

# 수복술식에서의 고려 사항

서울대학교 치과대학 치과보존학교실

부교수 조 병 훈

## 1. 서 론

구치부에서 어떤 수복재를 사용할 것인가에 관해서는 치질 손상의 정도, 재료의 물성, 구강내 조건, 술자의 선호도 및 심미성을 포함한 환자의 기대 수준 등이 복합적으로 고려되어야 될 것이다. 아말감이나 주조 금과 같은 금속재료들은 수복물의 파절, 변연파절, 2차 우식, 등의 단점이 오늘날까지 여전히 해결되지 않고 있음에도 불구하고, 최근에 소개되고 있는 심미수복재에 비해 우수한 재료의 물성으로 인해서 하중이 많이 가해지는 구치부에서 수복재로 주로 선택되고 있다.

그러나 미디어의 발달로 인해 일반 대중들의 심미에 대한 관심이 증대되면서 비록 금속재료에 비해 물성은 취약하나 환자들의 심미적인 욕구를 만족시켜줄 수 있는 치아색의 복합레진이나 도재의 사용이 점차적으로 증가되고 있다. 현대의 수복치과학에서는 심미수복재의 보급과 접착수복술의 임상적용이 보편화되고 있는 것이다. 이처럼 심미수복재들의 경우에는 접착수복술을 이용하여 치아에 양호한 접착을 얻고는 있지만 아직 변연변색, 이차우식, 수복물의 파절, 및 마모저항성의 부족으로 인한 외형의 상실, 등이 문제가 되고 있다.

이러한 심미수복치료와 관련된 재료와 술식을 구치부에서 사용함에 있어서는 유사한 상황에서의 그

재료의 수명이나 2차 우식의 발생과 같은 임상시험 결과가 있다면 임상가들이 재료를 선택함에 있어 가장 좋은 기준이 될 것이다. 일반적으로 임상시험에서 수복물을 평가할 때는 Retention, Color match, Marginal discoloration, Secondary caries, Anatomic form, Marginal adaptation, 및 Post-operative sensitivity와 같은 항목들에 대해 평가하는 USPHS (United States Public Health Service)의 평가방법을 사용하게 된다. 그러나 임상시험은 비용과 시간이 많이 소요되는 관계로 대부분의 제조사에서 적절한 임상시험 결과를 제시하지 못하고 있는 것이 현실이다.

그러므로 사용하고자 하는 재료에 대해서 우리 치과의사들이 활용할 수 있는 자료는 재료의 기계적 성질과 같은 실험실적 시험 (in vitro test)의 결과인 경우가 대부분이다. 여기서 실험실적 시험 자체가 임상적 상황을 어느 정도 신뢰성이 있게 반영할 수 있는지에 대해서는 이견이 있을 수 있지만, 수많은 연구자들이 시험방법을 보다 더 신뢰도가 높은 방법으로 지속적으로 개선하고 있고, 현실적으로 치과의사들이 이용할 수 있는 보편적인 자료임에 틀림이 없다.

그러므로 제조사나 연구자들이 제시하는 기계적 물성과 같은 실험실적 시험의 결과를 바탕으로 임상가는 그 재료의 특성을 이해하고, 각각의 물성

항목에 대해서 그 단점을 최소화하고, 장점을 극대화할 수 있도록 수복술식을 개선해나가야 될 것이다. 재료의 성질 (Material property)이라고 하면 외력에 대해 반응하여 나타나는 기계적 성질 (Mechanical property)과 재료 자체의 고유의 성질인 물리적 성질 (Physical property)로 구분할 수 있는데, 치아내의 생역학 (biomechanics)적인 응력의 분포가 복잡하지만, 이들은 지속적인 측정 방법의 개선을 통해서 재료의 임상적인 성능을 대별해 줄 수 있는 것으로 받아들여지고 있다. 기계적 성질 중에는 탄성계수, 강도, 경도, toughness, 마모저항성 등이 속하고, 물리적 성질로는 중합수축율, 점도, 열팽창계수, 색안정성, 등을 들 수 있다. 본 란에서는 심미수복재를 사용함에 있어 금속재료에 비해 취약한 물성인 탄성계수, 마모저항성, 중합수축 및 점도와 같은 성질에 대해 그 단점을 임상적으로 최소화하고, 수복물의 기능과 수명을 극대화하기 위한 임상적인 수복술식에서의 고려사항에 대해 살펴보기로 한다.

## II. 탄성계수와 관련된 고려사항

재료의 기계적 성질을 대변할 수 있는 물성으로 탄성계수를 들 수 있다. 미세경도, 굴곡강도, fracture toughness와 같은 재료의 성질은 탄성계수와 직접적인 상관관계가 확인되지는 않고 있지만, 재료의 강도를 대별하는 값으로 이용되고 있다. 어떤 강체가 구강 내에서 일정한 저작압을 받는다 고 가정할 때 재료의 탄성계수가 크면

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad (\text{식 1})$$

식 1에서 변형률은 최소가 된다. 즉 2급 와동에 충전한 금속수복물은 높은 탄성계수로 인하여 변위가 적으므로 와동 내의 위치를 유지할 수 있는 반면에, 탄성계수가 낮은 복합레진으로 충전된 경우는 법랑질에 비해 약 4배의 변위가 발생하여 와동에서 탈락하게 된다<sup>1)</sup> (표1). 복합레진이 크게 변위

되면 여기에 접촉되어 있는 치질과의 계면의 접착 계층은 탄성계수가 법랑질의 약 1/40에 불과하여 더 큰 변위가 발생되고 이는 응력의 집중을 초래하게 된다.

그 결과 접착계층이 파절되어 미세누출, 이차 우식, 및 수복물의 탈락 등이 발생하게 된다. 이런 큰 변형율에 의한 과도한 응력의 발생을 최소화하려면, 먼저 재료학적으로는 충전재 (filler)의 첨가를 증가시키므로써 탄성계수를 증대시켜 하중을 흡수하게 할 수 있다. 그러나 복합레진에 충전재를 첨가하여 탄성계수를 법랑질과 비슷하게 증가시키는 것은 현실적으로 쉽지 않다. 반면에 치료실에서 치과의사에 의해 조절될 수 있는 임상적인 대책들은 훨씬 현실적인 것으로 보인다.

즉 크게 두 가지 와동형태에서 고려할 사항을 정리해 볼 수 있다. 첫 번째는 outline form을 최소의 범위로 형성하는 것과 두 번째로 금속재료 수복에서 적용되었던 와동형성의 원칙으로 소개된 유지 및 저항 형태를 활용하는 것이다. 재료의 약한 탄성계수를 보완하기 위해서 와동은 가급적 좁게 형성하고, 교합면을 향하여 좁아지게 형성하여 (occlusal convergence), 가능한 한 outline form의 확대를 줄이고, 시술 전에 교합점을 확인하여 와동의 외형에 포함되지 않도록 와동의 형태를 design 함으로써, 보다 더 탄성계수가 큰 법랑질에 의해 대부분의 교합력이 흡수될 수 있게 와동을 형성하는 것이다.

와동형성시에 고려할 또 하나의 요소로서 치아에 대한 접착력이 없는 금속재료에서는 기계적인 유지 형태를 부여하는 것이 필수적이라고 인식되었으나, 접착제를 사용하게 되면서 adhesive cavity preparation에서는 유지형태를 소홀히 처리하는 경향이 생겼다고 할 수 있다. 이 경우 교합력에 의해 수복재가 와동에서 탈락하는 방향으로 변이될 때 저항할 수 있는 유일한 요소는 접착제 밖에 남지 않게 된다. 그러나 접착계층은 탄성계수가 법랑질의 약 1/40, 복합레진의 약 1/10에 불과하여(표1) 하중이 가해지면 가장 많이 변이되고, 응력이 집중

(표1)

|                 | Adhesive Resin | Dentin | Composite Resin | Enamel | Amalgam | Cast Gold Alloy |
|-----------------|----------------|--------|-----------------|--------|---------|-----------------|
| Elastic Modulus | 2.38           | 14.7   | 21.0            | 84.1   | 52.1    | 103             |

\* reference : O'Brien WJ. Dental materials and their selection, 2nd ed. 1997.

되게 되어 접착의 파괴를 초래하게 된다. 따라서 수복된 치아에 가해지는 응력은 가능한 한 좀 더 강성도가 높은 (stiffer) 재료에서 흡수할 수 있게 유지구와 같은 유지 형태를 부여하여, 가장 약한 접착제층에는 응력이 집중되지 않도록 유도하여야 한다.

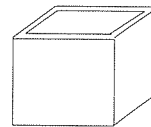
### III. 마모저항성과 관련된 고려사항

복합레진의 가장 큰 문제점 두 가지를 논할 때는 중합수축과 마모를 들 수 있다. 복합레진의 마모의 원인에 대한 이론으로는 Microfracture theory, Chemical degradation theory, Hydrolysis theory, 및 Protection theory 등이 있다. 이 중에서도 microfill composite이 마모 저항성이 가장 크다는 점에서 증명이 되었듯이 Protection theory가 가장 널리 받아들여지고 있다. 이 이론(microprotection)에 근거하여 재료학적으로는 충전제의 제조 및 첨가 기술을 개량하여 현재의 하이브리드 형의 복합레진에서는 그 마모도가 임상적으로 큰 문제가 되지 않을 정도로 많이 개선되었다. 그러나 아직 아말감이나 법랑질에 비해 마모저항성이 낮다고 볼 때, 위의 탄성계수에 대한 고려에서 설명한 것과 마찬가지로 가급적이면 와동의 폭을 줄임으로써 수복재료가 주위의 치질에 의해 보호 (macroprotection)를 받을 수 있게 하고, 교합점도 직접 닿지 않도록 와동의 형태를 설정하는 것이 바람직할 것이다. 그 외에도 일시적인 효과이기는 하지만, 최종 연마를 잘하여 표면의 거칠기를 감소시켜주고, glazing과 같은 추가적인 노력을 기울이는 것도 권할 만 하다.

### IV. 중합수축과 관련된 고려사항

다음으로 재료의 내재적인 성질, 즉 물리적 성질

$$C\text{-factor} = \frac{\text{Bonded surface area}}{\text{Unbonded surface area}}$$



예) Class I cavity:

$$C\text{-factor} = 5/1 = 5$$

그림 1.

로서 중합수축에 대한 고려사항을 살펴보기로 하자. 하브리드 타입의 복합레진의 중합수축은 대개 2 - 4 % 정도로 보고 되고 있다<sup>2)</sup>. 복합레진이 와동 내에서 중합되면서 수축할 때는 와동벽에 수축 응력을 발생시키게 되는데, 1984년 Davidson 등이 중합수축응력을 측정하여 “인장하중 하에서 약 4 - 7 MPa의 응력이 발생되고, 이것을 3차원적으로 변환하면 17 - 20 MPa에 이른다. 따라서 복합레진과 와동벽의 접착을 유지하기 위해서는 와동의 형태가 중요한 요소이다”고 하여 이를 C-factor (Configuration factor)라고 하였다<sup>3)</sup> (그림 1). 와동이 좁고 깊은 경우 C-factor가 커지게 되고, 이는 중합수축시의 복합레진의 수축을 보상하기 위한 레진의 흐름을 통한 응력완화능력이 제한됨을 의미하여 중합수축응력이 증가 된다 그 결과 법랑질 변연에서의 균열이나, 와동벽에서의 공극을 발생시켜서 변연누출, 슬후 과민증 및 이차우식의 원인을 제공할 수 있다.

그러면 이와 같은 중합수축응력에 의한 문제점을 극복하기 위한 대책을 살펴보면, 먼저 재료학적으로는 spiro-orthocarbonate (SOC)와 같은 중합시에 ring opening reaction을 통해 팽창이 가능한

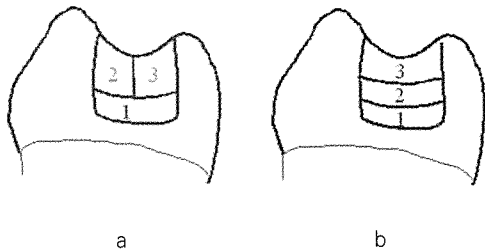


그림 2. a : vertical incremental filling technique  
b : horizontal incremental filling technique

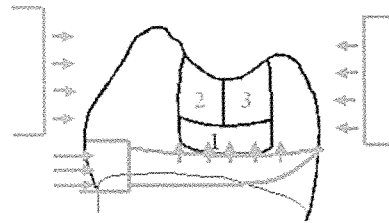


그림 3. Three-sided light-curing technique

monomer를 첨가하여 중합수축을 조절하거나<sup>4)</sup>, 충전재와 그 충전 방법을 개선하여 충전율을 증가시킴으로써 수축을 감소시키는 방법이 있을 수 있다. 이 중에서도 최근에 시판되고 있는 복합레진의 중합수축률이 2% 이하로 줄어들게 된 것은 전적으로 충전재의 충전 기술의 개선에 의한 것이다. 그 외에도 수축응력에 저항할 수 있는 우수한 접착제를 사용하는 것도 대책이 될 수 있다.

반면에 치과의사들이 임상술식에서 중합수축을 조절할 수 있는 방법들도 많이 소개되었는데, incremental filling technique<sup>5)</sup>, C-factor의 개념을 적용한 복합레진의 충전<sup>3)</sup>, three-sided light-cure technique<sup>6)</sup>, controlled polymerization<sup>7)</sup>, flexible liner의 사용<sup>8)</sup>, 및 rebond technique<sup>9)</sup> 등을 들 수 있다.

이러한 방법은 모두 접착제의 접착력이 낮았던 1980년대에 소개되어 지금도 임상가들에게 유용한 방법으로 활용되고 있다. 먼저 incremental filling technique이란 그림 2b에서처럼 외동충전시에 복합레진을 3번 정도에 나누어서 충전하는 것을 의미하며, C-factor의 개념을 적용한다는 것은 가급적 C-factor가 적게 발생되도록 그림 2에서와 같이 가급적 얇고 넓게 충전을 할 수 있도록 조절하는 것을 의미한다. three-sided light-cure technique이란 복합레진이 중합시에 조사광의 방향으로 수축하게 된다는 점에 착안하여 가장 변연누출이 많은 치은변연에서의 공극의 발생을 줄이기 위해 그림 3에서와

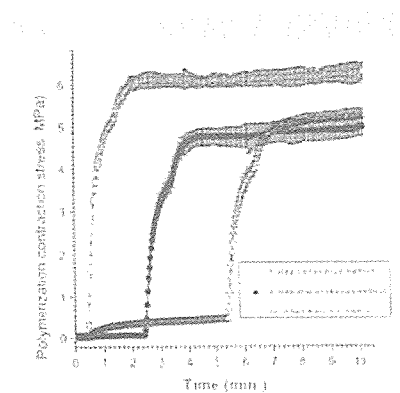


그림 4. Discontinuous cure method<sup>7)</sup>

같이 transparent wedge를 이용하여 조사광을 치은쪽에서 조사하고, 또 협설측 외동벽에서의 공극의 발생을 줄이기 위해 조사광을 협측 치질과 설측 치질을 통해서 광조사하는 등 3면에서 광조사하는 방법을 일컫는다. controlled polymerization이란 polymerization kinetics에 대한 이해를 바탕으로 pulse cure technique이나 soft-start cure technique처럼 조사광의 광강도를 달리하여 초기에 낮은 광강도에서 중합을 개시시킨 후 중합수축응력이 flow에 의해 어느 정도 해소되기를 기다려서 다시 높은 광강도로 중합시켜서 중합수축은 최소화하면서 높은 중합률을 얻는 방법이다 (그림 4). flexible liner의 사용이란 flowable resin과 같은 shock-absorbing이 가능한 탄성계수가 낮은 intermediary layer를 게재시켜서 수축응력을 흡수

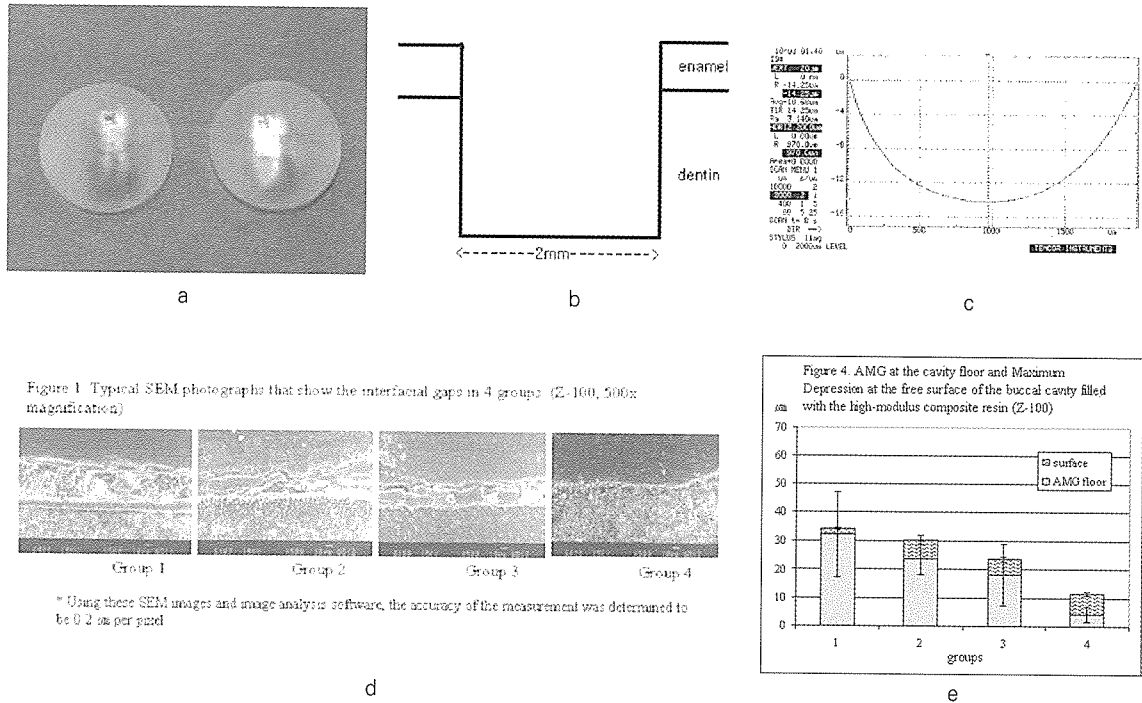


그림 5. a : 와동형성을 위해 매몰된 치아,  
 b : 2 mm x 2 mm x 2 mm의 와동을 형성함, 와동의 변연은 범랑질이 최소한 0.5 mm되게 형성,  
 c : 복합레진의 표면에서의 침하정도는 Surface Profilometer를 이용하여 측정,  
 d : 와동저에서의 복합레진과 상아질 사이의 공극은 replica technique을 이용하여 주사전자현미경하에서 와동저의 5구간에서 최대공극의 폭을 측정하여 평균을 구하였음,  
 e : 실험의 결과; shaded area는 와동저의 공극의 폭을 표시하고, 빗살무늬의 막대는 표면의 침하를 표시함. 접착제를 완전히 중합한 후 복합레진을 충전한 4군에서 와동저의 공극의 폭이 가장 작고, 침하정도가 가장 크다. 두 측정값을 비교하면 복합레진이 와동저를 향해서 수축하였음을 알 수 있다.

하는 층을 두는 것으로 이들 레진의 물성이 저급하여 그 효과에 대한 논란이 있을 수 있다.

마지막으로 rebond technique이란 복합레진을 완전히 중합시켜서 복합레진과 와동변연 사이에 있을 수 있는 공극을 점도가 낮은 bonding제와 같은 재료로 다시 한번 메워준다는 개념이다. 이들은 비록 접착제의 접착력이 낮은 (3 - 8 MPa) 80년대의 3세대 상아질 접착제의 저급한 성능을 극복하기 위해서 고안된 방법이지만 오늘날의 우수한 성능을 가진 접착제 및 복합레진을 이용한 수복술식에서도 유용한 방법이라고 할 수 있다.

그러면 1990년대 중반에 소개된 4세대 상아질 접착제의 높은 접착력은 앞에서 언급한 복합레진의

중합수축에 따라 요구되는 수복술식에서의 주의할 점이나 예후에 어떤 영향을 미치는지 살펴보자. 도말층을 완전히 제거하고 친수성 monomer로 구성된 접착강화제 (primer)를 적용하여 혼화층 (hybrid layer)를 형성함으로써 접착력을 얻는 4세대 상아질 접착제는 그 이후 편이성을 증대시키기 위해 개발된 5세대, 6세대 및 7세대 상아질 접착제에 비해서 우수한 접착력 (13 - 30 MPa)을 보였다. 이 접착력이 Davidson 등이 주장한 17 - 20 MPa의 수축응력보다 강한 경우에는 복합레진은 어느 방향으로 수축할 것인지 또는 수축응력에 의해 접착이 파괴되어 복합레진과 와동벽 사이에 공극이 발생할 것인지를 먼저 검토해 볼 필요가 있다.

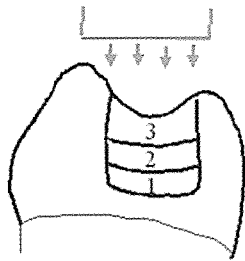


그림 6. 접착제의 중합을 충분히 하여 양호한 물성을 얻을 수 있다면, Metal matrix를 이용하여 horizontal filling technique으로 복합레진을 충전하고 교합면에서 광조사하여도 접착을 유지할 수 있다.

본 저자는 실험을 통하여 복합레진을 충전하기 전에 상아질 접착제를 정확하게 사용하고 완전히 중합시켜서 충분한 접착제의 물성을 확보한 경우에는 접착제의 중합이 제대로 되기 전에 복합레진을 충전하고 광조사하여 수축시킨 경우에 비해 와동저에서의 공극의 발생이 유의하게 감소하고 반면에 와동표면에서의 복합레진의 침하는 증가됨을 보고한 바 있다<sup>10)</sup>.

즉, 접착제를 충분히 중합하여 접착제의 물성을 향상시키면 광조사 방향에 관계없이 복합레진의 수축의 방향은 접착면을 향하게 되고, 접착제는 수축응력을 극복하고 접착을 유지할 수 있음을 관찰하였다 (그림 5). Versluis 등은 이와 같은 접착제의 우수한 물성의 확보를 bond quality라는 용어로 표현하였다<sup>11)</sup>. 이 실험의 결과를 복합레진의 충전법에 적용하면, 충전시에는 가능한 한 C-factor를 줄여주기 위해서 horizontal incremental filling technique을 사용하는 것이 접착제층에 가해지는 수축응력을 최소화할 수 있는 방법이 된다는 것을 알 수 있다.

또한 three-sided light-cure technique과 같은 복잡하고 효율이 낮은 중합광의 조사방법을 사용하지 않고, 중합광을 단순히 교합면쪽에서만 조사하여도 접착이 파괴되지 않으므로 metal matrix를

사용할 수 있다는 것도 임상적으로 유리한 측면이 된다 (그림 6).

이와 같은 양호한 접착의 질 (bond quality)을 얻기 위해서는 접착제를 제조사의 지시에 따라서 정확하게 사용하여야 한다. 4세대 상아질 접착제를 예로 들면 etching, wet bonding, 및 primer 도포 후 용매의 완전한 건조 (complete dry)의 3단계를 정확하게 지켜서 접착제를 사용하여야 하고, 5세대 및 6세대의 경우에는 접착제의 점도가 4세대의 접착제에 비해 묽으므로 여러 차례 도포하여 그 두께를 확보해주어야 된다.

## V. 점도와 관련된 고려사항

마지막으로 복합레진의 점도에 따른 조작성능의 차이에 대해서 살펴보자. 이인복교수의 논문에 의하면 복합레진의 점도와 충전재의 vol % 사이에는 직접적인 선형적 상관관계는 관찰되지 않으나, 약한 양의 상관관계를 보인다고 하였다<sup>12)</sup>. 그러나 충전재의 첨가율을 증가시키면 재료의 강도나 수축률은 개선할 수 있으나, 내부의 void가 증가하고, 연마가 어려워지는 등의 문제점이 증가된다. 따라서 충전율을 지나치게 증가시킬 수는 없다. 이 실험의 결과에 따르면, Condensable composite resin으로 알려진 Surefil과 Synergy compact 중에서 Surefil은 일반적인 하이브리드 타입의 복합레진에 비해 점탄성이 약 30배에 이르지만 Synergy compact의 경우는 점탄성은 일반 복합레진과 별 차이가 없다.

따라서 이 제품의 경우에는 condensable이라는 용어는 적절하지 못함을 알 수 있다. 이런 이유로 인해 이들 구치부용 복합레진에 대해 condensable이라는 용어 보다는 packable이라는 용어가 더 적절하다고 받아들여지고 있다. 이들 용어는 아말감 수복을 먼저 배운 치과의사들의 교육적 배경에서 그 근원을 찾을 수 있을 것이다.

그러나 복합레진은 구치부에서 아무리 다져 넣어도 아말감에서와 같이 인접면의 contour를 부여해

줄 정도로 응축 (condensation)할 수는 없다. 그 보다는 compound supported matrix와 같은 인접면의 형태까지 부여해 줄 수 있는 matrix 방법을 익힐 필요가 있고, Palodent matrix system과 같이 손쉽게 인접면의 matrix를 형성해 줄 수 있는 방법도 유용하게 사용할 수 있다.

따라서 복합레진을 구치부의 2급 외동에 사용함에 있어서 아말감 수복의 습관을 버리고, 복합레진 자체의 특성에 맞는 수복방법을 익혀야 할 필요가 있다고 하겠다.

## VI. 결 론

이상의 복합레진의 특성에 관한 고찰을 바탕으로 현재의 구치부에서의 복합레진 수복술식에서의 문제점을 개선하고, 보다 양질의 수복치료를 제공하기 위한 단계별 주의 사항을 다음과 같이 정리하였다.

1. 접착수복술을 이용함에도 불구하고 재료의 상대적으로 낮은 강도를 보상하기 위하여 유지 및 저항 형태를 고려하여 외동을 형성하여야 한다.
2. 인접면 접촉점과 인접면의 형태의 회복은 재료의 packing을 통해서 얻는 것이 아니고, matrix와 wedge를 이용하여 정확한 외형을

설정해줌으로써 얻을 수 있다.

3. 수복 후의 변연누출, 이차우식, 슬후 과민증 등을 방지하기 위해서는 중합수축에 의한 공극의 발생을 최소화해야 되고, 이는 복합레진의 중합수축을 견딜 수 있는 접착의 질을 얻기 위해서 제조사의 지시에 따라 접착술식을 정확하게 시행해야 함을 의미한다.
4. 강한 접착을 얻은 경우에도 복합레진의 중합에 따른 수축응력의 발생을 최소화하기 위해 horizontal incremental filling technique과 같은 충전단계의 주의도 필요하다.
5. 또한 광조사 방법에 있어서도 급격한 중합속도를 초래하여 접착면에 과도한 수축응력을 발생시킬 수 있는 방법을 피해서, soft-start 또는 pulse cure technique과 같은 방법을 활용하는 것이 바람직하다.
6. 인접면의 finishing은 전후로 왕복운동을 할 수 있는 handpiece와 polishing kit를 이용하여 손쉽게 할 수 있고, 마모저항성을 얻기 위해 연마를 잘 하여야 한다.
7. 마지막으로 수축으로 인해 발생할 수도 있는 수축간극을 메우고, 연마 후의 표면의 활택도를 증가시킴으로써 마모저항성을 향상하기 위해 rebond procedure를 추가로 시행한다.

참 고 문 헌

1. O'Brien WJ. Dental materials and their selection. 2nd ed. Quintessence Co.; 1997:97-113.
2. Ferracane JL. New polymer resins for dental restoratives. Operative Dentistry, 2001; Suppl 6:199-209.
3. Davidson CL, de Gee AJ, Feilzer A. The competition between the composite-dentin bond strength and the polymerization contraction stress. J Dent Res, 1984; 63:1396-139.
4. Stansbury JW. Synthesis and evaluation of novel multifunctional oligomers for dentistry J Dent Res 1992; 71(3):434-437.
5. Lutz F, Krejci I, Oldenburg TR. Elimination of polymerization stresses at the margins of posterior composite resin restorations : a new restorative technique. Quint Int 1986; 17(12):777-784.
6. Lutz F, Krejci I, Luescher B, Oldenburg TR. Improved proximal margin adaptation of Class II composite resin restorations by use of light-reflecting wedges. Quint Int 1986; 17(10):659-664.
7. Uno S, Asmussen E. Marginal adaptation of a restorative resin polymerized a reduced rate Scand J Dent Res 1991; 99(5):440-444.
8. Kemp-Scholte CM, Davidson CL. Marginal sealing of curing contraction gaps in Class V composite resin restorations J Dent Res 1988; 67(5):841-845.
9. Torstenson B, Brnnstrm M, Mattsson B. A new method for sealing composite resin contraction gaps in lined cavities J Dent Res 1985; 64(3):450-453.
10. Cho BH, Dickens SH, Bae JH, Chang CG, Son HH, Um CM. Effect of the interfacial bond quality on the direction of the polymerization shrinkage flow in composite resin restorations. Oper Dent, 2002; 27:297-304.
11. Versluis A, Tantbirojn D, Douglas WH. Why do shear bond tests pull out dentin? J Dent Res, 1997; 76:1298-1307.
12. 이인복, 조병훈, 손호현, 권혁춘, 엄정문. 유동성 및 응축성 복합레진의 점탄성에 관한 유변학적 연구. 대한치과보존학회 2000; 25(3):359-370.