การออกแบบและทดสอบทางกลของรากฟันเทียมวัสดุไทเทเนี่ยมเพื่อสู่แผนการผลิต

นาย จตุรงค์ จิตต์สอาด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ISBN 974-14-2629-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DESIGN AND MECHANICAL TESTING OF TITANIUM DENTAL IMPLANT FOR PRODUCTION PLAN

Mr.Jaturong Jitsaard

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic year 2006
ISBN 974-14-2629-1
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและทดสอบทางกลของรากฟันเทียมวัสดุไทเทเนี่ยมเพื่อสู่แผนการผลิต
โดย	นายจตุรงค์ จิตต์สอาด
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ริจิรวนิช
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัลย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมกรรม

(รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)

.... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ริจิรวนิช)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร)

.... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จตุรงค์ จิตต์สอาด : การออกแบบและทดสอบทางกลของรากฟันเทียมวัสดุไทเทเนี่ยมเพื่อสู่แผนการผลิต. (DESIGN AND MECHANICAL TESTING OF TITANIUM DENTAL IMPLANT FOR PRODUCTION PLAN) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.วันชัย ริจิรวนิช, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร, 167 หน้า. ISBN 974-14-2629-1.

งานทันตกรรมรากเทียมเป็นการรักษาที่ช่วยเพิ่มคุณภาพชีวิตแก่ผู้ป่วยให้สูงยิ่งขึ้น ปัญหาของทันตกรรมรากเทียม คือ มีค่าใช้จ่ายในการรักษาสูงมาก เนื่องจากต้องนำเข้าวัตถุดิบทั้งหมดจากต่างประเทศ การศึกษานี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อออกแบบและทดสอบทางกลของรากฟันเทียมเพื่อที่จะสามารถผลิตในเชิงอุตสาหกรรม

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและวิเคราะห์รากฟันเทียมที่มีความเหมาะสมกับกายวิภาคคนไทย และศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตในเชิงอุตสาหกรรม จากการศึกษาตัวอย่างกระดูกขากรรไกรของคนไทยพบว่า แนวโน้มของของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรากฟันเทียมควรมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ 4.1 มม. ยาว 10 มม. ผลการทดสอบรากฟันเทียมโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ในสามมิติ พบว่าในกระดูกแข็งเป็นบริเวณที่มีความเค้นรวมตัวอยู่มากที่สุด โดยเกลียววรีเวิร์สบัทเทรสที่ระยะความห่างเกลียว 1.2 มม. จะเกิดความเค้นสะสมในกระดูกรอบรากฟันเทียมน้อยที่สุด ดังนั้นการผลิตรากฟันเทียมจากตัวแปรที่เหมาะสมดังกล่าวนี้ ก็จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตต่อหน่วยของรากฟันเทียมจะมีราคาต่ำลง

ในการศึกษาความเป็นไปได้ พบว่าการผลิตและการตลาดมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปสู่แผนการผลิตและลงทุน จากการวิเคราะห์การเงินพบว่าใช้เงินลงทุนทั้งสิ้น 10,530,900 บาท โดยโครงการนี้มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 27,571,755 บาท ส่วนอัตราผลตอบแทนการลงทุนเท่ากับ 63 % และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 2 ปี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา......วิศวกรรมอุตสาหการ.......... ลายมือชื่อนิสิต..
สาขาวิชา......วิศวกรรมอุตสาหการ.......... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..............................
ปีการศึกษา 2549 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.........................

4771406621 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD: MANDIBLE/ FINITE ELEMENT ANALYSIS / DENTAL IMPLANT/ PROJECT FEASIBILITY

MR.JATURONG JITSAARD : DESIGN AND MECHANICAL TESING OF TITANIUM DENTAL IMPLANT FOR PRODUCTION PLAN. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. VANCHAI RIJIRAVANICH, Ph.D. THESIS COADVISOR : ASST.PROF. SOMCHAI PUAJINDANETR, D.Eng. 167 pp. ISBN 974-14-2629-1.

Dental implant treatment is effective method which increase quality of the patient life. But the constrain of this method in Thailand is costly due to the material which must be imported. This study aims to design and test the titanium dental implant mechanically in order to be able to produce dental implant material.

The objective of this research is to design and analyse for optimal dental implant for Thai people as well as study the feasibility for production. From the study of mandible of Thai people especially in the front, it can conclude that the trend of the dimensions for dental implant are 4.1 mm. in diameter and 10 mm. long. From the result of dental implant testing, using finite element method for analysing the three-dimensional objects, it is revealed that the cortical bone is the most stress concentrate and the reverse buttress at thread pitch 1.2 mm. has the least stress in the bone around dental implant. Therefore, the production of dental implant according to the suitable variables from the study is possible by using titanium as raw material and the production cost per unit for dental implant is comparatively low.

In the view of feasibility study, production and marketing feasibility are no doubt. From the financial analyses, the project will have a total investment cost of approximately 10,530,900 baht. The net present value is 27,571,755 baht while the internal rate of return is 63 % and the pay back period is 2 years.

Department.....INDUSTRIAL ENGINEERING..... Student's signature......................

Field of study.....INDUSTRIAL ENGINEERING..... Advisor's signature......................

Academic year 2006 Co-advisor's signature......................

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่ายเป็นอย่างดียิ่ง ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ริจิรวนิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาและให้คำปรึกษา ทั้งความรู้ ข้อแนะนำ ความคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพน์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตร์ตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้ข้อคิดเห็น และข้อเสนอแนะสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับบนี้

ขอขอบคุณ ดร.กฤษไกรพ์ สิทธิเสรีประทีป และ ดร.ดนุ พรหมมินท์ จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องของเครื่องมือและซอฟท์แวร์ในการวิเคราะห์และออกแบบ รวมถึงให้คำปรึกษาทางด้านการออกแบบ การวิเคราะห์ด้วยระเบียวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ และกรรมวิธีการผลิตรากฟันเทียม

ท้ายที่สุด ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อนรินทร์ และ คุณแม่สุดา จิตต์สอาด ซึ่งเป็นที่ยึดมั่น เคารพ บูชา รวมถึงญาติทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามทุกคนที่ได้ให้กำลังใจตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..จ
กิตติกรรมประกาศ..ฉ
สารบัญ ....ช
สารบัญตาราง ....ฌ
สารบัญภาพ ....ญ
บทที่
1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 2
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 4
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 4
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5
2 ทฤษฎีพื้นฐานและการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6
2.1 ทฤษฎีพื้นฐาน 6
2.2 สำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 37
3 วิธีดำเนินงานวิจัย 39
3.1 การเก็บตัวอย่างข้อมูลกระดูกขากรรไกรของคนไทย 40
3.2 การออกแบบรากฟันเทียม 42
3.3 การทดสอบทางกลของรากฟันเทียม 50
4 ผลการทดลอง 53
4.1 ผลการเก็บตัวอย่างข้อมูลกระดูกขากรรไกรของคนไทย 53
4.2 ผลการออกแบบและทดสอบรากฟันเทียม 54
4.3 ผลการทดสอบทางกลของรากฟันเทียม 87
5 ความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงอุตสาหกรรม 90
5.1 การศึกษาด้านการตลาด 90
5.2 การศึกษาด้านวิศวกรรม 100
5.3 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต 112

5.4 การวิเคราะห์การลงทุน 119
6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 135
6.1 สรุปผลการทดลอง 135
6.2 ข้อเสนอแนะ 137
รายการอ้างอิง 138
ภาคผนวก 140
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 167

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ความหนาแน่นและโมดูลัสระหว่างโลหะทางการแพทย์และกระดูก 21

2.2 ประเภทของไทเทเนียมที่เหมาะสำหรับการใช้งานทางการแพทย์
ตามมาตรฐานนานาชาติ 22

2.3 สมบัติทางกลของไทเทเนียมบริสุทธิ์ตามมาตรฐาน ASTM F67 26

2.4 ปริมาณธาตุต่างๆ ในไทเทเนียมบริสุทธิ์ตามมาตรฐาน ASTM F67 27

2.5 ปริมาณธาตุต่างๆ ในโลหะผสมไทเทเนียมเกรด Ti6Al4V ปรกติ และ ELI 27

3.1 คุณสมบัติของวัสดุของรากฟันเทียมและกระดูก 48

4.1 ขนาดโดยเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกระดูกขากรรไกรของคนไทย 54

4.2 ความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุด ที่บริเวณต่างๆ ของแบบจำลองรากฟันเทียม 70

4.3 การเคลื่อนตัวสูงสุด ที่บริเวณต่างๆ ของแบบจำลองรากฟันเทียม 85

4.4 การเคลื่อนตัว ของแบบทดสอบรากฟันเทียมที่ Load 150 N 89

5.1 ราคาของรากฟันเทียมที่มีขายในประเทศไทย 96

5.2 แสดงการพยากรณ์ความเติบโตทางธุรกิจของรากฟันเทียม
ใน 5 ปีแรกของการผลิต 98

5.3 กำลังการผลิตของเครื่องจักรและประสิทธิภาพในการใช้เครื่องจักร 104

5.4 รายการและมูลค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิต 113

5.5 รายการและมูลค่าครุภัณฑ์ 114

5.6 แผนการเบิกและชำระเงินกู้ระยะยาว 120

5.7 แผนการเบิกและชำระเงินกู้ระยะสั้น 121

5.8 งบบัญชี กำไร - ขาดทุน (Profit & Loss Statement) 124

5.9 งบกระแสเงินสด (Cash Flow Statment) 125

5.10 งบดุล (Balance Sheet) 126

5.11 การวิเคราะห์ความไวเมื่อเปลี่ยนแปลงราคาขาย 132

5.12 การวิเคราะห์ความไวเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าใช้จ่ายในการผลิต 133

5.13 การวิเคราะห์ความไวเมื่อเปลี่ยนแปลงดอกเบี้ยเงินกู้ 134

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 ส่วนประกอบของกระดูกขากรรไกรบน ...7
2.2 ส่วนประกอบของกระดูกขากรรไกรล่าง ...8
2.3 โครงสร้างของฟัน ...9
2.4 รูปแบบของฟัน ...10
2.4 รากฟันเทียมแบบ Transosseous Implant ...11
2.5 รากฟันเทียมแบบ Blade Implant ...11
2.6 รากฟันเทียมแบบ Subperiosteal Implant ...12
2.7 รากฟันเทียมแบบตอก ...13
2.8 รากฟันเทียมแบบสกรู ...13
2.9 รากฟันเทียมแบบ Molly ...14
2.10 ความสัมพันธ์ของวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์กับความรู้แขนงอื่น ...16
2.11 ความสมดุลของของแข็งในสามมิติ ...17
2.12 เอลิเมนต์ทรงหกหน้าในวัตถุสามมิติ ...18
2.13 เอลิเมนต์ทรงสามหน้าในวัตถุสามมิติ ...19
2.14 เอลิเมนต์ทรงหกหน้าในวัตถุสามมิติ ...20
2.15 ลักษณะจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบเฮกซะโกนอลโคลสแพ็ก ...23
2.16 ลักษณะจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบบอดีเซนเตอร์คิวบิก ...23
2.17 โครงสร้างแบบอัลฟา ...24
2.18 โครงสร้างแบบอัลฟา-เบตา ...25
2.19 โครงสร้างแบบเบตา ...25
2.20 วงจรพัฒนาโครงการ แสดงขั้นตอนการดำเนินงานต่างๆ ในการบริหารโครงการ ...30
2.21 หลักการเบื้องต้นของกระบวนการวิเคราะห์โครงการ ...35
2.22 การวิเคราะห์โครงการในแต่ละขั้นตอน ...36
3.1 ข้อมูลที่ได้จากเครื่อง CT Scan ผ่านการแสดงผลด้วยโปรแกรม Mimic ...40
3.2 ข้อมูลจาก CT Scan ...41
3.3 โครงสร้างกระดูกขากรรไกรเพื่อทำการตรวจวัด ...42
3.4 ชนิดเกลียวของรากฟันเทียม ...43
3.5 ชนิดแบบจำลองของรากฟันเทียมที่จะใช้ศึกษา ...44

ภาพที่ หน้า

3.6 แบบจำลองกระดูกขากรรไกรจาก CAD Model 45

3.7 แบบจำลองไฟไนท์เอลิเมนต์ของรากฟันเทียม 46

3.8 แบบจำลองไฟไนท์เอลิเมนต์ของกระดูกแข็งและกระดูกโปร่ง 47

3.9 แรงบดเคี้ยวและสภาวะขอบเขตของแบบจำลอง 49

3.10 เครื่องกลึง Turning ที่ใช้ในการผลิตรากฟันเทียม 50

3.11 การฝังรากฟันเทียมต้นแบบลงในอะคริลิก 51

3.12 การทดสอบทางกลของรากฟันเทียมต้นแบบ 52

4.1 การกระจายความเค้นของรากฟันเทียมเกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 0.6 มม. 56

4.2 การกระจายความเค้นของรากฟันเทียมเกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 1.2 มม. 57

4.3 การกระจายความเค้นของรากฟันเทียมเกลียวรีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม. 58

4.4 การกระจายความเค้นของรากฟันเทียมเกลียวรีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม. 58

4.5 การกระจายความเค้นของรากฟันเทียมเกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม. 59

4.6 การกระจายความเค้นของรากฟันเทียมเกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม. 60

4.7 Eqivalent Von Mises Stress ที่เกิดขึ้นใน Implant 60

4.8 การกระจายความเค้นของกระดูกแข็งเกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 0.6 มม. 61

4.9 การกระจายความเค้นของกระดูกแข็งเกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 1.2 มม. 62

4.10 การกระจายความเค้นของกระดูกแข็งเกลียวรีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม. 62

4.11 การกระจายความเค้นของกระดูกแข็งเกลียวรีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม. 63

ภาพที่ หน้า

4.12 การกระจายความเค้นของกระดูกแข็งเกลียวบัทเทรส
ความห่างเกลียว 0.6 มม. 64
4.13 การกระจายความเค้นของกระดูกแข็งเกลียวบัทเทรส
ความห่างเกลียว 1.2 มม. 64
4.14 Eqivalent Von Mises Stress ที่เกิดขึ้นใน Cortical Bone 65
4.15 การกระจายความเค้นของกระดูกโปร่งเกลียวสามเหลี่ยม
ความห่างเกลียว 0.6 มม. 66
4.16 การกระจายความเค้นของกระดูกโปร่งเกลียวสามเหลี่ยม
ความห่างเกลียว 1.2 มม. 67
4.17 การกระจายความเค้นของกระดูกแข็งเกลียววีเวิร์สบัทเทรส
ความห่างเกลียว 0.6 มม. 67
4.18 การกระจายความเค้นของกระดูกโปร่งเกลียววีเวิร์สบัทเทรส
ความห่างเกลียว 1.2 มม. 68
4.19 การกระจายความเค้นของกระดูกโปร่งเกลียวบัทเทรส
ความห่างเกลียว 0.6 มม. 69
4.20 การกระจายความเค้นของกระดูกโปร่งเกลียวบัทเทรส
ความห่างเกลียว 1.2 มม. 69
4.21 Eqivalent Von Mises Stress ที่เกิดขึ้นใน Cancellous Bone 70
4.22 การเคลื่อนที่ของรากฟันเทียม เกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 0.6 มม. 71
4.23 การเคลื่อนที่ของรากฟันเทียม เกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 1.2 มม. 72
4.24 การเคลื่อนที่ของรากฟันเทียม เกลียววีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม. 72
4.25 การเคลื่อนที่ของรากฟันเทียม เกลียววีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม. 73
4.26 การเคลื่อนที่ของรากฟันเทียม เกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม. 74
4.27 การเคลื่อนที่ของรากฟันเทียม เกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม. 74
4.28 การเคลื่อนที่ ๆ เกิดขึ้นในรากฟันเทียม 75
4.29 การเคลื่อนที่ของกระดูกแข็ง เกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 0.6 มม. 76
4.30 การเคลื่อนที่ของกระดูกแข็ง เกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 1.2 มม. 77
4.31 การเคลื่อนที่ของกระดูกแข็ง เกลียววีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม. 77

ภาพที่ หน้า

4.32 การเคลื่อนที่ของกระดูกแข็ง เกลียววีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม. 78
4.33 การเคลื่อนที่ของกระดูกแข็ง เกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม. 79
4.34 การเคลื่อนที่ของกระดูกแข็ง เกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม. 79
4.35 การเคลื่อนที่ ๆ เกิดขึ้นในกระดูกแข็ง 80
4.36 การเคลื่อนที่ของกระดูกโปร่ง เกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 0.6 มม. 81
4.37 การเคลื่อนที่ของกระดูกโปร่ง เกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 1.2 มม. 82
4.38 การเคลื่อนที่ของกระดูกโปร่ง เกลียววีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม. 82
4.39 การเคลื่อนที่ของกระดูกโปร่ง เกลียววีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม. 83
4.40 การเคลื่อนที่ของกระดูกโปร่ง เกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม. 84
4.41 การเคลื่อนที่ของกระดูกโปร่ง เกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม. 84
4.42 การเคลื่อนที่ ๆ เกิดขึ้นในกระดูกโปร่ง 85
4.43 เปรียบเทียบ Load ที่กระทำกับ Displacement บนแบบจำลอง 87
4.44 แบบจำลองเมื่อผ่านการทดสอบทางกล 88
4.45 เปรียบเทียบ Load ที่กระทำกับ Displacement บนแบบจำลอง 88
5.1 การวิเคราะห์สภาพของธุรกิจรากฟันเทียมในประเทศไทย 93
5.2 แผนที่นิคมอุตสาหกรรมนวนคร 102
5.3 แผนผังภายในนิคมอุตสาหกรรมนวนคร 102
5.4 แผนผังภายในสถานประกอบการ 103
5.5 แผนผังการจัดองค์กร 111
5.6 กราฟแสดงการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน 131
5.7 การวิเคราะห์ความไวของโครงการ..134

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

สาขาทันตกรรมถือได้ว่าเป็นสาขาหนึ่งที่นำเทคโนโลยีขั้นสูงจากต่างประเทศเข้ามาเพื่อให้บริการแก่ผู้ป่วยเพื่อเป็นการยกระดับการรักษาให้ได้ตามมาตรฐานสากล และเป็นการเพิ่มคุณภาพชีวิตแก่ผู้ป่วยให้สูงยิ่งขึ้น เช่น งานทันตกรรมรากเทียม โดยหลักการของทันตกรรมรากเทียม คือการฝังรากเทียมลงบนกระดูกขากรรไกรเพื่อใช้เป็นหลักยึดสำหรับการทำฟันปลอมชนิดติดแน่น ซึ่งหลังจากที่ฝังรากเทียมแล้วจะต้องทิ้งไว้เพื่อให้กระดูกเจริญเติบโตเข้าไปยึดเกาะที่รากฟันเทียม โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 3-6 เดือน ขึ้นอยู่กับบริเวณและตำแหน่งที่ฝัง ก่อนที่จะทำการครอบฟันลงบนรากเทียมอีกชั้นหนึ่ง หลังจากนั้นผู้ป่วยจะเริ่มใช้งานในการบดเคี้ยวอาหารได้ การใส่ฟันบนรากเทียมมีข้อดีอย่างมากคือ จะเป็นการทำครอบฟันลงบนรากฟันเทียมโดยไม่ยุ่งเกี่ยวกับฟันข้างเคียง ซึ่งถ้าเป็นการใส่ฟันชนิดครอบฟันหรือสะพานฟันแล้ว จำเป็นจะต้องทำการกรอฟันข้างเคียงเพื่อใช้เป็นเสาหลักสำหรับเป็นที่รองรับครอบฟันหรือสะพานฟันดังกล่าว

ปัญหาของทันตกรรมรากเทียม คือ มีค่าใช้จ่ายในการรักษาสูงมาก เนื่องจากต้องนำเข้าเทคโนโลยีทั้งหมดจากต่างประเทศ ตั้งแต่รากเทียมรวมถึงเครื่องมือที่ใช้ในการผ่าตัดฝังรากเทียม ตลอดจนทันตแพทย์ที่ทำงานด้านนี้ก็จำเป็นที่จะต้องเป็นผู้มีความเชี่ยวชาญหรือผ่านการฝึกอบรมจากต่างประเทศ เพื่อให้การฝังรากเทียมในผู้ป่วยสามารถทำงานได้ดี มีความปลอดภัยสูงและมีโรคแทรกซ้อนน้อยที่สุด เทคโนโลยีที่นำเข้ามาดังกล่าวมีราคาสูงมากเนื่องจากบริษัทที่ผลิตต้องมีการลงทุนสูงมากในด้านการวิจัย รวมถึงค่าใช้จ่ายทางด้านการตลาดด้วย ประเทศไทยก็เป็นอีกประเทศหนึ่งที่นำเข้าเทคโนโลยีดังกล่าวทั้งหมด โดยปัจจุบันประเทศไทยมีผู้ป่วยเข้ารับการฝังรากเทียมประมาณ 7,000 รากต่อปี คิดเป็นมูลค่าวัตถุดิบที่นำเข้าทั้งหมด 105,000,000 บาท/ปี (7,000 ราก x 15,000 บาท) ดังนั้นทันตกรรมรากเทียมจึงมีขีดจำกัดเฉพาะอยู่ในผู้ป่วยที่มีกำลังซื้อสูง เนื่องจากการบริการรากเทียมนั้นคิดค่าใช้จ่ายประมาณ 50,000 – 100,000 บาท/ราก ขึ้นอยู่กับสถานบริการและคุณวุฒิของทันตแพทย์ผู้เชี่ยวชาญให้การรักษา

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ระบบรากเทียม (Dental Implant) ที่ใช้ในปัจจุบันและเป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวางทั่วโลก เป็นระบบที่คิดค้นโดย Prof. Brannemark ได้ทำการทดลองฝังรากฟันเทียมในสุนัข พบว่าเซลล์กระดูกสามารถยึดเกาะโดยตรงกับเนื้อโลหะไทเทเนี่ยมซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ทำรากเทียมได้ โดยไม่มีการปฏิเสธของร่างกาย ผลการทดลองและค้นพบดังกล่าวทำให้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในงานทันตกรรมประดิษฐ์อย่างแพร่หลาย โดยฝังรากฟันเทียมลงไปในกระดูกขากรรไกรบน-ล่าง แล้วปล่อยให้มีเซลล์กระดูกเจริญเติบโตเข้าไปยึดเกาะกับผิวของรากฟันเทียม ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า Osseointegration ก่อนที่จะทำการครอบฟันลงบนรากเทียมอีกทีหนึ่ง โดยทั่วไปรากเทียมที่ฝังอยู่ในกระดูกขากรรไกรล่าง จะทิ้งไว้ประมาณ 3 เดือน และ 6 เดือนในขากรรไกรบน ก่อนที่จะบูรณะทำการครอบฟัน เหตุผลที่ทิ้งระยะเวลาแตกต่างกันเนื่องจากความแตกต่างของคุณภาพกระดูกขากรรไกรบน-ล่าง การใส่ฟันบนรากฟันเทียมมีข้อดีอย่างมากคือ จะเป็นการทำครอบฟันลงบนรากเทียมโดยไม่ยุ่งกับฟันข้างเคียง ซึ่งถ้าเป็นการใส่ชนิดครอบฟันหรือสะพานฟันแล้ว จำเป็นจะต้องทำการกรอฟันข้างเคียงเพื่อใช้เป็นเสาหลักสำหรับเป็นที่รองรับครอบฟันหรือสะพานฟันดังกล่าว

ในอนาคตมีแนวโน้มสูงที่จะนำรากเทียมมาใช้ในการฟื้นฟูสภาพและระบบการบดเคี้ยวในช่องปาก เนื่องจากมีข้อดีดังต่อไปนี้

1) รากเทียมกระตุ้นในกระดูกไม่มีการละลายตัว เมื่อฝังรากฟันเทียมลงในกระดูกขากรรไกร แรงในการบดเคี้ยวจะกระตุ้นให้กระดูกมีความแข็งแรงและไม่ละลายตัว ซึ่งแตกต่างจากการใส่ฟันปลอมชนิดอื่นที่จะทำให้กระดูกที่อยู่ใต้ฟันปลอมมีการละลายตัว (Resorption) การละลายตัวดังกล่าวจะแปรผันตามระยะเวลาที่ใส่ฟันปลอม โดยเฉพาะผู้สูงอายุที่ใส่ฟันปลอมทั้งปาก

2) เพิ่มประสิทธิภาพในการบดเคี้ยว รากเทียมจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบดเคี้ยวได้ดีกว่าการทำฟันปลอมประเภทอื่นๆ โดยเฉพาะกลุ่มผู้สูงอายุที่ใส่ฟันปลอมทั้งปาก เนื่องจากมีอุปสรรคในการยึดติดของฟันปลอมกับสันเหงือก ทำให้ประสิทธิภาพในการบดเคี้ยวลดลงก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบย่อยอาหาร ความรู้สึกในการรับรู้รสชาดอาหาลดประสิทธิภาพลง

3) ความสวยงาม การฝังรากฟันเทียมจะมีความสวยงามและใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติมากกว่าการใส่ฟันปลอมธรรมดา

ปัญหาของทันตกรรมรากเทียมคือ มีค่าใช้จ่ายในการรักษาสูงมาก เนื่องจากต้องนำเข้าเทคโนโลยีทั้งหมดจากต่างประเทศ ตลอดจนทันตแพทย์ที่ทำงานด้านนี้ก็ต้องเป็นผู้ที่มีความชำนาญหรือเชี่ยวชาญหรือผ่านการฝึกอบรมจากต่างประเทศ ประเทศไทยก็เป็นอีกประเทศหนึ่งที่นำเข้าเทคโนโลยีดังกล่าวทั้งหมด ดังนั้นทันตกรรมรากเทียมจึงมีขีดจำกัดเฉพาะอยู่ในผู้ป่วยที่มีกำลังซื้อสูงเท่านั้น เนื่องจากการบริการรากเทียมนั้นคิดค่าใช้จ่ายประมาณ 50,000 – 100,000 บาท/ราก ขึ้นอยู่กับสถานบริการและคุณวุฒิของทันตแพทย์ผู้เชี่ยวชาญให้การรักษา

ทันตกรรมรากเทียมได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายอย่างมาก ทั้งทางวิชาการและทางคลีนิคว่ามีประสิทธิภาพและ ประสิทธิผลของการรักษาสูงกว่ากรรมวิธีทางทันตกรรมประเภทอื่น ๆ อย่างไรก็ตามบริการทันตกรรมรากเทียมยังจำกัดเฉพาะอยู่ในผู้ป่วยที่มีกำลังซื้อสูงเท่านั้น ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยมีความพร้อมอย่างมากที่จะคิดค้น วิจัยและผลิตรากฟันเทียมเองเนื่องจากมีความพร้อมด้านบุคลากร ซึ่งได้แก่ทันตแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ วิศวกรและผู้เชี่ยวชาญในสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนเทคโนโลยีชั้นสูงที่จะผลิตรากเทียมและเครื่องมือที่ใช้ผ่าตัด เพื่อพัฒนาระบบงานทันตกรรมที่สมบูรณ์แบบ และเหมาะสมกับขนาด รูปร่างของคนไทย

นอกจากนี้ในการหาขนาดมาตรฐานกระดูกขากรรไกรของคนไทย ยังได้รับการร่วมมือจากศูนย์เทคโนโลยีทางทันตกรรมขั้นสูง โดยใช้ข้อมูลทางกายวิภาคจากภาพถ่ายของเครื่อง CT Scan 3 มิติ ซึ่งเป็นการรวบรวมข้อมูลที่ได้จากคนไข้ที่มีอยู่ในปัจจุบันโดยอาศัยเทคโนโลยีสมัยใหม่จากการใช้การถ่ายภาพรังสีคอมพิวเตอร์ (CT Scan) รวบรวมข้อมูลที่ได้ประกอบขึ้นเป็นภาพ 3 มิติของกระดูกขากรรไกร ซึ่งอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้าช่วย จากข้อมูลของกระดูกที่ทำการศึกษาแต่ละชิ้น สามารถที่จะนำมาใช้ในการศึกษารายละเอียดของขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง ค่ามุมของแนวแกนต่างๆ และค่ามุมที่ใช้บอกรูปทรงสัณฐานทางกายวิภาคที่มีการใช้ในทางการแพทย์โดยศึกษาจากคอมพิวเตอร์โดยตรง โดยส่วนค่าเฉลี่ยต่างๆ ของข้อมูล อาศัยวิธีการนำรูปทรงทางเรขาคณิตที่เหมาะสมกับรูปร่างกระดูก ณ จุดต่างๆ เข้ามาใช้ประโยชน์ของฐานข้อมูลแต่ละชิ้น โดยข้อมูลดังกล่าวจะเก็บในลักษณะ Digital Database

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

1) เพื่อออกแบบและวิเคราะห์รากฟันเทียมที่มีความเหมาะสมกับกายวิภาคคนไทย
2) เพื่อศึกษาการออกแบบรากฟันเทียมด้วยกรรมวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์
3) ศึกษาและทดสอบคุณสมบัติทางกลของรากฟันเทียม โดยการฝังลงในอะคริลิก
4) วิเคราะห์ความเป็นไปได้เพื่อนำไปสู่แผนการผลิตรากฟันเทียมในเชิงอุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

1) ศึกษาและเก็บข้อมูลทางสถิติในการสำรวจลักษณะทางกายวิภาคกระดูกขากรรไกรของคนไทย โดยใช้ข้อมูลจากเครื่อง 3D CT Scan ของศูนย์เทคโนโลยีทางทันตกรรมขั้นสูง

2) ศึกษาและออกแบบรากฟันเทียมที่มีความเหมาะสมกับกายวิภาคคนไทย โดยการกำหนดและออกแบบรากฟันเทียมแบบสามมิติ และนำมาวิเคราะห์ผ่านกระบวนการออกแบบรากฟันเทียมด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ เพื่อพิจารณาถึงแรงที่เกิดขึ้นที่มีผลกระทบต่อรากฟันเทียมและวัสดุรอบข้าง

3) ผลิตรากฟันเทียมต้นแบบเพื่อศึกษาการทดสอบทางกล โดยทดสอบฝังรากฟันเทียมลงในวัสดุอะครีลิก เพื่อพิจารณาถึงแรงที่เกิดขึ้นที่มีผลกระทบต่อรากฟันเทียมและวัสดุรอบข้าง

4) ศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการในการผลิตรากฟันเทียมในเชิงอุตสาหกรรม เพื่อนำไปวิเคราะห์กระบวนการผลิต

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

1) สำรวจงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2) ศึกษาขั้นตอนในการออกแบบและผลิตรากฟันทียม
3) ศึกษาและเก็บตัวอย่างข้อมูลทางสถิติทางกายวิภาคกระดูกขากรรไกรของคนไทย
4) ออกแบบรากฟันเทียมและวิเคราะห์ผลการออกแบบด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์
5) สร้างรากฟันเทียมต้นแบบ และทดสอบคุณสมบัติทางกล
6) ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตรากฟันเทียมในเชิงอุตสาหกรรม
7) วิเคราะห์ผลการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8) สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับมีดังต่อไปนี้

1) สามารถสร้างรากฟันเทียมต้นแบบที่มีความเหมาะสมกับกายวิภาคของคนไทย
2) ข้อมูลทางสถิติของขนาดและสัดส่วนของกายวิภาคกระดูกขากรรไกรของคนไทย
3) ผลการศึกษาที่ทำให้ทราบถึงรูปแบบที่มีความเหมาะสมในการออกแบบรากฟันเทียม
4) เพิ่มศักยภาพในการผลิตรากฟันเทียมในประเทศไทย
5) ลดค่าใช้จ่ายของผู้ป่วยที่ต้องการใส่รากฟันเทียม
6) ลดการนำเข้ารากฟันเทียมจากต่างประเทศ
7) เป็นแนวทางสำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานและการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีพื้นฐาน

ทฤษฎีพื้นฐานนี้จะกล่าวถึงอ้างถึงโครงสร้างกระดูกขากรรไกรของมนุษย์ ซึ่งจะมีส่วนประกอบเป็น กระดูกแข็ง และ กระดูกโปร่ง โครงสร้างทั้งสองนี้จะมีความแตกต่างทั้งทางด้านทางกายภาพ และทางกล ทำให้มีผลต่อการฝังรากฟันเทียมลงในกระดูก ซึ่งในปัจจุบันนั้นมีรากฟันเทียมให้เลือกใช้หลายรูปตามความชำนาญของทันตแพทย์ โดยในที่นี่จะใช้ระเบียบวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ในการจำลองการฝังการฝังรากฟันเทียมลงในกระดูกขากรรไกร จากนั้นจะกล่าวอ้างถึงความเป็นไปได้ของโครงการ เพื่อที่จะทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในทางธุรกิจและ วิศวกรรม ดังมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.1.1 กระดูกขากรรไกรของมนุษย์

ช่องปากของมนุษย์มีโครงสร้างที่เป็นกระดูกล้อมรอบและรองรับอยู่ โครงสร้างกระดูกดังกล่าว คือ กระดูกขากรรไกรล่าง และกระดูกขากรรไกรบน กระดูกขากรรไกรทั้งสองยังมีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องอย่างใกล้ชิดและเป็นส่วนที่สำคัญของโครงสร้างใบหน้าและกะโหลกศีรษะ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) กระดูกขากรรไกรบน (Maxilla) เป็นกระดูกส่วนหน้า กระดูกขากรรไกรบนยึดแน่นกับกระดูกใบหน้าชิ้นอื่นโดยไม่ผ่านข้อต่อเช่นขากรรไกรล่าง จึงเป็นเหมือนชิ้นเดียวกับกระดูกใบหน้า ตำแหน่งและรูปร่างของกระดูกขากรรไกรบนแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่ใกล้ชิดกับนัยน์ตา จมูก ปาก โหนกแก้มและคอหอย ในภาวะที่ปกติ การทำหน้าที่ของฟัน เช่น การเคี้ยวอาหาร จะเกิดแรงเคี้ยวอาหาร ส่งผลกระทบต่อขากรรไกรบนและต่อเนื่องไปยังกระดูกใบหน้า จนบ่อยครั้งที่แรงเคี้ยวอาหารกระจายไปที่กะโหลก

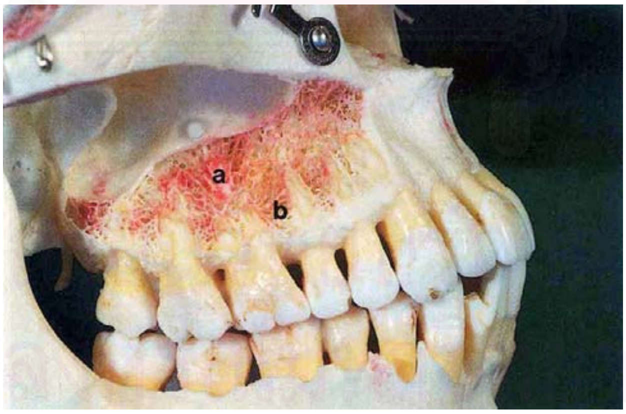
2) กระดูกขากรรไกรล่าง (Mandible) เป็นกระดูกชิ้นหน้าที่ใหญ่และแข็งแรงที่สุด และเป็นกระดูกของกระโหลกศีรษะชิ้นเดียวที่สามารถเคลื่อนไหวได้ ตัวกระดูกขากรรไกรล่างยึดเหนี่ยวสัมพันธ์กับกระดูกขากรรไกรบน คอ หรือกะโหลกศีรษะด้วยเส้นเอ็น กล้ามเนื้อ และลิ้น กระดูกขากรรไกรล่างเป็นกรอบ หรือโครงที่สำคัญมากของช่องปาก ดังนั้นหากกระดูกขากรรไกรล่างผิดรูป เช่น เล็กหรือใหญ่เกิน ช่องปากจะผิดรูปตามไปด้วย หรือหากขากรรไกรล่างเกิดโรค ก็จะส่งผลทั้งต่อรูปร่างและหน้าที่ของอวัยวะภายในช่องปากเช่นกัน

2.1.1.1 ลักษณะโครงสร้างของกระดูกแข็ง กระดูกแข็ง (bone) หรือ osseous เป็น specialized connective tissue ที่มีลักษณะเด่น มีเกลือแคลเซียมมาตกตะกอน (calcification) ทำให้เนื้อยึดต่อชนิดนี้มีความแข็งมากเป็นพิเศษ เมื่อนำกระดูกมาฝนจนเป็นแผ่นบางมาศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดาจะพบว่ามีเซลล์กระดูกเรียงตัวกันเป็นแผ่นซ้อนกันเป็นชั้นๆ โดยกระดูกแข็งแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

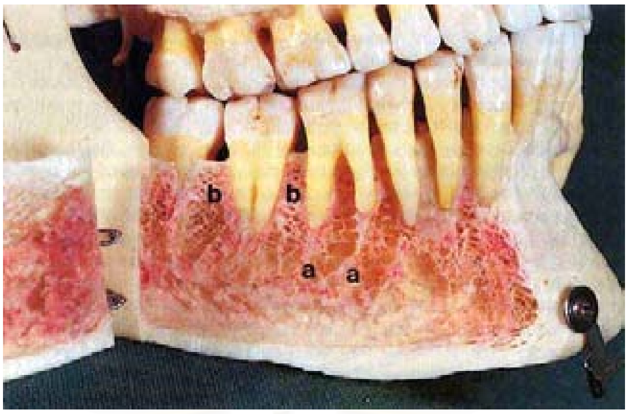
1) Cortical Bone กระดูกชนิดนี้มีลักษณะแน่นแข็ง สีขาวคล้ายงาช้าง มีการเรียงตัวของ lamellae เป็นระเบียบเรียกว่า Haversian system ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานของกระดูกแข็ง ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของสารอาหารไปเลี้ยงเซลล์ของกระดูก

2) Cancellous Bone กระดูกชนิดนี้เมื่อดูด้วยตาเปล่าจะมีลักษณะพรุนคล้ายฟองน้ำประกอบด้วยกระดูกแข็งชิ้นเล็กๆ เรียกว่า trabeculae เรียงตัวสารกันไปมาเป็นร่างแห มีช่องว่างเล็กๆ เป็นที่บรรจุไขกระดูก (bone marrow) เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดาจะพบว่า cancellous bone ประกอบด้วย lamellae ที่เรียงตัวไม่เป็นระเบียบและมีจำนวนไม่มากนัก

รูป 2.1 และ 2.2 แสดงถึงโครงสร้างของกระดูกแข็งในกระดูกขากรรไกรบนและกระดูกขากรรไกรล่าง ซึ่งมีส่วนประกอบของกระดูก Cortical Bone และกระดูก Cancellous Bone ซึ่งมีคุณสมบัติและรูปร่างที่ต่างกัน



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของกระดูกขากรรไกรบน a) Cancellous Bone b) Cortical Bone



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของกระดูกขากรรไกรล่าง a)Cancellous Bone b)Cortical Bone

2.1.1.2 โครงสร้างของฟัน โครงสร้างของฟันจะมีโครงสร้างหลักใหญ่ๆ อยู่ 3 ส่วนด้วยกันคือ

1) ตัวฟัน (crown) เป็นส่วนของฟันที่โผล่พ้นเหงือก

2) รากฟัน (root) เป็นส่วนของฟันที่ฝังอยู่ในกระเปาะบน alveolar processes ของกระดูกขากรรไกร (mandible และ maxilla) และถูกห่อหุ้มด้วยเหงือก (gingival,gum)

3) คอฟัน (neck) เป็นส่วนคอดที่อยู่ระหว่างตัวฟันกับรากฟัน

ฟันประกอบด้วยเนื้อฟัน (dentine) ซึ่งเป็นเนื้อยึดต่อที่มีแคลเซียมมาตกตะกอน (calcified connective tissue) ทำให้ฟันคงรูปร่างและมีความแข็งแรง เนื้อฟันห่อหุ้มช่องว่างตรงกลางฟันเรียกว่า pulp cavity ที่บรรจุหลอดเลือด หลอดน้ำเหลืองและเส้นประสาทรับความรู้สึกของฟันที่เข้ามาเลี้ยงฟันทางรูที่ปลายรากฟันเรียกว่า apical foramen เนื้อฟันตรงส่วนตัวฟันจะถูกเคลือบด้วย enamel ซึ่งมีองค์ประกอบของ calcium phosphate และ calcium carbonate จึงเป็นโครงสร้างที่แข็งที่สุดในร่างกายป้องกันการสึกหรอของฟัน จากการเคี้ยวและป้องกันไม่ให้เนื้อฟันถูกละลายโดยกรดภายในปาก ที่รากฟันเนื้อฟันจะถูกเคลือบด้วย cementum ซึ่งมีโครงสร้างเหมือนกระดูกทำหน้าที่ยึดรากฟันไว้กับเนื้อยึดต่อที่อยู่รอบฟัน (periodontal ligament)

ฟันถูกเรียกชื่อตามลักษณะและหน้าที่เป็น 4 ชนิด เรียงจากด้านหน้าไปหลัง ตามลำดับคือ

1) ฟันตัด (incisor) ลักษณะตัวฟันแบนเป็นรูปลิ่ม มีรากฟันอันเดียว ใช้สำหรับตัดอาหาร

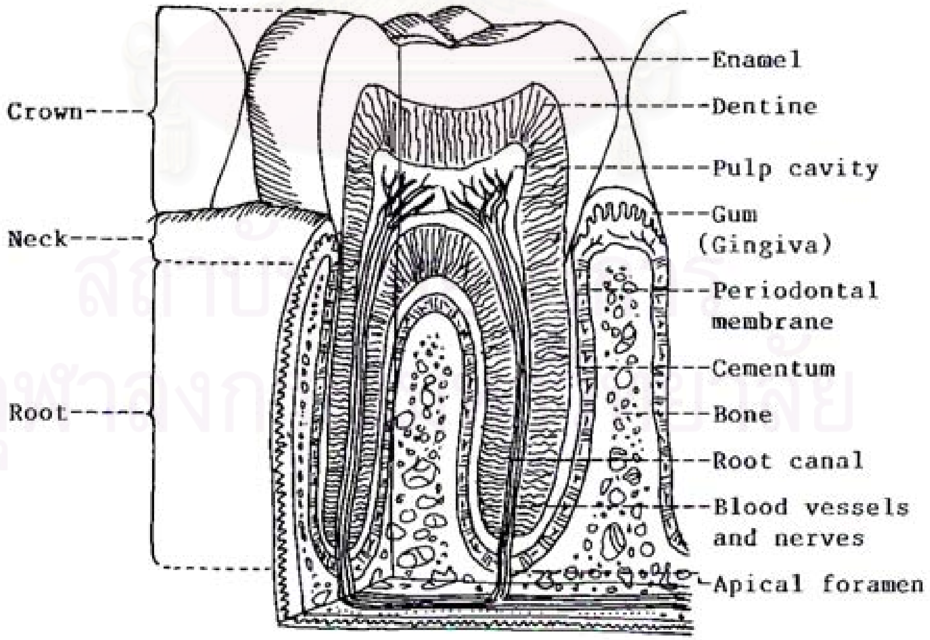
2) ฟันเขี้ยว (canine or cuspid) ตัวฟันมียอดแหลมเรียกว่า cusp 1 อัน รูปร่างคล้ายใบหอก มีรากฟันอันเดียว ใช้สำรับฉีกอาหาร

3) ฟันกรามน้อย (premolar or bicuspid) ตัวฟันมี cusp 2 อัน และมีรากฟันอันเดียว (ฟันกรามน้อยบนซี่แรกอาจมี 2 ราก) ใช้สำหรับบดเคี้ยวอาหาร

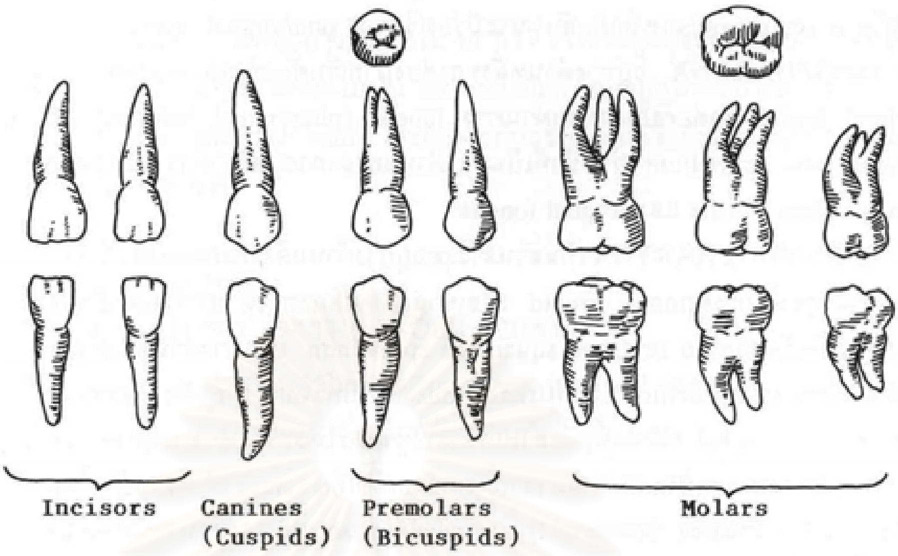
4) ฟันกราม (molar) มี cusp 3-5 อัน ฟันกรามบนมี 3 ราก ฟันกรามล่างมี 2 ราก ใช้สำหรับบดเคี้ยวอาหาร

รูปที่ 2.3 แสดงถึงโครงสร้างของฟัน ซึ่งแสดงส่วนประกอบของฟันที่มีโครงสร้างที่ซับซ้อน โดยแสดงถึงส่วนนอกของฟันที่มีลักษณะเป็นกระดูกแข็ง และส่วนของด้านในที่เป็นลักษณะของเนื้อเยื่อและเส้นประสาท

รูปที่ 2.4 แสดงถึงรูปแบบฟันของมนุษย์ที่มีลักษณะแตกต่างกันไป ซึ่งฟันแต่ละชนิดจะมีหน้าที่ๆ แตกต่างกันออกไป โดยฟันหน้าจะใช้ฉีกอาหารและฟันกรามจะใช้สำหรับบดเคี้ยว



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของฟัน



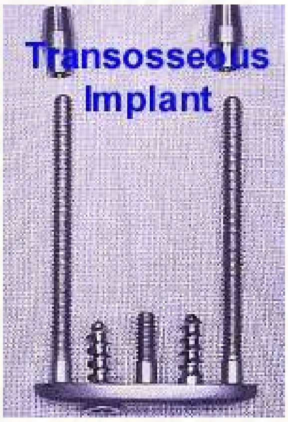
รูปที่ 2.4 รูปแบบของฟัน

2.1.2 รูปแบบของรากฟันเทียม

รากฟันเทียม เป็นวิวัฒนาการทางทันตกรรม ที่กำเนิดขึ้นมาเพื่อแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่พบในการใส่ฟันปลอม เพื่อให้ได้ฟันที่มีสภาพ ใกล้เคียงฟันธรรมชาติ ทั้งด้านความแข็งแรง และความสวยงาม แต่เดิมทีนั้น เวลาทันตแพทย์ ทำการใส่ฟันปลอมให้คนไข้นั้น จะทำได้เพียงทดแทนส่วนของตัวฟัน ที่อยู่เหนือเหงือก เท่านั้น ไม่สามารถทดแทน ส่วนของรากฟันที่อยู่ในกระดูกได้ ทำให้กระดูกขากรรไกร เกิดการละลายตัว เนื่องจากการที่กระดูกขากรรไกร จะคงสภาพอยู่ได้นั้น จะต้องมีการกระตุ้น จากภายในกระดูกขากรรไกร โดยที่แรงกระตุ้นนั้น เกิดจากการบดเคี้ยว ส่งแรงผ่านไปยังรากฟัน เข้าไปในกระดูกขากรรไกร ซึ่งภายในกระดูกนี้ จะมีเซลล์สร้างกระดูกอยู่ จึงมีการสร้างกระดูกทดแทน ส่วนที่ถูกลายไปตลอดเวลา กระดูกจึงคงสภาพอยู่ได้ แต่ถ้าเราถอนฟันออกไปแล้วใส่ฟันปลอมไม่ว่าจะเป็นฟันถอดได้ หรือ ติดแน่น หรือ ไม่ใส่เลย แรงที่ลงไปบริเวณกระดูก จะอยู่ที่บริเวณผิวนอก ไม่สามารถส่งผ่านแรง ไปยังศูนย์กลางกระดูกได้ ทำให้ไม่มีการสร้างกระดูกทดแทน ทำให้กระดูกมีการละลายตัวและเล็กลงไปเรื่อยๆ นอกจากนี้ในการใส่ฟันปลอมนั้น จำเป็นต้องใช้ฟันซี่ อื่นๆ ช่วยในการยึด หรือ รับน้ำหนักฟันปลอม ต้องมีการตัดทำลายเคลือบฟันซี่ข้างเคียง เพื่อเปลี่ยนให้เป็นครอบฟัน ทำให้ต้องเสียฟันเพิ่มขึ้น หรือ บางครั้งผู้ป่วยถอนฟันไปหลายซี่ ทำให้ไม่สามารถทำฟันปลอมติดแน่น ก็จำเป็นต้องใส่ฟันถอดได้แทน รากฟันเทียมจึงได้ถือกำเนิดขึ้นมาเพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านี้

2.1.2.1 วิวัฒนาการของรากฟันเทียม อันที่จริง การทำรากฟันเทียม นั้นมีมานานแล้ว เพียงแต่เทคนิควิธีการ ยังไม่ดีพอ ทำให้ไม่เป็นที่นิยม รากฟันเทียมในยุคแรก ๆ ได้แก่

1) Transosseous Implant เป็นการฝังรากฟันเทียม โดยแทงทะลุขากรรไกร จะทำในขากรรไกรล่าง โดยมีแผ่นโลหะรองใต้ ขากรรไกร ใช้เป็นตัวยึดรากฟันเทียม การกระทำต้องทำภายใต้การดมยาสลบ เพราะต้องเปิดแผลเป็นบริเวณกว้าง และ การใส่ฟันปลอมก็ไม่สามารถทำได้ดีเท่าที่ควร ในปัจจุบันยังมีการทำอยู่บ้าง ในรายที่จำเป็น ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 รากฟันเทียมแบบ Transosseous Implant

2) Blade Implant เป็นรากฟันเทียม ที่มีส่วนของรากฟันเป็นแผ่นโลหะ คล้ายใบมีด เวลาฝังจะมีการตัดกระดูก เป็นร่องแล้ว ใส่รากฟันเทียม ชนิดนี้ เข้าไปในร่อง แล้วเย็บปิดเหลือส่วนของ สกรูสำหรับใส่ฟันเอาไว้ ในปัจจุบัน ยังคงมีทำกันอยู่บ้าง แต่น้อยมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.5 รากฟันเทียมแบบ Blade Implant

3) Subperiosteal Implant ลักษณะเป็น โครงโลหะ ที่มีลักษณะเป็นร่างแห เวลาฝังจะทำการผ่าตัด เปิดแผ่นเหงือก ขึ้นมา แล้ววางโครงโลหะนี้ ใต้ เยื่อหุ้มกระดูก โผล่ขึ้นมาเฉพาะส่วนที่เป็นแกนใส่ฟันปลอม ปัจจุบัน ก็เช่นเดียวกับ Blade implant คือ มีการทำอยู่บ้าง แต่น้อยมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.6

รูปที่ 2.6 รากฟันเทียมแบบ Subperiosteal Implant

รากฟันเทียมที่กล่าวมาข้างต้น จัดว่าเป็นรากฟันเทียม ในยุคแรกๆ เป็นรากฟันเทียมที่ยังประสบผลสำเร็จน้อยมาก ส่วนใหญ่จะมีอายุการใช้งาน ไม่นานนัก ก็จะเกิดปัญหาการติดเชื้อ การละลายตัวของกระดูก เกิดการโยก ทำให้ต้อง กำจัดออกในที่สุด ต่อมา Dr. Branemark ได้ค้นพบว่า โลหะ Titanium นั้นสามารถเข้ากันได้กับกระดูก และมีการกระตุ้น ให้กระดูกเจริญเข้ามาจับกับตัวโลหะได้ จึงได้ดัดแปลงมาทำรากฟันเทียม ในลักษณะ ของ Root Form Implant โดยตัวรากฟันเทียม จะมีลักษณะเป็นทรงกระบอก หรือ เป็นสกรู เวลาผ่าตัด ในระยะแรกยังต้องกระทำภายใต้การดมยาสลบ หรือ ทำในห้องผ่าตัด เพื่อควบคุม การติดเชื้อ การใส่รากฟันเทียม อาจจะใช้การตอก หรือ ขันเกลียว ขึ้นอยู่กับว่า เป็นรากฟันเทียมชนิดใด สาเหตุที่เรียกเป็น Root form เพราะตัวรากฟันเทียม มีขนาดใกล้เคียงกับรากฟัน และจะฝังในกระดูกขากรรไกร ในตำแหน่ง ของรากฟันที่จะใส่ฟัน เมื่อรากฟันเทียมยึดติดแน่นกับกระดูก ก็จะทำการใส่ฟันให้ ทำให้ได้ฟันปลอม ที่มีลักษณะการทำงานใกล้เคียงฟันธรรมชาติ ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของรากฟันเทียม ในยุคปัจจุบัน

2.1.2.2 รากฟันเทียมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน รากฟันเทียมทีใช้อยู่ในปัจจุบันมีหลากหลายประเภทให้เลือกใช้ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตว่าต้องการให้มีรูปร่างแบบใด ซึ่งรากฟันเทียมของแต่ละบริษัทก็จะมีรูปร่างที่ไม่เหมือนกัน แต่รากฟันเทียมจะมีรูปร่างหลักๆ อยู่ 3 ประเภทด้วยกัน คือ

1) รากฟันเทียมแบบตอก (Cylinder Type) มีลักษณะเป็นทรงกระบอก เริ่มมีการใช้น้อยลง เพราะพบว่า ในผู้ป่วยหลายๆ ราย เกิดการสูญเสียกระดูก และ รากฟันเทียมหลุด ดังแสดงในรูปที่ 2.7

รูปที่ 2.7 รากฟันเทียมแบบตอก

2) รากฟันเทียมแบบสกรู (Screw Type) มีลักษณะคล้ายรากเทียมแบบตอก แต่จะมีเกลียวเพิ่มเติมบริเวณของรากฟันเทียม เป็นแบบที่นิยมใช้มากสุดในปัจจุบัน ดังแสดงในรูปที่ 2.8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.8 รากฟันเทียมแบบสกรู

3) รากฟันเทียมแบบ Molly ลักษณะปลายราก จะแยกเป็น 4 กลีบ คล้ายดอกจำปา จะเป็นรากฟันเทียมที่มีปัญหามากที่สุด เพราะมักจะทำให้เกิดการละลายตัวของกระดูก โชคดีที่รากฟันเทียมชนิดนี้ ไม่เคยมีใครนำมาใช้ในเมืองไทย ดังแสดงในรูปที่ 2.9

รูปที่ 2.9 รากฟันเทียมแบบ Molly

2.1.3 นิยามของ CAD/CAM/CAE

2.1.3.1 Computer Aided Design (CAD) การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ แต่อาจจะเคยพบคำว่า CADD ซึ่งย่อมาจาก Computer Aided Design and Drafting นั่นก็คือการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบและเขียนแบบซอฟท์แวร์ CAD ได้ถูกพัฒนาให้มีความสามารถยิ่งขึ้นควบคู่กันไป ระบบคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วมากขึ้นเรื่อยๆ จึงทำให้ผู้ใช้ซอฟท์แวร์ CAD ในปัจจุบัน ทำงานเขียนแบบและออกแบบได้ง่าย และรวดเร็ว ซอฟท์แวร์ CAD มีให้ผู้ใช้ได้เลือกใช้ไม่ว่าจะทำงานอยู่ในวงการใดๆ

เทคโนโลยีของซอฟท์แวร์ CAD ได้ถูกพัฒนาเริ่มจากซอฟท์แวร์ช่วยเขียนแบบ 2 มิติ เสมือนเป็นเป็นกระดานเขียนแบบอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งจะมีคำสั่งในการใช้งาน ซึ่งผู้ใช้สามารถเรียกใช้คำสั่งโดยการใช้เมาส์เลือกที่เมนูบนจอภาพ หรือการป้อนคำสั่งจากแป้นพิมพ์ ซอฟท์แวร์ CAD มีหลายกลุ่มคำสั่ง ได้แก่คำสั่งในการวาดองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ เส้นตรง(Line) เส้นโค้ง(Arc) วงกลม(Circle) วงรี(Ellipse) รูปเหลี่ยม(Polygon) เช่น สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม และยังมีคำสั่งในการช่วยวาดองค์ประกอบเพิ่มเติม เช่น การสะท้อนให้ภาพ(Mirror) การสำเนาองค์ที่มีอยู่(Copy) นอกจานี้ยังมีคำสั่งในการแก้ไขสิ่งที่ได้วาดลงไปแล้ว ได้แก่ คำสั่งลบออก(Erase) ตัดบางส่วน(Trim) เคลื่อนย้าย(Move) หมุนภาพ(Rotate) การจัดองค์ประกอบต่างๆ จำแนกอยู่ในชั้นต่างๆ (Layer) เพื่อความสะดวกในการทำงานเสมือน มีแบบหลายๆแผ่นมาซ้อนทับกันอยู่

ซอฟท์แวร์ CAD อีกประเภทหนึ่งซึ่งเป็นซอฟท์แวร์ที่ใช้เทคโนโลยีในการพัฒนาสูงขึ้นคือ ซอฟท์แวร์ CAD ที่มีการทำงานในระบบ 3 มิติ ซึ่งจะมีคุณสมบัติพื้นฐานดังนี้

1) การออกแบบหรือสร้างแบบจำลอง ลักษณะ 3 มิติ คือ มีขนาด ความกว้าง ความยาว และความสูง(ความหนา)

2) หมุนดูได้ทุกมุมที่อยากดู

3) สร้างแบบ 2 มิติหลังจากการเสร็จสิ้นออกแบบเพื่อนำไปผลิต

4) แก้ไขได้ทันทีที่ต้องการ

2.1.3.2 Computer Aided Manufacturing (CAM) การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต ซึ่งจะใช้ซอฟท์แวร์เพื่อควบคุมเครื่องจักรให้สามารถสร้างชิ้นงานได้ตามที่ออกแบบไว้แล้ว โดยระบบการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิตนี้ มีองค์ประกอบหลักๆ คือ

1) เครื่องจักรซีเอ็นซี (CNC : Computer Numerical Controlled) คือเครื่องจักรที่ใช้สำหรับขึ้นรูปวัตถุดิบให้ได้ตามรูปร่างตามแบบชิ้นงานที่ได้ออกแบบไว้แล้ว

2) ซอฟท์แวร์สำหรับงาน CAM ซึ่งมีมากมายหลายยี่ห้อให้เลือกใช้ ซึ่งควรมีคุณสมบัติดังนี้

- รับข้อมูล 3 มิติ จากซอฟท์แวร์ CAD ให้ได้รูปแบบมาตรฐาน (IGES,STEP,STL)

- เลือก Tool หรือหัวกัดชิ้นงานตามขนาดที่ต้องการ กำหนดการกัดงานด้วยรูปแบบต่างๆ ได้แก่ การกัดหยาบ กัดละเอียด

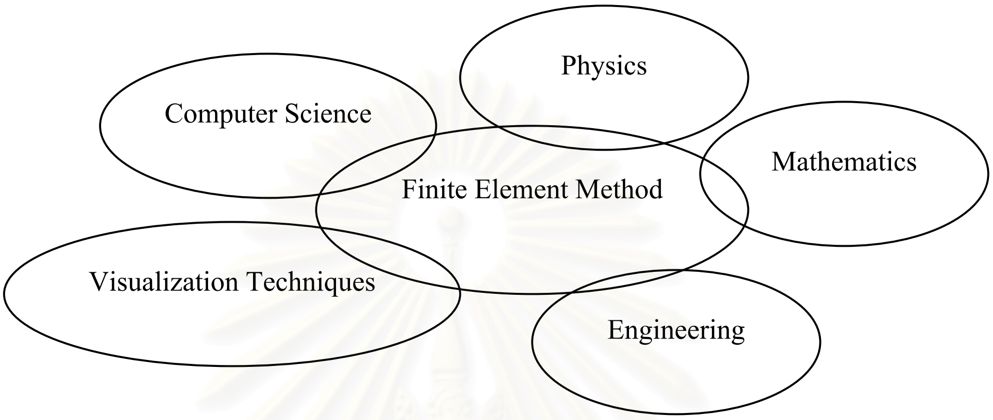
- ทดสอบการกัดชิ้นงานบนจอภาพเพื่อทดสอบก่อนกัดงานจริง (ซอฟท์แวร์บางตัวอาจยังไม่มีให้ใช้งาน)

- สร้าง G code ซึ่งเป็นรหัสเพื่อบอกให้เครื่องจักรทำงานตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ได้ถูกต้อง ซึ่งซอฟท์แวร์ CAM นั้นจะต้องสร้าง G Code ให้มีรูปแบบตรงกับเครื่องจักรรุ่นนั้นๆ เข้าใจ

2.1.3.3 Computer Aided Engineering (CAE) การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรมซึ่งหมายถึง การบอกถึงความสามารถของสิ่งที่ออกแบบว่าสามารถทำงานได้ตามที่อยากให้เป็นหรือไม่ ซึ่งสิ่งที่เป็นตัวชี้บ่งคือ

1) ผลลัพธ์จากการทดสอบจริง ได้แก่ การนำต้นแบบมาทดสอบจริง เช่น การทดสอบการชนของรถ หรือ การทดสอบความแข็งด้วยการอัดแรง เป็นต้น

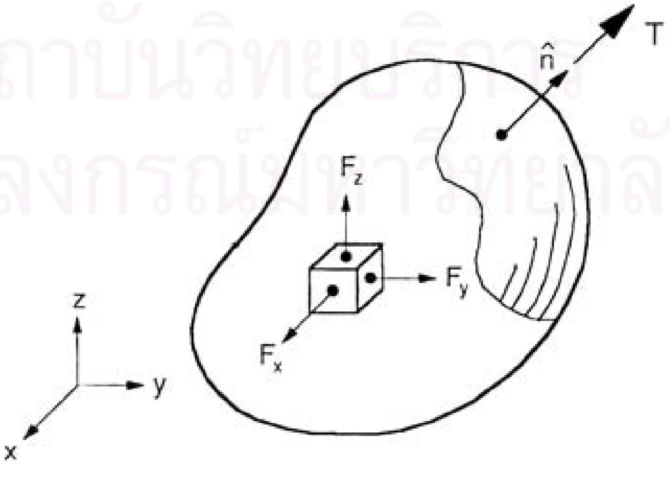
2) ระเบียบวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) หรือที่เรียกว่า FEM เป็นวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขชนิดหนึ่ง ซึ่งมีการผนวกเอาความรู้แขนงต่างๆ มาใช้งานร่วมกันดังแสดงดังรูปที่ 2.10



รูป 2.10 ความสัมพันธ์ของวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์กับความรู้แขนงอื่น

1) สมการพื้นฐานทั่วไปในไฟไนท์เอลิเมนต์สามมิติ เป็นสมการที่สำหรับใช้ในการคำนวณเพื่อใช้สร้างสมการในการแก้ไขปัญหาด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ ซึ่งสมการจะแสดงการคำนวณในลักษณะของแนวแกน x, y และ z ซึ่งจะมีสมการหลัก 2 สมการ คือ

ก. สมการเชิงอนุพันธ์ แสดงความสมดุลของของแข็งที่มีการยืดหยุ่นได้ในสามมิติดังแสดงในรูป 2.11



รูป 2.11 ความสมดุลของของแข็งในสามมิติ

สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยได้ดังนี้

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial_x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial_y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial_z} + F_x = 0$$
$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial_x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial_y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial_z} + F_y = 0$$
$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial_x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial_y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial_z} + F_z = 0$$

โดย σ_x ,σ_y,σ_z แทนความเค้นในแนวแกน x, y, z ตามลำดับ และ τ_{xy}, τ_{xz}, τ_{yz} แทนความเค้นเฉือน F_x, F_y, F_z แทนแรงวัตถุ (body force) ในแนวแกน x, y, z ตามลำดับ ตลอดผิวรอบนอกของของแข็งดังแสดงในรูป 2.14 อาจประกอบด้วยเงื่อนไขขอบเขตหลายๆชนิด อาทิเช่น การกำหนดระยะการเคลื่อนที่บนผิวบางส่วนในขณะที่ผิวส่วนอื่นๆ มีการกำหนดเงื่อนไขของความเค้นที่ผิว (surface traction) ในรูปแบบทั่วไปคือ

$$\vec{T} = T_x \hat{i} + T_y \hat{j} + T_z \hat{k}$$

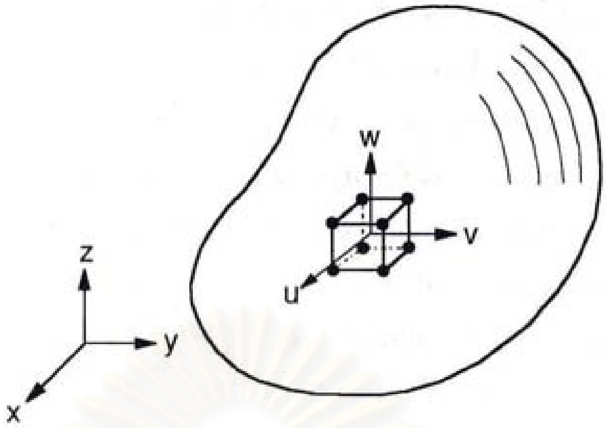
โดย T_x ,T_y,T_z แทนความเค้นที่ผิวในทิศแกน x, y, z ตามลำดับ ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของความเค้นย่อยต่างๆ ได้ดังนี้

$$\begin{Bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \end{Bmatrix}$$

ซึ่ง n_x ,n_y,n_z แทนทิศทางโคไซน์ของเวกเตอร์

$$\hat{n} = n_x \hat{i} + n_y \hat{j} + n_z \hat{k}$$

ข. สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ สำหรับวัตถุทั่วไปในสามมิติ เราสามารถสร้างสมการไฟไนท์เอลิเมนต์สำหรับเอลิเมนต์ในสามมิติทั่วไปได้ โดยการสมมุติว่ามีเอลิเมนต์ทรงหกหน้าซึ่งประกอบด้วยแปดจุดดังแสดงในรูป 2.12



รูป 2.12 เอลิเมนต์ทรงหกหน้าในวัตถุสามมิติ

ขั้นตอนแรกคือสมมุติลักษณะการกระจายของค่าเคลื่อนตัวในสามทิศทาง โดย

$$[K] = \int_V [B]^T [C][B]\, dV$$

$$\{F_O\} = \int_V [B]^T [C]\{\varepsilon_O\}\, dV$$

$$\{F_B\} = \int_V [N]^T \{F\}\, dV$$

$$\{F_t\} = \int_V [N]^T \{T\}\, dS$$

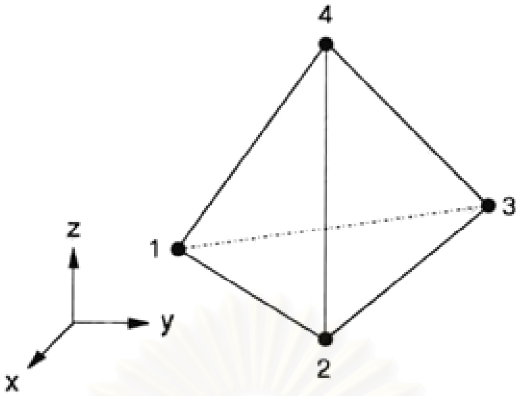
ในที่นี้ [K] คือเอลิเมนต์เมตริกซ์ของความแข็งเกร็ง $\{F_O\}$, $\{F_B\}$, $\{F_t\}$ คือ โหลดเวกเตอร์เนื่องมาจากความเค้นต้น แรงวัตถุ และแรงที่ผิวตามลำดับ

สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$[K]\{\delta\} = \{F_O\} + \{F_B\} + \{F_t\}$$

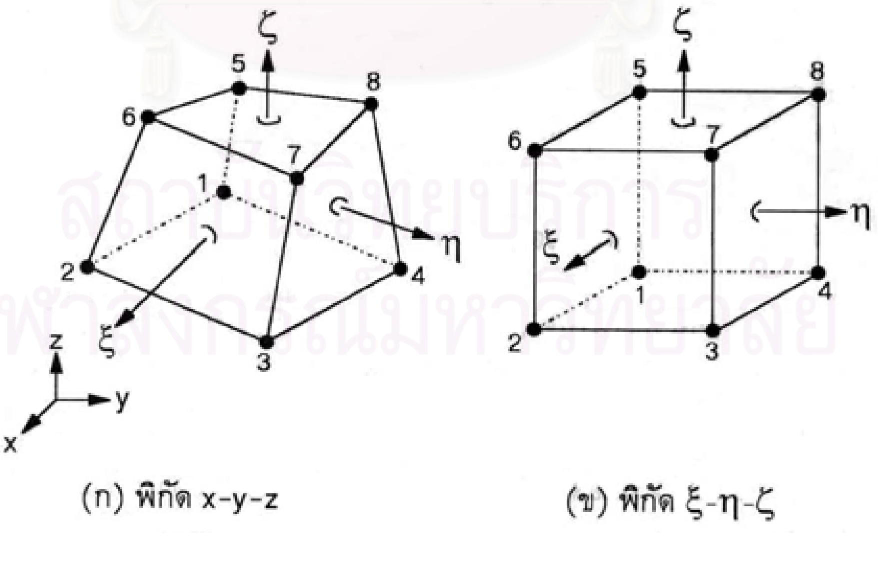
2) ฟังชั่นการประมาณภายในเอลิเมนต์สามมิติ เอลิเมนต์แบบสามมิติที่นิยมใช้กันมากในทางปฏิบัติมีอยู่สองแบบซึ่งเรามาศึกษาในหัวข้อนี้คือ เอลิเมนต์ทรงสี่หน้า (Tetrahedral Element) และเอลิเมนต์ทรงหกหน้า (Hexahedral element)

ก. เอลิเมนต์ทรงสี่หน้า การประดิษฐ์ฟังก์ชั่นการประมาณภายในเอลิเมนต์ทรงสี่หน้าซึ่งประกอบด้วยสี่จุดดังแสดงในรูป 8.13 มีหลักการคล้ายกับเอลิเมนต์รูปสามเหลี่ยมใน 2 มิติ



รูป 2.13 เอลิเมนต์ทรงสามหน้าในวัตถุสามมิติ

ข. เอลิเมนต์ทรงหกหน้า การสร้างฟังก์ชันประมาณภายในของเอลิเมนต์ทรงหกหน้า ซึ่งประกอบด้วยจุดต่อ 8 จุด ดังแสดงในรูป 2.14(ก) ใช้หลักการเช่นเดียวกับเอลิเมนต์รูปสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า รูปร่างลักษณะของเอลิเมนต์ทรงหกหน้าซึ่งโดยปกติจะไม่มีหน้าคู่ใดที่ขนานกันนั้นก่อให้เกิดความยากลำบากในการหาเอลิเมนต์เมตริกซ์ต่างๆ เพราะต้องอินทิเกรตบนปริมาตรทั้งหมดของเอลิเมนต์ ดังนั้นเพื่อลดความลำบากดังกล่าวเราจึงแปลงรูปเอลิเมนต์ทรงหกหน้าซึ่งอยู่ในพิกัด x-y-z ให้อยู่ในรูปทรงลูกบาศก์ในพิกัดธรรมชาติ ξ-η-ζ ดังแสดงในรูป 2.14(ข)



รูป 2.14 เอลิเมนต์ทรงหกหน้าในวัตถุสามมิติ

2.1.4 ไทเทเนียมกับการใช้งานทางการแพทย์

ไทเทเนียมเป็นโลหะสีเงิน มีเลขอะตอม 22 มวลอะตอม 47.9 มีความหนาแน่น 4.507 g/cm^3 ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นธาตุที่มีอยู่มากเป็นอันดับที่ 9 ในโลก โดยจะมีอยู่มากในประเทศออสเตรเลีย ไทเทเนียมจะพบอยู่ในแหล่งพื้นดินประมาณ 4,400 mg/kg ในน้ำ 0.5-15 μg/liter ไม่มีสมบัติทางแม่เหล็ก และสามารถนำความร้อน(thermal conductivity)ได้ดี มีการขยายตัวเนื่องจากความร้อน(thermal expansion) ต่ำกว่าเหล็กและอลูมิเนียม แต่จะมีจุดหลอมเหลวที่สูงกว่า เราสามารถพบเห็นไทเทเนียมถูกผลิตขึ้นมาหลายรูปแบบแตกต่างกันไป เช่น แผ่น ท่อ ผง เป็นต้น

เรามักใช้งานไทเทเนียมในอุตสาหกรรมต่างๆมากมาย ไม่ว่าจะเป็นอากาศยาน ปิโตรเคมี ไฟฟ้า น้ำมันและกีฬา เป็นต้น เนื่องด้วยคุณสมบัติที่ดีเยี่ยมทางด้านความแข็งแรงและน้ำหนักที่เบา นอกจากการใช้งานในด้านอุตสาหกรรมทั่วไปแล้ว ไทเทเนียมถือได้ว่าเป็นโลหะที่มีความสำคัญต่อวงการแพทย์เช่นเดียวกัน ในแต่ละปีเราจะพบว่ามีการใช้งานอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ผลิตขึ้นจากไทเทเนียมเพื่อรักษาผู้ป่วยทั่วโลกรวมกันแล้วคิดเป็นน้ำหนักได้ไม่ต่ำกว่า 1,000 ตัน ไม่ว่าจะเป็นการใช้งานทางออร์โธปิดิกส์ ทันตกรรม ศัลยกรรมตกแต่งหรือเครื่องมือผ่าตัดเป็นต้น

เมื่อเทียบกับโลหะชนิดอื่นแล้ว ข้อได้เปรียบของการเลือกใช้งานไทเทเนียมในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ต่างๆ นั้นมักได้แก่ ความทนทานต่อการกัดกร่อน และประสิทธิภาพทางด้านความแข็งแรง ไทเทเนียมนั้นมีความสามารถในการสร้างฟิล์มบางปกป้องหรือที่เรียกว่าฟิล์มพาสซีฟ (passive film) ในบริเวณผิวอย่างรวดเร็ว และมีความแข็งแรงสูง ทำให้สามารถปกป้องพื้นผิวจากการกักกร่อนจากสภาพแวดล้อมภายนอกได้อย่างดีเยี่ยม ในขณะที่ความแข็งแรงจำเพาะ(ความแข็งแรงต่อความหนาแน่น) ของไทเทเนียมนั้นมีค่าสูงกว่าเหล็กสเตนเลส ซึ่งหมายถึงเมื่อน้ำหนักเท่ากันจะมีความแข็งแรงสูงกว่า และยังสามารถปรับแต่งได้ขึ้นอยู่กับการปรับแต่งส่วนผสมของธาตุต่างๆและกระบวนการผลิต เราจึงพบความแข็งแรงของไทเทเนียมตั้งแต่ประมาณ 240 MPa - 1,400 MPa ทำให้เราสามารถเลือกใช้ไทเทเนียมประเภทต่างๆได้ตามความเหมาะสมกับการใช้งาน ไทเทเนียมยังมีความทนทานต่อการแตกหักได้ดีเยี่ยม โดยดูได้จาค่าความว่องไวต่อรอยบาก (notch sensitivity) และความเหนียวแตกหัก (fracture toughness) โดยจะมีค่าเท่ากับ 1.4-1.7 (ค่าต่ำสุดสำหรับวัสดุการแพทย์ที่ใช้เป็นวัสดุฝังในคือ 1.1) และมากกว่า 50 MPa/m^2 ตามลำดับ

สิ่งต่างๆเหล่านี้ประกอบกันเป็นข้อได้เปรียบของไทเทเนียมในการใช้งานทางการแพทย์ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับโลหะชนิดอื่นที่มีการใช้งานทางการแพทย์ ได้แก่ เหล็กสเตนเลสและโลหะผสมของโคบอลท์-โครเมียม แล้วจะพบว่าไทเทเนียมมีความหนาแน่นและมีมีค่าโมดูลัสที่ต่ำกว่าและใกล้เคียงกับกระดูกของมนุษย์ และที่สำคัญคือเนื้อเยื่อภายในร่างกายสามารถที่จะเกิดพันธะเชื่อมติดกับไทเทเนียมได้ดีต่างจากโลหะทางการแพทย์อื่น ทำให้เกิดความเสถียรระหว่างรอยต่อ (interface) ของเนื้อเยื่อ และอุปกรณ์ทางการแพทย์

ตารางที่ 2.1 ความหนาแน่นและโมดูลัสระหว่างโลหะทางการแพทย์และกระดูก

วัสดุ	**ความหนาแน่น** (kg/m^3)	**โมดูลัสของความยืดหยุ่น** (GPa)
กระดูกแข็ง	~2.0	7-30
โลหะผสมของโคบอลต์-โครเมียม	~8.5	230
เหล็กสเตนเลสเกรด 316L	8.0	200
ไทเทเนียมบริสุทธิ์	4.51	110
Ti6Al4V	4.40	106

โดยทั่วไป การใช้งานไทเทเนียมนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบด้วยกัน ได้แก่ ไทเทเนียมบริสุทธิ์(commercially pure Ti) และโลหะผสมไทเทเนียม (titanium alloy) โดยในทางอุตสาหกรรม ต่างๆ แล้ว จะมีทั้งไทเทเนียมบริสุทธิ์และโลหะผสมอยู่มากกว่า 20 ประเภทให้เลือกใช้งานตามความเหมาะสม แต่สำหรับงานทางการแพทย์แล้วจะมีบางประเภทในกลุ่มเหล่านี้เท่านั้นที่มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน โดยข้อมูลต่างๆ สามารถค้นหาได้จากมาตรฐานนานาชาติ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

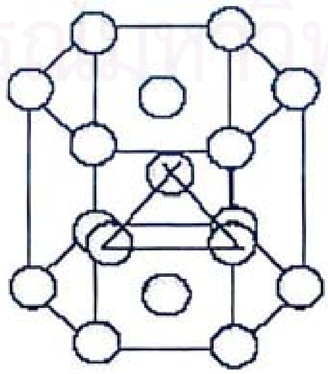
ตารางที่ 2.2 ประเภทของไทเทเนียมที่เหมาะสำหรับการใช้งานทางการแพทย์ตามมาตรฐานนานาชาติ

ASTM	BS 7252 / ISO 5832	รายละเอียด
F67	Part 2	ไทเทเนียมบริสุทธิ์ (cp Ti) เกรด 1-4 (ใน ASTM F1341 ระบุรายละเอียดสำหรับลวดที่ผลิตจากวัสดุนี้)
F136	Part 3	Ti6Al4V เกรด ELI ที่ใช้แรงขึ้นรูป (wrought) (ใน ASTM F620 ระบุรายละเอียดสำหรับการผลิตวัสดุนี้ด้วยการทุบขึ้นรูป)
F1472	Part 3	Ti6Al4V เกรดมาตรฐานที่ใช้แรงขึ้นรูป (wrought) (ใน ASTM F1108 ระบุรายละเอียดสำหรับการผลิตวัสดุนี้ด้วยการหล่อ)
F1295	Part 10 Part 11	Ti6Al7Nb ที่ใช้แรงขึ้นรูป (wrought) Ti6Al2.5Fe ที่ใช้แรงขึ้นรูป (wrought)
F1580	-	ผงไทเทเนียมบริสุทธิ์ และ Ti6Al4V เกรดมาตรฐานสำหรับการเคลือบผิวโลหะ
F1713	-	Ti13Nb13Zr ที่ใช้แรงขึ้นรูป (wrought)
F1813	-	Ti12Mo6Zr2Fe ที่ใช้แรงขึ้นรูป (wrought)

2.1.4.1 โครงสร้างทางจุลภาค ในกรณีของไทเทเนียม โดยทั่วไปจะมีโครงสร้างจุลภาค 2 รูปแบบ ได้แก่

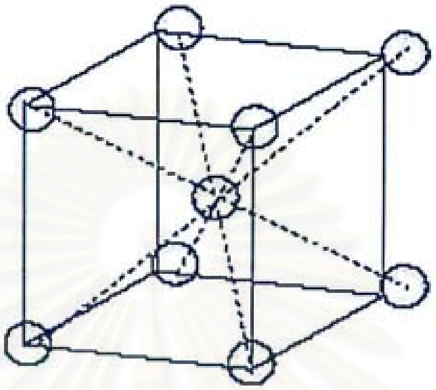
ก. โครงสร้างแบบอัลฟา (Alpha) ซึ่งมีลักษณะจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบเฮกซะโกนอลโคลสแพ็ก (Hexagonal close packed, HCP) ดังแสดงในรูปที่ 2.15

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.15 ลักษณะจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบเฮกซะโกนอลโคลสแพ็ก

ข. โครงสร้างแบบเบตา (Beta) ซึ่งมีลักษณะจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบบอดีเซนเตอร์คิวบิก (Body center cubic, BCC) ดังแสดงในรูปที่ 2.16



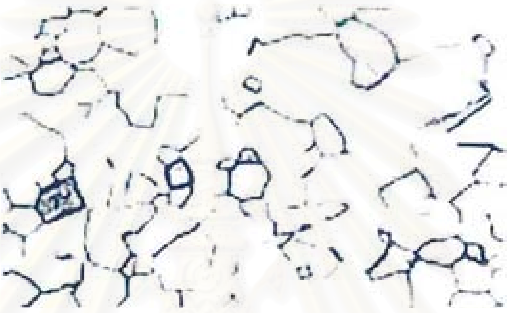
รูปที่ 2.16 ลักษณะจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบบอดีเซนเตอร์คิวบิก

2.1.4.2 การจัดเรียงตัวของโมเลกุลของไทเทเนียม การที่ไทเทเนียมที่ผลิตขึ้นมาจะมีลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคแบบใดนั้นย่อมขึ้นกับองค์ประกอบหลัก 2 ประการ ได้แก่ พารามิเตอร์ในกระบวนการผลิต เช่น อุณหภูมิ แรงกระทำ เป็นต้น และปริมาณธาตุอื่นที่ผสมอยู่ในไทเทเนียม ตัวอย่างเช่น ในกรณีของไทเทเนียมบริสุทธิ์ เราจะพบว่าโครงสร้างแบบอัลฟาจะมีความเสถียรที่อุณหภูมิห้องไปจนถึงอุณหภูมิประมาณ 882 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิสูงกว่านี้การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอัลฟาไปเป็นแบบเบตาจะเกิดขึ้น และโครงสร้างดังกล่าวจะมีความเสถียรไปจนถึงอุณหภูมิหลอมเหลวของไทเทเนียมซึ่งมีค่าประมาณ 1,688 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างของผลกระทบจากการเพิ่มธาตุอื่นเข้าไปในไทเทเนียม ต่อลักษณะโครงสร้างทางจุลภาค ได้แก่ การเพิ่มธาตุในกลุ่มของอลูมิเนียม ออกซิเจน ไนโตรเจนและคาร์บอนลงไปในไทเทเนียมในระหว่างกระบวนการผลิต จะส่งผลต่อการเพิ่มความเสถียรให้แก่โครงสร้างแบบอัลฟา โดยธาตุเหล่านี้จะทำหน้าที่ในการทำให้อุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างแบบเบตา (Beta transus temperature) มีค่าสูงขึ้นทำให้การเปลี่ยนเฟสเกิดยากขึ้น ในทางตรงข้าม ธาตุในกลุ่มโครเมียม ไนโอเบียม ทองแดง เหล็ก แมงกานีส โมลิบดีนัม แทนทาลัม และวาเนเดียม จะทำหน้าที่ในการเพิ่มความเสถียรให้แก่โครงสร้างแบบเบตาโดยการลดอุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างให้ต่ำลง ทำให้การเปลี่ยนเฟสเกิดง่ายขึ้น

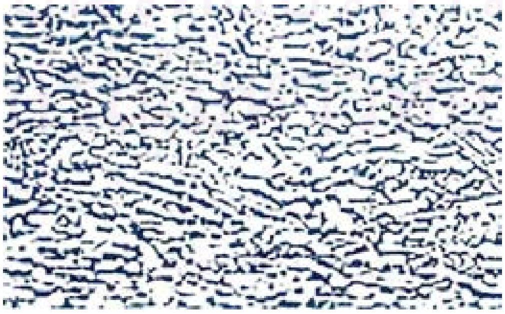
ดังนั้น หากจะแบ่งตามประเภทของโครงสร้างทางจุลภาคแล้ว ไทเทเนียมที่มีการผลิตโดยทั่วไปนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทที่สำคัญ ได้แก่

ก. ไทเทเนียมโครงสร้างแบบอัลฟา ไทเทเนียมในกลุ่มนี้จะมีโครงสร้างแบบอัลฟาแต่เพียงประเภทเดียว มีลักษณะที่สามารถจะถูกเชื่อม (Weldability) ได้ดี มีความแข็งแรงปานกลาง และมีความเหนียวดี แต่ไม่สามารถที่จะเพิ่มความแข็งแรงโดยกระบวนการทางความร้อนได้เนื่องจากโครงสร้างทางจุลภาคเป็นแบบเดี่ยว ดังแสดงในรูปที่ 2.17



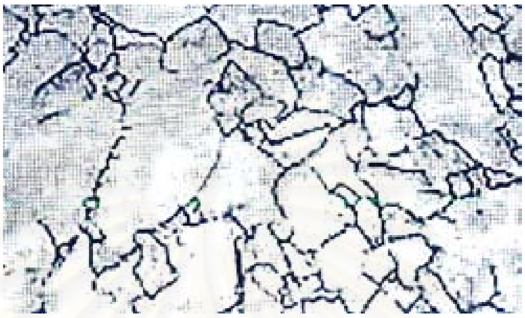
รูปที่ 2.17 โครงสร้างแบบอัลฟา

ข. ไทเทเนียมโครงสร้างแบบอัลฟา-เบตา ไทเทเนียมในกลุ่มนี้จะมีโครงสร้างที่ผสมกันระหว่างโครงสร้างแบบอัลฟาและเบตา เนื่องจากการผสมธาตุเพิ่มความเสถียรแบบโครงสร้างอัลฟาลงไป ทำให้เฟสแบบอัลฟาสามารถเกิดขึ้นและเสถียรได้แม้แต่ที่อุณหภูมิห้อง ทำให้ไทเทเนียมในกลุ่มนี้สามารถจะเพิ่มความแข็งแรงในช่วงปานกลางถึงสูงโดยกระบวนการทางความร้อนได้ดี ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 โครงสร้างแบบอัลฟา-เบตา

ค. ไทเทเนียมโครงสร้างแบบเบตา ไทเทเนียมในกลุ่มนี้จะมีโครงสร้างแบบเบตากึ่งเสถียร สามารถจะเพิ่มความแข็งแรงโดยกระบวนการทางความร้อนให้มีความแข็งแรงสูงได้อย่างดีมาก แต่จะมีความเหนียวต่ำกว่าโครงสร้างแบบอื่นและมีความหนาแน่นสูงกว่า ดังแสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 โครงสร้างแบบเบตา

2.1.4.3 ประเภทของไทเทเนียมสำหรับงานทางการแพทย์ ไทเทเนียมสำหรับงานทางการแพทย์แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบด้วยกัน ได้แก่ ไทเทเนียมบริสุทธิ์ (commercially pure Ti) และโลหะผสมของไทเทเนียม (titanium alloy)

ก. ไทเทเนียมบริสุทธิ์ (commercially pure Ti) โลหะไทเทเนียมที่มีความบริสุทธิ์มาก จะมีกำลังแรงดึงต่ำ (low tensile strength) (216 N/mm^2) มีความยืดหยุ่นสูง (high ductility)(50%) โดยทั่วไปไทเทเนียมเกรดนี้มักถูกเลือกใช้งานที่ต้องการความทนทานต่อการกัดกร่อนสูง แต่ไม่ต้องการความแข็งแรงมากนัก ไทเทเนียมเกรดนี้มีโครงสร้างทางจุลภาคแบบอัลฟาทำให้มีความแข็งแรงไม่สูงมาก และไม่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกระบวนการทางความร้อนได้ สำหรับงานทางการแพทย์แล้วสามารถนำมาใช้งานได้ 4 เกรด ได้แก่ เกรด 1 ,2 ,3 และ 4 ตามมาตรฐาน ASTM F67 ซึ่งในแต่ละเกรดนั้นจะถูกแบ่งออกโดยปริมาณของธาตุเจือปนในไทเทเนียม โดยเกรด 1 นั้นจะมีความบริสุทธิ์มากที่สุด ในขณะที่ เกรด 4 จะมีธาตุเจือปนมากที่สุดในจำนวน 4 เกรด (ดังแสดงในตารางที่ 2.4) ซึ่งปริมาณของธาตุเจือปนเหล่านี้จะส่งผลต่อคุณสมบัติที่ต่างกันของไทเทเนียมบริสุทธิ์ทั้ง 4 เกรด โดยหากปริมาณธาตุเจือปนมากจะส่งผลให้มีโอกาสที่จะเกิดการกัดกร่อนมากขึ้น ความเข้ากันได้ทางชีวภาพลดลง แต่จะส่งผลให้มีความแข็งแรงมากขึ้น ดังนั้นไทเทเนียมบริสุทธิ์ เกรด 1 จะมีความทนทานต่อการกัดกร่อนสูงสุด สามารถขึ้นรูปได้ดีที่สุด แต่จะมีความแข็งแรงต่ำที่สุด ในขณะที่ไทเทเนียมบริสุทธิ์ เกรด 4 นั้นมีความทนทานต่อการกัดกร่อนต่ำกว่า สามารถขึ้นรูปได้ปานกลาง แต่จะมีความแข็งแรงสูงที่สุด (ดังแสดงในตารางที่ 2.3)

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกลของไทเทเนียมบริสุทธิ์ตามมาตรฐาน ASTM F67

เกรด	ความต้านทานแรงดึงสูงสุด, อย่างต่ำ (Tensile Strength, MPa)	ความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก, อย่างต่ำ (Tensile Yield Strength, MPa)	การยืดตัวที่จุดคราก, อย่างต่ำ (Elongation at break, %)
1	240	170	24
2	345	275	20
3	450	380	18
4	550	483	15

ตารางที่ 2.4 ปริมาณธาตุต่างๆ ในไทเทเนียมบริสุทธิ์ตามมาตรฐาน ASTM F67

ธาตุ	ปริมาณสูงสุด (%)			
	เกรด 1	เกรด 2	เกรด 3	เกรด 4
ไนโตรเจน	0.03	0.03	0.05	0.05
คาร์บอน	0.1	0.01	0.1	0.1
ไฮโดรเจน	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125
เหล็ก	0.2	0.3	0.3	0.5
ออกซิเจน	0.18	0.25	0.35	0.4
ไทเทเนียม	สมดุล	สมดุล	สมดุล	สมดุล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.5 ปริมาณธาตุต่างๆ ในโลหะผสมไทเทเนียมเกรด Ti6Al4V ปรกติ และ ELI

ธาตุ	ปริมาณสูงสุด (%)	
	Ti6Al4V	Ti6Al4V ELI
ไนโตรเจน	0.05	0.05
คาร์บอน	0.1	0.08
ไฮโดรเจน	0.0125	0.0125
เหล็ก	0.3	0.25
ออกซิเจน	0.2	0.13
อะลูมิเนียม	5.5-6.5	5.5-6.5
วาเนเดียม	3.5-4.5	3.5-4.5
ไทเทเนียม	สมดุล	สมดุล

ข. โลหะผสมของไทเทเนียม (titanium alloy) มักถูกเลือกใช้งานสำหรับงานที่มีจุดประสงค์หลักคือความแข็งแรงของโครงสร้างมากกว่าความทนทานต่อการกัดกร่อน เนื่องจากโลหะผสมของไทเทเนียมจะมีความแข็งแรงสูงกว่าไทเทเนียมบริสุทธิ์ และยังสามารถถูกเพิ่มความแข็งแรงได้ด้วยกระบวนการทางความร้อน โลหะผสมของไทเทเนียมในกลุ่มของ Ti6Al4V (เกรด 5) ซึ่งมีโครงสร้างทางจุลภาคแบบอัลฟา-เบตา ถือได้ว่าเป็นกลุ่มที่ได้รับความนิยมใช้งานมากที่สุด โดยประมาณ 45 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักโดยรวมของไทเทเนียมที่ถูกใช้งานนั้นจะเป็นไทเทเนียมเกรดนี้ และสำหรับงานทางการแพทย์แล้ว โลหะสมของไทเทเนียมเกรดนี้เป็นเกรดนี้ก็เป็นเกรดที่ได้รับความนิยมมากที่สุดอีกเช่นกัน แต่โดยส่วนใหญ่แล้วมักจะต้องมีการควบคุมธาตุที่จะไปเป็นข้อบกพร่องแบบแทรกตัวในโครงสร้าง (interstitial element) เช่น ออกซิเจนให้มีปริมาณต่ำเพื่อให้มีความเหนียวตัวและทนทานต่อการแตกหักมากขึ้น แต่ก็จะมีความแข็งแรงลดลงเล็กน้อยโดยกำหนดเป็น เกรด ELI (extra low interstitial)

2.1.4.4 ชั้นออกไซด์ของผิวไทเทเนียม โลหะผสมไทเทเนียมและไทเทเนียมบริสุทธิ์จะเกิดเสถียรภาพคล้ายคลึงกับโลหะผสมโคบอลต์โครเมียม(Co-Cr) และเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) โดยที่ผิวของโลหะจะเกิดเป็นชั้นของออกไซด์ ซึ่งมีเสถียรภาพมากและทนทานต่อการกัดกร่อนทางไฟฟ้าเคมีได้ดี

เหล็กเป็นธาตุหนึ่งที่ไวต่อการเกิดออกไซด์มาก แต่ชั้นออกไซด์ของเหล็กยึดติดกับผวโลหะแม่ได้ไม่ดีจึงมักเกิดการหลุดลอกนำไปสู่การสูญสลายหรือถูกกัดกร่อน โดยปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่เกิดต่อเนื่องไปเรื่อยๆ แตกต่างจากออกไซด์ของไทเทเนียมซึ่งนอกจากจะมีเสถียรภาพมากแล้วยังยิดติดกับผิวโลหะแม่ได้ดี ทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นหยุดลงเมื่อเกิดชั้นออกไซด์ที่หนาพอ ผิวของไทเทเนียมเมื่อสัมผัสกับบรรยากาศจะเกิดชั้นของออกไซด์ขึ้นภายใน 10^{-9} วินาที และภายใน 1 วินาที จะมีชั้นออกไซด์หนาถึง 2-3 นาโนเมตร ซึ่งนอกจากจะทนทานต่อการกัดกร่อนแล้วยังทนทานต่อการแทรกซึมของออกซิเจนสู่โลหะแม่ที่อยู่ข้างใน ทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นหยุดลง องค์ประกอบส่วนใหญ่ของชั้นออกไซด์จะเป็นไทเทเนียมออกไซด์ (TiO_2) ชั้นออกไซด์ของไทเทเนียมนี้มีเสถียรภาพมาก และช่วยให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างโลหะและเนื้อเยื่อต่างๆ ทำให้มีการยอมรับของเนื้อเยื่อ(Biocompatibity) ที่ดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.5 การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ

ความหมายของความเป็นไปได้ของโครงการ คือ กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการลงทุนเพื่อผลิตสินค้าหรือบริการ โดยมุ่งหวังจะได้รับผลประโยชน์ตอบแทนในอนาคตจากการลงทุนนั้นๆ ในช่วงเวลาที่มีการลงทุน

การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการเป็นเพียงขั้นตอนในระยะก่อนการลงทุนของวงจรการพัฒนาโครงการ (Project development cycle) ซึ่งเป็นวงจรที่บอกขั้นตอนที่บอกการดำเนินงานต่างๆ ในการบริหารโครงการเป็นลำดับขั้น ตั้งแต่ความคิดที่จะมีโครงการจนกระทั่งระยะเริ่มดำเนินการผลิต

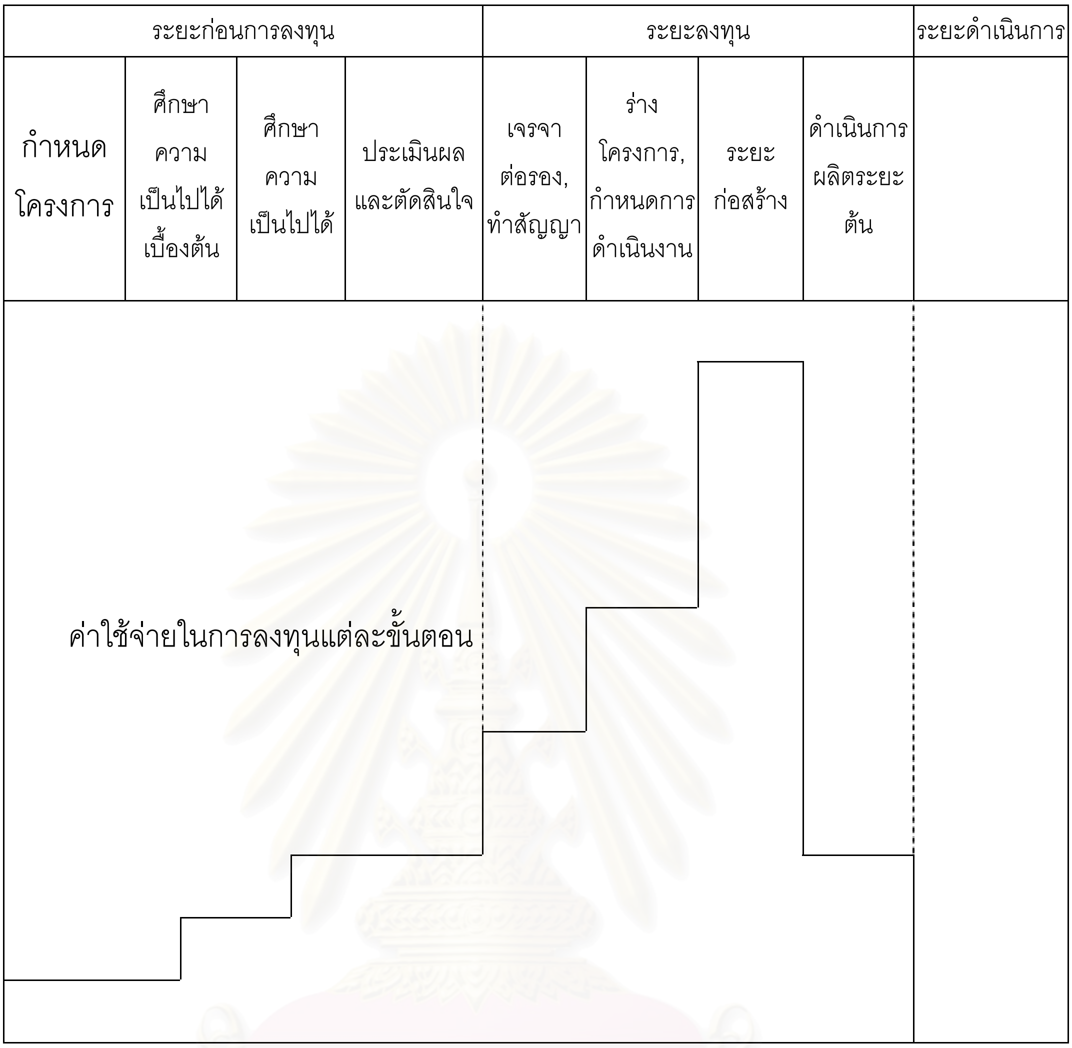
ขั้นตอนต่างๆในวงจรการพัฒนาโครงการ แบ่งออกเป็นดังนี้

1) ระยะก่อนการลงทุน (Pre-investment phase) ได้แก่การศึกษาสถานการณ์ทั่วๆ ไปเพื่อดูว่าโครงการใดควรจะลงทุนทำ เมื่อเลือกโครงการได้แล้วจึงจะทำการศึกษาความเป็นไปได้ หลังจากนั้นจึงประเมินผลโครงการและตัดสินใจลงทุนต่อไป

2) ระยะลงทุน (Invest phase) ได้แก่การออกแบบทางด้านวิศวกรรมต่างๆ การติดต่อทำสัญญา การก่อสร้าง การรับสมัครพนักงานและการจดฝึกอบรมพนักงาน เป็นตน

3) ระยะการดำเนินการ (Operational phase) เป็นระยะสุดท้ายหลังที่ผู้เริ่มโครงการได้ลงทุนไปในโครงการแล้ว หลังจากนี้ผู้เริ่มโครงการก็มีหน้าที่ดำเนินการให้เป็นไปตามแผนและติดตามผลงานเป็นระยะๆ จนกว่าจะสิ้นสุดโครงการ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.20 วงจรพัฒนาโครงการ แสดงขั้นตอนการดำเนินงานต่างๆ ในการบริหารโครงการ

ในการศึกษาลู่ทางความเป็นไปได้ในการจัดตั้งโรงงานนี้ ทางผู้ที่จะลงทุนจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการศึกษาเป็นจำนวนหนึ่ง แต่ยังเป็นจำนวนน้อยมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเทียบกับปริมาณการสูญเสียในด้านเงินทองและเวลาที่อาจเกิดขึ้นได้หากลงทุนตั้งโรงงานไปโดยไม่ได้ศึกษาพิจารณาให้ถี่ถ้วนเสียก่อน การศึกษาถึงลู่ทางเป็นไปได้ของโครงการว่าจะเหมาะสมหรือไม่นั้น จะช่วยป้องกันมิให้ผู้ที่จะลงทุนหรือเจ้าของโครงการอุตสาหกรรมต้องสูญเสียเวลาและค่าใช้จ้านในการลงทุนในโครงการมากขึ้นไปอีก ทั้งนี้หากผลของการศึกษาได้ชี้ให้เห็นว่าโรงงานอุตสาหกรรมนี้หากลงทุนตั้งไปก็จะมีแต่จะขาดทุนอย่างแน่นอน

การศึกษาลู่ทางเป็นไปได้ในการจัดตั้งโรงงานอุตสาหกรรม โดยทั่วๆ ไปนั้นการศึกษาจะครอบคลุมถึงสิ่งต่างๆ ต่อไปนี้ 3 ประการด้วยกันคือ

1) ด้านการตลาด การศึกษาในด้านนี้เกี่ยวข้องเรื่องการตลาดว่าเป็นอย่างไร มีความต้องการสินค้าที่โครงการจะผลิตขึ้นมามากน้อยเพียงใด การผลิตของโรงงานที่มีอยู่ในปัจจุบันเป็นอย่างไร ผลิตภัณฑ์ประเภทเดียวกันที่นำเข้าจากต่างประเทศมีปริมาณมากน้อยแค่ไหน ราคาเป็นอย่างไร เหล่านี้เป็นต้น การศึกษาในตลาดนี้เป็นเรื่องสำคัญอย่างยิ่งเพราะโรงงานอุตสาหกรรมที่จะลงทุนสร้างขึ้นมานี้จะดำเนินการไปได้ด้วยดีเพียงไหนนั้นขึ้นอยู่กับตลาดเป็นสำคัญ โดยที่ผลการศึกษาด้านนี้เป็นสิ่งชี้ถึงความสำเร็จและความล้มเหลวของกิจการลงทุน การดำเนินการศึกษาความเหมาะสมหรือลู่ทางเป็นไปได้ของโครงการลงทุนจึงมุ่งในด้านตลาดก่อนเป็นเบื้องแรกหากผลชี้วัดว่าโครงการดังกล่าวมีตลาดรองรับผลผลิตแล้ว จึงค่อยศึกษาความเหมาะสมของโครงการในลักษณะอื่นๆ เช่น ด้านวิศวกรรม ด้านการเงิน ในขั้นต่อไป

2) ด้านวิศวกรรม การศึกษาในแง่นี้จะทำให้ทราบถึงขนาดการผลิตที่เหมาะสมว่าควรเป็นอย่างไร ขบวนการผลิต(Production process) ที่เหมาะสมเป็นอย่างไรมีขั้นตอนการผลิตเป็นอย่างไร โรงงานควรจะตั้งอยู่ที่ไหน ปริมาณวัตถุดิบที่จะใช้เป็นเท่าไรและจะหาได้จากแหล่งใด เครื่องจักรอุปกรณ์การผลิตมีอะไรบ้าง การวางผังโรงงานควรจะเป็นอย่างไร แผนการก่อสร้างโรงงานจะดำเนินตามขั้นตอนอย่างไรเหล่านี้เป็นต้น การศึกษาในแง่นี้จะเน้นถึงกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการผลิตของโรงงานที่จะลงทุนโดยเฉพาะ

3) ด้านการเงิน การศึกษาในด้านนี้จะต้องอาศัยข้อมูลและผลจากการศึกษาวิเคราะห์ที่ได้จากการตลาดและวิศวกรรมประกอบกันเพื่อพิจารณาดูว่า จำนวนเงินลงทุนทั้งสิ้นในการดำเนินงานตามโครงการตั้งโรงงานอุตสาหกรรมนี้เป็นเท่าไร มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนแต่ละด้านเป็นอย่างไรบ้าง เช่น ในด้านการก่อสร้างโรงงาน ค่าเครื่องจักรอุปกรณ์การผลิต เป็นต้น และโรงงานนี้เมื่อตั้งไปแล้วจะคืนทุนได้ภายในกี่ปี ผลการตอบแทนการลงทุนที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปีเป็นอย่างไร ผลตอบแทนการลงทุนตลอดอายุของโครงการเป็นเท่าไร

การศึกษาทั้งสามประการนี้จะเกี่ยวเนื่องกับการศึกษาด้านอื่นๆ อีก เช่น ด้านการบริหารการจัดองค์กรและบุคลากร ด้านภาษีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการ นอกจากนี้แล้วยังจะต้องวิเคราะห์ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับสังคมโดยส่วนรวมด้วยว่าเป็นอย่างไร

หลักเกณฑ์ในการวิเคราะห์โครงการในขั้นตอนต่างๆ

การวิเคราะห์โครงการในแต่ละขั้นตอน มีหัวข้อที่ควรจะพิจารณาดังต่อไปนี้คือ

2.1.5.1 ความเป็นไปได้ทางด้านการตลาด คือ ความสามารถของโครงการในการขายผลิตภัณฑ์ได้ในราคาที่กำหนดไว้

- ลักษณะของผลิตภัณฑ์ (ผลิตภัณฑ์ที่มีขายอยู่แล้ว, ผลิตภัณฑ์ทดแทน , ผลิตภัณฑ์ใหม่)
- ลักษณะของตลาด (ตลาดสินค้าเพื่อการอุตสาหกรรม, ตลาดสินค้าอุปโภคบริโภค)
- การเข้าสู่ตลาด (แผนการขาย, แผนการเจาะตลาด)
- ขนาดของตลาด (คู่แข่ง, การเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่จะมีผลกระทบต่อดีมานด์, ราคา, คุณภาพ)
- ความต้องการของผลิตภัณฑ์ (ปัจจุบันและอนาคต)
- โอกาสของผลิตภัณฑ์ (ปัจจัยต่างๆ ที่จะมีผลกระทบต่อส่วนแบ่งตลาด และความเสี่ยง)
- ต้นทุนการขายและการจัดจำหน่าย

2.1.5.2 ความเป็นไปได้ทางวิศวกรรม คือ ความเหมาะสมของโครงการในการผลิตตามต้องการโดยใช้เทคโนโลยีในการผลิตอย่างหมาะสมที่สุด

- รายละเอียดของกระบวนการผลิต
- ความชำนาญพิเศษที่ต้องการ
- จำเป็นที่ร่วมทุนกับต่างประเทศหรือไม่
- พลังงานและน้ำที่ต้องใช้
- แรงงานและทักษะที่ต้องการ
- ขนาดของโรงงานโดยดูจากขนาดตลาด และชนิดของผลิตภัณฑ์
- ต้นทุนการผลิต
- มีผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมอย่างไร
- กระบวนการผลิต และวัตถุดิบที่ใช้เหมาะสมหรือไม่
- การถ่ายทอดเทคโนโลยีมีหลักเกณฑ์อย่างไร

2.1.5.3 ความเป็นไปได้ทางด้านบริหาร คือ ความสามารถของโครงการให้ประสบผลสำเร็จตามที่ต้องการ

- เป็นองค์กรที่ถูกต้องตามกฎหมาย
- ลักษณะโครงสร้างขององค์กร
- ถ้าเป็นเป็นโครงการร่วมมือระหว่างประเทศ สิ่งที่ต้องการมีอะไรบ้าง
- เจ้าของโครงการ
- ลิขสิทธิ์ต่างๆ
- ข้อตกลงอื่นๆ (ด้านการตลาด, วิศวกรรม)
- ฝ่ายบริหารที่ต้องการ
- ฝ่ายบริหารโครงการ

2.1.5.4 ความเป็นไปได้ทางด้านการเงิน คือ ความสามารถของโครงการคืนทุนให้กับผู้ลงทุนในระดับที่ต้องการ

- เงินลงทุนที่ต้องการ
- เงินทุนหมุนเวียนที่ต้องการ
- มูลค่าการขายทั้งสิ้น
- โครงการด้านการลงทุน
- กระแสเงินสด
- ระยะเวลาคืนทุน
- ผลตอบแทนการลงทุน

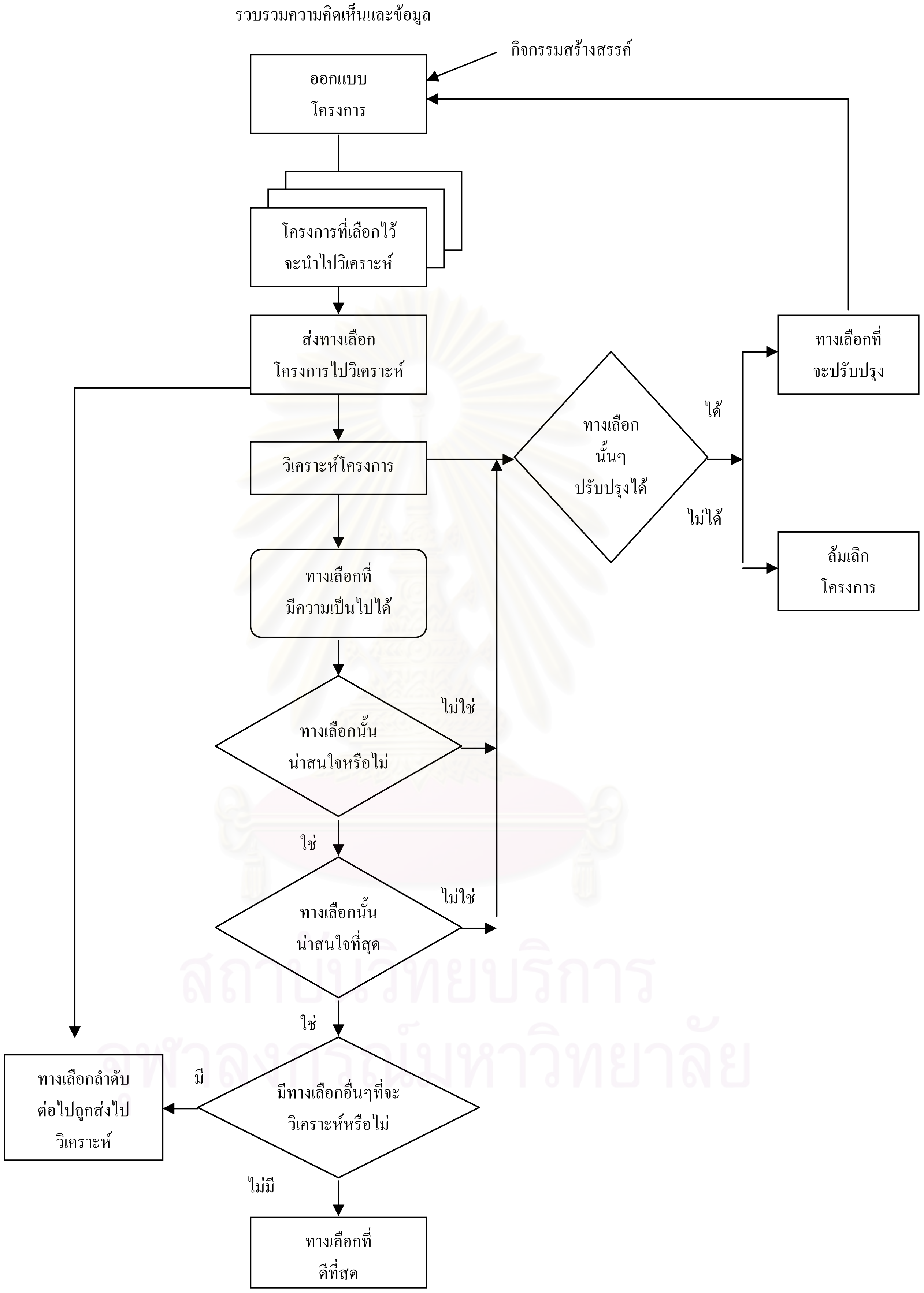
2.1.5.5 ความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ คือ ความสามารถของโครงการในอันที่จะทำให้ผลกำไรต่อสังคมโดยส่วนรวม

- มูลค่าเพิ่ม
- ผลจากเงินเฟ้อ
- อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง
- เงินชดเชย, การคุ้มครองที่ต้องการจากรัฐ
- อัตราผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ
- การว่าจ้าง
- รายได้จากการส่งออก
- รายได้จากการทดแทนการนำเข้า

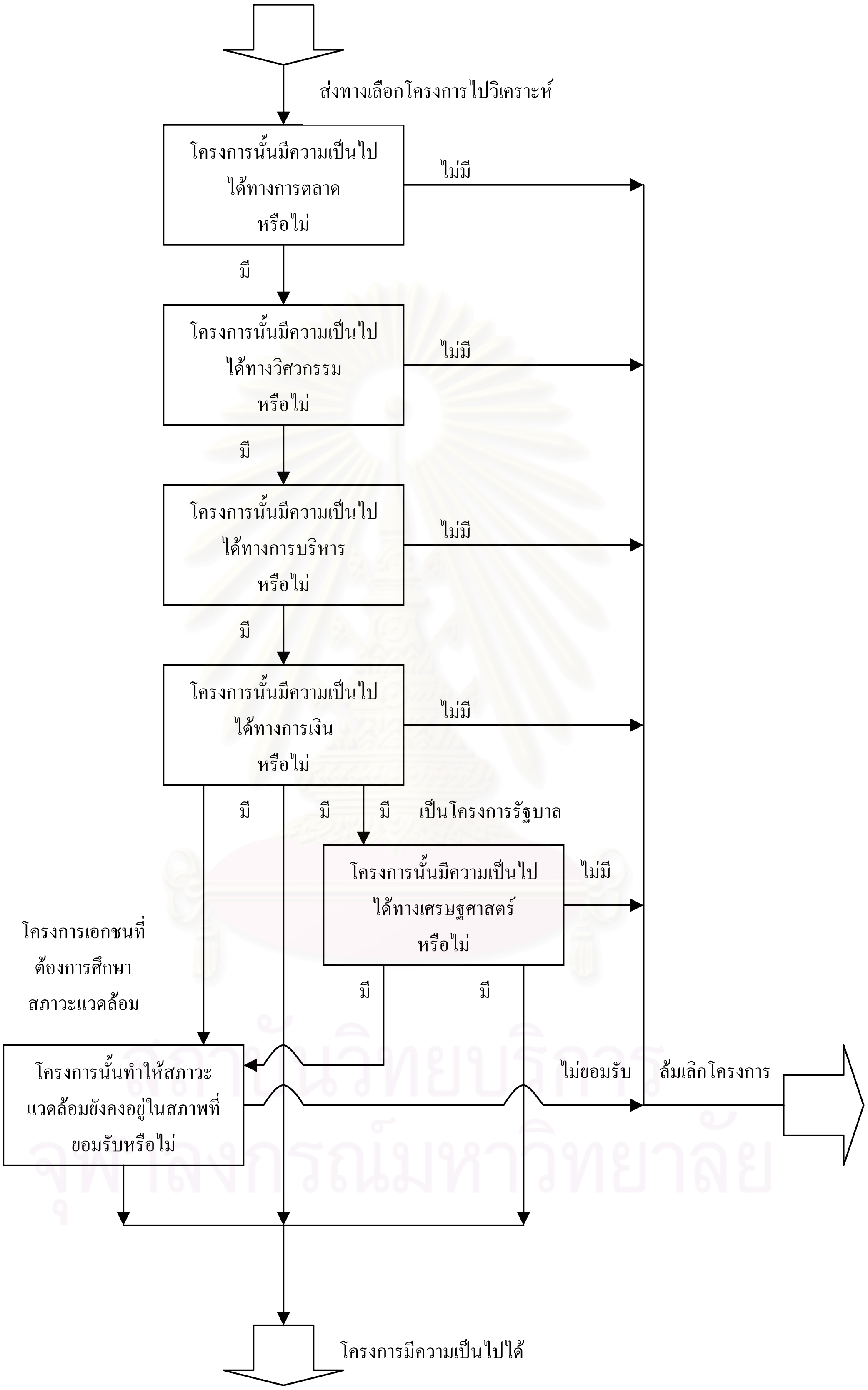
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการด้านการตลาดและวิศวกรรมนั้น ควรจะต้องคำนึงถึงการสูญเสียในกระบวนการผลิตด้วย ทั้งนี้เพื่อจะได้คาดคะเนวัตถุดิบที่จะใช้ได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปีแรกๆ ของการผลิต การสูญเสียในกระบวนการผลิตจะเริ่มตั้งแต่การขนส่งวัตถุดิบไปสู่โรงงานในสายการผลิต นอกจากนี้อาจมีผลพลอยได้เกิดขึ้น ในด้านการขายจะมีสินค้าที่เสียไปส่วนหนึ่งเนื่องจากการประกันสินค้า เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.21 หลักการเบื้องต้นของกระบวนการวิเคราะห์โครงการ



รูปที่ 2.22 การวิเคราะห์โครงการในแต่ละขั้นตอน

2.2 สำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชาคริต ตั้งศิริมงคลกุล (2545)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาการกระจายความเค้นในฟันปลอมไฮบริดบนกระดูกขากรรไกรล่างโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ เพื่อศึกษาปัญหาและแนวทางในการแก้ปัญหาซึ่งเกิดจากการลดจำนวนรากฟันที่รองรับฟันปลอมไฮบริดให้เหลือเพียง 3 ตัว โดยการสร้างแบบจำลองไฟไนท์เอลิเมนต์สามมิติของกระดูกขากรรไกรล่าง ซึ่งฝังรากฟันเทียม 3 ตัว และ 5 ตัว เมื่อมีแรงบดเคี้ยวเฉพาะฟันกรามด้านขวาเพื่อหาแนวทางในการแก้ปัญหาเพิ่มความแข็งแรงให้แก่โครงสร้างของฟันปลอม

ธนา ธนผลิน (2544)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาเพื่อต้องการเปรียบเทียบการกระจายความเค้นในกระดูกรอบรากฟันเทียมที่ได้รับการออกแบบด้วยปัจจัยต่างกันได้แก่ ความสอบ รูปร่างเกลียวสามชนิด ความยาวเกลียวและระยะระหว่างเกลียว โดยใช้วิธีการไฟไนท์เอลิเมนต์ในสองมิติเพื่อหารูปร่างของรากเทียมที่เหมาะสมในการใช้งาน

พิริยะ ยาวิราช (2541)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ของจำนวนครั้งในการขันสกรูของตัวหลักซ้ำกับความแนบสนิทและการหมุนของตัวหลักบนตัวรากเทียมจำลองและตัวรากเทียมระบบ Spline(Calcitek,Carlsbad, CA) จำนวนสามชุดที่ยึดในแบบจำลองที่ทำจากปลาสเตอร์หินชนิดที่ IV และหาจำนวนครั้งของการขันสกรูเพื่อไม่ให้มีช่องว่างระหว่างตัวหลักกับตัวรากเทียมจำลอง ตัวรากเทียม และระยะที่ตัวหลักหมุนบนตัวรากเทียมจำลอง, ตัวรากเทียมมีค่าคงที่

วรางคณา บุตรดี (2543)

เป็นการศึกษาถึงการพัฒนาโลหะอื่นขึ้นมาใช้ทดแทนทอง โดยไทเทเนียมเป็นโลหะหนึ่งที่ได้รับความสนใจเนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดี ได้แก่มีน้ำหนักเบา ความแข็งแรงสูง มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนที่ดี และคุณสมบัติที่ได้รับความสนใจเป็นพิเศษในทางทันตกรรม คือการเข้ากันได้ดีกับเนื้อเยื่อ

ธนสาร อินทรกำธรชัย, วิโรจน์ ลิ่มตระการ, ปราโมทย์ เดชะอำไพ (2543)

เป็นการศึกษาถึงการนำระเบียบวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์มาวิเคราะห์กระบวนการขึ้นรูปโลหะ เพื่อแสดงพฤติกรรมและผลจากการขึ้นรูปในหลากหลายรูปแบบ โดยได้อธิบายถึงสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยเริ่มต้น สมการไฟไนท์เอลิเมนต์และขั้นตอนการคำนวณ จากนั้นได้กล่าวถึงการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ด้วยซอฟแวร์สำเร็จรูปสำหรับการวิเคราะห์การขึ้นรูปโลหะ

สว่าง วรรณศุภผล (2526)

เป็นการศึกษาการลงทุนผลิตเยื่อกระดาษจากไม้ยางพารา เป็นการวิจัยเกี่ยวกับความเหมาะสมของไม้ยางพาราที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อ ความต้องการใช้เยื่อเคมีฟอกขาวในอนาคต กรรมวิธีการผลิต ตลอดจนศึกษาลู่ทางความเป็นไปได้ในการจัดตั้งโรงงานผลิตเยื่อ

มานพ ศรีตุลยโชติ (2524)

เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของกังหันลมที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อใช้เป็นพลังงานสำหรับครอบครัวในชนบทที่ห่างไกล หรือใช้เป็นพลังงานทดแทนพลังงานจากแหล่งอื่นๆ จากการวิจัยพบว่าการใช้กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้ามีโอกาสที่จะเป็นไปได้ เมื่อกำหนดขีดจำกัดของการใช้พลังงานให้เหมาะสม และหาจุดคุ้มทุนของกังหันลม

จันทนา จันทโร (2521)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาเพื่อศึกษาการลงทุนสร้างโรงงานรีดเหล็กขนาดเล็ก จะศึกษาถึงลู่ทางเป็นไปได้ในการลงทุนจัดตั้งโรงงานเหล็กเส้นรีดซ้ำขึ้นในประเทศไทย โดยจะมีขอบเขตครอบคลุมไปถึงความเหมาะสมด้านการตลาดและวิศวกรรม ตลอดถึงต้นทุนการผลิตและผลตอบแทนการลงทุน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาและออกแบบรากฟันเทียมวัสดุไทเทเนี่ยมที่มีความเหมาะสมกับกายวิภาคกระดูกขากรรไกรของคนไทยนี้ ในงานวิจัยจะเริ่มต้นด้วยการเก็บตัวอย่างข้อมูล CT Scan กระดูกขากรรไกรของคนไทยจำนวน 60 ราย โดยจะนำข้อมูลที่ได้มาศึกษาและตรวจสอบเพื่อที่จะหาขนาดโดยเฉลี่ยกระดูกขากรรไกรคนของไทย จากนั้นจะนำผลที่ได้มาใช้ในการออกแบบรากฟันเทียมที่มีความเหมาะสมกับคนไทย ส่วนของขั้นตอนในการออกแบบรากฟันเทียมนั้นจะมีการศึกษาและอ้างอิงจากรากฟันเทียมยี่ห้อ Zimmer รุ่น Swiss Pluss เป็นแนวทางในการออกแบบ หลังจากนั้นจะทำการทดสอบและเปรียบเทียบรูปแบบต่าง ๆ ของรากฟันเทียมด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์ผล และในขั้นตอนสุดท้ายจะนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ผลด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์มาทำการสร้างรากฟันเทียมต้นแบบ เพื่อที่จะนำไปใช้ในการทดสอบทางกลของรากฟันเทียม โดยจะมีขั้นตอนในการศึกษาวิจัยทั้งหมดดังนี้

วิธีการดำเนินงานวิจัย

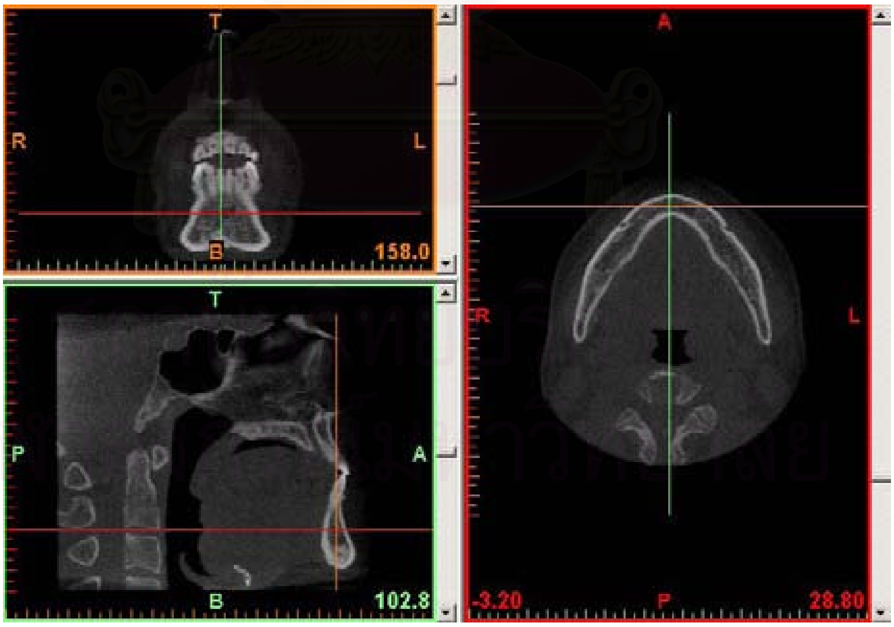
1) การเก็บตัวอย่างข้อมูลกระดูกขากรรไกรของคนไทย
   - ศึกษาและตรวจสอบโครงสร้างกระดูกขากรรไกรจากข้อมูล CT Scan
   - บันทึกและวิเคราะห์ผลข้อมูล
2) การออกแบบและทดสอบรากฟันเทียม
   - การออกแบบรากฟันเทียมด้วยวิธี CAD Modeling
   - สร้างแบบจำลองกระดูกขากรรไกร
   - ทดสอบรากเทียมด้วยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์
3) การทดสอบทางกลของรากฟันเทียม
   - การสร้างรากฟันเทียมต้นแบบ
   - ทดสอบความแข็งแรงของแบบจำลอง

3.1 การเก็บตัวอย่างข้อมูลกระดูกขากรรไกรของคนไทย

ในการเก็บตัวอย่างข้อมูลกระดูกขากรรไกรของคนไทย จะเป็นการเก็บข้อมูลจาก CT Scan กระดูกขากรรไกรของคนไทย โดยทำการเก็บข้อมูลจากศูนย์เทคโนโลยีทางทันตกรรมขั้นสูง ด้วยตัวอย่างข้อมูลของคนไทยจำนวน 60 ราย ซึ่งข้อมูลที่ได้นั้นจะไม่มีการแบ่งแยกเพศและอายุ โดยรูปแบบของข้อมูล CT Scan นั้นจะมีลักษณะเป็น Dicom File ที่มีลักษณะเป็นสามมิติเพื่อช่วยให้ง่ายในการตรวจสอบซึ่งในขั้นตอนนี้จะศึกษาเฉพาะส่วนที่เป็นกระดูกขากรรไกรล่างเท่านั้น

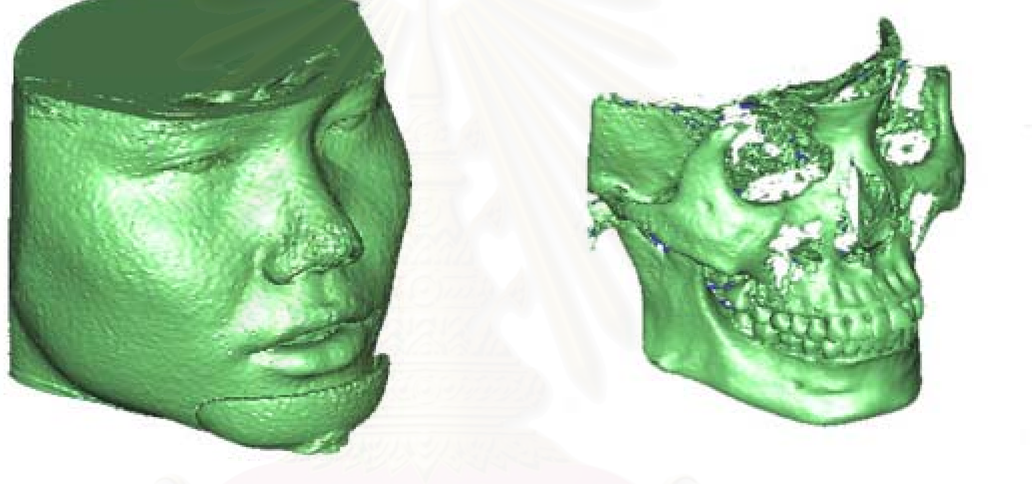
3.1.1 ศึกษาและตรวจสอบโครงสร้างกระดูกขากรรไกรจากข้อมูล CT Scan

ในการตรวจสอบขนาดของกระดูกขากรรไกรนั้นจะใช้เครื่อง CT Scan ยี่ห้อ i-CAD มีความละเอียดในการสแกน 0.4 voxel size ในการสแกน จากรูปที่ 3.1 ข้อมูล CT Scan ที่ได้นั้น จะใช้โปรแกรม Mimic ของทางบริษัท Materialiseในการส่งผ่านข้อมูลจาก CT Scan ให้เป็น Image CT Scan ในการแสดงผล ในขั้นตอนของการศึกษาจะมีการตรวจสอบขนาดของกระดูกขากรรไกรโดยอาศัยเทคนิควิศวกรรมย้อนรอยในการศึกษาขนาดรูปทรงทางเรขาคณิตของกระดูกขากรรไกร



รูปที่ 3.1 ข้อมูลที่ได้จากเครื่อง CT Scan ผ่านการแสดงผลด้วยโปรแกรม Mimic

ข้อมูลที่ได้จากเครื่อง CT Scan จะมีการปรับแต่งโดยมีการตรวจวัดความหนาแน่นของกระดูกและเนื้อเยื่อ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีการตัดส่วนที่เป็นเนื้อเยื่อออกเพื่อที่จะหาข้อมูลที่เป็นกระดูกเท่านั้นโดยอาศัยหลักการของการตรวจวัดความหนาแน่นของวัตถุ ซึ่งข้อมูลที่มีลัษณะเป็นกระดูกนั้นจะมีความหนาแน่นของวัตถุมากกว่าเนื้อเยื่อ จากรูปที่ 3.2 (ก) คือข้อมูลที่ยังไม่ได้ผ่านการปรับแต่ง ซึ่งจะมีการแสดงผลเป็นลักษณะของหน้าคนเต็มรูปแบบ ส่วน รูปที่ 3.2 (ข) คือข้อมูลที่ได้ผ่านการปรับแล้ว โดยจะมีลักษณะเป็นกระโหลกศีรษะเท่านั้นเพื่อให้ง่ายต่อการตรวจวัดขนาดของกระดูกขากรรไกร



ก) ข)

รูปที่ 3.2 ข้อมูลจาก CT Scan

ก) ภาพจากข้อมูล CT Scan ก่อนการปรับแต่ง ข) ภาพจากข้อมูล CT Scan ที่ผ่านการปรับแต่ง

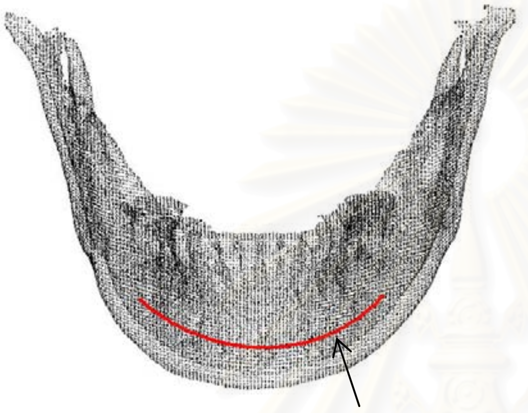
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

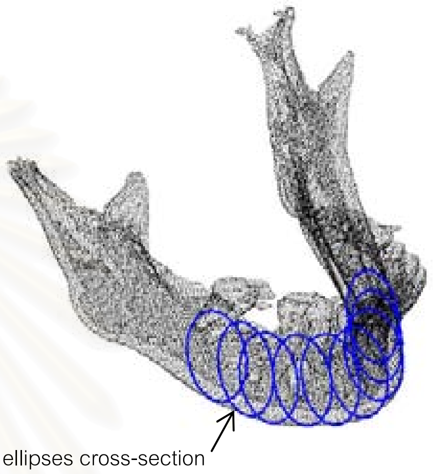
3.1.2 **บันทึกและวิเคราะห์ผลข้อมูล**

ในขั้นตอนของการบันทึกและวิเคราะห์ผล เมื่อได้ข้อมูลที่ผ่านการปรับแต่งเพื่อให้ได้เฉพาะส่วนที่เป็นกระดูกแล้วจึงจะทำการตรวจวัดขนาดของกระดูกขากรรไกร เพื่อหาขนาดความโค้งและรูปทรงของกระดูกขากรรไกร โดยทำการสร้างส่วนโค้ง 3D Panoramic Curve เพื่อหาขนาดรัศมีของกระดูกขากรรไกร แล้วจึงทำการแบ่งกระดูกขากรรไกรเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนหน้า ส่วนข้างด้านขวา และส่วนข้างด้านซ้าย ดังรูปที่ 3.3 ก) จากนั้นจะทำการวัดขนาดความกว้างและความสูงของกระดูกขากรรไกรเพื่อที่จะทำการสร้างวงรี ellipses cross-section เพื่อหาส่วนโค้งของภาพตัดของกระดูกขากรรไกร ดังรูปที่ 3.3 ข) ซึ่งรายละเอียดดังกล่าวสามารถอธิบายได้ดังนี้

- 3D Panoramic Curve คือ เส้นที่แสดงส่วนโค้งของกระดูกขากรรไกร ซึ่งจะอยู่ระหว่างบริเวณส่วนหน้าและส่วนหลังของกระดูกขากรรไกร

- Ellipses cross-section คือ เส้นที่แสดงส่วนโค้งของภาพตัดของกระดูกขากรรไกร ซึ่งจะแสดงความสูง ความกว้าง และรูปร่างของกระดูกขากรรไกร





รูปที่ 3.3 โครงสร้างกระดูกขากรรไกรเพื่อทำการตรวจวัด

ก) 3D Panoramic Curve กระดูกขากรรไกร ข) ellipses cross-section กระดูกขากรรไกร

3.2 การออกแบบรากฟันเทียม

ในการวิเคราะห์การกระจายความเค้นที่เกิดจากแรงบดเคี้ยวในกระดูกรอบรากฟันเทียมและภายในตัวรากฟันเทียมจากการออกแบบต่าง ๆ กัน ซึ่งจะมีการสร้างแบบจำลองโดยใช้วิธีการสร้างแบบจำลองสามมิติและวิธีการไฟไนท์เอลิเมนต์สามมิติบนเครื่องคอมพิวเตอร์ วิธีการดังกล่าวนี้จะให้ผลในการแก้ปัญหาค่าความเค้นได้ใกล้เคียงกับความจริงมากที่สุดและมีค่าใช้จ่ายต่ำ แล้วจึงจำลองการทดสอบเสมือนจริง โดยจะทำการจำลองฝังรากฟันเทียมลงในกระดูกขากรรไกรที่เป็นลักษณะกระดูกทึบ และกระดูกโปร่ง หลังจากนั้นจะทำการสร้างแบบจำลองของรากฟันเทียมเพื่อทำการทดสอบทางกล ซึ่งจะมีขั้นตอนการออกแบบและทดสอบดังต่อไปนี้

3.2.1 **การออกแบบรากฟันเทียมด้วยวิธี** CAD Modeling

ในการสร้างแบบจำลองรากฟันเทียมจะใช้โปรแกรม Unigraphic ในการสร้าง โดยใช้หลักการของ Solid Modeling ซึ่งในการศึกษาและออกแบบรากฟันเทียมจะมีการอ้างอิงรากฟันเทียมยี่ห้อ Zimmer รุ่น Swiss Pluss เป็นแนวทางในการศึกษาและออกแบบ ขนาดของรากฟันเทียมที่ใช้นั้นจะมาจากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์และตรวจสอบขนาดของกระดูกขากรรไกร ส่วนตัวแปรที่คาดว่าจะมีผลต่อการกระจายความแค้นในกระดูกรอบรากฟันเทียมของแบบจำลองที่ทำการทดสอบต่างๆ มีดังนี้

1) ชนิดเกลียวของรากฟันเทียม ในปัจจุบันรากฟันเทียมที่ใช้กันอยู่จะมีรูปร่างของเกลียวที่แตกต่างกันไป ซึ่งรูปร่างของเกลียวจะมีผลต่อการกระจายความเค้นในกระดูก โดยในการศึกษานี้จะศึกษาจากเกลียว 3 ชนิด คือ

- เกลียวรูปตัววี (รูปที่ 3.4 ก.) จะเป็นรูปแบบของลักษณะของเกลียวทั่วไปที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง และมีใช้ในรากฟันเทียมหลายยี่ห้อ
- เกลียววีเวิร์สบัทเทรส (รูปที่ 3.4 ข.) เกลียวชนิดนี้จะเป็นเกลียวที่ใช้รากฟันเทียมของ Branemark , Zimmer เป็นต้น
- เกลียวบัทเทรส (รูปที่ 3.4 ค.) เกลียวชนิดนี้จะเป็นเกลียวที่ใช้รากฟันเทียมของ Branemark , Titanodont เป็นต้น

ก) ข) ค)

รูปที่ 3.4 ชนิดเกลียวของรากฟันเทียม

ก) เกลียวรูปตัววี ข) เกลียววีเวิร์สบัทเทรส ค) เกลียวบัทเทรส

2) ระยะห่างระหว่างเกลียว เพื่อศึกษาถึงผลของระยะห่างระหว่างเกลียวต่อการกระจายความเค้นในกระดูกรอบรากฟันเทียม โดยใช้รากเทียมที่มีระยะห่างระหว่างเกลียวที่แตกต่างกันสองระยะ คือ

- ระยะห่างระหว่างเกลียว 0.6 มม. เป็นระยะที่ลดลงครึ่งหนึ่งจากปกติของรากฟันเทียมยี่ห้อ Zimmer รุ่น Swiss Pluss เพื่อศึกษาถึงความแตกต่าง
- ระยะห่างระหว่างเกลียว 1.2 มม. เป็นระยะปกติที่ใช้จริงของรากฟันเทียมยี่ห้อ Zimmer รุ่น Swiss Pluss

ซึ่งเมื่อมองจากตัวแปรทั้งหมดสามารถที่จะสร้างแบบจำลองของรากฟันเทียมได้ทั้งหมด 6 รูปแบบ คือ ก) รากฟันเทียมตรงชนิดเกลียวรูปตัววี ระยะห่างเกลียว 0.6 มม. ข) รากฟันเทียมตรงชนิดเกลียวรูปตัววี ระยะห่างเกลียว 1.2 มม. ค) รากฟันเทียมตรงชนิดเกลียวรีเวิร์สบัทเทรส ระยะห่างเกลียว 0.6 มม. ง) รากฟันเทียมตรงชนิดเกลียวรีเวิร์สบัทเทรส ระยะห่างเกลียว 1.2 มม. จ) รากฟันเทียมตรงชนิดเกลียวบัท-เทรส ระยะห่างเกลียว 0.6 มม. ฉ) รากฟันเทียมตรงชนิดเกลียวบัท-เทรส ระยะห่างเกลียว 1.2 มม. ดังแสดงในรูปที่ 3.5

ก) ข) ค)

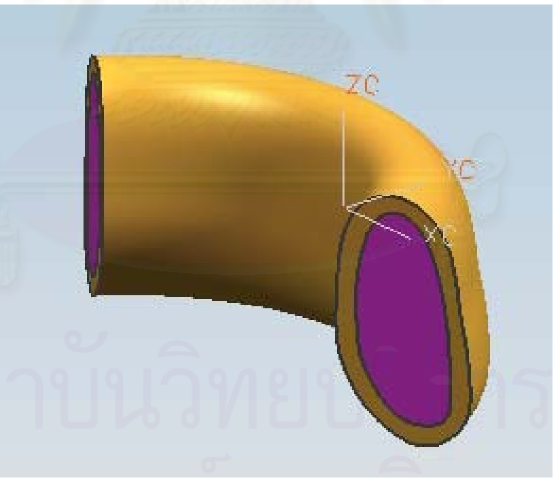
ง) จ) ฉ)

รูปที่ 3.5 ชนิดแบบจำลองของรากฟันเทียมที่จะใช้ศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.2 สร้างแบบจำลองกระดูกขากรรไกร

ในการสร้างแบบจำลองกระดูกขากรรไกรนั้น จะใช้หลักการของวิศวกรรมย้อนรอย (Reverse Engineering) โดยอาศัยข้อมูลจาก CT Scan ในรูปแบบของ DICOM File ที่มีลักษณะเป็น 3 มิติ ส่งผ่านเข้าโปรแกรม MIMIC เพื่อทำการตรวจสอบข้อมูลและมีการแปลงข้อมูลให้เป็น STL File หลังจากนั้นจะใช้โปรแกรม Unigraphic โดยอาศัยข้อมูลจาก STL File ในการสร้างแบบจำลองกระดูกขากรรไกรขึ้นใหม่ โดยใช้หลักการของ Solid Modeling โดยใช้ข้อมูลของ 3D Panoramic Curve และ ellipses cross-section จากการวัดขนาดของกระดูกขากรรไกรมาใช้ในการขึ้นรูป ซึ่งในที่นี้จะมีการขึ้นรูปแบบจำลองขากรรไกรเฉพาะบริเวณส่วนหน้าเท่านั้น นอกจากนี้ในการสร้างแบบจำลองของกระดูกจำเป็นต้องสร้างกระดูกเป็นสองส่วนคือ กระดูกแข็ง (Cortical bone) จะเป็นส่วนที่อยู่ข้างนอกห่อหุ้ม กระดูกโปร่ง (Cancellous bone) ที่อยู่ภายในอีกทีหนึ่ง ซึ่งในส่วนของการศึกษาครั้งนี้ จะทำการสร้างแบบจำลองกระดูกขากรรไกรเพียงแค่ส่วนหน้าเท่านั้นดังรูปที่ 3.6 เพื่อลดภาระในการประมวลผลของเครื่องคอมพิวเตอร์



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

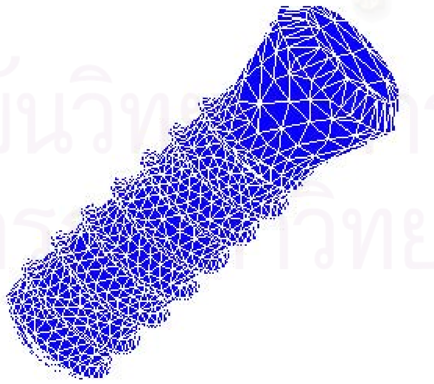
รูปที่ 3.6 แบบจำลองกระดูกขากรรไกรจาก CAD Model

3.2.3 การทดสอบรากฟันเทียมด้วยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์

การทดสอบรากฟันเทียมด้วยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เหมาะสำหรับการทดลองที่ต้องการความรวดเร็ว มีราคาในการทดสอบที่ไม่สูงมากนัก และไม่จำเป็นต้องสร้างชิ้นงานต้นแบบเพื่อทำการทดสอบ โดยผลจากการทดสอบก็มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ สำหรับการทดสอบรากฟันเทียมด้วยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์จะมีขั้นตอนในการทดสอบดังต่อไปนี้

1) การสร้างแบบจำลองไฟไนท์เอลิเมนต์ ในการสร้างแบบจำลองไฟไนท์เอลิเมนต์เพื่อกำหนดรูปแบบและคุณสมบัติของแบบจำลอง จะเริ่มโดยนำแบบจำลองจากวิธีการ CAD Modeling ในรูปแบบของฟอร์แมท Parasolid file ส่งผ่านเข้าโปรแกรม MSC PATRAN 2005 ซึ่งใช้ในการสร้างพื้นผิวและรูปทรงเอลิเมนต์ (Surface and Solid Element) จาก CAD Model โดยที่การศึกษานี้จะใช้เอลิเมนต์ทรงสี่หน้า 4 จุดต่อ เนื่องจากรูปทรงของเอลิเมนต์ชนิดนี้สามารถเข้ากับลักษณะของโครงสร้างที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดีโดยผลลัพธ์ที่ออกมาก็ยังมีความแม่นยำสูงด้วย โดยในแต่ส่วนของแบบจำลองจะมีการกำหนดดังนี้

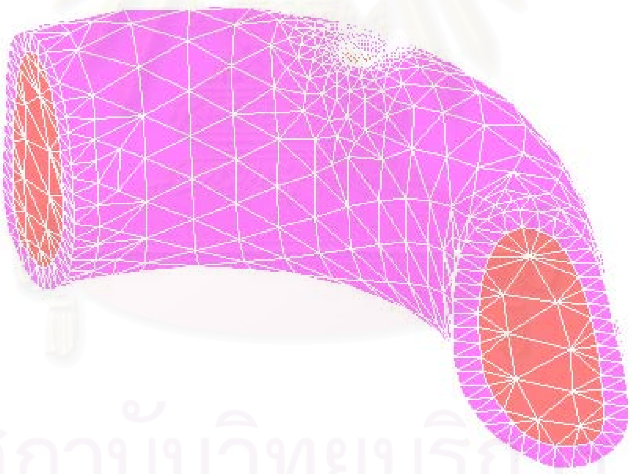
- รากฟันเทียม เนื่องจากรากฟันเทียมมีลักษณะเป็นเกลียวซึ่งมีความละเอียดมาก ดังนั้นเอลิเมนต์จึงจำเป็นต้องมีขนาดเล็กเพื่อความถูกต้องของแบบจำลอง โดยจะมีการแบ่งเอลิเมนต์ให้มีขนาดเล็กประมาณ 0.3 มม. ซึ่งจะมีจำนวนเอลิเมนต์ทั้งหมด 30,000 เอลิเมนต์



รูปที่ 3.7 แบบจำลองไฟไนท์เอลิเมนต์ของรากฟันเทียม

- กระดูกแข็ง เนื่องจากกระดูกแข็งจะมีผิวด้านในสัมผัสกับรากฟันเทียมซึ่งมีลักษณะเป็นเกลียว เอลิเมนต์จึงจำเป็นต้องมีขนาดเล็กเพื่อความถูกต้องของแบบจำลอง โดยจะมีการแบ่งเอลิเมนต์ด้านในให้มีขนาดเล็กประมาณ 0.3 มม. เท่ากับรากฟันเทียม ส่วนขอบด้านนอกของกระดูกแข็งไม่จำเป็นต้องมีความละเอียดมาก จึงทำการแบ่งเอลิเมนต์ขอบด้านนอกให้มีขนาด 1.0 มม. ซึ่งจะมีจำนวนเอลิเมนต์ทั้งหมด 30,000 เอลิเมนต์

- กระดูกโปร่ง เนื่องจากกระดูกโปร่งจะมีผิวด้านในสัมผัสกับรากฟันเทียมซึ่งมีลักษณะเป็นเกลียวเหมือนกับกระดูกแข็งเอลิเมนต์ จึงจำเป็นต้องมีขนาดเล็กเพื่อความถูกต้องของแบบจำลอง โดยจะมีการแบ่งเอลิเมนต์ด้านในให้มีขนาดเล็กประมาณ 0.3 มม. เท่ากับรากฟันเทียมและกระดูกแข็ง ส่วนขอบด้านนอกของกระดูกโปร่งไม่จำเป็นต้องมีความละเอียดมากจึงมีการแบ่งเอลิเมนต์ขอบด้านนอกให้มีขนาด 1.0 มม. เหมือนกับกระดูกแข็ง ซึ่งจะมีจำนวนเอลิเมนต์ทั้งหมด 60,000 เอลิเมนต์



รูปที่ 3.8 แบบจำลองไฟไนท์เอลิเมนต์ของกระดูกแข็งและกระดูกโปร่ง

2) การวิเคราะห์ระเบียบวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ สำหรับการวิเคราะห์ระเบียบวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์จะใช้โปรแกรม MSC MARC MENTAT 2005 ในการวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรมทางด้านกลศาสตร์ของแข็ง โดยจะมีการกำหนดตัวแปรดังต่อไปนี้

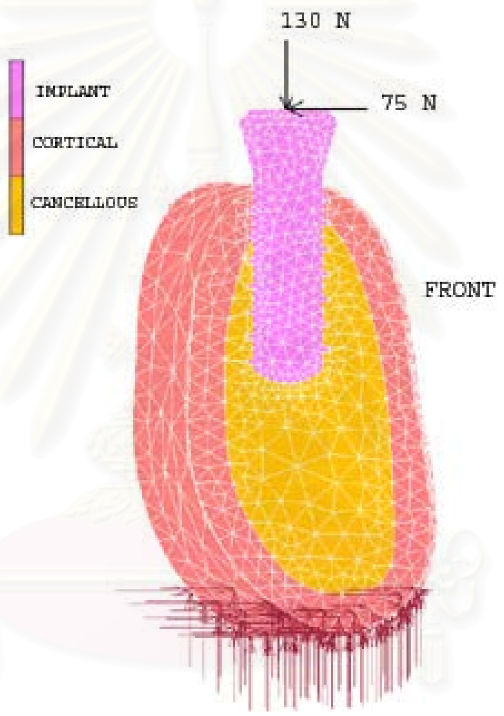
- คุณสมบัติของวัสดุ โดยจะกำหนดให้รากฟันเทียมทำมาจากโลหะไทเทเนียมบริสุทธิ์ [3] (Pure Titanium Grade 4) ซึ่งเป็นโลหะที่เนื้อเยื่อสามารถเข้ากันได้ดีในทางชีวภาพ (Biocompatible) และนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย มีคุณสมบัติเป็นวัสดุเนื้อเดียว (Homogeneous) มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity, E) เท่ากับ 110,000 MPa มีอัตราส่วนปัวซองเท่ากับ 0.33 และความต้านทานแรงดึงสูงสุด(Tensile Strength) เท่ากับ 550 MPa

นอกจากนี้กระดูกจะประกอบด้วยกระดูกสองส่วนคือส่วนแรก กระดูกแข็ง (Cortical bone) ที่มีความหนาแน่นของกระดูกมากกว่าห่อหุ้มส่วนที่สอง คือ กระดูกโปร่ง (Cancellous bone) ที่มีความพรุนของกระดูกสูง ซึ่งทั้งสองส่วนมีคุณสมบัติทางกลที่แตกต่างกัน การกำหนดคุณสมบัติวัสดุของกระดูกขากรรไกรจึงมีความซ้ำซ้อนและการคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง เนื่องจากกระดูกเป็นวัสดุที่อยู่ในรูปแบบไม่สม่ำเสมอ (Non Homogeneous) และนอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันในแต่ละบุคคลขึ้นอยู่กับอายุ เพศ และพันธุกรรม ดังนั้นการกำหนดคุณสมบัติของกระดูกขากรรไกรจะยึดถือจากงานวิจัยทางด้าน Biomechnics และข้อมูลจากการตรวจวัดทางสถิติจากกลุ่มประชากรที่มีความหลากหลาย โดยให้กระดูกมีคุณสมบัติทางกลตั้งอยู่บนข้อสมมติฐาน ที่ว่า เป็นวัสดุที่เป็นแบบเนื้อเดียวกัน (Homogenous materials) และเนื้อกระดูกมายึดเกาะกับผิวของรากฟันเทียมอย่างสมบูรณ์ ในการกำหนดคุณสมบัติของกระดูกทึบ[19] (Cortical Bone) กำหนดให้มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity,E) เท่ากับ 12,000 MPa มีอัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio, μ)เท่ากับ 0.30 และในกระดูกโปร่ง[19] (Cancellous Bone) มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity,E) เท่ากับ 1,200 MPa มีอัตราส่วนปัวซองเท่ากับ 0.30

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของวัสดุของรากฟันเทียมและกระดูก

วัสดุ	โมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity,E, MPa)	อัตราส่วนปัวซอง (Poisson's Ratio, μ)
รากฟันเทียม	110,000	0.33
กระดูกแข็ง	12,000	0.30
กระดูกโปร่ง	1,200	0.30

- การกำหนดแรงบดเคี้ยวและสภาวะขอบเขตของแบบจำลอง[18] กำหนดให้มีแรงกดในแนวแกนรากฟันเทียม 130 N และแรงเฉือนที่มากระทำด้านหน้า 75 N ซึ่งลักษณะของแรงดังกล่าวได้จำลองมาจากการบดเคี้ยวของฟันโดยมีแรงกระทำ 150 N ทำมุม 30° กับแนวแกนของรากฟันเทียม ส่วนเงื่อนไขสภาวะขอบเขตจะกำหนดให้มีการยึดกระดูกที่ฐานในแนวแกน x, y และ z ของแบบจำลอง โดยให้สถานะของการยึดเกาะตัวระหว่างรากฟันเทียมและกระดูกเป็นลักษณะยึดติดแน่นคือ มีการเติบโตของกระดูกและยึดเกาะกับผิวของรากฟันเทียมโดยสมบูรณ์ ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แรงบดเคี้ยวและสภาวะขอบเขตของแบบจำลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 การทดสอบทางกลของรากฟันเทียม

การทดสอบทางกลแบบสถิตของระบบรากฟันเทียม จะเป็นการจำลองการทดสอบความแข็งแรงและการเคลื่อนตัวของแบบจำลองรากฟันเทียม เพื่อเป็นการเปรียบและทดสอบความถูกต้องจากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ โดยการสร้างรากฟันเทียมต้นแบบและฝังรากฟันเทียมต้นแบบลงในอะครีลิก เพื่อจำลองรูปแบบการฝังรากฟันเทียมในกระดูกและมีแรงกระทำลงบนรากฟันเทียม ซึ่งรูปแบบในการทดสอบจะมีแรงกระทำที่มุม 30° กับแนวแกนของรากฟันเทียมในแบบสถิตเพื่อศึกษาถึงผลกระทบต่อวัสดุรอบข้างและตัวรากฟันเทียม

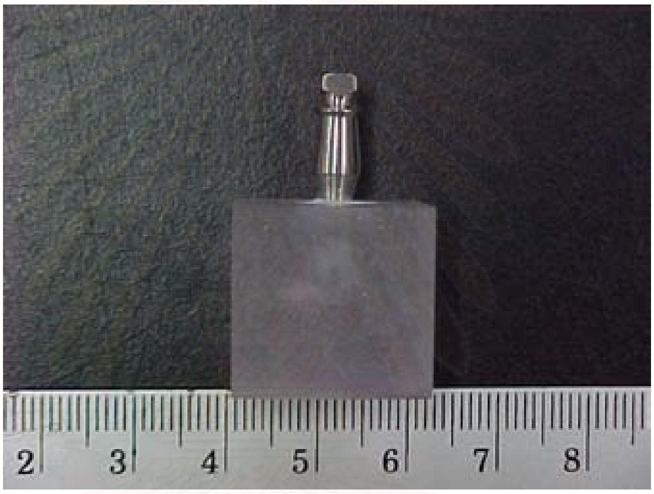
3.3.1 การสร้างรากฟันเทียมต้นแบบ

ในการสร้างรากฟันเทียมต้นแบบจะใช้หลักการของ CAD/CAM ในการออกแบบและผลิต ซึ่งในวิธีการผลิตนี้จะใช้รูปแบบของรากฟันเทียมที่ได้จากการออกแบบ เป็นต้นแบบในการทดลองผลิต โดยขั้นตอนในการผลิตนี้จะใช้เครื่อง Turning ของบริษัท Hardinge รุ่น Talent 8/52 ที่มีจำนวนเพลาขับ 6 เพลาในการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 3.10

รูปที่ 3.10 เครื่องกลึง Turning ที่ใช้ในการผลิตรากฟันเทียม

3.3.2 ทดสอบความแข็งแรงของแบบจำลอง

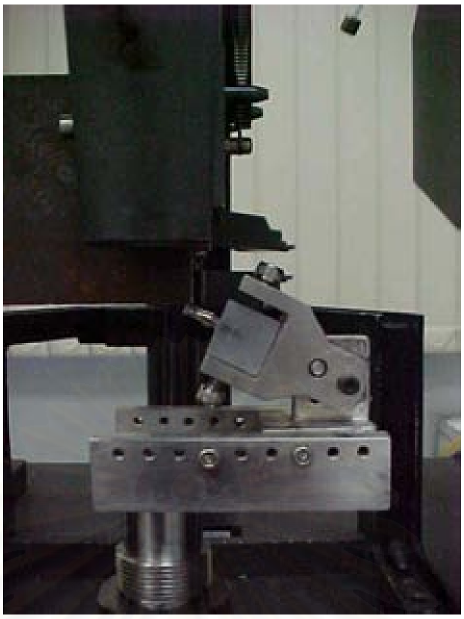
ในการเตรียมชิ้นงานทดสอบจะนำรากฟันเทียมที่ผลิตขึ้นมา 3 ชิ้น นำไปใส่ในแม่พิมพ์แล้วเทเรซินที่ระดับเดียวการใช้งานในการฝังรากเทียมลงในกระดูก คือ ที่คอของรากฟันเทียม จะทำการฝังรากฟันเทียมลงในอะครีลิกขนาด 22 x 22 x 22 มม. ดังรูปที่ 3.11 ซึ่งวิธีในการฝังรากฟันเทียมจะจุ่มรากฟันเทียมลงในอะครีลิกชนิดเหลว แล้วรอจนกระทั่งอะครีลิกแข็งตัว หลังจากนั้นจึงทำการปรับแต่งผิวของแท่งอะครีลิกให้เรียบร้อย จึงเป็นการเสร็จสิ้นการสร้างแบบจำลอง



รูปที่ 3.11 การฝังรากฟันเทียมต้นแบบลงในอะครีลิก

วิธีการทดสอบความแข็งแรงของรากฟันเทียม เป็นการติดตั้งแบบจำลองชุดรากฟันเทียมบนเครื่องทดสอบแล้วจึงขันสกรูให้แน่น โดยในการการทดสอบนี้ได้ให้แรงกดที่มุม 30 องศาเทียบกับแนวระนาบแล้วทำการกดจนชิ้นงานเกิดการเสียหายเปลี่ยนรูปร่าง โดยทดสอบดังขั้นตอนต่อไปนี้

1) ติดตั้งแบบจำลองระบบรากฟันเทียมบนเครื่องทดสอบ
2) ปรับหัวกดลงบนชุดรากฟันเทียม
3) ตรวจสอบความถูกต้องของแบบทดสอบแล้วจึงเปิดเครื่องให้ทำงาน
4) ทดสอบจนกระทั่งแบบจำลองรากฟันเทียมมีการเปลี่ยนรูป
5) ทดสอบแบบจำลองทั้ง 3 ชิ้นจนครบ
6) บันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 3.12 การทดสอบทางกลของรากฟันเทียมต้นแบบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ผลการศึกษาและออกแบบรากฟันเทียมวัสดุไทเทเนี่ยม ที่มีความเหมาะสมกับกายวิภาคกระดูกขากรรไกรของคนไทย ได้ถูกกำหนดให้เป็นไปตามขั้นตอนการทดลองตามที่ระบุไว้ในบทที่ 3 กล่าวคือ การเก็บตัวอย่างข้อมูลกระดูกขากรรไกรของคนไทย การออกแบบรากฟันเทียม และการทดสอบทางกลของรากฟันเทียม

ในการศึกษานี้สามารถแบ่งผลการทดลองการวิจัยทั้งหมดได้ดังนี้

1) ผลการเก็บตัวอย่างข้อมูลกระดูกขากรรไกรของคนไทย

2) ผลการออกแบบและทดสอบรากฟันเทียม

3) ผลการทดสอบทางกลของรากฟันเทียม

4.1 ผลการเก็บตัวอย่างข้อมูลกระดูกขากรรไกรของคนไทย

จากการเก็บตัวอย่างกระดูกขากรรไกรของคนไทยจำนวน 60 ราย โดยขั้นตอนการตรวจวัด 3D Panoramic Curve เพื่อหาขนาดรัศมีของกระดูกขากรรไกร และ ellipses cross-section เพื่อหาขนาดความกว้างความสูงของกระดูกขากรรไกรและมุมเอียงของกระดูกขากรรไกรนั้น สามารถนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อทดสอบหาการกระจายของข้อมูล โดยใช้วิธี Kolmogorov Sminov Test ซึ่งข้อมูลที่ได้มีลักษณะการกระจายแบบ Normal สามารถแสดงผลดังต่อไปนี้

1) บริเวณส่วนหน้าของกระดูกขากรรไกร โดยเส้น Panoramic Curve มีขนาดมุมเท่ากับ 115 $\pm$ 8.7 องศา มีขนาดรัศมีเท่ากับ 23.1 $\pm$2.5 มม. มีความยาวของเส้นเท่ากับ 46.2 $\pm$3.4 มม. ส่วนขนาดโดยทั่วไปของกระดูกขากรรไกรจะมีความสูง 26.4$\pm$0.4 มม. กว้าง 12.1$\pm$0.5 มม. และมีมุมเอียง 60.8 $\pm$1.5 องศา

2) บริเวณส่วนด้านขวาของกระดูกขากรรไกร โดยเส้น Panoramic Curve มีขนาดมุมเท่ากับ 34.8 $\pm$9.2 องศา มีขนาดรัศมีเท่ากับ 63.7 $\pm$13.5 มม. มีความยาวของเส้นเท่ากับ 34.3 $\pm$4.4 มม. ส่วนขนาดโดยทั่วไปของกระดูกขากรรไกรจะมีความสูง 25.2$\pm$1.3 มม. กว้าง 13.2$\pm$0.5 มม. และมีมุมเอียง 59.1 $\pm$3.8 องศา

3) บริเวณส่วนด้านซ้ายของกระดูกขากรรไกร โดยเส้น Panoramic Curve มีขนาดมุมเท่ากับ 35.1 $\pm$11.2 องศา มีขนาดรัศมีเท่ากับ 61.5 $\pm$12.6 มม. มีความยาวของเส้นเท่ากับ 33.5

±3.1 มม. ส่วนขนาดโดยทั่วไปของกระดูกขากรรไกรจะมีความสูง 24.8 ±0.4 มม. กว้าง 12.8 ±0.9 มม. และมีมุมเอียง 58.7 ±4.1 องศา

รายละเอียดทั้งหมดสามารถแสดงได้โดยละเอียดดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ขนาดโดยเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกระดูกขากรรไกรของคนไทย

บริเวณ	3D Panoramic Curve						ความสูง (มม.)		ความกว้าง (มม.)		มุมเอียง (องศา)	
	มุม (องศา)		รัศมี (มม.)		ความยาว(มม.)							
	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
ส่วนหน้า	115.4	8.7	23.1	2.5	46.2	3.4	26.4	0.4	12.1	0.5	60.8	1.5
ด้านซ้าย	34.8	9.2	63.7	13.5	34.3	4.4	25.2	1.3	13.2	0.8	59.1	3.8
ด้านขวา	35.1	11.2	61.5	12.6	33.5	3.1	24.8	1.4	12.8	0.9	58.7	4.1

4.2 ผลการออกแบบและทดสอบรากฟันเทียม

การเลือกขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของรากฟัน จะต้องนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาขนาดของกระดูกขากรรไกรของคนไทย และผลงานวิจัยต่าง ๆ ทั้งในและต่างประเทศมาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง เพื่อให้ได้ขนาดของรากฟันเทียมที่มีความเหมาะสม ลดอัตราการละลายตัวของกระดูก และเพิ่มอัตราของความสำเร็จทางด้านคลินิก

ในขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการกระจายความเค้นของรากฟันเทียมในกระดูกขากรรไกร ด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ จะใช้โปรแกรม MSC MARC MENTAT 2005 ในการคำนวณ และ จะแสดงผลออกมาในรูปของ ค่าความเค้น(Equivalent Von Mises Stress) และการเคลื่อนที่ (Displacement) ในการวิเคราะห์ความเค้นและการเคลื่อนที่จะแสดงในรูปแบบของภาพกราฟิกสีที่แตกต่างกัน โดยกำหนดให้สีที่อยู่ระดับบนสุดคือ สีเทาจะมีค่าความเค้นมากที่สุด และสีที่อยู่ในระดับล่างสุดคือ สีม่วงจะมีค่าระดับความเค้นน้อยที่สุด

4.2.1 ผลการเลือกขนาดของรากฟันเทียม

จากผลการเก็บตัวอย่างของกระดูกขากรรไกรของคนไทยจากหัวข้อ 4.1 คือ มีความสูง 26.4 ±0.4 มม. กว้าง 12.1±0.5 มม. ที่บริเวณส่วนหน้าของกระดูกขากรรไกร มีความสูง 25.2 ±1.3 มม. กว้าง 13.2 ±0.5 มม. ที่บริเวณส่วนด้านขวาของกระดูกขากรรไกร และมีความสูง 24.8 ±0.4 มม. กว้าง 12.8 ±0.9 มม. ที่บริเวณส่วนด้านซ้ายของกระดูกขากรรไกร จากการศึกษาขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวฟันธรรมชาติโดยเฉลี่ยของคนไทย[16] เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยที่ Dr. GV Black[17] ขนาดฟันของคนอเมริกัน มองโกเลี่ยน และคนแอสกิโมมีขนาดใกล้เคียงกันกับตัวอย่างของคนไทย จึงไม่เป็นที่น่าแปลกที่รากฟันเทียมที่ใช้อยู่ในปัจจุบันกับคนอเมริกันสามารถใช้ได้ดีกับคนไทย

ถ้าพิจารณาถึงการนำรากฟันเทียมมาฝังลงในตำแหน่งของฟันธรรมชาติที่หายไปบางซี่ จะต้องคำนึงถึงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของฟันธรรมชาติที่หายไป ในปัจจุบันถ้าเลือกใช้รากฟันเทียมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมาตรฐาน 4.1 มม. ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติเพื่อที่จะลดอัตราการละลายของกระดูก Cortical ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงความกว้างของกระดูกขากรรไกรที่ได้มีการศึกษาไปแล้วนั้น สามารถสรุปได้ว่าแนวโน้มของของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรากฟันเทียมควรมีขนาดที่ประมาณ 4.1 มม. ส่วนความยาวของรากฟันเทียม เมื่อพิจารณาความสูงของกระดูกขากรรไกรที่ทำการศึกษา และจากการปรึกษาทันตแพทย์ที่ชำนาญการด้านการฝังรากฟันเทียมว่าจะเลือกใช้รากฟันเทียมที่มีขนาดความยาว 10 มม. เนื่องจากเป็นขนาดความยาวที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในท้องตลาด และยังมีข้อจำกัดคือ ภายในบริเวณกระดูกขากรรไกรที่ระดับความลึกประมาณครึ่งของกระดูกขากรรไกรคือประมาณ 12 – 13 มม. หรืออาจจะมากกว่านั้น จะมีเส้นประสาทฝังอยู่ ซึ่งถ้ามีการฝังรากฟันเทียมลึกกว่านั้นอาจทำให้ผู้ป่วยเกิดความเจ็บปวดและอาจถึงขั้นพิการได้

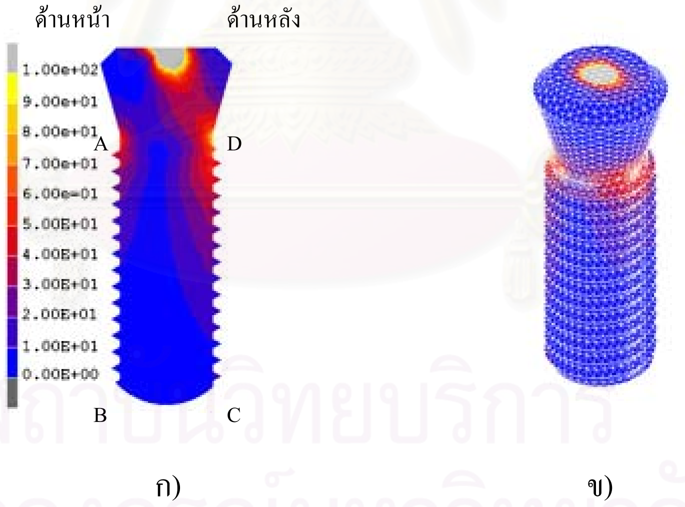
4.2.2 ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในแบบจำลอง

จากทฤษฎีการทำนายผลการแตกหักของวัสดุนั้นจะแตกต่างกันในวัสดุเหนียว (Ductile Material) และวัสดุเปราะ (Brittle Material) ดังนั้นในการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นในแบบจำลองจึงใช้ค่าความเค้นที่แตกต่างกันในการพิจารณา โดยที่ส่วนของแบบจำลองที่เป็นโลหะไทเทเนียมซึ่งเป็นวัสดุเหนียวนั้นจะใช้ค่าความเค้นสูงสุดเป็นเกณฑ์ในการวิเคราะห์ ส่วนกระดูกซึ่งเป็นวัสดุเปราะก็จะใช้ค่าความเค้นสูงสุดเป็นเกณฑ์ในการวิเคราะห์ เช่นกัน โดยวัสดุทั้งสองชนิดจะมีค่าความเค้นสูงสุดที่แตกต่างกัน

สำหรับบรรทัดฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์การกระจายความเค้นของแบบจำลองรากฟันเทียม คือ ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นบนตัวรากฟันเทียมนั้นต้องมีค่าไม่เกินจุดครากของไทเทเนียม ส่วนค่าความเค้นในกระดูกรอบรากฟันเทียมนั้นต้องมีค่าไม่เกินกว่าค่ากำลังวัสดุ (Strength of Material) ของกระดูกทึบและกระดูกโปร่งซึ่งได้จากการทดสอบของ Reilly และ Burstein (1975) ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์มีดังต่อไปนี้

1) ผลที่เกิดขึ้นในรากฟันเทียม

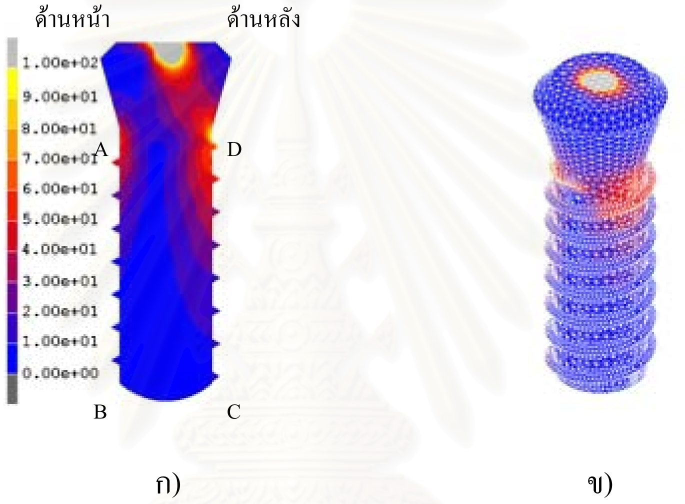
- เกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 0.6 มม. จากรูปที่ 4.1 ก) และ ข) ลักษณะการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในรากฟันเทียม พบว่ามีความเค้นสะสมอยู่มากที่สุดบริเวณส่วนคอของรากฟันเทียมฝั่งตรงข้ามกับแรงกระทำจากด้านหน้า (D) มีค่าความเค้นอยู่ที่ 90.38 N/mm^2 ซึ่งจะเป็นจุดที่ทำให้รากฟันเทียมเสียหายมากที่สุด ส่วนบริเวณที่มีความเค้นสะสมรองลงมาจะอยู่บริเวณเกลียวแรกของรากฟันเทียม ซึ่งจะอยู่ใกล้กับบริเวณส่วนคอของรากฟันเทียม มีค่าความเค้นอยู่ที่ประมาณ 70.05 N/mm^2 ส่วนบริเวณส่วนล่างของรากฟันเทียมแทบไม่มีความเค้นสะสมอยู่เลย



รูปที่ 4.1 การกระจายความเค้นของรากฟันเทียมเกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 0.6 มม.

ก) ภาพตัดขวางของรากฟันเทียม ข) ภาพ ISO ของรากฟันเทียม

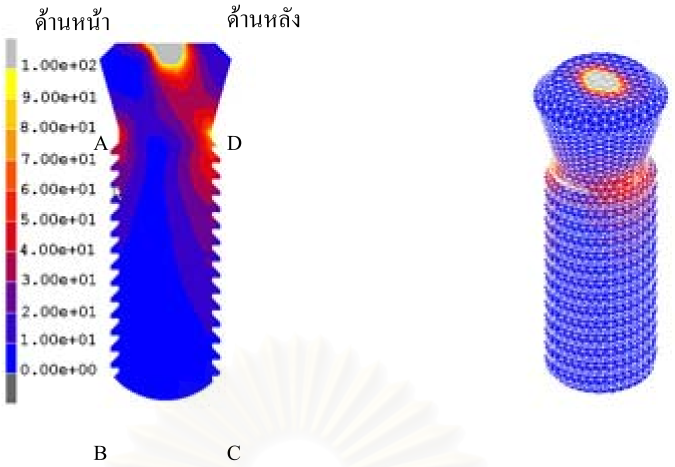
- เกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 1.2 มม. จากรูปที่ 4.2 ก) และ ข) ลักษณะการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในรากฟันเทียม พบว่ามีความเค้นสะสมอยู่มากที่สุดบริเวณส่วนคอของรากฟันเทียมฝั่งตรงข้ามกับแรงกระทำจากด้านหน้า (A) มีค่าความเค้นอยู่ที่ 102.93 N/mm^2 ซึ่งจะเป็นจุดที่ทำให้รากฟันเทียมเสียหายมากที่สุด ส่วนบริเวณที่มีความเค้นสะสมรองลงมาจะอยู่บริเวณเกลียวแรกของรากฟันเทียม ซึ่งจะอยู่ใกล้กับบริเวณส่วนคอของรากฟันเทียม มีค่าความเค้นอยู่ที่ประมาณ 66.66 N/mm^2 ส่วนบริเวณส่วนล่างของรากฟันเทียมแทบไม่มีความเค้นสะสมอยู่เลย



รูปที่ 4.2 การกระจายความเค้นของรากฟันเทียมเกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 1.2 มม.

ก) ภาพตัดขวางของรากฟันเทียม ข) ภาพ ISO ของรากฟันเทียม

- เกลียววีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม. จากรูปที่ 4.3 ก) และ ข) ลักษณะการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในรากฟันเทียม พบว่ามีความเค้นสะสมอยู่มากที่สุดบริเวณส่วนคอของรากฟันเทียมฝั่งตรงข้ามกับแรงกระทำจากด้านหน้า (A) มีค่าความเค้นอยู่ที่ 97.35 N/mm^2 ซึ่งจะเป็นจุดที่ทำให้รากฟันเทียมเสียหายมากที่สุด ส่วนบริเวณที่มีความเค้นสะสมรองลงมาจะอยู่บริเวณเกลียวแรกของรากฟันเทียม ซึ่งจะอยู่ใกล้กับบริเวณส่วนคอของรากฟันเทียม มีค่าความเค้นอยู่ที่ประมาณ 53.19 N/mm^2 ส่วนบริเวณส่วนล่างของรากฟันเทียมแทบไม่มีความเค้นสะสมอยู่เลย

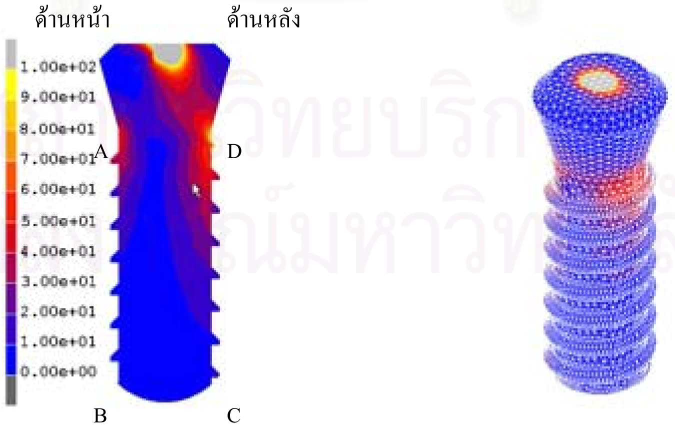


ก) ข)

รูปที่ 4.3 การกระจายความเค้นของรากฟันเทียมเกลียววีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม.

ก) ภาพตัดขวางของรากฟันเทียม ข) ภาพ ISO ของรากฟันเทียม

- เกลียววีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม. จากรูปที่ 4.4 ก) และ ข) ลักษณะการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในรากฟันเทียม พบว่ามีความเค้นสะสมอยู่มากที่สุดบริเวณส่วนคอของรากฟันเทียมฝั่งตรงข้ามกับแรงกระทำจากด้านหน้า (A) มีค่าความเค้นอยู่ที่ 98.39 N/mm^2 ซึ่งจะเป็นจุดที่ทำให้รากฟันเทียมเสียหายมากที่สุด ส่วนบริเวณที่มีความเค้นสะสมรองลงมาจะอยู่บริเวณเกลียวแรกของรากฟันเทียม ซึ่งจะอยู่ใกล้กับบริเวณส่วนคอของรากฟันเทียม มีค่าความเค้นอยู่ที่ประมาณ 64.22 N/mm^2 ส่วนบริเวณส่วนล่างของรากฟันเทียมแทบไม่มีความเค้นสะสมอยู่เลย

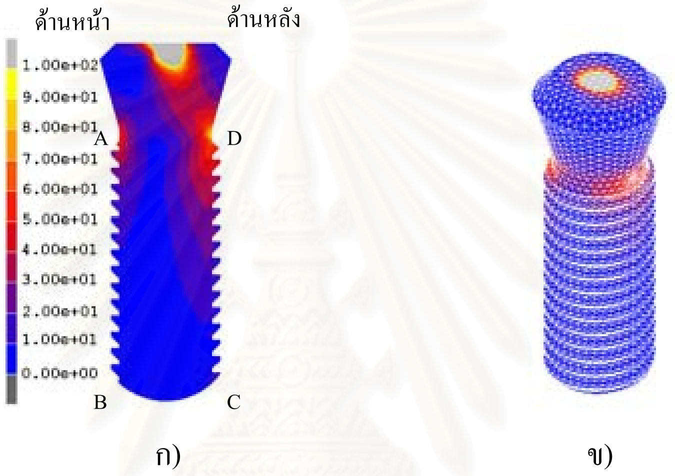


ก) ข)

รูปที่ 4.4 การกระจายความเค้นของรากฟันเทียมเกลียววีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม.

ก) ภาพตัดขวางของรากฟันเทียม ข) ภาพ ISO ของรากฟันเทียม

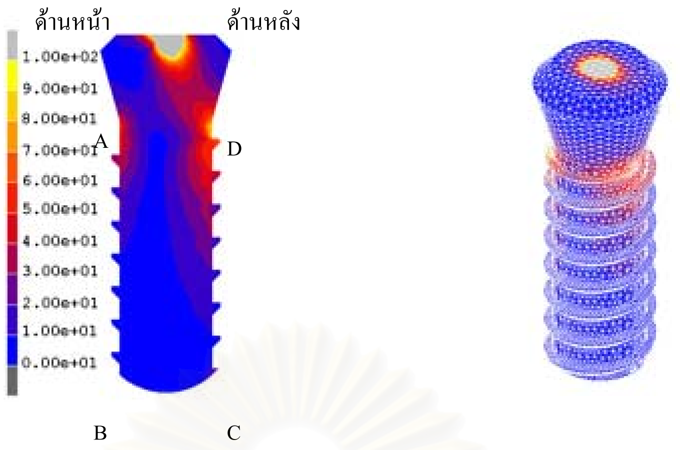
- เกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม. จากรูปที่ 4.5 ก) และ ข) ลักษณะการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในรากฟันเทียม พบว่ามีความเค้นสะสมอยู่มากที่สุดบริเวณส่วนคอของรากฟันเทียมฝั่งตรงข้ามกับแรงกระทำจากด้านหน้า (A) มีค่าความเค้นอยู่ที่ 92.56 N/mm^2 ซึ่งจะเป็นจุดที่ทำให้รากฟันเทียมเสียหายมากที่สุด ส่วนบริเวณที่มีความเค้นสะสมรองลงมาจะอยู่บริเวณเกลียวแรกของรากฟันเทียม ซึ่งจะอยู่ใกล้กับบริเวณส่วนคอของรากฟันเทียม มีค่าความเค้นอยู่ที่ประมาณ 57.79 N/mm^2 ส่วนบริเวณส่วนล่างของรากฟันเทียมแทบไม่มีความเค้นสะสมอยู่เลย



รูปที่ 4.5 การกระจายความเค้นของรากฟันเทียมเกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม.

ก) ภาพตัดขวางของรากฟันเทียม ข) ภาพ ISO ของรากฟันเทียม

- เกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม. จากรูปที่ 4.6 ก) และ ข) ลักษณะการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในรากฟันเทียม พบว่ามีความเค้นสะสมอยู่มากที่สุดบริเวณส่วนคอของรากฟันเทียมฝั่งตรงข้ามกับแรงกระทำจากด้านหน้า (A) มีค่าความเค้นอยู่ที่ 93.36 N/mm^2 ซึ่งจะเป็นจุดที่ทำให้รากฟันเทียมเสียหายมากที่สุด ส่วนบริเวณที่มีความเค้นสะสมรองลงมาจะอยู่บริเวณเกลียวแรกของรากฟันเทียม ซึ่งจะอยู่ใกล้กับบริเวณส่วนคอของรากฟันเทียม มีค่าความเค้นอยู่ที่ประมาณ 70.78 N/mm^2 ส่วนบริเวณส่วนล่างของรากฟันเทียมแทบไม่มีความเค้นสะสมอยู่เลย

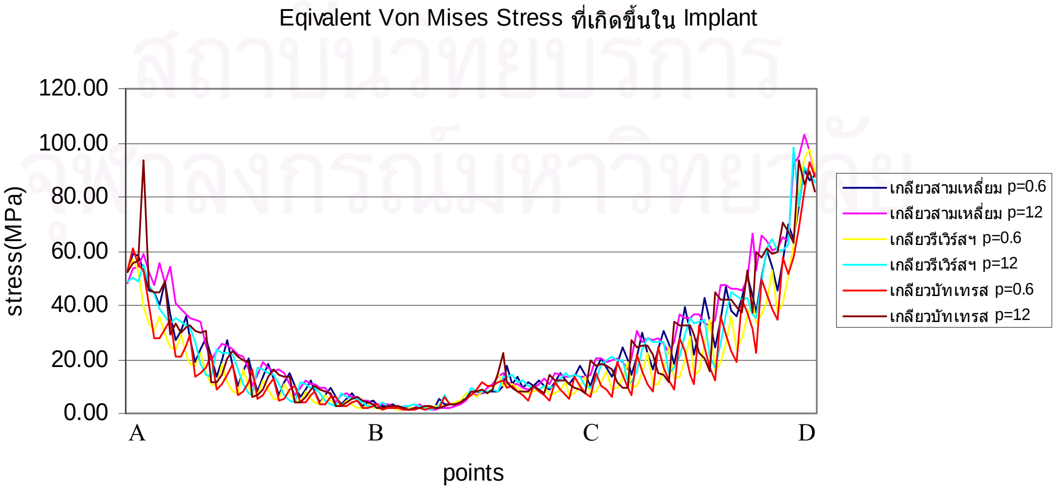


ก) ข)

รูปที่ 4.6 การกระจายความเค้นของรากฟันเทียมเกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม.

ก) ภาพตัดขวางของรากฟันเทียม ข) ภาพ ISO ของรากฟันเทียม

จากลักษณะและรูปแบบของความเค้นที่เกิดขึ้นในรากฟันเทียมนั้น เมื่อพิจารณากราฟจากรูปที่ 4.7 จะมีลักษณะสลับไปมาที่บริเวณโคนเกลียวและบริเวณสันเกลียว ซึ่งจะเกิดความเค้นสะสมมากบริเวณสันเกลียวและจะเกิดความเค้นสะสมค่อนข้างน้อยบริเวณสันเกลียว โดยความเค้นสูงสุดจะที่บริเวณส่วนคอของรากฟันเทียมฝั่งตรงข้ามกับแรงกระทำจากด้านหน้าซึ่งจะเป็นจุดที่ได้รับความเสียหายมากที่สุด โดยในแบบจำลองเกลียวสามเหลี่ยม ระยะความห่างเกลียว 1.2 มม. จะเกิดความเค้นสะสมสูงสุด มากที่สุด คือ 102.93 N/mm^2 และในแบบจำลองเกลียวสามเหลี่ยม ระยะความห่างเกลียว 0.6 มม. จะเกิดความเค้นสะสมสูงสุด น้อยที่สุด คือ 90.38 N/mm^2

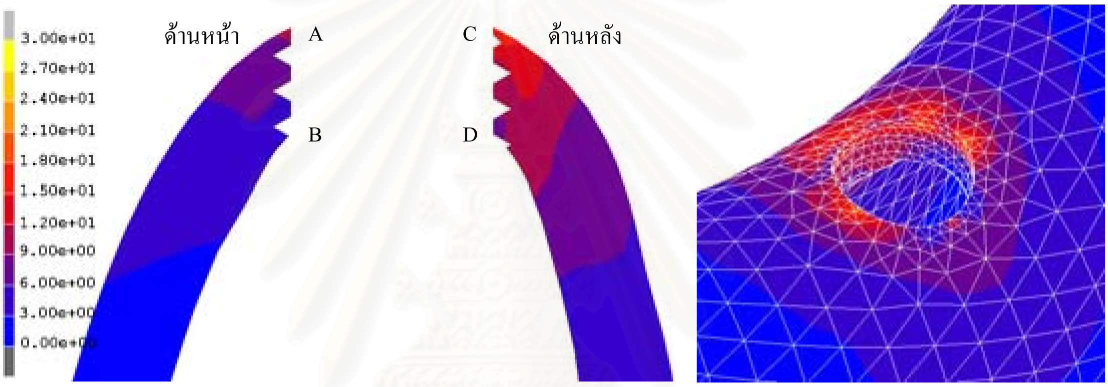


รูปที่ 4.7 Eqivalent Von Mises Stress ที่เกิดขึ้นใน Implant

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) ผลที่เกิดขึ้นในกระดูกแข็ง

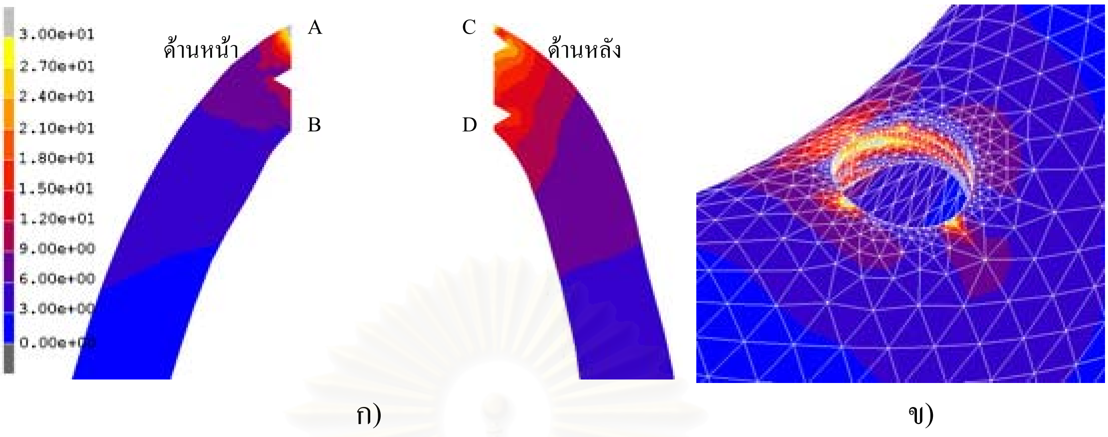
- เกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 0.6 มม. จากรูปที่ 4.8 ก) และ ข) ลักษณะของการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในกระดูกแข็งบริเวณรอบรากฟันเทียม จะมีลักษณะการกระจายความเค้นบริเวณส่วนบนของกระดูกแข็งรอบรากฟันเทียม โดยจะมีความเค้นสะสมอยู่มากที่สุดบริเวณส่วนบนของกระดูกรอบรากฟันเทียมฝั่งตรงข้ามกับแรงกระทำจากด้านหน้า (D) ซึ่งเป็นจุดที่มีความเค้นสูงสุดที่จะทำให้กระดูกเกิดความเสียหาย มีความเค้นอยู่ที่ 15.92 N/mm^2 ส่วนอีกบริเวณคือ ส่วนบนของกระดูกรอบรากฟันเทียมฝั่งที่ได้รับแรงกระทำจากด้านหน้า (A) ซึ่งจะมีความเค้นอยู่ที่ประมาณ 12.80 N/mm^2



ก) ข)

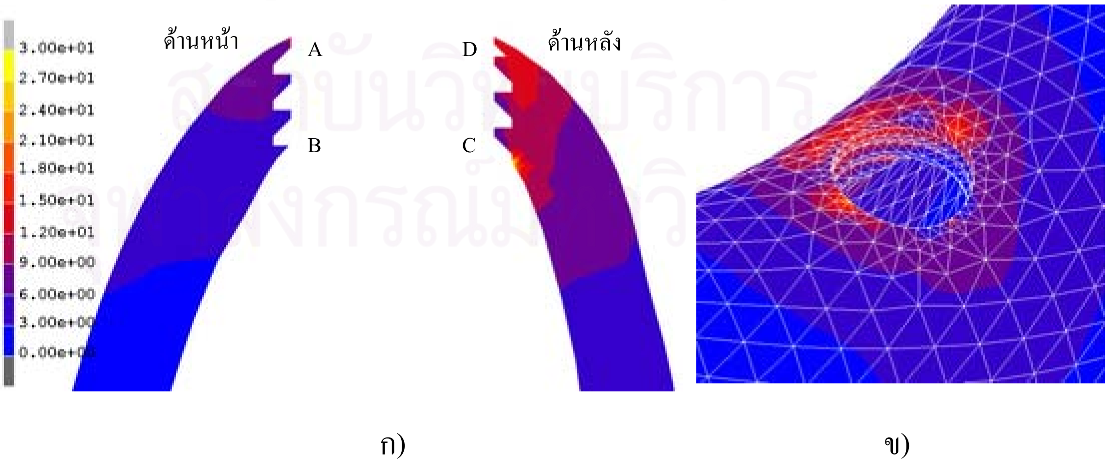
รูปที่ 4.8 การกระจายความเค้นของกระดูกแข็งเกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 0.6 มม.
ก) ภาพตัดขวางของกระดูกแข็ง ข) ภาพ ISO ของกระดูกแข็ง

- เกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 1.2 มม. จากรูปที่ 4.9 ก) และ ข) ลักษณะของการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในกระดูกแข็งบริเวณรอบรากฟันเทียม จะมีลักษณะการกระจายความเค้นบริเวณส่วนบนของกระดูกแข็งรอบรากฟันเทียม โดยจะมีความเค้นสะสมอยู่มากที่สุดบริเวณส่วนบนของกระดูกรอบรากฟันเทียมฝั่งที่ได้รับแรงกระทำจากด้านหน้า (A) ซึ่งเป็นจุดที่มีความเค้นสูงสุดที่จะทำให้กระดูกเกิดความเสียหาย มีความเค้นอยู่ที่ 55.55 N/mm^2 ส่วนอีกบริเวณคือส่วนบนของกระดูกรอบรากฟันเทียมฝั่งตรงข้ามกับแรงกระทำจากด้านหน้า (B) ซึ่งจะมีความเค้นอยู่ที่ประมาณ 33.50 N/mm^2



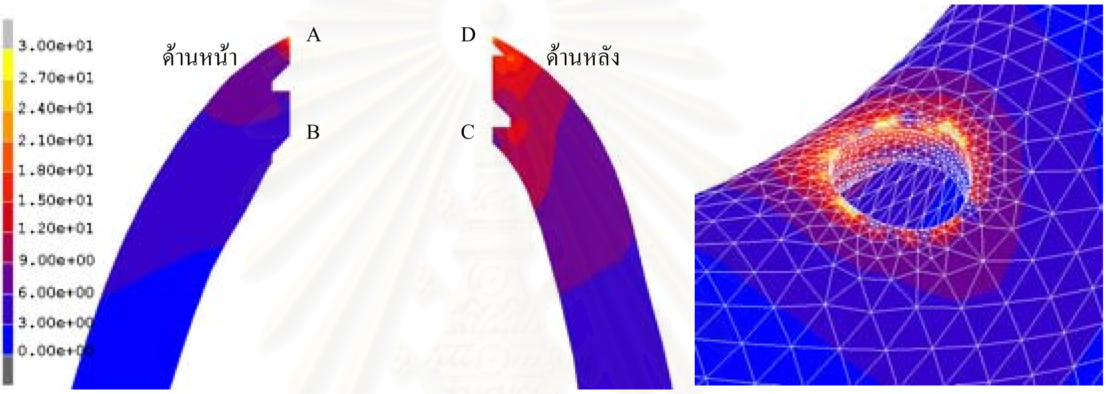
รูปที่ 4.9 การกระจายความเค้นของกระดูกแข็งเกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 1.2 มม.
ก) ภาพตัดขวางของกระดูกแข็ง ข) ภาพ ISO ของกระดูกแข็ง

- เกลียววีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม. จากรูปที่ 4.10 ก) และ ข) ลักษณะของการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในกระดูกแข็งบริเวณรอบรากฟันเทียม จะมีลักษณะการกระจายความเค้นบริเวณส่วนบนของกระดูกแข็งรอบรากฟันเทียม โดยจะมีความเค้นสะสมอยู่มากที่สุดบริเวณส่วนล่างของกระดูกรอบรากฟันเทียมฝั่งที่ได้รับแรงกระทำจากด้านหน้า (C) ซึ่งเป็นจุดที่มีความเค้นสูงสุดที่จะทำให้กระดูกเกิดความเสียหาย มีความเค้นอยู่ที่ 15.01 N/mm^2 ส่วนอีกบริเวณคือ ส่วนบนของกระดูกรอบรากฟันเทียมฝั่งที่ได้รับแรงกระทำจากด้านหน้า (D) ซึ่งจะมีความเค้นอยู่ที่ประมาณ 12.49 N/mm^2



รูปที่ 4.10 การกระจายความเค้นของกระดูกแข็งเกลียววีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม.
ก) ภาพตัดขวางของกระดูกแข็ง ข) ภาพ ISO ของกระดูกแข็ง

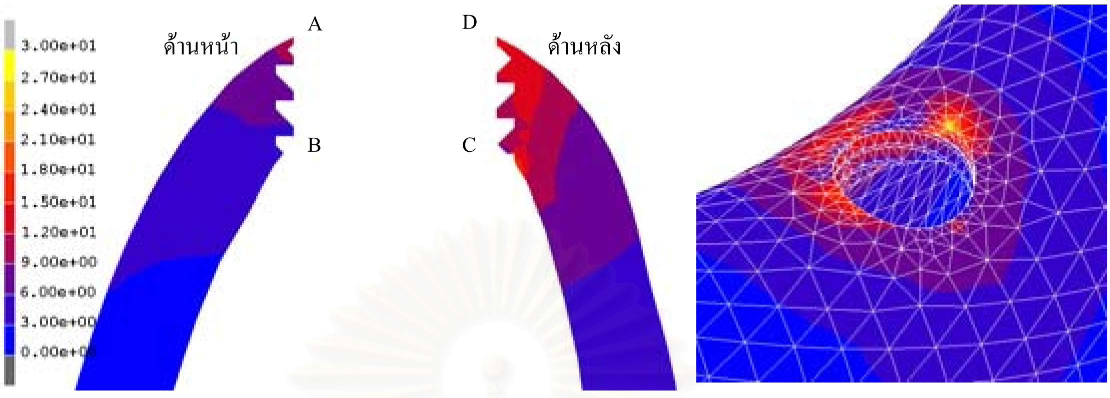
- เกลียววีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม. จากรูปที่ 4.11 ก) และ ข) ลักษณะของการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในกระดูกแข็งบริเวณรอบรากฟันเทียม จะมีลักษณะการกระจายความเค้นบริเวณส่วนบนของกระดูกแข็งรอบรากฟันเทียม โดยจะมีความเค้นสะสมอยู่มากที่สุดบริเวณส่วนบนของกระดูกรอบรากฟันเทียมฝั่งตรงข้ามที่ได้รับแรงกระทำจากด้านหน้า (D) ซึ่งเป็นจุดที่มีความเค้นสูงสุดที่จะทำให้กระดูกเกิดความเสียหาย มีความเค้นอยู่ที่ 26.16 N/mm^2 ส่วนอีกบริเวณ คือ ส่วนบนของกระดูกรอบรากฟันเทียมฝั่งที่ได้รับแรงกระทำจากด้านหน้า (A) ซึ่งจะมีความเค้นอยู่ที่ประมาณ 23.15 N/mm^2



ก) ข)

รูปที่ 4.11 การกระจายความเค้นของกระดูกแข็งเกลียววีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม.
ก) ภาพตัดขวางของกระดูกแข็ง ข) ภาพ ISO ของกระดูกแข็ง

- เกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม. จากรูปที่ 4.12 ก) และ ข) ลักษณะของการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในกระดูกแข็งบริเวณรอบรากฟันเทียม จะมีลักษณะการกระจายความเค้นบริเวณส่วนบนของกระดูกแข็งรอบรากฟันเทียม โดยจะมีความเค้นสะสมอยู่มากที่สุดบริเวณส่วนบนของกระดูกรอบรากฟันเทียมฝั่งตรงข้ามที่ได้รับแรงกระทำจากด้านหน้า (D) ซึ่งเป็นจุดที่มีความเค้นสูงสุดที่จะทำให้กระดูกเกิดความเสียหาย มีความเค้นอยู่ที่ 15.04 N/mm^2 ส่วนอีกบริเวณ คือ ส่วนล่างของกระดูกรอบรากฟันเทียมฝั่งตรงข้ามที่ได้รับแรงกระทำจากด้านหน้า (C) ซึ่งจะมีความเค้นอยู่ที่ประมาณ 11.40 N/mm^2

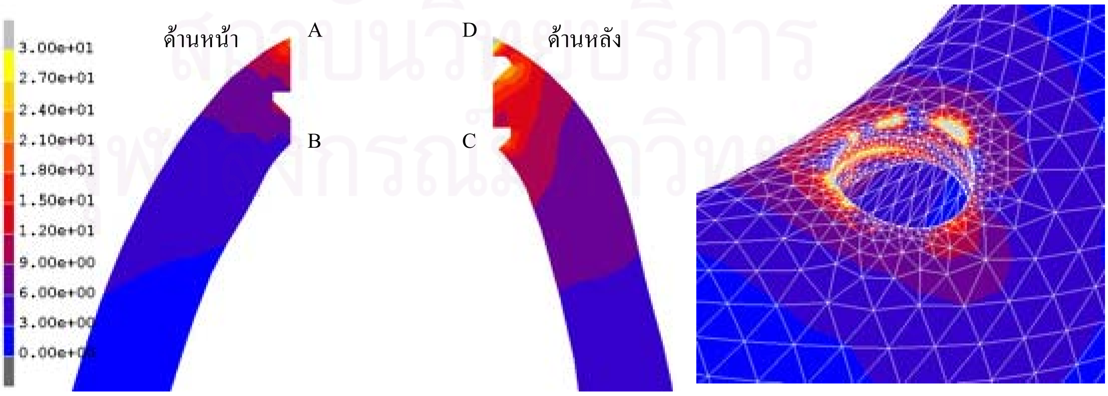


ก) ข)

รูปที่ 4.12 การกระจายความเค้นของกระดูกแข็งเกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม.

ก) ภาพตัดขวางของกระดูกแข็ง ข) ภาพ ISO ของกระดูกแข็ง

- เกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม. จากรูปที่ 4.13 ก) และ ข) ลักษณะของการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในกระดูกแข็งบริเวณรอบรากฟันเทียม จะมีลักษณะการกระจายความเค้นบริเวณส่วนบนของกระดูกแข็งรอบรากฟันเทียม โดยจะมีความเค้นสะสมอยู่มากที่สุดบริเวณส่วนบนของกระดูกรอบรากฟันเทียมฝั่งตรงข้ามที่ได้รับแรงกระทำจากด้านหน้า (D) ซึ่งเป็นจุดที่มีความเค้นสูงสุดที่จะทำให้กระดูกเกิดความเสียหาย มีความเค้นอยู่ที่ 50.63 N/mm^2 ส่วนอีกบริเวณ คือ ส่วนล่างของกระดูกรอบรากฟันเทียมฝั่งตรงข้ามที่ได้รับแรงกระทำจากด้านหน้า (C) ซึ่งจะมีความเค้นอยู่ที่ประมาณ 23.10 N/mm^2

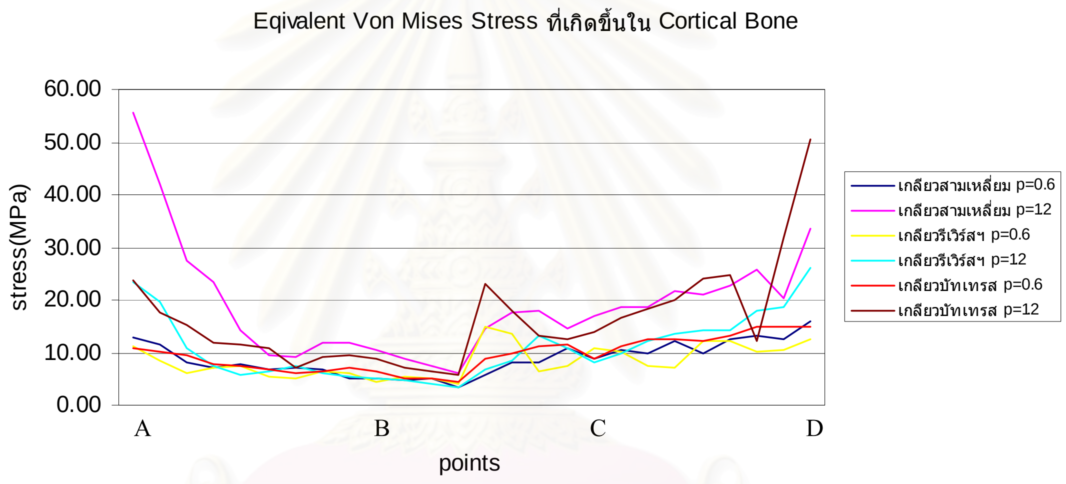


ก) ข)

รูปที่ 4.13 การกระจายความเค้นของกระดูกแข็งเกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม.

ก) ภาพตัดขวางของกระดูกแข็ง ข) ภาพ ISO ของกระดูกแข็ง

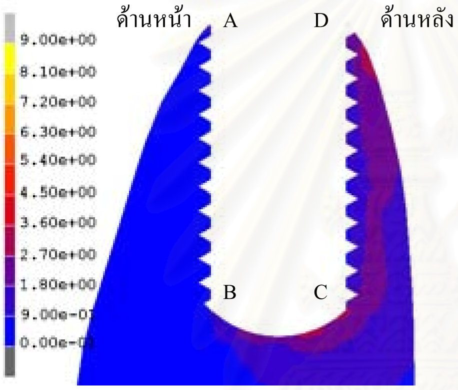
จากลักษณะและรูปแบบของความเค้นที่เกิดขึ้นในกระดูกแข็งนั้น เมื่อพิจารณากราฟจากรูปที่ 4.14 จะมีลักษณะสลับไปมาที่บริเวณโคนเกลียวและบริเวณสันเกลียว ซึ่งจะเกิดความเค้นสะสมมากบริเวณสันเกลียวและจะเกิดวามเค้นสะสมค่อนข้างน้อยบริเวณสันเกลียว โดยความเค้นสูงสุดจะที่บริเวณขอบด้านบนของกระดูกเสียเป็นส่วนใหญ่ และบริเวณส่วนบนของกระดูกรอบรากฟันเทียมฝั่งตรงข้ามที่ได้รับแรงกระทำจากด้านหน้าจะเป็นจุดที่ได้รับความเสียหายมากที่สุด โดยในแบบจำลองเกลียวสามเหลี่ยม ระยะความห่างเกลียว 1.2 มม. จะเกิดความเค้นสะสมสูงสุดมากที่สุด คือ 55.55 N/mm^2 และในแบบจำลองเกลียวบัทเทรส ระยะความห่างเกลียว 0.6 มม. จะเกิดความเค้นสะสมสูงสุด น้อยที่สุด คือ 15.04 N/mm^2

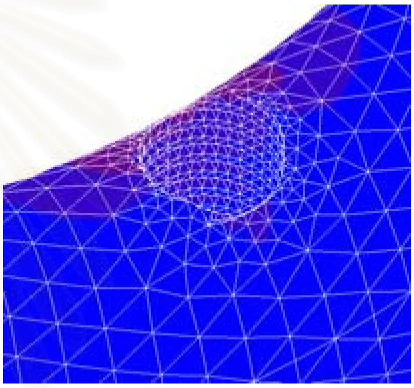


รูปที่ 4.14 Eqivalent Von Mises Stress ที่เกิดขึ้นใน Cortical Bone

3) ผลที่เกิดขึ้นในกระดูกโปร่ง

- เกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 0.6 มม. จากรูปที่ 4.15 ก) และ ข) ลักษณะการกระจายความเค้นในกระดูกโปร่ง จะมีลักษณะสลับไปมาระหว่างบริเวณโคนเกลียวกับสันเกลียว โดยเกิดความเค้นสะสมอยู่มากบริเวณที่เป็นสันเกลียว และจะมีความเค้นสะสมอยู่ค่อนข้างน้อยที่บริเวณที่เป็นโคนเกลียว ซึ่งบริเวณด้านล่างของกระดูกรอบรากฟันเทียมฝั่งตรงข้ามที่ได้รับแรงกระทำจากด้านหน้า (C) จะมีค่าความเค้นสูงสุด เท่ากับ 3.13 N/mm^2 ส่วนบริเวณส่วนบนของกระดูกโปร่งรอบรากฟันเทียมฝั่งตรงข้ามที่ได้รับแรงกระทำจากด้านหน้า (D) จะเป็นอีกบริเวณหนึ่งที่มีความเค้นสะสมอยู่มาก เช่นกัน โดยจะมีความเค้นอยู่ที่ 2.49 N/mm^2

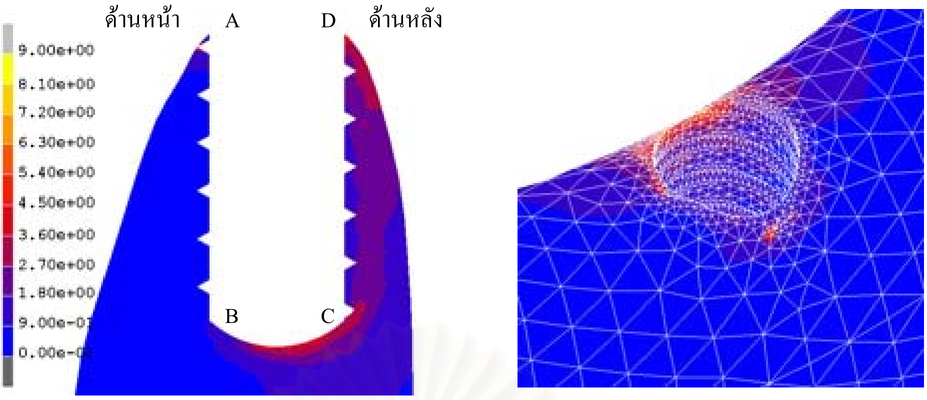




ก) ข)

รูปที่ 4.15 การกระจายความเค้นของกระดูกโปร่งเกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 0.6 มม.
ก) ภาพตัดขวางของกระดูกโปร่ง ข) ภาพ ISO ของกระดูกโปร่ง

- เกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 1.2 มม. จากรูปที่ 4.16 ก) และ ข) ลักษณะการกระจายความเค้นในกระดูกโปร่ง จะมีลักษณะสลับไปมาระหว่างบริเวณโคนเกลียวกับสันเกลียว โดยเกิดความเค้นสะสมอยู่มากบริเวณที่เป็นสันเกลียว และจะมีความเค้นสะสมอยู่ค่อนข้างน้อยที่บริเวณที่เป็นโคนเกลียว ซึ่งบริเวณด้านบนของกระดูกรอบรากฟันเทียมฝั่งที่ได้รับแรงกระทำจากด้านหน้า (A) จะมีค่าความเค้นสูงสุด เท่ากับ 6.14 N/mm^2 ส่วนบริเวณส่วนล่างของกระดูกโปร่งรอบรากฟันเทียมฝั่งตรงข้ามที่ได้รับแรงกระทำจากด้านหน้า (C) จะเป็นอีกบริเวณหนึ่งที่มีความเค้นสะสมอยู่มาก เช่นกัน โดยจะมีความเค้นอยู่ที่ 4.27 N/mm^2

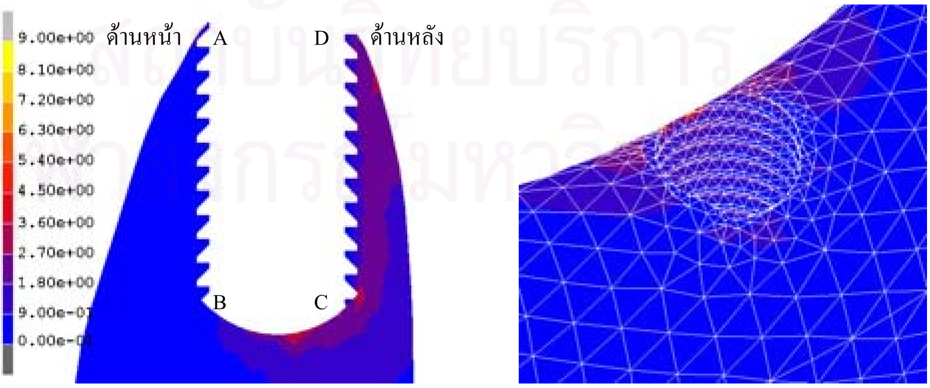


ก) ข)

รูปที่ 4.16 การกระจายความเค้นของกระดูกโปร่งเกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 1.2 มม.
ก) ภาพตัดขวางของกระดูกโปร่ง ข) ภาพ ISO ของกระดูกโปร่ง

- เกลียววีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม. จากรูปที่ 4.17 ก) และ ข) ลักษณะการกระจายความเค้นในกระดูกโปร่ง จะมีลักษณะสลับไปมาระหว่างบริเวณโคนเกลียวกับสันเกลียว โดยเกิดความเค้นสะสมอยู่มากบริเวณที่เป็นสันเกลียว และจะมีความเค้นสะสมอยู่ค่อนข้างน้อยที่บริเวณที่เป็นโคนเกลียว ซึ่งบริเวณด้านล่างของกระดูกรอบรากฟันเทียมฝั่งตรงข้ามที่ได้รับแรงกระทำจากด้านหน้า (C) จะมีค่าความเค้นสูงสุด เท่ากับ 3.31 N/mm^2 ส่วนบริเวณส่วนบนของกระดูกโปร่งรอบรากฟันเทียมฝั่งตรงข้ามที่ได้รับแรงกระทำจากด้านหน้า (D) จะเป็นอีกบริเวณหนึ่งที่มีความเค้นสะสมอยู่มาก เช่นกัน โดยจะมีความเค้นอยู่ที่ 2.66 N/mm^2

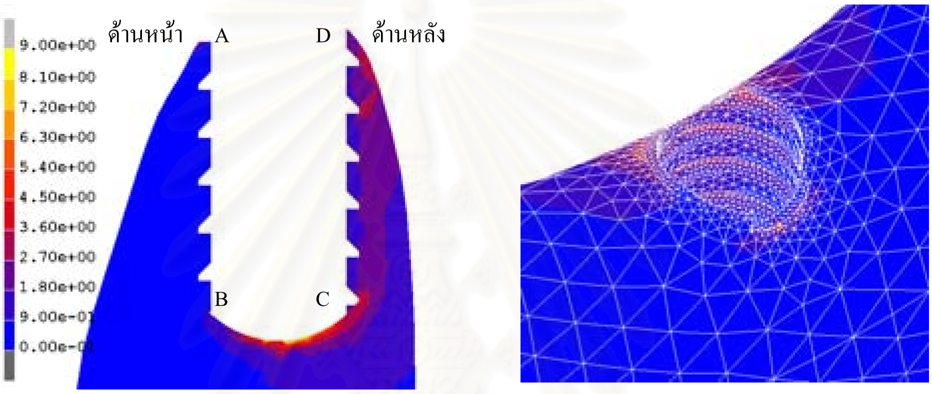
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก) ข)

รูปที่ 4.17 การกระจายความเค้นของกระดูกแข็งเกลียววีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม.
ก) ภาพตัดขวางของกระดูกโปร่ง ข) ภาพ ISO ของกระดูกโปร่ง

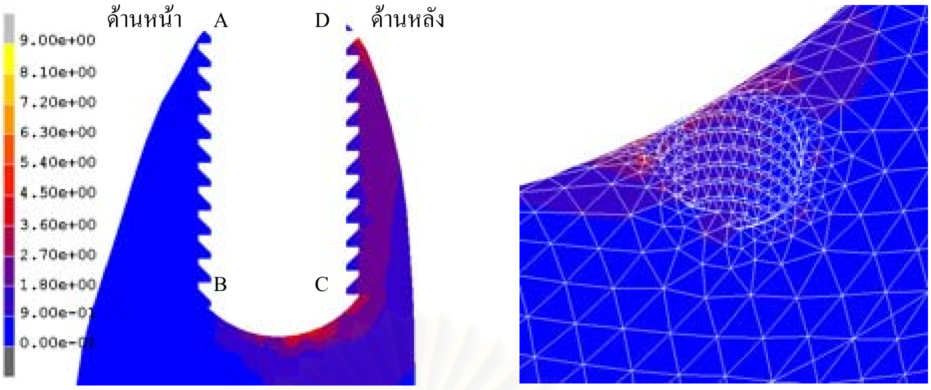
- เกลียววีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม. จากรูปที่ 4.18 ก) และ ข) ลักษณะการกระจายความเค้นในกระดูกโปร่ง จะมีลักษณะสลับไปมาระหว่างบริเวณโคนเกลียวกับสันเกลียว โดยเกิดความเค้นสะสมอยู่มากบริเวณที่เป็นสันเกลียว และจะมีความเค้นสะสมอยู่ค่อนข้างน้อยที่บริเวณที่เป็นโคนเกลียว ซึ่งบริเวณด้านบนของกระดูกรอบรากฟันเทียมฝั่งที่ได้รับแรงกระทำจากด้านหน้า (A) จะมีค่าความเค้นสูงสุด เท่ากับ 8.84 N/mm^2 ส่วนบริเวณส่วนล่างของกระดูกโปร่งรอบรากฟันเทียมฝั่งตรงข้ามที่ได้รับแรงกระทำจากด้านหน้า (C) จะเป็นอีกบริเวณหนึ่งที่มีความเค้นสะสมอยู่มาก เช่นกัน โดยจะมีความเค้นอยู่ที่ 8.57 N/mm^2



ก) ข)

รูปที่ 4.18 การกระจายความเค้นของกระดูกโปร่งเกลียววีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม.
ก) ภาพตัดขวางของกระดูกโปร่ง ข) ภาพ ISO ของกระดูกโปร่ง

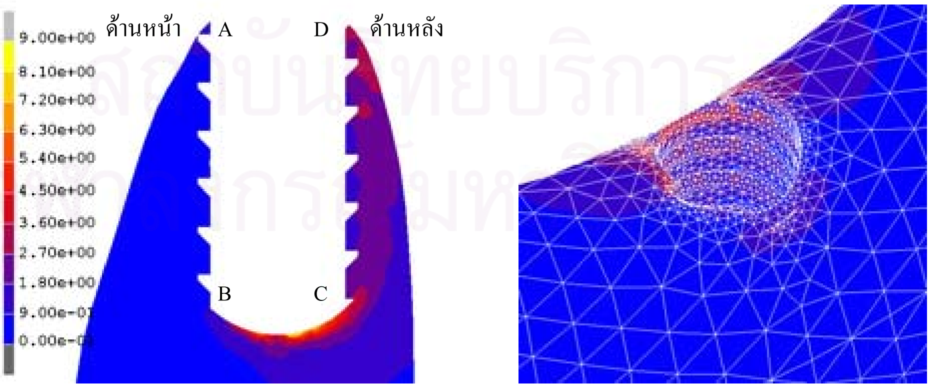
- เกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม. จากรูปที่ 4.19 ก) และ ข) ลักษณะการกระจายความเค้นในกระดูกโปร่ง จะมีลักษณะสลับไปมาระหว่างบริเวณโคนเกลียวกับสันเกลียว โดยเกิดความเค้นสะสมอยู่มากบริเวณที่เป็นสันเกลียว และจะมีความเค้นสะสมอยู่ค่อนข้างน้อยที่บริเวณที่เป็นโคนเกลียว ซึ่งบริเวณด้านบนของกระดูกรอบรากฟันเทียมฝั่งตรงข้ามที่ได้รับแรงกระทำจากด้านหน้า (D) จะมีค่าความเค้นสูงสุด เท่ากับ 8.81 N/mm^2 ส่วนบริเวณส่วนล่างของกระดูกโปร่งรอบรากฟันเทียมฝั่งตรงข้ามที่ได้รับแรงกระทำจากด้านหน้า (C) จะเป็นอีกบริเวณหนึ่งที่มีความเค้นสะสมอยู่มาก เช่นกัน โดยจะมีความเค้นอยู่ที่ 4.75 N/mm^2



ก) ข)

รูปที่ 4.19 การกระจายความเค้นของกระดูกโปร่งเกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม.
ก) ภาพตัดขวางของกระดูกโปร่ง ข) ภาพ ISO ของกระดูกโปร่ง

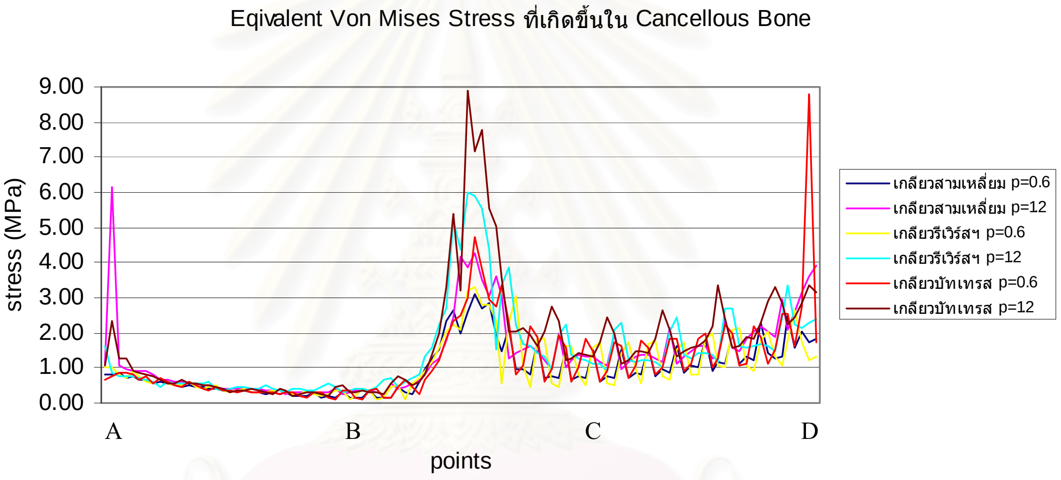
- เกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม. จากรูปที่ 4.20 ก) และ ข) ลักษณะการกระจายความเค้นในกระดูกโปร่ง จะมีลักษณะสลับไปมาระหว่างบริเวณโคนเกลียวกับสันเกลียว โดยเกิดความเค้นสะสมอยู่มากบริเวณที่เป็นสันเกลียว และจะมีความเค้นสะสมอยู่ค่อนข้างน้อยที่บริเวณที่เป็นโคนเกลียว ซึ่งบริเวณด้านล่างของกระดูกรอบรากฟันเทียมฝั่งตรงข้ามที่ได้รับแรงกระทำจากด้านหน้า (C) จะมีค่าความเค้นสูงสุด เท่ากับ 8.90 N/mm^2 ส่วนบริเวณส่วนบนของกระดูกโปร่งรอบรากฟันเทียมฝั่งตรงข้ามที่ได้รับแรงกระทำจากด้านหน้า (D) จะเป็นอีกบริเวณหนึ่งที่มีความเค้นสะสมอยู่มาก เช่นกัน โดยจะมีความเค้นอยู่ที่ 83.33 N/mm^2



ก) ข)

รูปที่ 4.20 การกระจายความเค้นของกระดูกโปร่งเกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม.
ก) ภาพตัดขวางของกระดูกโปร่ง ข) ภาพ ISO ของกระดูกโปร่ง

จากลักษณะและรูปแบบของความเค้นที่เกิดขึ้นในกระดูกโปร่งนั้น เมื่อพิจารณากราฟจากรูปที่ 4.21 จะมีลักษณะสลับไปมาที่บริเวณโคนเกลียวและบริเวณสันเกลียว ซึ่งจะเกิดความเค้นสะสมมากบริเวณสันเกลียวและจะเกิดความเค้นสะสมค่อนข้างน้อยบริเวณโคนเกลียว โดยความเค้นสูงสุดจะที่บริเวณขอบด้านบนและบริเวณด้านล่างของกระดูกเสียเป็นส่วนใหญ่ และบริเวณส่วนล่างของกระดูกรอบรากฟันเทียม(B-C) จะเป็นจุดที่ได้รับความเสียหายมากที่สุด โดยในแบบจำลองเกลียวบัทเทรส ระยะความห่างเกลียว 1.2 มม. จะเกิดความเค้นสะสมสูงสุด มากที่สุดคือ 8.90 N/mm^2 และในแบบจำลองเกลียวสามเหลี่ยมและเกลียววีเวิร์สบัทเทรส ระยะความห่างเกลียว 0.6 มม. จะเกิดความเค้นสะสมสูงสุด น้อยที่สุด คือ 3.13 N/mm^2



รูปที่ 4.21 Eqivalent Von Mises Stress ที่เกิดขึ้นใน Cancellous Bone

ตารางที่ 4.2 ความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุด ที่บริเวณต่างๆ ของแบบจำลองรากฟันเทียม

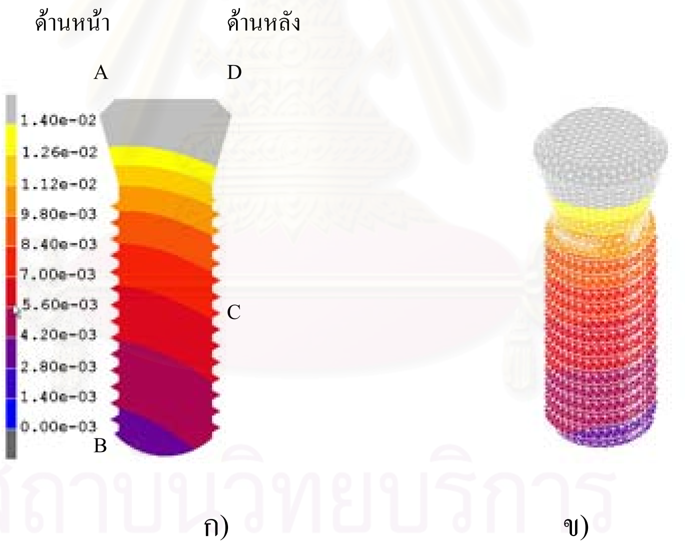
ลำดับ	แบบจำลอง	ความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุด (N/mm^2)					
		เกลียวสามเหลี่ยม		เกลียววีเวิร์สบัทเทรส		เกลียวบัทเทรส	
		pitch 0.6 mm.	pitch 1.2 mm.	pitch 0.6 mm.	pitch 1.2 mm.	pitch 0.6 mm.	pitch 1.2 mm.
1	รากฟันเทียม	90.38	102.93	97.35	98.39	92.56	93.36
2	กระดูกแข็ง	15.92	55.55	15.01	26.16	15.04	50.63
3	กระดูกโปร่ง	3.13	6.14	3.31	8.84	8.81	8.90

4.2.3 ค่าการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแบบจำลอง

สำหรับบรรทัดฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของแบบจำลองรากฟันเทียม คือ ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นบนตัวรากฟันเทียมนั้นต้องมีค่าไม่เกินจุดครากของไทเทเนียม ส่วนค่าความเค้นในกระดูกรอบรากฟันเทียมนั้นต้องมีค่าไม่เกินกว่าค่ากำลังวัสดุ (Strength of Material) ของกระดูกทึบและกระดูกโปร่งซึ่งได้จากการทดสอบของ Reilly และ Burstein (1975) ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์มีดังต่อไปนี้

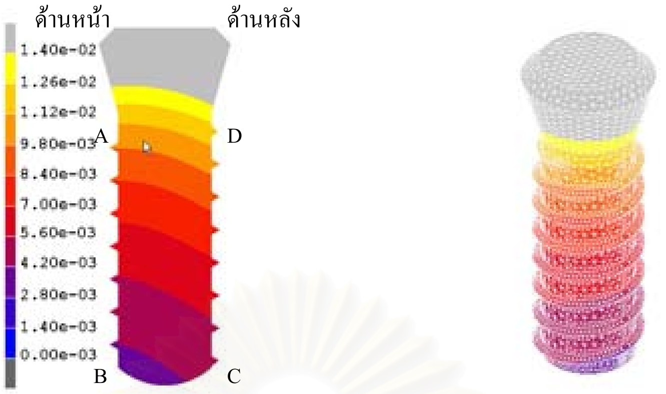
1) ผลที่เกิดขึ้นในรากฟันเทียม

- เกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 0.6 มม. จากรูปที่ 4.22 ก) และ ข) ลักษณะการเคลื่อนตัวของรากฟันเทียมนั้นจะมีความสัมพันธ์กับความเค้นที่เกิดขึ้นนั่นคือการเคลื่อนตัว จะมีมากที่บริเวณส่วนบนของรากฟันเทียมซึ่งเป็นจุดที่ได้รับแรงโดยตรง ซึ่งจะมีค่าการเคลื่อนที่สูงสุดที่ประมาณ 0.01224 มิลลิเมตร โดยที่ตำแหน่งส่วนล่างของรากฟันเทียมแทบจะไม่มีการเคลื่อนตัวเลย



รูปที่ 4.22 การเคลื่อนที่ของรากฟันเทียม เกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 0.6 มม.
ก) ภาพตัดขวางของรากฟันเทียม ข) ภาพ ISO ของรากฟันเทียม

- เกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 1.2 มม. จากรูปที่ 4.23 ก) และ ข) ลักษณะการเคลื่อนตัวของรากฟันเทียมนั้นจะมีความสัมพันธ์กับความเค้นที่เกิดขึ้นนั่นคือการเคลื่อน จะมีมากที่บริเวณส่วนบนของรากฟันเทียมซึ่งเป็นจุดที่ได้รับแรงโดยตรง ซึ่งจะมีค่าการเคลื่อนที่สูงสุดที่ประมาณ 0.01319 มิลลิเมตร โดยที่ตำแหน่งส่วนล่างของรากฟันเทียมแทบจะไม่มีการเคลื่อนตัวเลย

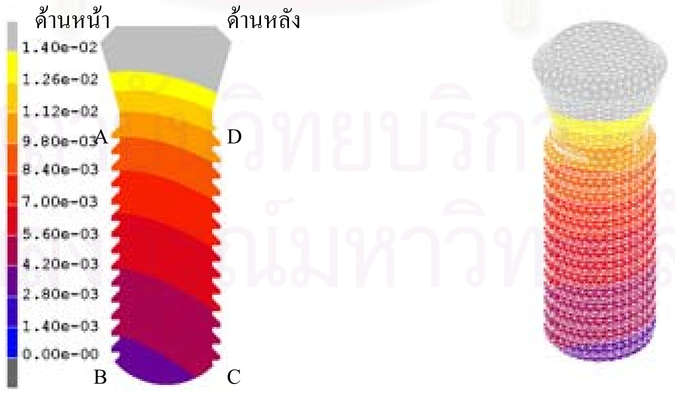


ก) ข)

รูปที่ 4.23 การเคลื่อนที่ของรากฟันเทียม เกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 1.2 มม.

ก) ภาพตัดขวางของรากฟันเทียม ข) ภาพ ISO ของรากฟันเทียม

- เกลียววีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม. จากรูปที่ 4.24 ก) และ ข) ลักษณะการเคลื่อนตัวของรากฟันเทียมนั้นจะมีความสัมพันธ์กับความเค้นที่เกิดขึ้นนั่นคือการเคลื่อนจะมีมากที่บริเวณส่วนบนของรากฟันเทียมซึ่งเป็นจุดที่ได้รับแรงโดยตรง ซึ่งจะมีค่าการเคลื่อนที่สูงสุดที่ประมาณ 0.01237 มิลลิเมตร โดยที่ตำแหน่งส่วนล่างของรากฟันเทียมแทบจะไม่มีการเคลื่อนตัวเลย

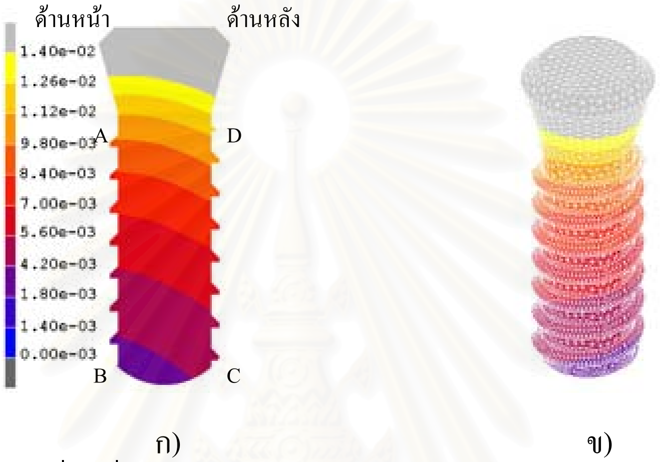


ก) ข)

รูปที่ 4.24 การเคลื่อนที่ของรากฟันเทียม เกลียววีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม.

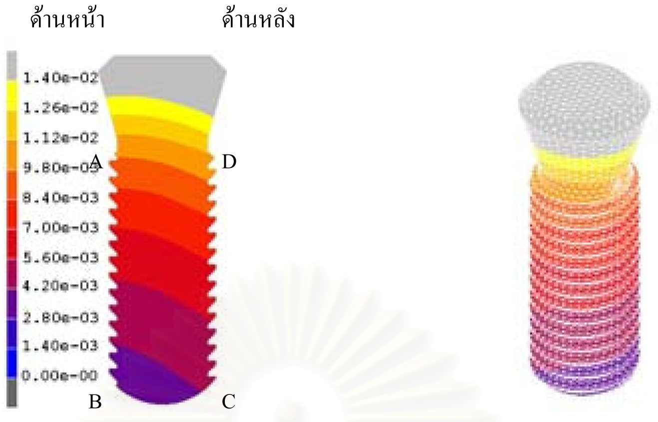
ก) ภาพตัดขวางของรากฟันเทียม ข) ภาพ ISO ของรากฟันเทียม

- เกลียววีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม. จากรูปที่ 4.25 ก) และ ข) ลักษณะการเคลื่อนตัวของรากฟันเทียมนั้น จะมีความสัมพันธ์กับความเค้นที่เกิดขึ้นนั่นคือการเคลื่อนจะมีมากที่บริเวณส่วนบนของรากฟันเทียมซึ่งเป็นจุดที่ได้รับแรงโดยตรง ซึ่งจะมีค่าการเคลื่อนที่สูงสุดที่ประมาณ 0.01258 มิลลิเมตร โดยที่ตำแหน่งส่วนล่างของรากฟันเทียมแทบจะไม่มีการเคลื่อนตัวเลย



รูปที่ 4.25 การเคลื่อนที่ของรากฟันเทียม เกลียววีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม.
ก) ภาพตัดขวางของรากฟันเทียม ข) ภาพ ISO ของรากฟันเทียม

- เกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม. จากรูปที่ 4.26 ก) และ ข) ลักษณะการเคลื่อนตัวของรากฟันเทียมนั้นจะมีความสัมพันธ์กับความเค้นที่เกิดขึ้นนั่นคือการเคลื่อนจะมีมากที่บริเวณส่วนบนของรากฟันเทียมซึ่งเป็นจุดที่ได้รับแรงโดยตรง ซึ่งจะมีค่าการเคลื่อนที่สูงสุดที่ประมาณ 0.01206 มิลลิเมตร โดยที่ตำแหน่งส่วนล่างของรากฟันเทียมแทบจะไม่มีการเคลื่อนตัวเลย

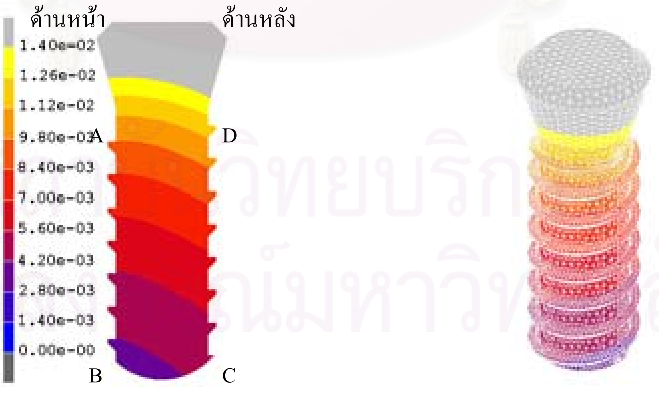


ก) ข)

รูปที่ 4.26 การเคลื่อนที่ของรากฟันเทียม เกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม.

ก) ภาพตัดขวางของรากฟันเทียม ข) ภาพ ISO ของรากฟันเทียม

- เกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม. จากรูปที่ 4.27 ก) และ ข) ลักษณะการเคลื่อนตัวของรากฟันเทียมนั้นจะมีความสัมพันธ์กับความเค้นที่เกิดขึ้นนั่นคือการเคลื่อน จะมีมากที่บริเวณส่วนบนของรากฟันเทียมซึ่งเป็นจุดที่ได้รับแรงโดยตรง ซึ่งจะมีค่าการเคลื่อนที่สูงสุดที่ประมาณ 0.01304 มิลลิเมตร โดยที่ตำแหน่งส่วนล่างของรากฟันเทียมแทบจะไม่มีการเคลื่อนตัวเลย

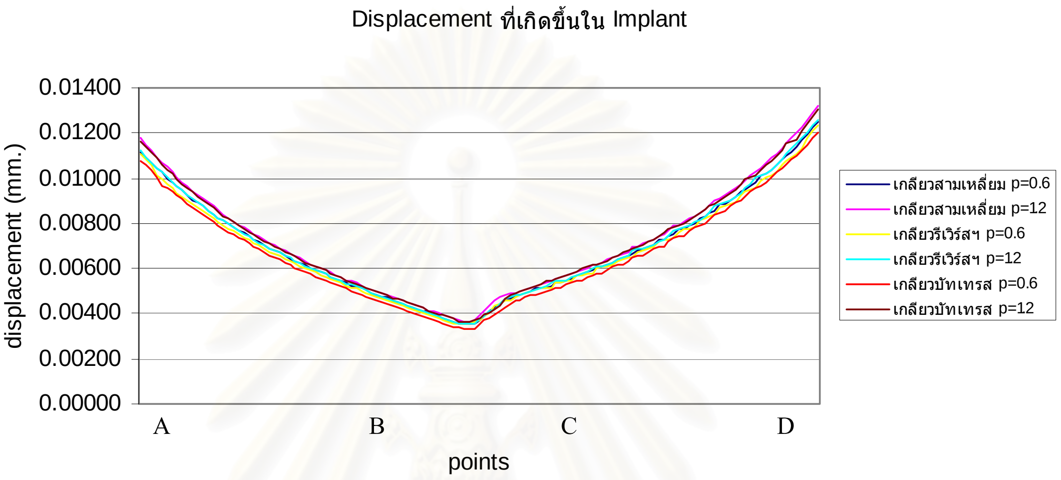


ก) ข)

รูปที่ 4.27 การเคลื่อนที่ของรากฟันเทียม เกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม.

ก) ภาพตัดขวางของรากฟันเทียม ข) ภาพ ISO ของรากฟันเทียม

จากลักษณะและรูปแบบการเคลื่อนที่ ๆ เกิดขึ้นในรากฟันเทียมนั้น เมื่อพิจารณากราฟจากรูปที่ 4.28 จะมีการเคลื่อนตัวที่บริเวณส่วนคอของรากฟันเทียมมากที่สุด(A และ D) โดยในแบบจำลองเกลียวบัทเทรส ระยะความห่างเกลียว 1.2 มม. จะเกิดการเคลื่อนตัวสูงสุด มากที่สุดคือ 0.0134 mm.

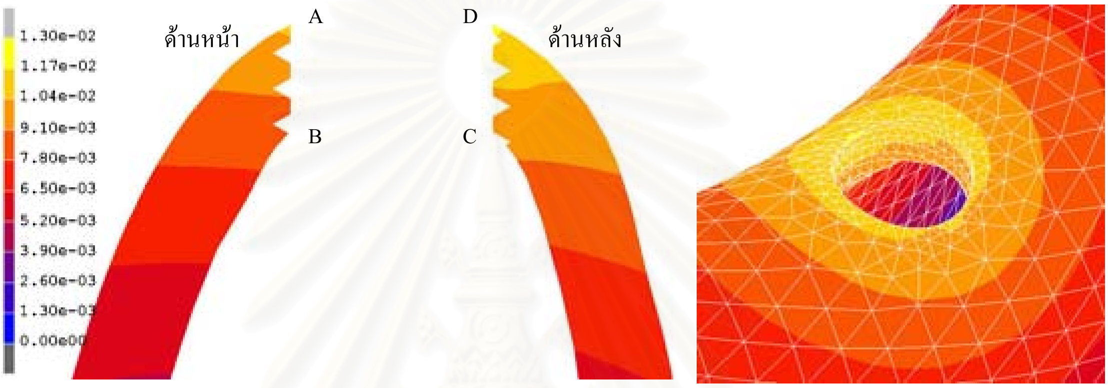


รูปที่ 4.28 การเคลื่อนที่ ๆ เกิดขึ้นในรากฟันเทียม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) ผลที่เกิดขึ้นในกระดูกแข็ง

- เกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 0.6 มม. จากรูปที่ 4.29 ก) และ ข) ลักษณะการเคลื่อนตัวของกระดูกแข็งคือจะมีลักษณะการเคลื่อนตัวเป็นวงกว้าง โดยจะมีมากที่บริเวณส่วนบนของกระดูกแข็งรอบรากฟันเทียมซึ่งเป็นจุดที่ได้รับแรงโดยตรง ซึ่งจะมีค่าการเคลื่อนที่สูงสุดที่ประมาณ 0.01196 มิลลิเมตร โดยที่ตำแหน่งส่วนล่างของกระดูกแข็งแทบจะไม่มีการเคลื่อนตัวเลย

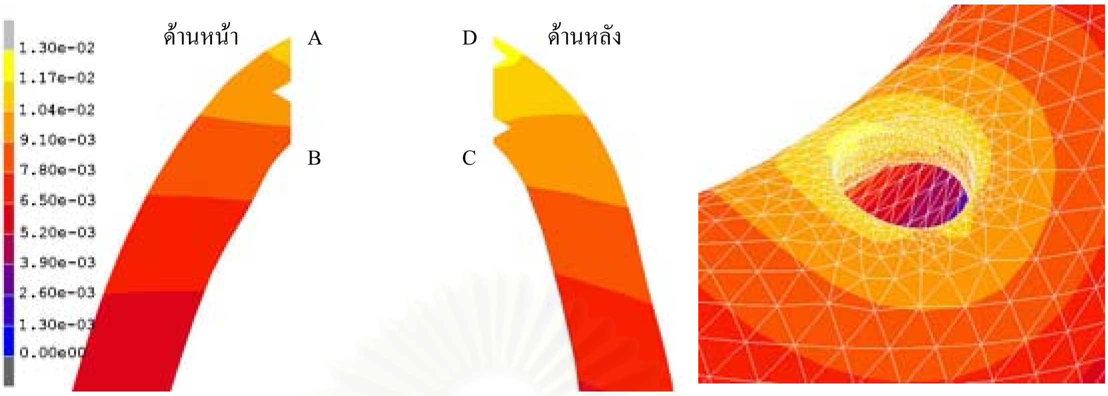


ก) ข)

รูปที่ 4.29 การเคลื่อนที่ของกระดูกแข็ง เกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 0.6 มม.
ก) ภาพตัดขวางของกระดูกแข็ง ข) ภาพ ISO ของกระดูกแข็ง

- เกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 1.2 มม. จากรูปที่ 4.30 ก) และ ข) ลักษณะการเคลื่อนตัวของกระดูกแข็งคือจะมีลักษณะการเคลื่อนตัวเป็นวงกว้าง โดยจะมีมากที่บริเวณส่วนบนของกระดูกแข็งรอบรากฟันเทียมซึ่งเป็นจุดที่ได้รับแรงโดยตรง ซึ่งจะมีค่าการเคลื่อนที่สูงสุดที่ประมาณ 0.01262 มิลลิเมตร โดยที่ตำแหน่งส่วนล่างของกระดูกแข็งแทบจะไม่มีการเคลื่อนตัวเลย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

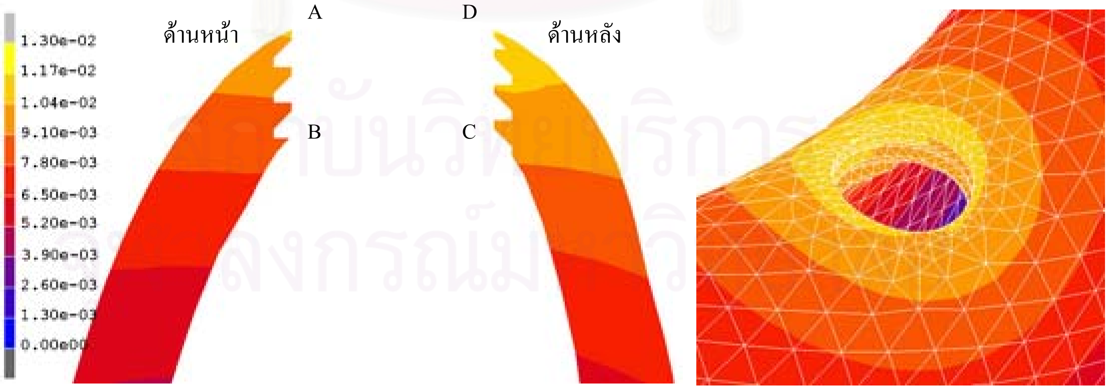


ก) ข)

รูปที่ 4.30 การเคลื่อนที่ของกระดูกแข็ง เกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 1.2 มม.

ก) ภาพตัดขวางของกระดูกแข็ง ข) ภาพ ISO ของกระดูกแข็ง

- เกลียววีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม.จากรูปที่ 4.31 ก) และ ข) ลักษณะการเคลื่อนตัวของกระดูกแข็งคือจะมีลักษณะการเคลื่อนตัวเป็นวงกว้าง โดยจะมีมากที่บริเวณส่วนบนของกระดูกแข็งรอบรากฟันเทียมซึ่งเป็นจุดที่ได้รับแรงโดยตรง ซึ่งจะมีค่าการเคลื่อนที่สูงสุดที่ประมาณ 0.01135 มิลลิเมตร โดยที่ตำแหน่งส่วนล่างของกระดูกแข็งแทบจะไม่มีการเคลื่อนตัวเลย

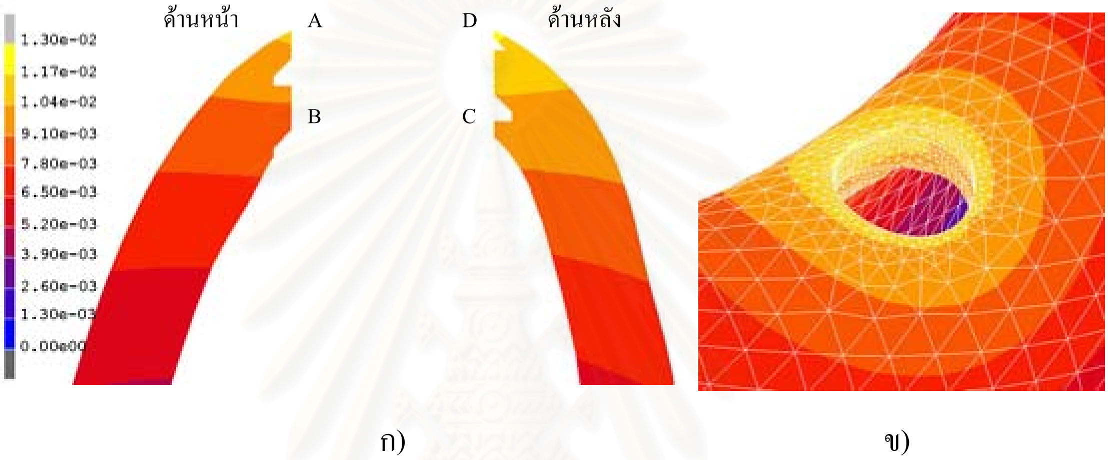


ก) ข)

รูปที่ 4.31 การเคลื่อนที่ของกระดูกแข็ง เกลียววีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม.

ก) ภาพตัดขวางของกระดูกแข็ง ข) ภาพ ISO ของกระดูกแข็ง

- เกลียววีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม.จากรูปที่ 4.32 ก) และ ข) ลักษณะการเคลื่อนตัวของกระดูกแข็งคือจะมีลักษณะการเคลื่อนตัวเป็นวงกว้าง โดยจะมีมากที่บริเวณส่วนบนของกระดูกแข็งรอบรากฟันเทียมซึ่งเป็นจุดที่ได้รับแรงโดยตรง ซึ่งจะมีค่าการเคลื่อนที่สูงสุดที่ประมาณ 0.01205 มิลลิเมตร โดยที่ตำแหน่งส่วนล่างของกระดูกแข็งแทบจะไม่มีการเคลื่อนตัวเลย

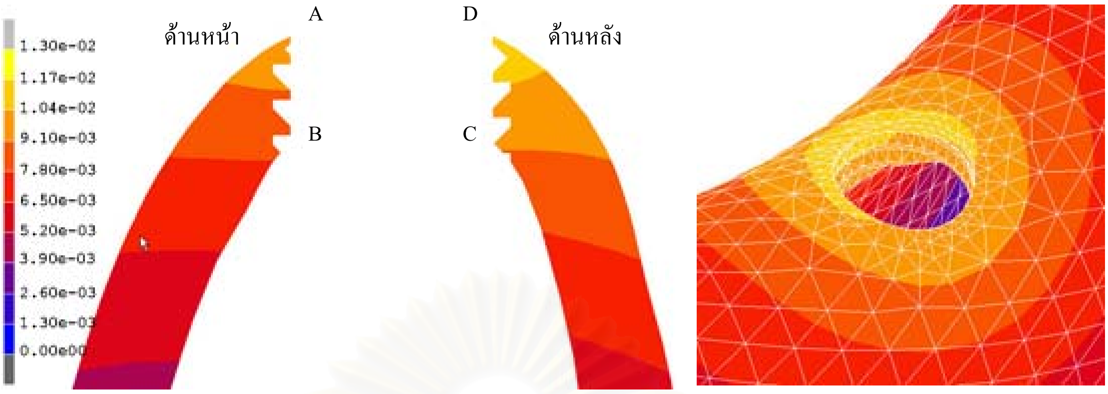


รูปที่ 4.32 การเคลื่อนที่ของกระดูกแข็ง เกลียววีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม.

ก) ภาพตัดขวางของกระดูกแข็ง ข) ภาพ ISO ของกระดูกแข็ง

- เกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม.จากรูปที่ 4.33 ก) และ ข)ลักษณะการเคลื่อนตัวของกระดูกแข็งคือจะมีลักษณะการเคลื่อนตัวเป็นวงกว้าง โดยจะมีมากที่บริเวณส่วนบนของกระดูกแข็งรอบรากฟันเทียมซึ่งเป็นจุดที่ได้รับแรงโดยตรง ซึ่งจะมีค่าการเคลื่อนที่สูงสุดที่ประมาณ 0.01154 มิลลิเมตร โดยที่ตำแหน่งส่วนล่างของกระดูกแข็งแทบจะไม่มีการเคลื่อนตัวเลย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

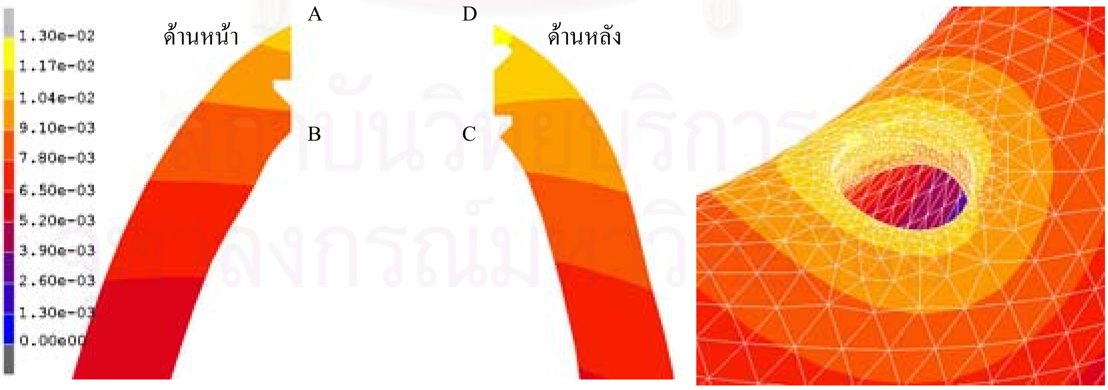


ก) ข)

รูปที่ 4.33 การเคลื่อนที่ของกระดูกแข็ง เกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม.

ก) ภาพตัดขวางของกระดูกแข็ง ข) ภาพ ISO ของกระดูกแข็ง

- เกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม.จากรูปที่ 4.34 ก) และ ข)ลักษณะการเคลื่อนตัวของกระดูกแข็งคือจะมีลักษณะการเคลื่อนตัวเป็นวงกว้าง โดยจะมีมากที่บริเวณส่วนบนของกระดูกแข็งรอบรากฟันเทียมซึ่งเป็นจุดที่ได้รับแรงโดยตรง ซึ่งจะมีค่าการเคลื่อนที่สูงสุดที่ประมาณ 0.01252 มิลลิเมตร โดยที่ตำแหน่งส่วนล่างของกระดูกแข็งแทบจะไม่มีการเคลื่อนตัวเลย



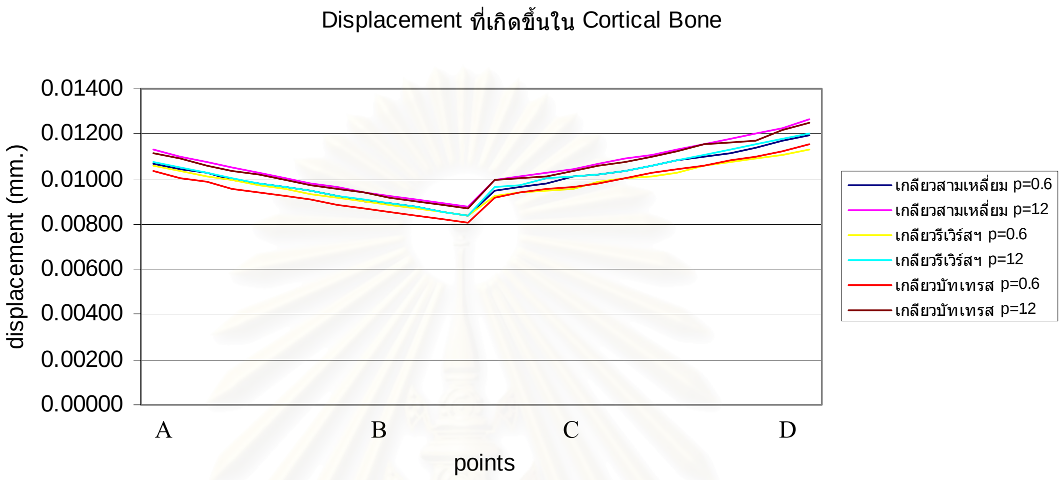
ก) ข)

รูปที่ 4.34 การเคลื่อนที่ของกระดูกแข็ง เกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม.

ก) ภาพตัดขวางของกระดูกแข็ง ข) ภาพ ISO ของกระดูกแข็ง

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

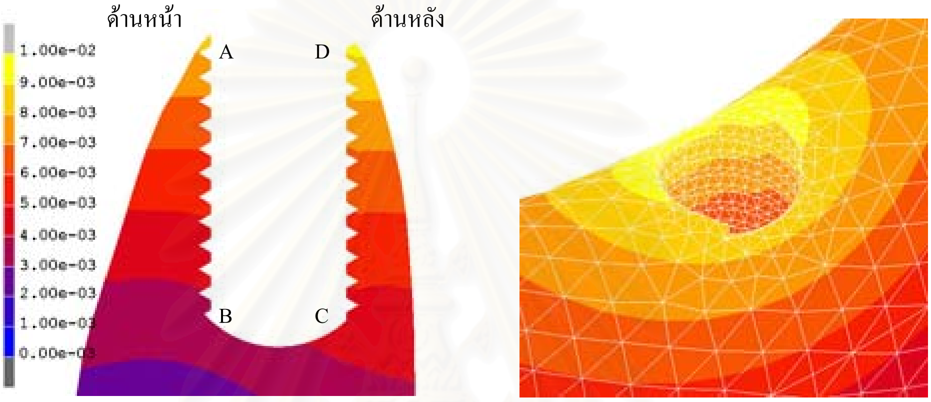
จากลักษณะและรูปแบบการเคลื่อนที่ ๆ เกิดขึ้นในกระดูกแข็งนั้น เมื่อพิจารณากราฟจากรูปที่ 4.35 จะมีการเคลื่อนตัวที่บริวณขอบด้านบนของกระดูกรอบรากฟันเทียมมากที่สุด(A และ D) โดยในแบบจำลองเกลียวบัทเทรส ระยะความห่างเกลียว 1.2 มม. จะเกิดการเคลื่อนตัวสูงสุด มากที่สุด คือ 0.01252 mm.



รูปที่ 4.35 การเคลื่อนที่ ๆ เกิดขึ้นในกระดูกแข็ง

3) ผลที่เกิดขึ้นในกระดูกโปร่ง

- เกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 0.6 มม.จากรูปที่ 4.36 ก) และ ข) ลักษณะการเคลื่อนตัวของกระดูกโปร่งคือจะมีลักษณะการเคลื่อนตัวเป็นวงกว้าง โดยจะมีมากที่บริเวณส่วนบนของกระดูกโปร่งรอบรากฟันเทียมซึ่งเป็นจุดที่ได้รับแรงโดยตรง ซึ่งจะมีค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดที่ประมาณ 0.00932 มิลลิเมตร โดยที่ตำแหน่งส่วนล่างของกระดูกโปร่งแทบจะไม่มีการเคลื่อนตัวเลย



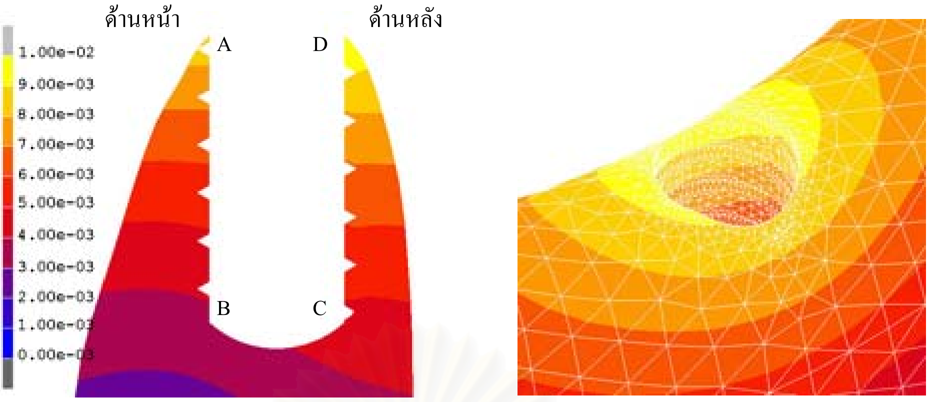
ก) ข)

รูปที่ 4.36 การเคลื่อนที่ของกระดูกโปร่ง เกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 0.6 มม.

ก) ภาพตัดขวางของกระดูกโปร่ง ข) ภาพ ISO ของกระดูกโปร่ง

- เกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 1.2 มม.จากรูปที่ 4.37 ก) และ ข) ลักษณะการเคลื่อนตัวของกระดูกโปร่งคือจะมีลักษณะการเคลื่อนตัวเป็นวงกว้าง โดยจะมีมากที่บริเวณส่วนบนของกระดูกโปร่งรอบรากฟันเทียมซึ่งเป็นจุดที่ได้รับแรงโดยตรง ซึ่งจะมีค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดที่ประมาณ 0.00979 มิลลิเมตร โดยที่ตำแหน่งส่วนล่างของกระดูกแทบโปร่งจะไม่มีการเคลื่อนตัวเลย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

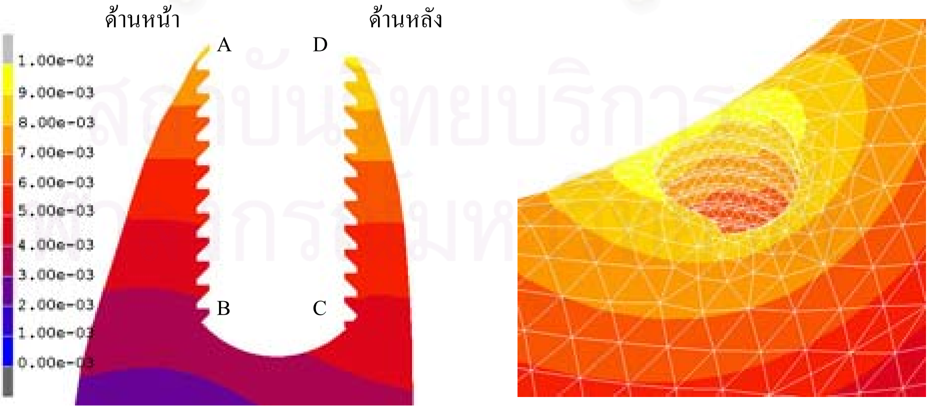


ก) ข)

รูปที่ 4.37 การเคลื่อนที่ของกระดูกโปร่ง เกลียวสามเหลี่ยม ความห่างเกลียว 1.2 มม.

ก) ภาพตัดขวางของกระดูกโปร่ง ข) ภาพ ISO ของกระดูกโปร่ง

- เกลียววีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม.จากรูปที่ 4.38 ก) และ ข) ลักษณะการเคลื่อนตัวของกระดูกโปร่งคือจะมีลักษณะการเคลื่อนตัวเป็นวงกว้าง โดยจะมีมากที่บริเวณส่วนบนของกระดูกโปร่งรอบรากฟันเทียมซึ่งเป็นจุดที่ได้รับแรงโดยตรง ซึ่งจะมีค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดที่ประมาณ 0.00914 มิลลิเมตร โดยที่ตำแหน่งส่วนล่างของกระดูกโปร่งแทบจะไม่มีการเคลื่อนตัวเลย

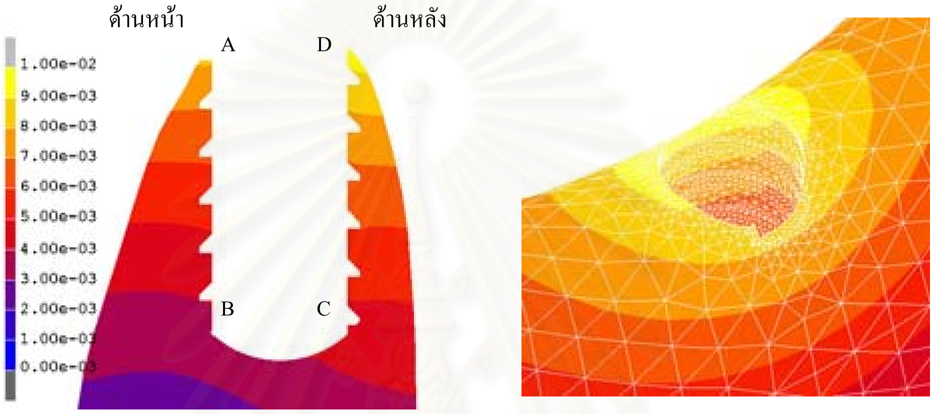


ก) ข)

รูปที่ 4.38 การเคลื่อนที่ของกระดูกโปร่ง เกลียววีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม.

ก) ภาพตัดขวางของกระดูกโปร่ง ข) ภาพ ISO ของกระดูกโปร่ง

- เกลียววีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม.จากรูปที่ 4.39 ก) และ ข) ลักษณะการเคลื่อนตัวของกระดูกโปร่งคือจะมีลักษณะการเคลื่อนตัวเป็นวงกว้าง โดยจะมีมากที่บริเวณส่วนบนของกระดูกโปร่งรอบรากฟันเทียมซึ่งเป็นจุดที่ได้รับแรงโดยตรง ซึ่งจะมีค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดที่ประมาณ 0.00940 มิลลิเมตร โดยที่ตำแหน่งส่วนล่างของกระดูกโปร่งแทบจะไม่มีการเคลื่อนตัวเลย

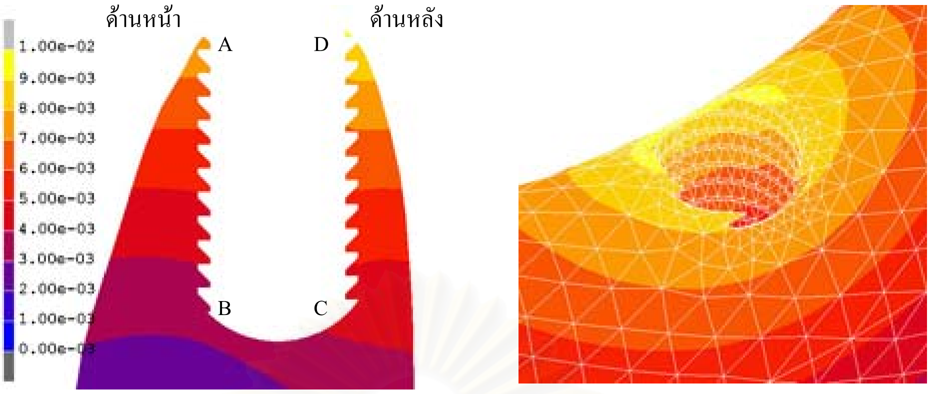


ก) ข)

รูปที่ 4.39 การเคลื่อนที่ของกระดูกโปร่ง เกลียววีเวิร์สบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม.

ก) ภาพตัดขวางของกระดูกโปร่ง ข) ภาพ ISO ของกระดูกโปร่ง

- เกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม.จากรูปที่ 4.40 ก) และ ข) ลักษณะการเคลื่อนตัวของกระดูกโปร่งคือจะมีลักษณะการเคลื่อนตัวเป็นวงกว้าง โดยจะมีมากที่บริเวณส่วนบนของกระดูกโปร่งรอบรากฟันเทียมซึ่งเป็นจุดที่ได้รับแรงโดยตรง ซึ่งจะมีค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดที่ประมาณ 0.00897 มิลลิเมตร โดยที่ตำแหน่งส่วนล่างของกระดูกโปร่งแทบจะไม่มีการเคลื่อนตัวเลย

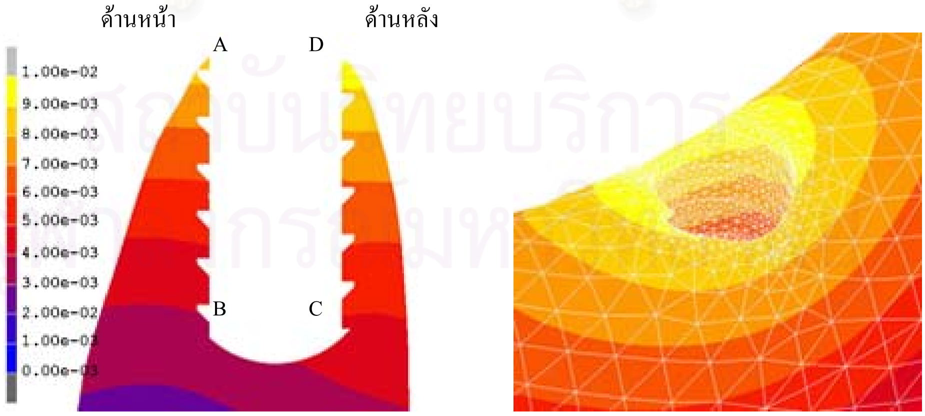


ก) ข)

รูปที่ 4.40 การเคลื่อนที่ของกระดูกโปร่ง เกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 0.6 มม.

ก) ภาพตัดขวางของกระดูกโปร่ง ข) ภาพ ISO ของกระดูกโปร่ง

- เกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม.จากรูปที่ 4.41 ก) และ ข)ลักษณะการเคลื่อนตัวของกระดูกโปร่งคือจะมีลักษณะการเคลื่อนตัวเป็นวงกว้าง โดยจะมีมากที่บริเวณส่วนบนของกระดูกโปร่งรอบรากฟันเทียมซึ่งเป็นจุดที่ได้รับแรงโดยตรง ซึ่งจะมีค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดที่ประมาณ 0.00969 มิลลิเมตร โดยที่ตำแหน่งส่วนล่างของกระดูกโปร่งแทบจะไม่มีการเคลื่อนตัวเลย

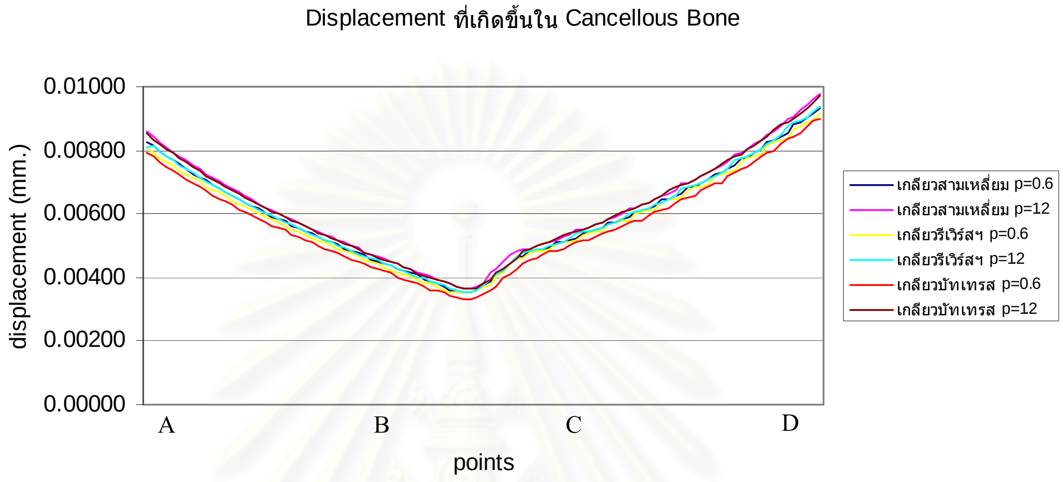


ก) ข)

รูปที่ 4.41 การเคลื่อนที่ของกระดูกโปร่ง เกลียวบัทเทรส ความห่างเกลียว 1.2 มม.

ก) ภาพตัดขวางของกระดูกโปร่ง ข) ภาพ ISO ของกระดูกโปร่ง

จากลักษณะและรูปแบบการเคลื่อนที่ ๆ เกิดขึ้นในรากฟันเทียมนั้น เมื่อพิจารณากราฟจากรูปที่ 4.42 จะมีการเคลื่อนตัวที่บริวณส่วนคอของรากฟันเทียมมากที่สุด(A และ C) โดยในแบบจำลองเกลียวบัทเทรส ระยะความห่างเกลียว 1.2 มม. จะเกิดการเคลื่อนตัวสูงสุด มากที่สุดคือ 0.00969 mm.



รูปที่ 4.42 การเคลื่อนที่ ๆ เกิดขึ้นในกระดูกโปร่ง

ตารางที่ 4.3 การเคลื่อนตัวสูงสุด ที่บริเวณต่างๆ ของแบบจำลองรากฟันเทียม

ลำดับ	แบบจำลอง	การเคลื่อนตัวสูงสุด (mm)					
		เกลียวสามเหลี่ยม		เกลียววีเวิร์สบัทเทรส		เกลียวบัทเทรส	
		pitch 0.6 mm.	pitch 1.2 mm.	pitch 0.6 mm.	pitch 1.2 mm.	pitch 0.6 mm.	pitch 1.2 mm.
1	รากฟันเทียม	0.01250	0.01319	0.01237	0.01258	0.01178	0.01304
2	กระดูกแข็ง	0.01196	0.01262	0.01135	0.01205	0.01154	0.01252
3	กระดูกโปร่ง	0.00932	0.00979	0.00914	0.00940	0.00897	0.00969

จากผลการคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์แสดงให้เห็นว่า จากข้อมูลของกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.1 – 4.20 แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ที่เหมือนกันของความเค้นที่เกิดขึ้นกับกระดูกรอบบริเวณของรากฟันเทียม คือ ความเค้นจะมีมากที่สุดบริเวณสันเกลียวด้านบนของรากฟันเทียมและจะลดลงจนถึงจุดต่ำสุดเมื่อกระดูกยึดติดกับโคนเกลียว ดังนั้นเมื่อมีความถี่ของเกลียวมากขึ้น (ระยะ pitch ของเกลียวมีค่าต่ำ) จะพบว่ามีการสลับของความเค้นเกิดขึ้นถี่มากตามความถี่ของระยะ pitch เกลียว ในทางกลับกันเมื่อความถี่ของเกลียวมีค่าต่ำ (ระยะ pitch ของเกลียวมีค่าสูง) จะพบว่ามีการสลับของ stress ที่เกิดขึ้นมีความถี่น้อยที่สุด

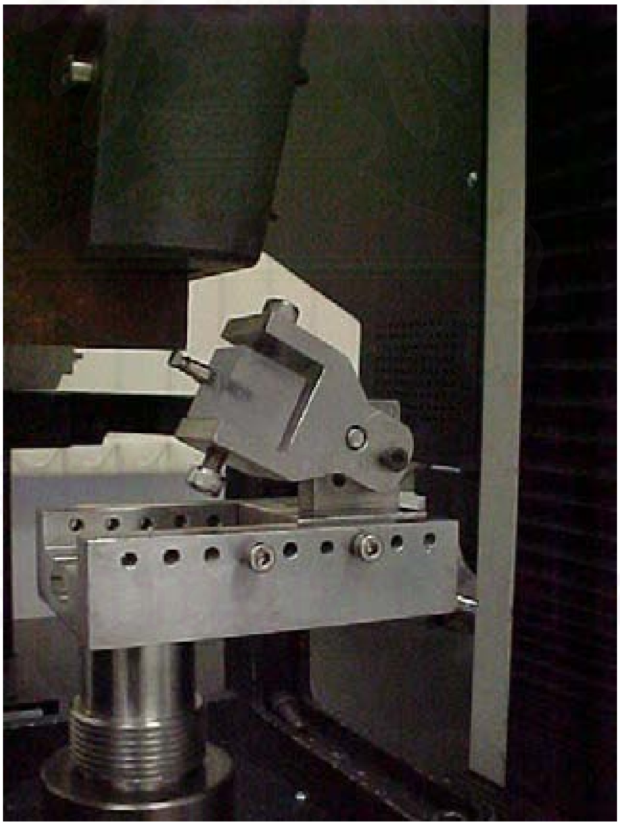
จากลักษณะและรูปแบบของความเค้นที่เกิดขึ้นในกระดูกแข็งนั้น จะมีลักษณะสลับไปมาที่บริเวณโคนเกลียวและบริเวณสันเกลียว ซึ่งจะเกิดความเค้นสะสมมากบริเวณสันเกลียวและจะเกิดวามเค้นสะสมค่อนข้างน้อยบริเวณสันเกลียว โดยความเค้นสูงสุดจะที่บริเวณขอบด้านบนของกระดูกเสียเป็นส่วนใหญ่ และบริเวณส่วนบนของกระดูกรอบรากฟันเทียมฝั่งตรงข้ามที่ได้รับแรงกระทำจากด้านหน้าจะเป็นจุดที่ได้รับความเสียหายมากที่สุด

เมื่อดูแนวโน้มของ stress นั้นจะขึ้นอยู่กับความถี่ของเกลียว ซึ่ง stress จะสลับไปมาตามระยะ pitch นอกจากนั้นหากพิจารณาแล้วจะเห็นว่า เมื่อรากฟันเทียมมีระยะ pitch ที่มากขึ้นก็จะเกิด stress บริเวณกระดูกมากยิ่งขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงของระยะ pitch ส่วนลักษณะรูปแบบของเกลียวที่ใช้ทดสอบนั้น พบว่าเกลียวชนิดรีเวิร์สบัสเทรส จะเกิดความเค้นกระจายอยู่ในบริเวณกระดูกแข็งและกระกระดูกโปร่งน้อยที่สุด ส่วนเกลียวชนิดบัสเทรสจะเกิดความเค้นกระจายอยู่ในบริเวณกระดูกแข็งและกระกระดูกโปร่งมากที่สุด ดังนั้นรูปแบบของรากฟันเทียมที่เหมาะสมคือเป็นเกลียวชนิดรีเวิร์สบัสเทรส ที่มีระยะความห่างเกลียว 1.2 มม.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

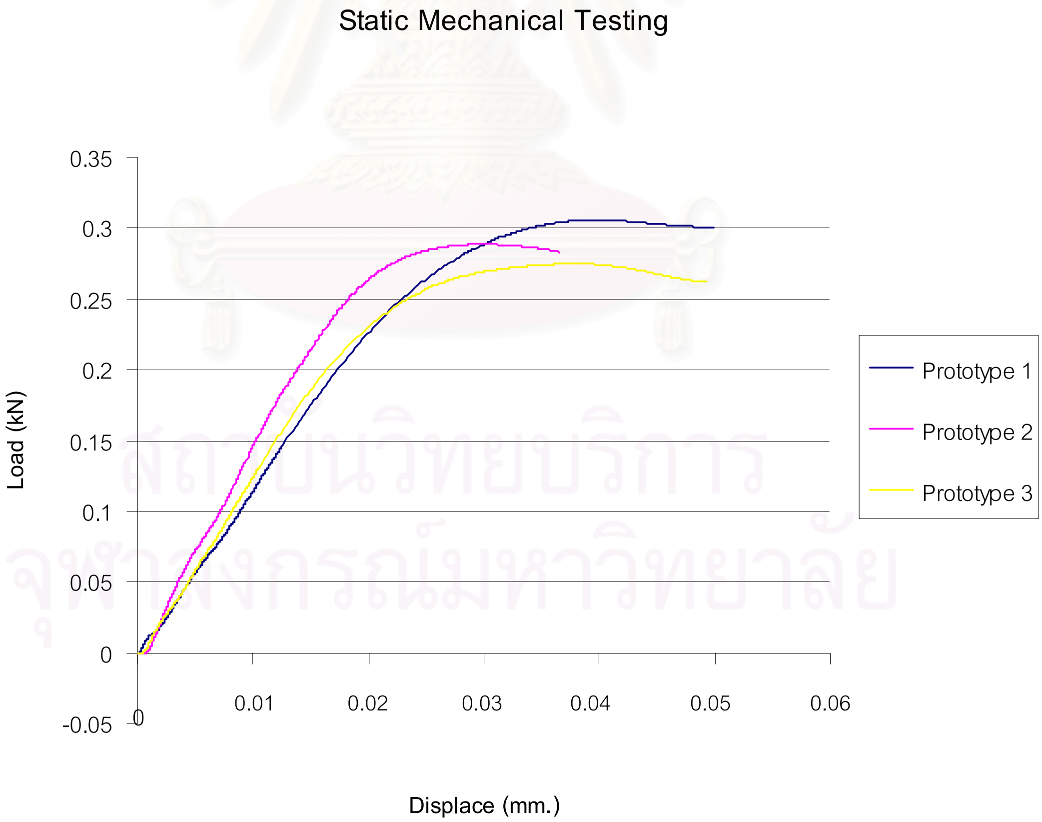
4.3 ผลการทดสอบทางกลของรากฟันเทียม

จากรูปที่ 4.43 ได้ทดสอบทางกล ด้วยวิธีการกดบนเครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกลแบบเอนกประสงค์ ที่ห้องปฏิบัติการทดสอบสมบัติทางกล ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติซึ่งผลที่ได้นั้น พบว่าค่าต่างๆมีความใกล้เคียง และกราฟจากรูปที่ 4.45 ที่ได้มีความชันของกราฟแต่ละเส้นไม่แตกต่างกัน และเมื่อดูผลการทดลองจากตารางที่ 4.4 การเคลื่อนตัวของแบบทดสอบมีค่าที่ใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ ซึ่งผลที่ได้นั้นแตกต่างกันอาจเป็นเพราะขั้นตอนในการเตรียมชิ้นงานมีองศาที่ได้ต่างกันหลังการเทเรซิน ซึ่งเป็นผลทำให้องศาของรากฟันเทียมในเรซินมีความแตกต่าง ซึ่งส่งผลต่อค่าคุณสมบัติทางกลที่แสดงในกราฟได้ด้วย นอกจากนี้วัสดุที่ใช้ผลิตเป็นประเภทเดียวกันคือ Cp (Commercially pure) Ti grade 4 ทำให้ค่าคุณสมบัติทางกลที่ได้ไม่ควรจะแตกต่างกันเช่นกัน ดังนั้นเราอาจสรุปได้ว่าผลการทดลองที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้เคียงกัน สามารถใช้งานได้ไม่แตกต่างกัน โดยในทางปฏิบัติสิ่งที่แตกต่างกันนี้ไม่มีผลเท่าใดนักในการใช้งานจริง



รูปที่ 4.43 เปรียบเทียบ Load ที่กระทำกับ Displacement บนแบบจำลอง

รูปที่ 4.44 แบบจำลองเมื่อผ่านการทดสอบทางกล



รูปที่ 4.45 เปรียบเทียบ Load ที่กระทำกับ Displacement บนแบบจำลอง

ตารางที่ 4.4 การเคลื่อนตัว ของแบบทดสอบรากฟันเทียมที่ Load 150 N

Type of Implant	Load (kN)	Displacement (mm.)
1. Prototype 1	0.15	0.01297
2. Prototype 2	0.15	0.0104
3. Prototype 3	0.15	0,0122

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงอุตสาหกรรม

ความหมายของความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงอุตสาหกรรม คือ กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการลงทุนเพื่อผลิตสินค้าหรือบริการ โดยมุ่งหวังจะได้รับผลประโยชน์ตอบแทนในอนาคตจากการลงทุนนั้นๆ ในช่วงเวลาที่มีการลงทุน การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการเป็นเพียงขั้นตอนในระยะก่อนการลงทุนของวงจรการพัฒนาโครงการ (Project development cycle) ซึ่งเป็นวงจรที่บอกขั้นตอนที่บอกการดำเนินงานต่างๆ ในการบริหารโครงการเป็นลำดับขั้น ตั้งแต่ความคิดที่จะมีโครงการจนกระทั่งระยะเริ่มดำเนินการผลิต

ในการศึกษาลู่ทางความเป็นไปได้ในการจัดตั้งโรงงานนี้ ทางผู้ที่จะลงทุนจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการศึกษาเป็นจำนวนหนึ่ง แต่ยังเป็นจำนวนน้อยมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเทียบกับปริมาณการสูญเสียในด้านเงินทองและเวลาที่อาจเกิดขึ้นได้ หากลงทุนตั้งโรงงานไปโดยไม่ได้ศึกษาพิจารณาให้ถี่ถ้วนเสียก่อน การศึกษาถึงลู่ทางเป็นไปได้ของโครงการว่าจะเหมาะสมหรือไม่นั้น จะช่วยป้องกันมิให้ผู้ที่จะลงทุน หรือเจ้าของโครงการอุตสาหกรรมต้องสูญเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการลงทุนในโครงการมากขึ้นไปอีก ทั้งนี้หากผลของการศึกษาได้ชี้ให้เห็นว่าโรงงานอุตสาหกรรมนี้หากลงทุนตั้งไปก็จะมีแต่จะขาดทุนอย่างแน่นอน การศึกษาลู่ทางเป็นไปได้ในการจัดตั้งโรงงานอุตสาหกรรม โดยทั่วๆ ไปนั้นการศึกษาจะครอบคลุมถึงสิ่งต่างๆ ต่อไปนี้ 3 ประการด้วยกันคือ

5.1 การศึกษาด้านการตลาด

การศึกษาด้านการตลาดนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อชี้ให้เห็นถึงลู่ทางความเป็นไปได้ทางด้านการตลาดของโครงการนี้ ทั้งนี้โดยพิจารณาถึงการผลิตรากฟันเทียมเชิงอุตสาหกรรมของประเทศไทยในปัจจุบันตลอดถึงแนวโน้มการขยายการผลิตในอนาคต ความต้องการของตลาดในประเทศและแนวโน้มการขยายความต้องการในอนาคต นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงสภาพการแข่งขันในตลาด ตลอดจนถึงวิธีการจำหน่ายและการคาดคะเนปริมาณการขายของโรงงานในโครงการ

5.1.1 สถานการณ์และแนวโน้มของรากฟันเทียมในประเทศไทย

วิธีการรักษาด้วยการใส่ฟันปลอมมีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภทใหญ่ คือ การใส่ฟันปลอมชนิดถอดได้ และการรักษาด้วยวิธีฝังรากฟันเทียมซึ่งวิธีฝังรากฟันเทียมยังมีอยู่น้อยมากในเมืองไทย เนื่องจากมีระยะเวลาการรักษาค่อนข้างนานประมาณ 1-2 ปี และยังมีราคาค่อนข้างแพงคือประมาณ 50,000 - 100,000 บาทต่อราก อีกทั้งยังมีทันตแพทย์ที่ทำการรักษาค่อนข้างน้อย แต่ในปัจจุบันรากฟันมีแนวโน้มว่าจะมีราคาลดลง และตัวผู้ป่วยเองก็มีความสนใจที่จะมีการรักษาด้วยวิธีการใส่รากฟันเทียมมากยิ่งขึ้น

1) ความต้องการใช้รากฟันเทียมในประเทศไทย จากสถานะการณ์ในปัจจุบันผู้ป่วยที่ได้ทำการรักษาด้วยวิธีฝังรากฟันเทียมยังมีอยู่น้อยมาก เนื่องจากรากฟันเทียมยังเป็นเรื่องที่ใหม่มากสำหรับคนไทย แต่สำหรับในต่างประเทศแล้วการรักษาด้วยวิธีการฝังรากฟันเทียมมีมากกว่า 20 ปี สำหรับการรักษาผู้ป่วยในปัจจุบันที่มีฟันไม่ครบหรือผู้ที่มีความพิการในช่องปากจะใช้วิธีการรักษาด้วยการใส่ฟันปลอมชนิดถอดได้ ซึ่งการรักษาด้วยวิธีนี้จะมีราคาถูกและทำการรักษาได้ง่าย สำหรับราคาในการใส่ฟันปลอมชนิดถอดได้จะมีราคาต่อซี่ไม่เกิน 1,000 บาท เท่านั้นอีกทั้งทันตแพทย์ที่ให้บริการใส่ฟันปลอมชนิดถอดได้ก็มีอยู่มาก แต่ข้อเสียของฟันปลอมชนิดถอดได้ก็คือจำเป็นที่จะต้องกรอฟันข้างเคียงเพื่อใช้เป็นเสาหลักสำหรับเป็นที่รองรับครอบฟันหรือสะพานฟันจะเป็นการทำครอบฟันลงบนรากฟันเทียม และเมื่อมีการใส่ไปนาน ๆ ก็จะทำให้ฟันปลอมที่ใส่หลวมขึ้น การบดเคี้ยวอาหารก็จะไม่สะดวกบางครั้งฟันปลอมอาจสามารถหลุดได้เมื่อมีการเคี้ยวอาหาร

2) นักศึกษาทันตแพทย์ ซึ่งในปัจจุบันนักศึกษาทันตแพทย์ระดับปริญญาตรีที่จบออกมาปีละประมาณ 500 คน จากทุกมหาวิทยาลัย เริ่มเรียนวิชาที่เกี่ยวข้องกับรากฟันเทียมและจะเป็นลูกค้ากลุ่มเป้าหมายของรากฟันเทียมที่จะผลิตขึ้นในอนาคต นักศึกษาปริญญาโทที่มีการศึกษาเกี่ยวกับด้านทันตกรรมประดิษฐ์ในโรงเรียนทันตแพทย์จะเป็นกลุ่มลูกค้าเป้าหมายที่ดีมาก เนื่องจากได้เรียนรู้และวางแผนการรักษาที่ถูกต้องและได้ทดลองใช้รากฟันเทียมหลายระบบรวมทั้งได้ทราบถึงราคาของแต่ละระบบ

3) ผู้ป่วย ผู้ป่วยในปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะมีความรู้เกี่ยวกับรากฟันเทียมมากขึ้นเนื่องจากมีการประชาสัมพันธ์เกี่ยวกับการทำรากฟันเทียมผ่านสื่อต่างๆ เช่น สถานีวิทยุ ซึ่งในบางรายการจะมีการให้ความรู้กับประชาชนโดยมีการเชิญวิทยากรที่มีการชำนาญในด้านการฝังรากฟันเทียม เช่น คณะทันตแพทย์ศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะทันตแพทย์ศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล และ คณะทันตแพทย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เป็นต้น ซึ่งทางทีมทันตแพทย์สามารถที่จะเผยแพร่ผลงานและให้ความรู้แก่ประชาชนเกี่ยวกับงานบริการต่าง ๆ และ

ตามสื่อต่าง ๆ เช่น สื่อโทรทัศน์ มีการนำเสนอรายการปัญหาชีวิตและสุภาพเป็นต้น สื่อสิ่งพิมพ์ต่างๆ เช่น หนังสือพิมพ์ และนิตยสารทางการแพทย์ต่างๆ ซึ่งจะมีการทันตแพทย์ที่มีความชำนาญในการรักษาด้วยวิธีทางทันตกรรมรากฟันเทียมเป็นผู้นำเสนอและเขียนตีพิมพ์

5.1.2 การวิเคราะห์สภาพของธุรกิจรากฟันเทียมในประเทศไทย

การวิเคราะห์สภาพของธุรกิจรากฟันเทียมในประเทศไทย ที่ส่งผลกระทบต่อยอดขายและการดำเนินธุรกิจโดยการใช้ Five-Force Model สรุปได้ดังนี้

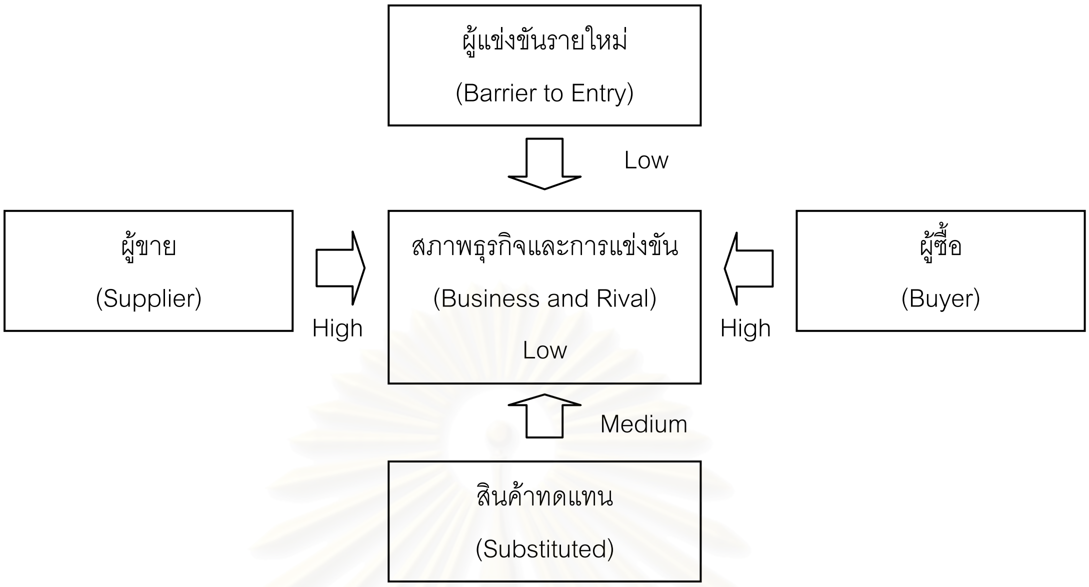
1) สภาพธุรกิจและการแข่งขัน (Business and Rival) การแข่งขันต่ำ เนื่องมาจากจำนวนคู่แข่งในตลาดมีน้อย ถึงแม้ว่าอัตราการเจริญเติบโตของตลาดมีสูง แต่ความแตกต่างของสินค้าและบริการมีไม่มาก และการลงทุนการกิจการต้องใช้เงินลงทุนสูง จึงส่งผลให้การแข่งขันมีน้อย

2) คู่แข่งขันรายใหม่ (Barrier to Entry) การเข้าสู่ธุรกิจทำได้ยาก เนื่องจากธุรกิจนี้ใช้เงินลงทุนสูง และต้องใช้เทคโนโลยีในการผลิตสูง แต่อัตราการเจริญเติบโตของตลาดก็มีสูงเช่นกัน ดังนั้นผู้ที่จะเข้าสู่ธุรกิจนี้จะต้องมีความชำนาญในด้านการผลิต และมีแผนกวิจัยที่เป็นของตนเอง

3) อำนาจต่อรองของผู้ซื้อ (Bargaining Power of Buyers) อำนาจการต่อรองมีสูง เนื่องจากมีสินค้าที่ทดแทนกันได้ คือ สะพานฟัน, การทำฟันปลอม เป็นต้น ซึ่งเหล่านี้มีราคาที่ถูกกว่ามาก ซึ่งราคารากเทียมก็มีราคาค่อนข้างแพง คือ มีราคาเฉลี่ย 10,000 บาท โดยไม่ร่วมค่าผ่าตัดและอื่นๆ จึงทำให้อำนาจการต่อรองของผู้ป่วยมีสูง

4) อำนาจต่อรองของผู้ขาย (Bargaining Power of Suppliers) อำนาจการต่อรองสูง เนื่องจากอัตราความต้องการเพิ่มขึ้นทุกปี มีผลทำให้ตลาดรากเทียมกำลังเจริญเติบโตสูงมาก แต่วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตนั้นผลิตได้ยากและค่อนข้างน้อย รวมทั้งผู้ผลิตในโลกนี้ก็มีอยู่เพียงแค่ไม่กี่รายเท่านั้น

5) สินค้าทดแทน (Threat of Substitutes) สินค้าทดแทนรากเทียม เช่น สะพานฟัน, ฟันปลอม เป็นต้น เหล่านี้เป็นสินค้าทดแทนการรักษาด้วยรากเทียมซึ่งในปัจจุบันมีราคาแพง กำลังซื้อส่วนใหญ่อยู่ที่ผู้มีกำลังซื้อเท่านั้น จึงทำให้ภัยจากสินค้าทดแทนมีปานกลาง



ภาพที่ 5.1 การวิเคราะห์สภาพของธุรกิจรากฟันเทียมในประเทศไทย

5.1.3 **การวิเคราะห์สถานการณ์** SWOT ANALYSIS

การวิเคราะห์สถารการณ์ของบริษัทในปัจจบัน สามารถวิเคราะห์โดยการใช้ SWOT Analysis สรุปได้ดังนี้

1) จุดแข็ง (Strength)

- ใช้เทคโนโลยีในการผลิตที่มีความทันสมัย ทัดเทียมกับต่างประเทศ และมีการวิจัยและพัฒนาอยู่อย่างต่อเนื่อง
- เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต สามารถผลิตอุปกรณ์เสริมอื่น ๆ ที่ใช้ร่วมกับอุปกรณ์รากฟันเทียมได้ ทำให้สามารถผลิตอุปกรณ์ที่หลากหลาย
- ทีมงานในการบริหาร มีผู้เชี่ยวชาญในด้านทันตกรรมรากฟันเทียมโดยตรง ซึ่งสามารถที่จะนำพาบริษัทให้ประสบความสำเร็จได้
- ได้รับการสนับสนุนและความร่วมมือในการวิจัยและพัฒนา จากหน่วยงานของรัฐ คือ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
- มีกลุ่มลูกค้าเป้าหมายที่แน่นอน

2) จุดอ่อน (Weakness)

- ผลิตภัณฑ์ของบริษัทฯ ยังเป็นผลิตภัณฑ์ ที่ใหม่ในท้องตลาด จึงยังต้องใช้เวลาและงบประมาณในการประชาสัมพันธ์และโฆษณา รวมถึงการยอมรับจากลูกค้า

- บุคลากร/พนักงานในบริษัทฯ ยังมีความรู้ความสามารถ และประสบการณ์การทำงานค่อนข้างน้อย

- ผลิตภัณฑ์ของบริษัทฯ ยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใหม่ ต้องใช้เวลาและงบประมาณในการประชาสัมพันธ์

3) โอกาส (Opportunity)

- แนวโน้มอัตราการขยายตัวในธุรกิจนี้มีสูง

- เทคโนโลยีการผลิตมีความทันสมัย สามารถทำให้มีการวิจัยและพัฒนาอยู่อย่างต่อเนื่อง

- ได้รับการสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา จากหน่วยงานของรัฐ

- ผู้ประกอบการยังมีไม่มาก

4) อุปสรรค (Threat)

- การลงทุนในธุรกิจนี้สูง

- สินค้ายังไม่เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายในท้องตลาด

- วัสดุที่ใช้ในการผลิตต้องมีการสั่งนำเข้าจากต่างประเทศทั้งหมด 100 %

- คู่แข่งของกิจการมีชื่อเสียงและเป็นที่ยอมรับ

5.1.4 ขนาดของตลาดรากฟันเทียมในประเทศไทย

ขนาดของตลาดรากฟันเทียมในประเทศไทยยังค่อนข้างแคบ เนื่องจากราคาของรากฟันเทียมและค่าใช้จ่ายในการรักษาค่อนข้างสูง ตลอดจนทันตแพทย์ที่มีความชำนาญทางด้านการฝังรากฟันเทียมยังมีค่อนข้างน้อย ตลอดจนสถานประกอบการที่ให้บริการฝังรากฟันเทียมก็ยังมีค่อนข้างน้อย เช่นกัน และสถานประกอบการส่วนใหญ่ก็จะมักกระจุกตัวอยู่ภายในกรุงเทพ ฯ และหัวเมืองใหญ่ ๆ เท่านั้น

1) ขนาดของตลาด ปัจจุบันมีการนำเข้ารากฟันเทียมและอุปกรณ์ต่างๆ จากต่างประเทศทั้งหมด ซึ่งราคาของรากฟันเทียมจะมีราคาเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 10,000 บาท/หน่วย โดยปัจจุบันประเทศไทยมีผู้ป่วยเข้ารับการฝังรากเทียมประมาณ 7,000 รากต่อปี คิดเป็นมูลค่าวัตถุดิบที่นำเข้าทั้งหมด 70,000,000 บาท/ปี (7,000 ราก x 10,000 บาท)

2) จำนวนของทันตแพทย์ ปัจจุบันมีทันตแพทย์ที่ทำการรักษาด้วยวิธีทางทันตรรมรากฟันเทียมในประเทศไทยประมาณ 150 คน จากทันตแพทย์ปริญญาทั้งหมด 6,000 คน และจะมีมากขึ้น เนื่องจากจะมีกลุ่มทันตแพทย์ที่จบการศึกษาจากต่างประเทศที่จะเข้ามาเป็นอาจารย์ในมหาวิทยาลัยอีกจำนวนหนึ่ง ซึ่งทันตแพทย์ที่ทำการรักษานั้นส่วนใหญ่จะทำการรักษาในโรงพยาบาลของคณะทันตแพทย์ศาสตร์ ในมหาวิทยาลัยต่างๆ และตามโรงพยาบาลของเอกชนที่มีขนาดใหญ่เท่านั้น โดยคลินิกทางทันตกรรมทั่วไปจะมีการให้บริการรักษาด้วยวิธีทางทันตกรรมรากฟันเทียมยังมีค่อนข้างน้อย ซึ่งส่วนใหญ่เจ้าของคลินิกก็มักจะเป็นอาจารย์ที่สอนในคณะทันตแพทย์ศาสตร์ ในมหาวิทยาลัยต่างๆ นั่นเอง

5.1.5 ราคาจำน่ายของรากฟันเทียม

แนวโน้มด้านราคาต่อการรักษาด้วยรากฟันเทียมหนึ่งรากที่ผู้ป่วยต้องจ่ายมีแนวโน้มลดลงจาก 100,000 เหลือ 50,000 บาท (ราคารวมค่าการรักษาทั้งหมด) ทั้งนี้เพราะมีการแข่งขันโดยเสรีของรากฟันเทียมในตลาด ทำให้แต่ละบริษัทลดราคาลง เช่น อุปกรณ์ในการฝังรากฟันเทียมและการใส่ฟันของบริษัทชั้นนำบริษัทหนึ่ง เมื่อเทียบในปี 2543 ราคาประมาณเกือบสี่แสนบาท แต่ในปี 2546 ทางสำนักงานใหญ่ต่างประเทศปรับกลยุทธ์ทางด้านการตลาดแยกออกมาเป็นชุดที่เล็กลงและราคาลดลงมาเหลือเพียงสองหมื่นบาท ทั้งนี้เพื่อขยายตลาดรากฟันเทียมให้กว้างขึ้น ทำให้มีโอกาสที่ราคาของรากฟันเทียม 1 ตัวสามารถที่จะลดลงได้อีก

ปัจจุบันในประเทศไทยจะมีรากฟันเทียมที่ขายในตลาดภายในประเทศอยู่หลัก ๆ 6 ยี่ห้อ คือ Xive , Zimmer , ITI , Branemark Replace , Nobel Biocare และ Ankylos โดยในแต่ละยี่ห้อจะมีการกล่าวอ้างถึงคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป ในส่วนการใช้งานของทันตแพทย์นั้นจะใช้รากฟันเทียมตามราคาของรากฟันเทียม ความชำนาญและชุดอุปกรณ์ที่มีอยู่ ซึ่งก็คือถ้าทันตแพทย์ผู้นั้นใช้รากฟันเทียมยี่ห้อหนึ่งอยู่ก็จะใช้รากฟันเทียมยี่ห้อนั้นต่อไปและมักจะไม่เปลี่ยนไปใช้ยี่ห้อใหม่เพราะจะมีความชำนาญในการใช้รากฟันเทียมยี่ห้อนั้น ซึ่งรากฟันเทียมที่มีขายภายในประเทศจะมีราคาขายที่สูงมาก จากตารางที่ 5.1 จะแสดงราคาของรากฟันเทียมที่มีขายในประเทศไทย โดยราคาขายเฉลี่ยของรากฟันเทียมจะอยู่ที่ 10,000 บาทต่อชิ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าผู้บริโภคที่มีรายได้น้อยจะไม่สามารถรักษาด้วยวิธีการใส่รากฟันเทียมได้เลย

ดังนั้นในการตั้งราคาขายของรากฟันเทียมในโครงการนี้ จำเป็นที่จะต้องตั้งราคาให้ถูกกว่ารากฟันเทียมที่ขายในท้องตลาด ซึ่งการตั้งราคาของรากฟันเทียมในโครงการนี้จะตั้งราคาให้ถูกท้องตลาดครึ่งหนึ่ง คือ 5,000 บาทต่อราก

ตารางที่ 5.1 ราคาของรากฟันเทียมที่มีขายในประเทศไทย

ยี่ห้อ	ราคา
Xive	9,400
Zimmer	8,000
ITI	12,000
Branemark Replace	17,000
Nobel Biocare	12,000
Ankylos	7,560

* ราคาอ้างอิงจากท้องตลาด มกราคม พ.ศ.2549

5.1.6 สถานการณ์ทางการแข่งขัน

จากสถานการณ์การแข่งขันของการจำหน่ายรากฟันเทียมในประเทศไทยพบว่า ในปัจจุบันอยู่ในระดับปานกลาง ยังไม่มีการแข่งขันที่สูงมากนัก เนื่องมาจากคู่แข่งในการดำเนินธุรกิจประเภทนี้ ต้องใช้เงินในการลงทุนสูง ทำให้การเข้ามาดำเนินธุรกิจยังมีอยู่ในระดับปานกลาง แต่เมื่อเทียบกับความต้องการในท้องตลาดแล้ว กับมีความต้องการซื้อสูง เนื่องจากมาจากประสิทธิภาพการใช้งานที่ดีของรากฟันเทียมและความปลอดภัยในการผ่าตัด ซึ่งมีอุปกรณ์ช่วยในการผ่าตัด ที่มีความทันสมัยเข้ามาช่วยในการผ่าตัด ซึ่งจะมีความปลอดภัยสูง ทำให้บุคคลที่มีกำลังซื้อสูง เข้ารับการฝังรากฟันทียม แทนการใส่ฟันปลอมชนิดอื่น ซึ่งสถานการณ์การแข่งขันสามารถสรุปได้ดังนี้

1) การแข่งขันกับรากฟันเทียมที่มีการนำเข้าจากต่างประเทศ การแข่งขันด้านการตลาดของรากฟันเทียมที่มีการนำเข้าจากต่างประเทศ ปัจจุบันจะมีการแข่งขันอยู่สูงมาก เพราะมีรากฟันเทียมที่ขายภายในท้องตลาดอยู่ค่อนข้างมาก และรากฟันเทียมในแต่ละยี่ห้อก็มีชื่อเสียงทางด้านผลิตวัสดุและอุปกรณ์การแพทย์อยู่ก่อนแล้ว คู่แข่งที่มีการนำเข้ารากฟันเทียมจากต่างประเทศมีดังนี้

- บริษัทแอคคอร์ด คอร์เปอร์เรชั่น จำกัด
- บริษัท Densply (ประเทศไทย) จำกัด
- บริษัท เด็นทัลวิชั่น จำกัด
- บริษัท 3i จำกัด
- บริษัท ลีนิวส์ จำกัด

- บริษัท ไบโอฮอนล์ลิซอลล์ จำกัด
- บริษัท Diethelm จำกัด
- บริษัท อุดม เมคดิคัล อิควิปเมนต์ จำกัด

(ข้อมูลจากการสอบถามทันตแพทย์)

2) การแข่งขันภายในประเทศ ปัจจุบันยังไม่มีผู้ประกอบการรายใดที่มีการผลิตรากฟันเทียมภายในประเทศไทย

5.1.7 กลุ่มลูกค้าเป้าหมาย

สำหรับกลุ่มลูกค้าเป้าหมายจะเป็นกลุ่มทันตแพทย์ที่บริการให้การรักษารากฟันเทียม ซึ่งทันตแพทย์ที่ให้การรักษาจะมีความชำนาญที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ในการรักษาและพื้นที่ ๆ ให้การรักษา โดยสามารถแบ่งกลุ่มของทันตแพทย์ที่ให้การรักษาได้ดังนี้

1) ผู้ชำนาญการที่จบการศึกษาจากต่างประเทศ จะมีความมั่นใจสูง เลือกใช้รากฟันเทียมตามระบบที่ตนเองได้รับการฝึกฝนมา ไม่กล้าเสี่ยงไปใช้ของใหม่ ถ้าไม่มี scientific articles ยืนยันการใช้งาน ซึ่งส่วนมากจะเป็นอาจารย์ตามมหาวิทยาลัย

2) ผู้ชำนาญการที่จบการศึกษาจากในประเทศ จะมีความมั่นใจสูงคล้ายผู้ชำนาญการที่จบการศึกษาจากต่างประเทศและก็ยังมองอาจารย์ในมหาวิทยาลัยเป็นตัวอย่างในการทำงาน ทันตแพทย์ในกลุ่มนี้จะเป็นผู้ชำนาญการตามคลินิกเอกชน และตามโรงพยาบาลต่างๆ ในประเทศไทย

3) กลุ่มทันตแพทย์ทั่วไปในกรุงเทพฯ ทันตแพทย์กลุ่มนี้มีความสนใจในเทคโนโลยีใหม่ๆ เช่น รากฟันเทียมที่จะทำให้ตัวเองดูทันสมัย แต่ยังไม่ค่อยได้เริ่มทำเนื่องจากขาดความมั่นใจและไม่มีความรู้อย่างแท้จริงในตัวสินค้า ทำให้ไม่กล้าทดลอง ซึ่งถ้าได้รับคำแนะนำที่ถูกต้องจะเป็นลูกค้ากลุ่มเป้าหมายที่สำคัญ

4) กลุ่มทันตแพทย์ทั่วไปนอกพื้นที่กรุงเทพฯ ทันตแพทย์กลุ่มนี้มีความสนใจในเทคโนโลยีใหม่ๆ เช่น รากฟันเทียมที่จะทำให้ตัวเองดูทันสมัย มักไม่คิดเองแต่เลือกใช้ตามผู้ชำนาญการที่มีชื่อเสียง ซึ่งถ้าได้รับคำแนะนำและอบรมการปฏิบัติที่ถูกต้องจากผู้ชำนาญการจะเป็นกลุ่มลูกค้าเป้าหมายที่สำคัญมาก เพราะต่างจังหวัดมีทันแพทย์น้อยเมื่อเทียบอัตราส่วนของทันแพทย์ต่อประชากร ดังนั้นถ้าทันแพทย์ต่างจังหวัดท่านใดเก่งมีชื่อเสียงได้รับความเชื่อถือจากทันแพทย์ในภูมิภาคนั้นๆ ก็จะเป็นตัวอย่างให้ทันตแพทย์ท่านอื่นๆ มาปรึกษาและสามารถเผยแพร่การบำบัดด้วยวิธีการฝังรากฟันเทียมในภูมิภาคนั้น ๆ ไปในตัว

5.1.8 การพยากรณ์ความต้องการรากฟันเทียม

จากการศึกษาของคุณสรรพัชญ์ นามะโน[12] ในเรื่องการวิจัยและพัฒนาและผลิตวัสดุอุปกรณ์ของรากฟันเทียม ระยะที่ 1 ของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปี 2543 ได้พยากรณ์ไว้ว่า ใน 1 เดือน มีการใช้รากฟันเทียมประมาณ 583 ราก นั่นคือ 7,000 รากต่อปี ถ้าภาวะเศรษฐกิจของประเทศดีขึ้น ประกอบกับราคาของรากฟันเทียมค่อย ๆ ลดลง ซึ่งอาจเป็นผลจากการแทรกแซงตลาดของรากฟันเทียมที่ผลิตขึ้นใช้เองในประเทศ เป็นผลทำให้ราคาของรากฟันทียมนำเข้าต้องลดลงมา หรือประชาชนส่วนใหญ่สามารถใช้บริการการบำบัดรักษาด้วยรากฟันเทียมที่ผลิตขึ้น ซึ่งมีราคาถูกกว่าได้มากขึ้นก็ตาม จะทำให้อัตราการขยายตัวของการบริโภครากฟันเทียมของประชาชนเพิ่มมากขึ้นราว 30 % ต่อปี

ถ้าในปีแรกของการผลิต ส่วนแบ่งทางการตลาดของรากฟันเทียมที่ผลิตขึ้นต้องการเพียง 10 % (58 รากต่อเดือน) ของปริมาณการบริโภครากฟันเทียมของตลาดโดยรวม ซึ่งถ้ามีการวางแผนการตลาดที่ดี มีการรายงานผลความสำเร็จของการฝังรากฟันเทียมระบบใหม่ลงในวารสารทั้งในและต่างประเทศเป็นระยะ ๆ มีการเผยแพร่ผลงานวิจัยต่อสาธารณะชน หรืออาจมีการเชิญคณะวิจัยไปบรรยายตามสถานที่ต่าง ๆ เป็นต้น สิ่งเหล่านี้คาดว่าจะทำให้ส่วนแบ่งตลาดของรากฟันเทียมระบบใหม่ เพิ่มขึ้น 10 % ทุกปี จนถึงระดับ 30 % ที่ปี 2553 จะทำให้มีการบริโภครากฟันเทียมที่ผลิตขึ้นนี้ประมาณ 986 รากต่อเดือนทั่วประเทศ ทำให้เกิดรายได้ประมาณ 16 ล้านบาทต่อปี (โดยคิดเฉพาะราคารากฟันเทียม 5,000 บาทต่อรากเท่านั้น ยังไม่ได้คิดรวมอุปกรณ์เสริมที่ต้องใช้ต่อเนื่องจากการฝังรากฟันเทียม) ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงการพยากรณ์ความเติบโตทางธุรกิจของรากฟันเทียมใน 5 ปีแรกของการผลิต

ปี	2551	2552	2553	2554	2555
1. รากฟันเทียมต่อเดือน	583	758	986	1,282	1,666
2. รากฟันเทียมต่อปี	7,000	9,100	11,830	15,379	19,993
3. อัตราการเติบโต		30%	30%	30%	30%
4. ส่วนแบ่งการตลาดของรากฟันเทียมที่ผลิตในประเทศ	10%	20%	30%	30%	30%
5. รากฟันเทียมที่ผลิตในประเทศ/เดือน	58	152	296	384	500
6. รากฟันเทียมที่ผลิตในประเทศ/ปี	700	1,820	3,549	4,614	5,998
7. ยอดขาย/เดือน (4,500 บาท/ชิ้น)	262,500	682,500	1,330,875	1,730,138	2,249,179
8. ยอดขาย/ปี	3,150,000	8,190,000	15,970,500	20,761,650	26,990,145

5.1.9 การวิเคราะห์ความเสี่ยงและปัญหา

การวิเคราะห์ความเสี่ยงและปัญหา โดยทำเพื่อวิเคราะห์ความเสี่ยงของกิจการในการดำเนินงานหลัก ๆ มีดังนี้

1) ยอดขายไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด อาจทำให้มีผลกระทบต่อการดำเนินงานของบริษัทในช่วงที่เพิ่งเริ่มดำเนินการเป็นอย่างมาก ที่ต้องมีรายได้เข้ามาเพื่อให้ธุรกิจเดินไปตามภารกิจที่ตั้งไว้ ถ้ารายได้ไม่เป็นไปตามเป้าหมายจะส่งผลให้กระแสเงินสดติดลบ เงินทุนหมุนเวียนต่ำ ระยะเวลาคืนทุนนานกว่าเดิม ผลประกอบการต่ำกว่าเป้าหมาย ซึ่งบริษัทมีต้นทุนคงที่ในส่วนของเงินเดือนพนักงาน ค่าสาธารณูปโภค ค่าดอกเบี้ยเงินกู้ยืม

แผนรองรับความเสี่ยง คือ ปรับลดค่าใช้จ่ายบางส่วนลง โดยพิจารณาปรับลดค่าใช้จ่ายในส่วนที่ส่งผลกระทบต่อการดำเนินงานลง เช่น ค่าใช้จ่ายสวัสดิการพนักงานลง พร้อมเตรียมหาแหล่งเงินทุนฉุกเฉินเพื่อป้องกันภาวะเงินขาดมือ โดยพยายามเลือกใช้เงินทุนเพิ่มจากกลุ่มผู้ถือหุ้นก่อนเพื่อหลีกเลี่ยงค่าใช้จ่ายด้านดอกเบี้ย

2) ความเสี่ยงจากการขาดแคลนวัตถุดิบ ซึ่งในปัจจุบันวัตถุดิบไทเทเนียมต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศ 100 % ซึ่งในการสั่งแต่ละครั้งก็ต้องมีจำนวนการสั่งขั้นต่ำอีกด้วย ดังนั้นแผนที่ใช้รองรับความเสี่ยง คือ การทำ contract ล่วงหน้ากับผู้ขายวัตถุดิบ โดยใช้โปรแรมคอมพิวเตอร์ควบคุมการจัดซื้อวัตถุดิบและการขายผลิตภัณฑ์

3) ความเสี่ยงอื่น ๆ ได้แก่ อัคคีภัย อุบัติเหตุ และการเจ็บป่วยของพนักงาน แผนรองรับความเสี่ยง คือ การทำประกันภัยต่าง ๆ เช่น ประกันอัคคีภัย ประกันภัยรถยนต์ ประกันชีวิต ประกันสุขภาพพนักงาน เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 การศึกษาด้านวิศวกรรม

การศึกษาด้านวิศวกรรมเป็นการศึกษาถึงลักษณะทางกายภาพของโครงการ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับด้านการผลิตโดยตรง เช่น ผลิตภัณฑ์และคุณสมบัติเฉพาะของผลิตภัณฑ์ ขบวนการผลิต เครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิต บุคลากรการผลิต วัตถุดิบในการผลิต ตลอดจนกำลังการผลิตที่ต้องการ

5.2.1 สถานที่ตั้งโรงงาน

ในการผลิตวัสดุและอุปกรณ์การแพทย์เป็นอุตสาหกรรมที่จำเป็นต้องใช้บุคลากรที่มีความชำนาญเฉพาะด้าน ซึ่งในที่นี้การผลิตรากฟันเทียมก็เป็นอุปกรณ์การแพทย์ประเภทหนึ่งที่ยังเป็นของใหม่สำหรับคนไทย โดยพื้นที่ในการผลิตนั้นไม่จำเป็นต้องมีพื้นที่มากมายเพราะใช้เครื่องจักรในการผลิตค่อนข้างน้อยและมีขนาดที่ไม่ใหญ่โตมาก เพียงแค่พื้นที่ในการวางเครื่องจักร CNC ประมาณ 6 ตารางเมตรก็เพียงพอ นอกนั้นก็ใช้พื้นที่อีกประมาณ 10 ตารางเมตรสำหรับสร้าง Clean room เพื่อใช้ในการทำความสะอาดและค่าเชื้อผลิตภัณฑ์รากฟันเทียมรวมถึงมีการบรรจุภัณฑ์สินค้าภายในห้องเดียวกันไปในตัว ส่วนในขั้นตอนการจัดเก็บวัตถุดิบสำหรับการนั้น

การพิจารณาเลือกที่ตั้งที่เหมาะสมในการจัดตั้งโรงงานในโครงการนั้นนอกจากจะต้องคำนึงถึงหลักเกณฑ์ต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงปัจจัยที่ตั้งอื่น ๆ ประกอบอีกด้วย โดยได้มีแนวทางการพิจารณาออกเป็น 2 ประเด็น คือ

1) ปัจจัยที่ตั้งโรงงานมีความสำคัญต่อการดำเนินการของอุตสาหกรรมประเภทนี้ จากการพิจารณาโดยอาศัยหลักเกณฑ์ดังที่กล่าวมาแล้วนั้น ปรากฏว่าปัจจัยที่มีความสำคัญต่อโรงงานอุตสาหกรรมประเภทนี้มีหลายประการด้วยกัน ซึ่งสามารถแสดงดังปัจจัยต่อไปนี้

- การขนส่ง
- พลังงานที่ใช้ในการผลิต
- เขตบริเวณอุตสาหกรรม
- การกำจัดน้ำเสีย
- แหล่งที่อยู่อาศัย

2) ที่ตั้งโรงงาน บริเวณในการจัดตั้งโรงงานมีความเหมาะสมสอดคล้องกับปัจจัยในการตั้งโรงงานเพียงใด จากหลักเกณฑ์แนวทางในการพิจารณานี้จะเลือกนิคมอุตสาหกรรมนวนครเป็นที่ตั้งโรงงาน ซึ่งตั้งอยู่ที่ถนนพหลโยธิน จังหวัดปทุมธานี โดยจะเป็นทำเลที่มีจุดเด่น ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- จุดเชื่อมต่อความเจริญของอุตสาหกรรมตอนบน ทั้งภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สามารถเดินทางไปทั่วประเทศไทยได้สะดวก สามารถเดินทางจากกรุงเทพฯ มานิคมอุตสาหกรรมนวนครได้ 4 เส้นทางหลัก คือ ถนนกาญจนาภิเษก (ตะวันตก) หรือวงแหวนรอบนอกตะวันตก ถนนกาญจนาภิเษก (ตะวันออก) หรือ วงแหวนรอบนอกตะวันออก ทางด่วนโทลล์เวย์ ทางด่วนขั้นที่ 1 และ ทางด่วนขั้นที่ 2 ด้วยมาตรฐานของถนน 10 เลน ใกล้สถานีรถไฟทางด่วนพิเศษ และมีระยะห่างกับสถานที่สำคัญดังนี้

46 กิโลเมตร กรุงเทพฯ

20 กิโลเมตร ท่าอากาศยานกรุงเทพฯ

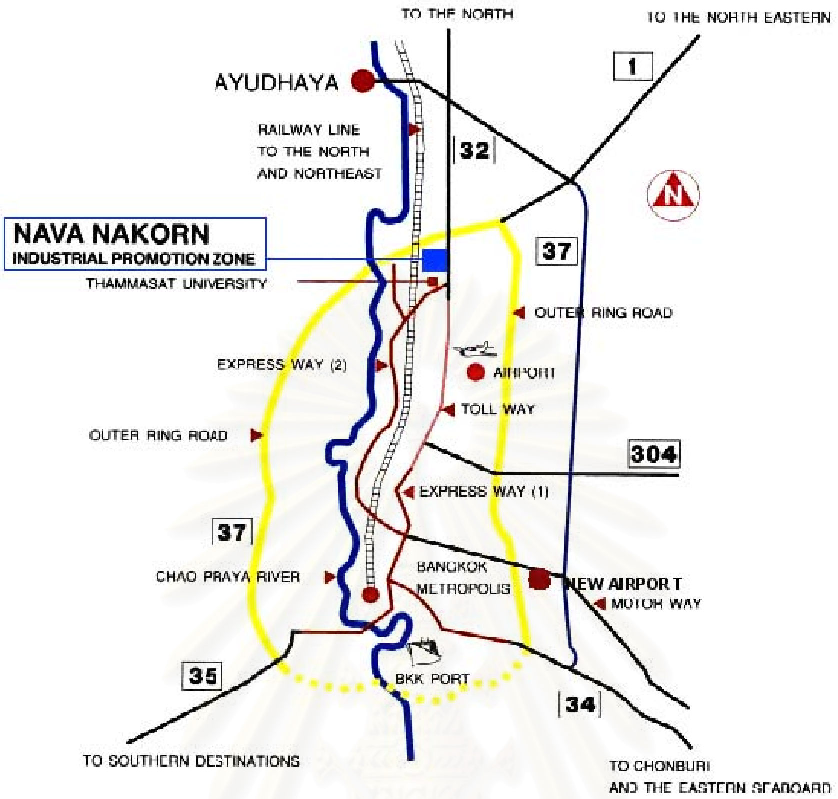
192 กิโลเมตร ท่าเรือแหลมฉบัง/มาบตาพุด

55 กิโลเมตร ท่าเรือคลองเตย

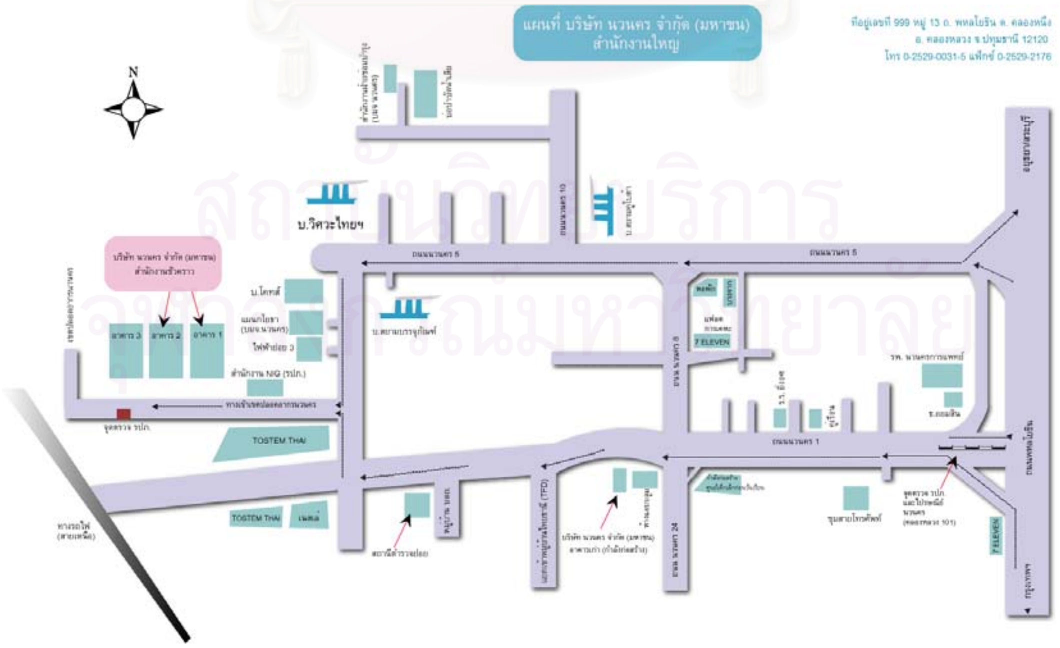
60 กิโลเมตร สนามบินสุวรรณภูมิ

- เป็นนิคมอุตสาหกรรมที่ทำให้ได้รับประโยชน์จาก Infrastructure ที่มีความพร้อมอยู่แล้ว มีความพร้อมในเรื่องสาธารณูปโภค ไฟฟ้า ประปา การกำจัดขยะและบำบัดน้ำเสีย ทำให้ทางบริษัทไม่ต้องลงทุนในด้านเหล่านี้เอง และยังไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายและเวลาในการปรับปรุงที่ดิน ซึ่งเมื่อเทียบกับการจัดตั้งโรงงานนอกนิคมอุตสาหกรรมแล้วจะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายจำนวนมาก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 5.2 แผนที่นิคมอุตสาหกรรมนวนคร



ภาพที่ 5.3 แผนผังภายในนิคมอุตสาหกรรมนวนคร

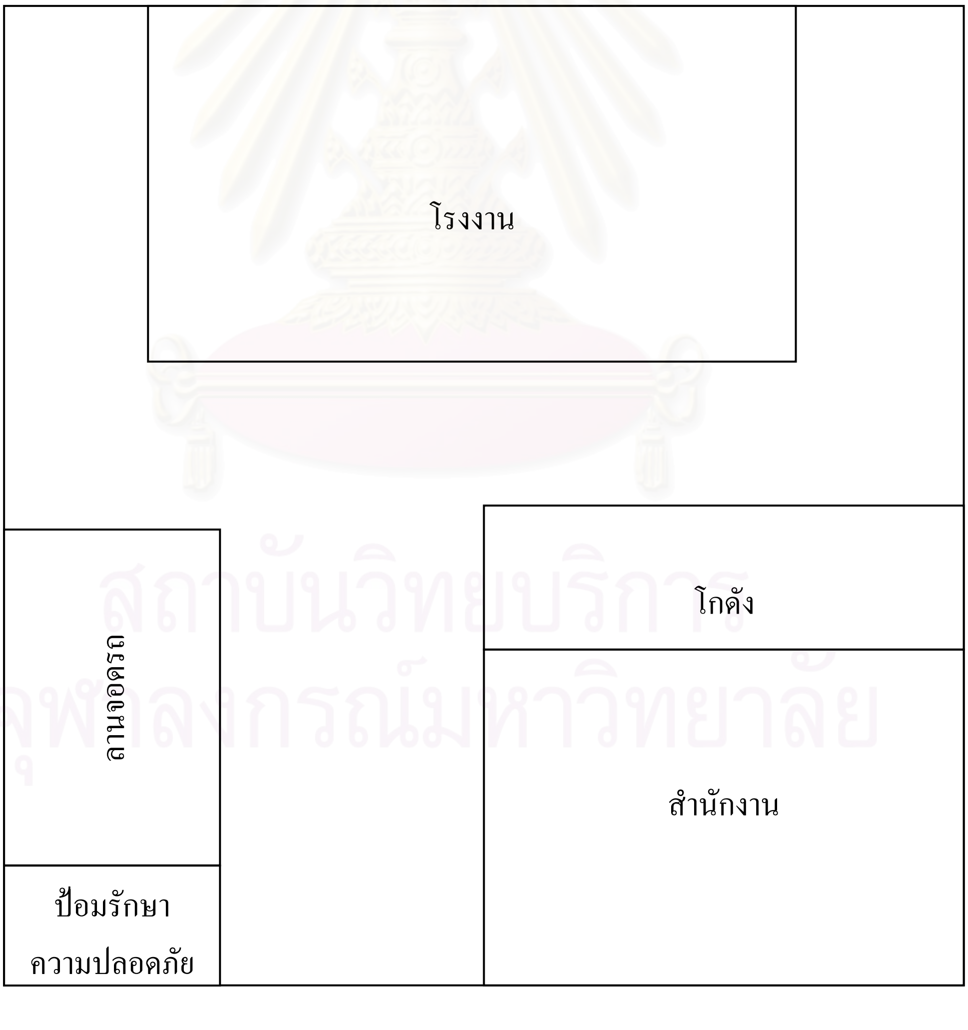
5.2.2 **ที่ดิน อาคารและเครื่องจักรการผลิตต่าง ๆ**

ในการผลิตตามขนาดกำลังการผลิตที่ระบุไว้ในโครงการนี้ จำเป็นต้องใช้ที่ดิน อาคารสำนักงาน อาคารโรงงานและเครื่องจักรอุปกรณ์ต่าง ๆ และสิ่งก่อสร้างอื่น ๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ที่ดิน ในการผลิตตามขนาดของการผลิตที่ต้องการนั้นคาดว่าจะต้องใช้ที่ดินประมาณ 1 ไร่ ด้วยกัน โดยจะแบ่งเนื้อที่ดังกล่าวไว้ใช้ประโยชน์ดังต่อไปนี้

- อาคารสำนักงานและห้องทดลอง
- อาคารโรงงาน
- ที่จอดรถและถนนภายใน

จากแผนผังบริเวณโรงงานตามภาพที่ 5.4 แสดงรายละเอียดการวางผังโรงงานโดยสังเขป



ภาพที่ 5.4 แผนผังภายในสถานประกอบการ

5.2.3 ผลิตภัณฑ์และคุณสมบัติเฉพาะของผลิตภัณฑ์

เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่มีการผลิตรากฟันเทียมขึ้นในประเทศไทย ตลอดจนยังมีข้อมูลด้านเทคนิคของผลิตภัณฑ์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยมีการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศทั้งหมด ซึ่งรากฟันเทียมยังเป็นสิ่งใหม่ของผู้บริโภคและมีค่าใช้จ่ายในการรักษาสูงมาก

ในปัจจุบันประเทศไทยมีความพร้อมอย่างมากในการที่จะคิดค้น วิจัยและผลิตรากฟันเทียมอันเนื่องจากมีความพร้อมด้านบุคลากร ซึ่งได้แก่ทันตแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ วิศวกรและผู้เชี่ยวชาญในสาขาอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนเทคโนโลยีชั้นสูงที่จะผลิตรากเทียมและเครื่องมือที่ใช้ผ่าตัด เพื่อพัฒนาระบบงานทันตกรรมที่สมบูรณ์แบบ และเหมาะสมกับขนาด รูปร่างของคนไทย

5.2.4 กำลังการผลิต

ปัจจุบันเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตมีกำลังการผลิตทั้งสิ้น 23,040 ต่อปี แต่ความต้องการในประเทศไทยต้องการเพียง 7,000 ชิ้นต่อปี ทำให้กำลังการผลิตมากกว่าความต้องการของตลาด แต่เนื่องจากเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตโดยเฉพาะในขั้นตอนของการขึ้นรูปซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องกลึง CNC ที่มีความเที่ยงตรงสูงในการผลิต ทำให้ในโครงการนี้จำเป็นต้องใช้เครื่องกลึง CNC อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ กำลังการผลิตของเครื่องจักรในปัจจุบันยังสามารถรองรับอัตราการเติบโตของบริษัทได้หลายปี เนื่องจากกำลังการผลิตสูงสุดในปัจจุบันของเครื่องจักรยังสามารถที่จะรองรับยอดขายที่อาจเพิ่มขึ้นจากการประมาณการได้ โดยไม่จำเป็นที่จะต้องเพิ่มพนักงานหรือซื้อเครื่องจักรเพิ่ม สามารถเปรียบเทียบกับกำลังการผลิตสูงสุดของเครื่องจักร แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 กำลังการผลิตของเครื่องจักรและประสิทธิภาพในการใช้เครื่องจักร

รายการผลิต	จำนวน เครื่อง	กำลังการผลิต (ชิ้น./วัน)	กำลังการผลิต (ชิ้น./ปี)	% Utilization				
				ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
การขึ้นรูป	1	96	23,040	6.08	11.85	15.40	20.03	26.03
การยิงทราย	1	96	23,040	6.08	11.85	15.40	20.03	26.03
การทำความสะอาด	1	240	57,600	2.43	4.74	6.16	8.01	10.41
การบรรจุภัณฑ์	1	2400	576,000	0.24	0.47	0.62	0.80	1.04
การฆ่าเชื้อ	1	480	115,200	1.22	2.37	3.08	4.01	5.21

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เนื่องจากทางบริษัท กำหนดเวลาการผลิตในลักษณะ 1 กะต่อวันทำงาน โดยมีวันทำงาน 5 วันต่อสัปดาห์ คือ วันจันทร์ – ศุกร์ เวลา 8.00 – 17.00 น. (วันละ 8 ชั่วโมง) นอกจากนี้จะทำการวางแผนการผลิตในระบบ Make to Order คือ ทำการผลิตในลักษณะแบบผลิตตามความต้องการของตลาด โดยในระยะแรกจะวางแผนตามยอดขายที่ประมาณการไว้ และในระยะยาวเมื่อสามารถวิเคราะห์แนวโน้มและมีข้อมูลยอดขายในแต่ละเดือน จึงจะมีการเปลี่ยนแผนแนวการผลิตให้เหมาะสมกับสถานการณ์ในขณะนั้น

5.2.5 กระบวนการผลิต

การผลิตรากฟันเทียมจะมีกระบวนการและขั้นตอนการผลิตดังต่อไปนี้

1) การเขียนโปรแกรม (CNC Programming) ในกระบวนการนี้จะใช้หลักการของ CAM ในการผลิต โดยจะใช้วิธีการเขียนโปรแกรมบนเครื่องคอมพิวเตอร์ในลักษณะของ สร้าง G code ซึ่งเป็นรหัสเพื่อบอกให้เครื่องจักรทำงานตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ได้ถูกต้อง และทดสอบการกัดชิ้นงานบนจอภาพเพื่อทดสอบก่อนกัดงานจริง

2) การขึ้นรูป (Forming) เนื่องจากในการผลิตรากฟันเทียมจะอาศัยวิธีการขึ้นจากวัสดุไทเทเนียม โดยจะวิธีการขึ้นรูปด้วยวิธีการกลึงจากเครื่องกลึงอัตโนมัติ (CNC Lathe Machine) ซึ่งจำเป็นต้องมีการควบคุมวัตถุให้มีความเที่ยงตรง จึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบวัตถุดิบก่อนนำมาติดตั้งเข้ากับเครื่องจักร ซึ่งตัววัตถุดิบเองจะเป็นไทเทเนียมเส้นที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.35 มม. ยาว 3.65 เมตร โดยในขั้นตอนแรกจะนำท่อนไทเทเนียมติดตั้งเข้ากับตัวป้อนวัสดุของเครื่องจักร CNC เครื่องจักรจะทำงานอัตโนมัติจากโปรแกรมที่ได้มีการจัดเตรียมเอาไว้โดยใช้เวลาในการผลิตประมาณ 5 นาที/ชิ้น หรือ 96 ชิ้น/วัน ซึ่งขนาดของชิ้นงานที่ได้จะมีความยาว 10 มม. โดยในการผลิตจะเผื่อชิ้นความยาววัตถุดิบหัว ท้าย ด้านละ 1 มม. รวมเป็น 12 มม. ต่อชิ้น ทำให้วัสดุไทเทเนียม 1 เส้น สามารถผลิตรากฟันเทียมได้ 304 ชิ้น/เส้น เผื่อของเสียในกระบวนการผลิตไว้ 1 %

3) การยิงทราย (Sand Blast) ชิ้นงานรากฟันเทียมเมื่อผ่านกรรมวิธีกลึงขึ้นรูปแล้วจำเป็นที่จะต้องมีการยิงทรายที่ผิวของชิ้นงานเพื่อลดความเครียดที่ผิว และเป็นการเพิ่มความหยาบที่ผิวของชิ้นงานให้ได้ตามรูปแบบที่ต้องการ โดยการใช้เม็ดทรายอลูมิน่า Al_2O_3 ที่มีขนาดใหญ่ยิงลงไปบนผิว ใช้เวลาในการผลิตประมาณ 5 นาที/ชิ้น หรือ 96 ชิ้น/วัน

4) การทำความสะอาด (Cleaning) เป็นขั้นตอนในการขจัดคราบไขมันและฝุ่นผงของเม็ดทรายออกจาตัวรากฟันเทียม โดยจะทำการแช่ชิ้นงานลงในแก้วที่บรรจุด้วยเอทิลแอลกอฮอร์ที่วางอยู่บนเครื่องอัลตราโซนิก เพื่อให้ความถี่จากเครื่องอัลตราเข้าไปทำความสะอาดตามซอก

มุมต่าง ๆ ของตัวรากฟันเทียม ซึ่งจะใช้เวลาในการผลิตประมาณ 10 นาที/ครั้ง โดยในการทำความสะอาดแต่ละครั้งนั้นสามารถใส่รากฟันเทียมลงในแก้วที่บรรจุเอทิลแอลกอฮอร์ได้ประมาณ 5 ชิ้น/ครั้ง หรือ 240 ชิ้น/วัน

5) การบรรจุผลิตภัณฑ์ (Packaging) กรรมวิธีในการบรรจุผลิตภัณฑ์นั้นซึ่งจะต้องมีการบรรจุแบบปลอดเชื้อ และเพื่อความเป็นมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ ด้วยอัตรากำลังการผลิต 5 ชิ้น/นาที หรือ 2,400 ชิ้น/วัน

6) การฆ่าเชื้อ (Sterile) เป็นการฆ่าเชื้อโรคของรากฟันเทียมก่อนที่จะมีการบรรจุภัณฑ์ เพื่อเป็นการป้องกันการติดเชื้อและเพื่อความเป็นมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ โดยใช้อุณหภูมิในการฆ่าเชื้อ 121 องศาเซลเซียส ด้วยแรงดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นระยะเวลา 30 นาที ซึ่งในการฆ่าเชื้อแต่ละครั้งนั้นสามารถบรรจุรากฟันเทียมลงในเครื่องได้ประมาณ 30 ชิ้น/ครั้ง หรือ 480 ชิ้น/วัน

5.2.6 เครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิต

ในการผลิตตามกำลังการผลิตจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องจักร และอุปกรณ์การผลิตต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1) เครื่องกลึงอัตโนมัติ (CNC Lathe Machine) โดยปัจจุบันใช้เครื่องจักรยี่ห้อ Hardinge รุ่น Talent 8/52 เป็นเครื่องจักรที่มีความทันสมัยเป็นอย่างมาก คือ สามารถกลึงชิ้นงานและ กัดชิ้นงานได้ในเวลาเดียวกันโดยไม่ต้องถอดชิ้นงานออกในขั้นตอนต่อไป สามารถที่จะผลิตชิ้นงานให้เสร็จได้ภายในขั้นตอนเดียว ซึ่งชิ้นงานที่ผลิตได้จะมีความละเอียด 0.001 มม.

2) เครื่องคอมพิวเตอร์ (Computer) ใช้ในการออกแบบรากฟันเทียม ซึ่งจะใช้ในการวิเคราะห์ทางไฟไนท์เอลิเมนต์ และในกระบวนขั้นตอนการออกแบบต่าง ๆ

3) เครื่องยิงทราย (Sand Blast Machine) ใช้ในขั้นตอนกระบวนการ ยิงทรายเพื่อลดความเครียดและเพิ่มความหยาบให้ผิวของรากฟันเทียม

4) เครื่องฆ่าเชื้อ (Sterilization Machine) เป็นเครื่องยี่ห้อ Sturdy รุ่น SA-252F ใช้พลังงานขนาด 220 V , เพื่อใช้ในการฆ่าเชื้อชิ้นงานรากฟันเทียม

5) เครื่องบรรจุภัณฑ์ (Packaging Machine) ใช้เพื่อบรรจุงานก่อนจำหน่าย

5.2.7 การคำนวณค่าไฟฟ้า

จากการรวบรวมเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในโรงงานผลิตและสำนักงาน สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

	จำนวน	พลังงานที่ใช้
เครื่องกลึง CNC	1	13.0 กิโลวัตต์
คอมพิวเตอร์	2	0.8 กิโลวัตต์
เครื่องยิงทราย	1	2.0 กิโลวัตต์
เครื่องฆ่าเชื้อ	1	2.0 กิโลวัตต์
เครื่องบรรจุภัณฑ์	1	1.0 กิโลวัตต์
เครื่องปรับอากาศ	4	25.6 กิโลวัตต์
อุปกรณ์ทั่วไป		10.0 กิโลวัตต์
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด (output)	=	64.4 กิโลวัตต์
ให้เครื่องจักรทั้งหมดมีประสิทธิภาพ 90%	=	71.5 กิโลวัตต์
ให้เวลางานเฉลี่ยทุกอุปกรณ์ 8 ชั่วโมงต่อวัน	=	572.4 หน่วยต่อวัน
เวลาทำงาน 20 วันต่อเดือน	=	11,448.0 หน่วยต่อเดือน

5.2.8 วัตถุดิบในการผลิต

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตรากฟันเทียมไทเทเนียมบริสุทธิ์เกรด 4 แต่เนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยยังไม่สามารถผลิตไทเทเนียมได้เอง จำเป็นต้องมีการนำเข้าวัตถุดิบ 100 % และตัววัตถุดิบเองก็มีราคาสูงเป็นอย่างมาก โดยตัววัตถุดิบที่นำเข้าจะเป็นไทเทเนียมบริสุทธ์ เกรด 4 มีลักษณะเป็นเส้นที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.35 มม. ยาว 1 เมตร ซึ่งก่อนที่จะมีการสั่งซื้อจำเป็นที่จะต้องมีการสั่งล่วงหน้าเป็นเวลาอย่างน้อย 2 อาทิตย์เพราะวัตถุดิบไทเทเนียมจะมีราคาสูงมากและมีขั้นตอนที่ยุ่งยากในการผลิต

ผู้จำหน่ายและราคาของวัสดุไทเทเนียม Surgical grade ปัจจุบันผู้ผลิตไทเทเนียมจะมีเฉพาะในต่างประเทศเท่านั้น ซึ่งประเทศหลักที่มีการผลิตและจำหน่ายไทเทเนียมนั้นจะมีประเทศ สหรัฐอเมริกา อังกฤษ และ ออสเตรเลีย เป็นต้น ปกติการซื้อขายไทเทเนียมพบว่า ทุกบริษัทต้องการ Letter of credit (LC) จากธนาคารเพื่อเปิดบัญชีทำการซื้อขายกับบริษัท ซึ่งจะได้ราคาที่ไม่แพงนัก แต่ถ้าเป็นลูกค้าหน้าใหม่ไม่มี LC จากธนาคารแล้วจะได้ราคาที่แพงมาก ดังเช่นตัวอย่างของไทเทเนียมที่ซื้อมาทดลองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.35 มม. ยาว 1 เมตร ราคา 72

เหรียญสหรัฐ และจะต้องบวกค่าส่ง 14.75 เหรียญ ค่าภาษี 5.94 เหรียญ รวมแล้วเป็น 92.69 เหรียญ ต่อไทเทเนียม 1.5 ปอนด์ แต่ถ้ามี LC จากธนาคารราคาจะเป็นปอนด์ละ 35-40 เหรียญ ซึ่งต้องซื้อขั้นต่ำ 100 ปอนด์ โดยไทเทเนียมจะมีลักษณะคล้ายเหล็กเส้นซึ่งมีน้ำหนัก 1.8 ปอนด์ต่อเส้น ยาวเส้นละ 3.65 เมตร

ส่วนขั้นตอนการตรวจคุณสมบัติของไทเทเนียมที่มีการสั่งซื้อมาแล้วนั้น จะใช้วิธีการตรวจจากใบรับรองของทางบริษัทผู้ผลิต ซึ่งจะมีการรับรองคุณภาพและมาตรฐานในการผลิตโดยในรับรองจะมีรายละเอียดของ คุณสมบัติทางกล ส่วนประกอบต่าง ๆ ของวัตถุดิบ วันที่ผลิต โดยมีรายละเอียดของผู้ประกอบการที่ผลิตไทเทเนี่ยม มีดังนี้

- Advance4d Alloys, Inc 9852 Crescent Center Dr. Unit 802 Cucamong CA 91730 Phone : 800 521 1661, Fax : 909 980 4806
- Trans World Alloys 334-TE, Gardena Blud , Gardena, CA 90248 Phone : 888 208 8777, Fax : 310 217 0066
- A-1 Alloys 1401 Cleveland Ave, National City, CA 91750 Phone : 800 266 2569, Fax : 619 474 3276
- Metal-Mart, Inc 12225 Coast Dr. Whittier, CA 90601 Phone : 800 888 7766, Fax : 562 699 6868

5.2.9 การขนส่ง

ในการขนส่งนี้แบ่งออกได้เป็นการขนส่งวัตถุดิบจากท่าเรือมายังโรงงาน และการขนส่งสินค้าไปจำหน่ายในตลาด ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การขนส่งวัตถุดิบ เนื่องจากวัตถุดิบนำเข้าจากต่างประเทศทั้งหมด จากบริเวณท่าเรือมาสู่โรงงาน ซึ่งในการสั่งวัตถุดิบแต่ละครั้งจะไม่เกิน 100 ปอนด์หรือ 220 กิโลกรัม ใช้รถกระบะขนาด 1 ตันในการขนส่ง (คิดระยะทางจากท่าเรือถึงโรงงานประมาณ 55 กิโลเมตร)

2) การขนส่งสินค้าไปสู่ตลาด ตามโครงการจะจำหน่ายสินค้าให้แก่โรงพยาบาลและทันตแพทย์ตามคลินิกต่าง ๆ ในส่วนขนาดของสินค้านั้นมีขนาดค่อนข้างเล็กถึงแม้ว่าจะมีจำนวนการสั่งที่มากก็ไม่จำเป็นที่จะต้องใช้พาหนะในการส่งที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นในการส่งสินค้าไปสู่ลูกค้าจะใช้เพียงแค่รถกระบะจำนวน 2 คัน ในการขนส่ง

5.2.10 การบำรุงรักษาเครื่องจักรและอุปกรณ์

การดูแลรักษาบำรุงเครื่องมือและเครื่องจักรในกระบวนการผลิตนั้น กำหนดให้มีนโยบายการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) มีการจัดทำแผนการดำเนินการบำรุงรักษา โดยกำหนดให้มีการบำรุงรักษาในช่วงนอกเวลาปฏิบัติงานเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดผลกระทบต่อกระบวนการผลิต ซึ่งรูปแบบและวิธีการในการปฏิบัตินั้นจะมีการจัดทำเป็นคู่มือพร้อมทั้งจัดการฝึกอบรมพนักงานที่รับผิดชอบในการดูแลบำรุงรักษาเครื่องจักรให้เกิดความรู้ และความเข้าใจสามารถปฏิบัติงานได้อย่างถูกต้องและมีความชำนาญ นอกจากนี้จะมีการฝึกอบรมพนักงานที่ปฏิบัติงานหน้าเครื่องให้มีความรู้เกี่ยวกับการดูแลรักษาเบื้องต้น โดยอาศัยหลักการบำรุงรักษาด้วยตนเอง (Self Maintenance) เช่น การตรวจสอบการทำงานของเครื่องก่อนการใช้งาน เพื่อป้องกันมิให้เครื่องจักรชำรุดในระหว่างการปฏิบัติงาน หรือถ้าหากมีการชำรุดเกิดขึ้นสามารถแก้ไขได้ทันท่วงทีเป็นการป้องกันมิให้เกิดการ Breakdown

5.2.11 การจัดองค์กรและแรงงาน

วัตถุประสงค์คือ การมีบุคลากรที่มีคุณภาพ มีความรู้ความสามารถ มีประสบการณ์ตรงสายงาน ให้ความสำคัญต่อบุคคลากรในการมีส่วนร่วมในการปฏิบัติงานในองค์กรหรือการทำงานเป็นทีม ส่งเสริมและกระตุ้นพนักงานรักองค์กรและตั้งใจทำงานเสมือนทุกคนเป็นเจ้าของกิจการ มีการวางแผน การจัดการ และการควบคุม เพื่อให้มีระบบการทำงานที่สอดคล้องและเหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมภายในและภายนอกองค์กร โดยจะใช้กลยุทธ์การคัดเลือกบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถตรงตามสายงาน มีการให้ผลตอบแทนและสวัสดิการที่ดีแก่พนักงานเพื่อสร้างขวัญและกำลังใจให้พนักงาน มีการประเมินผลงาน มีการพัฒนาบุคลากรอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ระดับปฏิบัติการจนถึงระดับบริหาร นอกจากนี้จะจัดวางโครงสร้างแบบกระจายอำนาจตามหน้าที่ ซึ่งเป็นโครงสร้างอย่างง่ายและคล่องตัวในการปฏิบัติงาน และเมื่อมีการขยายตัวก็สามารถเพิ่มบุคลากรได้ตามความเหมาะสมโดยไม่กระทบโครงสร้างหลักขององค์กร การจัดองค์กรและแรงงานสามารถแบ่งขั้นตอนได้ดังนี้

1) แรงงาน สำหรับแรงงานที่ใช้ในการดำเนินงานนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ แรงงานที่ใช้ในการผลิต และแรงงานด้านการบริหารทั่วไป

ก. แรงงานในการผลิต สำหรับแรงงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิต เพื่อควบคุม ดูแลให้งานที่ผลิตมีคุณภาพตามที่กำหนดไว้ และสามารถผลิตได้ตามความต้องการของลูกค้า โดยในการทำงานหนึ่งวันนั้นจะใช้เพียงแค่ 1 กะ หรือ ใช้เวลาการผลิตเพียงแค่ 8 ชั่วโมงต่อวัน มีจำนวนพนักงานทั้งสิ้น 5 ตำแหน่ง คือ

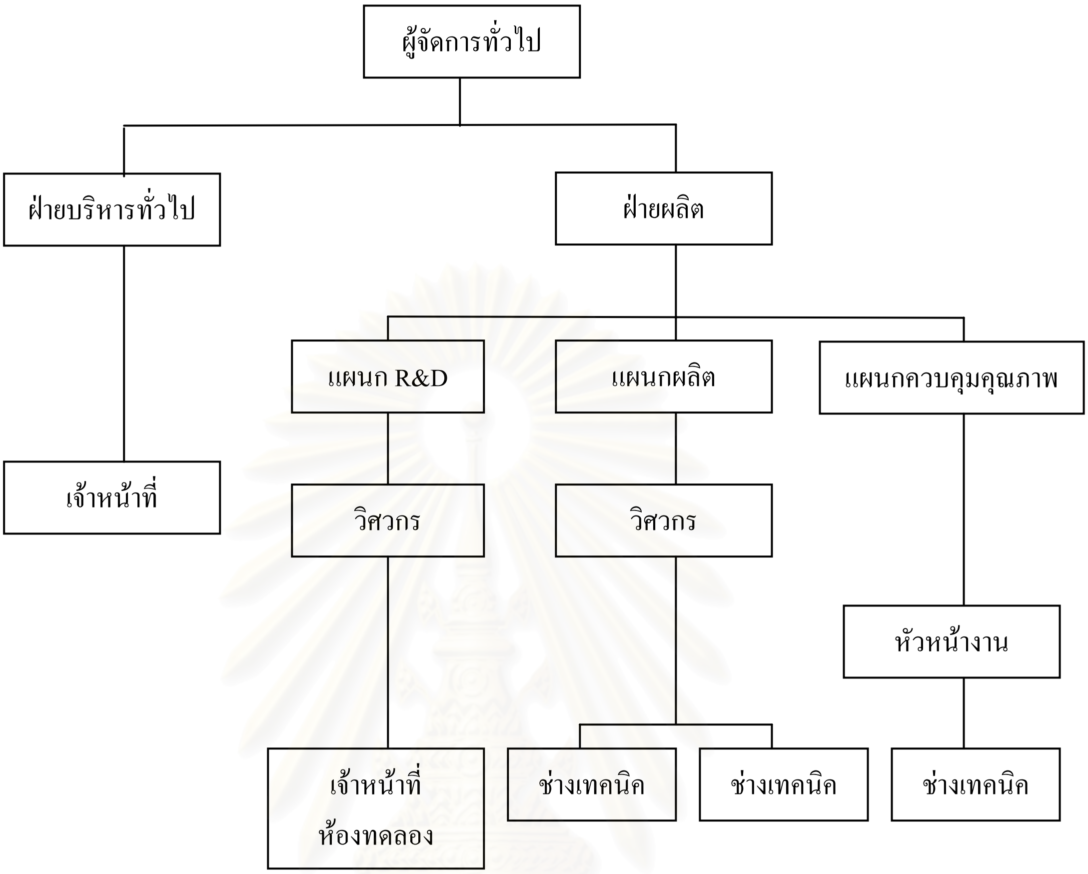
- วิศวกรออกแบบ
- วิศวกรการผลิต
- หัวหน้างาน
- เจ้าหน้าที่ห้องทดลอง
- ช่างเทคนิค

ข. แรงงานด้านการบริหารทั่วไป ส่วนของแรงงานด้านการบริหารทั่วไปนั้น มีหน้าที่ในการบริหารจัดการและดูแลดำเนินธุรกิจ ให้เป็นไปตามแผนธุรกิจ แผนกลยุทธ์ และเป้าหมายที่กำหนดอย่างมีประสิทธิภาพ หรือตามที่ได้รับมอบหมาย มีจำนวนทั้งสิ้น 6 ตำแหน่ง คือ

- ผู้จัดการทั่วไป
- เจ้าหน้าที่การตลาด
- เจ้าหน้าที่ธุรการและการเงิน
- เจ้าหน้าที่บุคคล
- พนักงานรักษาความปลอดภัย
- พนักงานขับรถ

2) การจัดองค์กร เพื่อให้การบริหารจัดการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ได้กำหนดโครงสร้างตามหน้า โดยการจัดองค์กรจะแบ่งเป็นฝ่ายบริหารทั่วไป และฝ่ายโรงงาน ดังรายละเอียดในแผนภาพที่ 5.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 5.5 แผนผังการจัดองค์กร

5.3 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตของโครงการนี้ จะเป็นการศึกษาครอบคลุมไปถึงค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการดำเนินงานตามโครงการ เช่น ค่าใช้จ่ายด้านที่ดิน ค่าก่อสร้างอาคารโรงงานและสำนักงาน ค่าเครื่องจักรอุปกรณ์การผลิต ค่าวัตถุดิบและพลังงานที่ใช้ ค่าจ้างแรงงาน ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน ฯลฯ

5.3.1 การประเมินต้นทุนต่าง ๆ ในการลงทุนของโครงการ

การประเมินต้นทุนต่าง ๆ ในการลงทุนตามโครงการ จะศึกษาถึงค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการดำเนินงาน คือ ค่าใช้จ่ายด้านที่ดิน ค่าก่อสร้างอาคารโรงงาน และสำนักงาน ค่าเครื่องจักรอุปกรณ์การผลิต ค่าวัตถุดิบและพลังงานที่ใช้ ค่าจ้างแรงงาน ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน ฯลฯ ประเมินทั้งสิ้นเป็นเงิน 10,530,900 บาท โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ที่ดินและสิ่งก่อสร้าง [2,11]

ก. ที่ดิน 1/2 ไร่ ราคาไร่ละ 2,300,00 บาท 1,150,000 บาท

ข. อาคารโรงงาน ขนาด 10 x 20 = 200 ตารางเมตร 1,200,000 บาท
(ราคา 6,000 บาทต่อตารางเมตร)

ค. อาคารสำนักงานและห้องทดลอง สูง 2 ชั้น ขนาด 5 x 12 600,000 บาท
=120 ตารางเมตร (ราคา 5,000 บาทต่อตารางเมตร)

ง. ที่จอดรถ ขนาด 15 x 20 = 300 ตารางเมตร 30,000 บาท
(ราคา 100 บาทต่อตารางเมตร)

จ. รั้ว สูง 2.5 เมตร ยาว 82 เมตร (ราคา 1,200 ต่อเมตร) 98,400 บาท

2) ค่าใช้จ่ายในการติดระบบสาธารณูปโภค ในการติดตั้งระบบสาธารณูปโภคในอาคารโรงงานและสำนักงานได้ประมาณไว้ว่าจะต้องเสียค่าใช้จ่ายร้อยละ 10 ของมูลค่าการก่อสร้างอาคารโรงงานและสำนักงาน โดยคิดเป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 180,000 บาท

ก. ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบสาธารณูปโภคในอาคารโรงงาน 120,000 บาท

ข. ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบสาธารณูปโภคในอาคารสำนักงาน 60,000 บาท

3) เครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิต [13] ในการจัดซื้อเครื่องจักรได้มีการประเมินค่าใช้จ่ายทั้งสิ้นไว้เป็นจำนวนเงิน 5,830,000 บาท ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 รายการและมูลค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิต

รายการ	จำนวน	ราคา	
		ต่อหน่วย	รวม
<u>เครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิต</u>			
เครื่องกลึงอัตโนมัติ (CNC Lathe Machine)	1	5,000,000	5,000,000
เครื่องคอมพิวเตอร์	2	40,000	80,000
เครื่องยิงทราย	1	40,000	40,000
เครื่องฆ่าเชื้อ	1	40,000	40,000
เครื่องบรรจุภัณฑ์	1	20,000	20,000
<u>อุปกรณ์เสริม</u>			
หม้อแปลงไฟฟ้า	1	240,000	240,000
อุปกรณ์ในห้องทดลอง	1	200,000	200,000
เครื่องมือวัด	1	10,000	10,000
เครื่องปรับอากาศ	4	50,000	200,000
รวม			5,830,000

4) ครุภัณฑ์สำนักงาน[13] ค่าใช้จ่ายด้านครุภัณฑ์สำนักงานได้ประเมินไว้ 268,500 บาท โดยจะเป็นค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อ โต๊ะทำงาน ตู้เอกสาร เครื่องคอมพิวเตอร์ กระดาษ เครื่องถ่ายเอกสาร เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น โดยรายละเอียดทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.5 รายการและมูลค่าครุภัณฑ์

รายการ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	รวมเงิน
1. โต๊ะ+เก้าอี้	9	3,500	31,500
2. ตู้เอกสาร	2	2,500	5,000
3. ตู้เก็บของ(ผลิตภัณฑ์)	2	2,500	5,000
4. คอมพิวเตอร์ deskstop	7	22,000	154,000
5. เครื่องถ่ายเอกสาร	1	25,000	25,000
6. เครื่อง Printer	2	5,000	10,000
7. เครื่องโทรศัพท์	3	1,000	3,000
8. เครื่องส่ง Fax	1	5,000	5,000
9. โต๊ะประชุม	1	25,000	25,000
10.โต๊ะรับแขก	1	5,000	5,000
		รวม	268,500

5) ยานพาหนะ ใช้สำหรับการติดต่อการดำเนินงาน และขนส่งวัตถุดิบ และสินค้า จะใช้รถยนต์กระบะสำเร็จรูปขนาด 1 ตัน จำนวน 2 คัน ๆ ละ 450,000 บาท รวมเป็นจำนวนเงิน 900,000 บาท

6) ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินการ เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นระหว่างการจัดตั้งโรงงาน รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการติดต่อขอกู้เงินจากแหล่งเงินทุน ค่าใช้จ่ายในการจัดตั้งบริษัทและขออนุญาตประกอบกิจการ ค่าเดินทางติดต่องานและค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ในระยะก่อตั้งโรงงาน เป็นจำนวนเงิน 274,000 บาท ซึ่งในการดำเนินงานคาดว่าจะเริ่มได้ตั้งแต่ 2550 เป็นต้นไป โดยมีละเอียดดังนี้

เงินเดือนผู้บริหารโครงการ	175,000 บาท
ค่าเดินทางติดต่อ	30,000 บาท
ค่าธรรมเนียมในการขออนุญาตตั้งบริษัทและโรงงาน	25,000 บาท
ค่าใช้จ่ายในการขอกู้เงิน	19,000 บาท
อื่น ๆ	25,000 บาท

5.3.2 ต้นทุนการผลิตของโครงการ

จากรายละเอียดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของโครงการ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น สามารถที่จะนำมาคำนวณพิจารณาหาต้นทุนการผลิตของโครงการได้ โดยแบ่งพิจารณาออกเป็น 2 ประเภท คือ ต้นทุนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับโรงงาน และ ต้นทุนการผลิตที่ไม่เกี่ยวข้องกับโรงงาน

1) ต้นทุนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับโรงงาน เป็นค่าใช้จ่ายในการผลิตโดยตรง ซึ่งประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายด้านวัตถุดิบ แรงงาน และค่าโสหุ้ยในการผลิตต่าง ๆ

ก. วัตถุดิบ วัตถุดิบที่ใช้จะเป็นแท่งไทเทเนียมบริสุทธิ์เกรด 4 ที่นำเข้ามาจากอังกฤษ ซึ่งไทเทเนียมจะมีลักษณะคล้ายเหล็กเส้นซึ่งมีขนาด 1.8 ปอนด์ต่อเส้น ยาวเส้นละ 3.65 เมตร

วัตถุดิบไทเทเนียมราคา 40 เหรียญ/ปอนด์(ขั้นต่ำ 100 ปอนด์)	4,000.00	เหรียญ
ค่าส่ง	14.75	เหรียญ
ค่าภาษี	5.94	เหรียญ
ราคาไทเทเนียมในการซื้อแต่ละครั้ง (40 บาท/เหรียญ)	4,020.69	เหรียญ
รวม	160,816.00	บาท

จากการศึกษาด้านวิศวกรรมไทเทเนียม 1 เส้น สามารถผลิตรากฟันทียมได้ 304 ชิ้น จากการซื้อไทเทเนียมในหนึ่งครั้งสามาถซื้อวัตถุดิบได้ (100/1.8) = 55.5 เส้นต่อครั้ง ดังนั้นในการสั่งซื้อหนึ่งครั้งสามารถผลิตไทเทเนียมได้ 16,872 ชิ้น เมื่อคำนวณราคาวัตถุดิบต่อชิ้นจะมีราคาเท่ากับ (160,816 / 16,872) = 9.52 บาท/ชิ้น

ข. บรรจุภัณฑ์ ลักษณะของบรรจุภัณฑ์จะเป็นซองปิดผนึก ป้องกันเชื้อโรค มีราคาจำหน่าย 5 บาทต่อชิ้น

ค. แรงงาน ค่าใช้จ่ายแรงงานด้านการผลิตแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ แรงงานทางตรงและแรงงานทางอ้อม มีค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 1,050,000 บาทต่อปี รายละเอียดดังต่อไปนี้

- ค่าจ้างแรงงานทางตรง ประเมินไว้ทั้งสิ้น 270,000 บาทต่อปี

	จำนวน	ค่าจ้างต่อเดือน(บาท)	ค่าจ้างต่อปี(บาท)
1. ช่างเทคนิค	3	7,500	270,000
รวม	3		270,000

- ค่าจ้างแรงงานทางอ้อม ประเมินไว้ทั้งสิ้น 636,000 บาทต่อปี

	จำนวน	ค่าจ้างต่อเดือน(บาท)	ค่าจ้างต่อปี(บาท)
แรงงานทางอ้อม			
1. วิศวกรผลิต	1	15,000	180,000
2. วิศวกรออกแบบ	1	15,000	180,000
3. หัวหน้างาน	1	12,000	144,000
4. เจ้าหน้าที่ห้องทดลอง	1	11,000	132,000
รวม	5		636,000

ง. สวัสดิการ (Fringe Benefit) ได้แก่เงินช่วยเหลือค่าครองชีพ ค่ารักษาพยาบาล ฯ ได้ประเมินไว้ร้อยละ 10 ของเงินค่าจ้างแรงงานทางตรง ซึ่งคิดเป็นจำนวน 27,000 บาท

จ. ไฟฟ้า และ น้ำ จากการศึกษาด้านวิศวกรรม ซึ่งปรากฏว่า พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในการดำเนินงาน เท่ากับ 71.55 กิโลวัตต์ และปริมาณการใช้ไฟฟ้าแต่ละเดือนเท่ากับ 11,448 หน่วย สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม ส่วนราชการที่มีลักษณะเป็นอุตสาหกรรม รัฐวิสาหกิจ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุด ตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ แต่ไม่ถึง 1,000 กิโลวัตต์ และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน ไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียวซึ่งสามารถคำนวณค่าไฟฟ้าของโรงงานตามอัตราประเภท 3.2 ตามที่กำหนดไว้โดยการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค[1] ดังนี้

ความต้องการพลังงานไฟฟ้า			
แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลท์ขึ้นไป (74.14 บาท/กิโลวัตต์)	=	5,304.71	บาท
กำลังกระแสไฟฟ้า			
แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลท์ขึ้นไป (2.6136 บาท/หน่วย)	=	29,920.49	บาท
ค่าบริการ	=	228.17	บาท/เดือน
รวม		35,453.37	บาท/เดือน
ราคาค่าน้ำ (10% ของค่าไฟฟ้า)	=	3,545.34	บาท/เดือน

ฉ. ค่าประกันภัย ค่าใช้จ่ายเบี้ยประกันอัคคีภัยในแต่ละปีของอาคารโรงงานรวมไฟฟ้าและท่อน้ำติดตั้งในโรงงาน และเครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิต ประเมินไว้ร้อยละ 0.5 คิดเป็นมูลค่า 35,750 บาทต่อปี

ช. ค่าซ่อมแซมบำรุงรักษาและค่าชิ้นส่วนอะไหล่เครื่องจักร ค่าใช้จ่ายในด้านนี้ได้ประเมินไว้ 5 % ของมูลค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิต คิดเป็นมูลค่า 291,500 บาทต่อปี

ซ. ค่าเสื่อมราคา การคำนวณค่าเสื่อมราคาของทรัพย์สินถาวรในโรงงานได้ยึดหลักเกณฑ์ว่าเมื่อหมดอายุใช้งานแล้ว มูลค่าสุดท้ายจะเท่ากับศูนย์

- เครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิตได้ประเมินอายุการใช้งานไว้ 10 ปี นั่นคืออัตราค่าเสื่อมราคาร้อยละ 10 ของมูลค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิต คิดเป็นมูลค่า 518,000 บาทต่อปี

- อุปกรณ์โรงงาน ได้ประเมินอายุการใช้งานไว้ 10 ปี นั่นคืออัตราค่าเสื่อมราคาร้อยละ 10 ของมูลค่าอุปกรณ์โรงงาน คิดเป็นมูลค่า 65,000 บาทต่อปี

- อาคารโรงงาน ได้ประเมินอายุการใช้งานไว้ 20 ปี หรืออัตราค่าเสื่อมราคาร้อยละ 5 ของมูลค่าอาคารโรงงาน คิดเป็นมูลค่า 66,000 บาทต่อปี

- ไฟฟ้าและท่อน้ำติดตั้งในโรงงาน ประเมินอายุการใช้งานไว้ 10 ปี คิดเป็นมูลค่า 18,000 บาทต่อปี

ญ. อื่น ๆ ค่าใช้จ่ายทั่วไปในด้านการผลิตและอื่น ๆ ได้ประเมินไว้ร้อยละ 5 ของค่าใช้จ่ายในผลิตและอื่น ๆ คิดเป็นจำนวนเงิน 41,111 บาทต่อปี

2) ต้นทุนการผลิตที่ไม่เกี่ยวข้องกับโรงงาน เป็นค่าใช้จ่ายในการบริหารและอื่น ๆ ซึ่งจะอำนวยให้การดำเนินการตามโครงการเป็นไปได้ด้วยดี ค่าใช้จ่ายในด้านนี้ประกอบไปด้วย ค่าจ้างแรงงานด้านบริหาร ค่าใช้จ่ายสำนักงานต่าง ๆ รวมทั้งค่าดอกเบี้ยเงินกู้ธนาคาร เป็นต้น

ก. แรงงานด้านบริหาร

	จำนวน	ค่าจ้างต่อเดือน(บาท)	ค่าจ้างต่อปี(บาท)
แรงงานด้านบริหาร			
1. ผู้จัดการทั่วไป	1	30,000	360,000
2. เจ้าหน้าที่การตลาด	1	10,000	120,000
3. เจ้าหน้าที่ธุรการและการเงิน	1	10,000	120,000
4. เจ้าหน้าที่บุคคล	1	10,000	120,000
4. พนักงานรักษาความปลอดภัย	1	6,500	78,000
5. พนักงานขับรถ	2	6,500	156,000
รวม	7	79,500	954,000

ข. สวัสดิการ (Fringe Benefit) ได้แก่เงินช่วยเหลือค่าครองชีพ ค่ารักษาพยาบาล ฯ ได้ประเมินไว้ร้อยละ 10 ของเงินค่าจ้างแรงงานด้านบริหาร ซึ่งคิดเป็นจำนวน 95,400 บาท

ค. ค่าเสื่อมราคา การคำนวณค่าเสื่อมราคาของทรัพย์สินถาวร (ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการผลิตโดยตรง) ได้ยึดถือหลักเกณฑ์ไว้ว่าเมื่อหมดอายุใช้งานแล้วมูลค่าสุดท้ายเท่ากับศูนย์

- อาคารสำนักงาน ได้ประเมินอายุการใช้งานไว้ 20 ปี หรือคิดอัตราค่าเสื่อมราคาเป็น 5 % ของมูลค่าอาคารสำนักงาน คิดเป็นมูลค่า 30,000 บาทต่อปี

- ไฟฟ้าและท่อน้ำติดตั้งในอาคารสำนักงาน ได้ประเมินอายุใช้งานไว้ 10 ปี หรืออัตราค่าเสื่อมราคาร้อยละ 10 ของค่าใช้จ่ายในการติดตั้งไฟฟ้าท่อน้ำในอาคารสำนักงาน คิดเป็นมูลค่า 6,000 บาทต่อปี

- ครุภัณฑ์สำนักงาน อายุใช้งานของครุภัณฑ์ที่ใช้ในสำนักงานได้ประเมินไว้ 10 ปี หรืออัตราค่าเสื่อมราคาร้อยละ 10 ของมูลค่าครุภัณฑ์สำนักงาน คิดเป็นมูลค่า 26,850 บาทต่อปี

- ยานพาหนะ อายุใช้งานของยานพาหนะได้ประเมินไว้ 5 ปี หรืออัตราค่าเสื่อมราคาร้อยละ 20 ของยานพาหนะ คิดเป็นมูลค่า 180,000 บาทต่อปี

ง. เงินหักล้าง ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินการ ได้ประเมินไว้ว่าถูกหักล้างภายใน 10 ปี ซึ่งคิดเป็นจำนวนเงินหักล้าง 27,400 บาทต่อปี

จ. ค่าน้ำมันยานพาหนะ ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับน้ำมันยานพาหนะซึ่งจะรวมทั้งน้ำมันเชื้อเพลิงและน้ำมันหล่อลื่น เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการรับส่งสินค้าสำเร็จรูปไปยังลูกค้าตลอดจนถึงการขนส่งต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงาน ซึ่งได้ประเมินไว้ว่า ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงอยู่ที่ 30 บาทต่อลิตร โดยคิดในราคาเหมาจ่าย 30,000 บาทต่อเดือน

ฉ. ค่าโทรศัพท์ โทรสาร เป็นค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการติดต่อทางด้านธุรกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงาน ซึ่งได้ประเมินไว้ว่า โดยคิดในราคาเหมาจ่าย 10,000 บาทต่อเดือน

ช. อื่น ๆ ค่าใช้จ่ายทั่วไปในด้านการบริหารและอื่น ๆ เช่น ค่าเครื่องเขียนต่าง ๆ ได้ประเมินไว้ร้อยละ 5 ของค่าใช้จ่ายในขายการบริหารงานและอื่น ๆ คิดเป็นจำนวนเงิน 76,470 บาทต่อปี

5.4 การวิเคราะห์การลงทุน

การศึกษาด้านการเงินและการลงทุนของโครงการเกี่ยวข้องกับค่าใช้จ่ายการลงทุน ว่าต้องใช้เงินในด้านใดบ้าง เป็นจำนวนเท่าใด จะหาเงินทุนได้จากแหล่งใด โครงการนี้จะให้ผลตอบแทนการลงทุนสูงต่ำอย่างไร นอกจากนี้ยังต้องมีการวิเคราะห์ความไวของโครงการ เพื่อดูว่าอัตราผลตอบแทนการลงทุนจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรหากมีการเปลี่ยนแปลงในราคาวัตถุดิบ ปริมาณการผลิต หรือราคาขาย ในอนาคต ทั้งนี้เพื่อทดสอบถึงความเป็นไปได้ของโครงการในสภาพการณ์ต่าง ๆ ที่ผิดไปจากที่ได้คาดคะเนไว้

5.4.1 การประมาณการลงทุนของโครงการ

การลงทุนของโครงการแบ่งออกเป็นสองส่วนด้วยกันคือ ส่วนที่ต้นทุนทรัพย์สินก่อนการดำเนินงาน ซึ่งได้แก่ค่าที่ดิน ค่าก่อสร้างอาคารโรงงาน ค่าก่อสร้างอาคารสำนักงาน และค่าเครื่องจักรอุปกรณ์การผลิต ฯ และส่วนที่เป็นเงินทุนหมุนเวียน ซึ่งถูกกำหนดขึ้นจากค่าใช้จ่ายเป็นเงินสดที่ประเมินจากการดำเนินงานในระยะเวลา 3 เดือน เป็นค่าวัตถุ ค่าแรงงาน ฯลฯ ดังมีรายละเอียดดังนี้

1) การประมาณการต้นทุนด้านทรัพย์สินและค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนิน ต้นทุนเพื่อการจัดตั้งโรงงานแยกตามชนิดของค่าใช้จ่าย และทรัพย์สิน

ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน	274,000	บาท
ที่ดินและสิ่งก่อสร้าง (รวมอาคารโรงงานและสำนักงาน)		
- ที่ดิน	1,150,000	บาท
- อาคารโรงงานและสำนักงาน	1,800,000	บาท
- ที่จอดรถและรั้ว	128,400	บาท
ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งไฟฟ้า ท่อน้ำ	180,000	บาท
เครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิต	5,180,000	บาท
อุปกรณ์ในโรงงาน	650,000	บาท
ยานพาหนะ	900,000	บาท
ครุภัณฑ์สำนักงาน	268,500	บาท

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) การประมาณเงินทุนหมุนเวียน สำหรับเงินทุนหมุนเวียนนั้นได้กำหนดขึ้นจากค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่เป็นเงินสดในปีที่ผลิตปกติเป็นระยะเวลา 3 เดือน เป็นจำนวนเงิน 536,215 บาทดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

วัตถุดิบ	5,082	บาท
เงินเดือนค่าจ้างแรงงานด้านผลิต	226,500	บาท
ค่าใช้จ่ายในการผลิตอื่น ๆ (ไม่รวมค่าเสื่อมราคา)	21,510	บาท
ค่าใช้จ่ายในการบริหารงาน(ไม่รวมค่าเสื่อมราคา)	283,124	บาท

5.4.2 แหล่งเงินทุน

การลงทุนสำหรับโครงการนี้ได้ประมาณไว้เป็นจำนวนเงิน 10,530,900 บาท โดยจะเป็นเงินทุนที่ได้มาจากผู้ถือหุ้นจำนวน 6,000,000 บาท และจะมีเงินทุนอีกส่วนหนึ่งที่ได้มาจากเงินกู้จากแหล่งสถาบันการเงินต่าง ๆ เช่น ธนาคารพาณิชย์ต่าง ๆ หรือ จากบริษัทเงินทุนอื่น ๆ ซึ่งในที่นี้ได้รับการช่วยเหลือด้านเงินกู้จากธนาคารพาณิชย์แห่งหนึ่ง จะสมมุติให้การถือหุ้น และการกู้ยืมเงินมีอัตราส่วน คือ 57 : 43 โดยสามารถสรุปรายละเอียดในการกู้เงินได้ดังนี้

- ประเภทการกู้เงินระยะยาว มีวงเงินกู้ 4,600,000 บาท
- อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ระยะยาวคิดที่ MRR = 8.25% ต่อปี มีระยะเวลาชำระคืนเงินต้นพร้อมดอกเบี้ยที่ 5 ปี
- การชำระคืนเงินต้นและดอกเบี้ยจะชำระคืนเมื่อสิ้นปีแรกของการดำเนินการ
- ประเภทการกู้เงินระยะสั้น เพื่อใช้เป็นเงินหมุนเวียน
- อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ระยะสั้นคิดที่ MRR = 8.25% ต่อปี

ตารางที่ 5.6 แผนการเบิกและชำระเงินกู้ระยะยาว

รายการ	2550	2551	2552	2553	2554	2555
เบิกเงินกู้(ปลายปี)	4,600,000	0	0	0	0	0
ยอดคงเหลือต้นปี	0	4,600,000	3,680,000	2,760,000	1,840,000	920,000
ชำระเงินต้น(ต่อปี)	0	920,000	920,000	920,000	920,000	920,000
ยอดคงเหลือปลายงวด	4,600,000	3,680,000	2,760,000	1,840,000	920,000	0
ชำระดอกเบี้ย	0	379,500	303,600	227,700	151,800	75,900
รวมชำระเงินต้นและดอกเบี้ย	0	1,299,500	1,223,600	1,147,700	1,071,800	995,900

ตารางที่ 5.7 แผนการเบิกและชำระเงินกู้ระยะสั้น

รายการ	2550	2551	2552	2553	2554	2555
ขอวงเงินกู้เพิ่ม (ต้นปี)	0	536,215	24,045	14,806	19,248	25,023
วงเงินกู้เพิ่ม ที่ขอ	0	536,215	560,260	575,066	594,314	619,337
ชำระดอกเบี้ย	0	44,238	46,221	47,443	49,031	51,095
รวมชำระเงินดอกเบี้ย	0	44,238	46,221	47,443	49,031	51,095

5.4.3 การประมาณการด้านการเงิน

ในการดำเนินการได้ประมาณการด้านการเงินของโครงการในแต่ละปีตั้งแต่ พ.ศ. 2551 โดยได้ประมาณการต้นทุนสินค้าขาย ค่าใช้จ่ายในการบริหารงานและอื่น ๆ งบกำไรขาดทุน และการเคลื่อนไหวของเงินสด (Cash Flow) ดังนี้

1) การประมาณการต้นทุนสินค้าขาย ในปี พ.ศ.2551 จากการประมาณการต้นทุนสินค้าขายในปี พ.ศ.2551 ได้คำนวณโดยยึดถือปริมาณการผลิตในแต่ละปีเป็นเกณฑ์ คือ ในปีแรกคือ ดำเนินการผลิตเพียง 1,400 ชิ้น และจะเพิ่มขึ้นขึ้นเรื่อย ๆ ดังการพยากรณ์ทางด้านการตลาด ซึ่งแสดงในตารางที่ 5.2

สำหรับต้นทุนประเภทต่าง ๆ ในการผลิตนั้นได้ดำเนินการประเมินไว้ดังนี้

ก. วัตถุดิบ และบรรจุภัณฑ์ มูลค่าวัตถุดิบที่ใช้ประเมินไว้จำนวนเงินทั้งสิ้นในปีแรก 20,328 บาท และจะเพิ่มขึ้นขึ้นเรื่อย ๆ ดังการพยากรณ์ทางด้านการตลาด ซึ่งแสดงในตารางที่ 5.2

ข. เงินเดือนค่าจ้างแรงงาน ค่าใช้จ่ายของแรงงานที่เกี่ยวข้องโดยตรงในการผลิต ได้ประเมินไว้เป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 906,000 บาท

ค. ค่าใช้จ่ายในการผลิตอื่น ๆ ประมาณค่าใช้จ่ายไว้ดังนี้

1) ค่าเสื่อมราคา การคำนวณค่าเสื่อมราคาของทรัพย์สินถาวรในโรงงานได้ยึดหลักเกณฑ์ว่าเมื่อหมดอายุใช้งานแล้ว มูลค่าสุดท้ายจะเท่ากับศูนย์

- เครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิตได้ประเมินอายุการใช้งานไว้ 10 ปี นั่นคืออัตราค่าเสื่อมราคาร้อยละ 10 ของมูลค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิต คิดเป็นมูลค่า 518,000 บาทต่อปี

- อุปกรณ์โรงงาน ได้ประเมินอายุการใช้งานไว้ 10 ปี นั่นคืออัตราค่าเสื่อมราคาร้อยละ 10 ของมูลค่าอุปกรณ์โรงงาน คิดเป็นมูลค่า 65,000 บาทต่อปี

- อาคารโรงงาน ได้ประเมินอายุการใช้งานไว้ 20 ปี หรืออัตราค่าเสื่อมราคาร้อยละ 5 ของมูลค่าอาคารโรงงาน คิดเป็นมูลค่า 66,000 บาทต่อปี

- ไฟฟ้าและท่อน้ำติดตั้งในโรงงาน ประเมินอายุการใช้งานไว้ 10 ปี หรืออัตราค่าเสื่อมราคาร้อยละ 10 ของมูลค่าไฟฟ้าและท่อน้ำติดตั้งในโรงงาน คิดเป็นมูลค่า 12,000 บาทต่อปี

ง. ค่าประกันภัย ค่าใช้จ่ายเบี้ยประกันอัคคีภัยในแต่ละปีของอาคารโรงงานรวมไฟฟ้าและท่อน้ำติดตั้งในโรงงาน และเครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิต ประเมินไว้ร้อยละ 0.5 คิดเป็นมูลค่า 35,750 บาทต่อปี

จ. ค่าซ่อมแซมบำรุงรักษาและอะไหล่เครื่องจักร ค่าใช้จ่ายในแต่ละปีประเมินไว้ร้อยละ 5 ของมูลค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิต คิดเป็นมูลค่า 291,500 บาทต่อปี

ช. ค่าไฟฟ้า และ น้ำ ประเมินไว้ที่ 467,976 บาทต่อปี

ซ. ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ได้ประเมินไว้ 5 % ของมูลค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิต คิดเป็นมูลค่า 41,111 บาทต่อปี

2) การประมาณค่าใช้จ่ายในการบริหารและงานอื่น ๆ สำหรับค่าใช้จ่ายในการบริหารและงานอื่น ๆ ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับการผลิตโดยตรงนั้นมีลักษณะที่ค่อนข้างคงที่ กล่าวคือไม่ได้แปรผันไปตามปริมาณการผลิตแต่ละปี (ยกเว้นกรณีที่มีการขยายกำลังการผลิต) สำหรับค่าใช้จ่ายในแต่ละประเภทได้ประเมินไว้ดังนี้

ก. เงินเดือนค่าจ้างแรงงาน ค่าใช้จ่ายของแรงงานที่เกี่ยวข้องในด้านการบริหารอื่น ๆ ได้ประเมินไว้เป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 954,000 บาทต่อปี

ข. ค่าเสื่อมราคา การคำนวณค่าเสื่อมราคาของทรัพย์สินถาวร (ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการผลิตโดยตรง) ได้ยึดถือหลักเกณฑ์ไว้ว่าเมื่อหมดอายุใช้งานแล้วมูลค่าสุดท้ายเท่ากับศูนย์

- อาคารสำนักงาน ได้ประเมินอายุการใช้งานไว้ 20 ปี หรือคิดอัตราค่าเสื่อมราคาเป็น 5 % ของมูลค่าอาคารสำนักงาน คิดเป็นมูลค่า 39,420 บาทต่อปี

- ไฟฟ้าและท่อน้ำติดตั้งในอาคารสำนักงาน ได้ประเมินอายุใช้งานไว้ 10 ปี หรืออัตราค่าเสื่อมราคาร้อยละ 10 ของค่าใช้จ่ายในการติดตั้งไฟฟ้าท่อน้ำในอาคารสำนักงาน คิดเป็นมูลค่า 6,000 บาทต่อปี

- ครุภัณฑ์สำนักงาน อายุใช้งานของครุภัณฑ์ที่ใช้ในสำนักงานได้ประเมินไว้ 10 ปี หรืออัตราค่าเสื่อมราคาร้อยละ 10 ของมูลค่าครุภัณฑ์สำนักงาน คิดเป็นมูลค่า 26,850 บาทต่อปี

- ยานพาหนะ อายุใช้งานของยานพาหนะได้ประเมินไว้ 5 ปี หรืออัตราค่าเสื่อมราคาร้อยละ 20 ของยานพาหนะ คิดเป็นมูลค่า 180,000 บาทต่อปี

ค. เงินหักล้าง ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินการ ได้ประเมินไว้ว่าถูกหักล้างภายใน 10 ปี ซึ่งคิดเป็นจำนวนเงินหักล้าง 27,400 บาทต่อปี

ง. ค่าน้ำมันยานพาหนะ ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับน้ำมันยานพาหนะซึ่งจะรวมทั้งน้ำมันเชื้อเพลิงและน้ำมันหล่อลื่น เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการรับส่งสินค้าสำเร็จรูปไปยังลูกค้าตลอดจนถึงการขนส่งต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงาน ซึ่งได้ประเมินไว้ว่า ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงอยู่ที่ 30 บาทต่อลิตร โดยคิดในราคาเหมาจ่าย 30,000 บาทต่อเดือน

จ. ค่าโทรศัพท์ โทรสาร เป็นค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการติดต่อทางด้านธุรกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงาน ซึ่งได้ประเมินไว้ว่า โดยคิดในราคาเหมาจ่าย 10,000 บาทต่อเดือน

ฉ. อื่น ๆ ค่าใช้จ่ายทั่วไปในด้านการบริหารและอื่น ๆ เช่น ค่าเครื่องเขียนต่าง ๆ ได้ประเมินไว้ร้อยละ 5 ของค่าใช้จ่ายในขายการบริหารงานและอื่น ๆ คิดเป็นจำนวนเงิน 76,470 บาทต่อปี

3) การประมาณการงบกำไรขาดทุน ในการประมาณการงบกำไร - ขาดทุน ได้ตั้งสมมุติฐานว่ารากฟันเทียมที่เกิดขึ้นจากการผลิตในแต่ละปีนั้น สามารถจำหน่ายได้หมด ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 5.8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.8 งบบัญชี กำไร - ขาดทุน (Profit & Loss Statement)

รายการ	2550	2551	2552	2553	2554	2555
ยอดขายในประเทศ	-	7,000,000	13,650,000	17,745,000	23,068,500	29,989,050
(หัก)ต้นทุนสินค้าขาย ณ โรงงาน	0	1,661,366	1,728,451	1,769,760	1,823,463	1,893,278
กำไรเบื้องต้น	0	5,338,647	11,921,597	15,975,187	21,244,991	28,095,817
หัก:						
ค่าใช้จ่ายการขายและบริหาร	0	1,132,495	1,161,589	1,179,504	1,202,794	1,233,072
ค่าเสื่อมบริหาร&ตัดบัญชีจ่าย	0	273,670	273,670	273,670	273,670	273,670
รายได้ก่อนภาษี&ดอกเบี้ย	0	3,932,482	10,486,338	14,522,013	19,768,527	26,589,075
ดอกเบี้ย:						
- เงินกู้ระยะยาว	0	379,500	303,600	227,700	151,800	75,900
- เงินกู้ระยะสั้น	0	44,238	46,221	47,443	49,031	51,095
รวมดอกเบี้ยจ่าย	0	423,738	349,821	275,143	200,831	126,995
รายได้ก่อนหักภาษี	0	3,508,744	10,136,517	14,246,870	19,567,696	26,462,080
(หัก)ภาษีเงินได้	0	-1,052,623	-3,040,955	-4,274,061	-5,870,309	-7,938,624
*** กำไรสุทธิ(ขาดทุน) ***	0	2,456,121	7,095,562	9,972,809	13,697,387	18,523,456
*** กำไรสะสม ***	0	2,456,121	9,551,683	19,524,492	33,221,879	51,745,335

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4) การประมาณการงบกระแสเงินสด เนื่องจากเงินสดเป็นทรัพย์สินที่มีความสำคัญต่อการดำเนินงาน คือสามารถนำไปใช้สอยได้ทันที งบการเคลื่อนไหวของเงินสดจะแสดงให้เห็นว่าโครงการได้รับเงินสดมาจากแหล่งใด เป็นจำนวนเท่าใด และจ่ายเงินสดไปทางใดบ้าง เป็นจำนวนเท่าไร เป็นต้น ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 งบกระแสเงินสด (Cash Flow Statment)

รายการ	2550	2551	2552	2553	2554	2555
กระแสเงินสดเข้า :						
- เจ้าของ,หุ้นส่วน	6,000,000	0	0	0	0	0
- เงินกู้ระยะยาว	4,600,000	0	0	0	0	0
- เงินกู้ระยะสั้น	0	536,215	24,045	14,806	19,248	25,023
- ยอดขาย		7,000,000	13,650,000	17,745,000	23,068,500	29,989,050
รวมกระแสเงินสดเข้า	10,600,000	7,536,228	13,674,093	17,759,753	23,087,703	30,014,118
กระแสเงินสดออก :						
- เงินซื้อสินค้าทุน	10,530,900	0	0	0	0	0
- วัตถุดิบ บรรจุภัณฑ์	0	20,328	39,640	51,531	66,991	87,088
- ค่าแรงงานทางตรง	0	270,000	270,000	270,000	270,000	270,000
- โสหุ้ยการผลิต	0	722,038	769,811	799,228	837,472	887,189
- ค่าใช้จ่ายการขายและบริหาร	0	1,132,495	1,161,589	1,179,504	1,202,794	1,233,072
ชำระเงินต้น						
- เงินกู้ระยะยาว	0	920,000	920,000	920,000	920,000	920,000
ดอกเบี้ยจ่าย	0	423,738	349,821	275,143	200,831	126,995
ภาษีเงินได้	0	1,052,623	3,040,955	4,274,061	5,870,309	7,938,624
รวมกระแสเงินสดออก	10,530,900	4,541,222	6,551,816	7,769,467	9,368,397	11,462,968
กระแสเงินสดสุทธิ	69,100	2,995,006	7,122,277	9,990,286	13,719,306	18,551,150
ยอดคงเหลือต้นปี	0	69,100	3,064,106	10,186,383	20,176,668	33,895,974
ยอดคงเหลือปลายปี	69,100	3,064,106	10,186,383	20,176,668	33,895,974	52,447,123

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.10 งบดุล (Balance Sheet)

รายการ	2550	2551	2552	2553	2554	2555
ทรัพย์สินหมุนเวียน :						
- เงินสดในมือ & ธนาคาร	69,100	3,064,106	10,186,383	20,176,668	33,895,974	52,447,123
- ลูกหนี้	0	0	0	0	0	0
- สินค้าคงเหลือ	0	0	0	0	0	0
รวมทรัพย์สินหมุนเวียน	69,100	3,064,106	10,186,383	20,176,668	33,895,974	52,447,123
ทรัพย์สินถาวรสุทธิ :						
- ที่ดิน	1,150,000	1,150,000	1,150,000	1,150,000	1,150,000	1,150,000
- อาคารโรงงาน	1,320,000	1,254,000	1,188,000	1,122,000	1,056,000	990,000
- เครื่องจักร	5,180,000	4,662,000	4,144,000	3,626,000	3,108,000	2,590,000
- อุปกรณ์โรงงาน	650,000	585,000	520,000	455,000	390,000	325,000
- อาคารสำนักงาน	788,400	748,980	709,560	670,140	630,720	591,300
- อุปกรณ์สำนักงาน	268,500	241,650	214,800	187,950	161,100	134,250
- ยานยนต์	900,000	720,000	540,000	360,000	180,000	0
- รายจ่ายก่อนดำเนินการ	274,000	246,600	219,200	191,800	164,400	137,000
รวมทรัพย์สินถาวร	10,530,900	9,608,230	8,685,560	7,762,890	6,840,220	5,917,550
*** รวมทรัพย์สิน ***	10,600,000	12,672,336	18,871,943	27,939,558	40,736,194	58,364,673
หนี้สินและส่วนผู้ถือหุ้น :	2550	2551	2552	2553	2554	2555
- เงินกู้ระยะสั้น	0	536,215	560,260	575,066	594,314	619,337
- เจ้าหนี้	0	0	0	0	0	0
รวมหนี้สินหมุนเวียน	0	536,215	560,260	575,066	594,314	619,337
หนี้สินระยะยาว :						
- เงินกู้ระยะยาว	4,600,000	3,680,000	2,760,000	1,840,000	920,000	0
ส่วนของทุน :						
- เจ้าของและส่วนผู้ถือหุ้น	6,000,000	6,000,000	6,000,000	6,000,000	6,000,000	6,000,000
- กำไรสะสม	0	2,456,121	9,551,683	19,524,492	33,221,880	51,745,335
รวมส่วนของทุน	6,000,000	8,456,121	15,551,683	25,524,492	39,221,880	57,745,335
*** รวมหนี้สินและทุน ***	10,600,000	12,672,336	18,871,943	27,939,558	40,736,194	58,364,673

5.4.4 การวิเคราะห์การลงทุน

จุดประสงค์ในการวิเคราะห์การลงทุนเพื่อศึกษาว่าโครงการลงทุนดังกล่าวนี้มีความเหมาะสมในด้านการเงินอย่างไร โดยจะพิจารณาจากผลตอบแทนการลงทุนว่าเป็นอย่างไร ผลการดำเนินงานสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลากี่ปี ซึ่งในที่นี้จะได้วิเคราะห์การลงทุน ประการด้วยกันคือ อัตราผลตอบแทนการลงทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และระยะเวลาคืนทุนเพื่อคิดผลตอบแทนเป็นเงินสดในราคาปัจจุบัน

1) มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ ถ้ามีค่าเป็นบวกยิ่งสูงมากเท่าใด โครงการลงทุนนั้นมีความน่าลงทุนมากเท่านั้น ในการคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ จะเขียนได้ในรูปของสูตร คือ

$$NPV = \sum_{i=1}^{n} \frac{R_i}{(1+r)^n} - C$$

โดยที่

C = จำนวนเงินทุนเริ่มแรก

R_i = เงินสดรับหรือจ่ายสุทธิของโครงการแต่ละปี

n = จำนวนปี

r = อัตราดอกเบี้ย

อัตราดอกเบี้ยเท่ากับ 10 % เนื่องจากบริษัทจัดอยู่ในกลุ่มธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อม เป็นธุรกิจ SME จึงนำข้อมูลอัตราผลตอบแทนของผู้ประกอบการธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อมจาก บล.วรรณอินเวสเม้นท์ เป็นเกณฑ์ คือ ประมาณ 10 % ซึ่งสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ในปัจจุบัน คือ 8.25 ซึ่งมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ ในปีที่ 5 มีค่าเท่ากับ 27,571,755 บาท

$$NPV = -10{,}530{,}900 + 2{,}995{,}006/(1+0.1)] + [7{,}122{,}277 /(1+0.1)^2] + [9{,}990{,}285/(1+0.1)^3] + [13{,}719{,}306/(1+0.1)^4] + [20{,}320{,}486/(1+0.1)^5]$$

= 27,571,755 บาท

2) อัตราผลตอบแทนการลงทุน เป็นการวิเคราะห์โดยใช้กระแสเงินสด เพื่อประเมินผลโครงการโดยการคำนวณหาอัตราส่วนลด (Discount Factor) ซึ่งจะทำให้มูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ในโครงการ เท่ากับมูลค่าปัจจุบันของรายได้จากการขายรากฟันเทียมของโครงการ ในการคำนวณหาอัตราผลตอบแทนการลงทุน จะเขียนได้ในรูปของสูตร คือ

$$\sum_{t=1}^{n}\left[\frac{At}{(1+r)^{t}}\right]-I=0$$

โดยที่

A	=	เงินสดไหลเข้าหรือไหลออกสุทธิ (Net Cash Flow) ในแต่ละปี
r	=	อัตราส่วนลดหรืออัตราดอกเบี้ยที่จะทำให้มูลค่าปัจจุบันของเงินสดไหลออกเท่ากับ มูลค่าปัจจุบันของเงินสดไหลเข้า
I	=	จำนวนเงินลงทุนซึ่งหมายถึงเงินไหลออก
n	=	จำนวนปีดำเนินการผลิต

จากการคำนวณจากได้อัตราผลตอบแทนการลงทุน เท่ากับ 63.02 % ซึ่งโครงการนี้มีผลของอัตราผลตอบแทนการลงทุนค่อนข้างมาก

สมมุติให้ค่า r = 58 %

NPV = -10,530,900 + 2,995,006/(1+0.58)] + [7,122,277 /(1+0.58)^2]
+[9,990,285/(1+0.58)^3]+[13,719,306/(1+0.58)^4]+[20,320,486/(1+0.58)^5]
= 1,011,586 บาท

สมมุติให้ค่า r = 68 %

NPV = -10,530,900 + 2,995,006/(1+0.68)] + [7,122,277 /(1+0.68)^2]
+[9,990,285/(1+0.68)^3]+[13,719,306/(1+0.68)^4]+[20,320,486/(1+0.68)^5]
= -880,181 บาท

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าค่าของ r ที่จะทำให้ค่าทั้งสองด้านเท่ากันจะต้องอยู่ระหว่าง ค่า r = 58 % และ 68 %

IRR = 58 + 10 (880,181 / 1,891,767)
= 63.02 %

3) ระยะเวลาคืนทุนเพื่อคิดผลตอบแทนเป็นเงินสดในราคาปัจจุบัน เพื่อเป็นที่ทราบกันว่าหากการดำเนินการได้รับผลตอบแทนการคุ้มทุนกับจำนวนเงินที่ลงทุนได้รวดเร็วเท่าไรก็จะเป็นการดีมากขึ้นเท่านั้น เพราะโอกาสเสี่ยงต่อการขาดทุนในอนาคตมีค่าน้อยลง และอีกประการหนึ่งที่ผู้ลงทุนสามารถนำเงินทุนที่ถอนคืนมาได้นี้ไปลงทุนหาผลประโยชน์ในกิจกรรมต่อไป โดยเขียนสูตรได้ดังนี้

$$\sum_{t=1}^{n} At \geq \sum_{t=1}^{n} It$$

และ

$$At = \frac{Rt + Pt}{(1+i)^t}$$

โดยที่

At = ผลตอบแทนเงินสดสุทธิในปี t เป็นมูลค่าปัจจุบัน

It = การลงทุนในปี t เป็นมูลค่าปัจจุบัน

t = ปีการดำเนินการผลิต

n = จำนวนปีที่ผลตอบแทนเงินสดสุทธิเท่ากับการลงทุน

Rt = เงินสดเข้าสุทธิในปี t

Pt = ดอกเบี้ยเงินกู้ในปี t

จากผลการคำนวณในการหาระยะเวลาคืนทุน สามารถคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนได้ที่ระยะเวลา 2.2 ปี จะเห็นได้ว่าการดำเนินงานในโครงการนี้สามารถคืนทุนได้ปานกลาง จึงนับได้ว่าโครงการนี้เหมาะสมที่จะลงทุน แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนมีจุดด้อยที่ไม่ได้พิจารณากระแสเงินสดหลังจากคุ้มทุนแล้ว ดังนั้นควรจะพิจารณาประกอบกับแนวทางอื่น ๆ จะทำให้การวิเคราะห์ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

NPV_3 = -10,530,900 + 2,995,006/(1+0.1)] + [7,122,277 /(1+0.1)^2]
+ [9,990,285/(1+0.1)^3]
= 5,583,861 บาท

NPV_2 = -10,530,900 + 2,995,006/(1+0.1)] + [7,122,277 /(1+0.1)^2]
= -1,981,988 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = 2 + (1,981,988 / 7,571,849)
= 2.2 ปี

5.4.5 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ที่จะศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนคงที่ ต้นทุนแปรผันและกำไร โดยจะเป็นการศึกษาจุดที่มูลค่าการขายคุ้มกับต้นทุนการผลิตทั้งสิ้น ผลของการวิเคราะห์จะทำให้ทราบว่าที่จุดคุ้มทุนจะมีปริมาณการขายเท่าไหร่ มีราคาต่อหน่วยเป็นอย่างไร มีราคาขายต่อหน่วยเป็นอย่างไร ซึ่งอาจจะกล่าวสรุปของสูตรได้ดังนี้

$$\text{มูลค่าขายที่จุดคุ้มทุน} = \frac{\text{ต้นทุนคงที่}}{1 - \frac{\text{ต้นทุนผันแปร}}{\text{มูลค่าการขาย}}}$$

จากข้อมูลเกี่ยวกับต้นทุนคงที่ และต้นทุนแปรผันในการการผลิต สามารถแบ่งได้ดังนี้

1) ต้นทุนคงที่

ก. แรงงานด้านการผลิต	906,000	บาท
ข. ประกันภัย	35,750	บาท
ค. แรงงานด้านการบริหาร	954,000	บาท
ง. สวัสดิการแรงงานด้านบริหาร	95,400	บาท
จ. ค่าเสื่อมราคา	922,670	บาท
รวม	2,913,820	บาท

2) ต้นทุนแปรผัน

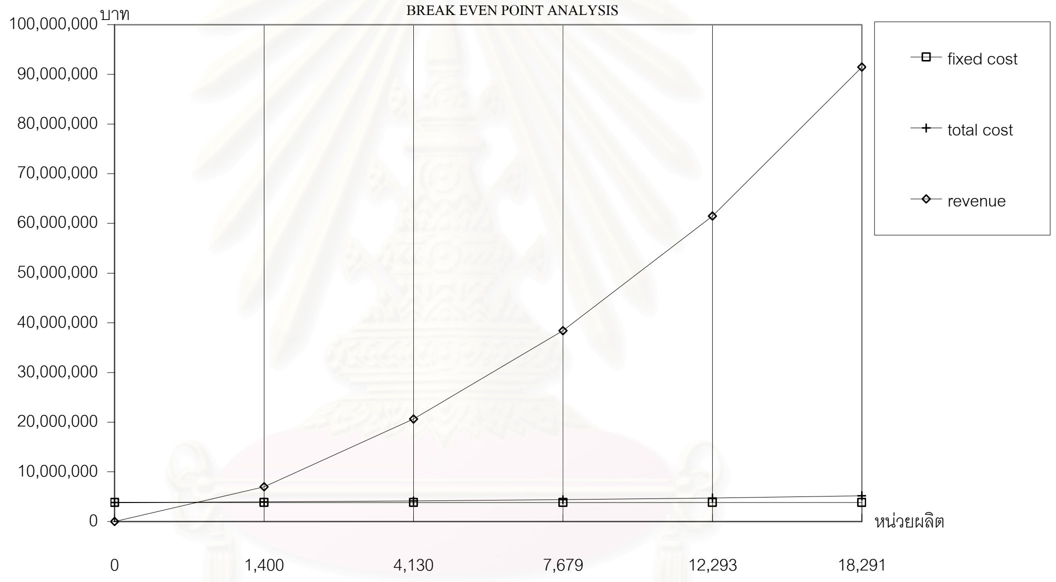
ก.วัตถุดิบ	13,328	บาท
ข.บรรจุภัณฑ์	70,000	บาท
ค.ค่าไฟฟ้า	425,436	บาท
ง.ค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักร	291,500	บาท
จ.สวัสดิการแรงงานทางตรง	27,000	บาท
ฉ.ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ด้านการผลิต	41,111	บาท
ช.น้ำมันเชื้อเพลิง	360,000	บาท
ซ.ค่าสื่อสาร	120,000	บาท
ฌ.ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ด้านการบริหาร	76,470	บาท
รวม	1,404,385	บาท

จากการคำนวณหาจุดคุ้มทุน สามารถแสดงผลได้ดังต่อไปนี้

$$\text{มูลค่าขายที่จุดคุ้มทุน} = \frac{2,913,820}{1 - \frac{1,404,385}{7,000,000}}$$

$$= 3,645,129$$

จุดคุ้มทุน(หน่วยการผลิต)	729	ชิ้น
จุดคุ้มทุน(จำนวนเงินค่าขาย)	3,645,129	บาท



ภาพที่ 5.6 กราฟแสดงการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4.6 การวิเคราะห์ความไว

เพื่อที่จะศึกษาถึงความเปลี่ยนแปลงในอัตราผลตอบแทนการลงทุนการลงทุน อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงในราคาขาย ค่าใช้จ่ายในการผลิต และอัตรดอกเบี้ยเงินกู้ เนื่องจากในสถานการณ์ปัจจุบันราคาของค่าโสหุ้ยมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตลอดเวลา เช่น ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าอะไหล่เครื่องจักรและซ่อมบำรุงเครื่องจักร เป็นต้น

จากผลการวิเคราะห์ความไวของการเปลี่ยนแปลงของราคาคาขาย จากตารางที่ 5.11 จะเห็นได้ว่าเมื่อราคาขายลดลง โครงการนี้มีความไวพอสมควรต่อการเปลี่ยนแปลงของราคาขาย แต่ในการลงทุนของโครงการนี้ก็ยังน่าที่จะลงทุน เนื่องจากถึงแม้ราคาขายจะลดลง 50 % มูลค่าปัจจุบันสุทธิก็ยังมีมูลค่าเท่ากับ 4,697,976 บาท โดยอัตราผลตอบแทนการลงทุนเท่ากับ 21.2 % ซึ่งก็ยังมากกว่าอัตราดอกเบี้ยที่ 10 %

ตารางที่ 5.11 การวิเคราะห์ความไวเมื่อเปลี่ยนแปลงราคาขาย

% การเปลี่ยนแปลง ราคาขาย	อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) (%)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) (บาท)
-50%	21.2	4,697,976
-40%	30.9	9,272,731
-30%	39.7	13,847,488
-20%	47.9	18,422,243
-10%	55.7	22,997,000
0%	63.0	27,571,755
+10%	70.0	32,146,511
+20%	76.9	36,721,266
+30%	83.5	41,296,022
+40%	90.0	45,870,778
+50%	96.3	50,445,534

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการวิเคราะห์ความไวของการเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายในการผลิต จากตารางที่ 5.12 เมื่อค่าใช้จ่ายในการผลิตเพิ่มขึ้นหรือลดลง การเปลี่ยนแปลงของมูลค่าปัจจุบันสุทธิจะเปลี่ยนแปลงไม่มาก ดังนั้นโครงการนี้มีความไวค่อนข้างน้อยต่อเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายในการผลิต

ตารางที่ 5.12 การวิเคราะห์ความไวเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าใช้จ่ายในการผลิต

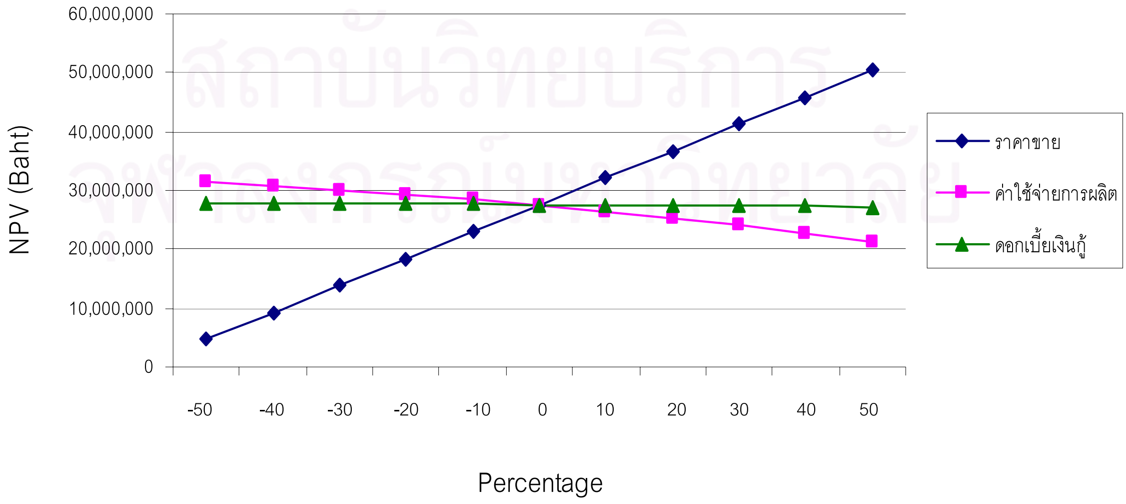
% การเปลี่ยนแปลง ค่าใช้จ่ายการผลิต	อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) (%)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) (บาท)
-50%	70.5	31,424,661
-40%	69.4	30,850,945
-30%	68.1	30,179,462
-20%	66.6	29,409,547
-10%	64.9	28,540,532
0%	63.0	27,571,755
+10%	60.9	26,502,547
+20%	58.7	25,332,245
+30%	56.2	24,060,180
+40%	53.6	22,685,690
+50%	50.7	21,208,108

จากผลการวิเคราะห์ความไวของการเปลี่ยนแปลงของดอกเบี้ยเงินกู้ จากตารางที่ 5.13 เมื่อดอกเบี้ยเงินกู้เพิ่มขึ้นหรือลดลง การเปลี่ยนแปลงของมูลค่าปัจจุบันสุทธิจะเปลี่ยนแปลงไม่มาก ดังนั้นโครงการนี้มีความไวค่อนข้างน้อยต่อเปลี่ยนแปลงของดอกเบี้ยเงินกู้

ตารางที่ 5.13 การวิเคราะห์ความไวเมื่อเปลี่ยนแปลงดอกเบี้ยเงินกู้

% การเปลี่ยนแปลง ดอกเบี้ยเงินกู้	อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) (%)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) (บาท)
-50%	64.0	27,955,729
-40%	63.8	27,878,934
-30%	63.6	27,802,139
-20%	63.4	27,725,344
-10%	63.2	27,648,550
0%	63.0	27,571,755
+10%	62.8	27,494,960
+20%	62.7	27,418,165
+30%	62.5	27,341,371
+40%	62.3	27,264,576
+50%	62.1	27,187,781

จากการวิเคราะห์ความไวของโครงการ เพื่อทดสอบผลตอบแทนการลงทุนในโครงการ ในกรณีที่เกิดความเปลี่ยนแปลงในด้านราคาขาย ค่าใช้จ่ายในการผลิต และ ดอกเบี้ยเงินกู้ ดังแสดงในภาพที่ 5.7 พบว่ามีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย ซึ่งโครงการนี้เหมาะที่จะลงทุนเป็นอย่างยิ่ง



ภาพที่ 5.7 การวิเคราะห์ความไวของโครงการ

บทที่ 6

สรุปการทดลอง และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากข้อมูลของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของฟันธรรมชาติโดยเฉลี่ยของคนไทย เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยที่ Dr. GV Black ได้ทำการตรวจวัดจากฟันของคนอเมริกัน อเมริกันอินเดียน คนแอสกิโม คนมองโกเลี่ยน และคนมาเลนีเชี่ยน พบว่าค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของฟันจะใกล้เคียงกัน โดยเปรียบเทียบจากการวิจัยของศาสตราจารย์ประพันธ์ ไบจาพลา ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยจะใหญ่กว่าค่าของ Dr. GV Black ประมาณ 0.4-0.5 มม. ดังนั้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรากฟันเทียมที่ใช้ในปัจจุบันที่มีการนำเข้าจากต่างประเทศ จึงสามารถใช้กับคนไทยได้เป็นอย่างดี ซึ่งในการทดสอบครั้งนี้รากฟันเทียมจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.1 มม. ยาว 10 มม.

จากการทดสอบอิทธิพลรูปร่างของรากฟันเทียมที่มีความแตกต่างกันทางด้านรูปร่างของเกลียว และ ระยะห่างระหว่างเกลียวต่อการกระจายความเค้นในกระดูกรอบรากฟันเทียม โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ในสามมิติ โดยกำหนดให้แรงกระทำบนรากฟันเทียม พบว่า

1) รากฟันเทียมทุกแบบที่ทำการทดสอบ มีรูปแบบการกระจายของความเค้นในกระดูกรอบรากฟันเทียมที่คล้ายกัน คือ ในกระดูกแข็ง เป็นบริเวณที่มีความเค้นรวมตัวอยู่มากที่สุด และมีค่าความเค้นสูงสุดที่บริเวณกระดูกแข็งด้วยเช่นกัน โดยความเค้นจะรวมตัวอยู่มากที่สุดบริเวณขอบด้านบนของกระดูกรอบรากฟันเทียม สำหรับในกระดูกโปร่งที่ต่อจากกระดูกแข็งลงมามีความเค้นที่เกิดขึ้นน้อยกว่าส่วนที่เป็นกระดูกแข็งอย่างชัดเจน โดยความเค้นจะรวมตัวอยู่มากที่สุดบริเวณด้านล่างของกระดูกรอบรากฟันเทียม

2) รูปร่างของเกลียวทั้งสามแบบ คือ เกลียวสามเหลี่ยม เกลียวรีเวิร์สบัทเทรส และเกลียวบัทเทรส มีผลอย่างมากต่อการกระจายความเค้นในกระดูกรอบรากฟันเทียม โดยเกลียวรีเวิร์สบัทเทรส จะเกิดความเค้นสะสมในกระดูกรอบรากฟันเทียมน้อยที่สุด ส่วนเกลียวบัทเทรสจะเกิดความเค้นสะสมในกระดูกรอบรากฟันเทียมมากที่สุด

3) ระยะห่างของเกลียวในรากฟันเทียม คือ 0.6 และ 1.2 มม. มีผลอย่างมากต่อการกระจายความเค้นในกระดูกรอบรากฟันเทียม คือ ที่ระยะความห่างเกลียว 0.6 มม. จะเกิดความเค้นสะสมในกระดูกรอบรากฟันเทียมน้อยที่สุด แต่ที่ระยะความห่างเกลียว 1.2 มม. จะมีการกระจายความเค้นในกระดูกรอบรากฟันเทียมน้อยที่สุด เนื่องจากความเค้นที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะ

สลับไปมาที่บริเวณโคนเกลียวและบริเวณสันเกลียว ซึ่งจะเกิดความเค้นสะสมมากบริเวณสันเกลียวและจะเกิดความเค้นสะสมค่อนน้อยบริเวณโคนเกลียว

4) จากผลการทดสอบสอบทางกล เมื่อดูผลการจากทดลองพบว่า การเคลื่อนตัวของแบบทดสอบมีค่าที่ใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ แต่ผลที่ได้จากแบบทดสอบนั้นแตกต่างกันได้จากขั้นตอนในการเตรียมชิ้นงานจากการเทเรซิน

ดังนั้นรูปแบบของรากฟันเทียมที่เหมาะสมคือเป็นเกลียวชนิดรีเวิร์สบัสเทรส ที่มีระยะความห่างเกลียว 1.2 มม.

จากผลการวิจัยในด้านต่าง ๆ เกี่ยวกับความเป็นไปได้ของโครงการนี้ ปรากฏผลว่าโครงการนี้เป็นไปได้ทั้งทางด้านการตลาด วิศวกรรม การเงินและการลงทุน โดยมีผลดังนี้

1) การศึกษาด้านการตลาด พบว่าตลาดรากฟันเทียมในอนาคตมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยคาดการว่ามีจะอัตราการเติบโตของตลาดประมาณปีละ 30 % ส่วนแบ่งทางการตลาดสำหรับโครงการนี้คาดว่าจะมีส่วนแบ่งประมาณ 20 % ในปีแรก และเพิ่มขึ้นเป็น 30 % ในปีต่อไป

2) การศึกษาด้านวิศวกรรม พบว่าปัจจุบันเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตมีกำลังการผลิตสูงสุดทั้งสิ้น 23,040 ต่อปี แต่ความต้องการในประเทศไทยต้องการเพียง 7,000 ชิ้นต่อปี ซึ่งมากกว่าความต้องการของตลาด แต่เนื่องจากเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตโดยเฉพาะในขั้นตอนของการขึ้นรูปซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องกลึง CNC ที่มีความเที่ยงตรงสูงในการผลิต ทำให้ในโครงการนี้จำเป็นต้องใช้เครื่องกลึง CNC อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

3) ในการศึกษาด้านการเงินและการลงทุน ได้พบว่าการลงทุนดังกล่าวนี้จะใช้เงินลงทุนทั้งสิ้น 10,530,900 บาท โดยเป็นเงินลงทุนของผู้ถือหุ้น 6,000,000 บาท เงินกู้ระยะยาว 4,600,000 บาท โดยเสียดอกเบี้ยปีละ 8.25 % ต่อปี การวิเคราะห์ด้านการเงินได้แสดงให้เห็นว่าการดำเนินการตามโครงการนี้ สามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 2.2 ปี , อัตราผลตอบแทนจากโครงการ(IRR) 63.2 % , มูลค่าปัจจุบันสุทธิ ในปีที่ 5 (NPV) 27,571,755 บาท , จุดคุ้มทุน (หน่วยการผลิต) 729 ชิ้น และจุดคุ้มทุน(จำนวนเงินค่าขาย) 3,645,129 บาท

และเนื่องจากกำลังการผลิตสูงสุดของเครื่องจักรในสถานการณ์ปัจจุบัน มีกำลังการผลิตมากกว่าความต้องการของตลาด มีผลทำให้ความคุ้มค่าต่อการลงทุนของเครื่องจักรนั้นไม่ค่อยคุ้มค่าต่อการลงทุน แต่ในโครงการนี้สามารถแก้ไขได้ด้วยวิธีผลิตรากฟันเทียมด้วยกำลังการผลิตสูงสุดของเครื่องจักรโดยใช้เวลาผลิตเพียงแค่ 1-2 เดือนต่อปี โดยงานที่ผลิตได้จะมีประมาณ

1,860-3,720 ชิ้น ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการของตลาดในเวลา 1 ปี สำหรับเวลาที่เหลือนั้นทางโครงการสามารถที่จะผลิตงานประเภทอื่น ๆ ได้ เนื่องจากเครื่องกลึงอัตโนมัติสามารถผลิตชิ้นงานได้หลากหลายไม่ว่าจะเป็น อุปกรณ์การแพทย์ชนิดต่าง ๆ หรือจะเป็นชิ้นส่วนทางด้านอุตสาหกรรม ซึ่งจะทำให้การลงทุนของเครื่องจักรคุ้มค่ามากยิ่งขึ้น และจะเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับโครงการนี้อีกด้วย

6.2 ข้อเสนอแนะ

1) การทดสอบรากฟันเทียมด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ ควรมีรูปแบบในการทดสอบที่มีความหลากหลายมากกว่าที่เป็นอยู่

2) เพื่อความถูกต้องในการทดสอบทางกล ตัวอย่างชิ้นงานรากฟันเทียมสำหรับการทดสอบควรมีมากขึ้น

3) ในขั้นตอนการฝังรากฟันเทียมเพื่อการทดสอบทางกล ถ้าเป็นไปได้ควรฝังรากฟันเทียมลงในกระดูกของจริง เพื่อผลที่ได้จะมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

4) เนื่องจากรากฟันเทียมยังเป็นเรื่องใหม่มากสำหรับประเทศไทย ดังนั้นควรเน้นการประชาสัมพันธ์สินค้า และส่งเสริมด้านการตลาดให้มาก

5) ผลิตภัณฑ์รากฟันเทียมที่ขายในโครงการมีเพียงรูปแบบเดียว ดังนั้นในกระบวนการผลิตควรมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์มากกว่าที่เป็นอยู่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2543. อัตราค่าไฟฟ้า.

การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. 2548. การส่งเสริมการลงทุนอุตสาหกรรม.

จินตมัย สุวรรณประทีป. 2547. ไทเทเนียมกับการใช้งานทางการแพทย์. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.

จันทนา จันทโร, ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. 2540. การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการด้านธุรกิจและอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ฐาปนา ฉิ่นไพศาล. 2544. การเงินธุรกิจ(ฉบับสมบูรณ์) . กรุงเทพมหานคร : ธีระฟิล์ม และไซเท็กซ์.

ปราโมทย์ เดชะอำไพ. 2537. ไฟไนท์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิไล ชินธเนศ, ธันวา ตันสถิตย์, มนตกานต์ ตันสถิตย์. 2529. กายวิภาคศาสตร์ของมนุษย์. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์เฟื่องฟ้า.

วันชัย ริจิรวนิช, สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน. 2540. การวิเคราะห์ต้นทุนอุตสาหรรมและงบประมาณ, กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ, จันทนา จันทโร. 2536. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิริชัย พงษ์วิชัย. 2539. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยคอมพิวเตอร์. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมาคมผู้ประเมินค่าทรัพย์สินแห่งประเทศไทย. 2547. ราคาประเมินค่าก่อสร้างอาคาร.

สรรพัชญ์ นามะโน. 2543. การวิจัยและพัฒนาและผลิตวัสดุอุปกรณ์ของรากฟันเทียม ระยะที่ 1 . กรุงเทพมหานคร : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

สำนักงานงบประมาณ. 2546. ราคามาตรฐานครุภัณฑ์. สำนักนายกรัฐมนตรี.

หฤทัย มีนะพันธ์. 2544. หลักการวิเคราะห์โครงการทฤษฎีและวิธีปฏิบัติเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

Andre Schroeder, Franz Sutter, Daniel Buser, and Gisbert Krekeler. 1996. Oral Implantology. Newyork : Thieme Medical Publisher,Inc

Bijaphala P. 1974. A Study of the sizes of permanent teeth of thai people. J Dent Ass Thai 1974;24(2):37-52

Black GV. 1920. Descriptive anatomy of the human teeth : 5th ed, Philadelphia, Pa., 12-23, 1920

Elias , J., Brunski, J. B. 1991. 3-D Analysis of axial loads on dental implants [Abstracts] J. Dent Res 70(1991):460

F.Gaynor Evans . 1973. Mechanical properties of bone. Illinois : Charles C Thomas Publisher

J. Black and G. Hasting. 1998. Handbook of Biomaterial Properties. Newyork: Chapman & Hall

Lidia Carvalho, Antonio Romos, Jose A. Simoes. 2003. Finite element analysis of a dental implant system with an elastomeric stress barrier, 2003 summer bioengineering conference, Florida

Meijer GJ, Starmans F JM,de Putter C, et al. 1995.The influence of a flexible coating on the bone stress around dental implants, J Oral Rehabil 1995;22:105-111

Srisopark SS. 1972. A Study on the size of permanent teeth, The Journal of the Dental Association Thailand 1972;22(5): 199-205

Weinberg LA. 1993. The biomechanics of force distribution in implant-supported prostheses, Int J Oral Maxillofac Implant 1993;8: 19-31

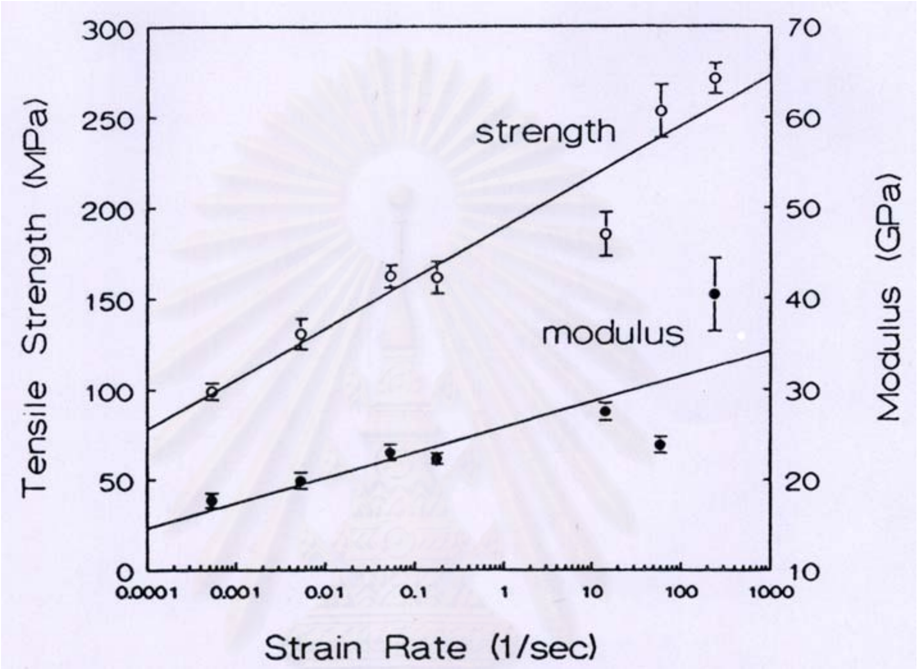
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

คุณสมบัติทางกลของกระดูก



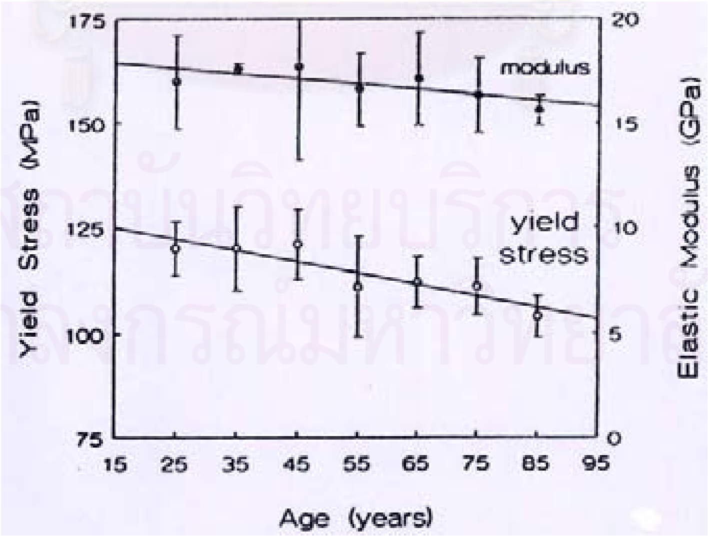
ภาพที่ ก.1 The influence of loading rate on the tensile strength and modulus of cortical bone. The ultimate tensile strength increases by about a factor of 3, and the modulus by a factor of 2. (From Wright TM, Hayes WC. Tensile testing of bone over a wide range of strain rate:effects of strain rate, microstructure and density. *Med Biol Eng* 1976; 14:671-680, with permission.)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

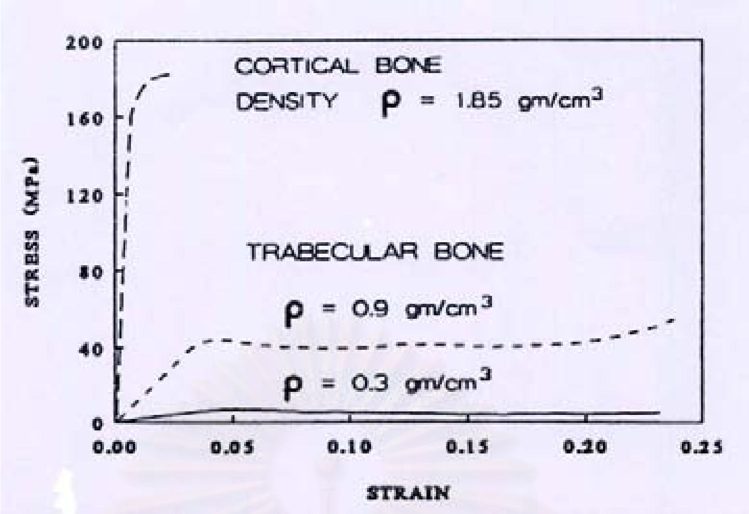
STRENGTH OF CORTICAL BONE

Loading Mode	Ultimate Strength (MPa)
Longitudinal	
Tension	133
Compression	193
Shear	68
Transverse	
Tension	51
Compression	133

ภาพที่ ก.2 Age span of population 19-80 years. From Hayes WC, Gerhart TN. Biomechanic of bone: applications for assesment of bone strength. In: Peck WA, ed. *Bone and mineral research*. Elsevier Science, 1985:259-294, with permission. Mean values from Reilly DT,Bursstein AH. The elastic and ultimate properties of compact bone tissue. *J Biomech* 1975;8:393-405, with permission.

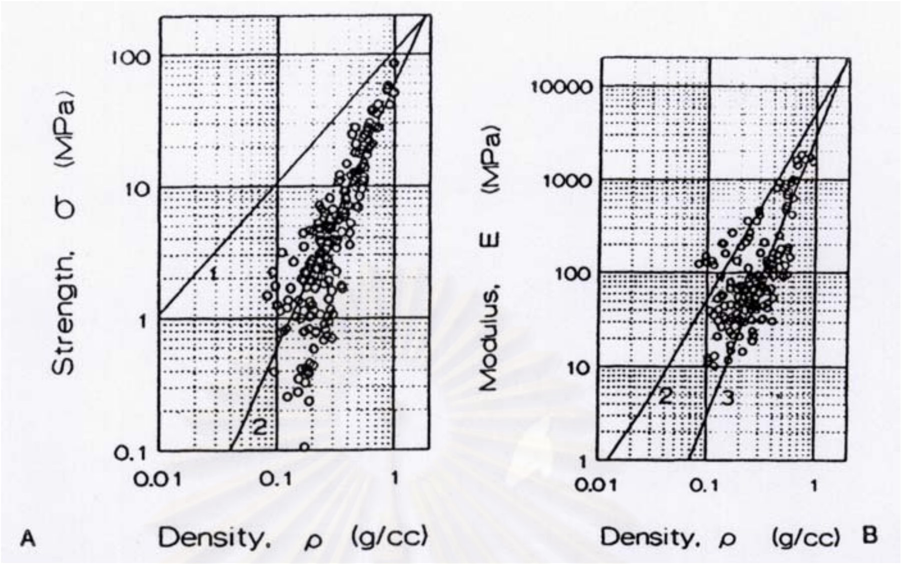


ภาพที่ ก.3 Ultimate tensile strength and modulus versus age for human cortical bone. (From Burstein AH, Reilly DT, Martens M. Aging of bone tissue: mechanical properties. *J Bone Joint Surg Am* 1976;58:82-86, with permission.)



ภาพที่ ก.4 Typical stress-strain curves of trabecular bone of different apparent densities. (From Hayes WC, Gerhart TN. Biomechanic of bone: applications for assesment of bone strength. In: Peck WA, ed. *Bone and mineral research*. Elsevier Science, 1985:259-294, with permission).

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ก.5 Compressive strength and modulus of trabecular bone as a function of apparent density: (A) compressive strength varies as a power-law function of apparent density with an exponent of approximately 2; (B) compressive modulus also varies as a power-law function of apparent density with an exponent ranging between 2 and 3. (From Hayes WC, Piazza SJ, Zysset PK. Biomechanic of fracture risk prediction of the hip and spine by quantitative computed tomography. *Radio Clin North Am* 1991;29:1-18, with permission.)

ภาคผนวก ข

ผลรายงานทางการเงิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 ตารางต้นทุนการผลิตของโครงการ

รายการ	บาท
1. ต้นทุนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับโรงงาน	
ก. วัตถุดิบ	13,328
ข. บรรจุภัณฑ์	7,000
ค. ค่าจ้างแรงงานผลิตโดยตรง	270,000
ง. ค่าใช้จ่ายในการผลิตอื่น ๆ	
1) ค่าเสื่อมราคา	
- เครื่องจักรอุปกรณ์การผลิต (อายุงาน 10 ปี)	518,000
- อาคารโรงงาน (อายุงาน 20 ปี)	66,000
- อุปกรณ์โรงงาน (อายุ 10 ปี)	65,000
2) ค่าโสหุ้ยโรงงาน + แรงงงานทางอ้อม	722,038
3) อื่น ๆ (5% ของค่าใช้จ่ายในการผลิต)	41,111
รวม	1,702,477
2. ต้นทุนการผลิตที่ไม่เกี่ยวข้องกับโรงงาน	
ก) เงินเดือนค่าจ้างแรงงานด้านบริหาร	954,000
ข) ค่าเสื่อมและเงินหักล้าง	
1) ค่าเสื่อมราคา	
- อาคารสำนักงาน (อายุงาน 20 ปี)	38,420
- ครุภัณฑ์สำนักงาน (อายุงาน 10 ปี)	26,850
- รถส่งของ	180,000
2) เงินหักล้างค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน (ปีละ 10 %)	27,400
ค) ค่าน้ำมันรถ	30,000
ง) ค่าโทรศัพท์ โทรสาร	10,000
จ) อื่น ๆ (5% ของค่าใช้จ่ายในการขายและบริหาร)	76,470
รวม	1,343,140
รวม 1 + 2	3,045,617

ตารางที่ ข.2 งบบัญชี กำไร - ขาดทุน (Profit & Loss Statement)

รายการ	2550	2551	2552	2553	2554	2555
ยอดขายในประเทศ	-	7,000,000	13,650,000	17,745,000	23,068,500	29,989,050
(หัก)ต้นทุนสินค้าขาย ณ โรงงาน	0	1,661,366	1,728,451	1,769,760	1,823,463	1,893,278
กำไรเบื้องต้น	0	5,338,647	11,921,597	15,975,187	21,244,991	28,095,817
หัก:						
ค่าใช้จ่ายการขายและบริหาร	0	1,132,495	1,161,589	1,179,504	1,202,794	1,233,072
ค่าเสื่อมบริหาร&ตัดบัญชีจ่าย	0	273,670	273,670	273,670	273,670	273,670
รายได้ก่อนภาษี&ดอกเบี้ย	0	3,932,482	10,486,338	14,522,013	19,768,527	26,589,075
ดอกเบี้ย:						
- เงินกู้ระยะยาว	0	379,500	303,600	227,700	151,800	75,900
- เงินกู้ระยะสั้น	0	44,238	46,221	47,443	49,031	51,095
รวมดอกเบี้ยจ่าย	0	423,738	349,821	275,143	200,831	126,995
รายได้ก่อนหักภาษี	0	3,508,744	10,136,517	14,246,870	19,567,696	26,462,080
(หัก)ภาษีเงินได้	0	-1,052,623	-3,040,955	-4,274,061	-5,870,309	-7,938,624
*** กำไรสุทธิ(ขาดทุน) ***	0	2,456,121	7,095,562	9,972,809	13,697,387	18,523,456
*** กำไรสะสม ***	0	2,456,121	9,551,683	19,524,492	33,221,879	51,745,335

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.3 งบกระแสเงินสด (Cash Flow Statment)

รายการ	2550	2551	2552	2553	2554	2555
กระแสเงินสดเข้า :						
- เจ้าของ,หุ้นส่วน	6,000,000	0	0	0	0	0
- เงินกู้ระยะยาว	4,600,000	0	0	0	0	0
- เงินกู้ระยะสั้น	0	536,215	24,045	14,806	19,248	25,023
- ยอดขาย		7,000,000	13,650,000	17,745,000	23,068,500	29,989,050
รวมกระแสเงินสดเข้า	10,600,000	7,536,228	13,674,093	17,759,753	23,087,703	30,014,118
กระแสเงินสดออก :						
- เงินซื้อสินค้าทุน	10,530,900	0	0	0	0	0
- วัตถุดิบ บรรจุภัณฑ์	0	20,328	39,640	51,531	66,991	87,088
- ค่าแรงงานทางตรง	0	270,000	270,000	270,000	270,000	270,000
- โสหุ้ยการผลิต	0	722,038	769,811	799,228	837,472	887,189
- ค่าใช้จ่ายการขายและบริหาร	0	1,132,495	1,161,589	1,179,504	1,202,794	1,233,072
ชำระเงินต้น						
- เงินกู้ระยะยาว	0	920,000	920,000	920,000	920,000	920,000
ดอกเบี้ยจ่าย	0	423,738	349,821	275,143	200,831	126,995
ภาษีเงินได้	0	1,052,623	3,040,955	4,274,061	5,870,309	7,938,624
รวมกระแสเงินสดออก	10,530,900	4,541,222	6,551,816	7,769,467	9,368,397	11,462,968
กระแสเงินสดสุทธิ	69,100	2,995,006	7,122,277	9,990,286	13,719,306	18,551,150
ยอดคงเหลือต้นปี	0	69,100	3,064,106	10,186,383	20,176,668	33,895,974
ยอดคงเหลือปลายปี	69,100	3,064,106	10,186,383	20,176,668	33,895,974	52,447,123

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.4 งบดุล (Balance Sheet)

รายการ	2550	2551	2552	2553	2554	2555
ทรัพย์สินหมุนเวียน :						
- เงินสดในมือ & ธนาคาร	69,100	3,064,106	10,186,383	20,176,668	33,895,974	52,447,123
- ลูกหนี้	0	0	0	0	0	0
- สินค้าคงเหลือ	0	0	0	0	0	0
รวมทรัพย์สินหมุนเวียน	69,100	3,064,106	10,186,383	20,176,668	33,895,974	52,447,123
ทรัพย์สินถาวรสุทธิ :						
- ที่ดิน	1,150,000	1,150,000	1,150,000	1,150,000	1,150,000	1,150,000
- อาคารโรงงาน	1,320,000	1,254,000	1,188,000	1,122,000	1,056,000	990,000
- เครื่องจักร	5,180,000	4,662,000	4,144,000	3,626,000	3,108,000	2,590,000
- อุปกรณ์โรงงาน	650,000	585,000	520,000	455,000	390,000	325,000
- อาคารสำนักงาน	788,400	748,980	709,560	670,140	630,720	591,300
- อุปกรณ์สำนักงาน	268,500	241,650	214,800	187,950	161,100	134,250
- ยานยนต์	900,000	720,000	540,000	360,000	180,000	0
- รายจ่ายก่อนดำเนินการ	274,000	246,600	219,200	191,800	164,400	137,000
รวมทรัพย์สินถาวร	10,530,900	9,608,230	8,685,560	7,762,890	6,840,220	5,917,550
*** รวมทรัพย์สิน ***	10,600,000	12,672,336	18,871,943	27,939,558	40,736,194	58,364,673
หนี้สินและส่วนผู้ถือหุ้น :	2550	2551	2552	2553	2554	2555
- เงินกู้ระยะสั้น	0	536,215	560,260	575,066	594,314	619,337
- เจ้าหนี้	0	0	0	0	0	0
รวมหนี้สินหมุนเวียน	0	536,215	560,260	575,066	594,314	619,337
หนี้สินระยะยาว :						
- เงินกู้ระยะยาว	4,600,000	3,680,000	2,760,000	1,840,000	920,000	0
ส่วนของทุน :						
- เจ้าของและส่วนผู้ถือหุ้น	6,000,000	6,000,000	6,000,000	6,000,000	6,000,000	6,000,000
- กำไรสะสม	0	2,456,121	9,551,683	19,524,492	33,221,880	51,745,335
รวมส่วนของทุน	6,000,000	8,456,121	15,551,683	25,524,492	39,221,880	57,745,335
*** รวมหนี้สินและทุน ***	10,600,000	12,672,336	18,871,943	27,939,558	40,736,194	58,364,673

ตารางที่ ข.5 แผนการเบิกและชำระเงินกู้ระยะยาว

รายการ	2550	2551	2552	2553	2554	2555
เบิกเงินกู้(ปลายปี)	4,600,000	0	0	0	0	0
ยอดคงเหลือต้นปี	0	4,600,000	3,680,000	2,760,000	1,840,000	920,000
ชำระเงินต้น(ต่อปี)	0	920,000	920,000	920,000	920,000	920,000
ยอดคงเหลือปลายงวด	4,600,000	3,680,000	2,760,000	1,840,000	920,000	0
ชำระดอกเบี้ย	0	379,500	303,600	227,700	151,800	75,900
รวมชำระเงินต้นและดอกเบี้ย	0	1,299,500	1,223,600	1,147,700	1,071,800	995,900

ตารางที่ ข.6 แผนการเบิกและชำระเงินกู้ระยะสั้น

รายการ	2550	2551	2552	2553	2554	2555
ขอวงเงินกู้เพิ่ม (ต้นปี)	0	536,215	24,045	14,806	19,248	25,023
วงเงินกู้เพิ่ม ที่ขอ	0	536,215	560,260	575,066	594,314	619,337
ชำระดอกเบี้ย	0	44,238	46,221	47,443	49,031	51,095
รวมชำระเงินดอกเบี้ย	0	44,238	46,221	47,443	49,031	51,095

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

โรงพยาบาลที่ทำการรักษาด้วยวิธีฝังรากฟันเทียม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.1 กรุงเทพ ฯ – ปริมณฑล และภาคกลาง

ชื่อโรงพยาบาล	เบอร์โทรศัพท์ติดต่อ
1. โรงพยาบาลกรุงเทพ	02-3103336,02-7551336
2. โรงพยาบาล BNH	02-6862700 ต่อ 1129,1130
3. โรงพยาบาลสมิติเวช ศรีนครินทร์	02-3789121 ถึง 2
4. โรงพยาบาลสมิติเวช สุขุมวิท	02-7118989 ถึง 90
5. โรงพยาบาลบำรุงราษฎร์	02-6672300
6. โรงพยาบาลยันฮี	02-8790300
7. โรงพยาบางวิภาวดี	02-9412800 ต่อ 1215,1216
8. โรงพยาบาลเซนต์หลุยส์	02-6755000 ต่อ 10301 ถึง 2
9. โรงพยาบาลเกษมราษฎร์ ประชาชื่น	02-9101600
10. โรงพยาบาลลาดพร้าว	02-5302556 ถึง 69 ต่อ 2471,2472
11. โรงพยาบาลไทยนครินทร์	02-3612727,02-3612828 ต่อ 3133,3134
12. โรงพยาบาล บี.แคร์ เมคดิคัล เซ็นต์เตอร์	02-5233359 ถึง 71
13. โรงพยาบาลธนบุรี	02-4120020 ต่อ 7777
14. โรงพยาบาลเทพธารินทร์	02-3487000
15. โรงพยาบาลเปาโล เมโมเรียล	02-2797000 ถึง 9
16. โรงพยาบาลพร้อมมิตร	02-6627999
17. โรงพยาบาล ตา หู คอ จมูก	02-8866600 ถึง 16
18. โรงพยาบาลสุขุมวิท	02-3910011 ต่อ 220,221
19. โรงพยาบาลนครธน	02-4165454
20. โรงพยาบาลรามคำแหง	02-3740200 ถึง 16 ต่อ 1240,1242
21. โรงพยาบาลเวชธานี	02-7340000 ต่อ 3000,3004
22. โรงพยาบาลกรุงเทพคริสเตียน	02-2336981 ถึง 9 ต่อ 2203
23. โรงพยาบาลบางกอก 9 อินเตอร์เนชั่นแนล	02-8771111
24. โรงพยาบาลปิยะเวช	02-6256500
25. โรงพยาบาลกรุงสยามเซ็นต์คาร์ลอส	02-9756700
26. โรงพยาบาลปิยะมินทร์ (สมุทรปราการ)	02-3160026 ถึง 42

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

27. โรงพยาบาลเมตตาประชารักษ์ (วัดไร่ขิง)	034-321244,034321983-5,034-325456-63
28. Silom dental Building clinic	02-6369092 ถึง 5
29. Bangkok smile dental Clinic	02-2514982 ถึง 3,02-6442800
30. พร้อมใจ Dental Clinic (กรุงเทพ)	02-6626070 ถึง 2,02-2616229 ถึง 31
31. คลีนิกแพทย์จัดฟัน Denta-Joy	02-3928280
32. โรงพยาบาลพระราม 9	02-2029999
33. Bangkok Dental Clinic	02-6510807,02-6510703
34. ศูนย์ทันตกรรมนานาชาติ ยัวร์เด็นทิส	02-2041445,02-3112158
35. ศูนย์ทันตกรรมสหทันตแพทย์	02-4391779
36. Asavanant Dental Clinic	02-3911842,02-3924877,02-3914014
37. โรงพยาบาลฟัน	02-2605000 ถึง 15
38. Thonglor Dental Clinic	02-7148800
39. Bangkok Dental Home	02-9301812 ถึง 3
40. ศูนย์ทันตกรรมทันตกิจ	02-7180777
41. อุไรวรรณทันตคลีนิก	02-9323783 ถึง 5,01-8593783
42. เด็นท์แคร์ 3	02-8047022 ถึง 3
43. Dentist Dental Center	02-8777490 ถึง 1
44. Dental Clinic & Lab หรือ เด็นทัล ดีไซน์ แลบ แอนด์ คลีนิก	02-2619119,02-2619120,02-2583723
45. คลีนิกทันตกรรมเด็นต้าเฮาส์	02-2493612 ถึง 3
46. เด็นท์แคร์ 5	02-8870568 ถึง 9
47. คลีนิกทันตแพทย์ประดิษฐ์ (นครปฐม)	034-254762
48. คลีนิกทันตกรรม ACT	02-2797901,02-2797767
49. คลีนิกทันตกรรมพฤกษชาติ	02-3735213,02-7295441
50. คลีนิกสุขภาพฟันลาดพร้าว	02-9352701 ถึง 2
51. เด็นท์แคร์ 9	02-8945289
52. ศูนย์ทันตกรรมบ้านฟันสวย	02-7483180 ถึง 1,02-7480178 ถึง 2 ต่อ 123

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

53. ศูนย์ทันตกรรมและข้อต่อขากรรไกร	02-5740555
54. สำนักงานทันตแพทย์อุบลรัตน์	02-3922458 ถึง 9
55. Phyathai Modern Dental Clinic	02-6444008
56. ศูนย์ทันตกรรมเพื่อประชาทันตแพทย์ 6	02-8918922,02-4664659
57. Sathon Dental Clinic	02-6754522
58. บางกอก อินเตอร์เนชั่นแนล เด็นทัล เซ็นต์เตอร์ (BIDC)	02-6924433
59. ศูนย์ทันตกรรมจตุจักร	02-6192691 ถึง 2
60. ปริญญาทันตคลีนิก	02-7311330
61. ศูนย์ทันตกรรม เด็นทัล แพลนเน็ต	02-5677110,01-8253303
62. Siam Family Dental Clinic	02-2556664 ถึง 5,02-2355449 ถึง 50,02-2511123 ถึง 4
63. Bangkok Dental Pavilion	02-6292924
64. คลีนิกทันตกรรมรัชดา	02-9383015 ถึง 6
65. คลีนิกทันตกรรม เด็นทัล เพส	02-6505533,01-7200032
66. Dentist @ Home(ศูนย์ทันตกรรม เด็นทิส แอท โฮม)	02-73534478
67. คลีนิกทันตกรรมบางรัก	02-2346863,02-6309189
68. คลีนิกทันตกรรม Happy Smile	02-2548146,02-2548395
69. ศูนย์ทันตกรรมสุโขทัย	02-6684360 ถึง 2
70. ลัดดา เด็นทัล คลีนิก	02-6532645,02-6622404,079991785
71. ศูนย์ทันตกรรมวัชรพล	02-9454995
72. คลีนิกทันตกรรมลำเทียน (ปทุมธานี-ฟิวเจอร์)	
73. Patra Dental Home	02-9337886
74. คลีนิกทันตกรรม เด็นทิส แอท 51	02-6625064 ถึง 5
75. โรงพยาบาลเจ้าพระยา	02-4341111,028847000

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.2 ภาคตะวันออก

ชื่อโรงพยาบาล	เบอร์โทรศัพท์ติดต่อ
1. โรงพยาบาลกรุงเทพ พัทยา (ชลบุรี)	038-259999
2. โรงพยาบาลกรุงเทพ จันทบุรี (จันทบุรี)	039-319888 ต่อ 9833,4203
3. คลีนิกทันตกรรม Modern Smile Dental (ชลบุรี)	038-321600,038-322600,038-720820,038-720688
4. Art of Smile (ชลบุรี)	038-362456 ถึง 8
5. ศูนย์ทันตกรรมพัทยา (ชลบุรี)	038-367102
6. โรงพยาบาลพญาไท ศรีราชา (ชลบุรี)	038-777020 ถึง 8 ต่อ 2215,2216
7. คลีนิกบ้าน ฟ.ฟัน (ชลบุรี)	038-367449
8. ศูนย์สุขภาพฟัน (ชลบุรี)	038-723335

ตารางที่ ค.3 ภาคเหนือ

ชื่อโรงพยาบาล	เบอร์โทรศัพท์ติดต่อ
1. โรงพยาบาลแมคคอร์มิค (เชียงใหม่)	053-241311,053-262200 ถึง 19 ต่อ 326
2. Fortune Dental Clinic (เชียงใหม่)	053-281881,01-9931993,01-6032828
3. Grace Dental Care Clinic (เชียงใหม่)	053-894568 ถึง 69
4. กิจจาทันตคลีนิก (เชียงใหม่)	053-271950

ตารางที่ ค.4 ภาคใต้

ชื่อโรงพยาบาล	เบอร์โทรศัพท์ติดต่อ
1. ภูเก็ต เพิร์ล เด็นทัล คลีนิก (ภูเก็ต)	076-220949
2. โรงพยาบาลกรุงเทพ ภูเก็ต (ภูเก็ต)	076-254425
3. โรงพยาบาลกรุงเทพ หาดใหญ่ (สงขลา)	074-272800 ต่อ 2300
4. โรงพยาบาลกรุงเทพ สมุย (สุราษฎร์ธานี)	077-429500
5. ศูนย์ทันตกรรมเด็กและจัดฟัน (สงขลา)	074-350273,09-7342107
6. ภูเก็ต เด็นทัล คลีนิก (ภูเก็ต)	076-215025

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.5 โรงพยาบาลคณะแพทย์ศาสตร์

ชื่อโรงพยาบาล	เบอร์โทรศัพท์ติดต่อ
1. คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ปทุมธานี)	02-9269321
2. คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (กรุงเทพ)	02-6448644 ถึง 6
3. คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (เชียงใหม่)	053-944440
4. คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (ขอนแแก่น)	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

ข้อมูลการตรวจวัดขนาดกระดูกขากรรไกรของคนไทย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.1 ขนาดกระดูกขากรรไกรของคนไทยบริเวณส่วนหน้า

ลำดับ	3-D Panoramic Curve			ความสูง (มม.)	ความกว้าง (มม.)	มุมเอียง (องศา)
	มุม(องศา)	รัศมี(มม.)	ความยาว(มม.)			
1	115.28	19.69	48.71	25.73	12.05	58.62
2	116.14	24.93	49.64	26.79	11.82	59.98
3	122.77	22.34	43.55	26.70	11.59	59.96
4	107.81	21.40	47.75	26.74	11.53	63.52
5	108.68	21.11	49.81	26.07	12.69	62.79
6	108.39	18.50	40.38	26.24	12.40	60.52
7	116.39	22.65	45.19	26.62	12.06	62.58
8	115.31	30.17	45.32	26.54	10.54	60.81
9	115.77	21.13	40.47	26.63	11.44	59.83
10	117.26	21.93	47.92	26.54	12.03	59.75
11	106.41	25.79	44.25	26.65	12.51	60.03
12	116.43	28.49	47.57	26.64	12.14	60.78
13	106.29	21.71	45.78	26.42	12.07	62.18
14	102.21	20.86	46.06	25.78	11.69	61.57
15	115.47	18.51	41.88	26.22	12.81	60.32
16	132.04	25.67	42.91	26.50	11.85	62.45
17	125.59	24.93	42.32	27.14	12.00	59.91
18	108.68	22.69	48.69	26.71	12.41	59.34
19	117.11	27.29	48.81	26.02	11.65	61.29
20	109.35	23.52	51.98	26.87	12.51	59.20
21	129.03	25.51	43.01	26.35	12.23	58.81
22	119.42	23.61	45.56	26.46	12.75	59.45
23	104.19	28.46	45.89	26.65	11.98	60.26
24	116.41	24.15	42.74	25.62	12.39	63.87
25	100.13	23.66	44.36	25.95	12.49	60.93
26	116.65	22.11	43.12	26.25	12.75	62.90
27	120.24	24.02	45.85	26.85	11.76	60.05

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.1(ต่อ) ขนาดกระดูกขากรรไกรของคนไทยบริเวณส่วนหน้า

ลำดับ	3-D Panoramic Curve			ความสูง	ความกว้าง	มุมเอียง
	มุม(องศา)	รัศมี(มม.)	ความยาว(มม.)	(มม.)	(มม.)	(องศา)
28	109.14	15.30	50.51	26.86	12.53	60.73
29	116.00	26.24	45.91	26.30	12.26	60.21
30	114.83	23.19	50.85	26.60	12.88	59.53
31	117.54	24.19	44.56	26.54	11.65	60.91
32	118.55	22.20	47.75	26.43	12.27	61.27
33	116.37	21.72	48.01	26.35	12.26	61.64
34	109.56	19.53	49.03	27.42	12.81	63.89
35	124.25	19.77	43.49	26.24	12.14	58.18
36	109.65	26.03	50.24	26.35	12.13	61.77
37	125.34	21.47	48.92	26.34	11.99	63.18
38	119.54	19.71	52.12	26.52	11.36	62.94
39	120.17	24.50	52.51	26.62	12.17	60.00
40	119.94	22.87	47.10	25.66	10.81	60.82
41	116.39	23.57	43.89	26.72	12.64	58.96
42	131.67	23.33	46.36	26.52	12.37	62.33
43	123.33	24.67	48.58	27.00	11.77	61.88
44	102.22	21.10	49.69	26.41	11.14	60.96
45	115.80	28.19	49.04	26.33	11.94	61.31
46	104.83	26.66	48.86	26.86	11.95	64.54
47	111.25	23.29	49.41	25.59	12.11	59.65
48	120.00	21.43	47.87	26.16	13.53	62.09
49	113.25	25.94	46.21	26.40	11.72	61.11
50	104.86	21.84	45.34	25.84	12.30	61.34
51	108.76	26.09	51.79	26.93	12.73	62.13
52	121.99	25.49	48.20	26.75	12.16	64.02
53	134.19	25.33	49.37	26.19	11.23	61.42
54	116.08	22.25	49.54	26.47	11.91	60.56

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.1(ต่อ) ขนาดกระดูกขากรรไกรของคนไทยบริเวณส่วนหน้า

ลำดับ	3-D Panoramic Curve			ความสูง	ความกว้าง	มุมเอียง
	มุม(องศา)	รัศมี(มม.)	ความยาว(มม.)	(มม.)	(มม.)	(องศา)
55	102.81	26.12	49.53	26.29	11.84	59.09
56	128.55	20.33	43.89	26.88	11.84	61.88
57	110.34	19.98	46.54	26.86	12.87	59.47
58	115.63	25.50	42.81	26.05	11.59	63.21
59	98.77	24.00	50.65	26.15	12.02	61.56
60	114.90	22.02	52.77	26.93	12.30	60.30

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.2 ขนาดกระดูกขากรรไกรของคนไทยบริเวณด้านซ้าย

ลำดับ	3-D Panoramic Curve			ความสูง	ความกว้าง	มุมเอียง
	มุม(องศา)	รัศมี(มม.)	ความยาว(มม.)	(มม.)	(มม.)	(องศา)
1	23.74	66.58	34.73	24.87	12.38	52.58
2	25.81	41.70	39.35	24.64	12.52	64.53
3	29.18	49.70	28.48	25.02	12.47	59.03
4	22.19	58.89	34.30	25.76	13.01	60.34
5	38.70	79.63	37.15	26.03	12.66	57.28
6	16.04	68.30	32.07	25.46	13.52	57.68
7	35.16	55.03	30.16	26.17	13.72	56.32
8	15.26	51.55	30.87	24.66	14.48	52.49
9	46.79	71.73	41.29	24.31	12.98	52.26
10	38.91	67.26	37.31	24.82	12.67	62.79
11	45.46	76.86	38.40	25.37	11.87	57.74
12	35.09	59.70	38.93	23.50	13.00	57.51
13	24.62	40.84	31.15	29.09	12.50	55.74
14	48.75	55.98	29.31	23.88	11.69	59.27
15	51.34	61.69	32.92	26.35	14.16	60.76
16	30.74	33.51	30.50	25.35	13.52	57.20
17	32.98	92.49	34.99	24.85	13.13	57.05
18	35.56	39.10	36.79	26.14	14.07	61.90
19	42.62	58.73	36.11	21.43	11.95	61.45
20	50.02	55.21	39.98	24.65	13.12	59.44
21	37.62	74.67	33.62	24.47	13.57	61.83
22	35.11	57.93	27.39	24.32	13.46	63.59
23	40.91	61.34	34.00	24.04	14.44	56.79
24	41.57	62.02	31.14	24.48	13.45	52.75
25	40.03	54.36	33.24	26.94	12.87	59.50
26	35.20	53.44	35.36	26.18	13.62	59.50
27	13.06	68.30	28.17	26.61	12.37	49.69

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.2(ต่อ) ขนาดกระดูกขากรรไกรของคนไทยบริเวณด้านซ้าย

ลำดับ	3-D Panoramic Curve			ความสูง	ความกว้าง	มุมเอียง
	มุม(องศา)	รัศมี(มม.)	ความยาว(มม.)	(มม.)	(มม.)	(องศา)
28	42.18	71.01	36.91	25.53	12.53	56.70
29	45.59	69.93	27.78	26.24	13.26	52.80
30	44.52	74.23	37.88	25.85	13.12	57.94
31	26.09	87.67	29.22	25.61	12.12	58.24
32	48.55	57.78	36.68	25.79	13.27	60.36
33	38.64	61.15	38.44	24.55	12.24	55.94
34	39.00	38.66	35.14	26.61	12.60	60.00
35	30.68	63.69	34.44	25.40	13.17	61.54
36	44.76	60.89	40.10	24.45	13.57	67.37
37	27.48	76.30	34.64	27.13	13.44	60.49
38	45.98	61.54	37.25	26.24	12.32	60.83
39	30.50	72.96	27.35	26.23	12.66	67.43
40	37.33	86.24	35.95	25.57	13.73	66.54
41	39.37	75.14	35.22	27.97	12.66	67.66
42	27.23	46.03	40.38	24.07	12.13	53.73
43	37.80	68.93	29.45	25.17	12.23	59.31
44	28.47	69.20	32.76	23.68	14.45	60.16
45	38.55	58.80	32.56	25.75	13.24	55.94
46	40.18	79.59	34.32	26.63	13.66	55.30
47	47.53	81.91	29.04	28.40	14.76	59.74
48	32.03	75.59	24.01	25.49	13.97	58.60
49	16.33	61.44	26.61	24.97	12.24	53.61
50	41.90	68.53	26.60	26.40	12.80	54.51
51	40.44	36.92	31.12	23.92	13.32	62.49
52	50.22	59.45	26.66	24.61	13.32	57.63
53	36.60	70.32	38.87	27.14	12.61	65.29
54	48.18	61.24	38.19	28.83	14.12	63.40

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.2(ต่อ) ขนาดกระดูกขากรรไกรของคนไทยบริเวณด้านซ้าย

ลำดับ	3-D Panoramic Curve			ความสูง	ความกว้าง	มุมเอียง
	มุม(องศา)	รัศมี(มม.)	ความยาว(มม.)	(มม.)	(มม.)	(องศา)
55	20.21	56.68	33.51	25.15	14.19	57.04
56	32.60	39.06	35.60	26.26	13.82	58.38
57	36.44	80.21	33.12	23.70	11.97	64.78
58	43.17	58.61	38.73	26.19	12.56	56.84
59	25.64	51.55	36.99	26.07	14.19	56.59
60	36.56	82.58	36.17	24.27	12.67	60.32

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.3 ขนาดกระดูกขากรรไกรของคนไทยบริเวณด้านขวา

ลำดับ	3-D Panoramic Curve			ความสูง	ความกว้าง	มุมเอียง
	มุม(องศา)	รัศมี(มม.)	ความยาว(มม.)	(มม.)	(มม.)	(องศา)
1	33.01	57.71	33.98	25.99	13.80	55.88
2	19.24	52.50	32.91	24.55	11.35	60.74
3	25.57	69.08	33.50	25.08	13.41	62.75
4	28.87	70.39	37.22	23.08	12.51	59.71
5	33.17	55.15	32.74	27.29	13.36	64.59
6	29.64	58.94	33.94	23.69	11.75	60.61
7	57.06	65.44	33.44	23.79	11.99	50.70
8	25.19	71.40	35.75	24.88	13.81	66.05
9	32.49	40.32	29.22	24.39	11.79	68.07
10	40.14	60.27	31.84	24.37	13.72	57.46
11	59.52	62.45	32.55	22.66	13.96	49.82
12	37.09	68.32	31.74	26.04	13.40	50.18
13	30.39	65.04	35.06	25.85	13.11	64.39
14	22.21	71.97	30.30	23.19	13.36	63.67
15	8.61	63.58	34.22	24.51	15.39	57.48
16	62.96	78.93	36.01	24.15	12.65	51.74
17	36.17	50.67	40.39	28.44	10.96	62.91
18	46.84	46.19	33.57	24.78	12.79	59.67
19	34.10	56.84	28.50	26.48	14.46	60.85
20	27.20	66.53	35.34	24.53	11.67	57.94
21	37.76	49.61	35.68	26.02	12.36	52.57
22	42.29	51.60	33.11	24.10	11.20	56.37
23	27.35	49.66	32.90	25.50	11.10	57.64
24	38.36	72.30	32.65	25.53	14.22	58.55
25	33.86	71.86	32.29	25.32	12.47	65.64
26	31.88	77.17	26.21	25.11	13.82	64.56
27	27.80	61.26	40.42	23.94	10.68	53.03

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.3(ต่อ) ขนาดกระดูกขากรรไกรของคนไทยบริเวณด้านขวา

ลำดับ	3-D Panoramic Curve			ความสูง	ความกว้าง	มุมเอียง
	มุม(องศา)	รัศมี(มม.)	ความยาว(มม.)	(มม.)	(มม.)	(องศา)
28	20.33	59.05	32.24	27.04	10.93	61.35
29	26.38	62.90	32.91	25.45	12.25	57.78
30	18.15	71.51	37.56	23.73	12.25	63.58
31	44.78	67.78	26.85	25.70	12.94	64.41
32	32.03	51.00	38.14	25.95	13.00	65.17
33	41.77	61.43	32.12	24.04	11.59	61.48
34	37.50	91.55	36.78	21.79	13.09	51.93
35	49.98	82.45	36.71	24.68	12.40	59.54
36	40.07	65.58	38.43	24.80	12.84	56.33
37	42.05	67.87	35.39	25.35	13.83	57.60
38	30.24	28.31	34.19	23.05	14.58	63.89
39	38.23	81.93	33.02	25.48	13.31	52.70
40	23.20	66.25	35.27	25.34	12.64	57.17
41	25.57	63.89	30.70	23.94	12.15	59.51
42	38.53	65.89	30.58	24.11	13.91	55.63
43	39.80	56.74	28.09	23.04	13.80	62.56
44	39.27	57.29	30.74	23.68	12.95	56.43
45	41.74	61.56	36.75	23.98	13.25	58.32
46	47.83	75.65	38.65	23.22	12.19	62.86
47	22.03	77.57	32.65	22.46	13.57	56.68
48	33.55	57.85	32.51	23.27	12.33	58.56
49	45.40	81.63	30.38	25.13	13.14	53.57
50	23.71	63.40	26.47	25.98	13.20	54.63
51	38.02	34.15	33.98	25.57	13.98	56.61
52	38.08	92.16	31.57	23.42	13.04	60.50
53	37.60	49.83	31.82	24.38	13.17	56.73
54	38.31	66.79	27.89	26.16	13.14	54.65

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.3(ต่อ) ขนาดกระดูกขากรรไกรของคนไทยบริเวณด้านขวา

ลำดับ	3-D Panoramic Curve			ความสูง	ความกว้าง	มุมเอียง
	มุม(องศา)	รัศมี(มม.)	ความยาว(มม.)	(มม.)	(มม.)	(องศา)
55	41.20	54.75	32.85	23.20	13.58	61.69
56	33.79	75.49	33.73	25.74	11.57	57.02
57	56.03	74.92	32.45	24.04	11.92	55.45
58	28.08	45.02	31.45	25.20	12.17	57.44
59	28.87	61.57	29.76	23.40	12.99	63.60
60	40.98	52.54	31.28	25.86	12.54	59.24

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายจตุรงค์ จิตต์สอาด เกิดเมื่อวันที่ 21 มีนาคม 2520 ที่อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาอุตสาหรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีขนถ่ายวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปีการศึกษา 2543 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2547 ปัจจุบันทำงานเป็นผู้ช่วยนักวิจัย ที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย