115815-I สจธ. ปีที่ 20 ฉบับที่ 1 มิถุนายน 2540

การศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคถ่านหินในเครื่องปฏิกรณ์สะเป๊าเต็ดเบดสามวัฏภาค

วิโรจน์ บุญอำนวยวิทยา[1] สุวิทย์ เตีย[1] และ อรรถศักดิ์ จารีย์[2]
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคถ่านหิน ในสะเป๊าเต็ดเบดสามวัฏภาคโดยพิจารณาอิทธิพลของความเร็วอากาศ (ช่วงความเร็ว 1-6 ซม./วินาที), สัดส่วนมวลของถ่านหินในของผสม (ช่วงร้อยละ 5-20 หนักถ่านหิน/น้ำหนักของผสม) และขนาดของอนุภาคถ่านหิน (ช่วง 100-150, 150-200, 200-290 ไมครอน) ที่มีต่อการกระจายตัวของอนุภาคถ่านหินในสเลอรีภายในคอลัมน์ ในการทดลองได้ควบคุมตัวแปรทั้งสาม โดยเก็บตัวอย่างสเลอรีของน้ำกับอนุภาคถ่านหินที่ตำแหน่งต่างๆ ของคอลัมน์ในสภาวะที่คงที่ของระบบ เพื่อนำมาหาสัดส่วนมวลของถ่านหินในสเลอรีที่ตำแหน่งนั้นๆ จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้หลักการทดสอบสมมุติฐาน พบว่าความเร็ววิกฤต ซึ่งเป็นความเร็วอากาศที่ทำให้อนุภาคถ่านหินในสเลอรีมีการกระจายตัวที่ดี จะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วน มวลของถ่านหินที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามขนาดของอนุภาคถ่านหินในช่วงที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีผลกระทบต่อค่าความเร็ววิกฤตไม่มากนัก

[1] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี*
[2] *อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี*

Study of Coal Particle Distribution in Three Phase Spouted Bed Reactors

Virote Boonamnuayvitaya[1] Suvit Tia[1] and Attasak Jaree[2]

King Mongkut's Institute of Technology Thonburi

Abstract

The objective of this work is to study the distribution of coal particle in three phase spouted bed. The effect of air velocity (ranging from l-6 cm/s), coal pulp density (ranging from 5-20% weight of coal/weight of mixure) and particle sizes (in the range of 100-150, 150-210, 210-290 micron) were considered in the experiment. The samples of coal slurry taken from the specific points at steady state were analyzed for their weight fraction of coal. From the statistical analysis using hypothesis testing showed that critical velocity which resulted in homogeneous distribution to a certain level in the reactor increased with the increase of coal pulp density. However, coal particle size had little effect on critical velocity.

[1] **Assistant Professor, Department *of Chemical Engineering***

[2] ***Lecturer,* Department of Chemical Engineering**

รายการสัญลักษณ์

C_S สัดส่วนมวลถ่านหินในสเลอรี่, ร้อยละ น้ำหนักถ่านหิน/น้ำหนักสเลอรี่

c_{S0} สัดส่วนมวลถ่านหินในสเลอรี่กำหนด, ร้อยละ น้ำหนักถ่านหิน/น้ำหนักสเลอรี่

D_C เส้นผ่านศูนย์กลางหอ, ม.

d_P เส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคของแข็ง, ม.

g ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, ม./วินาที^{2}

H_0 สมมุติฐานแห่งการยอมรับ,

H_1 สมมุติฐานแห่งการปฏิเสธ,

n จำนวนตัวอย่างสุ่ม,

S ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างสุ่ม,

U_g ความเร็วของก๊าซเทียบจากพื้นที่หน้าตัดของหอ, ซม./วินาที

U_{gc} ความเร็ววิกฤต, ซม./วินาที

U^* ตัวแปรความเร็ววิกฤต, ซม./วินาที

V ปริมาตรของผสม, ซม.^{3}

W น้ำหนักของผสม, กรัม

$\bar{X}$ ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างสุ่ม,

z ตัวแปรสุ่มปกติ,

α ระดับนัยสำคัญทางสถิติ,

ρ_1 ความหนาแน่นของเหลว, กก./ม.^{3}

$_{PS}$ ความหนาแน่นของแข็ง, กก./ม.^{3}

μ ค่าเฉลี่ยของสัดส่วนมวลที่ควบคุมในแต่ละชุดการทดลอง,

$_{P0}$ ค่าเฉลี่ยของสัดส่วนมวลทั้งหมดในหอ,

μ_1 ความหนืดของเหลว, กก./ม. วินาที

ψ_S สัดส่วนปริมาตรถ่านหินในสเลอรี่,

บทนำ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิธีการสกัดกำมะถันออกจากถ่านหินโดยใช้วิธีชีวภาพด้วยเครื่องปฏิกรณ์ สะเป้าเต็ดเบดแบบ 3 วัฏภาค กล่าวคือ ถ่านหิน, สารละลายที่เติมสารอาหาร และอากาศ การกระจายตัวของถ่านหินที่ดีจะช่วยให้การถ่ายเทมวลจากสารอาหารไปยังอนุภาคถ่านหินเกิดขึ้นได้ดี ส่งผลให้เชื้อจุลินทรีย์สกัดกำมะถันออกจากอนุภาคถ่านหินได้ดีขึ้น การกระจายตัวของถ่านหิน อย่างทั่วถึงภายในเครื่องปฏิกรณ์ ขึ้นอยู่กับอัตราเร็วของอากาศที่ป้อนจากด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์

การเติมอากาศให้แก่เชื้อจุลินทรีย์ในกระบวนกำจัดกำมะถันในถ่านหิน ผู้วิจัยได้พบว่าการเติมอากาศที่ความเร็วอากาศมากเกินจำเป็นนอกจากจะเป็นการสูญเสียพลังงานแล้วยังมีผลทำให้ปฏิกิริยาของการย่อยสลายถ่านหินลดต่ำลง อันเนื่องมาจากแรงเฉือนที่เกิดขึ้น แต่ถ้าน้อยเกินไปอนุภาคถ่านหินจะไม่มีการหมุนเวียนถ่ายเท เกิดเป็น dead zone ภายในหอปฏิกรณ์ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบความเร็วของอากาศที่เติมที่เหมาะสมกับสัดส่วนของมวลถ่านหินในสเลอรี่ที่กำหนดเพื่อให้เกิดการกระจายตัวที่ดีของอนุภาคถ่านหิน

การทดลองหาการกระจายตัวของอนุภาคของแข็งคามความเร็วการเติมอากาศในหอปฏิกรณ์สะเป้าเต็ดเบดแบบสามวัฏภาค ที่มีน้ำ อากาศ และถ่านหิน ยังไม่มีผู้ทำการวิจัยมาก่อน อย่างไรก็ตามก็มีผู้วิจัยเกี่ยวกับความเร็วอากาศวิกฤตที่สามารถพยุงให้ของแข็งแขวงตัวอยู่ในของเหลวได้ดีที่สุด เช่น Roy et al. [1], Narayanan et al. [2], Kojima และ Asano [3], Koide et al. [4], Furchner และ Mersmann [5] และก็มีการนำเสนอ Empirical correlation เพื่อทำนายความเร็วอากาศวิกฤตไว้ด้วย เกณฑ์การตัดสินความเร็วอากาศวิกฤตมีหลายรูปแบบ เช่น Kojima และ Asano [3] ใช้เกณฑ์กำหนดความเร็วอากาศวิกฤตโดยถือว่าความเร็วอากาศที่ทำให้สัดส่วนของของแข็งที่ด้านล่างของหอปฏิกรณ์ ต่ำกว่าสัดส่วนของของแข็งก่อนการเติมอากาศ ส่วน Koide et al. [4] ก็ใช้ความดันลดคร่อมหอปฏิกรณ์เป็นเกณฑ์ในการกำหนดความเร็วอากาศวิกฤต จะเห็นได้ว่าทั้งสองวิธีเป็นวิธีการกำหนดแบบง่าย โดยไม่มีข้อมูลของสัดส่วนของของแข็งตามจุดต่าง ๆ ทั่วทั้งหอปฏิกรณ์ยืนยันความถูกต้อง

งานวิจัยนี้ จึงเน้นการศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคถ่านหินอย่างทั่วถึงโดยการเก็บตัวอย่างของสัดส่วนมวลถ่านหิน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ และใช้สัดส่วนการผสมมวลถ่านหินในสเลอรี่ ความเร็วอากาศและขนาดของอนุภาคเป็นตัวแปรของการทดลอง ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการทางสถิติโดยการทดสอบสมมุติฐานเป็นเกณฑ์การกำหนดความเร็วอากาศวิกฤตที่ทำให้เกิดการกระจายตัวของอนุภาคอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งหอปฏิกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์

1. ถ่านหิน

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกถ่านหินเป็นอนุภาคของแข็ง เพราะได้มีการนำคอลัมน์แบบนี้ไปประยุกต์ใช้กับการกำจัดกำมะถันจากถ่านหินโดยใช้จุลินทรีย์ ทำโดยบดย่อยถ่านหินให้ละเอียดด้วย Ball Mill แล้วจึงคัดขนาดของถ่านหินโดยใช้ตะแกรง เพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคถ่านหินในช่วง 100-150, 150-210 และ 210-290 ไมครอน ถ่านหินที่ใช้เป็นถ่านหินลิกไนต์ที่ได้มาจากเหมืองแม่เมาะ ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของกำมะถันในถ่านหินลิกไนต์

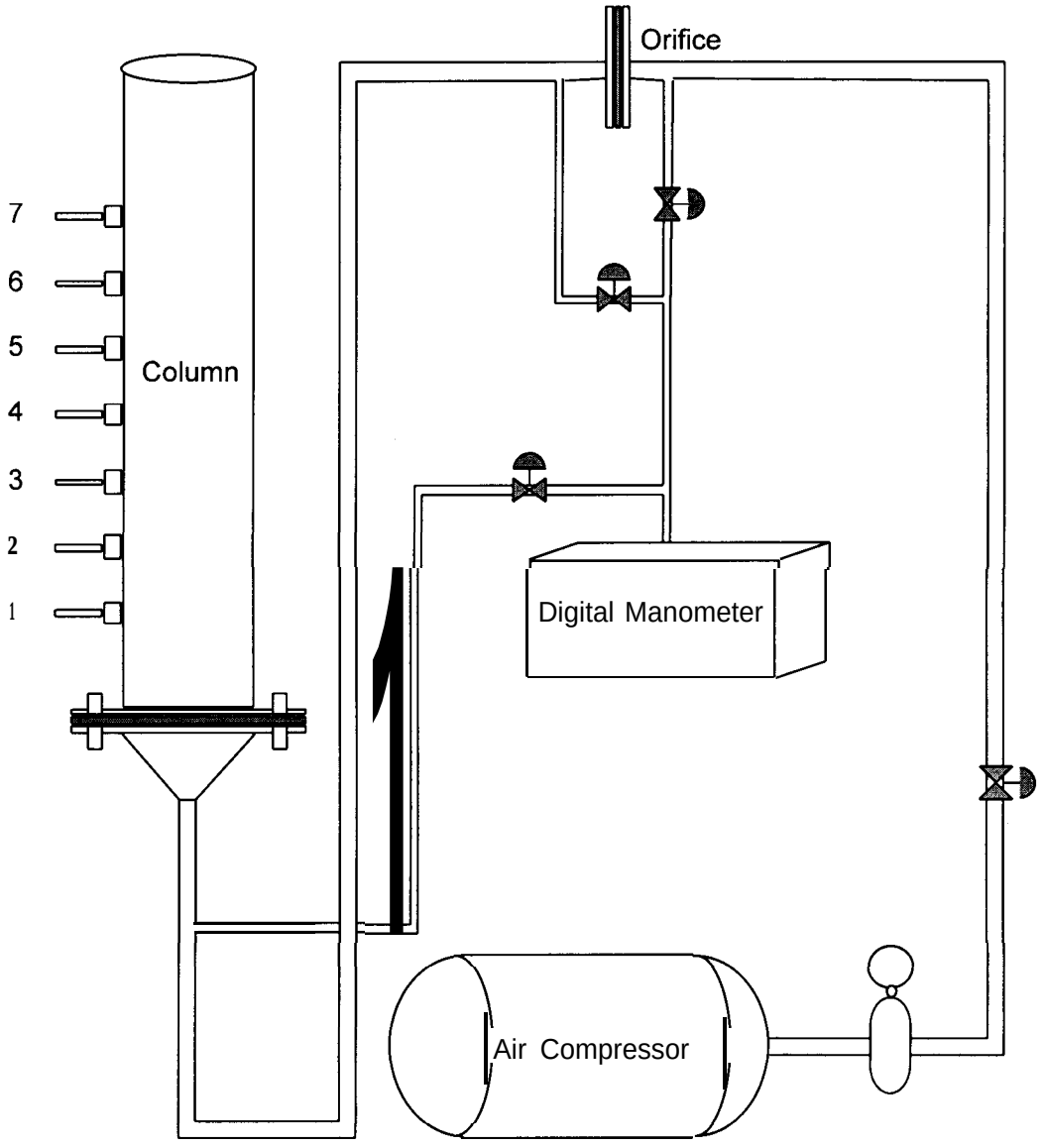
องค์ประกอบ	สัดส่วนโดยน้ำหนักร้อยละ
Moisture	18.75
Ash	46.16
Total sulfur	5.83
Organic sulfur	1.13
Pyrite sulfur	2.4
Sulfate sulfur	2.3

2. เครื่องปฏิกรณ์สะเป๊าเต็ดเบด มีส่วนประกอบสามส่วน คือ

2.1 *คอลัมน์หน้าตัดกลม* ทำจากอะคริลิคมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 14.4 ซม. หนา 3 ซม. สูง 100 ซม. ด้านล่างติดหน้าแปลนกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 ซม. หนา 1 ซม. เหนือขอบบนของฐานหน้าแปลน 3 ซม. เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มม. แต่ละรูห่างกัน 7 ซม. ที่หน้าแปลนเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ซม. จำนวนแปด รูสำหรับสวมน๊อต

2.2 *กรวยหน้าตัดกลม* ทำจากอะคริลิค ด้านบนสุดมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 14.4 ซม. ติดหน้าแปลนกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 ซม. หนา 1 ซม. ด้านล่างสุดมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.5 ซม. ติดหน้าแปลนกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. หนา 1 ซม. ความหนาของผนังกรวย 4 มม. กรวยเอียงทำมุม 60° กับแนวระดับ ความสูงของส่วนกรวยในแนวดิ่ง 11.8 ซม.

2.3 *หัวฉีดอากาศ (nozzle)* เป็นท่ออะคริลิคใส เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.5 ซม. ด้านบนและล่างติดหน้าแปลนเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. เจาะรูเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ซม. จำนวนสี่รูสำหรับ สวมนอต ความสูงของส่วนหัวฉีดอากาศ 5 ซม.



รูปที่ 1 ระบบที่ใช้ศึกษา

3. อุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่างสเลอรีในสะเป๊าเต็ดเบด

3.1 *จุกยางป้องกันรั่ว* มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 7 มม. ซึ่งปกติผลิตมาเพื่อใช้ประกอบกับสายส่งน้ำมันของเครื่องยนต์

3.2 *แท่งแก้ว* ยาว 12 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มม. ทำสัญลักษณ์ไว้ 4 จุด ห่างจากผนังหอเป็น ระยะทาง 0, 1, 3 และ 5 ซม.

3.3 *สายยาง* ใช้ต่อกับแท่งแก้วและหัวของหลอดฉีดยา

3.4 *หลอดฉีดยา* เนื่องจากการทดสอบดูดสเลอรีถ่านหินโดยใช้หลอดฉีดยาทั่วไปที่มีหัวฉีดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-2 มม. ปริมาตร 25 มล. พบว่าหัวฉีดขนาดนี้เล็กเกินไปจนทำให้สัดส่วนมวลที่ดูดได้ น้อยกว่าความเป็นจริง จึงต้องดัดแปลงให้หัวฉีดมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยการตัดหัวฉีดเดิมออก แล้วขยายรูหัวฉีดให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มม. จากนั้นใช้หัวฉีดใหม่เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มม. ซึ่งใช้ข้อต่อพลาสติกสามทาง (หลังจากติดหัวฉีดใหม่แล้วได้ทดสอบดูดสเลอรีถ่านหิน พบว่าใช้ได้ดีกว่าหัวฉีดเดิม)

วิธีดำเนินการวิจัย

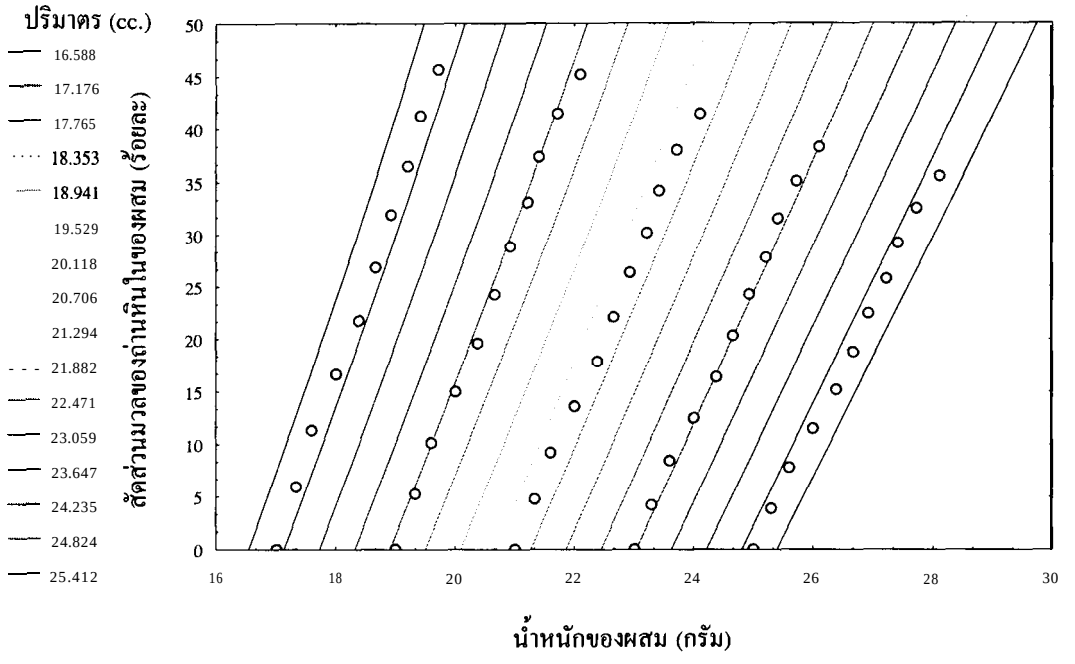
1. การศึกษาสัดส่วนมวลของถ่านหินในสเลอรี

การศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคถ่านหินในสเลอรีนี้ ได้ใช้สัดส่วนมวลของถ่านหินเป็นตัวแปร โดยคำนิยามของสัดส่วนมวลของถ่านหินในสเลอรีในที่นี้ก็คือ

$$\text{สัดส่วนมวลของถ่านหิน } (C_S) = \frac{\text{มวลของถ่านหิน}}{\text{มวลของผสม}} = \frac{\text{มวลของถ่านหิน}}{\text{มวลของถ่านหิน+มวลของน้ำ}}$$

เนื่องจากการคำนวณสัดส่วนมวลจากการอบแห้งนั้นต้องใช้เวลามาก อีกทั้งถ่านหินยังมีสาร อินทรีย์บางชนิดที่ระเหยได้ผสมอยู่ ถ้านำไปอบแห้งส่วนนี้จะสามารถระเหยออกไปได้ ทำให้น้ำหนักมีความคลาดเคลื่อนไป จึงได้คิดวิธีการสอบเทียบสัดส่วนมวลของถ่านหินในสเลอรีโดยมีหลักการดังนี้ "ถ้าถ่านหินที่ใช้มีความหนาแน่นเท่ากันตลอดทั้งก้อนและทุกก้อน (จากการทดสอบพบว่าใกล้เคียงกัน) ถ้านำอนุภาคถ่านหินมีมวลค่าหนึ่งผสมน้ำมวลค่าหนึ่งกวนให้เข้ากันทั่ว สเลอรีถ่านหินและน้ำนั้นจะมี มวลรวมที่ปริมาตรรวมค่าหนึ่ง และจะมีสัดส่วนมวลของถ่านหินในสเลอรีคงที่ค่าหนึ่งด้วย นั่นคือ ที่ปริมาตรรวมคงที่ถ้ามวลรวมมีค่าเปลี่ยนไป สัดส่วนมวลของถ่านหินจะเปลี่ยนไปด้วย" จึงได้หา ความสัมพันธ์ของสัดส่วนมวลของถ่านหินกับน้ำหนักและปริมาตรของสเลอรี โดยนำไปใช้ในการวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคถ่านหินในสเลอรีภายในสะเป๊าเต็ดเบดต่อไป

การหาความสัมพันธ์ของสัดส่วนมวลของถ่านหินกับน้ำหนักและปริมาตรของสเลอรี โดยการชั่งน้ำหนักของถ่านหินขนาดอนุภาคสามช่วง คือ 100-150, 150-210, 210-290 ไมครอนจำนวนหนึ่ง มาผสมกับน้ำให้ได้ปริมาตรรวมค่าหนึ่ง แล้วทำการวัดน้ำหนักรวม จากการทดสอบในทำนองเดียวกันนี้ทำให้สามารถสร้างกราฟสอบเทียบได้ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 กราฟสอบเทียบสัดส่วนมวลของถ่านหินในสเลอรี (ช่วงขนาดอนุภาคถ่านหิน 100-150, 150-210, 210-290 ไมครอน พล๊อตลงบนกราฟเดียวกัน)

จากการกราฟสอบเทียบสามารถสรุปเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนมวลของถ่านหินในสเลอรีกับน้ำหนักและปริมาตรรวมของสเลอรีได้ดังนี้

$$C_S = 20.93+26.169W-28.151V+0.114W^2-0.833WV+0.766V^2$$

เมื่อ C_S คือสัดส่วนมวลของถ่านหินในสเลอรี

W คือน้ำหนักของสเลอรี

V คือปริมาตรของสเลอรี

ความถูกต้องของสมการที่ได้จากการสอบเทียบสัดส่วนมวลของถ่านหินในสเลอรีได้ทดสอบแล้วพบว่ามีความเบี่ยงเบนจากค่าของการทดลองไม่เกินร้อยละ 5

2. การเก็บข้อมูลการกระจายตัวของอนุภาคถ่านหิน

การทดลองเก็บข้อมูลจะแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 12 ชุด โดยเปลี่ยนขนาดอนุภาคและสัดส่วนมวลของถ่านหินดังต่อไปนี้

ชุดที่	ช่วงขนาดของอนุภาค (ไมครอน)	สัดส่วนมวลของถ่านหิน(C_{S0}) (ร้อยละน้ำหนักถ่านหิน/น้ำหนักของผสม)
1	210-290	5
2	210-290	10
3	210-290	15
4	210-290	20
5	150-210	5
6	150-210	10
7	150-210	15
8	150-210	20
9	100-150	5
10	100-150	10
11	100-150	15
12	100-150	20

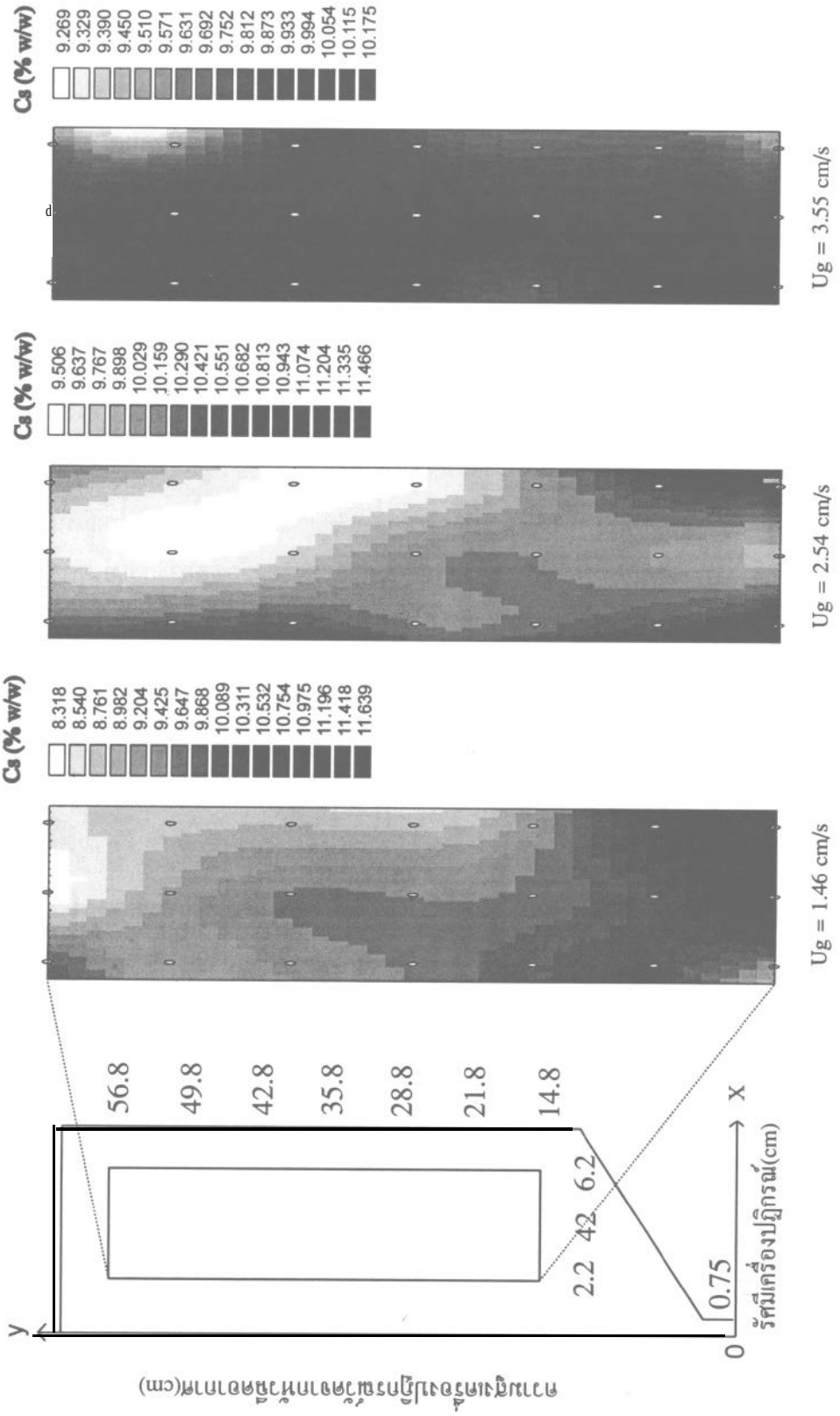
ในแต่ละชุดจะควบคุมให้ขนาดอนุภาคและสัดส่วนมวล ของถ่านหินในหอคงที่ แล้วเปลี่ยนความเร็วของอากาศ ในช่วง 0.5-6 ซม./วินาที ทำการเก็บตัวอย่างสเลอรีที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ความเร็วอากาศค่าหนึ่งเพื่อนำมาวิเคราะห์สัดส่วนมวลถ่านหินตามวิธีการที่ได้อธิบายไว้แล้วในข้างต้น

ที่ค่าความเร็วอากาศหนึ่ง นำตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างกับค่าสัดส่วนมวลถ่านหินมาพล็อตเป็น Contour zone แสดงการกระจายตัวของอนุภาคถ่านหินภายในสะเป้าเต็ดเบด การที่จะทราบว่าที่สภาวะใดหรือความเร็วอากาศเท่าใดที่ทำให้ อนุภาคถ่านหินจะมีการกระจายตัวที่ดีนั้น ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาตัดสินจากค่า Z ซึ่งเป็นค่าทางสถิติ (ตัวแปรสุ่มปกติ ดังจะนิยามและอธิบายภายหลัง) จากนั้นเปลี่ยนความเร็วอากาศไปจนกว่าจะพบค่าที่ทำให้เกิดการกระจายตัวที่ดีของอนุภาคถ่านหิน

ผลการทดลองและวิจารณ์

1 การกระจายตัวของอนุภาคถ่านหินในสะเป้าเต็ดเบด

การกระจายตัวของอนุภาคถ่านหินในหอสัมผัสสะเป้าเต็ดเบด ที่สภาวะของความเร็วอากาศและสัดส่วนมวลถ่านหินต่างๆ เมื่อนำมาพล็อตเป็น Contour zone จะได้ผลดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งใช้สัดส่วนมวลถ่านหินกำหนด (C_{S0}) ไว้ที่ร้อยละ 10 แกน X หมายถึงรัศมีเครื่องปฏิกรณ์ และแกน Y หมายถึงความสูงของเครื่องปฏิกรณ์ ที่วัดจากหัวฉีดอากาศ



รูปที่ 3 การกระจายตัวของอนุภาคถ่านหินที่สภาวะความเร็วอากาศต่าง ๆ เมื่อกำหนดสัดส่วนมวลถ่านหิน 10% และอนุภาคถ่านหินขนาด 150-210 ไมครอน

โดยอาศัยความสมมาตรในแนวรัศมี จึงแสดงเครื่องปฏิกรณ์เพียงครึ่งเดียว ส่วนตัวเลขเป็นสัดส่วนมวลถ่านหิน (C_S) ที่ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องปฏิกรณ์ จะแสดงการกระจายตัวของถ่านหิน ที่เปลี่ยนแปลงตามความเร็วของอากาศที่ป้อน

จากลักษณะของ Contour Zone แสดงให้เห็นว่าที่ความเร็วอากาศต่ำๆ ช่วงล่างของหอจะมี สัดส่วนมวลของถ่านหินมากกว่าช่วงบน และค่าเฉลี่ยของสัดส่วนมวลแตกต่างจากค่าที่กำหนดไว้มาก ซึ่งแสดงว่าอนุภาคถ่านหินมีการกระจายตัวไม่ดี เมื่อความเร็วอากาศสูงขึ้น สัดส่วนมวลของถ่านหิน ทั่วทั้งหอมีค่าใกล้เคียงกัน และค่าเฉลี่ยของสัดส่วนมวลเข้าใกล้ค่าที่กำหนดไว้มากขึ้น แสดงว่า อนุภาคของแข็งมีการกระจายตัวที่ดี อย่างไรก็ตามกราฟ Contour zone ไม่สามารถอธิบายระดับ การกระจายตัวเชิงปริมาณได้ จึงต้องประยุกต์ใช้วิธีทางสถิติเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์

2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตามทฤษฎีลิมิตสู่ศูนย์กลาง (Central limit theorem) ถ้ามีจำนวนตัวอย่างสุ่มมากกว่า 30 สามารถใช้การแจกแจงปกติช่วยในการประมาณการแจกแจงของข้อมูลการกระจายตัวได้ [6]

ในการทดลองหาการกระจายตัวของถ่านหินในเครื่องปฏิกรณ์สะเป้าเต็ดเบดนี้ จะตัดสินว่ามีการกระจายตัวของถ่านหินอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งหอปฏิกรณ์โดยใช้การตั้งสมมุติฐานว่าการกระจายตัวของอนุภาคถ่านหินอยู่ในระดับที่ยอมรับได้หรือไม่ได้ดังนี้

* สมมุติฐานที่ยอมรับได้ ($H_0 : \mu = \mu_0$)
* สมมุติฐานที่ไม่ยอมรับ ($H_1 : \mu \neq \mu_0$)

โดยที่ μ คือค่าเฉลี่ยของสัดส่วนมวลทั้งหมดในหอ

μ_0 คือค่าเฉลี่ยของสัดส่วนมวลที่กำหนดในแต่ละชุดการทดลอง

เพื่อทดสอบสมมุติฐานของ H_0 และ H_1 ในที่นี้จะเลือกระดับนัยสำคัญ (α) ซึ่งถ้าความมั่นใจในการสรุปผลการทดสอบเป็นร้อยละ 90 หรือ α=0.1 ทำให้บริเวณวิกฤตคือ $Z < -Z_{\frac{\alpha}{2}} = -1.64$ และ $Z > Z_{\frac{\alpha}{2}} = 1.645$

โดยที่ Z เป็นค่าทางสถิติที่ใช้ทดสอบ มีนิยามดังนี้

$$Z = \frac{\overline{X} - \mu_0}{S/\sqrt{n}}$$

$\overline{X}$ คือค่าเฉลี่ยสัดส่วนมวลของตัวอย่างที่สุ่ม

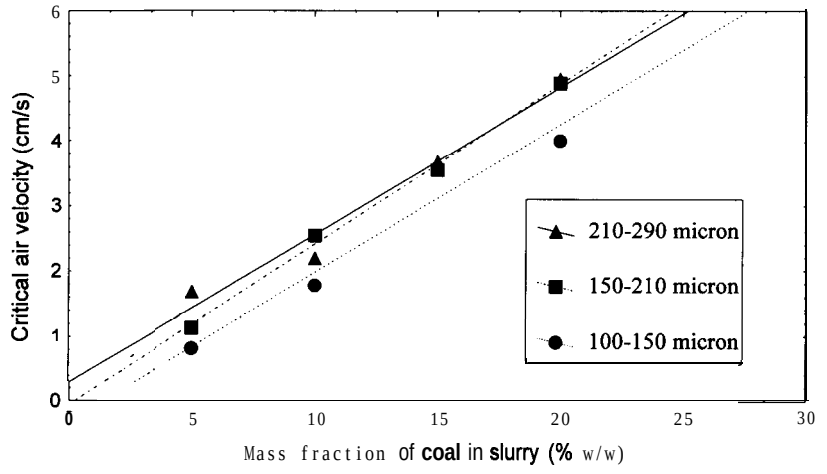
S คือความเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่สุ่ม

n คือจำนวนตัวอย่างที่สุ่ม (63 ตัวอย่างต่อหนึ่งความเร็วอากาศ)

ค่า Z จากการทดลองแต่ละชุดที่เปลี่ยนค่าความเร็วอากาศ จึงสามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินว่าค่าความเร็วอากาศใดที่สามารถทำให้อนุภาคถ่านหินมีการกระจายตัวที่ดีที่สุด (ค่าสัดส่วนมวลถ่านหินโดยเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกับค่าสัดส่วนมวลถ่านหินที่กำหนด) กล่าวคือ ถ้าค่า Z ถ้าอยู่ในช่วงบริเวณวิกฤต ($Z < -Z_{\frac{\alpha}{2}} = -1.64$ และ $Z > Z_{\frac{\alpha}{2}} = 1.645$) หมายความว่า สมมุติฐาน H_0 ยอมรับได้ หรืออนุภาคถ่านหินมีการกระจายตัวที่ดี

3 ความเร็วอากาศวิกฤต

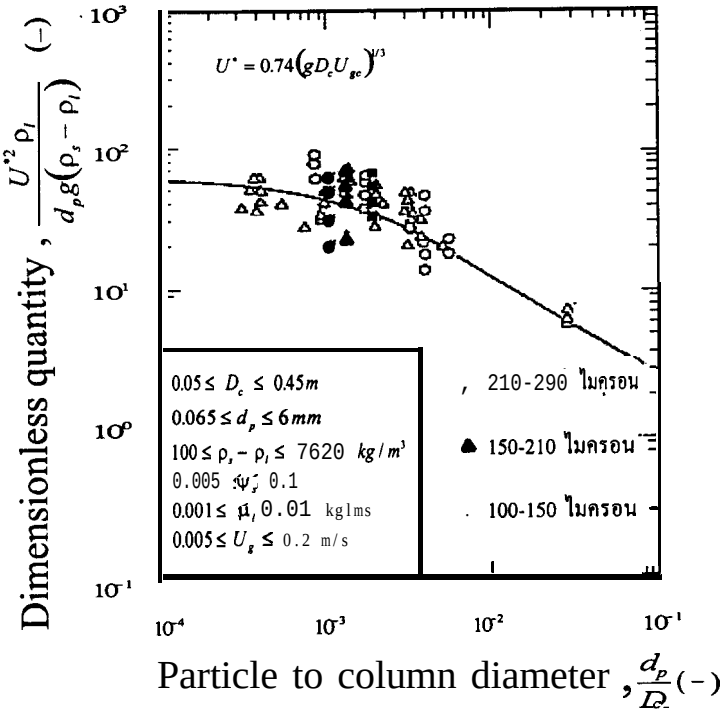
ในงานวิจัยนี้ ใช้วิธีการสถิติมาช่วยในการกำหนดความเร็วอากาศวิกฤต โดยใช้สมมุติฐานและ ค่า Z เป็นเกณฑ์ดังที่ได้อธิบายแล้วในข้างต้น จากการทดลองรวมทั้งสิ้น 38 ชุดการทดลอง สามารถสรุปได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ววิกฤตกับสัดส่วนมวลของถ่านหินในสเลอรีดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนมวลของถ่านหินขนาดต่าง ๆ กับความเร็ววิกฤต

เมื่อสัดส่วนมวลของถ่านหินในสเลอรีเพิ่มขึ้น ทำให้ความเร็ววิกฤต (ความเร็วของอากาศที่ทำให้อนุภาคถ่านหินในสเลอรีภายในปฏิกรณ์มีการกระจายตัวที่ดี) เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง โดยขนาดอนุภาคถ่านหินที่ใช้มีผลกระทบต่อความเร็ววิกฤตไม่มากนัก แต่สังเกตได้ว่าขนาดของอนุภาคที่ ใหญ่ขึ้นจะต้องใช้ความเร็ววิกฤตสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ที่เสนอโดย Koide et al. [4] อย่างไรก็ตามจากการเพิ่มสัดส่วนมวลของถ่านหินในสเลอรีตั้งแต่ร้อยละ 5-20 พบว่าความเร็ววิกฤตยู่ในช่วง 0.8-5 ซม./วินาที ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ

เมื่อนำความเร็ววิกฤตที่ได้มาคำนวณเพื่อเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยของ Furchner และ Mersmann [5] ดังแสดงในรูปที่ 5 พบว่าความเร็ววิกฤตที่ได้จากงานวิจัยนี้อยู่ในขอบเขตเดียวกันซึ่งก็เป็นการยืนยันความถูกต้องของค่าความเร็ววิกฤตที่กำหนดด้วยวิธีทางสถิติที่เสนอในงานวิจัยนี้



รูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบความเร็ววิกฤตกับผลงานวิจัยของ Furcher B., และ Mersmann A. [5] (เงื่อนไขที่ใช้ในสัญลักษณ์ไม่ได้ระบุในบทความที่ปรากฏ)

สรุป

การเพิ่มสัดส่วนมวลของถ่านหินในสเลอรีมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความเร็ววิกฤตที่สูงขึ้น และอนุภาคขนาดใหญ่กว่าจะต้องใช้ความเร็ววิกฤตที่สูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามภายในช่วงขนาด และสัดส่วนมวลของอนุภาคถ่านหินที่ทดลองนี้ต้องใช้ความเร็ววิกฤตอยู่ในช่วง 0.8-5 ซม./วินาที ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ

เอกสารอ้างอิง

1. Roy, N.K., Guha, D.K., and Rao, M.N., 1964, Chem. *Eng. Sci.*, Vol. 19, pp. 215-222.
2. Narayananm, S., Bhatia, V. K., and Guha, D.K., 1969, Can. ***J.** Chem. Eng.*, Vol. 47, pp. 360.
3. Kojima, H., and Asano, 1982, K., *J. Chem. Eng. Japan,* Vol. 15, pp. 321-329.
4. Koide, K., Yasuda, T., Iwamoto, S., and Fukuda, E., 1983, J. Chem. *Eng. Japan,* Vol. 16, pp. 7-14.
5. Furchner, B., and Mersmann, A., 1983, *Chem. Ind. Tech.*, Vol. 55, pp. 952-956.
6. ผศ. มิ่งขวัญ เหรียญประยูร, 2534, *ความน่าจะเป็นและสถิติ*, ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 7-1 ถึง 7-36.