

교정용 아크릴릭 레진의 중합조건에 따른 모노머 용리

노홍석 · 김재문 · 김 신 · 정태성

부산대학교 치의학전문대학원 소아치과학교실

국문초록

치과 임상에서는 여러 목적으로 Polymethyl methacrylate를 주성분으로 한 아크릴릭 레진이 사용되고 있으며, 특히 가철성 교정장치는 대부분 이것을 사용한다. 그러나 아크릴릭 레진은 중합이 완벽하게 이루어지지 않을 경우 인체에 악영향을 줄 수 있는 미반응 모노머가 레진에 잔존할 수 있다.

본 연구에서는 다양한 방법(온도, 압력, 수증 혹은 공기 중)으로 중합 조건과 시간을 달리 하여 교정용 아크릴릭 레진에서 발생하는 미반응 모노머의 용리량을 고성능 액체 크로마토그래피를 이용하여 정성 및 정량분석 하고자 하였다.

연구 결과, 모든 군에서 MMA를 제외한 다른 모노머는 용리되지 않았으며, 중합 방법에 따른 모든 실험군에서 미반응 모노머의 용리는 유의하게 감소하였고(P<0.05) 중합 방법을 한 가지만 사용하였을 때보다 2가지 이상 복합적으로 변화시켰을 때 모노머의 용리량이 더 감소함을 알 수 있었다. 또한 시간경과에 따라 모노머의 용리량이 유의하게 감소하여, 특히 1일 후 부터 급격한 감소를 보였다.

이상의 결과를 보아 중합 방법을 달리하였을 때 모노머의 용리량을 더 많이 감소시키고, 다른 중합 조건들도 복합적으로 사용하는 것이 용리량을 더 효과적으로 줄일 수 있을 것으로 생각된다. 그리고 중합 과정에서 온도, 수분, 압력의 조건을 강화하여 3일 이상 중합 시간을 가지는 것이 미반응 모노머의 용리량을 최소화할 수 있을 것으로 생각되었다.

주요어 : 아크릴릭 레진, 모노머, 용리, 중합 조건, 시간 경과

I. 서 론

Polymethyl methacrylate(PMMA)는 치과 임상에서 교정용 장치, 의치상, 그리고 임시 수복 등 여러 용도로 널리 사용되고 있다^{1,2)}. 1935년 의치상용 재료로 치의학 분야에 처음 사용된 이래, 사용이 간편할 뿐 아니라 중합시간이 짧고 조작성이 좋은 장점으로 인하여 공간유지 및 치아이동을 위한 가철성 교정 장치의 제작에 많이 사용되고 있다³⁾.

그러나, 레진의 중합과정에 사용되는 모노머가 재료의 구조적 안정성과 생체 적합성에 잠재적으로 악영향을 미치며, 특히 생체에 미칠 수 있는 잠재적 위해성은 어린이에서 더욱 높다⁴⁾. 따라서 1941년부터 모노머로 사용되는 methyl methacry-

late(MMA)에 대한 민감성과 전신적 독성 그리고 국소적 자극과 구강 내 과민 반응에 대한 연구가 시행되었다⁵⁻⁷⁾.

MMA를 주성분으로 하는 아크릴릭 레진은 수복용 레진과 마찬가지로 불충분한 중합으로 발생하는 미반응 모노머에 의한 발암성과 세포독성 등 생체 적합성의 문제를 초래할 수 있다⁸⁻¹²⁾. 특히 의치상용 아크릴릭 레진은 구강 점막과 직접 접촉하기 때문에 레진에 미반응 모노머가 잔존할 경우, 구강 내에서 타액 내 수분의 영향으로 생체에 국소적, 직접적 영향을 주어 피부 자극 및 홍반 등이 발생할 수 있다. 모노머에 의한 과민 반응에는 피부염, 피부 가려움, 경결, 기관지 수축 등도 보고되고 있고, 구강 점막 및 구순의 홍반 및 소포 형성, 담마진, 얼굴, 귀 및 구순의 포진과 알레르기 반응 등을 유발할 수 있다¹²⁻¹⁵⁾. 또한

교신저자 : 정 태 성

부산시 서구 아미동 1-10 / 부산대학교 치의학전문대학원 소아치과학교실 / Tel: 051-240-7449 / E-mail: tsjeong@pusan.ac.kr
원고접수일: 2008년 3월 7일 / 원고최종수정일: 2008년 6월 30일 / 원고채택일: 2008년 7월 7일

MMA는 라텍스 장갑을 통과하기 때문에 이로 인한 손가락의 표백, 동통, 신경마비 등 국소적 신경학적 증상도 발생가능하며 MMA에 의해 생성된 톨로로 바이러스 침투를 초래한다¹⁶⁻¹⁸. 특히 어린이에서는 비록 소량의 레진 모노머라 하여도 잠재적으로 국소적, 전신적 문제를 유발할 수 있다.

미반응 모노머의 용리에 대한 실험적 연구로는 Oysead 등¹⁹이 물을 용매로 사용하여 용리된 물질을 정량 분석한 연구와, Ferracane과 Condon²⁰이 물과 75% 에탄올을 용매로 모노머를 용리한 연구 등이 있다. 또 Lee 등¹은 중합 조건에 따른 미반응 모노머의 용리에 대하여 보고를 하였으며, Koda 등¹¹은 중합 방법이 다른 여러 가지 자가 중합 레진을 사용하여 미반응 모노머의 용리를 측정하여 결과를 보고했다. 그리고 다른 연구에서는 자가 중합 레진으로 구성된 장치에서 타액으로 용리되는 MMA가 구강 내 삽입 후 1주일까지 탐지되었다고 보고하였다²¹. 그러나 모든 종류의 아크릴릭 레진을 구강 내 장착한 후에도 혈액이나 노 내에는 MMA가 검출되지 않았다는 연구와 함께 여러 가지 방법으로 아크릴릭 레진을 중합하고 연마하더라도 피부의 반응에는 차이가 없었다는 보고도 있다^{21,22}.

미반응 모노머를 측정할 수 있는 방법은 gas chromatography, mass spectrometry, high performance liquid chromatography(이하 HPLC), inductively coupled plasma mass spectrometry(ICP-MS) 등 여러 가지가 있으나, 이 중 고성능 액체 크로마토그래피(HPLC)는 보통의 액체 크로마토그래피보다 고정상의 입자 크기를 작게(20 μm 이하) 하고, 가는 컬럼과 고압을 이용하여 분리능을 증가시킨 방법으로서²³, 혼합물에 대한 해상도가 높으며 미량 시료의 정량 분석이 가능하다는 장점이 있다²⁴.

임상에서는 교정 장치 제작 시 다양한 방법으로 레진을 중합

하여 사용하고 있으며, 통상적으로 압력을 가하여 수중에서 아크릴릭 레진을 중합하는 것이 추천되고 있다²⁵. 또한 중합의 상태나 방법에 따라 잔존 모노머의 양이 변한다는 연구도 있다^{10,15,26}. 그러나 국내에서는 이러한 중합방법의 변화와 미반응 모노머 용리량을 감소시킬 수 있는 방법에 대한 연구가 아직 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 교정용 장치 제작 시 사용되는 교정용 아크릴릭 레진을 대상으로, 중합 방법과 중합 후 시간경과에 따라 용출되는 미반응 모노머의 양을 고성능 액체 크로마토그래피를 이용하여 정량 및 정성 분석하고, 용리되는 미반응 모노머가 감소되는 정도를 비교 평가함으로써, 아크릴릭 레진의 잔존 모노머 양을 최소화할 방법을 모색할 목적으로 시도되었다.

Ⅱ. 연구재료 및 방법

1. 연구재료

주 재료로는 교정장치 제작용 acrylic resin인 Orthodontic resin(Dentsply Caulk, Milford, US)을 사용하였으며, 그 성분은 다음과 같다(Table 1). 용리된 모노머를 분석하기 위한 표준 모노머로는 methyl methacrylate(MMA, Sigma Co., USA), bisphenol-A(BPA, Sigma Co., USA), bis-glycidyl dimethacrylate(Bis-GMA, Polysciences Inc., USA), bisphenol-A dimethacrylate(Bis-DMA, Sigma Co., USA), triethyleneglycol dimethacrylate(TEGDMA, Sigma Co., USA), urethane dimethacrylate(UDMA, Sigma Co., USA) 등을 사용하였다.

Table 1. The major components of autopolymerized PMMA resin used in the study

	Powder	Liquid
major components	polyethyl methacrylate benzoyl peroxide	methyl methacrylate ethylene glycol dimethacrylate

Table 2. Curing conditions of autopolymerized PMMA resins used in the study

Group	Pressure	Temperature	Curing environment
Control	ambient	24℃	in air
P	250 kPa	24℃	in air
T	ambient	50℃	in air
H	ambient	24℃	under water
PT	250 kPa	50℃	in air
TH	ambient	50℃	in air
HP	250 kPa	24℃	under water
HTP	250 kPa	50℃	under water

C: control; P: pressure; T: temperature; H: humidity

2. 시편제작

교정용 orthodontic resin을 두께 1 mm, 지름 7 mm의 주형에 제조자의 지시에 따른 12:5의 혼비로, 분말 0.04 g 과 모노머 20 μ l를 충전 후 다음의 방법으로 각 군당 5개의 시편을 제작하였다. 어떠한 처리도 없이 상온(24 $^{\circ}$ C)에서 자가 중합한 것을 대조군으로 하고, 중합 시 온도, 압력 및 수분의 유무를 달리하여 온도를 변화한 군을 T, 압력을 변화한 군을 P, 그리고 수분을 공급한 군을 H로 표기하고 각각의 변화를 혼용한 군을 각각 PT, TH, HP, HTP로 명명하고 이것을 실험군으로 하여 모두 10분간 중합하였다(Table 2). 중합 후 5 ml의 3차 증류수에서 10분간 보관하고 용리되는 미반응 모노머를 HPLC(Waters, Milford, USA)에서 정성, 정량 분석하였다.

또한 상온에서 어떠한 처리도 없이 중합한 군을 경과시간을 달리 하여 중합 10분, 1일, 3일, 7일 후에 용리된 미반응 모노머의 양을 위와 동일한 방법으로 분석하였다.

3. acrylic resin의 미반응 모노머 용리량의 측정

3.9 \times 150 mm의 C18 silica gel로 충전된 Nova-Pak column(Waters, Milford, USA)이 연결된 HPLC를 이용하여 미반응 모노머의 성분과 양을 분석하였다. 표준용액과 시험용액을 10 μ l씩 주입하였으며, 분석컬럼은 항상 상온을 유지시켰다. 이동상으로는 HPLC용 acetonitrile(Sigma Co., USA)을 사용하였으며 유속은 1.0 ml/min 조건으로 시행하였다.

이동상을 증류수에 acetonitrile를 50% 되도록 혼합한 용액과 40%가 되도록 혼합한 용액을 사용하여 UV detector의 파장 215 nm 범위에서 잔존 모노머를 검출하였다. 또한 표준 모노머들의 정량분석은 각각 1, 5, 10 μ g의 농도에서 측정된 분리

시간과 크로마토그램 상에 나타난 높이를 기준으로 표준 곡선을 작성하였다.

4. 통계분석

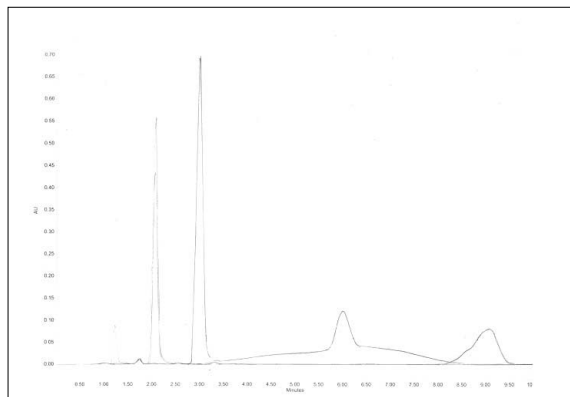
중합 방법에 따른 모노머 용리량의 차이를 검정하기 위하여 SPSS 12.0 프로그램을 사용하여 Kruskal Wallis test를 실시하여 유의수준 0.05로 유의성을 검정하였다.

III. 연구 결과

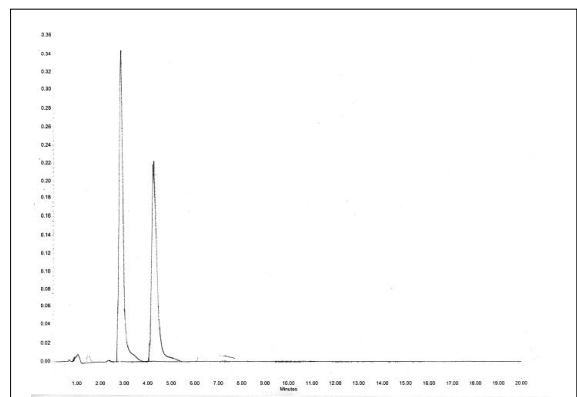
표준 모노머의 분리 시간은 50% 농도의 acetonitrile에서는 각각 MMA 2.1분, BPA 2.1분, Bis-GMA 9.1분, Bis-DMA 2.1분, UDMA 6.0분, TEGDMA 3.0분이었고, 40% 농도의 acetonitrile에서는 MMA 2.8분, BPA 4.3분, Bis-DMA는 검출되지 않았다(Fig. 1). 대조군과 실험군 모두에서 MMA 외에는 어떠한 모노머의 peak도 나타나지 않았다.

잔존 모노머의 농도는 시간에 따라 모노머의 용리량이 감소하는 경향을 보였으며(P<0.05), 3일 후부터는 극소량의 모노머만이 용리되었다(Table 2).

또한 여러 가지 방법(Table 3)으로 교정용 레진을 중합한 결과, 대조군에 비해 모든 실험군에서 잔존 모노머 용리량의 유의한 감소를 보였다(P<0.05). 압력만을 적용한 군에 비해 다른 방법을 사용한 군에서 잔존 모노머량의 감소가 뚜렷하였으며, 압력과 온도 및 수분을 적용한 군에서는 잔존 모노머 양의 감소가 가장 많이 나타났다. 그리고 온도의 영향에 비해 수분의 영향이 잔존 모노머 양의 감소에 대한 더 큰 영향을 미쳤으며, 수분, 온도 그리고 압력을 모두 적용한 군에서 가장 적은 양의 모노머가 검출되었다.



(a) 50% acetonitrile



(b) 40% acetonitrile

Fig. 1. A typical chromatogram of standard solutions by HPLC in 50% & 40% acetonitrile.

Table 2. Mean value of MMA amount according to time elapse

group	mean (μg)	SD	removal rate (%)
control	2.57	0.18	
after 1 day	0.24	0.03	90.7
after 3 days	0.02	0.01	91.7
after 7 days	0.00	0.00	100

Table 3. Mean value of MMA amount according to curing conditions

group	mean (μg)	SD	removal rate (%)
C	2.57	0.16	
P	2.30	0.23	10.5
T	0.30	0.03	88.3
H	0.26	0.03	89.9
PT	0.29	0.05	88.7
TH	0.28	0.03	89.1
HP	0.27	0.04	89.5
HTP	0.04	0.01	98.4

C: control; P: pressure; T: temperature; H: humidity

IV. 총괄 및 고찰

Polymethyl methacrylate(PMMA)는 치과 임상에서 교정용 장치의 제작용으로 널리 사용되는 재료이다. 그러나 PMMA를 포함한 교정용 아크릴릭 레진의 경우 중합 과정 중 완벽한 중합을 이루지 못할 수 있다. 이것은 여러 가지 이유로 제조사의 지시에 따른 제작에 개인차가 있고 그로 인해 잔존 모노머의 용리량에도 차이가 발생하고 있다. 특히 장치의 파절로 인한 수리를 하는 경우 완전한 중합이 이루어지기 전에 장치가 환자의 구강에 전해지는 경우에 많이 발생한다.

본 연구는 교정용 아크릴릭 레진으로 제작된 가철성 교정 장치를 구강 내 장착하였을 때 모노머에 노출되는 정도를 알아보기 위해 설계되었다. 모노머의 경우 인체에 여러 가지 해로운 영향을 미칠 가능성이 있고 생체 내 위해성 정도를 측정할 수 있는 생리적인 검사가 없음에도 불구하고, 환자에게 위험이 적은 물질로 고려되어 치과 임상에서 특히 보철물의 제작, 수리뿐 아니라 교정 장치 및 여러 가지 치료 재료로 사용되고 있다²⁷⁾. 따라서 가능하면 이 잔존 모노머를 최소화할 필요가 있을 것으로 생각되었다.

여러 가지 중합 방법을 사용하여 장치 내부의 잔존 모노머 양을 감소시킬 수 있는 방법을 모색해 보았다. 잔존 모노머양의 감소를 결정하는 요소에는 여러 가지가 있다. 첫째로 들 수 있는 것은 중합체와 모노머의 비율이다²⁾. Kedjarune 등¹⁰⁾은 레진 혼합 시 모노머의 양이 많을수록 잔존 모노머의 양도 증가한다고 하였다. 또한 Lamb 등²⁸⁾은 모노머와 중합체의 비율에 대한 연구 결과 중합체와 모노머의 비율이 5:3일 경우 확연히 적

은 양의 잔존 모노머가 용리되었다고 하였다. 둘째는 중합 후 경과 시간이다. Sheridan 등²⁹⁾은 아크릴릭 레진의 독작용은 중합 24시간 후에 최대이고 그 이후로 감소한다고 보고하였다. 또한 Lefebvre 등³⁰⁾은 중합 후 초기 24시간의 아크릴릭 레진이 상피 세포에 가장 큰 자극을 주었다고 보고하였다. 셋째는 수분의 영향이다. 레진의 독작용은 중합 후 수 일이 지나더라도 발생할 수 있지만 24시간동안 물속에 둔다면 최소화할 수 있다는 연구가 있다^{29,30)}. 넷째는 온도의 영향이 있다. Weaver와 Goebel¹⁵⁾은 뜨거운 물에 레진을 넣어 두는 것이 환자의 과민 반응을 감소시켰다고 보고하였다. 결론적으로 뜨거운 물에 장치를 넣어 두는 것은, 잔존 모노머를 급속히 발산시키는 효과를 가진다. 다섯째로 중합 시간에 따른 영향이 있다. Kedjarune 등¹⁰⁾은 중합 시간을 증가시켰을 때 잔존 모노머의 양이 감소하고 그로 인해 독성 효과가 적어진다는 것을 관찰하였다. 여섯째로는 압력의 영향이 있다. 본 연구 결과 압력을 변화한 군에서 모노머 용리량의 감소에 유의한 차이는 나타났으나 그 감소량이 다른 실험군에 비해 적은 양이었다. 그 외 polymerization cycle 등도 영향을 미친다³¹⁾.

위의 연구 결과들을 고려하여 본 연구에서는 중합 과정 중 압력, 온도, 수분의 유무 및 시간 변화에 따른 잔존 모노머의 용리량을 측정해 보았다. 실험 결과 임상적으로 잔존 모노머의 양을 감소시킬 것으로 생각되었던 압력은 모노머 양의 감소에 많은 영향을 미치지 않았으며, 수증 혹은 온도가 존재하는 상황에서 레진 중합이 잔존 모노머의 용리를 더욱 많이 감소시키는 것으로 나타났다. 그러나 모든 중합조건을 변화하여 사용한 경우 모노머 용리량이 가장 적게 나온 것으로 보아 압력도

모노머의 양에 영향을 미치지만 다른 방법들과 동시에 적용한 경우에 더 큰 효과를 나타내는 것으로 판단되었다.

본 실험 과정에서 압력을 적용할 때 250 kPa를 사용하였다. Lee¹⁾ 등은 PMMA 레진을 중합할 때 미세강도를 가장 높게 하는 압력이 250 kPa이라는 것을 실험으로 증명하였다. 그러므로 이 압력에서 중합을 할 경우 가장 중합이 빠르고 그 만큼 잔존 모노머의 양이 적을 것이라는 판단 하에 250 kPa의 압력을 사용하였다. 실험에 적용한 온도는 상온과 50℃ 2 가지를 적용하였는데, 이는 많은 연구자들이 중합 온도에 따라 레진 재료의 중합 정도가 증가하고 그 물성이 향상된다고 주장하였고^{9,32,33)}, 자가 중합 레진의 중합 온도를 30~60℃로 증가시키는 것이 잔존 MMA의 양을 확연히 감소시킨다는 보고에 근거하였다⁹⁾.

실험 과정에서 점진적인 이동상의 농도 증가를 하였을 경우 표준시료들의 peak가 겹치는 경우가 많아 50%와 40%에서 측정을 하게 되었다. 50%의 acetonitrile 이동상에서 측정된 경우에는 Bis-DMA와 BPA, MMA의 peak가 겹쳐서 나와 이 세 가지 표준 시료만 40%의 acetonitrile 이동상에서 측정된 결과 MMA와 BPA만 검출되었고, acrylic resin에서는 MMA만 검출되었다. 40% 농도의 acetonitrile에서 Bis-DMA의 peak가 나오지 않은 것은 시간의 측정을 0에서 10분으로 하였기 때문이며, Bis-DMA의 peak는 10분이상의 시간에서 용리될 것으로 생각되었다. 실험 중 사용한 표준 시료는 자가 중합 레진과 광중합 레진에 포함된 모노머로 하였고, 이것은 제조사가 설명한 성분 외에 다른 성분이 포함되어 있지는 않은지 확인하기 위해 사용한 것이다. 또한 아크릴릭 레진의 중합과정에서 생성되는 MMA와 Benzoyl peroxide 중합물인 benzoic acid와 methacrylic acid는 MMA에 비해 소량 존재하고 본 실험에서는 용리되지 않아 본 연구에서는 MMA에 중점을 두고 실험을 진행하였다.

본 실험의 시편의 표면적은 약 4.7 mm²이고 중합 과정에서 아무런 처리를 하지 않은 경우, 용출되는 잔존 모노머의 양은 2.57 μg이었다. 성인의 평균 상악과 하악의 무치악부 면적은 각각 22.96 cm², 12.25 cm²이며³⁴⁾, 아크릴릭 레진의 총 면적은 대략 그 두 배인 45.92 cm²와 24.50 cm²이고, 이 경우 상악은 2510.94 μg, 하악은 1339.68 μg의 모노머가 구강 내에 첫 10분 동안 용리되는 것이다. 잔존 MMA가 세포 독성을 초래하기 위해서는 10 mg/ml가 있어야 한다고 알려져 있다³⁵⁾. 타액 분비 속도 즉, 이완 시 0.3~0.5 ml/min과 자극 시 1.0~3.0 ml/min을 계산하여 볼 때 이완 시 10분 동안 구강 내 최소 타액 양은 3 ml이고 양약에 모두 장치를 하였을 경우라고 해도 모노머 농도는 약 1.28 mg/ml이다. 물론 본 실험에서 사용한 용액은 3차 증류수로 전해질로 사용될 수 있는 다른 물질이 포함된 타액에 비해 모노머의 용리량이 적을 것으로 생각되지만 타액의 경우라 해도 인체에 독성을 야기할 것으로는 생각되지 않는다. 그러나 소량이라도 점막의 자극이나 염증반응 및 과민반응을 유발할 수 있으므로 모노머 용리량이 0에 가까워지는 3일 이후에 장치를 구강 내에 적합하는 것이 이상적일 것으로 생각된다.

본 실험에서는 표면 연마 과정은 일정한 결과를 얻기 위해 시행하지 않았으나, 표면 연마를 하게 되면 용리되는 모노머의 양에 영향을 미칠 것으로 생각된다. 또한 모노머가 용리를 촉진시키는 다른 환경을 배제하기 위하여 3차 증류수에서의 모노머 용리만을 알아보았지만, 교정용으로 제작되는 장치는 구강 내에 장착되므로 구강 내 조건과 비슷한 인공 타액 등 환경에서의 부가적인 연구도 필요할 것으로 사료된다. 1976년 FDA는 구강 내에서 음식물로 얻게 되는 조건과 유사하며 재료의 침투효과(immersion effect)를 가속화하는 용액으로 75% 에탄올 수용액의 사용을 추천하고 있어 75% 에탄올을 사용한 연구도 유용할 것으로 생각된다³⁶⁻³⁸⁾.

또한 본 연구에서는 중합방법과 시간에 따른 잔존 모노머의 용리에 대한 실험만 시행하여 중합방법과 미반응 모노머 용리량에 따른 아크릴릭 레진의 물리적 성질의 차이에 대해서는 알 수 없었다. 이 문제에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다. 여러 가지 중합방법의 시간경과에 따른 효과에 관한 연구도 필요할 것으로 생각되었다. 마지막으로 소아치과 영역에서 주로 사용하고 있는 아크릴릭 레진은 자가중합형으로, 이것은 다른 중합형 즉, 열중합, 광중합형에 비해 잔존 모노머의 용리량이 많다는 보고가 있으므로^{10,39)}, 교정용 장치의 제작에 다른 형태의 레진을 사용하는 것도 고려해 볼만 하다고 생각되었다.

V. 결 론

본 연구에서는 여러 가지 중합 방법과 시간에 따른 교정용 아크릴릭 레진에서 MMA, BPA, Bis-GMA, Bis-DMA, UDMA, TEGDMA 등의 모노머들이 용리되는지를 확인하고 정량 분석하여 다음의 결론을 얻었다.

1. 모든 실험군에서 MMA를 제외한 알려진 어떠한 모노머도 용리되지 않았다.
2. 대조군에 비해 1, 3, 7일 후 모두 모노머 용리량의 유의한 감소가 보였다(P<0.05).
3. 실험군 모두에서 잔존 모노머양의 유의한 감소가 관찰되었고(P<0.05), T와 H를 포함한 군에서, 특히 HTP군에서 여타 군에 비하여 용리량이 감소되었다.

이상의 결과를 보아 미반응 모노머에 의한 위해작용을 최소화하기 위해서는 중합조건과 장치의 장착 시기를 신중히 조절할 필요가 있을 것으로 사료되었다.

참고문헌

1. Lee SY, Lai YL, Hsu TS : Influence of polymerization conditions on monomer elution and microhardness of autopolymerized polymethyl methacrylate resin. *Eur J Oral Sci*, 110:179-183, 2002.
2. Leggat PA, Kedjarune U : Toxicity of methyl

- methacrylate in dentistry. *Int Dent J*, 53:126-131, 2003.
3. Zografakis MA, Harrison A, Huggett R : Measurement of residual monomer in denture base material : Studies on variations in methodology using Gas-Liquid Chromatography. *Eur J Prosthodont Restor Dent*, 2:101-107, 1994.
 4. 서현우 : 치면열구전색제의 표면처리와 중합시간 증가에 따른 미반응 모노머 용리 평가. *대한소아치과학회지*, 34:122-129, 2007.
 5. Deichmann W : Toxicity in methyl, ethyl and N-butyl methacrylate. *J Prosthet Dent*, 43:138-142, 1980.
 6. Spealman CR, Main RJ, Haag HB, *et al.* : Monomeric MMA. Studies on toxicity. *Industr Med*, 14:292-293, 1945.
 7. Bradford EW : Case of allergy to methyl methacrylate. *Br Dent J*, 84:195, 1948.
 8. Asmussen E : Restorative resins: hardness and strength vs quantity of remaining double bonds. *Scand J Dent Res*, 90:484-489, 1982.
 9. Vallittu PK, Ruyter IE, Buykuilmaz S : Effect of polymerization temperature and time on the residual monomer content of denture base polymers. *Eur J Oral Sci*, 106:588-593, 1998.
 10. Kedjarune U, Charoenworoluk N, Koontongkaew S : Release of methyl methacrylate from heat-cured and autopolymerized resins: cytotoxicity testing related to residual monomer. *Aust Dent J*, 44:25-30, 1999
 11. Koda T, Tsuchiya H, Yaauchi M, *et al.* : High-performance liquid chromatographic estimation of eluates from denture base polymers. *J Dent*, 17:84-89, 1989.
 12. Jorge JH, Giampaolo ET, Machado AL, *et al.* : Cytotoxicity of denture base acrylic resins: A literature review. *J Prosthet Dent*, 90:190-193, 2003.
 13. Hallstrom V : Adverse reaction to a fissure sealant: report of a case. *ASDC J Dent Child*, 60:143-146, 1993.
 14. Stanely HR : Effects of dental restorative materials: local and systemic responses reviewed. *J Am Dent Assoc*, 124:76-80, 1993.
 15. Weaver RE, Goebel WM : Reactions to acrylic resin dental prostheses. *J Prosthet Dent*, 43:138-142, 1980.
 16. Rajaniemi R : Clinical evaluation of occupational toxicity of methylmethacrylate monomer to dental technicians. *J Soc Occup Med*, 36:56-59, 1986.
 17. Rajaniemi R, Tola S : Subjective symptoms among dental technicians exposed to the monomer methyl methacrylate. *Scan J Work Environ Health*, 11:281-286, 1985.
 18. Richards JM, Sydiskis RJ, Davidson WM, *et al.* : Permeability of latex gloves after contact with dental materials. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 104:224-229, 1993.
 19. Oysead H, Ruter IE, Sjovik Kleven IJ : Release of formaldehyde from dental composite. *J Dent Res*, 67:1289-1294, 1988.
 20. Ferracane JL, Condon JR : Rate of elution of leachable components from composite. *Dent Mater*, 6:282-287, 1990.
 21. Baker S, Brooks SC, Walker DM : The release of residual monomeric methyl methacrylate from acrylic appliances in the human mouth: An assay for monomer in saliva. *J Dent Res*, 67:1295-1299, 1988.
 22. Gonçalves TS, Morganti MA, Campos LC, *et al.* : Allergy to auto-polymerized acrylic resin in an orthodontic patient. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 129:431-435, 2006.
 23. 서현우, 박호원 : 광원에 따른 수종의 치면열구전색제로부터 용리되는 모노머에 관한 연구. *대한소아치과학회지*, 32:284-292, 2005.
 24. 이상우, 박호원, 이주현 등 : 치면열구전색제의 광중합 후 표면 처리 방법에 따른 미반응 모노머 용리 비교. *대한소아치과학회지*, 33:70-76, 2006.
 25. Graig RG : Restorative dental materials, 8th edition, Mosby, St. Louis, 539-540, 1989.
 26. Tsuchiya H, Hoshino Y, Kato H, *et al.* : Flow injection analysis of formaldehyde leached from denture-base acrylic resins. *J Dent*, 21:240-243, 1993.
 27. Lefebvre CA, Schuster GS : Biocompatibility of visible light-cured resin systems in prosthodontics. *J Prosthet Dent*, 71:178-185, 1994.
 28. Lamb DJ, Ellis B, Priestley D : The effects of process variables on levels of residual monomer in autopolymerizing dental acrylic resin. *J Dent*, 11:80-88, 1983.
 29. Sheridan PJ, Koka S, Ewoldsen NO, *et al.* : Cytotoxicity of denture base resins. *Int J Prosthodont*, 10:73-77, 1997.
 30. Lefebvre CA, Knoernschild KL, Schuster GS : Cytotoxicity of eluates from light-polymerized den-

- ture base resins. *J Prosthet Dent*, 72:644-650, 1994.
31. Harrison A, Huggeett R : Effect of the curing cycle on residual monomer levels of acrylic resin denture base polymers. *J Dent*, 20:370-374, 1992.
 32. Ofawa T, Tananka M, Koyano K : Effect of water temperature during polymerization on strength of autopolymerizing resin. *J Prosthet Dent*, 84:222-224, 2000.
 33. Kildal KK, Ruyter IE : How different curing methods affect the degree of conversion of resin-based inlay/onlay materials. *Acta Odontol Scand*, 52:315-322, 1994.
 34. Zarb GA, Bolender CL, Hickey JC, *et al.* : *Prosthodontic Treatment for Edentulous Patients*, 10th edition, Mosby, St. Louis, 8, 1990.
 35. Dahl OE, Garvik LJ, Lyberg T : Toxicity effects of methyl methacrylate monomer on leucocytes and endothelial cells in vitro. *Acta Orthop Scand*, 65: 147-153, 1994.
 36. Kao EC : Influence of food-simulating solvents on resin composites and glass-ionomer restorative cement. *Dent Mater*, 5:201-208, 1989.
 37. Lee SY, Greener EH, Menis DL : Detection of leached moieties from dental composites in fluids simulating food and saliva. *Dent Mater*, 11:348-353, 1995.
 38. Wu W, McKinney JE : Influence of chemicals on wear of dental composites. *J Dent Res*, 61:1180-1183, 1982
 39. Vallittu PK, Miettinen V, Alakuijala P : Residual monomer content and its release into water from denture base materials. *Dent Mater*, 11:338-342, 1995.

Abstract

EFFECT OF CURING CONDITIONS ON THE MONOMER ELUTION OF ORTHODONTIC ACRYLIC RESIN

Hong Seok Noh, Jae-Moon Kim, Shin Kim, Tae-Sung Jeong

Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Pusan National University

Acrylic resin is widely used in dental practice. However, the residual monomer in acrylic resin could act as a negative biocompatibility on human body. The aim of this study was to evaluate the amount of the monomer elution from polymerized orthodontic acrylic resin.

Orthodontic acrylic resin was used in the study. The curing condition of the resin was controlled by temperature, pressure, aquatic and atmospheric environment. The duration and amount of monomer elution and time-dependent plot was recorded by high performance liquid chromatography.

The result showed that the only monomer eluted from the resin was methyl methacrylic acid. And the amount of the monomer elution has diminished considerably by time progress especially within 24 hours. Furthermore, elution of the residual monomer was significantly lower in group of pressure, moisture and elevated temperature than control ($p < .05$).

According to this study, it was thought that the elution of residual monomer might be influenced by curing environment.

Key words : Acrylic resin, Monomer, Elution, Polymerized methods, Time progress