

광중합 복합레진 수복시 여러 광조사 방법에 따른 미세변연누출에 관한 연구

양철영 · 유현미* · 권혁춘

서울대학교 치과대학 치과보존학교실,
성균관대학교 의과대학 삼성의료원 치과진료부 보존과*

ABSTRACT

MICROLEAKAGE OF CLASS V COMPOSITE RESTORATIONS USING VARIOUS LIGHT CURING METHODS

Chol-Young Yang, D.D.S., Hyeon-Mee Yoo*, Hyuk-Choon Kwon., D.D.S., M.S.D., Ph.D.

*Dept. of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Seoul National University
Sungkyunkwan University School of Medicine, Department of Conservative Dentistry
The Institute of Oral Health Science, Samsung Medical Center**

The purpose of this in vitro study was to evaluate the microleakage of 5 curing methods in class V composite restorations which are composed of two-step light curing, pulse-delay cure, low curing-light intensity, moderate curing-light intensity and high curing-light intensity. In this study, class V cavities were prepared on buccal and lingual surfaces of 50 extracted human upper or lower molars on cementum margin. Single Bond adhesive and Z-100 shade A2 were applied for each group following the manufacturer's instruction. The experimental teeth were randomly divided into 5 groups of 10 samples (20 surfaces) each. Group 1: two-step light curing; Group 2: pulse-delay cure; Group 3: low curing-light intensity; Group 4: moderate curing-light intensity; Group 5: high curing-light intensity. After 500 thermocycling between 5°C and 55°C, the 60 teeth were placed in 2% methylene blue dye for 24 hours, then rinsed with tap water. The specimens were embedded in clear resin, then sectioned buccolingually through the center of restoration with a low speed diamond saw. The dye penetration on each of the specimen was then observed with a stereomicroscope at $\times 20$. The composite resin/tooth interfaces were examined under Scanning Electron Microscopy. The results were statistically analyzed using the Kruskal-Wallis One Way ANOVA and Dunn's Method.

The results of this study were as follows.

1. In all groups, the leakage values seen at the enamel margin were significantly lower than those seen at the dentin margin ($P < 0.05$).
2. No group in this study showed significant differences in leakage values at both the enamel and the dentin margins ($P < 0.05$).
3. In all groups, the gaps seen at the enamel margin were significantly lower than those seen at the dentin margin ($P < 0.05$).
4. The gaps in this study showed significant differences and two-step light-curing and low curing-light intensity produced significant less gap than high curing-light intensity ($P < 0.05$).

Key Words : Two-step light-curing, Pulse-delay cure, Curing-light intensity, Microleakage, Marginal adaptation, Class V restoration

I. 서 론

광중합 복합레진의 개발은 현대 수복치과의 혁명적 발전을 가져왔으며 화학중합형 복합레진에 비해 여러 가지 장점을 가지고 있다. 즉, 충분한 작업시간, 재료의 혼합으로 인한 기포생성의 방지, 색조 안정성, 향상된 중합률 및 조각의 편이성 등의 장점이 있다. 그러나 제한된 중합깊이와 균일하지 못한 중합수축으로 인해 미세파절과 미세변연누출 등의 문제점들도 보고되고 있다. 즉, Davidson과 Feilzer¹⁾ 등은 광중합시 1~5%의 중합수축으로 인하여 중합수축이 발생하여 치아 또는 광중합 복합레진에 미세한 파절을 일으키고, 전체부피의 1.67~5.68% 정도의 다양한 변연간극이 발생하며 타액 및 세균의 침투가 일어난다고 보고하였다.

자외선중합 레진이 소개된 이래로 1970년대에 Heraus 등은 새로운 자외선중합기로 광강도(curing-light intensity)를 높여 재료의 경도를 증가시키고 미세변연누출을 감소시키려 하였다. 이후 자외선파장(10~380nm) 대신에 가시광선으로 중합되는 복합레진이 개발되었으며 2mm 두께의 복합레진을 중합시키기 위해 300mW/cm² 광강도와 60초간의 중합시간이 필요하다고 하였다. 1980년대 후반에 광중합 복합레진의 중합깊이와 물성을 향상시키기 위하여 광강도와 광기제(photoinitiator)의 광감도를 증가시켰으나, 중합수축이 증가하고 변연에 응력이 증가하여 미세변연누출이 증가하는 단점이 있었다. 이에 강한 결합력을 갖는 결합제의 개발, 점층분할 충전법, 이장재의 사용, 중합시 유동성의 조절 등의 방법들이 소개되었다²⁾.

특히 1990년대 이후, 광강도와 중합시간을 달리하여 수복물의 물성, 결합력과 변연적합도를 향상시키려는 많은 연구들이 있었다. 저광강도(low curing-light intensity)에서 중합시키면 느린 중합속도와 낮은 초기응력으로 인해 최종 기계적 성질에 영향없이 변연적합도를 향상시키고 미세변연누출을 감소시킬 수 있었다. 고광강도(high curing-light intensity)로 중합시키면 치아에 대한 결합강도의 형성속도보다 중합수축력이 더 빨리 발생하여 치아/수복물 계면에서 결합이 부분적 또는 완전 파절되었다³⁾.

즉, Uno와 Asmussen⁴⁾, Unterbrink와 Muessner⁵⁾, Mehl⁶⁾, Koran⁷⁾ 등은 저광강도로 초기중합후 고광강도로 최종중합하는 'two-step light-curing' ('soft-cure photopolymerization' or 'softstart-polymerization') 방법을 이용하여 중합수축을 감소시키거나 중합응력을 감소시켜 변연적합도를 증가시켰다⁸⁾. 고광강도로 최종중합을 해야 충분한 중합깊이와 높은 중합률을 얻을 수 있다고 보고하였고, Goracci 등⁹⁾도 독특한 조사방법을 이용하여 변연간극을 감소시킬 수 있다고 하였다.

반면, Suh 등^{10,11)}은 20초간 500mW/cm² 광강도로 광조사할 때와 50초간 200mW/cm² 광강도로 조사할 때의 중합률은 서로 비슷하며, 광중합 복합레진에 도달하는 전체에

너지(mJ/cm²)가 일정하면 100mW/cm²의 저광강도로도 완전한 중합을 얻을 수 있다고 하였다. 또한 100~300mW/cm²의 저광강도로 수초간 광조사하고 3~5분 동안 기다린후 각 제조회사의 지시대로 고광강도로 조사하면 최종 중합응력을 감소시킬 수 있다고 보고하였고, 이를 'pulse-delay cure' 라고 하였다.

광강도(curing-light intensity)는 'power density' (mW/cm²)로 불리며, 중합깊이, 결합강도, 중합수축 등 수복물의 물성에 영향을 미치며 spectroradiometer 또는 상용화된 치과용 Curing radiometer 등으로 측정된다. 광강도를 조절하는 방법에는 광조사기와 수복물 사이의 거리를 변화시키는 방법, 광조사기의 전원을 변화시키는 방법, neutral density filter를 이용하는 방법 등이 있다. 최근에는 광강도를 조절할 수 있는 광조사기인 Elipar II (ESPE, Inc., Seefeld, Germany)와 VIP(variable intensity polymerizer, BISCO, Inc., Schamburg, IL., U.S.A.) 등이 시판되고 있다.

다양한 광강도와 조사시간으로 광중합 복합레진을 중합하여 표면미세경도, 중합률, 중합수축 등에 대해 다수의 연구 결과가 보고되고 있으나, 최근의 광조사 방법인 two-step light-curing과 pulse-delay cure에 따른 미세변연누출 및 변연적합도를 전통적인 광조사 방법과 비교, 분석한 연구보고는 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 광중합 복합레진 충전기술에 있어 와동의 형태를 단순화할 수 있는 제 5급 와동을 형성하고 광중합 복합레진을 충전한 후 다양한 광조사 방법 즉, two-step light-curing, pulse-delay cure, 저,중,고 광강도로 광중합하여 입체현미경으로 미세변연누출을 관찰하고 주사전자현미경으로 변연적합도를 관찰한 결과 다소의 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

성별에 관계없이 우식이나 충전물이 없고 파절이나 손상이 없는 발거된지 한달이 경과되지 않은 50개의 상, 하악 대구치를 선택하였다. 표면에 부착된 치주인대 등의 연조직과 치석을 제거한 후 실온의 생리식염수에 보관한 다음 실험에 사용하였다. 충전에 사용된 상아질 접착제와 복합레진은 제 5세대 상아질 접착제인 Single Bond와 hybrid type 복합레진인 Z-100 (3M Dental Products, U.S.A.), 색조 A2를 사용하였다. 여러가지 광조사방법에 따른 중합조건을 얻기위하여 가시광선 조사기구인 Curing light XL 3000 (3M Co., St. Paul, Minn.)을 이용하여 Rueggeberg¹⁴⁾, Mehl⁶⁾ 등과 같이 수복물과 광조사기의 거리를 변화시키는 방법으로 Curing radiometer로 광강도를 측정 후 표준화

하여 사용하였다.

2. 실험방법

1) 시편제작

고속엔진용 No. 701 bur를 이용하여 치경부측에서 치은 변연부가 백악-법랑경계 1mm 하방의 백악질에 위치하도록 제5급 와동을 실험치아의 협면과 설면에 각각 형성하고 Extra-fine diamond point (ISO 176/016, N.B. MANI)를 사용하여 와동 내면을 평활하게 하였다.

와동의 크기는 교합-치은 폭이 2mm, 근원심 폭이 2mm, 깊이는 2mm로 형성하였다. 모든 치아들의 협측 및 설측 와동을 10초간 압축공기로 건조시킨 뒤 Single Bond etchant (35% phosphoric acid)로 15초간 산처리하고 15초간 수세하고 과량의 수분을 습지로 제거하고 Single Bond를 균일한 층으로 2회 도포하고 2~5초간 살짝 건조시켜 400mW/cm² 광의 세기로 10초간 광중합하였다. 그 후 Z-100 색조 A2를 와동에 충전하고 여러 광조사 방법에 따라 50개의 치아를 10개씩(20면) 무작위로 5개의 군으로 나누어 광중합하였다(Table 1).

1군(Two-step light-curing): 통상적으로 150mW/cm² 광강도로 10초간 광조사후 700mW/cm² 광강도로 30초간 후중합하는 것을 추천하고 있으나, 본 실험에서는 제조회사의 지시대로 400mW/cm²의 광강도로 40초간 최종중합하였다.

2군(Pulse-delay cure): 통상적으로 100~300mW/cm²의 저광강도로 3초간 초기중합후 3~5분간 기다리면서 복합레진 수복물을 연마한후 각 제조회사의 지시대로 고광강도로 조사한다. 본 실험에서는 Z-100 색조 A2로 충전하였으므로 100mW/cm²의 저광강도로 3초간 초기중합후 3~5분간 기다리면서 복합레진 수복물을 연마한후 제조회사의 지시대로 400mW/cm²로 40초간 광중합하였다.

3군, 4군, 5군: 각각 저, 중, 고 광강도로 광조사하는 방법을 이용하였는데, 전체 노출 에너지를 16000mJ/cm²로 동일하게 하기위하여 3군과 4군에서는 중합시간을 길게하고, 5군에서는 제조회사의 지시대로 400mW/cm²로 40초간 광중합하였다. 전체 노출 에너지를 모든 군에서 비슷한 값을 가지게 한 것은 Suh¹¹⁾ 등의 방법에 따른 것이다.

모든 군에서 사용된 연마 기구는 Extrafine diamond point (ISO 293/014, N.B. MANI)와 Soflex disc (3M Dental Products)를 이용하였다. 완료된 시편을 실온의 생리식염수에서 7일간 보관한 후, 5℃와 55℃의 수조에서 번갈아 1분씩 총 500회의 온도변화를 주며 thermocycling을 실시하고 근침부위를 Vitrebond (3M Dental Products)로 폐쇄한 후, 수복와동변연 1mm를 제외한 전 표면에 nail varnish를 2회 도포하였다. 2% Methylene blue 염색용액에 24시간 담근 후 흐르는 물에 세척하고 시편을 투명한 에폭시 레진 (Struers Pedemat, W.G.)에 매몰하였다. 매몰된 시편을 Diamond saw (Isomet, Buehler Co., U.S.A.)를 사용하여 협설측으로 치아장축에 평행하게 절단하고 절단면을 회전연마기구 (Struers Pedemat, W.G.)로 연마하였다.

2) 미세변연누출 관찰

입체 현미경 (Stereo Zoom Microscope, OLYMPUS, Japan)을 사용하여 ×20 배율로 염색용액의 침투도를 관찰하고 사진촬영하여 Kruskal-Wallis One Way ANOVA 와 Dunn's Method로 통계처리하였다.

염색용액의 침투 정도는 다음 Fig. 1과 같이 판정하고 측정후 기록하였다.

3) 변연적합도 관찰

입체 현미경으로 염색용액의 침투도를 측정한 후, 각 군마다 10개의 시편을 선택하여 15초간 32% phosphoric acid를 도포하여 연마시의 표면 잔사를 수세한 다음 건조기에 위치시켜 수분을 제거하였다. 시편을 스테르브에 고정된 후금 증착 (Gold coating)하여 주사전자현미경 (JSM-840A Scanning Microscope, JEOL Ltd., Japan)에서 15 KVp의 가속전압으로 복합레진/법랑질 또는 복합레진/상아질 계면을 관찰하고 그 영상자료를 모두 컴퓨터에 저장하고 대표적인 계면은 polaroid 667 필름 (Kodak Co., U.S.A.)으로 촬영하였다. 그후 Adobe Photoshop 5.0 (Adobe System Inc., Mountain View, Ca)과 Sigma Scan/ Image software ver 1.20 (Jandel Scientific Software, San Rafael, CA)을 이용하여 Unterbrink와 Muessner⁵⁾을 변형한 방법에 따라 복합레진/치아 계면의

Table 1. Various light-curing methods used in this study

Method	Procedure	Total energy	
Group 1	Two-step light-curing	150mW/cm ² ×10sec→400mW/cm ² ×40sec	17500mJ/cm ²
Group 2	Pulse-delay cure	100mW/cm ² ×3sec→400mW/cm ² ×40sec	16300mJ/cm ²
Group 3	Low curing-light intensity	100mW/cm ² ×160sec	16000mJ/cm ²
Group 4	Moderate curing-light intensity	200mW/cm ² ×80sec	16000mJ/cm ²
Group 5	High curing-light intensity	400mW/cm ² ×40sec	16000mJ/cm ²

틈의 최대길이(MG-maximum gap)와 틈이 전체 계면에
서 차지하는 비율(GP-gap percent)을 기록하고 MI(mar-
ginal index)를 'MG×GP/100' 식으로 계산하였다.
Kruskal-Wallis One Way ANOVA와 Dunn's Method
로 통계처리하였다.

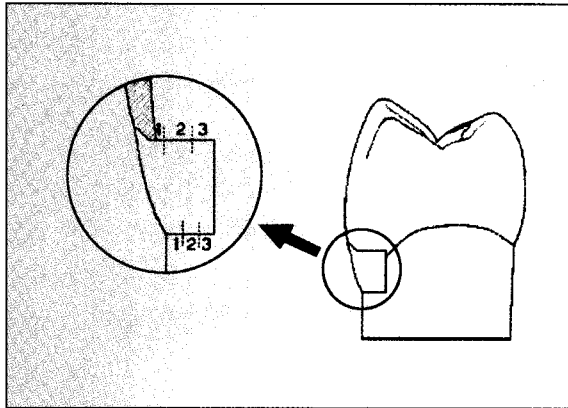


Fig. 1. Schematical representation of the experimental Class V restoration and the scoring method for dye penetration on enamel wall and dentin wall: 0=no penetration; 1=up to 1/3 of occlusal wall or up to 1/3 of gingival wall; 2=up to 2/3 of occlusal wall or up to 2/3 of gingival wall; 3=over 2/3 of occlusal wall or over 2/3 of gingival wall

Ⅲ. 실험결과

1. 미세변연누출 관찰

광중합방법에 따른 염색용액의 침투도와 각 실험군의 평
균값의 비교는 Table 2, 3에 표시하였고, Fig. 2와 Fig. 3
은 이를 도표로 나타낸 것이다. 입체 현미경을 사용하여 ×
20 배율로 관찰한 각 군의 대표적인 시편 촬영 사진은 Fig.
5~9에 나와 있다.

① 법랑질에 대한 염색 용액의 침투도

모든 군에서 법랑질 변연이 상아질 변연보다 유의성있게
낮은 미세변연누출을 보였다(P<0.05). 법랑질 변연에서 저
광강도, Two-step light-curing, 중광강도, Pulse-delay
cure, 고광강도 순으로 염색침투도가 증가하는 경향을 보였
으나 통계적으로 유의성있는 차이를 보이지는 않았다.

② 상아질에 대한 염색 용액의 침투도

법랑질 변연에서의 미세변연누출과 같이 저광강도, Two-
step light-curing, 중광강도, Pulse-delay cure, 고광강도
순으로 염색침투도가 증가하는 경향을 보였으나 통계적으
로 유의성있는 차이를 보이지는 않았다.

2. 변연적합도 관찰

복합레진/치아 사이의 계면에서 MI(marginal index)의

Table 2. Number of specimens in each score and mean leakage values on enamel margin

Group	Score				No.	Mean	S. D.
	0	1	2	3			
Group 1 (Two-step light-curing)	11	7	0	2	20	0.65	0.93
Group 2 (Pulse-delay cure)	8	10	1	1	20	0.75	0.79
Group 3 (Low curing-light intensity)	12	6	1	1	20	0.55	0.83
Group 4 (Moderate curing-light intensity)	10	7	2	1	20	0.70	0.87
Group 5 (High curing-light intensity)	10	6	2	2	20	0.80	1.02

Table 3. Number of specimens in each score and mean leakage values on dentin margin

Group	Score				No.	Mean	S. D.
	0	1	2	3			
Group 1 (Two-step light-curing)	2	4	2	12	20	2.20	1.11
Group 2 (Pulse-delay cure)	2	2	2	14	20	2.40	1.05
Group 3 (Low curing-light intensity)	4	3	2	11	20	2.00	1.26
Group 4 (Moderate curing-light intensity)	2	3	2	13	20	2.30	1.08
Group 5 (High curing-light intensity)	1	2	3	14	20	2.50	0.89

* S.D. : Standard Deviation

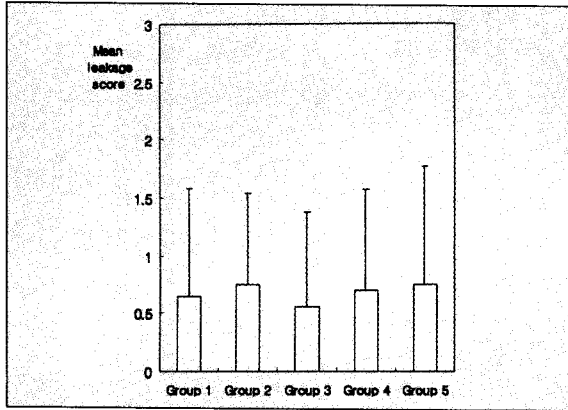


Fig. 2. Mean leakage values of each group on enamel

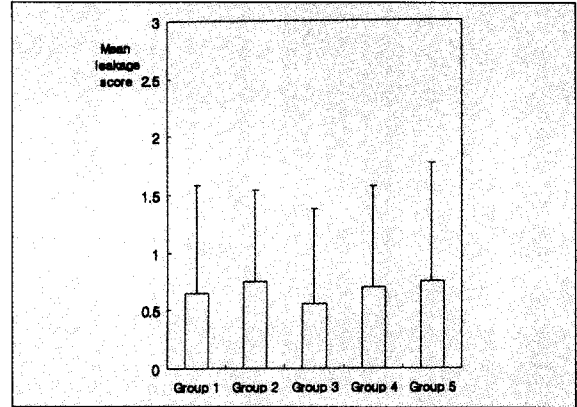


Fig. 3. Mean leakage values of each group on dentin

Table 4. Marginal adaptation as expressed by MG(maximum gap), GP(gap percent), and MI(marginal index)

Group	No.	MG(μ m)	GP(%)	MI
Group 1 (Two-step light-curing)	10	36.5 \pm 8.5	7.5 \pm 4.5	2.7 \pm 0.69
Group 2 (Pulse-delay cure)	10	40.1 \pm 15.5	11.7 \pm 4.8	4.5 \pm 2.01
Group 3 (Low curing-light intensity)	10	35.7 \pm 7.2	8.1 \pm 4.1	3.6 \pm 1.02
Group 4 (Moderate curing-light intensity)	10	39.3 \pm 15.3	9.5 \pm 5.3	5.2 \pm 1.74
Group 5 (High curing-light intensity)	10	54.2 \pm 17.3	10.1 \pm 7.0	7.3 \pm 1.98

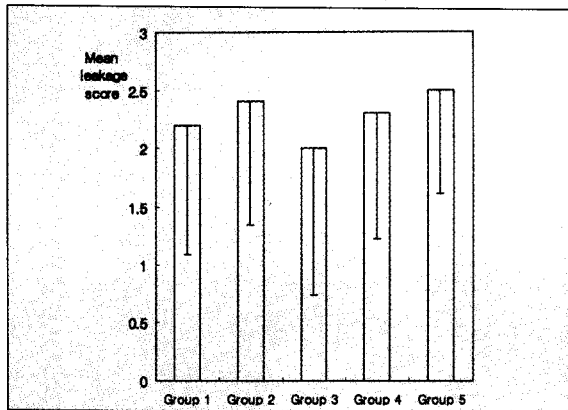


Fig. 4. MI(marginal index) of each group

평균값 비교는 Table 4에 표시하였고, Fig. 4는 이를 도표로 나타낸 것이다. 주사전자현미경을 사용하여 $\times 200$ 배율 또는 $\times 400$ 로 관찰하고 각 군의 대표적인 시편 촬영 사진은 Fig. 10~14에 나와 있다.

모든 군에서 범랑질 변연보다 상아질 변연에서 더 큰 변연 틈을 보였으며 통계적으로 유의성있는 차이를 보였다 ($P < 0.05$). 몇몇 시편에서는 절단면의 occlusoaxial line angle 또는 gingivoaxial line angle 부위에서 큰 변연 틈을 보였다.

복합레진/치아 사이의 계면에서 MI는 Two-step light-

curing, 저광강도, Pulse-delay cure, 중광강도, 고광강도 순으로 증가하여 변연미세누출과 비슷한 경향을 보였다. 즉, 1군과 5군 그리고 3군과 5군 사이에는 통계적으로 유의성있는 차이를 보였다($P < 0.05$). 나머지 군들 사이에는 통계적으로 유의성있는 차이가 없었다($P > 0.05$).

IV. 총괄 및 고안

초기 광중합 복합레진은 색조 불안정성, 불완전한 중합, 낮은 마모 저항성, 중합수축에 기인한 높은 응력 등의 단점이 있었으나, 이러한 문제점들을 해결하려는 많은 노력이 있었다. 새로운 광기시제와 accelerator의 개발로 색조안정성과 중합률이 향상되었고 특히 가시광선의 광강도를 최대화하여 단량체 중합을 최적화하려고 노력하였으며 임상가들에게 항상 광중합기의 광강도를 측정하도록 추천하였다.

그러나, 이러한 기존의 개념들은 도전과 받고 있다. 높은 광강도가 중합률을 향상시킴으로써 바람직한 물리적 성질을 얻을 수 있었으나, 중합속도와 잔류응력을 증가시켜 기대와는 다소 상이한 결과를 보였다. 최근 Gorracci⁹⁾, Mehl⁶⁾, Bouschler¹⁵⁾ 등은 고광강도로만 중합하면 초기 고광강도가 복합레진 기질 내부에서 중합응력의 불균일한 분포를 야기하여 치아/수복물 계면의 미세변연누출을 증가시키고 변연적합성을 저하시킬 수 있다고 하였다.

1990년대 초반, 저광강도로 중합시 느린 중합속도와 낮은 초기응력을 유도하여 접착계면에서의 결합형성을 촉진시켜 최종적인 기계적 성질에 영향없이 변연적합도를 향상시키고 미세변연누출을 감소시킬 수 있다고 보고하였다. 이후 새로운 광중합 방법 즉, 'two-step light-curing' 과 'pulse-delay cure' 등이 소개되어 미세변연누출을 감소시키고 변연적합도를 향상시킬 수 있다고 보고하였다⁹⁾.

본 실험에서 미세변연누출은 two-step light-curing, pulse-delay cure, 저, 중, 고 광강도로 광중합하였을 때, 저광강도, two-step light-curing, 중광강도, pulse-delay cure, 고광강도 순으로 증가되었으나, 통계적으로 유의성있는 차이를 보이지는 않았다. 이는 다양한 광조사 방법에 따른 복합레진 수복물 표면의 미세변연누출을 연구한 Mehl⁶⁾ 등의 결과와 유사하다. 즉, 249mW/cm² 또는 345mW/cm² 광강도로 20초간 광중합하고 450mW/cm²으로 최종 중합하면 450mW/cm²으로 60초간 광중합하였을 때보다 적은 색소 침투도를 보였으며 통계적 유의성은 없었다고 보고하였다. 최근의 상아질 접착제의 결합강도는 치아 또는 수복물 자체의 강도보다 더 강하다고 알려져있으나, 그 계면에서 이와같은 미세변연누출을 보인다면, 상아질 접착제가 와동과 수복물을 완전히 접착시키지 못할 수 있음을 암시한다고 하였다.

본 실험의 변연적합도는 two-step light-curing, 저광강도, pulse-delay cure, 중광강도, 고광강도 순으로 MI (marginal index)가 증가하였으며 저광강도군, two-step light-curing 군과 고광강도군의 변연적합도에는 통계적으로 유의성있는 차이가 있었다. 다양한 광조사 방법에 따른 변연적합도에 관한 연구에서 대체로 저광강도, 또는 two-step light-curing을 시행할 때에 더 우수한 변연적합도를 보인다는 견해가 많으며 본 실험의 결과도 유사한 결과를 보이고 있다. Uno와 Asmussen⁴⁾, Unterbrink⁵⁾, Mehl⁶⁾, Burgess⁸⁾, Feilzer³⁾, Goracci⁹⁾, Davidson¹¹⁾ 등은 제5급 수복물에서 다양한 광조사 후 변연 틈을 각각 marginal index, marginal opening, marginal integrity, 길이(μm), defect 여부(open/closed)를 기준으로 평가하였는데, 저광강도 또는 two-step light-curing 방법으로 광중합할 때에 더 좋은 변연적합도를 보인다고 하였다.

저광강도로 제5급 복합레진 수복물을 광중합하면 Uno와 Asmussen⁴⁾에 의하면 중합이 느리게 일어나므로 유동성이 허용되어 중합수축과 잔류응력을 감소시켜 미세변연누출과 수복물 표면의 변연 간격을 감소시킬 수 있다고 하였다. 이후, Feilzer³⁾, Unterbrink⁵⁾, Davidson¹¹⁾ 등은 제5급 와동에 복합레진 충전 후, 각각 250mW/cm²와 600mW/cm², 250mW/cm²와 450mW/cm², 175mW/cm²와 700mW/cm² 광강도로 광중합시킨 결과, 저광강도로 광중합시 더 좋은 미세변연누출과 변연적합도를 보인다고 보고하였다. 이는 다른 광강도로 중합시 중합속도에 차이가 있다는 것을

의미하며 광중합시 복합레진의 'visco-elastic behavior'가 응력을 유발하게 된다고 하였다. 'Viscous' 단계에서는 중합수축응력이 발생하지 않고 'visco-elastic' 단계에서는 유동성과 탄성변형률에 의해 부분적으로 중합수축응력이 이완되고 주위구조의 순응에 의해 완화되지만, 지나치게 높은 중합수축응력은 치아와 수복물 계면을 분리시키게 된다고 보고하였다. 본 실험에서도 저광강도로 광중합시 미세변연누출과 변연적합도에서 우수한 결과를 보였다.

Two-step light-curing 방법은 Goracci⁹⁾ 이후 소개되었는데, 제5급 복합레진 수복물을 4분 이상 30mW/cm²에서 250mW/cm²으로 광강도를 변화시켜 광중합하면 고광강도로 광중합할 때보다 변연적합도가 증가하다고 보고했다. 고광강도는 복합레진의 중합속도와 반응열을 증가시켜 접도가 급격히 증가하는 'Trommsdorf effect' ('gel effect')에 영향을 미치므로 저광강도로 중합속도를 감소시켜 초기 경화동안 중합수축은 와동벽 방향으로 유동성이 이완되어 발생하도록 할 필요가 있다고 하였다. 이후, Davidson¹¹⁾, Mehl⁶⁾, Burgess⁸⁾ 등도 각각 175mW/cm² 또는 225, 315mW/cm²의 저광강도로 초기 중합 후 40초간 450mW/cm² 고광강도로 최종중합하거나 two-step light-curing 광조사기인 Elipar Highlight로 광중합하였을 때 고광강도로만 중합한 군보다 더 좋은 변연적합도를 보인다고 하였다. 본 실험에서도 two-step light-curing 방법으로 광중합시 미세변연누출과 변연적합도에서 우수한 결과를 보였다.

Pulse-delay cure는 Suh¹⁰⁻¹³⁾ 등이 소개하였는데, 100~300mW/cm²의 저광강도로 수초간 광조사하고 3~5분 동안 기다린후 각 제조회사의 지시대로 고광강도로 조사하면 최종 중합응력을 감소시킬 수 있다고 보고하였다. 광중합 복합레진에 도달하는 전체에너지(mJ/cm²)가 일정하면 100mW/cm²의 저광강도로도 완전한 중합을 얻을 수 있으며 중합률은 20초간 500mW/cm² 광강도로 광조사할 때와 50초간 200mW/cm² 광강도로 조사할 때가 서로 비슷하다고 하였다. 그는 다양한 광강도와 노출시간으로 전체 노출 광에너지를 5000mJ/cm로 일정하게 유지하였을 때, 저광강도와 긴 중합시간에서 상대적으로 높은 중합률과 더 낮은 잔류응력을 보고하였다. 중합개시 속도는 자유기를 발생시키는 광강도에 비례하지 않고 광강도의 제곱근에 비례하며 느린 중합속도는 복합레진이 gel point에 이르는 기간을 증가시키며 이러한 gel point의 지연은 최종잔류응력과 접착계면의 응력발생을 감소시킨다고 보고하고 있다.

Sakaguchi¹⁶⁾와 Davidson¹⁷⁾ 등도 gel point를 지연시키면 복합레진에 유동성을 부가하여 응력이완에 기여한다고 했다. 그러나, 본 실험에서는 제 5급와동에 복합레진을 충전한 후 이 방법으로 광중합하여 관찰하였으나 미세변연누출과 변연적합도가 향상되지는 않았다.

본 실험에서 Jordan¹⁸⁾, Rueggeberg¹⁹⁾, Pires²⁰⁾, Mehl⁶⁾

등과 같이 광강도를 조절하는 방법으로 광조사기와 복합레진 수복물의 사이의 거리에 차이를 두어 표준화시켜서 사용하였다. 이들은 광강도는 거리가 증가하면 점차적으로 감소하며 거리의 제곱에 반비례할 정도로 크게 감소하지는 않는다고 보고하고 있다.

본 실험에서 사용한 단일용기 상아질 접착제인 Single Bond는 상아질 내 수분의 존재 및 그 양에 의해 큰 영향을 받는데, 건조 상아질에서는 교원 망상층이 수축, 붕괴되어 접착레진이 불완전하게 침투하는 'hybridoid zone'이 생기며 상아질 내 수분이 과다한 경우에는 접착레진과 혼성층 사이의 계면에 'overwet phenomenon'이 발생한다. 이러한 성질은 본 실험의 염색용액의 침투도와 변연적합에 큰 영향을 미치리라 사료되며 상아질 접착제의 도포시 제조회사의 지시에 따라 세심한 주의를 기울여 상아질 내 적절한 수분량을 유지하는 위한 노력이 필요하리라 사료된다. 본 실험에서는 미세변연누출에 대한 실험방법 중 염색용액의 침투도를 조사하여 미세변연누출 정도를 정성적으로 평가하였는데, 이러한 방법은 매우 유용하며 유해한 방사선이나 화학반응에 노출될 염려가 없다는 장점이 있으나 술식에 매우 민감하며 그 결과의 평가에 있어 객관적인 기준을 필요로 한다. 미세변연누출의 통로에 대한 정보와 정량적인 평가를 얻기 위해 탈회를 시켜 관찰하거나, 연속절단 또는 연속연마후 2차원, 또는 3차원적으로 재구성하여 염료침투의 방향과 면적/부피를 측정하는 방법들도 추천될 수 있을 것이다.

본 실험에서 제5급 와동에 단일용기 상아질 결합제인 Single Bond와 hybrid type 복합레진인 Z-100 색조 A2로 충전후 다양한 광강도로 광중합하고 미세변연누출과 변연적합도를 평가하였다. 그러나, 색조가 광투과도에 영향을 미치므로 A2 색조 이외의 다양한 색조에 따른 영향을 비교해 볼 필요가 있다. 또한, microfill 복합레진은 hybrid 복합레진보다 저광강도에서 초기에(약 30초 동안) 더 느린 중합속도를 보여 복합레진이 계면 방향으로 좀더 오랫동안 유동성을 유지하여 미세변연누출이 감소하고 변연적합도가 증가한다는 견해가 있으므로 microfill 복합레진 또는 구치부 복합레진을 다양한 광강도로 광중합후 각 복합레진의 조성에 따른 미세변연누출과 변연적합도를 비교하는 것이 필요하리라 사료된다.

본 실험에 사용된 제5급 와동형태는 높은 C-factor (configuration factor)를 가지므로 미세변연누출과 변연적합도에 있어 불리하다고 볼 수 있다¹⁵⁾. 화학중합형 복합레진은 경화시간 또는 pre-gelation phase 기간이 길어 유동성이 중합수축응력을 감소시킬 수 있는 잇점이 있다. 반면에 광중합 복합레진은 빠른 중합반응을 보여 유동성에 의한 응력 감소에 한계가 있으며 유동성을 제공할 수 있는 비결합면(non-bonded surface)이 중합광에 먼저 노출되어 경화되므로 C-factor가 클 경우 결합력이 저하될 수 있다. 최근의

상아질 접착제들은 17MPa 이상의 결합력을 가지므로 C-factor가 1이하일 경우에는 좋은 결합을 보이나, 5급 와동과 1급 와동은 C-factor가 커서 중합수축응력을 완화해주고 유동성을 부여할 면이 적으므로 다른 와동형태보다 큰 응력이 접착계면에 발생하여 미세변연누출과 변연적합성이 떨어질 수 있다. 따라서 제5급 와동형태 이외의 다른 와동형태에서 다양한 광조사 방법에 따른 미세변연누출과 변연적합성에 대한 연구가 필요하리라 사료된다.

V. 결 론

광중합 복합레진 수복시 여러 광조사 방법에 따른 미세변연누출을 알아보기 위하여 50개의 발거된 상, 하악 대구치의 치경부 협, 설측에 백악-법랑 경계 1mm 하방의 백악질에 치은 변연부가 위치하도록 제5급 와동을 형성하고, 제5세대 상아질 접착제인 Single Bond와 hybrid type인 Z-100 색조 A2를 사용하여 충전하였다. 다양한 광조사 방법 즉, two-step light-curing, pulse-delay cure, 저,중,고 광강도로 각각 광중합하여 총 5개의 군으로 나누어 실험하였다. 모든 시편을 thermocycling을 시행하고, 2% Methylene blue 염색용액에 24시간 동안 담그어 수세후 투명 레진에 매몰하였다. 매몰된 시편을 협설측으로 치아 장축 방향으로 평행하게 절단하여 미세변연누출을 관찰하고, 주사전자현미경으로 복합레진/법랑질 또는 복합레진/상아질 계면의 변연적합도를 비교, 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 미세변연누출은 모든 군에서 법랑질 변연이 상아질 변연보다 유의성있게 낮았다($P<0.05$).
2. 미세변연누출은 법랑질, 상아질 변연에서 저광강도, two-step light-curing, 중광강도, pulse-delay cure, 고광강도 순으로 증가하는 경향이 있었으나, 통계적으로 유의성이 없었다($P>0.05$).
3. 변연적합도는 모든 군에서 법랑질 변연보다 상아질 변연에서 유의성있게 더 큰 변연간극을 보였다($P<0.05$).
4. 변연간극은 two-step light-curing, 저광강도, pulse-delay cure, 중광강도, 고광강도 순으로 증가하는 경향이 있었으며 two-step light-curing 군, 저광강도 군과 고광강도 군 사이에 통계적으로 유의성이 있었다($P<0.05$).

참 고 문 헌

1. Saliha S. Davidson-Kaban, Davidson CL, and Feilzer AJ: The effect of curing light variation on bulk curing and wall-to-wall quality of two types and various shades of resin composites. *Dent Mater* 1997;13:344-352.
2. WH Tate, KH Porter, RO Dosch et al. : Successful photocuring: Don't restore without it. *Oper Dent* 1999;24:109-114.
3. Feilzer AJ, Dooren LH, de Gee AJ, and Davidson CL: Influence of light intensity on polymerization shrinkage and integrity of restoration-cavity interface. *Eur J Oral Sci*

- 1995:103:322-326.
4. Uno S and Asmussen E: Marginal adaptation of a restorative resin polymerized at a reduced rate. *Scand J Dent Res* 1991 ;99:440-444.
 5. G.L. Unterbrink and R. Muessner: Influence of light intensity on two restorative systems. *J Dent* 1995; 23(3):183-189.
 6. A. Mehl, R. Hickel, and K.H. Kunzelmann: Physical properties and gap formation of light-cured composites with and without 'softstart-polymerization' . *J Dent* 1997:25(3-4):321-330.
 7. Koran et al. : Effect of sequential versus continuous irradiation of a light-cured resin composite on shrinkage, viscosity, adhesion, and degree of polymerization. *Am J Dent* 1998:11(1):17-22.
 8. Burgess JO et al. : An evaluation of four light-curing units comparing soft and hard curing. *Pract Periodont Aesthet Dent* 1999 ;11(1):125-132.
 9. Guido Goracci et al. : Curing light intensity and marginal leakage of resin composite restorations. *Quintessence Int* 1996:27(5) :355 -362.
 10. B.I. Suh, C.A. Cripe, F.A. Cincione, J. Kanca, and W.A. Vinson: Shrinkage stress relaxation using pulsed curing. *Abst #1394 AADR* 1998:pp. 1-6.
 11. B.I. Suh, C.A. Cripe: Light intensity and exposure time effect on light-cured composites. *Abst #73, IADR* 1998:pp. 1-6.
 12. B.I. Suh et al. : Examination of experimental cavity substrates as a function of modulus of elasticity during polymerization of composites. *Abst #1242 AADR* 1998:pp. 1-8.
 13. B.I. Suh et al. : The effect of the pulse-delay cure technique on residual strain in composites. *Compendium* 1999; 20(2):1-12.
 14. F.A. Rueggeberg et al. : Precision of hand-held dental radiometers. *Quintessence Int* 1993:24(6):391-396.
 15. M.R. Bouschlicher et al. : Effect of composite type, light intensity configuration factor and laser polymerization contraction forces *Am J Dent* 1997:10:88-96.
 16. R.L. Sakaguchi et al. : Reduced light intensity decreases post-gel contraction while maintaining degree of conversion in composites. *J Dent* 1998:26:695-700.
 17. Davidson CL, Feilzer AJ: Polymerization shrinkage and polymerization stress in polymer based restoratives. *J Dent* 1997:25 :435-442.
 18. D.M. Jordan et al. : Effect of light-tip distance on polymerization of resin composite *Int J Prosth* 1993:6(4):125-131.
 19. F.A. Rueggeberg et al. : Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composites *Oper Dent* 1994:19:26-32.
 20. Jose Antonio F. Pires et al. : Effect of curing tip distance on polymerization of resin composite *Int J Prosth* 1993; 24(7):517-520.
 21. M.S. Gale, B.W. Darwell et al. : Three -dimensional reconstruction of microleakage pattern using a sequential grinding technique *J Dent* 1994:22:370-375.
 22. J.A. Gwinnett, Franklin R. Tay et al. : Comparison of three methods of critical evaluation of microleakage along restoration interfaces *J Prosthet Dent* 1995:74:575-585.

사진부도 ①

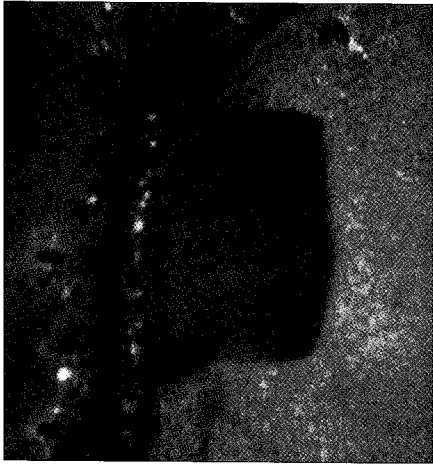


Fig. 5. Dye penetration in group 1.
(Steromicroscope, $\times 20$)



Fig. 6. Dye penetration in group 2.
(Steromicroscope, $\times 20$)



Fig. 7. Dye penetration in group 3.
(Steromicroscope, $\times 20$)



Fig. 8. Dye penetration in group 4.
(Steromicroscope, $\times 20$)



Fig. 9. Dye penetration in group 5.
(Steromicroscope, $\times 20$)

사진부도 ②

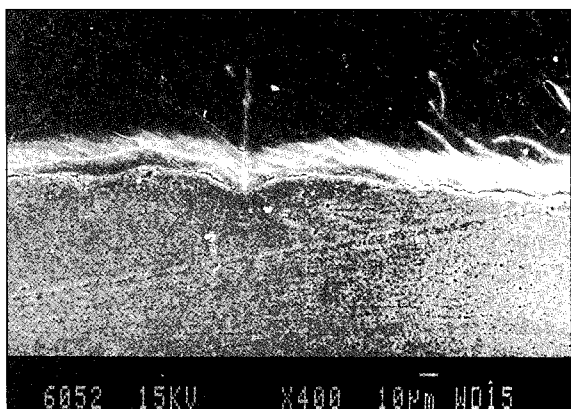


Fig. 10. Resin/Dentin interface in group 1.
(SEM, ×400)

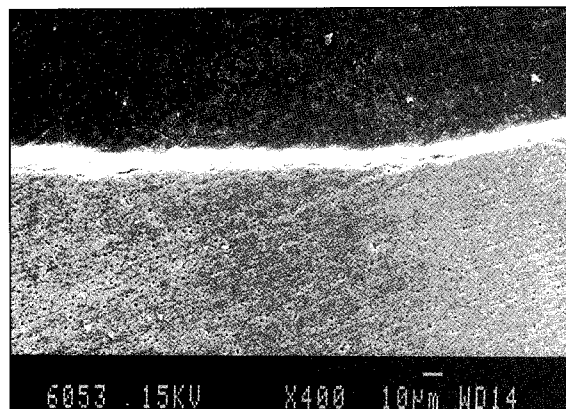


Fig. 11. Resin/Dentin interface in group 2.
(SEM, ×400)

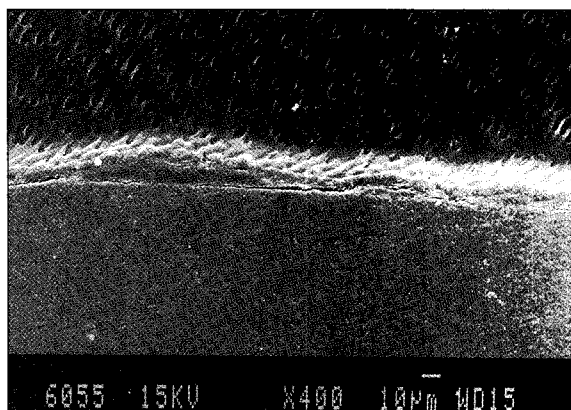


Fig. 12. Resin/Dentin interface in group 3.
(SEM, ×400)

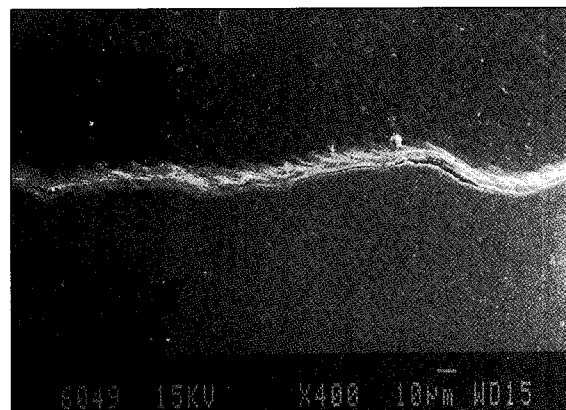


Fig. 13. Resin/Dentin interface in group 4.
(SEM, ×400)

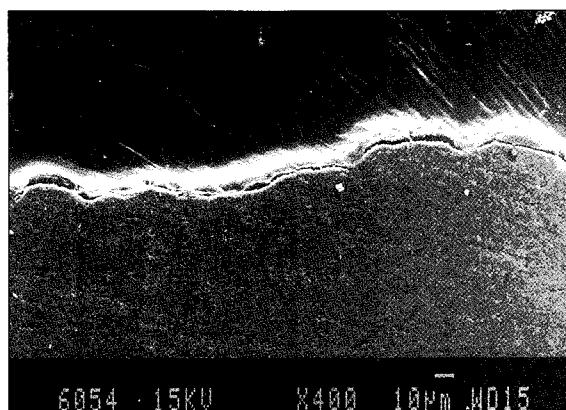


Fig. 14. Resin/Dentin interface in group 5.
(SEM, ×400)