

ACID ETCH TECHNIQUE IN ORTHODONTICS

가톨릭대학교 의과대학 치과학교실
김영호 · 이철원

- I. 서론
- II. 본론
 - 1. 이상적인 산의 농도와 etching 시간
 - 2. etching 후에 발생하는 탈회
- III. 결론
- 참고문헌

I. 서론

법랑질을 acid etching하여 교정용 부착물을 결합하는 direct bonding은 이제는 교정치료에 흔히 사용되며 일반적으로 인정되어진 임상 술식이다.

법랑질의 표면을 교정용 인산(H_3PO_4)으로 etching시키는 개념은 Buonocore(1955)에 의해 처음 소개되었는데, 그는 85% 교정용 인산을 30초간 사용하여 아크릴릭 수복 레진의 결합 강도가 현저히 증가하였다고 보고하였다.

H_3PO_4 로 법랑질을 etching하면 superficial etched zone과 subsurface qualitative porous zone, subsurface quantitative porous zone을 생성하게 된다(Silverstone, 1975).

superficial etched zone의 법랑질은 영구히 소실되나 subsurface porous zone은 구강 환경 내에서 remineralization이 되는데(Lee, 1972; Wei, 1970), 이 porous zone으로 레진이 함입되어 etching이 된 법랑질에 기계적 결합을 형성하게 된다(Retief, 1978).

이렇게 etching 과정 중 소실되는 법랑질과 etching된 법랑질의 깊이는 사용된 산의 종류, 산의 농도, etching 시간, 법랑질의 화학적 구조(Retief, 1985)와 법랑질의 불소 농도(Nasir,

1980)에 좌우된다.

그동안 적절한 산의 농도와 etching시간 그리고 etching후 법랑질 표면에 나타나는 탈회에 관하여는 많은 연구가 있었는데, 본고에서는 이들을 종합하여 교정치료에서 acid etch technique을 사용시에 고려해야 할 사항에 관하여 기술하고자 한다.

II. 본론

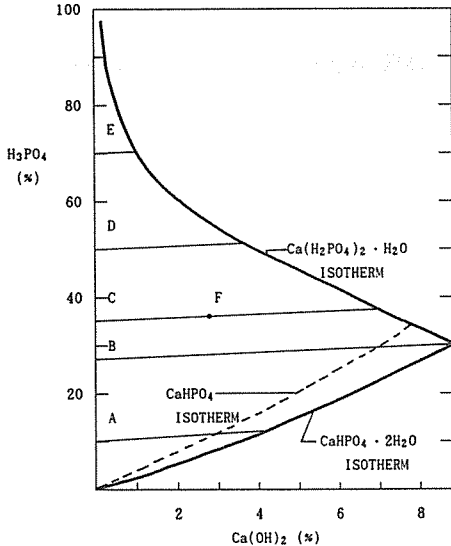
1. 이상적인 산의 농도와 etching 시간

(1) Chow와 Brown의 이론

임상적으로 가장 널리 사용되는 H_3PO_4 의 농도는 30% 이상인데, 이는 Chow와 Brown(1973)의 연구에 부분적인 근거를 두고 있다. 그들은 H_3PO_4 -Ca(OH)₂-H₂O ternary system의 상도표를 연구하였다(Fig. 1).

법랑질에 27% 이상의 H_3PO_4 용액을 적용시에는 monocalcium phosphate monohydrate (MCPM : $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$)가 형성되며 27% 이하에서는 dicalcium phosphate dihydrate (DCPD : $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$)가 형성되는데, MCPM은 물에서의 용해도가 커서 임상적 상황에서 완전히 씻겨져 나가 결합하기에 적당한 깨끗한 표면을 만들게 되는데 반하여 DCPD는 물

Fig. 1. Solubility phase diagram for system $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $-\text{H}_3\text{PO}_4$ - H_2O at 25°C . Lines A through E are hydroxyapatite dissolution lines (Chow & Brown, 1973).



에 대한 용해도가 낮아 완전히 씻겨져 나가지 않는다 하였다.

이를 근거로 하여 볼 때, 27% 이하의 H_3PO_4 용액을 적용시에 생기는 DCPD는 etching 후에 완전히 제거가 안되고 치면에 남아 있어서 etching의 효과를 떨어뜨리므로, H_3PO_4 의 농도는 MCPM이 형성될 수 있는 27% 이상이 사용되어야 한다고 보고하였다.

(2) H_3PO_4 의 농도와 etching된 깊이의 관계

법랑질 표면을 etching할 때에 사용하는 H_3PO_4 용액이 고농도일 때와 저농도일 때, 과연 어느 경우가 더 많이 etching을 시키는가에 관한 많은 연구가 있었다.

초기의 연구에서 Gwinnett들(1965)은 법랑질 표면의 etching시에 H_3PO_4 의 농도를 증가시킬수록 법랑질 표면에서 나타나는 변화는 단계적으로 줄어든다고 하여 고농도의 H_3PO_4 용액이 저농도에 비하여 법랑질의 etching을 덜 야기한다고 하였으며, Chow와 Brown(1973)은 더 고농도의 산을 사용하면 MCPM($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)이 초기에 형성되어 법랑질의 과도한 용해를

막는다고 하여 이를 뒷받침해 주었다.

Silverstone(1974)은 H_3PO_4 의 농도를 20%~70%로 하여 60초간 비연마 법랑질 표면을 etching한 후 법랑질 표면의 소실된 깊이의 양을 측정하여 20% H_3PO_4 에서 $14\mu\text{m}$, 70% H_3PO_4 에서 $2\mu\text{m}$ 라 하여 이 초기의 견해를 지지하는 결과를 보여 주었다.

그러나, 최근에 발표된 문헌에서 Legler들(1990)은 연마 법랑질 표면을 37%, 15%, 5%로 각각 60, 30, 15초간 etching하여 그 깊이를 측정하였는데, 37% H_3PO_4 로 60초간 etching하여 얻은 $27.1\mu\text{m}$ 에서부터 5% H_3PO_4 로 15초간 etching하여 얻은 $3.5\mu\text{m}$ 까지의 범위를 관찰하였다. 이는 산의 농도와 etching 시간의 감소에 따라 깊이의 단계적인 감소를 보여주는 것으로서 Gwinnett들(1965)의 견해와는 상반되는 결과를 보여 주었다(Table 1, Fig. 2).

Retief(1875)는 600-grit SiC 연마포로 연마한 법랑질 표면을 10%~85% H_3PO_4 로 60초간 etching하여 $15\mu\text{m}$ ~ $0.8\mu\text{m}$ 의 깊이의 범위를 얻었다.

Smith들(1976)은 50% H_3PO_4 로 2~5분간 법랑질 표면을 etching하여 $50\mu\text{m}$ 의 깊이를 관찰하여 그 당시의 제조 회사가 $10\mu\text{m}$ 이하의 침투를 보인다고 선전하는 것을 반박하였지만, dentinoenamel junction으로의 실제적인 침투의 근거는 없다고 하였다.

비연마 법랑질 표면을 37% H_3PO_4 로 90초간 etching하였을 때에는 $6.9\mu\text{m}$ 의 표면 법랑질 소실을 초래한다(Pus, 1980)는 보고도 있었으며, Shey들(1982)은 소구치 부위의 비연마 법랑질 표면을 상용화된 세가지 etching 용액으로 60초간 etching시 평균 $22.5\mu\text{m}$ 의 etching된 깊이가 형성되며 깊이는 사용된 etchant에 따라 $16.6\mu\text{m}$ ~ $29.5\mu\text{m}$ 에 걸쳐 있다고 하였다.

Legler 들(1990)은 교정용 부착물은 비연마 법랑질 표면에 결합되어지는 것이므로 임상적으로 생성되는 깊이는 연마 법랑질에서 시행되는 in vitro study에서의 결과보다는 작을 것으로 예상하였으며, 그 예로 고농도의 불소가 함유된 비연마 법랑질 표면을 perchloric acid로 etch-

ing시에 형성되는 etching된 깊이는 연마 법랑질 표면에서 형성되는 것에 비해 현저히 감소한다고 하였다. 또한 산의 농도와 etching시간의 감소와 함께 단계적인 표면 거칠기의 감소를 관찰하였지만, 법랑질 표면의 불규칙한 거칠기는 교정용 bonding resin의 찢김 강도에 유의한 차이를 나타내지 않는다고 하였다.

또한 H₃PO₄로 법랑질에 etching을 시행하면 법랑질 표면의 자유 에너지가 충분히 증가하여 이에 비례하여 인장 강도가 증가되고(Busscher, 1987), wettability를 크게하여 결과적으로 surface porous zone으로 curing resing이 충분히 침투하므로 etching된 법랑질 표면 내로 침투해 들어가는 레진의 깊이는 그다지 중요치 않은 것으로 여겨진다(Legler, 1990).

(3) 적절한 산의 농도와 etching 시간

이상적인 산의 농도와 etching 시간에 관하여는 많은 연구가 있어 왔다. 50%의 농도를 사용

하자는 제안이 Retief(1973)에 의해 있었으며, Silverstone(1974)과 Gorelick(1977)은 30%~50%가 이상적이라 하였다.

etching 시간에 관하여 Graber(1985)는 신생 영구치에는 15초, 성인치에는 60초를 추천하였다.

법랑질에 대한 bonding resin의 결합 강도에 있어서 H₃PO₄의 농도와 etching 시간의 효과에 관한 평가를 살펴보면, 초기의 연구에서

Fig. 2. Bar graph of calculated depth of etch(Legler et al, 1990).

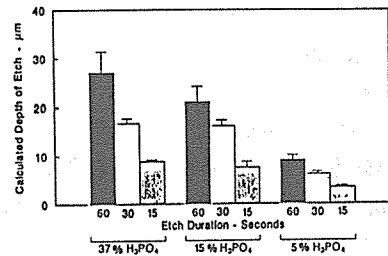


Table 1. Calculated depths of etch(µm) listed in descending order of magnitude(Legler et al, 1990)

Procedure	No. of specimens	Calculated depth of etch(µm)		
		Mean*	SD	Range
A : 37% H ₃ PO ₄ , 60-second etch	5	27.1	4.3	20.6-32.6
D : 15% H ₃ PO ₄ , 60-second etch	5	21.0	3.2	16.2-25.1
B : 37% H ₃ PO ₄ , 30-second etch	5	16.7	1.0	16.0-18.5
E : 15% H ₃ PO ₄ , 30-second etch	5	16.1	1.7	14.5-18.6
G : 5% H ₃ PO ₄ , 60-second etch	5	9.1	1.0	8.0-10.3
C : 37% H ₃ PO ₄ , 15-second etch	5	8.9	0.6	8.2-9.7
F : 15% H ₃ PO ₄ , 15-second etch	5	7.6	1.2	5.7-8.4
H : 5% H ₃ PO ₄ , 30-second etch	5	6.2	0.5	5.7-6.9
I : 5% H ₃ PO ₄ , 15-second etch	5	3.5	0.3	3.2-4.0

*Means linked by vertical lines were not significantly different.

Ohsawa(1972)는 H_3PO_4 의 농도를 증가시키며 법랑질 표면을 30초간 etching하여 법랑질 표면에 대한 sealant의 결합 강도를 측정하였다. 그는 산의 농도가 증가함에 따라 결합 강도가 증가하여 H_3PO_4 3 mol/L일때 최고를 이루었다가 그후 급격히 감소한다 하였다.

Brännström 들(1977)은 15초와 120초로 etching한 법랑질의 현미경적 관찰 결과 거의 차이가 없다고 보고하였다.

Beech 들(1980)은 50% H_3PO_4 로 5, 15, 60초간 etching한 후의 법랑질 표면에 대한 교정용 bracket adhesive의 찢김 강도는 유의한 차이가 없다고 하였으며, Bates들(1982)은 37% H_3PO_4 로 30, 60, 120초간 etching하였을 때 법랑질 표면에 대한 콤포짓트 수복 레진의 인장 강도는 유의한 차이가 없다고 보고하였다. 또한 Gottlieb 들(1982)은 10%~60%의 H_3PO_4 로 60초간 etching한 법랑질 표면에 대한 콤포짓트 레진의 인장 강도는 유의한 차이가 없다고 하였고, 단 H_3PO_4 의 농도가 60% 이상일 때는 산의 농도 증가와 함께 결합 강도가 유의하게 감소한다 하였다.

반면에, 비슷한 시기에 발표된 다른 연구에서 Mardaga들(1982)은 etching시간의 감소로 인장 강도가 감소한다고 하였으며 임상적으로 30초의 etching 시간을 추천하였다.

Barkmeier들(1987)은 5%, 37% H_3PO_4 로 15

초, 60초간 etching시킨 법랑질에 대한 교정용 bonding system의 찢김 강도를 측정하여 어떠한 유의한 차이도 발견하지 못하였다. Legler 들(1989)은 in vitro study에서 교정용 bonding resin과 etching된 법랑질 사이의 찢김 강도에 대한 H_3PO_4 의 농도와 etching 시간의 효과를 평가하였다. 발견된 상악 견치의 법랑질 표면에 37%, 15%, 5% H_3PO_4 를 각각 60, 30, 15초간 etching시켜서 실험한 결과 etching의 농도는 찢김 강도에 영향을 미치지 않았고, etching시간은 찢김 강도에 유의하게 영향을 미쳤지만 찢김 강도와 bonding resin의 부착 실패율 간의 상관관계는 유의하지 못하였다 하였다(Table 2).

Sadowsky들(1990)은 in vivo study를 통하여 37% H_3PO_4 의 etching 시간을 60초에서 15초로 감소시키거나, 60초간의 etching 시간 시에 H_3PO_4 의 농도를 37%에서 15%로 감소시켰을 때 결합된 교정용 부착물의 유지에는 유의한 차이가 없다고 하였다.

산의 농도와 etching 시간에 관한 연구에서 in vitro study는 법랑질 표면을 연마하여 시행되므로 실제적으로 비연마 법랑질 표면에서 행해지는 임상적인 상황과는 다소 차이가 있으리라 예상된다. 또한 in vivo study에서는 교정용 bonding system을 시행하는 술자의 숙련도(Kinch, 1989)와 환자의 개별적인 구강 내의 특이성, 구강 위생의 정도로 인해 고려될 소요가

Table 2. shear bond strengths($MN \cdot m^{-2}$) listed in descending order of magnitude(Legler et al, 1989)

Procedure	No. of specimens	Shear bond strength($MN \cdot m^{-2}$)			Coefficient of variation(%)
		Mean	SD	Range	
A : 37% H_3PO_4 , 60 sec etch	18	* 24.3	7.8	15.1-43.5	32
B : 37% H_3PO_4 , 30 sec etch	18	24.3	8.6	7.2-37.8	34
G : 5% H_3PO_4 , 60 sec etch	18	24.1	6.8	12.6-40.9	28
D : 15% H_3PO_4 , 60 sec etch	18	23.6	6.6	12.6-34.0	28
E : 15% H_3PO_4 , 30 sec etch	18	23.6	8.4	9.5-38.4	35
I : 5% H_3PO_4 , 15 sec etch	18	22.1	7.5	8.5-39.7	34
C : 37% H_3PO_4 , 15 sec etch	18	19.6	6.9	8.2-34.6	35
F : 15% H_3PO_4 , 15 sec etch	18	19.0	5.8	10.7-35.3	30
H : 5% H_3PO_4 , 30 sec etch	18	18.8	8.2	7.9-34.6	44

*Means linked by vertical lines were not significantly different.

많으리라 예상된다.

종합하여 보면, etching된 법랑질 표면 내로 침투해 들어가는 레진의 깊이가 결합 강도, 인장 강도, 찢김 강도 등에 그다지 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보아, etching을 시행할 때에 bonding에 적당한 환경이 조성되면 산의 농도와 etching 시간을 감소시키는 것이 추천될 만하다.

2. etching 후에 발생하는 탈회

(1) 탈회의 원인으로서의 etching

법랑질의 etching시에 그 etching 영역을, 교정용 부착물에 의해 덮이게 될 법랑질 부분만으로 정확히 국한시키는 것이 실제적으로는 불가능하다. 이렇게 etching은 되었지만 접착제에 의해 덮이지 않는 부위는 어떻게 될 것인가에 대한 연구가 있어왔다(Fitzpatrick, 1977).

한 가지 견해는 remineralization(Arana, 1974)과 Salivary pedicle의 침착에 의해 채워진다는 것이고, 다른 설명은 정상적인 마모에 의해 etching된 부위가 닳아서 회복된다는 것이다.

Arana(1974)에 의하면 법랑질을 etching한 후 48시간 후면 구강 환경 내에서 근본적으로 remineralization이 완성된다고 하였으며, etching된 부위에 plaque의 빠른 침착 같은 부작용도 보이지 않는다고 하였다.

그러나 결합된 부착물 주위에 인접해 있는 법랑질의 etching은 다량의 불소를 함유한 표면 법랑질을 제거하게 되어 교정 치료 기간 중에 법랑질 탈회를 일으킬 수 있는 소인이 되며(Ceen, 1981), 또한 교정 치료 후 교정용 부착물 주위의 법랑질에서 흰 반점이나 탈회가 나타나는 것을 자주 볼 수가 있어서 etching에 의해 탈회가 발생할 수 있는 소지는 항상 있을 수 있다.

(2) 불소와 탈회

앞서 언급하였듯이 H_3PO_4 로 etching한 법랑질은 superficial etched zone과 subsurface qualitative porous zone, subsurface quantitative porous zone을 생성하게 되며, superficial etched zone의 법랑질은 영구히 소실되나

subsurface porous zone은 구강 환경 내에서 remineralize된다.

그런데, 법랑질 내의 불소는 균등히 분포되어 있지 않고 역지수 함수 분포를 따르며 표면 법랑질에 고농도의 불소가 존재하고 있고(Brudevold, 1956), etching시에는 바로 이 영역이 소실되어 탈회가 될 것이라고 생각된다.

반면에, 법랑질 자체 내에 있는 불소와 우식 방지 효과는 유의한 상관 관계가 없으며, 법랑질 외부에 있는 liquid phase의 불소가 법랑질 내에 있는 많은 양의 불소보다 법랑질의 용해를 막는데 더 효과적이라 하였으며(Fejerskov, 1981), 그러한 불소는 낮은 농도로 지속적으로 방출되는 것이 우식 방지에 유용하며, 또한 우식의 방지에 중요한 것은 불소의 농도가 아니라 불소 적용의 빈도라고 하였다(Hicks, 1985).

이를 토대로 교정 환자에게 불소를 사용하여 탈회를 방지하려는 방법들이 연구되어졌다.

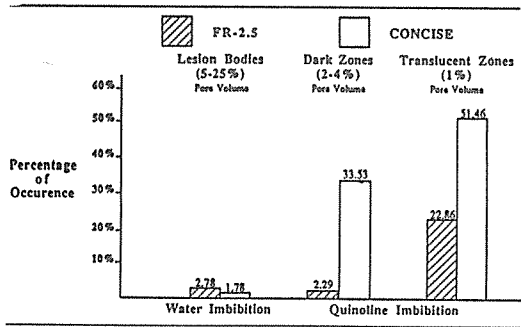
(3) 불소의 첨가와 도포 방법

이러한 불소의 항우식 효과 때문에 치아 충전재와 접착제에 불소를 함유하려는 많은 시도가 있었고, 교정용 bracket-bonding adhesive에도 불소를 첨가하려는 노력이 있었으며(Rawls, 1983), etching전에 법랑질 표면에 불소를 국소 도포하는 법(Lehnab, 1981)과 etching 용액에 불소를 함유하는 법(Hirce, 1980), bonding을 시행하기 전에 etching된 법랑질 표면에 불소를 국소 도포하는 법(Takahashi, 1977)등이 연구되어졌다.

Underwood들(1989)은 교정용 bracket-bonding adhesive로서 fluoride-exchanging resin (FER)을 사용하여 법랑질 탈회의 초기 단계인 dark zone의 현저한 감소를 관찰하였으며, 이 adhesive에 의해 방출되는 불소의 양은 하루에 0.005~0.01 mg/gm이었다(Fig. 3).

Bryant들(1985)은 bonding 7일 전에 법랑질 표면에 불소를 국소 도포하였을 때 인장 강도에 유의한 차이가 없다고 하였고, 치아에 불소를 먼저 국소 도포한 후에 etching을 시행할 때에도 etching시간을 더 늘릴 필요가 없는 것으로 보아

Fig. 3. Frequency of zone development (Underwood, 1989).



(Graber, 1985) 탈회의 예방을 위해 etching전에 불소의 국소 도포를 시행하는 것도 권할만한 방법이라 생각된다.

(4) 불소를 사용한 구강 세척 효과

불소는 흰 반점의 형성을 막을 뿐 아니라 탈회된 법랑질을 remineralization시킬 수 있다고 하였다.

고농도의 불소를 국소 도포하면 건전한 법랑질에는 calcium fluoride를 형성하며(Gerould, 1945) 탈회된 법랑질에는 다소 많은 양의 fluorapatite를 형성하게 되는데(ϕ gaard, 1983), calcium fluoride는 불소를 천천히 방출하는 유용한 저장소인 것으로 보인다(Arends, 1984).

Graber(1985)는 etching 면적에 대한 시술에서, pad보다 약간 큰 영역을 etching하는 것이 논리적이지만 10년 동안의 임상 경험으로 볼 때 불소 용액을 사용한 구강 세척이 규칙적으로 수행되었다면 법랑질의 전면을 다 etching하여도 무해하다 하였다. 정상적인 법랑질의 두께는 $1000\mu\text{m} \sim 2000\mu\text{m}$ 이며 정상적인 법랑질의 마모율은 $2\mu\text{m}/\text{year}$ 이고, 법랑질의 표면은 자정 작용이 되고 우식 이환 경향이 없으므로 가해지는 etchant의 효과는 거의 없다고 보아도 무방하다 하였다.

법랑질에 대한 acid attack시에 용액 내에 불소가 함유되어 있으면 우식 발생율을 현저히 감소시킬 수 있다고 하였으며(ten Cate, 1982),

교정 치료 중에 일어나는 법랑질 탈회가 불소 국소 도포에 의해 약 25%가 감소되었다는 보고도 있었다(Saloum, 1985). O'Reilly들(1987)에 의하면 교정 장치 주위에서 일어나는 탈회는 1개월 내에 발생하였으나, 0.05% NaF를 사용한 구강 세척으로 탈회를 완전히 차단하였으며 또한 remineralization의 양상을 보였다.

한편 교정 치료의 시행 기간 중에 환자의 50% 이상이 예방 목적의 불소 구강 세척 프로그램을 소홀히 한다고 보고하고 있어(Geiger, 1988) 환자에 대한 교육이 중요하리라 생각되며, 최근에는 교정 환자에게 약한 농도의 불소 용액, 예컨대 0.05% NaF의 지속적인 사용이 추천되고 있다.

III. 결 론

법랑질을 acid etching하여 교정용 부착물을 결합하는 direct bonding은 이제는 교정치료에서 일반적으로 인정되어진 임상 술식이 되었다.

본고에서는 이러한 교정 치료에서의 acid etch technique에 있어서 고려해야 할 사항인 적정 산의 농도와 etching 시간 그리고 etching 후 법랑질 표면에 나타나는 탈회에 관한 연구를 종합하여 검토하였다.

산의 농도와 etching시간에 관한 문헌을 고찰하여 볼 때, etching을 시행할 때에 bonding에 적당한 환경이 조성되면 산의 농도와 etching 시간을 감소시키는 것이 바람직하다.

교정 치료후 교정용 부착물 주위의 법랑질에서 흰 반점이나 탈회가 나타나는 것을 자주 볼 수가 있는데, 이는 법랑질의 etching시에 그 etching 영역을 교정용 부착물에 의해 덮이게 될 법랑질 부분만으로 정확히 국한시키는 것이 실제적으로는 불가능하여 결국 부착물 주위에 인접한 다량의 불소를 함유한 표면 법랑질을 제거함으로써 치료 기간 중에 탈회를 일으킬 수 있는 소인을 제공하기 때문이다.

불소는 이러한 탈회된 법랑질을 remineralization시킬 수 있다고 여겨지고 있으며, 실질적인 방법으로서 etching 전에 법랑질 표면에 불소를

국소 도포하는 법과 etching용액에 불소를 함입하는 법, bonding을 시행하기 전에 etching 된 법랑질 표면에 불소를 국소 도포하는 법, 그리고 교정용 bracket-bonding adhesive에 불소를 함입하는 법 등이 연구되어지고 있다.

그리고 교정 치료의 시행 기간 중에 0.05% NaF 같은 약한 농도의 불소 용액의 지속적인 사용 등, 불소를 사용한 구강 세척 프로그램이 진행되어야 하며 이에 대한 환자의 교육이 중요 하리라 생각된다.

이상의 논의에서와 같이 교정 치료에서 acid etch technique의 적용 시에 고려해야 할 적절한 산의 농도, etching시간의 결정, 탈회의 방지법 등은 앞으로도 지속적인 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

1. Arana EM : Clinical observations of enamel after acid-etch procedure. J Am Dent Asso 1974 ; 89 : 1102-1106.
2. Arends J, Nelson DGA, Dijkman AG, Jongelbloed WL : Effect of various fluorides on enamel structure and chemistry. In : Guggenheim B, ed. Cariology today. Basal, Switzerland : Karger, 1984 ; 245-57.
3. Barkmeier WW, Gwinnett AJ, Shaffer SE : Effects of reduced acid concentration and etching time on bond strength and enamel morphology. J Clin Orthod 1987 ; 21 : 395-8.
4. Bates D, Retief DH, Jamison HC : Effects of acid etch parameters on enamel topography and composite resin-enamel bond strength. Pediatr Dent 1982 ; 4 : 106-10.
5. Beech DR, Jalaly T : bonding of polymers to enamel : influence of deposits formed during etching, etching time and period of water immersion. J Dent Res 1980 ; 59 : 1156-62.
6. Brännström M, Nordenvall KJ : The effect of acid etching on enamel, dentine and the inner surface of the resin restoration : a scanning electron microscopic investigation. J Dent Res 1977 ; 56 : 917-23.
7. Brudevold F, Gardner DE, Smith FA : The distribution of fluoride in human enamel. J Dent Res 1956 ; 35 : 420-9.
8. Bryant S, Retief DH, et al : The effect of topical fluoride treatment on enamel fluoride uptake and the tensile bond strength of an orthodontic bonding resin. Am J Orthod Dentofac Orthop 1985 ; 87 : 294-302.
9. Buonocore MG : A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. J Dent Res 1955 ; 38 : 849-53.
10. Busscher HJ, Retief DH, Arends J : Relationship between surface free energies of dental resins and bond strengths. Dent Mater 1987 ; 3 : 60-3.
11. Ceen RF, Gwinnett AJ : White spot formation associated with sealants in orthodontics. Pediatr Dent 1981 ; 3 : 174-8.
12. Chow LC, Brown WE : Phosphoric acid conditioning of teeth for pits and fissures sealants. J Dent Res 1973 ; 52 : 1158.
13. Fejerskov O, Thylstrup A, Larsen MJ : Rational use of fluorides in caries prevention. A concept based on the possible cariostatic mechanism. Acta Odeontol Scand 1981 ; 39 : 241-9.
14. Fitzpatrick DA, Way DC : The effects of wear, acid etching, and bond removal on human enamel. Am J Orthod 1977 ; 72 : 671-681.
15. Geiger AM, Gorelick L, Gwinnett AJ, Griswold PG : The effect of a fluoride program on white spot formation during orthodontic treatment. Am J Orthod Dentofac Orthop 1988 ; 93 : 29-37.
16. Gerould CH : Electron microscope study of the mechanism of fluoride deposition in teeth. J Dent Res 1945 ; 26 : 223-33.
17. Gorelick L : Bonding metal brackets with a self-polymerizing sealant-composite : a 12-month assessment. Am J Orthod 1977 ; 71 : 542-53.
18. Gottlieb EW, Retief DH, Jamison HC : An optimal concentration of phosphoric acid as an etching agent. Part I. Tensile bond strength studies. J Prosthet Dent 1982 ; 48 : 48-51.
19. Graber TM, Swain BF : Orthodontics-current principles and techniques. Mosby Co. 1985 : 489-492.
20. Gwinnett AJ, Buonocore MG : Adhesives and caries prevention, A preliminary report. Br Dent J 1965 ; 119 : 77-80.
21. Hicks MJ, Faltz C, Silverstone LM : Initiation and progression of caries-like lesions of enamel : effect of synthetic saliva and sodium fluoride. Caries Res 1985 ; 19 : 481-9.
22. Hirce JD, Sather AH, Chao EYS : Effect of topical fluorides after acid etching of enamel, on

- the bond strength of directly bonded orthodontic brackets. *Am J Orthod* 1980 ; 78 : 444-452.
23. Kinch AP et al : A clinical study of amount of adhesive remaining on enamel after debonding, comparing etch times of 15 and 60 seconds. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1989 ; 95 : 415-21.
 24. Lee H, Occumpaugh DE, Shaffer J, Sheble AM : Sealing of developmental pits and fissures. IV. Measurement of in vitro fluoride pickup by electron microprobe X-ray spectrophotometry. *J Dent Res* 1972 ; 51 : 634-39.
 25. Legler LR, Retief DH, Bradley EL, Denys FR, Sadowsky PL : Effects of phosphoric acid concentration and etch duration on the shear bond strength of an orthodontic bonding resin to enamel : an in vitro study. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1989 ; 96 : 485-92.
 26. Legler LR, Retief DH, et al : Effects of phosphoric acid concentration and etch duration on enamel depth of etch : An in vitro study *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1990 ; 98 : 154-60.
 27. Lehnab R, Davidson CL : Loss of surface enamel after acid etching procedures and its relation to fluoride content. *Am J Orthod* 1981 ; 80 : 73-82.
 28. Mardaga WJ, Shannon IL : Decreasing the depth of etch for direct bonding in orthodontics. *J Clin Orthod* 1982 ; 16 : 130-2.
 29. Nasir H, Relief DH, Holbrook M : Etching parameters for clinical enamel biopsy procedures (Abst.). *J Dent Res* 1980 ; 60 : 620.
 30. Øgaard B, Rolla G, Helgeland K : Alkali soluble and alkali insoluble fluoride retention in demineralized enamel in vivo. *Scand J Dent Res* 1983 ; 91 : 200-4.
 31. Ohsawa T : Studies on solubility and adhesion of the enamel in pretreatment for caries preventive sealing. *Bull Tokyo Dent Coll* 1972 ; 13 : 65-82.
 32. O'Reilly MM, Featherstone JD : Demineralization and remineralization around orthodontic appliances : An in vivo study. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1987 ; 92 : 33-40.
 33. Pus MD, Way DC : enamel loss due to orthodontic bonding with filled and unfilled resins using various clean-up techniques. *Am J Orthod* 1980 ; 77 : 269-83.
 34. Rawls HR, Zimmerman BF : Fluoride-exchanging resins for caries protection. *Caries Res* 1983 ; 17 : 32-43.
 35. Retief DH : Effect of conditioning the enamel surface with phosphoric acid. *J Dent Res* 1973 ; 52 : 333-41.
 36. Retief DH, Harris BE, Bradley EL, Denys FR : Pyruvic acid as an etching agent in clinical dentistry. *J Biomed Mater Res* 1985 ; 19 : 335-48.
 37. Retief DH : The mechanical bond. *Int Dent J* 1978 ; 28 : 18-27.
 38. Retief DH : The use of 50 percent phosphoric acid as an etching agent in orthodontics : a rational approach. *Am J Orthod* 1975 ; 68 : 165-78.
 39. Sadowsky PL, Retief DH, et al : Effects of etchant concentration and duration on the retention of orthodontic brackets : An in vivo study. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1990 ; 98 : 417-21.
 40. Saloum FS, Sondhi A : Preventing enamel decalcification after orthodontic treatment. *J Am Dent Assoc* 1985 ; 115 : 257-61.
 41. Shey Z, Brandt S : Enamel loss due to acid treatment for bonding. *J Clin Orthod* 1982 ; 16 : 338-40.
 42. Silverstone LM : Fissure sealants. Laboratory studies. *Caries Res* 1974 ; 8 : 2-26.
 43. Silverstone LM : The acid etch technique : in vitro studies with special reference to the enamel surface and the enamel-resin interface. In : Silverstone LM, Dogon IL, eds. *Processings of an international symposium on the acid etch technique*. St. Paul, Minnesota : North Central, 1975 : 13-39.
 44. Smith RS, Spinelli JA, Tartakow DJ : Phosphoric acid penetration during direct bonding. *Am J Orthod* 1976 ; 70 : 543-550.
 45. Takahashi Y, Otsuki A, Takeuchi M : Effect of pretreatment with ethanol containing fluoride on etched enamel surface as evaluated by scanning electron microscopy, and tensile bond strength measurement. *J Dent Res* 1977 ; 56 : 588-594.
 46. ten Cate JM, Duijsters PPE : The influence of fluoride in solution on touch demineralization. I, Chemical data. *Caries Res* 1982 ; 16 : 201-10.
 47. Underwood ML, Rawls HR, Zimmerman BF : clinical evaluation of a fluoride-exchanging resins as an orthodontic adhesive. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1989 ; 96 : 93-9.
 48. Wei SHY : Electron microprobe analysis of remineralization. *J Dent Res* 1970 ; 49 : 621-5.