

## บทที่ 2

### หลักการ ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เครื่องปั้นดินเผาชนิดเอิร์ทเทนแวร์

เครื่องปั้นดินเผา [6] หมายถึง สิ่งที่ทำจากดิน แร่ หิน ผ่านวิธีการผลิตที่ใช้ความร้อนหรือ การเผาเพื่อให้มีความแข็งแรงและสามารถนำไปใช้งานได้ เช่น เครื่องถ้วยชาม กระเบื้อง อิฐ ก่อสร้าง เครื่องตกแต่งบ้าน เครื่องสุขภัณฑ์ เครื่องประดับ และเครื่องใช้ในครัวเรือน โดยมีวัตถุดิบ คือ ดิน หิน และสารจำพวกซิลิเกต

##### 2.1.1 ผลิตภัณฑ์เอิร์ทเทนแวร์ [7]

เป็นผลิตภัณฑ์ที่เผาในอุณหภูมิค่าประมาณ 800 - 1,150 °C ลักษณะการปั้นค่อนข้าง หนา เนื้อดินมีความพรุนตัวสูง เปราะแตกหักหรือบิ่นได้ง่ายเมื่อกระทบกัน ผลิตภัณฑ์ที่เผาใน อุณหภูมิค่าจุดซึมน้ำได้สูง 10 – 15% เสี่ยงเคาะไม่ดังกังวานเนื่องจากเนื้อดินไม่แข็งแรง ดินหลัง การเผามีลักษณะทึบแสง มีทั้งสีแดงอิฐ สีน้ำตาล หรือ สีครีม เหมาะสำหรับการทำผลิตภัณฑ์ของตกแต่ง หรืองานศิลปะโดยสามารถจำแนกการผลิตได้หลายประเภท คือ เอิร์ทเทนแวร์จากดินธรรมชาติ ชนิดเดียว เอิร์ทเทนแวร์เนื้อละเอียด ทัลค์เอิร์ทเทนแวร์ วิตเทรียสเอิร์ทเทนแวร์ ไคโลไมท์เอิร์ทเทนแวร์ อลูมินาเอิร์ทเทนแวร์

เอิร์ทเทนแวร์จากดินธรรมชาติชนิดเดียว ใช้ดินแดงที่หาได้ในท้องถิ่นเป็นวัตถุดิบหลัก ในเนื้อดิน โดยไม่มีส่วนประกอบของวัตถุดิบอื่น บางครั้งมีทรายและดินเชื้ออยู่ด้วยเพื่อลดการหดตัว ของเนื้อดิน ซึ่งปกติจะเตรียมจากดินในท้องถิ่นเพียงชนิดเดียวไม่ต้องล้าง ทำเป็นผลิตภัณฑ์ พวกกระถางต้นไม้ หม้อน้ำ อิฐก่อสร้าง กระเบื้องดินเผา กระเบื้องมุงหลังคาและกระเบื้องเคลือบ อลูมินาต่ำ เป็นต้น

##### 2.1.2 องค์ประกอบในดิน [7]

ดินแดงทั่วไป (Earthenware clay) เป็นดินที่ขุดพบได้ง่ายทั่วไป มีอยู่ในทุกท้องถิ่น มี ปริมาณมากถึง 80% ของดินทั้งหมดบนผิวโลก เป็นดินที่มีแร่เหล็กเจือปนอยู่สูง อุณหภูมิในการเผาต่ำ ไม่สามารถเผาในอุณหภูมิสูงได้ ถ้าเผาเกิน 1,150°C ดินจะยุบตัวได้ง่าย ลักษณะของดินที่ขุดได้เป็น ดินเนื้อละเอียด มีสีส้ม สีแดง หรือสีเหลืองก่อนเผา หลังการเผามีสีเหลืองหรือสีแดงดินแดง ที่ใช้ ทำผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้านและทำอิฐจัดเป็นดินที่มีคุณภาพต่ำ ซึ่งรวมทั้งดินดานหรือ ดินตะกอนด้วย ดินแดงและดินดานต่างมีองค์ประกอบทางเคมีที่สลับซับซ้อนและมีแร่ธาตุเจือ ปนอยู่มากกว่าดินขาว นอกจากจะมีแร่แคลิไนท์แล้ว ยังประกอบด้วยแร่ไมกา ควอตซ์ เฟลด์สปาร์

ซัลเฟต เหล็กออกไซด์ เหล็กไฮดรอกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ โซเดียมออกไซด์ และโพแทสเซียมออกไซด์ ซึ่งมีปริมาณมากน้อยไม่เท่ากันทำให้สีภายหลังการเผาแตกต่างกันไป

## 2.2 การแยกโดยใช้ตะแกรงร่อน [7]

ตะแกรงร่อน (Sieve) ทำด้วยทองเหลืองหรือสแตนเลสมีหลายขนาด รูถี่ละเอียดและรูห่าง โดยทั่วไปนิยมนับเป็นรูต่อ 1 ตารางนิ้ว หรือเรียกว่า เมช (Mesh)

ตาราง 2.1 มาตรฐานของตะแกรงร่อนตามอนุกรม  $\sqrt{2}$  [8]

U.S. Standard ( $\mu\text{m}$ )	ASTM	Tyler Equivalent (เมช)
500	No. 35	32
355	No. 45	42
250	No. 60	60
180	No. 80	80
125	No. 120	115
90	No. 170	170
63	No. 230	250
45	No. 325	325

การใช้ตะแกรงร่อนสามารถใช้ได้ทั้งวิธีเปียกและวิธีแห้ง แต่การร่อนวัสดุที่มีความละเอียดมาก มักนิยมใช้วิธีเปียกเพื่อลดปริมาณฝุ่น

ตัวอย่างขนาดอนุภาคของวัสดุที่จำหน่ายทั่วไปคือ

หินแก้วและหินฟันม้า มีขนาดเฉลี่ย ผ่านตะแกรง 100 เมช

ดินขาวล้าง มีขนาดเฉลี่ย ผ่านตะแกรง 120 เมช

ดินเหนียวขาวล้าง มีขนาดเฉลี่ย ผ่านตะแกรง 200 เมช

## 2.3 การแยกด้วยสมบัติแม่เหล็ก

กระบวนการแยกด้วยแม่เหล็กเป็นกระบวนการที่แยกอนุภาคที่มีสมบัติทางแม่เหล็กแตกต่างกันออกจากกัน [1] โดยอาศัยพลังงานจากสนามแม่เหล็กดึงดูดอนุภาคที่มีสมบัติทางแม่เหล็ก เพื่อเบี่ยงเบนทิศทางการเคลื่อนที่ หรือทำให้อนุภาคติดอยู่กับอุปกรณ์ช่วยแยก อนุภาคที่ถูกป้อนผ่านแม่เหล็ก อนุภาคที่ไม่มีสมบัติทางแม่เหล็กก็จะผ่านไป ส่วนอนุภาคที่มีสมบัติทางแม่เหล็กก็จะติดที่ผิวของอุปกรณ์แล้วถูกแยกออกไปอีกส่วน

วัสดุที่ใช้ในการผสมดินจำเป็นต้องแยกเอาแร่เหล็กออกเพื่อไม่ให้เกิดจุดของสนิมเหล็กหลังการเผา โดยเฉพาะเนื้อดินที่มีความขาวทุกชนิดไม่ต้องการจุดดำหรือจุดดำหนิของแร่เหล็ก เครื่องแยกเหล็กประกอบด้วยแม่เหล็กกำลังสูงทำการดูดเศษผงเหล็กที่ติดมากับวัสดุ

ในกระบวนการเตรียมวัตถุดิบสำหรับเครื่องปั้นดินเผาชนิดเอร์ทเทนแวร์นั้นเป็นการเตรียมแบบแห้ง ทำให้ต้องเลือกใช้กระบวนการแยกด้วยแม่เหล็กในระบบที่มีตัวกลางแบบแห้ง การแยกองค์ประกอบที่ทำให้เกิดตำหนิจุดดำในวัตถุดิบนี้เป็นการกำจัดสารประกอบที่ส่งผลเสียต่อผลิตภัณฑ์ โดยต้องใช้สนามแม่เหล็กแบบเข้มที่มีความเข้มสูงถึง 10,000 เกาส์ เนื่องจากองค์ประกอบที่ทำให้เกิดตำหนิจุดดำนั้นมีสมบัติทางแม่เหล็กแบบอ่อน (Paramagnetic)

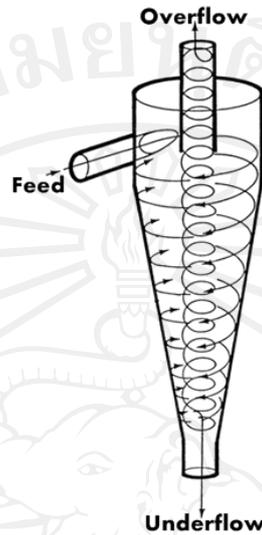
## 2.4 การแยกโดยใช้ไซโคลน

ไซโคลนเป็นเครื่องมือสำหรับแยกอนุภาคออกจากอากาศโดยใช้แรงหนีศูนย์กลาง ซึ่งเกิดจากกระแสหมุนวนทำให้อนุภาคที่มีขนาดใหญ่ถูกเหวี่ยงไปยังผนังของไซโคลน แล้วแรงโน้มถ่วงจะทำให้อนุภาคจะลงไปยังถังเก็บฝุ่นทางด้านล่าง ในงานอุตสาหกรรมมีการใช้เครื่องแยกแบบไซโคลนเพื่อเป็นตัวดักจับอนุภาค เพราะเครื่องแยกแบบไซโคลนนั้นมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและค่าดูรักษาต่ำ ใช้พลังงานน้อย โดยเครื่องแยกแบบไซโคลนมีลักษณะเป็นถังกลวง ด้านล่างเล็กกว่าด้านบน มีลักษณะคล้ายกรวยแหลมอยู่ด้านล่าง แล้วใช้แรงเหวี่ยงเพื่อแยกของแข็งที่มีขนาดอนุภาคหรือความหนาแน่นแตกต่างกันออกจากกันดังรูป 2.1 อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าหรือความหนาแน่นมากกว่าจะมีน้ำหนักมาก ทำให้มีแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางสูงและถูกเหวี่ยงออกไปได้ไกลกว่าอนุภาคที่มีขนาดเล็กและความหนาแน่นต่ำ อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าหรือความหนาแน่นมากกว่าไหลออกด้านล่างของเครื่อง ส่วนอนุภาคที่มีขนาดเล็กและความหนาแน่นต่ำจะไหลกลับขึ้นไปในแนวแกนกลางของไซโคลนและไหลออกด้านบน

ในอุตสาหกรรมเซรามิกได้นำเครื่องไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone) [7] ซึ่งเป็นเครื่องแยกแบบไซโคลนที่ใช้น้ำเป็นตัวกลางไปใช้ โดยบดน้ำดินขาวหรือสารที่จะแยกเข้าทางด้านบนด้วยความเร็วสูง สารที่มีขนาดเล็กจะลอยขึ้นด้านบนแล้วไหลออกไปทางด้านข้างไปสู่ถังเก็บ ส่วนสารที่มีอนุภาคขนาดใหญ่จะตกลงมาทางด้านล่างของกรวยแหลม เครื่องไฮโดรไซโคลนนี้ใช้กันมากในการแยกแร่ดินขาวเพราะเหมาะสม สามารถทำได้รวดเร็วและแยกขนาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ การล้างดินขาวด้วยวิธีนี้ทำได้รวดเร็วกว่าวิธีใช้รางซิกแซกแบบเก่าแต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูงมากขึ้นด้วย

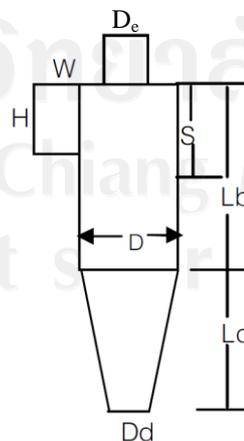
ขนาดอนุภาคที่ไฮโดรไซโคลนสามารถแยกได้จะอยู่ในช่วงระหว่าง 40 – 400  $\mu\text{m}$  แต่เนื่องจากกระบวนการเตรียมวัตถุดิบของเครื่องปั้นดินเผาชนิดเอร์ทเทนแวร์นั้นเป็นกระบวนการแบบแห้ง จึงต้องใช้อากาศเป็นตัวกลางในการแยก ซึ่งเนื้อดินที่สนใจนั้นประกอบด้วยทรายและดิน ซึ่งมีขนาดอนุภาคต่ำกว่าหรือเท่ากับช่วง 150-1000  $\mu\text{m}$  ส่วนอนุภาคมลทินที่ต้องการแยกออกมีความหนาแน่นสูงกว่าทรายและดินและส่วนประกอบที่เป็นดินนั้นส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่า ดังนั้น

จุดวิกฤติในการแยกคือการแยกทรายออกจากอนุภาคมลทินที่มีขนาดเท่ากันด้วยความแตกต่างของความหนาแน่น



รูป 2.1 กระบวนการแยกด้วยไซโคลน [9]

การเปลี่ยนแปลงลักษณะของไซโคลนจะมีผลต่อประสิทธิภาพของไซโคลน การลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลนจะทำให้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการจับอนุภาคขนาดใหญ่ดีขึ้น แต่จะทำให้เกิดการสึกกร่อนของไซโคลนได้มาก ความสูงของไซโคลนที่เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการแยกสูงขึ้น นอกจากลักษณะของไซโคลนแล้ว สถานะที่ใช้ในการแยก ก็ส่งผลต่อประสิทธิภาพการแยกด้วย โดยความแตกต่างของขนาดอนุภาคที่มาก จะทำให้ความแตกต่างของน้ำหนักอนุภาคมากขึ้น และความเร็วลมที่ใช้ในการแยกส่งผลต่อความเร็วของการเคลื่อนที่ของอนุภาค ประสิทธิภาพของการแยกจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่แตกต่างกัน



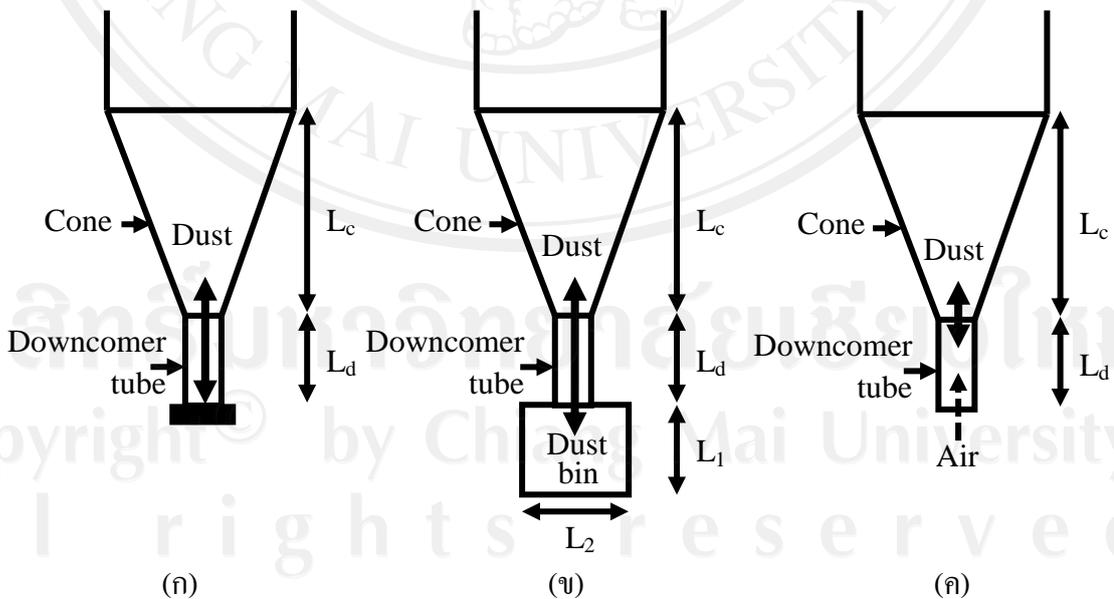
รูป 2.2 ลักษณะของไซโคลน

ตาราง 2.2 มาตรฐานสัณฐานของไซโคลน [10]

	ชนิดของไซโคลน					
	ประสิทธิภาพสูง		ทั่วไป		Throughput สูง	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
ขนาดไซโคลน (D/D)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
ความสูงของทางเข้า (H/D)	0.5	0.44	0.5	0.5	0.75	0.8
ความกว้างของทางเข้า (W/D)	0.2	0.21	0.25	0.25	0.375	0.35
เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของ Vortex finder (D <sub>c</sub> /D)	0.5	0.4	0.5	0.5	0.75	0.75
ความยาวของท่อ Vortex finder (S/D)	0.5	0.5	0.625	0.6	0.875	0.85
ความยาวของตัวไซโคลน (L <sub>b</sub> /D)	1.5	1.4	2.0	1.75	1.5	1.7
ความยาวของโคน (L <sub>c</sub> /D)	2.5	2.5	2.0	2.0	2.5	2.0
เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของ Dust exit (D <sub>d</sub> /D)	0.375	0.4	0.25	0.4	0.375	0.4

ที่มา คอลัมน์ที่ (1) และ (5) = Staitmand,1951; คอลัมน์ที่ (2), (4) และ (6) = Swift, 1969 และคอลัมน์ที่ (3) = Lapple, 1951

#### 2.4.1 การออกแบบ Downcomer tube ของไซโคลน



รูป 2.3 ลักษณะ Downcomer tube ของไซโคลน (ก) Downcomer tube แบบปิด

(ข) Downcomer tube แบบถึงเก็บฝุ่นเส้นผ่านศูนย์กลาง (L<sub>1</sub>) = 0.04 m, ความสูง (L<sub>2</sub>)=0.06 m

(ค) Downcomer tube แบบเปิด

ในการทดลองครั้งนี้เป็นการแยกอนุภาคที่มีช่วงขนาดใหญ่ และการใช้เครื่องแยกแบบไซโคลน ประกอบด้วยไซโคลนแบบที่มี Downcomer tube แบบปิด มีถังเก็บฝุ่น และแบบ เปิด จึงสามารถปรับ Cut size และ Grade efficiency ได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น

#### 2.4.2 ประสิทธิภาพในการแยกของไซโคลน [11,12]

1. Collection efficiency คือ ประสิทธิภาพการแยกอนุภาคของไซโคลน
2. Grade efficiency คือ ประสิทธิภาพการแยกอนุภาคของไซโคลนในช่วงขนาดใดๆ

$$\text{Grade efficiency} = \frac{\text{ปริมาณของอนุภาคที่ผ่านการแยกในช่วงขนาด } x}{\text{ปริมาณของอนุภาคที่ป้อนในช่วงขนาด } x}$$

3. Total efficiency คือ ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการแยกอนุภาคของไซโคลน

$$\text{Total efficiency} = \frac{\sum \eta_x m_x}{M}$$

เมื่อ  $\eta_x$  = Collection efficiency ของอนุภาคในช่วงขนาด x

m = ปริมาณของอนุภาคในช่วงขนาด x (กรัม)

M = ปริมาณของอนุภาคทั้งหมด (กรัม)

4. Cut size หรือ Cut diameter ( $d_{50}$ ) คือขนาดของอนุภาคที่มีอนุภาคร้อยละ 50 ตกลงมาที่ Dust exit และร้อยละ 50 ไหลไปตามกระแสนวนวนขึ้นไปทาง Vortex finder

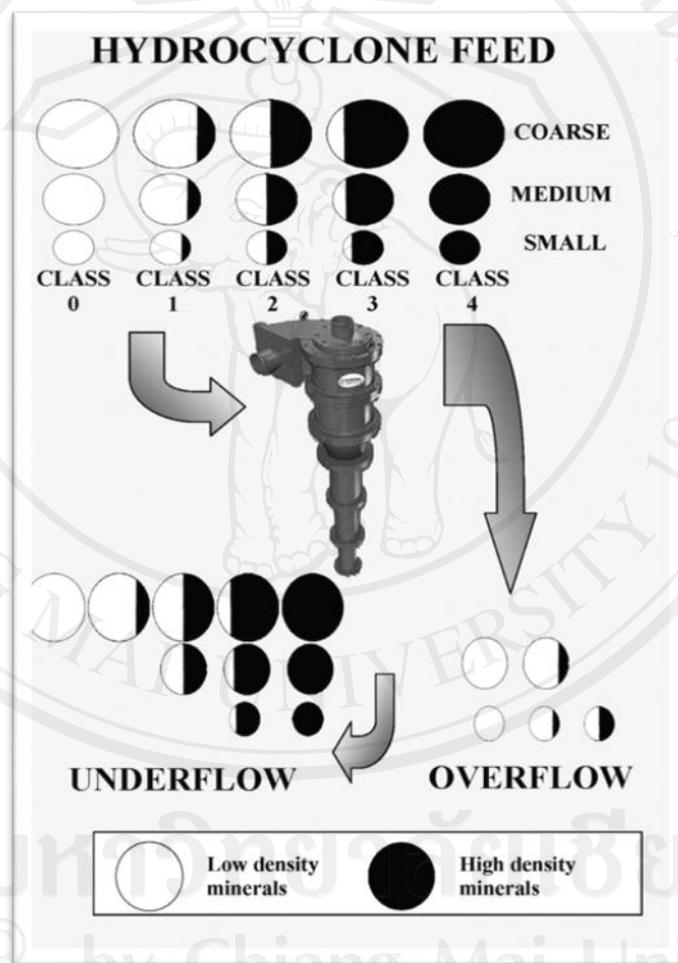
### 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.5.1 การแยกด้วยแม่เหล็ก

Premaratne และ Rowson [13] ได้ทำการวิจัยเปรียบเทียบความสามารถในการแยกไทเทเนียมชนิดอิลเมไนท์ (Ilmenite;  $\text{FeTiO}_3$ ) อะนาทาส (Anatase) และบรูไคท์ (Brookite;  $\text{TiO}_2$ ) ซึ่งมีสมบัติทางแม่เหล็กออกจากทรายทะเลศรีลังกาด้วยการแยกแบบแม่เหล็กชนิด Induced roll และ Disc magnetic โดยใช้ทรายตัวอย่างขนาดเล็กกว่า  $325 \mu\text{m}$  และแม่เหล็กที่มีความเข้ม 2000 - 14000 เกาส์ ซึ่งงานวิจัยนี้มีการวิเคราะห์องค์ประกอบแบ่งตามช่วงขนาด แล้วนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางแร่ ปริมาณไทเทเนียม และเหล็ก ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction; XRD) ทำให้พบว่าทรายทะเลศรีลังกา 71% มีขนาดเล็กกว่า  $325 \mu\text{m}$  และมีไทเทเนียม 99% อยู่ในส่วนนี้

### 2.5.2 การแยกด้วยไซโคลน

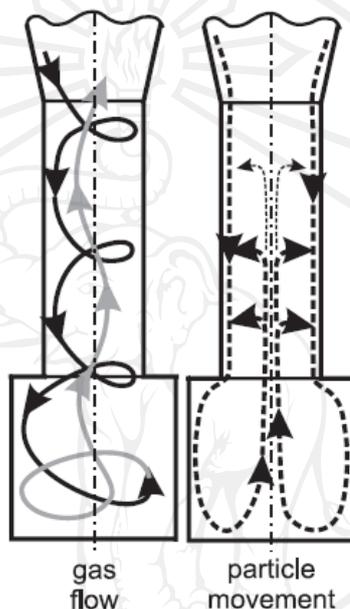
E. Donskoi และคณะ [14] ได้ทำการศึกษาลักษณะของแร่โดยใช้กระบวนการ Scanning electron microscopic energy dispersive X-ray spectroscopy (SEM:EDS) และศึกษาความพรุนตัวของอนุภาค เพื่อใช้ในการทำนายประสิทธิภาพการแยกของไฮดรไซโคลน เนื่องจากอนุภาคที่มีขนาดใหญ่และความหนาแน่นสูงจะเคลื่อนที่ลงมาทางด้านล่างของไซโคลน ส่วนอนุภาคที่มีขนาดเล็ก และ/หรืออนุภาคที่มีความหนาแน่นต่ำ จะเคลื่อนที่เข้าสู่กระแสหมุนวน แล้วเคลื่อนที่ออกทางด้าน Vortex finder ดังรูป 2.6



รูป 2.4 แผนภาพแสดงรูปแบบการแยกด้วยไซโคลน [14]

Obermair และ Staudinger [15] ได้ทำการศึกษาลักษณะของ Dust exit ของไซโคลนต่อประสิทธิภาพของการแยกโดยใช้ไซโคลนที่มีลักษณะของถังเก็บฝุ่นและความยาวของ Downcomer tube แตกต่างกัน พบว่า เมื่อความยาวของ Downcomer tube เพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของการแยกเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดแรงเสียดทานที่ผิวท่อทำให้ความเร็วลดลง และ

ช่วยลดการที่อนุภาคในถังเก็บฝุ่นกลับเข้าไปในไซโคลนอีกครั้ง โดยความยาวของ Downcomer tube ที่เหมาะสมคือครึ่งหนึ่งของความสูงของไซโคลน นอกจากนี้ Fuping Qian และคณะ [16] ยังได้ทำการศึกษาไซโคลนที่มีถังเก็บฝุ่น โดยศึกษาความยาวของ Downcomer tube เช่นเดียวกัน และพบว่าเมื่อความยาวเพิ่มขึ้น Grade efficiency ของการแยกอนุภาคขนาดกลางจะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อไซท้อที่ยาวมาก จะทำให้อนุภาคบางส่วนสะสมอยู่ที่ผิวของ Downcomer tube และเคลื่อนที่กลับเข้าไปยังไซโคลนอีกครั้ง ทำให้ประสิทธิภาพในการแยกลดลง

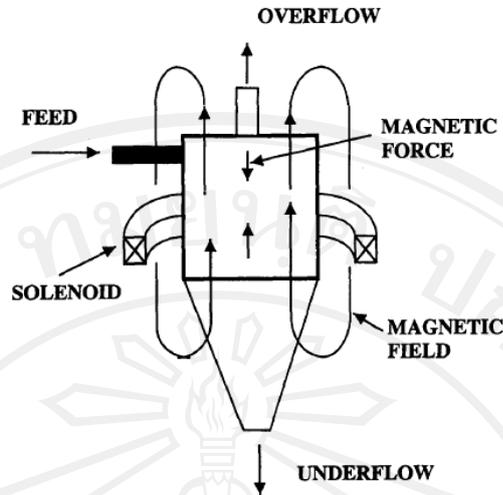


รูป 2.5 การเคลื่อนที่ของก๊าซและอนุภาคบริเวณ Dust exit และถังเก็บฝุ่น [17]

นอกจากผลของแรงลาก และแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของอนุภาคที่ส่งต่อประสิทธิภาพในการแยกแล้ว งานวิจัยของ Derksen J.J. [18] ในปี ค.ศ. 2006 ได้ศึกษาผลของความเข้มข้นของอนุภาคในตัวกลางที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลน และพบว่าเมื่อปริมาณอนุภาคของแข็งในไซโคลนเพิ่มขึ้นจะทำให้กระแสหมุนวนมีความแรงลดลง และยังคงกล่าวอีกว่ากระแสหมุนวนนั้นส่งผลต่อการแยกขนาดของอนุภาคมากกว่าแรงเหวี่ยงและแรงลาก

### 2.5.3 การแยกด้วยวิธีไซโคลนและแม่เหล็ก

กระบวนการแยกด้วยวิธีไซโคลนแม่เหล็กมีหลักการเหมือนกับการแยกด้วยวิธีไซโคลนปกติ แต่มีการเพิ่มความสามารถในการแยกด้วยการเสริมแรงเหวี่ยงจากแรงกระทำระหว่างสนามแม่เหล็กกับอนุภาคที่มีสมบัติทางแม่เหล็ก โดยจะต้องใช้แม่เหล็กติดอยู่บริเวณรอบนอกของไซโคลน ดังรูป 2.6 เพื่อเหนี่ยวนำให้อนุภาคที่มีสมบัติแม่เหล็กเคลื่อนที่เข้าสู่ผนังของไซโคลน ซึ่งจะใช้ความเข้มสนามแม่เหล็กน้อยกว่าการแยกด้วยเครื่องแยกแบบแม่เหล็ก เพราะมีการใช้แม่เหล็กเพื่อเสริมแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเท่านั้น [19]



รูป 2.6 เครื่องแยกแบบไซโคลนแม่เหล็ก [19]

ที่ผ่านมา Premaratne และ Rowson [20] ได้ทำงานวิจัยเพื่อเปรียบเทียบผลของการแยกไทเทเนียมจากทรายทะเลสีรังกาด้วยวิธีไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone) และไฮโดรไซโคลนแม่เหล็ก (Magnetic hydrocyclone) โดยใช้แม่เหล็กถาวรชนิด Nd-Fe-B แบบวงแหวน โดยนำทรายที่มีขนาดต่ำกว่า 325  $\mu\text{m}$  มาบดให้มีขนาดต่ำกว่า 63  $\mu\text{m}$  แล้วนำมาแยกที่ความเข้มข้นอนุภาคในตัวกลาง 10 กรัม/ลิตร ด้วยอัตราการป้อนต่างๆ โดยที่ความดันสูงจะทำให้ความสามารถในการแยกสูงขึ้น ในงานวิจัยนี้พบว่า การแยกด้วยวิธีไฮโดรไซโคลนแม่เหล็กสามารถแยกไทเทเนียมได้มากกว่าการแยกด้วยวิธีไฮโดรไซโคลนธรรมดา 5 เปอร์เซ็นต์ และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพด้านความเร็วของการแยกอีกด้วย

## 2.6 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.6.1 ศึกษาผลของการออกแบบเครื่องแยกแบบไซโคลนต่อการแยกอนุภาคมลทินที่ทำให้เกิดตำหนิจุดดำบนผิวของชิ้นงานเครื่องปั้นดินเผาเอิร์ทเทนแวร์

2.6.2 ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องแยกแบบไซโคลนเปรียบเทียบกับเครื่องแยกโดยใช้เครื่องแยกแบบแม่เหล็ก

## 2.7 ขอบเขตการวิจัย

2.7.1 ศึกษาผลของการออกแบบเครื่องแยกแบบไซโคลนที่มี Downcomer tube ที่แตกต่างกันสามแบบคือ Downcomer tube แบบปิด แบบดึงเก็บฝุ่น และแบบเปิด

2.7.2 แยกวัตถุดิบส่วนที่ทำให้เกิดตำหนิจุดดำออกจากเนื้อดินที่เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์เอิร์ทเทนแวร์ด้วยเครื่องแยกแบบไซโคลนและเครื่องแยกแม่เหล็ก