

액상 amine 광개시제에 따른 치과용 복합수지의 중합효율

선금주[†]

광주보건대학 치기공과

Photopolymerization Efficiency of Dental Resin Composites with Novel Liquid Amine Photoinitiators

Gum-Ju Sun[†]

Department of Dental Laboratory Technology, Gwangju Health College University, Gwangju 506-701, Korea

Abstract Two *t*-amines, *N,N*-dimethylaniline (MA), *N,N*-dimethyl-*p*-toluidine (MPT), were investigated as new visible light amine initiators for a dental resin composite of UDMA in order to improve photopolymerization effect. Three *t*-amines mixed with three photosensitizers, camphorquinone(CQ), 1-phenyl-1,2-propane dione(PD) and diacetyl (DA), respectively. And then this mixtures are added to resin monomer, UDMA. Photopolymerization efficiency of UDMA was studied through the use of FT-IR absorption spectroscopy. The photopolymerization effect of amine initiators were compared with that of 4-(dimethylamino)ethyl methacrylate (AEM), the most widely used photoinitiator. The photopolymerization efficiency of UDMA containing the amine initiator increased with irradiation time. The relative polymerization efficiency containing the CQ photosensitizer increase was in the order: AEM < MPT < MA. And the relative polymerization efficiency containing the PD photosensitizer increase was in the order: MPT < AEM < MA. This result shows that MA is most efficient amine initiator with CQ and PD.

Key words Dental composite resin, Photopolymerization efficiency, Amine initiators, *N,N*-dimethylaniline, *N,N*-dimethyl-*p*-toluidine

서 론

치과용 복합수지는 치과의 광범위한 영역에서 사용될 뿐만 아니라 아말감의 인체에 대한 위해성과 변연파절, 부식 및 결합력의 결여 등 여러 가지 문제점이 제기되면서 직접 또는 간접용 수복재로 광범위하게 사용되고 있다¹⁾. 현재 사용되고 있는 치과용 복합수지는 중합방식에 따라 화학중합형과 광중합형 복합수지로 나뉜다. 이 중 광중합형 복합수지는 유기질 단량체, 무기질 충전제, 단량체를 중합에 이르게 하는 개시시스템 및 단량체의 점도를 떨어뜨리기 위한 diluent와 중합방지제 등으로 구성되어 있으며, 화학중합형 복합수지에 비해 색상의 안정성이 뛰어나고 one syringe type으로 제공되기 때문에 혼합기포가 발생되지 않고, 빛을 조사하기 전까지는 중합에 이르지 않으므로 충분한 working time을 가질 수 있는 등 많은 장점을 가지고 있다. 하지만 이상과 같은 장점에 비해, 중합

효율이 높지 못한 단점도 가지고 있다. 중합효율이 높지 못했을 경우의 문제점은 미중합된 단량체가 화학적으로 파괴되고 치수에 직접적인 자극을 줄 뿐만 아니라 경도 및 기계적 성질이 저하되며, 변색 등의 물성이 저하된다²⁾. 또한 단량체가 불완전하게 중합되었을 경우 용해도가 증가하기 때문에 구강 내에서 타액에 용해되어 인체 내로 유입되어 유해성의 문제점도 있다³⁾.

광중합효율에 영향을 미치는 요인으로는 광조사기의 파장과 광조사 시간 및 광도, 그리고 조사거리 등이 있겠지만 이들 요인들 외에 더욱 중요한 것이 복합수지의 조성 중 광중합 시스템이라 하겠다. 광중합 시스템은 두 가지 물질이 함께 사용되는데, 광중합제와 amine 개시제가 그것이다. 광중합제는 빛을 조사하면 자신이 분해되어 radical을 생성하고 이때 생성된 radical과 amine 개시제가 반응하여 중합에 이르게 한다. Abdmezzak 등의 연구⁴⁾에 의하면 치과용 가시광선 중합형 복합수지에 사용되는 광중합제로는 camphorquinone(CQ)이 유일하게 사용되어 왔으며, CQ가 분해 되어 생성된 radical을 받아 단량체 말단기의 methacrylate 기를 중합에 이르게 하는 amine 개시제로는 *t*-amine인 4-(dimethylamino)ethyl methacry-

[†]Corresponding author
Tel: 062-958-7695
Fax: 062-958-7693
E-mail: gjsun@ghc.ac.kr

late(AEM)가 가장 흔하게 사용되고 있다고 보고하고 있다. 그러나 광증감제인 CQ는 빛을 받았을 경우 100% 분해 되지 않아 이를 이용한 치과용 복합수지 등의 중합효율이 낮은 단점을 가지고 있다. 따라서 본인은 이러한 단점을 극복하기 위해 중합효율을 높일 수 있는 새로운 광증감제로서 diacetyl (DA) 및 1-phenyl-1,2-propane dione(PD)의 사용 가능성에 대해 연구한 바 있으며, 그 결과 CQ를 사용하였을 때에 비해 우수한 광중합효율 및 기계적 특성을 나타내는 것을 알 수 있었다^{5,7}. 그러나 이 연구는 AEM과 함께 사용하였을 때의 실험만을 수행하였고 DA 및 PD에 적합한 다른 amine 개시제와의 광중합효율에 관한 실험은 시행하지 못했으므로 본 연구에서는 2종의 액체형 *t*-amine인 *N,N*-dimethylaniline(MA)와 *N,N*-dimethyl-*p*-toluidine(MPT)를 CQ 및 PD, DA와 함께 사용하여 현재 가장 많이 사용하고 있는 AEM과의 광중합효율을 비교하였다.

재료 및 방법

1. 연구재료 및 기기

N,N-dimethylaniline(MA)는 Aldrich(미국) 화학회사제 Cat. No 515124, 1-phenyl-1,2-propanedione(PD)는 동회사의 Cat. No 272078, camphorquinone(CQ)은 동회사의 Cat. No 272078를 사용하였고 *N,N*-dimethyl-*p*-toluidine(MPT)은 Tokyo Kasei(일본) 화학회사제 D0807, 4-(dimethylamino)ethyl methacrylate(AEM)은 동회사의 M0082, diacetyl(DA)는 동 화학회사제 B0682를 사용하였으며 urethane dimethacrylate(UDMA)는 Ivoclar(리히텐슈타인) 회사제를 사용하였다.

자외선/가시광선 흡수 분광기는 Jasco(일본) 회사의 모델 V-550을 사용하였으며 적외선 흡수 분광기는 Shimadzu(일본) 회사제의 모델 8201PC를 사용하였다. 가시광선 조사기는 75 W tungsten-halogen 램프를 사용한 light guide의 직경이 7 mm인 3M(독일) 회사제의 Curing Light XL 3000을 사용하였다.

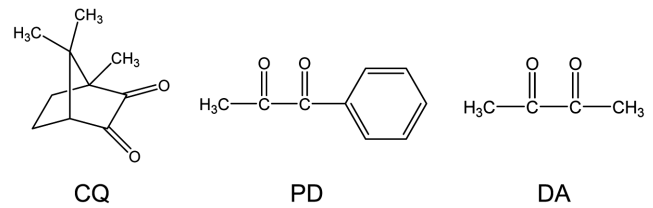
2. 연구방법

1) 광증감제의 특성

3종의 광증감제인 CQ, PD, DA를 각각 ethyl alcohol에 녹여 최대 흡수 파장에서의 흡광도가 1.00이 되도록 조절된 다음 각각의 시료를 UV/VIS용 quartz cell에 넣고 UV/VIS spectrophotometer를 이용하여 최대 흡광도를 측정하였다.

2) 광중합효율의 측정

광중합효율 측정을 위한 이중결합 감소율(RDB)을 측정하기 위하여 UDMA (1.0g)에 3종의 광증감제인 CQ, PD, DA (0.001g)을 각각 넣고 이곳에 3종의 amine 개시제를



Scheme 1. Chemical structures of photosensitizers.

3.0 mole%로 첨가하여 혼합한 후 2장의 KBr plate 사이에 코팅하고, 가시광선 조사기를 이용하여 0, 20, 40, 60, 100, 140초 동안 조사하며 조사시간에 따른 자외선 흡수 스펙트럼을 측정하였다. 이때 필름에 의한 1581 cm⁻¹에서의 흡광도는 1.2~0.85의 범위 내로 조절하였으며 RDB는 Rueggerberg 등^{8,9}과 Peutzfeldt 등¹⁰의 방법에 따라 3350cm⁻¹에서 나타나는 N-H에 의한 흡수띠를 내부표준으로 사용하여 1635 cm⁻¹에서 나타나는 지방족 이중결합 흡수띠의 감소율로부터 측정하였다. 실험의 정확성을 기하기 위해 각각의 sample 당 6개의 KBr plate를 제작하였으며 두장의 KBr pellet 사이에 혼합된 resin monomer sample을 도포하였고 조사기의 tip과 sample은 1 cm의 거리를 유지하도록 고정하여 조사하였다.

$$RDB (\%) = \frac{A_2/B_2}{A_1/B_1} \times 100$$

여기에서

A₁; 조사 전의 1635 cm⁻¹에서의 흡광도

A₂; 조사 후의 1635 cm⁻¹에서의 흡광도

B₁; 조사 전의 3350 cm⁻¹에서의 흡광도

B₂; 조사 후의 3350 cm⁻¹에서의 흡광도를 나타낸다.

이상에서 나타난 이중결합 감소율(RDB)로부터 광중합효율을 계산하였다.

$$\text{광중합 효율} (\%) = 100 - RDB$$

결 과

1. 광증감제 및 amine 개시제의 성질

실험에 사용된 세 종류의 광증감제의 물성을 살펴보기 위하여 에탄올을 용매로 사용하여 측정된 자외선/가시광선 흡수 스펙트럼은 Fig. 1과 같다. CQ는 최대흡수파장이 468 nm인데 비해 PD는 419 nm, DA는 393 nm로서 CQ에 비해 PD와 DA는 단파장에서 최대 흡광도를 보인다. 따라서 새로운 광증감제에 맞는 광중합기를 사용하여 중합효율에 관한 실험을 시행해야 함에도 불구하고 적절한 광중합기를 제작하지 못하여 일반적으로 사용되고 있는 CQ의 최대 흡광도 영역에서의 광량이 최대인 치과용 광중합기(Curing Light XL 3000)를 사용하여 실험을 진행하였다. 그러므로 PD나 DA의 광중합효율을 극대화하기

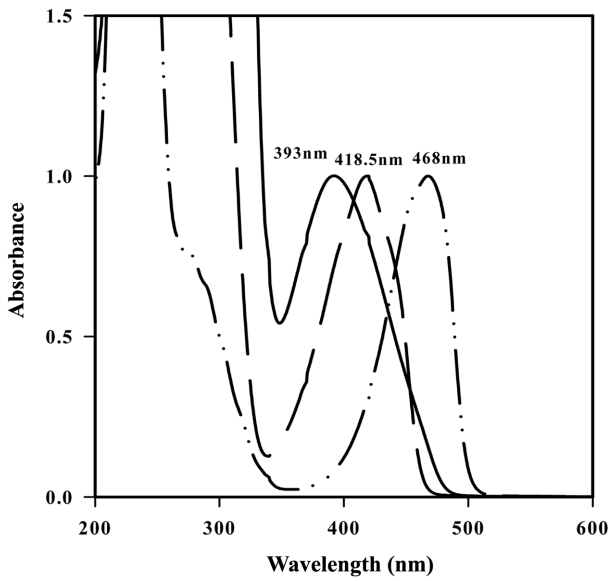


Fig. 1. UV-VIS absorption spectra of CQ (— · — · —), PD (—), and DA (---) in ethyl alcohol.

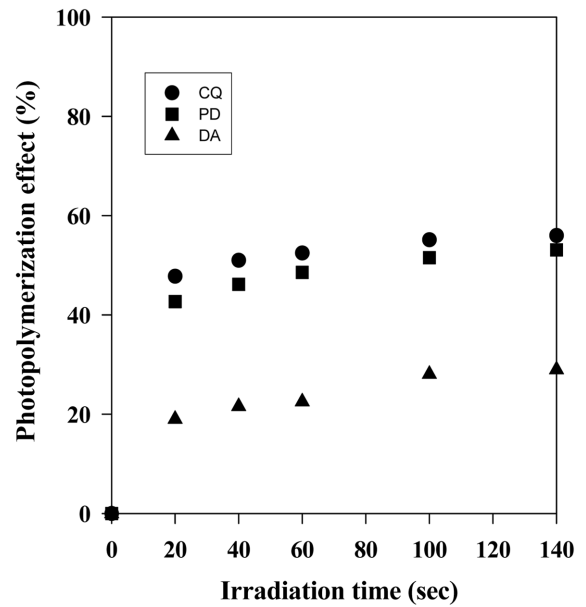


Fig. 3. The relationship between irradiation time and degree of remaining double bond of UDMA containing 3.0 mol% AEM and photosensitizers.

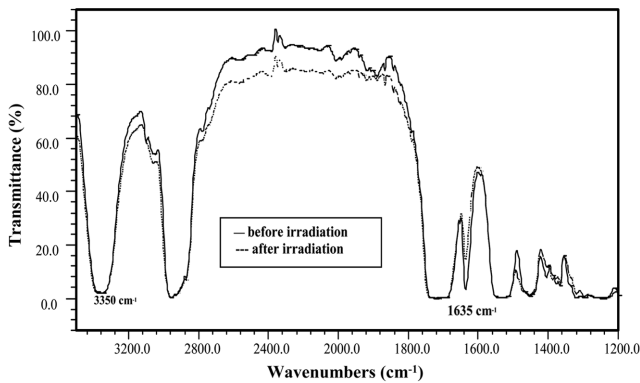


Fig. 2. FT-IR spectra of UDMA before and after irradiation for 120 sec. (KBr pellet)

위해서는 광량이 높은 광증합기는 물론이고 PD 및 DA의 최대흡수파장인 420 및 400 nm에 최대 흡광도를 갖는 광증합기의 개발이 필요하다 하겠다.

Table 1은 광증합효율을 높이기 위해 본 실험에 사용된 AEM을 포함한 3종의 amine 개시제의 구조 및 물성이다. 3종의 amine 개시제 중 AEM을 제외하고는 모두 aromatic 구조를 가진 *t*-amine이며 액상의 물질이다. 액상의 물질을 사용하였을 경우의 장점은 점도가 높은 레진 단량체의

점도를 떨어뜨림으로서 무기질 필러 또는 레진 단량체와의 혼합이 용이하다는 것이다.

2. 광증합효율

빛을 조사함에 따라 UDMA가 광증합이 되는지 여부를 알아보기 위하여 UDMA에 3.0 mol%의 PD와 같은 양의 AEM을 넣고 빛을 조사하기 전과 120초 동안 빛을 조사한 후의 FT-IR 스펙트럼을 Fig. 2에 나타내었다. 빛을 조사함에 따라 1635 cm⁻¹에서의 지방족 이중결합에 의한 흡수띠는 감소된 반면 내부표준으로 사용한 3350 cm⁻¹에서의 N-H peak은 거의 감소하지 않았다. 이는 빛을 조사함에 따라 UDMA 단량체가 증합됨을 의미한다.

Fig. 3은 CQ, PD, DA에 각각 3.0 mol %의 AEM을 넣고 조사시간을 증가시켰을 경우 광증합효율을 측정된 결과이다. 증감제의 종류와 양에 상관없이 빛조사 시간이 증가함에 따라 광증합효율이 증가되었다. 또한 조사시간 60초 이내에서 광증합 반응이 일어난 후 더 이상 크게 진행되지 않았다. 이것은 빛을 조사하였을 때 라디칼이 급속히 생성된 후 그 이상에서는 빛을 쬐어도 라디칼의 수가 더 이상 증가하지 않는다고 보고한 Burtscher¹⁶⁾의 연

Table 1. The properties of *t*-amine initiators used in this experiment.

Amine initiators	4-(dimethylamino) ethyl methacrylate	<i>N,N</i> -dimethyl aniline	<i>N,N</i> -dimethyl- <i>p</i> -toluidine
Simplified character	AEM	MA	MPT
Structure			
Physical state (b.p.)	liquid (187°C)	liquid (77°C)	liquid (90°C)

구 결과와 같이, 약 60초 조사까지는 말단 이중결합의 분해에 의해 라디칼이 급속히 생성되어 중합이 일어난 이후에는 중합이 더 이상 크게 진행되지 않았기 때문에 생각된다. 한편 같은 양의 광증감제를 첨가하고 같은 시간 동안 조사하였을 경우의 상대적인 광중합효율은 CQ > PD > DA의 순 이었고, 140초 동안 조사하였을 경우 CQ, PD, DA의 광중합효율은 각각 56%, 54%, 29%로서 CQ와 PD의 광중합효율은 유사한 것으로 나타났다.

Fig. 4는 각 증감제에 amine 개시제로서 각각 3.0 mol %의 MA를 넣고 조사시간을 증가시켰을 경우의 광중합

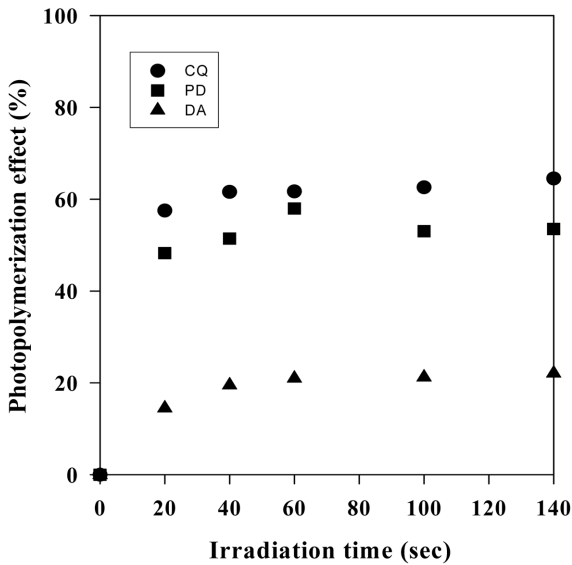


Fig. 4. The relationship between irradiation time and degree of remaining double bond of UDMA containing 3.0 mol% MA and photosensitizers.

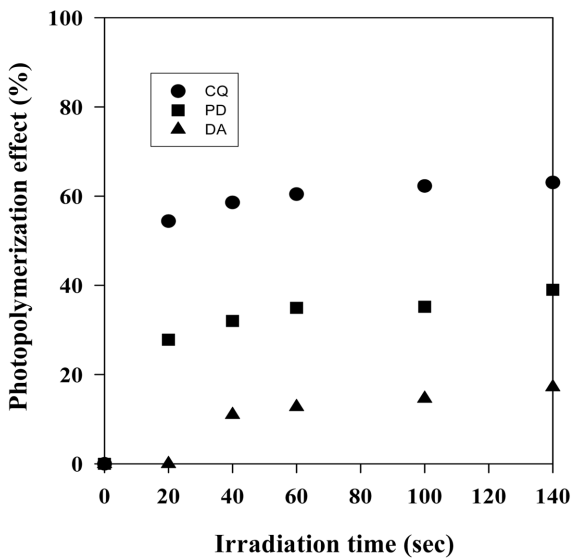


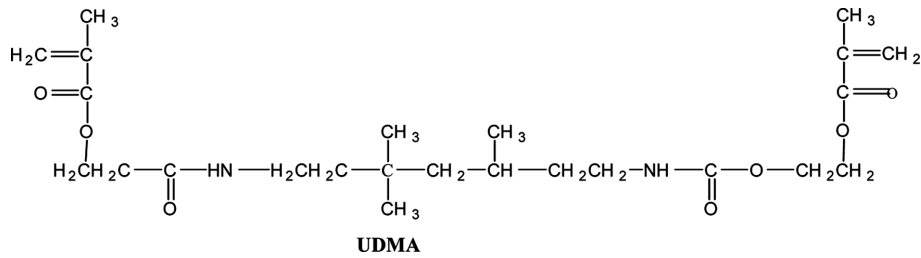
Fig. 5. The relationship between irradiation time and degree of remaining double bond of UDMA containing 3.0 mol% MPT and photosensitizers.

효율을 측정된 결과이다. 이 경우도 AEM을 첨가하여 조사하였을 경우와 같이 증감제의 종류와 양에 상관없이 빛 조사 시간이 증가함에 따라 광중합효율이 증가되었다. 그러나 60초까지 점진적으로 광중합효율이 증가했던 AEM 개시제와는 달리, CQ의 경우 20초 이내에서 59%로 급격히 광중합효율이 증가한 후 40초까지 약 1% 광중합효율이 더 증가하다가 조사시간을 늘려도 더 이상 증가하지 않는 결과를 보였다. 또한 CQ, PD, DA의 광중합효율은 각각 65%, 54%, 22%로서 상대적인 광중합효율은 AEM을 amine 개시제로 사용하였을 때와 같이 CQ > PD > DA의 순으로 나타났으며, CQ나 PD의 광중합효율에 비해 DA의 광중합효율이 상대적으로 낮게 나타났다.

Fig. 5는 각 증감제에 각각 3.0 mol %의 MPT를 넣고 조사시간을 증가시켰을 경우의 광중합효율을 측정된 결과이다. 이 경우도 AEM 또는 ABA를 첨가하여 조사하였을 경우와 같이 증감제의 종류와 양에 상관없이 빛 조사 시간이 증가함에 따라 광중합효율이 증가되었으며 조사 시간 60초 이내에서 광중합 반응이 일어난 후 더 이상 크게 진행되지 않았다. 60초 조사하였을 경우의 CQ, PD, DA의 광중합효율은 각각 63%, 39%, 18%로서 CQ > PD > DA의 순으로 나타나서 amine 개시제로서 AEM이나 MA를 사용하였을 경우와 같이 PD나 DA 증감제에 비해 CQ와 함께 사용하였을 경우의 광중합효율이 높은 것으로 나타났다. 또한 AEM이나 MA는 CQ와 PD의 광중합효율이 큰 차이가 없었던 것에 비해 MPT를 사용하였을 때에는 PD를 광증감제로 사용하였을 경우의 광중합효율이 24% 정도 상대적으로 낮게 나타났으며 특히 DA의 경우는 광중합효율이 140초 동안 빛을 조사하였을 경우에도 20% 미만의 낮은 광중합효율을 나타내었다.

고 찰

치과용 가시광선 중합형 복합수지는 70~90 %의 무기 질 충전제, 10~30 %의 레진 단량체 및 희석제가 사용되며, 최종적으로 중합에 이르게 하는 광중합 시스템(공개 시제)으로서 0.2~1.0 wt% 가량의 diketone 기를 가진 광증감제와 *t*-amine 기를 가진 amine 개시제가 함께 사용되고 있다¹¹⁾. 이들 성분 중 광중합효율을 결정짓는 것은 광증감제와 amine 개시제인데 그 중 광증감제로서 가장 흔히 사용되는 물질은 CQ이다. CQ는 *t*-amine이 존재하지 않았을 경우에는 CQ의 직접 분해에 의해 생성된 라디칼은 이량화(dimerization)되거나 수소를 흡수(hydrogen abstraction)하여 반응성을 잃게 되어 광중합에 관여하는 부분이 극히 일부분이므로 효율적인 광중합 반응을 일으킬 수 없다. 그러나 *t*-amine이 존재할 경우에는 CQ가 빛을 받아 여기된(exited) 후 아민으로부터 단일전자의 이동(single electron transfer, SET)이 일어나 amine과 CQ 사이에 exciplex를 형성한 다음 아민에 있는 질소의 수소로



Scheme 2. Chemical structure of UDMA.

부터 양성자의 이동(proton transfer) 반응을 거쳐 라디칼을 형성하는 반응이 일어난다. 이때 생성된 aminyl radical에 의해 중합이 개시된다. 결론적으로 CQ 단독으로만 사용하였을 경우에는 광중합에 이를 수 없어서 반드시 amine 개시제와 함께 사용하여야만 효율적인 광중합반응을 이끌어 낼 수 있으므로 광중합 시스템이라 일컫는 것이 옳다 하겠다.

그러나 지금까지 사용되어 왔던 CQ는 광중합효율이 그다지 높지 못할 뿐만 아니라 고체상의 물질이기 때문에 점성이 높은 단량체와 무기질 filler를 혼합하는 과정에서 분산성 및 용해성이 떨어지는 단점이 있다. 따라서 본인은 새로운 광중합제로서 PD 및 DA를 사용하여 광중합효율 및 이들을 광중합제로 사용하여 제조한 복합수지의 물성을 실험한 결과 CQ 보다 광중합효율 및 물성이 향상되는 결과를 보였으며 이 두 종류의 광중합제가 액체상의 물질이므로 무기질 filler 및 monomer와의 혼합성이 용이한 결과를 보인바 있다^{5,6)}.

한편, CQ와 함께 가장 흔히 사용되고 있는 amine 개시제는 AEM으로 알려져 있다¹²⁾. AEM은 CQ에 사용되었을 때에는 다른 *t*-amine에 비해 우수한 광중합효율을 보임으로서 임상에서 가장 흔하게 사용되고 있지만 PD 및 DA와 함께 사용했을 때의 중합효율은 어떤 종류의 *t*-amine이 가장 우수한 광중합효율을 보이는지 실험하지 못했었다^{5,6)}. 따라서 새로운 광중합제인 PD 및 DA와 함께 사용했을 때 광중합효율을 높일 수 있는 amine 개시제의 개발 및 CQ와 함께 사용하였을 경우 광중합효율을 높일 수 있는 amine 개시제를 개발하기 위하여 고체형의 3종의 *t*-amine을 사용하여 광중합효율을 실험하였으며 이 결과를 AEM과 비교한 바 있다⁷⁾. 그 결과 ABA-CQ 공개시제 보다 ABA-PD 공개시제의 광중합효율이 약 4% 정도 상대적으로 높게 나타났으며, 62%의 광중합효율을 보였던 MBA-CQ 공개시제는 현재 가장 많이 사용되는 AEM-CQ 공개시제의 56%의 광중합효율에 비해 월등히 좋아지는 결과를 나타냈다. 또한 AEM을 아민 개시제로 사용했을 경우에는 광중합반응이 1분까지 점차 증가하다가 광중합시간을 늘려도 크게 변화가 없는 결과를 보였으나 ABA와 MBA를 사용하였을 때에는 약 20초 이내에 급격히 광중합반응이 일어나다가 그 이상 시간을 늘려도 광중합효율이 크게 높아지지 않는 결과를 보였다. 그러나

고체형의 amine 개시제는 점성 있는 레진 단량체와 혼합할 때 용해되지 않아 부분적으로 몽칠 가능성이 있어 분산성이 떨어질 수 있으므로 본 실험에서는 점성이 높은 단량체의 점도를 떨어뜨리고 분산성을 높일 수 있는 3종의 액체형 *t*-amine을 각각의 광중합제와 함께 사용하였을 경우 광중합효율을 살펴보기로 하였다.

광중합제의 종류에 따른 광중합효율을 관찰하기 위하여 조사시간에 따른 UDMA의 광중합효율을 Rueggeberg 등⁸⁾의 방법에 따라 적외선 흡수 스펙트럼의 이중결합의 감소율로부터 측정하였다. 레진 단량체를 광중합에 이르게 하는데 중요한 역할을 하는 구조가 말단에 존재하는 C=C 이중결합구조로서 이러한 C=C 이중결합구조를 갖는 가장 흔한 레진 단량체 중 하나인 UDMA를 본 실험에서 사용하였다.(scheme 2)

치과용 복합수지의 물성을 결정하는 여러 가지 요인은 충전제의 종류 및 양, 단량체의 종류, 그리고 광중합효율이 있다. 그중에서도 광중합효율이 중요한 이유는 광중합이 완벽하게 이루어지지 않았을 경우에는 물성의 저하는 물론이고 미 반응된 단량체 및 광중합제, amine 개시제 등이 잔류해 있으므로 인하여 인체에 위해하기 때문이다. 따라서 치과용 복합수지의 광중합효율을 높이는 것은 물성뿐만 아니라 인체에 대한 해를 없애기 위해서도 중요하다 하겠다. 광중합효율을 측정하는 방법으로는 HPLC¹³⁾, NMR¹⁴⁾ 그리고 FT-IR을 이용하는 방법⁸⁾ 등이 사용되고 있으나 FT-IR을 사용한 방법이 가장 간편한 방법이기 때문에 보편적으로 사용되고 있다. 본 연구에서의 광중합효율도 FT-IR을 사용하여 실험하였으며, 빛 조사에 따른 1635 cm⁻¹에서의 지방족 이중결합(aliphatic C=C)에 의한 흡수띠의 감소율로부터 측정하였다.

UDMA는 광중합이 진행됨에 따라 부피의 수축으로 인하여 흡광도가 전반적으로 감소되기 때문에 FT-IR을 이용하여 광중합효율을 실험할 때에는 내부표준 흡수띠를 필요로 한다. 이 때 사용될 수 있는 내부표준 흡수띠로서는 1730 cm⁻¹에서의 carbonyl peak와 3350 cm⁻¹에서의 N-H peak를 사용할 수 있는데 Yoshida 등¹⁵⁾의 보고에 의하면 두 peak 중 내부표준으로 어떤 peak를 사용하여도 결과에는 크게 차이가 없으므로 상대적으로 peak의 크기가 너무 큰 1730 cm⁻¹에서의 carbonyl peak 대신 3350 cm⁻¹에서의 N-H peak를 내부표준 흡수 peak로 사용하였다.

광중합효율의 실험은 각각의 sample 당 6개의 KBr plate를 제작하였으며 산소와의 반응으로 인하여 광중합효율이 낮아질 것을 우려하여 두장의 KBr pellet 사이에 혼합된 resin monomer sample을 도포하여 산소와의 접촉을 줄였으며 조사기의 tip 과 sample과의 거리가 1 cm의 거리를 유지하도록 고정하여 조사하였다. UDMA 단량체에 각각 3종의 광중합제를 첨가하고 이곳에 amine 개시제로서 각각 AEM, MP, MPT를 첨가하여 광중합효율을 살펴보았다 그 결과 모든 amine 개시제의 종류에 상관없이 조사시간이 증가됨에 따라 광중합효율이 증가되었으나 가장 짧은 시간에 광중합효율이 급격히 증가하였던 amine 개시제는 MP로 나타났다. CQ-MP의 경우는 40초 이내에서 62%로 급격히 광중합효율이 증가한 이후 더 이상 조사시간을 늘려도 중합효율이 증가하지 않았다. 이것은 입상에 응용할 경우 다른 amine 개시제 보다도 광중합시간을 줄여서 중합할 수 있음을 시사한다. 한편 60초로 같은 시간동안 조사하였을 경우의 광중합효율은 CQ와 함께 AEM, MA, MPT를 사용하였을 경우 각각 53, 62, 60%로 나타나 현재까지 가장 흔하게 사용하여 왔던 AEM과 함께 사용하는 경우보다 MA나 MPT와 함께 사용하는 것이 더욱 광중합효율을 높일 수 있는 방법임을 알 수 있었다. 반면 PD는 AEM, MA, MPT를 함께 사용하였을 경우 각각 49, 58, 35 %로 각각 나타나 MA와 함께 사용하였을 경우의 광중합효율이 가장 높은 것으로 나타났으며 가장 광중합효율이 높게 나타났던 MA-CQ의 경우보다는 약 4 % 광중합효율이 낮게 나타났다. 그리고 DA의 경우는 각각 23, 21, 13 %로 광중합효율이 3종의 광중합제 중 가장 낮게 나타났으며 그중에서 AEM과 함께 사용하였을 때 가장 높은 광중합효율을 보였다.

이상의 결과에서 보여주는 바와 같이 새로운 광중합제인 PD 및 DA에 비해 CQ의 광중합효율이 전반적으로 높게 나타났으며 PD 및 CQ와 MA를 함께 사용하였을 때의 광중합효율이 가장 좋은 결과를 보였다. 하지만 대부분의 경우 광중합효율이 높으면 레진의 물성도 좋은 결과를 보이지만 DA의 경우는 이전의 실험 결과^{5,6)} 광중합효율과 물성의 결과가 일치하지 않았으므로 이러한 추론을 뒷받침하기 위하여 무기질 충전제를 첨가하여 복합수지를 제조하고 이들 광중합 시스템을 이용하여 표면경도 및 강도에 대한 실험을 지속적으로 진행할 예정이다.

요 약

치과용 가시광선 중합형 복합수지의 광중합효율을 높이기 위해 2종의 새로운 액체형 amine 개시제인 MA, MPT와 현재 가장 많이 사용되고 있는 개시제인 AEM을 CQ, PD, DA에 각각 첨가하고 UDMA의 광중합효율을 알아본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 조사시간이 증가됨에 따라 amine 개시제의 종류에

관계없이 광중합효율이 점차 증가되었으며, 약 60초까지 조사했을 때에는 광중합효율이 급격히 증가되었으나 그 이상 조사하여도 광중합효율이 크게 증가되지 않았다.

2. AEM, MA와 MPT를 사용하였을 경우 모두 $CQ > PD > DA$ 의 순으로 광중합효율이 우수하게 나타났으나 AEM을 사용하였을 때 PD와 CQ는 큰 차이를 보이지 않았다.
3. CQ의 광중합효율은 새로운 광개시제인 MA와 MPT를 사용하였을 때가 범용으로 사용되고 있는 amine 개시제인 AEM을 사용하였을 경우보다 중합효율이 증가하는 결과를 보였다.
4. PD의 광중합효율은 MA와 함께 사용하였을 경우가 가장 높게 나타났으나 AEM의 경우와 큰 차이를 보이지는 않았다.
5. 이상의 결과로부터 MA와 CQ 및 PD를 함께 사용한 새로운 광중합시스템이 광중합효율을 높이는데 효율적인 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Nancy JL, Peter LD, Sheng L-B: Two-dimensional gradient platforms for rapid assessment of dental polymers: A chemical, mechanical and biological evaluation. *Dent Mater* 23: 1211-1220, 2007.
2. Maffezzoil A, Pietra AD, Rengo S, Nicolas L, Vallett G: Photopolymerization of dental composite matrices. *Biomaterials* 15: 1221-1228, 1994.
3. Pearson GP, Longman CM: Water sorption and solubility of rein-based materials following inadequate polymerization by a visible-light curing system. *J Oral Rehab* 16: 57-63, 1989
4. Abdmezak et al: Mechanism of camphorquinone-2(N,N-dimethylamino)ethyl methacrylate initiated photocuring of dental materials. In *Proc RadTech Asia Radiation Curing Conference* :196-203, 1995.
5. Chae KH, Sun GJ: Phenylpropanedione: A new visible light photosensitizer for dental composite resin with higher efficiency than camphorquinone. *Bull Korean Chem Soc* 19: 152-154, 1998.
6. Sun GJ, Chae KH: Properties of 2,3-butanedione and 1-phenyl-1,2-propanedione as new photosensitizers for visible light cured dental resin composites. *Polymer* 41: 6205-6212, 2000.
7. Sun GJ: Photopolymerization efficiency of dental resin composites with novel amine photoinitiators . *J Korean Acad Dent Tech* 28: 43-52, 2006.
8. Rueggeberg FA, Hashinger DT, Fairhurst CW: Calibration of FT-IR conversion analysis of contemporary dental resin composites. *Dent Mater* 6: 241-249, 1990.
9. Rueggeberg FA: Determination of resin cure using infrared analysis without an internal standard. *Dent Mater* 10: 282-286, 1994.
10. Peutzfeldt A: Quantity of remaining double bonds of diacetyl-containing resins. *J Dent Res* 73(2): 511-515, 1994.
11. Lindén L-Å: Radiation curing in polymer science and technology. Vol IV: 387-467, 1993.

12. Carlick DJ: Photocuring in Cyclopedia of Polym. Sci Tech Vol. I: 367, 1969
13. Saimi Y, Ishihara K, Nakabayash N: Preparation and visible light polymerization of triethyleneglycol acrylate methacrylate. *Polymer J* 24: 357-363, 1992.
14. Ruyter IE, Svaendsen SA: Remaining methacrylate groups in composite restorative materials. *Acta Odontol Scand* 36: 75-82, 1977.
15. Yoshida K, Greener EH: The relationship between monomer composition and physical properties of light-cured opaque resin. *Dent Mater* 8: 137-139, 1992.
16. Burtscher P: Stability of radicals in cuted composite materials. *Dent Mater* 9: 218-221, 1993.

(Received April 30, 2008; Accepted June 30, 2008)

