

다양한 교정용 접착제의 표면거칠기와 표면에너지 요소 분석

안효범^a · 안석준^b · 남동석^c

치과용 재료의 표면특성은 세균 부착에 중요한 역할을 한다. 본 연구의 목적은 다섯 종류의 광중합 교정용 접착제 (불소를 방출하지 않는 세 종류의 콤포지트 레진, 불소를 방출하는 콤포지트 레진 한 종류, 레진 변형 글래스아이오노머 시멘트 한 종류)의 표면특성을 평가하는 것이다. 표면거칠기는 공초점 레이저주사전자현미경을 이용하여 측정하였고, 접촉각과 표면에너지 요소는 sessile drop method를 이용하여 분석하였다. 본 연구의 결과 교정용 접착제간 표면거칠기는 각 재료간 표면거칠기 차이가 $0.05 \mu\text{m}$ 이하로 상대적으로 적지만 각 재료 사이에 유의성 있는 차이를 보였다. Transbond XT와 Enlight는 Monolok2와 Lightbond 보다 유의하게 덜 거칠었다. 접촉각과 표면에너지 구성성분은 접착제 사이에 유의성 있는 큰 차이를 보였는데 특히 레진 변형 글래스아이오노머와 콤포지트 레진 접착제 간에 접촉각과 표면에너지에서 커다란 차이를 보였다. 레진 변형 글래스아이오노머의 경우 콤포지트 레진 접착제에 비해 유의하게 작은 접촉각과 높은 표면에너지를 보였으며 콤포지트 레진 접착제보다 강한 극성, 특히 강한 염기성 경향을 보였다. 본 연구는 레진 변형 글래스아이오노머가 콤포지트 레진 접착제에 비해 세균 부착에 유리한 환경을 제공한다는 것을 보여주었다. (대치교정지 2006;36(5):360-8)

주요 단어: 교정용접착제, 표면거칠기, 표면에너지

서론

교정장치 주위에서 발생하는 범랑질 탈회는 고정식 교정장치를 이용한 교정치료의 주요 부작용이다. 특히 상악전치부의 범랑질 탈회는 심미성이 주목적인 교정치료에서 커다란 부작용으로 알려져 있으며, 고정식 교정장치를 장착한 환자의 약 50%까지 발생한다고 보고되고 있다.^{1,2} 범랑질 탈회는 *mutans streptococci*에 의해 생성되는 젖산에 의해 발생하며,^{3,5} 이 중에서 *Streptococcus mutans*와 *Streptococcus sobrinus*가 인간의 구강 내에서 치아우식증 및 범랑질 탈회를 유발한다고 보고되고 있다.^{5,6}

고정식 교정장치는 복잡한 구조로 인한 구강청결

의 어려움과 세균 부착을 위한 추가적인 부착 장소 제공을 통해 치태 부착을 증가시켜 범랑질 탈회의 주 요인으로 고려되고 있다. 이전의 연구에서는 고정식 교정장치 주위에 광범위한 세균 부착이 보고되었으며⁷ 고정식 교정장치 장착 시 구강 내 pH의 감소와 치태 침착 증가가 보고되었다.⁸ 교정장치 주위의 세균 부착은 세균이 브라켓 주위의 치면에 계속적으로 성장해나가기 때문에 병원성 치태 형성과 범랑질 탈회의 초기 단계로 생각할 수 있다. 이는 고정식 교정장치 부착이 범랑질 탈회의 중요한 원인 중의 하나라는 것을 의미한다.^{9,10} 임상적으로 탈회가 가장 흔히 일어나는 부위는 교정용 접착제와 범랑질의 경계부위로^{11,12} 특히 브라켓 주위의 범랑질 표면에 잔존하는 접착제는 세균의 부착과 성장을 유리하게 하는 거친 표면을 제공하기 때문에 범랑질 탈회의 주 원인으로 생각되고 있다.⁷

재료 표면의 다양한 물리-화학적 성질이 세균 부착에 영향을 준다고 알려져 있으며,¹³ 특히 표면거칠기와 표면에너지 및 표면에너지 성분이 세균 부착에 커다란 역할을 한다고 보고되었다.^{14,15} 거친 표면은

^a대학원생, ^b조교수, ^c명예교수, 서울대학교 치과대학 교정학교실
교신저자: 남동석

서울시 종로구 연건동 28-1

서울대학교 치과대학 교정학교실

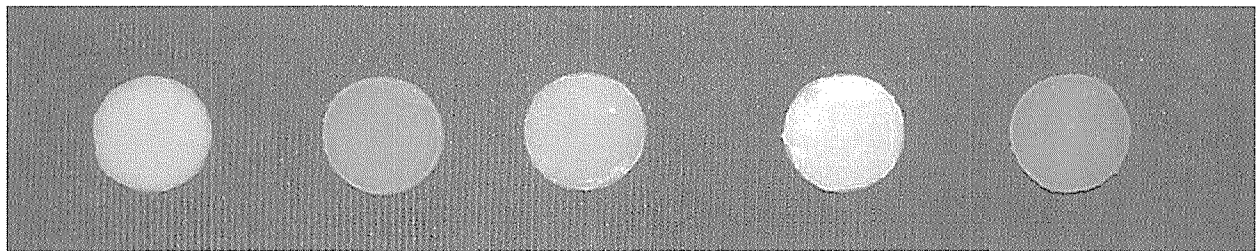
02-2072-3817; e-mail, dsnahm@snu.ac.kr

원고접수일: 2006년 3월 24일 / 원고최종수정일: 2006년 8월 7일 / 원

고채택일: 2006년 8월 11일

Table 1. Orthodontic bonding adhesives evaluated in this study

Bonding adhesive	Type	Supplier
Enlight	Light-cure composite	Ormco, Glendora, CA, USA
Lightbond	Fluoride-releasing light-cured composite	Reliance orthodontic products, Itasca, IL, USA
Monolok2	Light-cured composite	RMO, Denver, CO, USA
Transbond XT	Light-cured composite	3M Unitek, Monrovia, CA, USA
Fuji Ortho LC	Fluoride-releasing light-cured resin modified glass ionomer	GC Corporation, Tokyo, Japan

**Fig 1.** Orthodontic adhesive samples; From left to right: Enlight, Transbond XT, Fujiortho LC, Lightbond, and Monolok2.

기질 표면적의 증가, 세균 군집을 위한 적합한 굴곡의 제공, 세균 군집 탈락의 방해 등을 통해 세균 정착 및 군집에 대한 바람직한 환경을 제공한다. 재료 표면과 그 재료에 부착되는 세균 표면의 물리-화학적 상호작용, 특히 van der Waals interactions, electrostatic interactions, 그리고 acid-base interactions 등의 상호작용이 초기 세균 부착에 중요한 역할을 담당한다고 알려졌고 이는 재료의 표면에너지 및 성분들에 의해 결정된다.^{16,17}

현재 대표적인 교정용 접착제로 콤포지트 레진과 글래스이오노머 시멘트가 주로 사용되고 있다. 특히 글래스이오노머는 재료의 불소 방출로 인해 세균의 부착이나 성장을 억제한다고 알려져 있다.^{18,19} 그러나 이들 교정용 접착제의 물리적 성질과 불소 방출 능력 등은 광범위하게 연구되었으나 세균 부착과 관련된 표면 성질에 대한 연구는 아직 부족하다.

본 연구의 목적은 시편 중인 다양한 교정용 접착제의 표면거칠기와 표면에너지 및 표면에너지 요소를 측정하고 어느 재료가 세균 부착에 유리한 환경을 제공하는지 파악하는 것이다.

연구방법

교정용 접착제 시편 제작

총 다섯 종류의 광중합 교정용접착제(불소를 방출하지 않는 콤포지트 레진 세 종류, 불소방출 콤포지트 레진 한 종류, 레진 변형 글래스이오노머 시멘트 한 종류)를 본 연구에 사용하였다 (Table 1). 시편은 12.0 mm의 지름과 2.0 mm 깊이의 구멍의 테플론 템플레이트에서 제작하였다. 테플론 템플레이트를 슬라이드 글라스의 위에 위치시킨 후 교정용 접착제를 템플레이트에 완전히 채우고 그 상방에 슬라이드 글라스를 덮고 여분의 접착제를 제거시킨 후 중합하였다. 모든 재료는 제조사의 제조 방법에 따라 템플레이트의 상방과 하방에서 각각 20초씩 광중합시켜 각 재료 별로 3개씩 제작하였다 (Fig 1).

표면거칠기 측정

교정용 접착제의 표면거칠기는 공초점 레이저주

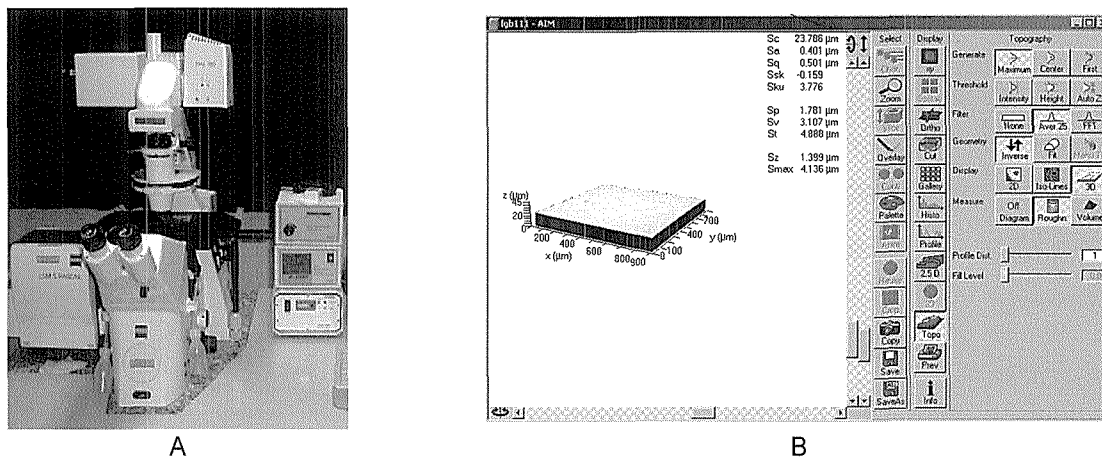


Fig 2. Surface roughness was measured using confocal laser scanning microscopy; A, Axiovert 200M; B, Software used.

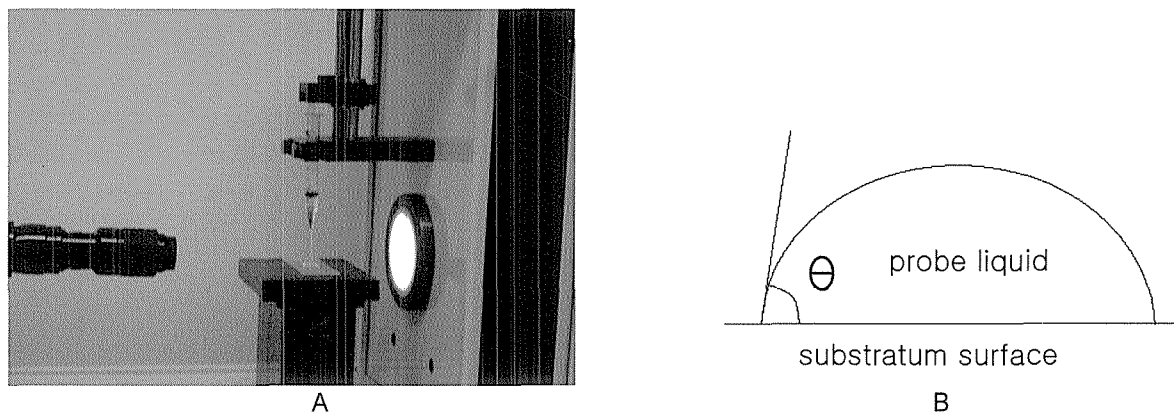


Fig 3. Contact angle was measured by the sessile drop method; A, Phoenix 300; B, contact angle

사전자현미경(Axiovert 200M, Carl Zeiss, Thornwood, NY, USA)을 이용하여 측정하였다. 633 nm의 빛을 방사하는 multi-argon laser를 이용하여 시편의 일정한 면적 (256.4 X 256.4 X 60 μm) 내의 평균 표면거칠기 (단위: μm)를 측정하였다 (Fig 2).

표면에너지 측정

교정용 접착제의 표면에너지와 표면에너지의 구성 성분인 비극성 성분, 극성 성분, 극성 성분 중 산성 요소 및 염기성 요소를 계산하기 위해 각 재료의 접착각을 sessile drop method를 통해 측정하였다. 이때 각기 다른 극성을 지닌 세 가지 시험 액체를 이용하였다(비극성 성분인 1-bromonathalene, 극성 산성

성분인 formamide, 극성 염기성 성분인 증류수). 서로 다른 성질의 액체(비극성, 극성)를 이용한 접착각 측정은 표면에너지를 계산할 뿐만 아니라 표면에너지의 비극성 성분인 Lifshitz-van der Waals 성분과 극성성분인 Lewis acid-base 성분을 결정해준다.

비디오카메라가 장착된 영상분석기(Phoenix 300, Surface electro optics, Seoul, Korea)를 통해 재료 표면에 형성되는 시험 액체의 접착각을 세 가지 액체 각각 측정하였다. 이 때 좌측과 우측의 접착각을 평균하여 각각의 액체 방울에 대한 평균 접착각을 계산하였다 (Fig 3). 측정된 접착각을 van Oss의 방정식²⁰에 입력하여 교정용 접착제들의 표면에너지와 표면에너지 구성 성분들을 계산하였다.

Table 2. The results of 1-way ANOVA for surface roughness in 5 orthodontic bonding adhesives

Bonding adhesive	Surface roughness (μm)	Multiple comparisons*
Enlight	0.39 ± 0.01	
Lightbond	0.44 ± 0.01	
Monolok	0.44 ± 0.03	Transbond XT, Enlight < Fuji Ortho LC < Monoblock2, Lightbond
Transbond XT	0.39 ± 0.02	
Fuji Ortho LC	0.41 ± 0.02	

*Multiple comparisons were done by *t* tests using the Bonferroni correction at a significance level of α = 0.05.

Table 3. The results of 1-way ANOVA for contact angle (non-polar, polar, acid, and base) in 5 orthodontic bonding adhesives

	Enlight (EN)	Lightbond (LB)	Monolok2 (ML)	Transbond XT(TB)	Fuji Ortho LC(FO)	Multiple comparisons*
Non-polar contact angle(°)	23.81 ± 4.49	22.13 ± 7.94	26.50 ± 5.91	23.90 ± 2.65	19.05 ± 4.07	FO<LB,TB,EN,ML
Polar Acid contact angle(°)	60.58 ± 3.75	48.98 ± 2.82	51.65 ± 2.59	59.67 ± 2.01	40.83 ± 3.73	FO<LB<ML<TB, EN (FO<LB<TB<EN)
Polar Base contact angle(°)	77.63 ± 1.47	72.62 ± 2.20	73.92 ± 2.01	74.55 ± 2.47	67.63 ± 1.62	(FO<ML<EN)

*Multiple comparisons were done by *t* tests using the Bonferroni correction at a significance level of α = 0.05.

van Oss equation.²⁰

$$\cos \theta = -1 + 2 \left(\frac{V_s^{LW} V_s^{LW}}{V_s^{LW} V_s^{LW}} \right)^{1/2} / V_L + 2 \left(\frac{V_s^+ V_s^+}{V_s^+ V_s^+} \right)^{1/2} / V_L + 2 \left(\frac{V_s^- V_s^-}{V_s^- V_s^-} \right)^{1/2} / V_L$$

$$V_s^{AB} = 2(V_s^+ V_s^-)^{1/2}$$

$$V_s = V_s^{AB} + V_s^{LW}$$

cosθ : 각각의 probe liquid에 따른 접촉각, contact angle

V_s : Total surface free energy

V^{LW} : Nonpolar component of total surface free energy

V^{AB} : Polar component of total surface free energy

V⁺ : Acid component of total surface free energy

V⁻ : Base component of total surface free energy

통계분석

각 접착제의 시편에서 표면거칠기와 세 가지 액체의 접촉각을 총 15회 반복 측정 후 일원 분산분석을 이용하여 각 재료 사이의 표면거칠기와 표면에너지 차이를 분석하였다. 접착제 사이의 표면거칠기 및 표면에너지의 차이를 비교하기 위해 Bonferroni의 다중 비교 분석법을 이용하여 유의수준 0.05 수준으로 평가하였다.

연구성적

교정용 접착제의 평균 표면거칠기는 0.39 μm 에서 0.44 μm까지 분포되어 접착제간의 표면거칠기 차이는 크지 않았으나 각 재료별로 유의성 있는 차이를 보였다 (Table 2). Transbond XT와 Enlight는 두 재료 간 유의한 차이 없이 표면거칠기가 가장 작았고 Monolok2 와 Lightbond는 두 재료 간 유의한 차이 없이 가장 거친 표면거칠기를 보였으며, Fuji Ortho LC의 표면거칠기는 Transbond XT와 Enlight보다 유의하게 표면거칠기가 크고 Monolok2와 Lightbond보다 유의하게 표면거칠기가 작았다.

교정용 접착제의 표면에너지 및 구성성분 계산을 위해서 3 종류의 액체를 사용하여 접촉각을 측정하였다 (Table 3). 비극성 액체인 1-bromonaphthalene을 떨어뜨려 측정한 접촉각은 19.05° 에서 26.50° 에 위치하며 Fuji Ortho LC가 가장 작은 접촉각을 보였고 나머지 접착제들은 p < 0.05에서 유의성 있는 차이를 보이지 않았다. 극성 산성 액체인 Formamide를 떨어뜨려 측정한 접촉각은 40.83° 에서 60.58° 까지 측정되었고 Fuji Ortho LC가 가장 작은 값을 보이며 Light bond, Monolok2, Transbond XT, Enlight 순으로

Table 4. The results of 1-way ANOVA for surface free energy, and surface free energy components (non-polar, polar, acid, and base) in 5 orthodontic bonding adhesives

	Enlight (EN)	Lightbond (LB)	Monolok2 (ML)	Transbond XT(TB)	Fuji Ortho LC(FO)	Multiple comparisons*
Surface free energy (mJ/m ²)	26.33 ± 2.56	36.80 ± 2.78	35.21 ± 2.59	29.29 ± 3.37	44.53 ± 1.67	EN<TB<ML, LB<FO
Nonpolar component (mJ/m ²)	25.37 ± 2.00	30.63 ± 1.60	29.05 ± 1.41	25.08 ± 1.98	34.16 ± 1.86	EN, TB<ML<LB<FO
Polar component (mJ/m ²)	0.97 ± 2.48	6.17 ± 2.69	6.16 ± 2.57	4.15 ± 3.28	10.36 ± 2.03	EN<TB, ML, LB<FO
Acid component (mJ/m ²)	15.40 ± 1.89	11.28 ± 1.76	10.13 ± 1.84	14.66 ± 2.01	8.42 ± 1.11	FO<ML, LB<TB, EL
Base component (mJ/m ²)	0.11 ± 0.20	1.14 ± 0.93	1.21 ± 0.95	0.50 ± 0.56	3.40 ± 1.48	(EN<LB, ML<FO) (TB<FO)

*Multiple comparisons were done by *t* tests using the Bonferroni correction at a significance level of $\alpha = 0.05$.

접촉각이 컸다. Transbond XT와 Enlight를 제외하고 $p < 0.05$ 에서 유의성 있는 차이를 보였다. 극성 염기성 액체인 증류수를 떨어뜨려 측정 한 접촉각은 67.63° 에서 77.63° 의 값을 보였으며 Fuji Ortho LC, Lightbond, Transbond XT, Enlight 순으로 접촉각이 증가했고 접촉제간 $p < 0.05$ 에서 유의성 있는 차이를 보였다. Monolok2는 Fuji Ortho LC, Enlight와는 유의성있는 차이를 보였으나 Light bond, Transbond XT와는 유의성 있는 차이를 보이지 못했다.

교정용 접착제의 표면에너지 및 구성성분을 살펴 보면 총표면에너지는 26.33 mJ/m²에서 44.53 mJ/m² 까지 위치하며 Enlight가 가장 적은 값을 보였고 Transbond XT, Monolok2, Light bond, Fuji Ortho LC 순으로 에너지가 증가하였으며 각 접착제간 $p < 0.05$ 에서 유의성 있는 차이를 보였다. 그러나 Monolok2와 Lightbond는 유의성 있는 차이를 보이지 않았다.

표면에너지 비극성 성분은 각각 25.37 mJ/m²에서 34.16 mJ/m² 의 범위를 보이며, Enlight, Transbond XT, Monolok2, Lightbond, Fuji Ortho LC 순으로 표면 에너지가 증가했고 Enlight와 Transbond XT를 제외 하고는 $p < 0.05$ 에서 유의성있는 차이를 보였다. 극성 성분은 0.97mJ/m²에서 10.36mJ/m²의 범위를 보이며 Enlight, Transbond XT, Monolok2, Lightbond, Fuji Ortho LC 순으로 표면에너지 극성성분이 증가했으며 $p < 0.05$ 에서 Enlight와 Fuji Ortho LC는 다른 재료 들과 유의성 있는 차이를 보였고 Transbond XT, Monolok2, Lightbond는 세 접착제 간 유의성 있는 차이를 보이지 않았다.

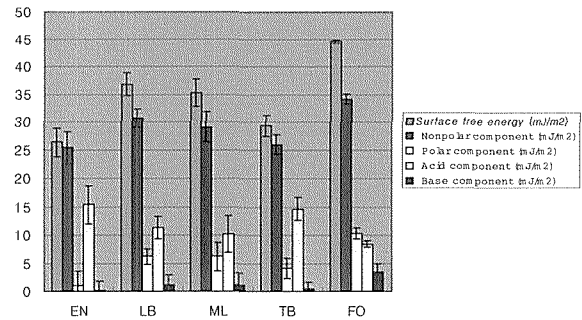


Fig 4. Surface free energy and its non-polar, polar, acid, and base components of the 5 orthodontic bonding adhesives.

표면에너지 극성 성분 중 산성성분에서는 8.42 mJ/m²에서 15.40 mJ/m²의 범위를 보이며 Enlight, Transbond XT가 가장 큰 값을 보였고 Monolok2, Lightbond, Fuji Ortho LC 순으로 작은 값을 보였다. Enlight와 Transbond XT, 그리고 Monolok2와 Lightbond 간에는 각각 $p < 0.05$ 에서 유의성 있는 차이를 보이지 않았다. 염기성 성분에서는 0.11 mJ/m²에서 3.40 mJ/m² 의 범위에서 Enlight, Transbond XT, Lightbond, Monolok2, Fuji Ortho LC 순으로 표면에너지가 커지며 $p < 0.05$ 에서 Fuji Ortho LC는 다른 재료 들과 유의성 있는 차이를 보였고 Enlight는 Lightbond, Monolok2와 유의성 있는 차이를 보였다. 그러나 Enlight와 Transbond XT, 그리고 Transbond XT, Lightbond, Monolok2간에는 유의성 있는 차이를 보이지 못했다 (Table 4 and Fig 4).

고찰

Open growth system을 갖는 구강 내에서 치아우식 증이나 치주질환을 야기하는 대부분의 미생물은 저절로 떨어지지 않는 표면에 부착되어야만 생존할 수 있다. 구강 내의 건강한 환경에서는 미생물의 부착 유지력과 연하나 음식에 의한 제거 또는 혀와 구강 위생용품에 의해 제거되는 힘 사이에 동적 평형을 이루고 있다.¹⁵ 그러나 세균의 부착이 증가되면 병적인 상태로 발전하여 치아우식증, 치주질환 등을 야기한다. 세균 부착과 표면특성에 대한 관계에 있어서 표면거칠기와 표면에너지는 기질 표면에서 세균의 부착과 치태 형성에 중요한 역할을 하며 거친 표면은 치태의 형성과 성숙을 도와주고 높은 에너지를 갖는 표면은 더 많은 치태를 형성하고 치태를 강하게 결합시키며 특정한 세균을 선택한다.^{14,15} 본 연구는 세균 부착과 관련하여 교정용 접착제의 표면거칠기와 표면에너지를 측정하고 교정용 접착제 간 표면 특성의 차이를 알아보려 하였다.

이전 연구에서 주사전자현미경으로 분석한 결과 세균의 초기 군집형성은 소와 열구 등과 같은 불규칙한 표면에서 시작된다고 밝혀졌다.²¹ 이런 불규칙한 표면에서 세균의 초기부착이 잘 일어나는 이유는 전단력에 대한 세균의 탈락이 용이하지 않기 때문에 비가역적인 세균 부착이 쉽게 일어나기 때문이다. 그리고 세균의 증식이 초기 치태 형성을 증가시키므로 표면거칠기가 중요한 역할을 담당한다.²² 우식성 세균인 *S. mutans*는 고도로 연마되어 있는 수복재료 보다는 거친 표면을 갖는 합착제에 더 잘 부착한다고 보고되었으며,²³ 이는 거친 표면을 갖는 재료에서 세균 부착 및 법랑질 탈회가 더 잘 일어날 수 있음을 나타낸다.

표면 사이의 비특이적 상호작용은 세균부착에 영향을 줄 수 있으며, 이러한 비특이적 상호작용(non-specific interaction)은 van der Waals force, acid-base polar interaction 등으로 나눌 수 있다. van der Waals force에 의한 상호작용은 열역학법칙에 따라 작용하는 것으로 표면에너지가 큰 세균은 표면에너지가 큰 재질에 더 부착이 잘 일어난다.²⁴ 법랑질 탈회를 야기하는 cariogenic streptococci의 표면에너지는 다른 세균에 비해 매우 높다고 보고 되었으므로,²⁵ 이번 실험에서도 접착제의 표면에너지가 클수록 cariogenic streptococci가 더 부착이 잘 된다고 볼 수 있다. Polar interaction의 경우 세균 표면의 polarity

와 접착제 사이의 polarity가 영향을 줄 수 있는데, 세균 표면의 극성이 클수록 polar interaction 작용이 크게 나타나기 때문에 세균과 접착제 사이의 부착이 더 강하게 나타날 것으로 생각되며 이번 실험에서도 측정된 접착제의 polarity를 통해 이를 간접적으로 알 수 있다.

O'Kane 등²⁶은 13종의 콤포지트 교정용 접착제에서 표면거칠기와 접촉각을 측정하였다. 이들의 연구에서는 중합방식과 filler 크기, filler 함량, 레진타입에 따라 다양한 접착제를 사용하였으나 이번 연구에서는 현재 가장 흔히 사용되는 광중합 콤포지트 레진과 광중합 레진 변형 글래스아이오노머를 선택하였다. O'Kane 등의 연구에서는 표면거칠기가 0.159 μm 에서 1.00 μm 까지 비교적 넓은 영역을 갖는데 비해 이번 연구에서는 표면거칠기의 범위가 0.39 μm 에서 0.44 μm 로 큰 차이가 나타나지 않았다. O'Kane 등의 연구에서 연구 재료들의 표면거칠기가 넓은 범위를 갖는 이유는 사용한 재료 중 광중합 방식이 아닌 자가중합 및 혼합형 교정용 접착제의 경우 혼합과정 중 나타날 수 있는 기포 등이 표면거칠기와 접착제의 표면 특성에 영향을 미치는 것으로 나타났기 때문이다. 그러나 이번 연구에서는 중합방식을 모두 광중합형을 사용했으며 광중합 방식이 표면거칠기를 더 균일하게 나타내는 것으로 판단된다. 본 연구에서는 연구재료간 평균 표면거칠기 차이가 0.05 μm 정도로 연구재료들의 표면거칠기가 비교적 일정하여 표면거칠기가 접촉각측정에 유의한 영향을 미칠 것으로 생각되지 않는데 이유는 표면거칠기의 차이가 0.2 μm 이하로 작을 경우 세균 부착과 표면에너지 구성성분에 영향을 미치지 않기 때문이다.^{15,27}

O'Kane의 연구는 연구 재료의 표면에너지를 측정하지 않고 접촉각만을 사용하였으므로 실제 표면에너지로 해석하기 어렵다. 본 연구에서는 표면에너지의 요소를 구성하는 각 성분, 즉 비극성, 산성 및 염기성의 성질을 갖는 액체를 사용하여 각각의 액체에 대한 접촉각을 측정된 뒤 표면에너지 및 표면에너지 구성성분을 계산하였다. 게다가, O'Kane의 연구에서는 모든 접촉각을 촬영하여 수작업으로 접촉각을 계산하였으나 본 연구에서는 비디오 캡처기계를 이용하여 drop된 모양을 바로 캡처시켜 컴퓨터상에서 접촉각을 계산하였으므로 접촉각 측정 및 계산 시 발생 가능한 오류를 줄일 수 있었다.

연구 재료들의 표면에너지 구성성분 중에 비극성 성분과 극성성분의 비율을 살펴보면 레진 변형 글레

스아이오노머는 나머지 콤포지트 레진 접착제들과 비교할 때 극성성분이 유의하게 강하게 나타나는 것을 알 수 있다. Della Volte 등²⁸의 연구에서 산-염기의 극성 상호작용이 세균의 초기부착에 강한 영향을 갖는다고 보고하고 있으므로 가장 강한 극성성분을 갖는 레진 변형 글래스아이오노머가 세균 부착에 더 유리한 작용을 할 것으로 생각된다.

연구 재료들의 극성 성분을 살펴보면 레진 변형 글래스아이오노머는 다른 콤포지트 레진 교정용 접착제들과 달리 염기성성분이 상대적으로 더 강하게 나타나고 있음을 알 수 있다. Briadent 등²⁹의 연구에서 Gram positive biofilm 에서 접촉각 측정을 통해서 표면에너지 및 성분을 측정하였으며 biofilm에 polystyrene beads를 부착시킨 결과 biofilm의 산성 성분이 강할 때 polystyrene bead가 더 잘 부착한다고 보고하였다. 세균 부착에서 나타나는 산-염기 상호작용을 고려할 때 polystyrene beads의 염기성 성분이 biofilm (세균막)의 산성 성분과 상호작용 하여 이런 결과가 나타나며 이에 따라 본 연구에서도 교정용 접착제의 표면에너지성분 중 염기성 성분이 세균부착과 상관관계가 더 크게 나타날 것으로 생각되며 레진 변형 글래스아이오노머가 염기성 성분이 강하므로 세균 부착에 더 유리한 환경을 제공한다고 볼 수 있다.

세균 부착과 관련하여 재료 표면의 표면거칠기가 클수록 세균 부착이 유리하며 재료표면의 표면에너지가 높으면 열역학적으로 세균의 부착이 안정적이며 자발적으로 이뤄진다. 또한 재료의 표면에너지의 극성성분과 염기성성분이 강할수록 세균 부착이 강하게 나타난다. 그러므로 세균의 부착을 최소화 할 수 있는 이상적인 교정용 접착제는 표면거칠기와 표면에너지가 낮아야 하고 표면에너지 극성성분과 염기성성분이 낮아야 한다. 그러나 이번 연구에서는 표면거칠기의 차이가 세균 부착에 영향을 줄 만큼 재료 간 큰 차이를 보이지 않았으므로 표면에너지 및 구성성분이 세균 부착에 더 영향을 미칠 것으로 생각된다. 본 연구의 결과를 토대로 교정용 접착제를 평가할 때 Enlight가 표면거칠기 및 표면에너지가 가장 작기 때문에 세균 부착이 덜 일어날 것으로 생각 된다. 레진 변형 글래스아이오노머인 Fuji Ortho LC는 표면거칠기에 비해 표면에너지가 다른 재료보다 높고 강한 극성, 강한 염기성을 보이므로 세균 부착이 가장 많이 일어날 것으로 판단된다. 이는 콤포지트 접착제와 비교하여 레진 변형 글래스 아이오노

머에서 더 많은 세균이 부착한다는 최근의 연구의 결과와 일치한다.³⁰ 그러나 이전의 연구들에서 레진 변형 글래스아이오노머시멘트는 불소를 방출하지 않는 콤포지트 레진에 비해 탈회에 유의성있게 저항한다고 보고되었는데^{18,19} 이는 교정용 접착제로부터 유리되는 불소가 접착제의 변연부에서 법랑질로 유리되어 법랑질 표면에서 fluoroapatite를 형성하기 때문이다. 따라서 표면에너지 성분 뿐 아니라 불소 유리에 따른 세균 부착의 차이에 관한 연구가 필요하다고 생각한다.

이전의 연구에서 타액이 구강내 재료의 표면에너지를 변화시키거나¹⁵ specific binding receptor를 제공하여¹⁰ 세균부착에 영향을 줄 수 있다고 보고하였다. 그러나 세균의 초기부착은 재료의 표면에너지와 밀접한 상관관계가 있으며 다수의 연구에서는 재료의 표면에너지가 세균부착에 대해 지속적인 영향을 갖고 있으며³¹⁻³⁵ 재료표면의 성분과 표면에너지에 따라 타액피막의 조성에도 영향을 미친다고 보고 되었으므로^{36,37} 실제 구강내에서의 타액의 도포 여부는 내재하는 치과용 재료의 표면 특성을 유의하게 변화시키지 않는다고 생각한다.

결론

다섯 종류의 교정용 접착제의 표면거칠기와 표면 에너지를 비교한 결과 각 접착제 별로 유의성 있는 차이가 나타났다. 비록 접착제 간 표면거칠기의 유의성 있는 차이가 관찰되었으나, 그 차이가 일정 수준 이내에서 나타나므로 접착제의 표면거칠기가 세균 부착에 큰 영향을 보일 것으로 생각되지 않는다. 이에 비해 표면에너지 및 구성성분은 접착제 사이에 유의성 있는 큰 차이를 보였다. 특히 레진 변형 글래스아이오노머의 경우 콤포지트 레진 성분의 접착제에 비해 유의하게 높은 표면에너지를 보였으며, 강한 극성 및 강한 염기성 경향을 보였다. 본 연구는 레진 변형 글래스아이오노머가 콤포지트 레진 성분의 접착제에 비해 세균 부착에 유리한 환경을 제공한다는 것을 보여주었다.

Acknowledgment

본 연구에 기여이 교정용 접착제 재료를 제공해주신 Reliance Orthodontic Products, Rocky Mountain Orthodontics, 3M Unitek, Ormco, GC Corporation에 감

사를 포함합니다.

참고문헌

- Gorelick L., Geiger AM, Gwinnett AJ. Incidence of white spot formation after bonding and banding. *Am J Orthod* 1982;81:93-8.
- Artun J, Brobakken BO. Prevalence of caries and white spots after orthodontic treatment with multibonded appliances. *Eur J Orthod* 1986; 8:229-34.
- Chestnutt IG, MacFarlane TW, Stephen KW. An in vitro investigation of the cariogenic potential of oral streptococci. *Arch Oral Biol* 1994;39:589-93.
- Featherstone JD. The science and practice of caries prevention. *J Am Dent Assoc* 2000;131:887-99.
- Babaahmady KG, Challacombe SJ, Marsh PD, Newman HN. Ecological study of *Streptococcus mutans*, *Streptococcus sobrinus* and *Lactobacillus* spp. at sub sites from approximal dental plaque from children. *Caries Res* 1998;32:51-8.
- Hamada S, Slade HD. Biology, immunology, and cariogenicity of *Streptococcus mutans*. *Microbiol Rev* 1980;44:331-84.
- Gwinnett AJ, Ceen RF. Plaque distribution on bonded brackets: A scanning microscope study. *Am J Orthod* 1979;75:667-77.
- Mitchell L. Decalcification during orthodontic treatment with fixed appliance-an overview. *Br J Orthod* 1992;19:199-205.
- Eliades T, Eliades G, Brantley W. Microbial attachment on orthodontic appliances: I. Wettability and early pellicle formation on bracket materials. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995;108:351-60.
- Ahn SJ, Kho HS, Lee SW, Nahm DS. Roles of salivary proteins in the adherence of oral streptococci to various orthodontic brackets. *J Dent Res* 2002;81:411-5.
- Gwinnett AJ, Ceen RF. Plaque distribution on bonded brackets: A scanning microscopy study. *Am J Orthod* 1979;75:667-77.
- Sukontapatipark W, el-Agroudi MA, Selliseth NJ, Thunold K, Selvig KA. Bacterial colonization associated with fixed orthodontic appliances. A scanning electron microscopy study. *Eur J Orthod* 2001;23:475-84.
- Sardin S, Morrier JJ, Benay G, Barsotti O. In vitro streptococcal adherence on prosthetic and implant materials. Interaction with physicochemical surface properties. *J Oral Rehab* 2004;31:140-148.
- Quirynen M, Marechal M, Busscher HJ, Weerkamp AH, Darius PL, van Steenberghe D. The influence of surface free energy and surface roughness on early plaque formation, an in vivo study in man. *J Clin Periodontol* 1990;17:138-44.
- Quirynen M, Bollen CM. The influence of surface roughness and surface free-energy on supra- and subgingival plaque formation in man. A review of literature. *J Clin Periodontol* 1995;22:1-14.
- Busscher HJ, Weerkamp AH, van der Mei HC, van Pelt AW, de Jong HP, Arends J. Measurement of the surface free energy of bacterial cell surfaces and its relevance for adhesion. *Appl Environ Microbiol* 1984;48:980-3.
- van Loosdrecht MC, Norde W, Zehnder AJ. Physical chemical description of bacterial adhesion. *J Biomater Appl* 1990;5:91-100.
- Gorton J, Featherstone JD. In vivo inhibition of demineralization around orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;123:10-4.
- Pascotto RC, Navarro MF, Capelozza Filho L, Cury JA. In vivo effect of a resin modified glass ionomer cement on enamel demineralization around orthodontic bracket. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;125:36-41.
- van Oss CJ, Good RJ, Chaudhury MK. Additive and nonadditive surface tension components and the interpretation of contact angle. *Langmuir* 1988;4:884-91.
- Lie T. Early dental plaque morphogenesis. A scanning electron microscope study using the hydroxyapatite splint model and a low-sucrose diet. *Journal of Periodontal Research* 1977;12:73-89.
- van Dijken JWV, van Sjoström S, Wing K. The effect of different types of composite resin fillings on marginal gingiva. *J Clin Periodontol* 1987;14:185-9.
- Einwag J, Ulrich A, Gehring F. In-vitro Plaqueanlagerung an unterschiedliche Füllungsmaterialien. *Oralprophylaxe* 12, 22-7.
- Absolom DR, Lamberti FV, Policova Z, Zingg W, van Oss CJ, Neumann AW. Surface thermodynamics of bacterial adhesion. *Applied and Environmental Microbiology* 1983;46, 90-7.
- Van Pelt AWJ, Van der Mei HC, Busscher HJ, Arends J, Weerkamp AH. Surface free energies of oral streptococci. *FEMS Microbiology Letters* 1984;25:279-282.
- O'kane C, Oliver RG, Blunden RE. Surface roughness and droplet contact angle measurements of various orthodontic bonding cements. *Br J Orthod* 1993;20:297-305.
- Bollen CM, Papaioanno W, van Eldere J, Schepers E, Quirynen M, van Steenberghe D. The influence of abutment surface roughness on plaque accumulation and peri-implant mucositis. *Clin Oral Impl Res* 1996;7:201-11.
- Della Volpe C, Sibini S. Acid-base surface free energies of solids and the definition of scales in the Good-van Oss-Chaudhury theory. *J Adhes Sci Technol* 2000;14:235-72
- Briandet R, Herry JM, Bellon-Fontaine MN. Determination of the van der Waals, electron donor and electron acceptor surface tension components of static Gram-positive microbial biofilms. *Colloids and Surfaces B Biointerfaces* 2001;21:299-31.
- Forss H, Seppä L, Alakuijala P. Plaque accumulation on glass ionomer filling materials. *Proc Finn Dent Soc* 1991;87:343-50.
- Weerkamp AH, Uyen HM, Busscher HJ. Effect of zeta potential and surface energy on bacterial adhesion to un coated and saliva-coated human enamel and dentin. *J Dental Res* 1988;67:1483-7
- Pratt-Terpstra IH, Weerkamp AH, Busscher HJ. The effects of pellicle formation on streptococcal adhesion to human enamel and artificial substrata with various surface free energies. *J Dental Res* 1989;68:463-7
- Tanner J, Vallittu PK, Soderling E. Adherence of streptococcus mutans to an E-glass fiber-reinforced composite and conventional restorative materials used in prosthetic dentistry. *J Biomed Mater Res* 2000;49:250-6
- Sipahi C, Anil N, Bayramli E. The effect of acquired salivary pellicle on the surface free energy and wettability of different denture base materials. *J Dent* 2001;29:197-204
- Quirynen M, van Steenberghe D. Is early plaque growth rate constant with time? *Journal of Clinical Periodontology* 1989;16:278-83
- Absolom DR, Zingg W, Neumann A. Protein adsorption to polymer particles: role of surface properties. *J Biomed Mater Res* 1987;21:161-71
- Sonju T, Grantz PO. Chemical composition of salivary integuments formed in vivo on solids with some established surface characteristics. *Arch Oral Biol* 1975;20:687-91

Surface roughness and surface free energy components of various orthodontic adhesives

Hyo-Beom Ahn DDS, MSD,^a Sug-Joon Ahn DDS, MSD, PhD,^b
Dong-Seok Nahm DDS, MSD, PhD^c

Objective: Surface characteristics of dental materials play an important role in bacterial adhesion. The purpose of this study was to investigate surface characteristics of 5 different light-cured orthodontic adhesives (1 fluoride-releasing composite, 3 non-fluoride-releasing composites, and 1 resin-modified glass ionomer). **Methods:** Surface roughness was measured using a confocal laser scanning microscope. Contact angle and surface free energy components were analyzed using the sessile drop method. **Results:** Surface roughness was significantly different between adhesives despite a relatively small variation (less than 0.05 μm). Lightbond and Monolok2 were rougher than Enlight and Transbond XT. There were also significant differences in contact angles and surface free energy components between adhesives. In particular, considerable differences in contact angles and surface free energy components were found between resin modified glass ionomer and the composites. Resin modified glass ionomer showed significantly smaller contact angles in 3 different probe liquids and had higher total surface free energy and stronger polarity, with notably stronger basic property than the composites. **Conclusion:** Resin modified glass ionomer may provide a more favourable environment for bacterial adhesion than composite adhesives. (*Korean J Orthod* 2006;36(5):360-8)

Key words: Orthodontic adhesives, Surface roughness, Surface free energy

^aGraduate student, ^bAssistant Professor, ^cProfessor emeritus, Department of Orthodontics, School of Dentistry and Dental Research Institute, Seoul National University.

Corresponding author: Dong-Seok Nahm

Department of Orthodontics, School of Dentistry and Dental Research Institute, Seoul National University, 28 Yeongun-dong, Chongro-Ku, Seoul, Korea

+82 2 2072 3817; e-mail, dsnahm@snu.ac.kr

Received March 24, 2006; Last Revision August 7, 2006; Accepted August 10, 2006.