

대진폭 진동 전단 변형하에서 폴리에틸렌옥사이드 수용액의 동적 점탄성 거동

송 기 원 · 장 갑 식 · 김 철 범* · 이 장 우** · 백 종 승***

부산대학교 공과대학 섬유공학과,
*LG화학 고분자기술연구소,
**부산대학교 공과대학 고분자공학과,
***한국표준과학연구원 역학연구부

고분자 액체에 가해지는 변형량이 충분히 작은 경우 변형과 응력간의 관계는 선형성을 유지하며 그 거동은 이론적으로 체계화된 선형 점탄성 이론으로 설명될 수 있다. 이때 변형에 대한 응력의 비는 가해지는 스트레인의 진폭에는 의존하지 않으며 단지 시간의 함수로만 주어진다. 그러나 가해지는 변형량이 증가하게 되면 선형 점탄성 거동과는 달리 변형과 응력간의 선형성은 사라지며, 변형량에 대한 응력비가 시간 및 가해지는 스트레인의 진폭에 의존하는 비선형 점탄성 거동이 발생하게 된다.

엔지니어링 플라스틱의 성형 또는 합성섬유의 방사공정과 같은 고분자 가공공정에 있어서 가공원액에 부여되는 변형량 및 변형속도는 선형 영역을 벗어나는 큰 크기의 자극으로서 주어지므로 이때 고분자 액체가 나타내는 역학적 거동은 기존의 선형 점탄성 이론으로는 그 해석이 불가능하다. 또한 비슷한 분자구조를 갖는 서로 다른 고분자 물질에 있어서 유사한 선형 점탄성 거동이 관찰되는 경우라 하더라도 대변형하에서는 그 거동에 차이가 발생하게 된다. 그러므로 대변형하에서 고분자 물질의 비선형 거동 해석은 실제 공정과 관련된 공학적인 관점에서 볼 때 반드시 해명되어야 할 중요한 과제라고 할 수 있다.

본 연구의 목적은 대진폭 진동 전단 변형하에서 발생하는 점탄성 고분자 액체의 비선형 점탄성 거동을 규명함에 있다. 이를 위해 Rheometrics Fluids Spectrometer를 사용하여 대진폭 진동 전단 변형하에서 발생하는 폴리에틸렌옥사이드 수용액의

비선형 점탄성 거동을 저장탄성율과 동적점도의 변형량 의존성으로부터 고찰하였다. 동적 점탄성의 감소비가 5% 이내의 범위를 선형 점탄성으로 인정하여 저장탄성율 및 동적점도의 선형 응답한계를 결정하고 이들에 미치는 각주파수의 영향을 조사하였다. 그리고 비선형 영역에 있어서 변형량 증가에 따른 저장탄성율 및 동적점도의 감소 거동을 비교하였다. 나아가서 응력파형의 Fourier 전개로부터 유도되는 비선형 점탄성 함수의 영향 및 비선형 점탄성 거동의 정도를 나타내는 비선형 거동 지수와 이들에 미치는 각주파수의 영향에 대해 검토하였다. 이상의 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 임계 변형량 이상의 영역에서는 변형량이 증가함에 따라 저장탄성율 및 동적점도가 감소하는 비선형 점탄성 거동이 발생한다. 대변형하에서의 비선형 점탄성 거동은 저장탄성율이 동적점도에 비해 더욱 현저한 변형량 의존성을 나타내며 또한 보다 작은 스트레인 영역에서 비선형 거동이 발생한다. 그리고 이러한 비선형 점탄성 거동은 각주파수보다 가해지는 변형의 크기에 더욱 의존한다.

2. 동적 점탄성의 선형성이 인정될 수 있는 임계 변형량인 선형 점탄성 응답한계는 저장탄성율의 경우 $\gamma_{EL} = 40\sim 50\%$, 동적점도의 경우 $\gamma_{VL} = 80\sim 100\%$ 정도이다. 이러한 선형 점탄성 응답한계는 그 물질의 특성시간의 역수보다 큰 각주파수 영역에서는 일정한 값을 유지하지만 특성시간의 역수보다 낮은 각주파수 영역에서는 각주파수가 감소할수록 선형 점탄성 응답한계는 증가한다.

3. 응력파형의 Fourier전개로부터 유도되는 비선형 점탄성 함수는 선형 점탄성 응답한계 이하의 작은 변형하에서는 1차 비선형 점탄성 함수의 영향이 지배적으로 나타나지만 선형 점탄성 응답한계 이상의 대변형하에서는 3차 비선형 점탄성 함수 이상의 고차항의 영향이 크게 작용하며 이로 인해 정현적 진동으로 주어지는 변형에 대해 응력파형이 일정한 주기를 갖는 비정현파로 나타나는 비선형 점탄성 거동이 발생한다.

4. 비선형 점탄성 거동의 정도를 나타내는 비선형 거동 지수는 특정한 각주파수에서 최대값을 가지며 N_V 는 N_E 보다 각주파수에 대한 영향이 작게 나타난다.