

소음 진동 제어의 고분자 재료의 기능

여 종 기*

(Role of Polymers as Sound and Vibration Damping Materials)

(Jong-Kee Yeo)

1. 서론

고분자 물질은 저분자량의 유기 단량체들이 화학 공유 결합으로 연속적으로 연결된 거대 분자 구조를 갖는다. 고분자 사슬로 연결된 단량체들은 힘의 장의 지배하에 열에너지에 따라 지속적으로 운동을 한다. 이와같은 단량체들의 운동은 국부적으로 제한되나 온도가 증가되어 유리 전이온도 이상이 되면 분자 전체에 상당하는 운동으로 발전하게 된다. 이때 소음 및 진동 에너지는 효과적으로 흡수되어 열에너지로 발산된다. 본고에서는 유리 전이온도에서의 고분자 재료의 특성과 실제 소음 및 진동제어시 고려해야할 고분자 재료의 특성에 관해 알아본다.

2. 유리전이온도(Glass Transition Temperature) 와 고분자 재료의 특성

고분자 재료는 낮은 온도에서는 단지 국

부적인 단량체들의 운동(진동, 회전 운동등)만이 나타나게 되며 온도가 증가함에 따라 이러한 국부적인 운동은 보다 큰 분자의 운동(long-range coordinated motion)으로 발전하게 된다. 이때 고분자 재료의 물리적 특성인 동적 영률(dynamic Young's modulus)을 고정된 주파수에서 측정해보면 그림1에서와 같이 나타난다.

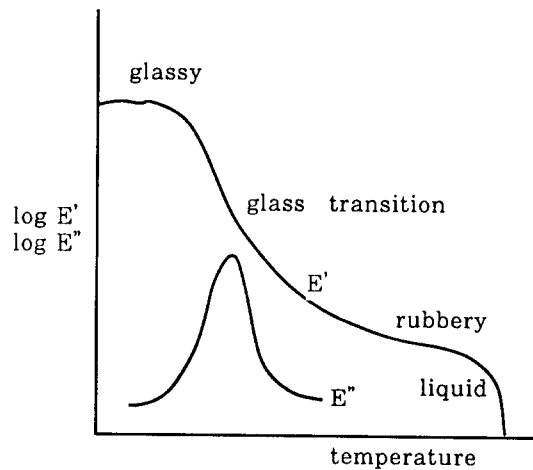


Fig. 1. Dynamic Young's modulus measured as a function of temperature at a given frequency.

(E' : storage Young's modulus;
E'' : loss Young's modulus)

* 럭키 고분자 연구소

여기서 E' 은 영의 탄성률을 E'' 은 영의 손실률을 각각 나타내며 그림 1에서 나타낸 바와 같이 낮은 온도에서는 고분자 재료는 유리(glassy)와 같이 딱딱하고 깨지기 쉬운 상태가 된다. 온도를 증가시키면 고분자 재료는 유리전이를 거쳐 고무상태(rubbery)로 바뀌게 되는데 이때 영의 손실률은 최대가 되며 이 온도를 대개 유리 전이 온도라고 정의한다. 이 온도에서 소음 및 진동에너지는 최대로 흡수되며 흡수된 에너지는 열에너지로 발산된다(1).

고분자의 유리전이 온도는 측정된 주파수에 따라 변한다. 측정 주파수가 증가함에 따라 유리전이온도는 증가하며, 대개 10배의 주파수 변화는 6~7℃ 정도의 유리전이 온도의 변화를 야기한다. 이는 주파수 증가에 따라 분자의 운동의 시간 척도(scale)가 작아지기 때문에 이 시간내에서 에너지를 흡수할 수 있는 분자의 운동이 생기기 위해 보다 빠른 분자의 운동이 필요하기 때문이다. 따라서 빠른 분자의 운동이 일어날 수 있는 보다 높은온도에서 E'' 의 피이크가 나타나게 된다. 그러므로 이와 같은 유리전이 온도와 주파수의 관계는 소음 진동제어에 있어서 매우 중요하다 (3절 참조). 때때로 소음 진동 제어에 있어서 주파수 영역 또는 작동 온도 영

역이 있을 경우 E'' 피이크의 면적도 또한 매우 중요하다. 이 면적은 Sperling 등에 의하면 고분자를 형성하는 단량체 그룹들에 밀접한 관계가 있다(2).

3. 시간 온도 중첩원리 (Time-Temperature Superposition)

점탄성 (visco-elastic) 고분자의 운동은 특징적인 이완시간 (relaxation time) τ 로 나타낼수 있으며 τ 는 온도에 따라 WLF (Williams-Landell-Ferry)의 식에 따른다 (3). 즉

$$\log \frac{\tau(T)}{\tau(T_0)} = \frac{C_1(T-T_0)}{(T-T_0+C_2)} \quad (1)$$

이 식에서 T_0 는 기준온도이고 C_1 과 C_2 는 상수이다. 따라서 T_0 에서 τ 를 알면 식(1)에 의해 어떤 온도 T에서의 relaxation time τ 를 계산할 수 있다. 만약 고분자 재료의 물리적 특성 f 가 τ 의 함수이면 f 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f = f(\tau(T)) = f\left(\tau(T_0) \cdot \frac{\tau(T)}{\tau(T_0)}\right) = f(\tau(T_0)a_T) \quad (2)$$

식 (2)에 따라서 온도 T에서 측정된 f 값을 a_T 인자만큼 수평이동 하면 기준 온도 T_0 에서 측정된 f에 겹칠수 있다. 그림 2에서는 이상과 같은 과정으로 여러 온도에서 측정된 이완 탄성률 (relaxation modulus) 곡선을 수평이동하여 하나의 매스터 곡선 (master curve)를 만들었다.

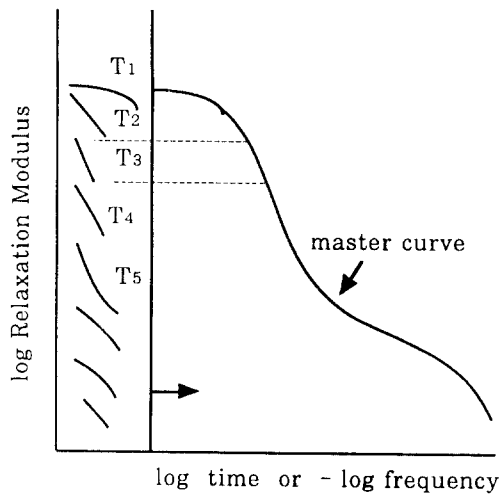


Fig.2. Schematic representation of the construction of a master curve at a reference temperature T_3 by the time-temperature superposition.

따라서 시간 온도 중첩원리에 의해, 고정된 온도에서 하나의 물성 곡선을 얻을 수 있으며, 또한 물성이 주어진 시간 또는 주파수에서 어떻게 온도에 따라 변하는가를 알 수 있다. 실제로 WLF 식에서 대부분의 고분자 물질에 대해 $6\sim 7^\circ\text{C}$ 의 변화는 앞절에서 설명한바와 같이 10배의 시간 또는 주파수 변화와 같다고 예측된다.

4. 결 론

균일한 고분자 재료에서 소음 및 진동에너지는 유리전이 온도에서 극대화 할 수 있으며, 이 유리 전이 온도는 주파수에 따라 변하는 것을 시간 온도 중첩원리로 알아보았다. 고분자 재료의 유리 전이 온도는 고분자 재료에 따라 상당히 다양하다(4). 따라서 흡수될 진동주파수와 적용온도에 따라 적절한 고분자 재료를 선택해야한다.

참고문헌

- (1) L. H. Sperling, 1989, Sound and Vibration Damping with Polymers,

ACS Symposium Series, Washington,
p. 5.

(2) M. C. O. Chang, D. A. Thomas,
and L. H. Sperling. 1987. "Characterization of the Area Under Loss Modulus and Tan δ -Temperature Curves: Acrylic Polymers and Their Sequential Interpenetrating Polymer Networks, J. Appl. Polym. Sci., Vol. 34, 409.

(3) J. D. Ferry, 1980, Viscoelastic Properties of Polymers, John Wiley, New York.

(4) J. Brandrup and E. H. Immergut, 1989, Polymer Handbook, Wiley-Interscience, New York.