

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ส้ม

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับส้ม

คำว่า “ส้ม” หรือ “พืชตระกูลส้ม” หมายถึงพืชที่อยู่ในสกุลซิตรีส (Citrus genus) ทั้งหมดเช่น มะปราง มะนาว มะกรูด ส้มจัด ส้มเขียวหวาน ส้มเกลี้ยง ส้มจุก ส้มโอ เป็นต้น รวมทั้งพืชสกุลใกล้เคียง (Citrus relatives) อีกหลายชนิด จึงนับได้ว่าเป็นพืชกลุ่มใหญ่มากกลุ่มหนึ่ง มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ อาจเป็นแถบตอนใต้ของประเทศจีนหรือหมู่เกาะมาลาเยเชื่อกันว่าไทยอาจเป็นแหล่งกำเนิดของส้มแห่งหนึ่งได้เช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามไม่มีใครสามารถยืนยันได้ว่าแหล่งกำเนิดที่แท้จริงอยู่ที่ใด สำหรับประวัติการนำส้ม โดยเฉพาะส้มเขียวหวานเข้ามาปลูกในประเทศไทยนั้น ไม่มีหลักฐานปรากฏชัดเจน แต่เชื่อว่าชาวจีนเป็นผู้นำเข้ามาเมื่อประมาณ ปี พ.ศ. 2400-2410 การปลูกส้มเขียวหวานเป็นอาชีพทำกันมาประมาณ 80 ปีที่ผ่านมาเอง โดยปลูกกันมากในเขตตำบลบางมด ซึ่งอยู่ในเขตราชบุรีบูรณะ และเขตบางขุนเทียน ส้มเขียวหวานที่ปลูกในแถบนี้จะเรียกว่า “ส้มบางมด” ซึ่งถือว่าเป็นแหล่งผลิตส้มที่มีชื่อเสียงในด้านคุณภาพตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน ระยะเวลาต่อมา สภาพสวนบริเวณบางมดเปลี่ยนไป รวมทั้งปัญหาน้ำเค็ม น้ำเสีย ทำให้พื้นที่สวนส้มเขียวหวานลดลงเกือบหมด แต่ยังมีผู้ที่ใจรักในด้านการปลูกส้มเขียวหวานได้ไปหาแหล่งปลูกที่อื่น ๆ ทำให้พื้นที่ปลูกกระจายออกไปทั่วประเทศโดยเฉพาะในเขตภาคกลาง แถบปทุมธานี นครนายก สระบุรี และภาคเหนือ แถบจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย แพร่ น่าน เป็นต้น (จุฑามาส, 2547)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ส้มมีชื่อสามัญว่า Mandarin หรือ Tangerine ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus reticulata* ข้อมูลจำเพาะทางด้านพืชสวนของส้มที่น่าสนใจ หรือลักษณะบ่งชี้ มีดังนี้ (จุฑามาส, 2547)

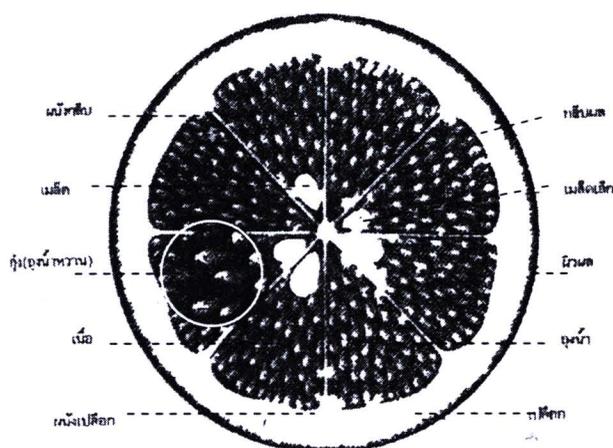
ใบ มีลักษณะรูปไข่ ค่อนข้างยาว รูปโล่ หรือรูปหอก ปลายและฐานใบมีลักษณะมน ส่วนปลายสุดของใบมีรอยเว้าเข้า ผิวท้องใบ มีสีเขียวอมเหลือง ผิวหลังใบเป็นมันเขียวเข้ม ใบมีปีกแคบ หรือไม่มีปีก มีสีเขียวอมเหลือง ใบมีขนาดเล็ก ความกว้าง 1.5-4 เซนติเมตร และยาว 3.5-8 เซนติเมตร

ดอก มีขนาดเล็ก ดอกตูมมีความยาว 0.5-0.7 เซนติเมตร ดอกบานมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5-2.5 เซนติเมตร ส่วนกลีบดอกสีขาว และมีต่อมน้ำมันกระจายอยู่ แต่ละดอกมีเกสรตัวผู้อยู่ในลักษณะแยกกัน 18-23 อัน ออกดอกในตำแหน่งซอกใบ เป็นดอกเดี่ยวหรือดอกช่อ

ผล ลักษณะโดยทั่วไปของผลส้มคือ มีรูปร่างผลเป็นทรงกลม เป็นเล็กน้อย ผิวเปลือกสีเขียว สีเขียวอมเหลืองหรือส้มอมเหลือง จนถึงแดงอมส้ม ลักษณะผิวเปลือกจะเรียบมีต่อมน้ำมันอยู่ภายใน ส่วนเปลือกบาง มีความหนาประมาณ 0.2-0.3 เซนติเมตร มีกลิ่นหอมแรง เปลือกด้านในมีสีเหลืองอ่อน ภายในผล (ภาพ 1) ประกอบด้วยกลีบผลจำนวน 10-15 กลีบ แต่ละกลีบจะมีผนังบาง เนื้อมีน้ำมาก สีส้ม มีรสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย ก้านผลมีขนาดสั้น ขนาดผลแตกต่างกันไป ตั้งแต่เส้นผ่านศูนย์กลาง 5-8 เซนติเมตร ยาว 4-7 เซนติเมตร ติดผลในลักษณะห้อยหัวลง

เมล็ด รูปร่างรูปไข่กลับหัว เนื้อเยื่อส่วนสะสมอาหารมีสีเขียวอ่อน หรือเขียวอมเหลือง จำนวนเมล็ดมีมากน้อยแตกต่างกันในแต่ละกลีบ จากหนึ่งเมล็ดสามารถเพาะต้นกล้าได้เป็นจำนวนมาก

ผลผลิต จัดเป็นไม้ผลยืนต้นชนิดหนึ่งในไม้ผลไม้ที่ชนิดที่สามารถให้ผลผลิตตลอดปีโดยใช้หลักวิชาการด้านไม้ผลวิทยา บังคับให้ออกดอกผลเป็นรุ่นตามต้องการ และสามารถบังคับการออกผลได้ประมาณ 2-4 รุ่นในรอบปี หรือหากต้องการผลผลิตเพียงรุ่นเดียวก็สามารถเลือกปฏิบัติได้ ผลส้มสามารถที่จะรอการเก็บเกี่ยวได้ กล่าวคือ สามารถเริ่มเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่เมื่อผลอายุประมาณ 8-9 เดือน หรือปล่อยให้สุกกับต้นเพื่อรอราคาที่สูงขึ้นจนอายุประมาณ 11-12 เดือนหลังดอกบาน



ภาพ 1 ภาพตัดขวางของผลส้ม

ที่มา: จุฑามาส (2547)

การจำแนกพันธุ์ส้ม

1. ส้มแหลมทอง หรือแสงทอง เป็นสายพันธุ์ที่ปลูกกันอยู่เดิมในเขตจังหวัดราชบุรี ลักษณะลำต้นขนาดใหญ่ ทรงพุ่มใหญ่ ผลติดค่อนข้างยาก ไม่คก ผลขนาดปานกลางแต่มีรสหวานจัด ถึงแม้ผลยังไม่ถึงอายุการเก็บเกี่ยวก็ไม่เปรี้ยว ปัจจุบันปลูกกันน้อยเพราะผลคกสู้ส้มธรรมดาไม่ได้

2. ส้มบางมด เป็นพันธุ์ส้มเขียวหวานที่เคยปลูกกันในเขตบางมด บางขุนเทียน ชนิดพันธุ์ผิวเรียบเปลือกบางเรียกว่าส้มบางล่าง แหล่งปลูกเดิมคือ บางมด ชนิดที่เปลือกค่อนข้างหนาผลใหญ่ มีลูกนูนเล็กน้อยเรียกว่า ส้มบางบน รสไม่หวานมาก เดิมปลูกกันมากบริเวณบางขุนนนท์ บางกรวย บางกอกน้อย ปัจจุบันปลูกกันมากแถวรังสิต นครปฐม และดำเนินสะดวก มีผู้นำไปปลูกในเขตอื่นแล้วเรียกชื่อต่างกัน ไป เช่น ส้มผิวทอง ส้มสีทอง

3. ส้มฟริมองต์ เป็นลูกผสมระหว่างพันธุ์กลีเมนไทน์และพันธุ์พองแกน เกิดในรัฐฟลอริดา แต่ได้รับการคัดเลือกและพัฒนาสายพันธุ์ในรัฐแคลิฟอร์เนีย มีการนำส้มพันธุ์นี้มาปลูกในภาคเหนือของไทยเมื่อ 20 ปีที่ผ่านมา และสามารถปรับตัวได้ดีและแพร่หลายไปยังแหล่งอื่น ๆ

4. ส้มโชกุน เป็นพันธุ์ที่ปลูกจากเมล็ดทางภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งได้นำพันธุ์มาจากประเทศจีน อาจรู้จักกันในนามของส้มสายน้ำผึ้ง หรือส้มเพชรยะลา เป็นที่นิยมกันมากในปัจจุบัน ส้มพันธุ์นี้มีลักษณะทรงต้นและขนาดต้นใกล้เคียงกับส้มเขียวหวาน แต่ทรงพุ่มค่อนข้างแน่นกว่า กิ่งและใบจะตั้งขึ้นมากกว่าแกน ลักษณะผลใกล้เคียงกับส้มเขียวหวาน แต่มีรสชาติเป็นเอกลักษณ์พิเศษ เนื้อมีลักษณะแน่น ชานนึ่มและให้น้ำส้มปริมาณมาก รสชาติหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย ผลอาจเกิดการแตกง่ายกว่าส้มเขียวหวาน เหมาะที่จะปลูกทางใต้ แต่ถ้าจะปลูกในภาคอื่น ควรมีการจัดการน้ำที่ดีเพื่อลดการแตกของผล

พื้นที่ปลูกและปริมาณการผลิต

ส้มเป็นไม้ผลที่คนไทยนิยมบริโภคกันทั่วไป ส่วนใหญ่จะผลิตขึ้นเพื่อบริโภคภายในประเทศแต่ก็สามารถส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศปีละหลายสิบล้านบาทเช่นกัน ตลาดส่วนใหญ่อยู่ในเอเชีย อย่างไรก็ตามส้มเขียวหวานมีโรคสำคัญอยู่คือ โรคกรีนนิง และทริสเตซ่า ซึ่งมีผลทำให้ผลผลิตลดลงและต้นส้มตาย เป็นปัญหาสำคัญอยู่ในปัจจุบัน ขณะนี้ได้มีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวคือ การใช้พันธุ์ส้มเขียวหวานปลอดโรค ซึ่งถ้าหากสามารถแก้ไขได้ก็จะทำให้การผลิตส้มเขียวหวานสามารถผลิตได้มากขึ้น และสามารถส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศได้มากยิ่งขึ้น (กรมส่งเสริมทางการเกษตร, 2549) สำหรับแหล่งปลูกที่สำคัญในภาคเหนืออยู่ที่จังหวัด เชียงใหม่ น่าน แพร่ สุโขทัย พะเยา เชียงราย กำแพงเพชร ภาคกลางอยู่ที่จังหวัด ชัยนาท สิงห์บุรี สระบุรี ปทุมธานี พระนครศรีอยุธยา ลพบุรี ภาคตะวันออกอยู่ที่จังหวัด นครนายก จันทบุรี ฉะเชิงเทรา ปราจีนบุรี

ชลบุรี ระยอง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นครปฐม สมุทรสาคร สุพรรณบุรี ราชบุรี กาญจนบุรี ภาคใต้อยู่ที่จังหวัด ชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช ระนอง ปัตตานี ยะลา โดยทั้งประเทศมีพื้นที่ปลูกทั้งหมด 464,401 ไร่ แบ่งเป็นพื้นที่ให้ผลผลิตแล้ว 336,981 ไร่ และพื้นที่ยังไม่ให้ผลผลิต 127,420 ไร่ (จุฑามาส, 2547)

การสกัดน้ำผลไม้

การสกัดน้ำผลไม้เป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญของการแปรรูปน้ำผลไม้ เพื่อแยกเอาน้ำออกจากส่วนเนื้อของผลไม้ กรรมวิธีในการสกัดน้ำผลไม้แต่ละชนิดจะมีขั้นตอนรายละเอียดที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของเนื้อเยื่อผลไม้แต่ละชนิด และลักษณะความชุ่มชื้นของน้ำผลไม้ที่ต้องการ ดังนี้

การสกัดน้ำผลไม้แบบคั้นสด

การสกัดน้ำแบบคั้นสดใช้กับผลไม้ส่วนใหญ่ทั่วไป ซึ่งเป็นประเภทที่มีทั้งน้ำและเนื้อมาก เตรียมเฉพาะเนื้อส่วนที่บริโภคได้ เช่น ปอกเปลือกออก เอาเมล็ดขนาดใหญ่ออก หั่นเป็นชิ้น มักจะมีขั้นตอนการสกัด 2 ขั้นตอน คือ การตีย่อยขนาด และการบีบคั้นน้ำ (ยกเว้นผลไม้ประเภทที่มีน้ำมากแต่เนื้อน้อย เช่น ส้ม องุ่น แดงโม ฯลฯ สามารถบีบคั้นน้ำได้เลยโดยไม่ต้องผ่านการตีย่อยขนาด) เมื่อกรองน้ำแยกกากออก จะได้น้ำผลไม้แท้ 100 เปอร์เซ็นต์ สำหรับกรรมวิธีในการสกัดน้ำผลไม้แบบที่เกษตรกรปฏิบัติมีดังนี้ (สินธนา, 2542)

1. ผลไม้ประเภทที่มีน้ำและเนื้อมาก ได้แก่ สับปะรด แดงโม แบ่งรูปแบบการสกัดออกได้เป็น 3 รูปแบบ คือ

- การตีปั่นด้วยถ้วยปั่นแล้วคั้นน้ำด้วยมือ
- การตีปั่นด้วยเครื่องแล้วคั้นน้ำด้วยเครื่อง
- การตีปั่นและคั้นน้ำในเครื่องเดียวกันอย่างต่อเนื่อง

2. ผลไม้ประเภทที่มีน้ำมากแต่เนื้อน้อย ได้แก่ ส้ม แบ่งรูปแบบการสกัดออกได้เป็น 3 รูปแบบคือ

- การคั้นน้ำด้วยมือ
- การคั้นน้ำด้วยเครื่อง
- การคั้นน้ำด้วยเครื่องเดียวกันอย่างต่อเนื่อง

การสกัดน้ำผลไม้แบบต้มแล้วบีบคั้น

การสกัดน้ำแบบต้มแล้วบีบคั้น คือ การนำเอาผลไม้ที่ต้องการคั้นมาผ่านกระบวนการต้มก่อนแล้วจึงนำไปคั้น และกรองแยกกากออก ก็จะได้น้ำผลไม้ การต้มแล้วคั้นมักนิยมใช้กับผลไม้ประเภทที่มีน้ำน้อยและเนื้อน้อยได้แก่ มะขาม พุทรา ฯลฯ แบ่งรูปแบบออกได้เป็น 3 แบบ คือ

- การต้มแล้วคั้นน้ำด้วยมือ
- การต้มแล้วคั้นน้ำด้วยเครื่อง
- การต้มแล้วคั้นน้ำด้วยเครื่องอย่างต่อเนื่อง

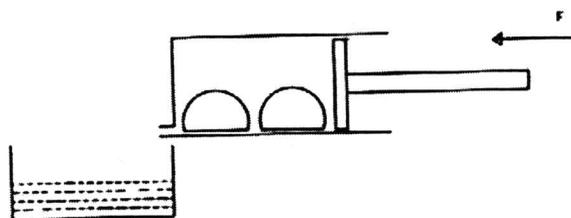
การคั้นน้ำส้ม

การคั้นน้ำส้มโดยใช้แรงงานคน

1. การคั้นน้ำส้มด้วยมือ คือ การคั้นน้ำผลไม้ที่ใช้แรงงานคนเพียงอย่างเดียว โดยไม่มีการใช้เครื่องมืออย่างอื่นช่วย

2. การใช้อุปกรณ์ช่วยในการคั้นน้ำส้มโดยใช้แรงงานคน คือ การคั้นน้ำส้มที่มีการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์บางอย่างเข้ามาช่วย เพื่อให้การคั้น โดยการใช้แรงงานคนมีประสิทธิภาพดีขึ้น เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่นำมาใช้ได้แก่การคั้นแบบใช้แรงบีบอัดหรือหนีบ ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 3 แบบ คือ

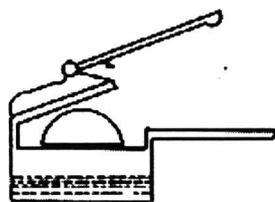
แบบที่ 1 มีหลักการคล้ายการทำงานของกระบอกสูบ โดยการนำผลส้มที่ทำการผ่าเรียบร้อยแล้วไปใส่ไว้ในตัวรองกดผลส้ม จากนั้นตัวกดผลส้มก็จะกดผลส้มโดยการโยกคันโยก ส่งผลให้ผลส้มถูกบีบอัดและน้ำส้มจะไหลผ่านตัวรองลงมา ดังภาพ 2



ภาพ 2 หลักการทำงานของเครื่องคั้นแบบลูกสูบ

ที่มา: สินธนา (2542)

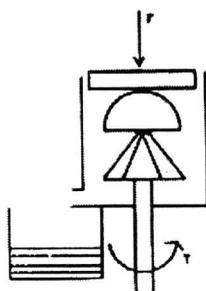
แบบที่ 2 โดยการนำผลส้มที่ทำการผ่าเรียบร้อยแล้ว นำไปใส่ในถ้วย จากนั้นก็โยกคันโยกเพื่อให้ตัวกดบีบอัดผลส้มให้น้ำไหลออกมา ดังภาพ 3



ภาพ 3 หลักการทำงานของเครื่องคั้นแบบคั้นโยก

ที่มา: สินธนา (2542)

แบบที่ 3 การคั้นแบบหมุนคว้าน โดยการคว้านในลักษณะนี้จะสามารถคั้นส้มได้เพียงครั้งละครึ่งลูกเท่านั้น มีหลักการทำงาน โดยการหมุนคว้านเนื้อในของผลส้ม ดังภาพ 4

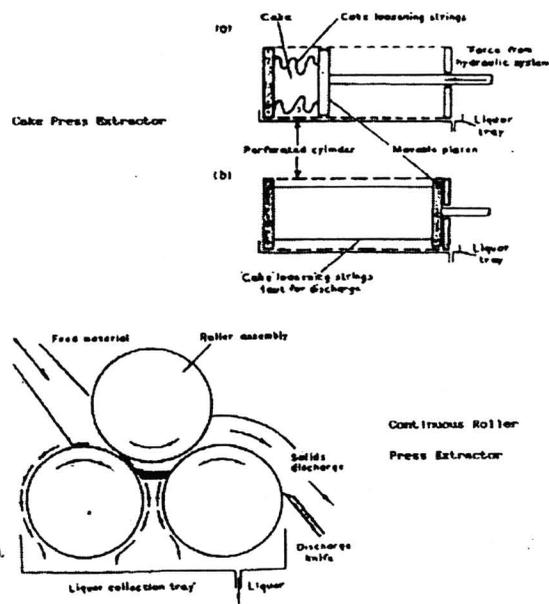


ภาพ 4 หลักการทำงานของเครื่องคั้นแบบหมุนคว้าน

ที่มา: สินธนา (2542)

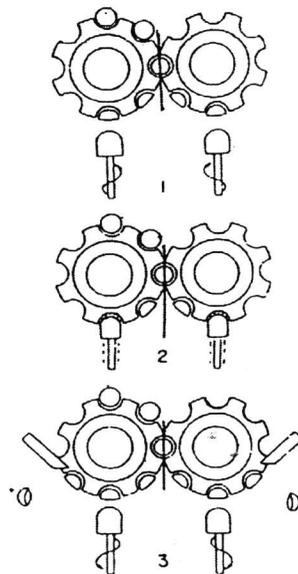
การคั้นน้ำส้มโดยใช้เครื่องจักรกล

1. ระบบบีบอัด (pressing) เป็นวิธีการสกัดน้ำส้ม โดยใช้แรงอัดเพื่อบีบส่วนที่เป็นของเหลวออกจากผลส้ม ส่วนมากจะใช้ในกรณีที่ต้องการผลิตน้ำผลไม้ชนิดใส วิธีการสกัดแบบนี้จะมีผลดีคือ จะมีอัตราการละลายของออกซิเจนในน้ำส้มที่สกัดได้ต่ำกว่าน้ำส้มที่ได้จากการตีปั่น (สินธนา, 2542) อุปกรณ์ที่ใช้ในการบีบอัดน้ำผลไม้ นั้น มีหลายชนิด เช่น Cake press extractor, Rotary juice press extractor, Continuous roller press เป็นต้น ดังภาพ 5 และ ภาพ 6



ภาพ 5 หลักการทำงานของ Cake press extractor และ Continuous roller press extractor

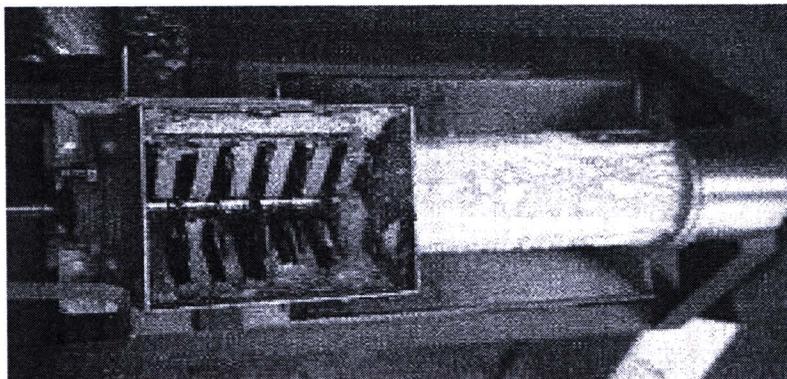
ที่มา: Brennan *et.al* (1976)



ภาพ 6 หลักการทำงานของ Rotary juice press ในการสกัดน้ำผลไม้ตระกูลส้ม

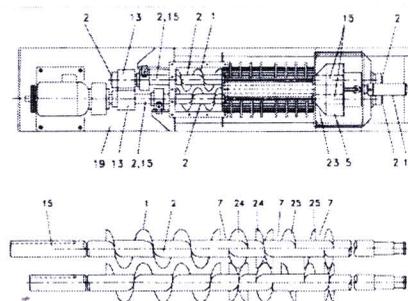
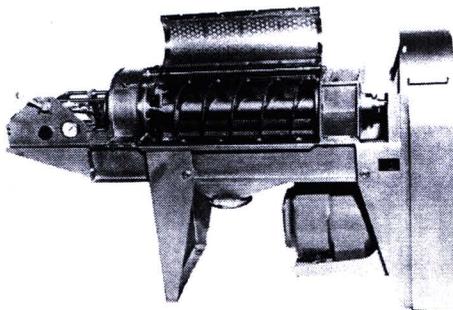
ที่มา: Nagy and Shaw (1980)

2. ระบบตีป่น (pulping) เป็นวิธีการสกัดน้ำส้ม โดยการตีป่นให้เนื้อของผลไม้มีขนาดเล็กลงมีสภาพเป็นของเหลวกึ่งของแข็ง เครื่องมือที่ใช้ในการสกัดน้ำโดยวิธีนี้เรียกรวมว่า Pulper (ภาพ 7) แต่ส่วนใหญ่นิยมใช้กับมะเขือเทศ เสาวรส มะละกอ ฝรั่ง เป็นต้น (สินธนา, 2542)



ภาพ 7 ชุดย่อยเนื้อผลไม้แบบตีป่นด้วยใบพัดตีหมุน
ที่มา: ชัยวัฒน์ (2543)

3. ระบบเกลียวอัด (screw press) เป็นวิธีการสกัดน้ำส้ม โดยการอัดด้วยเกลียวซึ่งมีทั้งแบบใช้เกลียวชุดเดียวและ 2 ชุด (ภาพ 8) ซึ่งสามารถทำให้แยกน้ำออกจากเนื้อส้มได้อย่างรวดเร็ว และให้ลักษณะเนื้อส้มฝัสดที่ดี สามารถนำไปใช้กับการคั้นน้ำผลไม้ชนิดอื่นได้ (สินธนา, 2542)

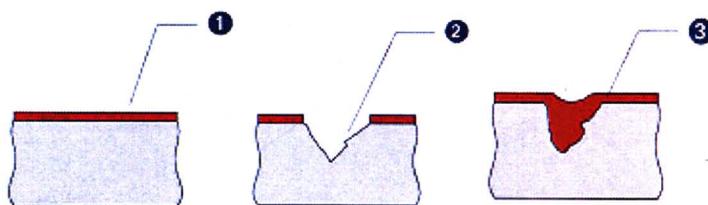


ภาพ 8 เครื่องคั้นน้ำผลไม้แบบเกลียวอัด
ที่มา: ชัยวัฒน์ (2543)

สแตนเลส

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสแตนเลส

สแตนเลส เป็นศัพท์ทั่วไปที่ใช้เรียกเหล็กกล้าไร้สนิมหรือเหล็กในกลุ่มที่มีความต้านทานการกัดกร่อน ซึ่งมีส่วนผสมของโครเมียมอย่างน้อย 10.5 เปอร์เซ็นต์ โลหะประเภทนี้ถูกค้นพบเมื่อปี พ.ศ. 2446 โดยนักโลหะวิทยาพบว่าส่วนผสมปริมาณโครเมียมเพิ่มขึ้นจะทำให้เหล็กกล้าคาร์บอน (carbon steel) มีคุณสมบัติต่อต้านการเกิดสนิมได้ดียิ่งขึ้น โลหะทุกชนิดโดยทั่วไปจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ หรือที่เรียกว่า “ออกซิเดชัน” (oxidation) เกิดเป็นฟิล์มออกไซด์เคลือบบนผิวโลหะ ส่งผลให้สภาพพื้นผิวเหล็กผุกร่อนหรือที่เรียกกันว่าเป็นสนิม แต่การที่สแตนเลสมีโครเมียมเป็นส่วนประกอบสูงกว่า 10.5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้คุณสมบัติของฟิล์มออกไซด์เปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ แผ่นฟิล์มออกไซด์ที่มีปริมาณโครเมียมสูง ซึ่งมีลักษณะบางและมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น จะทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกันการกัดกร่อนอย่างมีประสิทธิภาพ โดยแผ่นฟิล์มจะสร้างตัวขึ้นใหม่เองทันทีที่พื้นผิวถูกขีดข่วนทำลาย



ภาพ 9 การเกิดฟิล์มปกป้อง

ที่มา: จักรพงษ์ (2544)

จากภาพ 9 สามารถอธิบายขั้นตอนการเกิดฟิล์มปกป้องได้ดังนี้

1. เมื่อผิวโลหะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ แผ่นฟิล์มโครเมียมออกไซด์หรือฟิล์มปกป้อง (passive film) จะถูกสร้างขึ้นเคลือบพื้นผิวของสแตนเลสโดยอัตโนมัติ
2. เมื่อผิวโลหะเกิดการขีดข่วน กะเทาะ หรือถูกนำไปผ่านกระบวนการที่ใช้เครื่องจักร แผ่นฟิล์มปกป้องจะเผยเนื้อเหล็กให้สัมผัสกับอากาศ
3. ฟิล์มปกป้องจะสร้างตัวขึ้นมาใหม่เองอย่างรวดเร็ว เมื่อเนื้อเหล็กสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ

การนำสแตนเลสไปใช้งาน

สแตนเลสนอกจากจะมีประโยชน์ใช้สอยที่หลากหลายไร้ขีดจำกัดแล้ว ยังมีคุณสมบัติพิเศษที่โดดเด่นเหนือกว่าวัสดุประเภทอื่น ๆ อาทิ ทนทานต่อการกัดกร่อน ง่ายต่อการเชื่อมหรือขึ้นรูป ไม่ต้องการการบำรุงรักษามากนัก และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (recyclability) คุณสมบัติเหล่านี้ทำให้สแตนเลสกลายเป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้สร้างผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิดที่จำเป็นต่อชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นเครื่องมือในโรงงานอุตสาหกรรมหรือเครื่องใช้ในครัวเรือน

เครื่องครัว สแตนเลสเกรดออสเทนนิค 304 เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางว่าเป็นวัสดุที่สะอาด ทนทาน สวยงาม และดูแลรักษาง่าย เหมาะสำหรับใช้ในการผลิตเครื่องมือเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร อาทิ ช้อนส้อมและมีด รวมไปถึงถ้วย จาน ชามต่าง ๆ

เครื่องใช้ในบ้าน ด้วยคุณสมบัติไม่เป็นสนิม ไม่ทำปฏิกิริยากับกรดและเกลือ สแตนเลสประเภทออสเทนนิคจึงได้รับความนิยมนำมาผลิตเป็นเครื่องใช้ภายในบ้านหลากหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นอ่างล้างจาน เครื่องล้างจาน เครื่องซักผ้า อุปกรณ์ประกอบอาหาร เครื่องปิ้งขนมปัง เตาแก๊ส หรือแท็งก์น้ำ

อุตสาหกรรมผลิตผลทางการเกษตร ภาชนะบรรจุผลิตผลทางการเกษตรที่แข็งแรง ทนทานมักจะทำมาจากสแตนเลสประเภทออสเทนนิค เนื่องจากมีความแข็งแรงและไม่เป็นสนิม

การแบ่งเกรดสแตนเลส

สแตนเลสมีอยู่มากมายหลายชนิดรวมแล้วกว่า 60 ชนิด ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 เกรดหรือประเภทใหญ่ ๆ คือ ออสเทนนิค (austenitic) เฟอริตติค (ferritic) มาร์เทนซิติค (martensitic) และดูเพล็กซ์ (duplex) โดยแต่ละประเภทก็มีคุณสมบัติด้านทานการกัดกร่อนที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของโลหะผสมที่เป็นองค์ประกอบ จึงเหมาะสำหรับสภาพแวดล้อมและลักษณะการใช้งานที่ต่างกันออกไป

1. ออสเทนนิค (austenitic) มีคุณสมบัติที่แม่เหล็กดูดไม่ติด นอกจากจะประกอบด้วยโครเมียม 18 เปอร์เซ็นต์ ยังมีนิกเกิลช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนอีกด้วย สแตนเลสชนิดนี้ขึ้นรูปได้ง่ายจึงเป็นที่นิยมใช้แพร่หลายมากที่สุด

2. เฟอริตติค (ferritic) มีคุณสมบัติที่แม่เหล็กดูดติด ประกอบด้วยคาร์บอนในปริมาณต่ำและมีโครเมียมเป็นโลหะผสมหลัก โดยทั่วไปอยู่ที่ 13 เปอร์เซ็นต์ หรือ 17 เปอร์เซ็นต์

3. มาร์เทนซิติค (martensitic) มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก โดยทั่วไปจะมีโครเมียมผสมอยู่ 12 เปอร์เซ็นต์ และมีส่วนผสมของคาร์บอนในระดับปานกลาง นิยมใช้ทำเครื่องใช้บนโต๊ะ



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่..... = 2 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน..... 246767
เลขเรียกหนังสือ.....

อาหาร เครื่องมือตัด และเครื่องมือวิศวกรอื่น ๆ ซึ่งต้องการความแข็งแรงทนทานและคุณสมบัติในการต้านทานการกัดกร่อนสูงเป็นพิเศษ

4. คูเพิล็กซ์ (duplex) มีคุณสมบัติที่แม่เหล็กดูดติด มีโครงสร้างผสมระหว่างเฟอร์ไรต์ (ferrite) และออสเตไนต์ (austenite) ประกอบด้วยโครเมียม 18-28 เปอร์เซ็นต์ และนิกเกิล 4.5-8 เปอร์เซ็นต์ สเตนเลสชนิดนี้มักถูกนำไปใช้งานที่มีคลอไรด์สูงเพื่อป้องกันมิให้เกิดการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (pitting corrosion) และช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนที่เกิดจากการแตกร้าว (stress corrosion cracking)

สเตนเลสที่นิยมใช้ทั่วไป คือ เกรดออสเตนิติก และเฟอร์ริติกคิดเป็นร้อยละ 95 ของสเตนเลสที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน โดยแบ่งเป็นชนิดย่อยได้ดังนี้

เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดออสเตนิติก โครเมียม 18 เปอร์เซ็นต์ นิกเกิล 8.5 เปอร์เซ็นต์ (304D) สำหรับขึ้นรูป คุณลักษณะเด่น เมื่อเทียบกับเกรดมาตรฐานอย่าง 304-S189 แล้วจะมีความสามารถในการขึ้นรูปเย็นได้ดีกว่า เนื่องจากมีส่วนผสมของนิกเกิลอย่างน้อยที่สุด 8.5 เปอร์เซ็นต์ จึงเหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปแบบหลุมลึก และการดึงขึ้นรูปสำหรับรูปทรงที่ซับซ้อน การใช้งานโดยทั่วไป ใช้กับภาชนะที่เป็นหลุมลึก เครื่องล้างจาน ภาชนะหุงต้ม อ่างล้างจาน

เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดออสเตนิติก โครเมียม 18 เปอร์เซ็นต์ นิกเกิล 9 เปอร์เซ็นต์ (304DDQ 189) สำหรับขึ้นรูปลึก มีความสามารถในการขึ้นรูปเย็นได้ดี เมื่อแผ่นวัสดุจำเป็นต้องเปลี่ยนรูปร่างไปมาก จึงนิยมใช้ในงานพิเศษได้แก่ การขึ้นรูปแบบหลุมลึก การขึ้นรูปที่ใช้ทั้งการดึงและการยึดตัว การปั้นอัดขึ้นรูป การใช้งานโดยทั่วไปใช้กับ หม้อชุป อ่างผสมอาหาร อ่างล้างจาน คอนเทนเนอร์ที่ได้จากการขึ้นรูปลึก

เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดเฟอร์ริติก โครเมียม 17 เปอร์เซ็นต์ (403) เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมสำหรับการใช้งานโดยทั่วไป มีโครเมียมผสมอยู่ 17 เปอร์เซ็นต์ เหมาะสำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิปกติ มีความต้านทานการกัดกร่อนได้ในสภาวะกัดกร่อนปานกลาง สามารถขึ้นรูปเย็นได้ดี ปานกลาง มีผิวหน้าที่สวยงามหลังการประกอบชิ้นงานทำให้ลดขั้นตอนการตกแต่งผิวในขั้นตอนสุดท้าย มีความต้านทานการเกิดออกซิไดซ์ที่อุณหภูมิสูงถึง 850°C สำหรับการใช้งานโดยทั่วไปจะนำไปใช้กับ เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร ซ้อนส้อม มีดและเครื่องใช้ในครัวอุปกรณ์หุงต้มอาหาร และทำเครื่องประกอบอาหาร เฟอร์นิเจอร์และการตกแต่งภายในอาคารและตามถนนในเมือง เครื่องความร้อนในกระบวนการผลิตและอุปกรณ์เครื่องใช้ในการผลิตอาหารประเภทนม แแกนและถังปั่นในเครื่องซักผ้าและเครื่องล้างจาน

เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดออสเตนิติก โครเมียม 18 เปอร์เซ็นต์ นิกเกิล 8 เปอร์เซ็นต์ (304) เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากมีความต้านทานการกัดกร่อนได้ดี มี

ความอ่อนตัว (ดีกว่าโลหะทั่วไปและโลหะผสม) สามารถเชื่อมได้ดี (ทุกกระบวนการ) สามารถทำ
ความสะอาดได้ง่าย และช่วยรักษาสภาพของผลิตภัณฑ์ ระหว่างการขนส่งหรือที่ใช้บรรจุ สามารถ
ขึ้นรูปได้ง่าย และสามารถขัดพื้นผิวได้ง่าย ซึ่งมีการนำไปใช้งานโดยทั่วไปดังต่อไปนี้

- ในครัวเรือน อุปกรณ์เครื่องครัว เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร อ่างล้างจาน เครื่องใช้ในบ้าน
เครื่องใช้ไฟฟ้า โครงสร้างและการตกแต่งอาคาร และเฟอร์นิเจอร์ตามถนนหนทาง

- อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม อาหารนม เบียร์ ไวน์ อุปกรณ์จัดเลี้ยง

- เครื่องมือในโรงพยาบาล และเวชภัณฑ์

- อุตสาหกรรมเคมีและอุตสาหกรรมแปรรูป แท็งก์ ท่อลำเลียง เครื่องถ่ายความร้อน ระบบ
บำบัดน้ำเสีย ภาชนะต่าง ๆ

เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดออสเทนนิติก โครเมียม 18 เปอร์เซนต์ นิกเกิล 9 เปอร์เซนต์
ปริมาณคาร์บอนต่ำ (304L) คุณลักษณะเด่นคือ มีความต้านทานการกัดกร่อนแบบตามขอบเกรนดี
เนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนต่ำ สามารถเชื่อมและขึ้นรูปเย็นได้ดี มีความแกร่งที่อุณหภูมิต่ำ การใช้
งานโดยทั่วไปใช้กับ อุปกรณ์เครื่องมือที่ต้องผ่านการเชื่อม สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร
อุตสาหกรรมเคมี และกระบวนการผลิตต่าง ๆ

เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดออสเทนนิติก โครเมียม 18 เปอร์เซนต์ นิกเกิล 11 เปอร์เซนต์
โมลิบดีนัม 2 เปอร์เซนต์ มีปริมาณคาร์บอนต่ำ (316L) คุณลักษณะเด่นคือ ทนการกัดกร่อนได้ดีใน
กรด หรือสารผสมคลอไรด์ มีความต้านทานการกัดกร่อนตามขอบเกรนสูงแม้ผ่านการเชื่อม
สามารถเชื่อมได้ดีมาก มีความยืดตัวสูงและขัดเงาได้ การใช้งานสามารถใช้งานโดยทั่วไปใช้กับ
อุปกรณ์การแพทย์ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเคมี และกระบวนการผลิตต่าง ๆ ที่ต้องทนต่อ
การกัดกร่อนสูง (จักรพงษ์, 2544)

การเลือกใช้ขนาดมอเตอร์

การออกแบบขนาดกำลังของมอเตอร์เพื่อใช้ขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่าง ๆ จะใช้สมการ
(วิธีธิ และชาญ, 2548)

$$P = \frac{2\pi \times T \times N}{60} \quad (1)$$

โดย $P =$ กำลัง (วัตต์)

$T =$ แรงบิด (นิวตัน-เมตร)

$N =$ ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)

การออกแบบล้อยาสายพาน

ในการเลือกขนาดของล้อยาสายพานจะหาได้จากสมการ (วรวิทธิ์ และชาญ, 2548)

$$\begin{pmatrix} N_1 \\ N_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} D_2 \\ D_1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

โดย D_1 = เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ตัวเล็ก (มิลลิเมตร)
 D_2 = เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ตัวใหญ่ (มิลลิเมตร)
 N_1 = ความเร็วรอบของพูลเลย์ตัวเล็ก (รอบต่อนาที)
 N_2 = ความเร็วรอบของพูลเลย์ตัวใหญ่ (รอบต่อนาที)

การออกแบบเพลลา

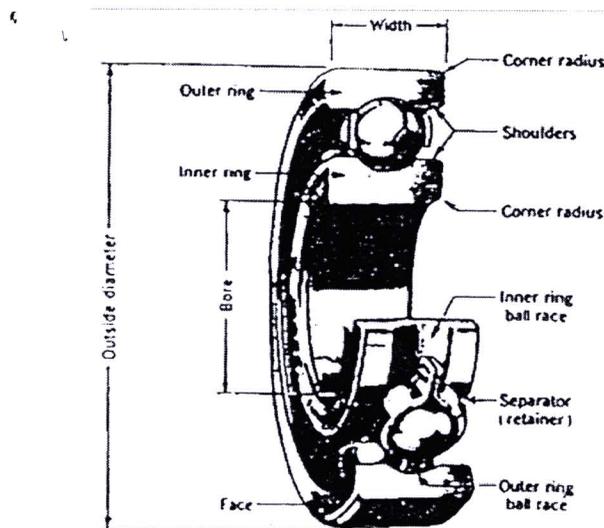
การออกแบบเพลลา ส่วนมากจะทำการออกแบบโดยใช้ทฤษฎีของโซเดอร์เบิร์ก (soderberg approach) ซึ่งใช้สำหรับเพลลาที่รับแรงบิดคงที่และการตัดแบบกลับ ไปกลับมา หาได้จากสมการ (วรวิทธิ์ และชาญ, 2548)

$$d_s = \left[\frac{32n}{60} \left\{ \left(\frac{T}{S_y} \right)^2 + \left(\frac{M}{S_c} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

โดย d_s = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา (เมตร)
 n = ค่าความปลอดภัย (Safety factor)
 M = โมเมนต์คัตสูงสุด (นิวตัน-เมตร)
 T = แรงบิดที่เกิดขึ้นที่เพลลา (นิวตัน-เมตร)
 S_y = ความต้านทานแรงดึงคราก (เมกะปาสกาล)
 S_c = ค่าความแข็งแรงของวัสดุที่ได้รับแรงซ้ำ ๆ กัน (เมกะปาสกาล)

การเลือกใช้แบริ่งลูกกลิ้งกลม

แบริ่งลูกกลิ้งกลม (rolling contact bearing) หรือแบริ่งต่อต้านความฝืด (antifriction bearing) คือ แบริ่งที่รับแรงผ่านชิ้นส่วนที่กลิ้ง แทนที่จะเป็นชิ้นส่วนที่เสียดผ่านกัน โดยที่ความฝืดตอนเริ่มหมุนจะมีค่าประมาณสองเท่าของความฝืดหลังจากหมุนไปแล้ว แต่ความฝืดในขณะนี้จะน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับแบริ่งแบบ Sleeve แบริ่งต่าง ๆ จะผลิตขึ้นมาเพื่อทำการรับแรงในทิศทางแนวรัศมี (radial) แรงในทิศทางแกนยาวของเพลา (trust) หรือแรงร่วมระหว่างสองทิศทางนี้ ชื่อเรียกชิ้นส่วนต่าง ๆ ของแบริ่งลูกกลิ้งกลมแสดงในภาพ 10 (Shigley and Mischke, 1989)



ภาพ 10 ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของแบริ่งลูกกลิ้ง

ที่มา: Shigley and Mischke (1989)

แบริ่งลูกกลิ้งกลมขนาดมาตรฐานที่ใช้กันทั่วไปมักจะต้องรับแรงในแนวรัศมีและแรงในแนวแกนไปพร้อม ๆ กัน ความสามารถในการรับแรงที่ดูจากแค็ตตาล็อกมักจะบอกความสามารถในการรับแรงในแนวรัศมีเพียงอย่างเดียว ดังนั้นเราจึงใช้แรงกระทำเทียบเท่ากับแรงในแนวรัศมี (equivalent radial load, F_r) ซึ่งมีผลกับอายุการใช้งานเหมือนกับแรงกระทำจริง สมการของ Antifriction bearing manufacturers association (AFBMA) สำหรับแรงกระทำเทียบเท่าแรงในแนวรัศมี สำหรับแบริ่งลูกกลิ้งกลมจะเป็นค่าสูงสุดระหว่างสองสมการดังต่อไปนี้ (Shigley and Mischke, 1989)

$$F_c = VF_r \quad (4)$$

$$F_c = XVF_r + VF_a \quad (5)$$

โดย F_c = แรงกระทำเทียบเท่ากับแรงในแฉกซ์ (นิวตัน)
 F_r = แรงกระทำในแฉกซ์ (นิวตัน)
 F_a = แรงกระทำในแนวแกน (นิวตัน)
 $V = 1.2$: วงแหวนในการหมุน, 1 : วงแหวนในการหมุน
 X = ปัจจัยในแฉกซ์ จากตาราง 1
 Y = ปัจจัยในแนวแกน จากตาราง 1

ตาราง 1 ปัจจัยการรับแรงในทิศทางตามแฉกซ์เทียบเท่า

Bearing type	X_1	X_2	Y_1	Y_2
Radial-contact ball bearings	1	0	0.5	1.4
Angular-contact ball bearings with shallow angle	1	0.25	0.45	1.2
Angular-contact ball bearings with steep angle	1	0.75	0.4	0.75
Double-row and duplex ball bearings (type DB or DF)	1	0.75	0.63	0.4

ที่มา: Shigley and Mischke (1989)

AFBMA ได้มีมาตรฐานเกี่ยวกับความสามารถรับแรงของแบริ่ง โดยไม่คำนึงถึงความเร็วซึ่งเรียกว่า ความสามารถในการรับแรงพื้นฐาน (basic load rating, C_R) เป็นความสามารถของแบริ่งที่รับแรงคงที่ในแฉกซ์ได้โดยหมุนแหวนวงในหนึ่งล้านรอบ ซึ่งอาจเรียกได้ว่า Dynamic load rating, basic load capacity หรือ Specific dynamic capacity ความสามารถในการรับแรงพื้นฐานนี้จะคำนวณได้จากสมการ (Shigley and Mischke, 1989)

$$C_R = F_c \left[\left(\frac{L_D}{L_R} \right) \cdot \left(\frac{n_D}{n_R} \right) \cdot \frac{1}{6.84} \right]^{1/a} \cdot \left[\frac{1}{(\ln(1/R))^{1/1.7a}} \right] \quad (6)$$

โดย C_R = ความสามารถในการรับแรงของแบร็ง (นิวตัน)
 $a = 3$; แบร็งลูกกลม
 $= 10/3$; แบร็งลูกตรง
 R = ค่าความไว้วางใจ
 L_D = อายุการใช้งานในการออกแบบ (ชั่วโมง)
 n_D = ความเร็วรอบในการออกแบบ (รอบต่อนาที)
 L_R = อายุการใช้งานอ้างอิงจากเค็ตตาสี้อค (ชั่วโมง)
 n_R = ความเร็วรอบอ้างอิงจากเค็ตตาสี้อค (รอบต่อนาที)

สำหรับการเลือกขนาดของแบร็งจะพิจารณาจากค่าของแรงกระทำเทียบเท่ากับแรงในแนวจี (F_r) และความสามารถในการรับแรง (C_R) ที่คำนวณได้ โดยเลือกเอาค่าที่มากที่สุดแล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่า Load rating ในตาราง 2

ตาราง 2 ขนาดและความสามารถในการรับแรงพื้นฐานของแบร็งลูกกลิ้ง

Bore (mm)	OD (mm)	Width (mm)	Fillet radius (mm)	Shoulder diameter (mm)		Load rating (kN)
				d _s	D _H	
10	30	9	0.6	12.5	27	3.58
12	32	10	0.6	14.5	28	5.21
15	35	11	0.6	17.5	31	5.57
17	40	12	0.6	19.5	34	7.34
20	47	14	1.0	25	41	9.43
25	52	15	1.0	30	47	10.8
30	62	16	1.0	35	55	14.9

ที่มา: Shigley and Mischke (1989)

การออกแบบโซ่ขับเคลื่อน

ความยาวของโซ่จะหาเป็นจำนวนพิทช์ และมักจะต้องการใช้จำนวนพิทช์เป็นคู่ เพื่อไม่ต้องใช้ตัวต่อโซ่พิเศษ ความยาวของโซ่หาได้จากสมการ (วริทธิ์ และชาญ, 2548)

$$\frac{L}{P} = \frac{2c}{P} + \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 (c/P)} \quad (7)$$

- โดย
- L = ความยาวของโซ่ (มิลลิเมตร)
 - P = ระยะพิทช์ของโซ่ (มิลลิเมตร)
 - c = ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของเฟือง (มิลลิเมตร)
 - N_1 = จำนวนฟันของเฟืองที่เล็กกว่า (ฟัน)
 - N_2 = จำนวนฟันของเฟืองที่ใหญ่กว่า (ฟัน)

การวิเคราะห์ชิ้นส่วนวิกฤตด้วยโปรแกรม COSMOSWorks™

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโปรแกรม COSMOSWorks™

การใช้โปรแกรม COSMOSWorks™ เพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรง ความแข็งแรงของชิ้นงาน (ระยะเคลื่อนตัวเมื่อเทียบกับขนาดแรงกระทำ) การวิเคราะห์ความถี่ การวิเคราะห์ทางความร้อน การวิเคราะห์การโค้งจากแรงกระทำในแนวแกน (buckling) และการทดสอบการปล่อยตก (drop test) เป็นโปรแกรมวิเคราะห์ทางวิศวกรรมที่อาศัยวิธีการคำนวณเชิงตัวเลข เทคนิคการคำนวณนี้เรียกว่า Finite Element Analysis (FEA)

การแก้สมการจะใช้สมการเชิงอนุพันธ์ (partial differential technique) ที่เขียนจากสมการในสาขาต่าง ๆ ได้แก่ การออกแบบเครื่องจักร วิศวกรรมระบบเสียง สนามแม่เหล็กไฟฟ้า กลศาสตร์ของแข็ง กลศาสตร์ของไหล เป็นต้น วิศวกรออกแบบจะใช้ FEA ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ได้แก่ งานโครงสร้าง (structural) งานวิเคราะห์การสั่นสะเทือน (vibration) งานวิเคราะห์ความร้อน (thermal) เป็นต้น

การวิเคราะห์เชิงตัวเลข นอกจาก FEA ยังมีวิธีการคำนวณแบบอื่น ๆ ได้แก่ Finite Difference Method, Boundary Element Method หรือ Finite Volumes Method อย่างไรก็ตาม ผู้พัฒนาโปรแกรมมีความพยายามจะพัฒนาให้การคำนวณเชิงตัวเลขมีประสิทธิภาพมากที่สุด การใช้ FEA จะช่วยให้การวิเคราะห์รูปร่างชิ้นงานตรงตามแนวความคิดในการออกแบบ และจะช่วยให้เกิดความเชื่อมั่นด้วยการจำลองเหตุการณ์

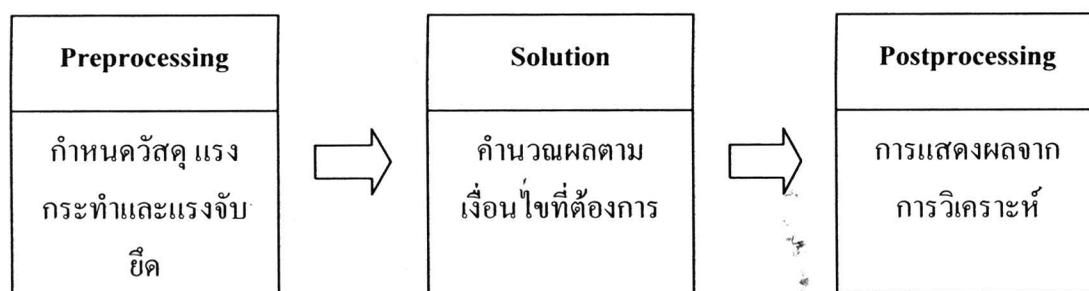
วิธีการคำนวณด้วย FEA คำนวณสมการเชิงตัวเลข และวิธีการแก้สมการ กำลังเป็นที่ต้องการของภาคอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นแรงจูงใจให้มีการพัฒนาการใช้งานให้เป็นโปรแกรมคำนวณเชิงพาณิชย์ (commercial) เพื่อให้การใช้งานง่าย และอาศัยการสร้างเครื่องมือช่วยให้สามารถเข้าถึงรายละเอียดการกำหนดเงื่อนไขได้เร็วขึ้น ซึ่งผู้ใช้อาจจะไม่จำเป็นต้องทราบรายละเอียดการคำนวณมากนัก

จุดเด่นของวิธีการคำนวณด้วย FEA จะถูกใช้เพื่อแก้ปัญหา ตั้งแต่ปัญหาง่าย ๆ จนถึงปัญหาที่มีความซับซ้อนมาก วิศวกรออกแบบจะใช้ FEA ในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ด้วยการเพิ่มขั้นตอนการวิเคราะห์เข้าไปในกระบวนการออกแบบ เพิ่มเครื่องมือช่วยในการกำหนดคุณสมบัติของชิ้นส่วนที่ใช้ในการคำนวณ ส่วนการวิเคราะห์ชิ้นส่วนที่มีความยุ่งยากอาจจะต้องใช้การคำนวณขั้นสูง ตัวอย่างเช่น รอยแตกร้าวจากการเคลื่อนที่ของรถยนต์ งานขึ้นรูปโลหะ งานการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของขนาดที่ส่งผลต่อความแข็งแรง เป็นต้น

กระบวนการในการวิเคราะห์เริ่มจากการสร้างชิ้นงาน แล้วแบ่งชิ้นงานออกเป็นชิ้นส่วนเล็ก ๆ (meshing) โดยมีรูปทรงง่าย ๆ (สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม) เราเรียกว่า “elements (เอลิเมนต์)” และชิ้นส่วนเล็ก ๆ จะต่อเชื่อมกันทั้งสิ้น

การทำงานด้วยการแบ่งเอลิเมนต์ FEA จะแก้สมการด้วยการประมาณค่าในแต่ละเอลิเมนต์ จนกว่าจะครบทุกชิ้นส่วน แต่ถ้าเป็นชิ้นงานประกอบ จะแยกคำนวณในแต่ละชิ้นส่วน แล้วนำมาประมวลผลรวมกัน ขั้นตอนการคำนวณจะแยกตามส่วนของโปรแกรม มี 3 ขั้นตอน (ภาพ 11) ดังนี้ (ศุภชัยและสถาพร, 2550)

- Preprocessing ถือว่าเป็นขั้นตอนในการเตรียมข้อมูลเพื่อการคำนวณ โดยข้อมูลมาตรฐานจะมีทั้งคุณสมบัติวัสดุ (material properties) แรงกระทำ (loads) และการจับยึด (restraints)
- Solution การคำนวณหาผลเฉลย (solution) หรือหาคำตอบ
- Postprocessing การแสดงผลลัพธ์จากการคำนวณในรูปแบบชิ้นงานหรือกราฟ



ภาพ 11 ขั้นตอนการคำนวณ

ที่มา: ศุภชัย และสถาพร (2550)

ขั้นตอนการคำนวณจะแยกตามวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ได้ดังนี้

- Building the Mathematical Model (สร้างรูปแบบคณิตศาสตร์)
- Building the Finite Element Model (สร้างรูปแบบชิ้นส่วนย่อย)
- Solving the Finite Element (สร้างรูปแบบการแก้ปัญหา)
- Analysis the Results (การวิเคราะห์ผลเฉลย)

การสร้างรูปแบบคณิตศาสตร์

ในการวิเคราะห์ด้วย COSMOSWorks™ จะสามารถเชื่อมโยงไฟล์ชิ้นส่วนจากโปรแกรม SolidWorks ทั้งชิ้นส่วน (part) และชิ้นงานประกอบ (assembly) ชิ้นงานที่ต้องการวิเคราะห์จะถูกแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์เล็ก ๆ โดยมีจำนวนหลาย ๆ เอลิเมนต์ แต่มีจำนวนจำกัดนับได้ (finite element mesh) ขนาดของเอลิเมนต์ถูกกำหนดโดยอัตโนมัติ หรือผู้ออกแบบจะกำหนดเองก็ได้ ผู้ออกแบบควรมั่นใจในการสร้างรูปร่างชิ้นส่วนเพราะอาจจะมีผลต่อความถูกต้องในการคำนวณ โดยจะสนใจผลลัพธ์จากการคำนวณ เช่น การหาระยะเคลื่อนตัวของชิ้นงาน ความเค้น การกระจายอุณหภูมิ เป็นต้น สิ่งที่สำคัญในการแบ่งเอลิเมนต์ สามารถทำได้ด้วย CAD ซึ่งจะต้องมีการปรับปรุงชิ้นส่วนตามระดับความจำเป็น 3 ระดับ ได้แก่ Defeaturing, Idealization และ Clean-up ดังรายละเอียดต่อไปนี้ (ศุภชัยและสถาพร, 2550)

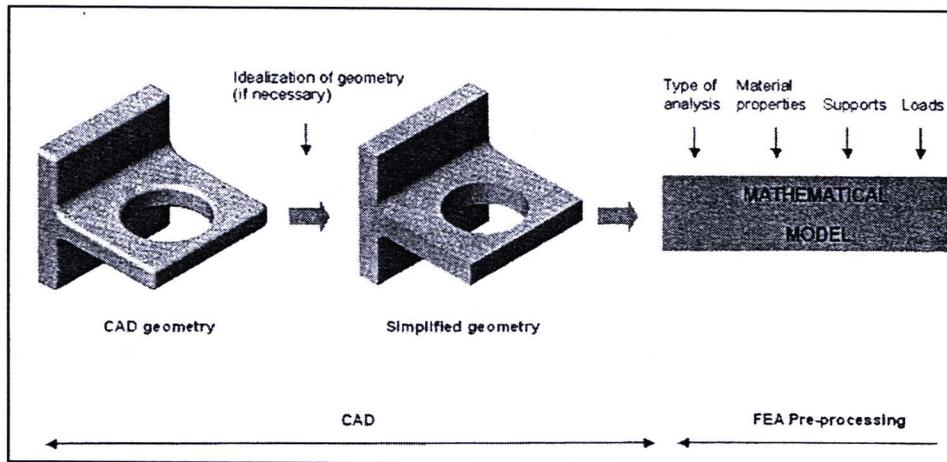
Defeaturing เป็นการพิจารณาขั้นตอนการสร้างชิ้นส่วน โดยอาจจะต้องปรับรูปทรงของชิ้นส่วน เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์ เช่น การยกเลิกการลบมุมรอบชิ้นส่วน ตรวจจับลักษณะบนชิ้นส่วน เป็นต้น

Idealization เป็นการพิจารณารูปร่างของชิ้นส่วน โดยลดความยุ่งยากของชิ้นงานจาก CAD โดยอาจจะลดความหนาให้มีค่าคงที่ ตัวอย่างเช่น การคำนวณชิ้นงานผนังหนาด้วยโหมดพื้นผิว (surface)

Clean-up เป็นการกำหนดบริเวณในการสร้างเอลิเมนต์ โดยบริเวณที่ไม่มีผลกระทบ จะสร้างเอลิเมนต์ให้มีความหนาแน่นมากขึ้น

การปรับปรุงชิ้นงานให้เหมาะสมกับการวิเคราะห์ ในเบื้องต้นอาจจะปรับด้วย CAD ให้เป็นชิ้นงานที่เรียบง่ายและปรับเปลี่ยนขนาดเอลิเมนต์ จะช่วยลดเวลาในการคำนวณ การกำหนดสร้างเอลิเมนต์ที่สมบูรณ์จะขึ้นอยู่กับกำหนดรูปร่างเอลิเมนต์ และชนิดของเอลิเมนต์

การเตรียมชิ้นงาน จะเริ่มจากการกำหนดคุณสมบัติวัสดุ รูปร่างชิ้นส่วน การกำหนดความหนาแน่นของเอลิเมนต์ ขนาดเอลิเมนต์ และทิศทางของแรงกระทำ ตลอดจนเงื่อนไขการจับยึด กระบวนการนี้จะสมบูรณ์ในขั้นตอนการสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) ซึ่งสามารถอธิบายด้วยภาพ 12

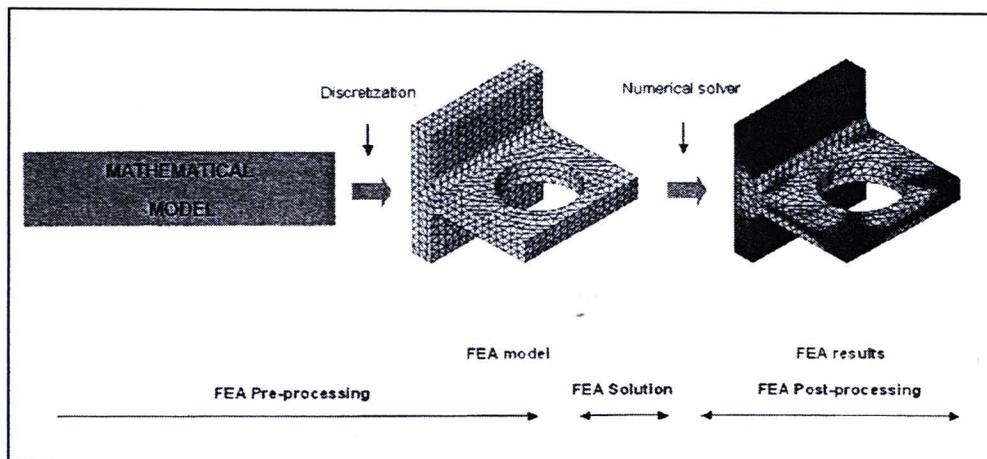


ภาพ 12 โมเดลเอลิเมนต์

ที่มา: ศุภชัย และสถาพร (2550)

การสร้างชิ้นส่วนแบบแบ่งเอลิเมนต์

การสร้างรูปแบบคณิตศาสตร์ (mathematical model) เป็นการเตรียมชิ้นงานเพื่อการแบ่งเอลิเมนต์ (meshing) โดยเวกเตอร์ของแรงกระทำ (load) และเงื่อนไขการจับยึด (supports) จะกระทำลงบน โหนด (nodes) ของชิ้นส่วนแบบแบ่งเอลิเมนต์ (finite element mesh) ดังภาพ 13



ภาพ 13 ชิ้นส่วนแบบแบ่งเอลิเมนต์

ที่มา: ศุภชัย และสถาพร (2550)

การเลือกชนิดของเอลิเมนต์ จะส่งผลต่อความถูกต้องในการคำนวณ และส่งผลต่อความแม่นยำในการจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ COSMOSWorks™ จะใช้เอลิเมนต์ ในลำดับที่หนึ่งเป็นเอลิเมนต์ทรงสี่เหลี่ยม (tetrahedral solid) สำหรับชิ้นงานทรงตัน และใช้เป็นเอลิเมนต์แบบ

พื้นผิวสามเหลี่ยม (triangular shell) สำหรับชิ้นงานผิวบาง โปรแกรมจะใช้เอลิเมนต์ทั้งสองแบบนี้ ในการสร้างชิ้นส่วนแบบแบ่งเอลิเมนต์ โดยโปรแกรมเลือกเองโดยอัตโนมัติ ส่วนเอลิเมนต์แบบอื่น ในลำดับที่สอง ได้แก่เอลิเมนต์ทรงหกหน้า (hexahedral elements) ซึ่งจะไม่สามารถกำหนดสร้าง แบบอัตโนมัติได้ ผู้ออกแบบจะต้องกำหนดเอง

ชนิดของเอลิเมนต์ใน COSMOSWorks™ ในเบื้องต้นมีอยู่ 4 แบบ คือ สำหรับ เอลิเมนต์ทรงตันลำดับที่หนึ่งจะเป็นเอลิเมนต์ทรงสี่หน้า (tetrahedral solid) และเอลิเมนต์ทรงหก หน้า (hexahedral elements) ส่วนเอลิเมนต์พื้นผิวลำดับที่หนึ่งจะเป็นเอลิเมนต์แบบพื้นผิว สามเหลี่ยม (triangular shell) และเอลิเมนต์แบบพื้นผิวลำดับที่สอง (second order triangular shell) โดย COSMOSWorks™ จะอ้างอิงการใช้เอลิเมนต์ทรงสี่เหลี่ยมและเอลิเมนต์พื้นผิวสามเหลี่ยมใน ลำดับที่หนึ่ง พร้อมเลือกเอลิเมนต์ให้มีความละเอียดค่า และจะอ้างอิงเอลิเมนต์ลำดับที่สองของเอลิ- เมนต์ทรงสี่หน้า และเอลิเมนต์ลำดับที่สองของพื้นผิวสามเหลี่ยมพร้อมเลือกเอลิเมนต์ให้มีความ ละเอียดสูง (สุภชัย และสถาพร, 2550)

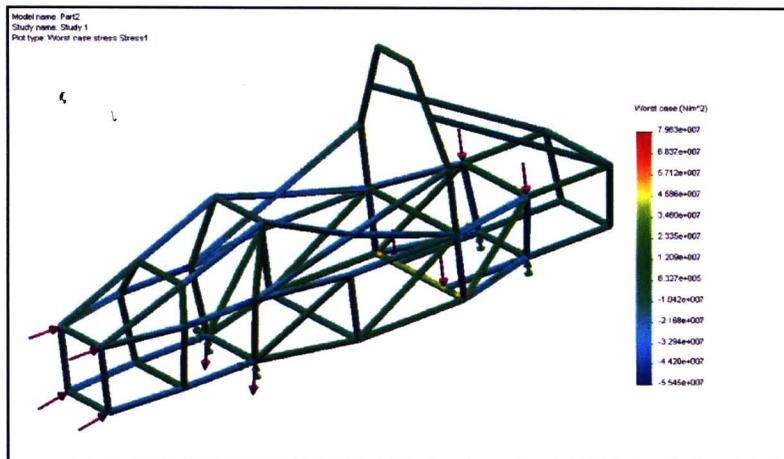
การคำนวณผล

กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ของรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สร้างขึ้นในตอน แรกจะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์โดยโปรแกรมจะสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สอดคล้อง กับปัญหานั้น ก่อนที่จะนำมาประกอบกันเข้าเป็นระบบสมการขนาดใหญ่ แล้วจึงประยุกต์ เงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดให้ จากนั้นจึงแก้ระบบสมการรวมขนาดใหญ่ โดยเวลาที่ใช้ในการคำนวณ จะขึ้นอยู่กับจำนวนเอลิเมนต์ทั้งหมด และขนาดของระบบสมการขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้น หากสมการ เองปัญหานั้นอยู่ในรูปแบบเชิงเส้น (linear partial differential equations) ระบบสมการนี้จะถูกแก้ไข เพียงครั้งเดียว ทำให้ใช้เวลาในการคำนวณไม่มากนัก แต่หากสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหานั้นอยู่ ในรูปแบบไม่เชิงเส้น (non linear) ระบบสมการนี้จะถูกแก้ด้วยการวนซ้ำ (iteration) หลายรอบ จนกว่าจะได้ค่าที่ผิดพลาดน้อยที่สุด ซึ่งจะทำให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณมากขึ้น โดยเฉพาะหาก รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ประกอบด้วยเอลิเมนต์เป็นจำนวนมาก (ปราโมทย์, 2537)

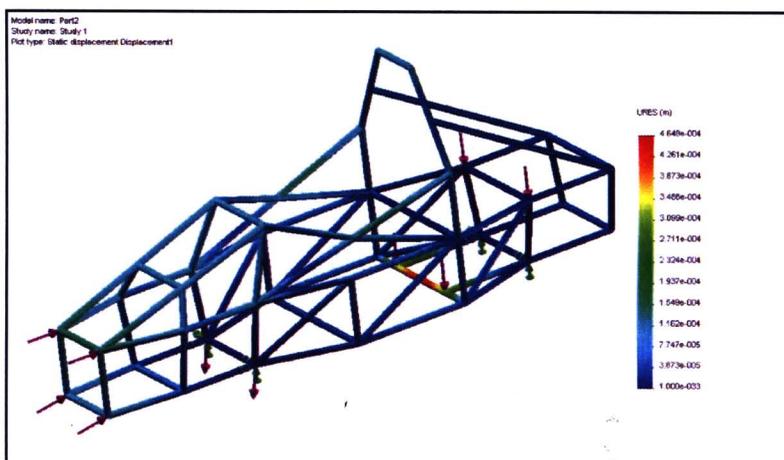
ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์

ผลลัพธ์ที่แสดงชิ้นส่วนเอลิเมนต์ (FEA model) จะมีกระบวนการวิเคราะห์ที่มี ขึ้นตอนยุ่งยากซับซ้อน แต่คอมพิวเตอร์ปัจจุบันมีขีดความสามารถเพียงพอ จากนั้น โปรแกรมจะ พิมพ์ผลและรายงานผลในรูปแบบไฟล์ที่สามารถแก้ไขได้ (interpretation) ซึ่งทำให้เราสามารถพิมพ์ ข้อความ หมายเหตุ และข้อผิดพลาดเบื้องต้นได้โดยจะมีขั้นตอนในช่วงต้น 3 ช่วง คือ การสร้าง โมเดลทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) ชิ้นส่วนแบบแบ่งเอลิเมนต์ (finite element mesh)

และขึ้นส่วนแบบผลเฉลย (solving model) โดยผลลัพธ์ที่ได้นั้นจะแสดงได้หลายๆ อย่าง เช่น ความเค้น (stresses) ดังภาพ 14 และค่าระยะการเคลื่อนตัว (displacement) ดังภาพ 15 ซึ่งวิเคราะห์จากโครงสร้างของชิ้นงาน หรือวิเคราะห์จากอุณหภูมิ การแผ่ความร้อนและปริมาณความร้อน (heat flux) นำไปวิเคราะห์ความเค้น ความเครียดจากความร้อน ผู้ออกแบบจะนำผลลัพธ์ที่ได้ไปตัดสินใจว่าผ่านหรือชิ้นงานเกิดความเสียหาย โดยจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบ โดยค่าความปลอดภัยจะใช้ทั้งความเค้นพอนมิสเชส (von mises stresses) และความเค้นหลัก (principal stresses) มาเปรียบเทียบกับค่าความเค้นที่วัสดุจะยอมให้เกิด (สุภชัย และสถาพร, 2550)



ภาพ 14 การแสดงผลค่าความเค้น (stresses) ที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง
ที่มา: สุภชัย และสถาพร (2550)



ภาพ 15 การแสดงผลระยะการเคลื่อนตัว (displacement) ที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง
ที่มา: สุภชัย และสถาพร (2550)

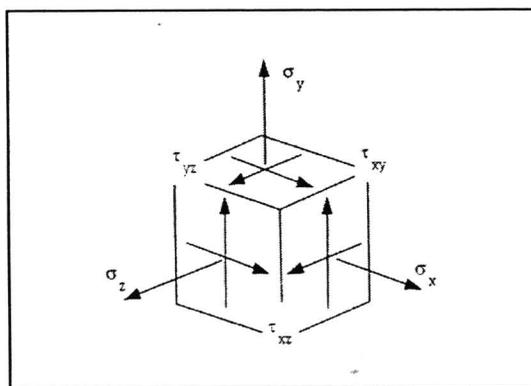
ค่าความผิดพลาดจากการคำนวณ

ในการสร้างโมเดลคณิตศาสตร์ จะเป็นช่วงต้นของข้อผิดพลาด เรียกว่า Idealization errors ซึ่งเป็นการลดความซับซ้อนของชิ้นส่วนเพื่อให้การคำนวณใช้เวลาเฉลียวลง ชนิดของข้อผิดพลาดสามารถแยกย่อยได้ 3 ชนิด คือ

- ผิดพลาดจากการใช้งาน หรือเลือกวิธีการที่ผิด
- ผิดพลาดจากการป้อนค่าไม่ถูกต้องในช่วงการทำโมเดลคณิตศาสตร์
- ผิดพลาดจากช่วงการหาค่าเฉลียว (solution errors)

ทฤษฎีที่ใช้สำหรับการคำนวณของโปรแกรม COSMOSWorks™

ความเค้นหลัก ความเค้นชนิดนี้เกิดจากแรงกระทำในทิศทางมาตรฐาน 3 แนวแกน การเขียนตัวแปรแทนความเค้นในระบบ 3 มิติจะคล้ายกับระบบ 2 มิติ ในการหาความเค้นสูงสุดในแต่ละระนาบเรียกว่า ความเค้นหลัก (principle stress) ซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับระนาบที่มีค่าความเค้นเฉือนเท่ากับศูนย์สามารถเขียนแทนด้วยตัวแปร σ_1 , σ_2 และ σ_3 ชิ้นงานที่รับแรงภายนอก เมื่อวิเคราะห์แรงกระทำภายในต่อเอลิเมนต์แล้วจะมีความเค้นทั้งหมด 6 ตัวแปรที่เขียนแทนทิศทางครบทั้งหมด ดังภาพ 16 แล้วเขียนความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรดังสมการ (ศุภชัย และสถาพร, 2550)



ภาพ 16 ความเค้นกระทำบนเอลิเมนต์ในระบบ 3 มิติ

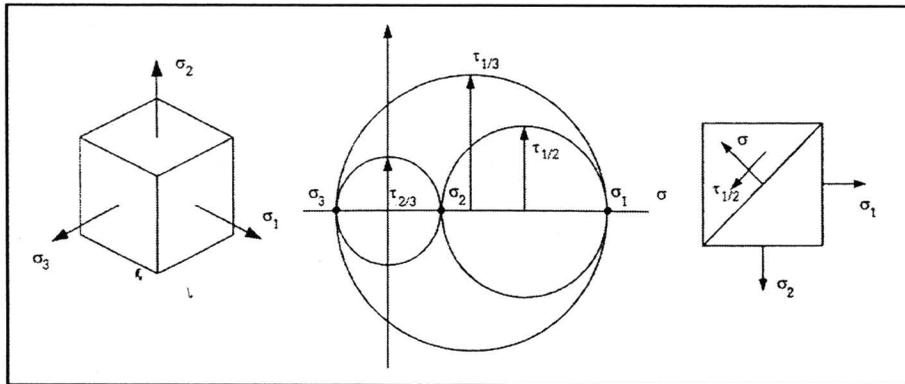
ที่มา: ศุภชัย และสถาพร (2550)

$$\sigma^3 - (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)\sigma^2 + (\sigma_x\sigma_y + \sigma_x\sigma_z + \sigma_y\sigma_z - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2) \sigma - (\sigma_x\sigma_y\sigma_z + 2\tau_{xy}\tau_{yz}\tau_{zx} - \sigma_x\tau_{yz}^2 - \sigma_y\tau_{zx}^2 - \sigma_z\tau_{xy}^2) = 0 \quad (9)$$

เมื่อนำไปเขียนกราฟวงกลมโมห์ (ภาพ 17) จะสามารถหาค่าของความเค้นหลักได้ $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ และความเค้นเฉือนสูงสุด โดยจะเกิดขึ้นตามความสัมพันธ์ของระนาบสองระนาบ ซึ่งเราสามารถหาความเค้นเฉือนสูงสุดจากความสัมพันธ์ของความเค้นเฉือนจากสมการ (10)

$$\tau_{1/2} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}; \tau_{2/3} = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2}; \tau_{1/3} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}; \tag{10}$$

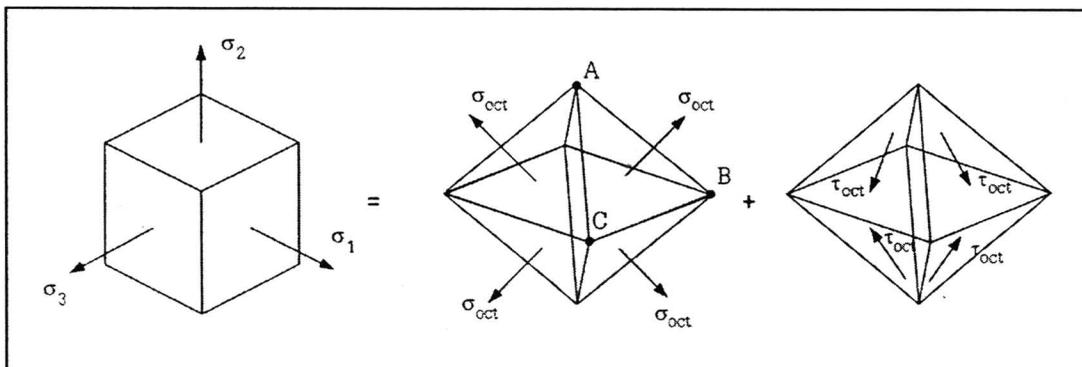
ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดสมบูรณ์ $\tau_{max\ abs} = \tau_{1/3}$ เมื่อความเค้นหลักเกิดขึ้นตาม
 เงื่อนไข $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$



ภาพ 17 วงกลมโมห์วิเคราะห์ความเค้น 3 มิติ

ที่มา: ศุภชัย และสถาพร (2550)

ความเค้น **Octahedral** หลังจากการพิจารณาค่าความเค้นหลัก σ_1 , σ_2 และ σ_3 สามารถหาระนาบได้อีกระนาบหนึ่งโดยระนาบนี้จะเข้าไปตามตำแหน่ง ABC ซึ่งเรียกระนาบนี้ว่า ระนาบ Octahedral เราสามารถตัดมุมของแท่งสี่เหลี่ยมตันออกได้แปดมุม หรือจะได้ทั้งหมด 8 ระนาบ และแต่ละระนาบจะมีขนาดของความเค้นเท่ากัน (ศุภชัยและสถาพร, 2550)



ภาพ 18 ระนาบ Octahedral

ที่มา: ศุภชัย และสถาพร (2550)

ในภาพ 18 จากการเขียนรูปอิสระ (free body) จะทำให้เห็นส่วนประกอบของความเค้น และเมื่อรวมแรงของแต่ละแนวแกนจะมีค่าเท่ากับศูนย์ เพราะอยู่ในสภาวะสมดุล จะทำให้สามารถหาแรงที่กระทำกับระนาบนั้นได้แล้วเรียกว่า แรง Octahedral ซึ่งเกิดขึ้นบนระนาบ ABC เมื่อนำค่าของแรงหารด้วยพื้นที่จะทำให้ทราบค่าความเค้น เช่นแรงตั้งฉากกับระนาบหารด้วยพื้นที่ระนาบเรียกว่า ความเค้นตั้งฉาก Octahedral และเมื่อนำแรงที่ขนานกับระนาบหารด้วยพื้นที่ระนาบเรียกว่า ความเค้นเฉือน Octahedral สามารถหาขนาดของความเค้นได้จากสมการ (11)

$$\begin{aligned}\tau_{oct} &= \frac{1}{3}((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2)^{1/2} \\ &= \frac{2}{3}(\tau_{1/2}^2 + \tau_{2/3}^2 + \tau_{1/3}^2)^{1/2} \\ &= \frac{1}{3}((\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2))^{1/2} \\ \sigma_{oct} &= \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)\end{aligned}\quad (11)$$

ความหนาแน่นของความเค้น (stress concentration) ชิ้นงานที่มีหน้าตัดสม่ำเสมอ เมื่อรับแรงที่มีขนาดคงที่ การกระจายของความเค้นจะมีค่าสม่ำเสมอคงที่ตลอดหน้าตัด แต่ในกรณีที่มีหน้าตัดมีการเปลี่ยนแปลงแบบทันที เช่น ทำเป็นร่อง รูเจาะ และลบมุม การกระจายของความเค้นบนหน้าตัดตรงตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงนั้นจะเป็นไปอย่างไม่สม่ำเสมอ ผลของความไม่ต่อเนื่อง (discontinuity) ของพื้นที่หน้าตัดของแท่งวัสดุทำให้เกิดความเค้นหนาแน่นซึ่งแสดงให้เห็นเป็นเส้นการไหลของความเค้น (stress trajectory) บนหน้าตัดที่มีการเปลี่ยนแปลงนั้น สามารถคำนวณความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นจริงจากความเค้นเฉลี่ย ($\sigma_{ave} = \frac{P}{A}$) ได้จากความสัมพันธ์ในสมการ (ศุภชัย และสถาพร, 2550)

$$K_c = \frac{\text{ความเค้นที่เกิดขึ้นจริง}}{\text{ความเค้นเฉลี่ย}}$$

$$\text{หรือ} \quad K_c = \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{ave}} \quad (12)$$

โดย K_c = ค่าคงที่ความหนาแน่นของความเค้น

σ_{act} = ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นจริง

σ_{ave} = ความเค้นเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจริง

ทฤษฎีความเสียหาย การออกแบบชิ้นส่วนให้สามารถรับแรงได้อย่างปลอดภัย ผู้ออกแบบต้องแน่ใจว่าความเค้นที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนไม่เกินค่าความแข็งแรงของวัสดุที่ใช้สร้างชิ้นส่วนนั้น ถ้าเป็นวัสดุประเภทเหนียวอ่อน จะให้ความสำคัญกับค่าความเค้นที่จุดคราก เพราะเป็นความเค้นที่ทำให้วัสดุเริ่มเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร อันจะทำให้ชิ้นส่วนเสียหาย วัสดุที่มีคุณสมบัติเปราะหลายชนิด เช่น เหล็กหล่อ จะไม่มีความเค้นที่จุดคราก จึงต้องใช้ค่าความเค้นอัดประลัย เป็นเกณฑ์กำหนดความเสียหายในการออกแบบ ในงานออกแบบที่ใช้วัสดุเปราะจะต้องไม่ลืมว่าค่าความเค้นอัดประลัย มีค่ามากกว่าค่าความเค้นดึงประลัย ส่วนกรณีวัสดุเหนียวอ่อน ค่าความเค้นดึงประลัยกับค่าความเค้นอัดประลัยมีค่าเท่ากัน

วัสดุเหนียวอ่อนนั้นส่วนใหญ่จะรวมไปถึง โลหะและโพลิเมอร์ด้วย โดยปกติวัสดุเหนียวอ่อนจะมีค่านานทานการดึง และค่านานทานการอัดที่เหมือนกัน และมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและนิยมใช้คู่ด้วยกัน 2 ทฤษฎี ได้แก่ ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และทฤษฎี Distortion Energy Theory ดังในรายละเอียดต่อไปนี้

ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด จากข้อสมมุติฐานว่าวัสดุเกิดความเสียหายขณะที่รับความเค้นเฉือนสูงสุด ซึ่งความเค้นเฉือนที่ทำให้เกิดความเสียหายในขณะที่ทดสอบแรงดึงจึงถือได้ว่าวัสดุเสียหายเมื่อเกิดการครากตัว ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดจะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของความเค้นที่จุดคราก (สุภชัย และสถาพร, 2550)

$$\tau_{\max} = \frac{S_y}{2(S.F.)} \quad (13)$$

โดย τ_{\max} = ค่าความเค้นเฉือนสูงสุด
 S_y = ค่าความเค้นที่จุดครากของวัสดุ
 $S.F.$ = ค่าความปลอดภัย

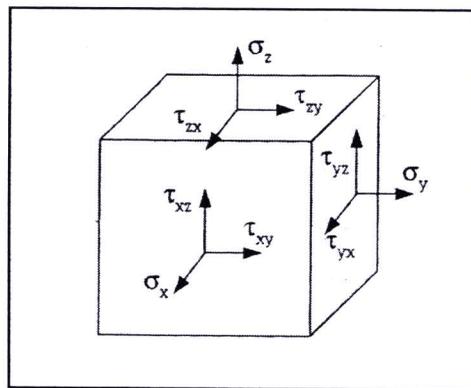
กรณีของชิ้นงานที่ใช้วัสดุเหนียวอ่อนมักจะเกิดการเสียหายจากการทดสอบแรงดึง ถ้าความแข็งแรงของวัสดุในการรับความเค้นเฉือนเท่ากับ $S_y/2$ และเพื่อเป็นการเผื่อความปลอดภัย ค่าความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นสูงสุดเท่ากับ $S_y/(2S.F.)$ เราเรียกว่าทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด แต่เมื่อนำไปใช้กับความเค้น 3 มิติ จะได้ว่า

$$\tau_{\max} = \frac{S_y}{2(S.F.)} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (14)$$

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{S_y}{(S.F.)} \quad (15)$$

ทั้งนี้การหาค่าความเค้นหลักจะต้องพิจารณาตามเงื่อนไข $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ จึงเป็นการพิจารณาค่าความปลอดภัยต่อการรับแรงภายนอก

ความเค้นฟอนมิสเชส (von mises stress) ความเค้นฟอนมิสเชส เป็นที่รู้จักกันดี เพราะมักใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลจากเอลิเมนต์ในระบบ 3 มิติ จะมีส่วนประกอบความเค้น 6 ตัวแปร ได้แก่ $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$ ดังภาพ 19



ภาพ 19 ส่วนประกอบความเค้นในแต่ละระนาบ

ที่มา: ศุภชัย และสถาพร (2550)

สมการความเค้นฟอนมิสเชสสามารถเขียนในรูปตัวแปรความเค้นย่อยดังนี้

$$\sigma_{\text{vonmises}} = \sqrt{0.5[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2] + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (16)$$

ค่าความเค้นฟอนมิสเชส จะไม่ติดลบและเป็นเวกเตอร์เชิงปริมาณ ซึ่งจะต้องใช้ค่าความเค้นเพื่อเป็นตัวชี้ถึงค่าความปลอดภัยของชิ้นงาน โดยจะเทียบกับขีดความสามารถในการรับความเค้นของแต่ละวัสดุ (S_{all}) สำหรับค่าความเค้นที่จุดคราก (S_y) หรือค่าความเค้นประลัย (S_u) จะใช้ในการคำนวณหาค่าความปลอดภัย ดังนี้

$$\text{ค่าความปลอดภัย (S.F.)} = \frac{S_y}{\sigma_{\text{vonmises}}} \quad (17)$$

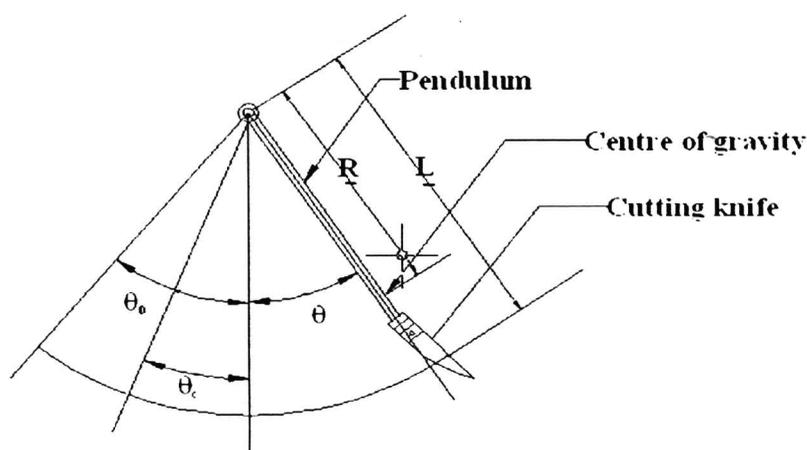
$$\text{ค่าความปลอดภัย (S.F.)} = \frac{S_u}{\sigma_{\text{vonmises}}} \quad (18)$$

โปรแกรม COSMOSWorks™ จะสามารถหาค่าความเค้นหลักในตัวแปร σ_1 , σ_2 , σ_3 โดยชิ้นงานที่ทำจากวัสดุเปราะ สมการความปลอดภัยจะหาได้จากสมการการใช้ค่า σ_1 จะดีกว่าการใช้ค่าความเค้นพอนมิสเชส โดยจะใช้ค่า σ_1 พิจารณาเปรียบเทียบกับขีดความสามารถรับความเค้นดึง แล้วใช้ σ_3 พิจารณาเปรียบเทียบกับขีดความสามารถรับความเค้นอัด (S_c) โดยจะต้องพิจารณาค่าความปลอดภัยน้อยที่สุดจากคำตอบในสมการ ดังนี้ (สุภชัย และสถาพร, 2550)

$$\text{S.F.} = \frac{S_y}{\sigma_1} \text{ หรือ } \text{S.F.} = \frac{S_c}{\sigma_3} \quad (19)$$

การตกกระทบด้วยหลักการเพนดูลัม

พื้นฐานของการคำนวณเพนดูลัมเพื่อการตกกระทบจะใช้กฎการอนุรักษ์พลังงาน (Law of energy conservation) เพื่อจำลองหาความเร็วในการตกกระทบของตัวเพนดูลัมกับผลผลิตตัวอย่างที่ต้องการศึกษา นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการศึกษาหาพลังงานตกกระทบได้อีกด้วย



ภาพ 20 การตกกระทบด้วยหลักการเพนดูลัม

ที่มา: Visvanathan et al (1996)

ภาพ 20 แสดงการทดสอบด้วยเครื่องมือตัดด้วยหลักการเพนดูลัมซึ่งชี้ให้เห็นว่าเมื่อแขนเพนดูลัมอยู่ในสภาวะสมดุล (แนวตั้งฉาก) พลังงานศักย์สะสมมีค่าเป็นศูนย์ แต่เมื่อแขนถูกยกขึ้นสูงทำมุม θ กับจุดสมดุลหรือแนวตั้ง และตั้งระดับสมดุลผ่านจุดศูนย์ถ่วงเมื่ออยู่ในสภาวะสมดุล พลังงานศักย์สะสมหาได้จาก (Visvanathan et al, 1996)

$$E_S = mgh = mgR(1 - \cos\theta) \quad (20)$$

โดย E_S = พลังงานศักย์สะสมของเพนดูลัม (จูล)
 R = ระยะจากจุดหมุนของแขนเพนดูลัมถึงจุดศูนย์กลางมวล (เมตร)
 m = มวลของแขนเพนดูลัม (กิโลกรัม)

ถ้าปล่อยแขนเพนดูลัมจาก θ โดยไม่มีการตัดผ่านวัสดุ แขนเพนดูลัมจะเคลื่อนที่ไปเป็นมุม θ_0 ในทิศทางตรงกันข้าม ดังนั้นพลังงานเนื่องจากความเสียดทานและความต้านทานของอากาศต่อเพนดูลัม คือ

$$E_f = mgR[(1 - \cos\theta) - (1 - \cos\theta_0)]$$

$$E_f = mgR(\cos\theta_0 - \cos\theta) \quad (21)$$

โดย E_f = พลังงานที่สูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานและความต้านทานของอากาศ (จูล)

เมื่อติดตั้งไบบิตเข้ากับแขนเพนดูลัม แล้วปล่อยจากจุดใดจุดหนึ่งซึ่งทำมุม θ ไบบิตจะตัดผ่านผลส้มซึ่งวางอยู่ระหว่างจุดสมดุล และเคลื่อนที่ผ่านไปอีกด้านทำมุม θ_C (น้อยกว่า θ_0) ดังนั้นพลังงานตกกระดอน (E_0) จึงเท่ากับ

$$E_0 = mgR(1 - \cos\theta_C) \quad (22)$$

เพราะฉะนั้นพลังงานที่ใช้ในการตัด (E_C) จึงเท่ากับผลต่างของพลังงานศักย์ (E_S) กับพลังงานตกกระดอน (E_0) และพลังงานสูญเสียจากความเสียดทานและความต้านทานของอากาศ (E_f)

$$E_C = E_S - (E_f + E_0)$$

$$E_C = mgR[(1 - \cos\theta) - \{(\cos\theta_0 - \cos\theta) + (1 - \cos\theta_C)\}]$$

$$E_C = mgR(\cos\theta_C - \cos\theta_0) \quad (23)$$

โดย E_C = พลังงานศักย์สะสมที่ใช้ในการตัด (จูล)

โดยความเร็วของใบมีดที่ติดอยู่บนแขนเพนคูล์ม ณ ตำแหน่งสมจุด (ทำมุมศูนย์กลางกับแนวตั้ง) หาได้จากกฎการอนุรักษ์พลังงานนั่นคือ พลังงานศักย์เท่ากับพลังงานจลน์

$$mgh = \frac{mV^2}{2} \quad (24)$$

แต่ $V = \omega R$ (25)

ดังนั้น $mgh = \frac{m\omega^2 R^2}{2}$ (26)

ถ้ามวลของวัตถุรวมกันอยู่ที่จุดศูนย์กลางของมวลจะทำให้

$$I = mR^2 \quad (27)$$

ดังนั้นสมการที่ 23 จึงกลายเป็น

$$mgh = \frac{I\omega^2}{2} = mgR(1 - \cos\theta) \quad (28)$$

$$\omega^2 = \frac{2mgR(1 - \cos\theta)}{I} \quad (29)$$

ถ้า L คือระยะระหว่างจุดหมุนถึงจุดศูนย์กลางของใบมีดซึ่งยึดติดอยู่กับแขนเพนคูล์ม ความเร็วของใบมีดตัด (V_c) ที่จุดต่ำสุดหาได้จาก

$$V_c = \omega L = L\sqrt{\frac{2mgR(1 - \cos\theta)}{I}} \quad (30)$$

โดย V_c = ความเร็วของใบมีดตัด (เมตร/วินาที)

ω = ความเร็วเชิงมุมของแขนเพนคูล์ม ณ จุดศูนย์กลางถ่วง (เรเดียน/วินาที)

V = ความเร็วเชิงเส้นของแขนเพนคูล์ม ณ จุดศูนย์กลางถ่วง (เมตร/วินาที)

I = โมเมนต์เฉื่อยของมวลรอบจุดหมุน (กิโลกรัม.เมตร²)

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วรศิลป์ และวิชาญ (2537) ได้ออกแบบเครื่องคั้นน้ำส้มอัด โนมัตติแบบกด สามารถนำผลส้มใส่ลงในเครื่องได้โดยไม่ต้องทำการปอกเปลือก ซึ่งผลส้มที่ใส่ลงในเครื่องจะถูกผ่าออกเป็น 2 ส่วน ด้วยชุดคั้นผลส้มให้ผ่านใบมีด จากนั้นผลส้มก็จะถูกถาลีงมาผ่านชุดกดผลส้มเพื่อทำการคั้นน้ำส้ม กากที่เหลือจากการคั้นจะถูกแยกออกจากกันโดยอัตโนมัติ โดยมีประสิทธิภาพในการคั้นน้ำส้มประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ และสามารถคั้นได้เร็วกว่าการคั้นด้วยมือประมาณ 30 เท่า ที่ความเร็วของตัวรองรับผลส้มประมาณ 0.20 เมตรต่อวินาที

ทวิภูมิ ธนศิษย์ และมิละกา (2541) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องคั้นน้ำส้มอัด โนมัตติเพื่อใช้กับผลส้มที่มีขนาด 30-50 มิลลิเมตร มีระบบการทำงานที่สำคัญ 2 ระบบ คือ ระบบผ่าผลส้มและระบบคั้นน้ำส้ม โดยใช้เพลาค้นเพื่อทำการคั้นน้ำส้ม ผลการทดสอบพบว่า ระยะห่างระหว่างเพลาค้นกับถาดคั้นประมาณ 5 มิลลิเมตร ได้ประสิทธิภาพดีที่สุด ในอัตราการคั้น 162-176 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งเร็วกว่าการคั้นด้วยแรงงานคนประมาณ 16-20 เท่า

ชนะทิศ และคณะ (2542) ได้ออกแบบเครื่องคั้นน้ำส้มแบบอัตโนมัติ ทำงานโดยใช้กระบอกสูบนิวเมตริกส์ควบคุมด้วยไฟฟ้า 1 กระบอกบีบผลส้มครั้งละ 2 ผล โดยมีการป้อนผลส้มสู่ชุดงานจ่าย ซึ่งชุดงานจ่ายนี้จะจ่ายผลส้มให้ชุดบีบครั้งละลูก ซึ่งหัวกดผลส้มได้ออกแบบให้มีลักษณะเป็นทรงกรวยมุม 60 องศา มีใบมีดติดอยู่บนหัวกดเพื่อช่วยแหวกเปลือกส้ม และกรีดเปลือกส้ม ซึ่งเครื่องที่ทำการออกแบบนี้สามารถคั้นน้ำส้มได้ดีที่ความดันลมป้อนเข้าสู่ระบบ 3 บาร์ เวลากดค้างของหัวกด 4 วินาที ได้อัตราการคั้นส้มประมาณ 1,093 ผลต่อชั่วโมง

ชัยวัฒน์ (2543) ได้ออกแบบเครื่องคั้นน้ำผลไม้ระดับครัวเรือน เป็นเครื่องคั้นน้ำและแยกกาก มีระบบการย่อยขนาดเนื้อผลไม้โดยใช้ลูกหนามชุด มีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ส่วน คือ ชุดย่อยขนาดเนื้อผลไม้ ประกอบด้วยห้องย่อยพร้อมลูกหนามชุด และชุดคั้นน้ำแยกกาก ประกอบด้วย ห้องตะแกรงคั้นน้ำ ห้องแยกกาก และชุดใบกวาด มีความสามารถในการคั้น 200-250 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

กรุง และสมภพ (2545) ได้ออกแบบเครื่องคั้นน้ำส้มแบบโรตารี ซึ่งมีระบบการทำงานแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ระบบการถาลีง ระบบการคัดขนาด ระบบการผ่า และระบบการคั้น ระบบการถาลีงประกอบไปด้วยชุดโซ่ถาลีงวางในแนวตั้ง ปลายด้านบนและด้านล่างยึดติดกับเฟือง มีความยาว 304.8 เซนติเมตร ระบบการคัดขนาดประกอบไปด้วยชุดคัดขนาดจำนวน 3 ชุด ระบบการผ่าประกอบไปด้วยใบมีดสเตนเลส ติดตั้งอยู่ระหว่างชุดคั้นแบบโรตารีทั้งสองชุด และระบบการคั้นประกอบไปด้วยชุดคั้นแบบโรตารีจำนวนสองชุด วางขนานกันในแนวระดับสามารถคั้น

น้ำส้มได้ในอัตรา 200 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีประสิทธิภาพการคั้นเท่ากับ 93 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วรอบของชุดคั้น 6 รอบต่อนาที

ชัยวัฒน์ และวิสันต์ (2546) ได้ออกแบบโมเดลเครื่องคั้นน้ำส้มต้นแบบโดยไม่ต้องผ่าผลส้ม เพื่อลดปัญหาการปนเปื้อนของสารเคมีที่ติดมากับเปลือกส้ม ผลการทดสอบพบว่า หัวเจาะแบบที่ 1 ขนาด 13 มิลลิเมตร ในการกดที่ความเร็ว 15 เซนติเมตรต่อนาที ให้เปอร์เซ็นต์การคั้นสูงสุด 97.81 และนำผลที่ได้ไปสร้างโมเดลชุดคั้นน้ำส้มแบบฟิงเกอร์ เพื่อลดปัญหาการปริแตกของเปลือกส้มขณะทำการคั้น จากการทดสอบได้เปอร์เซ็นต์การคั้นเฉลี่ย 86.62 จากนั้นนำโมเดลชุดคั้นน้ำส้มแบบฟิงเกอร์ไปสร้างเป็นโมเดลชุดคั้นส้มแบบคั้นโยก โดยใช้แรงงานคนในการคั้นและทำการทดสอบได้เปอร์เซ็นต์การคั้นเฉลี่ย 79.32 จากการนำน้ำส้มที่ได้ไปเปรียบเทียบกับเครื่องคั้นน้ำส้มแบบโรตารี และการคั้นด้วยมือ พบว่ามีสารปนเปื้อนน้อยกว่าระบบโรตารี แต่มากกว่าการคั้นด้วยมือ แต่ที่อยู่ในระดับที่ปลอดภัยแก่ผู้บริโภค

เสมอขวัญ และคณะ (2549) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องคั้นน้ำส้มอัตโนมัติต้นแบบที่มีหลักการทำงานแตกต่างไปจากเครื่องคั้นอัตโนมัติแบบโรตารี แต่ยังคงอาศัยหลักการคั้นแบบบีบอัดคล้ายกับแบบโรตารี ชุดคั้นประกอบด้วยหัวคั้นที่ทำจากสแตนเลสกลึงขึ้นรูปจำนวน 16 หัวคั้น ยึดอยู่บนแผ่นสแตนเลสงานกลมขนาด 365 มิลลิเมตร และหลุมคั้นหรือถ้วยจับผลส้มทำจากชุปเปอร์รีนกลึงขึ้นรูปยึดอยู่บนก้านจำนวน 40 ถ้วย มีความสามารถในการคั้นสูงสุด 57.51 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีประสิทธิภาพการคั้นสูงสุด 95.77 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำส้มที่คั้นได้ และมีปริมาณน้ำส้มสูญเสีย 4.23 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำส้มที่คั้นได้ จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ต้องทำการคั้นอย่างน้อย 21,598 กิโลกรัมจึงจะคุ้มทุน โดยมีระยะเวลาคืนทุน 0.31 ปี

สรุปกรอบแนวความคิดในการทำงานวิจัย

จากการสืบค้นงานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการคั้นน้ำส้ม การศึกษาถึงรูปแบบการคั้นน้ำส้มด้วยเครื่องคั้นน้ำส้มอัตโนมัติ นั้นยังไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร ยังเกิดปัญหาในเรื่องต้นทุนในการผลิต ความสามารถในการคั้น และสุขลักษณะทางอาหาร ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาถึงเครื่องคั้นน้ำส้มที่สามารถคั้นน้ำส้มได้รวดเร็ว ถูกสุขลักษณะทางอาหาร และมีราคาถูก ซึ่งในการออกแบบ ต้องออกแบบให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม และนำโปรแกรม COSMOSWorks™ เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์การออกแบบชุดคั้นน้ำส้ม จากนั้นจึงสร้างเป็นเครื่องคั้นน้ำส้มต้นแบบและทำการทดสอบความเร็วรอบที่เหมาะสม ซึ่งทำให้ได้ประสิทธิภาพและความสามารถในการคั้นน้ำส้มสูงสุด