

치과용 아크릴릭 레진의 방사선 불투과도에 관한 연구

- 황산바륨과 요오드 화합물 첨가 -

원광대학교 치과대학

이용근 · 이진일 · 정성우

목 차

- I. 서 론
- II. 실험재료 및 방법
- III. 실험성적
- IV. 총괄 및 고안
- V. 결 론
- 참고문헌
- 영문초록

I. 서 론

치과용 아크릴릭 레진의 낮은 방사선 불투과도는 조직 속에 이 물질이 매식되었거나 파절 등의 원인으로 이것을 삼켰을 때의 진단에 장애가 된다. 이 문제를 해결하기 위하여 아크릴릭 레진의 방사선 불투과도를 증가시킬 필요성이 제기되었고 그 방법의 일환으로 높은 원자번호를 가진 원소로 구성된 물질을 레진에 혼합하게 되었다. 방사선 불투과성은 구강 내에서 시술중 주사침이 부러지거나 치아 충전물이 탈락되어 기도나 식도로 들어갔을 때 이물질의 방사선 불투과성은 위치를 알아내는데 필요한 성질로서 McArthur와 Yaylor는 신체 내에 들어간 이물질의 위치를 알 수 있는 최소 방사선 불투과도에 관하여 보고하였다¹.

1937년에 아크릴릭 레진이 치과계에 사용된

이래 아크릴릭 레진으로 제작된 구강 장치를 삼키거나 기도로 넘어가는 문제에 관한 보고가 많이 있었다^{2,3,4,5}. 방사선 불투과성 물질을 아크릴릭 레진에 첨가하면 신체 내로 들어간 물질의 위치 확인 및 제거에 도움이 될 것이다. 그중 문제가 되는 것은 레진 조각이 기도로 들어간 경우인데 이때에는 무기폐(atelectasis), 기관지 확장증, 폐부종 등이 나타날 수 있으며 그 결과 기도가 폐쇄되어 심장발작을 유발할 수 있으며 치과용 장치 조각이 기도로 들어가면 사망률이 10%에 이르는 것으로 보고되고 있다⁶. 기도로 들어간 전체 흡인물 중 3% 정도가 치과용 장치에서 유래하는 것으로 보고되고 있으며 그중 상악 전치부 국소의치가 가장 흡인되기 쉬운 것으로 알려져 있다. 그 이유는 환자들이 전치부 국소의치를 심미적인 목적으로 사용하므로 보철물에 결합이 있어도 계속 사용하는 경향이 있고 총의치와 비교하여 상대적으로 안정성과 유지성이 있으며 환자 스스로 장치를 고쳤을 때 단기간에는 사용할 수 있다는 특성 때문이라고 하였다^{7,8}. 컴퓨터 단층촬영⁹이나 타액선 조영술에 의하여 방사선 투과성 의치상 파절물을 찾아낼 수 있다는 보고도 있지만, 주 해결책으로 제시되고 있는 것이 방사선 불투과성을 의치상 재료에 혼합하는 방법이다. 이때 혼합하는 방사선 불투과성 물질은 독성이 없어야 하며, 임상적으로 충분히 감별이 가능할 정도의 방사선 불투과도를 보여야 하고

의치상 재료의 물성이나 심미성에 영향을 주지 않아야 한다. 2차 세계대전 중에 영국에서는 편이나 황산바륨에 침지시킨 실, 납 박판(foil)을 첨가하여 방사선 불투과도를 높이고자 하는 연구가 진행되었으나, 이러한 첨가물은 의치상 재료와 화학적으로 결합하는 것이 아니어서 물성을 약화시키는 문제가 있었다. 그후 의치상 재료에 방사선 불투과성 금속염을 첨가하는 연구가 진행되었다. 지금까지 의치상 재료의 방사선 불투과도를 증가시키기 위하여 시도되었던 물질로는 요오드 화합물, 산화 마그네슘, 은 합금, 초산 납, 금박, 비스무트 화합물, 황산바륨, 불화 바륨, 산화 바륨, 비스무트-텅스텐, 알루미늄-텅스텐 등²이 있다. 그러나 이러한 물질들을 첨가하였을 때 독성, 효율성, 물성과 심미성의 변화 등을 모두 만족시키는 결과는 없었다. Alvares는 황산바륨을 아크릴릭 레진에 혼합한 후 방사선 불투과도를 측정하였는데 만족할 만한 결과를 보였다고 하였다¹⁰. 금속 분말을 아크릴릭 레진에 첨가하는 경우에는 낮은 농도에서는 충분한 정도의 방사선 불투과성을 보이지 않았으며 많은 양을 첨가하면 심미성을 낮추었다. 일반적으로 금속 분말은 중량비로 10 % 이상을 첨가하여야 하는데 이중 일부 재료는 독성을 보였다. Bowen과 Cleek는 실리카, 산화바륨, 산화 붕소 및 알루미늄을 혼합하여 투명하고 무색인 유리를 콤포짓트 레진용으로 합성하였으며¹¹, Watts는 바륨과 스트론튬을 방사선 불투과성 충전제로 사용하는 콤포짓트 레진의 방사선 불투과성을 비교하였으며¹², Matsumura 등은 방사선 불투과성 티타늄-폴리메타아크릴레이트 콤포짓트 레진을 개발하였다¹³. Yoshida 등은 레진 전장용 불투명레진을 4 종의 단량체와 산화티타늄 분말을 조합하여 합성하여 물성을 비교하였다¹⁴. Bloodworth와

Render는 방사선 불투과도가 낮은 치과용 보철물을 삼키거나 흡인하였을 때 나타나는 의학적 문제를 설문조사를 통하여 알아보았으며², Rawls 등은 의료용 레진의 방사선 불투과도를 증가시키기 위하여 첨가하는 물질로 새로이 개발된 트리페닐 비스무트(Ph_3Bi)의 세포독성을 측정하였다¹⁵.

본 실험에서는 임상적으로 충분히 감별이 가능하고 심미성을 해치지 않으며 물성의 변화가 없는 방사선 불투과성 아크릴릭 레진을 개발하기 위한 연구의 일환으로 치과용 아크릴릭 레진에 생체에 안정된 물질로 알려진 황산바륨 및 요오드 화합물을 혼합하여 시편을 제작하고 방사선 불투과도, 색상변화 및 미세경도를 측정하였다. 또한 열순환 과정에서 혼합된 방사선 불투과성 물질이 용출될 수 있다는 점에 착안하여 500 회, 1000 회 및 1500 회 열순환을 시행한 후 방사선 불투과성의 변화, 색상의 변화 및 미세경도의 변화를 측정하였다.

II. 실험재료 및 방법

1) 실험재료

본 실험에서는 열중합형 의치상용 레진 1 종 (PRS) 및 화학중합형 교정용 레진 1 종(ORJ)을 대상으로 하였다 (Table 1). 아크릴릭 레진에 첨가하는 방사선 불투과성으로는 황산바륨 (BaSO_4 , Shinyo Pure Chemical Co., Japan) 및 요오드 화합물 (Meglumine ioxitalamate, Laboratoire Guerbet, France)을 사용하였다. 요오드 화합물은 1 ml 당 300 mg의 요오드가 용해되어 있는 액상 주사액으로 본 실험에서는 이 용액을 직접 레진 단량체에 섞어서 사용하였으며 방사선

Table 1. Materials studied in this experiment

Code	Brand name	Type	Batch Number	Manufacturer
PRS	PREMIUM SUPER 200	heat cure denture base resin	0634	Lang Dental Mfg. Co., U.S.A.
ORJ	ORTHO-JET RESIN	self cure orthodontic resin	1334	Lang Dental Mfg. Co., U.S.A.

불투과성 물질 혼합비는 용액의 무게를 나타낸다.

2) 실험방법

(1) 시편제작 및 열순환

파라핀왁스를 이용하여 가로 400mm, 세로 100mm, 두께 3mm의 납형을 제작한 후 통법에 따라 의치용 플라스크에 매몰하고 석고가 경화한 후 왁스를 제거하여 레진을 성형할 공간을 만들었다. 본 실험에서 표시하는 방사선 불투과성 혼합비는 온성이 완료된 전체 레진 중에 방사선 불투과성이 차지하는 비율을 의미한다. 황산바륨의 경우에는 5%와 10%를 레진 분말에 미리 고르게 혼합한 후 사용하였다. 요오드 화합물의 경우에는 2%와 3%를 단량체에 혼합하여 즉시 사용하였다.

열중합형 아크릴릭 레진의 경우에는 사용설명서에 의한 분액비로 레진 분말과 단량체를 혼합한 후 병상기가 되었을 때 주형에 시적하여 압착기를 이용하여 압착한 후 다시 의치용 플라스크를 분리하여 부족한 부분을 보충하고 150 Kg/cm²의 압력을 가한 상태에서 나사를 고정하여 압력이 낮아지지 않도록 고정한 후 100 °C 물 속에서 20 분간 중합한 후 불을 끄고 15분이 경과한 후 다시 가열을 가하여 20 분간 끓인 후 수조 내에서 식혀서 분리하였다.

화학중합형 아크릴릭 레진의 경우에도 역시 사용설명서에 의한 분액비로 레진분말과 단량체를 혼합한 후 병상기가 되었을 때 주형에 시적하여 압착한 후 다시 의치용 플라스크를 분리하여 부족한 부분을 보충하고 150 Kg/cm²의 압력을 가한 상태에서 1 시간 이상 경화시켰다.

제작된 시편표면은 연마기(Metaserv Grinder-Polisher, Buehler, England)를 이용하여 600 번까지 연마한 후 최종연마는 Microcloth(Buehler)를 이용하였는데 시편의 최종 두께는 2 mm가 되도록 하였다. 연마된 시편을 가로, 세로 각각 100 mm의 정사각형으로 잘라서 시편으로 하였다.

열순환(thermocycling)은 시편을 열순환기의 시료 통에 넣은 후 5 °C와 55 °C의 증류수를 30 초간 계류하는 방법으로 500 회, 1000 회, 1500 회 실시하였다.

(2) 방사선 불투과도 실험

1. 촬영조건 및 흑화도계(densitometer)

치과 방사선 촬영기(Rex 601, Yoshda, Japan)를 사용하여 60 kVp, 10 mA의 촬영 조건에서 2 mm 알루미늄으로 부가 여과하였으며, 노출시간은 0.5 초로 하였고 초점과 필름 사이의 거리는 35 cm이었다. AGFA D-speed 표준필름(AGFA DENTUS M2 Comport Universal Film, ISO Speed value "S" : up to 27, Belgium)을 사용하였고 필름의 크기는 No. 2 (약 32 mm×41 mm)를 사용하였다. 모든 필름은 자동현상기(DÜRR DENTAL XR24, Germany)를 사용하여 현상하였으며 현상액은 FUJI RD-5, 고정액은 FUJI F를 사용하여 온도 25 °C에서 현상하였다.

현상된 방사선 사진 상에서 나타난 방사선 불투과도는 X-rite 301 densitometer(X-rite Inc., U.S.A.)을 이용하여 각각 5 부위를 측정된 값의 평균값을 취하였다.

2. 시편의 방사선 불투과도 측정

시편 촬영 때마다 aluminum stepwedge를 같이 촬영하였으며, 각 시편의 방사선 불투과도는 촬영한 필름의 optical density를 측정하여 비교하였다. 각 시편당 5 회씩 측정하였다.

(3) 색차측정

측색색차계(Model TC-6FX, Tokyo Denshoku Co, Japan)는 XYZ filter 방식의 CIE표준C광원을 이용하며, 측정방법은 2 광로 교차 측정방식에 의한 적분식 0~45 법이고 감지부의 직경은 3 mm 이다.

색차측정을 위하여 감지기를 흡광통에 밀착하여 0점 조정을 한 후 감지기에 표준백색판(X=90.19, Y=92.16, Z=108.26)을 놓고 표준조정

을 시행하였다. 기기의 영점조정과 표준조정이 끝나면 시편에 감지기를 밀착시킨 후 색조를 측정하였다. 각 시편당 앞, 뒷면의 서로 다른 세 부위의 색조 측정하여 XYZ 3자극치(tristimulus value)를 구하였으며 구하여진 XYZ 치를 컴퓨터프로그램으로 색공간 좌표인 L^* , a^* , b^* 값 및 CIE ΔE (색변화량)을 구하였다.

L^* (luminance)은 명도를 나타내고 0부터 100까지, a^* 는 적색-녹색정도를 나타내는 지표로서 -60 부터 80까지로서 값이 양의 값일 때 적색, 음의 값일 때 녹색에 가까우며, b^* 는 황색-청색의 정도를 나타내는 지표로서 범위는 -80부터 60까지이며 값이 양이면 황색, 음의 값이면 청색에 가까움을 나타낸다. 색변화량 CIE ΔE 는 다음 공식으로 구하였다.

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

여기서 ΔL^* , Δa^* , Δb^* 는 각각 L^* , a^* , b^* 수치의 차이를 의미한다.

(4) 미세경도 측정

비커스 경도는 미세 경도계(Microhardness tester, Mitsuzawa Seiki Co. Japan)를 이용하여 100 배 확대 상태에서 경도를 측정할 점을 잡고 50 g의 정하중을 가하여 압흔을 만든 후 400 배로 확대하여 측정하였다. 한 시편당 앞, 뒷면에서 최소 5 개 정도의 비슷한 범위의 수치가 나올 때까지 반복 측정하였는데, 측정 후 전체 평균을 구하여 평균에서 20 % 이상 벗어나는 수치는 분석에서 제외하였다.

III. 실험 성적

1) 방사선 불투과도

방사선 불투과성 물질 첨가 이전 및 이후의 방사선 불투과도 및 동일 시편을 500 회, 1,000 회 및 1,500 회 열순환 하였을 때의 결과를 표 2에 표시하였다. 이 결과에서 방사선 불투과도는 흑

Table 2. Mean values of film density for dental materials

Code		Before T.C.	500 T.C.	1000 T.C.	1500 T.C.
PRS	0 %	1.797 (0.033)*	1.986 (0.037) ^a	1.841 (0.013) ^a	2.033 (0.030) ^a
	5 % barium sulfate	1.686 (0.041) ^c	1.897 (0.054) ^{a,c}	1.755 (0.030) ^{a,c}	2.101 (0.045) ^{a,d}
	10 % barium sulfate	1.578 (0.033) ^c	1.738 (0.057) ^{a,c}	1.644 (0.039) ^{a,c}	1.751 (0.043) ^{a,c}
	2 % iodine	1.523 (0.033) ^c	1.705 (0.048) ^{a,c}	1.686 (0.038) ^{a,c}	1.775 (0.043) ^{a,c}
	3 % iodine	1.747 (0.054) ^c	1.951 (0.048) ^{a,d}	1.784 (0.033) ^{b,c}	2.005 (0.042) ^{a,c}
ORJ	0 %	1.768 (0.047)	1.912 (0.025) ^a	1.850 (0.022) ^a	1.811 (0.157) ^a
	5 % barium sulfate	1.751 (0.046) ^d	1.500 (0.021) ^{a,c}	1.671 (0.117) ^{a,c}	1.734 (0.017) ^{b,c}
	10 % barium sulfate	1.633 (0.034) ^c	1.381 (0.090) ^{a,c}	1.493 (0.016) ^{a,c}	1.652 (0.026) ^{b,c}
	2 % iodine	1.737 (0.042) ^d	1.877 (0.024) ^{a,d}	1.849 (0.016) ^{a,d}	1.795 (0.018) ^{a,d}
	3 % iodine	1.753 (0.036) ^d	1.907 (0.021) ^{a,d}	1.805 (0.026) ^{a,c}	1.851 (0.082) ^{a,c}

* : Standard deviations are in parentheses.

^a : 열순환 이전과 유의한 차이가 있음 (P<0.05).

^b : 열순환 이전과 유의한 차이가 없음 (p>0.05).

^c : 방사선 불투과성 물질을 첨가하기 이전과 유의한 차이가 있음 (p<0.05).

^d : 방사선 불투과성 물질을 첨가하기 이전과 유의한 차이가 없음 (p>0.05).

화도계에서 읽은 필름의 밀도를 의미한다.

열중합형 및 화학중합형 2 가지 재료, 방사선 불투과성 물질의 첨가여부 및 종류, 열순환의 3 가지 변수가 아크릴릭 레진의 방사선 불투과도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 3 원 분산분석을 시행한 결과 주효과가 있었으며($p < 0.01$), 재료의 종류, 방사선 불투과성 물질의 첨가여부 및 종류, 열순환의 3 가지 변수는 각각 방사선 불투과도에 영향을 주었다($p < 0.01$). 상호작용 효과를 보면 재료의 차이와 방사선 불투과성 물질, 재료의 차이와 열순환, 방사선 불투과성 물질과 열순환은 모두 상호작용 효과를 보였으며 ($p < 0.01$), 3 가지 변수 모두를 고려하여도 상호작용 효과가 있었다($p < 0.01$).

2) 색상변화

방사선 불투과성 물질 첨가 이전 및 이후의 색상의 변화(색차, CIE ΔE) 및 동일 시편을 500 회, 1,000 회, 1,500 회 및 2,000 회 열순환 하였을

때의 결과를 표 3 에 표시하였다.

열중합형 및 화학중합형 2 가지 재료, 방사선 불투과성 물질의 첨가여부 및 종류, 열순환의 3 가지 변수가 아크릴릭 레진의 색상의 변화에 미치는 영향을 알아보기 위하여 3 원 분산분석을 시행한 결과 주효과가 있었으며($p < 0.01$), 방사선 불투과성 물질의 첨가여부 및 종류, 열순환의 2 가지 변수는 각각 방사선 불투과도에 영향을 주었으나($p < 0.01$), 재료의 종류는 색상의 변화에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다($p > 0.05$). 상호작용 효과를 보면 재료의 차이와 방사선 불투과성 물질, 재료의 차이와 열순환, 방사선 불투과성 물질과 열순환은 모두 상호작용 효과를 보였으며 ($p < 0.01$), 3 가지 변수 모두를 고려하여도 상호작용 효과가 있었다($p < 0.01$).

3) 미세경도

방사선 불투과성 물질 첨가 이전 및 이후의 비커스 경도 및 동일 시편을 500 회, 1,000 회, 1,500

Table 3. Color difference(ΔE) of acrylic resins before and after irradiation

Code		Before T.C.	500 T.C.	1000 T.C.	1500 T.C.
PRS	0 %	0	6.504 (1.821)	5.855 (2.358)	6.500 (3.388)
	5 % barium sulfate	6.654 (1.822)	7.476 (2.884) ^{bd}	6.222 (1.616) ^{bd}	10.327 (2.039) ^{ac}
	10 % barium sulfate	8.701 (2.880)	6.385 (1.966) ^{ad}	7.060 (1.822) ^{bd}	8.770 (2.538) ^{bc}
	2 % iodine	11.663 (2.965)	8.484 (2.484) ^{ac}	8.218 (1.178) ^{ac}	10.877 (2.670) ^{bc}
	3 % iodine	11.929 (3.110)	11.314 (2.035) ^{bc}	10.725 (3.705) ^{bc}	12.590 (3.954) ^{bc}
ORJ	0 %	0	13.086 (2.185)	11.296 (2.156)	15.284 (3.000)
	5 % barium sulfate	14.887 (2.251)	4.578 (0.771) ^{ac}	4.398 (0.682) ^{ac}	5.856 (0.482) ^{ac}
	10 % barium sulfate	8.481 (2.380)	4.240 (0.249) ^{ac}	4.243 (0.362) ^{ac}	6.497 (0.902) ^{ac}
	2 % iodine	7.997 (3.434)	9.767 (1.188) ^{bc}	10.438 (1.318) ^{ad}	11.600 (1.433) ^{ac}
	3 % iodine	9.020 (2.337)	6.496 (1.414) ^{ac}	10.899 (1.647) ^{ad}	8.772 (2.087) ^{bc}

* : Standard deviations are in parentheses.

^a : 열순환 이전과 유의한 차이가 있음 ($P < 0.05$).

^b : 열순환 이전과 유의한 차이가 없음 ($p > 0.05$).

^c : 방사선 불투과성 물질을 첨가하기 이전과 유의한 차이가 있음 ($p < 0.05$).

^d : 방사선 불투과성 물질을 첨가하기 이전과 유의한 차이가 없음 ($p > 0.05$).

Table 4. Vickers hardness value of acrylic resins before and after irradiation

Code		Before T.C.	500 T.C.	1000 T.C.	1500 T.C.
PRS	0 %	21.42 (2.68)*	19.96 (1.92) ^a	20.08 (1.34) ^a	20.44 (0.87) ^b
	5 % barium sulfate	21.52 (2.07) ^d	18.49 (1.74) ^{a,c}	19.83 (1.36) ^{a,d}	20.03 (1.06) ^{a,d}
	10 % barium sulfate	19.13 (1.88) ^c	17.51 (1.95) ^{a,c}	20.09 (1.37) ^{b,d}	19.23 (0.83) ^{b,c}
	2 % iodine	17.88 (1.62) ^c	14.92 (1.71) ^{a,c}	18.12 (1.54) ^{b,c}	19.22 (0.78) ^{a,c}
	3 % iodine	18.50 (1.66) ^c	16.82 (1.94) ^{a,c}	19.53 (1.98) ^{a,d}	18.89 (1.24) ^{b,c}
ORJ	0 %	19.56 (2.24)	17.98 (1.73) ^a	19.78 (1.40) ^b	18.10 (1.01) ^a
	5 % barium sulfate	19.88 (1.68) ^d	15.78 (1.34) ^{a,c}	18.74 (1.66) ^{a,c}	18.54 (1.28) ^{a,d}
	10 % barium sulfate	19.78 (2.09) ^d	16.03 (1.13) ^{a,c}	17.98 (1.22) ^{a,c}	18.58 (1.17) ^{a,d}
	2 % iodine	17.83 (2.40) ^c	17.00 (1.27) ^{b,c}	18.47 (1.38) ^{b,c}	19.63 (1.12) ^{a,d}
	3 % iodine	17.23 (2.02) ^c	17.57 (1.91) ^{b,d}	18.67 (1.39) ^{a,c}	17.86 (0.77) ^{a,c}

* : Standard deviations are in parentheses.

^a : 열순환 이전과 유의한 차이가 있음 (P<0.05).

^b : 열순환 이전과 유의한 차이가 없음 (p>0.05).

^c : 방사선 불투과성 물질을 첨가하기 이전과 유의한 차이가 있음 (p<0.05).

^d : 방사선 불투과성 물질을 첨가하기 이전과 유의한 차이가 없음 (p>0.05).

회 및 2,000 회 열순환 하였을 때의 결과를 표 4에 표시하였다.

열중합형 및 화학중합형 2 가지 재료, 방사선 불투과성 물질의 첨가여부 및 종류, 열순환의 3 가지 변수가 아크릴릭 레진의 방사선 불투과도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 3 원 분산분석을 시행한 결과 주효과가 있었으며(p<0.01), 재료의 종류, 방사선 불투과성 물질의 첨가여부 및 종류, 열순환의 3 가지 변수는 각각 방사선 불투과도에 영향을 주었다(p<0.01). 상호작용 효과를 보면 재료의 차이와 방사선 불투과성 물질, 방사선 불투과성 물질과 열순환은 각각 상호작용 효과를 보였으나(p<0.01), 재료의 차이와 열순환은 상호작용 효과가 없었다(p>0.05). 3 가지 변수 모두를 고려하여도 상호작용 효과가 있었다(p<0.01).

IV. 총괄 및 고안

치과 재료의 방사선 불투과도에 관한 연구는 아크릴릭 레진의 방사선 불투과도, 구치용 콤포짓트 레진의 방사선 불투과도 등에 관한 연구가 주로 이루어 졌으며 아크릴릭 레진의 경우에는 방사선 불투과성 물질을 첨가하여 방사선 불투과도를 높이는 연구가 주로 이루어 졌으며, 구치용 콤포짓트의 경우에는 충전제에 따른 불투과도 변화에 관한 연구^{16,17}가 이루어 졌다.

아크릴릭 레진으로 제작된 구강 장치를 삼키거나 기도로 넘어가는 경우 방사선 불투과성 물질을 첨가하면 신체내로 들어간 물질의 위치 확인 및 제거에 도움이 될 것이다. 컴퓨터 단층촬영 영이나 타액선 조영술에 의하여 방사선 투과성 의치상 파절물을 찾아낼 수 있다는 보고도 있지만, 주 해결책으로 제시되고 있는 것이 방사선

불투과성 물질을 의치상 재료에 혼합하는 방법이다. 의치상 재료에 방사선 불투과성 금속염을 첨가하는 연구가 진행되었으나 현재까지 독성, 효율성, 물성과 심미성의 변화 등을 모두 만족시키는 결과는 없었다. Bloodworth와 Render는 방사선 불투과도가 낮은 치과용 보철물을 삼키거나 흡인하였을 때 나타나는 의학적 문제를 설문 조사를 통하여 알아보았으며 치과용 아크릴릭 레진에 방사선 불투과도가 높은 물질을 첨가하는 의견을 수렴하였다². 그 결과 방사선 불투과도가 높은 아크릴릭 레진을 개발하여야 한다는 의견이 대부분이었으나 현재의 기술로는 임상적으로 이용될 수 있는 정도의 방사선 불투과도를 보이는 아크릴릭 레진을 개발하는 것이 불가능하다고 하였다. 본 논문에서는 방사선 불투과도가 높은 물질을 첨가하였을 때 나타나는 방사선 불투과도의 변화, 색상의 변화, 물성의 변화 및 앞으로 개선해야 할 문제의 순으로 고찰을 하고자 한다.

1. 방사선 불투과성의 변화

Bowen과 Cleek는 실리카, 산화바륨, 산화 붕소 및 알루미늄을 혼합하여 투명하고 무색인 유리를 콤포지트 레진용으로 합성하였는데 원하는 정도의 방사선 불투과도를 얻었다고 하였다¹¹. 본 실험에서 황산바륨과 요오드 화합물을 혼합한 결과가 실제 적용하기에는 문제점을 갖고 있는데 궁극적으로는 방사선 불투과성 충전제(filler)를 적당한 결합제로 피복하여 아크릴릭 레진에 혼합하는 레진 기질만이 변화된 콤포지트를 합성하는 것이 아크릴릭 레진의 방사선 불투과성 문제를 해결할 수 있는 방법으로 생각된다.

Matsumura 등은 방사선 불투과성 티타늄-폴리메타아크릴레이트 콤포지트 레진을 개발하였는데 기존 Bis-GMA 레진에 순수 티타늄 분말을 혼합하였다¹³. 중량비로 70~80%의 티타늄 분말을 혼합한 콤포지트 레진의 방사선 불투과도는 범랑질보다 컸다고 하였으며 1년간 증류수에 침적한 후의 물성을 보면 압축강도는 0.7~15.9% 감소하였고, 전단강도는 43.7~52.9% 감

소하였는데 이런 감소폭은 KR-7과 4-META를 결합제로 사용하면 적어졌다고 하였다. 이렇게 합성된 콤포지트 레진은 자가중합형 코아용으로 적당하다고 하였는데 색상의 변화에 관한 언급이 없었는데 금속 분말을 혼합하는 경우 색상의 변화를 유발할 것으로 보인다. 아크릴릭 레진에 티타늄 분말을 혼합하면 색상을 제외한 다른 특성은 위 결과와 유사할 것으로 보이며 색상에 관한 문제가 해결되면 아크릴릭 레진용으로도 적용이 가능할 것이다.

Watts는 바륨과 스트론튬을 방사선 불투과성 충전제로 사용하는 콤포지트 레진의 방사선 불투과도를 비교하였는데 범랑질보다 높은 방사선 불투과도를 보이는 3가지를 보고하였다¹². 첫번째는 바륨 유리 충전제를 사용한 경우이고 두번째는 바륨양이 35% 이상이 바륨-스트론튬 혼합 유리를 사용하는 경우이며 세번째는 스트론튬을 40% 함유한 유리를 사용한 경우라고 하였는데 일반적으로 중량비로 20% (부피비로는 70%) 이상의 방사선 불투과성 산화물을 혼합한 경우에 범랑질보다 더 큰 방사선 불투과도를 보였다고 하였다. 본 실험에서 대상인 아크릴릭 레진의 방사선 불투과도는 치질의 방사선 불투과도와 비교할 수 있는데 상아질의 경우에는 2.54 ± 0.45 mm의 알루미늄 두께를 보였다¹⁸.

Yoshida 등은 레진 전장용 불투명레진을 4종의 단량체와 산화티타늄 분말을 조합하여 합성하여 물성을 비교하였다¹⁴. 그 결과 TEGDMA를 사용하는 경우가 메칠메타아크릴레이트를 사용하는 경우보다 물성이 우수하다고 하였다. 본 실험과 연계하여 티타늄 분말을 아크릴릭 레진에 첨가하여 방사선 불투과성을 갖는 레진을 합성하는 연구를 계획하고 있는데 물성에 있어서는 Bis-GMA 계보다 낮을 것으로 전망된다.

Alvares는 아크릴릭 레진이 황산 바륨을 첨가하였을 때의 방사선 불투과도 및 물성을 조사하였으며 중량비 15%의 황산 바륨을 첨가하면 적정한 정도의 방사선 불투과도를 보였다고 하였는데¹⁰ 방사선 사진상에서 육안으로 구별이 되는 지를 기준으로 삼았다. 본 실험에서 열중합형 아크릴릭 레진에 황산바륨 및 요오드 화합물을 첨

가한 경우 필름 밀도는 첨가이전보다 유의하게 감소하였으나($p < 0.05$) 육안으로 명확하게 구별될 정도는 아니었다. 화학중합형 아크릴릭 레진에 황산바륨 및 요오드 화합물을 첨가한 경우에는 10% 황산바륨을 첨가한 경우에만 필름 밀도가 유의하게 감소하였으나 역시 육안으로 명확하게 구분될 정도는 아니었다.

Rawls 등은 의료용 레진의 방사선 불투과도를 증가시키기 위하여 첨가하는 물질로 새로이 개발된 트리페닐 비스무트(Ph_3Bi)의 세포독성을 측정하였는데 이 물질 자체 또는 치과용 의치상 재료에 첨가한 상태에서의 세포독성은 미약하다고 하였다¹⁵. PMMA에 트리페닐 비스무트를 첨가하면 세포독성을 약간 증가시켰는데 이는 단량체의 중합을 억제하기 때문이라 하였다. 트리페닐 비스무트를 함유한 물질의 독성은 사용 이전에 물에 담가서 추출을 하면 감소되거나 없어지며 중합조건을 변경하여 중합도를 높이는 방법도 고려할 수 있다고 하였다. Tallent 등은 바륨 유리 충전제가 들어있는 화학중합형 Bis-GMA 콤포지트 레진에 트리부틸틴 메타아크릴레이트(tributyltin methacrylate), 트리페닐 비스무트, 3-요오드화 메타아크릴레이트 단량체를 첨가한 후 물성과 방사선 불투과도를 측정하였는데 허용할 수 있는 범위의 물성변화를 보이면서 원하는 방사선 불투과도를 얻을 수 있다고 하였다¹⁹.

Mattie 등은 트리페닐 비스무트를 열중합형 아크릴릭 레진에 20% 첨가하였을 때 방사선 불투과도는 알루미늄보다 20% 이상 높았으며 물성에 있어서도 차이가 없었고 반투명성을 유지한다고 하였다²⁰. 방사선 불투과성 금속염을 첨가하여 방사선 불투과도가 증가된 아크릴릭 레진을 합성하는데 어느 정도 성공하였다고 보이거나 색상문제나 물성문제에 있어서 미진함이 있으며 장기간 사용하였을 때의 변화에 관한 언급이 없었다.

콤포지트 레진의 방사선 불투과도는 제조방법에 따라 달라지고 레진 기질 과 충전제(filler) 입자의 화학적 성질과 크기, 밀도, 혼합 비율 등의 영향을 받는다. 이전의 연구에서 수복재 및 근관

충전재 등의 방사선 불투과도를 비교하기 위하여 동일한 방사선 불투과도를 보이는 알루미늄의 두께로 환산하였다. 그러나 상아질과 법랑질의 방사선 불투과도를 위한 알루미늄의 두께 환산은 치아의 불투과성의 다양성 때문에 받아들여지지 않고 있다.

콤포지트 레진의 방사선 불투과도에 관하여 Bowen과 Cleek은 방사선 불투과성을 보이는 충전제(filler)의 조성 및 개발에 관하여 보고하였다¹¹. Cook은 콤포지트 레진의 방사선 불투과도에 영향을 주는 인자중 시편의 두께가 방사선 불투과도에 큰 영향을 준다고 하였고²¹, Omer 등은 21종의 구치용 콤포지트 레진의 방사선 불투과도를 측정하였는데²², 0.94~5.18 mm 알루미늄 두께의 방사선 불투과도를 보였다고 보고하였다. Stanford 등은 광중합형 콤포지트 레진의 방사선 불투과도를 측정하였고 2 mm 두께의 시편은 2.70~5.77 mm 알루미늄 두께의 방사선 불투과도를 보였으며 법랑질은 3.64 mm, 상아질은 1.82 mm 알루미늄 두께의 방사선 불투과도를 보였다고 하였다²³. Watts는 바륨과 스트론튬을 함유한 충전제가 들어있는 콤포지트 레진의 방사선 불투과도를 분석하였으며¹² 충전제 중에 20% 이상의 방사선 불투과성 산화물이 포함되고 충전제의 부피 비율이 70% 이상, 두께가 2.5 mm 이상일 때 법랑질보다 더 큰 방사선 불투과도를 보인다고 하였다. Matsumura 등은 순 티타늄 분말을 첨가하여 방사선 불투과도를 증가시킨 콤포지트 레진의 방사선 불투과도를 측정하였으며, 중량비 70~80%의 티타늄 분말을 첨가하면 법랑질 이상의 방사선 불투과도를 보이거나 압축강도와 휨강도의 감소를 보인다고 하였다¹³. 이런 콤포지트 레진은 화학 중합형으로 코아 제작에 사용할 수 있다고 하였다.

Eliasson 등은 인상재의 방사선 불투과도를 측정하였으며 인상재의 방사선 불투과도는 2 mm 두께의 알루미늄의 방사선 불투과도보다 높아야 한다고 하였다²⁴. 구치용 콤포지트 레진의 경우에도 같은 정도의 방사선 불투과도가 요구되고 있는데 본 실험결과 일부 제품을 제외한 거의 모든 시편에서 이 이상의 방사선 불투과도를 보였

다. Preece는 근관충전재의 방사선 불투과도를 측정하였으며 제품에 따라 방사선 불투과도의 차이가 크게 나타났으며 육안으로 관찰한 방사선 불투과도의 차이는 재현성이 없다고 하였다²⁵. 배와 엄은 근관충전재는 모두 상아질보다 높은 방사선 불투과도를 보였다고 하였다²⁶.

2. 색상의 변화

Wozniak 등은 시판되는 콤포지트 레진의 동일한 색상의 색차를 CIE ΔE 방식으로 비교하였는데 ΔL^* 의 경우에는 LG 색상에서 19.45~4.75의 범위를 보였으며 Δa^* 의 경우에는 U 색상에서 7.46, LG 색상에서 3.26의 범위를 보였고 Δb^* 의 경우에는 Y 색상에서 16.23, LY 색상에서 4.73을 보여 동일한 색상으로 표시된 제품이라도 제조회사에 따라 색차가 크게 나타났다고 하였다²⁷. 아크릴릭 레진의 경우에도 동일한 색상으로 표시된 제품이라 하여도 제조회사에 따라 색상의 차이가 크게 나타날 것으로 예상되며 방사선 불투과성 물질을 첨가한 후의 색상의 차이와 비견될 수 있는 정도일 수도 있다. 또한 아크릴릭 레진은 반투명한 특성을 갖고 있으므로 레진 자체의 색상도 가시적인 색상에 영향을 주겠지만 레진을 통하여 비추어지는 구강 조직의 색상도 가시적인 레진의 색에 큰 영향을 줄 것으로 보인다. 본 실험에서는 표준 백색판 위에 아크릴릭 레진 시편을 올려놓은 상태에서 측정하였으므로 실제 구강 내의 색상과는 차이가 있을 것으로 보인다. 본 실험에서 열중합형 아크릴릭 레진에 방사선 불투과성 물질을 첨가하지 않은 경우에 열순환 이전과 열순환 이후의 색차(CIE ΔE)는 5.855~6.504 정도로 나타나서 열순환 자체만으로도 색상의 변화를 유발하는 것으로 나타났으며 황산바륨을 첨가한 경우의 색차는 6.654~8.701로 나타나 열순환 자체에서 오는 색차보다는 약간 컸으나 요오드 화합물을 첨가한 경우보다는 낮게 나타났다. 화학중합형 아크릴릭 레진에 방사선 불투과성 물질을 첨가하지 않은 경우에 열순환 이전과 열순환 이후의 색차는 11.296~15.284로 나타나서 열순환 자체만으로도 색상

의 변화를 크게 유발하는 것으로 나타났으며 열중합형 아크릴릭 레진의 경우보다 높았다. 황산바륨을 첨가한 경우의 색차는 8.481~14.887로 나타나 열순환 자체에서 오는 색차보다는 적었으며 요오드 화합물을 첨가한 경우가 더 낮았다.

Takeda 등은 치은의 색상을 측정하고 의치상 레진을 동일 지점의 치은에 덮은 후의 색상을 측정하여 의치상이 치은의 자연색을 재현할 수 있는지를 측정하였는데 투명한 의치상 재료가 재현성이 높다고 하였다²⁸. 방사선 불투과성 물질을 의치상 재료에 첨가하여 변색정도를 측정할 때에는 아크릴릭 레진 자체의 색상도 고려하여야겠지만 치은조직을 피개하였을 때 원래의 색을 얼마나 재현할 수 있는지가 더 중요한 고려대상이 되어야 한다고 생각되며 그러기 위하여는 가능한 방사선 불투과성 입자가 투명하든지 또는 고운 입자이어야 할 것으로 생각된다.

Doray 등은 임시치관용 레진의 단기가속 변색도를 측정하였는데 아크릴릭 레진과 콤포지트 레진의 변색도가 전반적으로 보았을 때 큰 차이가 없다고 하였다²⁹. 일반적으로 아크릴릭 레진의 변색이 콤포지트 레진의 변색보다 크게 나타나는 것으로 알려져 있는데 위 실험에서는 단기가속 변색 전후의 색차(CIE ΔE)가 2.4~17.8 범위이었다. 본 실험결과와 비교하면 레진을 오랫동안 사용한 변색이 방사선 불투과성 재료를 아크릴릭 레진에 첨가한 경우의 변색보다 낮다고 하겠다.

3. 물성의 변화

치과용 의치상 재료의 강도를 증가시키기 위하여 섬유를 레진에 첨가하는 연구도 많이 진행되고 있는데³⁰ Goldberg와 Burstone은 S-2 유리섬유를 넣어서 강도를 증가시키는 콤포지트를 개발하였는데³¹ 방사선 불투과도가 높은 섬유를 첨가한다면 강도도 증가하고 방사선 불투과도도 증가된 재료를 개발할 수 있을 것으로 보이며 향후 연구가 필요하다 하겠다. Solmit는 유리섬유에 실레인을 피복하여 치과용 의치상 재료에 첨가한 후 굴곡강도를 비교하였는데³² 방사선 불투

과성에 실레인을 처리하여 첨가하는데 유용한 자료가 되며 Pope 등 도 실리카 겔에 실레인을 피복하는 방법에 관하여 비교하였다³³. Chung과 Wang은 실레인 처리를 한 유리섬유를 아크릴릭 레진에 첨가한 후 굴곡강도를 측정하였는데 유리섬유를 산개하여 배열하였을 때 강도의 증가가 더 크다고 하였다³⁴. 유리섬유에 방사선 불투과성 물질을 흡수시켜 안정하게 하는 기술이 개발되면 방사선 불투과성과 물성이 동시에 개발되는 아크릴릭 레진을 개발할 수 있을 것이다.

Alvares는 아크릴릭 레진에 15 %의 황산바륨을 첨가하였을 때의 누프 경도의 변화를 비교하였는데 첨가 이전과 차이가 없었다고 하였다¹⁰. 본 실험에서는 열중합형 아크릴릭 레진에 5 %의 황산바륨을 첨가하였을 때에는 비커스 경도가 첨가이전과 유의한 차이가 없었으나($p > 0.05$), 10 %를 첨가하였을 때에는 유의하게 낮아졌으며($p < 0.05$), 요오드 화합물을 첨가한 경우에는 2 %와 3 % 모두에서 첨가이전보다 유의하게 낮아졌다($p < 0.05$). 화학중합형 아크릴릭 레진에 황산바륨을 첨가한 경우에는 5 %와 10 % 첨가시 모두 비커스 경도에 유의한 차이가 없었으나, 요오드 화합물을 첨가한 경우에는 2 %와 3 % 첨가시 모두 비커스 경도가 유의하게 낮아졌다.

Caycick과 Jagger는 PMMA 레진에 길이가 다른 가교제를 첨가하였을 때의 물성을 비교하였는데 가교제의 길이가 길어지면 전단휨강도와 인장강도는 감소하였으며 충격강도는 증가하였다고 하였다³⁵. 방사선 불투과성 물질을 첨가한 후 물성이 일반적으로 낮아지는데 적절한 배합의 가교제와 중합방법을 변경함으로써 물성 저하를 막을 수 있을 것으로 본다. Latta 등은 UDMA에 유리화 전이온도를 낮추는 올리고머를 첨가하여 아크릴릭 레진을 대체할 수 있는 의치상 재료로 제시하였는데³⁶ 기존 아크릴릭 레진보다 특성이 우수하지 않았으나 환경문제나 독성문제를 고려할 때 연구되어야 할 분야로 보인다. UDMA에 방사선 불투과성 충전제를 혼합한 콤포지트 레진이 시판되고 있는데, 이러한 원리를 이용하여 방사선 불투과성 아크릴릭 레진이 아닌 방사선 불투과성 콤포지트 레진계 아크릴릭

레진을 연구하는 방향도 고려해 보아야 한다. Gomez 등은 시판 아크릴릭 레진에 폴리부틴을 첨가하면 굴곡강도와 탄성계수가 유의하게 증가한다고 하였다³⁷. Miettinen과 Vallittu은 유리섬유로 강화한 우에서 유리되는 단량체의 양을 고압 액체크로마토그래피를 이용하여 분석하였는데 열중합형 아크릴릭 레진에서 용출되는 양이 화학중합형 아크릴릭 레진에서 용출되는 양보다 적었다고 하였다³⁸. 본 실험결과에서는 단량체 및 방사선 불투과성 물질의 유리로 인한 비커스 경도의 차이를 볼 수 있었으나 열중합형과 화학중합형 사이의 차이는 없었다.

Fincher 등은 물속에 침적하는 조건이 시판 임시용 레진의 물성에 미치는 영향을 측정하였는데 물속에 침적하여 두면 탄성계수와 파괴계수가 감소한다고 하였다³⁹. 본 실험에서 아크릴릭 레진에 방사선 불투과성을 첨가한 후 열순환을 하고 비커스 경도를 측정할 결과 경도가 전반적으로 낮아지는 경향을 보였으나 경우에 따라서는 다시 회복되는 결과를 보인 경우도 있었다.

4. 개선해야 할 문제

앞으로 방사선 불투과성 아크릴릭 레진으로 개발 가능성이 큰 방법은 불화 바륨을 분말상의 유리에 침적한 후 실레인을 피복한 물질을 아크릴릭 레진에 첨가하는 방법인데 유리 분말을 충전제로 첨가함으로써 레진의 유동이 낮아지는 문제가 지적되고 있다. 이번 연구 결과를 보면 황산바륨을 첨가한 경우 미세경도의 변화가 요오드 화합물을 첨가한 경우보다 높았으나 변색은 육안으로 충분히 구별할 수 있는 정도를 넘었고 방사선 불투과성도 충분하지는 않았다. 금속염을 첨가하여 적절한 방사선 불투과성 아크릴릭 레진을 개발한다는 것은 한계에 이르렀다고 보이며, 레진 기질을 아크릴릭 레진으로 하고 방사선 불투과성 충전제를 첨가하는 콤포지트 형태의 방사선 방사선 불투과성 아크릴릭 레진을 개발하여야 할 것으로 보인다. 그러나 물성 및 조작성에 있어서는 기존 아크릴릭 레진과 차이가 클 것으로 보이며 이러한 문제를 해결하기 위

한 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것이다.

V. 결 론

아크릴릭 레진의 방사선 투과성은 조직 속에 이 물질이 매식된 경우와 파절 등 원인으로 이것을 삼켰을 때의 진단에 장애가 된다. 기도로 들어간 전체 흡인물 중 3% 정도가 치과용 장치에서 유래하는 것으로 보고되고 있으며 그중 상악 전치용 국소의치가 가장 흡인되기 쉬운 것으로 알려져 있다.

치과용 아크릴릭 레진의 방사선 불투과도를 높이기 위하여는 방사선 불투과성 물질을 의치상 재료에 혼합하는 방법이 많이 연구되었다. 이때 혼합하는 방사선 불투과성 물질은 독성이 없어야 하며, 임상적으로 충분히 감별이 가능할 정도의 방사선 불투과성을 가져야 하고 의치상 재료의 물성이나 심미성에 영향을 주지 않아야 한다.

본 실험에서는 임상적으로 충분히 감별이 가능하고 심미성을 해치지 않으며 물성의 변화가 없는 방사선 불투과성 아크릴릭 레진을 개발하기 위한 연구의 일환으로 치과용 아크릴릭 레진에 생체에 안정된 물질로 알려진 황산바륨을 5%, 10% 및 요오드 화합물을 2%와 3% 혼합하여 시편을 제작하고 방사선 불투과성, 색상변화 및 비커스 경도를 측정하였다. 또한 열순환 과정에서 혼합된 방사선 불투과성 물질이 용출될 수 있다는 점에 착안하여 500 회, 1000 회 및 1500 회 열순환을 시행한 후 방사선 불투과성의 변화, 색상의 변화 및 비커스경도의 변화를 측정하였다.

본 실험에서는 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 재료의 종류, 방사선 불투과성 물질의 첨가여부 및 종류, 열순환의 3 가지 변수는 방사선 불투과도에 상호작용 효과가 있었다($p < 0.01$).
2. 방사선 불투과성 물질의 첨가여부 및 종류, 열순환의 2 가지 변수는 각각 방사선 불투과도에 영향을 주었으나($p < 0.01$), 재료의 종류는

색상의 변화에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다($p > 0.05$).

3. 재료의 종류, 방사선 불투과성 물질의 첨가여부 및 종류, 열순환의 3 가지 변수는 각각 방사선 불투과도에 영향을 주었다($p < 0.01$).
4. 본 실험에서 첨가한 방사선 불투과성 물질로는 원하는 정도의 방사선 불투과성을 얻을 수 없었으며, 변색도 크게 나타났다.

REFERENCES

1. McArthur R, Yaylor D : A determination of the minimum radiopacification necessary for radiographic detection of an aspirated or swallowed object. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 39:329, 1975.
2. Bloodworth KE, Render PJ : Dental acrylic resin radiopacity : Literature review and survey of practitioner's attitude. *J Prosthet Dent* 67:121, 1992.
3. Elzay RP, Pearson GO, Irish EF : Clinical and histological evaluation of commercially prepared radiopaque denture material, *J Prosthet Dent* 25: 251, 1971.
4. Schneider SS, Roistacher S : Aspiration of denture base materials, *J Prosthet Dent* 25:493, 1971.
5. Stafford GD, MacCulloch WT : Radiopaque denture base materials. 131:22, 1971.
6. Drinnan AJ : Dangers of using radiolucent dental materials. *JADA*. 5:245, 1971.
7. Primack JE : Radiopaque denture denture materials. *J Prosthet Dent* 28:363, 1972.
8. Tsao DH, Guilford HJ, Kazanoglu A, Bell DH : Clinical evaluation of a radiopaque denture base resin *J Prosthet Dent* 51:458, 1984.
9. Newton JP, Abel RW, Lloyd CH, and Yemm R : The use of computed tomography in the detection of radiolucent denture base materials in the chest. *J Oral Rehabil* 14:193, 1987.
10. Alvares LC : Radiopacity of acrylic resins. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 22:318, 1966.
11. Bowen RL, Cleek GW : A new series of x-ray opaque reinforcing fillers for composite material. *J Dent Res* 5:177, 1972
12. Watts DC : Radiopacity vs. composition of some

- barium and strontium glass composites *J Dent* 15:38, 1987.
13. Matsumura H, Sueyoshi M, Atsuta M : Radiopacity and physical properties of titanium-polymethacrylate composite. *J Dent Res* 71:2, 1992.
 14. Yoshida K, Matsumura H, Tanaka T, Atsuta M : The relationship between monomer composition and physical properties of light-cured opaque resin. *Dent Mater* 8:137, 1992.
 15. Rawls HR, Marshall MV, Cardenas HL, Bhgat HR, Cabasso I : Cytotoxicity evaluation of a new radiopaque resin additive-triphenyl bismuth. *Dent Mater* 8:54, 1992.
 16. Abou-Tabl ZM, Tidy DC, Combe EC : Radiodensity of composite restorative materials. *Br Dent J* 147:187, 1979.
 17. Goshima T, Goshima Y. : The optimum level of radiodensity of posterior composites. *Dentomaxillofac Radiol* 18:19, 1989.
 18. 이건일, 이용근, 임미경, 문상은 : 수복재의 적정 방사선 불투과도에 관한 연구. *대치기재지* 22:197, 1995.
 19. Tallent BK, Granier RJ, Norling BK, Cabasso I, Rawls HR : Resin-miscible radiopacifying agents for composite materials, *JDR 75 (IADR Abstracts)* :298, 1996.
 20. Mattie PA, Rawls HR, Rodriguez A, Smid J, Cabasso I : A translucent, x-ray opaque, heat-cured dental acrylic resins *JDR 73 (IADR Abstracts)* :320, 1994.
 21. Cook WD : Investigation of the radiodensity of composite restorative materials. *Aust Dent J* 26: 105, 1981.
 22. Omer OE, Wilson NHF, Watts DC : Radiopacity of posterior composite *J Dent* 14:178, 1986.
 23. Stanford CM, Knoeppel R, Fan PL, Stanford JW, Schoenfeld CM : Radiopacity of light-cured posterior composite resins. *J Am Dent Res* 115:722, 1987.
 24. Eliasson ST, Haasken B : Radiopacity of impression materials. *Oral Surg* 47:485, 1979.
 25. Preece JW : Radiopacity of root canal sealers. *Oral Surg* 51:320, 1981.
 26. 배광식, 엄정문 : 근관충전용 시멘트의 방사선 불투과성에 관한 연구. *대한치과보존학회지* 18:133, 1993.
 27. Wozniak WT, Fan PL, McGill S, Moser JB, Stanford JW : Color comparison of composite resins of shade designations. *Dent Mater* 1:121., 1985.
 28. Takeda T, Ishigami K, Chiba A, Tsukimura N, Saitoh A, Ohki K : Chromatic study of denture base resin. *JDR 73 (IADR Abstracts)*:122, 1994.
 29. Doray PG, Wang X, Burgess JO, Powers JM : Accelerated aging affects color stability of provisional restorative materials. *JDR 75 (IADR Abstracts)* :257, 1996.
 31. Goldberg AJ, Burston CJ : The use of continuous fiber reinforcement in dentistry. *Dent Mater* 8:197, 1992.
 31. 김형식, 김창희, 김영수 : 아크릴릭 레진 의치상 강화에 관한 실험적 연구. *치대논문집* 17:1117, 1993.
 32. Solnit GS : The effect of methyl methacrylate reinforcement with silane-treated and untreated glass fibers. *J Prosthet Dent* 66:310, 1991.
 33. Pope EJA, Asami M, Mackenzie JD : Transparent silica gel-PMMA composites. *J Mater Res* 4:1018, 1989.
 34. Chung K-H, Wang F-Y : Flexural strength of a provisional resin material with fiber addition. *JDR 75 (IADR Abstracts)* : 346, 1996.
 35. Caycick S, Jagger RG : The effect of cross-linking chain length on mechanical properties of a dough-molded poly(methylmethacrylate) chain. *Dent Mater* 8:153, 1992.
 36. Latta MA, von Fraunhofer JA, Thompson VP, Blank LW, Barnes DM : Physical properties of modified urethane dimethacrylate denture base resins. *JDR 75 (IADR Abstracts)* :345, 1996.
 37. Gomez H, Puckett A, Balzli B : Polybutene modified denture resins, *JDR 75 (IADR Abstracts)*:295, 1996.
 38. Miettinen VM, Vallittu PK : Glass-fiber- PMMA composite for dentures : Release of residual monomers into water. *JDR 75 (IADR Abstracts)* :297, 1996.
 39. Fincher MM, Dixon DL, Breeding LC : Mechanical properties of three provisional restorative materials stored in water. *JDR 75 (IADR Abstracts)* :295, 1996.

- ABSTRACT -

THE EFFECTS OF BARIUM SULFATE AND IODIDE COMPOUND ON THE CHARACTERISTICS OF DENTAL ACRYLIC RESINS

Yong-Keun Lee, Keon-II Lee, Sung-Woo Jung

College of Dentistry, Wonkwang University

Aspirating or swallowing foreign bodies is a common occurrence. If they are wholly or partly radiopaque, their localization in and progress through the gastrointestinal tract can be more effective. Of the dental origin foreign materials swallowed, the most common things are fragments of anterior maxillary partial denture. But the radiopacity of denture base resins is not sufficient to determine the location of the objects.

The purpose of this study was to develop a radiopaque dental acrylic resin, which has clinically detectible radiopacity with minimal change of mechanical properties and color. The radiopacity, color change(CIE ΔE) and microhardness of acrylic resins were determined after mixing barium sulfate or iodide compound. Thermocycling course was conducted to determine the change of characteristic of resins after using for a long time in the mouth.

Five or ten percent of barium sulfate to total weight of cured material was mixed with heat curing dental acrylic resin or chemically curing orthodontic resin. In the case of iodide compound, the mixing ratio was two or three percent. After mixing the high radiopaque materials, resin was cured to $20 \times 20 \times 2$ mm plate, polished with #600 sand paper and finally polished with Microcloth(Buehler). The specimens were thermocycled in 5 and 55 °C distilled water for 2,000 times, and the measurement of radiopacity, color and Vickers hardness was repeated every 500 times thermocycling. The radiopacity of specimens on the X-ray films was measured with densitometer(X-rite). The color change was determined with differential colorimeter(Model TC-6FX, Tokyo Denshoku), and the Vickers hardness number was measured with microhardness tester(Mitsuzawa).

The following results were obtained :

1. All the three variables, the kinds of acrylic resins, the mixing or the kinds of high radiopaque materials and thermocycling, had combined effect on the radiopacity of the dental acrylic resins($p < 0.01$).
2. The two variables, the mixing or the kinds of high radiopaque materials and thermocycling, influenced on the radiopacity of the dental acrylic resins($p < 0.01$). But the kinds of acrylic resins did not influence on the color change of mixed dental acrylic resins($p > 0.05$).
3. Each of the three variables, the kinds of acrylic resins, the mixing or the kinds of high radiopaque materials and thermocycling, influenced on the radiopacity of dental acrylic resins($p < 0.01$).
4. The high radiopaque materials used in this study did not yield clinically usable radiopacity, and the color change was great after mixing those materials.

Key words:dental acrylic resin, radiopacity, barium sulfate, color change