



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

정량광형광기법(Quantitative Light-induced
Fluorescence technology)을 이용한
브라켓 부착 전후 법랑질 균열 평가

연세대학교 대학원

치 의 학 과

김 수 민

정량광형광기법(Quantitative Light-induced
Fluorescence technology)을 이용한
브라켓 부착 전후 법랑질 균열 평가

지도교수 최 윤 정

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2019년 6월 일

연세대학교 대학원

치 의 학 과

김 수 민

김수민의 석사 학위논문을 인준함

심사위원 최윤정 

심사위원 김백익 

심사위원 최성환 

연세대학교 대학원

2019년 6월 일

감사의 글

논문이 완성되기까지 세심한 지도와 격려를 아끼지 않으시고 저의 부족함을 열정과 사랑으로 채워주신 최윤정 지도 교수님께 감사 드립니다. 귀중한 시간을 내주시어 부족한 논문을 꼼꼼히 살펴주신 김백일 교수님, 최성환 교수님께도 감사의 마음을 전합니다. 또한 지난 2년간 많은 가르침을 주신 황충주 교수님, 김경호 교수님, 유형석 교수님, 이기준 교수님, 차정열 교수님, 정주령 교수님, 황순신 교수님께 감사 드립니다.

본 연구의 실험을 진행하는데 많은 도움을 주신 박석우, 전미경 선생님께도 감사의 말을 전합니다.

지난 2년간 대학원에서 공부할 수 있도록 배려를 아끼지 않으시고 논문의 주제에 대해 같이 고민해주신 이승훈 원장님께 마음 깊이 감사의 인사를 드리며, 아름다운 톡치과 식구들에게도 감사의 마음을 전합니다.

마지막으로 늘 저를 응원하고 지지해주는 가족에게 감사와 사랑을 전합니다.

2019년 6월 저자 씀

차 례

그림 차례	II
표 차례	III
국문 요약	IV
I. 서론	1
II. 연구 대상 및 방법	6
1. 샘플 수 선정	6
2. 시편 준비 및 연구방법	6
3. 범랑질 균열 평가	9
4. 브라켓 파절 및 잔여 접착제 평가	13
5. 통계 처리	14
III. 연구 결과	16
1. 브라켓 부착 전후 균열의 정량적 및 정성적 평가	16
2. 브라켓 부착 전후 균열 길이 증가와 영향 요인 평가	18
IV. 고찰	21
V. 결론	25
참고 문헌	26
영문 요약	30

그림 차례

Fig 1. Specimen preparation for experiment	7
Fig 2. Flow chart of study procedure	8
Fig 3. Images obtained under different lights of QLF-D	10
Fig 4. Evaluation of crack location.....	11
Fig 5. QLF images	13

표 차례

Table 1. Characteristics of cracks which showed changes after debonding.....	17
Table 2. Descriptive statistics of cracks, bracket material, bracket fracture and adhesive remnant index (ARI).....	19
Table 3. Logistic regression analysis of cracks, bracket material, bracket fracture and adhesive remnant index (ARI).....	20

국문 요약

정량광형광기법(Quantitative Light-induced Fluorescence technology)을 이용한 브라켓 부착 전후 법랑질 균열 평가

치아 교정용 브라켓 제거 과정에서 외상에 의한 법랑질 균열 발생에 대한 논란이 있었지만, 이전에 브라켓 부착 전후 균열 발생을 평가한 연구 중 임상에서 이용 가능한 장비로 길이 및 깊이를 정량적으로 평가한 연구는 거의 없었다. 따라서 본 연구는 비파괴적인 균열 진단방법인 정량광형광기법(quantitative light-induced fluorescence technology)을 이용하여 브라켓 부착 전후 법랑질 균열의 개수, 길이, 깊이 변화를 정량적 및 정성적으로 평가하였다. 또한 기존 균열의 성질(가시성, 위치, 방향, 길이, 깊이), 브라켓 종류, 브라켓 파절 여부, adhesive remnant index (ARI)가 법랑질 균열 진행에 미치는 영향을 평가하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 브라켓 부착 및 제거 후 법랑질 균열의 개수, 길이, 깊이는 유의하게 증가하지 않았다.

2. 실내 광원 하에 육안으로 보이는 법랑질 균열은 브라켓 제거 후 그 길이가 유의하게 증가하였다($p < 0.05$).
3. 브라켓 종류, 브라켓 파절 여부, ARI, 기존 균열의 위치, 방향, 길이, 깊이는 브라켓 제거 후 균열 길이 증가에 유의한 영향을 미치지 않았다.

본 연구를 통하여 브라켓 부착 및 제거 과정이 법랑질 균열을 진행시키지 않는 것을 확인 할 수 있었다. 하지만 브라켓 부착 전 육안으로 관찰되는 균열이 있을 경우에는 부착 및 제거 과정에서 균열의 길이가 증가할 수 있는 점을 유의하여야 할 것이다.

핵심이 되는 말: 법랑질 균열, 균열 길이, 균열 깊이, 정량광형광기법

정량광형광기법(Quantitative Light-induced Fluorescence
technology)을 이용한 브라켓 부착 전후 법랑질 균열 평가

<지도교수: 최 윤 정>

연세대학교 대학원 치의학과

김수민

I. 서론

법랑질 균열이란 치아 표면에서 시작하여 법랑질에 한정된 균열을 의미한다(Lubisich et al., 2010). 균열의 발생요인으로 교합력, 치아 형태, 이 같이, 회전 기구 사용, 수복물, 외상 등 다양한 원인들이 보고되었다(Lubisich et al., 2010). 치아 교정용 브라켓 제거 과정에서 외상에 의한 법랑질 균열 발생에 대한 논란이 있어왔다(Dumbryte et al., 2016; Dumbryte et al., 2013; Kitahara-Ceia et al., 2008; Zachrisson et al., 1980). 치아교

정 치료 중 브라켓 탈락을 방지하기 위해 브라켓과 법랑질 사이에 높은 접착력이 요구되었고 그에 따라 법랑질과 접착제가 mico-interlocking을 이루도록 법랑질을 산 부식시켜 레진 접착제 태그가 법랑질 프리즘으로 침투하게 하는 접착방식이 개발되었다(Buonocore et al., 1968; Faust et al., 1978). 하지만 접착력이 너무 강할 경우에는 브라켓 제거 중에 큰 힘이 가해져 법랑질 균열을 일으킨다는 연구가 보고되었다(Lin et al., 2011).

브라켓을 제거할 때 가해지는 힘은 브라켓 종류, 브라켓 제거방법, 법랑질 처리방법, 접착제의 종류 및 구성 등 다양한 원인에 의해 영향을 받는다(Bishara et al., 1993). 메탈 브라켓과 비교시 세라믹 브라켓은 높은 접착력, 낮은 파괴 인성, 높은 인장강도로 인해 브라켓 제거 시 법랑질 균열을 발생시킬 수 있다는 연구들이 보고되었다(Habibi et al., 2007). 따라서 브라켓 종류에 따라 다른 브라켓 제거방식이 고안되었는데 메탈 브라켓은 벗겨내는 방식(peel off)으로 제거하는 반면 세라믹 브라켓은 squeeze한 힘으로 제거하거나 특수 디분딩 플라이어를 이용하여 전단-비틀림 힘(shear-torsion force)을 적용하는 방법이 추천되었다 (Bishara et al., 1994; Bishara and Trulove, 1990b; Bryant et al., 1987; Scott, 1988). 법랑질을 처리하는 방법 중 산 부식 처리시 높은 접착력을 감소시키기 위해 crystal growth 방식이 소개되었다. Crystal growth 처리 시 낮은 접착력과 법랑질 표면의 응력 감소로 인해 안전한 브라켓 제거가 가능하다는 연구가 있다(Bishara et al., 1993). 레진

접착제의 종류로는 아크릴과 다이아크릴이 있으며 각각 필러 함유량에 따라 다른 특성을 가진다. 메탈 브래킷은 고필러 함유 다이아크릴 레진 이용 했을 경우, 세라믹 브래킷은 필러를 함유하지 않은 아크릴릭 레진 이용 시 가장 높은 접착력을 제공한다는 연구가 있다(Buzzitta et al., 1982).

범랑질 균열을 확인하기 위해 받거치를 대상으로 여러 연구에서 polarized microscope (PLM), scanning electron microscope (SEM), micro-computed tomography (micro-CT)등을 이용하였다(Bishara et al., 2008; Clark et al., 2003; Habibi et al., 2007; Landrigan et al., 2010). 이 중 PLM과 SEM은 치아 횡단면 평가 시 파괴적인 치아 시편 제작과정이 필요하며, 특히 SEM은 10^{-5} - 10^{-7} Pa의 진공 하에서 시편을 관찰하기 때문에 실험 과정 중에 균열이 추가로 진행될 수 있다는 단점이 있다(Dumbryte et al., 2013). Micro-CT는 비파괴적인 실험 방법이지만 해상도가 40 μm 로 제한되어 민감도 및 특이도가 떨어지는 편이다(Landrigan et al., 2010; Lee et al., 2016).

임상에서는 transillumination, swept source-optical coherence tomography (SS-OCT), quantitative light-induced fluorescence technology (QLF technology)가 이용되고 있다(Imai et al., 2012; Jun et al., 2016; Zachrisson et al., 1980). Transillumination은 균열의 유무와 같은 정성적인 평가에는 이용되지만 깊이 평가는 불가능한 장치이다(Imai et al., 2012;

Zachrisson et al., 1980). SS-OCT는 치아의 횡단면만 평가 할 수 있기 때문에 균열이 예측되는 부위에서 정량적인 깊이 평가는 가능하지만 치아가 가지는 균열의 개수 및 길이 평가가 어렵다는 한계가 있다(Imai et al., 2012; Leao Filho et al., 2015; Zachrisson et al., 1980). 또한 SS-OCT는 긴 파장의 간접적인 빛을 이용하므로 치아 표면에서 빛이 산란되는 양이 많아 해상도가 낮기 때문에 QLF technology와 균열의 진단결과 비교 시 민감도와 특이도가 떨어진다고 하였다(Dumbryte et al., 2017; Jun et al., 2016). 최근에 소개된 QLF technology는 405 nm 파장의 빛을 조사함으로써 치아에서 발견되는 형광반응을 이용하는 진단 장비이다. 빛을 치아에 조사하면 건전한 치아의 경우 빛이 상아-법랑 경계까지 투과한 뒤 반사되면서 자연 형광(auto-fluorescence)이 발생하게 된다. 반면 법랑질 균열 부위는 빛이 산란되면서 형광이 소실되어 어둡게 보이는데 이러한 형광의 차이를 특수한 필터와 분석 소프트웨어를 이용해 균열의 정성적 및 정량적 평가가 가능한 장비이다(Jun et al., 2016).

브라켓 부착 전후 균열 발생을 평가한 기존 연구 중 임상에서 이용 가능한 장비로 길이 및 깊이를 정량적으로 평가한 연구는 거의 없었다. 따라서 본 연구에서는 QLF technology를 이용하여 법랑질 균열을 정량적 및 정성적으로 평가하고자 한다. 본 연구의 귀무가설은 브라켓 제거 후 법랑질 균열의 개수, 길이, 깊이가 변화하지 않는 것으로 설정하였다. 추가적으로 기존 균열의 성

질(가시성, 위치, 방향, 길이, 깊이), 브라켓 종류, 브라켓 파절 여부, adhesive remnant index (ARI)가 브라켓 제거 후 법랑질 균열 발생에 영향을 미치는지 평가하고자 한다.

II. 연구 대상 및 방법

1. 샘플 수 선정

기존 문헌의 결과(Habibi et al., 2007)를 참고로 G power 3.1 program (Heinrich heine university, Dusseldorf, Germany)으로 계산하여 본 연구에 필요한 샘플 수를 산출하였다(effect size 0.5, α error probability 0.05, power 0.8). 계산 결과 27개의 샘플이 필요한 것으로 산출되었으며, 본 연구에서는 24개의 시편에서 총 30개 샘플(균열)을 대상으로 실험을 진행하였다.

2. 시편 준비 및 연구방법

만 18세 이상의 성인환자에서 교정치료 목적으로 발거한 총 32개 소구치 중 신경치료, 수복치료를 받은 적이 있거나, 우식 혹은 파절이 있는 경우, 발치과정에서 생성된 방사상의 균열을 가지는 치아는 제외하였다. 총 24개 소구치를 이용하여 수행하였고 연세대학교 치과대학병원 임상시험윤리위원회(IRB)로부터 승인을 받고 진행하였다(IRB 2-2018-0043). 발치를 하기 전 모든 연구 참가자에게 설명 후 동의서를 받았으며, 발치 후 즉시 멸균 생리 식염수

가 담긴 보관함에 담아 4° C 냉장 보관하여 탈회와 건조로 인한 균열의 발생을 방지하였다.

각 시편의 치근에 붙어있는 연조직은 큐렛으로 제거하고 증류수로 세척하였고 저속 핸드피스(Lasungmedice, Incheon, Korea)와 다이아몬드 디스크(NTI-Kahla, Kahla, Germany)를 이용하여 치근부를 절삭하고 치관부를 사용하였다. 절단한 치아는 아크릴 몰드(20mm x 12mm x 7mm의 고정된 크기에 중앙에 9 mm 지름의 구멍) 중앙에 위치시키고 교정용 아크릴릭 레진(Ortho-Jet, Lang dental Manufacturing, IL, USA)을 사용하여 매몰하였다(Fig 1).

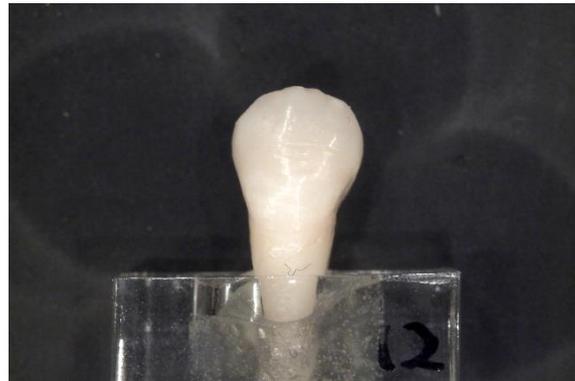


Fig 1. Specimen preparation for experiment

모든 시편의 협면을 QLF technology를 이용하여 균열 개수 및 균열 각각의 성질(가시성, 위치, 방향, 길이, 깊이)을 평가하였다. 치아는 무작위로

각 12개씩 두 그룹으로 나누고 각각 세라믹 그룹, 메탈 그룹으로 명명하였다. 세라믹 그룹은 perfect clear II™ (Hubit, Seoul, Korea), 메탈 그룹은 master series™ (American Orthodontics, Washington, D.C, USA)를 산 부식제, 프라이머, 레진 접착제를 사용하여 제조사 추천방식대로 부착하였다. 레진 접착제의 잔여중합을 위하여 24시간이 지난 후 두 그룹 모두 제조사 추천 방식에 따라 디본딩 플라이어를 이용하여 브라켓을 제거하였다. 잔여 접착제는 2000 rpm 저속 핸드피스-텅스텐 버를 이용하여 제거하였다. 이어서 시편의 협면을 QLF technology를 이용하여 범랑질 균열 개수와 성질(가시성, 위치, 방향, 길이, 깊이)을 재평가하였다(Fig 2).

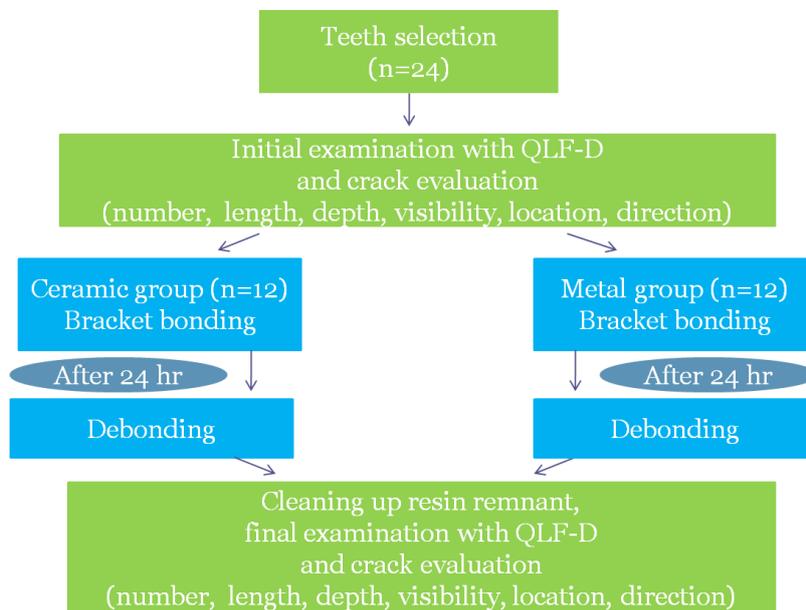


Fig 2. Flow chart of study procedure

3. 법랑질 균열 평가

QLF technology 장비 중 본 연구에서는 2세대 장비인 QLF-D (Quantitative Light induced Fluorescence-Digital, QLF-D bilumination, Inspektor Research systems BV, Amsterdam, the Netherlands)를 이용하였다. QLF-D는 60 mm macro lens가 고정되어 있는 single lens reflex (SLR) 카메라에 Biluminator™가 부착되어 있는 형태이다. Biluminator™는 백색광 이미지와 형광 이미지 촬영을 위해 필요한 광원과 filter를 제공하는 역할을 한다. 이미지 촬영은 시편 협면의 백색광 이미지와 형광 이미지를 연속 촬영하였다. 각 치아시편을 동일한 조건의 암실에서 촬영하였고 시편과 카메라의 위치는 고정하였다.

한 치아에 있는 모든 균열의 개수를 조사하였고 각 균열의 성질(가시성, 위치, 방향, 길이, 깊이)을 평가하였다.

가. 균열 개수

각 치아가 가지는 브라켓 부착 전후 균열 개수를 기록하였다.

나. 균열의 가시성

균열을 weak(실내 광원 하에서 육안으로 보이지 않지만 QLF-D 광원 하에서 보이는 균열)와 pronounce(실내 광원 및 QLF-D 광원 하에서 모두 보이는 균열)로 분류하였다(Bishara et al., 2008; Zachrisson et al., 1980)(Fig 3).

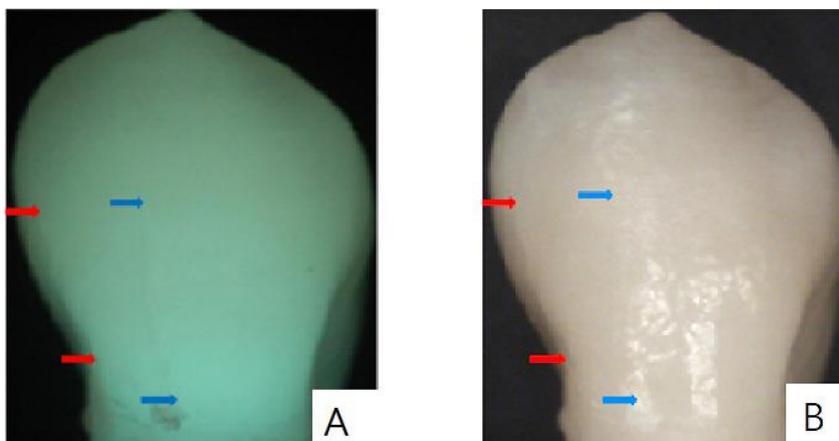


Fig 3. Images obtained under different lights of QLF-D (A, fluorescence image; B, white light image; red arrow, pronounce crack; blue arrow, weak crack)

다. 균열의 위치

치아의 협면을 같은 높이로 3등분 하여 교합부 1/3, 중앙부 1/3, 치경부 1/3로 나눈 후 교합부, 교합-중앙부, 중앙부, 중앙-치경부, 치경부로 분류

했다(Bishara et al., 2008; Shahabi et al., 2010; Zachrisson et al., 1980)(Fig 4).

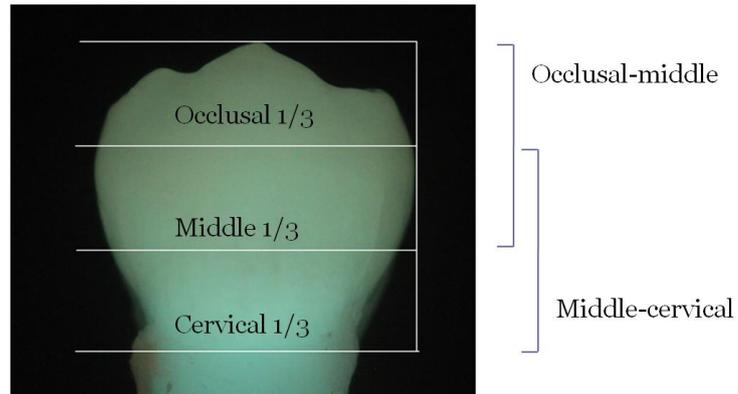


Fig 4. Evaluation of crack location

The crack location was classified with 5 locations based on three-equal division of buccal surface: occlusal, occlusal-middle, middle, middle-cervical and cervical.

라. 균열의 방향

치아 장축을 기준으로 수직(0-30°), 사선(31-45°), 수평(46-90°)으로 분류했다(Zachrisson et al., 1980).

마. 균열의 길이

Image J (National Institutes of Mental Health, Maryland, USA)를 이용하여 계측하였고 모든 값은 2주 간격으로 두 번 측정한 후 평균값을 이용하였다. 브라켓 부착 전후 각 균열 길이 증가량이 전체 브라켓 부착 전후 균열 길이 차이의 표준편차 2배수 이상 증가한 경우에 균열의 길이가 증가하였다고 평가하였다.

바. 균열의 깊이

QA2프로그램(version 1.25, Inspektor Research systems BV, Amsterdam, the Netherlands)을 이용하여 균열이 있는 부위의 최대 형광소실량(Maximum fluorescence loss; ΔF_{\max})값을 측정하였다(Fig 5). ΔF_{\max} 는 법랑질 두께의 1/2 이상이나 상아-법랑경계까지 침범한 균열에서 깊이가 깊어짐에 따라 더 큰 값을 갖는다. ΔF_{\max} 값의 역치는 5%로 법랑질 두께 1/2 미만의 균열에서는 ΔF_{\max} 값이 “0(%)”으로 산출되므로 정량적 평가가 어렵다(Jun et al., 2016).

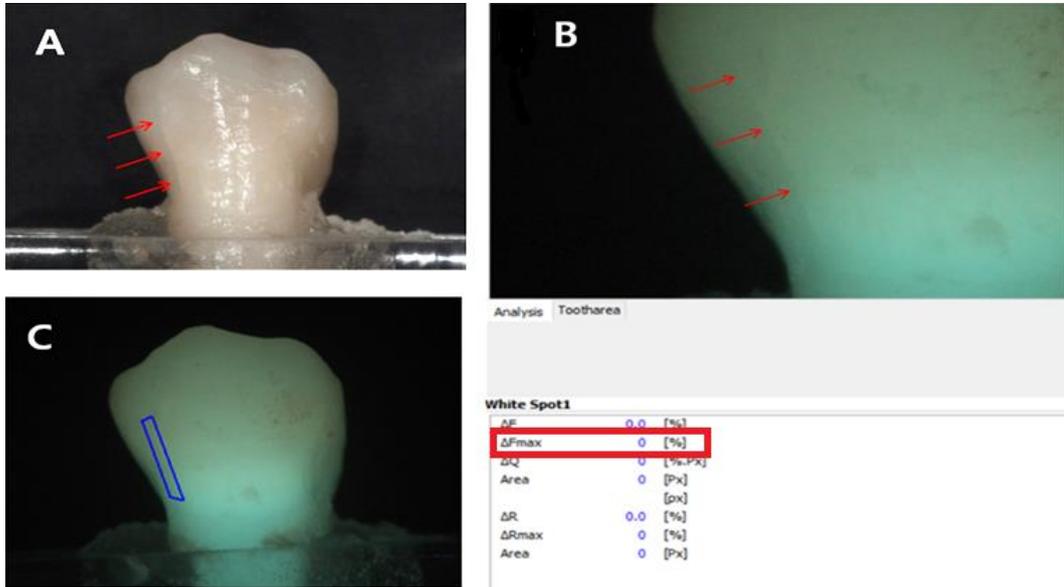


Fig 5. QLF images (A, white light image; B, fluorescence image; C, QA2 1.25 soft program analysis image; ΔF_{\max} , Maximum fluorescence loss)

4. 브라켓 파절 및 잔여 접착제 평가

브라켓 파절 유무를 평가하고 브라켓 제거 후 법랑질에 남은 접착제를 ARI에 따라 평가하였다. 평가는 1-5로 이루어지며 5: 법랑질에 잔여 접착제가 없는 경우, 4: 법랑질에 잔여 접착제가 10% 미만인 경우, 3: 법랑질에 잔여

접착제가 10% 이상 90% 미만인 경우, 2: 법랑질에 잔여 접착제가 90% 이상인 경우, 1: 법랑질에 잔여 접착제가 100% 잔존한 경우로 평가하였다(Bishara and Trulove, 1990a; O'Brien et al., 1988).

5. 통계 처리

균열의 확인 및 계측은 동일한 조사자에 의해 이루어졌으며 조사자 내 오차를 확인하기 위해 2주 간격으로 모든 샘플을 2회 반복하여 계측하였다.

유의수준 0.05에서 PASW Statistics 18 통계 패키지 프로그램(SPSS Inc, Chicago, U.S.A)을 이용하여 다음을 분석하였다.

가. 균열 길이의 신뢰도: Intraclass correlation coefficient (ICC)

나. 브라켓 제거 후 균열 길이 변화에 대한 분석

: paired t test

다. 브라켓 제거 후 법랑질 균열 길이 증가에 대한 영향 요인 분석

(1) 기술통계 분석

(가) ARI, 균열 위치: Kruskal-Wallis test

(나) 균열의 가시성, 브라켓 종류, 브라켓 파절 여부

: Mann-Whitney test

(2) 회귀 분석: logistic regression analysis

Ⅲ. 연구 결과

1. 브라켓 부착 전후 균열의 정량적 및 정성적 평가

브라켓 제거 후 생성된 균열은 하나였다(Table 1).

24개 치아가 가지는 총 30개 균열의 길이 변화 평가 시 평균 0.14 ± 0.39 mm로 유의차는 없었다($p > 0.05$). 30개 균열 중 3개 균열에서 브라켓 부착 전후 길이가 평균 1.23 ± 1.26 mm 증가하였다. 균열 길이가 증가한 경우 모두 pronounce하며 중앙-치경부에 위치하였다(Table 1).

균열 길이의 신뢰도 검사 결과 브라켓 부착 전, 후 급내상관계수 (ICC)가 각각 0.996, 0.997으로 높은 상관관계를 보였다.

브라켓 부착 전후 모든 균열의 ΔF_{\max} 값은 "0(%)" 로 모든 균열에서 브라켓 부착 전후 법랑질의 1/2 이상의 길이 변화는 없었다.

Table 1. Characteristics of cracks which showed changes after debonding

Cracks*	Length (mm)		Depth (ΔF_{\max})	Visibility	Location	Bracket material
	Before bonding	After debonding				
C1	3.73	4.57	0%	Pronounce	Middle- cervical	Ceramic
C2	2.78	4.22	0%	Pronounce	Middle- cervical	Metal
C3	1.73	3.19	0%	Pronounce	Middle- cervical	Metal
Cnew	NA	1.04	0%	Weak	Cervical	Metal

NA, not available

* The C1, C2, and C3 indicate the cracks which showed an increase of length after debonding; and the Cnew indicates the crack which was newly developed.

2. 브라켓 부착 전후 균열 길이 증가와 영향 요인 평가

브라켓 종류, 브라켓 파절 여부, ARI, 기존 균열의 가시성, 위치, 방향, 길이, 깊이 각각과 브라켓 제거 후 균열 길이 변화 관계를 기술통계로 분석한 결과 균열의 가시성이 브라켓 제거 후 균열 길이 증가에 유의한 영향을 미쳤다($p=0.021$). 그 외에 요인들은 브라켓 제거 후 균열의 길이 증가에 유의한 영향을 미치지 않았다(Table 2).

균열의 길이를 제외한 균열의 성질(가시성, 위치, 방향, 깊이)은 브라켓 제거 후 모두 변화가 없었다. 균열의 방향은 브라켓 부착 전후 모두 수직방향이었다. 세라믹 그룹 중 2개 치아에서 브라켓 파절이 일어났으며 그 중 1개 균열에서 브라켓 부착 전후 길이가 증가했다(Table 2).

로지스틱 회귀분석을 이용하여 브라켓 제거 후 균열의 길이 증가에 영향을 미치는 요인을 평가한 결과 브라켓 종류, 브라켓 파절 여부, ARI, 기존 균열의 가시성, 위치, 방향, 길이, 깊이 모두 유의한 영향을 미치지 않았다(Table 3).

Table 2. Descriptive statistics of cracks, bracket material, bracket fracture and adhesive remnant index (ARI)

	Number of cracks [#]		P value [*]
	Before bonding (n=30)	After debonding (n=31)	
Crack length^a(mm)	2.43 ± 0.98	2.56 ± 1.07	0.062
Visibility^b			0.006
pronounce	9 ^{C1,C2,C3}	9	
Weak	21	22 ^{Cnew}	
Location^c			0.351
Occlusal-middle	3	3	
Middle	6	6	
Middle-cervical	15 ^{C1,C2,C3}	15	
Cervical	6	7 ^{Cnew}	
Bracket material^d			0.222
Ceramic	17 ^{C1}	17	
Metal	13 ^{C2,C3}	14 ^{Cnew}	
Bracket fracture^e		3 ^{C1}	0.144
ARI^f			0.335
1		2 ^{C1}	
2		2	
3		13	
4		7 ^{Cnew}	
5		7 ^{C2,C3}	

[#]: The C1, C2, and C3 indicate the cracks which showed an increase of length after debonding; and the Cnew indicates the crack which was newly developed.

^{*}: P values were calculated by excluding the Cnew.

^a: Paired t test was performed and data were presented as mean ± standard deviation.

^{b, d, e}: Mann-Whitney test was performed.

^c: Kruskal-Wallis test was performed.

^f: Kruskal-Wallis test was performed and data were recorded with including the Cnew (n=31).

Table 3. Logistic regression analysis of cracks, bracket material, bracket fracture and adhesive remnant index (ARI)

	Odd ratio	P value*
Crack length	0.052	0.552
Visibility		
Pronounce	2.899	0.999
Weak		
Location		
Occlusal-middle	1.087	1.000
Middle	0.000	1.000
Middle-cervical	0.000	1.000
Cervical	0.000	1.000
Crack length	0.052	0.552
Bracket material	16455.775	1.000
Bracket fracture	7.441	1.000
ARI		
1	2565.895	1.000
2	0.000	0.999
3	0.000	1.000
4	0.000	1.000
5	0.000	1.000

*: P values were calculated by excluding the crack newly developed.

IV. 고찰

법랑질 균열은 비심미적이며 발치를 포함한 예측 불가능한 결과로 이어질 수 있기 때문에(Clark et al., 2003; Lubisich et al., 2010) 브라켓 제거 시 법랑질 균열 발생 여부에 관한 많은 연구가 있다. 균열의 원인은 교합력, 이갈이, 수복물 등 다양한 원인에 의해 발생 하며(Lubisich et al., 2010), 기존 연구에 의하면 교정 치료를 받지 않은 환자에서 치아 별로 33.6 - 91.9%에서 균열이 발견되었다(Zachrisson et al., 1980). 따라서 임상가는 교정치료로 인한 균열 생성 여부를 파악 하기 위해 치료 전후에 균열을 객관적으로 기록할 필요가 있다. QLF technology는 임상에서 비교적 손쉽게 균열을 촬영하고 저장 할 수 있으며 QA프로그램으로 촬영사진을 분석해 법랑질 균열 깊이를 측정할 수 있기 때문에 균열의 객관적인 기록에 매우 유용한 장치이며 균열의 정성적 및 정량적 평가가 가능하다(Jun et al., 2016). 본 연구에서 실내 광원 하에 육안으로 보이는 균열은 9개였지만 QLF technology를 이용하여 21개의 균열을 추가로 탐지하였고 총 30개의 균열을 대상으로 연구하였다.

브라켓 부착 전 균열이 pronounce할 경우 브라켓 제거 후에 균열깊이가 유의미하게 증가하였다. 이는 기존의 연구결과와 일치했다(Dumbryte et al., 2016). 따라서 교정 치료 전에 치아의 균열이 육안으로 보일 경우 브라켓 부

착 및 제거 과정에 유의해야 한다. 다만 본 연구에서 로지스틱 회귀분석 결과 가시성은 유의미하게 균열을 증가시키는 요인은 아니었다. 본 연구의 실험에서 기존의 법랑질 균열 개수 및 브라켓 제거 후 균열 발생률이 작았기 때문에 추후에 시편의 수를 늘려 더 많은 균열을 대상으로 실험을 진행할 필요가 있다.

30개 균열의 ΔF_{\max} 값은 브라켓 부착 전후 모두 “0(%)” 였다. 즉 균열 깊이가 법랑질 두께 1/2범위 내에서 진행되지 않는 것을 확인하였다. 다만 본 연구에 이용된 치아의 기존 균열의 깊이가 얇아 QA프로그램으로 균열의 깊이를 정량적으로 평가하는데 한계가 있었다. 따라서 추후 다양한 균열 깊이를 대상으로 브라켓 부착 및 제거가 법랑질 균열에 미치는 영향에 대한 추가연구가 필요하다. 또한 법랑질 1/2 미만의 균열에 대해서도 정량적인 수치를 얻을 수 있도록 형광소실량을 증폭시킬 수 있는 염색제의 연구 및 개발 등이 필요하다.

세라믹 그룹보다 메탈 그룹에서 유의하지는 않았지만 법랑질 균열의 길이 및 개수가 증가하였다($P>0.05$). 이것은 기존의 세라믹 브라켓의 물리적 성질로 인해 브라켓 제거 시 균열이 발생할 수 있다는 연구와 상반된 결과이다 (Kitahara-Ceia et al., 2008). 본 연구의 메탈 그룹에서 균열 길이가 증가한 경우 모두 하악 소구치였다. 하악 소구치는 상악과 비교 시 굴곡진 치면을 가

지기 때문에 실험과정에서 상대적으로 굴곡진 메탈 브라켓 베이스가 치면에 긴밀하게 부착되면서 디본딩 플라이어를 브라켓-접착제 계면에 위치시켰을 때 균일하게 접촉되지 않고 미끄러짐 현상이 발생되기 쉬웠을 것이다. 디본딩 플라이어의 날이 얇을 경우 힘이 고르게 분산되어 브라켓 제거에 필요한 힘이 더 작아지기 때문에(Bishara et al., 1993) 임상에서 플라이어의 미끄러짐 현상이 있을 경우 얇은 날을 가진 디본딩 플라이어를 이용하여 브라켓을 제거하는 것을 고려해야 한다.

세라믹 그룹 2개 치아에서 브라켓 파절이 일어났고 그 중 한 개 균열의 길이가 증가하였다. 브라켓이 파절된 경우 모두 상방에 잔여 접착제가 남아있었다. 이전 연구에 의하면 브라켓 부착 과정에서 브라켓 주변 접착제가 완전히 제거되지 않은 경우 그 부위에 응력이 집중되면서 세라믹 브라켓이 파절될 수 있고 법랑질 손상이 발생할 수 있다(Bishara et al., 2008; Kitahara-Ceia et al., 2008; Redd and Shivapuja, 1991). 따라서 임상에서 브라켓 부착 과정 중에 브라켓 상방의 잔여접착제를 확실히 제거하는 것을 추천한다.

본 연구의 한계는 실험환경이 실제 임상환경과 다를 수 있다는 점이다 (Oilo et al., 1993). 실제 구강에서 치아에 가해진 외부 힘은 치주인대에 의해 완화되어 치조골에 전달된다. 하지만 본 연구에서는 균열 위치의 재현성을 위해 치아를 아크릴릭 레진으로 고정하였기 때문에 임상환경보다 더 큰 브라

켓 제거력이 치아에 전달되었을 것으로 추측된다. 따라서 추후에 치주인대를 재현한 실험 환경에서 브라켓 부착 전후 균열의 진행을 평가 할 필요가 있다.

또 다른 한계점으로는 잔여 접착제 제거 과정 중에 법랑질 균열이 생성 혹은 진행됐을 가능성이 있다. 잔여 접착제 제거 후 법랑질 표면평가에 관한 연구에 따르면 법랑질 손상 정도는 손상이 없는 경우, 미세하게 분산된 스크래치, 거친 스크래치, 약한 정도의 홈이 형성되는 경우 등 다양하다(Schuler and van Waes, 2003). 이러한 법랑질 손상은 회전식 절삭기구 종류, 회전속도, 접착제 제거시 치면에 가해지는 압력에 따라 일어날 수 있다(Janiszevska-Olszowska et al., 2014). 기존 연구에 따르면 2000 rpm 저속 핸드피스-팅스텐 카바이드 버를 이용하여 잔여 접착제를 제거하는 것이 ‘gold standard’로 알려져 왔다(Rouleau et al., 1982; Schuler and van Waes, 2003). 본 연구에서는 브라켓 제거 시 술자의 압력에 의한 법랑질 손상 가능성이 있다. 따라서 추후 연구에서 잔여 접착제 제거 전에 브라켓 부착 및 제거 과정에 의한 법랑질 균열 발생 여부를 평가 할 필요가 있다

V. 결론

본 연구결과 브라켓 부착 및 제거 과정은 법랑질 균열 개수, 길이, 및 깊이 증가를 일으키지 않았다. 하지만 기존 균열이 실내 광원 하에서 육안으로 보이는 경우 브라켓 제거 후 법랑질 균열 길이를 증가시킬 수 있다. 그 외에 기존 균열의 위치, 방향, 길이, 깊이, 브라켓 종류, 브라켓 파절 여부, ARI는 균열의 길이 증가에 영향을 미치지 않았다.

참고 문헌

- Bishara SE, Fehr DE, Jakobsen JR (1993). A comparative study of the debonding strengths of different ceramic brackets, enamel conditioners, and adhesives. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 104(2): 170-179.
- Bishara SE, Forrseca JM, Fehr DE, Boyer DB (1994). Debonding forces applied to ceramic brackets simulating clinical conditions. *Angle Orthod* 64(4): 277-282.
- Bishara SE, Ostby AW, Laffoon J, Warren JJ (2008). Enamel cracks and ceramic bracket failure during debonding in vitro. *Angle Orthod* 78(6): 1078-1083.
- Bishara SE, Trulove TS (1990a). Comparisons of different debonding techniques for ceramic brackets: an in vitro study. Part I. Background and methods. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 98(2): 145-153.
- Bishara SE, Trulove TS (1990b). Comparisons of different debonding techniques for ceramic brackets: an in vitro study. Part II. Findings and clinical implications. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 98(3): 263-273.
- Bryant S, Retief DH, Russell CM, Denys FR (1987). Tensile bond strengths of orthodontic bonding resins and attachments to etched enamel. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 92(3): 225-231.
- Buonocore MG, Matsui A, Gwinnett AJ (1968). Penetration of resin dental materials into enamel surfaces with reference to bonding. *Arch Oral Biol* 13(1): 61-70.
- Buzzitta VA, Hallgren SE, Powers JM (1982). Bond strength of orthodontic direct-bonding cement-bracket systems as studied in vitro. *Am J Orthod* 81(2): 87-92.

- Clark DJ, Sheets CG, Paquette JM (2003). Definitive diagnosis of early enamel and dentin cracks based on microscopic evaluation. *J Esthet Restor Dent* 15(7): 391-401; discussion 401.
- Dumbryte I, Jonavicius T, Linkeviciene L, Linkevicius T, Peciuliene V, Malinauskas M (2016). The prognostic value of visually assessing enamel microcracks: Do debonding and adhesive removal contribute to their increase? *Angle Orthod* 86(3): 437-447.
- Dumbryte I, Linkeviciene L, Linkevicius T, Malinauskas M (2017). Enamel microcracks in terms of orthodontic treatment: A novel method for their detection and evaluation. *Dent Mater J* 36(4): 438-446.
- Dumbryte I, Linkeviciene L, Malinauskas M, Linkevicius T, Peciuliene V, Tikuisis K (2013). Evaluation of enamel micro-cracks characteristics after removal of metal brackets in adult patients. *Eur J Orthod* 35(3): 317-322.
- Faust JB, Grego GN, Fan PL, Powers JM (1978). Penetration coefficient, tensile strength, and bond strength of thirteen direct bonding orthodontic cements. *Am J Orthod* 73(5): 512-525.
- Habibi M, Nik TH, Hooshmand T (2007). Comparison of debonding characteristics of metal and ceramic orthodontic brackets to enamel: an in-vitro study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 132(5): 675-679.
- Imai K, Shimada Y, Sadr A, Sumi Y, Tagami J (2012). Noninvasive cross-sectional visualization of enamel cracks by optical coherence tomography in vitro. *J Endod* 38(9): 1269-1274.
- Janiszewska-Olszowska J, Szatkiewicz T, Tomkowski R, Tandecka K, Grocholewicz K (2014). Effect of orthodontic debonding and adhesive removal on the ena

- mel - current knowledge and future perspectives - a systematic review. *Med Sci Monit* 20: 1991-2001.
- Jun MK, Ku HM, Kim E, Kim HE, Kwon HK, Kim BI (2016). Detection and Analysis of Enamel Cracks by Quantitative Light-induced Fluorescence Technology. *J Endod* 42(3): 500-504.
- Kitahara-Ceia FM, Mucha JN, Marques dos Santos PA (2008). Assessment of enamel damage after removal of ceramic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 134(4): 548-555.
- Landrigan MD, Flatley JC, Turnbull TL, Kruzic JJ, Ferracane JL, Hilton TJ, et al. (2010). Detection of dentinal cracks using contrast-enhanced micro-computed tomography. *J Mech Behav Biomed Mater* 3(2): 223-227.
- Leao Filho JC, Braz AK, de Araujo RE, Tanaka OM, Pithon MM (2015). Enamel Quality after Debonding: Evaluation by Optical Coherence Tomography. *Braz Dent J* 26(4): 384-389.
- Lee SH, Lee JJ, Chung HJ, Park JT, Kim HJ (2016). Dental optical coherence tomography: new potential diagnostic system for cracked-tooth syndrome. *Surg Radiol Anat* 38(1): 49-54.
- Lin CL, Huang SF, Tsai HC, Chang WJ (2011). Finite element sub-modeling analyses of damage to enamel at the incisor enamel/adhesive interface upon debonding for different orthodontic bracket bases. *J Biomech* 44(1): 134-142.
- Lubisich EB, Hilton TJ, Ferracane J (2010). Cracked teeth: a review of the literature. *J Esthet Restor Dent* 22(3): 158-167.
- O'Brien KD, Watts DC, Read MJ (1988). Residual debris and bond strength--is there a relationship? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 94(3): 222-230.

- Oilo GJldj (1993). Bond strength testing--what does it mean? 43(5): 492-498.
- Redd TB, Shivapuja PK (1991). Debonding ceramic brackets: effects on enamel. *J Clin Orthod* 25(8): 475-481.
- Rouleau BD, Jr., Marshall GW, Jr., Cooley RO (1982). Enamel surface evaluations after clinical treatment and removal of orthodontic brackets. *Am J Orthod* 81(5): 423-426.
- Schuler FS, van Waes H (2003). SEM-evaluation of enamel surfaces after removal of fixed orthodontic appliances. *Am J Dent* 16(6): 390-394.
- Scott GE, Jr. (1988). Fracture toughness and surface cracks--the key to understanding ceramic brackets. *Angle Orthod* 58(1): 5-8.
- Shahabi M, Heravi F, Mokhber N, Karamad R, Bishara SE (2010). Effects on shear bond strength and the enamel surface with an enamel bonding agent. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 137(3): 375-378.
- Zachrisson BU, Skogan O, Hoymyhr S (1980). Enamel cracks in debonded, debanded, and orthodontically untreated teeth. *Am J Orthod* 77(3): 307-319.

Abstract

Evaluation of enamel cracks before and after bracket bonding by quantitative light-induced fluorescence technology

Soomin Kim

Department of Dentistry

Graduate School, Yonsei University

(Directed by Professor **Yoon Jeong Choi**, D.D.S., Ph.D.)

The causes of tooth cracks vary. There is a controversy over the occurrence of enamel cracks caused by trauma during debonding brackets for orthodontic treatment. In the previous study, which assessed the occurrence of cracks after debonding brackets there was no quantitative evaluation of depth and length with clinically available equipment. Therefore, this study was to evaluate the changes of enamel cracks quantitatively and qualitatively after debonding brackets by nondestructive

quantitative light-induced fluorescence technology. In addition, the effects of characteristics of existing cracks (visibility, location, direction, length and depth), bracket material, bracket fracture, and adhesive remnant index (ARI) were evaluated to obtain the following results.

1. After debonding brackets, the number, length and depth of enamel cracks did not increase significantly.
2. Cracks visible to the naked eye under indoor light sources significantly increased after debonding bracket ($p < 0.05$).
3. Location, direction, length and depth of existing crack, bracket material, bracket fracture, ARI did not significantly affect the length of the crack after debonding brackets

This study showed the bonding and debonding process of the bracket does not proceed with enamel crack. However, if there are visible cracks before bonding brackets, it should be noted that the length of the cracks can be increased during the bonding and debonding process.

Key words: enamel crack, crack length, crack depth, quantitative
light-induced fluorescence technology