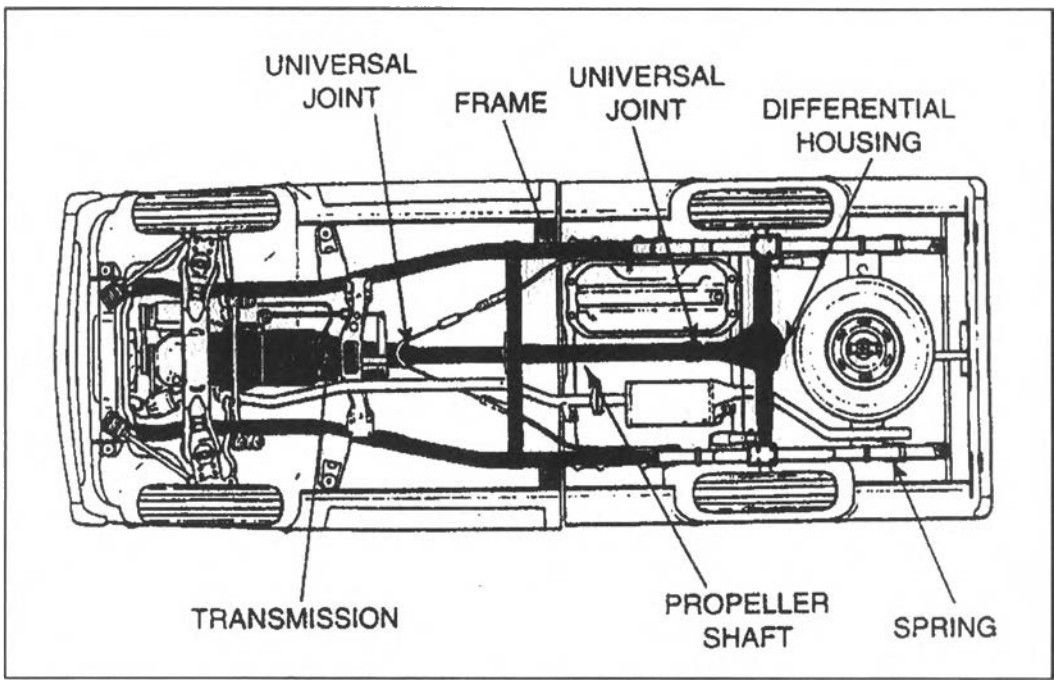
บทที่ 3

เพลากลางและกระบวนการผลิต

3.1 ระบบส่งกำลังของรถยนต์ (ประสานพงษ์ หาเรือนชีพ, 2542)

โครงสร้างของระบบส่งกำลังประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้ เครื่องยนต์ คลัตช์ เกียร์ เพลากลาง เพลาขับและเฟืองท้ายดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1แสดงโครงสร้างของระบบส่งกำลัง

การส่งกำลังหมายถึงกลไกของระบบส่งกำลังที่เริ่มต้นกำเนิดพลังงานจากเครื่องยนต์ แล้วส่งผ่านพลังงานไปตามโครงสร้างของระบบส่งกำลังเพื่อขับเคลื่อนให้ล้อทั้ง 4 ล้อหมุนให้รถยนต์เคลื่อนที่ได้ ซึ่งการส่งถ่ายกำลังของระบบจะถูกจะถูกเปลี่ยนแปลงไปตามการถ่ายทอดแรงบิดที่เกิดจากเครื่องยนต์และสภาพภูมิประเทศของการเดินทางในขณะที่รถเคลื่อนที่ไปตามท้องถนน ในระบบการส่งกำลังย่อมมิอาจหลีกเลี่ยงการสูญเสียพลังงาน เพราะว่าแรงบิดที่ส่งจากเครื่องยนต์ไปหมุนล้อจะมีความแตกต่างกันตามภูมิประเทศ ดังนั้นแรงบิดที่ล้อจะน้อยกว่าที่เครื่องยนต์เสมอ เช่นขณะที่รถยนต์ถูกขับขึ้นเนินเครื่องยนต์จะต้องการแรงบิดที่สูง เป็นต้น

3.2 รูปแบบของระบบส่งกำลัง

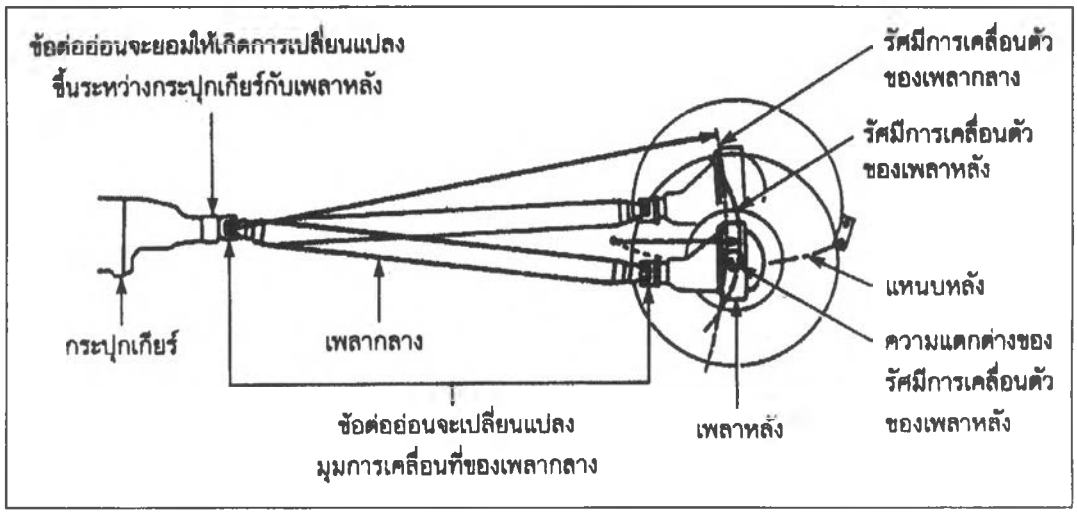
การจัดวางตำแหน่งของระบบส่งกำลังของรถยนต์นั่งและรถบรรทุกจะมีรูปแบบของโครงสร้างที่แตกต่างกันไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบโครงสร้างของตัวถังให้มีความเหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งในปัจจุบันได้มีการแบ่งรูปแบบของระบบส่งกำลังออกเป็น 3 แบบคือ

3.2.1 ระบบขับเคลื่อนล้อหน้า

3.2.2 ระบบขับเคลื่อนล้อหลัง

3.2.3 ระบบขับเคลื่อน 4 ล้อ

โดยพื้นฐานการออกแบบรถยนต์โดยทั่วไป การส่งกำลังแรงขับเคลื่อนจะถูกออกแบบให้ต่ออยู่ระหว่างกระปุกเกียร์กับชุดเฟืองท้าย เพื่อที่จะส่งแรงบิดจากเครื่องยนต์ไปขับให้ล้อเคลื่อนที่ ซึ่งตามปกติแล้วกระปุกเกียร์จะถูกติดตั้งอยู่บนแชสซีส (Chassis) แต่สำหรับชุดเฟืองท้ายจะต่อกับระบบรองรับน้ำหนัก (Suspension System) และต่อเชื่อมกันด้วยเพลากลาง ดังนั้นตำแหน่งของชุดเฟืองท้ายจะถูกเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงสัมพันธ์อย่างคงที่กับกระปุกเกียร์เพื่อให้เกิดความสอดคล้องกับสภาพถนนและน้ำหนักบรรทุกของรถยนต์ ด้วยเหตุนี้เพลากลาง ข้อต่ออ่อนและข้อต่อเลื่อนจึงถูกออกแบบมาเพื่อให้มีการถ่ายทอดแรงบิดจากกระปุกเกียร์ไปยังเฟืองท้ายเป็นไปได้อย่างราบเรียบโดยปราศจากกวามขัดข้องโดยสิ้นเชิง ด้วยเหตุนี้ข้อต่ออ่อนและข้อต่อเลื่อนที่ติดตั้งที่ปลายทั้งสองของเพลาจึงทำหน้าที่ดูดกลืนความเปลี่ยนแปลงในมุมตั้งของระบบรองรับ ส่วนข้อต่อเลื่อนทำหน้าที่ดูดกลืนความเปลี่ยนแปลงระหว่างกระปุกเกียร์และเฟืองท้ายในแนวตรง ดังรูปที่ 3.2



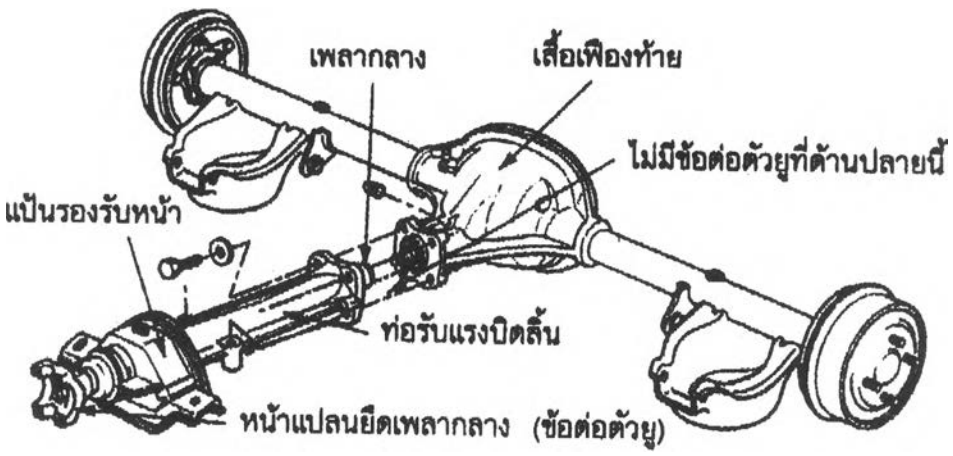
รูปที่ 3.2 แสดงการเคลื่อนที่ของเพลากลาง

3.3 ชนิดของการขับเคลื่อนของเพลากลาง

เพลากลางของรถยนต์ได้ถูกแบ่งออกตามลักษณะของการขับเคลื่อนเป็น 2 ชนิดก็คือ การขับเคลื่อนของเพลากลางแบบทอร์กทูบไดรฟ์และการขับเคลื่อนเพลากลางแบบฮอต์คดิส ไดรฟ์

3.3.1 การขับเคลื่อนของเพลากลางแบบทอร์กทูบไดรฟ์ (Torque Tube Drive)

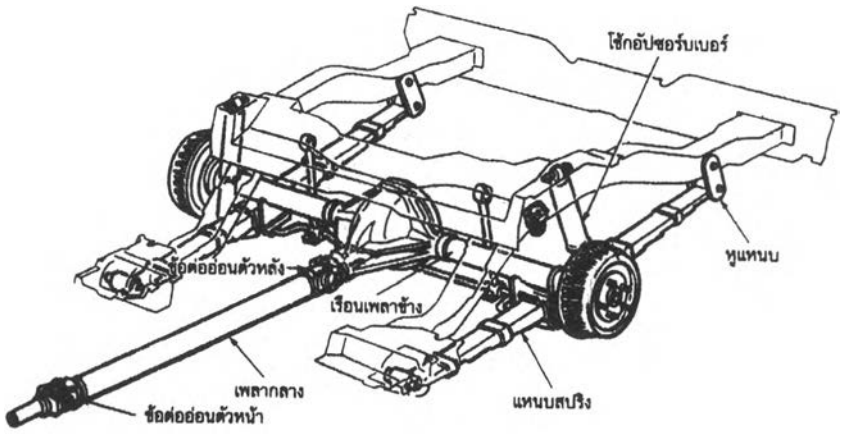
เพลากลางชนิดขับแบบทอร์กทูบไดรฟ์เป็นเพลาที่หมุนอยู่ภายในท่อแรงบิด โดยที่ปลายท่อด้านหนึ่งจะยึดติดอยู่กับเสื้อเพลาท้ายและด้านหนึ่งจะต่ออยู่กับข้อต่ออ่อนด้านกระปุกเกียร์ ท่อที่ห่อหุ้มเพลากลางจะทำหน้าที่รับแรงบิดจากการขับล้อหลังและถ่ายทอดแรงจากเสื้อเพลาท้ายไปยังกระปุกเกียร์ ทำให้ท่อแรงบิดควบคุมไม่ให้เสื้อเพลาท้ายเกิดอาการม้วนตัวขึ้น (Wind Up) ในขณะเร่งความเร็ว ลดความเร็ว และเบรก ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เพลากลางแบบทอร์กทูบไดรฟ์

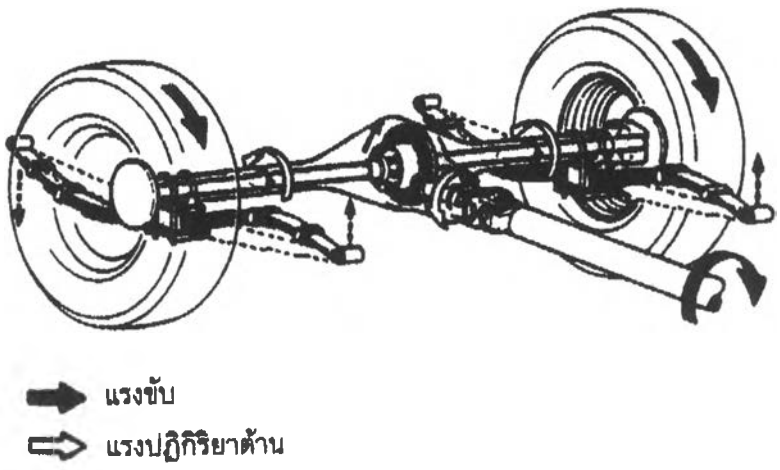
3.3.2 การขับเคลื่อนเพลากลางแบบฮอด์คคิสไดรฟ์ (Hotchkiss Drive)

เพลากลางชนิดขับแบบฮอด์คคิสไดรฟ์เป็นการขับเคลื่อนของเพลากลางแบบเปิด ซึ่งก็มีทั้งแบบสองข้อต่ออ่อนและสามข้อต่ออ่อน ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เพลากลางแบบฮอด์คคิสไดรฟ์

ซึ่งการขับเคลื่อนเพลากลางแบบนี้ แรงบิดที่เกิดจากการขับเคลื่อนของล้อจะถูกส่งผ่านเสื้อเพลาไปทำให้เกิดอาการม้วนตัวขึ้นที่แหนบสปริงหรือแขนควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ดังนั้นแหนบสปริงที่ใช้ในการขับเคลื่อนแบบฮอด์คคิสไดรฟ์จึงทำหน้าที่แก้แรงบิดตัวที่เกิดจากการขับของเพลากลาง



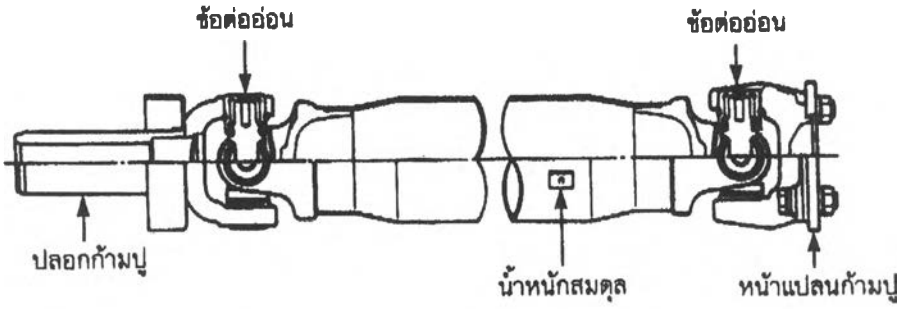
รูปที่ 3.5 อาการม้วนตัวของแหนบสปริงเมื่อเพลากลางหมุน

3.4 แบบของเพลากลาง

เพลากลาง (Propeller Shaft) ทำจากท่อเหล็กกล้าชุบแข็งเกรดสูง ภายในกลวง มีน้ำหนักเบา ทนแรงบิดและการโก่งงอได้ดี ที่ปลายทั้งสองข้างของเพลากลางจะมีก้ามปูของข้อต่ออ่อนเชื่อมติดอยู่ดังนั้นเพลากลางที่ใช้กับรถยนต์โดยทั่วไปจึงมีอยู่ 2 แบบด้วยกันก็คือ เพลากลางแบบสองข้อต่ออ่อนและเพลากลางแบบสามข้อต่ออ่อน

3.4.1 เพลากลางแบบสองข้อต่ออ่อน (Two-Joint Type Propeller Shaft)

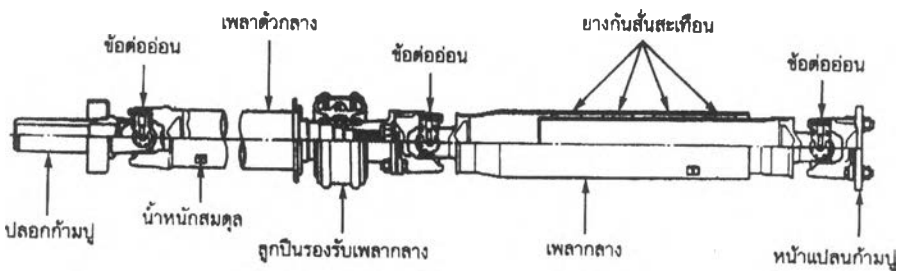
ในรูปที่ 3.6 ความยาวทั้งหมดของเพลากลางจะมีข้อต่ออ่อนติดตั้งอยู่ทั้งสองปลาย ซึ่งแต่ละส่วนของข้อต่ออ่อนจะต้องทำงานสัมพันธ์กันอย่างมาก ในขณะที่เพลากลางหมุนด้วยความเร็วสูง เพลากลางจะเริ่มเกิดการสั่นและโค้งตัวมากขึ้น ทั้งนี้เป็นผลสืบเนื่องมาจากการไม่สมดุลของเพลาดกค้างหลงเหลืออยู่บ้างบางส่วนด้วยเหตุนี้จำเป็นที่จะต้องติดตั้งน้ำหนักไว้ที่เพลาเพื่อให้มีการสมดุลที่ดีขึ้น เป็นการลดการสั่นและการเบี่ยงเบนของเพลาให้มีน้อยที่สุด



รูปที่ 3.6 เพลากลางแบบสองข้อต่ออ่อน

3.4.2 เพลากลางแบบสามข้อต่ออ่อน (Three-Joint Type Shaft)

สำหรับเพลากลางแบบสามข้อต่ออ่อน ความยาวข้อต่อเพลาของเพลาทั้งสองจะสั้นกว่าเพลากลางแบบสองข้อต่ออ่อน ดังนั้นจึงทำให้การเบี่ยงเบน การสั่น และเสียงดังที่ความเร็วสูงลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากมีการสมดุลที่ดี จึงเป็นข้อที่ดีที่รถยนต์ในปัจจุบันนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ดังแสดงในรูป 3.7



รูปที่ 3.7 เพลากลางแบบสามข้อต่ออ่อน

3.5 ข้อต่ออ่อน

ข้อต่ออ่อน (Universal Joint) ทำหน้าที่ดูดซับการเปลี่ยนแปลงเชิงมุมของการเคลื่อนที่ให้สัมพันธ์กันระหว่างกระปุกเกียร์และชุดเฟืองท้าย เพื่อให้การถ่ายทอดแรงบิดเป็นไปได้อย่างสม่ำเสมอนอกจากนี้ข้อต่ออ่อนยังต้องมีคุณสมบัติที่ดีในขณะส่งถ่ายกำลังก็คือ

1. ความเร็วเชิงมุมของข้อต่อในการถ่ายทอดกำลังจะต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมุมของเพลากลางเคลื่อนที่สัมพันธ์กันกับกระปุกเกียร์และชุดเฟืองท้ายมากขึ้น

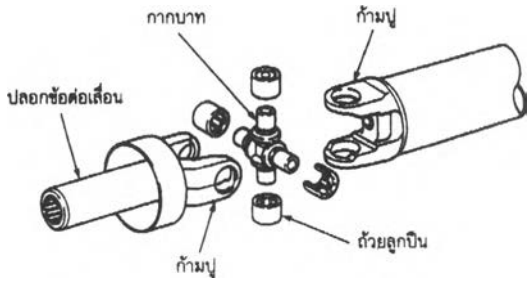
2. ข้อต่ออ่อนจะต้องส่งถ่ายกำลังให้เป็นไปได้อย่างราบเรียบปราศจากเสียงดัง ซึ่งเกิดมาจากการหมุนเคลื่อนที่และการหักเหจากการเปลี่ยนความเร็วเชิงมุม

3. การหมุนเคลื่อนที่ของข้อต่ออ่อนที่ติดตั้งอยู่ที่ปลายของเพลากลางทั้งสองด้านจะเคลื่อนที่สัมพันธ์กัน แม้การหักเหในขณะหมุนก็ตามปัจจุบันนี้ข้อต่ออ่อนที่นำมาใช้กับรถยนต์เพื่อเป็นการตอบสนองการเปลี่ยนแปลงความเร็วเชิงมุมมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบคือ ข้อต่ออ่อนแบบก้ามปูหรือฮุก ข้อต่อแบบยืดหยุ่น และข้อต่ออ่อนแบบความเร็วคงที่

3.5.1 ข้อต่ออ่อนแบบก้ามปูหรือฮุก (Hooker's Joint)

ข้อต่ออ่อนแบบก้ามปูหรือฮุกทำจากเหล็กกล้าชุบแข็ง ประกอบด้วยก้ามปูสองส่วน กากบาท และลูกปืน โดยที่ก้ามปูส่วนที่หนึ่งจะเชื่อมติดกับเพลากลาง และอีกส่วนหนึ่งจะเชื่อมยึดติดกับหน้าแปลนของปลอกเลื่อน ส่วนกากบาทนั้นจะถูกติดตั้งให้อยู่ระหว่างก้ามปูทั้งสอง ทำจากโลหะเหล็กกล้าที่มีความแข็งแรงเป็นพิเศษและที่ผิวของแกนกากบาททั้งสี่ด้านจะชุบแข็งให้มีความคงทนต่อแรงเครียดและความด้านทานสึกหรอสูง ข้อต่อแบบก้ามปูหรือแบบฮุกยังได้แบ่งลักษณะการติดตั้งของลูกปืนกากบาทออกเป็น 2 ชนิดคือ

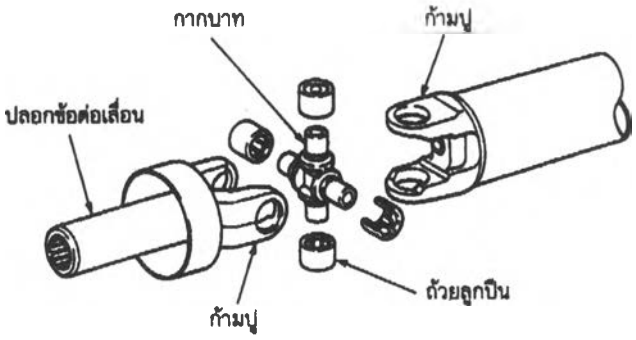
1. กากบาทชนิดลูกปืนแข็ง (Solid Bearing Cup Type) ลูกปืนกากบาทแบบนี้จะมีลักษณะเป็นรูปถ้วย ภายในจะบรรจุลูกปืนแบบเข็มสวมอัดติดเข้ากับกากบาทและก้ามปูทั้งสอง ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการด้านทานแรงบิดในขณะทำงานที่รอบต่ำระหว่างกากบาทและก้ามปู โดยที่ถ้วยของลูกปืน กากบาทจะมีแหวนล็อกป้องกันไม่ให้ลูกปืนถูกเหวี่ยงหลุดออกในขณะที่เพลากลางหมุนตัวที่ความเร็วสูงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 กากบาทชนิดลูกปืนแข็ง

I 20371068

2. กากบาทชนิดลูกปืนเซลล์ (Shell Bearing Cup Type) ลูกปืนถ้วยของกากบาทจะถูกบีบเป็นจีบ ทำให้ไม่สามารถถอดแยกถ้วยลูกปืนออกได้ ดังนั้นกากบาทชนิดนี้จึงถูกออกแบบมาโดยเฉพาะจากบริษัทผู้ผลิตเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 3.9

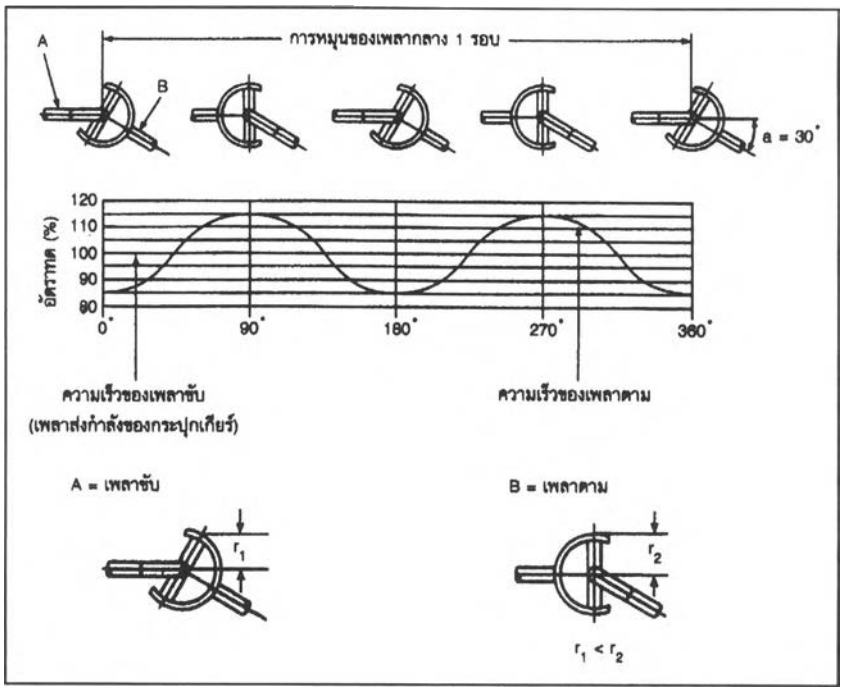


รูปที่ 3.9 กากบาทชนิดลูกปืนเซลล์

การเปลี่ยนแปลงความเร็วเชิงมุมของข้อต่ออ่อนแบบฮุก รูปที่ 3.10 เป็นกราฟแสดงการการเปลี่ยนแปลงความเร็วของเพลาตาม B ที่ทำมุม 30 องศาสัมพันธ์กับเพลาขับ A เมื่อเพลากลาง A หมุนเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ (เพลาขับ A คือเพลากำลังในกระปุกเกียร์ เพลาตาม B คือเพลากลาง)

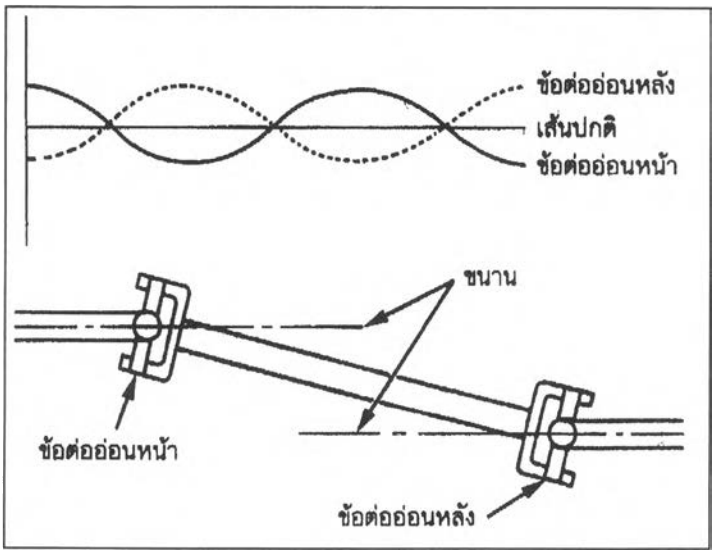
ดังนั้นเมื่อข้ออ่อนแบบฮุกที่ติดตั้งอยู่กับเพลา A หมุนเคลื่อนที่ไปหนึ่งรอบ ก็จะทำให้เพลาตามหมุนไปด้วยหนึ่งรอบด้วยเช่นกัน รัศมีการหมุนของข้อต่ออ่อนจะมีมากขึ้น (r_2) เมื่อกากบาททำมุมตั้งฉากกับเพลาขับ (เมื่อหมุนทำมุม 90 270 องศา) และจะมีรัศมีการหมุนของข้อต่ออ่อนที่แคบลง เมื่อกากบาทไม่ทำมุมตั้งฉากกับเพลาขับที่มุม 0, 180, 360 องศา

นอกจากนี้ความเร็วของก้ามปูของเพลาตามจะถูกเปลี่ยนแปลงไปทุกรอบที่เคลื่อนที่ผ่านมุม 90 องศา การเปลี่ยนแปลงของความเร็วเชิงมุมที่เกิดขึ้นจะต้องมีความสัมพันธ์กับเพลาขับ A และเพลากลาง B จะมีมาก เมื่อมุมของก้ามปูเพลาตาม B และเพลาขับ A มีมากเช่นกันแต่ในทางตรงข้ามถ้ามุมของเพลาขับ A และเพลาตามแคบ B การเปลี่ยนความเร็วเชิงมุมจะน้อยลงเช่นกัน



รูปที่ 3.10 การเปลี่ยนแปลงความเร็วเชิงมุมของข้อต่ออ่อนแบบกัมปูหรือแบบฮุก

ความผันแปรที่เกิดขึ้นในความเร็วเชิงมุมจะถูกกำจัดให้หมดไปด้วยการติดตั้งข้ออ่อนที่ปลายของเพลาขับและเพลาตาม นอกเหนือจากนั้นการติดตั้งตำแหน่งของเพลาขับและเพลากลางให้ขนานกันเป็นการช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากความเร็วในการหมุนและแรงบิดที่เกิดขึ้นกับเพลากลาง ดังรูปที่ 3.11

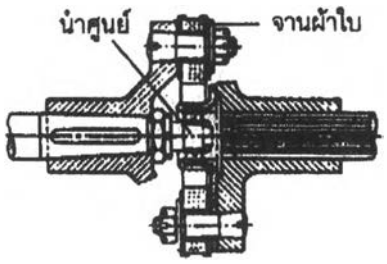


รูปที่ 3.11 การติดตั้งข้อต่ออ่อนและตำแหน่งให้เพลาขับและเพลาตามขนานกัน เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากความเร็วในการหมุนและแรงบิดที่เกิดขึ้นกับเพลากลาง

3.5.2 ข้อต่ออ่อนแบบยืดหยุ่น (Flexible Joint)

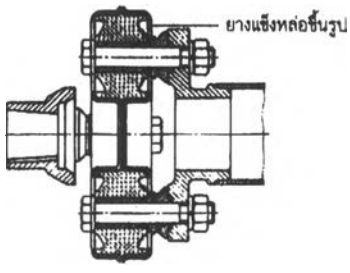
ข้อต่ออ่อนแบบยืดหยุ่นจัดเป็นข้อต่ออ่อนแบบหนึ่งที่ไม้ต้องมีการหล่อลื่น เนื่องจากไม่มีชิ้นส่วนที่ได้รับความฝืดในขณะทำงาน ประกอบด้วยส่วนของแผ่นผ้าแข็งหรือยางแข็งประกบอยู่หน้าแปลนทั้งสองด้านที่ยึดอยู่กับเพลาขับและเพลากลางด้วยสลักหรือเกลียว ส่วนมากนิยมใช้กับหน้าแปลนที่ต้องการมุมเบี่ยงเบนของข้อต่อไม่เกิน 8 องศา ดังเช่นหน้าแปลนช่วงที่ยึดกับกระปุกเกียร์และชุดเฟืองท้าย ข้อต่ออ่อนแบบยืดหยุ่นที่นำมาใช้กับเพลาขับและเพลาตามที่นำมาใช้กับรถยนต์มีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ

1. ข้อต่ออ่อนยืดหยุ่นแบบผ้าใบ ประกอบด้วยจานผ้าใบ 1 แผ่นหรือ 2 แผ่นติดตั้งอยู่ระหว่างก้ามปูไทรปอดทั้งสองด้าน เช่นติดตั้งอยู่ระหว่างเพลาขับกับเพลากลางหรือเพลากลางกับชุดเฟืองท้าย ข้อต่อที่ใช้จานผ้าใบสองแผ่นจะต้องเจาะรูกึ่งกลางไว้ เพื่อสะดวกในการติดตั้งโดยจะให้ปลายด้านหนึ่งสอดอยู่ในแผ่นผ้าใบทั้งสองแผ่นซึ่งก็จะทำให้ตำแหน่งทิศทางของเพลาทั้งสองอยู่ในระนาบแกนเดียวกัน ดังแสดงในรูป 3.12 ข้อต่ออ่อนแบบยืนหยุ่นนี้สามารถที่จะเบี่ยงเบนให้เพลาทำมุมได้ตั้งแต่ 3 – 5 องศา



รูปที่ 3.12 แสดงส่วนประกอบของข้อต่ออ่อนยืดหยุ่นแบบผ้าใบ

2. ข้อต่อยืดหยุ่นแบบยางแข็งทำจากวัสดุยางแข็งหล่อขึ้นรูป มีคุณสมบัติที่ยืดหยุ่นได้ดีกว่าแบบผ้าใบ ทำให้การเบี่ยงเบนระหว่างเพลาขับและเพลาตามสามารถเปลี่ยนแปลงมุมในช่วงการเคลื่อนที่ได้ประมาณ 5 – 8 องศาในช่วงระยะสั้นๆ ข้อต่อยืดหยุ่นแบบยางแข็งจึงเป็นแบบที่มีการเปลี่ยนแปลงและมีเสียงดังในขณะที่หมุนเคลื่อนที่น้อยมาก ดังนั้นทิศทางการเคลื่อนที่เบี่ยงเบนในด้านข้างจึงถูกควบคุมด้วยเพลาที่ยึดติดกับบูชกึ่งกลางข้อต่อดังแสดงในรูป 3.13



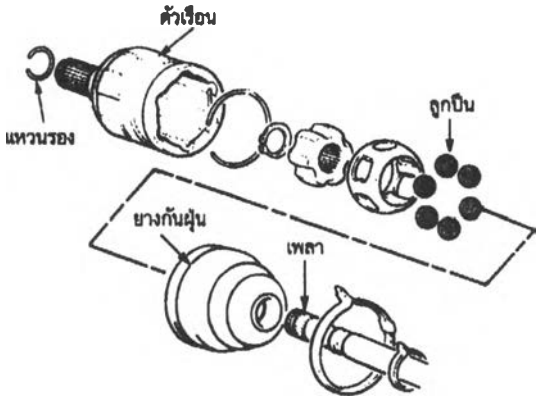
รูปที่ 3.13 แสดงส่วนประกอบของข้อต่ออ่อนยืดหยุ่นแบบยางแข็ง

3.5.3. ข้อต่ออ่อนแบบความเร็วคงที่ (Constant Velocity Joint)

ข้อต่ออ่อนแบบความเร็วคงที่เป็นข้อต่อที่ส่งถ่ายแรงบิดได้ราบเรียบกว่าข้อต่ออ่อนแบบธรรมดาโดยทั่วไป แต่มีความยุ่งยากซับซ้อนในการออกแบบและมีราคาแพง ด้วยเหตุนี้จึงไม่เป็นที่นิยมใช้กับเพลากลาง แต่จะนำไปใช้กับรถยนต์ที่ขับเคลื่อนล้อหน้าหรือล้อหลังที่ใช้ระบบรองรับการสั่นสะเทือนแบบอิสระโดยเฉพาะเท่านั้น มีใช้อยู่หลายแบบคือ

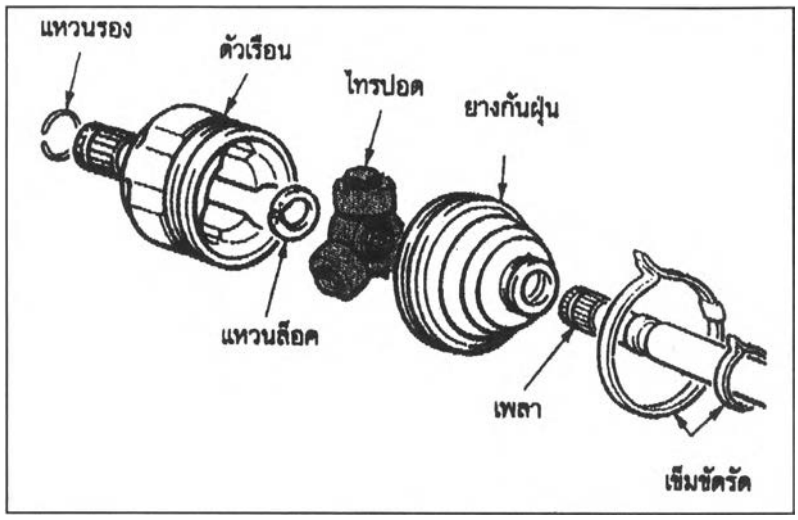
1. ข้อต่ออ่อนแบบเบอร์ฟิลด์ (Birfield Joint) ดังแสดงในรูปที่ 3.14 ปลอกภายในของข้อต่อจะถูกสวมยึดให้ติดอยู่กับร่องของปลอกข้อต่อภายนอกด้วยลูกปืนกลม 6 ตัวและลูกปืนกลมทั้งหมดจะถูกครอบด้วยปลอกในอีกชั้นหนึ่ง ดั้งนั้นจึงทำให้ข้อต่ออ่อบแบบเบอร์ฟิลด์มีการหักเหของข้อต่อได้สูงถึง 47 องศาจึงทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของเพลาน้อยมาก

ด้วยเหตุนี้ข้อต่ออ่อนแบบเบอร์ฟิลด์จึงมีประสิทธิภาพสูงในการส่งถ่ายกำลังและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในรถยนต์แบบขับเคลื่อนล้อหน้า



รูปที่ 3.14 แสดงส่วนประกอบของข้อต่ออ่อนแบบเบอร์ฟิลด์

2. ข้อต่ออ่อนแบบไทรปอด (Tripod Joint) ดังแสดงในรูปที่ 3.15 ประกอบด้วยเพลาของข้อต่อสามทาง ซึ่งมีแกนลูกปืนที่อยู่ในระดับเดียวกัน 3 อัน เพื่อเป็นที่ติดตั้งลูกปืนโรลเลอร์ทั้งสามตัวและที่เสื้อข้อต่อของปลายเพลาด้านหนึ่งจะเซาะเป็นร่องเลื่อนไว้ 3 ร่องเพื่อรองรับลูกปืนโรลเลอร์เมื่อประกอบเข้าด้วยกันข้อต่อแบบนี้จึงสามารถเคลื่อนตัวได้ในทิศทางการขับเคลื่อนตามแนวแกนของเพลา ทำให้มีโครงสร้างของการที่ง่ายและมีราคาถูก

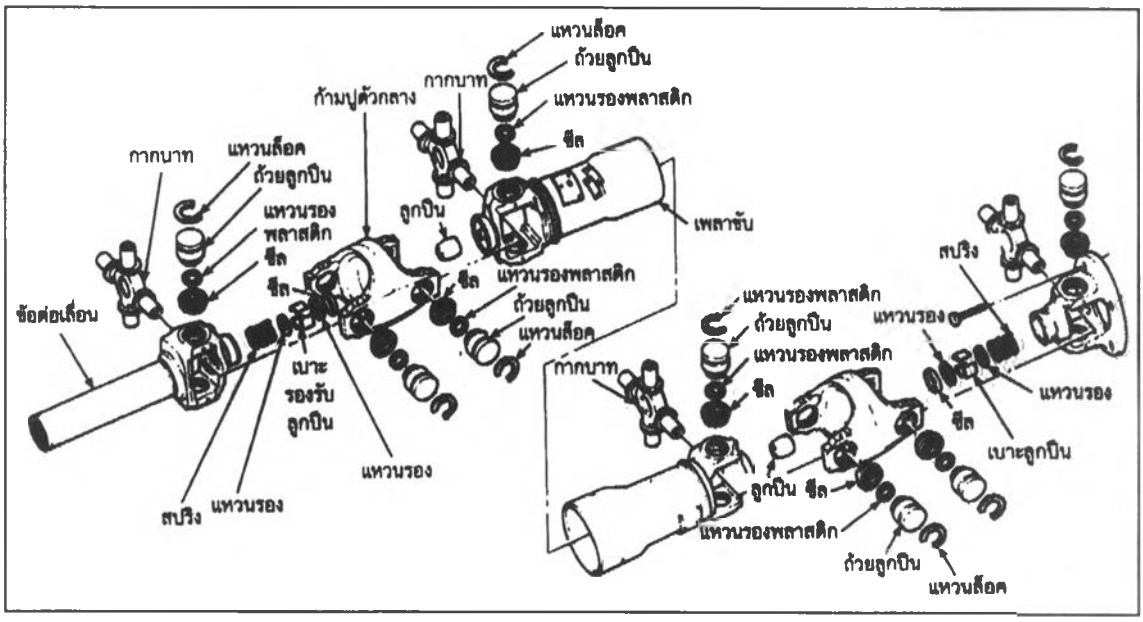


รูปที่ 3.15 แสดงส่วนประกอบของข้อต่ออ่อนแบบไทรปอด

3. ข้อต่ออ่อนแบบโพลีโกนอล (Polygonal Rubber Joint) จัดเป็นข้อต่อแบบความเร็วคงที่แบบหนึ่งที่ทำจากยางหล่อแข็งขึ้นรูปกับหน้าแปลนที่ทำจากเหล็กกล้า ยางที่ใช้ทำต้องมีคุณสมบัติยืดหยุ่นได้ดีเมื่อได้รับแรงบิดตามสภาวะของการเปลี่ยนแปลงและบิดตัวไปมาด้านข้าง มุมการหักเหและการบิดตัวของข้อต่อจะสามารถเปลี่ยนแปลงได้ถึง 8 องศาที่ความยาวของเพลาทุกๆ 12 มิลลิเมตรดังแสดงในรูปที่ 3.16

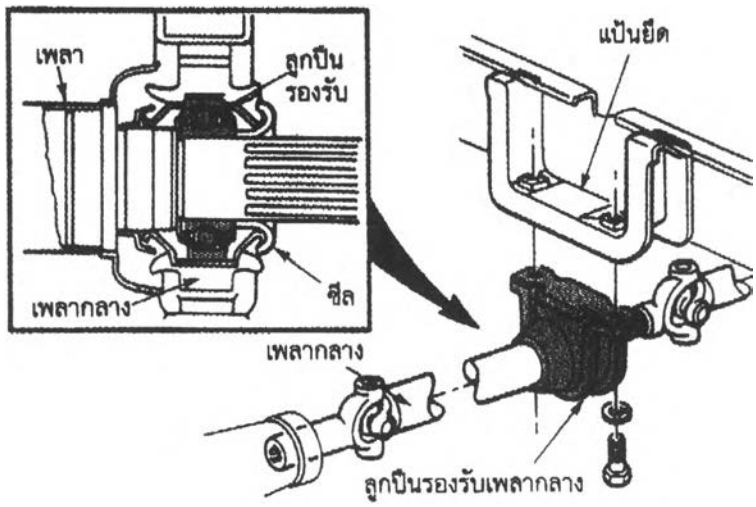
รูปที่ 3.16 ข้อต่ออ่อนแบบโพลีโกนอล

4. ข้อต่ออ่อนแบบข้อต่อร่วม (Double Universal Joint) ดังแสดงในรูปที่ 3.17 ประกอบด้วยข้อต่ออ่อนแบบฮุกสองตัวติดตั้งร่วมกัน โดยมีข้อต่อก้ามปูตัวกลางยึดติดกับข้อต่ออ่อนทั้งสองเข้าด้วยกันทำให้ข้อต่อแบบนี้มีมุมหักเหได้ถึง 47 องศาและหมุนได้อย่างราบเรียบจึงนิยมใช้กับรถยนต์ที่ขับเคลื่อนล้อหน้า



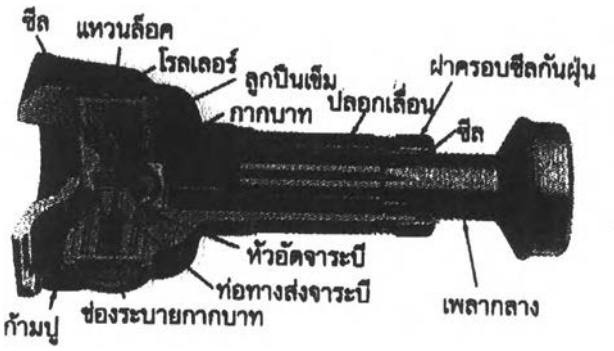
รูปที่ 3.17 แสดงส่วนประกอบข้อต่ออ่อนแบบข้อต่อร่วม

5. ลูกปืนรองรับเพลากลาง (Center Bearing) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้รองรับกึ่งกลางของเพลากลางชนิดสองเพลาซึ่งประกอบด้วยบูชยางที่ห่อหุ้มด้วยลูกปืน โดยมีปลายของเพลากลางด้านหนึ่งสวมอยู่และติดตั้งยึดติดกับตัวถังรถยนต์ จากการที่เพลากลางถูกยึดออกเป็น 2 ส่วนทำให้บูชยางดูดซับการสั่นสะเทือนและเสียงดังที่เกิดกับตัวถังเอาไว้ในช่วงที่มีความเร็วสูงได้อย่างสมบูรณ์ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ลูกปืนรองรับเพลากลาง

6. ข้อต่อเลื่อน (Slip Joint) เป็นวิธีการหนึ่งของการปรับระยะความยาวของเพลากลาง ในขณะที่ระดับการเคลื่อนที่ของเพลากลางเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับเฟืองท้ายตามสภาพของพื้นถนนและโหลดของรถยนต์ ข้อต่อเลื่อนถูกออกแบบให้เพลาของข้อต่อเลื่อนเซาะเป็นร่องที่ปลายเพลา เพื่อจุดประสงค์ในการรับแรงบิดขณะที่เพลาเคลื่อนที่ด้วยเหตุนี้ข้อต่อเลื่อนจึงถูกนำมาติดตั้งใช้กับข้อต่อด้านที่ติดกับชุดเฟืองท้ายเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 3.19

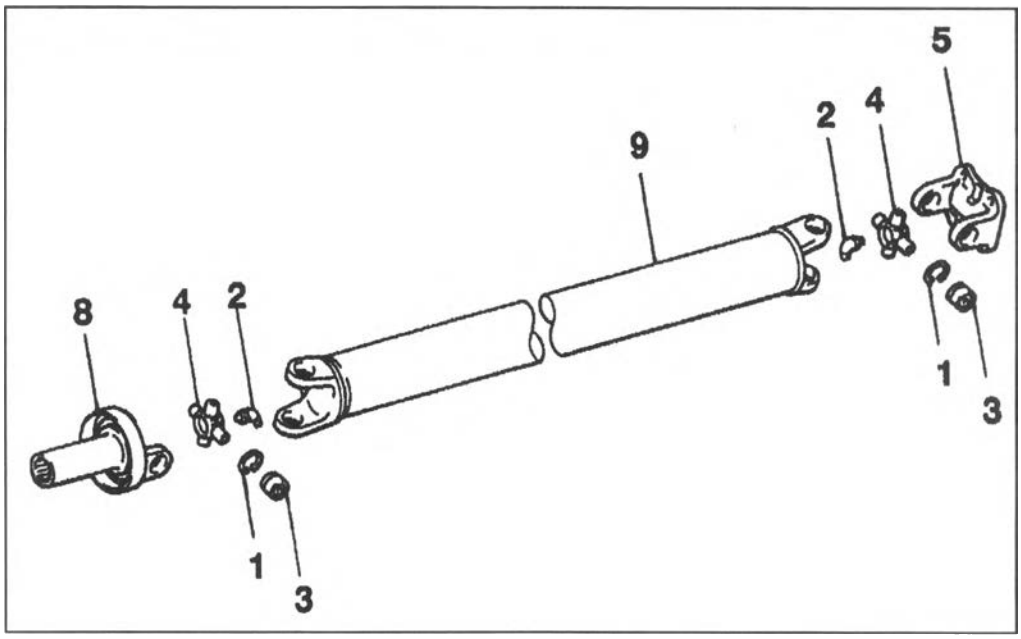


รูปที่ 3.19 แสดงส่วนประกอบของข้อต่อเลื่อน (Slip Joint)

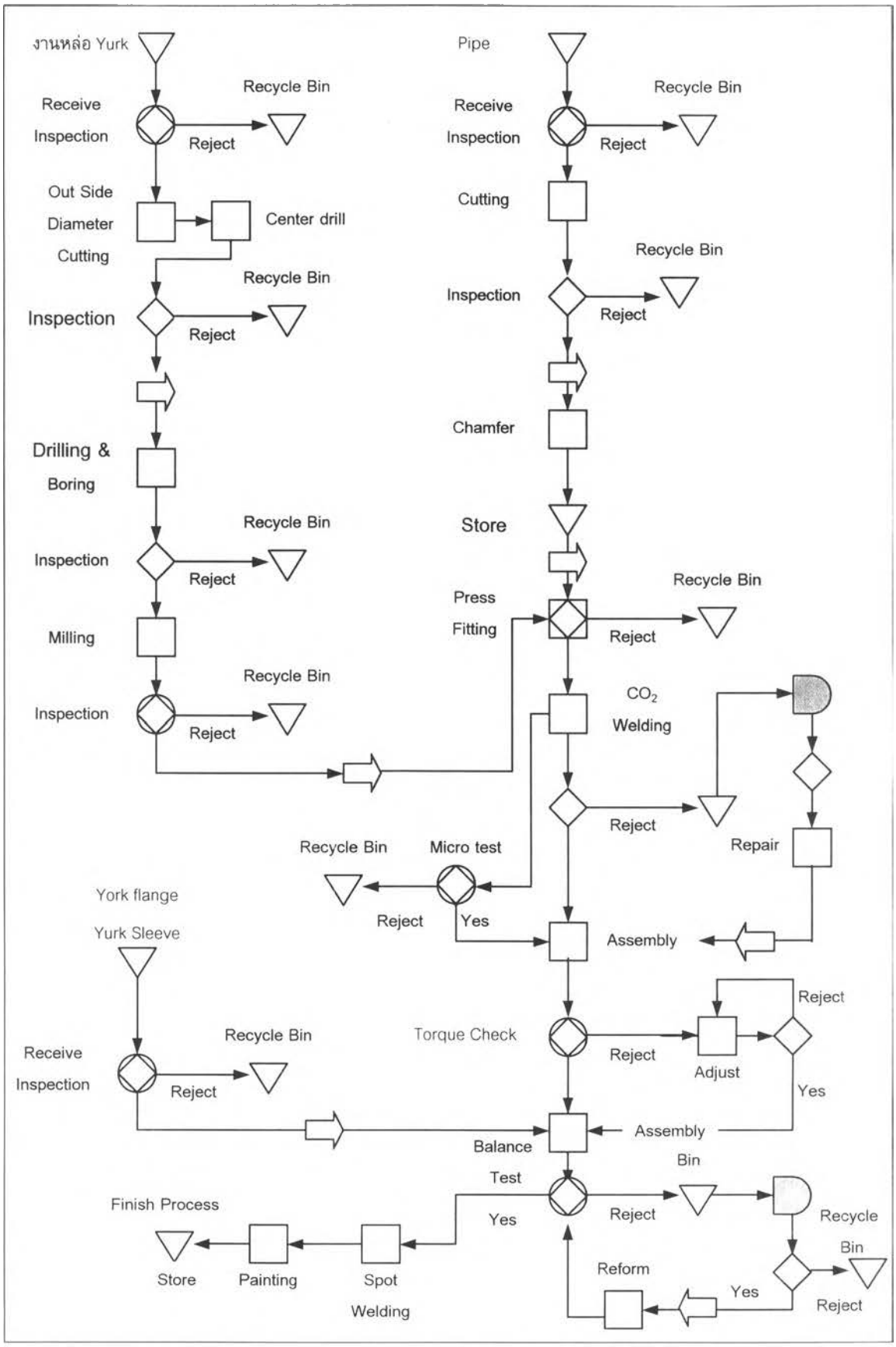
3.6 ส่วนประกอบของเพลากลาง (Shaft Propeller)

เพลากลางที่จะทำการศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจะเลือกเพลากลางรุ่น MR111779 ซึ่งเป็นเพลากลางชนิดเพลากลางแบบสองข้อต่ออ่อน (Two-Joint Type Propeller Shaft) สามารถแสดงส่วนประกอบดังในรูปที่ 3.20

1. แหวนล็อก (Snap Ring)
2. หัวอัดจารบี (Grease Fitting)
3. เจอร์นอลแบริ่ง (Journal Bearing)
1. เจอร์นอล (Journal)
2. ข้อต่อโยกตัวหลัง (Flange York)
8. ข้อต่อเพลาตัวหน้า (York Sleeve)
9. เพลา (Main Shaft)



รูปที่ 3.20 ส่วนประกอบของเพลากลาง

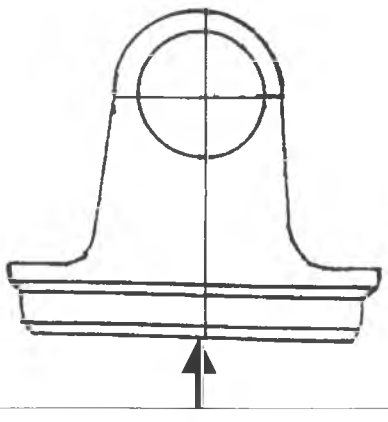


รูปที่ 3.21 แสดงกระบวนการผลิตเพลากลาง

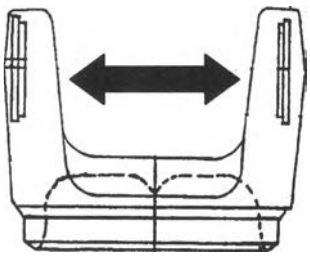
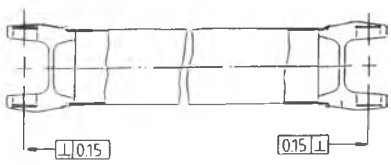
3.7 แผนผังกระบวนการผลิตเพลากลาง

ตามแผนผังกระบวนการผลิตเพลากลาง (Flow Chart) ดังรูปที่ 3.21 ผู้วิจัยได้แสดงรายละเอียดของแต่กระบวนการผลิตเพลากลางออกเป็น 11 ขั้นตอนได้ดังแสดงในตารางที่ 3.1

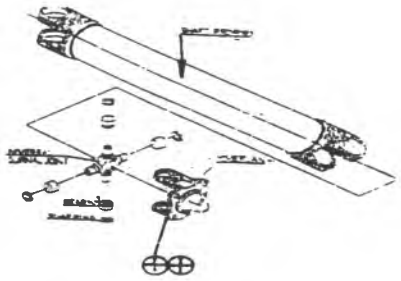
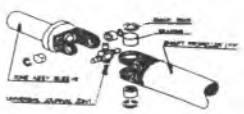
ตารางที่ 3.1 กระบวนการผลิตเพลากลาง

กระบวนการ	รายละเอียด	การควบคุม	มาตรฐาน	ความถี่
1.การตัดท่อ	1. ตรวจสภาพทั่วไปของท่อ 2. วัดให้ได้ตามความยาวที่กำหนดในแต่ละรุ่น 3. ก่อนตัดต้องวางท่อให้ได้ฉากกับจิ๊ก (Jig) 4. ทำ Chamfer ที่ปลายทั้งสองข้างของท่อ	-ลักษณะภายนอก -ความยาว -เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน -ความฉาก (Square Ness)	-สนิม บิดงอ 351±0.3 mm. Ø = 53± 0.2 mm ± 0.1 mm	-100%
2. การกลึงปลอก (Out-Side Diameter Pre-Finish)	1. กลึงปลอกฐานของโยก (York Tube) ด้วยเครื่องกลึงแบบ Turret Lathe 2. เจาะรูศูนย์กลาง (Drilling Center) ของฐาน York สำหรับยันศูนย์ในกระบวนการต่อไป	- Øของฐาน York	- 72.55 ± 0.1 mm.	-Snap Gauge 100 %
3.การเจาะรูประกอบแบริ่ง (Drilling & Boring)	1. เจาะรูโดยใช้เครื่อง Center Drill 2. ทำการคว้านรูละเอียดโดยใช้เครื่อง CNC Boring 	- ตรวจสอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง Ø ของรู - ความร่วมศูนย์กลางของทั้งสองรู	Ø = 25 ± 0.012 mm. Ⓒ = 0.2 mm.	- Gauge - Micro Meter 1 ครั้ง/กะ

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)กระบวนการผลิตเพลากลาง

กระบวนการ	รายละเอียด	การควบคุม	มาตรฐาน	ความถี่
4. การกัด	- ชิ้นจะถูกส่งเครื่องกัดเพื่อกัดร่องสำประกอบแบริ่ง โดยใช้รูยันศูนย์ที่ได้จากการกลึงเป็นจุดในการ Setting 	-ความกว้าง (Width)	19.6±0.3 mm.	-Jig และ Dial Gauge ความถี่ 4 ครั้งต่อกะ
5. การอัดประกอบ (Press Fitting)	1.นำท่อและโยกทิว (York Tube) จำนวน 2 ชิ้นสำหรับทำ Main Shaft มาประกอบด้วยกันที่จิ๊กประกอบ (Jig) 2.ใช้เครื่องอัดตัวโยก (York Tube) และท่อเข้าด้วยกัน 3. ตรวจสอบความเป็นมุมฉากของรูประกอบแบริ่ง (Bearing) ที่ York เทียบกับท่อ 	-แรงดันเครื่อง -ค่าความตั้งฉากของรูโยกกับเพลา	-แรงดัน =45 kgf/cm^2 -ความตั้งฉาก (⊥)<0.15 mm	-100% -100 %
6. การเชื่อม	1.หลังนำชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบ Dimension ให้นำมาประกอบที่ Jig เชื่อม 2. ตั้งค่าการเชื่อม (Welding Condition) ให้ได้ตามข้อกำหนด 3.เชื่อมรอบที่รอยต่อระหว่าง York Tube กับท่อ	-Welding Condition -Macro Test -สภาพแนวเชื่อมทั่วไป	- V =28-32 V - Weld Speed = 19-23 Sec/round -Penetration มากกว่า 70 % -แนวเชื่อมกัดตามดและเม็ด	-Check Sheet 2 ครั้งต่อกะ -ความถี่ 1 Week ต่อครั้ง

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)กระบวนการผลิตเพลากลาง

กระบวนการ	รายละเอียด	การควบคุม	มาตรฐาน	ความถี่
7. ประกอบโยกแฟลง	1: ก่อนประกอบประกอบเจอร์นัลแบริ่ง (Journal Bearing) กับโยกแฟลงต้องประกอบ Snap Ring ให้ครบ 4 ตัวและเข้าร่องสนิททุกตัว 	-ค่า Torque ของการประกอบโยกแฟลง (York Flange)	-Torque = 1-9 kgf.cm	-100 %
8.ประกอบโยกสลีฟ	1. ประกอบ York Assy Sleeve เข้ากับ Main Shaft 2. แบริ่ง (Bearing) และเจอร์นัล (Journal) ต้องประกอบ Snap Ring ให้ครบ 4 ตัวและเข้าร่องสนิททุกตัว 	- ค่า Torque ของโยกสลีฟ	-Torque = 1-9 kgf.cm	-ตรวจสอบด้วยประแจทอร์ค 4 ครั้งต่อกะ
9. การทดสอบค่าสมดุล	1. ก่อนทำการ Balance Test ทุกครั้งต้องทำ Calibration ก่อนโดยการใช้ Propeller Shaft Master 2. ปรับความเร็วรอบที่ 4000 rpm.	-ค่าสมดุล (Balance)	-ค่าสมดุลน้อยกว่า 36 กรัม	-100 % Check
10. การเชื่อมสป็อท (Spot Welding)	1. ติดแผ่นเหล็กที่มีน้ำหนักและตำแหน่งที่มีไกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จากเครื่องทดสอบค่าสมดุล 2. น้ำหนักที่ติดตั้งแต่ 4-18 กรัม แต่ไม่เกิน 36 กรัม	-Appearance ของงานเชื่อม -Tensile Test ที่แผ่นเหล็ก	- แนวเชื่อมไม่มี เม็ด กัด โต -ติดน้ำหนักรวมกันไม่เกิน 36 กรัม	-100 % -1 ครั้งต่อกะ

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)กระบวนการผลิตเพลากลาง

กระบวนการ	รายละเอียด	การควบคุม	มาตรฐาน	ความถี่
10. การเชื่อมสป็อท (ต่อ)	3. ตำแหน่งที่ Spot แผ่นเหล็กน้ำหนักต้องอยู่ห่างจาก Center bearing 100 ± 20 mm. 4. หลัง Spot แผ่นเหล็ก ทำการวัดค่าบาล้านซ์อีกครั้ง	- ค่าสมดุล	- ค่าสมดุลน้อยกว่า 10 กรัม	
11. การทำสี	1. ทำความสะอาดผิวเหล็กโดยการล้างมันด้วยสารเคมี 2. เตรียมผิวชิ้นงานให้มีความสามารถในการจับยึดกับสีโดยใช้น้ำยา Surface Condition และ Phosphating 3. พ่นด้วยหัวพ่นแบบ Manual Sprayโดยใช้สีดำ (FPO_2) พ่นที่ผิวของชิ้นความหนาสีอย่างน้อย 35 μm 4. ทำการอบสีที่ห้องอบ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที	-Dry Film Thickness -Salt Spray Test -Cross Cut	- Thickness > 35 μm -Certificate from Supply -As Certificate from Vendor	- 4 ครั้งต่อกะ -1 ครั้งต่อสัปดาห์ -1 ครั้งต่อสัปดาห์

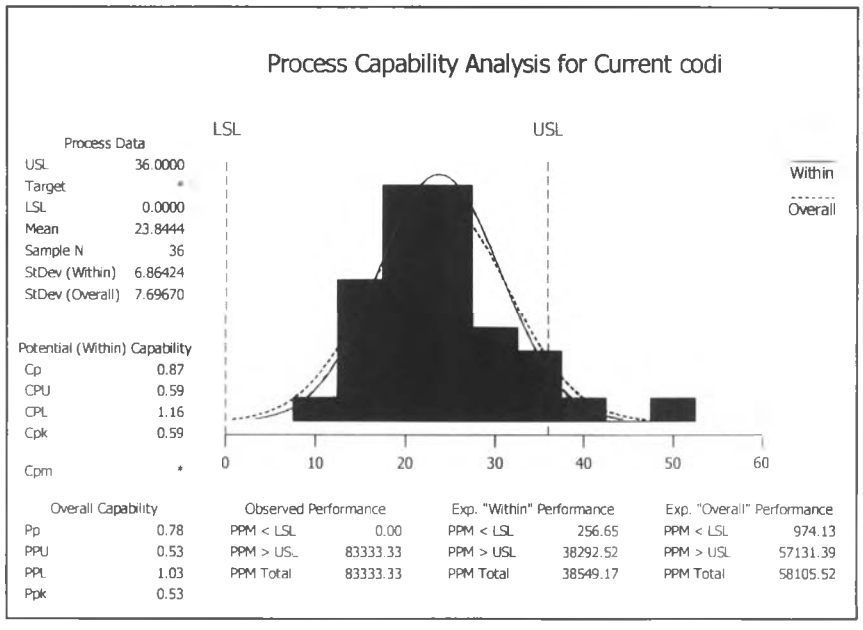
3.8 การศึกษาความสามารถของกระบวน (Process Capability)

ทำการศึกษาความสามารถของกระบวนการผลิตเพลากลาง (Process Capability) หมายถึง ผลที่เกิดจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ในกระบวนการผลิต เพื่อประเมินกระบวนการผลิตว่าสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้ตรงตามค่ามาตรฐานของลูกค้ากำหนดดังแสดงตามตารางที่ 3.2 หลังจากนั้นนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์และทำการปรับปรุงเพื่อเพิ่มความสามารถของกระบวนการผลิตเพลากลาง

ตารางที่ 3.2 การแบ่งเกณฑ์ความสามารถของกระบวน

Cpk Index	ความสามารถของกระบวนการ	การปฏิบัติการ
Cpk $\geq$ 1.67	คุณภาพดีเยี่ยม	ดำเนินการตามปัจจุบันต่อไป
1.33 $\leq$ Cpk <1.67	คุณภาพดี	สามารถลดจำนวนตรวจสอบลงได้
1.0 $\leq$ Cpk < 1.33	คุณภาพดี	ตรวจสอบด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างได้
0.67 $\leq$ Cpk < 1.0	คุณภาพแย่	ดำเนินการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

จากการเก็บข้อมูลการตรวจสอบค่าสมดุลของเพลากลางรุ่น MR111779 สามารถคำนวณค่าดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการผลิตเพลากลาง Cpk ดังแสดงในรูปที่ 3.22 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.59 ซึ่งเมื่อนำไปเทียบกับเกณฑ์ในตารางที่ 3.2 จะพบว่ากระบวนการผลิตเพลากลางอยู่ในเกณฑ์คุณภาพแย่ จะต้องดำเนินการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ



รูปที่ 3.22 แสดงผลการคำนวน Process Capability ของค่าสมดุลที่สภาวะปัจจุบัน

3.9 การวิเคราะห์การวัด

การวิเคราะห์การวัดสำหรับระบบการตรวจสอบชนิดข้อมูลแปรผัน (Measure System Analysis for Variable Characteristic) เพื่อให้มั่นใจว่าเครื่องตรวจสอบค่าสมดุลมีความสามารถในการวัดได้ต้องและสามารถแยกแยะของเสียตามข้อกำหนด จึงได้ทำการประเมินผลเครื่องมือวัดแบบ Variable Characteristic การประเมินส่วนนี้จะทำการประเมินผลด้านใบอัสเพียงอย่างเดียวดังนี้

1. นำชิ้นงานมาตรฐาน (Master Propeller Shaft) ทำการทดสอบค่าสมดุลด้วยเครื่องทดสอบความสมดุล (Balance Machine) ที่ความเร็ว 400 รอบ จำนวน 10 ครั้ง ได้ค่าเฉลี่ยของการวัดเท่ากับที่ด้าน Rear 24.31 กรัม และด้าน Front เท่ากับ 24.50 กรัม ค่าวัดดังกล่าวจะเป็นค่าอ้างอิง

2. เลือกพนักงานที่มีความสามารถในการใช้เครื่องทดสอบค่าสมดุลมาทำการวัดชิ้นงานเพลากลางจำนวน 10 ครั้ง

3. ทำการหาค่าเฉลี่ยค่าวัดที่ได้ที่ด้าน Rear

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ผลรวม
24.3	24.5	24.4	24.4	24.3	24.4	24.2	24.5	24.2	24.5	243.7

$\bar{X}$ = $\Sigma X/10$

= 24.37

ค่าใบอัส (**Bias**) = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 24.37 – 24.31

= 0.06

% ใบอัสของความคลาดเคลื่อนอนุโลม = (ค่าใบอัส **X 100 %)/(USL - LSL)**

= (0.06 **X** 100)/(36-5)

= 0.19

4.ทำการหาค่าเฉลี่ยค่าวัดที่ได้ Front

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ผลรวม
24.6	24.3	24.8	24.2	24.9	24.6	24.4	24.6	24.5	24.8	24.57

$\bar{X}$ = $\Sigma X/10$

= 24.57

ค่าใบอัส (**Bias**) = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 24.57 – 24.50

= 0.07

% ใบอัสของความคลาดเคลื่อนอนุโลม = (ค่าใบอัส **X 100 %)/(USL - LSL)**

= (0.07 **X** 100)/(36-5)

= 0.22

เพราะฉะนั้น % ใบอัสของเครื่องทดสอบค่าสมดุลทั้งทางด้าน Rear และ Front อยู่ในเกณฑ์ < 5 % ซึ่งสามารถยอมรับโดยไม่ต้องทำการแก้ไขเครื่องมือวัด

ตารางที่ 3.3 สรุปการวิเคราะห์การวัด

No.	Measurement Name	Tool No.	Spec. Use	GR&R	Bias	Stability
1	Balance Machine	MQ-001	0 - 36	OK	OK	OK

3.10 บทสรุปท้ายบท

จากการศึกษากระบวนการผลิตเพลากลางพบว่าขั้นตอนมี 11 ขั้นตอนย่อยโดย 4 ขั้นตอนแรกเป็นการเตรียมวัสดุได้แก่ โยกทิวและ ท่อสำหรับส่งเข้ากระบวนการประกอบโยกและท่อเข้าด้วยการอัดประกอบ (Press Fitting) ได้ชิ้นงานเรียกว่า Main Shaft หลังจากนั้นจะทำการเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมแบบ CO_2 และในขั้นตอนสุดท้ายนำมาประกอบชิ้นส่วนโยกสลีฟและโยกแฟลงมาประกอบกับ Main Shaft ก่อนนำชิ้นงานส่งลูกค้าต้องทำการตรวจสอบค่าสมดุลให้ผ่านเกณฑ์ 10 กรัม หลังจากนั้นได้ทำการวัดประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตด้วยดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ Cpk (Process Capability) ได้ค่า Cpk = 0.59 Cp = 0.87 และ PPM Total = 38,549.17 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ลูกค่ากำหนดคือต้องการค่าของ Cpk มากกว่า 1 นั่นคือต้องมีการปรับปรุงกระบวนการโดยการลดค่าสมดุลเพื่อให้ของเสียในกระบวนการลดลงและเพิ่มค่าดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ และจากการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measure System Analysis) ของกระบวนการผลิตพบว่าค่า GR&R Bias และ Stability ของสายการผลิตเพลากลางอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของโรงงาน