

การประเมินอายุใช้งานวัสดุเคลือบฟันในฟันปลอมแบบยึดแน่น
โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

The Evaluation of Fatigue Life of Porcelain Laminate of Fixed Partial Denture
by Finite Element Method

โชติช่วง พรหมบุตร¹ สุรสิทธิ์ ปิยะศิลป์²

^{1, 2} ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002
โทร 0-4320-2845 โทรสาร 0-4320-2845 E-mail: p_chotchuang@yahoo.com¹, surasith@kku.ac.th²

Chotchuang Phombut¹ Surasith Piyasin²

^{1, 2} Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand
Tel. 0-4320-2845 Fax. 0-4320-2845 E-mail: p_chotchuang@yahoo.com¹, surasith@kku.ac.th²

บทคัดย่อ

งานนี้มีวัตถุประสงค์คือสร้างแบบจำลองเพื่อการวิเคราะห์เชิงตัวเลขของฟันปลอมแบบยึดแน่นในฟันหลังโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ การสร้างแบบจำลองได้จากการถ่ายแบบจากฟิล์ม x-ray ในระนาบ 2 มิติ และในการศึกษานี้ได้กำหนดให้คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุที่ใช้ทำฟันปลอมในรูปแบบยึดแน่นเชิงเส้น การกำหนดภาระที่กระทำต่อฟันปลอมให้เป็น 2 ลักษณะ คือ ภาระแบบสถิตยและภาระแบบพลวัต การกำหนดแรงภาระแบบสถิตยเพื่อเป็นการหาค่าแรงสูงสุดที่ฟันปลอมสามารถรับได้ตามทฤษฎีความเสียหาย ส่วนการกำหนดภาระแบบพลวัตเพื่อเป็นการทำนายอายุการใช้งานของฟันปลอม การศึกษาโครงการนี้ยังเป็นการวิเคราะห์พิจารณาข้อมูลเบื้องต้น ก่อนที่ทันตแพทย์จะทำการทดลองในห้องปฏิบัติการหรือการลงมือปฏิบัติงานจริงทางคลินิก

คำหลัก : ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, การวิเคราะห์ความเค้น, ฟันปลอมแบบยึดแน่น, อายุการใช้งาน

FPD. However, this study was pre-analysis, and the data from this study is useful in dental clinical treatment.

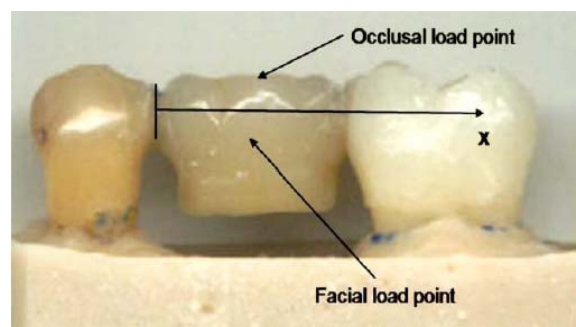
Keywords : Finite Element Method, Stress Analysis, Fixed Partial Denture, Fatigue Life

1. บทนำ

ฟันปลอมแบบยึดแน่น[1] เป็นฟันปลอมที่ยึดในช่องปาก โดยผู้ที่ใส่ไม่สามารถถอดออกมาเพื่อทำความสะอาดภายนอกช่องปากได้ ฟันปลอมชนิดนี้จะยึดอยู่โดยการใช้พันธระมาติซี่ที่อยู่ข้างเคียงกับช่องว่างเป็นหลักในการยึดฟันปลอม ข้อดีของฟันปลอมชนิดนี้ ได้แก่ ฟันปลอมชนิดนี้จะไม่ขยับหรือหลวมหลุดในขณะพูดหรือเคี้ยวอาหาร ทำให้ผู้ที่ใส่มีความมั่นใจ ฟันปลอมจะมีขนาดชิ้นงานที่ค่อนข้างเล็ก ไม่ก่อให้เกิดความรำคาญ มีประสิทธิภาพในการบดเคี้ยวค่อนข้างสูง เนื่องจากแรงจากการบดเคี้ยว จะถูกถ่ายทอดไปสู่พันธระมาติซี่ข้างเคียงที่ใช้เป็นหลักยึดฟันปลอมโดยตรง

Abstract

This is to study numerical analyze of the model of fixed partial denture (FPD) on posterior teeth by finite element method. The FPD model was created by copy form x-ray film in 2D plane. In this study, material of FPD was linear isotropic material. The FPD models were subjected to static and dynamic load. The Static load was to study value for maximum load according to failure theory. For dynamic load was to evaluate the fatigue life of



รูปที่ 1 รูปร่างฟันปลอมแบบยึดแน่น [2]

แต่อย่างไรก็ตามฟันปลอมอาจเกิดความเสียหายได้อันอาจมีหลายสาเหตุ เช่น วัสดุที่ใช้ทำฟันปลอมมีความแข็งแรงไม่เพียงพอ ความยาวของช่องว่างที่จะใส่ฟันปลอมทดแทนหรือพอนติก และรูปร่างของฟันปลอมมีขนาดไม่เหมาะสม หรือเกิดความเสียหายเนื่องจากความล้าของวัสดุ เนื่องจากในการใช้งานจริงนั้นฟันปลอมจะได้รับการกระทบซ้ำๆ โดยเฉพาะวัสดุทำเคลือบฟัน(Porcelain) จะมีโอกาสเสียหายมากที่สุดเนื่องจากจะเป็นส่วนที่รับแรงจากการบดเคี้ยวโดยตรง

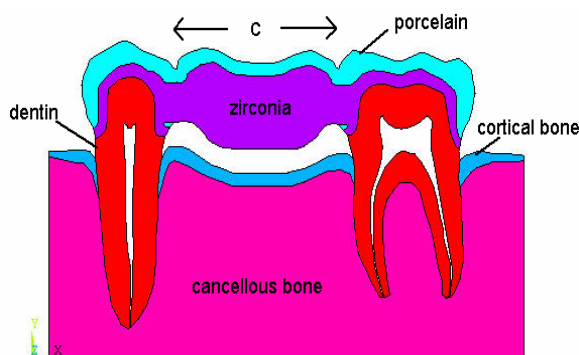
ในการวิเคราะห์ความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับฟันปลอมนั้นค่าความเค้นเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากเพราะถ้าความเค้นที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่าความเค้นที่วัสดุที่ใช้ทำฟันปลอมจะรับได้ ความเสียหายก็จะเกิดขึ้นได้ เช่น การแตกร้าว เป็นต้น

ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จะทำการศึกษาวิเคราะห์เชิงตัวเลขของฟันปลอมแบบยึดแน่น ขณะมีการรับภาระแบบสถิตย์เพื่อหาค่าแรงสูงสุดตามทฤษฎีความเสียหาย และขณะมีการรับภาระแบบพลวัต เพื่อทำนายอายุการใช้งานวัสดุเคลือบฟันในฟันปลอม ทั้งนี้ข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานก่อนที่จะทันตแพทย์จะทำการทดลองหรือปฏิบัติงานในคลินิกและเป็นประโยชน์ในการออกแบบฟันปลอมแบบยึดแน่นให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพต่อไป

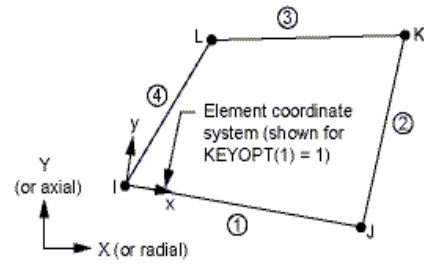
2. วิธีการ

2.1 แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์

แบบจำลองของฟันปลอมแบบยึดแน่นนั้น ได้มาจากการถ่ายแบบจากฟิล์ม x-ray ในระนาบ 2 มิติ จากนั้นนำมาสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในรูปแบบของปัญหาความเค้นในระนาบ 2 มิติ โดยมีการกำหนดค่าตัวแปร คือ ค่าความยาวของพอนติก (c) ตั้งแต่ 11 – 16 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2 กำหนดให้สมบัติเชิงกลของวัสดุที่ใช้ทำฟันปลอมแบบยึดแน่นอยู่ในรูปแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น (Linear Elastic) มีคุณสมบัติแบบไอโซโทรปิก (Isotropic) และได้เลือกใช้เอลิเมนต์ชนิดสี่เหลี่ยมแบบ 4 จุดขั้ว สร้างแบบจำลอง โดยมีรูปร่างเอลิเมนต์ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2 แสดงรูปร่างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของฟันปลอม



รูปที่ 3 รูปร่างของเอลิเมนต์ชนิดสี่เหลี่ยมแบบ 4 จุดขั้ว

2.2 สมบัติทางกล

วัสดุชิ้นงานที่ใช้ในการวิเคราะห์ กำหนดให้มีพฤติกรรมแบบยืดหยุ่นเชิงเส้นและมีค่าสมบัติทางกลของวัสดุดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกลของวัสดุ [3]

Material's name	Young's Modulus (E)	Poisson's ratio (ν)
Porcelain	64 GPa	0.21
zirconia	205 GPa	0.22
dentine	17.6 GPa	0.25
Cortical bone	14.7 GPa	0.3
Cancellous bone	0.49 GPa	0.38

2.3 การวิเคราะห์การรับภาระแบบสถิตย์

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรมทางไฟไนต์เอลิเมนต์ชื่อANSYS โดยได้ทำการสร้างแบบจำลองของฟันปลอมทั้งหมด 6 แบบจำลอง [4] โดยเพิ่มระยะความยาวของพอนติก (c) ที่ระยะ 11 ถึง 16 มิลลิเมตร และให้ภาระกระทำในลักษณะกระทำแบบจุด (Point Load) ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของพอนติก กำหนดให้ภาระที่มากกระทำดังนี้ คือ 350, 500, 665, 800 และ 1,000 นิวตัน ตามลำดับ แล้วทำการบันทึกค่าความเค้นพอนมิสเสส (von – Mises stress) สูงสุดที่เกิดขึ้นภายในวัสดุ ทั้งนี้เพื่อหาค่าแรงสูงสุดตามทฤษฎีความเสียหาย

2.4 การวิเคราะห์การรับภาระแบบพลวัต

การวิเคราะห์ภายใต้ภาระแบบพลวัตนั้นได้เลือกใช้แบบจำลองของฟันปลอมที่มีความยาวพอนติกเท่ากับ 16 มิลลิเมตรในการทดลองศึกษา โดยกำหนดให้ภาระที่มากกระทำในรอบแบบ zero to maximum ที่ 50, 100, 150, และ 200 นิวตัน ตามลำดับ แล้วทำการวิเคราะห์ค่าความเค้นเพื่อนำไปใช้ในการประเมินอายุการใช้งานของวัสดุเคลือบฟัน (Porcelain) ในฟันปลอม ซึ่งจะประเมินความล้าของวัสดุด้วยวิธี ความเค้น-อายุใช้งาน (S-N Method) โดยใช้ความสัมพันธ์ของความเค้นกับอายุการใช้งานตาม Basquin equation [5]

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

เมื่อ

S_f = ความแข็งแรงต่อการล้า (Fatigue strength)

a, b = ค่าคงที่ของวัสดุ

N = จำนวนรอบการใช้งาน

ค่า S_f หาได้โดยใช้สมการความสัมพันธ์ของ Goodman ตามสมการ

$$\frac{\sigma_a}{S_f} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = 1 \quad (2)$$

โดยที่

$$\sigma_a = \left| \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \right| \quad (3)$$

$$\sigma_m = \left| \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \right| \quad (4)$$

เมื่อ

σ_a = ความเค้นแอมพลิจูด

σ_m = ความเค้นเฉลี่ย

S_{ut} = ความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงสุด

σ_{\max} = ความเค้นสูงสุด

σ_{\min} = ความเค้นต่ำสุด

เนื่องจากภาระที่กระทำเป็นรอบแบบ zero to maximum ดังนั้น

$\sigma_a = \sigma_m$ ดังนั้นสมการที่ (2) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

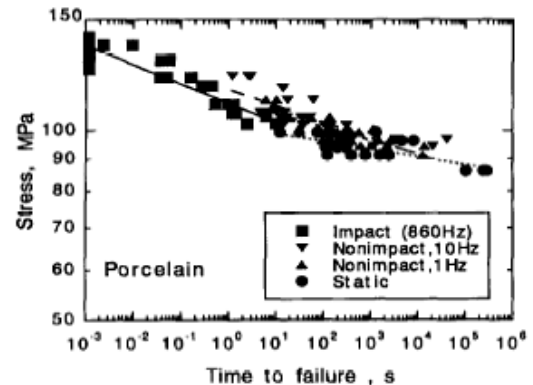
$$S_f = \frac{\sigma_a}{1 - \frac{\sigma_a}{S_{ut}}} \quad (5)$$

สำหรับวัสดุทั่วไปที่มีรอบอายุการใช้งานต่ำกว่า 10^6 รอบค่าคงที่ a และ b อาจประมาณค่าได้โดยใช้รูปที่ 4 และความความสัมพันธ์ตามสมการ [6]

$$a = \frac{(0.9S_{ut})^2}{S_e} \quad (6)$$

$$b = -\frac{1}{3} \log \frac{0.9S_{ut}}{S_e} \quad (7)$$

เมื่อ S_e คือ ค่าขีดจำกัดความทนทานของวัสดุ



รูปที่ 4 แสดงค่าความเค้นกับเวลาที่ทำให้เกิดความเสียหายของวัสดุ Porcelain [7]

เมื่อใช้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ (6), (7) และรูปที่ 4 จะได้ค่าคงที่ a และ b เมื่อนำไปแทนในสมการที่ 1 จะได้สมการสำหรับการประเมินอายุการใช้งานของวัสดุเคลือบฟัน (Porcelain) ดังสมการ

$$N = \left(\frac{S_f}{260.1} \right)^{\frac{1}{0.0768}} \quad (8)$$

จากรูปที่ 4 สามารถหาค่าอายุการใช้งานของวัสดุให้อยู่ในรูปของจำนวนรอบการใช้งานได้ด้วยสมการ [7]

$$t_{(s)} = Nf^{-1} \quad (9)$$

เมื่อ $t_{(s)}$ = เวลาที่ทำให้เกิดความเสียหาย (วินาที)

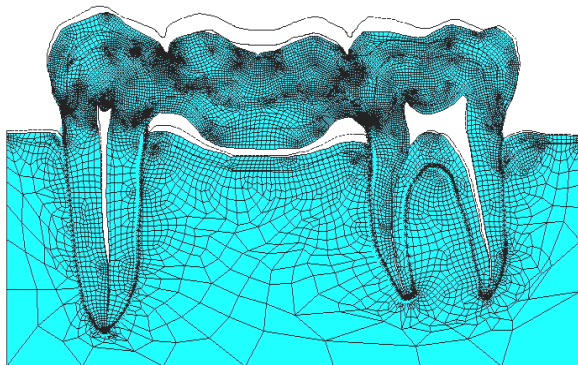
N = จำนวนรอบที่ทำให้เกิดความเสียหาย

f = ความถี่ที่ใช้ (รอบ / วินาที)

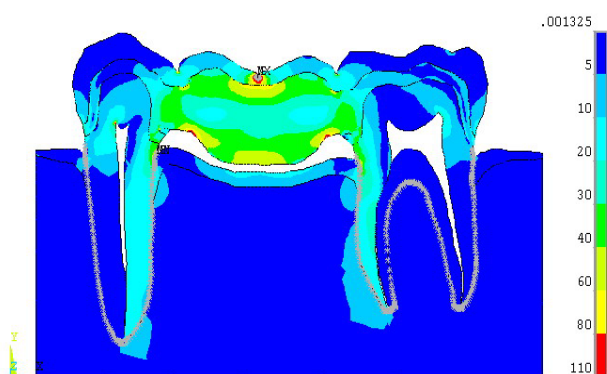
ในที่นี้จะใช้เส้นกราฟ impact ที่มีความถี่ 860 Hz ตามรูปที่ 4 ในการประเมินอายุการใช้งานฟันปลอม

3. ผลการศึกษา

จากการศึกษากรณีรับภาระแบบสถิตย์พบว่า การเคลื่อนที่ของพอนดิกและการกระจายความเค้นพอนมิสเชส (von - Mises stress) เป็นไปตามรูปที่ 5 และรูปที่ 6 ตามลำดับ โดยที่พบว่าบริเวณตำแหน่งกึ่งกลางของพอนดิกจะมีการเคลื่อนที่สูงสุดและมีทิศทางในการยุบตัวในแนวเดียว กับภาระที่กระทำ เมื่อพิจารณาการกระจายค่าความเค้นพอนมิสเชส (von - Mises stress) พบว่าค่าความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นในวัสดุเคลือบฟันและเกิดค่าความเค้นหนาแน่นบริเวณขอบที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือรัศมีความโค้งอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 5 แสดงการยู่ตัวในแนวตั้งของแบบจำลอง



รูปที่ 6 แสดงการกระจายความเค้น Von Mises ของแบบจำลอง

และเมื่อทำการพิจารณาค่าแรงสูงสุดที่วัสดุเคลือบฟัน(porcelain) สามารถรับได้ตามเกณฑ์ความเค้นครากที่ระยะพอนติกใดๆ พบว่า ได้ผลตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าแรงสูงสุดที่วัสดุเคลือบฟัน (porcelain) ที่ระยะความยาวพอนติกใดๆ

ระยะความยาวพอนติก (c) (มม.)	แรงสูงสุด (N)
11	848
12	875
13	887
14	924
15	950
16	979

ในส่วนของการประเมินอายุการใช้งานของฟันปลอมนั้นจะทำการประเมินอายุการใช้งานของวัสดุ porcelain เนื่องจากจะเป็นวัสดุที่เกิดความเสียหายก่อน โดยจะประเมินอายุการใช้งานขณะที่มีการรับภาระเป็นรอบที่ 50, 100, 150, และ 200 นิวตัน ตามลำดับ และการวิเคราะห์ประเมินอายุการใช้งานของวัสดุ porcelain แสดงได้ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงอายุการใช้งานของวัสดุเคลือบฟัน(porcelain)ในฟันปลอมแบบยึดแน่นที่มีความยาวพอนติก 16 มิลลิเมตร เมื่อรับค่าภาระต่างๆ

ภาระ (นิวตัน)	อายุใช้งาน (รอบ)
50	58.604×10^{12}
100	2.383×10^9
150	4.119×10^6
200	24.043×10^3

4. สรุป

ในการศึกษาการรับภาระแบบสถิตย์ค่าแรงกดสูงสุดที่ฟันปลอมสามารถรับได้โดยไม่เกิดความเสียหายมีค่าประมาณ 979 นิวตันในแบบจำลองฟันปลอมที่มีความยาวพอนติก 16 มิลลิเมตร ค่าของแรงสูงสุดที่ทำให้เกิดความเสียหาย จะแปรผันตรงกับค่าความยาวพอนติกที่เพิ่มขึ้น การกระจายความเค้นในทุกแบบจำลอง จะมีค่าความเค้นหนาแน่นมากบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือรัศมีความโค้งอย่างรวดเร็ว เช่น รอยเชื่อมตัวฟัน (Connector) การยู่ตัวสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งกึ่งกลางของพอนติกโดยมีทิศทางแนวเดียวกับภาระที่ทำการกระทำ

ส่วนการศึกษาการรับภาระแบบพลวัตในแบบจำลองฟันปลอมที่มีความยาวพอนติก 16 มิลลิเมตร เมื่อมีการรับภาระเป็นวงรอบที่ 50 และ 100 นิวตัน สามารถประมาณได้ว่าวัสดุเคลือบฟัน(porcelain)จะมีอายุการใช้งานไม่จำกัดภายใต้ทฤษฎีความเสียหายล้า และแนวโน้มอายุการใช้งานของฟันปลอมจะแปรผันแบบผกผันกับภาระที่ทำการกระทำ

5. วิจารณ์

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นเพื่อดูแนวโน้มค่าแรงสูงสุดที่ฟันปลอมสามารถรับได้ โดยสัมพันธ์กับค่าความยาวพอนติกใดๆ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าเมื่อความยาวพอนติกเพิ่มขึ้น แรงสูงสุดก็เพิ่มขึ้นด้วย และในส่วนของการประเมินอายุการใช้งานของวัสดุเคลือบฟันนั้น มีปัจจัยหลายอย่างที่ต้องนำมาพิจารณา ทั้งในเรื่องคุณสมบัติของวัสดุ วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ เนื่องจากวัสดุที่ใช้เป็นวัสดุประเภทเปราะซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างจากวัสดุเหนียว เช่น โลหะ เป็นต้น ดังนั้นวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้กับการวิเคราะห์วัสดุเหนียวเมื่อนำมาวิเคราะห์กับวัสดุเปราะอาจให้ค่าที่ไม่ถูกต้อง แต่การศึกษาค้างนี้ได้ออกแบบใช้สมการความสัมพันธ์ของ Basquin equation และสมการความสัมพันธ์ของ Goodman ในการประเมินอายุการใช้งาน เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาต่อไปในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ.ดร. นภา สุขใจ อาจารย์ประจำภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่ให้ข้อมูลและความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับฟันปลอมแบบยึดแน่น และสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติที่สนับสนุนทุนในการศึกษาค้างนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ณพพงษ์ พัวพรพงษ์, Thai dental cyberclinic database, ฟังปลอม.
<http://www.siamdental.com/denture.htm> (accessed on Feb.
2006)
- [2] Giorgio Rappelli, Lorenzo Scalise, Maurizio Procaccini,
and Enrico Primo Tomasini, 2005. Stress distribution in fiber
reinforced composite inlay fixed partial dentures.The journal
of prosthetic dentistry, Vol. 93, No. 5, pp. 425-432
- [3] Magne P, Perakis N, Belser U, Krejci I.2002. Stress
distribution of inlay-anchored adhesive fixed partial dentures:
A finite element analysis of the influence of restorative
materials and abutment preparation design. The journal of
prosthetic dentistry, Vol. 87, No. 5, pp. 516-527.
- [4] Tipawan w, Fracture resistance of All-Ceramic Fixed partial
denture on Posterior Teeth to Pontic Length, Master of
Science Thesis in Prosthodontics .Graduate School,
Khonkaen University,2005
- [5] Snigley, J.E, Mischke, C.R. and Budynas, R.G. Mechanical
Engineering Design,7th, Mcgraw Hill, Singapore.2004
- [6] Thomas H. Brown, Mark's Calculation for Machine Design.
1st, Mcgraw Hill, United State of America.2005
- [7] Futakawa M, Kikuchi K, Tanabe Y, Muto Y. 1997. Dynamic
Ejffect on Fatigue Strength of Brittle Materials. Journal of the
European Cermic Societ. Vol. 17, pp. 1573-1578.