

บทที่ 2

ทฤษฎีที่สำคัญ

การพัฒนาสร้างเครื่อง และศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการบีบอัดน้ำมันงาด้วยเครื่องบีบอัดแบบเกลียวเดี่ยวมีทฤษฎีที่สำคัญจำเป็นต่อการพัฒนาสร้างเครื่อง โดยต้องทำการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบการบีบน้ำมันงาและการบีบอัดงา ชิ้นส่วนประกอบที่เป็นส่วนสำคัญของเครื่องผลิตน้ำมันงา รวมถึงต้องใช้ความรู้ในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักร เพื่อช่วยในการออกแบบโครงสร้างของเครื่องจักรให้ได้เครื่องผลิตน้ำมันงา ที่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.1 คำสำคัญ (Keywords) ของโครงการวิจัย

2.1.1 งา (Sesame) หมายถึง พืชน้ำมันประเภทล้มลุก ที่มีเมล็ดขนาดเล็กสีดำหรือสีขาว ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์

2.1.2 น้ำมันงา (Sesame oil) หมายถึง น้ำมันที่ได้จากการบีบงาขาว

2.1.3 เครื่องบีบอัดน้ำมันงาแบบสกรูเกลียวเดี่ยวชนิดร่องเกลียวไม่คงที่ หมายถึง เครื่องจักรที่ใช้สกรูเกลียวหมุนอัดให้น้ำมันออกมาโดยใช้สกรูเกลียวที่มีความลึกร่องเกลียวไม่เท่ากันตลอดความยาวของสกรูเกลียวเดี่ยว

2.1.4 ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการบีบอัดน้ำมันงา หมายถึง ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการบีบอัดน้ำมันงาและประสิทธิภาพของน้ำมันงา เช่น ความลึกร่องเกลียว, ความเร็วรอบของเกลียวอัด, และทางออกของกากงา เป็นต้น

2.2 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 การพัฒนาการออกแบบและสร้างเครื่องบีบน้ำมันงา [3]

จากเครื่องบีบอัดน้ำมันงาแบบเกลียวเดี่ยวต้นแบบได้ทำการศึกษาพบว่าเครื่องบีบอัดน้ำมันงาต้นแบบยังมีชิ้นส่วนที่เป็นองค์ประกอบที่จะทำให้ได้อัตราการผลิตและประสิทธิภาพในการบีบอัดน้ำมันงาเพิ่มมากขึ้นได้ เช่น ชุดคายบีบอัด ชุดคายคายกาก สกรูบีบอัด และชุดโครงเครื่อง

คณะผู้จัดทำจึงได้ทำการศึกษาข้อบกพร่องและพัฒนาออกแบบชุดดังกล่าว เช่น ชุดคายบีบอัด ชุดคายคายกาก สกรูบีบอัด และชุดโครงเครื่อง โดยทำการออกแบบสร้างเครื่องบีบอัด

น้ำมันงาขึ้นมาใหม่ 1 เครื่อง และได้ทำการทดลองโดยใช้เมล็ดงาขาวในการบีบอัด โดยการบีบอัดใช้ความเร็วรอบแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 20, 25, 30, 35 และ 40 รอบ/นาที่ โดยใช้ด้ายบีบอัดจำนวน 4 ระดับคือ มุม 100, 110, 120 และ 130 องศา และใช้ทางออกก้างจำนวน 4 ระดับ คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10, 11, 12 และ 13 มม. โดยใช้งาในการทดลองครั้งละ 500 กรัม เพื่อหาอัตราการผลิตน้ำมันงาที่เหมาะสม ในการทำงานของสกรูบีบอัดนี้ได้แรงจากมอเตอร์ 1 แรงม้า โดยมีการทดรอบด้วยชุดเฟืองทดในอัตราทด 1:43 รอบ/นาที่ โดยสามารถปรับค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วยอินเวอร์เตอร์

ผลของการทดลองพบว่าเมื่อใช้ความเร็วรอบ 35 รอบ/นาที่ ใช้ด้ายบีบอัดมุม 120 องศา และขนาดทางออกของด้ายคายก้าง 12 มม.จะให้ปริมาณน้ำมันงาขาวมากที่สุด 216 กรัม ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพในการบีบอัดน้ำมันงาเป็น 86.4 เปอร์เซ็นต์ของน้ำมันงาในเมล็ดงาและใช้เวลาในการบีบน้ำมันงา 16.56 นาที หรือได้อัตราการผลิตน้ำมันงา 0.782 กิโลกรัม/ชั่วโมง

2.2.2 การศึกษากระบวนการผลิตน้ำมันงาด้วยเครื่องบีบอัดแบบเกลียวเดี่ยว [4]

จากการศึกษาการบีบอัดน้ำมันงาขาวด้วยเครื่องบีบอัดน้ำมันจากเมล็ดพืชได้ทราบถึงอิทธิพลที่ส่งผลต่ออัตราการบีบอัด คือ ความเร็วรอบเกลียวอัด ระยะพิตช์เกลียวอัดและขนาดทางออกของก้าง และเครื่องมืออยู่ไม่ใช่เครื่องที่บีบอัดน้ำมันจากเมล็ดงาขาวโดยเฉพาะทางกลุ่มผู้จัดทำจึงได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรที่กล่าวมาข้างต้น เพื่อให้รู้ถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรดังกล่าวส่งผลต่ออัตราการผลิตอย่างไร

คณะผู้จัดทำจึงได้ทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่อการบีบอัดน้ำมันงา โดยทำการศึกษาระยะพิตช์ของเกลียว ความลึกร่องเกลียว ขนาดความโตของทางออกก้าง และความเร็วรอบเกลียวอัด และได้ทำการทดลองโดยใช้เมล็ดงาขาวทำการบีบอัด ที่ความเร็วรอบแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 10, 15, 20, 25 และ 30 รอบ/นาที่ ใช้เกลียวอัดในการบีบอัดจำนวน 10 ชั้น คือ ที่ความลึกของ 9 มม. ระยะพิตช์ที่ 23, 24, 25, 26 และ 27 มม. และที่ระยะพิตช์ 24 มม. ความลึกร่องเกลียว 8, 8.5, 9, 9.5 และ 10 มม. ช่องทางออกของก้างจำนวน 3 ขนาด คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7, 8 และ 9 มม. โดยใช้งาในการทดลองครั้งละ 1 กิโลกรัม เพื่อหาอัตราการผลิตและประสิทธิภาพในการบีบอัดน้ำมันงาที่ดีที่สุด

ผลจากการทดลองสรุปได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างเกลียว ความเร็วรอบเกลียวอัด และทางออกของก้าง มีความสัมพันธ์กัน โดยนำผลการทดลองที่ได้จากอัตราการผลิตและประสิทธิภาพในการบีบอัดที่ดีที่สุดของทางออกก้าง 3 ขนาด จึงได้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของผลการทดลองที่ระยะพิตช์ 24 มม. และที่ความลึก 9 มม. ทางออกก้างเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด

8 มม. จะเหมาะสมที่ความเร็วรอบ 22.3 รอบ/นาที ซึ่งจะได้อัตราการผลิต 2.22 กิโลกรัม/ชั่วโมง และประสิทธิภาพในการบีบอัดที่ 81 เปอร์เซ็นต์

2.2.3 การออกแบบและสร้างเครื่องบีบอัดน้ำมันสะเดาแบบสกรูแนวนอน [5]

การออกแบบโดยอาศัยหลักการลำเลียงของสกรูไปที่ส่วนปลายเพื่อบีบอัด และลำเลียงออกไปพร้อมๆกัน มีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือ ชุดต้นกำลัง ชุดส่งกำลัง และชุดลำเลียงบีบอัด ต้นกำลังใช้มอเตอร์ 3 เฟส ขนาด 3 แรงม้า ส่งกำลังไปยังสกรู ซึ่งสกรูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 มิลลิเมตร ระยะพิทช์ 30 มิลลิเมตร และยาว 205 มิลลิเมตร ลักษณะของสกรูเป็นแบบ ระยะพิทช์และความลึกคงที่ หมุนอยู่ในกระบอกบีบอัด ตัวกระบอกอัดเจาะรูด้านข้างเพื่อให้ไขมันไหลออก ซึ่งรูมีขนาด 1 มิลลิเมตร ส่วนหัวของสกรูมีฝาครอบบีบอัดที่เจาะรูตรงกลางใส่ขนาดช่องคายกากเพื่อให้เกิดการบีบอัดมากขึ้น ที่ช่องคายกากก็เจาะรูขนาดเล็กเพื่อให้กากสะเดาลำเลียงออกมา ในการทดสอบหาประสิทธิภาพการบีบอัด ได้ทดสอบที่ความเร็วรอบ 3 ระดับ คือ 20 , 30 และ 40 รอบต่อนาทีตามลำดับ และขนาดของช่องคายกากมี 2 ขนาดคือ 5 และ 8 มิลลิเมตร จากการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพในการบีบอัดสูงสุด 17.76 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที และขนาดช่องคายกากขนาด 8 มิลลิเมตร

2.2.4 การออกแบบและสร้างเครื่องบีบอัดน้ำมันจากเมล็ดทานตะวันแบบใช้เกลียว[6]

การออกแบบและสร้างเครื่องดันแบบเพื่อบีบอัดน้ำมันทานตะวัน ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ ชุดต้นกำลัง สกรูลำเลียง และหัวบีบอัด ชุดต้นกำลังใช้มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ขนาด 3 แรงม้า ขับสกรูลำเลียงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร ระยะพิทช์ 25 มิลลิเมตร ยาว 310 มิลลิเมตร จะหมุนอยู่ภายในกระบอกอัดน้ำมันทานตะวันจะไหลออก จากรูเจาะที่อยู่รอบๆ กระบอกบีบอัด จากการทดสอบประสิทธิภาพในการบีบอัด ที่ความเร็ว 20, 30 และ 38 รอบต่อนาที ขนาดรูเจาะรอบๆกระบอกอัด 1 และ 2 มิลลิเมตรแบบใช้ความร้อนและไม่ใช้ความร้อน พบว่าที่ความเร็วรอบเกลียวอัด 38 รอบต่อนาที ขนาดรูเจาะรอบๆกระบอกบีบอัด 1 มิลลิเมตร แบบไม่ใช้ความร้อน มีประสิทธิภาพการบีบอัดน้ำมันเมล็ดทานตะวันสูงสุด 25.23 เปอร์เซ็นต์

2.2.5 การวิเคราะห์หาค่าความเหมาะสมของเครื่องบีบอัดน้ำมันจากเมล็ดสะเดา [7]

การวิเคราะห์ข้อมูล ได้ทำการบีบอัดเมล็ดสะเดาที่ผ่านการกะเทาะเปลือก และไม่กะเทาะเปลือกเพื่อหาค่าความเร็วรอบในการหมุนของสกรูบีบอัด ความเร็วรอบในการหมุนของสกรูป้อน และค่าระยะความห่างระหว่างสกรูกับบุชที่เหมาะสม โดยข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นได้มาจากการเปรียบเทียบกันระหว่างผลของการบีบอัดเมล็ดสะเดาแบบที่ไม่กะเทาะเปลือก กับแบบกะเทาะเปลือกบีบอัดครั้งเดียวจากผลการทดลอง โดยการใช้เมล็ดสะเดาที่ผ่านการกะเทาะเปลือกที่น้ำหนัก 1 กิโลกรัมบีบอัดครั้งเดียว ตั้งระยะการบีบอัดที่ระยะห่างระหว่างลีดสกรูกับบุช 2 มิลลิเมตร

ความเร็วรอบในการบีบอัด 23 รอบต่อนาที ความเร็วในการป้อน 23 รอบต่อนาที ได้น้ำมันดิบ 203.06 กรัม ได้กากหรือเนื้อสะเดา 777.26 กรัม อุณหภูมิที่เกิดขึ้นขณะบีบอัด 51.60 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการผลิต 8.33 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

2.2.6 การวิจัยเรื่อง Effect of Worm shaft Speed, Moisture Content and Variety on Oil Recovery from Expelled Beniseed. [8]

ทำการทดลองบีบอัดเมล็ดงา 2 ชนิด (Yandev 55 และ E8) โดยใช้ความเร็วรอบของ Worm shaft 30 – 75 รอบ/นาที ที่ Moisture Content 4.1-10.3 % พบว่าที่ความเร็วรอบ 30 - 45 รอบ/นาที ได้น้ำมันเพิ่มขึ้นจาก 37.56 – 70.62 % เมื่อเพิ่มรอบถึง 75 รอบ/นาที ได้น้ำมันลดลง จาก 40.23 – 38.79 % จากเมล็ดงาทั้งชนิดได้น้ำมันสูงสุด 79.63 และ 74.28 % ตามลำดับ สรุปว่าความเร็วรอบของ Worm shaft มีผลต่อการบีบน้ำมันงา

2.3 งา [1]

งาเป็นพืชน้ำมันเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย มีพื้นที่ปลูกประมาณ 380,000 ไร่ ผลผลิต 35,000 ตัน ใช้ในการบริโภคภายในประเทศ 40 เปอร์เซ็นต์ และส่งออกไปต่างประเทศ 60 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นมูลค่าประมาณ 700 ล้านบาท เป็นพืชที่มีศักยภาพด้านการผลิตและการตลาดสูง ปลูกง่าย อายุสั้น ทนต่อสภาพแห้งแล้งได้ดีพอสมควร

งาเป็นเมล็ดพืชน้ำมัน ในเมล็ดงามีน้ำมันมากถึง 35 – 57 เปอร์เซ็นต์ เป็นน้ำมันที่เก็บได้นาน ไม่หืน งาอุดมไปด้วยสารอาหารและวิตามินมากมาย งามีธาตุเหล็กช่วยบำรุงเลือด ธาตุไอโอดีน ป้องกันโรคคอพอก ธาตุสังกะสีบำรุงผิวหนัง มีแคลเซียมและฟอสฟอรัสช่วยบำรุงกระดูกและฟัน งามีแคลเซียมมากกว่าพืชผักชนิดอื่นๆ ถึง 40 เท่า มีฟอสฟอรัสมากกว่าพืชผักถึง 20 เท่า มีวิตามินบี ไม่ว่าจะเป็นวิตามิน บี1 บี2 บี3 บี5 บี6 บี9 ไอโอดีน โครม ไอโพลีคลอ กรดอะมิโนเบนโซอิน ซึ่งล้วนเป็นวิตามินบีทั้งสิ้น จะขาดก็แต่วิตามิน บี 12 เท่านั้น

2.4 ชนิดพันธุ์งาและแหล่งปลูก [5]

งาที่ปลูกในประเทศไทยแบ่งตามสีของเมล็ดได้ 3 ชนิด ดังนี้

2.4.1 งาดำ ที่ใช้ปลูกกันทั่วไปมี 4 พันธุ์ ได้แก่

1) งาดำบุรีรัมย์ เป็นพันธุ์พื้นเมืองมีลักษณะฝัก 4 กลีบ 8 พู เมล็ดมีขนาดใหญ่ สีค่อนข้างดำสนิท อายุเก็บเกี่ยว 90-100 วัน ผลผลิต 60-130 กิโลกรัมต่อไร่

2) งาดำนครสวรรค์ เป็นพันธุ์พื้นเมืองที่ปัจจุบันเป็นพันธุ์ส่งเสริม มีการแนะนำให้ปลูกในพื้นที่หลายจังหวัดมี ลักษณะการเจริญเติบโตแบบทอดยอด เมล็ดมีสีดำขนาดใหญ่และเต่ง

ลักษณะฝักเป็นแบบ 4 กลีบ 8 พู ฝักแตกง่ายเมื่อสุกแก่ ลำต้นค่อนข้างสูง แตกกิ่งก้านมาก ใบมีขนาดใหญ่ค่อนข้างกลม มี 1 ฝักต่อ 1 มุมใบ การเกิดฝักจะเวียนสลับ รอบลำต้น 1 ข้อ มี 1 ฝัก อายุเก็บเกี่ยว 95-100 วัน ผลผลิต 60-130 กิโลกรัมต่อไร่ นิยมปลูกมากในท้องที่จังหวัดบุรีรัมย์ ศรีสะเกษ สุรินทร์ นครราชสีมา มหาสารคาม ชัยภูมิ สระบุรี ลพบุรี เพชรบูรณ์ พิจิตร โลกอุดรติดถัน นครสวรรค์ สุพรรณบุรี กาญจนบุรี ปราจีนบุรี และสุราษฎร์ธานี

3) งาดำมก.18 เป็นพันธุ์แท้ มีการปรับปรุงพันธุ์โดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งได้คัดเลือกพันธุ์โดยวิธีคัดเลือกประวัติจากกลุ่มผสมระหว่าง col.34 กับงาดำนครสวรรค์ในระหว่างปี 2528-2530 มีการทดสอบผลผลิตในสถานีทดลองและในสภาพไร่เกษตรกรในปี 2534 งาดำพันธุ์ มก.18 มีลักษณะการเจริญเติบโตแบบทอดยอด ใบสีเขียวเข้ม ลำต้นไม่แตกกิ่งก้านและค่อนข้างสูง เมล็ดมีสีดำสนิท ลักษณะฝัก 2 พู ฝักเกิดตรงกันข้าม ดังนั้น 1 ข้อจะมี 2 ฝัก การเรียงตัวของฝักจะเป็นแบบเวียนสลับรอบลำต้น ความยาวปล้องสั้นทำให้จำนวนของฝักต่อต้นสูง น้ำหนักเมล็ด 3 กรัม ต่อ 1,000 เมล็ด อายุเก็บเกี่ยวปลายฤดูฝน 85 วัน ต้นฤดูฝน 90 วัน ผลผลิต 60-148 กิโลกรัมต่อไร่ ทนทานต่อโรคราแป้งและทนต่อการหักล้ม ในปีการเพาะปลูก 2538/39 กรมส่งเสริมการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บริษัท คาเนมัสฯ จำกัด บริษัท นานาพรธม เอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด และสมาคมพ่อค้าข้าวโพดและพืชพันธุ์ไทย ส่งเสริมการปลูกงาดำ มก.18 ในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา และกาญจนบุรี เพื่อส่งออกไปยังประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีความต้องการงาดำพันธุ์ มก.18 สูงถึงปีละ 10,000 - 30,000 ตัน ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 งาดำพันธุ์ มก.18 [5]

4) งาดำ มข.2 เป็นพันธุ์ที่มหาวิทยาลัยขอนแก่นปรับปรุง และคัดเลือกพันธุ์มาจากงาดำพันธุ์ ซิปี 80 ของจีน ลักษณะฝักเป็นแบบ 4 พู เมล็ดสีดำสนิท ไม่ไวต่อช่วงแสงแตกกิ่ง 3-4 กิ่งต่อต้น ต้นสูง 105-115 เซนติเมตร น้ำหนักเมล็ด 2.77 กรัมต่อ 1,000 เมล็ด ปลูกได้ดีทั้งดินฝนและปลายฤดูฝน มีอายุเก็บเกี่ยวสั้น 70-75 วัน ผลผลิต 80-150 กิโลกรัมต่อไร่ ต้านทานต่อโรคเน่าดำและทนแล้งได้ดี เขตส่งเสริมการปลูก ได้แก่ จังหวัดบุรีรัมย์ และมหาสารคาม ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 งาดำพันธุ์ มข.2 [5]

2.4.2 งาขาว ที่ใช้ปลูกกันทั่วไปมี 6 พันธุ์ ได้แก่

1) พันธุ์เมืองเลย มีขนาดเมล็ดเล็ก เรียกว่า งาไข่ปลา ลักษณะฝัก 2 กลีบ 4 พู แตกกิ่งก้านมาก ตอบสนองต่อช่วงแสง อายุเก็บเกี่ยว 110-120 วัน ผลผลิต 60-90 กิโลกรัมต่อไร่ เป็นพันธุ์ที่ตลาดต้องการ เพราะนำไปสกัดน้ำมันมีกลิ่นหอม ปลูกมากที่จังหวัดเลยและบริเวณชายแดนไทย-ลาว ช่วงจังหวัดเลยถึงอุดรดิตถ์

2) พันธุ์เชียงใหม่ มีลักษณะฝัก 2 กลีบ 4 พู มีขนาดเมล็ดเล็ก แต่ใหญ่กว่าพันธุ์เมืองเลยเล็กน้อย เมล็ดมีภาพรางคล้ายหัวใจ ใว้ต่อช่วงแสง อายุเก็บเกี่ยว 110-120 วัน ผลผลิต 60-90 กิโลกรัมต่อไร่ ปลูกมากที่จังหวัดแม่ฮ่องสอนและเชียงใหม่ (กรมส่งเสริมการเกษตร)

3) พันธุ์ชัยบาดาล หรือสมอทอด มีลักษณะฝัก 2 กลีบ 4 พู เมล็ดมีขนาดปานกลาง อายุเก็บเกี่ยว 80-85 วัน ผลผลิต 50-80 กิโลกรัมต่อไร่ ปลูกมากที่จังหวัดเพชรบูรณ์และลพบุรี แต่ปัจจุบันมีปริมาณน้อยมาก

4) พันธุ์ร้อยเอ็ด1 เป็นพันธุ์ที่กรมวิชาการเกษตรปรับปรุงคัดเลือกพันธุ์ สีเมล็ดขาว สม่ำเสมอ ลำต้นตรงไม่แตกกิ่ง ลักษณะฝัก 4 กลีบ 8 พู เมล็ดมีขนาดปานกลางอายุเก็บเกี่ยว 70-75 วัน ผลผลิต 50-120 กิโลกรัมต่อไร่ เหมาะสำหรับปลูกเป็นแถว ไม่ด้านทานต่อหนอนห่อใบงาและหนอนผีเสื้อหัวกะโหลก ฝักแตกง่าย จะต้องเก็บเกี่ยวทันที ที่ครบอายุเก็บเกี่ยว

5) พันธุ์ มข.1 เป็นพันธุ์ที่มหาวิทยาลัยขอนแก่นปรับปรุงมาจากงาขาวชนิดบลิว 103 ของจีน ลักษณะฝักเป็นแบบ 2 พู ไม่ใว้ต่อแสงช่วงแสง ไม่แตกกิ่งก้าน ฝักมีการเรียงตัว เป็นแบบตรงกันข้าม ฝักดก 3-7 ฝักต่อช่อใบ เมล็ดสีขาวค่อนข้างใหญ่ น้ำหนักเมล็ด 2.79 อายุเก็บเกี่ยว 70-75 วัน ผลผลิต 80-150 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่ด้านทานหนอนห่อใบงาและหนอนผีเสื้อกะโหลก

6) พันธุ์มหาสารคาม 60 เป็นพันธุ์ที่กรมวิชาการเกษตร ปรับปรุงพันธุ์จากพันธุ์ที่-85 ของประเทศอินเดียลักษณะฝัก 2 กลีบ 4 พู ต้นโปร่ง ไม่แตกกิ่งฝักมีการเรียงตัวเป็นแบบตรงกันข้าม มี 1 ฝักต่อ 1 ช่อใบ ขนาดเมล็ดโตสีขาว น้ำหนัก 2.90 กรัมต่อ 1,000 เมล็ด อายุเก็บเกี่ยว 80-85 วัน

ผลผลิต 107 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่ต้านทานโรคราแป้ง เขตส่งเสริมการปลูก ได้แก่ จังหวัดสระบุรี ลพบุรี เพชรบูรณ์ พิจิตร โลก และกาญจนบุรี ดังรูปที่ 2.3

2.4.3 งาดำ-แดง หรือเรียกกันโดยทั่วไปว่า งาเกษตร ที่ใช้ปลูกมี 3 พันธุ์ ได้แก่

1) พันธุ์พื้นเมืองพิจิตร โลก และพันธุ์พื้นเมืองสุโขทัย ลักษณะฝักมี 2 กลีบ 4 พู แตกกิ่งก้านมาก ขนาดเมล็ดโต สีของเมล็ดมีทั้งสีดำและสีน้ำตาลแดงปนอยู่ด้วยกันอายุเก็บเกี่ยว 80-85 วัน ผลผลิต 60-90 กิโลกรัมต่อไร่ ปลูกมากที่จังหวัดเพชรบูรณ์ นครสวรรค์ พิจิตร โลก สุโขทัย ลพบุรี สระบุรี อุดรดิตถ์ แพร่ และน่าน

2) งาแดงอุบลราชธานี 1 คัดเลือกปรับปรุงพันธุ์โดยกรมวิชาการเกษตร จากงาพื้นฐำนานี 25/160/85-9 ของประเทศพม่า ได้รับการรับรองพันธุ์เมื่อ 19 มกราคม 2536 มีจีดเมล็ดโตสม่ำเสมอ น้ำหนักเมล็ด 3.16 กรัมต่อ 1,000 เมล็ด ลักษณะฝักเป็นแบบ 2 พู ต้นแตกกิ่ง 3-5 กิ่ง อายุเก็บเกี่ยว 80-85 วัน ผลผลิต 141 กิโลกรัมต่อไร่ ต้านทานโรคเหี่ยวหนอนห่อใบงาไรขาว และมวนฝิ่น ใช้เป็นพันธุ์แนะนำให้เกษตรกรปลูกแทนพันธุ์พื้นเมือง ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 งาแดงพันธุ์อุบลราชธานี 1 [5]

3) งาแดงพันธุ์ข.3 คัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์โดยมหาวิทยาลัยขอนแก่น จากงาพื้นฐำนานี ของประเทศพม่า ลักษณะฝักเป็นแบบ 2 พู เมล็ดโตสีแดง น้ำหนักเมล็ด 3.12 กรัมต่อ 1,000 เมล็ด แตกกิ่ง 4-6 กิ่งต่อต้น ต้นสูง 130-150 เซนติเมตร อายุเก็บเกี่ยว 80-85 วัน ผลผลิต 100-180 กิโลกรัมต่อไร่ ปลูกได้ทั้งดินฝนและปลายฤดูฝนเหมาะที่จะปลูกแบบหว่าน ก่อนข้างต้านทานโรคและแมลง ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 งาแดงพันธุ์ มข.3 [5]

2.5 การผลิตน้ำมัน [1]

น้ำมันงามี 2 ชนิด คือน้ำมันงาดิบ เป็นน้ำมันงาที่ถูกบีบจากงาดิบ และน้ำมันงาสุก เป็นน้ำมันงาที่ถูกบีบจากงาที่คั่วสุก น้ำมันงาสุกจะมีสีน้ำตาลแดงมีกลิ่นหอมเป็นที่นิยมนำมาปรุงอาหาร ส่วนน้ำมันงาดิบนั้นมีสีเหลืองแกมเขียว กลิ่นไม่หอมเท่าน้ำมันงาสุก น้ำมันงาดิบนี้มีคุณสมบัติที่ดีกว่าน้ำมันงาสุก น้ำมันงาดิบสามารถนำมาบริโภค เช่น การนำมาปรุงอาหารแทนน้ำมันพืชอื่น ๆ ได้ แต่ราคาสูงกว่า วิธีการที่นิยมในการบีบน้ำมันมี 2 วิธี คือ

2.5.1 การบีบ (Pressing หรือ Expelling)

การบีบเป็นวิธีการแยกน้ำมันออกจากวัตถุดิบที่ใช้กันมานานแล้ว โดยเฉพาะนิยมใช้กับเมล็ดพืชน้ำมัน เครื่องบีบมีหลายชนิดและกระบวนการมีทั้งเป็นชุด (Batch Pressing) และต่อเนื่อง (Continuous Pressing) ซึ่งอาจเป็นการบีบเย็น (Cold Pressing) หรือการบีบร้อน (Hot Pressing) ก็ได้

1) การบีบเย็น นิยมใช้กับเมล็ดพืชที่มีปริมาณน้ำมันสูง เช่น งา ถั่วลิสง ถั่วเหลือง มะกอก และมะพร้าว เป็นต้น การบีบเย็น คือ แรงกดที่กระทำต่อเมล็ดงาจะทำให้แตกและบีบน้ำมันแยกออกมา ซึ่งกระทำที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส น้ำมันที่ได้สามารถนำไปใช้ได้เลยโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ น้ำมันที่ได้จะมีคุณภาพดีและคงสภาพเช่นเดียวกับเมื่ออยู่ในเมล็ด และไม่มีปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้นได้ในน้ำมัน ตัวอย่างเช่น น้ำมันงาและน้ำมันถั่วลิสงที่สกัดแยกโดยวิธีนี้จะมิกลิ่นหอม (Nutty Flavours) ส่วนน้ำมันมะกอกจะมีกลิ่นแรง แต่เป็นกลิ่นที่คนยอมรับ อย่างไรก็ตาม การทำ Cold Pressing มีประสิทธิภาพที่ต่ำ เพราะในกากยังมีเปอร์เซ็นต์น้ำมันเหลืออยู่อีกมาก

2) การบีบร้อน คือ แรงกดที่กระทำต่อเมล็ดงาจะทำให้แตกและบีบน้ำมันแยกออกมา ซึ่งกระทำที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส ซึ่งจะมีประสิทธิภาพดีกว่าการบีบเย็น กากที่เหลือจากการบีบเย็นจะนำมากระทำขั้นตอนต่อไปโดยใช้การบีบร้อน ซึ่งอาจเป็นเครื่องอัดแบบไฮดรอลิก

ลิก (Hydraulic Batch Press) หรือเครื่องอัดแบบเกลียวอัด (Continuous Screw Press) หรือ Expeller การสกัดแยกน้ำมันโดยวิธีเหล่านี้จะใช้เวลาประมาณ 1-15 นาทีต่อตารางนิ้ว และจะยังคงมีน้ำมันเหลืออยู่ในกากเพียง 2-4 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น

การบีบน้ำมัน เครื่องมือที่ใช้บีบน้ำมันชนิดเครื่องอัดแบบไฮดรอลิกจะให้ผลดีที่สุด โดยเฉพาะเมื่อใช้กับเมล็ดฝ้ายที่มีความชื้น 5-6 เปอร์เซ็นต์ ถ้าเป็นเครื่องอัดแบบเกลียวอัดหากเป็นเมล็ดถั่วเหลืองควรมีความชื้นประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ มะพร้าวและเมล็ดงาความชื้นประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ถ้าเมล็ดพืชมีความชื้นสูงจะทำให้มีน้ำมันเหลืออยู่ในกากมาก กากที่ได้จากเครื่องอัดแบบเกลียวอัดจะมีน้ำมันอยู่ประมาณ 3-9 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับความเร็วของการหมุนของเกลียวอัด เกลียวอัดที่หมุนเร็วมากจะอัดเมล็ดพืชและบีบน้ำมันออกมาเร็ว ทำให้มีน้ำมันเหลืออยู่ในกากมาก กากที่เหลือจากการบีบด้วยเครื่องอัดซึ่งมีน้ำมันเหลืออยู่จะนำไปสกัดแยกน้ำมันที่เหลือออกอีกครั้งหนึ่ง โดยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย หรืออาจส่งกากขายให้กับโรงงานทำอาหารสัตว์

2.5.2 การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย

การสกัดน้ำมันออกจากวัตถุดิบด้วยตัวทำละลายเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก และใช้สกัดน้ำมันออกจากเมล็ดพืชที่มีปริมาณน้ำมันต่ำ หรือสกัดน้ำมันออกจากกากที่เหลือจากการบีบด้วยเครื่องอัด ตัวทำละลายที่ใช้จะต้องไม่เป็นพิษต่อร่างกาย ได้แก่ เฮกเซน (Hexane) คาร์บอนไดซัลไฟด์และไดเอทิลอีเทอร์ เป็นต้น ตัวทำละลายที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ เฮกเซน

วิธีการสกัดทำได้โดยให้ตัวทำละลายไหลซึมผ่านเมล็ดที่บดละเอียด น้ำมันที่อยู่ในเมล็ดจะละลายออกมากับตัวทำละลาย เมื่อน้ำมันละลายออกมาแล้ว นำไปกลั่นแยกเอาตัวทำละลายออก สารละลายของน้ำมันในตัวทำละลายบางที่เรียกว่า Miscella ซึ่งประกอบด้วยตัวทำละลาย น้ำ หรือความชื้น น้ำมัน และกาก ซึ่งกากจะแยกออกจากน้ำมันโดยการกรอง ส่วนเฮกเซนและน้ำแยกออกโดยการระเหย (Evaporation) ที่ความดันต่ำ และได้น้ำมันออกมาประมาณ 98 เปอร์เซ็นต์ และมีความชื้นเหลืออยู่น้อยกว่า 0.15 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ขั้นตอนการระเหยเอาตัวทำละลายออกต้องใช้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำที่สุด เพราะหากใช้อุณหภูมิสูงเกินไป จะเร่งให้เกิดออกซิเดชัน ทำลายสารต้านออกซิเดชันและทำให้น้ำมันที่ได้มีสีเข้มขึ้น

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการสกัดน้ำมัน ได้แก่

1) ปริมาณของตัวทำละลาย ถ้าใช้ปริมาณตัวทำละลายในการสกัดมาก จะทำให้สกัดน้ำมันออกมาได้มากและมีน้ำมันเหลืออยู่ในกากน้อย แต่ถ้าใช้ตัวทำละลายมากก็ต้องใช้เวลานานในการระเหยแยกเอาตัวทำละลายออกทำให้สูญเสียตัวทำละลายที่ระเหยออกไปมากขึ้น

2) ชนิดของตัวทำละลาย ตัวทำละลายหลายชนิดใช้สกัดน้ำมันได้ และตัวทำละลายแต่ละชนิดจะมีสมบัติเฉพาะแตกต่างกันออกไป ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของเมล็ดพืช และไม่เป็นพิษต่อร่างกาย ตัวทำละลายที่นิยมมากที่สุด คือ เฮกเซน

3) อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายต้องใช้อุณหภูมิสูงประมาณ 60 องศาเซลเซียส เพื่อช่วยให้น้ำมันละลายออกมาจากเมล็ดพืชได้ง่าย

4) ความหนาแน่นของแผ่นเมล็ดพืชอัด เมล็ดพืชก่อนนำมาสกัด จะถูกบดให้แตกเป็นชิ้นเล็กๆ และอัดให้เป็นแผ่นแล้วปล่อยให้ตัวทำละลายไหลซึมเข้าไปสัมผัสกับแผ่นเมล็ดพืชอัด ถ้าเมล็ดพืชถูกบดให้ละเอียดเกินไปจะอัดแน่น ตัวทำละลายจะซึมผ่านเข้าไปได้ยาก

5) ความชื้นของเมล็ดพืช เมล็ดพืชที่นำมาสกัดน้ำมันควรมีความชื้นไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ และตัวทำละลายจะต้องไม่มีน้ำหรือความชื้นปนอยู่ เพราะจะทำให้สกัดน้ำมันออกได้ยาก

6) เวลาที่ใช้ในการสกัด การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย ต้องใช้เวลานานพอสมควร เพื่อให้ตัวทำละลายสามารถสกัดเอาน้ำมันออกมาได้มากที่สุด โดยทั่วไป จะใช้เวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง

2.6 เกลียวอัด (Extruder) [9]

การบีบแบบใช้เกลียวนี้วัสดุจะถูกบีบด้วยแรงผ่านเกลียว เกลียวจะเป็นตัวบีบเพื่อบีบเอาของเหลวออก ของเหลวที่ได้จะไหลผ่านช่องตะแกรง ส่วนกากจะถูกลำเลียงออกทางท้ายเครื่อง ซึ่งเหมาะที่จะใช้บีบอัดผลไม้และการรีดน้ำมันออกจากเมล็ด การส่งกำลังจากเพลาสู่เกลียวเป็นวิธีที่ทำให้เกิดการอัดสูง โดยที่ลักษณะของเกลียว ระยะพิทช์ของเกลียว และพื้นที่หน้าตัดเกลียวจะมีผลกระทบต่อการบีบหรือบดอัดเมื่อใช้หลักการนี้ การอัดจะเกิดขึ้นระหว่างเกลียวกับผนังกระบอก จึงทำให้มีความเสียดทานสูงระหว่างการบีบคั้น เป็นผลให้เกิดความร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งความร้อนนี้จะช่วยลดความหนืดของน้ำมัน เครื่องสกัดน้ำมันบางชนิดอาจติดตั้งเครื่องทำความร้อนกับตัวเครื่องเพื่อเพิ่มผลผลิตจากการสกัด ความจุในการทำงานของเครื่องอยู่ในระดับ 40-800 กิโลกรัมต่อชั่วโมง กากหลังจากบีบอัดน้ำมันจะมีปริมาณค้างอยู่ประมาณ 5-18 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักกาก ดังรูปที่ 2.5 และ 2.6

การบีบผ่านเกลียวอัดกำลังได้รับความนิยมมากที่สุด

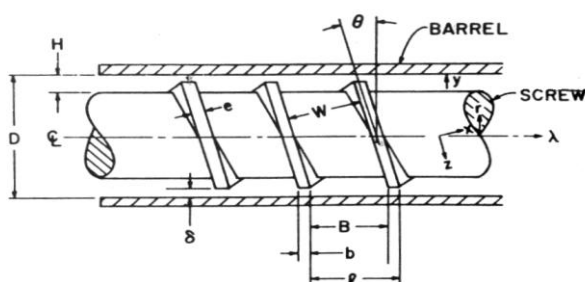
2.6.1 ความหลากหลาย กระบวนการดังกล่าวสามารถสร้างความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ได้ มีความยืดหยุ่นสูง สามารถดัดแปลงให้ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ซึ่งตรงกับความต้องการของผู้บริโภคได้

- อื่น
- 2.6.2 ลดค่าใช้จ่าย การบีบผ่านเกลียวอัดเป็นวิธีที่ใช้ค่าใช้จ่ายต่ำและให้ผลผลิตสูงกว่าวิธีอื่น
- 2.6.3 ให้อัตราการผลิตสูงและสามารถผลิตในลักษณะต่อเนื่องแบบอัตโนมัติได้
- 2.6.4 ไม่มีข้อเสียจากกระบวนการ



CONSTANT ROOT DIAMETER, CONSTANT PITCH SCREW WITH RESTRICTIONS IN CONSTANT DIAMETER BARREL

รูปที่ 2.5 ลักษณะของเกลียวอัดแบบกระบอกเกลียวคงที่และระยะพิตต์เกลียวคงที่ [9]



รูปที่ 2.6 ส่วนต่างๆทางเรขาคณิตของเกลียวอัด [9]

การคำนวณขนาดเกลียวอัด จำเป็นต้องใช้ข้อมูลในการคำนวณดังนี้ (Judson, 1981)
 กำหนดหาขนาดของเกลียวอัดในการใช้งาน (D_s)

$$D_s = D - 2\delta \quad (2.1)$$

เมื่อ D = เส้นผ่านศูนย์กลางกำหนด

δ = พิกัดความโค้งระหว่างสันเกลียวกับผิวบาร์เรล

กำหนดหาความรัศมีของสันเกลียวในการใช้งาน (H_s)

$$H_s = H - \delta \quad (2.2)$$

เมื่อ H = พิกัดความเผื่อของความโตระหว่างกระบอกเกลียวกับผิวบาร์เรล

δ = พิกัดความเผื่อความโตระหว่างสันเกลียวกับผิวบาร์เรล

คำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางโคนเกลียว (D_r)

$$D_r = D_s - 2H_s \quad (2.3)$$

คำนวณหาพิกัดความเผื่อของเกลียวอัด (2δ)

$$2\delta = D - D_s \quad (2.4)$$

คำนวณหารัศมีพิกัดความเผื่อของเกลียวอัด (θ)

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{p}{\pi \times D_s} \right) \quad (2.5)$$

คำนวณหาความกว้างของระยะห่างพื้นเกลียว (W)

$$W = B \times \cos \theta \quad (2.6)$$

เมื่อ B = ความกว้างของระยะพื้นเกลียวตามแกน

คำนวณหาความกว้างสันเกลียว (e)

$$e = b \times \cos \theta \quad (2.7)$$

เมื่อ b = ความกว้างสันเกลียววัดตามแนวแกน

คำนวณหาความยาวร่องเกลียวทั้งหมด (Z)

$$Z = \frac{p}{\sin \theta} \quad (2.8)$$

คำนวณหาความเร็วรอบเส้นรอบวงนอกของเกลียวอัด (V)

$$V = \pi \times Ds \times N \quad (2.9)$$

เมื่อ N = ความเร็วรอบเพลาส่งกำลัง
คำนวณหามุมเอียงของเกลียว (α)

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{p}{\pi d_2} \right) \quad (2.10)$$

เมื่อ p = ระยะพิตต์
 d_2 = เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว

คำนวณหาพื้นที่ผิวร่องเกลียว (A)

$$A = \left[\frac{\pi(D^2 - Dr^2) \times \cos \alpha}{4} \right] \quad (2.11)$$

เมื่อ D = เส้นผ่านศูนย์กลางกำหนด
 Dr = เส้นผ่านศูนย์กลางโคนเกลียว

คำนวณหาค่าความดัน (P)

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.12)$$

เมื่อ $F = F_v$ = แรงอัดในเกลียวเกลียวอัด

P = ความดันเกลียวเกลียวอัด คือ 3.6 นิวตันต่อตารางเมตร [4]

คำนวณหาแรงในแนววงกลมของเกลียวเกลียวอัด (F_u)

$$F_u = F_v \times \tan \alpha \quad (2.13)$$

การออกแบบเกลียวสกรูจะต้องพิจารณาถึงความสูญเสียอันได้แก่ ความหยาบของผิวชิ้นงาน และวัสดุที่นำมาทำเกลียวสกรูด้วย เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณได้ มีการกำหนด ค่าแฟกเตอร์ Y

$$F_v = F_u \times Y \quad (2.14)$$

หาค่าเฉลี่ยของค่าแฟกเตอร์ Y จากสมการ (ดูค่า Y จากตาราง 3.2 ที่ภาคผนวก ก.)

$$Y = \left[\frac{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4}{4} \right] \quad (2.15)$$

คำนวณหาโมเมนต์บิดในแกนเกลียวเกลียวอัด (M_{af})

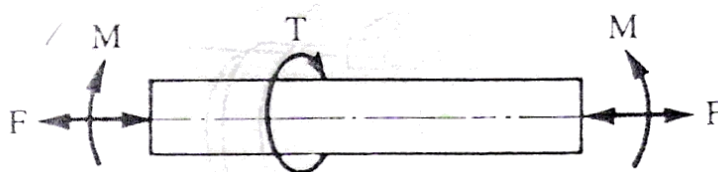
$$(M_{af}) = \left[F_v \times \left(\frac{d_2}{2} \right) \times \tan(\alpha + \rho) \right] + \left[F_v \times \mu \left(\frac{d_2}{2} \right) \right] \quad (2.16)$$

เมื่อ ρ = มุมเสียดทาน

μ = 0.15(ค่าคงที่)

2.7 เพลา (Shaft) [10]

เพลาเป็นส่วนเครื่องมือกล ที่มีความสำคัญของระบบการส่งผ่านกำลัง กำลังที่ส่งผ่านเพลานี้ อยู่ในภาพของ โมเมนต์แรงบิด (Torque) ในการส่งผ่านกำลังระหว่างเพลาหนึ่งไปอีกเพลาหนึ่ง จำเป็นต้องอาศัยตัวกลาง เช่น เฟือง โซ่ สายพาน ฯลฯ ดังนั้นจึงเกิดแรงเนื่องจากการขบกันของเฟือง แรงเนื่องจากแรงกดของโซ่ หรือแรงดึงของสายพานมากระทำต่อเพลาอันเป็นผลให้เกิด โมเมนต์ดัด (Bending Moments) ขึ้นบนเพลา และบางกรณีอาจมีแรงกระทำตามแนวแกนของเพลาด้วย ดังนั้น ในขณะที่เพลาทำหน้าที่ส่งผ่านกำลัง เพลาก็จะรับทั้งโมเมนต์บิด และโมเมนต์ดัด พร้อม ๆ กัน ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แรงที่มากระทำต่อเพลา [10]

จากโมเมนต์บิดที่ส่งกำลังมาที่แกนเพลลา สามารถนำมาคำนวณหาขนาดของเพลลาได้จาก

$$M_t = \frac{9550 \times W_p}{N} \quad (2.17)$$

เมื่อ W_p = กำลังงานที่ระบุในเพลลา เป็น กิโลวัตต์

N = จำนวนรอบต่อนาที = 50

M_t = T คือ โมเมนต์บิด เป็น นิวตันเมตร

ค่าโมเมนต์บิดขณะขับเคลื่อน (M_B) หาได้จาก

$$M_B = M_t \times C_B \quad (2.18)$$

เมื่อ C_B = แฟกเตอร์งาน เท่ากับ 1.0 จากค่าตารางแฟกเตอร์งานของเพลลา

M_B = โมเมนต์บิดขณะขับเคลื่อน เป็นนิวตันเมตร

จากค่าโมเมนต์บิดขณะขับเคลื่อน (M_B) สามารถคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลลาโดยประมาณได้

$$d = C_1 \times \sqrt[3]{M_B} \quad (2.19)$$

เมื่อ C_1 คือค่าแฟกเตอร์ขึ้นอยู่กัโมเมนต์ = 6.9 สำหรับวัสดุเหล็กกล้า St 45
แฟกเตอร์ขึ้นอยู่กัโมเมนต์ของเพลลา

โดยปกติทั่วไป ภาพหน้าตัดของเพลลาจะเป็นวงกลม ขนาดไม่เท่ากัน แต่จะตกบ่าเป็นชั้น ๆ บางตำแหน่งจะมีร่องลิ้น เพื่อใช้ในการติดตั้ง มุเลย์ เฟือง แบริง หรือชิ้นส่วนอื่น ๆ เพลลาที่ใช้โดยทั่วไปจะมีทั้งเพลากลวง และเพลาดัน สำหรับวัสดุที่ใช้ทำเพลลาส่วนใหญ่จะเป็น เหล็กเหนียว (Steel) เช่น St50 หรือ St70 ในกรณีที่ต้องการความแข็งแรงสูง ๆ และคงทนต่อการใช้งานมาก ๆ อาจใช้พวกเหล็กผสม (Alloy Steel) เช่น Chrom-Nickel หรือ Chrom-Varadium Steel 40 Mn, 434 Cr4, 16 Mn Cr 5 หรือ 18 CrNi 8 เป็นต้น

2.7.1 การออกแบบเพลา

เพลาเป็นชิ้นส่วนที่มีอยู่ในเครื่องจักรเกือบทุกชนิด ทำหน้าที่ในการส่งถ่ายกำลัง หรือ ทำให้เกิดการหมุนระหว่างชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่อง ขณะใช้งานเพลาย่อยอยู่ภายใต้ภาระการกระทำชนิดต่าง ๆ เช่น แรงกด แรงดึง โมเมนต์ดัด และโมเมนต์บิดซึ่งอาจมีทั้งแรงสถิตและแรงแบบวัฏจักร ทำให้เกิดการล้าได้เพลามีชื่อเรียกแตกต่างกันตามลักษณะการใช้งานดังนี้ คือ

เพลา (Shaft) เป็นชิ้นส่วนที่หมุนและใช้ในการส่งกำลัง

แกน (Axle) เป็นชิ้นส่วนลักษณะเดียวกับเพลาแต่ไม่หมุน ส่วนมากเป็นตัวยึดรับชิ้นส่วนที่หมุน เช่น ล้อ ล้อสายพาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามทั้งเพลาและแกนก็นิยมเรียกรวมกันว่า เพลา ไม่ว่าชิ้นส่วนนั้นจะหมุนหรือไม่ก็ตาม

สปินเดิล (Spindle) เป็นเพลาขนาดสั้น เช่น เพลาที่หัวแท่นกลึง (Head-Stock spindle) เป็นต้น

สตั๊บชาฟ (Stub Shaft) เป็นเพลาที่ติดเป็นชิ้นส่วนต่อเนื่องกับเครื่องยนต์มอเตอร์ หรือ เครื่องต้นกำลังอื่นๆ มีขนาด รูปร่าง และส่วนยื่นออกมา สำหรับใช้ต่อกับเพลาอื่น ๆ

เพลาแนว (Line Shaft) หรือเพลาส่งกำลัง (Power Transmission Shaft) หรือเพลาเมน (Main shaft) เป็นเพลาซึ่งต่อตรงจากเครื่องต้นกำลัง ใช้ในการส่งกำลังไปยังเครื่องจักรกลอื่นๆ โดยเฉพาะ

แจ็กชาฟ (Jack Shaft) เป็นเพลาขนาดสั้นที่ต่อระหว่างเครื่องต้นกำลังกับเพลาเมนหรือเครื่องจักรกล

เพลาอ่อน (Flexible Shaft) เป็นเพลาที่สามารถอ่อนตัวหรือโค้งได้เพลาประเภทนี้ทำด้วย สายลวดใหญ่ (Cable) ลวดสปริงหรือลวดเหนียว (Wire Rope) ใช้ในการส่งกำลังในลักษณะที่ แกนหมุนทำมุมกันได้แต่ส่งกำลังได้น้อย

การออกแบบคำนวณหาขนาดของเพลา จะต้องพิจารณาถึงสิ่งเหล่านี้คือ

- 1) กำลังงาน (Power) และภาระ (Load) ที่ใช้เพลาส่งกำลัง
- 2) ความเค้นที่เกิดขึ้นกับเพลา รวมทั้งภาพร่าง ขนาด วัสดุ และผิวงานสำเร็จ ซึ่งจะเป็สาเหตุในการเกิด Stress Concentration ขึ้น ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของเพลา
- 3) ความแกร่ง (Stiffness หรือ Rigidity) หมายถึง ความคงทนต่อการแอ่นตัว หรือการบิดไปของเพลาเมื่อใช้รับภาระ
- 4) Critical Speed หรือ Whirling Speed หมายถึง การสั่นตัวของเพลา อันเป็นผลต่อเนื่องมาจากการแอ่นตัว

ในการออกแบบขนาดของเพลาสำหรั้งานปกติทั่วไป จะพิจารณาเฉพาะกำลังงาน ภาระ และคำนวณตรวจความเค้นที่เกิดขึ้นกับเพล่า เพื่อให้ได้ค่าความปลอดภัยที่เหมาะสม สำหรับ งานพิเศษในบางกรณี จึงจะพิจารณาถึงควำมแ่ง และ Critical Speed ด้วย

2.7.2 วัสดุเพล่า

ในการเลือกวัสดุและวิธีที่ใช้ในการทำเพล่า นักออกแบบจะต้องคำนึงถึงสภาพการ ใช้งานและภาระที่เพล่าต้องรับเป็นหลักโดยทั่วไปแล้ว เราจะพิจารณาเลือกวัสดุและวิธีการผลิต เพล่าตามขนาดระบุเพล่า

วัสดุที่ใช้สำหรับทำเพล่าทั่วไป คือ เหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) ถ้าต้องการให้มีความ เหนียวและความทนทานต่อแรงกระตุกเป็นพิเศษแล้ว มักจะใช้เหล็กกล้าผสมโลหะอื่นทำเพล่า เช่น AISI 1347 , 3140 , 4150 เป็นต้น เพล่าที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า 90 มิลลิเมตร มักจะกลึงมา จากเหล็กกล้าคาร์บอน ซึ่งผ่านการรีดร้อน อย่างไรก็ตามเพื่อให้เพล่ามีราคาถูกที่สุด ผู้ออกแบบ ควรพยายามเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา ก่อนที่เลือกใช้เหล็กกล้าชนิดอื่น

2.7.3 ขนาดของเพล่า

เพื่อให้เพล่ามีมาตรฐานเหมือนกัน องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศจึงได้กำหนดมาตรฐานของ เพล่า ซึ่งระบุขนาด ใน ISO / R 775 – 1969 เอาไว้สำหรับผู้ออกแบบเลือกใช้ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถหา ซื้อได้ทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของเบร้งที่ใช้รองรับเพล่าด้วยขนาดระบุ ของเพล่าดูได้จากตารางที่ 2.1

2.7.4 หลักพิจารณาในการออกแบบเพล่า

การคำนวณหาขนาดเพล่าที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ดังนั้นมุมบิดของ เพล่าที่เกิดขึ้นในขณะที่ใช้งานจะต้องมีค่าไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ นั่นคือ เพล่าจะต้องมีความแข็ง เกร็งอยู่ภายในพิภคที่ต้องการ ถ้ามุมบิดมากเกินไปนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งแล้ว ยังอาจก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนมีผลให้เฟืองและเบร้งที่รองรับเพล่าอยู่ เกิดความเสียหายได้ง่าย ยิ่งขึ้น ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดระบุของเพล่าตามมาตรฐาน ISO / R 755 – 1969 [10]

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)								
6	12	30	55	80	110	160	220	320
7	14	35	60	85	120	170	240	340
8	18	40	65	90	130	180	260	360
9	20	45	70	95	140	190	280	380
10	25	50	75	100	150	200	300	

2.7.5 การออกแบบเพลตามโค้ดของ ASME

ก่อนปี พ.ศ. 2497 ได้มีการยอมรับวิธีการคำนวณหาขนาดของเพลาส่งกำลังซึ่งกำหนดเป็นโค้ด (Code) โดยสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกา (ASME) แม้ว่าเวลาจะล่วงเลยมานานแล้วก็ตามวิธีการออกแบบเพลตามโค้ดของ ASME ก็ยังมีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน

วิธีการดังกล่าวนี้ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดและไม่พิจารณาถึงความล้าหรือความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้นบนเพล ซึ่งเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิตศาสตร์ (Static Design Method)

2.8 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส (Three Phase Induction Motors) [11]

มอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟสเป็นมอเตอร์ที่ใช้กับระบบไฟฟ้าทั้งสามเฟส 3 สาย และสามเฟส 4 สาย มีขนาดตั้งแต่ 0.5 แรงม้า และขนาดใหญ่ 400 แรงม้าขึ้นไป แต่ก็มีใช้กันบ้างไม่มากนัก ส่วนประกอบของมอเตอร์สามเฟสที่สำคัญมี 2 อย่างคือ ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 มอเตอร์สามเฟส [11]

2.8.1 สเตเตอร์ของมอเตอร์ 3 เฟสจะเหมือนกับสเตเตอร์ของมอเตอร์สลิปเฟส และคาปาซิเตอร์ ที่เป็นมอเตอร์ 1 เฟสทุกประการ แต่ขดลวดที่พันไว้ที่สเตเตอร์แทนที่จะมีขดสตาร์ทและขดรันเหมือนกับมอเตอร์ 1 เฟสนั้น มอเตอร์ 3 เฟส จะมีเฉพาะขดรันอย่างเดียวและมีขดลวดแยกกันอยู่เป็น 3 ชุด คือ ขดลวดเป็นของเฟส A เฟส B และเฟส C

2.8.2 โรเตอร์ซึ่งเป็นตัวหมุนของมอเตอร์ 3 เฟสแยกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 2 ประเภทคือ แบบขดลวดโรเตอร์ และแบบสลิปริง

1) แบบขดลวดโรเตอร์ (Wound Rotor) คือโรเตอร์ที่มีลวดอาบนํ้ายา หรือลวดหุ้มฉนวนพันอยู่ม้วนแหวน หรือสลิปริง (Slip Ring) อยู่ 3 วง ขดลวดที่พันอยู่บนโรเตอร์จะพันเป็นสามเฟสต่อเป็นแบบสตาร์ปลายของคอยล์ทั้ง 3 เฟส ต่อออกมาเข้าสลิปริงทั้งสาม จะมีแปรงถ่าน 3 ชุด และ

ต่อไปเข้ากับตัวควบคุมกระแส หรือรีโอสตัท (Rheostat) จะมีลวดความต้านทาน 3 ชุด แต่ละชุดจะมีไว้แต่ละเฟสของคอยล์โรเตอร์ และสวิตช์สำหรับเลือกหาความต้านทานการควบคุมมอเตอร์ให้เริ่มหมุนช้า ๆ จนกระทั่งหมุนเร็วสูงสุด เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนความต้านทานทั้ง 3 ชุด จะต่ออันดับกับขดลวดทั้งสามเฟสของโรเตอร์ ขณะเริ่มหมุนไปจะค่อย ๆ ลดความต้านทานทั้ง 3 ชุดทีละน้อย ๆ พร้อม ๆ กัน ทำให้ความเร็วของมอเตอร์เพิ่มขึ้น เมื่อมอเตอร์หมุนไปเต็มที่มีความต้านทานทั้ง 3 ชุดจะถูกตัดออกหมดและคอยล์ทั้ง 3 เฟส จะถูกตัดวงจรกันได้ตรงสุดของ รีโอสตัท แบบว่าตัวโรเตอร์จะมีในมอเตอร์ 3 เฟสขนาดใหญ่

2) แบบสควิเรลเคจ (Squirrel Cage) โรเตอร์แบบนี้เมื่อโรเตอร์ของสลิปเฟส และคาปาซิเตอร์ มอเตอร์ขนาดเล็กจะมีโรเตอร์แบบสควิเรลเคจ บางที่จะออกแบบให้มีสควิเรลเคจ 2 ชุด หรือ 2 ชั้น เพื่อให้มอเตอร์มีกำลังสตาร์ทสูง

ในกรณีที่จะเลือกใช้มอเตอร์อย่างถูกต้อง ลักษณะของเครื่องจักร โหลดขณะทำงานสิ่งที่สำคัญที่จะกำหนดความต้องการ

การหาลำกำลังของมอเตอร์

$$W_p = \frac{2\pi Tn}{60} \quad (2.20)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ} \quad W_p &= \text{กำลังงานที่เพลารับ (kw.)} \\ T &= \text{โมเมนต์แรงบิดของเพลลา (Nm)} \\ n &= \text{ความเร็วรอบของเพลลา (rpm)} \end{aligned}$$

ภารกิจของมอเตอร์และข้อพิจารณาในเชิงกลเบื้องต้น ภารกิจของมอเตอร์ได้แก่ ปริมาณภาระหรือโหลด และปริมาณทอร์กที่ต้องใช้ทำงานลักษณะอื่น ๆ ที่สำคัญต่อภารกิจของมอเตอร์ ได้แก่สถานะของมอเตอร์ว่าติดตั้งใช้งาน ณ ตำแหน่งใด อุณหภูมิบริเวณงานเป็นเท่าใด ลักษณะติดตั้งมอเตอร์ตั้งหรือนอน และมอเตอร์นั้น ๆ มีกราฟแสดงสมรรถนะ ภาระความเร็วรอบเป็นอย่างไร

มอเตอร์ที่เลือกใช้งานเหมาะกับการกิจและลักษณะอื่น ๆ ที่จำเป็นด้วยดังกล่าวภารกิจของมอเตอร์ที่สำคัญจะอธิบายพอสังเขปได้ดังนี้

ภารกิจของมอเตอร์ หมายถึง จำนวนกำลังของมอเตอร์ตัวนั้นจะสามารถให้กำลังขับได้ กล่าวคือมอเตอร์จะต้องสามารถให้กำลังขับที่เพียงพอกับงาน เรียกว่า “กำลังเพลลา” ข้อนี้เป็นสิ่งสำคัญประการแรกแต่แท้จริงความสามารถประการที่สองในการขับภาระนั้นคือทอร์กและทอร์กกำลังนั้นเกี่ยวข้องกันจากสูตรที่ 2.21

$$T = (63000 \times Hp) / N \quad (2.21)$$

$$P = T \times N \quad (2.22)$$

เมื่อ $P =$ กำลังเพลลา (kW)
 $T =$ แรงบิด (Nm)
 $Hp =$ แรงม้า
 $N =$ ความเร็วมอเตอร์ (RPM)

ภาระของมอเตอร์อีกนัยหนึ่ง จึงมีค่าเท่ากับจำนวนแรงบิดที่ต้องใช้ขับให้โหลดหมุนจำนวนแรงบิดของมอเตอร์นั้นปกติจะขึ้นอยู่กับค่าความเร็วรอบ จากสูตรจะเห็นได้ว่าเมื่อรอบต่ำแรงบิดจะสูงและเมื่อรอบสูงขึ้นแรงบิดจะลดลง จำนวนแรงบิดที่ได้จากมอเตอร์ จะต้องมากกว่าหรือเท่ากับความต้องการแรงบิดของสถานะโหลดในขณะนั้น มอเตอร์จึงเป็นกำลังที่มีประโยชน์ จำนวนปริมาณโหลด ณ สถานะงานต่าง ๆ นั้นไม่เท่ากัน

ปริมาณทอร์กที่ต้องใช้สตาร์ทเพลานิ่งให้หมุนนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการหล่อลื่นและชนิดของไขหล่อลื่นด้วยอย่างมาก ถ้าสถานะหล่อลื่นดีมีแรงเสียดทานน้อย แม้แต่ในขณะเริ่มสตาร์ท ทอร์กก็น้อยตามโหลดบางครั้งฝืดกว่าการหมุนสตาร์ทได้ยากกว่าโหลดอื่นอื่น ๆ ตัวอย่างในอดีตได้แก่การสตาร์ทเครื่องบดละเอียด และเตาหมุนเป็นต้น ในสมัยก่อนเรานิยมใช้เบร้งที่อาบไขโดยอัดไขไว้ในห้องเบร้งอย่างธรรมดาๆ เมื่อหยุดใช้งานน้ำมันเครื่องจะกกลงตรงผิวเบร้ง ไล่ไขออกไปจากผิวสัมผัส และเมื่อถึงเวลาเริ่มหมุนสตาร์ทถ้าอากาศเย็นจะสตาร์ทติดยากมากฝืด แรงบิดสตาร์ทที่ต้องใช้จะไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าหรือร้อยละ 150 ของแรงบิด ณ เกณฑ์ภาระหรือโหลดปกติขณะโหลดเต็ม ที่เป็นอย่างนั้นเพราะไม่มีสารหล่อลื่นแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างผิวเพลลาด้วยความกดดันสูง แม้ว่าเครื่องจะหยุดนิ่งแรงกกลงจากเครื่องไม่อาจดันไขออกจากผิวสัมผัสได้ ผลคือแรงเสียดทานขณะเริ่มสตาร์ทมีน้อยมาก ใช้แรงบิดสตาร์ทมีน้อยมากใช้แรงบิดสตาร์ทด้วยจำนวนเพียงร้อยละ 70-90 ของปริมาณแรงบิด ณ โหลดเต็มที่ หรือเพียงครึ่งของกรณีดังกล่าวข้างต้น

2.9 คัปปลิง (Couplings) [12]

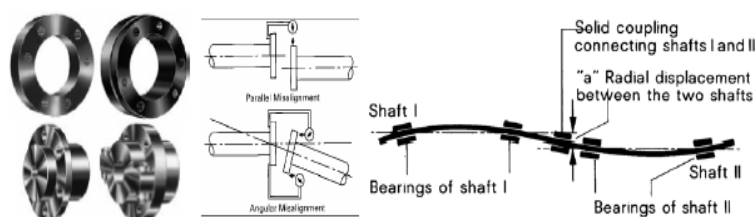
เครื่องจักรต้นกำลังมากกว่า 90% ในอุตสาหกรรมจะเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า ทำหน้าที่แปลงพลังงานจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานทางกลเพื่อขับโหลดหรือในงานบางอย่าง การส่งกำลังของ

มอเตอร์ไปยังโหลด อาจจะส่งกำลังโดยทางอ้อมผ่านทางเกียร์ หรือใช้สายพานขับต่ออีกทอดหนึ่ง ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรออกแบบของวิศวกร และความต้องการของผู้ใช้งานว่าจะต้องการส่งกำลังจากมอเตอร์แบบใดจึงจะเหมาะสมกับการนำไปใช้งานมากที่สุด

ชนิดต่างๆของคัปปลิง มีดังนี้

2.9.1 คัปปลิงแบบแข็ง (Solid or Rigid couplings)

ลักษณะการต่อคัปปลิงแบบแข็ง เป็นการนำปลายสุดของเพลามอเตอร์ และปลายเพลาของโหลดต่อเข้าด้วยกัน โดยมีนอตยึด ผลของการต่อคัปปลิงวิธีนี้ดูเหมือนจะง่ายกว่าทุกวิธี แต่หากการจัดวางแนวแกนเพลานี้ไม่ได้ระดับ หรือเกิดเยื้องศูนย์เกิดขึ้น แบริ่งทั้ง 4 ตัวจะถูกกด ทำให้เกิดแรงกดที่จุดแบริ่งแต่ละตัว จะทำให้เกิดปัญหาตามมาในภายหลังอาจจะทำให้เพลาคด งอ หรือหักได้ ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 คัปปลิงแบบแข็งและระบบเพลาสีเหมือนเมื่อเกิดการเยื้องศูนย์ [12]

2.9.2 คัปปลิงแบบยืดหยุ่น (Flexible Couplings)

คัปปลิงแบบยืดหยุ่นพัฒนามาจากแบบแข็ง โดยเพิ่มจุดที่ยืดหยุ่นส่วนใหญ่จะมาจากส่วนประกอบของยาง หรือ ยูรีเทน ถูกผลิต และออกแบบมาให้สอดคล้องกับความต้องการการใช้งานของตลาด จะทำให้สะดวกสำหรับการติดตั้ง หรือถอด และต่อแกนเพลานี้ทั้งด้านมอเตอร์ขับเคลื่อนและด้านโหลด

ในการทำงานของส่วนประกอบที่ทำมาจากยางถ้าไม่ได้รับการบำรุงรักษาที่ถูกต้อง หรือเมื่อใช้ไปนาน ๆ จะทำให้เสียรูปทรง ทำให้ยางไปเบียดด้านใดด้านหนึ่ง ของคัปปลิง ทำให้แรงบิดที่แบริ่งเพิ่มขึ้น อาจจะส่งผลให้อายุการใช้งานของคัปปลิงและแบริ่งสั้นลง เพื่อลดสาเหตุข้างต้นให้ น้อย ลง มอเตอร์และโหลดควรจะถูกละไว้ได้ศูนย์มากที่สุด และควรเลือกใช้ยางชนิดที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในการนำไปใช้งาน ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ภาพคัปปลิงแบบยืดหยุ่น (Flexible Couplings) [12]

2.9.3 คัปปลิงแบบปากเสียบเลื่อน (Claw or Jaw Coupling)

- แบบ DIN 740, Part 1, type A เป็นคัปปลิงแบบยืดหยุ่นที่มีลักษณะเป็นส่วนเว้าเข้าในเป็นเหล็กหล่อ ตัวหนึ่ง มีลักษณะเป็นร่อง อีกตัวเป็นแบบซี่เคียวยื่นเข้าร่อง คัปปลิงอาจจะมีโครงสร้างแบบสองหรือสามส่วน มีความเป็นไปได้ที่จะเสริมยางเพื่อลดแรงกระแทก ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 คัปปลิงแบบปากเสียบเลื่อน (Claw or Jaw coupling) [12]

- แบบ DIN 740, Part 1, type B เป็นคัปปลิงแบบยืดหยุ่นที่มีลักษณะมีส่วนเว้าเข้าข้างใน คัปปลิงนี้มี Hubs 2 ตัว ใช้ประกอบกับยางในลักษณะของฟันเฟืองแบบ Pinion การต่อของคัปปลิงแบบนี้มั่นใจได้ว่าสามารถส่งแรงบิดได้เรียบและทำให้เกิดการหมุนที่สม่ำเสมอของแรงบิดทางด้านเอาต์พุตจากมอเตอร์ได้ ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 คัปปลิงแบบปากเสียบเลื่อน (Claw or Jaw coupling) [12]

คัปปลิงทั้งสองชนิดนี้ บางครั้งก็เรียกว่า Claw or Jaw Coupling เหมาะกับมอเตอร์ที่มีขนาดเฟรมเล็ก ๆ ที่ความสูงเพลานี้ไม่ควรเกินกว่า 400 มม. และช่วยลดการกระตุกของแรงบิดขณะเริ่มหมุนและลดแรงบิดกระตุก Impulse สามารถยอมรับการเยื้องศูนย์ของแกนเพลาระหว่างมอเตอร์กับโหลดได้เล็กน้อย และสามารถต่อได้ทั้งแบบแนวตั้งและแบบแนวนอนได้

2.9.4 คัปปลิงแบบสลักเกลียว (Stud Coupling)

คัปปลิงแบบสลักเกลียว เป็นคัปปลิงแบบยึดหยุ่นเป็นไปตามมาตรฐาน DIN 740, Part 1, type A ซึ่ง Hub ของคัปปลิงจะมีรูปร่าง ขึ้น หนึ่ง จะมีรูเป็นทรงกระบอกกลม ส่วนอีกชิ้นจะเป็นสลักเกลียวยื่นออกมา Hub ตัวที่มีสลักเกลียวจะเป็นของเพลาลับ คัปปลิงแบบสลักเกลียวสามารถต่อได้ทั้งแบบแนวตั้งและแนวนอน โดยที่ Hub ส่วนใหญ่จะทำมาจากวัสดุที่เป็นเหล็กกล้า ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 คัปปลิงแบบสลักเกลียว (Stud coupling) [12]

2.9.5 คัปปลิงสำหรับการเริ่มหมุน (Starting Couplings)

การเริ่มหมุนมอเตอร์ในกรณีที่โหลดหนักมาก เช่นกรณีโหลดมีความเฉื่อยสูง ทำให้ขณะเริ่มหมุนต้องใช้เวลานาน เวลานี้มีค่ามากกว่าค่าสูงสุดที่มอเตอร์ยอมให้เกิดขึ้นได้ ซึ่งเวลาในการเริ่มหมุนเกินกว่าโรงงานผู้ผลิตมอเตอร์ได้ทำการการันตีไว้ ทำให้มอเตอร์มีความร้อนสูงจนถึงอาจจะเสียหายได้

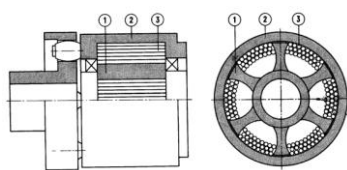
วิธีแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้โดยใช้มอเตอร์ชนิดสลีปรिंगที่มีการเริ่มหมุนหลายขั้นโดยใช้ Resistor Starter อย่างไรก็ตามมอเตอร์ชนิดสลีปรिंगจะมีราคาแพง ต้องการการบำรุงรักษามากไม่ประหยัดเหมือนกับมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดกรงกระรอก แล้วใช้คู่กับคัปปลิงแบบเริ่มหมุน โดยหลักการทำงาน และการออกแบบของคัปปลิงแบบเริ่มหมุน สามารถแบ่งออกได้เป็นสองแบบด้วยกันคือ

- คัปปลิงเริ่มหมุนเชิงกล (Mechanical Starting Couplings)

คัปปลิงเริ่มหมุน หรือคัปปลิงสลลิปนิรภัย (Safety Slip Coupling) จะทำงานโดยอาศัยหลักการของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง คัปปลิงเริ่มหมุนจะไม่ต่อเพลลาของมอเตอร์เข้ากับเพลลาของโหลดโดยตรงและไม่ส่งแรงบิดให้เต็มที่ก่อนที่มอเตอร์จะเร่งความเร็วรอบถึงความเร็วรอบปกติ ถ้ามอเตอร์มีโหลดเกินคัปปลิงจะทำหน้าที่โดยอัตโนมัติให้เกิดสลลิป โดยการลื่นไถลทางกลเนื่องจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง จะทำให้ความเร็วรอบของโหลดลดลงในทันที เป็นการ Limited แรงบิดสูงสุดไม่ให้เกินค่าที่คัปปลิงออกแบบได้

โครงสร้างในการออกแบบทางกลของคัปปลิงเริ่มหมุนเชิงกล ดังรูปที่ 2.14 ประกอบด้วย (1) Driving Pocket Wheel (2) Driven Shell และ (3) โรลเลอร์ทรงกระบอก ซึ่งโรลเลอร์ถูกจัดวางในร่องระหว่าง Driving Pocket Wheel กับ Shell. Pocket Wheel ต่อเข้ากับเพลลาของมอเตอร์ ส่วน Driven Shell จะคัปปลิงเข้ากับเพลลาของโหลด

การทำงานของคัปปลิงชนิดนี้คือเมื่อมอเตอร์เริ่มหมุน ทำให้ Driving Pocket Wheel และโรลเลอร์หมุนไปได้ ขณะที่ Driven Shell และโหลดจะยังคงอยู่กับที่ ดังรูปที่ 2.16



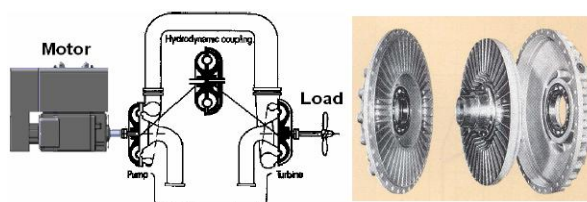
รูปที่ 2.14 คัปปลิงชนิดเริ่มหมุนเชิงกลหรือคัปปลิงสลลิปนิรภัย [12]

- ไฮโดรไดนามิกคัปปลิง (Hydrodynamic Couplings)

ไฮโดรไดนามิกคัปปลิงมีวัตถุประสงค์ใช้งานเพื่อเริ่มหมุน และเป็นคัปปลิงนิรภัย ในอดีตนิยมนำไปใช้กับเครื่องย่นขนาดใหญ่เพื่อไปขับโหลด เช่น เรือเดินทะเล เป็นต้น ไฮโดรไดนามิกคัปปลิงประกอบด้วยปั๊มแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง กับเทอร์ไบน์ต่อเข้าด้วยกันในถังเก็บน้ำมัน หลักการทำงานแสดงเป็นไดอะแกรมอย่างง่ายดังรูปที่ 2.16 โดยมอเตอร์หรือเครื่องย่นจะไปขับคัปปลิงที่ทำหน้าที่เป็นเสมือนปั๊มจะเปลี่ยนจากพลังงานกลเอาต์พุตของมอเตอร์ไปเป็นพลังงานจลน์ในรูปของของไหล น้ำมันจะถูกบังคับให้ไหลไปเปลี่ยนเป็นพลังงานกลอีกครั้งด้วยเทอร์ไบน์

จากหลักการทำงานของไฮโดรไดนามิกคัปปลิง จะเห็นว่าการทำงานของระบบต้องเปลี่ยนพลังงานไปมาทำให้เกิดค่าสูญเสียในการถ่ายเทพลังงานจากมอเตอร์ไปยังโหลดมีมาก ทำให้

ประสิทธิภาพของทั้งระบบไม่ค่อยดี ประกอบกับราคาค่อนข้างสูง จึงไม่ค่อยจะเป็นที่นิยมแพร่หลายมากนัก แต่จะนิยมนำไปใช้กับงานประเภทที่ต้องการเริ่มหมุนบ่อย ๆ หรือต้องการปรับความเร็วโดยสลิป ด้วยวิธีการควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันที่ไหลวนก่อนไปขับเทอร์ไบน์ได้ ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 หลักการและส่วนประกอบของไฮดรอลิกคัปปลิง [12]

การคำนวณหาแรงบิดที่เกี่ยวข้องกับการเลือกขนาดคัปปลิง

1) แรงบิดใช้งาน (Norminal Torque)

$$\text{นิว.ปอนด์ (in.lb)} = \frac{\text{HP} \times 63025}{\text{RPM}} \quad (2.23)$$

$$\text{Nm} = \frac{kW \times 9550}{\text{RPM}} \quad (2.24)$$

2) แรงบิดออกแบบ (Design Torque)

$$\text{HP} = \text{แรงบิดใช้งาน} \times \text{ค่าแฟกเตอร์ที่ใช้งาน} \quad (2.25)$$

เมื่อ แรงบิดใช้งาน = การคำนวณต้นกำลัง

ค่าตัวคูณใช้งาน(S.F.) = หาจกจากแผนว ก. ตารางที่ 3.5

HP = กำลังม้าของมอเตอร์

2.10 แบริ่ง (Bearing) [6]

2.10.1 แบริ่งลูกปืน

แบริ่งที่ใช้ในการทำงานของเครื่องบีบอัดน้ำมันจะใช้แบริ่ง แบบที่เป็นแบริ่งลูกปืน แบริ่งลูกปืนใช้สำหรับรองรับเพลลา โครงสร้างของแบริ่งประกอบด้วยแหวนนอก แหวนใน จะมีลูกปืนเป็นตัวลดแรงเสียดทานลักษณะเป็นลูกทรงกลม ลูกปืนจะวิ่งอยู่บนทางวิ่งของแหวนนอก

และแหวนใน โดยมีกรอบบังคับระยะห่างลูกปืนแต่ละลูก ความเสียดทานที่เกิดขึ้นกับ แบริ่งลูกปืน จะเป็นแบบ Rolling Friction จึงมีความเสียดทานน้อยกว่าแบริ่งปลอกประมาณ 25 ถึง 50 % ทำให้ กำลังงานสูญเสียไปเนื่องจากความเสียดทานน้อย นอกจากนี้การเอียงศูนย์ของเพลลา และตัวแบริ่งมี น้อย เนื่องจากมีระยะคลอนน้อยการบำรุงรักษาและการหล่อลื่นทำได้ง่าย การผลิตแบริ่ง ลูกปืนจะ เป็นมาตรฐานเหมือน ๆ กัน ดังนั้น การถอดเปลี่ยนอะไหล่จึงทำได้ทุกเวลา และทุกสถานที่

การแบ่งชนิดของแบริ่งลูกปืน อาจแบ่งตามลักษณะการรับแรง แบริ่งที่ใช้รับแรงใน แนวรัศมีเรียกว่า Radial bearing ใช้รับแรงในแนวแกน เรียกว่า Axial bearing หรือ Thrust bearing บางชนิดอาจใช้รับแรงในแนวรัศมีและในแนวแกนพร้อมกันก็ได้

แบริ่งลูกปืนสำหรับแรงในแนวแกนต่าง ๆ ของบริษัท SKF มีดังนี้

- 1) Cylindrical Roller bearing ใช้รับแรงในแนวรัศมี ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 Cylindrical Roller bearing [6]

- 2) Ball Thrust bearing ใช้รับแรงในแนวแกน ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 Ball Thrust bearing [6]

3) Deep Groove ball bearing ใช้รับแรงแนวแกนและแรงแนวรัศมี ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 Deep Groove ball bearing [6]

2.10.2 การกำหนดมาตรฐานของแบริ่ง

การกำหนดมาตรฐานของแบริ่ง ทำให้ผู้ผลิตสามารถผลิตแบริ่ง ได้ราคาถูกลงทำให้ผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้ได้สะดวก และทำให้การดูแลรักษาตลอดจนการเก็บแบริ่งสำรองกระทำได้ง่ายขึ้น ด้วยเหตุนี้เอง สมาคม AFBMA ซึ่งเป็นผู้รับผิดชอบในการจัดพิมพ์มาตรฐานของแบริ่งชนิดต่าง ๆ จึงรวมกับสมาคมเกี่ยวกับโรลลิ่งแบริ่งอื่น ๆ จัดทำมาตรฐานให้เข้ากับองค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ (ISO) มาตรฐานนี้จะบอกถึงมิติภายนอกของแบริ่ง คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก – ภายใน และความหนา ส่วนมิติภายในแบริ่งให้เป็นไปตามที่ผู้ผลิตจะออกแบบ

ประสิทธิภาพของการรับภาระแบบ Dynamic load จะเป็นดังสมการ 2.26

$$L = 10^6 \left(\frac{F_H \cdot C}{F} \right)^x \quad (2.26)$$

เมื่อ L = อายุการใช้งานกำหนดเป็นจำนวนรอบ
 F_H = แพลกเตอร์ความแข็ง ณ อุณหภูมิใช้งาน
 C = Dynamic load rating
 x = 3 เมื่อเป็น Baller bearing ทุกชนิด

F	=	Dynamic equivalent load = $XF_r + YF_a$
F_R	=	แรงในแนวรัศมี (kN)
F_A	=	แรงในแนวแกน
X	=	แฟกเตอร์ของแรงในแนวรัศมี Ball bearing
Y	=	แฟกเตอร์ของแรงในแนวรัศมี Ball bearing

ตารางที่ 2.2 แฟกเตอร์ความแข็งแรง อุณหภูมิใช้งาน [6]

T	150°C	200°C	250°C	300°C
F_H	1	0.9	0.75	0.6

อายุการใช้งานของแบร์ริงเมื่อคิดเป็นชั่วโมงการใช้งาน จะได้สมการ 2.27

$$L_h = \frac{L}{n \cdot 60} \quad (2.27)$$

เมื่อ L_h = อายุการใช้งานกำหนดของแบร์ริง (ชม.)

L = อายุการใช้งานกำหนด (รอบ)

n = ความเร็วรอบในการใช้งาน

2.11 อินเวอร์เตอร์ (Inverter) [13]

อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์แปลงไฟชนิดหนึ่ง ที่แปลงไฟตรงที่มีแรงดันและความถี่คงที่ ไปเป็นไฟสลับที่มีแรงดันและความถี่ขนาดต่างๆ แหล่งจ่ายไฟที่ป้อนอินพุตของอินเวอร์เตอร์ จะมีคลื่นไซน์ แต่เอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์จะมีภาพคลื่นแตกต่างจากภาพไซน์ โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์ มีอินพุตเป็นไฟสลับจากแหล่งจ่าย (50 Hz หรือ 60Hz) ไฟสลับนี้จะเปลี่ยนเป็นไฟตรงโดยวงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter) จากนั้นไฟตรงจะถูกแปลงเป็นไฟสลับที่สามารถปรับค่าแรงดันและความถี่ได้โดยวงจรอินเวอร์เตอร์ วงจรทั้งสองส่วนนี้เป็นวงจรหลักที่แปลงภาพคลื่นผ่านพลังอินเวอร์เตอร์ นอกจากนี้ยังมีวงจรสำหรับควบคุมการทำงานของวงจรทั้งสองส่วนนั้น

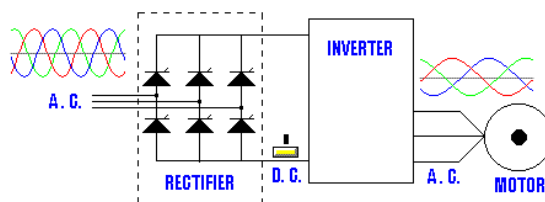
1) เปลี่ยนจำนวนขั้วแม่เหล็ก (P)

2) เปลี่ยนแปลงความถี่ (f) ของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้า ดังนั้น หากความถี่กระแสไฟฟ้ามีค่าคงที่คือ 50 Hz. (หรือ 60 Hz. ในบางประเทศ เช่นอเมริกา) ความเร็วรอบของมอเตอร์ แต่ละตัวก็จะมีความเร็วรอบที่แตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับจำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์แต่ละตัว ซึ่งสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของมอเตอร์ที่มีจำนวนขั้วแม่เหล็กที่แตกต่างกัน [13]

จำนวนขั้วแม่เหล็ก (P)	2	4	6	8	10	15
จำนวนรอบที่ความถี่ 50 Hz. (RPM)	3000	1500	1000	750	600	500
จำนวนรอบที่ความถี่ 60 Hz. (RPM)	3600	1800	1200	900	720	600

จากตารางที่ 2.3 สรุปจะเห็นว่า วิธีการควบคุมความเร็วรอบด้วยการเปลี่ยนจำนวนขั้วแม่เหล็กนั้น ความเร็วจะเปลี่ยนแปลงไปครั้งละมาก ๆ เช่น เปลี่ยนจาก 3000 รอบต่อนาที ไปเป็น 1500 รอบต่อนาที หรือจาก 1500 รอบต่อนาที ไปเป็น 3000 รอบต่อนาที (กรณีเปลี่ยนจากการต่อแบบ 2 ขั้วแม่เหล็กไปเป็นการต่อแบบ 4 ขั้วแม่เหล็ก หรือจาก 4 ขั้วแม่เหล็กลดลงมาเหลือ 2 ขั้วแม่เหล็ก) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบในลักษณะนี้ความเร็วรอบที่เปลี่ยนแปลงจะไม่ละเอียด ทำได้เฉพาะในกรณีที่ไม่มีโหลด และที่สำคัญคือต้องใช้มอเตอร์ที่ออกแบบพิเศษที่สามารถเปลี่ยนแปลงจำนวนขั้วแม่เหล็กได้เท่านั้น ทำให้ไม่เหมาะสมกับความต้องการของงานในหลาย ๆ ประเภทที่ต้องการควบคุมความเร็วรอบในขณะมีโหลดเพื่อให้ความเร็วเหมาะสมกับความเร็วของกระบวนการผลิต ดังนั้นในกระบวนการผลิตทั่วไปจึงนิยมใช้อินเวอร์เตอร์ในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์มากกว่าเนื่องจากสามารถควบคุมให้มอเตอร์ด้วยความเร็วคงที่ ปรับความเร็วรอบไปที่ความเร็วต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็วและมีความเที่ยงตรงมากกว่า ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 แสดงหลักการทำงานของ Inverter [13]

อินเวอร์เตอร์ คือ คอนเวอร์เตอร์ชนิดหนึ่ง ซึ่งคอนเวอร์เตอร์ก็คือวงจรกลับสัญญาณหรือแปลงระบบสัญญาณ จากระบบหนึ่งเป็นอีกระบบหนึ่ง ประกติแล้วคอนเวอร์เตอร์จะมีอยู่ด้วยกัน 4 ชนิดคือ

1) Rectifier Circuit

วงจรเรกติไฟเออร์ หรือวงจรเรียงกระแส ทำหน้าที่แปลงผันหรือเปลี่ยนจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง วงจรประกอบด้วยเพาเวอร์ไดโอด 4 ตัว กรณีที่อินพุตเป็นแบบเฟสเดียว หรือมีเพาเวอร์ไดโอด 6 ตัว กรณีที่อินพุตเป็นแบบ 3 เฟส (สำหรับอินเวอร์เตอร์บางประเภทจะใช้ SCR ทำหน้าที่เป็นวงจรเรกติไฟเออร์ซึ่งทำให้สามารถควบคุมระดับแรงดันในวงจรได้)

2) DC Link

ดีซีลิงค์ หรือ วงจรเชื่อมโยงทางดีซี คือวงจรเชื่อมโยงระหว่างวงจรเรียงกระแสและวงจรอินเวอร์เตอร์ (ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป) ซึ่งจะประกอบด้วยแคปาซิเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ พักดแรงดัน ไฟฟ้า 400 VDC หรือ 800 VDC โดยขึ้นอยู่กับแรงดันอินพุตว่าเป็นแบบเฟสเดียวหรือ 3 เฟส ทำหน้าที่กรองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากวงจรเรียงเรกติไฟเออร์ให้เรียบยิ่งขึ้น และทำหน้าที่เก็บประจุไฟฟ้า ขณะที่มอเตอร์ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงสั้นเนื่องจากการเบรคหรือมีการลดความเร็วรอบลงอย่างรวดเร็ว (สำหรับกรณีที่ใช้งานกับโหลดที่มีแรงเฉื่อยมาก ๆ และต้องการหยุดอย่างรวดเร็ว จะเกิดแรงดันสูงย้อนกับมาตกคร่อมแคปาซิเตอร์และทำให้ แคปาซิเตอร์เสียหาย ได้ ดังนั้นในทางปฏิบัติจะมีวงจรชอปเปอร์โดยต่อค่าความต้านอนุกรมกับทรานซิสเตอร์ และต่อขนานกับแคปาซิเตอร์ไว้ โดยทรานซิสเตอร์จะทำให้ที่เป็นสวิตช์ตัดต่อควบคุมให้กระแสไหลผ่านค่าความต้านทานเพื่อลดพลังงานที่เกิดขึ้น

3) Inverter circuit

วงจรอินเวอร์เตอร์ คือส่วนที่ทำหน้าที่แปลงผันจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (ที่ผ่านการกรองจากวงจรดีซีลิงค์) เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ วงจรจะประกอบด้วยเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์กำลัง 6 ชุด (ปัจจุบันส่วนใหญ่จะใช้ IGBT) ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ตัดต่อกระแสไฟฟ้า

เพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยอาศัยเทคนิคที่นิยมใช้กันทั่วไปคือ PWM (Pulse Width Modulation)

4) Control circuit

วงจรควบคุม จะทำหน้าที่รับข้อมูลจากผู้ใช้งาน รับข้อมูลความเร็วรอบที่ต้องการเข้าไปทำการประมวลผล และส่งนำเอาที่พุดออกไปควบคุมการทำงานของทรานซิสเตอร์เพื่อจ่ายแรงดันและความถี่ให้ได้ความเร็วรอบและแรงบิดตามที่ผู้ใช้งานต้องการ

2.12 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steels) [14]

เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steels) เหล็กชนิดนี้มีธาตุโครเมียมผสมอยู่ 11.5% หรือมากกว่านี้มีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อน (Corrosion Resisting Steels) แบ่งออกได้เป็นสองชนิด คือชนิดที่ทนต่อการกัดกร่อนเพียงอย่างเดียว และอีกชนิดทนต่อการกัดกร่อนแล้วยังมีผิวสวยงามคงทนอีกด้วย

ลักษณะเด่นของเหล็กกล้าไร้สนิม คือ

- 1) ความต้านทานการกัดกร่อนสูง
- 2) ผิวเงางาม
- 3) ทนความร้อนได้ดี
- 4) ขึ้นรูปได้ดี
- 5) เชื่อมได้ง่าย

เหล็กกล้าไร้สนิมโดยทั่ว ๆ ไปแล้วแบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ

2.12.1 กลุ่มออสเทนนิติก (Austenitic) หรือสแตนเลสตระกูล 300 เป็นเกรดที่ใช้งานแพร่หลายมากที่สุดถึง 70% มีคุณสมบัติที่แม่เหล็กดูดไม่ติด (non – magnetic) มีส่วนผสมของโครเมียม 16% คาร์บอนอย่างมากที่สุด 0.15% มีส่วนผสมของธาตุนิเกิล 8% เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติในการทำการประกอบ (Fabrication) และเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน เกรดที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายและนิยมเรียก 18/10 คือการที่มีส่วนผสมของโครเมียม 18% และนิเกิล 10%

2.12.2 กลุ่มเฟอร์ริติก (Ferritic) แม่เหล็กดูดติด (magnetic) มีธาตุคาร์บอนผสมปริมาณที่ต่ำ และมีโครเมียมเป็นธาตุผสมหลักที่สำคัญอาจอยู่ระหว่าง 10.5%-27% และมีนิเกิลเป็นส่วนผสมอยู่น้อยมากหรือไม่เลย

2.12.3 กลุ่มมาร์เทนซิติก (Martensitic) แม่เหล็กดูดติด (magnetic) มีส่วนผสมของโครเมียม 12-14% และมีธาตุคาร์บอนผสมอยู่ปานกลาง มีโมลิบดีนัมเป็นส่วนผสมอยู่ประมาณ 0.2-1% ไม่มีนิเกิล สแตนเลสตระกูลนี้สามารถปรับความแข็งแรงได้โดยการให้ความร้อนแล้วทำให้เย็นตัวอย่าง

รวดเร็ว (Quenching) และอบคืนตัว (Tempering) สามารถลดความแข็งได้ คล้ายกับเหล็กกล้าคาร์บอน และพบการใช้งานที่สำคัญในการผลิตเครื่องตัด, อุตสาหกรรมเครื่องบินและงานวิศวกรรมทั่วไป

ตารางที่ 2.4 ธาตุประสมต่างๆที่อยู่ในเหล็กกล้าไร้สนิม [14]

Type#	UNS#	C	Cr	Ni	Mn	Si	S	P	Mo
302	S30200	0.15	17-19	8-10	2.0	1.0	0.03	0.04	-
304	S30400	0.08	18-20	8-12	2.0	1.0	0.03	0.04	-
304L	S30403	0.03	18-20	8-12	2.0	1.0	0.03	0.04	-
316	S31600	0.08	16-18	10-14	2.0	1.0	0.03	0.04	2.0-3.0
316L	S31603	0.03	16-18	10-14	2.0	1.0	0.03	0.04	2.0-3.0

ตารางที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิม [14]

Type#	Tensile Strength 1000 Psi	Yield Strength 1000 Psi	Elongation in 2 inch, %	Reduction of Area, %	Brinell Hardness
302	90	40	55	70	150
304	85	35	55	70	150
304L	80	30	55	70	140
316	85	35	60	70	150
316L	78	30	55	65	145