

유동성 복합레진의 마모저항성에 관한 연구

윤연희 · 김정옥 · 이상훈 · 한세현

서울대학교 치과대학 소아치과학교실 및 치학연구소

국문초록

시술시간을 줄이는데 유리한 재료인 유동성 복합레진을 유구치부에 사용하려고 고려할 때 중요한 물성 중 하나는 마모저항성이다. 이 연구의 목적은 유동성 복합레진의 마모저항성을 일반복합레진의 마모저항성과 비교하는 것이다. 실험에 사용된 유동성 복합레진으로 1군에서는 Arabesk flow (VOCO, Germany), 2군에서는 Tetric flow (Vivadent, Liechtenstein), 3군에서는 Aeliteflow (Bisco, U.S.A), 4군에서는 Filtek flow (3M Dental Co, U.S.A)을 사용하였으며 대조군으로 사용한 5군의 복합레진은 Z100 (3M Dental Co, U.S.A)이었다.

시편들(n=10)은 두께 2mm, 지름 5mm의 원통모양으로 제작하여 마모시험 전 37℃의 증류수에서 7일 동안 담가 놓았다. 제1소구치와 레진시편을 MTS 시스템에서 2Hz로 50,000회 접촉, 마모시켰다. 마모시험시 lateral excursion은 0.4mm, 교합력은 2-100N의 조건이었다. 마모시험후 마모된 부피, 최대마모깊이, 재료자체의 표면경도를 측정하였고 마모되지 않은 표면과 마모가 일어난 표면을 주사전자현미경으로 관찰하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 마모된 부피는 3군에서 가장 적었고 4군에서 가장 많았으며 3군<1군<2군<5군<4군의 순서로 증가하였다.
2. 3군, 1군, 2군은 5군이나 4군에 비해 통계적으로 유의하게 마모부피가 적었다(p<0.05). 그러나, 3군, 1군, 2군 사이에서와 5군, 4군 사이에서는 각각 통계적으로 유의한 차이가 없었다.
3. 최대마모깊이는 1군에서 가장 낮았고, 4군에서 가장 깊었으며 1군<3군<5군<2군<4군의 순서로 증가하였다.
4. 5군의 표면경도는 다른 유동성 복합레진군에 비해 통계적으로 유의하게 높았으나(p<0.05), 마모부피나 최대마모깊이와는 통계적으로 유의한 상관관계를 보이지 않았다.
5. 마모되지 않은 표면과 마모가 일어난 표면을 주사전자현미경으로 관찰한 결과, 유동성 복합레진군과 5군 사이에 마모양상이 다르게 나타나는 것을 볼 수 있었다.

주요어 : 유동성 복합 레진, 마모저항성, 마모부피, 최대마모깊이, 표면경도, 주사전자현미경

I. 서 론

레진 수복술은 아말감 수복술에 비해 여러 가지 장점을 가지고 있다. 여러 가지 색 중에 자연치와 가장 유사한 색을 고를 수 있어 심미적이며 수복을 위한 삭제량이 적고 산부식된 치질에 접촉되어 치질을 보호할 수 있다. 또한 수은이 없다는 것도 큰 장점이라 하겠다¹⁾. 특히 예방적 레진 수복술은 교합면에 초기 우식 병소가 존재하는 구치에 국한적으로 레진 수복을 한 후 나머지 전전한 부위의 소와열구를 치면열구전색재료 도포하는 것으로서 치아우식의 예방 효과도 기대할 수 있다. 그래서 소아치과에서 유구치의 수복에 예방적 레진 수복술이 널리 사용되고 있다²⁾. 그러나 이런 레진 수복술은 상당히 기술에 민감한 수복술로서 특히 수분오염에 취약하다. 이런 상황에서 성인에 비해 치료에 견딜 수 있는 시간이 짧은 소아를 대상으로 시행할 때

시술 시간은 치료결과에 중요한 변수로 작용하게 된다³⁾.

Bayne 등⁴⁾에 의하면 1996년 말에 처음 소개된 유동성 복합레진은 일반복합레진과 똑같은 작은 입자크기를 유지하면서 입자함량을 줄이고 레진성분을 늘리면서 점도를 줄인 재료이다. 이러한 레진은 사용이 간편하고 빠르며, 우수한 접근성으로 직접 와동에 주입함으로써 수기구의 조작을 최소화하는 등의 장점을 가지고 있어 시술시간을 줄이는데 유리한 재료라고 할 수 있다³⁾. 현재 유동성 레진을 응력이 작용하는 구치부에는 사용할 수 없는 것으로 알려져 있으나⁴⁾, 소아의 경우는 성인에 비해 교합력이 약하고^{5) 12)} 유구치의 탈락시기인 10~11세까지 유지되는 것이 그 사용의 목적이므로 충분히 고려해볼 수 있겠다¹³⁾. 이렇게 응력이 작용하는 구치부의 Class I, Class II 와동에 사용한다면 그 중 마모는 중요한 물성 중의 하나이다.

마모는 두 가지 이상의 물질이 접촉에 의하여 표면에서 기계

적인 작용을 하여 물질이 점진적으로 상실되어 가는 것으로 기계적, 화학적, 생물학적 인자들이 동시에 작용하는 복잡한 과정이다. 복합레진의 마모에 작용하는 여러 가지 기전에 대해 살펴보면, 응착성, 연마성(이체마모와 삼체마모, 침식성마모), 피로성, 부식성마모 등이 작용하게 된다⁴⁾.

이런 마모량을 평가하는 방법은 임상적으로 인체내의 수복물에서 측정하는 방법과 생체밖에서 실험적으로 측정하는 방법 두 가지로 나눌 수 있다. 구강내의 환경 하에서 일어나는 실제적인 마모현상을 알아보기 위해서는 임상적인 시도를 통해 마모량 측정을 하는 방법을 사용해야 하겠지만, 시간이 많이 소요되고 비용이 비싸고 대상인 사람이 필요하다. 또한 마모작용에 영향을 끼치는 근신경계의 힘과 운동, 타액 pH와 흐름, 식이, 구강위생 등의 조건의 조절이 어렵다¹⁵⁻¹⁷⁾. 이러한 이유로 임상적인 생체조건상황을 재현할 수 있는 많은 실험적인 방법들이 계속 개발되고 있다^{16,18-22)}. 이중 DeLong과 Douglas¹⁶⁾에 의해 기술된 MTS 시스템(858 Mini Bionix II Test System, MTS systems corporation, U.S.A)은 인간 구강 내의 주된 저작요인인 힘 전달과 3차원적인 움직임을 재현하는 서보유압(servo-hydraulics)을 이용한 기계이다. 이를 이용하여 우리는 여러 임상상황에 대한 많은 정보를 얻을 수 있다.

저자들은 유동성 복합레진의 마모저항성을 일반복합레진의 마모저항성과 비교하고자 제1소구치의 법랑질과 레진시편을 MTS 시스템에서 마모시킨 후 그 마모부피와 최대마모깊이, 표면경도를 측정하였고 그 마모된 면을 주사전자현미경으로 관찰, 비교하여 다소의 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

II. 연구재료 및 방법

1. 연구재료

마모시험에 사용된 유동성 복합레진으로 1군에서는 Arabesk flow (VOCO, Germany), 2군에서는 Tetric flow (Vivadent, Liechtenstein), 3군에서는 Aeliteflow(Bisco, U.S.A), 4군에서는 Filtek flow (3M Dental Co, U.S.A)를 사용하였으며 대조군으로 사용한 5군의 복합레진은 Z100 (3M Dental Co, U.S.A)이었다(Table 1).

2. 연구방법

시편은 두께가 2mm인 아크릴판에 지름이 5mm인 원통모양의 시편을 제작할 수 있게 구멍을 뚫어서 제작하였다. 구멍 내에 복합레진을 약간 넘치도록 채운 다음 폴리에스테르 필름과 유리판을 덮고서 손으로 압력을 가하여 여분의 시료를 제거하였고 Curing light 2500 (3M Dental Products, U.S.A)을 이용하여 상면과 하면에서 각각 40초씩 광중합을 시행하였다. 광조사 기구의 강도는 광도측정계로 550~600mW/cm² 범위 내에 있음을 확인하였다. 각 군 10개씩의 시편을 준비한 후 표면을 500~4,000번의 emery paper로 순차적으로 연마를 시행하여 마모시험전 시편의 표면조도가 중심선평균거칠기(Ra)가 0.5 μ m미만임을 확인하였다. 측정 전에 37 $^{\circ}$ C의 증류수에서 7일 동안 담가 놓았다.

Table 1. Materials used in this study

Group	Composite resin	Type	Matrix	Filler	Particle sizes	Filler % (Wt/Vol)	Manufacturer
1	Arabesk flow	microhybrid composite	bis-GMA, UDMA, TEGDMA	barium/strontium borosilicate	0.7 μ m (mean) 0.05~1.3 μ m	64%/50.3%	VOCO, Germany
2	Tetric flow	microhybrid composite	bis-GMA, UDMA	barium glass, ytterbium trifluoride, Ba-Al-fluorosilicate glass, silicon dioxide, spheroid mixed oxide	0.7 μ m (mean) 0.04-3.0 μ m	68.1%/43.8%	Vivadent, Liechtenstein
3	Aeliteflow	microhybrid composite	bis-GMA	Barium glass, colloidal silica	0.7 μ m (mean)	56%/43%	Bisco Inc., U.S.A
4	Filtek flow	microhybrid composite	bis-GMA, TEGDMA	Zirconia/silica	1.5 μ m(mean) 0.01-6.0 μ m	68%/47%	3M Dental products, U.S.A
5	Z100	hybrid composite	bis GMA, TEGDMA	Zirconia/silica	0.01-3.5 μ m	84.5%/66%	3M Dental Products, U.S.A

bis-GMA: bisphenol A diglycidyl ether dimethacrylate; UDMA: urethane dimethacrylate
TEGDMA: triethyleneglycoldimethacrylate

Ⅲ. 연구성적

858 Mini Bionix II Test System (MTS systems corporation, U.S.A)으로 Table 2와 같은 조건에서 2Hz로 제1소구치와 레진시편을 접촉, 마모시켰다. 이때 접촉면으로 37℃ 증류수를 계속 분사하여 윤활작용을 하게 하였다.

마모량을 정량적으로 분석하기 위해서 표면조도형상측정기 (Form Talysurf series 2, Rank Taylor Hobson Co., England)를 이용해서 마모된 부피와 최대마모깊이를 측정하였다. 또한 표면층의 변화를 보기 위해 마모시험 전후의 표면을 주사전자현미경으로 관찰하였다.

시험재료 사이의 표면경도를 비교하기 위해 미세경도측정기 (HMV-2000, Shimadzu, Japan)를 이용하여 비커스 경도 (Vicker's hardness number)를 측정하였다. 측정시 조건은 압입하중 50g, 유지시간 15초의 조건에서 하였고 각 시험재료 당 10개의 점을 찍어 평균값을 산출하였다.

측정된 결과는 일원배치 분산분석 (one-way ANOVA)과 Scheffe의 사후검정에 의해 통계적 유의성을 검정하였다.

Table 3은 마모시험 후 각 군의 마모된 부피와 최대깊이, 시험재료 자체의 표면경도를 나타낸 것이다. 시험재료의 종류에 따라서 마모된 부피는 3군에서 가장 적었으며 4군에서 가장 많았다(3군<1군<2군<5군<4군). 3군, 1군, 2군은 5군이나 4군에 비해 통계적으로 유의하게 마모부피가 적었다(p<0.05). 그러나 마모부피에서 3군, 1군, 2군 사이에서 통계적으로 유의한 차이가 없었고, 5군과 4군 사이에서도 통계적으로 유의한 차이가 없었다(Table 4).

최대마모깊이는 1군에서 가장 낮았고, 4군에서 가장 깊었다(1군<3군<5군<2군<4군). 1군과 3군은 2군, 4군에 비해 통계적으로 유의성 있게 마모깊이가 낮았다(p<0.05). 그러나 1군, 3군, 5군 사이에는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으며, 5군, 2군, 4군 사이에서도 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 4).

시험재료간의 표면경도(VHN)는 5군이 평균 113.64로 가장 높은 수치를 나타내었으며, 다른 유동성 복합레진의 경우에는 4군이 44.12, 1군이 35.56, 2군은 35.05, 3군은 33.22의 표면경도를 보였다. 표면경도값과 마모시험으로 나타난 마모부피와 최대마모깊이는 통계적으로 유의한 상관관계를 보이지 않았다.

Fig. 1~5는 마모시험을 한 후 마모되지 않은 면(a)과 마모가 된 면(b, c)의 주사전자현미경사진이다. 마모시험 후 1, 2, 3군은 충전제(filler)가 잘 보이지 않는 평탄한 면이 존재하고 표면층이 박리되는 양상을 보였다. 그에 비해 4군은 전반적인 미세균열과 거친 면을 보여주었다. 또한 5군은 전반적으로 물결무늬를 보이면서 표면층이 박리되는 모습을 보였다.

Table 2. Wear conditions in artificial oral environment

Parameter	Value
Minimum occlusal force	2N
Maximum occlusal force	100N
Lateral excursion	0.4mm
No. of chewing cycles	50,000
Environment	37℃ distilled water

Table 3. Volumetric wear, maximum depth and hardness

Material	Mean volumetric wear(mm ³) (S.D.)	Mean maximum depth(μm) (S.D.)	Mean Vicker's hardness number(VHN) (S.D.)
Group 1	0.0910 (0.0271)	167.50 (41.14)	35.56 (1.96)
Group 2	0.1360 (0.0597)	241.70 (45.94)	35.05 (2.49)
Group 3	0.0856 (0.0316)	173.90 (33.68)	33.22 (4.53)
Group 4	0.2572 (0.0579)	245.10 (51.26)	44.12 (5.52)
Group 5	0.2168 (0.0727)	200.10 (45.56)	113.64 (13.11)

S.D.: Standard Deviation

Table 4. Comparison between groups in the volumetric wear and the maximum depth

	Group				
	1	2	3	4	5
Volumetric wear*	a	a	a	b	b
Maximum depth*	a	b	a	b	a,b

* : The same letters indicate non-significant difference between groups based on Scheffe's multiple comparison test(p>.05).

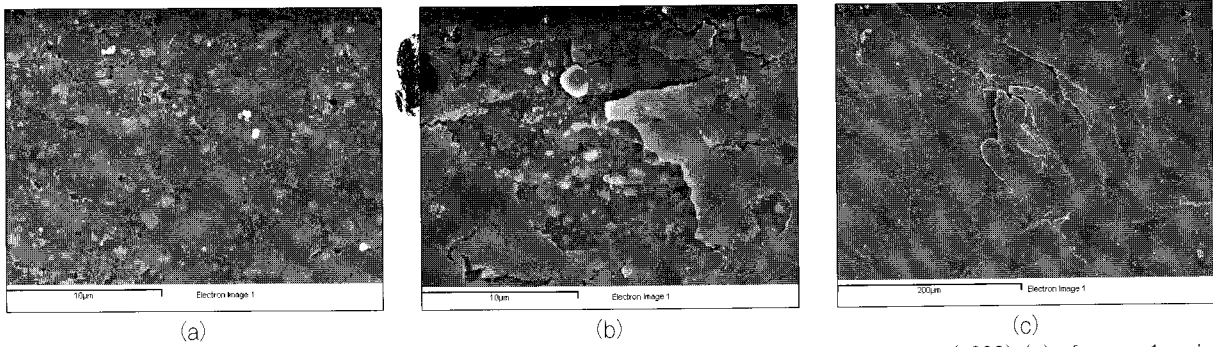


Fig. 1. SEM micrographs of the unworn surface (a), worn surface (b) (x5,000) and worn surface (x300) (c) of group 1 resin composite.

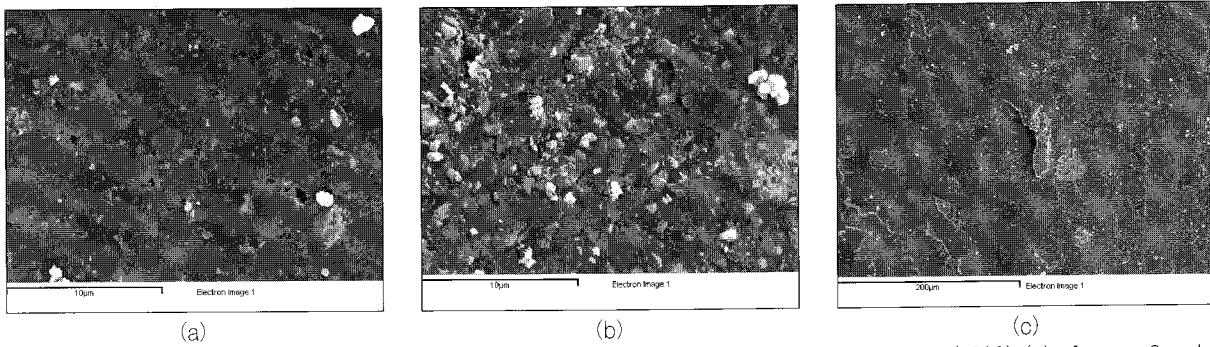


Fig. 2. SEM micrographs of the unworn surface (a), worn surface (b) (x5,000) and worn surface (x300) (c) of group 2 resin composite.

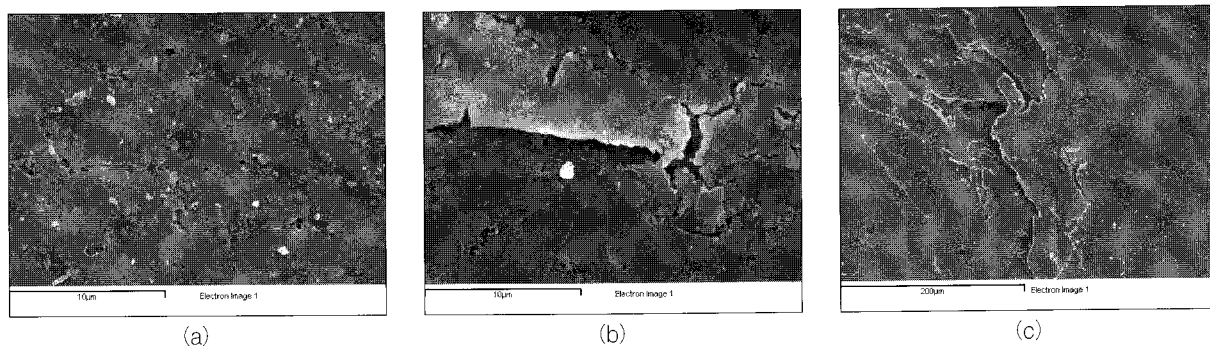


Fig. 3. SEM micrographs of the unworn surface (a), worn surface (b) (x5,000) and worn surface (x300) (c) of group 3 resin composite.

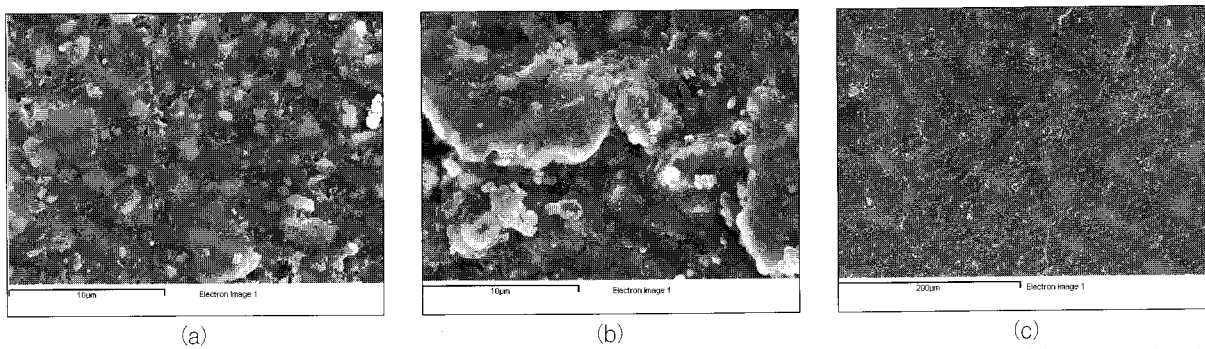


Fig. 4. SEM micrographs of the unworn surface (a), worn surface (b) (x5,000) and worn surface (x300) (c) of group 4 resin composite.

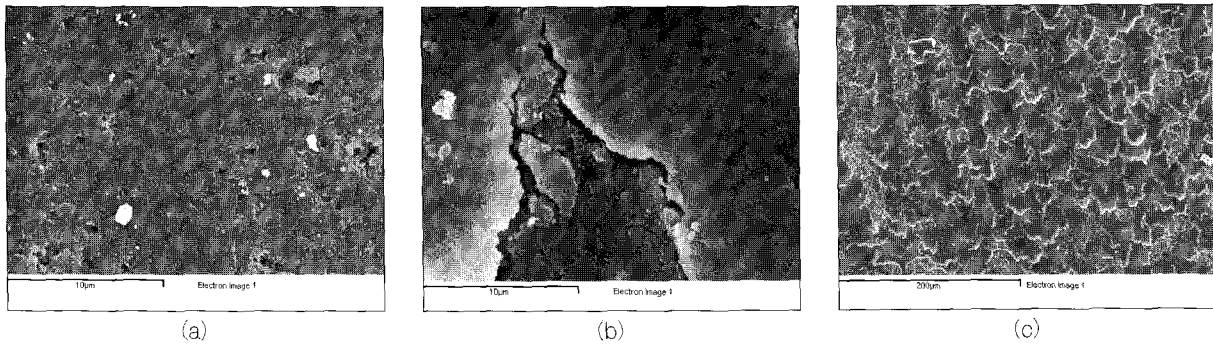


Fig. 5. SEM micrographs of the unworn surface (a), worn surface (b) (x5,000) and worn surface (x300) (c) of group 5 resin composite.

IV. 총괄 및 고찰

Yap 등²²⁾은 마모저항에 있어서 작은 충전제를 포함하는 microfilled 복합레진이 더 큰 충전제를 포함하는 hybrid 복합레진보다 우수하다고 하였다. 그 이유로 그는 첫째, microfilled 복합레진이 레진 매트릭스가 닳고 충전제가 돌출되고, 또한 다시 충전제가 탈락되는 표면이 hybrid 복합레진에 비해 상대적으로 평탄하기 때문이라고 하였다. 또한 두 번째 이유로 삼체마모(*in vitro* 3-body wear)가 존재하여 1~10µm의 macrofiller가 대합치와 macrofilled 복합레진의 연마성, 응착성마모를 일으킨다고 하였다. 실제로 그의 실험에서 충전제의 크기가 평균 0.04µm이고 충전제의 부피함량이 43%인 microfilled 복합레진 Silux Plus가 응력이 가해지는 마모시험기에서 Z100보다 큰 마모저항을 보이는 것으로 나타났다. 또한 백 등²³⁾의 연구에서도 충전제의 크기가 작고 충전제의 부피함량이 46%정도인 전치부용 복합레진과 barium alumino borosilicate glass를 주된 충전제로 사용한 전, 구치부용 복합레진이 Z100보다 더 큰 마모저항을 보였다. 그리고 Lutz 등²⁴⁾은 구치부 복합레진의 *in vivo*, *in vitro* 마모에 관한 논문에서 큰 충전제크기를 가진 수복물은 더 많은 마모를 보였다고 하였다.

이런 점을 염두에 둘 때 이번 마모시험에서 유동성 복합레진 중 1, 2, 3군의 경우에 마모부피가 낮게 나타나 큰 마모저항을 보인 결과가 충전제의 크기요인으로 인한 것으로 이해할 수 있겠다. 유동성 복합레진 중 충전제의 크기가 작은 1, 2, 3군의 경우에 큰 마모저항을 보였으며, 유동성 복합레진 중에서도 상당히 큰 크기의 충전제까지 포함하고 있는 4군의 경우와 대조군인 5군은 마모저항이 낮았다. 또한 이 두 군의 경우에는 Zirconia/silica를 주된 충전제로 사용하고 있어 barium/strontium borosilicate와 barium glass를 주된 충전제로 사용하고 있는 1, 2, 3군과 차이를 보이는 것으로 사료된다.

이전의 유동성 복합레진에 관한 연구에 대해 살펴보면, Yau 등²⁵⁾은 Leinfelder 마모시험기²⁶⁾를 이용한 유동성 복합레진의 마모저항성이 일반복합레진보다는 크고 아말감과 비슷한 값을 나타내었다고 보고하였다. Bayne 등⁴⁾은 칫솔질마모시험을 통해 유동성 복합레진과 일반복합레진간의 마모저항에 통계적으

로 유의할 만한 차이를 보이지 않았다고 하였다. 이런 결과는 레진의 종류와 마모시험기가 응력을 발생시키는지의 여부에 따라 연구마다 약간의 차이를 보인 것으로 생각된다.

Marquis 등²⁷⁾은 치아와 수복물간의 이체마모시험(*in vitro* 2-body wear test) 후 주사전자현미경사진을 통해 복합레진의 마모과정을 설명하였는데 레진 매트릭스가 가소성 변형을 일으킨 부분이 존재하며, 계속 집중되는 응력으로 인해 표면층이 박리되어 소실되는 과정(layer-by-layer loss, delamination process)이 진행된다고 하였다. 또한 레진의 완전한 구조와 레진과 대합치 간에 낮은 마찰계수로 인한 레진 매트릭스의 역할이 있다고 설명하였고 충전제의 크기가 크고 충전제의 경도가 클수록 그 위로 더 많은 응력이 집중하게 된다고 하였다^{1,27)}. Leinfelder 등²⁶⁾은 복합레진의 마모에 있어서 충전제의 크기가 submicron level까지 작아지면 잘 경계지어진 면을 형성하는 국소적인 마모가 일어나고 높은 응력을 받는 부위에서 덩어리로 파절되어 나가는 특징적인 마모양상을 보인다고 하였다.

이러한 과정들은 이번 마모시험에서도 주사전자현미경사진을 통해 관찰할 수 있었다. Fig. 1에서 5가지의 사진은 50,000회의 마모시험 후 표면 모습이다. 마모되지 않은 면의 사진을 보면 충전제의 크기가 4군(Fig. 4(a))의 경우에 다른 유동성 레진(Fig. 1(a), Fig. 2(a), Fig. 3(a))에 비해 상당히 큰 것을 볼 수 있다. 마모시험 후 1, 2, 3군은 충전제의 크기가 작고 레진성분이 많아 레진 매트릭스의 가소성변형으로 인하여 충전제가 잘 보이지 않는 평탄한 면이 존재하고 이 면 하방으로 진전되는 미세균열의 확산으로 layer by layer로 떨어져 표면층이 박리되는 양상을 보였다. 그에 비해 4군은 표면층이 박리되는 layer by layer loss가 보이기보다는 전반적인 미세균열이 있고 충전제가 돌출되어 상당히 거친 면을 보여주고 있었다. 이런 양상은 큰 충전제 주위 레진 매트릭스가 응력집중으로 약해지면서 충전제가 떨어져 나가 생긴 것이라 하겠다. 5군은 나머지 네 군과는 다른 양상을 보이고 있는데 전반적인 물결무늬로 균열이 퍼져나가면서 표면층이 박리된 것을 볼 수 있었다. 다른 군에 비해 규칙적이고 응력이 가해진 전체적인 면으로 마모양상이 나타났다.

마모저항을 증가시키기 위한 방법으로는 1.0µm에 가까운 더

작은 충전제를 사용하여 interparticle spacing을 줄이고 충전제와 레진 매트릭스간의 결합력을 증진시켜야 한다^{1,14,28-30}. 또한 충전제에 힘이 집중되어 주변으로 파급되지 않도록 하기 위해서는 충전제의 경도를 줄여야 한다^{1,30}. Kawai 등³¹에 의하면, 레진 매트릭스가 bis-GMA로만 이루어진 경우보다 TEGDMA를 첨가하여 그 양을 늘리면 중합률이 증가하여 마모 저항이 증가하며, bis-GMA/TEGDMA에 비해 UDMA/TEGDMA는 중합률은 낮지만 모든 물리적 성질이 우수하여 같은 충전제를 가지고 있을 때 더 큰 마모저항을 가진다고 하였다. 이러한 충전제의 크기, 경도, 그리고 충전제와 레진 매트릭스간의 결합력, 레진 매트릭스의 성분 등이 복합적으로 작용하여 복합레진의 마모저항성을 결정하게 된다.

이번 마모시험에서 표면경도 수치는 충전제의 부피함량과 관련된 관계를 보였다. 대조군인 5군의 복합레진은 더 높은 충전제 함량과 더 큰 충전제 크기로 인해 유동성 복합레진보다 더 큰 표면경도를 보였다. 이런 결과는 Yap 등²²과 Willems 등³²의 연구와도 일치하였다. 그러나, Kawai 등³¹에 의하면 unfilled 레진의 마모와 표면미세경도와는 높은 상관관계를 보이지만, 복합레진의 마모는 표면경도와 통계적으로 유의한 상관관계가 없다고 하였으며, 충전제의 영향으로 미세경도의 수치는 마모에 대한 좋은 지표가 아니라고 하였다. Willems 등¹⁷과 Yap 등²²도 역시 여러 치과재료의 응력이 작용하는 이체마모시험을 통해 미세경도값과 마모량과는 상관관계를 발견할 수 없었다고 하였는데, 이는 본 연구의 마모시험결과와 일치하였다.

마모시험은 수직, 수평 작동기의 운동으로 하악의 삼차원적인 운동을 재현할 수 있는 기계적 마모시험시스템^{15,16,33}에서 이루어졌다. 수평면에서의 운동경로는 직선에 가깝고 전면에서의 운동은 교합면의 형태에 좌우된다고 가정하여 수직 작동기가 전면, 수평 작동기는 수평면의 움직임을 재현하여 서보유압 조절을 통해 저작의 삼차원적인 움직임을 나타내었다. Sakaguchi 등³³은 복합레진의 MTS 시스템을 이용한 마모와 임상적인 마모를 비교하였는데 이번 마모시험의 조건은 힘과 저작횟수, lateral excursion을 고려하여 적어도 16개월 정도의 임상저작에 해당한다고 할 수 있으며³⁴, 만약 복합레진의 마모조건에서 어린이처럼 저작력이 작아진다면 이에 비례하여 해당되는 마모량은 줄어들 것이다.

실제로, 유치에서 복합레진의 마모와 관련된 상황은 영구치에서보다 훨씬 더 양호한 조건을 가지고 있다³⁵⁻³⁷. 이는 훨씬 적은 교합력에 인한 것으로⁵⁻¹² 연구자들마다 수치 자체는 다양하지만 성인의 경우는 저작시 교합력이 9-180N 정도로 생각되고 있으며¹⁶ 어린이의 경우는 이보다 훨씬 작은 교합력을 보인다. 또한 유구치는 제1, 2 대구치에 비해 더 전방부에 위치함으로써 교합면 부위의 마모가 적게 나타나며^{30,38}. 그밖에 유치와 영구치의 경도의 차이로 인해 마모가 적게 일어날 수 있다^{37,39}. 유동성 복합레진을 유치에 적용한 임상발표는 없었으나 일반적인 구치부 복합레진을 유치에 적용한 임상발표를 보면, 성인과 달리 적용한지 2~4년이 지난 후에도 마모는 거의 일어나지 않았

거나 심각하지 않았다고 하였다³⁵⁻³⁷.

저자들은 이번 연구의 한계점으로 시편자체의 고유변이, 대합치인 자연치의 교합면모양의 변이, 또한 표면조도측정과정의 고유변동사항, 마모시험기의 기계작동시의 미세한 차이 등을 생각할 수 있었다. 특히 자연치(범랑질)와의 마모정도를 보기 위해 대합치로 제1소구치를 사용하였는데, 이는 기존의 다른 MTS 시스템을 이용한 연구에서의 결과와 비교하여 구강내의 생체조건상황을 유추, 해석할 수 있다는 장점이 있으며, 동시에 사람마다의 치아 모양에 변이가 있다는 한계점이 있다. 앞으로의 마모시험에서는 이 점을 고려하여 범랑질의 시편을 표준화함으로써 시험한다면 좀더 제어된 결과를 얻을 수 있을 것이다.

또한 이번 마모시험의 조건에서 치아마모에 대한 음식물이나 다른 구강환경의 영향을 고려하지 않았다. 이러한 마모조건에서는 치아와 수복물이 응력을 발생시키면서 직접 접촉하였을 때 나타나는 마모효과를 볼 수 있다. 하지만 실제 구강내에는 여러 마모기전이 동시에 작용하고 있다. 요즘 사람들이 먹는 음식물은 굉장히 다양하며 이는 복합레진마모에 있어서 음식물의 영향을 예측하기 어렵게 하고 있다. 예를 들면 알코홀은 레진에 화학적인 파괴를 일으킬 것이고⁴⁰ 치약과 같은 재료를 가했을 때는 연마재로 작용할 것이다. 또한 일정한 힘을 작용시키는 이번 마모시험의 조건은 비정상적인 운동인 이갈기와 이를 악무는 때의 마모는 재현할 수가 없기에 실제의 구강조건과는 차이가 있을 수 있으므로 이런 조건을 다양하게 적용하여 각 조건에서 마모저항의 변화를 살펴보는 연구가 더 진행되어야 하겠다.

V. 결 론

이 연구는 유동성 복합레진의 마모저항성을 일반복합레진의 마모저항성과 비교하기 위하여 4 종류의 유동성 복합레진과 대조군인 복합레진 시편을 만들어 측정 전에 37°C 증류수에서 7 일동안 담가 놓은 후 MTS 시스템에서 마모시험하였다. 0.4mm의 lateral excursion과 2-100N까지 수직력이 변화하는 조건에서 2Hz로 50,000회 접촉, 마모시킨 후 그 마모부피와 최대마모깊이 및 재료자체의 표면경도를 측정하였고 마모되지 않은 표면과 마모가 일어난 표면을 주사전자현미경으로 관찰하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 마모된 부피는 3군에서 가장 적었고 4군에서 가장 많았으며 3군<1군<2군<5군<4군의 순서로 증가하였다.
2. 3군, 1군, 2군은 5군이나 4군에 비해 통계적으로 유의하게 마모부피가 적었다(p<0.05). 그러나, 3군, 1군, 2군 사이에서와 5군, 4군 사이에서는 각각 통계적으로 유의한 차이가 없었다.
3. 최대마모깊이는 1군에서 가장 낮았고, 4군에서 가장 깊었으며 1군<3군<5군<2군<4군의 순서로 증가하였다.
4. 5군의 표면경도는 다른 유동성 복합레진군에 비해 통계적으로 유의하게 높았으나(p<0.05), 마모부피나 최대마모깊이와는 통계적으로 유의한 상관관계를 보이지 않았다.

5. 마모되지 않은 표면과 마모가 일어난 표면을 주사전자현미경으로 관찰한 결과, 유동성 복합레진군과 5군 사이에 마모양상이 다르게 나타나는 것을 볼 수 있었다.

참고문헌

1. Leinfelder KF : Wear patterns and rates of posterior composite resin. *Int Dent J* 37:152-157, 1987.
2. Simonsen RJ, Stallard RE : Sealant-restorations utilizing a diluted filled resin: one year result. *Quintessence Int* 8:77-84, 1977.
3. 박헌정, 김종수, 김용기 : 유동성 복합 레진을 적용한 예방적 레진 수복물의 미세 누출 양상에 관한 비교 연구. *대한소아치과학회지* 27:419-429, 2000.
4. Bayne SC, Thompson JY, Swift EJ Jr, et al. : A characterization of first-generation flowable composites. *J Am Dent Assoc* 129:567-577, 1998.
5. Proffit WR, Fields HW : Occlusal forces in normal and long face children. *J Dent Res* 62:571-574, 1983.
6. Proffit WR, Fields HW, Nixon WL : Occlusal forces in normal and long face adults. *J Dent Res* 62:566-571, 1983.
7. 조병옥 : 서울시내 보육원 아동의 교합압에 관한 관찰. *현대의학* 3:567-573, 1965.
8. 김화봉, 차문호 : 가철성 보극장치 장착자의 교합력에 관한 연구. *대한소아치과학회지* 12:93-98, 1985.
9. Braun S, Hnat WP, Freudenthaler JW, et al. : A study of maximum bite force during growth and development. *Angle Orthod* 66:261-264, 1996.
10. Maeda T, Imai U, Saito T, et al. : Study on the feeding function and feeding behavior of children. 1. Biting pressure and masticatory efficiency for 3, 4 and 5 years old children. *Shoni Shikagaku Zasshi* 27:1002-1009, 1989.
11. Julien KC, Buschang PH, Throckmorton GS, Dechow PC : Normal masticatory performance in young adults and children. *Archs Oral Biol* 41:69-75, 1996.
12. Fields HW, Proffit WR, Case JC, Vig KWL : Variables affecting measurements of vertical occlusal force. *J Dent Res* 65:135-138, 1986.
13. 대한소아치과학회 : 소아·청소년치과학, (주)신흥인터내셔널, 217-246, 1999.
14. Soderholm KJ, Richards ND : Wear resistance of composites: a solved problem? *Gen Dent* 46:256-263, 1998.
15. Coffey JP, Goodkind RJ, DeLong R, Douglas WH : *In vitro* study of the wear characteristics of natural and artificial teeth. *J Prosthet Dent* 54:273-280, 1985.
16. DeLong R, Douglas WH : An artificial oral environment for testing dental materials. *IEEE Trans Biomed Eng* 38:339-345, 1991.
17. Willems G, Celis JP, Lambrechts P, et al. : *In vitro* vibrational wear under small displacements of dental materials opposed to annealed chromium-steel counterbodies. *Dent Mater* 8:338-344, 1992.
18. Powell JM, Allen LJ, Craig RG : *In vitro* wear response of composite resin, amalgam and enamel. *J Dent Res* 54:1183-1195, 1975.
19. Harrison A, Lewis TT : The development of an abrasion testing machine for dental materials. *J Biomed Mater Res* 9:341-353, 1975.
20. Roulet JF : Degradation of dental polymers, Karger Press, Basel, Switzerland, 92-113, 1987.
21. De Gee AJ, Pallav P, Davidson CL : Effect of abrasion medium on wear of stress-bearing composites and amalgam *in vitro*. *J Dent Res* 65:654-658, 1986.
22. Yap AU, Ong LF, Teoh SH, Hastings GW : Comparative wear ranking of dental restoratives with the BIOMAT wear simulator. *J Oral Rehabil* 26:228-235, 1999.
23. 백병주, 이승영, 이두철, 김재곤 : 광중합형 복합레진과 범랑질간의 마모특성 평가. *대한소아치과학회지* 28:261-270, 2001.
24. Lutz F, Phillips RW, Roulet JF, Setcos JC : *In vivo* and *in vitro* wear of potential posterior composites. *J Dent Res* 63:914-920, 1984.
25. Yau L, Perry R, Kugel G : Three body wear of light-cured flowable composites. *J Dent Res* 76:423(IADR Abstract No.3276), 1997.
26. Leinfelder KF, Beaudreau RW, Mazer RB : An *in vitro* device for predicting clinical wear. *Quintessence Int* 20:755-761, 1989.
27. Marquis PM, Hu X, Shortall AC : Two-body wear of dental composites under different loads. *Int J Prosthodont* 13:473-479, 2000.
28. Suzuki S, Leinfelder KF, Kawai K, Tsuchitani Y : Effect of particle variation on wear rates of posterior composites. *Am J Dent* 8:173-178, 1995.
29. Hirt T, Lutz F, Roulet JF : *In vivo* evaluation of occlusal wear of two experimental composites versus

- amalgam. J Oral Rehabil 11:511-520, 1984.
30. Leinfelder KF : Composite resins. Dent Clin North Am 29:359-371, 1985.
 31. Kawai K, Iwami Y, Ebisu S : Effect of resin monomer composition on toothbrush wear resistance. J Oral Rehabil 25:264-268, 1998.
 32. Willems G, Lambrechts P, Braem M, et al. : A classification of dental composites according to their morphological and mechanical characteristics. Dent Mater 8:310-319, 1992.
 33. Sakaguchi RL, Douglas WH, DeLong R, Pintado MR : The wear of a posterior composite in an artificial mouth: a clinical correlation. Dent Mater 2:235-240, 1986.
 34. Hakimeh S, Vaidyanathan J, Houpt ML, et al. : Microleakage of compomer class V restorations: effect of load cycling, thermal cycling, and cavity shape differences. J Prosthet Dent 83:194-203, 2000.
 35. Tonn EM, Ryge G : Two-year clinical evaluation of light-cured composite resin restorations in primary molars. J Am Dent Assoc 111:44-48, 1985.
 36. Tonn EM, Ryge G : Clinical evaluation of Ful-Fil posterior composite resin: Four year report. J Dent Res 65:814(IADR Abstract No. 794), 1986.
 37. Nelson GV, Osborne JW, Gale EN, et al. : A three-year clinical evaluation of composite resin and a high copper amalgam in posterior primary teeth. J Dent Child 47:414-418, 1980.
 38. Wendell JJ, Vann WF Jr : Wear of composite resin restorations in primary versus permanent molar teeth. J Dent Res 67:71-74, 1988.
 39. Lussi A, Kohler N, Zero D, et al. : A comparison of the erosive potential of different beverages in primary and permanent teeth using an *in vitro* model. Eur J Oral Sci 108:110-114, 2000.
 40. Sarrett DC, Coletti DP, Peluso AR : The effects of alcoholic beverages on composite wear. Dent Mater 16:62-67, 2000.

Abstract

A STUDY ON WEAR RESISTANCE OF FLOWABLE COMPOSITE RESINS

Yeon-Hee Yun, D.D.S., Jung-Wook Kim, D.D.S., M.S.D., Ph.D.,
Sang-Hoon Lee, D.D.S., M.S.D., Ph.D., Se-Hyun Hahn, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

*Department of Pediatric Dentistry and Dental Research Institute,
College of Dentistry, Seoul National University*

When we use the flowable resin on the primary molars for quick handling, one of the most important property is the wear resistance. This study was performed to compare the wear resistance characteristics of four flowable composite resins [Arabesk flow (group 1), Tetric flow (group 2), Aeliteflow (group 3), Filtek flow (group 4)] to that of one control composite resin [Z100 (group 5)]. Specimen discs (n=10), 10mm wide and 2mm thick, were stored in distilled water at 37°C for 7 days prior to testing. The specimens were subjected to 50,000 strokes at 2 Hz on the MTS system. During the test, the following parameters were maintained: the lateral excursion at 0.4mm, occlusal force at 2-100N with a force profile in the form of a half sine wave.

The measurements of volume loss, depth of wear, and Vicker's hardness number of composite resins, and SEM observations of the polished and abraded surfaces were established. One-way ANOVA and Scheffe's multiple comparison test were employed to detect statistically significant differences among the flowable composite resin groups and the control composite group at $P < .05$.

The following results were obtained:

1. Group 3 showed the least volume loss, while group 4 showed the greatest. The mean volume loss increased in the following order: group 3 < group 1 < group 2 < group 5 < group 4.
2. Group 3, group 1, and group 2 showed significantly lesser volume loss compared to group 5 and group 4 ($p < 0.05$). However, There was no statistically significant difference among group 3, group 1, and group 2. There was no statistically significant difference between group 5 and group 4.
3. Group 1 showed the shallowest depth of wear, while group 4 showed the deepest. The mean depth of wear increased in the following order: group 1 < group 3 < group 5 < group 2 < group 4.
4. Group 5 showed significantly highest hardness value compared to the flowable composite resin groups ($p < 0.05$), but there was no correlation between wear resistance and Vickers hardness number.
5. SEM observation of the unworn and worn surfaces revealed the differences in the wear appearance between the flowable composite resin groups and the control.

Key words : Flowable composite resin, Wear resistance, Volumetric wear, Maximum wear depth, Vickers hardness number, SEM