แบบจำลองความเค้นของสลักเกลียวและแป้นเกลียวยึดเสาไฟฟ้าส่องสว่างโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
Model Stress of Bolts and Nuts Hold the Light Poles by Finite Element Method

สุรวุฒิ ยะนิล

ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ 1518 ถนนประชาราษฎร1 บางซื่อ กทม.

sarawuty@kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีจุดประสงค์ เพื่อหาชนิดแป้นเกลียวที่เหมาะสม ความแข็งแรงของสลักเกลียวที่เหมาะสม และขนาดของสลักเกลียวที่เหมาะสมเพื่อนำไปยึดเสาไฟฟ้าส่องสว่าง เพื่อลดความสูญเปล่าของสลักเกลียวที่เกินความจำเป็นและยังต้องมีความแข็งแรงเพียงพอ ด้วยการคำนวณแรงมากที่สุดที่แป้นเกลียวและสลักเกลียวรับได้เมื่อใช้ความแข็งแรงของสลักเกลียวเป็นเกณฑ์ เปรียบเทียบกับการคำนวณแรงมากที่สุดที่แป้นเกลียวและสลักเกลียวรับได้เมื่อใช้ความแข็งแรงของเสาไฟฟ้าส่องสว่างเป็นเกณฑ์ การหาชนิดแป้นเกลียวที่เหมาะสมทำโดยสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นแบบสมมาตรรอบแกนด้วยโปรแกรม ANSYS 14.0 การสร้างแบบจำลองได้กำหนดให้มีขนาดของสลักเกลียว ขนาด M16 ความแข็งแรงของสลักเกลียวและแป้นเกลียวมี 3 ความแข็งแรงคือ 5.8, 8.8 และ10.9 การคำนวณแรงมากที่สุดที่แป้นเกลียวและสลักเกลียวรับได้ พบว่าเสาไฟฟ้าจะเกิดความเสียหายก่อนสลักเกลียวเกิดความเสียหายผลลัพธ์จากการจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์จะได้ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อสลักเกลียวและแป้นเกลียวได้รับแรงมากที่สุดที่รับได้ทางทฤษฎี พบว่าสลักเกลียวขนาด M16 ความแข็งแรง 5.8 ชนิดแป้นเกลียว DIN 6915 มีความเหมาะสมมากที่สุดในการนำไปยึดเสาไฟฟ้าส่องสว่าง

Abstract

This research aims. To find the right kind of nuts. The strength of the bolts and the size of the bolts used to hold the light poles. To reduce waste and redundancy and the bolts have to be strong enough. By calculating the most nuts and bolts have been used as the basis of the strength of the bolts. Compared with most numerical strength nuts and bolts have been on the strength of a light pole bases. To find out what kind of nuts that fit done by modeling finite element is symmetrical about an axis with ANSYS 14.0 modeling requires that the size of the bolts sizes M16 and nuts with 3 strength is 5.8, 8.8 and 10.9 to calculate the most nuts and bolts have been. The poles will damage the bolts before damage results from the simulation with finite element stress that can occur when the bolts and nuts are the most acceptable theory. The larger M16 bolts Nuts DIN 6915 strength of 5.8 is most appropriate for the light poles.

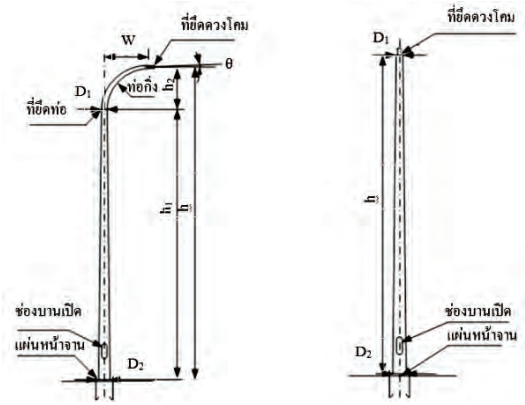
คำสำคัญ: สลักเกลียว เสาไฟฟ้าส่องสว่าง ไฟไนต์เอลิเมนต์

1. บทนำ

เสาไฟส่องสว่างบนท้องถนนส่วนมากจะทำการจับยึดและติดตั้งด้วยสลักเกลียวและแป้นเกลียว เพื่อความสะดวกในการติดตั้งและถอดประกอบ และในปัจจุบันบนทางจราจรหลักของการคมนาคมทางบกมีเสาไฟส่องสว่างบนถนนมีอยู่เป็นจำนวนมากจากพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511ได้ออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เสาเหล็กกล้าเคลือบสังกะสีสำหรับไฟฟ้าแสงสว่าง มาตรฐานเลขที่ มอก. 2316 - 2549 แต่ไม่ได้กำหนดขนาดของสลักเกลียวและความแข็งแรงวัสดุเกลียวที่นำมาใช้ในการติดตั้งไว้อย่างชัดเจน อีกทั้งไม่ได้กำหนดชนิดของแป้นเกลียวที่นำมาใช้ในการจับยึดเสาไฟฟ้าส่องสว่าง จึงอาจจะทำให้เกิดการเลือกใช้ที่ไม่เหมาะสม ในสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติ กระแสลมในบรรยากาศจะมีอิทธิพลต่อเสาไฟฟ้าส่องสว่าง เมื่อกระแสลมเหล่านั้นมากระทำต่อเสาไฟฟ้าส่องสว่าง สิ่งที่ทำให้เสาไฟฟ้าส่องสว่างไม่เอนล้มลง ก็คือการจับยึดด้วยสลักเกลียว และยังมียานพาหนะวิ่งมาปะทะกับเสาไฟส่องสว่างจากรายงานประจำปีเรื่อง อุบัติเหตุจราจรบนทางหลวงแผ่นดินปี 2554 สำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวง พบว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าและไฟฟ้าแสงสว่างมีความเสียหายจำนวนมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 29.55 จากประเภทของทรัพย์สินที่เสียหายทำให้สลักเกลียวหรือแป้นเกลียวรับแรงที่เกิดจากการปะทะจึงส่งผลให้เกิดความเสียหายที่สลักเกลียวของฐานเสาไฟส่องสว่าง และถ้าสลักเกลียวไม่สามารถทนแรงที่มาปะทะได้ อาจจะทำให้เสาล้มลงแล้วส่งผลเสียต่อทรัพย์อื่นๆ โดยในปัจจุบันได้มีการนำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้ในการวิเคราะห์ เช่น ความเค้น ความเครียด ระยะการเปลี่ยนรูป ฯลฯ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้ในการวิเคราะห์จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นจะเห็นได้ว่าสลักเกลียวจับยึดเสาไฟฟ้าส่องสว่างเป็นส่วนที่จำเป็นเพื่อให้เสาไฟฟ้าส่องสว่างสามารถตั้งอยู่ได้โดยไม่ล้มลง และยังต้องเลือกขนาดของสลักเกลียว ชนิดของแป้นเกลียวที่เหมาะสม ดังนั้นผู้จัดทำจึงทำการสร้างแบบจำลองของสลักเกลียวและแป้นเกลียวโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อหาชนิดแป้นเกลียวความแข็งแรงของสลักเกลียวและขนาดของสลักเกลียวที่เหมาะสมเพื่อนำไปยึดเสาไฟฟ้าส่องสว่าง

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เสาเหล็กกล้าเคลือบสังกะสีสำหรับไฟฟ้าแสงสว่าง คือ เสากลวงเหล็กกล้าเคลือบสังกะสีที่เป็นท่อเรียวใช้สำหรับเป็นที่ติดตั้งดวงโคมไฟฟ้าส่องสว่าง 1 ดวงหรือมากกว่าและอาจมีท่อกิ่งหรือไม่มีก็ได้เสาไฟฟ้าแบบมีท่อกิ่ง (Column with bracket) หมายถึงเสาไฟฟ้าที่มีท่อกิ่งยื่นมาจากส่วนตรงของเสาไฟฟ้าเพื่อติดตั้งดวงโคมไฟฟ้า 1 โคม หรือมากกว่า โดยท่อกิ่งแยกส่วนกับเสาไฟฟ้า

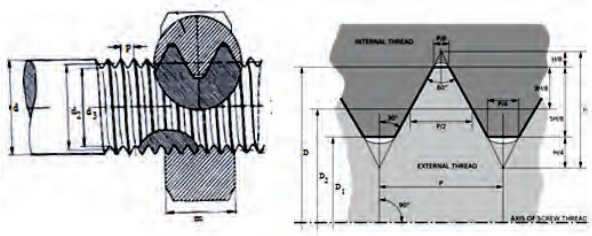


ภาพที่ 1 แบบเสาไฟฟ้าส่องสว่าง

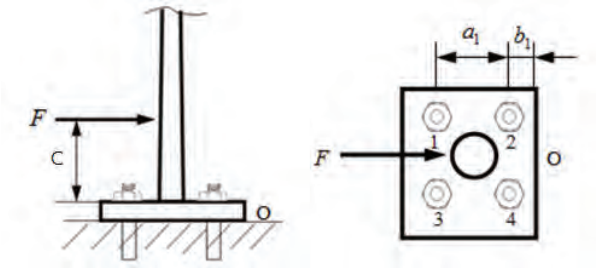
ภาพที่ 2 การยึดสลักเกลียวของเสาไฟฟ้าส่องสว่าง

ตามภาพที่ 1 เสาไฟฟ้าแบบตรง (Post top column) หมายถึงเสาไฟฟ้าไม่มีท่อกิ่งยื่นมาจากส่วนตรงของเสาไฟฟ้าติดตั้งดวงโคมไฟฟ้าที่ปลายโดยตรง และการยึดสลักเกลียวของเสาส่องสว่างดังภาพที่ 2

2.2 สลักเกลียว (Screws) สลักเกลียวเป็นชิ้นส่วนมาตรฐานโดยองค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ (ISO) ได้กำหนด ลักษณะสลักเกลียว จากภาพที่ 3 ชื่อเรียกส่วนต่างๆ ของสลักเกลียวตามมาตรฐาน ISO [1] มีดังนี้



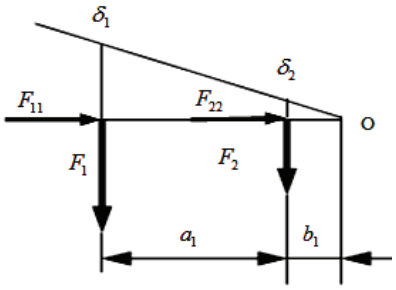
ภาพที่ 3 ส่วนต่างๆ ของสลักเกลียว



ภาพที่ 4 สลักเกลียวยึดเสาไฟฟ้าส่องสว่างรับแรงเยื้องศูนย์

2.3 แรงที่เกิดขึ้นกับสลักเกลียว ชิ้นงานที่ยึดด้วยสลักเกลียวที่รับแรงเยื้องศูนย์ตัวสลักเกลียวและแป้นเกลียว จะรับทั้งแรงดึงและแรงเฉือนแต่ความเสียหายเนื่องจากแรงเฉือนที่เกิดขึ้นมีน้อยมาก

2.4 การยึดของสลักเกลียว ในภาพที่ 5 คือแบบจำลองการยึดตัวของสลักเกลียวเพื่อใช้ในการสร้างสมการในการคำนวณหาแรงดึงในแนวแกนของสลักเกลียวเพื่อหาค่าแรงดึงสูงสุด



ภาพที่ 5 แรงและระยะยืดที่เกิดขึ้นกับสลักเกลียว

เมื่อสลักเกลียวได้รับแรงจากภายนอกการทำกับเสาไฟฟ้าส่องสว่างจะทำให้ฐานรองรับเกิดแรงดึงสลักเกลียวจะเกิดการยืดตัวดังสมการที่ 1 และสมการที่ 2

$$\delta_1 = \frac{F_1 L}{AE} \qquad (1)$$

$$\delta_2 = \frac{F_2 L}{AE}$$

เพราะฉะนั้น

$$\delta_1 / \delta_2 = \frac{F_1}{F_2} \qquad (2)$$

จากกฎสามเหลี่ยมคล้ายตามภาพที่ 4 สามารถหาสัดส่วนของแรงและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นได้โดยตำแหน่งฐานของเสาเป็นจุดหมุนดังสมการที่ 5

$$\frac{\delta_1}{\delta_2} = \frac{a_1 + b_1}{b_1}$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{a_1 + b_1}{b_1}$$

$$F_2 = \frac{F_1 b_1}{a_1 + b_1}$$

รวมโมเมนต์รอบจุด O

$$cF = (2F_1(a_1 + b_1)) + 2b_1 F_2 \qquad (5)$$

ในการวิเคราะห์หาแรงดึงในสลักเกลียวให้สมมติว่าหน้าจานหมุนไปเนื่องจากแรง F รอบจุด O ซึ่งทำให้สลักเกลียวยืดออกมาเป็นระยะทาง δ_1 และ δ_2

F คือแรงที่มากระทำกับเสาไฟฟ้าส่องสว่าง

F_1 คือแรงดึงที่กระทำภายในสลักเกลียวหมายเลข 1

F_2 คือแรงดึงที่กระทำภายในสลักเกลียวหมายเลข 2

F_{11} คือแรงเฉือนที่กระทำกับสลักเกลียวหมายเลข 1

F_{22} คือแรงเฉือนที่กระทำกับสลักเกลียวหมายเลข2

δ_1 คือระยะยืดของสลักเกลียวหมายเลข 1

δ_2 คือระยะยืดของสลักเกลียวหมายเลข 2

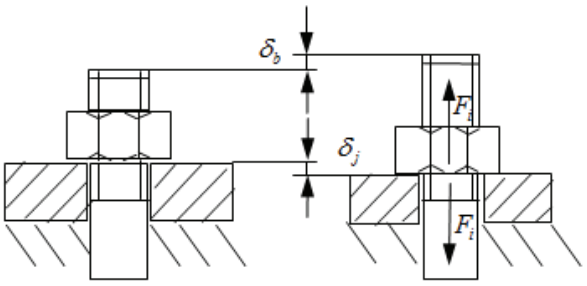
การหาแรงที่มากระทำกับเสาไฟฟ้าส่องสว่าง แล้วย้อนกลับไปหาแรงดึงสูงสุดในสลักเกลียวจะใช้สมการความเค้นออกตระฮีดรัลดังสมการที่ 4 และสมการที่ 5 [3]

$$\frac{1}{N}=\left[\left[\frac{\tau}{\tau_y}\right]^2+\left[\frac{\sigma}{\sigma_y}\right]^2\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (4)$$

$$F_1=1.923F \qquad (5)$$

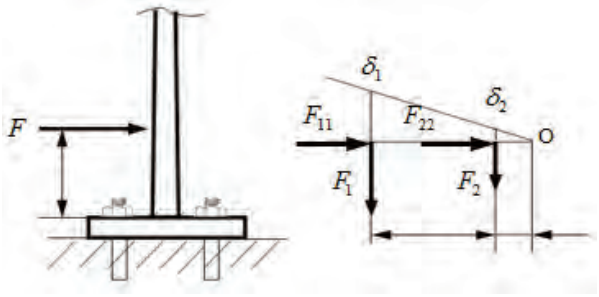
3. ขั้นตอนดำเนินงาน

3.1 ขั้นตอนวิเคราะห์รูปแบบการรับแรงสลักเกลียวและแป้นเกลียว ลักษณะการยึดเสาไฟฟ้าส่องสว่างจะเป็นการจับยึดแบบสลักเกลียวจับกับฐานของเสาไฟฟ้าส่องสว่างด้วยแป้นเกลียว สลักเกลียวจะฝังอยู่กับฐานปูนซีเมนต์โดยจะสร้างแบบจำลองมีลักษณะดังภาพที่ 6 [2]

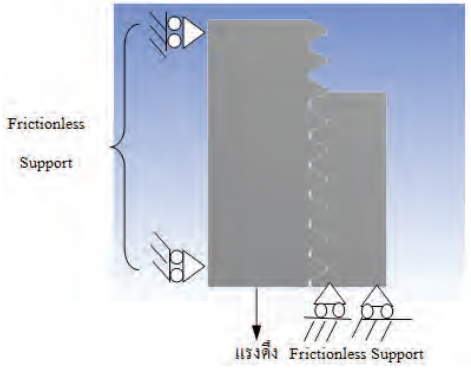


ภาพที่ 6 แรงจับยึดเบื้องต้นสลักเกลียวและแป้นเกลียวกับชิ้นงาน

การรับแรงของเสาไฟฟ้าส่องสว่างและแรงที่เกิดขึ้นกับสลักเกลียวและแป้นเกลียวเสาไฟส่องสว่างดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แรงที่เกิดขึ้นในสลักเกลียวและแป้นเกลียว



ภาพที่ 8 แบบจำลองสลักเกลียวและแป้นเกลียว

แบบจำลองสลักเกลียวและแป้นเกลียวในภาพที่ 7 จะมีผลจากแรงเฉือนที่มีผลน้อยมากเมื่อเทียบกับแรงดึงที่เกิดขึ้นดังนั้นจึงคิดเฉพาะแรงดึงภายในสลักเกลียวเท่านั้น

3.2 ขั้นตอนคำนวณหาแรงที่เกิดขึ้นในสลักเกลียว

3.3 ขั้นตอนการคำนวณหาแรงมากที่สุดที่สลักเกลียวและแป้นเกลียวรับได้ทางทฤษฎี

3.4 ขั้นตอนสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อหาชนิดของแป้นเกลียวที่เหมาะสมในการจับยึดเสาไฟฟ้าส่องสว่างโดยกำหนดให้เป็นปัญหาแบบสมมาตรรอบแกนดังภาพที่ 8

3.5 วิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นที่สลักเกลียวและแป้นเกลียว

4. ผลการทดสอบ

จากผลลัพธ์การคำนวณแรงมากที่สุดที่สลักเกลียวรับได้โดยพิจารณาความแข็งแรงของสลักเกลียวเป็นเกณฑ์กับพิจารณาโดยใช้ความแข็งของเสาไฟฟ้าส่องสว่างเป็นเกณฑ์ทางทฤษฎีและการวิเคราะห์ความเค้นของสลักเกลียวและแป้นเกลียวที่ได้รับแรงโดยสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อหาขนาดของสลักเกลียวและแป้นเกลียวที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ยึดเสาไฟฟ้าส่องสว่าง กำหนดให้มีความแข็งแรงของวัสดุสลักเกลียวและแป้นเกลียว 3 ความแข็งแรง คือ ความแข็งแรง 5.8, 8.8 และ 10.9 ขนาดของสลักเกลียวที่ใช้ในการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ขนาด M16 แป้นเกลียวมี 4 ชนิดคือ DIN 6915(ชนิดงานโครงสร้าง) DIN EN ISO 4032(ความสูง

ปกติ) DIN EN ISO 4035(ชนิดหัวบาง) และ DIN EN ISO 4033(ชนิดหัวหนา)

4.1 การคำนวณแรงที่มากที่สุดที่สลักเกลียวและแป้นเกลียวรับได้ แรงมากที่สุดที่สลักเกลียวและแป้นเกลียวรับได้โดยพิจารณาความแข็งแรงของสลักเกลียวเป็นเกณฑ์ใช้สมการ $\frac{\delta_y}{N} = \frac{F_1}{A_s}$ ส่วนพิจารณาโดยใช้ความแข็งแรงของเสาไฟฟ้าส่องสว่างเป็นเกณฑ์ใช้สมการ $\frac{\sigma_y}{N} = \frac{MC}{I}$ ซึ่งแรงมากที่สุดที่สลักเกลียวรับได้โดยใช้ความแข็งแรงของเสาไฟฟ้าส่องสว่างเป็นเกณฑ์ เสาไฟฟ้าส่องสว่างสูง 8 m กับเสาไฟฟ้าส่องสว่างสูง 4 m จะมีค่าต่างกัน

เนื่องจากการจำลองเป็นแบบสมมาตรรอบแกนดังนั้นขนาดความโตของสลักเกลียวและความโตของแป้นเกลียวในแบบจำลองจึงจำลองเพียงครึ่งเดียวเท่านั้นโดยแป้นเกลียวมี 4 ชนิด คือ (1) DIN 6915(ชนิดงานโครงสร้าง), (2) DIN EN ISO 4032(ความสูงปกติ), (3) DIN EN ISO 4035(ชนิดหัวบาง) และ (4) DIN EN ISO 4033(ชนิดหัวหนา) กำหนดให้ค่าความเค้นที่เกลียวสูงสุดไม่เกิน $\sigma_y = 400\,N/mm^2$ และค่า Safety Factor คือ $N = 3$ จากการคำนวณแรงวิกฤตสูงสุดของเสาไฟฟ้าส่องสว่างที่รับแรงกระทำด้านข้างสูง 4 m เท่ากับ 6,340.7 N และ แรงกระทำด้านข้างสูง 8 m เท่ากับ 12,168.6 N

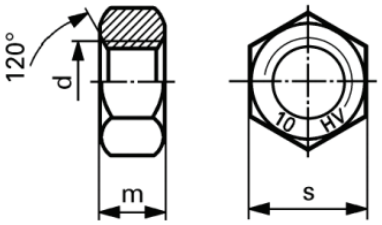
ตารางที่ 1 เปรียบเทียบเกณฑ์ความแข็งแรงของสลักเกลียวขนาด M16x2 กับแรงวิกฤตสูงสุดของเสาไฟฟ้าส่องสว่าง

ความแข็งแรง	แรงสูงสุดที่สลักเกลียว		
	เกณฑ์ความแข็งแรงของสลักเกลียว (N)	แรงวิกฤตสูงสุดของเสาไฟฟ้าส่องสว่างสูง 4 เมตร(N)	แรงวิกฤตสูงสุดของเสาไฟฟ้าส่องสว่างสูง 8 เมตร(N)
5.8	20,933	6,340.7	12,168.6
8.8	33,493		
10.9	47,100		

ตารางที่ 2 ขนาดของแป้นเกลียวหัวหกเหลี่ยม DIN 6915

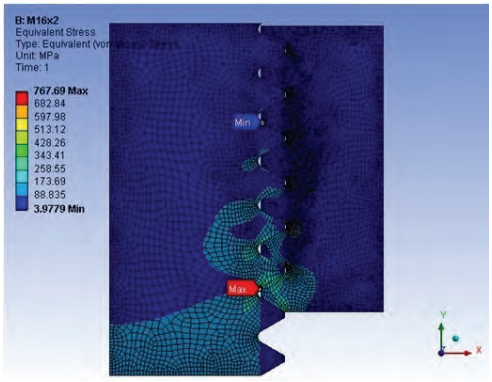
สลักเกลียว	ความหนาแป้นเกลียว (mm)	ความโตใช้งานแป้นเกลียว (mm)
M16	13	27
M16	15.9	24
M16	8	24
M16	16.4	24

ในการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์มีการเปลี่ยนแปลงขนาดความหนาแป้นเกลียว (m) และความโตใช้งานแป้นเกลียว (s) สำหรับสลักเกลียวขนาด M16 ดังภาพที่ 9



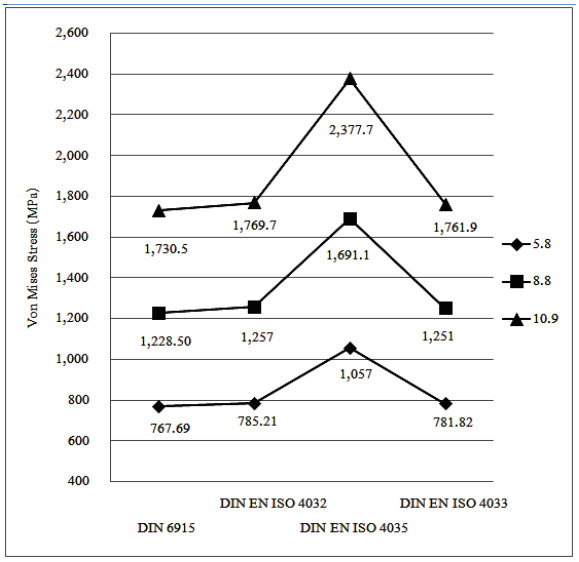
ภาพที่ 9 ลักษณะของแป้นเกลียว

4.2 การแสดงผลของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ความเค้นที่เกิดขึ้นพบว่าบริเวณแป้นเกลียวด้านล่างกับบริเวณฐานสลักเกลียวเกิดความเค้นสูงสุดและการกระจายตัวของค่าความเค้นเกิดขึ้นไม่เท่ากันในแต่ละฟันของเกลียวพบว่าที่สลักเกลียวด้านบนกับแป้นเกลียวเกิดความเค้นน้อยที่สุด



ภาพที่ 10 ความเค้นของสลักเกลียว M16 ระยะพิตช์ 2 mm กับแป้นเกลียว DIN 6915 ความแข็งแรง 5.8 แรงขนาด 20,933 N

4.3 การเปรียบเทียบค่าความเค้นกับชนิดของแป้นเกลียวของสลักเกลียวแต่ละขนาด ค่าความเค้นของสลักเกลียวขนาด M16 กับแป้นเกลียวแต่ละขนาดตามตารางที่ 2 ถึงแต่ละชนิดที่มีแรงดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ค่าความเค้นสูงสุดกับชนิดของแป้นเกลียวขนาดของสลักเกลียว M16

5. สรุปผลการวิเคราะห์

การคำนวณแรงมากที่สุดที่สลักเกลียวและแป้นเกลียวรับได้โดยพิจารณาความแข็งแรงของสลักเกลียวเป็นเกณฑ์เปรียบเทียบกับใช้ความแข็งแรงของเสาไฟฟ้าส่องสว่างเป็นเกณฑ์ทั้งขนาดความสูงของเสาไฟฟ้าส่องสว่าง 4 เมตร และ 8 เมตร พบว่าแรงมากที่สุดที่สลักเกลียวและแป้นเกลียวรับได้เมื่อพิจารณาความแข็งแรงของสลักเกลียวเป็นเกณฑ์มีค่ามากกว่า ใช้ความแข็งแรงของเสาไฟฟ้าส่องสว่างเป็นเกณฑ์แสดงว่าเสาไฟฟ้าส่องสว่างเสียหายก่อนที่สลักเกลียวเสียหาย ในการเลือกสลักเกลียวขนาด M16 ระยะพิตช์เท่ากับ 2 mm ความแข็งแรง 5.8 ชนิดแป้นเกลียว DIN 6915 มีค่าความเค้นที่เกิดขึ้นน้อยที่สุดเกณฑ์ความแข็งแรงของสลักเกลียวสามารถรับแรงดึงได้ถึง 20,933 N แต่ค่าแรงวิกฤตสูงสุดของเสาไฟฟ้าส่องสว่างมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ความแข็งแรงของสลักเกลียวสามารถเลือกใช้สลักเกลียวขนาด M16ในการจับยึดได้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] บรรเลง ศรนิล และสมนึก วัตนศรียกุล, “ตารางคู่มืองานโลหะ”, ศูนย์ผลิตตำราเรียน กรุงเทพฯ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2551.

[2] ประดิษฐ์ เหมือนคิด, “เอกสารประกอบการสอนวิชาการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องกล 1”, ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ,2554.

[3] วริทธ์ อึ๊งภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน,”ออกแบบเครื่องจักรกล” ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ, 2549.