

## บทที่ 5 การศึกษาการปรับเปลี่ยนลำดับการชันสกรูในกระบวนการ ประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

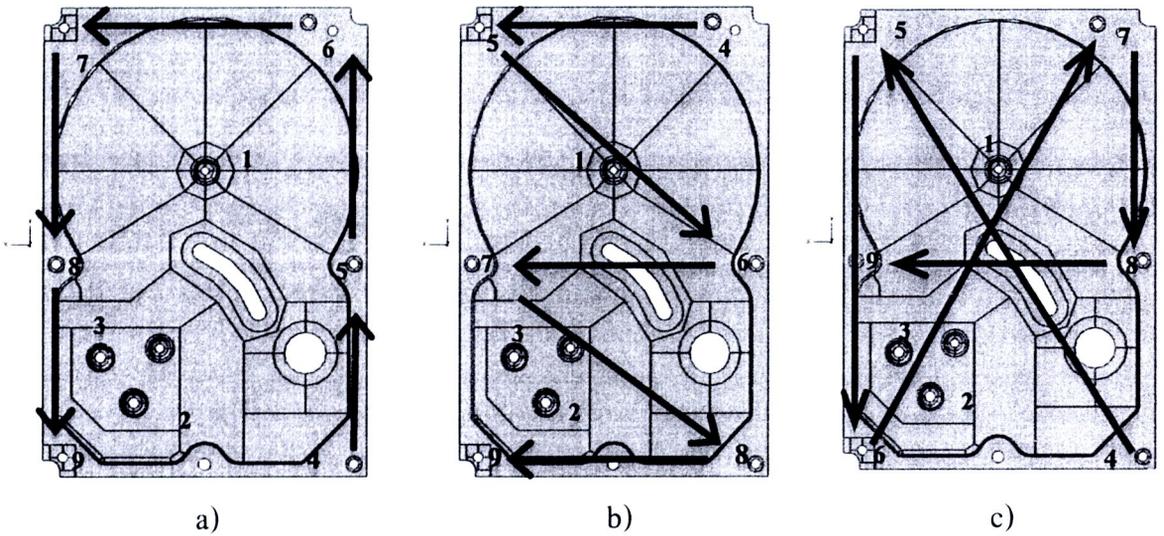
บทนี้เป็นการศึกษาลำดับการชันสกรูในการกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในแต่ละรูปแบบว่าการชันสกรูในแต่ละรูปแบบมีลักษณะการคลายตัวของสกรูแตกต่างกันอย่างไร โดยเริ่มจากการเปรียบเทียบลำดับการชันสกรูในแต่ละรูปแบบโดยที่ไม่มีการชันย่ำ จากนั้นศึกษาลำดับการชันสกรูที่มีการชันย่ำในรูปแบบต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบ และวิเคราะห์ผลของความเค้น การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของฝาปิด และการคลายตัวของสกรูในสกรูทุกตัว และศึกษาผลจากการเปลี่ยนแปลงค่าทอร์กที่ใช้ในการชัน ส่งผลต่อค่าการคลายตัวของสกรูอย่างไร

### 5.1 รูปแบบการชันสกรูโดยไม่มีการชันย่ำ

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบความเค้น การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของฝาปิด และการคลายตัวของสกรูในแต่ละรูปแบบการชัน ในลำดับการชัน 9 ลำดับ โดยที่ไม่มีการชันย่ำสกรูตัวใดเลย ซึ่งสามารถจำแนกรูปแบบการชันออกเป็น 3 รูปแบบคือ (a) Circular, (b) Zigzag และ (c) Across ซึ่งแต่ละรูปแบบมีลำดับการชันสกรูที่แตกต่างกันตามเส้นแนวโน้มดังแสดงในรูปที่ 5.1 โดยลำดับที่ 1-3 เป็นลำดับการชันที่เหมือนกันในทุกแบบจำลอง เนื่องจากต้องการให้ฝาปิด ยึดติดกับตัวฐานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และเพื่อเป็นการป้องกัน ไม่ให้เกิดการเอียงศูนย์

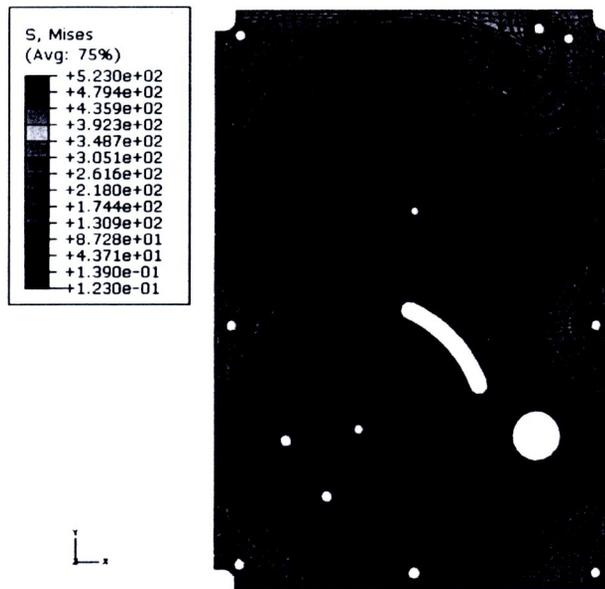
ลำดับการชันในแบบจำลอง Circular มีลักษณะการชันเป็นวงกลมในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา โดยเริ่มต้นจากสกรู S4 ที่อยู่บริเวณด้านล่างขวาของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จากนั้นทำการชันสกรู S5, S6, S7, S8 และ S9 ตามลำดับ ในแบบจำลอง Zigzag มีลำดับการชันที่สลับไปมาลักษณะคล้ายปากกรรไกร โดยเริ่มชันบริเวณสกรู S6 จากนั้นได้ชันสกรู S7 เป็นลำดับถัดไป และสกรู S5, S8, S4 และ S9 จะถูกชันต่อเนื่องไปตามลำดับ ในส่วนของแบบจำลองการชันแบบ Across มีลักษณะเส้นแนวโน้มของลำดับการชันที่ทแยงมุม โดยเริ่มจากการชันสกรู S4 จากนั้นสกรูที่อยู่ห่างจากสกรู S4 มากที่สุดคือ สกรู S7 ซึ่งอยู่บริเวณด้านบนซ้ายของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะถูกชันในลำดับถัดไป ลำดับถัดจากนั้นสกรู S9, S6, S5 และ S8 ถูกชันตามลำดับ

แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาในส่วนของ ค่าขอบเขตเงื่อนไข และการแบ่งเอลิเมนต์ มีลักษณะเหมือนกับการศึกษาในบทที่ 4 สำหรับภาระโหลดที่กระทำมีค่าแตกต่างกันคือ สกรูทั้ง 9 ตัวจะถูกชันด้วยค่าทอร์กที่เท่ากับ 6 kgf.cm โดยที่ไม่มีการชันย่ำ



รูปที่ 5.1 ลำดับการขึ้นสกรู a) Circular b) Zigzag c) Across

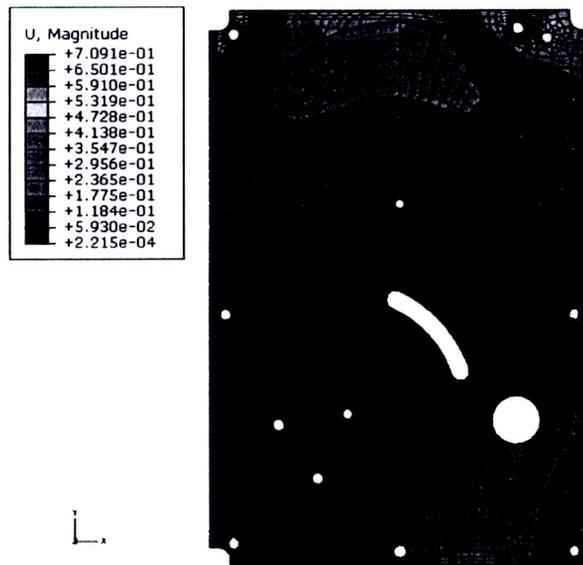
เนื่องจากค่าเงื่อนไขขอบเขต และภาวะโหลดที่ให้กับแบบจำลองในการวิเคราะห์นี้ใน 9 ลำดับการขึ้น ยังคงเหมือนกับแบบจำลองที่ใช้ในบทก่อนหน้าในลำดับที่ไม่มีการขันย้ำ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การกระจายความเค้น และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างฝาปิด ยังคงมีลักษณะคล้ายกับแบบจำลองในการวิเคราะห์ก่อนหน้าดังแสดงในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 การกระจายตัวความเค้นของฝาปิด ในกรณีไม่มีการขันย้ำ

การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของฝาปิด ของแบบจำลอง Circular, Zigzag และ Across มีลักษณะที่เหมือนกัน และยังคงมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับแบบจำลองก่อนหน้า โดยการเปลี่ยนแปลง

รูปร่างยังคงเกิด Displacement ในแนวแกน  $-Z$  บริเวณที่มีการขันสกรู ซึ่งมีค่ามากกว่าบริเวณที่มีการขันสกรูยึดติดกับตัวฐานของฮาร์ดดิสก์ใด ๆ ฟูขนาดของ Displacement เป็นดังแสดงในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของฝาปิด ในกรณีไม่มีการขันย้า

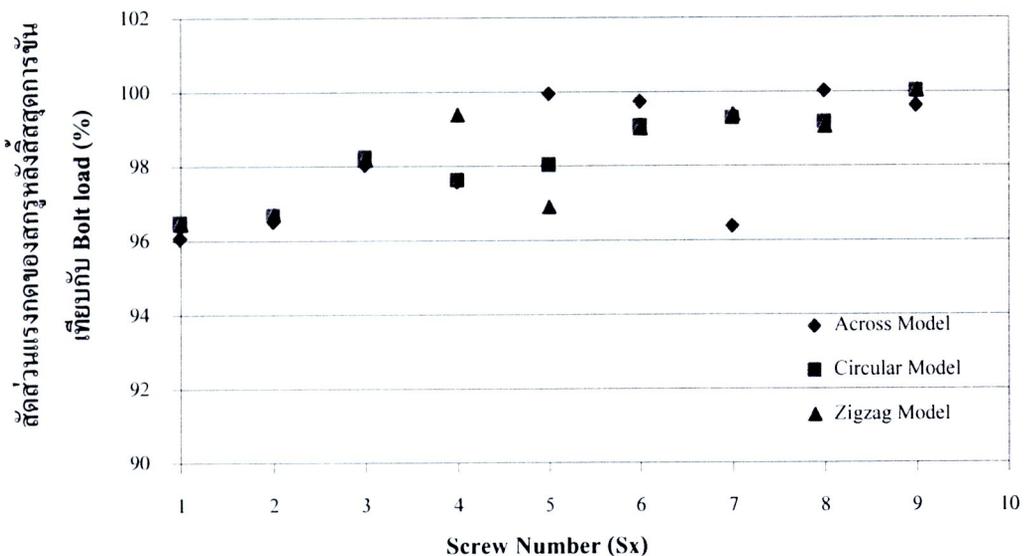
ในส่วนของการคลายตัวของสกรูในแต่ละแบบจำลองดูได้จากผลรวมของค่าแรงกดของสกรู ซึ่งค่าแรงกดของสกรูของสกรูแต่ละตัว ในแต่ละลำดับการขันของแบบจำลอง Circular, Zigzag และ Across แสดงในตารางที่ 5.1, 5.2 และ 5.3 ตามลำดับ

จากตารางแสดงค่าผลรวมของค่าแรงกดของสกรูของสกรูแต่ละตัวในแต่ละลำดับการขัน จะเห็นถึงการลดลง และเพิ่มขึ้นของค่าแรงกดของสกรูอื่นเนื่องจากการกระดก และยุบตัวของฝาปิด ส่งผลให้สกรูเกิดการคลายตัว และขันแน่นขึ้นตามค่าแรงกดของสกรูที่เกิดขึ้น

เมื่อนำค่าผลรวมค่าแรงกดของสกรูในลำดับการขันสุดท้ายของทุกแบบจำลองมาหาค่าสัดส่วนแรงกดของสกรูหลังสิ้นสุดการขันเทียบกับ Bolt load ที่ให้กับแบบจำลองในขั้นต้น ค่าที่ได้เป็นดังแสดงในรูปที่ 5.4 พบว่า สกรู S1, S2 และ S3 มีค่าสัดส่วนแรงกดของสกรูเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 3 แบบจำลอง แต่ในสกรู S4-S9 ค่าสัดส่วนแรงกดของสกรูมีค่าที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับลำดับการขันของสกรูในแต่ละแบบจำลอง โดยภาพรวมจะเห็นได้ว่า แบบจำลอง Circular จะมีค่าสัดส่วนแรงกดของสกรูที่มากที่สุดมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับแบบจำลองอื่นๆ โดยมีค่าสัดส่วนแรงกดของสกรูของสกรูแต่ละตัวมีค่าแตกต่างกันไม่มาก ซึ่งต่างกับ 2 แบบจำลองที่เหลือคือ ค่าสัดส่วนแรงกดของสกรูของแบบจำลอง Zigzag ในสกรู S5 จะมีค่าที่น้อยกว่าสกรูตัวอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด เช่นเดียวกับค่าสัดส่วนแรงกดของสกรูในสกรู S7 ของแบบจำลอง Across ที่มีค่าแตกต่างจากสกรูตัวอื่นๆ จากผลการ

วิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า ลำดับการขันสกรูส่งผลต่อค่าแรงกดของสกรูของสกรูตัวอื่นให้มีการเปลี่ยนแปลง เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องมีการขันย้ำสกรู เพื่อให้มีค่าแรงกดของสกรูเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด

ค่าสัดส่วนที่มีค่า 100% นั้นหมายถึง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าแรงกดของสกรู สำหรับค่าที่น้อยกว่า 100% แสดงให้เห็นว่า มีการเปลี่ยนแปลงค่าแรงกดของสกรูในทิศทางลดน้อยลง นั้นแสดงถึงการเกิดการคลายตัวของสกรูเนื่องจากค่า Bolt load ลดลงนั่นเอง เพราะฉะนั้นค่าที่น้อยลง แสดงถึงสัดส่วนการเกิดการคลายตัวที่เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 5.4 ค่าสัดส่วนแรงกดของสกรูในลำดับการขันสุดท้ายของสกรู S1-S9 ในทุกแบบจำลอง

ตารางที่ 5.1 ค่าแรงกดของสกรูในแบบจำลอง Circular

Step/Screw	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Motor	BVCM	TVCM	BR	MR	TR	TL	ML	BL
1	Motor	1460.0	1459.8	1456.0	1445.4	1426.4	1415.9	1408.9	1408.9
2	BVCM		990.9	971.1	968.2	967.5	967.5	967.9	957.3
3	TVCM			990.1	988.6	987.9	989.4	979.7	972.7
4	BR				1169.3	1171.1	1170.7	1170.7	1164.0
5	MR					1168.3	1168.9	1168.6	1168.8
6	TR						1182.7	1183.9	1181.3
7	TL							1184.2	1183.8
8	ML								1182.6
9	BL								



■ ค่าตั้งขึ้นสกรู

■ สกรูที่ไม่ถูกขัน

ตารางที่ 5.2 ค่าแรงกดของสกรูในแบบจำลอง Zigzag

Step/Screw	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Motor	BVCM	TVCM	TR	TL	MR	ML	BR	BL
1 Motor		1460.0	1459.8	1434.8	1426.7	1415.8	1409.5	1408.2	1408.3
2 BVCM			990.9	990.4	990.1	988.0	987.3	969.4	957.4
3 TVCM				989.1	989.6	988.4	978.3	978.1	972.0
4 BR									1184.9
5 MR							1191.3	1155.3	1155.2
6 TR					1184.1	1181.4	1182.9	1183.2	1180.4
7 TL						1193.3	1185.2	1185.5	1185.0
8 ML								1190.0	1181.0
9 BL									

■ ค่าที่ขึ้นสกรู

■ สกรูที่ไม่ถูกขัน

ตารางที่ 5.3 ค่าแรงกดของสกรูในแบบจำลอง Across

Step/Screw	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Motor	BVCM	TVCM	BR	TL	BL	TR	MR	ML
1 Motor		1460.0	1459.8	1456.0	1439.7	1436.2	1419.3	1408.6	1402.8
2 BVCM			990.9	971.1	971.0	959.6	958.2	955.5	955.6
3 TVCM				990.1	991.2	979.8	978.8	977.6	970.7
4 BR					1191.0	1184.1	1187.1	1163.3	1163.5
5 MR								1192.6	1191.6
6 TR								1188.0	1189.1
7 TL						1191.4	1153.2	1155.7	1149.1
8 ML								1192.6	1192.6
9 BL							1191.5	1192.3	1187.7

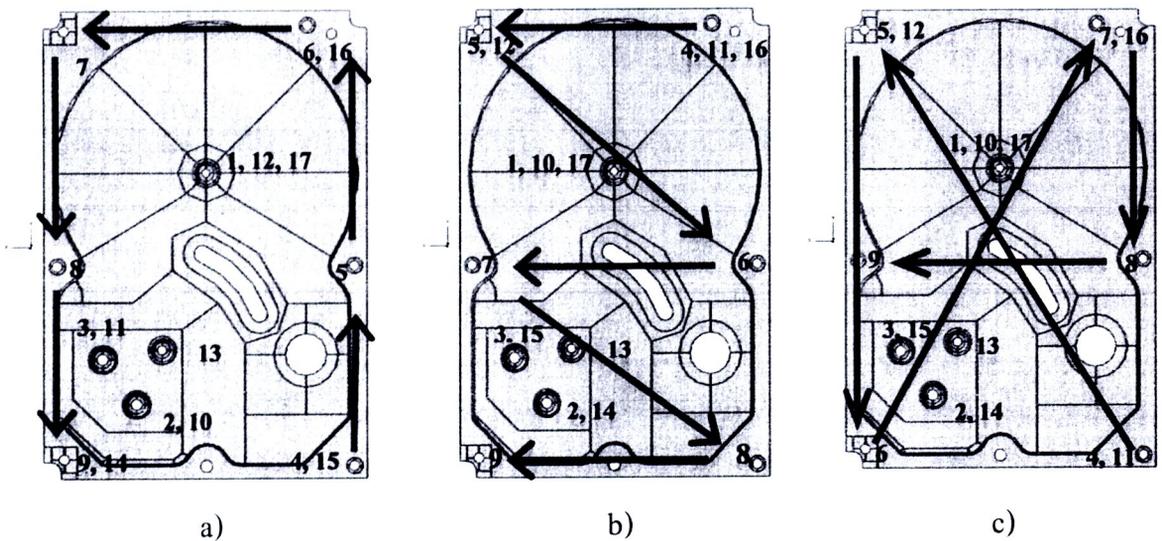
■ ค่าที่ขึ้นสกรู

■ สกรูที่ไม่ถูกขัน

## 5.2 รูปแบบการขันสกรูโดยมีการขันย่ำ

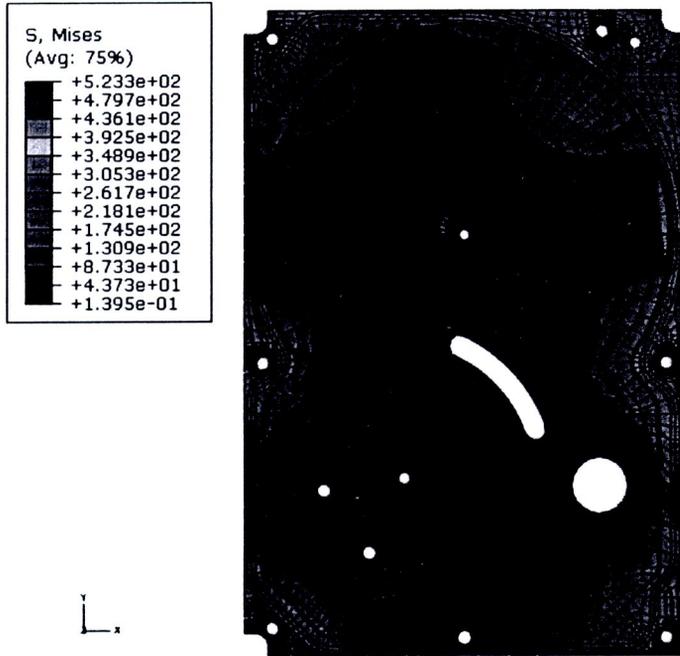
การศึกษาในกรณีนี้จะทำการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบค่าความเค้น การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของฝาปิด และการเปลี่ยนแปลงค่า Bolt load ในสกรูทุกตัวที่เกิดขึ้นหลังจากมีการขันย่ำสกรู แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ยังมีลักษณะเหมือนกับแบบจำลองทั้ง 3 ในการวิเคราะห์ข้างต้น เพียงแต่เพิ่มลำดับการขันจาก 9 ลำดับเป็น 17 ลำดับ โดยลำดับที่ 1-9 ยังคงขันด้วยค่าทอร์ก 6 kgf.cm และในการขันย่ำนั้น จำแนกออกเป็น การขันย่ำด้วยค่าทอร์กเท่าเดิม และการขันย่ำด้วยค่าทอร์กที่เพิ่มขึ้น ซึ่งลำดับการขันย่ำด้วยค่าทอร์กที่เพิ่มขึ้นนั้นจะขันย่ำที่สกรู S1 และ S6 ด้วยค่าทอร์ก 8 kgf.cm ลำดับการขันและเส้นแนวโน้มของทั้ง 3 แบบจำลองแสดงในรูปที่ 5.5

ลำดับการขันในแบบจำลอง Circular มีลักษณะที่เหมือนกับแบบจำลองการขันสกรูตามลำดับการขันจริงที่ใช้ในการวิเคราะห์ในบทที่ 4 ในส่วนของแบบจำลอง Zigzag และ Across ลำดับการขันที่เพิ่มจากแบบจำลองที่ใช้ในหัวข้อที่ 5.1 คือ ลำดับการขันที่ 10 – 12 และ 14 - 15 จะเป็นการขันย่ำโดยค่าทอร์กเท่าเดิม ลำดับการขันที่ 13 เป็นการขันสกรู S10 และลำดับการขันที่ 16-17 เป็นการขันย่ำด้วยค่าทอร์กที่เพิ่มขึ้น

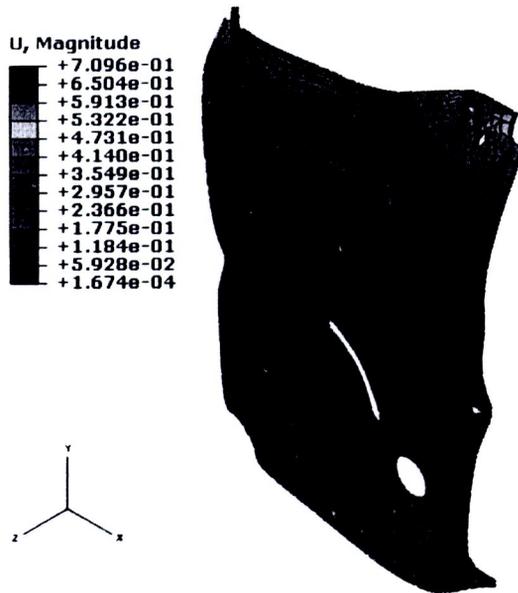


รูปที่ 5.5 ลำดับการขันสกรู โดยมีการขันย่ำ a) Circular b) Zigzag c) Across

การกระจายของความเค้นของฝาปิด และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของทั้ง 3 แบบจำลองมีลักษณะคล้ายกันดังแสดงในรูปที่ 5.6 และ 5.7 ตามลำดับ โดยความเค้น และ Displacement จะมีค่ามากในบริเวณที่มีการขันสกรู โดยเฉพาะในบริเวณขอบรอบๆ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์



รูปที่ 5.6 ตัวอย่างการกระจายตัวของความเค้นในฝาปิดของรูปแบบการขัน Circular ในกรณีมีการขันย่ำ



รูปที่ 5.7 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของฝาปิดของรูปแบบการขัน Circular ในกรณีมีการขันย่ำ

เมื่อพิจารณาค่าผลรวมของแรงกดของสกรู เมื่อสิ้นสุดการขันทุกลำดับของทุกรูปแบบดังแสดงในตารางที่ 5.4 พบว่า สกรู S1, S2, S3, S6 และ S10 ของทั้ง 3 แบบจำลองมีค่าแรงกดของสกรูใกล้เคียงกัน สำหรับสกรูที่อยู่บริเวณขอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ตัวอื่นๆ เช่น สกรู S4, S5, S7, S8 และ S9 แรงกด

ของสกรูของแต่ละแบบจำลองมีค่าที่แตกต่างกัน โดยสกรู S5 มีค่าแรงกดของสกรูแตกต่างกันมากที่สุด ซึ่งแบบจำลอง Across มีค่าใกล้เคียงกับค่า Applied load มากที่สุด

ตารางที่ 5.4 ค่าแรงกดของสกรูของสกรูทุกตัวเมื่อสิ้นสุดการขันในทุกแบบจำลอง

Screw No./Model	Contact normal force (N)			Applied bolt load (N)
	Circular Model	Zigzag Model	Across Model	
1	1946.7	1944.9	1945.2	1946.0
2	991.3	990.5	990.5	990.6
3	990.0	990.4	990.5	990.6
4	1192.5	1187.7	1194.3	1192.6
5	1170.2	1158.4	1192.3	1192.6
6	1589.9	1590.1	1590.1	1590.1
7	1182.2	1191.0	1191.5	1192.6
8	1183.2	1181.6	1192.2	1192.6
9	1192.1	1191.0	1186.5	1192.6
10	1459.6	1459.8	1459.8	1460.1

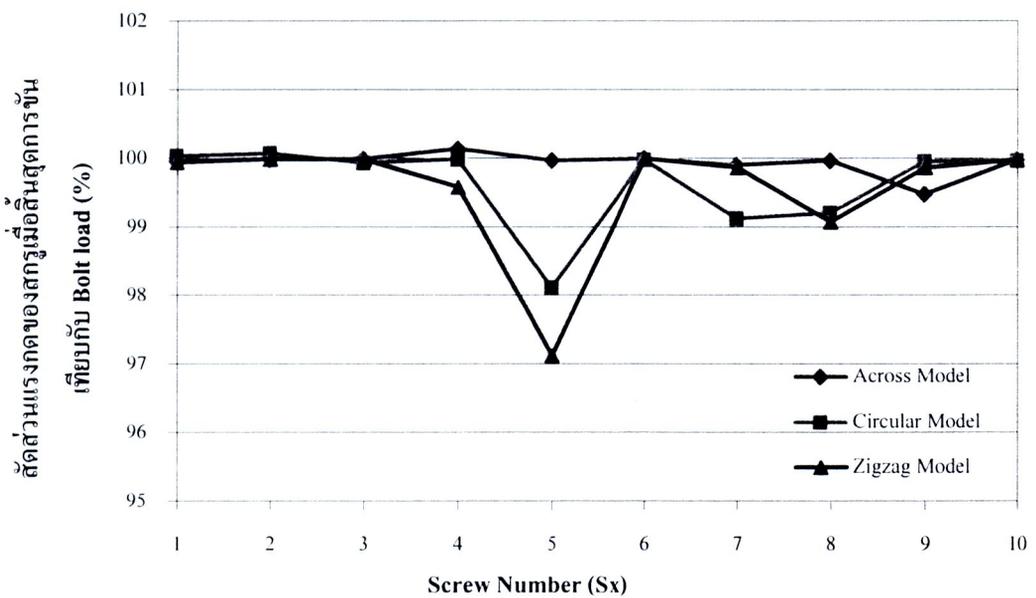
เมื่อนำค่าเหล่านี้มาหาค่าสัดส่วนแรงกดของสกรูเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าแรงกดของสกรูกับ Applied bolt load ได้แสดงในรูปที่ 5.8 จะเห็นได้ว่า สัดส่วนการเปลี่ยนแปลงแรงกดของสกรูของสกรูทุกตัวในแบบจำลอง Across มีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงที่ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสัดส่วนแรงกดของสกรูของแบบจำลอง Circular และ Zigzag และเมื่อเปรียบเทียบค่าสัดส่วนแรงกดของสกรูนี้กับค่าสัดส่วนแรงกดของสกรูในการวิเคราะห์ลำดับการขันที่ไม่มีขันย้ำพบว่า ในแบบจำลอง Across ค่าแรงกดของสกรู S1-S7 มีค่าเพิ่มขึ้น

สำหรับสกรู S8-S9 ค่าสัดส่วนแรงกดของสกรูมีการเปลี่ยนแปลงมีค่าใกล้เคียง 100% ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ลำดับการขันซ้ำช่วยให้ค่าแรงกดของสกรูมีการเปลี่ยนแปลงลดน้อยลง นั้นหมายถึง การคลายตัวของสกรูเกิดขึ้นน้อยด้วยเช่นกัน และแบบจำลองที่ดีที่สุดเมื่อมีการขันย้ำสกรูคือ แบบจำลอง Across

### 5.3 การเปลี่ยนแปลงของค่าแรงกดของสกรู อันเนื่องมาจากการเพิ่มค่าทอร์ก

เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าทอร์กที่เพิ่มให้กับกับสกรูในลำดับการขันที่ไม่มีขันย้ำ เพื่อเปรียบเทียบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงกดของสกรูและค่าความเค้น รวมทั้งการ

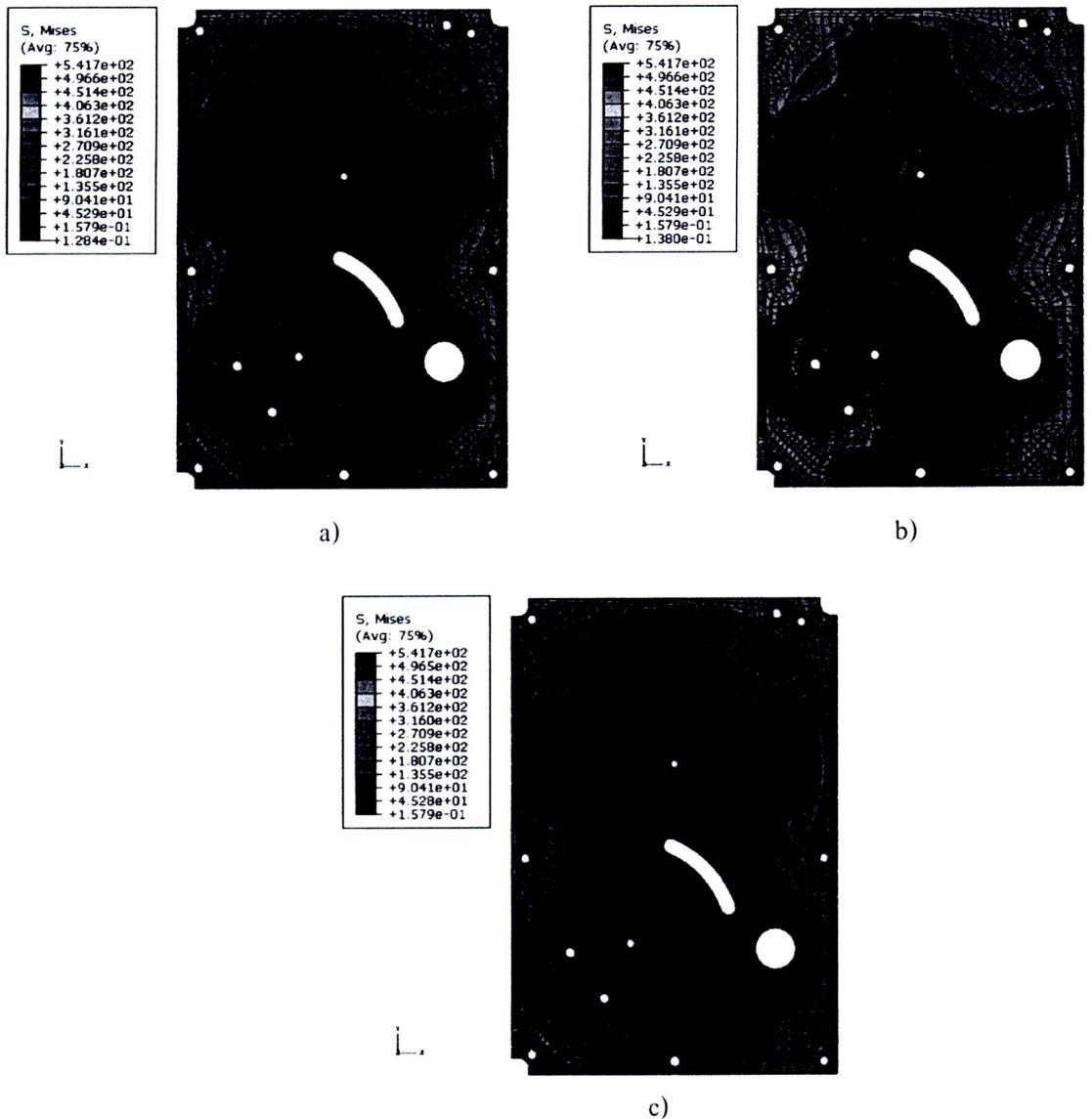
เปลี่ยนแปลงรูปร่างของฝาปิด โดยแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นแบบจำลอง Circular ที่มีลำดับการขันเพียง 9 ลำดับการขัน โดยไม่มีการขันย้ำสกรูตัวอื่นๆ แบบจำลองและค่าขอบเขตเงื่อนไขยังคงมีลักษณะเช่นเดียวกับแบบจำลองก่อนหน้านี้ ในส่วนของตัวแปรภาระโหลดที่กระทำได้มีการเปลี่ยนแปลง สามารถแบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ 6 kgf.cm, 6.5 kgf.cm และ 7 kgf.cm เนื่องจากค่าแรงบิดสูงสุดที่เครื่องขันสกรูอัตโนมัติสามารถขันได้อยู่ที่ 7 kgf.cm จึงทำให้การศึกษาค่าแรงบิดถูกจำกัดค่าสูงสุดไว้ที่ค่านี้นี้



รูปที่ 5.8 สัดส่วนการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงกดของสกรูเมื่อสิ้นสุดการขันย้ำของสกรูทุกตัว

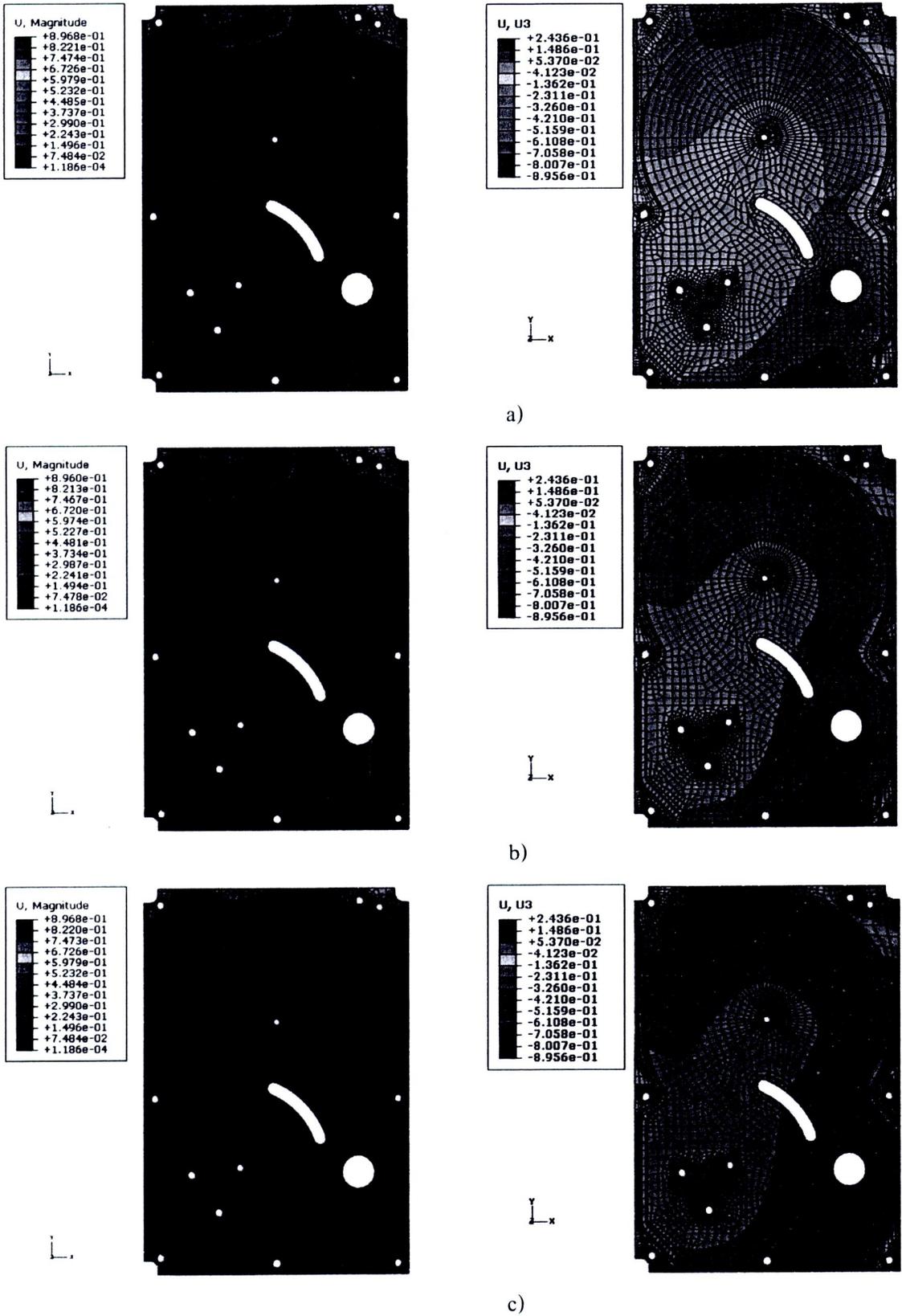
สำหรับค่าการกระจายตัวของความเค้นในบริเวณของฝาปิด ของทั้ง 3 กรณีแสดงในรูปที่ 5.9 จะเห็นได้ว่าลักษณะการกระจายของความเค้นมีลักษณะไปในทิศทางเดียวกัน แต่ค่าความเค้นของกรณีที่มีค่าทอร์กสูงกว่าจะมีค่าความเค้นสูงตามไปด้วย

ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของฝาปิด ทั้ง 3 กรณีแสดงในรูปที่ 5.10 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างยังคงมีลักษณะคล้ายคลึงกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกรณีศึกษาในหัวข้ออื่นๆ คือ จะเกิด Displacement ในแนวแกน -Z บริเวณที่มีการขันสกรู ซึ่งมีค่ามากบริเวณที่มีการขันสกรูยึดติดกับตัวฐานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ แต่ค่าของ Displacement ในกรณีที่มีค่าทอร์กมากก็จะทำให้เกิด Displacement ในแนวแกน -Z มากกว่ากรณีที่มีค่าทอร์กน้อยกว่า



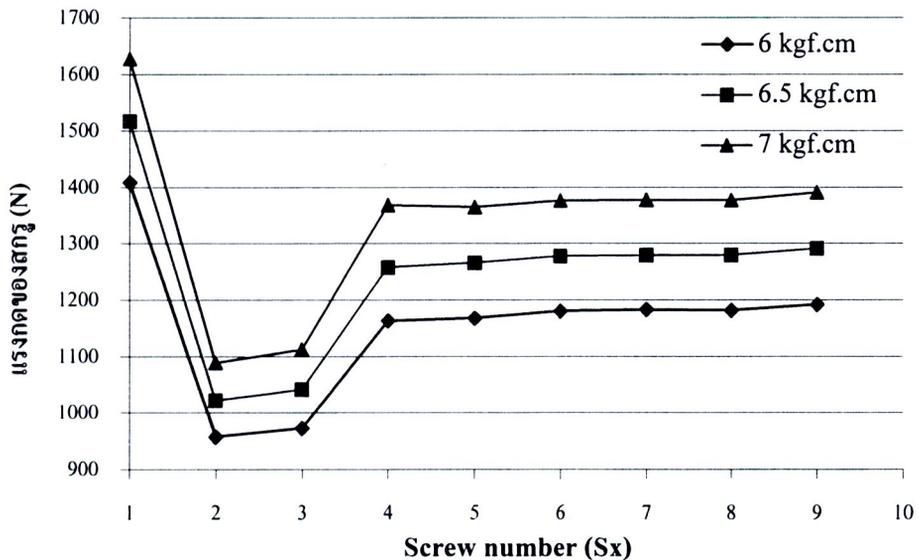
รูปที่ 5.9 การกระจายตัวของความเค้นของฝาปิด เมื่อทอร์กที่ใช้ขันมีค่า a) 6 kgf.cm b) 6.5 kgf.cm c) 7 kgf.cm

เมื่อนำค่าค่าแรงกดของสกรูในลำดับการขันสิ้นสุดมาเปรียบเทียบกันทั้ง 3 กรณีดังแสดงในรูปที่ 5.11 จะเห็นได้ว่า แนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงกดของสกรูเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยเส้นที่ลากเชื่อมข้อมูลในกราฟไม่ได้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล เป็นการแสดงให้เห็นถึงเส้นโน้มที่เกิดขึ้นเท่านั้น

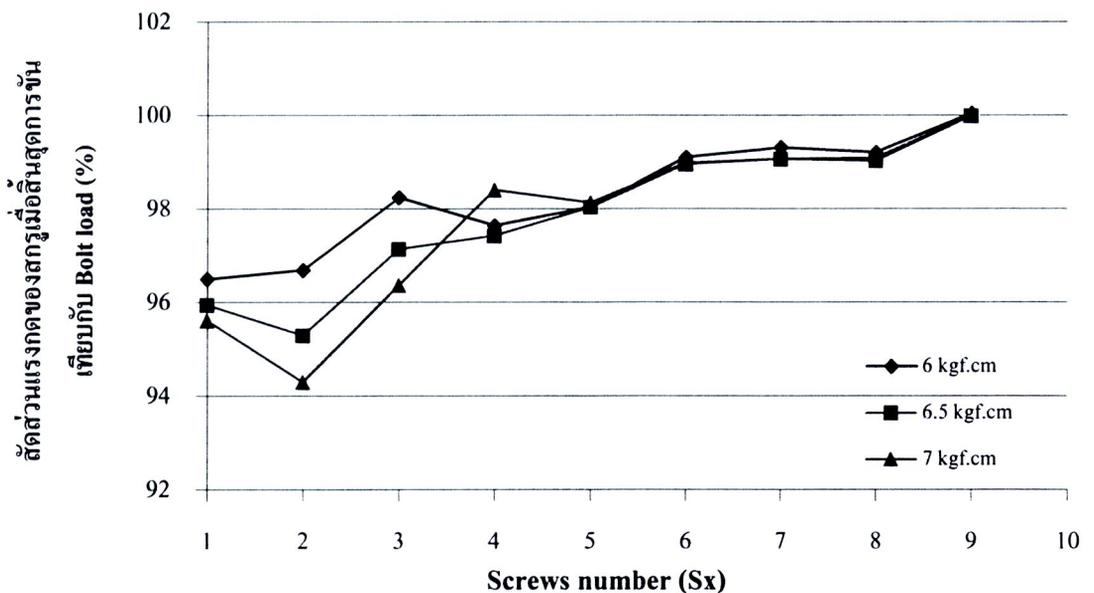


รูปที่ 5.10 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของฝาปิด เมื่อทอร์กที่ใช้ขันมีค่า a) 6 kgf.cm b) 6.5 kgf.cm  
c) 7 kgf.cm

และเมื่อนำค่าแรงกดของสกรูในลำดับการขันสุดท้ายของทั้ง 3 กรณี มาคำนวณหาค่าสัดส่วนแรงกดของสกรูเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ดังแสดงในรูปที่ 5.12 จากกราฟจะเห็นได้ว่า สกรูเกือบทั้งหมดมีค่าสัดส่วนแรงกดของสกรูเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการขัน เปรียบเทียบกับค่าที่ใช้ในการขันมีค่าลดลงเมื่อค่าทอร์กเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะสกรู S1-S3 มีค่าที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัด



รูปที่ 5.11 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าแรงกดของสกรูเมื่อค่าทอร์กเปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 5.12 กราฟแสดงค่าสัดส่วนแรงกดของสกรูเมื่อค่าทอร์กเปลี่ยนแปลงไป

จากการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่า เมื่อทอร์คเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ค่าสัดส่วนแรงกดของสกรูมีค่าลดลง ใน สกรูบางตัว นั้นแสดงให้เห็นว่า จำเป็นต้องมีการขันย้าสกรู เพื่อให้ค่าสัดส่วนมีค่าเพิ่มสูงขึ้นใน กรณีที่ต้องการเพิ่มค่าทอร์คให้กับการขันสกรู