

심미수복 재료의 마모와 화학적 분해

양규호 · 최남기 · 김훈주 · 김선미*

전남대학교 치과대학 소아치과학교실 및 치의학 연구소, 광주보건대학 치위생과*

국문초록

수복재료의 요건으로서 치아의 저작기능과 심미성을 회복할 수 있는 물리적, 화학적 성질뿐만 아니라 생물학적 적합성과 구강내 환경변화에 대한 내구성을 들 수 있다. 불소 방출의 장점을 갖는 컴포머나 시술시간을 줄이는데 유리한 재료인 유동성 복합레진을 유구치부에 사용하려고 할 때 마모저항성과 구강내 환경에서의 분해저항성은 중요한 물성 중 하나이다.

실험에 사용된 복합레진은 최근에 시판되고 있는 Charmfil(Denkist, Korea)과 유동성인 Charmfil flow(Denkist, Korea)이고, 컴포머는 Compoglass F(Ivoclar Vivadent, Liechtenstein)와 유동성인 PrimaFlow(DMG Hamburg, Germany)이었다. 각 제품의 분해저항성과 마모도를 평가하고자 마모시험 후 마모된 면의 깊이를 측정하였고 알칼리성 용액에 보관 시 각 제품의 분해저항성을 무게손실, 표면하 분해층 깊이, 용출된 Si 농도를 기준으로 평가하였고 주사전자현미경과 공초점 레이저 현미경으로 분해층을 관찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 무게손실량은 각 제품간 차이를 보이지 않았다($p>0.05$).
2. 분해층 깊이는 Compoglass F가 가장 깊었고, PrimaFlow, Charmfil, Charmfil flow 순이었고 Compoglass F와 다른 제품 간에는 유의한 차이를 보였다($p<0.05$).
3. Si 용출량은 Charmfil flow가 가장 많았고, Compoglass F가 가장 작았으며 두 제품 간에는 유의한 차이를 보였다($p<0.05$).
4. 주사전자현미경 관찰시 표면 양상 및 분해층 깊이를 관찰할 수 있었고 공초점 레이저 현미경 관찰시 NaOH 용액에 보관 후 수복재의 기질과 충전제 사이의 결합의 파괴 양상인 분해층 깊이를 관찰할 수 있었다.
5. 마모는 Compoglass F에서 가장 많이 일어났으며, PrimaFlow, Charmfil, Charmfil flow 순이었고 각 제품 간에는 유의한 차이를 보였다($p<0.05$).
6. 각 제품의 Si 용출량과 분해층 깊이 사이($r=0.602$, $p<0.05$), 마모 최대 깊이와 비커스 경도 사이($r=0.501$, $p<0.05$)에는 유의한 상관관계를 보였으나 Si 용출량과 마모 최대 깊이 등 다른 항목간에는 유의한 상관관계를 보이지 않았다($r=-0.052$, $p>0.05$).

본 연구에서 Compoglass F는 불소함량은 가장 높았으나 화학적 분해층과 마모깊이가 가장 깊은 것으로 나타났으며 flowable type의 복합레진과 컴포머는 표면 경도와 마모도에서 양호한 결과를 보였다.

이상의 결과 복합레진과 컴포머의 평가요소로서 마모도와 함께 가수분해도 고려되어야 할 것으로 사료된다.

주요어 : 심미수복재료, 마모, 화학적 분해

I. 서 론

교신저자 : 양 규 호

광주광역시 동구 학동 8번지

전남대학교 치과대학 소아치과학교실

Tel : 062-220-5476

E-mail : hellopedo@hanmail.net

지금까지 자연치와 가장 유사한 색을 고를 수 있어 심미적이며 수복을 위한 삭제량이 적고 산부식된 치질에 접착되어 치질을 보호할 수 있는 수많은 형태의 치과용 심미 수복 재료들이 출시되어져 왔다. 소아치과 영역에서 사용되는 재료로는 글래

스 아이오노머, 컴포머, 복합레진 등이 있다. 글래스 아이오노머 시멘트는 Wilson과 Kent에 의해 1962년 처음 소개되었고¹⁾ 법랑질, 상아질과 화학적으로 결합하며 불소를 유리한다는 장점이 있으나 물리적 성질에 다소 문제가 있어 제한적으로 사용되고 있다. 1990년대 초반에 소개된 컴포머는 복합레진과 글래스 아이오노머의 단점들을 상호보완하기 위한 polyacid-modified 복합레진으로 산성화된 이중 기능성 레진 단량체와 fluoro-alumino-silicate 글래스 입자로 구성되어 초기 광중합 후 구강내 수분을 흡수함으로써 이차적인 산-염기 반응의 결과로 불소를 유리 한다고 하여 2차 우식발생율이 더 높은 소아환자에서 주목할 만한 재료이다^{2,4)}. 복합 레진은 Bowen⁵⁾에 의해 개발되어 소개되었고 특히 1996년 후반에 소개된 유동성 복합레진은 전통적인 혼합형 복합레진과 같은 크기의 충전제를 함유하나 충전제의 함량을 낮추고 기질의 성분을 조절하여 재료의 점성을 감소시켜 임상적 적용시 시간 절약과 용이한 조작성을 제공 한다⁶⁾.

그러나 지속적인 물성의 향상에도 불구하고 이러한 재료의 가장 큰 문제는 교합압을 받는 부위에서의 과도한 마모라 할 수 있다⁷⁾. 특히 Papagiannoulis 등은 레진과 유사한 성질을 가지고 있다고 하는 컴포머가 일반적인 복합레진과 비교시 물리적 성질이 여전히 낮다고 보고하고 있다⁸⁾. 또한 사용이 간편하고 빠르며, 우수한 접근성으로 직접 와동에 주입하여 조작을 최소화하는 등의 장점을 가지고 있어 시술시간을 줄이는데 유리한 유동성 복합레진도 응력이 작용하는 구치부에는 사용할 수 없는 것으로 알려져 있다⁹⁾. 그러나 소아의 경우 성인에 비해 교합력이 약하고^{10,11)} 유구치의 탈락시기까지만 유지되는 것이 그 사용의 목적이므로 충분히 고려해 볼 수 있는 재료라 하겠다. 이 재료들은 장기간 구강내 환경에 노출되어 교모, 수분흡수, 착색 등의 요인으로 수복물 표면의 마모와 변색 및 수복물 자체의 파괴가 발생할 수 있다¹²⁾.

마모량을 평가하는 방법은 인체 내의 수복물에서 측정하는 방법과 실험적으로 측정하는 방법이 있다. 그러나 임상적인 검사는 시간, 비용, 조건의 조절이 어려워 임상적인 생체조건 상

황을 재현할 수 있는 많은 실험적인 방법들이 계속 개발되고 있다¹³⁻¹⁵⁾.

이러한 재료들을 구치부에 사용하는데 있어 그 동안 문제점으로 주로 지적되어 온 마모에 관한 문제를 얼마나 해결할 수 있는가는 상당히 중요하다. 구강 내에서의 마모과정은 표면의 화학적 분해와 부분적으로 관계가 있는 것으로 보이는데 이 과정은 수복물이 수분을 흡수하여 충전제와 기질 사이의 실란 결합을 파괴시키고, 흡수된 수분이 기질-충전제 인접면과 작은 기포 등을 통해 서서히 침투되어 점차적으로 실란 결합을 파괴하는 것으로 설명 된다¹⁶⁾. 표면하 분해의 깊이는 재료의 투과성에 의존하고, 재료의 투과성은 실란 결합의 안정성뿐만 아니라 기질과 충전제 입자의 화학적, 물리적 성질에 따라 다르게 나타난다¹⁷⁾. 충전제가 물이나 인공타액에서 용해되는 것이 매우 느리고 복합레진이 구강 환경 내에서 분해 되는 것은 수산화 이온 때문이므로^{18,19)} 본 연구에서 사용된 0.1N NaOH 용액은 물이나 인공타액보다 10⁶배의 수산화 이온이 더 많아 좀더 강한 매체를 제공해 줄 수 있다¹⁶⁾.

본 연구의 목적은 소아치과 영역에서 주로 사용되는 2중 복합레진과 2중 컴포머의 마모저항성을 비교하고자 마모량을 측정하였고 화학적 분해의 효과를 알기 위해 표면하 분해의 깊이를 측정하고 무게 변화, Si 이온의 농도, SEM과 Energy Dispersive X-ray Analysis 및 공초점 레이저 주사현미경 등의 관찰을 통해 재료의 특성을 비교 분석하여 재료 선택에 하나의 지표가 되고자 하였다.

II. 연구 재료 및 방법

본 연구에서는 구치부용 복합레진 Charmfil(Denkist, Korea), 유동성 복합레진 Charmfil flow(Denkist, Korea)와 컴포머인 Compoglass F(Ivoclar Vivadent, Liechtenstein), 유동성 컴포머인 PrimaFlow(DMG Hamburg, Germany) 등 4종을 사용하였다(Table 1).

Table 1. Materials used in this study

Material	Brand Name	Matrix	Filler	Particle size	Filler Vol %
Composite resin	Charmfil	Bis-GMA TEGDMA	Ba glass silica	mean 0.4 μ m	73%
Flowable resin	Charmfil flow	Bis-GMA TEGDMA	Ba glass silica	mean 0.4 μ m	61%
Compomer	Compoglass F	Bis-PMA UDMA TEGDMA	ytterbium trifluoride, BaAlFSiO ₄ glass spheroid mixed oxide	0.2~3.0 μ m	55%
Flowable compomer	PrimaFlow	UDMA	silicone dioxide	0.01~4.5 μ m	46%

* Bis-GMA : Bisphenol A diglycidylether methacrylate
 Bis-PMA : propoxylated Bis-GMA
 UDMA : urethane dimethacrylate
 TEGDMA : tetrathylene glycol dimethacrylate

1. 시편제작

화학적 분해를 평가하기 위해 내경 10mm, 두께 3mm인 테프론 몰드를 이용하여 각 제품마다 5개의 시편을 제작하였다. 각 재료를 테프론 몰드에 약간 넘치도록 주입하고 기포발생을 줄이기 위해 레진 기구로 응축시키거나 탐침으로 가장자리를 정리한 후 2장의 Mylar sheet와 유리판으로 압접하여 편평한 표면을 만들었다. 가시광선 중합기(Coltolux, Colténe, USA)로 각 면마다 20초씩 광조사한 다음 Mylar sheet와 유리판을 제거한 후 각 면에 20초씩 추가 조사하였다.

또한 마모저항성을 평가하기 위해 20mm×27mm×7mm의 시편을 2mm씩 적층하여 각 층마다 20초씩 광조사하여 제작하였다. 600, 1000, 1200 및 1500grit의 사포로 표면을 연마하고, 3 μ m과 1 μ m Al₂O₃(Logitech Ltd, UK)와 polishing clothes(OP-Nap, Struers, Denmark)로 마무리하였다.

증류수 내에서 초음파세척기를 이용하여 3분간 세척하여 시편의 이물질을 제거하고 각 시편을 60℃ 오븐에서 2시간 동안 건조시켰다.

2. 무게측정

건조 후 초기 시편 무게를 측정하였다. 각 시편을 3ml의 0.1N NaOH 용액이 담긴 폴리에틸렌용기에 담구고, 시편의 모든 부분이 용액과 접촉하도록 하는 한편 공기와의 접촉을 차단하기 위해 용기의 뚜껑 부분을 얇은 필름(PARAFILM, American National Can, USA)으로 완전히 밀봉한 다음 60℃ 오븐에서 2주간 보관하였다. 2주 후 시편을 1.23% HCl 용액으로 2시간 동안 중화시킨 후 흐르는 물에 세척하여 37℃ 항온기에서 24시간 건조하고 무게를 측정하였다. 초기의 무게와 용액에 저장한 후 무게차이를 계산하여 무게손실비(%)를 측정하였다.

3. 충전제 함량 측정

초기 시편의 무게를 측정한 후 600℃의 furnace에서 2시간 동안 기질을 연소시킨 다음 남아있는 충전제의 무게를 측정하여 무기 충전제의 함량을 무게비로 나타내었다.

4. 충전제 성분 분석

분석은 EDS(Energy Dispersive Spectrometer, Hitachi, Japan)를 갖춘 주사전자현미경을 사용하였다. 스펙트럼은 양적인 분석을 위한 컴퓨터 프로그램을 사용하여 시편내의 Si, Ba, Al, F 등을 분석하였다.

5. 용출된 Si 농도 측정

저장용액 내로 용출된 Si 농도를 측정하기 위하여 background의 영향이 적고, 재현성이 뛰어나며 미량원소의 검출에

적합한 유도결합플라즈마 원자방출 분광기(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy, 이하 ICP-AE, Leeman 010-2106, Leeman Lab, USA)를 이용하여 정량 분석하였다.

6. 주사전자현미경적 관찰

NaOH 용액에 보관했던 시편을 에폭시 레진(Epofix Kit, Struers, Denmark)에 매몰하여 1500grit의 사포까지 연마한 후 3 μ m과 1 μ m Al₂O₃와 polishing cloths로 마무리하였다. 시편을 각각 백금으로 표면 처리하여 주사전자현미경(S-4700, Hitachi, Japan)으로 용액에 저장하기 전과 후의 시편 표면을 관찰하고, 시편의 대조도의 차이로 표면하 분해층을 구분하여 각 시편당 8지점의 두께를 측정하였다.

7. 공초점 레이저 주사현미경적 관찰

노출된 시편을 마이크로톰(Isomet, Buehler, USA)을 이용하여 500 μ m로 절단하고 슬라이드 유리에 wax를 이용하여 부착하였다. PBS(phosphate buffered saline)에 5분 정도 담근 후 Propidium Iodide(PI) 용액에 10분 동안 보관한 다음, 다시 PBS로 세척하였다. 공초점 레이저 주사현미경(Confocal Laser Scanning Microscopy, 이하 CLSM, Olympus fluoview 300, Olympus, Japan)에서 He-Ne 레이저원(488nm)을 이용하여 분해층 깊이를 관찰하였다.

8. 표면경도 측정

미세경도측정기(Future-Tech, Toshiba, Japan)를 이용하여 비커스 경도를 측정하였다. 측정시 조건은 압입하중 200g, 유지시간 10초의 조건에서 하였고 각 시험 재료당 10개 지점에서 측정하여 그 평균값을 산출하였다.

9. 마모도 측정

20mm×27mm×7mm의 시편을 마모측정기(Special wear resistance testing, Hansol, Korea)에 장착하고 두께 3mm, 지름 30mm의 디스크 형태의 원통형 상대 마모재(SKD 11)를 100rpm의 속도로 총 10,000회 회전시켰다. 본 실험에 사용된 마모시험기는 상대마모재의 외주면에 추로서 8파운드의 하중을 가하고 로드셀을 사용하여 접촉하중을 측정하였다. 이때 접촉면으로 증류수를 계속 분사하여 윤활작용을 하게 하였다.

10. 통계학적 분석방법

비모수 검정 중에서 Kruskal-Wallis test와 Tukey's multiple comparison test를 시행하였고 상관관계를 보고자 Pearson correlation analysis를 시행하였다.

Ⅲ. 연구 성적

1. 충전제 성분 분석

시편내 충전제의 화학적 구성과 함량 분석 결과는 EDS에 의해 분석되었으며 Table 2에 표시하였다. 시편에서 구성성분이 차지하고 있는 함량을 무게비로 나타낸 것은 Table 3과 같다. 모든 제품이 불소를 포함하고 있으며 특히 컴포머인 Compoglass F에서 그 함량이 높았다.

2. 무게손실, 충전제의 용출농도 및 분해층 깊이와 상관관계

무게손실은 각 제품간 유의한 차이가 없었고($p>0.05$, Table 4), Si 용출량은 Charmfil, Charmfil flow, PrimaFlow와 Charmfil, PrimaFlow, Compoglass F 사이에 유의한 차이를 보였다($p<0.05$, Table 5). 분해층 깊이는 Compoglass F에서 133.91 μm 로 가장 깊었고 PrimaFlow, Charmfil, Charmfil flow 순이었으며, Compoglass F는 다른 제품과 유의한 차이를 보였다($p<0.05$, Table 6).

Si 용출량과 분해층 깊이사이에서 유의한 상관관계가 나타났다($r=0.602$, $p<0.05$, Table 8).

3. 주사전자현미경적 소견

표면을 관찰한 결과 0.1N NaOH 용액 저장 후 기질이 소실 되어 충전제가 두드러진 양상을 볼 수 있었고 충전제 입자의 표면이 분해에 의해 white line으로 탈회된 모습을 보였다.

분해층 깊이 관찰시 Compoglass F가 133.91(± 18.45) μm 로 가장 깊은 층을 형성하였고, PrimaFlow, Charmfil, Charmfil flow 순이었다.

4. 공촉점 레이저 주사현미경적 관찰

Propidium Iodide에 의해 형광 염색된 시편을 관찰한 결과 Compoglass F가 가장 깊고 나머지 제품에서는 비슷한 분해층 깊이를 관찰 할 수 있었다.

5. 마모량과 표면경도

Table 7은 마모시험 후 각 재료의 마모 최대깊이와 재료 자체의 표면경도를 나타낸 것이다. 최대마모깊이는 Charmfil flow에서 가장 낮았고, Compoglass F에서 가장 깊었다.

Table 2. Chemical composition in the filler particles

Material	element (Wt %) of the filler					weight % of filler
	Si	O	Al	Ba	F	
Charmfil	27.97	22.21	13.95	25.54	6.13	71.00
Charmfil flow	39.64	36.45	3.80	13.96	6.15	63.00
Compoglass F	21.15	32.04	12.00	4.28	20.58	76.94
PrimaFlow	36.54	40.26	5.42	14.07	3.71	65.33

Table 3. Weight percent of elements of fillers in 4 materials

Material	Element					
	Si	O	Al	Ba	F	
Charmfil	19.86	15.77	9.90	18.13	4.35	
Charmfil flow	23.86	21.94	2.29	8.40	3.70	
Compoglass F	16.27	24.65	9.23	3.29	15.83	
PrimaFlow	23.87	26.30	3.54	9.19	2.42	

Table 4. Mass-loss(%) of four materials exposed to NaOH solution

Material	Mass loss(%)	χ^2	P	Tukey's grouping
Charmfil	0.20 \pm 0.14	7.15	0.0674	A
Charmfil flow	0.30 \pm 0.05			A
Compoglass F	0.65 \pm 0.27			A
PrimaFlow	0.83 \pm 1.36			A

시험재료간의 표면경도(VHN)은 Charmfil이 평균 56.31으로 가장 높은 수치를 나타내었으며, Compoglass F가 55.22, Charmfil flow가 35.80, PrimaFlow가 26.83의 표면경도를 보였다. 표면경도값과 마모시험으로 나타난 최대 마모깊이는 통계적으로 유의한 상관관계를 나타냈다($r=0.501$, $p<0.05$, Table 8).

6. 각 항목간 상관계수

각 제품의 Si 용출량과 분해층 깊이 사이($r=0.602$, $p<0.05$), 마모 최대 깊이와 비커스 경도 간($r=0.501$, $p<0.05$)에는 유의한 상관관계를 보였으나 Si 용출량과 마모 최대 깊이($r=-0.052$, $p>0.05$) 등 다른 항목 간에는 유의한 상관관계를 보이지 않았다(Table 8).

Table 5. Si loss(ppm) of four materials exposed to NaOH solution

Material	Si loss(ppm)	eluted Si % from Si in filler	χ^2	P	Tukey's grouping
Charmfil	109.21±19.50	3.37	8.0429	0.0451	A B
Charmfil flow	167.85±122.59	4.95			A
Compoglass F	29.43±2.64	1.03			B
PrimaFlow	91.60±11.29	2.53			A B

Table 6. Degradation layer depth(μm) of four materials exposed to NaOH solution

Material	Degradation layer depth (μm)	χ^2	P	Tukey's grouping
Charmfil	5.38±1.01	76.644	0.0001	A
Chramfil flow	2.92±0.67			A
Compoglass F	133.91±18.45			B
PrimaFlow	7.16±2.64			A

Table 7. Maximum wear depth and hardness

	Mean maximum wear depth(mm)	Mean Vicker's hardness number (VHN)
Charmfil	0.16±0.16	56.31±2.00
Charmfil flow	0.08±0.07	35.80±3.14
Compoglass F	0.20±0.11	55.22±2.65
PrimaFlow	0.17±0.20	26.83±1.31

Table 8. Pearson correlation coefficients

	Mass loss	Degradation depth	Si loss	VHN	Maximum wear depth
Mass loss	—	$r=-0.241$ $p 0.428$	$r=-0.192$ $p 0.516$	$r=0.424$ $p 0.102$	$r=0.384$ $p 0.143$
Degradation depth	$r=-0.241$ $p 0.428$	—	$r=0.602$ $p 0.038 *$	$r=0.037$ $p 0.903$	$r=-0.246$ $p 0.418$
Si loss	$r=-0.192$ $p 0.516$	$r=0.602$ $p 0.038 *$	—	$r=0.124$ $p 0.673$	$r=-0.052$ $p 0.860$
VHN	$r=0.424$ $p 0.102$	$r=0.037$ $p 0.903$	$r=0.124$ $p 0.673$	—	$r=0.501$ $p 0.025 *$
Maximum wear depth	$r=0.384$ $p 0.143$	$r=-0.246$ $p 0.418$	$r=-0.052$ $p 0.860$	$r=0.501$ $p 0.025 *$	—

*There is a statistically significant difference ($p<0.05$)

IV. 총괄 및 고찰

우식억제 및 재석회화 효과가 확인되면서 불소는 다양한 방법으로 소아치과 영역의 임상에도 도입되어 왔다. 복합레진과 글래스 아이오노머의 단점들을 보완하고 장점들을 수용하기 위한 목적으로 개발된 polyacid-modified 복합레진인 컴포머는 불소를 함유하여 뛰어난 항우식 효과와 물성 및 결합력, 시술의 편의성 등을 고루 갖춘 재료이다³⁾. 최근까지의 연구 결과 컴포머는 복합레진에 버금가는 물성, 높은 심미성 및 조작의 편의성을 지니며 산 부식 과정이 없이도 높은 결합강도를 나타낼 뿐만 아니라 변연 봉쇄성도 뛰어난 것으로 보고 되고 있다^{20,21)}.

그러나 심미수복 재료인 복합레진이나 컴포머의 단점 중의 하나는 마모에 대한 저항성이 충분하지 않다는 것이다^{12,22)}. 최근 마모 저항성을 증진시키는 많은 발전이 있었으나 현재까지도 마모의 정확한 기전은 확립되지 못하였다. 마모와 관련된 여러 가지 인자 중 마모된 수복물에서 구강내 환경에 노출된 모든 표면의 하방에 표면하분해층이 관찰되고 응력 집중 부위에서만 아니라, 비응력 집중부위에서도 분해층이 발견됨으로써 stress만이 유일한 원인이 아니라 수복물내의 표면하분해와 재료의 용해성이 관련된 하나의 인자로 여겨지고 있다^{22,23)}. 마모에 의한 소실이 침식에 의한 분해층 형성보다 빠르면 기계적 마모이고, 반대의 경우는 화학적 분해이다¹⁶⁾.

복합레진이나 컴포머가 구강내의 액상의 환경에 노출될 경우, Chen과 Brauer²⁴⁾는 레진과 충전제 계면의 실란 결합이 가수분해를 일으킴으로 강도가 저하한다고 하였고, Kamel과 Neri²⁵⁾는 기질레진을 통한 수분의 침투로 표면과 내부에서 실란 결합의 파괴가 가능하다고 하였다. 화학적 분해의 실험실 평가시 매체의 선택은 중요하다. 이전의 연구에서 수복물내의 국소적인 pH가 상승되었을 경우 실란커플링제와 충전제입자의 분해가 촉진되는 것으로 보고 되었고²⁶⁾, 이러한 pH는 수복물이 수분을 흡수하게 되면 수산기를 형성하여 국소적으로 pH가 상승된다고 하였다. Sarkar¹⁶⁾에 의하면 NaOH는 다량체 기질에 영향을 주지 않고 충전제 입자를 분해하며, in vivo에서 보여지는 것과 유사한 표면하분해를 형성한다고 하였다. 이러한 분해는 인접면 결합 파괴, 충전제의 용출, 기질간의 틈새 형성, 중합되기 전 단계인 레진 블록의 파괴, 레진의 표면 파괴 등을 포함한다. 충전제 분자들의 용출은 충전제 표면이 연화된 결과 충전제-기질 결합이 깨지면서 야기된다. 이렇게 형성된 약해진 층으로 인해 수복물의 착색과 변색이 쉽게 일어날 수 있고 마모가 더 잘 나타날 수 있다고 생각할 수 있다. 본 연구에 사용된 0.1N NaOH 용액은 물과 인공타액에 존재하는 수산기보다 10⁶배 더 많기 때문에 더욱 침투적인 매체가 될 수 있다^{18,19)}.

X-ray data를 통하여 표본의 질적, 양적인 정보를 제공하는 EDS를 통해 각 제품의 시편내 충전제의 성분 함량을 분석하였고, NaOH 용액내로 용출된 충전제의 성분은 ICP-AE (Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission) spectroscopy 기술을 이용하여 분석하였다. 유도결합플라즈마 광원

으로 얻을 수 있는 스펙트럼은 background가 낮고 재현성이 좋기 때문에 동위원소의 분석, 미량 원소의 검출 등에 이용할 수 있고, 또한 시료용액을 일정한 속도로 분무시켜서 안정한 불꽃을 얻을 수 있으므로 재현성이 뛰어난 정량 분석이 가능하다. 본 연구에서는 각 재료에서 녹아난 Si 이온 농도를 측정하기 위해 이를 이용하였다. EDS 분석 결과 Charmfil은 주로 Si, Ba 등으로 구성되어 있으며 Charmfil flow, Compoglass F, PrimaFlow는 주로 Si, O 등으로 구성되어 있었다. 컴포머로 불소의 높은 함량이 기대된 Compoglass F는 불소의 함량이 20.58%로 높았으나 PrimaFlow는 3.71%로 다른 복합레진에 비해서도 낮은 함량을 보였다. 용출된 Si 농도는 시편내 Si 농도가 높은 Charmfil flow가 167.85ppm, 전체 충전제내 Si 함량의 4.95%가 용출되어 다른 제품에 비해 높은 값을 보였다. Si는 SiO₂나 glass silicate의 성분이므로 용출된 Si의 양은 충전제 입자 분해의 증거이다¹⁶⁾.

화학적 분해층의 형성은 레진과 충전제, 실란 결합의 물리적 화학적 성질의 복합 성질인 재료의 투과성에 의존한다. 본 연구에서는 수복재의 분해층 표면과 분해 깊이 측정을 위하여 SEM과 CLSM이 이용되었다. SEM을 사용하여 얻은 이미지를 통하여 광학 현미경으로 볼 수 없는 특징을 분석하거나 측정하였고 CLSM은 optical axis에 pinhole을 설치하여 초점이 정확하게 맞는 광선만을 선택할 수 있도록 개선함으로써 해상력을 극대화시킨 상을 얻을 수 있다²⁷⁾. SEM 조건상 분해층 깊이는 Compoglass F가 133.91μm로 가장 깊은 층을 형성하였고 Si 용출량과 분해층 깊이 사이에는 유의한 상관관계를 보였다 (r=0.602, p<0.05, Table 8). 이는 충전제 분해와 내부 침식이 관련이 있음을 의미 한다¹⁶⁾.

Göhring 등²⁸⁾은 실험실 연구에서 충전제의 증가가 마모저항성을 증진시키지만 임상에서는 특별한 충전제의 첨가가 마모저항성을 향상시키지 못한다고 하였다²⁹⁾. 또한 Söderholm 등³⁰⁾은 충전제의 구성은 마모율과 무관하다고 주장하고 있다. 이러한 상반된 결과는 실험실에서 고려되지 못한 구강내 여러 요인이 재료의 마모저항에 기여함을 나타낸다.

Yap 등¹⁵⁾은 마모저항에 있어서 작은 충전제를 포함하는 microfilled 복합레진이 더 큰 충전제를 포함하는 hybrid 복합레진보다 우수하다고 하였고 Yau 등³¹⁾은 Leinfelder 마모시험기를 이용한 유동성 복합레진의 마모저항성이 충전제의 크기가 작은 편에 속하므로 일반 복합레진보다는 크고 아말감과 비슷한 값을 나타냈다고 하였다. 본 연구에서는 유동성 복합레진인 charmfil flow에서 평균 최대 마모 깊이가 가장 얇은 0.08mm로 Yau 등의 실험 결과와 유사하였다.

Hudson 등³²⁾은 표면의 강도와 마모도 사이에는 상관관계를 보이지 않았다고 하였지만, Monasky와 Taylor³³⁾는 표면의 성상이나 강도는 내마모성에 영향을 미칠 수 있는 인자라고 하였다. 본 연구에서도 표면경도는 시험재료의 최대 마모깊이와 양의 상관관계를 보였다(r=0.602, p<0.05).

소아치과 영역의 심미 수복 재료인 컴포머와 복합레진의 사

용이 임상에서 많아지고 있지만 마모에 대한 문제점이 지속적으로 제시되어져 왔다³⁾. 이 연구는 재료의 화학적 분해와 물리적 마모에 대한 이해를 제공하고자 불소 방출이라는 효과를 얻기 위해 사용되는 컴포머와 조각의 용이성으로 많이 사용되는 유동성 복합레진 등에서 마모에 기여하는 다양한 요소를 평가하였다. 본 연구에서는 컴포머인 Compoglass F는 불소함량은 가장 높았으나 화학적 분해층과 마모깊이가 가장 깊은 것으로 나타났다. 그리고 flowable type의 복합레진과 컴포머는 표면경도와 마모도에서 양호한 결과를 보였다. 시중에 판매되는 여러 심미 수복재료 중에서 선택시 평가기준을 제시하고자 하는데 이 연구의 목적이 있었다. 그러나 이번 연구는 다양한 구강 조건을 고려하지 못했다는 한계가 있었으며 저작시 운동과 상대마모제, 마모환경 등 실제 구강 조건과 차이가 있으므로 이런 조건을 좀더 다양하게 적용하여 마모에 대한 연구가 더 필요하리라 사료된다.

V. 결 론

본 연구는 소아치과 영역에서 흔히 사용되는 심미수복재료인 복합레진인 Charmfil과 Charmfil flow, 컴포머인 Compoglass F와 PrimaFlow를 이용하여 시편을 제작하고 기계적 마모 및 화학적 분해를 평가하였다. 0.1N NaOH 용액에 보관 후 각 재료의 무게 손실, 분해층 깊이, 용출된 Si의 농도를 측정하고, 주사전자현미경과 공초점 레이저 주사 현미경 관찰을 하여 표면을 관찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 무게손실량은 각 제품간 차이를 보이지 않았다($p>0.05$).
2. 분해층 깊이는 Compoglass F가 가장 깊었고, PrimaFlow, Charmfil, Charmfil flow 순이었고 Compoglass F와 다른 제품 간에는 유의한 차이를 보였다($p<0.05$).
3. Si 용출량은 Charmfil flow가 가장 많았고, Compoglass F가 가장 작았으며 두 제품 간에는 유의한 차이를 보였다($p<0.05$).
4. 주사전자현미경 관찰시 표면 양상 및 분해층 깊이를 관찰할 수 있었고 공초점 레이저 현미경 관찰시 NaOH 용액에 보관한 후 기질과 충전제 사이의 결합의 파괴 양상인 분해층 깊이를 관찰할 수 있었다.
5. 마모는 Compoglass F에서 가장 많이 일어났으며, PrimaFlow, Charmfil, Charmfil flow 순이었고 각 제품 간에는 유의한 차이를 보였다($p<0.05$).
6. 각 제품의 Si 용출량과 분해층 깊이 사이($r=0.602$, $p<0.05$), 마모 최대 깊이와 비커스 경도 사이($r=0.501$, $p<0.05$)에는 상관관계를 보였으나 Si 용출량과 마모 최대 깊이($r=-0.052$, $p>0.05$) 등 다른 항목간에는 유의한 상관관계를 보이지 않았다.

본 연구에서 Compoglass F는 불소함량은 가장 높았으나 화학적 분해층과 마모깊이가 가장 깊은 것으로 나타났으며 flow-

able type의 복합레진과 컴포머는 표면 경도와 마모도에서 양호한 결과를 보였다.

이상의 결과 복합레진과 컴포머의 평가요소로서 마모도와 함께 가수분해도 고려되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Wilson AD, Kent BE : The glass ionomer cement, a new translucent cement for dentistry. *J Appl Chem Biotechnol*, 21:313-316, 1971.
2. Kugel G, Perry RD, Hoang E, et al. : Dyract compomer : Comparison of total etch vs. no etch technique. *Gen Dent*, 606-608, 1998.
3. Eliades G, Kakaboura A, Palaghias G : Acid-base reaction and fluoride release profiles in visible light-cured polyacid-modified composite restoratives (compomers). *Dent Mater*, 14:57-63, 1998.
4. Lavis J.F, Peters M.C.R.B., Mount GJ : In vitro changes to Dyract compomers restorative immersed in various media. *J Dent Res*, 74:491 (IADR Abstract No.727), 1995.
5. Bowen RL : Properties of a silica-reinforced polymer for dental restorations. *J Am Dent Assoc*, 66:57-64, 1963.
6. Bayne SC, Thompson JY, Swift XJ, et al. : A characterization of first generation flowable composite. *J Am Dent Assoc*, 129:567-577, 1998.
7. Wu W, McKinney JE : Influence of chemical on wear of dental composites. *J Dent Res*, 61(10):1180-1183, 1982.
8. Papagiannoulis L, Kakaboura A, Pantaleon F : Clinical evaluation of a polyacid-modified resin composite (compomer) in Class II restorations of primary teeth : a two-year follow-up study. *Pediatr Dent*, 21(4) : 231-235, 1999.
9. Bayne SC, Thompson JY, Swift EJ Jr, et al. : A characterization of firstgeneration flowable composites. *J Am Dent Assoc*, 129:567-577, 1998.
10. Proffit WR, Fields HW, Nixon WL : Occlusal forces in normal- and long-face adults. *J Dent Res*, 62(5): 566-571, 1983.
11. Fields HW, Proffit WR, Case JC, et al. : Variables affecting measurements of vertical occlusal force. *J Dent Res*, 65:135-138, 1986.
12. Leinfelder KF, Sluder TB, Sockwell CL : Clinical evaluation of composite resins as anterior and posterior restorative materials. *J Prosthet Dent*, 33:407-

- 416, 1975.
13. DeLong R, Douglas WH : An artificial oral environment for testing dental materials. *IEEE Trans Biomed Eng*, 38:339-345, 1991.
 14. Roulet JF : Degradation of dental polymers, Karger Press, Basel, Switzerland, 92-113, 1987.
 15. Yap AU, Ong LF, Teoh SH, et al. : Comparative wear ranking of dental restoratives with the BIO-MAT wear simulator. *J Oral Rehabil*, 26:228-235, 1999.
 16. Sarkar NK : Internal corrosion in dental composite wear : Its significance and simulation. *J Biomed Mater Res*, 53:371-380, 2000.
 17. Ferrancane JL : Elution of leachable components from composites. *J Oral Rehabil* 21:441-452, 1994.
 18. Sarkar NK, Xu X, Li L, et al. : Hydrolytic degradation of dental composites. *J Dent, Res spec #855*, 1996.
 19. Hosoda H, Yamada T, Inokoshi S : Study on degradation of posterior composite resins I. Structural changes in subsurface damage layer of resins under alkaline conditions. *J Conserv Dent*, 30:1251-1265, 1987.
 20. Brackett WW, Gunnin TD, Gilpatrick RO, et al. : Microleakage of Class V compomer and light-cured glass ionomer restorations. *J Prosthet Dent*, 79(3): 261-263, 1998.
 21. Çehreli ZC, Usmen E : Effect of surface conditioning on the shear bond strength of compomers to human primary and permanent enamel. *Am J Dent*, 12(1): 26-30, 1999.
 22. Roulet JF, Wälti C : Influence of oral fluid on composite resin and glass-ionomer cement. *J Prosthet Dent*, 52(2):182-189, 1984.
 23. Söderholm KJ : Filler leachability during water storage of six composite materials. *Scand J Dent Rest*, 98:82-88, 1990.
 24. Chen TM, Brauer GM : Solvent effects on bonding organo-silane to silica surfaces. *J Dent Res*, 61(12):1439-1443, 1982.
 25. Kamel IL, Neri GA : Radiation modified filler for dental restorative composites. *J Math Phys Chem*, 14:603-611, 1979.
 26. Ferracane JL, Condon JR : Rate of elution of leachable components from composite. *Dent Mater*, 6:282-287, 1990.
 27. Shotton DM : Confocal scanning optical microscopy and its applications for biological specimens. *J Cell Sci*, 94:175-206, 1989.
 28. Göhring TN, Besek MJ, Schmidlin PR : Attritional wear and abrasive surface alterations of composite resin materials in vitro. *J Dent*, 30: 119-127, 2002.
 29. Söderholm KJ, Zigan M, Ragan M, et al. : Hydrolytic degradation of dental composites. *J Dent Res*, 63(10):1248-1254, 1984.
 30. Söderholm KJ, Mark CK Yang : Filler particle leachability of experimental dental composites. *Eur J Oral Sci*, 108:555-560, 2000.
 31. Yau L, Perry R, Kugel G : Three body wear of light cured flowable composites. *J Dent Res*, 76:423(IADR Abstract No.3276), 1997.
 32. Hudson JD, Goldstein GR, Georgescu M : Enamel wear caused by three different restorative materials. *J Prosth Dent*, 74(6):647-654, 1995.
 33. Monasky GE, Taylor DF : Studies on the wear of porcelain, enamel and gold. *J Prosthet Dent*, 25(3): 299-306, 1971.

Explanation of Figures

(Fig. 1.~ Fig. 3. Scanning electron micrographs of Charmfil)

Fig. 1. SEM of Charmfil before soaking in 0.1N NaOH solution ($\times 5000$).

Fig. 2. SEM of Charmfil after soaking in 0.1N NaOH at 60°C for 2 weeks ($\times 5000$).

There is destruction of composite resin matrix-filler interface and the periphery of the filler particles are appeared whitish color due to degradation.

Fig. 3. SEM of degradation layer depth Charmfil ($\times 100$).

(Fig. 4.~ Fig. 6. Scanning electron micrographs of Charmfil flow)

Fig. 4. SEM of Charmfil flow before soaking in 0.1N NaOH solution ($\times 5000$).

Fig. 5. SEM of Charmfil flow after soaking in 0.1N NaOH at 60°C for 2 weeks ($\times 5000$).

As the matrix decreases, the filler particles are distinguished.

Fig. 6. SEM of degradation layer depth Charmfil flow ($\times 100$).

(Fig. 7.~ Fig. 9. Scanning electron micrographs of Compoglass F)

Fig. 7. SEM of Compoglass F before soaking in 0.1N NaOH solution ($\times 5000$).

Fig. 8. SEM of Compoglass F after soaking in 0.1N NaOH at 60°C for 2 weeks ($\times 5000$).

This shows the debonding of filler from matrix.

Fig. 9. SEM of degradation layer depth Compoglass F ($\times 100$).

(Fig. 10.~ Fig. 12. Scanning electron micrographs of PrimaFlow)

Fig. 10. SEM of PrimaFlow before soaking in 0.1N NaOH solution($\times 5000$).

Fig. 11. SEM of PrimaFlow after soaking in 0.1N NaOH at 60°C for 2 weeks ($\times 5000$).

The periphery of the filler particles appears whitish color due to degradation.

Fig. 12. SEM of degradation layer depth PrimaFlow ($\times 100$).

Fig. 13. Confocal Laser Scanning Microscopy image of Charmfil ($\times 500$)

It showed thin degradation layer (arrow).

Fig. 14. Confocal Laser Scanning Microscopy image of Charmfil flow ($\times 500$)

It showed thin degradation layer (arrow).

Fig. 15. Confocal Laser Scanning Microscopy image of Compoglass F ($\times 500$)

It showed thick degradation layer (arrow).

Fig. 16. Confocal Laser Scanning Microscopy image of PrimaFlow ($\times 500$)

It showed thin degradation layer (arrow).

사진부도 ①

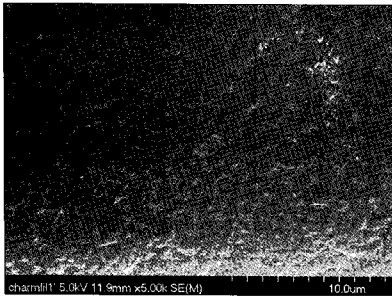


Fig. 1

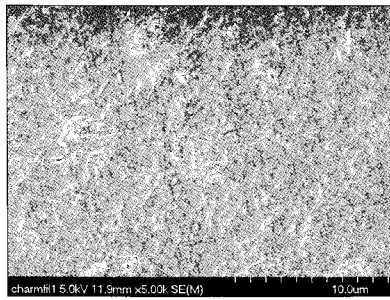


Fig. 2

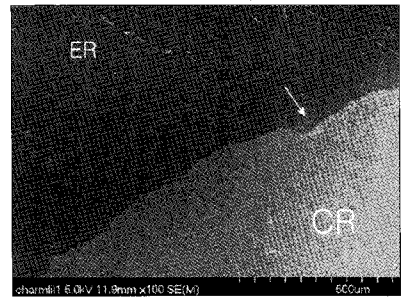


Fig. 3

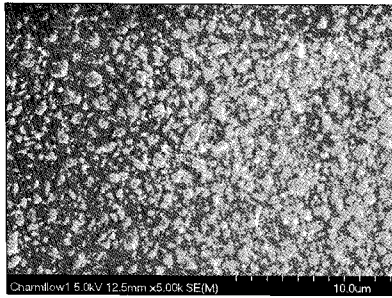


Fig. 4

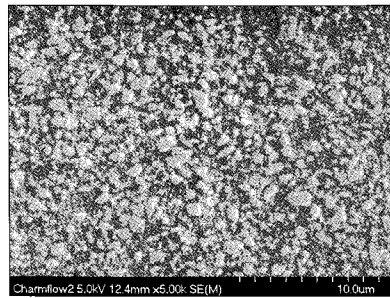


Fig. 5

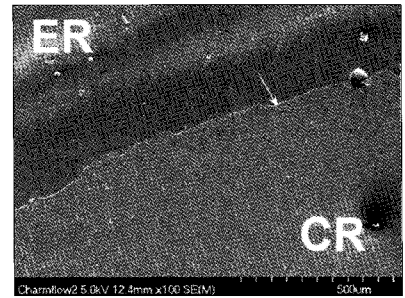


Fig. 6

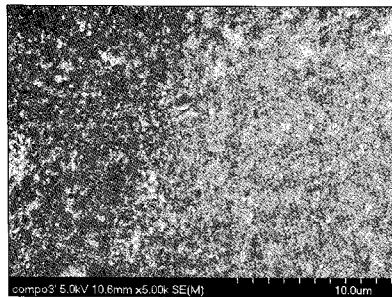


Fig. 7

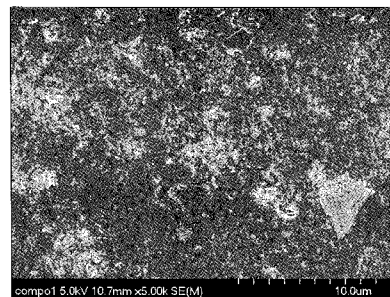


Fig. 8

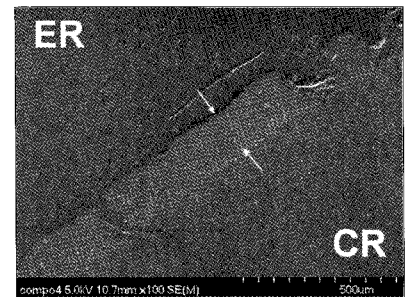


Fig. 9

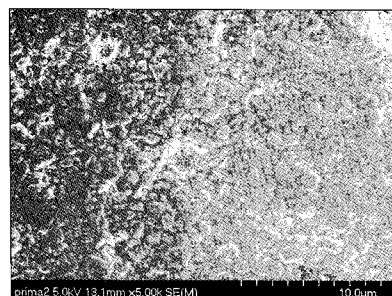


Fig. 10

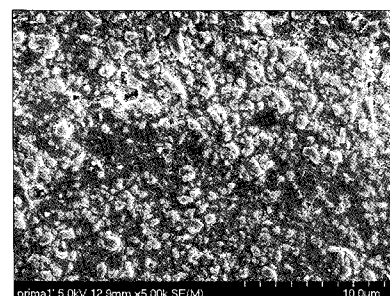


Fig. 11

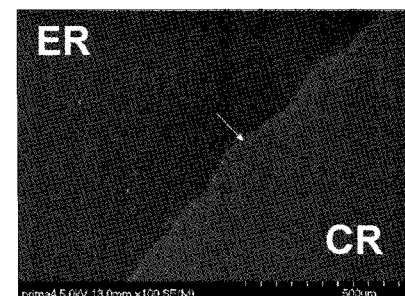


Fig. 12

*ER : epoxy resin, CR : composite resin, C : compomer, arrow : degradation layer

사진부도 ②

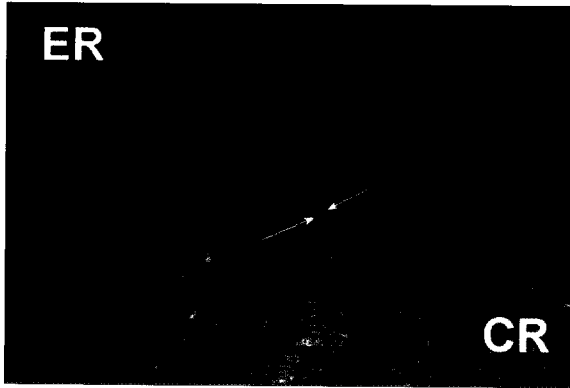


Fig. 13

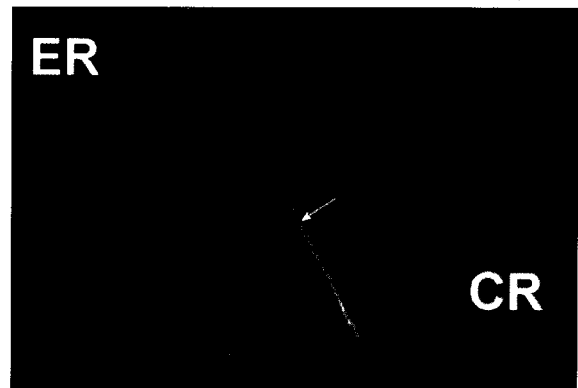


Fig. 14

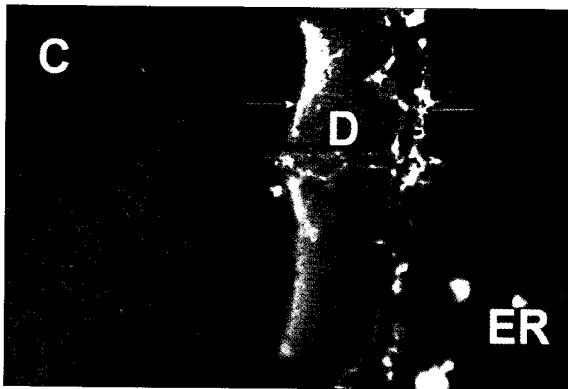


Fig. 15

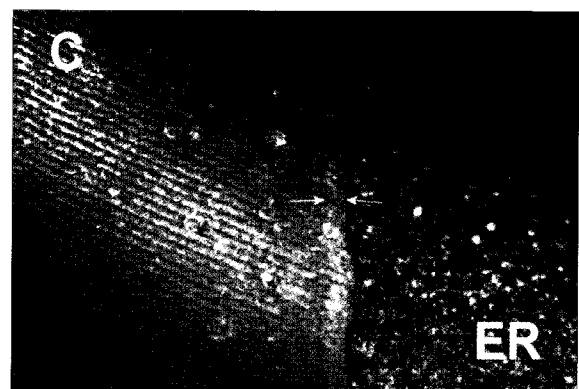


Fig. 16

* ER : epoxy resin, CR : composite resin, C : compomer, D : degradation layer, arrow : degradation layer

Abstract

WEAR AND CHEMICAL DEGRADATION OF ESTHETIC RESTORATIVE MATERIALS

Kyu-Ho Yang, D.D.S., Ph.D., Nam-Ki Choi, D.D.S., Ph.D., Hun-Ju Kim, D.D.S.,
Seon-Mi Kim, D.D.S., Ph.D.*

*Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Chonnam National University and Dental Research Institute,
Department of Dental Hygiene, Gwang-ju Health College**

The aim of this study was to evaluate the resistance to degradation and to compare the wear resistance characteristics of four esthetic restorative materials in an alkaline solution.

The brands studied were Charmfil, Charmfil flow(composite resin), Compoglass F and PrimaFlow(compomer).

The results were as follows:

1. The mass loss were not significantly different among the materials($p>0.05$).
2. The sequence of the degree of degradation layer depth was in descending order by Compoglass F, PrimaFlow, Charmfil, and Charmfil flow. There were significant differences between Compoglass F and the others($p<0.05$).
3. The sequence of the Si loss was in descending order by Charmfil flow, Charmfil, PrimaFlow, and Compoglass F. There were significant differences among these materials($p<0.05$).
4. When observed with SEM, destruction of bonding between matrix and filler was observed and when observed with CLSM, the depth of degradation layer of specimen surface was observed.
5. The sequence of maximum wear depth was in descending order by Compoglass F, PrimaFlow, Charmfil, and Charmfil flow. There were significant differences among these materials($p<0.05$).
6. The correlation coefficient between Si loss and degradation layer depth ($r=0.602$, $p<0.05$), Vicker's hardness number and maximum wear depth ($r=0.501$, $p<0.05$) were relatively high.

These results indicate that wear and hydrolytic degradation may be considered to be evaluation factors of composite resins and compomers.

Key words : Esthetic restorative materials, Wear, Chemical degradation