

재래형 콤포짓트 레진의 마찰 · 마멸거동

임정일 · 서세광* · 김교한** · 김석삼***

경북대학교 대학원 기계공학과, *경북대학교 대학원 치의학과
경북대학교 치과대학 생체재료학교실, *경북대학교 기계공학부

Friction and Wear Behaviors of Conventional Composite Resins

Jing-Ri Ren, Se-kwang Suh*, Kyo-Han Kim** and Seock-Sam Kim***

Graduate school, Department of Mechanical Engineering, Kyungpook National University

*Graduate School, Department of Dentistry, Kyungpook National University

**Department of Dental Biomaterials, Kyungpook National University

***Department of Mechanical Engineering, Kyungpook National University

Abstract – The friction and wear characteristics of dental composite resins such as Charisma, Elitofil, TPH and Veridonfil were investigated. Furthermore, The surface characteristics examination, the analysis of contents of filler, Vickers hardness and fracture toughness measurement of composite resins were preformed. The wear test applied ball to move reciprocally on flat wear tester at room temperature. Microstructure of surfaces and worn surfaces were observed by SEM. Experimental results indicate that the friction coefficient of TPH was quite low, and the wear resistance of TPH was better than that of Charisma, Elitofil or Veridonfil at the same condition. The main wear mechanism was found to be plastic flow and abrasive wear by failure of filler's bond to the matrix.

Keywords – wear mechanism, composite resin, dental material.

1. 서 론

치과용 콤포짓트(Composite) 레진은 자연치아의 색조를 나타낼 수 있는 합성 폴리머와 세라믹 강화입자 그리고 레진 기질과 세라믹 강화입자간의 결합을 증가시켜주는 실란 커플링제 등으로 구성되어 있다.

콤포짓트는 1958년 Bowen[1]에 의해 개발된 이후 초기에는 주로 전치부 와동(窩洞)에 그 심미성(審美性)으로부터 임상에서 널리 사용되었다. 그후 1971년 Phillips[2]등에 의해 구치수복(臼齒修復)에 있어서 주로 사용되어 왔던 수은용출의 위험성이 있는 아말감의 대체재료로 사용되어 오면서부터 응용범위가 더욱 넓어져 왔으며 장기간의 임상적용에 대한 양호한 임상성적이 발표되고 있다[3-5].

콤포짓트 레진의 물성은 각각의 성분이 매우 중요하지만 최근 들어 가장 크게 변화를 가져온 것은 필러의 성분이나 그 형태의 변화에 있다. 즉, 연마성 등

을 개선하기 위해 필러의 직경이 더욱 작아지고 있고, 종래의 석영 필러의 단점인 방사성불투과성을 가지기 위해 유리필러의 개발 등이 이루어지고 있다.

치과재료의 특성평가에서 교모(咬耗)나 마멸을 평가하는 방법으로 주로 장기간의 임상실험으로 평가하였으며 1990년 堀江[6]는 단기간뿐만 아니라 실험방법으로도 평가할 수 있는 교마멸시험기를 개발하였다. 그러나 콤포짓트 레진에 함유된 필러의 재질, 형태, 크기, 입도, 분포, 함유농도, 배합방식 및 레진기질 등 요소들의 미세한 차이와 제작 및 실험방법에 따라 그 결과들이 일치하지 않고 있다.

佐藤[7]는 콤포짓트 레진의 교마멸(咬摩滅) 현상에는 콤포짓트 레진의 표면성상, 구강내 환경에 있는 화학적 열화, 교합접촉(咬合接觸)이거나 식물에 의한 물리적 요인, 콤포짓트 레진의 조성, 경도 및 기포의 존재 등의 기계적 성질이 각각 복잡하게 관여하고 있는 것으로 보고하였다. 종래의 콤포짓트 레진의 평가

법으로 기계적 성질에 의한 평가 혹은 마멸실험에 의한 평가 등의 보고들이 많지만 필러의 크기와 형태, 함유량, 콤포지트 레진의 경도와 파괴인성 등 요소들이 콤포지트 레진의 마멸거동에 주는 영향에 관하여 상세하게 검토된 것은 많지 않다[8-10].

따라서 본 연구에서는 앞서 발표한 유기복합필러를 포함하는 치과용 콤포지트 레진[11]과는 필러의 크기와 형태 및 제작방법을 다르게 하여 배합한 재래형 콤포지트 레진에 대하여 마찰·마멸실험을 수행하고 콤포지트 레진의 마찰·마멸특성을 해석하였으며 주사전자현미경(SEM)을 이용한 조직관찰과 마멸면의 미시적인 관찰을 통하여 필러의 크기와 형태 및 함유량과 경도 등이 콤포지트 레진의 파괴인성 및 내마멸성에 미치는 영향을 해석하고 마멸기구를 규명하였다.

2. 실험

2-1. 시험편 및 실험장치

본 실험에서는 시판되는 치과용 수복재료인 Charisma, Elitefil, TPH, Veridonfil 등 4종류의 재래형 콤포지트 레진을 대상으로 실험하였다. Table 1에 본 실험에서 사용된 시험편을 나타내었다. 시험편은 직경이 5 mm, 깊이 1 mm의 홈에 콤포지트 레진을 충전하고 슬라이드 글라스로 덮어 광조사기로 30초간 조사시킨 후 37°C의 항온조에서 7일간 보관한 후 연마지 Cw600, Cw1000, Cw1200, Cw1500의 순서로 물을 분해서 표면조도를 약 0.1 μmRa로 연마하였다. Fig. 1에서 시험편의 형상을 나타내었다.

본 연구에서는 콤포지트 레진의 마찰·마멸 특성을 평가하기 위해 구강내에서의 저작(咀嚼)에 의한 마멸상태를 실험적으로 재현하기 위해 왕복미끄럼 운동하는 마찰·마멸실험장치를 제작하여 사용하였다 [12]. 본 실험장치는 미끄럼 속도를 0~1,000 mm/sec 범위에서 무단 변속할 수 있으며 미끄럼거리는 0.2~10 mm로 변화시킬 수 있다. 실험온도는 실온~100

Table 1. Commercial compomer used in this study

Brand Name	Company	Lot No.
Charisma	KULZER	035
Elitefil	BISCO	089294
TPH	DENTSPLY/CAULK	9642115
Veridonfil	HYOSUNG	

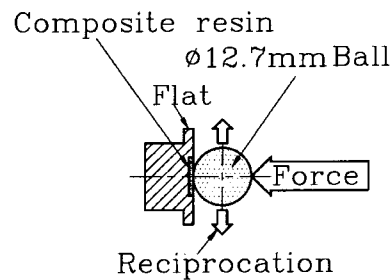


Fig. 1. Schematic illustration of ball on flat wear test.

°C 사이의 일정 온도에서 실험할 수 있으며 시험편에 가해지는 하중은 정하중(deadweight)을 사용하였다. 마찰계수는 인장압축 로드셀에서 나오는 전압신호를 증폭시킨 다음 아날로그/디지털 변환기(PCL812 analog/digital converter)로 변환시켜 컴퓨터에 입력하여 계산하였다.

마찰·마멸실험은 Fig. 1에서 나타낸 바와 같이 평판 위에서 선형 왕복하는 볼에 일정한 하중으로 가압하는 볼 온 평판 마찰계(ball on flat tribometer)형식을 사용하였다.

실험순서는 초음파세척 → 건조 → 마찰·마멸실험 → 초음파세척 → 건조 → 현미경관찰 → 표면조도측정의 순서로 하였으며 상온, 상압, 무윤활상태인 일반적인 조건하에서 실험을 수행하였다. 실험조건은 접촉부에서의 볼의 왕복 사이클수를 8회/min, 하중은 9.8 N으로 일정하게 하였으며 상대시험편은 Ø12.7 mm의 Si₃N₄의 볼을 사용하였다. 마멸변화곡선을 구하기 위해 1000사이클마다 실험을 중지한 후 표면조도 측정기(Surf-500, Mitutoyo Co., Japan)를 사용하여 시험편 트랙부에서 수직되는 단면곡선을 측정하였으며 볼의 마멸에 의한 영향을 배제하기 위해 볼의 접촉면을 바꾸어서 실험을 계속하였다. 모든 실험은 3회 행하여 평균치로서 비교하였다.

2-2. 실험방법

콤포지트 레진에 함유된 필러의 크기와 형태, 함유량과 경도 등이 콤포지트 레진의 파괴인성과 마찰·마멸특성에 주는 영향을 검토하기 위해 각 시험편에 대한 연마표면의 성상관찰과 필러의 함유량측정, 경도 및 파괴인성을 측정후 마찰·마멸실험을 수행하였다. 측정은 5회 행하여 그 평균값을 구하여 비교하였다.

2-2-1. 시험편 연마표면의 성상관찰

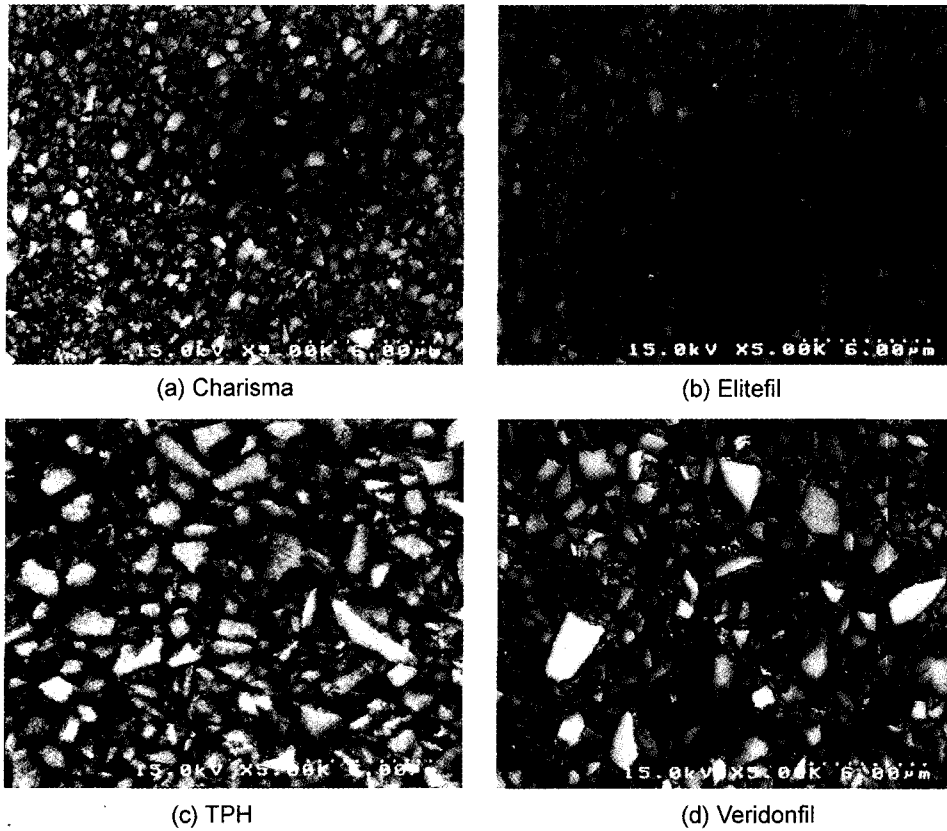


Fig. 2. SEM photographs of ground surface for specimens.

Fig. 2는 콤포짓트 레진의 연마표면의 SEM 사진으로서 레진기질에 함유된 필러의 형태, 크기 및 분포를 나타내고 있다.

Fig. 2(a)는 Charisma로서 0.3~1.2 μm 크기의 무정형의 필러들로 구성되어 있으며 Fig. 2(b)의 Elitefil는 0.6~1.2 μm 크기의 다양한 크기의 무정형의 필러로 구성되어 있으며 필러간의 결합이 상대적으로 잘 되어있는 것을 알 수 있으며 Fig. 2(c)는 TPH로서 약 2 μm 크기의 무정형의 필러들과 그 사이에 약 0.6 μm 크기의 작은 필러들로 구성되어 있으며 Fig. 2(d)는 Veridonfil로서 약 0.9 μm 크기의 무정형의 필러와 일부분의 2~3 μm 크기의 무정형의 필러들로 구성되어 있는 것을 알 수 있다.

2-2-2. 필러함량 측정

필러함량은 ISO No. 4049에 의해 규정된 Standard Ash Method에 의해 경화시킨 장방향의 시편(2.5×5×10 mm)의 무게 W_0 를 전자저울로 측정한 후 전기로에서 600°C로 30분간 가열시켜 레진 성분을 태운

후 다시 시편의 무게 W_1 을 측정하고 그 비(W_1/W_0)로써 콤포짓트 레진내의 필러함량을 측정하였다. Table 2에서 각 시험편의 화학적 성분을 나타내고 있다.

2-2-3. 시험편 경도 및 파괴인성 측정

경도측정은 직경이 5 mm, 깊이 1 mm의 홈을 가지는 금속몰드에 콤포짓트 레진을 충전하고 슬라이드 글라스를 덮어 광조사기로 30초간 광조사시키고 약 7일 후 경도측정기(FUTURE-TECH, FM-7, Matsuzawa 10 Japan)로 하중 200 g, 하중작용시간 15초로 설정하고 비커스 경도를 측정하였다.

파괴인성은 3점 굴곡시험용 지그를 만능시험기(In-

Table 2. Chemical composition of specimens

Brand Name	O	Al	Si	Ba
Charisma	37.28	5.87	29.75	27.10
Elitefil	36.13	5.65	30.93	27.29
TPH	35.36	5.67	25.68	33.29
Veridonfil	38.65	4.50	33.15	23.70

Table 3. Mechanical properties and filler fractions of specimens

Brand Name	[Hv]	K _{IC} *[MPam ^{1/2}]	Filler[vol%]
Charisma	78.95	0.75	49.9
Elitefil	88.71	0.98	53.1
TPH	59.76	1.14	51.7
Veridonfil	63.52	0.85	52.9
Si ₃ N ₄	1,562		

stron 4202, Instron Co., USA)에 장착시키고 그 위에 시편을 얹고 0.1 mm/min의 인장속도로 시험편 상단에 수직 하중을 가하여 시편이 파단할 때까지의 하중-변위 곡선을 구하여 계산하였다. Table 3에서 각 시험편의 기계적 특성과 필러함량을 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 필러함량과 경도 및 파괴인성

Table 3에서 각 시험편의 필러함량의 측정결과 Charisma가 49.9 vol%로 상대적으로 낮게 나타났으며 Veridonfil, TPH와 Elitefil의 필러함량은 51.7~53.1 vol%로 많은 차이가 없는 것으로 필러함량은 필러의 크기에는 큰 영향을 받지 않는 것으로 알 수 있다.

Table 3에서 경도는 Elitefil이 88.71로 가장 높게 나타나고 TPH이 59.76로 가장 낮게 나타났으며 Charisma와 Veridonfil은 각각 78.95와 63.52로 나타났다. 본 실험에서 측정된 콤포지트 레진의 경도는 실제상 필러의 경도와 레진기질의 경도의 혼합경도로 나타내어지기 때문에 표면성상관찰에서 알 수 있듯이 TPH는 비교적 큰 필러로 인한 필러간의 공간에 채워진 낮은 경도의 많은 레진기질에 의하여 경도가 낮게 나타나는 것으로 알 수 있다.

파괴인성치는 TPH이 1.14로 가장 높게 나타났으며 나머지는 Elitefil, Veridonfil, Charisma의 순서로 각각 0.98, 0.85, 0.75로 나타났다. 이것으로 TPH의 파괴인성 역시 필러간의 공간에 상대적으로 많이 채워진 레진기질에 의해 필러간의 좋은 결합으로 파괴인성이 증가된 것으로 알 수 있지만 나머지 시험편은 필러의 크기와 함유량에서 큰 차이가 없기 때문에 선명한 경향은 나타나지 않을 것을 알 수 있다.

이것으로 콤포지트 레진은 유기복합필러를 포함하는 콤포지트 레진에 함유된 필러보다 비교적 큰 필러로 구성되어 있으며 필러함량, 경도 및 파괴인성

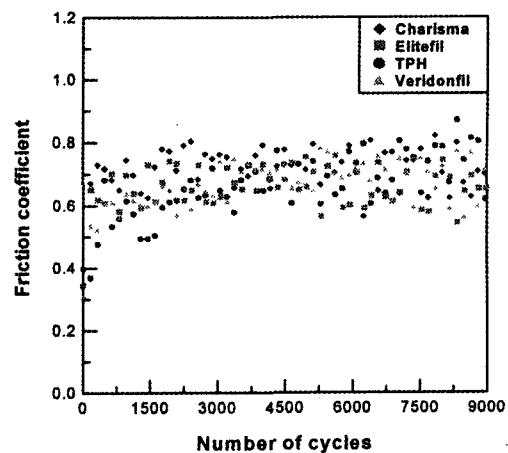


Fig. 3. Friction coefficient of specimens as a function of the number of cycles.

은 다소 높은 것을 알 수 있다.

3-2. 마찰 · 마멸특성

Fig. 3에서는 사이클 수에 따른 각 시험편의 마찰계수의 분포곡선을 나타내고 있다. 마찰계수는 다소 큰 폭에서 변화한 것으로 이는 탈락된 필러들에 의한 표면의 거친 마멸면과 볼의 왕복미끄럼에 의한 것으로 알 수 있다. Fig. 4에서는 동일한 조건에서 각 시험편의 마찰계수의 평균값을 나타냈다.

TPH의 평균마찰계수는 0.61으로 가장 낮게 나타났으며 Charisma는 0.70으로 가장 높게 나타났다. Elitefil과 Veridonfil의 평균마찰계수는 각각 0.64, 0.65으로 나타났다. 마찰계수의 증가는 상대시험편과의 마찰에서 레진기질의 마멸로 필러들의 돌출과 함께 표면의 소성변형으로 필러와 레진기질간의 계면을 따라 균열의 생성 및 전파로 많은 필러들이 쉽게 탈락되면서 레진기질과의 심한 연삭마멸에 의한 것으로

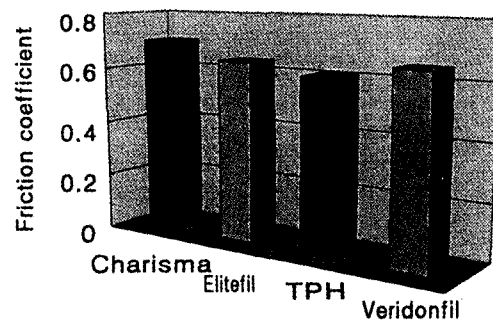


Fig. 4. Average friction coefficient of specimens.

알 수 있다. 또한 Table 3의 파괴인성치와의 비교에서 알 수 있는 바와 같이 파괴인성치가 감소할수록 마찰계수는 증가하는 것으로 나타났다. 이는 파괴인성이 낮을수록 파괴저항이 낮아지기 때문에 필러와 레진기질간의 계면을 따라 필러와 레진기질간의 결합의 박리가 쉽게 일어나면서 파괴되는 것과 일치함을 알 수 있다.

Fig. 5는 사이클 수에 따른 각 시험편의 마멸량의 변화를 나타내고 있다. 마멸량은 사이클수의 증가에 따라 선형적으로 증가하였으며 TPH가 가장 적은 마멸손실을 나타냄을 알 수 있다. 나머지 시험편에서 Veridonfil이 다소 작은 마멸손실을 나타냈지만 큰 차이는 없었다.

Fig. 6은 비마멸율에 대한 비교로서 각 시험편의 내마멸성을 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있는

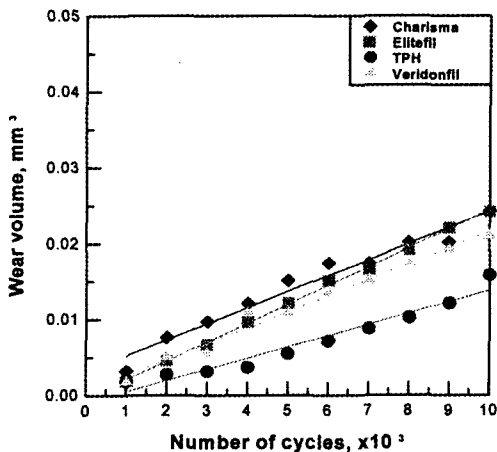


Fig. 5. Variation of wear volume for specimens as number of cycles under 9.8 N.

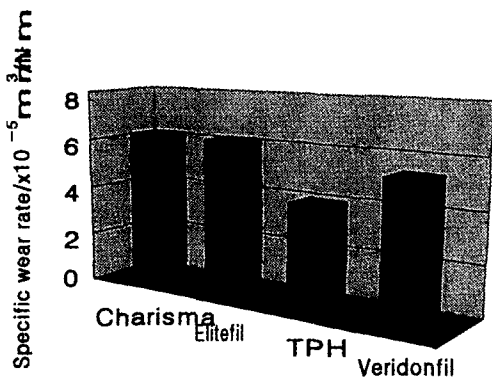


Fig. 6. Variation of specific wear rate for specimens under 9.8 N.

바와 같이 TPH의 비마멸율이 가장 낮고 다음으로 Veridonfil이 다소 높게 나타나고 Charisma와 Elitefil이 높은 비마멸율을 나타낸 것으로 TPH가 가장 좋은 내마멸성을 나타내었다. 콤포지트 레진에 있어서 필러간의 결합은 레진기질 및 결합을 증가시켜주는 실란 커플링제에 의해 이루어 지므로 콤포지트 레진의 마멸은 주로 레진기질의 마멸로 인한 필러와 레진간의 박리로 필러들이 탈락되고 파괴되면서 마멸이 진행된다[15-16].

TPH는 필러사이의 공간에 채워진 레진기질로 인한 필러간의 좋은 결합에 의하여 높은 파괴인성과 낮은 마찰계수를 나타내면서 파괴저항의 향상과 마찰력의 감소로 상대적으로 적은 필러들의 탈락으로 좋은 내마멸성을 나타내는 것으로 알 수 있다.

3-3. 마멸면의 미시적 관찰

Fig. 7은 9000사이클 실험후의 각 시험편의 마멸된 면을 주사전자현미경으로 관찰한 사진이다.

Fig. 7(a)는 Charisma의 마멸된 면으로서 표면균열의 생성과 필러의 탈락 및 마멸입자들이 탈락된 상태를 나타내고 있다. Charisma는 높은 마찰계수에 의한 큰 마찰력의 작용으로 레진기질의 마멸과 소성변형으로 필러간의 결합이 쉽게 파괴되면서 균열의 생성과 진전으로 깊은 위치에서도 필러들의 박리가 일어나고 탈락되면서

비교적 큰 마멸입자들의 생성과 탈락으로 마멸이 진행됨을 알 수 있다.

Fig. 7(b)는 Elitefil의 마멸된 면으로 표면균열과 마멸입자들이 생성되고 탈락된 상태를 나타내고 있는 것으로 Charisma와 비슷한 마멸현상을 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 7(c)는 TPH의 마멸면으로서 표면에는 많은 균열과 필러입자들이 탈락된 양상을 나타내고 있는 것으로 주로 레진기질의 마멸과 소성변형으로 필러들이 돌출되고 필러와 레진기질간에 균열이 생성되고 진전하면서 필러와 레진기질의 박리로 필러들이 탈락에 의한 마멸이 진행됨을 알 수 있다.

Fig. 7(d)는 Veridonfil의 마멸면으로서 앞에서 나타난 바와 같이 표면균열의 생성과 필러와 마멸입자들이 탈락된 양상을 나타내고 있다. 이는 각 시험편간의 필러함량과 경도 및 파괴인성치 등이 큰 차이가 없는 것으로 비슷한 경향의 마멸현상을 나타내는 것으로 알 수 있다.

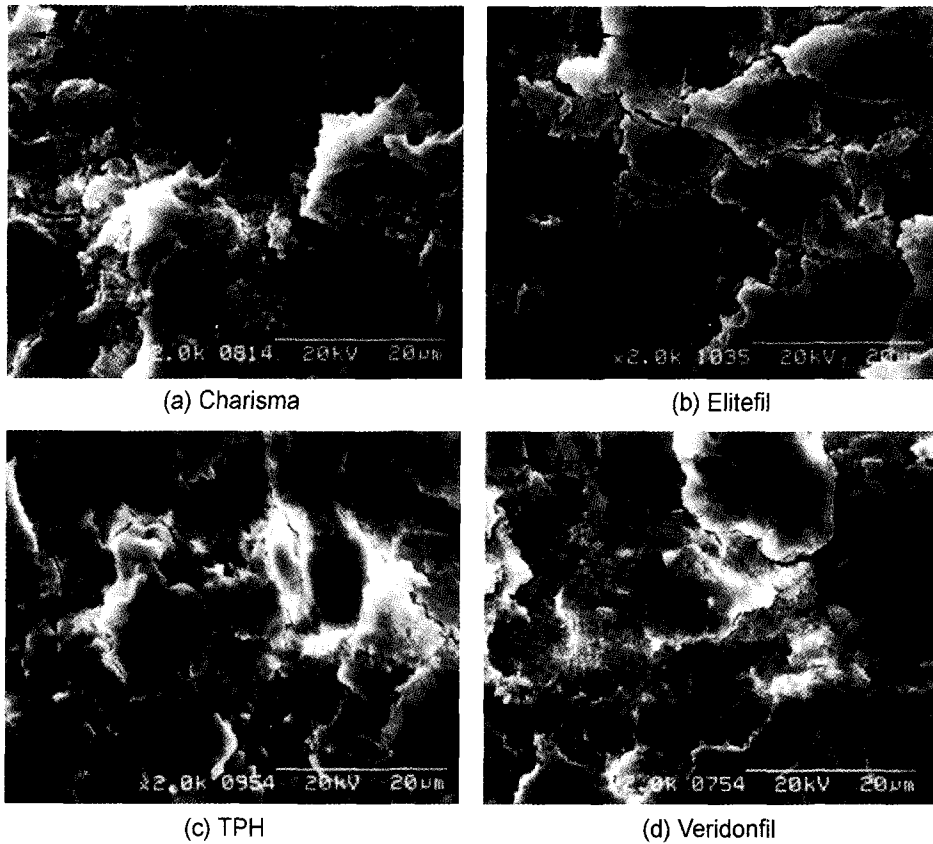


Fig. 7. SEM photographs of worn surface for specimens.

4. 결 론

본 연구에서는 필러의 크기와 형태, 함유량 및 경도 등이 콤포지트 레진의 파괴인성 및 마찰·마멸특성에 미치는 영향을 해석하기 위하여 재래형 콤포지트 레진에 대한 필러함량 측정, 경도와 파괴인성 측정 및 마찰·마멸실험을 수행하고 주사전자현미경을 이용한 표면성상관찰과 마멸면의 미시적인 관찰을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 경도가 낮은 TPH의 마찰계수가 가장 낮게 나타났다.
2. 동일한 실험조건에서 TPH는 높은 파괴인성과 좋은 내마멸성을 나타냈다.
3. 재래형 콤포지트 레진의 마멸은 접촉부에서 레진기질의 마멸과 소성유동의 발생에 의하여 필러와 레진기질간의 계면을 따라 표면균열의 생성과 진전에 의한 경한 필러들의 탈락으로 마멸이 진행되면서 연삭마멸이 주된 마멸기구로 나타났다.

후 기

이 논문은 1997년 한국학술진흥재단 학술연구조성비에 의하여 일부 지원되었으며, 이에 관계자에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Bowen, T. L., "Development of a silica-resin direct filling material," National Bureau of Standards Report 6333, 1958.
2. Phillips, R. W., Avery, D. R., Mehra, R. and Swartz, M. L., McCune, J., "One-year observations on a composite resin for class II restorations," J. Prosthet Dent 26, 68-77, 1971.
3. 清水建彦, 北野忠則, 井上正義, 小林美保子, 成川公一, 藤井弁次 "臼齒用コンポジットレジン(LITE-FIL P)의 12年後의臨床成績". 日齒保誌 38, 秋季特別號, 73, 1995.
4. Lutz, F., Phillips R. W., Roulet J. F. and Setcos J. C.,

- “In vivo and in vitro wear of posterior composites,” J. Dent Res 63, 914-920, 1984.
5. Suzuki, S., Leinfelder K. F., Kawai, K. and Tsuchitani, Y., “Effect of particle variation on wear rates of posterior composites,” Am J. Dent 8, 173-178, 1995.
 6. 堀江恭一, 佐藤暢昭, 河北 浩, 細田裕康, “臼歯用レジンの咬摩耗試験について第一報 *in vivo* に對應した咬摩耗試験法の試み”. 齒材器 9, 289,-294, 1990.
 7. 佐藤暢昭, “臼歯修復用レジンの咬耗に関する研究—臨床試験および *in vitro* 試験による評價”. 日齒保誌 33, 345-385, 1990.
 8. Li, Y., Swartz, M. L., Phillips, R. W., Moor, B. K. and Roberts, T. A., “Effect of filler content and size on properties of composites,” J. Dent Res 64, 1396-1401, 1985.
 9. Lambrechts Praem, M. and Vanherele, G., “Evaluation of clinical performance for posterior composite reins and dention adhesives,” Oper Dent Res 12, 53-78, 1987.
 10. Aziz, R. A. and Harrison. A., “Effect of impact stress on the wear of some restorative materials and enamel,” Dent Mater 3, 9 -12, 1988.
 11. 임정일, 김교한, 김석삼. “유기복합필러를 포함하는 치과용 콤포짓트 레진의 마멸거동(제1보),” 한국윤활학회 추계학술대회 제28회 논문집 124-130, 1998.
 12. Wassell, R. W., McCabe, J.F. and Walls, A.W.G., “A Two-body Frictional Wear Test,” J. Dent Res 73(9), 1546-1553, 1994.