บทที่ 3
เครื่องมือที่ใช้ และวิธีการศึกษา

การศึกษาสมรรถนะของไซโคลนครั้งนี้ เป็นการดำเนินการจากไซโคลนที่จัดสร้างขึ้นซึ่งเลือกใช้ชนิดที่ท่อทางเข้าก๊าซสัมผัสกับทรงกระบอกและท่อทางออกก๊าซอยู่ในแนวแกน (รูปที่ 4.(1) เพราะไซโคลนชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้ในวงการอุตสาหกรรมทั่วไป การออกแบบให้เข้ากับชนิดและประเภทของฝุ่น กระทำได้ง่าย ที่สำคัญคือ ที่สมรรถนะเท่าๆ กัน ไซโคลนชนิดนี้จะใช้ต้นทุนและการบำรุงรักษาขณะใช้งานต่ำกว่ามาก

3.1 เครื่องมือที่ใช้

เครื่องมือที่ใช้ได้จัดสร้างไซโคลนพร้อมส่วนประกอบการทำงานครบชุด ระบบป้อนฝุ่น (Feeding System) และเครื่องมือช่วยทดสอบสมรรถนะ ซึ่งมีรายละเอียดได้ดังนี้

3.1.1 ไซโคลน

ไซโคลนได้จัดสร้างขึ้น 2 ขนาด ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว และ 6 นิ้ว ตามลำดับ วัสดุที่ใช้เป็นตัวไซโคลนเป็นเหล็กแผ่นเบอร์ 19 หนาตามมาตรฐาน Birmingham Gage ข้อต่อเป็นเหล็กหน้าแปลนกลมหนา 1/8 นิ้ว พร้อมปะเก็นยางกันรั่ว และท่อทางเข้าดัดแปลงเป็นท่อกลมเพื่อสะดวกในการจัดสร้าง ส่วนที่รองรับฝุ่นด้านล่าง ได้จัดสร้างเป็นกล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1.5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางไซโคลน ฝาปิดเปิดแบบขันสกรู พร้อมปะเก็นยางกันรั่วซึม

3.1.2 โบวเวอร์ป้อนก๊าซ (Blower)

โบวเวอร์ที่ใช้เป็นแบบ Centrifuge ติดตั้งบนขาตั้งยกพื้นขนาดใบมีด 14 นิ้วชนิด Radial Fan ซึ่งติดตั้งมอเตอร์ขับเพลาแบบปรับระดับได้ขนาด 1/2 H.P. 3 phase 380 V. ระบบหรอบแบบมู่เล่สามารถป้อนก๊าซได้ความเร็วสูงสุดถึง 85 ฟุต/นาที และให้ความดันสถิตย์ 7.5 นิ้วของน้ำ (รูปที่ 28)

3.1.3 ระบบป้อนฝุ่น (Feeding System)

ระบบที่ใช้เป็นแบบ skew Conveyor ติดตั้งที่ท่อทางเข้าของโบวเวอร์แกนเพลาขนาด

3/4 นิ้ว ระยะร่องเกลียว (Pitch Length) 1.5 นิ้ว ความสูงใบเกลียว 0.787 นิ้ว หัวท้ายติดตั้ง ตลับลูกปืนแบบปรับระดับได้และมู่เล่ขนาด 4 นิ้ว เพื่อให้การหมุนสะดวกและเป็นไปอย่างต่อเนื่อง (รูปที่ 29)

การติดตั้งได้ติดตั้งไซโคลนทั้งสองเป็น 2 ชุด กับโครงเหล็กรูปตัว U และยึดส่วนต่างๆ ด้วยเหล็กฉาก สามารถถอดแยกส่วนประกอบออกได้ทุกชิ้น และปรับระดับส่วนสูงต่ำให้ไซโคลนทั้งสองอยู่ในระดับเดียวกันได้ อีกทั้งสามารถนำไซโคลนทั้งสองนี้มาต่ออนุกรมกัน ส่วนที่โบวเวอร์พัดลมป้อนก๊าซได้ติดตั้ง skew Conveyor ที่บริเวณท่อทางเข้าและติดตั้งโบวเวอร์โดยตรงกับไซโคลนด้วยหน้าแปลนเหล็กขนาด 1/8 นิ้ว พร้อมท่อลำเลียงความยาวประมาณ 10 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (รูปที่ 30)

3.1.4 เครื่องมือช่วยทดสอบสมรรถนะ

เครื่องมือช่วยทดสอบสมรรถนะ เป็นชุดทดสอบที่สามารถเก็บข้อมูลพื้นฐานทางกายภาพได้แก่ ความเร็วในการไหลของก๊าซ ความดันลด และความเข้มข้นของฝุ่นแขวนลอยในกระแสก๊าซ ซึ่งรายละเอียดของเครื่องมือที่ใช้ มีดังนี้

1. เครื่องมือวัดความเร็วในการไหล

เครื่องมือที่ใช้ สามารถวัดปรับค่าตามอุณหภูมิสภาพทดสอบ ใช้หลักการของการสั่นสะเทือนของขดลวดความร้อน ยี่ห้อที่ใช้คือ Air Velocity Meter แบบ Datametrics รุ่น 100-VT ของ Dresser, U.S.A.

2. เครื่องมือวัดความดัน

เครื่องมือที่ใช้ เป็น Manometer แบบบรรจุน้ำมัน ใช้วัดความดันลดที่จุดต่างๆ ภายในระบบ

3. เครื่องมือวัดความเข้มข้นของฝุ่นแขวนลอย

เครื่องมือที่ใช้เป็นเครื่องมือชักตัวอย่างฝุ่นในปล่องไฟ (Stack Sampler) แบบ Filter Holder บรรจุกระดาษกรองแบบ Extraction Thimbles ขนาดภายนอก 24 x 80 มม. ความหนาแบบ single Thickness และหัวดูด (nozzle) ขนาด 3/8 นิ้ว ต่อเข้ากับปั๊มลมชนิดไม่รั่ว (Leak Free Pump) และใช้ Rotameter วัดอัตราการดูดก๊าซของปั๊มลม (รูปที่ 31)

3.1.5 วัสดุทดสอบ

วัสดุที่ใช้เป็นฝุ่นชนิดเบาและแห้งใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป สามารถฟุ้งกระจายในอากาศได้ มีขนาดอนุภาคและความถ่วงจำเพาะที่แตกต่างกัน สามารถทดสอบผลของการใช้ฝุ่นที่มีขนาดอนุภาคและความถ่วงจำเพาะต่างกัน ต่อสมรรถนะของไซโคลน ซึ่งวัสดุที่นำมาเป็นตัวอย่างในการศึกษา ได้แก่ แป้งมัน และผงทัลคัม เพราะผงทัลคัมเป็นสินแร่ที่มีความถ่วงจำเพาะสูง แต่ขนาดของอนุภาคอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ยต่ำ ในขณะที่แป้งมันเป็นวัสดุที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่า แต่มีขนาดของอนุภาคคละกันและมีขนาดใหญ่กว่าแป้งประเภทอื่น ๆ ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

3.2 วิธีการศึกษา

การศึกษาสมรรถนะครั้งนี้ เป็นการเปรียบเทียบผลระหว่างที่ได้จากการออกแบบ โดยอาศัยทฤษฎีและสมมติฐานต่างๆ ข้างต้น กับการทดลองเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ศึกษา หาข้อมูลเป็นเกณฑ์ ในการนำไซโคลนชุดนี้ไปใช้งานอื่นได้อย่างถูกต้อง รวมทั้งสามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงเมื่อนำไปเก็บฝุ่นชนิดอื่นๆ ได้อย่างคร่าวๆ ซึ่งวิธีการศึกษาสามารถแบ่งแยกในรายละเอียดออก ได้ดังนี้

1. การประเมินผลจากการออกแบบตามทฤษฎีและสมมติฐาน
2. การประเมินผลโดยกระบวนการทดลองวิเคราะห์
3. การเก็บข้อมูล
4. แผนการทดลอง
5. การวิเคราะห์ข้อมูลและเปรียบเทียบผล

3.2.1 การประเมินผลจากการออกแบบตามทฤษฎีและสมมติฐาน

การดำเนินการ เป็นการประเมินผลจากการออกแบบโดยอาศัยทฤษฎีและสมมติฐาน ที่มีผู้ดำเนินการทดลองในทำนองเดียวกันไว้ เพื่อค่าขององค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบ ได้แก่

1. ความเร็วในการไหลและความดันลด (Gas Velocity and Pressuve Drop)

ความเร็วและความดันลดเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการไหลของก๊าซคร่อมไซโคลน ซึ่งการคำนวณอาศัยสมมติฐานของ Bhatia & Cheremisinoff ดังรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก

2. ขนาดตัดของฝุ่น (Cut Size)

การคำนวณเป็นการหาขนาดอนุภาคของฝุ่น ขนาดที่ไซโคลนสามารถรวบรวมจากกระแสก๊าซ ได้สมรรถนะ หรือ ประสิทธิภาพเท่ากับ 50% โดยอาศัยสมมติฐานของ Stokes'Law

(1850) และ Bhatia & Cheremisinoff เช่นกัน (รายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก)

3 <u>ความเข้มข้นของฝุ่นในกระแสก๊าซ</u> (Dust Concentration in Gas stream) การออกแบบและ การคำนวณอาศัยการสร้างแบบจำลองของ Skew Conveyor และประมาณปริมาตรของฝุ่นที่สกรูสามารถลำเลียงได้ เป็นกรัมต่อลบ.เมตร หรือเกรนต่อลบ.ฟุต (1 เกรนต่อ ลบ.ฟุต= 2.29 กรัมต่อ ลบ.เมตร หรือ 1 กรัม ต่อ ลบ.เมตร = 0.437 เกรนต่อลบ.ฟุต)

3.2.2 การประเมินผลโดยกระบวนการทดลองวิเคราะห์

การดำเนินการ เป็นการทดลองเพื่อเก็บข้อมูล นำมาวิเคราะห์หาสมรรถนะ จัดทำ Grade Efficiency Curve ของไซโคลนชุดนี้ เพื่อเป็นเกณฑ์คร่าว ๆ ในงานเก็บฝุ่นที่จะนำไปใช้ ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุทดสอบ

การดำเนินการ เป็นการเก็บข้อมูลทางกายภาพของวัสดุ ได้แก่ การหาการกระจายของขนาดอนุภาคของฝุ่น (Grain Size Distribution) และการหาค่าความถ่วงจำเพาะของฝุ่น (Specific Gravity) ซึ่งการเก็บข้อมูลจะทดลองตามมาตราฐานของ ASTM (American Soil Testings & Materials) โดยอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 74 ไมครอน หรือค้างตะแกรง No.200 (ASTM) จะใช้วิธีการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคแบบ Sieve Analysis (ASTM Code No. C- 136) และถ้าเล็กกว่า 74 ไมครอน หรือ ผ่านตะแกรง No.200 จะใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ Hydrometer Analysis (ASTM Code No. C-142) ซึ่งจะทำการวิเคราะห์หาการกระจายของขนาดอนุภาคฝุ่นทั้งก่อนเข้าและที่ตกค้างในไซโคลน ส่วนการหาค่าของความถ่วงจำเพาะจะดำเนินการตามวิธีของ ASTM Code No. C. -128

2. <u>กระบวนการทดลอง</u>

การทดลองจะดำเนินการภายหลังการเก็บข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุทดสอบ

ก. การเก็บข้อมูลการทำงานของไซโคลน

การดำเนินการเป็นการหาข้อมูลการทำงานของไซโคลน ที่ความเร็วและสภาวะการใช้งานแตกต่างกันออกไป ตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบ เช่น ขณะใช้รวบรวมฝุ่นเพียงตัวเดียว (Single - State Operation) หรือ ต่อนุกรม (Series - State Operation) จากนั้นวัดความดันลดที่เกิดขึ้นและความเร็วที่หน้าตัดต่าง ๆ ของท่อลำเลียงรวมทั้ง

การวัดคร่อมไซโคลนขณะใช้งาน

ข. การเก็บข้อมูลสมรรถนะของไซโคลน

การดำเนินการเป็นการเก็บข้อมูลฝุ่น ทำให้ปะปนกับกระแสก๊าซที่เข้าสู่ไซโคลน เพื่อทำการหาขนาดตัดและนำมาวิเคราะห์หาสมรรถนะของเครื่องไซโคลนชุดนี้ ซึ่งกระทำโดยการป้อนฝุ่นเข้าสู่ระบบโดยใช้ Skew Conveyor และทำการวัดความเข้มข้นของฝุ่นในกระแสก๊าซทั้งก่อนเข้า และหลังออกจากไซโคลนด้วย

ค. การหาสมรรถนะเมื่อเปลี่ยนแปลงสัดส่วนไซโคลน

การดำเนินการเช่นเดียวกันแต่เปลี่ยนความยาวกรวยไซโคลนที่จัดสร้างขึ้น และเก็บข้อมูลฝุ่นที่ได้ เพื่อหาสมรรถนะ และนำไปเปรียบเทียบผลต่อไป

3.2.3 <u>การเก็บข้อมูล</u>

ข้อมูล ที่จะต้องเก็บได้แก่ ความดันลด ความเร็วและอัตราการไหลของก๊าซ ซึ่งมีวิธีดำเนินการ ดังนี้

1. ความดันลด

ความดันลด เป็นการวัดสูญเสียที่เกิดขึ้นในส่วนต่างๆ ของท่อลำเลียงก๊าซและของไซโคลน ซึ่งรวมเป็นระบบทั้งหมดของเครื่องชุดทดสอบ และของระบบทั้งหมด โดยใช้มาโนมิเตอร์

2. ความเร็วและอัตราการไหลของก๊าซ

การวัดความเร็วจะทำการวัดที่ตำแหน่งเดียวกัน กับจุดที่วัดความดันลดทุกครั้ง โดยวัดความเร็วในการไหลที่ตำแหน่งหน้าตัดของท่อ จากนั้นหาอัตราการไหลโดยการคำนวณจาก Continuity Equation

3. ความเข้มข้นของฝุ่นในกระแสก๊าซ

การวัดความเข้มข้นของฝุ่นในกระแสก๊าซ ใช้วิธีการชักตัวอย่างแบบ Stack sampler โดยการดูดตัวอย่างจากท่อลำเลียงก๊าซด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของก๊าซที่ไหลในท่อจริง หรือชักตัวอย่างแบบ Isokinetic ผ่านกระดาษกรองแบบ Cellulose Extraction Thimble เพื่อหาปริมาณฝุ่นตกค้างบนกระดาษกรอง เปรียบเทียบเป็นความเข้มข้นของฝุ่นที่แขวนลอยต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของก๊าซที่ไหล

3.2.4 แผนการทดลอง

การทดลองจะดำเนินการเป็นชุดๆ เพื่อสะดวกในการเปรียบเทียบผลที่ได้ ดังนี้

ชุดที่	เส้นผ่านศูนย์กลางไซโคลน	ขนาดกรวย	วัสดุทดสอบ	ความเร็วทดสอบ(เมตร/วินาที)
1	5 นิ้ว	2D	ทัลคัมและแป้งมัน	91.84
2	5 นิ้ว	2.5D	ทัลคัมและแป้งมัน	91.84
3	6 นิ้ว	2D	ทัลคัมและแป้งมัน	72.16
4	6 นิ้ว	2.5D	ทัลคัมและแป้งมัน	72.16
5	อนุกรม	2D	ทัลคัมและแป้งมัน	72.16
6	อนุกรม	2.5D	ทัลคัมและแป้งมัน	72.16

3.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและเปรียบเทียบผล

ข้อมูลที่ได้จากขบวนการทดลอง จะถูกนำมาวิเคราะห์, จำแนกและแปลข้อมูล เพื่อนำมาเป็นข้อมูลที่จำเป็นในการคำนวณสมรรถนะของไซโคลน ซึ่งสามารถแบ่งแยกในรายละเอียดได้ ดังนี้

1. ข้อมูลการกระจายของขนาดอนุภาคฝุ่น

ข้อมูลชุดนี้จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อประมาณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ของฝุ่นที่ศึกษาและจัดเรียงข้อมูลเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักของอนุภาคแต่ละช่วงข้อมูล (Weight Percentage for Particle Size Increments) สำหรับใช้ประมาณน้ำหนักของฝุ่นแต่ละช่วง เช่น ฝุ่นขนาดช่วง 10 - 20 ไมครอน มีเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักของอนุภาคในช่วงนี้เท่ากับ 15 % และฝุ่นที่นำมาศึกษามีน้ำหนักรวม (total Weight) เท่ากับ 1,000 gm. จะสามารถประมาณน้ำหนักของฝุ่นขนาดช่วงดังกล่าวได้ว่า ตัวอย่างที่ศึกษาจะมีฝุ่นขนาดนี้หนักประมาณ 150 gm.

2. ข้อมูลการชักตัวอย่างฝุ่นในท่อลำเลียงก๊าซ

ข้อมูลช่วยประมาณความเข้มข้นของฝุ่นที่แขวนลอยมากับก๊าซที่ไหลผ่าน ทำให้สามารถประมาณปริมาณฝุ่นของไซโคลนในแต่ละช่วงได้ว่า ควรมีปริมาณมากน้อยเท่าไร เช่น ความเข้มข้นของฝุ่นที่เก็บตัวอย่างเท่ากับ 300 mg./m^3. หมายถึง ความหนาแน่นของฝุ่นที่แขวนลอยมากับก๊าซในหนึ่งลบ.เมตร จะมีค่าประมาณ 300 mg. ฯลฯ ซึ่งจะช่วยประมาณน้ำหนักรวม (total Weight) ของฝุ่นตัวอย่างได้

นอกจากนี้แล้ว ข้อมูลคุณสมบัติจำเพาะ (Specification) ของไซโคลนที่ได้จากการวัด จะนำมาร่วมวิเคราะห์กับข้อมูลอื่น ๆ เพื่อให้ข้อมูลมีความแม่นยำยิ่งขึ้น เช่น ความเร็วในการไหล ทำให้ทราบอัตราการไหลที่ถูกต้อง

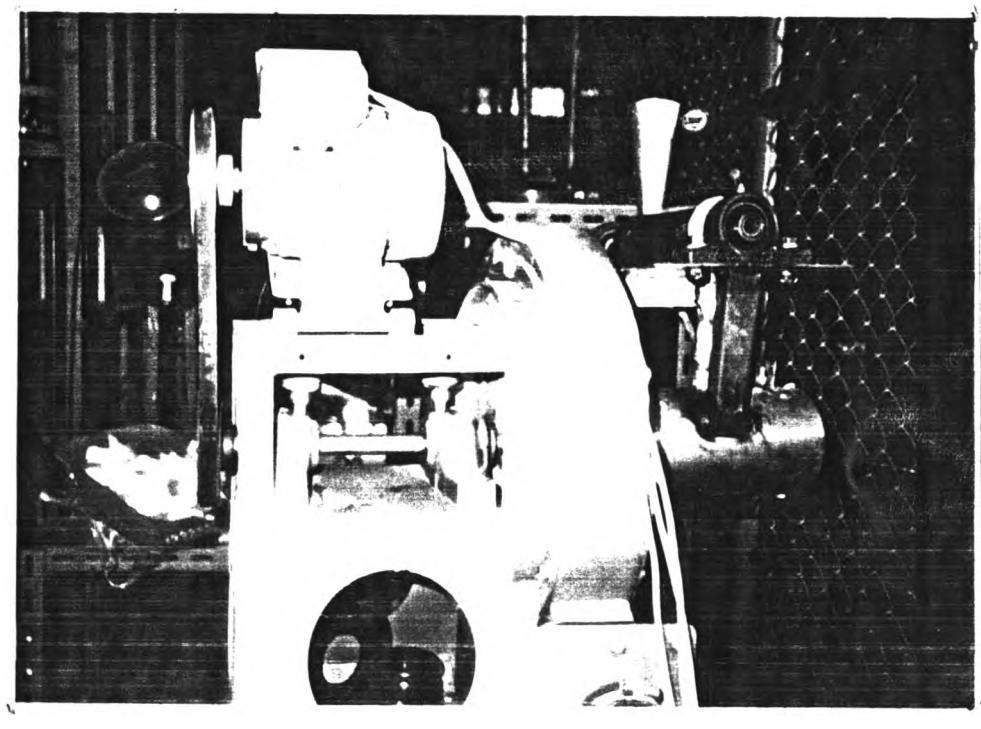
ข้อมูลที่วิเคราะห์แล้วนี้ ถูกนำมาคำนวณหาสมรรถนะของไซโคลน ชุดที่จัดสร้าง โดยคิดสมรรถนะจากน้ำหนักจริงแต่ละช่วง (Total weight per Size Increments) ที่ไซโคลนเก็บ

ได้จริง จากนั้นแปลงน้ำหนักจริงแต่ละช่วงเป็นประสิทธิภาพในแต่ละช่วง (Collection Efficiency per Size Increments) และประมาณสมรรถนะรวม (Overall Efficiency) จากข้อมูลที่ได้เหล่านี้

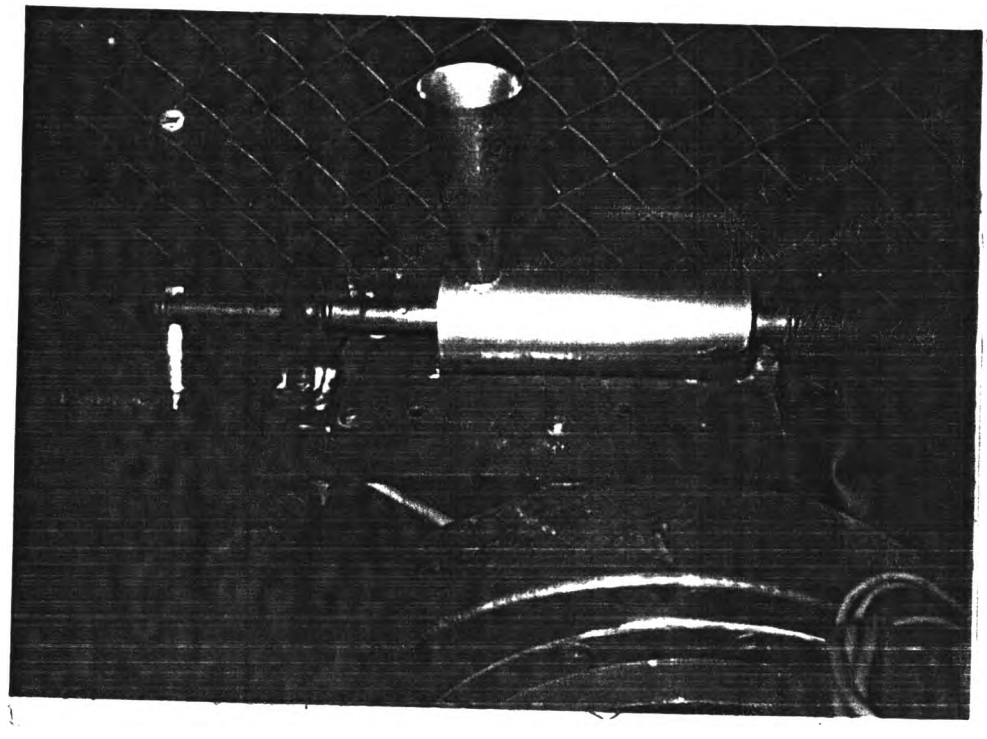
ส่วนวิธีการหาสมรรถนะของไซโคลน คิดเปรียบเทียบเป็นอัตราส่วนของอนุภาคเฉลี่ย (Average Size) ในแต่ละช่วงต่อขนาดตัดของอนุภาคชนิดนั้นที่เข้าสู่ไซโคลน (D_T/D_{pc}) และอ่านค่าจากรูปความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของ D_p/D_{pc} กับเปอร์เซนต์ประสิทธิภาพในการบำบัดฝุ่นของไซโคลนต่ออนุภาคแต่ละช่วงขนาด (รูปที่ 32) ซึ่งจะได้เป็นข้อมูลของ Efficiency for Size Increments และนำมาเปรียบเทียบเป็นประสิทธิภาพของฝุ่นที่ป้อนเข้าต่อน้ำหนักจริงทั้งหมด และหาผลรวมเป็นประสิทธิภาพรวมหรือสมรรถนะของไซโคลนชุดนี้

จากนั้นเปรียบเทียบเป็นสัดส่วนต่อร้อย ของประสิทธิภาพในการเก็บฝุ่นของไซโคลนต่อเปอร์เซนต์ของค่าน้ำหนักแต่ละช่วง (Weight Percentage for Size Increments) และผลรวมที่ได้จะเป็นค่าของสมรรถนะนั่นเอง

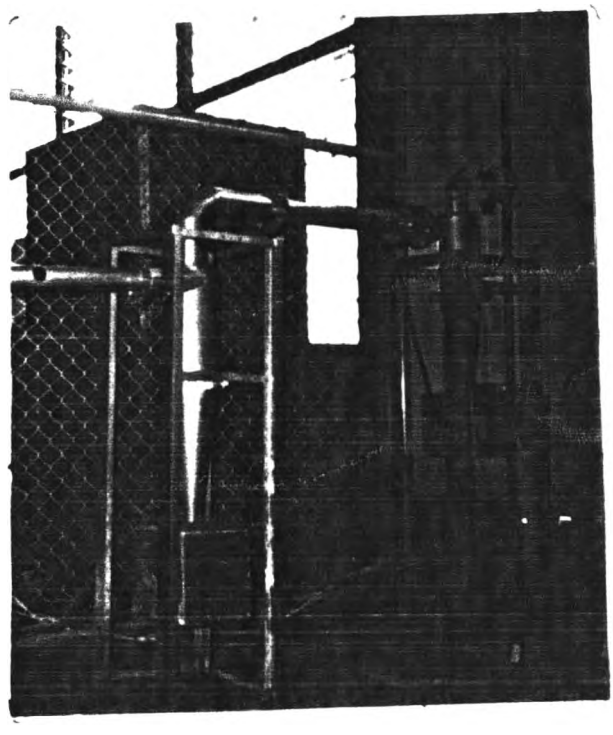
ข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากการศึกษาเหล่านี้ จะนำมาเป็นเกณฑ์ในสรุปผลและการหาข้อเสนอแนะในการปรับปรุงไซโคลนชุดนี้ เพื่อให้สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นต่อไป



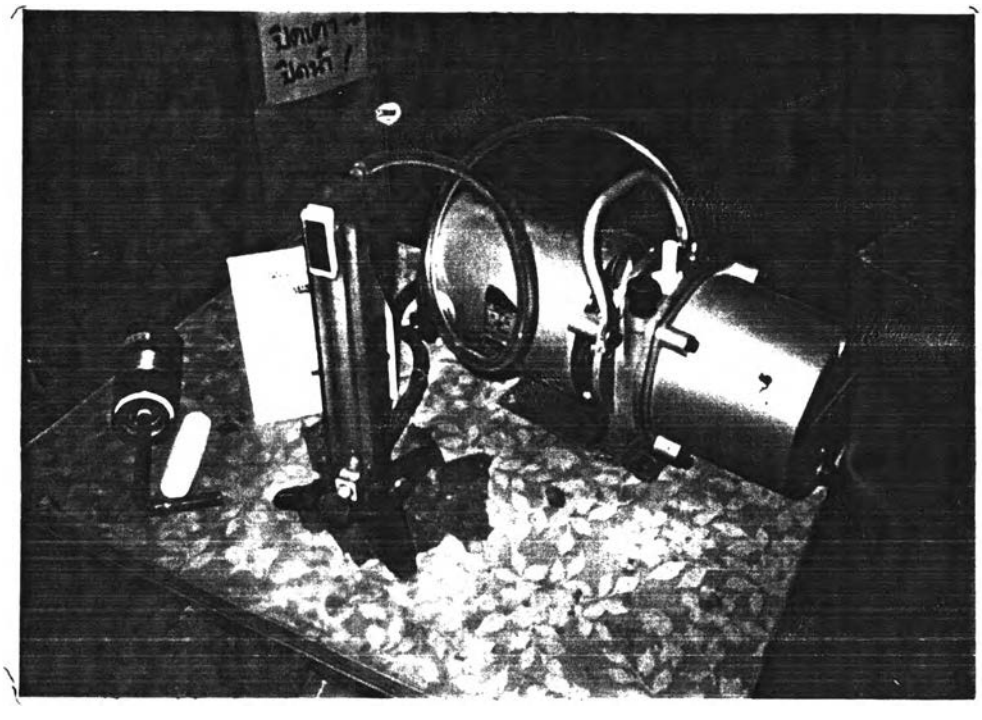
รูปที่ 28 โบวเวอร์ป้อนก๊าซเข้าสู่ระบบ



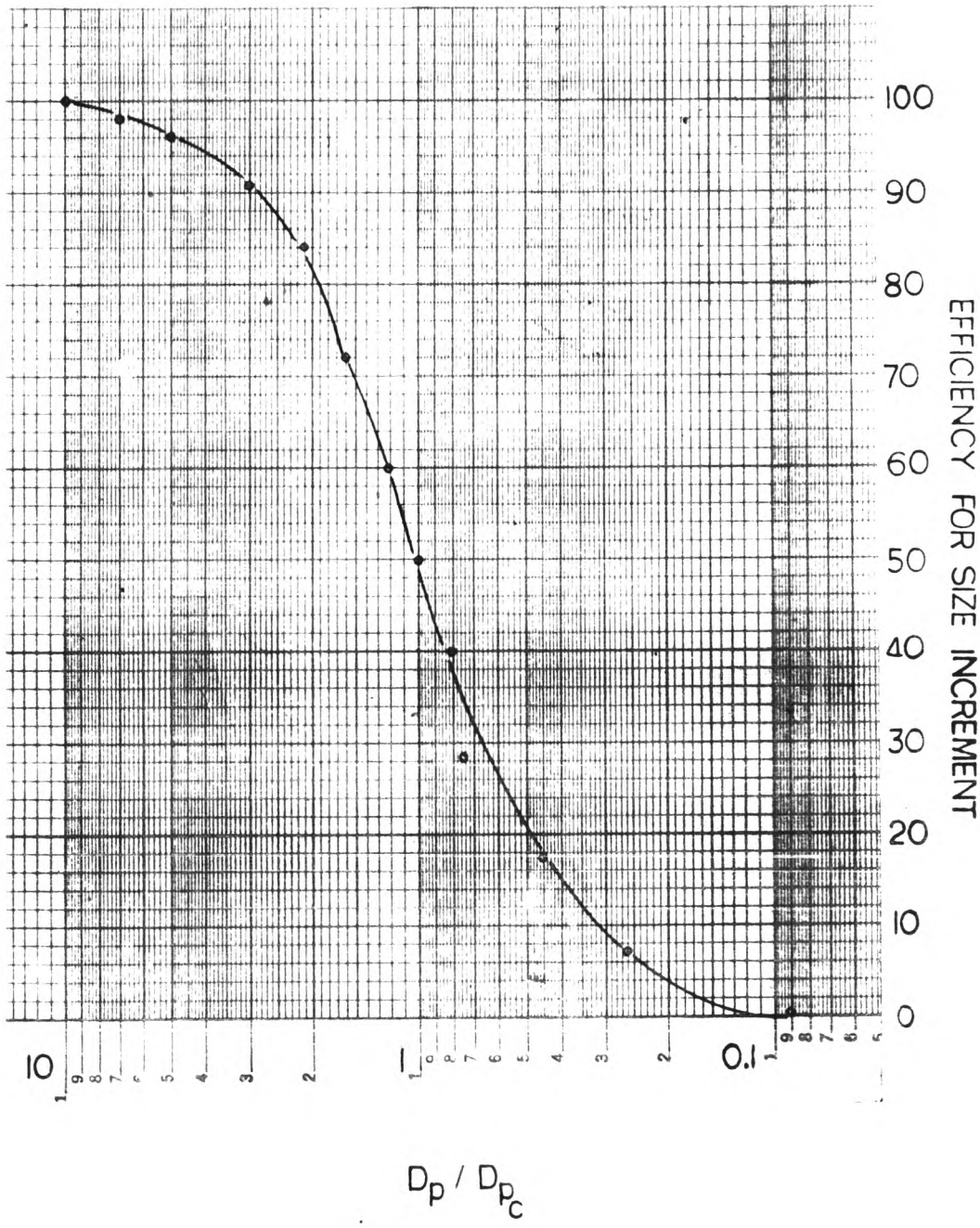
รูปที่ 29 Skew Conveyor ที่ใช้ลำเลียงฝุ่นในการศึกษา



รูปที่ 30 การติดตั้งเครื่องมือทั้งชุด



รูปที่ 31 เครื่องมือชักตัวอย่างฝุ่นโดยวิธี Stack Sampler



รูปที่ 32 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของ Dp/Dpc กับประสิทธิภาพในการเก็บฝุ่นของไซโคลนแต่ละขนาดช่วงอนุภาค ตามสมมติฐานของ Stairmand