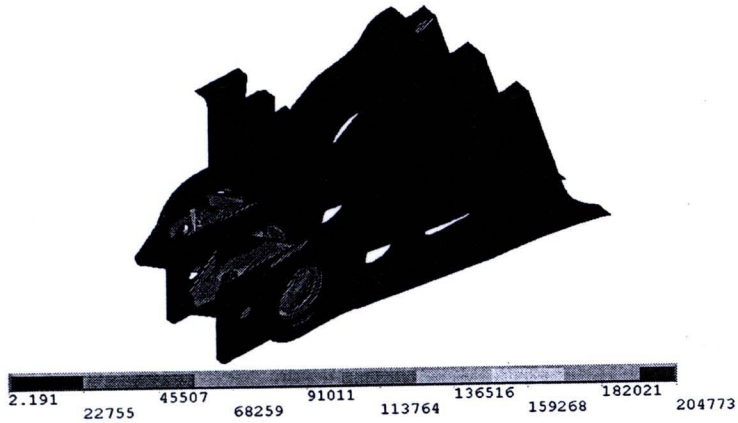
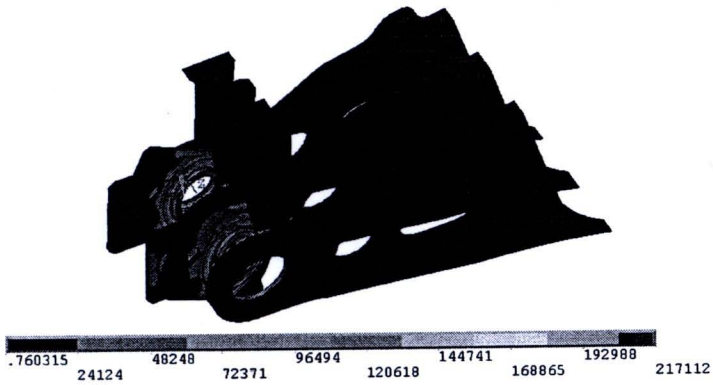
บทที่ 5
ผลการศึกษา

การวิเคราะห์กระบวนการดีสเวจ ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method, FEM) ของการศึกษานี้จะศึกษาการเสียรูปของแขนแอคทูเอเตอร์ โดยการออกแรงกดใบมีดให้กดแผ่นฐาน แผ่นฐานจะโก่งตัวเพื่อแยกออกจากแขนแอคทูเอเตอร์ โดยความเค้นจะกระจายไปทั่วแผ่นฐาน และเกิดความเค้นมากที่จุดสัมผัสระหว่างใบมีดและแผ่นฐาน และที่รอบๆรูของแขนแอคทูเอเตอร์และแผ่นฐาน เนื่องจากที่รอบๆรูของแขนแอคทูเอเตอร์และแผ่นฐานเป็นจุดที่ยึดติดระหว่างแผ่นฐานและแขนแอคทูเอเตอร์ที่เกิดจากกระบวนการสเวจ พอมีแรงกดแยกของใบมีดในแนวแกน Y มาแยกแผ่นฐานออกจากแขนแอคทูเอเตอร์ จะทำให้ความเค้นเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆที่รอบๆรูนี้ จนมีค่าเกินจุดคราก (Yield Point) ทำให้ขอบรอบรูของแผ่นฐานเสียรูปถาวรหลุดแยกออกจากแขนแอคทูเอเตอร์ พอแผ่นฐานหลุดแยกออกจากแขนแอคทูเอเตอร์แล้วความเค้นและความเครียดจะมีค่าลดลง และเกิดความเค้นตกค้างบนแขนแอคทูเอเตอร์ทำให้แขนแอคทูเอเตอร์เกิดการเสียรูป ดังภาพที่ 5.1 และ ภาพที่ 5.2

โดยการเสียรูปของแขนแอคทูเอเตอร์ในแนวแกน Z ของการทดลองนี้จะแสดงอยู่ในรูปของแรงกรัมโหลด และมีการนำผลการเสียรูปของแขนแอคทูเอเตอร์ในแนวแกน Z ที่ได้จากกระบวนการดีสเวจจริง (Actual De-Swage Process) ในรูปของค่าแรงกรัมโหลด มาเปรียบเทียบกัน ส่วนพฤติกรรมการเกิดความเค้น และความเครียดจากกระบวนการดีสเวจ ได้แสดงดังภาคผนวก ข



ภาพที่ 5.1 การเสียรูปของแขนแอคทูเอเตอร์ในกระบวนการดีสเวจของหัวอ่านที่ 0 และหัวอ่านที่ 2

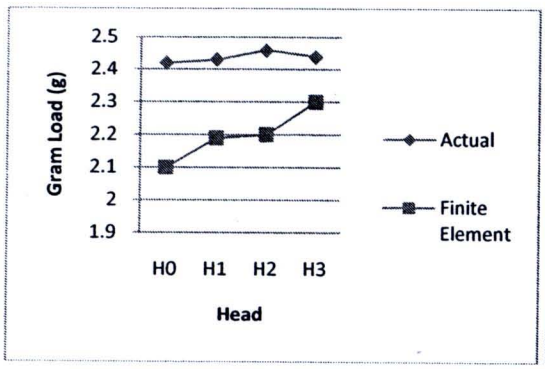


ภาพที่ 5.2 การเสียรูปของแขนแอคทูเอเตอร์ในกระบวนการดีสเวจของหัวอ่านที่ 1 และหัวอ่านที่ 3

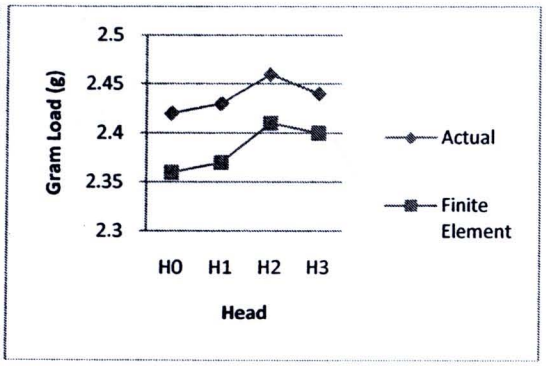
ผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ 1

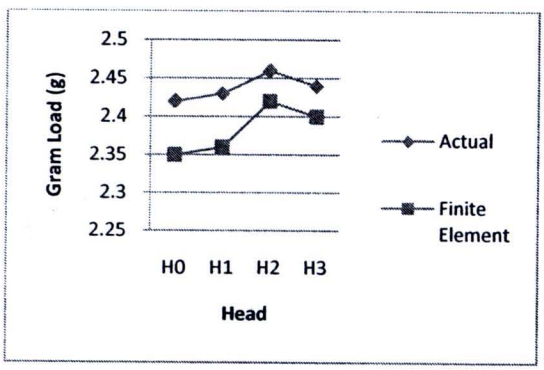
ผลการทดลองที่ 1 เพื่อยืนยันความถูกต้องแม่นยำของผลการทดลอง และเพื่อการประหยัดทรัพยากรด้านคอมพิวเตอร์ของกระบวนการสเวจ จะต้องมีการใช้ขนาดของเอลิเมนต์หลายๆขนาดมาเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทดลองจริง โดยพิจารณาที่ค่าแรงกรัมโหลด โดยขนาดเอลิเมนต์ของแขนแอคทูเอเตอร์ และแผ่นฐานที่ใช้ 5 ชุด ดังตารางที่ 4.1 ด้วยขนาดของความเร็วของลูกบอล 40 m/s และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (μ) ระหว่าง ลูกบอลกับ แผ่นฐานเป็น 0.08 ผลการวิเคราะห์ค่าแรงกรัมโหลดของการทดลองที่ใช้ขนาดเอลิเมนต์ของแขนแอคทูเอเตอร์และแผ่นฐานชุดที่ 1 มีค่าต่างจากผลการทดลองจริงมาก ส่วนขนาดเอลิเมนต์ของแขนแอคทูเอเตอร์และแผ่นฐานชุดที่ 2, ชุดที่ 3, ชุดที่ 4 และชุดที่ 5 มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองจริงและมีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 4 ชุด ดังภาพที่ 5.3 และตารางที่ 5.1 แต่ขนาดเอลิเมนต์ของแขนแอคทูเอเตอร์ และแผ่นฐานชุดที่ 3, ชุดที่ 4 และชุดที่ 5 ใช้เวลาในการประมวนผลมากกว่าชุดที่ 2 ดังนั้นจึงเลือกขนาดเอลิเมนต์ของแขนแอคทูเอเตอร์ และแผ่นฐานชุดที่ 2 ในการทดลองกระบวนการสเวจ



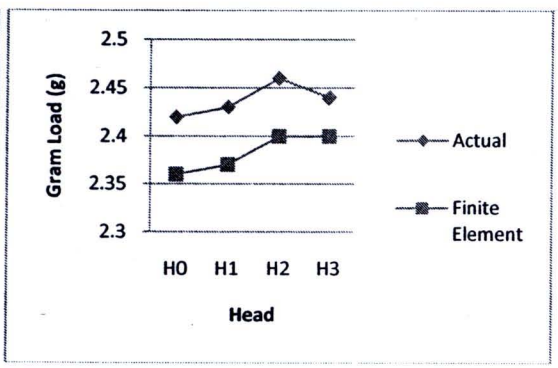
(ก)



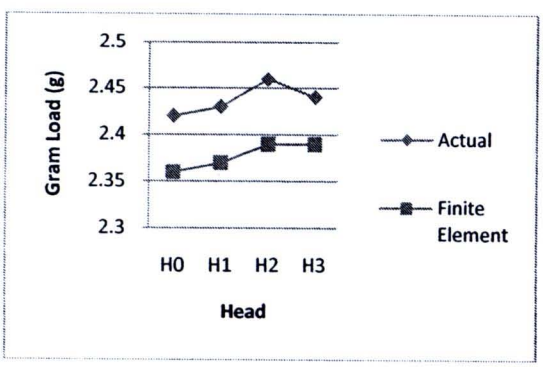
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

ภาพที่ 5.3 ค่าแรงกรัมโหลดในกระบวนการสเวจ ที่ขนาดของเอลิเมนต์ต่างๆ

(ก) ชุดที่1 (ข) ชุดที่ 2 (ค) ชุดที่ 3

(ง) ชุดที่ 4 (จ) ชุดที่ 5

ตารางที่ 5.1 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าแรงกรัมโหลดในกระบวนการสเวจ ที่ขนาดของเอลิเมนต์ต่างๆ

ชุดที่ 1

Head	% Error
H0	-13.22
H1	-9.88
H2	-10.57
H3	-5.74

เวลาในการประมวนผล 2 ช.ม. 47 นาที

ชุดที่ 2

Head	% Error
H0	-2.48
H1	-2.47
H2	-2.03
H3	-1.64

เวลาในการประมวนผล 3 ช.ม. 54 นาที

ชุดที่ 3

Head	% Error
H0	-2.89
H1	-2.89
H2	-1.63
H3	-1.64

เวลาในการประมวนผล 5 ช.ม. 18 นาที

ชุดที่ 4

Head	% Error
H0	-2.48
H1	-2.47
H2	-2.44
H3	-1.64

เวลาในการประมวนผล 6 ช.ม. 45 นาที

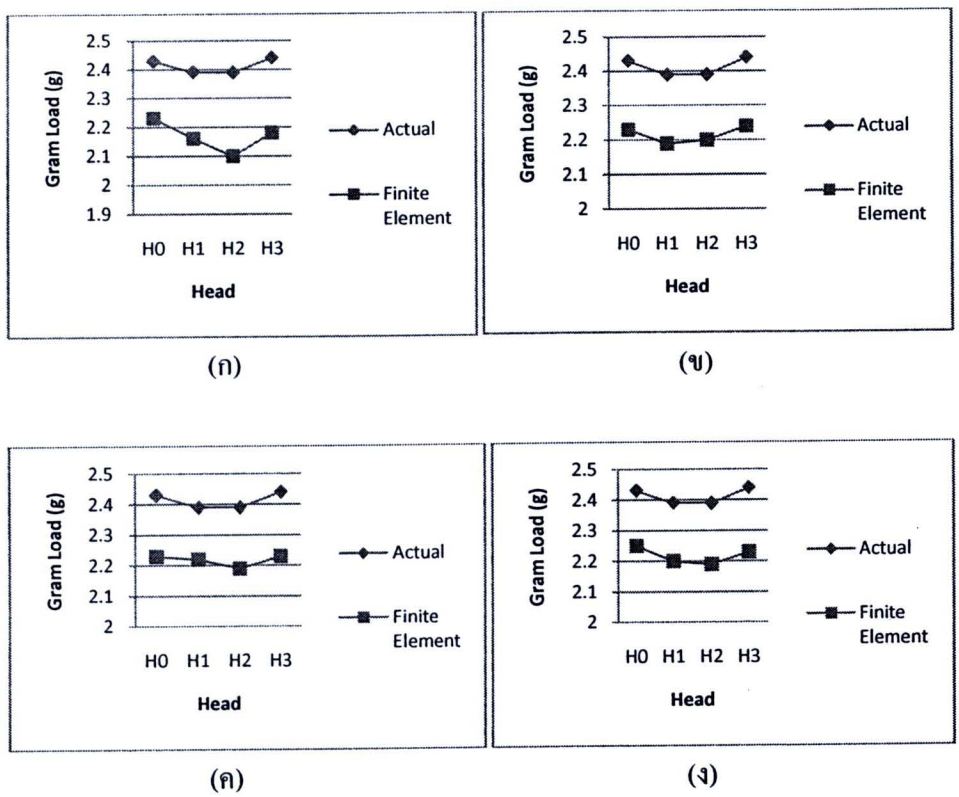
ชุดที่ 5

Head	% Error
H0	-2.48
H1	-2.47
H2	-2.85
H3	-2.05

เวลาในการประมวนผล 7 ช.ม. 29 นาที

ผลการทดลองที่ 2

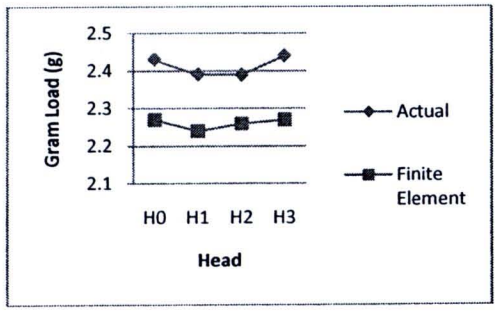
ผลการทดลองที่ 2 เพื่อยืนยันความถูกต้องแม่นยำของผลการทดลอง และเพื่อการประหยัดทรัพยากรด้านคอมพิวเตอร์ของกระบวนการดีสเวจ นำผลจากการทดลอง ที่ 1 มาทดลองกระบวนการดีสเวจต่อ โดยใช้ขนาดเอลิเมนต์เหมือนการทดลอง ที่ 1 ด้วยขนาดของแรงกดที่ใบมีด 5 N และมุมของใบมีด 140.43 องศา เหมือนการทำงานจริง ผลการวิเคราะห์ค่าแรงกรัมโหลดของการทดลองที่ใช้ขนาดเอลิเมนต์ของแขนแอคทูเอเตอร์ และแผ่นฐานชุดที่ 1 มีค่าต่างจากผลการทดลองจริงมาก ส่วนขนาดเอลิเมนต์ของแขนแอคทูเอเตอร์ และแผ่นฐานชุดที่ 2, ชุดที่ 3, ชุดที่4 และชุดที่ 5 มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองจริงและมีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 4 ชุด ดังภาพที่ 5.4 และตารางที่ 5.2 แต่ขนาดเอลิเมนต์ของแขนแอคทูเอเตอร์ และแผ่นฐานชุดที่ 3, ชุดที่ 4 และชุดที่ 5 ใช้เวลาในการประมวนผลมากกว่าชุดที่ 2 ดังนั้นจึงเลือกขนาดเอลิเมนต์ของแขนแอคทูเอเตอร์ และแผ่นฐานชุดที่ 2 ในการทดลองกระบวนการดีสเวจซึ่งสอดคล้องกันกับผลการทดลองที่ 1



ภาพที่ 5.4 ค่าแรงกรัมโหลดในกระบวนการดีสเวจ ที่ขนาดของเอลิเมนต์ต่างๆ

(ก) ชุดที่1 (ข) ชุดที่ 2 (ค) ชุดที่ 3

(ง) ชุดที่ 4



(จ)

ภาพที่ 5.4 ค่าแรงกรัมโหลดในกระบวนการดีสเวจ ที่ขนาดของเอลิเมนต์ต่างๆ (ต่อ)
(จ) ชุดที่ 5

ตารางที่ 5.2 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าแรงกรัมโหลดในกระบวนการดีสเวจ ที่ขนาดของเอลิเมนต์ต่างๆ

ชุดที่ 1

Head	% Error
H0	-8.23
H1	-9.62
H2	-12.13
H3	-10.66

เวลาในการประมวนผล 16 ช.ม. 4นาที

ชุดที่ 2

Head	% Error
H0	-8.23
H1	-8.37
H2	-7.95
H3	-8.19

เวลาในการประมวนผล 18 ช.ม. 38นาที

ชุดที่ 3

Head	% Error
H0	-8.23
H1	-7.11
H2	-8.37
H3	-8.6

เวลาในการประมวนผล 21 ช.ม. 32นาที

ชุดที่ 4

Head	% Error
H0	-7.4
H1	-7.95
H2	-8.37
H3	-8.61

เวลาในการประมวนผล 22 ช.ม.31นาที

ตารางที่ 5.2 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าแรงกรัมโหลดในกระบวนการดีสเวจ ที่ขนาดของเอลิเมนต์ต่างๆ (ต่อ)

ชุดที่ 5

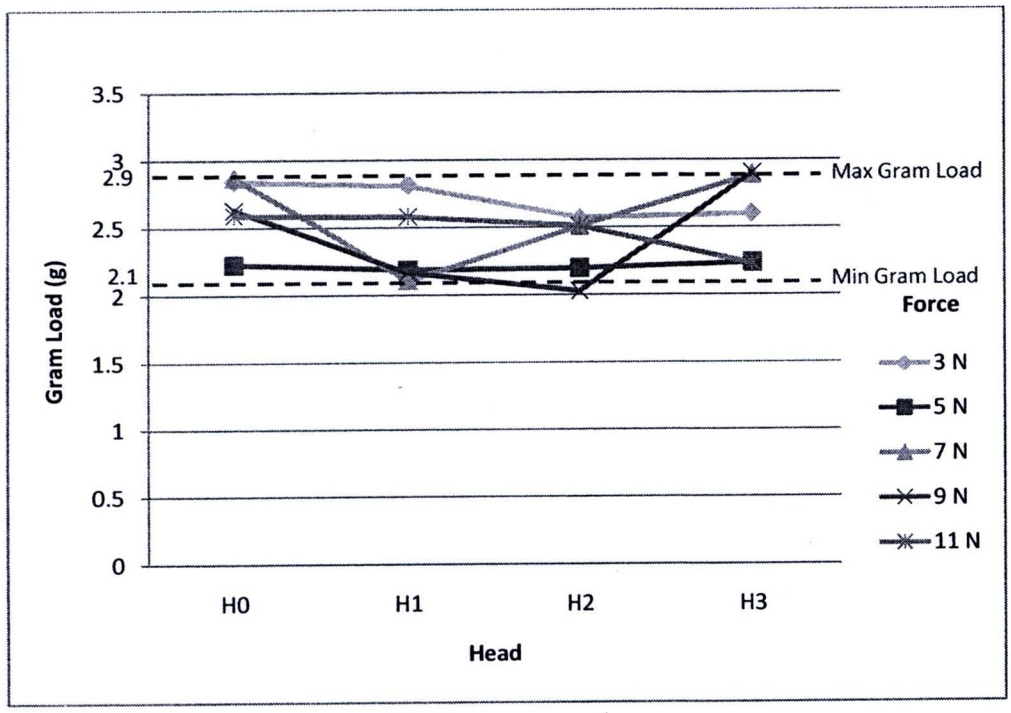
Head	% Error
H0	-6.59
H1	-6.27
H2	-5.44
H3	-6.97

เวลาในการประมวนผล 22ช.ม. 55นาที

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ผลการทดลองที่ 3

ผลการทดลองที่ 3 เพื่อหาขนาดของแรงกดที่ใบมีดของอุปกรณ์ดีสเวจที่ทำให้เกิดการเสียรูปของแขนแอคทูเอเตอร์น้อย โดยขั้นตอนแรกทำการทดลองกระบวนการสเวจด้วยขนาดของความเร็วของลูกบอล 40 m/s สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (μ) ระหว่าง ลูกบอลกับ แผ่นฐานคือ 0.08 และใช้ขนาดของเอลิเมนต์จากการทดลองที่ 1 และ 2 แล้วทำการทดลองกระบวนการดีสเวจต่อ โดยใช้ผลจากกระบวนการสเวจในตอนแรก โดยมุมของใบมีด 140.3 องศาเหมือนงานจริง และใช้แรงกดที่ใบมีดของอุปกรณ์ดีสเวจ 5 ขนาด คือ 3 N, 5 N, 7 N, 9 N และ 11 N ผลการวิเคราะห์ค่าแรงกรัมโหลดที่มีค่าน้อยที่สุดที่อยู่ในช่วง 2.1 ถึง 2.9 กรัม ซึ่งเป็นช่วงค่าแรงกรัมโหลดที่ยอมรับได้ในการทำงานจริง พบว่า ค่าแรงกรัมโหลดของหัวอ่านที่ 0 (H0) มีค่าน้อยที่สุดที่อยู่ในช่วง 2.1 ถึง 2.9 กรัม เมื่อใช้แรงกดของใบมีดขนาด 5 N ค่าแรงกรัมโหลดของหัวอ่านที่ 1 (H1) มีค่าน้อยที่สุดที่อยู่ในช่วง 2.1 ถึง 2.9 กรัม เมื่อใช้แรงกดของใบมีดขนาด 5 N และ 9 N ค่าแรงกรัมโหลดของหัวอ่านที่ 2 (H2) มีค่าน้อยที่สุดที่อยู่ในช่วง 2.1 ถึง 2.9 กรัม เมื่อใช้แรงกดของใบมีดขนาด 5 N และค่าแรงกรัมโหลดของหัวอ่านที่ 3 (H3) มีค่าน้อยที่สุดที่อยู่ในช่วง 2.1 ถึง 2.9 กรัม เมื่อใช้แรงกดของใบมีดขนาด 5 N ดังภาพที่ 5.5 และจากผลการทดลองจะเห็นได้ชัดเจนว่าค่าของแรงกดใบมีดที่เหมาะสมคือแรงกดของใบมีด 5 N โดยมุมของใบมีด 140.43 องศาเหมือนงานจริง อนึ่งสาเหตุที่หัวอ่านแต่ละหัวมีค่าแรงกรัมโหลดที่น้อยที่สุดโดยใช้ค่าแรงกดต่างกัน เนื่องจากในกระบวนการสเวจหัวอ่านแต่ละหัวมีการยึดติดกันระหว่างแขนแอคทูเอเตอร์และแผ่นฐานต่างกัน

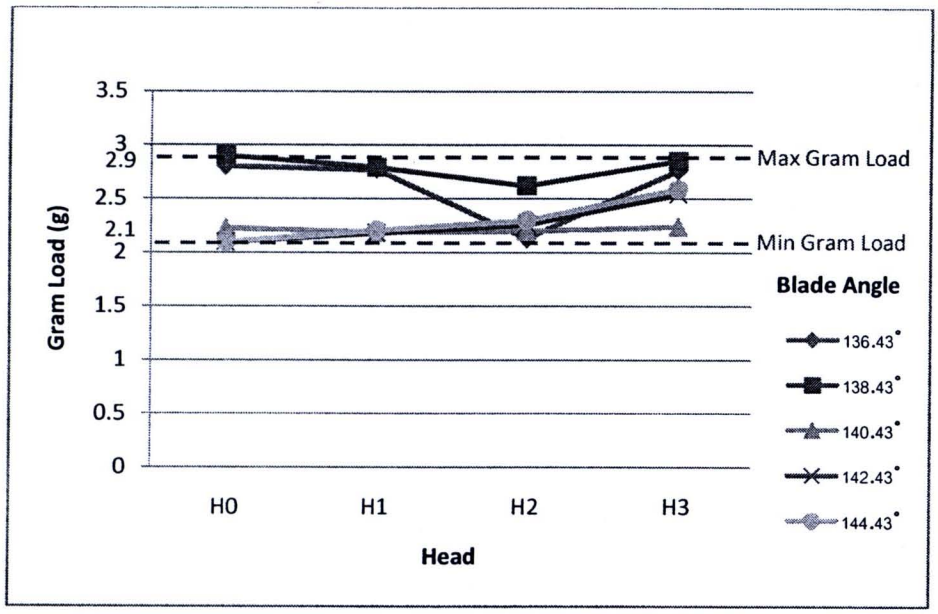


ภาพที่ 5.5 ค่าแรงกรัมโหลด ด้วยมุมใบมีด 140.43 องศา ที่ขนาดของแรงต่างๆ

ผลการทดลองที่ 4

ผลการทดลองที่ 4 เพื่อหาขนาดมุมใบมีดของอุปกรณ์ดีสเวจที่ทำให้เกิดการเสียรูปของแขนแอคทูเอเตอร์น้อย โดยขั้นตอนแรกทำการทดลองกระบวนการสเวจด้วยขนาดของความเร็วของลูกบอล 40 m/s สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (μ) ระหว่าง ลูกบอลกับ แผ่นฐานคือ 0.08 และใช้ขนาดของเอลิเมนต์จากการทดลองที่ 1 และ 2 แล้วทำการทดลองกระบวนการดีสเวจต่อโดยใช้ผลจากกระบวนการสเวจในตอนแรก ด้วยแรงกดใบมีด 5 N เหมือนงานจริง และใช้ขนาดของมุมใบมีดของอุปกรณ์ดีสเวจ 5 ขนาด คือ 136.43, 138.43, 140.43, 142.43 และ 144.3 องศา และวิเคราะห์หาค่าแรงกรัมโหลดที่มีค่าน้อยที่สุดที่อยู่ในช่วง 2.1 ถึง 2.9 กรัม ซึ่งเป็นช่วงค่าแรงกรัมโหลดที่ยอมรับได้ในการทำงานจริง ผลการวิเคราะห์ค่าแรงกรัมโหลดพบว่า ค่าแรงกรัมโหลดของหัวอ่านที่ 0 (H0) ค่าน้อยที่สุดที่อยู่ในช่วง 2.1 ถึง 2.9 กรัม เมื่อใช้ขนาดมุมใบมีด 140.43 องศา ค่าแรงกรัมโหลดของหัวอ่านที่ 1 (H1) ค่าน้อยที่สุดที่อยู่ในช่วง 2.1 ถึง 2.9 กรัม เมื่อใช้ขนาดมุมใบมีด 140.43 และ 144.43 องศา ค่าแรงกรัมโหลดของหัวอ่านที่ 2 (H2) ค่าน้อยที่สุดที่อยู่ในช่วง 2.1 ถึง 2.9 กรัม เมื่อใช้ขนาดมุมใบมีด 140.43 องศา และค่าแรงกรัมโหลดของหัวอ่านที่ 3 (H3) ค่าน้อย

ที่สุดที่อยู่ในช่วง 2.1 ถึง 2.9 กรัม เมื่อใช้ขนาดมุมใบมีด 140.43 องศา ดังภาพที่ 5.6 และจากผลการทดลองจะเห็นได้ชัดเจนว่าค่าของมุมใบมีดที่เหมาะสมคือ 140.3 องศา โดยใช้แรงกดของใบมีด 5 N เหมือนงานจริง อนึ่งสาเหตุที่หัวอ่านแต่ละหัวมีค่าแรงกรัมโหลดที่น้อยที่สุดโดยใช้ค่าแรงกดต่างกัน เนื่องจากในกระบวนการสเวจหัวอ่านแต่ละหัวมีการยึดติดกันระหว่างแขนแอคทูเอเตอร์และแผ่นฐานต่างกัน

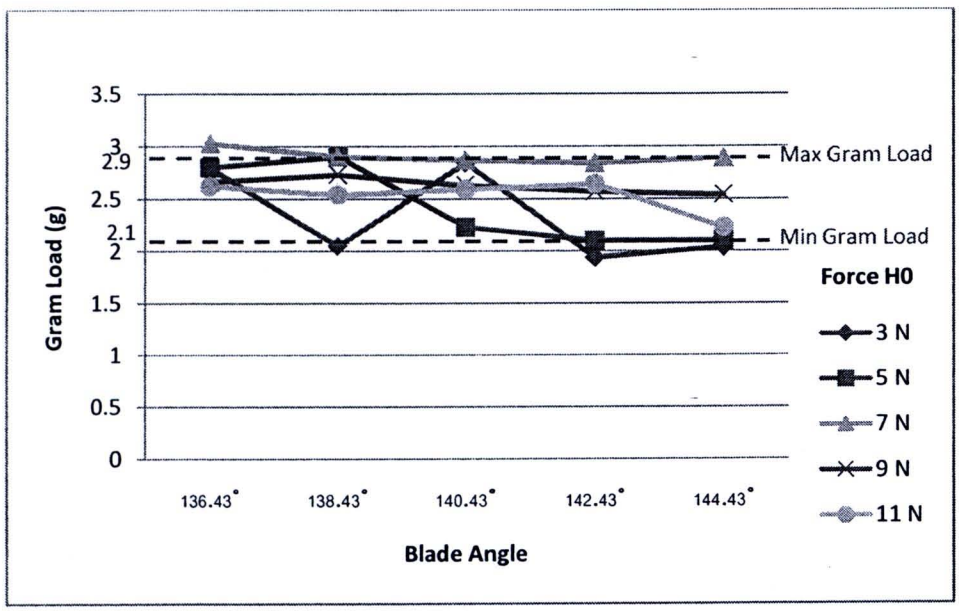


ภาพที่ 5.6 ค่าแรงกรัมโหลด โดยใช้แรง 5 N ที่ขนาดของมุมใบมีดต่างๆ

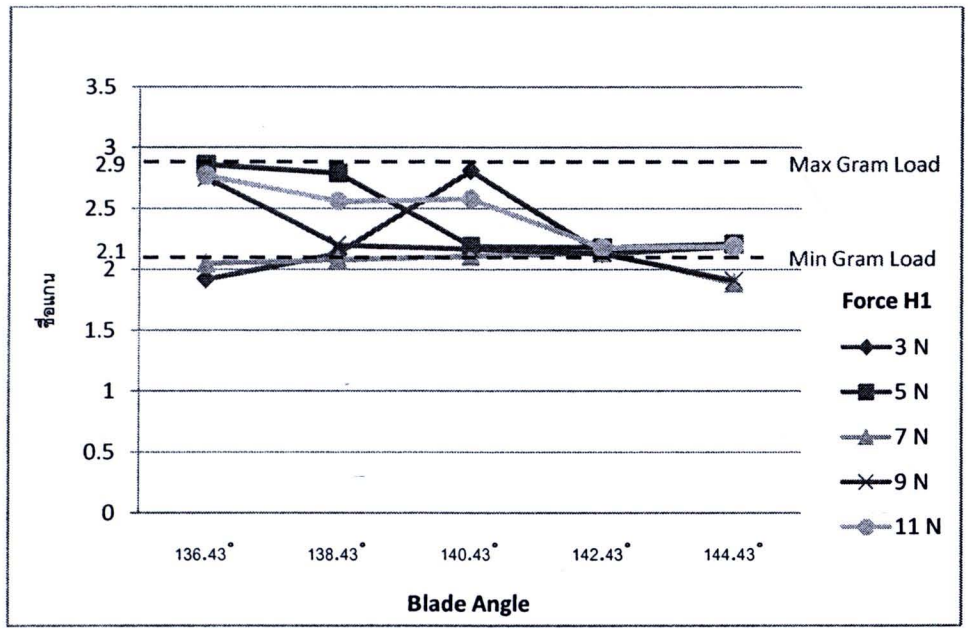
ผลการทดลองที่ 5

ผลการทดลองที่ 5 เพื่อหาขนาดของแรงกดที่ใบมีด และขนาดมุมใบมีดของอุปกรณ์ดีสเวจที่ทำให้เกิดการเสียรูปของแขนแอคทูเอเตอร์น้อย โดยขั้นตอนแรกทำการทดลองกระบวนการสเวจด้วยขนาดของความเร็วของลูกบอล 40 m/s สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (μ) ระหว่าง ลูกบอลกับ แผ่นฐานคือ 0.08 และใช้ขนาดของเอลิเมนต์จากการทดลองที่ 1 และ 2 แล้วทำการทดลองกระบวนการดีสเวจต่อโดยใช้ผลจากกระบวนการสเวจในตอนแรก และใช้แรงกดที่ใบมีดของอุปกรณ์ดีสเวจ 5 ขนาด คือ 3 N, 5 N, 7 N, 9 N และ 11 N และใช้ขนาดของมุมใบมีดของอุปกรณ์ดีสเวจ 5 ขนาด คือ 136.43, 138.43, 140.43, 142.43 และ 144.43 องศา ผลการวิเคราะห์การ

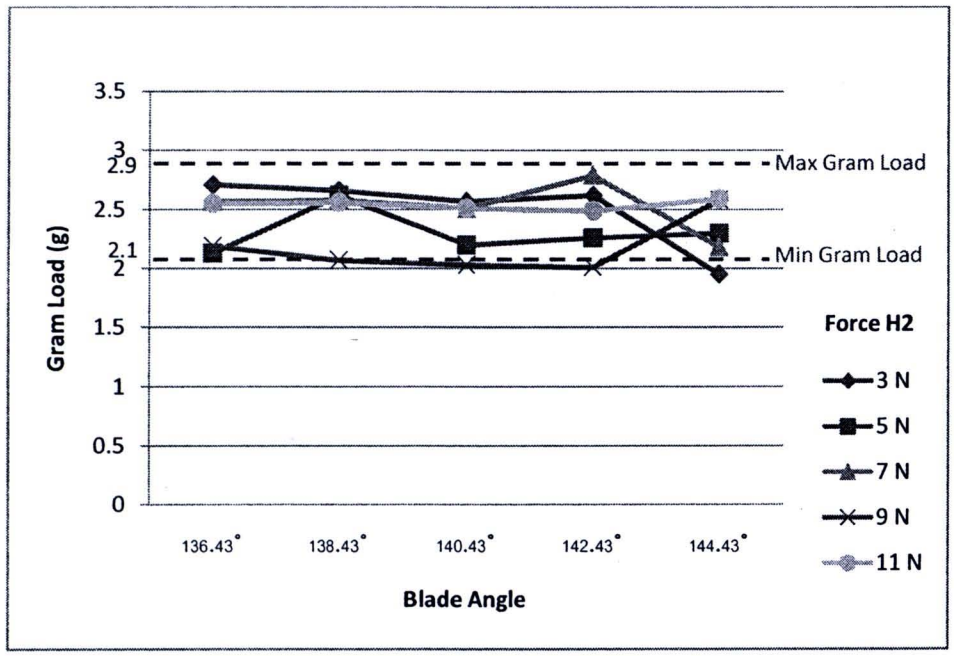
เสียรูปของแขนแอคทูเอเตอร์ในรูปของค่าแรงกรัมโหลดค่าน้อยที่สุดที่อยู่ในช่วง 2.1 ถึง 2.9 กรัมซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ในการทำงานจริงของหัวอ่านแต่ละหัว พบว่าค่าแรงกรัมโหลดของหัวอ่านที่ 0 มีค่าแรงกรัมโหลดที่น้อยที่สุดที่อยู่ในช่วง 2.1 ถึง 2.9 กรัม เมื่อใช้แรงกด 5 N และมุมของใบมีดเป็น 140.43 องศา ดังภาพที่ 5.7 ค่าแรงกรัมโหลดของหัวอ่านที่ 1 มีค่าแรงกรัมโหลดที่น้อยที่สุดที่อยู่ในช่วง 2.1 ถึง 2.9 กรัม เมื่อใช้แรงกด 5 N และมุมของใบมีดเป็น 140.43 องศา ดังภาพที่ 5.8 ค่าแรงกรัมโหลดของหัวอ่านที่ 2 มีค่าแรงกรัมโหลดที่น้อยที่สุดที่อยู่ในช่วง 2.1 ถึง 2.9 กรัม เมื่อใช้แรงกด 5 N และมุมของใบมีดเป็น 140.43 องศา ดังภาพที่ 5.9 และค่าแรงกรัมโหลดของหัวอ่านที่ 3 มีค่าแรงกรัมโหลดที่น้อยที่สุดที่อยู่ในช่วง 2.1 ถึง 2.9 กรัม เมื่อใช้แรงกด 5 N และ 11 N และมุมของใบมีดเป็น 140.43 องศา ดังภาพที่ 5.10 และเมื่อวิเคราะห์ค่าแรงกรัมโหลดของหัวอ่านทั้งชุดพบว่าค่าแรงกด 5 N และมุมของใบมีด 140.43 องศา ทำให้เกิดค่าแรงกรัมโหลดมีค่าที่น้อยที่สุดที่อยู่ในช่วง 2.1 ถึง 2.9 กรัม ดังนั้นค่าแรงกด 5 N และมุมของใบมีด 140.43 องศา จึงมีความเหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในกระบวนการดีสเวจ



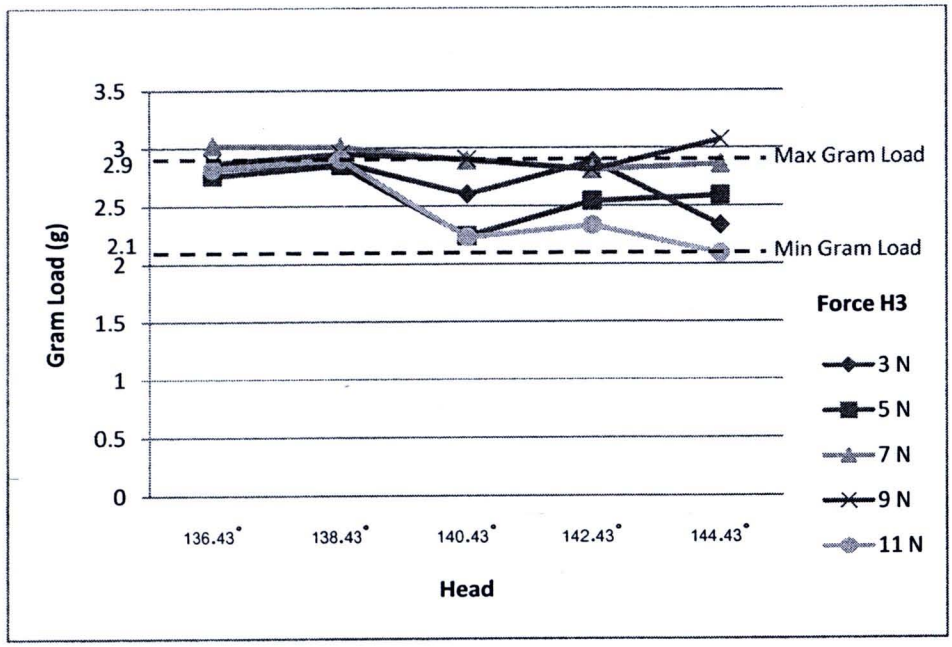
ภาพที่ 5.7 ค่าแรงกรัมโหลดของหัวอ่านที่ 0 ที่ใช้มุมใบมีดและขนาดของแรงต่างๆ



ภาพที่ 5.8 ค่าแรงกรัมโหลดของหัวอ่านที่ 1 ที่ใช้มุมใบมีดและขนาดของแรงต่างๆ



ภาพที่ 5.9 ค่าแรงกรัมโหลดของหัวอ่านที่ 2 ที่ใช้มุมใบมีดและขนาดของแรงต่างๆ



ภาพที่ 5.10 ค่าแรงกรัมโหลดของหัวอ่านที่ 3 ที่ใช้มุมใบมีดและขนาดของแรงต่างๆ