บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีฝุ่น (Dust)

ฝุ่น (dust) หมายถึง มลสารอนุภาค (Particulate Matter) ซึ่งมีสถานะเป็นของแข็งเท่านั้นมีขนาดตั้งแต่ 1 ไมครอนขึ้นไปและสามารถแขวนลอยในบรรยากาศได้ชั่วคราว ถ้าหากอนุภาคของแข็งนี้มีขนาดโตมากกว่า 100 ไมครอน อาจเรียกว่า อนุภาคหยาบ (Coarse Particle) และเล็กกว่า 100 ไมครอน เรียกว่า อนุภาคละเอียด (Fine Particle) [1]

สาเหตุของการเกิดฝุ่นมีอยู่หลายสาเหตุและขึ้นอยู่กับปัจจัยหลากหลายชนิด บางอย่างเกิดจากขั้นตอนในการผลิต เกิดจากการแปรรูปวัตถุ เกิดจากการขนถ่ายวัตถุ เป็นต้น ผลกระทบจากการเกิดฝุ่นทำให้สภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปมีผลต่อสุขภาพอนามัยของบุคคลหรือของพนักงานที่ต้องทำงานหรือประกอบอาชีพอยู่ในบริเวณดังกล่าว และยังส่งผลกระทบต่อที่อยู่อาศัยหรือบริเวณใกล้เคียงที่มีการเกิดฝุ่นขึ้น ผลกระทบต่างๆ อาจส่งผลให้สุขภาพของคน สัตว์ รวมทั้งสภาพแวดล้อมแย่ลง ประสิทธิภาพในการทำงาน ของคนลดน้อยลง สถานที่และสิ่งแวดล้อมไม่น่าอยู่และไม่น่าดู สิ่งต่างๆ เหล่านี้อาจไม่ได้ส่งผลกระทบในระยะสั้นแต่จะส่งผลใน ระยะยาวเพราะฝุ่นเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคต่างๆ และฝุ่นบางชนิดอาจจะส่งผลร้ายแรงถึงชีวิตได้เช่นเดียวกัน

2.1.1 ความหมายของฝุ่นละออง

ฝุ่นละออง (Particulate matter) คือ อนุภาคของแข็งขนาดเล็กที่ล่องลอยอยู่ในอากาศ ซึ่งเกิดจากวัตถุที่ถูกทุบ ตี บด กระแทกจนแตกออกเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ เมื่อถูกกระแสลมพัดก็จะปลิวกระจายตัวอยู่ในอากาศและตกลงสู่พื้น ซึ่งเวลาในการตกจะช้า หรือเร็วก็ขึ้นอยู่กับน้ำหนักของอนุภาค แหล่งกำเนิดของฝุ่นจะแสดงถึงคุณสมบัติความเป็นพิษของฝุ่นด้วย เช่น แอสเบสตอส ตะกั่ว ไฮโดรคาร์บอน กัมมันตรังสี เป็นต้น

2.1.2 แหล่งที่มาของฝุ่นละออง

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ

2.1.2.1 ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (Natural Particle) เกิดจากกระแสลมที่พัดตามธรรมชาติ ทำให้เกิดฝุ่น เช่น ดิน ทราย ละอองน้ำ เขม่าควันจากควันป่า ฝุ่นเกลือจากทะเล

2.1.2.2 ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Man-made Particle) การคมนาคมขนส่ง รถบรรทุกหิน ดิน ทราย ซีเมนต์หรือวัตถุที่ทำให้เกิดฝุ่น หรือดินโคลนที่ติดอยู่ที่ล้อรถขณะแล่น จะมีฝุ่นตกอยู่บนถนน แล้วกระจายตัวอยู่ในอากาศ ไอเสียจากรถยนต์ เครื่องยนต์ดีเซลปล่อยเขม่า ฝุ่น ควันดำออกมา

โดยทั่วไปฝุ่นละอองในอากาศที่มีขนาดเล็กกว่า 100 ไมครอน ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม บดบังทัศนวิสัยในการจราจร รวมทั้งเกิดความเสียหายต่อเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ ภายในโรงงานด้วย ดังนั้นกระทรวงอุตสาหกรรม จึงได้กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน โดยเฉพาะฝุ่นละอองไว้ที่ 400 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (mg/m^3) สำหรับหม้อไอน้ำที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงและ 300 mg/m^3 สำหรับทาหม้อไอน้ำที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง ฝุ่นละอองขนาดเล็กจะมีผลกระทบต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นละอองขนาดใหญ่ เนื่องจากสามารถผ่านเข้าไปในระบบทางเดินหายใจส่วนในได้ลึกกว่า ดังนั้นองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (United State Environmental Protection Agency, US.EPA) จึงให้ความสนใจกับฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็ก โดยแบ่งออกเป็น 2 ขนาด คือ [2]

- PM 10 หมายถึง ฝุ่นที่มีขนาดอนุภาคในช่วง 2.5 – 10 ไมครอน เช่น ฝุ่นที่เกิดจากถนนที่ไม่ได้ลาดยาง โรงงานบด-ย่อยหิน เป็นต้น ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคหอบหืด (Asthma) และโรคทางเดินหายใจบางชนิด คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ได้กำหนดค่าเฉลี่ยมาตรฐานความเข้มข้นในช่วง 24 ชั่วโมงของ PM 10 ในบรรยากาศทั่วไปไว้ ไม่เกิน 0.12 mg/m^3

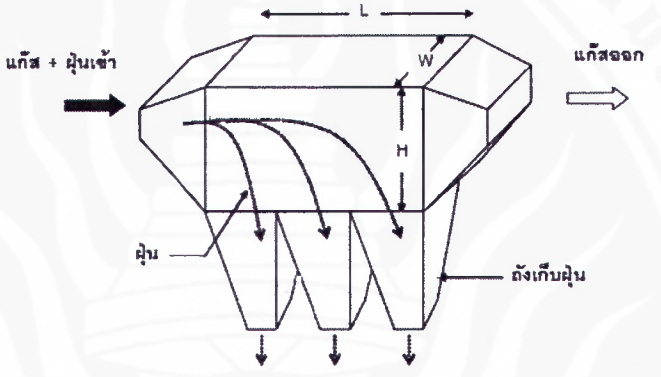
- PM 2.5 หมายถึง ฝุ่นที่อนุภาคมีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน เช่น ฝุ่นจากควันเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม กระบวนการผลิตสารเคมี เป็นต้น PM มีความสัมพันธ์กับอัตราการเกิดโรคหัวใจและโรคปอด US.EPA. ได้กำหนดมาตรฐานความเข้มข้นในช่วง 24 ชั่วโมงของ PM 2.5 ในบรรยากาศทั่วไปไว้ ไม่เกิน 0.065 mg/m^3 อย่างไรก็ตามกฎหมายในเรื่องมลพิษทางอากาศของประเทศไทยยังไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐานของ PM 2.5

2.1.3 อุปกรณ์ดักจับฝุ่นละออง

การเลือกอุปกรณ์นั้นจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะของฝุ่น ที่สำคัญคือ ขนาดของฝุ่นที่ต้องการบำบัด จากนั้นจึงพิจารณาองค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ ประสิทธิภาพการดักจับ ข้อจำกัดของอุปกรณ์ การควบคุมดูแลและค่าใช้จ่าย อุปกรณ์ที่ใช้ในการดักจับฝุ่นมี 5 ระบบ ดังนี้ [3]

2.1.3.1 ระบบคัดแยกโดยการตกเนื่องจากน้ำหนักฝุ่น (Gravity Settling Chambers) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกฝุ่นละอองออกจากอากาศ โดยอาศัยการตกของฝุ่นด้วยแรงโน้มถ่วง อากาศจะ

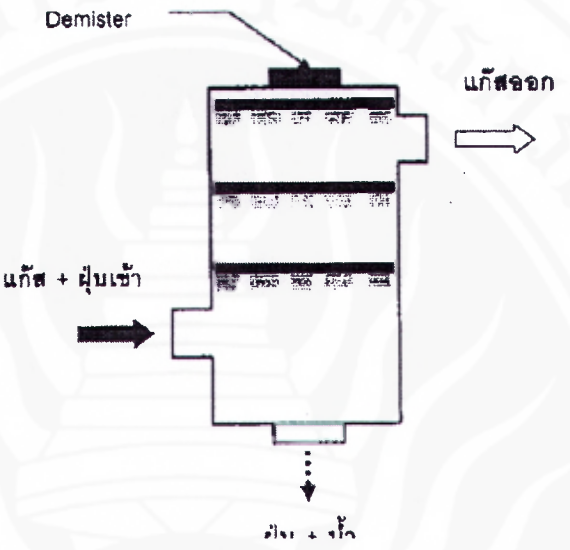
ถูกดูดผ่านท่อที่มีพื้นที่ขนาดเล็กเข้ามาสู่ห้อง (chamber) ที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ทำให้อนุภาคฝุ่นมีความเร็วลดลงและตกลงสู่ด้านล่าง ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ระบบคัดแยกโดยการตกเนื่องจากน้ำหนักฝุ่น (Gravity Settling Chambers)

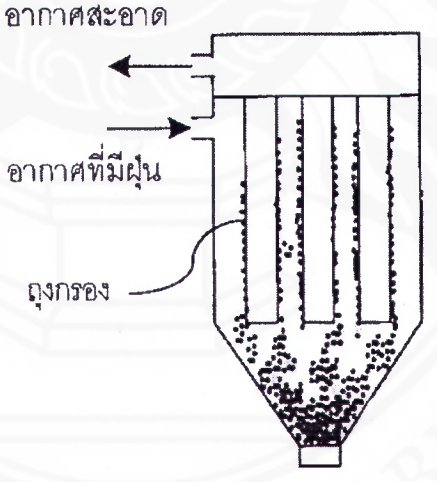
2.1.3.2 ระบบไซโคลน (Cyclone Separator) อาศัยหลักการหนีศูนย์กลางในการแยกฝุ่นออกจากอากาศ ฝุ่นและอากาศจะถูกดูดเข้าไปในไซโคลนที่มีกระแสวนหนีศูนย์กลางเหวี่ยงอนุภาคไปยังผนัง กระแสวนจะพาอนุภาคฝุ่นเคลื่อนตัวลงไปเรื่อยๆ จนถึงปลายโคน ในขณะที่อากาศที่ไม่มีฝุ่นจะถูกหมุนกลับขึ้นไปยังส่วนบนออกไปที่ท่อออก

2.1.3.3 เครื่องดักจับด้วยหยดน้ำ (Wet Collector) เครื่องดักจับด้วยหยดน้ำอาศัยหลักในการใช้ของเหลวดักจับฝุ่น สามารถดักฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กมากได้ การใช้งานโดยมากอยู่ในรูปของทอ (Tower) (แสดงในรูปที่ 2.2) โดยทำการพ่นของเหลวที่มีขนาดเล็กจากด้านบน เพื่อให้เกิดการจับกับมวลแก๊สและฝุ่นที่ลอยมาจากด้านล่าง กลไกในการดักฝุ่นที่เกิดกับเครื่องดักจับด้วยหยดน้ำ คือ การกระทบจากความเฉื่อย ซึ่งเป็นกลไกหลักการสกัดกั้น และการเผยแพร่ เครื่องดักจับด้วยหยดน้ำมีหลายชนิด เช่น Spray tower, Venturi scrubber ซึ่งเป็นอุปกรณ์บำบัดฝุ่นชนิดเดียวที่สามารถบำบัดแก๊ส (ที่ละลายน้ำ) และไอเสียได้ด้วย



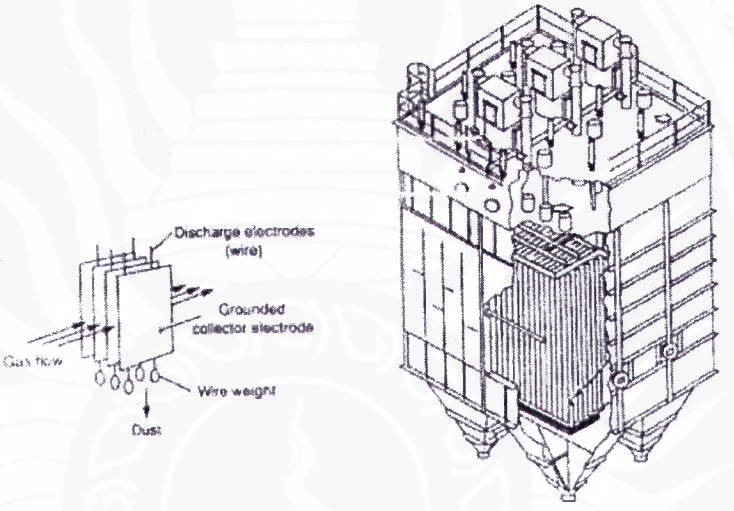
รูปที่ 2.2 เครื่องดักจับด้วยหยดน้ำ (Wet Collector)

2.1.3.4 ถุงกรอง (Baghouse Filter) กลไกที่สำคัญในการกรองฝุ่นด้วยถุงกรอง (รูปที่ 2.3) คือ การชน (Impaction) การแพร่ (Diffusion) และการยึด (Interception) ระหว่างฝุ่นกับถุงกรอง กลไกที่สำคัญที่สุดในการดักฝุ่นของถุงกรอง คือ การชน ซึ่งจะเกิดขึ้นภายในถุงกรองมากกว่า 20 ครั้ง



รูปที่ 2.3 ถุงกรอง (Baghouse Filter)

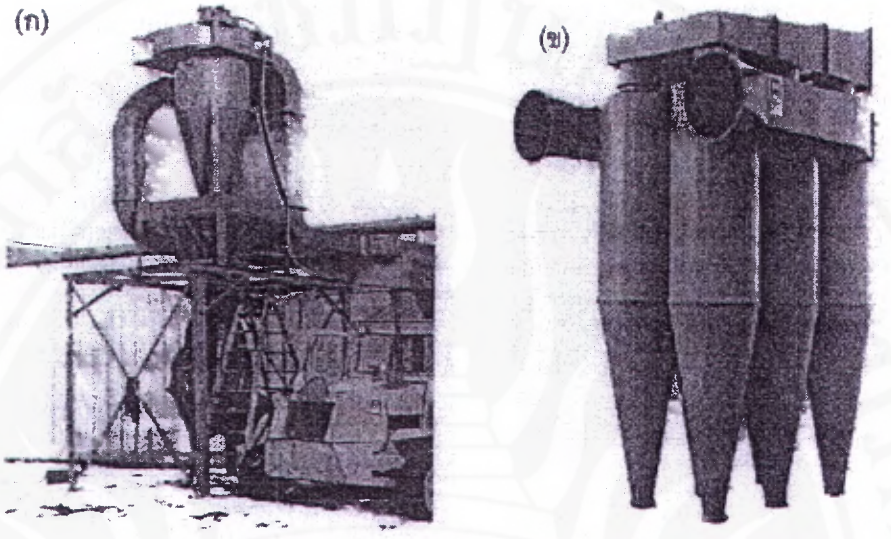
2.1.3.5 เครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Precipitator - ESP) (รูปที่ 2.4) อาศัยแรงทางไฟฟ้าในการแยกฝุ่นออกจากอากาศ การทำงานประกอบด้วยแผ่นที่ให้ประจุกับอนุภาคฝุ่น หรือแผ่น Corona ทำหน้าที่ในการชาร์ตประจุลบให้กับฝุ่น และแผ่นเก็บฝุ่น หรือ Collecting plate ซึ่งมีประจุบวกทำหน้าที่จับและเก็บฝุ่นไว้ โดยฝุ่นที่ได้รับประจุลบจากแผ่น Corona จะเคลื่อนที่ไปยังแผ่น Collecting plate ที่มีขั้วบวกตามแรงทางประจุไฟฟ้า



รูปที่ 2.4 เครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Precipitator)

2.2 ทฤษฎีไซโคลนดักฝุ่น

ไซโคลนดักฝุ่น (cyclone dust collector) ถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อกระบวนการทางอุตสาหกรรมหลายๆ ประเภท ทั้งในแง่ของกระบวนการผลิต (production) และในแง่ของการควบคุมมลภาวะทางอากาศ (air pollution control) ใช้มากในงานอุตสาหกรรม ตัวอย่างเช่นใน อุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ อุตสาหกรรมผลิตอาหารสัตว์ อุตสาหกรรมผลิตแป้งมัน อุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้า (ในกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงซึ่งทำงานร่วมกับหม้อไอน้ำ) รวมถึงกระบวนการในอุตสาหกรรมเคมี เป็นต้น โดยรูปที่ 2.5 จะแสดงให้เห็นถึงตัวอย่างของไซโคลนดักฝุ่นที่ใช้กันโดยทั่วไป ซึ่งรูปที่ 2.5 (ก) จะเป็นไซโคลนที่ทำงานเพียงตัวเดียว และรูปที่ 2.5 (ข) จะเป็นไซโคลนที่ทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม [3]



รูปที่ 2.5 ลักษณะของไซโคลนดักฝุ่น

2.2.1 หน้าที่ของไซโคลนดักฝุ่น

ไซโคลนจะมีหน้าที่ในการดักหรือแยกอนุภาคของแข็งออกจากกระแสการไหลของอากาศ (หรือก๊าซ) โดยอาศัยหลักการของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (centrifugal force) สำหรับลักษณะของงานที่สามารถนำไซโคลนมาใช้ได้นั้นจะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไข ดังนี้

- อนุภาคฝุ่นที่จะทำการดักหรือแยกต้องมีสภาพแห้ง
- อุณหภูมิค่อนข้างสูง
- ความเข้มข้น (ปริมาณ) ของอนุภาคฝุ่นที่ปะปนมากับอากาศค่อนข้างสูง
- อากาศอยู่ภายใต้ความดันสูง
- อนุภาคฝุ่นหรืออากาศมีความสามารถในการกัดกร่อน (corrosion) เมื่ออยู่ในสภาพเปียก (หรือไม่มีความชื้นปะปนอยู่)

สำหรับลักษณะของงานที่ไม่สามารถนำไซโคลนมาใช้ได้นั้น ได้แก่ กรณีที่อนุภาคฝุ่นมีลักษณะจับตัวกันเองหรือจับตัวกับผิวด้านในของไซโคลน อันเนื่องจากคุณสมบัติของอนุภาคฝุ่นเองหรือเนื่องจากความชื้นที่เกิดจากการควบแน่น (condensation) ของไอน้ำในอากาศเมื่ออุณหภูมิของอากาศต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (dewpoint temperature) รวมถึงในกรณีที่อนุภาคฝุ่นมีขนาดเล็กมากๆ

โดยมาก เรามักไม่นำไซโคลนมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ของการควบคุมมลภาวะทางอากาศแต่เพียงลำพัง เนื่องจากไซโคลนไม่สามารถดักหรือแยกอนุภาคของแข็งที่มีขนาดเล็กมากๆ ได้ ด้วยเหตุนี้ไซโคลน

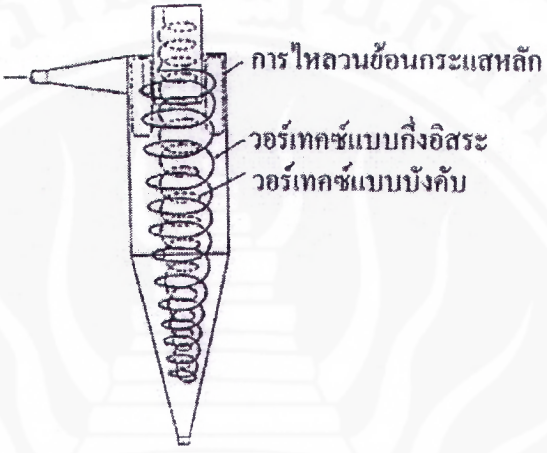
จึงมักถูกนำมาใช้เป็นอุปกรณ์แยกอนุภาคขั้นต้น (precleaner) ของระบบควบคุมมลภาวะทางอากาศร่วมกับอุปกรณ์แยกอนุภาคหลักชนิดอื่นๆ เช่น เครื่องกรองฝุ่นแบบถุงกรอง (bag filter) หรือ เครื่องดักฝุ่นแบบใช้ไฟฟ้าสถิต (electrostatic precipitator) ตัวอย่างเช่น ในกระบวนการเผาไหม้ซึ่งใช้เครื่องกรองฝุ่นแบบถุงกรองเป็นอุปกรณ์แยกอนุภาคหลักเพื่อดักจับคราบเขม่าที่เกิดจากการเผาไหม้ให้ออกจากก๊าซร้อนก่อนที่จะปล่อยออกสู่บรรยากาศ หากมีการติดตั้งไซโคลนเป็นอุปกรณ์แยกอนุภาคขั้นต้นก็จะช่วยให้คราบเขม่ามากกว่า 80% ถูกแยกออกก่อนที่จะไหลเข้าสู่เครื่องกรองฝุ่นแบบถุงกรองซึ่งเป็นการช่วยลดภาระการทำงานและเป็นการช่วยยืดอายุการใช้งานของถุงกรอง (filter bag) อีกทางหนึ่งด้วย

ถึงแม้ว่าการใช้ไซโคลนเป็นอุปกรณ์แยกอนุภาคขั้นต้นดังที่กล่าวตอนต้นจะไม่ได้ทำให้ขนาดของอุปกรณ์แยกอนุภาคหลักที่ใช้ในระบบมีขนาดเล็กลง (ราคาถูกลง) แต่ก็ส่งผลดีในแง่ของการออกแบบกล่าวคือจะทำให้การออกแบบอุปกรณ์แยกอนุภาคหลักทำได้ง่ายขึ้น และผลการออกแบบที่ได้ก็มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังส่งผลให้การเลือกใช้อุปกรณ์ประกอบ (accessory equipment) สามารถกระทำได้ง่ายขึ้นเช่นเดียวกัน สำหรับรายละเอียดเกี่ยวกับการใช้ไซโคลนเป็นอุปกรณ์แยกอนุภาคขั้นต้นจะกล่าวโดยละเอียดภายหลัง

2.2.2 หลักการทำงานของไซโคลน

อนุภาคที่แขวนลอยในก๊าซจะมีความเฉื่อยและโมเมนตัม จะได้รับแรงกระทำจากแรงโน้มถ่วงของโลก ลักษณะสมบัติเหล่านี้ของอนุภาคจะก่อให้เกิดแรงหนีศูนย์กลาง (centrifugal Force) เมื่อมีการบังคับให้กระแสก๊าซไหลหมุนวน แรงหนีศูนย์กลางเป็นกลไกหลักในการเก็บอนุภาคของเครื่องเก็บอนุภาคฝุ่นแบบแรงเฉื่อยส่วนใหญ่ [4]

ชิ้นส่วนสำคัญของโครงสร้างของไซโคลนคือทางเข้าของก๊าซที่ช่วยชักนำให้เกิดกระแสวน (Vortex) ทางออกในแนวแกน (Axial Outlet) ของก๊าซสะอาด และช่องเปิดด้านล่างสำหรับปล่อยอนุภาคฝุ่นออก ลักษณะการไหลในไซโคลนแบบทั่วไป ก๊าซที่ไหลเข้าในแนวเส้นสัมผัสใกล้ด้านบนของตัวทรงกระบอกจะชักนำให้เกิดวอร์เทคซ์หรือการไหลเวียนแบบก้นหอยในย่านระหว่างผนังของตัวไซโคลนและผนังท่อทางออกของก๊าซ แต่เมื่อไปถึงย่านๆ หนึ่งใกล้กับก้นของกรวย วอร์เทคซ์นี้จะกลับทิศทางการเคลื่อนที่ในแนวแกนจากเคลื่อนลงเป็นเคลื่อนขึ้นโดยที่ยังคงไว้ซึ่งการไหลหมุนวน นั่นคือ จะเปลี่ยนเป็นวอร์เทคซ์แบบบังคับ (Forced Vortex) ซึ่งเปรียบเสมือนการหมุนตัวของของแข็งในย่านระหว่างประมาณครึ่งหนึ่งของรัศมีของท่อทางออกของก๊าซกับแกนกลางของท่อทางออก วอร์เทคซ์ด้านในนี้จะเป็นย่านความดันต่ำและมีเชื่อเรียกว่า แกน (Core) รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะทั่วไปของวอร์เทคซ์และการไหลวนย้อนกระแสหลัก (Eddy flow) ภายในไซโคลน



รูปที่ 2.6 ลักษณะการไหลของกระแสหลักภายในไซโคลน

สามารถอธิบายเป็นขั้นตอนการทำงานของไซโคลนอย่างละเอียด ได้ดังนี้ [5]

ก. เกิดการไหลเวียนของแก๊ส (Gas Flow Patterns) แก๊สเมื่อถูกป้อนเข้าในแนวสัมผัสบริเวณส่วนบนของทรงกระบอก จะถูกชักนำให้เกิดวอร์เทคหรือการไหลเวียนแบบก้นหอยระหว่างผนังท่อทางออกแก๊ส ลักษณะการไหลเป็นแบบหมุนวนเวียนลงด้านล่าง เมื่อเข้าใกล้ก้นกรวยวอร์เทคจะถูกบังคับให้กลับทิศทางการไหล เปลี่ยนเป็นหมุนเคลื่อนที่ขึ้นแทรกผ่านด้านใน (Inner Vortex) เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นวอร์เทคแบบบังคับ (Forced Vortex) ซึ่งเรียกวอร์เทคที่เกิดด้านในนี้ว่า แกน (Core) ส่วนบนของไซโคลน บริเวณช่องว่างระหว่างไซโคลนและท่อทางออก ความเร็วเส้นสัมผัสจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจากผนังไซโคลนถึงผนังท่อทางออก ทำให้เกิดการไหลของแก๊สเลียบผนังส่วนบนของทรงกระบอก พัดพาฝุ่นให้ไหลเวียนตามและไหลตัดเข้าสู่ด้านในเลียบลงตามแนวผนังด้านนอกของท่อทางออก ทำให้ฝุ่นมีโอกาสหลุดติดกับแก๊สที่ไหลออกจากไซโคลนสู่บรรยากาศได้ ซึ่งลักษณะการไหลของแก๊สแบบนี้เรียกว่าการไหลวน (Eddy Flow)

ข. การแยกฝุ่นในวอร์เทค (Separation of Dust in the Vortex) ผลจากการเกิดวอร์เทค ช่วยเหนี่ยวนำให้เกิดแรงหนีศูนย์กลางขึ้น ทำให้ฝุ่นที่แขวนลอยเคลื่อนตัวเข้าปะทะผนังไซโคลน เกิดการสูญเสียพลังงานจลน์ในการเคลื่อนที่และแยกตัวออกจากวอร์เทคเคลื่อนที่ลงสู่เบื้องล่าง

ค. การปล่อยฝุ่นที่แยกแล้ว (Discharge of Separated Dust) ฝุ่นที่ปะทะผนังไซโคลนจะสูญเสียพลังงานจลนในการเคลื่อนที่รวมตัวกันเป็นกลุ่มของฝุ่นที่มีความเข้มข้นสูง หมุนตัวลงอย่างช้าๆ และถูก

ดึงดูดให้เคลื่อนตัวลงสู่ที่รองรับฝุ่นเบื้องล่าง อาศัยอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงของโลกทำให้ฝุ่นสามารถหลุดออกจากวอร์เทคที่กำลังหมุนวนอยู่ได้

ในไซโคลนทั่วๆ ไปกลไกการทำงานเป็นการบังคับให้ฝุ่นหมุนวนเวียนตามแนววอร์เทคสู่เบื้องล่าง ฉะนั้น ปัจจัยหลักในการออกแบบไซโคลนจึงเป็นการพยายามสร้างวอร์เทคให้เกิดขึ้น เพื่อช่วยผลักฝุ่นให้เคลื่อนตัวเข้าหาแนวผนังและลงสู่ที่รองรับเบื้องล่าง จึงทำให้แรงหนีศูนย์กลางที่เกิดจะต้องมีค่ามากพอที่จะกระทำให้ฝุ่นหลุดพ้นจากอิทธิพลของวอร์เทคที่หมุนวนอยู่ได้ แก๊ส (Cleaned Gas Discharge) ใช้ระบายแก๊สที่ได้แยกฝุ่นบางส่วนออกมา

ไซโคลนมีลักษณะสมบัติทั่วไปดังต่อไปนี้ [1]

- ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของทรงกระบอกมีขนาดยิ่งเล็กจะจับอนุภาคยิ่งละเอียดได้
- ถ้าความเร็วที่ทางเข้าของแก๊สยิ่งสูงความดันสูญเสียและค่าไฟฟ้าจะยิ่งมาก
- ถ้าอนุภาคมีคุณสมบัติเกาะกันเป็นก้อนได้ดีการเพิ่มประสิทธิภาพรวมของการเก็บฝุ่นสามารถทำได้โดยการติดตั้งไซโคลนอนุกรมกัน (ยกเว้นกรณีการวางไซโคลนขนาดเท่ากัน อนุกรมกัน จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพรวมได้น้อย)
- ฮอปเปอร์เก็บฝุ่น (Dust Hopper) ของไซโคลนควรออกแบบให้มีโครงสร้างที่ป้องกันหลุดหนีของอนุภาคฝุ่นไปกับกระแสแก๊สที่ไหลวนขึ้นนอกจากนี้ฮอปเปอร์ที่ใช้ควรมีความจุเพียงพอโดยคำนึงเผื่อกรณีที่วาล์วแบบหมุน (Rotary Valve) ของไซโคลนและ สายพานลำเลียงฝุ่นไม่ทำงานด้วย

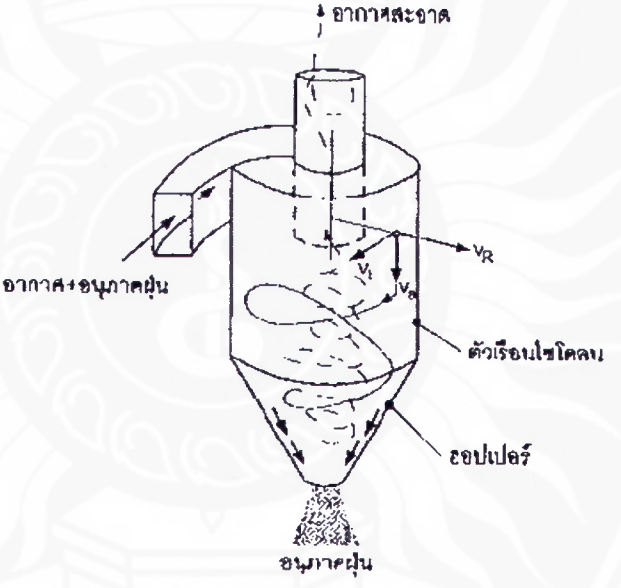
เนื่องจากไซโคลนมีโครงสร้างที่ง่ายๆ มีราคาถูก และสามารถจับอนุภาคที่มีขนาดเล็กหลายๆ ไมครอนหรือโตกว่า ดังนั้น จึงมีใช้กันกว้างขวางในอุตสาหกรรม ทั้งในฐานะเครื่องเก็บฝุ่นด้านหน้าของถุงกรองหรือเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต

ค่าสัดส่วนของไซโคลนมาตรฐาน [6]

ความยาวของช่วงทรงกระบอก	L 1= 2Do
ความยาวของช่วงกรวย	L 2 = 2 Do
ความสูงของช่องทางเข้า	H = Do / 2
ความกว้างของช่องทางเข้า	W = Do / 4
เส้นผ่านศูนย์กลางของช่วงทรงกระบอก	De = Do / 2
เส้นผ่านศูนย์กลางของช่องทางออกของฝุ่น	Dd = Do / 4

2.2.3 กลไกการดักฝุ่นภายในไซโคลน

ลักษณะการทำงานของไซโคลนอย่างง่ายแสดงในรูปที่ 2.7 อากาศและอนุภาคฝุ่นจะไหลเข้าสู่ไซโคลนที่ด้านข้างซึ่งจะถูกบังคับให้เกิดการหมุนวนภายในไซโคขน การหมุนวนดังกล่าวนี้จะทำให้อนุภาคฝุ่นมีความเร็วในแนวเส้นสัมผัสกับทิศทางการหมุนวน (tangential velocity, V_t) นอกจากนี้ยังมีความเร็วในแนวรัศมีของอนุภาคฝุ่น (radial velocity, V_R) และความเร็วของอนุภาคฝุ่นอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลก (V_a) ด้วย หากอนุภาคฝุ่นมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น มีความเร็วในแนวรัศมีของอนุภาคฝุ่นก็จะเพิ่มมากขึ้น มีความเร็วในแนวรัศมีของอนุภาคฝุ่นก็จะเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้อนุภาคฝุ่นเคลื่อนที่มุ่งหน้าไปกระทบยังผนังด้านในของไซโคลนและตกลงสู่ด้านล่างด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ส่วนอากาศสะอาดก็จะหมุนวนกลับขึ้นด้านบนและไหลออกจากไซโคลนผ่านท่อทางในแนวแกนต่อไป [3]



รูปที่ 2.7 กลไกการดักฝุ่นของไซโคลน

สำหรับการอธิบายสมรรถนะการทำงานของไซโคลนนั้น เราสามารถทำได้โดยอาศัยสมการดังต่อไปนี้

$$V_t = \mathrm{K}\sqrt{\Delta \mathrm{P}/\rho} \quad (1)$$

$$V_R = \frac{2\mathrm{V_t^2}}{9\mu \mathrm{R}}(\rho_{\mathrm{p}-}\rho)\mathrm{R_p^2} \quad (2)$$

$$eff = \mathrm{f}(\mathrm{V_R}) \quad (3)$$

โดยที่

V_R = ความเร็วในแนวรัศมีของอนุภาคฝุ่น, ft/s

V_t = ความเร็วในแนวเส้นสัมผัสของอนุภาคฝุ่น, ft/s

μ = ความหนืด (viscosity) ของอากาศ (หรือก๊าซ), lb/ft.s

R = รัศมีเฉลี่ยของการหมุนวน, ft

R_p = รัศมีของอนุภาคฝุ่น, ft

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (หรือก๊าซ), lb/ft^3

ρ_p = ความหนาแน่นของอนุภาคฝุ่น, lb/ft^3

K = ค่าคงที่ (ขึ้นอยู่กับการออกแบบไซโคลน)

ΔP = ความดันลดที่เกิดขึ้นภายในไซโคลน, in.wg

eff = ประสิทธิภาพในการดักฝุ่น

สิ่งจำเป็นอันดับแรกของการดักฝุ่นด้วยไซโคลนก็คือการเร่งให้อากาศ (และอนุภาคฝุ่น) ในไซโคลนมีความเร็วแนวเส้นสัมผัสที่เพียงพอ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ในการออกแบบไซโคลนและความเร็วแนวเส้นสัมผัสได้แสดงให้เห็นในสมการที่ (1) ซึ่งเป็นสมการที่มีที่มาจากสมการเบอร์นูลลี (Bernoulli's equation) โดยมีวัตถุประสงค์คือการป้อนพลานในรูปของความดันลดรวม (total pressure drop, ΔP) และเร่งให้อากาศและอนุภาคฝุ่นมีความเร็วสูงขึ้นเป็น V_t จำนวนของพลังงานที่ป้อนให้นี้จะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ มากมาย อาทิเช่น ความดันของอากาศ อุณหภูมิของอากาศ มวลโมเลกุลของอากาศ (molecular mass) รวมถึงการออกแบบส่วนประกอบหรืออุปกรณ์เสริมของไซโคลน ซึ่งสิ่งเหล่านี้ถือเป็นหัวใจสำคัญของการเปลี่ยนความดันสถิตของอากาศ (static pressure) ได้กลายเป็นความเร็วในแนวเส้นสัมผัส การหมุนวนของอนุภาคฝุ่นรอบๆ แนวแกนของไซโคลนด้วยความเร็วนี้จะเป็นผลมาจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางดังที่กล่าวตอนต้นซึ่งจะส่งผลให้อนุภาคฝุ่นมีความเร็วพุ่งออกจากแกนกลางในแนวรัศมีเท่ากัน

สำหรับความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อความเร็วในแนวรัศมี (V_R) ได้แสดงไว้ในสมการที่ (2) ซึ่งประกอบไปด้วยรัศมีของอนุภาคฝุ่น ความหนาแน่นของอนุภาคฝุ่น และความเร็วในแนวเส้นสัมผัสของอนุภาคฝุ่น ความเร็วในแนวเส้นสัมผัสดังกล่าวนี้จะขึ้นอยู่กับพลังงานที่ป้อนให้แก่อากาศ (ผ่านทางพัดลม) ความดันลด ความหนืดของอากาศ และรัศมีของการหมุนวน (รัศมีของตัวเรือนไซโคลน) ซึ่งโดยปกติแล้วความเร็วในแนวรัศมีนี้ก็จะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพในการดักฝุ่นด้วยเช่นกัน ดังแสดงในสมการที่ (3)

หากพิจารณาจากสมการทั้งสามข้างต้นจะพบว่า ในกรณีที่รัศมีของอนุภาคฝุ่นเพิ่มขึ้น V_R ก็จะเพิ่มขึ้นซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดักฝุ่นเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ในทางทฤษฎีแล้วหากเราทราบความดันลดที่เกิดขึ้นภายในไซโคลน การกระจายขนาดของอนุภาคฝุ่น (particle-size distribution) และความถ่วงจำเพาะของอนุภาคฝุ่น (specific gravity) เราก็สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพในการดักฝุ่นของไซโคลนได้ อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติแล้ว เราพบว่าขนาดและคุณลักษณะของตัวอนุภาคฝุ่นเองจะเป็นตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการดักฝุ่นของไซโคลนมากกว่าตัวแปรอื่นๆ กล่าวคือ หากอนุภาคฝุ่นมีขนาดเล็กลง แรงที่ใช้ในการคัดแยกอนุภาคฝุ่นออกจากอากาศ (แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง) จะลดลงด้วย เหตุนี้ ขนาดของอนุภาคฝุ่นที่จะทำการดักหรือคัดแยกจะเป็นตัวกำหนดลักษณะการออกแบบไซโคลน นั้นหมายความว่าอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กเกินไป แรงที่ใช้ในการคัดแยกที่เกิดขึ้นจะมีน้อยซึ่งอาจจะไม่พอเพียงที่จะทำการแยกอนุภาคฝุ่นออกจากกระแสการไหลของอากาศได้

โดยปกติแล้ว ไซโคลนจะทำงานในสภาวะที่ความดันใกล้เคียงกับความดันบรรยากาศ และที่ความดันแตกต่างประมาณ 2 ถึง 5 in.wg (นิ้วของน้ำ) ดังนั้นไซโคลนจึงเหมาะสำหรับใช้ดักหรือแยกอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดโตกว่า 20 μm (ไมครอน) โดยไซโคลนจะทำงานได้ดี (ประสิทธิภาพสูง) ถ้าอนุภาคฝุ่นมีขนาดใหญ่ แต่ถ้าอนุภาคฝุ่นมีขนาดเล็กกว่า 10 μm ไซโคลนจะไม่สามารถดักหรือแยกอนุภาคฝุ่นดังกล่าวออกจากอากาศได้ โดยเราอาจต้องใช้อุปกรณ์แยกอนุภาคชนิดอื่นๆ เช่น เครื่องกรองฝุ่นแบบถุงกรอง หรือเครื่องดักฝุ่นแบบใช้ไฟฟ้าสถิต เป็นต้น

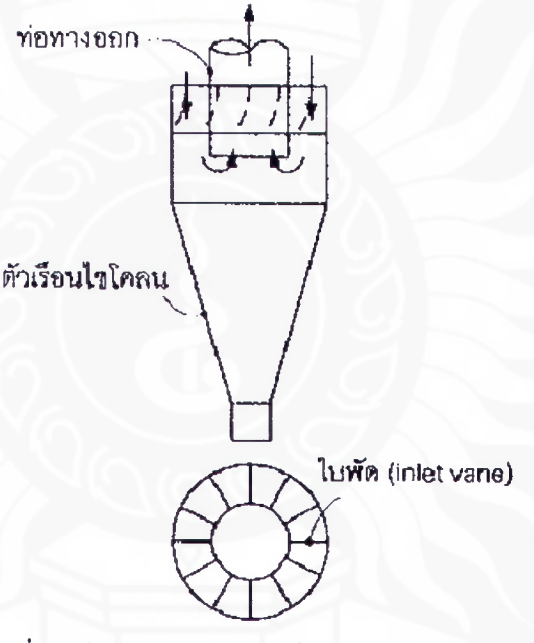
นอกจากที่กล่าวมาแล้ว ยังมีตัแปรอีกตัวหนึ่งที่อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการดักฝุ่นของไซโคลน นั่นก็คืออุณหภูมิของอากาศโดยเมื่ออุณหภูมิของอากาศเพิ่มสูงขึ้น ความหนาแน่นจะลดลงและความหนืดของมันก็จะเพิ่มขึ้น โดยหากพิจารณาให้ความดันลดมีค่าคงที่ อัตราการไหลของอากาศที่เข้าสู่ไซโคลนก็จะเพิ่มขึ้น และในกรณีที่อุณหภูมิของอากาศเพิ่มสูงขึ้นไปอีก ความเร็วของอากาศที่เข้าสู่ไซโคลนก็จะยิ่งเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ความเร็วของอนุภาคฝุ่นที่มุ่งหน้าเข้าสู่ผนังของไซโคลนเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของอากาศจะทำให้ความหนืดของมันเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มที่จะทำให้ความเร็วของอนุภาคฝุ่นที่มุ่งหน้าเข้าสู่ผนังของไซโคลนมีค่าลดลงในทางปฏิบัติ หากอุณหภูมิของอากาศมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 40 ถึง 70 F ผลกระทบโดยตรงของการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นและความหนืดของอากาศอาจไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณา ทั้งนี้เนื่องจากความแน่นของอากาศมีค่าค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของอนุภาคฝุ่น แต่ในกรณีที่อากาศมีอุณหภูมิสูงกว่า 1000 F ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นและความหนืดของอากาศต่อประสิทธิภาพของการดักฝุ่นจะมีมากขึ้น

2.2.4 ลักษณะการออกแบบไซโคลน

โดยทั่วไปสามารถแบ่งไซโคลนตามลักษณะของการไหลเข้าของอากาศ (หรือก๊าซ) ออกได้เป็น 2 กลุ่ม กล่าวคือ ไซโคลนแบบอากาศไหลเข้าตามแนวแกน (axial-gas-entry cyclone) และไซโคลนแบบอากาศไหลเข้าตามแนวเส้นสัมผัส (tangential-gas-entry cyclone) ซึ่งแต่ละแบบมีรายละเอียดดังนี้

2.2.4.1 ไซโคลนแบบอากาศไหลเข้าตามแนวแกน

ไซโคลนแบบนี้มีลักษณะดังรูปที่ 2.8 ซึ่งมักสร้างโดยอาศัยกรรมวิธีหล่อ (casting) ทั้งในส่วนของตัวเรือนไซโคลนเอง หรือท่อทางออก และในส่วนของใบพัดที่ทางเข้าของอากาศ ด้วยเหตุนี้ไซโคลนแบบอากาศไหลเข้าตามแนวแกนจึงมักถูกสร้างให้มีขนาดไม่ใหญ่มาก เนื่องจากการสร้างให้มีขนาดใหญ่จะทำให้ต้นทุนในการหล่อชิ้นส่วนต่างๆ ของไซโคลนสูงขึ้นซึ่งไม่เหมาะสมในเชิงพาณิชย์



รูปที่ 2.8 ไซโคลนแบบอากาศไหลเข้าตามแนวแกน

ปริมาณของอนุภาคฝุ่นที่จะทำการดักหรือคัดแยกที่เข้าสู่ตัวไซโคลนแบบอากาศไหลเข้าตามแนวแกนนี้จะถูกจำกัดเอาไว้ที่ค่าๆ หนึ่ง เนื่องจากปริมาณของอนุภาคฝุ่นที่มากเกินไปอาจทำให้เกิดการอุดตันระหว่างช่องใบพัด และยังอาจทำให้ใบพัดเกิดการสึกหรอด้วย สิ่งเหล่านี้จะส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลน ด้วยเหตุที่รูปร่างและการจัดวางของใบพัดจะส่งผลต่อทั้งความดันลดและคุณลักษณะในการดักฝุ่นของไซโคลน ดังนั้นในปัจจุบัน ผู้ผลิตไซโคลนแบบอากาศไหลเข้าตาม

แนวแกนจึงได้ทำการพัฒนาใบพัดที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นในหลายๆ รูปแบบขึ้นมา ทั้งนี้ก็เพื่อพยายามที่จะทำให้ไซโคลนแบบนี้สามารถนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ของการควบคุมมลภาวะได้มากยิ่งขึ้น

เนื่องจากอากาศและอนุภาคฝุ่นไหลผ่านใบพัดของไซโคลนแบบนี้ด้วยความเร็วประมาณ 5000 ถึง 7000 fpm (ฟุตต่อนาที) ซึ่งถือเป็นความเร็วที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับไซโคลนแบบอากาศไหลเข้าตามแนวเส้นสัมผัสชนิดที่ช่องทางเข้าจะมีลักษณะโอบล้อมรอบๆ ตัวเรือนของไซโคลน ซึ่งอากาศและอนุภาคฝุ่นจะไหลเข้าด้วยความเร็วประมาณ 2400 ถึง 4200 fpm ดังนั้นใบพัดจึงควรทำจากวัสดุที่ต้านทานการกัดกร่อนหรือการขัดสีจากอนุภาคฝุ่นได้เป็นอย่างดี ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมักใช้ใบพัดที่ทำจากโลหะผสมที่มีผิวแข็ง (hard alloy) ทั้งนี้เพื่อให้ใบพัดมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น จึงจำเป็นที่จะต้องทำการตรวจสอบสภาพของพัดอย่างสม่ำเสมอ หากพบว่ามีการสึกหรอเกิดขึ้นให้ทำการเปลี่ยนใบพัด หากไม่ทำเช่นนี้ ประสิทธิภาพในการทำงานของไซโคลนก็จะลดลง อย่างไรก็ตามหากมีการเลือกใช้ใบพัดอย่างเหมาะสม อายุการใช้งานของใบพัดก็อาจจะมากถึง 5 ปี โดยไม่ต้องทำการเปลี่ยนเลย สำหรับอายุการใช้งานของใบพัดที่ทำจากวัสดุชนิดต่างๆ ได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 อายุการใช้งานของใบพัด --

วัสดุที่ใช้ทำใบพัด	ความแข็ง (บริเนล)	อายุการใช้งาน (ปี)
Grey Iron	180	1
Ghromehard	325	1.5
White Iron	500	2

นอกเหนือจากรูปแบบหรือการจัดวางของใบพัดที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดักฝุ่น (collection efficiency) แล้ว รูปร่างของตัวเรือนไซดคลนและความขรุขระ (roughness) ของพื้นผิวด้านในไซโคลนก็เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการดักฝุ่นด้วยเช่นกัน

2.2.4.2 ไซโคลนแบบอากาศไหลเข้าตามแนวเส้นสัมผัส

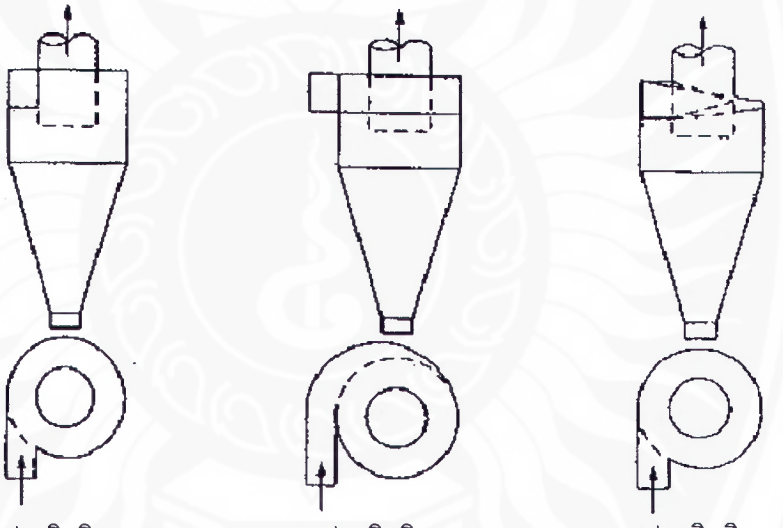
ไซโคลนแบบนี้มีลักษณะดังรูปที่ 2.9 โดยมักสร้างโดยการนำโลหะแผ่นมาม้วนหรือพับ ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่ง่ายกว่าการหล่อและต้นทุนก็ต่ำกว่าด้วย ดังนั้นไซโคลนแบบนี้จึงสามารถสร้างได้แทบทุกขนาดและทุกรูปร่างตามที่ต้องการ นอกจากนี้ยังสามารถเสริมวัสดุเพื่อป้องกันการสึกหรออันเนื่องมาจากการเสียดสีหรือขัดสีของอนุภาคฝุ่นที่ผนังด้านในไซโคลนได้โดยอาศัยวัสดุกันสึก (linings material) เช่น อิฐทนไฟหรืออื่นๆ ได้อีกด้วย

จากเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้ไซโคลนแบบนี้ถูกนำไปใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน โดยทั่วไปไซโคลนแบบนี้ยังสามารถแบ่งย่อยได้อีกตามลักษณะของช่องทางเข้าของอากาศและอนุภาคฝุ่น กล่าวคือ

- แบบประสิทธิภาพสูง (high efficiency) และอัตราการไหลของอากาศต่ำ (low capacity) แสดงดังรูปที่ 2.9 (a)

- แบบประสิทธิภาพสูง และอัตราการไหลของอากาศสูง (high capacity) โดยช่องทางเข้าของอากาศจะมีลักษณะโอบล้อมรอบ ตัวเรือนของไซดคลน (wraparound entry) แสดงดังรูปที่ 2.9 (b)

- แบบประสิทธิภาพสูง และอัตราการไหลของอากาศต่ำ โดยช่องทางเข้าของอากาศจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง (curved entry) แสดงดังรูปที่ 2.9 (c)



ประสิทธิภาพสูง, อัตราการไหลของอากาศต่ำ (a)

ประสิทธิภาพสูง, อัตราการไหลของอากาศสูง (b)

ประสิทธิภาพสูง, อัตราการไหลของอากาศต่ำ (c)

รูปที่ 2.9 ไซโคลนแบบอากาศไหลเข้าตามแนวเส้นสัมผัส

ขนาดของไซโคลนแบบนี้ซึ่งมีการผลิตในเชิงพาณิชย์จะมีตั้งแต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 in ถึง 120 in โดยอัตราการไหลของอากาศที่เข้าสู่ไซโคลนจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 30 ถึง 130,000 cfm (ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) ในกรณีที่อัตราการไหลของอากาศที่เข้าสู่ไซโคลนมีค่ามากกว่านี้ จะนิยมใช้ไซโคลนจำนวนสองตัวหรือมากกว่ามาทำงานร่วมกัน โดยจะติดตั้งในลักษณะขนานกัน

2.2.5 วัสดุที่ใช้ทำไซโคลน

โดยทั่วไปหากไซโคลนถูกนำไปใช้ในกระบวนการที่มีอุณหภูมิสูง มักจะสร้างไซดคลนด้วยเหล็กกล้าคาร์บอน (carbon steel) ทั้งนี้เนื่องจากเหล้กกล้าคาร์บอนสามารถทนต่ออุณหภูมิที่สูงได้ถึง 800 F (หรือ 425 °C) ในกรณีที่อุณหภูมิของอากาศมีค่าสูงกว่านี้ ก็มักจะสร้างไซโคลนด้วยเหล็กสแตนเลส (stainless steel) หรือโลหะผสม (alloys) อื่นๆ ตัวอย่างเช่น สแตนเลสเกรด 304 309 หรือ 310, Hastelloy B หรือ C และ Inconal เป็นต้น อย่างไรก็ตามการใช้เหล็กสแกตนเลสจะทำให้ต้นทุนในการสร้างไซโคลนสูงขึ้นประมาณ 3 เท่า เมื่อเทียบกับไซโคลนที่สร้างจากเหล็กกล้าคาร์บอน ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ หากต้องการให้ต้นทุนในการสร้างไซโคลนไม่สูงมากนัก ก็จะสร้างไซโคลนด้วยเหล็กกล้าคาร์บอนร่วมกับการติดตั้งระบบควบคุมเพื่อลดและจำกัดความผิดพลาดใดๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นในช่วงเริ่มเดิมเครื่องและในช่วงหยุดเดินเครื่อง

ในบางกรณีอาจมีการใช้อิฐทนไฟบางชนิดมาติดตั้งที่ผิวด้านในของไซโคลนเพื่อป้องกันการสึกหรออันเนื่องจากการขัดสีของอนุภาคฝุ่น ตัวอย่างเช่นในอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ เป็นต้น โดยการทำเช่นนี้ก็จะช่วยยืดอายุการใช้งานของไซโคลนให้ยาวนานขึ้นอีกด้วย

2.2.6 ส่วนประกอบของไซโคลน [4]

2.2.6.1 ท่อลำเลียงแก๊ส (Dust Laden Gas) เป็นท่อที่ต่อจากท่อส่งแก๊สออกของกระบวนการผลิตเพื่อรับแก๊สเข้าสู่ไซโคลน

2.2.6.2 ท่อทางเข้าสัมผัส (Tangential Inlet) เป็นท่อติดตั้ง แนวสัมผัสเส้นรอบวงของทรงกระบอก ใช้บังคับให้แก๊สเปลี่ยนทิศทางการไหล จากการไหลแบบตรงเป็นการไหลเวียนแบบก้นหอย (Spiral Flow)

2.2.6.3 ท่อทรงกระบอก (Cylindrical Body) เป็นท่อกลวงรูปทรงกระบอก ใช้เป็นแนวปะทะของฝุ่น เพื่อลดพลังงานจลน์ในการเคลื่อนที่

2.2.6.4 กรวยไซโคลน (Conical Base) เป็นกรวยกลวงยอดตัด ใช้เพื่อช่วยลดความยาวของทรงกระบอกลงไม่ให้ไซโคลนสูงเกินไป และช่วยเป็นแนวปะทะบังคับให้แก๊สที่หมุนเวียนเปลี่ยนทิศทางการไหลย้อนกลับขึ้นบนได้

2.2.6.5 ที่รองรับฝุ่น (Dust Hopper) ใช้รองรับฝุ่นที่แยกจากแก๊ส เพื่อนำออกจากไซโคลนกำจัดทิ้งต่อไป

2.2.6.6 ท่อทางออกแก๊ส (Cleaned Gas Discharge) ใช้ระบายแก๊สที่ได้แยกฝุ่นบางส่วนออกมา

2.2.7 อุปกรณ์ประกอบ

ไซโคลนไม่สามารถทำงานได้โดยลำพัง จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ประกอบหรืออุปกรณ์ช่วยที่จะทำให้ไซโคลนสามารถทำงานได้ ซึ่งอุปกรณ์ประกอบที่สำคัญที่กล่าวถึงนี้ประกอบไปด้วย [4]

2.2.7.1 อุปกรณ์นำอนุภาคฝุ่นออกจากไซโคลน (dust-removal device)

โดยทั่วไปแล้ว อุปกรณ์นำอนุภาคฝุ่นออกจากไซโคลนจะติดตั้งด้านล่างของฮอปเปอร์ถือเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อประสิทธิภาพในการดักฝุ่นของไซโคลน อนุภาคฝุ่นอาจถูกนำออกจากฮอปเปอร์ได้ทั้งในลักษณะต่อเนื่องหรือนำออกเป็นช่วงๆ แต่การทำงานของอุปกรณ์นำอนุภาคฝุ่นออกจากไซโคลนทั้งสองลักษณะอาจทำให้อากาศจากภายนอกไหลเล็ดลอดเข้าสู่ตัวไซโคลนได้ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการดักฝุ่นของไซโคลนลดลง

สำหรับการนำอนุภาคฝุ่นออกจากฮอปเปอร์เป็นช่วงๆ นั้นสามารถทำได้ด้วยอุปกรณ์หลายรูปแบบ เช่น วาล์วเปิดปิด (flap valve) วาล์วแบบประตูเลื่อน (slide gate) หรือวาล์วเปิดปิดคู่ (double flap valve) ซึ่งอาจควบคุมการทำงานด้วยระบบนิวเมติคส์ ระบบมอเตอร์ไฟฟ้า การใช้น้ำหนักของอนุภาคฝุ่นเป็นตัวกำหนดการเปิดปิด และวาล์วแบบประตูเลื่อน

อย่างไรก็ตาม การนำอนุภาคฝุ่นออกจากฮอปเปอร์เป็นช่วงๆ จะมีข้อควรระวังคือ อนุภาคฝุ่นต้องไม่มีคุณลักษณะที่จับตัวหรือรวมตัวกันได้ง่าย ซึ่งหากเป็นเช่นนี้อาจจะทำให้เกิดปัญหาการอุดตันขึ้นภายในฮอปเปอร์ได้ ในทางปฏิบัติ การนำอนุภาคฝุ่นออกจากฮอปเปอร์เป็นช่วงๆ มักจะใช้กับอนุภาคฝุ่นที่สามารถไหลได้อย่างอิสระ (free flow) จากฮอปเปอร์

ข้อควรระวังอีกประการหนึ่งของการนำอนุภาคฝุ่นออกจากฮอปเปอร์เป็นช่วงๆ ก็คือ ต้องควบคุมไม่ให้อนุภาคฝุ่นซึ่งสะสมอยู่ที่ฮอปเปอร์มีระดับสูงขึ้นจนอาจจะทำให้เกิดการไหลย้อนออกจากไซโคลนไปพร้อมกับกระแสการไหลของอากาศ ซึ่งสิ่งนี้จะเป็นสาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของไซดคลนลดต่ำลง นอกจากนี้ยังอาจทำให้ใบพัดหรือตัวเรือนของพัดลมดูด (induce-draft fan) ได้รับความเสียหายจากการขัดสีของอนุภาคฝุ่น หรือทำให้เกิดความไม่สมดุลของใบพัดอันเนื่องจากมีอนุภาคฝุ่นมาจับติดที่ใบพัด

สำหรับการนำอนุภาคฝุ่นออกจากฮอปเปอร์อย่างต่อเนื่องนั้น เรามักใช้ที่เรียกว่า โรตารี่แอร์ล็อค (rotary airlock) ในระหว่างการทำงาน ชิ้นส่วนของโรตารี่แอร์ล็อค จะเกิดการสึกหรออย่างต่อเนื่องจนกระทั่งอากาศสามารถรั่วเข้ามาภายในไซโคลนได้ซึ่งก็แน่นอนที่จะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลนลดต่ำลงในทางปฏิบัติ โรตารี่แอร์ล็อคอาจสร้างค้นจากพลาสติกหรือเหล็กก็ได้ ขึ้นอยู่กับลักษณะงาน

2.2.7.2 พัดลมดูดอากาศ (induced-draft fan)

เนื่องจากการทำงานของไซโคลนจำเป็นต้องอาศัยการไหลของอากาศในลักษณะหมุนวน ซึ่งอุปกรณ์ที่ทำให้อากาศเกิดการเคลื่อนที่ก็คือ พัดลมดูดอากาศ โดยพัดลมที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นพัดลมแบบแรงเหวี่ยง (centrifugal fan)

สิ่งสำคัญที่ต้องระวังสำหรับพัดลมดูดอากาศที่ใช้กับไซโคลนก็คือปัญหาในเรื่องการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการขัดสีของอนุภาคฝุ่นที่มีต่อวงล้อใบพัดหรือตัวเรือนพัดลม และปัญหาในเรื่องของการสะสมตัวของอนุภาคฝุ่นบนวงล้อใบพัด ซึ่งอาจจะทำให้วงล้อใบพัดหมุนในลักษณะไม่สมดุล ปัญหาทั้งสองนี้ล้วนส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของพัดลมลดลงทั้งสิ้น และที่สำคัญควรมีการติดตั้งแดมเปอร์ (damper) เพื่อควบคุมปริมาณของอากาศที่จะเข้าสู่พัดลมเพื่อป้องกันการโอเวอร์โหลดของมอเตอร์ขับในช่วงของการเริ่มทำงานซึ่งอากาศจะมีอุณหภูมิต่ำ

ในทางปฏิบัติ พัดลมที่ใช้ควรมีช่องเปิดสำหรับตรวจสอบสภาพภายในซึ่งต้องสามารถเปิดปิดได้โดยง่าย มีระบบการซีลที่คอเพลาที่เหมาะสม ตัวเรืองของพัดลมต้องสามารถถอดได้โดยง่าย ทั้งนี้ก็เพื่อให้การซ่อมแซมหรือการเปลี่ยนวงล้อใบพัดทำได้โดยง่าย นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงตำแหน่งติดตั้งด้วยโดยต้องเผื่อพื้นที่ว่างในบริเวณรอบๆ เพื่อการซ่อมแซมหรือถอดเปลี่ยนวงล้อใบพัด

2.2.7.3 ฉนวนกันความร้อน (insulator)

การติดตั้งฉนวนกันความร้อนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนอันนำไปสู่การควบแน่นของไอน้ำในอากาศ การติดตั้งฉนวนกันความร้อนนี้อาจกระทำที่โรงงานหรืออาจกระทำที่หน้างานอย่างในอย่างหนึ่งได้ ขึ้นอยู่กับขนาดของไซโคลนและขนาดของอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ

2.2.7.4 อุปกรณ์ให้ความร้อนที่ฮอปเปอร์ (hopper heating device)

การติดตั้งอุปกรณ์ให้ความร้อนที่ฮอปเปอร์เพื่อให้มั่นใจได้ว่าอุณหภูมิของอากาศจะไม่ลดต่ำลงกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศ อันจะเป็นการป้องกันการควบแน่นของความชื้นได้เป็นอย่างดี โดยในทางปฏิบัติมักติดตั้งฉนวนกันความร้อนปิดทับอุปกรณ์ให้ความร้อนที่ฮอปเปอร์ไว้อีกชั้นหนึ่ง ส่วนการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ให้ความร้อนอาจจะเป็นแบบเปิดปิดธรรมดาหรือเป็นแบบที่ทำงานโดยอัตโนมัติก็ได้

2.2.7.5 อุปกรณ์เคาะหรืออุปกรณ์สั่นสะเทือนที่ฮอปเปอร์ (hopper rapping or vibration device)

อุปกรณ์เคาะหรืออุปกรณ์สั่นสะเทือนที่ฮอปเปอร์จะเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับอนุภาคฝุ่นบางชนิดที่มีลักษณะจับตัวกันง่ายเท่านั้น แต่โดยปกติแล้ว หากมุมเอียงของฮอปเปอร์มีการออกแบบมาอย่างสมรวมถึงมีการติดตั้งอุปกรณ์ให้ความร้อนที่ฮอปเปอร์และฉนวนกันความร้อน อนุภาคฝุ่นในฮอปเปอร์ก็จะ

สามารถไหลได้อย่างอิสระโดยไม่มีความจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์เคาะหรืออุปกรณ์สั่นสะเทือนที่ฮอปเปอร์แต่อย่างใด

2.3 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการผลิตผลิตภัณฑ์หัตถกรรมจากกะลามะพร้าว

กรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์จากกะลามะพร้าวจะต้องคำนึงถึงการคุณค่า น่าใช้และความสวยงาม ดังนั้นวัตถุดิบที่นำมาใช้ต้องได้สัดส่วนและมีความสมบูรณ์รวมทั้งเลือกใช้อุปกรณ์งานไม้ที่เหมาะสม ทั้งนี้เพื่อคุณภาพและความสวยงามของผลิตภัณฑ์หัตถกรรมจากกะลามะพร้าว

2.3.1 วัสดุ อุปกรณ์ ในการทำงานหัตถกรรมจากกะลามะพร้าว

สิ่งที่ช่วยให้หัตถกรรมกะลามะพร้าวสวยงาม ได้สัดส่วน มีคุณค่าน่าใช้และช่วยให้ผู้ประดิษฐ์ทำกะลามะพร้าวได้สวยงามจะต้องใช้อุปกรณ์งานไม้เพราะกะลามะพร้าวก็คือไม้ชนิดหนึ่ง แต่กะลาเป็นไม้เนื้ออ่อน บาง จนถึงไม้เนื้อแข็ง บางสถานการณ์เนื้อไม้อาจจะเปราะ ในกรณีที่ต้องการผ่ากะลามะพร้าวให้รอยผ่ามีความสวยงามและเรียบ ควรใช้เลื่อยตัดเหล็กหรือเลื่อยลอช่วยผ่าผู้จำหน่ายใช้มีดผ่ามะพร้าวให้แตกออกเป็น 2 ซีก โดยผ่าบนเส้นพูที่ตรงกับร่องปาก จะแตกเป็น 2 ซีกได้ค่อนข้างเรียบแต่ไม่แน่นอนเสมอไป ลักษณะของงานบางชิ้นต้องใช้อุปกรณ์ช่วย จากการสำรวจอุปกรณ์ในโรงงานหัตถกรรมกะลามะพร้าวของกลุ่มบ้านเกษตรกรกลุ่มส่งเสริมการเกษตรกลุ่มต่างๆ ในหมู่บ้านจะพบอุปกรณ์ดังต่อไปนี้ [18]

2.3.1.1 เลื่อยตัดเหล็ก (Hask saw) กล่าวว่า เลื่อยตัดเหล็กเป็นเลื่อยที่ออกแบบสำหรับตัดเหล็กหรือโลหะอื่นๆ เนื่องจากกะลามะพร้าวมีความเหนียวและเป็นงานที่ต้องการความละเอียดในการตัดจึงต้องใช้เลื่อยตัดเหล็กมาใช้ผ่ากะลามะพร้าว ในเลื่อยตัดเหล็กมีฟันเลื่อยละเอียดจะสูญเสียคลองเลื่อยน้อย

เลื่อยตัดเหล็ก มีการแบ่งตามลักษณะการประดิษฐ์ได้ 2 แบบ คือ

แบบที่ 1 แบบด้ามปืน (Piston grip) ซึ่งด้ามของเลื่อยแบบนี้มีลักษณะคล้ายด้ามปืนนิยมใช้กันมาก ใบเลื่อยปรับแต่งได้ที่น๊อตหางปลา

แบบที่ 2 แบบด้ามตรง (Straight Handle) การปรับแต่งจะทำได้ที่ตัวโครงสร้างด้วยการเลื่อนโครงเข้าออกได้ตามต้องการ

ใบเลื่อยตัดเหล็กที่นิยมใช้กัน ใบเลื่อยมีความยาว 12 นิ้ว งานหัตถกรรมกะลามะพร้าวต้องการความประณีต ควรเลือกใบเลื่อยชนิดฟันละเอียด มีจำนวนฟันตั้งแต่ 20 - 21 ซี่ ต่อความยาว 1 นิ้ว ลักษณะของฟันเลื่อยเป็นแบบเลื่อยฟันโกรก

ใบเลื่อยที่ทำจากโลหะไฮสะปรีค (High Speel Steel) ใบเลื่อยจะเหนียว ไม่เปราะ สามารถบิดให้โค้งงอได้ ใช้ได้นาน เมื่อใบเลื่อยหมดอายุใช้งานสามารถนำไปประยุกต์เป็นใบมีดใช้ลบเหลี่ยมขอบกะลามะพร้าวได้

2.3.1.2 เลื่อยลอ (Back saw) บางครั้งเรียกเลื่อยสันแข็ง ลักษณะคล้ายเลื่อยลันดา เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สั้นและบาง ดังนั้นจึงต้องมีเหล็กประกบยึดสันเลื่อยให้แน่นเป็นเส้นตรง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและใช้งาน ด้ามถือเป็นไม้ขนาดตั้งแต่ 8 - 16 นิ้ว ใบเลื่อยมีฟันลักษณะเหมือนเลื่อยฟันตัด มีฟันตั้งแต่ 13 - 15 ซี่ ต่อความยาว 1 นิ้ว ดังภาพ วัตถุประสงค์ในการประดิษฐ์เลื่อยเพื่อใช้ในการเลื่อยปากไม้ ตัดปากไม้หรือลิ่มไม้ ผ่าเดือย ตัดไม้ชิ้นเล็กๆ และส่วนที่ต้องการความละเอียดเรียบร้อยและประณีต เนื่องจากงานหัตถกรรมกะลามะพร้าวเป็นงานที่ต้องการความประณีต

2.3.1.3 เลื่อยฉลุ (Coping saw) เป็นเลื่อยที่ใช้ในงานตัดเจาะ ฉลุวงกลมและส่วนโค้งต่างๆ ใบเลื่อยมีหลายขนาด ขนาดเล็ก ที่ใช้ในการตัดมีชนาดกว้างตั้งแต่ 1/16 - 1/8 นิ้ว ใบเลื่อยจะยึดติดกับโครงทั้งสองด้าน ด้านหมุนที่อยู่ระหว่างใบเลื่อยกับตัวโครงใบเลื่อยกับตัวโครงเลื่อยมีความลึกตั้งแต่ 5 - 12 นิ้ว ใบเลื่อยมีลักษณะเป็นแบบฟัน โกรก มีทั้งชนิดฟันหยาบและฟันละเอียด ในการตัดและผ่ากะลามะพร้าวควรใช้ฟันเลื่อยชนาด 20 - 32 ซี่ ต่อความยาว 1 นิ้ว การติดใบเข้าโครงต้องให้ปลายฟันชี้ไปทางด้ามมือจับ ทั้งนี้เนื่องจากเลื่อยชนิดนี้มีกรรมวิธีในการเลื่อยต่างกับเลื่อยชนิดอื่นใน ขณะเลื่อยต้องดันเลื่อยไปทางด้านหลัง หรือด้านล่าง แต่ถ้าใช้ปากกาจับกะลาไว้ก็ใส่ใบเลื่อยให้ปลายฟันชี้ออกไปจากมือจับได้

2.3.1.4 เลื่อยฉลุไฟฟ้า (Jig saw) เลื่อยฉลุไฟฟ้า สามารถใช้งานเกี่ยวกับงานไม้ งานกะลามะพร้าว งานพลาสติก มีมอเตอร์ซึ่งมีร่องเปลี่ยนความเร็ว 4 ชั้น และใช้สายพานเป็นรูปตัววี ตัวโครงเลื่อยเป็นรูปโค้ง ที่ปลายมีไฮครอลิกสำหรับทำการดึงใบเลื่อย (Tension sleere) มีแผ่นเหล็กรองรับชิ้นงานขณะกำลังฉลุชิ้นงาน ใบเลื่อยฉลุ ขณะทำงานจะชักขึ้นลงอยู่ตลอดเวลา มีใบเลื่อยฉลุหลายขนาดเดียว

2.3.1.5 สว่าน ที่ใช้ในงานหัตถกรรมกะลามะพร้าว

- สว่านมือ (Hand drill) เป็นอุปกรณ์เจาะรูเพื่อใส่สลักยึดชิ้นส่วน หรือเจาะแตกต่างพื้นผิวของกะลาให้เป็นลวดลายต่างๆ ก่อนใช้เลื่อยฉลุ ฉลุลาย สว่านประกอบด้วยส่วนที่เป็นมือจับ ซึ่งส่วนมากทำด้วยไม้ ส่วนกลางเป็นฟันเฟืองและมือหมุน ส่วนหลายเป็นหัวจับดอกสว่าน ซึ่งทำเป็นลายนูนเพื่อกันลื่น หัวจับจะเป็นแบบ 3 แฉก เพื่อที่จะใช้จับก้านดอกสว่านแบบกลม ให้แน่นอยู่ในที่เป็นดอกสว่านหมุนใช้งาน ดอกสว่านที่นิยมใช้กับสว่านชนิดนี้แบบดอกนำศูนย์ ที่มีขนาดตั้งแต่ 1/16 - 11 - 16 นิ้ว ในงานเจาะแบบก้านตรงธรรม (Straight shank) มีขนาดโตถึง 3/8 นิ้ว ใช้เจาะได้ทั้งไม้และเหล็ก การใช้

สว่านมือต้องนำกะลามะพร้าว ที่จะทำไปยึดกับอุปกรณ์ยึดให้แน่นก่อนที่จะนำดอกสว่านมือมาวางบนจุดที่จะเจาะ แล้วหมุนก้านฟันเฟืองให้หมุนดอกสว่าน ให้เจาะไม้กะลามะพร้าวซึ่งเจาะยาก เพราะไม้กะลามะพร้าวเนื้อค่อนข้างเหนียวผิวสัมผัสกะลามะพร้าวค่อนข้างลื่น ถ้าไม่ถนัดทำยากอาจจะใช้สว่านไฟฟ้า หรือเครื่องเจาะไฟฟ้าช่วยก็ได้

- สว่านไฟฟ้าแบบแท่นเจาะ งานหัตถกรรมกะลามะพร้าวที่ต้องใช้ความละเอียดจะต้องใช้สว่านไฟฟ้าแท่นเจาะขนาดเล็ก เช่น สว่านไฟฟ้าแท่นเจาะขนาดมอเตอร์ ¼ แรงม้า แต่ถ้า จะใช้สว่านไฟฟ้าแท่นเจาะไปร่วมกับอุปกรณ์ที่ดัดแปลงมาสวมใส่หัวจับต้องใช้สว่านไฟฟ้า แบบแท่นเจาะ

2.3.1.6 เครื่องขัด 2 หัว โดยใช้มอเตอร์ขนาด ¼ แรงม้า ¼ แรงม้ามีความเหมาะสมกับงานหัตถกรรมกะลามะพร้าว เพราะสามารถดัดแปลงใช้กับอุปกรณ์อย่างอื่นได้

2.3.1.7 กระดาษทราย ใช้ขัดผิวของกะลา เพื่อให้ผิวของกะลามีความลื่น เป็นมันเงางาม มีสีและริ้วรอยของธรรมชาติ กระดาษทรายที่ใช้มีอยู่หลายเบอร์ด้วยกัน คือ เบอร์ 60 เบอร์ 100 เบอร์ 105 เบอร์ 300 เป็นต้น

2.3.1.8 แลคเกอร์เคลือบเงา ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเสร็จแล้ว ก่อนส่งออกจำหน่ายจะถูกเคลือบเงา เพื่อรักษาความเงางาม ทำให้ผลิตภัณฑ์ดูเงางามเป็นที่สนใจแก่ลูกค้าที่พบเห็นอยู่เสมอ แต่ถ้าเป็นของใช้ในครัวเรือนจะไม่เคลือบแลคเกอร์ เพราะจะทำให้ผู้บริโภคได้รับอันตราย

2.3.1.9 กาวหลอด

2.3.1.10 เครื่องขัดเจียร์ เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีมอเตอร์ ใช้คู่กับกระดาษทรายสำหรับขัดเจียร์ เพื่อเอาผงฝอยที่กะลาออกให้เกลี้ยง ก่อนนำไปต้ม หรือใช้ขัดแต่งรูปทรงของผลิตภัณฑ์ให้ได้รูปทรงที่เหมาะสม

2.3.1.11 ใบเจียร์

2.3.2 วัตถุดิบในการทำงานหัตถกรรมจากกะลามะพร้าว

2.3.2.1 ลูกมะพร้าว ผลมะพร้าวที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์จากกะลามะพร้าว มีอยู่ 2 ขนาด คือ ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก กะลาขนาดใหญ่ใช้ทำจาน ชาม โถข้าว เหยือก ขันน้ำ ฯลฯ

2.3.2.2 ไม้ **ใช้ประกอบทรงของผลิตภัณฑ์** ผลิตภัณฑ์จากกะลามะพร้าวบางอย่างที่มีด้ามจับ เช่น ตะหลิว ทัพพี แก้วน้ำ ถ้วยหู ข้อน เครื่องประดับชิ้นเล็กๆ เป็นต้น

2.3.2.3 เกลือ ถือว่าเป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญมากอย่างหนึ่งในการทำผลิตภัณฑ์จากกะลามะพร้าว เพื่อให้ผลิตภัณฑ์จากกะลามะพร้าวมีความเหนียว ตกไม่แตกง่ายและไม่ขึ้นราเมื่อถูกความชื้น

หัตถกรรมกะลามะพร้าวมีอยู่ทั่วไปทุกภาคของประเทศไทย คนไทยได้นำกะลามาผลิตเป็นงานหัตถกรรม ซึ่งกะลาเป็นวัสดุที่หาง่ายในท้องถิ่น เป็นวัสดุเหลือใช้และเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้

คุ้มค่า และยังช่วยป้องกันการตัดไม้ทำลายป่า เพราะเนื้อไม้จากกะลามีความงดงามตามธรรมชาติ อีกทั้งคุณภาพของกะลาจะไม่ทำปฏิกิริยากับกรด มีความปลอดภัยในการใช้ตักอาหาร องค์ประกอบของการผลิต ขั้นตอนและวิธีการผลิต บ่งบอกถึงความสามารถนำความรู้มาประยุกต์ใช้โดยไม่ใช้เทคโนโลยีระดับสูง สอดแทรกความงดงามและสร้างสรรค์รูปแบบที่ก่อให้เกิดเป็นประโยชน์กับการดำเนินชีวิต พร้อมทั้งช่วยอนุรักษ์ภูมิปัญญาไทยและรักษา “ความเป็นไทย” และความเป็นชาติ และเป็นภูมิปัญญาที่มีส่วนช่วยในการลดภาวะโลกร้อนได้อีกทางหนึ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งและการนำวัสดุธรรมชาติมาใช้ในการผลิตแทนการใช้พลาสติกและการประหยัดพลังงาน ด้วยคุณค่าและความสำคัญของกะลามะพร้าวที่บุคคลนำมาสร้างสรรค์เป็นงานหัตถกรรมกะลามะพร้าวที่มีอยู่ทุกภูมิภาคของประเทศไทย เป็นการสร้างสรรค์ผลงานภูมิปัญญาที่มีคุณค่า อีกทั้งเป็นการอนุรักษ์ศิลปะและวัฒนธรรมของไทยให้คงอยู่สืบไป และเป็นภูมิปัญญาที่สามารถลดภาวะโลกร้อนได้

ต่อมาสถาบันธุรกิจชุมชนร่วมกับศูนย์การศึกษาพิเศษประจำจังหวัดนครศรีธรรมราชได้เข้ามีส่วนร่วมในการส่งเสริมอาชีพซึ่งมีการจัดอบรมการผลิตหัตถกรรมกะลามะพร้าวในช่วงวันที่ วันที่ 19 – 20 ตุลาคม 2553 ณ ศูนย์การศึกษาพิเศษประจำจังหวัดนครศรีธรรมราช โดยมีกลุ่มเป้าหมายเป็นกลุ่มคนพิการในจังหวัดนครศรีธรรมราช หลังจากนั้นทางสถาบันธุรกิจชุมชนได้ให้การสนับสนุนในการทำอาชีพหัตถกรรมกะลามะพร้าวในทุกๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในงานหัตถกรรม ช่องทางในการนำจำหน่ายผลิตภัณฑ์กะลามะพร้าวของคนพิการ ภายหลังจากมีติดตามผลการดำเนินงานกลุ่มผู้พิการทางการเคลื่อนไหวที่มาฝึกอบรมกับสถาบันธุรกิจชุมชนร่วมกับศูนย์การศึกษาพิเศษ งานจากกะลามะพร้าวซึ่งในกระบวนการผลิตชิ้นงานนั้นจะมีฝุ่นจากการเจียร์กะลามะพร้าวเป็นปริมาณที่มาก ซึ่งตอนนี้ทางกลุ่มเองแก้ปัญหาโดยการใช้พัดลมตั้งโต๊ะเป่าฝุ่นออกไปในบริเวณที่ทำการเจียร์กะลามะพร้าว แต่ฝุ่นก็ยังคลุ้งกระจายไปทั่วในบริเวณอื่น เช่น ในบ้าน และสิ่งของเครื่องใช้ต่างๆ เป็นต้น หากจำเป็นจะต้องมีการเก็บเศษผงฝุ่นเหล่านั้นกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตต่อไปก็เป็นการยากที่จะเก็บ เพราะมีการปนเปื้อนด้วยเศษทราย และวัสดุอย่างอื่น และที่สำคัญผงฝุ่นเหล่านั้นหากมีการเข้าไปสะสมในร่างเป็นปริมาณมากก็จะทำให้สุขภาพแย่จนถึงขั้นเสียชีวิตได้

ทางผู้วิจัยจึงมองเห็นปัญหาและความสำคัญตรงนี้ จึงได้ทำการประดิษฐ์คิดค้น ไซโคลนดักฝุ่นจากการเจียร์กะลามะพร้าวขึ้นและให้มีความต้องที่สอดคล้องและเหมาะสมกับการใช้งานมากที่สุดและราคาที่ไม่แพงมากนัก เพื่อให้ทางกลุ่มผู้ผลิตชิ้นงานจากกะลามะพร้าวสามารถเข้าถึงได้โดยที่เขาไม่เดือดร้อน

ไซโคลนดักฝุ่นตัวนี้อาศัยหลักการ Flow ของอากาศในปริมาณที่มากพอที่จะดึงฝุ่นจากบริเวณที่ทำการเจียร์ชิ้นงานเพื่อนำเข้าเก็บไว้ใน Cyclone และยังสามารถนำฝุ่นที่อยู่ใน Cyclone มาใช้ในกระบวนการผลิตได้ต่อไปโดยไม่มีสิ่งปนเปื้อน

2.3.3 ขั้นตอนการผลิต ผลิตภัณฑ์จากกะลามะพร้าว [19]

รูปที่ 2.10 แสดงขั้นตอนการผลิต ผลิตภัณฑ์จากกะลามะพร้าว

* หมายเหตุ ผลิตภัณฑ์ทุกประเภทจะต้องผ่านขั้นตอน ที่ 1 - 3 การทำขั้นตอนที่ 5 - 9 ขึ้นอยู่กับแบบและประเภทของผลิตภัณฑ์

ขั้นตอนที่ 1 คัดเลือกขนาดของผลกะลามะพร้าวที่มีความเหมาะสมกับชิ้นงาน

(a)

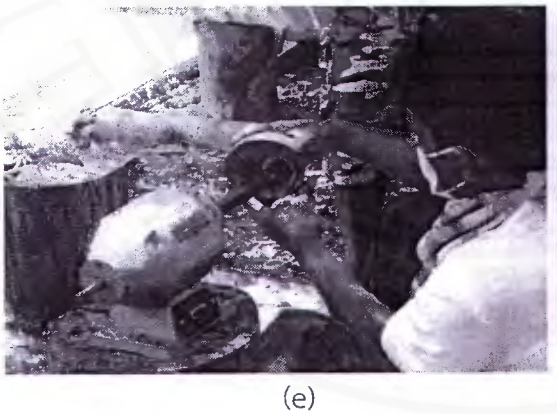
(b)

ขั้นตอนที่ 2 แกะเนื้อมะพร้าวในกะลาออก

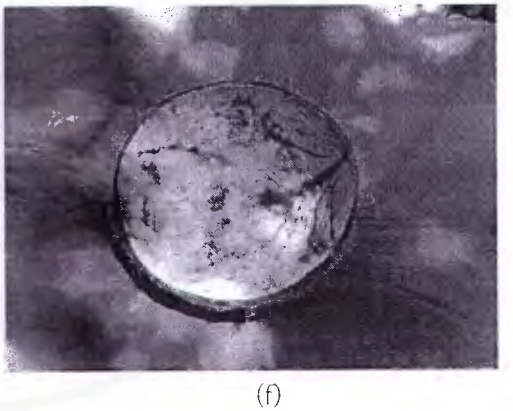
(c)

(d)

ขั้นตอนที่ 3 เจียร์ผิวกะลาด้านนอกและในให้เรียบ



(e)



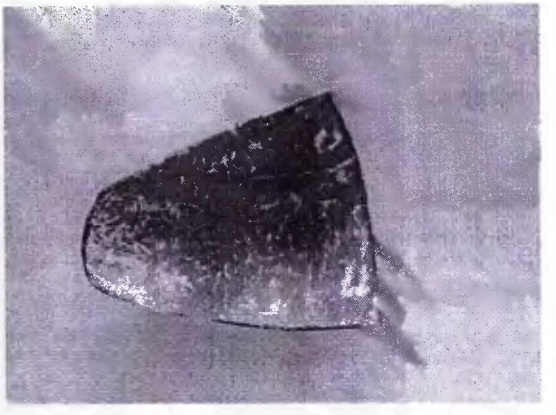
(f)

(g)

(h)

ขั้นตอนที่ 4 เตรียมชิ้นส่วนสำหรับติดแบบโดยการตัดกะลาออกเป็นชิ้นส่วน

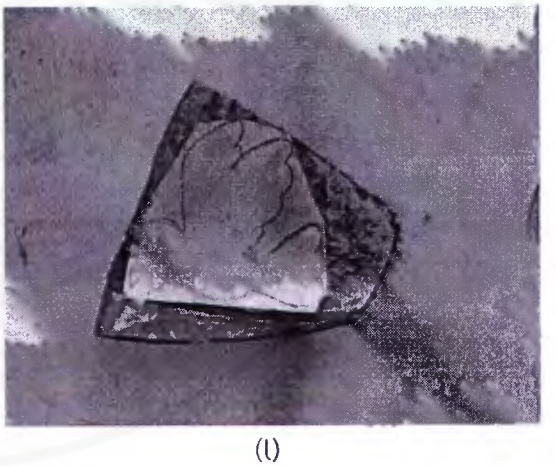
(i)



(j)

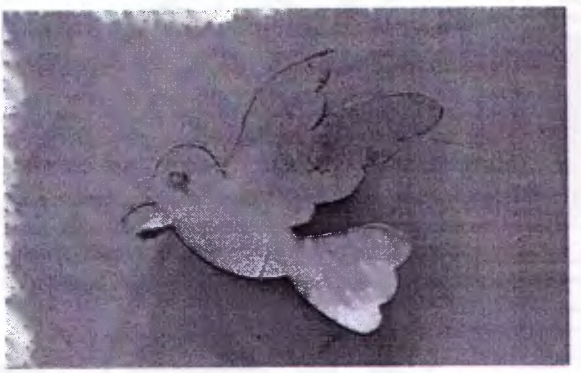
ขั้นตอนที่ 5 แปะแม่แบบลงบนผิวด้านในของกะลา

(k)



(l)

ขั้นตอนที่ 6 ใช้เลื่อยฉลุกะลาตามแม่แบบ



(k)

(l)

ขั้นตอนที่ 7 ลอกแม่แบบออกโดยการนำไปแช่น้ำ

(m)

(n)

ขั้นตอนที่ 8 แกะแม่แบบออก

(o)

ขั้นตอนที่ 9 นำมาประกอบเป็นรูปแบบ

(p)

(q)

รูปที่ 2.11 แสดงขั้นตอนที่ 1-9 ของผลิตภัณฑ์จากกะลามะพร้าว

ฝุ่นละอองที่เกิดในขั้นตอนการขัดผิวกะลามะพร้าว (ขั้นตอนที่ 3) เป็นปัญหาหนึ่งที่ก่อให้เกิดความรำคาญ สภาวะความเครียดทางอารมณ์และสมาธิ ซึ่งจะส่งผลต่อความปราณีตของผลิตภัณฑ์ และผลกระทบในระยะยาวนั้นฝุ่นจะมีผลต่อระบบทางเดินหายใจและสุขภาพอนามัยของคนพิการ

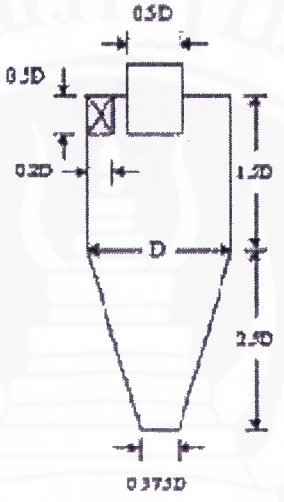
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พิบูรณ์ จริยาธนาพล (2548) ได้ทำการวิจัย การนำระบบไซโคลนมาใช้เพื่อดักวัตถุดิบนำกลับมาใช้ใหม่ และลดปัญหาการอุดตันในระบบท่อ สำหรับการเทวัตถุดิบในสภาวะสุญญากาศ พบว่า การขนถ่ายวัตถุดิบของแข็งขนิดผงจะทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นวัตถุดิบได้ การป้องกันคือการติดลมดูดฝุ่น ซึ่งหน่วยหรืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการแยกฝุ่นนั้นมีมาก แต่ที่มีราคาถูกและง่ายต่อการบำรุงรักษาคือ ไซโคลน ไซโคลนจึงถูกนำมาทดลองใช้เพื่อแยกฝุ่นที่เกิดจากขนถ่ายวัตถุดิบในการทดลองครั้งนี้ เพื่อดูประสิทธิภาพในการดักฝุ่น ความสามารถในการลดปัญหาเรื่องฝุ่นและปริมาณฝุ่นวัตถุดิบที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้มากน้อยเท่าใด ในการทดลองนี้ยังเพิ่มปัจจัยใหม่คือ การหมุนของตัวไซโคลน โดยหมุนสวนทางกับการหมุนของของไหลในตัวไซโคลน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างตัวไซโคลนที่อยู่นิ่ง กับตัวไซโคลนที่หมุนสวน

ทางกับการไหลของของไหล ซึ่งผลสรุปได้คือ ประสิทธิภาพลดลงเล็กน้อย แต่ความสะอาดภายในตัวไซโคลนดีขึ้น ประสิทธิภาพที่ลดลงเนื่องจาก ถ้ามีการหมุนของตัวไซโคลน จะทำให้ขอบเขตการไหลแบบลามินาร์ภายในตัวไซโคลนนั้นถูกทำลาย และมีการข้ามขั้นเกลียวของไซโคลน ซึ่งทำให้การแยกอนุภาคออกจากของไหลไม่ดี เมื่อเทียบกับการไหลเป็นลามินาร์ที่แบ่งแยกขอบเขตชั้นเกลียวที่คงที่ [7]

นิรุต ปัญญาสิทธิ์ (2543) ได้ทำการวิจัย การศึกษาการออกแบบทดสอบและปรับปรุงเครื่องดักฝุ่นแบบเปียกชนิดหอแผ่นปะทะ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการออกแบบทดสอบ และพัฒนาเครื่องดักฝุ่นแบบเปียกชนิดหอแผ่นปะทะ ฉีดพ่นน้ำโดยมีความสูง 12 เมตร และพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 64 ตารางเมตร เครื่องดักฝุ่นนี้ทำหน้าที่กำจัดฝุ่นในแก๊สเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ชานอ้อย ในหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำขนาด 250 ตันไอน้ำต่อชั่วโมง ในการทดสอบได้ทำการศึกษาอัตราส่วนน้ำต่อแก๊สเสียและช่องว่างของแผ่นปะทะมีผลต่อความดันลดของเครื่องกำจัดฝุ่น, ประสิทธิภาพรวมในการดักเก็บอนุภาคและมลสารชนิดต่าง ๆ ผลสรุปของงานวิจัยนี้ คือ ความดันลดของแก๊สเสียผ่าน เครื่องดักฝุ่นแบบเปียกชนิดหอแผ่นปะทะจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของน้ำต่อแก๊สเสียเพิ่มขึ้นโดยความดันลดของเครื่องอยู่ในช่วง 15-140 มิลลิเมตรน้ำ สำหรับช่องว่างแผ่นปะทะเท่ากับ24 ตารางเมตร และ 5-117 มิลลิเมตรน้ำ สำหรับช่องว่างแผ่นปะทะเท่ากับ36 ตารางเมตร และประสิทธิภาพรวมในการกำจัดอนุภาคจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของน้ำต่อแก๊สเสียเพิ่มขึ้นโดยประสิทธิภาพสูงสุดของเครื่องเท่ากับ 90% ที่อัตราส่วนน้ำต่อแก๊ส เท่ากับหรือมากกว่า 7x10-4 ลูกบาศก์เมตรน้ำต่อลูกบาศก์เมตรแก๊สเสีย [8]

Nonhebel,G (1972) กล่าวว่า Cyclone คือ อุปกรณ์ที่ใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม และใช้ในวัตถุประสงค์ เพื่อดักและกำจัดฝุ่น เพื่อทำให้ลมที่ผ่าน cyclone ออกมา มีความสะอาดมากขึ้น, cyclone จะกำจัดฝุ่นได้โดย ลมที่ผ่านทางเข้า ของ cycloneจะมีความเร็วสูง และหมุนวนอยู่ภายใน ทำให้ฝุ่น หรือ สิ่งปลอมปน อาจจะเป็น ฝุ่นไม้ เขม่าต่างๆ เหล่านี้ตกลงสู่ด้านล่างด้วยแรงโน้มถ่วง โดยฝุ่นเหล่านี้จะเก็บใส่ภาชนะ เพื่อนำไปทิ้งต่อไป [9]



รูปที่ 2.12 รูปในการคำนวณเพื่อหาขนาดของ cyclone

High Efficiency (long cone) cyclone มีลักษณะดังรูปด้านบน ในการคำนวณเพื่อหาขนาดของ cyclone ให้เหมาะสมกับอัตราการไหลของลม (ที่มีฝุ่นปะปนมาด้วย) จำเป็นต้องทราบอัตราการไหลของลม (Q : m^3/s) เมื่อทราบแล้วก็นำมาคำนวณด้วยสูตรง่ายๆ ดังนี้

$D = 3.162*(Q / v)^{1/2}$ เมื่อ D = diameter of cyclone ; m

Q = Air flow rate ; m^3/s

v = Air velocity at entrance of cyclone ; m / s

(recommended 15 m/s < v < 27 m/s)

ความเร็ว v ที่ก่อนเข้า cyclone ควรใช้ค่าระหว่าง 15 – 27 m/s เพื่อให้ฝุ่นที่ติดมากับลม มีความเร็วมากพอที่จะเกิดแรงหนีศูนย์เพื่อให้ฝุ่นเหล่านี้ไปกระทบกับผิว cyclone ด้านใน และ ไถลลงมาตามผิวด้านใน ด้วยแรงโน้มถ่วงซึ่งลมสะอาดจะถูกดูดออก เพื่อปล่อยออกสู่บรรยากาศ หรือ นำไปใช้งานต่อไป

Horn และคณะ (2531) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการจับฝุ่นละอองในอากาศด้วยหยดน้ำฝน โดยเน้นเกี่ยวกับลักษณะของหยดน้ำฝน และรูปแบบการไหลของอากาศรอบๆ หยดน้ำฝนโดยอาศัย Solid Particle Model อนุภาคเม็ดของแข็งที่ใช้ในการทดลองนี้คือ Lycopodium Spores ซึ่งมีสองขนาดคือ 3.4 ไมครอน และ 32 ไมครอน แล้วทำการประเมินประสิทธิภาพของการจับฝุ่นด้วยหยดน้ำฝนที่ทราบขนาดและตกลงมาด้วยความเร็วคงที่ [10]

Loftus (1992) ได้ทำการแยกอนุภาคละเอียดออกจากแก๊สเสียจากการเผาไหม้ โดยใช้ Confined Vortex Scrubber (CVS) ซึ่งมีลักษณะเป็นถังทรงกระบอก ประกอบกับทางเข้าไอเสีย 4 ทาง และแก๊สที่บำบัดแล้วจะออกตรงกลางของถังทรงกระบอกทั้งด้านบนและล่าง น้ำจะถูกสเปรย์ผ่านทางด้านข้างของถังระบบนี้ จะเกิดแรงเหวี่ยงภายในสูงมากทำให้เกิดฟองของละอองน้ำภายในขนาดเล็กจำนวนมากเป็นการเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างแก๊สกับของเหลวเพิ่มมากขึ้น และทำให้เกิดแรงเฉื่อย ผลที่ได้ คือ อนุภาคละเอียด จะถูกกำจัดได้มากขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคเพิ่มขึ้นถึง 99.5 % สำหรับอนุภาคขนาด 3 ไมครอน และ 98 % สำหรับอนุภาคขนาด 0.3 ไมครอน [11]

Krames และ Buttner (1994) ได้ทำการศึกษาการแยกอนุภาคโดยการใช้หยดของหลวเป็นตัวจับ จากการศึกษาพบว่ามีประสิทธิภาพสูงสำหรับการจับอนุภาคระดับย่อย (Submicron Particle Size) โดยมีการเลือกใช้เงื่อนไขต่างๆ ที่เหมาะสม เช่น อัตราการไหล เวลาที่อนุภาคอยู่ในไซโคลนสครับเบอร์ ขนาดการกระจายของอนุภาค (Size Distribution) และอัตราการไหลของของเหลว โดยใช้ไซโคลนสครับเบอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้มีพื้นฐานมาจากไซโคลน ซึ่งการจัดฝุ่นนี้จะใช้หยดของเหลวเป็นตัวจับและแยกอนุภาคออกมาโดยจะมีหัว Nozzle เป็นตัวฉีดน้ำแบบอัตโนมัติและจะมีการจัดเรียงตัวภายในไซโคลนโดยทฤษฎีจะอธิบายถึงการทดลองแบบสามเฟส Three Dimensional และที่สภาวะการไหลแบบ Turbulent จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพจะไม่น้อยกว่า 75 เปอร์เซนต์ เมื่อใช้ขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งการวัดจะใช้วิธี Optical Particle Counter และในการวิเคราะห์แบบ Gravimetric Analysis ของน้ำหนักฝุ่นจะคำนวณประสิทธิภาพได้ 99.2 เปอร์เซนต์ โดยใช้การเปรียบเทียบกับมาตรฐาน VDI 2066 [12]

Marshal และคณะ (1995) ได้ทำการศึกษาการแยกอนุภาคฝุ่นพวก SiO_2 ด้วยเครื่องสครับเบอร์ พบว่าตัวแปรที่สำคัญของการควบคุมคือ อัตราการไหลของอากาศ และประเภทของหัวฉีดที่ใช้อยู่ ซึ่งจากการทดลองใช้อัตราการไหลของอากาศที่ 2.48 , 1.84, 1.42 และ 1.27 m3/min และน้ำเข้าระบบที่ 5.7 L/min ทำให้ประสิทธิภาพของการกำจัดอยู่ที่ 85 – 87 % [13]

Kim และคณะ (2001) ได้ทำการศึกษาการกำจัดฝุ่นโดยใช้ Gravitational Wet Scrubber โดยจะพิจารณาถึงกลไกในการกำจัดฝุ่นซึ่งได้แก่ กลไกการแพร่ กลไกการสกัดกั้น กลไกการตกกระทบด้วยแรงเฉื่อย ซึ่งจากการทดลองนี้พบว่า กลไกการแพร่และกลไกการตกกระทบด้วยแรงเฉื่อยเป็นกลไกหลักในการกำจัดฝุ่นในระบบนี้ สภาวะที่เหมาะสมของระบบนี้คือ ที่ความเร็วตกอิสระของหยดน้ำที่ต่ำๆ ขนาดของหยดน้ำเล็กๆ และอัตราส่วนระหว่างของเหลวและแก๊สที่สูงๆ และพบว่าระบบนี้จะมีประสิทธิภาพดีในการกำจัดฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 1 μm จำนวนมากๆ ได้ [14]

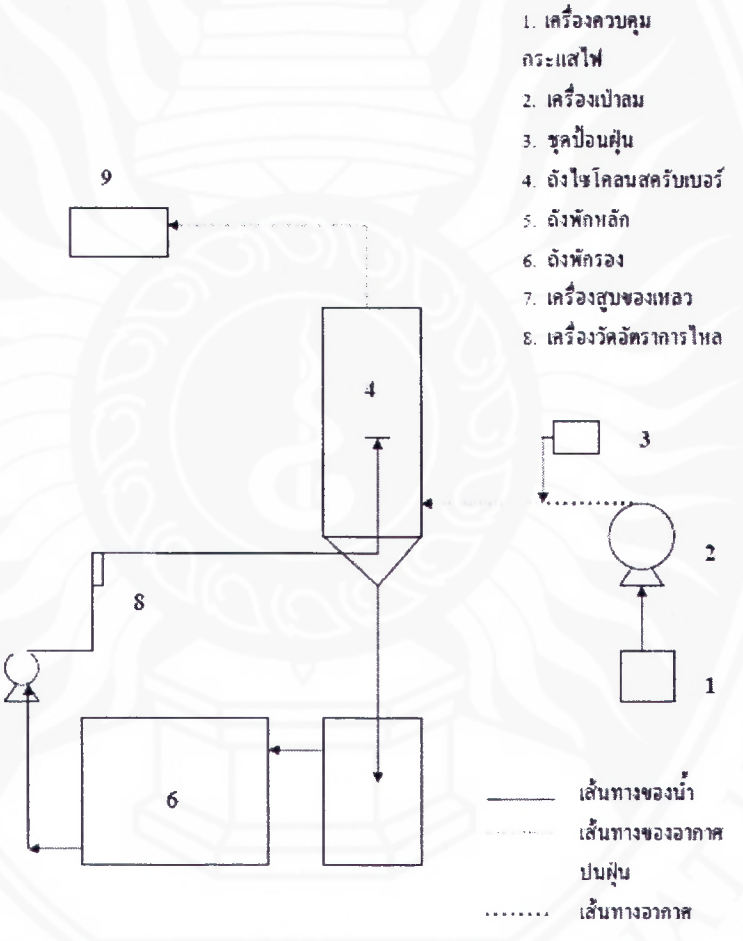
สัมพันธ์ โฆษิตผล (2538) ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องสครับเบอร์ ดักแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์แบบไซโคลน โดยขณะใช้งานสารดูดซึมจะถูกฉีดลงในแนวดิ่งสวนกับแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ไหลวนขึ้นมาในลักษณะหมุนวน โดยใช้น้ำ ปูนขาว แมกนีเซียมออกไซด์ โซเดียมซัลไฟด์และแอมโมเนียเป็นตัวดูดซับตามลำดับ พบว่า แอมโมเนียให้ประสิทธิภาพสูงสุดคือ 95 % ในขณะที่สารอื่น เช่น ปูนขาว แมกนีเซียมออกไซด์ และ โซเดียมซัลไฟด์จะให้ประสิทธิภาพที่ประมาณ 73% นอกจากนี้ยังพบว่าหากเปลี่ยนขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางหัวกระจายน้ำเป็น ขนาด 1.6 มิลลิเมตรจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็น 40.7 % และขนาด 0.8 มิลลิเมตร ให้ประสิทธิภาพการกำจัดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงสุดที่ 57.3% โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม [15]

ทรงวุฒิ ศรีสว่าง (2540) ได้ทำการศึกษาการกำจัดเถ้าลอยด้วยเครื่องสครับเบอร์แบบหมุนวนเพื่อใช้ในการกำจัดฝุ่นละอองในไอเสียจากการเผาไหม้ จากการทดลองพบว่า อัตราส่วน L/G ที่สูงขึ้น อัตราการปล่อยเถ้าลอยในปริมาณที่ต่ำ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูหัวกระจายน้ำ ที่เล็กลงประสิทธิภาพการกำจัดของเครื่องสครับเบอร์จะเพิ่มขึ้น จาก 78.2 % เป็น 97.2 % จากการทดลองพบว่า ที่อัตราส่วน L/G เท่ากับ 10 l/m_3 อัตราการป้อนเถ้าลอยเข้าเครื่องสครับเบอร์ที่ 2.8 กรัมต่อวินาที และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูหัวกระจายน้ำ 0.5 มิลลิเมตร จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้สูงสุดคือ 97.2 % และขนาดของอนุภาคที่ถูกกำจัดได้มีขนาดมากกว่า 5 ไมครอนขึ้นไป [16]

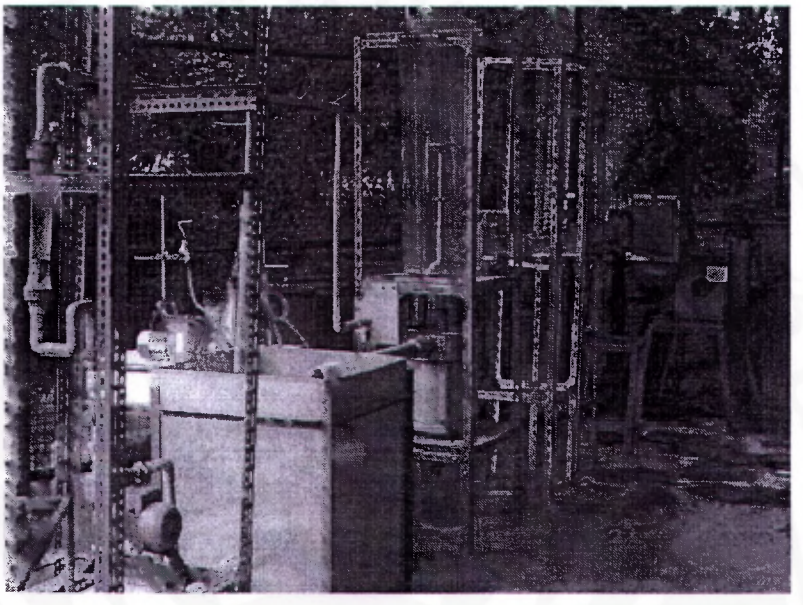
พงษ์พันธุ์ อุทัยพันธุ์ (2542) ได้ทำการศึกษาถึงตัวแปรกระบวนการที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นโดยตาข่ายเปียก อันได้แก่ ความเข้มข้นฝุ่น ความเร็วลมปรากฏที่บริเวณด้านหน้าของตาข่ายเปียก อัตราการไหลของน้ำที่เคลือบผิวตาข่าย และชนิดของตาข่าย (ตาข่ายมุ้งลวด และตาข่ายไนลอน) นอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึง อิทธิพลของอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดต่อประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นของตาข่าย ทั้งกรณีตาข่ายแห้งและกรณีตาข่ายเปียก รวมถึงศึกษาลักษณะสมบัติของฝุ่นที่ใช้ในการทดลองและภาระฝุ่นรวมที่ทางเข้าของเครื่องจับฝุ่นด้วยตาข่ายเปียก อนึ่งตาข่ายไนลอนจะมีประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นดีกว่าตาข่ายมุ้งลวดอย่างเห็นได้ชัด และประสิทธิภาพของตาข่ายทั้งสองชนิดจะใกล้เคียงกันในกรณีตาข่ายเปียก ในแง่ของภาระฝุ่นรวมที่ทางเข้า พบว่า ประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นของตาข่ายมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยที่ตาข่ายไนลอนจะมีประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นดีกว่าตาข่ายมุ้งลวด [17]

สามารถ พรเจริญ (2546) ได้ทำการออกแบบและสร้างอุปกรณ์จับเก็บฝุ่นต้นแบบชนิดไซโคลนสครับเบอร์และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการจับเก็บฝุ่น โดยไซโคลนสครับเบอร์ที่สร้างขึ้นประกอบด้วย สครับเบอร์ ที่มีลักษณะเป็นคอลัมน์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 30 เซนติเมตร สูง 1 เมตร ทางเข้าของอากาศปนฝุ่น มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 15 เซนติเมตร สูง 7.5 เซนติเมตร ทางออกของอากาศปนฝุ่นมีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ภายในตัวสครับเบอร์มีแกนกลางซึ่ง

ทำการติดตั้งหัวฉีดไว้ นอกจากนี้ยังมีระบบป้อน อากาศ น้ำ, ฝุ่น และระบบเก็บตัวอย่างอากาศ และพบว่าเมื่อ ค่าอัตราส่วน L/G สูงขึ้น ความเข้มข้นของฝุ่นเถ้าลอยต่ำ ๆ และที่จำนวนหัวฉีดที่มากขึ้น ประสิทธิภาพเครื่องไซโคลนสครับเบอร์จะสูงขึ้น สภาวะการทำงานที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด คือ อัตราส่วน L/G เท่ากับ 4.4 l/m$_3$ ที่จำนวนหัวฉีดเท่ากับ 16 หัว ความเข้มข้นของฝุ่น ที่ทางเข้า เท่ากับ 2 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นเถ้าลอยของเครื่องสครับเบอร์เท่ากับ 99 เปอร์เซ็นต์ ที่ขนาดอนุภาคของฝุ่นเถ้าลอยมากกว่า 1.2 ไมครอน สรุปได้ว่าจำนวนและตำแหน่งของหัวฉีดจะมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นเถ้าลอยที่ความเข้มข้นของฝุ่นที่ต่ำๆ [5]



รูปที่ 2.13 แผนภาพระบบการทำงานเครื่องไซโคลนสครับเบอร์



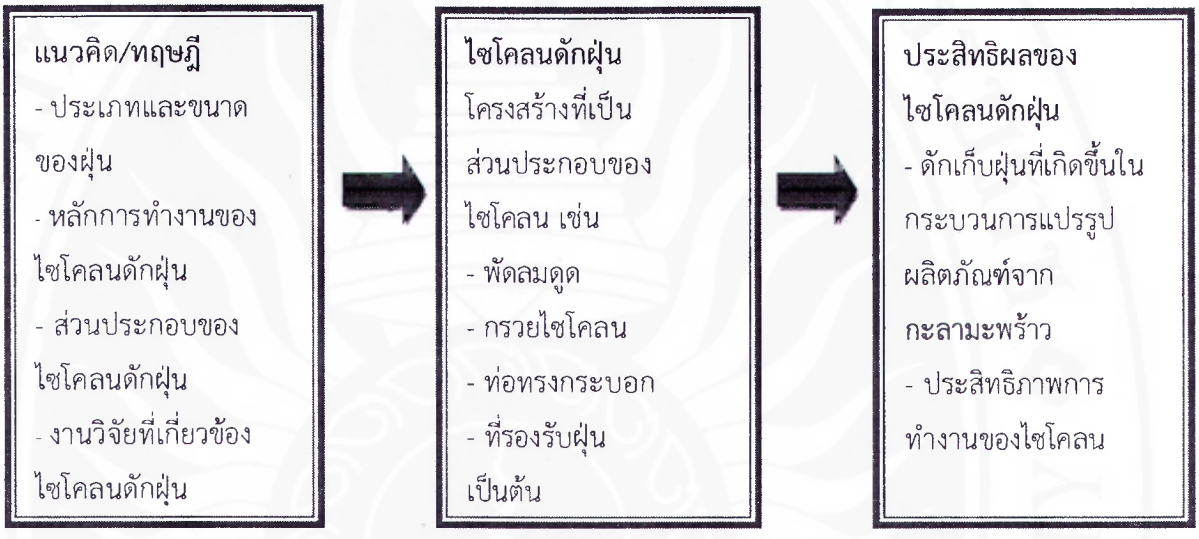
รูปที่ 2.14 อุปกรณ์จับเก็บฝุ่นต้นแบบชนิดไซโคลนสครับเบอร์

ธัญลภัส วิสุทธ์ (2547) ได้ทำการสร้างและทดสอบอุปกรณ์การจับฝุ่นชนิดไซโคลนสครับเบอร์ โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการจับฝุ่นของไซโคลนสครับเบอร์ โดยอาศัยหลักการจับฝุ่นขนาดเล็กด้วยหยดละอองน้ำและใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางมาแยกหยดน้ำออกจากกระแสก๊าซ พบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการจัดเก็บฝุ่นคือ ความเร็วลมทางเข้าไซโคลนสครับเบอร์ เนื่องจากความเร็วลมทางเข้าส่งผลต่อการลอยหนีของหยดละอองน้ำที่ใช้จับฝุ่นที่ทางออกของก๊าซสะอาด และส่งผลต่อความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างความเร็วก๊าซกับความเร็วของน้ำจากหัวฉีดภายในไซโคลนสครับเบอร์ และตัวแปรที่สำคัญถัดไปจากมากไปน้อย คือ การซ้อนทับของหยดละอองน้ำจากหัวฉีด ระยะห่างจากหัวฉีดถึงทางออก๊าซสะอาด ค่าอัตราส่วนน้ำต่ออากาศ ความเข้มข้นฝุ่น อีกทั้งยังพบว่าเฮดเดอร์แบบ 4 หัวฉีด เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการจับเก็บฝุ่นของไซโคลนสครับเบอร์เมื่อเทียบกับเฮดเดอร์ชนิดอื่นๆ [4]

2.5 สมมุติฐานและกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

โครงงานนี้มีจุดประสงค์เพื่อสร้างไซโคลนดักฝุ่นสำหรับเก็บฝุ่นที่เกิดจากการขัดผิวของกะลามะพร้าวในงานหัตถกรรม เพื่อแก้ปัญหาด้านสภาวะแวดล้อมในการทำงานที่สำคัญอย่างหนึ่งที่เป็นอุปสรรคก่อความรำคาญแก่คนพิการและผลอันตรายต่อสุขภาพอนามัยในระยะยาว ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้จะ

ออกแบบและสร้างไซโคลนและทดลองนำเครื่องที่ผลิตขึ้นนั้นไปใช้ในศูนย์พัฒนาอาชีพคนพิการ ณ ศูนย์การศึกษาพิเศษประจำจังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งมีแนวความคิดในการที่จะช่วยลดปัญหาดังกล่าว อีกทั้งชาวบ้านยังนำไปประยุกต์ใช้เครื่องไซโคลนดักฝุ่นจากกะลามะพร้าวในการดักจับฝุ่นที่เกิดจากสิ่งอื่นๆ ได้อีกด้วย



รูปที่ 2.15 กรอบแนวคิดในการดำเนินงานวิจัย