

## 치과용 접착제를 사용한 접착 아말감의 결합 강도

감동훈 · 이상대 · 한세현

서울대학교 치과대학 소아치과학교실 및 치학연구소

Abstract

### BOND STRENGTH OF BONDED AMALGAM USING DENTAL ADHESIVES

Dong-Hoon Kam, D.D.S., Sang-Dae Lee, D.D.S., Ph.D., Se-Hyun Hahn, D.D.S., Ph.D.

*Department of Pediatric Dentistry and Dental Research Institute, College of Dentistry, Seoul National University*

The purpose of this study was to measure and analyze the bond strength of bonded amalgam using dental adhesives and to compare this with light-curing composite resin.

Sections 8mm in diameter were punched out from the labial surface of bovine anterior teeth. These were embedded in clear acrylic resin blocks with labial surface facing out. 55 specimens were made for enamel and dentin each. After dividing these into 5 groups, group 1: Superbond C&B, group 2: Panavia 21, group 3: All-Bond 2, group 4: Fuji I Glass Ionomer Luting Cement, group 5: Scotchbond Multi-Purpose(Restorative Z-100), molds with holes of 6.3mm in diameter and 1.5mm in depth were placed over the specimens. The exposed tooth surfaces were treated with adhesives and the molds were filled with amalgam. In group 5, the mold was filled with composite resin and light-cured for 40 seconds.

The author measured all specimens for bond strength 24 hours after amalgam filling and analyzed fracture surfaces. The following results were obtained:

1. Among the dentin groups, groups 1, 2 and 4 showed significantly lower bond strength compared with group 5( $P<0.05$ ).
2. Among the enamel groups, group 4 showed significantly lower bond strength compared with group 5( $P<0.05$ ).
3. In group 2, 2D showed significantly lower bond strength compared with group 2E( $P<0.05$ ). Other adhesives showed no such differences in bond strength between dentin and enamel( $P>0.05$ ).
4. Cohesive failure was observed in groups 1E and 5D, while mixed failure was seen in groups 1 and 5. Only adhesive failures were noted in groups 2, 3, 4.

**Key word** : Bond strength, bonded amalgam, failure mode

## I. 서 론

1826년 이후로 아말감은 조작의 편이성, 물성, 가격, 수명, 생체적합성 등의 이유로 구치부 수복에 사용되어 왔다. 그러나 아말감은 치질에 접착하는 재료가 아니기 때문에 와동 형성시 기계적 유지를 위해 상당량의 건전 치질을 삭제해야 하며, 이로 인해 치질의 약화를 초래하게 된다. 또한 미세 누출로 인한 치아의 변색, 변연부 파절, 상아질 과민성, 2차 우식, 치수 자극 등이 일어나게 된다<sup>1)</sup>.

Larson 등은 와동 형성이 치아를 약화시킨다고 하였고<sup>2)</sup>, Cavel 등<sup>3)</sup>, Eakle 등<sup>4)</sup>은 아말감 수복한 치아는 기능 중 파절될 가능성이 증가한다고 하였다.

Mertz-Fairhurst와 Newcomer는 아말감 수복후 주사 전자 현미경으로 와동과 아말감 사이의 미세한 틈을 관찰하고 폭은 평균 13 $\mu$ m, 깊이는 평균 41 $\mu$ m라고 보고하였다<sup>5)</sup>. 아말감 입자의 형태에 따라 미세 누출은 영향을 받는데, Mahler와 Nelson은 구상형 합금인 Tytin이 혼합형 합금인 Disperalloy보다 더 큰 미세 누출을 보인다고 하였다<sup>6)</sup>.

시술 후 초기의 미세 누출과 시술 후의 과민 반응을 줄이기 위해 cavity varnish를 사용하게 되었는데, Ben-Amar 등은 재래형, 구상형 아말감 모두에서 copalite cavity varnish의 사용으로 현저하게 미세 누출이 감소하였으며, 혼합형 아말감은 varnish 없이도 좋은 결과를 나타냈다고 하였다<sup>7)</sup>. 그러나 Liberman 등은 시간이 경과할수록 미세 누출에서 varnish의 역할은 감소하여 영구적인 변연 폐쇄는 일어나지 않는다고 하였다<sup>8)</sup>.

Markley는 아말감 유지를 강화하는 방법으로 stainless steel pin 사용을 제안하였다<sup>9)</sup>. Pashley 등은 pin 숫자와 크기 증가가 수복물의 유지력을 10.3MPa까지 증가시켰다고 하였다<sup>10)</sup>. 하지만 pin 설치는 상아질에 금이 가거나 파절되게 하고<sup>11)</sup>, 치근막에 손상을 입히며, 치수 자극이나 노출의 위험이 있다. Pin 설치는 아말감의 강도를 떨어뜨려 수복물의 약화를 초래할 수도 있다<sup>12,13)</sup>.

Buonocore는 인산으로 법랑질 표면을 처리하는 1세대 bonding agent를 소개하였다<sup>14)</sup>. 이는 또한 상아질의 칼슘이온과 레진을 결합시킨다고 하였다<sup>15)</sup>. 대부분의 접착제는 레진을 법랑질과 상아질에 접착시키지만, 몇몇 새로운 접착제는 금속을 치아에 접착

시킬 수 있도록 제조되었다. 1983년 Zardiackas 등이 치질에 아말감을 접착시키는 개념을 소개한 이후로 많은 상아질 접착제가 개발되었다<sup>16)</sup>.

1992년 Nakabayashi는 4-META/MMA-TBB system을 개발하였다<sup>17)</sup>. Roth와 Boyer는 copalite를 사용했을 때보다 Amalgambond를 사용했을 때 치아의 파절 저항력이 72% 높다고 하였고<sup>18)</sup>, Charlton은 Amalgambond나 Panavia Ex를 사용했을 때 유의성 있게 유지가 증가하였다고 보고하였다<sup>19)</sup>. Cooley와 Tseng은 Amalgambond 사용시 3.38-3.84MPa의 전단 결합 강도를 보고하였다<sup>20)</sup>. Nakabayashi 등은 우치에 Amalgambond 사용시 아르틸릭 레진에서 10.6MPa, 복합 레진에서 9.4MPa, 아말감에서 2.8MPa의 인장 결합 강도를 보고하였다<sup>21)</sup>.

McComb 등은 All-Bond 2를 사용한 접착 아말감(bonded amalgam)의 전단 강도 측정후 상아질에서 7.12 1.93MPa, 법랑질에서 8.29 1.51MPa를 보고하였으며, 상아질에서 1,000회, 5,000회의 기계적 하중을 가한 후 각각 4.37 2.42MPa, 2.10 1.68MPa를 보고하였다<sup>22)</sup>.

접착제의 결합을 증가시키기 위한 상아질에 대한 산 처리가 치수에 유해하다는 보고가 있었으나<sup>23,24)</sup> 현재는 변연 누출로 인한 세균의 침입 등이 치수에 유해하며<sup>25,26)</sup> 산부식 자체는 치수에 유해하지 않다는 보고가 지배적이며<sup>27,28)</sup>, 대부분의 상아질 접착제에서 법랑질과 동일하게 산 표면 처리제를 이용하고 있다. 도말층을 제거하는 상아질 접착제의 경우 산 표면 처리제는 일정 깊이까지 상아질을 탈회시켜 콜라겐 섬유를 노출시키며, 여기에 친수성 단량체로 구성된 primer가 스며들어 이후의 접착 레진 침투가 용이하도록 콜라겐 섬유의 배열을 회복시킨다고 보고되고 있다<sup>29,30)</sup>. 결과적으로 콜라겐 섬유와 접착 레진 사이에 미세 기계적 결합이 이루어지게 되고 혼합층이 형성된다.

저자는 접착 아말감의 접착 강도를 평가하고자 현재 이용되고 있는 치과용 접착제(Superbond C&B, Panavia 21, All-Bond 2, Fuji I Glass Ionomer Luting Cement)를 사용한 접착 아말감의 접착 강도를 측정하고, 파절면을 관찰한 후 이를 콤포지트 레진(Restorative Z-100, Scotchbond Multi-Purpose bonding system)과 비교하여 다소의 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

II. 연구 재료 및 방법

1. 연구 재료

우식 및 손상이 없는 건전한 우전치를 발거하여 순면을 직경 8mm의 원형으로 천공한 후, 천공하여 나온 부분을 순면이 바깥쪽으로 향하도록 80×20×16mm<sup>3</sup>의 아크릴릭 레진 블록에 매몰하였다. Hard Tissue Polisher(Struers Dap-V, Denmark)에서 220 grit silicon carbide paper로 연마하여 상아질 시편 55개, 법랑질 시편 55개를 준비하였다.

아말감 충전을 위해 지름 6.3mm 깊이 1.5mm의 구멍이 뚫린 충전용 틀(mold)을 제작하였다.

본 실험에 사용한 치과용 접착제 및 레진은 Table

1에 표시하였다.

2. 연구 방법

상아질군과 법랑질군을 11개씩 각각 5군으로 나누어(Table 2) 충전용 틀을 위치시킨 후 Superbond C&B, Panavia 21, All-Bond 2, Fuji I Glass Ionomer Luting Cement를 사용하여 표면을 접착제로 처리하고 아말감 충전을 하였다. 아말감 합금으로는 BESTALOY(동명, 한국)를 사용하였고, 아말감 연화기(Dentomat<sup>®</sup> 3, Degussa, Germany)에서 50Hz로 34초간 연화하였다. 5군은 레진(Restorative Z-100, 3M Co., U.S.A.) 충전 후 가시광선 조사기(Visilux<sup>™</sup>2, 3M Co., Germany)로 40초간 광중합

**Table 1.** Dental adhesives and resin used in this study

Product	Element	Main Component
Superbond C&B (Sun Medical, Japan)	monomer	MMA, 4-META
	polymer	PMMA, Pigment
	catalyst	TBB-O
	STA(Red)	phosphoric acid
	STA(Green)	citric acid, ferric chloride
Panavia 21 (Kuraray, Japan)	etching agent	phosphoric acid
	ED primer	MDP, HEMA, 5-NMSA
	universal & catalyst paste	MDP
All-Bond 2 (Bisco, U.S.A.)	etchant	10%, 32% phosphoric acid
	primer A	2% NTG-GMA
	primer B	16% BPDM
	bonding resin	Bis-GMA, UDMA, HEMA
Fuji I Glass Ionomer Luting Cement (GC, Japan)	Powder	alumino sillicate glass
	Liquid	polyacrylic acid, HEMA
Scotchbond Multi-Purpose (3M, U.S.A.)	etchant	10% maleic acid
	primer	HEMA, ethanol
	adhesive	HEMA, Bis-GMA

HEMA: 2-Hydroxyethyl Methacrylate

Bis-GMA: Bisphenol Glycidyl Methacrylate

MDP: 10-Methacryloxydecyl Dihydrogen Phosphate

5-NMSA: N-Methacryloyl 5-aminosalicylic acid

NTG-GMA: N-Tolyglycine Glycidyl Methacrylate

BPDM: Biphenyl Dimethacrylate

UDMA: Urethane Dimethacrylate

MMA: Methyl Methacrylate

PMMA: Poly Methyl Methacrylate

4-META: 4-Methacryloxy Ethyl Trimellitate Anhydride

TBB: Tri-N-Butylborane

**Table 2.** Study groups

Group	Dental adhesives	Dentin	Enamel
1	Superbond C&B	1D	1E
2	Panavia 21	2D	2E
3	All-Bond 2	3D	3E
4	Fuji I Glass Ionomer Luting Cement	4D	4E
5	Scotchbond Multi-Purpose(resin)	5D	5E

하였다.

각 시편은 아말감 충전 후 24시간 동안 상온의 공기 중에서 보관하였다. 충전용 틀을 제거한 후 접착 강도 측정용 기구에 장착하여 만능 시험기(Universal Instrument, Instron, England.)에서 0.2mm/min의 cross-head 속도로 하중을 가하여 시편이 탈락할 때까지의 하중값(kg)을 측정하였다. 접착 강도는 다음의 식으로 계산하였다.

$$\text{접착 강도(MPa)} = M/\pi r^2$$

M=시편 탈락시 최대 강도(N)

r=접착한 시편의 반지름(m)

탈락한 시편의 파절면을 Stereomicroscopy(Olympus, Japan)로 관찰하였다.

**Table 3.** Shear bond strength(MPa)

Group	Dentin	Enamel
	Mean±SD	Mean±SD
1	7.86±3.89	12.90±3.46
2	2.32±1.74	11.58±2.62
3	13.78±2.94	13.95±2.22
4	9.43±1.56	5.05±2.02
5	18.12±4.16	15.59±3.84

**Table 4.** Differences in shear bond strength between groups

Group	1D	1E	2D	2E	3D	3E	4D	4E	5D	5E
1D			*							
1E			*					*		
2D				*						
2E				*				*		
3D	*		*					*		
3E	*		*					*		
4D			*							
4E										
5D	*		*	*			*	*		
5E	*		*				*	*		

(\*)denotes pairs of groups significantly different at the .05 level

### Ⅲ. 연구 성적

#### 1. 접착 강도

접착 강도를 측정한 결과는 Table 3에 표시하였다. 이를 ANOVA test한 결과는 Table 4에 표시하였다.

대조군을 제외한 접착 아말감에서, 상아질 시편에서는 2군이 가장 낮은 접착 강도(2.32 1.74MPa)를 보였으며, 3군이 가장 높은 접착 강도(13.78 2.94MPa)를 보였다. 법랑질 시편에서는 4군이 가장 낮은 접착 강도(5.05 2.02MPa)를 보였으며, 3군이 가장 높은 접착 강도(13.95 2.22MPa)를 보였다.

대조군인 5군에서는, 상아질에서 18.12 4.16MPa, 법랑질에서 15.59 3.84MPa를 나타내었다.

상아질 시편에서는 5)3)4)1)2군 순의 접착 강도를 나타내었고, 5D군과 비교시 1D, 2D, 4D군이 유의성 있게 낮은 접착 강도를 나타내었다(p<0.05). 법랑질 시편에서는 5)3)1)2)4)의 순서를 보였으며, 5E군과 비교시 4E군이 유의성 있게 낮은 접착 강도를 나타내었다(p<0.05).

상아질과 법랑질의 비교에서는 2군에서 상아질의

**Table 5.** Failure mode of fracture surface

	1D	1E	2D	2E	3D	3E	4D	4E	5D	5E
A	8	5	11	11	11	11	11	11	1	9
C	0	1	0	0	0	0	0	0	7	0
M	3	5	0	0	0	0	0	0	3	2

A: adhesive failure C: cohesive failure M: mixed failure

접착 강도(2.32 1.74MPa)가 법랑질의 접착 강도(11.58 2.62MPa)보다 유의성 있는 수준으로 낮게 나타났지만(p<0.05), 다른 군에서는 상아질과 법랑질의 비교에서 유의성 있는 차이는 나타나지 않았다(p>0.05).

## 2. 파절면 검사

파절면 검사의 결과는 Table 5에 표시하였다.

파절면 검사에서 cohesive failure는 1E군에서 1개, 5D군에서 7개에 나타났으며, mixed failure는 1D군에서 3개, 1E군에서 5개, 5D군에서 3개, 5E군에서 2개에 나타났다. 2, 3, 4군에서는 모두 adhesive failure가 나타났다.

## IV. 총괄 및 고안

아말감 수복에서 주된 문제는 치질과 결합하지 못한다는 것이다<sup>1)</sup>. 이러한 단점을 극복하기 위하여 접착 아말감이란 개념이 도입되었는데, 이의 장점은 미세 누출 감소, 보다 보존적인 와동 형성 가능, 치질 강화 등이다. 대부분의 치과용 접착제가 접착 아말감에 사용될 수 있지만, 주로 레진계 접착제가 사용되고 있다.

상아질 결합제는 화학적 반응으로 작용할 수 있고, 상아세관과 상아질 표층의 관간기질(intertubular substance)에 침투하여 기계적으로도 작용할 수 있다고 보고되었다<sup>31,32)</sup>. Scotchbond Multi-Purpose는 치수에 가까운 쪽의 상아질보다 법랑질에 가까운 쪽의 상아질에서 더 높은 접착 강도를 갖는다고 보고되고 있다<sup>33)</sup>. Causton은, Scotchbond Multi-Purpose의 결합강도는 기질내 칼슘 농도에 좌우된다고 하였고, 심부 상아질에는 칼슘의 농도가 표층 상아질보다 떨어져, 결국 결합력도 감소한다고 보고하였다<sup>34)</sup>. Stanford 등은 심부의 표면에는 단백

질이 많고, 얇은 부위의 상아질에는 광물질이 농축되어 있다고 하였다<sup>35)</sup>. 하지만, Perinka 등은 상아질 깊이에 따른 칼슘의 농도 차이가 유의성이 없다고 하였으며, 강한 결합은 콜라겐의 양에 달려 있다고 하였다<sup>36)</sup>. Pashley는 심부 상아질에서 낮은 결합력을 갖는 것은 수분 함량이 높고, 레진과 관주 상아질과의 접촉이 떨어지기 때문이라고 하였다. 이상적인 결합체는 상아질의 틈 사이로 레진 꼬리(tag)를 형성하여야 하는데, 그러기 위해서는 관간 상아질과 관주 상아질 모두와 결합해야 한다고 하였다<sup>37)</sup>.

Aysegül과 Tezer는 접착용 레진의 접착 기전을 다음의 네 가지로 설명하였다<sup>31)</sup>.

1. 산부식된 상아세관 안으로 레진 꼬리를 형성한다.
2. 미리 처치된 상아질 위로 침전물이 형성되고, 그 위로 접착용 레진이 화학적, 기계적으로 결합한다.
3. 기질의 유기적, 무기적 요소와 화학적으로 결합한다.
4. 단량체가 전처치된 상아질의 하부표면으로 퍼지고 스며든 후, 중합되어 레진과 상아질의 혼합층을 형성한다.

상아질 접착제 사용시 상아질 표면의 처리에 관해서는 논란이 있다<sup>38)</sup>. 산 부식은 도말층을 제거하고 상아세관을 넓힌다. Pashley 등은 산 부식이 상아질 투과성을 최대치까지 증가시킨다고 하였고<sup>31)</sup>, Gwinnett은 상아질을 산부식하였을 때 상아세관으로의 레진 침투가 10배 증가한다고 보고하였다<sup>39)</sup>. 하지만 이로 인한 치수의 자극도 발생 가능한데, Cox 등<sup>40)</sup>과 Brannstrom과 Nyborg<sup>41)</sup>는 수복재료에서의 화학적 성분은 수복물 주변의 세균성 누출보다 치수에 손상을 덜 입힌다고 하였다. 특히 상아질 접착제 사용시 cavity varnish를 사용했을 때보다 침투성을 감소시키고 상아질 차단 효과가 훨씬 우수하다고 보고되고 있다<sup>10)</sup>. Kanca는 아세톤이 들어 있는

primer를 수분이 있는 상아질에 적용시켰을 때 전단 결합 강도가 높다고 하였다<sup>42,43</sup>.

Superbond C&B는 접착 기전으로 4-META/MMA-TBB를 사용하여 레진과 상아질을 접착시킨다. 이는 미세한 기계적 결합이며, 상아질을 산부식 처리하여 노출시킨 콜라겐 사이로 단량체가 침투하면서 혼합층을 형성함으로써 생성된다<sup>31</sup>. 레진은 콜라겐에 친화성이 있어서 초기 레진 중합과정 중에 발생하는 레진의 수축이 경계면에서 틈을 형성하지 못하도록 하며, 오히려 미중합 레진을 상아질 벽으로 끌어들인다. 즉 기계적 유지 없이도 접착 아말감이 가능하다. Chang 등은 carboxyl compound가 금속과 반응하여 유기금속 화합물을 형성하는 능력이 있으며 아말감의 활성 금속 요소나 기형성된 산화 금속과 이온 결합을 한다고 하였다<sup>44</sup>.

Panavia 21은 화학 중합형 레진 접착제이며, 치질과 화학적 기계적 결합을 한다. Caughman 등은 Panavia 21이 주석과 화학적 결합을 하여, 주석 함량이 많은 Tytin(27wt.%)은 Disperalloy(18wt.%)보다 접착력이 높다고 하였다<sup>45</sup>. Lo 등은, Panavia 21의 화학적 결합은 10-MDP에 좌우되는데, MDP의 dihydrogen phosphate가 치질의 인산 칼슘과 잘 반응하더라도 상아질은 범랑질보다 유기질이 훨씬 많기 때문에, 보다 약한 수소 결합이 발생한다고 하였다<sup>46</sup>.

Panavia 21은 혐기성 중합 특성이 있어, 산소가 차단되어야 중합이 시작된다<sup>47</sup>. Al-Moayad 등은 접착 아말감에서 GI와 접착 레진을 비교한 논문에서 Panavia Ex가 상아질과는 강한 결합을 하지 못한다고 하였다. Panavia Ex는 농도가 묽고, 산소가 차단되기 전까지, 중합이 시작되지 않기 때문에 아말감 충전시 상아질에 묻은 중합전의 접착제가 다른 접착제보다 밖으로 많이 밀려나온다. 이는 접착 강도 감소의 원인이 되며, 이러한 성질은 접착 아말감에 유용하지 않다<sup>47</sup>. Martin과 Jedyakiewicz는 와동 형태가 있을 때 광중합형 GI(Vitremer)가 Panavia Ex보다 높은 유지력을 갖는다고 하였고<sup>48</sup>, 다른 연구에서는 평면에서 Panavia Ex가 화학 중합형 GI보다 높은 접착 강도를 갖는다고 하였다. 일반적으로 광중합형 GI는 화학중합형 GI보다 높은 접착 강도를 가지기 때문에 이런 차이가 나타난다고 하였다<sup>47</sup>.

All-Bond 2의 primer는 친수성이 있어서, 산부식

된 범랑질이 수분에 젖기 쉽게 하고, 범랑질과 접착제간의 긴밀한 접촉이 일어나게 한다<sup>49</sup>. 접착 레진은 상아질 기질에 침투해야 강한 결합이 일어난다. 도말층이 제거된 후 수분이 존재하는 상태에서 더욱 효과적인 접착 강도를 얻을 수 있다. 적절히 처치된 상아질 표면에 혼합된 primer가 도포되면 상아세관 내에 중합체 꼬리가 형성된다.

파절면 검사에서 cohesive failure는 1E군과 5D군에서 관찰되었고, mixed failure는 1, 5군에서 관찰되었으며, 2, 3, 4군에서는 adhesive failure만 관찰되었다. adhesive failure는 접착제와 아말감, 혹은 접착제와 치질사이가 분리된 것을 뜻하며, cohesive failure는 치질내, 혹은 아말감내에서 완전히 파괴가 일어난 것을 뜻한다. mixed failure는 위 두가지가 동시에 보이는 것을 뜻한다.

2, 3, 4군에서 모두 adhesive failure가 나타난 것은 접착제와 아말감, 접착제와 치질간의 결합이 아말감이나 치질 자체의 파절 강도보다 약하다는 것을 의미한다. Superbond C&B를 사용한 경우, 상아질 군에서 mixed failure가 3개, 범랑질 군에서 mixed failure가 5개, cohesive failure가 1개 관찰되었다. 파절면은 아말감내에 있었다. Scotchbond Multi-Purpose를 사용하여 상아질에 레진을 충전한 5D군에서 cohesive failure가 7개, mixed failure가 3개 나타났다. 파절면은 레진이 아닌 상아질에서 관찰되었다. 이는 레진을 사용할 경우 Scotchbond Multi-Purpose의 접착 강도가 상아질의 파절 강도보다 강하다는 것을 의미한다.

본 연구에서는 실험의 편의상 사람의 치아 대신 소의 치아를 사용하였다. 본 실험의 결과와 다른 연구들의 결과를 비교해 보면, 우치를 사용했음에도 접착 강도가 오히려 높은 경우가 많았다. 이는 생리 식염수내 보관이나 thermocycling을 시행하지 않았던 것 때문이라고 판단된다. Chang 등은 Amalgambond를 사용한 접착 아말감에서 thermocycling을 1,000회 실시했을 때 전단 결합 강도가 10.02kg/cm<sup>2</sup>에서 9.07kg/cm<sup>2</sup>로 감소하였다고 보고 하였다<sup>44</sup>.

접착 강도만을 고려할 때는 All-Bond 2가 가장 높은 결과를 보였고, 술식이 가장 간편한 것은 Fuji I Glass Ionomer Luting Cement였으며, 파절면 관찰에서는 Superbond C&B가 가장 우수한 결과를 보였

다. Fuji I Glass Ionomer Luting Cement는 법랑질과의 결합 강도가 5.05MPa에 불과하고, 타액에 의해 용해되는 단점이 있지만, 아말감 와동은 기저면이 상아질 내에 존재하고, 상아질에서 Fuji I Glass Ionomer Luting Cement의 접착 강도는 9.43MPa로 All-Bond 2와 유의성 있는 차이를 보이지 않았기에 임상에서 접착 아말감 수복시 Fuji I Glass Ionomer Luting Cement는 유용하다고 판단된다.

이번 실험에서는 와동을 형성하는 대신 편평한 치아면에 충전용 틀을 위치시키고, 아말감을 충전하였다. 평면이었기에 접착제가 치아 표면뿐만 아니라, 아크릴릭 레진 블록에도 확장된 시편이 있었고, 편평한 치아 표면에서 실험하였으므로 이번의 결과를 실제 임상에 적용하기에는 무리가 있다. 따라서 앞으로 평면대신 표준화된 와동을 형성하고, 접착 아말감 충전 후 접착 강도, 미세 누출 및 파절면 검사에 대한 연구와, 임상에서 환자 구강내에서의 접착 아말감의 유지 기간, 미세 누출 및 과민 반응에 대한 연구가 필요하리라 사료된다.

## V. 결 론

저자는 4종의 치과용 접착제(1군:Superbond C&B, 2군:Panavia 21, 3군:All-Bond 2, 4군:Fuji I Glass Ionomer Luting Cement)를 사용하여, 우전치의 상아질과 법랑질에서 접착 아말감의 접착 강도를 측정하고, 파절면을 관찰한 후 이를 콤포지트 레진(5군: Scotchbond Multi-Purpose bonding system)과 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 상아질군에서 1, 2, 4군은 5군에 비하여 통계학적으로 유의성 있게 낮은 접착 강도를 보였다( $P<0.05$ ).
2. 법랑질군에서 4군은 5군에 비하여 통계학적으로 유의성 있게 낮은 접착 강도를 보였다( $P<0.05$ ).
3. 2군에서는 상아질군에서 법랑질군에 비하여 통계학적으로 유의성 있게 낮은 접착 강도를 보였으나( $P<0.05$ ), 다른 접착제에서는 상아질군과 법랑질군에서의 접착 강도가 유의성 있는 차이를 보이지 않았다( $P>0.05$ ).
4. Cohesive failure는 1E군과 5D군에서 관찰되었고, mixed failure는 1, 5군에서 관찰되었으며, 2, 3, 4군에서는 adhesive failure만 관찰되었다.

## 참 고 문 헌

1. Hadavi F, Hey JH, Strasdin RB, McMeekin GP : Bonding amalgam to dentin by different methods. J Prosthet Dent 72:250-254, 1994.
2. Larson D, Douglas WH, Geistfeld RE : Effect of prepared cavities on the strength of teeth. Oper Dent 6:2-5, 1981. cited from D McComb, J Brown, M Forman : Shear bond strength of resin-mediated amalgam-dentin attachment after cyclic loading. Oper Dent 20:236-240, 1995.
3. Cavel WT, Kelsey WP, Blankenau RJ : An in vivo study of cuspal fracture. J Prosthet Dent 53:38-42, 1985.
4. Eakle WS, Maxwell EH, Braly BV : Fractures of posterior teeth in adult. JADA 112:215-218, 1986.
5. Mertz-Fairhurst EJ, Newcomer AP : Interface gap at amalgam margins. Dent Mat 4:122-128, 1988.
6. Mahler DB, Nelson LW : Factors affecting the marginal leakage of amalgam. JADA 108:51-54, 1984.
7. Ben-Amar A, Nordenberg D, Bar D et al. : Marginal microleakage. Dent Mat 2:45-47, 1986.
8. Liberman R, Ben-Amar A, Nordenberg D, Jodaikin A : Long-term sealing properties of amalgam restorations: in vitro study. Dent Mat 5:168-170, 1989.
9. Markley MR : Pin reinforcement and retention of amalgam foundations and restorations. JADA 56:675-679, 1958.
10. Pashley EL, Comer RW, Parry EE, Pashley DH : Amalgam build-ups: shear strength and dentin sealing properties. Oper Dent 16:82-89, 1991. cited from Hadavi F, Hey JH, Strasdin RB, McMeekin GP : Bonding amalgam to dentin by different methods. J Prosthet Dent 72:250-254,

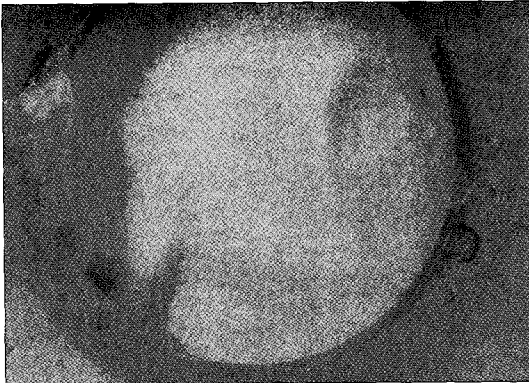
- 1994.
11. Webb EL, Straka WF, Philips CL : Tooth crazing associated with threaded pins: a three-dimensional model. *J Prosthet Dent* 61:624-628, 1989.
  12. Moffa JP, Going RE, Gettleman L : Silver pins: their influence on the strength and adaptation of amalgam. *J Prosthet Dent* 28:491-499, 1972. cited from Hadavi F, Hey JH, Strasdin RB, McMeekin GP : Bonding amalgam to dentin by different methods. *J Prosthet Dent* 72:250-254, 1994.
  13. Ceconni BT, Asga K : Pins in amalgam: a study in reinforcement. *J Prosthet Dent* 26:159-169, 1971.
  14. Buonocore MG : A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res* 34:849-853, 1955. cited from Hadavi F, Hey JH, Strasdin RB, McMeekin GP : Bonding amalgam to dentin by different methods. *J Prosthet Dent* 72:250-254, 1994.
  15. Bounocore M, Wileman W, Brudevold F : A report on a resin composition capable of bonding to human dentin surfaces. *J Dent Res* 35:846-851, 1956.
  16. Zardiackas LD, Stoner GE : Tensile and shear adhesion of amalgam to tooth structure using selective interfacial amalgamation. *Biomaterials* 4:9-13, 1983. cited from Hadavi F, Hey JH, Strasdin RB, McMeekin GP : Bonding amalgam to dentin by different methods. *J Prosthet Dent* 72:250-254, 1994.
  17. Nakabyashi N : Adhesive bonding with 4-META. *Oper Dent Suppl* 5:125-130, 1992.
  18. Roth L, Boyer D : Fracture resistance of teeth with bonded amalgam. *J Dent Res* 70:300, 1991.
  19. Charlton DG, Moore BK, Swartz ML : In vitro evaluation of the use of resin liners to reduce microleakage and improve retention of amalgam restorations. *Oper Dent* 17:112-119, 1992. cited from Ölmez A, Ulusu T : Bond strength and clinical evaluation of a new dentinal bonding agent to amalgam and resin composite. *Quintessence Int* 26: 785-792, 1995.
  20. Cooley RL, Tseng EY, Barkmeier WW : Dentinal bond strengths and microleakage of a 4-META adhesive to amalgam and composite resin. *Quintessence Int* 22:979-983, 1991. cited from Ölmez A, Ulusu T : Bond strength and clinical evaluation of a new dentinal bonding agent to amalgam and resin composite. *Quintessence Int* 26: 785-792, 1995.
  21. Nakabayashi N, Watanabe A, Gendua NJ : Dentin adhesion of "modified" 4-META/MMA-TBB resin: Function of HEMA. *Dent Mat* 8:259-264, 1992.
  22. McComb D, Brown J, Forman M : Shear bond strength of resin-mediated amalgam-dentin attachment after cyclic loading. *Oper Dent* 20:236-240, 1995.
  23. Macko DJ, Rutberg M, Langeland K : Pulpal response to the application of phosphoric acid to dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 45:930-946, 1978.
  24. Stanley DR, Going RE, Chauncey HH : Human pulp response to acid pretreatment of dentin and to composite restoration. *JADA* 91:817-825, 1975. cited from 최상철, 박준일, 권혁춘 : 수종의 접착제를 사용한 아말감 수복시의 미세 변연 누출에 관한 연구. *대한치과보존학회지* 22:447-463, 1997.
  25. Pashley DH : Smear layer: Physiological considerations. *Oper Dent Suppl* 3:13-29, 1984. cited from 최상철, 박준일, 권혁춘 : 수종의 접착제를 사용한 아말감 수복시의 미세 변연 누출에 관한 연구. *대한치과보존학회지*



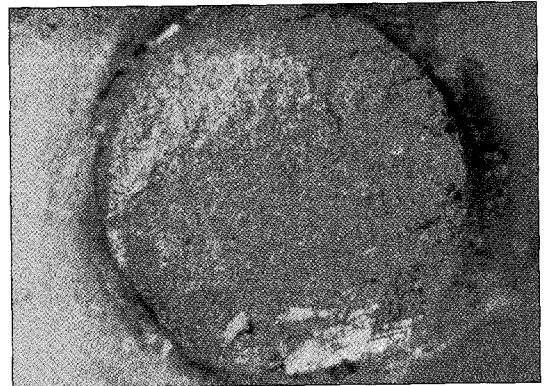
- 22:447-463, 1997.
26. Brönnstrom M : Smear layer: Pathological and treatment considerations. *Oper dent Suppl* 3:35-42, 1984. cited from 최상철, 박준일, 권혁춘 : 수종의 접착제를 사용한 아말감 수복시의 미세 변연 누출에 관한 연구. *대한치과보존학회지* 22:447-463, 1997.
  27. Stanley HR : Pulpal considerations of adhesive materials. *J Dent Res Suppl* 5:151-164, 1992. cited from 최상철, 박준일, 권혁춘 : 수종의 접착제를 사용한 아말감 수복시의 미세 변연 누출에 관한 연구. *대한치과보존학회지* 22:447-463, 1997.
  28. Cox CF : Effects of adhesive resins and various dental cements on the pulp. *J Dent Res Suppl* 5:165-176, 1992. cited from 최상철, 박준일, 권혁춘 : 수종의 접착제를 사용한 아말감 수복시의 미세 변연 누출에 관한 연구. *대한치과보존학회지* 22:447-463, 1997.
  29. Van Meerbeek B, Lambrechts P, Inokoshi S et al. : Factors affecting adhesion to mineralized tissues. *Oper Dent Suppl* 5:111-124, 1992. cited from 최상철, 박준일, 권혁춘 : 수종의 접착제를 사용한 아말감 수복시의 미세 변연 누출에 관한 연구. *대한치과보존학회지* 22:447-463, 1997.
  30. Woronko GA, St Germain HA, Meiers JC : Effect of dentin primer on the shear bond strength between composite resin and enamel. *Oper Dent* 21:116-121, 1996.
  31. Ölmez A, Ulusu T : Bond strength and clinical evaluation of a new dentinal bonding agent to amalgam and resin composite. *Quintessence Int* 26: 785-792, 1995.
  32. Asmussen E, Uno S : Adhesion of restorative resins to dentin: Chemical and physicochemical aspects. *Oper Dent Suppl* 5:68-74, 1992. cited from Ölmez A, Ulusu T : Bond strength and clinical evaluation of a new dentinal bonding agent to amalgam and resin composite. *Quintessence Int* 26: 785-792, 1995.
  33. Rueggeberg FA : Substrate for adhesion testing to tooth structure-Review of the literature. *Dent Mat* 7:2-10, 1991.
  34. Causton BE : Improved bonding of composite restorative to dentin. *Br Dent J* 156:93-95, 1984.
  35. Standford JW, Sabri I, Jose S : A comparison of the effectiveness of dentin bonding agent. *Int Dent J* 35:139-144, 1985.
  36. Perinka L, Sano H, Hosoda H : Dentin thickness, hardness, and Ca-concentration vs bond strength of dentin adhesives. *Dent Mat* 8:229-233, 1992. cited from Ölmez A, Ulusu T : Bond strength and clinical evaluation of a new dentinal bonding agent to amalgam and resin composite. *Quintessence Int* 26: 785-792, 1995.
  37. Pashley DH : Clinical correlations of dentin structure and function. *J Prosthet Dent* 66:777-781, 1991.
  38. Stanford JW : Bonding of restorative materials to dentin. *Int Dent J* 35:135-138, 1985.
  39. Gwinnett AJ : The morphologic relationship between dental resins and etched dentin. *J Dent Res* 56:1155-1160, 1977.
  40. Cox CF, Keall CL, Keall HJ et al. : Biocompatibility of surface-sealed dental materials against exposed pulps. *J Prosthet Dent* 57:1-8, 1987.
  41. Brannstrom M, Nyburg H : The presence of bacteria in cavities filled with silicate and composite resin materials. *Swed Dent J* 64:149-155, 1971. cited from Hadavi F, Hey JH, Strasdin RB, McMeekin GP : Bonding amalgam to dentin by different methods. *J Prosthet Dent* 72:250-254, 1994.
  42. Kanca J : Effect of dentin drying on bond strength. *J Dent Res Suppl* 70:394, 1991.

- cited from Hadavi F, Hey JH, Strasdin RB, McMeekin GP : Bonding amalgam to dentin by different methods. *J Prosthet Dent* 72:250-254, 1994.
43. Kanca J : Effect of resin primer solvents and surface wetness on resin composite bond strength to dentin. *Am J Dent* 5:213-215, 1992. cited from Hadavi F, Hey JH, Strasdin RB, McMeekin GP : Bonding amalgam to dentin by different methods. *J Prosthet Dent* 72:250-254, 1994.
  44. Chang J, Scherer W, Tauk A, Martini R : Shear bond strength of a 4-META adhesive system. *J Prosthet Dent* 67:42-45, 1992.
  45. Caughman WF, Kovarik RE, Rueggeberg FA, Snipes WB : The bond strength of Panavia Ex to air-abraded amalgam. *Int J Prosthodont* 4:276-281, 1991.
  46. Lo CS, Millstein PL, Nathanson D : In vitro shear strength of bonded amalgam cores with and without pins. *J Prosthet Dent* 74:385-391, 1995.
  47. Al-Moayad M, Aboush YEY, Elderton RJ : Bonded amalgam restorations: a comparative study of glass-ionomer and resin adhesives. *Br Dent J* 20:363-367, 1993.
  48. Martin N, Jedyakiewicz N : Amalgam-enamel adhesive bond strength. *J Dent Res* 70:685, 1991.
  49. Souza MH, Retief DH, Russell CM, Denys FR : Shear bond strength and microleakage of All-Bond. *Am J Dent* 6: 148-154, 1993.

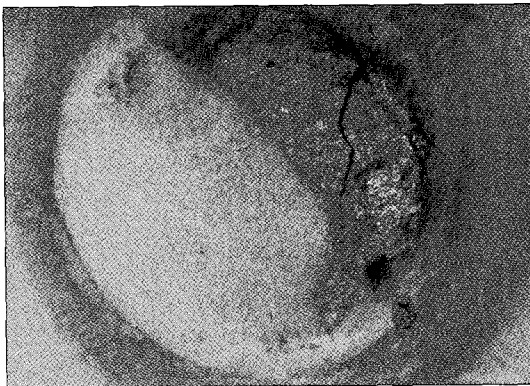
사진부도



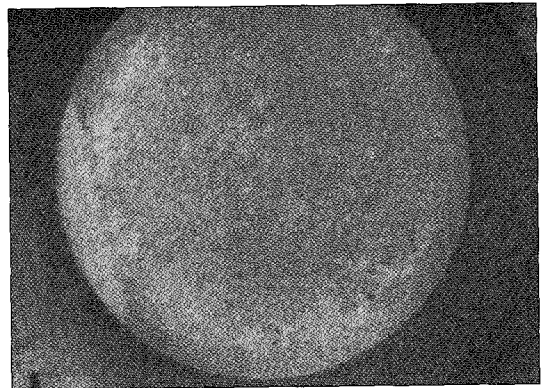
**Fig. 1.** Fracture in dentin(cohesive failure)



**Fig. 2.** Fracture in amalgam(cohesive failure)



**Fig. 3.** 40% failure in amalgam(mixed failure)



**Fig. 4.** adhesive failure at amalgam/adhesive interface

국문초록

## 치과용 접착제를 사용한 접착 아말감의 결합 강도

감동훈 · 이상대 · 한세현

서울대학교 치과대학 소아치과학교실 및 치학연구소

아말감의 단점인 건전 치질 삭제와 미세 누출을 줄이기 위한 접착 아말감(bonded amalgam)에 사용되는 치과용 접착제의 접착 강도를 측정하고 파절면을 관찰하여 콤포지트 레진과 비교 평가하였다.

발거한 우전치의 순면을 직경 8mm의 원형으로 천공하여 얻은 부분을 순면이 바깥쪽으로 향하도록 아크릴릭 레진 블록에 매몰하여 상아질과 법랑질군을 각각 55개씩 준비하였다. 1군:Superbond C&B, 2군:Panavia 21, 3군:All-Bond 2, 4군:Fuji I Glass Ionomer Luting Cement, 5군:Scotchbond Multi-Purpose(Restorative Z-100)의 5개 군으로 나누어 지름 6.3mm, 깊이 1.5mm의 구멍이 뚫린 충전용 틀(mold)을 위치시키고 표면을 접착제로 처리한 후 아말감 충전을 하였다. 5군은 레진 충전 후 40초간 광중합하였다.

각 시편은 아말감 충전 24시간 후 접착 강도 측정용 기구에 장착하고 만능 시험기에서 0.2mm/min의 cross-head 속도로 하중을 가하여 시편이 탈락할 때까지의 하중값(kg)을 측정하고, 파절면을 검사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 상아질군에서 1, 2, 4군은 5군에 비하여 통계학적으로 유의성 있게 낮은 접착 강도를 보였다( $P<0.05$ ).
2. 법랑질군에서 4군은 5군에 비하여 통계학적으로 유의성 있게 낮은 접착 강도를 보였다( $P<0.05$ ).
3. 2군에서는 상아질군에서 법랑질군에 비하여 통계학적으로 유의성 있게 낮은 접착 강도를 보였으나( $P<0.05$ ), 다른 접착제에서는 상아질군과 법랑질군에서의 접착 강도가 유의성 있는 차이를 보이지 않았다( $P>0.05$ ).
4. Cohesive failure는 1E군과 5D군에서 관찰되었고, mixed failure는 1, 5군에서 관찰되었으며, 2, 3, 4군에서는 adhesive failure만 관찰되었다.

**주요어** : 접착 강도, 접착 아말감(bonded amalgam), 파절 양상