

중합시간과 중합방법에 따른 자가중합형 상교정용 레진의 중합률의 비교에 관한 연구

유종욱 · 장기택 · 김종철

서울대학교 치과대학 소아치과학교실 및 치학연구소

Abstract

A STUDY ON THE DEGREE OF POLYMERIZATION OF AUTOPOLYMERIZED RESIN FOR REMOVABLE ORTHODONTIC APPLIANCE ACCORDING TO CURING TIME AND CURING METHOD

Jong-Wook Yoo, D.D.S., Ki-Taeg Jang, D.D.S., Ph.D., Chong-Chul Kim, D.D.S., Ph.D.

*Department of Pediatric Dentistry and Dental Research Institute,
College of Dentistry, Seoul National University*

Autopolymerized resin facilitates a more rapid and easier means for the construction of removable orthodontic appliances than heat cured resin. But many reports reveal that more unreacted monomer is found in autopolymerized resin. It is very important to achieve maximum degree of polymerization because if polymerization is inadequate, high level of unreacted monomer has been shown to adversely affect mechanical and physical properties, and also the question of allergy or toxicity to methylmethacrylate must be considered. The purpose of this study was to compare the degree of polymerization according to curing method and curing time.

Five groups were designed : Group 1 was polymerized at room temperature(28°C) ; Group 2 in 28°C water ; Group 3 in 28°C water under 30psi pressure ; Group 4 in 43°C water ; Group 5 in 43°C water under 30psi pressure for 10 minutes, 1 hour, 12 hours, 1 day and 3 days. The degree of polymerization was measured by means of Fourier Transform Infrared spectroscopy.

The results were as follows :

1. The degree of polymerization increased constantly in accordance with curing time in all groups and after curing for 10 minutes, Group 1 showed significantly higher degree of polymerization after 12 hours and Group 2, Group 3, Group 4, Group 5 after 1 hour($p < 0.05$).

2. The degree of polymerization decreased in the order of Group 5, Group 4, Group 3, Group 2, Group 1 except when the curing time was 1 hour and 12 hours($p < 0.05$).
3. The degree of polymerization of Group 4, Group 5 cured at 43°C showed significantly higher degree of polymerization than Group 2, Group 3 at 28°C except when the curing time was 1 day($p < 0.05$).
4. Among Group 2, Group 3 and Group 4, Group 5, the pressure had no effect on polymerization except when the curing time was 12 hours($p < 0.05$).
5. Between Group 1 and Group 2, the method of storage had no effect on polymerization except when the curing time was 1 hour($p < 0.05$).

Key word : autopolymerized resin, Fourier Transform Infrared spectroscopy, heat cured resin, polymerization, unreacted monomer

I. 서 론

의류, 건축재, 전기제품 등 거의 모든 일상생활에서 유용하게 쓰이는 합성레진은 중합체(polymer)의 일종으로 흔히 플라스틱이라 불린다. 합성레진은 또한 치의학의 발전에도 큰 영향을 끼치고 있는데 조직치료재(tissue treatment materials), 시멘트, 다양한 수복재료와 의치제작, 인상용 맞춤형 트레이, 간격유지장치, 교정용 유지장치, 운동선수들을 위한 구강보호구(mouth protector), 수면중 이갈이 방지를 위한 night guard, 기타 선천적 결손이나 질환 또는 사고에 의해 손상된 안면구조의 일부를 대체하는데 쓰이는 악안면 보철물 등 여러 영역에서 활용되며 그 물질 또한 향상되고 있다¹⁾.

이중 아크릴릭레진 system은 수년동안 가철성 교정용 장치에 사용되어 왔다. 이전에는 열중합형 레진(heat cured resin)을 사용하였으나 요즘은 보다 빨리 중합이 일어나고 장치 제작이 쉬운 자가중합형 레진(cold cured resin, autopolymerised resin)으로 대체되고 있다. 그러나 자가중합형 레진의 중합반응은 열중합형 레진과 달리 실온에서도 일어나지만 중합률이 상대적으로 떨어지며 또한 미반응 단량체도 열중합형 레진의 경우보다 5 - 10배 정도 많은 것으로 보고되고 있다²⁻⁶⁾.

치의학에서 가장 폭넓게 쓰이는 아크릴릭레진으로 만든 의치상은 색안정성, 체적안정성, 조직친화성, 우수한 강도 등의 이유로 주로 polymethyl

methacrylate(PMMA)로 제작되는데 중량체(polymer)와 단량체(monomer)를 혼합하여 중합을 시키는 방법을 사용하고 있다⁷⁾. PMMA의 중합반응은 단량체인 methyl methacrylate(MMA)의 부가중합에 의한 반응으로 생겨난 산물이다. 열중합은 열이 benzoyl peroxide의 이중결합을 파괴하여서 자유라디칼을 형성함으로 단량체들이 이에 결합하여 완성되는 것이고, 반면 자가중합형은 benzoyl peroxide가 실온에서도 단량체에 포함된 3차아민에 의해 파괴되어 자유라디칼을 형성함으로 완성된 것이다⁸⁾. 그러나 치과용 레진이 중합반응 동안 모두 중합체로 전환하는 것이 바람직 하지만 보통 MMA의 PMMA로의 변환은 완전하지 못하여 일부의 단량체인 MMA는 반드시 미반응 단량체로 남게된다. 이는 자유라디칼-단량체의 반응에 의해 중합체가 형성되면, 점조도가 높아져서 중합체망내에 라디칼의 운동성이 저하되고 반응도도 떨어져 주위로 확산되지 못한 결과이다⁹⁾. 보통 중합시 약 25 - 50%를 차지하는 미반응 단량체 중 약 10%정도가 결합에 참여하지 않고 중합체내에서 자유롭게 돌아 다니다가 외부로 유출된다고 알려져 있다¹⁰⁾.

중합이 덜 일어났을 때 미반응 단량체는 다음과 같은 문제를 야기할 수 있다¹⁴⁾.

첫째로는 치과용 레진의 중합률이 떨어지면 중합체내에 미반응 단량체가 많아져 물리적, 기계적 성질이 저하될 수 있다. 즉 잔존단량체가 밖으로 계속 유출되면 그 결과 중합체가 물을 흡수, 연화(plasti-

zation) 되어 결국 낮은 기계적 강도⁶⁾를 갖게 되며 미반응 단량체의 불포화탄소-탄소 이중결합(C=C)은 중합체의 기질을 산화시켜서 경도와 강도¹¹⁾, 마모저항¹²⁾ 등의 저하 및 산화반응에 의한 변색¹³⁾의 요인이 될 수 있다. 아울러 레진내의 계속적인 중합반응은 체적의 불안정성¹⁴⁾을 초래할 수도 있다. 둘째로는 미반응 단량체인 MMA에 의한 생물학적인 영향으로써 구강점막의 독성이나 알레르기, 연하시의 위장관의 자극 등의 영향¹⁵⁾이 문제가 될 수 있다.

이처럼 불안정한 불포화탄소-탄소 이중결합을 가진 미반응 단량체를 최소한으로 하기위해서 최대한으로 중합시켜주려는 노력이 필요하며 여러 문헌에서 미반응 단량체의 양 및 레진의 중합도를 알아보기 위한 많은 실험이 있었다.

먼저 보철학 분야의 여러 연구에서, 주로 의치상(denture base)에서 미반응 단량체 유출량을 직접 측정해보려는 시도가 행해졌다. 특히 1956년 Smith와 Bains¹⁶⁾는 potassium permanganate의 화학적 방법을 사용하였고, 그 이후 여러 연구에서 High Performance Liquid Chromatography나 gas-chromatography¹⁷⁾를 통하여 열중합형 레진과 자가중합형 레진내에 잔존해 있거나 아니면 물이나 타액, 혹은 여러 유기용매 밖으로 유출되는 미반응 단량체의 양을 측정하였다. 화학중합형 레진의 중합도를 알아보기 위해서 Asmussen¹⁸⁾은(1982) infrared spectroscopy를, 중합된 복합레진에 남아 있는 미반응 methacrylate기의 양을 측정하기 위해 Svendsen¹⁹⁾(1978)은 infrared multiple internal reflection(MIR) spectroscopy를 사용하였고, Antonucci²⁰⁾ 등(1983)은 differential scanning calorimetry(DSC)와 Shimomura²¹⁾(1987)는 laser Raman spectrophotometer를 사용하여 치과용 복합레진의 중합도를 측정하였으며 최근에는 조와 한(1997)²²⁾과 이와 김²³⁾(1998), 부와 이²⁴⁾(1992) 등이 FT-IR spectroscopy를 이용하여 치면열구전색제의 중합도를 측정한 바 있다.

이중 Fourier 변환적외선분광법(FT-IR spectroscopy)은 적외선 파장내에서 중합체사슬에 포함된 functional group분자의 진동특성에 따른 광선 흡수원리에 기초하여, 중합률을 측정하는 방법이다. 기본진동을 하고 있는 분자에서 그 기본진동과 같은 진동수를 가진 적외선을 조사시 조사된 분자는 기본진동의

위치(cm^{-1})에서 적외선을 흡수하여 본래 기본진동의 크기가 증가하게 된다. 즉 외부에서 주어지는 적외선의 진동수가 분자고유의 기본진동수값과 일치하면 강한 흡수 peak가 나타나고, 일치하지 않으면 분자진동상태에 아무런 영향을 주지 않는 원리를 이용하는 것으로, 중합체의 정상분석이 가능하다²⁵⁾.

소아치과영역에서는 고정성 교정장치 못지 않게, 많은 경우 가철성 상교정 장치를 장기간동안 사용하며, 또 여러 문헌에서 보고된 것처럼 미반응 단량체가 많은 자가중합형의 레진이며 이를 사용하는 대부분의 연령이 어린 연령의 아동임을 볼 때, 상교정용 장치의 기계적 성질의 향상을 위해서뿐 아니라 생물학적인 관점에서도 어린 아동에게 있어 타액으로 유출되는 미반응 단량체의 연하를 통한 위장관계의 자극이나 구강점막의 독성 및 알레르기반응 등의 자극을 피하기 위해서 자가중합형 교정용 레진의 중합을 최대한으로 일어나게 하는 것이 중요하다고 할 수 있다²⁶⁾.

따라서 미반응 단량체를 줄이게 하기위해서 중합시간(curing time)나 중합방법(curing method)의 차이에 따른 중합률의 비교는 의미 있다고 사료되어 저자는 통상 각각의 시편을 중합방법 및 시간의 변화에 따르는 중합률의 비교에 관한 실험을 통해, 다소의 지견을 얻었기에 이에 보고하는 바이다.

II. 연구재료 및 방법

1. 연구재료

자가중합형 교정용 레진은 서울대학교 치과병원 소아치과에서 가철성 교정장치를 만드는데 사용하고 있는 Orthodontic resin for Construction of appliance & retainers (Caulk Dentsply, U.S.A. Batch No. 651007)를 사용하였다. 그리고 43℃물은 항온조에서, 30psi의 압력 및 43℃의 물은 교정용 장치제작을 위한 pressure cooker set (Dentaurum Polyclav & Dentaurum Electronic, Germany)장치를, 중합률의 측정은 Fourier 변환적외선분광기(Bio-Rad, FTS-60, U.S.A)를 이용하여 측정하였다.

2. 연구방법

1) 시편제작

먼저 Pre-Mix technique으로 교정용 레진을 제조 회사의 지시대로 12cc powder와 5ml의 liquid를 혼합하여 Polyethylene film위에 놓은 후 다른 film으로 가압하여 박막을 만든다. 중합전의 시편은 혼합하자마자 즉시 film상에 얹어놓은 상태로 FT-IR spectroscopy에 위치시켜서 absorbance를 측정한다. 그리고 총 5개의 군으로 나누어서 시편을 각각 3개씩 제작하여 10분, 1시간, 12시간, 1일, 3일의 중합시간이 되면 FT-IR spectroscopy을 사용하여 absorbance를 측정한다.

제 1군은 실온(28℃)의 공기 중에서 중합한 것이고, 제 2군은 실온(28℃)의 물에, 제 3군은 43℃의 물이 있는 항온조에서, 제 4군은 실온의 물과 제조 회사의 지시대로 30psi로 가압된 pressure cooker내에, 제 5군은 43℃의 물과 30psi로 가압된 pressure cooker내에서 중합시킨 것이다.

2) 중합률의 측정

Fourier 변환적외선분광기를 이용, 적외선 흡수 스펙트럼을 기록하기 위하여 해상도 4cm⁻¹, 4000cm⁻¹-400cm⁻¹ 범위의 흡수 mode에서 microscope상의 적외선이 조사되는 부위에 박막형태의 시편을 위치시킨 후 적외선을 조사하고 저속으로 16회를 scan한다. 자가중합형 상교정용 레진의 성분중, 용액내에 들어 있는 주성분인 MMA는 적외선영역에서 특이한 흡수띠를 나타내는데 지방족(aliphatic) 탄소이중결합의 신장진동에 의한 것으로 1639.45cm⁻¹에서 나타나며, 벤젠고리의 방향족(aromatic) 탄소이중결합의 peak는 1616.42cm⁻¹에서 나타난다. Peak absorbance의 측정에는 각 흡수대의 최저점을 연결하

는 baseline method를 이용하며 Peak absorbance 값에서 baseline absorbance값을 뺀 값이 스펙트럼에 기록이 된다. 중합률은 방향족 탄소이중결합의 intensity가 변하지 않으므로 중합전과 중합후의 wavenumber 1639.45cm⁻¹에 나타난 지방족 탄소이중결합의 흡광도와 wavenumber 1616.42cm⁻¹에서 나타난 방향족 탄소이중결합의 흡광도의 상대적인 비교에 의한다.

Degree of polymerization (%)

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

III. 연구성적

각 군의 중합시간과 중합방법에 따르는 중합률의 평균치와 표준편차가 Table 1에 나와있다.

Fig. 1은 분말과 용액을 혼합직후 중합전의 FT-IR spectroscopy 분석 결과이며 Table 2에는 중합시간이 중합률에 미치는 영향을 알아보기 위해서 10분간 중합을 시켰을 때와 각각 1시간, 12시간, 1일, 3일의 중합률과 비교한 것을 Anova Test의 일종인 Scheffe method로 검정한 것이다.

Table 3 - Table 7에서는 중합방법이 중합률에 미치는 영향을 알아보기 위해 동일한 중합시간에서 각각의 군을 동일한 Scheffe method로 검정한 것이다.

1. 중합시간에 따른 비교 (Table 1, Fig. 2 참조)

모든 군에서 시간이 지남에 따라 중합률이 계속 증가하는 양상을 보였다.

시편을 28℃의 공기 중에 방치한 제 1군에서는 10분의 시간이 지났을 때 중합률이 57.73%로써,

Table 1. Degree of polymerization of self curing orthodontic resins [n=3, Mean %(S.D.).]

curing method	curing cycle				
	10min	1hr	12hr	1day	3day
Group 1: dry(room temp.28℃)	57.25(2.87)	59.59(4.19)	72.67(1.11)	74.55(0.58)	76.37(0.47)
Group 2: wet(28℃)	57.73(0.98)	70.16(0.96)	74.75(0.25)	75.06(5.33)	77.77(0.43)
Group 3: wet(28℃)+pressure(30psi)	58.69(0.74)	67.36(0.32)	70.63(0.22)	75.31(2.82)	78.61(0.36)
Group 4: wet(43℃)	68.09(0.12)	76.84(1.02)	78.36(1.60)	78.72(0.69)	81.60(0.67)
Group 5: wet(43℃)+pressure(30psi)	68.38(3.55)	80.43(0.60)	81.59(0.72)	81.74(0.56)	84.26(2.12)

Table 2. Statistical analysis within each group according to curing cycle.

	1hrs	12hrs	1day	3day
Group 1 (10min)	-	*	*	*
Group 2 (10min)	*	*	*	*
Group 3 (10min)	*	*	*	*
Group 4 (10min)	*	*	*	*
Group 5 (10min)	*	*	*	*

* : statistically significant difference (p<0.05)
 - : no significant difference (p<0.05)

Table 3. Statistical analysis between groups after 10 minute curing cycle.

	G1	G2	G3	G4	G5
G1					
G2	-				
G3	-	-			
G4	*	*	*		
G5	*	*	*	-	

* : statistically significant difference (p<0.05)
 - : no significant difference (p<0.05)

Table 5. Statistical analysis between groups after 12 hour curing cycle.

	G1	G2	G3	G4	G5
G1					
G2	-				
G3	-	*			
G4	*	*	*		
G5	*	*	*	*	

* : statistically significant difference (p<0.05)
 - : no significant difference (p<0.05)

12시간후 72.67%와 비교시 중합률이 유의성 있게 증가하였고, 12시간과 1일, 그리고 3일간 중합시켰을 때의 비교에서는 10분과는 모두 유의성 있는 차이를 보였지만 12시간과 1일, 3일간의 중합률을 서로 비교시 별 차이는 없었다(p<0.05).

시편을 28℃의 물 속에서 중합시킨 제 2군에서는 10분 후의 중합률이 57.37%로써, 1시간이 지난 후의 70.16%과 비교시 통계적으로 유의성 있는 중합

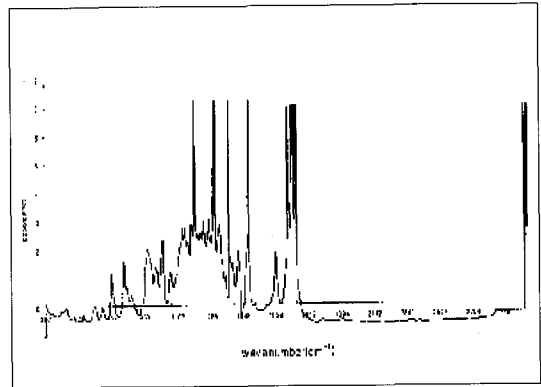


Fig. 1. FT-IR spectrum of autopolymerized orthodontic resin before polymerization.

Table 4. Statistical analysis between groups after 1 hour curing cycle.

	G1	G2	G3	G4	G5
G1					
G2	*				
G3	*	-			
G4	*	*	*		
G5	*	*	*	-	

* : statistically significant difference (p<0.05)
 - : no significant difference (p<0.05)

Table 6. Statistical analysis between groups after 1 day curing cycle.

	G1	G2	G3	G4	G5
G1					
G2	-				
G3	-	-			
G4	-	-	-		
G5	-	-	-	-	

* : statistically significant difference (p<0.05)
 - : no significant difference (p<0.05)

률의 증가가 관찰되었다. 비록 1시간 후와 3일 후의 중합률과는 유의차가 있었으나 12시간과 1일, 3일간의 중합률의 비교시는 서로 유의성 있는 차이는 보이지 않았다(p<0.05).

28℃의 물과 30psi로 가압된 pressure cooker내에서 중합시킨 제 3군의 경우는 10분일 때의 58.69%와 비교시 1시간 이후부터 유의성 있는 중합률의 증가가 관찰되었고 1일과 3일 후의 중합률의 비교시에

Table 7. Statistical analysis between groups after 3 day curing cycle.

	G1	G2	G3	G4	G5
G1					
G2	-				
G3	-	-			
G4	*	*	-		
G5	*	*	*	-	

* : statistically significant difference ($p < 0.05$)
 - : no significant difference ($p < 0.05$)

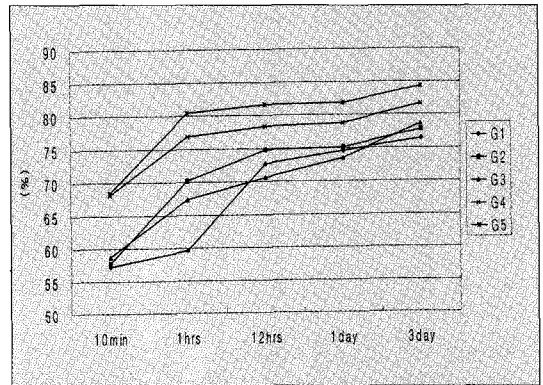


Fig. 2. Mean degree of polymerization of different curing cycle between groups.

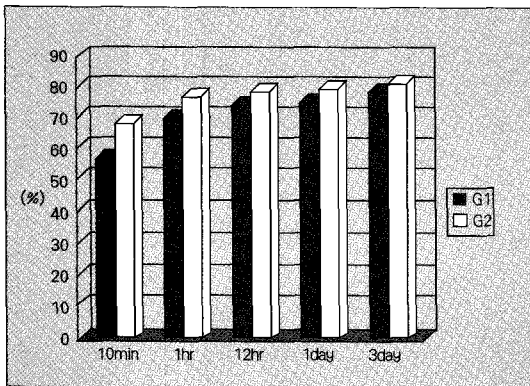


Fig. 3. Mean degree of polymerization between Group 2 and Group 4 (28°C / 43°C).

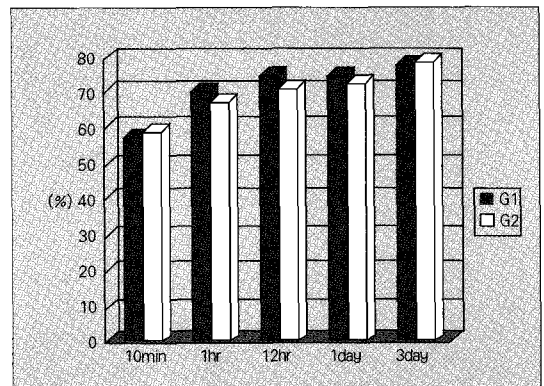


Fig. 4. Mean degree of polymerization between Group 2 and Group 3 (non-pressure / pressure).

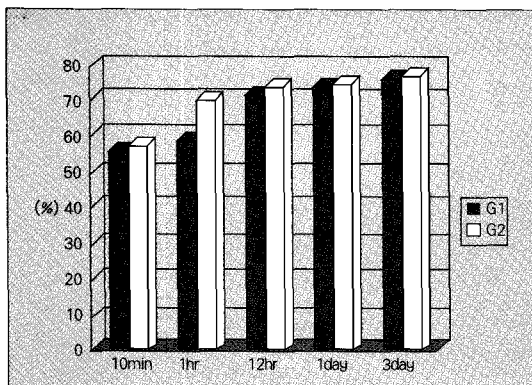


Fig. 5. Mean degree of polymerization between Group 1 and Group 2 (dry / wet).

는 서로 유의성 있는 차이는 보이지 않았다($p < 0.05$).

43°C의 물에 보관시켜 증합시킨 제 4군에서는 10분 후의 중합률이 68.09%로써, 1시간 이후부터 중

합률이 유의성 있게 증가하였고 1일과 3일 후의 중합률의 차이는 없었다.

43°C의 물과 30psi로 가압된 pressure cooker내에서 증합시킨 제 5군에서는 10분 후의 중합률인 68.38%와 1시간후의 중합률인 80.43%과 비교시 유의성 있는 중합률의 증가가 관찰되었고 12시간과 1일, 3일 후의 중합률의 비교에서는 서로 유의성 있는 증가양상은 관찰되지 않았다($p < 0.05$).

2. 증합방법에 따른 비교 (Table 1 - Table 7, Fig. 3 - 5 참조)

각 군의 증합방법에 따른 비교에서는 1시간과 12시간후의 제 2군과 제 3군의 순서만 바뀐 것 외에는 모두가 제 5군, 제 4군, 제 3군, 제 2군, 제 1군의 순서대로 중합률이 높게 나왔다(Fig. 2 참조).

제 2군과 4군, 그리고 3군과 5군의 비교에서 43℃에서 중합시킨 4군과 5군이 28℃에서 중합시킨 2군과 3군보다 중합률이 모두 높게 나왔으며, 1일을 제외한 모든 시간에서 유의성 있는 차이가 관찰되었다 ($p < 0.05$) (Fig. 3 참조).

제 2군과 3군, 그리고 제 4군과 5군의 비교에서는 압력을 가한 3군과 5군은 압력을 가하지 않은 2군과 4군에 비해서 12시간일 때 2군이 3군보다 중합률이 큰 것을 제외하고는 나머지 시간에서는 별 유의성이 관찰되지 않았다 ($p < 0.05$) (Fig. 4 참조).

제 1군과 2군의 비교에서는 28℃의 물속에 보관한 제 2군이 공기중에 보관한 1군보다 1시간일 때 중합률이 큰 것을 제외하고는 나머지 시간에서는 별 유의성이 관찰되지 않았다 ($p < 0.05$) (Fig. 5 참조).

IV. 총괄 및 고안

치과용 레진은 전형적으로 분말(powder)과 용액(liquid)으로 공급된다. 분말에는 중합제임자인 PMMA와 개시제(initiator: 화학중합형 레진과 열중합 레진에는 benzoyl peroxide)가 들어 있으며, 용액에는 단량체인 MMA와 hydroquinone같은 소량의 억제제(inhibitor), 그리고 특히 자가중합형의 레진의 경우에는 3차아민 같은 가속제(accelerator)가 포함된다. MMA는 깨끗하고 투명한 액체로써 끓는점이 100.8℃이며 점도는 낮고 증기압은 높아 액체용기를 열어 놓으면 독특한 냄새가 방안에 가득차게 된다. 순수한 MMA의 중합 수축량은 부피당 약 21%이지만 보통 레진을 혼합할 때 단량체에 중합체를 3배정도 첨가하기에 부피수축량은 단지 6 - 7%정도밖에 되지 않는다. PMMA는 누프경도가 18 - 20 정도의 단단한 레진이다. 인장강도는 59Mpa(8500psi)정도이며 밀도는 1.19g/ml이다. PMMA는 매우 안정되어 있으며 모든 아크릴릭 레진과 마찬가지로 물을 흡수하여 팽창하는 성질이 있는데 보통 일주일 동안 물에 담구어두면 0.5%의 무게증가를 보인다¹⁾.

치과에서 사용되는 중합체로부터 나오는 유기화합물질을 *In vivo* 및 *In vitro*에서 밝혀내려는 시도가 있었다.

McCabe와 Basker³⁾(1976)는 gas-chromatography방법으로 의치상내에 있는 잔존단량체의 양을 측정하여 0.233%와 0.186%라고 보고하였고 이는

구강점막에 손상을 줄 수 있는 양이라고 하였다. 이 수치들은 70℃에서 7시간, 그리고 100℃에서 3시간 중합시켜서 얻은 열중합형 레진내의 잔존단량체의 양이 0.045%라는 수치에 비해서 매우 높다. 1985년 Stafford와 Brooks⁴⁾의 연구에서도 열중합형 레진의 경우 잔존단량체의 양이 0.3%인 반면, 자가중합형인 아크릴릭 교정용 레진의 경우에는 1.5 - 4.5%나 된다고 하였다.

1978년 Douglas와 Bates²⁾는 몇 가지 pour type의 레진의 잔존단량체의 양을 2.16 - 4.99%라고 보고하였고 drill/gas liquid chromatography방법으로 2개의 시편을 측정된 Austin⁵⁾(1980)은 교정장치에 쓰이는 레진의 잔존단량체의 양을 1.39%와 2.84%라고 보고하였다. 반면 1991년 Kalpicilla 등⁶⁾은 여러 다른 연구와는 반대로 pour type의 레진의 잔존단량체의 양이 0.23 - 0.52%로써 0.22 - 0.54%인 열중합형 레진과 별 유의성이 없었다고 주장하였다.

이번 실험에서 측정된 자가중합형 상교정용 레진의 미중합 지방족 탄소이중결합량 (=100-중합률, 단위:%)은 구강내에 영향을 미칠 수 있고 다른 유기용매에 의해 추출(extraction)될 수 있는 미반응 잔존단량체의 양과는 동일하지는 않다. 왜냐하면 FT-IR로 측정된 중합률은 결합에 참여하지 않은 것 뿐 아니라 결합에 참여한 미반응 단량체의 상대적인 탄소이중결합량만을 나타내주는 것이기 때문이다. 실제로 1983년 Marx 등²⁸⁾은 PMMA내에서 감소된 미반응 단량체와 밖으로 유출된 미반응 단량체의 양과는 일치하지 않는다고 하였는데 이는 1980년 Ruyter와 Svedensen²⁹⁾이 주장한 중합체사슬에 붙어있는 단량체는 밖으로 유출되지 않고 단지 PMMA내에서만 발견된다는 이론과 상통한다. 이는 또한 1956년 Smith와 Bains¹⁶⁾에 의해 중합체사슬에 붙들려있는, 추출할 수 없는(non-extractable) 잔존단량체의 존재와도 관련이 있다.

1994년 Henning Lygre 등¹⁷⁾은 gas-chromatography와 gas chromatography/mass spectrometry를 이용하여 자가중합형 교정용 레진의 pre-mix technique과 powdering technique로 만든 시편의 유출량을 비교하였는데 powdering technique에서 더 많은 phenyl benzonate와 phenyl salicylate가 유출되어 나왔다고 주장하였다.

본 실험에서는 분말과 용액의 비를 12cc당 5ml로

맞춘 pre-mix technique을 사용했지만, 현재 상교정 장치에 많이 쓰이는 자가중합형의 레진은 주로 간편성 때문에 salt and vinegar technique으로 제작되며, 그 결과 대부분은 일정한 분말에 비해 과량의 용액이 사용되므로, 환아의 구강 내에서 즉시 첨가하여 중합시키는 장치 수리 후에는 상교정 장치로부터 미반응 단량체를 포함하는 여러 유기물질들이 다른 문헌에서 보고된 것보다 더 높게 나오리라 생각된다. 추후 pre-mix technique과 salt and vinegar technique으로 혼합시 시간에 따르는 중합률에 어떤 차이가 있는지, 그리고 잔존단량체의 양과는 어떤 관련이 있는지에 대한 보다 자세한 연구가 필요하리라 생각된다.

1995년 Vallittu 등³⁰⁾은 열중합형 레진과 화학중합형 레진의 잔존단량체의 비교에서, 대부분의 잔존단량체의 유출은 1일 후에 일어나며 찬물보다는 더운 물에서 많이 나타난다고 하였다.

1985년 Stafford와 Brooks¹⁴⁾의 연구에서도 잔존단량체의 대부분 감소는 처음 하루동안에 일어난다고 하였다. 이는 두가지 기전에 의해 일어나는 현상인데 대부분은 중합체내에서 계속적인 중합반응이 일어나기 때문이며, 나머지는 잔존단량체가 밖으로 유출(leachability)되기 때문이다. 실제 본 연구에서도 잔존단량체의 유출량을 측정하는 실험은 아니었지만 중합률이 모든 군에서 1일후에 의미있게 증가하는 양상을 볼 때 Stafford와 Brooks¹⁴⁾의 연구와 일치한다고 생각된다.

1985년 Jerolimov 등³¹⁾은 PMMA 분말과 MMA 용액간의 혼합비가 잔존단량체의 양에 영향을 끼칠 수 있으나 중합시간을 어떻게 했는냐의 선택이 보다 더 큰 영향을 끼칠 수 있음을 보고하였다.

1980년 Park 등³²⁾은 이미 중합된 peroxide-amine system의 PMMA 내에서 자유라디칼(free radical)의 존재를 주장하였고 이 자유라디칼의 반응에 의해 1953년 Steck³³⁾은 PMMA system에서 중합과정은 500시간 후에도 계속된다고 하였다.

이번 실험에서도 위의 여러 연구에서처럼 모든 군에서 시간이 지남에 따라 중합률이 계속 증가하는 양상을 관찰할 수 있었다(Table 1, Fig. 2 참조). 비록 3일까지의 짧은 관찰기간동안 중합률을 측정하였지만, 오랜 기간동안 동일한 시편의 중합률의 변화가 어떤 양상을 띄는가에 관한 연구는 의미가 있

우리라 사료된다.

본 실험에서는 분말과 용액을 즉시 혼합한 것을 기준으로 삼아서 중합시간별로 중합률을 측정한 것인데, 혼합하기전 용액에 있는 MMA를 기준으로 하면 분말과 용액을 혼합하자마자 즉시 만든 시편의 상대적인 중합률을 측정할 수 있으며 이 수치는 수분 후에 발열과정과 함께 급격히 중합되기 시작하여서 실제 10분이 지난 후의 중합률은, 만약 용액 내에 있는 MMA를 기준으로 했을 때 제 1군에서는 약 30%가 증가하였고 제 5군에서는 약 34% 정도 증가하였다. 이처럼 10분 후에 상당히 빠른 중합이 일어나긴 하지만 중합률의 정도는 제 1군이 57.25%, 제 5군이 68.38%로써 실제 예상한 것보다는 상당히 낮은 중합률을 나타냈다(Table 1. 참조). 따라서 상교정용 레진의 최대중합률을 이번 실험에서는 측정하지 못하여서, 언제까지 중합이 이루어질지는 정확히 알 수 없었지만, 모든 군에서 하루동안 중합을 시켰을 때와 3일간 중합시킨 시편의 중합률에서의 유의차가 없어지는 경향을 볼 때 제조회사의 지시에 나와있는것처럼 상교정 장치의 trimming과 finishing을 할 수 있는 시간인 10분보다는, 최소한 1일 이상의 중합시간이 바람직하다고 사료되었다.

열중합형 레진의 경우와 마찬가지로 자가중합형 상교정용 레진에 있는 잔존단량체의 양은 외부환경의 온도보다는 중합과정중의 레진내의 온도에 의해서 주로 영향을 받는다. 즉 레진내의 발열온도는 분말/용액의 비, 분말내의 개시제(initiator)인 benzoyl peroxide의 농도, 용액내의 3차아민 가속제(accelerator)의 농도에 주로 영향을 받는다¹⁴⁾. 보통 분말에는 약 2% 농도의 개시제가 들어있으며 용액 내에 있는 3차아민 가속제를 증가시키면 발열과정이 더욱 현저해지므로 중합후에 남아있는 잔존단량체의 양을 줄일 수 있게 된다³⁴⁾.

이번 실험에서는 중합방법과 중합률의 관련성에 관해 살펴보기 위해 동일한 재료를 온도, 보관조건, 압력에 차이를 두어 서로 비교할 수 있게끔 계획하였다. 온도가 중합률에 미치는 효과를 볼 때 benzoyl peroxide 양과 개시제의 효율 및 분말/용액의 비도 동일하였으므로, 주로 중합과정시 외부온도에 의한 영향이 중합률을 높이고 중합과정을 촉진시켰으리라 사료된다. 실제 중합률의 차이는 주로 실온(28℃)에서 중합시킨 제 1군, 2군, 3군과 43℃에서 중합

시킨 제 4군, 5군과의 차이가 두드러졌는데 (Table 3 - Table 7 참조) 구체적으로 온도가 중합에 미치는 영향을 보기 위해 28℃의 온도에서 중합시킨 제 2군과 4군, 그리고 43℃의 온도에서 중합시킨 제 3군과 5군을 각각 비교했을 때 43℃에서 중합시킨 군이 28℃에서 중합시킨 군보다 더 높은 중합률을 보였다 ($p < 0.05$) (Fig. 3 참조). 이는 열중합형 레진에서처럼 자가중합형 레진의 경우도 중합시 발열과정이 일어나며, 발열과정중 외부 온도인자가 중합에 있어 주요한 역할을 하였기 때문으로 사료된다.

반면 압력이 중합률에 미치는 영향을 비교한 실온 일 때의 제 2군과 3군, 그리고 43℃일 때의 제 4군과 5군의 비교에서는 전반적으로 압력이 가해진 군에서 약간 더 높은 중합률이 관찰되었으리라 예상했으나, 그 반대로 12시간일 때는 오히려 압력이 가하지 않은 제 2군이 압력을 가한 3군보다 중합률이 유의하게 높았고 그 외에서는 유의차는 발견되지 않았다 ($p < 0.05$) (Fig. 4 참조). 이는 아마도 시편수가 적었거나 측정시의 오차로 인한 듯하며, 압력이 나머지 시간에서 중합률에 별 영향을 주지 못한 것은 사용된 시편의 형태로 인한 듯 하였다. 즉 중합과정중에 압력은 레진이 중합되는 과정 중에 보다 치밀한 성분을 이루는데 도움을 주며, 상대적으로 레진내의 기포수를 줄여주어 기포내의 잔존 단량체의 양을 줄여주지만⁴¹⁾ 이번 실험에서처럼 시편이 박막으로 되어 있으면 상대적으로 압력의 효과가 적어져서 중합률의 상승효과에는 별 영향을 주지 못한 것으로 사료된다. 그러나 압력이 온도나 중합시간보다는 교정용 레진의 중합률에 끼치는 영향이 상대적으로 적더라도, 상교정용 장치의 기포가 기계적성질 및 잔존 단량체에 미치는 영향은 크기 때문에 중합과정에 압력을 추가시키는 것이 좋으리라 생각된다.

마지막으로 보관조건에 차이를 둔 제 1군과 2군의 비교에서는 10분 일때의 중합률이 각각 57.25%와 57.73%였다가 1시간 일때는 1군이 59.59%, 2군이 70.16%로써 2군이 유의성있게 높았으나 나머지 12시간, 1일, 3일 후에는 두 군간 중합률의 통계적인 유의차이는 없었다 ($p < 0.05$) (Table 1, 3 - 7, Fig. 5 참조). 그러나 제 1군보다는 제 2군이 중합률이 더 빨리 높아지며, 모든 시간에서도 좀 더 높게 나오는 것은 실온의 공기중 보다는 물속에서 중합시켰을 때가 어느정도는 중합과정을 촉진시켰기 때문으로 생

각되어진다. 실제 이번 실험에서 5개의 시편을 공기중에 15일간 방치한 예비실험시, 중합률이 최고 89.95%까지 올라가는 것처럼 공기중에 그냥 방치하는 경우에도 시편 내에서 계속적인 중합이 일어나지만, 자가중합형 레진내의 잔존 단량체가 중합과정중에서의 밖으로의 유출되는 성질은 공기중보다는 물속이라는 매개체가 더 용이할것으로 생각되며 따라서 상대적으로 얇은 박막에서의 잔존 단량체의 양이 제 1군보다는 제 2군에서 보다 줄어들었기 때문으로 생각되어진다. 그러나 외부온도에 의한 영향 보다는 중합률에 미치는 효과는 상대적으로 적은 듯 하였다.

생물학적인 측면에서 보면 타액으로 유출된 MMA는 국소적으로 구강점막의 발적, 부종, 그리고 통증을 일으킬 수가 있음이 여러 문헌에서 보고되고 있다. 1989년 Jacobson 등³⁵⁾은 교정환자중 100명당 1명이 가철성 교정장치를 사용한 후에 알레르기 등의 부작용을 보였다고 하였다. Ruyter³⁶⁾는 MMA가 산화되면 과민반응을 일으킬 수 있는 formaldehyde가 된다고 하였고 MMA보다는 더 높은 세포독성이 있다고 주장하였다. H. Lygre 등¹⁷⁾은 6 - 12세 아동을 대상으로 자가중합형 상교정용 장치를 장착한지 1 - 2개월 후에 타액을 채취하여 분석한 결과 phenyl benzonate와 phenyl salicylate가 검출되었다고 하였다. 이중에 phenyl benzonate는 개시제인 benzoyl peroxide에서 나온 부산물의 일종인 듯하며 phenyl salicylate는 알레르기의 유발물질중의 하나로 알려져 있다.

*In vitro*의 실험에서 검출된 2-methoxy-4-hydroxy-benzophenone는 플라스틱에서 색조의 안정성을 증진시키기 위해 사용하는 재료인데 Rathbun³⁷⁾은 이 재료가 세포독성이 있는 인자가 될 수 있다고 하였다.

보통 자가중합형 레진이 열중합형 레진보다 더 많은 methacrylic acid와 benzoic acid가 유출됨이 알려져 있는데 이런 지질용해성의 작은 유기분자들은 구강점막과 직접 접촉하여 구강점막세포의 기능을 변화시킬 수 있으며 지연과민반응(delayed hypersensitivity)을 유도시키는 hapten으로 작용할 수도 있다.

반면에 Austin 등²⁾은 자가중합형 레진의 경우 많은 잔존단량체가 있지만 소아의 구강점막에 별 반응

이 나타나지 않는 것을 보고하면서, 이는 아마도 소아의 구강점막이 성인과 달리 화학물질에 대한 저항성이 높은 것 같다고 하였다. 또한 소아의 경우 타액의 양이 성인보다 많고 타액의 질적인 측면에서 단량체의 효과가 나타나는 것을 저하시키는 능력이 뛰어난것 같다고 주장하였다.

1982년 Lamb 등³⁸⁾과 1985년 Stafford & Brooks¹⁴⁾도 *In vitro*의 상태와 *In vivo*의 상태의 잔존단량체의 확산은 서로 다름을 보고하였는데 실제로 구강내의 acquired salivary pellicle는 잔존단량체의 확산에 대한 장벽의 역할을 할 수 있는 것처럼 보이며 myeloperoxidase 등의 oxidative enzyme은 또한 MMA의 분해에 도움을 줄 수 있으므로 물에서보다는 구강내에서 MMA의 분해산물이 많을 수 있다고 하였다.

최근에는 자외선에 의해 활성화되는 polymer coating⁴⁰⁾된 장치가 소개된바 있는데 이 장치는 PMMA로부터 지속적인 MMA의 유출을 줄이기 위해서 고안된 것이다. 이는 camphoroquinone과 아민 촉진제 같은 광개시제를 이용하여 중합시키는 원리를 사용한다.

FT-IR을 이용하여 중합률을 측정하는 방법에는 potassium bromide(KBr) pellet transmission technique과 thin film technique이 있는데 1984년 Ferracane 등³⁹⁾의 실험에 의하면 이 두 방법간에는 별 유의차가 없었다고 하였다. 이번 실험에서는 측정기 간편한 thin film technique을 사용하였는데 박막을 제작시 polyethylene film을 사용하였다. 이는 중합체의 중합도 측정에 간섭이 없기에 사용하였으며 특히 교정용 레진 용액에서의 단량체인 MMA의 탄소이중결합량을 측정할 때와 분말과 용액을 혼합하자마자 중합과정이 일어나기 직전의 중합률의 측정시에도 박막이 있는 상태에서 FT-IR을 미리 초기화한 후 박막과 함께 측정하였다.

그러나 1983년 Fletchere 등⁶⁾은 잔존단량체의 양에 영향을 끼치는 요인에 대한 연구에서 중합되어진 시편의 두께가 두꺼울수록 더 낮은 단량체를 갖는다고 하였는데 시편의 두께에 의해 발열⁴²⁾이 되면서 중합되는 과정이 촉진되기 때문이라고 하였다. 본 실험에서는 동일한 실험자가 가압하여서 박막을 제작하였으나 미세한 두께의 차이로 인해 각 시편마다 중합률에 차이가 생길 것으로 사료되나 그 차이는

매우 미비할 것으로 보인다. 그러나 KBr technique를 이용하면 시편을 박막이 아닌 block로 제작하여 두께에 의한 중합률의 차이를 볼 수 있으며 압력이 중합에 미치는 영향도 살필 수 있으므로 앞으로 이에 대한 연구가 필요하리라 생각된다.

V. 결 론

저자는 가철성 교정장치에 쓰이는 자가중합형 상교정용 레진의 중합방법과 중합시간에 따르는 중합률을 비교해보기 위해서 28℃의 공기중에서 중합시킨 것을 제 1군으로 하고, 28℃의 물속에서 중합시킨 군을 제 2군, 28℃의 물과 30psi의 압력을 가한 군을 제 3군, 43℃의 물에 중합시킨 군을 제 4군, 43℃의 물과 30psi의 압력에서 중합시킨 군을 제 5군으로 하여 각각 10분, 1시간, 12시간, 1일, 3일 동안의 중합후, FT-IR을 이용하여 중합률을 측정하였고 다음과 같은 결론을 내렸다.

1. 모든 군에서 중합시간이 지남에 따라 지속적으로 중합률이 증가하는 양상을 보였고 10분 동안 중합시킨 후의 중합률의 비교에서 제 1군은 12시간부터, 제 2군과 3군, 4군, 5군에서는 1시간 후부터 중합률이 유의성 있게 증가하였다($p < 0.05$).
2. 제 1시간과 12시간일 때를 제외하고 제 5군, 제 4군, 제 3군, 제 2군, 제 1군의 순서대로 중합률이 높았다($p < 0.05$).
3. 43℃에서 중합시킨 제 4군과 5군이 28℃에서 중합시킨 제 2군과 3군보다 더 높은 중합률을 보였다. 제 2군과 4군 및 제 3군과 5군의 비교에서는 1일 후를 제외하고는 나머지 모든 시간에서 중합률에 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$).
4. 제 2군과 3군, 그리고 제 4군과 5군을 비교해 보았을 때 압력은 12시간일 때를 제외하고는 중합률에 영향을 주지 못했다($p < 0.05$).
5. 제 1군과 2군의 중합률의 비교에서 보관방법은 1시간일 때를 제외하고는 나머지 모든 시간에서 중합률에 영향을 주지 못했다($p < 0.05$).

참 고 문 헌

1. Phillips M : Elements of dental materials. 100-116, 5th ed, 1994.

2. Austin AT, Basker RM : The level of residual monomer in acrylic denture base materials. *Brit Dent J* 149:281, 1980.
3. McCabe JF, Basker RM : Tissue sensitivity to acrylic resin. *Brit Dent J* 140:347, 1976.
4. Douglas WH, Bates JF : The determination of residual monomer in poly methylmethacrylate denture base resins. *Journal of Material Science* 13:2600, 1978.
5. Kalipcilar B, Karragaclioglu L, Hasanreisoglu U : Evaluation of the level of residual monomer in acrylic denture base materials having different polymerization properties. *Journal of oral rehabilitation* vol. 18:399-401, 1991.
6. Fletcher AM, Purnaveja S, Amin WM et al : The level of residual monomer in self curing denture base materials. *J Dent Res* 62(2):118~120, Feb. 1983.
7. Winkler S : Denture base resins. *Dent Clin North Am* 28:287, 1984.
8. Peyton FA : Physical and clinical characteristics of synthetic resins in dentistry. *J Am Dent Assoc* 30:1179, 1943.
9. 양홍서, 박영준 : 복합레진의 조성변화가 물리적 성질에 미치는 영향에 관한 연구. *대한치과의사협회지* 27:185, 1989.
10. Peutzfeldt A : Resin composites in dentistry : The monomer system. *Eur J Oral Sci* 105:97-116, 1997.
11. Asmussen E : Restorative resins : Hardness and Strength vs quantity of remaining double bonds. *Scand J Dent Res* 90:484-489, 1982.
12. Wu W : Degree of cure and wear resistance of dental composites. *J Dent Res* 62:671, 1983.
13. Ferracane JL, Moser JB, Greener EH : Color stability of unfilled Bis-GMA resins under UV exposure. *AADR Progr & Abst.* 62:No.453, 1983.
14. Stafford GD, Brooks SC : The loss of residual monomer from acrylic orthodontic resins. *Dent Mat* 1:135-138, 1985.
15. Weaver RE, Goebel WM : Reactions to acrylic resin dental prostheses. *J Prosthet Dent* 43:138-142, 1980.
16. Smith DC, Bains MED : The detection and estimation of residual monomer in polymethylmethacrylate *J Dent Res* 35:16-24, 1956.
17. Lygre H, Klepp KN, Solheim E, Gjerdt NR : Leaching of additives and degradation products from cold-cured orthodontic resins. *Acta Odontol Scand* 52:150-156, 1994.
18. Asmussen E : Factors affecting the quantity of remaining double bonds in restorative resin polymers. *Scand J Dent Res* 90:490, 1982.
19. Ruyter IE, Svendsen SA : Remaining methacrylate groups in composite restorative materials. *Acta Odontol Scand* 36:75, 1978.
20. Antonucci JM, Toth EE : Extent of polymerization of dental resins by differential scanning calorimetry. *J Dent Res* 62(2):121, 1983.
21. Shimomura H : Photochemical studies on composite resins cured by visible light. *Dent Mat J* 6(1):9, 1987.
22. 조민선, 한세현 : 아르곤 레이저로 조사한 치면열구전색제의 중합률에 관한 연구. *서울대학교 치과대학 치대논문집* Vol 21, No. 2 :430-457, 1997.
23. 이광수, 김종철 : 이중중합과 광중합 치면열구전색제의 중합도에 관한 비교연구. *서울대학교 치과대학 치대논문집* Vol 22, No. 1 :122-137, 1998.
24. 부성언, 이금호 : 치면열구전색제의 중합도에 관한 연구. *대한소아치과학회지* Vol. 19 No. 1:293-301, 1992
25. 노영희 : FTIR spectroscopy '92기기분석 세

- 미나, 1992.
26. Baker S, Brooks SC : The release of residual monomeric methylmethacrylate from acrylic appliance in the human mouth : An assay for monomer in saliva. *J Dent Res* 67(10):1295-1229, October, 1988.
 27. Douglas WH, Bates JF : The determination of residual monomer in PMMA denture resins. *J Mat Sci* 13:2600, 1978.
 28. Marx H, Fukui M, Stender E : Zur Frage der Restmonomer-Untersuchung von Prothesenkunststoffen Dtsch Zahn rztl Z 38:550-553, 1983.
 29. Ruyter IE, Svendsen SA : Flexural properties of denture base polymers. *J Prosthet Dent* 43:95-104, 1980.
 30. Pekka K, Vallittu : Residual monomer content and release into water from denture materials. *Dent Mat* 11:338~342, Nov, 1995.
 31. Jerolimov V, Hugget R, Brooks SC, Bates JF : The effect of variations in the polymer/monomer mixing ratios on residual monomer levels and flexural properties of denture base materials. *Quintessence Dent Technol*:431-434, 1985.
 32. Park JB, Turner RC, Atkins PE : EPR study of free radicals in PMMA bone cement : A feasibility study. *Biomater Med Dev Art Org* 8:23-33, 1980.
 33. Steck NS : Determination of the residual monomer in methacrylate resins. *J Dent Res* 32:714, 1953.
 34. Rose EE, Lal J, Green R : Effect of peroxide, amine, and hydroquinone in varying concentration on the polymerization rate of PMMA slurries. *J Am Dent Assoc* 56:375-381, 1958.
 35. Jacobsen N, Hensten-Pettersen A : Occupational health problems and adverse patient reactions in orthodontics. *Eur J orthod* 11:254-264, 1989.
 36. Ruyter IE : Release of formaldehyde from denture base polymers. *Acta Odontol Scand* 38:17-27, 1980.
 37. Rathbun MA, Craig RD, Hanks CT, Filisko FE : Cytotoxicity of a BIS-GMA dental composite before and after leaching in organic solvents. *J Biomed Mater Res* 25: 443-457, 1991.
 38. Lamb DJ, Ellis B, Priestley B : Loss into water of residual monomer from autopolymerizing dental resins. *Biomaterials* 3:155-159, 1982.
 39. Ferracane JL, Greener EH : Fourier transform infrared analysis of degree of polymerization in unfilled resins : Methods comparison. *J Dent Res* 63:1093-1095, 1984.
 40. Szabo G, Stafford GD, Huggett R, Brooks SC : The loss of residual monomer from denture base polymers coated with an ultraviolet light-activated polymer. *Dent Mat* 3:64-66, 1987.
 41. JH Undurwade, AB Sidhaye : Curing acrylic resin in a domestic pressure cooker : A study of residual monomer content. *Quintessence International* Vol 20, No. 2, 1989.
 42. Sadamori S, Triyandani, Ganefiyanti et al : Influence of thickness and location on the residual monomer content of denture base cured by three processing methods. *J Prosthet Dent* 72:19-22, 1994.

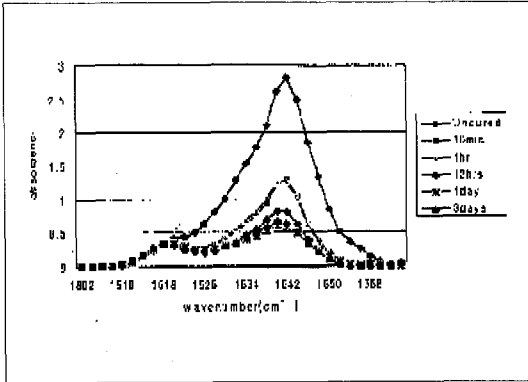


Fig. 7. The absorbance spectrum of Group 1 according to different curing cycle

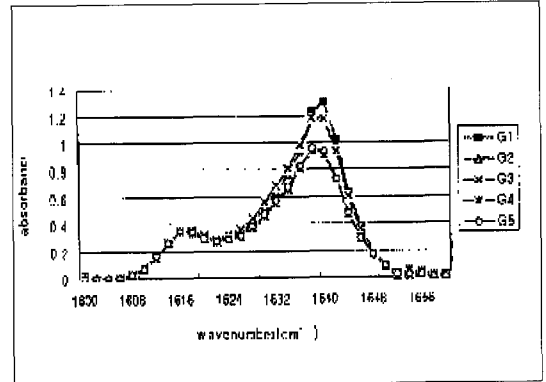


Fig. 8. The absorbance spectrum of 10 minute curing time between Groups.

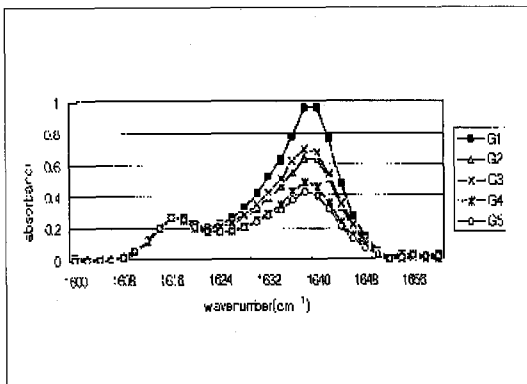


Fig. 9. The absorbance spectrum of 1 hour curing time between Groups.

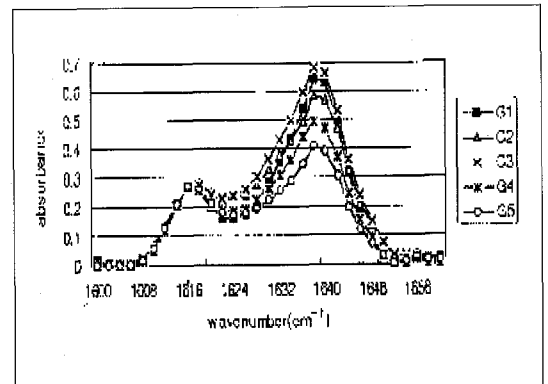


Fig. 10. The absorbance spectrum of 12 hour curing time between Groups.

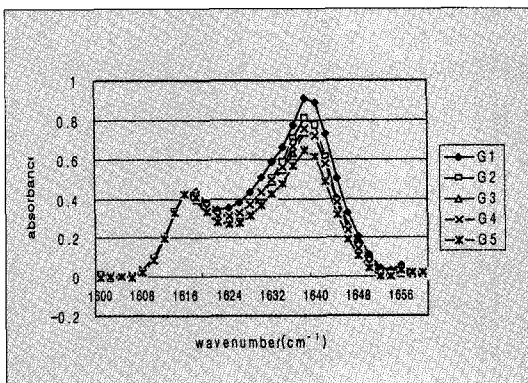


Fig. 11. The absorbance spectrum of 1 day curing time between Groups.

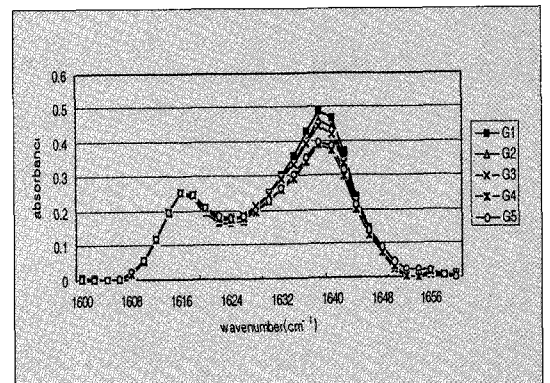


Fig. 12. The absorbance spectrum of 3 day curing time between Groups.

국문초록

중합시간과 중합방법에 따른 자가중합형 상교정용 레진의 중합률의 비교에 관한 연구

유종욱 · 장기택 · 김종철

서울대학교 치과대학 소아치과학교실 및 치학연구소

가철성 상교정 장치에 많이 사용되는 자가중합형 상교정용 레진의 미반응 단량체는 레진의 물성과 생물학적인 면에 많은 영향을 끼친다. 따라서 미반응 단량체를 최소화하고 중합률을 최대로 하는 중합방법에 대한 연구는 중요한 의의를 갖는다. 저자는 자가중합형 상교정용 레진의 중합시간과 중합방법에 따른 중합률을 비교해보기 위해 시편을 다음과 같이 5군으로 나누어 연구를 진행하였다. 상교정용 레진의 분말과 용액을 혼합하여 제 1군은 28℃의 공기중에 보관하였고, 제 2군은 28℃의 물에, 제 3군은 28℃의 물과 30psi의 압력에, 제 4군은 43℃의 물에, 제 5군은 43℃의 물과 30psi의 압력하에 각각 보관하였고, 10분, 1시간, 12시간, 1일, 3일 경과 후에 각 시편을 Fourier 변환적외선분광법을 이용하여 중합률을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 모든 군에서 중합시간이 경과함에 따라 중합률도 지속적으로 증가하는 양상을 보였다. 10분 경과 후의 결과와 비교하여 볼때, 제 1군은 12시간 경과 후부터 중합률의 증가가 유의성이 있었고, 제 2군과 3군, 4군, 5군은 1시간 경과 후부터 유의성이 있었다($p < 0.05$).
2. 10분과 1일, 3일 경과 후에 제 5군, 제 4군, 제 3군, 제 2군, 제 1군의 순서대로 중합률이 높았다.
3. 중합시 온도에 따른 비교에서, 1일 경과 후를 제외하고는 모든 시간에서 43℃에서 중합시킨 군의 중합률이 28℃에서 중합시킨 군의 중합률 보다 유의성 있게 높았다($p < 0.05$).
4. 압력은 12시간 경과 후를($p < 0.05$) 제외하고는 중합률에 영향을 주지 못했다.
5. 보관방법은 1시간 경과 후를($p < 0.05$) 제외하고는 중합률에 영향을 주지 못했다.

주요어 : 중합률, 미반응 단량체, 자가중합형 상교정용 레진, Fourier 변환적외선분광법