

การบรรยายเรื่อง

”ระบบการขนถ่ายวัสดุด้วยลม”

โดย

รองศาสตราจารย์ พรชัย จงจิตรไพศาล

ภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุและ โลจิสติกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

การขนถ่ายวัสดุด้วยลมเบื้องต้น

- การขนถ่ายโดยใช้ท่อนั้น มีใช้กันมานานแล้วกล่าวคือ ในสมัยโบราณ ชาวจีนใช้ไม้ไผ่สำหรับขนถ่ายธรรมชาติ ส่วนชาวโรมันใช้ท่อตะกั่วสำหรับขนน้ำใช้ และน้ำเสีย แต่การนำท่อมาใช้ขนถ่ายวัสดุนั้นเริ่มมีการใช้เมื่อปี ค.ศ. 1866 โดยเริ่มจากการใช้ระบบสูญญากาศ ซึ่งต่อมาทั้งระบบสูญญากาศ และระบบความดันมีใช้กันอย่างแพร่หลาย
- นอกจากการใช้อากาศหรือลมเป็นตัวกลางสำหรับการพาวัสดุไปตามท่อแล้ว ยังมีการใช้ก๊าซอื่นอีกเช่น
 - ไนโตรเจน
 - คาร์บอนไดออกไซด์สำหรับเป็นตัวกลางพาวัสดุให้ไหลไปตามท่ออีกด้วย

- ระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลมมีหลักการทำงานที่ง่าย และเหมาะสมกับการขนถ่ายวัสดุปริมาณมวล (Bulk Material) ซึ่งวัสดุ จะอยู่ในรูปของเม็ด และผง ไปตามท่อโดยลมที่มีความดันบวก หรือความดันลบ (สูญญากาศ) มีใช้งานทั้งในอุตสาหกรรม การผลิตทาง การเกษตร เคมีภัณฑ์ ฯลฯ

ข้อดี ข้อเสีย ของระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลม

- ข้อดี
- 1. ให้ความปลอดภัยกับผู้ปฏิบัติงานสูง
- 2. ช่วยทำให้สภาพที่ทำงานปลอดภัยยิ่งขึ้น
- 3. ประหยัดราคาในการสั่งซื้อ เนื่องจากไม่ต้องใช้ภาชนะบรรจุ เช่น ถัง กระสอบ ฯลฯ
- 4. ประหยัดค่าแรงงาน ในการขนวัสดุ
- 5. ลดการสูญเสยวัสดุ จากการรั่ว หรือตกค้างในภาชนะบรรจุ
- 6. บำรุงรักษา และควบคุมได้ง่าย
- 7. ปรับเปลี่ยนทิศทางการขนถ่ายได้ง่าย
- 8. ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย

ข้อเสีย

- 1. ใช้กำลังงานในการขนถ่ายสูง
- 2. อาจเกิดการสึกหรอของอุปกรณ์ได้ง่ายเมื่อใช้กับวัสดุที่มีความคม
- 3. การออกแบบที่ไม่ถูกต้องอาจทำให้วัสดุเกิดการแตกหักได้
- 4. ระยะทางในการขนถ่ายจำกัด
- 5. ตามธรรมชาติของการขนถ่ายวัสดุด้วยลมเป็นเรื่องที่ซับซ้อนมาก ทำให้ต้องใช้ผู้ที่มีความชำนาญสูงเพื่อออกแบบ ใช้งานและบำรุงรักษาระบบ

ข้อจำกัดของระบบ

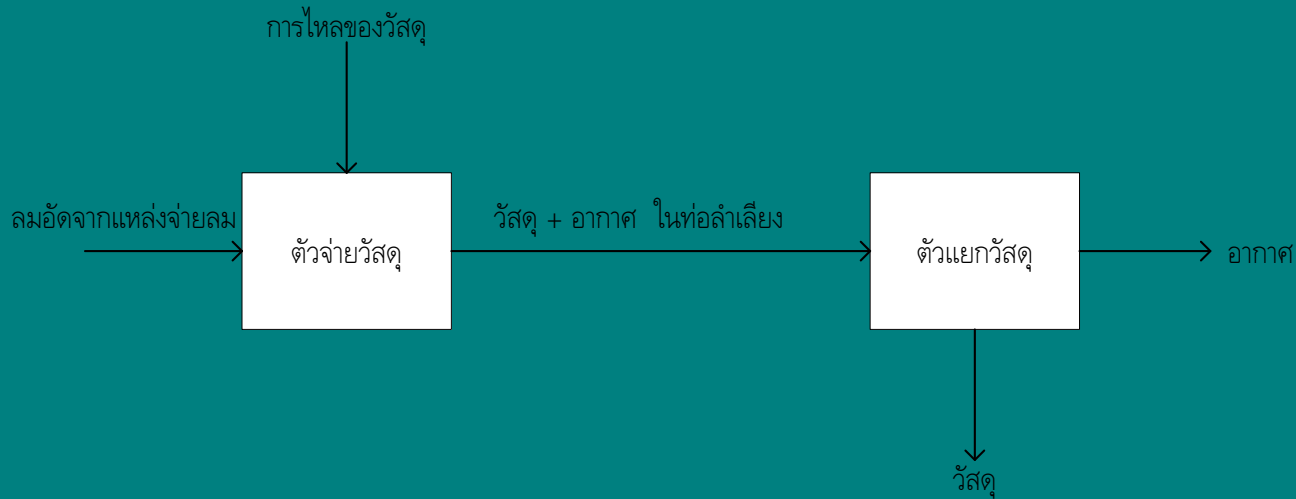
- เนื่องจากใช้พลังงานในการขนวัสดุมากกว่า อุปกรณ์
ลำเลียงอื่นๆ ระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลมจึงใช้สำหรับ
การขนระยะทางไม่ไกลมากนัก และข้อจำกัดสำหรับ
ระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลมนี้เป็น ”ข้อจำกัดทางด้าน
เศรษฐศาสตร์มากกว่าทางเทคนิค”

ชนิดของวัสดุที่สามารถขนถ่ายได้

- โดยทั่วไปวัสดุที่มีลักษณะเป็น เม็ด ผงที่แห้ง ไหลได้ดี และไม่เป็นเส้นใย สามารถขนถ่ายด้วยระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลมได้
- ขนาดท่อขนถ่ายวัสดุโดยทั่วไป”ขนาดท่อขนถ่ายวัสดุจะต้องมีขนาดอย่างน้อยที่สุดเท่ากับ 3 เท่าของขนาดวัสดุที่โตที่สุดที่จะขน”
- คุณสมบัติของวัสดุสามารถดูได้จากมาตรฐานต่างๆเช่น CEMA , Link Belt , MHEA

ส่วนประกอบเบื้องต้นที่สำคัญของระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลม

อาจแบ่งได้เป็น 4 ส่วนคือ



- ตัวต้นกำเนิดลม (AIR MOVER)
- ตัวจ่ายวัสดุเข้าไปในท่อลำเลียง (FEEDING SYSTEM)
- ท่อลำเลียงวัสดุ (PIPE LINE)
- ตัวแยกวัสดุ / อากาศ (SEPARATION SYSTEM)

- ตัวต้นกำเนิดลม เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญ และมีราคาสูงที่สุดในระบบ ตัวต้นกำเนิดลมทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานในการพาวัสดุให้ไหลไปตามท่อ
- ตัวจ่ายวัสดุเข้าไปในท่อลำเลียง อาจกล่าวได้ว่าตัวจ่ายวัสดุเข้าไปในระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลมนั้นเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดในระบบ ซึ่งปรกติวัสดุจะอยู่ในสภาพที่หยุดนิ่งอยู่กับที่ในถังเก็บวัสดุจากนั้นจะถูกตัวจ่ายวัสดุ พาวัสดุเข้าไปสู่กระแสการไหลของลมในท่อขนถ่ายวัสดุทำให้วัสดุมีการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม และวัสดุจะผสมกับลมและมีความเร็วเพิ่มขึ้นจนถึงความเร็วคงที่ค่าหนึ่ง การเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของวัสดุนี้จะทำให้เกิดความดันสูญเสียของลมในระบบขึ้น ในช่วงที่วัสดุมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วนี้ควรให้ท่อขนถ่ายวัสดุเป็นท่อตรงในแนวระดับเนื่องจากจะทำให้เกิดความดันสูญเสียเพิ่มขึ้น

- ท่อลำเลียงวัสดุถ่ายวัสดุ ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วยท่อทางต่างๆ วาล์ว และข้องอ การเลือกขนาดท่อนั้นต้องพิจารณาแฟคเตอร์หลายตัวประกอบกันเช่น ความดันและอัตราการไหลของลม อัตราการขนถ่ายวัสดุ และคุณสมบัติวัสดุ ซึ่งถ้าวัสดุขนถ่ายมีความแข็งคมมากก็จะทำให้ส่วนต่างๆที่วัสดุไหลผ่านเกิดการสึกหรอได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้องอในระบบ ซึ่งขณะที่วัสดุไหลเข้าสู่ข้องอวัสดุจะมีความเร็วลดลง แต่ในขณะที่วัสดุไหลออกจากข้องอวัสดุจะต้องมีความเร่งเพิ่มขึ้นเพื่อให้สามารถกลับไปไหลด้วยความเร็วคงที่ค่าหนึ่ง การที่วัสดุมีความเร็วที่เปลี่ยนแปลงนี้จะทำให้เกิดความดันสูญเสียขึ้นในระบบ

- ตัวแยกวัสดุ/อากาศ ในส่วนนี้วัสดุและลมจะถูกแยกออกจากกัน วัสดุจะถูกเก็บไว้ในถังเก็บวัสดุปลายทาง ส่วนลมจะถูกระบายทิ้งสู่บรรยากาศ ตัวแยกวัสดุที่นิยมใช้ในระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลมมีอยู่ 2 ชนิดคือ ไชโคลอน และผ้ากรองฝุ่น ซึ่งการแยกวัสดุออกจากลมนี้จะต้องมีความดันสูญเสียบ้างหนึ่งที่จะแยกวัสดุออกจากกระแสการไหลของลมได้

การแบ่งชนิดของระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลม

สามารถแบ่งออกเป็น 4 ชนิดคือ

- 1 แบ่งตามปริมาณวัสดุโดยเฉลี่ยที่ไหลในท่อ
- 2 แบ่งตามความดันในระบบ
- 3 แบ่งตามความดันของตัวต้นกำเนิดลมในระบบ
- 4 แบ่งตามการจ่ายวัสดุ

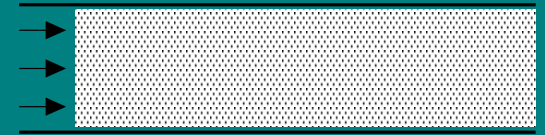
1. การแบ่งชนิดของระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลมตามปริมาณวัสดุ โดยเฉลี่ยที่ไหลในท่อ

สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ

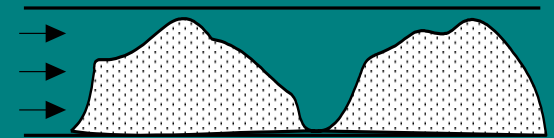
- การไหลแบบเบาบาง (Dilute Phase or Lean Phase)
- การไหลแบบหนาแน่น (Dense Phase)

$$\text{Phase density } \phi = \frac{m_s}{m_f}$$

- แบบเบาบาง $\phi < 15$
- แบบหนาแน่น $\phi > 15$



การไหลแบบเบาบาง



การไหลแบบหนาแน่น

2. แบ่งตามความดันในระบบ

- 2.1 ระบบสุญญากาศ (Vacuum System)

- 2.2 ระบบความดัน (Pressure System)

ระบบความดันต่ำ (Low Pressure System) ใช้ความดันสูงถึง 14.7 PSIG

ระบบความดันปานกลาง (Medium Pressure System)

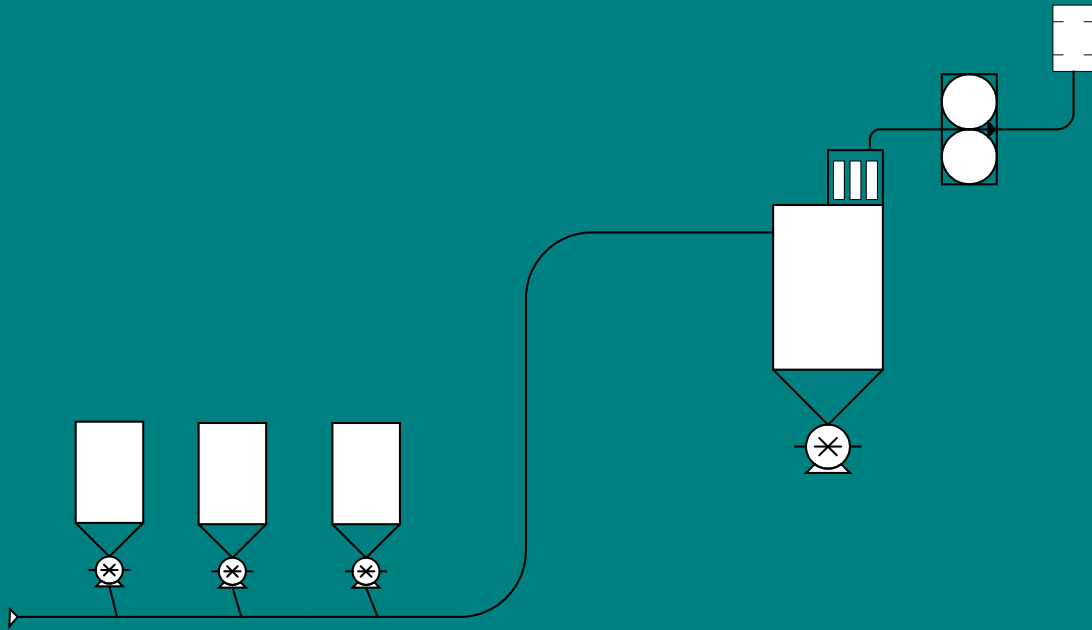
ใช้ความดันสูงระหว่าง 15 – 45 PSIG

ระบบความดันสูง (High Pressure System)

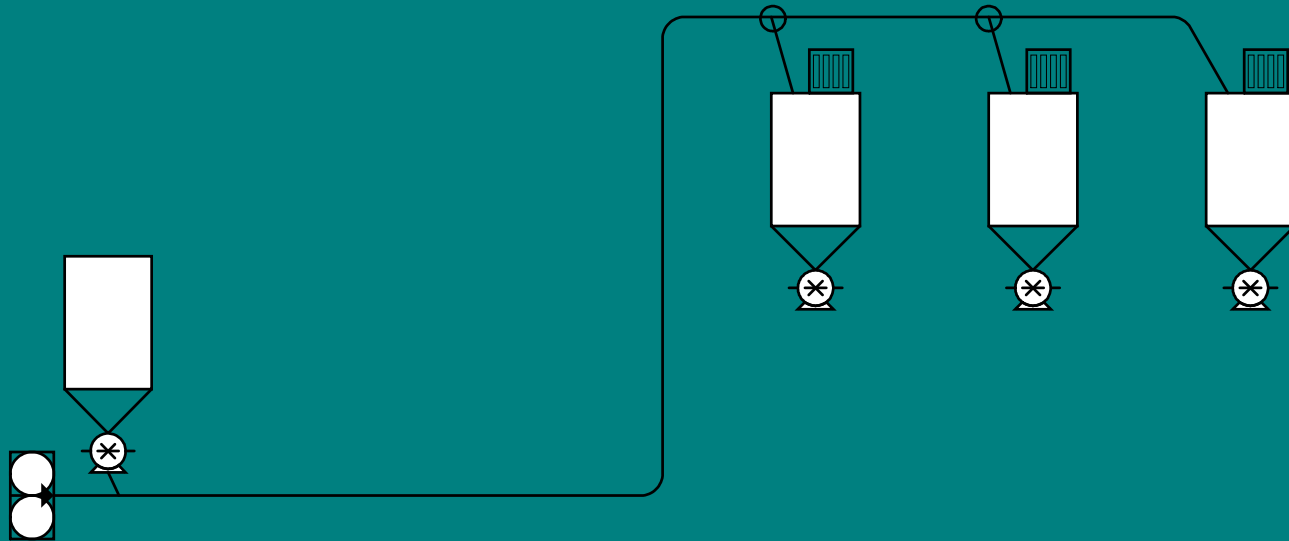
ใช้ความดันสูงระหว่าง 45 – 125 PSIG

- 2.3 ระบบผสม ระหว่างระบบความดันกับระบบสุญญากาศ (Combined Positive – Negative Pressure System)
- 2.4 ระบบปิด (Closed Loop System)

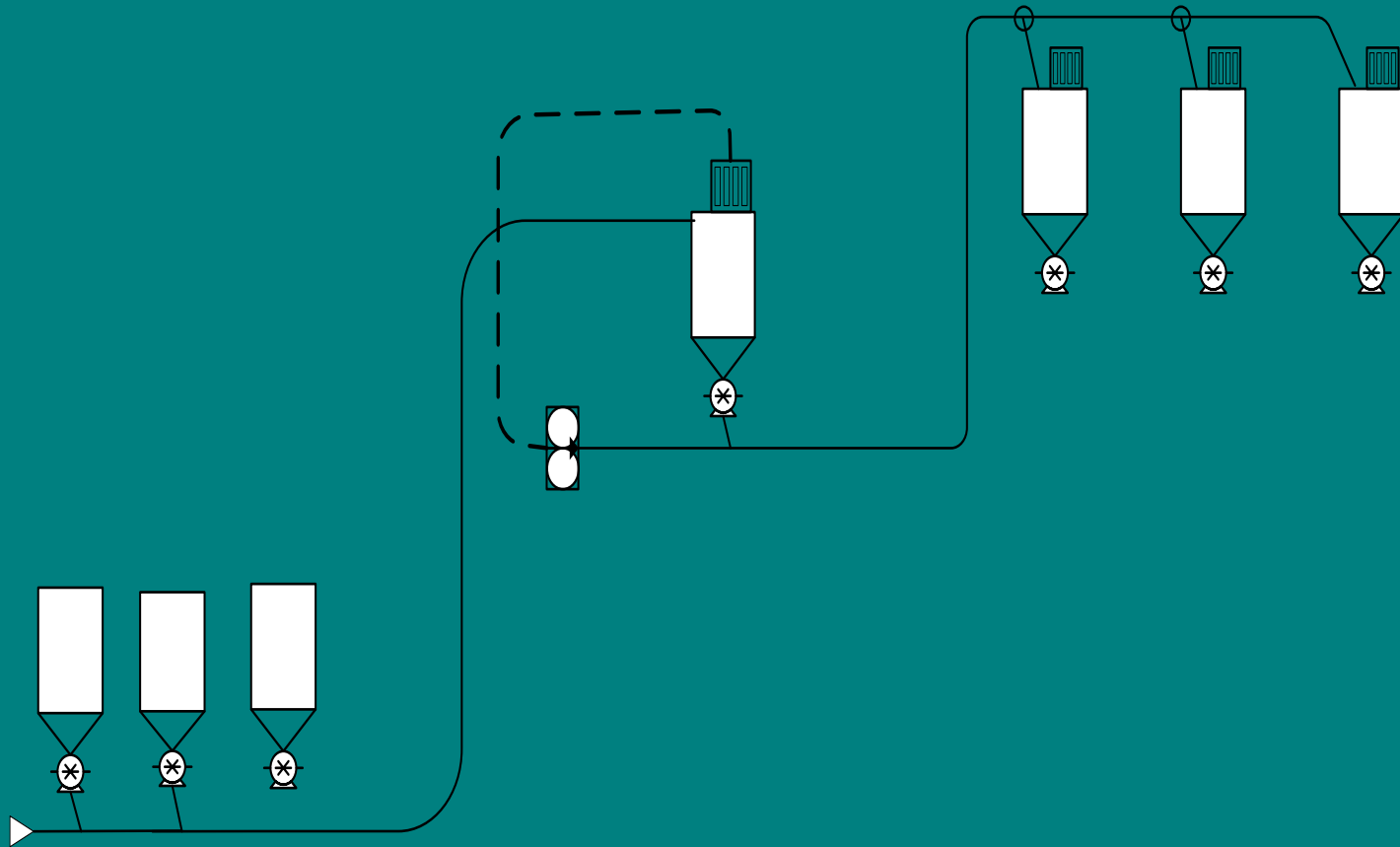
ระบบสุญญากาศ (Vacuum System)



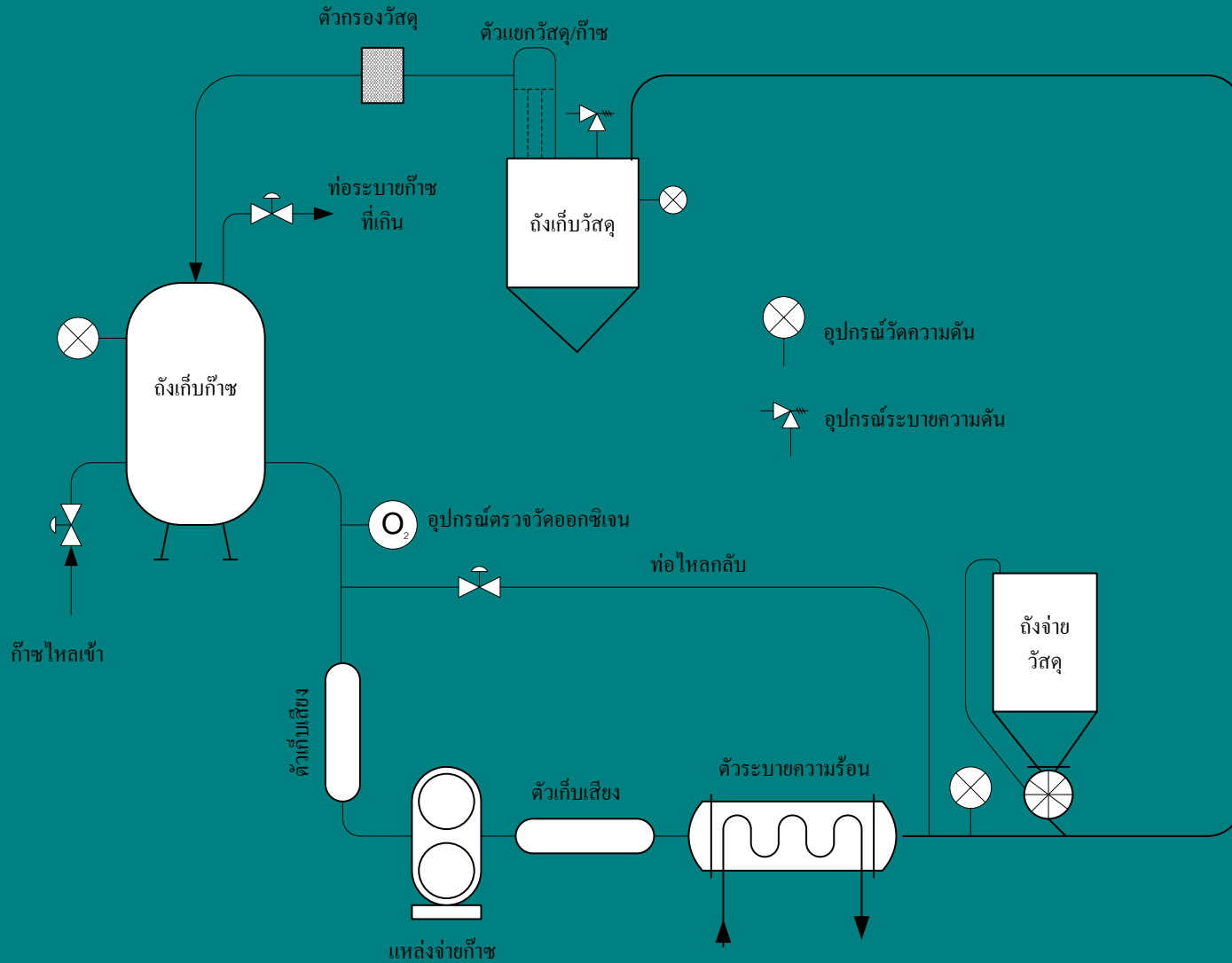
ระบบความดัน (Pressure System)



ระบบผสม ระหว่างระบบความดันกับระบบสุญญากาศ (Combined Positive – Negative Pressure System)



ระบบปิด (Closed Loop System)



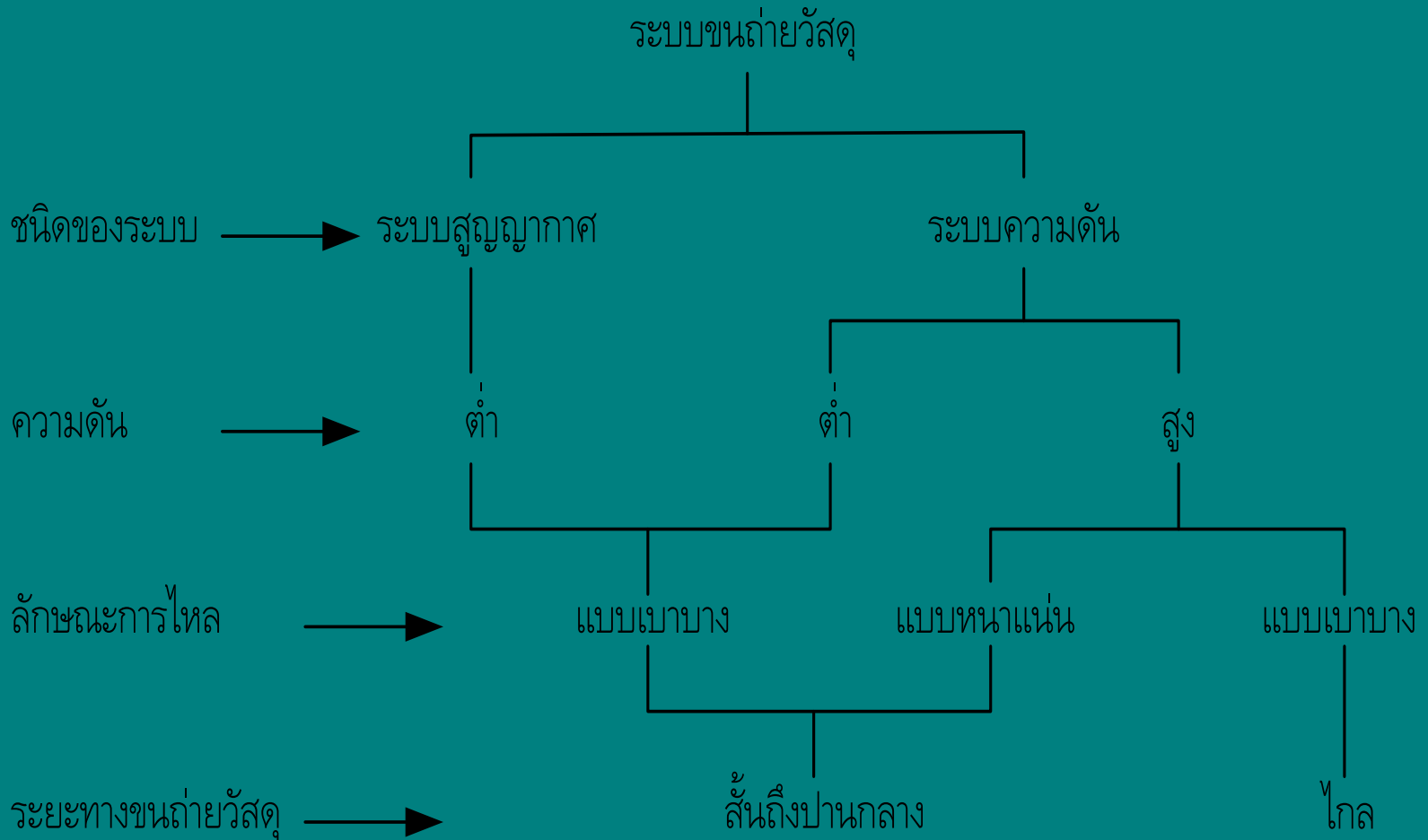
3. แบ่งตามความดันของตัวต้นกำเนิดลมในระบบ

- 3.1 ระบบที่ใช้พัดลม (Fan System) โดยพัดลมที่ใช้จะเป็น Centrifugal Fan ซึ่งจะทำความดันสูงสุดได้ไม่เกิน 20 kPa
- 3.2 ระบบที่ใช้โบลเวอร์ (Positive Displacement Blower System) ระบบจะทำความดันได้สูงสุดไม่เกิน 100 kPa
- 3.3 ระบบที่ใช้คอมเพรสเซอร์ (Single Stage Compressor System) ซึ่งระบบจะทำความดันได้สูงสุดไม่เกิน 250 kPa
- 3.4 ระบบความดันสูง (High Pressure System) ซึ่งระบบจะทำ ความดันได้สูงสุดไม่เกิน 700 kPa

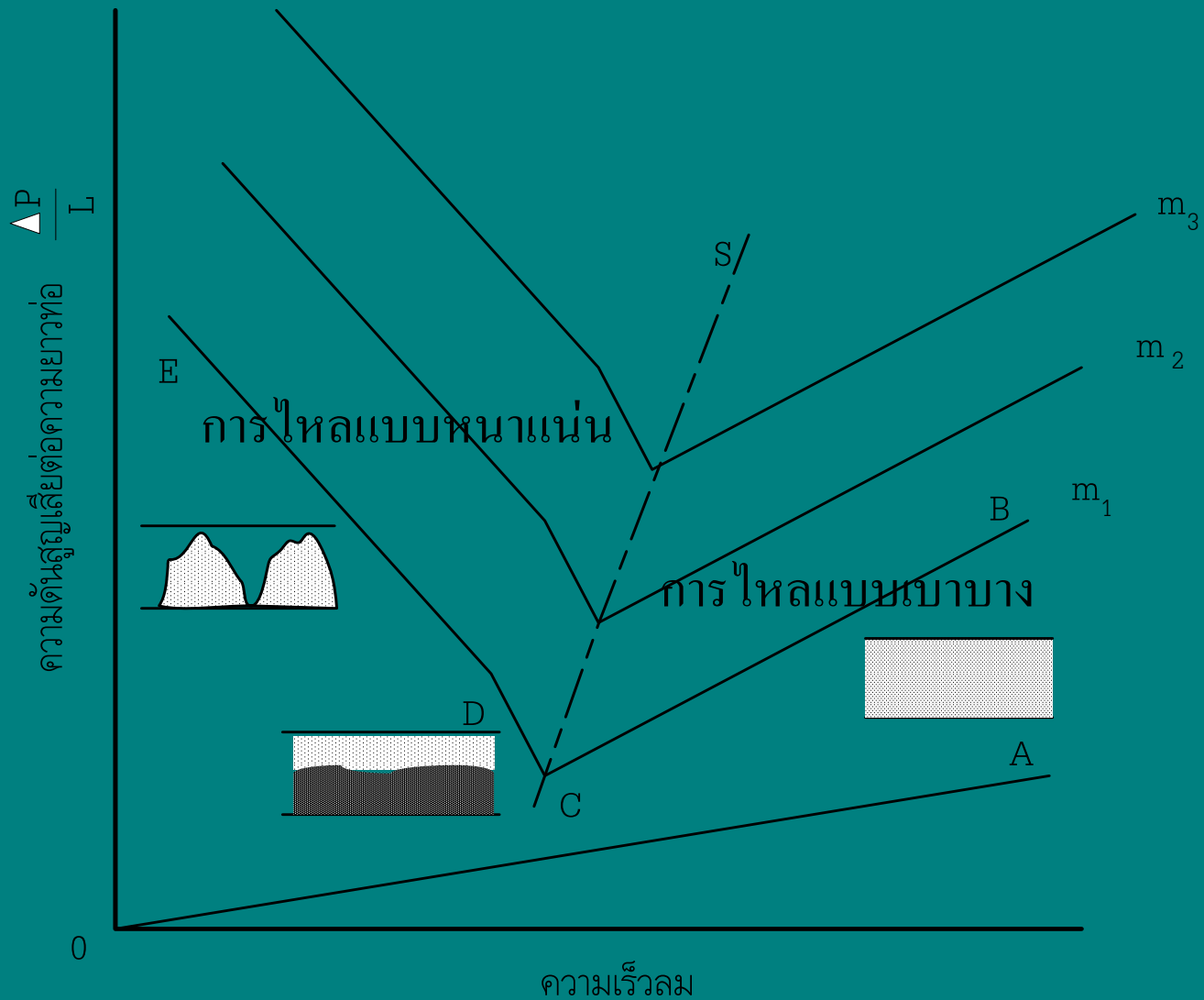
4. แบ่งตามการจ่ายวัสดุ

- 4.1 ระบบที่สามารถควบคุมอัตราการจ่ายวัสดุได้ (Controlled Feed System) เป็นระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลมที่มีตัวจ่ายวัสดุที่สามารถควบคุมอัตราการจ่ายวัสดุได้ โดยระบบนี้จะใช้อุปกรณ์จ่ายวัสดุที่ควบคุมการจ่ายได้โดยตรงเช่น โรตารีวาล์ว , สกรู เป็นต้น
- 4.2 ระบบที่ไม่สามารถควบคุมอัตราการจ่ายวัสดุได้ (Non-Controlled Feed System) เป็นระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลมที่มีตัวจ่ายวัสดุที่ไม่สามารถควบคุมอัตราการจ่ายวัสดุได้ โดยระบบนี้จะใช้อุปกรณ์จ่ายวัสดุที่ควบคุมการจ่ายได้โดยตรงเช่น หัวดูด , ถังจ่ายวัสดุ , และตัวจ่ายวัสดุแบบเวนจูรี เป็นต้น

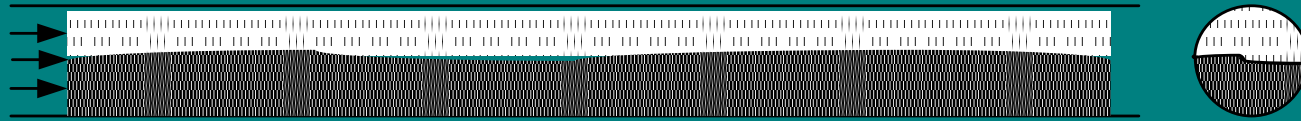
ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการไหลของวัสดุในท่อ ความดัน และระยะทางขนถ่ายวัสดุ



ไดอะแกรมการไหลในท่อ(State Diagram)



- จากจุด C ถ้าความเร็วลดลงอีกจนอยู่ในช่วง CD วัสดุจะไม่สามารถลอยตัวอยู่ในกระแสน้ำไหลของลมได้



- “Stable Stationary Bed”
- “Moving Bed” การไหลแบบไม่คงที่
- โดยทั่วไปเราจะไม่ให้มีการขนถ่ายวัสดุโดยมีความเร็วในช่วงนี้

การไหลในท่อตามแนวตั้งและแนวระดับ

- ความเร็วลมต่ำสุดในการพาวัสดุให้ไหลไปได้ตามแนวระดับ (Saltation Velocity) จะมีค่ามากกว่าความเร็วลมต่ำสุดในการพาวัสดุไปได้ตามแนวตั้ง (Choking Velocity)
- วัสดุขนาดเล็กความเร็วแนวระดับจะเป็น 3-5 เท่าของความเร็วแนวตั้ง แต่ถ้าวัสดุมีขนาด โตขึ้นความแตกต่างจะลดลง

$$V_{\text{saltation}} > V_{\text{choking}}$$

Table 1.2 Minimum safe air velocity in vertical and horizontal lines for materials with different bulk densities and sizes

Material	Average bulk density (kg/m ³)	Approximate size grading (mm)	Minimum safe air velocity vertical (m/s)	Minimum safe air velocity horizontal (m/s)
Coal	720	13	12.00	15.00
Coal	720	6	9.00	12.00
Wheat	753	5	9.00	12.00
Polythene cubes	480	3	9.00	12.00
Cement	1,400	90	1.5	7.6
Flour	560	150	1.5	4.6
Pulverized coal	720	75	1.5	4.6
Pulverized ash	720	150	1.5	4.6
Fullers earth	640	106	1.5	6.1
Bentonite	900	75	1.5	7.6
Barite	1,750	63	4.6	7.6
Silica flour	880	106	1.5	6.1
Fluorspar	1,760	75	3.0	9.1
Phosphate rock	1,280	150	3.0	9.1
Tripolyphosphate	1,040	180	1.5	7.6
Common salt	1,360	150	3.0	9.1
Soda ash	560	106	3.0	9.1
Soda ash	1,040	180	3.0	12.2
Sodium sulphate	1,360	106	3.0	12.2

การไหลในระบบความดันและระบบสุญญากาศ

- ความเร็วลมในการพาวัสดุให้ไหลไปได้ในระบบสุญญากาศจะมีค่ามากกว่าความเร็วลมในการพาวัสดุไปได้ในระบบความดัน เนื่องจากการไหลในระบบสุญญากาศลมจะมีความดันต่ำซึ่งทำให้ความหนาแน่นของลมต่ำตามไปด้วย จึงต้องใช้ความเร็วลมในการพาวัสดุสูงกว่าด้วย ดังนั้นการขนถ่ายวัสดุโดยใช้ระบบสุญญากาศจะต้องใช้พลังงานในการขนวัสดุสูงกว่าในระบบความดันที่มีการไหลแบบเบาบาง

$$V_{\text{vacuum}} > V_{\text{pressure}}$$

Table 1.3 Comparison of velocities in pressure and vacuum systems for materials with different bulk densities

Material	Bulk density (kg/m ³)	Velocity pressure system (m/s)	Velocity vacuum system (m/s)
Alum	800	19.8	33.5
Calcium carbonate	440	19.8	33.5
Coffee beans	672	13.7	22.9
Hydrated lime	480	12.2	27.4
Malt	449	16.8	30.5
Oats	400	16.8	30.5
Salt	1,440	25.3	36.6
Starch	640	16.8	27.4
Sugar	800	18.3	33.5
Wheat	769	16.8	32.0

- ลักษณะการไหลของวัสดุในระบบสุญญากาศมีลักษณะการไหลที่เรียกว่า “Core Flow” ซึ่งวัสดุจะถูกดูดเข้าไปในท่อและไหลบริเวณกึ่งกลางท่อ ซึ่งจะช่วยลดการชนของวัสดุกับผนังท่อลง ทำให้การแตกหักของวัสดุเนื่องจากการชนกับผนังท่อลดลง เมื่อเทียบกับระบบความดันที่มีการไหลแบบเบาบางเหมือนกัน

วัสดุหยาบและวัสดุละเอียด

- $d < 350$ ไมครอน “วัสดุละเอียด”
- $d > 350$ ไมครอน “วัสดุหยาบ”

- d/D ก็มีผลต่อพฤติกรรมของวัสดุด้วย

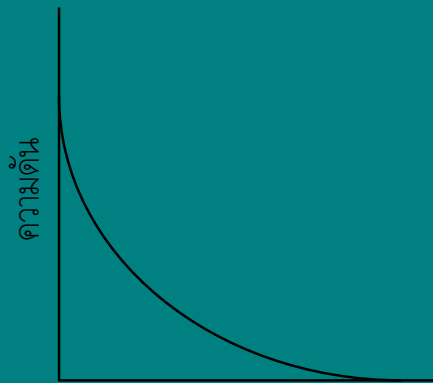
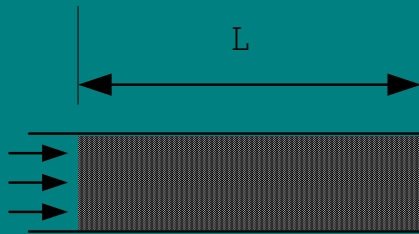
- วัสดุขนาดเล็กเคลื่อนที่ในท่อขนาดใหญ่อาจแสดงพฤติกรรมเหมือนวัสดุหยาบ

- วัสดุขนาดใหญ่เคลื่อนที่ในท่อขนาดเล็กก็อาจแสดงพฤติกรรมเหมือนวัสดุละเอียดได้

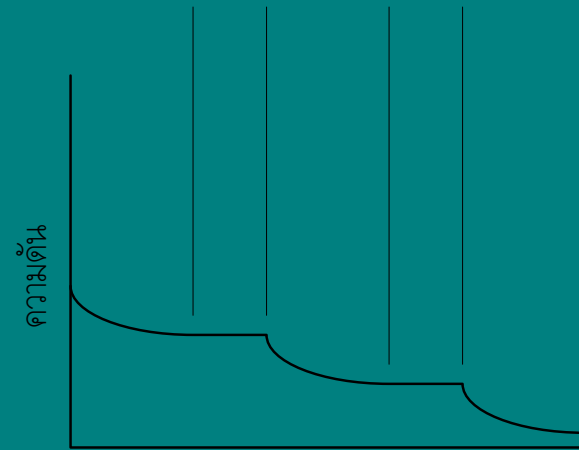
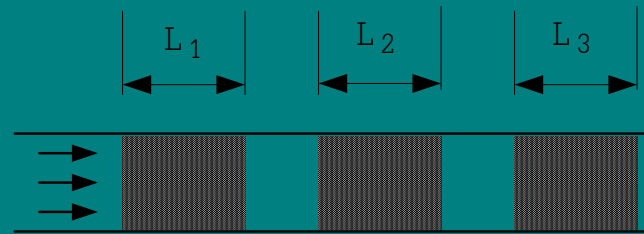
PULSE PHASE SYSTEM

$$P \propto L^n$$

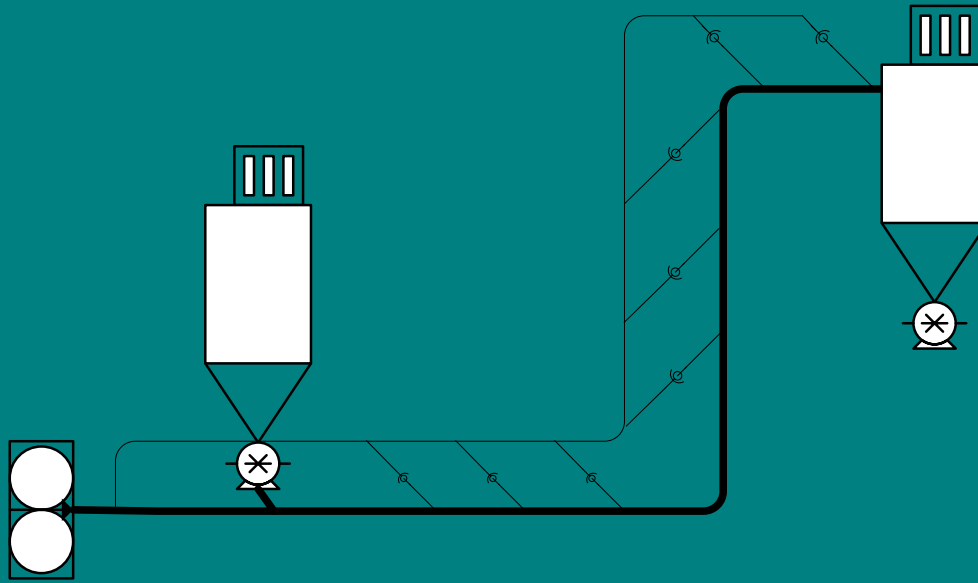
$$L = L_1 + L_2 + L_3$$



ความยาวที่อนวัสดุ



ความยาวที่อนวัสดุ



เราพบว่า การอุดตันของวัสดุภายในท่อซึ่งทำให้ต้องมีการรื้อท่อเพื่อนำวัสดุออกจากท่อก่อนเนื่องจากไม่สามารถขนวัสดุโดยการจ่ายลมเข้าไปในท่อขนส่งตามปกติได้นั้น เราสามารถแก้ไขได้โดยการติดตั้งท่อลมขนานไปกับท่อขนวัสดุเพื่อจ่ายลมเข้าตัดท่อนวัสดุที่อุดตันอยู่ภายในท่อขนวัสดุ ซึ่งจะทำให้สามารถขนวัสดุได้