

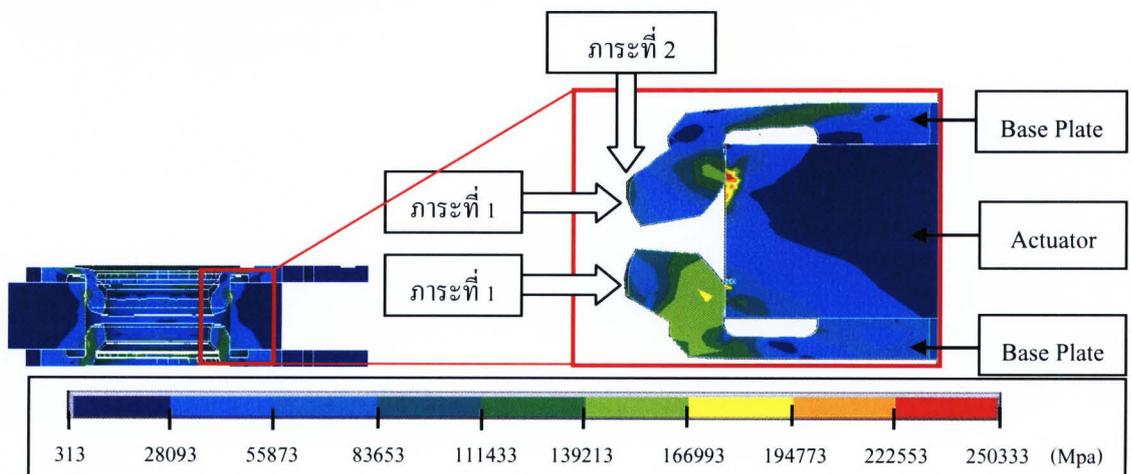
บทที่ 5

ผลการศึกษา

การวิเคราะห์กระบวนการสเวจโดยใช้ลูกบอล (Ball Swaging Process) การด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน คือ การวิเคราะห์พฤติกรรมของกระบวนการสเวจโดยใช้ลูกบอล (Ball Swaging Process) และ การวิเคราะห์ในแง่ของคุณภาพการยึดติดระหว่างแผ่นฐาน (Base Plate) และแขนยึดหัวอ่าน/เขียน (Actuator Arm) และการเปลี่ยนรูปที่เกิดขึ้น หลังจากเปลี่ยนตัวแปรปัจจัยต่างที่ทำการศึกษา โดยนำผลที่ได้จากกระบวนการจริง (Actual Ball Swaging) มาเปรียบเทียบกับ การวิเคราะห์ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method, FEM) ด้วย

5.1 การวิเคราะห์พฤติกรรมของกระบวนการสเวจโดยใช้ลูกบอล (Ball Swaging Process)

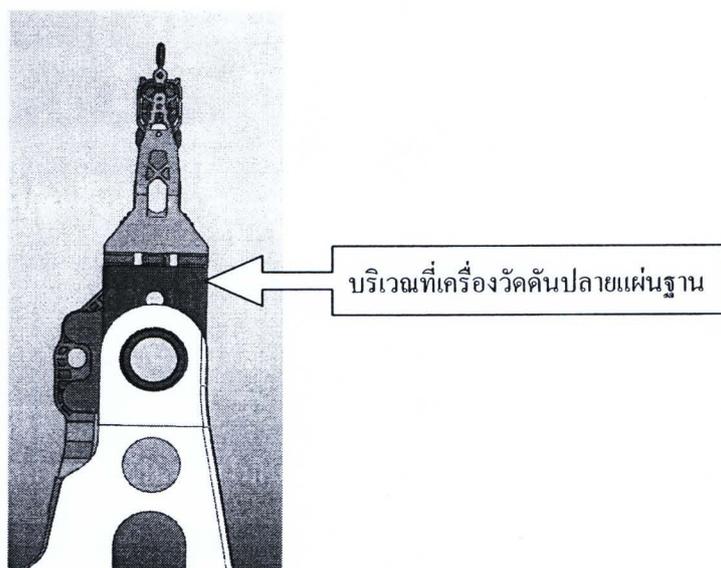
การวิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดความเค้นและความเครียดของกระบวนการสเวจโดยใช้ลูกบอลด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ แสดงในภาคผนวก ข ซึ่งในขณะที่ลูกบอลผ่านรูของแผ่นฐาน จะทำให้เกิดภาวะขึ้น 2 ภาวะ คือ ภาวะที่ 1 เกิดจากขนาดลูกบอลที่กระทำในแนวรัศมี ที่ดันแผ่นฐาน (Base plate) อัดเข้ากับแขนหัวอ่าน/เขียน (Actuator Arm) เกิดความดันสัมผัส (Contact Pressure) ขึ้น และ ภาวะที่ 2 เกิดจากความเสียดทานระหว่าง ลูกบอล กับแผ่นฐาน ซึ่งภาวะทั้งสองทำให้เกิดความดันสัมผัส และความเค้น (Stress) ระหว่างผิวสัมผัสของชิ้นส่วนทั้งสอง จึงเกิดโมเมนต์บิด (Retention torque) และมีการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร (Plastic Deformation) ในชิ้นส่วนทั้งสอง ดังภาพที่ 33



ภาพที่ 33 กลไกการเปลี่ยนรูปในกระบวนการสเวจโดยใช้ลูกบอล

5.2 การวัดค่าความต้านทานโมเมนต์บิดของกระบวนการจริง (Actual Ball Swaging)

หลังจากผ่านกระบวนการสเวจโดยใช้ลูกบอลแล้ว จะมีการวัดคุณภาพของการยึดติดกันของชิ้นงาน โดยจะวัดจากค่าความต้านทานโมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นฐานกับแขนหัวอ่าน/เขียน ซึ่งเครื่องมือวัดค่าความต้านทานโมเมนต์บิด จะดันบริเวณปลายของแผ่นฐาน ให้หลุดออกจากแขนหัวอ่าน/เขียน แล้ววัดค่าความต้านทานโมเมนต์บิดของแต่ละหัวอ่านของตัวอย่างการทดลอง ดังภาพที่ 34



ภาพที่ 34 ลักษณะการวัดค่าความต้านทานโมเมนต์บิดจากกระบวนการจริง

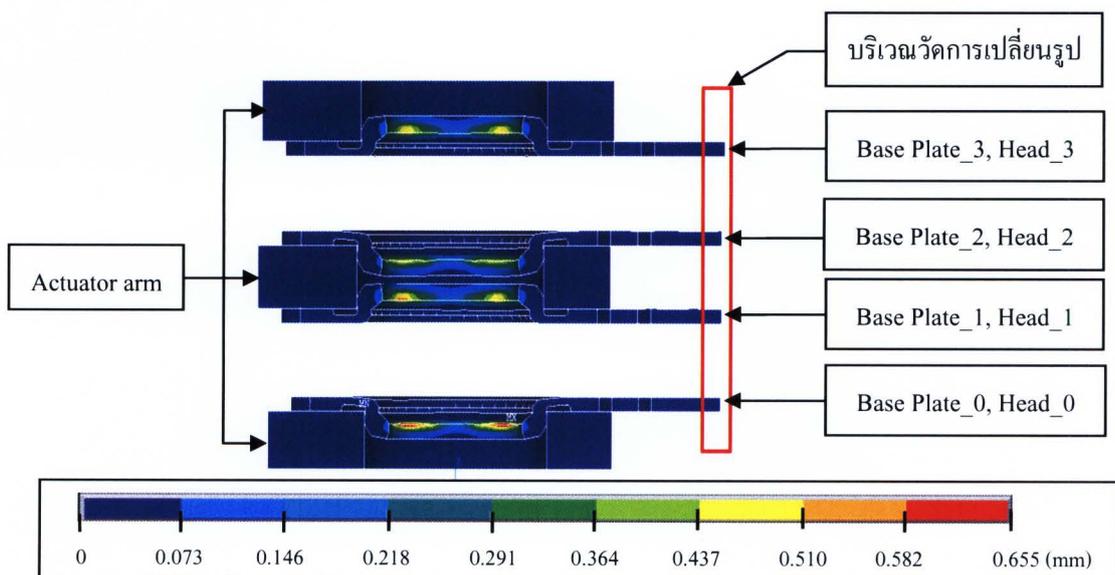
โดยการวัดค่าความต้านทานโมเมนต์บิดจะสุ่มตัวอย่างการทดลองมาวัด 48 ตัวอย่าง แล้วนำค่าความต้านทานโมเมนต์บิดเฉลี่ยของแต่ละหัวอ่านมาใช้เปรียบเทียบกับค่าความต้านทานโมเมนต์บิดที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งค่าความต้านทานโมเมนต์บิด ดังตารางที่ 2 จะมีหน่วยเป็นนิวตันมิลลิเมตร (N.mm) จะเห็นได้ว่าหัวอ่านที่ 0 และ 2 จะมีค่ามากกว่าหัวอ่านที่ 1 และ 3 เนื่องจากลักษณะการประกบของแผ่นฐานกับแขนหัวอ่าน/เขียน ที่หัวอ่านที่ 0 และ 2 แผ่นฐานจะอยู่ด้านบนของแขนหัวอ่าน/เขียน เมื่อลูกบอลยิงลงมาจะเกิดแรงเสียดทานระหว่างแผ่นฐานกับลูกบอลดันแผ่นฐานลงมาด้านล่างทำให้แผ่นฐานของหัวอ่านที่ 0 และ 2 เกิดแรงดันมากกว่าแผ่นฐานของหัวอ่านที่ 1 และ 3 ที่อยู่ด้านล่างของแขนหัวอ่าน/เขียน

ตารางที่ 2 ค่าความต้านทานโมเมนต์บิดที่วัดได้จากกระบวนการจริง

หัวอ่านที่	ค่าความต้านทานโมเมนต์บิด (N.mm)				
	ค่าน้อยที่สุด	ค่ามากที่สุด	พิสัย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
3	3.53	21.71	18.18	7.72	2.97
2	5.12	27.43	22.31	8.79	3.55
1	4.51	14.20	9.69	8.01	2.31
0	5.17	13.32	8.15	8.48	1.90

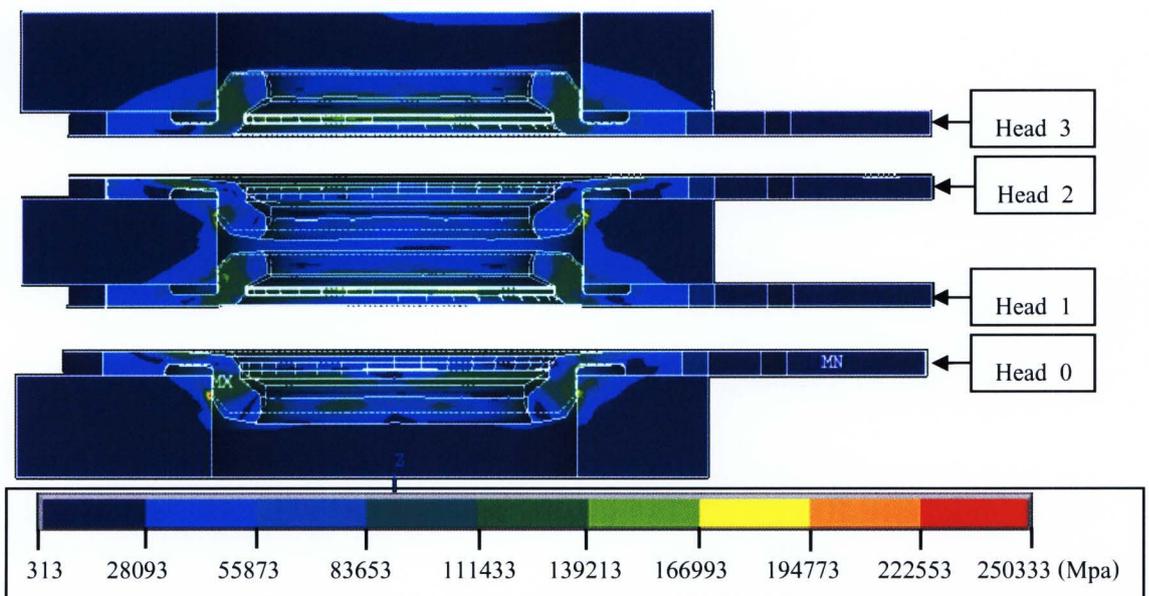
5.3 การวิเคราะห์คุณภาพของกระบวนการสเวจโดยใช้ลูกบอล (Ball Swaging Process)

การวิเคราะห์คุณภาพของกระบวนการสเวจโดยใช้ลูกบอล (Ball Swaging Process) จะวัดจากความต้านทานโมเมนต์บิด (Retention Torque) และค่าการเปลี่ยนรูปของหัวอ่าน โดยวัดจากการเปลี่ยนรูปบริเวณปลายแผ่นฐาน (Base Plate) ดังภาพที่ 35 การนับหัวอ่านจะนับศูนย์จากล่างขึ้นด้านบน จะเห็นได้ว่าหัวอ่านที่มีลักษณะการประกบกันแผ่นฐาน (Base Plate) กับแขนหัวอ่าน/เขียน (Actuator arm) เหมือนกัน คือหัวอ่านที่ 0 กับ 2 และหัวอ่านที่ 1 กับ 3 ซึ่งกระบวนการสเวจโดยใช้ลูกบอลที่มีคุณภาพสูง ต้องมีความต้านทานโมเมนต์บิดสูง และค่าการเสียรูปของหัวอ่านต่ำ



ภาพที่ 35 ลักษณะการประกบกันระหว่างแผ่นฐาน (Base plate) กับแขนหัวอ่าน/เขียน

ผลการวิเคราะห์หลังจากผ่านกระบวนการสเวจโดยใช้ลูกบอล พบว่าลูกบอลทำให้แผ่นฐาน (Base plate) เกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร (Plastic deformation) ขยายตัวออกในแนวรัศมี อัดเข้ากับแขนหัวอ่าน/เขียน (Actuator arm) ทำให้เกิดความดันสัมผัส (Contact pressure) และความเค้น (Stress) ระหว่างผิวสัมผัสของชิ้นส่วนทั้งสอง ดังภาพที่ 36 ซึ่งค่าความดันสัมผัสที่ได้สามารถนำไปคำนวณในสมการที่ 3.8 หาค่าความต้านทานโมเมนต์บิด (Retention torque) เพื่อให้ทราบคุณภาพการยึดติดของชิ้นงานทั้งสอง และเนื่องจากแผ่นฐาน เกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร ส่งผลทำให้ชิ้นส่วนที่เชื่อมต่อกับแผ่นฐาน คือ ชุดรองรับหัวอ่าน/เขียนข้อมูล (Suspension) มีการกระดกตัว และบิดตามแนวยาว ด้วย ดังนั้นกระบวนการกระบวนการสเวจโดยใช้ลูกบอลที่ดี ควรมีการเปลี่ยนรูปบริเวณปลายแผ่นฐานน้อย



ภาพที่ 36 ลักษณะการเกิดความเค้น von Misses และการเปลี่ยนรูปของแขนยึดกับแผ่นฐาน

จากการศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของกระบวนการประกอบชุดประกอบหัวอ่าน/เขียนสำเร็จ (HSA Swaging Process) จะมีอยู่ 3 ประการ คือ ความเร็วของลูกบอล, สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างลูกบอลกับแผ่นฐาน และวัสดุของแขนหัวอ่าน/เขียน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลองและได้ผลการทดลองดังนี้



5.3.1 ผลการทดลองที่ 1

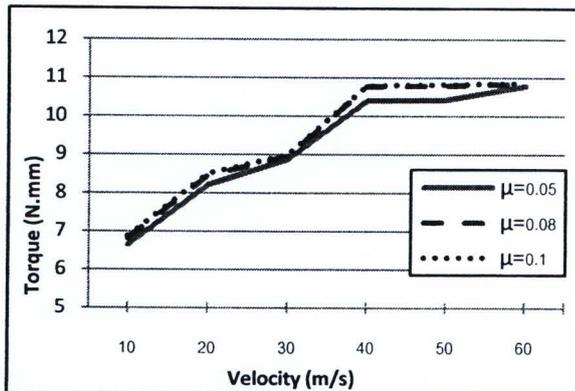
ผลการทดลองที่ 1 เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างลูกบอล กับแผ่นฐาน (Base Plate) ของกระบวนการสเวจโดยใช้ลูกบอล ที่เหมาะสม โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ได้ค่าความต้านทาน โมเมนต์บิด (Retention torque, T) ดังตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่า ในหัวอ่านที่ 3 มีค่าความต้านทาน โมเมนต์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ต่างกับงานจริงสูงกว่าหัวอ่านอื่นๆ เนื่องจากในกระบวนการจริงจะมีชิ้นส่วนรองแกนหัวอ่าน/เขียน (Swage Key) อยู่ด้านบนด้วย แต่ในแบบจำลองไม่มีอาจทำให้ผลของการวิเคราะห์ในหัวอ่านที่ 3 ที่อยู่ด้านบนสุดเกิดการคลาดเคลื่อนกว่าหัวอ่านด้านล่าง และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างลูกบอล กับแผ่นฐาน (Base plate) ที่มีค่าเท่ากับ 0.05, 0.08 และ 0.1 มีค่าความต้านทาน โมเมนต์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เมื่อเทียบกับงานจริง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ต่างกันไม่เกิน 10% ซึ่งเป็นค่าคลาดเคลื่อนระหว่างแบบจำลองที่ใช้วิเคราะห์กับกระบวนการจริงที่ยอมรับได้ แสดงว่าแบบจำลองที่ใช้วิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกต้อง ดังนั้นจึงเลือกค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างลูกบอล กับแผ่นฐาน 3 ค่านี้ใช้ในการทดลองต่อไป

ตารางที่ 3 ผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างลูกบอลกับแผ่นฐาน
ของกระบวนการสเวจโดยใช้ลูกบอล

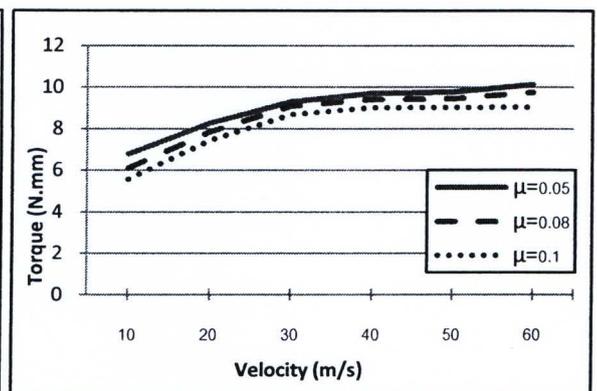
Head	$T_{\text{จริง}}$ (N.mm)	$\mu = 0.05$		$\mu = 0.08$		$\mu = 0.10$		$\mu = 0.12$		$\mu = 0.15$	
		$T_{\text{โปรแกรม}}$ (N.mm)	Error (%)								
3	7.72	7.02	-9.11	7.07	-8.46	6.98	-9.64	6.44	-16.62	6.21	-19.60
2	8.79	8.19	-6.82	8.21	-6.55	8.31	-5.47	8.40	-4.47	8.49	-3.42
1	8.01	8.28	3.33	7.86	-1.84	7.45	-7.03	7.28	-9.06	6.96	-13.16
0	8.48	8.22	-3.08	8.46	-0.23	8.52	0.42	8.59	1.25	8.68	2.41

5.3.2 ผลการทดลองที่ 2

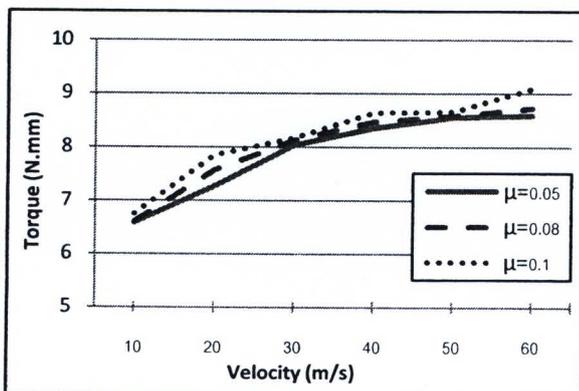
ผลการทดลองที่ 2 เพื่อหาค่าความเร็วของลูกบอล และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างลูกบอล กับแผ่นฐาน (Base plate) ที่เหมาะสม แบ่งได้เป็น 2 ส่วนโดยส่วนที่ 1 คือค่าความต้านทานโมเมนต์บิด ที่ความเร็วของลูกบอลต่างๆ ในแต่ละหัวอ่าน ดังภาพที่ 37 จะเห็นได้ว่า เมื่อความเร็วของลูกบอลเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความต้านทานโมเมนต์บิดในทุกหัวอ่านสูงขึ้นตามไปด้วย ทำให้การยึดติดของแผ่นฐาน กับแกนหัวอ่าน/เขียนดีขึ้น และเมื่อเพิ่มความเร็วของลูกบอลถึง 40, 50 และ 60 m/s พบว่าค่าความต้านทานโมเมนต์บิดมีค่าสูงใกล้เคียงกัน เนื่องจากความเร็วของลูกบอลช่วงนี้ทำให้เกิดการเสีรูปของแกนหัวอ่าน/เขียนในช่วงการเสีรูปอย่างถาวร (Plastic behavior) ซึ่งอัตราการเพิ่มของความเค้นหรือค่าความต้านทานโมเมนต์บิดจะต่ำ เมื่อเทียบกับความเร็วของลูกบอล 10, 20 และ 30 m/s และเมื่อค่าความต้านทานโมเมนต์บิด ของลูกบอลที่มีความเร็ว 40, 50 และ 60 m/s มีค่าสูงใกล้เคียงกัน จึงเลือกความเร็วของลูกบอลเท่ากับ 40 m/s เพราะถ้าใช้ความเร็วของลูกบอลสูงเกินไป อาจจะทำให้ชิ้นงานเสียหาย และสิ้นเปลืองพลังงานในการเพิ่มความเร็วของลูกบอล



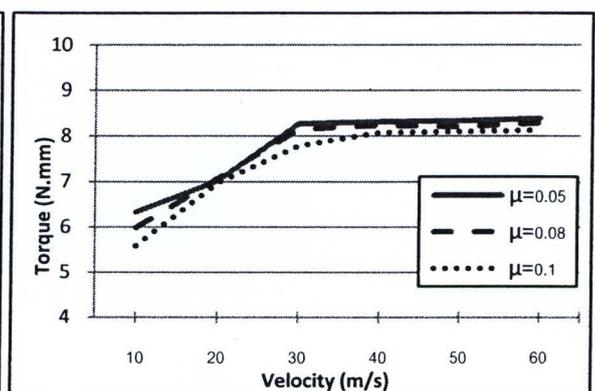
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 37 ค่าความต้านทานโมเมนต์บิดที่ความเร็วของลูกบอลต่างๆ

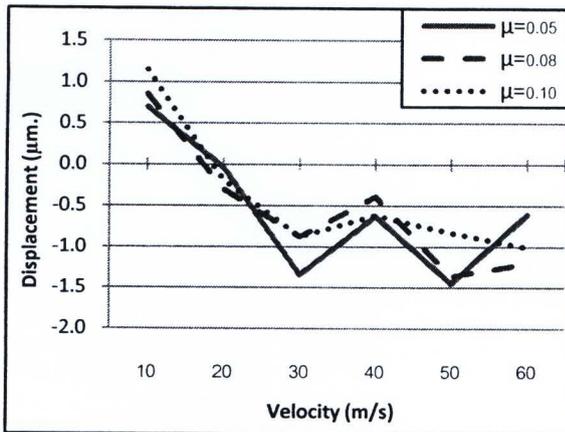
(ก) หัวอ่านที่ 0

(ข) หัวอ่านที่ 1

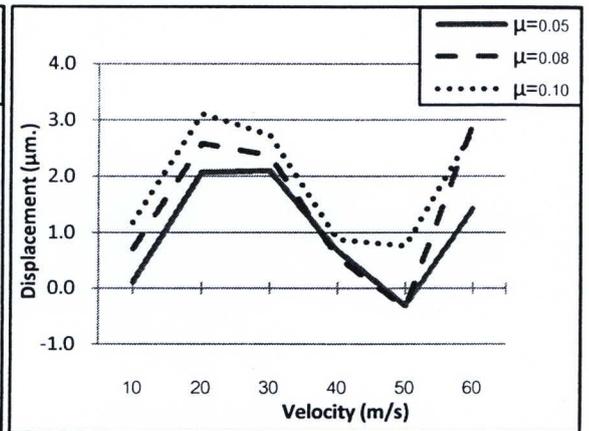
(ค) หัวอ่านที่ 2

(ง) หัวอ่านที่ 3

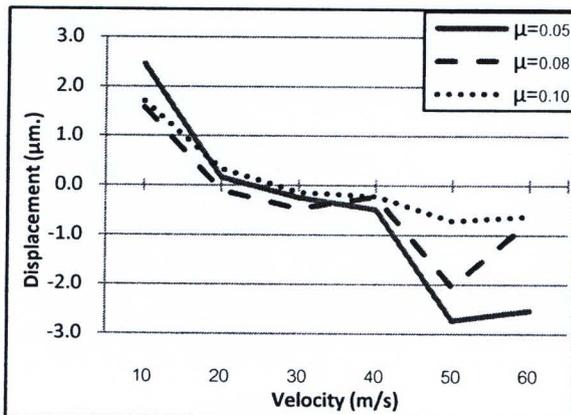
ส่วนที่ 2 ค่าการเปลี่ยนรูปของหัวอ่าน ที่วัดบริเวณปลายแผ่นฐานและได้ค่าระยะการเปลี่ยนรูปจากค่าเดิม (Displacement) ที่ความเร็วของลูกบอลต่างๆ ในแต่ละหัวอ่าน ดังภาพที่ 38 เมื่อเปรียบเทียบความเร็วของลูกบอลที่ 40, 50 และ 60 m/s พบว่าความเร็วของลูกบอลที่ 40 m/s มีค่าระยะการเปลี่ยนรูปจากค่าเดิมในแต่ละหัวอ่านน้อย และเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างลูกบอลกับแผ่นฐาน ที่ความเร็วของลูกบอลที่ 40 m/s จะเห็นได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างลูกบอลกับแผ่นฐาน เท่ากับ 0.08 มีค่าระยะการเปลี่ยนรูปจากค่าเดิมในแต่ละหัวอ่านน้อย ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าค่าความเร็วของลูกบอลและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างลูกบอลกับแผ่นฐาน ที่เหมาะสม คือ 40 m/s และ 0.08 ตามลำดับ



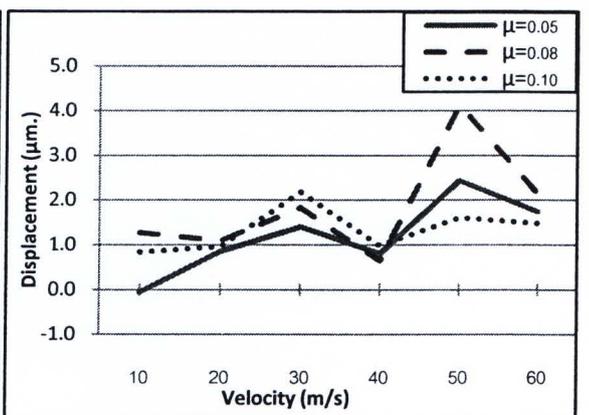
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 38 ค่าระยะการเปลี่ยนรูปบริเวณปลายแผ่นฐาน ที่ความเร็วของลูกบอลต่างๆ

(ก) แสดงหัวอ่านที่ 0

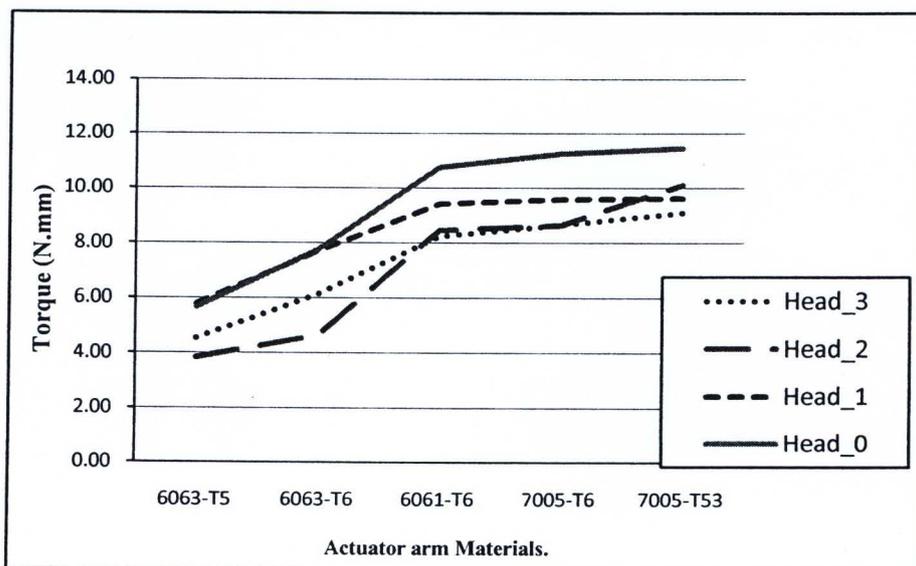
(ข) แสดงหัวอ่านที่ 1

(ค) แสดงหัวอ่านที่ 2

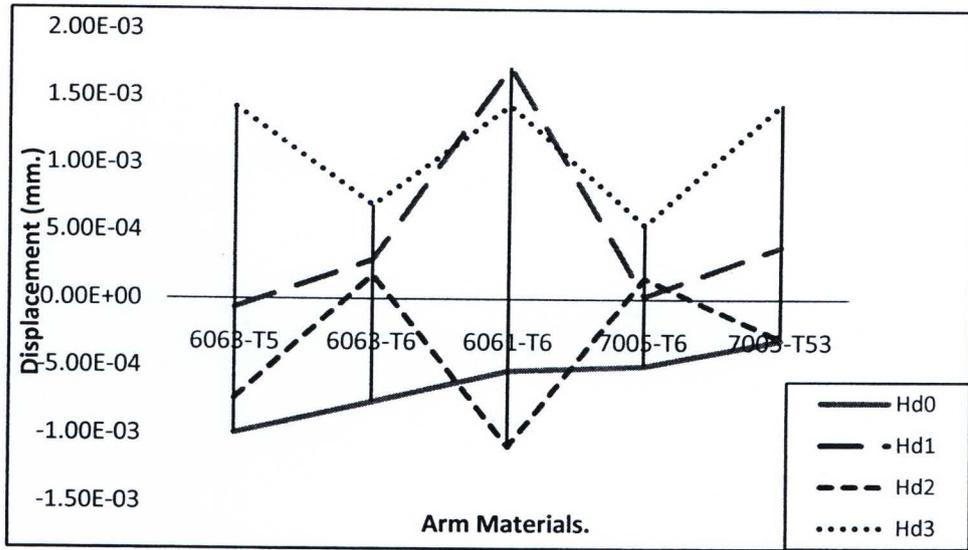
(ง) แสดงหัวอ่านที่ 3

5.3.3 ผลการทดลองที่ 3

ผลการทดลองที่ 3 เพื่อหาวัสดุของแขนยึดหัวอ่าน/เขียน (Actuator arm) ที่เหมาะสม จากการทดสอบ อลูมิเนียม (Aluminum) 5 ชนิดเรียงตามความแข็งแรง คือ 6063-T5, 6063-T6, 6061-T6, 7005-T6 และ 7005-T53 ผลการวิเคราะห์แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ค่าความต้านทานโมเมนต์บิด (Retention Torque) แต่ละชนิดของวัสดุแขนยึดหัวอ่าน/เขียน ในแต่ละหัวอ่าน ดังภาพที่ 39 จะเห็นได้ว่าในแต่ละหัวอ่านเมื่อวัสดุของแขนยึดหัวอ่าน/เขียน มีความแข็งแรงสูงขึ้นจะทำให้มีค่าความต้านทานโมเมนต์บิดสูงตามไปด้วย และมีอลูมิเนียม 3 ชนิด คือ 6061-T6, 7005-T6 และ 7005-T53 มีความต้านทานโมเมนต์บิดสูงใกล้เคียงกัน และส่วนที่ 2 คือ ค่าการเปลี่ยนรูปของหัวอ่าน ที่วัดบริเวณปลายแผ่นฐาน และได้ค่าระยะการเปลี่ยนรูปจากค่าเดิม (Displacement) ของวัสดุแขนยึดหัวอ่าน/เขียน แต่ละชนิด ของแต่ละหัวอ่าน ดังภาพที่ 40 จะเห็นได้ว่า ค่าระยะการเปลี่ยนรูปจากค่าเดิมบริเวณปลายของแผ่นฐาน ไม่แปรผันตาม คุณสมบัติของวัสดุหรือความแข็งแรงของแขนหัวอ่าน/เขียน เพียงอย่างเดียว แต่มีสาเหตุมาจาก คุณสมบัติของวัสดุ 2 ชนิด คือแผ่นฐานกับแขนหัวอ่าน/เขียน ควบคู่กัน ซึ่งแขนหัวอ่าน/เขียน ที่ผลิตจากอลูมิเนียม ชนิด 7005-T6 มีความแข็งแรงที่พอดีกับ แผ่นฐานที่ผลิตจาก UNS S30500 ทำให้เกิดการเสีรูปจากค่าเดิมบริเวณปลายของแผ่นฐานต่ำ ดังนั้นแขนหัวอ่าน/เขียน ที่ผลิตจากอลูมิเนียม ชนิด 7005-T6 จึงมีความเหมาะสมสำหรับแผ่นฐานที่ผลิตจาก UNS S30500



ภาพที่ 39 ค่าความต้านทาน โมเมนต์บิด ของวัสดุแขนยึดหัวอ่าน/เขียนแต่ละชนิด



ภาพที่ 40 ระยะการเปลี่ยนรูปบริเวณปลายแผ่นฐาน (Displacement) ของวัสดุแขนยึดหัวอ่าน/เขียน