

Micro-CT를 이용한  
상아질-복합레진 계면의  
내부적합성 측정

연세대학교 대학원

치 의 학 과

권 오 현

Micro-CT를 이용한  
상아질-복합레진 계면의  
내부적합성 측정

지도교수 박 성 호

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2010년 6월 일

연세대학교 대학원

치 의 학 과

권 오 현

# 권오현의 석사 학위논문을 인준함

심사위원 \_\_\_\_\_ 인

심사위원 \_\_\_\_\_ 인

심사위원 \_\_\_\_\_ 인

연세대학교 대학원

2010년 6월 일

## 감사의 글

실험에 대한 열정과 탐구 정신을 심어주시고 논문의 완성까지 함께 해 주신 박성호 교수님께 감사의 마음을 전합니다. 제가 노력한 것 보다 항상 더 많은 것을 베풀어 주신 교수님의 은혜 평생 잊지 않겠습니다.

제 실험에 대해 다른 방향에서 생각할 수 있도록 도와주신 노병덕 교수님과 날카로운 지적으로 제가 놓친 부분들을 챙겨주신 박정원 교수님께 감사의 마음을 전합니다.

수련기간 내내 학문적 가르침과 올바른 인성을 가질 수 있도록 지도해 주신 이찬영 교수님, 이승종 교수님, 김의성 교수님, 정일영 교수님, 공형규 교수님, 신수정 교수님께 감사의 마음을 전합니다.

실험과정 중 많은 도움을 준 김도현 선생님, 김형식 선생님, 이채은 선생님께 감사의 마음을 전합니다.

3년 동안 함께해 준 동기들에게 감사의 마음을 전합니다.

이 세상에 저를 존재하게 한 부모님과 이 세상에 삶의 의미가 되어준 윤경이에게 감사의 마음을 전합니다.

이상의 모두에게 이 논문을 바칩니다.

2010년 6월 저자 씀

# 차 례

그림 및 표 차례 .....	ii
국문 요약 .....	iii
I. 서 론 .....	1
II. 재료 및 방법 .....	4
1. 시편의 제작 .....	4
가. 실험군 .....	4
2. 질산은 용액의 적용 .....	5
3. Chewing simulator를 통한 기계적 부하의 적용 .....	6
4. Micro-CT를 이용한 촬영 및 분석 .....	6
5. 전체 실험 과정 .....	8
6. 통계분석 .....	9
III. 결 과 .....	10
1. 질산은 용액의 전반적인 침투 양상 .....	10
2. 치수저 변연 전체 길이에 대한 질산은 용액 침투된 길이의 백분율 .....	12
3. 질산은 부피 차이 .....	14
4. 3D Reconstruction .....	15
IV. 고 찰 .....	16
V. 결 론 .....	22
참고 문헌 .....	23
영문 요약 .....	28

## 그림 차례

Fig. 1 Confirmation of the thickness of cavity floor .....	4
Fig. 2 Infiltration of silver nitrate .....	5
Fig. 3 Chewing simulator .....	6
Fig. 4 Mechanical loading .....	6
Fig. 5 Analysis of 2D image at CTAn program .....	7
Fig. 6 Measurement of silver nitrate penetration length and whole pulpal wall length .....	7
Fig. 7 Coronal image .....	8
Fig. 8 Region of interest .....	8
Fig. 9 Illustration of experimental design .....	8
Fig. 10 Before mechanical loading in control group .....	10
Fig. 11 After mechanical loading in control group .....	10
Fig. 12 Before mechanical loading in group 1 .....	11
Fig. 13 After mechanical loading in group 1 .....	11
Fig. 14 Before mechanical loading in group 2 .....	11
Fig. 15 After mechanical loading in group 2 .....	11
Fig. 16 Standard deviation and mean percent ratio of silver nitrate penetration length to whole pulpal wall length .....	13
Fig. 17 Box plot: Percent ratio of silver nitrate penetration length to whole pulpal wall length .....	13
Fig. 18 Volume difference between before and after mechanical loading .....	14
Fig. 19 3D reconstruction of control group .....	15
Fig. 20 3D reconstruction of group 1 .....	15
Fig. 21 3D reconstruction of group 2 .....	15

## 표 차례

Table 1. Mean percent ratio of silver nitrate penetration length to whole pulpal wall length .....	12
Table 2. Volume difference between before and after mechanical loading .....	14

## 국문 요약

### Micro-CT를 이용한 상아질-복합레진 계면의 내부적합성 측정

복합 레진의 중합수축에 의해 수복물에 응력이 가해지면 치질-복합레진 접착의 결함을 일으켜 미세한 간극을 유발하고 변연 적합성을 감소시킨다. 이러한 미세간극은 임상적으로 이차 우식, 수복물 변연의 변색, 슬후 과민증, 수복물의 상실 등을 유발시킨다. 수복물의 변연 적합성에 대한 연구는 수복물의 변연에 여러 종류의 표지자를 침투시킨 후 절단하여 내부 적합성을 평가하거나 수복물의 변연을 직접 현미경적 평가를 하여 외부 적합성을 평가하는 방법으로 이뤄졌다. 최근 Micro-CT가 치과 영역의 여러 분야에 도입되고 있고 수복물의 내부적합성에 관해 Micro-CT를 이용한 연구들이 진행되고 있다.

이 실험의 목적은 Micro-CT를 이용하여 상아질-복합레진 접착계면의 내부적합성을 비파괴적이고 3차원적으로 분석하는 것이다. 이를 평가하기 위해 기계적 부하 하에서 광중합형글라스아이오노머 기저재 사용 여부에 따른 접착성 수복물의 내구성을 비교 평가하였다.

이를 위해 발거된 건전한 사람의 소구치 또는 제 3 대구치 30개를 10개씩 다음과 같이 세 개의 군으로 나누어 처리하였다. control군-상아질 접착제 처리 없이 복합레진을 적층법으로 수복; 1군-광중합형글라스아이오노머 기저재 2mm 적용 후 상아질 접착제를 처리하고 복합레진을 적층법으로 수복; 2군-상아질 접착제를 처리하고 복합레진을 적층법으로 수복. 내부적합성을 분석하기 위해 모든 시편에서 기계적 부하 전·후에 질산은 용액을 치수강에서 상아세관을 통해 와동의 치수저 부위에 침투시킨 후 Micro-CT로 단면을 촬영하였고 촬영된 단면을 다음과 같은 세가지 방법으로 분석하였다. 1)치수저 변연 전체 길이에 대한 질산은 용액이 침투된 길이의 백분율; 2)각 시편마다 똑같은 Region of interest를 설정하고 기계적 부하 전·후의 질산은이 침투된 부피차이; 3)3D image로 reconstruction하여 시각적으로 기계적 부하 전·후의 질산은 용액 침투 정도를 비교

각각의 방법에서 군당 차이를 보기 위해 one-way ANOVA를 이용하였고, 1)의 방법에서 군별로 기계적 부하 전·후의 차이를 비교하기 위해 paired T-test를 이용하였다. 모든 통계는 Duncan analysis로 사후 검정하였고 95% 유의수준에서 검증하였다.

실험 결과 1)의 방법에서는 2군이 control군과 1군에 비해 통계적으로 유의차가 있게 낮았으나( $P < 0.05$ ), control군과 1군은 통계적인 유의차가 없었다( $P > 0.05$ ). 모든 군에서 기계적 부하 후에 질산은 용액의 침투가 증가하였다( $P < 0.05$ ). 2)의 방법에서는 1군이 control군과 2군에 비해 통계적으로 유의차가 있게 낮았다( $P < 0.05$ ). 2군의 평균값이 낮았으나 control군과 통계적인 유의차가 없었다( $P > 0.05$ ).

위의 결과를 볼 때, 초기 내부적합성과 기계적 부하 후의 적합성에 있어서 상아질 접착제와 복합레진으로만 수복하였을 때가 광중합형글라스아이오노머 기저재 적용 후 상아질접착제와 복합레진으로 수복하였을 때보다 우수한 결과를 보였고 기계적 부하 후 모든 군에서 내부적합성이 저하되었다. 기계적 부하 전·후의 내부적합성의 차이는 광중합형글라스아이오노머 기저재 적용 후 상아질 접착제와 복합레진으로 수복하였을 때가 상아질접착제와 복합레진으로만 수복하였을 때 보다 더 적었다. 이번 연구에서 Micro-CT와 질산은을 이용하여 수복물의 내부적합성 정도를 수량화하여 평가할 수 있었고 비파괴적으로 분석할 수 있었다.

---

**핵심되는 말** : Micro-CT, 기저재, 내부 적합성, 질산은 용액



# Micro-CT를 이용한 상아질-복합레진 계면의 내부적합성 측정

<지도교수 박 성 호>

연세대학교 대학원 치의학과  
권 오 현

## I. 서 론

복합레진은 치아 색과 유사하며, 치질과의 접착이 가능하고, 보존적인 와동형성을 할 수 있어서 전치부와 구치부의 수복에 널리 사용되고 있다. 그러나 중합수축에 의해 수복물에 응력이 가해지면 치질-복합레진 접착의 결함을 일으켜 미세한 간극을 유발하고 변연 적합성을 감소시킨다(Banomyung 등, 2008). 이러한 미세간극은 중합수축 외에도 구강내에서 상아질-복합레진 접착의 노화에 의해서도 일어나며(Hashimoto 등, 2000) 구강내 온도변화와 저작에 의해 영향을 받는다(Prati 등, 1994). 이렇게 형성된 간극은 상아질 복합레진 계면의 변연 미세누출을 일으키며 타액과 세균의 유입을 허용하여(Peliz 등, 2005) 임상적으로 이차 우식, 수복물 변연의 변색, 슬후 과민증, 수복물의 상실 등을 유발시킨다(Pioch 등, 2001). 따라서 미세 간극을 유발시키지 않는 재료 및 수복 방법의 개발이 필요하며 이를 평가하기 위해 수복물의 변연 적합성에 대한 연구는 매우 중요하다.

실제 환자에서 수복물의 적합성에 대해 평가하려면, 수복물 변연의 변색과 이차 우식에 2-3년의 긴 시간이 소요되므로, 발치한 치아를 수복한 후 실험적으로 변연 적합성을 평가하는 방법으로 발전하였다(Heintze등, 2008). 대부분의 실험은 수복물의 변연에 여러 종류의 표지자(fuchsin, methylene blue, rhodamine, erythrosin, silver nitrate, radioactive marker)를 침투(dye penetration)시킨 후 절단하여 내부 적합성을 평가하거나 수복물의 변연을 직접 현미경적 평가(microscopic evaluation)를 하여 외부 적합성을 평가하는 방법으로 이뤄졌다 (Heintze등, 2008; Alani and Toh, 1997; Yanagawa등, 1996; Rodrigues junior등, 2010).

표지자를 침투(dye penetration)시켜 내부 적합성을 평가하는 방법은 간단하다는 장점이 있으나 침투 깊이를 평가하기 위해 시편을 절단해야 하므로 매우 파괴적이고 부가적인 평가가 불가능하고 전체적인 모습 보다는 절단면의 부위에 따라 변동이 있는 국소적인 부분의 평가가 이뤄진다는 단점이 있다(Sun등, 2009). 또한 절산은 용액을 제외한 몇몇 표지자의 경우 절단 과정에서 용해될 수 있으며 특히 fuchsin과 methylene blue는 산성 환경에서 매우 불안정 하다(Heintze등, 2008). 이 외에도 표지자의 종류, 농도와 pH, 치질과의 친화성에 따라 침투 깊이에 영향을 많이 미치며, 평가 방법이 국제적으로 표준화되어 있지 않아 서로 다른 연구를 비교하기가 힘들며 임상적인 연관성이 부족하다는 단점이 있다(Kakaboura등, 2007).

수복물의 변연을 현미경적 평가(microscopic evaluation)하여 외부 적합성을 평가하는 방법은 비파괴적이므로 장기간의 평가를 할 수 있을 뿐만 아니라 수복물 변연을 전체적으로 평가할 수 있다는 장점이 있으나 변연 아래에 있는 치질-수복물 접착 계면을 평가할 수 없고 replica를 위한 인상채득 시 결손 부위가 생길 수 있다는 단점이 있다(Heintze등, 2008).

최근 비파괴적인 방법으로 치아내부를 평가하는 여러 방법들이 소개되었고 그 중 수 micron의 해상도로 3차원적으로 재구성할 수 있으며, 여러 가상 축으로 serial section하여 정량화 할 수 있는 Micro-CT가 치과 영역의 여러 분야에 도입되고 있다. 치근관의 기하학(Peters등, 2000), 근관치료시 Niti file 사용 후의 치근관계의 변화(Hbscher등, 2003), 악골 내의 해부학적 구조에 대한 3차원적 분석

(Song등, 2009), 상아질-복합레진 접착계면의 기계적 부하에 관한 3차원적 분석(De Santis등, 2005) 등 다양한 치과 영역의 연구 등에 사용되고 있다. 수복학 분야에서 내부적합성에 관해 Micro-CT를 이용한 몇몇 연구가 진행되었는데 복합레진의 중합 전·후 수축량을 Micro-CT로 비교 분석한 연구(Sun등, 2009; Kakaboura등, 2007; Zeiger등, 2009)에서는 중합수축에 관여하는 요소 및 재료 등을 분석하여 내부적합성 정도를 3차원적으로 예상하였다. 그러나 이 연구는 접착제를 사용하지 않아서 실제 임상과 연관성이 매우 부족하였다. 2008년 Eden등은 14개의 유치에 표준 2급 와동을 형성하고 복합레진 수복 후 50%의 질산은 용액을 4시간 동안 침투시킨 후 Micro-CT로 침투 깊이를 측정하였다(Eden등, 2008). 이 연구에서는 비파괴적으로 분석했다는 의의가 있으나 여전히 전체적인 모습 보다는 국소적인 부분의 평가가 이뤄졌고 법랑질-복합레진 접착계면의 변연적합성만 평가되고 수복물 내부의 상아질-복합레진 접착계면의 내부적합성에 대한 평가가 이뤄지지 못했다는 문제가 있다.

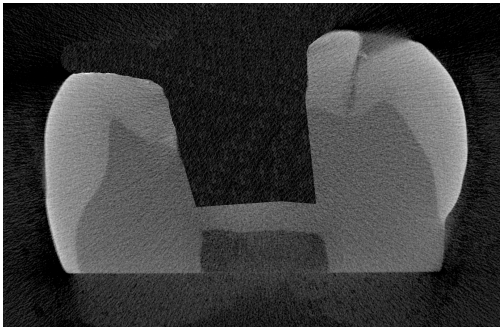
2008년 이 등은 치아시편에 와동을 형성한 후 산부식 및 접착제 적용 후 복합레진으로 수복하고 질산은 용액을 상아세관을 통하여 상아질-복합레진 접착계면에 침투시켜 Micro-CT로 내부적합성을 평가하는 방법을 연구하였다(이 와 박, 2008). 이 연구에서는 적절한 치아시편 모양과 NaOCl과 EDTA를 이용한 전처리 방법, 질산은 용액의 적용기간 및 부가적인 압력 등을 알 수 있었다.

이번 연구의 목적은 이전의 연구를 바탕으로, Micro-CT를 이용하여 상아질-복합레진 접착계면의 내부적합성을 비파괴적이고 3차원적으로 분석하는 것이다. 이를 평가하기 위해 기계적 부하 하에서 광중합형글라스아이오노머 기저재 사용여부에 따른 접착성 수복물의 내구성을 비교 평가하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 시편의 제작

치관에 균열이나 우식이 없는, 교정치료를 목적으로 한달 이내에 발거된 건전한 사람의 소구치 또는 제 3 대구치 30개를 고속 다이아몬드 버를 이용하여 치경부에서 치근을 절단하였다.



치관부에는 표준 1급 와동을 고속 다이아몬드 버를 이용하여 형성하였고, 구내방사선사진 촬영기와 Metal gauge를 이용하여 와동저가 치수강과 1.0mm 이내가 될 수 있도록 하였다(Fig. 1).

Fig. 1. Confirmation of the thickness of cavity floor

#### 가. 실험군

30개의 시편을 10개씩 다음과 같은 3개의 군으로 나누었다. 재료의 적용은 제조사의 지시에 따랐다.

##### 1) Control군 (Gap 형성군)

: 와동 내면을 10% 인산(ALL-ETCH, Bisco Inc, Schaumburg IL, USA)으로 15초간 산처리(법랑질은 탐침으로 agitation하고 상아질은 agitation하지 않는다)후 상아질 접착제 처리 없이 복합레진(Tetric N-Ceram, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)을 2 mm씩 적층법으로 적용하고 20초간 LED type의 광조사기(Bluephase, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)로 광중합하였다.

##### 2) 1군 (Base군)

: 와동 내면에 Conditioner(DENTIN CONDITIONER, GC, Tokyo, Japan)를 20초간 처리 후 광중합형글라스아이오노머(Fuji II LC, GC, Tokyo, Japan)로 2mm 두께의 기저재를 형성하였다. 10% 인산(ALL-ETCH, Bisco Inc,

Schaumburg IL, USA)으로 15초간 산처리(법랑질은 탐침으로 agitation하고 상아질은 agitation하지 않는다)후 수세하였다. 상아질 접착제(All-bond II, Bisco Inc, Schaumburg IL, USA)를 적용한 후 20초간 LED type의 광조사기(Bluephase, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)로 광중합하였다. 복합레진(Tetric N-Ceram, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)을 2 mm 씩 적층법으로 적용한 후 20초간 LED type의 광조사기(Bluephase, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)로 광중합하였다.

### 3) 2군 (No Base 군)

: 10% 인산(ALL-ETCH, Bisco Inc, Schaumburg IL, USA)으로 15초간 산처리(법랑질은 탐침으로 agitation하고 상아질은 agitation하지 않는다.)후 수세하였다. 상아질 접착제(All-bond II, Bisco Inc, Schaumburg IL, USA)를 적용한 후 20초간 LED type의 광조사기(Bluephase, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)로 광중합하였다. 복합레진(Tetric N-Ceram, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)을 2 mm씩 적층법으로 적용한 후 20초간 LED type의 광조사기(Bluephase, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)로 광중합하였다.

## 2. 질산은 용액의 적용



Fig. 2. Infiltration of silver nitrate

치수강 부위를 17% EDTA로 5분간 soaking 후 생리식염수로 수세하고 25%의 질산은 용액에 치아를 위치시킨 후 3 kg의 압력을 3일간 가했다(Fig. 2).

### 3. Chewing simulator를 통한 기계적 부하의 적용

자체 제작한 chewing simulator(Fig. 3)를 이용하여 주수 하에 5 kg(45N), 640,000회의 기계적 부하(Fig. 4)를 가했다.

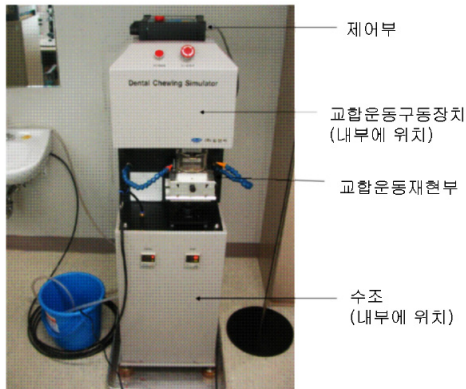


Fig. 3. Chewing simulator

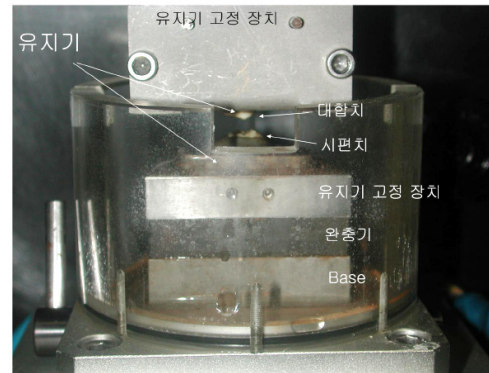


Fig. 4. Mechanical loading

### 4. Micro-CT를 이용한 촬영 및 분석

고해상도의 Micro-CT(Model 1076, SkyScan, Aartselaar, Belgium)를 이용하여 100kV accelerating voltage; 100 $\mu$ A beam current; 0.5mm Al filter; 18  $\mu$ m resolution; 360° rotation at 0.5° step 조건에서 촬영하였다. 각 시편마다 550~650장의 image를 총 3회-수복 후, 질산은 용액 적용 후, 기계적 부하의 적용 후-촬영하였고 매 촬영마다 촬영축의 변화가 없도록 고정시킬 수 있는 template를 제작하였다. 2D image의 분석 및 3D image의 reconstruction은 CTAn(SkyScan, Aartselaar, Belgium) program을 이용하였다(Fig. 5).

시편마다 촬영된 2D image 중 와동 근원심 거리의 중앙에 해당되는 곳을 기준으로, 와동의 치수저와 질산은과의 관계를 명확하게 확인할 수 있는 100장 (18 $\mu$ m $\times$ 100=1.8 mm)의 image를 선정한 후 다음과 같은 세 가지 방법으로 분석하였다. 같은 시편에서 기계적 부하 전·후의 2D image 선정은 처음 치아가 촬영된

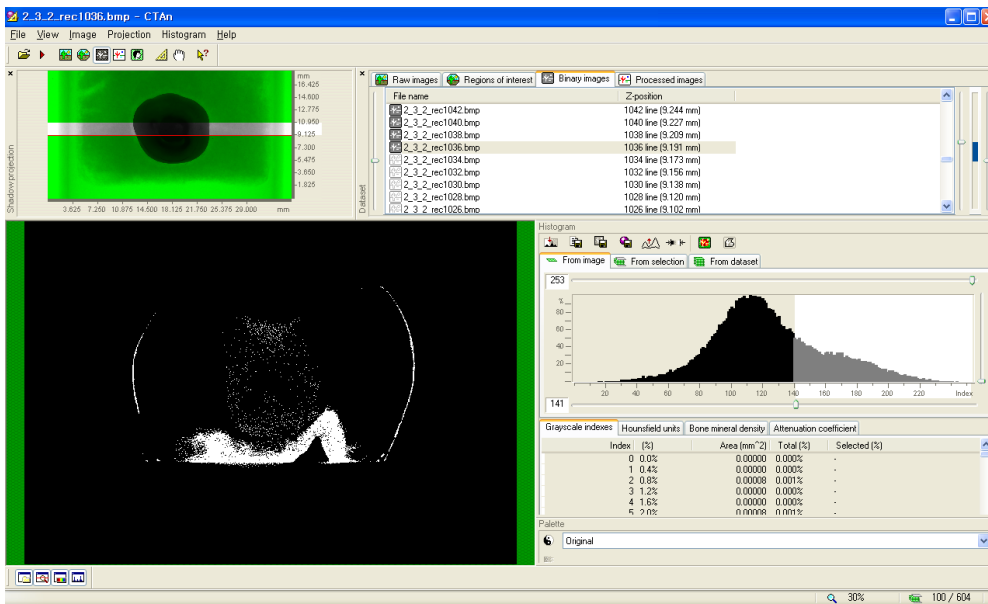


Fig. 5. Analysis of 2D image at CTAn program

2D image에서 동일한 간격에서부터 100장의 2D image를 선정하였다.

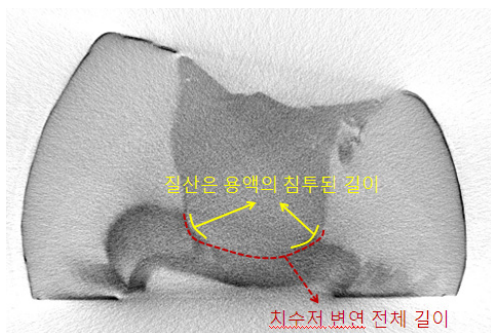


Fig. 6. Measurement of silver nitrate penetration length and whole pulpal wall length

1) 100장의 2D image 중 90 $\mu$ m간격으로, 20장의 image를 선정하여 와동의 치수저 변연 전체 길이에 대해 141이상의 index를 가지는 질산은 용액의 침투된 길이를 측정하였다(Fig. 6). 측정시 질산은 용액의 침투가 명확하지 않은 부위는 재구성된 coronal image를 참고하였다(Fig. 7). 이 두 값의 백분율을 계산

한 후 시편마다 평균값을 구하여 기계적 부하 전의 내부 적합성 및 기계적 부하 후의 미세간극 정도를 비교하였다.

2) 100장의 2D image에서 수복물의 치수저 부위를 가능한 포함하며, 상아질과 수복물 계면을 중심으로 가로 2.77mm, 세로 2.08mm의 Region of interest를 설정하고 141이상의 index를 가지는 질산은의 부피를 계산하였다(Fig. 8).

기계적 부하의 적용 전·후 부피를 계산한 후 두 값의 차이로 기계적 부하로 파괴된 내부적합성 정도를 평가하였다.

3) 시각적으로 기계적 부하의 적용 전·후의 질산은 용액 침투 정도를 비교하기 위해 3D image로 reconstruction하였다.

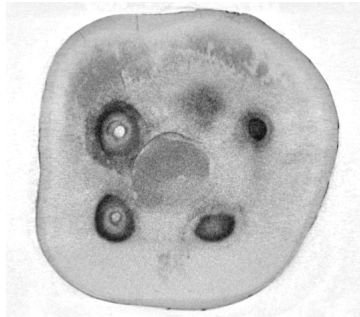


Fig. 7. Coronal image

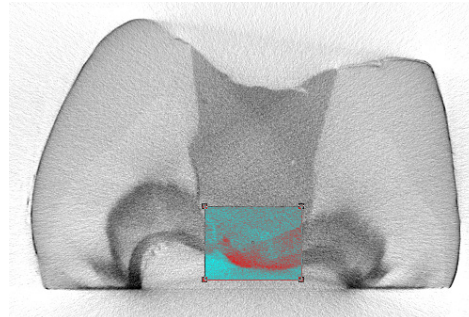


Fig. 8. Region of interest

## 5. 실험 전체 과정

실험이 진행된 일련의 과정은 다음과 같다(Fig. 9).

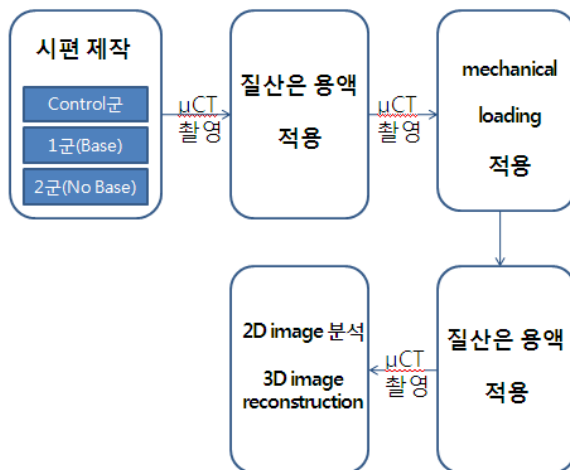


Fig. 9. Illustration of experimental design



## 6. 통계 분석

- 1) 각 군의 와동 치수저 변연 전체 길이에 대해 질산은 용액이 침투된 길이의 백분율 차이를 one-way ANOVA로 비교 분석하였고, 각 군별로 기계적 부하 전·후 차이를 paired T-test로 비교 분석하였다. Duncan analysis로 사후 검정하였다.
  - 2) 각 군의 질산은 용액 부피 차이를 one-way ANOVA로 비교 분석하였고, Duncan analysis로 사후 검정하였다.
- 모든 통계는 95% 유의수준에서 검증하였다.

### Ⅲ. 결 과

#### 1. 질산은 용액의 전반적인 침투 양상

##### 1) Control 군

복합레진 수복물은 와동에 잘 접합 되어 있었고 수복물 내에 기포나 결손부위는 보이지 않았다. 다른 군에 비해 질산은 용액은 치수저 전체에 걸쳐서 균일하게 분포되어 있었고(Fig. 10) 기계적 부하 전에 비해 후에 미세간극 부위로 질산은 용액의 침투 양이 많아 졌고 주로 치수선각(axio-pulpal line angle)부위로 침투되었다(Fig. 11).

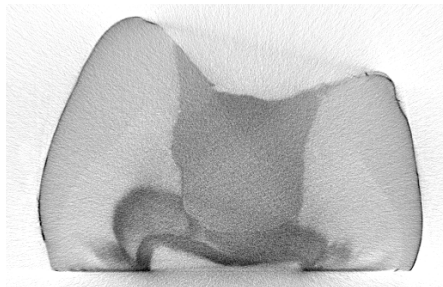


Fig. 10. Before mechanical loading in control group

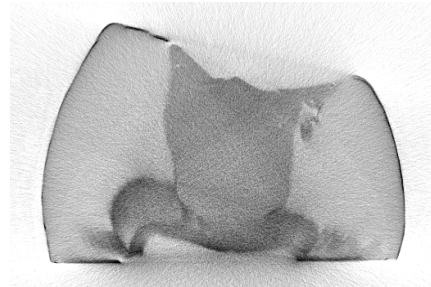


Fig. 11. After mechanical loading in control group

##### 2) 1 군

기저재 내부에서 약간의 기포가 보였고 치수선각 부위로 간극이 관찰되었다. 다른 군에 비해 질산은 용액은 치수선각 부위에만 집중적으로 침투되었고 기계적 부하 전에도 많은 양이 침투되었으나(Fig. 12) 기계적 부하 후의 변화량은 적었다(Fig. 13).

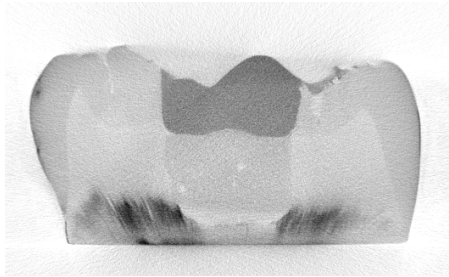


Fig. 12. Before mechanical loading in group 1

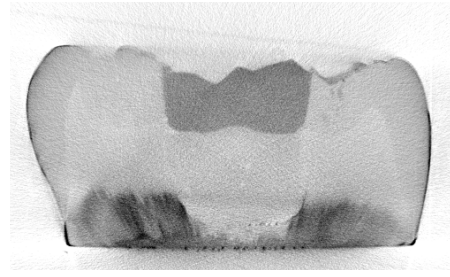


Fig. 13 After mechanical loading in group 1

### 3) 2 군

복합레진 수복물과 와동저 사이에 상아질 접착제로 추정되는 약간의 간극이 보였고 주로 치수선각 부위에 나타났다. 질산은 용액은 다른 군에 비해 수복물-치수저 사이의 간극으로 침투되는 양이 적었고(Fig. 14) 기계적 부하 전·후의 변화량은 적었다(Fig. 15).

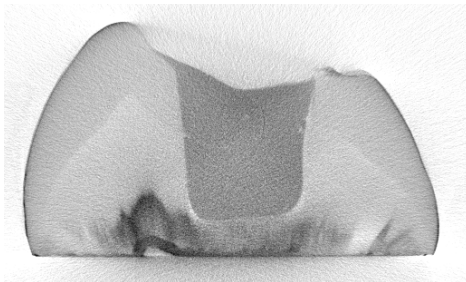


Fig. 14. Before mechanical loading in group 2

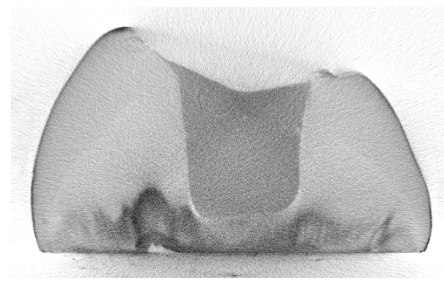


Fig. 15. After mechanical loading in group 2

## 2. 치수저 변연 전체 길이에 대한 질산은 용액 침투된 길이의 백분율

와동의 치수저 변연 전체 길이에 대해 141이상의 index를 가지는 질산은 용액의 침투된 길이의 백분율 평균값 및 표준 편차를 Table 1, Fig. 16 에 나타내었다. 2군이 control군과 1군에 비해 통계적으로 유의차가 있게 낮았으나( $P<0.05$ ), control군과 1군은 통계적인 유의차가 없었다( $P>0.05$ ). 모든 군에서 기계적 부하 후에 질산은 용액의 침투가 증가하였다( $P<0.05$ ). Fig. 17에는 각 군의 최고값, 최저값, 중간값 및 사분위수를 나타내었다.

Table 1. Mean percent ratio of silver nitrate penetration length to whole pulpal wall length  
(SD : standard deviation)

Mechanical loading	before		after		
	Average	SD	Average	SD	
Control	43.2 <sup>b</sup>	20.8	53.4 <sup>b</sup>	20.5	*
Group 1	57.0 <sup>b</sup>	16.2	61.0 <sup>b</sup>	16.3	*
Group 2	20.9 <sup>a</sup>	7.9	26.4 <sup>a</sup>	7.3	*

Same superscript indicates no statistically significant difference ( $p>0.05$ )

\* : mean values with statistically significant difference between before and after mechanical loading ( $p<0.05$ )

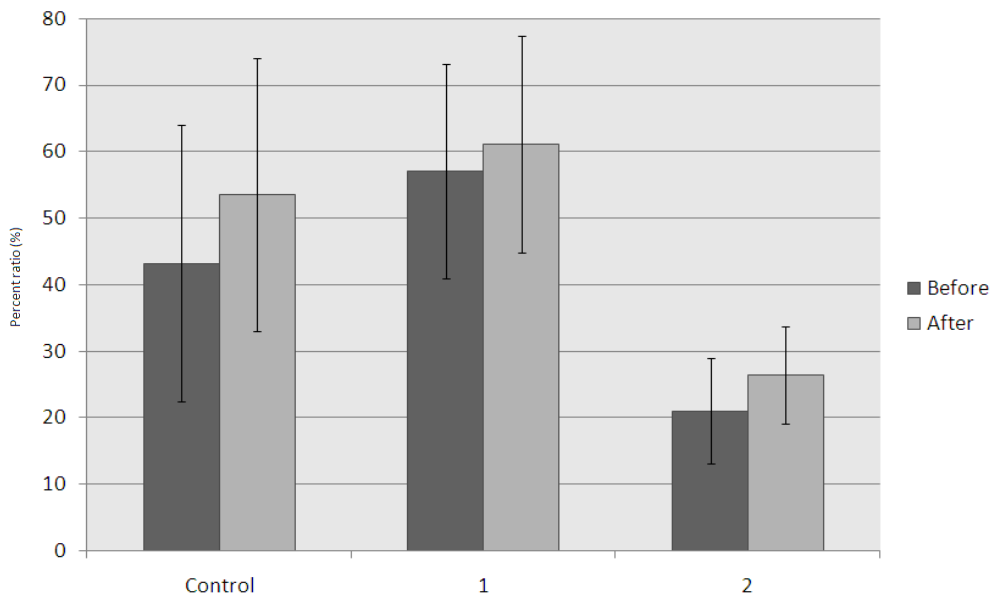


Fig. 16. Standard deviation and mean percent ratio of silver nitrate penetration length to whole pulpal wall length

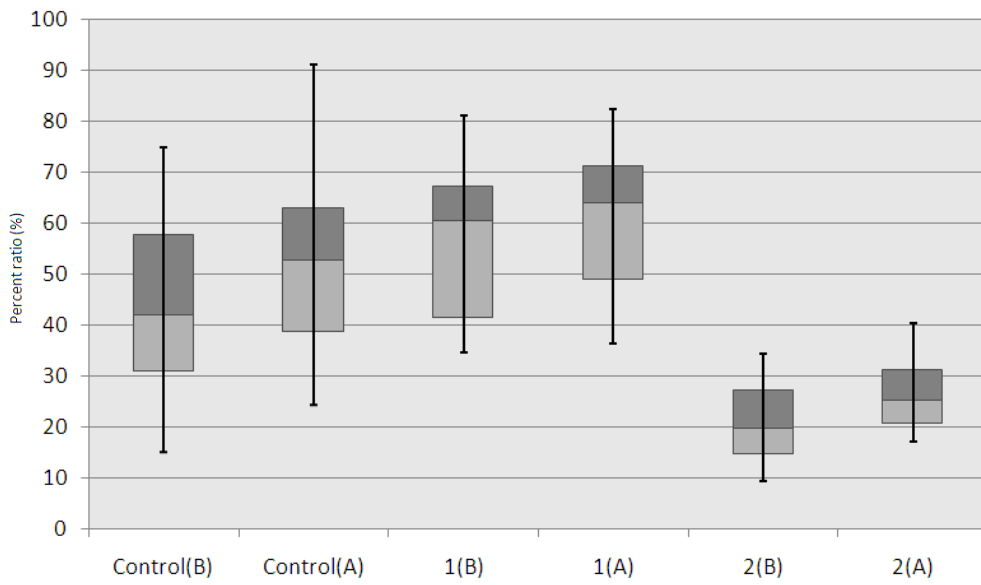


Fig. 17. Box plot : Percent ratio of silver nitrate penetration length to whole pulpal wall length

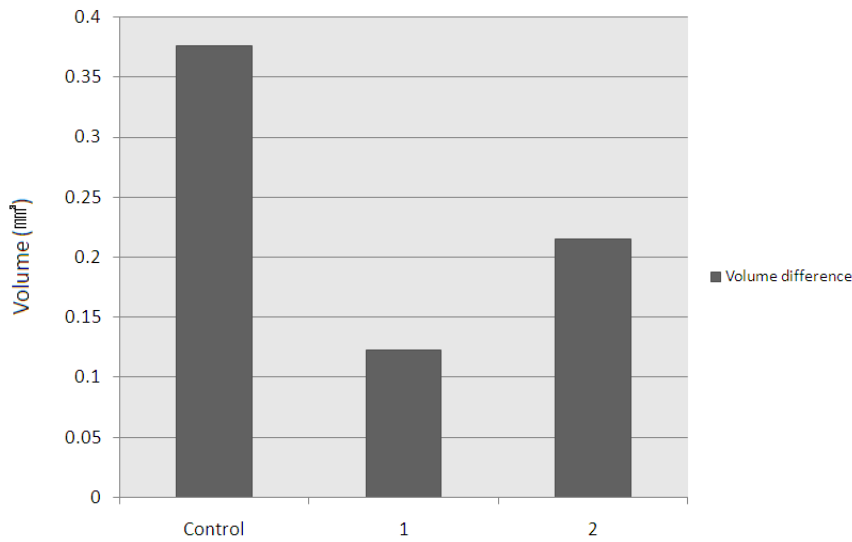
### 3. 질산은 부피 차이

Region of interest에 포함되는 질산은 부피의 기계적 부하 전·후의 차이를 Table 2, Fig. 18에 나타내었다. 1군이 control군과 2군에 비해 통계적으로 유의차가 있게 낮았다( $P < 0.05$ ). 2군의 평균값이 낮았으나 Control군과 통계적인 유의차가 없었다( $P > 0.05$ ).

**Table 2. Volume difference between before and after mechanical loading**

	Control	1	2
Volume difference(mm <sup>3</sup> )	0.38 <sup>b</sup>	0.12 <sup>a</sup>	0.21 <sup>b</sup>

Same superscript indicates no statistically significant difference ( $p > 0.05$ )



**Fig. 18. Volume difference between before and after mechanical loading**

## 4. 3D Reconstruction

1군과 2군에서는 주로 치수선각 부위에 질산은 용액이 침투(Fig .20; Fig .21) 되었고 control군에서는 전반적인 질산은 용액의 침투(Fig .19) 양상이 나타났다. 그러나 수복물과 질산은과의 명확한 관계와 기계적 부하 전·후의 관계를 알 수 없었다.

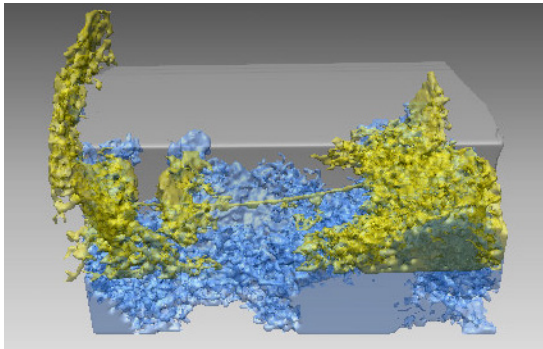


Fig. 19. 3D reconstruction of control group

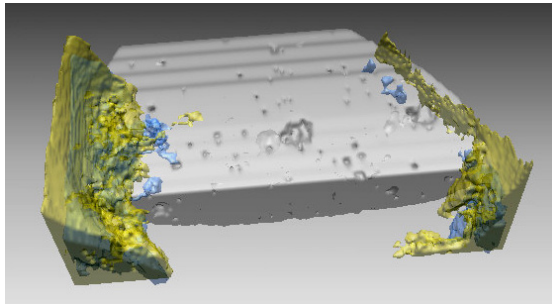


Fig. 20. 3D reconstruction of group 1

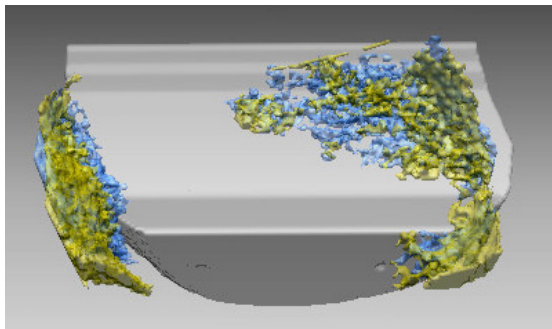


Fig. 21. 3D reconstruction of group 2

## IV. 고찰

치수저 변연 전체 길이에 대한 질산은 용액 침투된 길이의 백분율을 측정하는 방법에서 기계적 부하전의 측정값은 복합레진-상아질 계면의 초기 내부적합성을 나타낸다. 각 군의 평균값은 control군 43.2%, 1군 57.0%, 2군 20.9%으로 control군과 1군은 통계적인 유의차가 없었으며, 2군은 통계적으로 유의차 있게 적은 값을 나타내었다. 기저재를 적용한 후 복합레진 수복을 하였을 때가 기저재 적용하지 않고 복합레진을 수복하였을 때 보다 더 많은 미세간극이 존재하고 그로 인해 초기 내부적합성이 더 떨어짐을 알 수 있다. 이는 기저재 유무에 따른 내부적합성을 측정한 몇몇 연구(Banomyung등, 2008; Peliz등, 2005; Ciucchi등, 1997; Rodrigues junior등, 2010, Sarne등, 1996)의 결과와 유사한 값을 나타낸다. 기저재를 적용한 후 복합레진을 수복했을 때가 기저재 적용 없이 복합레진을 수복했을 때보다 내부적합성이 떨어지는 이유는 복합레진의 중합수축(Ciucchi등, 1997), 광중합형글라스아이오노머의 중합수축(Hotta and Aono, 1994), 광중합형글라스아이오노머의 다공성(Banomyung등, 2008), 광중합형글라스아이오노머의 응력분포양상(Oliveira등, 2010) 및 적용방법 등으로 설명될 수 있다.

복합레진은 중합시 수축력이 발생되는데, 이 수축력에 저항할 수 있고 미세간극 형성을 막을 수 있는 전단결합강도는 17-21 MPa이다(Retief등, 1994). 그러나 광중합형글라스아이오노머와 치질과의 결합력은 5-10 MPa(Erickson and Glasspoole, 1994)이고 광중합형글라스아이오노머와 상아질 접착제를 이용한 레진과의 결합력은 9-16 MPa(Maneenut등, 2010)이므로 복합레진의 중합수축에 의해 발생하는 미세간극은 광중합형글라스아이오노머와 복합레진과의 계면보다 광중합형글라스아이오노머와 치질과의 계면에서 발생할 가능성이 높다. 이는 광중합형글라스아이오노머의 HEMA성분이 상아질 접착제와 C=C bond를 형성(Eliades and Palaghias, 1993)하기 때문에 광중합형글라스아이오노머와 복합레진에서 더 강한 결합력이 나타난 것으로 사료된다. 반면 이번 연구에 사용된 상아질 접착제



(All-bond II, Bisco Inc, Schaumburg IL, USA)의 치질과의 전단결합강도는 21-29 MPa(Nery등, 1995; Triolo등, 1995; van der Vyver등, 1997; Tjan등, 1996)으로 보고되고 있으며 상아질 접착제의 강한 결합력이 복합레진의 중합수축력에 저항할 수 있게 하여(Ciucchi등, 1997) 광중합형글라스아이오노머 기저재의 적용 없이 복합레진을 수복했을 때 미세간극이 다른 군에 비해 적게 형성된 것으로 사료된다. 재래형글라스아이오노머를 기저재로 적용한 후 복합레진을 충전하였을 때는 광중합형글라스아이오노머에 비하여 치질과의 계면에서 더 적은 미세간극이 형성되고 복합레진과의 계면에서는 더 큰 간극이 형성된다(Banomyung등, 2008). 이는 광중합형글라스아이오노머에 비해 재래형글라스아이오노머의 복합레진과의 결합력이 낮기(Hotta and Aono, 1994) 때문에 복합레진의 중합수축시 복합레진과 재래형글라스아이오노머에 간극이 형성되고 재래형글라스아이오노머에 응력이 전달되지 않기 때문으로 사료된다.

광중합형글라스아이오노머와 치질과의 계면에서 미세간극의 형성에 영향을 미치는 요소 중 하나로 광중합형글라스아이오노머 자체의 중합수축이 보고되고 있다(Hotta and Aono, 1994). 광중합형글라스아이오노머 자체의 중합수축량은 복합레진에 비하여 상대적으로 경미한 것으로 알려져있는데, 이는 경화 과정 중 수분을 흡수함으로써 팽창하여 수축을 보상하기 때문이다(Young, 2002). 광중합형글라스아이오노머가 기저재로 사용되면 상부의 복합레진에 의해 외부수분은 완전히 차단되고 치수에서 기원되는 상아세관 액에 의해서만 수분이 공급되나 이번 연구에서 사용된 발치된 치아에서는 치수가 제거되므로 수분공급이 완전히 없어지게 된다. 기저재로 사용된 광중합형글라스아이오노머는 자가-건조되고 중합수축을 보상할 수 없게 된다(Feilzer등, 1995). 생활치와 발치된 치아에서 광중합형글라스아이오노머 기저재 적용 후 복합레진을 수복한 다음 내부적합성을 비교 분석한 연구(Mason and Ferrari, 1994)에서 생활치에서는 우수한 내부적합성을 보인 반면 발치된 치아에서는 다수의 미세누출이 관찰되었는데, 이는 앞의 가설을 뒷받침해 주는 결과이다.

1군의 2D image에 다수의 기포가 관찰되는데(Fig. 12) 광중합형글라스아이오노머의 분말과 용액의 혼합과정에서 생긴 기포는 fluid의 저장고 역할을 하여 미세간극 형성을 촉진시키는 원인으로 작용한다(Nomoto등, 2004).

이 외에도 control군과 2군의 기계적 부하 전 2D image에서는 복합레진이 치수선각 부위에 잘 접합되어 있는데(Fig. 10; Fig. 14) 반해 1군의 2D image에서는 광중합형글라스아이노머의 치수선각 부위에 간극이 형성된 것을 볼 수 있다(Fig.12). 이는 광중합형글라스아이노머를 기저재로 적용하고 복합레진을 충전한 후 발생하는 중합수축력을 photoelastic model로 측정된 연구(Oliveira등, 2010)에서 응력 분포양상은, 전체수복물과 치질이 접촉하는 부위 중 치수선각 부위에 주로 집중된다고 하였고 이로 인해 치수선각 부위에 간극이 형성된 것으로 설명될 수 있다. 또 다른 원인으로는 복합레진과 광중합형글라스아이노머의 적용방법의 차이로 생각될 수 있는데, 복합레진은 수복시 레진 applicator로 packing을 할 수 있지만 광중합형글라스아이노머는 injection gun으로만 적용을 하고 packing을 할 수 없기 때문에 치수선각 부위에 간극이 형성된 것으로 사료된다.

치수저 변연 전체 길이에 대한 질산은 용액이 침투된 길이의 백분율을 측정된 방법에서 모든 군의 기계적 부하 전·후에 통계적인 유의차가 있었는데 이는 기계적 부하에 의해 내부적합성이 파괴됨을 알 수 있다. 그런데 이 값은 같은 시편 내에서 상대적으로 접촉계면의 파괴가 많이 일어났다는 것을 알려주고는 있지만 얼마나 큰 간극이 발생하고, 이로 인해 질산은이 얼마나 더 많이 침투했는지에 대해 분석하는데 한계가 있어서 Region of interest에 포함되는 질산은 부피의 기계적 부하 전 · 후의 차이를 비교 분석 하였다. 결과는 1군이 control군과 2군에 비하여 통계적으로 유의차 있게 적게 나왔다. 광중합형글라스아이노머와 같은 기저재들은 낮은 elastic modulus로 인해 기계적 부하시 가해지는 충격을 흡수하게 되어 수복물의 내부적합성의 파괴를 줄여준다(Dietschi등, 2003). 이는 기저재 유무에 따른 기계적 부하시 변연적합성 파괴에 관한 몇몇 연구 결과(Dietschi등, 2003; Schmidlin등, 2008; Friedl등,1997; Dietschi등, 2002)와 일치한다. 치수저 변연 전체 길이에 대한 질산은 용액 침투된 길이의 백분율 측정법에서 기계적 부하 전·후 차이가 군별 비교가 불가능하여 통계적인 유의차를 구하지는 못하였지만 1군에서 상대적으로 다른 군에 비해 작은 값이 나온 것은 질산은 부피차이 측정법에서의 결과와 일치하는 것으로 생각된다. 그러나 치수저 변연 전체 길이에 대한 질산은 용액이 침투된 길이의 백분율을 측정된 방법에서는 한쪽 치수선각의 시작부위에

서 다른 쪽 치수선각이 끝나는 부위까지 측정을 하였고 1군에서 가장 많은 질산은 용액의 침투부위가 치수선각 부위이므로, 질산은 부피차이 측정법에서 region of interest를 가능한 와동의 치수저만 포함되도록 하기 위해 치수선각 부위를 측정하지 못하는 것은 질산은 부피차이 측정법의 한계로 사료된다.

상아세관을 통해 표지자를 침투시키는 조건은 12시간 20cmH<sub>2</sub>O(Ciucchi등, 1997), 1.3kPa(Banomyung등, 2008)등 다양한 조건이 제시되었으나 본 실험에서는 이전의 연구(이 와 박, 2008)에 기반하여 다음과 같은 3가지 조건(와동형성시 와동저와 치수강과의 거리가 1mm이내, 치수강에서 상아질에 17% EDTA를 5분간 soaking, 3일간 3kg의 압력)하에서 치수강으로 상아세관을 통해 복합레진-상아질 계면의 미세간극에 25%의 질산은 용액을 침투시키는데 성공하였다. control군 중 3개의 시편에서 질산은 용액이 와동의 치수저에 도달하지 못한 양상이 발견되었는데 이는 와동형성 과정 중 와동저와 치수강과의 거리가 1mm를 초과하였기 때문으로 사료된다.

임상과 유사한 상황에서 내부적합성이 파괴되는 정도를 비교하기 위해 chewing simulator를 이용하여 주수 하에 thermocycling없이 5 kg(45N), 640,000회의 기계적 부하만을 가하였는데, 이는 thermocycling은 표지자의 침투에 전혀 영향을 미치지 않고 변연 적합성에만 약간의 영향을 미치는데 반해 기계적 부하는 표지자의 침투를 증가시키기 때문이다(Heintze등, 2008).

Micro-CT로 촬영을 한 후 미세간극에 침투된 질산은 용액의 양을 측정하는 방법에 대한 정확한 protocol이 존재하지 않아 다양한 방법을 모색하였으며 시편마다 촬영된 2D image 중 와동의 치수저와 질산은과의 관계를 명확하게 확인할 수 있는 100장(1.8 mm)의 image를 선정한 후 기존의 연구(Eden등, 2008; Kakaboura등, 2007; Sun등, 2007)들을 토대로 다음과 같은 3가지 방법으로 시도하였다.

- 1) 치수저 변연 전체 길이에 대한 질산은 용액 침투된 길이의 백분율
- 2) 각 시편마다 똑같은 Region of interest를 설정하고 기계적 부하 전·후의 질산은 부피차이
- 3) 3D image로 reconstruction하여 시각적으로 기계적 부하의 적용 전·후의 질산은 용액 침투 정도를 비교

1)의 방법에서  $90\mu\text{m}$ 간격 20장의 2D image를 선정한 이유는 각 군당 한 개의 시편씩 100장의 2D image 전부를 측정할 결과가 일정한 간격으로 20장의 2D image를 측정할 결과와 유사한 값을 나타냈기 때문이다. 길이를 측정하기 전 DataView(SkyScan, Aartselaar, Belgium)program으로 치질과 수복물 및 질산은의 density를 측정하였는데 상아질: 40~65, 광중합형글라스아이오노머: 60~75, 복합레진: 90~130, 질산은 125~180 이었다. 질산은 용액이 침투된 미세간극의 정확한 길이를 측정하는데 있어서 수복물이 치아와 유사한 density로 인해 생기는 "background noise"(Chen등, 2009) 때문에 어려움이 있었다. 이는 촬영된 2D image를 coronal section으로 reconstruction(Fig. 7)하여 질산은 용액 침투 부위를 확인하면서 측정하였고 침투된 부위는 density가 141 이상이 되었기 때문에 141 이상의 index를 가지는 부위만 측정함으로써 문제점을 해결하였다. 2)의 방법에서 region of interest는 일정한 값을 지니도록 하였는데, 이는 같은 시편 내에서 각 image마다 와동저의 길이가 변하므로 와동저의 치수선각을 넘어서서 수복물-상아질 계면과 관련없는 상아질 부위에 침투된 질산은의 부피가 측정되는 일이 없도록 하기 위함이었다. 가로 2.77mm는 모든 시편에서, 선정된 100장의 image상에서는 와동의 치수선각을 포함하지 않는 공통된 부위이므로 이를 택하였다. 그러나 이러한 설정은 치수선각에 포함된 질산은 용액의 부피는 측정되지 않는다는 단점이 있다. 3)의 방법은 시각적으로 수복물과 침투된 질산은 용액과의 관계를 관찰할 수는 있었으나 현재 사용되는 program상에서는 이 3D reconstruction 자료를 이용하여 침투 정도를 수량화 시켜 비교 평가할 수는 없었다. 이는 추후 부가적으로 연구되어야 할 점으로 사료된다.

이번 연구의 의의는 질산은 용액을 상아세관으로 침투시켜 미세간극 부위에 침투된 질산은 용액의 양을 측정하여 상아질-복합레진 계면의 내부적합성을 Micro-CT로 분석한 최초의 연구이며 상아세관 또는 Micro-CT를 통해 내부적합성을 측정할 기존의 연구들의 한계점을 극복하고자 한 것이다. 상아세관을 통해 내부적합성을 측정할 연구들 중, 1997년 Ciucchi등은 0.5% Cresyl-Blue를 20cmH<sub>2</sub>O하에서 12시간 동안 상아세관을 통해 침투(Ciucchi등, 1997) 시켰으나 치아 절편을 절단하여 확대경으로 관찰하는 방법을 택하여 파괴적이었고 절단 과정

에서 표지자의 용해가 일어났을 가능성이 있다. 2008년 Banomyung등은 특별히 고안된 flodec device로 상아세관의 fluid flow의 변화량을 시간의 흐름에 따라 측정하여 4가지 복합레진 수복방법의 내부적합성 정도를 비교(Banomyung 등, 2008)하였는데, 이 방법은 봉쇄정도를 수량화하지 못했고 어느 부위에 어떤 양상으로 미세간극이 발생하는지 알 수 없어서 시편을 절단하여 FE-SEM을 이용하여 미세간극을 관찰하였다. Micro-CT로 내부적합성을 측정한 연구들 중, 2008년 Eden등은 50%의 질산은 용액을 4시간 동안 침투시킨 후 Micro-CT로 침투 깊이를 측정(Eden 등, 2008)하여 비파괴적으로 분석했다는 의의가 있으나 여전히 전체적인 모습 보다는 국소적인 부분의 평가가 이뤄졌고 법랑질-복합레진 접착계면의 변연적합성만 평가되고 수복물 내부의 상아질-복합레진 접착계면의 내부적합성에 대한 평가가 이뤄지지 못했다는 문제가 있다. 이번 연구는 상아세관을 통해 질산은 용액을 침투시켜 미세간극 부위에 침투된 질산은 용액의 양을 2D image와 3D reconstruction을 통해 측정하여 전체적인 내부적합성 정도를 수량화하여 평가할 수 있었고 Micro-CT를 이용하여 비파괴적으로 분석하여 기존 연구들의 한계점을 극복하였다.

## V. 결 론

이번 연구의 목적은 질산은 용액을 상아세관을 통해 침투시킨 후 Micro-CT를 이용하여 상아질-복합레진 접착계면의 내부적합성을 비파괴적이고 3차원적으로 분석하는 것이다. 기계적 부하 하에서 광중합형글라스아이오노머 기저재 사용 여부에 따른 접착성 수복물의 내부적합성을 비교 평가하기 위해 치수저 변연 전체 길이에 대한 질산은 용액이 침투된 길이의 백분율 및 기계적 부하 전·후의 질산은 용액의 침투된 부피차이를 측정하여 내부적합성을 비교하였다. 결과는 다음과 같다.

1. 초기 내부적합성과 기계적 부하 후의 적합성에 있어서 상아질 접착제와 복합레진으로만 수복하였을 때가 광중합형글라스아이오노머 기저재 적용 후 상아질 접착제와 복합레진으로 수복하였을 때보다 우수한 결과를 보였다.
2. 기계적 부하 후 모든 군에서 내부적합성이 저하되었다.
3. 기계적 부하 전·후의 내부적합성의 차이는 광중합형글라스아이오노머 기저재 적용 후 상아질 접착제와 복합레진으로 수복하였을 때가 상아질 접착제와 복합레진으로만 수복하였을 때 보다 더 적었다.
4. 상아세관을 통해 질산은 용액을 침투시켜 미세간극 부위에 침투된 질산은 용액의 양을 Micro-CT로 측정하여 전체적인 내부적합성 정도를 수량화하여 평가할 수 있었고 비파괴적으로 분석할 수 있었다.

## 참고문헌

이장호, 박성호 : 질산은 용액과 Micro-CT를 이용한 상아질과 복합레진 계면의 비파괴적 관찰 방법에 대한 연구. 연세치대논문집, 2009

Banomyong D, Palamara JE, Messer H, Burrow MF (2008). Sealing ability of occlusal resin composite restoration using four restorative procedures. *European journal of oral sciences* 116(6):571-578.

Hashimoto M, Ohno H, Kaga M, Endo K, Sano H, Oguchi H (2000). In vivo degradation of resin-dentin bonds in humans over 1 to 3 years. *Journal of Dental Research* 79(6):1385-1391.

Prati C, Tao L, Simpson M, Pashley DH (1994). Permeability and microleakage of Class II resin composite restorations. *Journal of dentistry* 22(1):49-56.

Peliz MI, Duarte S, Dinelli W (2005). Scanning electron microscope analysis of internal adaptation of materials used for pulp protection under composite resin restorations. *Journal of esthetic and restorative dentistry* 17(2):118-128.

Pioch T, Staehle HJ, Duschner H, Garca-Godoy F (2001). Nanoleakage at the composite-dentin interface: a review. *American Journal of dentistry* 14(4):252-258.

Heintze S, Forjanic M, Cavalleri A (2008). Microleakage of Class II restorations with different tracers--comparison with SEM quantitative analysis. *The journal of adhesive dentistry* 10(4):259-267.

Alani AH, Toh CG (1997). Detection of microleakage around dental restorations: a review. *Operative dentistry* 22(4):173-185.

Yanagawa T, Chigira H, Manabe A, Itoh K, Hisamitsu H, Wakumoto S (1996). Adaptation of a resin composite in vivo. *Journal of dentistry* 24(1-2):71-75.

Sun J, Eidelman N, Lin-Gibson S (2009). 3D mapping of polymerization shrinkage using X-ray micro-computed tomography to predict microleakage. *Dental materials* 25(3): 314-320.

Kakaboura A, Rahiotis C, Watts D, Silikas N, Eliades G (2007). 3D-marginal adaptation versus setting shrinkage in light-cured microhybrid resin composites. *Dental materials* 23(3):272-278.

Peters OA, Laib A, Regsegger P, Barbakow F (2000). Three-dimensional analysis of root canal geometry by high-resolution computed tomography. *Journal of Dental Research* 79(6):1405-1409.

Hbscher W, Barbakow F, Peters OA (2003). Root-canal preparation with FlexMaster: canal shapes analysed by micro-computed tomography. *International endodontic journal* 36(11):740-747.

Song W, Jo D, Lee J, Kim J, Hur M, Hu K, *et al.* (2009). Microanatomy of the incisive canal using three-dimensional reconstruction of microCT images: an ex vivo study. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology and endodontics* 108(4):583-590.

Zeiger DN, Sun J, Schumacher GE, Lin-Gibson S (2009). Evaluation of dental composite shrinkage and leakage in extracted teeth using X-ray microcomputed tomography. *Dental materials* 25(10):1213-1220.

Eden E, Topaloglu-Ak A, Topaloglu-Ak V, Cuijpers V, Frencken JE (2008). Micro-CT for measuring marginal leakage of Class II resin composite restorations in primary molars prepared in vivo. *American Journal of dentistry* 21(6):393-397.



Chen X, Cuijpers V, Fan M, Frencken JE (2009). Optimal use of silver nitrate and marginal leakage at the sealant–enamel interface using micro–CT. *American Journal of dentistry* 22(5):269–272.

Ciucchi B, Bouillaguet S, Delaloye M, Holz J (1997). Volume of the internal gap formed under composite restorations in vitro. *Journal of dentistry* 25(3–4):305–312.

Rodrigues Junior SA, Pin LF, Machado G, Della Bona A, Demarco FF (2010). Influence of different restorative techniques on marginal seal of class II composite restorations. *Journal of applied oral science* 18(1):37–43.

Sarne S, Mante MO, Mante FK (1996). Marginal leakage of combinations of glass–ionomer and composite resin restorations. *The Journal of clinical dentistry* 7(1):13–16.

Nomoto R, Komoriyama M, McCabe JF, Hirano S (2004). Effect of mixing method on the porosity of encapsulated glass ionomer cement. *Dental materials* 20(10):972–978.

Hotta M, Aono M (1994). Adaptation to the cavity floor of the light–cured glass ionomer cement base under a composite restoration. *Journal of oral rehabilitation* 21(6):679–685.

Young AM (2002). FTIR investigation of polymerisation and polyacid neutralisation kinetics in resin–modified glass–ionomer dental cements. *Biomaterials* 23(15):3289–3295.

Feilzer AJ, Kakaboura AI, de Gee AJ, Davidson CL (1995). The influence of water sorption on the development of setting shrinkage stress in traditional and resin–modified glass ionomer cements. *Dental materials* 11(3):186–190.

Mason PN, Ferrari M (1994). In vivo evaluation of glass-ionomer cement adhesion to dentin. *Quintessence international* 25(7):499-504.

Oliveira LC, Duarte S, Araujo CA, Abraho A (2010). Effect of low-elastic modulus liner and base as stress-absorbing layer in composite resin restorations. *Dental materials* 26(3):e159-e169.

Retief DH, Mandras RS, Russell CM (1994). Shear bond strength required to prevent microleakage of the dentin/restoration interface. *American Journal of dentistry* 7(1):44-46.

Erickson RL, Glasspoole EA (1994). Bonding to tooth structure: a comparison of glass-ionomer and composite-resin systems. *Journal of esthetic dentistry* 6(5):227-244.

Maneenut C, Sakoolnamarka R, Tyas MJ (2010). The repair potential of resin-modified glass-ionomer cements. *Dental materials* published

Eliades G, Palaghias G (1993). In vitro characterization of visible light-cured glass ionomer liners. *Dental materials* 9(3):198-203.

Nery S, McCabe JF, Wassell RW (1995). A comparative study of three dental adhesives. *Journal of dentistry* 23(1):55-61.

Triolo PT, Swift EJ, Barkmeier WW (1995). Shear bond strengths of composite to dentin using six dental adhesive systems. *Operative dentistry* 20(2):46-50.

van der Vyver PJ, de Wet FA (1997). Shear bond strength of four dentine bonding systems to dry and moist dentine. *The Journal of the Dental Association of South Africa* 52(9):555-558.

Tjan AH, Castelnovo J, Liu P (1996). Bond strength of multi-step and simplified-step systems. *American Journal of dentistry* 9(6):269-272.

Nicholson JW (1998). Chemistry of glass-ionomer cements: a review. *Biomaterials* 19(6):485-494.

Dietschi D, Olsburgh S, Krejci I, Davidson C (2003). In vitro evaluation of marginal and internal adaptation after occlusal stressing of indirect class II composite restorations with different resinous bases. *European journal of oral sciences* 111(1):73-80.

Schmidlin PR, Huber T, Ghring TN, Attin T, Bindl A (2008). Effects of total and selective bonding on marginal adaptation and microleakage of Class I resin composite restorations in vitro. *Operative dentistry* 33(6):629-635.

Friedl KH, Schmalz G, Hiller KA, Mortazavi F (1997). Marginal adaptation of composite restorations versus hybrid ionomer/composite sandwich restorations. *Operative dentistry* 22(1):21-29.

Dietschi D, Bindi G, Krejci I, Davidson C (2002). Marginal and internal adaptation of stratified compomer-composite Class II restorations. *Operative dentistry* 27(5):500-509.

De Santis R, Mollica F, Prisco D, Rengo S, Ambrosio L, Nicolais L (2005). A 3D analysis of mechanically stressed dentin-adhesive-composite interfaces using X-ray micro-CT. *Biomaterials* 26(3):257-270.

Abstract

## Measurement of internal adaptation of dentin-composite resin interfaces using micro-CT

Oh-hyun kwon

*Department of conservative dentistry  
The graduate school, Yonsei University*

(Directed by Professor Sung-ho Park)

### I. Introduction

Polymerization shrinkage, resulting in marginal leakage and decreasing marginal adaptation, is the main cause of resin based restoration failure. Secondary dental caries, discoloration near the restoration margins, post operative pain and a loss of restorations are the most frequent consequences of decreasing marginal adaptation. The methods most commonly used include a test for marginal adaptation with different tracers along the interface of the restorations or a microscopic evaluation of the margin of the restoration. In recent years, Micro-CT has gained popularity in evaluating the internal adaptation.

This study developed nondestructive, three-dimensional methods to observe the dentin-composite resin interface using micro-CT.

## II. Material and Methods

Thirty intact human premolars or third molars extracted for orthodontic treatment were used. The specimens were divided into the following three groups: Control group—the composite resin was restored using the incremental technique without dentin adhesives; Group 1—the composite resin was restored using incremental technique with dentin adhesives after applying a 2mm RMGI base; and Group 2—the composite resin was restored using incremental technique with dentin adhesives. To examine the internal adaptation, each specimen was infiltrated with a silver-nitrate solution through the pulpal side of the dentinal tubules and all samples were scanned by micro-CT before and after mechanical loading. The micro CT images were analyzed using following three methods: 1) percent ratio of the length of silver nitrate penetration into the defective internal gap in relation to the entire pulpal wall length; 2) internal gap volume difference between before and after mechanical loading; and 3) a 3D reconstruction. In 1) and 2), one-way ANOVA with a Duncan was used at the 95% confidence level to compare the groups before and after mechanical loading. A paired T-test was used to compare before and after mechanical loading.

## III. Results

In the percent ratio of the silver nitrate penetrate length to the entire pulpal wall length, Group 2 showed a lower percent ratio of penetration than the control group and group 1 ( $p < 0.05$ ). There was no significant difference between the control group and group 1. There was a significant difference between before and after mechanical loading in all groups ( $P < 0.05$ ).

In the internal gap volume difference between before and after mechanical loading, Group 1 showed a lower volume difference than the control group

and group 2( $p < 0.05$ ). There was no difference between the control group and group 2

#### **IV. Conclusions**

1. Using micro-CT and the silver nitrate infiltration technique through dentinal tubules of the pulpal side, the dentin-composite resin interface was evaluated nondestructively.
2. Regarding the percent ratio of the silver nitrate penetrate length to the whole pulpal wall length, the composite resin without a RMGI base(Group1) showed superior internal adaptation than a restoration of the composite resin with a RMGI base(Group 2) or a control group before and after mechanical loading. After the mechanical loading, it decreased in all groups.
3. Regarding the internal gap volume difference between before and after mechanical loading, the restoration of a composite resin with a RMGI base (Group 2) retained its internal integrity better than the composite resin without RMGI base(Group 1) and control group.

---

Key words : Micro-CT, RMGI base, Internal adaptation, Silver-nitrate solution