

# FLUIDS SPECTROMETER를 사용한 고분자 농후용액의 정상유동특성 및 동적 선형 점탄성 측정

## MEASUREMENTS OF STEADY SHEAR FLOW AND DYNAMIC LINEAR VISCOELASTIC PROPERTIES FOR CONCENTRATED POLYMER SOLUTIONS USING A FLUIDS SPECTROMETER

송기원, 이 장 우\*, 백 종 승\*\*

부산대학교 섬유공학과, \*부산대학교 고분자공학과,

\*\*한국표준과학연구원 유체유동연구실

K. W. SONG, J. O. LEE\* and J. S. PAIK\*\*

Dept. of Textile Eng., Pusan National Univ.

\*Dept. of Polymer Sci. & Eng., Pusan National Univ.

\*\*Fluid Flow Lab., Korea Research Institute of Standards & Science

고분자 액체(용융물 또는 용액)는 현저한 비뉴턴 점성을 나타내는 유체로서 전단 속도가 증가함에 따라 점성율이 저하되는 소위 shear-thinning 특성을 갖고 있다. 또 다른 하나의 특징으로는 점성율이 감소하는 짧은 시간 스케일에서 탄성적 성질이 관측된다는 점으로서 심한 경우에는 점성액체라고 하기 보다는 오히려 탄성고체로 취급하는 편이 올바른 경우마저 있다. 그러므로 광범위한 시간 스케일(정상전단유동의 경우는 전단속도, 동적진동 전단유동의 경우는 각주파수)에 있어서 고분자 액체의 유변학적 성질에 관한 연구는 합성섬유의 방사 또는 플라스틱의 성형 등 실제 가공공정과 관련하여 대단히 중요한 과제의 하나이다.

그런데 정상유동특성의 전단속도 의존성과 동적선형 점탄성의 각주파수 의존성은 서로 유사한 경향을 나타내고 있음은 잘 알려진 사실이다. 이러한 사실에 주목하여 양자의 관계는 과거부터 다수의 연구자들에 의해 취급되어온 흥미있는 주제이나 아직까지도 학문적 결착을 맺지 못하고 있는 상황이다. 이에 관한 초기연구의 대표적인 것으로는 DeWitt의 이론적 연구 및 Cox와 Merz의 실험적 연구를 들 수 있으며 이들의 결과는 다음과 같은 관계식으로 기술할 수 있다.

$$\text{DeWitt의 이론식} : \eta(\dot{\gamma}) = \eta'(\omega) \quad \text{at } \omega = \dot{\gamma} \quad (1)$$

$$\text{Cox-Merz의 경험식} : \eta(\dot{\gamma}) = |\eta^*(\omega)| \quad \text{at } \omega = \dot{\gamma} \quad (2)$$

그 후 여러 연구자들에 의해 (2)식이 모든 고분자계에 적용됨이 인정되어 오늘날 Cox-Merz법칙이라고 부르고 있다. 그러나 최근에 이르러 이 법칙이 성립하지 않는 사례도 보고되어 있어 논란의 대상이 되고 있다.

이상과 같은 배경에 입각하여 본 연구에서는 고분자농후용액의 정상류 점도 및 동적 선형 점탄성을 광범위한 전단속도와 각주파수 영역에서 측정하였다. 본 발표에서는 (i) 동적 점탄성의 시간 스케일 의존성, (ii) 정상류 점도와 동적 점도의 상관관계 및 (iii) 정상류 점도와 복소점도의 등가관계를 나타내는 Cox-Merz 법칙의 적용성에 관해 검토한 결과를 보고하기로 한다.

실험에 선정된 고분자는 중량평균 분자량 약 5,000,000의 polyacrylamide(PAAM) 및 polyethylene oxide(PEO)를 사용하였으며 증류수 및 ethylene glycol(EG)을 용매로 하여 여러 농도의 용액을 제조하였다. 정상류 점도 및 동적 점탄성 측정에는 Rheometrics Inc.(USA)의 유체 전용 레오미터인 Fluids Spectrometer(모델명 : RFS II)를 사용하였으며 레오미터 측정부의 기하학적 형상으로는 반경  $r = 25\text{mm}$ , 원추각  $\beta = 0.04 \text{ rad}$ 의 원추원판형을 채택하였다. 실험 조건은 정상류 점도의 경우 전단속도  $\dot{\gamma} = 0.025 \sim 1000 \text{ 1/s}$ , 동적 점탄성의 경우 스트레인 진폭  $\gamma_0 = 0.1$ , 각주파수  $\omega = 0.025 \sim 1000 \text{ rad/s}$  범위에서 실시하였으며 측정온도는 양자 모두  $20^\circ\text{C}$  이다.

본 연구를 통해 고분자 농후용액은 어느 임계 각주파수이상의 영역에서는 탄성적 거동에 의해 지배됨을 알았다. 그리고 정상류 점도-동적 점도의 상관계수는 일정치를 갖지 않고 전단속도 또는 각주파수의 증가함수임이 확인되었다. 또한 PEO수용액 및 PAAM/EG용액의 경우는 Cox-Merz 법칙을 적용시킬 수 있으나 PAAM 수용액의 경우는 Cox-Merz 법칙으로부터 편차를 나타내고 있음이 밝혀졌다.