

수종의 실험 결정형성용액에 의한 브라켓 전단결합강도의 비교

전 윤 옥¹⁾ · 이 기 수²⁾

이 연구는 30% 폴리아크릴산(분자량 5,000)용액에 소량의 황산, 황산리치움염, 인산을 첨가하여 4가지의 실험 결정형성 용액을 제조하고, 이 용액으로 법랑질 표면을 처리한 후, 브라켓 전단 결합강도를 측정하고, 인산부식법에 의한 것과 비교하는 것이다. 소의 하악절치 치관 순면을 37%의 인산액과 4가지의 실험 결정형성 용액으로 60초간 처리하고, 20초간 수세하고, 20초간 건조시킨 후, 광중합 콤포짓 레진접착제로 브라켓을 부착하고, 실온에서 증류수속에 넣어 24시간 경과시킨 후 전단결합강도를 측정하고, 레진접착제의 파절양상을 관찰하였으며, 이들을 상호 비교하여 다음의 결과와 결론에 도달하였다.

1. 실험 결정형성 용액에 의한 브라켓 전단 결합강도는 인산부식법에 의한 것보다 낮았다.
2. 0.3몰 황산과 0.6몰 황산리치움염이 포함된 30% 폴리아크릴산 용액은 가장 높은 전단 결합강도를 나타냈고, 인산부식법에 의한 것의 약 74%이었다.
3. 0.6몰의 황산이 포함된 30% 폴리아크릴산 용액에 의한 브라켓 전단결합강도는 인산 부식법에 의한 것의 약 62% 이었다.
4. 0.3몰의 황산이 포함된 30%의 폴리아크릴산용액과 0.6몰의 황산과 5% 인산 용액이 포함된 30%의 폴리아크릴산용액의 브라켓 전단결합강도는 통계적 유의차가 없었고, 각각 인산부식법에 의한 것의 32.9%와 37.4 %이었다.
5. 브라켓 제거중의 레진접착제 파절양상은 인산부식법의 경우에 법랑질-레진접착제 경계면 파절과 브라켓 베이스-레진접착제 경계면 파절의 혼합형이었으나, 실험 결정형성 용액의 경우에는 대체로 법랑질-레진접착제 경계면 파절이었으며, 법랑질 표면에 레진접착제의 잔류량이 매우 적었고, 결정은 레진접착제속에 매몰되어 파절 되었다.

이 실험의 결과는 이 실험에서 사용된 결정형성용액이 브라켓 전단결합강도로 평가할 때에 임상적 사용 가능성이 부적합함을 시사한다.

주요단어 : 결정형성, 폴리아크릴산, 브라켓 전단결합강도

I. 서 론

고정식 교정장치를 치면에 부착시키는 전통적 방

법은 스텐레스 스틸 밴드를 인산아연 시멘트로 치아에 부착하는 것이었으나, 산부식법¹⁾이 소개된 이후로 법랑질에 브라켓을 직접부착하는 술식이 보편적으로 사용되고 있다. 그러나 산부식법은 법랑질 손실^{2,3,4,5)}, 디본딩후 변색^{6,7)}, 법랑질 균열, 거친표면 및 치태부착

¹⁾ 경희대학교 치과대학 치과교정학교실

²⁾ 경희대학교 치과대학 치과교정학교실

Table 1. Experimental crystal growth solutions.

Code	Crystal growth solutions - ingredients
ES 1	30 % PAA solution containing 0.3M sulfuric acid
ES 2	30 % PAA solution containing 0.6M sulfuric acid
ES 3	30 % PAA solution containing 0.3 M sulfuric acid and 0.6 M lithium sulfate
ES 4	30 % PAA solution containing 0.6 M sulfuric acid and 5(w/w)% phosphoric acid
Cont	37 % phosphoric acid solution as a control

Abbreviation : ES ; experimental solution. Cont ; control.
PAA ; polyacrylic acid. M; mole. w/w ; weight per weight

의 증가^{8,9,10}, 등의 단점을 유발할 수 있다. 이러한 단점을 극복하기 위한 대체방법으로 그라스 아이오노머 시멘트^{11,12,13}와 결정형성법(crystal bonding system)의 연구가 진행중이다.

결정형성법은 법랑질 표면을 산부식하는 대신에 법랑질 표면에 결정을 형성시키고 이를 이용하여 브라켓을 접착하는 직접접착법이다¹⁴. 치면에 결정이 형성되는 현상은 Smith 와 Cartz¹⁵가 최초로 보고하였으며, 유리 황산이온을 포함하는 폴리아크릴산 용액은 법랑질 표면에 방사성 침상체(spherulite) 모양의 백색 결정을 형성하며 이 결정은 2수 황산칼슘염(calcium sulfate dihydrate, gypsum)이고 법랑질의 칼슘과 화학적 결합을 한다고 하였다.

결정형성법에 의한 브라켓의 접착 메카니즘은 법랑질과 화학적 결합을 한 결정 및 결정형성액에 의한 법랑질의 경미한 부식표면과 레진접착제 사이의 기계적 결합이며, 결정형성법은 산부식법과 비교하여 다음의 장점이 있을 것으로 보고되었다^{14,16,17}.

1. 불소를 다량함유하고 있는 법랑질표면에 최소로 영향을 미친다.
2. 브라켓 접착과 제거과정에서 법랑질표면의 손상을 현저히 줄일 수 있다.
3. 브라켓 제거과정을 용이하고 신속하게 할 수 있다.
4. 법랑질 표면에 레진 테그(resin teg)를 남기지 않는다.
5. 결정 표면에 불소 혹은 치태형성 억제제를 부가하여 항우식 작용을 부여할 수 있다.

결정형성법의 임상적 사용 가능성에 관하여 상반된 연구 보고가 있었다. Maijer와 Smith^{14,18}, Smith 들¹⁹, Shaffer²⁰, Beech와 Russell²¹, Jones와 Pizarro

²², 이와 박²⁶은 임상적 사용이 가능하다고 보고한 반면에, Årtun과 Bergland¹⁶, Farquhar¹⁷, McPhee 들²³, Read와 Ferguson²⁴, Maskeroni 들²⁵은 임상적 사용을 위하여 더 연구가 필요하다고 보고하였다.

결정형성법을 위한 법랑질 표면처리 용액의 종류는 다양하고^{14,16,20}, 결정형성용액의 조성에 따라 형성되는 결정의 피복도, 크기 및 형태가 다양하게 나타나며^{27,28,29}, 이는 브라켓의 결합강도에 영향을 미칠 것이라는 보고³⁰가 있었다.

이 연구의 목표는 결정형성용액을 실험적으로 제조하고, 이 용액으로 법랑질 표면을 처리한 후에 브라켓 전단결합강도를 측정하고, 통상적인 산부식법에 의한 브라켓의 전단결합강도와 비교하며, 브라켓 탈락중 레진접착제의 파절양상을 관찰하여 이 실험 결정형성용액의 임상적 사용 가능성에 대한 일면을 시험하는 것이다.

II. 재료 및 방법

실험 결정형성 용액의 제조

이 연구의 실험 결정형성용액은 분자량 5,000 폴라아크릴산(Aldrich Chemical Co., U.S.A) 30% 용액속에 황산, 황산리치움, 인산을 소량 첨가하여, 다음의 4가지 실험 결정형성 용액을 제조하였으며(Table 1), 대조 용액은 실험실에서 제조된 37 % 인산용액이었다.

전단결합강도 시험

최근에 발거한 소의 하악 절치를 증류수 속에 넣어

시편을 제작하기 전까지 섭씨 4도의 냉장고에 보관하였다. 치판을 분리하여 적당한 크기로 분할하고, 치판의 순면이 노출되도록 레진속에 포매하여 원주형의 레진 블럭을 제작하였다. 치판 순면은 300번과 600번 사포의 순서로 물을 충분히 공급하면서 연마하여 활택한 표면을 만들어 레진블럭을 완성한 후, 실험에 사용할 때까지 증류수속에 넣어 섭씨 4도에서 보관하였다. 실험군과 대조군에 각각 25개씩 배정하기로 하고 총 125개의 레진블럭을 제작하였다.

실험 결정형성용액으로 법랑질 표면을 처리하기 위하여 증류수 속에 보관중이던 레진블럭의 치면을 세척하고, 건조시킨 후, 실험 용액이 치면위에서 넓은 범위로 흐르는 것을 방지하기 위하여 직경 5mm의 구멍이 뚫린 테이프로 치면을 마스킹하고 더운 공기로 건조시켰다. 실온에서 위의 각군 실험용액을 스포이드로 노출된 치면에 2방울 떨어뜨리고 무진동 고정상태에서 60초간 처리하고, 부드러운 물줄기로 20초간 수세하고, 20초간 건조시켰으며, 치면이 하얗게 변색된 것으로 결정형성을 육안으로 확인하였다.

레진접착면이 금속망으로 된(mesh-backed) 하악 절치용 금속제 표준 에즈와이즈 브라켓(Rocky Mountain Orthodontics, USA)을 광중합형 콤포짓 레진접착제(Light-BondTM, Reliance Orthodontic Products, Inc., USA)로 레진블럭의 치면에 압접하고, 여분의 레진접착제를 스케일러로 제거하고, 가시광선 광조사기(SpectrumTM, Caulk Densply, Canada)로 대칭축에서 각각 20초씩 광조사하여 레진접착제를 중합시킴으로서 브라켓 접착을 완료하였다. 브라켓이 접착된 레진블럭은 섭씨 37도의 증류수 수조속에 24시간 방치하였다.

브라켓 접착 24시간이 경과한 후, 강도측정용 블레이드가 치면과 근접하면서 평행하게 내려오도록 강도시험기(Instron 4467, USA)의 리그(rig)에 레진블럭을 고정하고, 탈락하중속도를 0.1 mm/분의 속도로 하여 브라켓이 탈락할 때의 최고하중을 기록하였다. 강도시험기에서 기록된 최고하중을 평방 센치미터당 킬로그램(Kg/cm²)로 환산하여 전단결합강도로 하였다.

브라켓 베이스의 면적 측정은 일반 카메라사진을 이용하여 측정하였다. 3개의 브라켓 베이스 사진을 각 2회씩 측정하였으며, 브라켓 베이스의 평균 면적은 0.1195 cm² 로 산출되었다.

레진접착제의 파절양상 평가

브라켓의 전단결합강도를 측정한 후, 레진접착제가 파절되어 치면에 잔류하는 양상을 실제 현미경으로 20배 확대하여 관찰하였다. 법랑질 표면에 남아있는 레진접착제의 양상은 Årtun과 Bergland¹⁶⁾가 사용한 접착제 잔류지수(ARI, adhesive remnant index)에 따라 다음과 같이 4단계로 점수화하여 평가하였다.

- 0 점 = 치면에 레진접착제가 잔류하지 않는 경우
- 1 점 = 치면에 레진접착제가 브라켓 베이스 면적의 1/2이하로 잔류하는 경우
- 2 점 = 치면에 레진접착제가 브라켓 베이스 면적의 1/2 이상 잔류하는 경우
- 3 점 = 치면에 레진접착제가 브라켓 베이스 면적 전체에 잔류하는 경우로 브라켓 베이스 금속망의 인상을 관찰할 수 있는 경우.

관찰결과는 실험군과 대조군 각각에서 접착제 잔류지수의 점수에 따라 발생한 파절양상의 빈도와 백분율로 나타냈다.

주사전자현미경(SEM) 관찰

실험 결정형성용액이 치면에 결정을 형성하는 양상을 관찰하기 위하여 교정치료를 목적으로 발거한 사람 소구치를 대상으로 주사전자현미경적 관찰을 하였다. 사람 소구치 치판 순면을 디스크로 잘라내어 주사전자현미경용 알루미늄 스텝에 고정하고, 실험 결정형성용액으로 치면을 60초간 무진동으로 처리하고, 부드러운 물줄기로 20초간 수세하고 건조하였다.

각 실험 용액군마다 10개씩의 시편을 제작하였고, 금이온 증착기(Iko C., Japan)에서 금이온을 코팅한 후, 주사전자현미경(S-2300, Hitachi Co., Japan)에서 가속전압 20 Kvp의 전자빔으로 결정형성 양상을 관찰하였다.

또한, 전단결합 강도를 측정한 후 브라켓이 탈락된 치면과 브라켓 베이스의 레진접착제면도 주사전자현미경으로 관찰하였다.

통계

각 실험군과 대조군에서 브라켓 전단결합강도의 평균치, 표준편차, 최소최대치, 변이율 및 95% 신뢰구

Table 2. Bracket Shear Bond Strengths of the experimental crystal growth solutions. (unit: kg/cm²)

Codes	Mean	SD	Min- Max	CV(%)	95% CL
Cont	177.6	37.4	123.9 - 257.7	21.1	162.1 - 193.3
ES 3	131.1	37.3	58.6 - 213.4	28.5	115.7 - 146.4
ES 2	110.6	35.8	50.2 - 174.1	32.4	95.8 - 125.4
ES 4	66.5	22.3	34.3 - 119.7	33.5	57.3 - 75.7
ES 1	58.4	37.5	31.8 - 92.1	32.8	50.5 - 66.4

* Broken vertical lines indicate difference at the 5% significant level by Duncan's multiple range test.

간을 산출하고, Duncan's multiple range test로 5 %의 유의수준에서 각 구간 전단결합강도의 차이를 검정하였다.

III. 연구 성적

브라켓의 전단결합강도

각 실험용액의 전단결합강도는 평균치와 표준편차, 범위(최소치-최대치), 변이계수 및 95%의 신뢰구간을 Table 2에 나타냈고, 평균치의 비교를 Fig. 1에 제시하였다. 대조군인 Cont 군(인산 부식액군)의 브라켓 전단결합강도의 평균치는 177.6 kg/cm² 이었으며, 모든 실험군의 브라켓 전단결합강도는 대조군보다 낮았다(p<0.05).

실험군중 가장 높은 전단 결합강도를 나타낸 것은 ES 3용액 (30% 폴리아크릴산 용액에 0.3몰의 황산이온과 0.6몰의 황산리치음이 포함된 결정형성용액)이었으며, 전단결합강도의 평균치는 131.1 kg/cm² 이었고, 인산부식군 전단결합강도의 약 74%이었다.

다음으로 높은 전단결합강도를 나타낸 것은 ES 2 용액 (30% 폴리아크릴산 용액에 0.6몰의 황산이온이 포함된 결정형성용액)이었으며, 전단결합강도는 110.6 kg/cm² 이었고, 인산부식군 전단결합강도의 약 62.3 %이었다.

ES 4용액 (30% 폴리아크릴산 용액에 0.6몰의 황산이온과 5 % 인산용액을 포함하는 결정형성용액)의 전단결합강도는 66.5 kg/cm² 로 나타났고 인산부식액군 전단결합강도의 37.4%이었으며, ES 1용액(30% 폴리아크릴산 용액에 0.3몰의 황산이온이 포함된 결정형성용액)의 전단결합강도는 58.4 kg/cm² 로 가장 낮았고 인산부식군 전단결합강도의 32.9%이었

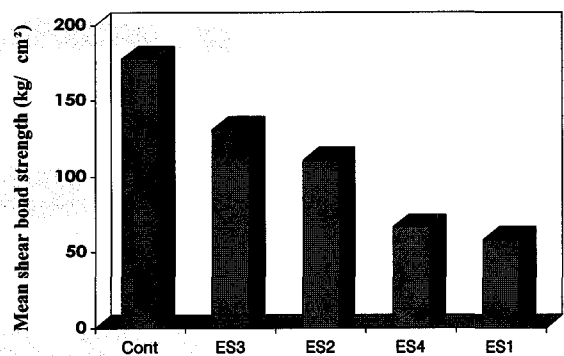


Fig. 1. Histogram of the mean bracket shear bond strengths of the experimental crystal growth solutions.

으며, ES 1 용액과 ES 3 용액사이에는 통계적 유의차가 없었다(p>0.05).

법랑질 표면 처리후의 법랑질 표면 관찰

사람 법랑질 표면을 실험 결정형성용액으로 처리한 후의 법랑질 표면에 대한 주사전자현미경 관찰 사진을 Fig. 2에 제시하였으며 모든 실험용액에서 법랑질 표면에 결정이 형성된 것을 관찰할 수 있었다.

ES 1용액으로 표면처리된 법랑질 표면의 결정 피복도는 실험용액중 가장 낮았고, 결정의 길이는 20-25 micron으로 다른 실험용액에 비하여 가장 길었으며, 결정 사이의 법랑질에 경미한 부식소전을 관찰할 수 있었다(Fig. 2A). ES 2 용액으로 처리된 법랑질 표면의 결정 피복도는 실험 결정형성용액중 가장 높았으며 결정의 길이는 6-10 micron으로 실험용액

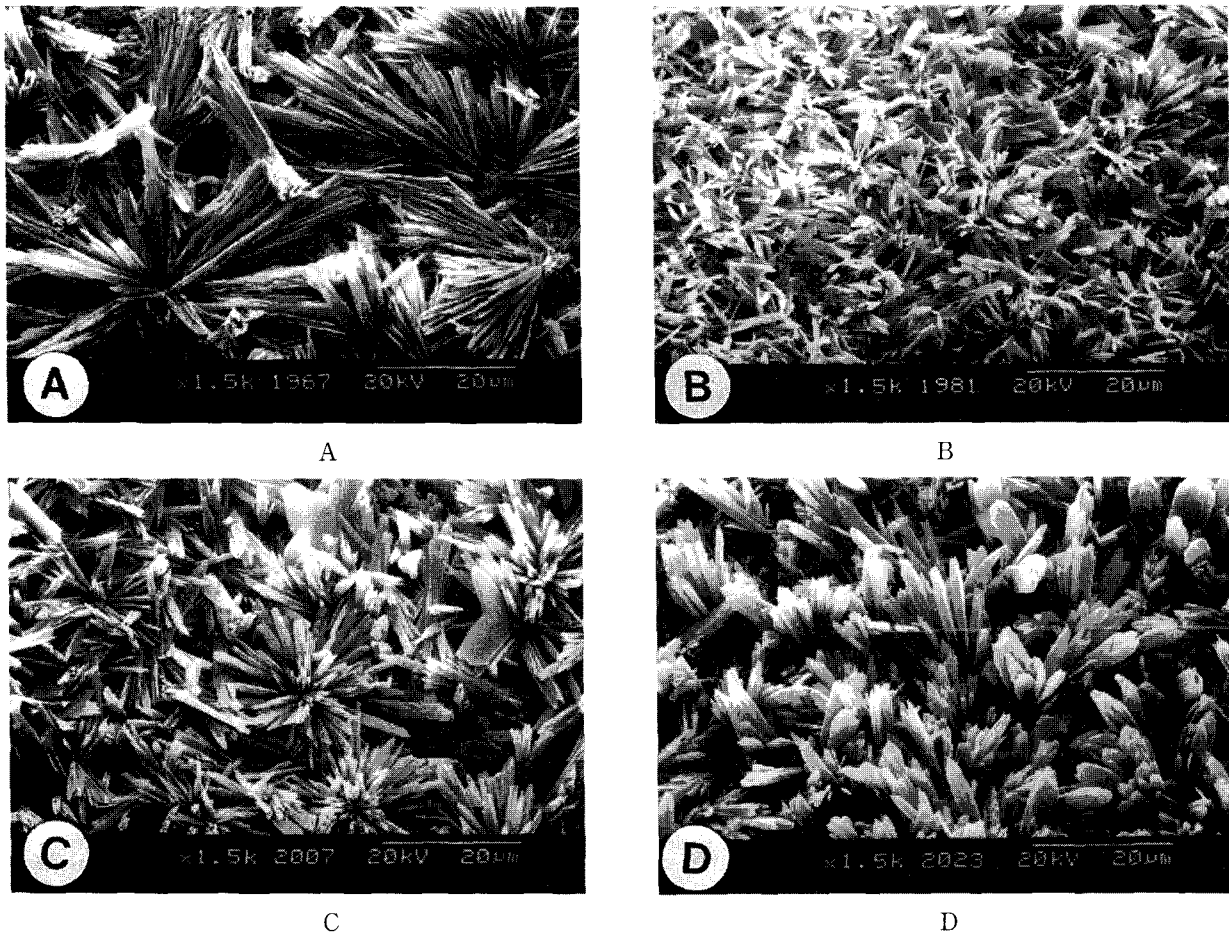


Fig. 2. SEM photographs of the enamel surface treated with the experimental crystal growth solutions(original magnif. 1,500x). Crystal coverages and sizes formed on the enamel surface are various, and the slightly etched enamel surface between the crystals can be seen.

- A. Enamel surface treated with ES 1 crystal growth solution.
- B. Enamel surface treated with ES 2 crystal growth solution.
- C. Enamel surface treated with ES 3 crystal growth solution.
- D. Enamel surface treated with ES 4 crystal growth solution.

중 가장 짧은 편이었다(Fig. 2B). ES 3용액으로 처리된 법랑질 표면의 결정 피복도는 ES 2용액과 유사하게 높은편이나 결정의 길이는 10-14micron으로 ES 2용액에 비하여 긴 편이고, 그러나 결정사이 법랑질이 많이 부식된 상태를 관찰할 수 있다(Fig. 2C). ES 4용액으로 처리된 법랑질 표면의 결정 피복도는 ES 1용액으로 처리된 것보다는 높은편이나 ES 2용액과 ES 3용액으로 처리된 것보다 낮은 편이고, 결정의 길이는 10-15 micron 정도로 ES 3용액과 유사하고 결정사이의 법랑질에 경미한 부식소견을 관찰할 수 있다(Fig. 2D).

브라켓 레진접착제의 파절양상

브라켓 탈락중의 파절양상은 치면에 남아있는 레진접착제 잔류지수로 평가할 수 있으며, 파절양상에 따른 빈도와 이의 백분율을 Table 3와 Fig. 3에 제시하였다.

Cont 용액(인산부식액)으로 법랑질 표면을 처리한 실험군의 레진접착제 치면 잔류지수는 가장 높았고, 파절부위는 브라켓-레진접착제 경계면(bracket-resin interface)의 파절이 4%, 법랑질-레진접착제 경계면(enamel-resin interface)의 파절이 16%, 이들의

Table 3. Adhesive Remnant Index(ARI)

Code	ARI	0	1	2	3	Total
Cont		4 (16)	9 (36)	11 (44)	1 (4)	25 (100)
ES 3		16 (64)	7 (28)	2 (8)	0	25 (100)
ES 2		22 (88)	2 (8)	1 (4)	0	25 (100)
ES 4		23 (92)	2 (8)	0	0	25 (100)
ES 1		25 (100)	0	0	0	25 (100)

Numerical numbers in the parentheses are percents(%).

혼합형 파절이 80 %로 나타났으며, 이 중에서 레진접착제가 브라켓 베이스 면적의 반이상 잔류하는 빈도는 거의 과반수인 것으로 나타났다.

실험용액중 진단결합강도가 가장 높은 ES 3용액 처리군은 레진접착제 치면 잔류지수가 실험군중 가장 높았으며, 법랑질-레진접착제 경계면의 파절이 64%이었고 과반수 이상의 시편에서 법랑질 표면에 레진접착제를 남기지 않았고, 혼합형 파절은 36%이었으나 법랑질 표면 잔류 레진접착제는 브라켓 베이스 면적의 반이하 이었으며, 브라켓-레진접착제 경계면 파절은 없었다.

실험용액중 진단결합강도가 두 번째로 높은 ES 2 용액 처리군은 법랑질-레진접착제 경계면의 파절이 88% 이고, 혼합형 파절이 12%이었다.

ES 1용액과 ES 4용액 처리군은 거의 모든 시편에서 법랑질-레진접착제 경계면의 파절을 보였으며, 디본딩중 레진 접착제가 거의 치면에 잔류하지 않았다.

파절부위의 주사전자현미경 관찰

브라켓 탈락중 파절면의 법랑질 표면과 브라켓 베이스를 주사전자현미경으로 관찰한 사진을 Fig. 4에 제시하였다.

브라켓 탈락중 혼합형 파절 시편의 법랑질 표면(Fig. 4-1A)에서 잔류 레진접착제면에 브라켓 베이스 금속 철망의 압흔과 거친 법랑질 표면을 관찰할 수 있으며, 법랑질 표면의 광확대 사진(Fig. 4-1B)에서 파쇄된 레진접착제와 부러진 결정이 거친 법랑질 표면을 형성함을 관찰할 수 있었다.

브라켓 탈락중 혼합형 파절 시편의 탈락 브라켓 베이스면에서 한편에는 브라켓 베이스의 철망을, 다른

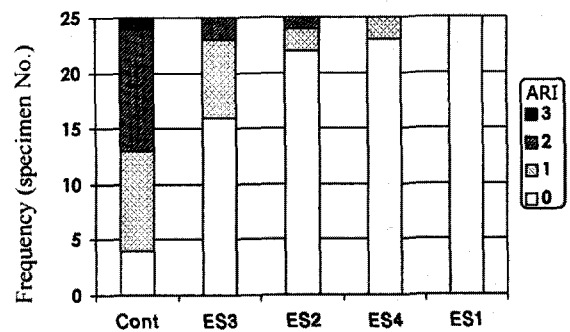


Fig. 3. Histogram of the adhesive remnant index (ARI).

Score 0 indicates no adhesive left on the tooth.

Score 1 indicates less than half of the adhesive left on the tooth.

Score 2 indicates more than half of the adhesive left on the tooth.

Score 3 indicates all adhesive left on the tooth, with distinct impression of the bracket mesh.

한편에서는 법랑질 표면을 관찰할 수 있었고(Fig. 4-2A), 법랑질-레진접착제 경계면 파절에서 결정이 레진접착제속에 매몰되어 파절된 것을 관찰 할 수 있었으며, 촘촘히 피복된 결정사이에서 콤포짓 레진의 필러가 관찰되지 않은 경우(Fig. 4-2B), 피복된 결정 사이로 들어와 법랑질과 접촉한 경우(Fig. 4-2C), 레진 접착제가 효과적으로 결정사이를 둘러싸지 못한 경우(Fig. 4-2D)도 관찰할 수 있었다.

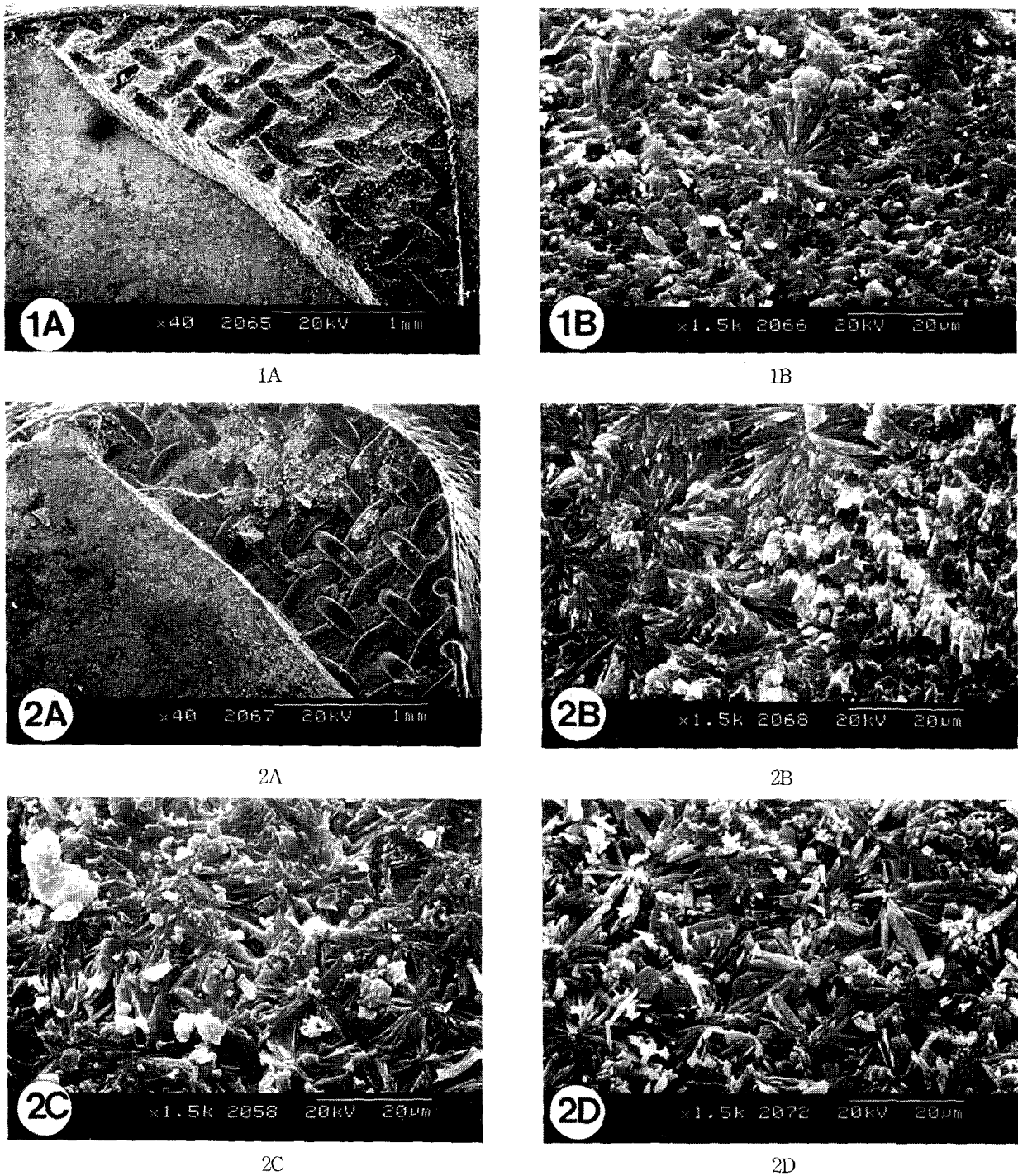


Fig. 4. SEM photographs of the debonded enamel surface and bracket base.

1A. debonded enamel surface - partially remained resin adhesive(40x).

1B. debonded enamel surface - fractured composite resin and crystals can be seen(1,500x).

2A. debonded bracket base - indent of mesh frame can be seen(40x).

2B, 2C and 2D. debonded bracket base - fractured crystals embeded within the composite resin can be seen(1,500x).

IV. 총괄 및 고안

실험 결정형성용액에 의한 브라켓 전단결합강도를 임상에서 보편적으로 사용되는 인산부식법에 의한 것과 비교하는 것은 실험실 시험결과의 임상적 사용가능성 평가에 의미있는 방법이다. 인산부식법에 의한 브라켓 전단결합강도는 가장 높았고(평균 177.6 kg/cm²), 시험용액중 변이가 제일 적었으므로 가장 신뢰성 있는 방법으로 나타났다.

ES 1 용액(0.3 몰의 황산이온을 포함하는 30% 폴리아크릴산 용액)은 실험 결정형성 용액중 가장 낮은 브라켓 전단결합강도를 나타냈으며, 산부식법에 의한 것의 32.9%로 나타났다. 동일한 용액으로 실험한 Jones & Pizarro²²⁾의 보고는 인산부식법에 의한 것의 55.5%(저자의 임의 계산)가 되며, 이 연구의 결과보다 다소 높은 전단 결합강도를 나타냈다.

ES 2 용액(0.6 몰의 황산이온을 포함하는 30% 폴리 아크릴산 용액)의 브라켓 전단결합강도는 실험용액중 두 번째로 높았으며, 인산부식법에 의한 것의 62.3%이었다.

폴리아크릴산 용액의 농도와 황산이온 농도는 결정의 크기, 형태 및 피복도에 영향을 미치며^{27,28,29,30)}, 특히 30% 폴리아크릴산 용액속의 황산이온 농도를 0.5 몰까지 증가시키면 결정의 길이는 짧아지고 피복도는 증가한다는 보고^{27,28)}와 3.2%(약 0.6몰) 황산이온을 포함하는 30% 폴리아크릴산 용액은 일관성 있는 최대의 결정피복도를 나타냈다³²⁾는 보고를 참고로 하여 ES 2 용액이 제조되었다. 이 실험용액에 의한 브라켓 전단결합강도는 황산이온농도가 0.3 몰 적은 ES 1용액에 의한 것보다 유의성 있게 높았으며, 이 두 군 사이의 차이는 결정의 피복도와 결정의 길이와 형태(Fig. 2 참조)가 중요하게 영향을 미친 것으로 추정된다. 그러나 결정의 피복도와 브라켓 전단결합강도 사이에 직접적인 상관성은 없었다고 보고²²⁾하였으므로 이 문제는 더 연구해야 할 것으로 사료된다.

실험 결정형성용액중 가장 높은 브라켓 전단결합강도를 나타낸 것은 ES 3 용액(30% 폴리아크릴산용액속에 0.3몰의 황산이온과 0.6몰의 황산리치움을 포함하는 용액)이었으며, 이 용액에 의한 브라켓 전단결합강도는 131 kg/cm² 으로 인산부식법에 의한 것의 74% 인 것으로 나타났다.

30% 폴리아크릴산(분자량 5,000) 용액속에 0.3 몰의 황산이온을 포함하는 결정형성 용액속에 석고의 경화시간을 촉진할 수 있는 여러가지의 황산염을 첨

가한 실험 결정형성 용액의 결정형성 양상에 관한 연구에서, 결정형성용액에 수용성 황산염을 첨가하는 것은 첫째로, 황산염의 농도는 황산이온의 농도에 의하여 제한을 받으며, 용액의 수소이온 농도(pH)에 영향을 주지않고 황산이온을 증가시킬 수 있을 것이며, 둘째로 수용성의 황산염은 적정의 농도를 사용한다면, 대체로 결정형성 반응을 촉진할 것이라는 일반적인 이론적 배경을 가진다고 하였으며, 0.3 몰의 황산이온과 0.3 몰의 황산리치움을 포함하는 30%의 폴리아크릴산 용액에 의한 범랑질 표면처리는 결정의 피복도가 양호하고, 결정 형태는 짧고 그루터기 모양의 뾰족한(short and stubby) 결정을 형성하며, 일관성 있게 결정을 형성한다고 보고하였다³⁰⁾. 0.3몰의 황산이온을 포함하는 30%의 폴리아크릴산 용액속에서 황산리치움염의 농도(0.015몰, 0.3몰, 0.6몰)변화가 결정형태에 미치는 영향에 관한 연구에서 결정의 길이와 형태는 3가지 농도사이에 차이가 없으나, 결정의 피복도는 농도증가에 따라 증가하며, 0.6 몰의 황산리치움염을 포함하는 용액이 가장 높은 피복도를 나타낸다고 하였다³¹⁾. 따라서 이 연구의 ES 3 용액은 Knox와 Jones³¹⁾의 연구결과에서 가장 높은 결정 피복도를 나타낸 용액이며, 범랑질에 대한 브라켓 전단결합강도는 인산부식법에 의한 것의 74% 이었다. 이 결과는 Jones와 Pizarro²²⁾가 0.3몰의 황산염을 포함하는 결정형성용액에 의한 브라켓 전단결합 강도는 인산부식법에 의한 것의 약 80%라는 결과보다 다소 적게 나타났다.

황산이온을 포함하는 폴리아크릴산 용액^{14,22)}외에도 황산이온을 포함하는 다른 이온액도 결정형성용액으로 이용될 수 있다. Artun과 Bergland¹⁶⁾는 황산이온과 무수 황산소디움염을 포함하는 이온액을 결정형성용액으로 사용하여 임상실험을 한 결과 임상적 사용은 아직 부적합하다고 하였다. 또한, 범랑질 표면의 결정은 이수황산칼슘염(dihydrate calcium sulfate)이고, 범랑질의 칼슘으로부터 결정의 핵이 생성되므로 적당한 결정을 생성시키기 위하여 범랑질의 부식이 요구되며, 범랑질의 산용해도와 결정의 핵 생성사이에는 비례관계가 있다고 하였다. 범랑질속의 수산화 아파타이트(hydroxylapatite)에 포함된 불소는 산용해도를 낮출 것이며, 이는 결정형성을 감소시킬 것이므로, 환자마다 차이가 있는 범랑질의 산용해도를 극복하기 위하여 그들은 결정형성용액속에 10%의 인산을 첨가하였으며, 그 이상의 인산농도를 사용하는 것은 통상의 인산부식법에 가까워지므로 결정

형성법의 이점을 취할 수 없을 것이라고 하였다.

이 연구의 ES 4용액은 ES 2용액에 5%의 인산을 포함하는 결정형성용액이며, 브라켓 전단결합강도는 ES 2용액에 의한 것보다 유의성있게 작았으며, ES 1에 의한 것과는 통계적 유의차가 없었고, 인산부식법에 의한 것의 37.4%이었다. Artun 과 Bergland¹⁶⁾는 결정형성용액속에 인산의 첨가로 인하여 법랑질의 산부식에 의한 칼슘량의 증가와 결정 핵생성의 증가로 인하여 브라켓 결합강도가 증가한 것으로 유추하고 있으나, 인산에 의한 법랑질 부식증가로 인한 표면 거칠기의 증가 때문에 발생할 수 있는 결합강도의 증가에 관하여는 언급을 하지 않았다. 또한 폴리아크릴산을 기초용액으로 하는 결정형성용액에서도 인산의 첨가가 결정형성과 결합강도에 어떤 영향을 미치는지에 관하여 더 연구할 필요가 있다고 사료된다.

브라켓 결합강도의 임상적 응용 가능성 평가

법랑질에 대한 브라켓의 결합강도는 교정력과 구강 기능중에 발생하는 구강내의 생리적 힘을 충분히 견딜수 있어야 하고 치료기간중에 탈락이 없어야 하며, 그러나 교정치료후에는 법랑질에 손상을 주지 않고 용이하게 브라켓을 제거할 수 있어야 한다.

Newman³³⁾에 의하면 치아사이의 교정와이어 루프를 1 파운드(453gm)의 힘이 발생되도록 활성화한다면, 1/8 평방인치의 브라켓에 가해지는 전단력은 64 psi (약 9 kg/cm²)이며, 아마도 임상적 상황에서 발생하는 최대의 힘은 10파운드 즉 200 psi(약 29kg/cm²)일 것이므로, 브라켓 결합강도는 최소한도 이를 견딜수 있어야 한다고 하였고 Keizer 들³⁴⁾는 임상적 관점에서 법랑질과 레진접착제사이의 결합력에 대한 신뢰도가 매우 중요하며, 실제로 접착테크닉을 실행하기 위하여는 치료중 브라켓의 탈락을 방지하기 위하여 법랑질과 브라켓의 접착재료사이에서 장기간의 계속적인 높은 결합력이 필요하다. 따라서 Snijder 들³⁵⁾이 제시한 방법으로 평균 결합강도에서 3표준편차 값을 뺀 결합강도를 브라켓 탈락의 신뢰성(reliability)으로 사용하였다. 즉 평균 결합강도에서 3표준편차 값을 뺀 결합강도는 교정치료중에 브라켓에 가해지는 최대의 힘(약 29 kg/cm²)과 동일하거나 커야 하며, 만약 측정치가 정상분포를 한다면, 통계적으로 브라켓 탈락율은 0.135%가 될 것이며, 만약 평균결합강도에서 2표준편차 값을 뺀다면, 브라켓 탈락율은 통계적으로 2.5%일 것이라고 하였다. Miura와

Nakagawa³⁶⁾는 실험실 시험에서 1일 경과후 브라켓 전단결합강도가 51 kg/cm² 이고 물속에 보관 6개월 후에 40 kg/cm² 인 레진접착제로 2년간의 임상실험을 하여, 브라켓 탈락율은 상악전치부에서 2%, 하악 전치부에서 6%, 후방치아에서 11%로 나타났고, 이 접착방법은 성공적 이었다고 보고하였다.

브라켓의 전단결합강도와 인장결합강도가 통상적으로 발생하는 구강내의 힘(29 kg/cm²)보다 높을지라도, 단단한 음식을 저작할 때의 순간적인 힘과 다른 외부의 힘이 브라켓 결합강도의 평가에 고려되어야 한다고 하였다³⁷⁾. 또한 Reynolds³⁸⁾는 브라켓 접착이 구강내에서 견뎌야 하는 주요 힘은 저작압이며, 최대의 저작압은 평균 70 kg이고, 헤드기어를 사용할 때에 최대의 교정력은 1.5 kg를 초과하지 않으며, 비록 실험실 시험 브라켓 인장결합강도가 50 kg/cm² 에서 임상적으로 성공적인 부착이었다는 보고에도 불구하고, 최대의 인장강도는 60 - 80 kg/cm² 가 적당할 것이라고 하였다.

실험실 시험에서 브라켓의 전단결합강도는 인장강도보다 크게 나타났으며, 그러나 전단강도와 인장강도사이에 단순한 관계(비례관계)는 아니고 레진접착제에 따라 전단결합강도는 인장결합강도보다 변화량이 크게 나타난 것은 확실하다고 하였으나³⁹⁾, 전단결합강도와 인장결합강도 사이에 거의 차이가 없다는 보고⁴⁰⁾도 있었다.

이 실험의 시험용액중 ES 3 용액의 평균 전단결합강도는 131.1 kg/cm² 이었고, ES 2용액의 평균 전단결합강도는 110.6 kg/cm² 이었으며 측정치의 95% 신뢰한도에서 최소치도 각각 115.7 kg/cm² 와 95.8 kg/cm² 이었다. 이 측정치는 Reynold³⁸⁾의 적정 최대 인장강도보다 크게 나타났으므로 임상적으로 사용가능한 것으로 추정되지만, 그러나 Keizer 들³⁴⁾이 언급한 브라켓 탈락의 신뢰성을 고려한다면 평균 전단결합강도에서 최소 2표준편차를 뺀 값이 Reynold³⁸⁾의 적정 최대인장강도보다 적은 것으로 나타나 브라켓 탈락의 임상적 신뢰성은 낮을 것으로 예상되며, 따라서 브라켓 결합강도의 최소치를 증가시킬 수 있는 연구를 진행할 필요가 있다.

브라켓 레진접착의 파절양상

실험 결정형성용액에 의한 브라켓 접착의 파절양상은 브라켓-레진접착제 경계면 파절은 나타나지 않았고, 실험 결정형성용액마다 다르나 주로 법랑질-레

진접착제 경계면 파절이 나타나 범랑질 표면에 레진 잔류빈도가 적은 반면에, 인산부식법에 의한 것은 주로 혼합형 파절이 나타나 범랑질 표면에 레진접착제를 많이 남겼다.

실험 결정형성용액중 전단결합강도가 가장 높았던 ES 3 용액은 과반수이상에서 범랑질-레진접착제 경계면 파절이 나타났고, 혼합형 파절이 다른 실험용액보다 많은 빈도로 나타났으나 레진접착제 잔류는 브라켓 베이스면적의 1/2 이하로 나타났다. ES 2용액과 ES 4용액은 거의 모두 범랑질-레진접착제 경계면 파절이 나타났고, ES 1용액은 모두 범랑질-레진접착제 경계면 파절이 나타났다. 또한 범랑질 표면에는 파절된 콤포짓 레진과 결정이 관찰되었으며(Fig. 4-1B), 이는 범랑질과 화학적 결합을 하고 있는 결정이 파절된 것이며, 결정-레진접착제 경계면의 파절¹⁴⁾은 아닌 것으로 보인다. 이러한 소견은 실험 결정형성용액은 인산부식법에 비하여 디본딩후의 잔류 레진접착제 제거를 용이하게 할 수 있다는 보고¹⁷⁾를 지지하는 것으로 사료된다.

결정형성법에 의한 결합강도에 영향을 미치는 요인

결정형성용액의 조작 테크닉은 일반적으로 예민하여 결정 형성중에 진동은 결정형성을 방해하므로 산부식액 처리에서처럼 가벼운 진동을 주면 안된다^{18,22)}. 또한 결정형성 용액 처리후 수세과정에서 격렬한 수세는 형성된 결정을 파괴하며, 불충분한 수세는 점성의 폴리아크릴 산이 남아있게 되고, 이는 결합강도를 낮추는 요인이 될 것이라고 하였다. 따라서 공기/물 시린지의 부드러운 물줄기로 20초간 수세할 것을 추천하였다^{24,25)}. 이 실험에서도 동일한 조건으로 수세를 하였으나 어떤 시편에서는 희귀하게 폴리아크릴산 용액의 잔류를 관찰할 수 있었으므로(Fig. 5), 수세시간을 약간 더 길게하던가 혹은 수세하는 물이나 물분무의 적당한 압력에 관한 사항은 더 연구할 필요가 있다고 사료된다. 이외에도 브라켓의 결합강도에 영향을 미치는 요인으로 강도시험기에서 계측도구의 정렬을 잘못된 경우, 레진접착제의 두께 및 범랑질표면의 부식이나 결정형성의 양상을 고려할 수 있다.

범랑질에 대한 브라켓의 결합강도는 범랑질-레진접착제 경계면 사이의 결합강도, 레진접착제 자체의 파절강도, 레진접착제-브라켓 베이스 경계면 사이의 결합강도가 영향을 미친다. 범랑질-레진접착제 경계면 사이의 결합강도는 산부식법의 경우에는 범랑질

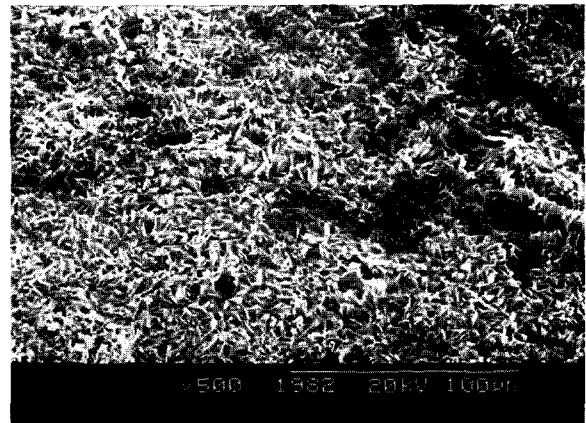


Fig. 5. SEM photograph showing the remaining polyacrylic acid (dark area) not to be washed out due to inadequate rinse.

과 레진접착제 사이에 이루어 지는 기계적 결합력이며, 이는 부식범랑질 자체의 파절강도, 레진접착제(테그)의 파절강도, 레진접착제의 침투 정도 및 두 물질 사이의 접촉에 의한 물리적 화학적 결합력에 의하여 영향을 미치며, 결정형성법의 경우에는 범랑질과 결정사이의 화학적 결합력과 결정 자체의 파절강도가 추가적으로 영향을 미친다고 생각된다. 우리가 연구 개발하고자 하는 범랑질 표면처리제는 일차적으로 범랑질 부식을 최소로 하면서 브라켓 결합강도는 최대(치료종료까지 브라켓 탈락율을 최소로)하며, 디본딩 과정중 잔류 레진접착제를 용이하게 제거하여 범랑질 손상을 줄이는 것이라고 사료되며, 결정형성법과 그라스아이오노머 시멘트의 연구는 산부식법에 의한 의원성 손상을 피하면서 브라켓을 범랑질에 직접부착하려는 연구로 이에 관한 연구가 더 진행되어야 할 것으로 본다.

V. 결 론

이 연구는 30% 폴리아크릴산(분자량 5,000)용액에 소량의 황산, 황산리치움염, 인산을 첨가하여 4가지의 실험 결정형성 용액을 제조하고, 이 용액으로 범랑질 표면을 처리한 후, 브라켓 전단 결합강도를 측정하고, 인산부식법에 의한 것과 비교하는 것이다. 소의 하악 절치 치관 순면을 37%의 인산액과 4가지의 실험 결정형성 용액으로 60초간 처리하고, 20초간 수세하고, 20초간 건조시킨 후, 광중합 콤포짓 레진접착제로 브라켓을 부착하고, 실온에서 증류수속에서 넣어 24시

간 경과시킨 후 전단결합강도를 측정하고, 레진접착제의 파절양상을 관찰하였으며, 이들을 상호 비교하여 다음의 결과와 결론에 도달하였다.

1. 실험 결정형성 용액에 의한 브라켓 전단 결합강도는 인산부식법에 의한 것보다 낮았다.
2. 0.3몰 황산과 0.6몰 황산리치움염이 포함된 30% 폴리악릴산 용액은 가장 높은 전단 결합강도를 나타냈고, 인산부식법에 의한 것의 약 74%이었다.
3. 0.6몰의 황산이 포함된 30% 폴리악릴산 용액에 의한 브라켓 전단결합강도는 인산부식법에 의한 것의 약 62% 이었다.
4. 0.3몰의 황산이 포함된 30%의 폴리악릴산용액과 0.6몰의 황산과 5% 인산 용액이 포함된 30%의 폴리악릴산용액의 브라켓 전단결합강도는 통계적 유의차가 없었고, 각각 인산부식법에 의한 것의 32.9%와 37.4% 이었다.
5. 브라켓 제거중의 레진접착제 파절양상은 인산부식법의 경우에 범랑질-레진접착제 경계면 파절과 브라켓 베이스-레진접착제 경계면 파절의 혼합형이었으나, 실험 결정형성 용액의 경우에는 대체로 범랑질-레진접착제 경계면 파절이었으며, 범랑질 표면에 레진접착제의 잔류량이 매우 적었고, 결정은 레진접착제속에 매몰되어 파절 되었다.

이 실험의 결과는 이 실험에서 사용된 결정형성용액이 브라켓 전단결합강도로 평가할 때에 임상적 사용 가능성이 부적합함을 시사한다.

참고 문헌

1. Buonocore MG: A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces, J Dent Res 34: 849-853, 1955.
2. Diedrich P: Enamel alterations from bracket bonding and debonding; A study with the scanning electron microscope, Am J Orthod 79:500-522, 1981.
3. Lehman R, Davidson DL: Loss of surface enamel after acid etching procedures and its relation to fluoride content, Am J Orthod 80:73-82, 1981.
4. Sandison RM: Tooth surface appearance after debonding, Br J Orthod 8:199-201, 1981.
5. Zachrisson BU, Årthun J: Enamel surface appearance after various debonding technique, Am J Orthod 75:121-137, 1979.
6. Gwinnett AJ: Corrosion of resin bonded orthodontic

- brackets, Am J Orthod 82:441-446, 1982.
7. Maijer R, Smith DC: Corrosion of orthodontic bracket bases, Am J Orthod 81:43-48, 1982.
8. Gwinnett AL: Histologic changes in human enamel following treatment with acidic adhesive conditioning agents, Arch Oral Biol 16:731-738, 1971.
9. Draft DS, Lugassy AA: A preliminary study of orthodontic treatment with the use of directly bonded brackets, Am J Orthod 65:407-418, 1974.
10. Bennett CG, Schoen FJ, Goings RE: Alterations of the enamel surface following directed bonded bracket therapy, J Pedod 3:99-113, 1981.
11. Ashcraft DB, Staley RN, Jakobsen JR: Fluoride release and shear bond strengths of three light-cured glass ionomer cements, Am J Orthod Dentofac Orthop 111:260-265, 1997.
12. Jobalia SB, Valente RM, de Rijk WG, BeGole EA, Evans CA: Bond strength of visible light-cured glass ionomer orthodontic cement, Am J Orthod Dentofac Orthop 112:205-208, 1997.
13. McCarthy MF, Hondrum SO: Mechanical and bond strength properties of light-cured and chemically cured glass ionomer cements, Am J Orthod Dentofac Orthop 105:135-141, 1994.
14. Maijer R, Smith DC: A new surface treatment for bonding, J Biomed Mater Res 13: 975-985, 1979.
15. Smith DC, Cartz L: Crystalline interface formed by polyacrylic acid and tooth enamel, J Dent Res 52:1155, 1973.
16. Årtun J, Bergland S: Clinical trials with crystal growth conditioning as an alternative acid etching, Am J Orthod 85: 333-340, 1984.
17. Farquhar RB: Direct bonding comparing a polyacrylic acid and a phosphoric acid technique, Am J Orthod Dentofac Orthop 90: 187-194, 1986.
18. Maijer R, Smith DC: Crystal growth on the outer enamel surface - an alternative to acid etching, Am J Orthod 89:183-193, 1986.
19. Smith DC, Lux J, Maijer R: Crystal bonding to enamel, J Dent Res 60(special issue A): 368(abstr no 231), 1981.
20. Shaffer SE: Crystal Lok bonding of orthodontic brackets to teeth, J Dent Res 63:178(Abstr 72), 1984.
21. Beech DR, Russell ML: Bond strength, SEM and clinical studies of crystal bonding, J Dent Res 65: 477, Australian/Newzealand division, 1986.
22. Jones ML, Pizarro KA: A comparative study of the shear bond strengths of four different crystal growth solutions, Brit J Orthod 21: 133-137, 1994.

23. McPhee CA, Way DC, Galil KA: Experimental and clinical evaluation of crystal bonding vs acid etch bonding, J Dent Res 64(special issue): 277(Abstr no 918), 1985.
24. Read JF, Ferguson JW, Watts DC: Direct bonding: crystal growth as an alternative to acid etching, Eur J Orthod 8:118-122, 1986.
25. Maskeroni AJ, Meyers CE Jr, Lorton L: Ceramic bracket bonding; a comparison of bond strength with polyacrylic acid and phosphoric acid enamel conditioning, Am J Orthod Dentofac Orthop 97: 168-175, 1990.
26. 이영준, 박영국: Crystal growth에 의한 법랑질 표면처리가 교정용 브라켓접착체의 전단 결합강도에 미치는 영향, 대치교정지 27:839-852, 1997.
27. 김주형, 이기수: 법랑질 표면에서 폴리아크릴산 용액농도와 황산이온농도가 결정형성에 미치는 영향, 대치교정지 28:877-891, 1998.
28. 이기수, 김주형, 김미경, 이영준, 이현경: 폴리아크릴산 용액내의 황산이온농도가 법랑질 표면에서 결정형성에 미치는 영향, 제30회 대한치과교정학회 학술대회 초록집, 1997, p 96.
29. Lee K-S, Lim H-N, Lee Y-J, Kim J-H: The effects of concentration of polyacrylic acid on the crystal growth, J Dent Res 77: 1321(Abstr No p-12), 1988.
30. Pizarro KA, Jones ML, Knox J: An in vitro study of the effects of different crystal growth solutions on the topography of the enamel surface, Eur J Orthod 16: 11-17, 1994.
31. Knox J, Jones ML: Crystal bonding- an adhesive system with a future? Br J Orthod 22: 309-317, 1995.
32. Barry GRP, Robertson NRE, Jones ML: Crystal growth on the enamel surface as an alternative to acid etching, J Dent Res, 70: 720(Abstr no 400), 1991.
33. Newman GV: Epoxy adhesives for orthodontic attachments, Am J Orthod 51:901-912, 1965.
34. Keizer S, Ten Cate JM, Arends J: Direct bonding of orthodontic brackets, Am J Orthod 69:318-327, 1976.
35. Snijder WH, Wilson CE, Newman GV, Semen J: Investigation of fast setting acrylic adhesives for bonding attachments to human tooth surfaces, J Appl Pol Sci 11:1509-1527, 1967. cited from Keizer S et al ; Direct bonding of orthodontic brackets, Am J Orthod 69:318-327, 1976.
36. Miura F, Nakagawa E: New direct bonding system for plastic brackets, Am J Orthod 59:350-361, 1971.
37. Cohl ME, Green LJ, Eick JD: Bonding of clear plastic orthodontic brackets using an ultraviolet-sensitive adhesive, Am J Orthod 62: 400-411, 1972.
38. Reynolds IR: A review of direct orthodontic bonding, Br J Orthod 2:171-178, 1975.
39. Beech DR, Jalaly T: Clinical and laboratory evaluation of some orthodontic direct bonding systems, J Dent Res 60:972-978, 1981.
40. Eversoll DK, Moore Rn: Bonding orthodontic acrylic resin to enamel, Am J Orthod Dentofac Orthop 93: 477-485, 1988.

- ABSTRACT -

An in vitro study of a few crystal growth solutions on the bracket shear bond strength

Yun-Ok Jeon, Ki-Soo Lee

Department of Orthodontics, College of Dentistry, Kyung Hee University

The purpose of this study was to compare the bracket shear bond strengths of the crystal growth solutions with those of the 37% phosphoric acid etch technique. The 4 crystal growth solutions were made experimentally in the lab, that is, (1) 30 % polyacrylic acid solution containing 0.3 M sulfuric acid (ES 1), (2) 30 % polyacrylic acid solution containing 0.6M sulfuric acid (ES 2), (3) 30 % polyacrylic acid solution containing 0.3 M sulfuric acid and 0.6 M lithium sulfate(ES 3), and (4) 30 % polyacrylic acid solution containing 0.3 M sulfuric acid and 5% phosphoric

acid(ES4). The 37% phosphoric acid solution used as a control. Bovine lower incisor tooth enamel was treated by the above solutions for 60 sec, washed out for 20 sec with slow water stream, and bonded lower anterior edgewise bracket with the light curing orthodontic composite resin adhesives. The teeth bonded brackets were stored in the distilled water at room temperature for 24 h, and followed to test the bracket shear bond strength.

The acid etch technique showed 177.6 kg/cm² of mean shear bond strength which was the highest among the enamel treatment solutions. ES 1 shown 58.4 kg/cm² of mean shear bond strength and that of ES 4 showed 66.5 kg/cm². There was no significant difference between the two($p>0.05$). ES2 showed 110.6kg/cm² of mean shear bond strength which was 62.3 % of that of acid etch technique. ES 3 showed 131.1 kg/cm² of mean shear bond strength which was the highest among experimental crystal growth solutions and which was 74% of that of acid etch technique. The shear bond strengths of the crystal growth solutions were significantly lower than that of acid etch technique($p<0.05$). The results suggest that although bracket shear bond strength of 30 % polyacrylic acid solution containing 0.3M sulfuric acid and 0.6 M lithium sulfate were showed the highest, it is low for the clinical application of this solution.

KOREA. J. ORTHOD. 1999 ; 29 : 613-625

※ **Key words** : crystal growth, polyacrylic acid solution, bracket bond shear strength.