법랑질 변연으로 이루어진 복합레진 수복물의 체적과 C-factor가 미세누출에 미치는 영향

구봉주 · 신동훈*
단국대학교 치과대학 치과보존학교실

ABSTRACT

THE EFFECT OF C-FACTOR AND VOLUME ON MICROLEAKAGE OF COMPOSITE RESIN RESTORATIONS WITH ENAMEL MARGINS

Bong-Joo Koo, Dong-Hoon Shin*
Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Dankook University

Competition will usually develop between the opposing walls as the restorative resin shrinks during polymerization. Magnitude of this phenomenon may be depended upon cavity configuration and volume.

The purpose of this sturdy was to evaluate the effect of cavity configuration and volume on microleakage of composite resin restoration that has margins on the enamel site only.

The labial enamel of forty bovine teeth was ground using a model trimmer to expose a flat enamel surface. Four groups with cylindrical cavities were defined, according to volume and configuration factor (Depth x Diameter / C-factor) - Group Ⅰ: 1.5 ㎜ × 2.0 ㎜ / 4.0, Group Ⅱ: 1.5 ㎜ × 6.0 ㎜ / 2.0, Group Ⅲ: 2.0 ㎜ × 1.72 ㎜ / 5.62, Group Ⅳ : 2.0 ㎜ × 5.23 ㎜ / 2.54.

After treating with fifth-generation one-bottle adhesive - BC Plus™ (Vericom, AnYang, Korea), cavities were bulk filled with microhybrid composite resin - Denfill™ (Vericom). Teeth were stored in distilled water for one day at room temperature and were finished and polished with Sof-Lex system. Specimens were thermocycled 500 times between 5°C and 55°C for 30 second at each temperature.

Teeth were isolated with two layers of nail varnish except the restoration surface and 1 ㎜ surrounding margins. Electrical conductivity (㎂) was recorded in distilled water by electrochemical method. Microleakage scores were compared and analyzed using two-way ANOVA at 95% level.

The results were as follows:

1. Small cavity volume showed lower microleakage score than large one, however, there was no statistically significant difference.
2. There was no relationship between cavity configuration and microleakage.

Factors of cavity configuration and volume did not affect on microleakage of resin restorations with enamel margins only. [J Kor Acad Cons Dent 31(6):452-459, 2006]

Key words: Polymerization shrinkage, Configuration factor, Volume Electrical conductivity, Microleakage

* *Corresponding Author:* ***Dong-Hoon Shin***
Department of Conservative Dentistry
College of Dentistry, Dankook University
7-1 Shinbu-dong, Cheonan, Korea
Tel: 82-41-550-1965 Fax: 82-41-550-1963
E-mail: donyshin@dankook.ac.kr

- Received 2006.9.04., revised 2006.10.30., accepted 2006.11.4. -

Ⅰ. 서 론

초기의 치질 접착 시스템은 도말층에 대한 처치 없이 적용되어 상아질내로 접착제가 침투하지 못하여 5 MPa 미만의 낮은 결합강도를 보였지만[1], 이후 Nakabayashi 등[2]은 10%의 citric acid를 이용하여 도말층 제거 및 상아질 탈회(3-6 ㎛)를 통해 교원섬유를 노출시킴으로써, 교원섬유내로 친수성 단량체인 4-META(4-methacryloxyethyl-trimellitic anhydride)가 침투하여 혼성층을 형성하고, 이로 인한 복합레진과 상아질 사이의 미세기계적 결합으로 유지력을 얻을 수 있다 하였다. 이처럼 접착 시스템의 결합강도 및 복합레진의 기계적 물성 향상으로 인하여 복합레진 수복은 그 활용 범위를 넓혀가고 있지만, 복합레진의 중합과정 중에 발생하는 중합수축은 지속적으로 해결해야 할 난제로 남아 있다[3].

복합레진의 중합수축은 체적으로 2 - 6% 범위에 있으며[4], 이러한 중합수축으로 인해 복합레진과 치질 계면에는 수축응력이 발생하게 된다. 복합레진의 수축응력이 접착력보다 높게 나타나는 부위에서는 접착 실패로 틈새 (gap)가 형성되며, 이렇게 형성된 틈새는 술후 과민증, 재발성 우식 등을 발생시킨다[5]. 또한 수축응력은 법랑질의 균열, 교두의 휘어짐 등의 문제도 야기하며[6,7], 발산되지 않은 내부응력은 복합 레진 자체의 물리적 성질을 저하시키는 요인으로도 작용한다[8].

Davidson과 de Gee[9]에 따르면 수축응력은 복합레진의 필러 함량이나 기질의 조성, 중합 개시제의 농도 그리고 중합 특성에 따라 다른 양상을 보이며, 치질과 접착되지 않은 면에 대한 접착면의 넓이 비율 즉, Configuration factor (C-factor)에 의해 영향을 받는다고도 하였다[10]. 즉 치질과 접착되지 않는 면적이 클수록 중합될 때 발생하는 응력을 분산시킬 수 있는, 복합레진의 흐름성을 향상시켜 최종적으로 발생하는 수축응력을 줄여준다고 하였다[10]. Macorra와 Fernandez[11]는 C-factor를 실제 와동에서 측정한 결과 1급 와동은 4.03, 2급 와동은 1.83, 얕은 5급 와동은 1.1 정도로 나타났다고 하였으며, 임상에서 C-factor가 1보다 큰 값을 나타낼 경우 결과를 예측하기 어렵다고 하였다. Miguel과 Maccora[12]는 수축하는 복합레진의 체적 또한 발생하는 응력에 영향을 주며, 체적이 클수록 더 많은 수축이 발생하고 큰 응력이 발생한다고 하였다. 이러한 복합레진 수축응력은 수복물의 미세누출과 직접적인 연관성을 가지고 있는 것으로 보고되고 있다[13].

현재 사용되고 있는 상아질 접착 시스템은 산으로 치면을 처리한 후 노출된 관간 상아질의 교원 섬유층과 열린 상아세관으로 접착레진이 침투하여 혼성층 (hybrid layer)과 resin tag를 형성하며, 임상적으로 받아들여질 만한 접착력을 보여주고 있다. 최근 이러한 상아질 접착제의 적용 단계를 줄이기 위한 노력들이 이루어지고 있지만, 접착 시간의 감소라는 장점에 반하여 접착력 약화를 불러 온다는 우려도 낳고 있다. 본 실험에 사용된 단일 병 접착제는 산 부식 후에 시행되는 프라이머와 접착레진을 함께 적용하는 접착 시스템으로 적용단계를 간편화시켜 적용 도중 발생할 수 있는 오류를 줄이고, 접착 시간을 단축해주며, 상아질과 법랑질 모두에서 믿을만한 접착력을 보여주는 것으로 알려져 있다[14-16].

그러나 상아질 변연으로 이루어진 와동에서의 C-factor와 체적이 미세누출에 미치는 영향에 대한 연구는 많이 있어 왔지만, 임상적으로 자주 접할 수 있는 법랑질 와동에서의 연구는 드물다. 이에 본 연구에서는 법랑질 변연으로만 이루어진 와동에서 단일 병 접착제를 사용하여 복합레진으로 수복할 때 와동의 C-factor와 체적이 미세누출에 미치는 영향을 미세 전류 측정법을 이용하여 정량적으로 분석하고 평가하였다.

Ⅱ. 연구 재료 및 방법

1. 연구재료

단일 병 접착 시스템인 BC Plus™(Vericom, AnYang, Kyunggi, Korea)와 미세혼합형 복합레진인 Denfill™ (Vericom)을 사용하였다.

Table 1. Composition of Composite and Adhesive used

Material	Denfil™ (Vericom, Korea)	BC Plus™ (Vericom, Korea)
Composition	Barium aluminosilicate (Particle size: 〈1㎛)	Bis-GMA
	Fumed silica(Particle size: 0.04㎛)	Dimetacrylate
	Bisphenol A glycidyldimethacrylate	Methacryloyl Acid
	Triethyleneglycol dimethacrylate	Ethanol
	Photo-initiator	Additivies
	Colorant	
	Inorganic filler: 80% by Wt	

2. 실험방법

건전한 40개의 단 근관을 가진 우치(bovine tooth)를 이용하여, 각 치아의 치근단 3 ㎜를 절단, 제거하고 file을 이용하여 치수를 제거한 다음, 5% 차아염소산 나트륨에 보관하여 잔존 치수를 제거하였다.

순면의 법랑질을 삭제하여 평활한 표면을 노출시킨 다음, 체적 4.71 ㎣을 만들기 위해 각기 직경 2 ㎜/깊이 1.5 ㎜와 직경 1.73 ㎜/깊이 2.0 ㎜의 원통형 와동을 형성하였으며, 체적 42.4 ㎣을 만들기 위해 직경 6 ㎜/깊이 1.5 ㎜와 직경 5.2 ㎜/깊이 2.0 ㎜의 원통형 와동을 형성하여 4개 군으로 분류하였다. 각기 와동의 C-factor는 4, 5.62, 2, 2.54를 보였다 (Table 2).

산 부식 처리 후 BC Plus™를 제조사의 지시에 따라 2회 도포한 다음 20초간 광중합하였다. 이후 Denfill™을 단일 충전 (bulk filling)하고 광중합기 (XL2500, 3M ESPE, St. Paul, MN, U.S.A.)를 이용하여 600 mW/㎠의 광도로 40초간 광중합 하였다. 수복물 경화를 위해 모든 시편을 실온에서 24 시간동안 증류수에 보관하였으며, Sof-Lex (3M ESPE, St. Paul, U.S.A.)를 사용하여 연마하고 5°-50℃로 각 온도에서 30초씩 500회 열순환 (thermocycling)을 시행하였다.

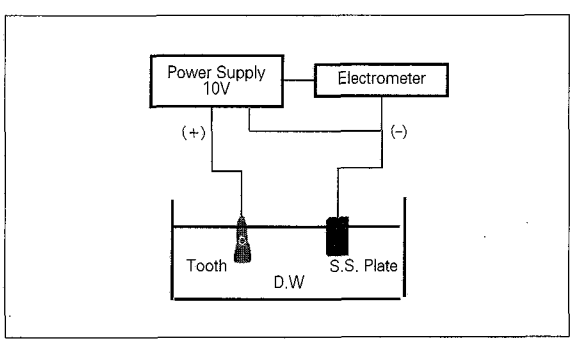

Figure 1. Schematic drawing of electrochemical test.

미세 전류 측정을 위해 근첨부를 통하여 증류수를 치수강내에 채우고 0.018 stainless steel wire를 치수벽에 닿을 때까지 삽입한 뒤, sticky wax로 근첨부를 밀봉하고 nail varnish를 와동의 변연에서 1 ㎜ 떨어지게 하여 2회 도포하였다.

Figure 1과 같은 회로를 통해 10 V의 전압 하에서 미세전류 (㎂)를 측정하였다. 일정한 전압을 부여하기 위해 직류 공급원인 TOE 8841 (TOELLNER electronic instrument GMBH, Germany)을 이용하였고, 미세전류 측정에는 6514 system Electrometer (Keithley Co., Cleveland, Ohio, U.S.A)를 사용하였다. 전류를 흐르게 한 다음 0-10분까지 20초 간격으로 측정한 30개 측정치의 평균값을 시편의 미세전류 측정치로 인정하였다.

3. 통계 처리

각 군간의 미세전류 측정치에 대한 유의성은 Two-way ANOVA test로 95 % 유의 수준에서 검증하였다.

Ⅲ. 연구 결과

C-factor와 체적에 따른 미세전류 측정값은 Table 3 및 4와 같다.

체적에 따른 미세전류 측정값은 Table 3에서 살펴본 바와 같이 4.71 ㎣에는 16.22 ㎂를 보였고, 42.4 ㎣에서는

Table 2. Classification according to Cavity Volume and C-factor

Groups	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
C-factor	4	2	5.62	2.54
Volume (㎣)	4.71	42.4	4.71	42.4
Depth/Diameter (㎜)	1.5 × 2	1.5 × 6	2.0 × 1.73	2.0 × 5.20

Table 3. Currents and statistical result with Volume (㎂)

Volume (㎣)	Mean	N	S.D.	4.71	42.4
4.71	16.217	20	8.965		
42.4	21.615	20	11.747	0.111	
Total	18.916	40	10.670		

Significant difference at $p^* < 0.05$

Table 4. Currents and statistical result with C-factor (μA)

C-factor	Mean	N	S.D.	2.00	2.54	4.00	5.62
2.00	21.391	10	6.986				
2.54	21.839	10	10.569	1.000			
4.00	15.835	10	9.076	.721	.670		
5.62	16.599	10	9.326	.802	.756	.999	
Total	18.916	40	10.670				

Significant difference at $p^* < 0.05$

21.62 μA를 보였으며, 체적 증가에 따라 미세전류 측정값의 증가를 보였지만, 통계학적으로 유의성은 없었다.

와동의 형태와 관련된 C-factor에 따른 미세전류 측정값, 또한 Table 4에서 보는 바와 같이 C-factor의 증가와 미세전류 측정값과는 비례관계를 보이지 않았다.

Ⅳ. 총괄 및 고안

복합레진과 같은 치질 접착형 재료의 등장 후 치질을 최대한 보존하려는 방향으로 많은 변화가 있어 왔으며, 복합레진 수복재 또한 결합강도, 내구성 및 기계적 성질 등에 있어서 많은 발전을 보이고 있다.

미세누출은 수복물의 장기적인 내구성을 위협하여 수복물의 실패를 야기하는 주된 원인으로 작용한다. 이러한 미세누출의 원인들로는 초기에 수복재가 와동벽과 긴밀한 접착을 이루지 못하거나, 치아와 수복재사이의 열팽창계수와 탄성률의 차이, 수복할 때 접착면의 오염, 합착제나 이장재, 기저재의 용해 등을 들 수 있다[17]. 현재 사용하고 있는 어떠한 수복재도 치질과 사이에 틈새가 없는 것은 존재하지 않으며, 최근 연구에 의하면 접착된 복합레진과 치질 사이에는 사용된 수복재 및 술자의 능력에 따라 14 - 54%의 틈새가 존재한다고 알려져 있다[18]. 중합수축 역시 이러한 미세누출을 발생시키는 원인이 되며, 복합레진의 경화 과정 중 단량체가 중합체로 전환되는 과정에서 분자 사이의 공간 변화에 의해 발생하게 된다[1]. 결국 수축할 때 발생하는 응력이 접착력보다 크게 발생하는 부위에서는 접착 실패로 인해 틈새가 형성되며, 장기적으로 복합레진의 내구성에 문제를 일으킨다[19].

복합레진의 결합강도는 접착 직후부터 24시간이 지날 때까지 급격히 증가하며, 서서히 중합이 이루어지는 화학중합형 레진 뿐 아니라 광중합형 레진에서도 같은 양태를 보인다[20]. 이에 본 연구에서는 복합레진의 완전한 중합을 위해 시편 제작 후 24시간동안 실온에서 증류수에 보관하였다.

한편 미세누출을 측정하려는 많은 연구들이 시도되었으며 그 방법에는 색소 침투법, 중성자활성화 분석법, 유체이동 측정법, SEM 검사법, 전기 화학적 검사법 등이 있다. 기존 색소 침투법의 경우, 평가를 위해 시편을 파괴해야 하며, 절단된 면만을 평가할 수 있고, 연구자의 주관이 개입될 수 있다는 단점을 안고 있다[21]. 이에 본 연구에서는 정량적인 평가가 가능한 전기 화학적 방법을 사용하여 미세누출을 측정하였다. 전기 화학적 방법은 접착 계면에 미세누출이 존재할 경우 미세전류가 매질을 통해 흐르게 된다는 사실을 이용한 방법이다. 양극에는 시편을, 음극에는 Stainless steel plate를 적용한 후 일정한 전압이 흐르면, 전류 측정기에는 미세전류가 표시되는데, 미세전류 측정치가 높으면 미세누출이 크다는 것을 뜻한다[22]. 이러한 전기 화학적 방법은 시편을 파괴하지 않고, 수복물 전체의 미세누출을 정량적으로 측정할 수 있으며, 연구자의 주관이 개입되지 않고, 지속적인 평가가 가능하다. 그러나 주변 환경에 따라 미세전류 측정치가 변하기 때문에[21] 일정한 수치로 표시되지 않고 유동적이므로, 어느 시점에서의 값이 시편의 정확한 미세누출 측정치인지를 판단하기에 어려움이 있다. 또한 Nakano[23]는 외부의 영향을 줄이기 위해 높은 전압을 사용할 것을 주장하였으나, Delivanis 와 Chapman[24]은 20V보다는 10V를 사용하는 것이 다른 미세누출 연구들과의 상관성이 더 높다고 하였다. 따라서 본 실험에서는 10V의 직류전기를 사용하였다.

C-factor는 적용된 복합레진의 흐름성과 관련이 있다[10]. 접착면적의 증가는 수축응력을 완화할 수 있는 흐름성을 제한하여 접착 실패를 가져오고 있고, 수복물의 체적 증가 또한 복합레진의 수축량을 증가시켜 미세누출을 발생시킨다고 하였다[12]. 그러나, 법랑질 변연만으로 이루어진 본 연구에서는 C-factor와 체적이 미세누출도의 증가에 영향을 미치지 못하였다. 법랑질에 대한 산 부식은 1955년 Buonocore[25]에 의해 제안되었으며, 표면을 접착에 유리하게 변화시키기 위해 사용되었고, Gwinnet와 Matsui는[26] "Resin-Tag" 형성이 산 부식한 법랑질에 복합레진이 접착되는 일차적인 유지 형태라고 하였다. 산 부식 후에는 10 ㎛ 정도의 표면 법랑질이 제거되고 5 - 50 ㎛ 깊이로 다공성 구조가 만들어지며 이 공간을 통해 점성이 낮은 복합레진이 침투하여 미세기계적 결합을 이루게 된다[27-29]. 그러나 상아질은 법랑질에 비해 상아세관과 같은 복잡한 구조를 가지며, 높은 유기질

함량 및 내재하고 있는 습기 (Intrinsic wetness) 때문에 법랑질에 비해 임상적으로 강하고 내구성 있는 결합을 형성하지 못하는 것으로 알려져 있다[30,31]. 법랑질의 경우 30 - 40%의 인산 부식 이후 형성된 미세 기공 (microporosity) 내부로 접착제가 침투하여 상아질에 비해 우수한 유지력을 보이는 것으로 알려져 있다[32]. 이는 법랑질과의 전단강도가 중합수축 응력에 견딜 수 있을 만큼 충분히 높은 수치를 보인다고 말한 Bastos 등[33]의 연구와도 일치하는 결과라 할 수 있다.

Barkmeier[34]는 산부식한 법랑질에 대한 복합레진의 결합강도가 20MPa 정도라 하였고, 이는 임상적으로 전, 구치부 직접수복, 도재 비니어, 인레이 수복물 교정용 브라켓의 접착 등에 성공적인 유지력을 얻을 수 있다고 하였다. 교합면에 형성된 1급 와동에서 법랑질 변연으로 둘러싸인 부위에서는 성공적인 변연 봉쇄가 이루어져 박테리아의 침투를 차단할 수 있으나, 상아질로 이루어진 치수측 와동벽에서는 접착의 실패가 발생하여 틈새가 형성되고 교합력이 작용할 때 틈새를 통해 상아세관액의 이동이 생겨 술 후 과민증의 원인이 된다고 하였다. 이는 복합레진의 상아질에 대한 접착력이 법랑질보다 약하기 때문에 발생한다고 하였다[35]. 또한 Frankenberger 등[36]도 법랑질 변연에서의 전부식 (Total etching) 접착제를 이용한 접착이 상아질에 비해 더욱 안정적이며, 수분에 의한 분해 (Degradation)에 대해서도 우수한 결과를 보였다고 하였다.

본 연구에서는 단일 병 접착제인 BC Plus™를 사용하였으며, 이러한 접착 시스템에 따른 C-factor의 영향 차이에 대해, Franco 등[37]은 산 부식을 이용하여 도말층을 제거하는 단일 병 접착제인 Single Bond™와 Stae™가 상아질 내부로 더 두터운 혼성층을 형성하여 자가 부식형 접착제인 DurafilBond™보다 C-factor의 영향을 덜 받는다고 하였다. 이를 그대로 인용한다면, C-factor가 미세누출도에 아무런 영향을 주지 못했다는 본 연구 결과를 일부 설명할 수도 있을 것이다. 그러나, Mallmann 등[38]의 연구에서는 자가 부식형 접착제인 Clearfil SE Bond™가 단일 병 접착제인 Single Bond™를 이용한 경우보다 C-factor에 영향을 덜 받는다고 하여, 이번 연구 결과와 상반된 보고를 하였다. 이외에도 Amstrong 등[39]의 연구에서는 C-factor의 복합레진의 중합수축에 미치는 영향에 대해, 접착 시스템의 종류와는 관계가 없다고 하여 접착 시스템과 C-factor의 관계에 대해서는 더 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

이러한 실험실 연구 결과로 임상 상황을 추정할 수 있는가에 대해서는 논란의 여지가 많다. Barnes 등[40]에 의하면 임상 실험에 비하여 실험실 결과가, 수복물과 치질 사이의 미세누출에 대해 더 크게 나타난다고 보고 하였으며 Abdalla 등[41]은 임상 실험 시 모든 시편에서 미세누출이 관찰되나, 실험실 연구에서는 약 60%의 시편만이 미세누출을 보였다고 보고하였다. 또한 Ferrari 등[42]에 의하면 실험실, 임상 실험이 동등한 결과를 보인다고 하였다. 이런 다양한 결과들은 실험실 연구와는 달리 구강 내에서는 접착제의 사용과 복합레진의 조작이 어렵고, 수복물이 여러 요인에 의해 영향을 받기 때문일 것이라고 생각된다[43]. 이에 미세누출의 측정을 위해서는 다양한 방법들의 특성을 잘 이해하고 활용하는 복합적인 분석이 필요할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 증가된 "C-factor"가 미세누출에 영향을 주지 못하였으며, 이는 접착 시스템과 법랑질 사이의 강한 접착력에 기인한 것으로 보인다. 그러나 복합레진의 수축응력은 치질에 대한 결합 강도에만 영향을 미치는 것이 아니라, 분산되지 않은 내부 응력은 복합레진의 물리적 성질에도 악영향을 주게 된다[8]. 이에 보다 내구성 있는 접착을 이루기 위해서 응력 발생을 최소화해야 할 것이다. 수축응력을 줄이기 위한 여러 방법들이 제시되고 있으며, 예를 들면, 탄력이 있는 이장재로 접착될 상아질 표면을 이장하는 방법으로 (Elastic wall theory), 낮은 탄성계수의 이장재가 Shock absorber로 작용하여 발생하는 수축응력을 줄일 수 있다[44]. 또 다른 예로는 적층 충전법을 들 수 있다. 이는 수축하는 복합레진의 부피를 감소시킬 뿐 아니라, 적용되는 복합레진의 C-factor를 1 이하로 줄여 줄 수도 있다[45]. 이처럼 성공적인 복합레진 수복을 위해서는 중합 수축응력을 최소화하기 위한 노력을 기울여야 할 것이며, 본 연구에서 살펴본 바와 같이 우수한 접착력을 보인 법랑질 만큼의 변연봉쇄를 보이는 상아질 접착제의 개발이 필요할 것으로 사료된다.

Ⅴ. 결 론

수축응력 발생에 영향을 주는 것으로 알려진 C-factor와 복합레진의 체적이, 법랑질 변연만으로 이루어진 와동에서 미세누출에 영향을 미치는 가를, 전기화학적 방법을 이용하여 평가한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수복물의 체적에 따라 미세누출도의 차이를 보였으나, 통계학적인 유의성은 보이지 않았다.
2. 와동의 형태와 관련된 C-factor와 미세누출도 사이에는 아무런 상관관계를 보이지 않았다.

이상의 결과로 미루어 볼 때 수복물의 체적과 C-factor가, 법랑질 변연만으로 형성된 와동에서는 미세누출도에 영향을 주지 못하였다.

참고문헌

1. Dentin bonding systems: an update. Council on Dental Materials, Instruments, and Equipment. *J Am Dent Assoc* 114(1):91-95, 1987.
2. Nakabayashi N, Kosima K, Masuhara E. Promotion of adhesion by infiltration of monomer into tooth sub-

strates. *J Biomed Mat Res* 16:265-273, 1982.
3. Bowen RL. Properties of a silica-reinforced polymer for dental restoration. *J Am Dent Assoc* 66:57-64, 1963.
4. Lavella R, Lambrechts P, Van Meerbeek B, Vanherle G. Polymerization shrinkage and elasticity of flowable composite and filling adhesive. *Dent Mat* 15:128-137, 1999.
5. Brannstrom M. Communication between the oral cavity and the dental pulp associated with restorative treatment. *Oper Dent* 9:57-68, 1984.
6. Jorgensen KD, Asmussen E, Shimokobe H. Enamel damage by contracting restorative resin. *Scand J Dent Res* 83:120-122, 1975.
7. Sheth JJ, Fuller JL, Jensen ME. Cuspal deformation and fracture resistance of teeth with dentin adhesives and composites. *J Prosthet Dent* 60(5):560-569, 1988.
8. Choi KK, Ryu GJ, Choi SM, Lee MJ, Park SJ, Ferracane JL. Effects of cavity configuration on composite restoration. *Oper Dent* 29(4):462-469, 2004.
9. Davidson CL, de Gee AJ. Relaxation of polymerization contraction stressed by flow in dental composite. *J Dent Res* 63:146-148, 1984.
10. Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL. Quantitative determination of stress reduction by flow in composite restoration. *Dent Mat* 6:167-171, 1990.
11. de la Macorra JC, Gomez-Fernandez S. Quantification of the configuration factor in Class I and II cavities and simulated cervical erosions. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 4(1):29-33, 1996.
12. Miguel A, de la Maccora JC. A predictive formula of the contraction stress in restorative and luting materials attending to free and adhesive surface, volume and deformation. *Dent Mat* 17:241-246, 2001.
13. Ferracane JL, Mitchem JC. Relationship between composite contraction stress and leakage in class Ⅴ cavities. *Am J Dent* 16:239-243, 2003.
14. Pashley DH, Ciucchi B, Sano H, Horner JA. Permeability of dentin to adhesive agents.*Quintessence Int* 24(9):618-631, 1993.
15 Van Meerbeek B, Inokoshi S, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G. Morphological aspects of the resin-dentin interdiffusion zone with different dentin adhesive systems. *J Dent Res* 71(8):1530-1540, 1992.
16. Van Meerbeek B, Peumans M, Verschueren M, Gladys S, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G. Clinical status of ten dentin adhesive systems. *J Dent Res* 73(11):1690-1702, 1994.
17. Gladys S, Van Meerbeek B, Lambrechts P, Vanherle G. Microleakage of adhesive restorative materials. *Am J Dent* 14(3):170-176, 2001.
18. Hannig M, Friedrichs C. Comparative *in vivo* and *in vitro* investigation of interfacial bond variability. *Oper Dent* 26(1):3-11, 2001.
19. Eick JD, Welch FH. Dentin adhesives-do they protect the dentin from acid etching? *Quintessence Int* 17(9):533-544, 1986.
20. Johnston WM, Leung RL, Fan PL. A mathematical model for post-irradiation hardening of photoactivated composite resins. *Dent Mat* 1(5):191-194, 1985.
21. Iwami Y, Yamamoto H, Ebisu S. J A new electrical method for detecting marginal leakage of *in vitro* resin restorations. *J Dent* 28(4):241-247, 2000.
22. Mattison GD, von Fraunhofer JA. Electrochemical microleakage study of endodontic sealer/cements. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 55(4):402-407, 1983.
23. Nakano Y. A new electrical testing method on marginal leakage of composite resin restorations. *Japan J conserv Dent* 8(4):1183-1198, 1985.
24. Delivanis PD, Chapman KA. Comparison and reliability of techniques for measuring leakage and marginal penetration. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 53(4):410-416, 1982.
25. Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res* 34(6):849-853, 1955.
26. Gwinnett AJ, Matsui A. The physical relationship between enamel and adhesive. *Arch Oral Biol* 12(12):1615-1620, 1967.
27. Retief DH. Effect of conditioning the enamel surface with phosphoric acid. *J Dent Res* 52(2):333-341, 1973.
28. Silverstone LM. Fissure sealants. Laboratory studies. *Caries Res* 8(1):2-26, 1974.
29. Gwinnett AJ. Histologic changes in human enamel following treatment with acidic adhesive conditioning agents. *Arch Oral Biol* 16(7):731-738, 1971.
30. Eick JD, Robinson SJ, Cobb CM, Chappell RP, Spencer P. The dentinal surface: its influence on dentinal adhesion. *Quintessence Int* 23(1):43-51, 1992.
31. Eick JD, Gwinnett AJ, Pashley DH, Robinson SJ. Current concepts on adhesion to dentin. *Crit Rev Oral Biol Med* 8(3):306-335, 1997.
32. Swift EJ Jr, Perdigao J, Heymann HO. Bonding to enamel and dentin: a brief history and state of the art. *Quintessence Int* 26(2):95-110, 1995.
33. Bastos PA, Retief DH, Bradley EL, Denys FR. Effect of etch duration on the shear bond strength of a microfilm composite resin to enamel. *Am J Dent* 1(4):151-157, 1988.
34. Barkmeier WW, Shaffer SE, Gwinnett AJ. Effects of 15 vs 60 second enamel acid conditioning on adhesion and morphology. *Oper Dent* 11(3):111-116, 1986.
35. Mitchem JC. The use and abuse of aesthetic materials in posterior teeth. *Int Dent J* 38(2):119-125, 1988.
36. Frankenberger R, Kramer N, Petschelt A. Long-term effect of dentin primers on enamel bond strength and marginal adaptation. *Oper Dent* 25(1):11-19, 2000.
37. Franco EB, Gonzaga Lopes L, Lia Mondelli RF, da Silva e Souza MH Jr, Pereira Lauris JR. Effect of the cavity configuration factor on marginal microleakage of esthetic restoration materials *Am J Dent* 16(3):211-214, 2003.
38. Mallmann A, Zovico F, Soares M, Placido E, Ferrari M, Cardoso PE. Microtensile dentin bond strength of self-etching and single-bottle adhesive system in different cavity configurations. *J Adhes Dent* 5(2):121-127, 2003.
39. Armstrong SR, Keller JC, Boyer DB. The influence of water storage and C-factor on dentin-resin composite microtensile bond strength and pathway utilizing a filled and unfilled adhesive. *Dent Mat* 17(3):268-276, 2001.
40. Barnes DM, Thompson VP, Blank LW, McDonald NJ. Microleakage of Class 5 composite resin restorations: a comparison between *in vivo* and *in vitro*. *Oper Dent* 18(6):237-245, 1993.
41. Abdalla AI, Davidson CL.Comparison of the marginal integrity of *in vivo* and *in vitro* Class II composite restorations. *J Dent* 21(3):158-162, 1993.

42. Ferrari M, Yamamoto K, Vichi A, Finger WJ. Clinical and laboratory evaluation of adhesive restorative systems. *Am J Dent* 7(4):217-219, 1994.
43. Momoi Y, Iwase H, Nakano Y, Kohno A, Asanuma A, Yanagisawa K. Gradual increases in marginal leakage of resin composite restorations with thermal stress. *J Dent Res* 69(10):1659-1663, 1990.
44. Kemp-Scholte CM, Davidson CL. Complete marginal seal of Class V resin composite restorations effected by increased flexibility. *J Dent Res* 69(6):1240-1243, 1990.

국문초록

법랑질 변연으로 이루어진 복합레진 수복물의 체적과 C-factor가 미세누출에 미치는 영향

구봉주 · 신동훈*

단국대학교 치과대학 치과보존학교실

와동벽과 복합레진 수복물이 접착될 때, 복합레진의 치질에 대한 접착력과 레진 자체의 중합 시 발생하는 수축응력이 상충하게 된다. 이러한 수축응력의 크기는 와동의 형태요소 (C-factor)와 수복물의 체적에 영향을 받는다. 이에 본 실험에서는 단일 병 접착제를 사용한 복합레진 수복 시 법랑질 변연만으로 이루어진 와동의 C-factor와 체적이 미세누출에 미치는 영향을 미세 전류 측정법을 이용하여 정량적으로 분석하고 평가하였다.

연마기를 이용하여 40개의 건전한 우치 협면에 편평한 법랑질 표면을 형성하였다. 각각 10개의 치아에 원통형 와동을 형성하였으며, 와동의 깊이와 직경에 따라 4개 군으로 분류하였다 (Ⅰ군: 1.5 ㎜ × 2.0 ㎜, Ⅱ군: 1.5 ㎜ × 6.0 ㎜, Ⅲ군: 2.0 ㎜ × 1.72 ㎜, Ⅳ군: 2.0 ㎜ × 5.23 ㎜). 각기 와동의 C-factor는 4, 5.62, 2, 2.54를 보였다.

산 부식 후 단일 병 접착제인 BC Plus™ (Vericom, Korea)를 제조사의 지시에 따라 적용하고, 미세혼합형 복합레진인 Denfil™(Vericom)을 충전하였다. 40초씩 광중합 후 치아를 실온에서 증류수에 24시간 동안 보관한 다음, Sof-Lex system을 이용하여 연마하였고, 5°C와 55°C 범위에서 500회 열순환을 시행하였다.

이후 미세전류 측정을 위해 치수강 내에 증류수를 채우고 치근단공을 통해 0.018 stainless wire를 삽입한 후 sticky wax로 근첨부를 밀봉하였으며, nail varnish를 수복물의 변연에서 1 ㎜를 제외한 전체 치면에 2회 도포하였다.

미세누출의 측정은 전기 화학적 방법을 이용하여 측정하였으며, 통계적 유의성은 95% 유의 수준의 Two-way ANOVA로 검증하여, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 복합레진 수복물의 체적이 적은 것이 큰 것에 비해 미세누출도가 적었으나, 통계학적으로 유의한 차이는 없었다.
2. 와동 형태와 연관된 C-factor는 복합레진 수복물의 미세누출도에 영향을 주지 않았다.

법랑질 변연을 갖는 와동에 단일 병 접착제를 사용한 본 실험에서는 복합레진의 중합 시 발생하는 수축응력에 영향을 미치는 것으로 알려진 수복물의 체적과 C-factor가 미세누출도에 영향을 주지 못하였다. 이는 법랑질과 접착 시스템과의 강력한 접착력에 기인한 것으로 보이며, 앞으로 이에 대한 더 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

주요어: 중합 수축, 형태 인자, 체적, 전기 전도성, 미세 누출