



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปรับปรุงกระบวนการผลิตอะเซทิลีน
คาร์บอนแบล็ค

Parameter Analysis for Acetylene Carbon Black Production
Process Improvement

นางสาวอันธิกา ธิบัติ

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปรับปรุงกระบวนการผลิตอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็ค

นักศึกษา นางสาวอันธิกา ธิบดี

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. อมตะ อนันต์พิณจิวัฒนา

ผู้นิเทศงาน คุณเบญจวรรณ ป็องนพภา

สถานประกอบการ บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน)

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน กระบวนการผลิตอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็คของบริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) มีทั้งหมด 4 สายการผลิต ซึ่งแต่ละสายการผลิตมีลำดับขั้นตอนกระบวนการผลิตที่เหมือนกัน แต่ให้ผลิตภัณฑ์อะเซทิลีนคาร์บอนแบล็คต่างชนิดกัน และในแต่ละสายการผลิตมีกำลังการผลิตที่แตกต่างกัน โดยที่ทางบริษัทยังไม่ทราบเหตุผลที่ทำให้เกิดความแตกต่างของประสิทธิภาพในแต่ละสายการผลิต โครงการชิ้นนี้จัดทำขึ้นเพื่อต้องการศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็ค โดยตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ ค่าความดันลดภายในท่อ และค่าคงที่ในการออกแบบไซโคลน ซึ่งค่าคงที่ที่เลือกศึกษาคือ รูปแบบทางเข้าไซโคลน ขนาดพื้นที่หน้าตัดทางเข้าไซโคลน และความยาวของไซโคลน การคำนวณผลกระทบของตัวแปรที่ศึกษา ทำผ่านแบบจำลองที่สร้างในโปรแกรม Aspen Plus ผลการวิจัยพบว่าค่าความดันลดภายในท่อมีค่าน้อยมาก จึงไม่ส่งผลต่อกำลังการผลิต ส่วนการออกแบบไซโคลนนั้น พบว่าพื้นที่ทางเข้า และส่วนสูงของไซโคลน ส่งผลต่อประสิทธิภาพของไซโคลน ขณะที่รูปแบบทางเข้าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามก็ควรสร้างแบบจำลองไซโคลนผ่านโปรแกรม CFD เพื่อดูพฤติกรรมการไหลเพิ่มเติม ทั้งนี้ได้ทำการศึกษาถึงผลิตภัณฑ์อะเซทิลีนคาร์บอนแบล็คแต่ละชนิด รวมถึงวิธีการวิเคราะห์สมบัติที่ใช้ในการจำแนกชนิดของผลิตภัณฑ์เพื่อให้มีความเข้าใจมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ : อะเซทิลีนคาร์บอนแบล็ค ความดันลดภายในท่อ ไซโคลน

Cooperation Title : Parameter Analysis for Acetylene Carbon Black Production
Process Improvement

Student Intern : Antika Tibodee

Faculty : Engineering

Department : Chemical Engineering

Advisor : Asst. Prof. Dr. Amata Anantpinijwatna

Mentor : Benchawan Pongnoppa

Company : IRPC Public Company Limited

ABSTRACT

Nowadays, IRPC Public Company Limited has 4 production lines for the production of acetylene carbon black. Although each production line has the same process configuration, the efficiencies and production capacities are differences. Moreover, the company has not yet known the causes of deficiencies; therefore, the objectives of this project are to analyze parameters that may affect the production process. Pressure drop in the piping systems and cyclone designs are selected for this study. Cyclone inlet configuration, cyclone inlet dimensions and height of cyclone are the three cyclone design parameters selected for the study. The calculation has been conducted using Aspen Plus simulation software. The results show that the pressure drop in piping systems are too small to influence the production and efficiency. While the size of cyclone inlet area and the height of cyclone affect the cyclone efficiency, but appearance of cyclone's inlet doesn't affect the cyclone efficiency if the size of cyclone inlet area is maintained. However, a more detailed cyclone model using CFD technique is preferable since it would give more insight of flow pattern effect in the cyclone design. Lastly, the properties and analysis method for the classification of acetylene carbon black has been investigated for further product understanding.

Keywords : Acetylene Carbon Black, pressure drop in pipe, cyclone

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) สำหรับโอกาสและประสบการณ์การทำงานที่ดี จากการเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งในโครงการสหกิจศึกษาในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณเบ็ญจวรรณ ป็องนพภา ผู้นิเทศงานสหกิจศึกษาที่ให้โอกาสเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งในการทำงาน เรียนรู้ชีวิตการทำงาน และการแก้ไขปัญหาต่างๆ คุณสุรัชย์ สุรสมภพ และ ดร. ปิยะนุช อินทร์บำรุง ที่คอยดูแลเอาใจใส่ และให้การสนับสนุนช่วยเหลือ ตลอดระยะเวลา 4 เดือนที่ผ่านมา

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. อมตะ อนันต์พินิจวัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตั้งแต่ก่อนเริ่มโครงการสหกิจศึกษา และให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนโครงการสหกิจศึกษาสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจเสมอมา และขอบพระคุณทุกท่านที่ให้การสนับสนุนช่วยเหลือ รวมถึงผู้ที่ไม่ได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานสหกิจศึกษานี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจ หากการทําวิจัยในครั้งนี้ขาดตกบกพร่อง หรือไม่สมบูรณ์ประการใด ผู้วิจัยขออภัยมา ณ ที่นี้

อันธิกา ธิบัติ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	VIII
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ).....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 คาร์บอนแบล็ค.....	4
2.2 อะเซทิลีนคาร์บอนแบล็ค.....	7
2.3 การไหลภายในท่อ.....	9
2.4 ไชโคลน.....	12
2.5 การจำแนกชนิดผลิตภัณฑ์อะเซทิลีนคาร์บอนแบล็ค.....	16
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	19
3.1 การวิเคราะห์ความดันลดภายในท่อ.....	19
3.2 การออกแบบไชโคลน.....	19
3.3 วิเคราะห์ความแตกต่างของอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็คแต่ละชนิด.....	20
3.4 การสร้างแบบจำลอง.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

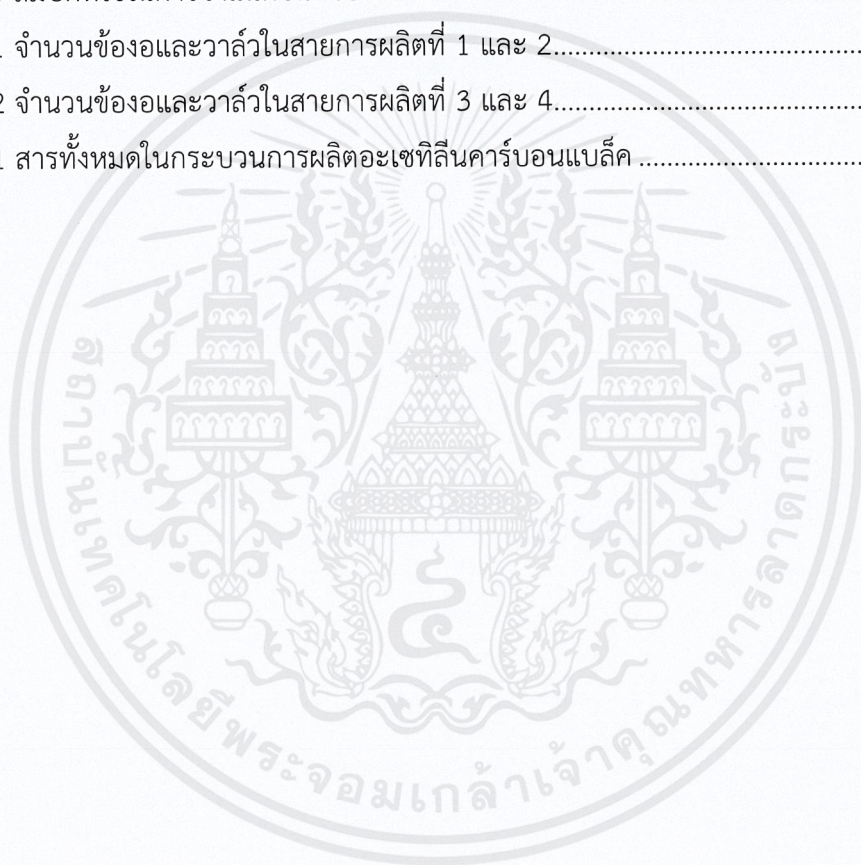
	หน้า
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย.....	21
4.1 การวิเคราะห์ความดันลดยาในท่อ	21
4.2 การออกแบบไบโคลอน.....	25
4.3 วิเคราะห์ความแตกต่างของอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็คแต่ละชนิด	32
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	33
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	33
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	33
บรรณานุกรม.....	35
ภาคผนวก.....	36
ภาคผนวก ก.....	37
ภาคผนวก ข	42
ภาคผนวก ค.....	43
ประวัติผู้เขียน.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์กับลักษณะของไหล	9
ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานรอง	11
ตารางที่ 2.3 อัตราส่วนของขนาดเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลนประเภทต่างๆ	14
ตารางที่ 4.1 ค่าความดันลดในแต่ละตำแหน่ง	24
ตารางที่ 4.2 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณในแต่ละวิธี	24
ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ในการออกแบบไซโคลนกับประสิทธิภาพ	31
ตารางที่ 4.4 สมบัติที่ใช้ในการจำแนกชนิดของผลิตภัณฑ์อะเซทิลีนคาร์บอนแบล็ค	32
ตารางที่ ข.1 จำนวนข้ออและวาล์วในสายการผลิตที่ 1 และ 2	42
ตารางที่ ข.2 จำนวนข้ออและวาล์วในสายการผลิตที่ 3 และ 4	42
ตารางที่ ค.1 สารทั้งหมดในกระบวนการผลิตอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็ค	43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 อะเซทิลีนคาร์บอนแบล็ค.....	7
ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของแกรไฟต์.....	7
ภาพที่ 2.3 ส่วนประกอบของไฮโคลน.....	13
ภาพที่ 4.1 ตำแหน่งที่ทำการศึกษาค่าความดันลด และตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์วัดความดัน.....	21
ภาพที่ 4.2 ค่าความดันลดที่ตำแหน่งต่างๆ ในสายการผลิตที่ 1 และ 2.....	22
ภาพที่ 4.3 ค่าความดันลดที่ตำแหน่งต่างๆ ในสายการผลิตที่ 3 และ 4.....	22
ภาพที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าความดันลดในสายการผลิตที่ 1 และ 2 กับสายการผลิตที่ 3 และ 4.....	23
ภาพที่ 4.5 ตำแหน่งที่ทำการเก็บตัวอย่าง.....	25
ภาพที่ 4.6 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคในสายการผลิตที่ 1.....	26
ภาพที่ 4.7 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคในสายการผลิตที่ 2.....	26
ภาพที่ 4.8 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคในสายการผลิตที่ 3.....	27
ภาพที่ 4.9 แบบจำลองกระบวนการผลิตอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็คโดยโปรแกรม Aspen Plus.....	27
ภาพที่ 4.10 รูปแบบทางเข้าไฮโคลนที่แตกต่างกัน.....	28
ภาพที่ 4.11 ประสิทธิภาพของไฮโคลนที่รูปแบบทางเข้าต่างๆ.....	29
ภาพที่ 4.12 พื้นที่หน้าตัดทางเข้าไฮโคลนที่แตกต่างกัน.....	29
ภาพที่ 4.13 ประสิทธิภาพของไฮโคลนที่พื้นที่หน้าตัดทางเข้าต่างๆ.....	30
ภาพที่ 4.14 ความยาวของไฮโคลน (a) ส่วนทรงกระบอกแตกต่างกัน (b) ส่วนโคนแตกต่างกัน.....	30
ภาพที่ 4.15 ประสิทธิภาพของไฮโคลนที่ความยาวต่างๆ.....	31
ภาพที่ 5.1 ตำแหน่งที่จะติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการไหลเพิ่มเติม.....	34
ภาพที่ ค.1 การตั้งค่าแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณ.....	44
ภาพที่ ค.2 การตั้งค่ารูปแบบการไหลและลักษณะของท่อ.....	45
ภาพที่ ค.3 การตั้งค่าข้อต่อและวาล์ว.....	45
ภาพที่ ค.4 การตั้งค่าลักษณะทางเข้าและทางออกของท่อ.....	45
ภาพที่ ค.5 ลักษณะการไหล วิธีที่ใช้ในการคำนวณ ความดันและอุณหภูมิเริ่มต้น.....	46
ภาพที่ ค.6 การตั้งค่าความยาวและลักษณะของท่อแต่ละส่วน.....	46
ภาพที่ ค.7 การตั้งค่ารูปแบบโมเดลที่ใช้ในการคำนวณ.....	47
ภาพที่ ค.8 การตั้งค่าขนาดของส่วนประกอบไฮโคลน.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

Re	ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์
ρ	ความหนาแน่นของไหล [kg/m ³]
V	ความเร็วของไหล [m/s]
D	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ [m]
μ	ความหนืดของไหล [kg/ms]
ν	kinematic viscosity [m ² /s]
p_i	ความดันที่ตำแหน่ง i [Pa]
V_i	ความเร็วของไหลที่ตำแหน่ง i [m/s]
z_i	ความสูงของระดับของไหลที่ตำแหน่ง i [m]
g	ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก [m/s ²]
h_f	ค่าการสูญเสียพลังงานหลัก [m]
h_m	ค่าการสูญเสียพลังงานรอง [m]
L	ความยาวของท่อ [m]
f	fanning friction factor
ϵ	ค่าความขรุขระของผิวท่อ [m]
k	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของข้อต่อและวาล์วชนิดต่างๆ
N	จำนวนรอบของการหมุนของก๊าซ (Effective Number of Turns)
W	ความกว้างของทางเข้าไซโคลน [m]
H	ความสูงของทางเข้าไซโคลน [m]
ρ_p	ความหนาแน่นของอนุภาค [kg/m ³]
ρ_a	ความหนาแน่นของก๊าซ [kg/m ³]
L_b	ความยาวส่วนทรงกระบอกของไซโคลน [m]
L_c	ความยาวส่วนโคนของไซโคลน [m]
d_{pc}	ขนาดตัดของอนุภาค [m]
d_{pj}	ขนาดของอนุภาค [m]
η	ประสิทธิภาพรวม
η_j	ประสิทธิภาพในการจับอนุภาคในแต่ละช่วงขนาด
W_j	อัตราส่วนโดยมวลของอนุภาคแต่ละช่วงขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

ΔP	ค่าความดันลดของไฮโคลน [cm.wg]
P_{10}	ความหนาแน่นของกระแสก๊าซที่มีอนุภาค [g/cm^3]
N_H	จำนวน inlet velocity head
D_e	เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อออก [m]
D_c	เส้นผ่านศูนย์กลางของไฮโคลน [m]
H_m	ปริมาณความชื้น [%]
m	มวลตัวอย่าง [g]
m_H	มวลตัวอย่างหลังอบ [g]
A	ปริมาณเถ้า [%]
m_A	มวลตัวอย่างหลังเผา [g]
G	ปริมาณเถ้า [%]
m_G	มวลตัวอย่างที่ตกค้างบนตะแกรง [g]
ρ_E	ความต้านทานไฟฟ้า [$\Omega \cdot cm$]
S	พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง [cm^2]
h	ความสูงของตัวอย่างที่บรรจุ [cm]
V_E	ความต่างศักย์ [V]
I	กระแสไฟฟ้า [A]
D_{50}	ความหนาแน่นโดยการเท [g/ml]
V_{50}	ปริมาตรของตัวอย่างหลังผ่านการยกแล้วปล่อย 50 ครั้ง [ml]

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) เป็นผู้ประกอบการอุตสาหกรรมปิโตรเคมีครบวงจรแห่งแรกของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ตั้งอยู่ย่านชายฝั่งทะเล ภาคตะวันออก ตำบลเชิงเนิน อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง โดยมีโรงกลั่นน้ำมัน และเชื่อมโยงไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ พร้อมทั้งสาธารณูปโภคที่สนับสนุนการดำเนินอุตสาหกรรมอย่างครบครัน เช่น ท่าเรือน้ำลึก คลังน้ำมัน โรงไฟฟ้า เป็นต้น โดยบริษัทไออาร์พีซีให้ความสำคัญต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ รวมถึงการคิดค้นผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลาย เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าปลายทางในอุตสาหกรรมต่างๆ ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีของบริษัทแบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม คือ โอลิฟินส์ อะโรมาติกส์ ผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติก โพลีเอทิลีน อะเซทิลีนแบล็ค และผลิตภัณฑ์เคมีชนิดพิเศษ

คาร์บอนแบล็ค เป็นเขม่าสีดำที่ได้จากกระบวนการเผาแบบย่อยสลายของเชื้อเพลิงประเภทไฮโดรคาร์บอน ซึ่งถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย สามารถพบเห็นได้ทั่วไปจากวัตถุที่มีสีดำ เช่น หมึกพิมพ์ที่ใช้ทำกระดาษคาร์บอนและพิมพ์หนังสือพิมพ์ ผลิตภัณฑ์ยางและพลาสติก โดยสีดำของวัตถุและผลิตภัณฑ์ต่างๆ เกิดจากการใช้เขม่าดำหรือคาร์บอนแบล็คเติมลงไปในผลิตภัณฑ์นั้นๆ นอกจากนี้ยังถูกนำมาใช้เป็นวัตถุเสริมกำลัง ในการป้องกันการเสื่อมสภาพของยางและพลาสติกอีกด้วย [1] แต่ที่ได้รับความนิยมคือคาร์บอนแบล็คที่ได้จากการเผาก๊าซอะเซทิลีน หรือที่เรียกว่าอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็ค จะมีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าสูง เหมาะสำหรับใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตถ่านไฟฉาย

ปัจจุบันทางโรงงานผลิตอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็คมีความต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพในการผลิต และคุณภาพของผลิตภัณฑ์อะเซทิลีนแบล็คในแต่ละสายการผลิต ซึ่งมีทั้งหมด 4 สายการผลิต โดยเน้นไปที่การปรับปรุงประสิทธิภาพสายการผลิตสายที่มีกำลังการผลิตน้อยกว่าสายการผลิตต้นแบบ โครงการนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็ค โดยผู้วิจัยได้เลือกจำลองกระบวนการผลิตอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็คแต่ละสายการผลิต ผ่านโปรแกรมจำลองกระบวนการ Aspen Plus V9 และวิเคราะห์ถึงตัวแปรที่ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 ศึกษากระบวนการผลิตอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็คของบริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน)

1.2.2 ศึกษาและเปรียบเทียบความดันลดภายในท่อในแต่ละสายการผลิต ที่ส่งผลต่อกำล้างการผลิตอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็ค

1.2.3 ศึกษาการออกแบบไซโคลน เพื่อพิจารณาตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของไซโคลน

1.2.4 วิเคราะห์ความแตกต่างของอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็คแต่ละชนิดของบริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน)

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 สร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็คโดยใช้โปรแกรม Aspen Plus

1.3.2 วิเคราะห์ความดันลดภายในท่อ ของสายการผลิตในปัจจุบัน

1.3.3 สร้างแบบจำลองประสิทธิภาพของไซโคลน ด้วยแบบจำลองอย่างง่ายในโปรแกรม Aspen Plus

1.3.4 ศึกษาสมบัติ และวิธีการจำแนกชนิดของอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็คของบริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน)

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1.4.1 มีความเข้าใจในกระบวนการผลิตอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็ค และวิธีการจำแนกชนิดอย่างละเอียด

1.4.2 ทราบผลกระทบของความดันลดภายในท่อ ต่อประสิทธิภาพการผลิต

1.4.3 ทราบถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของไซโคลน

1.4.4 ทราบถึงสมบัติที่ใช้ในการจำแนกชนิดผลิตภัณฑ์อะเซทิลีนคาร์บอนแบล็คของบริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน)

1.4.5 แนวทางในการปรับปรุง หรือวิจัยเพิ่มเติมในอนาคต เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็ค

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการทำโครงการครั้งนี้ ได้ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนแบล็ค อะเซทิลีนคาร์บอนแบล็ค การไหลภายในท่อ การสูญเสียจากการไหลภายในท่อ หลักการทำงานของ ไส้โคลน ประสิทธิภาพในการเก็บอนุภาคของไส้โคลน และการจำแนกชนิดผลิตภัณฑ์อะเซทิลีน คาร์บอนแบล็ค ดังนี้

2.1 คาร์บอนแบล็ค

คาร์บอนแบล็ค เป็นคาร์บอนที่ใช้เรียกถ่านอุตสาหกรรม (Industrial Carbon) ซึ่งเป็นผลผลิตจากน้ำมันชนิดหนัก ใช้เป็นวัสดุเสริมกำลังในการผลิตยางรถยนต์ เมื่อผสมกับยางจะให้คุณสมบัติทนต่อแรงเสียดทานและความยืดหยุ่นสูง และใช้เป็นผงแม่สีสำหรับสีดำที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตหมึก และสีชนิดต่างๆ ในทางการค้าและอุตสาหกรรมมักเรียกรวมคาร์บอนแบล็คว่า เขม่าดำ [1]

ในชีวิตประจำวัน วัสดุสีดำที่สามารถพบเห็นได้รอบตัว ได้แก่ หมึกพิมพ์ที่ใช้ทำกระดาษ คาร์บอน และพิมพ์หนังสือพิมพ์ หนังสือวารสาร สิ่งทอ ผลิตภัณฑ์ยางและพลาสติก เป็นต้น สีดำของ วัสดุและผลิตภัณฑ์ต่างๆ เกิดจากการใช้เขม่าดำผสมให้เกิดสี นอกจากนี้เขม่าดำยังถูกนำมาใช้เพื่อ ป้องกันการเสื่อมคุณภาพของพลาสติกบางชนิดที่นำมาใช้ภายนอกอาคาร ซึ่งต้องการคุณสมบัติทนต่อ สภาพดินฟ้าอากาศ

2.1.1 กรรมวิธีการผลิตคาร์บอนแบล็ค

กรรมวิธีการผลิตคาร์บอนแบล็คโดยทั่วไป [1] จะใช้หลักการเผาไหม้สารไฮโดรคาร์บอนแบบ ไม่สมบูรณ์ แล้วแยกเขม่าดำที่เกิดขึ้น โดยให้เขม่าดำไปกระทบผิวโลหะที่เย็นหรือโดยวิธีการดักด้วย เครื่องแยกไส้โคลน ซึ่งกรรมวิธีการผลิตแบ่งออกตามลักษณะการเผาไหม้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. กรรมวิธีการใช้ความร้อนสูง (Thermal black process)

ใช้หลักการสลายตัวของสารไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิสูงในที่ที่ไม่อากาศ ซึ่งมักจะใช้ ผลิตเขม่าดำชนิดเทอร์มอลแบล็ค และอะเซทิลีนแบล็ค เป็นขบวนการผลิตแบบแบทช์ ประกอบด้วยเตาเผา 2 ลูก ด้านข้างบุด้วยวัสดุทนไฟและมีอิฐทนไฟบรรจุอยู่ภายใน ซึ่งจะเผา อิฐในเตาให้มีอุณหภูมิสูงประมาณ 1300 องศาเซลเซียส โดยใช้เชื้อเพลิงเผาไหม้แบบสมบูรณ์ จากนั้นดับเปลวไฟ แล้วจึงผ่านสารไฮโดรคาร์บอนเข้าไปในเตาไฟที่ยังร้อน ก๊าซที่ได้ส่วนใหญ่ จะประกอบด้วยก๊าซไฮโดรคาร์บอนหลายชนิด ซึ่งจะเป็นตัวพาเขม่าดำผ่านเข้าไปในหอหล่อ เย็น เขม่าดำจะถูกแยกออกจากก๊าซด้วยเครื่องแยกไส้โคลน แล้วแยกด้วยถุงกรองเพื่อให้การ แยกสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น เขม่าดำที่ได้จะถูกลำเลียงไปยังหน่วยบรรจุเพื่อจำหน่ายในรูปของผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขม่าดำ หรือเขม่าดำอัดเม็ด ส่วนก๊าซที่ออกมาจากเตาจะถูกทำให้เย็นลงและแห้ง เพื่อนำกลับไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเผาให้เตาร้อน

2. กรรมวิธีการเผาไหม้ในเตาเผาแบบท่อ (Channel black process)

เป็นการผลิตเขม่าดำโดยการจุดเชื้อเพลิงให้ลุกไหม้ในท่อซึ่งเจาะเป็นรูเล็กๆ เขม่าดำจากเปลวไฟจะไปกระทบกับท่อเหล็กกล้าและติดอยู่ เมื่อทำให้ท่อเหล็กกล้าเลื่อนไปมาผ่านเครื่องชุดซึ่งตั้งอยู่กับที่ เขม่าดำที่ติดอยู่ก็จะตกลงไปในที่รองรับ แล้วถูกลำเลียงไปแยกเพื่อแยกเอาสิ่งสกปรกออก จากนั้นส่งต่อไปแยกด้วยไซโคลนต่อไป

3. กรรมวิธีการเผาไหม้ในเตาเผาธรรมดา (Furnace black process)

วัตถุดิบที่ใช้ผลิตเขม่าดำวิธีนี้คือก๊าซธรรมชาติ ก๊าซธรรมชาติผสมน้ำมัน หรือน้ำมัน ซึ่งวิธีนี้จะคล้ายกับวิธีการเผาไหม้ในเตาแบบท่อ คือการทำให้วัตถุดิบลุกไหม้เพียงบางส่วน โดยใช้ก๊าซและอากาศในปริมาณมากเพียงครั้งเดียว ก๊าซหรือสารไฮโดรคาร์บอนจะถูกนำเข้าไปในเตาเผา โดยใช้สารไฮโดรคาร์บอนเผาให้เกิดการลุกไหม้อย่างสมบูรณ์เป็นเชื้อเพลิง ในเตาจะมีอุณหภูมิประมาณ 1250-1450 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการแตกตัวด้วยความร้อนจะถูกส่งต่อไปยังหอหล่อเย็น ซึ่งจะลดอุณหภูมิลงเหลือประมาณ 200 องศาเซลเซียส แล้วจึงทำการแยกเอาเขม่าดำออก ด้วยเครื่องแยกโดยใช้ไฟฟ้าสถิต จากนั้นนำมาบดเป็นอนุภาคเล็กๆ แล้วแยกด้วยไซโคลน เขม่าดำจะถูกลำเลียงด้วยสายพานไปยังเครื่องทำเม็ดต่อไป

2.1.2 คุณสมบัติของคาร์บอนแบล็ค

คุณสมบัติของคาร์บอนแบล็คตามลักษณะโครงสร้าง [2]

1. โครงสร้างที่มีความเป็นโครงสร้างสูง (High Structure) จะให้เฉดสีที่ไม่ดำสนิท และเนื่องจากมีโครงสร้างเป็นสายโซ่ต่อกันยาวๆ จึงมีคุณสมบัติการเป็นตัวนำไฟฟ้า
2. โครงสร้างที่มีความเป็นโครงสร้างต่ำ (Low Structure) จะให้เฉดสีที่ดำกว่า แต่มีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าด้อยกว่า

คุณสมบัติของคาร์บอนแบล็คตามขนาดอนุภาค

1. อนุภาคขนาดใหญ่ ให้เฉดสีดำน้อยกว่า
2. อนุภาคขนาดเล็ก ให้เฉดสีดำมากกว่า

2.1.3 ประเภทของคาร์บอนแบล็ค

แบ่งตามระบบ IUPAC (IARC, 2010) [3]

1. แชนแนลแบล็ค (Channel Black) เป็นอนุภาคสีดำที่ได้จากการขุดตะแกรงเหล็ก ซึ่งเป็นตัวรองรับคราบเขม่า ที่เกิดจากการฟืนเปลวไฟและควันไฟ ออกจากหัวฉีดเชื้อเพลิง แชนแนลแบล็คมีขนาดอนุภาคปฐมภูมิประมาณ 10-30 นาโนเมตร และมีขนาดของกลุ่มมวลประมาณ 50-200 นาโนเมตร
2. เฟอร์นาซแบล็ค (Furnace Black) เป็นอนุภาคสีดำที่เกิดในเตาเผา น้ำมัน หรือไฮโดรคาร์บอน ในสถานะที่เป็นไอ มีขนาดอนุภาคปฐมภูมิประมาณ 10-400 นาโนเมตร และมีขนาดของกลุ่มมวลประมาณ 50-400 นาโนเมตร
3. อะเซทิลีนแบล็ค (Acetylene Black) เป็นอนุภาคสีดำที่ได้จากการเผาแก๊สอะเซทิลีนในสถานะไร้อากาศ อนุภาคที่เกิดขึ้นมีการนำไฟฟ้าที่ดี เหมาะสำหรับใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตถ่านไฟฉาย โดยอะเซทิลีนแบล็คมีขนาดอนุภาคปฐมภูมิประมาณ 30-50 นาโนเมตร และมีขนาดของกลุ่มมวลประมาณ 350-400 นาโนเมตร
4. แลมป์แบล็ค (Lamp Black) เป็นอนุภาคสีดำที่ได้จากการเผา น้ำมัน โดยเฉพาะสารสกัดจากน้ำมันดิน (coal tar creosote) โดยเผาในภาชนะภายในเตาเผาที่ควบคุมอากาศเพื่อให้ได้ควันดำ มีขนาดอนุภาคปฐมภูมิประมาณ 60-200 นาโนเมตร และมีขนาดของกลุ่มมวลประมาณ 300-600 นาโนเมตร
5. เทอร์มัลแบล็ค (Thermal Black) เป็นอนุภาคสีดำที่ได้จากการเผาแก๊สธรรมชาติ ในสถานะไร้อากาศ โดยพ่นเชื้อเพลิงดังกล่าวลงบนผิวของเตาที่ร้อน มีขนาดอนุภาคปฐมภูมิประมาณ 120-500 นาโนเมตร และมีขนาดของกลุ่มมวลประมาณ 400-600 นาโนเมตร

แบ่งตามกระบวนการผลิต [4]

1. อัดเป็นเม็ดขนาดเล็กทรงกลม (Bead) เพื่อลดฝุ่นละอองในกระบวนการนำไปใช้ มีข้อดีในการช่วยลดฝุ่น และข้อเสียคือกระจายตัวได้ยาก
2. แบบฝุ่นผง (Powder) มีข้อดีในการกระจายตัวได้ง่าย และข้อเสียคือฟุ้งกระจายได้ง่าย

2.1.4 ประโยชน์ของคาร์บอนแบล็ค

ผลผลิตของคาร์บอนแบล็คที่ผลิตได้ 2 ใน 3 ส่วน ถูกใช้ในอุตสาหกรรมยาง ซึ่งในจำนวนนี้ถูกใช้ผลิตยางรถยนต์ถึงร้อยละ 90 ที่เหลืออีกร้อยละ 10 ใช้ในผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยางประเภทอื่น เช่น วัสดุรองในท่อ สายพานยางชนิดต่างๆ สายพานลำเลียง ฉนวนสายเคเบิล ท่อยาง สันและพื้นรองเท้า ส่วนผลผลิตของคาร์บอนแบล็คอีก 1 ใน 3 ส่วน ถูกใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสี หมึกพิมพ์ และอุตสาหกรรมประเภทอื่นๆ [1]

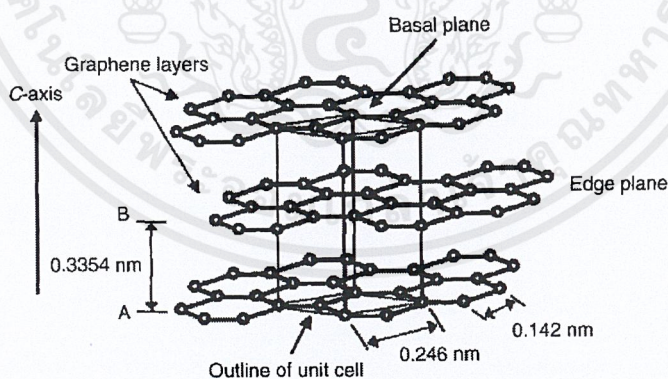
2.2 อะเซทีลีนคาร์บอนแบล็ค



ภาพที่ 2.1 อะเซทีลีนคาร์บอนแบล็ค [5]

คาร์บอนแบล็คมีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอะเซทีลีนแบล็คที่มีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าสูง และมีคุณสมบัติการดูดซับที่ดี จึงนิยมใช้ในการผลิตถ่านไฟฉาย (Dry Cell) และสำหรับการใช้งานเฉพาะบางอย่าง เช่น ในอุตสาหกรรมการผลิตยางและคอนกรีตนำไฟฟ้า [6]

คุณสมบัติการนำไฟฟ้าของคาร์บอนแบล็คขึ้นอยู่กับโครงสร้างของผลึก ซึ่งเป็นอิทธิพลจากอุณหภูมิในการเกิดคาร์บอนแบล็ค โดยยิ่งโครงสร้างผลึกใกล้เคียงกับแกรไฟต์จะยิ่งมีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าสูง



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของแกรไฟต์ [7]

อะเซทีลีนแบล็ค เกิดจากกระบวนการสลายตัวทางความร้อนของก๊าซอะเซทีลีน ซึ่งแตกต่างจากคาร์บอนแบล็คชนิดอื่นที่มีปริมาณคาร์บอนสูงกว่า หรือถูกกล่าวว่ามีองค์ประกอบของคาร์บอนสูงกว่า 99% ในขณะที่คาร์บอนแบล็คชนิดอื่นมีองค์ประกอบของคาร์บอนต่ำกว่า 98%

ตามที่อธิบายไว้ในสิทธิบัตรของฝรั่งเศส หมายเลข 1426071 [6] คาร์บอนแบล็คที่มีคุณสมบัติ นำไฟฟ้า ผลิตจากส่วนผสมของไฮโดรคาร์บอนและก๊าซอะเซทิลีน จากกระบวนการที่กล่าวมาข้างต้น คาร์บอนแบล็คเกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และการสลายตัวทางความร้อนของไฮโดรคาร์บอน บริเวณเตาเผา จากนั้นทำการป้อนก๊าซอะเซทิลีนเข้าสู่ห้องคาร์บอนแบล็ค โดยอุณหภูมิของห้อง คาร์บอนแบล็คจะต้องสูงเพียงพอที่จะทำให้เกิดการสลายตัวของก๊าซอะเซทิลีน ซึ่งจะเห็นได้ว่า คาร์บอนแบล็คที่เกิดขึ้นแรกไม่ใช่ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ จึงมีการเติมก๊าซอะเซทิลีน เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการนำไฟฟ้าให้สูงขึ้น

ตามที่อธิบายไว้ในสิทธิบัตรของฝรั่งเศส หมายเลข 1333100 [6] คาร์บอนแบล็คที่ผลิตจาก กระบวนการสลายตัวทางความร้อนของไฮโดรคาร์บอน หรือส่วนผสมของไฮโดรคาร์บอนที่เป็นก๊าซ หรือสารระเหย กระบวนการผลิตประกอบด้วยสองขั้นตอนหลักคือ

1. กระบวนการเผาไหม้ จากการใช้อากาศที่มีอุณหภูมิสูงในปริมาณมากเกินพอ เพื่อให้สารที่ เกิดการเผาไหม้มีปริมาณความร้อนเพียงพอสำหรับใช้ในกระบวนการสลายตัวของ ไฮโดรคาร์บอน
2. กระบวนการสลายตัว เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการก่อตัวของคาร์บอนแบล็ค การเผาไหม้ เกิดขึ้นที่ความดันประมาณความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ 1800 องศาเซลเซียส พลังงานความ ร้อนที่เกิดขึ้นถูกใช้ในการสลายตัวของสารไฮโดรคาร์บอน หรือใช้เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับสาร ผสมระหว่างไฮโดรคาร์บอนกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กล่าวได้ว่าไฮโดรคาร์บอนที่ถูกฉีก เป็นก๊าซได้จากปฏิกิริยาการเผาไหม้ ส่วนกระบวนการสลายตัวด้วยความร้อนเพื่อสร้าง คาร์บอนแบล็ค ซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 1000 ถึง 1500 องศาเซลเซียส

ในปัจจุบันมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดคาร์บอนแบล็คที่มีคุณสมบัตินำไฟฟ้าสูง จากปฏิกิริยาการ เผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ของไฮโดรคาร์บอนที่ผ่านการเพิ่มอุณหภูมิมาก่อน (preheat) ซึ่งเป็นปฏิกิริยา คายความร้อน แต่จะเกิดการก่อตัวของคาร์บอนแบล็คได้ดีที่อุณหภูมิอย่างน้อย 1700 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิต่ำกว่าที่กล่าวมาข้างต้น จะได้ผลิตภัณฑ์คาร์บอนแบล็คที่มีคุณสมบัตินำไฟฟ้าต่ำ

เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่เป็นเนื้อเดียวกันของไฮโดรคาร์บอน ต้องทำให้เกิดปฏิกิริยาในสถานะ ก๊าซ จึงจำเป็นต้องทำการเพิ่มอุณหภูมิไฮโดรคาร์บอนมาก่อน โดยเพิ่มอุณหภูมิให้สูงกว่าอุณหภูมิ วิกฤต นอกจากนี้คุณสมบัติในการดูดซับของคาร์บอนแบล็คจะดียิ่งขึ้น หากไฮโดรคาร์บอนถูกเพิ่ม อุณหภูมิจนใกล้เคียงกับอุณหภูมิสูงสุดที่เป็นไปได้ของเสถียรภาพทางความร้อน

2.3 การไหลภายในท่อ

2.3.1 การไหลภายในท่อ

ระบบท่อประกอบด้วยอุปกรณ์หลายอย่าง เช่น ท่อ ข้อต่อ ข้องอ วาล์ว เป็นต้น ซึ่งในการออกแบบและใช้งานระบบท่อ จะต้องพิจารณาถึงการสูญเสียพลังงาน ความเร็วในการไหลของของไหล และความดันภายในท่อ [8]

จากการทดลองของเรย์โนลด์ (Reynold) พบว่าลักษณะการไหลภายในท่อขึ้นอยู่กับกลุ่มตัวแปรไร้มิติ ที่เรียกว่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynold number, Re) เป็นเลขดัชนีที่บอกถึงสภาพปรากฏการณ์การไหล ซึ่งเป็นอัตราส่วนของแรงเฉื่อยต่อแรงหนืดของของไหล โดยเรย์โนลด์นัมเบอร์มีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางฟิสิกส์บางประการของของไหล ได้แก่ ความเร็วในการไหล ความหนืดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ และความหนาแน่นของของไหล ดังสมการที่ (2.1)

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{VD}{\nu} \quad (2.1)$$

ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์มีความสำคัญอย่างมาก กล่าวคือเป็นกลุ่มตัวแปรไร้มิติที่ใช้เป็นตัวกำหนดรูปแบบการไหลของของไหลที่เกิดขึ้น โดยสามารถแบ่งพฤติกรรมของการไหลภายในท่อได้เป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์กับลักษณะของไหล [9]

ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์	ลักษณะของการไหล
$Re \leq 2000$	การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow)
$2000 < Re < 4000$	การไหลในช่วงแปรเปลี่ยน (Transition Flow)
$Re \geq 4000$	การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow)

1. การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) เกิดกับการไหลที่ของไหลมีความหนืดสูง หรือมีความเร็วในการไหลต่ำ อนุภาคของของไหลจะเคลื่อนที่อย่างเป็นระเบียบ ขนานกับทิศทางการไหล
2. การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) เกิดกับการไหลที่ของไหลมีความหนืดต่ำ หรือมีความเร็วในการไหลสูง อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ไม่เป็นระเบียบ แนวเส้นทางในการเคลื่อนที่มีความแปรปรวนมาก
3. การไหลในช่วงแปรเปลี่ยน (Transition Flow) เป็นช่วงเปลี่ยนแปลงการไหล จากการไหลแบบราบเรียบเป็นการไหลแบบปั่นป่วน ไม่สามารถคาดเดาพฤติกรรมของการไหลได้

2.3.2 การสูญเสียจากการไหลภายในท่อ

การไหลภายในท่อมักเกิดการสูญเสียความดันตลอดระยะการไหล ซึ่งการสูญเสียดังกล่าวอาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงความสูงของการไหล หน้าตัดการไหล ความหนาแน่นของไหล ความหนืดของไหล ความฝืดของผนังท่อ เป็นต้น ซึ่งการวิเคราะห์การสูญเสียความดันในท่อนี้เนื่องมาจากการไหลสามารถคำนวณได้จากสมการการอนุรักษ์พลังงานของระบบ [10]

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + (\sum h_f + \sum h_m) \quad (2.2)$$

การสูญเสียความดัน (Pressure Losses) เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ความดันภายในท่อเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยการสูญเสียความดันแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. การสูญเสียพลังงานหลัก (Friction head loss or Major loss, h_f)

เป็นการสูญเสียเฮดที่เกิดจากแรงเสียดทานบริเวณผนังท่อ หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าการสูญเสียเนื่องจากความฝืด (Friction head loss) ซึ่งการสูญเสียเฮดประเภทนี้จะเกิดอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงความยาวของการไหล คำนวณได้จากสมการที่ (2.3)

$$h_f = f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad (2.3)$$

โดยค่า f (Fanning friction factor) หาได้จากการทดลองในสถานะต่างๆ ที่นำค่ามาสรุปรวมไว้ใน Moody diagram ซึ่ง Churchill ได้สร้างสูตรที่ใช้ในการทำนายกราฟทุกเส้นของ Moody diagram ในทุกๆ ช่วงการไหล จากการไหลแบบราบเรียบจนถึงการไหลแบบปั่นป่วน ดังสมการ (2.4)

$$f = 2 \left[\left(\frac{8}{\text{Re}} \right)^{12} + \frac{1}{(A+B)^{1.5}} \right]^{1/12} \quad (2.4)$$

โดยที่

$$A = \left\{ 2.457 \ln \left[\frac{1}{(7/\text{Re})^{0.9} + 0.27 \varepsilon/D} \right] \right\}^{16} \quad (2.5)$$

$$B = \left(\frac{37530}{\text{Re}} \right)^{16} \quad (2.6)$$

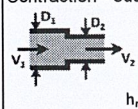

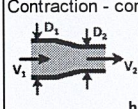
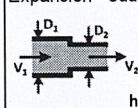
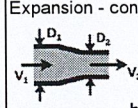
2. การสูญเสียพลังงานรอง (Minor loss, h_m)

การสูญเสียพลังงานรอง เป็นการสูญเสียเฮดในจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาด หรือทิศทางของการไหลโดยฉับพลัน จะเกิดบริเวณที่ของไหลมีการไหลผ่านอุปกรณ์ประกอบท่อต่างๆ เช่น วาล์ว ข้อต่อ ข้อลดขนาด ข้อขยายขนาด และข้องอชนิดต่างๆ ซึ่งการสูญเสียประเภทนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบการเปลี่ยนแปลงความเร็วของการไหลในอุปกรณ์นั้นๆ และเฮดความเร็ว การคำนวณค่าการสูญเสียพลังงานรองจึงคำนวณได้จาก ผลคูณระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานรอง (Minor loss coefficient, k) กับเฮดความเร็ว (Velocity head) ดังสมการที่ (2.7)

$$h_m = k \frac{V^2}{2g} \quad (2.7)$$

โดยค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานรอง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานรอง (k)

Type of Component or Fitting	k	Type of Component or Fitting	K	Type of Component or Fitting	k
Pipe Entrance (Reservoir to Pipe)		Globe Valve - fully open	10.00	Cross	
Square Connection	0.50	Gate Valve		Line Flow	0.50
Rounded Connection	0.20	fully open	0.39	Branch Flow	0.75
Re-entrant (pipe juts into tank)	1.00	3/4 open	1.10		
Pipe Exit (Pipe to Reservoir)		1/2 open	4.80	Mitered Bend (Θ)	
Square Connection	1.00	1/4 open	27.00	15°	0.05
Rounded Connection	1.00	Ball Valve		30°	0.10
Re-entrant (pipe juts into tank)	1.00	fully open	0.05	45°	0.20
Contraction - sudden		2/3 open	5.50	60°	0.35
 $D_2/D_1=0.18$	0.18	1/3 open	200.00	90°	0.80
v_1 v_2		Angle Valve - fully open	4.30		
$h_m = k \frac{V_2^2}{2g}$ $D_2/D_1=0.37$	0.37	Check Valve - conventional	4.00	90° Smooth Bend	
$D_2/D_1=0.49$	0.49	Check Valve - clearway	1.50	 Bend Radius/D=4	0.16-0.18
Contraction - conical		Check Valve - ball	4.50	Bend Radius/D=2	0.19-0.25
 $D_2/D_1=0.05$	0.05	Butterfly Valve - fully open	1.20	Bend Radius/D=1	0.35-0.40
v_1 v_2		Cock - straight through	0.50		
$h_m = k \frac{V_2^2}{2g}$ $D_2/D_1=0.07$	0.07	Foot Valve - hinged	2.20	Elbows	
$D_2/D_1=0.08$	0.08	Foot Valve - poppet	12.50	Threaded Regular 90°	1.50
Expansion - sudden		Tee		Threaded Regular 45°	0.40
 $D_2/D_1=0.16$	0.16	Line Flow	0.30-0.40	Threaded Long Radius 90°	0.70
v_1 v_2		Branch Flow	0.75-1.80	Flanged Regular 90°	0.30
$h_m = k \frac{V_1^2}{2g}$ $D_2/D_1=0.57$	0.57	Flanged, Line Flow	0.20	Flanged Long Radius 90°	0.20
$D_2/D_1=0.92$	0.92	Flanged, Branch Flow	1.00	Flanged Long Radius 45°	0.20
Expansion - conical		Threaded, Line Flow	0.90	180° Return Bends	
 $D_2/D_1=0.03$	0.03	Threaded, Branch Flow	2.00	Flanged	0.20
v_1 v_2		Threaded Union	0.08	Threaded	1.50
$h_m = k \frac{V_1^2}{2g}$ $D_2/D_1=0.08$	0.08				
$D_2/D_1=0.13$	0.13				

2.4 ไชโคลน

เครื่องเก็บฝุ่นเชิงกล เป็นเครื่องมือที่ใช้แยกฝุ่นหรืออนุภาคออกจากก๊าซหรืออากาศ โดยใช้แรงถ่วงหรือแรงเฉื่อยที่กระทำบนอนุภาค โดยตัวอย่างเครื่องเก็บฝุ่นที่จะกล่าวถึงคือ ไชโคลน [11]

ไชโคลนเป็นเครื่องมือสำหรับแยกอนุภาคออกจากกระแสก๊าซโดยใช้แรงหนีศูนย์กลาง ซึ่งเกิดจากการทำให้กระแสก๊าซหมุนวนเนื่องด้วยโครงสร้างของไชโคลน โดยกระแสที่ไหลเข้าสู่ไชโคลนตามแนวสัมผัสหรือตามแนวแกน การทำงานของไชโคลนจะขึ้นกับความเฉื่อยของอนุภาคที่เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง และเมื่อกระแสก๊าซเปลี่ยนทิศทางหนีแรงศูนย์กลางจะเหวี่ยงอนุภาคไปชนกับผนังของไชโคลนและตกลงในถังพัก

ไชโคลนมักจะทำมาจากเหล็กคาร์บอน โลหะ หรือเซรามิกส์ เมื่อต้องการใช้ในงานที่มีอุณหภูมิสูง มีการกักความร้อนหรือสีกร่อน แต่ผิวภายในตัวเครื่องจะต้องเรียบ และเนื่องจากไชโคลนไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่ จึงจัดเป็นเครื่องมือที่เดินเครื่องง่าย และไม่ต้องการการบำรุงรักษามาก

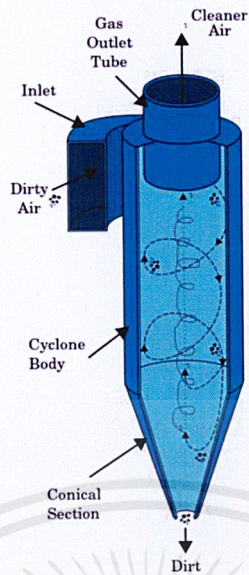
2.4.1 กลไกในการจับอนุภาค (Collection Mechanisms)

การเก็บอนุภาคของไชโคลน ใช้ 2 กลไกหลัก คือ

1. แรงหนีศูนย์กลางหรือแรงเหวี่ยง เกิดจากการทำให้กระแสก๊าซหมุนวน ทำให้อนุภาคถูกเหวี่ยงไปยังผนังของไชโคลน
2. แรงถ่วง เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ไปชนกับผนังของไชโคลน อนุภาคที่หนักจะได้รับแรงถ่วงทำให้อนุภาคตกลงไปยังถังพักข้างล่าง

2.4.2 หลักการทำงานของไชโคลน

ไชโคลนประกอบด้วยส่วนที่เป็นทรงกระบอกและทรงโคน มีหลักการทำงานแบบกระแสวน 2 ชั้น (Double Vortex) อากาศที่เคลื่อนที่เข้าสู่ไชโคลนในแนวสัมผัสจะเกิดเป็นกระแสวน (Main Vortex) ซึ่งทำให้เกิดแรงหนีศูนย์กลางเหวี่ยงอนุภาคไปยังผนังของไชโคลน กระแสวนนี้จะเคลื่อนที่ลงจนถึงจุดหนึ่ง แล้วจะหมุนวนกลับเป็นกระแสวนที่เล็กกว่าเดิม (Core Vortex) เคลื่อนที่ขึ้นไปตามตัวไชโคลน อนุภาคที่ถูกเหวี่ยงไปชนผนังของไชโคลนจะเคลื่อนที่ไปยังส่วนปลายของโคน และถูกเก็บที่ถังพักเนื่องจากแรงโน้มถ่วง ส่วนกระแสก๊าซจะเคลื่อนที่ออกทางท่อออกที่อยู่ส่วนบนของตัวเครื่อง [11]



ภาพที่ 2.3 ส่วนประกอบของไซโคลน [12]

2.4.3 ชนิดของไซโคลน

แบ่งตามวิธีการให้กระแสก๊าซเข้าสู่ตัวเครื่องเพื่อให้เกิดการหมุนวนออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. ไซโคลนที่อากาศไหลเข้าตามแนวสัมผัส (Tangential Entry Cyclone)
2. ไซโคลนที่อากาศไหลเข้าตามแนวแกน (Axial Entry Cyclone)

โดยทั่วไปไซโคลนที่ใช้จะเป็นชนิดที่อากาศไหลเข้าตามแนวสัมผัส เพื่อให้เกิดการหมุนวน ท่อทางเข้ามักจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมที่มีผนังภายในค่อยๆ โค้ง และสัมผัสกับไซโคลนส่วนที่เป็นทรงกระบอก สำหรับไซโคลนชนิดที่อากาศไหลเข้าตามแนวแกน อากาศจะเคลื่อนที่เข้าสู่ไซโคลนตามแนวแกนของเครื่อง ซึ่งจะใช้มากในมัลติไซโคลน

แบ่งตามประสิทธิภาพของไซโคลนออกเป็น 3 ชนิด

1. ไซโคลนที่ใช้กันทั่วไป (Conventional Cyclone) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 ถึง 3.6 เมตร
2. ไซโคลนที่มีประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Cyclone) จัดเป็นไซโคลนขนาดเล็ก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 0.9 เมตร
3. ไซโคลนที่รับอัตราการไหลสูง (High Volume Cyclone)

ตารางที่ 2.3 อัตราส่วนของขนาดเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลนประเภทต่างๆ

Description	Term	Plant	Stairmand HE	Stairmand HT	Barth 1	Barth 2	Barth 3	Barth 4	Lapple GP	Swift HE	Swift GP	Swift HT
		rectangular	rectangular	rectangular	rectangular or round	rectangular or round	rectangular or round	spiral	rectangular	rectangular	rectangular	spiral
Body diameter	D_c	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Cylinder height	L_b	1.13	1.5	1.5	0.26	0.41	2.4	3	2	1.4	1.75	1.7
Overall height	$L_b + L_c$	2.66	4	4	0.94	1.56	3	3.75	4	3.9	3.75	3.7
Diameter of overflow exit	D_e	0.34	0.5	0.75	0.25	0.31	0.4	0.5	0.5	0.4	0.5	0.75
Dust outlet diameter	D_d	0.27	0.375	0.375	0.25	0.31	0.4	0.5	0.25	0.4	0.4	0.4
Height of overflow exit (vortex finder)	s	0.61	0.5	0.875	0.375	0.47	0.6	0.75	0.625	0.5	0.6	0.85
Inlet height	H	0.55	0.5	0.75	0.26	0.41	0.66	0.73	0.5	0.44	0.5	0.8
Inlet width	W	0.24	0.2	0.375	0.15	0.15	0.265	0.75	0.25	0.21	0.25	0.35

2.4.4 สมรรถนะของไซโคลน (Cyclone Performance)

การหาสมรรถนะของไซโคลน คือ การหาประสิทธิภาพในการเก็บอนุภาคและการหาค่าความดันลด เพื่อนำไปหาพลังงานที่ต้องให้กับระบบ ซึ่งในการหาประสิทธิภาพของไซโคลนจะต้องเข้าใจความหมายขนาดตัดของอนุภาค และขนาดวิกฤตของอนุภาค

ขนาดตัดของอนุภาค (Cut Size or Cut Diameter) คือ ขนาดของอนุภาคที่ถูกแยกด้วยประสิทธิภาพ 50% กล่าวคืออนุภาคที่ใหญ่กว่าขนาดตัดจะถูกไซโคลนดักจับด้วยประสิทธิภาพมากกว่า 50% ซึ่งคำนวณหาขนาดตัดอนุภาคของ Shepherd & Lapple [13] ได้จากสมการที่ (2.8)

$$d_{pc} = \left[\frac{9\mu W}{2\pi N V (\rho_p - \rho_a)} \right]^{1/2} \quad (2.8)$$

เมื่อ	d_{pc}	คือ ขนาดตัดของอนุภาค [m]
	μ	คือ ความหนืดของก๊าซ [kg/m·s]
	W	คือ ความกว้างของทางเข้าไซโคลน [m]
	N	คือ จำนวนรอบของการหมุนของก๊าซ (Effective Number of Turns)
	V	คือ ความเร็วของก๊าซเข้าสู่ไซโคลน [m/s]

ρ_p คือ ความหนาแน่นของอนุภาค [kg/m^3]

ρ_a คือ ความหนาแน่นของก๊าซ [kg/m^3]

โดย
$$N = \frac{1}{H} \left[L_b + \frac{L_c}{2} \right] \quad (2.9)$$

N คือ จำนวนรอบของการหมุนของก๊าซ (Effective Number of Turns)

H คือ ความสูงของทางเข้าไซโคลน [m]

L_b คือ ความสูงส่วนทรงกระบอกของไซโคลน [m]

L_c คือ ความสูงส่วนโคนของไซโคลน [m]

เมื่อแทนสมการที่ (2.9) ในสมการที่ (2.8)

จะได้
$$d_{pc} = \left[\frac{9\mu WH}{\pi V (\rho_p - \rho_a) (2L_b + L_c)} \right]^{1/2} \quad (2.10)$$

2.4.5 ประสิทธิภาพในการเก็บอนุภาคในแต่ละช่วงขนาด (Fractional Efficiency)

ประสิทธิภาพของไซโคลนจะแสดงอยู่ในรูปของการดักจับอนุภาคขนาดหนึ่งๆ หรือหมายถึง สัดส่วนอนุภาคขนาดหนึ่งที่ถูกไซโคลนเก็บได้เมื่อเทียบกับอนุภาคขนาดนั้นที่เข้าสู่ไซโคลน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.11)

$$\eta_j = \frac{1}{1 + (d_{pc} / d_{pj})^2} \quad (2.11)$$

เมื่อ η_j คือ ประสิทธิภาพในการจับอนุภาคในแต่ละช่วงขนาด

d_{pj} คือ ขนาดของอนุภาค [m]

2.4.6 ประสิทธิภาพรวม (Overall Efficiency)

ประสิทธิภาพรวมของไซโคลน สามารถหาได้เมื่อทราบการกระจายตัวของขนาดอนุภาค (Particle Size Distribution) ในแต่ละขนาด โดยคำนวณจากสมการที่ (2.12)

$$\eta = \sum \eta_j W_j \quad (2.12)$$

เมื่อ	η	คือ ประสิทธิภาพรวม
	η_j	คือ ประสิทธิภาพในการจับอนุภาคในแต่ละช่วงขนาด
	W	คือ อัตราส่วนโดยมวลของอนุภาคแต่ละช่วงขนาด

2.4.7 ค่าความดันลด

ค่าความดันลด บ่งบอกถึงพลังงานที่ต้องใช้ในการแยกอนุภาคในไซโคลน โดยความดันลดหาได้จากวิธีของ Shepherd & Lapple ดังสมการที่ (2.13)

$$\Delta P = 5.12 P_{10} V^2 N_H \quad (2.13)$$

เมื่อ	ΔP	คือ ความดันลดของไซโคลน [cm.wg]
	P_{10}	คือ ความหนาแน่นของกระแสก๊าซที่มีอนุภาค [g/cm^3]
	V	คือ ความเร็วขาเข้าไซโคลน [m/s]
	N_H	คือ จำนวน inlet velocity head

โดย	$N_H = \frac{16HD_e}{D_c^2}$	(2.14)
-----	------------------------------	--------

H	คือ ความสูงของทางเข้าไซโคลน [m]
D_e	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อออกไซโคลน [m]
D_c	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลน [m]

2.5 การจำแนกชนิดผลิตภัณฑ์อะเซทีลีนคาร์บอนแบล็ค

การจำแนกชนิดผลิตภัณฑ์อะเซทีลีนคาร์บอนแบล็คของบริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) ในรูปของตราสินค้า Polimaxx ถูกจำแนกตามมาตรฐานญี่ปุ่นซึ่งจัดวางระบบโดยสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น (Japanese Industrial Standard, JIS) ซึ่งมาตรฐานที่ใช้คือ JIS K1469-1984 โดยทดสอบสมบัติของผลิตภัณฑ์อะเซทีลีนคาร์บอนแบล็ค ดังนี้

2.5.1 ปริมาณความชื้น (Moisture Content)

ค่าปริมาณความชื้น หาได้จากปริมาณความชื้นที่ลดลงเมื่อตัวอย่างถูกทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 ถึง 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2.15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H = \frac{m - m_H}{m} \times 100 \quad (2.15)$$

เมื่อ	H_m	คือ ปริมาณความชื้น [%]
	m	คือ มวลตัวอย่างก่อนอบ [g]
	m_H	คือ มวลตัวอย่างหลังอบ [g]

2.5.2 ปริมาณเถ้า (Ash Content)

ปริมาณเถ้า หาได้จากมวลของตัวอย่างที่หลงเหลือเมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิ 750 ± 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 2.5 ชั่วโมง จนน้ำหนักที่ได้คงที่ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.16)

$$A = \frac{m_A}{m} \times 100 \quad (2.16)$$

เมื่อ	A	คือ ปริมาณเถ้า [%]
	m_A	คือ มวลตัวอย่างหลังเผา [g]
	m	คือ มวลตัวอย่างทั้งหมด [g]

2.5.3 ปริมาณอนุภาคหยาบ (Coarse Particle Content)

ปริมาณอนุภาคหยาบ หาได้จากมวลของตัวอย่างที่ตกค้างอยู่บนตะแกรง (Sieve) ขนาด 149 ไมครอน คำนวณได้จากสมการที่ (2.17)

$$G = \frac{m_G}{m} \times 100 \quad (2.17)$$

เมื่อ	G	คือ ปริมาณเถ้า [%]
	m_G	คือ มวลตัวอย่างที่ตกค้างบนตะแกรง [g]
	m	คือ มวลตัวอย่างทั้งหมด [g]

2.5.4 ปริมาณการดูดซึ่มกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid Absorption Quantity)

ปริมาณการดูดซึ่มกรดไฮโดรคลอริก หากจากการนำตัวอย่างไปผสมกับกรดไฮโดรคลอริกโดยการเขย่า ซึ่งในขณะที่เขย่าจะเติมกรดไฮโดรคลอริกทีละน้อย อนุภาคอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็คจะค่อยๆ รวมตัวและจับตัวกันเป็นก้อน โดยปริมาณกรดไฮโดรคลอริกทั้งหมดที่ใช้คือปริมาณการดูดซึ่มกรดไฮโดรคลอริกที่ต้องการหา

2.5.5 ความต้านทานไฟฟ้า (Electric Resistivity)

ความต้านทานไฟฟ้า หาได้จากตัวอย่างที่ถูกบีบอัดที่ความสูง 10 ± 0.5 มิลลิเมตร ในภาวะบรรจุทรงกระบอก ซึ่งค่าความต้านทานไฟฟ้าคำนวณได้จากความต่างศักย์ที่วัดได้จากปลายทรงกระบอกทั้ง 2 ด้าน ปริมาณกระแสไฟฟ้า ความสูงของตัวอย่างที่บรรจุ และพื้นที่หน้าตัดภายใต้แรงอัด ดังสมการที่ (2.18)

$$\rho_E = \frac{S}{h} \times \frac{V_E}{I} \quad (2.18)$$

เมื่อ	ρ_E	คือ ความต้านทานไฟฟ้า [$\Omega \cdot \text{cm}$]
	S	คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง [cm^2]
	h	คือ ความสูงของตัวอย่างที่บรรจุ [cm]
	V_E	คือ ความต่างศักย์ (V)
	I	คือ กระแสไฟฟ้า (A)

2.5.6 ความหนาแน่นโดยการเท (Pour Density)

ความหนาแน่นโดยการเท หาได้จากการบรรจุตัวอย่างที่ทราบมวลในภาชนะที่ทราบปริมาตรที่แน่นอน จากนั้นตัวอย่างจะถูกแรงอัดโดยการปล่อยภาชนะบรรจุที่ความสูงระดับหนึ่งลงบนแผ่นยาง ซึ่งจะสามารถหาความหนาแน่นโดยการเทได้จากสมการที่ (2.19)

$$D_{50} = \frac{m}{V_{50}} \quad (2.19)$$

เมื่อ	D	คือ ความหนาแน่นโดยการเท [g/ml]
	m	คือ มวลของตัวอย่าง [g]
	V	คือ ปริมาตรของตัวอย่างหลังผ่านการปล่อย 50 ครั้ง (ml)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการจำลองกระบวนการผลิตอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็คทั้ง 4 สายการผลิต จำลองโดยใช้สารตั้งต้น และกรรมวิธีการผลิตเดียวกัน แต่แตกต่างกันที่พารามิเตอร์บางตัว เช่น การวางระบบท่อ โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1. สายการผลิตที่ 1 และ 2 มีพารามิเตอร์ทุกตัวเหมือนกัน
2. สายการผลิตที่ 3 และ 4 มีพารามิเตอร์ทุกตัวเหมือนกัน

3.1 การวิเคราะห์ความดันลดภายในท่อ

1. ศึกษาทฤษฎีและวิธีการคำนวณความดันลดภายในท่อ
2. เก็บรวบรวมข้อมูล ขนาด ความยาวท่อ ข้อต่อ และวาล์วชนิดต่างๆ จาก Isometric Drawing
3. วัดขนาดและความยาวท่อจริง นับจำนวนข้อต่อและวาล์วชนิดต่างๆ ในโรงงาน
4. สร้างแบบจำลองในการคำนวณความดันลดภายในท่อโดยใช้โปรแกรม Aspen Plus
5. สร้างแบบจำลองในโปรแกรม Microsoft Excel โดยใช้วิธีการคำนวณทางไฮดรอลิก (Hydraulic Method Calculation) หรือการคำนวณโดยใช้หลักการจากทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล
6. เปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณในแต่ละสายการผลิต

3.2 การออกแบบไซโคลน

1. ศึกษาทฤษฎีการออกแบบไซโคลน และการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของไซโคลน
2. กำหนดตัวแปรที่ต้องการศึกษาในการเพิ่มประสิทธิภาพของไซโคลน
3. หาจุดเก็บตัวอย่างที่เหมาะสม เพื่อเป็นตัวแทนของชุดข้อมูล
4. ทำการเก็บตัวอย่าง และส่งไปวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดอนุภาค เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการสร้างแบบจำลอง
5. ออกแบบและสร้างแบบจำลองไซโคลนโดยใช้โปรแกรม Aspen Plus
6. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของไซโคลนที่เปลี่ยนแปลงไป อันเนื่องมาจากการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิเคราะห์ความแตกต่างของอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็คแต่ละชนิด

1. ศึกษาคุณสมบัติของอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็ค
2. ศึกษาวิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติ
3. วิเคราะห์ความแตกต่างของผลิตภัณฑ์อะเซทิลีนคาร์บอนแบล็คจากบริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) แต่ละชนิด

3.4 การสร้างแบบจำลอง

การจำลองกระบวนการผลิตอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็ค ผ่านโปรแกรม Aspen Plus โดยใช้แบบจำลอง SOLIDS

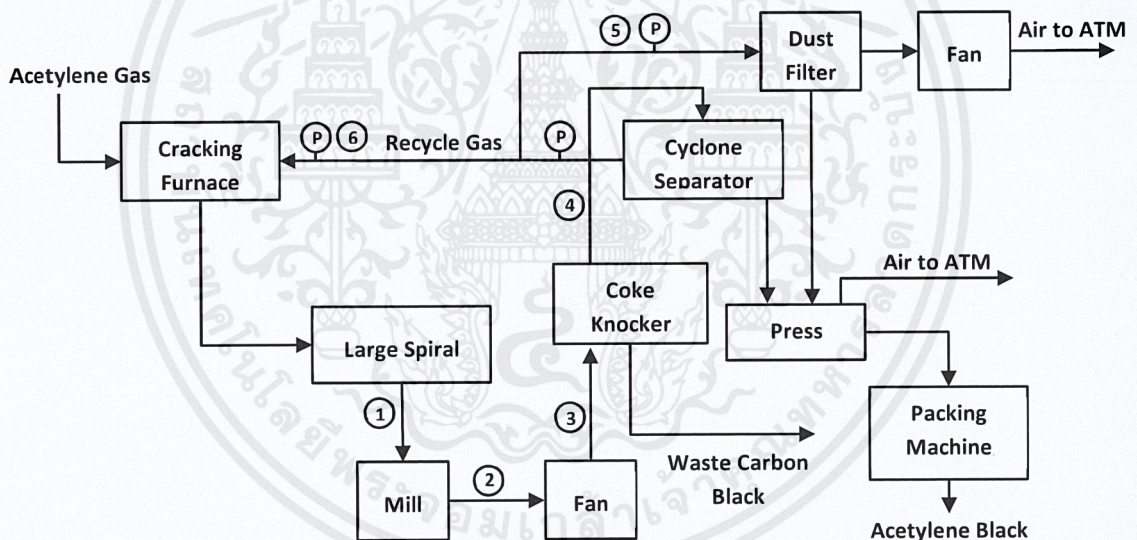
1. ระบุสารองค์ประกอบ (Chemical Components) ได้แก่ ก๊าซอะเซทิลีน คาร์บอน ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซไนโตรเจน ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และน้ำ
2. ระบุวิธีการ (Methods) ที่ จะใช้ในการหาคุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) ขององค์ประกอบที่ผสมอยู่ในกระบวนการ
3. สร้าง Process Flowsheet เป็นการกำหนดอุปกรณ์ทั้งหมดที่ใช้ในการจำลองกระบวนการผลิต กำหนดกระแสการไหล (Streams) ที่จะเชื่อมโยงไปยังแต่ละหน่วยปฏิบัติการ เลือกแบบจำลองของหน่วยปฏิบัติการ
4. ระบุสภาวะ (Operating Conditions) สำหรับแต่ละหน่วยปฏิบัติการในแบบจำลอง
5. ระบุอุณหภูมิ ความดัน องค์ประกอบ และอัตราการไหล ให้กับกระแสที่ป้อนเข้ากระบวนการ (Feed)
6. เมื่อทำครบทั้ง 5 ขั้นตอน ขั้นตอนต่อไปคือการสั่งให้โปรแกรมคำนวณ (Run) หาค่าต่างๆ ของกระบวนการ โดยผลการคำนวณของโปรแกรม Aspen Plus จะเป็นแบบสมดุลมวล (Material Balance) ในสภาวะเชิงสถิต (Steady State)

บทที่ 4

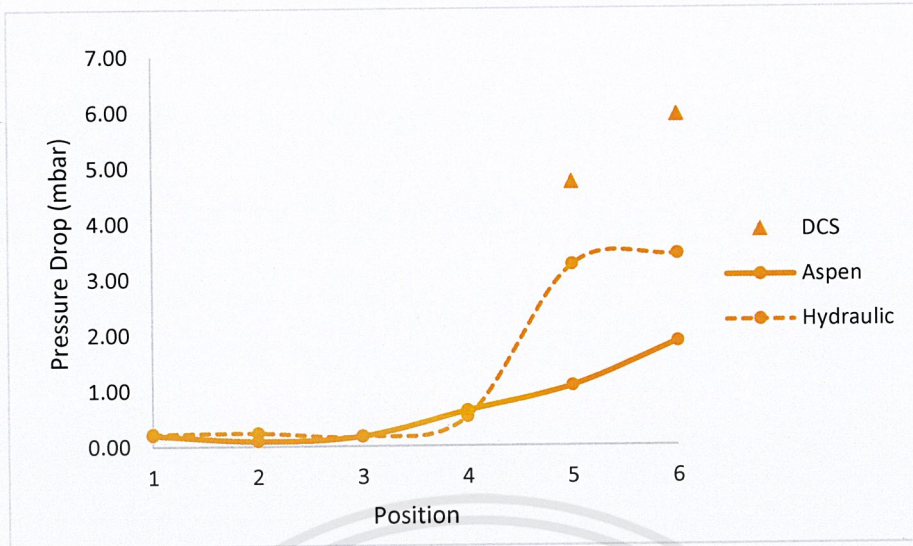
ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 การวิเคราะห์ความดันลดภายในท่อ

จากการสร้างแบบจำลองเพื่อคำนวณความดันลดภายในท่อของแต่ละสายการผลิต ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ในสายการผลิตที่ 1 และ 2 มีการวางระบบท่อและอุปกรณ์ที่เหมือนกัน และในสายการผลิตที่ 3 และ 4 มีการวางระบบท่อและอุปกรณ์ที่เหมือนกันเช่นเดียวกัน แต่ทั้ง 2 กลุ่ม จะแตกต่างกัน ซึ่งได้แสดงจำนวนข้ออและวาล์วของแต่ละสายการผลิตในภาคผนวก ข จุดที่ทำการศึกษามีทั้งหมด 6 จุด ดังแสดงในภาพที่ 4.1 โดยได้คำนวณหาความดันลดภายในท่อด้วยโปรแกรม Aspen Plus ควบคู่ไปกับการสร้างแบบจำลองในโปรแกรม Microsoft Excel ด้วยวิธีการคำนวณทางไฮดรอลิก และเปรียบเทียบผลความดันลดที่ได้จากการคำนวณทั้ง 2 วิธี กับค่าความดันลดจากหน้าจอ DCS (Distributed Control System) ซึ่งผลการวิจัยได้แสดงดังภาพที่ 4.2 – 4.4

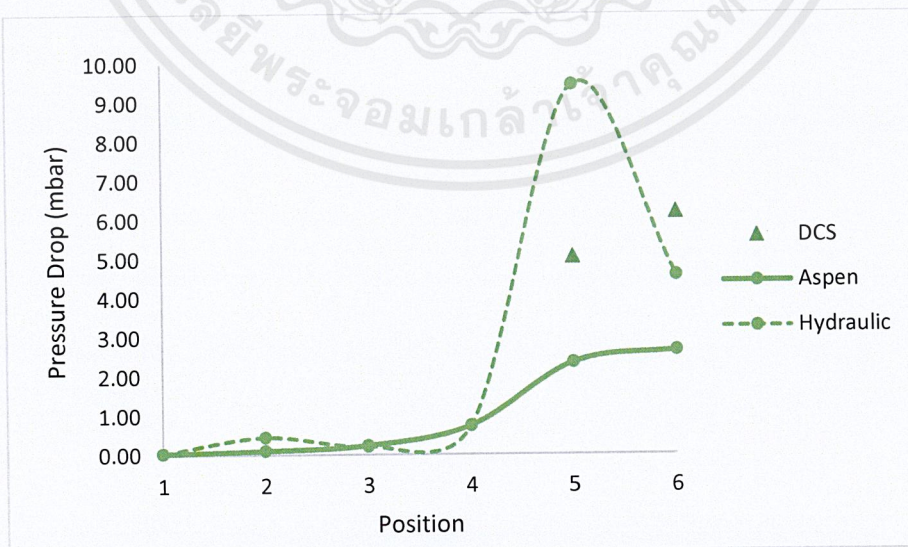


ภาพที่ 4.1 ตำแหน่งที่ทำการศึกษาค่าความดันลด และตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์วัดความดัน



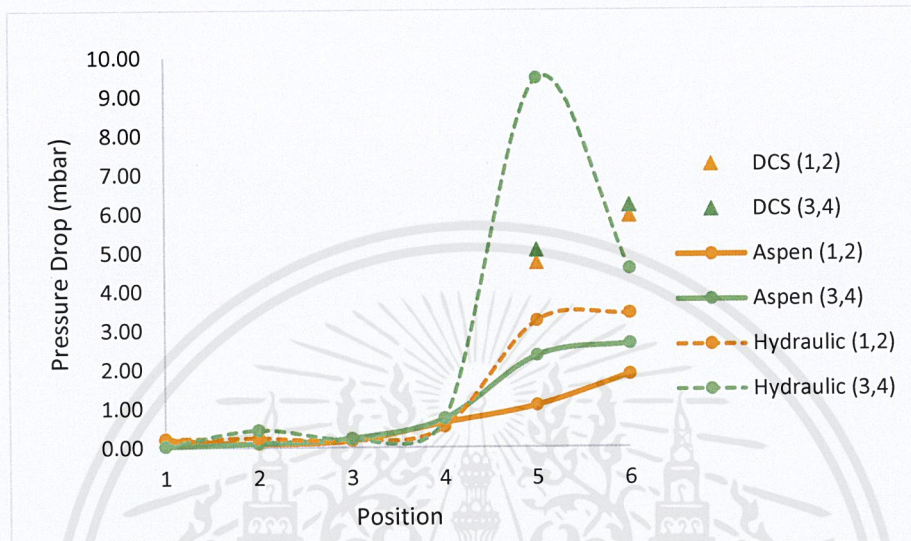
ภาพที่ 4.2 ค่าความดันตกที่ตำแหน่งต่างๆ ในสายการผลิตที่ 1 และ 2

จากภาพที่ 4.2 พบว่าการคำนวณโดยใช้วิธีทางไฮดรอลิกให้ค่าความดันตกภายในท่อสูงกว่าการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Aspen Plus เนื่องจากการคำนวณภายในโปรแกรมใช้ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของข้อต่อและวาล์วชนิดต่างๆ (Loss Coefficient, k) แตกต่างจากค่าที่ใช้ในการคำนวณโดยใช้วิธีทางไฮดรอลิก และไม่ได้คิดการสูญเสียในส่วนของข้องอ 45 องศา จึงให้ผลการคำนวณทั้ง 2 วิธีแตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการคำนวณกับข้อมูลบนหน้าจอ DCS พบว่าค่าความดันตกที่อ่านได้จากอุปกรณ์ที่ติดตั้งภายในโรงงานมีค่าสูงกว่าที่ได้จากการคำนวณ ทั้งนี้เนื่องจากภายในโรงงานได้มีการดำเนินการผลิตมาเป็นเวลานาน ส่งผลให้เกิดตะกรัน และผลจากค่าความหยาบของผิว (surface roughness) ที่สูงขึ้น จึงส่งผลให้ค่าความดันตกมีค่าเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.3 ค่าความดันตกที่ตำแหน่งต่างๆ ในสายการผลิตที่ 3 และ 4

จากภาพที่ 4.3 ค่าความดันลดที่ได้จากการคำนวณโดยใช้วิธีไฮดรอลิกสูงกว่าการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Aspen Plus และการคำนวณทั้ง 2 วิธี ให้ค่าความดันลดต่ำกว่าค่าความดันลดที่อ่านได้จากหน้าจอ DCS ซึ่งเป็นไปในแนวโน้มเดียวกับความดันลดภายในท่อของสายการผลิตที่ 1 และ 2 ด้วยเหตุผลเดียวกัน



ภาพที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าความดันลดในสายการผลิตที่ 1 และ 2 กับสายการผลิตที่ 3 และ 4

ภาพที่ 4.4 แสดงค่าความดันลดของสายการผลิตที่ 1 และ 2 เทียบกับสายการผลิตที่ 3 และ 4 พบว่าการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Aspen Plus การคำนวณโดยใช้วิธีทางไฮดรอลิก และค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์ที่ติดตั้งภายในโรงงาน ทั้งหมดนี้ ในสายการผลิตที่ 3 และ 4 ให้ค่าความดันลดภายในท่อสูงกว่าสายการผลิตที่ 1 และ 2 ทั้งนี้เนื่องมาจากมีการวางระบบท่อที่แตกต่างกัน โดยในสายการผลิตที่ 3 และ 4 มีระบบท่อยาวกว่า มีจำนวนข้อต่อและวาล์วมากกว่า

ผลจากการวิเคราะห์ความดันลดภายในท่อ สามารถสรุปได้ว่าความดันลดภายในท่อไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็ค เนื่องจากค่าความดันลดภายในท่อที่เกิดขึ้นอยู่ในระดับมิลลิบาร์ซึ่งมีค่าน้อยมาก

ตารางที่ 4.1 ค่าความดันลดในแต่ละตำแหน่ง

	Pressure Drop (mbar)					
	Line No.1-2			Line No.3-4		
	Aspen Plus	Hydraulic Calculation	DCS	Aspen Plus	Hydraulic Calculation	DCS
Spiral - Mill	0.202	0.225	-	0.038	0.039	-
Mill - Fan	0.093	0.239	-	0.100	0.447	-
Fan - Coke Knocker	0.179	0.175	-	0.235	0.209	-
Coke Knocker - Cyclone	0.631	0.526	-	0.739	0.737	-
Cyclone - Filter Bag	1.079	3.247	4.73	2.350	9.460	5.06
Cyclone - Furnace	1.863	3.433	5.93	2.652	4.577	6.20

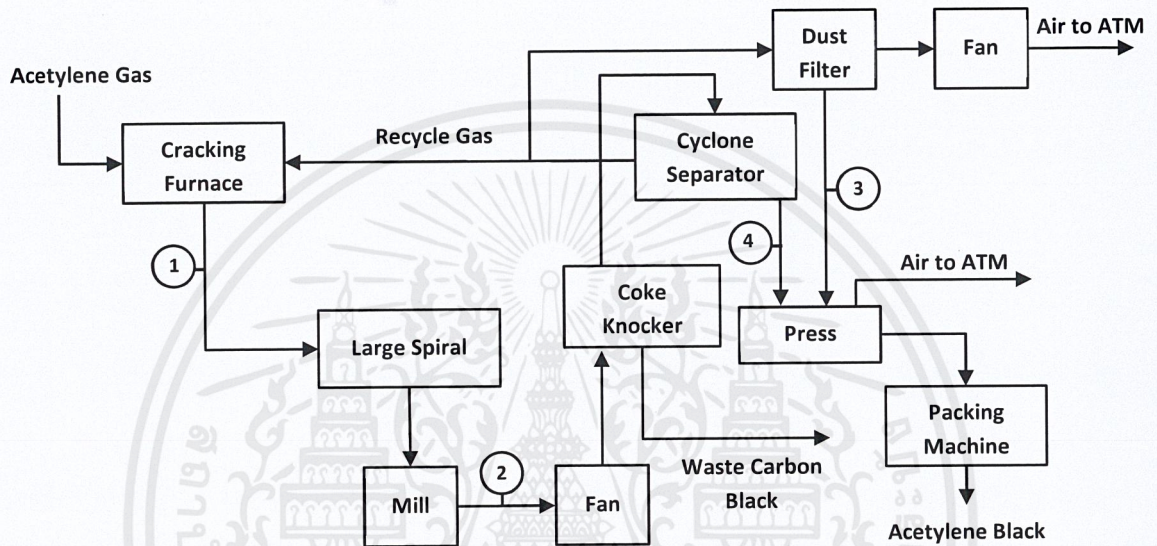
ตารางที่ 4.2 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณในแต่ละวิธี

	Error (%)			
	Line No.1-2		Line No.3-4	
	Aspen Plus	Hydraulic Calculation	Aspen Plus	Hydraulic Calculation
Spiral - Mill	-	-	-	-
Mill - Fan	-	-	-	-
Fan - Coke Knocker	-	-	-	-
Coke Knocker - Cyclone	-	-	-	-
Cyclone - Filter Bag	77.19	31.35	53.56	86.96
Cyclone - Furnace	68.58	42.11	57.23	26.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

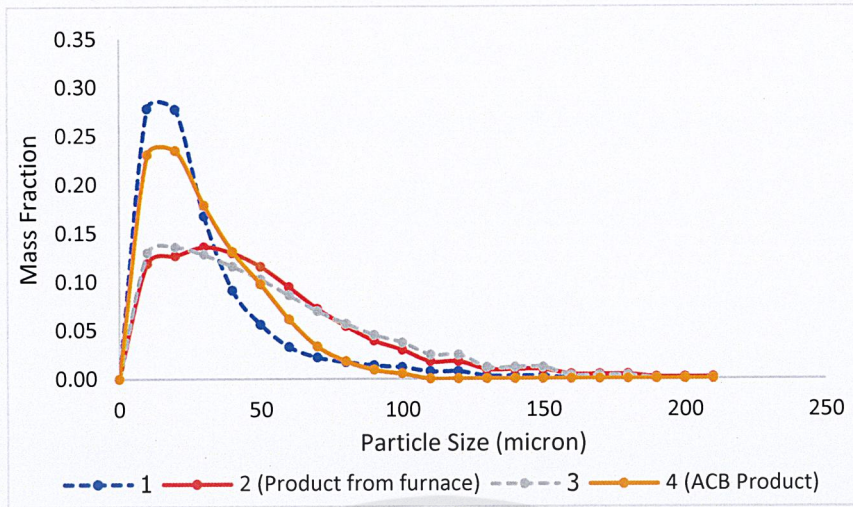
4.2 การออกแบบไซโคลน

การออกแบบไซโคลน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของไซโคลนให้สามารถแยกอนุภาคของอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็คได้มากขึ้น โดยการสร้างแบบจำลองไซโคลนด้วยโปรแกรม Aspen Plus มีความจำเป็นต้องใช้ข้อมูลการกระจายตัวของขนาดอนุภาค ในการปรับค่าหาประสิทธิภาพของไซโคลน จึงทำการหาจุดเก็บตัวอย่าง (Sampling Point) ที่เหมาะสม เพื่อเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ โดยได้เก็บตัวอย่าง 4 ตำแหน่ง ดังภาพที่ 4.5



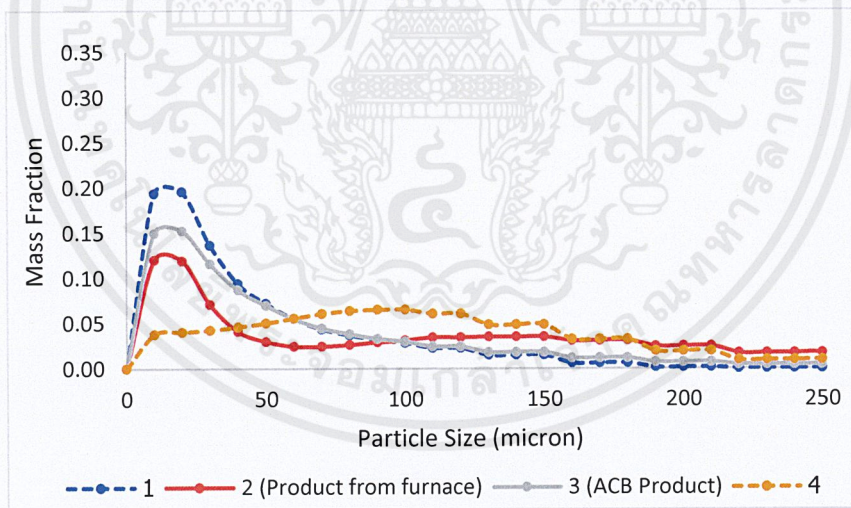
ภาพที่ 4.5 ตำแหน่งที่ทำการเก็บตัวอย่าง (Sampling Point)

เนื่องจากการเก็บตัวอย่าง ต้องดำเนินการในขณะที่โรงงานหยุดกระบวนการผลิตเพื่อซ่อมบำรุง (Shut down) ทำให้ข้อมูลการกระจายตัวของขนาดอนุภาคไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง จึงต้องเลือกชุดข้อมูลที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นตัวแทนข้อมูลในการสร้างแบบจำลองในโปรแกรม ซึ่งการเลือกตัวแทนข้อมูลได้แสดงดังภาพที่ 4.6 – 4.8



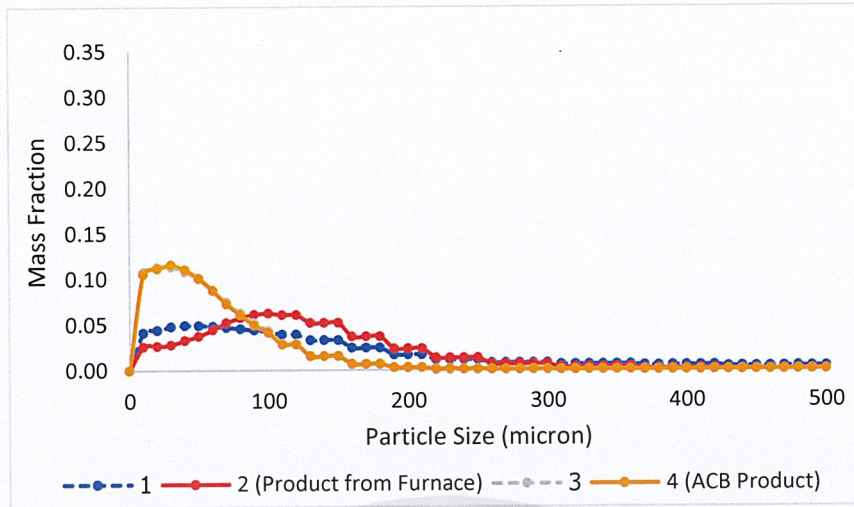
ภาพที่ 4.6 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคในสายการผลิตที่ 1

ภาพที่ 4.6 ข้อมูลการกระจายตัวของขนาดอนุภาคในสายการผลิตที่ 1 พบว่าตัวอย่างที่เก็บก่อนเข้าเครื่องบด (Mill) มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าตัวอย่างที่เก็บหลังจากผ่านเครื่องบด ซึ่งขัดแย้งจากความเป็นจริง จึงเลือกข้อมูลในจุดที่ 2 เป็นตัวแทนข้อมูลของผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเตาเผา และใช้ข้อมูลในจุดที่ 4 เป็นตัวแทนข้อมูลผลิตภัณฑ์อะเซทิลีนคาร์บอนแบล็คที่แยกได้จากไซโคลน



ภาพที่ 4.7 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคในสายการผลิตที่ 2

ภาพที่ 4.7 ข้อมูลการกระจายตัวของขนาดอนุภาคในสายการผลิตที่ 2 ใช้ข้อมูลในจุดที่ 2 เป็นตัวแทนข้อมูลของผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเตาเผา ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับในสายการผลิตที่ 1 และใช้ข้อมูลในจุดที่ 3 เป็นตัวแทนข้อมูลผลิตภัณฑ์อะเซทิลีนคาร์บอนแบล็คที่แยกได้จากไซโคลน เนื่องจากให้ข้อมูลที่สอดคล้องกับความเป็นจริงมากกว่าในจุดที่ 4 ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคใหญ่จำนวนมาก

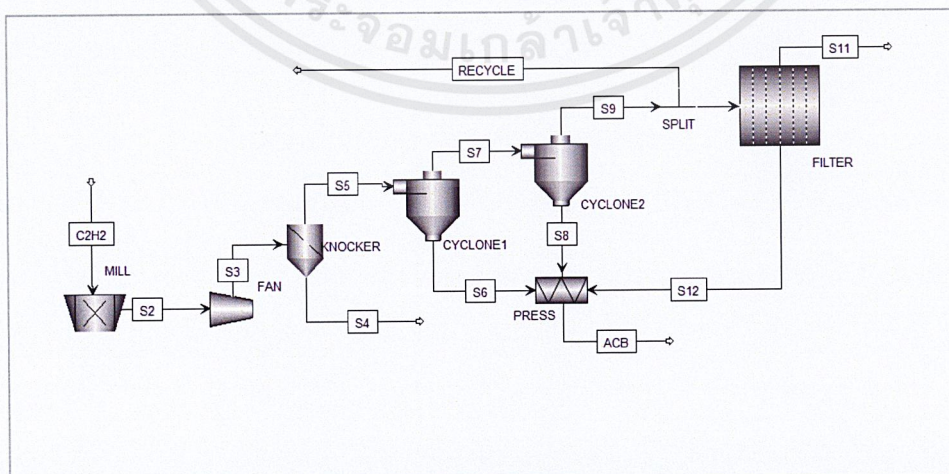


ภาพที่ 4.8 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคในสายการผลิตที่ 3

ภาพที่ 4.8 ข้อมูลการกระจายตัวของขนาดอนุภาคในสายการผลิตที่ 3 ใช้ข้อมูลในจุดที่ 2 เป็นตัวแทนข้อมูลของผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเตาเผา ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับในสายการผลิตที่ 1 และใช้ข้อมูลในจุดที่ 4 เป็นตัวแทนข้อมูลผลิตภัณฑ์อะเซทิลีนคาร์บอนแบล็คที่แยกได้จากไซโคลน

4.2.1 คำนวณหาประสิทธิภาพของไซโคลน

คำนวณหาประสิทธิภาพของไซโคลน โดยใช้แบบจำลองไซโคลนในโปรแกรม Aspen Plus บนพื้นฐานของขนาดไซโคลนจริงในโรงงาน และใช้ข้อมูลการกระจายตัวของขนาดอนุภาคในการคำนวณประสิทธิภาพของไซโคลนในการแยกอนุภาคแต่ละช่วงขนาดให้ได้สมดุลรวม (Material Balance) ตรงตามกรณีที่ออกแบบไว้ (Designed Case) โดยแบบจำลองกระบวนการผลิตอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็คแสดงดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 แบบจำลองกระบวนการผลิตอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็คโดยโปรแกรม Aspen Plus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

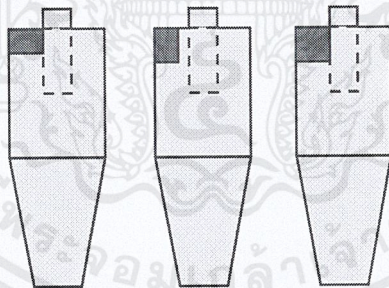
ผลจากการปรับค่าหาประสิทธิภาพของไซโคลนทั้ง 4 สายการผลิต พบว่าประสิทธิภาพของไซโคลนในสายการผลิตที่ 1 เท่ากับ 99.05% สายการผลิตที่ 2 เท่ากับ 88.09% และสายการผลิตที่ 3 เท่ากับ 93.41% ซึ่งประสิทธิภาพที่แตกต่างกันเป็นผลมาจากการใช้ข้อมูลการกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่แตกต่างกัน

4.2.2 ผลของรูปร่างทางเข้าไซโคลน

ในการออกแบบไซโคลนโดยใช้แบบจำลองไซโคลนในโปรแกรม Aspen Plus ได้กำหนดกรณีต้นแบบในการศึกษา (Base Case) โดยใช้ข้อมูลขนาดไซโคลนจริงภายในโรงงาน และเลือกสมการของ Shepherd & Lapple เป็นวิธีในการคำนวณ เนื่องจากมีช่วงสภาวะการดำเนินการที่ 5-200 ไมครอน และมีรูปแบบของไซโคลนใกล้เคียงขนาดของไซโคลนจริงมากที่สุด ดูได้จากอัตราส่วนดังแสดงในตารางที่ 2.3

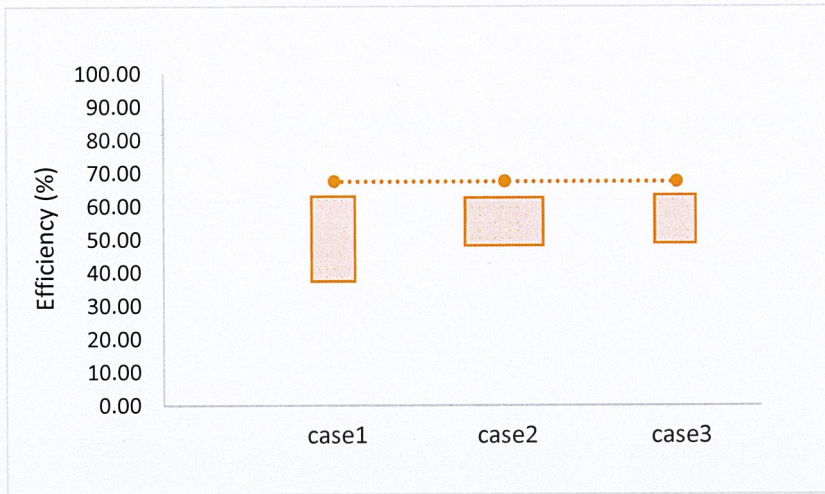
พบว่าจากการคำนวณโดยสมการของ Shepherd & Lapple ไซโคลนมีประสิทธิภาพ 67.45% ทางโรงงานต้องการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของไซโคลน จึงทำการศึกษารูปร่างของไซโคลนที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าทางเข้าและความสูงของไซโคลน เป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของไซโคลนอย่างเห็นได้ชัด

ตัวแปรแรกที่ทำการศึกษาคือรูปร่างทางเข้าของไซโคลน โดยกำหนดให้พื้นที่หน้าตัดทางเข้าของไซโคลน และขนาดส่วนอื่นๆ ของไซโคลนเป็นค่าคงที่ ซึ่งศึกษา 3 กรณี



ภาพที่ 4.10 รูปแบบทางเข้าไซโคลนที่แตกต่างกัน

ผลจากการกำหนดรูปร่างทางเข้าที่แตกต่างกันโดยมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน พบว่าประสิทธิภาพของไซโคลนที่คำนวณได้จากโปรแกรม Aspen Plus มีค่าเท่ากัน ดังแสดงในภาพที่ 4.11

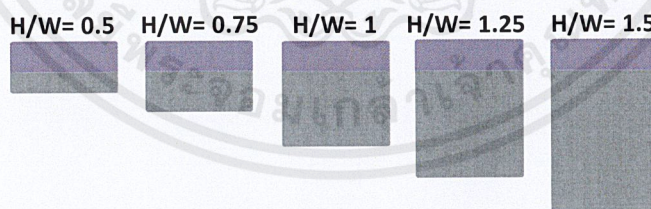


ภาพที่ 4.11 ประสิทธิภาพของไซโคลนที่รูปแบบทางเข้าต่างๆ

ทั้งนี้สามารถอ้างอิงได้จากสมการที่ (2.11) จะเห็นได้ว่าตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของไซโคลนคือขนาดตัด ซึ่งหาได้จากสมการที่ (2.10) กล่าวคือ พจน์ความกว้างและความสูงของทางเข้าไซโคลน คุณลักษณะอยู่ในรูปพื้นที่หน้าตัดทางเข้า จึงสามารถสรุปได้ว่ารูปแบบทางเข้าที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของไซโคลน

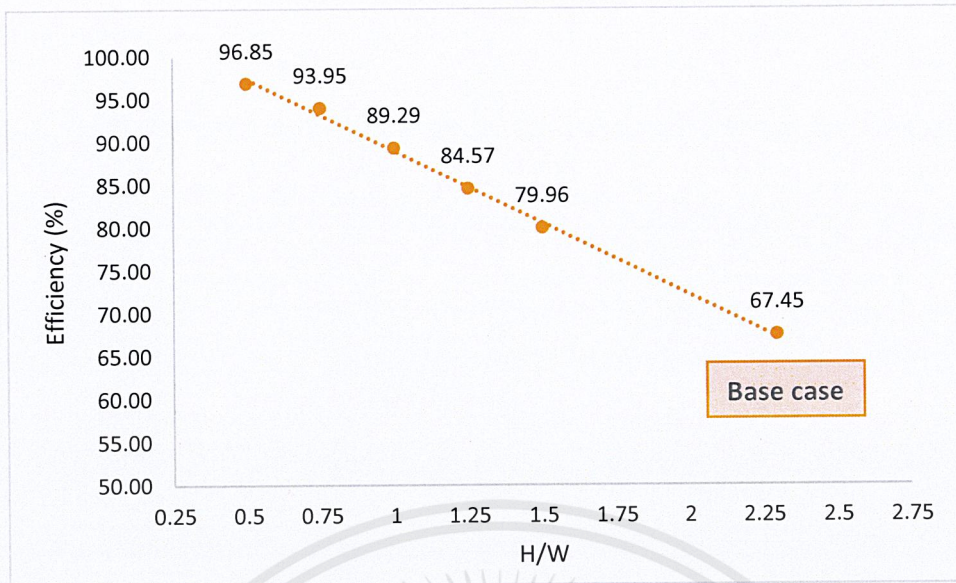
4.2.3 ผลของพื้นที่หน้าตัดทางเข้าไซโคลน

เมื่อทราบว่ารูปแบบทางเข้าที่มีพื้นที่เท่ากัน ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของไซโคลน จึงเลือกศึกษาผลของพื้นที่หน้าตัดที่แตกต่างกัน โดยกำหนดให้ความกว้างของทางเข้ามีขนาดคงที่ และเพิ่มขนาดความสูงของทางเข้า เป็นอัตราส่วนความสูงต่อความกว้างของทางเข้าไซโคลน 5 กรณี ดังนี้



ภาพที่ 4.12 พื้นที่หน้าตัดทางเข้าไซโคลนที่แตกต่างกัน

ผลที่ได้จากการศึกษาพื้นที่หน้าตัดของทางเข้าไซโคลน โดยการคำนวณด้วยโปรแกรม Aspen Plus พบว่าเมื่อพื้นที่ทางเข้าลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพของไซโคลนเพิ่มสูงขึ้น แสดงดังภาพที่ 4.13

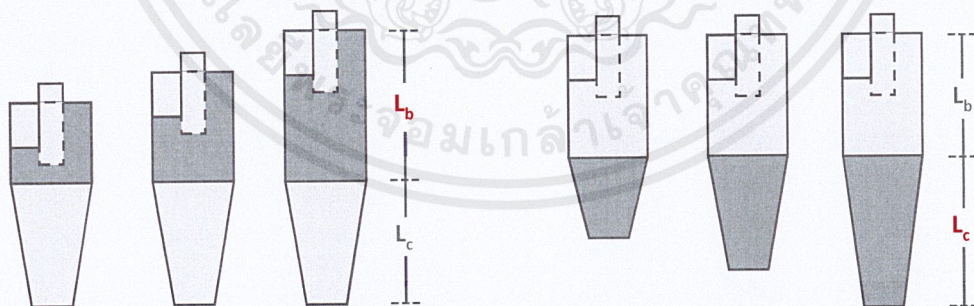


ภาพที่ 4.13 ประสิทธิภาพของไซโคลนที่พื้นที่หน้าตัดทางเข้าต่างๆ

สามารถอ้างอิงได้จากสมการที่ (2.10) เมื่อพื้นที่ทางเข้าลดลงจะส่งผลให้ขนาดตัดมีค่าลดลง หมายความว่าไซโคลนสามารถแยกอนุภาคอะเซทิลีนแบล็คขนาดเล็กได้มากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของไซโคลนเพิ่มสูงขึ้น

4.2.4 ผลของความยาวไซโคลน

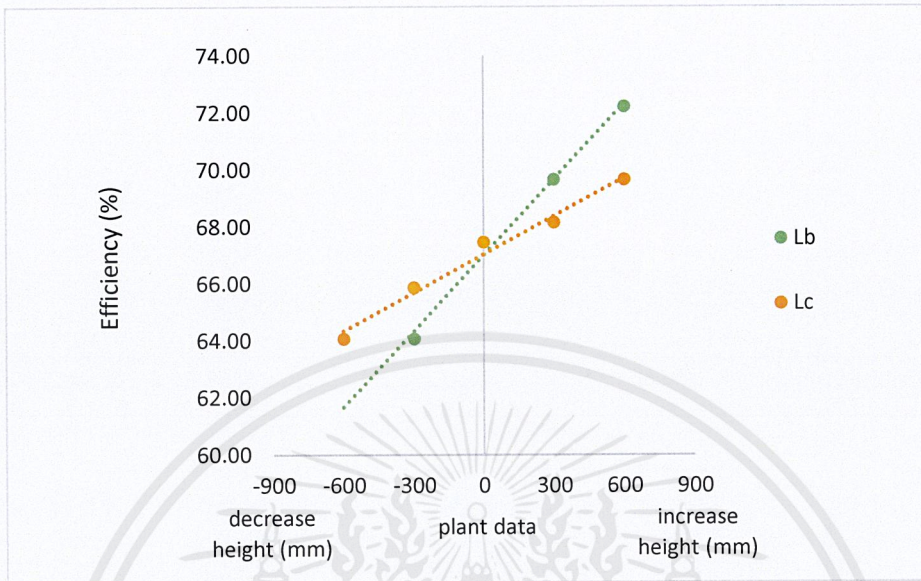
ศึกษาความยาวไซโคลนที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของไซโคลน โดยแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ ศึกษาความยาวในส่วนทรงกระบอก (L_b) และศึกษาความยาวในส่วนโคน (L_c) ดังแสดงในภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.14 ความยาวของไซโคลน (a) ส่วนทรงกระบอกแตกต่างกัน
(b) ส่วนโคนแตกต่างกัน

ผลที่ได้จากการศึกษาความยาวไซโคลน โดยการคำนวณด้วยโปรแกรม Aspen Plus พบว่า เมื่อความยาวในส่วนทรงกระบอก หรือความยาวในส่วนโคนเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของ

ไซโคลนเพิ่มสูงขึ้น โดยการเพิ่มความยาวในส่วนทรงกระบอกจะส่งผลมากกว่าการเพิ่มความยาวส่วนโคน แสดงดังภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.15 ประสิทธิภาพของไซโคลนที่ความยาวต่างๆ

สามารถอธิบายได้จากสมการของ Shepherd & Lapple สมการที่ (2.10) จะเห็นว่าสัมประสิทธิ์หน้า L_b เป็น 2 ส่วนสัมประสิทธิ์หน้า L_c เป็น 1 นั้นหมายความว่า L_b ส่งผลต่อขนาดตัดของอนุภาคมากกว่า L_c การศึกษาในส่วนความยาวของไซโคลนจึงสรุปได้ว่าส่งผลต่อประสิทธิภาพของไซโคลน

ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ในการออกแบบไซโคลนกับประสิทธิภาพของไซโคลน

Parameter	Change in value	Change in efficiency (%)	Relationship with efficiency
Inlet configuration	configuration	0	not effect
Inlet area	0.005 m ²	2.50	inverse variation
Cylinder height	1 m	8.90	direct variation
Cone height	1 m	4.50	direct variation

4.3 วิเคราะห์ความแตกต่างของอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็คแต่ละชนิด (Polimaxx Product)

ผลิตภัณฑ์อะเซทิลีนคาร์บอนแบล็ค จำแนกออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. ชนิดผง (Powder)
2. ชนิดอัดเม็ด 50% (50% Pressed Pellet)
3. ชนิดอัดเม็ด 75% (75% Pressed Pellet)

ผลิตภัณฑ์อะเซทิลีนคาร์บอนแบล็คแต่ละชนิด ถูกจำแนกด้วยสมบัติดังนี้

1. ปริมาณความชื้น (Moisture Content)
2. ปริมาณเถ้า (Ash Content)
3. ปริมาณอนุภาคหยาบ (Coarse Particle Content)
4. ปริมาณการดูดซึมกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid Absorption Quantity)
5. ความต้านทานไฟฟ้า (Electric Resistivity)
6. ความหนาแน่นโดยการเท (Pour Density)

ตารางที่ 4.4 สมบัติที่ใช้ในการจำแนกชนิดของผลิตภัณฑ์อะเซทิลีนคาร์บอนแบล็ค

Physical Properties	Unit	Grade			
		AB50	AB50D	AB50P	AB75
Compressed	%	50	50	50	75
Moisture content	%	Max 0.30	Max 0.30	Max 0.30	Max 0.30
Ash content	%	Max 0.20	Max 0.20	Max 0.20	Max 0.20
Coarse particles	%	Max 0.02	Max 0.02	Max 0.02	Max 0.02
Pour density	g/cc	0.06-0.08	0.08-0.09	0.085-0.095	0.095-0.110
HCl absorption number	cc/5g	Min 20	Min 21	Min 15	Min 15
Electrical resistivity	Ω .cm	Max 0.25	Max 0.22	Max 0.25	Max 0.25

จากตารางที่ 4.2 สามารถสรุปได้ว่า ผลิตภัณฑ์อะเซทิลีนคาร์บอนแบล็คถูกจำแนกด้วยค่าความหนาแน่นโดยการเทเป็นหลัก โดยค่าความหนาแน่นโดยการเทจะถูกควบคุมในขั้นตอนการบีบอัด (Press) ของกระบวนการ ขึ้นอยู่กับความต้องการนำอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็คไปประยุกต์ใช้งาน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ความดันลดภายในท่อไม่ใช้ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มกำลังการผลิต

5.1.2 ประสิทธิภาพของไซโคลนที่ได้จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Aspen Plus ของสายการผลิตที่ 1 2 และ 3 คือ 99.05% 88.09% 93.41% ตามลำดับ

5.1.3 ประสิทธิภาพของไซโคลนไม่ขึ้นอยู่กับรูปแบบทางเข้าไซโคลน เมื่อทางเข้ามีพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพของไซโคลน สามารถทำได้โดยการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดทางเข้าไซโคลน หรือเพิ่มความยาวของไซโคลน โดยการเพิ่มความยาวในส่วนทรงกระบอกส่งผลมากกว่าการเพิ่มความยาวในส่วนโคน

5.1.4 ผลลัพธ์อะเซทิลีนคาร์บอนแบล็คถูกจำแนกด้วยค่าความหนาแน่นโดยการเทเป็นหลัก ซึ่งจะถูควบคุมในขั้นตอนการบีบอัด (Press) ของกระบวนการ

5.2 วิจารณ์ผลการวิจัย

5.2.1 การเก็บตัวอย่างดำเนินการในขณะที่หยุดกระบวนการผลิตเพื่อซ่อมบำรุง ทำให้ข้อมูลการกระจายตัวของขนาดอนุภาคไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง

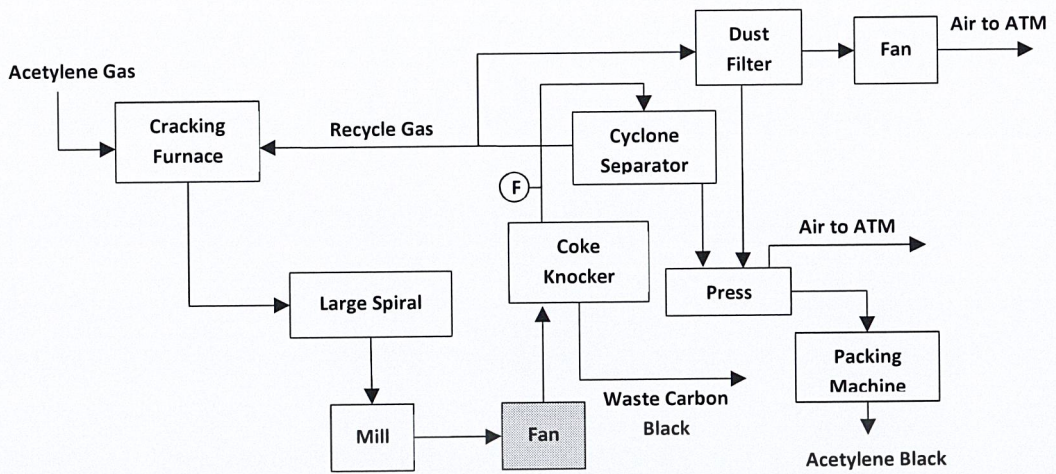
5.2.2 โปรแกรม Aspen Plus เป็นการวิเคราะห์ผลโดยสมการคณิตศาสตร์เบื้องต้นเพียงเท่านั้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรหาวิธีเก็บตัวอย่าง หรือจุดที่สามารถเก็บตัวอย่างในขณะที่กำลังดำเนินการผลิต

5.3.2 ควรสร้างแบบจำลองไซโคลนด้วยโปรแกรม CFD เพื่อศึกษาผลกระทบจากพฤติกรรมการไหลโดยละเอียด

5.3.3 จากการศึกษาเพิ่มเติม พบว่าการเพิ่มความเร็วมวลเข้าไซโคลนส่งผลต่อประสิทธิภาพของไซโคลน ดังนั้นควรติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flowmeter) ดังแสดงในภาพที่ 5.1 เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพและกำลังการผลิตต่อไป



ภาพที่ 5.1 ตำแหน่งที่จะติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการไหลเพิ่มเติม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] "ความสำคัญและประโยชน์ของคาร์บอนแบลคในทางอุตสาหกรรม," [Online]. Available: http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_j/2523_93_12.pdf. [Accessed 10 August 2019].
- [2] "CARBON BLACK," Thai Poly Chemicals Co., Ltd., [Online]. Available: <https://thaipolychemicals.weebly.com/carbon-black.html>. [Accessed 10 August 2019].
- [3] "คาร์บอนแบลค," Information Center of Thailand (NICT), [Online]. Available: <http://nict.sc.chula.ac.th/site/index.php/technology/risk/nanomaterial/carbon/carbon-black>. [Accessed 10 August 2019].
- [4] "ไทยคาร์บอนแบล็ค carbon black คาร์บอนแบล็คสำหรับอุตสาหกรรมยาง," [Online]. Available: <http://www.nanorubberchem.com/>. [Accessed 10 August 2019].
- [5] T. Nadu, "Carbon Black Powder Manufacturer," Rathi Rubber India Pvt. Ltd.. [Online]. [Accessed 10 August 2019].
- [6] L. B. d. N. Clayde Giet, "ACETYLENE-LIKE BLACK AND PROCESS". United States Patent 4013759, 22 March 1977.
- [7] F. R.-R. Harry Marsh, Activated Carbon, Elsevier Science & Thnology Books, 2006.
- [8] "ทฤษฎีการไหลในท่อ," [Online]. Available: http://irrigation.rid.go.th/rid4/km04/_data/57/general-05.pdf. [Accessed 12 August 2019].
- [9] ธียุทธ ออกะลา, กลศาสตร์ของไหล (Fluid Mechanics), 2553.
- [10] R. Darby, Chemical Engineering Fluid Mechanics, Marcel Dekker, Inc., 2001.
- [11] "ไซโคลน (Cyclone)," [Online]. Available: <http://www2.diw.go.th/km/pdf%5Cknow%5Ccyclone.pdf>. [Accessed 3 October 2019].
- [12] "Cyclonic separation," 19 December 2018. [Online]. Available: https://simple.wikipedia.org/wiki/Cyclonic_separation. [Accessed 3 October 2019].
- [13] T. I. Muhammad, N. A. Mohammad and J. B. Mokwa, "Design Analysis," *Design and analysis of cyclone dust separator*, vol. 5, no. 4, pp. 132-133, 2019.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ

ก.1 ค่าความดันลดภายในท่อ

ตัวอย่างการคำนวณของสายการผลิตที่ 1 ตำแหน่ง เครื่องบด (Mill) ไปถึงพัดลม (Fan)

1. คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดภายในท่อ

$$\text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (D)} = 0.254 \text{ m}$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดท่อ (A)} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0.254^2)}{4} = 0.0507 \text{ m}^2$$

2. คำนวณความเร็วการไหลภายในท่อ

$$\text{อัตราการไหลเชิงปริมาตร (Q)} = 0.4318 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดท่อ (A)} = 0.0507 \text{ m}^2$$

$$\text{ความเร็วการไหล (V)} = \frac{Q}{A} = \frac{0.4318}{0.0507} = 8.5219 \text{ m/s}$$

3. คำนวณค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์

$$\text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (D)} = 0.254 \text{ m}$$

$$\text{ความเร็วการไหล (V)} = 8.5219 \text{ m/s}$$

$$\text{ความหนาแน่นของของไหล (\rho)} = 0.52 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{ความหนืดของของไหล (\mu)} = 2.3668 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$$

$$\text{จะได้ } Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{0.52 \times 8.5219 \times 0.254}{(2.3668 \times 10^{-5})} = 47556.76$$

4. คำนวณ Fanning friction factor (f)

$$\text{ค่าความขรุขระของท่อ carbon steel (\epsilon)} = 0.000046 \text{ m}$$

$$\text{Fanning friction factor (f)} = 2 \left[\left(\frac{8}{Re} \right)^{12} + \frac{1}{(A+B)^{1.5}} \right]^{1/12}$$

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ } A &= \left\{ 2.457 \ln \left[\frac{1}{(7/\text{Re})^{0.9} + 0.27 \varepsilon/D} \right] \right\}^{16} \\ &= \left\{ 2.457 \ln \left[\frac{1}{(7/47556.76)^{0.9} + 0.27(0.000046/0.254)} \right] \right\}^{16} = 3.55 \times 10^{20} \\ B &= \left(\frac{37530}{\text{Re}} \right)^{16} = \left(\frac{37530}{47556.76} \right)^{16} = 0.0146 \end{aligned}$$

$$\text{จะได้ } f = 2 \left[\left(\frac{8}{47556.76} \right)^{12} + \frac{1}{\left((3.55 \times 10^{20}) + 0.0146 \right)^{1.5}} \right]^{1/12} = 0.005428$$

5. คำนวณค่าการสูญเสียพลังงานหลัก

$$\text{จาก } h_f = f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

แยกคำนวณเป็น 3 section

$$\text{Section 1 } h_f = 0.005428 \left(\frac{1.2}{0.254} \right) \left(\frac{8.5219^2}{2 \times 9.81} \right) = 0.3797 \text{ m}$$

$$\text{Section 2 } h_f = 0.005428 \left(\frac{1.2936}{0.254} \right) \left(\frac{8.5219^2}{2 \times 9.81} \right) = 0.4093 \text{ m}$$

$$\text{Section 3 } h_f = 0.005428 \left(\frac{0.825}{0.254} \right) \left(\frac{8.5219^2}{2 \times 9.81} \right) = 0.2610 \text{ m}$$

6. คำนวณค่าการสูญเสียพลังงานรอง

$$\text{จาก } h_m = k \frac{V^2}{2g}$$

$$\text{Section 1 } \text{ข้อ } 45 \text{ องศา } 1 \text{ ตัว } h_m = (1 \times 0.4) \left(\frac{8.5219^2}{2 \times 9.81} \right) = 1.4806 \text{ m}$$

$$\text{Section 2 } \text{ข้อ } 45 \text{ องศา } 1 \text{ ตัว } h_m = (1 \times 0.4) \left(\frac{8.5219^2}{2 \times 9.81} \right) = 1.4806 \text{ m}$$

Section 3 ไม่มีข้องอและวาล์ว $h_m = 0 \text{ m}$

7. คำนวณความดันสถภายในท่อ

$$\text{จาก} \quad \frac{p_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + (\sum h_f + \sum h_m)$$

พื้นที่หน้าตัดท่อมีขนาดเท่ากัน ทำให้ $V_1 = V_2$

$$\text{จะได้} \quad p_1 - p_2 = [(z_2 - z_1) + (\sum h_f + \sum h_m)] \times \rho g$$

$$\text{Section 1} \quad p_1 - p_2 = [0 + (0.3797 + 1.4806)] \times (0.52 \times 9.81) = 9.4898 \text{ Pa} \\ = 0.0949 \text{ mbar}$$

$$\text{Section 2} \quad p_1 - p_2 = [0.6683 + (0.4093 + 1.4806)] \times (0.52 \times 9.81) = 13.0497 \\ = 0.1305 \text{ mbar}$$

$$\text{Section 3} \quad p_1 - p_2 = [0 + (0.2610 + 0)] \times (0.52 \times 9.81) = 1.3315 \\ = 0.0133 \text{ mbar}$$

$$\text{จะได้ค่าความดันสถภายในท่อ} = 0.0949 + 0.1305 + 0.0133 = 0.2387 \text{ mbar}$$

ก.2 ประสิทธิภาพของไซโคลน

ตัวอย่างการคำนวณ ประสิทธิภาพของไซโคลนในการดักจับอนุภาคที่ขนาด 10 micron

1. คำนวณความเร็วการไหล

$$\text{อัตราการไหลเชิงปริมาตร (Q)} = 0.4086 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{ความสูงของทางเข้าไซโคลน (H)} = 0.436 \text{ m}$$

$$\text{ความกว้างของทางเข้าไซโคลน (W)} = 0.19 \text{ m}$$

$$\text{ความเร็วการไหล (V)} = \frac{Q}{A} = \frac{0.4086}{0.436 \times 0.19} = 4.9326 \text{ m/s}$$

2. คำนวณจำนวนรอบของการหมุนของก๊าซ (Effective Number of Turns)

$$\text{จำนวนรอบของการหมุนของก๊าซ (N)} = \frac{1}{H} \left[L_b + \frac{L_c}{2} \right]$$

$$\text{ความสูงของทางเข้าไซโคลน (H)} = 0.436 \text{ m}$$

$$\text{ความยาวส่วนทรงกระบอกของไซโคลน (L_b)} = 0.9 \text{ m}$$

$$\text{ความยาวส่วนโคนของไซโคลน (L_c)} = 1.23 \text{ m}$$

$$\text{จะได้ } N = \frac{1}{0.436} \left[0.9 + \frac{1.23}{2} \right] = 3.4748$$

3. คำนวณขนาดตัดของอนุภาค

$$\text{ขนาดตัดของอนุภาค (d_{pc})} = \left[\frac{9 \mu W}{2\pi N V (\rho_p - \rho_a)} \right]^{1/2}$$

$$\text{ความหนืดของของไหล (\mu)} = 2.37 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$$

$$\text{ความเร็วการไหล (V)} = 4.9326 \text{ m/s}$$

$$\text{จำนวนรอบของการหมุนของก๊าซ (N)} = 3.4748 \text{ รอบ}$$

$$\text{ความหนาแน่นของอนุภาค (\rho_p)} = 2250.02 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{ความหนาแน่นของก๊าซ (\rho_a)} = 0.4609 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{ความกว้างของทางเข้าไซโคลน (W)} = 0.19 \text{ m}$$

$$\text{จะได้ } d_{pc} = \left[\frac{9 \times (2.37 \times 10^{-5}) \times 0.19}{2\pi \times 3.4748 \times 4.9326 \times (2250.02 - 0.4609)} \right]^{1/2}$$
$$= 1.27 \times 10^{-5} \text{ m} = 12.72 \text{ micron}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. คำนวณประสิทธิภาพของไซโคลน

$$\text{ประสิทธิภาพของไซโคลน } (\eta_j) = \frac{1}{1 + (d_{pc}/d_{pj})^2}$$

$$\text{ขนาดตัดของอนุภาค } (d_{pc}) = 1.27 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$\text{ขนาดของอนุภาค } (d_{pj}) = 1 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$\text{จะได้ } \eta_j = \frac{1}{1 + (1.27 \times 10^{-5} / 1 \times 10^{-5})^2} = 0.38$$

ไซโคลนสามารถกักจับอนุภาคขนาด 10 micron ได้ 38 %



ภาคผนวก ข

จำนวนข้องอและวาล์วในแต่ละตำแหน่ง

ตารางที่ ข.1 จำนวนข้องอและวาล์วในสายการผลิตที่ 1 และ 2

Position	Number of fittings						
	Elbow 90	Elbow 45	Gate valve	Butterfly valve	Straight tee	Branch tee	Contraction
Spiral - Mill	-	-	-	-	-	1	-
Mill - Fan	-	2	-	-	-	-	-
Fan - Coke Knocker	1	-	-	-	-	-	-
Coke Knocker - Cyclone	3	-	-	-	-	-	-
Cyclone - Filter Bag	1	2	-	1	-	1	-
Cyclone - Furnace	2	4	-	1	1	-	1

ตารางที่ ข.2 จำนวนข้องอและวาล์วในสายการผลิตที่ 3 และ 4

Position	Number of fittings						
	Elbow 90	Elbow 45	Gate valve	Butterfly valve	Straight tee	Branch tee	Contraction
Spiral - Mill	-	-	-	-	-	-	-
Mill - Fan	-	2	-	-	1	-	-
Fan - Coke Knocker	2	-	-	-	-	-	-
Coke Knocker - Cyclone	3	-	-	-	-	-	-
Cyclone - Filter Bag	4	2	-	1	-	1	-
Cyclone - Furnace	4	5	-	1	1	-	1

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการจำลองกระบวนการผลิตอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็ค ด้วยโปรแกรม Aspen Plus V9

ค.1 การกำหนดชนิดของสาร

การจำลองกระบวนการด้วยโปรแกรม Aspen Plus V9 ต้องระบุสารองค์ประกอบ (Chemical Components) ทั้งหมดในกระบวนการผลิตอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็ค ดังตารางที่ ค.1

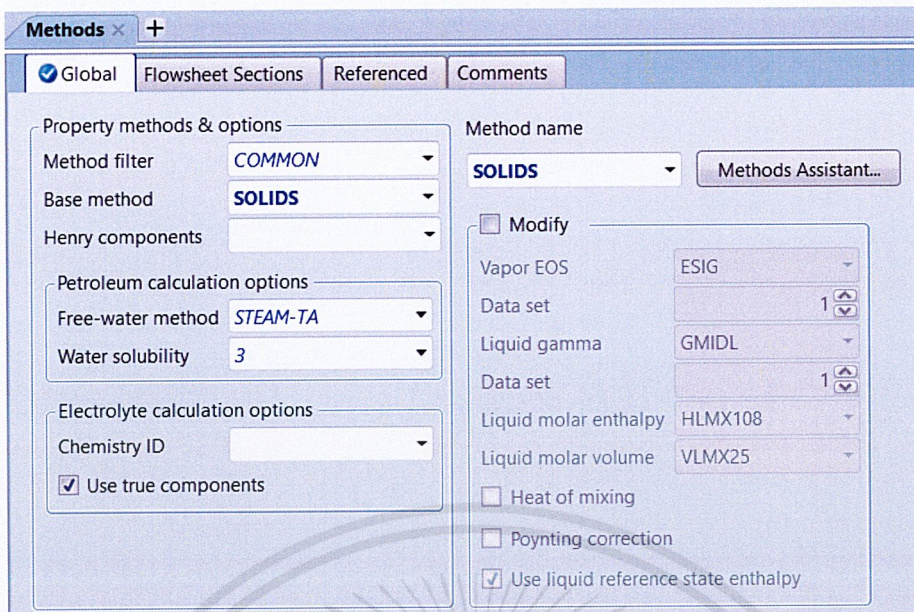
ตารางที่ ค.1 สารทั้งหมดในกระบวนการผลิตอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็ค

ชื่อสาร	สูตรโครงสร้าง
ACETYLENE	C ₂ H ₂
CARBON-GRAPHITE	C
HYDROGEN	H ₂
CARBON-DIOXIDE	CO ₂
NITROGEN	N ₂
WATER	H ₂ O
OXYGEN	O ₂
CARBON-MONOXIDE	CO

ค.2 การกำหนดแบบจำลองในการคำนวณ

การจำลองกระบวนการผลิตอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็คด้วยโปรแกรม Aspen Plus V9 ต้องกำหนดวิธีในการคำนวณให้เหมาะสมกับกระบวนการ โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ใช้วิธี Solids ดังรูปที่

ค.1



ภาพที่ ค.1 การตั้งค่าแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณ

ค.3 การจำลองท่อและระบบท่อสำหรับหาค่าความดันลด

แบบจำลองท่อ (Pipe) ใช้ในการคำนวณค่าความดันลดในท่อเพียงส่วนเดียว ซึ่งสามารถจำลองความดันลดอันเนื่องมาจากข้อต่อ วาล์ว ทางเข้า และทางออกได้ โดยมีกระแสการไหลเข้า 1 กระแส และกระแสการไหลออก 1 กระแส มีวิธีสร้างแบบจำลองดังนี้

1. สร้างโมเดล Pipe
2. กำหนดลักษณะการไหลเป็น Fluid flow และระบุค่าตัวแปรต่างๆ ใน Pipe Parameters ดังรูปที่ ค.2
3. กำหนดข้อมูลใน Fittings1 และ Fittings2 ดังรูปที่ ค.3 และ ค.4

ภาพที่ ค.2 การตั้งค่ารูปแบบการไหลและลักษณะของท่อ

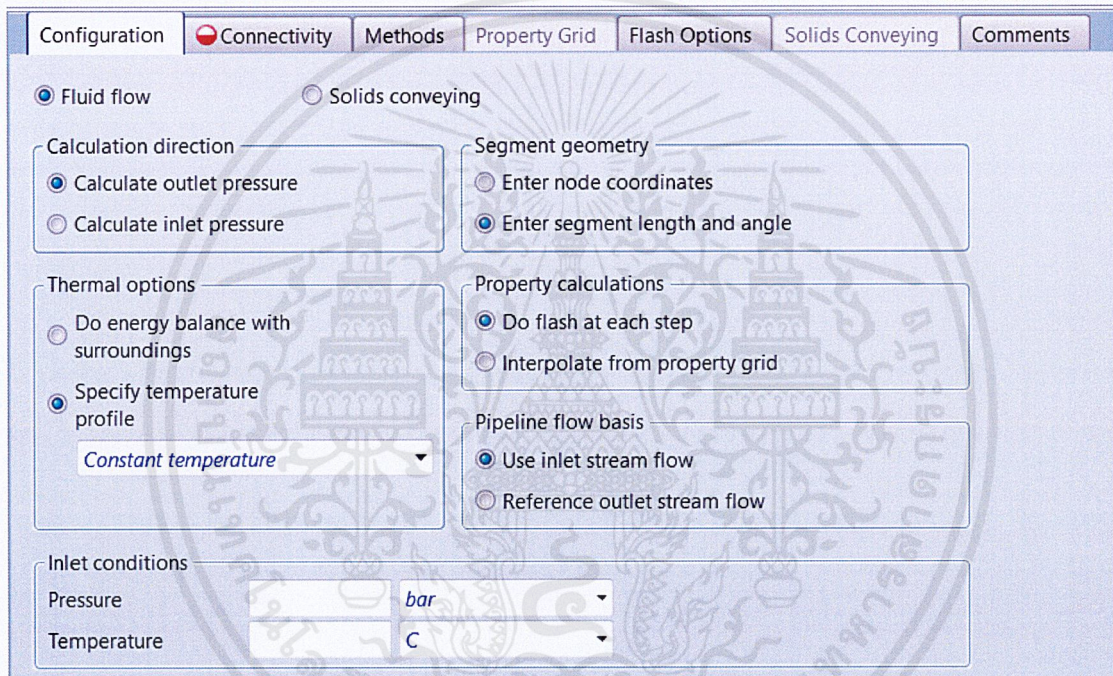
ภาพที่ ค.3 การตั้งค่าข้อต่อและวาล์ว

ภาพที่ ค.4 การตั้งค่าลักษณะทางเข้าและทางออกของท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองระบบท่อ (Pipeline) ใช้ในการคำนวณค่าความดันลดภายในท่อหลายส่วน สามารถระบุรายละเอียดของท่อแต่ละส่วนได้ โดยมีกระแสการไหลเข้า 1 กระแส และกระแสการไหลออก 1 กระแส มีวิธีสร้างแบบจำลองดังนี้

1. สร้างโมเดล Pipeline
2. กำหนดลักษณะการไหลเป็น Fluid flow ระบุวิธีที่ต้องการใช้ในการคำนวณ อุณหภูมิและความดันของกระแสขาเข้า ดังรูปที่ ค.5
3. กำหนดความยาวและลักษณะของท่อในแต่ละส่วน ดังรูปที่ ค.6



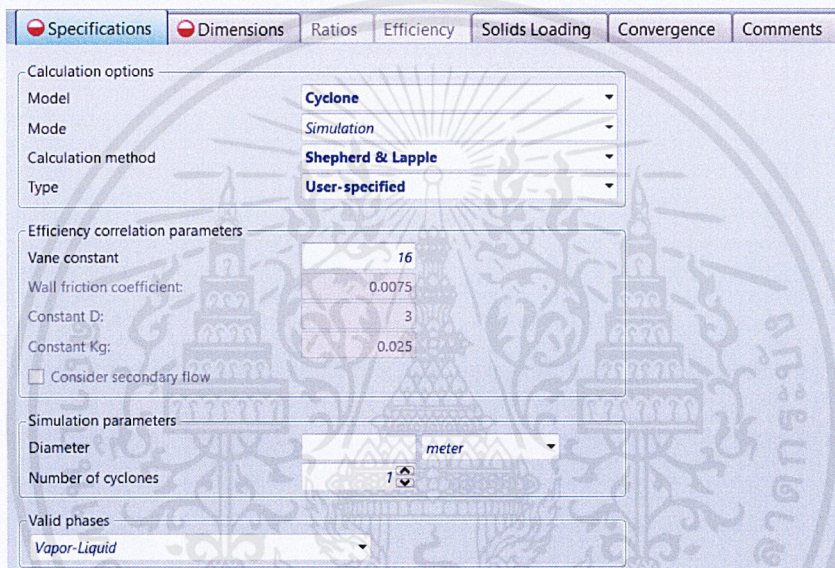
ภาพที่ ค.5 ลักษณะการไหล วิธีที่ใช้ในการคำนวณ ความดันและอุณหภูมิเริ่มต้น

ID	In Node	Out Node	Diameter	Units	Length	Units	Angle	Units	Status
1	1	2		meter		meter	0 deg		Incomplete
2	2	3		meter		meter	0 deg		Incomplete

ภาพที่ ค.6 การตั้งค่าความยาวและลักษณะของท่อแต่ละส่วน

ค.4 การจำลองไซโคลน

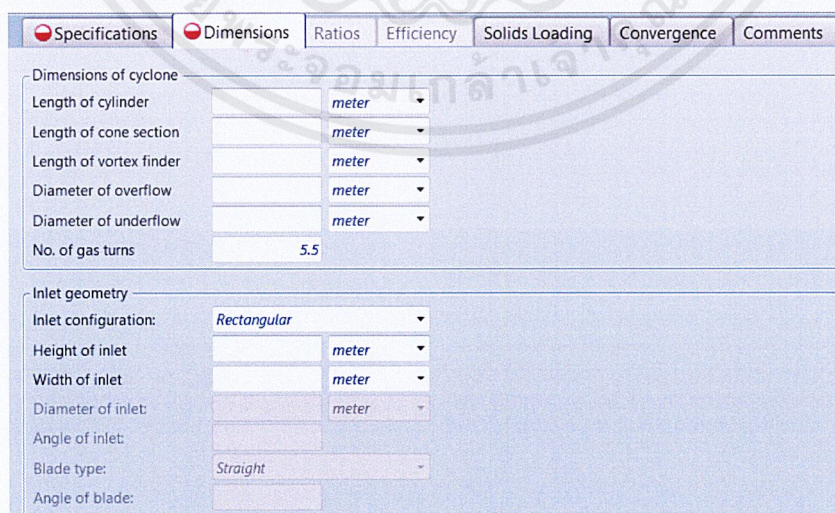
สร้างแบบจำลองไซโคลน (Cyclone) เพื่อศึกษาการปรับปรุงกระบวนการผลิตอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็ค โดยไซโคลนใช้ในการแยกกระแสก๊าซเข้าที่มีอนุภาคของแข็ง ออกเป็น 2 กระแส ได้แก่ กระแสของแข็ง และกระแสก๊าซที่มีอนุภาคของแข็งหลงเหลืออยู่ ซึ่งวิจัยชิ้นนี้ได้สร้างแบบจำลองโดยการกำหนดโมเดล Cyclone โหมด Simulation และเลือกวิธีการคำนวณของ Shepherd & Lapple โดยกำหนดประเภทของไซโคลนเป็นแบบ User-specified และระบุค่าตัวแปรต่างๆ ในรูปที่ ค.7 จากนั้นกำหนดขนาดส่วนประกอบต่างๆ ของไซโคลน ดังแสดงในรูปที่ ค.8



The screenshot shows the 'Specifications' tab of a software interface. It contains several sections with dropdown menus and input fields:

- Calculation options:** Model (Cyclone), Mode (Simulation), Calculation method (Shepherd & Lapple), Type (User-specified).
- Efficiency correlation parameters:** Vane constant (16), Wall friction coefficient (0.0075), Constant D (3), Constant Kg (0.025). There is an unchecked checkbox for 'Consider secondary flow'.
- Simulation parameters:** Diameter (meter), Number of cyclones (1).
- Valid phases:** Vapor-Liquid.

ภาพที่ ค.7 การตั้งค่ารูปแบบโมเดลที่ใช้ในการคำนวณ



The screenshot shows the 'Dimensions' tab of the software interface. It contains two main sections:

- Dimensions of cyclone:** Length of cylinder (meter), Length of cone section (meter), Length of vortex finder (meter), Diameter of overflow (meter), Diameter of underflow (meter), No. of gas turns (5.5).
- Inlet geometry:** Inlet configuration (Rectangular), Height of inlet (meter), Width of inlet (meter), Diameter of inlet (meter), Angle of inlet, Blade type (Straight), Angle of blade.

ภาพที่ ค.8 การตั้งค่าขนาดของส่วนประกอบไซโคลน

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวอันธิกา ธิปดี
วัน เดือน ปีเกิด 21 พฤศจิกายน 2540
ที่อยู่ 501/74 หมู่ 4 ถ.ลพบุรีราเมศวร์ ต.คลองแห อ.หาดใหญ่
จ.สงขลา 90110

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2553 - 2558 ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนธิดานุเคราะห์
พ.ศ. 2559 - ปัจจุบัน วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์

นักศึกษาฝึกงาน แผนก Technologist
บริษัท ไทยออยล์ จำกัด (มหาชน)
ตั้งแต่วันที่ 4 มิถุนายน 2562 ถึงวันที่ 26 กรกฎาคม 2562
นักศึกษาโครงการสหกิจศึกษา ส่วน Innovation Center Scale-up & Simulation (ICS)
บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน)
ตั้งแต่วันที่ 5 สิงหาคม 2562 ถึงวันที่ 22 พฤศจิกายน 2562