

치과용 가시광선 중합형 복합수지의 새로운 광개시제에 관한 연구

목포과학대학 치기공과 · 전남대학교 공과대학 고분자 공학과*
최 용 석, 선 금 주*

=Abstract=

A Study on new Photoinitiator of Visible Light Dental Composite Resin

Yong-Seok Choi, Gum-Ju Sun*

*Dept. of Dental Laboratory Technology, Mokpo Science College.
Dept. of Polymer Engineering, College of Engineering, Junnam University **

The photopolymerization efficiency and surface hardness of composite resin containing 1,2-phenylpropanedione (PD) and diacetyl (DA) as photoinitiators were studied by IR and Vickers hardness and the results were compared with that of camphorquinone (CQ). Relative photopolymerization efficiency of the photoinitiators increased in the order of DA < CQ < PD. Vickers hardness of composite resin containing the photoinitiators increased in the order of CQ < PD < DA. Thus, PD is a new visible light photoinitiator for dental composite resin with higher photopolymerization efficiency and surface hardness than that of CQ.

Mechanical properties such as Vickers hardness, diametral tensile strength, and flexural strength of the experimental resin composite prepared by addition of the photosensitizer into a resin of bis-GMA improved with increasing the photosensitizer content and irradiation time. The resin composite of bis-GMA containing DA or PD shows better mechanical properties than that of CQ.

* key words : photoinitiator, visible light, composite resin

교신
저자

· 성 명 : 최 용 석 · 전 화 : 061-270-2712 · E-mail : cys8047@yahoo.co.kr
· 주 소 : 전남 목포시 상동 1016번지 꿈동산 신안APT 111동 902호

I. 서 론

구강내의 치질이 치아우식증 또는 외상으로 인하여 손상되었을 때 과거에는 아말감, 금속, 치과용 도재 등으로 수복하였으나 그 중 아말감 및 금속은 자연치질의 색과 달라 심미적으로 좋지 못할 뿐 아니라 아말감은 특히 조성 중 수은이 들어 있어 인체에 유해하다(Asmussen, 1975). 또한 치과용 도재는 심미적인 면에서는 만족스러우나 재료자체가 취약하여 잘 깨지는 성질을 가지고 있어 문제시 되고 있다. 따라서 근래에 들어서 심미적인 면과 취약한 성질 등을 보완한 재료로서 치과용 복합수지가 각광받고 있다(Williams & Johnson, 1993). 이 치과용 복합수지는 광중합형 수지로서 여기에 사용하는 광원으로는 인체에 해가 없는 가시광선이 사용되고 있어 치과용 가시광선 중합형 복합수지로 불리고 있다. 치과용 가시광선 중합형 복합수지는 유기질 단량체와 무기질 충전제 그리고 개시제 및 cointiator로 구성되어 있다. 그 중 광개시제는 가시광선을 조사시키면 분해되어 radical을 생성시켜 결과적으로 복합체를 중합에 이르게하므로 광개시제의 역할이 무엇보다도 중요하다. 가시광선 중합형에 사용되는 개시제로는 빛을 조사시키면 빠른 시간에 분해되어 중합을 개시시키는 camphorquinone (CQ)이 대부분 사용되고 있다(Inomata, Minoshima, Matsumoto & Tokumaru, 1993). 그러나 CQ는 빛을 받았을 경우 100% 분해되지 않아 이를 이용한 치과용 복합수지 등의 중합효율이 그다지 높지 못할 뿐 아니라 CQ 자체적으로 독성을 가지고 있으므로 미반응된 CQ이나 중합되지 못한 말단에 vinyl 기를 가진 monomer가 잔존해 있을 경우에도 인체로 유입

되어 해를 줄 수 있어 문제점으로 대두되고 있다. 또한 중합효율이 높지 못해 단량체가 완전히 중합되지 않았을 경우 기계적, 물리적, 화학적 특성이 모두 떨어지기 때문에 이런 모든 문제점을 해결하기 위해 중합효율을 높일 수 있는 개시제의 개발이 무엇보다도 요구된다.

그러므로 이를 대체할 만한 diketone group을 포함한 2, 3-butanedione (diacetyl, DA), benzil, acenaphthenequinone 등 몇 가지의 화합물들이 개발되었으나(Fouassier & Rabek, 1993), 이들의 효율이 CQ에 비해 좋지 못할뿐 아니라 CQ의 존재 하에서 그 효율이 연구되었고 DA의 경우 실제적인 개시제의 역할 보다도 가교제로서의 역할이 연구되었기 때문에 실제적인 CQ을 대신할 만한 개시제에 대한 연구가 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 DA 및 1-phenyl-1,2-propane dione (PD)을 치과용 복합수지에 이용할 수 있는 새로운 가시광선 중합형 광개시제로서 사용 가능성을 알아보기 위하여 각 개시제의 상대적인 광분해율, 이들 개시제를 사용한 단량체의 광중합효율 및 복합수지의 표면경도, 간접인장강도 및 굴곡강도 등의 기계적 성질을 CQ의 경우와 비교하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험기구

자외선 흡수 분광기는 Jasco 회사의 모델 V-550 를 사용하였으며 가시광선 조사기는 3M 회사제의 Curing Light XL3000을 사용하였고 적외선 흡수 분광기는 Shimadzu 회사제의 모델 8201PC를 사용하였다. 또한 표면경도기는 Zwick 회사의 모델 3212.001을 사용하였고 Universal

Testing Machine은 Shimadzu 회사제의 모델 AGS-100A을 사용하였다.

2. 개시제의 광분해반응

각 개시제를 에틸알콜에 녹여 최대흡수 파장에서의 흡광도가 1.00이 되도록 조절한 다음 빛조사 시간에 따른 흡광도의 변화로부터 각 개시제의 분해율을 관찰하였다. 환원제인 DAEM의 영향을 알아보기 위하여 10^{-3} M의 DAEM을 첨가하여 빛조사 시간에 따른 광분해율을 비교하였다.

3. 이중결합 감소율(RDB)의 측정

이중결합 감소율을 측정하기 위하여 bis-GMA (1.0 g)과 DAEM (0.001 g)에 각각의 개시제를 bis-GMA에 대해 0.1, 0.5, 1.0, 2.0 wt% 넣어 혼합한 후 KBr판 위에 코팅하고 빛조사에 따른 자외선 흡수 스펙트럼을 측정하였다. 혼합개시제를 사용하였을 경우에는 개시제의 양을 bis-GMA의 1 wt%로 고정하였다. RDB는 Rueggeberg(Rueggeberg & Hashinger, 1990)의 방법에 따라 1581 cm^{-1} 에서 나타나는 방향족 이중결합의 흡수띠를 내부표준으로 사용하여 1635 cm^{-1} 에서 나타나는 aliphatic C=C 흡수띠의 감소율로부터 측정하였다(Peutzfeldt, 1994).

4. 각 개시제를 사용한 복합수지의 제조

복합수지를 구성하고 있는 요소는 유기질 단량체, 무기질 충전제, coinitiator 및 개시제로 구성되어 있다. 단량체인 Bis-GMA은 Dow 화학회사제 에폭시레진 DGEBA (D.E.R. 331)과 MAC을 1:2.1의 무게비로 넣고 3급 아민인 DMA을 촉매로 사용하여 약 96시간 반응시킨 후 0.1N의

HCl과 NaOH로 각 2회씩 추출하여 얻었다 (Brown, Chaimberg & Cohen, 1992). 또한 충전제인 silica는 유기질인 단량체와의 화학적 결합력을 얻기 위하여 표면을 silane coupling agent인 γ -trimethoxysilyl propyl methacrylate로 표면 개질시켜 얻었다(Sheela, Selvy, Krishnan & Pal, 1991). 그 외 coinitiator인 DAEM 및 개시제인 PD, CQ, DA 등은 표. 1에 나타낸 바와 같이 각 화학회사들로부터 구입하여 사용하였다. 복합수지의 제조는 단량체, 충전제 및 coinitiator를 각각 50, 50, 0.2 wt%로 넣고 그곳에 3종의 개시제를 실험 스케줄에 따라 양을 달리하며 함께 넣어 혼합한다. 혼합된 복합수지를 표면경도, 간접인장강도 및 굴곡강도 등의 기계적 성질을 측정하기 위한 몰드에 주입하고 상·하면에 polyethylene film이 한겹 깔린 slide glass를 덮고 각각 중합시킨다. 각 복합수지의 기계적 성질을 비교하는데 있어서 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 wt%로 개시제의 양의 증가에 따른 효율을 비교하기 위한 실험에서는 복합수지의 경화시간을 상하면에 각각 40초씩으로 고정시켰다. 한편 조사시간에 대한 상대적인 효율을 비교하기 위한 실험에서는 각 개시제의 양을 1.0 wt%로 고정시키고 조사시간을 각각 40, 60, 80, 100 초씩 달리하며 중합시켰다.

표 1. Materials Used for Preparation of Resins

Compound	Abbreviations	Supplier
Silanized silica	Silica	Synthesized
2,2-bis[4-(2-hydroxy-3-methacryloxypropoxy)phenyl]-propane diglycidylether of bisphenol A	Bis-GMA DGEBA	Synthesized Dow Chemical Co. D.E.R.331 (n=0.15)
methacrylic acid	MAC	Katasama Co.
N,N-dimethylaminoethyl methacrylate	DAEM	Tokyo Chemical Co.
1-phenyl-1,2-propanedione	PD	Aldrich Chemical Co.
2,3-diketo-1,7,7-trimetylnorcamphane	CQ	Tokyo Chemical Co.
2,3-butanedione	DA	Tokyo Chemical Co.

5. 복합수지의 Vickers 표면경도

6×1.5mm의 botton type의 몰드에서 중합된 복합수지를 빛조사 시간과 개시제의 양을 증가시키기에 따라 제조한다. 제조된 각각의 복합수지의 양쪽면을 500g의 하중으로 Vickers hardness indenter를 이용하여 한 면에 3점씩 측정한다. 후 100배 현미경을 이용하여 indentation된 압흔의 대각선의 길이를 측정하고 다음과 같은 식으로부터 Vickers 표면경도수를 구한다. 각 Vickers 경도수는 12개 값의 평균으로부터 구하였다.

$$\text{Vickers hardness number (VHN)} = 1.854 \frac{P}{d^2}$$

P : the load(Kg)

d : the length of the indentation's diagonal(mm)

6. 복합수지의 간접인장강도 (DTS)

보통의 인장강도를 측정하는 방법(ASTM method 등)은 광중합형이나 brittle한 재료의 측정에 적합치 않으므로 본 실험에서는 간접인장강도(American Dental Association specification

No. 27)를 측정하였다(Pan, Craig & Tesk, 1987). 6×3mm의 botton type의 몰드에서 중합된 복합수지를 빛조사 시간과 개시제의 양을 증가시키기에 따라 각각 5개씩 제조한다. 제조된 시편을 세워서 500 kgf의 load cell을 이용하여 10mm/min의 cross-head speed로 측정한다. DTS 값은 다음과 같은 식으로부터 구하였으며 각각의 DTS 값은 5개의 값을 평균하여 얻었다.

$$DTS = 2F / (\pi \cdot d \cdot l)$$

F : force at fracture
d : diameter(6mm)
l : thickness(3mm)

7. 복합수지의 굴곡강도 (FS)

10×2×2mm인 직사각형의 몰드에서 중합된 복합수지를 빛조사 시간과 개시제의 양을 증가시키기에 따라 제조한다. 제조된 시편은 100kgf의 load cell을 사용하여 1mm/min의 cross-head speed로 측정하였다. 이때 사용한 굴곡강도 측정법은 3point loading 법을 사용했으며 supporter 간의 거리는 6mm였다. 각 굴곡강도 값은 다음과 같은 식으로부터 구하였다.

$$FS = (3 \cdot c \cdot f) / (4 \cdot b \cdot a^2)$$

f : force at fracture

a : height(2mm)

b : width(2mm)

c : between the supports(6mm)

III. 결과 및 고찰

1. 광개시제의 성질

PD와 DA는 CQ과는 달리 실온에서 액체인 노란색 화합물이다. 본 실험에서 사용된 세 종류

의 광개시제의 흡수 스펙트럼은 그림 1과 같고 각 광개시제의 최대흡수파장과 최대흡광도는 표 2에 나타났다. 최대 흡수파장은 PD < DA < CQ의 순으로 CQ가 가장 장파장의 빛을 흡수하였다. PD의 경우 이 최대 흡수띠가 ($n-\pi^*$) 전이에 의한 것인지 아니면 ($\pi-\pi^*$) 전이에 의한 것인지를 알기 위하여 용매효과를 관찰하였다. 비극성 용매인 시클로헥산에서의 λ_{max} 이 408nm이고 극성 용매인 에탄올에서의 λ_{max} 는 393nm로서 blue shift가 일어나는 것으로 보아 ($n-\pi^*$)의 전이가 일어남을 알 수 있으며 또한 100이하의 낮은 최대흡광계수를 가진 것으로 부터 ($n-\pi^*$) 전이임을 알 수 있다.

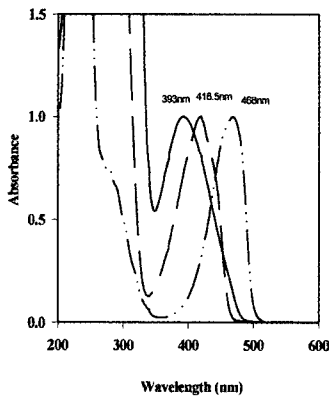


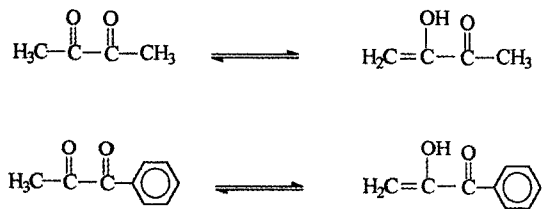
그림 1. UV-VIS absorption spectra of CQ(- - -), PD(—) and DA(— —) in ethyl alcohol.

2. 광개시제의 광분해반응

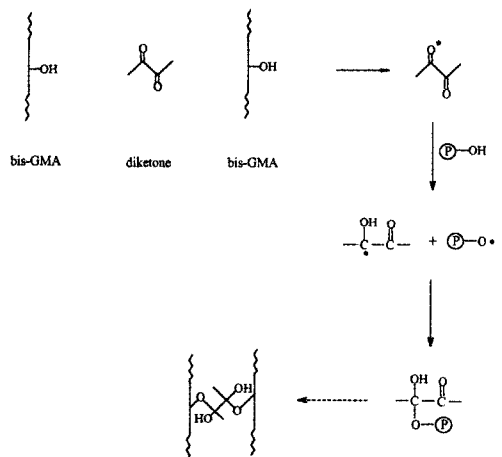
개시제의 빛조사 시간에 따른 광분해율을 알아보기 위하여 PD의 빛조사 시간에 따른 UV-VIS spectrum 변화를 그림 2에 나타내었다. 빛조사 시간이 증가 됨에 따라 흡광도가 점차 감소하고 있는데 이것은 PD가 빛을 받아 광분해됨을 나타내고 있다. 세종류의 광개시제들의 상대적인 광분해효율을 비교하기 위하여 빛조사시간에 따

표 2. The Properties of Photoinitiators for Dental Composite Resin

Initiators	Structure	Physical State (m.p or b.p)	λ_{max}	λ_{max}
CQ		solide (199°C)	468nm	80nm
DA		liquid (88°C)	419nm	50nm
PD		liquid (217°C)	393nm	24nm



Schema-1. Tautomerism of diacetyl and phenylpropanedione



Schema-2. Diacetyl reacts with two hydroxyl groups, pendent in bis-GMA.

The two monomer chains are cross-linked by formation of two hemiketals

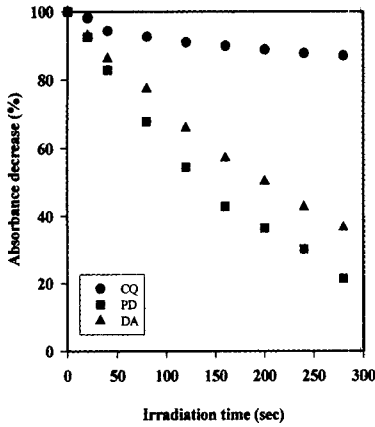


그림 2. UV absorption spectral changes of PD in EtOH upon irradiation with visible light for 0, 20, 40, 80, 120, 160, 200, 240, 280 sec.

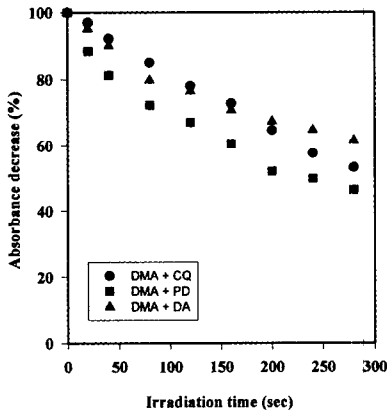


그림 3. Relative photodecomposition of photoinitiators as a function of irradiation time in ethyl alcohol: (●), CQ ; (■), PD ; (▲), DA

른 흡광도의 감소율을 나타낸 결과는 그림 3과 같다. 상대적인 광분해 효율은 PD>DA> CQ의 순으로 PD, DA에 비하여 CQ의 광분해 효율이 낮았다. 이것의 이유는 광개시제가 빛을 받아 두 카르보닐기사이의 C-C 결합이 끊어져 라디칼이 생성되고 두 카르보닐기가 서로 연결되어 있는

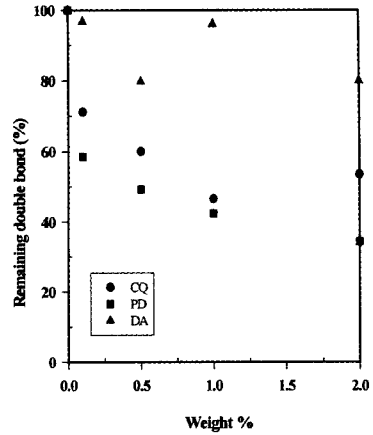


그림 4. Relative photodecomposition of photoinitiators as a function of irradiation time in the presence of DMA(1×10^3) in ethyl alcohol : (●), CQ ; (■), PD ; (▲), DA

구조를 가진 CQ의 재결합반응이 PD와 DA의 경우보다 더 잘 일어나기 때문으로 생각된다.

광개시제의 광분해에 coinitiator인 아민이 미치는 영향을 관찰하기 DAEM을 첨가하고 빛조사에 따른 흡광도의 감소율을 관찰한 결과는 그림 4와 같다. 한편 PD나 DA의 경우에는 아민을 첨가하지 않았을 때에 비하여 약 25% 정도 광분해가 감소하였다. 이것의 이유는 도해-2에서와 같이 두 과정의 반응 메카니즘이 서로 다르기 때문이다. 즉, 아민을 첨가시키지 않으면 광분해가 일어나 라디칼이 생성되어 광분해되는 반응이 일어나지만 아민이 첨가되면 아민과 광개시제 사이에 exciplex를 형성하고 전자이동이 일어난 다음 질소의 위치의 수소가 이동하여 라디칼을 형성하는 반응이 일어나기 때문이다. 한편 CQ의 경우에는 아민을 첨가함으로써 오히려 광분해가 약 35% 증가하였다. 이는 CQ에 DAEM의 존재하에서 빛조사를 하면 광분해가 더 잘 일어난다는 Fouassier(Fouassier & Rabek, 1993)의 연구와 일치하는 결과이다.

3. 광중합 효율의 측정

합성된 bis-GMA의 구조는 핵자기 공명 분석 스펙트럼으로부터 확인하였다.

1.6ppm에서 Ar-C(CH₃)₂-Ar, 1.9ppm에서 C=C-CH₃, 3.9-4.5ppm에서 O-CH₂-CH(OH)-CH₂-O, 6.1ppm에서 H-C=C, 6.8과 7.1-7.2ppm에서 aromatic C-H가 관찰되었으며 3.5-3.7에서 C-CH₂-OH의 methylene기, 5.6ppm에서 H-C=C가 발견되어 이성체가 존재함을 알 수 있었다. 또한 충전제인 silica의 표면개질 여부는 SEM 및 TGA를 사용하여 확인하였으며 약 1% 표면 반응 됨을 TGA의 결과로서 알 수 있었다.

레진의 광중합 효율은 자외선 조사에 따른 적외선 흡수 스펙트럼의 이중결합 감소율로 부터 측정하였다. 그림 5는 개시제의 양을 증가시킴에 따른 이중결합의 감소율을 측정한 결과이다. 개시제의 양이 증가함에 따라 광중합효율이 증가하였으며 개시제의 양을 0.5wt% 까지 증가시켰을 경우에는 광중합 효율이 급격히 증가되었으나 그 이상 증가되었을 경우에는 광중합 효율이

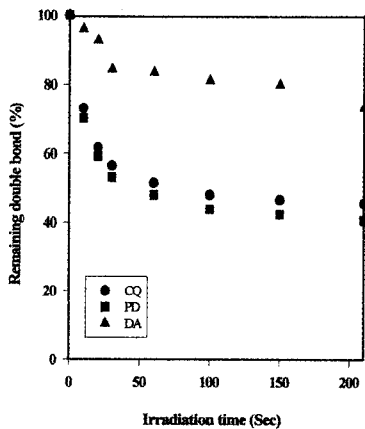


그림 5. The relationship between remaining double bond and weight % of photoinitiators irradiated for 80 sec: (●), CQ; (■), PD; (▲), DA

거의 증가하지 않았다. 이것은 개시제의 양이 0.5wt% 이상이 되면 개시제 자체가 빛을 흡수하기 때문으로 생각된다. 또한 같은 양의 개시제를 사용하였을 경우 상대적인 광중합 효율은 PD>CQ>DA의 순으로 나타나 PD가 CQ나 DA에 비해 상대적인 RDB가 낮아 광중합효율이 더 좋은 것으로 나타났다.

그림 6은 3종의 개시제를 2.0wt%로 동일하게 넣고 빛조사 시간에 따른 RDB의 변화를 관찰한 결과이다. 빛조사 시간이 증가됨에 따라 광중합 효율은 PD>CQ>DA의 순으로 감소하였다. 이와같이 같은 양의 개시제를 넣었을 경우 PD는 CQ나 DA에 비해 RDB가 상대적으로 낮아 광중합효율이 CQ나 DA에 비해 뛰어난 것을 알 수 있었다.

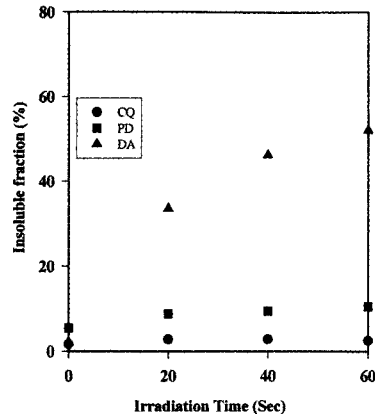


그림 6. The relationship between irradiation time and remaining double bond against 2.0 wt% photoinitiators: (●), CQ; (■), PD; (▲), DA

4. 복합수지의 기계적 성질

이상과 같은 실험 결과들로부터 PD나 DA가 CQ 보다 우수한 개시제로서 사용 가능성을 보여 주었다. 따라서 각 개시제를 사용한 복합수지를 제조하고 그들의 기계적 성질을 상호 비교하기 위해 Vickers 표면경도와 간접인장 강도 및 굴곡 강도 등을 측정하여 비교하였으며 그 결과는 다음과 같다.

그림 7은 조사시간을 80초로 고정시킨 복합수지의 개시제의 양을 증가시킴에 따른 Vickers 표면경도를 비교한 실험 결과이다. 개시제의 양을 증가시킴에 따라 표면경도가 증가하였으며 같은 양의 개시제를 사용하였을 경우 복합수지의 상대적인 표면경도는 DA>PD>CQ를 개시제로 사용한 복합수지 순으로 나타났다.

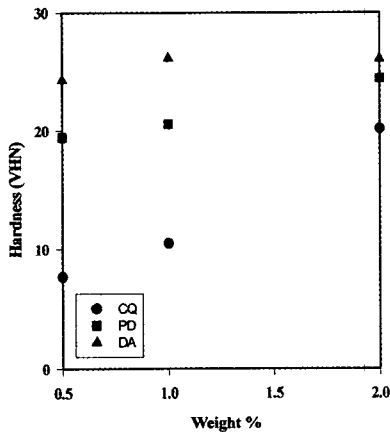


그림 7. The relationship between Vickers hardness number and weight % of photoinitiators irradiated for 80 sec: (●), CQ ; (■), PD ; (▲), DA

그림 8은 개시제의 양을 1wt%로 고정시킨 복합수지의 조사시간을 증가시킴에 따른 Vickers 표면경도를 비교한 결과이다. 조사 시간이 증가됨에 따라 복합수지의 표면경도가 증가하였으며

같은 시간 동안 조사시켰을 경우 복합수지의 상대적인 표면경도는 DA>PD>CQ를 개시제로 사용한 복합수지 순으로 나타났다.

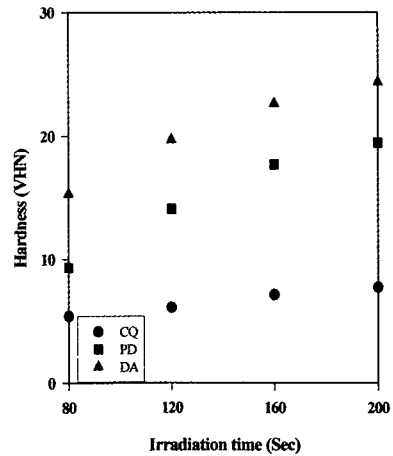


그림 8. The relationship between irradiation time and Vickers hardness number for dental composite resins containing 0.5 wt% initiators: (●), CQ ; (■), PD ; (▲), DA

그림 9은 같은 시간 동안 조사시킨 복합수지의 개시제의 양을 증가시킴에 따른 간접인장강도 결과이다. 개시제의 양이 증가됨에 따라 복합수지의 간접인장강도가 증가하였으며 같은 양의 개시제를 사용하였을 경우의 상대적인 간접인장강도는 DA>PD>CQ를 개시제로 사용한 복합수지 순으로 간접인장강도가 좋은 것으로 나타나 표면경도 실험 결과와 같은 것으로 나타났다.

그림 10은 같은 양의 개시제를 사용한 복합수지의 조사시간을 증가시킴에 따른 간접인장강도를 비교한 결과이다. 조사 시간이 증가됨에 따라 복합수지의 간접인장강도가 증가하였으며 같은 시간 동안 조사시켰을 경우의 상대적인 간접인장강도는 DA>PD>CQ를 개시제로 사용한 복합수지 순으로 간접인장강도가 좋은 것으로 나타났다.

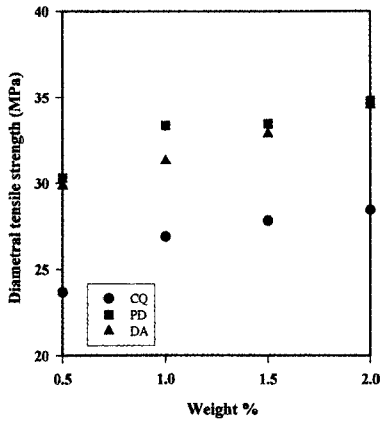


그림 9. The relationship between diametral tensile strength and weight % of photoinitiators irradiated for 80 sec: (●), CQ ; (■), PD ; (▲), DA

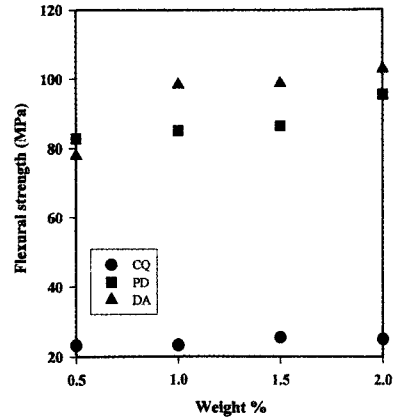


그림 11. The relationship between flexural strength and weight % of photoinitiators irradiated for 80 sec: (●), CQ ; (■), PD ; (▲), DA

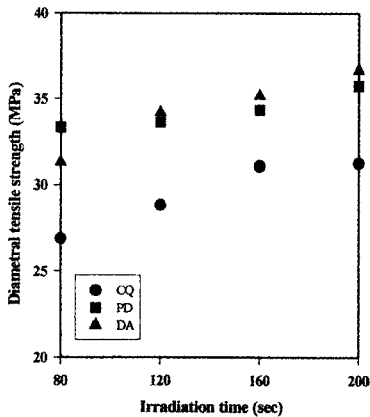


그림 10. The relationship between irradiation time and diametral tensile strength for dental composite resins containing 1.0 wt% initiators: (●), CQ ; (■), PD ; (▲), DA

그림 11은 같은 시간 동안 조사시켜 중합시킨 복합수지의 개시제의 양을 증가시킴에 따른 굴곡강도를 비교한 결과이다. 개시제의 양이 증가됨에 따라 복합수지의 굴곡강도가 증가하였으며 같은 양의 개시제를 사용하였을 경우의 상대적인 굴곡강도는 DA>PD>CQ를 개시제로 사용한 복합수지 순으로 굴곡강도가 좋은 것으로 나타났다.

그림 12은 같은 양의 개시제를 사용한 복합수지의 조사시간을 증가시킴에 따른 굴곡강도를 비교한 결과이다. 조사 시간이 증가됨에 따라 복합수지의 굴곡강도가 증가하였으며 같은 시간 동안 조사시켰을 경우의 상대적인 굴곡강도는 DA>PD>CQ를 개시제로 사용한 복합수지 순으로 굴곡강도가 좋은 것으로 나타났다.

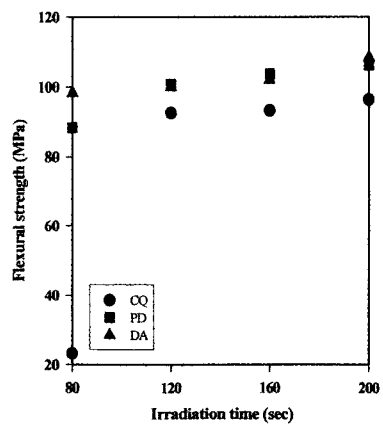


그림 12. The relationship between irradiation time and flexural strength for dental composite resins containing 1.0 wt% initiators: (●), CQ ; (■), PD ; (▲), DA

이상과 같은 실험 결과들을 종합하여 간단히 요약하여 보면 광중합효율의 결과는 PD>CQ>DA의 순으로 나타난 반면 표면경도, 간접인장강도 및 굴곡강도 등의 기계적 성질은 DA>PD>CQ를 개시제로 사용한 복합수지 순으로 나타나 다소 상이한 결과를 보여 주었다. 이와 같은 이유는 다음 2가지로 설명할 수 있다. 그 하나는 도해-1에 보여주는 바와 같이 DA과 PD 구조 자체의 keto-enol tautomerism 현상에 의해 enol form화 되었을 때 생성된 C=C 결합이 단량체의 C=C 결합에 부과되어 실제보다 광중합 효율을 감소시켰을 것으로 생각된다. 또다른 이유는 도해-2에 보여주는 바와 같이 DA의 ketone이 빛에 의해 여기된 후 polymer의 OH기와 반응하면 radical이 생성되고 이 radical이 polymer의 알콕시 radical과 반응함으로 인해 결과적으로 hemiketal화 되면서 crosslinking agent로서 역할을 하기 때문에 다른 개시제를 사용하였을 때 보다 기계적 성질이 향상되었을 것으로 생각된다.

IV. 결 론

치과용 가시광선 중합형 복합수지의 새로운 광개시제로서 1,2-phenylpopanedione(PD) 및 diacetyl(DA)의 사용 가능성을 광개시제로서 주로 사용되고 있는 camphorquinone(CQ)과 비교하여 알아보았다. 각 개시제의 가시광선에 의한 광분해효율을 비교한 실험에서는 coinitiator인 N,N-dimethylaminoethyl methacrylate(DMA)가 없을 경우에는 PD>DA>CQ의 순으로 광분해가 잘 되었으나 DMA가 존재할 경우에는 PD>CQ>DA의 순으로 광분해가 잘 되는 것으로 나타났다. 또한 각 개시제를 사용한 단량체의 광중합

효율의 결과는 개시제의 양과 조사 시간이 증가할수록 광중합효율이 좋아졌으며 상대적인 광중합효율은 PD>CQ>DA의 순으로 나타났다. 한편, 각개시제를 사용하여 치과용 복합수지를 제조하고 Vickers 표면경도, 간접인장 강도, 굴곡강도 등의 기계적 성질을 알아본 결과 개시제의 양과 조사 시간이 증가할수록 각 복합수지의 기계적 성질이 향상되었으며, 상대적인 기계적 성질은 DA>PD>CQ를 개시제로 사용한 복합수지 순으로 우수한 것으로 나타났다. 이상과 같은 실험 결과들로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 각 개시제의 상대적인 광분해는 PD>DA>CQ의 순으로 광분해가 잘 되는 것으로 나타났으며, 각 개시제 용액에 coinitiator인 DMA를 첨가했을 경우에는 PD>CQ>DA의 순으로 광분해가 잘 되는 결과를 보였다.

2. 이중결합 감소율로 측정된 광중합효율은 PD>CQ>DA의 순으로 나타났다.

3. 복합수지의 표면경도, 간접인장 강도, 굴곡강도 등의 기계적인 성질은 DA>PD>CQ의 순으로 우수하게 나타났다.

4. 이상의 결과들로부터 PD나 DA은 CQ 보다 우수한 광개시제로 사용될 수 있음을 보여주었다.

참 고 문 헌

- Asmussen E, *Acta Odont Scand*, 33, 337, 1975.
Brown T, Chaimberg M and Cohen Y, *J. Appl. Polym. Sci.*, 44, 671, 1992.

- Fouassier JP, Rabek JF. *Radiation Curing In Polymer Science And Technology* Vol. IV, 396, 1993.
- Inomata IK, Minoshima Y, Matsumoto T and Tokumaru K. *Polymer J*, 25, 1199, 1993.
- Pan RW, Craig RG and Tesk JA. *Dent Mater*, 3, 46, 1987.
- Peutzfeldt A and Asmussen E. *Acta Odontol Scand.*, 50, 253, 1992.
- Peutzfeldt A. *J Dent Res*, 73, 511, 1994.
- Rueggeberg FA, Hashinger DT. *Dent Mater*, 6, 241, 1990.
- Sheela MS, Selvy KT, Krishnan VK, and Pal SN. *J Appl Polym Sci*, 42, 561, 1991.
- Williams PT and Johnson LN. *J Can Dent Assoc*, 59, 538, 1993.