

2012년 8월

박사학위 논문

수종의 치과용 접착제 용매의
증발에 관한 연구

조선대학교 대학원

치 의 학 과

이 현 아

수종의 치과용 접착제 용매의 증발에 관한 연구

A study on the evaporation of solvent
in various dental adhesives

2012년 8월 24일

조선대학교 대학원

치 의 학 과

이 현 아

수종의 치과용 접착제 용매의
증발에 관한 연구

지도교수 민 정 범

이 논문을 치의학 박사학위신청 논문으로 제출함

2012년 4월

조선대학교 대학원

치 의 학 과

이 현 아

이현아의 박사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 황 호길 인

위 원 조선대학교 교수 민 정범 인

위 원 조선대학교 교수 안 종모 인

위 원 경희대학교 교수 최 경규 인

위 원 전남대학교 교수 황 인남 인

2012년 6월

조선대학교 대학원

목 차

표목차	i
도목차	iii
영문초록	iv
I. 서론	1
II. 실험재료 및 방법	4
III. 실험결과	8
IV. 총괄 및 고안	10
V. 결론	15
참고문헌	16

표 목 차

Table 1. Adhesives used in this study	5
Table 2. The evaporation rates for adhesives	8
Table 3. The rates of volatile parts for adhesives	9

도 목 차

Figure 1. The method of evaporation of adhesives and determination of weight for adhesives.	6
Figure 2. The evaporation rates for adhesives dried for 10sec or 30sec.	9

ABSTRACT

A study on the evaporation of solvent in various dental adhesives

Lee Hyun-A

Advisor : Prof. Min Jeong-Bum, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

Department of Dentistry,

Graduate School of Chosun University

The purpose of this study was to evaluate the characteristics of the evaporation for various kinds of the dental adhesives by the measurement of the evaporation rates and the rates of volatile parts in adhesives.

OptiBond FL (Kerr, FL), CLEARFIL SE BOND (Kuraray, SE), OptiBond S (Kerr, OS), and OptiBond All-In-One (Kerr, OA) were used in this study. 10 μl of adhesive was dispensed on slide glass and weighted by precision balance. Adhesive was dried for 10 sec and 30 sec by hair dryer and weighted. Until the weight of the adhesive became constant, adhesive was stored for 48 h at 37°C in dark oven and then weighted. The results were statistically analyzed using One-way ANOVA and Scheffe test at $p = 0.05$ level.

The evaporation rate of OA was significantly higher than other groups ($p < 0.05$). Significant differences were observed between two air-drying times of all groups except for OS. The rate of volatile part of FL was significantly

higher than other groups ($p < 0.05$) and the rate of volatile part of OS was significantly lower than other groups ($p < 0.05$).

The evaporation rates and rates of volatile parts were different according to kinds of adhesives and solvents. Also, both air-drying times should not remove the solvents of adhesives completely. More studies on tools or methods, which promote the evaporation of the dental adhesives, are needed.

1. 서론

치과에서의 접착은 레진 단량체가 치면에 침투한 후 형성된 치질과 레진의 기계적 맞물림을 통해 얻어진다.¹ 이때 용매는 세단계 산부식형(etch & rinse) 접착제와 두단계 자가부식형(self-etch) 접착제에서 프라이머(primer)에 첨가되며 두단계 산부식형 접착제와 단일단계 자가부식형 접착제에서는 단일병의 접착제에 첨가되어 레진 단량체(monomer)를 치면에 침투시키는 역할을 하게 된다. 특히 산부식형 접착제의 용매는 접착제의 적심성을 향상시키고 단량체가 탈회된 치면에 잘 침투할 수 있도록 돕는다.^{2,3} 이러한 기능은 산부식형 접착제의 상아질 접착에 중요한 기능을 한다.³ 또한 대부분의 자가부식형 접착제에서 사용되는 용매인 물은 산성 단량체의 이온화를 돕는다.⁴ 이와 같이 용매는 접착에서 중요한 역할을 담당하고 있으며 치과용 접착제의 주요한 구성성분이다.

그러나 접착제가 함유하고 있는 전체 용매의 양은 접착제의 친수성에 영향을 미친다.⁵ 높은 비율로 첨가된 용매는 접착제의 중합을 방해하며 접착제의 친수성을 증가시켜 접착에 부정적인 영향을 미친다.⁵ 적정이하로 첨가된 용매는 단량체의 침투를 제한하며 용매가 과량으로 첨가되었을 때 형성된 혼성층(hybrid layer)은 균질성이 없고 다공성의 구조를 갖는다. 그러므로 효과적인 접착을 위해서는 적절한 양의 용매가 접착제에 사용되어야 한다.⁶

임상에서는 접착제 적용 후 용매를 증발시키는 과정은 필수적이며 증발 과정이 적절하지 못한 경우 접착층 내에 과량의 용매가 잔존하게 된다.⁷ 잔존 용매는 단량체를 희석시켜 접착층의 친수성을 증가시키고 높은 친수성은 접착층의 투과성 증가, 결합강도 감소, 물 흡수와 용해 증가와 같은 결과를 초래하여 접착제의 내구성에 부정적 영향을 끼친다.⁸⁻¹⁰

프라이머는 탈회된 상아질의 수축된 교원성유를 재팽창시키기 위해 고안되었으며

많은 양의 용매와 친수성 단량체로 구성되어 있다.¹¹ 그러나 프라이머의 증발이 적절하지 못한 경우에는 잔존 용매가 접착제와 혼합되어 접착제의 인장강도가 유의하게 감소한다.¹² 두단계 산부식 접착제에서 습윤접착술(wet-bonding technique) 후 증발시키지 않은 실험군이 증발시킨 실험군과 비교했을 때 결합강도가 유의하게 감소하고 단일단계 자가부식형 접착제에서도 증발이 적절하지 못했을 때 접착제의 결합강도와 경도가 유의하게 감소한다.^{13,14} 자가부식형 접착제를 사용한 다른 연구에서도 HEMA(2-hydroxyethylmethacrylate)를 함유한 또는 HEMA를 함유하지 않은 단일단계 자가부식형 접착제 모두에서 용매의 증발은 접착제의 인장강도에 영향을 미치기 때문에 용매의 증발 과정이 반드시 필요하다고 보고하였다.¹⁵ 이와 같이 잔존 용매는 중합체(polymer)를 연화시키고 접착제의 물리적 성질을 감소시킴으로 접착제 적용 후 용매가 적절히 증발할 수 있도록 건조시키는 과정은 접착제의 충분한 물리적 성질을 위해 반드시 필요하다.¹⁶

접착제 사용 시 용매의 증발에는 용매의 증기압이 중요한 요소로 작용한다.¹⁷ 끓는점이 낮고 증기압이 높은 용매는 쉽게 증발할 수 있다. 또한 임상에서 이루어지는 공기 건조(air-drying)는 접착제로부터 용매의 증발을 촉진시킬 수 있는 방법으로 건조시간을 증가시키면 용매의 증발율(evaporation rate)은 증가한다.^{7,18}

접착제 내 용매뿐만이 아니라 비휘발성 성분(nonvolatile part)도 접착제의 증발에 영향을 미친다.¹⁹ 접착제에서 용매가 증발함에 따라 접착제 내의 비휘발성 성분의 비율이 증가하고 비휘발성 성분은 잔존 용매의 증발을 방해한다.¹⁹ HEMA와 같은 친수성 단량체는 수분의 증기압을 감소시킨다.²⁰ 또한 비휘발성 성분의 양이 증가함에 따라 용매의 증기압은 감소하는 것으로 보고되었다.¹⁹ 그러므로 접착제의 증발은 접착제의 구성성분에 영향을 받게 되며 서로 다른 성분으로 구성된 다양한 접착제는 서로 다른 증발 특성을 갖게 된다. 효과적인 접착을 위해서는 접착제의 증발 특성을 파악하고 올바른 방법으로 접착제를 적용하는 것이 요구된다.

그러므로 본 연구의 목적은 다양한 종류의 접착제를 사용하여 접착제의 증발율과 휘발성 성분(volatile part)의 비율을 측정하여 치과용 접착제의 증발 특성을 파악하는 것이다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

본 연구에서는 다음과 같이 네 종류의 접착제가 사용되었다; 세단계 산부식형 접착제-OptiBond FL (Kerr, Orange, CA, USA), 두단계 자가부식형 접착제-CLEARFIL SE BOND (Kuraray, Tokyo, Japan), 두단계 산부식형 접착제-OptiBond S (Kerr, Orange, CA, USA), 단일단계 자가부식형 접착제-OptiBond All-In-One (Kerr, Orange, CA, USA). 이들의 구성성분은 Table 1에 나타나 있다. 사용된 접착제에 따라 실험군을 FL군, SE군, OS군, OA군으로 분류하였다 (Table 1). OptiBond FL과 CLEARFIL SE BOND에서는 프라이머(primer)가 사용되었으며, OptiBond S와 OptiBond All-In-One에서는 단일병의 접착제가 사용되었다 (Table 1).

Table 1. Adhesives used in this study

Adhesives (manufacturer)	Composition	Classification	Batch Number
FL group OptiBond FL primer (Kerr, Orange, CA, USA)	Alkyl dimethacrylate resin, water, Ethyl alcohol	Three-step etch & rinse system	3462545
SE group CLEARFIL SE BOND primer (Kuraray, Tokyo, Japan)	MDP, HEMA, dl-Camphorquinone, hydrophilic dimethacrylate, N,N-Diethanol-p-toluidine, water	Two-step self-etch system	01032A
OS group OptiBond S adhesive (Kerr, Orange, CA, USA)	Alkyl dimethacrylate, fumed silica, Barium aluminoborosilicate glass, Sodium hexafluorosilicate, Ethyl alcohol	Two-step etch & rinse system	3482018
OA group OptiBond All-In-One adhesive (Kerr, Orange, CA, USA)	Uncured Methacrylate ester monomer, filler, Ytterbium fluoride, water, photoinitiators, accelerator, stabilizer, Acetone, Ethyl alcohol,	One-step self-etch system	3332327

2. 실험방법

접착제의 증발율을 측정하기 위해 먼저 슬라이드 글라스의 무게(Swt)를 정밀저울 (Libror AEX-200B, Shimadzu, Japan, 0.1mg)을 이용하여 측정하였다. 각 접착제 10 μ l를 슬라이드 글라스 위에 micropipette(Discovery, Warsaw, Poland)을 이용하여 분배한 후 무게(Awt)를 측정하였다 (Figure 1). 분배된 접착제를 헤어드라이어 를 이용해 5 m/s의 속도로 10초, 30초 동안 각각 건조한 후 다시 무게(Ewt)를 측정하였다 (Figure 1). 접착제는 모든 용매가 증발하여 무게가 일정해질 때 까지 37°C 암실에서 48시간 동안 보관하였고 마지막으로 접착제의 무게(Cwt)를 측정하

였다 (Figure 1). 각 접착제 그리고 각 건조시간 별로 위의 과정을 10회 반복하였다.

측정된 수치를 다음의 공식에 대입해 증발율과 휘발성 성분의 비율을 산출하였다.¹⁵

$$\text{Evaporated volatile part (mg)} = \text{Awt} - \text{Ewt}$$

$$\text{Adhesive wt} = \text{Awt} - \text{Swt}$$

$$\text{Evaporation rate (wt\%)} = \text{Evaporated volatile part wt} / \text{Volatile part wt} \times 100$$

$$\text{Volatile part (mg)} = \text{Awt} - \text{Cwt}$$

$$\text{Rate of volatile part (wt\%)} = \text{Volatile part wt} / \text{Adhesive wt} \times 100$$

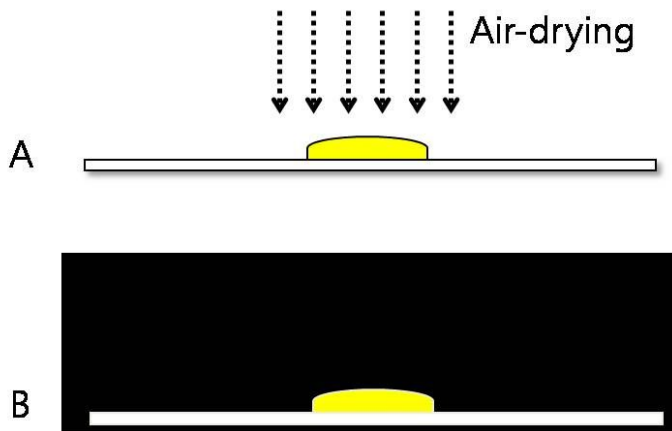


Figure 1. The method of evaporation of adhesives and determination of weight for adhesives.

- A. 10 μl of adhesive was dispensed on slide glass and weighted by precision balance. Adhesive was dried for 10 and 30 sec by hair dryer and weighted.
- B. Until the weight of the adhesive became constant, adhesive was stored for 48 h at 37°C in dark oven and then weighted.

3. 통계 분석

각 접착제의 건조시간에 따른 증발율과 휘발성 성분 비율의 차이를 비교, 평가하기 위해 One-way ANOVA를 사용하였으며 Scheffe test로 사후분석하였다 ($p = 0.05$).

III. 실험결과

1. 접착제의 증발율 (Evaporation rate)

10초 건조 시 OA군, FL군, OS군, SE군의 순서로 증발율이 낮게 나타났으며 FL군과 OS군 간을 제외한 다른 모든 실험군 간에 유의한 차이가 나타났다 ($p < 0.05$, Table 2). 30초 건조 시 OA군, FL군, SE군, OS군의 순서로 증발율이 낮게 나타났으며($p > 0.05$), FL군과 SE군 간을 제외한 다른 모든 실험군들 간에 유의한 차이가 나타났다 ($p < 0.05$, Table 2).

각 실험군 내에서 10초와 30초의 건조시간 간의 비교 시 OS군을 제외한 모든 실험군들 내에서 30초 건조 시 유의하게 더 높은 증발율을 보였다 ($p < 0.05$, Table 2, Figure 2).

Table 2. The evaporation rates for adhesives (Mean \pm SD, wt%)

	FL	SE	OS	OA
Air-drying for 10sec	30.81 \pm 5.16aA	14.47 \pm 2.25cA	26.31 \pm 2.74aA	40.30 \pm 2.90dA
Air-drying for 30sec	49.17 \pm 3.54aB	47.90 \pm 9.40aB	24.64 \pm 2.25cA	77.30 \pm 7.76dB

Analysis per row = differences between groups are identified with different lower case letters ($p < 0.05$).

Analysis per column = differences between two air-drying times are identified with different upper case letters ($p < 0.05$).

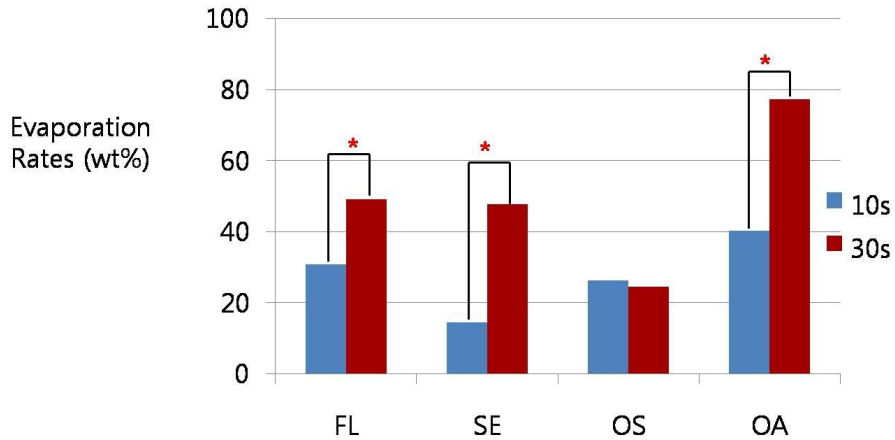


Figure 2. The evaporation rates for adhesives dried for 10sec or 30sec. Significant differences were observed between two air-drying methods of all groups except for OS group. * means significant difference between two air-drying times ($p < 0.05$).

2. 접착제 내 휘발성 성분의 비율 (Rate of volatile part)

접착제 내 휘발성 성분의 비율은 FL군, SE군, OA군, OS군의 순서로 낮게 나타났으며, SE군과 OA군 간을 제외한 다른 모든 실험군들 사이에서 유의한 차이가 나타났다 ($p < 0.05$, Table 3).

Table 3. The rates of volatile parts for adhesives (Mean \pm SD, wt%)

FL	SE	OS	OA
77.89 \pm 2.98a	61.80 \pm 1.30b	33.43 \pm 2.44c	58.51 \pm 3.98b

Values marked with same lower case letter are not statistically different ($p > 0.05$).

IV. 총괄 및 고안

본 연구에서 측정한 접착제의 증발율은 접착제의 휘발성 성분에서 증발된 휘발성분의 비율을 백분율로 계산한 값이다. 모든 시편에서 사용된 접착제는 10 μl 로 동일한 부피가 사용되었지만 접착제의 흐름성과 micropipette을 사용할 때 압력에 따라 실제 분배된 접착제의 무게는 달라진다. 접착제의 양에 따라 접착제의 증발량도 달라지므로 증발량은 시편에 따라 편차가 발생한다. 이러한 편차를 극복할 수 있는 방법으로 증발량의 비율을 측정하는 증발율 측정법이 사용된다.¹⁵ 그러나 비율을 측정하기 위해서는 먼저 전체 휘발성 성분의 양을 측정해야만 한다. 시편을 37°C 암실에서 48시간 동안 보관하는 이유는 휘발성 성분이 완전히 증발할 때까지 기다렸다가 비휘발성 성분만 남았을 때 전체 접착제의 양에서 비휘발성 성분의 양을 빼면 전체 휘발성 성분의 양을 알 수 있기 때문이다. 다른 연구에서도 48시간 후에는 접착제의 무게가 일정해지는 것을 통해 48시간 후에는 모든 휘발성 성분이 증발할 것이라고 평가했다.¹⁵

접착제의 무게를 측정한 후 접착제 시편은 바로 암실에 보관하여야 한다. 이는 접착제가 외부 빛에 의해 중합되어 휘발성 성분의 증발을 방해하기 때문이다. 휘발성 성분의 증발이 방해받게 되면 전체 휘발성 성분의 양을 정확하게 측정하기 힘들어지며 측정된 증발율도 부정확하게 된다. 그러므로 본 연구에서는 접착제의 증발율 측정 시 외기 빛을 최소한으로 유지한 상태에서 진행하였다. 그러나 10초 건조와 30초 건조 시 OS군의 증발율에 유의한 차이가 없는 것은 실험조건의 빛에 의해 접착제의 중합이 발생한 결과일 수 있다 (Figure 2). 한편, Optibond S내 용매의 증기압이 낮아 건조시간을 늘려도 더 이상의 증발을 촉진할 수 없다고 평가할 수 있다. 실제 이러한 결과가 접착제의 중합 때문인지 낮은 증기압 때문인지는 정확하지 않으며 이를 규명하기 위해서는 추가적인 연구가 필요하다. 만약

Optibond S가 외기 빛에 의해 중합되어 이러한 결과가 발생하였다면 OS군의 증발율은 측정된 값보다 낮아지고 휘발성 성분의 비율도 측정된 값보다 더 높아질 것이다. 실험조건에서 빛에 의해 접착제의 중합이 쉽게 일어난다면 임상에서도 동일한 현상이 발생할 것으로 생각되지만 이러한 외부 빛에 의한 접착제의 중합이 접착제의 물리적인 성질에 미치는 영향에 대해서는 좀 더 연구가 필요할 것으로 생각된다.

본 연구에서 사용된 접착제들의 증발율은 사용된 용매의 증기압과 밀접한 관련이 있는 것으로 생각된다. 치과용 접착제에 사용되는 용매로는 에탄올, 아세톤, 물이 사용되며 각 용매의 증기압은 끓는점의 차이에 따라 물, 에탄올, 아세톤 순으로 높아진다.²¹ 본 연구에서도 물을 용매로 사용하는 CLEARFIL SE BOND, 에탄올과 물을 용매로 사용하는 OptiBond FL, 아세톤을 용매로 사용하는 OptiBond All-In-One의 순으로 증발율이 높게 나타났는데 10초 건조 시에는 모든 군에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며, 30초 건조 시에는 FL군과 SE군만을 제외한 다른 실험군들 간에 통계적으로 유의한 차이가 존재하였다 (Table 2).

물은 수소결합으로 분자들이 강하게 연결되어있어 끓는점이 높고 증기압이 낮다. 그러나 물에 에탄올을 첨가했을 때 에탄올과 물은 공비혼합물을 형성하여 혼합물의 증기압은 더 높아지게 된다.²¹ 이에 물과 에탄올을 용매로 사용하는 OptiBond FL의 증발율은 CLEARFIL SE BOND보다 높아지게 될 것이라 추정되며 실제 본 실험에서 10초 건조 시 유의하게 높은 증발율을 나타냈다 (Table 2).

임상에서 접착제의 용매를 증발시키기 위해 사용되는 방법은 공기건조법이다. 공기건조의 원리는 액체가 증발하면 액체는 기화되어 표면 상방에서 존재하는데 시간이 지나면 포화되어 액체의 기화를 방해한다. 이때 바람은 기체를 다른 곳으로 이동시켜주어 용액의 기화를 촉진시켜준다는 것이다. 그러므로 공기건조 시간을 증가시킬 때 용매의 증발은 더 촉진된다. 본 연구에서도 OS군을 제외한 다른 모든

실험군에서 30초 공기건조가 유의하게 더 높은 증발율을 보였다 (Table 2). 그러나 10초 공기건조 시 최대 증발율은 0A군의 $40.30 \pm 2.90\%$ 로 다른 접착제는 이에 미치지 못하였으며 30초 공기건조 시 최대 증발율은 0A군의 $77.30 \pm 7.76\%$ 였으며 다른 접착제에서는 50%에 미치지 못하였다 (Table 2). 이는 임상에서 사용하는 공기건조법을 통해 접착제의 모든 용매를 제거하는 것은 어렵다는 것을 의미하며, 임상에서 모든 용매를 제거하기 위해 장시간을 할애하는 것 또한 비현실적인 방법이다.

비휘발성 성분은 접착제내 용매의 증발에 영향을 미치는 요소 중의 하나이다. 접착제의 용매가 빠르게 증발하면 남아있는 접착제의 비휘발성 성분이 차지하는 비율이 상대적으로 증가하면서 잔존 용매는 엉기게 되어 증기압이 감소하게 된다.¹⁹ 이는 접착제의 공기건조 후에도 용매가 잔존하는 원인이며 다른 연구에서 공기건조 시간을 늘림에도 불구하고 증발율의 증가가 더딘 이유로 생각된다.¹⁹

그리고 비휘발성 성분에 의해 증가된 접착제의 점도도 증발에 영향을 미치는 요소이다. 점도가 높은 접착제는 비교적 두꺼운 접착층을 형성하게 되는데 두꺼운 접착층내에서 용매의 증기압은 감소하며 증발율은 감소할 것이다. 비교적 낮은 점도의 접착제는 얇은 접착층을 형성하고 용매는 더 쉽게 증발할 수 있다.²² 여기에서 공기건조는 접착층의 두께를 줄여주는 기능을 통해 용매의 증발을 촉진시킨다. 본 연구에서 각 접착제의 점도는 측정되지 않았으며 실험적 오차를 줄이기 위해서는 실험실적인 접착제를 통해 접착제의 점도가 용매의 증발에 미치는 영향에 대한 연구가 추가적으로 필요하리라 사료된다.

본 연구에서 공기건조에 사용된 방법은 헤어드라이어를 사용해 5 m/s의 속도로 c 찬 공기를 불어주는 방법이었다. 5 m/s의 속도는 접착제를 확산시키거나 불어내기에는 부족하며 접착제의 증발만을 일으킬 수 있는 속도이다. 바람의 속도를 더욱 높여주는 것은 용매의 증발에 도움을 줄 수 있지만 슬라이드 글라스 상에 접착제를

한정시킬 수 없으므로 실험적인 조건에서는 이용될 수 없다. 그러나 임상에서 실험적인 조건보다 더 높은 속도로 강하게 바람을 불어 과량의 접착제를 치면에서 불어내고 접착층을 얇게 확산시킨 후 용매를 증발시킨다면 실험적인 조건보다 더 많은 양의 용매가 제거될 수 있을 것으로 생각된다.

다른 증발방법으로는 공기건조 시 온도를 높여 접착제의 증발을 촉진시키는 방법인 warm dry method가 있다.²³ warm dry에 사용되는 온도는 38℃이며 warm dry를 통해 접착제의 증발율, 결합강도, 전환율이 증가되었다고 보고되었다.²³ Warm dry는 특히 물을 용매로 사용하는 접착제에서 효과적으로 사용될 수 있다고 제안되었다.²⁴

본 실험에서 접착제 내 휘발성성분의 비율은 OS군, OA군, SE군, FL군의 순으로 높게 나타났으며 30%이상의 용매를 함유하고 있었다 (Table 3). SE군과 FL군은 프라이머가 사용되었으며 OS군, OA군에서는 접착제가 사용되었다. 일반적으로 단일병의 혼합형 접착제보다는 프라이머에 많은 양의 용매가 첨가되는데 본 연구에서도 비슷한 결과가 나타났다 (Table 3). 그러나 단일병의 혼합형 접착제에는 순수한 접착 레진(bonding resin)보다 더 많은 양의 용매가 존재한다.

본 연구에서는 접착제의 증발율과 휘발성 성분의 비율을 측정하는 방법을 사용하였기 때문에 실제 잔존하는 용매의 양은 달라질 수 있다. 높은 증발율이 반드시 잔존 용매의 낮은 양을 보장해주지는 못한다는 것이다. 그러나 증발율과 휘발성 성분을 측정하는 방법은 접착제의 증발 특성을 파악하는데 도움을 주는 방법이며 임상에서 접착제 사용 시 이러한 증발 특성이 고려되어야 한다. 본 연구에 의하면 접착제 내 용매의 증발에는 10초보다는 30초 건조시간이 더 효과적이었다. 그러나 30초의 건조시간도 모든 용매를 제거하지 못하였다.

이전의 연구에 의하면 많은 양의 용매를 사용하는 접착제는 잔존 용매의 양이 증가하고 그 결과 접착에 부정적인 결과를 초래한다고 보고되었다.⁵ 그러므로 상대적

으로 많은 양의 용매가 첨가되는 접착제의 프라이머와 혼합형 단일병의 접착제의 용매를 증발시키는데 더 많은 주의를 기울여야 할 것이다. 또한 접착제의 증발을 촉진시켜주는 기구와 방법에 대한 연구가 계속되어야 할 것이다.

V. 결론

연구결과 접착제의 종류에 따라 증발율에 차이를 보였으며 이는 접착제에 사용된 용매와 연관되어 있었다. 높은 증기압을 갖는 용매를 사용하는 접착제가 더 빠른 용매의 증발을 보여주었다. 그리고 접착제 내 용매를 제거하는데 10초보다는 30초의 건조시간이 더 효과적이었으나 이러한 건조시간으로도 접착제의 모든 용매를 증발시키는 것은 불가능하였다. 또한 접착제의 종류에 따라 휘발성분의 비율이 다르게 나타났는데 모든 접착제에서 30% 이상의 용매를 함유하고 있었다. 그러므로 이러한 접착제의 증발 특성이 임상 시술 시에도 반드시 고려되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Asmussen E, Hansen EK, Peutzfeldt A. Influence of the solubility parameter of intermediary resin on the effectiveness of the gluma bonding system. *J Dent Res* 1991;70(9):1290-1293.
2. Tay FR, Pashley DH. Have dentin adhesives become too hydrophilic? *J Can Dent Assoc* 2003;69(11):726-731.
3. Nakajima M, Okuda M, Pereira PN, Tagami J, Pashley DH. Dimensional changes and ultimate tensile strengths of wet decalcified dentin applied with one-bottle adhesives. *Dent Mater* 2002;18(8):603-608.
4. Hiraishi N, Nishiyama N, Ikemura K, Yau JY, King NM, Tagami J, et al. Water concentration in self-etching primers affects their aggressiveness and bonding efficacy to dentin. *J Dent Res* 2005;84(7):653-658
5. Cadenaro M, Breschi L, Antonioli F, Navarra CO, Mazzoni A, Tay FR et al. Degree of conversion of resin blends in relation to ethanol content and hydrophilicity. *Dent Mater* 2008;24:1194-1200
6. Wang Y, Spencer P, Yao X, Brenda B. Effect of solvent content on resin hybridization in wet dentin bonding. *J Biomed Mater Res* 2007;82A:975-983
7. Spreafico D, Semeraro S, Mezzanzanica D, Re D, Gagliani M, Tanaka T, et al. The effect of the air-blowing step on the technique sensitivity of four different adhesive systems. *J Dent* 2006;34(3):237-244
8. Hotta M, Kondoh K, Kamemizu H. Effect of primers on bonding agent polymerization. *J Oral Rehab* 1998;25(10):792-799

9. Hashimoto M, Ito S, Tay FR, Svizero NR, Sano H, Kaga M, et al. Fluid movement across the resin-dentin interface during and after bonding. *J Dent Res* 2004;83(11):843-848
10. Malacarne-Zanon J, Pashley DH, Agee KA, Foulger S, Alves MC, Breschi L et al. Effects of ethanol addition on the water sorption/solubility and percent conversion of comonomers in model dental adhesives. *Dent Mater* 2009;25:1275-1284
11. Jacobsen T, Soderholm KJ. Some effects of water on dentin bonding. *Dent Mater* 1995;11(2):132-136
12. Ikeda T, Munck JD, Shirai K, Hikita K, Inoue S, Sano H et al. Effect of evaporation of primer components on ultimate tensile strengths of primer-adhesive mixture. *Dent Mater* 2005;21:1051-1058
13. Hashimoto M, Tay FR, Svizero NR, Gee AJ, Feilzer AJ, Sano H et al. The effects of common errors on sealing ability of total-etch adhesives. *Dent Mater* 2006;22:560-568
14. Sadr A, Shimada Y, Tagami J. Effects of solvent drying time on micro-shear bond strength and mechanical properties of two self-etching adhesive systems. *Dent Mater* 2007;23:1114-1119
15. Ikeda T, Munck JD, Shirai K, Hikita K, Inoue S, Sano H et al. Effect of air-drying and solvent evaporation on the strength of HEMA-rich versus HEMA-free one-step adhesives. *Dent Mater* 2008;24:1316-1323
16. Pashley DH, Tay FR, Breschi L, Tjäderhane L, Carvalho RM, Carrilho M et al. State of the art etch-and -rinse adhesives. *Dent Mater* 2011;27:1-16
17. Abate PF, Rodriguez VI, Macchi RL. Evaporation of solvent in one-bottle adhesives. *J Dent* 2000;28(6):437-440
18. Hiraishi N, Breschi L, Prati C, Ferrari M, Tagami J, King NM. Technique sensitivity associated with air-drying of HEMA-free, single-bottle,

- one-step self-etch adhesives. *Dent Mater* 2007;23:498-505
19. Cadenaro M, Breschi L, Rueggeberg FA, Suchko M, Grodin E, Agee K et al. Effects of residual ethanol on the rate and degree of conversion of five experimental resins. *Dent Mater* 2009;25:621-628
 20. Pashley EL, Zhang Y, Lockwood PE, Rueggeberg FA, Pashley DH. Effects of HEMA on water evaporation from water-HEMA mixtures. *Dent Mater* 1998;14(1):6-10
 21. Van Landuyt KL, Snauwaert J, Munck JD, Peumans M, Yoshida Y, Poitevin A et al. Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives. *Biometer* 2007;28:3757-3785
 22. Zheng L, Pereira PN, Nakajima M, Sano H, Tagami J. Relationship between adhesive thickness and microtensile bond strength. *Oper Dent* 2001;26(1):97-104
 23. Klein-Jr. CA, Zander-Gr. C, Amaral R, Stanislawczuk R, Garcia EJ, Baumhardt-Neto R et al. Evaporating solvents with a warm air-steam: Effects on adhesive layer properties and resin-dentin bond strengths. *J dent* 2008;36:618-625
 24. Marsiglio AA, Santos GAGRM, Paula LM, Araújo JA, Wang L, Almeida JCF, Garcia FCP. Influences of warm-air drying on dentin bond strength. *Dent Mater* 2010;26:e140-141