

칫솔질에 의한 레진 표면 강화재의 마모

송주현 · 한세현 · 장기택 · 이상훈

서울대학교 치과대학 소아치과학교실 및 치의학연구소

국문초록

본 연구는 레진 표면을 연마한 후 레진 표면 강화재를 도포한 것이 표면 처리하지 않은 군에 비해 칫솔질 마모시 표면 특성 즉, 표면 조도, 표면 자유 에너지, 마모율 등의 변화가 있는지 알아 보기 위해 시행하여 다음과 같은 결과를 얻었다 ($p=0.05$).

1. 평균 조도는 Biscover < Forify < Polishing군 순이었다. 마모 전과 6개월에서는 모든 군에서 유의한 차이를 보였고, 1개월, 2개월, 3개월에서는 Polishing군과 Fortify군, Polishing군과 Biscover군에서 유의한 차이를 보였다.
2. 표면 자유 에너지는 마모 전은 Polishing군과 Biscover군, Fortify군과 Biscover군에서 유의한 차이를 보였고 (Biscover < Fortify < Polishing), 1개월에서는 Polishing군과 Fortify군에서 유의한 차이를 보였으며, 2개월에서는 각 군간 유의한 차이를 보이지 않았다. 3개월에서는 Fortify군과 Biscover군에서 유의차를 보였고, 6개월에서는 Polishing군과 Fortify군, Fortify군과 Biscover군에서 유의한 차이를 보였다 (Fortify < Polishing < Biscover).
3. 마모율은 1개월에서 모든 군에서 유의차를 보였으며, 2개월에서는 군 간 유의차가 없었고, 3개월과 4~6개월 평균 마모율은 Polishing군과 Biscover군, Fortify군과 Biscover군에서 유의한 차이를 보였다. Fortify와 Biscover의 두께를 고려했을 때, Fortify는 2개월 내에, Biscover는 6개월 정도에 거의 소실되었다.

주요어 : 레진 표면 강화재, 표면 자유 에너지, 표면 조도, 마모율

I. 서 론

복합 레진의 거친 표면은 광택을 소실시키고 재료의 변색과 착색을 가져와 수복물의 심미에 영향을 미친다. 더 나아가서 이것은 치태 침착을 유도하여 이차 우식이나 치주질환의 원인이 되기도 한다. 따라서 시간이 지나도 활택한 레진 표면을 얻는 것이 이상적이라 할 수 있다¹⁾. 가장 활택한 표면은 Mylar strip을 사용함으로써 얻을 수 있는데^{2,3)}, 임상에서는 복합 레진을 이

용한 수복 치료에서 Mylar strip만을 사용하는 경우는 드물며 표면의 재형성이 요구되어 이에 따른 표면 연마는 피할 수 없다. 표면 재형성과 연마 후의 레진 표면에는 미세 결합이 생기는데, 이는 재료의 소실과 변연 누출을 가속화시킨다⁴⁾. 이러한 문제를 극복하기 위해 연마한 레진 표면에 충전제가 포함되지 않은 저점도의 레진 표면 강화재를 적용하는 기법이 소개되었다⁵⁾. 연마로 생긴 미세 결합 부위에 모세관 현상으로 레진 표면 강화재가 흘러 들어가 더 윤택하고 균일한 표면을 제공하리라고 여겨졌고⁴⁾, 또한 레진의 마모를 지연시킨다고 보고되었다⁶⁾.

임상적으로 수복물의 마모는 중심 접촉과 식피와의 마찰, 인접면과의 접촉 그리고 칫솔과 치약에 의한 기계적 작용에 의해서 나타나는데⁷⁾, 이 중 칫솔질은 비스트레스 위치에서 재료 소실의 주된 원인이고 표면 거칠기를 증가시키기 때문에 수복물에 대한 칫솔질의 영향에 대한 평가는 중요하다¹⁾. 만약 단기간의 칫솔질 후 레진 표면 강화재가 모두 소실된다면 이것의 효과

교신저자 : 이상훈

서울시 종로구 연건동 275-1
서울대학교 치과대학 소아치과학교실
Tel: 02-2072-3819
E-mail: musso@snu.ac.kr

※ 본 연구는 보건복지부 보건의료기술연구개발사업의 지원에 의하여 이루어진 것임(03-PJ1-PG1-CH09-0001).

는 기대하기 어려울 것이기 때문이다. 그런데 레진 표면 강화제의 대한 수명에 대한 연구는 부족한 실정이다. 이 연구는 레진 표면 강화제를 처리한 군에서 표면 특성이 유의하게 개선될 것이고, 칫솔로 마모시킨 후에도 개선된 표면 특성이 유지된다는 가정하에, 레진 표면을 연마한 후 레진 표면 강화제를 도포한 것이 표면 처리하지 않은 군에 비해 칫솔질 마모시 표면 특성 즉, 표면 조도, 표면 자유 에너지, 마모율 등의 변화가 있는지 알아 보기 위해 시행되었다.

II. 연구 재료 및 방법

가. 연구 재료

현재 치과 임상에서 사용되고 있는 레진 Filtek Z250(3M, ESPE Dental Product, USA)으로 시편을 제작하고, Fortify(Bisco, Inc, USA)와 Biscover(Bisco, Inc, USA)를 레진 표면 강화제로 사용하였다(Table 1).

나. 연구 방법

1. 시편 제작

시편을 제작하기 위하여, 두께 4.5mm, 직경 12mm의 원주형 아크릴 주형을 제작하였고 중앙에 두께 2.5mm, 직경 8mm의 홈을 형성하였다. 주형 내에 레진을 충전하고 투명한 Mylar strip으로 덮은 후 그 위에 다시 slide glass를 위치시켜 편평한 면이 되도록 하였다. 제조사의 지시에 따라 할로젠 광중합기(Curing Light 2500; 3M, ESPE Dental Product, USA)로

20초간 광중합하여 60개의 시편을 제작하고 37°C의 증류수에 24시간 보관하였다. 300rpm의 속도로 물 냉각 하에 silicon carbide paper(Struers A/S, Denmark) P #220, 320, 500, 800, 1200, 4000으로 각각 10초간 연마를 시행하였다⁸⁾. 표면에 남은 연마 잔사를 제거하기 위하여 증류수로 2분간 초음파 세척하였다. 연마 후 표면 처리하지 않은 20개의 시편을 대조군(P)으로 사용하였다. 다른 20개의 시편은 제조사의 지시에 따라 37% 인산으로 15초간 부식 후 15초간 수세하고 Fortify(F)를 최대한 얇게 도포하고 10초간 광중합 하였고, 또 다른 20개의 시편은 제조사의 지시에 따라 37% 인산으로 15초간 부식 후 15초간 수세하고 Biscover(B)를 최대한 얇게 도포하고 15초간 광중합하여 실험군으로 사용하였다.

2. 레진 표면 강화제의 두께 측정

Fortify(Bisco, Inc, USA)와 Biscover(Bisco, Inc, USA)로 표면 처리한 시편을 각각 5개씩 절단하여 Stereomicroscope으로 단면을 촬영하였고, 임의로 10군데를 지정하여 레진 표면 강화제의 두께를 측정하였다.

3. 표면 조도 측정

각 시편의 표면 조도는 비접촉 광학식 표면 조도기인 Accura 2000(INTEKPLUS, Korea)을 이용하여 시편의 평균 조도(Ra:µm)를 측정하였다. 각 시편의 중앙에서 가로 0.10mm, 세로 0.10mm의 영역을 각각 3회 측정하여 평균치를 산출하였다²⁾. 칫솔 마모기에서 마모시키기 전과 1개월, 2개월, 3개월, 6개월 마모 후 각각 시편의 평균 조도를 측정하였다.

Table 1. Resin composite and surface penetrating sealants used in this study

Material	Composition	Manufacturer
Filtek Z250 (A2 shade)	resin matrix: BIS-GMA, BIS-EMA, UDMA filler: 0.01~3.5 µm zirconia/silica (mean particle size: 0.60 µm)	3M, ESPE Dental Product, USA
Fortify	Urethane dimethacrylate	Bisco, Inc. USA
Biscover	Ethoxylated Bisphenol A dimethacrylate Ethoxylated Bisphenol A diacrylate Urethane acrylate ester Polyethylene glycol diacrylate	Bisco, Inc. USA

Table 2. Energy characteristics(mN/m)of pure liquids microbial measurements and adhesion to solvents assay angle system

mN/m	Distilled water(H ₂ O)	Formamide(CH ₃ NO)	1-Bromonaphtalene(C ₁₀ H ₇ Br)
Tension(γ ^T)	72.8	58.0	44.4
Dispersive component(γ ^{LW})	21.8	39.0	44.4
Polar component(γ ^{AB})	51.0	19.0	0
P-acid(γ ⁺)	25.5	2.3	0
P-base(γ ⁻)	25.5	39.6	0

4. 표면 자유 에너지(Surface Free Energy: SFE) 측정

Micro-syringe를 이용하여 직경 1mm의 증류수, Formamide, 1-Bromonaphtalene을 차례로 시편에 점적한 후, 접촉각 측정기(Phoenix 300×: SEO, Korea)로 접촉각을 측정하였다. 칫솔 마모기에서 마모시키기 전과 1개월, 2개월, 3개월, 6개월 마모 후 각각 시편의 접촉각을 측정한 후, Image Pro300 ver 2.0(SEO, Korea)으로 세 용액의 접촉각을 이용하여 표면 자유에너지를 계산하였다. 접촉각 측정을 위해 사용된 용액의 에너지 특성은 Table 2와 같다.

5. 마모 깊이 측정

시편을 마모시키기 전, 시편 표면에 X축과 Y축을 그어 기준선으로 잡고 3D-Profilometer(MTS, USA)로 X축으로 4mm, Y축으로 4mm의 영역을 100 μ m간격으로 프로파일링하였다. 칫솔 마모 시, 기준선에서 X축으로 2mm를 Mylar strip과 투명 테이프로 시편을 덮고 1개월, 2개월, 3개월, 6개월에 해당하는 칫솔의 칫솔 마모를 시행하였다. 매 개월 시편의 X축으로 4mm, Y축으로 4mm 영역을 프로파일링하여 3차원 상을 얻었다. Ansur3D(MTS, USA)를 이용하여 마모되지 않은 X축 2mm, Y축 4mm영역을 기준 평면으로 하여 테이프로 덮지 않은 부위의 마모 전과 마모 후 시편의 마모 깊이를 측정하였다.

6. 칫솔 마모

시편을 표면 처리한 후, 7일 동안 37°C, 100% 습도로 유지하였고⁹⁾ 칫솔질 시행 전 시편의 일부(기준선에서 X축 2mm)를 Mylar strip과 투명 테이프로 덮었다. 칫솔 마모 실험은 칫솔이 시편을 따라 250stroke/분의 속도로 수평 방향으로 이동하고 200g의 힘이 가해지는 칫솔 마모기를 이용하였다^{10,11)}. 1개월당 1250회의 칫솔질을 시행하였는데, 이는 구강 관리가 잘 되는 성인을 기준으로 산출한 것이다⁹⁾. 1:1의 무게비의 치약(2080[®]; Aekyung, Korea)과 증류수를 칫솔이 생기지 않도록 교반기에서 섞었다. 칫솔은 0.203mm 직경의 약중모였고 강모 끝은 둥글고 나일론 제품으로 3개월마다 새 칫솔로 교환하였다. 치약은 일반적으로 사용되고 중등도로 상아질을 연마

시키는 제품을 선택하였다. 마모 실험 후 초음파 세척기로 2분간 증류수에서 세척하여 마모 잔사와 치약을 제거하였다. 칫솔 마모 실험 후 다음 마모 실험까지의 7일 동안 시편을 37°C, 100% 습도로 유지하여 보관하였다.

7. 주사전자현미경적 관찰

P군, F군, B군의 마모 전과 1개월, 2개월, 3개월, 6개월 마모시킨 후의 시편을 주사전자현미경으로 관찰하였다.

다. 통계 처리

평균 조도, 표면 자유 에너지, 마모율의 군 간 차이를 알아보기 위해 반복 측정 자료의 일원분산분석(repeated measured ANOVA using PROC ANOVA)과 각 군의 표면 특성 변화가 관찰 기간에 따라 유의한지를 알아보기 위해 혼합 선형 모형을 이용한 분석(repeated measured designs using PROC MIXED)을 사용하였다. p값은 0.05로 하였다.

III. 연구 성적

1. 레진 표면 강화재 두께

Fortify와 Biscover의 평균 두께는 11.73(\pm 2.36) μ m, 20.94(\pm 3.05) μ m였다.

2. 표면 조도

각 군간 평균 조도(Ra)는 Table 3과 Fig. 1에 제시되었다. 평균 조도는 칫솔질에 의한 마모 전에서는 모든 군에서 유의한 차이를 보였고, 1개월, 2개월, 3개월에서는 P군과 F군, P군과 B군은 유의한 차이를 보였으나, F군과 B군은 유의한 차이를 보이지 않았다. 6개월에서는 모든 군에서 유의한 차이를 보였다(Table 4). 매 달의 평균 조도는 P군에서는 마모 전과 1개월에서만 유의한 차이를 보였다. F군은 마모 전과 1개월, 3개월

Table 3. Ra(SD)

	P	F	B
before abrasion	0.304(0.013)	0.275(0.034)	0.242(0.018)
1month	0.376(0.012)	0.346(0.022)	0.339(0.014)
2months	0.373(0.013)	0.345(0.006)	0.337(0.012)
3months	0.378(0.019)	0.350(0.021)	0.351(0.017)
6months	0.375(0.011)	0.364(0.017)	0.350(0.017)

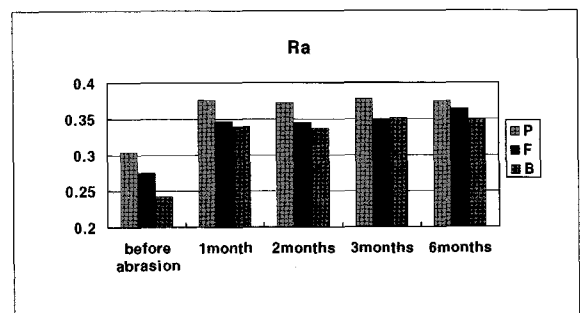


Fig. 1. Ra.

Table 4. Comparison of Ra between groups P/F/B (before wear /1month/ 2months/ 3months/ 6months)

μm	P	F	B
P		*/**/**/*	*/**/**/*
F			*-/ -/*
B			

*-:Not statistically significant($p>0.05$)
 *:Statistically significant($p<0.05$)

Table 6. SFE(SD)

mN/m	P	F	B
before abrasion	52.08(1.72)	51.27(1.67)	42.11(2.88)
1month	50.96(1.68)	49.62(1.28)	49.91(2.17)
2months	50.22(1.49)	50.42(1.48)	50.18(1.49)
3months	50.30(1.58)	49.52(0.91)	50.91(1.25)
6months	49.69(1.46)	47.31(1.81)	51.27(1.67)

Table 7. Comparison of SFE between groups (before wear /1month/ 2months/ 3months/ 6months)

	P	F	B
P		-*/ -/*	*-/ -/*
F			*-/ -/*
B			

*-:Not statistically significant($p>0.05$)
 *:Statistically significant($p<0.05$)

과 6개월에서 유의한 차이를 보였다. B군은 마모전과 1개월, 2개월과 3개월에서 유의한 차이를 보였다(Table 5).

3. 표면 자유 에너지(Surface Free Energy: SFE)

각 군간 SFE는 Table 6과 Fig. 2와 같다. 군 간의 SFE는 마모 전은 P군과 B군, F군과 B군에서 유의한 차이를 보였고, 그 값은 $B < F < P$ 군 순이었다. 1개월에서는 P군과 F군이 유의차를 보였으며, 2개월에서는 군간 유의차를 보이지 않았으며, 3개월에서는 F군과 B군에서 유의한 차이를 보였다. 6개월에서는 모든 군에서 유의차를 보였고 SFE값은 $F < P < B$ 군 순이었다(Table 7). 매 달 SFE를 보면, P군에서는 점차 감소하

Table 5. Comparison of Ra between times in P/F/B

	before abrasion	1month	2months	3months	6months
before abrasion		*/**	*/**	*/**	*/**
1month			-/-	-/*	-/*
2months				-/*	-/*
3months					-/*
6months					

*-:Not statistically significant($p>0.05$)
 *:Statistically significant($p<0.05$)

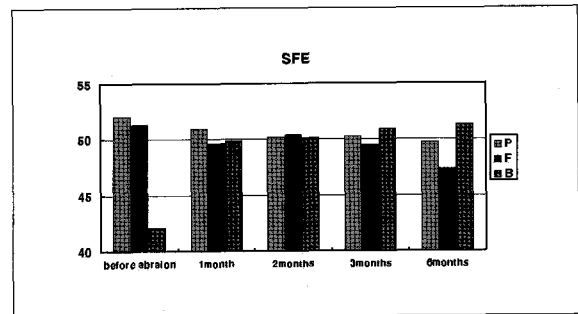


Fig. 2. SFE.

Table 8. Comparison of SFE between times in P/F/B

	before abrasion	1month	2months	3months	6months
Before abrasion		*/**	*/**	*/**	*/**
1month			-/-	-/-	*/**
2months				-/-	-/*
3months					-/*
6months					

*-:Not statistically significant($p>0.05$)
 *:Statistically significant($p<0.05$)

는 경향을 보였고 마모 전과 1개월에서 유의차를 보였다. F군에서도 대체로 감소하는 추세였고, 마모 전과 1개월, 3개월과 6개월에서 유의차를 보였다. 반면 B군에서는 SFE는 점차 증가하였고 마모 전과 1개월에 유의성 있는 차이를 보였다(Table 8).

4. 마모 깊이

매 달의 마모 깊이는 마모율과 같은데 Table 9와 Fig. 3에 제시된 바와 같다. 각 값은 누적된 값이 아니다. 군 간 마모율은 2개월과 3개월, 4~6개월 평균에서 P군과 F군은 유의성 있는 차이를 보이지 않았고, 1개월과 2개월에서 F군에서 가장 마모율이 높았고 3개월과 4~6개월 평균 마모율은 B군이 가장 높

Table 9. Abrasive wear rate in each month (SD)

$\mu\text{m}/\text{1month}$	P	F	B
1month	3.826(0.609)	7.11(1.22)	4.934(0.985)
2month	3.240(0.715)	3.35(0.84)	3.144(0.782)
3month	2.781(0.767)	2.67(0.70)	3.408(0.747)
(4~6month)/3	2.255(0.397)	2.11(0.60)	3.915(0.582)

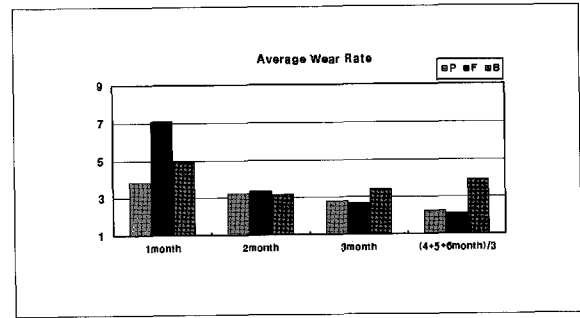


Fig. 3. Abrasive wear rate in each month.

Table 10. Comparison of wear rate between groups (1month/2month/ 3month/(4+5+6months)/3)

	P	F	B
P		*/-/-	*/-/*/*
F			*/-/*/*
B			

*-:Not statistically significant(p>0.05)
*:Statistically significant(p<0.05)

았다(Table 10). P군과 F군의 마모율은 매달 유의성 있게 감소하였고, B군에서는 1개월에 마모율이 증가하다 2,3개월에서 감소하였으며 다시 4~6개월 평균 마모율은 증가하였으나 1개월과 2개월을 제외하고 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 11).

5. 주사전자현미경 관찰

P군의 주사전자현미경 사진은 Fig. 4에 제시된 바와 같다. 칫솔질 마모 전의 레진 표면은 충전제가 일부 소실되었고 기질에 미세 결함을 보이며(Fig. 4-a) 시간이 지날수록 이것은 증가되었고, 6개월 후에는 레진 기질의 소실이 두드러졌고 다양한 크기의 충전제가 노출되었다(Fig. 4-b).

F군의 주사전자현미경 사진은 Fig. 5에 제시된 바와 같다. 마모 전 시편의 표면은 P군과 비교시 매끄러우며, 충전제와 기질의 결합은 Fortify로 채워졌으나 충전제의 구별은 가능하였다(Fig. 5-a). 1개월 후에도 일부 Fortify가 남아있는 것으로 보이고 충전제와 기질의 일부가 소실되었다(Fig. 5-b). 2개월과 3개월에서는 레진의 소실이 명확해졌고, 6개월에서는 P군과 유사해졌다(Fig. 5-c).

B군의 주사전자현미경 사진은 Fig. 6에 제시된 바와 같다. 마모 전 시편의 표면은 충전제를 구별할 수 없을 정도로 매끈한 표면을 보였고(Fig. 6-a), 1개월에서는 Biscover의 마모만 일어났고 표면이 불규칙해졌으나 정도는 미약하였다(Fig. 6-b). 2개월에서는 일부에서 Biscover 전체가 탈락하였고(Fig. 6-c-2), 탈락된 부위에서 기질과 충전제의 소실이 관찰되었다(Fig. 6-c-1). 3개월에서도 이와 유사한 표면을 보였다(Fig. 6-d). 6

Table 11. Comparison of wear rate between times in P/F/B

	1month	2month	3month	(4~6months)/3
1month		*/*/*	*/*/*	*/*/*
2month			*/*/-	*/*/*
3month				*/*/-
(4~6months)/3				

*-:Not statistically significant(p>0.05)
*:Statistically significant(p<0.05)

개월에서는 대부분의 Biscover가 소실되었고(Fig. 6-e-2), 시편 표면의 기질과 충전제 소실이 증가하였으나 일부 Biscover의 흔적을 볼 수 있었다(Fig. 6-e-1).

IV. 총괄 및 고찰

복합 레진을 연마한 후에 표면과 표면 하방의 미세 결함은 피할 수가 없는데, 수복물이 구강 환경에서 마모 과정을 거치면서 미세결함은 표면 하방으로 계속 진행된다. Ferracane 등¹²⁾은 연마된 레진을 silver nitrate로 염색했을 때, 수 μm 너비와 15 μm 이상의 깊이를 가진 미세 결함이 발견되었음을 보고하였고, Ratanapridakul 등¹³⁾은 연마로 인한 미세결함이 50 μm 까지 확장되었다고 하였으며 연마하지 않은 레진은 12-fluted carbide bur와 white stone으로 연마한 레진보다 40~50%정도 마모량이 감소한다고 하였다. 연마로 인한 레진 표면의 미세 결함은 마모시 기질의 약화와 충전제의 탈락을 가져와 결국 재료의 소실과 변형, 변연 칩투를 일으킨다⁶⁾. 이러한 문제점을 개선하기 위해 레진 표면에 상아질 접착재나 치면 열구 전색제를 도포하는 방법이 제시되어 왔으나, 불완전한 젖음성과 조성의 차이, 희석제(ethanol/water 또는 acetone), 점도 조절제, 중합 기전으로 레진 표면을 강화시키지 못했다⁴⁾. 이에 Dickinson 등¹⁴⁾은 미세 결함 부위에 침투하여 표면을 채울 수 있는 표면 침투제 전색제(Surface Penetrating Sealant)가 필요하다고 하였다.

구강내 치아 표면과 수복물의 치태 부착에 중요한 두 인자는 표면 조도와 표면 자유 에너지이다¹⁵⁾. 치태 침착을 최소화하여 치아 우식과 치주 질환의 발현을 감소시키기 위해서는 매끄러

은 표면과 낮은 표면 자유 에너지를 가진 재료가 이상적인데¹⁶⁾, Quriyenen과 Bollen¹⁶⁾과 Quriyenen 등¹⁷⁾과 Quriyenen 등¹⁸⁾은 세균 부착에 표면 조도가 더 중요하며 몇몇 임상 연구에서도 표면 조도와 치은 연상 세균의 군집에는 양의 관계가 존재한다고 하였다. 반면 Blunden 등¹⁵⁾과 김 등¹⁹⁾은 SFE가 세균 군집에 더 중요한 인자라고 하였다.

표면 조도는 초기 세균의 부착과 정체에 영향을 준다¹⁵⁾. 복합 레진의 경우 2 μ m 이상의 표면 조도에서 세균의 집락은 급격히 증가하고 이 때 표면 자유에너지는 영향을 끼치지 못한다고 하였다¹⁵⁾. Bollen 등²⁰⁾은 *in vivo* 실험에서 최소 0.2 μ m 이상의 표면 조도를 보이는 표면에 치태가 빠르게 침착하고 성숙한 치태가 형성되었는데 이를 역치 평균 조도라 하였다.

이번 실험에서 P군과 F군, B군 모두 평균 조도가 역치 조도인 0.2 μ m 이상이었고, 칫솔질 횟수가 증가하면서 평균 조도도 모두 증가하였으며, 그 값은 0.4 μ m 이하였다. 따라서 칫솔질 횟수가 증가되면서 치태 부착의 기회도 증가할 것이고, 평균 조도로 평가했을 때는 P군에서 가장 많은 치태 침착이 예상된다. 본 연구에서는 마모 전 평균 조도는 B군에서 유의하게 낮았다. 주사전자현미경상에서도 시편은 충전제를 구별할 수 없을 정도로 매끈한 표면을 보였다. 그러나 칫솔질 횟수가 증가함에 따라 B군의 평균 조도는 F군 계측치보다는 작았지만, 점차 F군과의 유의성 있는 차이를 보이지 않았다. 이는 주사전자현미경상에서 관찰 시, Biscover가 최상위층부터 차례로 소실되지 않고, 복합 레진과의 결합부위에서 탈락하였기 때문에 Fortify가 소실된 표면과 평균 조도가 유사했을 것이라 생각된다. P군과 비교했을 때, F군의 평균 조도는 Fortify가 남아있는 마모 전과 1개월에서 유의성 있는 차이가 존재했고 Fortify가 완전 소실된 2개월, 3개월, 6개월 후에도 유의성 있는 차이를 보였다. 이를 통해 표층의 Fortify가 모두 소실된 후에도 레진 시편의 미세 결합 부위에 흘러 들어간 Fortify가 레진의 표면 조도 감소에 기여했을 가능성을 생각할 수 있다. Roeder 등²¹⁾의 연구에서는 레진 표면 강화제가 평균 조도를 약간 감소시키는 효과를 보였으나, Santos 등¹⁰⁾은 30,000회의 칫솔질 후 레진 표면 강화제를 도포한 것과 연마만 한 군의 평균 조도는 유의차가 없다고 하였다. 이에 대해 그는 레진 표면 강화제의 영향보다는 Z100의 무기 충전제인 구형의 silica 충전제가 zirconium 입자에 둘러싸여 있어, 연마시 발생하는 에너지를 흡수하여 표면의 미세 결합이 진행되는 것을 차단하기 때문이라 하였다. 그런데 그의 실험에서 2년에 해당하는 30,000회의 칫솔질 후 레진 표면 강화제는 완전히 소실되고 SEM 상에서 레진 표면 강화제의 흔적을 볼 수 없는 것으로 볼 때, 칫솔질 후 두 군의 평균 조도는 복합 레진 자체의 평균 조도일 가능성이 있다. 또한 그의 실험은 마모 깊이를 측정하지 않아, 레진 표면 강화제의 효과를 확인하기에는 불충분했다. Takeuchi 등⁴⁾은 Single Bond(3M, ESPE Dental Product, USA)와 Protect-it-PI(Pentron Inc, USA)를 도포한 군에서 35,600회 칫솔질 후 평균 조도에 유의한 차이가 관찰하지 못하였으나, 그의 실험에서는 연마의 과정이 생략되어 연마로 인한 미세 결합에 대한 레진 표면 강화

제의 영향을 이번 실험과 비교하기에는 부족했다. 또한 칫솔질로 인한 마모 깊이를 측정하지 않아 마모량이 미세 결합 깊이¹²⁾(약 15 μ m)보다 많이 나타났는지 알 수 없었다.

한편 일부 치약의 마모제는 치아나 수복물 표면을 활택하게 하고 동시에 재료의 소실을 가져오므로 표면의 거칠기만으로 레진 표면 강화제의 마모 억제 효율성을 논할 수는 없다²²⁾. 따라서 표면 거칠기 외에도 표면 자유 에너지 변화와 마모율 등 다른 요인도 고려해야 할 것이다.

표면 자유 에너지(SFE)는 원자간 인력에 의해 만들어진다. 고체 내부의 모든 원자는 동일하게 서로 잡아당기므로 원자간 간격은 동일하며 이 경우 에너지는 최소화이다. 그러나 표면에서는 최외곽 부위의 원자는 모든 방향에서 동일하게 원자를 잡아당기지 못하기 때문에 에너지가 최대이다. Kane 등²³⁾은 이러한 표면 특성으로 표면에서 고체 내부로 향하는 에너지를 발생시켜 높은 SFE를 가진 재료는 낮은 SFE의 재료에 비해 세균 부착이 더 용이할 수 있다고 하였다. 김 등¹⁹⁾도 *in vitro* 실험에서 SFE가 높은 복합 레진에서 세균 부착이 증가했다고 보고했다. Van Pelt 등²⁴⁾은 고체의 낮은 SFE는 단위 면적당 세균의 수보다 세균과의 결합력을 증가시킨다고 하였다.

SFE 값이 마모 전에는 P군과 F군이 유사하였는데, 이는 Z250의 기질 성분과 Fortify의 성분이 UDMA와 Bis-EMA로 유사하기 때문으로 생각된다. 마모 전 B군에서 SFE값이 유의하게 낮았는데, 이는 Biscover와 Fortify의 성분 차이 때문이라 생각된다. 이 실험에서는 SFE 값으로 고려해 볼 때, Biscover는 칫솔질 마모 전에는 세균과 치태 부착을 감소시킬 수 있겠으나, 마모가 진행되면서 그 효과는 상쇄되리라 여겨진다.

구강내에 수복물이 노출되면 타액의 glycoprotein이 선택적으로 침착하여 즉시 획득 피막이 형성된다²⁵⁾. 이러한 생체막은 수복물의 표면 특성을 변화시켜 임상적으로 같은 젖음성을 갖게 하여, 재료간의 표면 자유에너지 차이를 감소시킬 수 있으므로²⁶⁾ 임상에서는 표면 자유에너지 외에 구강내 요인들 즉, 재료의 물리 화학적 특성과 함께 수복물의 위치, 근육, 혀, 타액 흐름과 같은 구강내 전단력을 고려해야 한다²⁷⁾.

레진 마모 저항에 대한 레진 표면 강화제의 효율성은 아직 논란이 되고 있는데²⁸⁾, Bertrand 등²⁹⁾은 레진 표면 강화제가 미세 결합 부위 전체에 흘러 들어가지 않고 최상층만이 채워졌기 때문이라 했고, Rueggeberg와 Margeson³⁰⁾은 산소로 인한 불완전한 중합을 이유로 마모 저항에 대한 효율성을 의심하였다. 그러나, Kawai 등³¹⁾은 레진 표면 강화제의 점도가 낮고 젖음성이 높아 1~2 μ m의 미세 결합에도 흘러 들어가 약화된 표면의 내구성을 증가시켜, 충전제의 크기가 1 μ m보다 클 때 구치부 레진의 교합면 마모량은 40~50% 감소된다고 하였다. 또한 Dickinson 등¹⁴⁾은 Fortify는 복합 레진의 전반적인 마모를 감소시키고, Shinkai 등³²⁾도 레진 표면 강화제가 연마로 약해진 레진 인레이 표면의 마모를 감소시킨다고 하였다.

이번 연구에서 P군의 매 달 마모율은 유의성있게 감소하였다. 칫솔질에 의한 마모량이 레진의 종류와 치약과 칫솔의 특성에 따라 달라지기는 하나^{7,9,15)}, Teixeira 등¹⁾의 연구에서도 Z250

의 칫솔질에 대한 마모율은 1년, 2년, 5년, 10년 동안 점차 감소하였다. 6개월 동안 P군의 마모 깊이는 16.61 μ m였는데, Teixeira 등¹⁾의 연구에서도 Z250을 10,000회 칫솔 마모시켰을 때 마모 깊이가 24.3 μ m로, 7500회 마모시에는 18.23 μ m로 유사한 값을 보였다.

F군은 1개월에서 7.11 μ m의 마모율을 보여 P군과 유의한 차이를 보였고 2개월에서는 유의한 차이는 없었으나 P군보다 여전히 마모율이 컸다. Z250의 기질에는 Fortify에 없는 Bis-GMA가 있는데, Bis-GMA는 단위 무게 당 이중 결합수가 많아 교차 결합이 증가하여 더 단단한 기질을 만든다. 그리고 충전제의 마모율이 기질보다 적기 때문에 P군의 마모율이 작으리라 생각된다. SEM상에서 1개월에는 Fortify가 일부 남아 있었으나 2개월에는 Fortify가 없었고, Fortify의 두께가 11.73 μ m이므로 2개월의 칫솔 마모 동안 Fortify는 모두 소실되었음을 알 수 있다. 3개월과 4~6개월 평균 마모율은 P군에 비해 유의성은 있는 차이는 없었는데, 이는 연마로 인해 생긴 미세결합에 Fortify가 침투하여 레진 표면을 강화에 기여하지 못했음을 의미한다. 한편, Dickinson 등¹⁴⁾은 마모에 대한 레진 표면 강화제의 영향에 대해서 레진 표면 강화제 도포 후의 추가적인 중합과정으로 하방의 레진이 완전 중합되어 마모 저항성이 증가했을 것이라 언급했고, 이는 Glasspoole과 Erickson³³⁾의 연구에서 중합시간을 20초에서 60초로 증가시켰을 때 마모 저항이 12%에서 30%로 증가했다는 연구 결과로 뒷받침된다.

B군에서 6개월 동안의 마모 깊이는 23.23 μ m로 Biscover 두께가 20.94 μ m임을 감안할 때, 6개월 마모 시 Biscover가 거의 소실되었음을 확인할 수 있다. 6개월 마모 후 주사전자현미경 사진에서 Biscover가 전체 시편 표면적의 3분의 1정도만 남아 있었는데, 레진 표면의 광택과 활택한 표면을 위해서는 6~12개월마다 재도포를 추천한 제조사의 지시보다 짧은 시기에 재도포를 해야 할 것으로 생각된다. 또한 Biscover가 표층부터 소실되지 않고 복합 레진과의 경계부위에서 접착 실패를 보이므로, 이 점을 개선해야 할 것으로 생각된다. 1개월, 2개월에서는 P군보다 F군이, 모든 개월에서는 P군보다 B군에서 마모율이 높았는데, 이는 unfilled resin이 filled resin보다 마모율이 높은 것처럼 레진 기질의 마모가 더 빠르기 때문이다³⁴⁾.

이 연구에서는 물 냉각 하에 silicon carbide paper 연마를 시행하였는데, 이는 3D-Profilometer로 마모 깊이를 측정할 때, 편평한 면이 필요했기 때문이었다. 임상에서는 물 냉각 없이 Sof-Lex(3M, ESPE Dental Product, USA)를 주로 사용하므로 이에 대한 추가적인 실험이 필요하다. 그리고, 광학식 표면 조도기(Accura 2000)는 높이가 다른 두 평면의 경계 부위에서 발생하는 간섭현상을 제거할 수 없기 때문에 Biscover의 평균 조도는 높이가 다른 두 평면 즉, 재료가 탈락된 부위와 존재하는 부위의 평균값으로 평균 조도를 구했다. 이로 인하여, 경계 부위의 조도는 측정할 수 없었는데, 이 부위의 표면 조도를 측정할 수 있는 표면 조도기로 재측정해 볼 필요가 있다. 또한 이번 연구는 단순한 조건하에 시행된 생체의 연구로써, 실제 구강내에서 일어나는 현상과 많은 차이가 있다. 따라서, 구강내

에서 재료의 표면 조도와 SFE 그리고 마모율의 변화에 대한 영향을 평가하기 위한 추가적인 연구가 필요하리라 생각된다.

V. 결 론

본 연구는 레진 연마 후의 표면 미세 결함을 제거하기 위해 사용한 레진 표면 강화제가 표면 처리하지 않은 것에 비해 칫솔질 후 표면 특성 즉, 표면 조도, 표면 자유 에너지, 마모율의 변화에 대한 영향을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다 (p=0.05).

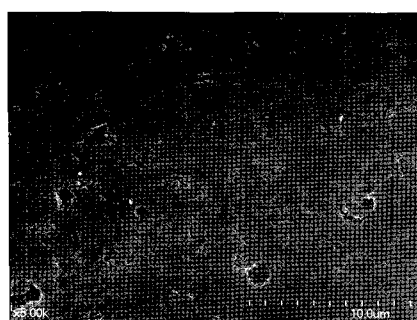
1. 평균 조도는 B<F<P 순이었다. 마모 전과 6개월에서는 모든 군에서 유의한 차이를 보였고, 1개월, 2개월, 3개월에서는 P군과 F군, P군과 B군에서 유의한 차이를 보였다.
2. 표면 자유 에너지는 마모 전은 P군과 B군, F군과 B군에서 유의한 차이를 보였고(B<F<P), 1개월에서는 P군과 F군에서 유의차를 보였으며, 2개월에서는 각 군간 유의한 차이를 보이지 않았다. 3개월에서는 F군과 B군에서 유의차를 보였고, 6개월에서는 P군과F군, F군과 B군에서 유의한 차이를 보였다(F<P<B).
3. 마모율은 1개월에서 모든 군에서 유의차를 보였으며, 2개월에서는 군 간 유의차가 없었고, 3개월과 4~6개월 평균 마모율은 P군과 B군, F군과 B군에서 유의한 차이를 보였다. Fortify와 Biscover의 두께를 고려했을 때, Fortify는 2개월에, Biscover는 6개월 정도에 거의 소실되었다.

참고문헌

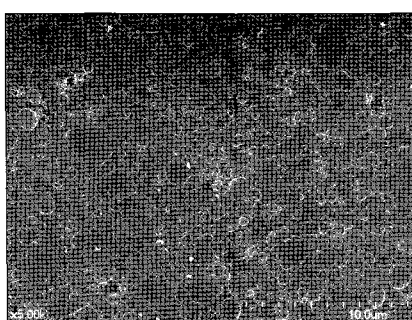
1. Teixeira EC, Thompson JL, Piascik JR, et al. : *In vitro* toothbrush-dentifrice abrasion of two restorative composites. J Esthet Restor Dent, 17:172-182, 2005.
2. Stoddard JW, Johnson GH : An evaluation of polishing agents for composite resins. J Prosthet Dent, 65:491-5, 1991.
3. Pratten DH, Johnson GH : An evaluation of finishing instruments for an anterior and a posterior composite. J Prosthet Dent, 60:154-158, 1988.
4. Takeuchi CY, Flores VHO, Dibb RGP, et al. : Assessing the surface roughness of a posterior resin composite: effect of surface sealing. Oper Dent, 28:281-286, 2003.
5. Ramos RP, Chinelatti MA, Chimello DT, et al. : Quintessence Int, 33:450-456, 2002.
6. Shinkai K, Suzuki S, Leinfelder KF, et al. : Effect of surface penetrating sealant on wear resistance of luting agents. Quintessence Int, 25:767-771, 1994.
7. Wang L, Garcia FCP, Araujo PA, et al. : Wear resistance of packable resin composites after simulated

- toothbrushing test. J Esthet & Restor Dent, 16:303-315, 2004.
8. 박종하, 백병주, 김재곤 등 : 잇솔질 마모 처리한 불소방출성 수복재의 특성. 대한소아치과학회지, 31:705-713, 2004.
 9. Goldstein GR, Lerner T : The effect of toothbrushing on a hybrid composite resin. J Prosthet Dent, 66:498-500, 1991.
 10. Santos PHD, Consani S, Sobrinho LC, et al. : Effect of surface penetrating sealant on roughness of posterior composite resins. Am J Dent, 16:197-201, 2003.
 11. Aker JR : New composite resins: Comparison of their resistance to toothbrush abrasion and characteristics of abraded surface. J Am Dent Assoc, 105:633-635, 1982.
 12. Ferracane JL, Condon JR, Mitchem JC : Evaluation of subsurface defects created during the finishing of composites. J Dent Res, 71:1628-1632, 1992.
 13. Ratanapridakul, Leinfelder, Thomas : Effect of finishing on the *in vivo* wear rate of a posterior composite resin. JADA, 118:333-335, 1989.
 14. Dickinson GL, Leinfelder KF, Mazer RB, et al. : Effect of surface penetrating sealant on wear rate of posterior composite resins. J Am Dent Assoc, 121:251-255, 1990.
 15. Blunden RE, Oliver RG, Kane CO : Microbial growth on the surface of various orthodontic bonding cements. Br J Orthod, 21:125-132, 1994.
 16. Quirynen M, Bollen CML : The influence of surface roughness and surface free energy on supra and subgingival plaque formation in man—a review of the literature. J Clin Periodontol, 22:1-14, 1995.
 17. Quirynen M, van der Mei HC, Bollen CML, et al. : An *in vitro* study of the influence of the surface roughness of implants on the microbiology of supra- and subgingival plaque. J Dent Res, 72:1304-1309, 1993.
 18. Quirynen M, Marechal M, Busscher HJ, et al. : The influence of surface free energy and surface roughness on early plaque formation. J Clin Periodontol, 17:138-144, 1990.
 19. 김영중, 김신, 정태성 : 수중 복합레진에 대한 치태 부착도 비교. 대한소아치과학회지, 31:547-553, 2004.
 20. Bollen CML, Lambrechts P, Quirynen M : Comparison of surface roughness of oral hard materials to the threshold surface roughness for bacterial plaque retention: A review of the literature. Dent Mater, 13:258-269, 1997.
 21. Roeder LB, Tate WH, Powers JM : Effect of finishing and polishing procedures on the surface roughness of packable composites. Oper Dent, 25:534-543, 2000.
 22. Meyers IA, McQueen MJ, Harbrow D, et al. : The surface effect of dentifrices. Aust Dent J, 45:118-124, 2000.
 23. Kane CO, Oliver RG, Blunden RE : Surface roughness and droplet contact angle measurement of various orthodontic bonding cements. Br J Orthod, 20:297-305, 1993.
 24. Van Pelt AWJ, Weekamp AH, Uyen MHW, et al. : Adhesion of Streptococcus sanguis CH3 to polymers with different surface free energies. Appl Environ Microbiol, 49:1270-1275, 1985.
 25. Baier RG, Glantz PO : Characterization of oral *in vivo* films formed on different types of solid surfaces. Acta Odontol Scand, 36:289-301, 1978.
 26. Jendresen MD, Glantz PO : Clinical adhesiveness of selected dental materials. An *in vivo* study. Acta Odontol Scand, 39:39-45, 1981.
 27. Hannig M : Transmission electron microscopy of early plaque formation on dental materials *in vivo*. Eur J Oral Sci, 107:55-64, 1999.
 28. Ramos RP, Chimello DT, Chinelatti MA, et al. : Effect of three surface sealants on marginal sealing of Class V composite resin restorations. Oper Dent, 25:448-453, 2000.
 29. Bertrand MF, Leforestier E, Muller M, et al. : Effect of surface penetrating sealant on surface texture and microhardness of composite resins. J Biomed Mater Res, 53:658-663, 2000.
 30. Rueggeberg FA, Margeson DH : The effect of oxygen inhibition on an unfilled /filled composite system. J Dent Res, 69:1652-1658, 1990.
 31. Kawai K, Leinfelder KF : Effect of surface penetrating sealant on composite wear. Dent Mater, 9:108-113, 1993.
 32. Shinkai K, Suzuki, Leinfelder KF, et al. : Effect of surface penetrating sealants on wear resistance or luting agents. Quintessence Int, 25:767-771, 1994.
 33. Glasspoole FA, Erickson RL : Effect of finishing time on wear resistance of composite. J Dent Res, 68:207-212, 1989.
 34. LI Y, Swartz ML, Phillips BK, et al. : Effects of filler contents and size on properties of composites. J Dent Res, 64:1396-1401, 1985.

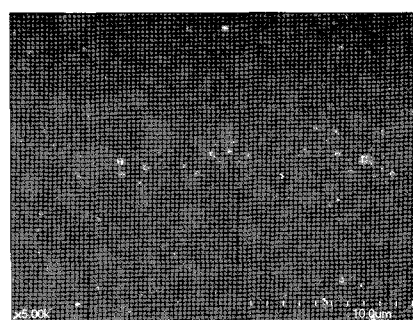
사진부도



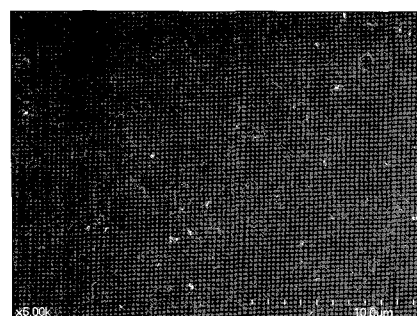
4-a. (x5k)



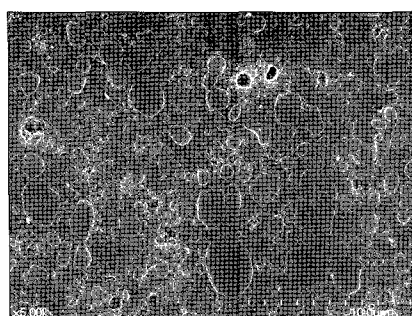
4-b. (x5k)



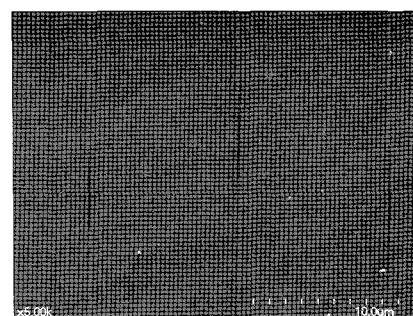
5-a. (x5k)



5-b. (x5k)



5-c. (x5k)



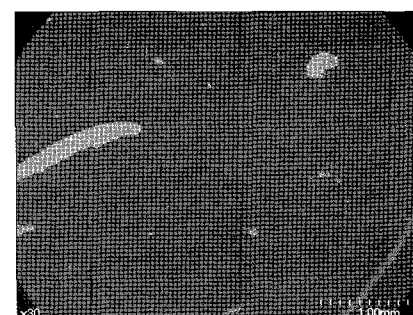
6-a. (x5k)



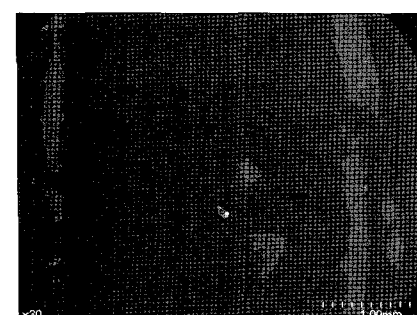
6-b. (x5k)



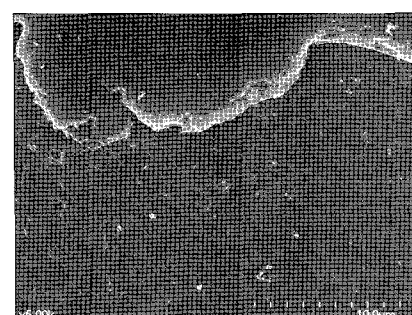
6-c-1. (x5k)



6-c-2. (x30)



6-d. (x30)



6-e-1. (x5k)



6-e-2. (x30)

Fig. 4-a. Polishing group before tooth brush abrasion. **4-b.** after 6 months.
Fig. 5-a. Fortify group before tooth brush abrasion. **5-b.** after 1 month. **5-c.** after 6 months.
Fig. 6-a. Biscover group before tooth brush abrasion. **6-b.** after 1 month.
Fig. 6-c-1. after 2 months: the junctions between resin and Biscover.
Fig. 6-c-2. whole view after 2 months. **6-d.** whole view after 3 months.
Fig. 6-e-1. after 3 months: the junctions between resin and Biscover. **6-e-2.** whole view after 6 months.

Abstract

THE ABRASION OF SURFACE PENETRATING SEALANT
BY TOOTH-BRUSHING

Ju-Hyun Song, Se-Hyun Hahn, Ki-Taeg Jang, Sang-Hoon Lee

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

This study evaluated the surface changes such as surface average roughness(RA), surface free energy(SFE) and wear depth among groups treated with surface penetrating sealant(Fortify, Biscover), non treated polishing group before and after tooth-brushing, analyzing the influence of the sealants in filling of surface microdefects formed during the finishing and polishing procedures of composite resin.

Results were as follow($p=0.05$):

1. Ra was increased Biscover, Fortify and Polishing group. Before abrasion and in 6 months, all groups were statistically significant. In 1 month, 2 months and 3 months no statistical difference was noticed between Fortify and Biscover.
2. SFE of Polishing and Biscover group, Fortify and Biscover group were statistically significant before abrasion. SFE of Polishing and Fortify group was statistically significant in 1 month. No statistical difference was noticed among groups in 2 months. SFE of Fortify and Biscover group was statistically significant in 3 months. Polishing and Fortify group, Fortify and Biscover group were statistically significant in 6 months.
3. Wear rate between Polishing and Fortify group was statistically significant in only 1 month. Wear rate between Polishing and Biscover group was statistically different in each month except for 2 month and so it was between Fortify and Biscover group. Considering film thickness of Fortify and Biscover, Fortify almost disappeared after 2 months and Biscover did after 6 months.

Key words : Surface penetrating sealant, Surface free energy, Surface roughness, Wear rate