

# 복합레진 수복과 상아질 접착제의 미해결 문제점과 임상적 중요성

서울대학교 치의학대학원 치과보존학교실

부교수 이 인 복

## 서 론

치아색을 지닌 복합레진과 상아질접착제를 이용한 수복술식은 접착치과학이라는 새로운 분야를 탄생시켰으며, 임플란트를 이용한 상실된 치아의 수복과 함께 치과 임상에서 가장 큰 변화를 가져온 술식 중의 하나라 하겠다. 1955년 법랑질 산부식의 도입 이래 많은 연구자와 임상가의 노력으로 상아질에 대한 접착은 괄목할 만한 발전을 가져왔다. Bis-GMA 레진을 기본으로 하는 복합레진도 마모도나 파절강도 같은 기계적 물성뿐만 아니라, 점성, stickness, slumping resistance와 같은 조작성이 크게 개선되었고, 투명도와 같은 광학적 특성에 있어 거의 실제 치아에 근접하는 수복을 할 수 있는 정도에 이르렀다. 특히 전치부 수복에서는 적층법을 이용한 색상의 부드러운 이행, 미리 제작된 putty guide를 이용한 4급 와동의 수복은 자연스런 치아의 외형과 광학적 특성을 거의 완벽하게 재생할 수 있게 되었다. 구치부 수복에서는 sectional matrix나 고점도 복합레진의 등장으로

이전에는 달성하기 어려웠던 자연스럽고 긴밀한 인접면 접착을 쉽게 달성할 수 있게 되었다. 그러나 밝은 면이 있으면 어두운 뒷면도 반드시 존재하는 법, 복합레진과 상아질접착제를 이용한 수복의 많은 장점에도 불구하고 해결되지 않은 몇 가지 문제점들이 남아있어, 치과의사들에게 의구심과 함께 때로는 스트레스를 제공하는 요인이 되기도 한다. 본 논고에서는 현재까지 확실히 알려진 몇 가지 문제점들과, 연구자 사이에 의견이 통일되지 않은 몇몇 중요한 주제에 대해 묻고 답하는 식으로 알아보고자 한다.

## 본 론

### 복합레진 수복 후 나타나는 치아과민증 (술후민감증)의 원인은?

술후민감증은 주로 1급 와동과 5급 와동에서 발생하고, 수복 전에는 존재하지 않던 증상이 복합레진 수

복 후 나타나 치과의사와 환자 모두를 당황하게 하고, 때로는 치과의사의 체면을 구기게 하며 좌절하게 하기도 한다. 현재까지 알려진 술후민감증의 직접적인 원인은 복합레진의 중합수축응력과 산부식 후 완벽하게 접착제로 보호되지 않은 상아세관의 노출이다. 1급, 5급 와동은 언뜻 수복하기 쉬워 보이는 와동들이지만 와동의 C-factor (configuration factor, bonded surface/un-bonded free surface)가 큰 경우가 많아 중합수축응력을 효율적으로 해소시키기 어렵다. 복합레진은 광중합시 10초 이내에 1~4%의 중합수축을 보이며, 동시에 탄성계수도 급격히 증가하여 10초 내에 100MPa (학생용 연필지우개의 100배 정도의 탄성율)의 탄성계수에 도달한다. 결과적으로 1급 와동과 같이 교합면을 제외한 모든 와동면에 복합레진이 접착제로 와동벽에 단단히 접착되었을 시 중합수축을 해소해 줄 수 있는 곳은 오로지 교합면 쪽 밖에 없다. 이처럼 단혀있는 와동에서 중합이 이루어지면 중합수축과 탄성계수의 곱으로 중합수축응력이 나타난다. 따라서 와동 벽면에 중합수축응력이 작용하게 되어, 접착 계면의 탈락, 법랑질 내의 미세파절, 미세누출, 교두굴곡등을 가져올 수 있다. 특히 1급 와동의 경우 2급 와동과는 달리 주변의 와동벽이 모두 단단한 치질로 둘러싸여 와동의 compliance가 매우

낮아 교두굴곡이 거의 불가능하고, 와동의 법랑질 계면에서의 접착은 와동 내면의 상아질 계면에서의 접착에 비해 훨씬 강하다. 결과적으로 와동 내면의 상아질 접착면에서 탈락이 발생하여 gap을 형성할 수 있다 (Fig 1).

이러한 접착의 실패나 상아질 내에 미세파절로 인한 gap이 형성되면, 여기에 상아질 내에 존재하는 상아세관액등이 고이게 되고 교합력과 같은 기계적 압력이 작용할 때 상아세관액의 이동이 일어나 유체역학적 현상에 의해 신경말단을 자극하여 민감한 동통을 유발한다. 이와 더불어 5급 와동의 경우, 산 부식 후 노출된 상아세관이 적절하게 상아질접착제로 보호되지 않았을 경우, 기계적 자극 또는 설탕물과 같은 고농도의 화학물질과 접촉, air, 온도변화 시 술후민감증을 나타낼 수 있다. 특히 치경부에 존재하는 치은열구액으로 인하여 완벽한 접착이 이루어지지 않고 상아세관이 외부 자극에 노출된 경우 더욱 그러하다 하겠다.

### 어떻게 하면 술후민감증을 줄일 수 있을까?

술후민감증을 줄이기 위해서는 두 가지 노력을 기울여야 한다. 첫째, 중합수축응력을 최대한 줄여줄 수 있는 술식. 둘째, 보다 나은 접착을 위한 술식. 우선

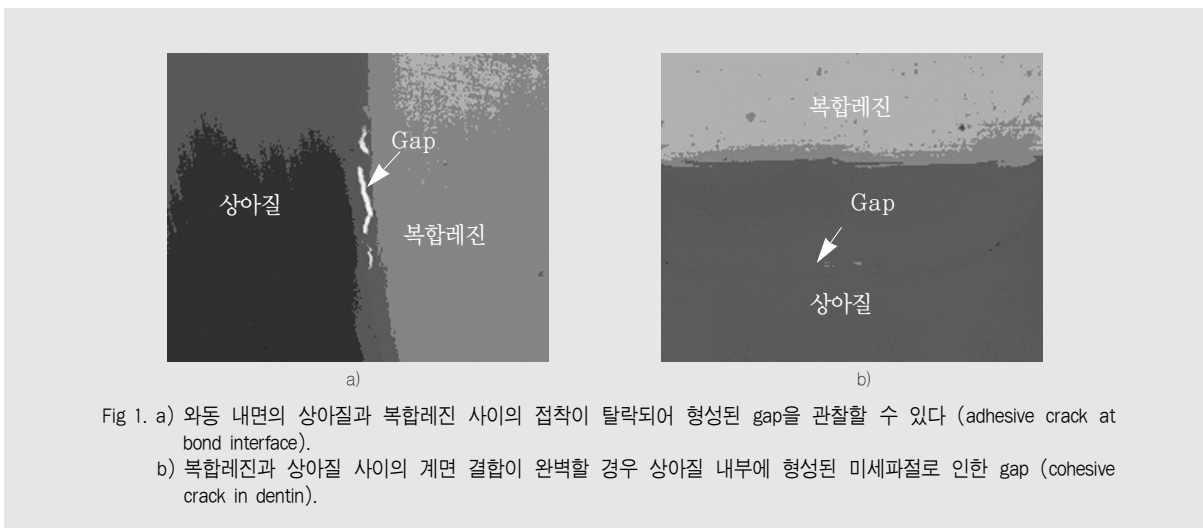


Fig 1. a) 와동 내면의 상아질과 복합레진 사이의 접착이 탈락되어 형성된 gap을 관찰할 수 있다 (adhesive crack at bond interface).  
 b) 복합레진과 상아질 사이의 계면 결합이 완벽할 경우 상아질 내부에 형성된 미세파절로 인한 gap (cohesive crack in dentin).

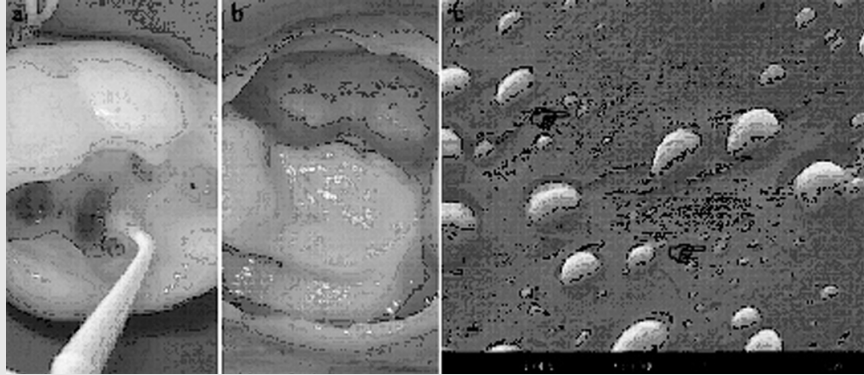


Fig 2. 접착제 도포 후 광중합 후 인상을 채득하여 에폭시 레진을 부어 그 표면을 전자현미경으로 관찰하면 접착제 층으로 수 많은 수포가 상아질로부터 올라온 것을 확인할 수 있다.

중합수축응력을 줄이기 위해서는 적층법을 사용하여야 한다. 적층법의 효과는 한번에 충전하는 복합레진의 두께를 줄이게 되어 중합률을 높여줄 수 있다. 또한 와동 내면에 복합레진의 적합도를 높여 공극을 줄여준다. 가장 중요한 효과는 C-factor를 낮추어 줌으로써 복합레진 자체의 flow에 의해 중합수축을 어느 정도 보상해 줄 수 있다.

필자의 연구에 의하면 복합레진의 flow가 더 이상 일어나지 않게 되는 gel point (대략 연필지우개와 같은 1MPa 정도의 탄성계수)는 광중합의 경우 3초 이내에 도달하므로 가능하면 gel point를 늦추기 위해 광조사 초기에는 광의 세기를 약하게 하고, 수 초 후 정상적인 광강도로 중합하는 것도 도움이 될 수 있다. 광도를 조절할 수 있는 광조사기가 나와 있지만 광도가 고정되어 있는 보통의 광조사기로도 치아와 광조사기 tip 끝의 거리를 조절하여 (즉 멀리서 광조사 시작 후 점차 근접시켜) 광 강도를 조절할 수 있다.

이러한 모든 노력에도 불구하고 복합레진의 중합수축응력은 완벽히 제거할 수 없다. 치아와 복합레진 사이에 수축응력을 완충시킬 수 있는 하나의 층을 도입하는 것도 한 방법이 될 수 있다. 상아질접착제의 두께가 수축응력의 완충에 중요한 요인으로 작용한다. 일련의 연구에 의하면 접착제의 두께가 증가할수록 중합

수축응력은 감소하는 것으로 알려져 있다. 상아질 접착제의 두께는 접착제의 종류와 적용방법에 따라 30~100 $\mu$ m 정도이다. 산 부식 후 primer 적용 후 도포하는 bond resin의 두께가 이러한 완충능력을 좌우하게 된다. 접착레진을 와동에 도포 후 air shringe로 강하게 부는 방법은 너무 얇은 층과 더불어 와동 우각부위에는 pooling을 유발하여 두께가 일정하지 않은 접착제 면을 형성하기 때문에 그리 권할만한 방법이 아니다. 필자의 경우 brush를 이용하여 치아면에 bond resin을 충분히 도포한 후, 과량은 brush로 짚어 닦아내는 방법을 사용하고 있다. 충분한 두께의 접착레진 층의 확보를 위해서는 한 층 도포 후, 광조사한 후 추가로 두 번째 층을 도포 후 광조사 하는 방법을 권한다. 접착레진을 광조사 하여도 air inhibition layer로 인해 실제 중합된 접착레진의 층은 매우 얇다. 또한 얇고 미중합된 접착레진 층을 통해 상아질 내면에서 지속적으로 유출되는 수분으로 인하여 접착레진 층의 질은 떨어질 수밖에 없다(Fig 2).

이러한 air inhibition layer를 없애기 위해 광조사 후 air inhibition layer가 남아있는 접착제 표면에 glycerin을 두껍게 도포 후 다시 광조사한 후 물로 glycerin을 강하게 씻어내는 방법을 사용할 수도

있다. 물로 세척 후 건조시키면 air inhibition layer가 중합되어 단단해져 있는 것을 관찰할 수 있으며 상부에 놓여지는 복합레진의 접착에는 전혀 영향을 미치지 않는다. 이 내용에 관해서는 다음에 다루어질 “Air inhibition layer는 복합레진 접착에 필수적인가?” 란에서 다시 상세히 다루겠다.

두껍게 형성된 접착제층 외에도 접착제층과 수복용 복합레진 사이에 얇게 게재시킨 flowable resin 층도 중요한 중합수축응력의 완충층으로 작용할 수 있다. Flowable resin은 filler 함량이 낮아 탄성계수가 일반적인 전 구치 수복용 복합레진의 1/3 정도이다. 이를 0.5mm 이내로 와동 내면에 얇게 도포 후 광중합하면 상부에 놓여지는 복합레진의 수축응력을 어느 정도 흡수해 주는 완충역할을 수행한다 (마치 구두 바닥과 발 사이에 놓여진 고무와 같이).

최근에는 중합수축이 1% 정도로 낮아진 복합레진도 출시되고 있는 바, 추후 복합레진 제조기술에 많은 발전을 가져와 중합수축이라는 근원적인 문제를 해결할 수 있지 않을까 기대해 본다.

### 상아질 접착제의 Bond strength는 믿음만 한가?

많은 연구논문과 제조회사의 자료에 의하면 상아질 접착의 강도를 접착기전에 따라 약간씩 다르지만 20~40MPa로 거의 범랑질 접착강도에 근접하는 것으로 나타나있다. 그렇다면 왜 그렇게 자주 5급 와동의 경우 수복물이 탈락하는 것일까? 20~40MPa은 알기 쉽게 환산하면 2~4kg중/mm<sup>2</sup> 이다. 보통 5급 와동의 크기를 2mm \* 3mm = 6mm<sup>2</sup> 라 하면 수복된 5급 와동의 복합레진 수복물은 대략 12~24kg중 정도되는 어린 아이를 매달아도 견딜 정도의 대단한 접착강도이다. 그러나 실제로는 수복 후 빈번한 정도로 탈락에 의한 실패로 이어진다. 그 이유는 물론 접착술식을 제대로 시행하지 않은 원인도 있을 수 있고 abfraction과 같이 치아는 항상 교합력이나 이갈이

같은 비기능적 힘에 노출되어 굽힘과 펴짐을 반복하는 역동적인 시스템이라는 데도 연유한다.

그런데 실험실에서 행해진 과거의 접착강도시험을 보면 많은 문제가 있음을 알 수 있다. 발치된 치아의 교합면을 평평하게 삭제하여 상아질을 노출시킨 후 상아질접착제를 도포하고 복합레진을 쌓아 올린 후 광중합 한 다음 24시간 동안 숙성시킨 후 접착강도시험을 한다. 실제 임상적 상황에서는 와동 내면에는 앞에서 언급한 대로 30mmHg 정도의 치수압에 의해 상아세관을 통해 지속적으로 체액이 유출되고 있어 접착제층의 질을 떨어뜨리고 있으며, 실험에서와 같이 평평한 상아질 면은 거의 존재하지 않고, 큰 C-factor를 가진 와동만이 존재할 뿐이다. 게다가 접착레진은 중합이 충분히 이루어져 최대의 접착강도에 이르기 전에 복합레진의 중합수축응력을 받게 된다. 따라서 실험실에서 이루어진 접착강도시험은 임상적 상황을 대표할 수 없다. 최근 실제 생체내의 치아와 비슷한 상황에서 접착강도를 측정하기 위해 치수강을 통해 정수압을 가한 상태에서 접착제를 도포하고 복합레진을 수복한 다음 측정된 상아질접착제의 접착강도는 이전에 알려진 접착강도의 절반 정도로 훨씬 낮은 값을 보인다.

### 한 번 접착은 영원한 접착? - 한번 달성한 접착은 영구적인가?

최근의 연구에 의하면 상아질접착과 복합레진을 이용한 수복 술식의 토대를 근본적으로 흔드는 결과들이 발표되고 있다. 그 중 하나는 상아질 내면에서 올라온 수분에 의해 장기적으로 혼성층과 접착제층의 resin이 가수분해되어 접착의 실패로 이어진다는 내용이다. 더욱이 상아질에 내재적으로 존재하던 효소 MMPs (matrix metalloproteinases)가 혼성층 내의 collagen을 분해할 수 있다는 점이다. 결과적으로 상아질접착의 근간이 되는 혼성층의 resin 기질과 collagen 모두 장기적으로는 가수분해될 운명에 놓여 있다는 결론이다. MMP에 의한 collagen의 분해

를 막기 위해서는 산 부식 후 와동면을 0.1% chlorhexidine 용액으로 처리하는 것이 좋다는 연구도 있다. 물론 chlorhexidine 처리(도포 후 건조)는 와동의 소독을 위해서도 도움이 된다.

### 습윤접착 (wet bonding) 필수적인가?

산 부식 후 형성된 치아 표면의 요철면에 침투한 resin tag에 의한 미세 기계적 결합에 의해 접착력을 얻는 법랑질접착과 달리, 상아질접착은 상아세관으로 침투한 resin tag에 의한 미세 기계적 결합보다 산 부식 후 상아질 표면에 노출된 collagen network과 여기에 침투하여 경화된 resin monomer 사이의 혼성층이 결합력의 대부분을 차지한다. 따라서 이러한 혼성층을 만들기 위해서는 resin monomer가 collagen 다발 사이로 스며드는 것이 필수적이다. 이를 위해서는 collagen이 적절한 수분에 의해 부유되어 있어야 하며, 건조된 경우 collapse 되어 적절한 resin monomer의 침투가 어려워진다. 이를 위해 산 부식 후, 수세 후 건조과정에서 약간의 수분을 상아질 표면에 남길 것을 요구되어 왔고 이를 습윤접착 (wet bonding)이라 한다. 문제는 적절한 수분의 양과 이를 기술적으로 임상에서 어떻게 달성해야 하는가는 매우 어려운 문제이다. 보통 수세 후 cotton pellet으로 여분의 물을 제거하라고 되어있지만 과량의 수분을 와동의 우각 부위에 남길 우려가 있고 법랑질의 적절한 부식 여부를 눈으로 확인 할 수 없다는 단점이 있다. 오히려 상아질에서 스며나오는 수분이 상아질접착제의 질을 떨어뜨리는 와중에, 의도적으로 수분을 남겨야 한다는 주장에는 약간의 문제가 있다. 이 습윤접착의 개념이 나오던 시대적 상황도 역시 치수압을 재현하기 위한 정수압을 가하지 않는 상태에서 접착강도를 시험하던 시기였으므로 더욱 그러하다. 필자는 애매한 습윤접착의 술식을 따라하기 보다는 산 부식 후, 수세 후 완전히 건조시킨 후 물이 용매로 들어있는 primer를 사용하는 방법을 사용할 것을 권한다.

다. 일단 primer를 적용 후에는 air로 장시간 건조시켜 primer의 용매를 확실히 휘발시켜 주어야 상부에 적용될 접착레진과의 중합과 결합을 방해하지 않는다. 또한 primer는 도포 후 건조시키는 전 과정을 두 번 정도 반복해야 충분한 resin monomer가 collagen 층에 침투하여 남아있게 된다.

### Air inhibition layer는 복합레진 접착에 필수적인가?

대부분의 치과의사는 치과대학에서의 교육과정 중 광중합된 접착제와 복합레진의 표면에는 항상 air inhibition layer가 존재하며 이는 접착제-복합레진, 복합레진-복합레진 사이의 결합에 필수적인 것으로 배웠을 것으로 생각된다. 즉 미중합된 air inhibition layer는 중합체 표면의 물성을 약화시키지만, 그 위에 연속해서 쌓아지는 복합레진과의 결합에 유효하게 작용하는 필요조건으로 알려져 왔다.

Air inhibition layer의 형성기전은 다음과 같다. 공기 중에 존재하는 산소가 레진의 표면으로부터 확산에 의해 내부로 침투하여 중합개시제에 의해 형성된 자유기와 결합함으로써 자유기가 더 이상 monomer와 반응하지 못하도록 차단하여 고분자 사슬이 형성되는 것을 막는다. 이때 형성되는 표면의 미중합 monomer 층이 적층법으로 복합레진 수복 시, 각 층 사이의 결합을 도모하는 것으로 알려져 있었다. 과연 그럴까? 필자는 air inhibition layer의 존재 유무가 복합레진 층 사이의 결합력에 미치는 영향을 알아보기 위해 계면 조건을 달리하여 두 층으로 복합레진을 충전한 후 두 복합레진 사이의 결합력을 측정하고 결과 매우 재미있고 중요한 결과를 얻었다 (Fig 3).

Fig 3 에서 보는 바와 같이 Mylar strip을 이용하여 air inhibition layer의 형성을 원천적으로 예방하거나 (Mylar), 이미 형성된 air inhibition layer 위에 glycerin을 도포하고 광 조사한 후 물로 세척 건조시켜 air inhibition layer가 완전히 중합

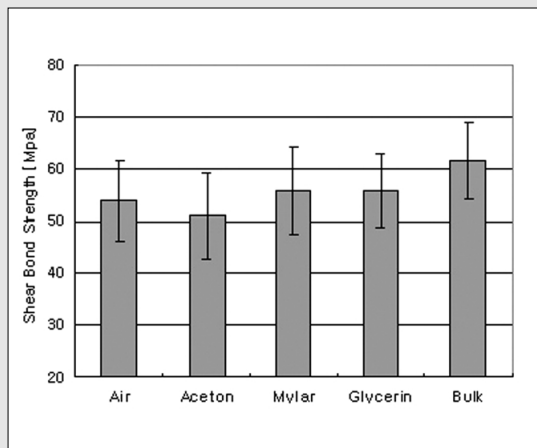


Fig 3. 첫째층의 복합레진 표면을 달리 처리했을 경우 상부에 놓여지는 둘째층 복합레진과의 결합강도.

되도록 한 경우 (Glycerin)는, bulk cure에 의한 composite (Bulk)의 cohesive fracture 강도에 버금가는 접착강도를 얻었다. 반면 air inhibition layer가 남아있거나 (Air), acetone을 이용하여 제거한 경우 (Aceton)는 낮은 접착강도를 보였다. 이 연구의 결과로 볼 때 air inhibition layer는 복합레진 사이의 결합에 필수적이지 않으며 오히려 결합력을 약화시킬수 있는 것으로 나타났다.

이 연구의 결과는 우리에게 많은 점을 시사해 준다. Glycerin을 도포하여 air inhibition layer를 효과적으로 없앨 수 있고 이는 접착력을 증가시켜 줄 수 있

다. 이를 이용하면 상아질 표면의 접착제 층의 두께를 술자가 어느 정도 조절할 수 있게 되고 효과적으로 중합수축응력을 감소시킬 수 있도록 접착제 층을 두껍게 형성할 수 있다. 또한 상아질로부터 스며나오는 수분을 효과적으로 차단하여 접착의 질을 개선하고 술후민감증의 예방에도 큰 역할을 할 수 있을 것으로 보인다.

## 결론

복합레진과 상아질접착제를 이용한 수복은 치과의사와 환자 모두에게 대부분 만족스런 결과를 가져다 준다. 반면 중합수축과 술후민감증, 접착제를 통한 수분의 투과 및 가수분해에 의한 접착층의 파괴 등 해결되지 않은 문제점들이 분명히 존재하며, 현재로서는 충분한 시간을 갖고 원칙에 충실한 교과서적인 수복 술식만이 완벽하지는 않지만 그러한 문제점들을 줄일 수 있다.

수복 이론과 술식에 관한, 확실히 실험적으로 검증되지 않은 미신들이 존재하며 이들을 아무 의심없이 받아들인 경우도 있었다. 실험방법과 기술이 발전함에 따라 과거의 실험결과도 수정되거나 부정되는 경우도 흔히 발생한다. 따라서 우리는 항상 의심하는 자세를 가지고 임상술식 하나 하나에 그 이론적 근거와 합리성을 따져보는 자세를 꾸준히 견지해야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. In-Bog Lee, Chung-Moon Um. Thermal analysis on the cure speed of dual cured resin cements under porcelain inlays. *J of Oral Rehab* 28:186-197, 2001.
2. In-Bog Lee\*, Ho-Hyun Son, Chung-Moon Um. Rheologic Properties of flowable, conventional hybrid, and condensable composite resins. *Dent Mater* 19:298-307, 2003.
3. In-Bog Lee\*, Byung-Hoon Cho, Ho-Hyun Son, Chung-Moon Um. A new method to measure the polymerization shrinkage kinetics of light cured composites. *J of Oral Rehab* 32:304-314, 2005.
4. Jong-Hyuk Lee, Chung-Moon Um, In-bog Lee\*. Rheological properties of resin composites according to variations in monomer and filler composition. *Dent Mater* 22: 515-26, 2006.
5. In-Bog Lee\*, Byung-Hoon Cho, Ho-Hyun Son, Chung-Moon Um. The effect of consistency, specimen geometry and adhesion on the linear polymerization shrinkage measurement of light cured composites. *Dent Mater* 22:1071-1079, 2006.
6. Mi-Ra Lee, Byung-Hoon Cho, Ho-Hyun Son, Chung-Moon Um, In-Bog Lee\*. Influence of cavity dimension and restoration methods on the cusp deflection in composite restoration. *Dent Mater* 23:288-295, 2007.
7. In-Bog Lee\*, Byung-Hoon Cho, Ho-Hyun Son, Chung-Moon Um. Rheological characterization of composites using a vertical oscillation rheometer. *Dent Mater* 23: 425-432, 2007.
8. Sue Hyun Lee, Juhea Chang, Jack Ferracane, In-Bog Lee\*. Influence of instrument compliance and specimen thickness on the polymerization shrinkage stress measurement of light-cured composites. *Dent Mater* 23:1093-1100, 2007.
9. Ayman Ellakwa, Nakyoon Cho, In Bog Lee\*. The effect of resin matrix composition on the polymerization shrinkage and rheological properties of experimental dental composites. *Dent Mater* 23: 1229-1235, 2007.
10. In Bog Lee\*, Woong An, Juhea Chang, Chung Moon Um. Influence of ceramic thickness and curing mode on the polymerization shrinkage kinetics of dual-cured resin cements. *Dent Mater* 24:1141-1147, 2008.
11. InBog Lee\*, Juhea Chang, Jack Ferracane. Slumping resistance and viscoelasticity prior to setting of dental composites. *Dent Mater*, in press, 2008.
12. Junkyu Park, Juhea Chang, Jack Ferracane, In Bog Lee\*. How composite should be layered to reduce shrinkage stress; incremental or bulk filling? *Dent Mater*, in press, 2008.
13. 박준규, 임범순, 이인복\*. 5급 와동의 복합레진 수복 시 발생하는 교두굴곡에 관한 연구. *대한치과보존학회지* 33:83-89, 2008.
14. 이인복\*, 김민호, 김선영, 장주혜, 조병훈, 손호현, 백승호. 미세 물 흐름 측정장치의 개발과 상아세관액의 수력학에의 응용. *대한치과보존학회지* 33:41-147, 2008.
15. 서희연, 이인복\*. 치과용 복합레진의 중합 전 slumping resistance와 점탄성. *대한치과보존학회지* 33:235-245, 2008.
16. 김선영, 조병훈, 백승호, 이인복\*. 복합레진 층간의 계면 결합에서 Oxygen inhibition layer가 꼭 필요한 것인가? *대한치과보존학회지*, In press, 2008.
17. L Breschi et al. Dental adhesion review: Aging and stability of the bond interface. *Dent Mater* 24,90-101, 2008.