

상아세관의 주행방향에 따른 상아질 접착제의 침투양상에 대한 공초점레이저주사현미경 연구

김동준 · 황윤찬 · 김선호 · 오원만 · 황인남*

전남대학교 치과대학 보존학교실, 치의학연구소

ABSTRACT

EFFECT OF DENTINAL TUBULES ORIENTATION ON PENETRATION PATTERN OF DENTIN ADHESIVES USING CONFOCAL LASER SCANNING MICROSCOPY

Dong-Jun Kim, Yun-Chan Hwang, Sun-Ho Kim, Won-Mann Oh, In-Nam Hwang*

Dept. of Conservative Dentistry, College of Dentistry, DSRI, Chonnam Natl. Uni.

The purpose of this study was to evaluate the penetration pattern of dentin adhesives according to the orientation of dentinal tubules with confocal laser scanning microscopy. Specimens having perpendicular, parallel and oblique surface to dentinal tubules were fabricated. The primer of dentin adhesives (ALL BOND[®] 2, CLEARFIL[™] SE BOND and PQ1) was mixed with fluorescent material, rhodamine B isothiocyanate (Aldrich Chem. CO., Milw., USA). It was applied to the specimens according to the instructions of manufactures. The specimens were covered with composite resin (Estelite, shade A2) and then cut to a thickness of 500 μ m with low speed saw (Isomet[™], Buehler, USA). The adhesive pattern of dentin adhesives were observed by fluorescence image using confocal laser scanning microscopy.

The results were as follows.

1. For the groups with tubules perpendicular to bonded surface, funnel shape of resin tag was observed in all specimen. However, resin tags were more prominent in phosphoric acid etching system (ALL BOND[®] 2 and PQ1) than self etching system (CLEARFIL[™] SE BOND).
2. For the groups with tubules parallel to bonded surface, rhodamine-labeled primer penetrated into peritubular dentin parallel to the orientation of dentinal tubules. But rhodamine-labeled primer of PQ1 diffused more radially into surrounding intertubular dentin than other dentin adhesive systems.
3. For the groups with tubules oblique to bonded surface, resin tags appeared irregular and discontinuous. But they penetrated deeper into dentinal tubules than other groups.

Key words : Dentinal tubules orientations, Confocal laser scanning microscopy, Dentin bonding agents

I. 서 론

상아질 접착제는 도말층을 이용하거나 그것을 변형, 제거하는 방법¹⁾ 등 다양한 형태로 발전하여 임상적으로 널리 이용되고 있다. 하지만 상아질은 복잡한 생물학적 구조물로 결합력에 영향을 줄 수 있는 다양한 요소들이 존재하는데, 이러한 것들에는 상아세관의 투과력, 상아세관액의 흐름, 상아질이 경화되거나 우식에 이환 되었는지 여부 등²⁻⁵⁾이 있

다. 일반적으로 상아질과 복합레진 사이의 결합력은 프라이머(primer)를 적용하여 탈회된 상아질의 교원섬유와 복합레진 사이의 미세 기계적인 interlocking인 혼성층(hybrid layer)에 의존하게 되는데 이 혼성층은 치아, 환자 및 수복재료¹⁾의 차이에 의해 그 양상이 좌우되며 또한 상아질의 경화정도⁶⁻⁹⁾ 및 상아세관의 방향³⁾과 같은 미세 기계적 구조에 영향을 받는다. Harnirattisai 등⁶⁾과 Meerbeek 등⁹⁾은 복합레진-상아질 계면을 주사전자현미경을 이용하여 연구하

였는데 혼성층은 경화되거나 폐쇄된 상아세관에 비해서 상아세관이 개방된 경우 더 두꺼웠으며 상아세관이 와동에 평행으로 주행하는 측벽에서 가장 얇았다고 하였다.

복합레진과 상아질의 접합성의 평가는 방사선동위원소에 의한 변연누출법¹⁰⁾, 치질과 수복물 사이의 수축간극의 평가¹¹⁾ 및 상아질과의 접착강도¹²⁾를 측정하는 등의 다양한 방법들이 제시되어 왔다. 근래에 상아질 접착에서 혼성층의 중요성이 인식되면서 이의 형태학적 분석에는 주로 주사전자현미경(Scanning electron microscope)과 투과전자현미경(Transmission electron microscopy)이 이용^{13,14)}되었는데 주사전자현미경은 시편제작 과정이 복잡하며 표면의 구조만을 관찰할 수 있다는 한계가 있으며, 투과전자현미경의 경우 포매 하는 과정이 필요하다. 또한 이들은 시편의 건조 과정이 꼭 필요하므로 수축의 위험이나 인공물(artifact)이 존재 할 수 있는 단점이 있다. 최근에 시편의 특별한 제작과정이 없어도 형광염료로 염색한 시편을 직접 관찰 할 수 있는 공초점레이저주사현미경(Confocal Laser Scanning Microscopy; CLSM)이 치아 경조직 연구에 이용되고 있는데 치의학 영역에서는 1987년 Watson과 Boyde¹⁵⁾가 형광염료와 함께 상아질 표면에서 접착레진 침투양상의 연구에 처음 사용하였다. CLSM의 장점은 비파괴적인 술식에 의해서 관찰이 가능하며, 표층에서 100 μm 까지도 시각화 할 수 있다는 것이다.

임상적으로 상아질 접착제를 적용할 때 상아세관의 주행방향은 다양한 형태로 접착제와 계면을 형성하게 된다. 예를 들면 대구치의 1급 와동에서 측벽은 절삭면에 거의 평행한 상아세관을 보이는 반면, 치수벽쪽에서의 상아세관은 표면에 수직으로 잘려 있다. 표면에 수직으로 잘린 상아세관의 경우 산부식은 상아세관의 개구부(orifice)를 노출시킨다. 접착면의 이런 구조적인 차이는 레진-상아질 계면의 구조와 상아질에 대한 복합레진의 접착강도에 영향을 미칠 수 있다. Phrukkanon 등¹⁶⁾은 상아질의 위치와 상아세관의 방향에 따른 복합레진과의 미세 전단강도를 연구하였는데 상아세관의 주행방향은 결합력에 영향을 주지 않는다고 하였다. 하지만 Schupbach 등¹⁷⁾은 상아세관의 주행방향이 수직인 곳과 수평인 곳에서 접착계면의 형태를 투과전자현미경과 공초점레이저주사현미경을 이용하여 조사하였는데 주행방향은 혼성층의 형성에 영향을 주었다고 하였다. 하지만 상아세관의 방향과 여러 형태의 상아질 접착제를 비교한 연구는 많이 보고되고 있지 않은 실정이다.

이에 본 실험에서는 공초점레이저주사현미경을 이용하여 상아세관의 방향에 따라서 임상적으로 널리 사용되고 있는 몇 종의 상아질 접착제의 접착계면에 대한 양상을 조사하여 다소의 지견을 얻었기에 이를 보고하는 바이다.

II. 실험 재료 및 방법

1. 연구재료

치관의 외면에 우식병소, 마모증 및 미세균열 등이 없는 발거된 6개월이 지나지 않은 30개의 소구치를 대상으로 발치시의 손상여부를 확인한 후 4℃의 thymol이 함유된 식염수에 보관하였다. 치과용 접착제는 모두 3종류로 통상적인 산부식을 하는 ALL-BOND® 2 (Bisco, Schaumburg, USA), 자가산부식(self-etching)을 이용하는 CLEARFIL™ SE BOND (Kuraray, Osaka, Japan) 및 단일병(one-bottle)으로 알려진 PQ1 (Ultradent product Inc, South Jordan, USA)을 사용하였으며(Table 1), 수복용 복합레진은 Estelite (Tokuyama dental corp., Tokyo, Japan) 색상 A2를 사용하였다. CLSM의 관찰을 위해서는 rhodamine B isothiocyanate(Aldrich Chem. CO., Milw., USA)를 상아질 접착제에 0.1% 혼합하여 이용하였다.

2. 시편 제작

치관의 외면에 우식병소, 마모증 및 미세 균열 등이 없는 발거된 30개의 소구치를 실험전까지 thymol이 함유된 식염수에 보관하였다. 상아세관에 수직인 시편 제작을 위해서 치아의 장축에 수직 방향으로 최대풍용부에서 저속 절단기(Isomet™, Buehler, USA)를 이용하여 절단하여 상아세관을 노출시켰다. 상아세관에 평행한 시편은 치아의 장축에 평행하게 삭제하였으며, 경사인 시편은 수직인 시편을 제작한 후 45°의 경사로 다이아몬드 버를 사용하여 형성하였으며(Fig. 1), 절삭면을 노출시킨 상태로 교정용 레진에 포매하였다.

실험에 사용된 각 치과용 접착제는 제조자의 지시에 따라 ALL-BOND®2의 경우 15초간 산부식하고 15초 수세 한 후 약 1내지 2초간 건조하였는데 완전히 탈수시키지는 않았다. 그런 다음 프라이머를 적용하고 건조 후 본딩제를 적용하여 20초간 광중합(Optilux® 500, Demetron, USA) 하며, CLEARFIL™ SE BOND는 자가산부식프라이머(self-etching primer)를 20초간 적용한 후 가볍게 건조하며, 본딩제를 적용하고 10초간 광중합 하였다. PQ1의 경우 35% 인산으로 15초간 산부식 하고 세척 건조 후, 15초간 가볍게 문질러서 적용한 다음 20초간 광중합하였다. 프라이머와 레진 접착제가 침투되는 양상을 CLSM으로 관찰하기 위해서 모든 프라이머에는 0.1% rhodamine B isothiocyanate (Aldrich Chem. CO., Milw., USA)를 미리 혼합하였다. 레진 접착제가 중합된 후 복합레진으로 전 치면을 덮으며 높이가 3 mm가 되도록 적층 충전하였다. 모든 시편들은 CLSM으로 관찰하기 전까지 100%의 상대습도

Table 1. Dental adhesive systems and composite resin used in this study

Dental adhesive	Components	Lot No.	Manufactures
ALL-BOND® 2	32% phosphoric acid gel, Primer A: 2% NTG-GMA, acetone, ethanol, water Primer B: 24% BPDM, CQ, acetone, ethanol D/E bonding resin: Bis-GMA, CQ, HEMA	0100004069	Bisco, INC., Schaumburg, USA
CLEARFIL™ SE BOND	Primer: water, MDP, HEMA, hydrophilic dimethacrylate camphorquinone, N,N-diethanol-p-toluidine Bond: MDP, Bis-GMA, HEMA, hydrophilic dimethacrylate camphorquinone, N,N-diethanol-p-toluidine, silanated colloidal silica	51272	Kuraray Co. Ltd., Osaka, Japan
PQ1	TEGDMA, canadian balsam(tree sap), 15% HEMA, 40% filler with fluoride, ethanol	4MRP	Ultradent Products, Inc., South Jordan, USA

Abbreviation:

HEMA = 2-hydroxyethyl methacrylate

BPDM = Biphenyl dimethacrylate

MDP = 10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate

UDMA = Urethane dimethacrylate

Bis-GMA = Bis-phenol A diglycidylmethacrylate

CQ = d,l-Camphorquinone

NTG-GMA = N-tolyglycine-glycidyl methacrylate

TEGDMA = Triethylene glycol dimethacrylate

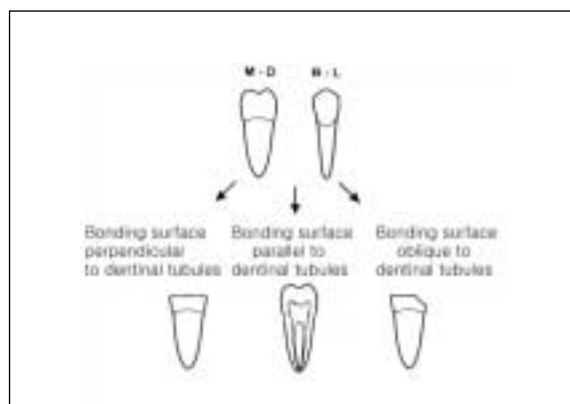


Fig. 1. Preparation of specimens with the bonding surface perpendicular, parallel or oblique to the dentinal tubules (B-L = bucco-lingual view, M-D = mesio-distal view).



Fig. 2. Confocal laser scanning microscopy (Olympus fluoview 300, Olympus, Japan).

상태에서 보관하였다.

3. 공초점레이저주사현미경 관찰

복합레진 충전 과정이 끝난 후 계면의 관찰을 위해서 계면과 수직으로 치아의 협설과 근원심으로 500 μ m 두께로 절단하였고, 하방의 침투양상을 관찰하기 위한 시편은 복합레진

수복 부분을 최대한 근접하여 절단한 후 그 면을 기준으로 500 μ m 두께로 절단하여 슬라이드 유리에 부착하였다.

공초점레이저주사현미경 (Olympus fluoview 300, Olympus, Japan)은 He-Ne 레이저원(488 nm)을 이용하여 2 μ m 및 3 μ m 간격으로 여러 개의 광학적 절단(optical section)을 실행하였으며, 하방의 침투양상을 관찰하기 위한 시편은 2 μ m, 3 μ m 및 16 μ m 간격으로 형광염료가 존재

하는 부분까지 스캔하였으며, 저장된 광학적 영상을 다시 중첩하여 입체화된 영상을 부가적으로 얻었다.

Ⅲ. 실험결과

1. 수직 절단군

ALL-BOND® 2를 적용하고 그 단면을 CLSM으로 관찰한 사진에서는 모든 계면에서 상아세관으로 형광물질의 침투가 관찰되었고 그 깊이는 약 20 μm 정도였으며, 혼성층으

로 추정되는 부분은 약 4 μm 였다(Fig. 3). 계면에 평행하게 현미경상에서 형광염료의 존재가 처음으로 확인되는 부분을 정한 다음 그곳을 기준으로 3 μm 씩 형광염료가 존재하는 부분까지 스캔하여 중첩한 사진으로 상아세관에서 옆으로 연장된 측방가지를 관찰 할 수 있었다(Fig. 4).

CLEARFIL™ SE BOND를 적용하고 그 계면을 관찰한 사진에서는, 형광염료의 상아세관으로 침투양상은 불규칙적이었으며 약 15 μm 침투하였고, 이전의 ALL-BOND® 2군에 비해서 형광의 발현정도가 덜 분명하였다(Fig. 5). Fig. 6은 계면에 평행하게 3 μm 의 간격으로 스

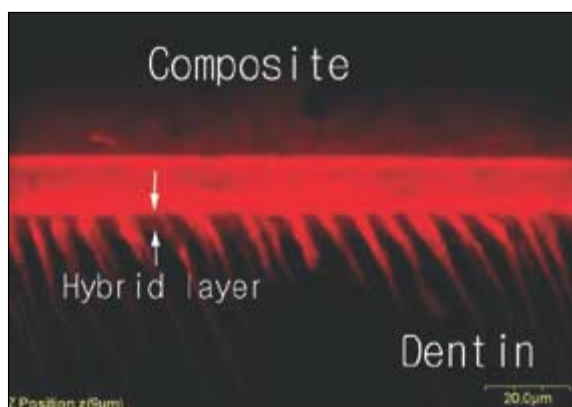


Fig. 3. Overlapped image of fluorescent mode of the interface between ALL-BOND® 2 and dentin. Resin tags with characteristic funnel cone shape were observed. $\times 1200$.



Fig. 4. CLSM image scanned parallel to interface at a depth below 3 μm interval. The Red area indicate the penetration of rhodamine-labeled primer into dentinal tubules and White arrows also indicate their side branches. $\times 2400$.



Fig. 5. Overlapped image of fluorescent mode of the interface between CLEARFIL™ SE BOND and dentin. Resin tags is less prominent than other dental adhesive systems. $\times 2100$.



Fig. 6. CLSM image scanned parallel to interface at a depth below 3 μm interval. The Red area indicate the penetration of rhodamine-labeled primer into dentinal tubules. $\times 2400$.

캔하여 중첩한 사진으로 상아세관내의 레진 태그가 관찰되었다.

PQ1의 계면을 관찰한 사진에서는 형광염료가 상아세관을 따라서 약 40 μm 정도 침투하였으며(Fig. 7), 상아질 접착제에 포함된 필러를 관찰 할 수 있었다(Fig. 8).

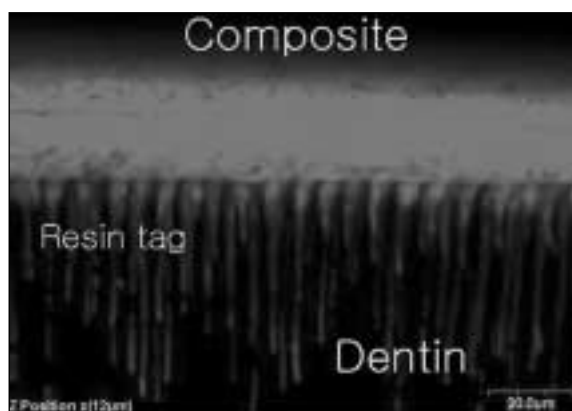


Fig. 7. Overlapped image of fluorescent mode of the interface between PQ1 and dentin. Resin tags with characteristic funnel cone shape were observed. $\times 1200$.

2. 수평절단군

ALL-BOND® 2군의 사진에서 형광염료는 띠 모양을 이루며 관간 상아질까지의 침투양상은 보이지 않았으며, 형광염료의 두께는 8-9 μm 정도였다. 또한 혼성층으로 추측되는 부분도 미약하였다(Fig. 9). 3 μm 간격으로 스캔하여 중첩하여 얻은 사진으로 수직인 실험군에서 보이는 레진 태그의 형태는 관찰되지 않았다(Fig. 10).

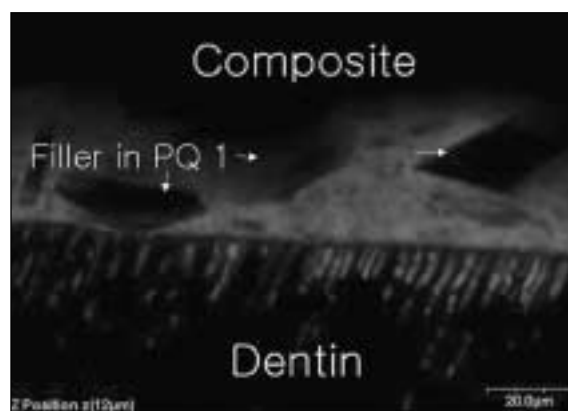


Fig. 8. Overlapped image of fluorescent mode of the interface between PQ1 and dentin. The white arrow indicate the filler of PQ1. $\times 1200$.



Fig. 9. Overlapped image of fluorescent mode of the interface between ALL-BOND® 2 and dentin. The penetration pattern of rhodamine-labeled primer is different from perpendicular group. $\times 1200$.

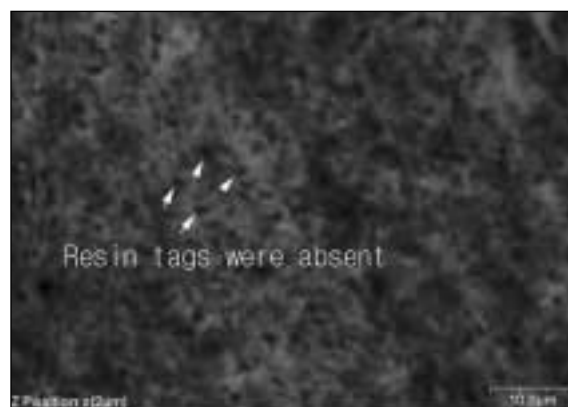


Fig. 10. CLSM image scanned parallel to interface at a depth below 3 μm interval. There were few resin tags like perpendicular group. $\times 2100$.

CLEARFIL™ SE BOND군의 사진에서 형광염료는 띠모양을 이루며 그 두께는 7-8 μm 정도였다(Fig. 11). 계면에 평행하게 3 μm 간격으로 스캔하여 중첩한 사진에서 관찰한 사진에서 역시 수직인 실험군에서 보이는 레진 태그의 형태는 관찰되지 않았다(Fig. 12).

PQ1을 적용하여 관찰한 사진에서는 특징적으로 관주상아질과 관간상아질을 넘어 인접 상아세관까지 광범위하게

형광염료가 침투한 양상을 관찰 할 수 있었으며, 접착면에서 필러의 존재도 확인할 수 있었다(Fig. 13, 14).

3. 경사절단군

ALL-BOND® 2를 적용하여 관찰한 사진으로 상아세관의 주행방향이 외면에 대하여 일정하지 않으므로 레진 태그의

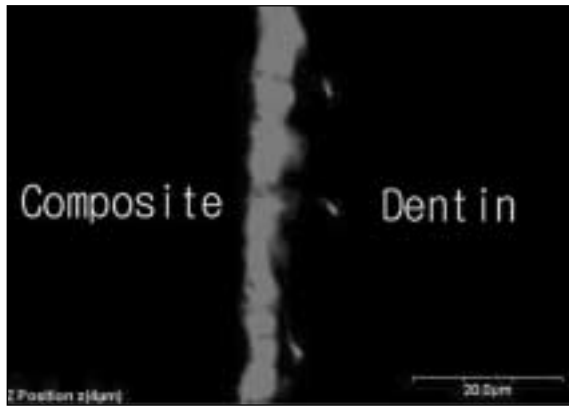


Fig. 11. Overlapped image of fluorescent mode of the interface between CLEARFIL™ SE BOND and dentin. The direction of dentinal tubule and rhodamine-labeled primer is parallel. $\times 2100$.

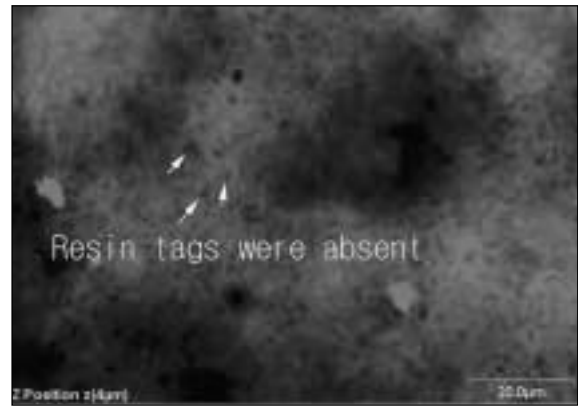


Fig. 12. CLSM image scanned parallel to interface at a depth below 3 μm interval. There were few resin tags like prependicular group. $\times 2100$.

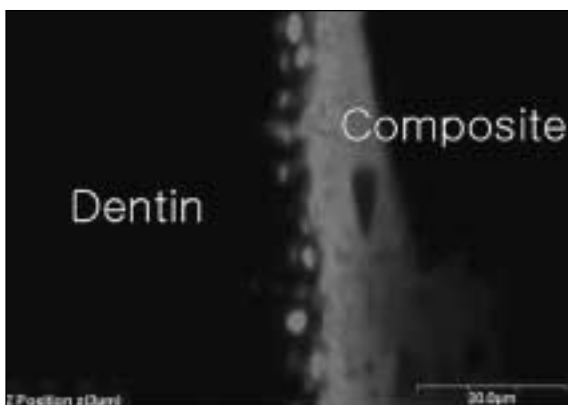


Fig. 13. Overlapped image of fluorescent mode of the interface between PQ1 and dentin. Rhodamine-labeled primer diffuses more radially into surrounding intertubular dentin. $\times 2100$.

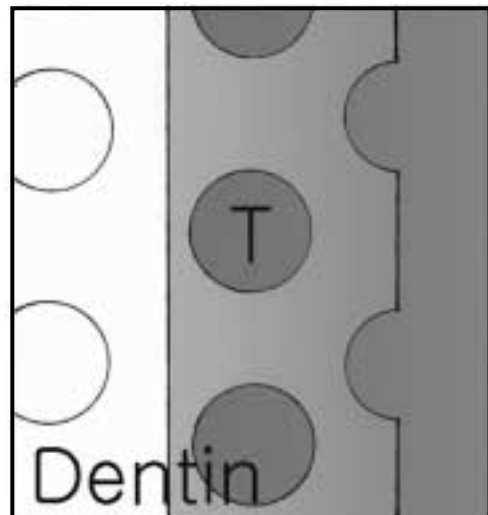


Fig. 14. Schematic illustration of Fig. 13.



Fig. 15. Overlapped image of fluorescent mode of the interface between ALL-BOND® 2 and dentin. Irregular shape resin tags were observed. $\times 1200$.

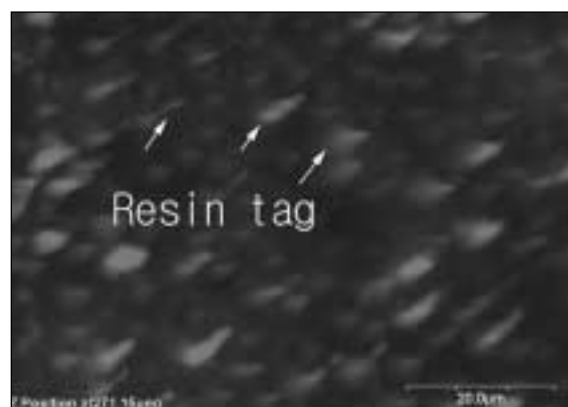


Fig. 16. CLSM image scanned parallel to interface at a depth below 16 μm interval. The white arrow indicate resin tags. $\times 2100$.



Fig. 17. Overlapped image of fluorescent mode of the interface between CLEARFIL™ SE BOND and dentin. Resin tags were not continuous. $\times 1200$.

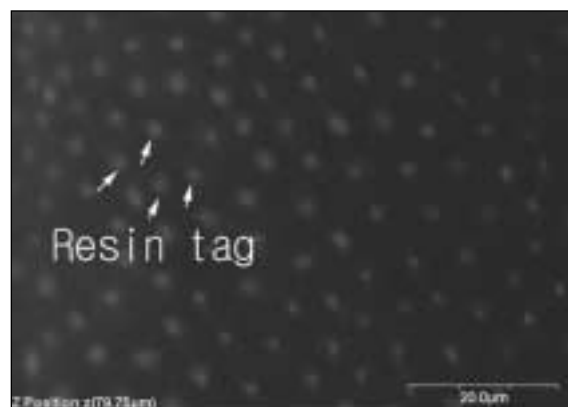


Fig. 18. CLSM image scanned parallel to interface at a depth below 16 μm interval. The white arrow indicate resin tags. $\times 2100$.

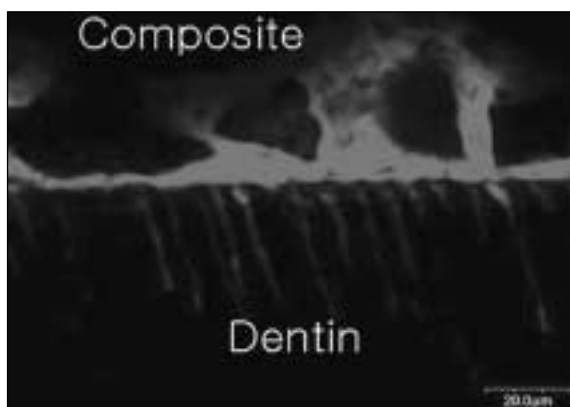


Fig. 19. Overlapped image of fluorescent mode of the interface between PQ1 and dentin. Irregular shape resin tags were observed. $\times 1200$.

형태도 불규칙적이며 연속적이지 못하고 다양하였다(Fig. 15). 계면에 평행하게 하방으로 16 μm 간격으로 스캔하여 중첩한 사진에서 동일한 상아세관이 아닌 서로 다른 상아세관에 존재하는 레진태그 때문에 흐리게 중첩되었다(Fig. 16).

CLEARFIL™ SE BOND군에서도 역시 상아세관의 주행방향이 외면에 일정하지 않으므로 레진태그는 연속적이지 못하고 침투양상도 다양하였다(Fig. 17). 계면에 평행하게 하방으로 16 μm 간격으로 스캔하여 중첩한 사진에서 레진태그는 주위로 흐리게 중첩되었다(Fig. 18).

PQ1을 적용하여 관찰한 사진에서도 상아세관으로 형광염료의 침투양상은 불규칙적이었다(Fig. 19).

IV. 총괄 및 고안

노출된 상아질이 산성프라이머(acidic primer)나 상아질 처리제(conditioner)에 의해서 레진 단량체의 확산과 침투가 일어나 혼성층이 형성되는데, 이상적인 형태는 이들이 노출된 교원성 상아기질의 형태를 보존하면서 표층의 상아질을 비광화시키는 것이다. 이 혼성층의 개념은 1982년 Nakabayashi에 의해 발표된 후에 많은 연구가 지속적으로 진행되어 왔으며 완전한 혼성화가 일어나면 결합력이 비약적으로 증가하고 형성된 층은 산에 저항성이 강하고 상아질을 밀폐함으로써 과민증이나 이차 우식을 억제한다는 사실은 잘 알려져 있다. Gwinnett과 Kanca¹⁸⁾는 그들의 연구에서 혼성층의 형성이 결합력의 증가에 영향을 미친다고 하였지만 혼성층의 증가가 결합력을 증가시키는 것은 아니라는 주장¹⁹⁾도 제기되었다.

자가 산부식을 하는 CLEARFIL™ SE BOND군은 형광 염료가 상아세관으로 침투한 양상이 덜 분명하였는데 본 실험에서는 제조사의 지시에 따라 20초간 프라이머를 적용하였으나 이전에 Nakabayashi 등²⁰⁾은 자가 산부식 프라이머에 대해 보고하면서 도말층이 존재 할 경우 1 μm 이상의 혼성층을 형성하려면 적어도 60초 이상의 프라이머의 도포시간이 필요하다고 하였다. 그러므로 형광염료가 침투하기에 충분한 산부식이 이루어지지 않았을 것으로 생각된다. Finger 등²¹⁾도 혼성층의 두께는 산부식에 의한 상아질 탈회 깊이와 산처리된 상아질에 침투하는 레진의 능력에 좌우된다고 하였다. 하지만 CLEARFIL™ SE BOND군과 같은 자가 산부식 시스템들의 결합강도 연구결과²²⁾를 보면 인산으로 산 부식한 경우와 유의성 있는 차이를 보이지 않으므로 결합력에 영향을 주는 다른 요인들은 좀 더 연구되어야 하겠다.

이전의 연구에서 Schupbach 등¹⁷⁾은 상아세관의 방향에 수직인 와동면에서는 혼성층의 두께가 $3.2 \pm 0.8 \mu\text{m}$ 였으며 상아세관으로 레진 태그는 $27 \pm 9 \mu\text{m}$ 까지 침투하였지만 상아세관에 평행한 와동면에서는 혼성층의 두께가 $1.3 \pm 0.6 \mu\text{m}$ 로 유의성 있는 차이($p < 0.01$)를 보였으며 레진 태그의 침투는 관찰되지 않았다고 하였는데, 본 실험에서도 상아세관으로의 레진 태그형태의 침투는 평행인 그룹에서는 어떤 상아질 접착제군에서도 관찰되지 않았으며 혼성층의 두께도 위의 연구결과와 유사한 것으로 추측된다.

Phrukkanon 등¹⁶⁾은 상아질의 위치와 상아세관의 방향에 따른 복합레진과의 미세 전단강도를 연구하였는데 상아세관의 주행방향은 결합력에 영향을 주지 않는다고 하였지만, Ogata 등²³⁾의 연구에 의하면 단일병(one-bottle)형태인 single bond와 one-step을 적용한 경우 상아세관에 평행한 경우가 수직인 경우보다 결합강도가 유의성 있게 높았다고

하였으며, 이는 인산으로 부식한 경우 평행인 그룹에서 관간상아질뿐만 아니라 더욱 광범위하게 관주상아질을 제거하기 때문이라고 하였는데, 본 실험에서도 PQ1군에서 관찰할 수 있었다.

상아세관의 방향에 평행으로 형성한 모든 실험군들이 완전히 접착면과 평행 할 수 없으므로 일부에서는 형광염료가 노출된 치면 뿐만 아니라 비스듬하게 노출된 세관의 개구부로도 침투했을 것이다. 본 실험에서는 이런 가능성을 최대한 배제하기 위해서 삭제한 최초면 만을 실험에 사용하였으며 협측과 설측부위로 치우치지 않고 중심부위만 실험에 사용하였다.

상아세관의 방향에 경사인 실험군들에서는 불규칙적인 형광 염료의 침투양상이 관찰되었는데 이는 세관의 주행방향이 외면에 일정하지 않기 때문이며, 하방으로 침투하는 사진에서도 동일 상아세관대로 침투 한 것으로는 볼 수 없지만 이런 불규칙적인 레진 태그의 형성이 결합력에 어떠한 영향을 주는지에 대해서는 결합강도에 대한 추가적인 연구가 필요하리라 사료된다.

CLSM의 관찰을 위해서는 프라이머 또는 접착레진에 일정농도의 형광물질(rhodamine B isothicyanate)을 혼합하여야 하는데 본 연구에서는 표층의 상아질에 가장 먼저 적용하는 프라이머에 적은 농도로 분명한 상을 얻을 수 있는 적절한 농도로 0.1%²⁴⁾를 채택하였다. 그런데 ALL-BOND® 2군에서는 primer A와 B를 섞어야 하므로 형광의 발현정도를 일정하게 하는데 어려움이 있었다. 또한 본 실험에서 상아세관의 방향에 따른 일정한 시편을 얻기 위해서 치아 장축을 기준으로 하여 절단하였으나 상아세관 고유의 S자형의 만곡 때문에 정확히 상아세관에 평행한 시편을 얻지는 못했다.

상아세관에 수직인 그룹중 ALL-BOND® 2군에서는 형광 염료가 관간 상아질뿐만 아니라 상아세관을 따라 측방으로도 침투하여 측방가지를 형성하였는데 이것은 상아세관 주위로 원형의 형광물질의 침투를 보인다는 Griffiths와 Watson²⁵⁾의 연구결과와 유사하였다. 측방으로의 형광염료의 확산은 단지 개방된 상아세관이 빠른 산의 침투를 가능하게 하고 이어서 세관의 벽을 둘러 싸고 있는 관주상아질의 확산의 결과로 일어난 것이므로 상아세관이 평행하게 주행하는 경우에는 세관이 막혀있거나 더욱 과광화 되어 있다는 것을 유추해 볼 수 있다.

상아세관의 방향은 비광화되는 깊이를 결정하는데 큰 영향을 주는데 비광화된 부위가 한번 만들어지면 접착제는 비광화된 부위까지 침투하게 되며 세관에 수직인 경우 더 넓은 혼성층과 레진 태그의 형성을 보였고 평행인 경우에는 더 얇은 혼성층과 레진 태그의 침투는 관찰되지 않았다. 그러나 본 실험에서 형광염료의 분포가 완전히 접착 단량체의

분포를 반영하는 것은 아닌데 이는 형광염료의 분자와 접착제의 단량체가 공유결합보다는 단순히 혼합을 하여서 사용했기 때문이다.

상아세관의 문합이 접착력에 있어서 잠재적인 요소라고 주장하는 사람들²⁶⁾이 있는데 이들은 상아세관의 측방가지는 중합된 접착레진으로 채워져 있다고 하였다. 본 실험에서도 상아세관에 수직인 경우 ALL-BOND® 2군에서 상아세관의 측방가지로 형광염료의 침투를 분명히 관찰할 수 있었다.

일정한 농도의 형광염료를 유지하기 위해서는 본 실험에서와 같이 미리 프라이머나 접착레진에 혼합해 두면 사용할 때마다 번거로움과 농도의 차이를 어느 정도 극복할 수 있을 것이다. 일반적으로 형광염료를 사용하여 관찰시에는 염료가 주위로 스며드는(leaching) 효과가 있어 현미경 관찰시 이 점을 유의해야 할것이다. 하지만 공초점레이저주사현미경은 주사전자현미경이나 투과전자현미경에 비해서 색의 대조도가 뛰어나며 시편의 제작이나 관찰이 용이한 장점을 지니고 있으므로 수복 재료의 형태학적 연구에 유용하게 사용될 수 있으며 앞으로 더 많은 연구가 필요하겠다.

V. 결 론

본 실험에서는 3종의 상아질 접착제들(ALL-BOND® 2, CLEARFIL™ SE BOND, PQ1)의 프라이머(primer)에 형광염료(rhodamine B isothiocyanate)를 0.1%로 혼합하여, 접착제면에 대하여 상아세관의 방향(수직, 평행, 경사)에 따른 접착레진의 침투양상을 공초점레이저주사현미경으로 관찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 상아세관의 방향에 수직인 그룹에서는 모든 시편에서 레진테그의 침투양상을 관찰할 수 있었다. 하지만 인산 부식 시스템(ALL-BOND® 2, PQ1)이 자가부식 시스템(CLEARFIL™ SE BOND)보다 침투정도가 더 분명했다.
2. 상아세관의 방향에 평행한 그룹에서는 상아세관의 주행 방향과 평행하게 관주상아질로 형광염료가 침투하였으나, PQ1군에서는 관간상아질 및 관주상아질로의 광범위한 형광염료의 침투가 관찰되었다.
3. 상아세관의 방향에 경사진 그룹에서는 레진테그의 침투양상이 불규칙적이었으며 동일 상아세관으로 연속하여 침투한 양상은 아니지만 가장 깊게 침투하였다.

참고문헌

1. Heymann HO and Bayne SC : Current concepts in dentin bonding: Focusing on dental adhesion factors. *J Am Dent Assoc* 124:27-36,1993.

2. Pashley DH, Horner JA and Brewer PD : Interactions of conditioners on the dentin surface. *Oper Dent* 17:137-150,1992.
3. Burrow MF, Takakura H, Nakajima M, Inai N, Tagami J and Takatsu T : The influence of age and depth of dentin on bonding. *Dental Mater* 10:241-246, 1994.
4. Perdigao J, Swift EJ, Denehy GE, Wefel JS and Donly KJ : In vitro bond strengths and SEM evaluation of dentin bonding systems to different dentin substrates. *J Dent Res* 73:44-55,1994.
5. Nakajima M, Sano H, Burrow MF, Tagami J, Yoshiyama M, Ebisu S, Ciucchi B, Russell CM and Pashley DH : Tensile bond strength and SEM evaluation of caries-affected dentin using dentin adhesives. *J Dent Res* 74:1679-1688,1995.
6. Harnirattisai C, Inokoshi S, Shimada Y and Hosoda H : Interfacial morphology of an adhesive composite resin and etched caries-affected dentin. *Oper Dent* 17:222-228,1992.
7. Nakabayashi N and Takarada K : Effect of HEMA on bonding to dentin. *Dent Mater* 8:125-130,1992.
8. Watson TF and Wilmot DM : A confocal microscopic evaluation of the interface between syntac adhesive and tooth tissue. *J Dent* 20:302-310,1992.
9. Meerbeek B, Braem M, Lambrechts P and Vanherle G : Morphological characterization of the interface between resin and sclerotic dentin. *J Dent* 22:141-146, 1994.
10. Spencer P, Byerley TJ, Eick JD and Witt JD : Chemical characterization of the dentin/adhesive interface by fourier transform infrared photoacoustic spectroscopy. *Dent Mater* 8:10-15,1992.
11. Uno S and Finger WJ : Functional of the hybrid zone as stress absorbing layer in resin-dentin bonding. *Quint Int* 26:733-738,1995.
12. Gwinnett AJ, Tay FR and Pang KM : Quantitative contribution of the collagen network in dentin hybridization. *Am J Dent* 9:140-144,1996.
13. Ferrari M and Davison CL : In vivo resin-dentin interdiffusion and tag formation with lateral branches of two adhesive systems. *J Prosthet Dent* 76:250-253, 1996.
14. Meerbeek B, Inokishi S, Braem M, Lambrechts P and Vanherle G : Morphological aspects of the resin-dentin interdiffusion zone with different dentin adhesive systems. *J Dent Res* 71:1530-1540,1992.
15. Watson TF and Boyde A : The use of fluorescent markers for studying the distribution of a dentin bonding agent between a composite restoration and tooth. *Clin Mater* 2:45-53,1987.
16. Phrukkanon S, Burrow MF and Tyas MJ : The effect of dentin location and tubule orientation on the bond strengths between resin and dentin. *J Dent* 27:265-274,1999.
17. Schupbach P, Krejci I and Felix L : Dentin bonding: effect of tubule orientation on hybrid layer formation. *Eur J Oral Sci* 105:344-352,1997.
18. Gwinnett AJ and Kanca III JA : Micromorphology of the bonded dentin interface and its relationship to bond strength. *Am J Dent* 5:73-77,1992.
19. 김명수, 온용석, 이광원과 손호현 : 인산용액의 농도 및 적용시간 차이에 따른 상아질 표면의 형태적 변화. *대한치과보존학회지* 23:141-155,1998.

20. Nakabayashi N and Saimi Y : Bonding to intact dentin. *J Dent Res* 75:1706-1715,1996.
21. Finger WJ, Inoue M and Asmussen E : Effect of wettability of adhesive resins on bonding to dentin. *Am J Dent* 7:35-38,1994.
22. Toledano M, Osorio R, de Leonardi G, Rosales-Leal JI, Ceballos L and Cabrerizo-Vilchez MA : Influence of self-etching primer on the resin adhesion to enamel and dentin. *Am J Dent* 14:205-210,2001.
23. Ogata M, Okuda M, Nakajima M, PNR Pereira, sano H and Tagami J : Influence of the direction of tubules on bond strength to dentin. *Oper Dent* 26:27-35, 2001.
24. Pioch T, Stotz S, Staehle HJ and Duschner H : Application of confocal laser scanning microscopy to dental bonding. *Adv Dent Res* 11:453-461,1997.
25. Griffiths BM and Watson TF : Resin-dentin interface of Scotchbond multipurpose dentin adhesive. *Am J Dent* 8:212-216,1995.
26. Chappell RP, Cobb CM, Spencer P and Eick JD : Dentinal tubule anastomosis-a potential factor in adhesive bonding. *J Prosthet Dent* 72:183-188,1994.

황 인 남

전남대학교 치과대학 보존학교실
 광주광역시 동구 학동 전남대학교 치과대학 보존학교실 501-757
 Tel : 062-220-4443 Fax : 062-225-8387
 E-mail : hinso@jnu.ac.kr