

การศึกษาผลกระทบของการฉายรังสีแกมมาและการผ่านหม้อนึ่งฆ่าเชื้อแรงดันสูงของอุปกรณ์รากฟันเทียม (Stainless steel 440F-Se)

Effect of gamma-ray irradiation and autoclave in driver implant (Stainless steel 440F-Se)

วัลย์ลักษณ์ ชูธรรม

อ.ดร.ราชธีร์ เตชไพศาลเจริญกิจ, อ.ดร.บุญรัตน์ โล่ห์วงศ์วัฒน์

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โทร. 0-2942-8555 ต่อ 2102-4 โทรสาร 0-2955-1811 E-mail: fengrct@ku.ac.th1

บทคัดย่อ

เนื่องด้วยคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีการพบปัญหาการเกิดการกัดกร่อนของอุปกรณ์ประกอบรากฟันเทียมที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยรังสีแกมมาแล้ว เกิดการกัดกร่อนบริเวณผิวหน้าและเมื่อนำไปใช้งานเกิดการแตกหักเสียหาย ในงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาผลกระทบจากการฉายรังสีแกมมาลงบนอุปกรณ์รากฟันเทียมเปรียบเทียบกับวิธีการผ่านหม้อนึ่งฆ่าเชื้อแรงดันสูงและชิ้นงานดั้งเดิม ด้วยการทดสอบค่าความต้านทานการแตกหัก ความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนและศึกษาโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ข้อกำหนดต่างๆ จากการทดสอบ การฉายรังสีแกมมาสำหรับการฆ่าเชื้อโรค อาจมีผลกระทบต่อการทำงานของคาร์ไบด์ภายในชิ้นงานเพียงเล็กน้อยและคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน อาจเป็นผลทำให้เกิดการกัดกร่อนได้เนื่องจากเกิดความแตกต่างของความต่างศักย์ของเนื้อฟันและคาร์ไบด์

คำสำคัญ : อุปกรณ์ประกอบรากฟันเทียม, รังสีแกมมา, การกัดกร่อน

Abstract

At the Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, new sets of drivers and tooling for dental implant were designed and manufactured for clinical trials. These machined parts were sterilized using gamma-ray irradiation prior to usages during the implant surgery. Some drivers and tooling revealed corrosion hints on the surface. More importantly some of these fractured accidentally at small torque load when they were employed during the implant surgery. This research focused on the effects of the gamma-ray treatment on 440F-Se stainless steel parts as compared to other sterilizing procedures such as autoclaving. Microstructures study, corrosion tests, compositional investigation and mechanical tests such as micro Vickers hardness and bending were completed on three sets of 440F-Se samples (as-machined, autoclaved, and gamma-ray irradiated). We found that gamma-ray irradiation could enhance the carbide formations as well as

cause other atomic rearrangements as to ultimately reduce the Chromium content in the matrix. The lower amount of Chromium resulted in the deterioration in the corrosion resistance of the stainless steel. Some sample showed severe case of pitting corrosion on the surface and thereby could be prematurely fractured.

keywords : driver implant, gamma-ray, corrosion

1.บทนำ

เนื่องจากปัจจุบันนี้ มีความก้าวหน้าของเทคโนโลยีรากฟันเทียมอย่างมาก ทำให้มีการทดลองที่หลากหลายเกี่ยวกับรากฟันเทียม งานวิจัยเกี่ยวกับรากฟันเทียมของคณะทันตแพทยศาสตร์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้พบปัญหาเกี่ยวกับการฉายรังสีแกมมาลงบนรากฟันเทียมและอุปกรณ์ประกอบรากฟันเทียม ซึ่งถือเป็นการฆ่าเชื้อโรควิธีหนึ่ง มีผลกระทบให้ รากฟันเทียมและอุปกรณ์ประกอบรากฟันเทียมที่ผ่านการฉายรังสีแกมมานั้น เมื่อเก็บไว้โดยยังไม่ได้ใช้งานเป็นระยะเวลาหนึ่งจะเกิดการกัดกร่อนที่ผิวและเมื่อนำไปใช้ทำให้เกิดความเสียหาย คือเกิดการแตกหักระหว่างการใช้งาน

เมื่อพบปัญหาเช่นนี้แล้ว ในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาความสัมพันธ์ของการฉายรังสีแกมมา ที่ทำให้เกิดผลกระทบบนรากฟันเทียมและอุปกรณ์ประกอบรากฟันเทียม โดยการวัดค่าแรงบิด, ค่าความแข็ง, ความต้านทานการกัดกร่อนและศึกษาโครงสร้างมหภาคและจุลภาคโดยเบื้องต้นว่าโครงสร้างได้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมหรือไม่ โดยเปรียบเทียบชิ้นงานที่ผ่านการฉายรังสีแกมมา, ผ่านหม้อนึ่งฆ่าเชื้อแรงดันสูงและชิ้นงานดั้งเดิม

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ

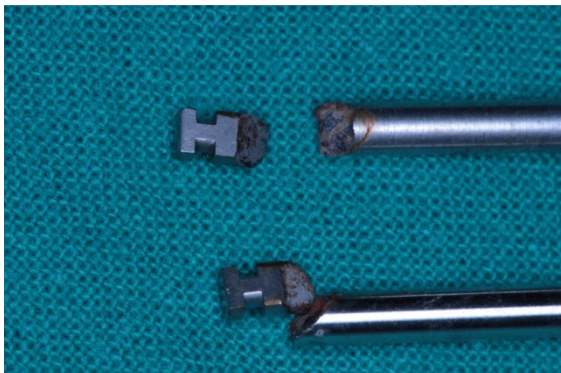
การวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาหาสาเหตุของผลกระทบจากการฉายรังสีแกมมาลงบนอุปกรณ์ประกอบรากฟันเทียม ซึ่งอาจมีผลทำให้สมบัติทางกลและสมบัติการต้านทานการกัดกร่อนลดลง

1.2 ขอบเขตของโครงการ

ศึกษารากฟันเทียมและอุปกรณ์ประกอบรากฟันเทียมที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อแตกต่างกัน 3 ประเภท คือ ผ่านการฉายรังสีแกมมา, ผ่านหม้อนึ่งฆ่าเชื้อแรงดันสูงและชิ้นงานตั้งต้น โดยจะทำการวัดแรงบิด, ความแข็ง, ทดสอบความเสถียรของฟิล์มต้านด้วยวิธี Potentiodynamic และศึกษาโครงสร้างเบื้องต้นด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM), กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical microscope, OM)

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีการพบปัญหาของอุปกรณ์ประกอบรากฟันเทียมที่ผลิตจากเหล็กกล้าไร้สนิม 440F Se (Stainless steel 440F Se) ว่า หลังจากผ่านการฆ่าเชื้อด้วยรังสีแกมมา แล้วเก็บไว้โดยยังไม่ได้นำมาใช้ งาน พบว่าเกิดสนิมขึ้นและเมื่อนำไปใช้งานทำให้เกิดการแตกหักเสียหาย ดังรูป



รูปที่ 1 ความเสียหายของอุปกรณ์ประกอบรากฟันเทียมที่ผ่านรังสีแกมมาที่เกิดขึ้น

โครงการวิจัยนี้ จึงมีการค้นคว้าหาข้อมูลเชิงทฤษฎี เพื่อใช้ในการวางแผนการทดลองเพื่อสร้างสมมุติฐาน หาเหตุผลที่อธิบายปัญหาที่เกิดขึ้น และการวิเคราะห์ข้อมูลหลังจากทำการทดลองเสร็จสิ้นแล้ว จากการศึกษาพบว่าเหล็กกล้าไร้สนิมมีความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนด้วยการสร้างฟิล์มต้านได้

ฟิล์มต้าน (Passive film) เป็นฟิล์มที่เกิดขึ้นจากธาตุผสมที่เติมในเหล็กกล้า โดยเฉพาะโครเมียม จะเกิดการกัดกร่อนก่อนเหล็ก ที่ผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมจะเกิดเป็นไอออน Cr^{3+} อยู่โดยทั่วไป และจะเกิดปฏิกิริยาต่อไปกับน้ำและออกซิเจนในบรรยากาศ ฟิล์มต้านที่เกิดขึ้นสามารถห่อหุ้มผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมไว้ได้หมด โดยมีความหนา 10 นาโนเมตร ส่งผลให้ไม่เกิดการกัดกร่อน หรือเกิดในอัตราที่ช้ามาก เรียกว่าอยู่ในสภาวะเฉื่อยหรือ Passive (ศิริลักษณ์, 2549)[1] จากการศึกษาพบว่าความสามารถในการสร้างฟิล์มต้านของเหล็กกล้าไร้สนิมจะลดลงเมื่อ

โครเมียมเกิดการฟอร์มตัวเป็นคาร์ไบด์ขึ้นในเนื้อของวัสดุ เป็นผลให้ความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนลดลงอีกด้วย ซึ่งคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นได้โดยทั่วไปมีอยู่หลายชนิด

เมื่อเหล็กกล้าไร้สนิมได้รับความร้อนสูง ซึ่งอยู่ในช่วงอุณหภูมิวิกฤติประมาณ 500 - 800 องศาเซลเซียสและปล่อยให้เย็นตัวผ่านช่วงวิกฤตอย่างช้าๆ จะเกิดการตกผลึกของโครเมียมคาร์ไบด์ (Chromium Carbide Precipitation) โดยคาร์บอนในเหล็กกล้าไร้สนิมจะตกผลึกออกจากสารละลายของแข็งรวมตัวกับโครเมียม กลายเป็นโครเมียมคาร์ไบด์ [2] ดังนั้นปริมาณโครเมียมในเนื้อโลหะจะลดลงและส่งผลให้ปริมาณของโครเมียม มีไม่เพียงพอที่จะสร้างฟิล์มต้าน ความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมจึงลดลงอย่างมาก (อนุชา, 2547) [3]

และในการวิจัยครั้งนี้ต้องการศึกษาผลกระทบของกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยรังสีแกมมาและการใช้หม้อนึ่งฆ่าเชื้อที่มีต่ออุปกรณ์ประกอบรากฟันเทียม ซึ่งกระบวนการฆ่าเชื้อ (Sterilization) นั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งกับการใช้งานทางการแพทย์มีอยู่หลายวิธี เช่น การใช้กัมมันตภาพรังสี (Ionizing radiation) โดยรังสีที่ใช้คือรังสีแกมมาซึ่งกำเนิดจากไอโซโทปของธาตุโคบอลต์ (Co^{60}) มักนิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เนื่องจากรังสีชนิดนี้มีอนุภาพในการทะลุทะลวงสูง และไม่มีรังสีตกค้าง แต่รังสีแกมมาอาจก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของพลาสติกที่มีส่วนผสมของคลอรีน (Chlorinated rubber) และวิธีการใช้หม้อนึ่งฆ่าเชื้อแรงดันสูง (Autoclave) ในการนึ่งฆ่าเชื้อ จะใช้ไอน้ำร้อนและแรงดันสูง ทำให้ของที่ผ่านการนึ่งแล้วอยู่ในสภาพปราศจากเชื้อ การนึ่งฆ่าเชื้อโดยทั่วไปจะใช้สภาวะที่ อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส แรงดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยใช้ระยะเวลาหนึ่ง 15 นาที (สุวณี และ มวลัย, 2536) [2]

สำหรับการใช้หม้อนึ่งฆ่าเชื้อแรงดันสูงนั้น จากการศึกษาสมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิมหลังจากผ่านการฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อแรงดันสูงของ (Bruce R. Hilt และคณะ, 2543) พบว่าอุณหภูมิของหม้อนึ่งจะยังไม่เพียงพอที่จะทำการให้เหล็กกล้าไร้สนิมเกิดการเปลี่ยนแปลงเฟสได้ในผ่านการฆ่าเชื้อเพียงครั้งเดียว แต่มีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นตามจำนวนรอบการนำไปผ่านหม้อนึ่งฆ่าเชื้อแรงดันสูง [5]

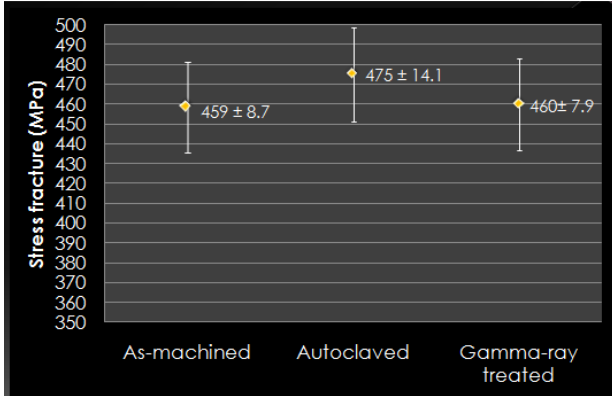
จากการศึกษาผลกระทบของอัตราการกัดกร่อนจากการฉายรังสีแกมมาลงบนเหล็กกล้าไร้สนิมด้วยการดัมในกรดไนตริก (Yamamoto Takao และคณะ, 2539) พบว่าชิ้นงานที่ผ่านการฉายรังสีแกมมานั้นจะมีอัตราการกัดกร่อนที่สูงกว่าชิ้นงานที่ไม่ได้ผ่านการฉายรังสีแกมมา [6]

และจากการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าเคมี (Chae-Heon Chung และคณะ, 2552) พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างรากฟันเทียมที่ผ่านการใช้งานแล้วและยังไม่ผ่านการใช้งานโดยใช้วิธี Potentiodynamic ในการตรวจสอบ พบว่าวัสดุชิ้นที่ผ่านการใช้งานแล้วจะใช้กระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้ามากกว่าชิ้นที่ยังไม่เกิดการกัดกร่อน เนื่องจากตัวชิ้นงานที่ผ่าน

การกัดกร่อนแล้วจะเสียอิเล็กตรอนได้ง่ายกว่า ทำให้ถูกกัดกร่อนได้ง่ายกว่า [4]

3. ผลการทดสอบ

3.1 ผลการทดสอบการดึงแบบ 3 จุด



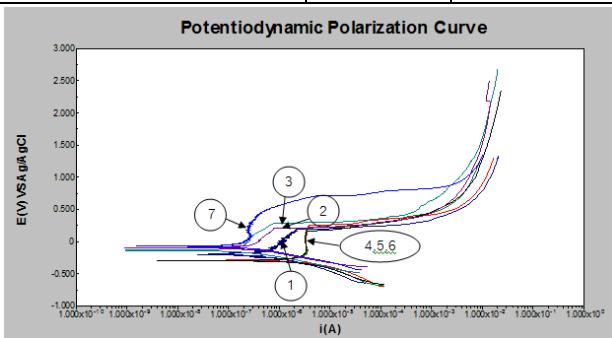
รูปที่ 6 ค่าเฉลี่ยของ Stress fracture

จากผลการทดสอบการดึงแบบ 3 จุด เพื่อดูค่าความต้านทานการแตกหักของอุปกรณ์ประกอบรากฟันเทียม ค่าที่ได้จากชิ้นงานทั้ง 3 ชนิด มีค่าใกล้เคียงกัน ไม่มีค่าไหนสูงกว่ากันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจหาสาเหตุได้จาก การตรวจสอบ โครงสร้างทางจุลภาคในลำดับต่อไป

3.2 ผลการทดสอบทางไฟฟ้าเคมี

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบทางไฟฟ้าเคมี

Sample	E_{corr} (V)	I_{corr} ($\mu A/cm^2$)
1.AS-machined	-0.196	0.082
2.Gamma-ray treated	-0.091	0.037
3.Autoclaved	-0.136	0.036
4.AS-machined (Ground)	-0.298	0.328
5.Gamma-ray treated (Ground)	-0.301	0.389
6.Autoclaved (Ground)	-0.294	0.338
7.Sample 1*	-0.069	0.031



รูปที่ 7 กราฟระหว่างความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้า

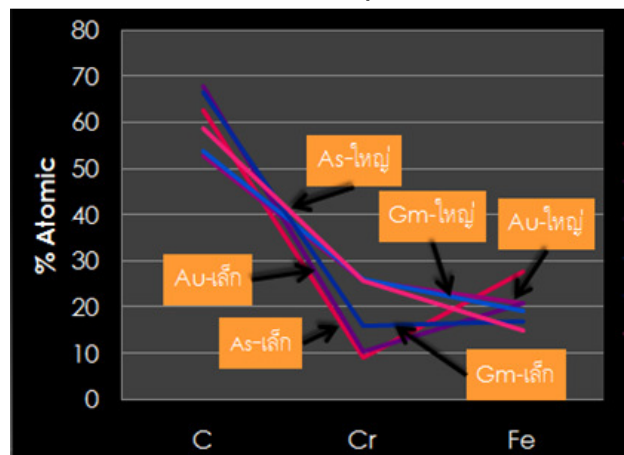
จากผลการทดลองในกราฟข้างต้นพบว่า ชิ้นงานในกลุ่มที่มีการขัดชิ้นงานก่อนนำมาทดสอบ มีความสามารถในการสร้างฟิล์มที่ดี แต่สามารถเกิดการกัดกร่อนได้ง่ายกว่าชิ้นงานกลุ่มที่ไม่มีการขัดชิ้นงานก่อน

นำมาทดสอบ โดยสามารถดูได้จากค่า I_{corr} ที่มีค่าสูงกว่า การที่เป็นเช่นนี้ เพราะฟิล์มด้านที่เกิดขึ้น เกิดขึ้นได้ช้ากว่าฟิล์มด้านที่มีอยู่แล้วทำให้เกิดการกัดกร่อนที่เร็วกว่า แต่ในผลการทดสอบในกลุ่มชิ้นงานที่ไม่มีการขัดก่อนนำไปทดสอบพบว่า ความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนของชิ้นงานที่ผ่านรังสีแกมมา สูงกว่าชิ้นงานที่ผ่านหม้อนึ่งฆ่าเชื้อแรงดันสูง และชิ้นงานตั้งต้น ทำให้เห็นว่า การฉายรังสีแกมมาและหม้อนึ่งฆ่าเชื้อแรงดันสูงอาจมีผลต่อการสร้างฟิล์มด้านของชิ้นงาน ทำให้ฟิล์มด้านที่มีอยู่หนาขึ้นได้ และชิ้นงาน Sample1 เป็นชิ้นงานที่เห็นรอยการเกิดสนิมชัดเจนจึงนำมาทดสอบอีกครั้ง จากกราฟข้างต้นทำให้เห็นว่าเกิดการกัดกร่อนแบบรูเข็มขึ้น (Pitting corrosion) ซึ่งอาจเกิดจากการที่โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเปลี่ยนแปลงไป เกิดการรวมตัวกันเป็นคาร์ไบด์มากขึ้น ทำให้เกิดความแตกต่างของความต่างศักย์ของเนื้อพื้นและคาร์ไบด์ ทำให้เกิดการกัดกร่อนแบบรูเข็มได้

3.3 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงและแบบส่องกราด

จากภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง และภาพถ่าย Back scattered electrons จากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด จะเห็นคาร์ไบด์กระจายอยู่ที่เนื้อพื้นของชิ้นงาน ซึ่งในเนื้อพื้นของชิ้นงานทั้ง 3 เงื่อนไข มีคาร์ไบด์อยู่ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน และจากภาพถ่าย Secondary electrons จากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด จะเห็นถึงหลุมเกินขึ้นที่พื้นผิวอย่างชัดเจน ซึ่งอาจเกิดจากคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นเป็น Hard precipitate และอาจหลุดออกหลังจากโดนการขัดพื้นผิวได้ และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณคาร์ไบด์ด้วยโปรแกรม I_{map} พบว่าปริมาณคาร์ไบด์ในชิ้นงาน As-machined น่าจะมีค่าน้อยกว่าชิ้นงาน Autoclaved และ Gamma-ray treated ซึ่งอาจเกิดจากผลกระทบจากการฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อแรงดันสูงและการฉายรังสีแกมมา

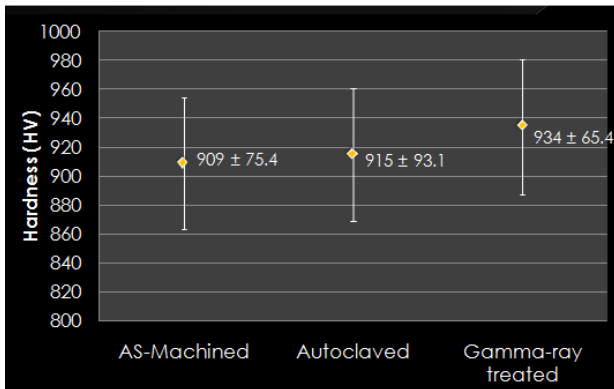
3.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ



รูปที่ 8 % Atomic ของคาร์ไบด์ขนาดเล็กและใหญ่ภายในแต่ละชิ้นงาน

จากการวิเคราะห์ห้องศัลยกรรมกระดูก จากการวิเคราะห์คาร์ไบด์ ขนาดใหญ่ เห็นได้ว่ามีอัตราส่วนที่ค่อนข้างเท่ากันในชิ้นงานทั้ง 3 เงื่อนไข และในคาร์ไบด์ขนาดเล็ก เนื่องจากการวิเคราะห์ห้องศัลยกรรมกระดูกมีเนื้อที่เกินกว่าขนาดของคาร์ไบด์ ทำให้ค่าที่ได้มีค่าคลาดเคลื่อน แต่อัตราส่วนก็เพิ่มในปริมาณที่ค่อนข้างเท่ากัน ซึ่งคิดว่าเกิดจากคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นนั้น น่าจะเป็นคาร์ไบด์ชนิดเดียวกัน

3.5 ผลการวัดค่าความแข็งด้วยเครื่องไมโครวิกเกอร์



รูปที่ 9 กราฟค่าความแข็งของคาร์ไบด์ในแต่ละชิ้นงาน จากผลการวัดค่าความแข็งของคาร์ไบด์ของชิ้นงานทั้ง 3 ชนิด พบว่ามีความแข็งเฉลี่ยใกล้เคียงกัน โดยไม่มีค่าไหนมีค่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากคาร์ไบด์ที่มีอยู่ในทั้ง 3 ชิ้นงาน น่าจะเป็นคาร์ไบด์ชนิดเดียวกัน จึงมีค่าความแข็งที่ใกล้เคียงกัน

4.สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบชิ้นงานพบว่า การฉายรังสีรังสีแกมมาลงบนตัวประกอบรากฟันเทียมเพื่อทำการฆ่าเชื้อโรคนั้น อาจมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างจุลภาคเล็กน้อย ซึ่งสามารถเห็นได้ในระดับมหภาค แม้ว่าการใช้รังสีแกมมาในการฆ่าเชื้อจะใช้พลังงานที่อาจไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ แต่การทำซ้ำหลายครั้งอาจเกิดพลังงานสะสมทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ หรือหลังจากการใช้งาน อาจทำให้เกิดความเสียหายของฟิล์มด้าน ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการกัดกร่อนได้เช่นกัน

จากผลการทดสอบทางไฟฟ้าเคมี โดยชิ้นงานในกลุ่มที่มีการขัดชิ้นงานก่อนนำมาทดสอบ มีความสามารถในการสร้างฟิล์มที่ดี แต่สามารถเกิดการกัดกร่อนได้ง่ายกว่าชิ้นงานกลุ่มที่ไม่มีการขัดชิ้นงานก่อนนำมาทดสอบ โดยสามารถดูได้จากค่า I_{corr} ที่มีค่าสูงกว่า การที่เป็นเช่นนี้ เพราะว่าฟิล์มด้านที่เกิดขึ้น เกิดขึ้นได้ช้ากว่าฟิล์มด้านที่มีอยู่แล้วทำให้เกิดการกัดกร่อนที่เร็วกว่า และชิ้นงาน Sample1 เป็นชิ้นงานที่เห็นเป็นรอยการเกิดสนิมชัดเจนจึงนำมาทดสอบอีกครั้ง จากกราฟข้างต้นทำให้เห็นว่าเกิดการกัดกร่อนแบบรูเข็มเกิดขึ้น (Pitting corrosion) ซึ่งน่าจะเกิดจาก

การที่โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานมีคาร์ไบด์อยู่ในเนื้อพื้น ทำให้เกิดความแตกต่างของความต่างศักย์ของเนื้อพื้นและคาร์ไบด์

5.กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้จัดขึ้นตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากการได้รับความสนับสนุนทั้งด้านข้อมูล แนวทางการดำเนินการวิจัย เงินทุนสนับสนุนในการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนคำแนะนำและความเอาใจใส่ตลอดการทำงานจาก อ.ดร.บุญรัตน์ โล่ห์วงวัฒน์ ประธานกรรมการปรึกษา(ร่วม) จากภาควิชาวิศวกรรมโลหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, อ.ดร.ราชธีร์ เตชไพศาลเจริญกิจ ประธานกรรมการที่ปรึกษา (ร่วม) และอ.สรพัชญ์ นามะโน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นอย่างยิ่ง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัย ขอขอบพระคุณ นายชัยพัฒน์ ตั้งพัฒน์เจริญ และนายปิตินันท์ ปิยะวาทีน ที่ช่วยดูแลในการทำงานวิจัยและดูแลตลอดการทำวิจัย และขอขอบคุณพี่ๆทุกคนที่ห้องปฏิบัติการโลหะมีค่า ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่คอยช่วยให้คำแนะนำที่ดีตลอดการทำงาน

เอกสารอ้างอิง

1. ศศ.ศิริลักษณ์ นิจจรรยงค์, *Passivity of stainless steels*. 2006.
2. สุวณี สุขเวชย์, ม.ว., พจนีย์ โกมลภิส, การทำให้ปราศจากเชื้อ (sterilization) และการทำลายเชื้อ (disinfection). 2536.
3. อ.อนุชา วัฒนภา, เอกสารประกอบการปฏิบัติการทางโลหะวิทยา วิชา PTE 453 (Metallurgy Lab.II). 2007.
4. Chung, C.-H., et al., *Electrochemical behavior of dental implant system before and after clinical use*. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2009. **19**(4): p. 846-851.
5. Hilt, B.R., et al., *Torsional Properties of Stainless-Steel and Nickel-Titanium Files After Multiple Autoclave Sterilizations*. Journal of Endodontics, 2000. **26**(2): p. 76-80.
6. Yamamoto, T., et al., *Gamma-ray irradiation effect on corrosion rates of stainless steel, Ti and Ti-5Ta in boiling 9N nitric acid*. Journal of Nuclear Materials, 1996. **228**(2): p. 162-167.