

계면활성제와 소포제가 실리콘 고무인상재의 물성에 미치는 영향

김 경 남* · 조 리 라** · 오 영 일 · 강 승 경 · 정 경 호[†]
*연세대학교 치과대학 치과재료학연구소, **강릉대학교 치과대학 보철학교실,
수원대학교 공과대학 고분자공학과
(2001년 5월 4일 접수)

Effect of Surfactant and Anti-foaming Agent on the Properties of Silicone Rubber Impression Material

Kyoung Nam Kim*, Lee Ra Cho**, Young Il Oh,
Seung Kyung Kang and Kyung Ho Chung[†]

**Dept. of Dental Materials and Research Institute of Dental Materials, College of Dentistry,
Yonsei University, Seoul 120-752, Korea*

***Dept. of Prosthodontics, College of Dentistry, Kangnung National University,
Kangnung 210-702, Korea*

*Dept. of Polymer Engineering, The University of Suwon, Suwon 445-743, Korea
(Received May 4, 2000)*

요 약 : Nonylphenoxy poly(ethylene) ethanol homologues, castor oil poly(ethylene) ethanol homologues 및 sodium perfluoroalkyl carboxylates의 세 가지 종류 계면활성제를 사용하여 고무인상재의 젖음성 향상 연구를 수행한 결과 불소 관능기가 도입된 sodium perfluoroalkyl carboxylates 계면활성제의 경우 다른 계면활성제를 사용한 경우에 비해 고무인상재의 초기 표면에너지 값은 유사했으나 평형상태에 이른 후의 표면에너지 값이 낮아 치아와의 젖음성이 가장 우수한 것으로 나타났다. 또한, 수소가스의 발생을 억제시키고 미세부 재현성을 높이기 위해 소포제를 사용한 결과 젖음성이 향상된 sodium perfluoroalkyl carboxylates를 포함한 조성에 소포제를 첨가할 경우 인열물성이 약 40% 이상 증가하였는데, 이는 소포제가 고무인상재 내부의 반응으로 생성되는 수소가스의 발생을 억제하기 때문이다. 따라서, 소포제는 고무인상재의 표면특성에는 크게 영향을 미치지 않으면서 인상재 내부에 발생하는 기포를 효과적으로 억제 혹은 제거하여 고무인상재의 기계적물성을 향상시킬 수 있었다.

ABSTRACT : The three types of surfactants such as nonylphenoxy poly(ethylene) ethanol homologues, castor oil poly(ethylene) ethanol homologues, and sodium perfluoroalkyl carboxylates are used to improve the wettability of rubber impression material. Among the surfactants, the usage of sodium perfluoroalkyl carboxylates containing fluoro group resulted in the lowest surface energy of impression material and the result gave the positive effect on the wettability of rubber impression material to teeth. Also, the anti-foaming agents were used to reduce or remove the hydrogen gas generating on the impression material by reaction. In the case of rubber impression material containing sodium perfluoroalkyl carboxylate as a surfactant, it was found that the tear strength of rubber impression material increased over 3 N/mm with the addition

[†] 대표저자(e-mail : khchung@mail.suwon.ac.kr)

of anti-forming agent. Therefore, the anti-foaming agent could contribute to the mechanical property of rubber impression material without the change of surface property.

Keywords : impression material, surfactant, anti-foaming agent, wetting, tear strength.

I. 서 론

고무인상재는 치과 보철치료시 구강내 치아상태를 복제하여 음형인기를 얻기 위해 사용하는 재료이다. 따라서, 고무인상재로 음형인기를 얻은 후 석고를 부어 치아상태를 정밀하게 복제하기 위해서는 무엇보다도 고무인상재가 치아의 미세부위까지 잘 흘러 들어가 경화될 수 있는 치아와의 젖음성과 경화 후 치아로부터 제거될 때 재현된 미세부위가 찢겨지지 않을 충분한 인열강도를 가지는 것이 중요하다고 할 수 있다. 인상재는 사용목적에 따라 하이드로콜로이드 인상재와 고무인상재로 구분할 수 있고, 하이드로콜로이드 인상재는 다시 아가(agar)와 알지네이트(alginate) 인상재로, 고무인상재는 폴리설파이드(polysulfide), 폴리에테르(polyether), 축합 및 부가중합형 실리콘 인상재 등으로 구분할 수 있다.¹⁻⁵ 그중 부가중합형 실리콘 고무인상재는 탄성회복율, 인열강도, 크리프 특성 및 치수안정성 등이 우수하여 현재 그 수요가 증가되고 있는 추세이다.

일반적으로 고체 표면에 액체가 적용될 때 이들 사이의 부착력은 액체와 고체 각각의 표면장력을 고려함으로써 예측될 수 있는데, 표면장력이란 액체와 기체 상이 존재할 경우 분자간에 작용하는 힘으로 액체 분자 사이에는 분자끼리 모든 방향에서 끌어당기는 힘이 작용하는데 이 힘을 응집력이라 하고, 다른 분자끼리 끌어당기는 힘을 부착력이라 하며, 이와 같이 응집력과 부착력의 차이로 인해 발생하는 힘을 바로 표면장력이라 한다. 즉, 표면장력은 표면이 수축되려고 하는 힘이라고 말할 수 있게된다. 따라서 액체는 구상이 되려고 하고, 구는 일정한 체적에서 표면적이 최소가 되기 때문이다. 젖음이란 기체와 고체의 표면이 액체와 고체의 계면으로 바뀌는 것을 의미하는데 일반적으로

유기화합물은 탄화수소라는 소수기를 가지므로 정도의 차이는 있지만 젖기 힘들다. 유기화합물들이 젖기 어렵다는 문제점을 보완하기 위하여 말단에 친수기를 가지는 계면활성제를 사용해 친수기를 수용액 쪽으로 향하게 하여 흡착을 시키게된다. 이와 같이 계면활성제는 젖기 어려운 면을 젖기 쉽게하는 성질을 가지므로 습윤제로도 사용된다. 계면활성제라 부르는 일련의 유기화합물을 분류하는 방식에는 여러 가지가 있으나, 가장 편리하고 많이 이용되고있는 방법은 이온형에 의한 분류이다. 이는 계면활성제가 물에 용해됐을 때 전리되어 이온이 되는가 (이온형: 양이온, 음이온, 양성이온), 되지 않는가 (비이온형)라는 것을 기준으로 그 이온의 종류에 따라 구별하는 방식이다. 일반적으로 비이온 계면활성제의 경우 유화분산제로서 매우 우수하며 종래의 계면활성제처럼 이온화하지 않으므로 반대 이온의 영향을 받지 않으며, 산, 알칼리 및 기타 극성물질의 영향을 받지 않고 충분히 능력을 발휘할 수 있는 점에서 양성이온형 계면활성제와 더불어 그 수요가 널리 확대되고 있다.

계면활성제는 그 종류 뿐 아니라 용도에 따라서도 여러 종류로 분류할 수 있는데 기포를 방지하거나 발생된 기포를 제거하는 용도로 사용되는 것을 소포제라고 한다. 만일 치아의 인상채득시 고무인상재 내부에 기포가 발생하여 생기는 석고 모형상의 표면결함은 정확한 주조물의 제작을 방해하기 때문에 인상재와 석고는 불가분의 관계를 맺고 있다. 이러한 결함은 인상 채득단계 또는 석고 모형이나 다이를 제작하는 과정에서 발생할 수 있으며 기포는 인상재 혼합시 공기의 함입이나 인상채득시 인상재를 주입하는 과정 등에서 발생될 수 있다. 그 외에 인상재의 혼합방법, 주사기의 종류, 주사기의 직경, 중합 부산물 및 인상재의 점도가 인상재의 기포형성에 영향을 준다는 보고가 있으

며 이러한 기포는 석고 모형 상에서 양각표면결함(positive surface defect)으로 나타난다. 마찬가지로 큰 접촉각으로 인한 낮은 젖음성, 낮은 표면에너지 또는 인상재 내부에서의 수소가스 발생으로 인해 석고 모형상에 음각표면결함(negative surface defect)을 야기할 수 있다.^{6, 7} 이러한 문제점들을 해결하기 위해 기포를 제거하거나 억제 시켜주는 소포제를 사용하게 된다. 소포제에도 일시적으로 기포를 제거해주는 파포제와 지속적으로 기포를 억제시켜 주는 억포제로 나뉜다. 파포제를 사용하는 경우는 일단 기포가 제거된 후 다시 휘저어 주면 기포가 발생하는 단점을 지니고 있다.

전보⁸에서 발표된 바와 같이 외국 인상재들의 분석을 기초로 기본적인 고무인상재가 개발되었으며 본 연구에서는 이들의 젖음성 향상, 반응 부산물로부터 야기되는 기포발생 억제 및 기계적 강도의 향상에 계면활성제와 소포제의 종류와 첨가량에 미치는 영향을 조사하였다.

II. 실험

1. 재 료

본 연구를 통해 제조된 고무인상재는 기초연구를 통해 기본 조성이 결정되었으나⁸ 그 정확한 조성비는 인상재 제조의 노하우이기 때문에 본 논문에는 표기하지 않았다. Table 1에는 고무인상재를 구성하는 조성들의 종류만을 나타내었다. 사용된 실리콘 고분자는 polydimethylsiloxane을 베이스로 한 SiloprenTM U의 5가지 종류였다. 고무인상재의 기본 구성은 인상재의 매트릭스가 되는 base와 적절한 비율로 base와 혼합된 후 경화 반응을 개시시

Table 1. Basic Ingredients of Silicone Rubber Impression Material

Base	Catalyst
silicone polymer	silicone polymer
crosslinking agent	Pt catalyst
SiO ₂	surfactant
	Al ₂ O ₃
	diatomite

Table 2. Surfactants Used in This Study

Surfactants	Surfactants Type	Chemical Structure
nonylphenoxy poly(ethylene) ethanol homologue	Nonionic	C ₉ H ₁₉ C ₆ H ₄ O (CH ₂ CH ₂ O) _n H
caster oil poly(ethylene) ethanol homologue	Nonionic	caster oil -(CH ₂ CH ₂ O) _n H
sodium perfluoroalkyl carboxylate	Anionic	CF ₃ COONa

Table 3. Anti-foaming Agent Used in This Study

Prop Class	Density (g/cm ³)	Solid content (%)	Flash temp. (°C)	Solvent	Type
BYK-066	0.88	≤ 1	47	Diisobutylketone	polysiloxane
BYK-530	0.81	5	> 95	Hydrocarbon mixture	polysiloxane & polyether mixture

키는 catalyst로 이루어진 전형적인 2액형 시스템으로 구성하였다. 따라서, base와 catalyst는 치아에 적용되기 전 mixing tip에서 적절한 비율로 철저히 혼합된 후 치아 표면으로 흘러 들어가 일정시간 후에 (대략 2~3분) 경화된다. 본 연구에서 사용된 고무인상재의 기본적인 구성요소들은 전보에⁸ 나타난바와 동일하며 본 연구에서는 계면활성제 종류를 달리 하였으며 또한 소포제를 사용하여 이들이 최종 고무인상재의 젖음성과 기계적물성에 미치는 영향을 조사하였다. Table 2에는 본 연구에 사용된 음이온형과 두 가지의 비이온형 계면활성제를 나타내었고, Table 3에는 polysiloxane 계통의 두 가지 소포제를 나타내었다.

2. 경화거동

계면활성제와 소포제 종류 및 첨가량에 따른 고무인상재의 경화거동은 rotorless type인 고무레오메터(GOTECH, Taiwan)를 사용하여 상온에서 약 20분간 측정된 후 비교하였다. 특수 제작된 주사기에 base와 catalyst를 각각 채우고 주사기 끝에는 mixing tip을 부착하여 base와 catalyst를 mixing tip에서 철

저하게 혼합한 후 조성에 따른 고무인상재의 경화 거동 측정을 위해 고무레오메터에 주입하였다. 경화곡선은 시간에 따라 torque가 증가하다가 일정한 torque에 도달하는 전형적인 plateau 거동을 나타내었으며, 조성에 따른 고무인상재의 최적 경화시간은 최대 torque와 최소 torque 차이의 90% 되는 torque 점에서 측정된 시간으로 정하고 이를 비교하였다.

3. 젖음특성

고무인상재의 치아와의 젖음 특성은 조성에 따른 고무인상재의 표면에너지를 측정하여 평가하였다. 고무인상재를 직접 치아에 떨어뜨려 고무인상재의 표면에너지를 측정할 수 없기 때문에 고무인상재를 유압프레스를 이용하여 상온에서 약 5분간 경화시킨 편평한 시편 위에 표준용액으로 methylene iodide와 증류수를 상온에서 떨어뜨려 이들이 고무인상재 표면과 이루는 접촉각을 측정하는 실험을 행하였다. 고무인상재의 표면에너지는 고체상태의 고무인상재와 methylene iodide 및 증류수가 이루는 정접촉각을 접촉각 측정기 (FTA 2000, First Ten Angstrom)를 사용하여 측정한 후 geometric-mean method 방정식인 식(1)을 이용하여 고무인상재의 확산에너지(γ_s^d)와 극성에너지(γ_s^p)를 계산하였다. 최종 고무인상재의 표면에너지는 확산에너지와 극성에너지의 합으로 구하였다.

$$\begin{aligned} (1 + \cos\theta_1)\gamma_1 &= 2 [(\gamma_1^d \cdot \gamma_s^d)^{0.5} + (\gamma_1^p \cdot \gamma_s^p)^{0.5}] \\ (1 + \cos\theta_2)\gamma_2 &= 2 [(\gamma_2^d \cdot \gamma_s^d)^{0.5} + (\gamma_2^p \cdot \gamma_s^p)^{0.5}] \end{aligned} \quad (1)$$

- θ_1 : 증류수-인상재간의 접촉각
- θ_2 : methylene iodide-인상재간의 접촉각

고무인상재 표면에너지 측정에 사용된 γ^d , γ^p , γ 값은 문헌에 보고된 값에 따라 각각 증류수(아래첨자 1)는 21.8, 51.0, 72.8 dyne/cm를, methylene iodide(아래첨자 2)는 48.5, 2.3, 50.8 dyne/cm를 적용하였다.⁹

4. 인열물성

각 조성에 따른 고무인상재를 고무레오메터를

이용하여 최적 경화시간을 측정한 후 유압프레스를 사용하여 최적 경화시간 동안 상온에서 경화시켜 약 2mm 정도 두께의 판상 형태로 제조하였다. 인열강도 측정을 위한 시편은 ASTM D624에 의거하여 갈매기 모형 (angular tear)으로 시편을 준비하였다. 만능시험기(LLOYD, LR-5K, U. S. A.)를 이용해 상온에서 crosshead speed를 50 mm/min으로 하여 각 조성에 따른 고무인상재의 인열강도를 조사하였다. 이 때 변형속도는 0.83 min⁻¹ 이었다.

III. 결과 및 고찰

본 연구에서는 Table 1에 나타난 고무인상재의 기본조성 중 surfactant 부분에 nonylphenoxy poly(ethylene) ethanol homologues (NP), caster oil poly(ethylene) ethanol homologues (CO) 및 sodium perfluoroalkyl carboxylates (PC)의 계면활성제를 각각 0.5, 1.6, 2.5 wt.% 사용하여 계면활성제의 종류 및 첨가량이 고무인상재의 젖음성과 물성에 미치는 영향을 조사하였다. 이들의 첨가에 따른 고무인상재의 경화거동을 Table 4에 정리하였다. Table 4의 NP와 CO 뒤의 숫자는 각 계면활성제에 포함된 ethylene oxide의 mole 수를 의미한다. Table 4에 따르면 뚜렷한 경향은 나타나지 않으나 동일한 첨가량에서 전반적으로 ethylene oxide의 mole 수가 증

Table 4. Optimum Cure Time of Rubber Impression Material with the Amounts of Surfactant

		Optimum Cure Time (min)		
		0.5 wt%	1.6 wt%	2.5wt%
NP	NP4	3.43	3.56	3.48
	NP5	3.39	3.20	3.48
	NP6	3.01	3.26	3.45
	NP8	2.52	2.14	2.30
	NP10	2.49	3.04	2.51
CO	CO2.5	6.59	12.39	12.09
	CO 5	5.00	12.27	15.28
	CO12	3.08	7.27	7.18
	CO40	3.04	3.51	3.54
	CO45	2.49	3.51	4.07
PC		3.14	2.52	2.21

가할수록 인상재의 경화시간이 감소되는 현상을 나타내었고, 동일한 ethylene oxide의 mole 수에서는 일반적으로 계면활성제의 첨가량이 증가함에 따라 경화시간이 증가하는 현상을 확인할 수 있었다. 현재로서는 계면활성제의 종류와 첨가량이 고무인상재의 경화속도에 영향을 미치는 정확한 원인을 밝히지는 못하였지만, CO계의 계면활성제를 사용할 경우 NP계의 계면활성제 보다 전반적으로 경화시간이 증가하는 이유는 아마도 계면활성제 자체의 분자량이 증가할수록 경화속도를 지연시키는 효과가 있는 것으로 사료되었다. 일반적으로 고무 인상재를 치아에 적용하여 치아와의 완전한 젖음이 달성되는 시간 즉, 작업시간(working time)을 고려해 볼 때 현재 치과계에서는 약 2~3분을 요구하고 있는 실정이므로 CO계의 경우 ethylene oxide의 mole 수가 약 40~45, NP계의 경우는 거의 모든 영역에서 적절한 경화시간을 구현할 수 있었다. 한편, 고무인상재의 표면장력을 더욱 감소시킬 목적으로 사용한 불소기를 포함한 음이온형 계면활성제인 PC의 경우는 Table 4에 나타난 첨가량 범위 내에서는 약 2~3 분의 적절한 경화시간을 나타내지만 전반적으로 첨가량이 증가할수록 경화시간이 감소되는 경향을 나타내었다. 이는 비이온계면활성제인 NP와 CO계와는 달리 전리하여 전하를 띠고 있기 때문에 첨가량에는 상당한 제한이 있음을 알 수 있었다. 따라서, base 폴리머뿐만 아니라 계면활성제의 종류 및 첨가량에 의해서도 본 연구에서 구현하고자 하는 고무인상재의 경화시간 안정성을 확보할 수 있음을 확인할 수 있었다.

인상재에 요구되는 성질에 있어서 가장 중요한 것 중 하나가 바로 치아와의 젖음성이다. 이것은 인상재 자체가 지니는 표면에너지와 밀접한 관계를 가지고 있는데 계면활성제의 종류와 함량이 고무인상재의 표면에너지 변화에 미치는 영향을 접촉각 측정 방법을 통해 조사하였다. 일반적으로 접촉각의 관점에서 생각해 볼 때 치아를 피착재라 생각하고 인상재를 접착제의 개념으로 생각하면 치아와 인상재간에 접착이나 젖음은 큰 문제가 되지 않는다. 그러나 치아에는 침이나 피와 같은 수분을 함유하고 있는 물질들이 도포되어 있다. 따라서 소

수성을 띠는 실리콘 고무인상재의 경우 수분과의 친화력이 떨어져 결국 치아와의 젖음성이 문제가 될 수 있다. 그러한 문제점을 해결하기 위해 최근 친수성 기를 도입한 부가중합형 실리콘 고무인상재가 개발되어 널리 사용되고 있다. 그러나 기존에 지니고 있던 실리콘 고무인상재의 소수 성질을 크게 보완은 했으나 치아와의 젖음성이 아직 미흡한 실정이기 때문에 친수성 계면활성제를 도입해 치아와의 젖음을 향상시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 일단 접촉각 측정 실험에 있어 고무인상재를 치아에 직접 적용하여 실험할 수 없기 때문에 매끄러운 표면을 갖는 판상의 고체로 고무인상재를 경화 시켰다. 그 후 조성에 따른 고무인상재의 표면에너지 측정은 methylene iodide와 증류수를 고무인상재 표면에 떨어뜨린 후 접촉각을 측정하였고 식 (1)을 사용하여 고무인상재의 표면에너지를 계산하였다. 따라서 계산되어진 고무인상재의 표면에너지 값의 해석은 인상재를 치아에 적용할 때인 액상 형태의 물질이 아닌 치아와 같은 피착재의 자리에서 측정이 되었기 때문에 인상재가 치아에 적용된 후 경화되어 고체상태로 존재할 때가 아닌 액체상태로 치아에 적용될 경우를 고려해야 한다. 그러므로 측정된 표면에너지 값의 의미를 반대의 개념으로 생각해야만 인상재의 표면에너지를 정확히 해석할 수 있다. Zismann¹⁰ 이론에 따르면 액체와 고체간의 젖음성 향상을 위해서는 액체의 표면장력이 고체의 표면장력보다 작아야만 하며 이 조건을 만족할 때 완벽한 젖음을 달성할 수 있다. 따라서 methylene iodide 와 증류수가 고무인상재 표면과 이루는 접촉각이 증가할수록 고무인상재의 표면에너지는 감소하는 것을 의미하며 이는 고무인상재를 액상형태로 치아에 적용할 때 치아와의 젖음성이 향상된다는 것을 의미한다. 계면활성제의 종류 및 첨가량에 따른 고무인상재의 표면에너지 값을 Figure 1에 나타내었다. Figure 1에는 ethylene oxide 함량이 유사한 NP4와 CO5계 계면활성제와 더불어 PC계 계면활성제를 사용한 경우를 비교하였다. Figure 1에 나타난바와 같이 고무인상재의 표면에너지는 methylene iodide 와 증류수를 인상재 표면에 떨어뜨린 순간부터 약

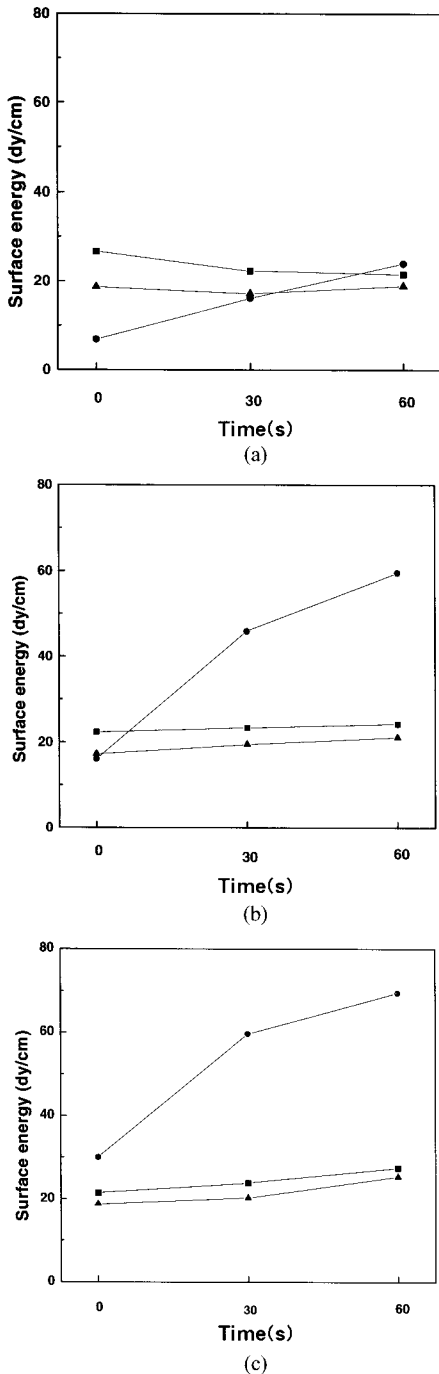


Figure 1. Surface energy of impression material with the type and amounts of surfactant.

(● : NP4, ▲ : CO5, ■ : PC)
 (a) 0.5 wt.% (b) 1.6 wt.% (c) 2.5 wt.%

1분이 경과할때까지 시간에 따라 접촉각이 변화한 후 평형상태에 도달하였기 때문에 초기, 30초 및 1분 후의 접촉각을 각각 측정하여 고무인상재의 시간에 따른 표면에너지 변화를 측정하였다. Figure 1에 나타난바와 같이 NP계 계면활성제를 사용하였을 경우 고무인상재 표면에너지의 시간 의존성이 상대적으로 크게 나타났으며 평형상태에 도달한 1분 후 첨가량이 0.5 wt.%에서 2.5 wt.%로 증가할수록 표면에너지도 약 22 dyne/cm에서 69 dyne/cm로 크게 증가함을 알 수 있었다. 반면, CO계와 PC계의 계면활성제를 사용한 경우는 거의 초기에 평형상태에 도달하여 표면에너지의 시간의존성은 크게 나타나지 않았다. 또한 첨가량에 따른 표면에너지의 변화도 크게 없었다. 결론적으로 NP계 계면활성제를 사용할 경우 초기에는 접촉각이 큰, 즉 인상재의 표면에너지가 낮아 이를 치아에 적용할 때 우수한 젖음성을 보일 것으로 예측되었으나 접촉 시간에 따른 표면에너지의 변화가 큰 결과로 인해 표면 안정성이 떨어져 평형상태에 도달한 후 표면 에너지가 매우 크게 나타났다. 이 결과는 NP계 계면활성제를 포함한 고무인상재의 경우는 액상으로 치아에 적용할 때 치아와의 젖음성이 상대적으로 다른 계면활성제 보다 좋지 않을 것을 예시한 결과라고 사료된다. 반면, CO계와 PC계 계면활성제의 경우 둘 간에 차이는 크게 나타나지 않았으며 두 종류의 계면활성제를 사용한 경우 모두 인상재 표면에너지의 시간 의존성이 없는 것으로 보아 표면 안정성이 더 우수하며 표면에너지 또한 낮아 치아와의 젖음성이 우수한 것으로 확인되었다.

고무인상재는 Pt 촉매에 의한 경화반응 과정에서 수소탈취 반응시 수분과 접촉하게 되면 수소가스가 발생되어 인상채득시 기포를 생성하여 정확한 인상채득을 방해하게 된다. 따라서, 기포가 발생하게 되면 정확한 인상 채득이 어려워질 뿐만 아니라 인상재 내부에 결함을 야기해 인상재의 기계적 강도의 감소를 초래하기 때문에 소포제를 이용하여 다른 물성에는 손상을 주지 않으면서 반응에 의해 발생하는 기포를 감소시키고자 하였다. 소포제로는 polysiloxane 계통의 BYK-066과 BYK-530을 사용하였으며 기존 NP4와 PC계 계면활성제를 포

합한 조성에 이들 소포제를 각각 계면활성제와 동량인 0.5, 1.6 및 2.5 wt.% 배합하였다. 이에 따른 고무인상재의 경화거동을 Table 5에 나타내었다. Table 5에 나타낸바와 같이 전반적으로 소포제의 첨가로 인해 경화시간은 더욱 감소됨을 알 수 있었으며, 첨가량이 증가하면 경화시간은 다소 지연됨을 알 수 있었다. 또한, 소포제의 종류에 따른 결과는 큰 차이는 없었으나 BYK-066의 경우 BYK-530에 비해 약간 가교시간이 빨라지는 현상을 나타냈다. 따라서, 이상의 결과들로부터 소포제를 계면활성제와 더불어 사용할 경우 고무인상재의 경화특성을 이들의 적절한 조합으로 조절할 수 있음을 알 수 있었다.

실리콘 고무인상재에 소포제를 첨가해서 인상재

Table 5. Optimum Cure Time of Impression Material with the Type of Anti-Foaming Agent

Property Description	Amount (wt%)	Optimum Cure Time (min.)		
		surfactant only	BYK-066	BYK-530
NP 4	0.5	3.43	2.08	2.21
	1.6	3.56	2.30	2.39
	2.5	3.48	2.30	1.59
PC	0.5	3.14	1.21	1.49
	1.6	2.52	2.30	2.41
	2.5	2.21	2.52	2.68

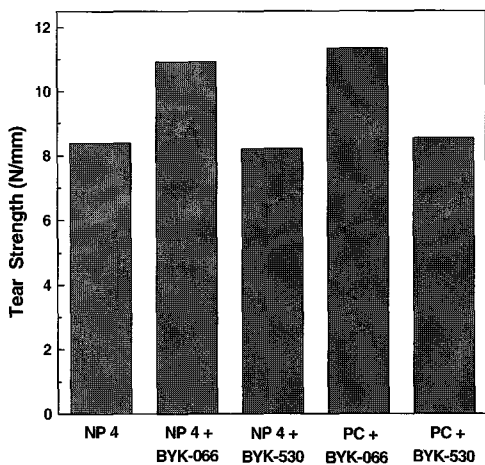


Figure 2. Tear strength of rubber impression material with the addition of surfactants and anti-foaming agent.

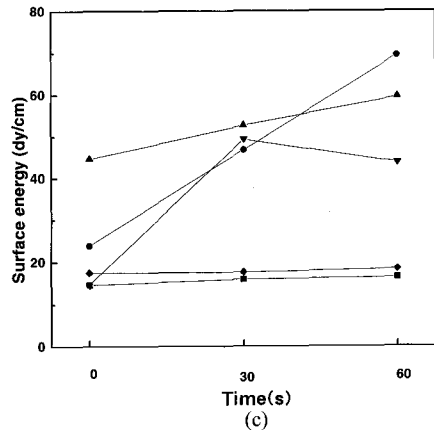
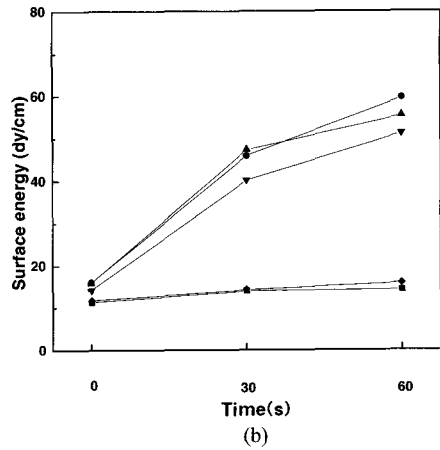
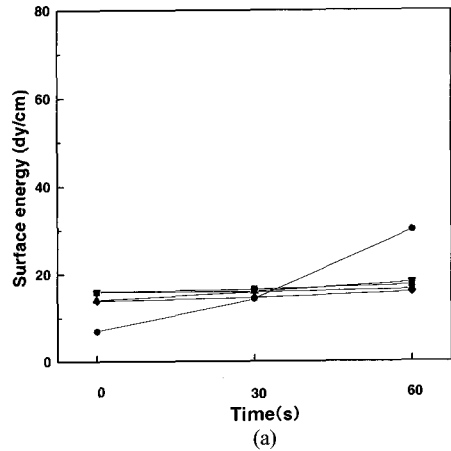


Figure 3. Surface properties of impression material with the type and amount of surfactant and anti-foaming agent. (● : NP4, ▲ : NP4 + BYK-066, ▼ : NP4 + BYK-530, ◆ : PC + BYK-066, ■ : PC + BYK-530) (a) 0.5 wt% (b) 1.6 wt% (c) 2.5 wt%

내부에서 발생하는 수소가스를 제거함에 따라 기계적물성을 향상시킬 수 있었다. NP4계와 PC계 계면활성제를 0.5 wt.% 포함한 조성에 동량의 소포제를 첨가하였을 때 고무인상재의 인열강도 변화 결과를 Figure 2에 나타내었다. Figure 2에 나타난 바와 같이 NP4계 계면활성제를 사용한 조성에 BYK-530이 첨가된 경우는 소포제 첨가로 인한 인열물성의 변화를 볼 수 없었지만 BYK-066을 첨가한 경우 약 2 N/mm 이상 인열강도가 증가된 결과를 나타내었다. 또한 PC계 계면활성제를 사용한 조성에 BYK-530이 첨가된 경우도 인열물성에 큰 변화가 없었으나 BYK-066이 첨가된 경우에는 인열강도가 약 3 N/mm 이상 증가된 결과를 나타내었다. 현재로서는 BYK-066이 BYK-530에 비해 우수한 성능을 보인 이유를 밝히지는 못했지만 계면활성제와 더불어 BYK-066을 사용할 경우 고무인상재의 인열강도가 증가하는 것은 아마도 소포제로 인해 상당부분 내부에 발생하는 기포가 제거되었기 때문이라고 사료된다. 향 후 이를 입증할 수 있는 더욱 체계적인 연구가 수행될 예정이다. Figure 3에는 소포제와 계면활성제의 종류와 함량에 따른 고무인상재의 표면에너지의 결과를 나타내었다. 그 결과 기존의 계면활성제의 연구에서 나타난 Figure 1의 결과와 같이 계면활성제로 NP4를 사용했을 때나 PC를 사용했을 때와 거의 유사한 표면성질을 나타내었다. 그러나 계면활성제와 동일한 함량으로 소포제를 첨가하면 Figure 3에 나타난 바와 같이 소포제가 없는 경우에 비해 더욱 표면 에너지를 낮출 수 있었으며 두 종류의 소포제에 따른 차이는 크게 나타나지 않았다. 따라서, 소포제의 첨가는 고무인상재의 표면특성에는 크게 영향을 미치지 않으면서 고무인상재 내부에 발생하는 기포를 효과적으로 제거하여 인상재의 기계적 물성을 향상 시킬 수 있었다.

IV. 결 론

본 연구는 실리콘 고무인상재가 지니고 있는 최대 단점인 치아와의 낮은 젖음성과 발생하는 수소가스에 의한 체적 불안정성을 계면활성제와 소포

제의 종류와 함량을 달리하여 이들이 미치는 영향을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 고무인상재의 경화시간은 base 폴리머들의 조성비뿐만 아니라 계면활성제의 종류 및 첨가량으로도 조절될 수 있음을 알 수 있었다. 그러나 PC계의 계면활성제를 사용할 경우 첨가량에 관계없이 거의 일정한 경화시간을 나타내었다.

2. NP계 계면활성제를 사용할 경우 초기의 표면 에너지는 낮을지라도 시간에 따른 표면에너지의 변화가 큰 반면, CO계와 PC계의 계면활성제를 사용할 경우 인상재의 표면안정성과 더불어 낮은 표면에너지로 인해 치아와의 젖음성이 우수한 것으로 판단되었다.

3. 소포제의 경우 첨가량에 따른 영향은 크게 없었지만, BYK-066을 사용하면 NP계 계면활성제를 포함한 조성의 경우는 약 2 N/mm 이상 PC계 계면활성제를 포함한 조성의 경우는 약 3 N/mm 이상 고무인상재의 인열강도를 증가 시켰다. 이는 소포제의 첨가로 고무인상재 내부의 기공과 같은 결함을 감소 시켰다는 것을 예시한 결과라고 사료되었다.

결론적으로 계면활성제로서 기존의 NP계에 비해 불소계인 PC를 사용했을 때 고무인상재 표면 안정성을 가져왔을 뿐 아니라 치아와의 젖음성 또한 향상시킬 수 있었다. 또한 소포제로 BYK-066을 사용했을 경우 발생하는 수소가스의 효율적인 제거를 통해 기계적물성의 향상을 도모할 수 있었다. 현재 고무인상재의 기계적물성을 더욱 향상시키기 위해 보강제로 사용되는 실리카를 실란 코팅 처리하는 연구를 수행중에 있으며 향 후 지속적인 연구를 통해 계면활성제와 소포제의 사용에 따른 최적 조성비를 도출하는 연구를 수행할 예정이다.

감사의 글

본 과제는 한국보건산업진흥원(과제번호 : HMP-99-F-10-003)의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다. 또한, 재료공급에 도움을 주신 (주)한대케미칼 이정웅 사장님에게도 감사를 표합니다.

참고문헌

1. G. M. Hollenback, "Science and Technic of the Cast Restoration", CV Mosby Co., St. Louis, p.86, 1964.
2. M. A. Engelman, *NY State Dent. J.*, **45**, 383(1979).
3. M. Barden and J. C. Elliott, *J. Dent. Res.*, **45**, 1016(1966).
4. R. G. Craig, *J. Mich. Dent. Assoc.*, **33**, 67(1975).
5. D. H. Pratten and R. G. Craig, *J. Prosthet. Dent.* **61**, 197(1989).
6. R. A. Lorren, D. J. Salter and C. W. Fairhurst, *J. Prosthet. Dent.*, **66**, 176(1991).
7. D. R. Cullen and J. L. Sandrik, *J. Prosthet. Dent.*, **66**, 261(1991).
8. Y. Oh, K. Han, K. Chung, K. Kim, and L. Cho, *Elastomer*, **35(1)**, 19(2000).
9. S. Wu, "Polymer Interface and Adhesion", Marcel Dekker, New York, pp.179~182, 1982.
10. W. A. Zisman and H. W. Fox, *J. Coll. Sci.*, **5**, 514(1950).