

브라켓 접착시 광중합방식에 따른 전단결합강도와 파절양상 비교

신 재 호¹⁾ · 임 용 규²⁾ · 이 동 렬³⁾

기존의 가시광선 중합기와 비교해서 plasma arc light와 LED 방식의 중합기를 이용해 브라켓을 치아표면에 접착 후 탈락시키는 실험을 시행해 각각의 중합방식별로 전단결합강도와 접착파절양상을 비교함으로써 임상에서의 유용성을 평가하고자 하였다. 교정치료를 위해 발거한 상, 하악 소구치 60개를 원통형의 레진블록에 매몰하여 시편을 제작하였다. 광중합형 접착레진인 Transbond XT를 이용하여 광중합 방식별로 조건(가시광선 중합기는 40초, LED방식의 중합기는 20초, 그리고 plasma arc light 방식의 중합기는 3초)에 따라 브라켓을 접착한 후 만능물성시험기로 전단결합강도를 측정하고 브라켓 기저면을 광학현미경으로 관찰해 접착파절양상을 관찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 가시광선 중합방식과 LED 중합방식으로 중합시킨 군간에 전단결합강도의 유의성 있는 차이는 없지만 plasma arc Light방식으로 중합시킨 군은 앞의 두 군에 비해 유의성이 있게 작은 값을 나타내었다($p>0.05$).
2. 가시광선 중합방식으로 중합한 군과 LED 방식을 이용한 군에서는 파절양상이 거의 유사하게 나타났다. 두 군 모두 잔류접착체가 치아면에만 있는 경우가 제일 적은 비율을 보였으며 브라켓 기저면에 50% 이상의 접착체가 남아 있는 양상이 더 큰 비율을 보였다.
3. Plasma arc light 로 중합시킨 경우에는 접착체가 브라켓 기저면에 50% 이하로 남아있는 양상이 큰 비율로 나타났으며 잔류 접착체 전체가 치아면에 남아 있는 경우는 15%였다.

이상의 실험결과 plasma arc light를 이용한 중합 방식이 가시광선이나 LED 방식을 이용한 중합 방식에 비해 유의성 있게($p>0.05$) 낮은 전단결합강도를 보였으나 세 방식 모두 임상적으로 사용하기에 충분한 전단결합강도를 보여 유용하게 사용할 수 있음을 알 수 있었다.

(주요 단어 : Plasma arc light, Light emitting diode(LED), 전단결합강도, 접착파절양상)

서 론

Buonocore¹⁾가 최초로 산부식 접착법을 개발하고 Newman²⁾이 에폭시레진을 이용한 직접접착법을 교정영역에 소개한 이래 브라켓을 치면에 직접 접착하기 위한 많은 재료들과 기구들이 개발되어 왔다. 이러한 직접접착방법은 기존의 밴드 접착에 비해 보다 심미적이고 간단하며 장치제작에 소요되는 시간이 적

¹⁾ 고려대학교 임상치의학대학원 교정과, 대학원생.

²⁾ 고려대학교 임상치의학대학원 교정과, 부교수.

³⁾ 고려대학교 임상치의학대학원 교정과, 교수.

교신저자 : 임용규

서울시 성북구 안암동

고려대학교 임상치의학 대학원 교정과 / 02-920-5597

yklim@kumc.or.kr

원고접수일 : 2003년 10월 6일 / 원고최종수정일 : 2004년 1월 3일

/ 원고채택일 : 2004년 1월 14일

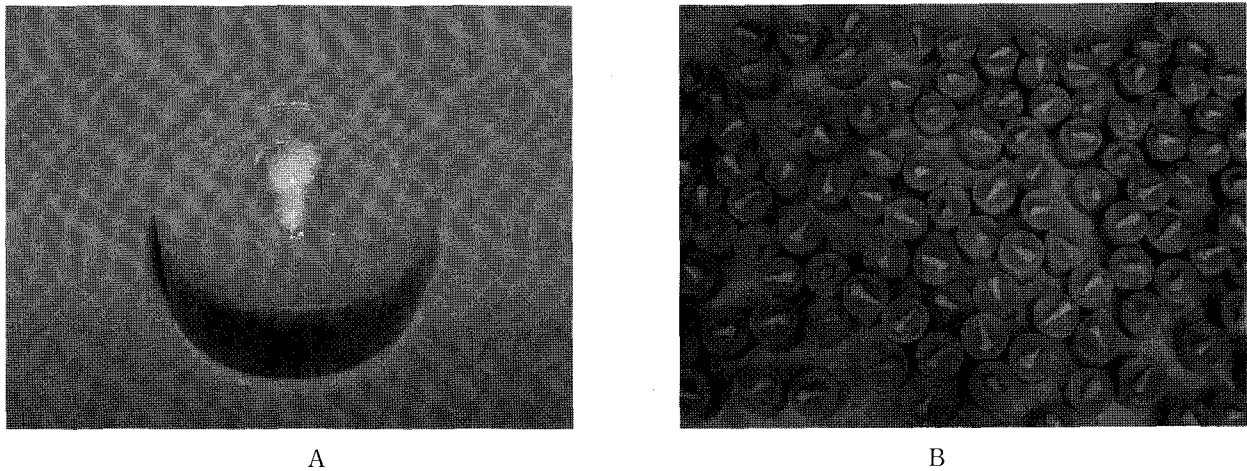


Fig 1. A. Test sample; B. The 60 human premolars embedded in the resin block.

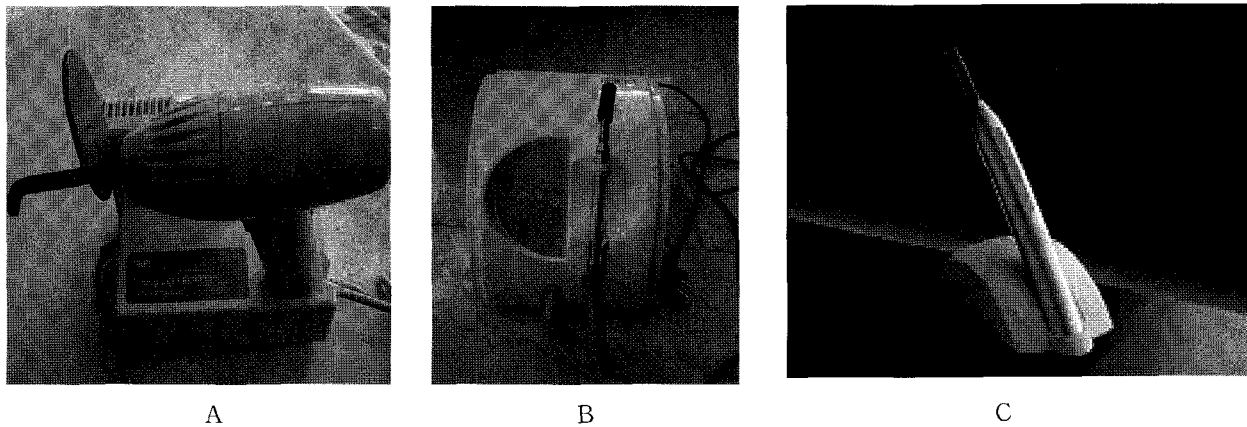


Fig 2. A. Visible light Type: XL-3000 (3M ESPE); B. Plasma arc light Type: Flipo (LOKKI); C. LED Type: Ellspar Freelight II (3M ESPE).

고 치료를 받는 환자의 불편함이 적으며, 치료기간 동안 구강위생관리가 좀 더 쉽다는 장점이 있다.³⁾

1989년 Andrews⁴⁾가 Straight Wire Appliance (SWA)를 개발하면서 치아이동에 필요한 정보가 와이어에서 브라켓으로 옮겨가게 되었고 브라켓의 정확한 위치가 필수적인 preadjusted appliance의 사용증가로 충분한 작업시간을 가질 수 있는 광중합형 레진 접착제 사용이 증가하였다. 하지만 광중합형 레진 접착제들은 각 치아별로 충분한 광조사 시간을 필요로 하므로 전체 진료시간은 늘어나는 결과를 가져왔다. 이로 인해 타액이나 구강 내 수분으로 인한 접착실패 가능

성이 발생했고 장시간 개구 상태를 유지해야 하는 환자의 불편함 또한 증대되었다. 위와 같은 불편함과 문제점들로 인해 광중합시간을 단축시키고자 argon laser, plasma arc light, light emitting diode 등의 광원들을 이용하는 새로운 광중합방식들이 꾸준히 소개되고 있다.

1980년대 초 argon laser를 레진중합에 이용하기 위한 연구가 시작되었다. 초기에는 argon laser를 치아우식증 발견을 위한 치아투시용으로 사용하였으나⁵⁾ 1989년 Kelsey등⁶⁾과 Blankenau 등⁷⁾의 연구에서 argon laser가 광활성용 수복재료의 중합에 사용 가능성을 입증하였다. 그러나 argon laser는 800mW/cm²의 높은 광

Table 1. The group of test sample according to light curing type

	Light curing machine	Number
Visible light	XL-3000 (3M ESPE)	20
Plasma arc light	Flipo (LOKKI)	20
LED	Elispar Freelight II (3M ESPE)	20

강도로 기존의 가시광선 중합기에 비해 보다 짧은 시간에 중합을 시킬 수 있다는 장점이 있음에도 불구하고 제품의 가격이 비싸고 기계의 부피가 상대적으로 크고, 조작의 복잡함으로 인해 널리 사용되지는 못했다.⁸⁾

1990년대 중반에는 높은 광강도와 극히 짧은 광중합시간을 장점으로 하는 plasma arc light를 이용한 중합방식이 소개되었다.^{9,10)} 이는 5초 이하로 탁월히 감소된 광중합 시간과 반복된 사용 후에도 가시광선 중합기와 같은 출력저하가 없다는 점, 그리고 짧은 광조사 시간으로 인해 환자와 술자 모두에게 편리함을 제공한다는 점 등의 장점이 있으나 가격이 비싸고 진료실에서 차지하는 부피가 크다는 단점이 있다. 최근에 Light Emitting Diode(이하 LED)를 이용한 광중합 방식이 소개되었다. 이 방식은 800mW/cm²의 비교적 높은 광강도로 가시광선 중합방식의 절반의 시간으로 중합을 할 수 있으며 부피가 작고 무선방식으로 인해 조작이 용이하다는 장점이 있다. 또한 램프의 강도저하가 거의 없으며 교환의 필요성이 적고 열 발생이 적어 팬이 필요 없으므로 소음이 적어 술자나 환자의 불편함이 적다. 하지만 무선방식이므로 완전 충전 후 사용시간이 비교적 짧아 많은 환자에게 지속적으로 사용하는 것에는 제한이 있는 것으로 나타났다.

Plasma arc light 방식이나 LED 방식이 위에 설명한대로 임상적으로 사용하기 편리하게 개발되었으나 이 두 방식의 접착용 레진 중합효과에 대한 연구는 아직 미비한 실정이다. 특히 LED의 경우는 최근에 제품화되어 소개되었으므로 이에 대한 연구는 아직 많이 이루어지지 않았다.

이에 본 연구에서는 기존의 가시광선 중합기와 plasma arc light 및 LED 방식의 중합기를 이용해 브라켓을 치아표면에 접착한 후 만능물성시험기(Instron)를 이용한 실험을 시행해 각각의 중합방식별로 전단결합강도와 접착파절양상을 비교함으로써 임상에서의 그 유용성을 평가하고자 하였다.

연구재료 및 방법

연구재료

본 실험에서는 교정치료를 위해 발거한 60개의 소구치를 실험재료로 이용하였다. 치아 협면에 균열선 등의 형태이상 없이 법랑질 발육부전이나 반상치 등이 없으며 치아우식증에 이환되지 않고 보존치료 경력이 없는 치아들만 선별하였다. 치아들은 발치 후 곧 혈액이나 육아조직, 타액 등의 이물질을 제거한 후 흐르는 물에 세척하고 생리식염수에 보관하였다. 전단결합강도 측정시 치관의 조작을 용이하게 하기 위해 Coreil 등¹¹⁾의 방법을 응용해 치아의 협면이 드러나도록 시편을 제작하였다(Fig 1). 레진블록은 직경 30mm, 높이 20mm의 원통모양으로 클리어레진과 Duralay Temporary 레진을 혼합해 제작하였다. 브라켓은 .022 twin preadjusted metal 브라켓(Gemain, 3M ESPE)을 사용했으며 그 기저면 면적은 8.14mm²이 었다. 산부식은 37%인산을 사용했으며 접착제로는 Transbond XT (3M ESPE)를 사용했다. 광중합기는 가시광선중합방식으로는 XL-3000 (3M ESPE)을 사용했고 plasma arc light 방식은 Flipo (LOKKI), 그리고 LED 방식으로는 Elispar Freelight II (3M ESPE)를 사용했다(Fig 2).

연구방법

시편제작

실험에 사용된 60개의 치아 중 무작위로 20개씩 추출해 3개의 군으로 나누었다(Table 1). 각각의 치아는 불소와 기름이 포함되지 않은 연마제를 이용해 브러시로 1분간 치면 세마를 시행했다. 그 후 20초간 37% 인산으로 산부식후 1분간 수세 건조시켰다. 제조사의 지시에 따라 접착제를 바른 브라켓을 치아에 위치시킨 후 광중합 시켰다. 가시광선 중합기를 이용한 경우는 40초간 광중합 하였으며 plasma arc light 방식의 중합기는 3

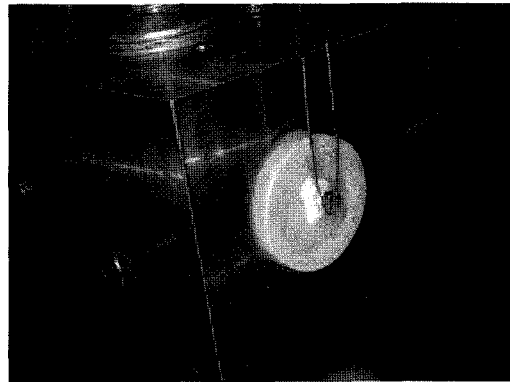
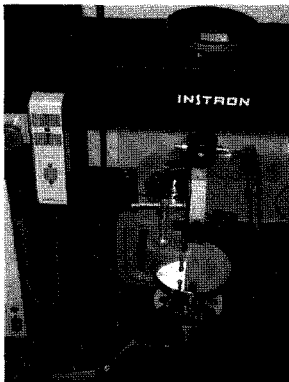


Fig 3. Instron Universal Testing machine (model 6022).

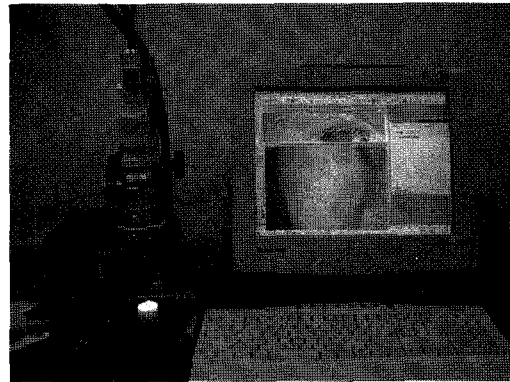
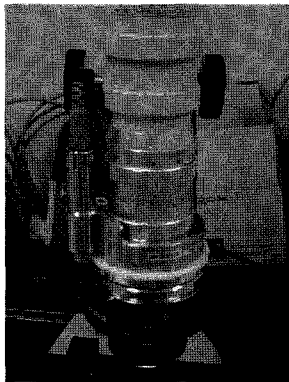


Fig 4. Stereoscope and Image Pro Plus ver 4.1 computer program.

초간 광중합 하였고, LED 방식을 이용한 경우는 20초간 광중합하였다. 브라켓 접착시 압력이나 술식의 차이로 인한 오차를 배제하기 위해 브라켓은 한 실험자가 부착하였고 과잉의 레진은 탐침으로 제거하였다. 광중합 후 시편은 공기 중에 20분간 방치 후 24시간 동안 상대습도 100%, 37°C 항온수조에 보관하였다.¹²⁾

전단결합강도 측정

만능물성시험기(Instron 6022, UK)를 사용해 접착제의 전단결합강도를 측정하였다(Fig 3). 치아의 협면에 평행하게 힘이 가해질 수 있게 시편을 고정장치로 확실하게 고정하였다. 만능물성 시험기 상단에 교정용 호선(016x022 S-S)으로 고리를 제작한 후에 브라켓에 연결하고 분당 1mm의 crosshead 속도로 치아 협면에 평행하게 전단력을 가해 접착이 파절되는 순간의 최고하중(N)을 측정하였고 그 수치를 브라켓 기저면 면적(cm²)으로 나누어 Mpa로 전단결합강

도를 구하였다.

접착파절양상 관찰

접착파절 후 브라켓을 수거해 그 기저면을 광학현미경으로 100배율 하에서 관찰하였다(Fig 4). 남아있는 접착제 양을 측정해 Artun과 Bergland¹³⁾의 접착제 잔류지수(Adhesive Remnant Index, ARI)를 이용해 아래와 같이 점수화 하였다(Fig 5).

- Score 0: 브라켓 기저면에 접착제가 남아 있지 않은 경우(0%);
- Score 1: 브라켓 기저면에 접착제가 반이하로 남은 경우(<50%);
- Score 2: 브라켓 기저면에 접착제가 반 이상 남은 경우(>50%);
- Score 3: 브라켓 기저면에 접착제가 모두 남아있는 경우(100%).

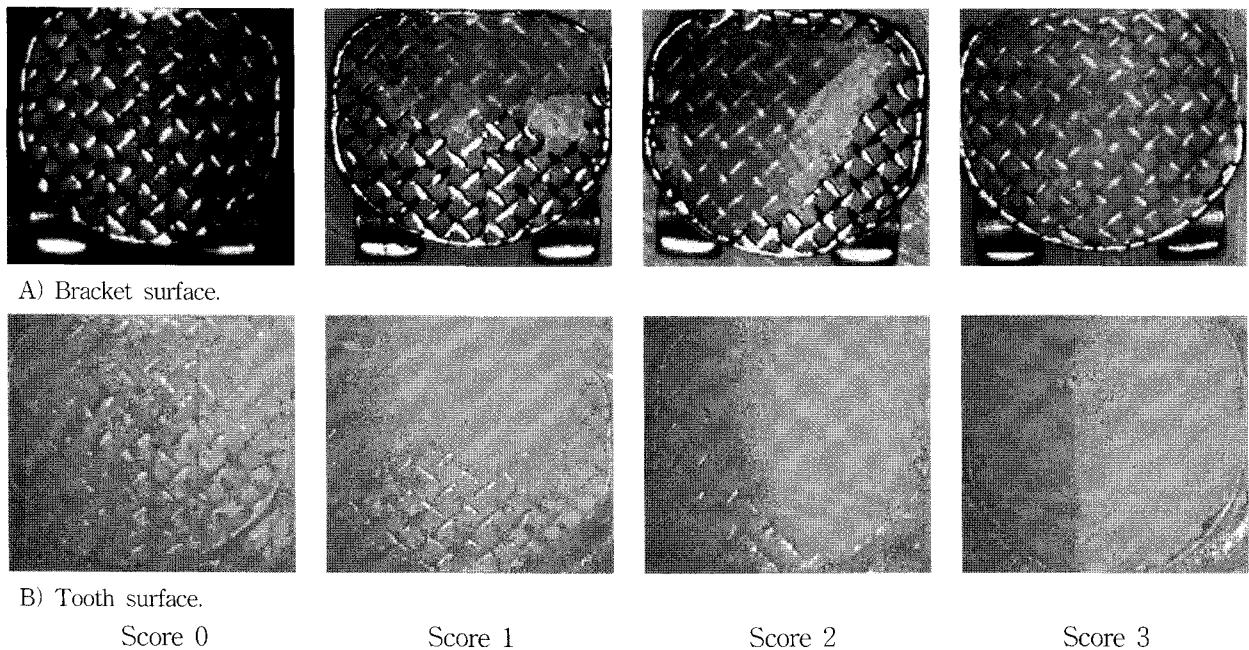


Fig 5. Adhesive Remnant Index(ARI). Score 0: 브라켓 기저면에 접착제가 남아 있지 않은 경우(0%); Score 1: 브라켓 기저면에 접착제가 반이하로 남은 경우(<50%); Score 2: 브라켓 기저면에 접착제가 반 이상 남은 경우(>50%); Score 3: 브라켓 기저면에 접착제가 모두 남아있는 경우(100%).

통계분석

통계처리에는 Window 용 SAS ver 6.12 프로그램을 이용하였다. 먼저 각 실험군별로 전단결합강도의 평균과 표준 편차를 산출했고 동일한 표면 처리 하에서의 광중합 방식에 따른 전단결합강도의 차이를 분석하기 위해 one-way ANOVA with Tukey's Studentized Range Test를 이용해 유의수준 0.05%하에서 계산했다. 접착제 잔류지수는 각 군별로 해당되는 점수의 백분율을 구해 연관성을 알아보았다.

연구결과

광중합기 광강도 측정과 브라켓 기저면 면적 측정

광중합기 광강도는 Radiometer(Dentamerica, USA)를 이용하여 측정하였다. 단 Plasma arc light의 경우는 측정기계의 최대치를 초과하므로 제조사의 설명을 참고해 결정하였다.

- 가시광선 방식: 420 mW/cm²
- Plasma arc light 방식: 1900mW/cm²
- LED 방식: 800mW/cm²

브라켓 기저면 면적은 100배율의 광학현미경을 이용하여 브라켓 기저면을 촬영한 후 Image Pro Plus ver 4.1 프로그램을 이용해 5차례 측정 후 평균치를 산출하여 계산하였다(평균 8.14mm²).

전단결합강도

가시광선 방식을 이용해 광중합한 경우 전단결합강도는 24.3 ± 3Mpa이었고 Plasma arc Light 방식을 이용한 경우는 18.7 ± 3.25Mpa이었으며 LED방식을 이용한 경우는 26.8 ± 4.4Mpa이었다. 군간 전단결합강도의 차이에 대한 유의성 검증결과 가시광선 방식의 중합방식을 사용한 경우와 LED방식을 사용한 경우 간에는 전단결합강도에 유의성 있는 차이가 나타나지 않았으나(p>0.05), Plasma arc Light를 사용한 경우는 다른 두 군에 비해 유의하게 낮은 전단결합강도를 보였다(p<0.05)(Table 2).

접착파절양상

가시광선 중합방식으로 중합한 군과 LED 방식을 이용한 군에서는 파절양상이 거의 유사하게 나타났다

Table 2. Shear bond Strengths (MPa)

	Mean (Mpa)	SD	Minimum	Maximum	Group*
Visible light	24.3	6.0	15.3	39.3	A
Plasma arc light	18.7	6.5	9.3	30.2	B
LED	26.8	8.8	13.2	44.6	A

*groups with the same letters are not significantly different from each other (Tukey, p<0.05), F=19.69, p<0.05.

Table 3. Frequency of adhesive remnant index Scores (%)

	ARI-0	ARI-1	ARI-2	ARI-3
Visible light	1(5%)	6(30%)	10(50%)	3(15%)
Plasma arc light	3(15%)	9(45%)	5(25%)	3(15%)
LED		7(35%)	10(50%)	3(15%)

다. 두 군 모두에서 잔류접착제가 치아면에만 있는 경우가 비율상 제일 적었으며 50% 이상의 접착제가 브라켓 기저면에 남아있는 양상(점수 2와 3)이 우세하게 나타났다. 이와는 비교되게 Plasma arc light 로 중합시킨 경우에는 브라켓 기저면에 50% 이하로 접착제가 남아있는 양상(점수 0과 1)이 우세하게 나타났으며 잔류 접착제 전체가 치아에 남아 있는 경우도 15%나 되었다(Table 3).

총괄 및 고안

교정치료에서 효율적인 브라켓 접착은 치료시간의 단축으로 환자의 불편을 감소시키고 진료의 효율성을 증대시키는데 도움이 된다. 또한 환자의 구강 내에는 수분이 항상 존재하므로 가능하면 짧은 시간 내에 접착과정을 마무리 하는 것이 치료기간 중 뜻하지 않는 브라켓 탈락을 방지하는데 중요한 요인이 된다.

기존의 가시광선을 이용하는 광중합형 레진 중합기는 1980년대 처음 소개되었다. 보통 Tungsten-Halogen 램프를 사용하데 약 468 ± 20nm의 파장대를 지닌다.¹⁴⁾ 이 중합기로 브라켓을 접착했을 때 Ø-degaard등¹⁵⁾은 20초의 광중합시간으로 충분한 접착강도를 얻을 수 있다고 하였다. 반면에 Leung등¹⁶⁾은 40초의 시간이 걸린다고 했으며, Wang와 Meng¹⁷⁾은

광중합시간을 40초, 60초 한 것이 20초 한 것에 비해 접착강도가 우수하고 40초군과 60초군 간에는 접착강도의 차이가 없어 적정 중합 시간을 40초로 제시하였다. 본 연구에서는 위 연구들과 제조사의 지시를 토대로 하여 광중합시간을 40초로 하였다.

Plasma arc light를 이용한 방식의 중합기는 비교적 최근에 소개되었다. 이 방식의 중합기는 광강도를 기존의 가시광선 방식에 비해 크게 증대시켜 극히 짧은 시간 내에 광중합형 레진을 중합시키는 방식이다. Plasma는 Langmuir가 처음 제시한 물리학적 용어로 전기적 방전으로 인해 생기는 전하를 띤 양이온과 전자들의 집단으로 기체가 더 큰 에너지를 받았을 때 상전이와는 다르게 생성되는, 전체적으로 전기적으로 중성을 띄는 물질의 제 4상태이다.¹⁸⁾ Plasma arc light 방식은 두 전극사이에서 전기적 arc가 형성되어 내부의 제논 가스가 가열되며 강력한 빛을 발광하는 plasma가 형성되는 원리를 이용한 것이다. 본 실험에 사용된 Flipo (LOKKI) 경우 그 광도가 1900mW/cm²으로 가시광선 중합방식의 4배 정도이다. 본 연구에서는 이 중합기를 사용해 연구한 문헌^{19,20)}과 제조사의 지시를 참고해 광중합시간을 3초로 정하였다.

LED 방식을 이용한 중합방식은 가장 최근에 소개되었고 관련 문헌도 Dunn 등²¹⁾의 연구에 국한되었다. 이들은 LED 방식의 광중합기를 기존의 가시광선 방식의

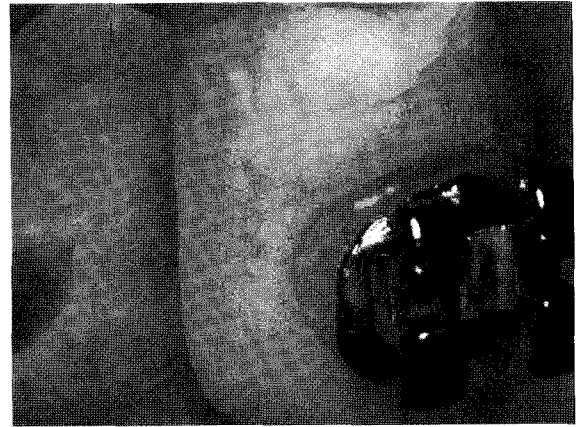
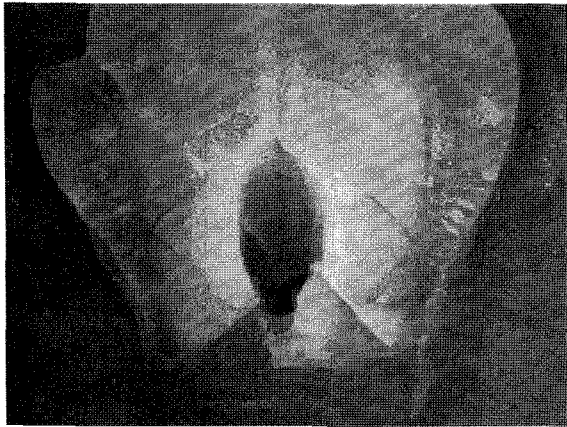


Fig. 6. Case of tooth fracture during debonding the bracket.

중합기와 비교했을 때 전단결합강도와 ARI score에서 차이가 없으며 따라서 브라켓 접착시 임상적으로 유용하다고 하였다. LED 방식의 경우는 일단 가시광선 중합방식에 비해 두 배 정도의 광강도를 지닌다. 본 연구에서 사용한 Elipar Freelight II의 경우에는 $800\text{mW}/\text{cm}^2$ 의 광강도를 보였으며 제조사의 지시에 따라 광조사 시간을 가시광선 중합기의 절반인 20초로 하였다.

어느 정도의 전단결합강도가 임상적으로 유용한가에 대해서는 많은 연구들^{22, 26)}이 있었다. Reynolds²²⁾는 $5.9\text{--}7.8\text{Mpa}$, McCarthy와 Hondrum²³⁾은 7Mpa 이 적당하다고 하였다. 또 Keizer 등²⁴⁾은 최소한의 전단결합강도로 2.8Mpa 를 제시하였고 1979년 Maier 등²⁵⁾은 7.6Mpa 를 이상적인 접착강도로 보고하였다. 본 연구 결과 가시광선 방식을 이용한 경우의 전단결합강도는 $24.3 \pm 3\text{Mpa}$ 이었고 plasma arc light 방식을 이용한 경우는 $18.7 \pm 3.25\text{Mpa}$, LED 방식을 이용한 경우는 $26.8 \pm 4.4\text{Mpa}$ 로 나타나 임상적으로 유용함을 알 수 있었다. Blankenau²⁶⁾는 plasma arc light 방식을 이용해 중합한 경우 가시광선 중합방식에 의한 것과 통계학적으로 유의할만한 차이를 보이지 않았고 박 등²⁰⁾의 연구에서도 plasma arc light를 이용해 브라켓을 접착하는 경우 전단결합강도의 저하 없이 임상적으로 사용 가능하다고 보고하였다. 2002년 Dunn 등²¹⁾은 LED 방식이 기존의 가시광선 방식의 중합기와 비교했을 때 전단결합강도와 ARI 점수에서 차이가 없다고 보고하였다. 본 연구에서는 plasma arc light를 이용한 경우는 다른 두 군보다 모두 유의하게 낮은 전단결합강도를 보였다($p < 0.05$). 하지만 세 군 모두 선학들이 보고한 임상적 유용 수치를 크게 넘는 전단결합

강도를 나타내 실제 임상적인 사용에는 어려움이 없다는 것을 알 수 있었다. 오히려 지나치게 큰 결합강도를 보이는 경우 브라켓 제거시 치관이 파절되는 경우(Fig 6)도 나타날 수 있으므로 임상적으로는 필요한 최소의 전단결합강도로 충분하다고 할 수 있다. 이는 새로운 방식의 중합기를 사용함으로써 진료시간을 단축함과 동시에 환자, 술자에게 모두 편리함을 제공할 수 있다.

접착파절 양상을 광학현미경으로 관찰한 양상을 보면 가시광선 중합 방식과 LED 방식에서는 파절 양상이 거의 유사하게 나타났다. 두 군 모두에서 잔류접착제가 치아면에만 있는 경우가 제일 적은 비율이었으며 50% 이상의 접착제가 브라켓 기저면에 남아있는 양상이 우세하게 나타났고 plasma arc light 로 중합시킨 경우에는 브라켓 기저면에 50% 이하로 접착제가 남아있는 경우가 우세하게 나타났다. 즉, 가시광선 중합방식과 LED 중합 방식의 경우에는 치아표면과 접착제 계면사이에서, plasma arc light 방식의 경우에는 브라켓 기저면과 접착제 사이에서의 파절 양상이 우세함을 알 수 있었다. 이것은 광중합 방식의 영향보다는 치아와 브라켓이 강하게 결합되었을 경우에는 접착파절이 치아표면에서 일어나는 경향이 많다고 추정할 수 있으며 적정수준 이상의 강도로 브라켓이 접착되었을 경우 치료가 끝나고 브라켓을 치아에서 제거할 때 치아면에 손상이 있을 것이라는 것을 예측할 수 있다. 하지만 O'Brien 등²⁷⁾의 보고에서는 접착 파절시 전단결합강도와 잔존 접착제의 양 등은 관계가 없다고 보고했고 반면 Keizer 등²⁴⁾은 잔존 접착제의 양에 접착강도가 영향을 준다고 하여 이에 대해서는 추가적인 연구가 필요하리라 생각된다.

본 연구 결과 기존의 가시광선 방식에 비해 plasma arc light 방식의 중합기나 LED 방식의 중합기 모두 부가적인 장점을 가지면서도 임상적으로 사용하기에 충분한 전단결합강도를 보였다. 하지만 본 연구가 실험실에서 이루어져 실제 환자의 구강내와는 차이가 있을 것이라는 한계와 브라켓 접착시 치아면에 압접시키는 압력을 일정하게 유지하지 못했다는 한계가 존재한다. 또한 각 중합 방식에 따른 적정 중합시간을 알아보기 위해 각 중합방식별로 중합시간을 세분화해 연구하는 것도 필요하리라 생각된다.

결 론

본 연구에서는 기존의 가시광선 중합기와 비교해서 plasma arc light와 LED 방식의 중합기를 이용해 브라켓을 치아표면에 접착한 후 탈락시키는 실험을 시행해 각각의 중합방식별로 전단결합강도와 접착과절양상을 비교함으로써 임상에서의 유용성을 평가하고자 하였다. 교정치료를 위해 발거한 상, 하악 소구치 60개를 원통형의 레진블록에 매몰하여 시편을 제작하였다. 광중합형 접착레진인 Transbond XT를 이용하여 광중합 방식별로 조건(가시광선 중합기는 40초, LED방식의 중합기는 20초, 그리고 plasma arc light 방식의 중합기는 3초)에 따라 브라켓을 접착한 후 만능물성시험기로 전단결합강도를 측정하고 브라켓 기저면을 광학현미경으로 관찰해 접착과절양상을 관찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 가시광선 중합방식과 LED 중합방식으로 중합시킨 군간에 전단결합강도의 유의성 있는 차이는 없지만 plasma arc Light방식으로 중합시킨 군은 앞의 두 군에 비해 유의성이 있게 작은 값을 나타내었다 ($p>0.05$).
2. 가시광선 중합방식으로 중합한 군과 LED 방식을 이용한 군에서는 과절양상이 거의 유사하게 나타났다. 두 군 모두 잔류접착제가 치아면에만 있는 경우가 제일 적은 비율을 보였으며 브라켓 기저면에 50% 이상의 접착제가 남아 있는 양상이 우세하였다.
3. Plasma arc light 로 중합시킨 경우에는 접착제가 브라켓 기저면에 50% 이하로 남아있는 양상이 우세하게 나타났으며 잔류 접착제 전체가 치아면에 남아 있는 경우는 15%였다.

이상의 실험결과 plasma arc light를 이용한 중합

방식이 가시광선이나 LED 방식을 이용한 중합 방식에 비해 유의성 있게($p>0.05$) 낮은 전단결합강도를 보였으나 세 방식 모두 임상적으로 사용하기에 충분한 전단결합강도를 보여 유용하게 사용할 수 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res* 1955;34:849-93.
2. Newman GV. Epoxy adhesive for orthodontic attachments-progress report. *Am J Orthod* 1965;51:901-12.
3. Graber TM, Vanarsdall RL. *Orthodontics: Current principles and Techniques*. St Louis: Mosby; 2000.
4. Andrews LF. *Straight wire the concept and appliance*. San Diego: LA Wells; 1989.
5. Alfano RR, Yao SS. Human teeth with and without dental caries studied by visible luminescence spectroscopy. *J Dent Res* 1981;60:120-2.
6. Kelsey WP 3rd, Blankenau RJ, Powell GL. et al. Enhancement of physical properties of resin restorative material by laser polymerization. *Laser Surg Med*. 1989;9:623-7.
7. Blankenau RJ, Powell LG, Barkmeier WW, Kelsey WP. The use of an argon laser for polymerization of composite resin. *J Esthet Dent*. 1989; 1:34-7.
8. 레이저 치의학. 대한 구강내과학회 1996;217-29.
9. Peutzfeldt A, Sahafi A, Asmussen E. Characterization of resin composites polymerized with plasma arc curing units. *Dent Mater* 2000; 16:330-6.
10. Hofmann N, Hugo B, Schubert K, Klaiber B. Comparison between a plasma arc light source and conventional halogen curing units regarding flexural strength, modulus, and hardness of photoactivated resin composites. *Clin Oral Investig* 2000;4:140-7.
11. Coreil MN, McInnes-Ledoux P, Ledoux WR, Weinberg R. Shear bond strength of four orthodontic bonding systems. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1990;97:126-9.
12. Fox NA, McCabe JF, Buckley JG. A critique of bond strength testing in orthodontics. *Br J Orthod* 1994;21:33-43.
13. Artun J, Bergland S. Clinical trials with crystal growth conditioning as an alternative to acid-etching enamel pretreatment. *Am J Orthod* 1984;85:333-40.
14. Ruyter IE, Oysaed H. Conversion in different depths of ultraviolet and visible light activated composite materials. *Acta Odontol Scand* 1982 ;40:179-92.
15. Ødegaard J, Segner D. The use of visible light-curing composites in bonding ceramic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1990;97: 188-93.
16. Leung RL, Fan PL, Johnson WL. A mathematical model for post-irradiation hardening of photoactivated composite resins. *Dent Mater* 1985;1:191-4.
17. Wang WN, Meng CL. A study of bond strength between light-and self-cured orthodontic resin. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1992; 101:350-4.
18. Hanyang University Department of Physics. Plasma Application Laboratory, 2000.
19. Cacciafesta V, Sfondrini MF, Sfondrini G. A xenon arc light-curing unit for bonding and bleaching. *J Clin Orthod* 2000;34:94-6.
20. 박영철, 유형석, 오영근, 이승연. Plasma arc light를 이용한 bracket 부착

- 시의 전단결합강도와 파절양상의 유형. 대치교정지 2001;31:261-70.
21. Dunn WJ, Taloumis LJ. Polymerization of orthodontic resin cement with light emitting diode curing units. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2002;122:236-41.
 22. Reynolds IE, von Fraunhofer JA. Direct bonding of orthodontic attachments to teeth: the relation of adhesive bond strength to gauze mesh size. Br J Orthod 1976;3:91-5.
 23. McCarthy MF, Hondrum SO. Mechanical and bond strength properties of light-cured and chemically cured glassionomer cements. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1994;105:135-41.
 24. Keizer S, Ten Cate JM, Arends J. Direct bond of orthodontic brackets. Am J Orthod 1976;69:318-27.
 25. Majer R, Smith DC. A new surface treatment of bonding. J Biomed Mater Res 1979;13:975-85.
 26. Blankenau RJ, Powell GL, Pace SW, Wilwerding T. Evaluation of resin properties using xenon, argon and VLC system. J Dent Res 1996 ;75:147.
 27. O'Brien KD, Watts DC, Read MJ. Residual debris and bond strength - Is there a relationship? Am J Orthod 1988;94:222-30.

- ABSTRACT -

The shear bond strength and adhesive failure pattern in bracket bonding with different light-curing methods

Jai-Ho Shin, Yong-Kyu Lim, Dong-Yul Lee

Department of Orthodontics, Graduate School of Clinical Dentistry, Korea University

The purpose of this study was to evaluate the clinical effectiveness of a plasma arc light and light emitting diode (LED), compared with shear bond strength and the failure pattern of brackets bonded with visible light in direct bonding.

Brackets were bonded with Transbond XT to 60 human premolars embedded in the resin blocks according to different light-curing methods. Then, the shear bond strength of each group was measured using a universal testing machine (Instron) and the adhesive failure pattern after debonding was visually examined by light microscope.

The results were as follows:

1. The shear bond strength showed no significant difference between the visible light and light emitting diode, but the plasma arc light exhibited a significantly lower shear bond strength compared with the visible light and light emitting diode.
2. In the visible light and light emitting diode, adhesive failure patterns were similar. Bond failure occurred more frequently at the enamel-adhesive interface.
3. The bonding failure of brackets bonded with plasma arc light occurred more frequently at the bracket-adhesive interface.

The results of this study suggest that plasma arc light, light emitting diode and visible light are all clinically useful in the direct bonding of orthodontic brackets.

Korean J Orthod 2004;34(4):333-42

※ **Key words:** Plasma arc light, Light emitting diode(LED), Shear bond strength, Adhesive failure pattern