

레진 모노머의 중합전환률 증가를 위한 3종 중합개시 시스템의 적정 비율

김창규 · 문호진 · 신동훈*

단국대학교 치과대학 치과보존학교실

ABSTRACT

Optimal combination of 3-component photoinitiation system to increase the degree of conversion of resin monomers

Chang-Gyu Kim, Ho-Jin Moon, Dong-Hoon Shin*

Department of Conservative Dentistry, Dankook University College of Dentistry, Institute of Dental Science, Cheonan, Korea

Objectives: This study investigated the optimal combination of 3-component photoinitiation system, consisting of CQ, p-octyloxy-phenyl-phenyl iodonium hexafluoroantimonate (OPPI), and 2-dimethylaminoethyl methacrylate (DMAEMA) to increase the degree of conversion of resin monomers, and analyze the effect of the ratio of the photoinitiator to the co-initiator.

Materials and Methods: Each photoinitiators (CQ and OPP) and co-initiator (DMAEMA) were mixed in three levels with 0.2 wt.% (low concentration, L), 1.0 wt.% (medium concentration, M), and 2.0 wt.% (high concentration, H). A total of nine groups using the Taguchi method were tested according to the following proportion of components in the photoinitiator system: LLL, LMM, LHH, MLM, MMH, MHL, HLH, HML, HHM. Each monomer was polymerized using a quartz-tungsten-halogen curing unit (Demetron 400, USA) for 5, 20, 40, 60, 300 sec and the degree of conversion (DC) was determined at each exposure time using FTIR.

Results: Significant differences were found for DC values in groups. MMH group and HHM group exhibited greater initial DC than the others. No significant difference was found with the ratio of the photoinitiators (CQ, OPPI) to the co-initiator (DMAEMA). The concentrations of CQ didn't affect the DC values, but those of OPPI did strongly.

Conclusions: MMH and HHM groups seem to be best ones to get increased DC. MMH group is indicated for bright, translucent color and HHM group is good for dark, opaque colored-resin. [J Kor Acad Cons Dent 2011;36(4):313-323.]

Key words: Camphoroquinone; Concentration; Degree of conversion; DMAEMA; OPPI; Photoinitiator

-Received 20 June 2011; revised 9 July 2011; accepted 11 July 2011-

Kim CG, DDS, PhD student; Moon HJ, DDS, MS, Clinical professor; Shin DH, DDS PhD, Professor, Department of Conservative Dentistry, Dankook University College of Dentistry, Institute of Dental Science, Cheonan, Korea

*Correspondence to Dong-Hoon Shin, DDS, PhD.

Professor, Department of Conservative Dentistry, Dankook University College of Dentistry, Institute of Dental Science, San 7-1, Shinbu-dong, Dongnam-gu, Cheonan, Korea 330-716

TEL, +82-41-550-1965; FAX, +82-41-553-1258; E-mail, donyshin@dankook.ac.kr

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2010-0008350).

서 론

광중합 복합레진은 기존의 치과용 아말감이나 치과용 도재에 버금가는 기계적 성질과 뛰어난 심미성, 조작의 간편함, 그리고 치질에 결합하는 능력 등 여러 가지 장점 때문에 오늘날 치과 수복에 있어 충전 재료로 널리 사용되고 있다. 일반적으로 이러한 복합레진은 dimethacrylate로 구성되어 있는 유기질 레진 기질과, 그 사이에 분포되어 있는 무기질 filler, 기질과 filler를 연결해주는 연결제(coupling agent)가 주성분이며, 이들을 경화시키는 광중합개시시스템 등으로 구성되어 있다.¹

레진 기질은 2,2-bis[4-(2-hydroxy-3-methacryloyloxypropoxy)phenyl] propane (BisGMA)이 가장 널리 이용되고 있는데, 이는 견고한 aromatic 뼈대를 가지고 있다.² 휘발성이 낮고, 조직 내로의 확산성 또한 낮기 때문에 생체에 독성이 적고, 수축도 적다.³ 하지만 수산기 사이의 수소 결합으로 인해 매우 높은 점성을 가지고 있어 취급이 어렵고, 무기질 filler를 수용하는데 한계가 있어 높은 중합 전환율을 얻을 수 없다는 문제를 안고 있다.⁴ 따라서 BisGMA의 점도를 낮추기 위해 triethylene glycol dimethacrylate (TEGDMA)와 같은 dimethacrylate 희석제를 사용하게 되는데 이러한 TEGDMA 등에 의해 점성이 개선되고 분자간 반응성이 향상되어 중합전환율을 높일 수 있게 된다.¹

중합과정에서 BisGMA 등의 소중합체들은 자유기(free radical)에 의해 서로 엉키며 교차 결합된 망상구조를 가진 중합체로 전환되어 비로소 견고하게 되는데 이러한 자유기 형성을 위해서는 중합개시 시스템이 필요하다. 이러한 중합 정도는 전환률(degree of conversion, DC)로 표현되며, 이는 복합레진의 최종 물성에 영향을 미치는 중요한 요인으로 낮은 전환율은 물리, 기계적 성질을 낮추고 미반응 단량체 방출 등을 통한 해로운 생리 반응을 야기시킬 수 있으므로⁶ 이를 방지하기 위해서는 높은 전환율을 얻을 수 있어야 한다.

중합개시 시스템으로는 중합개시제 및 중합촉진제(co-initiator)가 있으며 이 중 중합개시제는 빛을 직접 흡수할 수 있는 물질로 광중합기에서 조사되는 파장대에 대해 높은 흡수성을 가져야 하고, 높은 효율로 자유기를 형성해야 하고, 중합 매체에 잘 녹아야 하며, 냄새나 독성이 없고, 보관 안정성이 좋아야 하는 여러 가지 조건을 만족해야 한다.⁷ 이러한 중합 개시제로는 camphoroquinone (CQ), 1-phenyl-1,2-propanedione (PPD), diphenyliodonium hexafluorophosphate (DPIHP), p-octyloxy-phenyl-phenyl iodonium hexafluoroantimonate (OPPI) 등이 있는데, 이 중 1971년 Dart와 Nemcek⁸에 의해 개발된 CQ가 현재까지 가장 보편적으로 사용되고 있으며, 치과용 광중합기 또한 그 최대 흡수 파장대에 근거하여 만들어지고

있다. 일반적으로 중합개시제 단독으로는 중합 효율이 낮아 중합 효율을 높여줄 수 있는 촉진제를 함께 사용하게 되는데, 상대적으로 소수성을 띠는 방향족의 ethyl-4-(dimethylamino) benzoate (EDMAB) 또는 친수성 지방족의 2-(dimethylamino)ethyl methacrylate (DMAEMA)와 같은 3차 아민이 주로 사용된다.

CQ는 파장 영역 468 nm에서 최대 흡광도를 보이는 α -dicarbonyl 물질로 치과용 광중합 레진과 접착제 성분에 광범위하게 사용되고 있다. CQ는 빛을 받게 되면 일반적으로 2개의 흥분상태로 전환되는데, (i) 단일전자 상태(singlet state)는 중합 과정에 관여하지 않고, (ii) 삼전자 상태(triplet state)는 자유기 형성에 관여하며, 매우 짧은 반감기를 가지고 있다. 이처럼 삼전자 상태에 있을 때 CQ 분자가 아민 분자와 반응하여 흥분상태의 복합체(exiplex)를 생성하게 되는데 이는 3급 아민으로부터 수소 원자를 추출하여 비로소 자유기를 만들게 된다.⁵

그러나 CQ의 중합 효율이 낮고,⁹ 최대 흡광대에서 빛을 흡수하는 능력도 다른 개시제에 비해 떨어진다(CQ: 0.14, PPD: 0.56, TPO: 2.1, Ir819: 2.3).¹⁰ 특히 소수성이어서 수분이 존재 하면 중합 효율이 현저히 떨어져 wet bonding에 불리하고¹¹ 잔존 단량체로 인한 독성⁹에 대한 우려도 있다. 이외에도 CQ는 표백이 되지 않는 색소(chromophore)를 가진 황색의 고형 화합물이기 때문에, 레진에 다량의 CQ를 넣으면 황색이 심해져, 밝은 색상 또는 투명 색상의 복합레진 제작이 어렵게 되는 것처럼 최종 중합된 레진의 심미성이 영향을 받게 된다.¹² 또한 함께 사용하는 아민은 접착 시스템 내의 산과 반응하여 charge-transfer 복합체(CT complexes)¹³ 혹은 4차 암모늄염(quaternary ammonium salt)을 만들게 되는데, 이러한 4차 암모늄염은 레진 내에서 빛이 반응하는 시간을 지연시키고, 결국 상아질 접착 강도를 떨어뜨린다.¹⁴ 이외에도 미반응 아민이 많이 남을수록 시간이 지남에 따라 누렇게 변하는(yellowing) 내부 변색의 원인이 된다.¹⁵

이러한 이유 때문에 CQ 농도를 높일 수 없어, 결과적으로, 얻을 수 있는 전체적인 중합도와 중합 깊이도 제한적일 수밖에 없다는 문제가 있다. 이 때문에 근래에 들어서는 유기질 기질에 다양한 중합 개시제들을 단독 또는 CQ와 더불어 사용하고 있다. Park 등은 α -diketones인 PPD를 CQ와 병용한 결과, 중합능(polymerization kinetics)을 개선하고 누렇게 되는 현상을 막을 수 있다고 하였다.¹⁶ Guo 등은 수분이 존재하는 경우에, 1% DPIHP를 CQ 등과 병용한 결과, 중합속도(polymerization rate) 및 중합전환율이 증가하였다고 하였으며,¹⁷ Arikawa 등은 monoacylphosphine oxide (TPO)를 violet-LED로 광중합하였을 때 할로젠 중합기(QTH)로 광중합한 CQ의 경우보다 중합능과 색상 안정성이 더 좋았다고 하였다.¹⁰ Shin과 Rawls는 CQ,

OPPI, DMAEMA의 3종 중합개시 시스템이 CQ 단독 혹은 CQ와 DMAEMA를 조합한 그룹보다 더 높은 중합전환률을 보인다고 하였다.¹⁸ 한편 중합개시제와 촉진제의 비율이 중합전환률에 영향을 주는 것으로 보고되고 있다. 아민의 농도가 CQ의 농도보다 낮으면 두 물질 사이의 자발적인 충돌(spontaneous collision)이 줄어들어 삼전자 상태의 CQ가 원래의 상태(fundamental state)로 돌아감으로써 자유기 형성력이 떨어진다. Brandt 등과 Yoshida 등은 개시제 CQ와 촉진제 DMAEMA의 비율이 1 : 2일 때 전환률이 가장 높았다고 하였으며, Schneider 등은 개시제의 종류(CQ, PPD, CQ + PPD)에 관계없이 1 : 2 비율이 1 : 1.5, 1 : 1, 2 : 1에 비해 전환률, 경도 및 용해도가 가장 우수하다 하였지만 아민이 많을수록 복합레진이 누렇게 변색된다고 하였다.¹⁹⁻²¹

이에 반해 Park 등은 CQ와 PPD를 동량으로 0.9 wt%씩 사용하여(총 1.8 wt%) 촉진제인 N,N-cyanoethyl-methylaniline (CEMA)를 0.2 wt%로 섞으면 최대의 전환률을 얻는다 하였다.¹⁶ 이외에도 Arikawa 등은 CQ, PPD, TPO, Ir819와 같은 개시제를 1.5 wt%, EDMAB (ethyl p-dimethylamino benzoate)와 같은 촉진제를 0.2 wt%로 섞어 30 : 1의 비율로 평가한 바 있다.¹⁰

이에 본 연구에서는 이러한 CQ, OPPI 및 DMAEMA의 3종 중합개시시스템을 함유한 레진 모노머의 중합률을 극대화하기 위해 각각의 이상적인 조성 비율을 확인하였으며, 중합개시제와 중합촉진제의 비율에 따른 중합전환률의 차이를 평가하였다. 이에 대해 1) 각 광중합개시시스템의 조성 비율에 따른 중합전환률의 차이가 없다는 가설과 2) 중합개시제와 촉진제의 비율이 중합전환률에는 영향을 주지 않는다는 가설을 세웠다.

연구 재료 및 방법

레진 모노머는 37.5 wt.% BisGMA (ESSTECH, Essington, PA, USA), 37.5 wt.% BisEMA (ESS-CHEM Inc., Linwood, PA, USA), 그리고 25 wt.% TEGDMA (ESSTECH)로 만들었다.

CQ, OPPI, DMAEMA의 광중합개시시스템을 3가지 농도(0.2 wt.%, 1.0 wt.%, 2.0 wt.%)로 각각 준비하였다. 각 농도에 따라 0.2 wt.%는 저농도; L, 1.0 wt.%는 중간농도; M, 2.0 wt.%는 고농도; H라 하였으며, CQ, OPPI, DMAEMA 순으로 각각의 농도에 따라 Taguchi 방법을 참조하여 LLL, LMM, LHH, MLM, MMH, MHL, HLH, HML, HHM 등 9그룹으로 나누어 조합하였다(Table 1). Dr. Genichi Taguchi에 의해 고안된 강건설계(Robust Design)인 일명, Taguchi method는 생산성 향상을 위한 공학 기법으로, 이를 이용하면 실험 군의 수를 단순화시킬 수 있다.²² 본 연구의 그룹 편성에 있어서 모두 9개의 그룹이 제작되었는데, 일반적으로 알려져 있지 않은 적정 농도를 산출하려면 단순히 보더라도 농도의 수가 3가지, 성분의 수가 3가지이므로, 본 연구의 경우 $3^3 = 27$ 가지의 실험군을 고려하여 연구를 진행해야 한다. 즉 이러한 강건설계는 연구 과정의 기본 형태를 개선시켜 연구의 질을 높일 수 있으며 인력 및 비용 소모를 줄일 수 있다. 이러한 Taguchi design으로 각 성분의 저농도(L), 중간 농도(M), 고농도(H)를 결정한 다음, 9개의 실험군을 결정하였다.

소량의 레진 모노머를 중합하기 전 2개의 NaCl disk 사이에 놓은 후 1 cm¹의 해상도에서 40회 스캔하여 기록하였다. 이 후 모노머 혼합물은 Demetron 400 visible light curing unit (Demetron Research Corp., Danbury, CT,

Table 1. Experimental groups of photoinitiator and co-initiator with various concentrations (CQ : OPPI : DMAEMA)

Groups	CQ (wt.%)	OPPI (wt.%)	DMAEMA (wt.%)	Total con. (wt.%)	ratio of initiator and co-initiator
LLL	0.2	0.2	0.2	0.6	2 : 1
LMM	0.2	1	1	2.2	1.2 : 1
LHH	0.2	2	2	4.2	1.1 : 1
MLM	1	0.2	1	2.2	1.2 : 1
MMH	1	1	2	4	1 : 1
MHL	1	2	0.2	3.2	15 : 1
HLH	2	0.2	2	4.2	1.1 : 1
HML	2	1	0.2	3.2	15 : 1
HHM	2	2	1	5	4 : 1

CQ, camphoroquinone; OPPI, p-octyloxy-phenyl-phenyl iodonium hexafluoroantimonate; DMAEMA, ethyl 4-dimethylaminobenzoate.

L, low concentration; M, medium concentration; H, high concentration.

USA)를 사용하여 투명한 NaCl disk를 통해 5초, 20초, 40초, 60초, 300초 동안 광중합 하였다. 각각의 시편을 준비하기 전에 Model 100 Optilux radiometer (Kerr, Dansbury, CT, USA)를 사용하여 440 mW/cm²로 광중합기의 빛의 강도를 측정하였다.

각각의 시간 동안 광중합 한 후에 FTIR로 각 시편을 스캔하였다. Baseline technique을 이용하여 광중합 전의 시편의 1608 cm⁻¹에서의 aromatic C=C에 대한 1638 cm⁻¹에서의 aliphatic C=C에 대한 비율과 광중합 후의 시편의 1608 cm⁻¹에서의 aromatic C=C에 대한 1638 cm⁻¹에서의 aliphatic C=C에 대한 비율을 비교하여 이중결합을 계산하였고, 각 시편의 중합전환률을 다음과 같은 식으로 계산하였다.

Degree of Conversion (DC) =

$$\left(1 - \frac{\left(\frac{\text{aliphatic [C=C]}}{\text{aromatic [C=C]}} \right)_{\text{polymer}}}{\left(\frac{\text{aliphatic [C=C]}}{\text{aromatic [C=C]}} \right)_{\text{monomer}}} \right) \times 100 (\%)$$

1608 cm⁻¹에서의 흡광도는 BisGMA의 phenyl 기와 연관 있으며 중합 전과 후에도 변하지 않고 일정하게 나오므로 기준으로 사용된다. 이와는 달리 중합에 따라 1638 cm⁻¹에서의 aliphatic C=C는 줄어드는데 이는 중합과정에서 C=C 이중결합이 소모되기 때문이다.

위와 같은 실험을 모두 5회 시행하였으며 실험 결과를 토대로 다음과 같은 분석을 하였다:

- 1) 9개의 실험군 간에 각각의 시간에 따른 중합전환률의 차이가 있는지 비교하였고
- 2) 중합개시제(CQ + OPPI)와 촉진제인 아민(DMAEMA)의 함량비에 따른 중합률 차이가 있는지 비교하였으며
- 3) CQ와 OPPI 각각의 농도만을 고려했을 때 그 농도에 따른 전환률의 차이가 있는지 비교하였다.

ANOVA와 Duncan 사후 검정법을 이용하여 분석하였으며, 중합개시제와 촉진제의 비율이 같은 실험군들을 상호 비교하기 위해 T-검정도 시행하였다. 유의수준은 95%로 하였다.

결 과

Table 2와 Figure 1은 중합 시간에 따른 각 그룹의 중합 전환률을 보여준다. 모든 그룹에서 시간이 증가함에 따라 전환률이 증가됨을 볼 수 있다. 특히 초기 중합 시간(5초, 20초)에서는 그룹간 차이가 더 크며($p < 0.05$), 중합 시간이 증가할수록 그 차이가 점점 줄어드는 것을 볼 수 있다.

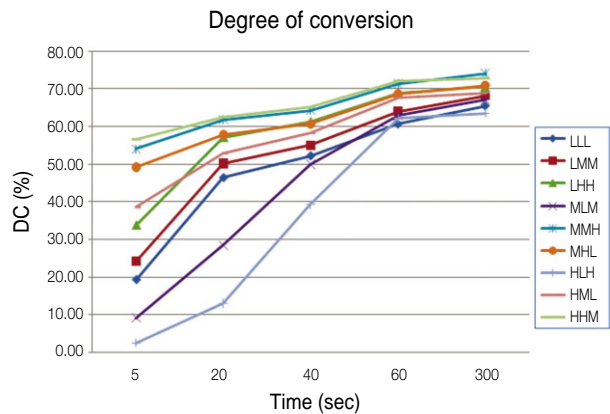


Figure 1. Degree of conversion of experimental groups with various combination of photoinitiators according to exposure time.

L, low concentration; M, medium concentration; H, high concentration.

Table 2. Degree of conversion (%) in each experimental group

Groups	Curing time					Mean (SD)
	5 sec	20 sec	40 sec	60 sec	300 sec	
LLL	19.27 (6.09)	46.39 (4.55)	52.20 (2.91)	60.62 (3.72)	65.47 (6.10)	
LMM	24.19 (6.11)	50.12 (5.48)	54.96 (6.75)	63.99 (7.53)	68.22 (4.51)	
LHH	33.75 (4.67)	57.11 (1.36)	61.31 (1.96)	68.85 (2.20)	70.48 (0.99)	
MLM	9.19 (4.08)	28.40 (2.89)	49.91 (2.68)	62.91 (2.90)	67.05 (1.74)	
MMH	54.03 (2.96)	61.77 (3.12)	64.23 (3.86)	71.28 (4.17)	74.02 (4.94)	
MHL	49.16 (4.26)	57.73 (5.22)	60.64 (6.65)	68.62 (6.23)	70.92 (4.78)	
HLH	2.56 (1.01)	13.00 (1.86)	39.23 (4.24)	62.12 (3.02)	63.47 (3.06)	
HML	38.65 (1.96)	52.84 (2.14)	58.33 (2.86)	67.58 (3.00)	68.95 (1.45)	
HHM	56.44 (4.42)	62.46 (4.03)	65.03 (3.45)	72.11 (4.91)	72.77 (2.78)	

L, low concentration; M, medium concentration; H, high concentration.

1) 각 중합개시시스템의 농도 조합에 따른 중합전환률 비교

시간대별 각 실험군의 중합전환률을 Figure 2 (5초), Figure 3 (20초), Figure 4 (40초), Figure 5 (60초), Figure 6 (300초)에서 볼 수 있다.

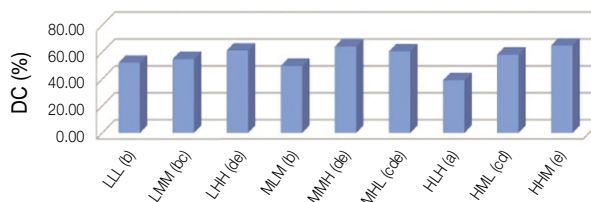
5초만 중합한 경우에는 HHM 군과 MMH 군이 각각 56.44%, 54.03%로 가장 높은 중합전환률을 보였다. 반면 HLH 군은 2.56%로 가장 낮은 중합전환률을 보였다 (Figure 2).

20초 동안 광중합한 경우에는 HHM 군과 MMH 군, 그리고 MHL 군이 각각 62.46%, 61.77%, 57.73%로 높은 중합전환률을 보였다. 반면 HLH 군과 MLM 군은 각각 13.00%, 28.40%로 낮은 중합전환률을 보였다 (Figure 3).

이후 광중합 시간이 길어질수록 모든 실험군에서 중합전

환률이 높아지면서 각 군 사이의 차이가 좁혀졌으며, 60초 이후에는 모든 그룹에서 60% 이상의 중합전환률을 보였다 (Figures 4 - 6).

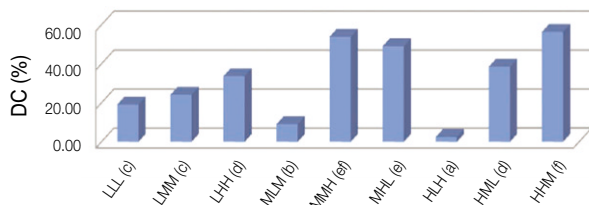
Degree of conversion at 40 sec



Same letters in the parenthesis are not significantly different ($p < 0.05$).

Figure 4. Degree of conversion at 40 seconds of irradiation. L, low concentration; M, medium concentration; H, high concentration.

Degree of conversion at first 5 sec

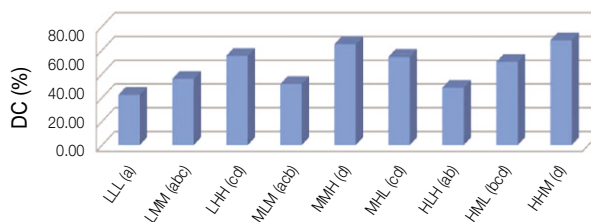


Same letters in the parenthesis are not significantly different ($p < 0.05$).

Figure 2. Degree of conversion at the first 5 seconds of irradiation.

L, low concentration; M, medium concentration; H, high concentration.

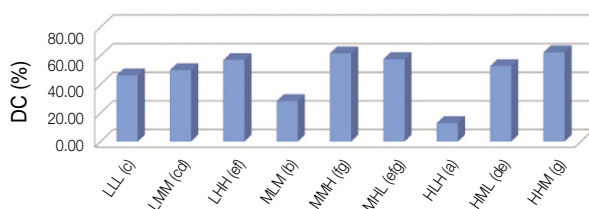
Degree of conversion at 60 sec



Same letters in the parenthesis are not significantly different ($p < 0.05$).

Figure 5. Degree of conversion at 60 seconds of irradiation. L, low concentration; M, medium concentration; H, high concentration.

Degree of conversion at 20 sec

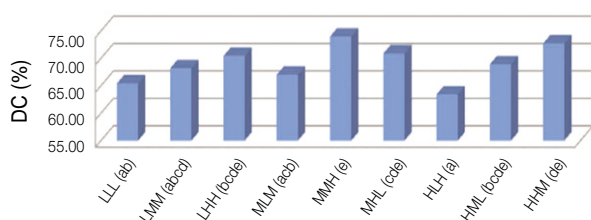


Same letters in the parenthesis are not significantly different ($p < 0.05$).

Figure 3. Degree of conversion at 20 seconds of irradiation.

L, low concentration; M, medium concentration; H, high concentration.

Degree of conversion at 300 sec



Same letters in the parenthesis are not significantly different ($p < 0.05$).

Figure 6. Degree of conversion at 300 seconds of irradiation.

L, low concentration; M, medium concentration; H, high concentration.

2) 중합개시제(CQ+OPPI)와 중합촉진제(DMAEMA)의 함량비에 따른 중합전환률 비교

중합개시제(CQ + OPPI)와 아민 촉진제(DMAEMA)의 함량 비율(Table 3)에 따른 중합전환률의 차이는 Figure 7에서 볼 수 있다.

비율이 1 : 1인 MMH 군과 4 : 1인 HHM 군, 15 : 1인 MHL, HML 군에서는 중합 초기부터 높은 전환률을 보이거나, 개시제와 촉진제의 비율이 1.1 : 1인 LHH, HLH 군, 1.2 : 1인 LMM, MLM 군, 2 : 1인 LLL 군에서는 중합초기 낮은 전환률로 시작하여 시간이 경과할수록 높아지는 양상을 보인다.

한편 비율이 같은 경우의 중합 초기 전환률 비교에서는 1.1 : 1인 LHH, HLH 군에서는 LHH 군이 높은 수치를 보였으

며, 1.2 : 1에서는 LMM 군이 MLM 군보다 더 많은 전환률을 보였다. 또한 비율이 15 : 1인 경우에는 MHL 군이 HML 군에 비해 약간 높은 수치를 보였다(Tables 2 and 3).

그러나 중합개시제와 중합촉진제의 비율이 커짐에 따라 중합전환률이 일정하게 증가하거나 감소하는 양상을 보이지는 않았다.

3) 각 중합개시제(CQ, OPPI)의 농도에 따른 중합전환률 비교

CQ, OPPI에 있어서 각각 저농도(0.1 wt.%), 중간농도(1.0 wt.%), 고농도(2.0 wt.%)에 따른 중합전환률을 각각 Table 4와 Table 5에서 볼 수 있다.

각 시간대별 중합전환률의 평균값을 비교하였을 때, CQ

Table 3. Concentration ratio of photoinitiators (CQ + OPPI) and amine (DMAEMA)

(CQ + OPPI) : DMAEMA	Groups	No.
1 : 1	MMH	5
1.1 : 1	LHH, HLH	10
1.2 : 1	LMM, MLM	10
2 : 1	LLL	5
4 : 1	HHM	5
15 : 1	MHL, HML	10

L, low concentration; M, medium concentration; H, high concentration.

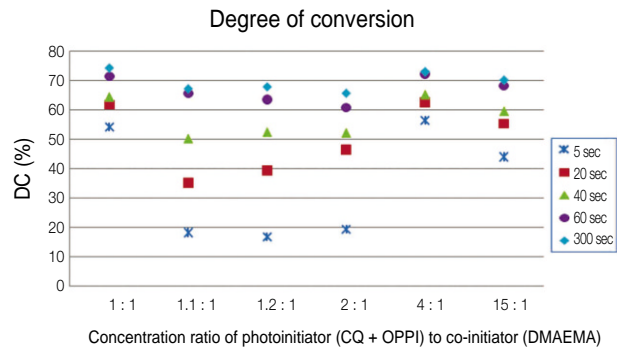


Figure 7. Degree of conversion with various concentration of photoinitiators (CQ + OPPI) to co-initiator (DMAEMA).

Table 4. Degree of conversion (%) in groups according CQ concentration only

Mean (SD)

Groups	No.	Curing time				
		5 sec	20 sec	40 sec	60 sec	300 sec
Low (0.2 wt.%)	15	25.74 (8.14)a	51.21 (6.01)a	56.16 (5.67)a	64.49 (5.81)a	68.06 (4.61)a
Medium (1.0 wt.%)	15	37.46 (21.09)a	49.30 (15.81)a	58.29 (7.66)a	67.60 (5.61)a	70.66 (4.81)a
High (2.0 wt.%)	15	32.55 (23.35)a	42.76 (22.32)a	54.20 (11.78)a	67.27 (5.47)a	68.40 (4.59)a

Values followed by the same lower-case letters are not significantly different ($p > 0.05$) within the column.

Table 5. Degree of conversion (%) in groups according OPPI concentration only

Mean (SD)

Groups	No.	Curing time				
		5 sec	20 sec	40 sec	60 sec	300 sec
Low (0.2 wt.%)	15	10.34 (8.14)a	29.26 (14.45)a	47.12 (6.62)a	61.88 (3.15)a	65.33 (4.06)a
Medium (1.0 wt.%)	15	38.95 (13.17)b	54.91 (6.26)b	59.17 (5.95)b	67.62 (5.76)b	70.39 (4.53)b
High (2.0 wt.%)	15	46.45 (10.63)b	59.10 (4.37)b	62.33 (4.60)b	69.86 (4.70)b	71.39 (3.18)b

Values followed by the same lower-case letters are not significantly different ($p > 0.05$) within the column.

의 경우 전 시간대에 걸쳐 실험군 사이에 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 반면에 OPPI에 있어서는 전 시간대에 걸쳐 저농도가 중간 농도 및 고농도에 비해 낮은 전환률을 보였다($p < 0.05$).

총괄 및 고안

치과용 복합레진의 유기질은 빛을 흡수하여 분자를 흥분 상태로 만들어주는 광중합 시스템을 함유하고 있다. 이렇게 흥분상태로 전환된 분자들에 의해 자유기 혹은 다른 중합 개시 물질들이 만들어지게 되며, 이러한 물질들이 저중합 혼합물을 교차 결합된 중합 네트워크로 전환시킨다.⁵

광원, 광조사 시간, 중합개시제 시스템의 적절한 조합은 이상적인 복합레진의 광중합을 위한 매우 중요한 요소들이며,²³ 이는 복합레진의 기계적 성질,²⁴ 임상 성과, 수명, 그리고 생체 적합성 등과 밀접한 관계가 있다.

중합전환률은 모노머가 폴리머로 전환되는 비율(%)을 나타내는 것으로 중합능을 측정하는 기준으로 매우 중요하다.²⁵ 또한 광중합에 있어서 전환률은 표면경도, 인장강도, 압축강도 등 물리적 성질 및 기계적 성질과 밀접한 연관성이 있는데, 전환률이 낮게 되면 미반응 모노머가 수복물 표면에 유리되어 박테리아의 성장을 야기하거나 일부 환자에 있어서는 알러지를 유발하기도 한다.²⁶ 이외에도 가소제(plasticizer)로 작용할 수 있어 기계적 성질을 떨어뜨릴 수도 있다.² 이러한 중합전환률은 중합개시제의 종류 및 농도, 레진 모노머의 광중합 반응, 조사된 빛의 파장과 강도, 중합 시간 등 여러 가지 요소의 영향을 받는다.²⁷

FTIR (Fourier transform infrared spectrophotometer), HPLC (high-performance liquid chromatography), 그리고 NMR (nuclear magnetic resonance) 등은 치과용 레진의 중합 효율을 측정하기 위해 널리 사용된다. FTIR을 이용한 방법은 그 중에서 가장 쉽고 간단하다. 따라서 본 연구에서는 전환률을 측정하기 위해 FTIR (Nicolet 20, Nicolet Instrument Corp., Madison, WI)를 사용하였다.

시판되고 있는 대부분의 치과용 복합레진의 중합개시시스템은 두 가지 구성성분으로 되어 있는데 첫 번째는 직접적으로 빛을 흡수할 수 있는 중합개시제(주로 CQ)²⁸이고, 두 번째는 빛을 흡수하지는 않지만, 활성화된 중합개시제와 반응하여 자유기를 생성하고 광중합을 유도하는 중합촉진제(co-initiator, 주로 amine)다.

그러나 대부분의 치과용 광중합 복합레진의 중합개시제로 사용되고 있는 CQ는 중합 효율이 낮으며,⁹ 생체 적합성에 대한 우려가 있다. 또한 CQ 자체의 황색이 강해 최종 중합된 레진의 심미성에도 좋지 않은 영향을 미친다.¹² 반면에 본 연구에 사용된 또 다른 중합개시제인 OPPI는 쉽게 용해

되는 흰색의 onium 염으로서²⁹ 양이온성 중합 라디칼(cationic polymerization radical) 뿐만 아니라 중합 자체를 유도하기 위해 고안되었다.³⁰ OPPI는 색상 안정성이 높고 광중합시 즉시 분해되어 phenyl 라디칼을 생성하는데, 이 라디칼은 중합에 관여하거나 아민 또는 모노머로부터 수소를 추출하는 등²⁹ 자유기 중합에 필요한 충분한 에너지를 가지고 있다.³⁰ OPPI는 최대 흡광대가 300 nm 근처로 380 nm까지 분포되어 있어 현행 치과용 광중합기와는 맞지 않는다. 그러나 이를 borate 등과 같은 물질과 섞어 bimolecular photosensitization system으로 사용하면 흡광대가 가시광 영역으로 이동한다는 보고도 있다.²⁹

Shin과 Rawls는 CQ, OPPI, DMAEMA의 3종 중합개시 시스템이 CQ 단독 혹은 CQ와 DMAEMA를 조합한 경우보다 더 높은 중합전환률을 보인다고 하였다.¹⁸ 또한 중합개시 시스템의 농도가 높은 그룹(3%)이 낮은 그룹(1%)에 비해 더 높은 중합전환률을 보인다고 하였으며, 특히 초기 중합전환률(5초)에 있어 큰 차이를 보인다고 하였다.

본 연구에서는 CQ, OPPI, DMAEMA의 성분 조합에 있어서 중합전환률을 높일 수 있는 농도 조합을 알아보고자 하였다. 중합 초기 5초인 경우 HHM 군과 MMH 군, MHL 군이 높은 중합전환률(각각 56.44%, 54.03%, 49.16%)을 보였고, 그 뒤를 HML (38.65%) 군, LHH (33.75%) 군, LMM (24.19%) 군, LLL (19.27%) 군이었으며 MLM (9.19%) 군, HLH (2.56%) 군이 가장 낮은 전환률을 보였다. 즉 2.56%에서 56.44% 까지 매우 넓은 폭의 전환률 차이를 보여 농도 조합이 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

20초 중합의 경우에도, 각 실험군의 전환률 크기 정도는 큰 변화를 보이지 않고 5초와 같이 HHM 군, MMH 군, MHL 군, LHH 군, HML 군, LMM 군, LLL 군, MLM 군, HLH 군의 순서를 보였으며 전환률은 13.00%에서 62.46%를 보였다.

40초 중합의 경우에도 순서의 차이를 보이지 않았으며 39.23%에서 65.03%의 전환률을 보였고 60초 중합에서는 약간의 순서 변화를 보였으며(HHM 군 > MMH 군 > LHH 군 > MHL 군 > HML 군 > LMM 군 > MLM 군 > HLH 군 > LLL 군), 이후부터는 모든 실험군이 60% 이상의 전환률을 보였다(60.62 - 72.11%). 300초 중합의 경우에도 약간의 순서 변화와 함께(MMH 군 > HHM 군 > MHL 군 > LHH 군 > HML 군 > LMM 군 > MLM 군 > LLL 군 > HLH 군), 63.47%에서 74.02%의 전환률을 보여 9개 실험군 사이에는 모든 중합시간에 걸쳐 통계적 유의차를 보였으나($p < 0.05$), 60초 이후에는 그 차이가 크게 줄어드는 경향을 보였다.

이러한 경향은 중합시간에 따른 차이뿐만 아니라, 전체 평균 전환률을 보더라도 유사한 양상으로 나타났다. 즉 9개의

그룹 중 HHM 군과 MMH 군이 가장 높은 중합전환률(각각 65.76%, 65.07%)을 보였고, 그 뒤를 MHL 군(61.42%), HML 군(58.30%), LHH 군(57.27%), LMM 군(52.30%), LLL 군(48.79%)이 이었으며, MLM 군(43.49%)과 HLH 군(36.08%)은 가장 낮은 중합전환률을 보였다. 이와 같은 결과를 토대로 볼 때, 높은 중합률을 얻기 위해서는 HHM 군, MMH 군, HML 군과 같은 농도 조합이 바람직해 보이며 이에 따라 농도 조합에 따른 전환률 차이가 없을 것이라는 첫 번째 가설은 기각되었다.

높은 중합전환률을 얻기 위한 중합개시제와 촉진제인 아민의 농도 비율에 있어서는 많은 논란이 있다. Schneider 등은 CQ, PPD, 아민(EDMAB)을 사용한 연구에서 CQ와 EDMAB만을 혼합한 경우에는 $1:2 \geq 1:1.5$, $1:1 \geq 2:1$ 의 조성 비율 순으로 중합전환률을 보였고, (CQ + PPD) : EDMAB의 경우에도 $1:2$, $1:1.5 \geq 1:1 \geq 2:1$ 의 조성 비율 순으로 높은 중합전환률을 보여 결과적으로 개시제의 종류에 관계없이 중합개시제와 촉진제의 $1:2$ 비율이 전환률, 표면경도 및 용해도에서 우수하다고 하였다.³¹ Musanje 등은 CQ와 아민(EDMAB)을 사용한 연구에서 CQ : EDMAB의 비율이 2.40 : 0.83 mol%로 혼합한 그룹이 가장 높은 중합전환률을 보이며 Knoop 경도에 있어서는 1.44 : 0.42와 1.05 : 1.65 mol%의 비율일 때가 유리하다고 하였다.³² 이외에도 Arikawa 등은 CQ, PPD, TPO, Ir819와 같은 개시제를 1.5 wt%, EDMAB (ethyl p-dimethylamino benzoate)와 같은 촉진제를 0.2 wt%로 섞어 30 : 1의 비율로 혼합하였다. 이를 다양한 광원(QTH, plasma-arc lamp, blue LED, custom-made violet LED)으로 중합하여 전환률을 평가한 결과, TPO, Ir819 함유 레진을 violet LED로 중합한 것이 QTH로 중합한 CQ 함유 레진에 비해 높은 전환률을 얻을 수 있다고 하였다.¹⁰

본 연구에서는 중합개시제(CQ + OPPI) : 중합촉진제(DMAEMA)의 조성 비율이 1 : 1에서 15 : 1까지 모두 여섯 가지 조합으로 이루어졌다(Table 3). 그 결과를 Figure 7에서 볼 수 있는데 조성 비율에 따른 중합전환률은 1 : 1 (MMH) 군에서 높은 중합전환률을 보인 후 1.1 : 1 (LHH, HLH) 군에서 낮아져 2 : 1 (LLL) 군까지 비슷한 양상을 보이다가 4 : 1 (HHM) 군에서 다시 높아진 후 15 : 1 (MHL, HML) 군에서 다소 낮아지는 모습을 보인다. 이처럼 중합개시제와 촉진제의 비율이 커짐에 따라 중합전환률이 일정하게 증가하거나 감소하는 양상을 보이지 않았으므로 두 번째 가설은 인정되었다. 이러한 결과들은 앞서 기술한 연구들과 다른 것으로, 이는 레진 모노머의 성분(BisGMA, TEGDMA) 및 농도 등의 차이에 기인한 것으로 보인다. 결과적으로 CQ, OPPI, DMAEMA의 3종 중합개시시스템의 경우, 비율의 증감에 따른 변화 양상을 찾기

보다는 높은 전환률을 보이는 특정 농도 조합을 찾는 것이 바람직해 보인다.

한편 중합개시제와 중합촉진제의 비율이 같은 실험군에서, 중합 초기 전환률을 비교해보면 1.1 : 1에서는 LHH 군이 HLH 군보다 높은 수치를 보였으며, 1.2 : 1에서는 LMM 군이 MLM 군보다 더 높은 전환률을 보였다. 또한 비율이 15 : 1인 경우에는 MHL 군이 HML 군에 비해 약간 높은 수치를 보였다(Table 2). 즉 1.1 : 1의 조성 비율의 경우, 5초 동안 광중합했을 때 LHH 군이 33.75%로 HLH 군의 2.56% 보다 높았고, 20초의 경우에도 LHH 군이 57.11%로 HLH 군의 13%보다 높게 나타났다. 중합전환률이 높게 나타난 LHH 군은 HLH 군에 비해 같은 농도의 아민과 저농도의 CQ, 그리고 고농도의 OPPI를 함유하고 있는 실험군이다. 1.2 : 1 비율의 경우에도 5초 동안 광중합 하였을 때 LMM 군이 24.19%로 MLM 군의 9.19% 보다 높았으며, 20초 동안 광중합 하였을 때에도 각각 50.12%와 28.4%로 LMM 군이 MLM 군에 비해 높은 중합전환률을 보였다. 전환률이 높은 LMM 군은 MLM 군에 비해 같은 농도의 아민과 저농도의 CQ, 고농도의 OPPI를 함유한 실험군이다. 15 : 1 비율 또한 MHL 군(5초: 49.16%)이 HML 군(5초: 38.65%)에 비해 높은 중합전환률을 보였다. 20초의 경우에는 MHL 군이 57.73%로 HML 군의 52.84%에 비해 약간 높은 중합전환률을 보였으나 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다. MHL 군은 HML 군에 비해 같은 농도의 아민과 저농도의 CQ, 고농도의 OPPI를 함유한 실험군이다. 이러한 결과는 상대적으로 낮은 농도의 CQ와 높은 농도의 OPPI가 보다 유리할 수 있다는 가능성을 보여준다.

본 연구에서는 중합개시제로 CQ와 OPPI가 사용되었는 바 중합전환률에 대한 이들의 영향을 유추하기 위해 이들만의 농도를 기준으로 평가하였다. CQ의 경우에는 중합시간 5초의 경우 25.74 - 37.46%, 20초에는 42.76 - 51.21%, 40초에는 54.20 - 58.26%, 60초에는 64.49 - 67.60%, 300초에는 68.06 - 70.66%의 전환률을 보였으나 중합 시간에 관계없이 저농도(0.2 wt.%), 중간 농도(1.0 wt.%), 고농도(2.0 wt.%) 사이에서 중합전환률의 차이를 보이지 않았다(Table 4). 이에 반해 OPPI의 경우에는 중합시간 5초의 경우 10.34 - 46.45%, 20초에는 29.26 - 59.10%, 40초에는 47.12 - 62.33%, 60초에는 61.88 - 69.86%, 300초에는 65.33 - 71.39%의 전환률을 보였으며, 모든 중합 시간에서 중간 농도 및 고농도 실험군이 저농도 실험군에 비해 통계적으로 유의하게($p < 0.05$) 높은 중합전환률을 보였다(Table 5). 이러한 결과는 높은 중합전환률을 얻기 위해서는 저농도의 OPPI 보다는 중농도 이상의 농도가 혼합되어야 한다는 것을 보여준다. 아울러 이러한 중합전환률에 있어 CQ 농도 보다는 OPPI의 농도가 더 큰 영향을

줄 수 있다고 할 수 있다.

광중합 시스템에서 중합 효율을 결정짓는 두 가지 요인으로 하나는 중합개시제에 의해 흡수된 빛의 양(광자)이고, 다른 하나는 광전이(photoexcitation)에 의해 만들어진 흥분 상태가 활발한 중합개시 물질을 만들어 낼 수 있는 효율이다.³³ 이 중 후자는 다시 말하면 분자가 빛을 흡수하는 능력, 즉 분자흡광계수(molecular extinction coefficient)로 중합개시제는 저농도에서도 높은 흡광계수를 가져야 한다.⁵ 본 연구의 목적은 CQ, OPPI, DMAEMA의 적절한 성분 조합으로 중합전환률을 증진시키고 동시에 기존 CQ + DMAEMA 시스템에 OPPI를 첨가함으로써 CQ 및 DMAEMA의 농도를 줄여 CQ 및 DMAEMA의 농도 증가에 따른 발생 가능한 여러 단점들(중합 효율 저하, 누런색으로 인한 심미성 저하, 생체 적합성에 대한 의문 등)을 줄이고자 하는 것이다. 본 연구 결과, 가장 높은 중합전환률을 보인 실험군은 MMH 군과 HHM 군이다. 이 두 실험군 중 누런 색이 강한 CQ를 줄인다는 측면에서 보면 높은 농도의 CQ를 함유하고 있는 HHM 군보다는 중간 농도의 CQ를 함유하고 있는 MMH 군이 더 적절하다고 판단되며, 또한 저농도에서도 높은 흡광 계수를 가져야 한다는 조건을 보더라도 HHM 군 보다는 MMH 군이 더 바람직할 것으로 생각된다. 다시 말해 CQ로 인한 누런 색을 줄일 수 있으므로 밝은 색상이나 투명 색상에 유리할 수 있다고 생각된다. 한편 DMAEMA와 같은 아민이 상대적으로 적은 HHM 군은 시간 경과에 따른 황화현상이 MMH 군보다 적게 되므로 짙은 색상 또는 불투명 색상에서 보다 유리할 수 있다고 생각된다.

이상적인 복합레진은 최상의 중합전환률을 보이는 동시에 최소한의 중합 수축을 나타내야 한다.³⁴ 그러나 일반적으로 높은 중합전환률은 복합레진의 단점 중 하나인 중합 수축과 비례 관계에 있다.³⁵ 본 연구에서는 높은 중합전환률을 찾기 위한 조건을 전제로 하였으며 MMH, HHM 군이 가장 높은 중합전환률을 보였으나, 동시에 높은 중합 수축을 보일 가능성이 있다. 또한 초기에 중합이 크게 이루어지므로 시간 경과에 따른 암반응(dark curing)이 상대적으로 적어 장기적으로 볼 때 물리적, 기계적 성질이 어떠한 영향을 받을지에 대한 의문도 드는 등 이러한 문제들에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 생각한다.

결 론

CQ, OPPI, DMAEMA를 사용한 3중 중합개시시스템의 경우, 각 조성들의 농도 조합에 따라 중합전환률의 차이를 보였으며 밝은/투명 색상에는 중간 농도(1.0 wt.%)의 CQ, OPPI 및 고농도(2.0 wt.%)의 DMAEMA를 함유한 MMH 군이 추천되며, 짙은/불투명 색상에는 고농도(2.0

wt.%)의 CQ, OPPI 및 중간농도(2.0 wt.%)의 DMAEMA를 함유한 HHM 군이 추천된다.

한편 중합개시제(CQ, OPPI)와 중합촉진제인 DMAEMA의 비율에 따른 중합전환률의 차이는 보이지 않았으며, CQ의 농도는 전환률에 영향을 주지 않은 반면, OPPI의 농도는 전환률에 영향을 미쳤다.

REFERENCES

1. Asmussen E, Peutzfeldt A. Influence of UEDMA, BisGMA and TEGDMA on selected mechanical properties of experimental resin composites. *Dent Mater* 1998;14:51-56.
2. Lovell LG, Stansbury JW, Syropes DC, Bowman CN. Effects of composition and reactivity on the reaction kinetics of dimethacrylate/dimethacrylate copolymerizations. *Macromolecules* 1999;32:3913-3921.
3. Sideridou I, Tserki V, Papanastasiou G. Effect of chemical structure on degree of conversion in light-cured dimethacrylate-based dental resins. *Biomaterials* 2002;23:1819-1829.
4. Atai M, Watts DC. A new kinetic model for the photopolymerization shrinkage-strain of dental composites and resins. *Dent Mater* 2006;22:1-7.
5. Stansbury JW. Curing dental resins and composites by photopolymerization. *J Esthet Dent* 2000;12:300-308.
6. Kim JH, Shin DH. Microleakage of the experimental composite resin with three component photoinitiator systems. *J Kor Acad Cons Dent* 2009;34:333-339.
7. Angiolini L, Caretti D, Salatelli E. Synthesis and photoinitiation activity of radical polymeric photoinitiators bearing side-chain camphoroquinone moieties. *Macromol Chem Phys* 2000;201:2646-2653.
8. Dart EC, Nemcek J. Photopolymerisable composition. Great Britain Patent Specification No. 1408265 (1971); Japanese Patent No. Toku-Kou-Sho 54-10986 (1979).
9. Fujisawa S, Kadoma Y, Masuhara E. Effects of photoinitiators for the visible-light resin system on hemolysis of dog erythrocytes and lipid peroxidation of their components. *J Dent Res* 1986;65:1186-1190.
10. Arikawa H, Takahashi H, Kanie T, Ban S. Effect of various visible light photoinitiators on the polymerization and color of light-activated resin. *Dent Mater J* 2009;28:454-460.
11. Neumann MG, Schmitt CC, Ferreira GC, Correa IC. The initiating radical yields and the efficiency of polymerization for various dental photoinitiators excited by different light curing units. *Dent Mater* 2006;22:576-584.
12. Brackett MG, Brackett WW, Browning WD, Rueggeberg FA. The effect of light curing source on the residual yellowing of resin composites. *Oper Dent* 2007;32:443-450.
13. Bowen RL, Cobb EN, Rapson JE. Adhesive bonding of various materials to hard tooth tissues: Improvement in bond strength to dentin. *J Dent Res* 1982;61:1070-1076.
14. Tay FR, King NM, Suh BI, Pashley DH. Effect of delayed activation of light-curing resin composites on bonding of all in-one adhesives. *J Adhes Dent* 2001;3:

- 207-225.
15. Imazato S, Tarumi H, Kobayashi K, Hiraguri H, Oda K, Tsuchitani Y. Relationship between the degree of conversion and internal discoloration of light-activated composite. *Dent Mater J* 1995;14:23-30.
16. Park YJ, Chae KH, Rawls HR. Development of a new photoinitiation system for dental light-cure composite resins. *Dent Mater* 1999;15:120-127.
17. Guo X, Wang Y, Spencer P, Ye Q, Yao X. Effects of water content and initiator composition on photopolymerization of a model BisGMA/HEMA resin. *Dent Mater* 2008;24:824-831.
18. Shin DH, H. Rawls RL. Degree of conversion and color stability of the light curing resin with new photoinitiator systems. *Dent Mater* 2009;25:1030-1038.
19. Brandt WC, Schneider LF, Frollini E, Correr-Sobrinho L, Sinhoreti MA. Effect of different photo-initiators and light curing units on degree of conversion of composites. *Braz Oral Res* 2010;24:263-270.
20. Yoshida K, Greener EH. Effect of photoinitiator on degree of conversion of unfilled light-cured resin. *J Dent* 1994;22:296-299.
21. Schneider LF, Consani S, Sakaguchi RL, Ferracane JL. Alternative photoinitiator system reduces the rate of stress development without compromising the final properties of the dental composite. *Dent Mater* 2009;25:566-572.
22. Lin CL, Chang WJ, Lin YS, Chang YH, Lin YF. Evaluation of the relative contributions of multi-factors in an adhesive MOD restoration using FEA and the Taguchi method. *Dent Mater* 2009;25:1073-1081.
23. Park HJ, Son SA, Hur B, Kim HC, Kwon YH, Park JK. Effect of the difference in spectral outputs of the single and dual-peak LEDs on the microhardness and the color stability of resin composites. *J Kor Acad Cons Dent* 2011;36:108-113.
24. Peutzfeldt A, Asmussen E. *In vitro* wear, hardness, and conversion of diacetyl-containing and propanal-containing resin materials. *Dent Mater* 1996;12:103-108.
25. Brandt WC, de Moraes RR, Correr-Sobrinho L, Sinhoreti MA, Consani S. Effect of different photo-activation methods on push out force, hardness and cross-link density of resin composite restorations. *Dent Mater* 2008;24:846-850.
26. Carmichael AJ, Gibson JJ, Walls AW. Allergic contact dermatitis to bisphenol-A-glycidylmethacrylate (Bis-GMA) dental resin associated with sensitivity to epoxy resin. *Br Dent J* 1997;183:297-298.
27. Ferracane JL, Greener EH. Fourier transform infrared analysis of degree of polymerization in unfilled resins-methods comparison. *J Dent Res* 1984;8:1093-1095.
28. Alvim HH, Alecio AC, Vasconcellos WA, Furlan M, de Oliveira JE, Saad JRC. Analysis of camphoroquinone in composite resins as a function of shade. *Dent Mater* 2007;23:1245-1249.
29. De Raaff AM, Marino TL, Neckers DC. Optimized cure efficiency using a fluorone visible light photoinitiator and a novel charge transfer: complex initiating system. In: RAI/TECH Conference. 1996.
30. He JH, Mendoza VS. Synthesis and study of a novel hybrid UV photoinitiator: p-benzoyldiphenyliodonium hexafluorophosphate (PhCOPhI⁺ + PhPF₆⁻). *J Polym Sci A: Polym Chem* 1996;34:2809-2816.
31. Schneider LF, Cavalcante LM, Consani S, Ferracane JL. Effect of co-initiator ratio on the polymer properties of experimental resin composites formulated with camphoroquinone and phenyl-propanedione. *Dent Mater* 2009;25:369-375.
32. Musanje L, Ferracane JL, Sakaguchi RL. Determination of the optimal photoinitiator concentration in dental composites based on essential material properties. *Dent Mater* 2009;25:994-1000.
33. Neumann MG, Miranda WG Jr, Schmitt CC, Rueggeberg FA, Correa IC. Molar extinction coefficients and the photon absorption efficiency of dental photoinitiators and light curing units. *J Dent* 2005;33:525-532.
34. Dewaele M, Truffier-Boutry D, Leloup G, Devaux J. Volume contraction in photocured dental resins: the shrinkage-conversion relationship revised. *Dent Mater* 2006;22:359-365.
35. Silikas N, Eliades G, Watts DC. Light intensity effects on resin-composite degree of conversion and shrinkage strain. *Dent Mater* 2000;16:292-296.

국문초록

레진 모노머의 중합전환률 증가를 위한 3종 중합개시 시스템의 적정 비율

김창규 · 문호진 · 신동훈*

단국대학교 치과대학 치과보존학교실

연구목적: 여러 가지 문제점을 가지고 있는 기존의 중합개시제인 CQ와 새로운 개시제인 p-octyloxy-phenyl-phenyl iodonium hexafluoroantimonate (OPPI), 중합촉진제인 지방족 아민(DMAEMA)을 포함한 3종 중합개시시스템을 함유한 레진 모노머의 중합전환률을 증진시키기 위한 각각의 조성 비율을 알아보고 중합개시제와 중합촉진제의 비율에 따른 영향을 분석하고자 하였다.

연구 재료 및 방법: BisGMA/BisEMA/TEGDMA 조성의 레진 모노머를 제조한 다음 다양한 농도 조합의 CQ, OPPI, DMAEMA를 혼합하였다. 각각의 물질을 0.2 wt.% (저농도, L), 1.0 wt.% (중간농도, M), 2.0 wt.% (고농도, H)의 3가지 농도로 혼합하였으며, 그 농도 비율에 따라 9개의 실험군으로 제작하였다: LLL, LMM, LHH, MLM, MMH, MHL, HLH, HML, HHM (CQ-OPPI-DMAEMA의 농도) 중합 시스템이 함유된 각각의 레진 모노머를 NaCl disk에 압착한 다음 Demetron 400 광중합기를 이용하여 5초, 20초, 40초, 60초, 300초 동안 광중합 하였으며, FTIR로 전환률(Degree of Conversion, DC)을 측정하였다. 조성비율은 ANOVA와 Duncan 사후검정법을 이용하였으며 중합개시제와 중합촉진제의 비율이 같은 실험군들의 상호비교에는 T-검정도 시행하였다.

결과: 중합개시시스템을 이루는 조성들의 농도 조합에 따라 중합전환률의 차이를 보였으며, MMH 군과 HHM 군이 높은 초기 중합전환률을 보였다. 중합개시제(CQ, OPPI)와 중합촉진제인 DMAEMA의 비율에 따른 중합전환률의 차이를 보이지 않았으며, CQ의 농도는 전환률에 영향을 주지 않은 반면, OPPI의 농도는 전환률에 영향을 미쳤다.

결론: 중합전환률이 높으며 밝은 색상이 필요한 경우에는 MMH 조합을, 질거나 불투명한 경우에는 MMH 조합이 추천된다.

주요단어: 농도; 중합개시제; 중합전환률; Camphoroquinone; DMAEMA; OPPI