

Holographic Interferometry를 이용한 탄성 고무 인상재의 체적변화에 관한 연구

경희대학교 치과대학 보철학 교실

하치양 · 이성복 · 우이형

I. 서 론

적합이 우수한 주조 수복물의 제작을 위해서는 인상 채득에서부터 모형제작, 납형성, 매몰, 그리고 주조에 이르기까지 모든 과정의 정밀성이 유지되어야 한다¹⁾. 따라서, 이러한 과정의 첫 번째 단계인 인상의 정확도는 최종 주조체에까지 영향을 미치게 되어 정밀하고 변형되지 않는 인상 채득이 필수적이므로²⁾ 많은 연구자들이 인상재의 정밀성과 체적 안정성에 관하여 연구 보고 하였다. 실제 임상에서는 여러 가지 이유로 인상 채득 후 즉시 석고를 주입할 수 없는 경우가 많으므로, 인상재는 어느 정도의 시간 경과 후에도 정확도를 유지할 수 있는 충분한 체적 안정성을 가져야 한다^{2,3)}.

인상체의 변형은 인상재 자체의 물성에 의해서 뿐만 아니라 인상재의 두께, 사용된 트레이의 종류, 인상체의 보관 방법, 인상 채득 방법 및 인상체 제거 방법, 그리고 인상체의 제거 시기 등에 따라 영향을 받게 된다²⁾.

이러한 이유로 보다 안정성 있고, 정밀하면서도 탄성을 지닌 인상재들이 개발되어 왔다.

탄성 인상재는 수교성 인상재와 고무 인상재로 분류된다. 수교성 인상재는 물을 쉽게 흡수 혹은 방출함으로써 체적 안정성이 떨어지는 단점이 있다^{4,6)}. 고무 인상재는 ADA specifications No. 19 (American Dental Association

specifications No. 19)에서 비수교성 탄성 인상재(nonaqueous elastic dental impression materials)로 분류되고⁷⁾, 화학적으로 폴리설파이드(polysulfide), 축중합형 실리콘(condensation polymerizing silicone), 부가중합형 실리콘(addition polymerizing silicone), 그리고 폴리테르(polyether)의 네 가지로 구분되며, 이들 중에서 폴리테르 인상재가 폴리설파이드나 축중합형 실리콘보다 안정성이 우수한 것으로 보고되고 있다⁸⁻¹⁰⁾. 가장 최근에 개발된 부가중합형 실리콘은 폴리테르와 유사한 체적 안정성을 보이면서도 보다 값싸고, 다양한 점조도로 공급되어 현재 가장 널리 사용되고 있다^{5,11)}. 최근에는 보다 성질이 개선된 인상재들이 계속 개발되고 있어 지속적인 평가가 요구된다.

탄성 고무 인상재에 관한 연구로는, 인상 채득 후 개개 다이에서의 적합도^{3,12,13)}, 시간 경과에 따른 체적 안정성^{2,14)}, 석고 주입 횟수에 따른 체적 안정성^{15,16)}, 트레이의 종류에 따른 변화^{17, 21)}, 인상재의 두께가 정확도에 미치는 영향^{22, 24)}, 인상체 소독 후의 체적 변화^{25,26)} 등에 관해서 보고되어 왔다.

Ciesco등³⁾과 Lacy등^{12,27)}은 탄성 고무 인상재의 시간 경과에 따른 체적 변화를 개개 다이에서의 적합도로 평가하였고, Johnson과 Craig¹⁵⁾는 네가지 고무 인상재의 석고 주입 시간과 주입 횟수에 따른 체적 안정성을 비교하였으며, Williams등¹⁴⁾

과 Tjan등²⁾은 고무 인상재의 시간 경과에 따른 체적 변화를 연구하였다. 또한, Valderhaug와 Floystrand¹⁷⁾, Gordon등²⁰⁾, Wassell등²¹⁾은 트레이의 종류와 선택에 따른 체적 안정성을 비교하였고, Eames등²²⁾은 인상재의 두께가 체적 안정성에 미치는 영향의 연구에서 인상재의 두께가 증가할수록 체적 변화도 증가하는 것으로 보고하였으며; Giblin등²⁶⁾과 Bergman²⁸⁾은 인상체 소독 후의 체적 변화를 연구하였다.

Holographic interferometry는 레이저 공학을 이용한 비접촉성이면서 비파괴적인 방법으로 물체의 3차원적인 기록과 분석이 가능한 촬영술로서, 현재 통신, 항공 우주, 전기, 자동차 등의 여러 산업 분야에서 다양하게 응용되고 있으며^{29,30)}, 의학에서는 진단과 치료에 이용되고 있고, 치의학에서도 생체역학적 연구에 이용되기 시작하여, 최근 그 사용이 증가되고 있는데, 치아의 이동이나 동요도, 교정력에 대한 악골의 반응, 그리고 보철물에 대한 탄성 변형의 연구 등에 이용되고 있으며, 더 많은 영역에서 사용될 수 있는 잠재성을 가지고 있다³¹⁻³³⁾.

홀로그래피의 기본 원리는 물체로부터 나오는 빛의 파동을 홀로그래피용 사진 건판(holographic plate)에 기록하였다가 나중에 레이저 장치를 이용하여 그대로 재생하는 것이다. 즉, 물체에 닿아서 환상으로 반사되어 건판에 구형파를 형성하는 물체광(object beam)과 직접 건판에 닿아서 평면파를 형성하는 참조광(reference beam)의 두 광선이 간섭을 일으켜 동심원의 회절 무늬(circular fringe)를 건판에 그리게 되며, 이런 간섭 무늬를 기록한 것이 홀로그램(hologram)이다^{30,32,33)}.

홀로그램의 기록 방법은 크게 이중노출 촬영법(double exposure technique)을 이용한 홀로그래피와 real-time holography로 나누어지는데, 전자는 물체의 변형 전후에 각각 동일한 필름판에 레이저를 노출시켜 현상하여 나타나는 간섭양상(interference pattern)에 따라 변화의 정도를 해석하는 방법이며, 후자는 하나의 노출 필름판을 사용하여 촬영, 현상하여 참조 홀로그램(reference hologram)을 만들어 필름판을 정확하게 재위치시킨 다음, 변형된 물체의 상이 홀로그

램상에 있는 원래의 물체의 상에 중첩되어 나타나는 간섭 무늬로 기록되며, 체적 변화가 일어나는 과정을 관찰, 기록할 수 있는 방법이다^{30,32,33)}.

본 연구에서는, 지금까지의 치과용 인상재의 체적 안정성에 관한 연구들이 대부분 길이 변화를 기록했던 것과는 달리, real-time holography를 이용하여 현재 국내에서 시판되고 있는 수종의 치과용 고무 인상재의 시간 경과에 따른 입체적인 체적 변화를 연구한 결과 다소의 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

II. 연구재료 및 방법

가. 연구 재료

1. 인상체 시편의 제작

실험용 트레이로 인상재가 부착될 금속판과, 인상체 시편의 크기가 가로 20mm, 세로 15mm, 두께 3mm가 되도록 아크릴 주형을 제작 하였다. 아크릴 주형은 시편의 형태를 만들기 위해 사용하였고, 인상체 경화 후엔 제거하였다. 인상체 시편의 크기는 레이저 빔(laser beam)에 시편이 완전히 수용될 수 있도록 가로 및 세로의 크기를 설정하였으며, 두께는 일반적으로 추천되고 있는 이상적인 고무 인상재의 두께인 2-4mm의 중간값인 3mm로 하였다(Fig. 1).

2. 인상재

현재 시판되고 있는 고무 인상재 중 비교적 인

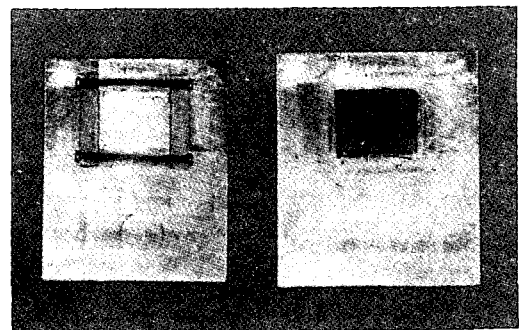


Fig. 1. Metal plate with acrylic mold(left) and impression specimen attached to metal plate(right).

Table 1. Impression materials used in this study

Type	Trade name	Manufacturer	Package
Polysulfide	Permlastic	Kerr Mag. Co. USA	Tube
Condensation silicone	Xantopren VL	Bayer Dental Co. Germany	Tube
Addition silicone	Exafine L (low viscosity)	G-C Co. Japan	Cartilage
	Exafine M (medium viscosity)	G-C Co. Japan	Cartilage
	Provil L	Bayer Dental Co. Germany	Cartilage
Polyether	Impregum	ESPE Co. Germany	Tube

지도가 높은 제품 6가지를 선택하였다(Table 1). 폴리설파이드 인상재로는 저점조도의 Permlastic, 축중합형 실리콘으로는 저점조도의 Xantopren VL을 선택하였고, 부가중합형 실리콘으로는 저점조도와 중점조도의 Exafine과 저점조도의 Provil 등 3가지를 선택하였으며, 폴리에테르 인상재로는 Impregum을 선택하였다. 인상재의 균일한 혼합을 위해 튜브형과 카트리지형이 함께 공급되는 부가중합형 실리콘은 카트리지형을 선택하였다.

3. Holographic set up

홀로그램 촬영을 위한 기기 및 주변 장치를 설치하였다. 진동이 방지되는 가로 3.6m, 세로 1.5m, 높이 0.6m의 optical table(Newport Co., U.S.A.) 위에 He-Ne 레이저(Melles Griot, U.S.A.), shutter, beam splitter, attenuator, mirror, objective lens(x20, x40), convex lens (f=400mm) 등으로 구성되는 holographic set up을 설치하고, CCD(charge-coupled device) 카메라(Sony Co., Japan)와 모니터, 그리고 VCR(video cassette recorder)을 배치 연결하였다(Fig. 2, 3).

나. 연구 방법

금속판상의 인상재가 수용될 부위에 각 제조

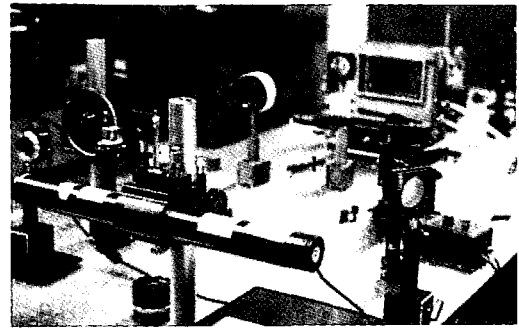


Fig. 2. Holographic set up on the optical table supported by air column.

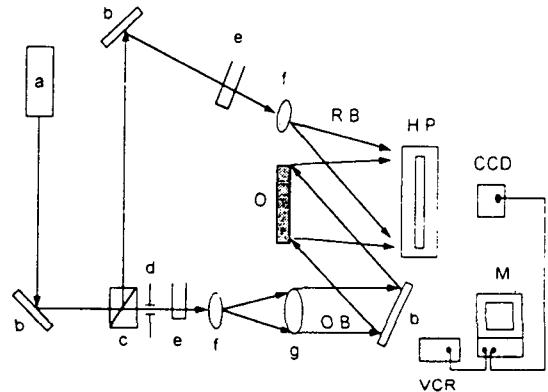


Fig. 3. Schematic representation of holographic set up.

- a. laser b. mirror c. beam splitter d. shutter
- e. optical attenuator f. objective lens(x20, x40)
- g. lens(f=400mm) O : object R.B.: reference beam
- O.B.: object beam H.P. : holographic plate
- M : monitor CCD : charge-coupled device camera
- VCR : video cassette recorder

회사가 추천하는 고무 인상재용 접착재를 균일하게 도포하고, 인상재를 제조회사의 지시에 따라 혼합하여 아크릴 주형을 이용하여 설정한 크기의 시편을 제작하였다. 인상재의 혼합은 실온에서 행하였으며, 실온이 구강내 온도보다 낮으므로, 경화 시간은 제조 회사 추천 시간의 2배를 부여하였고, 실험실의 온도와 습도는 거의 일정하게 유지하였다.

인상체 경화 후 아크릴 주형을 제거하고, 인상재 시편이 부착된 금속판을 홀로그램 촬영용 고정 장치에 견고하게 고정된 다음 중량 2톤인 optical table 위에 고정 장치를 위치시키고 레이

저, shutter, beam splitter, optical attenuator, objective lens, lens, mirror 등을 볼트를 사용하여 고정시켰다. 촬영 중 미세한 동요라도 있게 되면 홀로그램의 질이 저하될 수 있기 때문에, optical table은 공기 기둥(air column)으로 지지되어 진동이 없게 하였으며, 실험실은 소음과 공기 순환이 최소가 되도록 유지하였다.

먼저, 10mW의 He-Ne 레이저를 사용하여 인상재 경화 즉시, 홀로그램 촬영용 사진 건판(film type : 8E75, Agfa, Gevaert, Belgium)에 노출을 가하여 참조 홀로그램을 촬영, 현상하고, 계속해서 real-time holography 술식을 이용하여 30분, 1, 2, 4, 6, 8, 12시간 후의 변화를 CCD 카메라에 연결된 VCR에 기록하였다. 비디오 테이프에 기록된 홀로그램을 모니터에 재생시켜 고정 초점 Polaroid 카메라(Tektronix Co., U.S.A.)로 촬영하여 현상된 사진에서 나타난 간섭 무늬를 비교 분석 하였다.

다. 해석 방법

현상된 사진의 시편 전체에서 변화가 가장 심한 부위를 선택하여 간섭 무늬의 수를 계측하고, 조밀도를 분석함으로써 변화의 정도를 비교, 평가 하였다. 간섭 무늬의 수가 많을수록 체적 변화가 더 큰 것을 의미하며, 간섭 무늬의 간격이 좁아져서 조밀도가 높을수록 역시 변화량은 더 큰 것으로 평가된다.

III. 연구성적

이상과 같이 시행한 연구를 통하여 기록된 홀로그램상의 인화된 사진을 비교, 분석하여 다음과 같은 연구성적을 얻었다.

각 인상재 시편의 사진에서 변화가 심한 부위를 선택하여 간섭 무늬의 수를 계측하였고, 간섭 무늬의 조밀도와 수를 고려하여 변화 양상을 평가하였다. 시간 경과와 함께 체적 변화가 증가되어 간섭 무늬의 수와 밀도가 높아져서 계측이 불가능한 경우도 있었는데, 간섭 무늬의 수는 계산 가능한 시간까지만 계측하였다. 간섭 무늬의 조밀도는 상대적인 정도에 따라 저밀도, 중밀도, 고

Table 2. Time-dependant fringe numbers in tested impression materials

hour	0.5	1	2	4	6	8	12
PS	7	11	*	*	*	*	*
CS	10	12	15	*	*	*	*
AS-EI	4	5	8	10	*	*	*
AS-Em	5	7	8	8	8	10	*
AS-P	5	6	8	10	*	*	*
PE	4	7	8	10	*	*	*

PS : Permlastic CS : Xantopren VL
 AS-EI : Exafine(low) AS-EM : Exafine(medium)
 AS-P : Provil PE : Impregum
 * : uncountable

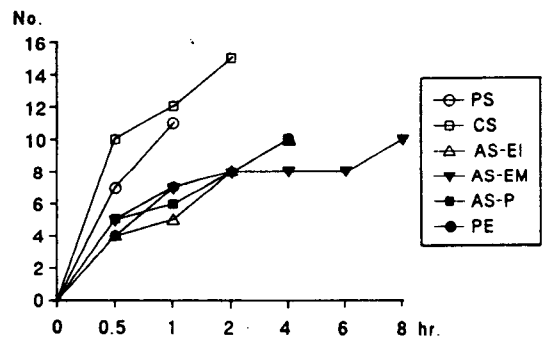


Fig. 4. Copparison of time-dependent fringe numbers.

PS : Permlastic CS : Xantopren VL
 AS-EI : Exafine(low) AS-EM : Exafine(medium)
 AS-P : Provil PE : Impregum

밀도 등의 세가지로 구분하였다.

1. 각 인상재 별 간섭 무늬의 수와 변화 양상 (Table 2, Fig. 4)

1) Permlastic(폴리셀파이드)

인상재 경화 30분 후의 사진에서 중밀도의 간섭 무늬가 7개 나타났으며, 1시간 후에는 고밀도의 간섭 무늬가 11개 관찰되었고, 2시간 후부터의 사진에서는 간섭 무늬가 더욱 조밀하게 나타나 계측이 불가능하였다(사진부도 1-A-D).

2) Xantopren VL(축중합형 실리콘)

인상재 경화 30분 후의 사진에서 고밀도의 간섭 무늬가 10개 나타났으며, 1시간 후에는 12개, 2시간 후에는 15개가 각각 관찰되었고, 4시간 이후의 사진에서는 간섭 무늬가 더욱 조밀해져서 계측이 불가능하였다(사진부도 2-A-D).

3) 저점조도의 Exafine(부가중합형 실리콘)

인상재 경화 30분 후의 사진에서 저밀도의 간섭 무늬가 4개 나타났으며, 1시간 후에는 5개가 기록되었고, 2시간 후의 사진과 4시간 후의 사진에서는 중밀도의 간섭 무늬가 각각 8개와 10개가 관찰되었으며, 6시간 후부터는 간섭 무늬가 더욱 조밀해져서 계측이 불가능하였다(사진 부도 3-A-D).

4) 중점조도의 Exafine(부가중합형 실리콘)

인상재 경화 30분 후의 사진에서는 저밀도의 간섭 무늬가 5개 나타났고, 1시간 후와 2시간 후에서는 각각 7개와 8개의 간섭 무늬가 관찰되었으며, 이후 6시간까지는 거의 변화가 없었으나, 8시간 후의 사진에서는 간섭 무늬의 조밀도가 중밀도로 바뀌어 10개가 기록되었으며, 12시간 후의 사진에서는 계측이 불가능하였다(사진 부도 4-A-D).

5) Provil(부가중합형 실리콘)

인상재 경화 30분 후의 사진에서는 저밀도의 간섭 무늬가 5개 나타났으며, 1시간 후에는 6개가 기록되었고, 2시간 후에서부터는 중밀도로 바뀌어 간섭 무늬가 8개, 4시간 후에는 10개가 각각 관찰되었으나, 6시간 후부터는 조밀도가 높아져서 계측이 불가능하였다(사진 부도 5-A-D).

6) Impregum(폴리에테르)

인상재 경화 30분 후의 사진에서는 저밀도의 간섭 무늬가 4개, 1시간 후에는 7개가 각각 관찰되었으며, 2시간 후와 4시간 후의 사진에서는 중밀도의 간섭 무늬가 각각 8개와 10개 기록되었고, 6시간 후부터는 계측이 불가능하였다(사진 부도 6-A-D).

2. 시간 경과에 따른 인상재 상호간의 체적변화 비교(Table 2, Fig. 4)

1) 30분 경과 후

인상재 경화 30분 후의 체적 변화를 상대적으로 비교하였을 때, Xantopren VL이 고밀도의 간섭 무늬가 10개 나타나 변화가 가장 심하였으며, Permlastic은 중밀도의 간섭 무늬가 7개 나타났고, 중점조도의 Exafine과 Provil은 저밀도의 간섭 무늬가 5개 관찰되었으며, Impregum과 저점조도의 Exafine은 저밀도의 간섭 무늬가 4개 기록되어 변화가 가장 적었다.

2) 1시간 경과 후

인상재 경화 후 1시간 동안의 체적 변화에서도, Xantopren VL은 고밀도의 간섭 무늬가 12개 기록되어 변화가 가장 심하였으며, Permlastic은 고밀도의 간섭 무늬가 10개 관찰되어 그 다음으로 심하였으며, 중점조도의 Exafine과 Impregum은 저밀도의 간섭 무늬가 7개씩 관찰되었고, Provil은 저밀도의 간섭 무늬가 6개 나타났으며, 저점조도의 Exafine이 저밀도의 간섭 무늬가 5개 기록되어 변화가 가장 적었다.

3) 2시간 경과 후

인상재 경화 2시간 후의 체적 변화에서, Permlastic은 간섭 무늬의 계측이 불가능할 정도로 변화가 심하였고, Xantopren VL은 고밀도의 간섭 무늬가 15개 관찰되었으며, 저점조도의 Exafine, Impregum, 그리고 Provil 등은 모두 중밀도의 간섭 무늬가 8개 기록되었고, 중점조도의 Exafine은 저밀도의 간섭 무늬가 8개 관찰되어 변화가 가장 적었다.

4) 4시간 경과 후

4시간 경과 후의 체적 변화에서는, Xantopren VL과 Permlastic은 간섭 무늬의 계측이 불가능할 정도로 변화가 심하였으며, 저점조도의 Exafine, Provil, Impregum 등은 중밀도의 간섭 무늬가 10개 관찰되었고, 중점조도의 Exafine은 저밀도의 간섭 무늬가 8개 기록되어 변화가 가장 적었다.

5) 6시간 경과 후

6시간 경과 후의 체적 변화에서는 저밀도의 간섭 무늬가 8개 기록된 중점조도의 Exafine만이 거의 변화없이 안정성을 보였고, 나머지 인상재들은 모두 간섭 무늬의 계측이 불가능한 양상을 보였다.

6) 8시간 경과 후

8시간 경과 후의 체적 변화에서도 중점조도의 Exafine만이 중밀도의 간섭 무늬가 10개 기록되었고, 나머지 인상재들의 변화는 계측이 불가능하였다.

7) 12시간 동안의 전체적인 체적 변화

전체적인 체적 변화는 Xantopren VL이 가장 심한 것으로 나타나, 안정성이 가장 낮았으며, 그 다음이 Permlastic이었고, 저점조도의 Exafine, Provil, Impregum 등은 유사한 안정성을 보였으며, 중점조도의 Exafine이 가장 안정성이 높았다.

IV. 총괄 및 고찰

홀로그래피의 이론은 1948년 Gabor에 의해 처음으로 제시되었으며³⁴⁾, 1963년 Leith와 Upatnieks가 레이저를 홀로그래피에 적용시킴으로써 최초의 홀로그램이 만들어지게 되었다³⁵⁾. 홀로그래피는 기존의 사진 촬영술(photography)이 2차원적으로 물체의 영상을 기록하는 것과는 달리 3차원적인 상의 기록이 가능한 특징을 가진다³²⁾.

LASER(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)는 유도 방출에 의한 광증폭을 이용하여 광에너지를 열에너지로 바꾸어 사용한 것으로 시간적으로 공간적으로 예측할 수 있는 간섭성(coherence), 단일 주파수 즉, 단일의 색상을 갖는 단색성(monochromaticity), 일정한 형태로 계속 조사될 수 있는 지향성(directionality), 빛의 출력 밀도가 높은 고휘도(brightness)등의 특징을 가진다^{33,36)}.

현재 개발된 레이저에는 기체 레이저(He-Ne, Co₂, Ar), 고체 레이저(Ruby, Nd:Glass), 액체 레이저, 반도체 레이저 등이 있으며 이 중 CO₂ 레

이저의 열을 이용한 지혈 효과가 의료용으로 이용되고 있으며, 최근 Nd 레이저도 치과 치료 영역에 광범위하게 적용되고 있다. 홀로그램의 촬영을 위해서는 저출력의 He-Ne 레이저를 주로 이용한다³⁶⁻³⁸⁾.

홀로그래피의 기본 원리는 물체로부터 나오는 빛의 파동을 홀로그래피용 사진 건판에 기록하였다가 나중에 레이저 장치를 이용하여 그대로 재생하는 것이다. 즉, 물체에 닿아서 환상으로 반사되어 건판에 구형파를 형성하는 물체광(object beam)과 직접 건판에 닿아서 평면파를 형성하는 참조광(reference beam)의 두 광선이 간섭을 일으켜 동심원의 회절 무늬(circular fringe)를 건판에 그리게 되며, 이런 간섭 무늬를 기록한 것이 홀로그램이다. 이런 간섭 양상(interference pattern)으로 변형된 부위나 나노미터 단위의 변위를 측정할 수 있게 된다^{30,32,33)}.

물체광과 참조광의 중첩에 의해 간섭 무늬(interference fringe)가 형성되는 원리는, 서로 다른 두 개의 파장이 겹쳐지게 되면 간섭현상이 일어나 파장이 증폭 혹은 감쇄되는데, 이 때 최상점과 최하점이 만나게 되면 파장이 소멸(destructive interference)되고 최상점끼리 또는 최하점끼리 만나게되면 파장의 증폭(constructive interference)이 일어나게 된다^{33,37)}(Fig.5).

홀로그램의 사진 기록이 현상된 다음 다시 참조광으로 조명하게 되면 원래 물체의 상이 나타나게 되고 생생하고 입체감있는 재생상으로 나

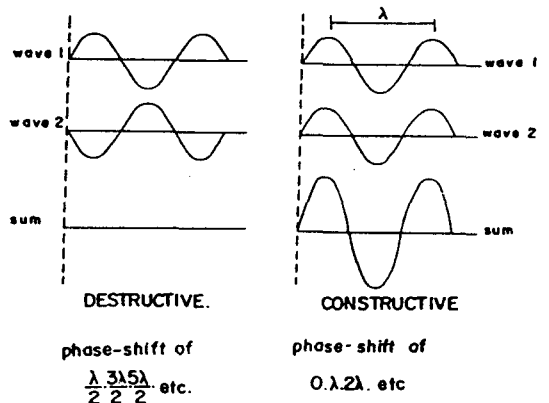


Fig. 5. Diagrammatic illustrations of destructive and constructive interference.

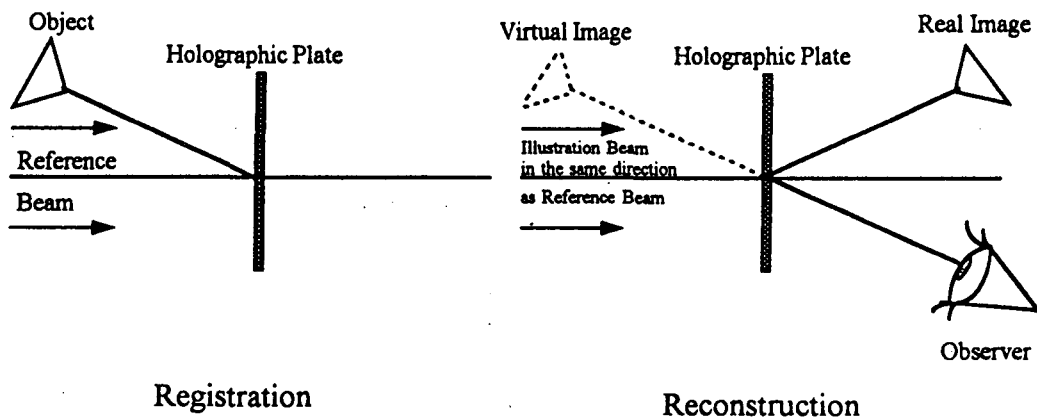


Fig. 6. Registration and reconstruction of hologram.

타나게 된다²⁹⁾(Fig. 6).

홀로그래피는 2개의 서로 다른 교차 광파장의 증폭 또는 감쇄에 의해 나타나는 간섭 양상을 기록한 고해상도의 사진판 혹은 필름(photographic film or plate)이며, 홀로그래피는 물체로부터 홀로그래피에 반사된 광파장을 기록하여, 원래의 물체가 있던 공간에 물체의 저장된 영상을 재현하는 촬영 술식이다^{29,33)}.

Hologram은 'complete'란 의미를 가진 holo와 'message'를 의미하는 gram이 합해진 용어로 'complete message'란 뜻을 갖는다³³⁾.

홀로그래피는 정보의 기록과 저장에서 일반 사진 촬영술보다 발전된 것으로, 일반 사진 촬영술이 물체로부터 반사된 빛의 세기만을 기록하는 반면, 홀로그래피는 빛의 강도 뿐 아니라 위상도 기록함으로써 일반적인 사진의 한계를 극복하였다. 즉, 물체광과 참조광 사이의 위상 차가 간섭을 일으키고 이것이 고해상도의 사진판인 홀로그래피에 기록된다. 레이저를 이용하여 이를 적절하게 현상하고 표출시키면 물체의 3차원적인 영상이 재생되어 나타난다. 거리 해상도는 광선 파장의 길이나 사진 건판의 해상도와 유사하다^{29,30,32,33)}.

홀로그래피의 원리를 수학적으로 간략하게 요약하면 다음과 같다²⁹⁾.

광원의 세기 I 는 광파장의 크기(a) 곱하기 그것의 공액파(a')로 표시될 수 있다.

즉, $I = a \cdot a'$

R 을 참조광이라 하고 O 를 물체광이라 표시하면, 홀로그래피 사진건판상의 광선의 세기는 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$I_h = (R+O)(R'+O') = R \cdot R' + O \cdot O' + R \cdot O' + O \cdot R'$$

여기에서 $R \cdot R'$ 는 참조광의 세기(I_R)이며, $O \cdot O'$ 는 물체광의 세기(I_O)로서 다음과 같이 요약된다.

$$I_h = I_R + I_O + R \cdot O' + O \cdot R'$$

홀로그래피의 재생시, 홀로그래피 사진건판에는 참조광인 R 과 건판을 통과하는 빛이 조사된다.

$$T_h = I_h \cdot R = R \cdot I_R + R \cdot I_O + R \cdot R \cdot O' + R \cdot R' \cdot O$$

$R \cdot I_R$ 과 $R \cdot I_O$ 는 조절되지 않은 조사 강도이나, $R \cdot R' \cdot O$ 는 $I_R \cdot O$ 혹은 물체의 크기에 의해 조절된 참조광의 세기로 표시될 수 있는데, 이는 물체의 광학적 연출로서 이것이 곧 허상(virtual image)이며, $R \cdot R \cdot O'$ 는 물체의 실상 혹은 공액상(real or conjugate image)이다.

물체의 실상과 허상을 함께 기록하는 것이 모든 홀로그래피 술식의 특징이나, 보통 촬영을 위한 건판과 물체의 배치시에는 실상이 건판 뒤에 재생되어 나타나는 허상을 간섭하지 않도록 배열한다.

홀로그래피상에는 목표물의 모든 핵심 정보가 담겨지게 되는데, 만약 홀로그래피 반으로 나누어진다면, 각각의 반쪽들은 완전한 상을 갖고 있

으며 더 작은 조각으로 나누어져도 각 조각들은 여전히 완전한 상을 갖고 있지만 해상도나 상의 질이 약간 떨어지게 된다. 이것은 홀로그래프의 각 조각들이 약간 다른 시각에서 물체를 기록하기 때문이다. 물체와 상 사이에는 완전한 1:1의 대응관계를 가지게 된다. 3차원 사진 촬영술이 시차(parallax)를 갖지 않는데 반해 홀로그래프는 모든 방향으로 시차가 존재하게 된다. 따라서, 관찰자는 3차원적 입체상을 직접 볼 수 있지만 카메라는 2차원 평면상을 기록하게 되므로, 사진으로 촬영시에는 질이 상당히 저하되게 된다³²⁾.

본 연구에서도 현상된 사진으로 간섭 무늬를 분석하게 되어 완전한 3차원적인 변화를 예측하기가 어려웠다.

홀로그래피의 기록 방법은 크게 이중노출 촬영법(double exposure holography interferometry)과 real-time holography로 대별 된다²⁹⁾. 이중노출 촬영법은 우선 홀로그래프 촬영용 사진 건판에 대상 물체의 원래 형상을 촬영 기록한 후, 외력을 가한 후 동일 건판에 재촬영하여 기록 하게 되면 변형 전후의 물체상이 공간적 간섭 현상을 일으켜 흑백의 간섭 무늬(interference fringe)를 만들게 되며, 이 흑백의 간섭 무늬의 밀도와 주행 양상을 통해 대상 물체의 변위를 관찰하는 정보를 얻게 된다. 이는 물체 변형 전후의 촬영 순간의 상태만을 비교할 수 있다^{29,30,32,33)}. 이에 반해 본 연구에서 이용한 real-time holography는 변형이나 체적 변화가 일어나는 과정을 기록할 수 있다. 물체가 외력을 받고 있지 않는 안정된 상태의 영상을 기록하여 이 기록된 참조 홀로그래프를 현상하여 원래의 위치에 정확하게 재위치 시키게 된다. 홀로그래프의 상이 원래의 물체에 중첩되어 나타나게 되고, 미세한 변형이 일어나게 되면 물체의 허상이 물체 자체와 간섭을 일으켜 간섭 무늬가 나타나게 되는데, 이는 가해지는 하중이나 변위에 따라 좌우된다^{29,32)}. 다양한 변형들로 인해 나타나는 간섭 무늬는 비디오 스크린으로 관찰되며, 테이프에 기록될 수 있다. 또한 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환시켜 컴퓨터에 저장할 수 있어, 간섭 무늬의 수학적 계산으로 정량적 분석이 이론적으로는 가능하나 아직 실용화 되지는 못하였다

³³⁾ 이러한 이유로 본 연구에서도 정성적인 분석만을 시행하였다.

홀로그래프는 관찰 방법에 따라 3가지 종류로 나누어지는데 transmission 홀로그래프는 레이저로 조명을 하고 그 반대편에서 관찰자가 직접 관찰을 하는 것이고, reflection 홀로그래프는 조명원이 관찰자와 같은 편에 있으며 이 경우에는 레이저가 아닌 백색광을 조명하여 홀로그래프에서 반사된 빛의 상을 나타내며, intergram은 관찰자가 투명한 cylindrical hologram을 통하여 그 안의 상을 볼 수가 있다³⁰⁾.

본 연구에 사용된 홀로그래프는 transmission 홀로그래프로, 물체의 변화를 기록하는데 유용한 것으로 생각된다. 또한 저출력의 He-Ne 레이저가 이용되었고, 그 파장은 6328Å이며 적색광에 해당한다.

최근 많은 관련 분야에서 레이저의 효과적인 적용이 연구되고 있다. 합성 ruby에서 레이저 효과를 얻는 것이 가능해진 이후 레이저 공학은 급속도로 발전해왔다²⁹⁾. 최근의 연구는 레이저 공학의 한 분야인 holographic interferometry를 적용시킨 것에 기초를 두고 있다. 이러한 holographic interferometry를 이용한 비파괴적인 실험은 통신, 항공 우주, 전기, 자동차 타이어 등 여러 산업 분야에서 광범위하게 적용되고 있다³⁰⁾. holographic interferometry는 물체의 파괴없이 물체내의 기포, 균열, 다공성, 굴곡등이나 다른 내부적인 결함을 발견하게 해준다³⁰⁾. 치의학에서도 홀로그래피는 생역학적 연구에 이용되기 시작하여 최근 그 사용이 증가되고 있는데, 치아의 이동이나 동요도, 교정력에 대한 악골의 반응, 보철물의 탄성 변형 등의 연구에 이용되고 있다³²⁾.

Wicoin등³⁹⁾은 금납착 연결 부위의 탄성 변형에 관하여 연구 보고하였고, Wedendal과 Bjelk-hagen^{29,31)}은 보철 장치를 이용하여 치아와 주위 조직의 변화를 홀로그래프로 계측하였고, 또한 ruby 레이저를 이용하여 저작중인 치아의 동역학적 연구를 시행하였다. Wesson과 Goldstein³⁰⁾은 홀로그래피를 이용하여 도개-금속 수복물을 위한 금속 구조물의 굴곡 특성을 연구하였고, Young과 Altschuler³³⁾는 치과 영역에서의 홀로그래피를 소개하고 국소의치 주연결장치의 응력

분산을 연구하였다.

탄성 고무 인상재는 고무와 같은 성질을 지니며 탄성 중합체(elastomer)라고도 불리며, 비수교성 탄성 인상재로 분류된다. 보통 축합이나 부가 반응에 의해 중합과 교차 결합이 일어나며, 화학적으로도 폴리설파이드, 축중합형 실리콘, 부가중합형 실리콘, 그리고 폴리에테르의 4가지로 구분된다^{5,6)}. 재료의 개발은 폴리설파이드, 축중합형 실리콘, 폴리에테르, 부가중합형 실리콘의 순으로 이루어졌다¹¹⁾.

폴리설파이드는 1950년대 중반에 소개되어 하이드로콜로이드보다 우수한 체적 안정성과 찢김 강도를 띠지며 유동성이 우수하고 조작 시간이 길고, 가격이 싸다는 장점을 가진다. 그러나, 구강내에서의 긴 경화시간은 불쾌한 황냄새와 함께 환자에게 불편감을 줄 수 있으며, 인상 채득 후 가능한 빨리 석고를 주입해야 체적 변화를 줄일 수 있다^{5,11)}. 중합중에 수축을 줄이기 위해 개인 트레이의 사용이 추천되며, 일반적으로 2회 혼합법으로 트레이용의 heavy body와 시린지용인 저점조도의 light body가 사용된다^{5,11)}. Sawyer등^{9,41)}과 Asgar²⁴⁾는 폴리설파이드가 체적 안정성이 우수한 것으로 보고하였으나, 다른 많은 연구에서는 다른 고무 인상재에 비해 상대적으로 체적 변화가 심한 것으로 보고되고 있다. 본 연구에서도 폴리설파이드인 Permlastic은 경화 직후부터 체적 변화가 상대적으로 심하게 나타나기 시작하여 지속적인 체적 변화가 비교적 심하게 나타났다.

축중합형 실리콘은 폴리설파이드의 단점인 냄새와 착색, 그리고 긴 경화 시간의 문제를 극복하였으나, 체적 안정성은 가역성 하이드로콜로이드보다는 우수하지만 폴리설파이드보다는 떨어지는 것으로 알려져 있다^{11,12)}. 축중합형 실리콘의 가장 큰 단점은 극히 소수성으로 인상면과의 젖음이 불량하여 모형상의 기포 발생율이 높다는 것이다^{5,11)}. Tjan등²⁾의 연구에 의하면 여러 가지 방법으로 인상채득해 본 결과 모든 경우에서 정확도가 떨어지는 것으로 보고되었으며, Ciesco등³⁾의 연구에서도 화학적으로 구분되는 네 종류의 탄성 고무 인상재 중 체적 안정성이 가장 낮은 것으로 평가되었다. 축중합형 실리콘

과 폴리설파이드는 그들의 중합 특성 때문에 체적 안정성이 낮고, 중합 과정에서 부산물로 알콜 또는 물이 생성되어 이들이 경화된 재료로부터 증발되어 체적 수축을 야기하게 되는 것으로 알려져 있다¹²⁾. 본 연구에서도 축중합형 실리콘인 Xantopren VL은 시간 경과에 따른 체적 변화가 가장 심하였고, 특히 경화 후 초기 30분간의 변화가 심한 것으로 나타났다.

1960년대 중반 독일에서 개발된 폴리에테르 인상재는 다른 탄성 인상재와는 중합 기전이 달라 휘발성의 부산물이 생성되지 않으므로 우수한 체적 안정성을 가지며, 실온에서의 중합 수축도 낮아 Stauffer등⁸⁾, Sawyer등⁹⁾, Lin등¹⁰⁾의 연구에서 가정 정밀한 인상재로 보고되었다. 폴리에테르는 높은 체적 안정성을 가지므로 인상채득 하루 후에도 모형 주입이 가능한 것으로 보고되고 있으나^{5,11)}, 본 연구에서 폴리에테르인 Impregum은 경화 30분 후부터 수 개의 간섭 무늬가 나타나기 시작하여 지속적으로 약간의 변화가 일어났으므로, 인상 채득 후 가능한 빨리 석고를 주입하는 것이 변형을 줄일 수 있는 최선의 방법이라 사료된다.

또한, 폴리에테르는 습기를 흡수하여 체적 변화가 나타나므로, 건조한 상태에서 보관하여야 한다^{5,6)}. 본 연구에서도 이러한 변화를 배제하기 위해 습도가 낮은 실온에서 실험을 시행하였다.

치과용 인상재로 부가중합형 실리콘이 소개된 것은 1970년대로서 중합 부산물이 없고, 월등하게 우수한 체적 안정성을 보이면서 적절한 경화 시간을 가진다. 이러한 이유로 고정성 보철치료, 보존 수복 치료, 가철성 보철 치료 및 임플란트 보철 등에 가장 널리 사용되고 있다^{42,43)}. Yeh등⁴⁴⁾의 연구에서는 24시간 경과 후에도 0.06%의 변화만이 일어나 탄성 고무 인상재 중 가장 우수한 안정성을 가진 것으로 보고되었고, Lacy등²⁷⁾은 여러가지 인상재로 전악 인상을 채득한 결과 부가중합형 실리콘이 가장 정확도가 뛰어난 것으로 보고하였다. 부가중합형 실리콘은 화학적 조성과 관련지어 polyvinylsiloxane 또는 vinyl polysiloxane으로 불리며, 다양한 점조도를 가진 제품들이 여러 용도의 인상에 다양하게 사용되고 있다⁵⁾.

초기의 부가중합형 실리콘은 중합 후 수소 가스가 발생하여 인상 채득 후 약간의 시간 경과 후 석고 모형을 주입해야 했으나, 최근의 재료에는 폴리머-모형 계면상의 가스 분출을 방지하는 제거체가 포함된 제품이 생산되어 모형을 즉시 부을 수 있으며^{5,6)}, 또한 소수성의 단점을 보완한 친수성의 polyvinyl siloxane이 개발되어 시판되고 있으나, Panichuttra등⁴⁵⁾의 연구에서 소수성의 제품이 체적 안정성이 약간 더 우수한 것으로 나타났으며, 표면처리제 사용시 젖음성에는 큰 차이가 없는 것으로 보고되었다. 본 연구에서, 부가중합형 실리콘인 저점조도 및 중점조도의 Exafine과 Provil은 제품에 따라 체적 안정성에 약간의 차이가 있었으며, 폴리에테르와 함께 비교적 안정성이 높은 것으로 나타났으나, 어느 정도의 체적 변화는 일어나는 것으로 관찰되었다. 또한 Exafine의 점조도에 따른 비교에서는, 저점조도의 제품이 초기에는 변화가 더 적었으나, 시간 경과 후의 전체적인 체적 변화에서는 중점조도의 제품이 더 안정성이 있는 것으로 나타났다.

탄성 고무 인상재의 체적안정성과 정확도에 관한 많은 선학들의 연구가 있어왔는데 인상재의 두께^{22,23)}, 트레이의 종류¹⁷⁻²⁰⁾, 인상채득의 방법 및 인상재 제거법^{44,46)}, 경석고의 시기와 반복 주입 횟수^{15,16)}, 인상재의 소독^{25,26)} 등 영향을 미칠 수 있는 요소들에 관한 내용들이 포함되어 있다.

인상재의 두께는 중합 과정 중 일어나는 체적 변화에 영향을 미치게 되는데, Eames등²²⁾은 고무 인상재의 두께가 증가하면 그 크기 변화도 증가하는 것으로 보고하였고, Phillips⁵⁾는 고무 인상재는 전체의 두께가 균일할 때, 가장 좋은 결과를 얻는 것으로 보고하였다. 이상적인 고무 인상재의 두께는 Eames등²²⁾과 Fuerstein⁴⁷⁾은 2-3 mm, Reisbick과 Matyas²³⁾는 2-4mm, Asgar²⁴⁾는 3-4mm가 적당하다고 하였다. 본 연구에서는 이들 추천되는 두께의 중간값인 3mm 두께로 시편을 제작하였다.

균일한 두께의 인상재를 얻기 위해서는 개인 트레이의 제작이 필요한데, Williams등¹⁴⁾은 인상재의 용적 감소로 변형을 감소시키기 위해 개인 트레이의 제작을 추천하였고, Ciesco등³⁾은 개인

트레이 사용시 인상재의 체적 안정성이 더 우수한 것으로 보고 하였으며, Gordon등²⁰⁾도 트레이의 재료가 탄성 고무 인상재의 정확도에 미치는 영향에 관한 연구에서, 아크릴릭 레진이나 열가소성 수지로 제작된 개인 트레이로 채득된 인상은 임상적으로 수용될 수 있으나, 플라스틱 기성 트레이는 더 많은 체적 변화를 수반하는 것으로 보고하였다. 또한, Valderhaug와 Floystrand¹⁷⁾는 기성 트레이와 개인 트레이를 각각 사용하여 고무 인상재의 인상을 채득한 결과 체적 안정성에 유의한 차이가 없는 것으로 보고한 반면, Reisbick과 Matyas²³⁾는 개인 트레이를 이용한 경우보다 정확도는 떨어지지 않으면서도 기성 트레이를 사용하여 인상을 채득할 수 있는 장점을 지닌 putty wash 방법을 소개하였다. 본 연구에서는 아크릴릭 레진으로 제작되는 개인 트레이 자체의 미세한 변형이 홀로그램상에 고무 인상재의 변형과 간섭을 일으켜서 나타날 수 있는 것을 배제하기 위해 금속판을 실험용 트레이로 사용하여 그 위에 균일한 두께의 인상재를 부착시켜 관찰하였다.

구강내에서 채득된 인상은 제거 과정에서 치아나 그 주위조직에 의해 저항을 받게 되고, 이때 발생하는 응력은 인상재에 남게 되어 부정확한 모형의 원인이 될 수 있다. Herfort등⁴⁸⁾은 탄성 인상재가 견딜 수 있는 찢김 강도에 관해 연구하였으며, Yeh등⁴⁴⁾은 인상재 제거시의 변형을 방지하기 위해 고무 인상재의 두께가 필요한 것으로 주장하였다.

Shigeto등⁴⁶⁾은 인상재거시 수직 방향이 아닐 경우 지대치와 인접치간의 언더컷에서 얇은 인상층의 체적 변화가 야기될 수 있으며, 전악 치궁에서의 크기의 정확성은 짧은 치궁에서와 다르다고 보고하였다.

인상재 제거 후 경석고를 주입하는 시기 또한 인상재의 정확도에 영향을 미치게 된다. Eames등¹⁾과 Williams등¹⁴⁾은 시간 경과에 따른 탄성 고무 인상재의 체적 안정성을 연구한 결과 인상 채득 즉시 경석고를 주입하는 것이 가장 우수한 것으로 보고하였으며, Ciesco등³⁾과 Lacy등^{12,27)}도 최대의 정확도를 위해서는 인상 채득 즉시 석고 모형을 제작하는 것을 추천하였다. 또한

Johnson과 Craig¹⁵⁾는 화학적으로 구분되는 네 종류의 탄성 고무 인상재의 석고 주입 시간과 반복 주입이 정확도에 미치는 영향에 관한 연구에서, 수직적인 크기의 변화는 부가중합형 실리콘이 가장 적었고, 부가중합형 및 축중합형 실리콘이 언더컷으로부터의 회복이 가장 빨라 반복 주입시 체적 변화가 최소였으며, 부가중합형 실리콘과 폴리에테르가 시간 경과 후 석고 주입 시에도 가장 변화가 적은 것으로 보고하였다.

Eames등¹¹⁾은 탄성 고무 인상재의 정확도와 체적 안정성에 관한 연구에서 각 고무 인상재를 혼합 후 30분에서 24시간까지의 길이 변화를 측정 한 결과 30분에서는 0.11%-0.45%, 24시간에서는 0.18%-0.84%의 변화를 보인 것으로 보고하였으며, 대부분 유사한 안정성을 보이는 것으로 주장하였다. 본 연구에서는 체적 변화의 정량적 계측이 불가능하여 변화율을 수치로 계산할 수 없었다. Williams등¹⁴⁾은 네 종류의 고무 인상재의 시간 경과에 따른 체적 안정성을 비교한 결과 부가중합형 실리콘과 폴리에테르가 가장 우수한 것으로 보고하였으며, Ciesco등³⁾은 폴리에테르, 부가중합형 실리콘, 폴리설파이드, 축중합 실리콘 순으로 체적 안정성이 우수한 것으로 보고하였다. 그러나 이러한 연구들은 대부분 길이의 변화만을 기록한 것으로 입체적인 변화의 기록을 하지 못하였다. 본 연구에서는 체적의 변화를 기록한 결과, 부가중합형 실리콘인 Exafine과 Provil, 폴리에테르인 Impregum의 체적 안정성이 비교적 높았으며, 그 다음으로 폴리설파이드인 Permlastic, 그리고 축중합형 실리콘인 Xantopren VL의 체적 안정성이 가장 낮은 것으로 평가 되었다.

간염이나 에이즈 혹은 다른 전염성 질환의 교차감염에 대한 위험을 배제하기 위해 인상체는 적절하게 소독 혹은 멸균 되어야한다. 이러한 소독의 과정에서 인상체는 체적 변화가 일어날 수도 있다. Giblin등²⁶⁾은 요오드 소독액에 인상체를 담근 후의 체적변화를 연구하였으며, Langeri-walter등²⁵⁾은 탄성 인상재의 소독 후의 체적 변화를 연구한 결과, 임상적으로 허용 가능한 범위 내에 있는 것으로 평가하였고, Bergman등²⁸⁾의 연구에 따르면 ZOE인상재, 폴리설파이드, 실리

콘, 폴리에테르 등은 소독액과 조화가 되나, 하이드로콜로이드 인상재나 impression compound는 변화가 생기는 것으로 보고되었다. 본 연구에서는 인상재 자체만의 변화를 관찰하기 위해 소독 처리를 하지 않아 연구 결과에 미칠 수 있는 영향의 가능성을 배제하였으나, 앞으로 소독 후의 체적 변화에 관한 연구도 필요할 것으로 사료된다.

인상의 정확도를 측정하는 방법은 보통 인상체로부터 제작된 경석고 모형의 측정을 통해 이루어지게 된다. Hohlt와 Phillips⁴⁹⁾는 silhouette photographs로 분석한 바 있으며, Walters등¹⁹⁾과 Woodward등⁵¹⁾은 인상 채득 후 인상체나 제작한 석고 모형에서 캘리퍼로 측정하였으며, Gordon등²⁰⁾은 measuring microscope, Shigeto등⁴⁶⁾과 Valderhaug와 Floystrand¹⁷⁾는 profile projector를 각각 이용하여 계측하였다. Bomberg등⁵²⁾과 Tjan등²⁾은 모형상에서 주조체를 제작하여 그 변연 적합도를 measuring microscope로 측정 한 바 있고, Stauffer등⁸⁾과 Lin등¹⁰⁾은 주 모형에서 제작한 전악 금속 구조물을 인상채득 후 제작한 모형에 적합시켜 그 변연 적합도를 인상의 크기 재현도를 비교하였다. Dounis등⁵³⁾은 이와 반대로 인상 채득 후 얻어진 모형에서 전악 금속 구조물을 제작하여 이를 주모형에 적합시켜 변연 적합도를 측정하였다. 이들의 측정 방법은 대개 2차원적인 변형만을 측정 한 것이며, 3차원적인 변위를 관찰할 수는 없었다. 이에 반해 홀로그래피를 이용한 본 연구에서는 모형재와 개인 트레이에 사용된 아크릴릭 레진의 변화를 배제하고 순수한 인상체만의 체적 변화를 홀로그래피를 이용하여 관찰함으로써 3차원적인 변화를 평가하고자 하였다.

본 연구의 결과, 연구대상 인상재의 체적 안정성의 순서는 여러 선행학들의 연구와 크게 다르지 않았다. 부가중합형 실리콘인 저점조도와 중점조도의 Exafine과 Provil, 폴리에테르인 Impregum이 비교적 안정성이 높았으며, 축중합형 실리콘인 Xantopren VL과 폴리설파이드인 Permlastic은 역시 안정성이 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 그러나, 체적 안정성이 가장 우수한 것으로 알려져 왔던 폴리에테르 인상재도

어느 정도의 체적 변화는 발생하였고, 부가중합형 실리콘이 오히려 더 우수한 것으로 기록된 것은 주목할 만한 일이다. 그리고, 본 연구에서는 고무인상재 사용시 개인 트레이 제작을 전제로 하여 연구를 시행하였으나, 최근에는 고정성 국소의치 제작을 위한 인상에서 기성 트레이에 고점조도의 putty body와 저점조도의 light body를 함께 사용하는 2회 혼합법이 주로 사용되고 있으므로, 이들을 함께 사용했을 경우의 체적 변화에 대한 연구도 필요할 것으로 사료된다.

Real-time holography를 이용한 치의학적 연구는 국내에서는 아직 시행된 바 없으며, 국외서의 연구도 대부분 double exposure의 방법으로 시행한 것이었다. 본 연구에서는 이러한 real-time holography를 이용하여 시간 경과에 따른 3차원적인 체적 변화를 연구하고자 하였으나, 3차원적인 각 방향으로의 변화를 보기 위해서는 세 방향에서 레이저를 노출시켜야 하는 기술적인 어려움때문에 한 방향에서만 레이저를 조사하였고, 사진으로 현상된 기록에서는 두 방향(x축, z축)으로의 변화가 복합되어 간접 무늬로 기록되었다. 따라서, 이를 입체적으로 분석하는데는 한계가 있었으며, 컴퓨터에서의 영상변환을 통한 변위량의 계산도 관련 소프트웨어의 미개발과 기술적인 미비로 아직 실용화 되지 않아 상대적인 변화만을 기록할 수밖에 없었던 것이 부족한 부분으로 남는다. 따라서, 여러 방향에서의 레이저 조사가 가능해 지고 관련 컴퓨터 프로그램이 도입되면서 기술적인 어려움이 해결된다면, 치의학 분야에서 홀로그래피의 이용은 보다 가속될 것으로 사료된다.

V. 결 론

화학적으로 구분되는 네 종류의 치과용 고무 인상재 중 현재 국내에서 비교적 널리 사용되고 있는, Permlastic(폴리설파이드), Xantopren VL(축중합형 실리콘), 저점조도와 중점조도의 Exafine(부가중합형 실리콘), Provil(부가중합형 실리콘), 그리고 Impregum(폴리에테르) 등의 6가지 제품을 선택하여, 인상재 경화로부터 30분, 1시간, 2시간, 4시간, 6시간, 8시간, 12시간 경과

후의 체적 변화를 real-time holography를 이용하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Xantopren VL과 Permlastic은 인상재 경화 후 시간 경과에 따라 지속적으로 심한 체적 변화가 있었고, 저점조도의 Exafine, Provil, Impregum 등은 시간 경과에 따라 약간의 체적 변화가 있었으며, 중점조도의 Exafine은 경화 2시간 후부터 6시간 까지 체적의 변화가 거의 없었다.
2. 인상재 경화 후 초기 1시간 동안의 체적 변화는 Xantopren VL이 가장 심하였고, 저점조도의 Exafine이 변화가 가장 적었다.
3. 인상재 경화 4시간 후의 체적 변화에서는 Xantopren VL과 Permlastic이 가장 심하였으며, 중점조도의 Exafine이 변화가 가장 적었다.
4. 인상재 경화 후 12시간 동안의 전체적인 체적 변화에서는 Xantopren VL과 Permlastic이 가장 안정성이 낮았으며, 중점조도의 Exafine이 가장 안정성이 높았다.

REFERENCES

1. Eames, W.B., Wallace, S.W., and Suway, N.B. : Accuracy and dimensional stability of elastomeric impression materials. J. Prosthet. Dent. 42 : 159-162, 1979.
2. Tjan, A.H.L., Whang, S.B., Tjan, A.H., and Sarkissian, R. : Clinically oriented evaluation of the accuracy of commonly used impression materials. J. Prosthet. Dent. 56 : 4-8, 1986.
3. Ciesco, J. N., Mallone, W.F.P., Sandric, J.L., and Mazur, B. : Comparison of elastic materials used in fixed prosthodontics. J. Prosthet. Dent. 45 : 89-94, 1981.
4. Davis, D.R., and Preble, J.S. : Accuracy of a hydrophilic irreversible hydrocolloid/silicone impression material. J. Prosthet. Dent. 55 : 304-308, 1986.
5. Phillips, R.W. : Skinner's science of dental materials. 9th ed. Chicago, 1991, W.B. Saunders Co., pp 135-156.
6. Craig, R.G. : Restorative dental materials. 8th ed.

- St. Louis, 1989, Mosby Co., pp309-325.
7. Report of Councils and Bureaus. : Revised American Dental Association Specification No. 19 for Non-Aquaous, Elastomeric Dental Impression Materials. *J. Am. Dent. Assoc.* 94 : 733-741, 1977.
 8. Stauffer, J.P., Meyer, J.M., and Nally, J.N. : Accuracy of six elastic impression materials used for complete arch fixed partial dentures. *J. Prosthet. Dent.* 35 : 407-415, 1976.
 9. Sawyer, H.F., Dilts W.E., Aubrey, M.E., and Neiman, R. : Accuracy of cast produced from the three classes of elastomer impression materials. *J. Am. Dent. Assoc.* 89 : 644-648, 1974.
 10. Lin, C.C., Ziebert, G., Donegan, S.J., and Dhurn, V. : Accuracy of impression materials for complete arch fixed partial denture. *J. Prosthet. Dent.* 59 : 288-291, 1988.
 11. Rosential, S.F., Land, M.F., Fujimoto, J. : Contemporary Fixed Prosthodontics. 2nd ed. St. Louis, 1994, Mosby Co., pp222-224.
 12. Lacy, A.M., Bellman, T., Fukui, N., and Jendresen, M.D. : Time-dependent accuracy of elastomer impression materials. Part I : Condensation silicone. *J. Prosthet. Dent.* 45 : 209-215, 1981.
 13. Price, R.B., Gerrow, J.D., and MacSeen, R. : The dimensional accuracy of 12 impression material and die stone combinations. *Int. J. Prosthodont.* 4 : 169-174, 1991.
 14. Williams, P.T., Jackson, D.G., and Bergman, W. : An evaluation of the time-dependent dimensional stability of seven elastomeric impression materials. *J. Prosthet. Dent.* 52 : 120-125, 1984.
 15. Johnson, G.H., and Craig, R.G. : Accuracy of four types of rubber impression materials compared with time of pour and a repeat pour of model. *J. Prosthet. Dent.* 53 : 484-490, 1985.
 16. Leubke, R. K., Scandrett, F. R., and Kerber, P. E. : The effect of delayed and second pours on elastomeric impression material accuracy. *J. Prosthet. Dent.* 41 : 517-521, 1979.
 17. Valderhaug, J. and Floystrand, F. : Dimensional stability of elastomeric impression materials in custom-made and stock trays. *J. Prosthet. Dent.* 52 : 514-517, 1984.
 18. Pagniano, R.P., Schied, R.C., Clowson, R.L., Dagefoerde, R.O., and Zardiackas, L.D. : Linear dimensional change of acrylic resins used in the fabrication of custom trays. *J. Prosthet. Dent.* 47 : 279-283, 1982.
 19. Walters, R. A., and Spurrier, S. : An effect of tray design and material retention on the linear dimensional changes in polysulfide impressions. *J. Prosthet. Dent.* 63 : 277-281, 1990.
 20. Gordon, G.E., Johnson, G.h., and Drenon, D.G. : The effect of tray selection on the accuracy of elastomeric impression materials. *J. Prosthet. Dent.* 63 : 12-15, 1990.
 21. Wassell, R.W., and Ibbeston, R.J. : The accuracy of polyvinyl siloxane impression materials made with standard and reinforced stock trays. *J. Prosthet. Dent.* 65 : 748-757, 1991.
 22. Eames, W.B., Sieweke, J.C., Wallace, S.W., and Rogers, L.B. : Elastomeric impression materials : Effect of bulk on Accuracy. *J. Prosthet. Dent.* 41 : 304-307, 1979.
 23. Reisbick, M.H., and Matyas, J. : The accuracy of highly filled elastomeric impression materials. *J. Prosthet. Dent.* 33 : 67-72, 1975.
 24. Asgar, K. : Elastic impression materials. *Dent. Clin. North. Am.*, 15 : 58, 1971.
 25. Langeriwalter, E.M., Aguilino, S.A., and Turner, K.A. : The dimensional stability of elastomeric impression materials following disinfection. *J. Prosthet. Dent.* 65 : 270-296, 1990.
 26. Giblin, J., Podesta, R., and White, J. : Dimensional stability of impression materials immersed in iodophor disinfectant. *Int. J. Prosthodont.* 3 : 72-77, 1990.
 27. Lacy, A.M., Bellman, T., Fukui, N., and Jendresen, M.D. : Time-dependent accuracy of elastomer impression materials. Part II : polyether, polysulfides, and polyvinylsiloxane. *J. Prosthet. Dent.* 45 : 329-333, 1981.
 28. Bergman, B. : Disinfection of prosthodontic impression materials. *Int. J. Prosthodont.* 2 : 537-542, 1989.
 29. Wedendal. P.R. and Bjelkhagen, H.I. : Dental holographic interferometry in vivo utilizing a ruby laser system. I. Introduction and development of methods for precession measurement on functional dynamics of human teeth and prosthodontic appliances. *Acta Odont. Scand.* 32 : 131-145, 1974.
 30. Wesson, A., Goldstein, G.R., and Schulman, A. : Flexion characteristics of fixed partial denture

- frameworks tested by using elapsed-time holographic interferometry. *J. Prosthet. Dent.* 60 : 308-310, 1988.
31. Wedendal, P.R. and Bjelkhagen, H.I. : Dental holographic interferometry in vivo utilizing a ruby laser system. II. Clinical applications. *Acta Odont. Scand.* 32 : 345-356, 1974.
 32. Schwaninger, B., Schmidtm R.L., and Hurst, R.V.V. : Holography in dentistry. *J. Am. Dent. Assoc.* 95 : 814-817, 1977.
 33. Young, J.M. and Altschuler, B.R. : Laser holography in dentistry. *J. Prosthet. Dent.* 38 : 216-225, 1977.
 34. Gabor, D. : A new microscope principle. *Nature.* 161 : 477, 1948. (cited from 28)
 35. Leith, E. N., and Upatnieks, J. : Wavefront reconstruction with diffused illumination and three-dimensional objects. *J. Opt. Soc. Am.* 54 : 1295-1301, 1964. (cited from 31)
 36. 진익재, 양원식 : 교정용 호선에 약한 교정력 사용시 악안면골의 초기 반응에 관한 holographic interferometry 연구. 대한 치과 교정학회지. 24 : 447-477, 1994.
 37. 김충배, 양원식 : Laser holography를 이용한 상악 head gear 견인에 따른 안면 두개골의 초기 반응에 관한 연구. 대한 치과 교정학회지. 16 : 31-41, 1988.
 38. 박상준, 양원식 : 상악골 확장이 안면골에 미치는 영향에 관한 laser holography 연구. 대한 치과 교정학회지. 16 : 43-51, 1988.
 39. Wicoin, L., Bjelkhagen, H., and Abramson, N. : Holographic investigation of elastic deformation of defective gold solder joints. *Acta Odont. Scand.* 30 : 659-670. 1972.
 40. Goldstein, G.R., Wesson, A., Schweitzer, K., and Cutler, B. : Flexion characteristics of four-unit fixed partial denture frameworks tested by using holographic interferometry. *J. Prosthet. Dent.* 67 : 609-613, 1992.
 41. Sawyer, H.F., Birtles, J.T., Neiman, R., and Podshadley, A.G. : Accuracy of casts produced from seven rubber impression materials. *J. Am. Dent. Assoc.* 87 : 126-130, 1973.
 42. Marcinak, C.F., and Draughn, R.A. : Linear dimensional changes in addition curing silicone impression materials. *J. Prosthet. Dent.* 47 : 411-413, 1982.
 43. Chee, Winston, W.L., and Donovan, T. : Poly-vinylsiloxane impression materials : A review of properties and techniques. *J. Prosthet. Dent.* 68 : 728-732, 1992.
 44. Yeh, C.L., Powers, J.M., and Craig, R.G. : Properties of addition-type silicone impression materials. *J. Am. Dent. Assoc.* 101 : 482-484, 1980.
 45. Panichuttra, R., Jones, R.M., Goodacre, C., Munoz, C.A., Moore, B.K. : Hydrophilic poly(vinyl siloxane) impression materials : Dimensional accuracy, wettability, and effect on gypsum hardness. *Int. J. Prosthodont.* 4 : 240-248, 1991.
 46. Shigeto, N., Murata, H., and Hamada, T. : Evaluation of the methods for dislodging the abutments in complete dental arch cast. *J. Prosthet. Dent.* 61 : 54-58, 1989.
 47. Feuerstein, R.M. : Physical properties and use of rubber base impression materials. *J. Prosthet. Dent.* 21 : 136-142, 1969.
 48. Herfort, T.W., Gerberich, W.W., Macosko, C.W., and Goodkind, R.J. : Tear strength of elastomeric impression materials. *J. Prosthet. Dent.* 39 : 59-62, 1978.
 49. Cottone, J.A. and Young, J.M. : Disinfection / Sterilization protocols recommended by manufacturers of impression materials. *Int. J. Prosthodont.* 3 : 379-383, 1990.
 50. Hohlt, F.A., and Phillips, R.W. : Evaluation of various methods employed for construction working dies from hydrocolloid impressions. *J. Prosthet. Dent.* 6 : 87-95, 1956.
 51. Woodward, J.D., Morris, J.C., and Khan, Z. : Accuracy of stone casts produced by perforated trays and non-perforated trays. *J. Prosthet. Dent.* 53 : 347-350, 1985.
 52. Bomberg, T.J., Goldfogel, M.H., Hoffman, W., and Bomberg, G.E. : Considerations for adhesion of impression trays. *J. Prosthet. Dent.* 60 : 681-684, 1988.
 53. Dounis, G.S., Ziebert, G.J., and Dounis K.S. : A comparison of impression materials for complete-arch fixed partial denture. *J. Prosthet. Dent.* 65:165-169, 1991.
 54. Stackhouse, J.A., Jr. : A comparison of elastic impression materials. *J. Prosthet. Dent.* 34 : 305-313, 1975.

EXPLANATION OF PHOTOGRAPHS

1-A. Hologram at 30 minutes after setting in Permlastic.

1-B. Hologram at 1 hour after setting in Permlastic.

1-C. Hologram at 2 hours after setting in Permlastic.

1-D. Hologram at 4 hours after setting in Permlastic

2-A. Hologram at 30 minutes after setting in Xantopren VL.

2-B. Hologram at 1 hour after setting in Xantopren VL.

2-C. Hologram at 2 hours after setting in Xantopren VL.

2-D. Hologram at 4 hours after setting in Xantopren VL.

3-A. Hologram at 30 minutes after setting in low viscosity of Exafine.

3-B. Hologram at 1 hour after setting in low viscosity of Exafine.

3-C. Hologram at 2 hours after setting in low viscosity of Exafine.

3-D. Hologram at 6 hours after setting in low viscosity of Exafine.

4-A. Hologram at 30 minutes after setting in medium viscosity of Exafine

4-B. Hologram at 1 hour after setting in medium viscosity of Exafine.

4-C. Hologram at 2 hours after setting in medium viscosity of Exafine.

4-D. Hologram at 8 hours after setting in medium viscosity of Exafine.

5-A. Hologram at 30 minutes after setting in Provil.

5-B. Hologram at 1 hour after setting in Provil.

5-C. Hologram at 2 hours after setting in Provil.

5-D. Hologram at 6 hours after setting in Provil.

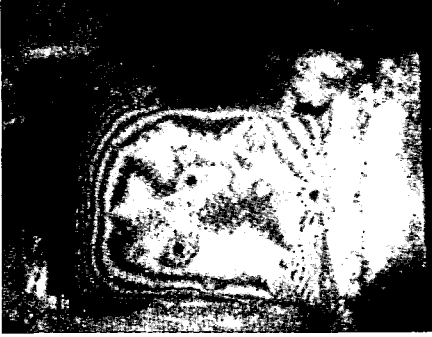
6-A. Hologram at 30 minutes after setting in Impregum.

6-B. Hologram at 1 hour after setting in Impregum.

6-C. Hologram at 2 hours after setting in Impregum.

6-D. Hologram at 6 hours after setting in Impregum.

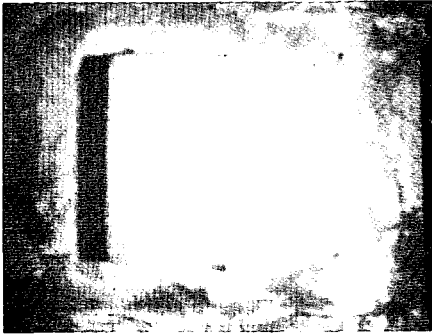
논문사진부도①



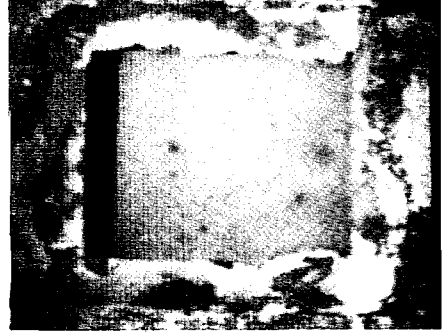
1 A



1 B



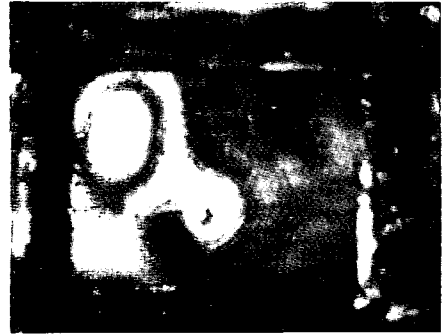
1 C



1 D



2 A



2 B

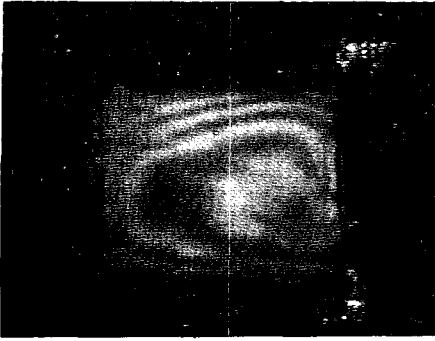


2 C



2 D

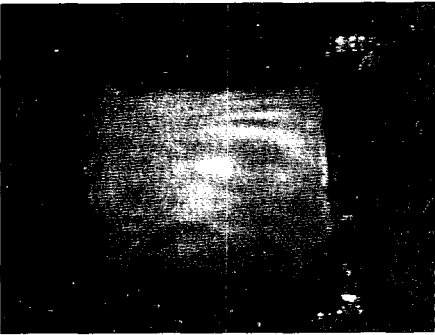
논문사진부도②



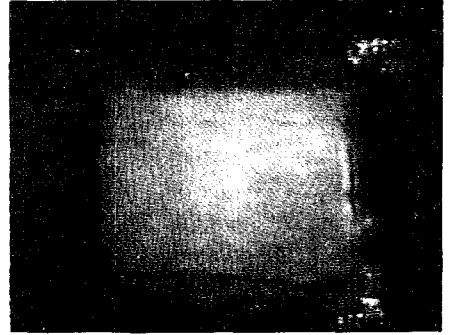
3 A



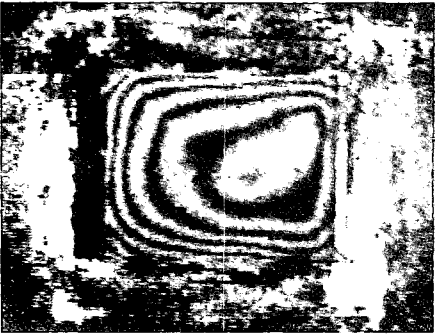
3 B



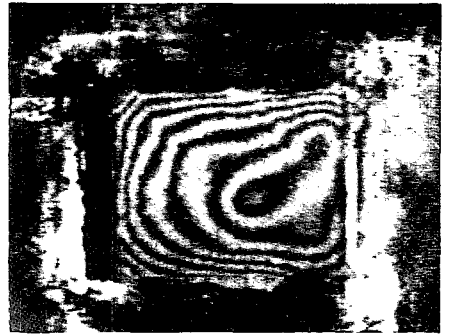
3 C



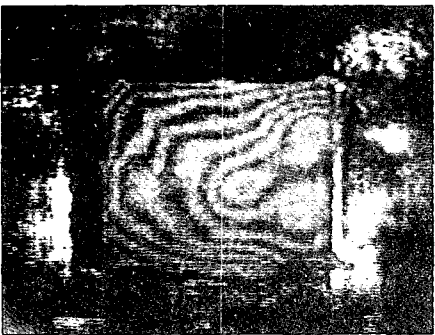
3 D



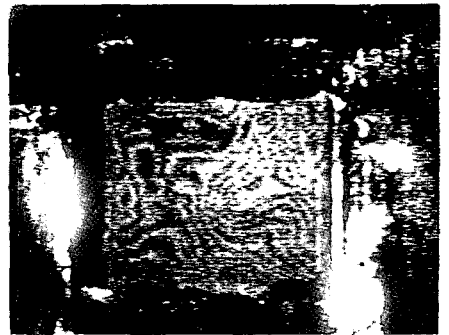
4 A



4 B



4 C



4 D

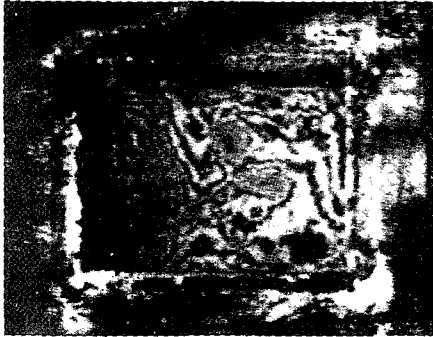
논문사진부도③



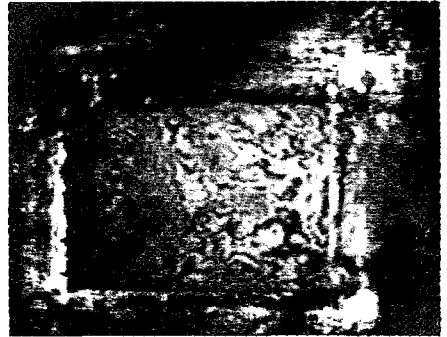
5 A



5 B



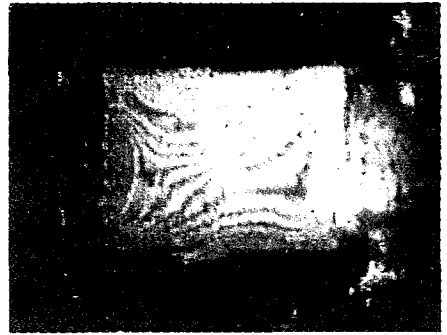
5 C



5 D



6 A



6 B



6 C



6 D

- ABSTRACT -

DIMENSIONAL STABILITY OF ELASTOMERIC IMPRESSION MATERIALS USING HOLOGRAPHIC INTERFEROMETRY

Chee-Yang Ha, Sung-Bok lee, Yi-Hyung Woo.

Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Kyung Hee University

This study investigated the time-dependent dimensional changes of elastomeric impression materials using holographic interferometry. Six commercial impression materials, Permlastic(polysulfide), Xantopren VL (condensation silicone), low and medium viscosity of Exafine, Provil (addition silicone), and Impregum(polyether), were selected. Steel plate was used as custom tray, and each impression specimen was 20 mm in width, 15 mm in length and 3 mm in thickness. Each impression material was evaluated at 30 minutes, 1, 2, 4, 6, 8 and 12 hours after setting using real-time holography.

The results were as follow :

1. Xantopren VL and Permlastic showed relatively severe and continuous dimensional changes after setting. Low viscosity of Exafine, Provil, Impregum showed relatively slight dimensional changes with function of time and medium viscosity of Exafine showed almost no dimensional change from 2 hours after setting to 6 hours.
2. On initial dimensional changes within 1 hour, the amount of change in low viscosity of Exafine was the least and Xantopren VL was the largest.
3. On dimensional changes at 4 hours after setting, the amount of change in medium viscosity of Exafine was the least and the change of Xantopren VL was the largest.
4. In overall dimensional stability during 12 hours, medium viscosity of Exafine was the most stable and Xantopren VL and Permlastic were least stable.