

Flowable Composite Resin의 미세변연누출 및 전단결합강도

박성준 · 오명환* · 김오영** · 이광원*** · 엄정문 · 권혁춘 · 손호현

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

ABSTRACT

MICROLEAKAGE AND SHEAR BOND STRENGTH OF FLOWABLE COMPOSITE RESIN

Sung-Joon Park, Myung-Hwan Oh*, Oh-Young Kim**, Kwang-Won Lee***,

Chung-Moon Um, Hyuk-Choon Kwon, Ho-Hyun Son

Dept. of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Seoul National University

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

*Dept. of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Chonbuk National University****

Flowable composite resin has lower filler content, increased flow, and lower modulus of elasticity. It is suggested that flowable composite resin can be bonded to the tooth structure intimately and absorb or dissipate the stress. Therefore, it may be advantageous to use flowable composite resin for the base material of class II restoration and for the class V restoration.

The purpose of this study was to evaluate the microleakage and shear bond strength of four flowable composite resins (Aeliteflo, Flow-It, Revolution, Ultraseal XT Plus) compared to Z100 using Scotchbond Multi-Purpose dentin bonding system.

To evaluate the microleakage, notch-shaped class V cavities were prepared on buccal and lingual surfaces of 80 extracted human premolars and molars on cementum margin. The teeth were randomly divided into non-thermocycling group (group 1) and thermocycling group (group 2) of 40 teeth each. The experimental teeth of each group were randomly divided onto five subgroups of eight samples (sixteen surfaces). The Scotchbond Multi-Purpose and composite resin were applied for each group following the manufacturer's instructions. The teeth of group 2 were thermocycled five hundred times between 5°C and 55°C. The teeth of group 2 were placed in 2% methylene blue dye for 24 hours, then rinsed with tap water. The specimens were embedded in clear resin, and sectioned longitudinally with a diamond saw. The dye penetration on each of the specimen were observed with a stereomicroscope at ×20 magnification.

To evaluate the shear bond strength, 60 teeth were divided into five groups of twelve teeth each. The experimental teeth were ground horizontally below the dentinoenamel junction, so that no enamel remained. After applying Scotchbond Multi-Purpose on the dentin surface, composite resin was applied in the shape of cylinder. The cylinder was 4mm in diameter and 2mm in thickness. Shear bond strength was measured using Instron with a cross-head speed of 0.5mm/min. After shear bond strength measurement, mode of failure was evaluated with a stereomicroscope at ×30 magnification. All data were statistically analyzed by One Way ANOVA and Student-Newman-Keuls method. The correlation between microleakage and shear bond strength was analyzed by linear regression.

The results of this study were as follows :

1. In non-thermocycling group, the leakage value of Z100 was significantly lower than those of flowable composite resins at the enamel and dentin margin, margin, except that Revolution showed the lower

※ 본 연구는 보건복지부 보건의료 기술연구 개발사업(HMP-99-E-01-0003)의 지원에 의하여 이루어진 것임.

- leakage value than that of Z100 at the dentin margin ($p<0.05$)
2. In thermocycling group, the leakage values of Z100 and Ultraseal XT Plus were lower than those of other subgroup at the enamel and dentin margin, except that Flow-It showed the lower leakage value than that of Ultraseal XT Plus at the dentin margin ($p<0.05$)
 3. The leakage value of Z100 and Ultraseal XT Plus in thermocycling group were not higher than that in non-thermocycling group at the enamel margin. The leakage value of Z100 in thermocycling group was not higher than that in non-thermocycling group at the dentin margin ($p<0.05$)
 4. As for the shear bond strength measurement, there were no statistically significant differences among groups ($p<0.05$). The shear bond strengths given in descending order were as follows: Z100(16.81 ± 2.98 MPa), Flow-It(14.8 ± 4.43 MPa), Aeliteflo(14.34 ± 3.69 MPa), Revolution(13.46 ± 4.23 MPa), Ultraseal XT Plus(12.83 ± 3.16 MPa).
 5. Failure modes of all specimens were adhesive failures.
 6. There was no correlation between microleakage and shear bond strength.

Key words : Flowable composite resin, Microleakage, Shear bond strength

I. 서 론

보존 수복 재료들은 꾸준히 개선되고 있으며, 새로운 개념에 의한 재료들이 개발되고 있다. 복합레진의 경우, 임상가들은 미세입자형 복합레진(microfilled composite resin), 혼합형 복합레진(hybrid composite resin), 레진-강화형 글래스 아이오노머(resin-reinforced glass ionomer), 콤포머(compomer), 구치부 복합레진(condensable composite resin), 최근 들어 flowable composite resin 중에서 증례에 따라 선택할 수 있게 되었다.

구치부 복합레진이 소개되기 전인 1995년, 일회용 팁을 사용하는, 낮은 점도를 지닌 혼합형 복합레진(Revolution; Kerr Corp. Orange, CA, U.S.A.)이 소개되면서 "Flowable Composite Resin"이라는 용어가 사용되기 시작하였다.

대부분의 flowable composite resin은 혼합형 복합레진의 일종으로서, 기존의 혼합형 복합레진의 입자 크기는 그대로 유지하나 레진 기질(resin matrix)의 양을 증가시키고, 필러(filler)의 양을 줄이는 등 점도를 감소시키려고 하였다. 필러의 양은 소와 열구 전색재(pit and fissure sealant)와 미세입자형 복합레진보다 많고, 혼합형 복합레진이나 구치부 복합레진보다 적은 편인 50~70wt% 정도로 보고되고 있다¹⁾.

이러한 flowable composite resin은 주로 minifilled 또는 microhybrid composite resin이어서 표면 평활도(surface smoothness)가 뛰어나므로 높은 심미성을 제공할 뿐만 아니라, 기존 혼합형 복합레진의 30~50%인 낮은 탄성

계수(modulus of elasticity)로 인해 치아에 가해지는 응력을 흡수하거나 분산시켜 치아가 휠 때 탈락될 가능성이 적을 것이라고 추측되고 있으며²⁾, 레진을 많이 포함하고 있기 때문에 큰 인성(toughness)을 기대할 수 있다³⁾. 또한, 낮은 점도와 편리한 적용 방식 때문에 임상에서 사용시 조작성 및 접근성이 뛰어나며, 불소를 포함하는 장점을 가지고 있다.

임상에서의 조작성을 간편하게 하기 위해 개발된 flowable composite resin은 적용 증례에 대한 명확한 기준이 제시되고 있지 않으나, 제조사들은 flowable composite resin을 아말감 변연 수리(amalgam margin repair), 제 1, 3, 4, 5급 와동 수복, 제 2급 와동의 치은 변연 수복, 복합레진 수리, 코어, 금관 변연 수리(crown margin repair), 법랑질 결함 수리(enamel defect repair), 절단연 수리(incisal edge repair), 이장재(liner), 소와 열구 전색(pit and fissure sealant), 도재 수리(porcelain repair), 도재 비니어 접착제(porcelain veneer cement), 예방적 레진 수복(preventive resin restoration), 임시 보철물 수리(provisional repair), 공기를 이용해 마모시켜 형성한 와동의 수복(restoration of air abrasion preparations), 터널식 와동 수복(tunnel preparation restoration), 비니어(veneers) 등에 사용할 수 있다고 주장한다⁴⁾. 그러나, 기계적 성질은 기존 복합레진의 60~90% 밖에 되지 못하므로, 응력(stress)을 많이 받는 곳이나 마모(wear)가 심한 곳에는 사용하지 않는 것이 좋다고 보고되고 있다⁵⁾.

Flowable composite resin의 가장 큰 문제점은 필러의 양이 적어 증합 수축이 클 수 있다는 것이다. 그리고, 재료

의 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 있다³⁾. 따라서, 중합 수축이 클 수도 있지만, 낮은 탄성계수와 증가되는 결합력 때문에 적은 수축을 보일 것이라고 보고⁴⁾된 반면, 수축량이 심하여 낮은 결합력을 보일 것이라는 의견도 있다⁵⁾. Flowable composite resin의 임상적 거동을 추론할 수 있는 실험 보고는 아직 많지 않아 임상 사용의 지표를 고안하기 위해 본 실험에서는 flowable composite resin을 실험적 와동에 수복하고 열순환 전, 후 미세변연누출(microleakage)을 측정하였으며, 전단결합강도(shear bond strength)와의 관계를 조사하여 다소의 지견을 얻었기에 이에 보고하는 바이다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험 재료

성별에 관계없이 우식증이나 충전물이 없는, 발거된 지 한 달이 경과하지 않은 140개의 상악 구치를 실험 전까지 0.5% chloramine-T 용액에 보관한 후 사용하였다.

실험군인 flowable composite resin으로 Aeliteflo(Bisco Inc. Schaumburg, IL, U.S.A.), Flow-It(Jeneric/Pentron Inc. Wallingford, CT, U.S.A.), Revolution (Kerr Corp. Orange, CA, U.S.A.), Ultraseal XT Plus(Ultradent products Inc. South Jordan, UTAH, U.S.A.)를 사용하였고, 대조군인 혼합형 복합레진으로 Z100(3M Dental Products Inc. St. Paul, U.S.A.)을 사용하였으며, 모든 제품의 shade는 A2였다. 상아질 접착제로는 3단계 system인 Scotchbond Multi -Purpose(3M Dental Products Inc. St. Paul, U.S.A.)를 사용하였다. 사용된 광조사 기구는 VIP(Bisco Inc. Schaumburg, IL, U.S.A.)로서, 광조사 기구의 강도는 광도측정계로 550~600mW/cm² 범위 내에 있음을 확인하였다.

2. 실험 방법

가. 미세변연누출

1) 시편 제작

고속 엔진용 No.330 bur를 이용하여 치경부 측에서 치은 변연부가 백악-법랑 경계 1mm 하방의 백악질에 위치하도록 V자 형태의 제 5급 와동을 실험 치아의 협면과 설면에 각각 형성하고, Extrafine diamond point(ISO 176/016, N.B. MANI)를 사용하여 와동 내면을 평활하게 하였다. 와

동의 크기는 교합-치은 폭이 3mm, 근원심 폭이 3mm, 깊이는 2mm로 형성하였다. 사용하는 재료에 따라서 80개의 치아를 40개씩 두 군으로 나누고 각 군은 다시 8개씩 5개의 군으로 나누어 각각 다음과 같이 상아질 접착제 도포 및 실험군 flowable composite resin과 대조군 혼합형 복합레진을 충전하였다.

① 제 1군(열순환(thermocycling)을 하지 않은 경우)

각 치아의 협측 및 설측 와동을 10초간 압축공기로 건조시킨 뒤, Scotchbond Multi-Purpose etchant(35% phosphoric acid)로 15초간 산처리 하였다. 15초간 수세하고, 5초간 과량의 수분을 제거한 후, primer를 도포하여 건조시켰다. Adhesive를 균일한 층으로 도포하여 10초간 광중합하고, 복합레진을 1mm 씩 분할 충전 후 40초씩 광중합하였다. Extrafine diamond point(ISO 293/014 N.B. MANI)와 Sof-Lex disc(3M Dental Products Inc. St. Paul, U.S.A.)를 이용하여 연마한 후에 생리 식염수에 7일간 보관하였다.

② 제 2군(열순환을 한 경우)

제 1군과 같은 과정을 거친 후 5℃와 55℃의 수조에서 번갈아 1분씩 총 500회의 온도 변화를 주며 열순환을 실시하였다.

제 1군과 제 2군에서 준비된 시편들의 근첨 부위를 Vitrebond(3M Dental Products Inc. St. Paul, U.S.A.)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 투명 레진에 매몰하였다. 매몰된 시편을 diamond saw(Isomet, Buehler Co. U.S.A.)를 사용하여 절단한 후, 염색용액의 침투도를 관찰하였다.

2) 염색용액의 침투도 관찰

입체현미경(Stereo Zoom Microscope, OLY MPUS, Japan)을 사용하여 ×20 배율로 염색 용액의 침투 정도를 관찰하였으며, Kruskal Wallis One Way ANOVA와 Student-New man-Keuls method로 통계처리 하였다(유의 수준 p=0.05).

염색용액의 침투정도는 다음과 같이 판정하였다.

0-염색용액의 침투가 전혀 없는 경우

1-염색용액의 침투가 와동 깊이의 1/3을 넘지 않는 경우

2-염색용액의 침투가 와동 깊이의 2/3을 넘지 않는 경우

3-염색용액의 침투가 와동 깊이에 이르는 경우

4-염색용액의 침투가 와동의 가장 깊은 부분을 넘는 경우

염색용액의 침투 정도는 법랑질 변연과 상아질 변연에서 각각 측정 후 기록하였다.

나. 전단결합강도

1) 전단결합강도 측정

60개의 치아를 치관부만 남기고 교합면이 몰드 바닥과 평행하도록 투명 레진에 매몰하고 Pedemet Specimen Preparation Equipment (Struers, Copenhagen, Denmark)로 주수하에 SiC 500 grit까지 연마하여 평평한 상아질 표면을 노출시켰다. 연마면에서 범랑질이 전혀 남지 않은 것과, 노출된 상아질면의 직경이 4mm 이상 되는 것을 확인하였다. 양면 접착테이프에 직경 4mm, 후경 2mm인 금속 고리를 부착하였다. 치아들을 무작위로 12개씩 5개의 군으로 나누어 Scotchbond Multi-Purpose로 상아질 표면 처리를 시행한 후 실험군 flowable composite resin과 대조군 혼합형 복합레진을 1mm씩 분할 충전하고 40초씩 광중합하였다.

금속 고리를 제거하고, 시편을 7일간 생리 식염수에 보관하였다. 시편 고정대(mounting jig)에 시편을 고정시킨 후, 만능 시험기(Model 4466, Instron Corp, MA, U.S.A.)로 분당 0.5mm 속도로 압축하중을 가하여 상아질로부터 복합레진이 분리될 때의 최대 하중(Kg)을 구하고 이를 단위면적 당 결합강도(MPa)로 환산하였다. 얻어진 결과는 Kruskal Wallis One Way ANOVA와 Student-Newman-Keuls method로 통계처리하였다(유의 수준 p=0.05). 전단결합강도 평균값과, 열순환을 하지 않은 상아질의 미세변연누출 평균값을 선형회귀분석(linear

regression)하여 상관관계를 알아보았다.

2) 파절면 관찰

파절면을 입체현미경(Stereo Zoom Microscope, OLYMPUS, Japan)을 사용하여 ×30 배율로 관찰하였다.

파절양상은 다음과 같이 평가하였다.

1. Adhesive failure-상아질 표면에 복합레진이 없거나 30% 미만인 경우
2. Mixed failure-상아질 표면에 복합레진이 30% 이상 남은 경우
3. Dentin failure-복합레진이 상아질과 함께 떨어져 나간 경우

Ⅲ. 실험결과

1. 미세변연누출

Table 1과 Table 2는 열순환 하지 않은 경우에 염색용액의 침투도와 평균값을 범랑질 변연과 상아질 변연에서 비교한 것이고, Table 3과 Table 4는 열순환 한 경우에 염색용액의 침투도와 평균값을 범랑질 변연과 상아질 변연에서 비교한 것이다. Fig. 1~4는 Table 1~4를 각각 도표로 나타낸 것이다.

Table 1. Number of specimens in each score and microleakage value on enamel margin (no thermocycling, n=16)

	score					value of leakage
	0	1	2	3	4	
Group 1A (Aeliteflo, A)	12	3	1	0	0	0.31±0.6
Group 1B (Flow-It, F)	15	1	0	0	0	0.06±0.25
Group 1C (Revolution, R)	16	0	0	0	0	0±0
Group 1D (Ultrseal XT Plus, U)	15	1	0	0	0	0.06±0.25
Group 1E (Z100, Z)	13	3	0	0	0	0.19±0.4

Table 2. Number of specimens in each score and microleakage value on dentin margin (no thermocycling, n=16)

	score					value of leakage
	0	1	2	3	4	
Group 1A (Aeliteflo, A)	0	6	0	4	6	2.69±1.4
Group 1B (Flow-It, F)	0	6	0	5	5	2.56±1.31
Group 1C (Revolution, R)	3	11	2	0	0	0.94±0.57
Group 1D (Ultrseal XT Plus, U)	0	9	4	3	0	1.63±0.81
Group 1E (Z100, Z)	3	3	2	2	6	2.31±1.62

Table 3. Number of specimens in each score and microleakage value on enamel margin (after thermocycling, n=16)

	score					value of leakage
	0	1	2	3	4	
Group 2A (Aeliteflo, A)	2	13	1	0	0	0.94±0.44
Group 2B (Flow-It, F)	4	11	0	0	1	0.94±0.93
Group 2C (Revolution, R)	3	13	0	0	0	0.81±0.4
Group 2D (Ultrseal XT Plus, U)	14	2	0	0	0	0.13±0.34
Group 2E (Z100, Z)	13	3	0	0	0	0.19±0.4

Table 4. Number of specimens in each score and microleakage value on dentin margin (after thermocycling, n=16)

	score					value of leakage
	0	1	2	3	4	
Group 2A (Aeliteflo, A)	0	0	0	0	16	4±0
Group 2B (Flow-It, F)	0	1	0	0	15	3.81±0.75
Group 2C (Revolution, R)	0	0	0	0	16	4±0
Group 2D (Ultrseal XT Plus, U)	0	1	0	3	12	3.63±0.81
Group 2E (Z100, Z)	0	2	1	5	8	3.19±1.05

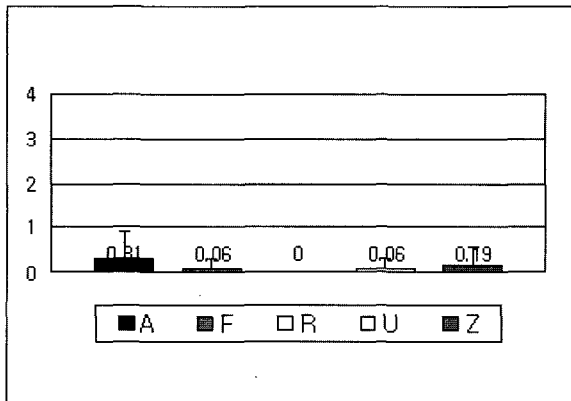


Fig. 1. Microleakage on enamel margin(no thermocycling).

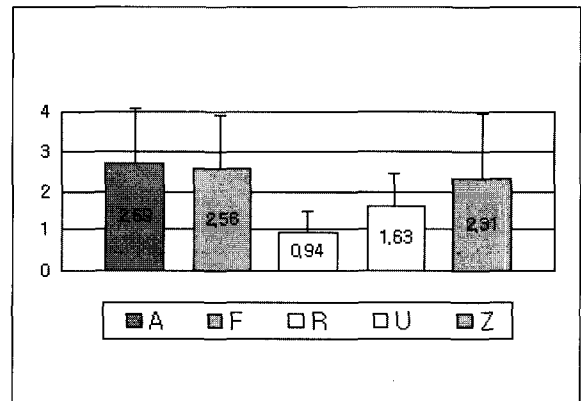


Fig. 2. Microleakage on dentin margin(no thermocycling).

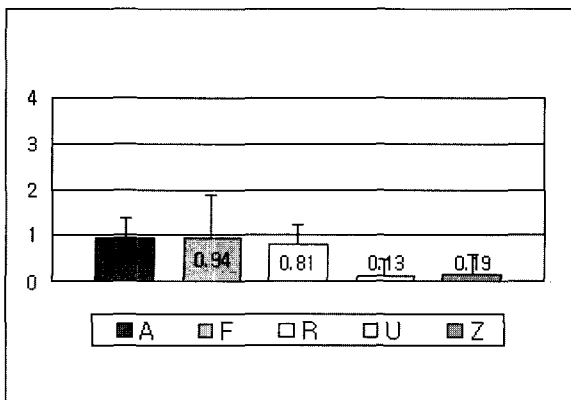


Fig. 3. Microleakage on enamel margin(after thermocycling).

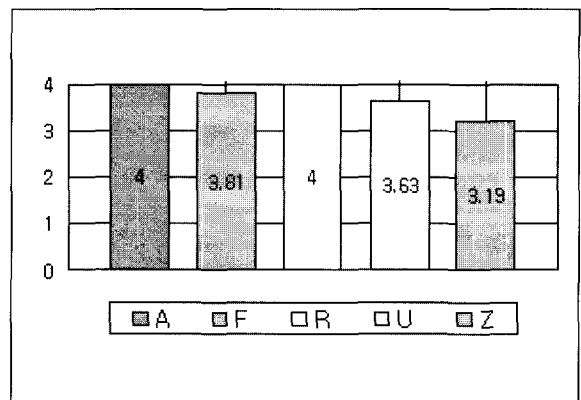


Fig. 4. Microleakage on dentin margin(after thermocycling).

Table 5. Shear Bond Strength(n=15)

Product	Mean(Mpa)	S.D.
Aeliteflo(A)	14.34	3.69
Flow-it(F)	14.8	4.43
Revolution(R)	13.46	4.23
Ultraseal XT Plus(U)	12.83	3.16
Z-100(Z)	16.81	2.98

1) 열순환을 하지 않은 경우

범랑질 변연에서 R, F 와 U, Z, A의 순으로 미세변연누출의 증가를 보였으며, A는 R에 비해 유의할만한 차이가 있었다. 상아질 변연에서 R, U, Z, F, A의 순으로 미세변연누출의 증가를 보였으며, A는 R과 U에 비해, F는 R에 비해, R은 X와 Z에 비해 유의할만한 차이가 있었다 ($p<0.05$).

2) 열순환을 한 경우

범랑질 변연에서 U, Z, R, F와 A의 순으로 미세변연누출의 증가를 보였으며, U와 Z는 A, R, F에 비해 유의할 만한 차이가 있었다. 상아질 변연에서 Z, U, F, R과 A의 순으로 미세변연누출의 증가를 보였으며 A는 U, Z에 비해, F는 Z에 비해, R은 U와 Z에 비해 유의할만한 차이가 있었다 ($p<0.05$).

3) 열순환 후 미세변연누출의 증가 여부

열순환을 하지 않은 경우에 비해, 열순환을 한 경우, 범랑질 변연에서 A, F, R의 미세변연누출이 증가하였고, 상아질 변연에서 A, F, R, U의 미세변연누출이 증가하였다 ($p<0.05$).

4) 범랑질 변연과 상아질 변연의 미세변연누출 정도

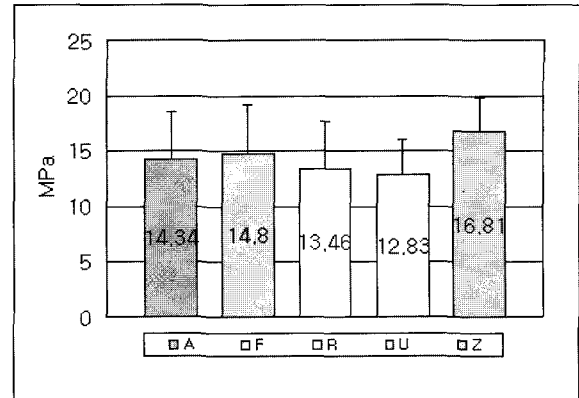
모든 군에서 범랑질 변연이 상아질 변연보다 낮은 미세변연누출을 보였다($p<0.05$).

2. 전단결합강도

Table 5는 전단결합강도의 평균값을 비교한 것이고, Fig. 5는 Table 5를 도표로 나타낸 것이다.

전단결합강도 측정값은 Z100의 평균값이 가장 크고, Flow-It, Aeliteflo, Revolution, Ultraseal XT Plus의 순으로 감소하였으나, 각 군간의 통계적인 유의성은 없었다 ($p>0.05$).

전단결합강도 측정 후 파절면 관찰 결과 모두 adhesive failure를 보였다.

**Fig. 5.** Shear Bond Strength.

3. 미세변연누출과 전단결합강도의 관계

미세변연누출과 전단결합강도 사이에는 상관관계가 없었다.

IV. 총괄 및 고안

와동의 치은 변연이 상아질이나 백악질에 위치한 제 5급 와동의 경우, 복합레진 수복 시 치은 변연의 결합력 감소나 미세변연누출이 문제점으로 보고되고 있다. 특히, 최근에 개발되어 시판 중인 flowable composite resin은 여러 가지 장점을 가지고 있지만, 기존의 혼합형 복합레진보다 필러의 함량이 20~25wt% 감소하여 수축량이 증가하므로 이에 따른 여러 가지 문제가 발생할 수 있는 소지가 있다.

기존의 광중합 복합레진의 경우, 광중합 시 1~5%의 중합 수축이 일어나고, 그 중합 수축으로 인하여 치아 또는 복합레진에 미세한 파절을 일으키며, 전체 부피의 1.67~5.68% 정도의 다양한 변연 간극이 발생한다는 보고가 있다⁶⁾. 이러한 간극을 통해 미세변연누출이 발생하면, 산, 효소, 이온, 미생물과 그 부산물들이 변연을 침범하여 치아변색, 이차 우식증, 슬후과민증, 치수염 및 치수사를 일으킬 수 있으며, 이것은 치아 경조직과 치수조직의 생물학적 완전성 및 복합레진의 수명에 중요한 문제가 된다⁷⁻¹¹⁾.

중합 수축이 일어나면 복합레진이 치아와 접하는 면에서 인장응력이 발생하는데¹²⁾, 응력의 정도는 복합레진의 수축량, 탄성계수 등에 따라 다르다¹³⁾. 수축량이 클수록, 탄성계수가 증가할수록 높은 수축 응력을 보였다는 보고가 있다¹⁴⁾. Flowable composite resin의 탄성계수는 기존 혼합형 복합레진의 50~70% 정도로서, 응력 발생면에서 유리하다¹⁵⁾. 이것은 큰 수축량과 상충관계에 있어서 flowable composite resin의 계면 응력 발생을 쉽게 예측하기 어려운 원인이 된다¹⁶⁾.

미세변연누출을 측정 한 본 실험에서, 대부분의 경우,

Z100의 미세변연누출이 실험에 사용된 flowable composite resin들보다 적은 미세변연누출을 보였다. Labella 등은, Ultraseal XT Plus, Revolution, Aeliteflo, Flow-It, Z100의 수축량이 각각 6.0%, 5.5%, 4.6%, 4.3%, 2.3% (vol%) 라고 보고하였는데¹⁶⁾, 낮은 탄성계수¹⁵⁾에도 불구하고 Z100에 비해 2~3배에 이르는 flowable composite resin 수축이 Z100보다 큰 미세변연누출을 보였던 원인 중의 하나라고 사료된다.

Ultraseal XT plus는 다른 flowable composite resin에 비해 적은 미세변연누출을 보이는 경우가 많았고, Aeliteflo는 다른 복합레진들보다 비교적 높은 미세변연누출을 보이는 경우가 많았다. Bayne 등에 의하면¹⁾, 각 제품의 flow가 Aeliteflo 105.3, Flow-It 184.6, Revolution 242.7, Ultraseal XT Plus 534.2(mm²/30s/0.5MPa)로서 Ultraseal XT Plus의 flow는 다른 제품들의 flow보다 2~5배 가량 되었고, Aeliteflo의 flow는 혼합형 복합레진인 Z100의 점도보다 오히려 약간 낮은 것으로 보고되었고, 필러의 함량은 Aeliteflo 56%, Flow-It 70.5%, Revolution 60%, Ultraseal XT Plus 60%, Z100이 85%(wt%)로서 Z100의 필러 함량은 flowable composite resin에 비해 20~25% 높고, flowable composite resin 사이의 필러 함량의 차이는 약 10% 내외인 것으로 보고되었다¹⁾. Ultraseal XT Plus는 다른 flowable composite resin과 크게 차이가 나지 않는 필러 함량에도 불구하고 다른 flowable composite resin들보다 2~5배 높은 flow를 가지므로 와동벽에 보다 긴밀한 결합을 할 수 있어서 다른 flowable composite resin들보다 적은 미세변연누출을 보였을 것이라고 사료된다. 하지만, Ultraseal XT는 다른 제품들에 비해 압축강도 등이 상당히 떨어지는 것으로 보고되었으며, 주로 소와 열구 전색재나 이장재로 쓰이는 재료로서, 오히려 너무 큰 flow로 인해 임상에서 5급 와동에 사용하는 것은 적당하지 않다고 판단된다¹⁾. 한편, Aeliteflo는 Z100과 같이 어느 정도의 압력을 가하지 않고 적용시킬 뿐만 아니라, 오히려 Z100보다도 낮은 flow를 가지고 있으므로 와동벽과 긴밀한 결합을 하기 어려워 다른 복합레진들보다 높은 미세변연누출을 보였으리라 사료된다.

열순환이 미세변연누출을 증가시킨다는 보고들이 있으나, 논란이 많다^{17,18)}. 각 보고마다 실험 방법 및 재료가 다르므로, 본 실험에서 열순환을 한 경우, Z100과 일부의 Ultraseal XT Plus의 경우에서 미세변연누출의 증가를 보이지 않은 결과를 단순히 비교하기는 어렵다. 다만, Z100과 일부의 Ultraseal XT Plus의 경우 치질과 상대적으로 긴밀한 결합을 한 것으로 추측할 수 있다.

상아질은 법랑질보다 유기물질을 많이 함유하고 있고, 12% 정도의 물을 포함하고 있다¹⁹⁾. 이러한 이유로, 복합레진의 경우 법랑질과의 결합은 중합 수축 응력을 이겨낼 수

있으나, 상아질과의 결합은 이겨내지 못하는 것으로 알려져 있으며¹²⁾, 적절히 산처리된 법랑질 변연에서 미세변연누출이 없었다는 보고도 있다²⁰⁾. 이러한 결과들은 본 실험에서 모든 경우 법랑질 변연에서 상아질 변연보다 낮은 미세변연누출을 보인 결과의 근거가 될 수 있을 것이다.

미세변연누출에 대한 실험 방법은 논란의 여지가 있으며 많은 변수들로 인하여 아직까지 표준화된 방법은 없다. 본 실험에서는 2% methylene blue을 이용해 용액 침투도를 조사한 바 이는 미세변연누출 정도를 정량적으로 평가할 수 있으나, 구체적으로는 어떤 계면사이에서 미세변연누출의 통로가 있는지에 대한 정보는 얻을 수 없다. 구체적인 미세변연누출의 통로에 관한 정보는 더 작은 직경의 질산은 염색법을 통해 주사전자현미경 상에서 은이온 침투를 관찰해 평가하는 것이 좋으리라 생각되며, 세균의 독소와 동일한 직경을 가진 tracer의 개발 및 사용 또한 추천될 수 있다.

전단결합강도 측정 시 여러 요소 중, 상아세관의 방향 및 위치^{25,26)}, 결합면적^{23,37)}, 탄성계수^{27,14)} 등이 결합강도에 영향을 미칠 수 있다. 즉, 얇은 상아질일수록 세관의 수가 적고 직경이 작기 때문에 결합강도가 크게 측정되고, 결합면적이 작을수록 응력의 분포가 균일해지기 때문에 결합강도가 크게 측정되며, 탄성계수가 작을수록 수축 응력이 적게 발생하기 때문에 결합강도가 크게 측정된다는 것이다. 따라서, flowable composite resin은 낮은 탄성계수로 인해 높은 전단결합강도를 기대해 볼 수도 있으나, 본 실험처럼 평평한 면에 결합을 시키면 수축 응력이 감소하는 단점이 있어서²⁸⁾ 정확한 측정값을 기대할 수는 없기 때문에, 보다 임상적인 연구방법이 필요할 것으로 사료된다.

전단결합강도 측정 실험에서, Z100의 평균값이 가장 크고 Flow-It, Aeliteflo, Revolution, Ultraseal XT Plus의 순으로 감소하였으나, 각 군간의 통계적인 유의성은 없었다. 표준 편차는 큰 편이었는데, 상아질 구조 자체의 불규칙성이 하나의 원인이 될 수 있다.

Scotchbond Multi-Purpose로 처리한 상아질에 대한 복합레진의 전단결합강도는 15~20MPa로 알려져 있다²¹⁻²⁴⁾. 이번 실험에서 얻은 복합레진의 전단결합강도 값은 지금까지의 여러 실험결과들에 비교해 볼 때 다소 낮은 편이었으나 결합계면의 면적, 치아의 상태, 보존 기간, 방법, 시편 제작방법, 표본 제작 후 측정까지의 시간이나 보관 조건 등이 각 실험마다 다르므로 단순비교는 바람직하지 않다. 하지만, flowable composite resin들과 Z100의 전단결합강도 값이 통계적인 유의성을 보이지 않는 것으로 보아 상아질 접촉재 자체의 물성이 중합 수축량, 내부응력, 탄성계수, 필러의 함량 등보다 전단결합강도에 더 큰 영향을 미치는 것으로 추측된다. 한편, 본 실험에서 비교적 낮은 전단결합강도 값을 보이며, 파절면이 모두 adhesive failure를 보인 것은, 결합력이 좋을수록 cohesive failure가 일어난다는 보

고와 호응하나, 그와 반대되는 보고도 있어 쉽게 상관 짓기는 어렵다²⁹⁾.

복합레진의 결합강도와 미세변연누출과의 관계는 논란이 많다. 직접적인 반비례 관계는 아니며¹³⁾, 상관관계가 없다는 보고³⁰⁾가 있으며, 미세변연누출에는 치질과 결합 강도 외에 와동의 기하학적인 측면이나 술자의 기술적인 측면도 영향을 미친다고 한다^{31,32)}. 전단결합강도는 밀봉능력을 나타낸 다기보다는 유지능력을 나타낸다고 보는 것이 좋을 것이다³³⁾. 이번 실험 결과에서도 선형회귀분석(linear regression) 결과, 전단결합강도와 미세변연누출 사이에는 상관관계가 없었다.

최근에 개발된 flowable composite resin은 치경부 과민증에 효과를 보였다는 보고가 있으며, 높은 flow로 인해 뛰어난 조작성을 보이는 등의 장점들을 지니지만, 오히려 점착성(stickiness) 때문에 조작이 어려운 경우가 있으며¹⁾, 낮은 물리적 성질 및 예상보다 높지 않은 인성¹⁾, 많은 경우 부적당한 방사선불투과성을 보이므로^{34,35)}, 본 실험의 결과를 참고하여 볼 때, 임상에서 사용 시 주의를 기울여야 할 것으로 사료된다.

V. 결 론

Flowable composite resin의 미세변연누출 정도를 알아보기 위해, 80개의 발거된 구치의 치경부 협,설측에 백악-법랑 경계 1mm 하방의 백악질에 치은 변연부가 위치하도록 제 5급 와동을 형성하고, 상아질 접착제로서 Scotchbond Multi-Purpose를 도포한 후, 실험군으로 Aelite flo, Flow-It, Revolution, Ultraseal XT Plus, 대조군으로 Z100을 이용하여 와동을 수복하였다. 열순환 여부에 따라 크게 두 군으로 나누어 실험하였다. 2% methylene blue 염색 용액에 24시간동안 담그어, 수세 후 투명 레진에 매몰하였다. 매몰된 시편을 협설측으로 치아 장축 방향에 평행하게 절단하여 염색용액의 침투도를 관찰하였다.

한편, flowable composite resin의 전단결합강도를 측정하기 위해 60개의 발거된 대구치를 투명 레진에 매몰하고, 상아질을 노출시킨 다음, 상아질 접착제로서 Scotchbond Multi-Purpose를 사용하여 상기 다섯 제품을 접착시킨 후, 전단결합강도를 측정하고 단면을 관찰하였다.

이상의 실험에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 열순환을 하지 않은 경우, 법랑질과 상아질 변연에서 Z100이 flowable composite resin들보다 적은 미세변연누출을 보였다($p<0.05$). 다만, 상아질 변연에서 Revolution이 Z100보다 적은 미세변연누출을 보였다.
2. 열순환을 한 경우, 법랑질 변연과 상아질 변연에서 Z100과 Ultraseal XT Plus가 다른 군보다 적은 미세변연누

출을 보였다($p<0.05$). 다만, 상아질 변연에서 Flow-It이 Ultraseal XT Plus보다 적은 미세변연누출을 보였다.

3. 열순환을 한 후에도, 법랑질 변연에서 Z100과 Ultraseal XT Plus가, 상아질 변연에서 Z100이 미세변연누출의 증가를 보이지 않았다($p>0.05$).
4. 전단결합강도는 Z100이 가장 크고($16.81\pm 2.98\text{MPa}$), Flow-It($14.8\pm 4.43\text{MPa}$), Aeliteflo ($14.34\pm 3.69\text{MPa}$), Revolution($13.46\pm 4.23\text{MPa}$), Ultraseal XT Plus($12.83\pm 3.16\text{MPa}$)의 순으로 감소하였으나, 각 군간의 통계적인 유의성은 없었다($p>0.05$).
5. 전단결합강도 측정 후 파절면 관찰 결과, 모두 adhesive failure를 보였다.
6. 미세변연누출과 전단결합강도 사이에는 상관관계가 없었다.

참고문헌

1. Bayne SC, Thompson JY, Swift EJ Jr, Stamatides P, Wilkerson M: A characterization of first-generation flowable composites. *JADA* 129:567-577, 1998.
2. Cary Behle: Flowable Composites: Properties and applications. *Pract Periodontics Aesthet Dent* 10(3): 347-351, 1998.
3. Bonner PB: New developments in composite resins. *Dentistry Today* 16(4):44-47, 1997.
4. Rada RE: The versatility of flowable composites. *Dentistry Today* 17(4):78-83, 1998.
5. Burgess JO, Norling BK, Rawls HR, Ong JL: Directly placed esthetic restorative materials-The continuum. *Compend Contin Educ Dent* 17(8):731-734, 1996.
6. Davidson-Kaban SS, Davidson CL, Feilzer AJ, de Gee AJ, Erdilek N: The effect of curing light variation on bulk curing and wall-to-wall quality of two types and various shades of resin composites. *Dent Mater* 13: 344-352, 1997.
7. Crim GA: Assessment of microleakage of 12 restorative systems. *Quintessence Int* 18(6):419-421, 1987.
8. Brannstrom M, Nordenvall KJ: Bacterial penetration, pulpal reaction and the inner surface of Concise enamel bond. *Composite fillings in etched and unetched cavities. J Dent Res* 57(1):3-10, 1978.
9. Mangum FI Jr, Berry EA, DeSchepper E, Rieger MR: Microleakage of incremental versus compression matrix bulk filling of cervical resin composite restorations. *Gen Dent* 42(4):304-308, 1994.
10. Garberoglio R, Coli P, Brannstrom M: Contraction gaps in Class II restorations with self-cured and light-cured resin composites. *Am J Dent* 8(6):303-307, 1995.
11. Triadan H: When is microleakage a real clinical problem? *Oper Dent* 12(4):153-157, 1987.
12. Davidson CL, de Gee AJ: Relaxation of polymerization contraction stresses by flow in dental composites. *J Dent Res* 63(2):146-148, 1984.
13. Prati C, Nucci C, Davidson CL, Montanari G: Early marginal leakage and shear bond strength of adhesive

- restorative systems. *Dent Mater* 6(3):195-200, 1990.
14. Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL: Relaxation of polymerization contraction shear stress by hygroscopic expansion. *J Dent Res* 69(1):36-39, 1990.
 15. Lamerand SD, Suh BI, Sandrik JL: Flexural modulus of commercial composite restorative materials. (Abstract No.3272) *J Dent Res* 76:422, 1997.
 16. Labella R, Lambrechts P, Van Meerbeek B, Vanherle G: Polymerization shrinkage and elasticity of flowable composites and filled adhesives. *Dent Mater* 15(2):128-137, 1999.
 17. Rigsby DF, Retief DH, Bidez MW, Russell CM: Effect of axial load and temperature cycling on microleakage of resin restorations. *Am J Dent* 5(3):155-159, 1992.
 18. Hakimeh S, Vaidyanathan J, Houpt ML, Vaidyanathan TK, Von Hagen S: Microleakage of compomer class V restorations: effect of load cycling, thermal cycling, and cavity shape differences. *J Prosthet Dent* 83(2):194-203, 2000.
 19. Leeson TS: *Atlas of Histology* 1st ed. Philadelphia: Saunders, 401, 1988.
 20. Retief DH, Denys FR: Adhesion to enamel and dentin. *Am J Dent Jul:2 Spec No:133-44*, 1989.
 21. B. T. Schneider, M. A. Baumann, L. G. Watanabe and G. W. Marshall Jr: Dentin shear bond strength of composites and composites. *Dent Mater* 16:15-19, 2000.
 22. Burgess: Shear bond strength of five dental bonding agents. (Abstract No.2268) *J Dent Res* 72:387, 1993.
 23. Prati: Correlation between bond strength of bonding agents and dentin conditions. (Abstract No.2266) *J Dent Res* 72:386, 1993.
 24. Swift EJ Jr, Triolo PT Jr: Bond strengths of Scotchbond Multi-Purpose to moist dentin and enamel. *Am J Dent* 5(6):318-320, 1992.
 25. S. Phrukkanon: The effect of dentine location and tubule orientation on the bond strengths between resin and dentin. *J Dent* 27:265-274, 1999.
 26. Tao L, Pashley DH: Shear bond strengths to dentin: effects of surface treatments, depth and position. *Dent Mater* 4(6):371-378, 1988.
 27. Van Noort R, Noroozi S, Howard IC, Cardew G: A critique of bond strength measurements. *J Dent* 17:61-67, 1989.
 28. Unterbrink GL, Liebenberg WH: Flowable resin composites as "filled adhesives": literature review and clinical recommendations. *Quintessence Int* 30(4):249-257, 1999.
 29. Gwinnet: Dentin shear bond strength and microleakage for Syntac/Heliobond: a comparison between the manufacturer's and total etch technique. *J Esthet Dent* 4:164-168, 1992.
 30. Fortin D, Swift EJ Jr, Denehy GE, Reinhardt JW: Bond strength and microleakage of current dentin adhesives. *Dent Mater* 10(4):253-258, 1994.
 31. Finger WJ, Fritz U: Laboratory evaluation of one-component enamel/dentin bonding agents. *Am J Dent* 9(5):206-210, 1996.
 32. Tsai YH, Swartz ML, Phillips RW, Moore BK: Comparative study: bond strength and microleakage with dentin bond systems. *Oper Dent* 15(2):53-60, 1990.
 33. Monteiro S Jr, Sigurjons H, Swartz ML, Phillips RW, Rhodes BF: Evaluation of materials and techniques for restoration of erosion areas. *J Prosthet Dent* 55(4):434-442, 1986.
 34. Murchison DF, Charlton DG, Moore WS: Comparative radiopacity of flowable resin composites. *Quintessence Int* 30(3):179-184, 1999.
 35. Bouschlicher MR, Cobb DS, Boyer DB: Radiopacity of composites, flowable and conventional resin composites for posterior restorations. *Oper Dent* 24(1):20-25, 1999.
 36. Estafan D, Schulman A, Calamia J: Clinical effectiveness of a Class V flowable composite resin system. *Compend Contin Educ Dent* 20(1):11-15, 1999.
 37. Relationship between surface area for adhesion and tensile bond strength-evaluation of a microtensile bond test. *Dent Mater* 10:236-240, 1994.