http://dx.doi.org/10.14347/kadt.2013.35.4.313

새로운 광증감제를 사용한 치과용 광중합형 복합레진의 기계적 특성

선 금 주, 이 희 경*
광주보건대학교 치기공과, 대구보건대학교 치기공과*

Physical Properties of Light Cured Dental Composite Resin with Novel Photosensitizers

Gum-Ju Sun, Hee-Kyung Lee*
Department of Dental Laboratory Technology, Gwangju Health University,
Department of Dental Technology, Daegu Health University*

[Abstract]

Purpose: The purpose of this study was to know the physical properties of UDMA dental composite resins containing two photosensitizers, PD, DA, as a photosensitizer instead of CQ. We want to know Remaining Double Bond(RDB) of UDMA unfilled resin and diametral tensile strength and flexural strength of composite resin containing PD and DA were compared with those of CQ, most widely used photosensitizer for dental composite resins.

Methods: The RDB of UDMA studied by FT-IR spectroscopy increased with irradiation time. The composite resins were tested for their physical properties. The dental composite resins were made with UDMA as a monomer, silanized silica as filler, N,N-dimethylaminoethyl methacrylate (DAEM) as amine initiator, and one of the two kinds of new photosensitizers.

Results: The relative RDB of UDMA was in the order: DA > CQ > PD but the physical properties of the composite resins show PD and DA with higher results compared with that containing CQ. The reason for the results is that PD and DA serve not only as a photosensitizer but also as a photo-crosslinking agent.

Conclusion: PD and DA show as effective photosensizers, suitable for UDMA dental composite resin compare with a higher efficiency than CQ.

Key words : CQ, DA, dental composite resin, PD, photo-crosslinking agent

교신저자	성명	선 금 주	전화	062-958-7695	E-mail	gjsun@ghc.ac.kr
	주소	광주광역시 광산구 북문대로 419번길 73 광주보건대학교				

접수일	2013. 10. 29	수정일	2013. 12. 5	확정일	2013. 12. 20

Ⅰ. 서 론

치과용 광중합형 복합레진은 1970년대 후반에 소개된 이래로 지속적인 개발을 통해 현재는 접착제, 의치상, 인상재 그리고 영구 수복물에 이르기까지 매우 다양한 분야에 많은 종류의 제품이 시판되어 널리 사용되고 있다(Sadowsky, 2006). 이렇게 사용빈도가 높아진 것은 치과계에서 사용되는 금속 성분 중 베릴륨에 대한 위해성의 지각에 따른 금속 수복물에 대한 선호도의 감소와 심미보철에 대한 수요가 증가했을 뿐만 아니라 다양한 레진 단량체(monomer) 및 충진제(filler) 등의 개발로 인한 물성의 향상에 기인한 것이다. 그러나 치과용 복합레진의 지속적인 사용빈도의 증가에도 불구하고 치과용 복합레진이 가지고 있는 가장 큰 문제점 중 하나는 낮은 광중합효율에 따른 기계적 성질이 좋지 못한 것이다. 이러한 문제는 중합초기 뿐만 아니라 구강 내에서의 사용시간이 길어질수록 더욱 상황이 악화되어 복합레진 수복물의 변색 및 마모 또는 파절 등의 문제로 이어지고 있다(Cramer et al, 2011; Rodirgues et al, 2009; Sandra et al, 2010). 따라서 치과용 복합레진의 중합효율을 높이는 것은 매우 중요한 요인인데, 중합에 관여하는 효율성이 좋은 중합시스템을 이용하는 것이 하나의 좋은 해법이다.

치과용 복합레진의 중합방법은 화학반응에 의한 것인지 빛을 조사함에 따른 광중합 방식인지에 따라 달라지나, 여러 가지 장점으로 인하여 광중합 방식이 많이 사용되고 있다(John et al, 2010). 광중합형 복합레진의 중합방식에는 크게 두 가지 물질이 함께 사용된다. 그 중 하나는 두 개의 케톤(ketone)기가 말단에 있는 diketone 물질이 광증감제로 사용되고 있고, 광증감제에서 증폭된 에너지를 받아서 라디칼(radical)을 발생시켜 직접 중합에 관여하는 아민 광개시제가 함께 사용되고 있다. 따라서 효율성이 좋은 광증감제 및 광개시제의 개발이 매우 중요한데, 아민 광개시제에 관한 연구는 현재까지 많이 진행되어 있는 반면 광증감제에 관한 연구는 거의 없어서 현재 camphor quinone(CQ)이라는 물질이 치과용 복합레진의 광증감제로서 거의 유일하게 사용되고 있다.

본 연구자는 이전 연구를 통하여 bis-GMA 단량체에 CQ를 대신할 새로운 광증감제로서 phenyl propane dione(PD)와 diacetyl(DA)을 사용하여 광중합효율 및 기계적 물성을 실험한 결과 광중합효율은 PD가 CQ에 비해 우수한 광중합효율을 나타내고, 기계적 물성은 PD 및 DA를 사용한 복합레진 모두 CQ를 사용한 복합레진에 비해 더욱 우수한 결과를 보인바 있다(Sun and Jung, 2009). 또한 또 다른 연구를 통하여서는 bis-GMA와 더불어 가장 흔히 사용되는 단량체 중 하나인 UDMA를 사용하여 unfilled 레진을 제조하여 광중합효율 및 표면경도 측정을 통하여 기본적인 물성을 측정한 실험을 진행하였으며 그 결과 UDMA 복합레진을 제조하였을 때 사용가능성을 보여준 바 있다(Sun, 2013).

한편, 복합수지의 우수한 기계적 물성은 구강내에서 복합수지가 사용될 때 매우 중요한 요인이므로 중합효율을 높임으로써 우수한 기계적 물성은 나타내는 것은 복합수지의 개발에 있어서 필수적으로 고찰되어야 할 요인으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 이전연구를 더욱 현실적으로 뒷받침하고 실질적으로 임상에 응용되어 사용될 수 있도록 UDMA 레진에 표면 처리된 실리카를 넣은 복합레진을 제조하고 이들의 조사시간에 따른 간접인장강도와 굴곡강도를 살펴보고자 한다.

Ⅱ. 연구 방법

1. 시약 및 기기

N,N-dimethylaminoethyl methacrylate(DAEM) 및 2,3-butanedione (DA)은 Tokyo-Kasei 화학회사제를 사용하였고, camphorquinone(CQ), 1-phenyl-1,2-propanedione(PD)는 Aldrich 회사제를 사용하였다. 가시광선 조사기(Curing Light XL3000, 3M, Germany)는 75 W tungsten-halogen 램프를 사용한 light guide의 직경이 7㎜인 조사기를 사용하였고, 광중합효율 측정을 위한 적외선 흡수 분광기(Shimadzu, 모델 8201PC, Japan)를 사용하였다. 간접인장강도(diametral tensile strength, DTS)와 굴곡강도(flexural strength, FS) 측정은 Universal Testing Machine(Shimadzu, model AGS-100A, Japan)을 사용하였다.

2. 연구 방법

RDB(광중합효율): 광중합효율은 빛이 투과되지 않는 불투명한 유리용기에 UDMA(1.0g)와 DAEM(2.0㎎)에 3종의 광증감제인 CQ, PD, DA를 UDMA에 대해 3.0mole% 각각 넣어 고루 잘 섞이도록 혼합한 후 혼합된 레진을 2장의 KBr plate 사이에 넣고, 가시광선 조사기를 이용하여 0, 10, 20, 30, 60, 100, 150, 210초 동안 조사하며 조사시간에 따른 자외선 흡수 스펙트럼을 측정하였다. 이때 UDMA 필름에 의한 1635㎝$^{-1}$에서의 흡광도는 1.4~0.72의 범위 내로 조절하였으며, RDB는 Yoshida 등(1993)의 방법에 따라 3350㎝$^{-1}$에서 나타나는 N-H 이중결합에 의한 흡수띠를 내부표준으로 사용하여 1635㎝$^{-1}$에서 나타나는 지방족 이중결합 흡수띠의 감소율로부터 측정하였다.

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

A1 : 조사 전의 1635㎝$^{-1}$에서의 흡광도
A2 : 조사 후의 1635㎝$^{-1}$에서의 흡광도
B1 : 조사 전의 3350㎝$^{-1}$에서의 흡광도
B2 : 조사 후의 3350㎝$^{-1}$에서의 흡광도

복합레진 제조: 기계적 성질로서 간접인장강도와 굴곡강도 측정을 위해 UDMA (1.0g), 실란화된 실리카 (1.0g), 그리고 DAEM (2.0㎎)을 넣고 3종류의 광증감제의 양을 UDMA에 대해 3.0mole% 첨가하여 복합레진을 제조하였다. 제조된 복합레진을 간접인장강도(American Dental Association Specification No.27)를 위해서는 6×3㎜의 bottom type의 몰드를 사용하고, 굴곡강도는 Peutzfeldt 등 (1992)의 연구방법에 의해 10×2×2㎜인 직사각형 모양의 몰드를 사용하여 먼저 아랫면에 투명한 폴리에칠렌 필름이 덮인 slide glass를 깔고 혼합된 복합레진을 몰드에 넣은 후 윗면에 동일하게 폴리에칠렌 필름이 덮인 slide glass를 덮고 각각의 시편을 중합시킨다. 중합은 상,하면에 각각 40, 60, 80, 100초씩으로 중합시간을 달리하였으며, 중합이 완료되어 제조된 시편은 실온의 암실에서 24시간 보관한 후 기계적 성질을 측정하였다.

기계적 성질 측정: 간접인장강도(American Dental Association Specification No.27)는 〈Fig. 1〉에 나타낸 도식과 같은 원리로 측정한다(Johnson et al, 1993). 측정조건은 500kgf의 하중으로 10㎜/min의 크로스헤드 속도로 측정하였으며 다음과 같은 조건으로 값을 구하였다.

$DTS = 2F / (\pi dl)$

F : 시편파절시 소요된 힘
d : 시편 직경 (6㎜)
l : 시편 두께 (3㎜)

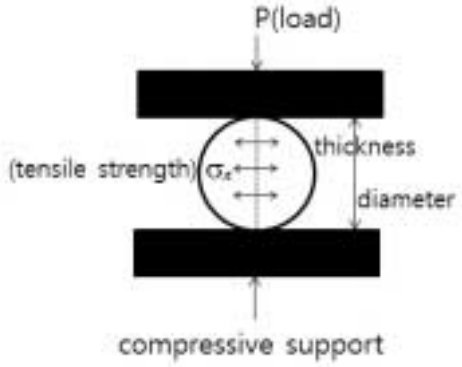

Fig. 1. The testing scheme of diametral tensile strength

굴곡강도 측정은 100kgf의 하중으로 1㎜/min의 크로스헤드 속도로 측정하였으며, 삼점 하중법을 사용하였고 지지대 간의 거리는 6㎜였다. 각 굴곡강도 값은 다음과 같은 식으로부터 구했으며 간접인장강도 및 굴곡강도는 10개의 값을 평균하여 얻었다.

$FS = (3cf)/(2ba^2)$

f : 시편파절시 소요된 힘
a : 시편의 두께 (2㎜)
b : 시편의 넓이 (2㎜)
c : 지지대 간의 거리 (6㎜)

3. 통계처리

통계처리는 SPSS(SPSS Inc. 17.0)를 이용하여 $p<0.05$ 유의수준으로 집단 간의 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 실시한 후 각 그룹의 간접인장강도 및 굴곡강도 값의 유의차를 검정하기 위한 사후 검정분석은 Duncan Test를 사용하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 광중합효율(RDB)

사용된 3종의 광증감제 UDMA unfilled 레진의 중합효율을 알아보기 위하여 조사시간을 변화시켜가며 광중합효율을 살펴보았으며, 그 결과를 〈Fig. 2〉에 나타내었다. 그림 2에서 보이는 것처럼 광증감제의 종류와 상관없이 조사시간이 길어짐에 따라 RDB가 감소하여 광중합효율이 전반적으로 좋아지는 결과를 보였다. 특히 40초까지는 급격한 효율의 증가를 보였으나 그 이상 조사시간이 길어져도 광중합효율이 큰 폭으로 증가하지는 않았다. 같은 시간 상대적인 RDB 감소율은 PD를 광증감제로 사용한 unfilled 레진이 가장 높았으며 다음으로는 CQ와 PD였고, CQ와 PD는 유의한 차를 보이지 않았던 반면, CQ와 DA, 그리고 PD와 DA 간에는 광중합효율이 유의한 차를 나타내었다($P<0.05$).

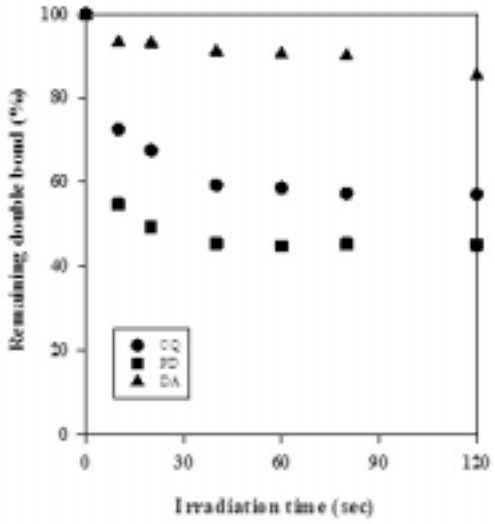

Fig. 2. The relationship between irradiation time and degree of remaining bouble bond of UDMA containing 3.0 mol% photosensitizers

2. 간접인장강도

사용된 3종의 광증감제와 아민개시제, UDMA 단량체, 충진제를 넣은 복합레진을 제조하고 이들의 물리적 성질을 비교하기 위하여 조사시간을 늘려가며 간접인장강도 측정을 하였으며 그 결과를 〈Fig. 3〉에 나타내었다. 조사시간이 길어질수록 전반적인 간접인장강도는 증가되었으나 조사시간 증가에 대한 간접인장강도의 변화에는 유의한 차가 나타나지 않았다.

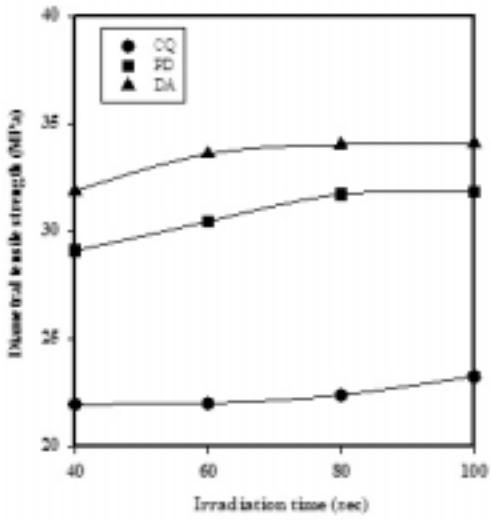

Fig. 3. The relationship between irradiation time and diametral tensile strength for dental composite resins

3. 굴곡강도

간접인장강도 측정을 위한 동일한 조건으로 복합레진을 제도한 후 굴곡강도를 측정하였고 그 결과는 〈Fig. 4〉와 같다. 조사시간이 길어짐에 따라 광증감제의 종류에 상관없이 모든 복합레진의 굴곡강도가 점차 증가되는 결과를 보였으며, 동일한 조사시간에서는 40-80초로 짧았을 때

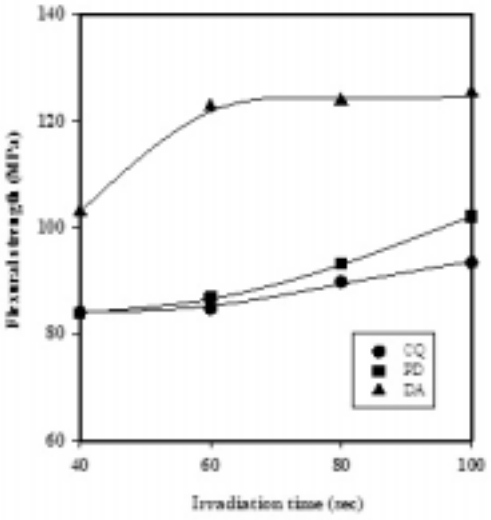

Fig. 4. The relationship between irradiation time and flexural strength for dental composite resins

에는 PD를 사용한 복합레진의 굴곡강도와 CQ를 사용한 복합레진의 굴곡강도의 차이가 거의 없었으나, 조사시간이 100초로 증가되었을 때 굴곡강도의 차이가 약간 나타났으며 유의한 차이는 보이지 않았다. 그러나 DA와 나머지 두 종류의 광증감제를 사용한 복합레진 간의 굴곡강도는 조사시간에 상관없이 유의한 차이를 나타내었다 ($p>0.05$).

Ⅳ. 고 찰

치과용 광중합형 복합레진은 70~90wt%의 무기질 충진제, 10~30%의 유기질 단량체 및 희석제, 광중합을 위한 광개시 시스템(공개시제)으로 구성되어 있다. 그 중 광개시 시스템은 화학구조 중 0.2~1.0wt% 가량의 diketone 기를 가진 광증감제와 t-amine 기를 가진 아민 개시제가 함께 사용되고 있다(Yoshida K and Greener EH, 1993; Schroeder WW, 2006). 이들 중 광증감제로는 CQ가 현재까지 유일하게 사용되고 있으나, CQ를 사용하였을 때 광중합효율이 그다지 높지 못할 뿐만 아니라 고체상의 물질이기 때문에 점성이 높은 단량체와 무기질 충진제를 혼합하는 과정에서 분산성 및 용해성이 떨어지는 단점이 있다. 뿐만 아니라 진한 황색을 띄는 성질 때문에 옅은 색의 복합레진을 제조하는데 있어 목적하는 양을 모두 넣기 힘든 어려움도 있다. 따라서 본인은 이전 연구에서 bis-GMA를 단량체로 사용하여 CQ를 대신할 diketone 물질을 개발한 경험이 있으며, CQ와 비교하여 보다 더 좋은 광중합효율과 기계적 성질을 나타내는 것을 알 수 있었다 (Sun GJ and Chae KH, 2000).

본 연구에서는 단량체로서 bis-GMA와 더불어 많이 사용되고 있는 UDMA를 사용하여 복합레진을 제조하고 CQ보다 더 좋은 기계적 성질을 나타내는지 알아보았다. 본 실험에 사용된 CQ 및 CQ를 대신할 광증감제의 물질상태와 화학적 구조 및 최대 흡광도를 살펴보면 CQ를 제외하고는 모두 액체상의 물질이고 최대흡광도는 본 연구의 취지에 맞게 CQ, PD, DA의 순으로 각각 468㎚, 419㎚, 393㎚로서 모두 가시광선 영역에서 흡수를 보였다.

이들 세 가지 물질이 모두 가시광선 영역에서 사용될 수 있는 가능성을 보여주었으므로 이들을 사용하여 레진을 제조하고 제조된 레진의 광중합효율 및 기계적 성질로서 대표적으로 간접인장강도와 굴곡강도를 살펴보았다. 먼저 광중합효율을 살펴보았는데 광중합효율은 모든 기계적 성질이나 복합레진의 물성을 좌우하는 매우 중요한 요인이므로 많은 연구자들의 연구가 선행되었으며, 실험방법으로는 FT-IR을 사용하여 단량체의 화학적 구조 중 이중결합의 감소율(RDB)을 알아보는 방법이 가장 많이 사용되는 방법이다(Silva Soares, 2003; Kneævie et al, 2003; Shin and Rawls, 2009; Peutzfeldt, 1994). 이것은 단량체의 화학구조 중 말단에 있는 methylmethacrylate(MMA) 기가 중합이 진행됨에 따라 C=C 이중결합이 열리면서 단일결합으로 변하는 특성에 따라 FT-IR을 이용하여 이중결합의 감소율로서 중합효율을 측정하는 가장 보편적이고 간편한 방법이다. 따라서 본 실험에서도 동일한 방법을 사용하였으며, 그 결과 조사시간이 길어짐에 따라 이중결합이 점차 감소됨으로서 광중합효율이 증가되는 결과를 나타내었다. 또한 같은 시간동안 빛을 조사하였을 때의 상대적인 광중합효율은 DA가 가장 낮은 효율을 보였고, 다음으로 CQ 그리고 PD가 가장 높은 광중합효율을 나타내어서 본 실험에서 새롭게 채택되어 사용된 PD가 CQ에 비해 유의한 차이로 중합효율이 높게 나타났다. 이러한 결과를 토대로 실질적인 치과용 복합레진을 제조하기 위하여 표면을 silane coupling agent로 개질시킨 silica 50wt%, 단량체인 UDMA 50wt%를 먼저 혼합한 후 이곳에 아민 개시제를 단량체에 대해 0.2wt% 첨가하고 각각의 광증감제를 단량체에 대해 3.0mole% 첨가하여 복합레진을 제조하였다. 제조된 복합레진은 조사 시에 생성된 라디칼이 반응을 지속적으로 진행함으로서 조사가 멈춘 후에도 중합이 계속적으로 진행되어 기계적 성질 또한 향상된다. 따라서 실험오차를 최소화하기 위하여 실온의 암실에 24시간 동안 동일한 조건하에서 보관한 후 복합레진의 기계적 성질을 비교하였다. 간접인장강도의 결과를 살펴보면 조사시간이 증가됨에 따라 강도가 증가하는 결과를 보였으며 동일한 시간으로 조사된 복합레진의 간접인장강도는 DA와 PD를 증감제로 사용한 복합레진의 강도가 유의한 차이로서 CQ에 비해 높게 나타났으며($p>0.05$), 이 결과는 PD와

CQ가 DA에 비해 높게 나타났던 광중합효율의 실험 결과와는 다른 것이었다. 즉 PD의 경우 광중합효율 결과가 CQ에 비해 높게 나타난 것은 동일하나, DA의 경우 광중합효율은 CQ에 비해 낮게 나타났으나 간접인장강도는 오히려 더 높게 나타났기 때문이다. 이와 같은 결과의 원인은 두 가지로 설명할 수 있다. 그 중 하나는 본인의 이전 실험(Sun and Chae, 2000)에서 이러한 결과를 증명하기 위하여 세 가지 광증감제를 사용한 poly(vinyl alcohol)의 광가교 효율을 알아본 결과 DA와 PD가 광가교제로서 역할을 하는 것을 증명한 적이 있었다. 따라서 동일한 광중합효율을 가졌다 할지라도 기계적 성질에 더욱 주요하게 작용하는 광가교제로서의 역할을 DA와 PD가 하였기 때문으로 생각된다. 특히 DA의 경우 광가교 효율이 PD에 비해 상대적으로 더욱 높게 나타났기 때문에 간접인장강도가 PD와 CQ에 비해 높게 나타난 것으로 보인다. 또 다른 이유로는 DA와 PD가 화학구조 적으로 C=O가 C=C와 공존하는 tautomerism 현상을 갖기 때문으로 보이는데, 이는 광중합효율이 실제로는 높을지라도 자외선 분광기에서 나타나는 C=C 이중결합에 PD와 DA의 화학구조 특성상 부분적으로 나타나는 이중결합이 검출되어 실제 결과보다 낮게 나타났기 때문으로 보인다.

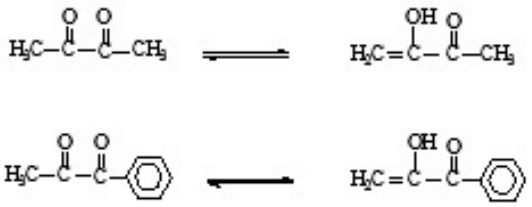

Fig. 5. The Tautomerism effect of DA and PD

그 결과 조사시간의 증가에 따라 굴곡강도가 점차 증가되는 결과를 보였으며, 동일시간 조사하였을 때의 상대적인 굴곡강도는 조사시간이 40-80초로 짧았을 때에는 PD를 사용한 복합레진의 굴곡강도가 상대적으로 CQ를 사용한 복합레진과 비교하여 큰 차이를 나타내지 않았다. 그러나 조사시간이 100초로 증가되었을 때 굴곡강도의 차이가 좀 더 나타났으나 유의한 수준의 차이는 보이지 않았다($p>0.05$). 그러나 DA와 나머지 두 종류의 광증감제를 사용한 복합레진 간의 굴곡강도는 조사시간에 상관없이 유의한 차이를 나타내었다($p>0.05$). 이러한 결과가 나타난 이유는 앞서 설명한 바와 같이 DA가 광가교제로서 역할을 하였을 뿐만 아니라 tautomerism 현상에 기인하기 때문으로 보인다. 한편 간접인장강도와 굴곡강도 간의 상관관계를 보면 두 가지 기계적 성질의 우수성 순서는 일치하나, 유의한 차이를 보였던 결과는 정확히 일치하지 않았었는데 이는 Della 등(2008)의 결과와 같이 간접인장강도와 굴곡강도 사이에는 특별한 상관관계가 존재하지 않기 때문으로 생각된다.

이상의 결과들로부터 새로운 광증감제인 PD와 DA의 특성을 살펴보면, 단량체인 UDMA와 함께 측정한 광중합효율은 PD가 CQ나 DA보다 우수한 결과를 나타내었고 기계적 성질인 간접인장강도와 굴곡강도는 PD 및 DA를 광증감제로 사용한 복합레진이 CQ보다 우수한 결과를 나타냈다. 이렇게 광중합효율과 기계적 성질이 다른 이유는 PD와 DA의 화학적 구조 특성상 가지고 있는 tautomerism 현상과 광가교제로서의 역할 때문인 것으로 보인다. 이러한 결과들로부터 PD 및 DA는 현재 가장 많이 사용되고 있는 광증감제인 CQ를 대신할 수 있는 새로운 광증감제로서 사용될 가능성을 보여주었으며, PD 및 DA의 정확한 사용량을 알아보기 위하여 광증감제의 양을 변화시켜가며 실험할 필요성이 있을 것으로 사료된다.

Ⅴ. 결 론

치과용 가시광선 중합형 복합레진용 광증감제로 현재 가장 흔히 사용되고 있는 CQ를 대신할 수 있는 새로운 광증감제로서 PD와 DA를 UDMA 복합레진에 사용하였을 때, 광중합효율 및 간접인장강도, 굴곡강도를 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 3종의 광증감제를 사용하여 UDMA unfilled 레진을 제조하고 이들의 RDB를 측정한 결과 조사시간이 길어질수록 RDB가 감소되어 중합효율이 증가하는 결과를 보였으며, 같은 시간 조사하였을 때 상대적인 RDB 감소율은 DA < CQ < PD 순으로 나타났다..

2. 3종의 광증감제를 사용한 복합레진을 제조하고 이들의 간접인장강도를 측정한 결과 PD와 DA를 광증감제로 사용한 복합레진의 간접인장강도가 CQ를 광증감제로 사용한 복합레진에 비해 상대적으로 높은 값을 나타내었다.

4. 3종의 광증감제를 사용하여 제조한 복합레진의 굴곡강도는 조사시간이 증가됨에 따라 증가되는 결과를 보였으며, 같은 시간동안 조사하였을 EO의 상대적인 굴곡강도는 DA를 광증감제로 사용한 복합레진이 PD나 CQ를 광증감제로 사용한 복합레진에 비해 월등히 높게 나타났다.

5. 이상의 결과들로부터 PD 및 DA를 UDMA 복합레진의 광증감제로 사용하였을 때 우수한 물성을 가진 복합레진을 제조할 수 있을 것으로 사료된다.

REFERENCES

Cramer NB, Stansbury JW, Bowman CN, Recent Advances and Developments in Composite Dental Restorative Materials. J Dent Res, 90(4), 402-416, 2011.

Della BA, Benetti P, Borba M, Cecchetti D, Flexural and diametral tensile strength of composite resins. Braz Oral Res, 22(1), 84-89, 2008.

John M, Powers, Ronald L, Sakaguchi, "Craig's Restorative Dental Materials" 12th Ed., Jeesung Publishing Co., 129-130, 2008.

Johnson WW, Dhuru VB, Brantley WA, Composite microfiller content and its effect in fracture toughness and diametral tensile strength. Dent Mater 9, 95-98, 1993.

Kneæevie A, Tarle Z, Meniga A, Sutalo J, Pichler G, Ristic M, Degree of Conversion and Temperature Measurement of Composite Polymerised with Halogen and LED-Curing Unit, Acta Stomat Croat, 37(2), 165-168, 2003.

Peutzfeldt A, Quantity of remaining double bonds of propanal-containing resins. J Dent Res, 73(10), 1657-1662, 1994.

Peutzfeldt A, Asmussen E, Ketones in Resin Composites, Acta Odontol Scand, 50, 253-258, 1992.

Rodirgues TP, Rastelli ANS, Andrade MF, Saad JR, Effect of Different Dental Composite Resins on the Polymerization Process, Laser Physics, 19(12), 2224-2229, 2009

Sadowsky SJ, Review An Overview of Treatment Considerations for Esthetic Restorations: a Review of the Literature. J Prosthet Dent, 99(6), 433-442, 2006.

Sandra C, Sgarbi, Pereira S. K. , Martins JMH, Oliveira MAC, Mazur RF, Degree of Conversion of Resin Composites Light Activated by Halogen Light and Led Analyzed by Ultraviolet Spectrometry. Rev. Clin. Pesq. Odontol., Curitiba, 6(3), 223-230, 2010

Schroeder WW, Effect of different photoinitiator systems in conversion profiles of a model unfilled light-cured resin. Dent Mater 23, 1313-1321, 2006.

Shin DH, Rawls HR, Degree of conversion and color stability of the light curing resin with new photoinitiator systems. Dent Mater, 25(8), 1030-1038, 2009.

Silva LE, Soares, Martin AA, Pinheiro ALB, Degree of Conversion of Composite Resin: a Raman Study, J Clin Laser Med Surg, 21(6), 357-362, 2003.

Sun Gumju, The Properties of UDMA Dental Composite Resin with Novel Photosensitizers. The Korea Academy of Dental Technology, 35(3), 209-218, 2013.

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.

Sun Gumju, The Properties of UDMA Dental Composite Resin with Novel Photosensitizers. The Korea Academy of Dental Technology, 35 (3), 209-218, 2013.

Yoshida K, Greener EH, Effects of Two Amine Reducing Agents on the Degree of Conversion and Physical Properties of an Unfilled Light-cured Resin, Dent Mater, 9, 246-251, 1993.