

Plasma arc light를 이용한 금속 브라켓의 부착시 광조사 방향과 중합시간이 전단결합강도에 미치는 영향

노상정¹⁾ · 이현정¹⁾ · 전영미²⁾ · 김정기³⁾

본 연구는 Plasma arc light를 이용하여 금속 브라켓의 부착시 광조사 방향, 중합시간 그리고 경화시간이 전단결합강도에 미치는 영향을 평가하기 위해서 시행되었다.

240개의 발거된 소구치를 16군으로 나눈 후, 광중합기(Plasma arc light와 Halogen light), 중합시간(Plasma arc light 2, 4, 6초와 Halogen light 20초), 그리고 광조사 방향(Vertical 방향과 Oblique 방향)을 다르게 하여 브라켓을 부착하였다. 광중합 접착제는 Transbond XT를 이용하였으며 브라켓 부착 후 5분과 24시간 후에 만능 물성시험기를 이용하여 전단결합강도를 측정하였다.

결과는 다음과 같다.

광중합기의 종류와 중합시간에 관계없이 Vertical군과 Oblique군 간의 전단결합강도는 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$).

Plasma arc light를 이용하여 2초 동안 광중합한 군들의 전단결합강도는 다른 중합시간의 군들보다 현저히 낮았다($p < 0.05$).

부착 5분 후의 전단결합강도는 24시간 후보다 현저히 낮았다($p < 0.05$).
ARI 점수는 군들 간에 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

이상의 결과는 plasma arc light를 사용한 금속 브라켓의 부착시 광조사 방향은 전단결합강도에 영향을 끼치지 않으며, Halogen light와 유사한 결합강도를 얻기 위해서는 4초 이상의 중합시간이 필요함을 시사한다.

(주요 단어 : Plasma arc light, 광조사 방향, 중합시간, 전단결합강도)

서 론

광중합 접착제가 1970년 초에 Buonocore^{1,2)}에 의해

¹⁾ 전북대학교 치과대학 교정학교실, 대학원생.

²⁾ 전북대학교 치과대학 교정학교실 및 구강생체파라학연구소, 조교수.

³⁾ 전북대학교 치과대학 교정학교실 및 구강생체파라학연구소, 교수.

교신저자 : 김정기

전북 전주시 덕진구 덕진동 664-14

전북대학교 치과대학 교정학교실 / 063-250-2124

cbuortho@chonbuk.ac.kr

원고접수일 : 2004년 3월 8일 / 원고최종수정일 : 2004년 4월 20일

/ 원고채택일 : 2004년 4월 21일

충전 분야에서 사용된 후 Silverman 등³⁾에 의해 교정 영역에서 사용되었으며, 현재 많은 교정의가 광중합 접착 술식에 의해 교정장치를 부착하고 있다. 광중합을 이용한 브라켓의 부착은 작업시간에 제한이 없어 브라켓을 정확히 위치시킬 수 있으며 부착 후 잔존 레진을 쉽게 제거할 수 있으나⁴⁾ 임상 적용시 몇 가지 고려해야 할 사항이 있다.

광중합의 광원으로 초기에는 자외선이 이용되었으나, 자외선의 유해 작용⁵⁾과 낮은 중합율⁶⁾로 인해 1980년대 이후 가시광선이 널리 사용되고 있다. 그러나 Tungsten-Halogen light를 광원으로 사용하는 가

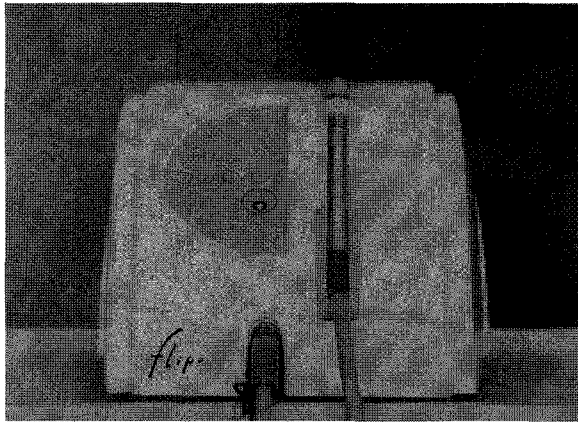


Fig 1. Plasma arc light.

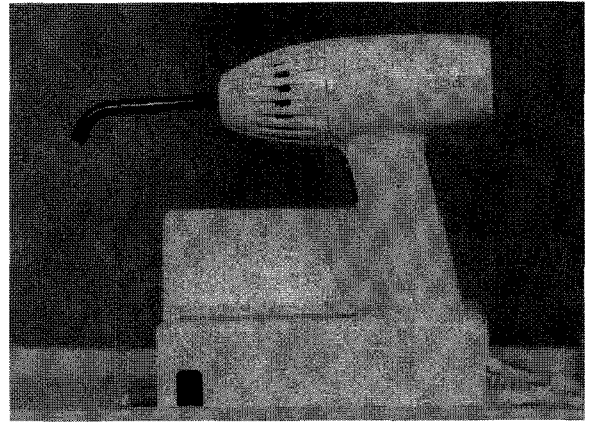


Fig 2. Halogen light.

시광선 중합기는 적절한 접착 강도를 얻기 위하여 20~40초의 중합이 필요하므로, 임상적으로 긴 chair time을 필요로 하게 된다.⁷⁾

이러한 긴 중합시간을 줄이기 위한 방법으로 좀 더 강한 빛을 조사하는 광중합기가 소개되었다.⁸⁾ 1980년대 중반에 소개된 Argon laser는 광원의 대부분을 광활성에 유용한 480nm 파장 근처로 집중시켜 브라켓의 부착시 3초의 중합시간을 제시하였다.⁷⁾ 그러나 대부분의 연구에서 Halogen light와 유사한 결합강도를 위해서는 5초⁹⁾나 10초 정도의 중합시간이 필요하며,^{10,11)} laser의 사용에는 특별한 주의가 필요하다고 보고 되었다.⁷⁾

최근 1990년대 중반부터 개발된 Plasma arc light는 Argon laser처럼 470nm 파장으로 광원을 집중시켜 1000mW/cm² 이상의 강한 빛을 이용하여 5초 이하의 단시간에 레진 중합이 가능하다고 소개되었다. 최근에는 교정 장치의 부착에 사용이 소개되었으며 Caccia-festa 등¹⁴⁾은 브라켓 부착시 2초의 중합시간이면 충분하다고 보고하였으나, 적절한 중합시간에 대해서는 논란이 많은 실정이다.^{7,8,12-16)}

광중합을 이용한 브라켓의 부착시 다른 고려사항으로 빛이 금속 브라켓을 통과하지 못함으로 인한 결합강도의 저하가 있다.¹⁶⁾ 이를 개선하기 위해 선학들은 transillumination 방법을 제시하였으나,¹⁷⁻¹⁹⁾ 이 방법은 빛이 치질을 통과해야 하므로 치수에 유해하다는 주장이 제기되었고, 더욱 긴 중합시간이 필요하다고 하였다.^{20,21)} 이런 이유로 현재 광중합 접착제의 제조사는 빛의 불투과로 인한 결합강도의 저하를 막기 위해 광조사 방향을 제시하고 있다. 제조사는 금

속 브라켓은 브라켓의 근, 원심에서 광조사하고, 세라믹 브라켓은 브라켓 상방에서 브라켓을 통해 광조사하도록 하였으며, 다양한 브라켓의 전단결합강도 연구들에서도 이와 같은 방법을 사용하고 있다.^{4,7-10,12-14,16,22-25)} 그러나 이와 같은 광조사 방향이 결합강도에 영향을 미치는가에 대한 연구는 미비한 실정이다.

본 연구는 Plasma arc light를 이용하여 금속 브라켓의 부착시 광조사 방향이 전단결합강도에 미치는 영향과 적절한 중합시간을 평가하고, 광중합 접착제의 초기 중합 후 시간 경과에 따른 결합강도를 평가하기 위해 시행되었다.

연구재료 및 방법

실험재료

교정적 목적으로 발거된 240개의 소구치가 실험에 이용되었으며 치관의 손상이나 우식증이 없는 건전한 치질을 가진 소구치만이 선택되었다. 브라켓은 기저면적이 9.91mm²인 0.18" 하악 절치용 standard 금속 브라켓(micro -loc, Tomy, Japan)을 사용하였다. 광중합 접착제로는 임상적으로 결합강도가 입증된 Transbond XT paste (3M/Unitek Dental Products, Monrovia, California)를 사용하였다. 광중합기는 Plasma arc light용으로 Flipo (Lobel France) (Fig 1)와 Halogen light용으로 Ortholux XT (3M Unitek)을 사용하였다(Fig 2). light guide size는 두 가지 중합기 모두 8mm 기본형을 사용하였다.

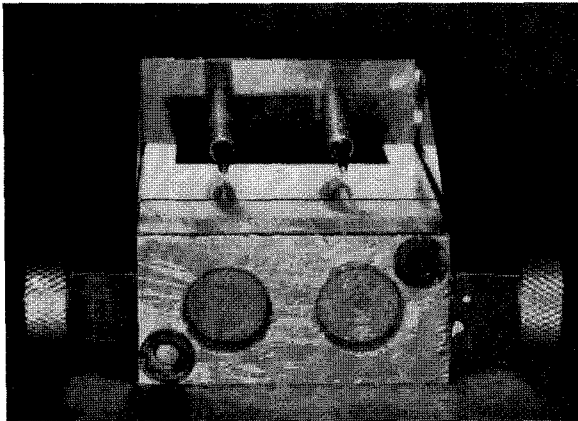


Fig 3. Resin block fabrication device.

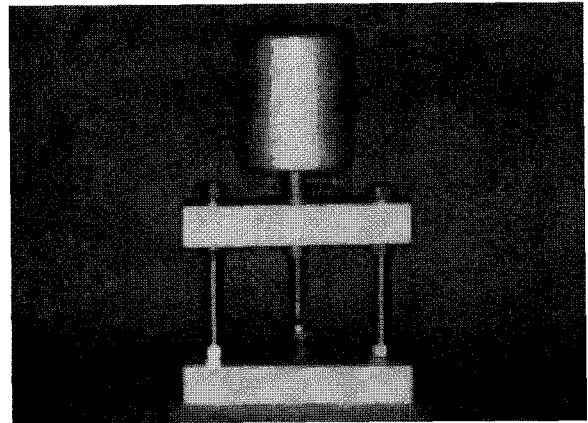


Fig 4. Static loading device.

실험 방법

치아시편의 제작

치근을 절단한 후 치관 범랑질 표면에 직경 약 3-4mm의 평활한 면이 형성되도록 협면을 #220 grit의 SiC 연마지(Beuhler, USA)로 연마한 다음, 협설로 치관을 이등분하였다. 레진 블록 제작용 장치(Fig 3)에 연마된 범랑질면이 노출되도록 고정하여 아크릴 레진으로 블록을 만든 후, 블록을 표면연마용 장치에 고정하고 #320, #400, #600 grit의 SiC 연마지로 연마한 다음, 1 μ m와 0.3 μ m의 알루미나(Beuhler, USA)로 최종 연마하였으며 증류수하에서 10분간 초음파 세척하였다.

실험군의 분류

실험에 사용한 240개의 치아를 무작위로 추출하여 60개씩 4개 군으로 구분하였다. 각 군은 광중합기와 중합시간에 따라 각각 Plasma arc light 2, 4, 6초 군 및 대조군인 Halogen light군으로 설정하였으며, Halogen light의 중합시간은 제조사가 제시하는 20초를 사용하였다. 각 군을 무작위로 30개씩 세분하였으며, 광조사 방향에 따라 브라켓 상방에서 광조사하는 Vertical(V)군과 브라켓의 근, 원심으로 나누어 브라켓/범랑질 접착계면을 향해 광조사하는 Oblique(O)군으로 구분하였다. 모든 군에서 15개씩의 시편을 무작위로 선택하여 브라켓 접착 후 5분 경과 후에 전단결합강도를 측정하였으며, 각 군에서 나머지 15개씩의 시편은 24시간 후에 전단결합강도를 측정하였다. 각 조건에 따른 실험군 분류와 중합방법

은 다음과 같다.

- P2V: Plasma arc light로 브라켓 상방에서 2초간 중합;
- P2O: Plasma arc light로 근, 원심에서 각각 1초간 중합;
- P4V: Plasma arc light로 브라켓 상방에서 4초간 중합;
- P4O: Plasma arc light로 근, 원심에서 각각 2초간 중합;
- P6V: Plasma arc light로 브라켓 상방에서 6초간 중합;
- P6O: Plasma arc light로 근, 원심에서 각각 3초간 중합;
- HV: Halogen light로 브라켓 상방에서 20초간 중합;
- HO: Halogen light로 근, 원심에서 각각 10초간 중합.

치면 처리

치아 표면에 37% 인산을 도포하여 30초간 부식하였으며, 15초간 물을 뿌려 부식산물을 제거한 다음 압축공기로 건조하였다.

브라켓의 부착과 광중합

브라켓 기저면에 Transbond XT를 적용한 후 치면에 압착하고 균일한 하중을 가하기 위해 정하중 장치(Fig 4)를 이용하여 10초 동안 560g의 하중을 가했으며,²⁶⁾ 여분의 접착제는 탐침을 이용하여 제거하였다. 광중합은 전술한 조건에 따라 시행하였으며 광조사 방향은 Fig 5와 같다.

전단결합강도의 측정

브라켓의 부착 후 24시간 군의 시편들은 실온에서 5분간 보관한 후 전단결합강도 측정전까지 37°C의 증류수에 넣어 항온수조에 보관하였으며, 5분 군들은 부착 후 실온에서 보관하였다. 전단결합강도는 만능

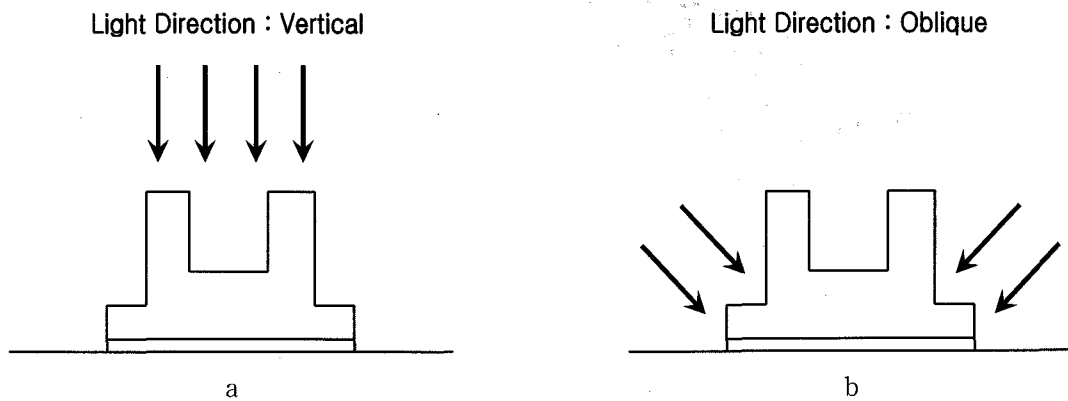


Fig 5. Curing light direction a. Vertical: b. Oblique.

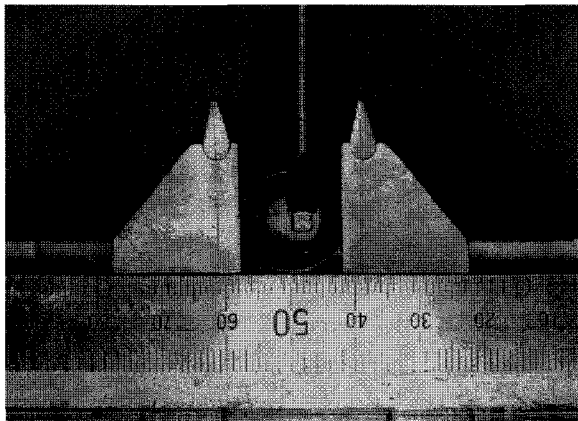


Figure 6. Shear bond strength test with universal testing machine.

물성시험기(Instron model 4201, Instron Co, USA) (Fig 6)에 전단시험용 시편고정장치를 부착한 후 분당 1.0mm의 crosshead 속도에서 50kg의 load cell을 이용하여 측정하였다. 전단결합강도는 결합력을 브라켓 기저부의 단면적으로 나누어 MPa 단위로 표시하였다.

브라켓 탈락 양상의 관찰

전단결합강도를 측정한 브라켓 기저면을 Stereo-scope (H-III, Nikon, Japan)로 20배 확대하여 관찰하였으며, 브라켓 기저면에 잔존하는 접착제의 양에 따라 Artun과 Bergland의 접착제 잔류지수(ARI)를 이용하여 점수화하였다.²⁷⁾

접착제 잔류 지수 (Adhesive Remnant Index)

- Score 0: 브라켓 기저면에 접착제가 남아 있지 않은 경우;
- Score 1: 브라켓 기저면에 접착제가 반 이하 남아 있는 경우;
- Score 2: 브라켓 기저면에 접착제가 반 이상 남아 있는 경우;
- Score 3: 브라켓 기저면에 모든 접착제가 남아 있는 경우.

통계 처리

SPSS 프로그램을 이용하여 각 군들의 전단결합강도의 평균과 표준편차를 산출하였고, 부착 방식에 따른 유의성을 검증하기 위해 분산분석을 시행한 다음 Duncan의 다중범위 검증법에 의해 각 군들 사이의 차이를 비교하였다. 부착 후 경화 시간에 따른 전단결합강도의 비교를 위해 Independent t-test를 시행하고, 파절양상 평가를 위해 각 시험군의 ARI score에 대해 Chi-square test를 시행하였다.

연구결과

광중합기의 광도

Halogen light는 curing radiometer Model 100(Demetron)을 사용하여 측정한 결과 450mW/cm²였다. Plasma arc light는 통상의 radiometer로는 1000mW 이상은 측정할 수가 없어 제조사에서 추천하는 Powermeter (Molecron)를 이용하여 측정한 결과 0.73이었고, 이를 제조자의 지시대로 8mm light guide tip으로 환산한 결과 1896mW/cm²였다.

전단결합강도

각 군들의 전단결합강도가 Table 1에 요약 되어있

Table 1. Descriptive statistics of shear bond strength of 16 groups tested after 5 min and 24 hours (ANOVA, Duncan's multiple range test)

Group	After 5 min (MPa)			After 24 hours (MPa)		
	N	Mean ± S.D.	Grouping	N	Mean ± S.D.	Grouping
P2V	15	4.49 ± 1.02		15	12.24 ± 1.85**	
P2O	15	5.13 ± 1.03		15	12.24 ± 2.40**	
P4V	15	5.41 ± 1.16		15	15.08 ± 2.98**	
P4O	15	6.22 ± 0.80		15	14.88 ± 2.74**	
P6V	15	6.72 ± 1.53		15	15.37 ± 4.00**	
P6O	15	7.16 ± 1.48		15	15.00 ± 2.02**	
HV	15	7.35 ± 0.97		15	15.39 ± 3.51**	
HO	15	7.96 ± 1.53		15	15.34 ± 2.75**	

Items with a vertical bar are homogeneous subsets at $p < 0.05$; **Independent t-test between 5min and 24hour groups significant at $p < 0.01$; P: plasma light, H: halogen light, V: Vertical O: Oblique.

Table 2. Comparison of the shear bond strength depending on the light direction (Independent t-test)

Testing time	Light unit	Exposure time	Light direction		p-value
			Vertical(MPa) Mean ± S.D.	Oblique(MPa) Mean ± S.D.	
5 min	Plasma	2s	4.49 ± 1.02	5.13 ± 1.03	0.146
	Plasma	4s	5.41 ± 1.16	6.22 ± 0.80	0.119
	Plasma	6s	6.72 ± 1.53	7.16 ± 1.48	0.540
	Halogen	20s	7.35 ± 0.97	7.96 ± 1.53	0.394
24 h	Plasma	2s	12.24 ± 1.85	12.24 ± 2.40	0.996
	Plasma	4s	15.08 ± 2.91	14.88 ± 2.74	0.775
	Plasma	6s	15.37 ± 4.00	15.00 ± 2.02	0.724
	Halogen	20s	15.39 ± 1.53	15.34 ± 2.75	0.964

다. 접착 5분 후의 전단결합강도는 P2V군이 4.423 ± 1.02MPa로 가장 낮고 HO군이 7.96 ± 1.53MPa로 가장 높았으며, 24시간 후에는 P2V군이 12.24 ± 1.85MPa로 가장 낮고 P6V군이 15.37 ± 4.00MPa로 가장 높았다. 5분 후의 결합강도는 중합시간이 길수록 증가하고, Oblique 방향의 중합이 Vertical 방향보다 전단결합강도가 큰 경향이 있으나 통계적 유의한 차이는 보이지 않았다. Duncan 분석 결과 Plasma arc light의 중합시간과 조사방향에 따른 전단결합강도 비교에서 P2V (4.42 3± 1.02MPa)군의 전단결합 강도는 P6O, HV, HO (7.16 ± 1.48MPa, 7.35 ± 0.97MPa, 7.96 ± 1.53MPa)군들보다

낮았으며($p < 0.05$), P2O군과 P4V군의 전단결합강도는 HO군보다 낮았다($p < 0.05$). 24시간 후의 결합강도는 P2V, P2O(12.24 ± 1.85MPa, 12.24 ± 2.40MPa)군들의 전단결합강도가 P4V, P4O, P6V, P6O, HV, HO(15.08 ± 2.98MPa, 14.88 ± 2.74MPa, 15.37 ± 4.0MPa 15.0 ± 2.02MPa, 15.39 ± 3.51MPa, 15.34 ± 2.75MPa)군들보다 낮았다($p < 0.05$). 중합 후 시간 경과에 따른 결합강도의 비교시 모든 조건에서 24시간 후가 5분 후보다 높았다($p < 0.01$). 광조사 방향에 따른 결합강도 비교(Table 2)시 모든 조건에서 Vertical 방향과 Oblique 방향 간에 결합강도 차이가 없었다($p > 0.05$).

Table 3. Frequency and percentage distribution of Adhesive Remnant Index(ARI) score of testing after 5 minutes

Group	ARI score (%)				Total
	0	1	2	3	
P2V	6 (40)	9 (60)	-	-	15
P2O	8 (53.3)	6 (40)	-	1 (6.7)	15
P4V	9 (60)	6 (40)	-	-	15
P4O	6 (40)	9 (60)	-	-	15
P6V	6 (40)	9 (60)	-	-	15
P6O	4 (26.7)	11 (73.3)	-	-	15
HV	6 (40)	6 (40)	3 (20)	-	15
HO	6 (40)	8 (53.7)	1 (6.7)	-	15
Total	51	64	4	1	120

$\chi^2=5.833, d=7, p=0.559$

Table 4. Frequency and percentage distribution of Adhesive Remnant Index(ARI) score of testing after 24 hours

Group	ARI score (%)				Total
	0	1	2	3	
P2V	1 (6.7)	9 (60)	3 (20)	2 (13.3)	15
P2O	2 (13.3)	10 (66.7)	2 (13.3)	1 (6.7)	15
P4V	2 (13.3)	6 (40)	4 (26.7)	3 (20)	15
P4O	1 (6.7)	9 (60)	2 (13.3)	3 (20)	15
P6V	1 (6.7)	7 (46.7)	2 (13.3)	5 (33.3)	15
P6O	-	8 (53.3)	4 (26.7)	3 (20)	15
HV	2 (13.3)	6 (40)	4 (26.7)	3 (20)	15
HO	-	9 (60)	2 (13.3)	4 (26.7)	15
Total	9	64	23	24	120

$\chi^2=10.51, d=7, p=0.161$

접착과절양상의 비교

부착 5분 후 결합강도에서(Table 3) ARI score는 0, 1점의 빈도가 높았으며 군들 간의 차이는 없었다. 부착 24시간 후 결합강도에서(Table 4) ARI score는 5분 후에 비해 2, 3점의 빈도가 증가하였으나 군들 간의 차이는 없었다.

고찰

광중합에 의한 브라켓의 부착은 브라켓을 정확한 곳에 위치시킬 수 있으나, 불충분한 중합으로 인한 결합강도의 감소를 고려해야 한다고 보고되었다. King 등¹⁸⁾과 Harris 등²⁸⁾은 광중합형 접착제에 의한 금속 브라켓의 부착시 화학중합형보다 낮은 결합강도를 보인다고 보고하였고, Greenlaw 등¹⁶⁾은 중합 후 30시

간 후의 광중합 접착제의 전단결합강도가 화학중합형의 반절박에 되지 않는다고 보고하였으며, 이는 금속 브라켓의 빛의 불투과성 때문이라고 하였다.^{16,23)}

많은 브라켓의 전단결합 연구에서와 광중합 접착제의 제조사는 브라켓의 부착시 광조사 방향을 제시하고 있으나 광조사 방향에 따른 결합강도를 알아본 이번 실험결과 금속 브라켓의 광중합시 근, 원심에서 중합하는 것과 상방에서 브라켓을 통해서 중합하는 두 방법간에 전단결합강도의 차이가 없었다(Table 2). 이는 금속 브라켓의 광중합시 제시되었던 기존 방법의 예상과는 다른 결과이었다. 임상에서 광중합을 이용하여 금속 브라켓을 부착할 경우에 light guide tip을 근, 원심 혹은 교합면, 치은면으로 위치시키는 것은 번거로움이며 쉽지 않은 일이다. Lovius 등²⁰⁾이 브라켓의 광중합 부착시 전치부보다 제2소구치 부위에서 광원의 접근이 어려워 낮은 결합강도로 브라켓의 탈락이 높다고 한 것처럼, 특히 구치부에서 원심이나 치은면으로 light guide tip을 위치시키는 일은 어려운 일이다. 따라서 본 연구의 결과에 의해 광중합을 이용한 금속 브라켓의 부착시에도 브라켓 상방에서만 광조사한다면 light guide tip을 근, 원심으로 위치시키는 데 따르는 어려움은 감소할 것으로 생각된다. 이러한 결과는 light guide tip의 크기와 연관이 있을 것으로 생각되는데, 본 연구에서 사용된 것은 실제 임상에서 쓰이는 8mm 표준형이었으며 브라켓 기저부의 단면적은 9.91mm²로 light guide tip을 브라켓 상방에서 위치시켰을 때 브라켓을 충분히 피개할 정도였다. Greenlaw 등¹⁶⁾은 광중합의 경우 빛이 조사된 후 브라켓 변연에서 free radical이 개시하여 radical이 브라켓 하방으로 확산하여 중합이 증가한다고 하였는데, 본 연구에서 브라켓의 근, 원심과 상방에서 광조사시 금속 브라켓 주변의 빛에 노출된 면적은 비슷하고 이로 인해 형성된 free radical 양 또한 비슷하여 결합강도의 차이가 없었던 것으로 생각된다. 만일 light guide tip의 크기가 본 실험에서 사용된 것보다 훨씬 작은 경우에는 광조사 방향에 따라 빛에 노출되는 면적이 다르므로 결합강도의 차이가 있을 것으로 예상된다. 다만 본 실험에서 중합 5분 후 군들에서는 근, 원심에서 광조사한 군들이 상방에서 광조사한 군들보다 전단결합강도가 큰 경향이 있었는데($p>0.05$), 이것으로 광조사 방향이 레진 중합에 끼치는 영향은 중합 초기에 더 많은 것으로 생각 될 수 있다.

Plasma arc light는 광중합 개시제인 camphoroquinone의 최대 흡수 파장 영역인 470nm에 가시광선을

집중시키는 필터를 가지고 있어 일반 Halogen light보다 매우 강한 빛을 조사하게 된다. 본 실험에 사용된 Plasma arc light는 약 1900mW/cm² 광도의 빛으로 Halogen light의 400mW/cm²보다 약 4.7배 강한 빛을 방출했다. Yap과 Seneviratne³⁰⁾는 light energy density는 광도×중합시간이며 광도가 높을수록 적은 중합시간에도 적절한 중합을 얻을 수 있다고 하였다. 또한, Rueggeberg 등³¹⁾은 광중합레진의 중합시 표층부는 중합시간에만 영향을 받으나 심층부는 중합시간과 광도에 영향을 받는다고 하였다. 이처럼 증폭된 빛은 레진 중합의 범위와 깊이를 증가시킬 뿐만 아니라 중합에 필요한 시간을 현저하게 감소시킨다.

그러나 고휘도 광중합기인 Plasma arc light를 이용한 브라켓의 부착시 적절한 중합시간에 대해서는 논란이 많다. Sfondrini 등⁸⁾과 박 등¹⁵⁾은 2초, 제조사는 3초 중합시 Halogen light와 유사한 결합강도를 얻을 수 있다고 하였으나, Oesterle 등⁷⁾은 6초 이상 중합시 Halogen light와 같다고 하였고, Cacciafesta 등¹³⁾은 2초 중합할 경우 Halogen light로 중합한 경우보다 낮은 결합강도를 보이지만 임상적으로 사용 가능하다고 하였다. 본 연구에서 24시간 후 전단결합강도 비교에서 Plasma arc light로 2초 중합한 경우는 Halogen light를 이용한 경우보다 현저히 낮았으며 (Table 1) 4초 이상 중합할 경우 유사하였다. 이러한 결합강도의 차이는 5분 후 전단결합강도 비교에서도 유사하였으며 Plasma arc light로 4초 상방에서 중합한 군까지 Halogen light를 이용하여 근, 원심으로 중합한 군보다 낮았으며, 이는 브라켓을 부착시키기 위한 이상적인 결합강도로 Reynolds 등³²⁾과 McCourt 등³³⁾이 요구한 6~8MPa과 10MPa보다 낮은 값이었다. 이것은 비록 고휘도이지만 짧은 중합시간으로 Halogen light에 비해 접착제의 중합이 초기에 충분히 일어나지 못했기 때문으로 생각된다. 비록 24시간 후 전단결합강도 비교에서 Halogen light와 유사한 결합강도를 위해선 Plasma arc light는 4초 이상의 중합시간이 필요하지만, 2초의 중합시간에도 12.24MPa 이상의 결합강도를 보여 중합 직후에만 무리한 힘을 가하지 않는다면 2초의 중합시간은 임상적으로 사용 가능할 것으로 생각된다.

Plasma arc light의 사용시 고휘도로 인한 치수의 온도 상승이 예상되는데 Zach와 Cohen³⁴⁾은 치수의 온도가 42.5°C 이상 올라가면 비가역적 치수 손상이 야기된다고 하였다. 이러한 온도 상승은 레진의 발열성과 빛에 의한 에너지 흡수 때문인데 Oesterle 등⁷⁾은

Plasma arc light 사용시 치수의 온도 상승을 막기 위해서는 중합시간을 짧게 하고 광조사를 여러 방향에서 나누어서 하는 것을 제시하였다. 한편, Loney와 Price³⁵⁾는 Plasma arc light-3초, Halogen standard tip과 Turbo tip-40초로 치수 온도 상승을 비교한 실험에서 Plasma arc light-3초군의 치수 온도 상승이 가장 적었으며, 1mm의 dentin 증가시 온도 상승이 3.3℃ 감소하였다고 보고하였다. 이에 본 연구에서 브라켓 상방에서만 광조사에 따른 치수 온도 상승은 근, 원심 광조사에 비해 광원과 치수와의 거리 증가 효과와 브라켓을 통해 광조사하므로 브라켓에 의한 빛의 차단효과로 인해 문제가 되지 않을 것으로 생각된다.

교정용 광중합 접착제의 결합강도의 측정 시기는 임상적으로 중요한 의미를 지니는데 브라켓을 부착한 후 언제 힘을 가해야 하는지를 알려준다. Read³⁶⁾는 브라켓 하방의 레진은 초기 광조사 후 충분히 중합되므로 바로 힘을 가해도 된다고 하였으며, Oesterle 등²⁵⁾은 초기 중합 후 시간 경과에 따라 강도가 증가하지만 현저하지 않으므로 5분 후에 archwire 넣는 것을 권고 하였으나, Greenlaw 등¹⁶⁾은 초기 광조사 후에는 충분히 중합이 일어나지 않아 낮은 결합강도를 보이므로 24시간 후에 archwire를 넣을 것을 추천했다. 본 실험에서 중합 후 5분과 24시간 후의 전단결합강도 차이가 큰데 이는 광중합 레진이 초기 광조사 후 계속해서 중합되기 때문으로 생각된다. 한편, Plasma arc light를 이용하여 2초와 4초간 수직방향 광조사한 경우, 중합 5분 후의 결합강도가 선학들이 제시하는 최소 결합강도에 미치지 못하므로, 초기에 강한 힘의 적용이 필요한 곳은 4초 이상 근, 원심에서 나누어서 광조사하거나 24시간 후에 힘을 적용하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

본 연구에서는 광조사 방향에 따른 브라켓 접착과 절양상의 차이는 관찰되지 않았다. Sfondrini 등⁸⁾은 광중합기에 따라 파절양상이 다르다고 하였으나, 본 연구에서는 차이가 없었으며 이는 Oesterle 등⁷⁾과 박 등¹⁵⁾의 결과와 같았다. 중합시간에 따른 파절양상 또한 Sfondrini 등⁸⁾과 Lalani 등,⁹⁾ 박 등¹⁵⁾의 결과처럼 차이가 없었다. 다만 중합 초기에는 브라켓과 접착제 사이의 파절이 대부분이었으나 중합이 진행될수록 치면과의 탈락 빈도가 증가 하였다. 이는 광중합 접착제의 중합이 초기에는 치면과의 접착부위에서 이루어지며, 점차 브라켓과의 접착부위까지 확대되었기 때문으로 생각된다.

본 연구의 실험 조건은 실제 구강환경과는 다르므

로 이에 대한 고려가 필요하며 금속 브라켓과 기본형의 light guide tip만을 사용하여 광조사 방향을 연구 하였으나 세라믹이나 레진 브라켓에서와 다른 크기의 light guide tip에서도 연구 되어야 할 것으로 생각된다. 또한, 안전한 임상 사용을 위해 Plasma arc light의 강한 빛이 연조직이나 술자의 눈에 미치는 영향에 대해서도 향후 연구가 필요할 것으로 생각된다.

결 론

Plasma arc light를 이용하여 광조사 방향과 중합시간이 금속 브라켓의 전단결합강도에 미치는 영향을 알아보기 위해 법랑질 표면에 금속 브라켓을 부착한 후 Instron을 통해 전단결합강도를 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 금속 브라켓의 광중합 부착시 광중합기의 종류, 중합시간에 관계없이 중합방향은 전단결합강도에 영향을 끼치지 않았다.
2. Plasma arc light를 이용한 금속 브라켓의 부착시 Halogen light와 유사한 결합강도를 위해선 4초 이상의 중합시간이 필요하다.
3. Plasma arc light와 Halogen light의 초기 광조사 후 광중합 접착제의 중합은 금속 브라켓 하방에서 계속된다.
4. ARI score 평가 결과 광중합기의 종류와 중합방향, 중합시간은 접착파절양상에 영향을 끼치지 않았다.

이상의 결과는 Plasma arc light의 사용하여 금속 브라켓의 부착시 광조사 방향은 전단결합강도에 영향을 끼치지 않으며, Halogen light와 유사한 결합강도를 위해선 4초 이상의 중합시간이 필요함을 시사한다.

참 고 문 헌

1. Buonocore M. Adhesive sealing of pits and fissures for caries prevention, with use of ultraviolet light. J Am Dent Assoc 1970;80:324-30.
2. Buonocore MG, Davila J. Restoration of fractured anterior teeth with ultraviolet-light-polymerized bonding materials:a new technique. J Am Dent Assoc 1973;86:1349-54.
3. Silverman E, Cohen M, Gianelly AA, Dietz VS. A universal direct bonding system for both metal and plastic brackets. Am J Orthod 1972;62(3):236-44.
4. 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.

5. Birdsell DC, Bannon PJ, Webb RB. Harmful effects of near-ultraviolet radiation used for polymerization of a sealant and a composite resin. *J Am Dent Assoc* 1977;94:311-4.
6. Tirtha R, Fan PL, Dennison JB, Powers JM. In vitro depth of cure of photo-activated composites. *J Dent Res* 1982;61:1184-7.
7. Oesterle LJ, Newman SM, Shellhart WC. Rapid curing of bonding composite with a xenon plasma arc light. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001;119:610-6.
8. Sfondrini MF, Cacciafesta V, Pistorio A, Sfondrini G. Effects of conventional and high-intensity light-curing on enamel shear bond strength of composite resin and resin-modified glass-ionomer. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001;119:30-5.
9. Lalani N, Foley TF, Voth R, Banting D, Mamandras A. Polymerization with the argon laser: curing time and shear bond strength. *Angle Orthod* 2000;70:28-33.
10. Talbot TQ, Blankenau RJ, Zobitz ME, Weaver AL, Lohse CM, Rebellato J. Effect of argon laser irradiation on shear bond strength of orthodontic brackets: an in vitro study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000;118:274-9.
11. Blankenau RJ, Kelsey WP, Powell GL, Shearer GO, Barkmeier WW, Cavell WT. Degree of composite resin polymerization with visible light and argon laser. *Am J Dent* 1991;4:40-2.
12. Sfondrini MF, Cacciafesta V, Klersy C. Halogen versus high-intensity light-curing of uncoated and pre-coated brackets: a shear bond strength study. *J Orthod* 2002;29:45-50.
13. Cacciafesta V, Sfondrini MF, Sfondrini G. A Xenon arc light-curing unit for bonding and bleaching. *J Clin Orthod* 2000;34:94-96.
14. Ishikawa H, Komori A, Kojima I, Ando F. Orthodontic bracket bonding with a plasma-arc light and resin-reinforced glass ionomer cement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001;120:58-63.
15. 박영철, 유형석, 오영근, 이승연. Plasma arc light를 이용한 bracket 부착시의 전단결합강도와 파절양상의 유형. *대치교정지* 2001;31:261-70.
16. Greenlaw R, Way DC, Galil KA. An in vitro evaluation of a visible light-cured resin as an alternative to conventional resin bonding systems. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1989;96:214-20.
17. Tavas MA, Watts DC. Bonding of orthodontic brackets by transillumination of a light activated composite: an in vitro study. *Br J Orthod* 1979;6:207-8.
18. King L, Smith RT, Wendt SL Jr, Behrents RG. Bond strengths of lingual orthodontic brackets bonded with light-cured composite resins cured by transillumination. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1987;91:312-5.
19. Oesterle LJ, Shellhart WC. Bracket bond strength with transillumination of a light-activated orthodontic adhesive. *Angle Orthod* 2001;71:307-11.
20. Jacoby H. Semi-indirect bonded lingual retainer. *J Clin Orthod* 1989;23:171-5.
21. Behrents RG, Wendt SL, Fox DM, Smith RT, King L. A transillumination technique for lingual bonding. *J Clin Orthod* 1987;21:324-5.
22. Evans LJ, Peters C, Flickinger C, Taloumis L, Dunn W. A comparison of shear bond strengths of orthodontic brackets using various light sources, light guides, and cure times. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002;121:510-5.
23. Ødegaard J, Segner D. The use of visible light-curing composites in bonding ceramic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1990;97:188-93.
24. 장영일, 이승진. 광중합 접착제로 접착된 금속 브라켓의 전단접착강도에 관한 연구. *대치교정지* 1992;22:289-96.
25. Oesterle LJ, Messersmith ML, Devine SM, Ness CF. Light and setting times of visible-light-cured orthodontic adhesives. *J Clin Orthod* 1995;29:31-6.
26. 최해운, 김정기. 교정용 브라켓 접착부의 피로특성에 관한 실험적 연구. *대치교정지* 1995;25:55-72.
27. Årtun J, Bergland S. Clinical trials with crystal growth conditioning as an alternative to acid-etch enamel pretreatment. *Am J Orthod* 1984;85:333-40.
28. Harris AM, Joseph VP, Rossouw E. Comparison of shear bond strengths of orthodontic resins to ceramic and metal brackets. *J Clin Orthod* 1990;24:725-8.
29. Lovius BB, Pender N, Hewage S, O'Dowling I, Tomkins A. A clinical trial of a light activated bonding material over an 18 month period. *Br J Orthod* 1987;14:11-20.
30. Yap AU, Seneviratne C. Influence of light energy density on effectiveness of composite cure. *Oper Dent* 2001;26:460-6.
31. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW Jr. Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite. *Oper Dent* 1994;19:26-32.
32. Reynolds IR, 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.
33. McCourt JW, Cooley RL, Barnwell S. Bond strength of light-cure fluoride-releasing base-liners as orthodontic bracket adhesives. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1991;100:47-52.
34. Zach L, Cohen G. Pulp response to externally applied heat. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1965;19:515-30.
35. Loney RW, Price RB. Temperature transmission of high-output light-curing units through dentin. *Oper Dent* 2001;26:516-20.
36. Read MJ. The bonding of orthodontic attachments using a visible light cured adhesive. *Br J Orthod* 1984;11:16-20.

- ORIGINAL ARTICLE -

Effects of light direction and exposure times of plasma arc light on shear bond strength of metal brackets

Sang-Jeong Roh¹⁾, Hyun-Jung Lee¹⁾, Young-Mi Jeon²⁾, Jong-Ghee Kim³⁾

The purpose of this study was to compare the effects of different light direction, exposure times and setting times when using plasma arc light on shear bond strength of metal brackets. 240 extracted human premolars were randomly assigned to one of 16 groups. Standardized brackets were bonded to enamel using different light curing units (Plasma arc light and Halogen light), exposure times (Plasma arc light 2, 4, 6 seconds and Halogen light 20 seconds), and light directions (Vertical direction [V] and Oblique direction [O]). 8 groups were tested after 5 minutes and the remaining 8 groups after 24 hours. The metal brackets were bonded with Transbond XT. Shear bond strength was measured by a universal testing machine.

The results were as follows:

There were no differences between the shear bond strengths of the Vertical groups (V) and Oblique groups (O), regardless of exposure times and types of light curing units ($p>0.05$).

The shear bond strength of the group with 2 seconds of plasma light were significantly lower than other exposure time groups ($p<0.05$).

The shear bond strength tested after 5 minutes was lower than after 24 hours ($p<0.05$). The Adhesive Remnant Index (ARI) score showed no statistically significant difference among the different groups.

The results of this study suggested that the light direction of plasma arc light had no influence on the shear bond strength of metal brackets to enamel, and exposure times more than 4 seconds produced shear bond strengths similar to those produced with a conventional halogen curing light.

Korean J Orthod 2004;34(5):429-38

※ **Key words:** Plasma arc light, Light direction, Exposure time, Shear bond strength

¹⁾ DDS, MSD, Graduate Student, Department of Orthodontics, School of Dentistry, Chonbuk National University.

²⁾ DDS, MSD, PhD, Assistant professor, Department of Orthodontics, School of Dentistry, Institute of Oral Bioscience Chonbuk National University.

³⁾ DDS, MSD, PhD, Professor, Department of Orthodontics, School of Dentistry, Institute of Oral Bioscience Chonbuk National University.

Reprint requests : **Jong-Ghee Kim**

Department of Orthodontics, School of Dentistry, Institute of Oral Bioscience Chonbuk National University, 664-14, Chonju, Chonbuk, 560-756, Korea / +82 63 250 2124

cbuortho@chonbuk.ac.kr

Received March 8, 2004; Last Revision April 20, 2004; Accepted April 20, 2004