

Flowable 및 microfill 복합레진으로 충전된 제 5급와동에서 load cycling 전,후의 미세변연누출 비교

강석호 · 김오영* · 오명환** · 조병훈 · 엄정문 · 권혁춘 · 손호현

서울대학교 치과대학 치과보존학교실, 단국대학교 공과대학 고분자공학과*,
(주)베리콤**

ABSTRACT

MICROLEAKAGE OF MICROFILL AND FLOWABLE COMPOSITE RESINS IN CLASS V CAVITY AFTER LOAD CYCLING

Suk-Ho Kang, Oh-young Kim*, Myung-Hwan Oh**

Byeong-Hoon Cho, Chung-Moon Um, Hyuk-Choon Kwon, Ho-Hyun Son

Department of Conservative Dentistry, College of dentistry, Seoul National University

Dept. of Polymer Science & Engineering*, Dankook University, Vericom Co., Ltd.**

Low-viscosity composite resins may produce better sealed margins than stiffer compositions (Kemp-Scholte and Davidson, 1988; Crim, 1989). Flowable composites have been recommended for use in Class V cavities but it is also controversial because of its high rates of shrinkage. On the other hand, in the study comparing elastic moduli and leakage, the microfill had the least leakage (Rundle et al. 1997). Furthermore, in the 1996 survey of the Reality Editorial Team, microfills were the clear choice for abfraction lesions.

The purpose of this study was to evaluate the microleakage of 6 composite resins (2 hybrids, 2 microfills, and 2 flowable composites) with and without load cycling.

Notch-shaped Class V cavities were prepared on buccal surface of 180 extracted human upper premolars on cementum margin. The teeth were randomly divided into non-load cycling group (group 1) and load cycling group (group 2) of 90 teeth each. The experimental teeth of each group were randomly divided into 6 subgroups of 15 samples. All preparations were etched, and Single bond was applied. Preparations were restored with the following materials (n=15): hybrid composite resin [Z250(3M Dental Products Inc. St. Paul, USA), Denfil(Vericom, Ahnang, Korea)], microfill [Heliomolar RO(Vivadent, Schaan, Liechtenstein), Microneu(Bisco Inc. Schaumburg, IL, USA)], and flowable composite [AeliteFlo(Bisco Inc. Schaumburg, IL, USA), Revolution(Kerr Corp. Orange, CA, USA)]. Teeth of group 2 were subjected to occlusal load (100N for 50,000 cycles) using chewing simulator(MTS 858 Mini Bionix II system, MTS Systems Corp., Minn. USA). All samples were coated with nail polish 1mm short of the restoration, placed in 2% methylene blue for 24 hours, and sectioned with a diamond wheel. Enamel and dentin/cementum margins were analyzed for microleakage on a scale of 0 (no leakage) to 3 (3/3 of wall). Results were statistically analyzed by Kruskal-Wallis One way analysis, Mann-Whitney U-test, and Student-Newmann-Keuls method. (p=0.05)

Results :

1. There was significantly less microleakage in enamel margins than dentinal margins of all groups. (p<0.05)

※ 본 연구는 보건복지부 보건의료기술 연구개발사업(HMP-99-E-10-0003)의 지원에 의하여 이루어진 것임.

2. There was no significant difference between six composite resin in enamel margin of group 1.
3. In dentin margin of group 1, flowable composite had more microleakage than others but not of significant differences.
4. There was no significant difference between six composite resin in enamel margin of group 2.
5. In dentin margin of group 2, the microleakage were R>A=H=M>D>Z. But there was no significant differences.
6. In enamel margins, load cycling did not affect the marginal microleakage in significant degree.
7. In dentin margins, load cycling did affect the marginal microleakage only in Revolution. ($p<0.05$)

Key Words : Load cycling, Flowable composite, Microfill composite, Microleakage

I. 서 론

지난 수년간 제 5급와동을 수복하는데 있어서 술자들의 수복재료 선택의 폭은 급격하게 증가하였다. 여기에는 여러 범주의 복합레진, 글래스 아이오노머, 레진-강화형 글래스 아이오노머, 그리고 컴포머 등이 포함된다. 이들 재료는 제 5급 와동의 미세변연누출에 영향을 주게되는 조작 편의성과 물리적, 기계적 성질에 있어서 서로 다르다.

복합레진이 와동변연을 봉쇄하는 능력은 영구변형(plastic deformation), 흐름성(flow), 열팽창계수, 탄성계수, 그리고 와동형태에 따른 응력 등 여러가지 물리적, 기계적 성질의 차이들이 복합으로 작용하여 결정되게 된다.

모든 복합레진은 정도의 차이는 있으나 단량체 분자사이의 짧은 공유결합으로 인해 어느 정도의 중합수축을 나타내게 된다. 이러한 수축은 수복물 내에서 응력을 발생시켜 수복물과 와동벽 간의 adhesive bond를 파괴시키거나 간극을 형성하게 된다¹⁾.

중합수축으로 인해 발생한 응력은 그 재료의 영구변형성(plastic deformation)이나 흐름성(flow)에 의해 어느정도 감소될 수 있다. 흐름성은 분자들을 새로운 위치나 방향으로 재배치하여 내부응력을 감소시킴으로써 adhesive bond를 유지할 수 있도록 해준다²⁾. 탄성계수가 작은 재료는 탄성이 크고, 따라서 중합 응력을 감소시킬 수 있는 능력이 더 크다³⁾. 반면 필러 함량이 높은 레진은 탄성계수가 더 크고 레진의 함량이 낮으므로 중합수축이 적지만 잔여 중합 응력이 크므로 레진-상아질 간의 계면이 영향 받을 수 있다.

비우식성 치경부 병소(non-carious cervical lesion)는 백악-법랑질 경계에서 마모 혹은 침식 작용에 의해 치아 경조직이 상실되는 것으로 특징지어진다. 측방운동에 의한 교두의 변형은 치경부에서 인장 응력과 전단 응력을 발생시킨다. 이러한 응력들이 수산화인회석 결정 사이의 결합을 방해하여 법랑질에 미세 균열을 일으키고, 나아가 법랑질과

그 하부 상아질의 상실을 야기한다고 가정되어지고 있다⁴⁾. 법랑질과 상아질 사이의 기계적 결합력은 다른 부위보다 치경부에서 더욱 약하여 이 부위에서 균열이 잘 발생된다⁵⁾. Grippo는 이러한 종류의 치경부 병소를 “abfraction”이라고 명명하였다⁶⁾. 치아에 교합력이 작용하면 이 부위에서는 압축력과 인장력이 발생하여 수복재와의 계면에 응력이 발생하게 된다. 임상적으로도 대합치가 있는 대구치는 교합이 안되는 치아에 비해 수복물의 변연누출이 큰 것으로 보고되고 있다⁷⁾. 이것은 치아와 수복물간의 계면에 다른 종류의 응력이 발생하기 때문으로 생각된다. 이러한 응력은 제5급 와동에서 더욱 중요한데, 이는 수복물이 저작중에 변형될 가능성도 있고, 그 정도가 부정교합이 있는 경우 더욱 증가될 수 있기 때문이다⁸⁾. 그러므로 제 5급 와동의 미세변연누출 실험을 위해서는 load cycling이 중요하게 고려되어야 한다⁷⁾.

1996년 후반, 낮은 점도를 지닌 혼합형 복합레진(Revolution; Kerr Corp. Orange, CA, USA)이 소개되면서 “Flowable composite resin”이라는 용어가 사용되기 시작했다⁹⁾. 대부분의 flowable composite resin은 혼합형 복합레진의 일종으로서, 기존의 혼합형 복합레진의 입자크기는 그대로 유지하나 레진 기질의 양을 증가시키고 필러의 양을 줄여 점도를 감소시키려고 하였다. 필러의 양은 50~70wt% 정도로 보고되고 있으며⁹⁾, 주로 minifilled 또는 microhybrid composite resin이다. 이들은 표면 평활도가 우수하여 심미성이 높을 뿐만 아니라, 기존 혼합형 복합레진의 30~50%인 낮은 탄성계수로 인해 치아에 가해지는 응력을 흡수하거나 분산시켜 치아가 휠 때 치아와 함께 휠 수 있을 것이라고 추측되고 있으며, 레진을 많이 포함하기 때문에 큰 인성(toughness)을 기대할 수 있다^{9,10)}. 또한 낮은 점도와 편리한 적용 방식 때문에 임상에서 사용시 조작성 및 접근성이 뛰어나며, 불소를 포함하는 장점을 가지고 있다. 반면 flowable composite의 문제점은 필러의 양이

적어 중합수축이 클 수 있다는 것과, 강도가 떨어질 수 있다는 것이다.

재료의 특성상 flowable composite resin은 와동의 바닥이나 벽에 있는 미세결함(microstructural defect)이나 그보다 큰 결함(macrostructural defect)에 긴밀히 결합하여 향상된 결합력을 보일 것이라는 견해가 있다¹¹⁾. 따라서, 중합수축이 클 수도 있음에도 불구하고 낮은 탄성계수와 증가되는 결합력 때문에 적은 수축을 보일 것이라고 한 보고¹²⁾가 있는 반면, 수축량이 심하여 낮은 결합력을 보일 것이라는 견해도 있다¹³⁾.

한편, 최상의 심미성이 요구되는 경우, microfill composite보다 우수한 것은 없다고 알려져 있다¹⁴⁾. Microfill composite는 일반 혼합형 복합레진보다 낮은 탄성계수로 abfraction lesion에 추천되고 있으며¹⁵⁻¹⁷⁾, 사용상의 용이성도 혼합형 복합레진과 유사하다. Microfill composite의 낮은 탄성계수는 filler의 함량이 낮기 때문이다. 또한 다른 종류의 복합레진에 사용되는 glass silicate filler는 microfill에 사용되는 colloidal silica나 organic filler들에 비해 훨씬 높은 탄성계수를 나타낸다. 또한 microfill의 비교적 낮은 수축은 organic filler의 부피비가 큰 결과일 수 있다⁸⁾.

본 실험에서는 각각 두 종류의 hybrid composite resin (Z-250, Denfil), microfill (Heliomolar RO, Micronew), 그리고 flowable composite (Aeliteflo, Revolution)를 사용하여 5급 와동을 수복한 후 load cycling을 시행한 경우와 시행하지 않은 경우에서 미세변연 누출을 측정 및 비교하여 다소의 지견을 얻었기에 이에 보고하는 바이다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

교정을 위해 발거된, 우식증이나 충전물이 없는 180개의 상악 소구치를 pumice와 scaler를 사용하여 연조직을 제거한 후 실험 전까지 0.5% chloramine-T용액에 보관하였다.

산부식제로는 37% phosphoric acid(Etchant-37; Vericom, Ahnyang, Korea)를 사용하였고, 상아질 접착제로는 단일 용기 상아질 접착제인 Single Bond(3M Dental Products Inc. St.Paul, U.S.A.)를 사용하였다. 혼합형 복합레진으로는 Z250(3M Dental Products Inc. St.Paul, U.S.A.)과 Denfil(Vericom, Ahnyang, Korea)을 사용하였고, microfill로는 Heliomolar RO(Vivadent, Schaan, Liechtenstein)와 Micronew(Bisco Inc. Schaumburg, IL, U.S.A.)를 사용하였으며, 마지막으로 flowable composite로는 AeliteFlo(Bisco Inc. Schaumburg, IL, U.S.A.)와 Revolution(Kerr Corp. Orange, CA,

U.S.A.)을 사용하였다. 모든 제품의 shade는 A2였다. 광조사 기구는 Curing light XL 3000(3M Dental Products Inc. St.Paul, U.S.A.)을 사용하였고, 광도측정계로 400mW/cm²의 광강도를 확인하였다.

2. 실험방법

(1) 시편 제작

고속 엔진용 No.330 bur를 이용하여 치경부측에서 치은 변연부가 백악-법랑 경계 1mm 하방의 백악질에 위치하도록 V자 형태의 제 5급 와동을 실험치아의 협면에 형성하고, Extrafine diamond point(ISO 176/016, N.B., MANI)를 사용하여 와동 내면을 평활하게 하였다. 와동의 크기는 교합-치은 폭이 3mm, 근원심 폭이 4mm, 깊이는 2mm로 형성하였다.

Load cycling여부에 따라 180개의 치아를 두 군으로 나누고 다시 각 재료별로 15개 씩의 와동을 다음과 같이 수복하였다.

1) 제 1군(load cycling을 하지 않은 경우)

각 치아에 형성된 와동을 10초간 압축공기로 건조시킨 뒤, Etchant-37로 15초간 산처리 하였다. 15초간 수세하고 5초간 과량의 수분을 제거한 후, Single Bond를 연속으로 2회 도포하고 5초간 용매를 건조시킨 뒤, 10초간 광중합 하였다. 각 실험 재료인 레진들을 1mm씩 분할 충전 후 20초씩 광중합 하였다. Sof-Lex(3M Dental Products Inc., St. Paul, U.S.A.)를 이용하여 연마한 후에 생리 식염수에 7일간 보관하였다.

2) 제 2군(load cycling을 한 경우)

제 1군과 같은 과정을 거친 후 chewing simulator (MTS 858 Mini Bionix II system, MTS Systems Corp., Minn.)를 사용하여 37℃의 물을 뿌리면서 직경 3mm의 강철구로 50,000회의 저작력을 가했다. 수직으로 가해진 저작력은 6N에서 100N을 half-sine그래프 형태로 반복되도록 하였으며, lateral excursion의 재현은 중심구를 기준으로 협측으로 0.4mm를 왕복하도록 하였다. 저작 빈도는 2Hz로, 약 7시간에 걸쳐 작용하도록 하였다. 저작 운동의 재현은 Fig. 1과 같으며, 실제 MTS의 움직임은 Fig. 2와 같다.

제 1군과 제 2군에서 준비된 시편들의 근첨부위를 고속 엔진용 No.330 bur로 절단하여 Fuji II LC(GC Corp., Tokyo, Japan)로 폐쇄한 후, 수복 와동 변연 1mm를 제외한 전 표면에 nail varnish를 2회 도포하였다. 2% methylene blue 염색용액에 24시간 동안 담그고, 흐르는 물에 염색용액을 세척한 후, 시편을 투명레진(Epofix; Struers,

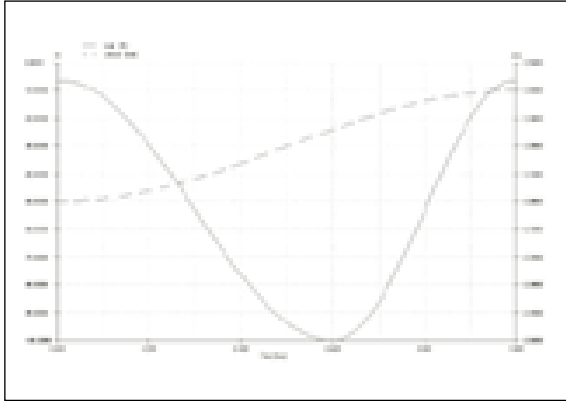


Fig. 1. Chewing simulation

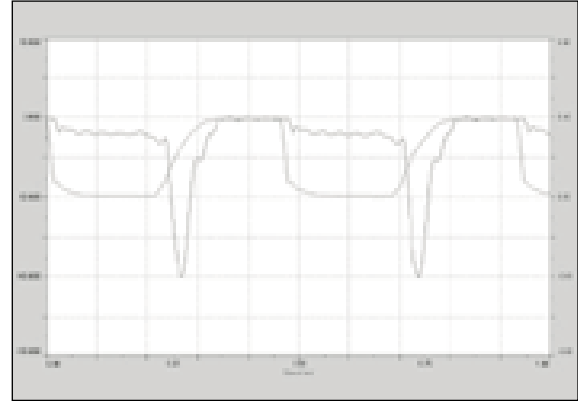


Fig. 2. Actual movement of MTS

Denmark)에 매몰하였다. 매몰된 시편을 diamond saw(Isomet, Buehler Co., U.S.A.)를 사용하여 치아 장축에 평행하게 절단한 후, 염색용액의 침투도를 관찰하였다.

(2) 염색용액의 침투도 관찰

입체현미경(Stereo Zoom Microscope, OLYMPUS, Japan)을 사용하여 $\times 30$ 배율로 염색용액의 침투도를 관찰하였으며, Kruscal Wallis One Way ANOVA 와 Mann-Whitney U-test로 통계처리 하였다. (유의수준 $p=0.05$)

염색용액의 침투도는 다음과 같이 판정하였다.

0 - 염색용액의 침투가 전혀 없는 경우

1 - 염색용액의 침투가 와동깊이의 1/3을 넘지 않는 경우

2 - 염색용액의 침투가 와동깊이의 2/3를 넘지 않는 경우

3 - 염색용액의 침투가 와동깊이의 2/3를 넘는 경우

염색용액의 침투도는 법랑질 변연과 상아질 변연에서 각각 측정 후 기록하였다.

Ⅲ. 실험결과

Table 1과 2는 load cycling을 하지 않은 경우에 염색용액 침투도와 평균값을 법랑질 변연과 상아질 변연에서 비교한 것이고, 3과 4는 load cycling을 시행한 경우에 염색용액의 침투도와 평균값을 법랑질 변연과 상아질 변연에서 비교한 것이다. Fig.3은 Table 1, 2, 3, 4를 도표로 나타낸 것이다.

(1) Load cycling을 하지 않은 경우

법랑질 변연에서는 미세변연누출이 거의 없는 고른 결과를 보였다. 상아질 변연에서는 hybrid와 microfill이 비슷한 결과를 보였고, flowble composite가 약간 높은 미세변연누출을 보였으나 통계적 유의성은 없었다.

(2) Load cycling을 시행한 경우

법랑질 변연에서는 hybrid가 약간 높은 미세변연누출을 보였고 그 다음으로 microfill, flowable의 순으로 낮은 결과를 보였으나 통계적 유의성은 없었다. 상아질 변연에서는 Revolution의 경우가 가장 높은 미세변연누출을 보였고,

Table 1. Number of specimen in each score and microleakage value on enamel margin.(no load cycling, n=15)

| | SCORE | | | | MEAN | S.D. |
|---------------|-------|---|---|---|------|------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | | |
| Z250 | 14 | 1 | 0 | 0 | 0.07 | 0.26 |
| Denfil | 15 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 |
| Heliomolar RO | 15 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 |
| Micronew | 15 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 |
| Aeliteflo | 13 | 2 | 0 | 0 | 0.13 | 0.35 |
| Revolution | 15 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 |

Table 2. Number of specimen in each score and microleakage value on dentin margin.(no load cycling, n=15)

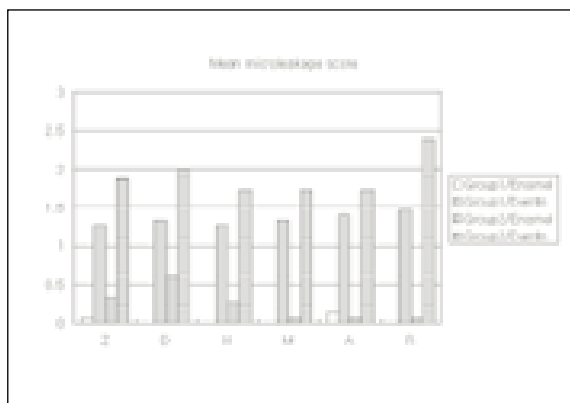
| | SCORE | | | | MEAN | S.D. |
|---------------|-------|----|---|---|------|------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | | |
| Z250 | 4 | 5 | 4 | 2 | 1.27 | 1.03 |
| Denfil | 1 | 10 | 2 | 2 | 1.33 | 0.82 |
| Heliomolar RO | 1 | 11 | 1 | 2 | 1.27 | 0.8 |
| Micronew | 0 | 11 | 3 | 1 | 1.33 | 0.62 |
| Aeliteflo | 2 | 8 | 2 | 3 | 1.40 | 0.99 |
| Revolution | 0 | 10 | 3 | 2 | 1.47 | 0.74 |

Table 3. Number of specimen in each score and microleakage value on enamel margin.(after load cycling, n=15)

| | SCORE | | | | MEAN | S.D. |
|---------------|-------|---|---|---|------|------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | | |
| Z250 | 12 | 2 | 0 | 1 | 0.33 | 0.82 |
| Denfil | 9 | 3 | 3 | 0 | 0.60 | 0.83 |
| Heliomolar RO | 13 | 1 | 0 | 1 | 0.27 | 0.8 |
| Micronew | 14 | 1 | 0 | 0 | 0.07 | 0.26 |
| Aeliteflo | 14 | 1 | 0 | 0 | 0.07 | 0.26 |
| Revolution | 14 | 1 | 0 | 0 | 0.07 | 0.26 |

Table 4. Number of specimen in each score and microleakage value on dentin margin.(after load cycling, n=15)

| | SCORE | | | | MEAN | S.D. |
|---------------|-------|---|---|---|------|------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | | |
| Z250 | 0 | 8 | 1 | 6 | 1.87 | 0.99 |
| Denfil | 1 | 6 | 0 | 8 | 2.00 | 1.13 |
| Heliomolar RO | 1 | 7 | 2 | 5 | 1.73 | 1.03 |
| Micronew | 2 | 5 | 3 | 5 | 1.73 | 1.1 |
| Aeliteflo | 1 | 5 | 6 | 3 | 1.73 | 0.88 |
| Revolution | 0 | 3 | 3 | 9 | 2.40 | 0.83 |

**Fig. 3.** Mean microleakage values

그다음으로 hybrid, microfill 및 AeliteFlo의 순으로 낮아지는 결과를 보였으나 역시 통계적 유의성은 없었다.

(3) Load cycling으로 미세변연누출의 증가 여부

법랑질 변연의 경우, load cycling후 미세변연누출이 약간씩 증가하는 경향을 보이기는 했으나 통계적 유의성은 없었다. 상아질 변연의 경우, microfill인 H와 M, 그리고 flowable인 A의 경우에 load cycling전, 후의 미세 변연누출 차이가 적었고, 그 다음으로 hybrid인 Z와 D에서는 좀 더 많은 차이가 있었으나 통계적 유의성은 없었다. 마지막으로 flowable인 R의 경우에 가장 큰 차이가 있었으며, 이는 통계적으로도 유의성이 있었다($p<0.05$).

(4) 법랑질 변연과 상아질 변연의 미세변연누출 정도

모든 군에서 법랑질 변연이 상아질 변연보다 낮은 미세변연누출을 보였다($p<0.05$).

IV. 총괄 및 고안

광중합 복합레진은 2-6%의 중합수축을 일으키고⁸⁾, 이로 인해 치아 또는 복합레진에 미세한 파절을 일으키거나 변연 간극을 발생시킨다. 이러한 간극을 통해 미세변연누출이 발생하면 산, 효소, 이온, 미생물과 그 부산물들이 변연을 침범하여 치아변색, 이차우식증, 술후 과민증, 치수염 및 치수사를 일으킬 수 있으며, 이것은 치아 경조직과 치수조직의 생물학적 완전성 및 복합레진의 수명에 중요한 문제가 된다.

미세변연누출을 측정하는 방법에는 아직까지 표준화된 것이 없다. 본 실험에서는 2% methylene blue를 사용했는데, 이는 미세변연누출 정도를 정량적으로 평가할 수는 있으나, 정확히 어떤 계면에서 발생했는지를 알 수는 없다. 또한 간극이 아닌 정상 상아세관으로도 침투되는 경우가 있어 판독에 어려움을 주기도 한다. Going(1972)은 여러 장점을 들어 fluorescein 등의 형광 염료가 가장 우수하다고 하였다¹⁸⁾. 구체적인 미세변연누출의 경로를 알아내기 위해서는 질산은 염색법 등으로 주사전자현미경상에서 관찰하는 것도 좋으리라 생각된다.

저작중에 발생하는 힘과 운동은 매우 복잡하며 실험적으로 재현한다는 것이 거의 불가능하다. Load cycling을 위해 널리 쓰여지던 Instron은 단지 수직 운동만을 재현할 수 있는데, 이는 실제 구강내에서 저작중 발생하는 3차원적 운동과는 사뭇 다르다¹⁹⁾. Instron의 또다른 문제점은 과부하가 걸릴 수 있다는 것이다. Cross-head의 속도가 빠를수록 구동 모터에 과부하가 걸릴 가능성이 커진다¹⁹⁾. MTS는 horizontal plane에서는 직선운동을 하고 frontal plane에서는 시편의 해부학적 형태를 따름으로써 3차원적 운동을 재현할 수 있다. 또한 MTS는 유압식으로 움직이므로 부하의 정확도가 보다 우수하며, Ahlgren(1970)등의 연구²⁰⁾에서 보고된 half-sine 형태의 저작력을 가할 수 있다.

Rigsby(1992)는 load cycling만 시행한 경우에는 미세변연누출의 증가가 별로 없고, thermocycling과 병행한 경우에 gingival margin의 미세변연누출이 급증했다고 보고했다²¹⁾. 반면 Mandras(1991)는 load cycling만 시행한 경우에도 gingival margin의 미세변연누출이 유의성 있게 증가했다고 보고했다²²⁾. 본 실험에서는 load cycling으로 미세변연누출이 어느 정도 늘어나는 경향을 보이기는 했으나 Revolution의 경우를 제외하고는 통계적 유의성이 없었다. 각각의 보고마다 실험 방법 및 사용한 기구, 재료 등이 다르므로 이들의 결과를 단순히 비교하기는 어렵지만 시편의 수

가 더 많거나 load cycling 횟수를 증가시킨다면 통계적 유의성을 찾을 수 있었으리라 생각된다.

Sakaguchi(1986)등은 13.35N의 힘과 0.23초의 치아접촉, 그리고 0.82mm의 측방 운동으로 마모실험을 하여 25만 번이 약 1년에 해당한다고 하였으며²³⁾, Lambrecht(1985)등도 비슷한 마모실험에서 같은 의견을 제시하였다²⁴⁾. 한편 Hakimeh(2000)등은 MTS를 사용한 load cycling실험에서 100N, 0.4mm 측방운동을 가하였는데, Sakaguchi 등의 실험에서보다 사용한 힘이 약 8배이고 측방운동량이 약 1/2이므로 5만 회를 적용하면 이것이 적어도 1년에 해당할 것이라는 주장을 했다²⁵⁾. 그러나 이들의 실험은 마모도를 측정하는 경우에 적용되는 내용으로 생각되며, 제 5급 와동의 미세 변연누출을 측정하는 경우에는 저작 횟수를 중심으로 생각해야 된다고 보인다. Hung(1993)등은 하루에 저작하는 횟수가 800~1000회이므로 5만 번의 load cycling은 6~8주 정도를 재현하는 것이라고 하였으며²⁶⁾, Dubois(1999)등도 같은 주장을 하였다²⁷⁾. 그러므로 이번 실험에서는 약 2개월 정도를 재현한 것이라고 할 수 있으며, 1년을 재현하고자 한다면 30만 회 정도의 load cycling을 시행해야 한다. 그러나 MTS를 사용하여 30만 회의 load cycling을 시행한다면 시편마다 약 40시간이 걸리므로 이를 감안해야 할 것이다.

Load cycling시 가하는 저작력의 크기는 연구자 마다 다양하다. DeLong(1991)등은 지금까지 여러 연구에서 보고된 저작력은 9-180N 으로 되어있으나 측정방법이 복잡해짐에 따라 그 수치가 점차 작아지고 있다고 하였으며 현재는 일반적으로 70N 이하로 알려져 있다고 하였다²⁸⁾. Morin(1998)등은 10kg(98N)의 힘으로 충분한 cuspal flexure를 일으켰다고 보고하였으며²⁹⁾, Pilo(1999)등도 이 결과에 의거하여 98N의 힘으로 load cycling을 시행하였다³⁰⁾. 또한 Palamara(2000)등은 유한요소법으로 분석한 결과 100N의 힘을 소구치의 교합면에 준 경우 치경부에 응력이 집중되는 것을 관찰하였다³¹⁾. 그러므로 이번 실험에서 사용한 100N의 힘은 수복물의 변연에 응력을 발생시키기에 부족함이 없다고 생각된다.

상아질은 법랑질보다 유기물질을 많이 함유하고 있고, 12% 정도의 수분을 포함하고 있다. 이러한 이유로 복합레진이 법랑질과의 결합은 중합수축 응력을 이겨낼 수 있으나 상아질과의 결합에서는 그렇지 못하는 것으로 알려져 있으며³²⁾, 적절히 산처리된 법랑질 변연에서는 미세변연누출이 없었다는 보고도 있다³³⁾. 이러한 결과들로 본 실험에서 법랑질 변연의 미세변연누출이 상아질 변연보다 유의성 있게 적었던 이유를 설명할 수 있다.

Revolution을 예외로 하면, 탄성계수가 낮은 미세입자형 레진과 flowable 레진의 경우 load cycling으로 인한 미세변연누출의 증가가 적었다. 이러한 현상은 특히 법랑질 변

연에서 두드러졌다. 이로써 탄성계수가 낮은 수복재가 교합력에 의한 응력을 더 잘 흡수할 수 있다고 추측할 수 있으나 통계적 유의성이 없었으므로 추가적 연구가 필요하다고 생각된다.

Labella 등은 flowable 레진의 물성을 검사하여 Aeliteflo의 중합수축이 4.6%, 압축강도가 217MPa이라고 보고하였으며, Revolution의 중합수축은 5.5%, 압축강도는 146MPa이라고 하였다⁸⁾. 이는 각 제조사가 밝힌 수치(Aeliteflo : 4.56%, 288MPa, Revolution : 3%, 346MPa)와는 차이가 있으며, 특히 Revolution의 경우에는 그 차이가 크다. 이 연구결과를 근거로 본다면 Revolution의 중합수축은 혼합형 복합레진이나 미세입자형 복합레진보다 두 배 이상이며 압축강도는 절반 이하라고 할 수 있다. Load cycling에 의해 미세변연누출이 유의성 있게 증가한 원인이 중합수축에 의한 응력발생과 부족한 압축강도를 높은 탄성으로도 극복하지 못했기 때문이라고 생각된다. 따라서 응력을 많이 받는 제 5급 와동을 수복할 때 Revolution을 단독으로 사용하는 것은 보다 신중을 기해야 할 필요가 있다고 사료된다.

V. 결 론

Flowable composite resin과 microfill composite resin의 미세변연누출 정도를 알아보기 위해 180개의 발거된 상악 소구치 협측에 백악-법랑 경계 1mm 하방의 백악질에 치은 변연부가 위치하도록 제 5급 와동을 형성하고, 상아질 접착제로서 Single Bond를 도포한 후, hybrid composite resin으로 Z250, Denfil을 사용하고 microfill composite resin으로 Heliomolar RO, Micronew를 사용하였으며, flowable composite resin으로 Aeliteflo, Revolution을 사용하여 와동을 수복하였다. Load cycling여부에 따라 두 군으로 나누어 실험하였다. 2% methylene blue 염색용액에 24시간 동안 담근 뒤, 수세 후 투명 레진에 매몰하였다. 매몰된 시편을 협설측으로 치아 장축에 평행하게 절단하여 염색용액의 침투도를 관찰하였다.

이상의 실험에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 모든 군의 법랑질 변연에서는 상아질 변연에서보다 미세 변연누출이 통계적으로 유의성 있게 적었다. ($p<0.05$)
2. 제 1군의 법랑질 변연에서는 여섯 가지 레진 사이에 통계적으로 유의할 만한 미세변연누출의 차이가 없었다.
3. 제 1군의 상아질 변연에서 flowable composite이 다른 레진보다 많은 미세변연누출을 보였으나 통계적 유의성은 없었다.
4. 제 2군의 법랑질 변연에서는 여섯 가지 레진 사이에 통계적으로 유의할 만한 미세변연누출의 차이가 없었다.
5. 제 2군의 상아질 변연에서는 R>D>Z>M=H=A 순으로

미세변연누출이 감소하는 경향을 보였으나 통계적으로 유의성은 없었다.

6. 법랑질 변연에서 load cycling은 미세변연누출에 통계적으로 유의할 만한 영향을 주지 않았다.
7. 상아질 변연에서 load cycling은 Revolution으로 수복한 경우에만 통계적으로 유의성 있게 미세변연누출을 증가시켰다. ($P<0.05$)
1. 제 5급 와동을 수복하는데 있어서 hybrid, microfill, 그리고 flowable composite의 미세변연누출 차이는 통계적으로 유의성이 없었다.
2. Load cycling은 Revolution으로 수복한 와동의 상아질 변연에서만 미세변연누출을 통계적으로 유의성있게 증가시켰다.

참고문헌

1. Carvalho RM, Pereira JC, Yoshiyama M, et al. A review of polymerization contraction: The influence of stress development versus stress relief. *Oper Dent* 1996;21: 17-24.
2. Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL. Quantitative determination of stress reduction by flow in composite restorations. *Dent Mater* 1990;6: 167-171.
3. Kemp-Scholte CM, Davidson CL. Marginal integrity related to bond strength and strain capacity of composite resin restorative systems. *J Prosthet Dent* 1990;64: 658-664.
4. Lee W. C., Eakle W. S. Possible role of tensile stress in the etiology of cervical erosive lesions of teeth. *J Prosthet Dent* 1984;374-380.
5. Goel V. K., Khera S. C., Ralston J. L., Chang K. H. Stresses at the dentinoenamel junction of human teeth-a finite element investigation. *J Prosthet Dent* 1991;66:451-459.
6. Grippo J. O., Abfractions. A new classification of hard tissue lesions of teeth. *J Esthet Dent* 1991;3:14-19
7. Qvist V. The effect of mastication on marginal adaptation of composite restorations in vivo. *J Dent Res* 1983;62(8): 904-906.
8. Labella R, et al. Polymerization shrinkage and elasticity of flowable composite and filled adhesives. *Dent Mater* 1999;15: 128-137.
9. Bayne SC, Thompson JY, Swift EJ Jr, et al. A characterization of first-generation flowable composites. *JADA* 1998;129: 567-577.
10. Esafan AM, Estafan D. Microleakage study of flowable composite resin systems. *Compendium* 2000;21(9): 705-712.
11. Bonner PB. New developments in composite resins. *Dentistry Today* 1997;16(4): 44-47.
12. Rada RE. The versatility of flowable composites. *Dentistry Today* 1998;17(4): 78-83.
13. Burgess JO, Norling BK, Rawls HR, Ong JL. Directly placed esthetic restorative materials- The continuum. *Compend Contin Educ Dent* 1996;17(8): 731-734.
14. Miller MB. Restoring class V lesions part 2: Abfraction lesions. *PPAD* 1997;9(5): 505-506.

15. Rundle T, Cobb D, Vargas M. Effect of elastic modulus on microleakage of Class V restorations. *J Dent Res* 1997;76:(Abstract #1455).
16. Heymann H. O., Sturdevant J. R., Bayne S., Wilder A. D., Sluder T. B., Brunson W. D. Examining tooth flexure effects on cervical restorations : A two-year clinical study. *J Am Dent Assoc* 1991;122:41-47.
17. Leinfelder K. F. Restoration of abraded lesions. *Compendium* 1994; 15(11): 1396-1400.
18. Going R. E. Microleakage around dental restorations: a summarizing review. *JADA* 1972; 84: 1349-1356.
19. Yap A., Stokes A.N., Pearson G.J. An in vitro microleakage study of a new multi-purpose dental adhesive system. *J Oral Rehab* 1996;23: 302-308.
20. Ahlgren J., Owall B. Muscular activity and chewing force: A polygraphic study of human mandibular movements. *Archs Oral Biol* 1970;15: 271-280.
21. Rigsby, D. F. Effect of axial load and temperature cycling on microleakage of resin restorations. *Am J Dent* 1992; 5 : 155-159.
22. Mandras, R. S. et al. The effects of thermal and occlusal stresses on the microleakage of the Scotchbond 2 dentinal bonding system. *Dent Mater* 1991 : 7: 63-67.
23. Sakaguchi, RL. et al. The wear of a posterior composite in an artificial mouth : a clinical correlation. *Dent Mater* 1986 : 2 : 235-240.
24. Lambrecht et al. Quantitative evaluation of the wear of posterior dental restorations : four year results. *J. Dent. Res.* Vol 65 (special issue), Abst. No. 1759. p.370 Mar. 1985.
25. Hakimeh, S, Vaidyanathan J., Houpt M. L., Vaidyanathan T. K., Hagen S. V. Microleakage of compomer Class V restorations: Effect of load cycling, thermal cycling, and cavity shape differences. *J Prosthet Dent* 2000; 83: 194-203.
26. Hung C.M. et al. Effects of thermocycling and occlusal force on the margins of provisional acrylic resin crowns. *J Prothet Dent* 1993 ; 69 : 573-7.
27. Dubois, R. J. et al. Effects of occlusal loading and thermocycling on the marginal gaps of light-polymerized and autopolymerized resin provisional crowns. *J Prosthet Dent* 1999; 82 : 161-6.
28. DeLong, R., Douglas W. H. An artificial oral environment for testing dental materials. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. Vol 38. No. 4 : 339-345, April 1991.
29. Morin D et al. Cusp reinforcement by the acid-etch technique. *J Dent Res* 1984; 63: 1075-8 / Pilo R et al. Cusp reinforcement by bonding of amalgam restorations. *J Dent* 1998; 26:467-72).
30. Pilo, R. Comparison of microleakage for three one-bottle and tree multiple-step dentin bonding agents. *J Prosthet Dent* 1999; 82 : 209-13.
31. Palamara D., Palamara J. E. A. Tyas M. J. Messer H. H. Strain patterns in cervical enamel of teeth subjected to occlusal loading. *Dent Mat* 2000;16:412-419.
32. Davidson C. L., de Gee A. J. Relaxation of polymerization contraction stresses by flow in dental composites. *J Dent Res* 1984;63(2):146-148.
33. Retief D. H., Denys F. R. Adhesion to enamel and dentin. *Am J Dent* 1989; Jul 2: 133-144.
34. Yap A. U. J., Wong M. L., Lim A. C. Y. The effect of polishing systems on microleakage of tooth-coloured restoratives. Part 2: Composite and polyacid-modified composite resins. *J Oral Rehab* 2000; 27: 205-210.