

도재인레이 하방에서 광중합형 복합레진과 이중중합형 복합레진시멘트의 미세경도와 중합률에 관한 연구

김승수 · 조성식 · 엄정문

서울대학교 대학원 치의학과 치과보존학교실

ABSTRACT

THE MICROHARDNESS AND THE DEGREE OF CONVERSION OF LIGHT CURED COMPOSITE RESIN AND DUAL CURED RESIN CEMENTS UNDER PORCELAIN INLAY

Seung-Soo Kim, D.D.S., M.S.D., Sung-Sik Cho, D.D.S., M.S.D., Ph.D., Chung-Moon Um, D.D.S., M.S.D., Ph.D.
Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Seoul National University

Resin cements are used for cementing indirect esthetic restorations such as resin or porcelain inlays. Because of its limitations in curing of purely light cured resin cements due to attenuation of the curing light by intervening materials, dual cured resin cements are recommended for cementing restorations.

The physical properties of resin cements are greatly influenced by the extent to which a resin cures and the degree of cure is an important factor in the success of the inlay.

The purpose of this study was to evaluate the influence of porcelain thickness and exposure time on the polymerization of resin cements by measuring the microhardness and the degree of conversion, to investigate the nature of the correlation between two methods mentioned above, and to determine the exposure time needed to harden resin cements through various thickness of porcelain.

The degree of resin cure was evaluated by the measurements of microhardness [Vickers Hardness Number(VHN)] and degree of conversion(DC), as determined by Fourier Transform Infrared Spectroscopy(FTIR) on one light cured composite resin (Z-100(Z)) and three dual cured resin cements (Duo cement(D), 3M Resin cement(R), and Dual cement(DA)) which were cured under porcelain discs thickness of 0mm, 1mm, 2mm, 3mm with light exposure time of 40sec, 80sec, 120sec, and regression analysis was performed to determine the correlation between VHN and DC. In addition, to determine the exposure time needed to harden resin cements under various thickness of porcelain discs, the changes of the intensity of light attenuated by 1mm, 2mm, and 3mm thickness of porcelain discs were measured using the curing radiometer.

The results were obtained as follows :

1. The values of microhardness and the degree of conversion of resin cements without intervening porcelain discs were 31~109VHN and 51~63%, respectively. In the microhardness Z was the highest, followed by R, D, DA. In the degree of conversion, D and DA was significantly greater than Z and R($p < 0.05$).
2. The microhardness and the degree of conversion of the resin cements decreased with increasing thickness of porcelain discs, and increased with increasing exposure time. D and R showed great variation with inlay thickness and exposure time, whereas, DA showed a little variation.

3. The intensity of light through 1mm, 2mm, and 3mm porcelain inlays decreased by 0.43, 0.25, and 0.14 times compared to direct illumination, and the respective needed exposure times are 53 sec, 70 sec, and 93 sec. In D and R, 40 sec of light irradiation through 2mm porcelain disc and 80 sec of light irradiation through 3mm porcelain disc were not enough to complete curing .
4. The microhardness and the degree of conversion of the resin cements showed a positive correlationship($R = 0.791 \sim 0.965$) in the order of R, D, Z, DA. As the thickness of porcelain discs increased, the decreasing pattern of microhardness was different from that of the degree of conversion, however.

Key Word : Porcelain inlay, Light cured composite resin, Dual cured composite resin cement, Microhardness, degree of conversion

1. 서 론

수복치과분야에서 심미적인 술식의 요구가 증가됨에 따라 전치부 뿐만 아니라 구치부에도 치아색수복물인 복합레진이나 도재를 사용해 제작한 인레이의 사용이 증가되고 있다¹⁾. 특히, 도재인레이는 변색 가능성이 적고 마모저항성이 우수하며, 자연치의 색상을 효과적으로 재현하여 뛰어난 심미성을 가지며 레진시멘트와 접착력이 강하다²⁾. 또한, 최근에는 CAD/CAM system과 같이 절삭에 의해 도재수복물을 제작하는 새로운 방법이 개발되어 보다 간편하게 정밀한 수복물을 제작할 수 있다.

도재나 복합레진 인레이는 기공과정을 거쳐 복합레진시멘트로 치아에 접착되기 때문에 접착시멘트의 물성이 시술의 성공에 중요한 역할을 한다. 복합레진시멘트는 수복치과에서 최근에 도재인레이나 라미네이트, 복합레진인레이, 그리고 CAD/CAM을 이용한 도재수복물의 접착에 많이 이용되고 있다. 화학중합형 레진시멘트가 초기에 이용되었으나 경화시간이 길고 조작과 마무리가 어렵기 때문에 이후 광중합형 레진시멘트가 이용되었다. 이 광중합형 레진시멘트는 혼합이 필요 없고 충분한 조작시간을 가지며, 기포생성 없이 빠르고 광범위하게 중합되고 바로 마무리가 가능하여 간편하게 사용할 수 있다³⁻⁵⁾. 그러나, 수복물^{2,6,7)}이나 상아질⁸⁾, 그리고 법랑질⁹⁾ 등을 통해 광조사시 광도의 감소로 레진시멘트의 완전한 중합이 어렵고, 치은연하로는 광이 투과될 수 없다. 이러한 제한 때문에 화학중합과 광중합이 모두 가능한 이중중합형 레진시멘트(Dual-cured Resin Cement)가 개발되었다. 이 시멘트는 화학중합에 이용되는 peroxide/amine 성분과 광중합에서 이용되는 camphoroquinone을 함유하고 있어, 광활성성분은 수복물의 고정을 위해 빠른 초기경화를 제공하며 광도가 감소되어 충분한 광중합이 일어나지 않은 부위는 자유라디칼을 형성하여 화학중합이 일어나 중합을 완성시킨다. 이중중합개시제는 중합률, 용해저

항도, 그리고 인장강도 등을 증가시키나¹⁰⁾, 두 가지 pastes 로 구성되어 기포의 발생 없이 균일한 혼합물을 얻기 힘들고, 화학중합계가 온도⁶⁾에 의해 영향을 많이 받는다.

복합레진은 기질과 filler가 주성분으로 구성되어 있으며, 기질의 대부분이 점도가 높고 견고한 방향족 단량체(aromatic monomer)인 Bis-GMA를 함유하며 그와 비슷한 점도의 Bis-MA, Bis-EMA, 그리고 Bis-PMA 등도 사용되고 있다¹¹⁾. 그러나, Bis-GMA는 상당히 점도가 높아 TEGDMA나 EGDMA등을 희석제로 첨가하여 사용한다. 또한, Bis-GMA에서 수산화기를 제거하여 점도와 물 흡수성을 감소시킨 Bis-MEPP를 이용하거나, urethane dimethacrylates를 이용하여 점도를 낮추고 광산화를 증가시켜 중합도를 개선하려는 제품도 있다.

화학중합형 복합레진의 경우 중합반응은 수복물의 후경에 관계없이 전체적으로 균일하게 일어나지만, 광중합형 복합레진의 경우 활성화시키는 광의 침투깊이에 많은 영향을 받는다¹²⁾. 광중합형 복합레진의 중합률은 filler의 조성과 함량, 레진의 화학 구조, 색상과 투과도, 광원의 강도, 그리고 조사시간 등 여러 요소에 의해 결정된다¹³⁾.

복합레진의 중합률은 기질상의 조성에 많은 영향을 받는다. 점도가 높은 방향족 단량체의 농도가 증가하면 복합레진의 점도를 증가시켜 중합 중에 라디칼의 확산이 낮은 점도의 단량체보다 잘 일어나지 않아 중합속도를 감소시키고 종결과정을 빠르게 일으켜 중합률은 감소한다¹⁴⁾. 또한, 기질 내에 포함된 단량체 이외의 첨가물인 개시제, 아민, 억제제도 중합에 영향을 미친다고 보고되고 있다¹⁵⁻¹⁷⁾.

복합레진의 중합률은 물리적 성질에 영향을 준다. unfilled 레진의 인장강도, 압축강도, 굽힘강도계수, 그리고 경도 등의 기계적 물성은 중합률이 증가할수록 증가한다고 보고되고 있다¹⁸⁻²⁰⁾. 특히 CEREC 같이 절삭 가공에 의해 제작된 도재수복물은 그 기계적 특성과 술자의 숙련도에 따라 100 μ m 내외의 간격²¹⁾이 수복물과 외동사이에 존재하여 시

멘트의 물리적 성질이 중요하며, Schmalz등²²⁾은 시멘트의 마모에 의한 변연 ditching을 방지하려면 점도가 높고 filler를 많이 함유한 복합레진을 시멘트로 사용해야 한다고 하였다. 중합된 복합레진에 반응되지 않은 metha-crylate group이 남아있어 레진의 강도와 마모저항도의 감소, 용해도 증가, 생물학적 친화도 감소, 크기나 색의 안정성에 나쁜 영향^{23,24)}을 주며, 그리고 중합체 기질의 분해반응을 촉진시킨다²⁵⁾.

치아 경조직이나 도재, 또는 복합레진을 통해 광중합시킨 경우 그 후경이 증가할수록 광중합 복합레진시멘트의 중합률은 감소한다. Lutz등²⁶⁾은 광중합 복합레진을 60초간 광조사한 경우 범광질을 통해 3mm, 상아질을 통해 2mm, 복합레진을 통해 2.5mm, 도재를 통해 2.5mm까지 중합될 수 있다고 보고하였다. 이는 치아나 수복물을 통해 광조사하면 빛의 산란과 반사 및 흡수 등으로 광도가 감소되어 중합을 일으킬 수 있는 에너지가 소실되기 때문이다. 이러한 경우 광조사시간을 증가시켜 광도의 감소를 보상할 수 있다. Strang²⁷⁾은 도재를 통해 40 - 50% 광이 흡수된다고 하였고, O'Keefe등²⁸⁾은 도재의 후경이 도재를 통한 조사광의 투과도에 주된 결정요소라고 하였다. Chan과 Boyer²⁹⁾는 도재의 후경이 증가함에 따라 어느 정도의 후경까지는 복합레진시멘트의 경도가 점차적으로 감소하고 이후 급격한 감소를 보인다고 하였다. 이중중합형 복합레진시멘트는 광이 도달되지 않는 부위에서도 화학중합으로 중합을 완성시키도록 제조되어 있으나 여러 연구에서 광조사없이 화학중합만으로는 완전한 중합을 일으킬 수 없고 복합레진이나 도재를 통한 광감소에 의해 중합정도가 영향을 받는다고 보고되고 있다^{6,30,31)}.

복합레진이나 도재의 색상도 광도의 감소에 영향을 미친다고 보고되고 있다^{27-29,32)}. 그러나, Ferracane등³³⁾은 중합정도가 색상보다는 투과도에 의존한다고 하였다. 또한, 기질내의 filler도 투과도에 영향을 주며, Uctasli등³⁰⁾은 microfine filler를 함유한 시멘트가 hybrid filler를 함유한 시멘트보다 광감소의 정도가 작았다고 보고하였다.

복합레진의 중합 정도를 측정하는 방법은 여러 가지가 제시되었다. 간접적인 측정 방법으로 가장 많이 이용되는 것은 경도 측정^{2,6,10,29,30,32)}으로 일반적으로 높은 경도의 값을 갖는 것은 중합률이 높은 것을 의미한다^{18,20)}. 일정 깊이 아래에서 중합된 복합레진의 경도는 표면에서 측정된 경도의 80% 이상이 되어야 한다고 보고³⁴⁾되고 있다. 이외에도 Astra blue용액³⁵⁾, 광학현미경^{36,37)}, Scraping test^{38,39)}, 그리고 Penetrometer⁴⁰⁾ 등을 이용하여 간접적으로 중합정도를 측정한다. 직접적으로 중합정도를 측정하는 방법으로 적외선 다중 내반사 분광법(Infrared multiple internal reflection spectroscopy)⁴¹⁾, 시차주사열계량법(Differential scanning calorimetry)^{42,43)}, 미세 전반사 적

외선 분광법(Microattenuated total reflection infrared spectroscopy)⁴⁴⁾, 그리고 Fourier 변환 적외선 분광법(Fourier Transform Infrared spectroscopy)^{35,45-49)} 등이 있다.

진술한 측정 방법중에서 경도를 측정하는 간접적인 방법과 Fourier 변환 적외선 분광법(FTIR)을 이용한 직접적인 방법이 간편하고 신속한 장점이 있어 많이 이용되고 있고, 서로 연관성을 갖는다고 보고되고 있다²⁰⁾. Asmussen¹⁸⁾은 Wallace 경도값과 간접인장강도, 그리고 IR에서 측정된 중합률이 상관관계를 보인다고 하였고, Rueggeberg등⁵⁰⁾은 중합정도를 예상할 수 있는 방법 중에 FTIR에서 측정된 중합률이 경도나 레진 누출과 연관성을 갖는다고 하였다.

적외선 분광법은 복합레진의 중합 과정에서 일어나는 탄소 이중결합이 단일 결합으로 변하는 정도를 측정하여 중합률을 계산할 수 있는 방법이다. 이 방법의 장점은 소량의 시편만으로도 측정이 가능할 뿐만 아니라 고체, 액체, 기체 상태에 관계없이 분석이 가능하다. 적외선 분광법의 원리는 적외선 파장(2.5~15 μ m)내에서 각각의 functional group 내 분자의 진동 특성에 기인한 광선의 흡수 원리에 기초한 것으로 특정한 functional group의 존재 유무를 알 수 있다. 결합신장(bond stretching) 및 결합굴곡(bond bending)으로 반응되는 결합진동은 스펙트럼에 사용되는 진동수인 4,000 cm^{-1} ~400 cm^{-1} 의 범위에서 신장 및 굴곡진동상태를 변화시킨다. 공유결합의 각각의 신장진동은 스펙트럼의 특정 진동수 범위에서만 적외선을 흡수한다. 적외선 분광법의 흡수 띠의 전이는 분자내 진동 변화와 연관되고 functional group의 동정은 적외선 스펙트럼내의 흡수 띠에 나타나는 특정 진동수를 확인함으로써 알아낼 수 있다. 중합체, 단량체 그리고 첨가제 내의 functional group(C-C, C=C, C-O, C=O, C-H, O-H, N-H)을 적외선분광스펙트럼내 흡수 띠에 대한 특정 진동수로 인지할 수 있어, 탄소 이중결합이 탄소 단일결합으로 변환되는 정도를 측정하여 복합레진의 중합률을 측정할 수 있다.

현재 복합레진이나 도재를 이용한 인레이의 접착에 수복용 복합레진, 광중합형 복합레진시멘트, 그리고 이중중합형 복합레진시멘트를 사용하고 있다. 복합레진시멘트의 중합정도는 도재인레이를 통해 광조사 할 경우 감소한다고 보고되고 있으며 여러 요소에 의해 영향을 받을 수 있다. 이에 저자는 광중합형 복합레진과 이중중합형 복합레진시멘트를 다양한 후경의 CEREC용 도재를 통해 광조사시간을 달리 하여 미세경도와 중합률을 측정하였고 두 측정방법에 대한 상관관계를 비교 평가하였다. 또한, 도재인레이를 통한 광도의 감소와 그에 따른 조사시간의 증가가 중합률과 미세경도에 미치는 영향을 고찰하여 다소의 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

II. 실험재료 및 방법

본 실험은 시판되고 있는 3종의 이중중합형 복합레진시멘트와 1종의 광중합형 복합레진을 사용하여 다양한 후경의 CEREC 2(Siemens AG, Bereich Medizinische Technik, Germany)용 도재를 통해 조사시간을 달리하여 미세경도와 중합률을 측정하였다. 광중합형인 Z-100은 단일상으로 구성되며, 이중중합형인 Duo Cement, 3M Resin Cement, 그리고 Dual Cement는 두 가지 상으로 구성되어 있다. 사용된 접착시멘트용 복합레진의 제품명과 제조회사 및 제품번호는 Table 1과 같고 약어로 Z, D, R, DA로 표기하였다. 가시광선 조사기는 Curing Light XL 3000(3M Dental Co. U.S.A.)을 이용하였다. 광조사에 대한 도재수복물의 영향을 관찰하기 위해 사용된 도재시편은 CEREC용 block(CEREC Vitablocs mark II machinable ceramics, shade A2C/ I10, vita, Bad Sackingen, Germany)을 다이아몬드디스크로 절단한 후, 자동연마기 Rotopol-V(Struers, Copenhagen, Denmark)를 이용하여 silicon carbide paper #800에서 #2400까지 연마하여 1mm, 2mm, 3mm의 후경으로 제작하였다.

1. 미세경도 측정

시편제작 : 미세경도측정에 이용될 레진시멘트의 일정한 후형을 부여하기 위해 직경 6mm, 높이 1mm의 금속주형을 제작하여 밀면에 Mylar strip을 위치시켜 유리판 위에 놓고 레진시멘트를 기포가 발생되지 않도록 유의하며 약간의 잉여량이 생기도록 충전하고, 금속주형위에 Mylar strip를 놓고, 그 위에 slide glass를 덮어 가볍게 가압하여 금속주형내에서 잉여레진은 밀려나오도록 하였다. 이후 주형위의 slide glass를 제거하여 광중합을 하기 위한 시편제작을 완성하였으며, 모든 재료의 취급은 제조회사에 지시에 따라 사용함을 원칙으로 하였다.

- 1) 상부에 도재편 없이 직접 광중합한 레진시멘트의 미세경도 측정
제작된 시편 위에 Mylar strip을 위치시키고 광조사기로

광조사시간을 40초, 80초, 120초로 달리하여 광중합시킨 후 경과시간을 일정하게 하기 위해 시편을 30분간 실온 상에 빛이 통하지 않는 곳에 보관한 후에 미세경도측정기(Shimadzu Micro-Hardness Tester HMV-2000, Shimadzu Co., Japan)로 부하 25g을 10초간 가하여 Vicker's Hardness Number(VHN)를 구하였으며, 이를 대조군으로 사용하였다. 각각의 레진시멘트와 조사시간에 대해 3개의 시편을 제작하여 시행하였다.

- 2) 1mm, 2mm, 3mm 후경의 도재편을 통해 광중합한 레진시멘트의 미세경도 측정

광조사시 도재수복물이 레진시멘트의 미세경도에 미치는 영향을 관찰하기 위해 제작된 시편의 상부에 1mm, 2mm, 3mm의 후경으로 제작된 도재편을 위치시키고 상기의 1)과 같은 방법으로 광중합한 후에 미세경도를 측정하였다.

2. 중합률 측정

시편제작 : 두장의 polyethylene film사이에 측정하려는 레진시멘트를 놓고 가압하여 40 μ m 후경의 박막형태로 Fourier변환 적외선 분광법 측정 대상이 되는 시편을 제작하였다. 백색여과지위에서 박막형태의 시편을 직경 6mm가 천공된 불투명한 종이사이에 붙여 측정하려는 레진시멘트가 직경 6mm부위만 노출시키도록 제작하였다.

- 1) 상부에 도재편없이 직접 광중합한 레진시멘트의 중합률 측정

중합전과 중합후의 탄소 이중결합의 농도를 비교하여 레진시멘트의 중합률을 측정하기 위해 중합전 상태에서 제작된 시편을 Fourier 변환 적외선분광기(Bomem MB-100, Bomem Inc.)로 탄소 이중결합을 측정하였다. 적외선 흡수 스펙트럼을 기록하기 위해 4,000~400cm⁻¹ 범위의 흡수 mode에서 적외선이 조사되는 부위에 시편을 위치시키고 적외선을 조사하였다. 해상도는 4cm⁻¹이고 16회 scan하였다. 적외선 광선이 시편에 조사되면, 광선의 스펙트럼이 transmission에 기록되고, spectrometer내의 micro-processor에 의해 absorbance spectrum으로 전환되어, 컴퓨터 화면상에 나타나게 된다. 이후 중합전 탄소 이중결

Table 1. Composite Resin Cements used in the study

Brand Name	Code	Batch No.	Curing Method	Producer
Z-100	Z	19971103	Light-cured	3M Dental Co. U.S.A.
Duo Cement	D	19970609	Dual-cured	Coltene, Alstattern, Switzerland
3M Scotchbond Resin Cement	R	FG383	Dual-cured	3M Dental Co. U.S.A.
Dual Cement	DA	814772	Dual-cured	Vivadent, Schaan, Liechtenstein

합을 측정할 시편에 대해 광조사시간을 40초, 80초, 120초로 달리하여 광중합하고 광중합된 시편을 Fourier 변환 적외선분광기로 탄소 이중결합을 측정하였다. 중합후 측정시기는 미세경도의 측정과 같이 광조사후 30분 후에 하였다. 동일한 방법으로 실험을 2회 반복하여 시행하였다.

2) 1mm, 2mm, 3mm 후경의 도재편을 통해 광중합한 레진시멘트의 중합률 측정

제작된 시편을 전향에 기술한 바와 같이 중합 전에 레진시멘트의 적외선 스펙트럼을 얻은 후 1mm, 2mm, 3mm의 후경으로 제작된 도재편을 레진시멘트위에 위치시키고 광조사시간을 40초, 80초, 120초간 달리하여 광중합하고 광중합된 시편을 전향에 기술한 바와 같이 Fourier 변환 적외선분광기로 탄소 이중결합을 측정하였다.

3) 중합률 측정원리

대부분의 복합레진은 Bis-GMA나 그것의 isomer를 포함하고 있어 이것의 단량체는 신장흡수띠를 aliphatic 탄소 이중결합은 $1,640\text{cm}^{-1}$ 에서, aromatic 탄소 이중결합은 $1,610\text{cm}^{-1}$ 에서 보인다. $1,610\text{cm}^{-1}$ 에서 나타나는 벤젠링내의 탄소 이중결합은 중합과정 동안 강도가 변하지 않고 남아 있어 계산 과정에서 내부적 기준으로 삼을 수 있다. 그러므로 $1,640\text{cm}^{-1}$ 에서 나타나는 aliphatic 탄소 이중결합의 양의 측정으로 남아 있는 methacrylate group를 식 1)을 이용하여 계산할 수 있다. 그러나, 상용되고 있는 복합레진 중에는 기본단량체에 Bis-GMA가 포함되지 않는 경우도 있다. 이번 실험에서 사용한 Dual cement에는 Bis-GMA 대신 urethane dimethacrylate(UDMA)가 포함되어 있다. 이 경우 $1,730\text{cm}^{-1}$ 에서 peak를 보이는 carbonyl(C=O) peak나 $3,350\text{cm}^{-1}$ 에서 peak를 보이는 urethane(N-H) peak로 내부적 기준을 삼는다⁵⁹⁾. 본 실험에서 사용한 Dual cement에 대해 중합률 측정의 내부적인 기준으로 N-H peak를 이용하였고, 중합률의 계산은 1610cm^{-1} 의 탄소이중결합의 측정값 대신에 N-H peak의 측정값을 이용한다. FTIR spectrum에서 얻은 peak의 흡수도는 baseline method⁵⁶⁾를 기준으로 Bomem-calc FTIR software (Spectra calc, Collection arithmetic C 2.21)를 이용하여 면적을 계산하여 구하였다.

식 1) Degree of Conversion(%)

$$= 100 - \frac{\text{absorption(aliphatic C=C)/absorption(aromatic C=C) polymer}}{\text{absorption(aliphatic C=C)/absorption(aromatic C=C) monomer}} \times 100$$

3. 도재편을 통한 광도의 감소와 그에 따른 조사시간의 증가가 레진시멘트의 중합률과 미세경도에 미치는 영향의 관찰

도재수복물을 통해 광을 조사할 경우 광도를 감소시킴으로서 이에 따른 조사시간의 증가가 레진시멘트의 미세경도와 중합률에 미치는 영향을 관찰하기 위해 Curing Radiometer(Curing radiometer Model 100. Demetron Research Corp., U.S.A.)를 이용하여 광조사기의 light guide 끝과 1mm, 2mm, 3mm 후경의 도재편을 통과한 광도의 변화를 측정하였다. light guide의 끝을 radiometer의 광센서 위에 위치시킨 후 도재편을 투과한 후의 광도와 도재편이 장착되지 않은 광도를 측정하였다. 각 도재편에 대해 3회 측정하여 평균값을 구하였다.

측정된 광의 세기를 이용하여 도재의 투과계수를 구해 도재하방에서 레진시멘트에 필요한 조사시간(t)을 다음 식²⁹⁾ $t = t_0 T_c^{-x/2}$ (t_0 : exposure time of the resin cement alone, T_c : Transmission coefficient, x : Porcelain thickness)에서 얻어 실험 1), 2)의 결과와 비교하였다.

4. 미세경도와 중합률의 상관관계 분석 및 통계처리

미세경도와 중합률의 연관성을 규명하기 위해 각 재료별로 $p < 0.05$ 의 유의수준으로 회귀분석을 하여 상관관계를 규명하였다. 각 재료별과 재료간에 조건에 따른 미세경도의 차이와 중합률의 차이에 대한 유의성은 ANOVA Test와 Scheff'e Test로 검정하였다(유의수준 $p < 0.05$).

III. 실험성적

1. 미세경도(V. H. N.)

3종의 이중중합형 레진시멘트와 1종의 광중합형 복합레진을 사용하여 앞서 기술한 방법에 의해 미세경도를 측정하였다. 측정된 미세경도의 평균 및 표준편차는 Table 2, Table 3과 같고, Fig. 1, Fig. 2는 이를 도표로 나타낸 것이다.

1) 상부에 도재편없이 광중합한 레진시멘트의 미세경도(대조군, Table 2, Fig. 2)

수복물에 의한 간섭 없이 40초, 80초, 120초간 광조사한 레진시멘트의 미세경도(V. H. N.)는 Z의 경우 104.67, 107.67, 109.33, D의 경우 47.07, 46.20, 48.00, R의 경우 60.03, 68.13, 65.67, 그리고 DA의 경우 31.17, 32.43, 34.87으로 조사시간에 관계없이 Z, R, D, DA순으로 유의성있게 높은 미세경도를 보였다($p < 0.05$). Z와 DA

Table 2. Vicker's Hardness Number(VHN) of resin cements without intervening porcelain inlay according to exposure time

Materials	40 sec	80sec	20sec
Z	104.67 ± 1.15	107.67 ± 2.52	109.33 ± 1.53
D	47.07 ± 2.71	46.20 ± 1.04	48.00 ± 1.85
R	60.03 ± 1.16	68.13 ± 1.06	65.67 ± 2.55
DA	31.17 ± 0.90	32.43 ± 1.16	34.87 ± 1.89

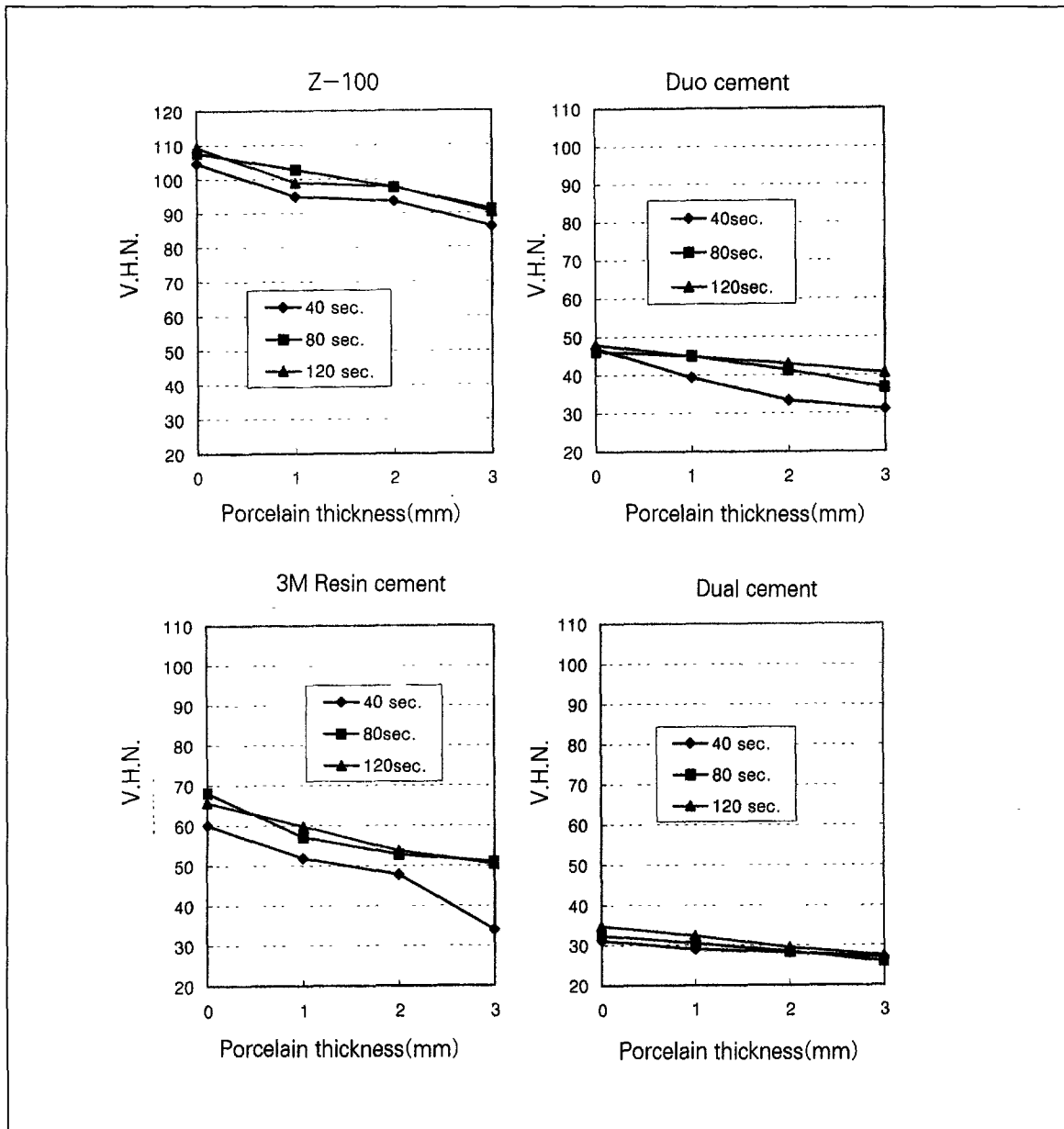


Fig. 1. Vicker's Hardness Number of resin cements according to porcelain thickness and exposure time

는 조사시간의 증가에 따라 미세경도가 증가하였고, 조사시간의 차이에 따른 미세경도의 비교는 R에서 80초간 광조사한 미세경도가 40초간 광조사한 미세경도보다 유의하게 높았다($p < 0.05$).

2) 도재인레이를 통해 광중합한 레진시멘트의 미세경도 (Table 3, Fig. 1, Fig. 2)

레진시멘트의 미세경도는 광이 통과하려는 인레이의 후경이 증가할수록 감소하였고, 조사시간이 증가하면 증가하였으나, 증감의 정도는 조사시간, 인레이의 후경, 그리고 재료에 따라 차이를 보였다.

a. 일정한 광조사시간에서 인레이후경에 따른 미세경도의 비교(Fig. 1)

모든 재료는 일정한 조사시간에서 인레이의 후경이 증가하면 미세경도가 감소하였으나, 감소 양상은 후경과 재료에 따라 차이를 보였다. Z, D, 그리고 R은 모든 조사시간에서 1mm의 후경을 통과한 경우 대조군보다 급격히 미세경도가 감소하였고, 1mm와 2mm의 후경을 통과한 경우 미세경도의 차이가 적었고, 3mm의 후경을 통과한 경우 2mm의 후경을 통과한 예보다 완만하게 미세경도가 감소하였다.

40초간 광조사한 경우 Z의 대조군의 미세경도는 104.67이고 1mm, 2mm, 그리고 3mm의 후경을 통과한 경우는 각각 94.87, 93.47, 그리고 86.03으로 전자는 후자들에 비해 유의하게 높은 미세경도를 보였고($p < 0.05$), 1mm의 후경을 통과한 미세경도는 3mm의 후경을 통과한 미세경도보다 유의하게 높았다($p < 0.05$). D는 Z와 같은 경우의 비교에서 유의한 차이를 보였으나($p < 0.05$), 대조군(47.07)과 1mm의 후경을 통과한 미세경도(39.40)는 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$). R은 위의 Z와 같은 예에서 유의한 차이를 보였고, 또한, 3mm의 후경을 통과하면 급격히 미세경도(33.97)가 감소하여 2mm의 후경을 통과한 미세경도(47.80)보다 유의하게 낮았다($p < 0.05$). 80초나 120초간으로 조사시간이 증가하면 후경의 증가에 따른 미세경도의 감소가 작아져, 동일한 조사시간에서 후경에 따른 미세경도의 차이도 감소하였다. 한편, DA는 모든 동일한 조사시간에서 후경의 증가에 따른 미세경도의 감소가 크지 않아 인레이 후경에 따라 유의하게 미세경도의 차이를 보이는 경우가 없었다($p > 0.05$).

미세경도는 동일한 조건하에서 Z, R, D, DA 순으로 높았으며, Z는 모든 조사시간과 후경에서 D, R, 그리고 DA보다 유의하게 높은 미세경도를 보였으나($p < 0.05$), R, D, DA의 3가지 재료간의 비교는 모든 경우에서 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 특히, 40초간 광조사시 3mm의 후경을 통과한 R의 미세경도(33.97)는 D의 대조군의 미세경도(47.07)보다 유의하게 낮았으며($p < 0.05$), DA의

모든 후경에 따른 미세경도와 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$). 그러나, R은 전술한 경우를 제외한 모든 경우에서 DA보다 유의하게 높은 미세경도를 보였다($p < 0.05$). 또한, 2mm와 3mm의 후경을 통과하여 광조사한 R의 미세경도는 D의 대조군과 1mm의 후경을 통해 광조사한 미세경도와 유사하였고, D도 2mm이상의 후경을 통과한 미세경도는 DA의 대조군과 1mm의 후경을 통해 광조사한 미세경도와 유사하였다.

b. 동일한 도재인레이 후경하에서 광조사시간에 따른 미세경도의 비교(Fig. 2)

동일한 후경하에서 조사시간이 증가되면 레진시멘트의 미세경도는 증가하였으나, 증가의 양상은 후경과 재료에 따라 차이를 보였다.

Z나 DA는 동일한 후경에서 조사시간의 차이에 의한 미세경도의 변화가 크지 않아 조사시간의 차이에 따른 유의한 차이가 없었다. 그러나, R과 D는 동일한 후경에서 40초간 광조사한 경우와 80초나 120초간 광조사한 경우가 미세경도의 차이를 보여 2mm의 후경을 통과한 경우 D에서 40초간 광조사한 미세경도(33.37)는 80초(41.30)와 120초(42.97)간 광조사한 미세경도에 비해 유의하게 낮았고($p < 0.05$), 3mm의 후경을 통과한 경우 D에서 40초간 광조사한 미세경도(31.03)는 120초간 광조사한 미세경도(40.50)보다 유의하게 낮았고($p < 0.05$), R에서 40초간 광조사한 미세경도(33.97)는 80초(51.00)와 120초(50.43)간 광조사한 미세경도보다 유의하게 낮았다($p < 0.05$).

시멘트간 미세경도 차이는 인레이의 후경과 조사시간이 증가할수록 감소하였다.

2. 중합률

3종의 이중중합형 레진시멘트와 1종의 광중합형 복합레진을 이용하여 미세경도를 측정된 경우와 동일한 조건하에서 광중합전과 광중합후 복합레진의 spectrum을 얻어 전술한 방법으로 중합률을 구하였다. 측정된 중합률의 평균 및 표준편차는 Table 4, Table 5와 같고, Fig. 3, Fig. 4는 이를 도표로 나타내었고, Fig. 5 - 8은 40초간 광조사한 경우 각 레진시멘트의 FTIR spectrum을 나타낸 것이다.

1) 상부에 도재편없이 직접 광중합한 레진시멘트의 중합률(대조군, Table 4, Fig. 4)

수복물에 의한 간섭없이 40초, 80초, 120초간 광조사한 레진시멘트의 중합률(%)은 Z의 경우 50.70, 53.45, 55.70, D의 경우 58.95, 60.40, 63.30, R의 경우 51.10, 52.45, 55.40, 그리고 DA의 경우 59.40, 58.30, 60.35로, DA를 제외한 모든 시멘트는 조사시간의 증가에 따라

Table 3. Vicker's Hardness Number(VHN) of resin cements through porcelain inlay according to exposure time and porcelain thickness

Material	1mm			2mm			3mm		
	40sec	80sec	120sec	40sec	80sec	120sec	40sec	80sec	120sec
Z	94.87	102.77	98.93	93.47	97.60	97.80	86.03	91.13	90.30
	±1.15	±3.36	±1.29	±1.76	±2.42	±1.87	±3.07	±1.50	±4.74
D	39.40	45.00	44.90	33.37	41.30	42.97	31.03	36.70	40.50
	±2.43	±3.61	±1.37	±0.96	±1.42	±2.78	±1.12	±1.66	±1.30
R	51.83	57.10	59.80	47.80	52.80	53.70	33.97	51.00	50.43
	±1.29	±1.39	±5.44	±2.36	±0.69	±1.56	±2.10	±2.26	±1.04
DA	29.00	30.53	32.40	28.23	28.40	29.47	27.00	25.97	27.43
	±0.62	±0.67	±1.91	±0.98	±0.70	±1.40	±0.87	±0.91	±1.07

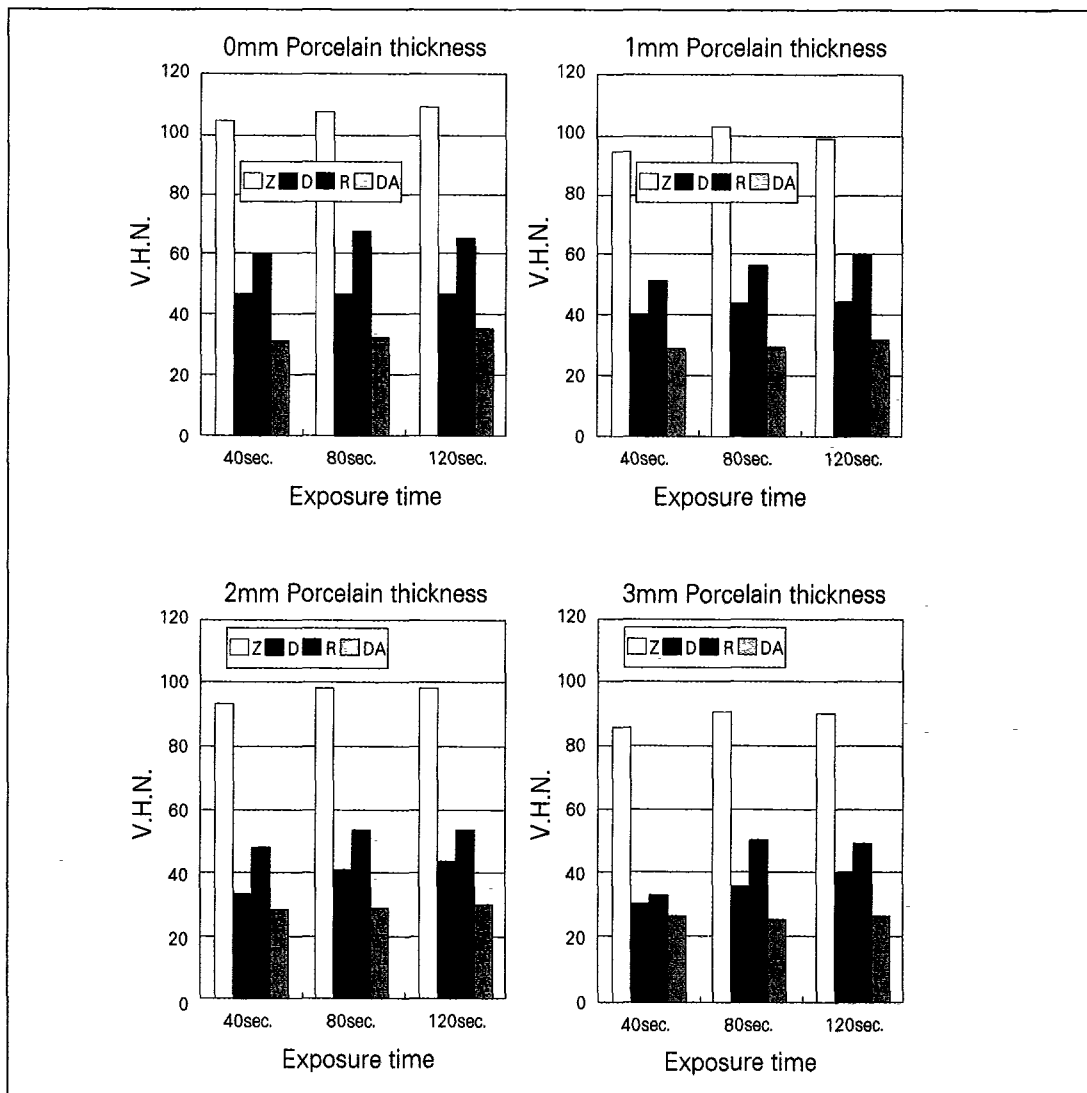


Fig. 2. Comparison of V.H.N. of resin cements according to porcelain thickness and exposure time

Table 4. Degree of Conversion(%) of resin cements without intervening porcelain inlay according to exposure time

Materials	40sec	80sec	20sec
Z	50.70 ± 0.28	53.45 ± 0.49	55.70 ± 0.71
D	58.95 ± 0.35	60.40 ± 3.11	63.30 ± 1.70
R	51.10 ± 1.84	52.45 ± 0.49	55.40 ± 0.14
DA	59.40 ± 0.28	58.30 ± 1.41	60.35 ± 1.63

Table 5. Degree of Conversion(%) of resin cements through porcelain inlay according to exposure time and porcelain thickness

Materia	1mm			2mm			3mm		
	40sec	80sec	120sec	40sec	80sec	120sec	40sec	80sec	120sec
Z	48.75	54.20	53.20	47.20	50.50	51.45	45.00	47.20	51.05
	±1.06	±0.57	±0.42	±0.28	±0.57	±0.92	±0.99	±1.98	±2.48
D	54.00	55.40	54.55	46.50	46.25	51.30	36.60	40.35	48.20
	±2.69	±2.26	±1.77	±2.12	±1.77	±0.14	±2.55	±0.21	±2.25
R	47.00	48.80	51.60	44.05	46.35	47.65	32.50	42.70	44.10
	±2.26	±0.99	±1.70	±1.63	±1.63	±1.06	±0.00	±3.39	±2.83
DA	59.15	58.90	59.00	54.90	53.90	59.25	48.65	51.20	55.15
	±0.07	±1.41	±0.57	±0.42	±0.14	±0.64	±1.48	±1.13	±1.34

중합률이 증가하였고, 모든 조사시간에서 D와 DA는 Z와 R보다 높은 중합률을 보였다. D와 DA의 비교에서는 120초간 광조사한 경우를 제외하고 조사시간에 따른 유의한 차이가 없었고(p>0.05), 또한, Z와 R의 비교에서는 모든 조사시간에서 유의한 차이가 없었다(p>0.05). 40초간 광조사한 Z와 R의 중합률은 모든 조사시간의 D와 DA의 중합률보다 유의하게 낮았고(p<0.05), 120초간 광조사한 D의 중합률은 Z와 R의 모든 중합률보다 유의하게 높았으며(p<0.05), 80초간 광조사한 경우 D는 R보다 유의하게 높은 중합률을 보였다(p<0.05).

2) 도재인레이를 통해 광중합한 레진시멘트의 중합률 (Table 5, Fig. 3 - 8)

레진시멘트의 중합률은 광이 통과하려는 인레이의 후경이 증가할수록 감소하였고, 조사시간이 증가하면 증가하였으나, 증감의 양상은 도재의 후경, 조사시간, 그리고 재료에 따라 차이를 보였다.

a. 일정한 광조사시간에서 인레이후경에 따른 중합률의 비교(Fig. 3)

모든 재료는 일정한 조사시간에서 인레이의 후경이 증가하면 중합률이 감소하였으나, 감소양상은 후경과 재료에 따라

차이를 보였다. 40초간과 80초간 광조사시 1mm의 후경을 통과한 경우는 대조군에 비해 완만한 감소를 보이거나 이후 후경이 증가할수록 감소의 정도가 컸고, 120초간 광조사한 경우는 후경이 증가함에 따라 40초와 80초간 조사한 예보다 완만하게 중합률이 감소하였다. 동일한 조사시간에서 Z와 DA는 인레이의 후경이 증가하여도 중합률이 완만하게 감소하였고, D와 R은 후경이 증가함에 따라 중합률이 급격히 감소하였다.

40초간 광조사한 경우(Fig. 3, Fig. 5 - 8) Z의 중합률은 D(58.95%)와 DA(59.40%)의 대조군의 중합률보다 유의하게 낮았으나(p<0.05), 3mm의 후경을 통과한 D(36.60%)와 R(32.50%)의 경우보다 유의하게 높은 중합률을 보였다(p<0.05). 또한, Z의 중합률은 DA의 중합률보다 낮았으나, 인레이후경이 증가할수록 DA는 Z보다 중합률의 감소 정도가 커, DA에 대한 인레이의 후경이 증가할수록 Z의 중합률과의 차이는 감소하였다. D는 R보다 높은 중합률을 보이거나, 동일한 후경에서는 유의한 차이가 없었으며(p>0.05), D와 R 모두 3mm의 후경을 통과하면 중합률은 현저히 감소하여 3mm의 후경을 통과한 R의 중합률(32.50%)은 다른 후경을 통과한 D의 중합률보다 유의하게 낮았고(p<0.05), D에 대한 R의 경우도 동일하였다(p<0.05). DA는 R보다 높은 중합률을 보이며, 2mm이상의 후경을 통과하면 R과 D의 중합률은 상당히 감소하여

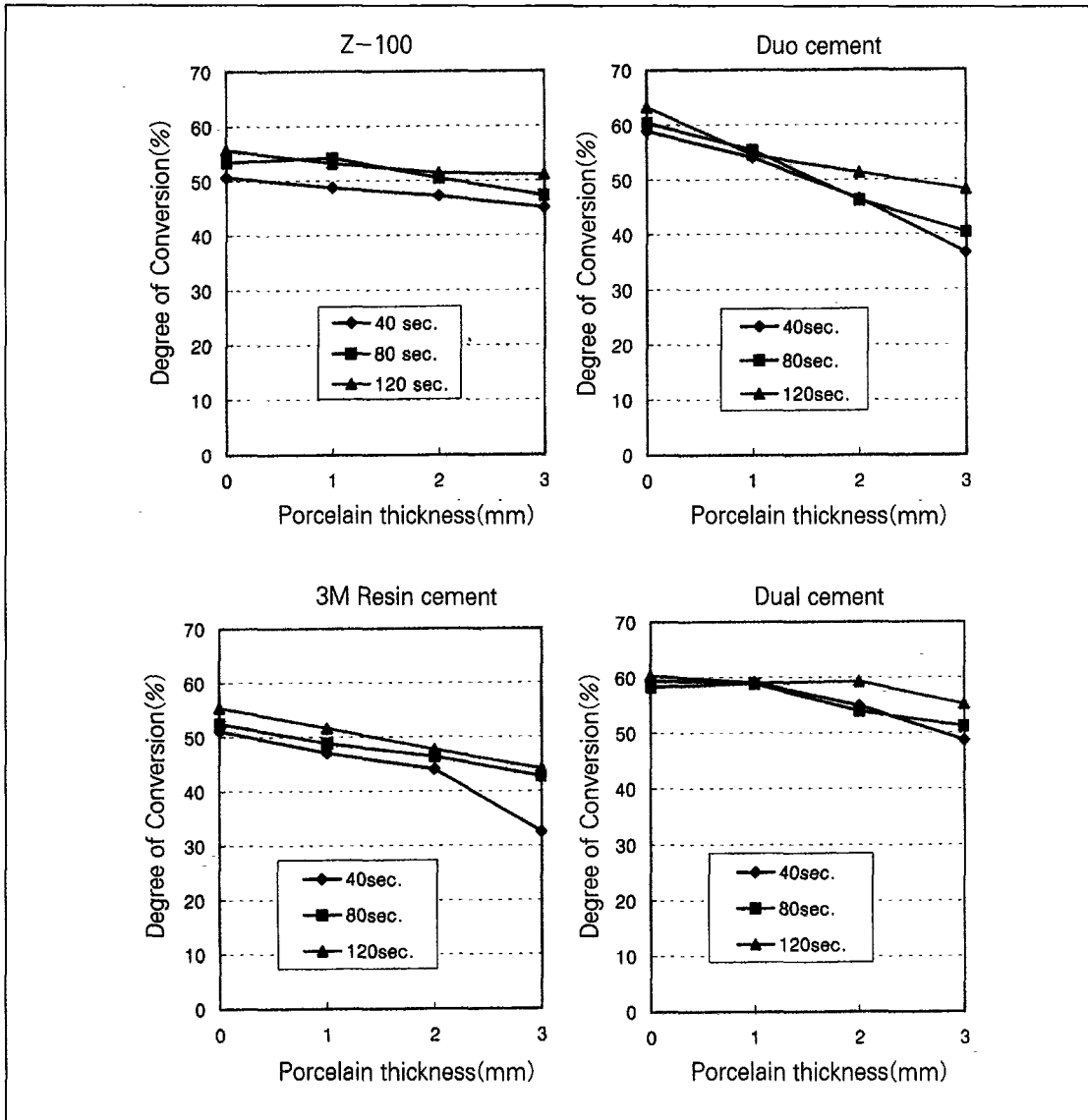


Fig. 3. Degree of Conversion of resin cements according to porcelain thickness and exposure time

DA의 모든 중합률보다 유의하게 낮았다($p < 0.05$).

80초와 120초간(Fig. 3)으로 광조사시간이 증가되면 중합률이 증가되어 재료간에 중합률의 차이가 줄어들었으며, 특히, D와 R에서 두터운 후경을 통과한 경우 조사시간의 증가에 따른 중합률의 증가가 컸다. 또한, Z와 DA의 중합률의 차이도 감소되었다.

각 재료별로 후경에 따른 중합률의 변화(Fig. 3)는 상이하였다. Z는 모든 동일한 조사시간에서 인레이의 후경이 증가하여도 중합률의 감소가 작아 후경에 따른 중합률에 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$). D의 경우, 모든 동일한 조사시간에서 대조군은 2mm와 3mm의 후경을 통과한 경우보다 유의하게 높은 중합률을 보였다($p < 0.05$). 또한, 40초와 80초간 광조사시 1mm의 후경을 통과한 경우는 3mm의 후경

을 통과한 경우보다 유의하게 높은 중합률을 보였고 ($p < 0.05$), 40초간 광조사시 2mm의 후경을 통과한 경우 (46.50%)는 3mm의 후경을 통과한 경우(36.60%)보다 유의하게 높은 중합률을 보였다($p < 0.05$). R의 경우, 40초간 광조사시 대조군(51.10%), 1mm(47.00%)와 2mm(44.05%)의 후경을 통과한 경우는 3mm의 후경을 통과한 경우(32.50%)보다 유의하게 높은 중합률을 보였으며($p < 0.05$), 120초간 광조사시 대조군(55.40%)은 3mm의 후경을 통과한 경우(44.10%)보다 유의하게 높은 중합률을 보였다($p < 0.05$). DA의 경우, 40초간 광조사시 대조군(59.40%)과 1mm(59.15%)의 후경을 통과한 경우는 3mm의 후경을 통과한 경우(48.65%)보다 유의하게 높은 중합률을 보였다($p < 0.05$).

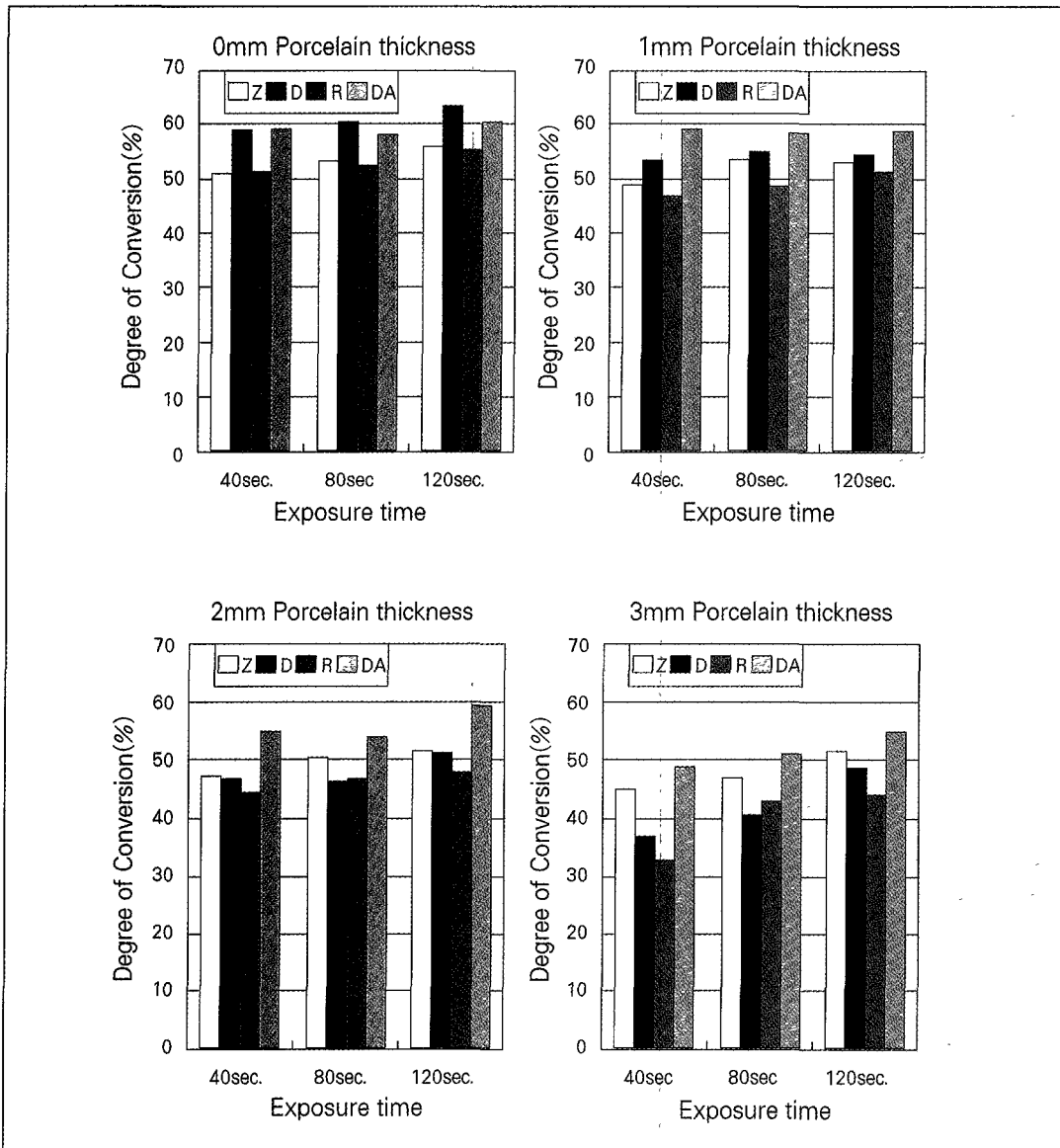


Fig. 4. Comparison of Degree of Conversion of resin cements according to porcelain thickness and exposure time

b. 일정한 도재인레이 후경하에서 광조사시간에 따른 중합률의 비교(Fig. 4)

D와 R의 경우 3mm의 인레이후경하에서 40초간 광조사한 경우 중합률이 상당히 감소하여 120초간 광조사한 경우보다 유의하게 낮은 중합률을 보였고($p < 0.05$), 다른 경우에는서는 재료별로 같은 후경하에서 조사시간의 차이에 따른 중합률의 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$).

1mm의 후경을 통과한 경우 DA(59.15%)는 대조군(59.40%)의 중합률과 유사하여 40초간 광조사한 Z(48.75%)와 40초(47.00%)와 80초(48.80%)간 광조사한 R보다 유의하게 높은 중합률을 보였다($p < 0.05$).

2mm의 후경을 통과한 경우, DA는 다른 재료들보다 높은 중합률을 보였고, 40초간 광조사한 R의 중합률(44.05%)은 80초간 광조사한 Z의 중합률(50.50%)과 120초간 광조사한 Z(51.45%)와 D(51.30%)의 중합률보다 유의하게 낮았다($p < 0.05$).

3mm의 후경을 통과한 경우는 2mm의 후경을 통과한 경우와 유사한 통계적 차이를 보이나, 모든 시멘트의 중합률이 상당히 감소하여 시멘트간 중합률의 차이가 감소하였다.

Table 6. Intensity of transmitted light through porcelain discs and Transmittance, Log transmittance, $T_c^{-x/2}$, and needed exposure time of resin cements covered with porcelain

Thickness of Porcelain(x)	Intensity of Light (mW/cm^2)	Transmittance (I_x/I_0)	Log Transmittance ($\log(I_x/I_0)$)	$T_c^{-x/2}$	Needed exposure time(sec) of resin through porcelain(t)
0mm	346	1			40
1mm	148	0.428	-0.368	1.325	53
2mm	87	0.251	-0.600	1.756	70
3mm	48	0.139	-0.857	2.327	93

I_0 = Original intensity of light
 I_x = Intensity of transmitted light through thickness x
 T_c = Transmission coefficient
 $t = t_0 T_c^{-x/2}$

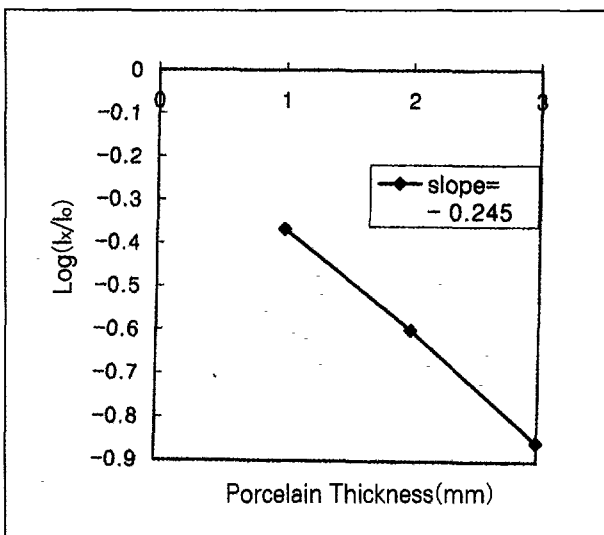


Fig. 9. Logarithm of total transmission of light vs. thickness of porcelain

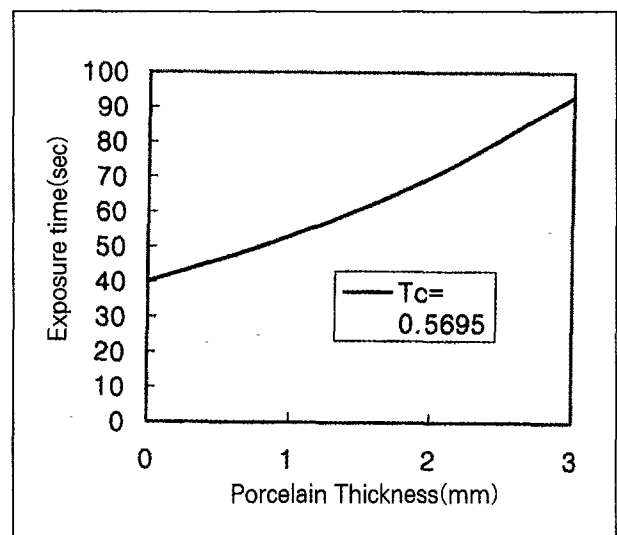


Fig. 10. Exposure time needed to achieve agreed hardness and degree of conversion of the resin cements through different thicknesses of Porcelain

3. 도재편을 통한 광도의 감소와 그에 따른 조사시간의 증가가 레진시멘트의 중합률과 미세경도에 미치는 영향(Table 6, Fig. 9, Fig. 10)

Radiometer를 이용하여 측정된 광조사기의 light guide 종단 및 1mm, 2mm, 3mm 후경의 도재편을 투과한 광도 (mW/cm^2)는 346, 148, 87, 48 이었고, 광세기 비율 (I_x/I_0)로 1.00, 0.43, 0.25, 0.14의 비율로 감소하였다. 도재의 후경(x)에 대한 광세기 비율의 log값($\log(I_x/I_0)$)을 일차 식으로 구하여 Fig. 9에 나타내었고, 기울기 값은 -

0.2445로 도재의 흡수계수(Absorption coefficient)이며, 투과계수(Transmission coefficient, T_c)의 log값이므로 T_c 는 0.5695이고 도재의 후경(x)에 따른 필요한 조사시간(t)은 $t = t_0 T_c^{-x/2}$ ($t_0=40sec$, $T_c= 0.5695$)에서 1mm, 2mm, 3mm 후경의 도재후경에 대해 53초, 70초, 93초로 계산되었다(Table 6, Fig. 10). 본 실험에서 D와 R의 경우 2mm와 3mm의 후경에 대해 계산된 조사시간보다 작은 조사시간으로 광중합하면 레진시멘트의 미세경도와 중합률은 상당히 감소하였다.

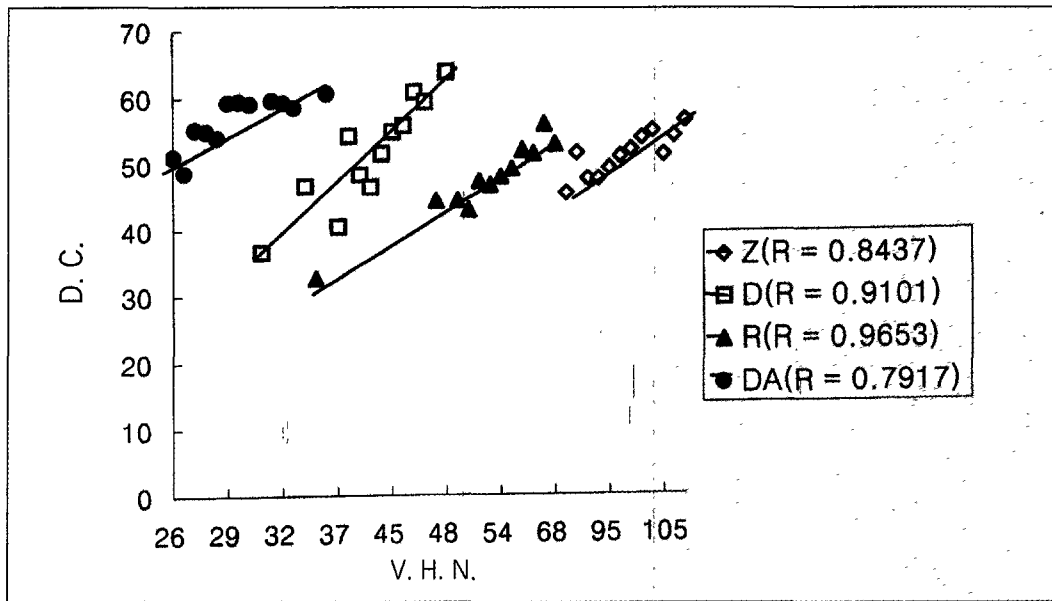


Fig. 11. Correlation between VHN and DC for four individual resin cements

Table 7. Regression analysis Data ($p < 0.05$)

Material	B1	B2	r
Z	0.375	14.00	0.8437
D	1.301	- 1.27	0.9101
R	0.641	12.16	0.9653
DA	1.134	22.79	0.7914

$Y = B1 \times X + B2$

4. 미세경도와 중합률의 상관관계 (Table 7, Fig. 11)

미세경도와 중합률은 광이 통과해야 하는 도체의 후경이 증가할수록 감소하였으나, 감소되는 양상은 상이하였다. 도체인레이의 후경이 증가됨에 따라 미세경도는 1mm까지는 급격히 감소되고 1mm에서 2mm사이에서의 감소는 크지 않았지만, 중합률은 1mm의 후경까지는 완만한 감소를 보였으나, 이후 후경이 증가하면 급격한 감소를 보였다. 회귀

Table 8. Composition of monomer and filler of tested resin cements^{66,67,68)}

Product Name	Monomer	Filler			Composition
		Size(μm)	wt%	vol%	
Z	Bis-GMA TEGDMA	0.7	79.3	71	Zr, SiO ₂
D	Bis-GMA Bis-EMA TEGDMA	0.5	67.4	49	BaAlB, SiO ₂
R	Bis-GMA TEGDMA	0.7	76.5	66	Zr, SiO ₂
DA	UDMA D3MA	0.04	60.1	37	YbF ₃ , SiO ₂

* Bis-GMA: 2,2-Bis[4-(2-hydroxy-3-methacryloyloxy-propoxy)phenyl]propane

Bis-EMA: 2,2-Bis[4-(2-methacryloyloxyethoxy)-phenyl]propane

TEGDMA: Triethyleneglycol dimethacrylate

UDMA: Urethane-dimethacrylate

D3MA: Decamethylenedimethacrylate

분석으로 구한 r 값은 R이 0.9653, D가 0.9101, Z가 0.8437, 그리고 DA가 0.7914이었고, 위의 순서대로 미세경도와 중합률은 양의 상관관계를 보였다. 실험에 사용한 각 재료의 일차적인 회귀분석 식을 구하여 분석한 결과는 Table 7과 같고 Fig. 11은 이를 도표로 나타낸 것이다.

IV. 총괄 및 고찰

최근에 심미수복물인 복합레진이나 도재로 제작된 인레이가 대두되면서 복합레진시멘트의 사용에 관심이 증가되고 있다. 도재인레이는 도재표면에 산부식처리하여 접착력을 증가시키는 방법과 새로운 재료와 제작법이 개발되었고, 복합레진인레이는 레진의 중합수축을 줄일 수 있고, 인접치와 긴밀한 접촉이 가능하며, 열이나 압력처리로 물리적인 성질이 개선되었다. 이들 수복물들은 인레이와 레진시멘트 그리고 치아와 레진시멘트간의 접착력이 중요하며 이는 복합레진시멘트의 중합정도와 깊은 관계가 있다. 중합이 충분히 되지 않은 복합레진시멘트는 수복물에 힘을 가하면 불충분하게 중합이 된 부분이 안쪽으로 변형되고 시멘트가 바깥으로 회계되어⁵¹⁾ 변연파절과 변연누출로 인해 수복물의 수명에 심각하게 영향을 준다. 최근 사용되고 있는 레진시멘트 중에 광중합형은 치질이나 수복물을 통하여 광조사할 경우 광도가 감소되어 일정 깊이까지만 중합이 일어난다는 단점을 가지고 있어 광이 도달되기 어려운 부위에 화학중합으로 중합을 완성시키는 이중중합형 레진시멘트가 개발되었다. 그러나, 이중중합형 레진시멘트도 광중합형과 마찬가지로 광조사에 영향을 받는다고 보고되고 있다.^{8,9,31,47,52)} 복합레진시멘트의 중합정도는 다양한 방법으로 연구되고 있으며^{8,9,53-55)}, 수복물의 후경과 종류, 그리고 조사시간에 따른 복합레진시멘트의 중합률과 기계적인 성질에 대한 미세경도를 각각 측정하고 비교하여 평가하는 것은 임상적으로 중요한 의의를 갖는다.

본 실험 결과 광중합형 복합레진과 이중중합형 레진시멘트는 레진의 조성이 달라 동일한 조건에서 상이한 중합률과 미세경도를 보였다.

Ruyter와 Svendsen⁶⁰⁾은 견고하고 분자량이 큰 단량체인 Bis-GMA의 양이 감소하고, 단일기능 단량체와 희석 단량체의 양이 증가하면 중합률이 증가하고, Bis-GMA와 같은 방향족 단량체의 양이 증가하면 중합률이 감소한다고 보고하였다.

Peutzfeldt⁵⁷⁾은 UDMA와 HEMA같은 비-방향족 단량체를 사용한 레진은 Bis-GMA와 TEGDMA를 사용한 레진에 비해 잔존 이중결합이 교차 결합되는 중합반응의 마지막 단계에서 유연성을 유지하기 때문에 중합률을 증진시키게 된다고 하였다. 그러나, Antoniadis 등⁵⁸⁾은 UDMA로 구성된 복합레진은 Bis-GMA로 구성된 복합레진보다 친수성으로

인한 물 흡수성이 강해 구강내 노출되면 낮은 경도를 보인다고 하였다.

복합레진은 다양한 조성으로 구성되어 서로 다른 반응성을 나타냄으로써 중합률도 상이하게 나타난다⁴⁶⁾. Ruyter와 Oysaed¹⁹⁾는 광중합형 복합레진 수복물의 중합률은 단량체의 조성 차이로 재료마다 다르게 나타난다고 하였다.

본 실험에 사용된 1종의 광중합형 복합레진과 3종의 이중중합형 레진시멘트에 대한 단량체와 filler의 성분은 Table 8과 같으며, 대조군과 도재 후경 1mm를 광이 통과한 경우, DA와 D가 높은 중합률을 보였다(Table 4, Table 5). 또한, 동일한 조건에서 대부분의 경우 Z, R, D, DA의 순으로 높은 미세경도를 보였다(Table 2, Table 3). 이는 단량체의 조성이 Z와 R의 경우 TEGDMA와 Bis-GMA로 구성되어 있고, DA의 경우 UDMA와 D3MA (Decamethylenedimethacrylate)로 구성되어 있으며, D의 경우 TEGDMA와 Bis-GMA외에 간단한 구조인 Bis-EMA를 포함하고 있어 이러한 단량체의 조성 차이가 중합률과 미세경도에 영향을 미쳤을 것이라고 사료된다.

Filler 함량의 차이도 중합률과 미세경도에 영향을 준다. Barron 등⁵⁹⁾과 Caughman 등⁶⁰⁾의 실험에 의하면 filler는 복합레진내로 빛의 침투를 방해하여 중합을 방해하기 때문에 무기 filler의 함량과 중합률은 반비례한다고 하였다. 본 실험에서 사용한 이중중합형 레진시멘트에서도 filler의 함량은 R, D, DA의 순으로 높지만, 대조군과 1mm의 후경을 광이 통과한 경우 중합률은 filler의 함량에 역순으로 일치된 결과를 얻었다. Chung과 Greener⁶¹⁾의 연구에 의하면, 중합률과 filler의 함량과는 상관관계가 없었고, 경도와 양의 상관관계를 갖는다고 하였으나, Watt 등⁶²⁾은 최대의 경도가 filler의 함량에 의해 부분적으로 영향을 받으나 filler의 양과 직접적인 관계를 보이지 않는다고 하였다. 본 실험에서 미세경도는 filler의 함량의 순으로 높은 결과를 보였으나, 함량과 비례하지는 않았으며, 이는 Darr와 Jacobsen⁶³⁾과 Earl 등⁷⁾의 보고와 일치하였다.

Filler의 입자크기는 중합률과 경도에 직접적인 관계가 있는 것으로 알려져 있다. 복합레진에 포함된 filler에 의해 빛의 산란이 일어나며, 레진을 통과하는 빛의 강도는 산란이 증가할수록 감소한다. Ruyter와 Oysaed⁶⁴⁾는 빛의 산란은 입자의 크기가 활성화된 광의 파장에 1/2에서 최대로 일어나며 가시광선조사기의 광의 파장은 450~500nm범위이므로 대략 0.25 μ m의 입자크기에 해당된다고 하였다. 또한, microfilled 복합레진은 filler의 평균크기가 0.04 μ m이나 colloidal silica입자의 응집에 의해 빛의 회절산란이 증가하여 중합률이 낮은 원인이 된다고 하였다. 그러나, Uctasli 등³⁰⁾은 microfiller를 함유한 시멘트가 hybrid filler를 함유한 시멘트보다 광도의 감소가 작았다고 하였고, Kawaguchi 등⁶⁵⁾은 hybrid filler는 복합레진내 다양한 크

기의 입자들이 분포하여 큰 입자에 의한 빛의 반사와 작은 입자에 의한 빛의 회절산란 등의 복잡한 반응이 일어나 투과계수를 감소시켜 hybrid filler를 함유한 복합레진(0.1 μ m~50 μ m)과 작은 입자(0.2 μ m~0.3 μ m)의 filler를 포함한 복합레진간에 중합깊이와 투과계수의 차이가 없었다고 하였다. 본 실험에서 사용한 재료들의 filler크기는 DA의 경우 0.04 μ m의 microfiller가 포함되었고, 나머지 3종은 hybrid filler(0.5~0.7 μ m)가 포함되었으며, 중합률은 filler의 크기가 작을수록 높아 Uctasli³⁰⁾의 보고와 일치하였고, 미세경도도 filler의 크기에 연관성을 보였으나, filler의 함량이나 레진의 조성의 영향보다는 작았다.

또한, 레진기질과 filler간의 굴절률의 차이도 중합률에 영향을 줄 수 있다. 복합레진에서 filler와 레진기질이 빛에 대한 굴절률의 차이가 클수록 산란을 크게하여 중합률은 감소된다. 본 실험에서 사용한 복합레진의 filler는 무게로 60%~79%, 부피로 37%~71%를 차지하며, Al, Ba, B, YbF₃와 Zr등의 방사선 불-투과성 성분을 포함하며, DA에 포함된 prepolymerized filler는 중합률과 미세경도에 영향을 주므로 단순한 filler의 크기나 함량으로 중합률이나 미세경도의 변화를 예상하기는 어려운 것으로 사료된다.

수복물을 통해 복합레진시멘트를 광중합시킬 때, 그 중합률은 수복물의 종류와 후경, 시멘트의 기질과 filler, 광도, 그리고, 조사시간 등의 요소에 의해 영향을 받는다.^{2,29-32,52)} Rueggeberg 등⁶⁹⁻⁷¹⁾의 연구에 의하면 수복물의 후경이 얇은 경우에는 위에서 언급한 요소가 중합에 영향을 주지만, 2mm이상의 두터운 후경에서는 조사시간과 광도에 의해 주로 영향을 받는다고 하였다.

수복물을 통해 광도가 감소되는 것은 조사시간을 연장시켜 보상할 수 있다. 광도는 광에 민감한 물질인 camphoroquinone을 여기상태(excited state)로 유지시키는 데 도움을 주며, 조사시간은 여기된 camphoroquinone을 확산시켜 아민과 반응하게 하여 중합개시에 기여한다. 그러므로, 광조사시간이 길어지면 중합을 개시하는 free radical을 형성하는 빛이 많이 도달하여 중합률을 증가시킬 수 있다. Nomoto 등⁷²⁾은 광도와 조사시간의 곱으로 표현되는 전체 조사량의 값이 일정하면 광중합형 복합레진의 중합깊이는 동일하고 중합률은 연관을 보인다고 하였고, 다른 여러 연구^{6,31,33,47)}에서도 광조사시간이 증가되면 레진시멘트의 중합률이나 미세경도가 증가된다고 하였다. 그러나, Blackman 등⁷³⁾은 접착용 레진시멘트가 얇은 도재하에서는 권장된 조사시간에서 중합이 가능하였으나, 두꺼운 도재에서는 120초를 조사하여도 만족할만한 중합을 보이지 않았다고 하였고, Warren²⁾, Hasegawa 등⁷⁾, 그리고 Breeding 등⁷⁴⁾은 후경이 2mm이상인 수복물을 통해 광조사할 경우 제조회사의 권장된 조사시간 보다 연장해야 한다고 하였다. 본 실험에서도 조사시간이 증가되면 후경의 차이에 따른 중합률이나

미세경도의 차이는 감소하였고, 두터운 후경을 통해 40초간 광조사한 경우 레진시멘트의 미세경도나 중합률은 낮은 수치를 보였으나, 80초나 120초로 광조사시간을 증가하면 미세경도와 중합률은 상당히 증가하여, 두터운 후경을 통해 레진시멘트를 광중합할 경우 권장된 조사시간보다 증가해야 한다고 생각된다.

Kawaguchi 등⁶⁵⁾은 광중합형 복합레진의 경우 광에 대한 투과계수(Transmission coefficient)와 중합깊이는 연관성이 있다고 하였고, Chan 등²⁹⁾은 도재의 투과계수를 구하여 도재의 후경에 따른 레진시멘트의 중합에 필요한 광조사시간을 구할 수 있다고 하였다. Lambert-Beer의 법칙에 의해 도재의 후경(x)과 투과계수(Tc)의 영향으로 레진시멘트에 조사되는 빛의 강도(I)는 $I = I_0Tc^x$ ($I_0 =$ original light intensity)로 표현되므로 투과계수의 log값은 I_x/I_0 의 log값과 후경에 대한 일차 식의 기울기로서 도재의 색상과 투과도 등에 의해서 결정된다. 본 실험에서는 1mm, 2mm, 3mm 후경의 도재편을 통해 빛의 강도가 0.428, 0.251, 0.139의 비율로 감소되었으며, 이를 이용하여 도재편의 투과계수를 구하여 도재하방에서 각 후경(x)에 대해 필요한 조사시간(t)을 나타내는 식²⁹⁾ $t = t_0Tc^{-x/2}$ (t_0 : exposure time of the resin cement alone, Tc: Transmission coefficient)에서 각 후경에 대해 53초, 70초, 93초의 필요한 조사시간을 구하였다. Watts 등³⁴⁾의 연구에 의하면 일정 깊이 아래에서 측정된 미세경도는 대조군에서 측정된 미세경도의 80%이상이어야 한다고 하였다. 본 실험에서 사용한 각 재료에 대해 도재편 없이 권장된 조사시간인 40초간 광조사한 미세경도와 중합률의 80%에 해당하는 값을 임상적으로 인정할 수 있는 최소한의 미세경도와 중합률이라고 가정하면, 2mm의 도재를 통과한 경우 40초간 광조사한 D의 미세경도(33.37)와 3mm의 후경을 통한 경우 40초간 광조사한 D와 R의 미세경도와 중합률과 80초간 광조사한 D(40.35%)의 중합률은 최대 중합률의 80%보다 낮았다. 결과적으로 도재를 통해 광조사시 레진시멘트의 충분한 중합을 위해서는 2mm 후경에서는 40초보다 많은 조사시간과 3mm의 후경에서는 80초보다 많은 조사시간이 필요하므로 위에서 구한 각 후경에 대한 조사시간이 적절하다고 생각된다. 그러나, 본 실험의 결과는 Chan 등²⁹⁾의 연구에서 투과계수를 알지 못할 경우 투과계수를 0.25로 생각하여 후경(x)에 대해 조사시간을 2x배로 증가시켜야 한다는 가정에 비해 상당히 작은 조사시간을 요하였다. 이는 radiometer로 측정된 광도의 오차가능성으로 투과계수가 높게 나올 수 있어 위의 결과를 얻은 것으로 생각된다. 또한 본 실험에서 40초, 80초, 120초간으로 광조사하였으며, 이는 Chan 등²⁹⁾의 가정에 의해 정하였고, 실제 임상에서는 광조사를 교합면, 협설면, 인접 면으로 나누어 조사하므로 한 면에 120초이상 광조사하는 것은 상당히 긴 시간이므로

120초까지만 실험하였다.

중합정도를 측정하는 여러 가지 방법들은 서로 상관관계를 갖는다고 하였고^{53,75)} 특히 본 실험에서 측정한 미세경도와 중합률은 많은 연구^{18,20,34,50,76)}에서 양의 상관관계를 보인다고 하였다. 본 실험에서 사용한 각 재료별로 미세경도와 중합률의 측정값을 회귀 분석하여 일차적인 회귀직선을 구하여 미세경도와 중합률의 상관관계를 규명한 결과, 각 경우에 대한 결정계수(r^2)의 값은 R이 0.93, D가 0.83, Z가 0.71, 그리고 DA가 0.63이었다. 여기서 r^2 값은 결정계수라고 하며 통계적인 의미로 r^2 값이 1에 가까우면 회귀직선은 의미를 갖고, 0에 가까우면 그 직선은 의미가 없음을 나타낸다⁷⁷⁾. 그러므로, 중합률과 미세경도는 각 재료별로 위의 열거한 재료 순으로 의미가 있는 양의 상관관계를 갖는다고 할 수 있으나, 반드시 높은 미세경도를 보이는 경우가 높은 중합률을 보이지 않았다. Asmussen¹⁸⁾의 실험에 의하면 경도는 개시제, 억제제, 아민과 같은 첨가제의 함유량의 변화에 민감하게 반응하지만, 회색단량체의 종류나 함유량이 변화하여도 큰 변화를 주지 않았고, 이와 반대로 중합률은 전자의 변화에 중합률의 변화가 크지 않지만 후자의 변화에 민감하게 반응한다고 하였고, Eliades 등⁴⁰⁾은 위의 원인과 더불어 filler의 간섭으로 경도가 영향받기 때문에 경도와 중합률이 일치하지 않는다고 하였다.

본 실험에서 미세경도는 도재편의 후경이 증가함에 따라 대조군보다 1mm의 후경에서 급격히 감소하였고, 1mm와 2mm후경 사이에서는 감소가 작았으나, 중합률은 대조군보다 1mm의 후경에서 완만한 감소를 보이고, 2mm이상으로 후경이 증가되면 급격한 감소를 보였다. 즉, 미세경도는 도재에 의한 광감소가 작아 중합률이 높은 경우에 민감하게 변화하였고, 중합률은 두터운 후경을 통과하여 광감소가 커서 교차결합(cross-linking)이 작은 경우 민감하게 변화하였다. Ferracane²⁰⁾과 Rueggeburg 등⁵⁰⁾의 연구에서도 중합률과 미세경도의 관계에 대한 그래프의 기울기가 지속적으로 증가하여 경도는 작은 중합률의 변화에 높은 중합률을 보이는 경우에서 민감하게 반응하였고, 중합률은 교차결합의 수가 작아 경도측정으로 인식하기 어려운 부위에서 잘 나타난다고 하였다. 또한, DeWald과 Ferracane⁷⁶⁾은 낮은 중합률을 보이는 경우는 잔여 단량체, 촉매제, 그리고 다른 누출요소가 많이 남아있음을 의미한다고 하여 IR을 이용한 중합률 측정이 중합정도를 알 수 있는 가장 정확한 방법이라고 하였다.

미세경도측정에서 사용하는 주형의 종류와 크기에 따라 미세경도의 측정값이 차이를 보인다. Harrington과 Wilson⁴⁰⁾은 주형의 종류에 따른 중합깊이의 차이를 비교한 결과 PTEE (Polytetrafluoroethylene)주형은 광을 투과하기 때문에 PTEE주형에서 측정한 중합깊이는 검은 Nylotron이나 금속주형에서 측정한 것보다 크다고 하였다.

검은 주형이나 금속주형⁷⁸⁾에서는 주형의 후경이 증가할수록 중합깊이가 증가하였고, 이는 주형의 후경이 증가할수록 복합레진에 가해지는 전체 광에너지의 양이 증가하기 때문이라고 하였다. McCabe와 Carrick⁸⁰⁾은 금속주형을 이용하여 중합깊이를 측정하는 경우 중합과정에서 생성되는 중합 열이 주형과 접촉되는 곳에서 빠르게 전달되어 중합된 레진의 모양이 중앙으로 불룩하게 되어 주형의 벽에서 측정하면 측정값이 감소하기 때문에 반드시 레진의 중앙에서 측정해야 한다고 하였다. 반대로 PTEE주형을 사용하면⁷⁹⁾ PTEE를 통해 광이 통과하여 벽 쪽에서도 중합이 일어나 오목한 모양으로 형성되어 벽쪽이 중앙보다 측정값이 크다고 하였다. Harrington과 Wilson⁴⁰⁾의 연구에서 금속주형의 경우 구입이 간편하고 정확한 결과를 얻을 수 있으나, 빛이 투과되는 PTEE같은 주형을 사용하면 미세경도의 값이 크게 나타날 수 있다고 하여 본 실험에서도 금속주형을 이용하여 미세경도를 측정하였다.

일반적으로 IR분광법으로 분석하기 위해 액체시료의 경우는 KBr판이나 NaCl판에 바르고, 고체시료인 경우 KBr과 시료를 약 400 : 1로 막자에서 갈아 가압기로 눌러 얇은 막(film)으로 만들어 분석한다. 본 실험에서는 판막(thin film)형태의 시료를 사용하였고 IR분광기에 적외선을 주사할 수 있는 조사 판이 있어 간편한 방법으로 시편을 제작하여 사용할 수 있었다. Ferracane과 Greener⁸¹⁾은 KBr을 이용한 방법과 얇은 판막을 이용한 방법에 대한 중합률을 비교한 결과 KBr방법이 상대적으로 두꺼운 레진을 이용하기 때문에 중합 시에 생성되는 발열반응으로 국소적 가열효과가 일어나 판막의 방법보다 약간 높은 중합률을 보였다고 하였으나, 두 방법의 실험 값의 차이가 3~4% 정도이며 통계적으로 유의한 차이가 없어 두 방법 모두 사용이 가능하다고 하였다. 그러나, 판막 형태의 시편제작 과정에서 사용되는 film은 측정하고자 하는 시료의 적외선흡수대와 중복할 때는 실험 값에 영향을 미치므로 시료에 적외선을 조사하기 전에 reference로 미리 적외선을 조사하여 흡수 대를 확인하여야 한다. 만약에 치과 영역에서 사용되는 matrix band를 사용하면 중합률 측정에 필요한 흡수 대와 중복되어 시편에 대한 흡수 peak가 작아 정확한 측정이 어렵기 때문에 본 실험에서는 시편의 peak와 간섭이 없는 polyethylene film(0.02mm)을 사용하였다.

기본 단량체에 UDMA와 HEMA만 포함된 경우 FTIR로 얻은 그래프에서 중합률의 계산을 Chung 등⁸²⁾과 Greener 등⁸³⁾은 1,730cm⁻¹에서 peak를 보이는 carbonyl(C=O)를 이용하였고, Barron 등⁵⁹⁾은 3,350cm⁻¹에서 peak를 보이는 urethane(N-H)을 이용하였다. Carbonyl peak는 aliphatic C=C의 peak와 가까워 측정이 간편하지만, 상당히 날카롭고 urethane peak보다 2배이상의 흡수를 보여 Beer's law의 신뢰도 범위를 넘을 수 있고, 중합반응에 의

한 추가적인 ester groups이 생성되어 모양이 변할 수 있다. Yoshida와 Greener⁸⁴⁾은 unfilled resin에서 위의 두가지 peaks를 이용하여 중합률을 비교한 결과 별 차이가 없다고 하였으나, 만약 filler가 포함되어 있으면 carbonyl absorption이 filler와 반응하기 때문에 carbonyl peak를 내부적인 기준으로 사용하기가 어렵다고 하였다. 따라서, 본 실험에서는 urethane peak가 Beer's law에 따르고 중합 후에도 변하지 않아 DA의 중합률측정시 내부적 기준으로 이용하였다.

FTIR에서 얻은 peak를 이용하여 중합률을 구하기 위해 baseline techniques이 필요하며, peak의 흡수 대에서 흡수 값을 정하는 방법으로 흡수대의 peak를 측정하는 방법과 흡수대의 면적을 계산하는 방법이 있다. 그러나, baseline techniques을 이용할 경우 흡수 peaks가 겹치는 경우도 있고, 개인에 따라 정하는 방법이 달라 중합률 계산에 차이를 보일 수 있다⁸⁵⁾. 본 실험에서는 각 peaks의 시점과 종점만 인식시키면 자동적으로 면적을 구하는 Bomem-calc FTIR software를 이용하여 비교적 오차 없이 중합률을 구할 수 있었다.

본 실험에서는 시편 아래에 백색여과지를 놓고 광조사하였다. 이는 깊은 와동에서 수산화칼슘제제와 같은 흰색의 이장제를 사용할 때와 유사한 임상환경의 재현이라 할 수 있으며, black backing을 사용하면 25 - 49%의 경도의 감소를 보인다는 Fan등의 연구⁷⁸⁾에 기초하여 레진시멘트 하부 대조군에 중합을 증진시킬 목적으로 백색여과지를 사용하였다.

Burtscher의 연구⁸⁶⁾에 의하면 복합레진이 중합된 후에 남아있는 자유라디칼은 구강내 온도에서 실온에서의 반감기보다 1/3정도로 단축된다고 하였다. 본 실험에서는 시편을 광조사후 실온에서 보관하였으나, 만약 구강내 온도이상에서 보관하였다면 중합정도가 증가하였을 것으로 예측되며, 특히, 이중중합형 복합레진시멘트의 화학중합계가 온도에 더욱 영향을 받을 것으로 사료된다.

레진시멘트가 인레이와 치아의 사이에 잘 안착되려면 레진시멘트의 점도는 낮아야 하고, 이를 위해서는 filler의 양을 감소시켜야한다. 그러나, Rees 등²¹⁾에 의하면 레진이나 도재를 이용한 인레이는 수복물과 와동사이에 50 - 200 μ m의 간격이 존재한다고 하였고, Krejci 등⁸⁷⁾은 접착용 복합레진시멘트는 CAD /CIM으로 제작된 도재인레이보다 마모가 커서 인레이를 치아에 접착한 후에 시간이 경과하면 변연 ditching이 일어난다고 하였으며, Schmalz 등²²⁾은 치아와 인레이 사이의 간격이 100 μ m 이상일 경우 점도가 높은 시멘트를 사용해야 한다고 하였다. Noack 등⁸⁸⁾은 초음파 기구를 사용하여 filler가 많이 함유된 복합레진을 접착시멘트로 사용하면 변연 ditching을 감소시킬 수 있다고 하였다. Peutzfeldt⁸⁹⁾도 초음파 기구를 이용하여 복합레진 인레이

이를 접착시킨 결과 점도가 높은 시멘트가 낮은 점도의 시멘트에 비해 적합도에서 별 차이가 없다고 하여 초음파기구로 인레이를 시적하면 시멘트의 점도에 관계없이 접착이 가능하다고 보고하였다. 본 실험에서 주로 충전용으로 사용되어 filler가 많이 함유되고 점도가 높은 Z를 광중합형 재료로 사용한 것은 위의 연구에 기초한 것이다.

모든 치과용 복합레진은 자유라디칼 중합기전으로 중합이 된다. 화학중합형의 경우 benzoyl peroxide와 아민의 화학반응으로 생성된 자유라디칼이 중합을 시작하여 교차반응된 중합기질을 형성한다. 광중합형인 경우 α -diketone에 흡수되는 광의 파장이 camphoroquinone을 활성상태로 만들어 아민 환원제와 반응하여 자유라디칼을 형성한다. 중합동안에 일어나는 각각의 사슬첨가과정은 자유라디칼을 요구하고 중합률은 레진의 화학구조와 광에너지의 도달정도에 직접 영향을 받는다. 화학중합형은 균일하게 혼합되면 전체적으로 균일한 중합이 되지만, 광중합형은 광이 도달된 부위만 중합이 된다. 이중중합형 레진시멘트의 경우 광이 도달 가능한 부위는 광중합과 화학중합이 가능하고 광이 도달되지 않는 부위는 화학중합으로 중합이 종결되도록 개발되었다. 그러나, Rueggeberg 등³¹⁾에 의하면 광중합후 화학중합에 의한 지속적인 중합은 이루어지기 어렵다고 하였다. 초기의 광 노출로 레진의 급격한 중합을 가져와 레진시멘트를 매우 점도가 높은 gel상태로 도달시켜 점성의 급격한 증가로 연속적인 화학적 중합반응을 일으키는데 필요한 활성화 라디칼성분의 이동은 방해된다. 따라서 광조사에 의한 초기의 중합정도와 반응억제제에 의한 지연효과는 이중중합형 레진의 최종 중합도에 크게 영향을 미치는 요인이며 화학중합에 의한 경화시 광조사에 의해 경화된 레진의 정도에 이르지 못한다고 하였다⁵⁰⁾. 본 실험에서도 인레이를 통해 광조사할 경우 광중합형 복합레진은 광도의 감소에 따라 중합정도가 감소되었고, 이중중합형 레진시멘트도 유사한 결과를 얻었다. 그러므로, 이중중합형 레진시멘트도 충분한 광조사가 필요하므로 광중합형 복합레진과 같이 다루어져야 한다고 사료된다.

복합레진은 중합반응동안 모든 단량체가 중합체로 변하는 것이 가장 이상적인 것이라 할 수 있다. 그러나, 복합레진은 항상 미반응된 탄소이중결합이 존재한다. 이는 교차결합된 중합체 망상구조가 빠르게 형성되어 반응성이 있는 부분의 운동성이 제한되기 때문이다. 중합정도는 복합레진의 물리적 성질에 영향을 주므로 미세경도나 중합률의 측정은 수복물의 성공 여부를 예측하는데 중요한 요소가 된다. 경도는 기계적인 강도, 견고성, 그리고 구강 내에서 연화가능성에 대한 저항과 관련되며 굽히는 것, 파절, 그리고 응력에 저항을 의미한다. 그러므로, 높은 경도 값을 갖는 것은 기계적인 물성과 중합률의 증가를 예상할 수 있으나, 본 실험의 결과와 같이 경도와 중합률은 항상 일치하지 않으므로 경도 값

으로만 절대적인 중합정도를 예상할 수 없다. 또한, 낮은 중합률을 보이는 복합레진도 단량체의 조성²⁰⁾이나 filler의 부피비율을 조정⁶¹⁾하여 물리적 성질의 개선이 가능하므로 높은 중합률을 보이는 제품이 반드시 물리적인 성질이 우수하다고 할 수 없다. 그러므로, 레진을 기초로 하는 치과재료의 물성비교는 경도와 중합률뿐만 아니라 다른 물리적인 성질의 비교와 병행해야 정확한 비교가 될 수 있을 것으로 생각된다.

최근에 심미적 수복물의 접착시 광 도달의 제한성 때문에 이중중합형 레진시멘트의 사용이 권장되고 있다. 그러나, 본 실험에서 두터운 후경의 수복물을 통해 광조사할 경우 이중중합형 레진시멘트의 중합정도도 광의 도달에 의존하는 결과를 얻었고, 여러 연구^{7,28,29,50)}에서 광조사후 시간의 경과에 따라 중합률이나 경도가 증가되지 않아 이중중합형 레진시멘트도 광중합형과 같이 광조사에 대한 한계가 있다고 생각된다. 실제 임상에서 레진시멘트를 이용하여 수복물을 접착시 인접면, 협설면, 교합면으로 나누어 광조사하면 광이 도달 가능한 부위가 많아져 중합률이 증가될 것으로 사료되고, 본 연구에서 얻어진 여러 가지 결과를 참조하여 구강내 환경과 수복물의 상태에 따라 임상에 적용하면 성공적인 수복치료를 도울 수 있을 것으로 기대되며 레진시멘트의 기질의 성분 및 filler의 크기나 함량의 차이와 광조사후 시간의 경과에 따른 중합률과 미세경도의 변화에 관한 보다 지속적이고 심도 있는 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

V. 결 론

1종의 광중합형 복합레진인 Z-100(Z)과 3종의 이중중합형 복합레진시멘트인 Duo Cement(D), 3M Resin Cement(R), Dual Cement(DA)를 사용하여 0mm, 1mm, 2mm, 그리고 3mm후경의 CAD/CAM용 도재인레이를 통해 40초, 80초, 120초간 광조사하여 미세경도를 측정하고, 동일한 조건하에 Fourier변환 적외선 분광기를 이용하여 중합률을 측정하고 미세경도와 중합률의 상관관계를 관찰하였다. 또한, 도재수복물에 의한 광도의 감쇠를 보상할 수 있는 조사시간을 관찰하기 위해 도재편에 의해 감쇠되는 광도를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 도재편 없이 직접 광조사한 레진시멘트의 미세경도는 31~109 VHN 이었고 중합률은 51~63%이었다. 재료간 비교는 미세경도의 경우 Z가 가장 높았고, 그 후로 R, D, DA 순으로 유의하게 높았으며(p<0.05), 중합률의 경우 D와 DA가 Z와 R보다 유의하게 높았다(p<0.05).
2. 레진시멘트의 미세경도와 중합률은 도재인레이 후경이 증가할 수록 감소하였고 조사시간이 증가할 수록 증가하

였다. 도재인레이의 후경과 조사시간에 따라 D와 R은 측정값의 변화가 많았으나 DA는 차이가 작았다.

3. 도재편을 통한 광감쇠 효과로 1mm, 2mm, 3mm의 도재편을 통한 광의 강도 비는 직접 광조사한 광도에 비해 0.43, 0.25, 0.14배로 감소하여 각각 53초, 70초, 93초 이상의 조사시간을 요하였고, D와 R의 경우 2mm 도재편을 통해 40초간 광조사한 경우와 3mm 도재편을 통해 80초 이하로 광조사한 경우는 충분한 중합이 이루어지지 않았다.
4. 레진시멘트의 미세경도와 중합률은 R, D, Z, DA의 순으로 양의 상관관계(R=0.791~0.965)를 보였으나, 인레이의 후경이 증가함에 따라 미세경도와 중합률의 감소양상은 상이하였다.

참 고 문 헌

1. Burke, F.J.T., Qualtrough, A.J.E.: Aesthetic inlays: composite or ceramic?: Br. Dent. J.: 176: 53-60, 1994.
2. Warren, K.: An investigation into the microhardness of a light cured composite when cured through varying thicknesses of porcelain. J. Oral Rehab.: 17: 327-334, 1990.
3. Hickel, R. et. al.: Durchhartungstiefe von lighthartenden Kompositen unter Keramik.: Dtsch. Zahnartzl. Z.: 47: 182-185, 1992.
4. Krejci, I. und Lutz, F., Tulux-Zement. : Schweiz. Monatsschr. Zahnme.: 99: 455-459, 1989.
5. Lutz, F., Krejci, I. und Frischknecht, A.: Lichtpolymerisationsgerate. Geratetypen, Funktionsweise, Desinfektion und technischer Unterhalt.: Schweiz. Monatsschr. Zahnmed.: 565-573: 102, 1995.
6. Besek, M.J., Mormann, W.H., Lutz F.: Curing of composites under cerec inlays. CAD/CIM in aesthetic dentistry: 347-360: Quintessence Pub. Co., 1996.
7. Hasegawa, E.A., Boyer, D.B., and Chan, D.C.N.: Hardening of dual-cured cements under composite resin inlays.: J. Prosthet. Dent.: 66: 187-192, 1991.
8. Chan, K.C., Boyer, D.B.: Curing light-activated composite cement through dentin. J. Prosthet. Dent.: 54: 643-645, 1985.
9. Swartz, M.L., Phillips, R.W., Rhodes, B.: Visible light-activated resins: depth of cure: J.A.D.A.: 106: 634-637, 1983.
10. Venz, S., Antonucci, J.M.: Physical and chemical characteristics of dual cured dental composites.:(Abstract) J. Dent. Res.: 67: 225, 1988.
11. Ruyter, I.E. and Oysaed, H.: Composites for use in posterior teeth: Composition and conversion: J. Biomed. Mater. Res.: 21: 11-23, 1987.
12. Ruyter, I.E.: Composites-Characterization of composite filling materials: Reactor response. Adv. Dent. Res.: 2(1): 122-129, 1988.
13. Yearn, J.A.: Factors affecting cure of visible light activated composites.: Inter. Dent. J.: 35: 218-225, 1985.
14. Wilson, H.J.: Resin-based restoratives.: Brit. Dent. J.: 164: 326-330, 1988.
15. Asmussen, E.: Factors affecting the quantity of remaining double bonds in restorative resin polymers.: Scand. J. Dent. Res.: 90: 490-496, 1982.

16. Yoshida, K. and Greener, E.H.: Effect of photoinitiator on degree of conversion of unfilled light-cured resin.: *J. Dent.*: 22: 296-299, 1994.
17. Taira, et. al.: Analysis of photo-initiators in visible light cured dental composite resins.: *J. Dent. Res.*: 1: 24-28, 1988.
18. Asmussen, E.: Restorative resins: hardness and strength vs. quantity of remaining double bonds.: *Scand. J. Dent. Res.*: 90: 484-489, 1982.
19. Ferracane, J.L. and Greener, E.H.: The effect of resin formulation on the degree of conversion and mechanical properties of dental restorative resins: *J. Biomed. Mater. Res.*: 20: 121-131, 1986.
20. Ferracane, J.L.: Correlation between hardness and degree of conversion during the setting reaction of unfilled dental restorative resins: *Dent. Mater.*: 1: 11-14, 1985.
21. Rees, J.S. and Jacobsen, P.H.: Current status of composite materials and adhesive systems.: 6. Clinical techniques for indirect placement.: *Rest. Dent.*: 6: 21, 1990.
22. Schmalz, G., Federlin, M., and Reich, E.: Effect of dimension of luting space and luting composite on marginal adaptation of a class II ceramic inlay.: *J. Pros. Dent.*: 73: 392-399, 1995.
23. Ruyter, I.E. and Oysaed, H.: Compressive creep of light cure resin based restorative materials.: *Acta Odontol. Scand.*: 40: 359-364, 1982.
24. Inoue, K. and Hayashi, I.: Residual monomer(Bis-GMA) of composite resins.: *J. Oral. Rehabil.*: 9: 493-497, 1982.
25. Ruyter, I.E.: Methacrylate-based polymeric dental materials: conversion and related properties.: *Acta Odontol. Scand.*: 40: 359-376, 1982.
26. Lutz, F. et. al.: Lichtpolymerisation. Grundlagen und praxistips fur die Anwendung.: *Schweiz. Monatsschr. Zahnmed.*: 99: 455-459: 1992.
27. Strang, R.: The setting of visible light cured resins beneath etched porcelain veneers.: *Br. Dent. J.*: 163: 149-151, 1987.
28. O'Keefe, K.L., Pease, P.L., and Herrin, H.K.: Variables affecting the spectral transmittance of light through porcelain veneer samples.: *J. Prosthet. Dent.*: 66: 434-438, 1991.
29. Chan, K.C., Boyer, D.B.: Curing light-activated composite cement through porcelain, *J. Dent. Res.*: 68: 476-480, 1989.
30. Uctasli, S., Hasanreisoglu, U., and Wilson, H.J.: The attenuation of radation by porcelain and its effect on polymerization of resin cements.: *J. Oral Rehabil.*: 21: 565-575, 1994.
31. Rueggeberg, F.A., Caughman, W.F.: The influence of light exposure on polymerization of dual-cure resin cements. *Oper. Dent.*: 18: 48-55, 1993.
32. Ferracane, J.L. et.al.: Relationship between shade and depth of cure for light activated dental composite resins.: *Dent. Mater.*: 2: 80-84, 1986.
33. Harold, S. et. al.: The effect of porcelain color on the hardness of luting composite resin cement.: *J. Prosthet. Dent.*: 69: 620-623, 1993.
34. Watts, D.C., Amer, O. and Combe, E.C.: Characteristics of visible- light- activated composite systems.: *Br. Dent. J.*: 156: 209-215, 1984.
35. de Gee, A.J. et. al.: Color dye for identification of incompletely cured composite resins.: *J. Prosthet. Dent.*: 52: 626-629, 1984.
36. Murray, G.A., Yates, J.L., and Newman, S.M.: Ultraviolet light and ultraviolet light-activated composite resins.: *J. Prosthet. Dent.*: 46: 167-170, 1981.
37. Newman, S.M. and Murray, G.A.: Visible lights and visible light activated composite resins.: *J. Prosthet. Dent.*: 50: 31-35, 1983.
38. Cook, W.: Factors affecting the depth of cure of ultraviolet-polymerized composites.: *J. Dent. Res.*: 59: 800-808, 1980.
39. Leung, R.L., Kahn, R.L., and Fan, P.L.: Comparison of depth of polymerization evaluation methods for photo-activated composite.: *J. Dent. Res.*: 63: 292: Abst. No. 1095, 1984..
40. Harrington, E. and Wilson, H.J.: Depth of cure of radiation-activated materials- effect of mould material and cavity size.: *J. Dent.*: 21: 305-311, 1993.
41. Vankerckhoven, H. et. al.: Unreacted methacrylate groups on the surfaces of composite resins.: *J. Dent. Res.*: 61: 791, 1982.
42. Antonucci, J.M. and Toth, E.E.: Extent of polymerization of dental resins by differential scanning calorimetry.: *J. Dent. Res.*: 62: 121, 1983.
43. Lee, I. B. and Um, J. M.: Thermal analysis of Polymerization rate of dual cured resin cements under porcelain inlays.: *J. college of Dent. S.N.U.*: vol 23: No. 1, 1999.
44. Eliades, G.C., Vougiouklakis, G.J. and Caputo, A.A.: Degree of double bond conversion in light-cured composites.: *Dent. Mater.*: 3: 19-25, 1987.
45. Park, S.H.: Comparison of degree of conversion for light-cured and additionally heat-cured composites.: *J. Presth. Dent.*: 76: 613-618, 1996.
46. Chung, K. and Greener, E.H.: Degree of conversion of seven visible light-cured posterior composites.: *J. Oral Rehabil.*: 15: 555-560, 1988.
47. Harashima, I., Nomata, T. and Hirasawa, T.: Degree of conversion of dual-cured composite luting cements: *Dent. Mater. J.*: 10: 8-17, 1991.
48. Kim, K.H., Um, J. M., and Kwon, H. C.: A study on the degree of conversion of light curing composite resin according to the depth of cure and light curing time.: *J. Kor. Acad. of Con. Dent.*: 22(1): 35-60, 1997.
49. Kim, B.H., Kwon, H. C.: A Study on bond strength and the degree of conversion of dentin bonding agents.: *J. Kor. Acad. of Con. Dent.*: 23: 68-93, 1998.
50. Rueggeberg, F.A. and Craig, R.G.: Correlation of parameters used to estimate monomer conversion in a light-cured composite.: *J. Dent. Res.*: 67: 932-937, 1983.
51. Pilo, R. and Cardash, H.S.: Post-irradiation polymerization of different anterior and posterior visible light-activated resin composites.: *Dent. Mater.*: 8: 299-304, 1992.
52. El-Badrawy, W.A. and El-Mowafy, O.M.: Chemical versus dual curing of resin inlay cements.: *J. Prosthet. Dent.*: 73: 515-524, 1995.
53. Ruyter, I.E. and Oysaed, H.: Analysis and characterization of dental polymers.: *CRC Cri. Rev. in Biocomp.*, CRC Press. Inc.: 4: 247-279, 1988.
54. Rueggeberg, F. and Tamareselvy, K.: Resin cure determination by polymerization shrinkage.: *Dent. Mater.*: 11: 265-268, 1995.
55. Sadamori, S. et al.: A method of determining residual monomer in acrylic resin using methyl ethyl ketone.: *Aust. Dent. J.*: 35: 509-513, 1990.
56. Ruyter, I.E., Svendsen, S.A.: Remaining methacrylate group in composite restorative materials. *Acta Odontol. Scand.*: 36: 75-82, 1977.
57. Peutzfeldt, A.: Quantity of remaining double bonds of

- propanal-containing resins.: *J. Dent. Res.*: 73: 1657-1662, 1994.
58. Antoniadi, M. H. et. al.: Surface hardness of light-cured and self-cured composite resins. *J. Prosthet. Dent.* : 65: 215-220, 1991.
 59. Barron, D.J., Rueggeberg, F.A. and Schuster, G.S.: A comparison of monomer conversion and inorganic filler content in visible light-cured denture resins.: *Dent. Mater.*: 8: 274-277, 1992.
 60. Caughman, W. F. et. al.: Correlation of cytotoxicity, filler loading, and curing time of dental composites. *Biomaterials*: 12: 737-740, 1990.
 61. Chung, K.H. and Greener, E.H.: Correlation between degree of conversion, filler concentration and mechanical properties of posterior composite resins.: *J. Oral Rehabil.*: 17: 487-494, 1990.
 62. Watts, D.C., Amer, O.M., and Combe, E.C.: Surface hardness development in light cured composites. *Dent. Mater.*: 3: 256-269, 1987.
 63. Darr, A.H. and Jacobsen, P.H.: Conversion of dual cure luting cements.: *J. Oral Rehab.*: 22: 43-47, 1995.
 64. Ruyter, I.E. and Oysaed, H.: Conversion in different depths of ultraviolet and visible light activated composite materials.: *Acta. Odontol. Scand.*: 40: 179-192, 1982.
 65. Kawaguchi, M., Fukushima, T. and Miyazaki, K.: The relationship between cure depth and transmission coefficient of visible-light-activated resin composites.: *J. Dent. Res.*: 73: 516-521, 1994.
 66. Willems, G. et al.: A classification of dental composites according to their morphological and mechanical characteristics.: *Dent. Mater.*: 8: 310-319, 1992.
 67. Inokoshi, S: Dual-cure luting composites. Part I: filler particle distribution.: *J. Oral Rehab.*: 20: 133-146, 1993.
 68. Peutzfeldt, A.: Dual-cure resin cements: in vitro wear and effect of quantity of remaining double bonds, filler volume, and light curing.: *Acta. Odontol. Scand.*: 53: 29-34, 1995.
 69. Rueggeberg, F.A. et. al.: Factors affecting cure at depths within light-activated resin composites.: *Am. J. Dent.*: 6: 91-95, 1993.
 70. Rueggeberg, F.A. et. al.: A predictive model for the polymerization of photo-activated resin composites.: *Int. J. Prosth.*: 7: 159-166, 1994.
 71. Rueggeberg, F.A. et. al.: Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite.: *Oper. Dent.*: 19: 26-34, 1994.
 72. Nomoto, R., Uchida, K., and Hirasawa, T.: Effect of light intensity on polymerization of light cured composite resins.: *Dent. Mater. J.*: 13: 198-205, 1994.
 73. Blackman, R., Barghi, N., and Duke, E.: Influence of ceramic thickness on the polymerization of light-cured resin cement.: *J. Prosthet. Dent.*: 63: 295-300, 1990.
 74. Breeding, L.C. et. al.: The curing potential of light-activated composite resin luting agents: *J. Prosthet. Dent.*: 65: 512-8, 1991.
 75. Venhoven, B.A.M., de Gee, A.J. and Davidson, C.L.: Light initiation of dental resins: dynamics of the polymerization.: *Biomaterials*: 17: 2313-2318, 1996.
 76. DeWald, J.P. and Ferracane, J.L.: A comparison of four modes of evaluating depth of cure of light-activated composites.: *J. Dent. Res.*: 66: 727-730, 1987.
 77. Kim, W.C. et. al.: Modern stastical concepts and methods: Sung Ji co.: 235, 1984.
 78. Fan, P.L. et al.: Effects of backing reflectance and mold size on polymerization of photo-activated composite resin.: *J. Dent. Res.*: 63: 1245-1247, 1984.
 79. McCabe, J.F. and Carrick, T.E.: Output from visible-light activation units and depth of cure of light-activated composites.: *J. Dent. Res.*: 68: 1534-1539, 1989.
 80. Dunne, S.M., Davies, B.R., and Millar, B.J.: A survey of the effectiveness of dental light-curing units and a comparison of light testing devices.: *Br. Dent. J.*: 180: 411-416, 1996.
 81. Ferracane, J.L. and Greener, E.H.: Fourier transform infrared analysis of degree of polymerization in unfilled resins- Methods comparison: *J. Dent. Res.*: 63: 1093-1095, 1984.
 82. Chung, K.H., Sharma, B., and Greener, E.H.: Polymerization kinetics in dental acrylics.: *Dent. Mater.*: 2: 275-278, 1986.
 83. Greener, E., Duke, S.: Physical properties of two new crown and bridge veneering resins.: *J. Oral. Rehabil.*: 16: 203-209, 1989.
 84. Yoshida, K. and Greener, E.H.: Effects of two amine reducing agents on the degree of conversion and physical properties of an unfilled light-cured resin.: *Dent. Mater.*: 9: 246-251, 1993.
 85. Rueggeberg, F.A., Hashinger, D.T., and Fairhurst, C.W.: Calibration of FTIR conversion analysis of contemporary dental resin composites.: *Dent. Mater.*: 6: 241-249, 1990.
 86. Burtcher, P.: Stability of radicals in cured composite materials.: *Dent. Mater.*: 9: 218-221, 1993.
 87. Krejci, I., Lutz, F., and Reimer, M.: Wear of CAD/CAM ceramic inlays: Restorations, opposing cusps, and luting cements: *Quint. Int.*: 25: 199-207, 1994.
 88. Noack, M., Roulet, J.F., Bergmann, P.: A new method to lute tooth colored inlays with highly filled composite resins(asbtract).: *J. Dent. Res.*: 70: 457, 1992.
 89. Peutzfeldt, A.: Effect of the ultrasonic insertion technique on the seating of composite inlays.: *Acta. Odontol. Scand.*: 52: 51-54, 1994.

그래프 ①

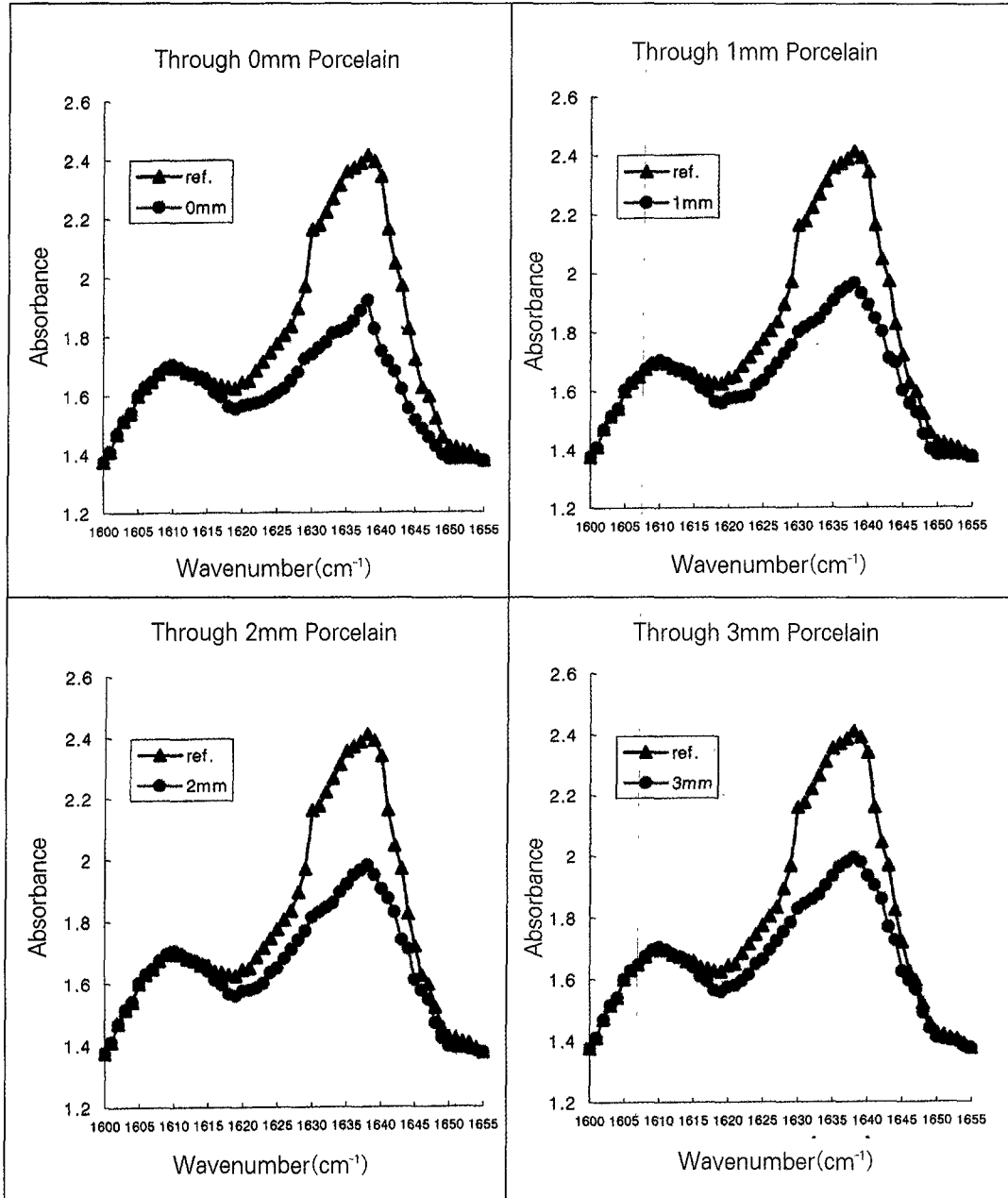


Fig. 5. FTIR spectra of Z-100 according to the porcelain thickness with 40 sec exposure time

그 래 프 ②

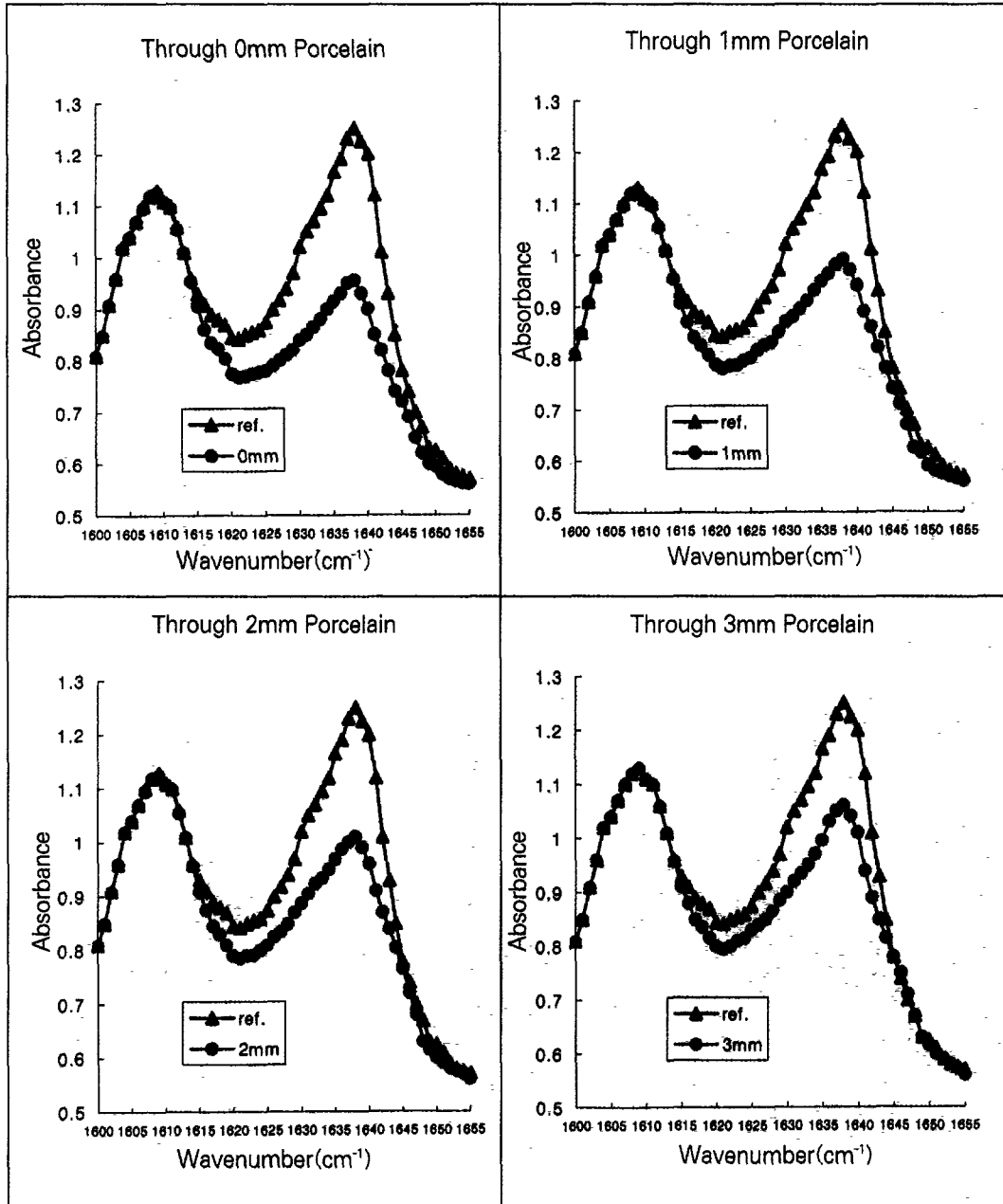


Fig. 6. FTIR spectra of Duo cement according to the porcelain thickness with 40 sec exposure time

그래프 ③

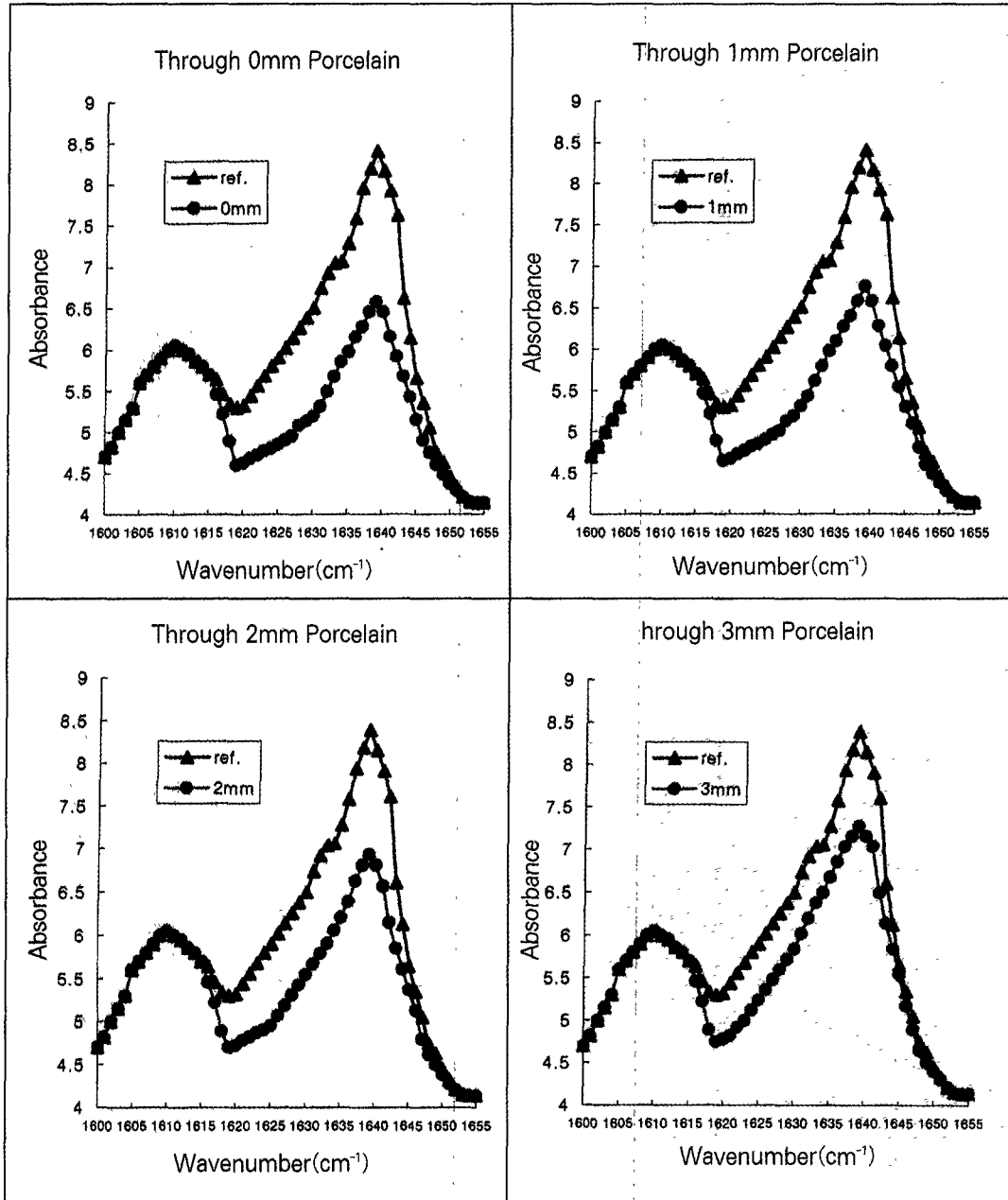


Fig. 7. FTIR spectra of 3M Resin cement according to the porcelain thickness with 40 sec exposure time

그 래 프 ④

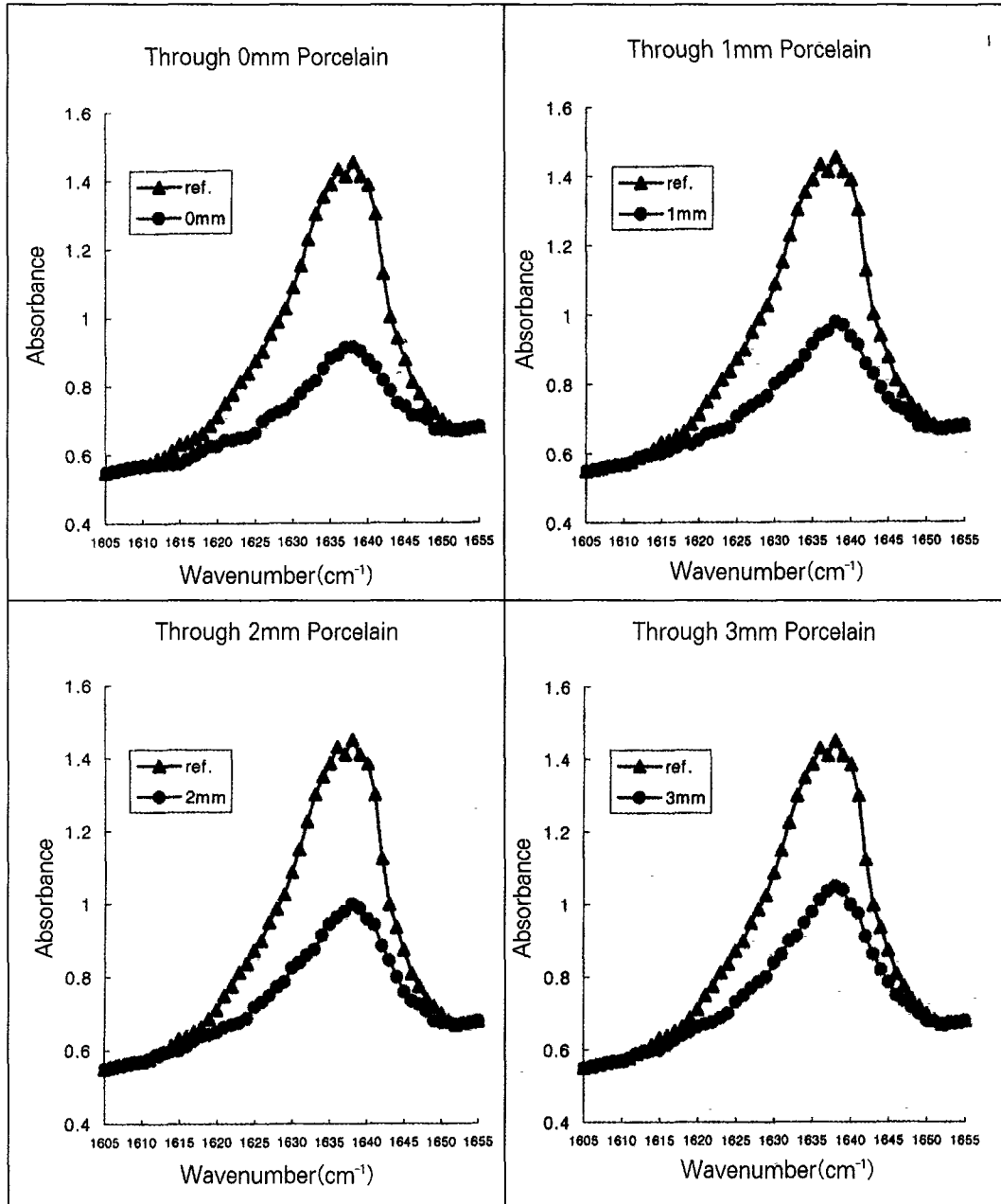


Fig. 8. FTIR spectra of Dual cement according to the porcelain thickness with 40 sec exposure time