

수종의 상아질 접착제와 복합레진의 적합성에 관한 연구

서울대학교 치과대학 치과보존학교실
박진성 · 권혁춘

Abstract

A STUDY ON THE COMPATIBILITY OF DENTIN ADHESIVES WITH COMPOSITE RESINS

Jin-Sung Park, Hyuk-Choon Kwon

Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Seoul National University

The purpose of this work was to study the compatibility of several commercially available dentin adhesives with composite resins. In this study, V-shaped cavity preparations were created on both buccal and lingual surfaces of 60 extracted human premolars (3mm×3mm×2mm deep). Preparations were located such that the occlusal margins were on the enamel and the gingival margins were on the cementum (1mm below the CEJ). These specimens were randomly divided into three equal groups. Three dentin adhesives (Scotchbond Multi-Purpose, All Bond 2, Prisma Universal Bond 3) were applied to the cavity in accordance with each manufacturer's instructions. The teeth in each group were restored with four composite resins (Silux plus, Z100, Bisfil, Prisma TPH) in three increments, with each increment light-cured for 40 seconds. All specimens were exposed to 500 cycles of thermal stress. Specimens then placed in a silver nitrate solution (50% by weight) and stored in darkness for 24 hours. They were then immersed for 6 hours in photographic developing solution under fluorescent light. Specimens were sectioned buccolingually through the center of the restoration and observed under a binocular stereoscope. To compare the marginal leakage, ANOVA and Duncan's multiple range tests were used in analysis. Selected samples were further studied using scanning electron microscopy (XL20, Philips, The Netherlands).

The results were as follows.

1. In all groups, the enamel margin showed significantly less leakage than the cementum margin.
2. No statistically significant differences were found in microleakage when composite resins were used with their proprietary dentin adhesives.

* 본 연구는 1992년도 서울대학교병원 임상연구비에 의하여 이루어진 것임.

3. In comparison between dentin adhesives, Prisma Universal Bond 3 showed significantly less leakage at the enamel margin and Scotchbond multi-purpose showed significantly less leakage at the cementum margin than the other groups.
4. In comparison between composite resins, Silux Plus showed significantly more leakage than other groups at the enamel margin and no statistically significant differences were found in microleakage at the cementum margin.
5. According to the backscattered scanning electron microscope, microleakage occurred via gaps at the dentin adhesives/dentin interface

Key words : microleakage, dentin adhesive, composite resin, backscattered scanning electron microscope

I. 서 론

충전물 주위의 변연누출은 모든 치과수복재료가 가지는 내재된 단점 이라고 할 수 있다¹⁾. 변연누출에 의해 수복후의 과민반응²⁾, 세균에 의한 침입^{3,4)} 및 결과적으로 치수병변의 발생^{5,6)}, 그리고 이차적인 치아우식증의 발생 등이 초래될 수 있다^{7,8)}. 몇몇 수복재료 중에는 초기에는 불량한 변연부 적합을 보이거나 시간이 지남에 따라 변연부 적합성이 증가되는 것이 있으며 그 대표적인 예가 아말감이라고 할 수 있다⁹⁾. 그러나 복합레진의 경우 온도변화에 따른 체적변화가 심하여 시간이 경과함에 따라 변연누출이 점차 증가된다는 문제점이 보고되었으며¹⁰⁾ 이를 감소시키거나 제거하기 위한 연구가 계속되어 왔다.

1955년 Buonocore¹¹⁾에 의해 소개된 산부식 접착법으로 법랑질에 대한 복합레진의 변연적합성은 향상되었으나 상아질의 경우 초기에는 산부식자체가 치수와 관련된성으로 인해 회피되어 왔으며 몇몇 연구에서는 상아질에 대한 산부식이 심한 치수염증을 초래한다고 보고되기도 하였다^{12,13)}. 그러나 현재는 이러한 치수병변은 산부식에 따른 상아질 투과성의 증가, 변연누출과 상아세관의 개방 및 확장으로 인한 세균의 침입에 의한 것이라고 하였다^{14,15)}.

치경부 마모증은 영구치의 20% 정도로 발생된다고 보고하였다¹⁶⁾. 치경부 마모증이나 치경부 치아 우식증이 있는 치아는 화학적, 기계적

자극에 대한 과민반응을 경감시키고, 더 이상의 마모를 방지하며, 심미성을 증진시키고, 국소 의치 제작을 용이하게 해주기 위하여 수복해 줄 필요가 있다. 최근에 이르러 복합레진 제조기술의 발달로 심미적 수복재료에 대한 치과의사와 환자의 선호도가 상당히 높아졌으나 치은부 변연이 백악질에 위치하는 5급와동의 경우 변연누출이 항상 문제가 되어왔으며¹⁷⁾ 이를 제거하거나 변연부 적합성을 증가시키기 위해 분할충진법, 글라스 아이오노머-복합레진의 "sandwich"방법, 그리고 상아질 접착제의 사용 등의 방법이 시도되었다¹⁸⁻²⁰⁾. 그러나 이 모든 시도는 만족할 만한 결과를 가져다 주지 못했으며 가장 최근에는 낮은 점도의 레진을 백악질에 위치한 치아-복합레진 경계면에 도포하여 수복물의 변연을 재 밀폐하는 방법이 제시되기도 하였다²¹⁻²⁴⁾.

이와같이 법랑질과는 달리 상아질에 대한 복합레진의 결합은 아직까지 해결해야 할 미제로 남아있는데 이는 상아질 자체의 특성에 기인한다고 볼 수 있다. 상아질은 크게 유기성분(콜라겐)과 무기성분(hydroxyapatite)의 두개의 성분으로 구성되어 있으며 각각 서로 분리되어 상이한 임계표면 장력을 유지한다. 그리고 상아세관액의 흐름으로 인해 상아질은 완전히 수화된 물질로 존재하게되어 소수성의 복합레진이 접착되기에는 많은 문제점을 안고 있다.

최근에 이르러 많은 상아질 접착제와 복합레진이 소개되고 있다. 이상적으로는 모든 재

료가 동등히 적합하여 상호 교환하여 사용될 수 있어야하며 그러한 적합성은 재료선택시의 색조선택과 물리적 성질의 고려 등 다양한 임상상태에서 유용한 재료의 선택범위를 넓혀준다. 그러나 제조회사에 의하면 몇몇 상아질 접착제는 특정 복합레진과 더 적합성이 높다고 설명되고 있으며²⁵⁾ Bassiouny²⁶⁾는 상아질 접착제를 Silux 및 수종의 복합레진으로 각기 충전한 결과 Silux와 사용시 더 높은 전단응력을 나타내었다고 보고하였다. 또, P. B. Robinson²⁷⁾은 서로 다른 회사제품의 상아질 접착제와 복합레진을 이용하여 변연누출을 연구한 결과 변연누출이 증가되었음을 보고한 바 그 이유는 상아질 접착제와 복합레진에 포함된 성분 중 환원제와 중합억제제의 농도가 서로 다르기 때문이라고 주장하였다. 한편, Chan²⁸⁾은 상아질 접착제와 3종의 복합레진과의 결합력을 연구한 결과 유의성 있는 차이가 없었으며 따라서 상아질 접착제와 서로 다른 제조회사의 복합레진과의 사용은 문제가 되지 않는다고 보고하였다. 또, Crim²⁹⁾도 Scotchbond Dure Cure adhesive와 5종의 복합레진으로 수복하여 변연누출을 관찰한 결과 유의성 있는 차이가 없었다고 보고하였다.

가장 보편적으로 쓰이는 미세누출 연구방법인 염색법중, 시편을 Basic fuchsin 이나 Methylen blue 용액에 침지시켜 관찰하는 방법으로는 미세누출에 관한 정확한 정보를 알려주지 못하는데 그 이유는 어느 경계면에서(예를 들면, 상아질 접착제/복합레진 혹은 도말층/상아질 접착제) 변연누출이 일어나는가를 관찰할 수가 없기 때문이다. 이와 달리, 질산은(AgNO₃)을 이용한 염색법은 변연누출 양상에 대해 더 뚜렷한 화상을 보여주며³⁰⁾ 부가적으로, 후방산란 주사전자현미경을 통하여 변연누출의 부위 및 그 양적인 평가에 있어 보다 더 정확한 결과를 얻을 수 있다는 장점이 있다³¹⁾. 이에 저자는 범용되는 3종의 상아질 접착제와 4종의 복합레진을 조합하여 5급와동에 충전한후 질산은 염색법을 이용하여 변연누출을 관찰 평가한 후 이중 대표적인 시편으로 후방산란 주사전자현미경을 촬영하여 변연누출의 경로를 관찰하여

다소의 지견을 얻었기에 이에 보고하는 바이다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

범용되는 4종의 광중합 복합레진과 3종의 광중합 상아질 접착제가 본실험에 사용되었으며(표 1), 광 중합기로는 Visilux 2(3M Dental products)를 사용하였다. 치아는 치관부나 치경부에 치아우식이나 파절 혹은 다른 결손이 없는 발거한지 6개월 이내의 건전한 상, 하악 소구치 60개를 선택하여 표면에 부착된 연조직과 치석을 제거한 후 실온의 생리식염수에 보관하였다.

2. 시편제작

1) 와동의 형성

고속용 No.701 bur를 사용하여 주수하에서 V형태의 5급와동을 소구치의 협측과 설측에 형성한후 Extrafine diamond point(ISO 171/016, N.B. MANI)를 사용하여 와동내면을 평활하게 연마하였다. 와동의 크기는 교합면-치경부 높이가 3mm, 근원심으로 3mm, 깊이가 2mm되게 형성하였고 치경부 변연은 백아범랑 경계 1mm하방에 위치시켰다. 와동형성의 표준화를 위해 교합면 cavosurface는 bevel을 형성하지 않았다(그림 1). 형성된 와동은 rubber cup과 pumice로 처치하고 수세 건조하였다.

2) 와동형성 완료 후 60개의 치아를 무작위로 3개의 군으로 나누고 다시 각각의 군을 4개의 아군(subgroup)으로 나누어 표2와 같은 조합

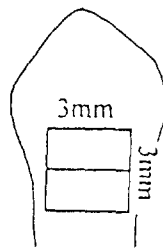


그림 1. Design of cavity preparation

Table 1. Composition and manufacturers of dentin adhesives

product	chemical composition	manufacturer
All-Bond 2	etchant-10% phosphoric acid (all-etch technique) conditioner-20% SAMA in water (pH 4.4) primers-(A) 2% NTG-GMA in ethanol and acetone (B) 16% BPDM in acetone bonding resin-BIS-GMA, UDMA, HEMA	Bisco Dental Products.
Scotchbond Multi-Purpose	etchant-10% maleic acid & a non-silica containing thickener primer-aqueous solution of HEMA & a poly alkenoic acid copolymer adhesive-BIS-GMA, HEMA, photoinitiators	3M Dental Products.
Prisma Universal Bond 3	primer-30% HEMA + PENTA in ethanol adhesive-5% PENTA, 55% urethane resin, 39% polymerizable monomer(TEG DMA, HEMA, etc.) <1% glutaraldehyde <1% photoinitiators	L.D Caulk/Dentsply.

Table 2. Combination of dentin adhesives and composite resins.

	복합레진 상아질접착제	Bisfil	Silux Plus	Z100	Prisma TPH™
I 군	Scotchbond Multi-Purpose	I a	I b	I c	I d
II 군	All-Bond 2	II a	II b	II c	II d
III 군	Prisma Universal Bond 3	III a	III b	III c	III d

* a, b, c, d : subgroups of each group(I, II, III)

으로 제조회사의 지시에 따라 4일에 걸쳐 충전하였다. 각 군의 충전방법은 아래와 같다.

제 I 군(Scotchbond Multi-Purpose)

Scotchbond multi-purpose etchant를 법랑질과 상아질에 도포하여 15초간 산부식시키고 15초간 물로 수세한 후 공기로 건조하였다. Scotchbond multi-purpose primer를 산부식된 법랑질과 상아질에 1회 도포하여 공기로 건조시킨 다음 Scotchbond multi-purpose adhesive를 도포하여 약한 공기를 불어주어 얇은 층으로 형성되게 하였다. Adhesive는 표면에 수직방향으로 10초간 광중합하였다(Visilux™2, 3M Co., U. S. A.). 4종의 복합레진을 각각 5개의 치아 10면에 치경부 1/3, 교합면부 1/3, 그리고 나머지 가운데 부분의 순으로 분할충전 하였고 각각의 층을 40초간 광중합하였다.

제 II 군(All-Bond 2)

법랑질과 상아질을 All-Etch(10% H₃PO₄)로 15초간 산부식한다음 15초간 수세하고 공기로 건조하였다. Primer A와 B를 혼합해서 법랑질과 상아질에 5회 도포한다음 공기로 5~6초간 건조시켰다. Dentin/Enamel Bonding resin을 법랑질과 상아질에 얇게 도포하고 20초간 광중합하였다. 복합레진의 충전 및 중합은 I 군과 동일한 방법으로 시행하였다.

제 III 군(Prisma Universal Bond 3)

Caulk TOOTH CONDITIONER GEL을 상아질에는 접촉되지않게 법랑질에만 도포하여 60초간 산부식하고 15초간 수세하고 공기로 건조한다음 Dentin primer를 상아질 표면에 도포한후 30초간 방치하였다. 10초간 공기로 건조시킨후 Adhesive를 전처치된 상아질과 산부식된 법랑질에 균일하게 도포하고 공기를 약하게 불어 얇게 되도록 한다음 10초간 광중합하였다. 복합레진의 충전 및 중합은 I 군, II 군과 동일한 방법으로 시행하였다.

모든 군의 충전이 완료된 후 Extrafine diamond point(ISO 298/014, N.B. MANI)를 이

용하여 과잉충전된 레진을 제거하였고 Sof-lex Disk(3M)로 fine, ultrafine의 순으로 주수하에서 연마하였다. 완료된 시편은 실온의 생리식염수에 7일간 보관하여 수화팽창(hygroscopic expansion)을 유도하였고 치아는 5℃와 55℃의 수조에서 각각 1분씩 총 500회의 Thermocycling을 실시하였다. 치아표면을 건조시킨후 utility wax를 이용하여 치근단을 폐쇄하고 와동변연 1mm를 제외한 전 표면에 Nail varnish를 2회 도포하였다. 은 이온의 환원을 방지하기 위하여 암실에서 시편을 질산은 용액(50% by weight)에 24시간 담근 후 흐르는 물에서 1분간 세척하고 형광불빛 아래에서 6시간 동안 현상용액에 담가두어 은 이온의 환원을 촉진시켰다. 흐르는 물에서 현상용액을 깨끗이 씻어내고 시편을 교정용 투명레진에 완전히 매몰하였다. 레진이 완전히 굳은후 low-speed diamond saw(EXTEC TECHNOLOGIE INC. U. S. A)를 사용하여 협설방향으로 수복물의 중심을 지나 도록하여 치아장축에 평행하게 절단하였다. 절단면을 sand paper 1200번 부터 1500번까지 연마한 후 확대경(X10, KYOWA, KYOWA OPTICAL CO., JAPAN)을 이용하여 법랑질면과 치은변연에서의 색소 침투도를 관찰하였으며 판정기준은 다음과 같다(그림 2).

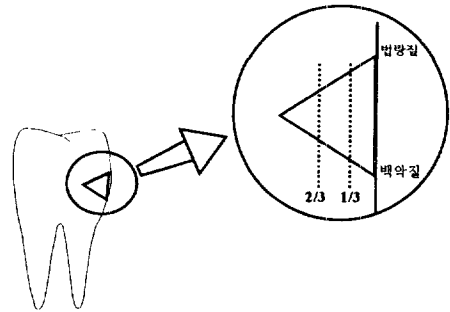


그림 2. 색소침투의 판정기준

- 0 - 충전물과 와동벽사이에 은 이온의 침투가 전혀없는 경우
- 1 - 은 이온이 와동벽을 따라 cavosurface에서 와동침까지 거리의 1/3에 침투한 경우

2 - 은 이온이 와동벽을 따라 cavosurface에서 와동침까지 거리의 1/3에서 2/3사이에 침투한 경우

3 - 은 이온이 와동벽을 따라 cavosurface에서 와동침까지 거리의 2/3이상 침투한 경우

광학현미경 하에서 변연누출 정도를 관찰한 후 후방산란 주사전자현미경 연구를 위하여 대표적인 시편을 각군당 1개씩 선택하였다. 절단된 치아면은 Scotchprep을 15초간 도포하여 sand paper로 연마할때 형성된 표면 찌꺼기를 제거하였다. 시편을 공기로 건조시킨다음 건조기에 7일간 넣어 완전 건조시킨후 aluminum stub에 mounting하고 진공상태하에서 gold coating을 실시하였다. 전자현미경(Philips XL20. The Netherlands)으로 25kv전압하에 backscattered imaging modes로 시편의 복합레진/상아질 계면을 300배의 배율로 관찰하였다.

III. 실험성적

60개의 소구치 협설면에 V형의 5급와동을 형성하여 각각 5개씩 10개의 와동으로 12개의 군으로 나누고 재료를 조합하여 충전하고 질산은 용액에 침지시킨 후 교합면과 치경부 변연의 색소 침투도를 관찰하여(사진부도 참고)

표3과 같은 결과를 얻었고 통계분석에는 ANOVA와 Dunckan's multiple range tests를 이용하여 검증하였다(표 4).

I 군, II 군 및 III 군 모두에서 법랑질면 보다 백악질상에 놓인 치경부 변연에서 심한 은 이온 침투를 보였다($p < 0.05$)(표 4). 상아질 접착제로 Scotchbond multi-purpose를 사용한 I 군에서 동일회사 제품의 복합레진인 Z100을 사용한 경우 법랑질면에서 가장 낮은 수치의 은 이온 침투값인 0.3을 보였으나 1.0의 가장 높은 값을 보인 Silux Plus와만 유의한 차이를 보였고($p < 0.05$) 나머지 Bisfil, Prisma TPH와는 유의성있는 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$)(그림 3). 치경부 변연에서는 Bisfil에서 가장 낮은 값을(0.5) 나타내었으며 0.6의 값을 보인 Z100과는 유의한 차이가 없었고($p < 0.05$), 은 이온 침투의 값이 각각 1.0, 0.8으로 나타난 Silux Plus, Prisma TPH와는 유의성 있는 차이를 보였다($p < 0.05$)(그림 3). All Bond 2를 사용한 II 군에서는 법랑질면에서는 Prisma TPH가 가장 낮은 은 이온 침투를 보였으며(0.1), 그 값이 0.9인 Silux Plus와 유의성 있는 차이를 보였다($p < 0.05$)(그림 4). 치경부 변연에서는 Z100이 0.6의 가장 낮은 은 이온 침투값을 보였으나 Bisfil(1.4), Silux Plus, (1.2) Prisma TPH(0.9)

Table 3. Dye penetration score of each group

			ENAMEL				DENTIN			
			0	1	2	3	0	1	2	3
Scotchbond Multi-Purpose	I a	Bisfil	5	5	0	0	7	1	2	0
	I b	Silux Plus	2	7	0	1	4	3	2	1
	I c	Z100	7	3	0	0	4	6	0	0
	I d	Prisma TPH	5	5	0	0	4	4	2	0
All Bond 2	II a	Bisfil	5	4	1	0	1	5	3	1
	II b	Silux Plus	2	7	1	0	2	5	2	1
	II c	Z100	5	5	0	0	6	2	2	0
	II d	Prisma TPH	9	1	0	0	3	6	0	1
PUB 3	III a	Bisfil	10	0	0	0	3	5	2	0
	III b	Silux Plus	10	0	0	0	1	8	1	0
	III c	Z100	10	0	0	0	0	4	6	0
	III d	Prisma TPH	10	0	0	0	1	4	5	0

Table 4. Mean Value and Standard Deviation

			ENAMEL		DENTIN	
			MEAN	S.D	MEAN	S.D
Scotchbond multi-purpose	I a	Bisfil	0.5000	0.5270	0.5000	0.8498
	I b	Silux Plus	1.0000	0.8165	1.0000	0.3333
	I c	Z100	0.3000	0.4830	0.6000	0.1633
	I d	Prisma TPH	0.5000	0.5270	0.8000	0.2494
All Bond 2	II a	Bisfil	0.6000	0.6992	1.4000	0.8433
	II b	Silux Plus	0.9000	0.5676	1.2000	0.9189
	II c	Z100	0.5000	0.5270	0.6000	0.8433
	II d	Prisma TPH	0.1000	0.3162	0.9000	0.8756
PUB 3	III a	Bisfil	0.0000	0.0000	0.9000	0.7379
	III b	Silux Plus	0.0000	0.0000	1.0000	0.4714
	III c	Z100	0.0000	0.0000	1.6000	0.5164
	III d	Prisma TPH	0.0000	0.0000	1.4000	0.6992

* S.D : standard deviation

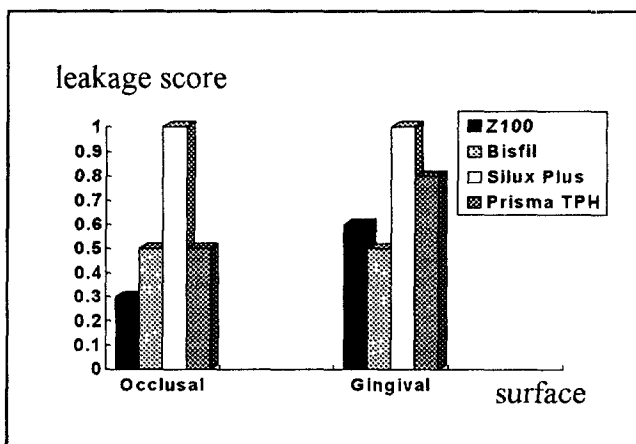


그림 3. Scotchbond Multi-Purpose군 간의 비교

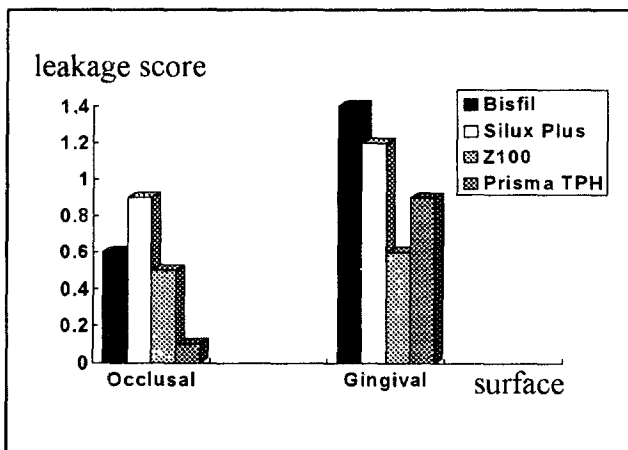


그림 4. All Bond 2군 간의 비교

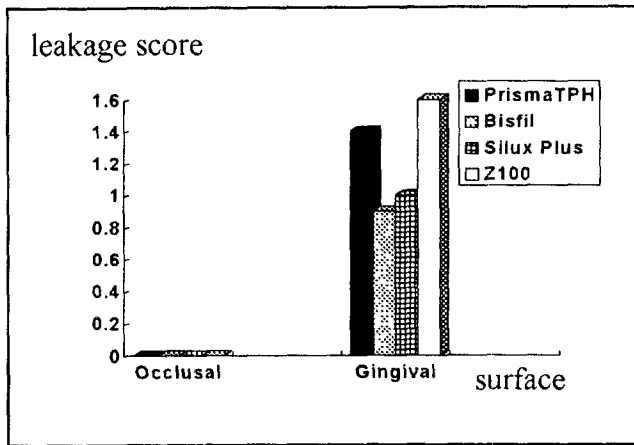


그림 5. Prisma Universal Bond 3군 간의 비교

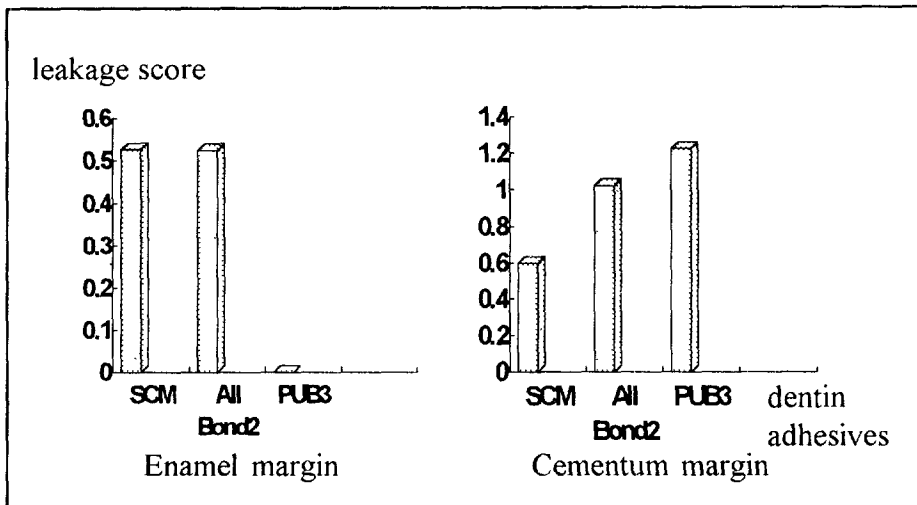


그림 6. 상아질 접착제간의 비교

와의 사이에 통계학적으로 유의성 있는 차이는 보이지 않았다($p > 0.05$) (그림 4). Prisma Universal Bond 3를 사용한 III군에서는 법랑질면에서는 모두 은 이온 침투를 보이지 않았다(그림 5). 치경부 변연에서는 Z100이 1.6의 가장 높은 은 이온 침투값을 보였으며 Bisfil(0.9), Silux Plus(1.0)와 유의성 있는 차이를 보였으며($p < 0.05$), 1.4의 값을 보인 동일회사 복합레진인 Prisma TPH에서 유의할 만한 변연누출의 감소는 보이지 않았다(그림 5). 복합레진의 종류와는 상관없이 상아질 접착제간의 비교에서 법랑질면에서는 III군에서 가장 낮은 은 이온 침투를

보였으며 0.575의 I군, 0.525의 II군과 유의성이 있는 차이를 보였다($p < 0.05$) (그림 6). 치경부 변연에서의 은 이온 침투는 II군에서 0.725의 가장 낮은 값을 나타내었으며 1.025의 II군, 1.225의 III군과 유의성 있는 차이를 보였다($p < 0.05$) (그림 6). 복합레진간의 비교에서는 Silux Plus가 법랑질 및 치경부 변연에서 각각 0.6333, 1.0667의 가장 높은 은 이온 침투값을 보였으며 법랑질면에서는 Z100(0.2667), Prisma TPH(0.2)와 유의한 차이가 있었고($p < 0.05$), 치경부 변연에서는 통계학적으로 유의성 있는 차이를 보이지 않았다($p < 0.05$) (그림 7). 이중

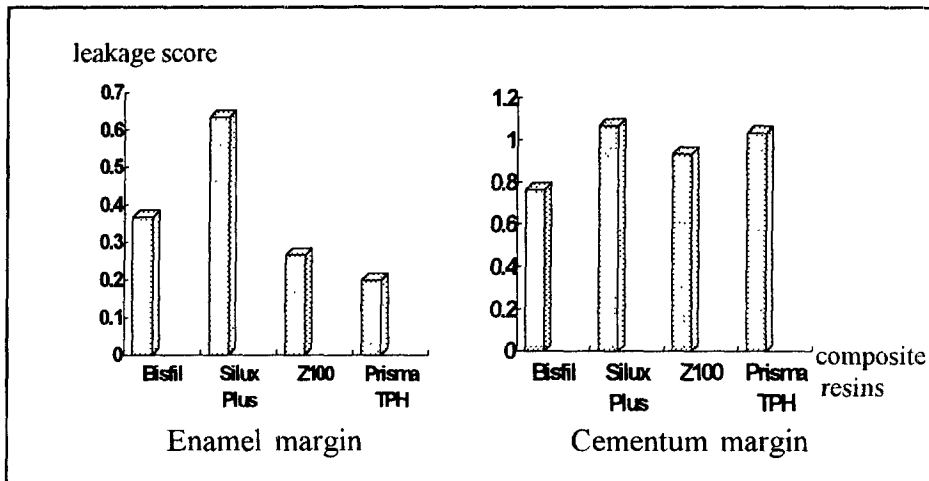


그림 7. 복합레진간의 비교

대표적인 시편을 선택하여 후방산란 주사전자현미경으로 관찰한 결과 I 군에서 은 이온은 상아질 접착제와 상아질 계면 및 상아세관내에서 관찰되었으며, 변연누출이 없는 경우 상아질 접착제가 상아질면과 긴밀히 접착되어 있고 상아세관내로 resin tags이 형성되어 있음을 관찰할 수 있었다(논문사진 부도참고). II 군에서도 I 군과 동일한 결과를 얻었으며 상아질 접착제와 상아질 계면 그리고 상아세관내에서 은이온이 관찰되었다. III 군에서도 I, II 군과 유사한 결과를 얻었으나 상아질 표면의 도말층으로 추측되는 부위에서 다량의 은 이온의 침투가 있었으며 따라서 도말층의 존재가 변연 누출에 영향을 미침을 보였다.

IV. 총괄 및 고안

전치부 및 구치부의 심미적 수복재료로써 꾸준히 발전되어온 복합레진은 많은 장점에도 불구하고 중합수축에 의한 변연누출이라는 커다란 문제점이 제기되고 있으며 특히, 와동변연이 백악질에 위치하는 5급와동의 치경부 변연에서는 변연누출을 최소화하고자 많은 방법과 노력이 경주되어 왔으나 만족할 만한 결과를 가져다 주지 못했다.¹⁸⁻²⁰⁾ 최근에 이르러는 상아질과의 접착에 있어서 상아질 접착제의 중

요성이 부각되고 있으며 전자현미경 기술의 발달과 기초재료 학문의 진전으로 접착기전의 이해가 높아짐에 따라 한층 진보된 재료들이 소개되고 있고 이러한 상아질 접착제의 질적인 향상을 통하여 상아질과의 결합력 증가 및 변연누출을 최소화하는 쪽으로 연구가 활발히 진행중이다. 그러나, 시판되고 있는 상아질 접착제는 각 제조회사마다 그 접착기전과 구성성분이 조금씩 차이가 나고 있으며 이러한 차이점은 특정 상아질 접착제가 타 회사 제품의 복합레진과 적합하게 사용되어 색조, 물성, 변연적합도 등을 고려한 다양한 임상상태에서 가장 효과적인 재료를 선택하는데 있어 문제를 야기할 수 있고 더욱이 이러한 재료간의 적합성은 현재까지 명확히 밝혀지지 않고 있는 상태다.

Robinson 등²⁷⁾은 복합레진의 제조과정중, 제조회사가 광중합을 위해서 그리고 임상적으로 다루기 편리하도록 복합레진에 약간의 변형을 가하고 있으며 이로인해 Bis-GMA 분자구성이 변할 수가 있다고 주장하였다. 또 상아질 접착제와 복합레진의 성분중에 환원제와 중합억제제의 농도가 제조회사마다 차이가 있으며 이로인해 서로 다른 제조회사의 제품을 사용할 경우 상아질 접착제와 복합레진의 계면에서 광중합되는 속도와 정도에 영향을 미쳐 상아

질/상아질 접착제 혹은 상아질 접착제/복합레진의 계면에 파괴적인 힘이 초래된다고 하였다. 그리고 Bunker²⁵⁾는 제조회사에 의하면 몇몇 상아질 접착제는 특정 복합레진과 더 적합성이 있는 것으로 설명된다고 보고하였다. 그러나 Chan 등²⁸⁾은 서로 다른 제조회사 제품의 상아질 접착제와 복합레진과의 적합성은 매우 바람직한 특성이며 이로 인해 복합레진의 선택시, 색조와 물리적 성질의 선택 범위가 넓어진다고 하였다. 그리고 상아질 접착제와 3종의 복합레진을 이용하여 결합력을 측정한 실험에서 유의성 있는 차이가 없었으며 따라서 상아질 접착제는 타 회사제품의 복합레진과 적합성이 있다고 보고하였다.

본 실험도 이와 유사한 결과를 얻었으며 이는 사용된 복합레진에서 Z100은 Bis-GMA와 TEGDMA로 주로 구성되어 있고 Prisma TPH와 Bisfil은 각각 urethane-modified Bis-GMA, TEGDMA와 Bis-GMA, urethane dimethacrylate로 구성되어 있으며 Silux plus도 Bis-GMA로 주로 구성되어 있어 4종의 복합레진 모두 동일한 반응 말단기(reactive terminal groups)를 가지고 있으므로 3종의 상아질 접착제와 free radical반응에 의해 중합되어 높은 정도의 cross-linking을 이룰 수 있었다고 추측된다. 그러나 Bassiouny 등²⁶⁾은 상아질 접착제로 Scotchbond(3M Co.)를 이용하여 Silux와 수종의 복합레진과의 결합력을 비교 측정한 결과 유의성 있는 차이가 있었다고 보고하였고 Bunker²⁵⁾도 유사한 실험에서 유사한 결과를 보고하였다. 이와달리 Crim²⁹⁾은 Scotchbond Dure Cure adhesive(3M Co.)와 5종의 복합레진과의 적합성을 제조회사의 상아질 접착제와 변연누출의 정도로써 비교한 결과 유의성 있는 차이가 없었다고 보고하였다. 그리고 미세입자형 복합레진인 Silux를 수종의 상아질 접착제와 사용한 결과 유의성 있는 변연누출의 감소를 보였다고 보고하였는데 이는 원인을 2가지로 해석하고 있다. 첫째는 미세입자형 복합레진의 flow properties가 거대입자형 복합레진보다 우수하며 둘째는 미세입자형 복합레진의 water sorption value가 높기 때문이라고 하였다. 수

화팽창은 레진마다 차이가 있으며 충전재의 함량과 단량체의 화학식에 영향을 받는다. 충전재의 함량이 높을수록 수화팽창은 줄어들며 따라서 변연누출의 정도가 커진다. 대부분의 중합체는 수분을 흡수해서 팽창하는데 이는 중합체 사슬의 hydroxyl groups 사이에 water bridges가 형성됨에 기인한다³²⁾. 치과영역에서 이러한 수화팽창은 레진의 중합수축을 보상하는 중요한 기전으로 여겨지고 있다. 수분흡수에 의한 복합레진의 팽창은 2주내에 일어나며 4주 정도에는 평형에 도달한다³³⁾. 중합체 기질이 수분을 흡수하므로, 기질의 양이 상대적으로 많은 미세입자형 복합레진이 거대입자형이나 혼합형 복합레진보다 수화팽창이 많이 일어난다³⁴⁾. 한편 Van Meerbeek 등⁷⁵⁾은 혼합형 복합레진과 미세입자형 복합레진의 비교에서 혼합형 복합레진이 탄성계수가 더 높은 결과로 변형 저항성이 높아지게 되어 접착의 관점에서 미세입자형보다 불리하다고 하였다. 그러나 변연누출에 있어서는 상반된 결과를 보고하였는데 이는 Dijken 등⁷⁶⁾의 전자현미경연구에 의해서 확인되었다. 그들은 미세입자형 복합레진이 높은 중합수축과 높은 열팽창계수로 인해 변연부위의 손상이 혼합형 복합레진보다 더 심하다고 하였다. 또한 Lambrechts 등⁷⁷⁾은 미세입자형 복합레진의 특성인 높은 열팽창계수, 증가된 water sorption, 높은 중합수축, 그리고 낮은 인장강도로 인해 conventional composite resins보다 법랑질 변연에서 3~4배 높은 응집성, 부착성파단을 보고하였다. 본 실험에서는 미세입자형 복합레진인 Silux plus에서 상대적으로 높은 변연누출을 보였는데 이는 상기한 보고들과 대체로 일치한다고 여겨진다.

본 실험에서 특이할 점은 법랑질 변연에서의 변연누출인데 Scotchbond Multi-Purpose 와 All Bond 2의 경우 변연누출이 이전의 실험들에 비교해서 상대적으로 높은 값을 보이고 있는 반면 PUB 3를 사용한 III군에서는 변연누출이 거의 없었다는 점이다. 이는 법랑질변연에 bevel을 형성하지 않았고 또한 치아 받거시 가해진 외상으로 인해 발생된 enamel cracks에 의한 결과라 여겨지며 한편으로는 Scotchbond Mu-

liti-Purpose의 10% maleic acid나 All bond 2의 10% 인산은 법랑질 산부식에는 충분하지 못하며, 반면 37.5% 인산을 사용하는 PUB 3의 caulk TOOTH CONDITIONER GEL의 경우 법랑질 변연누출이 없는 점으로 미루어 법랑질 산부식에는 37.5% 농도의 인산이 적절하다는 추측이다.

1895년 Fletcher³⁵⁾가 아말감의 수축을 연구하기 위하여 염색법을 이용한 이후 Harper 등^{36, 37)}에 의해 공기압을 이용하여 변연누출 연구가 시도되었고, Fraser³⁸⁾에 의해 소개된 미생물 침투법은 변연누출의 양적인 측정방법으로 이용되었다³⁹⁻⁴¹⁾. 그러나 미생물 침투법은 변연부 간격이 세균이 침투할 수 있을 정도의 충분히 큰 공간(~2 μ m)이 존재하여야만 하므로 더 민감한 방법이 필요함을 고려하게 되었다. 방사성 동위원소를 이용한 변연누출은 Na²², Mn⁵⁵, I¹³¹, S³⁵, 그리고 Ca⁴⁵등을 이용하여 연구되었으며⁴²⁻⁴⁴⁾ 상기한 방법 이외에 Mn⁵⁶을 이용한 중성자 활성화 분석법(neutron activation analysis)⁴⁵⁾, 변연부 삼투법(marginal percolation)⁴⁶⁾, 주사전자현미경이용법^{47, 48)} 등 다양한 방법이 시도되었다. 가장 보편적으로 쓰이는 미세누출 연구방법인 dye침투법 중에서 질산은을 이용한 염색법은 변연부 침투양상이 더 뚜렷이 나타나며 부가적으로, 이차 및 후방산란 주사전자현미경과 EDX(energy dispersive x-ray analysis)를 통하여 변연누출의 정확한 경로를 확인할 수 있다는 장점이 있다³⁰⁾.

전자빔의 주사에 의한 물질 표면의 관찰은 1965년 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope)이 상용화되면서 급속히 발달하여 현재 거의 모든 자연 과학분야에서 빼놓을 수 없는 실험 수단으로 되어 있다. 주사전자현미경은 투과에 의한 현미경에 비하여 시료의 준비가 훨씬 쉬워서 전자빔이나 진공에서 파괴되지 않는 모든 물체는 다 관찰할 수 있으며 초점 심도가 대단히 깊어서 파단면과 같은 복잡한 표면 구조나 결정 외형과 같은 입체적인 형체를 일정한 시야상에서 높은 배율로 관찰할 수 있으며 수십배에서 수만배까지의 배율로 연속적으로 변화시킬 수 있고 60A°정도까지의

분해가 가능하다. 또한 대물렌즈와 시료 사이에 비교적 넓은 공간이 있어 여러개의 신호 검출기를 부착할 수 있으며 수집된 신호를 가공하여 브라운관에 재현하므로 화면의 콘트라스트를 조절할 수 있고 여러종류의 신호에 따라 다양한 정보를 얻을 수 있는 장점이 있다.

전자를 시료에 조사하면 그 전자의 일부는 전자가 가지고 있는 에너지를 그다지 소실하지 않고 뒷쪽으로 후방산란되어 버리는데 이것을 반사전자(Backscattered electron 또는 Reflected electron)라 한다(그림 8). 반사전자는 시료로부터 방사되어 나오는 전자들 중에서 비교적 에너지가 높은 전자이며 입사전자가 시료면에서 산란당하여 반사되어온 전자라고 생각할 수가 있다.

입사전자가 시료표면에 수직으로 조사되었을 경우, 입사전자강도(원자의 수)에 대한 반사전자선강도의 비를 후방산란계수(γ)라 하면, γ 는 시료의 원자번호(Z)에 대하여 그림과 같은 관계가 있다(그림 9). 이와같은 후방산란계수 γ 에 의하여 시료로부터 얻어지는 정보를 “원자번호의 정보” 또는 “조성의 정보”(Composition image signal)라고 부른다. 이에 의해 상아질의 구성성분보다 상대적으로 원자번호가 높은 원소인 은 이온은 더 많은 전자를 반사하여 더 밝은 상을 형성하게 되는 것이다³⁰⁾. 한편 입사전자선에 대하여 반사전자검출기를 경사된 방향에 놓았을 경우, 시료면을 검출기의 방향에 기울이면 반사전자의 강도는 증가할 것이며, 반사방향으로 기울이면 감소할 것이다. 이와같은 현상을 응용하여 시료표면의 기하학적인 요철의 모양을 알아낼 수가 있다. 이것을 “요철의 정보”(Topography image signal)라고 한다. 이와같이 반사전자는 시료표면의 원자번호의 정보 즉 조성의 정보와 요철의 정보 두 가지를 동시에 제공한다.

1950년대 초의 심미 수복재료에는 Silicate cement과 Unfilled methyl methacrylate resins의 2종류가 있었다. 그러나 이들이 갖는 심각한 단점으로 인해 Epoxy resins이 소개되

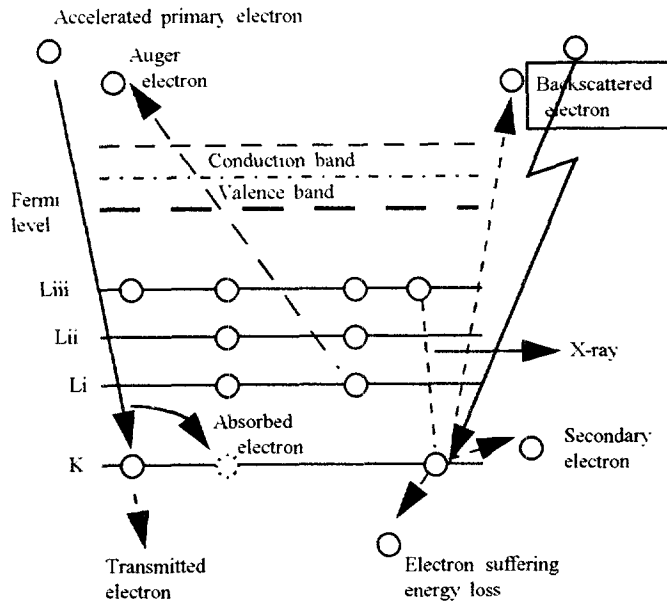


그림 8. 반사전자의 도시

B.E. intensity(r)

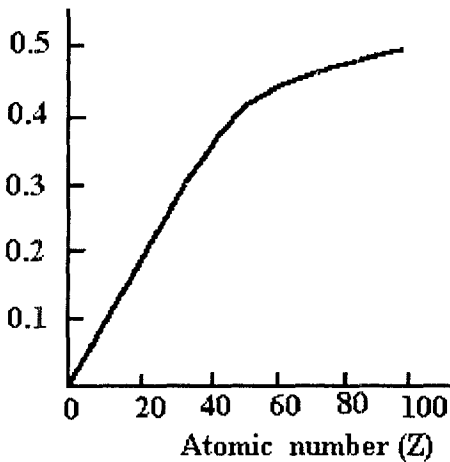


그림 9. 반사전자의 정보분석법

있고 이어서 Bowen⁴⁹⁾이 epoxy groups 대신에 methacrylate groups을 갖는 Bis-GMA resins을 개발하였다. Bis-GMA resins은 심미 수복재료로써 Silicate cement과 Unfilled methyl methacrylate를 대체할 만한 재료로 선택되었으며

여러 단점에도 불구하고 상아질과 법랑질에 복합레진을 접착시키는데 어느정도는 성공을 거두었다. 그러나 Bis-GMA resins은 치아 구조내의 수분과 경쟁할 만한 화학 반응기나 그 기전이 결여되어 있어 chemical coupling agent(surface-active comonomers)의 필요성이 대두하게 되었다. 이들의 특징은 수분과도 경쟁할 수 있고 또한 Bis-GMA 같은 레진과도 공중합에 의해 반응할 수 있는 반응기를 가지고 있다는 것이다. 이중 가장 초기에 개발된 화합물은 NPG-GMA로써 이의 사용으로 상아질 접착에 있어 소기의 성과를 거둘 수가 있었다⁵⁰⁾. NPG-GMA는 주로 상아질 표면의 칼슘 이온과 킬레이트 화합물을 형성하여 apatite substrate와 반응함으로써 접착에 기여한다. 이후 2개의 free carboxyl groups 각각에 2개의 polymerizable groups이 존재하는 비교적 친수성인 단량체를 사용함으로써 임상적으로 가치있는 정도의 증가된 결합강도를 얻을 수 있었고 이 단량체는 PMDM이라고 명명되었다⁵¹⁾.

Eliades등⁵²⁾은 시판되고 있는 수종의 상아질 접착제를 화학적으로 분석한 후 이를 보고하

였다. 이들 상아질 접착제들은 Bis-GMA의 halophosphorous esters(Scotchbond), HEMA의 halophosphorous esters(Dentin Bonding Agent), polyurethane(Dentin Adhesit), 혹은 ethylmethacrylate(Dentin Bonding System)등에 기초를 두고 있다. 그 외의 상아질 접착제로는 methacryloxyethylphenyl phosphate(Clearfil), 4-methacryloxyethyl-trimellitic anhydride(4-META), 그리고 glutaraldehyde와 HEMA의 혼합물(GLUMA)을 포함하고 있다. Bowen에 의해 개발된 상아질 접착제는 ferric oxalate, NTG-GMA, 그리고 PMDM에 기초를 두고 있다.

변연누출은 치아에 형성된 와동과 수복물 사이로 액체, 세균, 이온, 그리고 공기 등이 통과하는 것으로 정의된다. 레진을 이용한 초기연구에서 치아와 수복물 사이의 선열팽창계수가 심하게 차이가 날때는 "percolation"이 초래되며 이로 인해 변연누출이 일어난다고 보고되었고^{53,54)} 또, Jensen과 Chan⁵⁵⁾은 수복물의 변연누출을 평가하기 위해서는 thermocycling 과정을 반드시 포함시켜야 한다고 주장하였다. 그러나, Kidd⁵⁶⁾는 복합레진 수복물의 thermocycling은 임상적으로는 중요하지 않다고 주장하였고 Wendt⁵⁷⁾은 복합레진의 열팽창계수의 영향을 평가하기 위한 thermocycling과정은 의미가 없으며 복합레진의 수분흡수나 결합의 가수분해등이 미치는 영향을 측정하기 위해서는 thermocycling과정을 dye에서 시행해야 한다고 주장했다. Thermocycling시 가장 널리 쓰이는 침지시간은 수조에 1분간 담그는 것이며⁵⁸⁻⁶²⁾ Staninec⁶³⁾은 3분, Darbyshire⁶⁴⁾은 30초의 짧은 시간을 사용하였다. 상기한 실험에서 온도변화는 최저치가 4°C에서 8°C, 최고치는 45°C에서 60°C로 다양하였다. 이 온도는 구강내에서 환자가 견딜 수 있는 최저, 최고 온도와 일치한다고 볼 수 있다. 그러나 Crim⁶⁵⁾은 임상적으로 열변화는 30°C에서 3~5초간 정도가 적절하다고 하였으며 Torstenson⁶⁶⁾은 변연간격은 열자극에서는 변화가 없었고 냉자극에서만 증가 하였다고 보고하였다.

협측과 설측의 변연누출의 차이에 관해서

최근에 Barnes⁶⁷⁾이 생체의 실험에서 질산은 용액을 이용하여 연구한 결과 유의한 차이가 없었다고 보고하였으며 이 결과는 이전의 연구들과도 일치한다. 그러나 생체내 실험에서는 협측과 설측의 위치가 중요해지는데 이는 교합, 타액, 혀와의 접촉, 구강청결 기구의 접근도 등이 영향을 미치기 때문이며 이 부분에서는 더 많은 연구가 필요하리라 사료된다.

수복재료의 선택에 있어서 변연폐쇄 능력과 그 지속성이 주된 고려점이라고 할 수 있으며 이에 의해 향후 발생가능한 이차우식과 변색을 최소화할 수 있게 된다. 따라서 수복재료의 실험에서는 수복재료와 치질의 계면에서 발생하는 세균과 액체침투에 주안점을 둔다. 본 실험의 부차적 목적은 시판되는 상아질 접착제/복합레진의 미세누출 경로를 질산은 용액 염색법을 이용하여 후방산란 주사전자현미경 촬영을 하여 알아보는 것이다. Robinson²⁷⁾은 미세누출은 접착레진/상아질 계면보다는 복합레진/접착레진 의 계면에서 발생된다고 가설했다. 그리고 Sano⁶⁸⁾은 변연간극이 없음에도 상아질을 산부식함으로써 형성되는 탈회된 상아질의 subsurface porosity를 통해 변연누출이 일어날 수 있다고 보고하였다. 그러나 본 실험결과 은 이온의 침투는 모두 접착레진/상아질 계면에서 일어났으며 상아세관까지 은이온의 침투가 있었는데 이는 접착레진이 상아세관을 효과적으로 밀폐하지 못했음을 의미하며, 콜라겐층으로 레진침투가 불완전할 경우 탈회된 상아질 층으로 미세누출이 진행될 수 있다고 Van Meerbeek⁶⁹⁾이 주장한 결과와 일치한다.

Prisma Universal Bond 3의 경우는 은이온이 도말층에 광범위하게 존재하였으며 또한 상아세관내에도 발견되었다. Prisma Universal Bond 3는 adhesive 도포전에 primer처치로도 말층을 변형시킨다. Primer는 HEMA, ethanol, PENTA로 구성되어 있으며 이론적으로는 이러한 방법에 의한 상아질의 처치가 상아질에의 결합을 증가시켜 변연누출에 대한 저항성을 높여야 하나 Xin Yi Yu⁷⁰⁾은 도말층 처치의 효과가 제한된다고 보고 하였다. 도말층이 존재함으로써 상아질 투과성은 감소된다고 보

고되고 있으나⁷¹⁾, 오랜기간의 견고성은 의문시 되고있으며 Brännström과 Nyborg⁷²⁾은 도말층은 곧 느슨해지며 수복후 수 일안에 대부분 세균과 액체로 대체된다고 보고하였다.

레진/상아질 계면을 통상적인 주사전자현미경으로 관찰하고자 할때 주사전자현미경을 가동시 필요한 고도의 진공상태에 의해 상아질의 탈수가 일어나며 이로 인해 시편의 손상을 피하기 어렵다. 따라서 최근에는 cryo-SEM을 이용하여 시편손상을 최소화하는 방법이 많이 쓰이고 있다. 질산은 염색법을 이용하여 주사전자현미경 촬영시 복합레진/접착제 계면에 틈이 형성되어 있음을 관찰할 수 있는데 이 공간에는 이온의 침투는 없는 것으로 미루어 이 공간은 전자현미경 시편 제작중에 형성된 것으로 볼 수 있다.

현재의 상아질 접착제의 상아질과의 기본적인 접착기전은 탈회된 표층의 상아질 표면으로 레진이 침투함으로써 형성되는 혼합층(hybrid layer)에 이론적 근거를 두고있다. 수종의 상아질 접착제에서 혼합층의 형태학적인 차이는 argon ion beam etching방법에 의해 보고되고 있고⁶⁹⁾ 레진과 치아우식에 이환된 상아질과의 계면에서의 혼합층에 관해서도 보고되고 있다⁷³⁾. 치경부 마모증의 경우 상아세관의 폐쇄 정도는 파란한 병소에서도 80%는 폐쇄되어 있고 20%가 개방되어 있다⁷⁴⁾. 폐쇄된 상아세관에서는 상아세관내의 침착물이 산에 의해 용해되지 않고 잔존해 있음으로 해서 접착레진의 침투가 제한된다. 치경부 마모증의 경우 혼합층의 두께는 치아우식에 이환된 상아질보다 얇으며 1~8 μ m정도로 보고된다⁷⁵⁾. 여기서 간과해서는 안될 점은 현재 시판되는 몇몇 상아질 접착제의 결합강도는 상아세관이 개방되어 있는 건전한 상아질에서 측정 되었다는 것이다. 그러나, sclerotic dentin은 거의 모든 상아세관이 폐쇄되어 있고 이는 sclerotic dentin과 접착레진과의 결합은 전적으로 탈회된 관상상아질에 의존함을 시사한다. 본 실험에서는 인위적으로 소구치에 5급와동을 형성하여 접착을 시도하였기에 임상적으로 치경부 마모증이 있는 치아와는 그 결과에 있어 차이가 있으며 그밖의 다른병소

에서 레진/상아질 계면에서의 분석도 필요하리라 사료된다.

V. 결 론

상아질 접착제와 복합레진의 적합성을 알아보기 위하여 발거된 소구치 60개에 V자형 5급 와동을 협설면에 형성한 후 Scotchbond Multi-Purpose, All bond 2, Prisma Universal Bond 3의 3개의 상아질 접착제 군으로 나누고 각각의 군에 Bisfil, Silux Plus, Z100, Prisma TPH를 충전하였다. 모든 시편을 동일한 조건하에서 5°C와 55°C 수조에서 500회의 Thermocycling을 시행한 후 질산은 용액에 암실에서 24시간 담근후 형광불빛 아래에서 6시간 현상용액에 담가두고 협설 방향으로 절단하여 색소침투를 비교하고 이중 대표적인 시편을 선택하여 후방산란 주사전자현미경 촬영을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 모든 군에서 범랑질 변연누출이 상아질보다 적게 나타났다($p < 0.05$).
2. 모든 군에서 변연누출의 정도에 있어 상아질 접착제와 동일회사의 복합레진과 타회사의 복합 레진간에 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$).
3. 상아질 접착제간의 비교에서는 범랑질에서는 Prisma Universal Bond 3가, 상아질에서는 Scotchbond Multi-Purpose가 가장 변연누출이 적게 나타났다($p < 0.05$).
4. 복합레진간의 비교에서는 범랑질에서는 Silux Plus가 변연누출이 가장 많이 나타났고 ($p < 0.05$), 상아질에서는 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$).
5. 후방산란 주사전자현미경 촬영 결과 변연누출은 모두 상아질 접착제와 상아질의 계면에서 일어났다.

참고문헌

1. Going RE. Microleakage around dental restorations : a summarizing review. J Am

- Dent Assoc 1972 ; 84 : 1349-57.
2. Brännström M. Communication between the oral cavity and the dental pulp associated with restorative treatment. *Oper Dent* 1984 ; 9 : 57-68.
 3. Mejare B, Mejare I, Edwardsson S. Bacteria beneath composite restorations-a culturing and histobacteriological study. *Acta Odontol Scand* 1979 ; 37 : 267-75.
 4. Quist V. Correlation between marginal adaptation of composite restorations and bacterial growth in cavities. *Scand J Dent Res* 1980 ; 88 : 296-300.
 5. Brännström M, Nybrog H. Cavity treatment with a microbicidal fluoride solution : growth of bacteria and effect on the pulp. *J Prosthet Dent* 1973 ; 30 : 303-10.
 6. Bergenholtz G, Cox CF, Loesche WJ, Syed SA. Bacterial leakage around dental restorations. Its effect on the pulp. *J Oral Pathol* 1982 ; 11 : 439-50.
 7. Ellis JM, Brown LR., Application of an in vitro cariogenic technique to study the development of carious lesions around dental restorations. *J Dent Res* 1967 ; 46 : 403-8.
 8. Eriksen HM, Pears G. In vitro caries related to marginal leakage around composite resin restorations. *J Oral Rehabil* 1978 ; 5 : 15-20.
 9. Jodaican A. Experimental microleakage around aging dental amalgam restorations : a review. *J Oral Rehabil* 1981 ; 8 : 517-26.
 10. Seltzer, S. The penetration of microorganisms between the tooth and direct resin fillings. *J. Am Dent Assoc.* 51 : 560-566, 1955.
 12. Stanley HR, Going RE, Chauncey HH : Human pulp response to acid pretreatment of dentin and to composite restoration. *J Am Dent Assoc* 1975 ; 91 : 817-825.
 13. Macko DJ, Rutberg M, Langeland K : Pulpal response to the application of phosphoric acid to dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1978 ; 45 : 930-946.
 14. Pashley DH : Smear layer : physiological considerations. *Oper Dent* 1984 ; 9(suppl 3) : 13-29.
 15. Brännström M : Smear layer : pathological and treatment considerations. *Oper Dent* 1984 ; 9(suppl 3) : 35-42.
 16. Sognnaes RF, Wolcott RB, Xhonga FA. Dental erosion like patterns occurring in association with other dental conditions. *J Am Dent Assoc* 1972 ; 84 : 571-576.
 17. Welsh EL, Hembree JH Jr. : Microleakage at the gingival wall with four class V anterior restorative materials. *J Prosthet Dent* 1985 ; 54 : 370-372.
 18. Hansen EK : Effect of cavity depth and application technique on marginal adaptation of resins in dentin cavities. *J Dent Res* 1986 ; 65 : 1319-1321.
 19. Lutz F, Krejci I, Oldenburg TR : Elimination of polymerization stress at the margins of posterior composite resin restorations. A new restorative technique. *Quintessence Int* 1986 ; 17 : 777-784.
 20. Mclean JW, Prosser HJ, Wilson AD : The use of glass ionomer cements in bonding composite resins to dentin. *Br Dent J* 1985 ; 158 : 410-414.
 21. O'Brien WJ, Fan PL, Apostolides A : Penetrativity of sealants and glazes. *Oper Dent* 1978 ; 3 : 51-60.
 22. Rupp NW, Verz S, Cobb EW : Sealing the gingival margin of composite restorations. *J Dent Res* 1983 ; 62 : 254(abstr No.765).
 23. Torstenson B, Brännström M, Mattson B : A new method for sealing composite resin contraction gaps in lined cavities. *J Dent Res* 1985 ; 64 : 450-453.

24. Kemp-Scholte CM, Davidson CL : Marginal sealing of curing contraction gaps in class V composite restorations. *J Dent Res* 1988 ; 67 : 841-845.
25. Bunker, J. E.(1983) : Adhesive for bonding to composite to dentin. *AADR Abst* 62 : No. 467.
26. Bassiouny, M. and Ying, L.(1984) : Adhesive compatibility of restorative resins with dentin bonding agents. *IADR Abst* 63 : No. 554.
27. Robinson PB, Moore BK & Swartz ML. : The effect on microleakage of interchanging dentin adhesives in two composite resin systems in vitro. *British Dental Journal* 164 : 77-79, 1988.
28. Chan DCN, Reinhardt JW, Boyer DB : Composite resin compatibility and bond longevity of a dentin bonding agent. *J Dent Res* 1985 ; 64 : 1402-4.
29. Crim GA : Influence of bonding agents and composites on microleakage. *J Prosthet Dent* 1989 ; 61 : 571-4.
30. Wu W, Cobb E. Dermann K : Detecting marginal leakage of dental composite restorations. *J Biomed Mater Res* 1983 ; 17 : 37-43.
31. Wieczkowski G Jr, YU XY, Davis EL & Joynt RB(1992) : Microleakage in various bonding agent/composite resin systems *Operative Dentistry Supplement* 5 62-67.
32. L. H. Mair : An investigation into the permeability of composite materials using silver nitrate. *Dent Mater* 5 : 109-114, March, 1989.
33. Hirasawa T, Hirano S, Hirabayashi I & Aizawa M. : Initial dimensional change of composites in dry and wet conditions. *J Dent Res* 1983 ; 62 : 28-31.
34. Torstenson B, Brännström M. : Contraction gap under composite resin restorations : Effect of hygroscopic expansion and thermal stress. *Oper Dent*. 1983 ; 13 : 24-31.
35. Robert E. Going. : Microleakage around dental restorations : A summarizing review. *JADA* : 1972 : 84 : 1349.
36. Pickard, H. M., and Gayford, J. J. Leakage at the margins of amalgam restorations. *Br Dent J* 119 : 69 July 1965.
37. Granath, L. E., and Svensson, A. Studies of microleakage with restorative materials. A new air pressure method. *Scan J Dent Res* 78 : 353 May 1970.
38. Fraser, C. J. A study of the efficiency of dental fillings. *J Dent Res* 9 : 507 Aug 1929.
39. Kraus, E. E., and Kraus, L. L. : Evaluation of autopolymer direct plastic filling materials. Abstracted, *J Dent Res* 30 : 498 Aug 1951.
40. Seltzer, S. The penetration of microorganisms between the tooth and direct resin fillings. *JADA* 51 : 560 Nov 1955.
41. Rose, E. E. and others. Screening of materials for adhesion to human tooth structure. *J Dent Res* 34 : 577 Aug 1955.
42. Lyell, J., Massler, M., and Barber, D. : Effects of saliva and sulfide solutions on the marginal seal of amalgam restorations. *J Dent Res* 43 : 375 May-June 1964.
43. Going, R. E., and Sawinski, V. J. : Microleakage of a new restorative material. *JADA* 73 : 107 July 1966.
44. Peterson, E. A., Philips, R. S., and Swartz, M. L. : A comparison of the physical properties of four restorative resins. *JADA* 73 : 1324 Dec 1966.
45. Going, R. E., Myers, H. M., Prussin, S. G. : Quantitative method for studying microleakage in vivo and in vitro. *J Dent Res* 47 : 1128 Nov-Dec 1968.
46. Nelsen, R. J., Wolcott, R. B., Paffenbarger, G. C. : Fluid exchange at the margins of

- dental restorations. *JADA* 44 : 288 March 1952.
47. Lee, H. L., and Swartz, M. L. : Scanning electron microscope study of composite restorative materials. *J Dent Res* 49 : 149 Jan-Feb 1970.
 48. Chappell R P, Eick J D. : Shear bond strength and scanning electron microscopic observation of six current dentinal adhesives. *Q. I. Vol. 25, No. 5, 1994.*
 49. Bowen, R L & Rodriguez, M S. : Tensile strength and modulus of elasticity of tooth structure and several restorative materials *JADA* 64 : 378-387 1962.
 50. Bowen, R L. : Adhesive bonding of various materials to hard tissue. The effect of a surface active comonomers on adhesion to diverse substrates. *J Dent Res* 44 : 1369-1373, 1965.
 51. Bowen, R L, Cobb, E N & Parson, J E. : Adhesive bonding of various materials to hard tissue. XXV. Improvement in bond strength to dentin. *J Dent Res* 61 : 1070-1076, 1982a.
 52. Eliades, G. C., Capato, A. A., and Vougiouklakis, G.J. : Composition, wetting properties and bond strength with dentin of 6 new dentin adhesives. *Dent Mater* 1(5) : 170-176, 1985.
 53. Coy, H D. : Direct filling materials. *JADA* 47 : 532-537 1953.
 54. Nelsen R J, Wolcott, R B, Paffenbarger, G C. : Fluid exchange at the margins of dental restorations. *JADA* 44 : 288 1952.
 55. Jensen, M E, Chan, D C N. : Polymerization shrinkage and microleakage. : International symposium on posterior composite resin dental restorative materials, G. Vanherle, D. C. Smith, (eds), Peter Szulc Publishing Co., Netherlands, 243-262.
 56. Kidd, EAM, Harrington, E, Grieve, AR. : The cavity sealing ability of composite restorations subjected to thermal stress. *J Oral Rehabil* 5 : 279-286 1978.
 57. S. L. Wendt, J., P. M. McInnes, G. L. Dickin-son. : The effect of thermocycling in microleakage analysis. *Dent Mater* 8 : 181-184, May, 1992.
 58. Ben-Amar A, Liberman R, Nordenberg D, Renert H, Gordon M. : The effect on marginal microleakage of using a combination of cavity varnishes and calcium hydroxide intermediary bases-an in vitro study. *Quint Int* 12 : 821-825, 1985.
 59. Fuks AB, Herschfield Z, Grajower R. : Marginal leakage of cervical resin restorations with a bonding agent. *J Prosthet Dent* 54(5) : 654-657, 1985.
 60. Gross JD, Retief DH, Bradley EL. : Microleakage of posterior composite restorations. *Dent Mater* 1 : 7-10,1985.
 61. Hembree JH, Taylor T. : In vitro marginal leakage of composite resin restorations using a combination of conventional and microfilled resins. *Quint Int* 12 : 813-815,1985.
 62. Welsh EL, Hembree JH. : Microleakage at the gingival wall with four calss V anterior restorative materials. *J Prosthet Dent* 54(3)370-372.
 63. Staninec M, Mochizuki A, Tanizaki K, Fukuda K, Tsuchitani Y. : Interfacial space, marginal leakage, and enamel cracks around composite resins. *Oper Dent* 11 : 14-24, 1986.
 64. Darbyshire PA, Messer LB, Douglas WH. : Microleakage in class II composite restorations bonded to dentin using thermal and load cycling. *J Dent Res* 67(3) : 585-587,1988.
 65. Crim, G.A & Mattingly, S. L : Evaluation of two methods for assessing marginal leakage. *Journal of Prosthetic Dentistry* 45, 160-163, 1981.

66. Torstenson B, Brännström M. : Contraction gap under composite resin restorations : Effect of hygroscopic expansion and thermal stress. *Oper Dentistry*, 1988, 13, 24–31.
67. Barnes D M, McDonald NJ, Thompson VP, Blank LW, Shires PJ. : Microleakage in facial and lingual class 5 composite restorations : A comparison. *Oper Dent*, 19, 133–137, 1994.
68. H Sano, T Shono, T Takatsu, and H Hosoda. : Microporous dentin zone beneath resin-impregnated layer. *Oper Dentistry*, 1994, 19, 59–64.
69. B. Van Meerbeek, S. Inokoshi, M. Bream, P. Lambrechts, and G. Vanherle. : Morphological aspects of the resin-dentin interdiffusion zone with different dentin adhesive systems. *J Dent Res* 71(8) : 1530–1540, 1992.
70. Xin Yi Yu, Elaine L. Davis, Robert B. Joynt, Gerald Wiczowski, Jr. : Origination and progression of microleakage in a restoration with a smear layer-mediated dentinal bonding agent. *Q. I. Vol. 23, No.8* 1992.
71. Pashley EL, Tao L, Derkson G, et al. : Dentin permeability and bond strengths after various surface treatment. *Dent Mater* 1989 ; 5 : 375–378.
72. Brännström M, Nyborg H : Cavity treatment with a microbicidal fluoride solution : growth of bacteria and effect on the pulp. *J Prosthet Dent* 1972 ; 30 : 303–310.
73. Harnirattisai C, Inokoshi S, Shimada Y & Hosoda H : Interfacial morphology of an adhesive composite resin and etched caries-affected dentin. *Oper. Dentistry*, 1992, 17, 222–228.
74. Yoshiyama M, Masada J, Uchida A & Ishida H. : Scanning electron microscopic characterization of sensitive vs insensitive human radicular dentin. *J Dent Res* 68 : 1498–1502, 1989.
75. Van Meerbeek B, Bream M, Lambrechts P, Vanherle G. : Evaluation of two dentin adhesives in cervical lesions. *J Prosthet Dent* 1993 ; 70 : 308–14.
76. Van Dijken J, Hörstedt P. : Marginal adaptation of composite resin restorations placed with or without intermediate low-viscous resin. An SEM investigation. *Acta Odontol Scand* 1987 ; 45 : 115–23.
77. Lambrechts P, Ameye C, Vanherle G. : Conventional and microfilled composite resins. II. Chip fractures. *J Prosthet Dent* 1982 ; 48 : 527–38.

EXPLANATION OF FIGURES

- Fig. 1a. A photograph shows dye penetration at the cementum margin in Scotchbond Multi-Purpose/Silux Plus.($\times 10$)
- Fig. 1b. A photograph shows backscattered scanning electron microscopy image at the dentin adhesive/dentin interface in Scotchbond Multi-Purpose/Silux Plus.($\times 300$)
- Fig. 2a. A photograph shows dye penetration at the cementum margin in Scotchbond Multi-Purpose/Z100.($\times 10$)
- Fig. 2b. A photograph shows backscattered scanning electron microscopy image at the dentin adhesive/dentin interface in Scotchbond Multi Prpose/Z100.($\times 300$)
- Fig. 3a. A photograph shows dye penetration at the cementum margin in All Bond 2/Z100.($\times 10$)
- Fig. 3b. A photograph shows backscattered scanning electron microscopy image at the dentin adhesive/dentin interface in All Bond 2/Z100.($\times 300$)
- Fig. 4a. A photograph shows dye penetration at the cementum margin in All Bond 2/Prisma TPH.($\times 10$)
- Fig. 4b. A photograph shows backscattered scanning electron microscopy image at the dentin adhesive/dentin interface in All Bond 2/Prisma TPH.($\times 300$)
- Fig. 5a. A photograph shows dye penetration at the cementum margin in Prisma Universal Bond 3/Silux Plus.($\times 10$)
- Fig. 5b. A photograph shows backscattered scanning electron microscopy image at the dentin adhesive/dentin interface in Prisma Universal Bond 3/Silux Plus.($\times 300$)
- Fig. 6a. A photograph shows dye penetration at the cementum margin in Prisma Universal Bond 3/Prisma TPH.($\times 10$)
- Fig. 6b. A photograph shows backscattered scanning electron microscopy image at the dentin adhesive/dentin interface in Prisma Universal Bond 3/Prisma TPH.($\times 2000$)



Fig. 1a

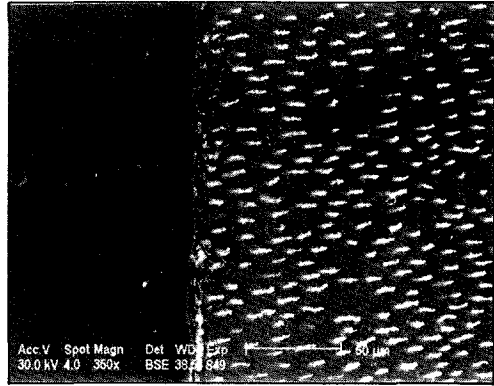


Fig. 1b

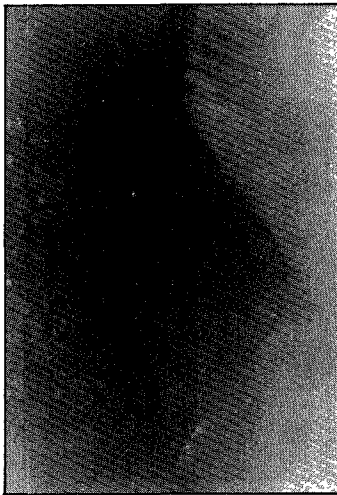


Fig. 2a

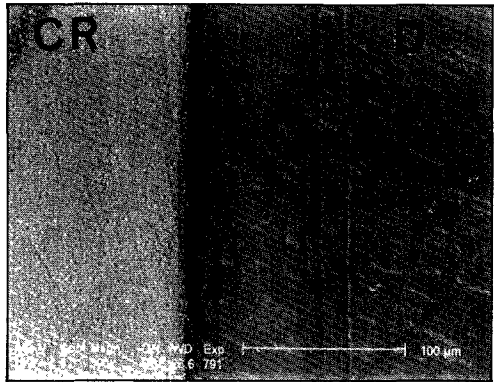


Fig. 2b



Fig. 3a

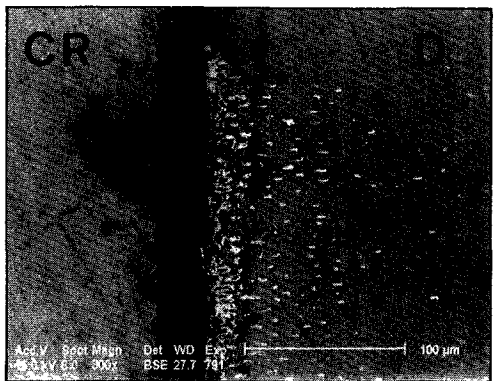


Fig. 3b

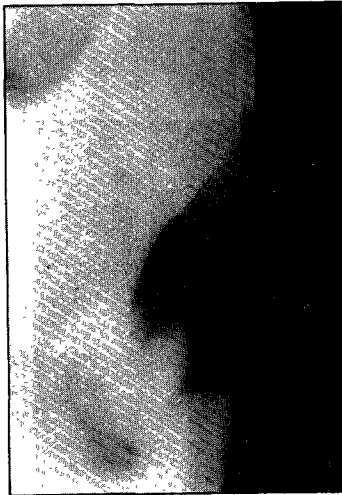


Fig. 4a

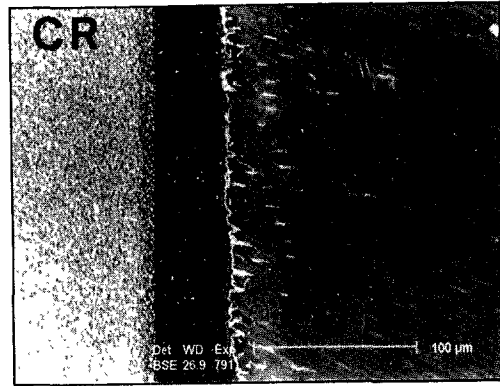


Fig. 4b

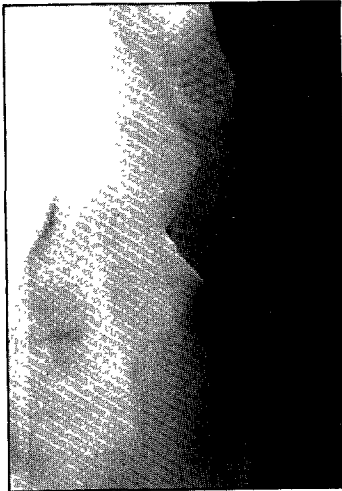


Fig. 5a



Fig. 5b

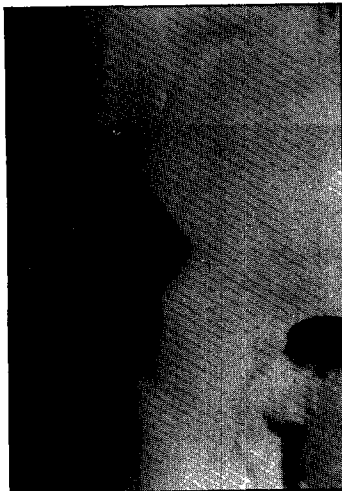


Fig. 6a



Fig. 6b