有機複合필러를 包含하는 齒科用 콤포짓트 레진의 磨耗擧動 (제1보)

임정일*, 김교한**, 김석삼***
* 경북대학교 대학원 기계공학과
** 경북대학교 치과대학
*** 경북대학교 기계공학부

Wear Behaviours of Dental Composite Resins Containing Prepolymerized Particle Fillers (1st Report)

Abstract

The wear characteristics and wear mechanisms of dental composite resins were investigated. Composite resins such as Metafil, Silux Plus, Heliomolar and Palfique Estelite were selected as specimens and contents of filler in specimens in order to analyze the effect of Prepolymerized Particle Fillers in friction and wear characteristics. Ball on flat wear tester was used for a wear test. Friction and wear tests are carried out at room temperature. The friction coefficient of Metafil was quite high relatively, and the wear resistance of Silux Plus and Palfique Estelite was better than that of Metafil and Heliomolar at the same experimental condition. The main wear mechanism is plastic flow and abrasive wear by crack propagation.

keywords: Wear Mechanism, Prepolymerized Particle Filler, Composite Resin, Dental Material

1. 서 론

臼齒修復에 있어서 주로 사용되어 왔던 아말감은 水銀용출과 審美性 등의 문제로 1970년부터 콤포짓트 레진이 개발 되어왔다. 그 이후 기계적 성질과 내마모성의 향상 등으로 인해 콤포짓트 레진의 장기간의 臨床適用에 대한 良好한 臨床成績이 발표되고 있다.[1-3] 최근에는 콤포짓트 레진의 기계적 성질 , 硏磨性, 重合收縮, 審美性 등을 향상시키기 위해 필러, 레진, 모노머, 重合개시제, 실레인 커플링제 등에 대한 연구가 다양하게 이루어지고 있다.

咬合接觸部에서 콤포짓트 레진은 아말감보다 파괴인성과 내마모성이 낮은 문제점들이 지적되고 있으므로[4] 내마모성의 증가 목적으로 필러의 球狀形 초미세입자에 대한 관심이 증가되고 있으며 콤포짓트레진의 개선을 위한 材料科學的 설계들이 진행되고 있다

臼齒部의 마모는 咬合接觸部와 咬合非接觸部의 마모로 나눌 수 있으며, 반복하여 가해지는 咬合力 또는 거기에 동반하는 피로, 음식물 등의 마찰이 크게 작용한다. 咬合接觸部는 臼齒와 콤포짓트레진이 직접 접촉하여 마모되는 부위이고 咬合非接觸部는 일정한 마모가 진행된 후에 직

접적인 접촉 없이 음식물과 같이 마모가 되는 부위이기 때문에 두 부위의 마모량에는 큰 차이가 있고, 같은 臼齒咬合면에서도 마모기구가 다르다.

콤포짓트 레진의 내마모성에는 有機複合필러의 재질, 형태, 크기, 입도, 분포, 함유농도, 배합방식 및 매트릭스 레진 등이 복합적으로 관여한다.[5] 有機複合필러는 단순히 필러의 함량을 증가시키는 효과뿐만 아니라 有機複合필러 자체의 강도, 有機複合필러와 매트릭스 사이의 결합강도, 有機複合필러의 형태 등도 콤포짓트 레진의 물성에 크게 영향을 미칠 것으로 예상된다.

본 연구에서는 有機複合필러가 콤포짓트 레진의 마찰·마모특성에 미치는 영향과 咬合接觸部에서 콤포짓트 레진의 마모기구를 해석하기 위해 마찰·마모시험기를 자체 제작하여 有機複合필러를 포함하는 콤포짓트 레진에 대해 마찰·마모실험을 수행하였다.[6] 또한 각 시험편의 마찰·마모특성에 定性的이고, 定量的인 검토를 하고 SEM을 이용하여 조직관찰 등을 통해 콤포짓트 레진의 마모면의 마모기구를 규명하고 각 인자들이 콤포짓트 레진의 내마모성에 미치는 영향을 규명하였다.

2. 실 험

2-1 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용된 마찰·마멸시험기는 저작(咀嚼)에 의한 마모상태를 실험적으로 재현하기 위해 선형왕복운동을 하는 실험장치를 자체 제작하여 사용하였다. 본 실험장치의 특성은 미끄럼 속도를 0.1~1,000mm/sec 범위에서 무단 변속할 수 있으며, 미끄럼거리는 0.2~10mm까지 조정이 가능하다. 그리고 control timer가 부착되어 있어 실험시간을 0~6000분까지 조정할 수 있기 때문에 임의의 시간 동안 실험이 가능하다. 시험편에 가해지는 하중은 deadweight를 사용하여 1~100N의 범위에서 임의로 바꿀 수 있으며 마찰·마모실험시에 발생하는 마찰력은 인장 압축 로드셀과 indicator를 통해서 증폭되어서 나오는 전압신호를 아날로그/디지털 변환기(PCL812 analog / digital converter)로 변환시켜 컴퓨터에 입력한다. 그 외 온도조절기를 장착하여 실온~100℃사이의 일정 온도에서 마찰·마모실험을 할 수 있으며 마찰력은 200N까지 측정이 가능하다.

실험방법은 Fig. 1에서 나타낸 바와 같이 평판 위에서 선형왕복운동을 하는 볼에 일정한 하중으로 가압하는 볼 온 평판 마찰계(ball on flat tribometor)형식을 사용하였다.

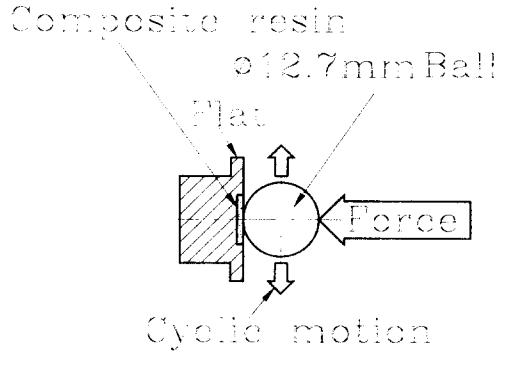


Fig. 1 Schematic illustration of ball on flat type wear test

본 실험은 상온, 상압, 무윤활상태에서 마찰·마멸실험을 수행하였다. 실험순서는 초음파세척 → 건조 → 마찰·마멸시험 → 초음파세척 → 건조 → 현미경관찰 → 표면거칠기측정 순으로 수행하였다.

마찰·마모의 실험조건는 볼의 왕복 미끄럼속도를 50mm/min, 하중은 9.8N으로 일정하게 하였으며, 1000사이클마다 표면거칠기 측정기(Mitutoyo, Surf-500)를 사용하여 시험편 트랙부에서 수직되는 두 곳의 단면곡선을 측정하고 그 값을 평균하여 마모부피를 계산하였다. 보다 정확한 마모부피의 측정을 위해 1000사이클마다 볼의 접촉면을 바꾸어서 실험을 계속하였다.

Table 1. Filler fractions of Composite resins containing prepolymerized particle fillers

Brand Name	Filler Vol.%(wt. %)
Metafil	25.7(41.88)
Silux Plus	37.1(55.14)
Heliomolar	41.2(59.31)
Palfique Estelite	51.1(68.55)

2-2 시험편

본 실험에서 사용된 시험편은 콤포짓트 레진 중 분쇄 有機複合필러를 포함하는 Metafil, Silux Plus, Heliomolar, Palfique Estelite 등 4종류의 재료를 선택하여 실험을 수행하였다.

필러의 함유량은 콤포짓트 레진의 내마모성에 관여하므로[7 9] 각 시험편의 필러 함량은 ISO No. 4049에 규정된 Standard Ash Method에 의해서 측정하였으며 Table 1에서 중량백분율과 체적백분율로 有機複合필러의 함량을 나타내었다. 시험편의 형상은 Fig. 1에서 나타내었다.

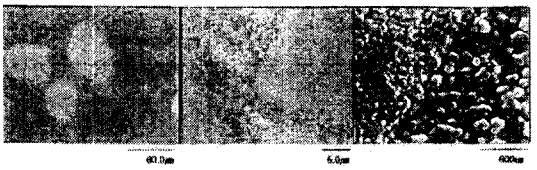
시험편은 Fig. 1과 같은 형상의 지그에 직경이 5mm, 깊이1mm의 홈을 만들고 그 홈에 각 콤포짓트 레진을 충진하고 슬라이드 글라스로 덮어 광조사기로 30초간 광조사시킨후 30분간 실온에 방치하고 1차로 SiC연마지 #400Cw, #600Cw, #800Cw의 순으로 연마한후 37℃의 항온로에서 24시간 경과시켜 제작하였다. 그리고 2차로 연마지 #1000Cw, #1500Cw으로 물을 묻혀서 표면조도를 0.1㎛Ra로 연마한 후 마찰·마모실험을 수행하였다.

Fig. 2는 콤포짓트 레진의 연마면의 SEM 사진으로 시험편내부에 포함된 유기복합필러의 형상과 그 내부에 포함된 구상의 필러의 형태를 나타내고 있다.

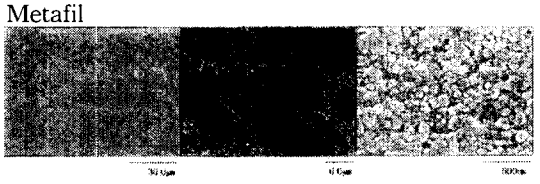
Table 2. Mechanical properties of specimens

Brand Name	Vickers hardness, (MPa)	K_{IC}^{*}(MPa$\sqrt{m}$)
Metafil	48.18	0.63±0.01
Silux Plus	63.18	0.81±0.07
Heliomolar	54.31	0.84±0.02
Palfique Estelite	71.74	0.85±0.01
Si_3N_4	1562	

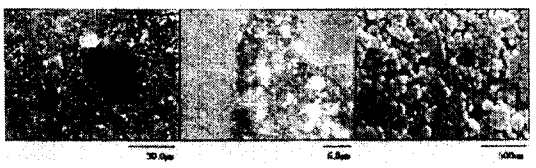
Metafil은 30~60㎛의 둥근 형태의 분쇄 有機複合필러와 5~10㎛의 무정형의 분쇄 有機複合필러 그리고 레진 매트릭스에 구상의 필러가 포함된 형태를 나타내었다. 사진에서 알 수 있는 것과 같이 레진 매트릭스에 포함된 구상 필러는 입자의 크기가 0.1~0.2㎛, 분쇄 有機複合필러에 포함된 구상 필러는 이보다 더 작은 0.05㎛ 이하의 구상 필러로 구성되어 있음을 알 수 있다. Silux Plus는 5~30㎛의 다양한 크기와 형상의 有機複合필러로 구성되어 있고 有機複合필러와 레진 매트릭스는 약 0.1~0.2㎛의 구상 필러로 구성되어 있으며, Heliomolar는 30㎛ 정도의 둥근 형태의 有機複合필러 일부와 수㎛에서 10㎛크기의 무정형 유기질 복합필러로 이루어져 있고 이들 有機複合필러와 매트릭스는



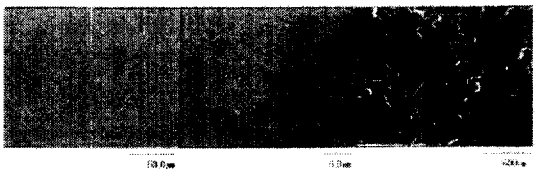
Metafil



Silux Plus



Heliomolar



Palfique Estelite

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

0.05~0.1㎛ 크기의 구상 필러로 구성되어 있으며, Palfique Estelite는 수㎛에서 30㎛ 이하의 다양한 크기의 무정형 有機複合필리로 이루어졌고 이들 有機複合필러와 레진 매트릭스는 0.05~0.1㎛ 정도의 구상 필러가 구성하고 있음을 알 수 있다.

상대시험편은 마찰·마멸과정에서 상대적으로 마멸이 되지 않는 직경이 12.7mm의 질화규소(Si_3N_4)볼을 선택하였다. 볼의 경도는 1562MPa로서 콤포짓트 레진보다 비교적 높은 경도를 가지고 있다. Table 2에서는 각 시험편의 기계적인 특성을 나타내었다.

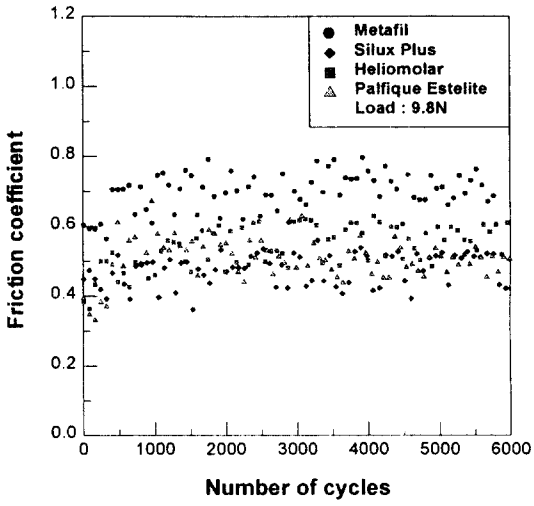


Fig. 3 Friction coefficient of specimens as a number of cycles

3. 실험결과 및 고찰

3-1 마찰특성

본 실험은 상온, 상압, 무윤활 상태에서 왕복 미끄럼속도를 50mm/min, 하중은 9.8N으로 일정하게 하고 마찰·마멸실험을 수행하였다.

Fig. 3에서는 사이클 수에 따른 각 시험편의 마찰계수의 분포곡선을 나타내고 있다. 여기서 동일한 조건에서 각 시험편의 마찰계수의 변화는 일정한 것을 알 수 있

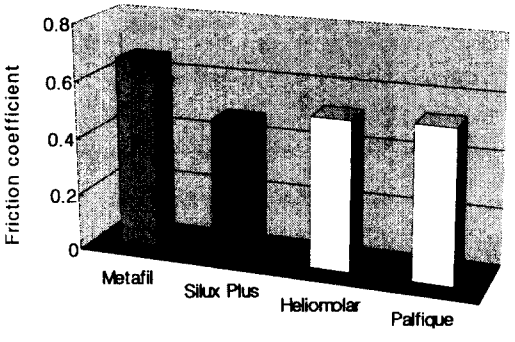


Fig. 4 Average friction coefficient of specimens

다.

Fig. 4는 동일한 조건에서 각 시험편의 마찰계수의 평균값을 나타낸 것이다.

Metafil의 평균마찰계수는 0.67으로 다소 크게 나타났다. 이것은 분쇄 유기복합필러에 포함된 구상 필러와 레진 매트릭스에 포함된 구상 필러의 입자의 크기차이로 경계가 생기면서 마찰계수가 크게 나타나는 것으로 추정된다. 그리고 Silux Plus, Heliomolar및 Palfique Estelite의 평균마찰계수는 각각 0.48, 0.52, 0.53으로 나타났다.

3-2 마멸특성

Fig. 5는 사이클 수에 따른 각 시험편의 마모량의 변화를 나타내고 있다. 사이클 수가 증가함에 따라 각 시험편의 마모량의 변화는 증가하는 경향을 나타내었으며 Silux Plus와 Palfique Estelite의 마모량은 Metafil과 Heliomolar보다 낮은 기울기로 증가함을 알 수 있다.

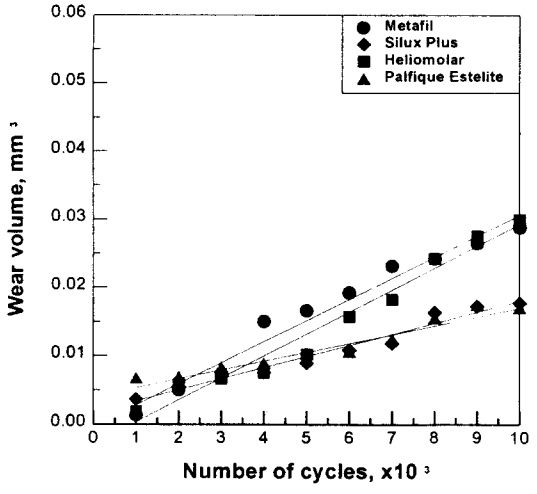


Fig. 5 Variation of wear volume for specimens of various as a number of cycles under 9.8N

Fig. 6은 비마모율에 대한 비교로써 각 시험편의 내마모성을 나타낸 그림이다. 여기서 내마모성은 Palfique Estelite, Silux Plus가 Metafil, Heliomolar 보다 양호하게 나타났다. 이것은 필러의 입자 직경이 크면은 표면의 피로가 촉진되고 Fig. 6에서 나타난 것과 같이 유기복합필러의 파괴, 필러와 레진 매트릭스와의 결합의 파괴 등이 마모량이 증가하고[9-11] Table 1과 Table 2에서 나타난 것과 같이 有機複合필러의 함량의 증가로 경도의 크기에 인한 것으로도 추정된다.

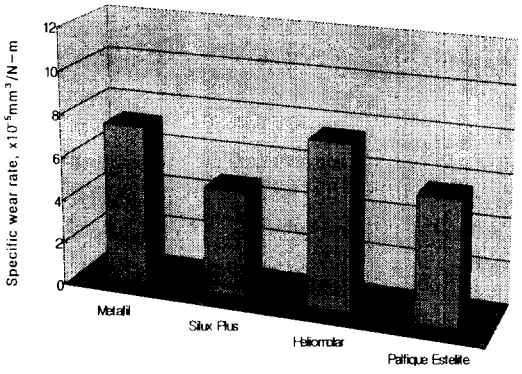


Fig. 6 Variation of specific wear rate for specimens under 9.8N

3-3 마모면의 미시적 관찰

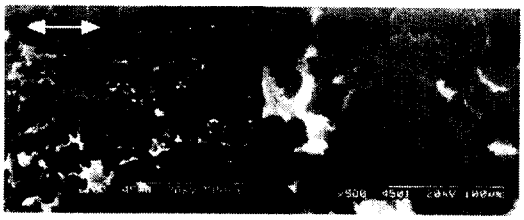
Fig. 7은 각 시험편의 왕복수 9000사이클 즉 미끄럼거리 36m의 마모면을 SEM으로 관찰한 것이다.

Metafil의 마모면에는 분쇄 유기복합필라의 파괴와 압축응력과 전단응력의 복합작용으로 미끄럼 방향에 수직으로 많은 표면균열이 나타나고 있다. 이것은 有機複合필러에 포함된 구상 필러와 매트릭스에 포함된 구상 필러와의 계면, 필러와 매트릭스 레진의 결합의 박리 등으로 입자들이 탈락되었다.

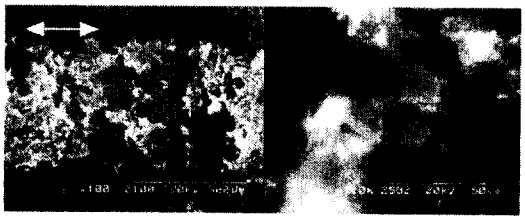
Silux Plus의 마모면에는 표면균열은 선명하게 나타나지 않고 접촉면의 마멸입자

들이 단층으로 파괴됨을 알 수 있다. 이것은 有機複合필러에 포함된 구상 필러와 매트릭스 레진에 포함된 작은 구상 필러 간의 좋은 결합성으로 필러들이 파괴되면서 층상으로 마멸입자들이 탈락하고 있다.

Metafil



Silux Plus



Heliomolar

Palfique Estelite

Fig. 7 SEM photographs of worn surface for specimens

그리고 Metafil보다 많은 함량의 다양한 크기와 형상의 有機複合필러로 경도의 증가와 내마모성이 양호하게 나타남을 알 수 있다.

Heliomolar의 마모면에서는 有機複合필라의 입자들의 파괴를 나타나고 있다. 이것은 필러와 매트릭스 레진의 결합의 박리 등으로 입자들이 탈락되었다.

Palfique Estelite에 포함된 有機複合필러와 레진 매트릭스는 0.05~0.1㎛ 정도의 구상 필러로 구성하고 있어 필러의 입자의 크기가 작기 때문에 有機複合필러와 매트릭스 사이의 계면에 구분이 없어 계면강도가 높아 계면사이의 결합의 박리, 필러의 탈락이 선명하게 나타나지 않았다. 마모는 소성변형과 연삭마모로서 어브레시브 마모를 나타나고 있다.

4. 결 론

有機複合필러가 콤포짓트 레진의 마찰·마모특성에 미치는 영향을 해명하기 有機複合필러를 포함하는 콤포짓트 레진을 선택하고 그 속에 포함하는 필러의 함량을 측정하였다. 또한 시험편의 마찰특성, 마모곡선을 구하고 SEM관찰을 통해서 콤포짓트 레진의 마모기구를 고찰하였다. 실험결과는 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 각 시험편의 마찰계수는 모두 안정적으로 나타났으며 有機複合필러의 함량이 많을수록 마찰계수가 낮은 경향을 나타냈다.

2. 동일한 실험조건에서 각 시험편의 비마모률은 Silux Plus와 Palfique Estelite가 Metafil과 Heliomolar보다 낮게 나타난 것으로 내마모성이 좋았다.

3. 각 시험편은 마찰·마모과정에서 압축응력과 왕복전단응력의 복합적인 작용으로 有機複合필러의 파괴, 매트릭스와 有

機複合필러에 포함된 구상 필러의 계면을 따라 표면균열의 발생과 전파로 마모입자들이 형성되었다.

참고 문헌

1. 福島正義, 仲又俊夫, 平田伸明, 佐藤量子, 岡本明, 岩久正明 "化學重合型 コンポジットレジンの磨耗量に關する長期的臨床評價" 日齒保誌 34, 1-8, 1991.ㄴ
2. 福島正義, 仲又俊夫, 佃 美宏, 湯田純子, 岡本明, 岩久正明 "臼齒用コンポジットレジン修復物の壽命-化學重合型レジンの10年間の觀察を通して-" 日齒保誌 36, 331-340, 1993.
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)の12年後の臨床成績" 日齒保誌 38, 秋季特別號, 73, 1995.
4. Lutz F, Phillips RW Roulet JF, Setcos JC"*In vivo* and *in vitro* wear of posterior composites" JDent Res 63, 914-920, 1984.
5. 久保至誠, 内藤 みゆき、横田廣彰, 大澤雅博 松元 仁 "コンポジットレジンの摩耗に關する研究" 日齒保誌 39(2), 492～502, 1996.
6. R.W.Wassell, J.F.McCabe, and A.W.G. Walls, 1994, "A Two-body Frictional Wear Test", J Dent Res 73(9), 1546-1553.
7. Li Y, Swartz ML, Phillips RW, Moor BK, Roberts TA, 1985, "Effect of filler content and size on properties of composites" J Dent Res 64, 1396-1401.
8. Lambrechts PBraem M, Vanherele G, 1987, "Evaluation of clinical performance for posterior composite reins and dention adhesives", Oper Dent Res 12, 53-78.
9. Suzuki S, Leinfelder KF, Kawai K, Tsuchitani Y, 1995, "Effect of particle variation on wear rates of posterior composites", Am J Dent 8, 173-178.
10. Aziz RA, Harrison A, 1988, "Effect of impact stress on the wear of some restorative materials and enamel", Dent Mater 3, 9 -12.
11. 堀江恭一 "臼齒用コンポジットレジンの咬耗に關する研究 第2報 臨床評價" 口病誌 51, 45-65, 1984.