หรือการนำวัสดุพอร์นเข้ามาประยุกต์ใช้ เนื่องจากการเผาไหม้ในวัสดุพอร์นมีข้อดีคือทำให้เกิดการเผาไหม้ที่มีการหมุนเวียนความร้อนได้ด้วยตัวเอง ซึ่งลักษณะดังกล่าวมีข้อได้เปรียบเหนือการเผาไหม้แบบปกติ (Free-flame Combustion) หลายประการคือ ให้อุณหภูมิการเผาไหม้สูงกว่าเปลวไฟแบบปกติ [2,4] ที่สภาวะเดียวกัน ความเร็วในการเผาไหม้ (Burning velocity) สูงขึ้น [5] ความเข้มของการเผาไหม้มีค่าสูง (High combustion intensity) ส่งผลให้การออกแบบห้องเผาไหม้มีขนาดเล็กลง รวมถึง ฟลักซ์ความร้อนที่ได้จากการแผ่รังสี (Radiative heat flux) มีค่าสูงและสม่ำเสมอ การปลดปล่อยมลพิษต่ำเมื่อเทียบกับการเผาไหม้แบบปกติ และที่สำคัญก็คือสามารถเผาเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนต่ำ [6] หรือเผาไหม้ในสภาวะเจือจาง (Lean Combustion) หรือเข้มข้น (Rich Combustion) ซึ่งเตาเผาทั่วไป (CB) ไม่สามารถเผาไหม้ได้ซึ่งมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

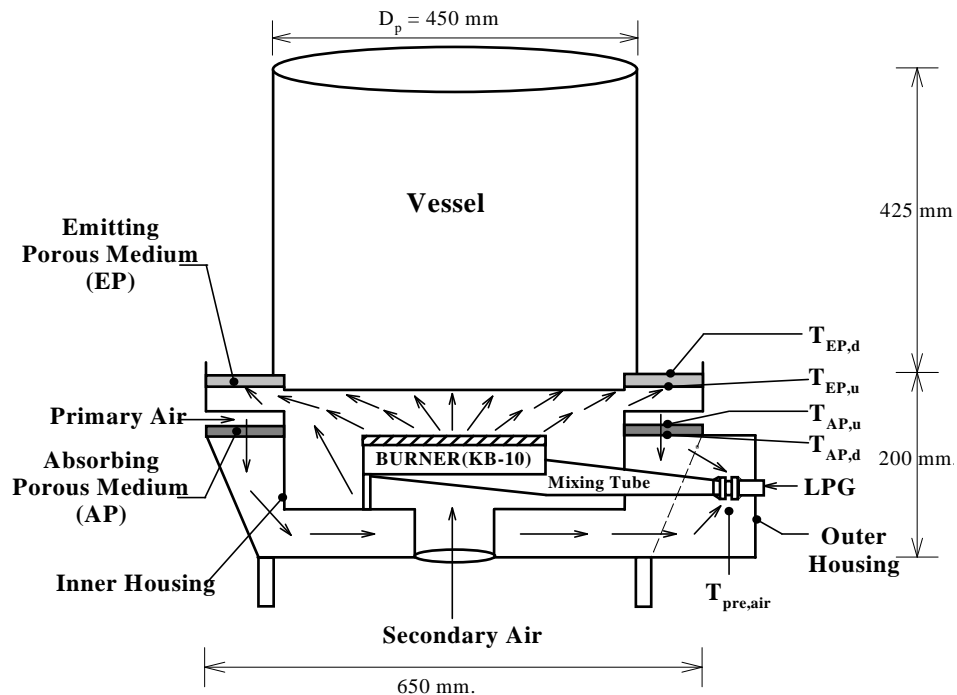
Yoshizawa และ Echico [7] ได้ทำการศึกษาถึงผลของการแผ่รังสีในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้วัสดุพอร์น (Porous Medium) เป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อนและพลังงานที่ถูกปล่อยออกมาจากการเผาไหม้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานการแผ่รังสีความร้อน วัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้ก็เพื่อพัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อน (Radiant Heater) ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น โดยการพยายามทำให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนนั้นสามารถที่จะเปลี่ยนพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ทั้งหมดไปเป็นพลังงานการแผ่รังสีความร้อนโดยอาศัยหลักการของวัสดุพอร์น ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้จะประกอบไปด้วยส่วนหลัก ๆ 2 ส่วนคือ หัวเผา (Burner) และ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ซึ่งจากการทดลองทำให้ทราบว่า อุณหภูมิภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อน โดยส่วนใหญ่จะถูกควบคุมโดยการแผ่รังสีความร้อนจากตัวของวัสดุพอร์น ดังนั้นจากการทดลองนี้ทำให้สามารถสรุปได้ว่าค่าประสิทธิภาพของการเปลี่ยนพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ไปเป็นพลังงานการแผ่รังสีความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยการแผ่รังสีความร้อนนี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดถึง 88%

Jugjai et al. [8] ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อนใน Porous Radiant Recirculated Burner (PRRB) โดยที่ในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อที่จะปรับปรุงให้เตาแก๊สหุงต้มที่ใช้ในครัวเรือนต่างๆ ไปมีประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้นโดยการทำให้อุณหภูมิของการเผาไหม้ภายในเตามีค่าสูงขึ้น โดยอาศัยการควบคุมให้มีการหมุนเวียนของพลังงานความร้อนจากไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำกลับมาอุ่น (Preheat) อากาศก่อนที่จะเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้โดยอาศัยหลักการของการแผ่รังสีความร้อนของวัสดุพอรุส ในการทดลองนี้ทำให้ทราบว่าอุณหภูมิของอากาศที่เข้ามาผสมกับเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ที่มีการอุ่นอากาศก่อนจะมีค่าสูงถึง 210°C และผลของการอุ่นอากาศที่เข้ามาผสมกับเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้นั้น พบว่าการอุ่นอากาศปฐมภูมิ (Primary Air) นั้นจะทำให้เตา PRRB มีประสิทธิภาพสูงกว่าการอุ่นอากาศทุติยภูมิ (Secondary Air) ซึ่งมีผลทำให้อุณหภูมิของอากาศปฐมภูมิสูงกว่าอากาศทุติยภูมิ ดังนั้นในการอุ่นอากาศที่จะเข้าผสมกับเชื้อเพลิงที่อากาศปฐมภูมิ จะมีความสำคัญมากกว่าการอุ่นอากาศทุติยภูมิ และจากการทดลองจึงได้ข้อสรุปว่าเตาแก๊สแบบ PRRB จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเตาแก๊สที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบันเนื่องจากในเตาชนิดนี้จะมีการอุ่นอากาศให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนการเผาไหม้ซึ่งจากหลักการนี้เองทำให้เราสามารถที่จะพัฒนาเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบเตาแก๊สหุงต้มที่ใช้กันภายในครัวเรือนได้ต่อไป



รูปที่ 2.1 อุปกรณ์การทดลองของ Jugjai และคณะ [8]

ณัฐวุฒิ รังสิมันตุชาติ [9] ศึกษาการนำวัสดุพอร์นมาประยุกต์ใช้เพื่อส่งเสริมประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มดังรูปที่ 2.1 เนื่องจากวัสดุพอร์นมีลักษณะเด่นคือ สามารถเป็นได้ทั้งตัวรับความร้อนและตัวแผ่รังสีความร้อน โดยทำการศึกษาด้วยการทดลองซึ่งใช้หัวเตาแก๊สชนิด KB-10 ที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดมาประกอบเข้ากับโครงสร้างของเตาที่สร้างขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน จากการทดลองพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงขึ้นได้โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 11.92 และคิดเป็นอัตราการประหยัดโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 30 เมื่อเปรียบเทียบกับเตา KB-10 ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป และในการทดลองนี้ยังได้มีการพัฒนาให้เตาแก๊สหุงต้มนี้มีค่าประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้นไปอีก โดยการปรับปรุงหัวเผาให้เปลวไฟที่พุ่งออกมามีลักษณะของการหวนวนเข้าสู่ศูนย์กลาง และจากการทดลองพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงขึ้นได้โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 19.56 เมื่อเปรียบเทียบกับเตาแบบ Swirl Burner ที่ยังไม่ได้มีการประกอบเข้ากับโครงสร้างที่ออกแบบไว้ และเมื่อเปรียบเทียบกับเตา KB-10 ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 30 และคิดเป็นอัตราการประหยัดโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 51



รูปที่ 2.2 อุปกรณ์การทดลองของณัฐวุฒิ [9]

โดยจากการทดลองของณัฐวุฒิ รั้งสิมันต์ชาติ [9] จะศึกษาเฉพาะหัวเตาวงนอกเท่านั้น (ลักษณะทั่วไปของเตาแก๊สขนาด KB-10 จะมีหัวเตา 2 วง คือวงในและวงนอก) ซึ่งหัวเตาวงในยังคงเป็นหัวเตาแบบ CB อยู่ และยังไม่ได้มีการศึกษาถึงระยะห่างระหว่างรูแก๊สออก รวมไปถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูแก๊สออก ซึ่งจะมีผลต่อลักษณะของเปลวไฟ

Dong et al. [10,11] , Kwok et al.[12] และ Chander and Ray [13] ศึกษาการพุ่งชนของเปลวไฟที่ไหลแบบราบเรียบชนิดผสมกันมาก่อนของหัวเผาหลายหัวแบบ Slot และ Cylindrical (Multiple slot and Cylindrical premixed impinging laminar flame jets) [14,15] พบว่าให้ผลคล้ายกับหัวเผาเดี่ยวแบบ Slot และ Cylindrical (Single slot and Cylindrical premixed impinging laminar flame jets) แต่มีอิทธิพลของระยะห่างระหว่าง Jet (jet-to-jet spacing distance, S) เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เมื่อ S มีค่าน้อยๆ ทำให้เกิดการหักล้างระหว่าง Jet และ S มากๆ ทำให้เปลวไฟขาดการส่งเสริมซึ่งกันและกัน โดยทั้ง Single jet และ Multiple jets จะให้ y_{th} สูงสุดที่ระยะห่างระหว่างหัวเผากับกันภาชนะ (H) มีค่าต่ำกว่าความสูงของ Inner premixed flame เล็กน้อย

Huang et al.[15] ศึกษาผลของการไหลแบบหมุนวนของเปลวไฟชนิดผสมมาก่อน โดยใช้อากาศพุ่งเข้ามาทางด้านข้างสองทางตามแนวเส้นสัมผัสของห้องผสมและเหนี่ยวนำให้ส่วนผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงที่พุ่งเข้ามาตามแนวแกนเกิดการหมุนวน พบว่าอุณหภูมิเปลวไฟสูงกว่าแบบไม่มีการหมุนวน และการกระจายตัวของ Heat-flux บนแผ่นเรียบที่ถูกเปลวไฟพุ่งชนมีความสม่ำเสมอมากกว่าแบบไม่มีการหมุนวน Tamir et al.[16] ศึกษาอิทธิพลของการเปลี่ยนลักษณะการไหลของเปลวไฟของ Convention burner ที่เป็นแบบ Radial flow เป็น Swirling central flow พบว่าสามารถเพิ่ม η_h ขึ้นได้ถึง 10-30%

Jugjai et al.[17] ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มที่ใช้แอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง โดยการเปลี่ยนลักษณะการไหลของเปลวไฟจาก Radial flow Swirling central flow อากาศส่วนที่หนึ่งของการเผาไหม้ พบว่า η_h เพิ่มขึ้นประมาณ 15% เมื่อเปลี่ยนการไหลจาก Radial flow Swirling central flow และเมื่อมีการอุ่นอากาศส่วนที่สอง η_h เพิ่มขึ้นอีก 3% นอกจากนั้นยังได้มีการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ทำารองภาชนะให้เบาขึ้นอีก 3.7 เท่า พบว่าสามารถเพิ่ม η_h

ที่ผ่านมาที่รี

วัสดุพูนนั้นช่วยเพิ่ม

Y_{th} 'จริงซึ่งเป็นผลในการลดการบริโภคเชื้อเพลิงได้ ดังนั้นจึง!

แนวคิดที่จะนำ

แต่เนื่องจากในการใช้เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนปัจจุบันนี้ระบบการเผาไหม้ของเตา (Premixed-flame) ซึ่งไม่ต้องมีระบบป้อนอากาศเหมือนหัวเผาแบบ

Diffusion flame เพราะถูกออกแบบมาให้มีท่อผสมที่สามารถเหนี่ยวนำเอาอากาศเข้ามาผสมกับเชื้อเพลิง แก๊สที่ถูกฉีดด้วยความเร็วสูงได้เอง (self-aspirating burner) เพื่อความสะดวกสบายในการใช้งานและ ประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์การจ่ายอากาศที่ จะต้องเพิ่มเข้ามา ดังนั้นในการนำเอาเตาเผาวัสดุพูนมาใช้ในภาคครัวเรือนหรืออุตสาหกรรมนั้น

ให้เป็นแบบที่สามารถเหนี่ยวนำอากาศได้ด้วยตนเอง เพื่อให้ สะดวกต่อการนำไปใช้งาน ด้วยแนวคิดนี้จึงมีผู้ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถเหนี่ยวนำอากาศได้ด้วยตนเอง

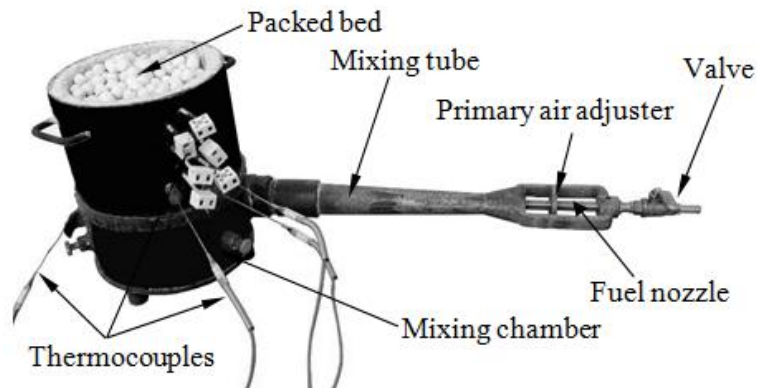
[18] จึงได้พัฒนาเตาเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊สชนิดวัสดุพูนด้วยการเหนี่ยวนำอากาศด้วย

2. ที่สามารถเหนี่ยวนำอากาศด้วยตนเอง (self-aspirating - porous medium burner , SPMB) และภาพที่ 2.3 แสดง

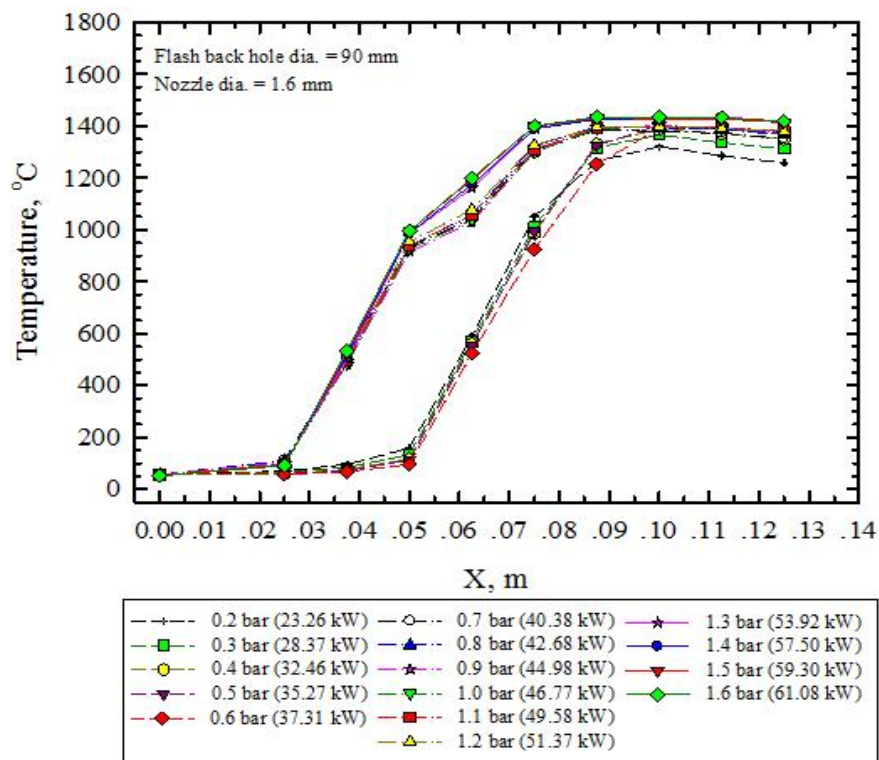
Packed bed ที่แปรเปลี่ยนไปตาม CL ที่เพิ่มขึ้นจาก 23.26 - 61.08 kW thermocouple ในการวัดอุณหภูมิของเปลวไฟทั้งหมด 10 จุด ($T_1 - T_{10}$)

คือ กลุ่มแรกที่ CL มีค่าตั้งแต่ 23.26 - 37.31 kW กลุ่มที่สอง CL ตั้งแต่ 40.38 - 51.37 kW CL ตั้งแต่ 53.92 - 61.08 kW ซึ่งเปลวไฟทั้งสามกลุ่มนี้ มีการเผาไหม้ที่เสถียร (Matrix stabilized flame)

ของเปลวไฟที่อยู่ภายในวัสดุพูน นอกจากนี้ทั้งสามกลุ่มยังให้ temperature profile ที่คล้ายกัน คือมี temperature gradient ก่อนข้างสูงอันเนื่องมาจากการเกิด self-preheating ซึ่งเป็นข้อดีของการเผาไหม้ใน หลังจากนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดและจะค่อยๆ ลดต่ำลงในช่วง post-flame ซึ่งเกิดการสูญเสียความร้อนไปให้กับสิ่งแวดล้อมด้วยการแผ่รังสีคว โดยจะสังเกตได้ที่ช่วง $T_9 - T_{10}$ อุณหภูมิ ณ จุดนี้เริ่มที่จะลดลง



รูปที่ 2.3 ภาพเตาเผาวัสดุพอรุนที่สามารถเหนี่ยวนำอากาศด้วยตนเอง (SPMB) [18]



ที่ 2.4 Temperature profile SPMB [18]

$(CL = 23.26 - 37.31 \text{ kW})$ upstream ค่อนข้างต่ำ ($T_2 - T_4$) เนื่องจากอิทธิพล
 downstream upstream เพื่อการอุ่นส่วนผสมมีค่าน้อย
 เฉลี่ยมีค่าต่ำ ต่ำ upstream ไม่สูงพอที่จะให้ติดไฟได้ (ignition) แต่จะเริ่มติดไฟที่

T_5 เมื่อ CL เพิ่มขึ้น $T_2 - T_7$ จะมีค่าลดลง เพราะว่าที่ FR เพิ่มมากขึ้น
 เข้ามามากขึ้น $downstream$ มากขึ้น $cool mixture$ preheating ที่ไม่มากพอ
 จึงทำให้อุณหภูมิในช่วงนี้ค่อยๆ ลดลงนั่นเอง เปลวไฟกลุ่มที่สอง ($CL = 40.38 - 61.08$ kW)
 $Upstream$ สูงกว่าเปลวไฟกลุ่มแรก เพราะการเพิ่ม CL Thermal capacity
 สูงขึ้น ส่งผลให้มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิการเผาไหม้สูงกว่าเปลวไฟกลุ่มแรก ดังนั้น Preheating effect
 ค่าสูงขึ้นไปด้วย ซึ่งมีค่าสูงพอที่จะทำให้ Mixture สามารถติดไฟได้ตั้งแต่ T_3
 กลุ่มที่สามจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มที่สอง เนื่องจาก CL ที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง แต่ตั้งแต่ $CL > 53.92$ kW
 ขึ้นไป อุณหภูมิที่ $T_6 - T_{10}$ ไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงมากนัก
 สิ่งแวดล้อมด้วยการแผ่รังสีนั่นเอง

ดังนั้นจากรูปที่ 2.4 จะเห็น $Reaction zone$ $downstream$ (ตั้งแต่ T_7) $Packed bed$
 CL ซึ่งเป็นตำแหน่งที่พึงประสงค์ เพราะสามารถนำความร้อนที่ได้จากการแผ่รังสีออกไปใช้งานได้
 $Upstream$ เพื่ออุ่น Mixture
 Temperature profile ก็ยังช่วยยืนยันว่าตามีช่วงการทำงานที่กว้างซึ่ง $Turn-down ratio$
 2.63

Ergun [3] (Correlation) Pressure drop Laminar
 turbulent flows Packed beds ที่เป็นแบบ uniform particle sizes (Porous medium)
 particle sphericles particles เท่านั้น โดยสมการที่ได้จากความสัมพันธ์ของ Ergun
 packed bed แบบที่มีการจัดเรียงตัว cylindrical ได้ที่
 Reynolds Numbers ที่กว้าง ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient) ที่อยู่ใน สมการของ Ergun
 Packed bed ที่เป็นแบบ infinite bed (Diameter bed Diameter
 particle) Packed bed (Random distribution)

Ergun 's equation

$$\frac{\Delta P}{L} = 150 \frac{(1 - \bar{V})^2}{\bar{V}^3} \sim \frac{\bar{V}}{d^2} + 1.75 \frac{(1 - \bar{V})}{\bar{V}^3} \dots \frac{\bar{V}^2}{d} \quad (2.1)$$

- ΔP pressure drop (Pa)
- L length of packed bed (m)
- \bar{v} average Porosity (dimensionless)
- \sim mixture viscosity (Pa.s)
- \dots density (kg/m³)
- \bar{v} superficial velocity of packed bed (m/s)
- d particle diameter (m)

Mehta Hawley [19] Wall effects ที่มีต่อ Wetted surface Packed beds ที่
 Cylindrical bed เนื่องจาก cylindrical bed มีส่วนที่เป็นผนังอยู่ด้วย Wall
 effects เพื่อนำไปแก้ไข Ergun Cohen Metzner [20] (Porosity)
 Wall effects Wetted surface เท่านั้น (Flow distribution) Cohen Metzner [20]
 Cross section Cylindrical bed Wall , Transition Bulk zone เพื่อถ่ายต่อ
 Packed beds ที่เป็นแบบ Laminar flow เท่านั้น Sode
 Parise [21] ไม่ Pressure drop Packed bed ที่เป็นแบบ Annular bed ซึ่งครอบคลุม
 ทั้งการไหลแบบ Laminar Flow Turbulent Flow Mehta Hawley[19] ,
 Cohen Metzner [20] m Ergun [3] เพื่อสร้างความสัมพันธ์ใหม่ขึ้นมา
 เสนอว่าความเร็วที่อยู่ในสมการของ Ergun C (Correction factor)
 2.2 เนื่องจากมีผลของ Wall effects Annular bed
 Internal wall , Transition External wall zone

$$\frac{\Delta P}{L} = 150 \frac{(1-\bar{v})^2}{\bar{v}^3} \sim \frac{C\bar{v}}{d^2} + 1.75 \frac{(1-\bar{v})}{\bar{v}^3} \dots \frac{(C\bar{v})^2}{d} \tag{2.2}$$

C ratio between the average flow velocity in the triregional method and the average flow velocity in the single region treatment (dimensionless)