

광조사기에 의한  
간헐적 광중합 방법이  
복합 레진의 미세경도에 미치는 영향

연세대학교 대학원

치 의 학 과

전 동 근

광조사기에 의한  
간헐적 광중합 방법이  
복합 레진의 미세경도에 미치는 영향

지도교수 박 성 호

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2007 년 6 월 일

연세대학교 대학원

치 의 학 과

전 동 근

전동근의 석사 학위논문을 인준함

심사위원\_\_\_\_\_인

심사위원\_\_\_\_\_인

심사위원\_\_\_\_\_인

연세대학교 대학원

2007년 6월 일

## 감사의 글

이 논문을 세상에 나오게 해 주신 하나님께 감사를 드립니다. 처음에는 무엇을 해야 할 지 잘 몰랐었고, 실험이 중간에 바뀌는 바람에 결과가 늦어져 초조한 마음만 앞섰는데 좋은 분들 덕분에 무사히 논문이 나오게 되었습니다.

먼저 박성호 교수님께 감사를 드립니다. 실험의 아이디어와 디자인에 많은 부분을 조언해 주셨고 실험의 진행에 대해 매주 꼼꼼히 챙겨주셨으며 논문의 완성까지도 함께 해 주셔서 감사합니다. 그리고 제 실험에 대해 다른 방향에서 생각할 수 있도록 도와주셨고 세련되지 못한 글을 고칠 수 있도록 도와주신 김광만 교수님과 날카로운 지적으로 제가 놓친 부분들을 챙겨주신 박정원 교수님께도 감사를 드립니다.

또한 수련의 기간 내내 좋은 말씀과 인성으로 임상 외에도 많은 것들을 가르쳐주신 이찬영 교수님과 이승종 교수님, 수련의를 위한 새로운 프로그램들을 생각해 주시는 노병덕 교수님, 적극적인 모습으로 수련의들과 함께 해 주시고 어려운 것들을 같이 해결해 주셨던 김의성 교수님, 정일영 교수님, 공형규 교수님, 항상 밝은 얼굴로 대해 주시는 신수정 교수님, 모두 진심으로 감사를 드립니다.

실험 과정 중 불청객처럼 찾아 가고 늦게까지 남아서 해도 친절하게 대해주셨던 많은 치과 재료학 교실 선생님들, 특히 담당 선생님이셨던 이종숙 선생님께도 감사를 드립니다.

지금까지 부족한 아들을 키우시고 도와주시느라 수고의 땀을 많이 흘리신 부모님과 오빠를 위해 성실하게 기도해 준 혜정이, 사위를 너무도 잘 챙겨주시는 장인어른, 장모님께도 감사를 드리며 마지막까지 건투를 빌어준 사랑하는 아내 은용이와 매일 매일 살아가는 것에 저절로 감사를 느끼게 하는 딸 다은이에게 이 논문을 바칩니다.

2007년 6월 저자 씀

# 차 례

|   |    |
|---|----|
| 그림 및 표 차례                               |    |
| 국문요약 .....                              | iv |
| I. 서 론 .....                            | 1  |
| II. 재료 및 방법 .....                       | 5  |
| 1. 실험재료 .....                           | 5  |
| 2. 실험방법 .....                           | 6  |
| 가. 광조사 .....                            | 6  |
| 나. 시편제작 .....                           | 8  |
| 다. 미세경도의 측정 .....                       | 8  |
| 라. 미세경도비 산출.....                        | 8  |
| 마. 통계 분석.....                           | 8  |
| III. 결 과 .....                          | 9  |
| 1. 각 복합 레진의 미세경도 .....                  | 9  |
| 2. 윗면과 아랫면의 미세경도비.....                  | 14 |
| 3. 각 재료에서 구간 미세경도 값의 비교.....            | 14 |
| 4. 각 재료의 각 군에서 광조사기에 따른 미세경도 값의 비교..... | 16 |
| IV.고 찰 .....                            | 17 |
| V. 결 론 .....                            | 21 |
| 참고 문헌 .....                             | 23 |
| 영문요약 .....                              | 27 |

## 그림 차례

|  |    |
|--|----|
| Fig.1. Upper view of the shutter appliance .....   | 7  |
| Fig.2. Mean microhardness values at top and bottom surfaces of Heliomolar<br>before and after ethanol softening effect .....     | 9  |
| Fig.3. Mean microhardness values at top and bottom surfaces of Tetric ceram<br>before and after ethanol softening effect .....   | 10 |
| Fig.4. Mean microhardness values at top and bottom surfaces of Filtek supreme<br>before and after ethanol softening effect ..... | 11 |
| Fig.5. Mean microhardness values at top and bottom surfaces of Surefil before<br>and after ethanol softening effect .....        | 12 |
| Fig.6. Mean microhardness values at top and bottom surfaces of Grandio before<br>and after ethanol softening effect .....        | 13 |

## 표 차례

|  |    |
|--|----|
| <b>Table 1.</b> Restorative materials used in this study .....   | 5  |
| <b>Table 2.</b> Light Curing Units .....   | 6  |
| <b>Table 3.</b> List of investigated photoactivation methods with their curing<br>Cycles .....                           | 6  |
| <b>Table 4.</b> Mean hardness values and standard deviations at top and bottom<br>surfaces for Heliomolar(VHN) .....     | 9  |
| <b>Table 5.</b> Mean hardness values and standard deviations at top and bottom<br>surfaces for Tetric ceram(VHN) .....   | 10 |
| <b>Table 6.</b> Mean hardness values and standard deviations at top and bottom<br>surfaces for Filtek supreme(VHN) ..... | 11 |
| <b>Table 7.</b> Mean hardness values and standard deviations at top and bottom<br>surfaces for Surefil(VHN) .....        | 12 |
| <b>Table 8.</b> Mean hardness values and standard deviations at top and bottom<br>surfaces for Grandio(VHN) .....        | 13 |
| <b>Table 9.</b> Bottom to Top surface hardness ratio.....  | 14 |
| <b>Table 10.</b> Statistical analysis of microhardness between curing modes.....   | 15 |
| <b>Table 11.</b> Statistical analysis of microhardness between light curing units...16                                   |    |

## 국문요약

### 광조사기에 의한 간헐적 광중합 방법이 복합 레진의 미세경도에 미치는 영향

광중합형 복합 레진의 중합 수축으로 인한 응력을 줄이기 위해 광도와 광조사 시간을 변화시켜 복합 레진의 중합 수축 속도를 감소시키려는 연구들이 있다. 복합 레진의 중합률은 공기중의 미세경도 값을, 복합 레진의 구조는 에탄올 연화 후에 미세경도 값을 측정하여 간접적으로 알 수 있는데 이 값은 광원이나 복합 레진의 구성 요소에 영향을 받을 수 있다.

이 실험의 목적은 광조사기에 의한 간헐적 광중합 방법이 연속 중합법에 비해 복합 레진의 미세경도에 어떤 영향을 미치는 지 알아 보는 것이다. 이번 실험에 사용된 재료는 Heliomolar와 Tetric ceram (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein), Filtek supreme (3M ESPE, St. Paul, MN, USA), Surefil (Dentsply Caulk, Milford, DE, USA), Grandio (VOCO GmbH, Cuxhaven, Germany)이며 광조사기는 QTH형 XL3000 (3M dental product, St. Paul, MN, USA), LED형 Bluephase (Ivoclar vivadent, Schaan, Liechtenstein)로 광도는 각각  $540 \text{ mW/cm}^2$ ,  $1080 \text{ mW/cm}^2$  이다.

시편은 다음과 같이 4군으로 나누어 중합시켰다. 제1군- 연속 광중합(60초 계속 광조사); 제2군- 2초 광조사, 1초 광차단(90초 시행); 제3군- 1초 광조사, 1초 광차단(120초 시행); 제4군- 1초 광조사, 2초 광차단(180초 시행). 총 에너지를 같게 하기 위해 XL3000은 60초, Bluephase는 30초 기준으로 하였다. 시편은 5.5 mm 직경, 2 mm 두께의 원통형 몰드를 이용하여 제작하였으며 7일간 암실에서 보관하였다. Vickers 경도기(MMT-3, JT TOSHI Inc., Tokyo, Japan)를 이용하여 15초, 200 g load로 각 시편의 윗면과 아랫면의 미세경도를 2회 측정하였다. 이후 99.9 % ethyl alcohol(Duksan Pure Chemical Co. LTD, Korea, LOT A608141)에 24시간 보관후 동일한 방법으로 미세경도를 다시 측정하였다

중합이 아랫면까지 잘 되었는지를 알기 위해 미세경도비를 구하였다. 군당 차이를 보기 위해 one-way ANOVA를 이용하였고 차이가 있는 경우에는 Tukey



test로 사후검정을 하였다. 광원의 차이를 보기 위해 t-test를 이용하였으며 모든 통계는 95% 유의수준에서 검증하였다.

미세경도비에서 Heliomolar는 모든 군에서 80 % 미만으로 나왔고 Tetric ceram은 Bluephase를 이용한 공기중 연속 광중합시 80 % 미만이었으나 다른 경우는 80 % 이상이었다. Filtek supreme, Surefil, Grandio는 모두 80 % 이상이었다.

공기중의 미세경도 값에서 각 재료에서 군간 미세경도 값의 차이를 비교하면 Heliomolar는 유의성 있는 차이가 없었지만 나머지 복합 레진의 경우 간헐적 광중합 방법이 연속 중합법에 비해 미세경도 값이 부분적으로 낮게 나왔다. 각 재료의 각 군에서 광조사기에 따른 미세경도 값을 비교했을 때 Heliomolar는 유의성 있는 차이가 없었지만 나머지 복합 레진에서는 미세경도 값이 Bluephase로 중합시켰을 경우 XL3000에 비해 부분적으로 낮게 나왔다.

에탄올 연화 효과 후의 미세경도 값에서 각 재료에서 군간 미세경도 값의 차이를 비교하면 Heliomolar와 Tetric ceram에서 차이가 없었으나 다른 3가지 재료에서 간헐적 광중합 방법이 연속 중합법에 비해 미세경도 값이 부분적으로 낮게 나왔고 각 재료의 각 군에서 광조사기에 따른 미세경도 값을 비교했을 때 Heliomolar, Tetric ceram, Filtek supreme은 차이가 없었으나 다른 2가지 재료에서 Bluephase가 XL3000에 비해 부분적으로 낮게 나왔다.

이번 연구를 통하여 간헐적 광중합 방법은 복합 레진에 따라서 연속 중합법에 비해 미세경도 값이 차이가 없거나 낮게 나왔다. 간헐적 광중합에서도 light-off가 긴 경우가 아닌 경우에 비해 차이가 없거나 낮게 나왔다. LED형도 복합 레진에 따라서 QTH형에 비해 차이가 없거나 낮게 나왔는데 이 결과는 QTH형과 LED형의 차이인지 광도의 차이로 인한 것인지는 앞으로 추가적인 연구가 필요하다.

---

핵심되는 말: 간헐적 광중합, 미세경도, 중합률, QTH, LED, 에탄올 연화 효과

광조사기에 의한 간헐적 광중합 방법이  
복합 레진의 미세경도에 미치는 영향.

<지도교수 박 성 호>

연세대학교 대학원 치의학과

전 동 근

I. 서 론

광중합형 복합 레진은 1970년대에 치과계에 소개된 이후 심미적인 치과 재료로 빠른 발전을 보이고 있다. 하지만 높은 인기와 많은 투자에도 불구하고 아직까지 중합 수축과 그에 따른 응력이 단점으로 지적되고 있다(Davidson and Feilzer, 1997). 이런 응력은 수축량, 수축 속도, 복합 레진의 탄성률, 중합 초기의 레진의 흐름성, 중합의 속도 등에 영향을 받는다고 알려져 있으며(Davidson and de Gee, 1984) 중합 수축 속도가 상승하면 치아와 수복물 계면의 접착이 소실되거나(Eick and Welch, 1986) 주변 치아 구조에 응력이 전달되어 치아의 파절이 생길 수 있다고 하였다(Kanca and Suh, 1999).

이에 광조사시 기존의 연속 중합법에서 벗어나 다양한 광조사 방법이

제시되었고 Soft-start curing(Uno and Asmussen, 1991), Ramped light curing(Dennison 등, 2000), Pulse-delay curing(Kanca and Suh, 1999) 등 광조사 강도와 시간을 조절하여 중합 수축의 속도를 감소시키고자 하였다.

이 외에도 간헐적 광중합 방법이 있는데 light-on과 light-off 시간의 cycle에 따라 광중합 시키는 방법으로써, 중합 수축을 효과적으로 감소 시킨다고 하였다(Obici 등, 2002). 한편 김 등(2004)의 실험에서는 간헐적 광중합 방법이 연속 중합법에 비해 중합 수축 속도를 감소시켜 교두 변위가 감소된다고 하였는데 조사된 광 에너지가 같으면 중합 방법에 상관없이 물리적 성질의 변화가 없고, 중합 수축량에도 변화가 없다고 하였다. 윤과 박(2005)의 실험에서도 간헐적 광중합 방법이 연속 중합법에 비해 복합 레진의 변연 적합도를 향상시켰다고 보고하였다.

하지만 앞에서 언급한 중합 수축의 속도를 감소시키기 위한 광조사 방법들은 복합 레진의 중합률과 구조에 영향을 미칠 수 있는데, 간헐적 광중합 방법이 연속 중합법에 비해 미세경도 값이 낮게 나온 연구가 있었고(Cunha 등, 2003), Pulse-delay curing의 경우 중합 수축의 속도는 줄였지만 복합 레진의 구조에서 가교 구조(cross-linked structure)보다 선형 구조(linear structure)가 많이 나온 연구도 있었다. 초기의 약한 광도로 적은 수의 성장 센터가 만들어지고 지연되는 동안 옆으로 성장하게 되어 선형 구조가 많이 생기게 된 것이고, 여기에 강한 광도로 최종 중합시 분지 형태의 고분자 구조가 많이 생기게 되어 가교 구조가 적게 된 것이다(Soh and Yap, 2004). Pulse-delay curing과 간헐적 광중합 방법이 휴지기를 갖는 조사법이므로 간헐적 방법 또한 복합 레진의 구조에 어떤 영향을 주는지에 연구 해 볼 필요가 있다.

복합 레진은 메타크릴레이트 단량체가 중합되어 3차원의 망상 구조체인 고도의 가교 결합의 구조가 되는데 고분자의 움직임이 제한되어 완전한 중합은 일어나지 않는다(Asmussen, 1982a). 중합률이 높으면 기계적인 성질, 마모저항성, 색조 안정성, 용해성도 좋아지는데 중합률의 측정값이 복합 레진의 전체적인 성질을 결정짓는 것은 아니고 평균적인 성질을 알 수 있게 해 준다. 가교 구조의 밀도 역시 중요한 요인인데 밀도가 높아질수록 물리적인 성질과 안정성이 증가된다. 하지만 중합률과 가교 구조의 밀도 사이에는 직접적인 연관성은 없으며 가교 구조보다 선형 구조가 많은 경우에도 중합률이 높을 수 있다(Asmussen and Peutzfeldt, 2001b).

미세 경도를 측정하면 중합률을 가늠할 수 있으며(Ferracane, 1985) 이것은 복합 레진의 선형 구조와 가교 구조를 모두 포함한다. 그러나 조사면의 미세경도가 적절하게 나왔어도 수복재 전부의 적절한 중합을 의미하지는 않으며(Asmussen, 1982b), 미세경도의 측정은 조사면 외에도 비조사면도 같이 해야 하며 이것으로 중합의 깊이를 파악할 수 있게 된다. 만약 이 부분에서 중합이 부족하면 변연 파절의 가능성이 높아지고(Quance 등, 2001) 이차 우식이 생길 가능성도 높아진다(Shortall 등, 1995).

가교 구조의 밀도는 유리전이온도를 이용해서 직접적으로 측정할 수 있는데(Tamaresevely and Rueggeberg, 1994) 에탄올 연화 효과를 이용한 미세경도 측정으로도 가교 구조의 정도를 간접적으로 알 수 있다(Asmussen, 1982b), (Ferracane and Greener, 1986). 에탄올은 고분자의 사슬에 강한 이차 결합을 일으킬 수 있는데 고분자에 침투하여 내부의 이차 결합들을 대체시킨다. 이러면 선형 구조나 분지 형태의 고분자들이 용해되어 나온다. 하지만

일차적으로 안정된 가교 구조에는 결합할 수 없어 가교 구조들은 녹지 않는다(Asmussen and Peutzfeldt, 2001a).

미세경도에 영향을 주는 것으로 광조사기의 종류를 들 수 있다. QTH(Quartz-Tungsten-Halogen)형 광조사기는 1970년대 후반 소개되면서 최근까지 폭넓게 사용되고 있으나 몇 가지 단점을 보이고 있다. 사용 중 과열이 되고 제조사에서 제시하는 최고출력에 도달하지 못해 부적절한 중합이 되어 수복재의 질이 떨어질 수 있고 램프의 수명이 짧은 점이다(Jandt 등, 2000). 이러한 단점을 극복하기 위해 LED(Light-Emitting Diode)형 광조사기가 개발되었다. LED는 발열이 적어 램프의 수명이 길며 시간이 지나도 출력에 큰 문제없이 사용할 수 있다. 하지만 모든 종류의 복합 레진이 적절한 깊이에서 중합이 되는지에 대해 실험적으로 완전하게 입증되지 않았다(Mills, 1995).

이번 연구의 목적은 광조사기에 의한 간헐적 광중합 방법이 연속 중합법에 비해 복합 레진의 미세경도에 어떤 영향을 미치는 지 알아보는 것이다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험 재료

본 실험에는 A2 shade의 5가지 광중합 복합 레진을 사용하였다(Table 1).

광조사기는 QTH와 LED type을 사용하였다(Table 2).

**Table 1. Restorative materials used in this study**

| Brand name     | Category                 | Composition   | Manufacturer                            | Lot No.  |
|----------------|--------------------------|---|---|----------|
| Helio Molar    | Micro-fill               | Filler: 46 vol.%(66.7 wt.%) of highly-dispersed silicon dioxide, 0.04-0.2 $\mu$ m<br>Resin: BisGMA,UDMA, decandiol dimethacrylate                                   | Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein | K02526   |
| Tetric Ceram   | Micro hybrid             | Filler: 62 vol.%(81 wt.%) of 0.04~3.0 $\mu$ m (combination of irregular and spherical fillers)<br>Resin: BisGMA, UDMA, TEGDMA                                       | Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein | J20825   |
| Filtek supreme | Nano-fill                | Filler: 59.5 vol.%(78.5 wt.%) of combination of nanomeric particles and nanoclusters with primary particle size of 20 or 75nm<br>Resin: BisGMA, BisEMA UDMA, TEGDMA | 3M ESPE, St. Paul, MN, USA              | 20060505 |
| Surefil        | Pack-able (Micro hybrid) | Filler: 66 vol.%(82 wt.%) of 0.8 $\mu$ m<br>Resin: Urethane modified BisGMA, TEGDMA   | Dentsply Caulk, Milford, DE, USA        | 060130   |
| Grandio        | Nano hybrid              | Filler: 71.4 vol.%(87 wt.%) of spherical silicium dioxide 20~50nm and glass ceramic fine particles<br>Resin: BisGMA, UDMA TEGDMA                                    | VOCO GmbH, Cuxhaven, Germany            | 712215   |

BisGMA : Bisphenol A Polyethylene Glycol Diether Dimethacrylate

UDMA: DiUrethane Dimethacrylate

TEGDMA: TriEthylene Glycol Dimethacrylate

**Table 2. Light Curing Units**

| Product   | Type | Manufacturer                            |
|-----------|------|---|
| XL 3000   | QTH  | 3M dental Product, St. Paul, MN, USA    |
| Bluephase | LED  | Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein |

빛의 광도 측정은 Coltolux Light Meter (Coltene, Alstatten, Switzerland)을 이용하였는데 그 수치는 Curing light XL3000 이 540 mW/cm<sup>2</sup> Bluephase 가 1080 mW/cm<sup>2</sup> 였다.

## 2. 실험 방법

### 가. 광조사

각각의 중합주기: 제 1 군- 연속 광중합; 제 2 군- 2 초 광조사, 1 초 광차단; 제 3 군- 1 초 광조사, 1 초 광차단; 제 4 군- 1 초 광조사, 2 초 광차단에 따라 중합시켰으며 군 별로 총 에너지량이 같도록 조절 하였다(Table3).

**Table 3. List of investigated photoactivation methods with their curing cycles.**

| group | Curing type  | subgroup  | Photoactivation method                                   |
|-------|--------------|-----------|--|
| 1     | continuous   | XL 3000   | Cycles of 60s light on with no light off for 60 sec      |
|       |              | Bluephase | Cycles of 30s light on with no light off for 30 sec      |
| 2     | intermittent | XL 3000   | Cycles of 3s with 2s light on & 1s light off for 90 sec  |
|       |              | Bluephase | Cycles of 3s with 2s light on & 1s light off for 45 sec  |
| 3     | intermittent | XL 3000   | Cycles of 2s with 1s light on & 1s light off for 120 sec |
|       |              | Bluephase | Cycles of 2s with 1s light on & 1s light off for 60 sec  |
| 4     | intermittent | XL 3000   | Cycles of 3s with 1s light on & 2s light off for 180 sec |
|       |              | Bluephase | Cycles of 3s with 1s light on & 2s light off for 90 sec  |

광중합시 자체 제작한 광조사 차단장치(R&B Inc., Daejeon, Korea)아래에 시편을 위치시키고 이 장치가 움직일 때 방해 받지 않는 한도 내에서 최대한 가까이 광조사기를 위치시킨 다음 조사하였다.

광조사 차단장치는 직경 8 cm의 금속디스크에 직경 1.5 cm의 원형의 구멍이 뚫려있고, 컴퓨터와 연결되어 지시된 셔터 막의 on time과 off time에 따라 수평면에서의 회전운동을 반복하게 된다. 차단장치를 레진과 광조사기 사이에 위치시켜 광중합시 원하는 cycle로 중합을 할 수 있다(Fig. 1).

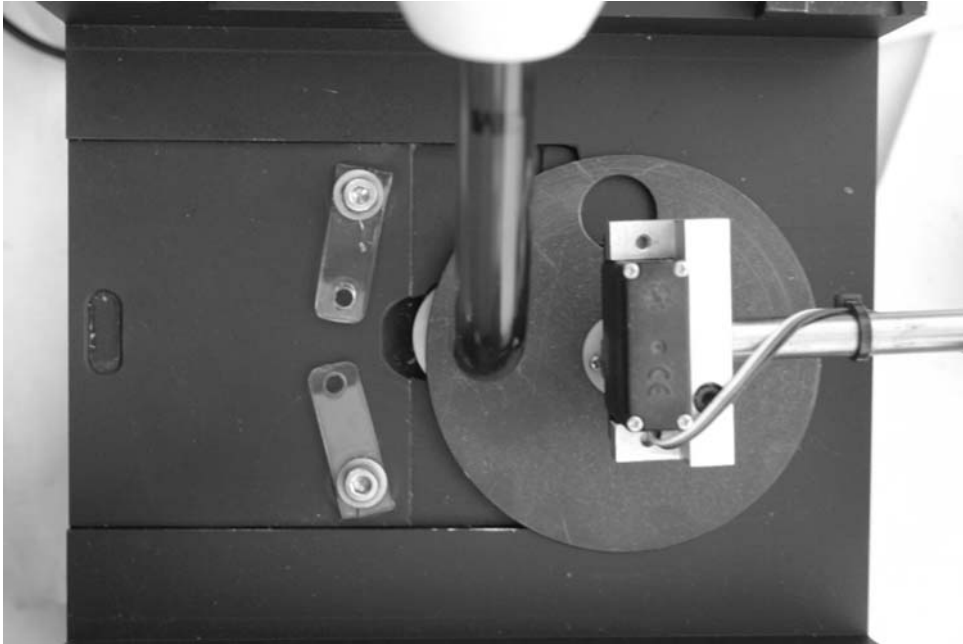


Fig. 1. Upper view of the shutter appliance.



#### 나. 시편제작

5.5 mm 직경, 2 mm 두께의 원통형 몰드에 복합 레진을 충전한 다음 윗면과 아랫면에 cover glass를 덮고 시편의 상부에 광조사 차단장치를 위치시킨 후 Table 3과 같이 광중합 하였다. 광조사가 완료된 후 몰드에서 시편을 제거하여 표면은 처리하지 않고 광조사기에서 가까운 윗면과 먼 아랫면을 표시한 다음 빛이 스며들지 않는 암실에서 7일간 보관하였다.

#### 다. 미세경도의 측정

Vickers 경도기(MMT-3, JT TOSHI Inc., Tokyo, Japan)를 이용하여 15초, 200g load로 각 레진 시편에서 윗면과 아랫면의 미세경도를 2회 측정하였다.

이후 99.9% ethyl alcohol(Duksan Pure Chemical Co. LTD, Korea, LOT A608141)에 24시간 보관후 동일한 방법으로 미세경도를 다시 측정하였다.

#### 라. 미세경도비 산출

미세경도비 = (아랫면의 미세경도 값 / 윗면의 미세경도 값) X 100 %

미세경도비로 중합의 깊이를 알 수 있다.

#### 마. 통계 분석

조사방법에 대한 차이를 보기 위해 One-Way ANOVA를 이용하였고 차이가 있는 경우에는 Tukey test로 사후 검정을 하였으며 광조사기 종류의 차이를 보기 위해 t-test를 이용하였다. 이 실험에서 사용된 모든 통계는 95% 유의 수준에서 검증하였다.

### III. 결 과

#### 1. 각 복합 레진의 미세경도

각 복합 레진의 미세경도 값은 Heliomolar는 Table 4와 Fig. 2, Tetric ceram은 Table 5와 Fig. 3, Filtek supreme은 Table 6과 Fig. 4, Surefil은 Table 7과 Fig. 5, Grandio는 Table 8과 Fig. 6에 정리하였다.

Table 4. Mean hardness values and standard deviations at top and bottom surfaces for Heliomolar(VHN) (T: Top, B: Bottom, SD :standard deviation)

|    | Air     |      |           |      | Ethanol |      |           |      |
|----|---------|------|-----------|------|---------|------|-----------|------|
|    | XL3000  |      | Bluephase |      | XL3000  |      | Bluephase |      |
|    | Average | SD   | Average   | SD   | Average | SD   | Average   | SD   |
| 1T | 30.87   | 1.36 | 31.49     | 2.67 | 13.34   | 1.00 | 14.51     | 1.63 |
| B  | 22.76   | 2.40 | 21.09     | 4.37 | 9.83    | 0.74 | 9.92      | 1.13 |
| 2T | 30.62   | 1.07 | 31.43     | 1.93 | 13.08   | 1.03 | 13.54     | 0.71 |
| B  | 22.70   | 2.09 | 22.24     | 2.26 | 10.17   | 0.39 | 9.93      | 0.98 |
| 3T | 30.76   | 1.11 | 29.94     | 2.33 | 13.47   | 0.81 | 14.09     | 1.17 |
| B  | 21.08   | 1.74 | 20.95     | 2.91 | 10.08   | 0.77 | 10.16     | 0.99 |
| 4T | 29.92   | 1.68 | 30.29     | 2.17 | 13.20   | 0.91 | 13.77     | 0.95 |
| B  | 21.14   | 2.17 | 20.03     | 2.40 | 10.08   | 0.67 | 9.74      | 0.65 |

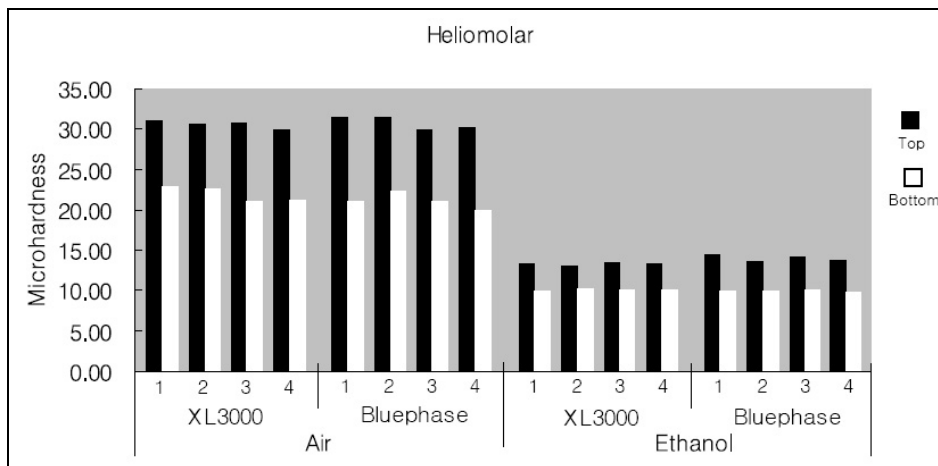


Fig. 2. Mean microhardness values at top and bottom surfaces of Heliomolar before and after ethanol softening effect

Table 5. Mean hardness values and standard deviations at top and bottom surfaces for Tetric ceram(VHN) (T: Top, B: Bottom, SD :standard deviation)

|    | Air     |      |           |      | Ethanol |      |           |      |
|----|---------|------|-----------|------|---------|------|-----------|------|
|    | XL3000  |      | Bluephase |      | XL3000  |      | Bluephase |      |
|    | Average | SD   | Average   | SD   | Average | SD   | Average   | SD   |
| 1T | 51.60   | 3.02 | 49.04     | 4.03 | 32.49   | 4.82 | 32.85     | 2.81 |
| B  | 44.30   | 1.75 | 38.27     | 6.51 | 28.83   | 3.75 | 28.02     | 3.10 |
| 2T | 50.00   | 2.53 | 49.88     | 4.41 | 31.70   | 3.47 | 32.21     | 1.95 |
| B  | 43.24   | 1.51 | 39.90     | 4.48 | 28.17   | 3.29 | 28.30     | 3.40 |
| 3T | 48.91   | 1.81 | 49.04     | 4.12 | 31.55   | 3.68 | 33.33     | 3.08 |
| B  | 41.26   | 1.75 | 39.84     | 4.42 | 27.15   | 4.31 | 27.64     | 3.81 |
| 4T | 48.49   | 2.31 | 47.86     | 4.23 | 31.42   | 4.33 | 32.39     | 3.79 |
| B  | 41.62   | 2.75 | 38.46     | 5.90 | 28.17   | 3.06 | 28.19     | 3.88 |

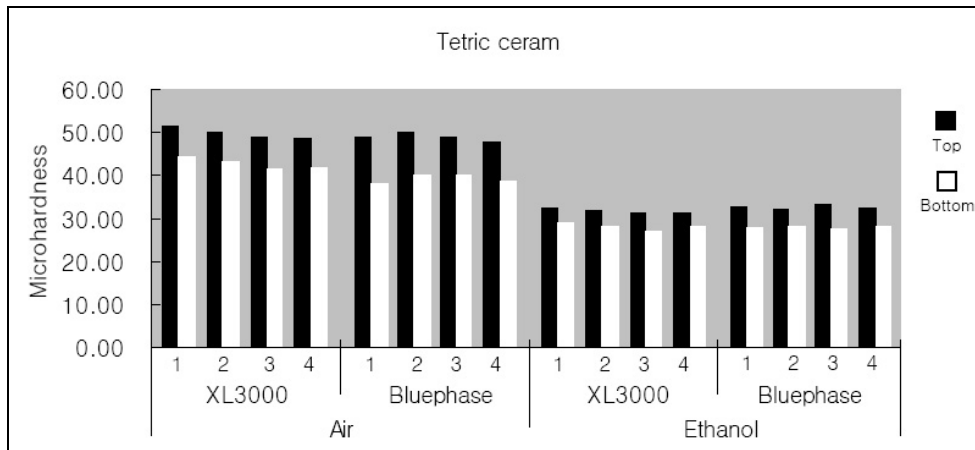


Fig. 3. Mean microhardness values at top and bottom surfaces of Tetric ceram before and after ethanol softening effect

Table 6. Mean hardness values and standard deviations at top and bottom surfaces for Filtek supreme(VHN) (Top, B: Bottom, SD :standard deviation)

|    | Air     |      |           |      | Ethanol |      |           |      |
|----|---------|------|-----------|------|---------|------|-----------|------|
|    | XL3000  |      | Bluephase |      | XL3000  |      | Bluephase |      |
|    | Average | SD   | Average   | SD   | Average | SD   | Average   | SD   |
| 1T | 76.48   | 2.85 | 76.69     | 2.05 | 62.80   | 2.05 | 64.35     | 1.66 |
| B  | 70.45   | 1.75 | 66.98     | 2.49 | 57.90   | 2.03 | 56.09     | 2.48 |
| 2T | 78.33   | 0.62 | 75.11     | 1.39 | 62.80   | 1.32 | 63.14     | 1.35 |
| B  | 75.19   | 2.84 | 64.11     | 2.30 | 56.20   | 1.48 | 55.04     | 2.70 |
| 3T | 77.02   | 2.14 | 72.75     | 1.45 | 62.43   | 1.01 | 62.93     | 2.20 |
| B  | 71.65   | 0.82 | 63.52     | 1.89 | 55.00   | 1.68 | 54.53     | 2.78 |
| 4T | 77.20   | 1.67 | 74.54     | 2.31 | 63.17   | 1.02 | 63.92     | 2.26 |
| B  | 72.59   | 0.91 | 65.01     | 2.06 | 55.55   | 1.51 | 55.15     | 3.82 |

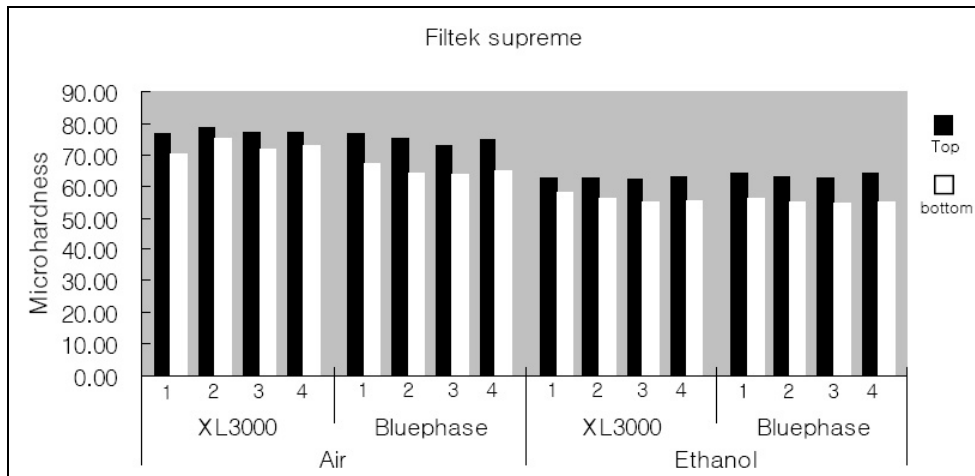


Fig. 4. Mean microhardness values at top and bottom surfaces of Filtek supreme before and after ethanol softening effect

Table 7. Mean hardness values and standard deviations at top and bottom surfaces for Surefil(VHN) (T: Top, B: Bottom, SD :standard deviation)

|    | Air     |      |           |      | Ethanol |      |           |      |
|----|---------|------|-----------|------|---------|------|-----------|------|
|    | XL3000  |      | Bluephase |      | XL3000  |      | Bluephase |      |
|    | Average | SD   | Average   | SD   | Average | SD   | Average   | SD   |
| 1T | 77.17   | 2.46 | 77.02     | 2.21 | 69.08   | 1.52 | 64.89     | 1.32 |
| B  | 71.04   | 1.95 | 61.24     | 2.63 | 62.52   | 2.28 | 54.07     | 1.48 |
| 2T | 77.83   | 1.70 | 75.52     | 2.14 | 67.61   | 2.25 | 64.31     | 2.24 |
| B  | 68.64   | 2.87 | 60.87     | 1.84 | 61.71   | 2.14 | 53.96     | 1.80 |
| 3T | 77.06   | 1.87 | 73.78     | 1.92 | 67.38   | 1.89 | 64.17     | 1.32 |
| B  | 67.45   | 2.79 | 60.05     | 2.78 | 61.31   | 1.16 | 53.95     | 2.10 |
| 4T | 76.21   | 2.98 | 75.09     | 1.67 | 67.99   | 1.79 | 64.25     | 1.29 |
| B  | 67.08   | 2.73 | 59.63     | 1.76 | 58.97   | 2.24 | 53.17     | 1.62 |

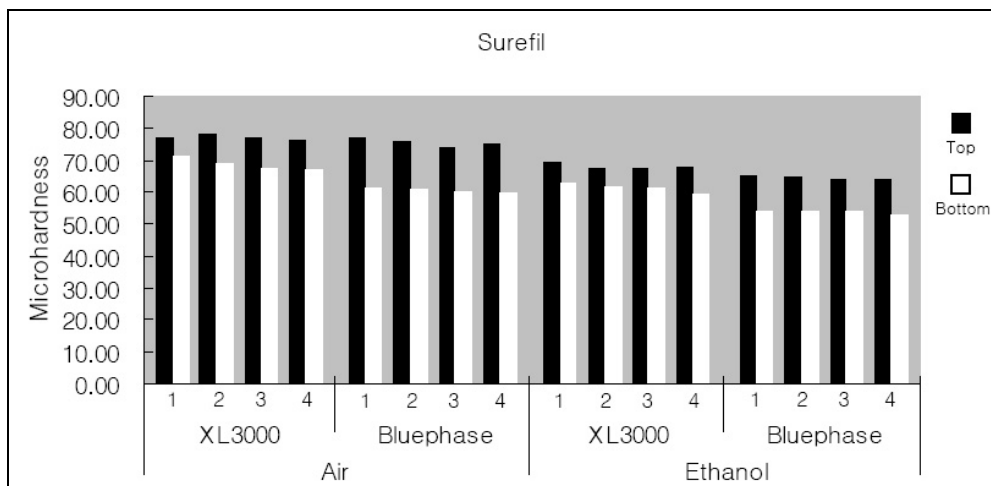


Fig. 5. Mean microhardness values at top and bottom surfaces of Surefil before and after ethanol softening effect

Table 8. Mean hardness values and standard deviations at top and bottom surfaces for Grandio(VHN) (T: Top, B: Bottom, SD :standard deviation)

|    | Air     |      |           |      | Ethanol |      |           |      |
|----|---------|------|-----------|------|---------|------|-----------|------|
|    | XL3000  |      | Bluephase |      | XL3000  |      | Bluephase |      |
|    | Average | SD   | Average   | SD   | Average | SD   | Average   | SD   |
| 1T | 98.65   | 1.38 | 96.10     | 2.64 | 84.75   | 1.32 | 83.68     | 1.38 |
| B  | 94.17   | 1.97 | 87.70     | 2.40 | 79.71   | 1.81 | 73.85     | 1.36 |
| 2T | 98.48   | 1.51 | 93.44     | 1.80 | 83.70   | 1.74 | 82.97     | 1.02 |
| B  | 93.77   | 1.52 | 83.52     | 1.87 | 80.35   | 1.73 | 71.81     | 2.81 |
| 3T | 99.07   | 1.67 | 93.55     | 2.47 | 84.10   | 1.67 | 81.66     | 2.09 |
| B  | 94.42   | 2.17 | 83.98     | 2.15 | 79.95   | 0.93 | 73.69     | 2.02 |
| 4T | 97.31   | 1.78 | 93.37     | 2.26 | 83.02   | 1.22 | 83.22     | 1.44 |
| B  | 91.78   | 3.33 | 84.53     | 2.70 | 77.81   | 1.68 | 73.28     | 1.52 |

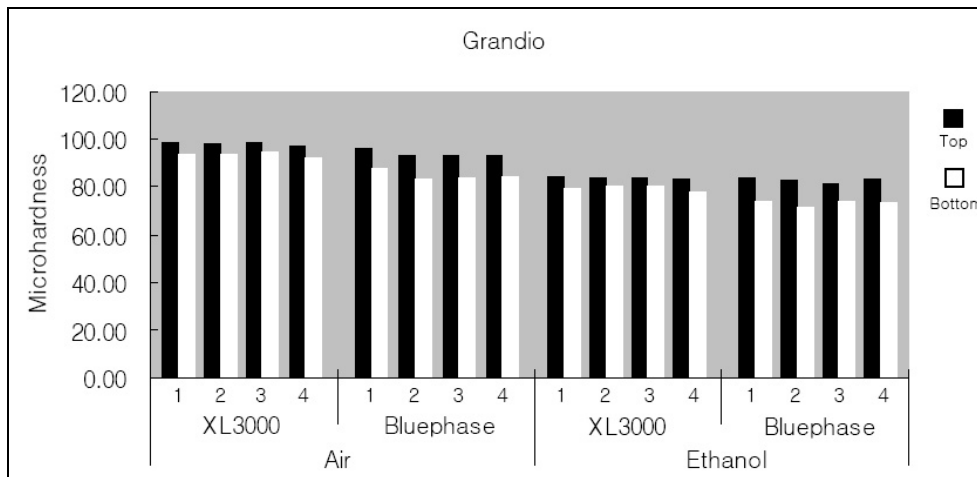


Fig. 6. Mean microhardness values at top and bottom surfaces of Grandio before and after ethanol softening effect

## 2. 윗면과 아랫면의 미세경도비

Table 9. Bottom to Top surface hardness ratio (%)

| Curing light |         | Helio molar | Tetric ceram | Filtek supreme | Surefil | Grandio |    |
|--------------|---------|-------------|--------------|----------------|---------|---------|----|
| XL3000       | Air     | 1           | 74           | 86             | 92      | 92      | 95 |
|              |         | 2           | 74           | 86             | 96      | 88      | 95 |
|              |         | 3           | 69           | 84             | 93      | 88      | 95 |
|              |         | 4           | 71           | 86             | 94      | 88      | 94 |
|              | Ethanol | 1           | 74           | 89             | 92      | 90      | 94 |
|              |         | 2           | 78           | 89             | 89      | 91      | 96 |
|              |         | 3           | 75           | 86             | 88      | 91      | 95 |
|              |         | 4           | 76           | 90             | 88      | 87      | 94 |
| Bluephase    | Air     | 1           | 67           | 78             | 87      | 80      | 91 |
|              |         | 2           | 71           | 80             | 85      | 81      | 89 |
|              |         | 3           | 70           | 81             | 87      | 81      | 90 |
|              |         | 4           | 66           | 80             | 87      | 80      | 91 |
|              | Ethanol | 1           | 68           | 85             | 87      | 83      | 88 |
|              |         | 2           | 73           | 88             | 87      | 84      | 87 |
|              |         | 3           | 72           | 83             | 87      | 84      | 90 |
|              |         | 4           | 71           | 87             | 86      | 83      | 88 |

Heliomolar 에서 미세경도비가 모두 80 % 이하로 나왔고 Tetric ceram 에서는 Bluephase 로 공기중에서 연속중합시 80 % 이하였으며 나머지 미세경도는 80 % 이상으로 나왔다. Filtek supreme 과 Surefil 그리고 Grandio 는 모두 80 % 이상으로 나왔다.

## 3. 각 재료에서 균간 미세경도 값의 비교

간헐적 광조사법을 연속 중합법과 비교했을 때 Heliomolar의 경우 윗면, 아랫면 모두 유의성 있는 차이가 없었다. Tetric ceram의 경우 에탄올 연화 효과 전 XL3000에서 윗면이 1군 $\geq$ 2,3군 $\geq$ 4군, 아랫면이 1군 $\geq$ 2군 $\geq$ 3,4군의 순서로 나타났다. Filtek supreme에서 에탄올 연화 효과 전 XL3000에서는

아랫면이 2군>3,4군>1군의 순으로 Bluephase에서 윗면이 1,2군≥4군≥3군, 아랫면이 1군≥4군≥2,3군 순으로 나타났고 에탄올 연화 효과 후 XL3000에서 아랫면에서 1군≥2군≥3,4군의 순으로 나타났다. Surefil의 경우 에탄올 연화 효과 전 XL3000에서 아랫면이 1군≥2군≥3,4군의 순으로 나타났고 Bluephase에서 윗면에서 1군≥2,4군≥3군의 순으로 나타났다. 에탄올 연화 후 XL3000에서 아랫면에서 1,2군≥3군≥4군순으로 나타났다. Grandio의 경우 에탄올 연화 효과 전 Bluephase에서 윗면과 아랫면에서 1,2,3군>4군, 에탄올 연화 효과 후 XL3000에서 아랫면이 2,3군≥1군≥4군의 순으로 나타났고 Bluephase에서 윗면이 1군≥2,4군≥3군의 순으로 나타났다.(p<0.05) 결국 복합 레진별로 광중합 방법에 따른 미세경도 값의 차이가 다르게 나타났다. 군간 차이가 있더라도 간헐적 광중합 방법의 미세경도 값이 연속 중합법에 비해 비슷하거나 낮게 나왔고 간헐적 광중합에서도 light-off시간이 긴 경우가 짧은 경우에 비해 낮게 나왔다.

Table10. Statistical analysis of microhardness between curing modes

|                       | Variable       | Air     |           | Ethanol |           |
|-----------------------|----------------|---------|-----------|---------|-----------|
|                       |                | XL3000  | Bluephase | XL3000  | Bluephase |
| <b>Heliomolar</b>     | TOP surface    | NS      | NS        | NS      | NS        |
|                       | Bottom surface | NS      | NS        | NS      | NS        |
| <b>Tetric ceram</b>   | TOP surface    | 1≥2,3≥4 | NS        | NS      | NS        |
|                       | Bottom surface | 1≥2≥3,4 | NS        | NS      | NS        |
| <b>Filtek supreme</b> | TOP surface    | NS      | 1,2≥4≥3   | NS      | NS        |
|                       | Bottom surface | 2>3,4>1 | 1≥4≥2,3   | 1≥2≥3,4 | NS        |
| <b>Surefil</b>        | TOP surface    | NS      | 1≥2,4≥3   | NS      | NS        |
|                       | Bottom surface | 1≥2≥3,4 | NS        | 1,2≥3≥4 | NS        |
| <b>Grandio</b>        | TOP surface    | NS      | 1,2,3>4   | NS      | 1≥2,4≥3   |
|                       | Bottom surface | NS      | 1,2,3>4   | 2,3≥1≥4 | NS        |

NS : not significant



#### 4. 각 재료의 각 군에서 광조사기에 따른 미세경도 값의 비교

QTH형의 XL 3000과 LED형의 Bluephase를 비교해보면 Heliomolar와 Tetric ceram은 큰 차이가 없으나 Filtek supreme, Surefil, Grandio에서 특히 시편의 아랫면의 미세경도가 XL3000에 비해 Bluephase의 미세경도 값이 낮게 나왔다.( $p < 0.05$ )

Table11. Statistical analysis of microhardness between light curing units

| Curing method         | Air            |    |    |    | Ethanol |    |    |    |    |
|-----------------------|----------------|----|----|----|---------|----|----|----|----|
|                       | 1              | 2  | 3  | 4  | 1       | 2  | 3  | 4  |    |
| <b>Heliomolar</b>     | TOP surface    | NS | NS | NS | NS      | NS | NS | NS | NS |
|                       | Bottom surface | NS | NS | NS | NS      | NS | NS | NS | NS |
| <b>Tetric ceram</b>   | TOP surface    | NS | NS | NS | NS      | NS | NS | NS | NS |
|                       | Bottom surface | *  | *  | NS | NS      | NS | NS | NS | NS |
| <b>Filtek supreme</b> | TOP surface    | NS | *  | *  | *       | NS | NS | NS | NS |
|                       | Bottom surface | *  | *  | *  | *       | NS | NS | NS | NS |
| <b>Surefil</b>        | TOP surface    | NS | *  | *  | NS      | *  | *  | *  | *  |
|                       | Bottom surface | *  | *  | *  | *       | *  | *  | *  | *  |
| <b>Grandio</b>        | TOP surface    | *  | *  | *  | NS      | NS | NS | NS | NS |
|                       | Bottom surface | *  | *  | *  | *       | *  | *  | *  | *  |

NS : not significant \* : XL3000>Bluephase (microhardness)

#### IV. 고찰

이번 실험에서 몇 가지 변수를 통일시켰는데 균일하고 최대한의 광중합을 얻기 위해 시편의 두께는 2 mm로 하였다(Yap, 2000). 각 복합 레진의 색은 A2로 통일하여 광중합시 색소의 영향을 최소화시켰다.(Bayne 등, 1994). 최소한의 광조사 강도는  $400 \text{ mW/cm}^2$ 이며(Tate 등, 1999) 이 실험에서는 각각  $540 \text{ mW/cm}^2$ 과  $1080 \text{ mW/cm}^2$ 의 강도를 사용하였으며 각각 60초, 30초를 조사하여 총 에너지는  $32.4 \text{ J/cm}^2$ 이 되었다.

본 실험에서 복합 레진의 미세경도 값은 Heliomolar가 가장 작게 나왔고 Grandio의 미세경도 값이 가장 높게 나왔다. 복합 레진은 대개 1)기질 2)무기필러 3)결합제 3가지의 주 요소를 갖는다(Peutzfeldt, 1997). 레진 기질 내에 혼합되는 필러의 양과 크기에 따라 복합 레진의 유형이 결정된다(Rueggeberg, 2002). 필러의 양은 재료의 강도, 중합 수축 등과 관련이 있고(Kim 등, 2002), 필러의 사이즈는 수복재의 연마성과 관련이 있다(Lu 등, 2003). Heliomolar는 microfill형으로  $0.04\sim 0.2 \mu\text{m}$ 의 필러 크기를 가지는데 prepolymerized filler particle 형태로 들어 있어 filler loading이 제일 적고(Kim, Ong and Okuno, 2002), 부피비도 46%로 다른 재료에 비해 가장 적다. Filler loading이 적어 미세경도 값이 낮게 나온 것이다(Braem 등, 1989). Tetric ceram은 microhybrid형으로  $0.7 \mu\text{m}$ 의 필러 크기를 가지는데 불규칙하고 원형의 필러를 갖는다. Filtek supreme은 nanofill형으로 평균  $20 \text{ nm}$ 이다. Surefil은 packable형이고  $0.01\sim 3 \mu\text{m}$ 크기의 filler, Grandio는 nanohybrid형으로  $1 \mu\text{m}$ 의 microfiller와  $20\sim 60 \text{ nm}$ 크기의 nanofiller로 구성되어 있다. Grandio의 경우

filler의 질량비가 기질대비 1:6.7로 전통적인 hybrid의 1:4에 비해 훨씬 높고 nanomer와 nanocluster의 구조상 interstitial space가 감소되어 미세경도 값이 가장 높게 나온 것을 알 수 있다(Chung, 1990). Monomer의 성분의 비율에 따라 에탄올 연화 효과 후의 미세경도 값에 차이가 있을 수 있는데 특히 TEGDMA의 양이 많아질수록 에탄올 연화 효과를 감소시킨다고 하였다. 즉 가교 구조 형성의 촉진과 관련 있다고 하였다(Asmussen, 1984). 본 실험에 사용된 Tetric ceram, Filtek supreme과 Surefil의 TEGDMA의 농도를 제조사의 자료를 참고한 결과 각각 4 %, 5 %, 6.25 % 로 나왔는데 Surefil로 갈수록 에탄올 연화 효과 후의 미세경도 값이 상대적으로 높게 나왔는데 TEGDMA의 농도 차이와 관련 있는 것으로 보인다.

윗면과 아랫면의 미세경도 비율을 보면 Heliomolar가 전체적으로 80 %이하로 나왔다. 특정 깊이에서 적절한 중합에 대한 기준으로 80~90 %의 범위가 제시된 바 있으므로(DeWald and Ferracane, 1987) Heliomolar의 중합이 잘 안 된 것을 알 수 있다. Filler의 양과 평균 크기가 증가할수록 빛의 산란과 반사가 향상되어 더 가시광선이 더 깊게 투과 된다고 하였는데 Heliomolar는 filler의 양도 적고 크기도 작아 빛의 깊게 투과 되지 못한 것으로 보인다(Bouschlicher 등, 2004).

본 실험에서 간헐적 광중합 방법과 연속 중합법의 미세경도 값의 차이가 복합 레진 별로 차이가 없는 경우도 있고 차이가 있는 경우도 있었다. 이전의 연구에서 간헐적 광중합 방법이 연속 중합법에 비해 중합의 깊이가 더 깊었다고 보고 되었고(Obici 등, 2004) 그 이유로 광조사 강도가 최고조에 이를 때가 0.55 초이며 이후 감소하므로 광조사시 매번 다시 켜 주면 최고조의 강도가 계속 생성되므로 실제 중합에 이르는 광조사 에너지가 더 크다고 하였다(Sakaguchi

and Berge, 1998). 하지만 2 mm 두께까지는 광조사 방법에 상관없이 미세경도 값이 비슷하다고 하였다. 이번 실험에서 다른 점은 복합 레진을 한 종류가 아닌 5가지 종류를 사용하여 복합 레진의 성분에 따른 차이가 있을 수 있고 light-on, light-off의 cycle이 다르기 때문에 차이가 생겼을 수 있다. 게다가 광조사기를 새로 켜다 끄는 것이 아니라 켜진 상태로 유지시키기 때문에 일정량의 광도를 유지한 부분도 다르다. 에탄올 연화 효과 후에도 연속 중합법이 간헐적 광중합 방법보다 비슷하거나 우세하게 나온 것으로 보아 가교 구조 밀도가 연속 중합법일 때 더 우세하게 나타난다고 볼 수 있으며 간헐적 광중합 방법중에서도 light-off시간이 긴 것 보다는 짧은 것이 중합률이나 가교 구조 형성에 더 유리하다고 볼 수 있다.

QTH형과 LED형을 이용한 복합 레진의 미세경도 실험에서 3 mm이상의 중합 깊이에서 윗면의 미세경도는 차이가 없지만 아랫면은 LED형으로 광조사 했을 때 미세경도가 급격하게 떨어지는 것이 관찰되었다(Tsai 등, 2004). 이번 실험에서도 QTH와 LED형 광중합기로 조사시 윗면보다 아랫면에서 차이가 있는 경우가 많았다. 시편의 두께가 2 mm이므로 광중합의 최대중합을 얻으려 하였으나 실제 광조사 차단장치가 광조사기와 시편 사이에 위치하고 있고 시편과 광조사기의 거리가 실제로는 2 mm 이상이었고 거리가 길어진 만큼 LED조사로 인한 아랫면의 미세경도 값이 낮게 나온 것으로 보인다. 특히 LED의 경우 파장이 QTH형에 비해 짧아 산란을 커지므로 깊은 곳의 중합이 덜 된 것으로 보인다(Santos 등, 2007). 또한 에탄올 연화 효과 후에도 LED형의 미세경도 값이 낮게 나온 경우들이 있어 가교 구조의 형성에 LED형이 불리한 부분이 있는 것으로 보인다. 하지만 이러한 모든 차이들이 단순히 QTH형과

LED형의 차이로 인한 것인지 알 수 없는데 광도의 차이가 있었고 노출 시간의 차이가 있었으므로 이로 인한 영향인지 대해서는 추가적인 연구가 필요하다.

이번 연구를 통하여 간헐적 광중합 방법이 연속 중합법 보다 미세경도 값이 부분적으로 낮게 나왔고 그 중에 light-off시간이 긴 경우가 짧은 경우에 비해 부분적으로 낮게 나왔다. LED형과 QTH형 광조사기에서도 복합 레진에 따라 LED형의 미세경도 값이 부분적으로 낮았다. 에탄올 연화 효과 후도 마찬가지로 가교 구조의 형성에 QTH형이 유리한 것으로 보인다.

## V. 결론

이번 연구의 목적은 간헐적 광중합 방법이 연속 중합법에 비해 복합 레진의 미세경도에 어떤 영향을 미치는지 알아보는 것이었다.

이 실험에서는 5가지 종류의 복합 레진으로 2mm두께의 시편을 만들어 서로 다른 중합 cycle을 이용하여 광중합하여 미세경도를 측정하였는데 복합 레진의 전체적인 중합률을 간접적으로 알기 위해 공기중의 미세경도 값을 측정하였고 선형 구조를 제외한 가교 구조의 밀도를 간접적으로 알기 위해 에탄올에 하루 침적 후 미세 경도 값을 측정하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 공기중의 미세경도 값에서 각 재료에서 구간 미세경도 값의 차이를 비교하면 Heliomolar는 유의성 있는 차이가 없었지만 나머지 복합 레진의 경우 간헐적 광중합 방법이 연속 중합법에 비해 미세경도 값이 부분적으로 낮았다. 각 재료의 각 군에서 광조사기에 따른 미세경도 값을 비교했을 때 Heliomolar는 유의성 있는 차이가 없었지만 나머지 복합 레진에서는 미세경도 값이 Bluephase로 중합시켰을 경우 XL3000에 비해 부분적으로 낮게 나왔다.

2. 에탄올 연화 효과 후의 미세경도 값에서 각 재료에서 구간 미세경도 값의 차이를 비교하면 Heliomolar와 Tetric ceram에서 차이가 없었으나 다른 3가지 재료에서 간헐적 광중합 방법이 연속 중합법에 비해 미세경도 값이 부분적으로 낮게 나왔고 각 재료의 각 군에서 광조사기에 따른 미세경도 값을 비교했을 때 Heliomolar, Tetric ceram, Filtek supreme은 차이가 없었으나 다른 2가지 재료에서 Bluephase가 XL3000에 비해 부분적으로 낮게 나왔다.

이번 연구를 통하여 간헐적 광중합 방법은 복합 레진에 따라서 연속 중합법에 비해 미세경도 값에서 차이가 없거나 낮게 나왔다. 간헐적 광중합 방법에서도 light-off 시간이 긴 경우가 짧은 경우에 비해 차이가 없거나 낮게 나왔다. LED형도 복합 레진에 따라서 QTH형에 비해 차이가 없거나 낮게 나왔는데 이 결과는 QTH형과 LED형의 차이인지 광도의 차이로 인한 것인지 설명할 수 없으며 앞으로 추가적인 연구가 필요하다.

## 참고문헌

- 김민경, 이찬영 : 복합레진의 간헐적 광중합 방법이 중합 수축 속도, 미세경도 및 치아의 교두 변위에 미치는 영향. *연세치대논문집*, 2004
- 윤용환, 박성호 : 복합 레진의 간헐적 광중합 방법이 변연 적합도에 미치는 영향. *연세치대논문집*, 2005
- Asmussen E.: Factors affecting the quantity of remaining double bonds in restorative resin polymers. *Scand J Dent Res* 90: (6) 490-6, 1982a
- Asmussen E.: Restorative resins: Hardness and strength vs. Quantity of remaining double bonds. *Scand J Dent Res* 90: (6) 484-9, 1982b
- Asmussen E.: Softening of bisigma-based polymers by ethanol and by organic acids of plaque. *Scand J Dent Res* 92: (3) 257-61, 1984
- Asmussen E. and Peutzfeldt A.: Influence of pulse-delay curing on softening of polymer structures. *J Dent Res* 80: (6) 1570-3, 2001a
- Asmussen E. and Peutzfeldt A.: Influence of selected components on crosslink density in polymer structures. *Eur J Oral Sci* 109: (4) 282-5, 2001b
- Bayne S. C., Heymann H. O. and Swift E. J., Jr.: Update on dental composite restorations. *J Am Dent Assoc* 125: (6) 687-701, 1994
- Bouschlicher M. R., Rueggeberg F. A. and Wilson B. M.: Correlation of bottom-to-top surface microhardness and conversion ratios for a variety of resin composite compositions. *Oper Dent* 29: (6) 698-704, 2004
- Braem M., Finger W., Van Doren V. E., Lambrechts P. and Vanherle G.: Mechanical properties and filler fraction of dental composites. *Dent Mater* 5: (5) 346-8, 1989
- Chung K. H.: The relationship between composition and properties of posterior resin composites. *J Dent Res* 69: (3) 852-6, 1990
- Cunha L. G., Sinhoreti M. A., Consani S. and Sobrinho L. C.: Effect of different photoactivation methods on the polymerization depth of a light-activated composite. *Oper Dent* 28: (2) 155-9, 2003



Davidson C. L. and de Gee A. J.: Relaxation of polymerization contraction stresses by flow in dental composites. *J Dent Res* 63: (2) 146-8, 1984

Davidson C. L. and Feilzer A. J.: Polymerization shrinkage and polymerization shrinkage stress in polymer-based restoratives. *J Dent* 25: (6) 435-40, 1997

Dennison J. B., Yaman P., Seir R. and Hamilton J. C.: Effect of variable light intensity on composite shrinkage. *J Prosthet Dent* 84: (5) 499-505, 2000

DeWald J. P. and Ferracane J. L.: A comparison of four modes of evaluating depth of cure of light-activated composites. *J Dent Res* 66: (3) 727-30, 1987

Eick J. D. and Welch F. H.: Polymerization shrinkage of posterior composite resins and its possible influence on postoperative sensitivity. *Quintessence Int* 17: (2) 103-11, 1986

Ferracane J. L.: Correlation between hardness and degree of conversion during the setting reaction of unfilled dental restorative resins. *Dent Mater* 1: (1) 11-4, 1985

Ferracane J. L. and Greener E. H.: The effect of resin formulation on the degree of conversion and mechanical properties of dental restorative resins. *J Biomed Mater Res* 20: (1) 121-31, 1986

Jandt K. D., Mills R. W., Blackwell G. B. and Ashworth S. H.: Depth of cure and compressive strength of dental composites cured with blue light emitting diodes (leds). *Dent Mater* 16: (1) 41-7, 2000

Kanca J., 3rd and Suh B. I.: Pulse activation: Reducing resin-based composite contraction stresses at the enamel cavosurface margins. *Am J Dent* 12: (3) 107-12, 1999

Kim K. H., Ong J. L. and Okuno O.: The effect of filler loading and morphology on the mechanical properties of contemporary composites. *J Prosthet Dent* 87: (6) 642-9, 2002

Lu H., Roeder L. B. and Powers J. M.: Effect of polishing systems on the surface roughness of microhybrid composites. *J Esthet Restor Dent* 15: (5) 297-303; discussion 304, 2003

Mills R. W.: Blue light emitting diodes--another method of light curing? *Br Dent J* 178: (5) 169, 1995

Obici A. C., Sinhoreti M. A., Correr Sobrinho L., Goes M. F. and Consani S.: Evaluation of depth of cure and knoop hardness in a dental composite photo-activated using different methods. *Braz Dent J* 15: (3) 199-203, 2004

Obici A. C., Sinhoreti M. A., de Goes M. F., Consani S. and Sobrinho L. C.: Effect of the photo-activation method on polymerization shrinkage of restorative composites. *Oper Dent* 27: (2) 192-8, 2002

Peutzfeldt A.: Resin composites in dentistry: The monomer systems. *Eur J Oral Sci* 105: (2) 97-116, 1997

Quance S. C., Shortall A. C., Harrington E. and Lumley P. J.: Effect of exposure intensity and post-cure temperature storage on hardness of contemporary photo-activated composites. *J Dent* 29: (8) 553-60, 2001

Rueggeberg F. A.: From vulcanite to vinyl, a history of resins in restorative dentistry. *J Prosthet Dent* 87: (4) 364-79, 2002

Sakaguchi R. L. and Berge H. X.: Reduced light energy density decreases post-gel contraction while maintaining degree of conversion in composites. *J Dent* 26: (8) 695-700, 1998

Santos G. B., Medeiros I. S., Fellows C. E., Muench A. and Braga R. R.: Composite depth of cure obtained with qth and led units assessed by microhardness and micro-raman spectroscopy. *Oper Dent* 32: (1) 79-83, 2007

Shortall A. C., Wilson H. J. and Harrington E.: Depth of cure of radiation-activated composite restoratives--influence of shade and opacity. *J Oral Rehabil* 22: (5) 337-42, 1995

Soh M. S. and Yap A. U.: Influence of curing modes on crosslink density in polymer structures. *J Dent* 32: (4) 321-6, 2004

Tamameselvy K. and Rueggeberg F. A.: Dynamic mechanical analysis of two crosslinked copolymer systems. *Dent Mater* 10: (5) 290-7, 1994

Tate W. H., Porter K. H. and Dosch R. O.: Successful photocuring: Don't restore without it. *Oper Dent* 24: (2) 109-14, 1999

Tsai P. C., Meyers I. A., Walsh L. J., Ernst C. P., Meyer G. R., Muller J., Stender E., Ahlers M. O. and Willershausern B.: Depth of cure and surface microhardness of composite resin cured with blue led curing lights. *Dent Mater* 20: (4) 364-9, 2004

Uno S. and Asmussen E.: Marginal adaptation of a restorative resin polymerized at reduced rate. *Scand J Dent Res* 99: (5) 440-4, 1991

Yap A. U.: Effectiveness of polymerization in composite restoratives claiming bulk placement: Impact of cavity depth and exposure time. *Operative dentistry* 25: (2) 113-20, 2000

## Abstract

### **The effect of intermittent light curing by different curing units on the microhardness of composite resin**

Dong-keun Jeon

*Department of conservative dentistry  
The Graduate School, Yonsei University*

(Directed by Professor Sung-ho Park)

Many studies have focused on controlling the polymerization rate of composite resin by altering the light intensity and light curing time in an attempt to minimize the stress.

The degree of polymerization and polymerization structure of the composite resin may be identified indirectly by the measuring micro-hardness after air and ethanol softening, and might be influenced by the light source of the components of the composite resin.

The aim of this study was to compare the influence of an intermittent curing method with QTH, an LED type light curing unit, on microhardness of composite resin with that of the continuous curing method. The materials used in this study were Heliomolar, Tetric Ceram, Filtek supreme, Surefil, and Grandio. The curing lights used in this study were QTH type XL3000 and LED type Bluephase. Each type of luminosity was 540 mW/cm<sup>2</sup>, and 1080 mW/cm<sup>2</sup>.

The specimens were divided into the following four groups and were polymerized: group 1, continuous light curing (for 60 seconds); group 2, 2 seconds light curing followed by 1 second rest (for 90 seconds); group 3, 1 second light curing followed by 1 second rest (for 120 seconds); and group 4, 1 second light curing followed by 2 seconds rest (for 180 seconds). The

following standards were used to equalize the total energy: 60 seconds for XL3000 and 30 seconds for Bluephase. The specimens were produced with a cylindrical mold, 5.5 mm in diameter and 2 mm in thickness, and were kept in a darkroom for 7 days. The microhardness of the upper and lower surfaces of each specimen was measured twice using a Vickers durometer with a 200 g load for 15 seconds. After keeping them in 99.9% ethyl alcohol for 24 hours, the microhardness was again measured using the same method.

The microhardness ratio was calculated to determine if the polymerization was completed to the lower surface. One-way ANOVA was used to observe the difference between the groups. When a difference was found, post-censorship was performed using a Tukey test. A t-test was used to examine the difference between the light sources, and all statistics were verified at the 95% confidence interval.

The microhardness ratio of Heliomolar was < 80% in all groups, and that of Tetric Ceram with continuous light curing with Bluephase was < 80%. However, some cases were > 80%. The Filtek supreme, Surefil, Grandio were > 80%.

A comparison of the differences in microhardness value between the groups in each material revealed that the amount of difference varied according to the composite resin. Heliomolar showed no significant difference in microhardness, but the other composite resins cured using the continuous curing method showed larger microhardness values than with the intermittent curing method. Even when comparing the microhardness according to the curing light in each group of each material, the differences varied according to the composite resin used. Heliomolar showed no significant difference in microhardness but the other composite resins showed a slightly larger microhardness value when cured with XL3000 than with Bluephase.

After ethanol softening, there was no difference in microhardness between Heliomolar and Tetric Ceram. However, the other three types of materials appeared to have a higher microhardness with the continuous curing method

than with the intermittent curing method. Lastly Helimolar, Tetric ceram, and Filtek supreme showed similar microhardness values. However, two different types of materials showed a partially larger microhardness value when cured with XL3000 than with Bluephase.

Overall, this study demonstrates that the continuous curing method and intermittent curing method may not result in a difference in microhardness according to the composite resin. If there is a difference, the continuous curing method produces a higher microhardness. In the cases of QTH and LED types, there may not be any difference according to the composite resin. If there is a difference, the LED type produces a lower microhardness. However, this result cannot explain whether it is a difference between the QTH type and LED type or a difference in light intensity. Therefore, more studies will be needed.

---

Key words: intermittent light curing, microhardness, polymerization degree, QTH, LED, ethanol softening effect