

PP-PP 계면에서의 열 접합에 미치는 시간의 영향

이현배, 심미자*, 김상욱
 서울시립대학교 화학공학과, *생명과학과

Time Dependence of Thermal Welding at PP-PP Interface

Hyun-Bae Lee, Mi-Ja Shim* and Sang-Wook Kim

Dept. of Chem. Eng., Seoul City Univ.

*Dept. of Life Sci., Seoul City Univ.

서론

고분자의 welding은 다양한 기술에 의해서 이루어질 수가 있으며 특히 이용 가능성이 큰 기술들은 다음과 같다. 열을 직접 이용한 welding, 진동을 이용한 welding, 마찰에 의해서 발생된 열을 이용한 welding, 용제를 이용한 welding 그리고 초음파를 이용한 welding이 있으며¹⁾, 본 연구에서는 직접 열을 이용한 방법을 사용하였다. 유사한 polymer들이 유리 전이 온도(Tg)이상에서 접촉되면 계면에서 고분자 사슬들이 확산운동에 의해 상호 침투하여 계면이 점차 사라지고 접합이 된다. 이와 같은 healing 이론²⁾은 비결정 고분자들의 crack healing과 고분자 수지들의 용융공정 등 다양한 분야에 응용될 수 있다. 본 연구에서는 polypropylene(PP) 계면과 계면사이에서의 접합력을 모재와 같은 기계적 강도를 가질 수 있는 welding 시간을 결정하기 위해서 healing 이론을 적용하였다.

PP의 계면에서 발생하는 welding 강도는 접촉시간, 온도, 압력, 그리고 기타 여러 가지 변수에 의존한다. 본 연구에서는 온도, 압력, 분자량 및 기타 변수들을 일정하게 하고 시간만을 변화시키면서 welding 특성을 고찰하였고, 비결정 고분자가 가지는 welding 특성과 결정형 고분자가 가지는 특성을 살펴 보았다.

실험

Hot press를 이용하여 PP를 180℃에서 800 psi 정도의 압력을 서서히 가하면서 30분 동안 성형하였다. 성형이 끝난 후 mold를 제거하고 2시간 동안 서냉시켜 얇은 판형의 PP를 ASTM D3163 규격에 맞도록 31.6×12.7×3.2(mm)의 시편을 만들었다.

얻어진 시편을 170℃로 예열된 동판위에 올려놓고 온도를 일정하게 유지하면서 welding 시간을 10분에서 720분까지 변화 시키며 시편들을 접합시켰다. Lap shear samples의 파괴 응력을 측정하기 위해서 Shimadzu autograph(Model AGS-1000D)를 사용하였고, crosshead의 속도를 1 mm/min으로 하였다.

결과 및 토론

고분자들의 welding은 외부에서 여러 가지 형태로 가해진 에너지가 random coil의 확산 운동으로 나타나며 이 확산의 정도에 따라서 계면의 기계적 강도가 결정된다³⁾. 이러한 고분자들의 거동을 관찰하기 위해서 reptation model⁴⁾이 도입되었고 surface approach, surface rearrangement, wetting, diffusion, randomization의 다섯 단계로 이 현상이 설명되어 왔다. 대칭형 계면에서의 속도 결정 단계는 wetting과 diffusion 단계이며 wetting이 순간적으로 발생한다면 확산 속도는 diffusion 단계에 의해서 결정될 수 있다⁵⁾.

Wool과 O'Connor는 고분자에 있어서 계면에서의 강도와 welding 시간과의 관계를 다음과 같이 표현하였다⁶⁾.

$$\tau = \tau_0 + Kt^{1/4} \quad (1)$$

- 여기서 τ = 계면에서의 접합 강도
- τ_0 = wetting에 의한 강도
- K = 상수
- t = welding 시간

Fig.1은 PP의 계면에서의 온도가 170°C 일때 welding 시간에 따른 lap shear sample의 파괴 응력의 변화를 나타내고 있다. Welding이 시작 되면서 welding

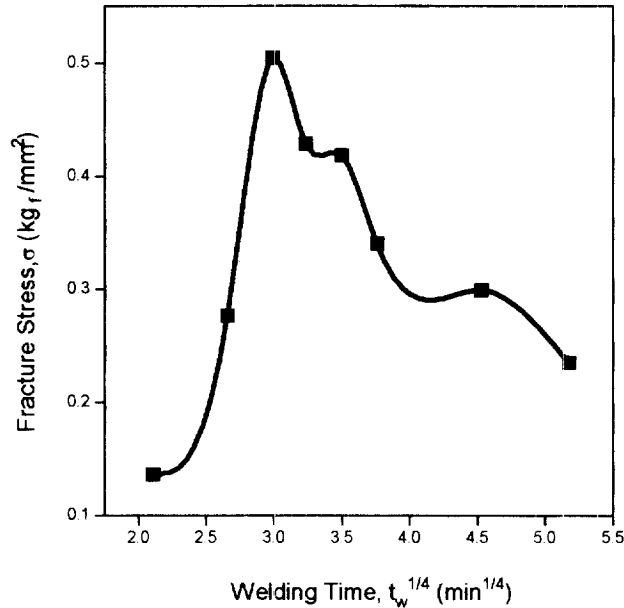


Fig. 1. Plot of σ vs. $t^{1/4}$ for welding of polypropylene fractured in tensile test.

시간이 80분 정도까지는 파괴 응력이 점차 증가하다가 80분 근처를 지나면서 파괴 응력이 감소하였다. 초기에 시간이 흐름에 따라 파괴 응력이 증가하는 것은 계면에서의 고분자 사슬들이 healing 이론에 따라서 거동을 하고 그 결과로 기계적 물성이 회복되기 때문이며, welding 시간이 80분 정도를 지나면서는 외부에서 가해지는 에너지가 고분자 사슬들을 열화시키는 것으로 여겨진다.

Fig.2는 파괴 에너지와 welding 시간($t^{1/4}$)의 관계를 도시하였다. A구간에서는 고분자의 계면에서 파괴 에너지가 완만하게 증가하다가 B구간에서는 급격하

계 증가하고 있다. 이 두 부분은 다음과 같이 표현된 식과 유사한 형태를 가진다⁶⁾.

$$E = \frac{1}{2Y}(\sigma_0 + Kt^{1/4})^2 \quad (2)$$

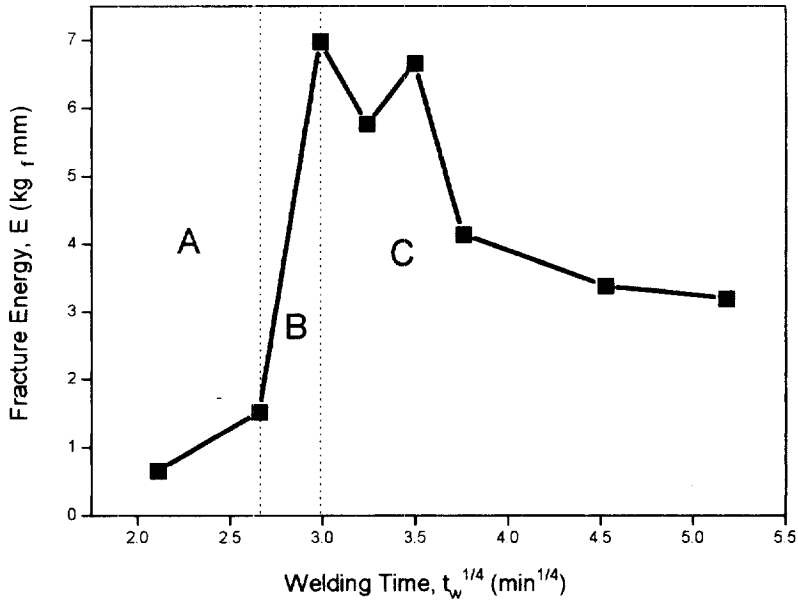


Fig. 2. Plot of E vs. $t^{1/4}$ for welding of polypropylene fractured in tensile test.

여기서 Y는 인장 modulus이며, Y가 일정하다면 파괴 에너지는 welding 시간의 제곱근에 좌우되고, 이 결과는 Fig.2와 대체적으로 일치함을 알수가 있다. A단계에서는 초기의 에너지가 minor chain을 움직이는데 사용되고 B단계에서는 고분자 사슬들이 본격적으로 확산을 시작하여 접합 강도를 증가시키는데 이용되는 것으로 추측된다. C단계에서는 welding 시간이 증가함에 따라 계면의 강도가 감소하는데, 그 원인은 외부로부터 공급되는 많은 열이 고분자의 chain을 파괴하기 때문으로 여겨진다.

Fig.3에 나타낸 곡선 A, B는 파괴 형태와 밀접한 관계를 가지고 있으며 파괴 응력과 변형의 관계 곡선의 아래 부분이 파괴 에너지를 나타낸다. A는 계면에서 접착강도가 약하기 때문에 계면에서 파괴가 일어난 경우이고, B는 overlap된 끝부분에 파괴응력이 집중되므로써 파괴되는 경우이다. PP의 계면에서의 강도는 170°C의 경우 welding 시간이 80분 정도에서 최대의 강도를 나타내며 외부로부터 많은 에너지가 공급되면 고분자 chain이 열화되어 계면에서의 강도가 약화되는 것으로 생각된다.

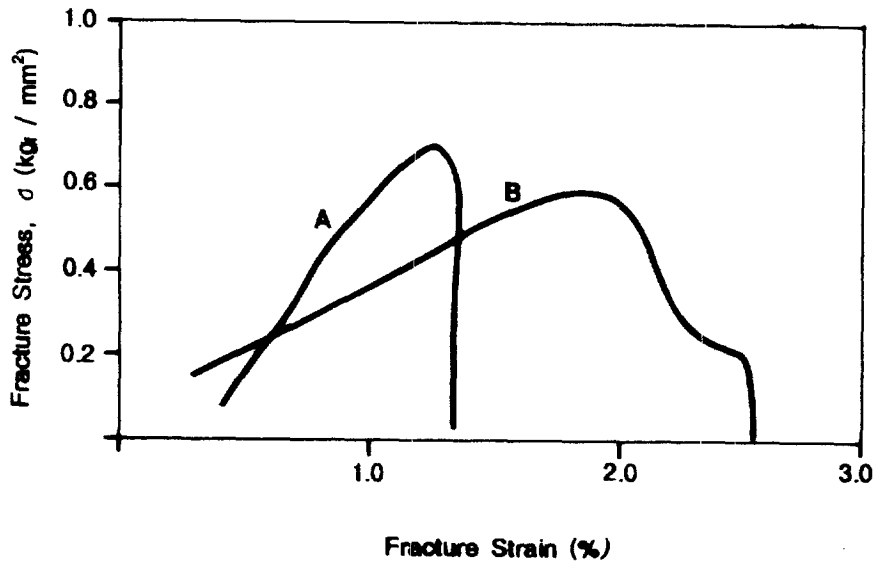


Fig.3. Two type stress-strain curves of fracture of lap shear joint

참고 문헌

1. R. P. Wool, "Polypropylene Structure, Blends and Composites", Vol.1, Ch.8, ed. J. Karger-Kocsis, Chapman & Hall, London, (1995)
2. Y. H. Kim and R. P. Wool, *Macromolecules*, 16, 1115(1983)
3. R. P. Wool and K. M. O'Connor, *J. Appl. Phys.*, 52, 5953(1981)
4. P. G. De Gennes, *J. Chem. Phys.*, 55, 572(1971)
5. D. B. Klime and R. P. Wool, *Polym. Eng. & Sci.*, 28, 52(1988)
6. R. P. Wool and K. M. O'Connor, *J. Polym. Sci., Polym. Lett. Ed.*, 20, 7(1982)
7. I. S. Chun, M. J. Shim and S. W. Kim, *Proceeding of IUMRS-ICA-'95*, Seoul, 515(1995)