

합착용 복합레진시멘트로 합착한 Machinable Ceramic과 상아질 사이의 인장강도에 대한 실험적 연구

서울대학교 치과대학 치과보존학교실

조 병 훈

Abstract

TENSILE STRENGTH BETWEEN MACHINABLE CERAMIC AND DENTIN CEMENTED WITH LUTING COMPOSITE RESIN CEMENTS

Byeong-Hoon Cho.

Dept. of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Seoul National University

In the case of CAD/CAM ceramic inlay restorations, if isthmus width is widened too much, it may cause fracture of remaining tooth structure or loss of bonding at the luting interface because of excessive displacement of buccal or lingual cusps under occlusal loads. So to clarify the criterion of widening isthmus width, this study was designed to test the tensile bond strength and bond failure mode between dentin and ceramic cemented with luting composite resin cements. Cylindrical ceramic blocks(Vita Cerec Mark II, d=4mm) were bonded to buccal dentin of 40 freshly extracted third molars with 4 luting composite resin cements(group1:Scotchbond Resin Cement/Scotchbond Multi-Purpose, group2:Duolink Resin Cement/All-Bond 2, group3:Bistite Resin Cement/Ceramics Primer, and group4:Superbond C&B). Tensile bond test was done under universal testing machine using bonding and measuring alignment blocks(Øilo & Um, 1992). After immersion of fractured samples into 1% methylene blue for 24 hours, failure mode was analysed under stereomicroscope and SEM. Results:The tensile bond strength of group 1, 2 & 4 was 13.97 ± 2.90 MPa, 16.49 ± 3.90 MPa and 16.17 ± 4.32 MPa, respectively. There was no statistical differences($p > 0.05$). But, group 3 showed significantly lower bond strength(5.98 ± 1.17 MPa,

* 본 연구논문은 1997학년도 서울대학교 발전기금 일반 학술연구비에 의하여 이루어졌음.

$p < 0.05$). In almost all samples, adhesive fractures between dentin and resin cements were observed. But, in group 1, 2 & 4, as bond strength increased, cohesive fracture within resin cement was observed simultaneously. And, in group 3, as bond strength decreased, cohesive fracture between hybrid layer and composite resin cement was also observed. Cohesive fracture within dentin and porcelain adhesive fracture were not observed. In conclusion, although adhesive cements were used in CAD/CAM-fabricated ceramic inlay restorations, the conservative principles of cavity preparation must be obligated.

I. 서 론

G. V. Black¹⁾에 의해 아말감와동형성법이 체계화 된 이후로 재료의 발달과 치료술식의 개발에 따라 와동형성법은 많은 변화를 거쳐왔다²⁻⁷⁾. 특히 1955년 Buonocore⁸⁾에 의해 범랑질산부식법이 소개된 이후로 치질에 수복재료의 접착이 가능해져 수복치료학에 있어서의 큰 변화를 가져왔다. 이후에 산부식방법의 개선⁹⁻¹²⁾, 상아질접착제의 개발¹³⁻²¹⁾을 통해 와동형성법은 점차적으로 보존적인 경향으로 발전해왔으며 접착수복술식에 의한 치료법들이 많이 소개되고 있다. 더불어 1970년대 초에 Altschuler²²⁾ 등에 의해서 laser를 이용하여 3차원형상에 대한 자료를 입력하는 방법이 치과영역에 도입된 이래로 French system, Swiss system 및 Minnesota system 등의 CAD/CAM을 이용하여 기공과정 없이 치과용수복물을 설계하고 제작할 수 있는 방법이 개발되고 있다²³⁾. 그 중에서 Swiss system인 CEREC system이 최초로 상용화되어 이미 세계각국에서 임상에 적용되고 있으며 CEREC system을 이용한 치과용수복물에 대한 실험적 및 임상적 결과들이 보고되고 있다²⁴⁻³²⁾.

접착수복술식을 이용하는 도재 또는 레진인레이는 합착용 복합레진시멘트를 매개하여 치질과 수복물 사이에 화학적 및 기계적결합(chemical & mechanical bonding)을 유도하여 유지되는 기전을 갖는다. 따라서 치질과의 접착관계가 존재하지 않는 아말감이나 금인레이에 비해 치아에 가해지는 하중에 의한 응력이 보다 균등하게 분포³³⁾될 수 있을 것으로 추측된다. 그러나 Sturdevant³⁴⁾에 의하면 접착수복술식을 이용하는 도재인레이에 있어

서도 와동의 협설측 확대로 인하여 교두경사면의 2/3이상을 삭제하게 될 때는 교두를 capping하여야 된다고 하여 Christensen, Sturdevant³⁴⁻³⁷⁾에 의해 아말감이나 금인레이에서 적용되었던 와동형성의 원칙을 수정없이 적용하고 있다. 반면에 CEREC system에서 제공하는 수복예에 대한 모형에서는 와동협부(isthmus)의 폭이 과도하게 넓은 경우도 많이 있어 구강내에서 저작시 교두파절을 초래할 가능성도 고려되어야 하겠다.

따라서 치질과 도재의 접착이 교합력하에서 충분히 견딜 수 있을 정도의 인장강도를 가져야 와동협부의 폭이 넓은 와동에서 잔존치질의 파절을 방지할 수 있으므로, 도재인레이수복을 위해서는 합착용 복합레진시멘트에 의해 양쪽의 치질과 도재가 합착될 때 어느 정도의 인장강도를 갖는지, 또 어떠한 접착양태를 보이는지에 대한 이해는 필수적이라고 할 수 있다. Simonsen³⁸⁾은 산부식처리한 도재와 복합레진사이의 인장강도는 산부식 시간의 증가에 따라 임상적으로 의미있는 수준으로 증가된다고 하였고, Stangel³⁹⁾은 복합레진과 도재간의 접착방법에 있어 도재내면의 산부식처리한 복합레진과 도재의 전단강도를 결정하는 중요한 요소라고 하였다. 치질과 복합레진의 접착관계에 대해서는 Barkmeier^{40,41)}은 복합레진과 산부식된 범랑질사이에 16~24 MPa의 결합강도를 얻을 수 있다고 하였고, Wieczkowski^{42,43)}은 와동의 범랑질변연을 산부식함으로써 변연누출을 방지할 수 있다고 하였다. 또한 Munksgaard⁴⁴⁾에 의해 상아질 접착강화제(dentin primer)가 소개된 이래로 지속적인 재료의 개발과 접착방법의 개선^{45,46(20-24)}을 통해 최근에 소개되는 3세대 이후의 상아질결합제에 있

어서는 15 MPa이상의 결합강도⁴⁷⁻⁴⁹⁾가 보고되고 있다. 그러나 상아질의 최대인장강도(ultimate tensile strength)가 41.4 MPa⁵⁰⁾ 또는 25-30 MPa이상⁵¹⁾ 등으로 보고되는 것에 비하면, 아직은 상아질결합제를 포함한 접착수복재료들의 물성이 상아질의 강도에는 이르지 못하고 있다. 따라서 와동을 지나치게 협설측으로 확대할 경우, 교합압에 의해 잔존 치질의 협측 또는 설측 변이가 과도하게 일어나게 되면 잔존치질의 파절 또는 접착계면에서의 실패를 초래할 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 CAD/CAM을 이용한 도재인레이수복시의 와동확대의 기준설정을 위한 기초자료를 얻기 위해 상아질-합착용 복합레진시멘트-도재의 3가지 재질로 구성된 복합체의 인장강도를 측정하고, 파절면에 대한 주사전자현미경상을 관찰하여 접착면에서의 접착양태에 대해 관찰하여 보고하는 바이다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

본 연구에서는 상아질-합착용 복합레진시멘트-도재로 구성된 복합체의 인장강도를 측정하기 위해서 우식과 충전물이 없는 40개의 하악 제3대구치를 발치하여, 즉시 흐르는 물에 씻어 0.5% chloramine용액에 침적시켜 당일에 실험에 사용하고, ceramic block은 Vita Cerec Mark II (#A2 shade/I8 size, Vita Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, Sackingen, Germany)를 선택하여 사용하였다. 레진시멘트로는 Scotchbond Resin Cement (Lot # 19961014)/Scotchbond Multi-Purpose (Lot # 19950620) (3M Dental Products, St Paul, MN, USA)와 Duolink Resin Cement (Lot # 109026)/All-Bond 2 (Bisco Inc., Itasca, IL, USA), Bistite Resin Cement (Lot # 180771)/Ceramics Primer (Lot # 16002T) (Tokuyama Soda Co., Tokyo, Japan) 및 Superbond C&B (Sun Medical Co., Kyoto, Japan)를 사용하였다.

2. 실험방법

가. 인장강도측정을 위한 시편제작

인장강도를 측정하기 위해서 우식과 충전물이 없는 40개의 하악 제3대구치를 발치후 즉시 흐르는

물에 씻어 0.5% chloramine용액에 담궈 당일에 실험에 사용하고, 보관기간은 1일을 넘지않도록 하였다. 치아면은 항상 습윤상태를 유지하게 하고 조작을 위해 대기중에 노출되는 시간은 15분을 넘지 않도록 하였다. 도재피는 접착면적을 일정하게 유지하기 위하여 직경 4mm, 높이 12mm의 원통형태로 절삭하고 몰드내에서의 유지를 위하여 기저부는 남겨두었다.

치아는 실험을 위해 고안한 유지장치(몰드)에 중합시 발생하는 열에 의한 상아질의 변성과 레진단량체의 상아세관내로의 침투 및 연마과정에서의 포매재료의 도말현상(smearing)을 방지하기 위해 포매재의 표면보다 돌출되게 포매하고 측정에 사용될 협측상아질면이 인장력이 가해지는 방향에 수직되게 포매하였다. 원통형으로 연마된 도재도 도재원통과 몰드의 장축 및 인장력이 가해지는 축이 일치되고, 상아질과의 접착면이 이 축에 직각되게 위치시키며, 가시광선중합기의 직경을 고려하여 포매재의 표면보다 10 mm 정도 돌출되게 포매하였다. 포매재료는 투명한 교정용 자가중합레진을 사용하였으며, 포매후 곧바로 100% 상대습도하에 보관하였다.

포매된 치아와 도재를 상아질표면의 탈수를 방지하고 균일한 접착면을 얻기 위해 Pedemat Specimen Preparation Equipment를 이용하여 주수하에 SiC grade 500까지 연마하였다. 도재와 상아질의 접착을 확보하기 위하여 연마된 치아의 중앙에 직경 4mm이상의 상아질을 확인하였다. 합착용 레진시멘트의 두께를 균일하게 유지하고 시편의 인장력을 가하는 축을 정확하게 설정하기 위해 bonding alignment block⁵²⁾을 고안하여 치아와 도재를 고정하였고, 무작위로 선택된 치아를 4군으로 나누어 제1군은 Scotchbond Resin Cement/Scotchbond Multi-Purpose, 제2군은 Duolink Resin Cement/All-Bond 2, 제3군은 Bistite Resin Cement/Ceramics Primer, 및 제4군은 Superbond C&B를 사용하여 레진시멘트 제조자의 지시에 따라 상아질표면과 도재면을 접착시켰다. 이때 피막 후경은 마이크로미터(Mitutoyo Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 100 micron두께를 일정하게 유지하였다. 광중합기는 Curing Light XL 3000(3M Dental Products, St Paul, MN, USA)을 사용하였으며

Curing Radiometer Model 100 (Demetron Research Corp., Danbury, CT, USA)로 수시로 점검하여 450 mW/cm²이상의 광량을 확인하였다. 제작된 시편은 곧바로 37±2°C의 물속에 담귀 24시간 보관한 후 인장강도실험에 사용하였다.

㉠ 실험1군의 접착:Scotchbond Resin Cement/ Scotchbond Multi-Purpose Plus

도재표면을 Vita Porcelain Etchant(불산)로 1분간 산부식하고 수세건조한 후 Scotchbond Ceramic Primer를 5초간 도포하여 압축공기로 건조시키고 silane 처리된 도재표면에 SMP plus의 catalyst(3.5)를 도포하였다.

상아질표면을 증류수로 수세하고 건조한 후 35% 인산으로 15초간 산부식하고 15초간 수세한 후 습윤상아질접착법을 위하여 압축공기로 2초간 건조하였다. SMP plus의 activator(1.5)를 도포하고 5초간 압축공기를 약하게 불어 건조한 후 activator로 활성화된 상아질표면에 SMP plus primer(2)를 도포하고 5초간 압축공기를 약하게 불어 건조시키고 다시 SMP plus catalyst(3.5)를 도포하여 레진시멘트로 접착할 준비를 완료하였다. 준비된 도재와 치아를 bonding alignment block에 고정하고 Scotchbond Resin Cement의 paste A와 B를 혼합하여 도재의 접착면에 도포하고 마이크로미터로 100 μ m 두께로 밀착한 후 여분의 접착제를 제거하고 세 방향에서 각각 30초 광중합하였다.

㉡ 실험2군의 접착:Duolink Resin Cement/All-Bond 2

도재의 접착면을 Bisco Porcelain Etchant(불산)로 4분간 산부식하고 수세건조한 후 silane인 Porcelain Primer를 2회 도포하여 30초간 압축공기를 약하게 불어 건조시키고 silane 처리된 도재표면에 All-Bond 2 D/E bonding resin을 도포하였다.

상아질표면을 증류수로 수세하고 건조한 후 37% 인산으로 15초간 산부식하고 수세한 후 습윤상아질접착법을 위하여 수분을 약간 남겨놓고 건조하였다. All-Bond 2의 primer A와 B를 혼합하여 5회 도포하고 압축공기를 약하게 불어 건조시켜 용매를 완전히 제거한 다음 20초간 광중합하였다. All-Bond 2 D/E bonding resin을 도포하여 레진시멘트로 접착할 준비를 완료하였다. 준비된 도재와 치아를 bonding alignment block에 고정하고

Duolink Resin Cement의 base와 catalyst를 혼합하여 도재의 접착면에 도포하고 마이크로미터로 100 μ m 두께로 밀착한 후 여분의 접착제를 제거하고 세 방향에서 각각 40초 광중합하였다.

㉢ 실험3군의 접착:Bistite Resin Cement/ Ceramics Primer

도재의 접착면을 초음파세척기로 세척한 후 완전히 건조시키고 Tokuyama Ceramics Primer A와 B를 혼합하여 10초간 도포하여 10초간 방치한 후 압축공기를 약하게 불어 건조시켰다.

상아질표면을 conditioner로 10초간 산부식하고 수세한 후 압축공기로 건조하였다. primer A와 B를 혼합하여 약 30초간 도포하고 5-10초간 압축공기로 건조시켰다. 준비된 도재와 치아를 bonding alignment block에 고정하고 paste A와 B를 혼합하여 도재의 접착면에 도포하고 마이크로미터로 100 μ m 두께로 밀착한 후 여분의 접착제를 제거하고 세 방향에서 각각 20초 광중합하였다.

㉣ 실험4군의 접착:Superbond C&B

도재의 접착면을 Vita Etchant로 산부식한 후 압축공기로 완전히 건조시키고 Superbond C&B의 liquid와 catalyst를 혼합하여 activated liquid를 준비하여 도재의 접착면에 도포하였다.

상아질표면을 Green activator(etchant)로 10초간 산부식하고 수세한 후 압축공기로 건조하여 bonding alignment block에 고정하고 도재에 도포하고 남은 activated liquid에 Superbond C&B의 powder를 제조자의 지시에 따라 혼합하여 접착면에 도포하고 마이크로미터로 100 μ m 두께로 밀착한 후 여분의 접착제를 제거하고 10분간 경화시켰다.

인장강도의 측정은 23±2°C의 실내온도와, 50±5%의 상대습도를 유지한 실험실에서 Universal testing machine, Model 4466(Instron Corp., Canton, MA, 02021 USA)을 이용하여 실시하였다. 시편을 \emptyset 10등⁵²⁾의 방법에서 변형된 measuring alignment block에 고정하고 crosshead speed 0.5 mm/min로 설정하여 측정하였다.

나. 현미경적 관찰:

접착부위가 파절된 후에 파절면의 관찰을 위하여 1% methylene blue에 24시간 침적하여 노출된 상아세관에 색소를 침투시켜 레진과의 구분을 용이하게 처리한 후 입체현미경(stereomicroscope:

Olympus Optical Co., Tokyo, Japan)로 관찰하였다. 파절면의 상태를 분류하고, 각 군의 대표적인 시편을 선택하여 치질과 도재의 파절면을 금증착하고 주사전자현미경을 이용하여 파절양태를 관찰하였다.

다. 통계처리:

얻어진 자료는 통계처리프로그램인 Jandel사의 Sigmastat를 이용하여 $p=0.05$ 유의수준에서 ANOVA one-way test를 시행하고, 군간의 비교를 위해 Student-Newman-Keuls test를 시행하였다.

III. 실험성적

가. 인장강도측정

우식과 충전물이 없는 40개의 하악 제3대구치를 4군으로 나누어 4종의 Resin cement를 이용하여 Vita Cerec Mark II, #A2 shade의 도재괴와 접착

시켜 인장강도를 측정한 결과 Table 1 및 Fig 1과 같은 결과를 얻었다.

3종의 재료사이에는 통계적으로 유의한 차이가 없었으나, Bistite Resin Cement의 인장강도는 통계적으로 유의하게 낮았다($p<0.05$).

나. 파절면에 대한 현미경 관찰

파절면에 대한 현미경 관찰의 결과 Scotchbond Resin Cement, Duolink Resin Cement 및 Superbond C&B의 3군에서는 상대적으로 약한 결합강도를 보이는 시편의 경우 주로 상아질과 복합레진시멘트사이의 접착계면에서 파절(adhesive fracture)이 일어났으며, 비교적 접착이 잘 되어 결합강도가 증가될수록 순차적으로 혼합층과 복합레진시멘트의 접착면에서의 파절 및 복합레진시멘트 내의 파절(resin cohesive fracture)를 관찰할 수 있었다. 그러나 결합강도가 낮은 Bistite Resin

Table 1. Tensile bond strength between dentin and ceramic block cemented by 4 different resin cements (MPa)

Resin cements	Scotchbond Resin Cement	Duolink Resin Cement	Bistite Resin Cement	Superbond C&B
Tensile bond strength	(n=10)	(n=10)	(n=10)	(n=10)
Mean±SD	13.97±2.90	16.49±3.90	5.98±1.75	16.17±4.32

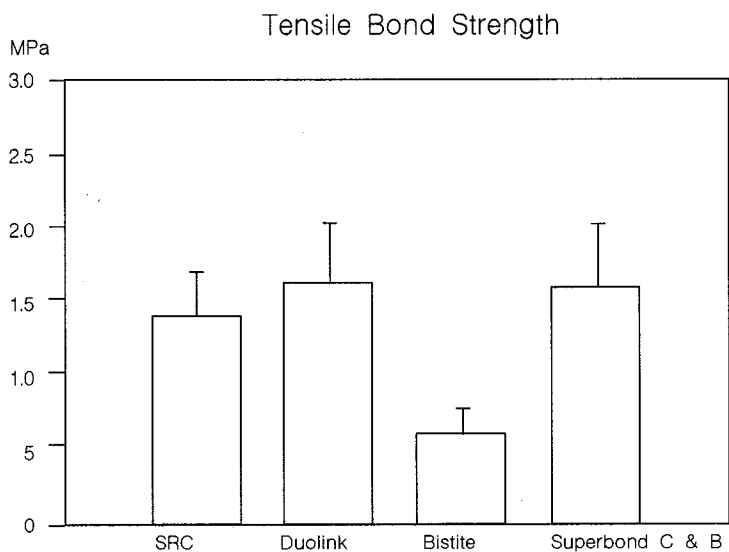


Fig. 1. Tensile bond strength between dentin and ceramic block cemented by 4 different resin cements

Table 2. Comparison of fracture mode to tensile strength

Resin cements specimens	Scotchbond Resin Cement	Duolink Resin Cement	Bistite Resin Cement	Superbond C&B
1.	12.46 dA/rCh/pA	18.56 dA/rCh/rCi	9.09 dA/rCi	16.21 dA
2.	12.87 dA/rCh/pA	11.33 dA	4.34 dA/rCh/rCi	16.88 dA/pA
3.	15.56 rCh/pA	12.22 dA	5.91 dA/rCh	14.58 dA
4.	9.17 dA	16.75 dA/rCh	5.41 dA/rCh	16.87 dA/rCi
5.	20.30 dA/rCh/rCi	12.73 dA	4.28 dA/pA	11.98 rCi
6.	15.43 rCh/rCi	19.80 dA/rCi	9.05 dA	24.25 dA/rCi
7.	13.22 dA	17.23 dA/rCh	4.50 dA/rCh	18.30 rCi
8.	14.75 dA/rCh	18.56 dA/rCh/rCi	5.49 dA	14.60 dA/rCi
9.	13.69 rCh	14.03 dA/rCh/rCi	6.12 dA/rCh/rCi	19.75 rCi
10.	12.21 dA	23.69 rCh/rCi	5.66 dA/rCh	8.32 dA/pA

* dA:dentin adhesive fracture

rCh:resin cohesive fracture between hybrid layer and composite resin cement

rCi:resin cohesive fracture within the composite resin matrix

pA:porcelain adhesive fracture

Cement군에서는 모든 시편에서 상아질과 레진시멘트의 계면에서 파절이 관찰되었고 특히 낮은 결합강도를 보인 시편에서는 혼합층과 복합레진시멘트의 계면에서 동시에 파절이 일어나는 것을 관찰할 수 있었다. 모든 군에서 상아질내의 파절(dentin cohesive fracture)은 관찰되지 않았다. 도재와 복합레진시멘트사이의 파절(porcelain adhesive fracture)은 일부 시편의 가장자리에서 부분적으로 발견되는 것을 제외하고는 거의 관찰되지 않았다(Table 2).

Fig. 2와 3은 Superbond C&B의 시편8의 파절면을 보여주는 입체현미경상으로 거의 상아질표면에 얇은 레진막이 남아 있어 복합레진시멘트내의 cohesive fracture(rCi)를 보여주고 있고, 부분적으로 상아질과 복합레진시멘트사이의 계면(dA)에서의 파절을 보여주고 있다. Fig. 4와 5는 Scotchbond Resin Cement의 시편5의 파절면을 보여주는 주사전자현미경사진으로 파절은 상아질과 복합레진시멘트사이의 계면(dA)과 혼합층과 접착레진 또는 복합레진시멘트사이(rCh)에서 일어나고 일부 시멘트내의 cohesive fracture(rCi)를 관찰할 수 있다. Fig. 6과 7은 Duolink Resin Cement의 시편9의 파절면을 보여주는 입체현미경사진으로 Fig 4와 5의 Scotchbond Resin Cement시편의 경우와 비슷한 파

절양상을 관찰할 수 있다. Fig. 8과 9는 Bistite Resin Cement의 시편3의 파절면을 보여주는 것으로 접착강화제와 복합레진시멘트사이의 파절(rCh) 및 상아질과 레진시멘트사이의 파절(dA)을 관찰할 수 있다.

IV. 총괄 및 고안

Buonocore[®]에 의해 범랑질의 산부식을 통한 치질과 수복재료의 결합이 시도된 이후로 결합강도 측정은 접착수복치료학의 기본적인 연구방법으로 발전되어 왔다. 결합강도측정에는 치질의 선택 및 처리방법, 산부식과 접착강화제도포를 포함한 접착방법, 측정방법등에서의 많은 변수가 존재한다⁵⁰. 실제로 전단강도측정은 인장강도측정에 비해 상대적으로 측정이 용이하나 우력(moment)이 발생할 가능성이 높다. 이에 반해서 인장강도측정법은 시편의 배열을 정확하게 할 수만 있다면 보다 균일한 응력의 분포를 유도할 수 있을 것으로 예상된다. 그러나 Van Noort등⁵³이 지적하였듯이 접착레진과 하부의 탈회된 치질 및 탈회되지 않은 치질이 공존하는 복합적인 구조로 인하여 균일한 응력의 분포를 얻기는 현실적으로 불가능하다. 임상적으로도 치질이나 수복물에 하중이 가해졌을 때 계

면에서의 응력의 분포는 불규칙하여 인장응력이 작용하는지 전단응력이 작용하는지는 명확하게 구분하기 어렵다. 다만 최근에 그 측정의 용이성과 예측능력으로 인하여 전단강도의 측정이 널리 이용되고 있을 뿐이다⁵⁴⁾. 전단강도측정과 인장강도측정에 대해 Kitasako 등⁵⁵⁾은 종래의 시멘트에 비해 최근의 레진시멘트는 치질에 대한 접착능력이 있으므로 전단강도특성 뿐아니라 이들 레진시멘트의 인장특성을 규명하는 것도 필요하다고 하였고 레진시멘트의 경우에서는 전단결합강도는 인장결합강도보다 높다고 보고하였다. 또한 충전용 복합레진을 이용하는 3급, 5급와동에 대한 응력해석의 경우에는 인장강도보다는 전단강도의 측정이 보다 더 적절할 것으로 간주되나, 충전용 복합레진에 비해 합착용 레진시멘트는 사용목적에 따라 발생하는 응력의 성분이 달라질 수 있으므로 합착용 레진시멘트에 대한 인장강도측정실험의 필요성이 제기된다. 따라서 합착용 레진시멘트를 이용하여 와동을 수복할 경우에 있어서, 와동형성시의 와동폭의 변화가 협측교두에 가해지는 하중에 의한 교두의 협측변이에 미치는 영향에 대한 해석을 목적으로 하는 경우에는 전단응력보다는 인장응력에 중점을 두어 인장강도를 측정할 필요가 있다. 인장강도의 측정은 ϕ ilo 등⁵²⁾과 Kemper⁵⁶⁾ 등이 사용한 방법으로 bonding 및 measuring alignment block을 제작하여 측정에 이용하였고, measuring alignment block에 시편을 고정할 때 발생될 수 있는 비틀림을 방지하기 위해 자유롭게 움직일 수 있는 연결부(joint)를 추가로 채택하였다. 시편의 접착면적을 직경 4mm로 일정하게 유지하기 위하여 도재원통의 직경을 4mm로 하였으며, 가장자리를 덮지않게 여분의 레진은 제거하고 증합하였다.

발치한 치아를 보관하는 용액의 종류와 보관기간도 결합강도측정실험의 결과에 영향을 미치는 요소이다. Retief⁶⁰⁾에 의하면 70% ethanol에 보관한 경우에 있어 가장 낮은 결합강도를 보인다고 하였고, 생리식염수, chloramine용액, formalin 등에서는 큰 차이가 없었다고 보고하였다. 또한 보관기간이 길수록 전단강도가 증가되나 2일에서 6개월사이에는 결합강도에 있어 통계적인 유의성은 없다고 하였다. 따라서 본 실험에서는 수소이온에 의한 살균작용이 있으나 저농도에서는 괴사조직이나 유기질에 대

한 용해능력이 거의 없고 취급이 간편하며 유해작용도 없는 chloramine용액에 발치한 치아를 보관하고 가급적 임상적인 상황과 비슷한 조건을 부여하기 위해 즉시 시편을 제작하고 24시간 증류수에 보관하여 복합레진시멘트의 흡수성팽창(hygroscopic expansion)을 허용한 후 인장강도측정을 시행하였다. 실험에 사용할 치질의 선택에 있어서는 Pashley 등⁵¹⁾은 교합면측 상아질의 경우 부위에 따른 상아질의 습윤성(dentin wetness)에 있어 차이가 많고, 인접면 또는 협설측의 상아질에 비해 낮은 결합강도를 보인다고 하였다. 또 쉽게 구할 수 있다는 이유로 인하여 미맹출한 제3대구치를 실험에 많이 이용하고 있으나 임상에서 수복하는 치아는 실제로 재수복하는 경우가거나 우식 또는 마모된 경우에 상아질접착술을 많이 시행하므로 이 경우, 경화상아질은 미맹출치아의 상아질이나 정상상아질에 비해 낮은 결합강도를 보인다고 하였다. 따라서 본 실험에 사용한 미맹출 제3대구치의 협측상아질에서 얻은 인장강도의 결과는 실제상황에 비해 높게 나타났을 것임을 고려할 필요가 있다. 레진시멘트의 두께는 임상적인 상황과 유사하게 하기 위하여 100 μ m으로 부여하였다. Cerec 인레이의 적합도에 대해서는 보고들간에 큰 차이를 보이고 있는데, 개발자인 Mörmann 등⁵⁷⁾은 56 \pm 27 μ m의 정밀도를 보고하는 반면에 Kawai 등⁵⁸⁾에 의한 218 \pm 54 μ m값의 보고처럼 다른 연구들에서는 100 μ m이상의 큰 간극(gap)의 존재를 보고한 경우가 많았다. 또한 Anusavice⁵⁹⁾는 100 μ m정도의 낮은 정밀도를 보인다고 보고하고 산부식과 레진시멘트를 사용하면 임상적으로는 별로 문제가 되지 않겠지만 이러한 가설에 대한 장기적인 임상자료가 필요하다고 하였다. 이러한 보고를 근거로 본 실험에서는 레진시멘트의 두께를 100 μ m으로 부여하였다. Oshida⁶⁰⁾에 의하면 만능측정기의 crosshead speed가 1.0mm/min이하일 때는 변형율의 영향이 거의 없고, 1.0 mm/min이상에서는 인장강도측정시에 접착계면의 기계적반응에서 유래되는 변형율의존현상이 나타난다고 하여 본 실험에서는 일반적으로 가장 많이 사용되는 0.5mm/min의 crosshead speed를 이용하였다.

Bistite resin cement를 제외한 3종의 레진시멘트 실험군에서는 군에 따라 13.97MPa에서 16.49

MPa에 이르는 높은 인장강도를 보였고, 이들은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 이와같은 결합강도는 Scotchbond Multi-Purpose에 대한 전단강도를 17.06MPa로 보고한 Miyajaki등⁶¹⁾의 보고와 3세대 이후의 상아질접착제의 결합력이 15MPa 이상이라는 보고들⁶²⁻⁶⁴⁾과 일치한다. 그러나 레진시멘트의 두께가 얇을수록 인장강도가 증가되므로 치질에 대한 접착방법만 개선된다면 얇게 붙일수록 강한 결합을 얻을 수 있다는 Alster등⁶⁵⁾의 실험결과를 인용한다면, 본 실험에서는 레진시멘트의 두께를 100 μ m으로 부여하였으므로 직접적인 비교는 합당하지 않으나 다른 실험들과 같이 직접 접착시키면 보다 더 높은 결합강도를 보였을 것으로 예상할 수 있다. 반면에 앞에서 언급한 것처럼 미맹출 제3대구치의 협측상아질을 인장강도측정에 이용하였으므로 실제의 임상적인 상황보다는 약간 높은 인장강도값을 보였을 것을 감안해야 할 것이다. 이런 점들을 고려할 때 Pashley등⁵¹⁾이 상아질의 최대인장강도에 대해, 52 \pm 10MPa를 보고한 Bowen과 Rodriguez, 37 \pm 11MPa를 보고한 Lehman등의 문헌을 고찰하여 상아질의 최대인장강도가 25~30MPa 이상이 된다고 지적한 것과 비교하면 비교적 높은 결합강도를 보이는 것으로 판단된다. 다만 Bistite Resin Cement에 있어서 다른 실험군에 비해 통계적으로 유의하게 낮은 결합강도를 보이는 것은 Bistite Resin Cement는 범랑질에서보다 상아질에서의 결합력이 약한 시멘트라는 Kitasako⁶⁶⁾ 등의 실험결과와 비슷한 양상을 보인다. 이와같은 결과는 제조사의 사용설명서에 따르면 접착방법에 있어 산부식 후 완전히 건조시키게 되어 있어 습윤상아질접착법(wet bonding)을 채택하지 않은 점에서 범랑질에 대한 결합강도는 강하나 상아질에 대한 결합강도는 약한 결과를 초래한 것과 Scotchbond Resin Cement군과 Duo-link Resin Cement군에 비해 상대적으로 짧은 20초의 광중합을 시행하는 것등에서 개선의 여지가 있는 것으로 추측된다. 또한 통계적으로 유의한 차이는 없으나 Duo-link Resin Cement군에서 Scotchbond Resin Cement군보다 조금 높은 수치를 보이는 것은 전자의 경우 40초의 광중합을 시행하여 후자의 경우보다 광중합시간이 긴 것도 한 요인일 수 있다. 파절면에 대한 관찰은 입체현미경하에서 실시하

였으나 치질, 레진, 도재의 명확한 구분이 어렵고, 전자현미경상으로는 더욱 구분이 어려웠다. 이에 저자는 상아질과 레진파절편의 구분을 위해서 1% methylene blue용액에 24시간 침적하여 상아세관을 염색함으로써 색소가 침투하지 못하는 복합레진/접착레진과의 구별을 도모하였다. 그 결과 상아질이 노출된 경우와 상아질표면을 레진파절편이 덮은 경우는 쉽게 구분이 되었다. 그러나 레진파절편내의 파절단면이 접착레진과 복합레진시멘트 사이에서 파절된 것인지, 또는 복합레진시멘트내에서 파절된 것인지는 뚜렷하게 구분할 수 없었고 이는 입체현미경과 전자현미경상을 비교하여 상아질을 덮고 있는 레진파절편의 두께로 혼합층 또는 접착레진과 시멘트 사이의 파절(rCh)과 복합레진시멘트내의 파절(rCi)로 구분하였다. 복합레진시멘트와 도재의 구분은 더욱 곤란하여 두께로 판단하였다. 그 결과, Scotchbond Resin Cement, Duo-link Resin Cement 및 Superbond C&B의 3종의 레진시멘트군에서는 접착상태가 상대적으로 양호하지 못하여 비교적 약한 결합강도를 보이는 시편에서는 주로 상아질과 접착레진사이의 계면에서 파절이 일어나서 상아세관이 노출되고, 반대쪽의 레진파절단면에는 상아질이 관찰되지 않는 adhesive fracture(dA)를 보였고, 비교적 접착상태가 양호하여 결합강도가 높게 나타나는 시편의 경우에는 상아질표면에 염색되지 않은 얇은 레진층이 넓게 덮고 있고, 대부분의 레진두께는 도재쪽 파절편에 붙어 있어 접착레진과 복합레진시멘트사이의 oxygen inhibition layer에서 파절(rCh)되는 것으로 관찰된다. Scotchbond Resin Cement와 Duo-link Resin Cement군에서 좀 더 높은 결합강도를 보이는 시편에서는 복합레진내부에서의 cohesive fracture(rCi)를 관찰할 수 있었다. 모든 시편에서 전단강도측정의 경우와 달리 상아질의 cohesive fracture(dC)는 관찰할 수 없었다. Bistite resin cement군에서는 비교적 높은 결합강도를 보이는 시편들에서 상아질과 레진의 계면에서의 adhesive fracture(dA)를 관찰할 수 있었고, 극히 낮은 결합강도를 보이는 시편들에서 상아질표면에 얇은 레진막이 남아있는 것을 관찰할 수 있어 상아질과 레진의 계면에서의 adhesive fracture보다는 레진내의 혼합층 또는 접착레진과 복합레진시멘트 사이에서

분리되는 것(rCh)을 알 수 있었고 접착레진 또는 접착강화제와 복합레진시멘트 사이의 결합이 상아질과 접착강화제사이의 결합보다 먼저 파절되는 것으로 추측된다. 또한 순수하게 상아질과 레진의 계면에서 adhesive fracture를 보이는 시편들도 Scotch-bond Resin Cement나 Duo-link Resin Cement보다 낮은 결합강도값에서 파절되는 것으로 보아 습윤 상아질접착을 하지 않은 것과 상대적으로 짧은 광중합시간으로 인하여 상아질과 접착강화제 사이의 결합도 다른 레진시멘트들에 비해 약한 것으로 추측된다. Superbond C&B의 경우에는 습윤상아질접착을 하지 않았음에도 불구하고 상당히 높은 결합강도를 보이고 접착강화제와 접착레진을 별도로 구분하여 도포하지 않았음에도 불구하고 상아질층 파절단면에 얇은 레진막이 상아질을 덮는 레진내의 cohesive fracture(rCi)를 많이 관찰할 수 있었다.

본 실험에서의 파절면에 대한 관찰의 결과 대부분의 시편에서 상아질과 레진시멘트의 접착계면에서의 adhesive failure(dA)의 양상을 보이고 상아질내의 cohesive fracture(dC)와 도재와 레진시멘트사이의 adhesive fracture(pA)는 거의 관찰할 수 없었다. 이는 산부식된 도재와 레진시멘트의 결합이 상아질-합착용 복합레진시멘트-도재의 결합체에서는 가장 안정된 결합을 형성한다는 점을 시사하며, 도재에 대한 레진시멘트의 결합에 있어서는 산부식이 결정적인 요소임을 보고³⁰⁾한 내용과도 일치되는 결과임을 알 수 있다. 이에 대해서 Lu^등³¹⁾은 silane은 복합레진과 도재사이의 화학적 연결을 담당하고 산부식된 도재표면의 공극에 스며들어 복합레진과 도재의 긴밀한 접촉을 촉진함으로써 도재를 강화시켜주기 때문에 결합력을 증가시킨다고 설명하였다. 따라서 도재면을 산부식하고 ceramic primer를 사용할 경우 도재와 레진시멘트사이의 결합력은 상아질과 레진시멘트의 결합력보다 월등히 우수하여 결과적으로 상아질접착강화제 또는 상아질접착제의 결합강도 측정으로 귀결됨을 알 수 있다. 또한 전단강도측정의 경우에는 측정방법의 특성상 응력의 분포가 균일하지 못하여 상아질내에 단일재질내의 파절(monolithic fracture)이 일어난다는 Versluis^등⁶⁹⁾의 모델과는 달리 본 실험과 같은 인장강도의 측정의 경우에는 상아질접착제의 결

합강도가 Pashley가 보고한 상아질의 최대인장강도인 25~30 MPa에 이르지 못하고 상아질기질의 cohesive fracture(dC)가 일어나기 시작한다는 12~15MPa수치의 경계에 해당되는 결합력을 보이기 때문에 상아질과 레진시멘트사이에서는 adhesive fracture(dA)가 일어나는 것으로 사료되며, 도재인 레이와 상아질을 레진시멘트로 합착한 경우 레진시멘트의 두께와 중합시의 체적수축률을 곱한 크기의 수축간극(contraction gap)이 상아질과 레진시멘트의 경계면에 생긴다는 Sorensen^등⁶⁷⁾의 보고로써도 설명될 수 있다. Kitasako^등⁵⁵⁾도 측정과정에서의 균열의 전파를 일으키는 응력의 집중양상에 따라 전단강도측정의 경우와 달리 인장강도측정의 경우에는 레진과 상아질사이의 계면이 깨끗이 분리(adhesive failure)되고 가장자리에만 레진이 남는다고 하였다. 대부분의 Duo-link Resin Cement군에서 resin cohesive failure의 경우 혼합층과 레진시멘트사이의 파절(rCh)을 보이는 이유는 이 군에서만 접착강화제 도포후 광중합하고 D/E bonding resin을 도포하여 접착강화제와 접착레진 사이에 산소에 의해 중합이 억제되는 층이 생겨 복합레진시멘트 적용후에도 혼합층이나 복합레진시멘트자체에 비해 상대적으로 약한 연결층이 생기는 것으로 사료된다.

본 실험에 사용된 Vita Cerec Mark II 도재괴는 copy-milling machine인 Celay system이나 CAD/CAM machine에 사용하기 위해 개발된 feldspathic porcelain으로서, 엄정한 제조과정을 거쳐 제작되므로 도재괴내의 공극(porosity)을 줄여 강도를 크게 향상시켰으며 마모도도 법랑질과 비슷한 수준을 보여 소결 또는 주조형 도재에 비해 우수한 물성을 갖는 것으로 알려져 있다. 치과용 CAD/CAM system중에서 최초로 상업화에 성공하여 구미 각국에서 임상에 널리 활용되고 있는 Cerec system은 와동의 형성에서 수복물의 장착까지의 전 과정을 기공작업없이 1회 내원에 완료할 수 있다는 기본적인 장점외에도 물성이 우수한 machinable ceramic과 접착수복술식을 이용하여 수복한다는 장점이 있다. Peters^등⁶⁸⁾과 조^등^{69,70)}은 아말감와동의 응력의 분포를 유한요소법으로 해석하여 치질과 수복물사이의 계면에서의 결합(bonding)이 치아내 응력분포에 있어 중요한 변수임을 강조하였다. 합착

용 복합레진시멘트의 발달은 이와같은 치질과 수복물의 계면에서의 결합을 시도하는 수복방법으로서 수복된 치아내의 응력의 분포를 보다 균일하게 유도하여 수복물의 수명을 연장할 수 있을 것으로 기대된다. 이를 위해서는 범랑질의 탄성계수인 84 GPa⁵⁰⁾에 가까운 수복재료와 상아질의 최대인장강도인 41MPa⁵⁰⁾에 가까운 접착제의 개발이 필요하다고 하겠다. machinable ceramic인 Dicor MGC와 Vita Mark II는 각각 68과 63GPa의 높은 탄성계수를 보이고 있고⁷¹⁾, 최근에 개발되는 상아질접착제는 전단강도 측정시 dentin cohesive의 파절양상을 보일 정도의 강한 결합강도를 보인다. 그러나 본 실험의 결과에서 처럼 수종의 합착용 복합레진시멘트는 13-17MPa의 인장강도를 갖고, 전단강도 측정시와는 달리 파절단면에서 주로 dentin adhesive의 양상을 보여 아직은 접착력에 있어서의 개선이 요구된다고 할 것이다. 따라서 접착수복술식을 이용하는 도제인레이의 와동형성시에도 잔존치질의 보강을 위한 와동형성의 원칙을 지켜져야 할 것으로 사료된다.

V. 결 론

CAD/CAM을 이용한 도제인레이수복시의 와동 확대의 기준을 설정하기 위해 상아질-합착용 복합레진시멘트-도제로 구성된 복합체의 인장강도를 측정하고, 주사전자현미경을 이용하여 파절면에서의 접착양태에 대해 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Scotchbond Resin Cement, Duo-link Resin Cement 및 Superbond C&B는 각각 13.97±2.90MPa, 16.49±3.90MPa 및 16.17±4.32MPa의 인장결합강도를 보여 서로간에 통계적인 차이가 없었다(p>0.05).
2. Bistite Resin Cement는 5.98±1.17MPa의 인장결합강도를 보여 다른 3종의 합착용 복합레진시멘트에 비해 통계적으로 유의한 낮은 인장결합강도를 보였다(p<0.05).
3. Scotchbond Resin Cement, Duo-link Resin Cement 및 Superbond C&B의 3종에서는 거의 모든 시편에서 상아질과 복합레진시멘트사이의 계면에서 파절(dentin adhesive fracture)를 보이

- 고, 결합강도가 큰 시편일수록 레진시멘트내의 파절(resin cohesive fracture)이 동시에 나타났다.
4. Bistite Resin Cement의 군에서는 모든 시편에서 dentin adhesive fracture를 보이고, 특히 결합강도가 낮은 시편에서는 혼합층과 복합레진시멘트사이에서 파절이 동시에 일어났다.
 5. 인장강도 측정시에는 dentin cohesive fracture는 관찰되지 않았으며, porcelain adhesive fracture도 일부 시편을 제외하고는 거의 관찰되지 않았다.
 6. 접착수복술식을 이용하는 도제인레이의 와동형성시에도 잔존치질의 보강을 위한 와동형성의 원칙을 준수해야 할 것이다.

참고문헌

1. Black, G V: The technical procedures in filling teeth, Operative Dentistry, Vol 2, Chicago, Medico-dental publishing company, 1908.
2. Bronner, F J: Engineering Principles applied to class 2 cavities, J Dent Res 10:115, 1930
3. Markley, M R: Restorations of Silver Amalgam, J A D A 43:133, 1951.
4. Gilmore, H W, Lund, M R, Bales, C D, and Verneti, J P: Operative Dentistry, 4th ed, p122-145, St.Louis, Missouri, 1982, C V Mosby Co.
5. Rodda, J C: Modern Class II Amalgam Cavity Preparations, N Z Dent J 68:312, 1972.
6. Elderton, R J: New Approaches to Cavity Design, Br Dent J 157:421, 1984.
7. O' Hara, J W Jr. and Clark, L L: The Evolution of the Contemporary Cavity Preparation, J A D A 108:993, 1984.
8. Buonocore M G: A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces, J Dent Res 34:849, 1955.
9. Barkmeier W W, Shaffer S E, Gwinnet A J: Effects of 15 vs 60 second enamel acid conditioning on adhesion and morphology. Op Dent 11:111, 1986.
10. Barkmeier W W, Shaffer S E, Gwinnet A

- J: Effects of reduced acid concentration and etching time on bond strength and enamel morphology. *J Clin Orthod* 21:395, 1987.
11. Gottlieb E W, Retief D H, Jamison H C: An optimal concentration of phosphoric acid as an etching agent. Part I: Tensile bond strength studies. *J Prosthet Dent* 48:48, 1982.
 12. Gross J D, Retief D H, Bradley E L: An optimal concentration of phosphoric acid as an etching agent. Part II: Microleakage studies. *J Prosthet Dent* 52:786, 1984.
 13. Asmussen E: Clinical relevance of physical, chemical and bonding properties of composite resins. *Op Dent* 10:61, 1985.
 14. Fan P L: Dentin bonding systems. An update. *J A D A* 114:91, 1987.
 15. Bowen R L, Cobb E N and Rapson J E: Adhesive bonding of various materials to hard tooth tissues. Improvement in bond strength to dentin. *J Dent Res* 61:1070, 1982.
 16. Glasspoole E, Erickson R, Pashley D: The effect of surface moisture on bonding to dentin. *J Dent Res* 70:457, 1991.
 17. Kanca J: Effect of resin primer solvents and surface wetness on resin composite bond strength to dentin. *Am J Dent* 5:213, 1992.
 18. Kanca J: Resin bonding to wet substrate: I. Bonding to dentin. *Quintessence Int* 23:39, 1992.
 19. Kanca J: Improving bond strength through acid etching of dentin and bonding to wet dentin surfaces. *J Am Dent Assoc* 23:35, 1992.
 20. Gwinnett A J: Moist versus dry dentin: Its effect on shear bond strength. *Am J Dent* 5:127, 1992.
 21. Suzuki K, Takahashi M and Nakai H: Treatment of dentin by aqueous solution of amino-acid derivatives-HEMA. *Adhes Dent* 8:227, 1990.
 22. Altschuler B R, Toboada J and Segreto V A: Intra-oral dental laser grid surface mapping. Applications of optical instrumentation in medicine IV. *SPIE* 70:347, 1975.
 23. Rekow D: Computer-aided design and manufacturing in dentistry: A review of the state of the art. *J Prosthet Dent* 58:512, 1987.
 24. Walther W and Reiss B: Six year survival analysis of CEREC restorations in a private practice. In Mörmann ed, *CAD/CIM in Aesthetic Dentistry. CEREC 10 year anniversary symposium*. Quintessence Publishing Co, p199, 1996.
 25. Brauner A W and Bieniek K W: Seven years of clinical experience with the CEREC inlay system. In Mörmann ed, *CAD/CIM in Aesthetic Dentistry. CEREC 10 year anniversary symposium*. Quintessence Publishing Co, p217, 1996.
 26. Pallesen: Clinical evaluation of CAD/CAM ceramic restorations: 6-year report. In Mörmann ed, *CAD/CIM in Aesthetic Dentistry. CEREC 10 year anniversary symposium*. Quintessence Publishing Co, p241, 1996.
 27. LoPresti J T, David S and Calamia J R: Microleakage of CAD-CAM porcelain restorations. *Am J Dent* 9:37, 1996.
 28. White S N and Yu Z: Film thickness of new adhesive luting agents. *J Prosthet Dent* 67:782, 1992.
 29. Dietschi D, Maeder M, Meyer J and Holz J: In vitro resistance to fracture of porcelain inlays bonded to tooth. *Quintessence Int* 21:823, 1990.
 30. Stangel I, Nathanson D & Hsu C S: Shear strength of the composite bond to etched porcelain. *J Dent Res* 66:1460, 1987.
 31. Lu R, Harcourt J K, Tyas M J and Alexander B: An investigation of the composite resin/porcelain interface. *Austr Dent J* 37:12, 1992.
 32. Mörmann W and Krejci I: Computer-designed inlays after 5 years in situ: clinical performance and scanning electron microscopic evaluation. *Quintessence Int* 23:109, 1992.
 33. Derand T: Stress analysis of cemented or resin-

- bonded loaded porcelain inlays. *Dent Mater* 7:21, 1991.
34. Sturdevant C M: *The Art and Science of Operative Dentistry*, 3rd ed. 1995, Mosby-Year Book Inc.
 35. Cavell W T, Kelsey P W and Blankenau R J: An in vitro study of Cuspal Fracture. *J P D* 53:38, 1985.
 36. Mondelli J, Steagall L, Ishikiriama A, Navarro M F and Soares F B: Fracture Strength of Human Teeth with Cavity Preparations. *J P D* 43:419, 1980.
 37. Christensen G J: Clinical and Research Advancements in Cast-Gold Restorations. *J P D* 25:62, 1971.
 38. Simonsen R J and Calamia J R: Tensile bond strength of etched porcelain. *J Dent Res* 62:297, Abstr No 1154(AADR), 1983.
 39. Barkmeier W W and Cooley R L: Laboratory evaluation of adhesive systems. *Op Dent Suppl* 5:50, 1992.
 40. Craig R G: *Restorative Dental Materials*, 8th ed. 1989, St Louis, C V Mosby.
 41. Bowen R L and Cobb E N: A method of bonding to dentin and enamel. *J A D A* 107:734, 1983.
 42. Wieczkowski G Jr, Yu X Y, Davis E L and Joynt R B: Microleakage in various dentin bonding agent/composite resin systems. *Op Dent Suppl* 5:62, 1992.
 43. Sparrius O and Grossman E S: Marginal leakage of composite resin restorations in combination with dentinal and enamel bonding agents. *J P D* 61:678, 1989.
 44. Munksgaard E C and Asmussen E: Bond strength between dentin and restorative resin mediated by mixtures of HEMA and glutaraldehyde. *J Dent Res* 63:1087, 1984.
 45. Fusayama T: Total etch technique and cavity isolation. *J Esthet Dent* 4:105, 1992.
 46. Nakabayashi N, Ashizawa M, Nakamura M: Identification of a resin-dentin hybrid layer in vital human dentin created in vivo: Durable bonding to vital dentin. *Quint Int* 23:135, 1992.
 47. Burrow M F, Tagami J, Negishi T, Nikaido T and Hosoda H: Early tensile bond strengths of several enamel and dentin bonding systems. *J Dent Res* 73:522, 1994.
 48. Triolo P T Jr, Swift E J Jr and Barkmeier W W: Shear bond strengths of composite to dentin using six dental adhesive systems. *Op Dent* 20:46, 1995.
 49. Miyazaki M, Oshida Y and Xirouchaki L: Dentin bonding system. Part I: Literature review. *Bio-Med Mat and Engin* 6:15, 1996.
 50. O'Brien W J and Ryge G: *An outline of dental materials and their selection*. Saunders Co, 1978.
 51. Pashley D H, Sano H, Ciucchi B, Yoshiyama M and Carvalho R M: Adhesion testing of dentin bonding agents: A review. *Dent Mater* 11:117, 1995.
 52. Øilo G and Um C M: Bond strength of glass-ionomer cement and composite resin combinations. *Quint Int* 23:633, 1992.
 53. Van Noort R, Cardew G E, Howard I C and Noroozi S: The effect of local interfacial geometry on the measurements of the tensile bond strength to dentin. *J Dent Res* 70:889, 1991.
 54. Retief D H: Standardizing laboratory adhesion tests. *Am J Dent* 4:231, 1991.
 55. Kitasako Y, Burrow M F, Nikaido T, Harada N, Inokoshi S, Yamada T and Takatsu T: Shear and tensile bond testing for resin cement evaluation. *Dent Mater* 11:298, 1995.
 56. Kemper R N and Killian R J: New test system for tensile bond strength testing. *J Dent Res* 55:B138(Abstr No.308), 1976.
 57. Mörmann W H and Schug J: Grinding precision and accuracy of fit of CEREC 2 CAD/CIM inlays. In Mörmann ed, *CAD/CIM in Aesthetic Dentistry*. CEREC 10 year anniversary symposium. Quintessence Publishing Co, p335, 1996.

58. Kawai K, Hayashi M and Iida Yoko: Comparison of milling ceramic inlay systems, Celay and Cerec. Japanese J Conserv Dent 36:1659, 1993.
59. Anusavice K J: Recent developments in restorative dental ceramics. J A D A 124:72, 1993.
60. Oshida Y and Miyazaki M: Dentin bonding system. Part II: effect of crosshead speed. Bio-Med Mat and Engin 6:87, 1996.
61. Miyajaki M, Platt J, Onose H and Moore B K: Influence of dentin primer application methods on dentin bond strength. Op Dent 21:167, 1996.
62. Triolo P T Jr, Swift E J Jr and Barkmeier W W: Shear bond strengths of composite to dentin using six dental adhesive systems. Op Dent 20:46, 1995.
63. Barkmeier W W and Erickson R L: Shear bond strength of composite to enamel and dentin using Scotchbond Multi-Purpose. Am J Dent 7:175, 1994.
64. Burrow M F, Tagami J, Negishi T, Nikaido T and Hosoda H: Early tensile bond strengths of several enamel and dentin bonding systems. J Dent Res 73:522, 1994.
65. Alster D, Feilzer A J, De Gee A J and Davidson C L: Tensile strength of thin composite layers as a function of layer thickness. J Dent Res 74(11):1745, 1995.
66. Versluis A, Tantbirojn D and Douglas W H: Why do shear bond tests pull out dentin? J Dent Res 76(6):1298, 1997.
67. Sorensen J A and Munksgaard E C: Interfacial gaps of resin cemented ceramic inlays. Eur J Oral Sci 103:116, 1995.
68. Peters M C R B and Poort H W: Biomechanical stress analysis of the amalgam-tooth interface. J Dent Res 62:358, 1983.
69. 조병훈, 엄정문: 치아과절에 관한 3차원유한 요소법적 연구. 대한치과보존학회지 18:291, 1993.
70. 조병훈: 2차원유한요소법에 있어서의 치아내 응력분포에 미치는 계면조건의 영향에 관한 연구. 치과연구 37:51, 1995.
71. Jedynakiewicz N and Martin N: CAD-CAM in restorative dentistry: The Cerec method. 3rd ed. Liverpool Univ Press, 1993.

사진부도설명

- Fig. 2: Stereomicroscopic view of fracture surface, SuperBond C&B, Tooth side
- Fig. 3: Stereomicroscopic view of fracture surface, SuperBond C&B, Porcelain side
- Fig. 4: SEM view of fracture surface, Scotchbond Resin Cement, Tooth side
- Fig. 5: SEM view of fracture surface, Scotchbond Resin Cement, Porcelain side
- Fig. 6: Stereomicroscopic view of fracture surface, Duolink Resin Cement, Tooth side
- Fig. 7: Stereomicroscopic view of fracture surface, Duolink Resin Cement, Porcelain side
- Fig. 8: Stereomicroscopic view of fracture surface, Bistite Resin Cement, Tooth side
- Fig. 9: Stereomicroscopic view of fracture surface, Bistite Resin Cement, Porcelain side

사진부도



Fig. 2

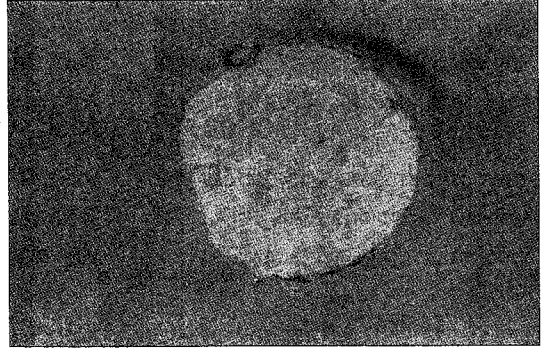


Fig. 3

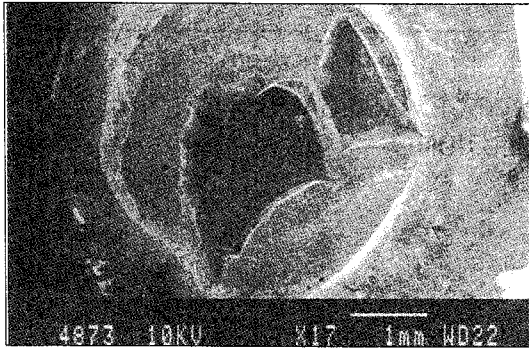


Fig. 4

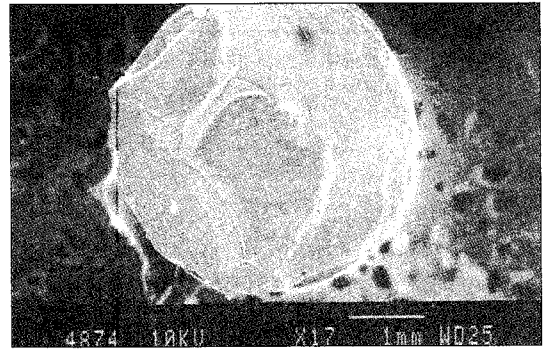


Fig. 5



Fig. 6



Fig. 7

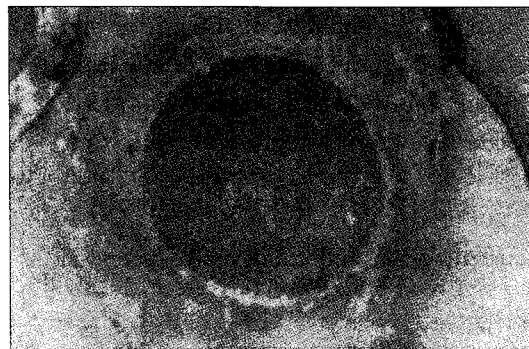


Fig. 8

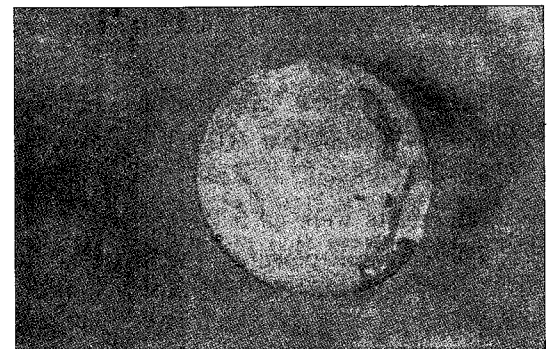


Fig. 9