

## 잔탄검과 로커스트 빈검을 함유한 O/W 에멀전 크림에서 입자형 젤 형성이 유변학적 텍스처 특성에 미치는 영향

이서영 · 진병석<sup>†</sup>

동덕여자대학교 자연과학대학 응용화학과

(2016년 2월 5일 접수, 2016년 4월 15일 수정, 2016년 4월 18일 채택)

### Effect of Particulate Gel Formation on the Rheological and Textural Properties of O/W Emulsion Creams Containing Xanthan and Locust Bean Gum

Seo Young Lee and Byung Suk Jin<sup>†</sup>

Department of Applied Chemistry, Dongduk Women's University, Seoul 02748, Korea

(Received February 5, 2016; Revised April 15, 2016; Accepted April 18, 2016)

**초록:** 천연고분자인 잔탄검과 로커스트 빈검을 점증제로 함유한 O/W 에멀전 크림 화장품을 제조하고 그들의 유변학적, 텍스처 특성들을 살펴보았다. 잔탄검과 로커스트 빈검을 혼합 사용했을 때 두 고분자간 강한 상호인력에 의해 형성된 젤 네트워크 구조로 인해 에멀전 크림의 점도와 경도는 크게 증가하였다. 이러한 젤 네트워크 구조의 크림에 전단력을 가하면 입자형 젤이 형성되면서 점도, 응집성, 크림성과 같은 텍스처 특성에 변화가 발생하였다. 에멀전 크림에 입자형 젤이 형성될 때 점탄성 거동의 변화를 진동 전단응력 측정을 통해 살펴보았다.

**Abstract:** Cosmetic O/W emulsion creams containing natural polymers, xanthan and locust bean gum, as thickening agents were prepared and their rheological and textural properties were investigated. The viscosity and hardness increased remarkably due to a gel network formation by the synergistic interaction between the xanthan and locust bean gum when mixed together. Particulate gels were induced by imposing shear force on the gel network structure of O/W emulsion creams, which caused changes in textural properties such as hardness, cohesiveness, and creaminess. Change in viscoelastic behaviors due to particulate gels formation was examined through an oscillatory shear measurements.

**Keywords:** xanthan gum, locust bean gum, O/W emulsion creams, particulate gels, textural property.

## 서 론

경제성장에 따른 소득수준의 향상, 미에 대한 관심 증가, 고령화 등의 영향으로 최근 화장품 시장이 급성장하면서 업계에서는 화장품의 기능성 향상 및 자연 친화적인 제품 개발에 많은 노력을 기울이고 있다. 화장품은 여러 종류의 원료 성분들로 혼합 구성되기 때문에 제품의 효능, 물성, 외관 등을 정밀하게 조절하여 부가가치를 높이기 위해서는 다양한 기술의 융합 접목이 필요하다. 화장품 제조기술 중에서 유화(emulsification)는 로션, 크림, 에센스 등의 화장품을 생산하는데 있어 가장 대표적인 기술로 유화제 종류나 유화 방법에 따라 생산되는 최종 제품의 물성에 많은 차이가 나게 된다. 유화된 제품은 열역학적으로 불안정한 상태이기 때문에 궁극

적으로 오랜 시간 후에는 유화가 파괴되고 상분리가 일어나게 된다. 따라서 이러한 상 분리를 지연시키고 유화를 안정화시키는 것이 유화기술에서 중요한 관건이 되고 있다.

한편, 고분자는 화장품에서 제형의 점도를 높이기 위해 점증제로 많이 사용되고 있는데 고분자는 제형의 점도를 높임으로써 유화를 안정화시키는 역할도 하지만 제형의 사용감을 결정하는 중요한 역할을 담당하고 있다.<sup>1,2</sup> 기존 화장품에는 제품의 안정성이나 사용감 등 여러 측면에서 우수한 특성을 지닌 아크릴 계통의 합성고분자가 주로 많이 사용되고 있지만, 최근 자연 친화적인 화장품에 대한 소비자들의 선호가 커짐에 따라 업계에서는 합성 고분자 점증제를 대신하는 천연 고분자 소재를 개발하기 위한 노력을 기울이고 있다. 화장품에 사용될 수 있는 천연 성분으로 강한 점증작용을 나타내는 것은 그리 많지 않지만, 현재 당류를 함유한 성분들이 천연 점증제로 주로 쓰이고 있다. 식물성 다당류는 천연고분자로 안전성이 높아 의약 및 식품첨가물에 사용되고 있으며 화장품 원료로도 사용이 되고 있다. 하지만, 사용량에 비해 점증

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

E-mail: bsjin@dongduk.ac.kr

©2016 The Polymer Society of Korea. All rights reserved.

효과가 그다지 높지 않고 품질이 일정하게 유지되기 어렵기 때문에 사용이 극히 제한적이다.<sup>3</sup>

천연 고분자의 예로 천연 셀룰로오스, 젤라틴, 잔탄검, 로커스트 빈검 등이 있다. 이 중 잔탄검은 두 개의 glucose, 두 개의 mannose 그리고 하나의 glucuronic acid 단당류 5분자로 이루어진 오당류로 (1,4)결합으로 이루어진  $\beta$ -D-glucose를 주사슬로 하고 3000000~5000000 Da의 분자량을 갖는다. 또한 로커스트 빈검은 (1,4)결합으로 이루어진 갈락토만난을 주사슬로 하고  $\beta$ -D-mannopyranosyl 단위체와  $\alpha$ -D-galactopyranosyl 그룹이 (1,6)결합으로 이루어진 결사슬을 가지는데, 평균적으로 하나의 d-galactosyl 단위체당 세 개의 d-mannosyl 단위체가 결합을 하며 분자량은 300000~360000 Da 정도 된다.<sup>4,5</sup> 잔탄검과 로커스트 빈검, 두 다당류 고분자는 점증 효과가 충분하지 않기 때문에 단독으로 화장품에 사용하기에는 적합하지 않지만, 두 천연 고분자를 혼합 사용하면 두 고분자 사슬 간 상호 작용을 통해 젤을 형성하면서 특이한 레올로지 거동과 함께 매우 높은 점증력을 보여준다는 것이 보고되었다.<sup>6</sup> 따라서 두 천연 다당류를 혼합하여 얻게 되는 높은 점증력을 다양한 제품에 적용하고자 하는 많은 시도가 있었다.<sup>7</sup>

한편, 두 다당류 혼합으로 형성된 젤 네트워크 구조에 어떤 일정 크기 이상의 전단력이 가해지면 젤 네트워크 구조가 깨지면서 입자 형태의 네트워크 구조로 변하는데 이를 particulate gel(또는 sheared gel)이라 일컫는다.<sup>8,9</sup> 이러한 구조 변화는 제품에 부드러움과 크림성을 부여할 수 있는데, 요리에서는 particulate gel의 성질을 이용해 퓨레(puree)나 소스(sauce)를 만드는 데 활용하고 있다.<sup>10</sup>

본 연구에서는 잔탄 검과 로커스트 빈검 두 다당류 천연 고분자를 혼합함으로써 얻게 되는 점증력의 시너지 효과를 화장품의 O/W 크림 제형에 적용을 시도하였다. 유변학적 특성과 화장품의 사용감 및 안정성은 매우 밀접한 관계가 있기 때문에<sup>11,12</sup> 두 천연 고분자를 O/W 크림 제형에 적용했을 때

유변학적 특성과 사용감을 분석하였다. 또한 제형에 전단력을 가했을 때 형성되는 입자형 젤이 제형의 유변학적 특성 변화에 미치는 영향을 분석하고 사용감의 개선 가능성에 대해 중점적으로 살펴보았다.

## 실 험

**사용 재료.** 동백오일(camellia oil)은 Kerfoot사의 제품을 사용하였고 계면활성제인 Tween 80과 Aracel 83은 Kao 사의 제품을 사용하였다. 천연 점증제인 잔탄검(xantan gum, XG)은 C.G.E.O.사의 제품을, 로커스트 빈검(locust bean gum, LBG)은 LBG Sicilia사에서 제조한 제품을 사용하였다. 합성 점증제인 carbopol 941은 Lubrizol 사의 제품을 사용하였고 methyl paraben은 Salicylates and chem, triethanol amine은 DC chem, butylene glycol은 GOOWORL, disodium EDTA는 BASF사의 제품을 사용하였다.

**사용기기.** 유화에는 호모믹서(HY-001, 한성ENG)와 마이크로 플루다이저(MN400BF, Micronox사)를 사용했고, 전단력을 가하기 위한 기기로 이지믹서(HY-002, 한성ENG)를 사용하였다. 점도 측정에는 Brookfield 사의 DV2T viscometer를 사용하였고 이때, spindle은 RV-06을 사용하였다. 크림 제형의 경도(hardness), 응집성(cohesiveness), 크림성(creaminess) 등 사용감에 연관된 물성 측정은 Brookfield 사의 CT3 texture analyzer를 이용하여 TPA(texture profile analysis) 테스트를 통해 측정하였다. 사용된 로드셀(load cell)은 4500 g까지의 힘을 측정할 수 있고, probe는 TA43(sphere, 25.4 mm diameter)을 사용했고, trigger load는 1.50 g, probe의 속도는 1 mm/sec로 고정하여 상온에서 두 번의 사이클을 반복하여 측정하였다. 제형의 점탄성 거동을 분석하기 위해 진동 전단응력 측정에 사용된 기기는 rotational rheometer(DHR-1, TA instrument Ltd.)이다. 점탄성 거동의 측정은 25 mm plate를 사용하여 상

**Table 1. Compositions of the O/W Emulsion Creams with 0.8% Thickening Agent at Different Mixing Ratios** (unit: wt%)

Phase	Ingredients	X1	X2	X3	X4	X5	C941
A	Camellia oil				25		
	TW 80				2		
	Aracel 83				1		
	Methyl paraben				0.2		
B	Xanthan gum	0.8	0.6	0.4	0.2	-	-
	Locust bean gum	-	0.2	0.4	0.6	0.8	-
	Cabopol(941)			-			0.8
	triethanol amine			-			1.2
C	Butylene glycol			7			
	EDTA-2Na			0.02			
	D.W.			up to 100			

은, 0.1~10 Hz의 주파수 범위에서 측정하였다.

**화장품 제조.** 구성 성분과 혼합비율을 달리한 O/W 크림 제형의 조성을 Table 1에 요약하여 나타내었다. X1과 X5는 천연 고분자 점증제인 잔탄검과 로커스트 빈검을 각각 단독으로 사용한 제형이고 X2-X4는 두 천연검을 혼합 사용한 제형이다. 천연 고분자 점증제와의 비교를 위해 합성 고분자 점증제를 동일한 양으로 넣은 제형(C941)에는 점증효과를 내기 위해 알카리제인 트리에탄올아민(TEA)을 첨가하였다. 천연 점증제를 사용한 화장품은 다음과 같은 과정으로 제조하였다. 비이커에 유상물질(A phase)에 해당하는 동백오일, Tween 80, Aracel 83, 메틸파라벤을, 또 다른 비이커에는 수상물질(C phase)에 해당하는 증류수, EDTA-Na, 부틸렌글리콜을 70°C의 항온조에서 각각 녹인다. 수상물질의 비이커를 항온조에서 꺼내 서포트 잭(support jack) 위에 놓고 2% XG 수용액을 첨가하면서 호모믹서로 5분 동안 3300 rpm 속도로 교반을 하였다. 여기에 그 다음으로 유상물질을 서서히 첨가하고 맨 마지막으로 2% LBG 수용액을 첨가하면서 10분 동안 교반을 더 진행하였다. 호모믹서로 만들어진 유화물을 마이크로 플루다이저에 넣고 20000 psi의 압력으로 3 사이클을 돌려 화장품 제형을 완성한 후 하루 동안 5°C에서 보관하였다. 저온에서 보관된 X1-X5 샘플에 이지믹서를 사용해 1500 rpm으로 1분 동안 전단력을 가해 X1S-X5S제형을 최종적으로 완성하였다.

합성 점증제인 carbopol 941을 사용한 화장품은 다음과 같이 제조하였다. 수상 물질의 비이커에 유상물질을 서서히 첨가하여 호모믹서로 15분 동안 3300 rpm 속도로 균일하게 교반을 실시한 후 여기에 carbopol과 TEA를 순차적으로 넣고 10분간 더 교반을 진행하였다. 마이크로 플루다이저는 강력한 압력을 제형에 가함으로써 분산입자를 미세하게 만들어 호모믹서보다 더욱 강력한 유화능력을 발휘하지만 carbopol의 경우는 마이크로 플루다이저의 높은 압력을 견디지 못하고 고분자 사슬이 절단되어 점증의 효과가 거의 없고 층 분리가 일어났다. 따라서 carbopol를 사용한 제형은 호모믹서로만 유화를 진행하였다.

### 결과 및 토론

잔탄검과 로커스트 빈검의 혼합 비율을 달리하여 만든 O/W 에멀전 크림 제형의 점도를 측정된 결과를 Figure 1에 나타내었다. 잔탄검과 로커스트 빈검을 각각 단독으로 사용한 제형(X1, X5)보다 두 천연 검을 혼합 사용한 제형(X2-X4)의 점도가 크게 상승하였다. 두 천연 검을 혼합 사용하면 화장품 제형에 많이 사용하는 합성 점증제인 carbopol 941 보다 더 높은 점도가 나타나는데, 특히 잔탄검과 로커스트 빈검을 같은 양으로 혼합했을 때(X3) 점도가 가장 높게 나타났다. 두 천연 검을 혼합 사용할 때 점도의 상승은 앞서 언급

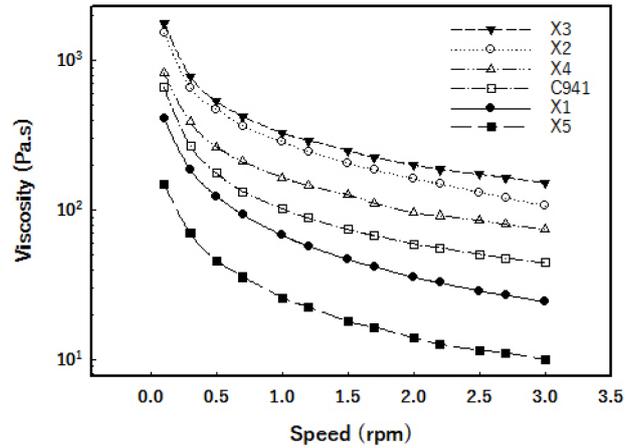


Figure 1. Viscosity of O/W emulsion creams with xanthan, locust bean gum and their mixtures at different spindle speeds.

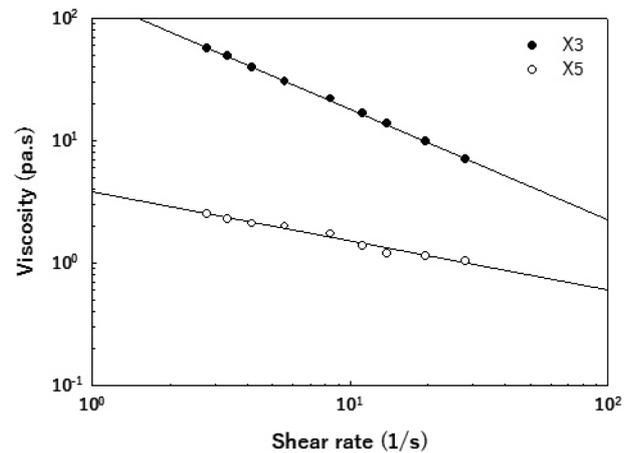


Figure 2. Power law model fits of X3 and X5 (Power law index X3: 0.10, X5: 0.61).

했듯이 젤 네트워크 구조 형성에 의한 것으로, 로커스트 빈검에 있는 치환되지 않은 만노실 잔기(mannosyl residues)서 열과 잔탄검의 이중 나선면(double helicoidal)과의 상호작용이 나타난다고 보고되고 있다.<sup>13,14</sup>

두 천연 검의 혼합에 의해 젤 네트워크 구조를 형성한 크림 제형은 rpm 속도, 즉 전단속도에 따라 점도가 감소하는 전단희박(shear thinning) 현상이 두드러지게 나타났다. 가장 점도가 높은 X3 크림 제형과 가장 점도가 낮게 나타난 X5 크림 제형에 지수법칙 모델(power law model)을 적용하여 전단희박 현상을 수치화한 power law index 값을 구하여 보았다. Power law index 값이 1이면 뉴턴 유체(newtonian fluid)를 나타내고 1 보다 작고 0 값에 가까울수록 전단희박 현상이 크게 나타나는 의가소성(pseudoplastic) 유체로 표현되는 데,<sup>15,16</sup> Figure 2에서 보듯이 X3 크림 제형은 X5 제형에 비해 아주 낮은 index 값을 나타냈다(X3:0.09, X5:0.61). X3 크

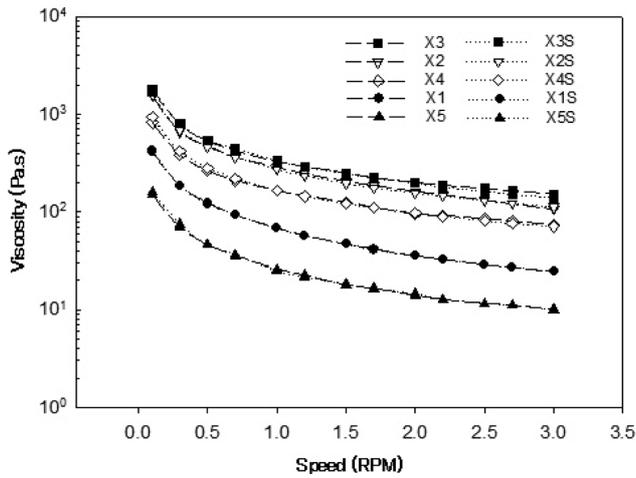


Figure 3. Comparison of the viscosity of O/W emulsion creams before and after being sheared.

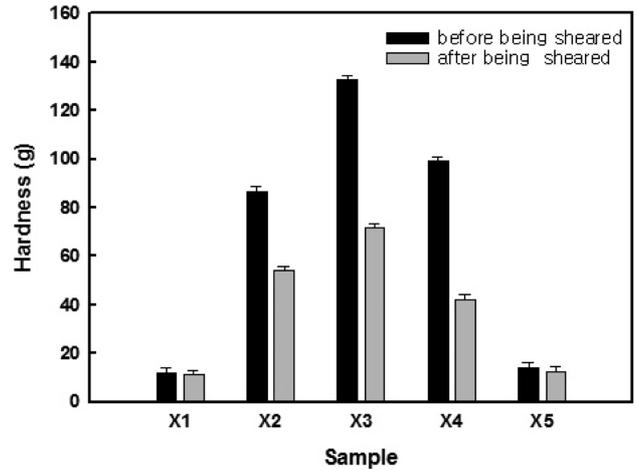


Figure 4. Comparison of the hardness of O/W emulsion creams before and after being sheared.

림 제형은 젤 네트워크 구조를 형성하기 때문에 평상 시 또는 약한 응력 하에서는 점중계 사슬간 네트워크 구조가 그대로 유지되어 높은 점도를 나타내지만 좀 더 강한 응력이 작용하면 약한 물리적 결합의 네트워크 구조가 깨지면서 사슬의 유동성이 좋아져 점도가 낮아지게 된다. 젤과 같이 비교적 높은 점성을 갖는 물질이 피부에 바를 때는 줄과 같이 변하여 점도가 낮아진다면 상대적으로 발림성이 우수한 느낌을 갖게 되는데 power law index 값이 작은 제형일수록 이러한 사용감이 더욱 뚜렷하게 나타난다.

천연 검 혼합에 의해 젤 네트워크 구조를 갖는 O/W 크림 제형에 전단력이 가해졌을 때 물성 변화를 살펴보았다. Figure 3은 전단력을 가하기 전과 후의 크림 제형의 점도 변화를 살펴본 것으로 전단력이 가해져도 점도에서는 거의 큰 변화가 나타나지 않았다. 하지만, 텍스처 측정 실험에서는 가해진 전단력에 의해 크림 제형의 경도가 확연하게 감소하는 결과가 나타났다(Figure 4). 젤 네트워크 구조를 형성하는 제형은 전단력이 가해졌을 때 경도가 크게 감소한 반면, 젤 네트워크 구조를 형성하지 못하는 X1, X5 제형은 전단력을 가해도 경도의 큰 변화는 나타나지 않았다.

텍스처 측정 실험에서 응집성을 살펴본 결과에서도 전단력에 의한 변화가 관측되었다(Figure 5). 응집성은 물질이 어떤 외부 힘에 의해 변형이 일어난 후 외부 힘이 제거될 때 원래 상태로 복원되는 정도를 나타내는데 1에 가까울수록 원래 상태로 완전하게 복구됨을 의미한다. 그림에서 보듯 젤 네트워크 구조를 가지는 X2, X3, X4 크림 제형은 X1, X5에 비해 응집성 값이 낮게 나타났다. X2, X3, X4 크림 제형은 젤 네트워크 구조가 변형을 겪으면서 다시 원래의 젤 네트워크 상태로 복원되는 데 시간이 걸리지만, X1, X5 크림 제형은 젤 네트워크 구조가 아니고 상대적으로 유동성을 지니기 때문에 원래 상태로의 복원이 비교적 빠르게 진행되어 응집성 값이

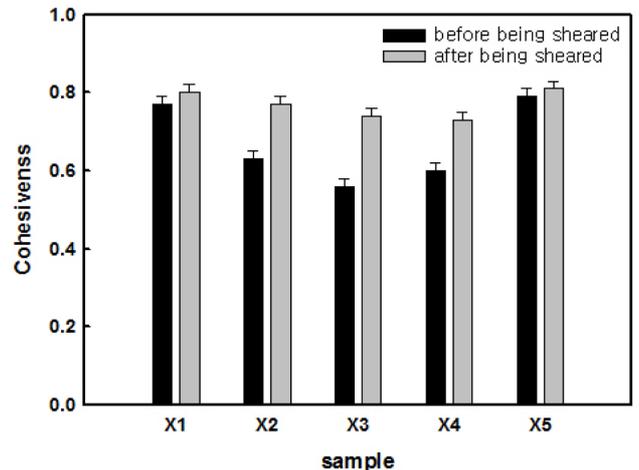


Figure 5. Comparison of the cohesiveness of O/W emulsion creams before and after being sheared.

높게 나타난다. 젤 네트워크 구조의 X2, X3, X4 크림 제형에 전단력을 가하고 난 후, 다시 텍스처를 측정해보니 응집성 값이 높아지는 결과가 나타났다.

이상과 같이 젤 네트워크 구조를 갖는 에멀전 크림 제형에 전단력을 가하면 경도나 응집성 등의 텍스처 변화가 나타나는 원인은 전체적인 3차원적 네트워크 구조가 파괴되면서 입자형 젤이 만들어지기 때문이다. 입자형 젤 형성은 크림 제형에 유동성을 부여하기 때문에 크림 제형의 경도가 낮아지고 응집성이 높아지게 된다. 젤 네트워크 구조를 갖는 에멀전 크림의 유동성과 레올로지 특성은 젤 네트워크의 파괴양상뿐만 아니라 젤 네트워크 구조를 이루는 성분의 분자적 성질, 오일 분산상과 젤 매트릭스간의 상호작용에 의해 영향을 받는다고 보고되어 있다.<sup>17,18</sup> 따라서 젤 네트워크 구조를 갖는 크림 제형에 전단력을 가해서 입자형 젤이 만들어지면 젤

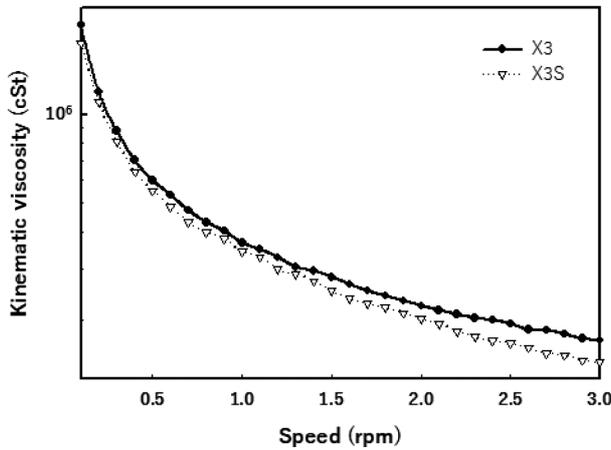


Figure 6. Change in kinematic viscosity of X3 after being sheared.

매트릭스의 구조 변화와 오일 분산상과의 상호작용 등이 변하면서 유변학적 특성 및 텍스처에 많은 변화가 예상되는 것이다.

크림 제형에 전단력을 가하면 입자형 젤이 만들어지고 이로 인해 유동성이 증가하는 결과는 동점도 측정에서도 확인할 수 있었다. 흔히 사용되는 점도는 절대 점도로 이는 유체가 흐름방향에 거슬러 저항하는 끈끈한 정도를 절대적 크기로 나타내는 것에 반해, 동점도는 유체의 유동성 여부를 나타내는 상대적 지표로 동점도가 작을수록 유동성이 좋고 잘 흐름을 나타내게 된다. 크림 제형에 전단력을 가해도 절대 점도에는 변화가 없었지만(Figure 3), 절대 점도를 밀도로 나누어 얻게 되는 동점도 값은 전단력이 가해지면 감소하는 결과가 나타났다(Figure 6). 크림 제형에 전단력을 가하면 입자 젤이 만들어지는 구조적 변화를 겪으면서 크림 제형의 밀도 값이 증가하게 된다(X3: 0.89→0.97 g/cm<sup>3</sup>). 크림 제형에서 젤 구조는 spinodal decomposition 메커니즘의 상분리 초기 단계로 묘사되고 있는데 이런 구조에 전단력을 가하면 젤 구조가 깨지면서 입자형 젤이 전단방향에 맞춰 배열이 일어나기 때문에 밀도가 증가하는 것으로 보인다.<sup>19</sup> 제형의 밀도가 커질수록 운동 모멘텀이 커져 점성 저항(절대점도)이 같은 크기로 작용할지라도 밀도가 큰 제형일수록 저항을 이겨내고 좀 더 유동적으로 변할 수 있게 된다.

화장품 제형에서 경도는 손가락이 크림에 들어갈 때 필요한 힘을 나타내고 점착력은 피부에 얼마나 밀착력 있게 달라붙을 수 있는지를 나타내는 척도로 사용되고 있다. 식품 분야에서는 제형의 경도와 점착력을 비교하면서 경도 대비 점착력 비율이 높을수록 식감이 향상됨을 표현하는데,<sup>20</sup> 화장품에서도 같은 원리로 경도 대비 점착력이 높은 제형일수록 피부에 밀착력이 좋게 부드럽게 사용이 가능하기 때문에 크림성이라는 촉감을 나타내는 지표로 활용할 수 있다. 따라서 여러 크림 제형의 경도 대비 점착력 비율을 비교하여 Figure 7

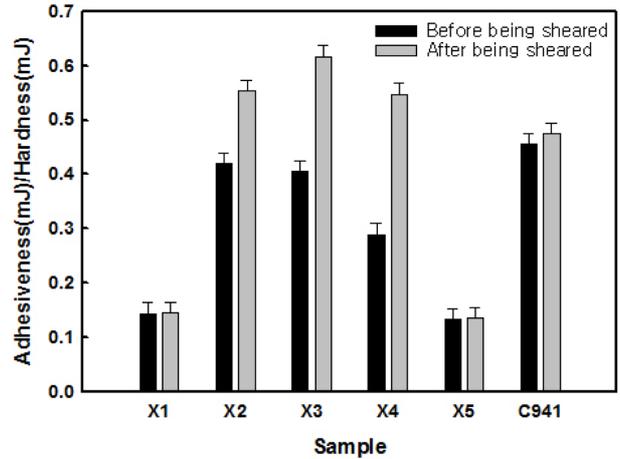


Figure 7. Comparison of the creaminess of O/W emulsion creams before and after being sheared.

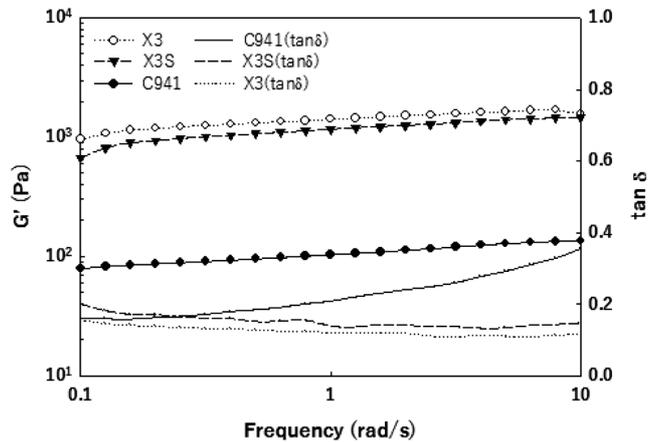


Figure 8. Storage modulus( $G'$ ) and  $\tan\delta$  as a function of frequency for X3, X3S and C941.

에 나타내었다. 잔탄검, 로커스트 빈검 각각으로 만든 제형(X1, X5)은 합성 점증제인 C941 제형에 비해 비율이 현저하게 떨어지지만 이들을 혼합한 X2, X3, X4 크림 제형에서는 크게 개선됨을 볼 수 있었다. 또한 여기에 전단력을 가할 경우 더욱 크림성이 향상되어 합성 점증제보다도 더 좋은 사용감을 기대할 수 있었다. 이는 젤 네트워크가 깨지면서 동시에 젤과 상호작용하는 에멀전 입자들이 방출되면서 크림성이 증가하고 부드러운 감촉을 부여하는 것이다.<sup>21</sup>

가장 견고한 젤 네트워크 구조를 형성하는 X3 크림 제형에 전단력을 가했을 때 점탄성 거동의 변화를 살피기 위해 진동수에 따른 저장탄성률( $G'$ )과  $\tan\delta$  값을 Figure 8에 나타내었다. 젤 구조가 아닌 C941 크림 제형에 비해 X3 크림 제형은 10배 가량 높은 탄성률 값이 나타났다. X3 크림 제형에 전단력을 가하면 탄성을 나타내는 저장 탄성률은 약간 떨어지는 결과가 나타났다. C941 크림 제형은 진동수가 증가하면

서  $\tan\delta$  값이 같이 증가하는 거동을 보이거나, X3 제형은 비교적 낮은 영역의 frequency(0.1~10)에서는  $\tan\delta$  값이 거의 일정하게 유지되는 경향을 보인다. 이를 통해 X3 크림 제형은 일반적 점탄성 특성의 유체가기 보다는 네트워크 구조로 형성된 젤임을 확인할 수 있었다.<sup>22,23</sup> X3 제형에 전단력이 가해지면 손실 탄성률( $G''$ )보다 저장 탄성률( $G'$ ) 감소폭이 크게 나타나므로  $\tan\delta$  값은 상대적으로 높게 나타난다.

## 결 론

O/W 에멀전 크림 제형에 천연 고분자인 잔탄검과 로커스트 빈검을 혼합 사용하면 젤 네트워크 구조가 형성되면서 점도 및 경도가 크게 상승하였다. 또한 천연 고분자를 단독으로 사용할 때보다 power law index 값이 낮게 나타나는데 이를 통해 발립성이 좋은 사용감을 얻을 수 있었다. 젤 네트워크 구조로 이루어진 크림 제형에 전단력을 가하면 입자형 젤이 형성되면서 제형의 유동성이 좋아지고 이로 인해 경도는 낮아지고 응집성과 크림성이 증가하는 등의 사용감이 향상되는 결과가 나타났다. 젤 네트워크에서 입자형 젤로 제형의 구조가 변했을 때, 절대 점도는 거의 변하지 않았다. 따라서 에멀전 크림 제형에 전단력을 가하는 것이 제형의 안정성에는 영향을 미치지 않으면서 사용감을 개선시킬 수 있는 하나의 방법이 될 것으로 보인다.

## 참 고 문 헌

1. T. Tadros, *Adv. Colloid Interface Sci.*, **108**, 227 (2004).
2. S. E. Morgan, K. O. Havelka, and R. Y. Lochhead, Editors, *Cosmetic Nanotechnology: Polymers and Colloids in Cosmetics*, American Chemical Society, Washington, DC, 2007.
3. P. A. Williams, A. M. Stephen, and G. O. Phillips, *Food Polysaccharides and Their Applications*, Talyor & Francis Group, Boca Raton, London, New York, 2006.
4. F. Garcia-Ochoa, V. Santos, J. Casas, and E. Gomez, *Biotechnol. Adv.*, **18**, 549 (2000).
5. B. Ding, Y. Xu, H. Xiong, Z. Xu, and Z. Tian, *J. Texture Stud.*, **43**, 87 (2015).
6. A. Pinheiro, A. Bourbon, C. Rocha, C. Ribeiro, J. Maia, M. Goncalves, J. Teixeira, and A. Vicente, *Carbohydr. Polym.*, **83**, 392 (2011).
7. N. H. Ibrahim, Y. B. Che Man, C. P. Tan, and N. A. Idris, *World Acad. Sci. Eng. Tech.*, **4**, 780 (2010).
8. N. Altmann, J. Cooper-White, D. Dunstan, and J. Stokes, *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, **124**, 129 (2004).
9. I. Norton, D. Jarvis, and T. Foster, *Int. J. Biol. Macromol.*, **26**, 255 (1999).
10. S. G. Ring and G. Stainsby, *J. Sci. Food Agric.*, **36**, 607 (1985).
11. L. Gilbert, G. Savary, M. Grisel, and C. Picard, *Chemom. Intell. Lab. Syst.*, **124**, 21 (2013).
12. V. L. Isaac, J. D. Moraes, B. G. Chiari, D. A. Guglielmi, L. C. Cefali, N. C. Rissi, and M. A. Correa, *J. Dispersion Sci. Technol.*, **34**, 532 (2013).
13. J. Casas and F. Garcia-Ochoa, *J. Sci. Food Agric.*, **79**, 25 (1999).
14. J. Higiro, T. Herald, and S. Alabi, *Food Res. Int.*, **39**, 165 (2006).
15. R. Caenn, H. Darley, and G. R. Gray, *Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids*, 6th Edition, Gulf Professional Publishing, Huston, Texas, 2011.
16. F. Irgens, *Rheology and Non-Newtonian Fluids*, 1st Edition, Springer Science & Business Media, Switzerland, 2013.
17. A. Chojnicka, G. Sala, C. G. d. Kruif, and F. van de Velde, *Food Hydrocolloids*, **23**, 1038 (2009).
18. K.-H. Kim, J. Renkema, and T. V. Vliet, *Food Hydrocolloids*, **15**, 295 (2001).
19. I. T. Norton, D. A. Jarvis, and T. J. Foster, *Int. J. Bio. Macromol.*, **26**, 255 (1999).
20. M. Huang, J. Kennedy, B. Li, X. Xu, and B. Xie, *Carbohydr. Polym.*, **69**, 411 (2007).
21. G. Sala, F. van de Velde, M. A. C. Stuart, and G. A. van Aken, *Food Hydrocolloids*, **21**, 977 (2007).
22. J. Lauger, T. Mezger, S. Will, and K. Wollny, *3rd International Symposium on Food Rheology and Structure*, 125 (2003).
23. C. Schorsch, C. Garnier, and J.-L. Doublier, *Carbohydr. Polym.*, **34**, 165 (1997).