

자외선 차단용 에멀전의 유변학적 성질이 자외선 차단 효과에 미치는 영향

박찬익[†] · 강태준* · 이성재**

(주) 스킨바이오

445-743 경기도 화성시 봉담읍 와우리 산2-2, 수원대학교 첨단과학기술연구원 811호

*LG생활건강 화장품연구소

343-305 대전시 유성구 장동 84

**수원대학교 신소재공학과

445-743 경기도 화성시 봉담읍 와우리 산2-2

(2003년 5월 30일 접수, 2003년 8월 6일 채택)

Effects of Rheological Properties of Emulsions having Sunscreening Agent on Sun Protection Efficacy

Chan Ik Park[†], Tae Jun Kang* and Seong Jae Lee**

Skinbio Ltd., Rm. 811, Lead Science Hall, The University of Suwon, San 2-2, Wau-ri, Bongdam-eup, Hwaseong, Gyeonggi 445-743, Korea

*LG Cosmetics R&D Institute, 84 Jang-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-343, Korea

**Department of Polymer Engineering, The University of Suwon, San 2-2, Wau-ri, Bongdam-eup, Hwaseong, Gyeonggi 445-743, Korea

(Received 30 May 2003; accepted 6 August 2003)

요 약

에멀전 제형의 형태, 점증제의 함량, 오일의 극성 변화에 따른 에멀전의 유변학적 물성이 자외선 차단 효과에 미치는 영향을 고찰하였다. 에멀전을 피부에 도포하는 과정을 유변학적 변수를 이용하여 모사한 값과 실제 측정된 자외선 차단 지수를 비교해 본 결과 도포 후 제형의 회복 능력이 클수록 자외선 차단 효과가 커짐을 알 수 있었다. 또한 오일 종류에 의한 점탄성의 변화보다는 점증제의 함량에 의한 점탄성의 변화가 자외선 차단 효과에 더 영향이 크다는 것을 알 수 있었다. 같은 양의 자외선 차단제를 사용한 경우에도 에멀전의 유변학적 성질에 따라 자외선 차단 효과가 다르게 나타날 수 있었는데, 이는 자외선 차단제의 추가적인 증량 없이도 자외선 차단 효율을 더 높일 수 있음을 확인하는 것이었다.

Abstract – The effects of rheological behavior of emulsions depending on vehicle type, thickener content and oil polarity were investigated on the sunscreen efficacy of emulsions having a sunscreening agent. Rubbing procedure of sun-protecting emulsions on human skin was simulated by using rheological variables and the results were compared with monoprotection factors. It was found that the larger the tendency to return to the original structure of emulsion was, the more the protection efficacy against ultraviolet rays was. Change in rheological properties caused by varying thickener content had more effect on the screening efficacy than that by varying oil type. It was confirmed from this study that even the emulsions containing equivalent amount of sunscreening agent could differ in sun protection efficacy and thus the efficacy to protect against ultraviolet rays could be raised by controlling rheological properties of the emulsions without additional use of sunscreening agent.

Key words: Emulsion, Sunscreening Agent, Ultraviolet Rays, Rheological Properties

1. 서 론

기능성 화장품의 하나인 자외선 차단 제품은 광노화를 일으키는 주원인인 자외선을 효과적으로 차단할 수 있도록 설계한 제품이다. 자외선 차단 제품은 피부를 자외선으로부터 보호해 주는 것이 주된 목적으로 화장품으로서의 가장 중요한 요건인 피부 안전성 및 제형(vehicle)의 안정성, 유용성 등을 기본적으로 갖추어야 한다. 피부를 자외선으로부터

효과적으로 보호하는 방법 중의 하나는 피부에 자외선 차단제를 함유한 물리적인 방어막을 만드는 것이다. 하지만 유기 자외선 차단제는 일소방지용 효과가 있는 반면에 피부에 자극이 있는 물질로 알려져 있다. 따라서 자외선 차단 지수를 높이기 위해 많은 양의 자외선 차단제를 사용하면 그만큼 피부에 자극이 나타날 가능성이 커지게 된다. 또한 물리적으로 자외선 차단 효과를 부여하는 산화아연, 이산화티타늄 등은 파우더로 되어 있으며 이를 많이 바를 경우 백탁 현상이 생기게 된다. 이러한 자극성 완화나 백탁 현상을 최소화하기 위해 가급적 적은 양의 자외선 차단제를 이용하여 자외선 차단 효과를 극대화 하고자 하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그 방법으로는 내수성을 강화하여 지속성

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: gajette@hanmail.net

을 증대시키는 방법[1-3], 분산성을 증대시키는 방법[4, 5] 등이 있다. 특히 일소방지용 화장품의 제형 자체가 자외선 차단 효율에 영향을 줄 수도 있다는 가능성도 제시되는 등[6] 자외선 차단제를 함유하는 제형 자체의 연구가 최근 매우 중요하게 부각되고 있다.

한편 이러한 연구와 아울러 제품의 유변학적 성질을 적절히 조절함으로써 자외선 차단효과를 증대시킬 수 있다는 연구가 이미 행해지고 있으나[7, 8], 유기 자외선 차단제를 이용한 제품에 활용할 수 있는 데이 터는 충분하지 않은 상태이다. 더욱이 국내의 화장품 관련분야에서 이러한 자외선 차단 제형에 관한 물리화학적 연구는 거의 행해지지 않았으며 문헌상으로도 발표된 바가 없는 것으로 파악된다.

이에 본 논문에서는 자외선 차단 효과를 측정하는 기기(radiometer)와 유변물성 측정기(rheometer)를 이용하여 제품의 물리화학적 성질이 유기 자외선 차단제의 자외선 차단 효과에 미치는 영향을 정량적으로 파악하고자 하였다. 즉 자외선 차단제가 피부에 균일하게 도포되어 일정하게 유지되는 상태와 피부 주름과 같은 피부요철 방향으로 흘러 피부에 불균일하게 도포된 상태는 자외선 차단 효과에 차이가 있을 것이라는 가정하에 연구를 시작하였다. 본 연구에서는 유기 자외선 차단제인 octyl methoxycinnamate를 제형별(vehicle type) 즉, 자외선 차단 화장품에서 가장 많이 사용하고 있는 제형인 O/W형 에멀전과 W/O 에멀전에 넣을 경우 및 점증제 함량별, 오일의 극성별로 각각 실험을 행하여 자외선 차단 효율을 비교 검토하였다.

2. 실험

2-1. 자외선 차단 에멀전의 제조

본 연구에서 대상으로 하는 에멀전은 크게 O/W 에멀전(oil-in-water emulsion)과 W/O 에멀전(water-in-oil emulsion)으로 나눌 수 있는데 이들의 제조방법은 각각의 특성에 맞추어 구성하였다.

2-1-1. O/W 에멀전의 제조

에멀전의 제조는 수용액상(aqueous phase)과 오일상(oil phase)을 80℃까지 가열한 후, 수용액상에 오일상을 서서히 가한 후 호모믹서(homomixer)를 이용하여 3,500 rpm으로 2분간 유화시키면서 triethanolamine (BASF)을 후첨한 후 다시 2분간 유화시켰다. 이후 에멀전을 28℃까지 냉각하여 종료하였다. 사용한 물질로는 오일상에는 octyl methoxycinnamate (Parsol MCX, Roche)와 caprylic/capric triglyceride (Lexol GT 865, Inolex), VP/eicosene copolymer (Antaron V-220, International Specialty Product), mineral oil (Drakeol-7, Penreco), cetyl octanonate (Cetiol SN 1, Cognis Cave Chemicals), dimethicone (DC 200 Fluid, Dow Corning), polysorbate 60 (Tween 60, Uniquema Americas) 및 sorbitan sesquioleate (Arlacel 83, ICI)를 사용하였다. 수용액상에는 butylene glycol (Secma), glycerin (LG chemicals), carbomer (BF Goodrich) 및 triethanolamine을 사용하였다. 상기 물질의 조성을 Table 1에 정리하여 나타내었다.

2-1-2. W/O 에멀전의 제조

유사한 방법으로 수용액상과 오일상을 78℃까지 가열한 후, 오일상

Table 1. Ingredients and composition of O/W emulsions

Phase	Ingredients	SC01	SC02
Oil phase	Octyl methoxycinnamate	7.0	7.0
	Caprylic/capric triglyceride	3.0	3.0
	VP/eicosene copolymer	-	0.5
	Mineral oil	3.0	3.0
	Cetyl octanonate	3.0	3.0
	Dimethicone	0.3	0.3
	Polysorbate 60	1.5	1.5
	Sorbitan sesquioleate	0.5	0.5
	D. I. water	to 102	to 102
Water phase	Butylene glycol	3.0	3.0
	Glycerine	2.0	2.0
	Carbomer	0.12	0.12
	Triethanolamine	0.28	0.28

에 수용액상을 서서히 가하면서 호모믹서를 3,500 rpm으로 4분간 유화시켰다. 유화 후 28℃까지 냉각하여 종료하였다. 오일상에는 cyclomethicone (Dow Corning), mineral oil, isononyl isononanoate (KAK99, Kokyu Alcohol), octyl methoxycinnamate, glyceryl diisostearate (GWIS-E200EX, Nihon Emulsion), cetyl dimethicone copolyol (Abil EM 90, Goldschmidt) 및 quaternium-18 bentonite (Clayton 40, Southern Clay)를 사용하였고, 수용액상에는 glycerin을 사용하였다. Table 2에 상기 물질의 조성을 정리하여 나타내었다.

2-2. 자외선 차단 지수 측정

광원은 자외선 A, B가 연속적으로 방사되는 xe arc lamp를 사용하였다. 각 시료는 인체의 피부표면을 유사하게 모사하며 주성분이 피부와 같은 단백질로 구성된 인공피부인 Vitro Skin™에 2 mg/cm²로 수술용 장갑을 사용하여 도포하였다. 시료 도포 후 15분간 공기 중에서 건조시킨 다음 자외선 차단정도를 측정하였다. Detector로는 적분구 및 monochromator를 장착한 radiometer를 사용하였으며 자외선 차단정도는 Diffey's method[9]를 변형하여 측정하였다. 특히 본 측정 방법은 인공피부에 시료를 도포한 상태로 파장 scanning이 가능하여 각 파장에서 제형에 따른 자외선 차단정도를 측정함으로써 자외선 차단 효과를 예측하였다.

2-3. 에멀전의 유변학적 거동 측정

에멀전의 유변학적 거동은 유변물성 측정기인 RheoStress 50(HAAKE) 모델을 이용하였다. 지름이 35 mm이고 기울기가 1°인 콘(cone)을 이용하였으며 콘과 평판(plate) 사이의 측정거리는 57 μm로 실험종료까지 일정하게 유지시켰다. 온도는 Peltier 시스템을 이용하여 25±0.1℃로 일정하게 유지하였다. 각 샘플을 평판 위에 놓고 측정거리까지 평판을 이동시키다 콘과 평판의 거리가 1,000 μm가 될 때부터 1분에 300 μm씩 평판이 상승하도록 속도를 조절하였다. 샘플이 측정거리에 도달한

Table 2. Ingredients and composition of W/O emulsions

Phase	Ingredients	SC03	SC04	SC05	SC06	SC07
Oil phase	Cyclomethicone	25.0	25.0	25.0	-	-
	Mineral oil	-	-	-	25.0	-
	Isononyl isononanoate	-	-	-	-	25.0
	Octyl methoxycinnamate	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
	Glyceryl diisostearate	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	Cetyl dimethicone copolyol	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	Quaternium-18 bentonite	-	0.35	0.7	0.35	0.35
Water phase	D. I. water	to 102	to 102	to 102	to 102	to 102
	Glycerine	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0

Table 3. Measurement procedure of rheological properties of an emulsion

Procedure	Physical meaning
Place an emulsion on plate	Place an emulsion on skin
Wait for a minute	Recover initial structure destroyed by the action of placing the emulsion
Measure viscosities at the constant shear rate of $1,000 \text{ s}^{-1}$ for 20 sec	Apply the emulsion on skin
Wait for a minute	Recover initial structure destroyed by the action of application
Conduct stress sweep test on the emulsion within the range of 0.1 to 1.0 Pa	Check the degree of recovery of the emulsion

때부터 1분간 기다린 후에 측정을 시작하였다. 주된 측정방법은 다음과 같다. 우선 $1,000 \text{ s}^{-1}$ 의 일정한 전단속도로 20초간 점도를 측정하였다. 이 실험은 손에 실제로 크림을 문지른 때를 모사한 것으로, 전단속도를 $1,000 \text{ s}^{-1}$ 로 유지시킨 이유는 피부에 크림을 도포할 때의 속도가 대략 이 정도에 해당하기 때문이다[7]. 이 실험을 한 후 1분간 기다렸다가 진동시험 양식(oscillatory mode)으로 응력 스위프(stress sweep)를 행하였다. 응력 스위프의 범위는 $0.1\text{--}1 \text{ Pa}$ 까지이며 낮은 범위의 전단응력을 가한 이유는 가하는 전단응력에 의해 구조를 파괴하지 않는 범위 내에서, 시간이 지남에 따라 회복되는 샘플 내의 모듈러스 값을 구하기 위함이다. 바꾸어 말하면, 두 번째 실험은 피부에 크림을 문지르고 1분을 기다린 후 크림이 얼마만큼 원래의 구조로 되돌아갔는가를 모사하는 실험이다. 반복회수는 1회였으며 측정 포인트간 쉬는 시간은 두지 않았다. 각 실험은 각 2회씩 반복하였으며 큰 차이가 없는 한 평균값을 이용했다. Table 3은 이상의 실험방법을 요약하여 정리한 것이다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 자외선 차단 효과

Fig. 1에서 볼 수 있듯이 유기 자외선 차단제인 octyl methoxycinnamate를 동일한 양으로 각 제형에 사용할 경우 O/W 에멀전의 경우보다 W/O 에멀전의 경우가 자외선 차단 효과가 우수함을 알 수 있었다. 또한 O/W 에멀전에서는 내수성 향상을 위해 사용한 VP/eicosene copolymer 적용에 따라 자외선 차단 효과 유의차가 없었던 반면 W/O 에멀전에서는 quaternium-18 bentonite 함량 증가에 따라 자외선 차단 효과가 증가하였다. 이 현상은 유기 자외선 차단제인 octyl methoxycinnamate가 오일상에 존재하게 되므로 외상인 연속상(continuous phase)이 오일상일 경우 자외선 차단 효율이 높아지게 된다는 것을 의미한다. 또한 octyl methoxycinnamate를 포함한 대부분의 자외선 차단제가 유용성이므로 자외선 차단제 제형으로서는 W/O 에멀전이 적당하다고 사료된다.

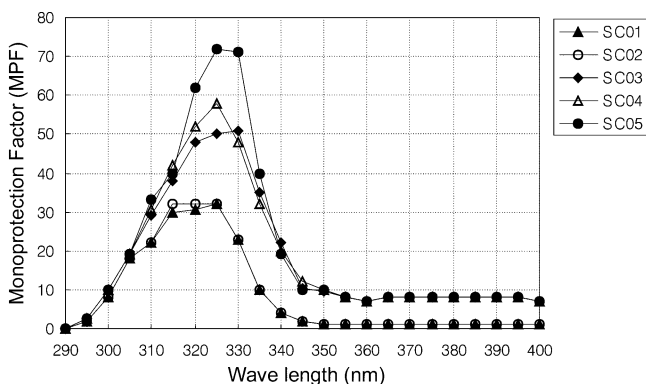


Fig. 1. Effects of vehicle type (O/W emulsions: SC01 and SC02; W/O emulsions: SC03, SC04 and SC05) and thickener content (copolymer content of 0 and 0.5 for SC01 and SC02; bentonite content of 0, 0.35 and 0.7 for SC03, SC04 and SC05) on UV protection.

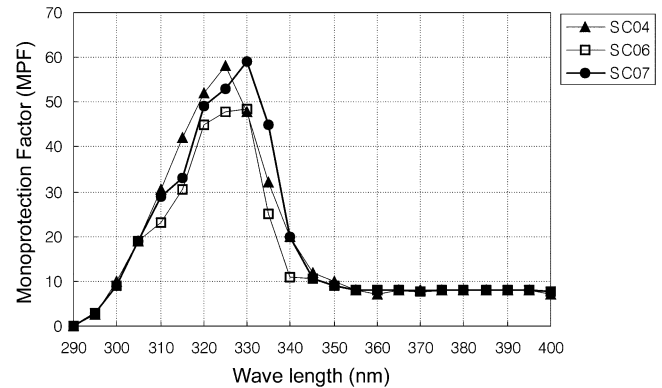


Fig. 2. Effect of oil polarity (SC04: cyclomethicone; SC06: mineral oil; SC07: isononyl isononanoate) on UV protection.

Fig. 2는 W/O 에멀전에 대하여 오일 종류별로 자외선 차단 효과를 측정 한 그래프로서 대표적인 비극성 오일인 미네랄 오일보다 극성 오일인 isononyl isononanoate가 유의차 있게 우수한 자외선 차단 효과를 나타냄을 알 수 있었다. 특이한 것은 휘발성 실리콘 오일인 cyclomethicone을 적용한 경우 탄화수소 계통의 오일에 비해서 흡광도의 피크가 단파장 쪽으로 이동함을 확인할 수 있었다. 이처럼 흡광도 피크가 단파장 영역으로 이동한 이유에 대해서는 추가적인 연구가 필요해 보이며 이러한 단파장 영역으로 흡광도 피크가 이동하는 성질은 좀 더 파장이 작은 UV B 차단에 실리콘 오일이 효과적으로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

3-2. 유변학적 거동

점층제 함량에 따른 O/W 에멀전에 대한 점도, 복소 모듈러스 및 손실각을 측정 한 결과 Fig. 3에서와 같이 VP/eicosene copolymer 적용 시 점도가 1.5배 정도 높았고 복소 모듈러스가 약 2배 정도 높았으나 손실각은 큰 차이가 없게 나타났다. 복소 모듈러스(G^*)는 자외선 차단제가 피부에 도포된 후 구조를 회복하려는 성분을 의미하는 저장 모듈러스(G')와 회복되지 않는 성분을 의미하는 손실 모듈러스(G'')와 다음 식 (1)의 관계를 가지므로 복소 모듈러스의 크기는 식 (2)와 같이 표현된다.

$$G^* = G' + iG'' \quad (1)$$

$$|G^*| = (G'^2 + G''^2)^{1/2} \quad (2)$$

또한 점성과 탄성의 상대적인 비를 나타내는 손실각(δ)은 0° 에 가까울수록 탄성체의 성질에 유사하게 되고 90° 에 가까울수록 순수 점성 액체의 성질에 유사하게 된다[10]. 손실각을 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\delta = \tan^{-1} \frac{G''}{G'} \quad (3)$$

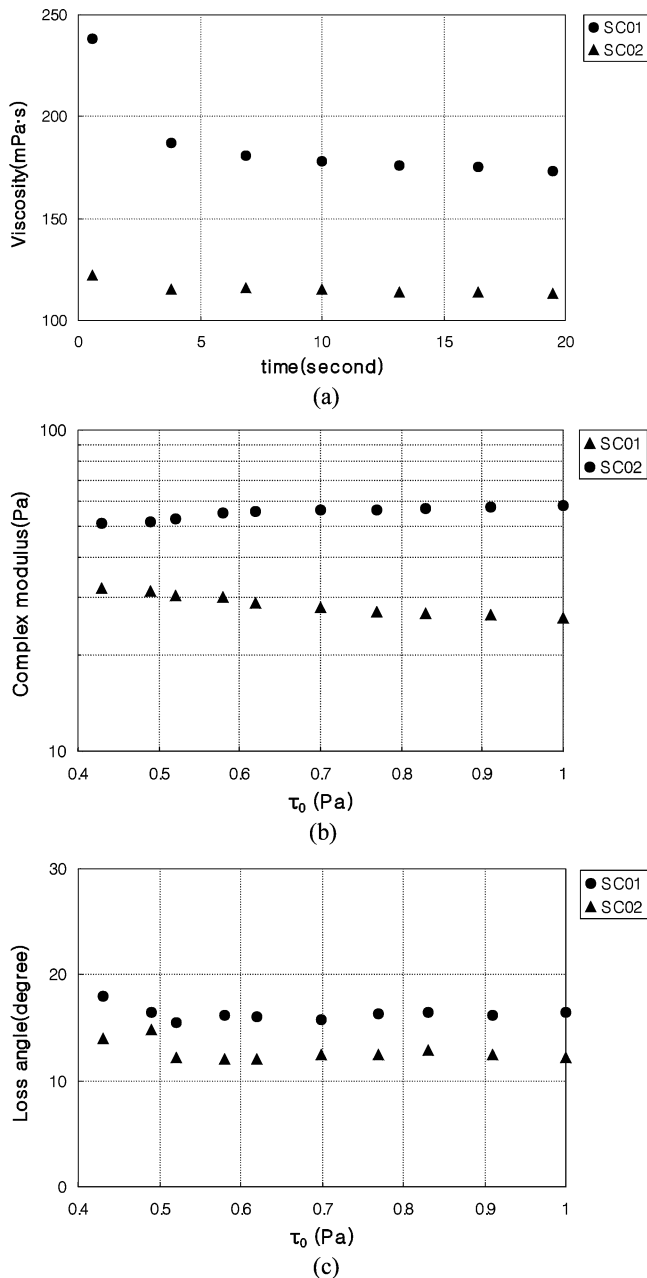


Fig. 3. Rheological behaviors of O/W emulsions showing the effect of thickener content: (a) viscosity change with time, (b) complex modulus change, and (c) loss angle change.

여기서 저장 모듈러스는 변형된 에너지를 저장하는 정도 즉 탄성을 나타내며 손실 모듈러스는 변형된 에너지를 소산하는 정도인 점성을 나타낸다. Fig. 1에서 알 수 있듯이 O/W 에멀전의 경우에는 자외선 차단 효과가 유의차 없이 나타났다. 이는 O/W 에멀전의 경우 유기 자외선 차단제가 분산상인 내상에 존재하게 되므로 O/W 에멀전의 유변학적 거동이 자외선 차단 효과에 미치는 영향은 W/O 에멀전의 경우에 비해 그 영향력이 작다는 것을 의미한다. 아울러 문지를 때의 점도값이나 문지른 후의 복소 모듈러스값은 큰 차이를 보였지만 에멀전의 점성과 탄성의 비를 나타내어 주는 손실각의 차이는 그다지 크지 않았다. 따라서 피부에서 균일하게 도포되어 있는 경향은 VP/eicosene copolymer의 적용 전후에 별다른 차이가 없는 것으로 파악된다.

W/O 에멀전의 경우 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 quaternium-18 bentonite

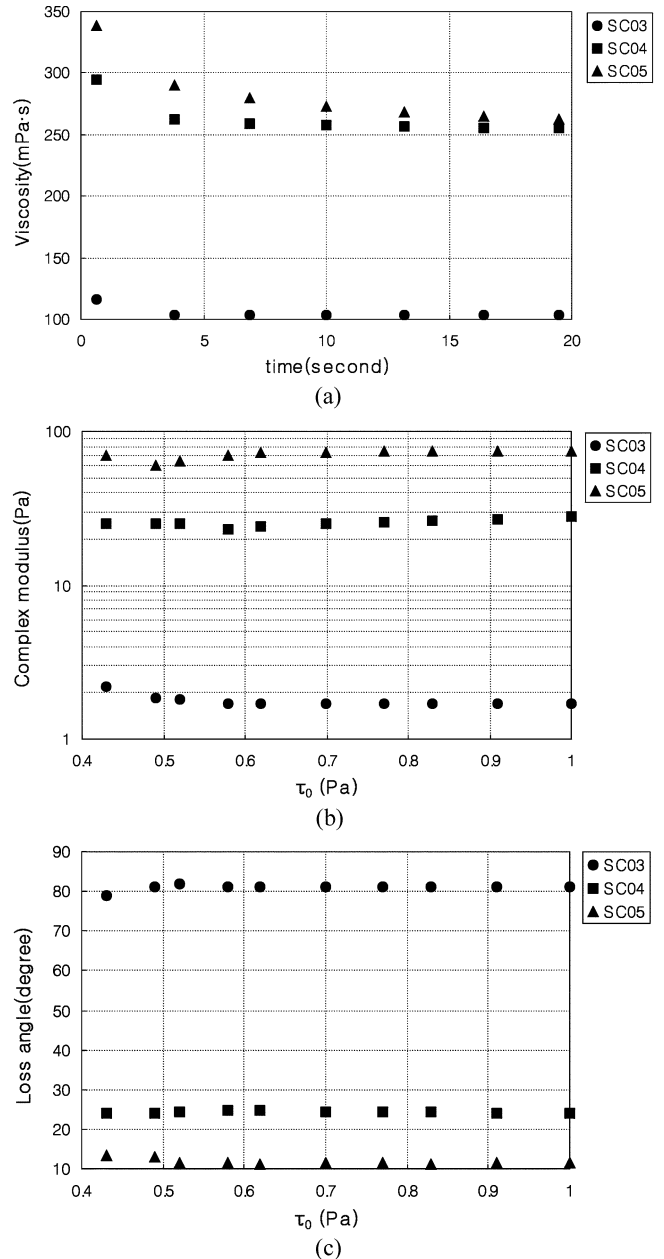


Fig. 4. Rheological behaviors of W/O emulsions showing the effect of thickener content: (a) viscosity change with time, (b) complex modulus change, and (c) loss angle change.

를 적용할 때 적용 전에 비해 점도가 2.5배 증가하였고 이후 추가적인 함량 증가에는 점도 증가가 크지 않았으며 복소 모듈러스는 적용 전에 비해 10배 이상 증가했고 추가적인 함량 증가시에도 3배 정도 증가하였다. 손실각 역시 큰 유의차를 보였으며 quaternium-18 bentonite를 적용할 때 적용 전에 비해 손실각이 약 80°에서 25°로 급격히 감소한 사실로부터 점성의 증가보다 탄성의 증가가 현저함을 식 (3)으로부터 확인할 수 있으며 추가적인 함량 증가시 손실각이 10° 정도로 감소한 사실로부터 에멀전의 탄성이 계속하여 증가하고 있음을 알 수 있었다. Fig. 1에서 나타난 바와 같이 점증제 증가에 따라 자외선 차단 효과가 증진된 이유는 점증제의 함량이 증가함에 따라 복소 모듈러스가 증가하고 손실각이 감소한 결과로부터 추론할 수 있었다. 즉 quaternium-18 bentonite의 함량 증가시 에멀전의 점성에 비해 탄성이 현저하게 증가하여 에멀

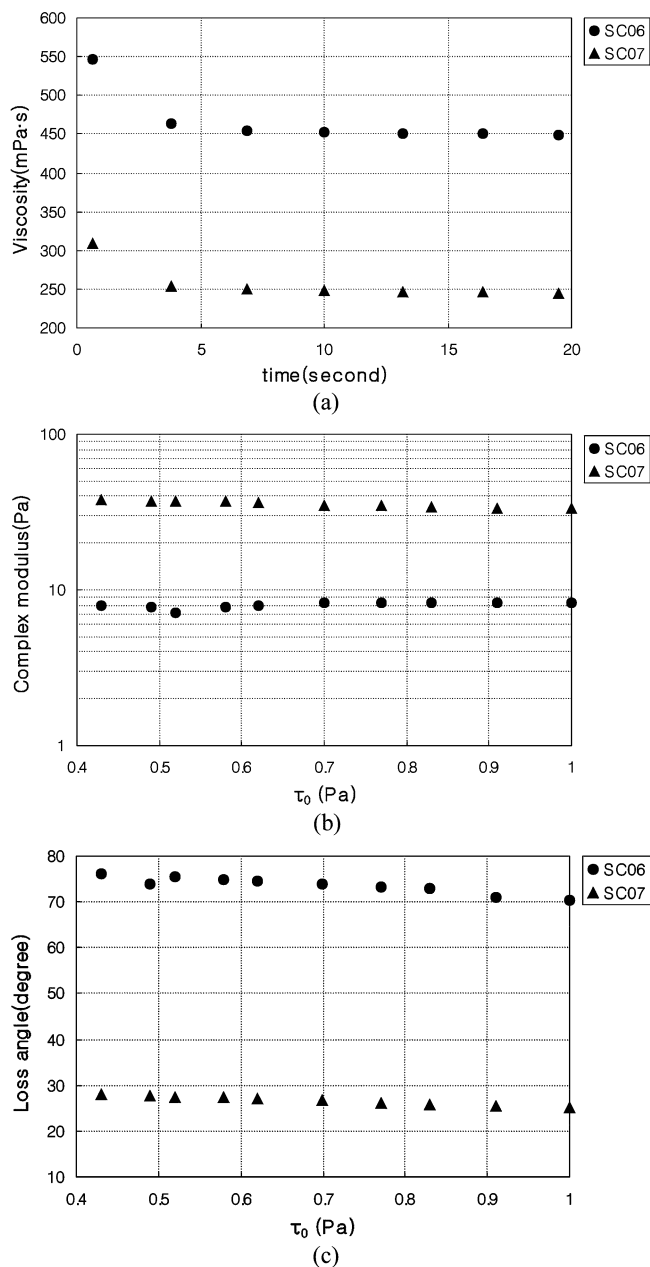


Fig. 5. Rheological behaviors of W/O emulsions showing the effect of oil polarity: (a) viscosity change with time, (b) complex modulus change, and (c) loss angle change.

전이 피부에 도포된 후 구조를 회복하려는 경향이 강하게 되어 결과적으로 균일한 차단막을 형성시켜 자외선 차단 효과가 증대된 것으로 이해된다.

오일의 종류를 변화시켜가며 제조한 W/O 에멀전 제형에서의 점도, 복소 모듈러스 및 손실각을 측정하는 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 비극성 오일인 미네랄 오일이 비교적 높은 점도값을 나타내었고 극성 오일인 isononyl isononanoate의 경우 상대적으로 낮은 점도값을 나타내었다. 복소 모듈러스 측정에서는 미네랄 오일이 상대적으로 낮은 값을 나타냈고 isononyl isononanoate의 경우 미네랄 오일에 비해 20배 정도 높은 값을 나타내었다. 손실각은 미네랄 오일이 70°에 가까워 탄성보다 점성의 성질이 컸고 isononyl isononanoate는 25°에 가까워 탄성이 상대적으로 크게 나타났다. 즉 미네랄 오일은 에멀전에서 흐름에 대한 저항은 높

여 주지만 에멀전의 내부 구조가 외부 응력에 의해 파괴된 후 다시 구조를 회복하게 하는 역할은 isononyl isononanoate에 비해 훨씬 작음을 알 수 있다. 구조를 회복하려는 경향이 작아지면 자외선 차단제가 처음 도포된 상태의 균일함을 유지할 수 없게 되어 피부 주름과 같은 피부 요철 방향으로 흐르게 되어 자외선 차단 효과를 제대로 발휘할 수 없게 된다. 실제로 오일의 종류에 따른 자외선 차단효과의 실험에서는 Fig. 2에서 나타났듯이 isononyl isononanoate를 사용하여 제조한 W/O 에멀전이 미네랄 오일을 사용한 W/O 에멀전보다 우수한 차단 효과를 나타내었다. 전단속도 $1,000 \text{ s}^{-1}$ 에서 점도가 낮아 잘 흐르게 되어 피부에 쉽게 도포되며 모듈러스가 크고 손실각이 작아 구조를 취하거나 회복하려는 성질이 강해 우수한 결과를 나타내었다고 판단된다. 실제로 자외선 차단 에멀전을 피부에 도포한 결과 피부에 흡수되는 양은 거의 무시할 수 있으며 증발되는 양을 제외한 대부분의 내용물이 피부 위에 도포된 채로 일정한 두께의 얇은 막을 형성하여 존재하였다. 따라서 자외선 차단제가 함유된 에멀전을 피부에 도포할 때는 자외선 차단제도 함께 도포되어 피부위에 균일하게 자외선 차단막을 형성하게 되므로, 자외선 차단 효과를 증가시키기 위해서는 에멀전을 피부에 도포한 후 에멀전의 내부구조가 회복되어 피부에 탄성이 강한 자외선 차단막을 형성하는 구조가 되어야 한다고 사료된다.

4. 결 론

에멀전 제형 자체의 유변학적 성질이 유기 자외선 차단제의 자외선 차단 효과에 미치는 영향을 평가하기 위해 유변학적인 실험과 자외선 차단 지수를 측정하는 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 자외선 차단제가 외상인 연속상에 존재할 경우 자외선 차단 효율이 높아졌으며 대부분의 자외선 차단제가 유용성인 것을 감안하면 W/O 에멀전이 자외선 차단 제형으로 적당한 것으로 사료된다.
- (2) 오일의 극성을 이용하여 점탄성을 형성하는 것보다 점증제를 이용하여 점탄성을 부여하는 것이 자외선 차단 효과에 더 큰 영향을 주었으며 동량의 자외선 차단제를 함유하는 W/O 제형이라도 피부에 도포 후 제형이 나타내는 구조의 복원력에 따라 서로 다른 자외선 차단 효율을 나타내었다.
- (3) 본 실험 결과를 활용하면 자외선 차단제의 중량 없이도 자외선 차단 효율을 더 높일 수 있는 제품의 개발이 가능할 것으로 기대하며, 특히 이러한 차단 효과 증대현상은 낮은 자외선 차단 효과영역보다 높은 자외선 차단 효과영역에서 더 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

감 사

본 연구는 한국과학재단(KOSEF)에서 지정한 우수연구센터(ERC)인 유변공정연구센터(applied rheology center)의 부분적인 연구지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Kaplan, C., "Substantive Topical Compositions," U.S. Patent No. 4,522,807 (1985).
2. Dahms, G. H., "Properties of Oil-in-Water Emulsions with Anisotropic Lamellar Phases," *Cosm. Toil.*, **101**(11), 113-115(1986).
3. Dahms, G. H., "Formulating with a Physical Sun Block," *Cosm. Toil.*, **107**(10), 87-92(1992).
4. Floyd, D. T., Sarnecki, B. J. and Macpherson, B. A., "Getting the

- Most from Your Screens,” *Soap, Perfumery & Cosmetics*, **69**(3), 27-31(1996).
5. Hewitt, J. P., “The Influence of Emollients on Dispersion of Physical Sunscreens,” *Drug & Cosmetic Industry*, **159**(3), 62-66(1996).
6. In FDC Reports, “Biologically ‘Neutral’ Sunscreen Vehicles May Increase Product Efficiency,” *The Rose Sheet*, **17**(40), 13-14(1996).
7. Hewitt, J. P. and Dahms, G. H., “Rheology-Its Effect on Physical SPF’s,” *Soap, Perfumery & Cosmetics*, **69**(3), 23-25(1996).
8. Walele, I. I. and Syed, S. A., “Delivery System for Inorganic Sunscreens,” U.S.Patent No. 6,261,713(2001).
9. Diffey, B. L. and Robson, J., “A New Substrate to Measure Sunscreen Protection Factors throughout the Ultraviolet Spectrum,” *J. Soc. Cosmet. Chem.*, **40**, 127-133(1989).
10. Park, C. I., *Rheology for Cosmetic Science and Technology*, 2nd Ed., Sungkyun Publishers, Suwon, 1-140(2001).