

부가중합형 실리콘 고무인상재

강 승 경 · 정 경 호

1. 서 론

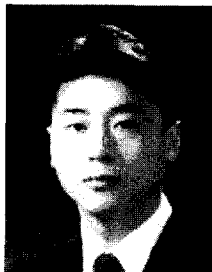
고무인상재는 치과생체재료의 연구과제중 가장 활발히 진행되고 있는 분야로써 치과 보철 치료 과정에서 없어서는 안될 중요한 재료로 구강내 상태를 복제하여 음형인기를 얻는 재료이다. 치과생체재료에 관한 초기 연구는 1920년대부터 시작되어 왔는데 이때는 재료의 특성보다는 단지 물성 향상에 치중하였으며 대부분 19세기에 개발된 재료를 사용하였다. 그러나 1950년대에 접어들어 생체적합성과 접착에 관한 새로운 개념이 도입되면서 급속도로 발전을 하게 되었다. 고무인상재는 기존에 사용하던 저급품 성격의 아가(agar)와 알지네이트(alginate) 인상재와는 달리 보관시 팽윤현상에 의한 체적 변화가 문제되지 않는 큰 장점이 있다. 기존에 사용하던 저급품 성격의 아가(agar)와 알지네이트(alginate) 인상재나 폴리설파이드, 폴리에테르와 축합형 실리콘 고무인상재에 비해 부가중합형 실리콘 고무인상재는 인상채득시 정밀도가 높고, 경화 후 체적 변화가 적으며, 작업시간과 경화시간이 짧으며, 탄성 회복력이 우수하다는 장점들이 있다. 따라서 가격이 비싸고 다소 딱딱해서 함몰부위 인상채득이 힘들다는 단점에도 불구하고 현재 치과계에서 가장 널리 사용되고 있는 재료이다. 현재는 임상시 구강 내에 존재하는 침이나 혈액과 같은 수분으로 인하여 정확한 인상채득이 폴리에테르에 비해 떨어진다는 즉, 가장 큰 문제점으로 지적되고 있는

낮은 젖음성과 경화 반응시 백금촉매에 의한 수소탈취 반응으로 인한 수분과의 접촉으로 수소가스를 발생시키는 한계를 극복하기 위해 많은 연구가 진행되고 있는 실정이다.¹ 또한 최근에는 자동혼합형 실리콘 인상재가 개발되어 기존에 수동혼합형 실리콘 인상재와 비교해 많은 문제점들이 개선되었고, 점도에 따라 light, medium, heavy 및 putty형이 개발되어 임상에서 편리하게 사용되게 되었다. 인상재란 구강내에 치아를 정밀하게 채득해야 하는 것이 목적인데 치아에 존재하는 여러 종류의 수분에 의해 미세한 부분까지 인상재가 침투되지 못하게 되면



정경호

1991 U. of Akron, Dept. of Polymer Science (박사)
1991 ~ Clarkson U., Dept. of Chemistry (연구원)
1992 ~ 수원대학교 신소재공학과 현재 (교수)



강승경

2000 수원대학교 고분자공학과 (학사)
2002 수원대학교 고분자공학과 (석사)

정확한 인상채득이 되지 않아 석고 모형 제작 시 정확한 치아 모형이 제작되기 어렵게 된다. 이러한 문제점을 개선하기 위해서 친수성 부가중합형 실리콘 인상재가 개발되었는데, 이것은 기존에 개발된 축합형 실리콘 인상재가 지니는 문제점인 치아 표면의 수분에 의한 낮은 젖음성을 개선하고 우수한 젖음성을 지니고 있는 폴리에테르와 견줄 수 있도록 하기 위해 종래의 소수성인 실리콘 고무인상재에 친수성 기능을 도입한 것으로 정밀인상이 가능해져 현재 널리 사용되고 있다. 그러나, 부가중합형 실리콘 고무인상재가 기존에 사용되던 저급품 성격의 아가, 알지네이트나 다른 고무인상재들과 비교해 많은 여러 장점들을 지니고 있지만 임상 현장에서는 젖음성 측면에서나 혼합시 발생하는 수소가스에 대한 제거 혹은 억제 효과, 또한 인상채득 후 수축현상으로 인한 체적 안정성 측면에서 아직도 만족스럽지 못한 실정으로서 그에 따른 많은 연구가 지속적으로 진행되고 있다.^{2,3}

2. 인상재의 분류 및 특성 비교

인상이라 함은 날인 혹은 음각을 말하며 구강내에 부드러운 반유동성 재료를 넣고 그것이 경화되게 함으로써 만들어지는 것이다. 사용된 재료에 따라 경화된 인상체가 딱딱하거나 탄성이 있게 되는데 주조수복물을 위해 종종 사용되는 인상재는 구강에서 제거시 elastic한 것이다. 치아 및 주위 조직의 음형으로부터 양형 즉 cast가 만들어지는 것이다. Inlays, Crowns, 가공의치 retainer를 제작함에 있어 “indirect technique”은 치과임상에 큰 혜택이 되어 왔다. 이 방법은 수복물 제작과 관련된 대부분의 가공과정이 chair 밖에서 즉 실제 치아를 대신하는 gypsum cast에서 행해질 수 있게 한다. 만일 수복물이 꼭 맞으려면 그것이 만들어질 모형은 가능한 한 구강내에 형성된 지대치를 정확히 복제한 것이어야 한다. 즉 정확하고, 변형이 없는 지대치의 인상체가 만들어져야 하는 것이다.

인상 채득은 재료의 많은 남용이 일어나는 수복치과의 한 분야이며, 정확한 인상체가 부적당한 취급이나 구강에서 제거해서 석고 주입까지의 많은 시간 경과로 인해 변형되기도 한다. 이런 인상재들의 분류를 표 1에 나타내었다.

표 1. 인상재의 분류

	비탄성	탄 성
가역성	치과용 컴파운드 왁스	아가
비가역성	인상용석고 산화아연-유지물	알지네이트 폴리설파이드 고무 부가중합형 실리콘 고무 폴리에테르 고무

2.1 하이드로콜로이드(hydrocolloid)

콜로이드란 균질한 분산매체내에 입자가 분산되어있는 현탁을 말하며 물이 기본이 되는 인상재를 하이드로콜로이드라고 부른다. 콜로이드계는 진정한 용액내의 작은 입자에서 현탁액내의 커다란 입자 사이의 다양한 크기의 입자를 함유한다. 콜로이드는 분산입자와 그 입자를 포함한 분산매체의 두가지 상이 있다. 하이드로콜로이드졸은 어떤 조건에서 젤리나 겔상태로 변할 수 있는 능력을 갖고 있다. 액성 콜로이드가 냉장고에 보관되면 졸이 냉각되어서 마침내 겔이 형성된다. 졸 상태에서 고무와 같이 반고체성 물질로 변화가 일어나는 온도를 겔화 온도라 한다. 이러한 겔화과정은 다시 실내 온도에 방치할 경우 재액화(졸상태로 돌아오는)될 수 있으므로 가역적이다. 따라서 졸에서 겔로의 변화와 겔에서 젤로의 변화도 온도변화에 따른 필수적인 물리적 결과이다.

2.1.1 가역성 하이드로콜로이드

가역성 하이드로콜로이드는 아가 인상재라고도 하며 60년 이상 주조수복물 제작시 인상재로 널리 사용되어 왔다. Hydrocolloid는 1925년에 특허를 받았고 1920년대 후반에 미국에 도입되었다. 주조수복물 제작을 위해 미국 내에서

최초로 사용한 인정은 오클라호마의 J. D. Hart of Wewoka에서 주어졌고 그가 1930년에 아가를 주조수복물 제작에 사용하기 시작했다.^{4,5} 특정 해초로부터 추출한 한천은 치과용 인상재의 기본인 알맞은 교질을 제공한다. 한천을 물에 녹이면 구강내에서 안정하게 사용할 수 있는 온도에서 액상 졸상태가 된다. 구강내보다 약간 높은 온도에서 겔로 변한다. 가역성 하이드로콜로이드 인상재는 졸상태로 와동에 주입된다. 수냉식 인상용 트레이는 졸을 단단하고 탄력이 있는 겔로 급속히 전환시킨다. 가역성 하이드로콜로이드는 폴리에틸렌 튜브내에 반고체 상태의 겔로 포장되어 있다. 그것을 끓는 물에 넣어 하이드로콜로이드 콘디셔너에서 액화시키고 이 액상 졸(sol)로서는 너무 뜨겁기 때문에 구강내 사용이 어려워서 저장(storage)과 온도조절(tempering) 두 단계로 냉각을 시킨다. 이렇게 냉각된 졸을 구강내에 넣은 후 겔화(gelation)가 일어나도록 하기 위하여 차가운 물을 순환시키게 된다. 약 85%가 물인 하이드로콜로이드는 물의 함량이 인상재의 정확도의 중요한 역할을 하며 물의 양이 감소하거나 증발에 의해 수분을 잃거나, 흡수(imbibition)에 의해 수분을 흡수할 수 있다. 가역성 하이드로콜로이드 인상재는 그들이 소개된 이후로 상당히 강화되어 왔으며 그 과정은 계속 진행중이다. 어떤 경석고는 다른 것보다 하이드로콜로이드 인상재와 더 친화성이 좋기 때문에 특정한 상품의 경석고를 하이드로콜로이드와 함께 사용하지 전에 이 특징을 검사하는 것이 현명하다. 크기 안정성에 있어서 하이드로콜로이드 겔은 한천 세섬유가 물에 현탁되어 있는 것이다. 수분함량이 인상재의 크기 안정성에 결정적이므로 만약 물이 소실되면 겔은 수축한다. 마찬가지로 겔이 물을 흡수하면 하이드로콜로이드는 부풀고 팽창하므로 이러한 변화가 치과용 인상재의 정확성에 상당히 중요한 것이다. 아가 인상재는 우수한 정밀도와 탄성을 가지며 재사용이 가능한 친수성 수복물이라는 장점을 가지고 있다. 반면에 인상

채득시에 특수장비가 필요하며 체적안정성이 낮다는 단점과 과열시 조직에 자극을 가할 수 있으며 금속 모형제 사용이 불가능하다는 단점을 가지고 있다.

2.1.2 비가역성 하이드로콜로이드

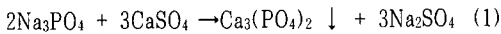
흔히 알지네이트라고 부르는 비가역성 하이드로콜로이드의 졸에서 겔로의 변화는 화학반응에 의해 일어난다. 일단 겔이 형성되면 물리적 방법에 의해 졸상태로 변환되지는 않는다. 알지네이트 인상재는 부분의치를 제작하려는 부위의 인상 채득에 사용하며 교정치료를 위한 연구 모형을 제작할 때, 무치악 환자에서 일차인상을 채득할 때와 모든 형태의 이차인상에서 수정용 재료로 사용한다. 알지네이트는 다른 탄성 인상재처럼 믿을만한 미세부 재현성이 없어 일반적으로 간접기법에서는 사용하지 않는다. 알지네이트 인상재 분말의 전형적인 조성을 표 2에 나타내었다.

표 2. 알지네이트 인상재의 기본조성

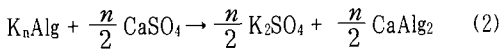
composition	content (wt%)
알지네이트 칼륨	15%
황산칼슘	16%
산화아연	4%
불화칼륨 티타늄	3%
규조토	60%
인산삼나트륨	2%

비가역성 하이드로콜로이드의 주요성분은 가용성 칼륨 알지네이트이며 바닷말에서 추출한 알지네이트는 물에 적절히 잘 용해되어 점액성 졸을 형성한다. 인상용 트레이에 담긴 졸이 일단 구강내 조직에 위치되면 변형없이 제거할 수 있는 탄성 겔로 바뀌어야 한다. 이러한 변화를 일으킬 수 있는 많은 방법이 있으나 가장 간단한 방법은 가용성 알지네이트를 황산칼슘과 반응시켜 불용성 칼슘알지네이트의 겔구조를 만드는 것이다. 반응은 구강내에서 일어나야

함으로 구강에 위치하기 전까지는 반응이 지연되어야 한다. 작업시간을 얻기 위해 황산칼슘은 가용성 알지네이트와 반응하기 전에 인산삼나트륨과 먼저 반응한다. 인산삼나트륨이 남아 있는 알지네이트와 황산칼슘 사이의 겔화반응은 저지된다. 만약 적당량의 황산칼슘과 알지네이트칼륨 그리고 인산삼나트륨이 물과 일정한 비율로 혼합된다면 식(1)과 같은 반응이 일어난다.



인산삼나트륨의 공급이 다 끝나버리면, 칼슘이온들이 알지네이트칼륨과 반응하기 시작하여 식(2)와 같이 된다.



겔의 마지막 구조는 여분의 물과 충전제 입자들이 포함 되어있는 알지네이트칼슘 세섬유들이 엉켜져 있는 모습이다. 규조토도 일반적인 첨가제(filler)로써, 적당량을 첨가하면 알지네이트 겔의 강도와 경도를 증가시키며 굳은 표면이 끈적거리지 않는다. 산화아연 또한 첨가제로 쓰인다. 경석고 표면이 알지네이트 인상으로 인해 연화되므로 석고다이의 표면을 개선시키기 위해 다른 성분들을 첨가한다. 알지네이트도 다른 모든 인상재와 마찬가지로 석고산물의 경화반응을 방해하므로 불화칼륨과 같은 복합불화물을 석고 경화를 위한 촉진제로 첨가한다. 크기안정성에 있어서 알지네이트 재료는 이액과 팽윤 현상이 있게 된다. 수분함량의 변동, 즉 크기의 변화는 어떤 곳에 보관하던지 일어난다. 이 재료는 100% 습도가 유지되는 가습저장기에 보관하는 것이 가장 안정하다. 정확성 면에서는 인상을 채득한 후 즉시 다이를 제작해야 좋은 결과를 얻을 수 있다. 하이드로콜로이드 인상재를 저장하는 적당한 방법은 없다.

3. 고무인상재

고무인상재는 하이드로 콜로이드 인상재와는 달리 보관시 팽윤현상에 의해 크기변화가 문제되지 않는 큰 장점이 있다. 그러나 경화된 폴리에테르는 수분을 흡수하므로 높은 습도의 환경이나 수분이 많은 곳에서 보관을 하게 되면 팽윤에 의한 변형을 초래하게 된다. 고무인상재에 있어 가장 중요한 성질중의 하나는 점도인데 점도는 재료, 온도, 혼합 후 시간, 혼합속도 등에 따라 영향을 받게 된다. 일반적으로 점도는 반응시간이 경과할수록 증가하며, 온도가 높을수록 반응이 빨리 일어나 점도가 증가하게 된다. 일단 점도가 낮게되면 흐름 특성이 좋아 미세부 재현성이 우수하게 된다. 따라서 최적의 점도를 얻기 위해서는 혼합시간이 일정하게 정확해야 하고 작업시간과 경화시간을 잘 맞추어야 한다. 즉, 고무 인상재는 pseudoplastic 또는 shear thinning 재료로서 재료의 혼합이나 주사기로부터 재료가 빠져 나올 때 전단응력을 받게 된다. 이때 전단응력이 높으면 저점도가 되어 흐름성이 좋은 반면, 전단응력이 낮으면 고점도로서 흐름성이 떨어지는 특성을 나타낸다. 이러한 성질은 주사기를 빠져 나오면서 100배 이상의 전단응력을 받게 되어 점도가 낮아지고 흐름성이 좋아져 미세 부위까지 잘 흘러 들어가 정밀한 인상채득이 용이해진다. 특히 부가중합형 실리콘 인상재에서는 위와 같은 성질이 중요하게 이용되어 충전제의 양을 조절해 개발된 것이 단일점도형 부가중합형 실리콘 고무인상재이다.^{6,7} 고무인상재는 화학 성분에 따라서 폴리설파이드(polysulfide), 실리콘(silicone, polysiloxane), 폴리에테르(polyether)등 3가지로 구분되고 실리콘은 다시 축합중합형 실리콘(condensation silicone)과 부가중합형 실리콘(addition silicone)의 2가지로 세분화된다. 그리고 점도에 따라서 낮은 점도(low viscosity 또는 light body), 중간 점도(medium viscosity 또는 regular body), 높은 점도(high viscosity 또는 heavy

표 3. 고무인상재의 분류

분 류	상 품	점주도형태	공급형태	인상채득방법	혼합방법	친수성여부
Polysulfide	Permlastic	Light body Regular body Heavy body	Two-paste system	Double-mix technique	Hand-mix개인 tray필요	Traditional
	Omniflex	Monophase	Traditional	Single-mix technique	Hand-mix개인 tray필요	Traditional
Condensation silicone	Optosil/ Xantoprene	Light body Putty	Paste-liquid system Putty-liquid system	Two-step impression	Hand-mix기성 tray사용	Traditional
Addition silicone	Blend-a-Gum	Monophase Putty	Two-paste system Two-putty system	Two-step impression	Auto-mix기성 tray사용	Traditional
	Blend-1-Scon	Light body Putty	Two-liquid system Two-paste system	Two-step impression	Hand-mix기성 tray사용	Traditional
	Exaflex	L.R.body Putty	Two-paste system Two-putty system	Two-step impression	Hand-mix Auto-mix기성 tray사용	Hydrophilic
	Express	Monophase Putty	Two-paste system Two-putty system	Two-step impression	Auto-mix기성 tray사용	Hydrophilic
	Hydrosil	Monophase	Two-paste system	Single mix technique	Hand-mix개인 tray필요	Traditional
	Provil	L.M.H.body Putty	Two-paste system Two-putty system	Two-step impression	Hand-mix기성 tray사용	Traditional
Polyether	ImpregumF	Monophase	Two-paste system	Single mix technique	Hand-mix개인 tray필요	Hydrophilic

body), 반죽형(putty)등으로 구분된다. 또한 공급 형태, 친수성, 혼합방법, 인상채득방법에 따라 분류 될 수 있는데 이는 표 3에 나타내었다.

3.1 고무인상재의 특성

일반적인 고무인상재들의 특성을 표 4에 나타내었다. 작업시간이란 인상재를 혼합하고 트레이에 담아 구강내에 장착해야하는데 필요한 최대한의 시간을 의미한다. 트레이에 담긴 인상재가 이 시간 내에 구강내에 장착되지 못하면 재료에 탄성이 생겨 변형된 인상을 얻게 된다. 경화시간은 혼합시작부터 재료가 탄성이 충분하여 임상적으로 유의성이 있는 영구변형 없이 인상을 구강내에서 제거할 수 있는데 소요되는 최소한의 시간이다.

구강내에서의 조기 제거는 유의성 있는 변형을 야기하고 이는 고무인상재를 사용할 때 생길 수 있는 실패의 주된 요인이 된다. 고무인상재의 경화시간은 재료의 종류에 따라 그리고 상품에 따라 다르므로 제조자의 지시서에 있는 경화시간을 확실히 파악하고 있어야 한다.

표 4. 고무인상재들의 일반적 특성

	폴리 설파이드	폴리 에테르	축합중합형 실리콘	부가중합형 실리콘
혼합용이성	우수	쉬움	우수, 쉬움	쉬움
혼합시간(초)	60	30-45	30-60	30-45
작업시간 (분, 20-23℃)	3-6	2-3	2-4	2-4
구강내 경화시간(분)	10-20	6-7	6-10	6-8
Stiffness	낮음	매우 높음	중간높음	높음
구강내제거후 크기안정성	중간	우수*	나쁨	우수
구강내제거후 영구변형	높음	매우 낮음	낮음	매우낮음
석고와의 젖음성	나쁨	좋음	매우나쁨	매우나쁨**
찢김 저항성	우수***	나쁨	우수	나쁨

* 건조한 곳에 보관

** 친수성실리콘은 우수

*** 재료가 쉽게 파절되지 않지만 매우 심한 변형이 나타남

고무인상재는 하이드로콜로이드 인상재와 달리 보관시 이액현상과 팽윤현상에 의한 크기 변화가 문제 되지 않는다. 그러나 경화된 폴리에테르는 수분을 흡수하므로 높은 습도의 환경이나 물속에 보관하면 팽윤된다. 폴리설파이드와 축합중합형 실리콘 인상재는 인상채득 후 모형재 주입을 지연해서는 안된다. 혼합한 인상재의 중합은 구강에서 제거되었을 때에도 계속 진행된다. 경석고 모형이 제작되기 전에 계속되는 재료의 경화는 변형을 야기한다.

게다가 첨가 성분의 일부는 기화되어 추가적인 수축을 야기한다. 만약 폴리설파이드나 축합중합형 실리콘 인상재를 사용한다면 인상을 구강내에서 제거하고 1시간 이내에 석고 모형을 제작해야 한다. 만약 인상채득 후 모형재 주입을 당일에 할 수 없는 경우에는 부가중합형 실리콘이나 폴리에테르 인상재를 사용하여야 한다. 고무인상재를 이용한 인상에 있어서 점도가 낮으면 흐름성이 좋아 미세부 재현성이 우수하다. 최적의 점도를 얻기 위해서는 혼합시간이 정확해야 하며 구강내 삽입시간도 알맞아야 한다. 점도는 전단속도에도 영향을 받아 단일점도형 부가중합형 실리콘 인상재의 전단속도 즉 점도계의 회전속도가 증가할수록 현저히 감소하는 것을 볼 수 있다.

이는 고분자의 thixotropy 성질에 의해서 쉽게 이해 할 수가 있다. Thixotropy 성질이란 일반적으로 non-newtonian fluid 거동을 가지는 고분자 물질에서 나타나는 time dependent fluid 현상으로 일정한 전단이 고분자 유체에 적용될 때 시간에 의존적으로 점도가 감소하는 현상을 말한다. 고분자 물질의 흐름거동은 크게 time independent fluid, time dependent fluid, viscoelastic fluids 3가지로 나타낼 수 있는데 고무인상재의 점도는 time dependent fluid로 볼 수 있다. 고분자 유체는 전단이 가해지는 정도에 따라 apparent viscosity가 변화하는 수많은 유동 특성을 갖게 된다. 어떠한 경우는 가역적인 현상을 나타내기도 하지만 어떠한 경우에는

전단을 제거해도 오랫동안 본래의 특성을 회복하지 못하는 경우도 있다. 이러한 이론으로 주사기에 넣어 주입된 고무인상재는 주사기 바늘을 빠져 나오면서 많은 전단하중을 받아 점도가 낮아졌으므로 지대치의 미세부에 잘 흘러 들어 갈 수 있으며 트레이에 올려놓은 인상재는 전단하중을 받지 않아 점도가 낮아지지 않았으므로 트레이에서 흘러내리지 않을 것이다. 이러한 성질을 이용한 것이 단일점도형 인상재이다. 구강내에서 경화된 인상재는 치아의 함몰부위를 나오면서 10% 정도의 압축력을 받게 되고 이로 인하여 영구변형이 남게 된다. 최근에는 영구변형 대신 회복율로 표시하기도 한다. 예를 들어 1%의 영구변형이 있으면 99%의 회복율로 표시하는 것이다. 부가중합형 실리콘이 가장 우수한 회복율을 가지며 다음은 축합중합형, 폴리에테르, 폴리설파이드 순이다. 찢김강도는 인상채득한 얇은 부위가 찢겨지지 않을 저항성을 의미하므로 상당히 중요한 성질이다. 따라서 찢김강도가 높은 것이 바람직한 재료이다. 하이드로콜로이드 인상재는 찢김강도가 350-700 g/cm정도인데 비해 고무인상재는 2,000-4,000 g/cm로 상당히 높다. 폴리설파이드 인상재는 찢김강도가 상당히 높지만 영구변형율도 높아 정확한 인상을 채득할 수 없다. 치과인상은 치아의 소와열구, 삭제된 지대치의 변연부 등 미세한 부위를 복제해야 하는 정밀인상이다. 따라서 미세부 재현성을 높이기 위해서는 인상재의 젖음성(wettability)이 우수해야 한다. Zisman의 이론에 따르면⁸ 두 물질간의 젖음성 향상을 위해서는 고체인 피착체에 적용될 액상 물질의 표면장력이 낮아야만 한다. 이 조건을 만족시킬 때 완벽한 젖음을 달성할 수 있게 된다. 고무인상재의 경우는 사람의 치아를 고체인 피착체로 볼 수 있고 인상재가 치아에 적용이 되는 액상 물질로 볼 수 있으므로 인상재가 치아 표면보다 표면 장력이 낮아야만 높은 젖음성을 달성하고 미세부 재현성을 높일 수 있는 것이다.

3.3 폴리설파이드 (Polysulfide)

폴리설파이드 고무인상재는 두 개의 튜브로 공급되고 있는데 한쪽 튜브에는 기저재가 들어 있고 다른 튜브에는 촉진제가 들어 있다. 폴리설파이드 고무 기저재는 특정 분말의 충전제를 첨가하여 연고로 만든 액형 중합체이다. 필요에 따라 촉진제와 지연제가 첨가된다. 중합체의 기본 분자는 그림 1과 같이 말단 탄소원자에 머캅탄(SH)기가 붙어있는 것이다. 이 액상 중합체가 산화제(대개 이산화납(PbO₂))과 반응하여 성장하거나 길어져 탄성 고형체가 된다.⁹ 폴리설파이드의 경화반응은 축합반응이므로 물이 반응부산물로 생성된다. 이는 상당량의 경화수축을 야기하며 구강에서 인상을 제거한 후에도 계속된다. 그림 2는 폴리설파이드 고무인상재의 경화반응을 나타낸 것이다.

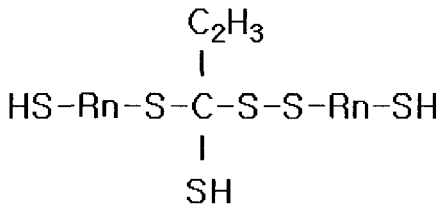


그림 1. 머캅탄

3.4 폴리에테르 (Polyether)

폴리에테르는 반응부산물 없이 부가중합형으로 상당히 stiff하고 물을 흡수하므로 지대치에 있는 어느 정도의 수분은 문제가 되지 않는다. 기저재는 그림 3과 같이 말단 아지리딘 고

리(aziridine ring)를 포함한 폴리에테르이다. 중합은 방향성 설포네이트 에스터(sulfonate ester)로 된 반응체에 의해 활성화 된다. 폴리에테르는 crotonic acid같은 α,β-불포화산과 반응하여 말단 수산기의 에스테르화 반응을 일으키는 1,2-epoxyethane과 tetrahydrofuran의 공중합체이다.¹⁰

이중결합은 ethylene amine과 반응하여 최종 폴리머를 생성시키고 aromatic sulfonate는 양이온 중합에 의하여 가교구조를 만든다. 폴리에테르 고무 인상재의 가장 간단한 형태의 경화반응을 그림 3에 나타내었다. 폴리에테르의 영구변형은 부가중합형 실리콘과 비슷하다. 폴리에테르의 중합반응은 반응부산물을 생성하지 않기 때문에 중합 수축과 크기 안정성의 면에서 매우 우수하다. 그러나 폴리에테르는 물을 흡수하여 팽윤된다. 따라서 인상재는 작업모형을 제작하기 전까지 건조한 상태에서 보관하여야 한다. 뻣뻣함을 감소시키기 위해 점도조절제를 사용하였음에도 불구하고 경화된 폴리에테르는 상당히 뻣뻣하여 임상사용시 어려움이 있다. 폴리에테르는 어느정도 친수성이므로 석고와의 접촉각이 비교적 작아 주입이 용이하다. 폴리에테르는 취급시 깨끗하며 냄새가 없고 혼합이 쉽다. 작업시간은 매우 짧고 혼합시 점도 조절제를 첨가하거나 반응체의 양을 감소시켜 작업시간을 연장시킬 수 있다.

3.5 축합중합형 실리콘 (Condensation silicone)

실리콘 인상재는 중합방식에 의해 축합중합

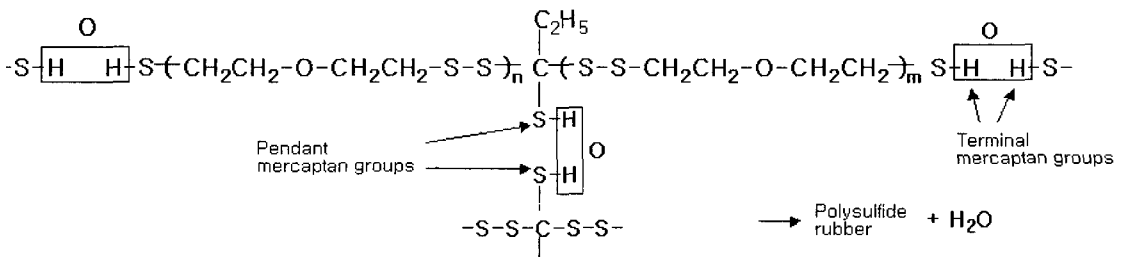


그림 2. 폴리설파이드 고무인상재의 경화반응

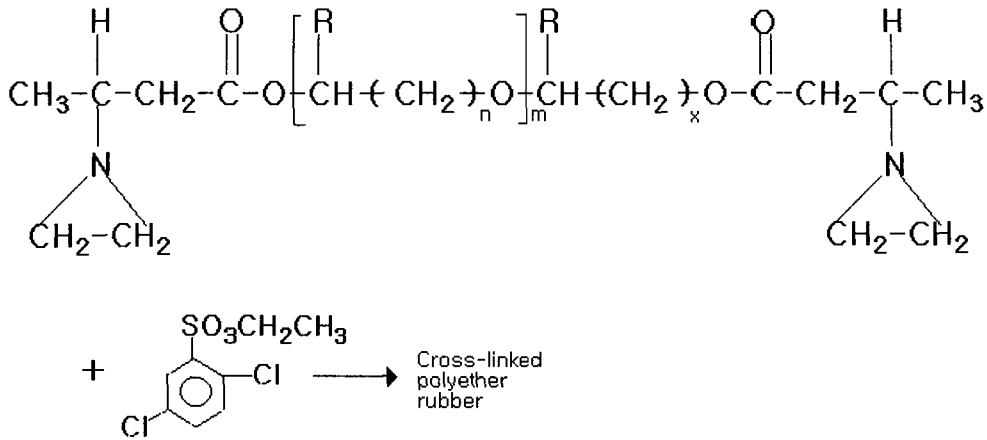


그림 3. 폴리에테르 고무 인상재의 경화반응

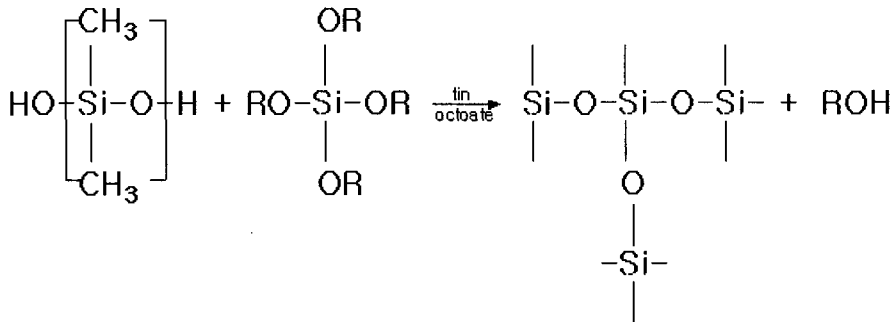


그림 4. 축합중합형 실리콘

형(condensation)과 부가중합형 (addition)으로 분류되며 축합중합형 실리콘 인상재는 그림 4와 같이 반응부산물로 에틸알콜이 생기므로 혼합시 알콜 냄새가나고 경화시 수축이 많이 일어난다.

축합중합형 실리콘의 기저재는 불활성 충전제가 혼합된 말단에 수산기를 가지고 있는 폴리실록산(polysiloxane)이라고 불리는 액상 실리콘 폴리머이다. 가교제는 ethyl silicate와 organotin activator 즉 tin octane으로 구성되어 있어 두 개가 혼합될 때 폴리머상의 말단 수산기와 ethyl orthosilicate사이의 반응에 의해서 경화된다. 반응 부산물로 에틸알콜이 생성되며 중합이 이루어지고 이 에틸알콜은 증발하여 소실되므로 비교적 많은 양의 중합 수축을 야기하여 중

합 후에 크기 안정성이 좋지 못하게 된다.¹¹ 축합중합형 고무인상재는 냄새가 나지 않고, 깨끗이 취급할 수 있으며, 비교적 혼합이 쉽다. 일정 길이의 기저재에 액상 반응제를 정해진 방울 수만큼 떨어뜨림으로 적정 비율을 얻을 수 있다. 온도를 증가시키면 중합이 촉진되지만 반응제의 양을 변화시켜 작업시간과 경화시간을 조절하는 것이 좋다. 작업시간은 다소 짧다. 축합중합형 실리콘의 영구변형은 폴리설파이드보다 우수하다. 그러나 크기안정성이 떨어지므로 구강내에서 제거 후 즉시 모형재를 주입해야 한다. 경화되지 않은 석고와의 접촉각은 폴리설파이드 보다 높다. 따라서 석고를 주입할 때 기포가 유입되지 않도록 주의하여야 한다.

3.6 부가중합형 실리콘(Addition silicone)

부가중합형 실리콘 인상재는 반응특성상 반응부산물 생성되지 않고 크기의 안정성이 축합중합형 실리콘보다 훨씬 좋고 그 반응이 다른 것들과 매우 달라서 별개의 것으로 취급 할 만한 가치가 있으므로 본 총설에서는 다른 인상재에 비해 자세히 살펴 보도록 하겠다. 부가중합형 실리콘 인상재는 축합중합형 실리콘 재료의 수축 문제를 해결하기 위해 개발되었다. 부가중합형 실리콘은 냄새가 없고, 취급하기에 깨끗하며, 혼합하기 쉽고 경화시간과 작업시간은 상당히 짧다. 부가중합형 실리콘의 중합반응은 다른 화학물의 오염에 대단히 민감하다. 특히 폴리설파이드 고무는 부가중합형 실리콘의 중합반응을 상당히 지연 시킨다. 부가중합형 실리콘에 사용하는 혼합자와 혼합지, 그리고 주사기는 다른 재료와 함께 사용해서는 안된다 고무장갑과 러버 댄, 심지어 비닐 장갑도 이 재료의 중합을 억제한다고 보고된 바 있다. 이 재료의 주성분 역시 실리콘 중합체이지만 그 화학작용과 성질은 축합중합형 실리콘과는 상당히 다르다. 이 재료는 두 개의 paste로 포장되어 있다. 한 개의 paste는 말단에 vinyl group을 가진 폴리머와 가교반응을 진행시키는 촉매, 그리고 불활성 충전제를 가지고 있으며 다른 paste에는 말단에 silane hydrogen group을 가진 가교제와 불활성 충전제를 가지고 있다. 두 재료를 같은 양으로 혼합시 vinyl double bond를 가로질러 silane hydrogen groups가 첨가된다. 두 가지 다른 액상 실리콘 중합체(백금 염 촉매가 들어있는)가 그림 5과 같이 부가중합에 의해 경화되면 고상의 탄성체를 형성하고 반응부산물 생성되지 않는다.¹² 따라서 중합수축은 작

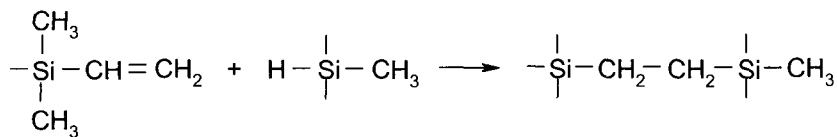


그림 5. 부가중합형 실리콘 고무인상재의 경화반응

으며 크기 안정성이 뛰어나다.^{11,12,13} 최근의 부가중합형 실리콘 포장에 대한 혁신적인 개발 결과로 그림 6에서 볼 수 있는 것처럼 적절한 비율로 자동으로 혼합되는 권총형 카트리지 한 별 방식이 공급되고 있다. 부가중합형 실리콘 고무 인상재가 높은 가격에도 불구하고 치과계

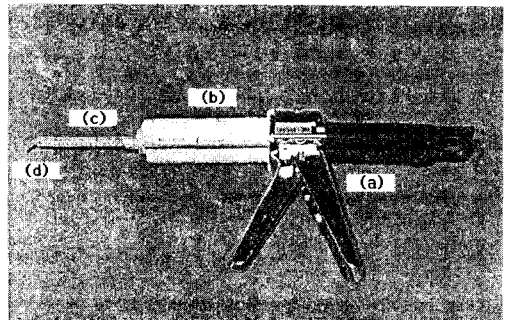


그림 6. 자동혼합장치: (a) gun, (b) mono-phase paste, (c) auto-mixing tip, (d) delivery tip

에서 수요가 급격하게 증가하고 있는데, 그것은 경화 반응시 체적의 변화가 적어 미세부 재현성이 우수하며, 낮은 크리프 및 높은 인열강도, 우수한 탄성 회복율, 조작의 용이성, 은 도금 다이의 제작 가능성, 석고모형 제작의 용이성 또한 폴리설파이드 고무 인상재에 비해 청결하다는 등의 많은 장점에 기인한 것이다. 본 연구팀은 연구를 통해 확립된 기본 조성비에 따라 제조된 부가중합형 실리콘 고무인상재와 현재 치과계에서 널리 사용되고 있는 3종의 외국 제품들의 비교분석을 통해 개발된 국산 인상재의 성능을 상대적으로 평가하여 추가적으로 요구되는 성능에 대한 기초자료를 얻음으로써 고무 인상재 수입대체성에 대한 연구를 하였다.¹⁴

표 5. 외국 부가중합형 실리콘 고무인상재의 종류

Trade name	Express	Examix	Extrude
Code	EP	EM	ET
Type	light body	light body	light body
Company	3M Co. U.S.A.	GC Co. Japan	Kerr Co. U.S.A.

표 5에서는 비교 분석에 사용된 3종의 외국 제품에 대해 정리하였다. 고무인상재의 경우 치아에 적용되어 치아의 모형을 정확히 채득하는 것이 목적이므로 인상재와 치아와의 젖음성이 매우 중요한 인자라 할 수 있다. Zismann의 이론에 따르면 두 물질간의 젖음성 향상을 위해서는 고체인 피착체에 적용될 액상 물질의 표면장력이 피착체보다 낮아야만 하며, 이 조건을 만족시킬 때 완벽한 젖음성을 달성할 수 있다.²⁴ 이러한 젖음성의 중요성은 에폭시 수지와 폴리에틸렌을 사용해 일련의 실험을 수행한 Sharpe와 Schonhorn의 실험 결과에 잘 나타나 있다.¹⁵ 결과에 따르면 액상 에폭시 수지를 폴리에틸렌 표면에 떨어뜨린 후 에폭시 수지를 경화시켰을 때 두 물질간의 접촉력은 낮은 반면 경화된 고체 상태의 에폭시 수지 표면에 용융된 폴리에틸렌을 적용할 경우는 우수한 접촉력을 얻을 수 있었다. 이러한 결과는 높은 표면장력을 가지는 액상 에폭시 수지는 낮은 표면에너지를 가지는 폴리에틸렌 고체 표면에 정착시키기 어렵다는 것을 의미한다. 더불어 용융 점도가 약 10^3 Pa.s로 약 1 Pa.s인 액상 에폭시 수지에 비해 점도가 매우 높은 용융 폴리에틸렌을 높은 표면에너지의 고체 에폭시에 적용할 때 젖음성이 우수한 결과는 젖음성 측면에서 점도보다는 두 물질들의 표면장력이 중요한 역할을 함을 알 수 있다.

인상재를 직접 치아에 떨어뜨려 접촉각을 측정할 수 없기 때문에 인상재를 판상의 형태로 경화시킨 후 표면에 증류수를 떨어뜨려 인상재

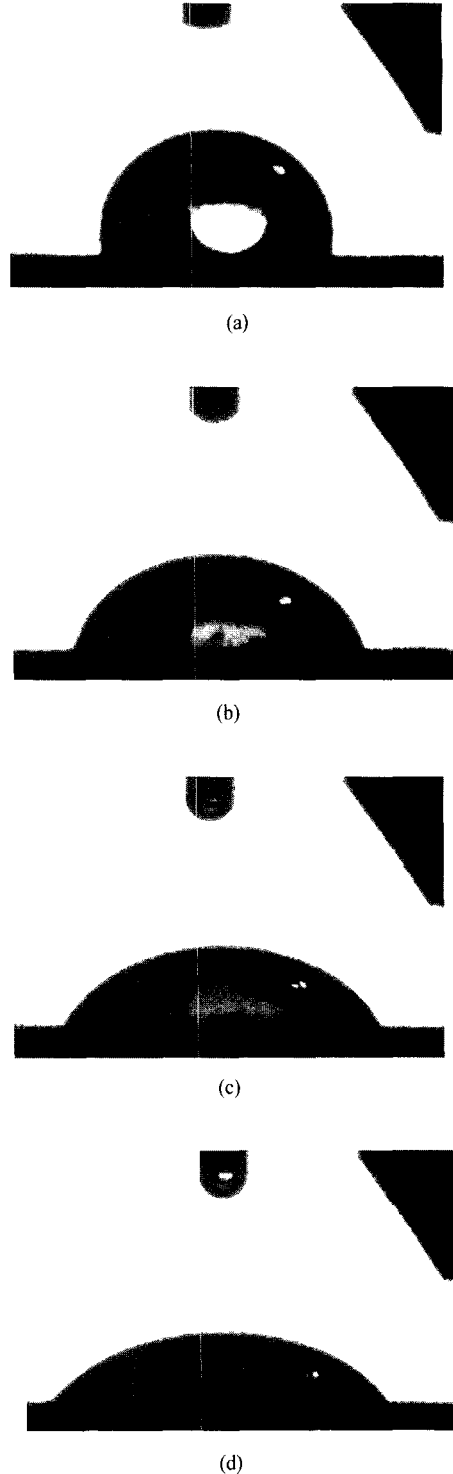


그림 7. 고무인상재에 대한 증류수의 접촉각. (a) EP, (b) EM, (c) 개발품, (d) ET

표 6. 각종 고무인상재들의 표면에너지 비교

Code \ Property	Contact Angle (°)	Surface Energy (dy/cm)
EP	101.02	23.42
EM	76.06	29.44
개발품	64.99	36.92
ET	58.94	45.79

의 임계표면에너지를 측정할 수 있다. 인상재가 치아에 적용될 때는 액상의 형태로 적용되기 때문에 증류수에 대한 인상재의 접촉각이 클수록 인상재 자체 표면에너지는 낮아져 치아와의 젖음성이 우수하게 된다. 증류수를 이용해 인상재들의 접촉각을 측정한 결과를 그림 7에 나타냈으며, 측정된 접촉각으로부터 인상재들의 표면에너지를 계산한 결과를 표 6에 정리하였다. 표 6에 나타난 바와 같이 접촉각은 EP가 가장 크게 나타났으며 그에 따른 결과로 EP가 표면장력이 가장 낮음을 알 수 있었다.

이는 친수성 계면활성제의 도입에 의한 젖음성이 향상되었다고 사료되어지며, 원소함량 분석 결과에서 나타난 불소가 젖음성 향상에 기여한 물질임이 예측되었다. 본 연구팀에서 개발한 개발품의 경우 표면에너지가 상대적으로 높아 이를 액상으로 치아에 적용할 때는 치아와의 젖음성이 좋지 않기 때문에, 불소기를 포함하는 계활성제의 도입 및 기저재에 친수성기를 도입하는 고분자 개질 등의 추가적인 연구가 진행되고 있다. 실리콘 고무인상재는 경화 반응이 일어날 때 백금촉매에 의한 수소탈취 반응으로 인한 수분과의 접촉으로 수소가스가 발생하고 석고를 주입할 때 표면에 과도한 기포를 발생시킨다. 따라서 경화된 경석고 모형의 표면에 기포를 형성하므로 이런 문제를 해결하기 위해 팔라디움을 첨가해서 이 문제를 최소화해 왔다. 근본적으로 polyvinyl siloxane은 소수성이므로 surfactant를 첨가함으로써 hydrophilic한 polyvinyl siloxane은 기존 polyvinyl siloxane에 주입된 모형보다 수소가스 발생량이 26~5

5%가 감소됨을 보였다.¹⁶ 인상재에 의하여 석고 모형상에 생기는 표면결합은 정확한 주조물의 제작을 방해하기 때문에 인상재와 석고는 불가분의 관계를 맺고 있다.

이러한 결합은 인상채득단계 또는 석고 모형이나 다이를 제작하는 과정에서 발생할 수 있으며 기포는 인상재 혼합시 공기의 함유이나 인상채득시 인상재를 주입하는 과정 등에서 일어날 수 있다. 그 외에 인상재의 혼합 방법, 주사기의 종류, 주사기의 직경, 중합 부산물 및 인상재의 점도가 인상재의 기포형성에 영향을 준다는 보고가 있으며 이러한 기포는 석고 모형상에서 양각표면결합으로 나타난다.

마찬가지로 큰 접촉각으로 인한 낮은 젖음성, 낮은 표면 에너지 또는 인상재의 수소가스 발생으로 인해 석고 모형에서 음각표면결합을 일으킨다. 그러므로 이러한 결합들을 감소시키기 위한 방법과 기술이 계속 연구되어 왔으며 최근에는 자동혼합형 실리콘 인상재가 개발되었는데 이는 재래식 수동혼합형 인상재보다 혼합시 공기의 유입이 적어서 기포가 적은 석고 모형 제작이 가능하고 편리하며 균일한 혼합이 가능하고 오염이 없으며 재료의 낭비가 적다는 장점 때문에 사용이 증가하는 추세이다. 이처럼 물성의 향상과 기포를 감소시키려는 노력과 연구가 계속되고 있으나 이상적인 조건을 모두 갖춘 인상재는 아직도 없는 형편이다.

이중 부가중합형 실리콘 인상재의 수소가스 발생으로 인한 모형의 부정확성을 해결하기 위해 최근에 개발된 제품은 수소가스 발생을 억제하는 백금을 함유하여 인상채득 후 인상체에 즉시 석고주입이 가능하다고 주장하는 제조회사들이 있다. 그러나 수소 가스 발생으로 인해 석고 모형이나 다이에 생기는 기포와 미세부재현성 결여에 대한 연구는 아직도 미미한 실정이다. 이상적인 인상재의 조건은 혼합과정이 없어야 하고 작업시간의 제한이 없으며 경화시간이 짧아야 하고 가스의 발생이 없으며 구강조직과 석고 모형에 젖음성이 좋아야 하고 우

수한 탄성과 정확성, 그리고 생체 적합성을 지녀야 하고 소독액에 변형이 없어야 한다.

발생이 가능한 기포의 종류를 열거해 보면 인상재 성분중에서 중합반응에 참여하지 못한 과도한 폴리머로 인하여 석고 주입시 수분과의 소수성에 의해 폴리머의 표면 장력으로 생기는 기름방울 흔적과 석고 혼합시 제거하지 못한 석고자체의 기포가 인상재의 접촉면에 부착되어서 발생하는 경우, 인상재의 낮은 표면 에너지와 낮은 젖음성 때문에 인상재와 석고 모형이나 다이의 계면에서 기포가 발생하는 경우, 그리고 수소 가스에 의한 기포로 인상재에서 발생되는 기포이다. 수소가스 발생의 원인은 가교제의 수소가 경화반응 과정에서 제조시 물질내에 혼입된 수분이나 경화도중 대기의 습기 또는 석고 주입시 석고 혼합물내의 수분에 의해서 산산화기로 전환되거나 폴리머 합성시 잔존하는 silanol group이 hydrides와 반응하여 수소가스가 발생하는 것으로 추정되고 있다. 수소가스의 발생을 억제하는 방법으로는 성분내에 있는 silanol monomer를 증발시켜 고순도의 인상재를 취하는 방법, 제조 후에 부족한 vinyl의 추가 도입에 의한 vinyl과 SiH의 당량비를 보상하는 방법, 제조후 과량의 SiH의 제거에 의한 vinyl과 Si의 당량비를 보상하는 방법, 그리고 팔라듐 또는 백금과 같은 수소가스 흡수제를 첨가하는 방법등이 있다고 보고되었다.¹⁵

본 연구팀은 부가중합형 실리콘 인상재가 가교반응시 발생하는 수소가스의 억제를 위해 소포제를 첨가하였다. 소포제는 저급 알콜계, 유기극성 화합물계, 광물유계, 실리콘 수지계로서 크게 4종류로 구분할 수 있다. 저급 알콜계 소포제에는 메탄올, 에탄올, 이소프로판올, 2급부틸올, n-부탄올 등이 있으며 유기극성 화합물계 소포제에는 아민알콜, 다이소부틸카르비놀, 트리부틸포스페이트, 올레인산, 금속비누, HLB 값이 낮은 계면활성제(sorbitan monolaurate, sorbitan trioleate, 폴리에틸렌글리콜 지방산 에스테르, PLURONIC형 비이온계면활성제), 폴리프로

필렌글리콜, 폴리프로필렌글리콜 유도체 등이 있다.

또한 광물유계 소포제에는 광물유의 계면활성제 배합품과 광물유와 지방산 금속염의 계면활성제 배합품이 있고, 실리콘 수지계 소포제에는 실리콘 수지, 실리콘 수지의 계면활성제 배합품, 실리콘 수지의 무기분말 배합품 등으로 구분할 수 있다.^{8,17,18} 일반적으로 표면장력과 계면장력의 개념은 본질적으로는 같으나 구분을 하자면, 계면장력이 좀더 큰 범주로서 2개 이상의 상이 존재할 경우 분자간에 작용하는 힘을 말하고, 표면장력이란 액체와 기체의 상이 존재할 경우 분자간에 작용하는 힘으로 액체 분자 사이에는 분자끼리 모든 방향에서 끌어당기는 힘이 작용하는데 이 힘을 응집력이라 하고, 다른 분자끼리 끌어당기는 힘을 부착력이라 하는데 이와 같이 응집력과 부착력의 차이로 인해 발생하는 힘을 바로 표면장력이라 한다.

표면장력의 값은 온도에 따라 변화하는데 온도가 증가할수록 표면장력은 감소한다. 또한 표면장력은 분자의 개념에서 이해할 때 표면이 수축하려는 힘으로 말할 수 있으므로 분자간 인력의 관점에서 증발열의 순서로부터 표면장력을 나타낼 수 있다. 즉, 증발열이 낮을수록 표면장력은 낮아진다. 기체와 액체간의 표면장력과 서로 혼합되지 않는 액체와 액체간의 계면장력은 같은 방법으로 측정할 수 있지만 고체가 한쪽의 상으로 되어 있는 경우는 일반적으로 그 측정방법이 없다. 그때 가장 많이 사용되는 방법이 바로 접촉각을 이용해 표면장력을 측정하게 되는데 본 연구팀에서도 실리콘 고무 인상재를 고체의 표면으로 시편을 제조한 후 액체인 증류수를 떨어뜨려 표면장력을 측정하게 되었다. 이렇듯 본 연구팀은 유기화합물들이 젖기 어렵다는 문제점을 보완하기 위하여 계면활성제를 사용하였다.

이때 계면활성제의 소수기를 표면으로 향하게 하고, 친수기를 내부로 향하게 하여 흡착을 시키게 된다. 그러면 물질 자체의 표면장력이

낮아지게 되어 젖기 쉬어지게 된다. 이렇듯 소수기와 친수기 사이의 관계로부터 계면활성제와 친수성과의 관계를 설명할 수 있다. 일단, 상대적으로 소수기가 친수기에 비해 분자량이 커지게 되면 물에 녹기 어렵게 되는 반면, 친수기가 소수기에 비해 분자량이 커지면 물에 잘 녹게 된다. 이상과 같은 근본적인 개념을 통해 미국 아틀라스사의 Griffin이 계면활성제의 친수기를 표현하는 수치로 고안된 것이 HLB(hydrophile-lipophile balance)이다. 이것은 다시 말하면 친수성과 친유성의 조화라는 의미이다. HLB 계산식에 의하여 폴리에틸렌글리콜형 및 다가알콜형 비이온 계면활성제의 친수성, 즉 HLB는 다음과 같이 계산된다.

$$\text{비이온 계면활성제의 HLB} = (\text{친수기 부분의 분자량} \div \text{계면활성제의 분자량}) \times (100 \div 5) = \{ \text{친수기의 중량} \div (\text{소수기의 중량} + \text{친수기의 중량}) \} \times (100 \div 5)$$

따라서 친수기가 전혀 없는 파라핀과 같은 것은 HLB=0, 친수기만으로 소수기가 없는 폴리에틸렌글리콜과 같은 것은 HLB=20이 되어 비이온 계면활성제는 0~20 사이가 되는 것이다. 그러나, 일반적으로 계면활성제는 기름의 성질을 지닌 소수기와 물의 성질을 지닌 친수기를 모두 지니고 구성되어 있기 때문에 두 기능기 간에 어느 정도에 위치하는가는 소수기와 친수기의 작용력에 따라 결정되게 된다.^{19,20} 계면활성제라 불리는 일련의 유기화합물을 분류하는 방법에는 여러 가지가 있으나 가장 편리하고 많이 이용되고 있는 방법에는 이온형에 의한 분류가 있다.

이는 계면활성제가 물에 용해되었을 때 전리되어 이온이 되는가(이온형: 양이온, 음이온, 양성이온) 혹은 되지 않는가(비이온)라는 것을 기준으로 분류하는 방식이 있다. 일반적으로 비이온 계면활성제의 경우 유화 분산제로서 매우 우수하며 종래의 계면활성제처럼 이온화하지 않으므로 반대 이온에 대한 영향을 받지 않으며, 산이나 알칼리 및 기타의 극성물질의 영향

을 받지 않고 충분히 능력을 발휘할 수 있는 점에서 양성이온형 계면활성제와 더불어 그 수요가 널리 확대되고 있다.

특히, 요즘 사용 범위가 널리 확대되고 있는 비이온 계면활성제 중에 그 수요가 가장 많은 폴리에틸렌글리콜형(에틸렌옥사이드계)의 계면활성제는 반응하기 쉬운 수소원자를 가진 소수기 부분에 친수기인 에틸렌옥사이드를 부가시키는 방법으로 제조되어진다. 또한 반응하기 쉬운 수소원자란 구체적으로 수산기(-OH), 카르복실기(-COOH), 아미노기(-NH₂), 아미드기(-CONH₂) 등의 α-수소 원자로 이러한 원자단의 수소원자는 결합력이 약하기 때문에 쉽게 떨어져 반응을 용이하게 해준다. 계면활성제 종류 뿐 아니라 용도에 따라서도 여러 종류로 분류할 수 있는데, 그 중 공업적으로 기포가 발생하여 여러 가지 문제를 야기시킬 수 있는 것을 계면활성제의 사용으로 방지할 수 있게된다.

4. 결 론

인상재는 적당한 작업시간과 경화시간, 크기 안정성, 적절한 점도, 낮은 영구변형, 우수한 찢김 강도, 미세부 재현성의 성질을 가져야 우수한 인상재라 할 수 있다. 특히 고무인상재의 경우 하이드로콜로이드 인상재에 비해 크기 안정성과 미세부 재현성이 우수한 것으로 알려져 있다. 고무인상재중 폴리설파이드는 undercut이 깊은 부위의 인상채득이 용이하고 상당히 stiffness해서 찢김 강도가 우수한 고무 인상재로 알려져 있다. 반면에 인상채득시 불쾌한 냄새와 크기안정성이 낮고 영구변형률이 높은 단점을 가지고 있다. 폴리에테르 고무인상재의 영구변형은 실리콘 인상재와 비슷하며 반응부산물 없이 중합 수축과 크기 안정성 면에서 우수한 성질을 보인다.

고무인상재의 분류에서 위의 두가지 종류의 인상재와 실리콘 인상재로 나눌 수 있는데 그 중 축합중합형 실리콘 인상재는 인상채득시 냄새가 나지 않고 깨끗이 취급할 수 있으며 혼합

이 용이한 장점을 가지고 있지만 폴리설파이드 인상재에서 보이는 반응부산물의 발생으로 크기 안정성 문제를 보이고 있다. 이에 반해 부가중합형 실리콘 인상재는 인상채득시 정밀도가 높고 경화후 크기안정성이 우수하며 경화시간이 짧고 탄성 회복력이 우수하다는 장점들이 있다. 하지만 부가중합형 실리콘고무 인상재가 지니고 있는 문제점인 인상채득시 구강내에 존재하는 침이나 혈액과 같은 수분으로 인한 낮은 젖음성과 경화 반응시 백금촉매에 의한 수소탈취 반응으로 발생하는 수소가스에 의한 정확한 인상채득이 떨어지는 한계점이 있다. 본 연구팀에서 개발한 부가중합형 실리콘 고무인상재의 성능 평가 결과에 따르면 현재 치과계에서 널리 사용되고 있는 외국 인상재들과 비교시 여러 성능면에서 거의 필적할만한 결과를 나타냈으며 향후 지속적인 연구를 통해 더욱 성능이 향상된다면 고무인상재의 수입대체효과는 물론 상당부분 수출도 가능하리라 기대된다.

참 고 문 헌

1. G. H. Johnson and R. G. Craig, *J. Prosthet. Dent.*, **53**, 484 (1985).
2. 고영무, 김경남, 이근우, 대한 치과기재학회지, 22(1), 47 (1995).
3. R. H. Augsburger, K. B. Soelburg, R. B. Pelzner, M. S. Bogdan, and Kempler, *Oper. Dent.*, **6**, 70(1981).
4. J. D. Hart and B. Howard, *J Okla Dent Assoc*, **45**, 10(1956).
5. G. M. Hollenback, *Scienceand Technic of the Cast Restoration*, St Louis, CV Mosby Co, 86(1964).
6. 유소정, 이근우, 김경남, *대한치과보철학회지*, **34**(2), 349 (1996).
7. R. G. Craig, *J. Mich. Dent. Assoc.*, **59**, 254 (1977).
8. W. A. Zisman and H. W. Fox, *J. Coll. Sci.*, **5**, 514(1950).
9. R. W. Philips, *Science of Dental Materials*, Philadelphia, WB Saunders Co, 135(1991).
10. H. T. Shillingburg, J. C. Case, M. G. Duncanson, and W. A. Kent, *Quintessencs Int.*, **19**, 541 (1998).
11. W. B. Eames, S. W. Wallace, N. B. Suway and L. B. Rogers., *J Prosthet Dent*, **42**, 159(1979).
12. J. F. McCabe and H. J. Wilson., *Br. Dent. J.*, **145**, 17(1978).
13. R. G. Craig, *J Mich Dent Assoc*, **33**, 67 (1975).
14. 오영일, 한경아, 정경호, 김경남, 조리라, *엘라스토퍼*, **35**(1), 19(2000).
15. J. Kor, *Res. Soc. Dent. Mat.*, **22**(1), 47(1995).
16. R. Panichuttra, R. M. Jones, Goodacre and C. A. Munoz, *Int J Prosthodont*, **4**, 248 (1991).
17. “신·계면활성제 입문”, 6th ed., 한국염색기술정보사, pp. 104, 140, 190~199, 1992.
18. R. A. Lorren, D. J. Salter and C. W. Fairhurst, *J. Dent. Res.*, **54**, 133 (1975).
19. 이종률, *임상치재*, **1**(2), 183 (1991).
20. “콜로이드와 계면활성제”, 대광서림, pp.29, 146, 256~263, 1993.