

## 경화방법이 치과용 경석고의 기계적 특성에 미치는 영향

임용운, 황성식, 김사학, 최재우\* 정수하\*, 김시철\*  
경동대학교 치기공학과, 충북보건과학대학교 치기공과\*

### Influence of mechanical properties of ultra-dental stone on setting methods

Yong-Woon Im, Seong-Sig Hwang, Sa-Hak Kim, Je-Woo Choi\*, Su-ha Jeong\*, Si-Chul Kim\*

Department of Dental Technology, Medical Campus, Kyungdong University,  
Department of Dental Laboratory Technology, Chungbuk Health & Science University\*

#### [Abstract]

**Purpose:** The purpose of this study was to investigate the influence of mechanical properties of various ultra-dental stone by setting methods.

**Methods:** 240 cylinder specimens(10 mm × 20 mm) were prepared from three ultra-dental stones(Gemma, Die keen and Fuji rock; n = 80) in accordance with the manufacturers' recommendations. Half of the specimens of each stone(n = 40) were dried in open air within a room temperature; the other half(n = 40) underwent in a silicone rubber mold in open air for 30 minutes and then were dried in a microwave oven for 10 minutes to 600W. Compressive strength(CS), compressive modulus(CM) and diametral tensile strength(DTS) conducted until fracture using Instron 5966 at each of the following periods: 1 and 24 hours from mixing. One-way analysis of variance and Scheffe's post hoc test were performed for statistical comparisons at a significance level of P<.05.

**Results:** The CS and CM values in all dental stone indicated highest after 24h(54.25 MPa < ) than the values for specimens dried in microwave method . The DTS values revealed the highest microwave method. However, in 24h, FJ(Fu-ji rock) and GM(Gemma) had lower mechanical properties than air.

**Conclusion :** Within the limitations of this study, CS did not influence by microwave method but DTS affected according to the setting.

◎ **Key words:** Ultra dental stone, Compressive strength, Diametral tensile strength

Corresponding author	Name	김 시 철	Tel.	043-210-8291	E-mail	iyoseb@chsu.ac.kr
	Address	충북 청주시 청원구 내수읍 덕암길 10 충북보건과학대학교 치기공과				
Received	2018. 1. 3	Revised	2018. 2. 23	Accepted	2018. 3. 5	

## I. 서론

치과보철물을 제작하는 방법은 직접법과 간접법으로 분류된다. 직접법은 구강 내에서 직접 작업을 통해 수복하는 방법으로 정밀한 보철물 제작이 가능하지만, chair time이 길어질 경우 환자의 불편함을 초래하고, 조작에 제한을 받는다. 반면에, 간접법은 구강 내 정보와 상태를 기공 table로 가져오기 위해서 인상체에 석고를 주입하여 작업모형 상에서 보철물을 제작하는 방법으로 작업이 편리하기 때문에 대부분의 보철물이 간접법을 통하여 제작되고 있다. 간접법으로 보철물을 제작하기 위해서는 무엇보다 정밀한 작업모형이 매우 중요하다. 따라서 정밀한 작업모형을 제작하기 위해서는 강도가 높고, 미세부 재현성이 높은 치과용 석고의 사용은 필수이다(Anusavice, 1996, Kim & Lee, 1992).

치과용 석고는 석고원광석인 황산칼슘이수화물(calcium sulfate dehydrate)을 110~120℃로 가열하면 결정수가 증발하여 반수화물인 황산칼슘반수화물(calcium sulfate hemihydrate)로 변한다. 그리고 다시 물과 반응하여 석고 경화가 일어나는데 다이용 경석고는 주로  $\alpha$ -형 반수화물로 크기가 작고 규칙적인 결정으로  $\beta$ -형 반수화물보다 강하고 경도가 높다. 치과용 초경석고(Type IV)가 다이용으로 사용 되기 위한 필요조건으로 강도, 경도, 내마모성 그리고 경화 팽창이 작아야 한다. 특히 지대치의 변연부가 조각하는 동안 부스러질 염려가 있기 때문에 다이용 초경석고는 단단한 표면 및 강도를 가져야 한다. 또한 작업 부주의로 인한 모형의 파절을 방지하기 위해서도 작업모형의 강도는 중요하다(Song et al, 2002). 경석고의 강도는 초기 경화시간 이후에 재료가 경화됨에 따라 급격히 증가하지만 경화 후에 남아 있는 여분의 물(free water)은 석고의 강도에 큰 영향을 미치며, 알려진 바와 같이 석고의 강도는 습윤강도(wet strength)와 건조강도(dry strength)로 보고 되고 있다 (Craig, 1989; Fairhurst, 1960). 또한 치과용 석고의 강도는 경화시간, 혼수비, 조작방법, 보관 조건에 따라 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Toreskog et al, 1966, Kim, 1973, Brukl et al, 1984).

일반적으로 작업모형의 최종 강도를 얻기 위해 경화 시간은 분말과 물의 혼합 시작부터 시작하여 초기 경화 시간(loss of gloss), 최종경화시간으로 구분한다. 평균 45분의 경화시간을 필요로 하지만 석고의 내면은 여전히 여분의 수분이 남아 있어 최종경화에 이르지 못한다. 따라서 급한 보철물의 요구나 가용되지 않는 시간 절약을 위해서 제조사에서 지시한 air dry보다 microwave oven에서 경화시켜 제작하는 경우가 있다. Microwave 경화반응 시 외부적인 열을 가함으로써 경화를 유도하여 경석고 모형의 표면 및 기계적 특성에 영향을 미치는 요인으로 작용된다(Song et al, 2002, Kim & Lee, 1992). Yap(2003) 등은 microwave를 이용 시 경화 시간을 줄일 수 있으며, 수분 감소 효과가 발생하였고 보고하였다. 또한 초경석고의 경화를 위해 490W 에서 60초 동안 microwave 에너지가 추천된다고 하였다(Yap et al, 2003).

이에 본 연구에서는 “치과용 석고가 microwave에 의한 경화방법이 치과용 석고의 물리적 특성에 영향을 미치지 않는다.”라는 귀무가설을 설정하였다. 따라서 치과용 석고의 경화 방법에 따른 압축강도(compressive strength, CS), 압축탄성계수(compressive modulus, CM), 간접인장강도(diametral tensile strength, DTS) 등을 측정하여 기계적 특성의 변화를 비교하여 치과용 모델 제작 시 임상적용에 유용한 정보를 얻고자 하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 실험재료

본 연구에서는 시중에서 널리 사용되는 3종의 치과용 초경석고를 사용하였으며, 제품명과 제조사, 혼수비, 제조사에서 제시한 압축강도 등은 Table 1에 정리하였다.

### 2. 실험방법 및 측정

#### 1) 시편제작

압축 강도와 간접인장강도 시편을 제작하기 위하여

Table 1. Materials of ultra-dental stone used in this study

Product	Code	Manufacturer	Water/powder ratio	Compressive strength indicated by manufacturer	
				1h	24h
Gemma	GM	Sam-woo, South Korea	20 mL/100g	60	110
Die keen	DK	Heraeus kulzer, South Bend, IN, USA	24 mL/100g	-	-
Fuji rock	FJ	GC Europe, Leuven, Belgium	20 mL/100g	53	-

ISO규격 6873이 규정하는 크기를 축소하여 직경 10 mm, 높이 20 mm 크기의 금속 원통을 제작하였다(Fig. 1). 제작된 금속 시편은 치과기공용 실리콘(Deguform, Degudent, Germany)을 이용하여 석고 시편 제작을 위한 mold를 제작하였다. 준비된 음형의 몰드에 각각의 초경석고를 혼수비, 혼합시간 등 제조사의 지시대로 손으로 30초, 진공혼합기(Twister, Renfert, Germany)를 이용하여 30초간 혼합 후 즉시 주입 하였다. 주입된 시편은 30분이 경과된 후 주형에서 시편을 제거하였고, 혼합 시작 30분 경과 후 주형에서 시편을 제거하였다.

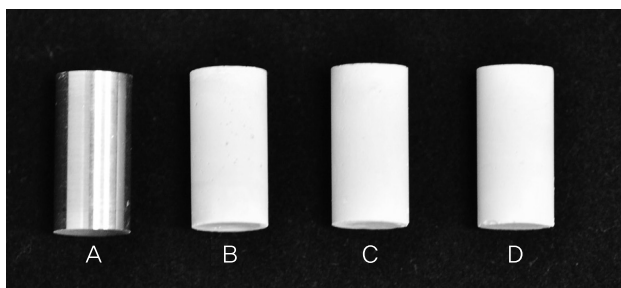


Figure 1. Fabricated specimens. A. Metal specimen; B. Gemma; C. Die keen; D. Fuji rock

2) 경화 방법(setting method)

혼합시작 30분 경과 후 주형에서 제거된 시편을 24 ± 2°C, 50 ± 10%의 상대습도(Drying oven, Yamato, Japan)에서 30분 보관하였다(1h). 또한 24시간을 동일한 조건 속에서 자연건조 되도록 보관하였다(24h).

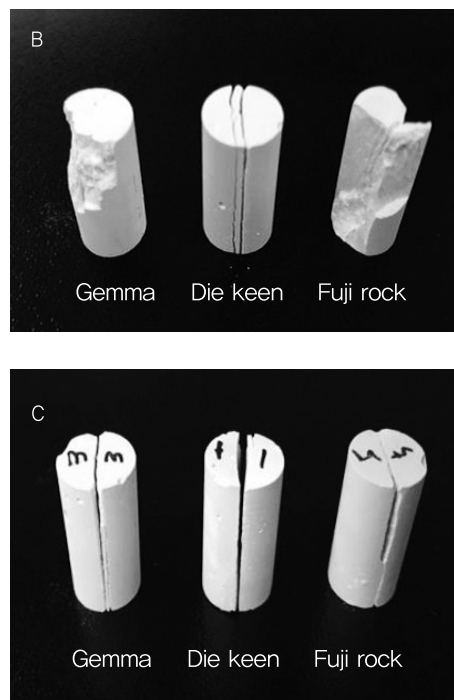
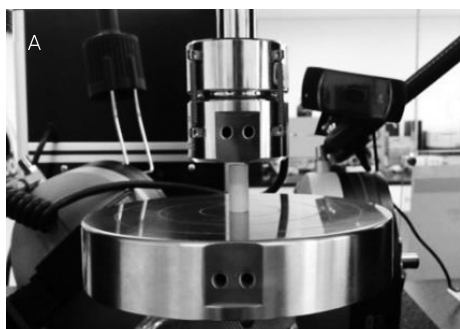


Figure 2. A. Instron machine; B. Compressive strength specimen; C. Diametral tensile strength specimen

Microwave를 사용한 시편을 제작하기 위하여 진공 혼합 시작 후 30분이 경과된 시편을 전자레인지(KR-A202B, Daewoo, Korea)에 600W의 출력으로 10분 간 microwave를 이용한 방법으로 건조하였다. 건조된 시편은 24 ± 2°C, 50 ± 10%의 상대습도(Drying oven, Yamato, Japan)에서 20분 간 보관하여 제작하고 (M1h), 동일한 조건에서 24시간 보관(M24h)하여 각각 시편을 제작하였다. 압축강도 및 간접인장강도 시편은 각 군별로 10개씩 제작하여 총 240개를 준비하였다.

3) 압축강도 및 간접인장강도 측정(compressive strength and diametral tensile strength)

압축강도와 간접인장강도의 측정은 혼합시작 1시간 및 24시간이 경과된 후 만능재료시험기(Instron 5966, USA)를 이용하여 하중속도 0.5 mm/min으로 실온에서 측정하였다. 시편 측정을 위한 plate 압축판 위에 0.1 mm 두께의 여과지를 개재시켰으며, 압축강도는 Bluehill software program(Instron, USA)를 이용하여 측정하였다.

3. 통계 처리

치과용 석고의 기계적 특성인 압축강도, 간접인장강도를 측정 후 SPSS 21.0 v (SPSS, USA)을 이용하여 유의수준 0.05에서 일원배치분산분석(One-way ANOVA)를 실시하여 통계 처리하였고, Scheffe's 다중 비교 사후검정으로 각각의 실험군간 비교, 평가하였다.

III. 결과

최근 상업적으로 널리 사용되고 있는 치과용 초경석고의 경화방법에 따른 압축강도, 압축탄성계수, 간접인장강도를 측정하여 Table 2에 정리하였다.

강도값을 나타내었다. 또한 탄성계수도 모든 재료에서 24h에서 가장 높은 값을 나타냈다(Fig 3).

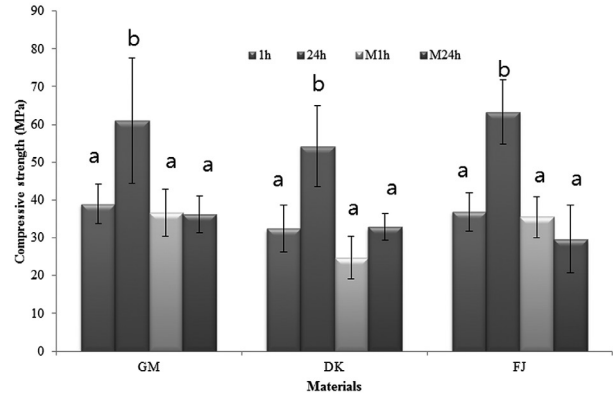


Figure 3. Compressive strength(CS) between materials and setting methods

시간대별 비교에서 압축강도는 1시간 경화 후의 경우 비슷한 값을 나타내었으나 DK에서 microwave를 처리한 시편에서 가장 낮은 값을 보였다. 또한 24시간 경화 후 실시한 압축강도는 microwave를 처리한 시편에서 공기 중에서 건조한 압축강도보다 모두 낮게 나타났다. 그러나 간접인장강도는 microwave를 처리 후 테스트한 1H에서 자연건조한 강도값보다 높은값을 나타냈다.

간접인장강도는 상온에서 1시간 건조한 1h에서 가장 낮은 값을 나타냈으며, M1h, 24h, M24h에서는 높은 강도 값을 나타내었다(Fig. 4).

Table 2. Results of dental stone mechanical properties

(unit: MPa)

		GM		DK		FJ	
		Dry	Microwave	Dry	Microwave	Dry	Microwave
CS	1h	38.93(5.16) <sup>b</sup>	36.64(6.13) <sup>b</sup>	32.39(6.20) <sup>ab</sup>	24.77(5.59) <sup>a</sup>	36.95(5.08) <sup>b</sup>	35.54(5.44) <sup>b</sup>
	24h	61.01(16.67) <sup>b</sup>	36.19(4.90) <sup>a</sup>	54.25(10.71) <sup>b</sup>	32.88(3.52) <sup>a</sup>	63.27(8.50) <sup>b</sup>	29.59(8.97) <sup>a</sup>
CM	1h	4.27(0.42) <sup>bc</sup>	4.07(0.31) <sup>b</sup>	4.01(0.39) <sup>b</sup>	3.45(0.31) <sup>a</sup>	4.66(0.18) <sup>c</sup>	4.03(0.16) <sup>b</sup>
	24h	4.86(0.91) <sup>bc</sup>	4.41(0.23) <sup>ab</sup>	4.96(0.49) <sup>bc</sup>	3.88(0.71) <sup>a</sup>	5.37(0.32) <sup>c</sup>	4.08(0.58) <sup>ab</sup>
DTS	1h	3.37(0.62) <sup>a</sup>	6.45(1.14) <sup>b</sup>	3.52(0.76) <sup>a</sup>	7.00(1.41) <sup>b</sup>	3.71(0.59) <sup>a</sup>	7.19(1.67) <sup>b</sup>
	24h	7.55(1.23) <sup>abc</sup>	5.42(1.26) <sup>a</sup>	8.54(2.52) <sup>bc</sup>	8.74(1.11) <sup>c</sup>	7.58(1.54) <sup>abc</sup>	6.09(1.69) <sup>ab</sup>

a, b, c The same letters indicate no significant difference between group by scheffe(P<.05).

본 연구에서 모든 치과용 초경석고는 24h 경화 후 가장 높은 압축 강도(54~63MPa)를 나타냈으며, FJ에서 가장 높았다. 다른 군에서는 비슷한(25~37MPa) 압축

경화방법이 치과용 경석고의 기계적 특성에 미치는 영향

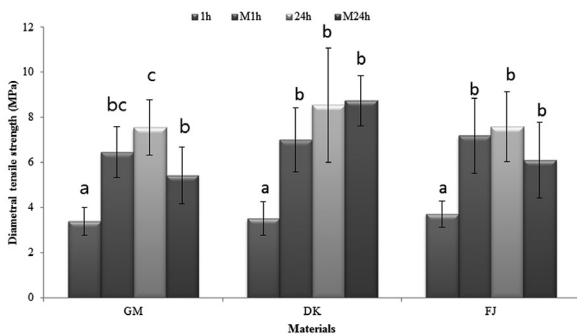


Figure 4. Diametral tensile strength (DTS) between dental stone and setting method

압축강도 시간대별 비교에서는 1h와 M1h에서 DK를 제외하고 압축강도의 차이는 없었다. 그러나 24시간이 경과한 압축강도는 공기 중에서 건조한 24h에서 높은 압축강도값을 나타내었다(Fig. 5).

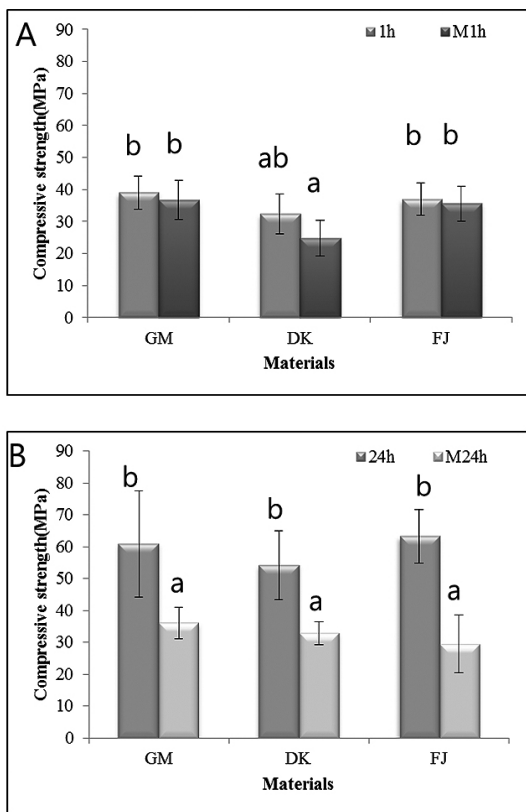


Figure 5. Compressive strength(CS) between air and microwave dry method. A: 1hour; B: 24hour

간접인장강도의 시간별 비교에서는 모든 재료에서 M1h가 1h보다 높은 강도값을 나타냈으며, 24시간 후 측정된 간접인장강도 값에서는 GM의 M24h에서 가장

낮은 값을 나타내었다(Fig. 6).

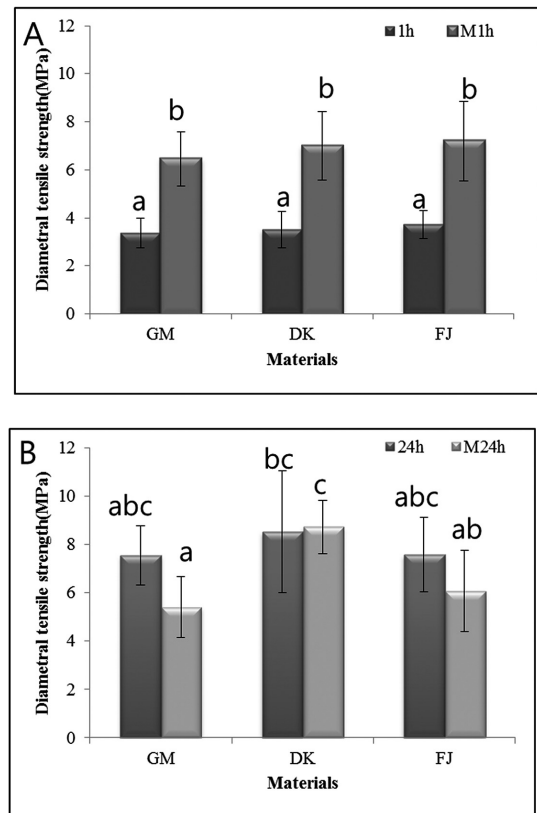


Figure 6. Diametral tensile strength(DTS) between air dry and microwave method. A: 1hour; B: 24hour

모든 치과용 초경석고의 압축탄성계수(CM)는 24h 군에서 가장 높은 값을 나타내었으며, 나머지 1h, M1h, M24h 군에서는 낮은 값을 보였다(Fig. 7).

#### IV. 고찰

치과분야에서 석고를 이용한 제품은 오래 전부터 치과용 모형재, 인상재, 매몰재의 결합재로 사용되어 왔다. 이 중 치과용 모형재로 활용되는 석고는 현재에도 다양한 기능을 갖추고 국내외에 출시되어 사용 되어 지고 있다(Kim & Lee, 1992). 치과용 모형 재료로 쓰이는 석고는 인상재와의 적합성, 미세부 재현성, 체적안정성, 정밀성, 적절한 경화시간, 높은 압축강도 및 경도, 조각의 용이성, 무독성, 우수한 굽힘 강도 등을 고루 갖추고 있어야 한다(Peyton et al, 1952; Yen et al, 1991;

Bastiani et al, 1989). 이 중 치과용 석고를 모형 및 작업모형 재료로 사용할 때 가장 중요한 요소는 우수한 강도이다(Zakaria et al, 1988). 이에 본 실험에서는 국내외 시판 중인 대표적인 3개 제품을 선정하여 압축강도, 압축탄성계수, 간접인장강도를 측정하여 비교 분석하고자 하였다.

Craig(1989)은 석고가 경화 후 높은 강도를 보이며, 혼수비가 증가하면 혼합 중 여분의 수분이 혼합물 안에 균일하게 퍼져 경화 평창시키나, 강도는 감소한다고 하였다. 또한 정확한 혼수비로 교반된 석고의 압축강도는 경석고 31 MPa, 초경석고 45 MPa 정도이며, 초경석고의 경우 혼수비가 2배 증가하면 압축강도는 25% 감소한다고 하였다. Eoum 등(2001)도 초경석고는 비교적 높은 압축강도를 보이는 재료이나 혼수비를 증가시키면 압축강도는 감소하게 된다고 보고하였다. 또한, 혼수비를 0.3, 0.5로 하여 혼합한 시편은 일반석고나 경석고의 압축강도와 유사한 수준으로 낮아진다고 보고하였다. 이에 본 실험에서는 제조사에서 권장하는 혼수비로 정확히 개량하였으며 동일한 조건을 부여하기 위해 30초간 손으로 교반 후 진공믹서기로 30초간 혼합하여 원통형 시편을 제작하였다.

Craig(1989)은 습성강도는 경화된 석고 내에 수분이 남아 있는 경우이며, 건성강도는 여분의 수분이 완전히 제거된 상태로 습성강도에서 건성강도를 가지기 위해서는 실온에서 7일 정도가 소요되며 이렇게 건조 후의 강도는 2배 정도가 향상된다고 보고 하였다. 또한 혼수비를 0.25로 혼합한 경석고에서 8.8%의 수분이 혼합되는데 7%까지의 수분 감소는 압축강도에는 큰 변화가 없으나 7.5% 이상 감소되면 압축강도가 급격히 증가한다고 하였다. Fairhurst(1960)는 0.1~0.2% 정도 수분이 흡수되면 압축강도가 감소한다고 하였다. 이에 본 실험에서는 혼합 1시간 후 압축강도와 혼합 24시간 후 압축강도를 비교하여 강도 변화를 알아보고자 하였다. 또한, microwave를 통한 수분을 제거한 후 압축강도를 비교하고자 하였다. 본 연구에서 24h 경화 후 DK, FJ, GM의 모든 재료에서 가장 높은 압축 강도(54~63 MPa)를 나타내었지만, DK와 FJ의 압축강도(CS)는 microwave의 의한 경화 후 낮은 강도 값(24 MPa)을 보였다. 특

히, DK에서 1는 경화 시간에 상관없이 ISO 6873에서 제시된 최소 압축강도인 35 MPa를 미치지 못하는 결과를 나타냈다. 석고 혼합 시 동일한 온도 및 습도에서 제작하였으나, 치과용 경석고의 분말 입도와 여분의 수분(excess water)의 증발 속도 등 다양한 원인에 의한 복합적 요인으로 사료된다. 따라서 압축강도를 최우선 한 작업모형 제작 시 microwave에 의한 낮은 강도 값은 술자가 고려해야 할 것으로 보인다. 1시간 후 측정된 압축강도에서는 1h와 M1h에서 DK를 제외하고 압축강도의 차이는 없었다. 그러나 24시간이 경과 후 측정된 압축강도는 공기 중에서 건조한 24h에서 높은 압축강도 값을 나타내었다. 이는 microwave를 통한 압축강도에 미치는 영향이 없는 것을 알 수 있다. 또한 압축탄성계수는 24h군과 비교하여 microwave에 의한 경화 후 낮은 값을 보였다(Fig. 5). 압축강도 측정과 함께 Strain-stress curve에서 소성변형이 일어나기 직전까지의 직선 구간의 기울기를 의미하는 압축탄성계수는 24h 군에서 가장 높은 값을 나타내었으며, 나머지 1h, M1h, M24h 군에서는 낮은 값을 보였다. 이는 압축강도와 거의 유사한 양상을 보이는 것을 알 수 있다.

Earnshaw와 Smith(1966)는 간접인장강도는 석고 인장강도 측정에 적합하다 하였으며, 인장강도는 압축강도보다 혼수비에 영향을 적게 받는다고 보고하였다. 본 실험에서도 간접인장강도를 측정하여 혼합시간과 microwave를 통한 간접인장강도 변화를 알아 보고자 하였다. 간접인장 강도는 혼합 후 1시간 경과 후 측정된 1h에서 가장 낮은 값을 나타냈으며, M1h, 24h, M24h에서는 1h보다 높은 간접인장강도 값을 나타내었다. 이는 microwave를 처리한 M1h, M24h가 24시간 건조한 석고모형과 대등한 효과를 볼 수 있음을 알 수 있다. 간접인장강도의 시간 별 비교를 살펴보면 모든 재료에서 M1h가 1h보다 높은 강도 값을 나타냈으며, GM과 FJ에서 간접인장강도는 microwave에 의한 경화시간이 증가함에 따라 낮은 결과를 나타내었다. 이는 급속한 microwave에 의한 수분 제거로 강도의 효과를 얻을 수는 있었지만, 시간이 경과함에 따라 내부의 잔존하는 수분이 외면으로 드러나면서 DTS에 영향을 미친 것으로 사료된다. 특히, GM의 M24h 군에서의 낮은 강

도에 대한 심층적 연구가 필요할 것으로 사료된다. 따라서 단시간 내(1h)에 간접인장강도를 향상시키기 위해 microwave에 의한 경화법을 사용하는 것은 임상적용 시 가능하다고 생각된다. 그러나 microwave를 이용한 압축강도는 오히려 감소하기 때문에 치과용 모델제작 시 주의가 요구된다. 또한 압축강도와 간접인장강도의 물리적 특성간 상호상관성을 고려한 제품 선택이 필요할 것으로 보인다.

이번 실험의 제한점으로는 혼합 후 30분 이후에 자연 건조, microwave 사용에 따른 차이점만을 실험하였다. 추후 실험에서는 혼합 후 60분 이후에 microwave 처리를 통한 석고의 압축강도, 간접인장강도의 변화와 비교 분석하여 임상적용에 참고가 되었으면 한다.

## V. 결론

본 연구에서는 치과용 석고의 경화 방식에 따른 강도의 영향을 알아보기 위해서 압축강도(Compressive strength, CS), 압축 탄성계수(Compressive modulus, CM), 간접인장강도(Diametral tensile strength, DTS) 등 기계적 특성을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

혼합 후 24h 경화한 모든 재료에서 가장 높은 압축 강도(54~63MPa)와 압축탄성계수를 나타내었으므로 임상에서 시간이 가용되는 범위 내에서 충분한 경화시간을 유지하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 또한 경화방법에 따른 압축 강도는 microwave 후 모든 재료에서 낮은 강도를 보였지만, 신속한 작업을 위한 임상 적용 시 간접인장강도는 microwave 에 의한 경화 후 높은 값 (> 6MPa)을 보였으므로 압축강도와 간접인장강도의 상호 상관성을 고려한 제품선택이 필요할 것이다.

## REFERENCES

Anusavice KJ. Phillip's science of dental material,

10th ed, Saunders, 185-209, 1996.

Bastiani A, Fleiter B, Degrange M. Chemical physical and mechanical study of new elastic impression materials. *Inform Dent*, 38, 325-333, 1989.

Brukl CE, Mcconell RM, Norling BK, Collard SM. Influence of gauging water composition on dental stone expansion and setting time. *J Prosthet Dent*, 51, 218, 1984.

Craig RG. Restorative dental materials. 8th ed, Mosby, 347-373, 1989.

Earnshaw R, Smith DC. The tensile and compressive strength of plaster and stone. *Austr Dent J*, 11, 415, 1966.

Eoum JH, Park CW, Park KS. Fracture strength of improved dental stone according to water/powder ratio. *J Korean Acad Prosthodont*, 39, 220-229, 2001.

Fairhurst CW. Compressive properties of dental gypsum. *J Dent Res*, 39, 812-824, 1960.

Kim CW. Comparative studies of the properties of dental gypsum casts. *Journal of the Korean Dental Association*, 11, 177-184, 1973.

Kim CW, Lee YK. Comparative studies on the characteristics of dental model plaster, stone and improved stone. *J Kor Res Soc Dent Mat*, 19(1), 35-62, 1992.

Peyton FA, Leibold J, Ridgley GV. Surface hardness, compressive strength and abrasion resistance of indirect die stones. *J Prosthet Dent*, 2(3), 381-389, 1952.

Toreskog S, Phillips RW, Schnell RJ. Properties of die materials: A comparative study. *J Prosthet Dent*, 16, 119-131, 1966.

Song YH, Lee HH, Dong JK. Effect of mixing waters on setting time and compressive strength of high strength stone. *Kor J Dent Mater*, 29(4), 369-374, 2002.

- Yap AU, Yap SH, Teo JC, Tay CM, Ng KL, Thean HP. Microwave drying of high strength dental stone: effects on dimensional accuracy. *Oper Dent*, 28(2), 193–199, 2003.
- Yen TW, Collard SM, Kim GE. The effects of hollow microsphere fillers on density and impact strength of denture base resins. *J Prosthet Dent*, 65, 147–152, 1991.
- Zakaria MR, Johnston WM, Reisbick MH, Campagni WV. The effect of a liquid dispersing agent and a microcrystalline additive on the physical properties of type IV gypsum. *J Prosthet Dent*, 60, 630–637, 1988.