

산 완충용액의 pH가 인공치근우식의 형성에 미치는 영향

오현석 · 김기연 · 노병덕 · 이찬영

연세대학교 치과대학 치과보존학교실

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF pH ON THE FORMATION OF ARTIFICIAL ROOT CARIES IN ACID BUFFER SOLUTION

Hyun-Suk Oh, Kee-Yeon Kum, Byeng-Duck Ro, Chan-Young Lee

Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Yonsei University

Recently root caries is reported as an increasing oral disease. Many researchers studied in vivo and in vitro enamel lesions but due to its peculiar structure and different chemical composition compared to the enamel, little effort has been made to root caries study.

The purpose of this study is to compare and to evaluate the effect of pH on the progression of artificial root caries lesion. Under the constant degree of saturation, the specimens were divided into 4 groups (pH 4.3, 5.0, 5.5, 6.0). Each group was immersed in acid buffer solution for 1, 3, 5, 7 days and examined using the polarizing microscope.

The results were as follows:

1. The body of the lesion in the dentin showed higher degree of positive birefringence compared to sound dentin.
2. The rate of progression of the lesion slowed as the pH increased.
3. In all groups, the lesion progressed rapidly at the initiation of the experiment but increased gradually as time elapsed.

In conclusion, the study shows that the pH in the acid buffer solution influenced the rate of progression of the lesion in artificial root caries. Compared to the previous enamel study, the initial pattern of the lesion progressed rapidly and as time elapsed increased gradually.

Key Words : Root caries, Acid buffer solution, pH, Degree of saturation

I. 서 론

치아 우식증은 국내 구강질환 중 가장 높은 발병률을 일으키는 질환으로 이를 예방하기 위해 많은 연구가 진행되고 있으며 특히 치근 우식증은 사회, 경제적 발전과 인구의 고령화가 지속되면서 두드러지게 증가추세에 있는 구강질환으로써 치은퇴축, 치주질환을 가진 중, 장년층의 연령에서 흔히 발생한다^{20,26)}. Darby 등⁷⁾에 의해 이미 1884년에 치근 우식증이 치관부 우식증과 독립된 질병으로 보고되기 시작하였으나 치근 우식증에 관심을 갖기 시작한 것은 최근의

일이다.

Hazen 등¹³⁾은 치근 우식증을 치근면에서 발견할 수 있는 치주조직 부착이 소실되고 구강환경에 노출된 연화되고 진행중인 병소라고 규정하였고, Banting 등³⁾은 명확하게 구별되고 변색된 부위로 explorer가 쉽게 삽입되나 제거시 약간의 저항을 느끼게 된다고 정의하였다.

이러한 치근 우식증은 법랑질 우식증과는 달리 낮은 무기질 함량 및 높은 백악질-상아질 복합체의 유기질 함량 때문에 산에 의한 탈회 및 유기질의 proteolytic breakdown에 의해 진행될 수 있으며 이와 같은 구조적 차이로 인하여 치

관 우식증과는 병소 형성시간, 조직학적 형태, 재광화의 가능성 및 시간의 차이를 나타내고 있다^{12,24}.

법랑질 탈회 연구에 사용된 방법으로 Arends와 Christoffersen 등²⁾에 의해 고안된 표면연화 또는 표층하 병소를 형성하는 방법이 많이 사용되며 이러한 방법으로는 acidified gels⁸⁾, partially saturated buffers²⁵⁾와 surface dissolution inhibitors¹⁰⁾ 등이 있고 Feagin과 Graves^{9,42)}는 치근에도 이와 같은 방법으로 실험하였다. 치근 우식증을 연구하는 방법으로 Clarkson 등^{4,6,42)}은 탈회에 필요한 산을 형성하는 bacterial system을 이용하여 법랑질 또는 치근면에 균일한 표층하 병소가 형성될 수 있다고 보고하였고 Phankosol 등^{28,29)}은 편광현미경을 사용하여 acidified gel system에서 법랑질과 치근 우식이 유사하게 형성되었다는 것을 확인하였다. Hoppenbrouwer 등¹⁷⁾은 partially saturated buffer system을 이용, 치근이 법랑질에 비해 더 용해도가 크다는 것을 microradiography를 통해서 입증하였고, Clarkson 등⁵⁾은 partially saturated buffer에 proteolytic enzyme 첨가 시 균일한 표층하 탈회대신 치근 표면에 조직손실 또는 침식이 일어났다고 보고하였다.

그러나 지금까지 많은 연구가에 의해 구강내와 실험실에서 초기 법랑질 우식병소에 관한 많은 연구가 진행되어 왔으나 치근면의 독특한 구조와 법랑질과는 화학적 조성의 차이를 보이는 치근 우식증에 대한 연구는 아직 미미한 실정이다. 이에 저자는 구강내 우식 형성 요인 중 하나인 pH를 변화시켜 pH가 인공적인 치근 우식의 진행에 미치는 효과를 편광현미경을 이용하여 비교, 평가하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료 및 시편제작

발치한 지 30일 이내의 영구치 중 수복되지 않고 우식이 없는 소구치와 대구치를 선택하여 치근에 부착된 치주조직 및 백악질을 periodontal curette으로 제거하고 불소가 포함되지 않은 pumice로 치근면을 연마한 후 초음파 세척기에서 10분간 세정하고 다시 증류수로 세척, 건조하였다.

건조된 치아는 5cc 시린지를 이용하여 높이 2cm, 직경 1cm의 tube를 만들고 치과용 아크릴레진을 이용하여 치관 부위만 매몰하고 경화 후 low speed diamond wheel saw (Minitom, Struers, Denmark)를 이용하여 치아 장축에 수직되게 400~500 μ m의 절편을 만든 다음 #800사포를 이용하여 150 μ m두께로 연마하였다.

연마된 시편은 협설면이나 근원심쪽의 손상이나 균열이 없는 부위 중 3mm 정도의 window를 제외한 나머지 부위는 내산성의 nail varnish를 도포하고 양 측면은 bonding agent(Scotchbond™ Multi-Purpose, 3M, U.S.A.)로 광

중합시켰다.

2. 실험용액의 제조

1) Stock solution의 제조

- ① 1M의 lactic acid의 농도를 얻기 위하여 30% lactic acid(Sigma Co., 분자량 90.08, 밀도 1.080)로 부터 조제한 후 적정하여 1.02M임을 확인하였다.
- ② 염화칼슘분말(Sigma Co., 분자량 111.0)로 부터 0.3M의 용액을 제조하고 자동분석기(Hitachi 736-20, Japan)를 이용하여 칼슘이온의 농도를 정량분석하여 0.297M임을 확인하였다.
- ③ 인산칼륨분말(Sigma Co., 분자량 136.1)로 부터 0.9M의 용액을 제조하고 자동분석기(Hitachi 736-20, Japan)를 이용하여 인 이온의 농도를 정량분석하여 0.940M임을 확인하였다.

2) 탈회완충용액의 제조

실험군으로 4개의 pH군 (pH 4.3, 5.0, 5.5, 6.0)으로 나누고 각 군 당 필요한 lactic acid, 칼슘, 인의 양을 stock solution으로부터 취하고 bacteriostatic하게 하기 위해 0.0308M의 sodium azide를 추가하고 8N KOH를 이용하여 원하는 pH에 도달하면 4차 증류수를 이용하여 500ml가 되게 하여 탈회 완충용액을 제조하였다(Table 1). pH의 측정은 pH meter(Model 920A, Orion Research Inc., U.S.A.)를 이용하였고 모든 용액제조에 사용한 물은 4차 증류수를 degas시켜 사용하였다.

위의 제조된 용액을 자동 분석기(Hitachi 736-20, Japan)를 이용하여 다시 정량 분석하여 initial demineralization solution으로 사용하였다.

3. 제조된 완충용액을 이용한 인공 치근우식의 형성

각 군 당 10개의 시편을 배정하고 각 pH군의 완충용액을 플라스틱 통에 30cc씩 채우고 인공 우식이 형성될 시편을 통의 중앙에 위치하도록 고정하고 밀봉한 후 25 $^{\circ}$ C 항온조에 각각 1일, 3일, 5일, 7일 간 완충용 액에 보관하였다.

Table 1. The initial compositions of demineralization solution according to the change of pH

Group	1	2	3	4
pH	4.3	5.0	5.5	6.0
Lactic acid(mM)	100	100	100	100
Ca ²⁺ (mM)	15.9	4.3	1.6	0.58
PO ₄ ³⁻ (mM)	8.1	1.8	0.7	0.3
Sodium azide(mM)	3.08	3.08	3.08	3.08
Degree of saturation	0.160	0.153	0.154	0.154

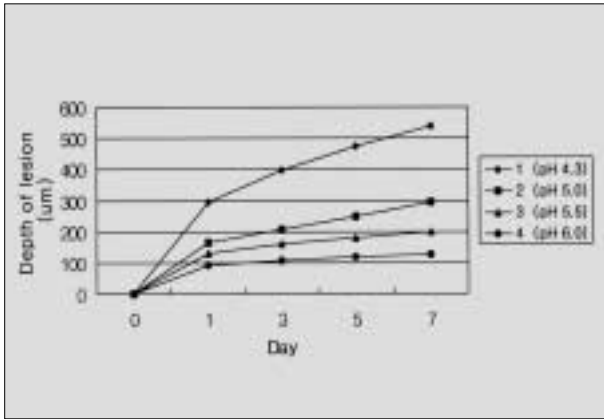


Fig. 1. The effect of the pH in acid buffer solution on the progression of artificial root caries (μm)

4. 편광 현미경 관찰 및 우식병소의 깊이 측정

각 1일, 3일, 5일, 7일째 완충용액에서 꺼낸 시편은 증류수로 침윤 시킨 상태에서 40배, 100배의 편광현미경 (I221, 동원정밀, 한국)으로 관찰 하여 사진을 촬영하고 현상 후 표면에서부터 양성복굴절부위 끝까지의 수직길이를 임의의 각기 다른 지점에서 다섯 부위를 선택한 후 micrometer를 이용하여 우식병소의 평균깊이를 산출하였다.

Ⅲ. 실험 결과

1. 편광현미경 관찰

병소 모양은 saucer shape으로 모든 시편 관찰시 대부분의 병소에서 깊이가 일정하였고 병소의 경계도 대부분 명확하게 나타났다. 표본을 증류수에 침윤시켜 관찰한 경우 공기를 매개로 하여 관찰하였을 때 보다 병소의 경계가 더 명확하게 나타났다.

병소본체는 건전 상아질에 비해 양성 복굴절의 양상이 높게 나타났다. 병소본체에서는 상아질의 구조인 상아세관의 형태를 관찰할 수 없었으며 병소본체 하방에 띠 모양의 zone of band가 관찰되었다(Fig. 4, 6).

Zone of band는 1군인 pH 4.3에서는 시간이 경과할수록 소실되는 양상을 나타내었으나(Fig. 3), 2, 3, 4군에서는 zone of band가 시간이 경과할수록 경계가 더 명확하게 나타났다(Fig 5, 7, 9).

Zone of band에서는 상아세관의 형태가 관찰되었고 시간이 경과할수록 zone of band의 두께가 증가하는 양상을 나타내었다. 반면 시간이 경과 할수록 병소본체의 깊이는 zone of band의 두께증가 양상에 비해 완만하게 증가하는

Table 2. The mean depths of lesion formed according to the change of pH in acid buffer solution (μm)

Day	Group			
	1(pH 4.3)	2(pH 5.0)	3(pH 5.5)	4(pH 6.0)
1	293	163	130	91
3	396	208	161	108
5	473	248	181	117
7	538	293	200	128

양상을 나타내었다.

병소 깊이는 초기에 급격히 진행되고 시간이 경과함에 따라 점차적으로 증가하였고 pH가 낮을수록 병소가 깊게 형성되었다(Fig. 1).

1군인 pH 4.3에서 관찰 시 병소가 가장 깊게 형성되었으며 pH가 증가할 수록, 즉 2군, 3군, 4군으로 갈수록 병소의 깊이는 1군에 비해 깊지 않았다(Fig. 2, 4, 6, 8).

탈회가 진행되는 동안 모든 시편에서 cavitation의 양상은 나타나지 않았다.

2. 우식병소의 깊이 측정

포화도와 산의 농도를 일정하게 유지시키고 pH를 변화시켰을 때 pH가 높아질수록 치근 우식 병소의 진행이 늦어지는 것이 관찰되었다(Table 2).

1군은 2, 3, 4군에 비해 1일 후 우식 병소의 깊이가 더 깊었고 시간이 지날수록 계속 증가하는 양상을 보였으나 2, 3, 4군에서는 초기에는 우식 병소 진행이 빨랐으나 시간이 지날수록 병소의 깊이가 점차 완만하게 증가하는 양상을 보였다.

Ⅳ. 총괄 및 고찰

치아 우식증에 대한 연구는 주로 법랑질 부위에 국한되어 왔으나 인구의 고령화가 진행되면서 잔존되는 치아의 수가 증가하고 노령화에 따른 치주조직의 변화는 치근의 노출 및 치근 우식증에 이환 될 수 있는 기회를 증가시키게 되었다. 그러나 아직까지 치근 우식증의 조직병리학적 연구는 심도 있게 진행되지 않았고 이것에 대한 이해도는 아주 낮은 편이다^{26,30}.

예전의 연구에서 치근과 법랑질 우식은 조직상태에 상관 없이 비슷한 양상을 나타내었고^{4,6,28,30} Feagin과 Graves등⁹은 법랑질 인공우식 형성방법을 치근에 적용하여 실험하였다고 하였다.

Margolis와 Moreno^{21,22}는 동역학적인 기전에 입각한 그의 우식 형성 가설에서 완충액의 포화도(degree of saturation)는 thermodynamic solubility product constant에

대한 칼슘, 인 등의 ionic activity의 비로 정의하였으며 법랑질 탈회율은 이러한 탈회용액의 다양한 포화도에 의해 조절되고 pH만으로는 법랑질 탈회의 driving force가 되지 않기 때문에 in vivo나 in vitro 상에서 행해진 인공 우식 실험에서 pH변화에 따른 결과를 해석하는데는 상당한 주의가 필요하다고 하였다.

한편 Margolis 등²³⁾은 치아 무기질을 위한 solubility product constant는 치근과 법랑질의 무기질이 같을 것이라고 하였고 상아질의 무기질은 법랑질 무기질에 비해 용해도가 크므로 노출된 치근조직의 탈회를 위한 치태의 driving force는 법랑질 탈회를 위한 것 보다 더 크다고 주장하였다.

완충액 내의 산의 농도와 pH를 일정하게 유지하면서 포화도만을 변화시켜본 이⁴⁵⁾의 실험에서 우식 표면하층이 가장 잘 형성되는 포화도는 0.153 ± 0.003 으로 나타났다. 따라서 본 실험은 이러한 범위의 포화도를 유지하기 위해 lactic acid, 칼슘, 인 이온의 농도를 계산하여 완충용액을 제조하고 치근우식의 진행양상을 알고자 실험을 진행하였으며 실험 시작전에 세균에 의한 탈회의 가능성을 배제하기 위하여 실험용액에 sodium azide를 포함시켰으며 실험기간 중에 불소에 의한 재광화의 가능성을 없애기 위하여 실험 시작 전에 실험용액에 대한 불소의 농도를 측정된 결과 2.3×10^{-12} ppm ~ 6.2×10^{-10} ppm으로 불소에 의한 재광화의 가능성은 희박하였다.

인공 치근 우식의 조직병리 연구를 위한 방법으로 Phankosol 등²⁸⁾은 transmitted light microscopy, 편광현미경, microradiography 등의 방법으로 연구를 진행하였다. Microradiography 관찰 결과 모든 치아는 saucer shape의 우식 병소가 형성되었고 모두 비슷한 양상을 보였으며 우식병소 본체의 탈회 및 본체 내에 광화된 zone of band를 보였다²⁸⁾. 편광현미경 관찰에서는 이와 유사하거나 보다 명확하였으며 상아질에서의 병소 본체는 건전 상아질에 비해 양성복굴절의 정도가 크게 관찰되었는데^{28,29)} 본 실험에서도 같은 양상을 나타내었다.

또한 Sch pbach 등³⁰⁾은 microradiography 관찰 시 초기 치근 우식병소도 역시 특징적으로 radiopaque surface와 radiolucent body를 보여 백악질, 상아질, 법랑질은 우식에 대해 같은 반응을 나타낸다고 생각하였다.

본 실험에서 나타난 우식 병소의 진행양상은 박 등⁴⁴⁾의 실험에 의한 법랑질 인공우식 진행양상에 비해 다른 양상이 나타났다. 법랑질 인공우식에서 병소 진행양상은 시간이 경과할 수록 계속 증가하는 양상을 나타냈으나 본 실험에서는 첫째날 급격히 진행된 후 점차적으로 진행되는 양상을 나타내었다.

Wefel 등^{14,41)}은 편광현미경 관찰 시 침윤매개로 물을 사용하였을 경우 병소 본체와 건전 상아질 간에 명확한 구분

이 나타나게 되므로 편광현미경을 이용하여 병소 깊이를 직접 측정할 수 있게 된다고 주장하였고, 편광현미경이 transmitted light microscopy에 비해 여러 가지 우수한 점이 있다고 주장하였다⁴¹⁾. 일반적으로 편광현미경 관찰 시 백악질은 상아질과 쉽게 구별할 수 있는데 백악상아경계를 기준으로 두 조직간에 반대의 복굴절을 나타나게 된다. 즉 백악질은 negative birefringence(음성복굴절), 상아질은 positive birefringence(양성복굴절)를 나타나게 되어 두 조직간의 대조적인 현상으로 인해 쉽게 구분 지을 수 있으며 탈회시 상아질의 positive birefringence는 증가하게 되고 건전 상아질과의 구별이 용이하다^{41,42)}. 또한 편광현미경은 표면 탈회를 관찰하는데 transmitted light microscopy 보다 상세하여 병소의 양상 및 깊이 측정이 용이하다⁴⁾.

Microradiography 관찰 시 시편의 공기노출로 인한 건조로 인하여 병소 깊이와 무기질 소실량 측정 시 병소가 수축되고 collagen matrix의 수축으로 인하여 함몰된 표면을 보이게 되지만 편광현미경은 시편을 물에 침윤시켜 관찰하므로 수축된 collagen matrix가 재팽윤 되어 병소의 깊이 측정시 비교적 원래의 형태를 측정할 수 있다^{27,42)}. 또한 편광현미경 관찰에서도 인공 우식 병소의 표층은 무기질이 감소된 상태에서도 견고하게 남아있었고 물에 침윤시켰을 때 표면변화는 나타나지 않았으나 건조 시 탈회된 collagen matrix는 수축되어 concave shape을 형성하였다²⁸⁾.

치근 우식이 진행되면 편광현미경 관찰 시 병소본체 하방에 음성복굴절을 나타내는 띠 모양이 관찰되는데 이는 Furseth와 Johansen 등¹¹⁾에 의해 보고된 zone of band라고 추측된다. 이들은 병소의 전방부에서 무기질이 유리되면 탈회된 collagen matrix에 느슨하게 재침착하게 되어 무기질이 감소된 부위의 재광화를 일으키게 된다고 하였다^{11,28)}. 반면 Westbrook 등⁴³⁾은 microradiography 실험 시 어떤 시편에서 active lesion 하방에 hypermineralized area가 나타났다고 하였는데 이와 같은 radiopaque zone은 carious irritant에 대한 보호반응이라고 할 수 있겠다. 또한 hypermineralization에 의한 linear line은 hypermineralized dentinal tubule이라고 해석하였다. 이 zone of band는 Levine에 의해 보고된 자연적으로 형성된 우식 본체에 존재하는 radiodense line과 유사하다고 하였고 Johnson 등에 의한 zone of penetration과 일치한다고 하였다²⁸⁾. 반면 Clarkson 등¹⁴⁾은 유기산에 의해 탈회된 상아질은 재광화를 유도할 능력이 없다고 보고하였고 Wefel 등⁴²⁾은 잔존 organic matrix가 재광화를 위한 적절한 기질로 작용하지는 않았지만 잔존 무기질에서 재광화가 일어났다고 보고하였다.

Arends 등²⁾은 초기에 산에 의해 표층의 광물질 소실이 나타나는 표면 연화 단계가 나타나고 그 후 점차 재광화됨으로써 표층이 형성된다고 하였다. 본 실험에서도 완충용액

에 노출된 초기에는 탈회만 관찰할 수 있었으나 시간이 경과함에 따라 표층하 병소가 형성되었다.

Hoppenbrouwers 등¹⁷⁾은 같은 조건하에서 치근 탈회는 모두 표면연화를 야기하는데 비해 범랑질 탈회는 모두 표층하 병소를 형성하였다고 보고하였다. 한편 Clarkson⁴⁾, Phankosol²⁸⁾, Wefel⁴¹⁾ 등은 치근의 초기 탈회 시 표층하 병소가 나타났으나 이 우식 표면층은 견고하지 못하고 쉽게 파괴된다고 하였다.

일반적으로 치근이 범랑질에 비해 우식에 더 취약한데 이는 치근면의 독특한 구조와 화학적 조성이 다르기 때문이다¹⁶⁾. Hoppenbrouwers 등¹⁶⁾은 높은 carbonate와 magnesium 함량으로 인하여 범랑질에 비해 치근에서의 무기질 용해도가 높을 것이라고 주장하였고 구조적인 차이, 즉 상아세관의 존재로 인하여 범랑질에 비해 백악질과 상아질이 더 투과성이 클 것이라고 하였다. Katz 등²⁰⁾은 치근의 낮은 무기질 함량으로 인하여 범랑질에 비해 산 용해에 대한 저항성이 낮을 것이라고 하였고 우식이 형성되기 위해서는 치근 부위의 치태는 치관 부위의 치태보다 낮은 pH에 도달할 필요가 없을 것이라고 주장하였다. 역동학적 연구에 의하면 Hoppenbrouwers 등¹⁷⁾은 상아질이 범랑질에 비해 더 용해도가 높고 이것은 in vitro에서 같은 농도의 산에 노출되었을 때 상아질의 탈회가 범랑질에 비해 빨리 진행한다는 것을 입증하였다. 또한 Surmont 등³⁷⁾은 범랑질에 비해 치근의 탈회는 빨리 시작하고 장시간 지속된다고 하였다.

Theuns 등^{39,40)}은 pH는 표층의 형성에 영향을 미치지 않으며 단지 탈회의 진행속도에 영향을 미쳐 pH가 낮을수록 탈회는 더 빠르게 진행된다고 하였으나, 낮은 pH일수록 빠른 진행속도를 보일 뿐만 아니라 병소의 특성에도 영향을 미친다는 보고도 있다³⁶⁾.

본 연구에서 pH가 높아질수록 병소의 전방부에서 관찰할 수 있었던 것 중 특이한 점은 상아세관 내의 finger-like projection의 존재이다. 특히 pH 5.5, 6.0군에서 주로 관찰할 수 있었는데 이 현상은 peritubular dentin과 inter-tubular dentin의 무기질 함량의 차이라고 할 수 있겠다. Peritubular dentin이 intertubular dentin에 비해 더 석회화 되었고 산의 용해에 대해서 더 항산성이기 때문이라고 설명할 수 있겠다. In vitro system은 주로 physicochemical dissolution system으로 작용하고 병소의 전방부는 가장 항산성이 낮은 부위로 선택적으로 진행하게 되어 finger-like projection은 상아세관 주위의 intertubular dentin의 용해를 나타내게 된다²⁸⁾.

본 실험에서 사용한 산 완충용액을 이용한 인공우식모델의 장점으로는 일관된 결과의 도출이 가능하고 우식병소의 유발요인들의 조절이 가능하며 비교적 간단한 방법으로써 조건이 다른 상황에서 실험하였어도 in vitro system 사용시 같은 조직학적 특성을 재현할 수 있는 반면 in vivo에서

나타날 수 있는 생물학적 반응을 재현할 수 없는 단점이 있다⁴²⁾. 그러나 이 system은 우식 진행과정의 이해에 도움을 줄 수 있고 치근 우식진행을 예방 또는 늦출 수 있는 약제의 개발에 기여할 수 있을 것으로 사료되며 앞으로 치근 우식 형성에 관여하는 여러 요인에 대한 다각적인 연구를 통하여 치근 우식 형성기전을 찾는 노력이 계속되어야 하겠다.

V. 결 론

인공 치근 우식의 형성에 미치는 pH의 영향을 알아보기 위하여 우식이 잘 유발될 수 있는 농도와 포화도를 갖는 산 완충용액을 제조한 후 pH를 4.3, 5.0, 5.5, 6.0 등으로 변화시켜 1, 3, 5, 7일간 인공 우식병소를 형성하고 형성된 치근 우식 병소의 양상을 편광현미경으로 관찰한 후 병소깊이를 비교 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 편광현미경을 이용하여 물을 침윤시켜 관찰한 결과 병소 본체는 정상 상아질에 비해서 양성복굴절의 양상이 높게 나타났다.
2. 병소 진행 속도는 pH가 증가할수록 느리게 나타났다.
3. 전 군에서 병소 진행양상은 실험초기에는 급격히 진행되었고 시간이 경과함에 따라 비례적으로 증가되었다.

이상의 결과 산 완충용액에서 pH가 인공 치근우식 병소 형성 속도에 영향을 미치는 것으로 관찰되었으며, 이전 인공 범랑질 우식 진행양상에 비해서 초기에는 빠르게 진행되었고 시간이 경과함에 따라 비슷한 양상이나 속도가 다소 빨리 진행되었다.

참 고 문 헌

1. Almqvist, H, Lagerlöf, F, Angmar-Mansson, B : Automatic pH-cycling caries model applied on root hard tissue. Caries Res., 24 : 1-5, 1990.
2. Arends, J, Christoffersen, J : The nature of early caries lesions in enamel. J. Dent. Res., 65(1) : 2-11, 1986.
3. Banting, DW, Ellen, RP, Fillery, ED : Prevalence of root caries among institutionalized older persons. Community Dent. Oral Epidemiol., 8 : 84-88, 1980.
4. Clarkson, BH, Wefel, JS, Miller, I : A model for producing caries-like lesions in enamel and dentin using oral bacteria in vitro. J. Dent. Res., 63 : 1186-1189, 1984.
5. Clarkson, BH, Hall, DL, Heilman, JR, Wefel, JS : Effect of proteolytic enzymes on caries lesion formation in vitro. J. Oral. Pathol., 15 : 423-429, 1986.
6. Clarkson, BH, Krell, D, Wefel, JS, Crall, J, Feagin, FF : In vitro caries-like lesion produced by *Streptococcus mutans* and *Actinomyces viscosus* using sucrose and starch. J. Dent. Res., 66 : 795-798, 1987.
7. Darby, ET : The etiology of caries at the gum margin and labial and buccal surfaces of the teeth. Dental Cosmos, 26 : 218-232, 1984.
8. Feagin, FF, Clarkson, BH, Wefel, JS : Chemical and physical evaluation of dialyzed reconstituted acidified gelatin surface lesions of human enamel. Caries Res., 19 :

- 219-227, 1985.
9. Feagin, FF, Graves, CN : Evaluation of the effects of F in acidified gelatin gel on root surface lesion development in vitro. *Caries Res.*, 22 : 145-149, 1988.
 10. Featherstone, JDB : Diffusion phenomena during artificial carious lesion formation. *J. Dent. Res. (Special issue)*, 56 : D48-D52, 1977.
 11. Furseth, R, Johansen, E : The mineral phase of sound and carious human dental cementum studied by electron microscopy. *Acta. Odontol. Scand.*, 28 : 305-322, 1970.
 12. Harris, NO, Christen, AG : Primary preventive dentistry, 4th ed., 1995, Appleton & Lange, pp.54-55
 13. Hazen, SP, Chilton, NW, Mumma, Jr., RD : The problem of root caries I: Literature review and clinical description. *JADA*, 86 : 137-144, 1973.
 14. Heilman, JR, Jordan, TH, Warwick, R, Wefel, JS : Remineralization of root surfaces demineralized in solutions of differing fluoride levels. *Caries Res.*, 31 : 423-428, 1997.
 15. Holm-Pederson, P, Löe, H : Geriatric Dentistry, 1st ed. 1986, Munksgaard, pp.246-260
 16. Hoppenbrouwers, PMM, Driessens, FCM, Borggreven, JMPM : The vulnerability of unexposed human dentin roots to demineralization. *J. Dent. Res.*, 65(7) : 955-958, 1986.
 17. Hoppenbrouwers, PMM, Driessens, FCM, Borggreven, JMPM : The mineral solubility of human tooth roots. *Arch. Oral. Biol.*, 32(5) : 319-322, 1987.
 18. Jordan, HV, Sumney, DL : Root surface caries: Review of the literature and significance of the problem. *J. Periodontol.*, 44(3) : 158-163, 1973.
 19. Katz, RV, Hazen, SP, Chilton, NW, Mumma, Jr., RD : Prevalence and intraoral distribution of root caries in an adult population. *Caries Res.*, 16 : 265-271, 1982.
 20. Katz, S, Park, KK, Palenik, CJ : In vitro root surface caries studies. *J. Oral. Med.*, 42(1) : 40-48, 1987.
 21. Margolis, HC, Moreno, EC : Physicochemical perspectives on the cariostatic mechanisms of systemic and topical fluorides. *J. Dent. Res.*, 69 : 606-613, 1990.
 22. Margolis, HC, Moreno, EC : Kinetics of hydroxyapatite dissolution. *J. Dent. Res. Abstr.*, #1546, 1990.
 23. Margolis, HC, Zhang, YP, Gewirtz, A, van Houte, J, Moreno, EC : Cariogenic potential of pooled plaque fluid from exposed root surfaces in humans. *Arch. Oral. Biol.*, 38(2) : 131-138, 1993.
 24. Mellberg, JR : Demineralization and remineralization of root surface caries. *Gerodontology*, 5 : 25-31, 1986.
 25. Moreno, EC, Zahradnik, RT : Chemistry of enamel sub-surface demineralization in vitro. *J. Dent. Res. (Supplement)*, 53(2) : 226-235, 1974.
 26. Nyvad, B, Fejerskov, O : Root surface caries: clinical, histopathological and microbiological features and clinical implications. *Int. Dent. J.*, 32(4) : 311-326, 1982.
 27. Nyvad, B, ten Cate, JM, Fejerskov, O : Microradiography of experimental root surface caries in man. *Caries Res.*, 23 : 218-224, 1989.
 28. Phankosol, P, Ettinger, RL, Hicks, MJ, Wefel, JS : Histopathology of the initial lesion of the root surface: an in vitro study. *J. Dent. Res.*, 64(5) : 804-809, 1985.
 29. Phankosol, P, Ettinger, RL, Hicks, MJ, Wefel, JS : Depth of penetration of in vitro root surface lesions. *J. Dent. Res.*, 64(6) : 897-899, 1985.
 30. Schüpach, P, Guggenheim, B, Lutz, F : Human root caries: histopathology of initial lesions in cementum and dentin. *J. Oral. Pathol. Med.*, 18 : 146-156, 1989.
 31. Schüpach, P, Guggenheim, B, Lutz, F : Histopathology of root surface caries. *J. Dent. Res.*, 69(5) : 1195-1204, 1990.
 32. Schüpach, P, Guggenheim, B, Lutz, F : Human root caries : histopathology of advanced lesions. *Caries Res.*, 24 : 145-158, 1990.
 33. Schüpach, P, Guggenheim, B, Lutz, F : Human root caries: histopathology of arrested lesions. *Caries Res.*, 26 : 153-164, 1992.
 34. Seichter, U : Root surface caries: a critical literature review. *JADA*, 115 : 305-310, 1987.
 35. Shellis, RP : Effects of a supersaturated pulpal fluid on the formation of caries-like lesions on the roots of human teeth. *Caries Res.*, 28 : 14-20, 1994.
 36. Soni, NN, Brudevold, F : Microradiographic and polarized-light studies of artificially produced lesions. *J. Dent. Res.*, 39(2) : 233-240, 1960.
 37. Surmont, PA, Martens, LC : Root surface caries: an update. *Clinical Preventive Dentistry*, 11(3) : 14-20, 1989.
 38. ten Cate, JM, Nyvad, B, van de Plassche-Simons, YM, Fejerskov, O : A quantitative analysis of mineral loss and shrinkage of in vitro demineralized human root surfaces. *J. Dent. Res.*, 70(10) : 1371-1374, 1991.
 39. Theuns, HM, van Dijk, JWE, Driessens, FCM, Groeneveld, A : Effect of the pH of buffer solutions on artificial carious lesion formation in human tooth enamel. *Caries Res.*, 18 : 7-11, 1984.
 40. Theuns, HM, van Dijk, JWE, Driessens, FCM, Groeneveld, A : Effect of time, degree of saturation, pH and acid concentration of buffer solutions on the rate of in vitro demineralization of human enamel. *Arch. Oral. Biol.*, 30(1) : 37-42, 1985.
 41. Wefel, JS, Clarkson, BH, Heilman, JR : Natural root caries: a histologic and microradiographic evaluation. *J. Oral. Pathol.*, 14 : 615-623, 1985.
 42. Wefel, JS, Heilman, JR, Jordan, TH : Comparisons of in vitro root caries models. *Caries Res.*, 29 : 204-209, 1995.
 43. Westbrook, JL, Miller, AS, Chilton, NW, Williams, FL, Mumma, Jr., RD : Root surface caries: a clinical, histopathologic and microradiographic investigation. *Caries Res.* 8 : 249-255, 1974.
 44. 박성호, 이찬영 : 유산완충용액을 이용한 인공 치아우식의 형성에 미치는 산의 농도와 pH에 관한 연구. *대한치과보존학회지*, 18 : 277-290, 1993.
 45. 이찬영 : 산 완충용액을 이용한 인공 치아우식 형성. *연세치대는 문집*, 7 : 34-41, 1992.

사진 부도 설명

Fig. 2. Polarizing microscopic view of 1-day stored sample of Group 1, imbibed in water($\times 100$)

Fig. 3. Polarizing microscopic view of 7-day stored sample of Group 1, imbibed in water($\times 100$)

Fig. 4. Polarizing microscopic view of 1-day stored sample of Group 2, imbibed in water($\times 100$)

Fig. 5. Polarizing microscopic view of 7-day stored sample of Group 2, imbibed in water($\times 100$)

Fig. 6. Polarizing microscopic view of 1-day stored sample of Group 3, imbibed in water($\times 100$)

Fig. 7. Polarizing microscopic view of 7-day stored sample of Group 3, imbibed in water($\times 100$)

Fig. 8. Polarizing microscopic view of 1-day stored sample of Group 4, imbibed in water($\times 100$)

Fig. 9. Polarizing microscopic view of 7-day stored sample of Group 4, imbibed in water($\times 100$)