

극초단파에너지에 의해 온성된 의치상용 레진의 다공성에 관한 연구

부산대학교 치과대학 치과보철학교실

정창모

I. 서 론

1968년 Nishii⁹⁾에 의해 입상에 처음 소개된 극초단파에너지를 이용한 온성법은 magnetron oscillator에 의해 발생된 극초단파에너지를 열원으로 물질의 유전손실을 이용하여 의치상 레진의 중심부와 변연부를 동시에 가열함으로써 단시간에 중합을 가능하게 한다. 극초단파온성법에 필요한 장비로는 극초단파에너지의 투과를 방해하지 않으면서 충분한 강도를 갖는 FRP(Fiber Reinforced Plastic) 플라스크와 주방용 microwave oven이 이용되고 있다.

이 온성법의 장점은 깨끗한 작업환경, 병상 형성 및 온성 시간 감소, 적은 색조변화, 양호한 의치 접합도, 내부 잔존 응력 및 monomer 감소 등을 들수있으며^{5-7, 13, 15)}, 물리적 성질 또한 기존의 수조온성법과 유사한 것으로 보고되고 있다^{3, 8, 11, 17)}. 그러나 의치상 내부에 발생하는 기포는 극초단파온성법의 큰 단점으로 지적되고 있으며, 이러한 기포는 기능하중시 응력집중과 변형 및 인장강도 저하의 원인이 되며, 음식물 침착이나 세균 증식을 촉진시켜 구취, 착색, 치석침착등의 심미적 손상 이나 구내염을 일으킬 수 있다^{2, 10, 14, 16)}.

극초단파에너지는 오직 monomer에만 작용하며, 이러한 고주파전자기장으로 인한 monomer분자간 충돌운동은 내부열을 발생시켜 중합반응을 일으킨다. 중합반응이 진행되어감에

따라 monomer의 상대적인 비례감소가 일어나게 되고 따라서 같은 양의 에너지를 점점 적은 양의 monomer가 흡수하게 되어 monomer분자의 활성도가 증가하게 됨으로써 외부 열에 의해 수동적으로 중합반응이 일어나는 수조온성법에 비해 잔존 monomer의 양이 적은 보다 완전한 중합반응이 일어나게 된다. 그러나 수조내 물이나 매몰재에 의한 완충효과를 기대할 수 있는 수조온성법에 비하여 극초단파 온성법은 급격한 온도상승과 중합시 발생하는 발열반응(12.9 kcal/gm)에 의하여 쉽게 methyl methacrylate monomer의 비등점인 100.8°C (213.4°F)를 넘게되어 monomer가 기화함으로써 기포발생 가능성이 높아지게 된다³⁾.

이러한 기포발생에 대하여 De Clerck³⁾은 극초단파 온성시 중합반응 초기에 너무 과도한 에너지를 흡수할 경우 외부 기포가, 반대로 중합반응 말기에 과도한 에너지를 흡수할 경우에는 내부기포가 발생하며 이러한 과열반응을 예방하기 위한 microprocessor-regulated control system을 이용할 것을 주장하였으며, Gettleman⁴⁾은 극초단파에 의한 과열은 중합반응 중에는 기포발생을, 중합반응 후에는 polymer의 degradation을 야기시키며 기포는 의치상의 인장강도를 1/6-1/8로 감소시킬 수 있다고 보고하였다.

극초단파온성시 기포발생에는 의치상의 두께, wattage 및 온성시간, 온성후 냉각방법,

monomer의 종류등이 주요한 변수로 작용하는 것으로 보고되고 있으나^{1,3,8,10)}, Wolfaadt등¹⁶⁾은 일반적인 레진 의치상의 기포 발생은 다양한 요인으로 인한 복잡한 현상으로 단순히 한가지 원인요소를 규명하기는 불가능하나 일반적으로 단면이 얇은 부위에 비해 두꺼운 부위에서 원인 요소들이 더 활동적으로 작용한다고 보고하였다. 그러나 과거 극초단파온성시 이러한 두께에 따른 다공성에 관한 연구는 매우 미흡한 실정으로 다만 몇몇 실험보고^{11,12,17)}에서 극초단파온성시 10×10mm의 두꺼운 단면을 갖는 시편 중앙부에서 다수의 기포를 유관적으로 관찰할 수 있었다고 보고하고 있을 뿐이며 실제로 임상에서 사용되고 있는 통상적인 의치상 두께에서도 기존의 온성법과 극초단파온성법사이에 임상적으로 유의할 만한 기포발생의 차이가 있는지에 대해서는 연구된 바가 거의 없다.

또한 근자에는 methyl methacrylate에 비해 비등점이 높은 methyl-ethyl methacrylate¹²⁾ 또는 dimethacrylate¹⁾를 monomer에 함유하고 있는 극초단파온성용 레진이 시판되고 있으며, 이에 대한 몇몇 서로 다른 실험결과가 보고되고 있는데 Bafille등¹⁾은 극초단파온성시 극초단파온성용 레진을 사용함으로써 기존의 methyl methacrylate에 비하여 기포가 적게 발생하였으며 온성수조법에 의해 온성된 methyl methacrylate와 유사한 정도의 기포가 발생하는 것으로 보고한 반면, Sanders등¹²⁾은 특정 methyl methacrylate은 극초단파온성시 극초단파온성용 레진과 기포수에 차이가 없었으며 온성 후 냉각방법에 따라 기포수의 차이가 있었음을 보고하면서 각 온성법에 알맞는 적절한 온성

법을 선택하는 것이 발생기포를 최소화 하는데 매우 중요하다고 강조하였다. 따라서 이러한 상이한 실험결과를 고려해 볼 때 현재 임상에서 흔히 사용되고 있는 극초단파온성용 레진이 실제로 기포발생 감소효과를 갖고 있는지에 대한 연구 또한 필요하리라 사료된다.

이에 저자는 극초단파 온성시 기포발생에 대한 레진의치상 두께와 monomer종류의 영향을 비교 연구하고자, 기존의 수조온성법에 의해 온성된 methyl methacrylate와 극초단파온성법에 의해 온성된 methyl methacrylate 및 극초단파온성용 레진의 시편들을 5×10×60mm와 10×10×60mm 크기의 두가지 두께로 제작한 후 각 시편 부피에 대한 내부 기포발생 퍼센트를 측정 계산하여 상호 비교한 결과 다소 흥미로운 지견을 얻었기에 이에 보고하고자 한다.

II. 실험재료 및 방법

1. 시편제작

폭, 두께가 각각 5mm인 기성 플라스틱 막대(田官模型社, 日本)를 60mm길이를 절단한 후 2개 또는 4개의 막대를 cyanoacrylate 순간접착제(アルファ技研株式會社, 日本)로 접착하여 5×10×60mm와 10×10×60mm 크기의 플라스틱 시편을 제작하였다. 플라스틱 시편의 갯수는 시편의 두께, 온성방법, 레진의 종류등 실험조건이 서로 다른 6개의 실험군에서(Table I), 각 실험군당 6개씩 총 36개를 제작하였다. 이때 극초단파온성법에 의해 온성된 시편과 기존의 임상에서 흔히 사용하고 있는 의치상용 레진

Table I. Denture base materials and processing techniques

Group	Brand	Type of material	Thickness of specimen	Curing method
1	K-33	Heat	10mm	Water bath : 73°C-90min, 100°C-30min
2	K-33	Heat	5mm	Water bath : 73°C-90min, 100°C-30min
3	Acron Mc	Microwave	10mm	Microwave : 3min-500W
4	Acron Mc	Microwave	5mm	Microwave : 3min-500W
1	K-33	Heat	10mm	Microwave : 3min-500W
2	K-33	Heat	5mm	Microwave : 3min-500W

과의 다공성 차이를 평가하기 위하여, 시편 두께에 따라 6개씩 수조온성법으로 온성시킨 12개의 methyl metacrylate 시편들을 대조군 (group 1, 2)들로 이용하였다.

제작된 플라스틱 시편을 한 플라스크당 3개씩 통법에 따라 석고(삼우화학공업주식회사)로 매몰경화시킨 후 플라스크 상, 하함을 분리하여 플라스틱 시편을 조심스럽게 제거하였다. 이때 사용된 플라스크는 수조온성시에는 Hanau brass 프라스크(Teledyne Hanau, U.S.)를 극초단파온성시에는 FRP플라스크(G-C Dental Ind. Corp., Japan)를 각각 이용하였다.

실험에 사용된 레진으로는 통상적으로 수조 온성법에 사용되고 있는 methyl metacrylate계 K-33(Columbus Dental, U.S.A. : Powder/Liquid=21gm/10cc)와 극초단파온성용 레진인 Acron MC(G-C Dental Ind. Corp., Japan : Powder/Liquid=100gm/43cc)를 사용하였으며 제조사의 지시에 따라 polymer와 monomer를 혼합한 후 monomer가 증발하지 않도록 밀폐된 용기에서 K-33은 15분간, Acron MC는 20분간 병상형성시킨 후 레진 packing을 시행하였다.

각 실험군의 온성방법은 레진 제조회사의 지시에 따라 수조온성은 온성수조(Hanau Engineering Co. Ind., U.S.A.)에서 74°C에서 1시간 30분, 끓는 물에서 30분간 온성시켰으며 극초단파온성은 발진주파수 2450 MHz, 고주파출력 500W의 주방용 micro-oven(Model ER-4380B, 금성사)에서 3분간 온성시킨 후 각각 실온에서 서냉시켰다.

Deflasking 후 각 시편들을 제거하여 stone point로 trimming하고 기포내 잔존수분을 제거하기 위하여 1주일간 건조상태로 용기에 보관하였다. 그후 각 시편을 표면경화할 택재인 Light Rock(Toho Dental Product Co, Ltd, Japan)를 시편표면에 얇게 도포하여 Ultra Violet System인 Twinkle Q(東邦齒科産業株式會社, 日本)을 이용하여 중합시킴으로써 수중에서 시편의 무게를 측정할 때 기포내로의 수분침투를 차단하여 실험오차를 줄이도록하였다.

2. 기포측정

시편부피에 대한 시편내 기포부피의 퍼센트는 다음과 같은 표준방정식을 이용하여 계산하였다.

식1. 공기중 시편무게=중력상수×(레진밀도-공기밀도)(시편부피-기포부피)

식2. 수중 시편무게=중력상수×(레진밀도-물밀도)(시편부피-기포부피)

+중력상수×(공기밀도-물밀도)×기포부피
따라서 이미 알려져 있는 의치상용 레진밀도=1.198gm/cc³, 공기밀도=1.23kg/m³, 물밀도=1000kg/m³, 중력상수=9.8066m/sec²값과 공기중 시편무게와 수중 시편무게를 .00000g 까지 측정 가능한 Electronic Analytic Balance (Model R200D, Sartorius GmbH, Germany)로 측정하여 두 방정식에 대입함으로써 시편부피와 기포부피를 계산한 후, 이 계산된 기포부피를 시편부피로 나누고 다시 100을 곱하여 시편부피에 대한 기포부피의 퍼센트를 구하였다.

III. 실험결과

각 실험군에 따른 시편부피에 대한 기포부피 퍼센트의 평균값과 표준편차를 Table II에 나타내었다. 각 실험군간에 평균값에 대한 통계학적 유의차를 검증하기 위하여 먼저 Barlett 검정법으로 각 실험군간의 분산의 동질성을 검증한 결과 실험군간에 분산이 통계적으로

Table II. Percent mean porosity and standard deviation for each group

Group	% Mean porosity	SD
1	1.45	0.03
2	1.41	0.10
3	0.94	0.15
4	0.76	0.03
1	5.72	1.08
2	4.32	1.06

Groups with common line are not significantly different(P>0.05).

차이가 있어 두 실험군간 평균치비교법인 Student-t test를 시행하였으며, 그 결과를 Table II에 함께 나타내었다.

실험결과 수조온성법으로 온성시킨 K-33 실험군들인 group 1과 group 2군에서만 유의성 있는 차이를 보이지 않았고($P>0.05$), 나머지 모든 군사이에는 서로 평균 기포발생 퍼센트에 유의성 있는 차이가 있는 것으로 나타났다($P<0.05$). 전체적으로 두께에 관계없이 극초단파 온성법으로 온성시킨 극초단파온성용 레진인 Acron MC 시편이 가장 적은 기포가 발생하였으며, 다음으로는 수조온성법으로 온성시킨 K-33 시편, 극초단파온성법으로 온성시킨 K-33 시편 순으로 기포발생이 증가하였다. 또한 극초단파온성법으로 온성시킨 실험군들에서 사용된 레진 종류에 관계 없이 5mm두께의 시편에서 10mm두께의 시편보다 기포발생이 적은 것으로 나타났다.

IV. 총괄 및 고찰

Academy of Denture Proshetics는 기포는 착색, 치석침착, 접착물질의 부착등에 대한 재료의 저항성을 저하시키므로 의치가 위생적으로 관리되기 위해서는 가능한 기포가 적어야 한다고 하였으나⁴⁾, 이에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다.

일반적으로 기포는 의치상표면 보다는 내부에 흔히 발생하는데 이는 레진 중합시 발생하는 열이 의치상 표면에서는 주위 매물체를 통하여 빠져나가는 반면 두꺼운 의치상 내부에서는 충분히 빠른 속도로 열전달이 진행되지 못하여 내부온도가 monomer 비등점이상으로 상승되기 때문이다. 또한 이러한 thermal boil 효과를 최소화하기 위하여 낮은 온도에서 장시간 온성하는 방법이 주로 추천되고 있다^{3,10)}.

본 실험 결과 현재 임상에서 흔히 사용하고 있는 methyl metacrylate를 수조온성시킨 group 1과 group 2에서도 평균 1.4% 이상의 기포가 발생하였으며, 비록 두꺼운 시편의 기포발생 퍼센트의 평균값이 얇은 시편에 비하여 크게 나타났으나 통계학적인 유의차는 없었다.

따라서 수조온성법에서 기포발생에 대한 의치상 두께의 영향은 적은 것으로 보인다.

그러나 본 연구에서 group 1과 group 2에서 제조사의 지시에 따라 74°C에서 1시간 반, 끓는 물에서 30분간 온성시키는 빠른 온성법을 택하여 실험한 결과 약 1.4% 이상의 기포발생 퍼센트를 보인 반면, Bafile등¹⁾은 methyl metacrylate를 74°C에서 9시간 수조온성하여 0.745%의 기포발생 퍼센트를 보고하였다. 이러한 차이는 위에서 언급한 온성 온도와 온성 시간이 기포발생에 중요한 요인임을 다시 한번 입증한 결과라 사료되며, 본 실험에서도 보다 낮은 온도에서 오랜시간 온성하는 방법을 이용하였다면 수조온성법이 더 좋은 결과를 나타내었을 것으로 사료된다.

group 3과 group 5, group 4와 group 6의 기포발생 퍼센트의 평균값을 각각 비교해 볼 때 극초단파온성시 극초단파 온성용 레진에 비하여 methyl methacrylate의 시편이 약 6배 정도 기포가 많이 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 주위 온도에 의한 완충효과를 기대할 수 없어 내부 온도가 과열되기 쉬운 극초단파 온성법에서는 methyl methacrylate monomer 보다는 비등점이 높은 극초단파 온성용 monomer를 사용하는 것이 임상적으로 바람직한 방법으로 생각되며, 이러한 실험결과는 Bafile등¹⁾의 실험결과와 일치하였다. 또한 상호 유사한 두께와 실험조건을 갖고 있는 시편인 group 3의 기포발생 퍼센트의 평균값을 Bafile등의 Micro Liquid 실험군의 실험값과 비교해 볼 때 서로 매우 유사한 수치를 나타내었으며, 따라서 두 실험결과 수치들의 상호 교차비교도 가능하리라 생각된다.

또한 극초단파온성시 group 3과 group 4, group 5와 group 6의 기포발생 퍼센트의 평균값을 각각 비교해 보면 극초단파온성방법은 의치상의 두께에 따라 기포발생에 차이가 있음을 알수 있다. 따라서 의치상 순측 또는 협측부나 구개부위에 비하여 치조골 흡수가 심한 환자의 치조정 상부 의치상부위에 많은 기포가 발생할 가능성이 높을 것으로 생각된다. 그러나 시편의 두께가 두꺼운 group 3의 기포발생 퍼

센트의 평균값을 다른 실험군의 평균값과 비교하여 볼 때 극초단파온성시 극초단파온성용 레진을 사용한다면 의치상내 발생하는 기포는 임상적으로 큰 문제가 없을 것으로 사료된다.

비록 극초단파온성시 극초단파 온성용레진을 사용하여 어느정도 기포발생을 감소시킬 수 있다 하더라도 보다 좋은 결과를 얻기 위한 극초단파 에너지의 적정량과 적용방법을 결정하는 문제는 아직도 지속적인 연구가 필요한 부분이다. 과거 온성시간과 wattage의 변화에 따른 기포발생에 대한 다양한 실험결과가 보고되었는데 Kimura등²⁾은 3분간 극초단파 온성한 시편에서만 기포를 유관적으로 관찰할수 없었다고 보고하였으며, De Clerck³⁾은 천천히 낮은 power output으로 온성시키는 방법이 잔존 monomer의 양을 줄이고 체적 안정성이 우수하며 기포발생이 적은 의치상을 얻을 수 있다고 보고한 반면, Befile등⁴⁾은 극초단파온성용 레진을 사용한 시편에서는 여러가지 wattage와 온성시간을 조합한 실험군간에 기포발생 차이가 없었으며 또한 rotating table의 사용 유무는 기포발생에 영향을 주지 않았다고 보고하였다. 따라서 임상가에게 보다 효율적으로 극초단파 온성법을 사용할 수 있는 임상적 지침을 마련하기 위하여 적정한 wattage와 시간의 조합은 물론 매물재의 부피, 매물재에 포함된 수분의 양, 레진의 혼액비, 플라스크의 열전도성 및 극초단파 투과성등이 복합적으로 고려된 보다 깊은 연구가 필요할 것으로 사료되며, 이외에도 온성후 공기중에서 서냉시키는 방법이 얼음물이나 흐르는 물에서 냉각시키는 방법에 비하여 기포 발생이 적었다는 Kimura등²⁾의 보고와 급냉과 서냉방법 사이에 기포발생에 차이가 없었다는 Saunders등¹²⁾의 상이한 보고를 비교해 볼 때 온성 후 냉각방법의 차이가 기포발생에 미치는 영향에 대한 연구 또한 필요할 것으로 생각된다.

결론적으로 극초단파온성법은 매우 경제적이며 동시에 잔존 monomer의 양이 적고 기존 온성법에의해 온성된 의치상 레진과 유사한 물리적 성질을 얻을 수 있는 우수한 온성법임에 틀림이 없다. 과거부터 극초단파온성법의 가장

큰 문제점으로 지적되어 왔던 의치상내 기포 문제는 본 실험결과에서처럼 극초단파 온성용 레진을 사용함으로써 의치상 두께에 관계없이 임상적으로 바람직한 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 현재보다 우수한 물성을 갖는 의치상 제작과 보다 광범위한 임상응용을 위하여 위에서 언급한 여러가지 극초단파온성법의 문제점을 해결 보완할 수 있는 지속적인 연구가 있어야 할 것이다.

V. 결 론

극초단파 온성시 기포발생에 대한 레진의치상 두께와 monomer종류의 영향을 비교 연구하고자, 기존의 수조온성법에 의해 온성된 methyl methacrylate(K-33)와 극초단파온성법에 의해 온성된 methyl methacrylate(K-33) 및 극초단파온성용 레진(Acron MC)의 시편들을 5×10×60mm와 10×10×60mm 크기의 두가지 두께로 제작한 후 각 시편 부피에 대한 내부 기포발생 퍼센트를 측정하여 상호 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 시편 두께에 관계없이 극초단파온성법으로 온성시킨 Acron MC 실험군, 수조온성법으로 온성시킨 K-33 실험군, 극초단파온성법으로 온성시킨 K-33 실험군 순으로 평균 기포발생 퍼센트가 증가하였다($P < 0.05$).
2. 극초단파온성법으로 온성시킨 K-33 실험군과 Acron MC 실험군 모두에서 5mm두께의 시편이 10mm두께의 시편 보다 평균 기포발생 퍼센트가 작게 나타났으나($P < 0.05$), 수조 온성법으로 온성시킨 K-33 실험군에서는 두께 차이에 따른 평균 기포발생 퍼센트에 유의차가 없었다($P > 0.05$).

REFERENCES

1. Bafle, M., et al. : Porosity of denture resin cured by microwave energy, *J. Prosthet.Dent.*, 66 : 269, 1991.
2. Davenport, J.C. : The oral distribution of

- Candida in denture stomatitis, *Br. Dent. J.*, 129 : 151, 1970.
3. De Clerk, J.P. : Microwave polymerization of acrylic resins used in dental protheses, *J. Prothet. Dent.*, 57 : 650, 1987.
 4. Gettleman, L., Nathanson, D. and Myerson, R.L. : Effects of rapid curing procedures on polymer implant materials, *J. Prosthet. Dent.*, 37 : 74, 1977.
 5. Kimura, H., et al. : Applications of microwave for dental technique (Part 1) - Dough forming and curing of acrylic resins, *J. Osaka Univ. Dent. Sch.*, 23 : 43, 1983.
 6. Kimura, H., Teraoka, F. and Saito, T. : Applications of microwave for dental technique (Part 2) - Adaptability of cured acrylic resins, *J. Osaka Univ. Dent. Sch.*, 24 : 21, 1984.
 7. _____ : Applications of microwave for dental technique (Part 3) - Development of model materials for microwave polymerization, *J. Osaka Univ. Dent. Sch.*, 27 : 41, 1987.
 8. Levin, B., Sanders, J.L. and Reitz, P.V. : The use of microwave energy for processing acrylic resins, *J. Prothet. Dent.*, 61 : 381, 1989.
 9. Nishii, M. : Studies on the curing of denture base resins with microwave irradiation : With particular reference to heat-curing resins, *J. Osaka Dent. Univ.*, 2 : 23, 1968.
 10. Phillips, R.W. : *Skinner's science of dental materials*, 8th ed. : 177, WB Saunders Co., 1982.
 11. Reitz, P.V., Sanders, J.L. and Levins, B. : The curing of denture acrylic resins by microwave energy. *Physical properties*, *Quintessence Int.*, 8 : 547, 1985.
 12. Sanders, J.L., Levins, B. and Reitz, P.V. : Porosity in denture acrylic resins cured by microwave energy, *Quintessence Int.*, 18 : 453, 1987.
 13. Takamata, T., et al. : Adaptation of acrylic resin dentures as influenced by the activation mode of polymerization, *J. Am. Dent. Assoc.*, 119 : 271, 1989.
 14. The Academy of Denture Prothetics : The final report of the workshop on the clinical requirements of ideal denture base materials, *J. Prosthet. Dent.*, 20 : 101, 1968.
 15. Wallace, P. W., et al. : Dimensional accuracy of denture resin cured by microwave energy, *J. Prosthet. Dent.*, 66 : 403, 1991.
 16. Wolfaardt, J. F., Cleaton-Jones, P. and Fatti, P. : The occurrence of porosity in a heat-cured poly(methyl methacrylate) denture base resins, *J. Prosthet. Dent.*, 55 : 393, 1986.
 17. 정창모 : 수종의 가열 중합방법에 따른 의치상용 레진의 물리적 성질에 관한 비교연구, *치과연구*, 28 : 59, 1990.

Abstract

A STUDY ON THE POROSITY OF DENTURE BASE RESINS PROCESSED
BY MICROWAVE ENERGY

Chang-Mo Jeong, D. D. S., M. S. D., Ph. D.

Department of Prosthodontics, College Dentistry, Pusan National University

The purpose of this study was to determine whether there was any difference in the mean porosity of denture base resin cured by microwave energy, when the liquid monomers of denture resin (K-33 : methyl methacrylate for conventional water bath curing or Acron MC : special monomer for microwave curing) and/or the thicknesses of denture base (5×10×60mm or 10×10×60mm) were varied.

The mean porosities of k-33 specimens cured in water bath with two different thicknesses were used as control.

The results were as follows :

1. Regardless of specimen thickness, Acron MC cured by microwave energy showed the least mean porosity, followed by K-33 cured by water bath heat, and K-33 cured by microwave energy showed the highest level of mean porosity ($P < 0.05$).
2. In both K-33 and Acron MC cured by microwave energy the mean porosities of 5mm thickness groups were lower than those of 10mm thickness groups ($P < 0.05$). But no significant difference was found in mean porosity between 5mm thickness and 10mm thickness of water bath heat cured groups made of K-33 ($P > 0.05$).