

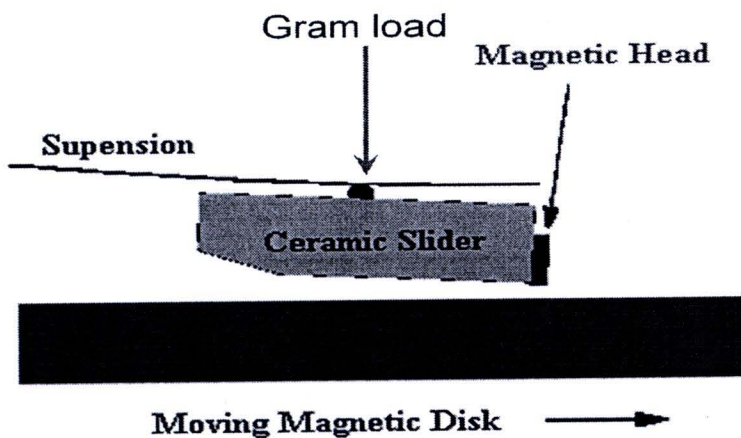
บทที่ 4

วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อเสียรูปของแขนแอคทูเอเตอร์ในกระบวนการดิสเวจ 2 ประการคือ แรงที่กดใบมีด และมุมใบมีดของอุปกรณ์ดิสเวจ โดยการวิเคราะห์การเสียรูปของแขนแอคทูเอเตอร์จะพิจารณาถึงค่าแรงกรัมโหลดที่เกิดขึ้นหลังจากผ่านกระบวนการดิสเวจ ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

4.1 การวัดค่าแรงกรัมโหลด

แรงกรัมโหลด เป็นแรงที่เกิดจากค่าคงที่ของสปริง โดยทั่วไปแรงกรัมโหลดจะถูกกำหนดให้เป็นแรงที่ชุดรองรับหัวอ่าน/เขียนถูกกระทำ ซึ่งแรงกรัมโหลดจะกดที่หัวอ่าน/เขียนเพื่อให้หัวอ่าน/เขียนเกิดความสมดุลในขณะทำงาน ดังแสดงในภาพที่ 4.1 คล้ายกับสปริงตามกฎของฮุก (Hooke's Law) กำหนดให้สปริงเป็นวัตถุยืดหยุ่น (Elastic Member) มีแรงต้านเมื่อมีการเปลี่ยนรูปของวัตถุ ซึ่งการเปลี่ยนรูปนี้จะถูกแสดงในรูปของระยะการขจัด

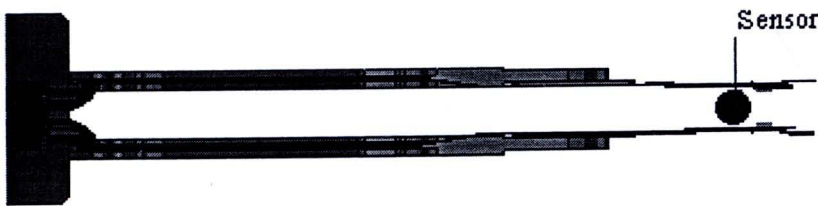


ภาพที่ 4.1 แสดงแรงกรัมโหลด

4.1.1 การวัดค่าแรงกรัมโหลดในกระบวนการจริง

ในการวัดค่าแรงกรัมโหลดในกระบวนการจริงจะมีเครื่องมือในการวัด โดยมีหลักการทำงานคือ ที่เครื่องมือจะมีเซนเซอร์ (sensor) ซึ่งทำหน้าที่ในการวัดแรงกรัมโหลด ใน

การวัดค่าแท่งเซนเซอร์จะถูกสอดเข้าไประหว่างชั้นเฟนชั้นสองตัว ดังภาพที่ 4.2 โดยแรงที่กดหรือดันไปที่แท่งเซนเซอร์ คือ แรงกรัมโหลด



ภาพที่ 4.2 การวัดค่าแรงกรัมโหลดในกระบวนการจริง

4.1.2 การวัดค่ากรัมโหลดในการทดลอง

ในการวัดค่ากรัมโหลดในการทดลองจะหาได้จากการอ่านค่าการกระจัดในแนวกแกน Z ของแขนแอคทูเอเตอร์จากผลการทดลอง ซึ่งคือค่าของตัวแปร A และ B ดังภาพที่ 4.3 และความสัมพันธ์ของค่าการกระจัดของปลายหัวอ่าน/เขียน X เขียนให้อยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

$$X = B + D \left(\frac{B-A}{C} \right) \tag{4.1}$$

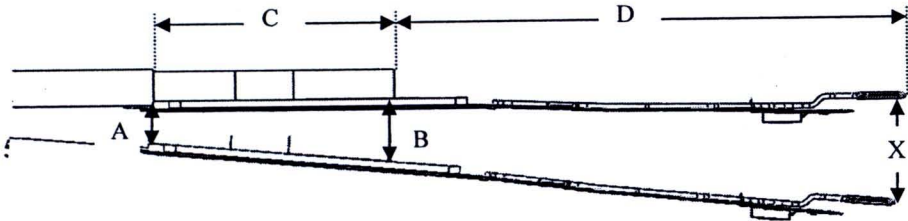
เมื่อ C คือ ระยะจากปลายของแขนแอคทูเอเตอร์ส่วนที่เป็นเส้นตรงถึงขอบโค้งของแขนแอคทูเอเตอร์ซึ่งเป็นค่าคงที่

D คือ ระยะจากขอบ โค้งของแขนแอคทูเอเตอร์ถึงปลายหัวอ่าน/เขียนซึ่งเป็นค่าคงที่ ดังภาพที่ 4.3

ค่าแรงกรัมโหลดสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

$$\text{Gram load} = kX \tag{4.2}$$

เมื่อ k คือค่าคงที่ของแขนแอคทูเอเตอร์



ภาพที่ 4.3 การวัดค่าแรงกรัมโหลดในการทดลอง

4.2 การออกแบบการทดลอง

เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่แม่นยำ แรงที่กดใบมีด และมุมใบมีดของอุปกรณ์คีสเวจที่เหมาะสม ในกระบวนการคีสเวจ จะแบ่งการทดลองออกเป็น 5 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 เพื่อยืนยันความถูกต้องแม่นยำของผลการทดลอง และเพื่อการประหยัดทรัพยากรด้านคอมพิวเตอร์ของกระบวนการสเวจ จะต้องมีการใช้ขนาดของเอลิเมนต์หลายๆขนาด มาเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทดลองจริง โดยพิจารณาที่ค่าแรงกรับโหลด โดยขนาดเอลิเมนต์ของแขนแอคทูเอเตอร์ และแผ่นฐานที่ใช้ 5 ชุด ดังตารางที่ 4.1 ด้วยขนาดของความเร็วของลูกบอล 40 m/s และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (μ) ระหว่าง ลูกบอลกับ แผ่นฐานคือ 0.08 และหาขนาดของเอลิเมนต์ที่เหมาะสม

ตารางที่ 4.1 แสดงขนาดของเอลิเมนต์ของแขนแอคทูเอเตอร์และแผ่นฐาน

	ขนาดของเอลิเมนต์		จำนวนเอลิเมนต์	จำนวนจุดต่อ (Node)
	แขนแอคทูเอเตอร์	แผ่นฐาน		
ชุดที่ 1	0.75	0.375	32,305	41,020
ชุดที่ 2	0.5	0.25	45,475	57,296
ชุดที่ 3	0.375	0.1875	60,886	77,212
ชุดที่ 4	0.3	0.15	77,721	99,124
ชุดที่ 5	0.25	0.125	95,156	119,708

การทดลองที่ 2 เพื่อยืนยันความถูกต้องแม่นยำของผลการทดลอง และเพื่อการประหยัดทรัพยากรด้านคอมพิวเตอร์ของกระบวนการคีสเวจ นำผลจากการทดลอง ที่ 1 มาทดลองกระบวนการคีสเวจต่อ โดยใช้ขนาดเอลิเมนต์เหมือนการทดลอง ที่ 1 ด้วยขนาดของแรงกดที่ใบมีด 5 นิวตัน และมุมของใบมีด 140.43 องศา เหมือนการทำงานจริง และหาขนาดของเอลิเมนต์ที่เหมาะสม

การทดลองที่ 3 เพื่อหาขนาดของแรงกดที่ใบมีดของอุปกรณ์คีสเวจที่ทำให้เกิดการเสียรูปของแขนแอคทูเอเตอร์น้อย โดยขั้นตอนแรกทำการทดลองกระบวนการสเวจด้วยขนาดของความเร็วของลูกบอล 40 m/s สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (μ) ระหว่าง ลูกบอลกับ แผ่นฐานคือ 0.08

และใช้ขนาดของเอลิเมนต์จากการทดลองที่ 1 และ 2 แล้วทำการทดลองกระบวนการตีสเวจต่อโดยใช้ผลจากกระบวนการสเวจในตอนแรก โดยมุมของใบมีด 140.43 องศาเหมือนงานจริง และใช้แรงกดที่ใบมีดของอุปกรณ์ตีสเวจ 5 ขนาด คือ 3 N, 5 N, 7 N, 9 N และ 11 N และหาค่าแรงกรัมโหลดที่มีค่าน้อยที่สุดที่อยู่ในช่วง 2.1 ถึง 2.9 กรัม ซึ่งเป็นช่วงค่าแรงกรัมโหลดที่ยอมรับได้ในการทำงานจริง

การทดลองที่ 4 เพื่อหาขนาดมุมใบมีดของอุปกรณ์ตีสเวจที่ทำให้เกิดการเสีรูปของแกนแอกทูเอเตอร์น้อย โดยขั้นตอนแรกทำการทดลองกระบวนการสเวจด้วยขนาดของความเร็วของลูกบอล 40 m/s สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (μ) ระหว่าง ลูกบอลกับ แผ่นฐานคือ 0.08 และใช้ขนาดของเอลิเมนต์จากการทดลองที่ 1 และ 2 แล้วทำการทดลองกระบวนการตีสเวจต่อโดยใช้ผลจากกระบวนการสเวจในตอนแรก ด้วยแรงกดใบมีด 5 N เหมือนงานจริง และใช้ขนาดของมุมใบมีดของอุปกรณ์ตีสเวจ 5 ขนาด คือ 136.43, 138.43, 140.43, 142.43 และ 144.3 องศา และหาค่าแรงกรัมโหลดที่มีค่าน้อยที่สุดที่อยู่ในช่วง 2.1 ถึง 2.9 กรัม ซึ่งเป็นช่วงค่าแรงกรัมโหลดที่ยอมรับได้ในการทำงานจริง

การทดลองที่ 5 เพื่อหาขนาดของแรงกดที่ใบมีด และขนาดมุมใบมีดของอุปกรณ์ตีสเวจที่ทำให้เกิดการเสีรูปของแกนแอกทูเอเตอร์น้อย โดยขั้นตอนแรกทำการทดลองกระบวนการสเวจด้วยขนาดของความเร็วของลูกบอล 40 m/s สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (μ) ระหว่าง ลูกบอลกับ แผ่นฐานคือ 0.08 และใช้ขนาดของเอลิเมนต์จากการทดลองที่ 1 และ 2 แล้วทำการทดลองกระบวนการตีสเวจต่อโดยใช้ผลจากกระบวนการสเวจในตอนแรก โดยใช้แรงกดที่ใบมีดของอุปกรณ์ตีสเวจ 5 ขนาด คือ 3 N, 5 N, 7 N, 9 N และ 11 N และใช้ขนาดของมุมใบมีดของอุปกรณ์ตีสเวจ 5 ขนาด คือ 136.43, 138.43, 140.43, 142.43 และ 144.3 องศา และหาค่าแรงกรัมโหลดที่มีค่าน้อยที่สุดที่อยู่ในช่วง 2.1 ถึง 2.9 กรัม ซึ่งเป็นช่วงค่าแรงกรัมโหลดที่ยอมรับได้ในการทำงานจริง

4.3 ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method)

ในการวิเคราะห์กระบวนการสเวจ (HSA Swaging Process) และตีสเวจ (HSA De-Swaging Process) เป็นปัญหาที่มีสมการอนุพันธ์ที่ซับซ้อนทำให้หาผลเฉลยแม่นยำตรง (Exact solution) ทำได้ยากมากหรืออาจจะหาไม่ได้เลย จากเหตุผลดังกล่าวการศึกษานี้จึงใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) มาประยุกต์ใช้วิเคราะห์ และทำนายพฤติกรรมการเกิดความเค้น และการเสีรูปของแกนแอกทูเอเตอร์ ที่เกิดขึ้นหลังกระบวนการ ซึ่งระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) ชนิดหนึ่งที่ใช้เพื่อหาผลเฉลยโดยประมาณ (Approximate

Solution) สำหรับปัญหาเชิงอนุพันธ์เชิงย่อยที่อธิบายความเป็นจริงของปัญหานั้นภายใต้เงื่อนไขขอบเขตที่แตกต่างกัน โดยรูปทรงของปัญหาอาจมีความซับซ้อน (Complex Geometry) เช่นใดก็ได้

ขั้นตอนของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มต้นจากการแบ่ง (Discretization) รูปทรงของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ (Element) ย่อยๆ จากนั้นจึงสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Equation) สำหรับแต่ละเอลิเมนต์จากระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยที่สอดคล้องกับปัญหานั้น แล้วจึงรวม (Assemble) สมการจากแต่ละเอลิเมนต์นี้เข้าด้วยกันก่อให้เกิดระบบสมการรวม (Set of Simultaneous Equation) ขนาดใหญ่ซึ่งอธิบายสถานะภาพโดยรวมของปัญหานั้น จากนั้นจึงประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดให้ ก่อนแก้ระบบสมการขนาดใหญ่นี้เพื่อหาผลเฉลยโดยประมาณตามจุดต่อ (Node) ต่างๆ ทั่วทั้งโดเมน (Domain) ของปัญหา โดยในงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปมาช่วยในการคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งขั้นตอนการวิเคราะห์จะแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนหลัก คือ

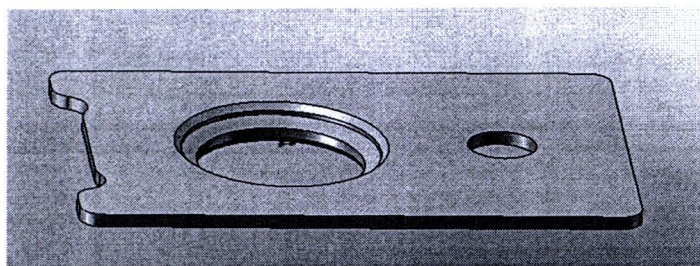
1. ขั้นตอนของกระบวนการขั้นต้น (Pre-Processor) เป็นการสร้างลักษณะรูปร่างของปัญหาและเงื่อนไขขอบเขต
2. ขั้นตอนการวิเคราะห์แก้ปัญหา (Analysis) ซึ่งเป็นหัวใจของโปรแกรมที่ใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ประมวลผลเพื่อหาคำตอบ
3. ขั้นตอนของกระบวนการขั้นท้าย (Post-Processor) เป็นการวิเคราะห์และแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ

4.4 ขั้นตอนของกระบวนการขั้นต้น (Pre-Processor)

4.4.1 การสร้างแบบจำลอง

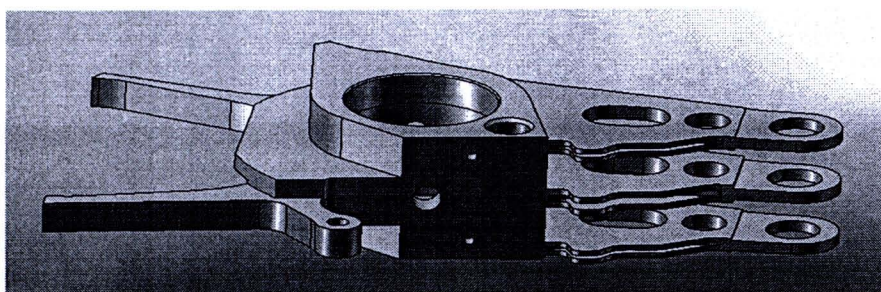
ในขั้นตอนแรกของการวิเคราะห์ คือ การสร้างแบบจำลองจะประกอบด้วยการสร้างแบบจำลองชิ้นส่วนต่างๆ ให้เหมือนกับชิ้นส่วนจริง ทั้งทางกายภาพและการกำหนดสภาวะเงื่อนไขให้สอดคล้องกับทางปฏิบัติ โดยชิ้นส่วนต่างๆ ที่จะทำการวิเคราะห์มี ดังนี้

4.4.1.1 แผ่นฐาน (Base Plate) ดังภาพที่ 4.4 โดยมีหน้าที่เชื่อมต่อกับชุดรองรับหัวอ่าน/เขียนข้อมูล ส่วนล่างของแผ่นฐาน จะมีลักษณะคล้ายๆ ปลอกที่มีขนาดเล็กกว่ารูของแกนแอกทูเอเตอร์เล็กน้อย เพื่อให้ลูกบอลสเวจ เคลื่อนผ่านรูแล้วอัดปลอกของแผ่นฐาน ให้ยึดติดกับผนังรูของแกนแอกทูเอเตอร์



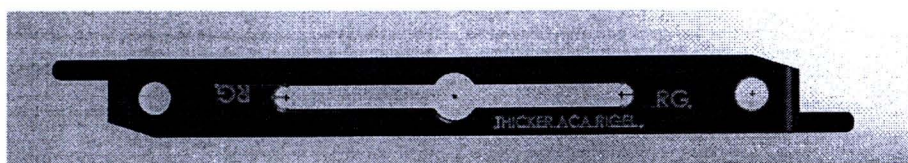
ภาพที่ 4.4 ลักษณะรูปร่างของแผ่นฐาน (Base Plate)

4.4.1.2 แขนแอคทูเอเตอร์ (Actuator arm) ดังภาพที่ 4.5 จะทำหน้าที่รองรับหัวอ่าน/เขียน (HGA) โดยจะประกบยึดแน่นกับแผ่นฐาน หลังจากผ่านกระบวนการสเวจ แขนแอคทูเอเตอร์จะมีความแข็งแรงและความแข็งแกร่งกว่าชิ้นส่วนอื่นๆ เนื่องจากต้องสามารถรับภาระจากน้ำหนักของอุปกรณ์ที่นำมายึดติด และต้องรับแรงในการสเวจได้ดีด้วย ซึ่งในปัจจุบันวัสดุของแขนแอคทูเอเตอร์



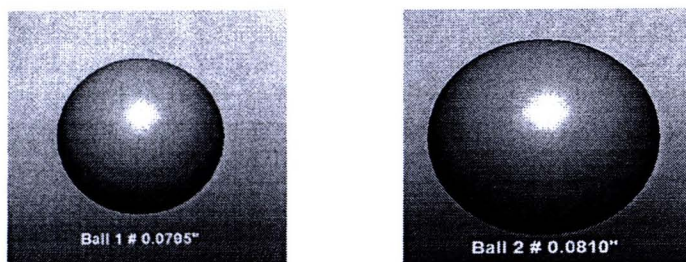
ภาพที่ 4.5 ลักษณะของแขนแอคทูเอเตอร์ (Actuator arm)

4.4.1.3 ชิ้นส่วนรองแขนแอคทูเอเตอร์ในแต่ละหัวอ่าน (Key) มีหน้าที่ในการรองรับแรงกด และยึดให้แขนแต่ละหัวอ่านให้อยู่กับที่ ในระหว่างกระบวนการสเวจ แสดงดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 ลักษณะชิ้นส่วนรองแขนแอคทูเอเตอร์ในแต่ละหัวอ่าน (Key)

4.3.1.4 ลูกบอล ในกระบวนการสเวจ จะใช้ลูกบอล 2 ลูก ที่มีขนาดแตกต่างกันไป ดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 ลูกบอลที่ใช้ในกระบวนการสเวจ ทั้ง 2 ลูก

4.4.1.5 ใบมีด ในกระบวนการดิสเวจทำหน้าที่รับแรงกดจากอุปกรณ์ดิสเวจแล้ว กดลงมาระหว่างแกนแอกทูเอเตอร์กับแผ่นฐาน เพื่อแยกแกนแอกทูเอเตอร์กับแผ่นฐานให้แยกออกจากกัน ดังภาพที่ 4.8

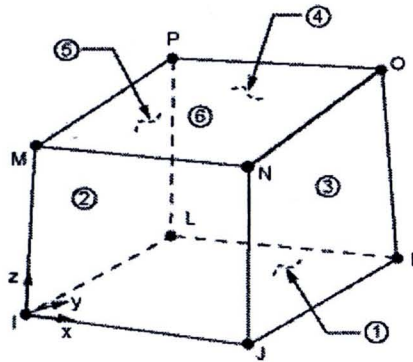


ภาพที่ 4.8 ใบมีดของอุปกรณ์ดิสเวจ

4.4.2 การแบ่งเอลิเมนต์

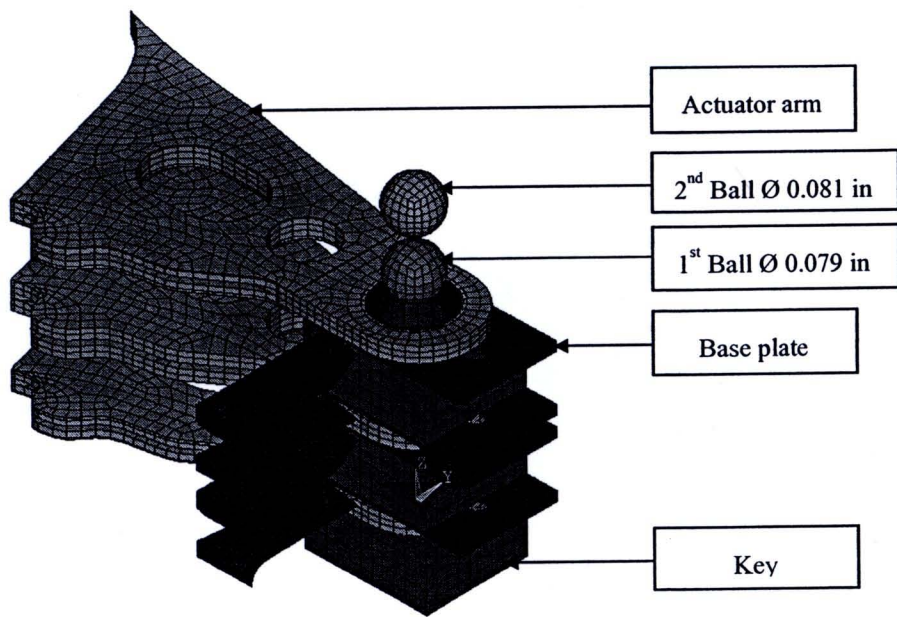
เนื่องจากการวิเคราะห์กระบวนการประกอบหัวอ่าน/เขียนสำเร็จ (HSA Swaging Process) เป็นปัญหาเกี่ยวกับการตกกระแทก (Impact), การชนกัน (Crash) จึงใช้การวิเคราะห์ปัญหาแบบ Explicit Dynamic Analysis เพราะมีความสามารถในการคำนวณแม่นยำ ลดเวลาการคำนวณปัญหาขนาดใหญ่ และสามารถกำหนดผิวสัมผัส (Contact Surface) ได้สะดวก ซึ่งการสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ในขั้นตอนแรกในการวิเคราะห์กระบวนการสเวจ และกระบวนการดิสเวจจะเป็นขั้นตอนการสร้างแบบจำลองของชิ้นส่วนต่างๆ ใน 3 มิติ และแบ่งชิ้นส่วนต่างๆออกเป็นเอลิเมนต์ (Element) ย่อยหลายๆเอลิเมนต์โดยชิ้นส่วนแผ่นฐาน แกนแอกทูเอเตอร์ และลูกบอลจะใช้เอลิเมนต์ SOLID 164 แบบเอลิเมนต์ทรงหกหน้าที่ไม่มีความโค้งตรงกลางด้าน เนื่องจากใช้การวิเคราะห์แบบชัดแจ้ง (Explicit Algorithm) ซึ่งจะไม่ยอมให้มีโหนดตรงกลาง ซึ่งมี

โหนดทั้งหมด 8 โหนด มีการเคลื่อนที่ทั้งหมด 9 องศาอิสระ คือ การเคลื่อนที่ในแนวแกน X (UX), Y (UY), Z (UZ) ความเร็วในแนวแกน X (VX), Y (VY), Z (VZ) และความเร่งในแนวแกน X (AX), Y (AY), Z (AZ) ดังแสดงในภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 แสดงเอลิเมนต์แบบ Solid 164 [7]

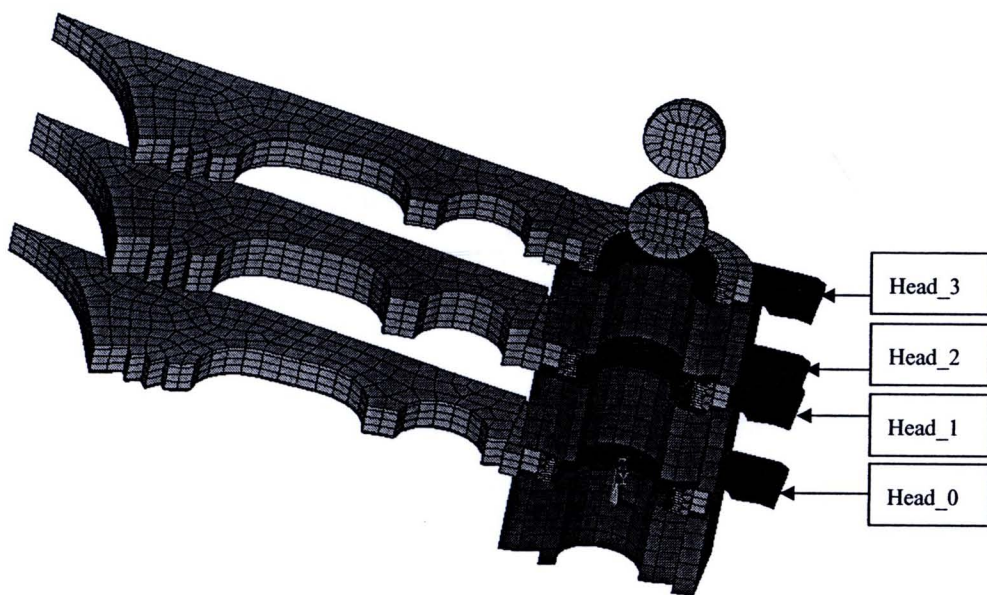
ส่วนไบบิดใช้เอลิเมนต์ SHELL 163 แบบเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมและเอลิเมนต์สามเหลี่ยม เนื่องจากรูปทรงของไบบิดมีรูปร่างที่ซับซ้อน และกำหนดให้ลูกบอลและไบบิดเป็นวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) เนื่องจากลูกบอลและไบบิดมีความแข็งแรงมากเมื่อเทียบกับชิ้นส่วนอื่นๆ ส่วนจำนวนเอลิเมนต์และจำนวนจุดต่อ (node) แสดงดังตารางที่ 4.1 หลังจากทำการแบ่งเอลิเมนต์แล้วนำชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วนมาประกอบกันจะได้ดังภาพที่ 4.10 โดยในชิ้นส่วนของแขนแขนแอคทูเอเตอร์ ชิ้นส่วนรองแขนแอคทูเอเตอร์ (Key) และไบบิดจะถูกตัดออกบางส่วนเพื่อประหยัดเวลา และทรัพยากรคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์



ภาพที่ 4.10 แบบจำลอง 3 มิติหลังจากการแบ่งเอลิเมนต์

โดยแขนแอคทูเอเตอร์ (Actuator arm) จะแบ่งเป็น 3 แขน และมีการประกอบกับแผ่นฐานในแต่ละแขนแตกต่างกันไปดังภาพที่ 4.11 ได้แก่

1. แขนบน ชิ้นส่วนของแผ่นฐาน จะประกอบอยู่ด้านล่างของแขนแอคทูเอเตอร์
2. แขนกลาง จะมีชิ้นส่วนของแผ่นฐาน ประกอบอยู่ทั้งด้านบนและด้านล่างของแอคทูเอเตอร์
3. แขนล่าง ชิ้นส่วนของแผ่นฐาน จะประกอบอยู่ด้านบนของแขนแอคทูเอเตอร์



ภาพที่ 4.11 ลักษณะการประกอบกันระหว่างแอกทูเอเตอร์กับแผ่นฐานในแต่ละแขน

4.4.3 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

การกำหนดเงื่อนไขขอบในการวิเคราะห์ จะกำหนดให้สอดคล้องและใกล้เคียงกับลักษณะของกระบวนการจริงมากที่สุด ซึ่งการกำหนดเงื่อนไขขอบของแต่ละชิ้นส่วนมีรายละเอียดดังนี้

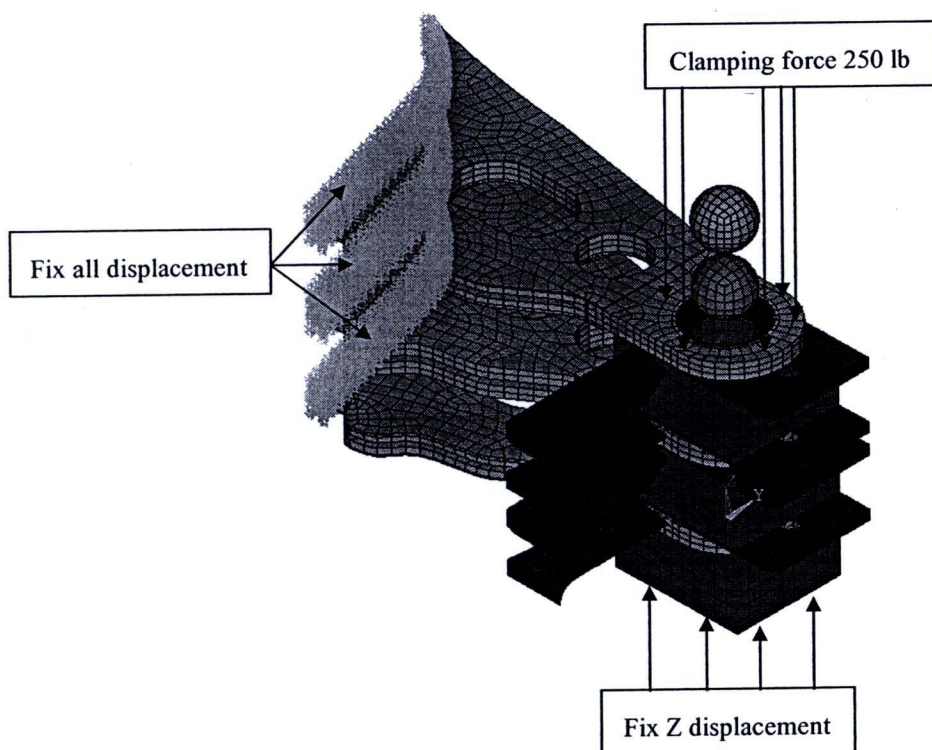
4.4.3.1 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของกระบวนการสเวจ

(1) ลูกบอล กำหนดให้มีความเร็วคงที่ตลอดช่วงเวลาของกระบวนการ ซึ่งในกระบวนการประกอบจริงนั้น จะมีเข็ม (Driving pin) ดันลูกบอลจะเคลื่อนที่ผ่านแผ่นฐาน โดยจะดันด้วยความเร็วคงที่ และลูกบอลจะถูกกำหนดให้เป็นวัตถุแข็งเกร็ง เนื่องจากงานวิจัยนี้ไม่ได้มุ่งเน้นถึงการเสียรูปของลูกบอล

(2) แขนแอกทูเอเตอร์ เมื่อพิจารณาจากกระบวนการ จะพบว่าระนาบกึ่งกลางตามยาวและระนาบที่ตั้งฉากกับความยาวของแขนแอกทูเอเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก และจะมีแรงกด (Clamping force) เพื่อไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ตลอดกระบวนการ ในการวิเคราะห์จึงสามารถลดขนาด ของแบบจำลองแขนแอกทูเอเตอร์ตรงส่วนต้นแขนออกและกำหนดให้ไม่มีการเคลื่อนที่ในทุกทิศทาง (fix all displacement) ที่บริเวณต้นของแขนแอกทูเอเตอร์และกำหนดให้ไม่มี

การเคลื่อนที่ในแนวแกน Z (fix Z displacement) บริเวณด้านล่างของแขนแอคทูเอเตอร์ ดังภาพที่ 4.12

(3) แรงจับยึด (Clamping force) บริเวณด้านบนส่วนของปลายแขนแอคทูเอเตอร์จะมีแรงกดแบบกระจาย โดยมีขนาด 250 lb กระจายรอบๆ รูของแผ่นฐาน สำหรับยิงบอล ดังภาพที่ 4.12 เพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของชิ้นงาน ในขณะที่ยิงลูกบอล



ภาพที่ 4.12 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของกระบวนการสเวจ

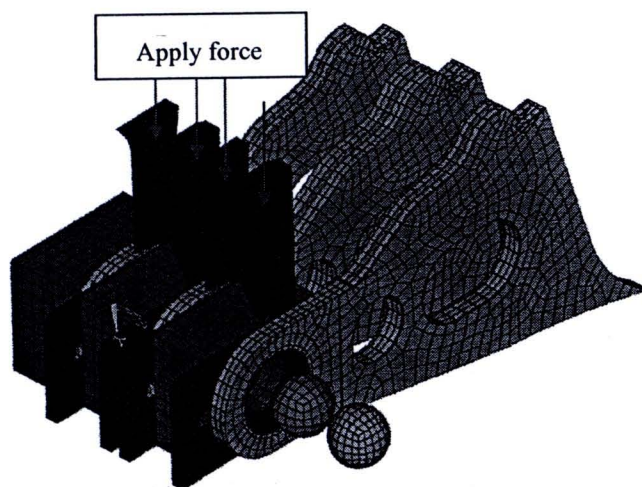
(4) การกำหนดการสัมผัสระหว่างชิ้นงาน ในงานวิจัยนี้กำหนดทุกชิ้นงานที่มีส่วนสัมผัสกัน โดยกำหนดให้เป็นการสัมผัสเป็นแบบ Automatic Surface to Surface Contact เนื่องจากแบบจำลองที่ใช้วิเคราะห์นี้มีการสัมผัสกันแบบผิวสัมผัสกับผิวสัมผัส และไม่มีการฉีกขาดเสียหายของชิ้นงาน ส่วนการกำหนดผิวสัมผัสที่ใช้ในกระบวนการสเวจมีดังนี้

- ลูกบอลกับแผ่นฐาน มีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน 0.08 [28]
- แผ่นฐานกับแขนแอคทูเอเตอร์ มีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน 0.01 [29]

- ชิ้นส่วนรองแกนแอกทูเอเตอร์ในแต่ละหัวอ่านกับแกนแอกทูเอเตอร์ มีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน 0.01 [29]

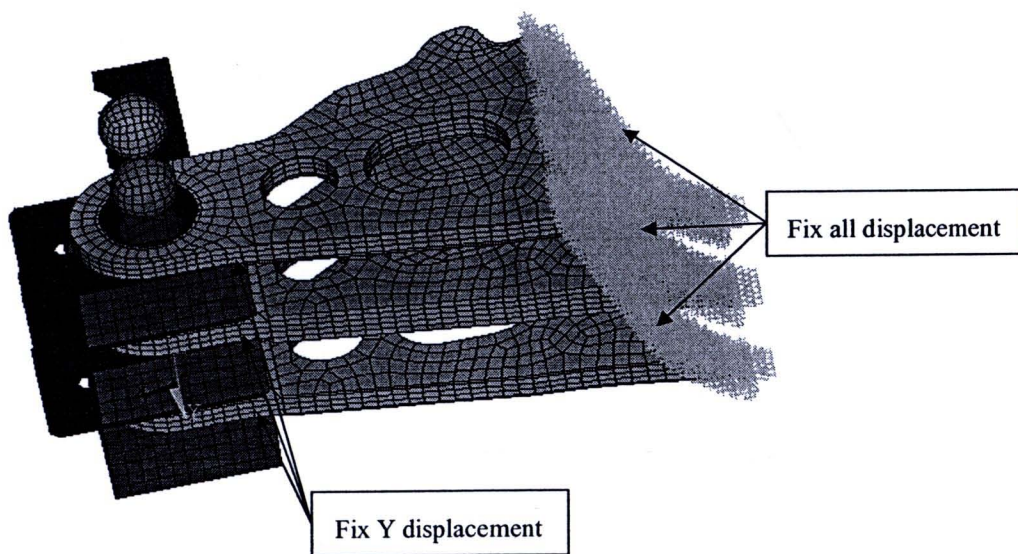
4.4.3.2 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของกระบวนการคีสเวจ

(1) ไบมีด จะถูกแรงกดลงมาด้วยแรงขนาด 3 N, 5 N, 7 N, 9 N และ 11 N ดังภาพที่ 4.13 โดยแรง 5 N เป็นแรงกดที่ใช้ในกระบวนการจริง และถูกกำหนดให้เป็นวัตถุแข็งเกร็ง เนื่องจากงานวิจัยนี้ไม่ได้มุ่งเน้นถึงการเสียรูปของไบมีด



ภาพที่ 4.13 การกำหนดแรงกดไบมีดในกระบวนการคีสเวจ

(2) แกนแอกทูเอเตอร์ เมื่อพิจารณาจากกระบวนการ จะพบว่าระนาบกึ่งกลางตามยาวและระนาบที่ตั้งฉากกับความยาวของแกนแอกทูเอเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก และจะมีแรงกด (Clamping force) เพื่อไม่ให้มีการเคลื่อนที่ตลอดกระบวนการ ในการวิเคราะห์จึงสามารถลดขนาด ของแบบจำลองแกนแอกทูเอเตอร์ตรงส่วนต้นแกนออกและกำหนดให้ไม่มีการเคลื่อนในทุกทิศทาง (fix all displacement) ที่บริเวณขอบของต้นแกนแอกทูเอเตอร์ และกำหนดให้ไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y (fix Y displacement) บริเวณด้านข้างของแกนแอกทูเอเตอร์ ดังภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.14 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของกระบวนการตีแสก

(3) การกำหนดการสัมผัสระหว่างชิ้นงาน ในงานวิจัยนี้กำหนดทุกชิ้นงานที่มีส่วนสัมผัสกัน โดยกำหนดให้เป็นการสัมผัสเป็นแบบ Automatic Surface to Surface Contact เนื่องจากการทดลองนี้มีการสัมผัสกันของผิวสัมผัสกันเท่านั้น ซึ่งในแบบจำลองที่ใช้วิเคราะห์มีชิ้นส่วนสัมผัสกัน และค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานดังนี้

- ใบบิดกับแผ่นฐาน มีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน 0.02 [29]
- ใบบิดกับแขนแอคทูเอเตอร์ มีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน 0.02 [29]
- แผ่นฐานกับแขนแอคทูเอเตอร์ มีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน 0.01 [29]

4.4.3.3 การกำหนดคุณสมบัติของวัสดุ การกำหนดคุณสมบัติของวัสดุ (Material property) เนื่องจากคุณสมบัติวัสดุของชิ้นส่วนแผ่นฐาน แขนแอคทูเอเตอร์ และชิ้นส่วนรองแขนแอคทูเอเตอร์ในแต่ละหัวอ่าน (Key) มีคุณสมบัติวัสดุของแผนภาพความเค้นความเครียดเหมือนกับเป็นเส้นตรงสองเส้น ในการทดลองนี้จึงได้คุณสมบัติวัสดุเป็นแบบ Bilinear kinematic hardening ดังแสดงในภาคผนวก ก ซึ่งเป็นคุณสมบัติวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์แบบ Explicit Dynamic Analysis ด้วย ส่วนลูกบอล และใบบิดได้กำหนดแบบวัสดุแข็งเกร็ง (Rigid bodies to expedite the simulation) เนื่องจากลูกบอล และใบบิดมีความแข็งแรงมากเมื่อเทียบกับชิ้นงานอื่น การกำหนดคุณสมบัติโครงสร้างของวัสดุแต่ละชิ้นส่วนแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงการกำหนดวัสดุและคุณสมบัติของแต่ละชิ้นส่วน [30,31]

ชิ้นส่วน	วัสดุ	Modulus of Elasticity (GPa)	Ultimate Tensile Strength (MPa)	Tensile Yield Strength (MPa)	Density (g/cm ³)	Poisson's Ratio
Ball	SST440C	212	1500*	1000*	8.03	0.30
Base Plate	UNS S30500	212	550	205	8.03	0.30
Key	UNS S30500	212	550	205	8.03	0.30
Arm	Aluminum 6061-T6	69	310	275	2.70	0.33
Blade	SKD 11	207	20256*	2070*	7.7	0.285

* กำหนดให้ลูกบอลและใบมีดเป็นวัสดุแข็งเกร็ง

4.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์แก้ปัญหา (Analysis)

ขั้นตอนนี้จัดเป็นหัวใจของการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปมาช่วยในการคำนวณวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ทั่วไป เป็นขั้นตอนการคำนวณซึ่งเกิดจากการประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ค่อนข้างซับซ้อน อันเป็นผลมาจากการประยุกต์ระเบียบวิธีถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง (Method of Weighted Residuals) เข้ากับระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย ร่วมกับการกำหนดชนิดของเอลิเมนต์ และฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์ (Element Interpolation Functions) นั้น กระบวนการดังกล่าวประกอบด้วย การอินทิเกรตเชิงตัวเลข (Numerical Integration) ก่อให้เกิดสมการไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับแต่ละเอลิเมนต์ สมการไฟไนต์เอลิเมนต์เหล่านี้จะประกอบรวมกันเข้าเป็นระบบสมการขนาดใหญ่ จากนั้นจึงประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตสำหรับปัญหานั้น แล้วแก้ระบบสมการขนาดใหญ่ที่ได้นี้ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข ก่อให้เกิดผลเฉลยโดยประมาณที่จุดต่อต่างๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้ ใช้การประมวลผลโดยใช้วิธีการประมวลผลโดยวิธีชัดแจ้ง ซึ่งคำนวณในลักษณะของฟังก์ชันขึ้นกับเวลาเพื่อให้วัสดุมีการเปลี่ยนรูปแบบถาวร การคำนวณเป็นการคิดสมมูลพลวัตที่เวลาต่างๆ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\Sigma F = ma \quad (4.3)$$

การคำนวณหาความเร่งของมวลในแต่ละเอลิเมนต์ที่เวลาต่างๆ จะใช้วิธี Central difference ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$\{a_t\} = [M]^{-1}([F_t^{\text{ext}}] - [F_t^{\text{int}}]) \quad (4.4)$$

เมื่อ $[M]^{-1}$ คือเมทริกซ์ของมวล, $[F_t^{\text{ext}}]$ คือเวกเตอร์ของภาระที่มากระทำ และ $[F_t^{\text{int}}]$ คือเวกเตอร์ของแรงภายใน

ความเร็วและการเคลื่อนที่สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\{v_{t+\Delta t/2}\} = \{v_{t-\Delta t/2}\} + \{a_t\}\Delta t \quad (4.5)$$

$$\{u_{t+\Delta t}\} = \{u_t\} + \{v_{t+\Delta t/2}\}\Delta t_{t+\Delta t/2} \quad (4.6)$$

เมื่อ

$$\Delta t_{t+\Delta t/2} = 0.5(\Delta t_t + \Delta t_{t+\Delta t})$$

$$\Delta t_{t-\Delta t/2} = 0.5(\Delta t_t - \Delta t_{t+\Delta t})$$

ความเสถียรของกระบวนการคำนวณขึ้นอยู่กับ การแบ่งเวลาออกเป็นช่วงย่อยๆ ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$\Delta t = \frac{1}{c} \quad (4.7)$$

เมื่อ l คือความยาวของเอลิเมนต์ และ c คือความเร็วของ Wave propagation สามารถคำนวณได้จาก

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (4.8)$$

4.6 ขั้นตอนของกระบวนการขั้นท้าย (Post-Processor)

การทดลองนี้จะมุ่งศึกษาการเสียรูปของแขนแอคทูเอเตอร์ในกระบวนการดิสเวจ ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้ค่าแรงกัมโหลคเป็นตัววัดค่าการเสียรูปของแขนแอคทูเอเตอร์ แต่ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ไม่สามารถแสดงค่าแรงกัมโหลคที่เกิดขึ้นหลังจากผ่านกระบวนการบอลลสเวจ และกระบวนการดิสเวจได้โดยตรง ดังนั้นจึงต้องนำผลระยะการเสียรูปของแขนแอคทูเอเตอร์ในแนวแกน Z มาคำนวณหาค่าแรงกัมโหลคขั้นตอนหนึ่ง