

광중합형 레진에서 초기 저광도 광중합 및 연마 시기가 변연부 미세 누출에 미치는 영향

이상훈 · 정일영 · 노병덕

연세대학교 치과대학 치과보존학교실

ABSTRACT

INFLUENCE OF LOW-INTENSITY CURING AND POLISHING PERIOD ON MARGINAL LEAKAGE OF COMPOSITE

Sang-Hoon Lee, Il-Young Jeong, Byoung-Duck Roh

Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Yonsei University

For more esthetic treatments the use of composite in molar areas are increasing. But polymerization shrinkage that cause marginal leakage and cuspal deflection has been the problems of composites.

The purpose of this study is to compare the effect of low intensity curing and polishing period on marginal leakage. Cavities were prepared on the buccal or lingual surface of forty five sound extracted human teeth and etching, application of bonding agent and filling of composite was done.

Group 1 was light cured at intensity of 600mW/cm² for 41 seconds and polished.

Group 2 was light cured at intensity of 300mW/cm² for 2 seconds and polished and after polishing it was light cured for 40 seconds at 600mW/cm².

Group 3 was light cured at intensity of 300mW/cm² for 2 seconds and waited for 5 minutes and after curing at 600mW/cm² for 40 seconds polishing was done.

The specimens were thermocycled at 5°C and 55°C for 1000 cycles and immersed in 2% methylene blue solution for 24 hours. Composite-tooth interface was examined under stereobinocular microscope for dye penetration.

The results were as follows :

1. Group which were cured at low intensity and polished after curing at high intensity showed less marginal leakage than group which were cured at high intensity for 41 seconds($p < 0.05$).
2. Marginal leakage between group which were cured at low intensity and polished immediately and group which were cured at high intensity for 41 second were not significantly different.

Light curing at low intensity can reduce marginal leakage but polishing immediately after curing at low intensity for short time can affect marginal leakage.

Key words : Microleakage, Composite, Low-intensity, Polishing period

I. 서 론

최근 들어 증가된 심미적 요구와 수은으로 인한 아말감의 사용 제한등에 의해 복합 레진의 사용은 치과 영역에서 광

범위하게 증가하고 있다. 그러나 복합 레진은 필연적으로 중합 과정에서 중합 수축¹⁾이 발생하며 이 중합 수축은 해소 되지 못하고 내부 응력으로 잔존하게 된다. 이러한 내부 응력에 의해 수복물과 치질 사이에 미세 누출이 야기되거나

치아 교두가 변위 되어 이차 우식이나 치수 병변등을 야기하는 문제점을 안고 있다.

광중합형 복합 레진은 개발 초기부터 전통적으로 고휘도가 추천되어 왔다^{2,3)}. 이것은 레진의 강도와 중합 깊이 등 레진의 물성에 많은 영향을 미치는 중합율을 향상시키기 위한 것이었다. 그러나 최근에는 고휘도 광중합에 의한 급격한 중합 수축과 이로 인해 야기되는 응력에 의한 부작용이 새로이 논의 되고 있다. 레진을 고휘도로 광중합하는 것은 국소적 켈화 현상이 일어나기 전에 가능한 많은 수의 자유 유리기를 다발적으로 발생시켜 중합율을 높여 레진의 물성을 우수하게 하기 위한 것이다. 그러나 이러한 고휘도에 의한 단시간내의 중합은 너무 급격한 중합으로 인하여 중합 수축이 보상 될 수 있는 시간이 부족하여 결국 중합 수축의 대부분이 내부 응력으로 잔존하게 되는 문제점을 가지게 된다.

Asmussen⁴⁾과 Chan⁵⁾은 미세 누출과 결합력 사이의 관계를 연구하여 결합력이 18~20MPa 이상이 되어야 미세 누출의 방지가 가능하다고 보고하였으며 산부식법에 의한 결합 강도는 범랑질에서 20MPa 내외로 보고되어 범랑질 변연에서의 미세 누출은 상아질에 비하여 크게 문제되지 않는 것으로 보고되어 왔다.

그러나 급격한 중합으로 인해 와동 변연부에서 범랑질 자체의 미세 균열이나 레진의 파절등에 의한 범랑질 변연의 미세 누출등이 보고되었으며⁶⁾ Feilzer 등⁷⁾은 C-factor가 큰 1급 와동에서는 중합시 발생하는 응력 자체가 현저히 증가된다고 보고하였고 와동이 좁고 깊은 경우에 이러한 응력이 더욱 증가된다고 하였다.

최근의 연구들에 의하면 광중합시 중합 반응을 서서히 진행시킴으로서 중합 수축시 발생하는 응력이 레진의 flow에 의해 상쇄되도록 함으로써 미세 누출을 감소시킬 수 있다는 연구 결과들이 보고되었다^{3,8)}. 이것은 중합 과정에서의 초기 flow 기간을 증가시킴으로서 중합 수축이 자유면에서 보상 되도록 하여 최종적으로 발생하는 응력의 크기를 감소시켜 레진의 변연부 미세 누출을 감소시킬 수 있게 되는 것이다. 그러나 중합 과정을 서서히 일으키기 위해서는 저광도의 광원을 사용해야 하고 미세 강도와 압축 강도의 감소⁹⁾ 등 레진의 물성 저하와 오랜 시간 광중합을 시켜야 하는 단점이 있다.

이러한 단점 때문에 최근에는 저광도로 초기 중합을 시켜 flow를 부여하고 일정 시간을 기다린 후 다시 고휘도로 광

중합을 시키는 방법이 추천되고 있다^{10,11)}. 그러나 이 경우에도 초기 광중합 후 레진의 flow를 기다리는 시간이 필요하게 되어 시술 시간이 길어지게 되므로 최근에는 초기 광중합 후 레진의 flow를 기다리는 동안 레진의 연마를 시행하는 방법이 새롭게 추천되고 있다. 그러나 아직 이러한 방법에 대한 실험적 근거는 부족한 상태에 있다.

이번 실험의 목적은 광중합형 레진에 있어 초기 저광도 광중합시 변연부 미세 누출에 미치는 영향을 알아보고 초기 저광도 광중합 후 flow를 부여하는 시간중 연마를 시행하여 레진 충전의 소요 시간을 감소시키는 술식이 변연부 미세 누출에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

II. 연구 재료 및 방법

1. 연구 재료

우식증이나 충전물 또는 균열이 없는 45개의 발거된 사람의 대구치를 선택하여 연조직과 치석을 제거하고 사용하였다. 충전 재료로는 접착 전처치제로 Prime & Bond NT[®] (Dentsply, Germany)를 복합 레진으로는 Spectrum[®] (Dentsply, Germany)을 사용하였고 광중합에는 강광도를 300mW/cm²에서 800mW/cm²까지 조절할 수 있는 Spectrum[™] 800(Dentsply, Germany)을 사용하였다.

2. 연구 방법

각 치아의 협면 또는 설면의 중앙에 폭 3mm, 길이 2mm, 깊이 2mm의 균일한 와동을 고속 엔진용 No.330 bur를 이용하여 형성하였으며 와동 형성 후 20초간 수세하고 건조시켰다. 와동 형성된 치아는 제조사의 지시대로 먼저 범랑질을 15초간 산부식하고 그후 범랑질과 상아질을 동시에 15초간 산부식하고 수세하였으며 접착 전처치제는 도포 후 20초간 유지하고 air-syringe로 용매제를 제거하고 600mW/cm²로 10초간 광중합하였다. 그후 각 군당 15개씩 임의로 3군으로 나누고 각 군은 다음과 같이 레진을 충전하고 광중합하였다.

1) 1군(초기 고휘도 중합군)

B3 색조의 레진을 분층 충전하지 않고 한번에 와동에 충

Table 1. Materials in this study

	Brand	Manufacturer	Batch No.
Etchant	De Trey Conditioner	Dentsply	646125
Primer & Bonding agent	Prime & Bond NT	Dentsply	606.67.250
Composite Resin	Spectrum	Dentsply	606.05.11
Curing Machine	Spectrum [™] 800	Dentsply	

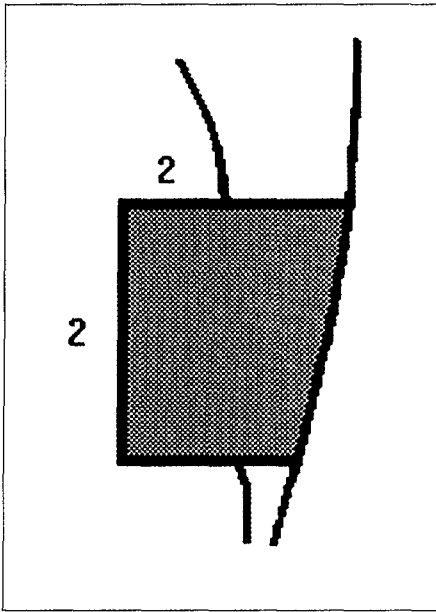


Fig. 1. Schematic representation of experimental cavity design

진 후 600mW/cm²의 광도로 1초간 광중합 후 즉시 다시 동일 광도로 40초간 광중합하여, 600mW/cm² 로 총 41초간 광중합하였다. 광중합 후 즉시 Sof-Lex® disk을 이용하여 Coarse, Medium, Fine Medium의 순서로 5분간 연마하였다.

2) 2군(초기 저광도 중합후 즉시 연마군)

B3 색조의 레진을 한번에 와동에 충전 후 300mW/cm²의 광도로 2초간 광중합 후 즉시 5분간 Sof-Lex® disk를 이용하여 연마 후 다시 600mW/cm²의 광도로 40초간 광중합하여 총 광조사량을 1군과 동일하게 하였다.

3) 3군(초기 저광도 중합군)

B3 색조의 레진을 한번에 와동에 충전 후 300mW/cm²의 광도로 2초간 광중합 후 연마하지 않고 5분간 기다린 후 다시 600mW/cm²의 광도로 40초간 광중합하고 Sof Lex® disk로 5분간 연마하였다.

이후 시편을 실온의 생리 식염수에 24시간 보관하였다가 5℃와 55℃의 물에 각각 교대로 30초씩 머무는 thermocycling을 1,000회 시행하였다. 이후 치아의 치근단공은 2점의 sticky wax로 막고 와동 변연 1mm을 제외한 모든 표면에 nail varnish를 3점 도포한 후 2% methylene blue 염색 용액에 24시간 침전하였다.

그 후 흐르는 물에 염색 용액을 깨끗이 세척하고 시편을 레진에 매몰한 후 Minitom(Struers, Denmark)을 이용하여 협설측으로 충전물의 중앙에서 치아 장축에 평행하게 절

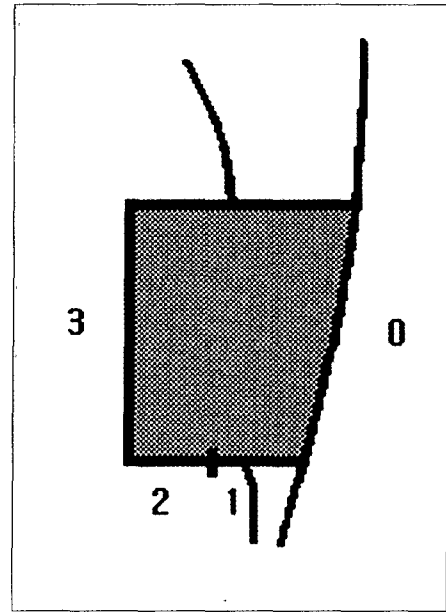


Fig. 2. Schematic representation of microleakage scoring system

score 0 : 염색 용액의 침투가 전혀 없는 경우

score 1 : 염색 용액의 침투가 와동 깊이의 1/2을 넘지 않는 경우

score 2 : 염색 용액의 침투가 와동 깊이의 1/2은 넘으나 와동저에는 도달하지 않는 경우

score 3 : 염색 용액의 침투가 와동저까지 도달한 경우

단하였다.

• 염색 용액의 침투도 관찰

40배율의 쌍안 입체 현미경(Dongwon, Korea)을 사용하여 절단면을 관찰하여 염색 용액의 침투도를 Cooley¹²⁾, Staninec¹³⁾의 방법을 따라 평가하였다. 통계 방법은 Kruskal-Wallis의 순위법에 기초한 처리-대조 다중 비교법을 사용하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 각 실험군의 변연부 미세 누출도 평가

각 실험군의 변연부 미세 누출의 평균은 1군이 2.87±0.35, 2군이 2.67±0.62, 3군이 1.73±1.48을 보였으며 각 군의 변연부 미세 누출도를 Table 2와 Fig. 3에 표시하였다.

이 결과를 Kruskal-Wallis의 순위법에 기초한 처리-대조 다중 비교 방법으로 통계 처리한 결과는 Table 3과 같다.

본 실험 결과 변연부 미세 누출의 정도는 3군, 2군, 1군의

Table 2. Dye Penetration (n=45)

Group	leakage score				Mean±S.D.
	0	1	2	3	
1	0	0	2	13	2.87±0.35
2	0	1	3	11	2.67±0.62
3	6	0	1	8	1.73±1.48

Table 3. Comparison of leakage score

Group	실험군간 비교(p<0.05)
1. 초기 고평도 중합군	A
2. 초기 저광도 중합후 즉시 연마군	A
3. 초기 저광도 중합군	B

*same letters are not significantly different (Kruskal-Wallis의 순위법에 기초한 처리-대조 다중비교)

순서로 적게 나타났다. 초기에 고평도로 광중합한 1군의 경우 평균 2.87로 가장 심한 미세 누출을 나타냈으며 초기에 저광도로 광중합을 시행하고 즉시 연마를 시행한 2군은 평균 2.67로 1군보다는 적은 미세 누출을 보였으나 1군과 비교시 통계학적 유의성은 없었다(p>0.05). 그러나 초기에 저광도로 광중합을 한 후 5분을 기다리고 다시 고평도로 광중합한 후 연마를 시행한 3군은 평균 1.73으로 1군에 비해 미세 누출이 적었으며 통계학적으로 유의성이 있었다 (p<0.05).

IV. 총괄 및 고찰

지금까지 레진의 광중합은 일반적으로 고평도가 추천되어 왔다. 이는 광중합 레진의 물성은 중합율과 직접 관계되며 중합율은 초기 광중합 광선의 투과 깊이와 관계된다고 보고 되어 왔기 때문이다^{2,14)}. 그러나 이 경우에 발생하는 부정적인 영향에 대해서는 고려되지 못하여 왔다.

레진의 광중합시 생기는 중합 수축은 Goldman 등¹⁵⁾에 의하면 2%~3% 정도이며 Bowen 등¹⁶⁾은 5.5~7.8MPa의 내부 응력을 야기한다고 보고하였다. Amussen⁶⁾에 의하면 중합시 발생하는 응력은 주로 변연부 법랑질의 미세 균열을 야기하고 레진을 와동벽에서 잡아당겨 변연부 미세 누출을 야기하게 된다고 하였다.

중합 과정 중에 발생하는 총 부피 수축은 2개의 단계로 구성되게 된다. 첫 번째 단계는 젤 이전 단계이고 또 하나는 젤 이후 단계이다. 젤 이전 단계에는 레진은 서로 chain 형성만이 일어나고 cross-linking 자체는 완전히 형성되지 않은 상태이고 분자들은 새로운 위치로 어느 정도 자유롭게 이동할 수 있다. 이로 인한 flow에 의해 다량체 레진의 구조 내의 응력을 완화시킬 수 있다. 하지만 겔화점과 그 다음 단

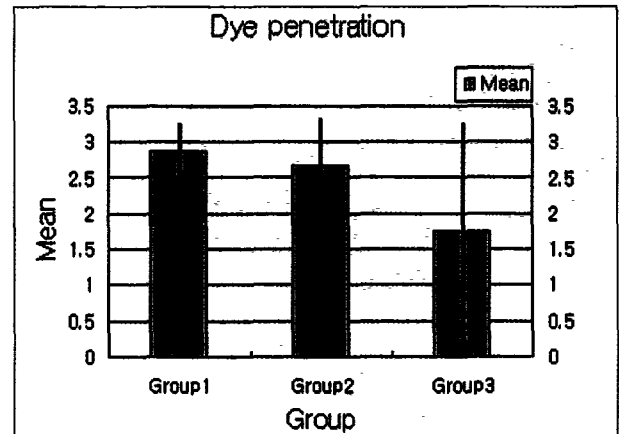


Fig. 3. Mean dye penetration of each group

계에서는 레진 자체가 점점 단단해지게 되어 겔화 후에는 flow가 응력을 보상할 수 없게 되는 것이다. 따라서 젤 이후 단계의 중합은 치아-레진 결합과 주위 치아 구조에 임상적으로 중요한 응력을 야기하게 된다^{8,17)}.

Krejci¹⁸⁾, Feilzer¹⁹⁾, Alster²⁰⁾은 자가중합형 레진의 경우에는 중합 자체가 서서히 일어나게 되고 혼합 과정 중에 기포가 포함되게 되어서 내부에 결합되지 않은 표면이 넓어지게 되어 중합 과정 중에 더 많은 flow를 부여할 수 있게 되고 중합시 발생하는 응력을 어느 정도 완화시킬 수 있다고 하였다.

그러나 광중합형 레진의 경우에는 초기에 고평도로 광중합을 하게되면 단기간에 많은 수의 자유 유리기를 만들어서 레진을 짧은 시간 안에 중합시키게 된다. 이러한 급격하고 빠른 중합은 반응열을 발생시켜서 중합의 속도를 더 빠르게 하고 이것은 겔 효과를 발생시켜 레진의 점주도를 증가시키게 된다. 즉 겔 상태로 존재하는 시간 자체가 줄어들게 되어 충분한 flow를 가지지 못하게 되는 것이다.

Feilzer⁷⁾에 의하면 5개의 면이 서로 접촉되는 반면 1개의 면만이 노출되어 있는 C-factor가 5인 1급 와동의 경우에는 결합되지 않은 면 자체가 매우 적어 레진의 flow 자체가 더 줄어들고 초기에 발생하는 응력 자체도 매우 크게 되어 내부에 잔존 응력이 증가되게 된다. 이로 인해 법랑질이나 레진에 균열이 발생하게 되거나 내부에 보다 큰 응력이 잔존하게 되어 내구성에 영향을 미치게 된다. 이러한 광중합형 레진의 단점을 극복하기 위해 제안되는 방법은 2가지가 있는데 하나는 저광도로 오랜 시간 광중합을 하는 것이고 다른 하나는 초기에 저광도로 광중합을 하여 레진에 flow를 부여하고 다시 고평도로 광중합 하여 광중합 시간을 감소시키고 레진의 물리적 성질도 향상시키는 것이다¹⁰⁾.

본 실험의 결과에서는 변연부 미세 누출은 초기에 저광도

로 광중합한 군에서 초기에 고광도로 광중합한 군보다 적게 나타났다. 이것은 이전의 Feilzer²¹⁾, Goracci²²⁾ 그리고 Unterbrink¹¹⁾의 연구 결과 등과도 일치되는 것이다. 광중합 과정 중에 레진은 점성 단계를 거쳐서 점탄성 단계를 지나 탄성 단계에 이르게 된다. 따라서 초기에 저광도로 광중합을 하게 되면 점성 단계의 시간을 길게 하여서 중합 수축에 의해 발생한 응력을 보상해줄 수 있게 된다.

저광도로 광중합을 하는 경우 불안정한 중합으로 인해 레진의 물리적 성질이 저하되는 것이 단점으로 지적되어 왔다. 하지만 Miyazaki²³⁾는 중합 과정은 광중합 광도에 의해 결정되는 것이 아니라 주어진 총 광에너지에 의해 결정된다고 하였고, Mehl¹⁰⁾나 Unterbrink¹¹⁾의 연구에 의하면 저광도로 광중합한 후에 다시 고광도로 광중합하면 중합율에 전혀 영향을 주지 않으며 특히 잔존하는 단량체의 양도 증가되지 않아 미세 강도, 굽힘 강도, 굽힘 계수 같은 레진 자체의 물리적 성질에는 아무런 영향을 주지 않는다고 하였다. 또한 Kanca 등²⁴⁾은 저광도로 광중합 5분 후 다시 고광도로 광중합을 하면 레진 자체의 초기 강도는 감소하나 24시간 후에는 처음부터 고광도로 광중합한 군과 같은 정도의 강도를 나타낸다고 하였다. 그러나 이 방법의 경우에는 레진의 flow를 기다리는 동안 걸리는 시간의 문제로 실제 임상에서는 불리하게 작용될 수 있다. Rueggeberg²⁾와 Sakaguchi²⁵⁾는 저광도로 광중합시 표층 부위 레진의 중합율에는 별로 영향이 없다고 보고하여 최근에는 초기에 저광도로 광중합 후 레진의 flow를 기다리는 동안 레진의 연마를 시행하여 시술 시간을 감소시키는 방법이 추천되고 있기도 하다.

본 실험에서는 이 기간 동안 연마를 시행한 2군에서는 1군과는 미세 누출의 정도에서 차이를 보이지 않았다. 초기에 저광도로 광중합을 하는 것만으로는 레진의 중합 자체가 불완전하여 이 상태에서의 연마와 같은 물리적 자극과 수분과의 접촉등이 레진과 치아 사이의 결합에 불리하게 작용된 것으로 생각된다. 이 번 실험의 결과에서는 3군에서는 대부분 score 0 또는 score 3을 나타내었다. 이것은 중합 수축시 법랑질에서는 강한 결합으로 인해 flow가 제한되어 대부분의 중합 수축은 결합이 완전하지 않은 상아질 부위와 와동저 부위에서 발생하여 레진이 분리되고 간극이 생기기 때문에 추측되며 이 경우 염색 용액은 법랑질과 레진 사이만 투과하게 되면 급속하게 와동저까지 퍼지게 된다^{1,8,26)}. 즉, 본 실험과 같이 법랑질 변연부에 국한되는 와동에서의 레진 충전 시에는 법랑질 변연부의 충진이 중요하게 된다. 또한 법랑질의 두께도 중요한 요인으로 작용하여 대부분의 미세 누출은 법랑질의 두께가 상대적으로 얇은 치경부 부위에서 발생하여 이에 대한 더 자세한 연구가 필요하리라 생각되며 본 실험에서는 레진의 충전시 한번에 충전하는 방법을 사용하였으나 분층 충전법의 사용에 의해 발생하는 내부 응력을 감소시킬 경우 변연부 미세 누출을 감소시킬 수 있

을 것으로 사료된다^{27,28)}.

Wendt²⁹⁾과 Yap³⁰⁾은 thermocycling이 레진에 있어서 변연부 미세 누출에 영향을 주지 않는다고 보고하였으나 Crim³¹⁾은 thermocycling이 long-term fatigue를 표현하며 미세 균열의 발생을 야기한다고 하였고 미세 균열은 주로 법랑질의 두께가 상대적으로 얇은 치경부 주위에서 발생하여 레진의 변연부 미세 누출에 영향을 줄 수 있음을 보고하였다. 따라서 본 실험에서는 가능한 구강내 환경과 비슷한 조건을 재현하기 위해 5℃와 55℃의 thermocycling을 1,000회에 걸쳐 시행하였고 thermocycling이 치경부에서의 변연부 미세 누출의 증가에 영향을 준 것으로 생각되나 thermocycling의 영향에 대한 자세한 평가는 더 많은 연구가 필요하리라 사료된다.

또한 Erickson³²⁾과 Davidson³³⁾은 구강내 교합압의 재현시 레진에 있어서 변연부 미세 누출의 증가를 보고하였다. 그러나 이번 실험에서는 구강내에서 적용되는 교합압을 부여하지 못해 실제 구강 내에서의 환경을 완전히 재현하는데는 한계가 있었다. 따라서 앞으로는 이에 대한 연구와 함께 수복물의 내구성에 대한 평가가 필요하리라 생각된다.

V. 결 론

광중합형 레진에 있어 초기 저광도 광중합 및 연마 시기의 변화가 변연부의 미세 누출에 미치는 영향을 평가하기 위해 45개의 발거된 치아의 협면 또는 설면 중앙에 와동을 형성하고 레진을 초기 고광도 중합군, 초기 저광도 중합후 즉시 연마군, 초기 저광도 중합군으로 나누어 충전하였다. 1,000회의 thermocycling후 2% methylene blue 염색 용액에 24시간 침전후 40배율의 쌍안 입체 현미경을 이용하여 염색 용액 침투도를 평가하여 다음의 결과를 얻었다.

1. 초기 저광도 중합군은 초기 고광도 중합군에 비해 낮은 변연부 미세 누출을 보였다($p < 0.05$).
2. 초기 저광도 중합후 즉시 연마군과 초기 고광도 중합군 사이의 변연부 미세 누출에는 통계학적 유의차가 없었다 ($p > 0.05$).

광중합형 레진에 있어서 초기에 저광도로 광중합시에는 변연부 미세 누출을 감소시킬 수 있었으나 초기 저광도 광중합 후 즉시 연마를 시행하는 경우에는 변연부 미세 누출을 감소시킬 수 없었다. 즉, 중합시 발생 응력이 큰 와동의 경우 초기에 저광도로 광중합하여 레진의 flow를 부여하고 레진의 연마는 중합 반응이 보다 안정된 뒤에 시행하는 것이 변연부 미세 누출을 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. Hansen E. K. : Visible light cured composite resins: polymerization contraction, contraction pattern and hygroscopic expansion, *Scand J Dent Res*, 90 : 329-335, 1981.
2. Rueggerberg F. A., Caughman W. F., Curtis J. W. Jr. : Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite, *Oper Dent*, 19 : 26-32, 1994.
3. Uno S., Asmussen A. : Marginal adaptation of a restorative resin polymerized at reduced rate, *Scand J Dent Res*, 99 : 440-444, 1991.
4. Asmussen E. : Clinical relevance of physical, chemical, and bonding properties of composite resins, *Oper Dent*, 2 : 251-256, 1985.
5. Chan K. C., Jensen M. E. : Dentin permeability to phosphoric acid: Effect of treatment with bonding resin, *Dent Mater*, 2 : 251-256, 1986.
6. Amussen E., Jorgensen K. D. : A microscopic investigation of the adaptation of some plastic filling materials to cavity walls, *Acta Odontol Scand*, 30 : 3-21, 1972.
7. Feilzer A. J., De Gee A. J., Davidson C. L. : Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restoration, *J Dent Res*, 66 : 1636-1639, 1987.
8. Davidson C. L., De Gee A. J. : Relaxation of polymerization contraction stresses by flow in dental composite, *J Dent Res*, 63 : 146-148, 1984.
9. Pires J. A. F., Cvitko E., Denehy G. E., Swift E. J. : Effects of curing tip distance on light intensity and composite resin microhardness, *Quintess Int*, 24 : 517-521, 1993.
10. Mehl A., Hickel R., Kunzelmann K. : Physical properties and gap formation of light-cured composites with and without 'softstart-polymerization', *J Dent*, 25 : 321-330, 1997.
11. Unterbrink G. L., Muessner R. : Influence of light intensity on two restorative systems, *J Dent*, 23 : 183-189, 1995.
12. Cooley R. L., Tseng E. Y., Barkmeier W. W. : Dentinal bond strengths and microleakage of a 4-META adhesive to amalgam and composite resin, *Quintess Int*, 22 : 979-983, 1991.
13. Staninec M., Holt M. : Bonding of amalgam to tooth structure : tensile adhesion and microleakage tests, *J Prosthet Dent*, 59 : 397-402, 1998.
14. Warren K. : An investigation into the microhardness of a light cured composite when cured through varying thickness of porcelain, *J Oral Rehabil*, 17 : 327-334, 1990.
15. Goldman M. : Polymerization shrinkage of resin-based restorative materials, *Aust Dent J*, 28 : 156-161, 1983.
16. Bowen R. I., Nemoto K., Rapson J. E. : Adhesive bonding of various materials to hard tooth tissue: forces developing in composite materials during hardening, *J Am Dent Assoc*, 106 : 475-477, 1983.
17. Sakaguchi R. L., Peters M. C., Nelson S. R. : Effect of polymerization contraction in composite restorations, *J Dent*, 20 : 178-182, 1992.
18. Krejci I., Lutz F. : Marginal adaptation of class V restorations using different restorative techniques, *J Dent*, 19 : 24-32, 1991.
19. Feilzer A. J., De Gee A. J., Davidson C. L. : Setting stress in composite for two different curing mode, *Dent Mater*, 9 : 2-5, 1993.
20. Alster D., Feilzer A. J., De Gee A. J. : The dependence of shrinkage stress reduction on porosity concentration in thin resin layers, *J Dent Res*, 71 : 1619-1622, 1992.
21. Feilzer A. J., Dooren L. H., De Gee A. J., Davidson C. L. : Influence of light intensity on polymerization shrinkage and integrity of restoration-cavity interface, *Eur J Oral Sci*, 103 : 322-326, 1995.
22. Goracci G., Casa de Martinis L., Mori G. : Curing light intensity and marginal leakage of composite resin restorations, *Quintess Int*, 27 : 355-362, 1996.
23. Miyazaki M., Oshida Y., Moore B. K., Onose H. : Effect of light exposure on fracture toughness and flexural strength of light-cured composite, *Dent Mater*, 12 : 328-332, 1996.
24. Kanca J., Suh B., Vinson W. : Pulse activation of resin composite : reducing stress at cavosurface interfaces, *J Dent Res*, 77 : 280(Abstract #678), 1998.
25. Sakaguchi R. L., Berge H. X. : Reduced light energy density decreases post-gel contraction while maintaining degree of conversion in composites, *J Dent*, 26 : 695-700, 1998.
26. Davidson C. L., De Gee A. J., Feilzer A. : The competition between the composite-dentin bond strength and the polymerization contraction stress, *J Dent Res*, 63 : 1396-1399, 1984.
27. Segura A., Donly K. J. : In vitro posterior composite polymerization recovery following hygroscopic expansion, *J Oral Rehabil*, 20 : 495-499, 1993.
28. Suliman A. A., Boyer D. B., Lakes R. S. : Cusp movement in premolars resulting from composite polymerization shrinkage, *Dent Mater*, 9 : 6-10, 1993.
29. Wendt J., McInnes P. M., Dickinson G. L. : The effect of thermocycling in microleakage analysis, *Dent Mater*, 8 : 181-184, 1992.
30. Yap A. U. J., Mok B. Y. Y., Pearson G. : An in vitro microleakage study of the 'bonded-base' restorative technique, *J Oral Rehabil*, 24 : 230-236, 1997.
31. Crim G. A., Swartz M. L., Phillips R. W. : Comparison of four thermocycling techniques, *J Prosthet Dent*, 53 : 50-53, 1985.
32. Erickson J., Jensen M. E. : Effect of pressure cycling on microleakage at the composite restorations margins, *J Dent Res*, 65 : 825(Abstract #895), 1986.
33. Davidson C. L., Abdalla A. I. : Effect of occlusal load cycling on the marginal integrity of adhesive class V restorations, *Am J Dent*, 7 : 111-114, 1994.