

레진과 치과용 도재의 접착

*연세대학교 치과대학 보철과학교실, 영동세브란스 치과병원 보철과

**연세대학교 치과대학 보철과학교실

김선재* · 이근우** · 한종현*

I. 서 론

도재의 내면을 산부식 후 레진을 이용하여 범랑질에 접착하는 것이 처음 소개된 이후¹⁾ 도재 내면을 산부식 하는 효과에 대해 많은 연구가 있었으며 silane을 도재에 적용하여 도재와 레진의 화학적 결합을 시도하면서 현재 레진과 도재의 접착은 도재 비니어, 도재 인레이, 도재 온레이, 완전도재 전장관, 완전도재 계속가공의치 등 다양한 수복물에 이용되고 있으며,²⁻⁴⁾ 또한 구강 내에서 파절된 도재 수복물의 수리에도 이용되고 있다.^{5,6)}

심미성의 요구가 증가됨에 따라 도재 수복물의 적용범위가 넓어지면서 도재의 물리적인 성질을 강화하기 위해 다양한 성분을 첨가하여 물성을 강화한 도재가 출현하였고,^{7,8)} 알루미늄이나 또는 지르코니아를 이용하여 물리적인 성질을 현저하게 증가시킨 도재도 출현하였다.⁹⁻¹¹⁾ 이런 도재의 경우 실리카를 함유하지 않거나 그 함량이 매우 적어서 전통적인 도재의 접착에 이용되어온 산부식법과 silane을 이용한 방법은 큰 효과를 보지 못한다고 보고되고 있기 때문에 실리카를 함유하지 않는 도재와 레진의 접착에 대해서도 다양한 연구가 계속되고 있다.¹²⁻¹⁴⁾

본 글에서는 1983년 이후부터 2006년까지 발표된 도재와 레진의 접착에 관한 연구들을 고찰하고 각 연구의 해석상의 주의점과 문제점을 평가 하고자 한다. 고찰의 범위를 레진과 장식형 도재의 접착에 가장 흔하게 이용되는 산부식법과 silane의 적용에 중

점을 두었으며 최근 많이 이용되는 알루미늄과 지르코니아 계열 도재와 레진의 접착에 대해서도 간단히 언급하였다.

II. 도재와 레진의 결합방법과 고려사항

1) 산부식

도재의 내면을 불산으로 처리하여 미세한 기계적 유지형태를 부여하는 방법은 도재와 레진의 접착을 위해 전통적으로 사용된 방법이다. 도재를 산부식시키면 표면의 잔금을 제거하고, 존재하는 날카로운 부위를 완만하게 만들어 stress의 집중을 감소시키고 전체적인 강도를 증가시키는 것으로 보고되었다.¹⁵⁾ 하지만 결합이 없는 도재를 산부식 하는 경우 강도가 20-30% 약화된다고 보고된 바 있고,¹⁶⁾ 장식형 도재를 20% 불산으로 300초간 처리하면 완전히 녹아 버린다는 보고도 있다.¹⁷⁾ Addison 등은 불산의 농도가 낮은 경우에는 표면의 결합부위가 부식되어 제거되거나 높은 농도를 적용하는 경우에는 오히려 도재 표면에 새로운 결합부가 유발된다고 하였다.¹⁸⁾ 도재와 레진의 결합강도를 평가한 다른 연구에서는 도재의 표면이 과다하게 산부식 되면 전단결합강도는 오히려 감소한다고 보고된 바 있다.^{15,19)}

산부식 시간과 접착 재료의 차이를 비교하기 위해 도재 표면을 9.6% 불산으로 0초부터 180초까지 다양하게 부식시키고 도재와 레진 사이의 전단결합강도를 측정 한 결과, 120초간 산부식 한 경우 가장 높

은 값을 보였으며 180초 산부식을 하면 오히려 결합강도는 감소하였다.²⁰⁾ 2.5%와 5% 불산으로 0~180초 까지 다양하게 산부식하여 silane 처리 유무에 따른 결합강도를 비교한 실험에서는 두 가지 농도 모두에서 30~150초까지는 산부식 시간이 증가함에 따라 결합강도의 차이가 없었으나 180초 산부식을 한 군에서는 오히려 결합강도가 감소하였고 전체적으로는 2.5% 실험군이 더 높은 결합강도를 보였다. 도재 표면이 과다하게 산부식이 되면 부식된 표면에서 산부식제와 용매, 수분 등을 제거하기 어렵고, 접착 레진의 젖음성이 떨어지며, 복잡한 계면구조로 인해 중합 후 응력이 집중되는 문제가 초래되므로 결합강도가 감소한다고 하였다.¹⁹⁾

산부식 후 불용성 실리카염이 표면에 잔유물로 남게된다. 이 잔유물이 결합력을 저해한다는 주장이 제기되었다.²¹⁾ 하지만 Aida 등은 silane이 효과적으로 적용된다면 산부식 후 초음파 세척 유무에 따른 결합강도의 차이가 없음을 보고하였다.²²⁾

Roulet 등²³⁾은 도재의 종류가 도재와 레진의 결합강도에 가장 적은 영향을 미치는 요소라고 하였으나 사용한 도재의 성질에 따라서도 결합강도는 차이가 난다는 보고가 있다.^{19,22,24)} 두 가지 도재를 이용하여 9.6% 불산, 4% APF, silane을 조합하여 표면처리 후 미세인장결합강도를 측정 비교한 결과 불산과 silane을 empress2에 적용한 경우 가장 높은 결합강도를 보였고, 동일한 처리를 한 경우는 empress 2가 empress 1에 비해 늘 높은 결합강도를 보였다. Leucite base ceramic인 empress 1의 경우 불산에 의한 표면이 약화되는 정도가 empress 2에 비해 현저하며 SEM으로 관찰한 결과 산부식에 의해 약해진 유리상으로부터 균열이 시작되는 것으로 관찰되었다.²⁵⁾

Lithium disilicate ceramic의 경우 불산을 적용하면 유리상이 분해되면서 lithium disilicate crystal이 유리기질로부터 튀어나와 표면의 형태가 완전히 바뀌며, 표면적이 넓어지므로 접착에 더 유리한 형상을 가지게 된다고 하였다.²⁶⁾

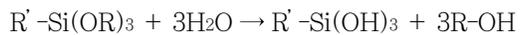
Oh와 Shen²⁷⁾은 Eris, leucite based core ceramic, lithia disilicate based core ceramic 의 3가지 도재와 레진의 인장결합강도를 측정한 결과 lithia, leucite, Eris의 순서였고, 산부식 만 한 것보다는

sand blasting후 산부식을 한 경우에서 보다 높은 결합강도를 보였다. Lithia disilicate core가 가장 높은 결합강도를 보인 이유는 결합부위에 보다 균일한 유지 구조를 가지기 때문이라고 하였다.

2) Silane

Silane은 하나의 유기기능군과 3개의 수용성 alkoxy군으로 구성된다. Silane은 기질의 표면장력을 감소시키므로 젖음성을 높이고 표면에너지를 증가시켜 효과적인 접착이 일어나게 한다. Silane 용액은 pH4~5정도에서 가장 안정적이며, 28 약 4.0~4.5 정도의 낮은 pH를 가지는 경우가 pH 5.5~6.0의 silane보다 강한 결합을 하는 것으로 보고된다.²⁹⁾

Silane이 작용을 하기 위해서는 먼저 가수분해된 후 농축되어야 한다. 수용액 내에서 alkoxy군은 물과 반응하여 반응성이 높은 친수성의 산성 silanol 군 (S-OH)가 되면서 알코올을 부산물로 형성한다.³⁰⁾



치과용으로 흔히 이용되는 silane은 monofunctional γ -methacryl oxypropyl trimethoxy silane (γ -MPS)이다. 물과 에탄올의 혼합용매에 2wt%이하여 희석해 사용되며 아세트산을 이용하여 pH는 4-5 정도로 조정된다. Silane 분자의 유기기능 부분은 유기기질과 연결되며, bisilicone 기능군을 가지는 silane이 monosilicone 이나 trisilicone 기능군을 가지는 silane보다 접착계면에서 보다 안정적이며 레진기질 내부로 침투되어 중합체를 형성하는데 중요한 역할을 한다.³¹⁾ 이중결합이 없는 bisfunctional silane은 도재와 레진의 결합강도를 높이고 수분에 대한 저항성이 크므로 결합의 안정성을 높이기 위해서는 bisfunctional silane과 MPS를 혼합하여 사용하는 것이 추천된다.³²⁾

도재를 silane 용액에 침습한 경우보다는 붓으로 도포한 경우 더 높은 결합강도를 나타냈는데, 침습한 경우에는 silane층이 너무 두껍게 형성되기 때문에 오히려 결합강도가 감소한다고 하였다. Silane 처리 후 80℃ 뜨거운 물로 가볍게 닦아내면 결합강도는 더 증가하였다. Silane의 최외층 표면은 안정적인 화학 결합층이 아니므로 뜨거운 물로 불안정한

결합층을 제거하면 안정적인 silane 과의 결합을 통해 결합강도가 증가하는 것으로 보인다. 즉 silane의 monolayer를 형성하기 위해서는 약하게 결합되어 있는 외층의 oligomer는 제거하는 것이 유리하다.³³⁾

산부식과 silane 처리의 비교에서는 산부식을 통한 미세한 기계적 유지력보다 silane 처리를 통한 화학적 유지력이 더 높은 인장결합강도를 나타냈다고 보고하였다.³⁴⁾ 파절면의 SEM 관찰결과 산부식을 한 실험군은 접착제와 도재의 계면에서부터 파절이 일어나기 시작했는데, 이것은 도재의 산부식 과정 동안 약화된 부분에서부터 파절이 시작되었다는 것을 의미한다. 산부식을 하지 않고 silane만을 처리한 경우에는 이런 형태의 파절은 발생하지 않았다.

Heat treatment of silane

Silane도포 후 100℃로 60초간 열처리하면 도재와 레진 사이의 결합강도가 증가한다고 보고되었고,²³⁾ 열처리 온도의 비교에서는 silane 처리 후 100℃의 견열을 가한 경우 보다 50℃ 따뜻한 바람으로 건조시킨 경우가 더 높은 결합강도를 나타냈다.³³⁾

Two bottle 과 one bottle silane을 열처리 유무에 따라 구분하여 접착 3분, 24시간, 1주일 후 전단결합강도를 비교한 결과, 열처리를 한 실험군은 1주일 후에 더 높은 결합강도를 보였으나, 열처리하지 않은 실험군은 시간에 따른 결합강도의 차이가 없었다. 파절양상의 관찰에서는, 열처리하지 않은 실험군은 초기에는 주로 응집실패를 보이다 1주일 후에는 부착실패가 증가하였으나 열처리를 한 실험군에서는 1주일 후에도 대부분 응집실패를 보였다.³⁵⁾

열처리를 하면 도재 표면에 남아있던 수분, 알코올, 아세트산 등의 불순물이 증발해서 제거되며, 수분의 제거는 접착 계면에서 silane과 실리카의 농축반응을 완성하고 silane과 실리카의 공유결합 형성을 촉진하여 결합강도가 증가한다. 또한 실리카와 수소결합을 형성하는 알코올이나 아세트산을 제거하면 silane이 반응하여 결합할 수 있는 부위 수가 증가되므로 결합강도가 증가될 수 있다.²³⁾

1 bottle or 2 bottle

치과용도로 이용되는 silane은 unhydrolysed single liquid silane primer, prehydrolysed single

liquid silane primer, 2- or 3- liquid silane primer 로 구분되는데,³⁰⁾ silane은 단량체의 형태로 흡착될 때 가장 효과적이기 때문에 silane이 흡착되는데 가장 이상적인 시간은 가수분해 직후부터 oligomerization 되기 직전까지이다.³⁶⁾

Single bottle silane은 대기 중 수분의 영향으로 농축반응을 통해 oligomer가 형성되고 중합된 siloxane을 형성하는 문제가 있으나,³⁰⁾ multi-bottle silane은 장기간 보관하는 경우에도 중합이나 농축의 문제가 없으므로 더 유리하다고 보고되었으나,³⁷⁾ silane의 효능의 차이는 가수분해 정도에 따라 달라지고 가수분해 비율이 높을수록 보다 강한 결합력을 제공하는데,³⁸⁾ pre-activated single bottle silane이 two bottle silane 보다 가수분해 비율이 높으므로 더 효과적이라는 보고도 있다.³⁹⁾

보관기간이 silane의 성분과 결합강도에 미치는 영향을 평가하기 위해 제조 15분 후부터 1년 후까지 보관한 pre-activated silane의 성분을 분광광도분석 후, 다양한 방법으로 silane을 적용하여 결합강도를 측정하였다.⁴⁰⁾ 약 24시간 후에 거의 완전한 γ -MPTS의 가수분해가 일어나며 그 후부터는 매우 느리게 siloxane oligomer의 형성이 일어나는 것이 관찰되었으며, 제조 후 보관 기간 차이에 따른 결합강도의 차이는 없었다. 따라서 pre-activated silane은 제조 15분 후부터 1년까지는 사용 가능하다고 여겨진다.

도재와 레진을 접착 후 24시간 ~ 3개월 동안 상온에 보관하여 전단결합강도를 측정한 결과에서는 3개월 후에 가장 높은 결합강도를 보였으며,⁴¹⁾ 접착 24시간 후에는 two bottle silane의 결합강도가 높았지만 1주 후부터는 single bottle system의 결합강도가 높아지기 시작하면서 3개월 후에는 single bottle silane의 결합강도가 two bottle silane보다 유의성 있게 높았다.

Silane의 효과는 도재의 silanol 군과 결합 가능한 silane의 silanol 군의 양에 의해 평가되며 silane이 가수분해 비율과 결합강도는 상관관계가 있다고 알려져 있는데, 분광분석을 통해 one bottle silane과 two bottle silane의 성분을 비교해 본 결과 one bottle silane의 경우가 two bottle silane에 비해서 가수분해된 silanol이 더 많이 관찰되었으며 two bottle

silane의 경우 술자에 민감성과 불완전한 가수분해의 위험성이 있으므로 one bottle silane을 사용하는 것이 더 유리하다고 하였다.^{39,42)} 또한 oligomer의 형태가 one bottle silane은 linear tetramer이고, two bottle silane은 cyclic tetramer인데, linear oligomer 형태의 silanol이 cyclic oligmer인 경우보다 보다 접착에 효과적이라고 알려져 있다.⁴³⁾

Silane에 인산 단량체가 포함이 되지 않은 경우에는 도재 표면의 pH값이 결합강도에 영향을 끼친다.⁴⁴⁾ 인산 단량체가 없는 silane의 경우 산부식 후 silane을 적용하면 보다 높은 결합강도를 보였다. 하지만 산부식 후 수세를 오래 한 경우에는 도재 표면의 H⁺ 농도가 현저히 감소하여 산부식을 하지 않은 경우와 마찬가지로 결과를 보였다. Silane에 인산 단량체가 포함된 경우에는 산부식 없이도 높은 결합강도를 보였다. 같은 연구자들이 silane을 인산 단량체 유무에 따라 분류하여 24시간, 6개월, 1년 간 수중보관 후 미세인장결합강도를 측정된 결과 모든 실험군은 6개월 후 현저한 결합강도의 감소를 보였다. 특히 인산단량체가 없는 실험군인 경우 불산으로 처리한 군을 제외하고는 모두 6개월 후 시편 제작과정 중 접착면이 탈락되었다. 6개월에서 1년 사이에는 결합강도의 차이가 없었다. Two bottle silane에서 산성 단량체는 γ -MPS를 활성화시키는데 작용하는데 인산 단량체가 없는 실험군에서 불산, 인산 등으로 표면을 산부식 한 후 silane을 도포한 경우에는 초기 결합강도는 현저히 증가한다. 하지만 결합강도가 인산 단량체가 들어있는 경우에 비해 많이 떨어지므로 산부식을 통해서는 γ -MPS가 부분적으로만 활성화된다고 생각된다⁴⁵⁾.

3) Artificial aging

수분은 Siloxane 결합이 일어나는 과정 동안 레진과 도재 사이의 결합에 영향을 미칠 뿐 아니라,⁴⁶⁾ 결합이 완료된 후에도 결합부위에서 수분흡수가 일어나면 레진 내부의 수분함량이 증가하고 이에 따라 silane의 가수분해와 변질이 발생한다. 즉 수중 보관이나 thermocycling은 silane과 도재의 접착강도를 약화시킨다.²³⁾ Silane으로 처리한 표면은 수분이 있는 조건에서 불안정하며, silane 결합은 심지어 대기 중 수분에 의해서도 약화된다.

도재를 물속에 보관한 실험군보다 건조상태로 보관한 실험군에서 보다 높은 결합강도를 보였고⁴⁷⁾, thermocycling후 4가지 silane의 결합강도 비교에서는 한가지 종류의 silane을 제외하고는 모두 thermocycling 후 현저한 결합강도의 감소를 초래하였다.⁴⁸⁾

인산, 불산, sand blasting을 처리한 도재 표면에, 다양한 레진 세멘트를 이용하여 도재-레진 접착을 이룬 후 thermocycling 전후의 전단결합강도를 측정 한 결과, silane의 처리 없이 인산과 sand blasting만 처리한 군에서는 thermocycling후 결합강도가 0 이었는데, 이것은 기계적인 유지력이 결여되어 있기 때문이라고 볼 수 있다. 불산 처리된 경우만 도재 표면이 미세한 유지형태를 가지므로 thermocycling후에도 결합강도를 나타내었다.⁴⁹⁾

Two bottle로 구성된 silane의 성분을 각각 따로 또는 혼합해서 도재 표면에 적용 후 측정된 결합강도의 평가에서는 unhydrolyzed silane을 사용한 경우 hydrolyzed silane을 사용한 경우에 비해 thermocycling 후 결합강도가 현저하게 감소하였고, 비록 레진 세멘트 내에 산 성분 (MAC-10 카복시 단량체)이 들어있더라도 이것이 unhydrolyzed silane을 효과적으로 가수분해시키지는 못하는 것으로 드러났다. 즉 unhydrolyzed single bottle silane은 적절한 조건이 형성되지 않는다면 효과가 매우 제한된다.⁵⁰⁾

Silane 처리 만으로 산부식을 할 때와 같은 정도의 결합력을 얻을 수 있다고 보고되었으나,^{22,51)} 이것은 접착 초기의 결합력에 해당하며 1, 3 개월로 시간이 증가할수록 silane을 산부식, blasting과 함께 처리한 군이 활택한 연마면에 silane만을 처리한 군보다 thermocycling후에는 높은 결합강도를 보였다. 40 비록 6개월간 물속에 보관한 실험에서 silane만을 처리한 군과 산부식과 silane을 함께 처리한 실험군 사이에 전단결합강도 차이가 없었다는 보고가 있었지만, 도재의 표면을 silane만으로 처리한 경우, 초기 결합강도는 높으나 thermocycling후에는 결합강도가 현저하게 감소하였으며, 도재 표면을 불산 처리 후 silane을 처리한 경우는 결합강도의 감소가 상대적으로 적었다.⁵²⁾ 결과적으로 산부식 등의 기계적인 유지력과 silane을 통한 화학적인 유지력이 동반되어야 장기적으로 안정적인 결합을 얻을 수 있었다

4) Alumina, Zirconium와 레진과의 접착

Alumina나 zirconia를 첨가하여 강도를 증가시킨 도재와 레진과의 결합은 장식형 도재와 레진과의 결합과는 다른 양상을 보인다. InCeram과 같이 alumina에 유리를 침투시킨 도재의 경우 도재 내에 포함하는 유리 기질 부분이 매우 적으므로 전통적인 산부식 방법으로는 전체적으로 적절한 표면의 거칠기를 형성할 수 없다. ProCera 등과 같은 고밀도로 소결된 alumina의 경우에는 유리 기질이 전혀 없으므로 불산에 대해 전혀 부식이 일어나지 않는다.⁵³⁾ Alumina 도재의 경우는 산화 알루미늄 가루로 blasting 하여 표면을 거칠게 하고, tribochemical silica coating 후 silane 처리를 하는 것이 alumina 도재와 레진과의 결합력을 높이는 효과적인 방법이라고 보고되었다.⁵⁴⁾ 고농도로 소결된 zirconium 도재 역시 유리 기질을 전혀 함유하지 않기 때문에 불산에 의한 산부식은 효과가 없다. Tribochemical silica coating을 하는 방법도 레진과의 접착력을 높인데 크게 작용하지 못하며 산화 알루미늄 blasting 후 Panavia F와 같은 phosphate monomer를 함유하는 레진 세멘트를 사용하는 경우 레진-도재 결합강도가 증가하였다.^{12,14,54)}

Ⅲ. Methodology 에 대한 고찰

도재와 레진의 결합강도를 평가하기 위해 전단결합강도가 흔히 이용되고 있으나, 전단결합강도는 하중이 가해지는 부위에 바로 인접한 기저부 재료에 높은 인장응력이 작용하며 접착면의 결합강도보다는 사용된 기저부 재료의 응착강도에 더 영향을 받는 것이 유한요소분석을 통해 밝혀졌다.⁵⁵⁾ 도재와 레진 사이의 전단결합강도를 측정할 많은 연구들에서 기저부 재료로 사용한 도재의 응착실패를 흔히 보고한 것은 이런 이유 때문이다. 인장결합강도의 경우에는 파절이 접착계면에서 발생하며 전단결합강도에 비해 접착면의 결합력을 나타내는 보다 적절한 수단이라고 보고되었으나,⁵⁵⁾ 인장결합강도 역시 임상적으로 발생하는 도재와 레진의 결합력을 표현하는 데에는 한계가 있다.⁵⁶⁾ 접착면의 면적을 1mm² 이하로 만든 후 두 물질의 결합강도를 측정하는 미

세인장강도의 측정은 두 물질 사이의 계면에 존재하는 결합의 영향을 최소화 하는 장점이 있다. 도재와 레진의 미세인장결합강도를 측정할 실험에서 응착실패는 발생하지 않았으며 접착실패나 접착실패와 응착실패가 혼합된 파절양상이 보고된 바 있다.^{25,57,58)}

Thermocycling이나 장기간 물속에 보관한 후 결합강도 실험을 한 경우 실험결과 해석 시 주의할 점이 있다. 수분의 영향으로 인해 silane의 변질이 일어나 결합강도가 약해질 수도 있지만 레진이 수분을 흡수하여 레진의 파절인성이 증가하므로 결합강도가 높게 나올 수도 있는 것이다. 즉 장기간 수분에 노출된 후 도재와 레진의 결합강도가 증가한다는 것은 silane이 접착계면에서 지속적으로 가수분해되면서 접착에 유효한 silanol이 증가하여 결합강도가 증가한다고 볼 수도 있겠지만 레진의 탄성의 증가로 결합강도의 수치가 증가한다고 해석할 수도 있다.

Ⅳ. 결 론

현재까지 발표된 도재와 레진의 접착에 대한 연구를 종합하면

1. 도재를 silane으로 처리하는 과정은 매우 민감한 과정이며 수분, 용매 등에 의한 오염 또는 다양한 요인에 의해 영향을 받을 수 있다.
2. 도재 표면을 silane만을 이용하여 화학적 결합을 하는 것이 산부식 등을 통한 기계적인 결합과 같거나 더 우수한 초기 결합강도를 보인다.
3. 장기적으로 안정적인 결합강도의 유지를 위해서는 낮은 농도의 불산 (2.5~5%)로 150초 미만으로 산부식 후 형성하는 미세한 기계적 결합과 silane을 이용한 화학적인 결합을 같이 적용하는 것이 유리하다.
4. 고농도의 alumina나 zirconia를 함유한 도재의 경우 실리카 코팅 후 silane과 phosphate monomer를 함유하는 레진 세멘트를 사용하는 것이 가장 유리하다.
5. 도재와 레진의 결합강도를 해석할 수 있는 올바른 측정방법이 고안되어야 한다.

참고문헌

1. Calamia JR. Etched porcelain facial veneers: a new treatment modality based on scientific and clinical evidence. *N Y J Dent* 1983;53:255-259.
2. Tidehag P, Gunne J. A 2-year clinical follow-up study of IPS Empress ceramic inlays. *Int J Prosthodont* 1995;8:456-460.
3. Studer S, Lehner C, Brodbeck U, Scharer P. Short-term results of IPS-Empress inlays and onlays. *J Prosthodont* 1996;5:277-287.
4. Kramer N, Frankenberger R. Clinical performance of bonded leucite-reinforced glass ceramic inlays and onlays after eight years. *Dent Mater* 2005;21:262-271.
5. Hisamatsu N, Atsuta M, Matsumura H. Effect of silane primers and unfilled resin bonding agents on repair bond strength of a prosthodontic microfilled composite. *J Oral Rehabil* 2002;29:644-648.
6. Kupiec KA, Wuertz KM, Barkmeier WW, Wilwerding TM. Evaluation of porcelain surface treatments and agents for composite-to-porcelain repair. *J Prosthet Dent* 1996;76:119-124.
7. Fradeani M, Aquilano A. Clinical experience with Empress crowns. *Int J Prosthodont* 1997;10:241-247.
8. Lehner C, Studer S, Brodbeck U, Scharer P. Short-term results of IPS-Empress full-porcelain crowns. *J Prosthodont* 1997;6:20-30.
9. Suarez MJ, Lozano JF, Paz Salido M, Martinez F. Three-year clinical evaluation of In-Ceram Zirconia posterior FPDs. *Int J Prosthodont* 2004;17:35-38.
10. Sadan A, Blatz MB, Lang B. Clinical considerations for densely sintered alumina and zirconia restorations: Part 1. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2005;25:213-219.
11. McLaren EA, White SN. Glass-infiltrated zirconia/alumina-based ceramic for crowns and fixed partial dentures. *Pract Periodontics Aesthet Dent* 1999;11:985-994; quiz 996.
12. Blatz MB, Sadan A, Martin J, Lang B. In vitro evaluation of shear bond strengths of resin to densely-sintered high-purity zirconium-oxide ceramic after long-term storage and thermal cycling. *J Prosthet Dent* 2004;91:356-362.
13. Derand P, Derand T. Bond strength of luting cements to zirconium oxide ceramics. *Int J Prosthodont* 2000;13:131-135.
14. Kern M, Wegner SM. Bonding to zirconia ceramic: adhesion methods and their durability. *Dent Mater* 1998;14:64-71.
15. Yen TW, Blackman RB, Baez RJ. Effect of acid etching on the flexural strength of a feldspathic porcelain and a castable glass ceramic. *J Prosthet Dent* 1993;70:224-233.
16. Balkova L, Sakalova A, Gazdik F. [Induction of autoimmune phenomena in lymphoproliferative diseases]. *Bratisl Lek Listy* 2000;101:611-613.
17. Stangel I, Nathanson D, Hsu CS. Shear strength of the composite bond to etched porcelain. *J Dent Res* 1987;66:1460-1465.
18. Addison O, Marquis PM, Fleming GJ. The impact of hydrofluoric acid surface treatments on the performance of a porcelain laminate restorative material. *Dent Mater* 2006.
19. Chen JH, Matsumura H, Atsuta M. Effect of different etching periods on the bond

- strength of a composite resin to a machinable porcelain. *J Dent* 1998;26:53-58.
20. Guler AU, Yilmaz F, Yenisey M, Guler E, Ural C. Effect of acid etching time and a self-etching adhesive on the shear bond strength of composite resin to porcelain. *J Adhes Dent* 2006;8:21-25.
 21. Shimada Y, Yamaguchi S, Tagami J. Micro-shear bond strength of dual-cured resin cement to glass ceramics. *Dent Mater* 2002;18:380-388.
 22. Aida M, Hayakawa T, Mizukawa K. Adhesion of composite to porcelain with various surface conditions. *J Prosthet Dent* 1995;73:464-470.
 23. Roulet JF, Soderholm KJ, Longmate J. Effects of treatment and storage conditions on ceramic/composite bond strength. *J Dent Res* 1995;74:381-387.
 24. Lacy AM, LaLuz J, Watanabe LG, Dellenges M. Effect of porcelain surface treatment on the bond to composite. *J Prosthet Dent* 1988;60:288-291.
 25. Della Bona A, Anusavice KJ, Shen C. Microtensile strength of composite bonded to hot-pressed ceramics. *J Adhes Dent* 2000;2:305-313.
 26. Spohr AM, Sobrinho LC, Consani S, Sinhoreti MA, Knowles JC. Influence of surface conditions and silane agent on the bond of resin to IPS Empress 2 ceramic. *Int J Prosthodont* 2003;16:277-282.
 27. Oh WS, Shen C. Effect of surface topography on the bond strength of a composite to three different types of ceramic. *J Prosthet Dent* 2003;90:241-246.
 28. Child TF, Van Ooij WJ. Application of silane technology to prevent corrosion of metals and improve paint adhesion. *Transactions of the Institute of Metal Finishing* 1999;77:64-70.
 29. Matinlinna JP, Lassila LV, Vallittu PK. Evaluation of five dental silanes on bonding a luting cement onto silica-coated titanium. *J Dent* 2006.
 30. Matinlinna JP, Lassila LV, Ozcan M, Yli-Urpo A, Vallittu PK. An introduction to silanes and their clinical applications in dentistry. *Int J Prosthodont* 2004;17:155-164.
 31. Nishiyama N, Ishizaki T, Horie K, Tomari M, Someya M. Novel polyfunctional silanes for improved hydrolytic stability at the polymer-silica interface. *J Biomed Mater Res* 1991;25:213-221.
 32. Kurata S, Yamazaki N. Effect of silane coupling agents with a bisfunctional hydrolyzable group. *Dent Mater J* 1993;12:127-135.
 33. Hooshmand T, van Noort R, Keshvad A. Bond durability of the resin-bonded and silane treated ceramic surface. *Dent Mater* 2002;18:179-188.
 34. Della Bona A, Anusavice KJ, Hood JA. Effect of ceramic surface treatment on tensile bond strength to a resin cement. *Int J Prosthodont* 2002;15:248-253.
 35. Barghi N, Berry T, Chung K. Effects of timing and heat treatment of silanated porcelain on the bond strength. *J Oral Rehabil* 2000;27:407-412.
 36. Blum C, Meixner AJ, Subramaniam V. Single Oligomer Spectra Probe Chromophore Nanoenvironments of Tetrameric Fluorescent Proteins. *J Am Chem Soc* 2006;128:8664-8670.
 37. Sato K, Matsumura H, Atsuta M. Effect of three-liquid bonding agents on bond strength to a machine-milled ceramic material. *J Oral Rehabil* 1999;26:570-574.

38. Umemoto K, Kurata S. Effects of mixed silane coupling agent on porcelain tooth material and various dental alloys. *Dent Mater J* 1995;14:135-142.
39. Anagnostopoulos T, Eliades G, Palaghias G. Composition, reactivity and surface interactions of three dental silane primers. *Dent Mater* 1993;9:182-190.
40. Hooshmand T, van Noort R, Keshvad A. Storage effect of a pre-activated silane on the resin to ceramic bond. *Dent Mater* 2004;20:635-642.
41. Berry T, Barghi N, Chung K. Effect of water storage on the silanization in porcelain repair strength. *J Oral Rehabil* 1999;26:459-463.
42. Lu R, Harcourt JK, Tyas MJ, Alexander B. An investigation of the composite resin/porcelain interface. 1: *Dent Mater*. 2006 Jan 18;
43. Plueddemann EP. *Silane coupling agents*. New York: Plenum Press; 1982.
44. Foxton RM, Nakajima M, Hiraishi N, Kitasako Y, Tagami J, Nomura S et al. Relationship between ceramic primer and ceramic surface pH on the bonding of dual-cure resin cement to ceramic. *Dent Mater* 2003;19:779-789.
45. Foxton RM, Nakajima M, Tagami J, Miura H. Effect of acidic pretreatment combined with a silane coupling agent on bonding durability to silicon oxide ceramic. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2005;73:97-103.
46. Tjan AH, Nemetz H. A comparison of the shear bond strength between two composite resins and two etched ceramic materials. *Int J Prosthodont* 1988;1:73-79.
47. Bailey JH. Porcelain-to-composite bond strengths using four organosilane materials. *J Prosthet Dent* 1989;61:174-177.
48. Diaz-Arnold AM, Aquilino SA. An evaluation of the bond strengths of four organosilane materials in response to thermal stress. *J Prosthet Dent* 1989;62:257-260.
49. Nagai T, Kawamoto Y, Kakehashi Y, Matsumura H. Adhesive bonding of a lithium disilicate ceramic material with resin-based luting agents. *J Oral Rehabil* 2005;32:598-605.
50. Nogami T, Tanoue N, Atsuta M, Matsumura H. Effectiveness of two-liquid silane primers on bonding sintered feldspathic porcelain with a dual-cured composite luting agent. *J Oral Rehabil* 2004;31:770-774.
51. Hayakawa T, Horie K, Aida M, Kanaya H, Kobayashi T, Murata Y. The influence of surface conditions and silane agents on the bond of resin to dental porcelain. *Dent Mater* 1992;8:238-240.
52. Shahverdi S, Canay S, Sahin E, Bilge A. Effects of different surface treatment methods on the bond strength of composite resin to porcelain. *J Oral Rehabil* 1998;25:699-705.
53. Awliya W, Oden A, Yaman P, Dennison JB, Razzoog ME. Shear bond strength of a resin cement to densely sintered high-purity alumina with various surface conditions. *Acta Odontologica Scandinavica* 1998;56:9-13.
54. Wegner SM, Kern M. Long-term resin bond strength to zirconia ceramic. *J Adhes Dent* 2000;2:139-147.
55. Della Bona A, van Noort R. Shear vs. tensile bond strength of resin composite bonded to ceramic. *J Dent Res* 1995;

- 74:1591-1596.
56. Chadwick RG, Mason AG, Sharp W. Attempted evaluation of three porcelain repair systems--what are we really testing? *J Oral Rehabil* 1998;25:610-615.
57. Filho AM, Vieira LC, Araujo E, Monteiro Junior S. Effect of different ceramic surface treatments on resin microtensile bond strength. *J Prosthodont* 2004;13:28-35.
58. da Silveira BL, Paglia A, Burnett LH, Shinkai RS, Eduardo Cde P, Spohr AM et al. Micro-tensile bond strength between a resin cement and an aluminous ceramic treated with Nd:YAG laser, Rocatec System, or aluminum oxide sandblasting

Reprint request to:

Sunjai Kim, D.D.S., M.S., Ph.D.

Dept. of Prosthodontics, Yong-Dong Severance Dental Hospital, College of Dentistry, Yonsei Univ.
146-92, Dokok-dong, Kangnam-gu, Seoul, 135-720, Korea
sunjai@yumc.yonsei.ac.kr

ABSTRACT

BONDING BETWEEN RESIN AND CERAMICS

Sunjai Kim*, D.D.S., M.S., Ph.D., Keun-Woo Lee**, D.D.S., M.S., Ph.D.,
Chong-Hyun Han*, D.D.S., M.S., Ph.D.

**Department of Prosthodontics, Yongdong Severance Hospital, College of Dentistry, Yonsei University*

***Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Yonsei University*

Statement of problem: Literature showed different results on the durability of bonded ceramic restoration.

Purpose: The purpose of this article is to review the effect of surface treatment of ceramics in resin-ceramic bond to get predictable results.

Material and method: PubMed data base was utilized to search the articles which were written in English and published in 1986 and 2006. Some electronic published articles which are forthcoming to publish in paper were also included for this review. This review article focused on the effect of acid etching and silane application on the silica based ceramics. The durability of resin-ceramic bonding, the methodology for bond strength test and resin bonding to alumina or zirconia based ceramics were compared in brief at the end of the review.

Results and Conclusion: the effect of silane application can be influenced by the contaminations of saliva or solutions. Micromechanical retention by acid etching as well as silane application plays an important role in initial and durable bond strength between resin and ceramic. The use of phosphate modified resin cement following tribochemical silica coating and silane application produced best bond strength for alumina or zirconia based ceramics.

Key words : Resin-ceramic bonding, Bond strength, Etching, Silane