

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการลดต้นทุนในการจัดผงเหล็กในแคลเซียมคาร์บอเนตของบริษัทรณศึกษา ผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาค้นคว้าหลักการและทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการลดต้นทุนโดยแบ่งเป็นหัวข้อต่างๆ คือ

- 2.1 คุณสมบัติของแคลเซียมคาร์บอเนต
- 2.2 การใช้ประโยชน์ของแคลเซียมคาร์บอเนตในอุตสาหกรรมกระดาษ
- 2.3 การเกิดแคลเซียมคาร์บอเนต
- 2.4 การผลิตแคลเซียมคาร์บอเนต
- 2.5 ผลิตภัณฑ์แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดบดจากธรรมชาติ
- 2.6 การแต่งแร่หรือการแยกแร่
- 2.7 กรรมวิธีหลักการแต่งแร่ (Concentration or Separation)
- 2.8 แม่เหล็ก
- 2.9 ชนิดของแม่เหล็ก
- 2.10 แม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet)
- 2.11 แม่เหล็กชั่วคราว (Electro Magnetic)
- 2.12 ประโยชน์ของแม่เหล็กถาวร
- 2.13 ประโยชน์ของแม่เหล็กไฟฟ้า
- 2.14 ต้นทุนการผลิต
- 2.15 ความหมายของการเพิ่มผลผลิต
- 2.16 ความสำคัญของการเพิ่มผลผลิต
- 2.17 การลดต้นทุนการผลิต
- 2.18 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณสมบัติของแคลเซียมคาร์บอเนต

แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate) เป็นวัตถุดิบชั้นกลางที่ผลิตจากหินปูนในอุตสาหกรรมกลาน้ำและนำไปใช้เป็นวัตถุดิบสำเร็จรูปในอุตสาหกรรมปลายน้ำ ซึ่งมีสูตรทางเคมี

ว่า CaCO_3 และมีส่วนประกอบทางเคมีที่ประกอบด้วย CaO ร้อยละ 56 และ CO_2 ร้อยละ 44 มีความแข็ง 3 โมห์ (Mohs) ความถ่วงจำเพาะ 2.71 ดันต่อลูกบาศก์เมตร และสลายตัวเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 825 องศาเซลเซียส ลักษณะทางกายภาพแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นผงสีขาว ไม่ละลายน้ำแต่ละลายน้ำได้เมื่อมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) น้ำที่มี CaCO_3 ละลายอยู่เรียกว่าน้ำกระด้าง และจะตกตะกอนเมื่อเสีย CO_2 ออกไปเป็นต้น

แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารประกอบที่มีลักษณะต่างกันหลายอย่าง แต่ละลักษณะจะมีชื่อเรียกโดยเฉพาะชื่อของแร่ที่ประกอบด้วยแคลเซียมเรียกว่าแร่แคลไซต์ (Calcite) หรือ แคลสปาร์ (Calcspar) ซึ่งเป็นรูปแบบที่ธรรมดาที่สุดของแคลเซียมคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ ผลึกของแคลไซต์มีหลายชนิดที่ทำให้มีชื่อเรียกแตกต่างกัน เช่น ค็อกทูธสปาร์ (Dogtooth spar) ไอซ์แลนด์สปาร์ (Iceland Spar) เนลเฮดสปาร์ (Nail head Spar) และซาตินสปาร์ (Satin Spar) เป็นต้น

คุณสมบัติที่ดีของแคลเซียมคาร์บอเนต คือ สามารถบดให้เป็นผงละเอียดได้ง่าย มีความเสถียรทางเคมี ไม่เป็นพิษและมีคุณสมบัติพิเศษอื่นๆ โดยเฉพาะมีความขาว (Brightness) สูง และการดูดซับน้ำมัน (Oil Absorption) ต่ำ ทำให้แคลเซียมคาร์บอเนตสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในวงการอุตสาหกรรมได้อย่างกว้างขวาง เช่น ใช้เป็นตัวเติมเต็ม (Filler) และตัวเพิ่มปริมาณ (Extender) ในอุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมสี อุตสาหกรรมพลาสติก พีวีซี และอุตสาหกรรมยาง ใช้เป็นส่วนผสมของยาสีฟัน พงชัฟฟอก ยา และเวชภัณฑ์ต่างๆ นอกจากนี้ยังใช้ในการผลิตชิ้นส่วนและอุปกรณ์ต่างๆ เช่น คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์ สายหุ้มโทรศัพท์ ฉนวนหุ้มสายไฟ ปากกา ขางลบ ถุงมือ และแว่นตา เป็นต้น

2.2 การใช้ประโยชน์ของแคลเซียมคาร์บอเนตในอุตสาหกรรมกระดาษ

ในเนื้อกระดาษจะประกอบไปด้วยโครงร่างตาข่ายของเนื้อเยื่อไม้ (Cellulose) และรูขนาดเล็กจำนวนมากที่ส่งผลต่อคุณสมบัติที่สำคัญของกระดาษในด้านความทึบแสงที่เกิดจากการกระจายแสงระหว่างเนื้อเยื่อไม้และอากาศที่รูขนาดเล็ก ซึ่งขนาดของรูมักขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของเนื้อเยื่อไม้ที่นำมาใช้ผลิตกระดาษ โดยปกติในกระบวนการหรือกรรมวิธีผลิตกระดาษมักจะได้นเนื้อเยื่อกระดาษซึ่งมีขนาดของรูในเนื้อเยื่อกระดาษที่ใหญ่เกินไปทำให้กระดาษไม่ทึบแสงจึงต้องมีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตลงไปเพื่อให้เกิดความเหมาะสมในการนำกระดาษไปใช้งาน

ในอุตสาหกรรมกระดาษจะใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นตัวเติม (Function Filler) ที่มีประโยชน์ในด้านช่วยปรับปรุงคุณสมบัติอื่นๆ ด้วย ในขณะที่แร่ตัวเติมอื่นๆ จะใช้เป็นตัวเติมเพื่อเพิ่มปริมาณแต่เพียงอย่างเดียว (Extender Filler) และการเติมอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตลงในเนื้อเยื่อกระดาษจะเป็นการช่วย ทำให้ปริมาณการใช้เนื้อเยื่อไม้ลดลง ซึ่งส่งผลต่อดัชนีทุนการผลิต

กระดาษที่ลดลงด้วย แต่ถ้าใช้ตัวเต็มมากเกินไปจะทำให้ความแข็งแรงของกระดาษลดลง อัตราการใช้แร่ตัวเต็มที่เหมาะสมคือ 18-20% โดยน้ำหนักของเนื้อเยื่อกระดาษทั้งหมด และขนาดอนุภาคของตัวเต็มในเนื้อเยื่อกระดาษที่เหมาะสมควรมีขนาดอยู่ระหว่าง 0.3 - 2.5 ไมครอน



ภาพที่ 2.1 แคลเซียมคาร์บอเนตในอุตสาหกรรมกระดาษ

แคลเซียมคาร์บอเนตนอกจากจะใช้เป็นตัวเต็มกระดาษแล้วยังสามารถนำมาใช้เป็นตัวเคลือบทำให้ผิวกระดาษเรียบได้อีกด้วย ซึ่งจะทำให้กระดาษมีคุณสมบัติด้านการดูดซึมน้ำหมึกในการพิมพ์ Solid Printing Areas การพิมพ์ Half – Tones และการพิมพ์สีสี่สีขึ้น การใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นตัวเคลือบ มักจะนำไปผสมกับวัตถุดิบอื่นๆ ได้แก่ แร่ไททาเนียมไดออกไซด์ แร่ดินขาว เม็ดพลาสติก โดยใช้สารจำพวกโปรตีน หรือแป้งที่ละลายได้ หรือกลายเป็นตัวผสม หรือตัวเชื่อม ซึ่งจะทำให้ส่วนผสมของตัวเคลือบและกระดาษเข้ากันได้ดี แคลเซียมคาร์บอเนตจะใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษและเยื่อกระดาษประเภทต่างๆ เช่น กระดาษพิมพ์เขียน กระดาษอาร์ตมัน และกระดาษ ที่ใช้ในสำนักงาน กระดาษถ่ายเอกสาร กระดาษโรเนียว กระดาษสิ่งพิมพ์ทุกชนิด รวมทั้งกระดาษกล่องบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ

2.3 การเกิดแคลเซียมคาร์บอเนต

ลักษณะของการเกิดแคลเซียมคาร์บอเนตแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ



ภาพที่ 2.2 แสดงการเกิดแคลเซียมคาร์บอเนต

2.3.1 หินคาร์บอเนต (Carbonate Rocks) หินคาร์บอเนต หมายถึง หินตามธรรมชาติที่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) เป็นส่วนใหญ่ โดยเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติในรูปของแร่ประกอบหิน ซึ่งสามารถแบ่งได้ตามลักษณะของการเกิดได้ 3 ชนิด

2.3.1.1 หินตะกอนคาร์บอเนต (Sedimentary Carbonate Rocks) การจำแนกชนิดของหินทางธรณีวิทยาของหินคาร์บอเนตขึ้นอยู่กับลักษณะการเกิดของแร่ องค์ประกอบได้แก่



ภาพที่ 2.3 แสดงหินตะกอนคาร์บอเนต

หินปูน (Limestone) เป็นหินตะกอนซึ่งมีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ซึ่งเกิดขึ้นในรูปของแคลไซต์ (Calcite) หรือบางครั้งจะอยู่ในรูปของอราโกไนต์ (Aragonite) ซึ่งทั้งสองชนิดมีสูตรทางเคมีเหมือนกัน แต่มีรูปผลึกต่างกัน

โดโลไมต์ ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) เป็นแร่อีกชนิดหนึ่งที่พบมากในหินปูนซึ่งโดโลไมต์ส่วนมากจะเกิดจากการแทนที่โดยปฏิกิริยาของแมกนีเซียมในรูปสารละลายที่เพิ่มขึ้นในหินปูนในบรรดาหินตะกอนทั้งหมดประมาณ 20% เป็นหินปูน หรือโดโลไมต์ หรือผสมกันระหว่างสองชนิดนี้รวมกับสิ่งเจือปนต่างๆ



ภาพที่ 2.4 แสดงหินปูน

ชอล์ก (Chalk) เป็นหินปูนร่วนเนื้อละเอียด เกิดในน้ำตื้นประกอบด้วยซากสัตว์ในทะเลมาร์ล (Marl) เป็นหินปูนเนื้อร่วนเกิดในทะเลสาบ ซึ่งได้แคลเซียมคาร์บอเนตจากลำธารหรือน้ำพุ

ทราเวอร์ทีน (Travertine) เป็นหินปูนที่มีเนื้อหลายแบบขึ้นอยู่กับแต่ละแหล่งที่เกิดอาจมีลักษณะเนื้อแน่นเป็นเส้นใย หรือเป็นชั้นๆ หรืออ่อนนุ่มและมีรูพรุนซึ่งเรียกกันว่า Calcareous Tufa ซึ่งทราเวอร์ทีนส่วนใหญ่จะเกิดจากการตกผลึกอย่างรวดเร็วของแคลเซียมคาร์บอเนตรอบๆ น้ำพุร้อน

2.3.1.2 หินอัคนีคาร์บอเนต (Igneous Carbonate Rocks) เป็นลักษณะพิเศษของหินอัคนีที่มีคาร์บอเนต เป็นส่วนประกอบหลัก แม้จะมีปริมาณน้อย แต่ในบริเวณที่ขาดแคลนหินคาร์บอเนตก็สามารถ นำมาใช้ทดแทนได้เป็นอย่างดี

2.3.1.3 หินแปรคาร์บอเนต (Metamorphic Carbonate Rocks) เป็นหินปูนหรือโดโลไมต์ที่มีการจัดเรียงรูปผลึกใหม่ ซึ่งที่รู้จักกันดีคือหินอ่อน (Marble) ซึ่งเกิดจากความร้อนและความกดดันจากใต้พิภพ



ภาพที่ 2.5 แสดงหินแปรคาร์บอเนต

2.3.2 แร่แคลไซต์ (Calcite) เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นเองในธรรมชาติ ผลึกของแคลไซต์มีหลายชนิดทำให้มีชื่อเรียกต่างกัน เช่น ดอกทูลสปาร์ ไอร์แลนด์สปาร์ เนลเฮดสปาร์ และชาตินสปาร์ แร่แคลไซต์ปกติจะมีสีขาวหรือไม่มีสี แต่อาจมีสีอื่นๆ ได้ เช่น สีเทา แดง เขียว น้ำเงิน เหลือง ซึ่งขึ้นอยู่กับว่ามีสิ่งปลอมปนอะไรปะปนอยู่ เช่น ไพไรต์ ทองแดง เป็นต้น แร่แคลไซต์มีสูตรเคมี CaCO_3 เช่นเดียวกับหินปูน ส่วนประกอบทางเคมีประกอบด้วย CaO 56% และ CO_2 44% มีความแข็ง 3 โมห์ (Mohs) ความถ่วงจำเพาะ 2.71 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และจะเกิดฟองฟู่เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดเกลือ

2.3.3 หินปูนสังเคราะห์ (Precipitated Calcium Carbonate) หินปูนสังเคราะห์เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตขึ้นทั้งจากกรรมวิธีการผลิตโดยตรงหรือผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการผลิตผลิตภัณฑ์อื่นๆ แคลเซียมคาร์บอเนตสังเคราะห์จะมีลักษณะเป็นผงขนาดเล็ก ขนาด 0.01-15 ไมครอน มีชื่อเรียกในภาษาอังกฤษว่า Precipitated Calcium Carbonate (PCC) หรือ Precipitated Whiting

2.4 การผลิตแคลเซียมคาร์บอเนต

การผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตมีอยู่ 2 วิธี คือ การนำแคลเซียมคาร์บอเนตจากธรรมชาติมาบด ซึ่งเรียกว่า Ground Calcium Carbonate (GCC) และการนำแคลเซียมคาร์บอเนตจากธรรมชาติมาตกผลึกใหม่ เรียกว่า Precipitated Calcium Carbonate (PCC)



ภาพที่ 2.6 แสดงการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนต

2.4.1 แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดบดจากธรรมชาติ (Ground Calcium Carbonate : GCC) เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากการบดหินคาร์บอเนต เช่น หินปูน (Limestone) ที่มีความขาวและความบริสุทธิ์สูง หินอ่อน (Marble) ที่เกิดจากหินปูนแปรสภาพด้วยความร้อนและความดันทำให้เกิดการตกผลึกใหม่ ซอล์ก (Chalk) ซึ่งเป็นหินปูนเนื้อร่วนละเอียดที่เกิดในน้ำตื้นที่ประกอบด้วยซากสัตว์ในทะเล และแร่แคลไซต์ (Calcite) เป็นต้น กรรมวิธีในการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตมีหลายขั้นตอนซึ่งขั้นตอนการลดขนาดแร่ (Size Reduction) และการคัดขนาด (Classification) ถือว่า

เป็นหัวใจสำคัญของการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนต โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ ตามที่ตลาดต้องการ การผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตชนิดบดจากธรรมชาติในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้แร่แคลไซต์ หินปูน หรือหินอ่อนเป็นวัตถุดิบ ซึ่งคุณสมบัติของวัตถุดิบที่กำหนดไว้ในเบื้องต้นนั้นจะต้องมีองค์ประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) มากกว่า 95% และมีความขาว (Brightness) มากกว่า 94%

2.4.2 แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดตกผลึก (Precipitated Calcium Carbonate : PCC) เป็นการนำแคลเซียมคาร์บอเนตจากธรรมชาติมาตกผลึกใหม่เรียกว่า Precipitated Calcium Carbonate (PCC) เป็นผงขนาดเล็กที่เกิดจากการตกผลึก รูปร่างของผลึกอาจแตกต่างกันตามวิธีการผลิต แต่ส่วนใหญ่จะเป็นรูปเข็ม หรือ Rhomboids ผงแคลเซียมคาร์บอเนตมีสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส เสถียรในอากาศ และไม่ละลายน้ำ คุณสมบัติที่ดีของแคลเซียมคาร์บอเนตชนิดตกผลึกคือ มีความขาวและความบริสุทธิ์สูงกว่าแคลเซียมคาร์บอเนตชนิดบดจากธรรมชาติ เพราะมีการตกผลึกกำจัดสิ่งปลอมปนออกไปแล้ว นอกจากนี้แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดตกผลึกยังมีความสัมพันธ์ด้านฟิสิกส์ที่ดีกว่า เนื่องจากโครงสร้างผลึกแข็งแรงกว่า โครงสร้างและรูปผลึกมีขนาดใกล้เคียงกันรวมทั้งมีน้ำหนักรวมมากกว่าและเข้ากับเนื้อเยื่อไม้ที่เป็นวัตถุดิบหลักในการทำกระดาษได้ดีกว่าแคลเซียมคาร์บอเนตชนิดบดจากธรรมชาติ (GCC) เพราะมีการควบคุมอุณหภูมิและความดันขณะตกผลึก

สำหรับประเทศไทยในการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตส่วนใหญ่จะนำแคลเซียมคาร์บอเนตจากธรรมชาติมาบดโดยตรง เนื่องจากมีขั้นตอนการผลิตที่ง่ายและไม่ต้องใช้เทคโนโลยีสูงมาก

2.5 ผลิตภัณฑ์แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดบดจากธรรมชาติ

ผลิตภัณฑ์แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดบดจากธรรมชาติแบ่งออกได้ 4 ชนิด ดังนี้

2.5.1 ผลิตภัณฑ์แบบผง (Dry Product) เป็นผลิตภัณฑ์แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดที่ได้จากการบดแคลเซียมคาร์บอเนตจากธรรมชาติโดยตรงมีลักษณะเป็นผงสีขาวขนาด 1-147 ไมครอน ความขาว (Brightness) มากกว่า 94% และมีองค์ประกอบทางเคมีของแคลเซียมคาร์บอเนตมากกว่า 98% ใช้ในอุตสาหกรรมสี พลาสติก ยาง ผงซักฟอก ยาสีฟัน รวมทั้งใช้ในการผลิตปุ๋ยและอาหารสัตว์

2.5.2 ผลิตภัณฑ์แบบผงเคลือบผิว (Coated Product) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแคลเซียมคาร์บอเนตแบบผง (Dry Product) อนุภาคขนาด 1-15 ไมครอน มาเคลือบผิวเพื่อปรับปรุงคุณภาพบางประการให้ดีขึ้น เช่น ช่วยให้อนุภาคเปียกได้ง่ายขึ้น (Facilitate Wetting Cut) ช่วยให้อนุภาคมีการกระจายดีขึ้น (Dispersion) ช่วยให้อนุภาคมีการดูดซับน้ำมันน้อยลง (Oil Absorption) สารที่นำมาใช้ในการเคลือบผิวมี 3 ชนิด คือ Stearic Acid Waxes และ Chemical Agents ซึ่งผลิตภัณฑ์

แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดเคลือบผิว นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมท่อพีวีซี และอุตสาหกรรมยาง

2.5.3 ผลิตภัณฑ์แบบคอมพาวนด์ (Calcium Carbonate Compound) เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผสมอยู่ในรูปของแข็งระหว่างอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตจากธรรมชาติ (GCC) ขนาดประมาณ 20-45 ไมครอน ประมาณ 75-80% ผสมกับเม็ดพลาสติก 20-25% โดยประมาณ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะรูปร่างเป็นทรงกลมขนาด 2-3 มิลลิเมตร โดยประมาณ ความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.9-2.0 ตันต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติกขึ้นรูปต่างๆ เช่น นำไปทำถุงปุ๋ย กระสอบพลาสติก ฐานถุงพลาสติกใส่ของฉนวนหุ้มสายไฟภาชนะ และท่อต่างๆ

2.5.4 ผลิตภัณฑ์แบบน้ำ (Slurry Product) เป็นการแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน เนื่องจากการบดแบบแห้งสามารถบดอนุภาคได้ขนาดเล็กสุดไม่เกิน 1 ไมครอน ซึ่งถ้าต้องการบดให้ได้ขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน จะใช้พลังงานสูงมาก ไม่คุ้มค่าและไม่เหมาะสมต่อการลงทุน จึงใช้วิธีการบดแบบเปียก ซึ่งสามารถบดได้ละเอียดถึง 0.3 ไมครอน และได้ผลิตภัณฑ์แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดน้ำ (Slurry Product)

ในการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตแบบนี้จะนำแคลเซียมคาร์บอเนตแบบผงมาผสมน้ำ แล้วนำเข้าสู่กระบวนการลอยแร่ (Flotation) เพื่อลอยแยกสิ่งปลอมปนต่างๆ เช่น ซิลิกาและเหล็ก ออกให้ลอยออกไป ซึ่งวิธีนี้สามารถลดสิ่งปลอมปนได้ถึง 50% เช่น ถ้าแคลเซียมคาร์บอเนตที่เข้าสู่กรรมวิธีการลอยแร่มีสัดส่วนแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) 96% และสิ่งปลอมปน 4% ซึ่งเมื่อผ่านกรรมวิธีการลอยแร่จะสามารถกำจัดสิ่งปลอมปนออกได้ 2% ทำให้สัดส่วนแคลเซียมคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นเป็น 98% หลังจากนั้นจึงนำไปบดด้วยเครื่องบดแบบน้ำต่อไป

ผลิตภัณฑ์แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดน้ำ (Slurry Product) นิยมใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ เนื่องจากตอบสนองความต้องการของโรงงานผลิตกระดาษด้านความสะดวกในการใช้งาน เมื่อส่งไปถึงโรงงานกระดาษก็สามารถนำไปใช้งานได้ทันที ในขณะที่ผลิตภัณฑ์แบบแห้งต้องเพิ่มขั้นตอนการทำให้เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตชนิดน้ำที่โรงงานกระดาษอีกครั้งก่อนนำไปใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษ ผลิตภัณฑ์แคลเซียมคาร์บอเนตแบบนี้ มีการใส่สารเคมีเพื่อป้องกันการตกตะกอน (Dispersing Agent) ของแคลเซียมคาร์บอเนตในระหว่างการลำเลียงขนส่งไปยังโรงงานกระดาษโดยชนิดของสารเคมีที่ใช้มักเป็นสารเคมีชนิดเดียวกับที่ใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษ

2.6 การแต่งแร่หรือการแยกแร่

แร่ซึ่งเกิดจากธรรมชาติในแหล่งแร่ต่างๆ ตามปกติจะเกิดอยู่ร่วมกับดิน หิน กรวด ทราย หรือแร่ชนิดอื่นๆ ซึ่งอาจมีราคาหรือไม่มีราคาก็ได้ การผลิตแร่ออกจำหน่ายจึงมักต้องมีการแต่งแร่ หรือแยกแร่ ก่อนซึ่งมีวัตถุประสงค์คือ

2.6.1 เพื่อให้แร่มีเปอร์เซ็นต์สูงขึ้น หรือให้ได้ตามมาตรฐานตามที่ตลาดต้องการ หรือเหมาะแก่การนำไปถลุงแร่ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานที่ต้องใช้ในการถลุงแร่

2.6.2 เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง เนื่องจากไม่ต้องขนส่งส่วนที่เป็นหิน ดิน ทราย ที่ไม่มีราคาไปด้วย

2.6.3 ลดการสูญเสียโลหะในขั้นตอนการถลุงแร่

2.6.4 สามารถแยกแร่ชนิดอื่นที่มีราคาออกไปจำหน่าย หรือการนำไปใช้ต่อไป

2.7 กรรมวิธีหลักการแต่งแร่ (Concentration or Separation)

2.7.1 การแยกแร่ด้วยมือ (Hand Picking or Hand Sorting) เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดโดยใช้คนงาน สังเกตแล้วใช้มือหยิบ หรือเลือกส่วนที่เป็นแร่ หรือหินต่างชนิดกันออกจากกัน แร่และหินต้องมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ต่างกัน สามารถมองเห็นได้ชัดด้วยตาเปล่า เช่น สีต่างกัน ความวาวต่างกัน หรือความถ่วงจำเพาะต่างกันมากๆ และต้องมีขนาดของแร่โตพอที่จะคัดแยกแร่ด้วยมือได้สะดวก

2.7.2 แยกแร่ด้วยน้ำหนักหรือความถ่วงจำเพาะ (Gravity Concentration) อาศัยหลักการของความแตกต่างกันระหว่างความถ่วงจำเพาะของแร่หรือหิน แร่และหินที่จะนำมาแยกไม่ควรจะมีขนาดละเอียดจนเกินไป เพราะจะทำให้การแยกแร่ไม่ได้ผล เครื่องแยกแร่ที่ใช้แยกแร่โดยอาศัยหลักการของความแตกต่างกันของความถ่วงจำเพาะได้แก่

2.7.2.1 รางกู่แร่ (Palong) เป็นอุปกรณ์แต่งแร่ลานแร่ เช่น แร่ดีบุก แร่ทองคำ มีลักษณะเป็นรางไม้หรือรางคอนกรีต ขนาดกว้างยาวต่างกัน วางอยู่ในแนวนอนมีความลาดชันเล็กน้อย ดิน ทรายและกรวดที่มีแร่ปนอยู่จะถูกนำมาล้างและปล่อยให้ไหลไปกับน้ำผ่านรางกู่แร่ ส่วนที่เป็นแร่หนักจะตกตะกอนอยู่บนราง ส่วนหิน ดิน ทราย ที่เบากว่าจะไหลผ่านรางแร่ไป

2.7.2.2 โต๊ะสั่นแยกแร่ (Shaking Table) โดยทั่วไป มีสองชนิด คือ ชนิดที่แยกแร่แบบหยาบใช้แยกแร่ขนาด 20 เมช จนถึง 200 เมช กับชนิดละเอียด ใช้แยกแร่ขนาดเล็กกว่า 200 เมช การแยกแร่ใช้หลักการร่อนและการสั่นของโต๊ะเพื่อแยกแร่หนักออกจากแร่เบาทำนองเดียวกันกับการจัดข้าวสารเพื่อแยกแกลบและรำออกไป



ภาพที่ 2.7 โต๊ะสั่นแยกแร่

2.7.2.3 จิก (Jig) มักใช้แยกแร่ในแหล่งลานแร่เช่นเดียวกับรางกู่แร่ มีส่วนประกอบสำคัญสองส่วนคือ ส่วนที่ทำให้เกิดการกระเพื่อมของน้ำ (Pulsating Water Stream) กับส่วนที่เป็นตัว ซึ่งพื้นบุด้วยตะแกรงที่มีตัวกลางเป็นตัวขุดสูบขึ้นลงทำให้กระแสน้ำพวยพุ่งผ่านตะแกรงขึ้นด้านบนของส่วนที่บรรจุแร่ที่จะแยก แรงยกของน้ำทำให้แร่ที่หนักใกล้เคียงกันเรียงตัวในชั้นเดียวกัน แร่หนักจะตกตัวลงด้านล่าง ส่วนแร่ที่เบากว่าจะอยู่ด้านบนแล้วไหลไปตามน้ำผ่านตัวจิกไป

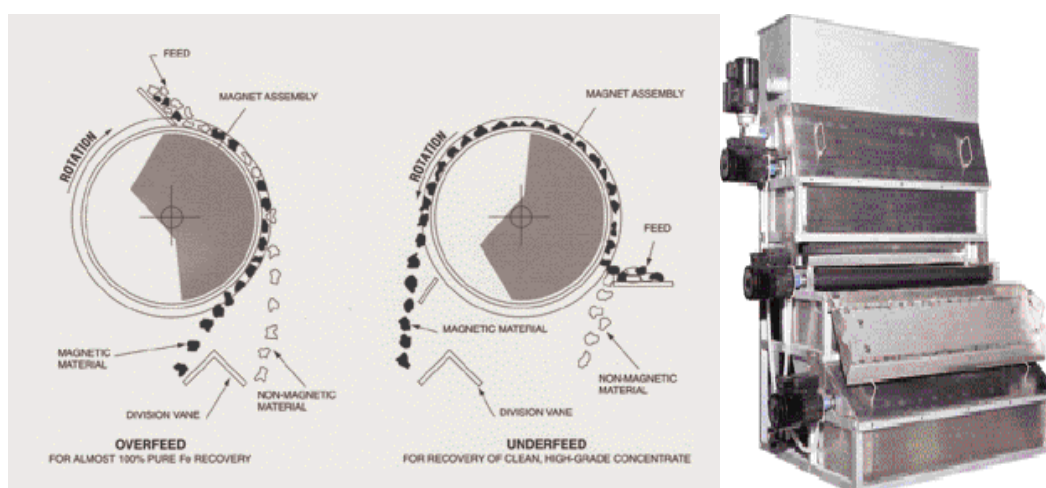
2.7.2.4 เครื่องแยกแร่ (Humphreys Spiral) ประกอบด้วยรางโค้งขดเป็นเกลียวสว่านรอบแกนในแนวดิ่ง การแยกแร่อาศัยหลักแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) เมื่อปล่อยแร่ปนทรายในน้ำลงไปแร่ส่วนที่เบาจะถูกแรงเหวี่ยงให้อยู่ด้านนอก ส่วนแร่หนักจะอยู่ด้านในและตกลงตามช่องที่เจาะไว้เป็นช่วง ๆ



ภาพที่ 2.8 แสดงเครื่องแยกแร่

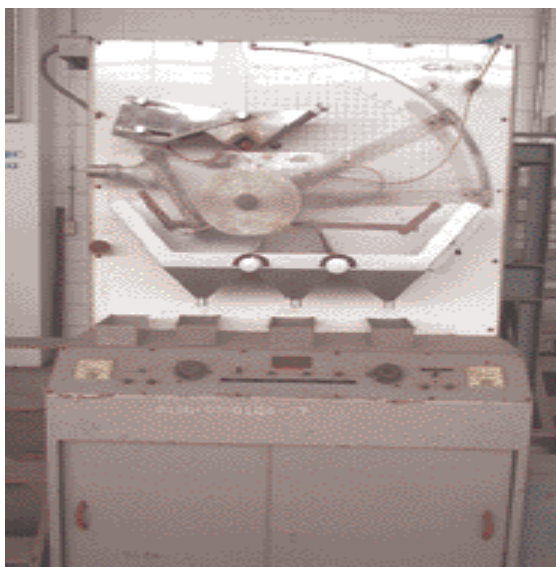
2.7.2.5 เครื่องแยกแร่ที่อาศัยตัวกลางของเหลวหนัก (Heavy Media Separation) อาศัยของผสมที่ทำด้วยโลหะหนัก เช่น เหล็กที่บดละเอียดเป็นตัวกลางในการแยกแร่ แร่ที่หนักกว่าตัวกลางจะตกผ่านตัวกลางลงสู่เบื้องล่างส่วนแร่ที่เบากว่าตัวกลางจะไหลผ่านตัวกลางไปตามน้ำ การแยกแร่แบบนี้จำเป็นต้องมีการลอยวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมของตัวกลางนำมาใช้แบบหมุนเวียนเนื่องจากวัสดุมีราคาแพง

2.7.3 การแยกแร่ด้วยอำนาจแม่เหล็ก (Magnetic Separation) อาศัยคุณสมบัติการติดแม่เหล็กของแร่บางชนิดออกจากแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็ก เครื่องมือที่ใช้แยกแร่มี 2 ชนิดคือ ชนิดที่ใช้แยกเศษเหล็กที่ปนอยู่ก่อนการป้อนแร่เข้าเครื่องย่อยหรือเครื่องแยกแร่ กับชนิดที่ใช้แยกแร่ที่ติดแม่เหล็กออกจากแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็ก ซึ่งมักใช้แม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงาน



ภาพที่ 2.9 เครื่องแยกแร่ด้วยแม่เหล็ก

2.7.4 การแยกแร่ด้วยอำนาจไฟฟ้าสถิตย์หรือไฟฟ้าแรงสูง (Electrostatic or High Tension Separation) การแยกแร่ด้วยวิธีนี้อาศัยคุณสมบัติทางการนำไฟฟ้าของแร่แต่ละชนิดที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะการนำไฟฟ้าที่ผิวของแร่ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนตามผิวของเม็ดแร่ เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดการถ่ายเทของประจุไฟฟ้าต่างกัน แร่ที่นำไฟฟ้าได้ดีจะรับและถ่ายประจุได้เร็วกว่าแร่ที่เป็นฉนวน ทำให้เกิดการแยกแร่ที่เป็นตัวนำไฟฟ้าออกจากแร่ที่เป็นฉนวนไฟฟ้าได้



ภาพที่ 2.10 เครื่องแยกแร่ด้วยอำนาจไฟฟ้าสถิตย์หรือไฟฟ้าแรงสูง

2.7.5 การลอยแร่ (Flotation) การแยกแร่วิธีนี้อาศัยคุณสมบัติความยากง่ายในการเปียกน้ำของผิวแร่ต่างชนิดกันมาทำการแยกแร่ แร่บางชนิดมีผิวเปียกน้ำได้ยาก เช่น ตระกูลซัลไฟด์ เมื่อบดให้ละเอียดมากพอ ผสมสารเคมีเพื่อเพิ่มคุณสมบัติความไม่เปียกน้ำของผิวแร่เข้าไป แล้วทำให้เกิดฟองอากาศ แร่เม็ดละเอียดที่พื้นผิว



ภาพที่ 2.11 เครื่องลอยแร่

2.8 แม่เหล็ก

แม่เหล็กเป็นของแข็งชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติพิเศษ สามารถดึงดูดสารบางชนิดได้ โดยทั่วไปแม่เหล็กมี 2 ขั้วคือ ขั้วเหนือกับขั้วใต้ เมื่อนำแม่เหล็กมาผูกห้อยในแนวดิ่ง แล้วปล่อยให้หมุนได้อย่างอิสระ จะพบว่าแม่เหล็กจะหยุดนิ่งและวางตัวในแนวทิศเหนือได้เสมอ จึงเรียกด้านที่ชี้ไปทางทิศเหนือว่าขั้วเหนือ และด้านที่ชี้ไปทางทิศใต้ว่าขั้วใต้ คุณสมบัติของแม่เหล็กมีดังนี้

2.8.1 สามารถก่อให้เกิดแรงผลักกับสารแม่เหล็กได้

2.8.2 มีขั้วสองชนิด คือ ขั้วเหนือและขั้วใต้ ขั้วทั้งสองของแม่เหล็กแท่งเดียวกันจะมีกำลังเท่ากันเสมอ

2.8.3 เมื่ออยู่ในภาวะอิสระสามารถเคลื่อนที่ได้คล่องตัวในแนวราบ จะวางตัวในแนวเหนือใต้เสมอ

2.8.4 ขั้วชนิดเดียวกันจะผลักกัน และขั้วต่างกันจะดูดกัน

2.8.5 สามารถเหนี่ยวนำให้สารแม่เหล็กกลายเป็นแม่เหล็กได้

2.8.6 อำนาจแม่เหล็กมีคุณสมบัติทำให้ประจุไฟฟ้าเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ได้ ประจุไฟฟ้าบวกกับประจุไฟฟ้าลบจะเปลี่ยนทิศในสนามแม่เหล็กไปในทางตรงกันข้าม

2.8.7 อำนาจแม่เหล็กสามารถทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าได้

2.8.8 แรงแม่เหล็กแต่ละส่วนของแท่งแม่เหล็กมีค่าไม่เท่ากัน อำนาจแม่เหล็กจะมีค่ามากที่สุดที่บริเวณปลายทั้งสองข้างของแท่ง ส่วนบริเวณที่ถัดเข้าไปอำนาจแม่เหล็กจะอ่อนลงตามลำดับ และตอนบริเวณกลางแท่งจะมีอำนาจแม่เหล็กน้อยที่สุด

2.8.9 แท่งแม่เหล็กบางชนิดสามารถบิดหรืองอได้โดยไม่ทำให้แม่เหล็กเสียสภาพความเป็นแม่เหล็ก แม่เหล็กชนิดนี้สามารถใช้กรรไกร หรือคัตเตอร์ตัดเป็นชิ้นๆ ได้

2.9 ชนิดของแม่เหล็ก

แม่เหล็กแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.9.1 แม่เหล็กธรรมชาติ หมายถึง แม่เหล็กที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ส่วนใหญ่จะเป็นออกไซด์ของเหล็ก (Fe_3O_4) ลักษณะของแม่เหล็กธรรมชาติจะมีรูปร่างไม่แน่นอน

2.9.2 แม่เหล็กประดิษฐ์ เป็นแม่เหล็กที่มนุษย์ได้สร้างขึ้น ซึ่งจำแนกออกเป็น 2 ชนิด คือ แม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet) และแม่เหล็กชั่วคราวหรือแม่เหล็กไฟฟ้า (Electro Magnet) (ชนิดของแม่เหล็ก สืบค้นเมื่อ 7 พฤษภาคม 2555 จาก http://lpsci.nfe.go.th/lpsci/elearning/open_science/unit1.html)

2.10 แม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet)

แม่เหล็กถาวร คือแม่เหล็กที่มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กตลอดไป เช่น แม่เหล็กที่ใช้ในลำโพง เป็นต้น ซึ่งได้มาจากการนำเอาลวดทองแดงอาบนํ้ายาพันรอบแท่งเหล็กกล้าแล้วปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปในขดลวด ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไปดูดเหล็กผลึกโมเลกุลภายในแท่งเหล็กกล้า ให้มีการเรียงตัวของโมเลกุลอย่างเป็นระเบียบตลอดไป เหล็กกล้างดงกล่าวก็จะคงสภาพเป็นแม่เหล็กถาวรต่อไปหรือเป็นแม่เหล็กที่แสดงอำนาจการเป็นแม่เหล็กนาน รูปร่างลักษณะแล้วแต่ลักษณะการใช้งาน เช่น เป็นรูปเกือกม้า สี่เหลี่ยมผืนผ้า หรืออื่นๆ เป็นต้น ซึ่งแม่เหล็กถาวรนั้นสามารถจำแนกออกเป็นประเภทหลักๆ ได้ดังนี้

2.10.1 แม่เหล็กนีโอไดเมียม

2.10.2 แม่เหล็กเฟอร์ไรต์หรือแม่เหล็กเซรามิก

2.10.3 แม่เหล็กซัμμαโคบอลต์

2.10.4 แม่เหล็กอัลนิโค

(แม่เหล็กถาวร สืบค้นเมื่อ 7 พฤษภาคม 2555 จาก <http://www.aeracingclub.net/forums/index.php?topic=54379.0>)

2.11 แม่เหล็กชั่วคราว (Electro Magnetic)

แม่เหล็กชั่วคราวหรือแม่เหล็กไฟฟ้า (Electro Magnet) เป็นแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในลักษณะเดียวกันกับแม่เหล็กถาวร แต่เหล็กที่นำมาใช้เป็นเพียงเหล็กอ่อนธรรมดา เมื่อมีการป้อนกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปในขดลวดที่พันอยู่รอบแท่งเหล็กอ่อนนั้น แท่งเหล็กอ่อนก็จะมีสภาพเป็นแม่เหล็กไปทันที แต่เมื่อหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไป อำนาจแม่เหล็กก็จะหมดไปด้วย เช่น อุปกรณ์จำพวก รีเลย์ (Relay) โซลินอยด์ (Solenoid) กระดิ่งไฟฟ้า เป็นต้น

อำนาจแม่เหล็กที่เกิดจากการที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านในวัตถุตัวนำหมายความว่าถ้าปล่อยให้กระแสไฟฟ้าไหลในวัตถุตัวนำจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบๆ ตัวนำนั้น เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเส้นลวดตัวนำ จะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นรอบๆ เส้นลวดตัวนำนั้น แต่อำนาจแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีเพียงจำนวนเล็กน้อย ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ การจะเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็กทำได้โดยการนำเส้นลวดตัวนำมาพันเป็นขดลวด เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดในแต่ละส่วนของเส้นลวดตัวนำจะเสริมอำนาจกัน ทำให้มีความเข้มของสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น ความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

2.11.1 จำนวนรอบของการพันเส้นลวดตัวนำ ถ้าพันจำนวนรอบของเส้นลวดตัวนำมากจะเกิดสนามแม่เหล็กมาก ในทางกลับกันถ้าพันจำนวนรอบน้อยการเกิดสนามแม่เหล็กก็จะน้อยตามไปด้วย

2.11.2 ปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านเส้นลวดตัวนำ ถ้ากระแสไฟฟ้าไหลผ่านมากสนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นมาก และถ้ากระแสไฟฟ้าไหลผ่านน้อยสนามแม่เหล็กจะเกิดน้อย

2.11.3 ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำแกนของแท่งแม่เหล็กไฟฟ้า วัสดุต่างชนิดกันจะให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กต่างกัน เช่น แกนอากาศจะให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กน้อยกว่าแกนที่ทำจากสารเฟอร์โรแมกเนติก (Ferro magnetic) หรือสารที่สามารถเกิดอำนาจแม่เหล็กได้ เช่น เหล็ก เพอร์ไรท์ เป็นต้น สารเหล่านี้จะช่วยเสริมอำนาจแม่เหล็กในขดลวดทำให้มีความเข้มของสนามแม่เหล็กมากขึ้น

2.11.4 ขนาดของแกนแท่งแม่เหล็กไฟฟ้า แกนที่มีขนาดใหญ่จะให้สนามแม่เหล็กมาก ส่วนแกนที่มีขนาดเล็กจะให้สนามแม่เหล็กน้อย (แม่เหล็กชั่วคราว สืบค้นเมื่อ 7 พฤษภาคม 2555 จาก <http://www.horhook.com/wbi/ec/5magnet-03.htm>)

2.12 ประโยชน์ของแม่เหล็กถาวร

จากการศึกษาสมบัติของแม่เหล็ก ทำให้นักวิทยาศาสตร์และนักประดิษฐ์ได้นำแม่เหล็กมาสร้างเป็นส่วนประกอบของสิ่งของเครื่องใช้ต่างๆ ที่ใช้ในชีวิตประจำวันมากมาย เช่น

2.12.1 ใช้ติดที่ประตูตู้เย็น โดยแม่เหล็กจะถูกใส่ไว้ที่ประตูโดยมีแผ่นยางหุ้มเพื่อทำให้ประตูตู้เย็นปิดสนิท ป้องกันไม่ให้ความเย็นออกมาจากตู้

2.12.2 ใช้ติดที่ฝากล่องดินสอและฝากระป๋องเพื่อให้ฝากล่องดินสอ และฝากระป๋องสามารถดูดติดกับตัวกล่องดินสอและตัวกระป๋องได้

2.12.3 ใช้ติดป้องกันประตูกระแทก แม่เหล็กจะถูกติดไว้กับผนังและที่ประตูจะติดสารแม่เหล็ก เมื่อเปิดประตู แม่เหล็กที่ผนังจะดูดสารแม่เหล็กที่บานประตูไว้ จึงทำให้บานประตูไม่ปิดกระแทกเมื่อมีลมพัด

2.12.4 ใช้คัดแยกวัตถุที่เป็นสารแม่เหล็กออกจากวัตถุอื่นๆ ปัจจุบันเราถึงสิ่งต่างๆ ที่ไม่ใช่แล้วปะปนกันเป็นขยะ จึงได้มีการนำแม่เหล็กมาประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการคัดแยกสิ่งของที่ทำจากเหล็กหรือทำจากวัสดุที่เป็นสารแม่เหล็กเพื่อนำกลับไปใช้งานอีก

2.12.5 ใช้หาทิศ แม่เหล็กจะหันขั้วเหนือไปทางทิศเหนือ และจะหันขั้วใต้ไปทางทิศใต้เสมอ ดังนั้นเราจึงใช้แม่เหล็กทำเข็มทิศ

2.12.6 ใช้ทำเครื่องกำจัดเศษเหล็ก โดยดูดเศษเหล็กจากที่หนึ่งไปกองไว้อีกที่หนึ่ง

2.12.7 ใช้เป็นส่วนประกอบในเครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านหลายชนิดมีแม่เหล็กเป็นส่วนประกอบอยู่ภายในตัวเครื่อง เช่น โทรศัพท์ เครื่องดูดฝุ่น โทรศัพท์ วิทยุ เครื่องซักผ้า เป็นต้น และถ้าไม่มีแม่เหล็กเครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านี้ก็ไม่สามารถทำงานได้

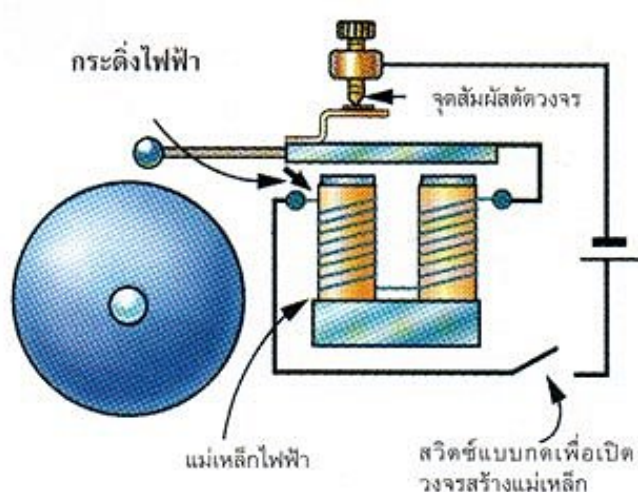
2.12.8 ใช้ประดิษฐ์เป็นของเล่น ของเล่นหลายชนิดจะมีแม่เหล็กเป็นส่วนประกอบ เพื่อให้ของเล่นนั้นเล่นได้

2.12.9 ช่วยในการทำงาน เช่น ปลายไขควงบางชนิดเป็นแม่เหล็ก เพื่อช่วยดึงตะปูเกลียวตัวเล็ก ที่เราจับไม่ถนัดมือ ช่วยทำให้ขันตะปูเกลียวได้สะดวกขึ้น (ประโยชน์ของแม่เหล็กถาวร สืบค้นเมื่อ 12 พฤษภาคม 2555 จาก http://www.truelookpanya.com/true/knowledge_detail.php?mul_content_id=2487)

2.13 ประโยชน์ของแม่เหล็กไฟฟ้า

แม่เหล็กไฟฟ้ามีประโยชน์มากมาย ใช้หลักการที่แม่เหล็กดูดแผ่น โลหะเมื่อวงจรไฟฟ้า ปิดซึ่งเป็นการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล เช่น

2.13.1 ออดไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดเสียงจากกระแสดัง แผ่นโลหะจะถูกดูดโดยแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้จุดสัมผัสแยกออก มีผลให้กระแสที่เข้ามายังแม่เหล็กไฟฟ้าหยุดไหล ดังนั้นแผ่นโลหะจึงดีดกลับ เกิดขึ้นเช่นนี้เรื่อยๆ มีผลให้แผ่นโลหะสั่นเกิดเสียงออกขึ้น ในกระดิ่งไฟฟ้ามีค้อนติดกับแผ่นโลหะใกล้กับกระดิ่งเมื่อแผ่นโลหะสั่นค้อนก็จะเคาะกระดิ่ง



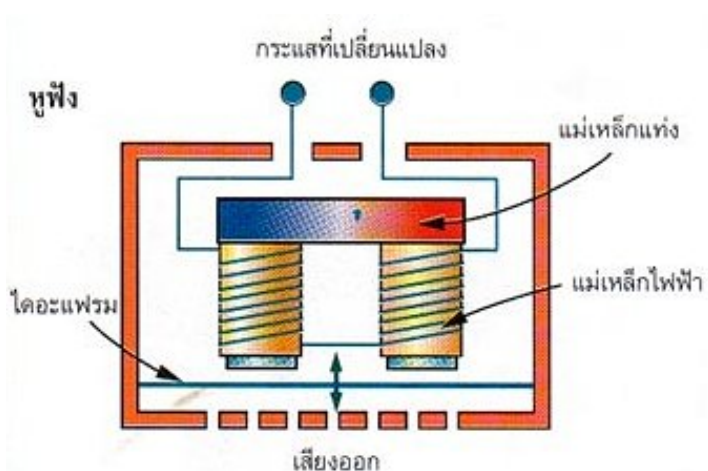
ภาพที่ 2.12 กระดิ่งไฟฟ้า

2.13.2 ปั่นจั่น เป็นการประยุกต์ใช้หลักการของแม่เหล็กไฟฟ้าไปใช้เป็นเครื่องมือสำหรับยกของจำพวกโลหะ ใช้สำหรับดูดเศษเหล็กจากเศษโลหะอื่นๆ เมื่อต้องการใช้ก็เปิดสวิตช์ ทำให้เหล็กที่เป็นแกนของขดลวดเป็นแม่เหล็กดูดเศษเหล็กได้ และเมื่อใช้เสร็จก็ปิดสวิตช์ แกนเหล็กก็จะไม่เป็นแม่เหล็ก ปล่อยเศษเหล็กให้หลุดลงมา



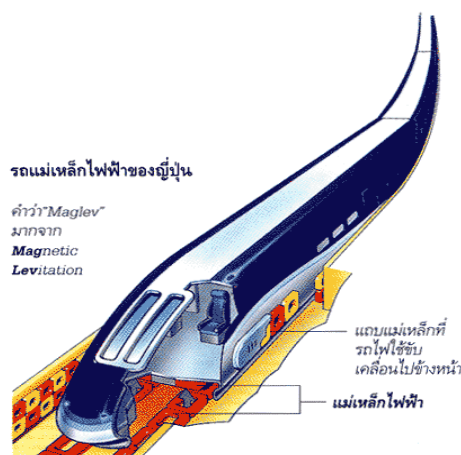
ภาพที่ 2.13 ปั่นจั่น

2.13.3 หูฟัง เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นคลื่นเสียง ใช้แม่เหล็กถาวรดูดแผ่นไดอะแฟรม ความแรงของแรงดึงดูดเปลี่ยนไปตามการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าในขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า แผ่นไดอะแฟรมจะสั่นทำให้เกิดเสียง



ภาพที่ 2.14 หูฟัง

2.13.4 รถไฟความเร็วสูง เป็นรถไฟที่มีแม่เหล็กไฟฟ้าติดอยู่ข้างใต้ซึ่งเคลื่อนที่ไปบนรางที่มีแม่เหล็กไฟฟ้า แม่เหล็กผลักซึ่งกันและกันทำให้รถไฟลอยเหนือราง เป็นการลดแรงเสียดทานระหว่างรถไฟและราง ทำให้เคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น



ภาพที่ 2.15 รถไฟความเร็วสูง

ที่มา: ประโยชน์ของแม่เหล็กไฟฟ้าสืบค้นเมื่อ 17 พฤษภาคม 2555 จาก http://www.Truelookpanya.com/true/knowledge_detail.php?mul_content_id=2487

2.14 ต้นทุนการผลิต

ต้นทุนการผลิต (cost of production) หมายถึงค่าใช้จ่ายหรือรายจ่ายในปัจจัยการผลิตที่ใช้ในกระบวนการผลิต เนื่องจากปัจจัยการผลิตแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ปัจจัยคงที่ กับปัจจัยผันแปร ดังนั้นต้นทุนการผลิตซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายหรือรายจ่ายในปัจจัยการผลิตจึงแบ่งตามประเภทของปัจจัยการผลิต ออกเป็น 2 ประเภทเช่นเดียวกัน คือ

2.14.1 ต้นทุนคงที่ (fixed cost) หมายถึงค่าใช้จ่ายหรือรายจ่ายในการผลิตที่เกิดจากการใช้ปัจจัยคงที่ หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่าต้นทุนคงที่เป็นค่าใช้จ่ายหรือรายจ่ายที่ไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณของผลผลิต กล่าวคือ ไม่ว่าจะผลิตปริมาณมาก ปริมาณน้อย หรือไม่ผลิตเลย ก็จะเสียค่าใช้จ่ายในจำนวนที่ คงที่ ตัวอย่างของต้นทุนคงที่ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนซื้อที่ดิน ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างอาคารสำนักงาน โรงงาน ฯลฯ ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่ตายตัวไม่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณการผลิต

2.14.2 ต้นทุนผันแปร (variable cost) หมายถึงค่าใช้จ่ายหรือรายจ่ายในการผลิตที่เกิดจากการใช้ปัจจัยผันแปร หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่าต้นทุนผันแปรเป็นค่าใช้จ่ายหรือรายจ่ายที่ขึ้นอยู่กับปริมาณของผลผลิต กล่าวคือ ถ้าผลิตปริมาณมากก็จะเสียต้นทุนมาก ถ้าผลิตปริมาณน้อยก็จะเสียต้นทุน น้อย และจะไม่ต้องจ่ายเลยถ้าไม่มีการผลิต ตัวอย่างของต้นทุนผันแปร ได้แก่ ค่าใช้จ่ายที่เป็นค่าแรงงาน ค่าวัตถุดิบ ค่าขนส่ง ค่าน้ำประปา ค่าไฟฟ้า ฯลฯ

นอกจากนี้ เรายังสามารถแบ่งต้นทุนการผลิตออกเป็นต้นทุนทางบัญชีกับต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งทั้ง 2 ประเภทมีความแตกต่างกันดังนี้

2.14.3 ต้นทุนทางบัญชี (business cost) หมายถึงค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการผลิตซึ่งคิดเฉพาะรายจ่ายที่เห็นชัดเจน มีการจ่ายเกิดขึ้นจริงๆ (explicit cost)

2.14.4 ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ (economic cost) หมายถึงค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นเนื่องจากการผลิต ทั้งรายจ่ายที่เห็นชัดเจนว่ามีการจ่ายจริงและรายจ่ายที่มองไม่เห็นชัดเจนหรือไม่ต้องจ่ายจริง (implicit cost)

รายจ่ายที่เห็นชัดเจนว่ามีการจ่ายจริง ได้แก่ ค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่จ่ายออกไปเป็นตัวเงิน เช่น เงินเดือน ค่าจ้าง ค่าเช่า ดอกเบี้ย ค่าวัตถุดิบ ค่าขนส่ง และอื่นๆ

รายจ่ายที่มองไม่เห็นชัดเจนว่ามีการจ่ายจริง เป็นค่าใช้จ่ายที่ไม่ได้จ่ายออกไปเป็นตัวเงิน แต่ผู้ผลิตหรือผู้ประกอบการจะต้องประเมินขึ้นมาและถือเป็นต้นทุนการผลิตส่วนหนึ่ง ได้แก่ ราคาหรือผลตอบแทนของปัจจัยการผลิตในส่วนที่ผู้ผลิตเป็นเจ้าของเองและได้นำปัจจัยนั้นมาเข้าร่วมในการผลิต ด้วย เช่น นายมณูญเปิดร้านขายของชำที่บ้านของตนเองหรือใช้บ้านเป็นสถานที่ทำงาน ซึ่งในกรณีนี้ นายมณูญไม่ได้คิดค่าเช่าบ้านของตนเองที่นำมาใช้ในการประกอบกิจการดังกล่าว ซึ่งถ้านายมณูญนำบ้านไปให้ผู้อื่นเช่าเพื่อดำเนินกิจการเขาจะต้องได้รับค่าเช่า ดังนั้นค่าเช่าบ้านส่วนที่ควรจะได้แต่กลับไม่ได้ดังกล่าวถือว่าเป็นต้นทุนค่าเสียโอกาสของนายมณูญ (opportunity cost) ซึ่งต้นทุนดังกล่าวจะนำมารวมอยู่ในต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ นอกจากนี้ ค่าจ้างของนายมณูญที่ควรจะได้รับหากนายมณูญไปรับจ้างทำงานให้ผู้อื่น แต่กลับไม่ได้รับเพราะต้องมาดำเนินกิจการเอง เงินค่าจ้างส่วนนี้ก็ต้องนำมารวมในต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ด้วยเช่นกัน

ต้นทุนที่มองไม่เห็นเหล่านี้จะถูกนับรวมเข้าไปด้วยทำให้ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์สูงกว่าต้นทุนทางบัญชี ดังนั้นกำไรในทางเศรษฐศาสตร์จึงน้อยกว่ากำไรในทางบัญชีเสมอ (ต้นทุนการผลิต สืบค้นเมื่อ 18 สิงหาคม 2555 จาก <http://knowledge.eduzones.com/knowledge-2-10-29471.html>)

2.15 ความหมายของการเพิ่มผลผลิต

การเพิ่มผลผลิต (Productivity) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างผลผลิตที่ได้ (Output) กับ ปัจจัยนำเข้า (Input) ซึ่งเกิดจากประสิทธิภาพจากการทำงานของแต่ละบุคคลและองค์การ

ประสิทธิภาพ (Efficiency) หมายถึง ความสามารถในการบรรลุจุดมุ่งหมายโดยใช้ทรัพยากร ต่ำสุดคือ ใช้วิธีการให้เกิดการจัดสรรทรัพยากรที่สิ้นเปลืองน้อยที่สุด โดยมีเป้าหมายคือประสิทธิภาพ

$$\text{การเพิ่มผลผลิต} = \text{ผลผลิตที่ได้ (Output)} / \text{ปัจจัยนำเข้า (Input)}$$

การผลิตนั้น ไม่ใช่เฉพาะปัจจัยนำเข้าทั้งหมดเท่านั้นที่จะออกมาเป็นผลผลิต จาก การศึกษาพบว่าร้อยละ 95 เท่านั้นมีส่วนในการผลิตสินค้าหรือบริการ เช่น ชั่วโมงการทำงานของ พนักงาน การทำงานของเครื่องจักร วัตถุดิบ และค่าใช้จ่ายอื่นๆ ที่เกิดขึ้นในการผลิต เป็นปัจจัย นำเข้าที่แท้จริง ส่วนที่เหลือถูกใช้ไปในทางที่ไม่ก่อให้เกิดผลผลิตนั้น คือ การสูญเปล่า ซึ่งแตกเป็น สมการได้ดังนี้

$$\text{การเพิ่มผลผลิต} = (\text{ผลผลิตที่ได้}) / (\text{ปัจจัยนำเข้าแท้จริง} + \text{การสูญเปล่า})$$

จะเห็นได้ว่าการผลิตกับการสูญเปล่ามีความสัมพันธ์กันไม่อาจแยกออกจากกันได้ การ สูญเปล่ายิ่งมากก็ยิ่งจะต้องนำปัจจัยนำเข้าเพิ่มขึ้น เพื่อก่อให้เกิดการเพิ่มผลผลิต มิฉะนั้นก็อาจจะ ทำให้เกิดผลผลิตเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นในการเพิ่มผลผลิตก็ไม่จำเป็นจะต้องเพิ่มปริมาณการผลิต

2.16 ความสำคัญของการเพิ่มผลผลิต

เนื่องจากทรัพยากรซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตมีอยู่อย่างจำกัด และนับวันมีแต่ จะขาดแคลนลง การเพิ่มผลผลิตจึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่จะทำให้องค์การผู้ผลิตใช้ประโยชน์จาก ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยให้มีการสูญเสียน้อยที่สุด เพื่อตอบสนองหรือให้ บริการแก่กลุ่มบุคคลจำนวนมากที่สุด การเพิ่มผลผลิตเป็นเรื่องของความร่วมมือโดยให้ทุกคนมี ส่วนร่วมและตระหนักถึงความสำคัญของการเพิ่มผลผลิต กำหนดการวางแผนและพยากรณ์ใน อนาคต เช่น การกำหนดผลิตสูงขึ้นโดยทำให้ต้นทุนต่อหน่วยต่ำลง องค์การผู้ผลิตสามารถสู้กับคู่ แข่งขันทั้งในและต่างประเทศได้

การปรับปรุงการเพิ่มผลผลิตไม่ใช่เป้าหมายในตัวเอง การปรับปรุงการเพิ่มผลผลิตเป็น วิธีทางที่จะนำไปสู่เป้าหมาย นั่นคือ การยกระดับมาตรฐานการครองชีพ คุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นและ ปรับปรุงสวัสดิการของพนักงาน การเพิ่มผลผลิตจึงเป็นวิธีการที่จะทำให้พนักงานทุกคนได้

ผลตอบแทนหรือค่าจ้างเพิ่มขึ้นในสภาวะเศรษฐกิจปกติ และยามเศรษฐกิจตกต่ำ การเพิ่มผลผลิตถือได้ว่าเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้องค์กรต่อสู้กับคู่แข่งได้ด้วยการลดต้นทุนและรักษาการจ้างงานไว้โดยไม่ต้องปลดคนงานออก การเพิ่มผลผลิตมีอาจประสบความสำเร็จได้ถ้ายังไม่มีกระแสไหลลดความสูญเปล่าซึ่งมีความสำคัญอย่างมากในการเพิ่มต้นทุน (ค่าใช้จ่าย) แก่ผลผลิตสุดท้ายความสูญเปล่าแบ่งออกเป็น 7 ประเภท คือ

2.16.1 ความสูญเปล่าจากการผลิตมากเกินไป (Over Production) เป็นความสูญเปล่าที่นำความเสียหายมาสู่การผลิต การผลิตมากเกินไปทำให้ต้องใช้วัตถุดิบและแรงงานมากขึ้น วัตถุดิบที่อยู่ในกระบวนการผลิต จำเป็นต้องใช้เนื้อที่เป็นคลังจัดเก็บสินค้า สิ่งเหล่านี้นับว่าบวกเข้าไปกับต้นทุนของผลิตภัณฑ์ทั้งสิ้น และกว่าที่องค์กรจะจำหน่ายออกจากสต็อกให้หมด ก็อาจมีสินค้าแบบใหม่เกิดขึ้นในตลาด การนำเอาสินค้าที่ค้างสต็อกมาขายจึงต้องขายในราคาต่ำลง ฉะนั้น การผลิตสินค้าจะต้องผลิตให้เหมาะสมกับความต้องการของลูกค้าในปริมาณที่เหมาะสม ต้นทุนต่ำและตรงตามเวลาที่ต้องการ

2.16.2 ความสูญเปล่าจากสิ่งบกพร่อง (Direct Rework) ข้อบกพร่องต่างๆ ที่เกิดความผิดพลาด ไม่ว่าจะเป็นในกระบวนการผลิตหรือในสำนักงานก็อาจนำมาซึ่งความเสียหายได้ ส่วนใหญ่แล้วเมื่อเกิดปัญหาเรื่องคุณภาพจะลงมือแก้ไขข้อบกพร่องนั้น การปรับปรุงคุณภาพโดยการตรวจหาสิ่งบกพร่อง และขจัดสิ่งบกพร่องของกระบวนการผลิตเพื่อไม่ให้ผลิตภัณฑ์ที่ด้อยคุณภาพไปสู่ลูกค้า ซึ่งไม่เพียงแต่จะทำให้ต้นทุนการส่งมอบและรับประกันจะสูงเท่านั้น ยังมีผลกระทบต่อธุรกิจและส่วนแบ่งตลาดในอนาคตอีกด้วยสาเหตุของการเกิดสิ่งบกพร่องที่สำคัญได้แก่ เครื่องจักรอุปกรณ์อยู่ในสภาพที่บกพร่อง วัตถุดิบขาดคุณภาพ สภาพแวดล้อมในการทำงานไม่ดี ข้อมูลแบบแปลนขาดความชัดเจน และ พนักงานขาดทักษะหรือขาดความรับผิดชอบ

การผลิตที่ดีต้องยึดสุภาษิตที่ว่า “กันไว้ดีกว่าแก้” ไม่ใช่จะต้องมาแก้ตามหลัง การปรับปรุงคุณภาพโดยการป้องกันทำได้โดยการตรวจสอบข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ก่อนส่งมอบลูกค้าตรวจสอบส่วนที่บกพร่องที่อาจเกิดขึ้นเป็นประจำ ค้นหาสาเหตุของข้อบกพร่อง กำจัดต้นเหตุข้อบกพร่องออกจากระบบ

การตรวจสอบสินค้าจะทำให้อัตราการส่งคืนกลับและแก้งานใหม่ลดลงต้นทุนการผลิตจะลดลงไปด้วย การปรับปรุงคุณภาพด้วยการป้องกันมีผลดังนี้

1. การปรับปรุงรูปแบบของผลิตภัณฑ์
2. การพัฒนากระบวนการผลิตให้ดียิ่งขึ้น
3. เกิดขั้นตอนการตรวจสอบผลผลิตทั้งระบบ
4. มีการบำรุงรักษาเครื่องจักร อุปกรณ์อย่างถูกต้องตลอดเวลา

2.16.3 ความสูญเปล่าที่เกิดจากการรอคอย/ความล่าช้า (Delay/Idle Time) การรอคอย/ความล่าช้า เกิดจากการที่เครื่องจักรต้องรอวัสดุ รอซ่อมหรือพนักงานรอวัสดุ อุปกรณ์ คำสั่งการผลิต ซึ่งก่อให้เกิดปัญหา ถ้าเครื่องจักรไม่ได้ทำอะไร หรือรอาน สิ่งที่สำคัญเสียคือ ค่าเสียโอกาส ควรใช้เวลาที่ต้องรอคอยนั้นทำอะไรที่ก่อให้เกิดผลผลิตมากขึ้น ความล่าช้าอาจเกิดจากการขาดความสมดุลในการขนส่ง หรือการส่งชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ล่าช้า ซึ่งจะก่อให้เกิดความสูญเปล่าในจังหวะที่รอคอยการผลิต การลดความสูญเปล่าจากการรอทำได้ดังนี้

2.16.3.1 ลดการรอคอยของวัสดุ เนื่องจากการที่วัสดุสำหรับการผลิตไม่ทันตามกำหนด เวลา เพื่อไม่ให้เกิดการขาดของวัสดุที่ป้อนเข้าบริเวณทำงานสามารถทำได้โดยใช้การ JIT

2.16.3.2 ลดการหยุดของเครื่องจักร โดยการบำรุงรักษาเครื่องจักรให้คงไว้ในสภาพที่ดีตามแผนการบำรุงรักษา ซึ่งจะทำให้เครื่องจักรอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน

2.16.3.3 ฝึกพนักงานให้มีทักษะการทำงานหลายด้าน (Multi skill)

2.16.4 ความสูญเปล่าที่เกิดจากการสะสมงานระหว่างการผลิต (Unnecessary Stock) การที่สะสมวัตถุดิบไว้มากเกินไป จะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองในการดูแลรักษา เป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต โดยเปล่าประโยชน์ อาจกล่าวได้ว่าการลดความสูญเปล่าขั้นตอนนี้ก็คือ การลดระดับสินค้าคงคลัง ลดสินค้าคงคลังที่ดีทำได้ดังนี้

2.16.4.1 กำจัดวัสดุที่หมดอายุเพื่อจะได้ไม่ต้องเปลืองเนื้อที่ และไม่ทำให้เกิดความสับสน

2.16.4.2 ไม่ผลิตสิ่งที่เกินความต้องการของกระบวนการต่อไป

2.16.4.3 ไม่จัดหาวัตถุดิบเพียงเพื่อต้องการส่วนลดจากการซื้อเยอะ ส่วนลดนี้มักถูกความสูญเปล่าอันเกิดจากการสะสมสินค้าคงคลังหักจ่ายไปหมด

2.16.4.4 ผลิตสินค้าตามที่ลูกค้าต้องการ

2.16.5 ความสูญเปล่าจากการขนส่ง (Transportation) การขนส่งเป็นกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มแต่กลับเป็นต้นทุนขึ้น การขนย้ายผลิตภัณฑ์ระหว่างผลิตมีมากมาย เช่น งานขนย้ายวัตถุดิบหรือชิ้นงานจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง การขนส่งของไปวางไว้ชั่วคราวเพื่อรอการใช้ครั้งต่อไป เกิดเป็นสต็อกงานระหว่างการผลิต เป็นเรื่องที่ต้องพิจารณาตั้งแต่การออกแบบผังโรงงาน องค์การจำเป็นต้องวางแผนการทำงานที่สัมพันธ์กัน เพื่อการขนส่งหรือส่งต่อระหว่างแผนก การเชื่อมงานจะได้ดำเนินไปอย่างสะดวก และพิจารณาลดสินค้าให้อยู่ใกล้โรงงาน ใกล้แผนกส่งของ วิธีการนี้ไม่เพียงแต่ทำงานได้สะดวกเท่านั้น แต่ยังสะดวกต่อการส่งมอบและเวลาถูกคำนวณรับสินค้าอีกด้วย

2.16.6 ความสูญเปล่าจากกระบวนการ (Non Effective Process) หลายขั้นตอนในกระบวนการผลิตมีการทำงานซ้ำซ้อนไม่จำเป็น มีการจัดลำดับงานที่ไม่ถูกต้องและไม่ได้เพิ่มมูลค่าให้กับตัววัสดุ กระบวนการผลิตถ้าพนักงานมีเจตคติว่า “ช่วยไม่ได้” นั้นหมายถึง กำลังพลาดความสูญเปล่าที่อาจควบคุมได้ ความสูญเปล่าอันเกิดจากกระบวนการผลิตแตกต่างกัน ซึ่งอาจมาจากการออกแบบผลิตภัณฑ์ ขั้นตอนกระบวนการผลิต วิธีการปรับปรุงออกแบบให้ผลิตภัณฑ์ได้ง่าย โดยคำนึงถึงประสิทธิผลและลดการสูญเปล่าให้น้อยที่สุด

2.16.7 ความสูญเปล่าจากการเคลื่อนไหว (Motion) ลักษณะของการเคลื่อนไหวและระยะทางการเคลื่อนที่ของร่างกายในการทำงานที่มีผลผลลัพธ์ของงาน ยิ่งเคลื่อนไหวไม่จำเป็นเท่าไร การสูญเสียเวลาก็มีมากเท่านั้น ดังนั้นการปรับปรุงการปฏิบัติงานโดยการขจัด หรือลดการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็นออกจะได้สร้างความต่อเนื่องทางการเคลื่อนไหวที่เกิดประโยชน์ที่สุด

การลดการสูญเปล่าไม่ใช่เพียงลด เวลาหรือทรัพยากรเท่านั้น จึงต้องมีการทบทวนกระบวนการทำงาน และขยายผลไปยังทุกกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มแก่การผลิตให้มีการสูญเปล่าน้อยที่สุด การลดความสูญเปล่าจากการเคลื่อนไหวทำได้ดังนี้

2.16.7.1 จัดวางเครื่องมือและวัสดุตามความถี่การใช้งาน ให้วางไว้ใกล้ๆ เพื่อใช้งานได้ง่ายสะดวก

2.16.7.2 จัดเครื่องมือที่ใช้ผลิตภัณฑ์ โดยให้รวมเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานนั้นไว้ในภาชนะหรือจุดเก็บเพื่อให้หยิบใช้ได้ง่าย

2.16.7.3 จัดชุดเครื่องมือหรือวัสดุตามลำดับการใช้งาน โดยจัดเครื่องมือหรือวัสดุตามลำดับการใช้งาน โดยให้ทิศทางการเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกัน

2.17 การลดต้นทุนการผลิต

การลดต้นทุนการผลิต สามารถทำได้โดยทุกฝ่ายในองค์กร แต่ที่มักให้ความสำคัญคือด้านการผลิต โดยเฉพาะเรื่องของประสิทธิภาพการผลิตซึ่งเป็นตัวชี้วัดที่เกิดจากการเปรียบเทียบระหว่างผลผลิต (Output) กับปัจจัยการผลิต (Input) ทุกองค์กรจะต้องเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตของตนเองกับองค์กรอื่น หรือเปรียบเทียบภายในองค์กรเองแต่เปรียบเทียบในช่วงเวลาต่างๆ เช่น ประสิทธิภาพการผลิตของเดือนนี้กับเดือนที่แล้ว หรือ Lot นี้กับ Lot ที่แล้ว เป็นต้น เปรียบเทียบระหว่างเครื่องจักร เปรียบเทียบระหว่างโรงงาน หรือระหว่างแผนก เป็นต้น การเปรียบเทียบช่วยให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่เปลี่ยนแปลงหรือระดับประสิทธิภาพระหว่างองค์กร ซึ่งการเพิ่มประสิทธิภาพสามารถทำได้ 5 วิธี ได้แก่

2.17.1 เพิ่มผลผลิตโดยใช้ปัจจัยการผลิตเท่าเดิม

2.17.2 ผลผลิตเพิ่มและปัจจัยการผลิตลดลง

2.17.3 ผลผลิตเพิ่มขึ้นมากกว่าปัจจัยการผลิตที่เพิ่มขึ้น

2.17.4 ผลผลิตเท่าเดิมแต่ปัจจัยการผลิตลดลง

2.17.5 ผลผลิตลดลงน้อยกว่าปัจจัยการผลิตที่ลดลง

(ณัฐพล ลีลาวัฒนานันท์. ถอดต้นทุนการผลิต สืบค้นเมื่อ 18 สิงหาคม 2555 จาก http://boc.dip.go.th/index.php?option=com_content&view=article&id=340&Itemid=14)

การเพิ่มผลผลิตโดยเพิ่มคุณค่าด้วยการลดปัจจัยการผลิต หรือต้นทุน หรือปัจจัยการผลิตที่ สามารถกระทำได้นี้

ลดการสูญเสียของวัตถุดิบ

ลดความเสียหายของชิ้นงานให้น้อยลง

ลดการเสียเวลาของพนักงานลง

ลดจำนวนของสต็อกกองคลัง

ลดเวลาปรับตั้งเครื่องจักรหรือเวลาปรับเปลี่ยนงานผลิต

ลดอุบัติเหตุด้วยการป้องกันอุบัติเหตุ

ตัดทอนเวลาเดิน

เพิ่มคุณภาพของงานหรือผลิตภัณฑ์

ปรับปรุงพื้นที่ทำงานหรือวางผังการทำงานในโรงงานให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

ปรับปรุงการบำรุงรักษาและลดการซ่อมแซมเครื่องจักร

ปรับปรุงวิธีการทำงานใหม่หรือนำวิธีการทำงานที่ดีกว่ามาใช้

ปรับปรุงองค์การด้วยการจัดองค์การให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

(การเพิ่มผลผลิตในองค์กร สืบค้นเมื่อ 18 สิงหาคม 2555 จาก <http://www.kmitnbxmie8.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=388020&Ntype=3>)

2.18 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุเมธ กาพภักดี (2547) ได้ทำการศึกษาการลดของเสียประเภทผ้าเขียวเป็นลอนในกระบวนการรีดพลาสติกแผ่นด้วยการวิเคราะห์ถึงปัจจัย ที่มีผลต่อการเขียวเป็นลอนของของพลาสติกโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมเพื่อหาสภาวะการควบคุมการผลิตที่

เหมาะสมโดยใช้หลักการ Why-Why-Analysis โดยอาศัยการเปรียบเทียบสิ่งที่เป็นอยู่ในปัจจุบันกับ สิ่งที่จะเป็นตามหลักเกณฑ์หรือทฤษฎีแล้ว จึงนำปัจจัยที่ได้มาทำการออกแบบทดลอง เพื่อ ทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยเหล่านั้นจากการทดลองพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเหี่ยวเป็น ลอนของผ้าพลาสติกและสภาวะควบคุมการผลิตที่เหมาะสมคือ อัตราการดึงยืดในแนวยาวของชุด ลูกกริด Take off อยู่ที่ 2.50 อุณหภูมิของชุดลูกกริดคาเลนเตอร์ อยู่ที่ 175, 177, 175, และ 173 องศา เซลเซียส และอุณหภูมิของชุดลูกกริด Take off & Emboss (C) อยู่ที่ 175 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนผลจากการควบคุมนำค่าผลิตแบบใหม่ที่ได้จากการทดลอง ไปประยุกต์ใช้ ในสายการผลิตจริง มีผลทำให้อัตราการเหี่ยวเป็นลอน จากการผลิตโดยรวมต่อเดือน มีค่าลดลงร้อยละ 2.17 จากเดิมร้อยละ 3.01 เป็นร้อยละ 0.8

ศิริรัตน์ เชียวประยูร (2547) ได้ทำการศึกษาการลดของเสียในกระบวนการหล่อฝาสูบ อะลูมิเนียมโดยการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของแบบหล่อ ซึ่งปัญหารอยรั่ว (Leak) ในงานหล่อ อะลูมิเนียมนี้พนักงานไม่สามารถตรวจสอบด้วยสายตาได้ เนื่องจากภายในเป็นท่อผ่านน้ำหล่อเย็น และน้ำมันของเครื่องยนต์ ซึ่งปัญหาด้าน (Leak) เป็นปัญหาอันดับหนึ่งของกระบวนการผลิตฝาสูบ อะลูมิเนียมนี้เป็นเป้าหมายคือลดจากเปอร์เซ็นต์ของเสีย 90.1% ของอาการเสียทั้งหมดนี้ให้ลดลงได้ น้อยที่สุด ดังนั้นงานวิจัยนี้เริ่มจากการวิเคราะห์สาเหตุหลักโดยการระดมสมอง โดยใช้ผู้มีความรู้ เฉพาะทางซึ่งได้ปัจจัยมาทั้งหมด 17 ปัจจัยจากนั้น ได้นำมาประเมินผลให้คะแนนค่าความรุนแรง ของผลกระทบ, โอกาสการเกิดและผลการตรวจจับระดับควบคุม เพื่อแสดงลำดับความสำคัญของการ เสียที่จะทำให้เกิดปัญหาโพรงหดตัว ซึ่งจากค่า RPN งานวิจัยนี้ได้้นำคะแนน RPN มาทำการ วิเคราะห์ผ่านพาเรโต เพื่อดูความมีเสถียรภาพของข้อมูลซึ่งจากพาเรโต พบว่าปัจจัยที่นำมาออกแบบ การทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่ให้ค่าอัตราการแข็งตัวของงานหล่อฝาสูบอะลูมิเนียมมากที่สุด มี ทั้งหมด 3 ปัจจัยได้แก่ อัตราน้ำหล่อเย็นด้านล่าง, อุณหภูมิอุณหภูมิแบบหล่อด้าน Front และการถ่ายเท ความร้อนของแบบหล่อ โดยนำปัจจัยเหล่านี้ไปทำการออกแบบการทดลองแบบ 1 เรพลิเคต โดยที่ งานวิจัยนี้ได้กำหนดตัวแปรตอบสนอง โดยใช้ค่าอัตราการแข็งตัวของอะลูมิเนียม ในตำแหน่งด้าน Front โดยวัดครั้งละ 3 ระดับคือด้านล่าง, ตรงกลางและด้านบนซึ่งจากผลการทดลองแบบ 1 เรพลิเคต นั้นได้ค่าปัจจัยที่เหมาะสมดังต่อไปนี้คือ อัตราน้ำหล่อเย็นด้านล่างปรับตั้งค่าไว้ที่ 60 Liter/min, อุณหภูมิแบบด้าน Front ปรับตั้งค่าไว้ที่ 190-210 องศาเซลเซียส และการถ่ายเทความร้อนของ แบบหล่อ ต้องใช้แบบหล่อที่ปรับปรุงใหม่

พงษ์พันธุ์ โคตรประทุม (2548) ศึกษาการลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องในกระบวนการหล่อขึ้นงานขึ้นรูปอะลูมิเนียม ด้วยการวิเคราะห์ปัจจัยประเภทของการหล่อไม่เต็มแบบ (Misrun) โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมเพื่อหาสภาวะระดับปัจจัยที่เหมาะสม

โดยเริ่มจากการศึกษาทฤษฎีงานหล่อขึ้นรูปอะลูมิเนียมแล้วจึงศึกษาข้อมูลการผลิตและสภาพการผลิตจริงเพื่อรวบรวมปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลังจากนั้นวิเคราะห์หาสาเหตุ โดยใช้การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง ของผลกระทบพบว่า ปัจจัยที่ได้มาทำการออกแบบการทดลองจากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบ (FMEA) แล้วจึงนำปัจจัยที่ได้มาทำการออกแบบการทดลองจากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบพบว่า ปัจจัยที่น่าจะมีอิทธิพลต่อชิ้นงานไม่เต็มมี 3 ปัจจัยคือ อุณหภูมิเตาหลอม, อุณหภูมิแม่พิมพ์ และเวลาในการฉีดน้ำยาเคลือบแม่พิมพ์ จากนั้นได้นำทั้ง 3 ปัจจัยนี้ มาผ่านการทดลอง โดยวิเคราะห์ที่ละปัจจัยซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอาการไม่เต็มอย่างมีนัยสำคัญคือ อุณหภูมิเตาหลอม และอุณหภูมิแม่พิมพ์ จากนั้นได้ทำการทดลองเพิ่มเติมว่า ณ อุณหภูมิแม่พิมพ์ ที่ 750 องศาเซลเซียส และ 220 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ให้ผลการเกิดอาการไม่เต็มน้อยที่สุด และเมื่อทำการติดตามผลเดือน เมษายน 49 พบว่าของเสียทั้งหมดของชิ้นงานในการศึกษานี้ (Casing Cap รุ่น CTC-11) นั้นลดลงจาก 20% เหลือ 3% ซึ่งส่งผลให้ข้อเสียรวมทั้งหมดของบริษัทลดลงจาก 12.5% เหลือเพียง 8.5% ของยอดการผลิตทั้งหมด

พินิจ อุทัยเนตร (2549) ได้ศึกษาโครงการปัญหาพิเศษโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการวิเคราะห์การกำหนดมาตรฐานในการเพิ่มความขาวของแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งได้นำกระบวนการลอยแร่แบบ Column flotation เข้ามาใช้ในการจัดตั้งปilot plant โดยในการศึกษาจะศึกษาโดยการเติมสารเคมี (Flotation agent) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาในระบบตั้งแต่ 80-160 PPM ในการศึกษากครั้งนี้จะศึกษาปริมาณน้ำยากับความขาวของแคลเซียมคาร์บอเนต ผลการศึกษาพบว่ากระบวนการลอยแร่แบบ Column flotation สามารถที่จะจัดตั้งปilot plant ในแคลเซียมคาร์บอเนต แต่ ความขาวของแคลเซียมคาร์บอเนตไม่ได้เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของน้ำยา เพราะฉะนั้นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดคือ 80 PPM ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษานี้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการผลิตได้ 1.9 ล้านบาทต่อปี ผลที่ได้จากการศึกษานี้เป็นผลที่ได้จากการทดลองตามข้อกำหนดเท่านั้น แต่ถ้ามมีการเปลี่ยนแปลงข้อกำหนด ก็ควรจะทำการศึกษาทดลองใหม่

จิระเดช คิสตัน (2551) ได้ศึกษาการลดสัดส่วนของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติก โดยใช้เทคนิคการควบคุมกระบวนการด้วยหลักการทางสถิติ ปัญหาที่พบในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนลำโพง (Speaker Unit) ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดพลาสติก พบว่ามีผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะบกพร่องหรือมีคุณภาพไม่ตรงตามข้อกำหนดของลูกค้า ปัญหาสำคัญของข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ที่ตรวจพบมี 3 ลักษณะ ได้แก่ ชิ้นงานมีรอยขีดข่วน มีจุดดำในชิ้นงาน และชิ้นงานไม่เต็มรูป ซึ่งจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตมีแนวโน้มของปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตของบริษัทฯ สูงขึ้น งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการควบคุมกระบวนการผลิต โดยนำเอาเทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (Statistical Process Control) มาใช้ในกระบวนการ

ผลิต และนำเอาเครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 อย่างมาช่วยทำการวิเคราะห์ปัญหาเพื่อค้นหาแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ผลจากงานวิจัยนี้สามารถลดของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตจากเดิมรวม 56.64 เปอร์เซ็นต์ โดยสามารถลดปัญหาผลิตภัณฑ์บกพร่อง เป็นจุดดำ จากเดิม 63.50 เปอร์เซ็นต์ ขอบกพร่องจากการผลิตชิ้นงาน ไม่เต็มรูปมีจำนวนลดลงจากเดิม 52.50 เปอร์เซ็นต์ และชิ้นงานที่เกิดขอบกพร่องจากการผลิตชิ้นงานมีจำนวนลดลงจากเดิม 46.98 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งสามารถลดการสูญเสียค่าของสินค้าได้ลดลงเป็นจำนวน 63,338 ชิ้น ซึ่งมีมูลค่าการขายทางตลาดเป็นจำนวน 22,168,300 บาท และยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของบริษัทฯ สร้างความมั่นใจให้กับลูกค้าในการจัดส่งของที่มีคุณภาพตรงตามความต้องการของลูกค้าได้อย่างครบถ้วน ซึ่งส่งผลให้บริษัทฯ มีความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจได้สูงขึ้น รวมถึงสามารถเพิ่มผลประกอบการของบริษัทฯ ให้สูงขึ้นได้อีกด้วย