

Sodium bis-(2-ethylhexyl)sulfosuccinate-water 미셀의 유변학적인 성질 분석

김남정[†]

삼육대학교 화학과

Analysis for Rheological Properties of Sodium bis-(2-ethylhexyl)sulfosuccinate-water Micelles

Nam Jeong Kim[†]

Department of Chemistry, Sahmyook University, 26-21, Kongrungs2-dong, Nowon-gu, Seoul 138-742, Korea

The non-Newtonian flow curves of sodium bis-(2-ethylhexyl)sulfosuccinate-water lamellar liquid crystals were obtained in various concentrations and temperatures by using a cone-plate rheometer. By applying non-Newtonian flow equation to the flow curves for AOT-water lamellar liquid crystal samples, the rheological parameters, diffusion coefficient and thermodynamic parameters were obtained. Particular attention is given to the hysteresis loop detected when the liquid crystal samples are shear under increasing-decreasing shear stress modes which result in thixotropic and antithixotropic behavior. AOT-water lamellar liquid crystals behave as weak gels when they are subjected to shear flow, but when the applied stress surpasses the yield stress, they exhibit non-linear viscoelasticity. Upon decreasing shear rate, the dispersion still preserves much of its structure and consequently its shear stress remains higher than the values measured in the increasing shear rate mode.

Key words: sodium bis-(2-ethylhexyl)sulfosuccinate, rheometer, thixotropic, antithixotropic

1. 서 론

Bang 등¹⁾은 Ree-Eyring 이론에 근거하여 유도한 dilatant flow 방정식을 제시하였고, 그것을 starch-물 서스펜션 계에 적용하였으며 shear에 따라 dilatancy로부터 thixotropy로의 flow 전환이 일어나는 것을 연구, 조사하여 실험적 결과와 이론적인 해석을 고찰하였다. 영국의 유체역학자인 레이놀즈²⁾는 19세기 말에 물에 젖은 모래알에서 보여지는 거동에 관한 연구에서 외력의 작용에 의하여 모래가 젖는 외관상체적이 증가하는 현상을 관찰하였고, 이 현상을 부푼다는 뜻을 갖는 dilatancy라고 이름지었다. 독일의 Freundlich³⁾는 콜로이드에 관하여 연구하던 중, 젤라틴 용액에서 관찰되는 졸-겔 변환이 기계적 충동에 의해 등은 가역적으로 변하는 현상을 관찰하였고, 이 현상을 혼든다 또는 변한 다라는 뜻을 갖는 thixotropy라고 이름지었다.^{4,6)}

dilatancy와 thixotropy 모두 기계적 응력에 의해 가역적으로 상태를 바꾸는 현상이다. dilatancy는 정지 상태에서 유체의 상태로 안정해지는 반면, thixotropy는 정지 상태에서 강체의 상태로 안정해진다. 또 dilatancy를 나타내는 분산계에서는 입자가 분산 용매 속에서 침강하여 뭉뭉한 집합을 이루는데 반해, thixotropy를 나타내는 분산계에서는 입자가 느슨한 집합을 한다. 외부에서 힘을 가할 때, dilatancy의 경우 구조가 생기는 변화가 일어나는 반면, thixotropy의 경우 구조가 깨지는 변화가 일어난다. 정지 상태에서의 안정성은 입자의 크기, 형태, 표면의 성질, 분산매의 성질 등에 의한다. dilatancy 계에서는 대체로 입자가 비교적 거칠고 매질의 액체에 의해 젖기 쉬운 것이 유리한 조건인 데 반해, thixotropy 계에서는 대체로 입자가 비교적 작고, 또 평판형, 봉형의 모양을 갖는 것과, 입자간에 응착력이 작용하는 것이 유리한 조건이다. 그리고, dilatancy

[†]To whom correspondence should be addressed.

나 thixotropy 모두 시간인자에 영향을 받는 특징을 갖고 있다.^{7,8)}

일반적으로 non-Newtonian 유동현상은 shear rate가 증가함에 따라 flow unit들의 구조가 형성되며 점도가 증가되는 dilatancy현상과 구조가 깨져 점도가 감소하는 thixotropy현상으로 나눌 수 있는데, 콜로이드계의 flow unit들이 두 현상을 복합적으로 나타낸다. 이들 두 현상이 shear rate 증가에 따라 thixotropy로 반전되는 물질이 있으며 최근에 Bang⁹⁾ 등이 이러한 현상들을 이론적으로 규명한 바 있다. thixotropy현상¹⁰⁻¹²⁾은 페인트, 화장품, 잉크, 플라스틱 및 마요네즈 등에서 나타나는 시간 의존성 shear thinning현상이다. thixotropy현상에 대한 연구는 처음에는 비탄성 유동계에서 시작하였지만 지금은 고분자 용액과 같은 점탄성 유동계 뿐 아니라 점탄성 고체의 변형과 연관되어 연구가 발전되어 가고 있다. Ree와 Eyring^{13,14)}은 절대반응속도의 활성화 이론을 불균일한 유동계에 적용시킨 일반화 된 점도식을 제안했으며, 이로부터 Hahn 등¹⁵⁾은 thixotropy물질에 대한 flow mechanism을 제안하여¹⁶⁾ thixotropy 이론식을 유도한 바 있다.

본 연구에서는 sodium bis-(2-ethylhexyl)sulfosuccinate lamella liquid crystals-물 서스펜션 계가 전단 속도가 증가함에 따라 thixotropy로부터 dilatancy로의 flow 전환 현상이 나타내는 것을 thixotropy에서 dilatancy로의 전환을 표현하는 유동 방정식을 이용하여 유변학적인 parameter를 구하였다. 이러한 유변학적인 parameter로부터 자체 확산 계수 D와 hole volume V_h 를 구할 수 있다. thixotropy에서 dilatancy로 전환되는 이론적인 유동 곡선은 유변학적인 parameter를 다시 유동 방정식에 대입함으로써 얻는다.

2. 이 론

2.1. non-Newtonian flow 방정식(Ree-Eyring 이론)

Eyring의 방정식에 따르면 전단 속도는

$$\dot{S} = \left(\frac{\lambda}{\lambda_1} \right) 2k_1' \sinh(\alpha_i f_i) \quad (1)$$

이다. 여기서, k_1' 은 flow unit중의 i 번째 group에 속하는 한 개의 unit의 flow process에 대한 속도 상수이고, $\alpha_i = (\lambda\lambda_2\lambda_3)/2kT$ 이다. 또한, λ_1 , λ_2 , λ_3 및 λ 는 비슷한 분자 parameter이며, parameter와 삼입구 밖의

첨자 i 는 그 값들이 i 번째 group의 flow unit에 속함을 의미하는 것이다.

i 번째 group에 속한 flow unit에 작용하는 힘은 $X_i f_i$ 이며, 따라서 전체 응력 f 는

$$f = \sum_{i=1}^N X_i f_i \quad (2)$$

으로 나타내어지는데, 여기서 X_i 는 i 번째 group의 mole fraction이 된다. 이때, (2)식에 대해 (1)식으로부터 정리한 f_N 을 대입하면, 다음의 식이 얻어진다.

$$f = \sum_{i=1}^N \left(\frac{X_i}{\alpha_i} \right) \sinh^{-1}(\beta_i \dot{S}) \quad (3)$$

여기서, $\beta_i = 1/[(\lambda/\lambda_1)2k_1']$ 이 되는데, 그것은 N 번째 group의 완화 시간을 의미하는 것이다.

2.2. Newtonian flow unit

(3)식을 다시 써보면 다음과 같다.

$$f = \sum_{i=1}^N \frac{X_i \beta_i \dot{S} \sinh^{-1}(\beta_i \dot{S})}{\alpha_i \beta_i \dot{S}} \quad (4)$$

(4)식 중 함수 $(\sinh^{-1}X)/X$ 는 다음과 같은 성질이 있다.

$$\lim_{\beta_i \dot{S} \rightarrow 0} \frac{\sinh^{-1}(\beta_i \dot{S})}{\beta_i \dot{S}} = 1 \quad (5)$$

이 특성으로 인하여 $\beta_i \dot{S} \ll 1$ 인 조건에 대한 flow unit 1은 Newtonian flow unit로서 역할을 한다. 때문에 Newtonian flow unit의 응력 f_1 은

$$f_1 = \left(\frac{X_1 \beta_1}{\alpha_1} \right) \dot{S} \quad (6)$$

이다.

2.3. Non-Newtonian flow unit

전단 속도가 증가함에 따라 내부의 구조적 변화가 존재함이 가정될 수 있다. 그러한 구조적 변화가 일어난다면, shear에 의해 일(work)이 행해지는 것이다. 그 구조적 변화를 위해 필요한 일은 strain energy로서 W 로 나타내지며, 그 strain energy는 다음 식으로 계산된다.

$$W = \int_0^{\dot{S}} f d\dot{S} = \int_0^{\dot{S}} G \dot{S} d\dot{S} = G \frac{(\dot{S})^2}{2k_f^2} = C \dot{S}^2 \quad (7)$$

여기서, G 는 spring constant이고, S 는 구조적 변화가

일어나는 molecular displacement로서, $S = \gamma S' / k_1'$ 으로 표현되며, 이때의 γ 는 비례상수이다. 그런데 그 때의 S 에 대한 식은 전단 응력에 의해 행해진 단위 시간당 molecular 또는 granular displacement가 전단 속도에 직접적으로 비례한다는 가정으로부터 얻어진 것이다. Strain energy는 activation free energy에 대한 조건에서 disentanglement(앞으로는 D 로 약칭)와 entanglement(앞으로는 E 로 약칭)사이의 구조적 변화 과정에 따라 달라진다.

$D \rightarrow E$ 라는 구조적 변화를 수반하는 flow process를 거치는 flow unit 2에 대해서, flow의 activation free energy는 구조 형성에 기인하는 strain energy($C_2 S'^2$)만큼 증가하게 된다. 따라서 flow unit 2에 관한 속도상수 k_2' 은

$$k_2' = \frac{kT}{h} \exp\left(-\frac{\Delta G_2^\ddagger + C_2 S'^2}{RT}\right) = k_0 \exp\left(-\frac{C_2 S'^2}{RT}\right) \quad (8)$$

으로 나타내지는데 여기서, k_0 는 constraint가 전혀 없을 때의 flow unit에 대한 속도상수이다.

그에 관해서 Fig. 1에 나타낸 free energy diagram은 jumping process에 대하여 가정된 것으로서 activation energy가 constraint가 전혀 없을 때의 것에 비하여 $C_2 S'^2$ 만큼 증가되었음을 보여준다.

그러므로, 완화 시간 β_2 는

$$\beta_2 = (\beta_2)_0 \exp\left(\frac{C_2 S'^2}{RT}\right) \quad (9)$$

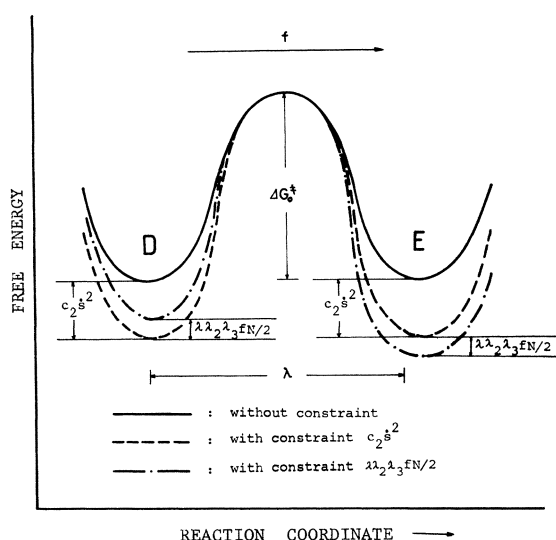


Fig. 1. The activation free energy curves of flow unit 2.

가 되고 여기서,

$$(\beta_2)_0 = \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda_1}{\lambda}\right)_0 \frac{1}{k_0} = \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda_1}{\lambda}\right)_0 \frac{h}{kT} \exp\left(\frac{\Delta G_2^\ddagger}{RT}\right) \quad (10)$$

이다. flow unit 2에 대해서 (3)식을 다시 써보면, $D \rightarrow E$ 와 같은 구조적 변화에 관한 전단 응력 f_2 는 다음과 같이 나타내진다.

$$f_2 = \frac{X_2}{\alpha_2} \sinh^{-1} \left[(\beta_2)_0 \exp\left(\frac{C_2 S'^2}{RT}\right) \right] \quad (11)$$

한편, 영킨 것이 풀리는 $E \rightarrow D$ 와 같은 구조적 변화에 의해 수반되는 flow process를 거치게 될 flow unit 3에 대해서, flow에 대한 activation free energy는 구조 파괴에 기인하는 strain energy($C_3 S'^2$)만큼 감소하게 된다. 따라서, flow unit 3에 대한 속도상수 k_3' 은

$$k_3' = \frac{h}{kT} \exp\left(\frac{\Delta G_3^\ddagger - C_3 S'^2}{RT}\right) = k_0 \exp\left(\frac{C_3 S'^2}{RT}\right) \quad (12)$$

으로 된다. 이때, Fig. 2에서 보여준 free energy diagram은 activation energy가 constraint가 전혀 없을 때의 것보다 $C_3 S'^2$ 만큼 감소하는 jumping process에 대해서 가정된 것이다. 이것이 증가되는 disentanglement에 의해서 더욱 쉽게 흐르게 되므로 activation energy가 감소하게 된다.

그러나, 완화 시간 β_3 은

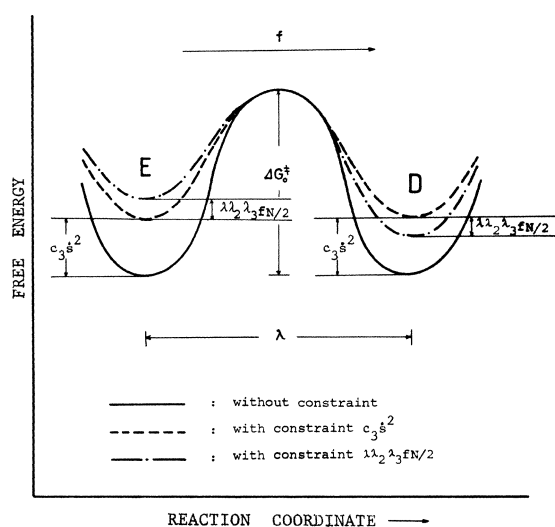


Fig. 2. The activation free energy curves of flow unit 3.

$$\beta_3 = (\beta_3)_0 \exp\left(-\frac{C_3 \dot{S}^2}{RT}\right) \quad (13)$$

가 되고,

$$(\beta_3)_0 = \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda_1}{\lambda}\right)_{3k_0} \frac{1}{k_0} = \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda_1}{\lambda}\right)_{3kT} \frac{h}{kT} \exp\left(\frac{\Delta G^\ddagger}{RT}\right) \quad (14)$$

이다. flow unit 3에 대해서 (3)식을 다시 쓰면, $E \rightarrow D$ 와 같은 구조적 변화에 관한 전단 응력 f_3 은 다음으로 얻어진다.

$$f_3 = \frac{X_3}{\alpha_3} \sinh^{-1} \left[(\beta_3)_0 \exp\left(-\frac{C_3 \dot{S}^2}{RT}\right) \right] \quad (15)$$

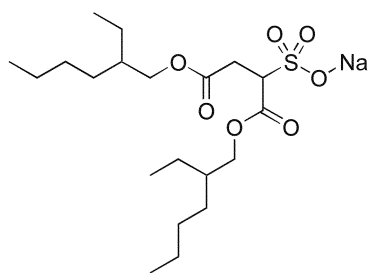
3. 실험

3.1. 실험 재료

3.1.1. 시약

본 실험에 사용된 sodium bis-(2-ethylhexyl)sulfosuccinate lamella liquid crystals는 Flucka Chemie AG(Switzerland)의 제품을 사용하였으며 분자 구조는 Fig. 3과 같다.

시약은 sodium bis-(2-ethylhexyl)sulfosuccinate lamella liquid crystals-물 무게비로 6wt%, 8wt%, 10wt% 및 12wt%의 농도로 증류수에 용해시켜 제작하였다. 각각의 sodium bis-(2-ethylhexyl)sulfosuccinate lamella liquid crystals용액들은 100ml 비커에 수집되었고, 수분이탈을 방지하기 위하여 para film 'M'을 이용하여 봉인하였다. 제작된 시약은 균일화 및 안정화를 위하여 4일간 실온에 방치한 후 좌우진동 교반기(진동



$C_{20}H_{37}NaO_7S$

Exact Mass: 444.22

Mol. Wt.: 444.56

C, 54.03; H, 8.39; Na, 5.17; O, 25.19; S, 7.21

Fig. 3. Structure of sodium bis-(2-ethylhexyl)sulfosuccinate lamella liquid crystals.

구간 : 35mm; 진동수 : 200회/min)로 각각 24시간씩 흔들어 혼합시키고 다시 4일간 실온에서 방치하였다.

3.1.2. 실험장치

준비된 sodium bis-(2-ethylhexyl)sulfosuccinate lamella liquid crystals용액들은 programmable rheometer (Brookfield사 Model DV-III)를 이용하여 유변성을 측정하였으며 구동 소프트웨어로는 rheocalc for windows(version 1.01)를 사용하였다. 사용한 spindle은 CP52(cone angle : 3.0°)로 최대 shear rate : 500/sec, 최대 shear stress : 1966dyne/cm²까지 측정이 가능하다. 항온조는 Brookfield사의 TC500을 사용하였다.

3.2. 실험 방법

제조한 시약을 5ml 주사기를 이용하여 Rheometer에 0.5ml를 주입하여 시약들의 유변성을 측정하였다. 유변성 측정을 위하여 사용된 Rheometer는 초기 전단 속도 값과 최종 전단 속도 값을 각각 0.1/sec으로, 전단 속도의 전환점은 500/sec으로, 전단 속도에 따른 측정 간격을 10/sec으로, 각 전단 속도에서의 측정 시간은 5초로 설정하여 측정하였다. 실험은 5°C, 10°C, 15°C, 20°C 그리고 25°C에서 이루어졌으며 오차범위는 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 이다. 실험 오차를 최소화하기 위하여 동일한 조건에 대한 실험을 5회 이상 반복하였다. 파라미터의 계산은 rheometer 구동 소프트웨어(Rheocalc for windows)로부터 얻은 결과 값을 이용하여 자체 제작한 소프트웨어로 계산하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 전단 응력 곡선

Brookfield사의 Model DV-III rheometer로부터 얻은 응력 완화 곡선은 일정한 변형율로 전단 속도가 증가함에 따라 전단 응력값이 변하는 정도를 보여주는 up-curve와 전단 속도가 감소함에 따라 전단 응력값이 변하는 정도를 보여주는 down-curve로 나타내었다. 본 연구에서는 up-curve에 대한 값만을 취하여 고찰하였으며, 실험에 의해 얻은 값에 근거하여 근사적인 유동 파라미터 값을 구한 후, Ree-Eyring 유동방정식에 대입함으로써 이론치를 구하였다.

Bang 등은 전단 속도에 따라 dilatancy에서 thixotropy로 전환되는 유동 메카니즘을 연구하면서 dilatancy에

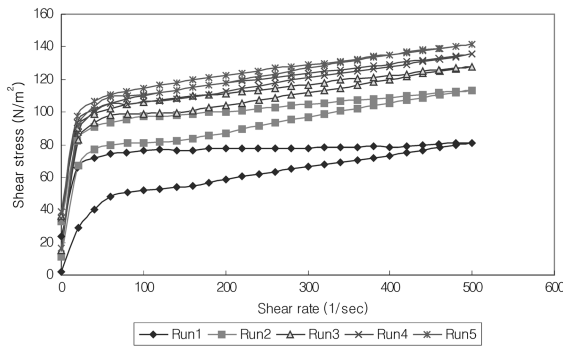


Fig. 4. The run number of flow curves for 10% sodium bis-(2-ethylhexyl)sulfosuccinate lamella liquid crystals-water suspension at 25°C(wt%).

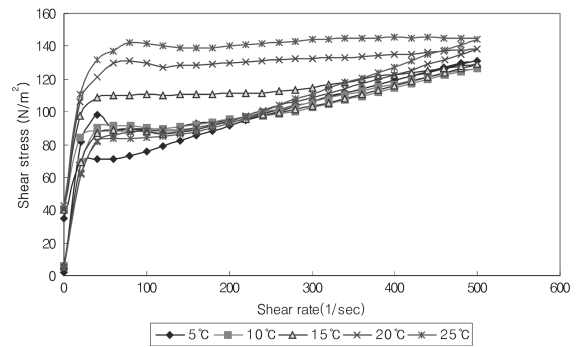


Fig. 5. The flow curves for 12% sodium bis-(2-ethylhexyl)sulfosuccinate lamella liquid crystals-water suspension at various temperatures (wt%).

서의 parameter와 thixotropy에서의 parameter의 값이 근사적으로 같다는 가정을 하고 고찰하였으나 본 연구에서는 dilatancy 특성을 나타내는 영역과 thixotropy 특성을 나타내는 영역을 구분하여 고찰하였다. sodium bis-(2-ethylhexyl)sulfosuccinate lamella liquid crystals 용액은 낮은 전단 속도에서는 thixotropy가 나타나지만, 높은 전단 속도에서는 dilatancy로의 전환 현상을 나타내며 그 전환점은 전단 속도가 약 120~160/sec의 범위에서 일어난다.

Fig. 4는 같은 실험 재료에 여러 차례에 걸쳐 전단 속도를 증가시키며 측정 한 결과이다. 횟수가 증가할수

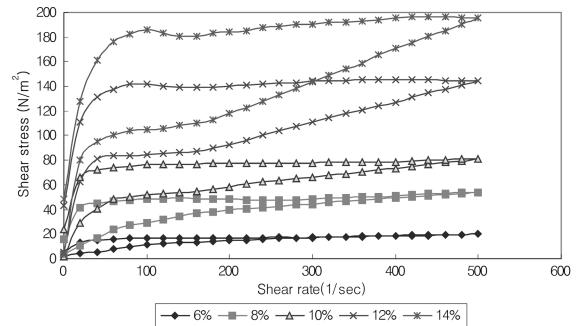


Fig. 6. The flow curves for sodium bis-(2-ethylhexyl)sulfosuccinate lamella liquid crystals-water suspension at 25°C for various concentration (wt%).

Table 1. The rheological parameters of relaxation time $(\beta_3)_0$, structure factor C_3 and shear modulus X_3/α_3 for thixotropic flow units of sodium bis-(2-ethylhexyl)sulfo succinate lamella liquid crystals-water suspension.

온도(°C)	parameters	농도(wt%)			
		6	8	10	12
5	$(\beta_3)_0 \times 10^2$	7.8570	9.4973	8.6804×10^4	6.0314
	$C_3 \times 10^2$	1.2962	1.5943	0.9187	2.6758
	X_3/α_3	5.5391	12.6873	4.4219	-18.1425
10	$(\beta_3)_0 \times 10^2$	7.2975	4.9760	252.7700	2.5241×10^4
	$C_3 \times 10^2$	1.2954	1.4234	1.7004	5.0825
	X_3/α_3	5.4497	16.3500	8.6222	6.2598
15	$(\beta_3)_0 \times 10^2$	3.7088	3.4888	42.5640	1.2333×10^4
	$C_3 \times 10^2$	2.1932	1.4437	1.1598	4.9804
	X_3/α_3	8.1987	18.2706	11.9711	9.5681
20	$(\beta_3)_0 \times 10^2$	3.1501	4.0677	24.1430	73.9237
	$C_3 \times 10^2$	1.7922	1.6373	1.2825	1.8712
	X_3/α_3	7.5947	17.2885	14.0261	9.5159
25	$(\beta_3)_0 \times 10^2$	2.9004	3.4603	10.0630	9.9339×10^8
	$C_3 \times 10^2$	0.8554	1.0565	2.1708	0.7594
	X_3/α_3	6.9230	17.1966	19.8373	3.9750

$(\beta_3)_0$: sec, C_3 : cal · sec²/mol, X_3/α_3 : N/m²

Table 2. The rheological parameters of relaxation time $(\beta_2)_0$, structure factor C_2 and shear modulus X_2/α_2 for anti-thixotropic flow units of sodium bis-(2-ethylhexyl) sulfosuccinate lamella liquid crystals-water suspension.

온도(°C)	parameters	농도(wt%)			
		6	8	10	12
5	$(\beta_2)_0$	0.0770	0.2062	10.9319	16.9381
	$C_2 \times 10^3$	-1.4838	-2.6058	-4.8924	-6.4199
	X_2/α_2	4.6725	8.7210	6.6282	10.4077
10	$(\beta_2)_0$	0.0491	0.4596	5.2098×10^4	5.6859×10^{16}
	$C_2 \times 10^3$	-0.4593	-3.0051	-11.1640	-41.1720
	X_2/α_2	5.2961	7.2524	3.1564	1.9945
15	$(\beta_2)_0$	0.1100	0.2104	131.6213	59.0744
	$C_2 \times 10^3$	-1.1906	1.9898	-6.5499	-9.0159
	X_2/α_2	3.8716	8.2321	5.0260	8.6711
20	$(\beta_2)_0$	0.0476	0.7449	0.7086	0.6750
	$C_2 \times 10^3$	-0.5381	-3.4470	-2.7050	-4.7476
	X_2/α_2	4.5840	6.3623	10.1004	16.1485
25	$(\beta_2)_0$	0.0223	0.1468	0.2470	0.1027
	$C_2 \times 10^3$	0.5336	-1.9553	-2.6620	-3.2758
	X_2/α_2	6.8989	9.3002	12.2363	24.0707

$(\beta_2)_0$: sec, C_2 : cal · sec₂/mol, X_2/α_2 : N/m²

록 전단 응력이 커지는 것은 flow의 activation free energy는 구조 형성에 기인하는 것으로 고찰할 수 있으며, Fig. 5의 결과로 보아 높은 온도에서 더 큰 증가를 나타내는 것을 알 수 있다. 농도의 증가에 따라 전단응력이 비례적으로 증가하는 것을 여러 온도 구간(5°C, 10°C, 15°C, 20°C, 25°C)에서 실험적으로 얻은 sodium bis-(2-ethylhexyl)sulfosuccinate lamella liquid crystals용액의 유동 곡선으로 고찰할 수 있으며, Fig. 6에 25°C에서의 여러 농도에 따른 유동 곡선을 나타내었다.

4.2. 유변학적 parameter

Table 1에는 thixotropic 경향을 나타내는 구간의 sodium bis-(2-ethylhexyl)sulfosuccinate lamella liquid crystals용액의 응력 완화 곡선을 이론적인 완화 스펙트럼식에 적용하여 얻은 $(\beta_2)_0$, C_3 그리고 X_3/α_3 의 값을 수치로 나타냈다. C_3 는 structure factor를 나타내고, α 와 β 값은 flow에 크게 영향을 미치는 viscous parameter이다. α 는 고분자 내부구조에 밀접한 관계를 갖는 구조 인자로 고려할 수 있으며 이 값으로부터 유동의 절대적인 factor인 hole volume V_h 를 얻을 수 있다. α 가 크면 hole의 크기도 커져 molecular segment의 유동이 잘 일어날 것이다. 완화 시간 β 는 온도가 높을수록 작아져 flow현상이 커지는 경향을 보

이며 농도가 증가하면 그 값이 증가해 flow현상이 작아지는 것으로 고찰된다. Table 2에는 anti-thixotropic 경향을 나타내는 구간의 sodium bis-(2-ethylhexyl)sulfosuccinate lamella liquid crystals용액의 응력 완화 곡선을 이론적인 완화 스펙트럼식에 적용하여 얻은 $(\beta_2)_0$, C_2 그리고 X_2/α_2 의 값을 수치로 나타냈다. C_2 의 수치가 C_3 의 값과는 달리 음수가 나오는 것으로부터 전형적인 dilatancy라는 것을 고찰할 수 있다.

참고문헌

1. J. H. Bang, N. J. Kim, S. W. Choi, E. R. Kim, and S. J. Hahn, *Bull. Korean Chem. Soc.*, **1996**, 17, 262.
2. H. Freundlich and A. Jones, *J. Physics. Chem.*, **1936**, 40, 1217.
3. D. W. Dodge, *Ind. Eng. Chem.*, **1959**, 51(7), 839
4. H. Freundlich and Biroumshaw, *Kolloid-Z.*, **1926**, 40, 19.
5. H. Freundlich and W. Rawitzer, *Kolloid chem Beich*, **1927**, 25, 231.
6. H. Freundlich and W. Rawitzer, *Kolloid-Z.*, **1927**, 41, 102.
7. H. A. Mercer and H. D. Weymann, *Trans. Soc. Rehol.*, **1974**, 1, 199.
8. J. Mewis and R. de Bleyser, *J. Colloid Interface Sci.*, **1972**, 40, 360.

9. J. H. Bang, Thesis for Ph. D. Degree in Hanyang Univ., **1988**.
10. Dennis Labo, *Cosmetics & Toiletries*, **1987**, 102, 64
11. H. Kuno and M. Senna, *J. Colloid and Inteface Sci.*, **1982**, 64(2), 591.
12. I. Wagstaff and C. E. Chaffey, *J. Colloid and Interface Sci.*, **1977**, 59(1), 53.
13. T. Ree and H. Eyring, *J. Appl. Phys.*, **1955**, 26, 793, 800.
14. S. J. Hahn and T. Ree and H. Eyring, *NLGI Spokesman*, **1957**, 21, 12.
15. S. J. Hahn and T. Ree and H. Eyring, *NLGI Spokesman*, **1959**, 23, 129.
16. Y. S. Lee and J. Ree and T. Ree, *Bull. Korean Chem. Soc.*, **1982**, 3(3), 83.