

การประเมินอายุการใช้งานของแผ่นตามกระดูกที่ยึดบนกระดูกต้นขาที่แตกหักของคน ขณะรับภาระแบบวงรอบ

Life Estimation of Dynamic Compression Plate Attached on Fracture Human Femur Subjected to Cyclic Loading

ธนา เลิศวิบูลย์ชัย¹, อัญชลี มโนกุล^{2*} และ ศุภสิทธิ์ รอดขวัญ¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

²ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ปทุมธานี 12120

Thana Lestviboonchai¹, Anchalee Manonukul^{2*} and Supasit Rhodkwan³

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok, 10900

²National Metal and Material Technology Center, Thailand Science Park, Pathumtani, 12120

*Corresponding author: e-mail anchalm@mtect.or.th

บทคัดย่อ

จากการใช้งานแผ่นตามกระดูกดีซีพี 14 รู เพื่อยึดบนกระดูกต้นขาที่แตกหักพบความเสียหายที่แผ่นตามกระดูก ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การรักษาผู้ป่วยกระดูกต้นขาหักล้มเหลว ทั้งนี้ปัญหาดังกล่าวส่วนใหญ่พบในผู้ป่วยที่ลงน้ำหนักในขาข้างที่หักก่อนจะมีการติดกันของรอยแตกหัก จากการศึกษาผลของตัวแปร 5 ตัวแปร คือ (1) จำนวนสกรูและรูปแบบการยึด (2) แรงบิดขันสกรู (3) ขนาดช่องว่างรอยแตกหักของกระดูก (4) ขนาดมุมรอยแตกหักของกระดูก และ (5) น้ำหนักของผู้ป่วย ต่อความเค้นที่เกิดขึ้นบนแผ่นดีซีพี (Dynamic Compression Plate, DCP) จากการรับภาระความเค้นแบบสถิตย์ พบว่าขนาดช่องว่างรอยแตกหักของกระดูกเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ทำให้เกิดความเสียหายของแผ่นดีซีพีจากการรับภาระแบบสถิตย์ ส่วนผลจากตัวแปรอื่นพบว่าเกิดค่าความเค้นสูงสุดที่ต่ำกว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงวัสดุ และสูงกว่าค่าความเค้นคราก (Yield Strength) เพียงเล็กน้อย แสดงว่าแผ่นดีซีพียังไม่เกิดความเสียหายด้วยผลจากตัวแปรดังกล่าว แต่อาจเกิดความเสียหายได้จากการล้าของวัสดุหากต้องรับภาระแบบวงรอบขณะเดิน วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อที่จะประมาณอายุการใช้งานจากความล้าของแผ่นดีซีพี ขณะรับภาระแบบวงรอบโดยใช้วิธี ความเค้น – อายุการใช้งาน ผลที่ได้พบว่า อายุการใช้งานจากความล้าของแผ่นดีซีพีอยู่ที่ประมาณ 7,000 ถึง 720,000 รอบ สำหรับกรณีช่องว่างรอยแตกหักของกระดูกเท่ากับ 1 มม. โดยที่เปลี่ยนเงื่อนไขอื่นๆ ออกไป นอกจากนั้นยังพบว่าอายุการใช้งานของแผ่นดีซีพีสามารถเพิ่มขึ้นได้ โดยการเลือกใช้สกรูจำนวนที่ลดลง ยึดในตำแหน่งที่ห่างกัน การใช้แรงบิดขันสกรูที่เหมาะสมกับจำนวนสกรูและรูปแบบการยึดสกรู การลดน้ำหนักของผู้ป่วย และการที่มุมของรอยแตกหักอยู่ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ส่วนกรณีช่องว่างรอยแตกหักของกระดูกเท่ากับ 0.2 มม.

แผ่นดีซีพีจะมีอายุการใช้งานเป็นอนันต์ คือจะไม่เกิดความเสียหายจากความล้าของวัสดุ

คำหลัก: ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, แผ่นตามกระดูก, กระดูกต้นขา

Abstract

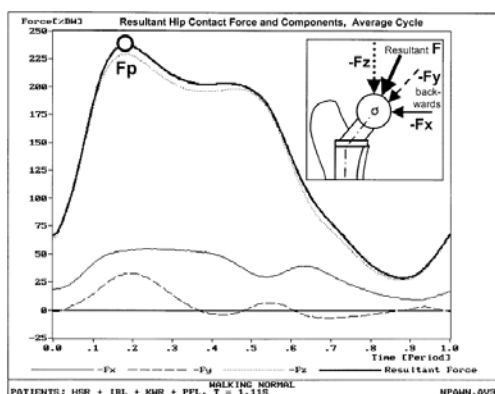
From the usage of fourteen-hole Dynamic Compression Plate (DCP) to support a fracture femur shaft, it is found that the failure of fixation plate is one of causes of unsuccessful healing of human fracture. It is commonly observed in patients who apply weight bearing on their fracture femur before the healing of their femur is completed. From the previous work, the investigation on effect of five parameters, which are (1) the number of screws used included the positioning, (2) the torque for tightening each screw, (3) the size of fracture gap, (4) the fracture angle with respect to the femur shaft and (5) the patient weight, on the stress of DCP when it is subjected to static load. The results show that the size of fracture gap is the most significant parameter for the failure of the DCP. For the result of other parameters, the stress on DCP is lower than ultimate Tensile Strength of the material and slightly higher than Yield Strength of the material then DCP would not fail by supported static load with cause of these parameters. Hence, the DCP would not fail due to static loading under these conditions. However, DCP could be failed due to fatigue when it subjected to cyclic loading. The objective of this work is to estimate its fatigue life by Stress-Life (S-N) method when it is subjected to the cyclic load. The results

show that the fatigue life of the DCP was between 7,000 to 720,000 cycles in the case that the fracture gap is 1 mm. The usage of smaller number of screws and located as far apart as possible, the suitable level of applied torque for each and screws setup, reducing the patient weight and the angle of fracture rotates counterclockwise will extend the fatigue life of the DCP. For the fracture gap of 0.2 mm, the DCP has an infinite life meaning that it will not fail due to fatigue failure.

Keyword: Finite Element Method (FEM), Dynamic Compression Plate (DCP), Femur

1. คำนำ

ความเสียหายของแผ่นตามกระดูกที่ใช้รักษาผู้ป่วยกระดูกหักนั้น เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นและพบมากในผู้ป่วยที่ลงน้ำหนักในกระดูกส่วนที่หัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงขา ซึ่งรับน้ำหนักของผู้ป่วยทั้งหมด ขณะเดิน อีกทั้งในภาวะของการเดินนั้นทำให้เกิดแรงกระทำต่อกระดูก ช่วงขาในลักษณะที่เป็นวงรอบ [1] ดังรูปที่ 1 ซึ่งแสดงถึงแรงที่กระทำกับหัวกระดูกต้นขาขณะเดิน สำหรับในผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาโดยใช้แผ่นตามกระดูก แรงดังกล่าวก็จะกระทำกับแผ่นตามกระดูกเช่นเดียวกัน จากการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นบนแผ่นตามกระดูกภายใต้การรับภาระแบบสถิตย์พบว่าส่วนใหญ่ค่าความเค้นสูงสุดที่แผ่นตามกระดูกจะไม่สูงเกินกว่าค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ของวัสดุแต่พบว่าค่าเกินความเค้นคราก (Yield Strength) ของวัสดุเล็กน้อย ซึ่งแสดงว่าความแผ่นตามกระดูกจะไม่เกิดความเสียหายจากการรับภาระแบบสถิตย์ แต่เหตุการณ์ที่พบความเสียหายของแผ่นตามกระดูกในผู้ป่วยนั้นอาจมีสาเหตุจากความเสียหายจากควาล้าของวัสดุ (Fatigue failure) ที่เกิดจากภาระที่เป็นวงรอบขณะเดิน



รูปที่ 1 แรงที่กระทำกับหัวกระดูกต้นขาในแต่ละจังหวะการก้าวเดิน [1]

งานวิจัยนี้จะทำการประมาณอายุการใช้งานของแผ่นตามกระดูกชนิดตีซีพีที่ใช้ยึดกระดูกต้นขาที่แตกหัก โดยใช้ผลวิเคราะห์ความเค้นจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และประมาณอายุการใช้งานตามวิธีความเค้น – อายุการใช้งาน (Stress – Life Method, S-N) ซึ่งจะศึกษาถึงผลจาก จำนวนและรูปแบบการยึดสกรู แรงบิดขึ้นสกรู ขนาดช่องว่าง

รอยแตกหักของกระดูก ขนาดของมุมรอยแตกหักของกระดูก และน้ำหนักของผู้ป่วย ต่ออายุการใช้งานแผ่นตามกระดูกขณะรับภาระแบบวงรอบ (Cyclic loading) โดยผลที่ได้จากการศึกษานั้นเพื่อประโยชน์ในการใช้งานและการออกแบบพัฒนาแผ่นตามกระดูกชนิดตีซีพีให้สามารถป้องกันความเสียหายจากสาเหตุดังกล่าวได้

2. วิธีการ

2.1 ระบบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

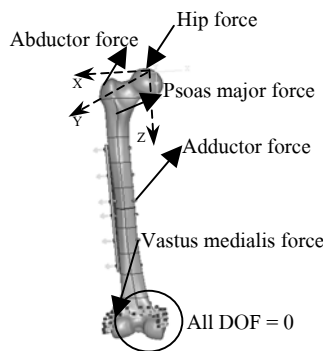
แบบจำลอง 3 มิติของกระดูกต้นขาที่นำมาวิเคราะห์นั้น เป็นกระดูกต้นขาเทียมด้านซ้ายของบริษัท Pacific Research Labs, Inc. (Vashon, Washington, USA) ซึ่ง อยู่ใน เว็บไซต์ BEL Repository (Istituti Ortopedici Rizzoli, Bologna, Italy) จัดทำโดย Papini [2] เป็นกระดูกเทียมรุ่นที่ 3 ทางผู้ผลิตได้ทำการพัฒนาให้มีคุณสมบัติทางกลและรูปร่างลักษณะคล้ายกับกระดูกจริงของมนุษย์มากยิ่งขึ้นจากโมเดลรุ่นก่อนหน้านี้ คุณสมบัติของกระดูกต้นขากำหนดในแบบจำลองนั้น กำหนดให้อยู่ในช่วงยืดหยุ่น (Elastic) และมีคุณสมบัติเป็นไอโซโทรปิก (Isotropic) โดยมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (E) 10 GPa อัตราส่วนปัวซอง (ν) 0.3 สำหรับแบบจำลอง 3 มิติของแผ่นตามกระดูกและสกรูนั้นสร้างจากโปรแกรม SolidWorks โดยสร้างตามขนาดจริงของแผ่นตามกระดูกชนิดตีซีพี 14 รู หน้า 4.5 มม. กว้าง 16 มม. ยาว 231 มม. ของบริษัท MATYS Osteosythes. ส่วนสกรูเป็นชนิดคอร์ติคัลสกรูขนาด 4.5 มม. ยาว 40 มม. คุณสมบัติของวัสดุของแผ่นตามกระดูกและสกรูนั้นใช้วัสดุเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L มีคุณสมบัติเป็นไอโซโทรปิก กำหนดคุณสมบัติของวัสดุเป็น 2 ช่วง คือในช่วงยืดหยุ่นนั้นมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (E) 190 GPa อัตราส่วนปัวซอง (ν) 0.3 ส่วนในช่วงพลาสติก (Plasticity) กำหนดคุณสมบัติตามเส้นโค้งความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain Curve) จากการทดลองของ Olsson [3]

เงื่อนไขการยึดแบบจำลองแผ่นตามกระดูกบนกระดูกต้นขาทำโดยการยึดด้วยสกรู โดยการกำหนดเงื่อนไขเป็นการยึด (Tie) ระหว่างจุด (Node) ของตัวสกรูกับรูเจาะในกระดูก สำหรับหน้าสัมผัสระหว่างแผ่นตามกระดูกกับผิวกระดูกกำหนดให้มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานคงที่ (μ) 0.37 [4] หน้าสัมผัสระหว่างแผ่นตามกระดูกกับหัวสกรูกำหนดให้มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานคงที่ (μ) 0.68 [5] ส่วนหน้าสัมผัสระหว่างรอยแตกหักของกระดูกกำหนดให้มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานคงที่ (μ) 0.3 [6]

แรงที่ใช้ในการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาแรงกระทำบนกระดูกต้นขาที่เกิดขึ้นในช่วง 20% ของรอบการเดิน [1] และทำการรวมแรงจากกล้ามเนื้อที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันให้เหลือเพียงแรงเดียวตามวิธีเวกเตอร์ และตัดแรงจากกล้ามเนื้อที่มีขนาดเล็กน้อยออกโดยไม่พิจารณาแรงดังกล่าว เพื่อทำรูปแบบของแรงกระทำบนกระดูกต้นขาเป็นรูปแบบของแรงอย่างง่าย (Simple Force model) ซึ่งสามารถสรุปแรงกระทำและตำแหน่งของแรงได้ตามตารางที่ 1 และรูปที่ 2 และเลือกใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบทรงสี่หน้าในการแบ่งไฟไนต์เอลิเมนต์ให้กับแบบจำลองในการวิเคราะห์

ตารางที่ 1 แรงกระทำและตำแหน่งของแรงบนกระดูกต้นขา

ลำดับ	แรง	แรงที่ 20% รอบการเดิน (%BW)			ตำแหน่ง (Coordinate)		
		X	Y	Z	X	Y	Z
1.	Hip contact force	-65	25	230	0	0	0
2.	Abductor force	27	-19	-61	-88.16	9.29	23.31
3.	Psoas major force	6.5	-6.8	-27	-49.53	27.99	67
4.	Adductor force	13	0	-6.8	-48.35	-6.6	185
5.	Vastus medialis force	-3.3	-3.7	68	-53.75	-24.10	280



รูปที่ 2 แรงและเงื่อนไขขอบเขต (ภาพด้านหลัง)

2.2 ตัวแปรและกรณีศึกษา

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาถึงตัวแปรของการใช้งานแผ่นตามกระดูก 5 ตัวแปร (รูปที่ 3) ซึ่งจะมีผลต่อความเค้นในแผ่นตามกระดูกขณะรับภาระได้แก่ จำนวนสกรูและรูปแบบของการยึด 6 กรณี (รูปที่ 4 ก.) คือ 14 สกรู 1 รูปแบบ, 8 สกรู 2 รูปแบบ, 6 สกรู 2 รูปแบบ, และ 4 สกรู 1 รูปแบบ แรงบิดขันสกรู 5 กรณี คือ 0.8, 1, 1.5, 2 และ 3 Nm ขนาดรอยแตกหักของกระดูก 5 กรณี คือ 0.2, 1, 4, 7 และ 10 มม. ขนาดมุมรอยแตกหักของกระดูก 5 กรณี (รูปที่ 4 ข.) คือ รอยแตกหักขนานแนวขวางกระดูก (0°) และที่ 10° กับ 20° ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (CCW) และตามเข็มนาฬิกา (CW) กับแนวขวางของกระดูก และน้ำหนักของผู้ป่วย 5 กรณี คือ 50, 60, 70, 80 และ 100 กก. ในการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์จะเริ่มต้นจาก การวิเคราะห์จำนวนสกรูและรูปแบบของการยึด โดยเงื่อนไขของตัวแปรอื่นกำหนดให้ แรงบิดขันสกรู 1.5 Nm ขนาดช่องว่างรอยแตกหัก 1 มม. ขนาดมุมรอยแตกหัก 0° และน้ำหนักผู้ป่วย 60 กก. หลังจากได้ผลการวิเคราะห์ความเค้นจากจำนวนสกรูและรูปแบบของการยึดแล้ว จะเลือกเพียง 1 รูปแบบการยึดที่เหมาะสมคือมีค่าความเค้นน้อยที่สุด เพื่อนำมาวิเคราะห์ผลจากตัวแปรอื่นต่อไป

2.3 การประมาณอายุการใช้งานจากความล้าวัสดุ

วิธีการที่ใช้สำหรับประมาณอายุการใช้งานจากความล้าของวัสดุ คือ วิธีความเค้น - อายุการใช้งาน เนื่องจากเป็นวิธีการที่ใช้ประมาณอายุการใช้งานรวมของวัสดุ (Total life) นิยมใช้ในการออกแบบทางวิศวกรรม ซึ่งเป็นวิธีการที่มีความปลอดภัยสูง แต่เหมาะสมที่จะใช้

วิเคราะห์สำหรับประมาณอายุการใช้งานที่มีรอบการทำงานยาวนาน (High cycle fatigue) คือมีอายุการใช้งานมากกว่า 1000 รอบการทำงาน แม้ว่าความเที่ยงตรงในการประมาณอายุการใช้งานต่ำ อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อที่จะประมาณอายุการใช้งานโดยรวมของแผ่นตามกระดูกเท่านั้น เพื่อที่เป็นแนวทางในการเลือกใช้งานของแพทย์ และเพื่อประโยชน์ในการพิจารณาเงื่อนไขในการออกแบบซึ่งจะต้องมีแฟกเตอร์ความปลอดภัยสำหรับการคำนวณอยู่แล้ว

การประมาณอายุการใช้งานตามวิธี S-N method นั้นจะคำนวณโดยใช้ความสัมพันธ์ของความเค้นกับอายุการใช้งานตาม Basquin equation [7]

$$S_f = aN^b \quad (1)$$

โดยที่ S_f = ความแข็งแรงต่อการล้า (Fatigue strength)
 a, b = ค่าคงที่ของวัสดุ

ซึ่งจากการแทนค่าคงที่คุณสมบัติของวัสดุ จะได้สมการสำหรับอายุการใช้งานตามสมการ 2

$$N = \left(\frac{1454.12}{S_f} \right)^{6.849} \quad (2)$$

เนื่องจากมีแรงขันสกรูบนแผ่นตามกระดูกตั้งนั้นค่าความเค้นเริ่มต้นจึงไม่เป็นศูนย์ จึงต้องพิจารณาผลของค่าความเค้นเฉลี่ย (Mean stress effect) โดยใช้สมการแก้ไขของ Goodman

$$\frac{\sigma_a}{S_f} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = 1 \quad (3)$$

โดยที่
$$\sigma_a = \left| \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \right| \quad (4)$$

และ
$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad (5)$$

โดยที่ σ_a = ความเค้นแอมพลิจูด (Stress amplitude)

σ_m = ความเค้นเฉลี่ย (Mean stress)

S_{ut} = ความแข็งแรงต่อแรงดึงของวัสดุ

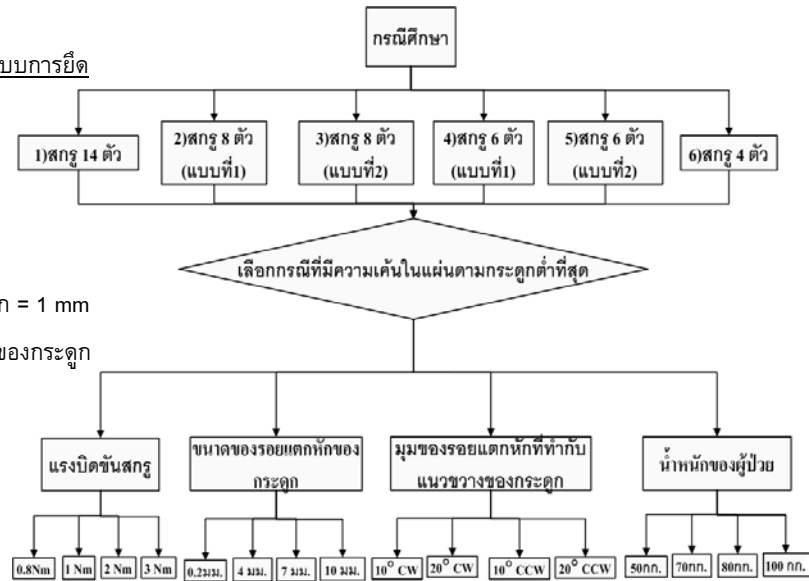
$\sigma_{\max}$ = ความเค้นสูงสุด

$\sigma_{\min}$ = ความเค้นต่ำสุด

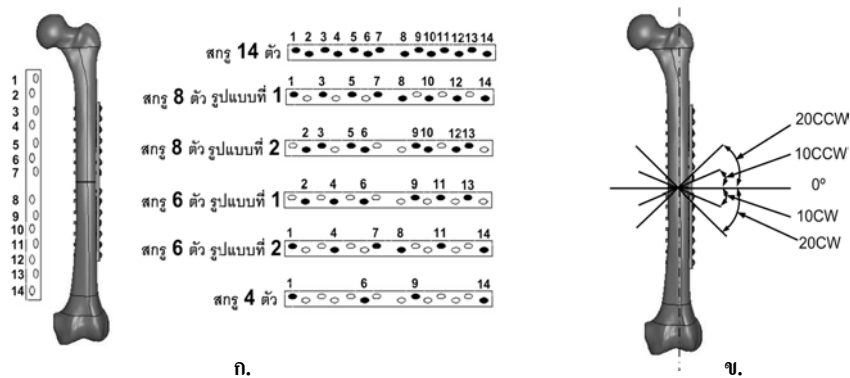
เงื่อนไขเริ่มต้นในการศึกษาจำนวนและรูปแบบการยึด

สกรู

- 1) รูปแบบตำแหน่งสกรู ตามรูปที่ 4ก.
- 2) แรง preload ของสกรู = 1.5 Nm
- 3) แรง preload ของสกรู เท่ากันทุกตัว
- 4) ขนาดของช่องว่างรอยแตกหักของกระดูก = 1 mm
- 5) รอยแตกหักทำมุม 0 องศากับแนวขวางของกระดูก
- 6) น้ำหนักของผู้ป่วยเท่ากับ 60 กก.



รูปที่ 3 กรณีศึกษาและเงื่อนไขเริ่มต้นในการศึกษาจำนวนและรูปแบบการยึดสกรู



รูปที่ 4 ก. ตำแหน่งของการยึดสกรูในแต่ละรูปแบบ ข. มุมของรอยแตกหักของกระดูก (ภาพด้านหน้า)

จากสมการที่ 2 จะได้ว่า

$$S_f = \frac{\sigma_a}{1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_{ut}}} \quad (6)$$

แม้ว่าการกระทำกับกระดูกต้นขาจะประกอบด้วยแรงในหลายแนวแกน จากการพิจารณาแล้วพบว่าแรงบิดและแรงดัดในแนวอื่นจะถูกแรงจากกล้ามเนื้อดึงทำให้แรงลัพธ์ที่ทำให้เกิดแรงบิดในแนวแกนและแรงดัดในแนวขวางมีค่าน้อย [8] ความเค้นส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นในแนวยาวของกระดูกและแผ่นตามกระดูกซึ่งเป็นผลจากแรงดัดและแรงกดในแนวยาวของแผ่นตามกระดูก ส่วนความเค้นเฉือนนั้นมีค่าน้อยมาก ดังนั้นในการประมาณหาอายุการใช้งานของแผ่นตามกระดูกจะพิจารณาจากค่าความความเค้นในแนวยาวของแผ่นตามกระดูกโดยพิจารณาเป็นความล้าที่เกิดจากความเค้นในแกนเดียว (Uni-axial fatigue) ซึ่งค่าความเค้นสูงสุด (σ_{max}) และความเค้นต่ำสุด (σ_{min}) ได้จากผลวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ โดยพิจารณาค่าความ

เค้นสูงสุดและต่ำสุดภายในอีลิเมนต์เดียวกัน ซึ่งทำให้ค่าอายุการใช้งานของแต่ละกรณีศึกษามีค่าต่ำที่สุด

3. ผลและวิจารณ์

ผลจากรูปแบบการยึดและจำนวนสกรู (รูปที่ 5) พบว่าเมื่อใช้จำนวนสกรูมากขึ้นทำให้อายุการใช้งานของแผ่นตามกระดูกนั้นมีแนวโน้มที่ลดลง โดยพบว่า การใช้สกรู 14 ตัวทำให้แผ่นตามกระดูกมีอายุการใช้งานสั้นที่สุดคือ 13,000 รอบ และการใช้สกรู 4 ตัว จะมีอายุการใช้งาน 592,000 รอบ นอกจากนี้ยังพบว่ารูปแบบของการยึดสกรูมีผลต่ออายุการใช้งานด้วยตัวอย่างเช่น ในกรณี 6 สกรูยึดในรูปแบบที่ 1 มีอายุการใช้งานน้อยกว่าในกรณีของ 8 สกรู เหตุผลที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าในการดัดของแผ่นตามกระดูกนั้น จะถูกยึดโดยสกรูและถูกออกแรงดัดโดยน้ำหนักของคน การยึดด้วยสกรูจำนวนมาก (กรณี 14 สกรู) หรือยึดสกรูไว้ใกล้กัน (กรณี 6 สกรู รูปแบบที่1) นั้นทำให้แผ่นตามกระดูกถูกดัดโดยมีรัศมีการดัดที่น้อย โดยเลื่อนตัวได้น้อย เป็นผล

ให้ที่ผิวของแผ่นตามกระดูกจะเกิดความเค้นดึงสูง เป็นผลให้อายุการใช้งานที่สั้นลง

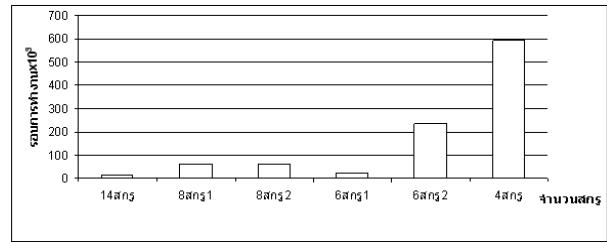
ผลจากแรงบิดที่ใช้ขันสกรู (รูปที่ 6) พบว่าเมื่อใช้แรงบิดขันสกรูเพิ่มมากขึ้นจาก 0.8 ไปจนถึง 2 Nm. ทำให้อายุการใช้งานของแผ่นตามกระดูกนั้นมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นจาก 184,000 รอบ (ที่แรงบิด 0.8 Nm) เพิ่มขึ้นไปเป็น 265,000 รอบ (ที่แรงบิด 2 Nm) และเมื่อเพิ่มเป็น 3 Nm. อายุการใช้งานของแผ่นตามกระดูกนั้นจะลดลงจาก 265,000 รอบ ไปเป็น 7,000 รอบ ซึ่งเป็นผลจากการที่แผ่นตามกระดูกจะจัดให้มีความโค้งที่เหมาะสมนั้นจำเป็นต้องมีแรงกดที่เหมาะสม โดยที่จำเป็นต้องมีแรงกดเพียงพอที่จะทำให้ผิวด้านนอกยึดออกรวมถึงต้องยอมที่จะให้แผ่นตามกระดูกนั้นเคลื่อนตัวได้เพื่อที่จะรักษาความโค้ง หากยึดแน่นเกินไปทำให้เกิดการงอและมีริ้วรอยความโค้งที่น้อยเกิดความเค้นดึงสูงเป็นผลให้อายุการใช้งานที่สั้นลง หรือถ้าให้แรงกดน้อยเกินไปทำให้เกิดการเคลื่อนตัวได้มากจะมีลักษณะที่คล้ายกันคือไม่สามารถรักษาความโค้งไว้ได้บางส่วนอาจเกิดการงอซึ่งจะทำให้อายุการใช้งานสั้นลงเช่นกัน อย่างไรก็ตามค่าแรงกดหรือแรงบิดขันสกรูดังกล่าวจะมีค่าที่เหมาะสมเป็นเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับจำนวนสกรูและรูปแบบการยึดด้วย

ผลจากขนาดช่องว่างรอยแตกหักของกระดูก (รูปที่ 7) พบว่าเมื่อรอยแตกหักของกระดูกมีค่า 4, 7 และ 10 มม. แล้วทำให้แผ่นตามกระดูกนั้นถูกจัดจนมีอาการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรโดยสมบูรณ์ไม่สามารถคืนรูปกลับมาคงสภาพเดิมไว้ถือว่าแผ่นตามกระดูกนั้นเกิดความเสียหายไม่สามารถใช้งานได้อีก ส่วนในกรณีของรอยแตกหักที่ 0.2 มม. พบว่าแผ่นตามกระดูกเกิดการจัดน้อยมากภาวะที่รับส่วนใหญ่อยู่ในรูปความเค้นกดและจะถูกแบ่งรับไปโดยกระดูกทำให้แผ่นตามกระดูกมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ซึ่งค่าความเค้นเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นต่ำกว่าขีดจำกัดความทนทาน ทำให้มีอายุการใช้งานเป็นอนันต์ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าวิธีการใช้แผ่นตามกระดูกชนิดนี้ซึ่งเหมาะสมกับการรักษากรณีที่กระดูกติดกันโดยตรง (Direct healing) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่แบบรอยหักสัมผัสกัน (Contact healing) ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการออกแบบลักษณะของรูเอียงในแผ่นดีซีพีเพื่อต้องการให้เมื่อขันสกรูแล้วรอยหักเกิดการสัมผัสกันและยังเกิดแรงดันในกระดูกเพื่อให้เกิดเสถียรภาพต่อการจับยึดอีกด้วย ส่วนในการนำมาใช้รักษากรณีที่กระดูกติดกันโดยอ้อม (Indirect healing) นั้นจะต้องรอนกว่ารอยหักจะติดกัน (Union) จึงสามารถลงน้ำหนักได้โดยต้องปฏิบัติตามคำแนะนำของแพทย์อย่างเคร่งครัด เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายในแผ่นกระดูกที่อาจจะเกิดขึ้นได้

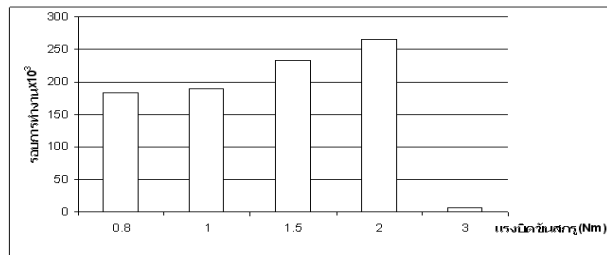
ผลจากขนาดของมุมรอยแตกหักของกระดูก (รูปที่ 8) พบว่าเมื่อรอยแตกหักมีความเอียงในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา พบว่าอายุการใช้งานของแผ่นตามกระดูกนั้นมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น โดยเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงทิศทางของแรงกระทำโดยมุมเอียงของรอยหักทำให้ไปช่วยในการจัดให้คงความโค้งอยู่ได้ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่า ส่วนโค้งจากการจัดในกรณีที่รอยแตกหักมีทิศทางทวนเข็มนาฬิกาสามารถรักษารัศมีความโค้งได้ดีกว่าในกรณีที่ทิศทางตามเข็มนาฬิกา ซึ่งเกิดการงอเป็นมุมแคบทำให้อายุการใช้งานสั้นลง

ผลจากน้ำหนักของผู้ป่วย (รูปที่ 9) พบว่าเมื่อผู้ป่วยมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น พบว่าอายุการใช้งานของแผ่นตามกระดูกนั้นมีแนวโน้มที่

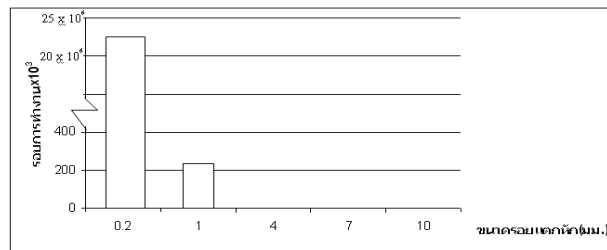
ลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการให้แรงดัดที่เพิ่มขึ้นทำให้แผ่นตามกระดูกดัดมากขึ้นด้วยดังนั้นอายุการใช้งานของแผ่นตามกระดูกจึงสั้นลง



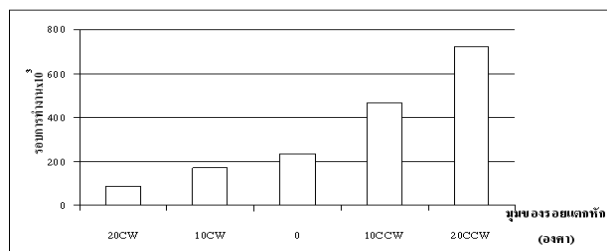
รูปที่ 5 อายุการใช้งานของแผ่นตามกระดูก จากกรณี จำนวนสกรูและรูปแบบการยึดสกรู



รูปที่ 6 อายุการใช้งานของแผ่นตามกระดูก จากกรณี แรงบิดขันสกรู



รูปที่ 7 อายุการใช้งานของแผ่นตามกระดูก จากกรณี ขนาดของรอยแตกหักของกระดูก

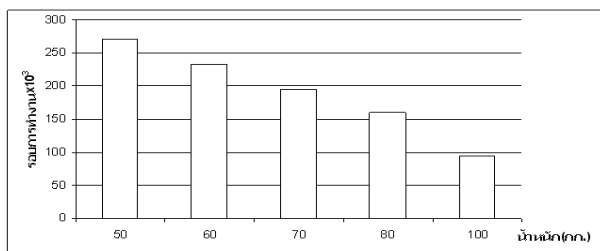


รูปที่ 8 อายุการใช้งานของแผ่นตามกระดูก จากกรณี มุมของรอยแตกหักของกระดูก

4. สรุป

จากผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และการประมาณอายุการใช้งานแผ่นตามกระดูก พบว่าแผ่นตามกระดูกมีโอกาสที่จะเกิดความเสียหายจากการล้าของวัสดุได้โดยพบว่าส่วนใหญ่จะเกิดในบริเวณรูที่ 8 ของแผ่นตามกระดูก ซึ่งจากข้อมูลของแพทย์ผู้

ทำการรักษา ยังพบว่ามีการเสียหายในบริเวณตำแหน่งอื่นด้วย แต่ส่วนใหญ่จะยังคงอยู่ในบริเวณช่วงกลางของแผ่น -



รูปที่ 9 อายุการใช้งานของแผ่นตามกระดูก จากกรณี น้ำหนักของผู้ป่วย

ตามกระดูก สาเหตุอาจมาจากการที่แม้ว่าบริเวณรูที่ 8 จะมีอายุการใช้งานต่ำที่สุด แต่ในบริเวณช่วงกลางของแผ่นตามกระดูก คือบริเวณตำแหน่งรูที่ 6, 7 และ 9 ก็มีอายุการใช้งานที่ใกล้เคียงกับบริเวณรูที่ 8 ดังนั้นจึงมีโอกาสที่จะเกิดความเสียหายได้เช่นกัน เมื่อพิจารณาถึงอายุการใช้งานของแผ่นตามกระดูกโดยเฉลี่ยจากกรณีที่ช่องว่างของรอยแตกหักเท่ากับ 1 มม. พบว่าจะมีค่าประมาณ 220,000 รอบ หากพิจารณาเป็นระยะเวลาพบว่าใน 1 ปีมนุษย์จะก้าวเดินประมาณ 2,000,000 รอบ [9] ซึ่งหากคิดเฉลี่ยให้ทุกเดือนมีอัตราการเดินเท่ากันพบว่าแผ่นตามกระดูกจะเสียหายจากการล้าภายใน 1.5 เดือน โดยทั่วไปแล้วแผ่นตามกระดูกที่ใส่ในผู้ป่วยปกติจะมีอายุการใช้งานนาน 1-2 ปี สาเหตุที่จากการวิเคราะห์แล้วได้อายุการใช้งานที่ 1.5 เดือนนั้น เพราะว่า ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาถึงกรณีที่กระดูกไม่เกิดการติดกันตลอดช่วงอายุการใช้งานแผ่นตามกระดูก ซึ่งเป็นกรณีที่เลวร้ายที่สุด (Worst case) เพื่อพิจารณาถึงอายุการใช้งานที่น้อยที่สุดของแผ่นตามกระดูก แต่ในผู้ป่วยปกตินี้กระดูกจะถูกสร้างขึ้นตรงบริเวณรอยแตกหักทดแทนช่องว่างของรอยแตกหักตลอดเวลา ซึ่งในระหว่าง 3 เดือนแรกที่ได้รับการรักษานั้นผู้ป่วยจะมีการก้าวเดินในปริมาณที่น้อยกว่าปกติอยู่แล้ว หรืออาจไม่มีการก้าวเดินเลย ในบางรายอาจใช้ไม้ค้ำยันเพื่อลดภาระที่เกิดขึ้นในขาข้างที่แตกหัก ซึ่งมีส่วนช่วยให้เกิดกระดูกที่สร้างใหม่ตรงบริเวณรอยหักเกิดขึ้นได้ เป็นเหตุให้ไม่พบความเสียหายในแผ่นตามกระดูกในผู้ป่วยที่มีการพักรักษาตัวจนกระดูกเริ่มติดกัน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ.นพ.บุญสิน บุรณะพาณิชย์กิจ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับคำแนะนำทางการแพทย์ Prof. Dr. Groge Duda., Department of Trauma and Reconstructive Surgery, Humboldt-University of Berlin, ประเทศเยอรมัน สำหรับข้อมูลของกล้ามเนื้อกระดูกต้นขา และขอขอบคุณสถาบันพัฒนามันทีติวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ สำหรับทุนสนับสนุนในการทำวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Bergmann, G., Deuretzbacher, G., Heller, M., Graichen, F., Rohlmann, A., Strauss, J. and Duda, G.N., "Hip contact forces and gait pattern form routine activities", Journal of Biomechanics, vol. 34, 2001, pp. 859-871.
- [2] Pappini, M., "Third Generation Composite Femur", Available Source: <http://www.tecno.ior.it/VRLAB/>, June 17, 2003.
- [3] Olsson, A., "Stainless steel plasticity – Material modelling and structural applications", Ph.D. thesis, 2001, Department of Civil and Mining Engineering, Luleå University of Technology, Sweden.
- [4] Cordey, J., Borgeaud, M. and Perren, S.M., "Force transfer between the plate and the bone: relative importance of the bending stiffness of the screws and the friction between plate and bone", Injury, vol. 31, 2000, S-C 21-28.
- [5] Dogan, H., Findik, F. and Morgul, O., "Friction and wear behaviour of implanted AISI 316L SS and comparison with a substrate", Materials and Design, vol. 23, 2002, pp. 605–610.
- [6] Ning, X., "Analysis of tribological behaviour in transversely isotropic material utilizing analytical and finite element method", D.Phil. Thesis, 2002, University of Pittsburgh, USA.
- [7] Shigley, J.E., Mischke, C.R. and Budynas, R.G. Mechanical Engineering Design, 7th edition, Mcgraw Hill, Singapore. 2004
- [8] Duda, G.N., Schneider, E., and Edmund Y.S. Chao., Internal force and moment in the femur during walking, Journal of Biomechanics, vol 30(9), 1997, pp. 933-941.
- [9] Mcleod, PC., Kettikamp, DB., Srinivasan, V. and Henderson, OL., Measurement of repetitive activities of the knee, Journal of Biomechanics, vol. 8, 1975, pp. 369-373.