

치과용 탄성 고무 인상재의 물리적·기계적 특성 비교

임수연, 권재성, 이상배, 김경남 *

연세대학교 치과대학 치과생체재료공학교실

Comparison for Physical and Mechanical Properties of Dental Rubber Impression Materials

Su-Yeon Im, Jae-Sung Kwon, Sang-Bae Lee, Kwang-Man Kim, Kyoung-Nam Kim *

Department and Research Institute of Dental Biomaterials and Bioengineering, College of Dentistry, Yonsei University, 50 Yonsei-ro, Seodeamun-gu, Seoul 120-752, Republic of Korea¹

(Received: Nov. 6, 2012; Revised: Aug. 23, 2013; Accepted: Aug. 23, 2013)

ABSTRACT

The purpose of this study was to measure and compare the important physical and mechanical properties of dental rubber impression materials. Detail reproduction test, test for compatibility with gypsum, elastic recovery test, strain-in-compression test, contact angle test and shore hardness test of the four addition silicone(Aquasil Ultra XLV, Dentsply, Germany; Delikit, Happiden, Korea; Extrude Wash, Kerr, USA; Perfect-F, Handae Chemical, Korea), a condensation silicone(Xantopren Comfort, Heraeus, Germany) and a polyether(Permadyne, 3M ESPE, Germany) were measured. Unlike the existing physical properties, there was a difference in the value of contact angle and shore hardness according to the type of materials. Therefore, these results suggested that other properties such as contact angle and shore hardness of dental rubber impression materials should be also required.

KEY WORDS : Addition silicone, Condensation silicone, Dental rubber impression materials, Physical and Mechanical Properties, Polyether

서 론

인상 채득은 최종적인 수복물 제작을 위한 첫 단계로서, 인상체에 석고를 주입하여 구강조직을 재현한 모형에서 치과 보철물이 구현되기 때문에 정확한 인상채득은 치과 치료에서 매우 중요하다(Anusavice 등, 2013). 그러므로 치과용 인상재는 환자의 치아 형태와 교합관계 및 구강조직부의 공간적 관계를 정확하게 재현할 수 있어야 한다.

치과용 인상재의 물리적·기계적 특성은 인상재와 석고 모형의 품질 및 보철물 제작의 성패에 직접적인 영향을 미친다. 인상재는 트레이에 담길 수 있을 만큼 충분한 점성을 유지해야 하는 동시에 유동체 상태의 인상재가 구강 내로 유입될 경우 고무 흘러들어 갈 수 있을 만큼

의 점도를 가져야 하며(Lee 등, 2010), 구강 내 수분이 존재할 경우에도 인기할 수 있는 적절한 친수성을 가져야 한다(Takahashi와 Finger, 1991; Johnson 등 2003; Ruff 등, 2005). 또한 환자의 구강 내에 위치시킨 인상재는 치아 및 조직의 수 μm 의 미세한 표면을 재현할 수 있어야 할 뿐만 아니라(Ragain 등, 2000) 경화 후 구강 내에서 제거할 때 찢어지거나 변형되지 않을 정도의 경도와 탄성을 가져야 한다(Gent 등, 1958; McCabe와 Carrick, 1990; German 등, 2008). 경화된 인상재 내에 석고를 주입하였을 때 석고의 무게가 인상체에 압력을 가해도 변형이 적게 일어나야 한다(Mandikos, 1998; Powers와 Sakaguchi, 2006).

이러한 일련의 인상 채득 과정에서 요구되는 치과용 고무 인상재의 물리적·기계적 특성을 평가하기 위하여 한국산업표준 KS P ISO 4823 (2008)에서는 혼합시간, 점주도, 작업시간, 미세부 재현성, 선 크기 변화, 석고와

* 교신저자 : 120-752 서울시 서대문구 연세로 50 연세대학교 치과대학 치과생체재료공학교실, 김경남
Tel : 02-2228-3081, E-mail: kimkn@yuhs.ac

Table 1. Materials used

Type	Materials	Code	Mixing method	Manufacturer
Addition silicone	Perfect-F	PF	Automixed	Handae Chemical, Korea
	Aquasil Ultra XLV	AU	Automixed	Dentsply, Germany
	Delikit	DK	Automixed	Happiden, Korea
	Extrude Wash	EW	Automixed	Kerr, USA
Condensation silicone	Xantopren Comfort	XC	Automixed	Heraeus, Germany
Polyether	Permadyne	PD	Hand-mixed	3M ESPE, Germany

의 친화성, 탄성 회복, 압축시 변형률 등 총 8가지 평가 기준 및 실험 방법을 제시하고 있으나, 친수성의 지표인 접촉각이나 인상재의 탄성 정도를 반영하는 정도와 같은 시험들은 포함되어 있지 않으며 일부 임상 상황과 부합하지 않는 점이 있어 추가적인 연구가 필요한 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 잘못된 인상 채득으로 인한 부정확한 보철물의 제작을 방지하기 위해, 시판되고 있는 6종의 치과용 고무 인상재를 선정하여 미세부 재현성, 탄성 회복률, 압축시 변형률뿐만 아니라 한국산업표준에 명시되어있지 않은 접촉각과 쇼어 정도에 대한 특성을 연구하였다.

재료 및 방법

1. 연구 재료

본 연구에서는 4종의 부가중합형 실리콘 인상재, 1종의 축합중합형 실리콘 인상재 및 1종의 폴리이썬을 사용하였다(Table 1). 모든 제품의 점도는 light body로 선정하였다.

2. 연구 방법

본 실험은 한국산업표준 KS P ISO 4823에 따라 미세

부 재현성, 탄성 회복률 및 압축시 변형률을 측정하였으며, 추가로 접촉각 및 쇼어 정도를 측정하였다. 모든 시편 제작과 시험은 온도 (23 ± 2) °C 및 상대습도 (50 ± 10) %의 조건 하에서 시행하였다.

1) 미세부 재현성

20, 50, 75 μm 두께의 선이 파인 건조한 상태의 미세 선 시험 블록(Figure 1)과, 형태는 같으나 임상 상황을 반영하기 위하여 증류수를 분사하여 표면이 습윤한 미세 선 시험 블록을 준비하였다. 제조사가 권장하는 방법으로 인상재를 혼합 완료 후 60초 이내에 각 블록의 선 공간의 한쪽을 따라 주입하였다. 이후 링 주형(ring mould) 부품을 이용해 시험 재료가 공간의 반대쪽 끝까지 흘러들어가게 한 뒤 유리판으로 압력을 가함으로써 과잉 충전된 시험 재료를 제거하였다. 인상재 혼합 완료 후 60초가 경과하였을 때 조립된 금속 시험 주형을 (35 ± 2) °C의 항온수조 안에 제조사가 지시한 구강 내 경화 시간 동안 위치시켰다. 이후 인상재 시편을 주형으로부터 분리 한 후 현미경(Nikon Measurescope MM-11, Nikon, Japan)을 이용하여 인상재 표면에 재현된 선의 상태를 확인하였다.

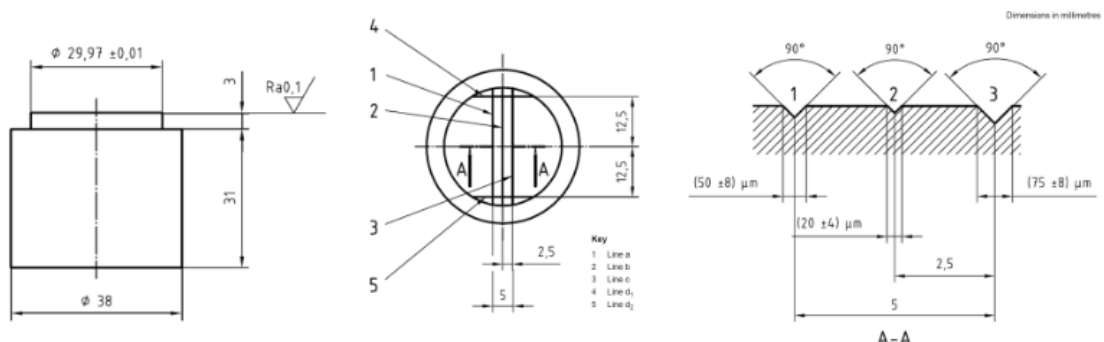


Figure 1. Test block for detail reproduction and tests for compatibility with gypsum(KS P ISO 4823, 2008).

$$K = 100 - \left[100 \left(\frac{h_1 - h_2}{h_0} \right) \right]$$

h_0 : 주형의 높이

h_1 : 시편을 변형하기 전 다이얼 게이지 값 (0점)

h_2 : 시편에 변형을 가한 뒤 115초 후의 다이얼 게이지 값

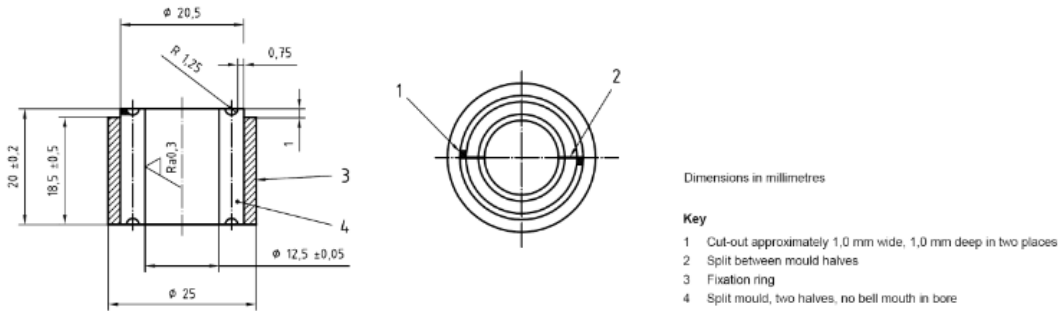


Figure 2. Test block for Elastic recovery and strain-in- compression tests(KS P ISO 4823, 2008).

2) 접촉각

인상재의 접촉각은 증류수를 이용한 고착 액적법(Sessile drop method)으로 시험하였다. 시험 재료를 직경 20 mm, 높이 10 mm의 원형 금속 주형에 주입한 뒤 30 mm × 30 mm의 크기와 0.035 mm 두께의 폴리에틸렌 필름으로 덮인 유리판을 이용하여 과잉의 재료를 제거하여 매끄러운 표면을 얻었다. 1차 측정은 제조사가 권장하는 작업 시간에 시행하였으며, 2차 측정은 인상재 혼합 완료 후 60초가 경과하였을 때 주형을 (35 ± 2) °C의 항온수조 안에서 보관한 뒤 제조사가 지시한 구강 내 경화 시간에 도달했을 때 시행하였다. 경화된 시편 표면에 8 μl의 증류수를 적하시킨 뒤 10초 경과 후 화상분석현미경(Image analyzing microscope; Camscope, Sometech Inc., Korea)으로 촬영하여 이미지 분석 소프트웨어(SurfTens QA 3.0, OEG GmbH, Germany)로 시료 표면과 닿는 액적의 양 끝단 곡선과의 접선을 그려 접촉각을 측정하였다(ASTM D5946, 2009).

3) 탄성 회복률

제조사가 권장하는 방법으로 혼합 완료 후 60초 이내에 시험 재료를 고정 링(Figure 2)의 절반 정도 채우고 이 안에 분리 주형을 삽입하여 인상재가 고정 링의 밖으로 압출되면 폴리에틸렌 필름이 부착된 유리판을 얹어 과잉의 인상재를 제거하였다. 혼합 완료 후 60초가 경과하였을 때 주형을 (35 ± 2) °C의 항온수조 안에서 제조사가 지시한 구강 내 경화 시간 동안 보관하였다. 45초 내에 시편을 주형에서 분리하고 0.01 mm의 정확도를 가지는 다이얼 게이지가 장착된 탄성 회복률 시험기구에 위치시

켜 (1.22 ± 0.1) N의 초기하중을 가하였다. 10초 후 다이얼 게이지 눈금을 0으로 맞춰 h_1 으로 기록하였다. 1초간 (6 ± 0.1) mm만큼 변형시키고 5초 동안 변형력을 천천히 제거하였다. 수조에서 제거한 뒤 170초 후에 다이얼 게이지의 스핀들을 접촉시키고 10초 후 h_2 를 기록하였다. 아래 공식을 이용하여 탄성 회복률의 백분율 K 를 구하였다(KS P ISO 4823, 2008).

4) 압축시 변형률

탄성 회복률 시험과 동일한 과정으로 제작된 시편을 제조사가 지시한 구강 내 경화시간 경과 후 항온수조에서 꺼내 60초 이내에 몰드에서 분리한 후 0.01 mm의 다이얼 게이지 정확도를 가지는 압축시 변형률 시험 기구에 위치시켜 (1.22 ± 0.1) N의 초기하중을 가하였다. 30초 후 다이얼 게이지 눈금을 0으로 맞춰 h_1 으로 기록하였다. 10초간 전체 응력이 (12.25 ± 0.1) N이 되도록 단계적으로 하중을 증가시키고 30초 뒤 h_2 를 기록하였다. 아래 공식을 이용하여 압축시 변형의 백분율 E 를 구하였다(KS P ISO 4823, 2008).

$$E = 100 \left(\frac{h_1 - h_2}{h_0} \right)$$

h_0 : 주형의 높이

h_1 : 초기 하중을 가한 뒤 30초 후의 다이얼 게이지 값 (0점)

h_2 : (12.25 ± 0.1)N을 가한 뒤 30초 후의 다이얼 게이지 값

5) 쇼어 경도

인상재의 경도는 쇼어 A 경도법으로 시험하였다(ASTM

Table 2. Detail reproduction of dental elastomeric impression materials

Type	Materials	Pass (%)	
		Dry	Wet
Addition silicone	PF	100	20
	AU	100	40
	DK	100	20
	EW	100	30
Condensation silicone	XC	100	30
Polyether	PD	100	80

D2240, 2010). 시편의 두께가 최소 6 mm 이상일 때 보다 정확한 쇼어 경도 값을 얻을 수 있으므로(Siddiqui 등, 2010) 50 mm x 20 mm 두께 7 mm의 금속 주형을 70 mm x 50 mm의 크기와 0.035 mm 두께의 폴리에틸렌 필름이 부착된 유리판 위에 위치시킨 후 내부에 시험 재료를 주입하였다. 그 위를 동일한 유리판으로 덮어 과잉의 재료를 제거하였다. 이후 제조사가 지시한 경화시간 동안 주형을 향한 수조에 보관하였다. 쇼어 경도계(Mitutoyo Type A, Japan)를 이용하여 경화시간에 도달한 순간부터 10분 동안 1분 간격으로 측정하였고, 경화시간 도달 후 10분, 15분, 20분, 30분, 60분 경과 시점에서 측정하여 총 15회에 걸쳐 시간에 따른 쇼어 경도 값의 변화를 기록하였다.

3. 자료 분석

시험 결과 데이터 분석은 SPSS(SPSS Inc Co., PASW Statistics 18.0, Chicago, USA) 통계 프로그램을 이용하였다. 각 군당 10회씩 실험하여 평균과 표준편차를 도출하였다. 시험군 간의 차이를 확인하기 위해 one-way ANOVA를 실시하였으며, 사후검정은 Scheffe test를 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 미세부 재현성 시험

미세부 재현성 시험 결과 모든 시험군에서 light body 인상재의 한국산업표준의 요구조건인 주형의 20 μm 미세선을 매끄럽게 재현하였다. 그러나 위 시험 조건은 인상재가 구강 타액이 도포되어 있는 치아 및 구강조직 표면에 적용되는 임상상황과는 일치하지 않는다.

금속 주형의 표면에 증류수를 분사하여 시험을 진행

하였을 경우 폴리에서는 80 %로 비교적 높은 재현성을 보였으나 축합중합형 인상재는 30 %, 부가중합형 인상재는 약 27 %로 낮은 재현성을 보였다(Table 2). 이는 습윤한 표면 상태에서 부가중합형 실리콘 인상재의 미세부 재현율이 약 29 %로 현저히 감소한다는 Walker 등 (2005)의 결과와 일치하였다.

인상재 표면의 결합은 석고모형의 양형 표면결함으로 직결되므로, 인상재의 실효성 있는 평가를 위해서는 인상재를 적용할 표면에 수분이 도포되어 있는 조건에서 실험이 진행되어야 한다. 시험 과정 동안 금속 주형 표면의 습윤한 상태를 균일하게 유지하는 것이 쉽지 않으므로, 친수성을 수치로 확인할 수 있는 접촉각 시험을 통하여 신뢰도 있는 값을 얻고자 하였다.

2. 접촉각

접촉각의 1차 측정은 제조사가 권장하는 작업 시간이 완료되는 시점에 시행하였으며, 트레이에 담긴 경화하기 전의 인상재가 구강 조직의 타액과 접촉하는 상황을 재현하고자 하였다(Figure 3, After working time). 작업시간이 완료된 직후 DK, EW, XC 군은 약 100 °의 높은 접촉각을 나타내었다. 기존의 접촉각 측정이 인상재가 완전히 경화 완료된 후에 이루어지고 있지만, 실제 구강 내에는 경화되지 않은 인상재가 적용되므로 경화 전의 접촉각도 구강 조직의 재현성에 중요한 요인으로 작용할 것으로 보인다.

구강 내에서 제거한 인상재가 구강 조직의 미세 부위를 상세히 재현하였다고 하더라도 석고와의 친화성이 좋지 않아 부정확한 석고모형이 제작된다면, 이후 정밀한 보철물 제작이 어려울 것이다. 따라서 2차 측정은 인상재가 경화시간에 도달한 시점에 시행하였다. 2차 측정시 AU, DK, EW군에서 1차 측정보다 유의한 차이로 친수성이 증가하였다. 계면활성제를 첨가하여 친수성을 개선한(정 등, 2000) 부가중합형 인상재인 PF, AU, DK, EW는 폴리에서인 PD와 함께 60 °이하의 접촉각을 가졌으

며, 그중 가장 친수성을 극대화시킨 초친수성 부가중합형 인상재인 AU가 36.52°로 유의성 있게 낮은 접촉각을 나타내었다. 이는 인상체를 분리한 후 수분이 존재하는 석고 재료를 부었을 경우에 미세한 표면까지 우수하게 재현할 수 있음을 뜻한다. 반면 XC는 92.05°로 가장 유의하게 높은 접촉각을 보여 축합중합형 실리콘 인상재가 타 고무인상재보다 소수성을 가진다는 Pattern과 Sakaguchi(1989)의 보고와 일치하였다($p < 0.05$).

위와 같이 치과용 고무 인상재의 젖음성은 경화되지 않은 인상재를 타액이 존재하는 구강 내 표면에 적용하거나, 경화된 인상재 안에 수분을 함유한 석고 혼합물을 주입할 경우 미세부위까지 인상재가 손쉽게 흘러들어가 정밀한 인상 채득을 가능하게 하는 중요한 특성으로서 접촉각 측정 시험은 인상재의 물성 평가 시 추가적으로 고려해야 할 사항으로 사료된다.

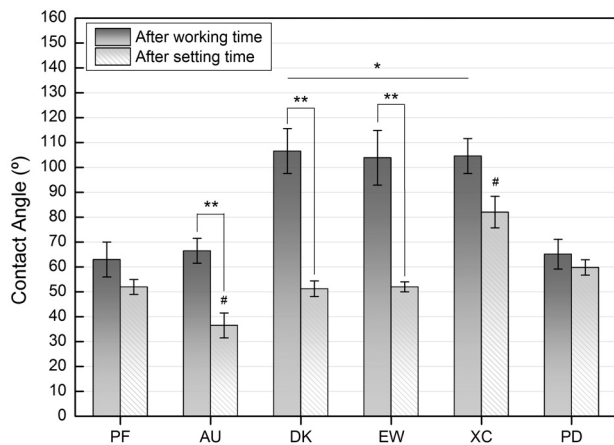


Figure 3. Contact angle of dental rubber impression materials (* $p < 0.05$ compared to other after working time groups, # $p < 0.05$ compared to other after setting time groups, ** $p < 0.05$ after working time groups compared to after setting time groups).

3. 탄성 회복률

치과용 고무 인상재의 탄성 회복률을 측정했을 때 AU, EW, XC 군이 PF, DK 군보다 유의하게 높았으며, XC, AU, EW, DK, PF 순으로 나타난 제품군 측정값의 양상은 강(2001)의 연구와 유사하였다. PD의 탄성 회복률이 98.79%로 가장 낮게 나타나 이는 압축 변형 후에 남은 영구변형량이 폴리이썬 제품에서 크게 나타났다는 Anusavice 등(2013)의 결과와 일치하였다. 그러나 PD의 탄성 회복률도 한국산업표준의 기준인 96.5%를 상회하는 값이므로 모든 제품군에서 우수한 탄성 회복력이 확인되었다(Figure 4).

만약 치과용 고무 인상재가 구강 내 형태를 인기하거나 모형을 제작하는 과정에서 변형이 온다면 교합의 변위로 인해 부정확한 치과 보철물을 제작할 위험이 있다. 따라서 인상 채득 과정에서 외력이 적용되어도 영구변형이 일어나지 않도록 적절한 탄성을 갖는 인상재를 선택해야 할 것이다.

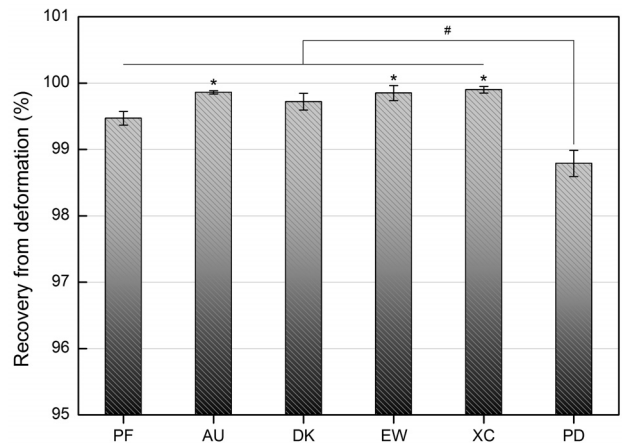


Figure 4. Recovery from deformation of dental rubber impression materials(* $p < 0.05$ compared to PF, # $p < 0.05$).

4. 압축시 변형률

치과용 부가중합형 인상재인 PF, DK, EW는 5% 이하, AU는 6% 이하의 압축시 변형률을 가졌으며, 축합중합형 인상재인 XC와 폴리이썬인 PD는 7% 이상의 유의차 있는 압축시 변형률을 나타내었다($p < 0.05$). 한국산업표준은 압축시 변형률의 요구조건을 최소 2.0%부터 최대 20%까지 제시하고 있으므로 모든 시험군이 표준 범위 안에 만족하였다(Figure 5).

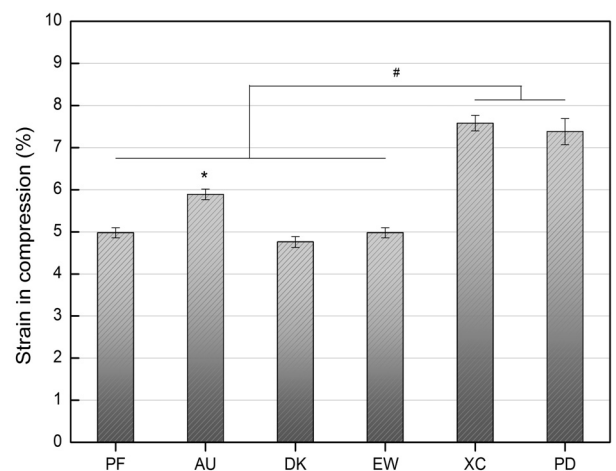


Figure 5. Strain in compression of dental rubber impression materials(* $p < 0.05$, # $p < 0.05$).

Table 3. Shore hardness of dental rubber impression materials (Standard deviations are in a parenthesis. The same letters in each column are not significantly different, $p < 0.05$).

	PF	AU	DK	EW	XC	PD	
setting time	6:30	5:00	4:00	6:00	5:00	6:00	
shore A hardness	after setting time	36(2.2) ^a	49(1.9) ^b	44(2.1) ^c	41(0.9) ^d	41(0.7) ^d	32(3.8) ^e
	after 1hr	51(1.2) ^a	54(0.5) ^b	54(0.7) ^b	41(1.0) ^c	48(0.8) ^d	47(3.2) ^d

구강 내에서 경화된 인상재를 제거할 때 치아의 함몰 부위에서 10 % 정도의 압축력이 발생하여 영구변형이 잔류한다고 보고되었다(한국치과재료학 교수협의회, 2011). 따라서 치과용 고무 인상재는 구강 내에서 착탈 시 가해지는 압축력에 적절히 저항해야 하며, 인상체에 모형재를 주입하여 경화할 때까지의 보관기간 동안 경석고의 무게로 인한 변형을 보완할 수 있어야 한다.

5. 쇼어 경도

구강 내에 삽입된 치과용 고무 인상재가 경화함에 따라 경도 또한 증가하게 된다. 쇼어 경도는 인상재의 탄성을 알 수 있는 지표이다(Gent AN, 1958; Meththananda 등, 2009). 너무 높은 경도를 가질 경우 언더컷이 심한 환자에게 적용이 어려우며 충분한 경도를 가지기 전에 인상체를 구강 내에서 제거한다면 교합고경의 변화 및 형태의 변형이 수반될 수 있으므로, 이를 정확히 이해하는 것은 치과 수복물 제작 과정에서 매우 중요한 요인이 된다.

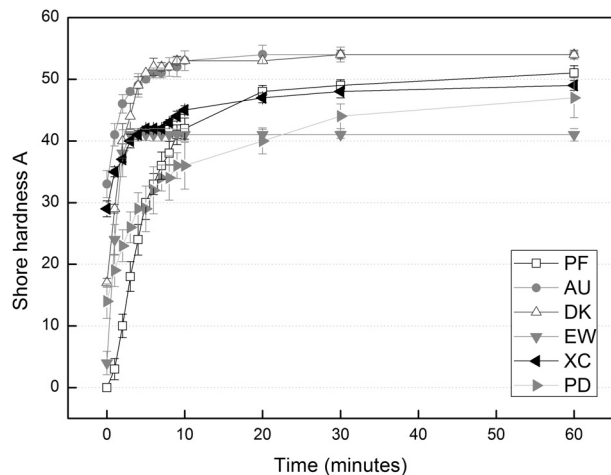


Figure 6. Time-dependent changes in the shore hardness of dental rubber impression materials.

경화 시간으로부터 1시간 후에 측정된 쇼어 경도 값은 AU, DK, PF, XC, PD, EW 순으로 나타났다. 최대 쇼어 경도 값 54를 가지는 AU와 최소 쇼어 경도 값 41을 가지는 EW는 다른 모든 군에 대하여 유의한 차이를 보였다

($p < 0.05$)(Table 3). 모든 제품은 제조사가 제시한 경화 시간 전후 10분간 급격한 경도 상승률을 보였으며(Figure 6), 최종 경도 값을 갖기까지 약 20분의 시간이 필요했다.

기존의 측정법이 경화 시간으로부터 1시간 이후의 안정한 값을 비교한 것과 달리, 임상상황에서는 온도와 습도의 영향을 받으며 구강 내 경화 시간에 도달한 시점에 인상체를 제거한다. 쇼어 경도 방법은 측정이 간편할 뿐만 아니라 비파괴적이기 때문에 시간대별로 측정이 가능하므로 인상체의 적절한 제거 시점을 결정하는데 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

결론

본 연구는 시판 중인 4종의 부가중합형 실리콘 인상재, 1종의 축합중합형 실리콘 인상재 및 1종의 폴리이썬을 선정하여 미세부 재현성, 탄성 회복률, 압축시 변형률, 접촉각 및 쇼어 경도를 시험하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 미세부 재현 시험 시 건조한 주형을 인기한 모든 인상재가 100 %의 재현성을 나타내었으나, 습윤한 주형에서 폴리이썬은 80 %의 재현성을, 기타 시험군은 20 ~ 40 %의 낮은 재현성을 보였다.
2. 경화 전 접촉각 측정 시 DK, EW, XC 군은 약 100°의 높은 소수성을 나타내었다. 경화 후 접촉각 측정 시 축합중합형 실리콘 인상재인 XC는 92.05°로 가장 높은 소수성을 가졌으며 초친수성 부가중합형 실리콘 인상재인 AU는 36.52°로 가장 우수한 친수성을 나타내었다. AU, DK, EW 군에서 경화 시간 전후로 유의하게 접촉각이 낮아지는 경향을 보였다($p < 0.05$).
3. 탄성 회복률 측정시 폴리이썬인 PD는 98.79 %로 가장 낮은 탄성 회복률을 나타내었다($p < 0.05$).
4. 압축시 변형률 측정시 축합중합형 실리콘 인상재인 XC와 PD는 7% 이상의 높은 값을 나타내어 다른 시험군과의 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$).
5. 쇼어 A 경도 측정에서 AU는 54로 가장 높은 경도

값을 보였고 EW는 41의 가장 낮은 경도 값을 가졌으며, 이는 다른 모든 시험군에 대하여 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). 모든 제품에서 경화 시간 전후 10분간 급격한 경도 상승률을 보였다.

본 실험에서 치과용 고무 인상재는 기존의 규격 기준에 모두 만족하였으나, 보다 임상적 상황을 반영한 조건에 물리적·기계적 특성 또한 만족하여야 구강조직의 정확한 인상을 채득하여 성공적인 치과 보철물의 제작이 가능할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 식품의약품안전처 용역연구개발과제의 연구개발비 지원(11172의료평453)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

한국치과재료학 교수협의회 (2011). 치과재료학. 6판. 서울: 군자출판사 pp. 113-143.

Chung KH, Kang SK, Oh YI, Cho LR, Kim KN (2001). Effect of surfactant and anti-foaming agent on the properties of silicone rubber impression material. *Elastomer* 36(2), 102-110.

Kang JK (2001). Comparative study on properties of commercial polyvinyl siloxane impression materials. *J Dent Hyg Sci* 1(2), 171-180.

Korean Agency for Technology and Standards (2008). KS P ISO 4823 Dentistry-Elastomeric impression materials.

Lee YO, Lee SB, Kim KN (2010). Comparison of properties of elastomeric interocclusal recording materials. *J Korean Res Soc Dent Materials* 37(1), 75-86.

American Society for Testing Materials (2009). ASTM D5946:09 Standard test method for corona-treated polymer films using water contact angle measurements.

American Society for Testing Materials (2010). ASTM D2240 Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness.

Anusavice KJ (2013). Phillips' science of dental materials, 12th ed. Amsterdam: Saunders; pp. 152,162.

Gent AN (1958). On the relation between indentation hardness and Young's modulus. *Rubber Chem Tech* 34, 46-57.

German MJ, Carrick TE, McCabe JF (2008). Surface detail reproduction of elastomeric impression materials related to rheological properties. *Dent Mater* 24(7), 951-956.

Johnson GH, Lepe X, Aw TC (2003). The effect of surface moisture on detail reproduction of elastomeric impressions. *J Prosthet Dent* 90(4), 354-364.

Mandikos MN (1998). Polyvinyl siloxane impression materials: an update on clinical use. *Aust Dent J* 43(6), 428-434.

McCabe JF, Carrick TE (1990). Onset of elasticity in setting elastomers. *J Dent Res* 69(9), 1573-1575.

Meththananda IM, Parker S, Patel MP, Braden M (2009). The relationship between Shore hardness of elastomeric dental materials and Young's modulus. *Dent Mater* 25(8), 956-959.

Powers JM, Sakaguchi RL (2006). Craig's restorative dental materials, 11th ed. St. Louis: Elsevier; pp. 330-365.

Pratten DH, Craig RG (1989). Wettability of a hydrophilic addition silicone impression material. *J Prosthet Dent* 61(2), 197-202.

Ragain JC, Grosko ML, Raj M, Ryan TN, Johnston WM (2000). Detail reproduction, contact angles, and die hardness of elastomeric impression and gypsum die material combinations. *Int J Prosthodont* 13(3), 214-220.

Rupp F, Axmann D, Jacobi A, Groten M, Geisgerstorfer J (2005). Hydrophilicity of elastomeric non-aqueous impression materials during setting. *Dent Mater* 21(2), 94-102.

Siddiqui A, Braden M, Patel MP, Parker S (2010). An experimental and theoretical study of the effect of sample thickness on the shore hardness of elastomers. *Dent Mater* 26(6), 560-564.

Takahashi H, Finger WJ (1991). Dentin surface reproduction with hydrophilic and hydrophobic

- impression materials. *Dent Mater* 7(3), 197-201.
- Walker MP, Petrie CS, Haj-Ali R, Spencer P, Dumas C, Williams K (2005). Moisture effect on polyether and polyvinyl siloxane dimensional accuracy and detail reproduction. *J Prosthodont* 14(3), 158-163.