

研究論文

大韓熔接學會誌
第9卷第1號 1991年 3月
Journal of the Korean
Welding Society
Vol.9, No.1, Mar., 1991

이종 플라스틱의 초음파 용접성에 대한 연구

이 철 구*

A Study on the Ultrasonic Weldability of the Dissimilar Plastics

C.K. Lee*

Key Words: Energy Director(에너지 디렉터), Modulus(모듈러스), Amorphous(비결정), Semicrystalline(반결정), Weld Time(용접시간), Amplitude of Vibration(진폭), Weld Pressure(용접력)

Abstract

Welding of dissimilar materials is an area of growing importance in the automotive, aerospace, electronics, medical and other domestic appliance industries.

This study investigated the ultrasonic welding of dissimilar polymers. Two amorphous and two semicrystalline polymers were used, utilizing all possible welding combinations. For each combination of dissimilar materials, the weldability of the joint was evaluated as a function of weld time, amplitude of vibration and pressure. The joint was also examined microscopically to analyze the melting and flow of the materials.

It was generally found that welding of amorphous polymers with semicrystalline polymers resulted in very poor joints. Welding of the amorphous polymers together and welding of the semicrystalline polymers together produced good joints.

1. 서 론

최근 중화학공업의 급속한 발전으로 플라스틱의 용도는 다양하고 이의 보급은 날로 증가하고 있다. 플레

스틱은 저렴한 가격으로 다량생산에 적합하고 성형이 용이하며 고도의 품질을 갖기 때문에 자동차 산업이나 항공, 조선등 내식성이나 고강도를 요구하는 부품산업에 각광을 받고 있다.

* 정회원, 서울산업대학 기계공학과

또한 플라스틱의 용접은 고온가스나 접착제를 이용하는 방법등이 있겠으나 일반적으로 초음파용접은 가장 신뢰성이 있는 접합방법의 하나이다.

초음파용접은 소진폭(0.0025-0.25mm), 고주파(20-40KHz) 진동을 이용하여 재료의 표면에 마찰열을 발생시켜 플라스틱 분자간의 접합을 이루게 한다.

그러므로 표면형상을 인공적으로 가공하는데 이를 에너지 디렉터(energy director) 또는 에너지 컨센트레이터(energy concentrator)라 부른다¹⁾.

이 에너지 디렉터는 삼각형이나 사각형으로 만드는데 용접물의 형상이나 구조에 따라 여러가지로 할 수 있다²⁾. 또한 초음파용접은 니어필드(near field)와 화필드(far field) 용접으로 나누는데 니어필드 용접은 접합부와 혼(horn)사이의 거리가 6mm이내를 말하며 화필드용접이라 함은 6mm이상을 말한다³⁾.

우리가 일반적으로 플라스틱이라고 말하는 열가소성수지(thermoplastic)조직은 크게 두가지로 나누는데 비결정(amorphous)과 반결정(semicrystalline)조직이다. 비결정 조직은 분자구조가 무질서하게 되어있으며 천이온도 이상으로 가열하면 분자간 확산과 유동성이 좋아지나 반결정 조직은 일정한 모양과 결정구조로 천이온도 이상에서 연해지기는 해도 용융온도가 될때까지는 유동이나 확산이 일어나기가 어렵다.

본 연구에서는 이러한 이중플라스틱 재료를 니어 필드 용접으로 용접성에 대한 평가를 하기 위해 용접시간, 용접압력, 진폭, 에너지등에 대해 조건별로 실험을 하였다.

2. 이 론

2.1. 스토레이지 모듈러스(Storage Modulus)와 로스 모듈러스(Loss Modulus)

플라스틱 용접은 플라스틱의 분자간에 초음파의 진동을 통하여 열을 얻게되고 이열은 모재의 변형을 가져와 용접이 이루어 지는데 용접성에 가장 큰 변수는 유동(flow)과 젖음(wetting)을 가져오는 가열과 확산이다.

여기에 변형을 해석하는 모듈러스는 재료에 부가되는 스토레이지 모듈러스와 흡수되어 감쇠되는 로스 모듈러스가 있다³⁾.

Fig. 1 에서 응력과 변형율을 점탄성 재료의 Voigt-Kelvin모델로 해석하면 다음과 같다²⁾.

$$\sigma^* = \sigma_0 \exp(i\omega t) = \sigma_0 \cos(\omega t) + i\sigma_0 \sin(\omega t) \quad (1)$$

$$\epsilon^* = \epsilon_0 \exp(i\omega t) = \epsilon_0 \cos(\omega t) + i\epsilon_0 \sin(\omega t) \quad (2)$$

복합 모듈러스(complex modulus, E^*)는

$$E^* = \sigma^* / \epsilon^* = E' + i E'' \quad (3)$$

E' 는 Storage modulus, E'' 는 loss modulus이다.

Fig. 2 에서 삼각형의 에너지 디렉터(energy director)를 사각단면으로 고려해서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma^* = \frac{kl}{A} \cdot \epsilon^* + \frac{i\omega bl}{A} \cdot \epsilon^*$$

$$E' = \frac{kl}{A}, \quad E'' = b \cdot \frac{\omega l}{A} \quad (4)$$

k 는 스프링 상수, b 는 감쇠계수, A 는 단면적이다.

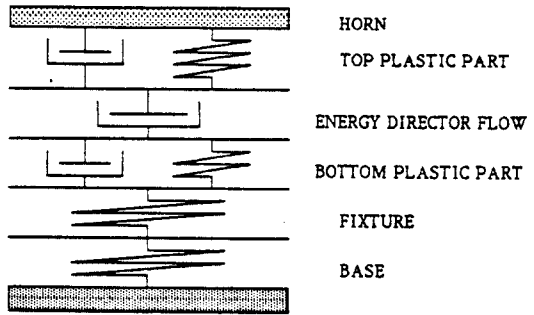


Fig. 1 Lumped-parameter model for ultrasonic welder

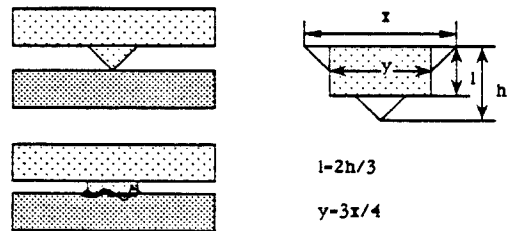


Fig. 2 A simplified geometry for the energy director

사이클당의 전일량을 W 라 하고 변형율을 $\epsilon = \epsilon_0 \sin \omega t$ 로 나타내면

$$W = \int \sigma d\epsilon = \int \sigma \epsilon dt \quad (5)$$

가 되고 응력은 로스 모듈러와 탄성을 통한 변형률 관계에서

$$\sigma = E' \epsilon_0 \sin \omega t + E'' \epsilon_0 \cos \omega t \quad (6)$$

가 된다.

그러므로

$$W = \int_0^{2\pi/\omega} E' \epsilon_0 \sin \omega t (\epsilon_0 \omega \cos \omega t) dt \\ + \int_0^{2\pi/\omega} E'' \epsilon_0 \cos \omega t (\epsilon_0 \omega \cos \omega t) dt \quad (7)$$

이 되고 간단히 하면 아래와 같다.

$$W = 0 + \pi E'' \epsilon_0^2$$

여기서 스토레이지 모듈러스 (in-phase components)는 일량에 관계하지 않으므로 단위 시간당 평균 에너지 손실은 다음과 같다.

$$Q_{avg} = W / 2\pi / \omega = \omega \epsilon_0^2 E'' / 2 \quad (8)$$

Q_{avg} : 평균 에너지 손실, W : 사이클당의 일량,
 ϵ_0 : strain amplitude, E'' : loss modulus

2.2. 다이내믹 모듈리 (Dynamic Moduli)의 측정

플라스틱의 에너지특성을 추정하기 위하여 다이내믹 모듈리의 측정이 필요하다. 한가지 방법으로 음파의 진폭과 전파속도를 측정하는 것인데 등방성재료에서 종파와 횡파의 속도로 부터 가로방향의 스토레이지 모듈리와 세로방향의 스토레이지 모듈리를 결정할 수가 있다.

$$G' = \rho v_s^2, \quad L' = \rho v_l^2 \quad (9)$$

G' : 세로방향의 스토레이지 모듈러스,

L' : 가로방향의 스토레이지 모듈러스,

v_s : 횡파속도, v_l : 종파속도, ρ : 밀도

속도와 스토레이지 모듈리의 관계에서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E' = G' (3L' - 4G') / (L' - G') \quad (10)$$

인장 로스 모듈러스 (tensile loss modulus)와 스토레이지 모듈러스 (storage modulus)는 인장로스 탄젠트 (tensile loss tangent)에 의한 관계로 부터

$$\tan \delta_e = E'' / E' \quad (11)$$

$\tan \delta_e$: 인장로스 탄젠트

가 된다.

인장 로스 탄젠트는 종횡 스토레이지 모듈러스와 로스 탄젠트로 부터

$$\tan \delta_e = \frac{\tan \delta_g - G' L' (\tan \delta_g - \tan \delta_l)}{(L' - G') (3L' - 4G')} \quad (12)$$

δ_g : 세로 로스 탄젠트, $\tan \delta_l$: 가로 로스 탄젠트

가 되며 세로와 가로방향 로스 탄젠트는 흡수계수와 속도로 부터 구한다.

예로서 두께가 다른 두개의 시편에서 가로 로스 탄젠트는 다음과 같다.

$$\alpha_1 = 1/2 (h_2 - h_1) \log_e A(h_1) / A(h_2) \quad (13)$$

α_1 : 가로방향 흡수계수, h : 두께, $A(h_1)$: 감소된 크기

또한 로스 탄젠트는 다음과 같이 된다.

$$\tan \delta_l = 2v_l \alpha_1 / \omega \quad (14)$$

그러므로 스토레이지 (storage)와 로스 모듈리 (loss moduli)는 식(9)-(14)에서 종횡파의 속도와 감쇠를 사용해서 결정할 수가 있다.

2.3. 용접 변수

초음파 용접의 가장 중요한 변수는 용접시간과 용접 압력, 진폭이다. 용접시간은 강도에 관계되며 용접시간이 0.8초 이상에서 용접강도가 향상된다고 보고하고 있다⁴⁾.

용접압력은 69-138kPa에서는 증가 할 수록 용접강도가 향상되고 138-276kPa에서는 증가 할 수록 강도가 떨어진다고 Benatar³⁾는 보고하고 있다. 감소되는 이유로서는 유동방향에서 분자연결이 약화된다는 것이다.

진폭의 효과는 초음파용접의 에너지 전파에 관계되며 진폭이 클수록 접합이 쉽게 이루어 진다.

용접력 (진폭과 압력)이 클수록 높은 온도에서 접합부가 형성되고 온도를 증가시키면 점성은 떨어져 이것은 두용접물간 (interface)의 유동성을 향상시켜 접합이 쉽게 이루어 진다. 낮은 용접압력에서는 변형이 적게 되어 용접물간의 접촉부가 좁게 되고 접합면적이 적게 되어 강도가 낮아진다. 용접력을 너무크게 하면 용융부가 용접부 (weld zone)를 넘게되고 이것은 유동방향의 분자연결을 고려할때 횡방향의 낮은 강도가 예상된다. 점성 재료의 에너지 디렉터 (energy director)에 불충분한 진동은 용융온도에 도달치 못해 유동과 접음이 부족하고 용접성이 저하된다고 알려졌다⁴⁾.

3. 실험

3.1. 실험장치와 재료

실험에 사용된 장치는 Photo.1 과 같으며 그 주요 부품은 아래와 같다.

- Oscilloscope(Hewlett Packard 1743A)
- Pulse receiver(model #5052PR)
- Transducers(0.5, 1.0, 2.25, 5.0MHz)
- Ultrasonic welding machine(Branson 910M, 20kHz)
- Boosters(1:0.6, 1:1, 1:1.5, 1:2)
- Fotonic sensor(MTI 1000)
- Tensile tester(Instron 4204)

실험재료로서는 아래의 4가지 플라스틱이 사용되었으며 그 기계적 성질은 Table 1 에 나타내었다.

- Acrylonitrile-Butadiene-Styrene(ABS, Borg Warner)
- Polystyrene(PS, High Impact, Grade 6800-Chevron)

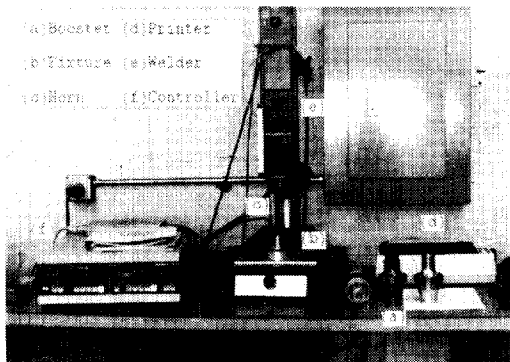


Photo.1 Ultrasonic plastic welder

Table 1 Mechanical properties of welding materials

Materials	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Density (kg/m ³)
ABS	35	39	1035
PS	33	15	1030
PE	8.4	350	962
PP	28	17	894

Polyethylene(PE, High Density, Grade 6206-Norchem)

Polypropylene(PP, Grade 8000GK-Norchem)

3.2. 실험 순서

재료의 용융온도에 영향을 주는 스트레이지 모듈러스(E')와 로스 모듈러스(E'')를 알아 보기 위해 오실로스코프(oscilloscope)와 탐촉자(transducer)를 이용하여 모재에 대한 종파와 횡파의 음속을 측정하였다. 마이크로메타를 이용해 실제 시험편의 두께를 측정하고 오실로스코프에 나타난 종파는 $V_t = 2d/t$ 이다 (Fig. 3, d: 거리, t: 두께). 감쇠계수는 오실로스코프의 처음 신호(signal)를 A_1 , 두번째 신호를 A_2 라하면 $\alpha = 20 \log(A_1/A_2)$ 이며 이것은 로스 탄젠트(loss tangent), $\tan \delta_e$ 를 계산하는데 이용된다.

용접기에 사용된 혼은 Fig.4에 보인 바와 같이 여러 가지가 있으나 지수함수적으로 변하는 혼은 다른형 보다 응력 집중이 작아 큰 진폭에도 견딜 수 있기 때문에 본 실험에서는 컴퓨터를 이용해 각 치수를 결정하고 지수함수형으로 알루미늄 혼을 제작 하였다.

용접시간이나 용접압력, 정지시간등은 컴퓨터를 이용해 정확히 조정되고 진폭은 브스터(booster)를 바꿈으로서 가능하였다. 실제진폭은 포토닉 센서(fotonic sensor)를 이용해 측정할 수 있었다.

Fig.5에 실험지그와 시험편의 형상을 보이는데 에너지 디렉터(energy director)는 60°로 하였다. 용접 시간은 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0초로 하였으며 용접압력은 170, 240, 350, 420kPa로 하였다. 진폭은 0.013, 0.026, 0.036, 0.048mm로 하였으며 정지시간(hold time)은 3.0초, 트리거 력(trigger force)은

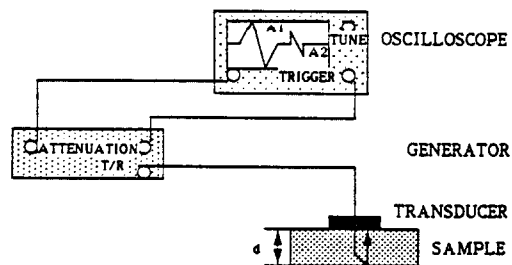


Fig. 3 Measurement of sound velocity and attenuation

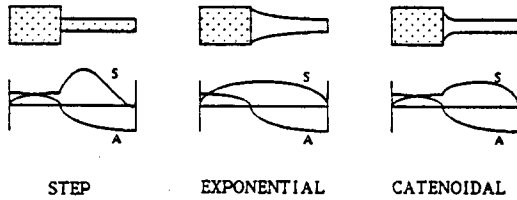


Fig. 4 Examples of horn geometries with the resulting Stress(S), and displacement amplitude(A) distributions

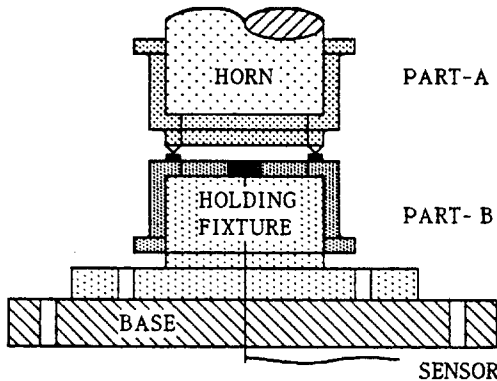


Fig. 5 Schematic diagram of welding fixture and test sample

110 N, 하강속도(down speed)는 20cm/sec로 하였다.

각각의 시험편을 ABS-PS, ABS-PE, ABS-PP, PS-PE, PS-PP, PE-PP으로 조합하여 각 조건별로 실험을 5회씩 반복 실시하였다.

완성된 시험편은 시험지그(testing fixture)를 사용해 0.5cm/min로 인장 시험을 해서 접합강도를 알아 보았다.

4. 실험 결과와 고찰

4. 1. 모듈리(Moduli)

스트레이지 모듈러스(E')와 로스 모듈러스(E'')는 점탄성 플라스틱의 변형을 해석하는데 중요한 것으로 초음파를 이용해 음속과 감쇠를 측정하여 계산하였다.

Table 2, 3에 표시된 값은 이미 발표된³⁾ 연구자료와 잘 일치하고 있으며 주파수가 증가함에 따라 스트레이

지 모듈러스는 약간 증가하고 로스 모듈러스는 감소한다. 이것은 높은 주파수에서 플랫폼 분자구조의 결합능력이 적다는 것을 의미한다.

Fig. 6, 7에서 ABS와 PS는 모두 비결정(amorpho-

Table 2 Storage modulus(E') as a function of frequency

Frequency (MHz)	ABS (GPa)	PS (GPa)	PE (GPa)	PP (GPa)
0.02	2.85	2.35	4.0	3.87
0.5	3.06	2.7	4.23	4.05
1.0	3.12	2.94	4.3	4.06
2.0	3.15	2.98	4.39	4.08
3.5	3.26	3.09	4.45	4.16

Table 3 Loss modulus(E'') as a function of frequency

Frequency (MHz)	ABS (GPa)	PS (GPa)	PE (GPa)	PP (GPa)
0.02	0.42	1.11	0.52	0.32
0.5	0.22	0.46	0.24	0.14
1.0	0.14	0.27	0.18	0.11
2.0	0.08	0.17	0.15	0.09
3.5	0.06	0.05	0.05	0.02

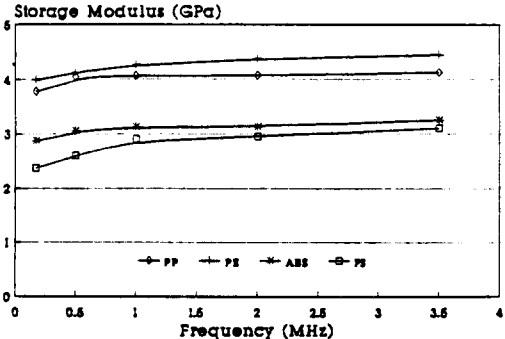


Fig. 6 Effect of frequency on the storage modulus

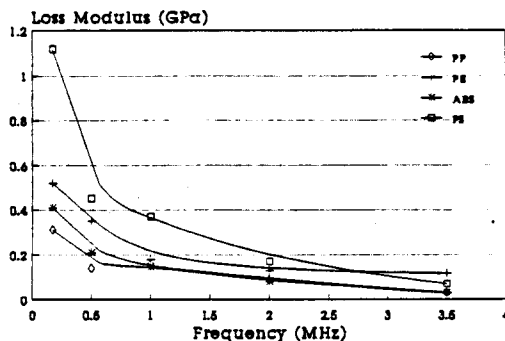


Fig. 7 Effect of frequency on the loss modulus

us) 구조이며 반결정(semicrystalline) 조직인 PE나 PP보다 E'가 높게 나타나며 이는 분자간 연결고리의 얽힘이 적어 마찰이 적어지기 때문인 것으로 보인다.

4.2. 용접 압력

압력은 두모재의 유동(flow)에 관계되는데 에너지 디렉터(energy director)를 용융시켜 용접부의 접촉부를 넓게 하여준다. 혼(horn)과 모재사이의 접촉을 양호하게 하며 이것이 용융을 쉽게한다.

용접기의 모델은 Fig. 1에서 보는바와 같이 스프링과 댐퍼(damper)로 설명할 수 있으며 에너지 디렉터에 이압력이 전달된다.

Fig. 8에서 변형(collapse)은 압력이 증가함에 따라 커짐을 볼 수 있으며 조직이 비결정(ABS, PS)인 것은 큰 변형(collapse)을 가지며 조직이 반결정인것은 낮은 값을 보인다.

이는 비결정(amorphous) 플라스틱 보다 반결정(semicrystalline) 플라스틱은 더 많은 에너지를 주어야 접합부가 용융된다고 할 수 있다. 이 두조직에서 어떤 재료든지 로스 모듈러스가 큰 것은 큰 변형(collapse)을 가진다고 말할 수 있다.

압력은 강도에 복합적인 영향을 나타내는데 낮은 압력은 혼과 용접물간의 접촉과 에너지의 전파를 적게하여 불완전한 에너지 디렉터의 용융을 가져온다.

그러므로 Fig. 9에서 보는 바와 같이 170kPa에서 350kPa까지는 강도가 약간 증가하나 너무 높은 압력은 초음파 진동으로 용융된 용융부가 용접부를 벗어나기 때문에 분자의 연결이 약화되어 강도가 떨어지는 것으로 나타난다.

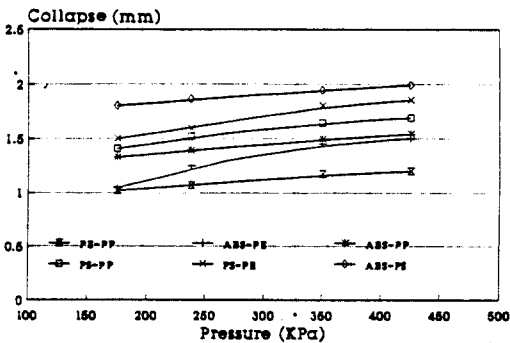


Fig. 8 Effect of weld pressure on collapse(weld time; 2sec, amplitude of vibration; 0.013mm)

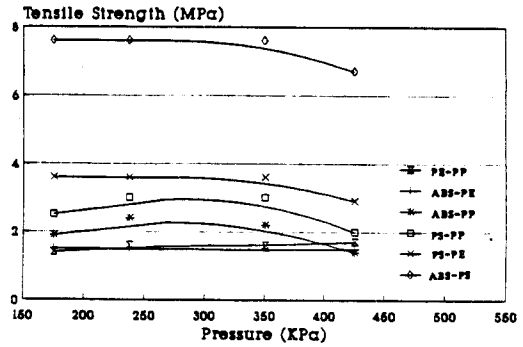


Fig. 9 Effect of weld pressure on strength(weld time; 2sec, amplitude of vibration; 0.013mm)

결과적으로 350kPa에서 420kPa까지는 강도가 저하 됨을 볼 수 있으며 이것은 동종재료를 연구한 Benatar³⁾의 결과와 유사하다.

그러므로 일반적으로 이종재료에서 용접압력은 350kPa정도가 적당하다고 할 수 있다.

4.3. 용접 시간

용접시간은 초음파진동을 발생시키는 시간이다. 이 동안 거의 모든 열이 플라스틱에 전파되는데 이에너지 전파는 식(8)을 이용해 단위시간당 발생하는 열량을 계산하였다.

여기서 계산을 위한 조건은

- 1) 삼각형 에너지 디렉터를 사각형 에너지 디렉터로 단면적이 같다고 보았으며 (Fig. 2),
- 2) 발생하는 초음파 진동은 용접모재에 전부 전달된다고 가정하고,
- 3) 단열조건이며,
- 4) 로스 모듈러스(loss modulus)는 온도에 대한 함수가 아니라고 가정하였다.

실제적으로 Fig. 10에서 보는 바와 같이 동종플라스틱의 용접시간에 대한 에너지발생은 시간이 증가함에 따라 거의 직선적으로 증가하였고, Fig. 11에서는 용접시간에 따라 강도도 증가함을 보인다. 또한 Fig. 12에서 이종플라스틱에서도 용접시간이 증가하면 변형(collapse)이 커지고 이는 에너지도 증가된다는 것을 보인다.

용접시간에 대해서 측정된 에너지는 비결정(amorphous) 조직에서는 이론값과 잘 일치하나 서로 다른 조직에서는 상이함을 보였고, 반결정(semicrystalline) 조직이 이론치보다 더 많은 용접시간이 필요한 것으로 보인다 (Fig. 13~15).

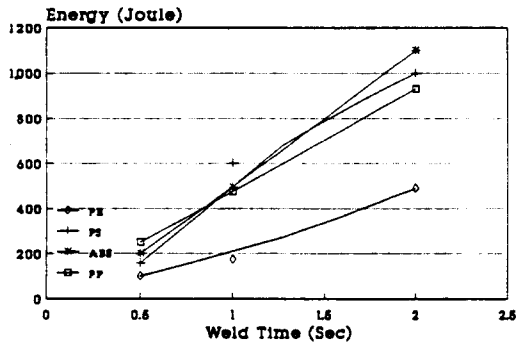


Fig. 10 Effect of weld time on energy(weld pressure; 350kPa, amplitude of vibration; 0.026mm)

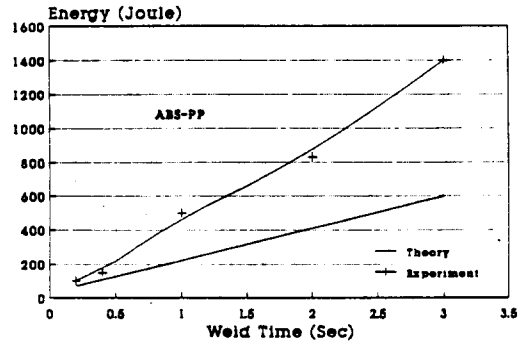


Fig. 13 Effect of weld time on energy(weld pressure; 350kPa, amplitude of vibration; 0.013mm)

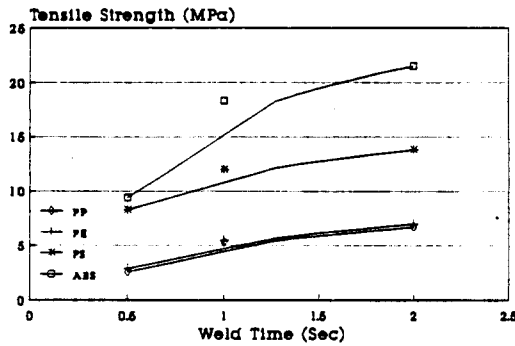


Fig. 11 Effect of weld time on strength(weld pressure; 350kPa, amplitude of vibration; 0.026mm)

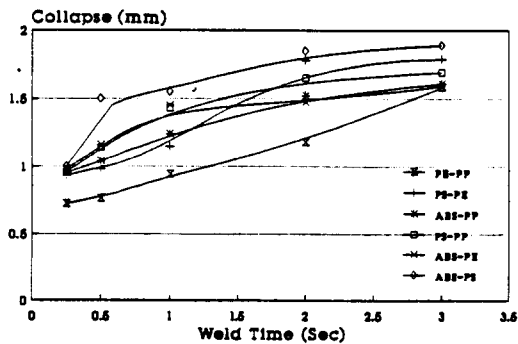


Fig. 12 Effect of weld time on collapse(weld pressure; 350kPa, amplitude of vibration; 0.013mm)

Fig. 14와 Fig. 15에서 에너지변화는 예상치와 비교적 잘 맞으며 에너지의 전파가 용접시간이 증가함에 따라 증가함을 볼 수 있다. 이것은 로스 모듈러스가 용융온도에 크게 관여하게 되고 에너지 디랙터의 용융이나 유동에 영향을 미치지 때문이라고 볼 수 있다.

용접시간의 증가는 에너지의 전파를 크게함과 동시에 용접강도의 증가도 가져온다. 또한 에너지전파가 커지면 온도가 증가하고 이로서 에너지 디랙터는 쉽게 용융된다. 이는 유동과 젖음이 좋아질 뿐만 아니라 분자간 확산도 용이하게 되어 용접부의 결정구조가 상호간에 잘 연결되어 강도도 증가하는 것으로 볼 수 있다. 그러나 Fig. 16에서 용접 시간을 증가한다고 해서 계속 인장강도가 증가하지 않음을 알 수 있다.

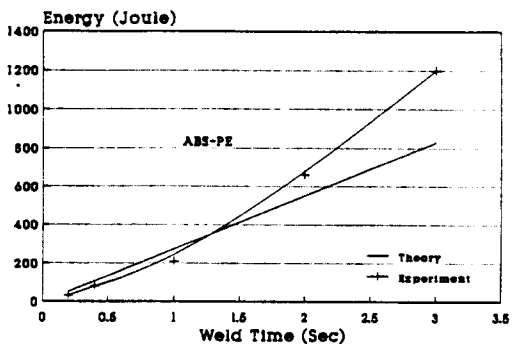


Fig. 14 Effect of weld time on energy(weld pressure; 350kPa, amplitude of vibration; 0.013mm)

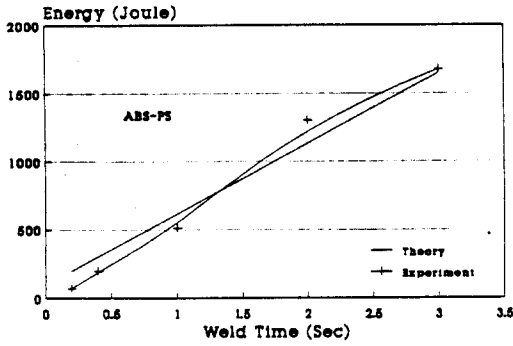


Fig. 15 Effect of weld time on energy(weld pressure ; 350kPa, amplitude of vibration ; 0.013mm)

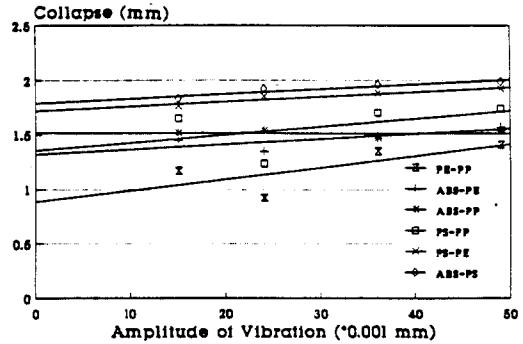


Fig. 17 Effect of amplitude of vibration on collapse(weld time ; 2sec, weld pressure ; 350kPa)

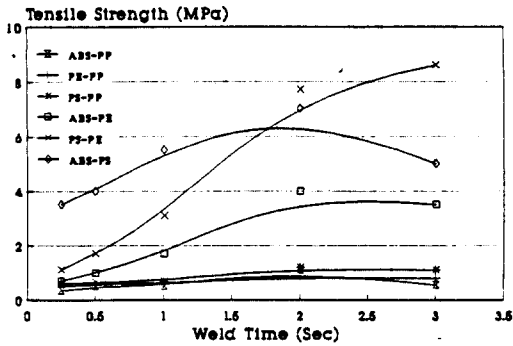


Fig. 16 Effect of weld time on strength(weld pressure ; 350kPa, amplitude of vibration ; 0.013mm)

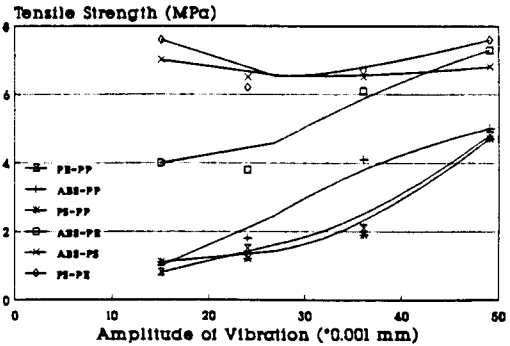


Fig. 18 Effect of amplitude of vibration on strength(weld time ; 2sec, weld pressure ; 350kPa)

Fig. 16에서 보는 바와 같이 ABS-PS는 2초전에 급격한 강도변화가 있으며 2초이상에서는 완만한 변화를 보인다. 이것은 Benatar³⁾ 등이 보인 1.5초가 변곡점이라고 보인것에 거의 유사하다. 그러나 용접시간은 용접강도에 영향을 주며 2초 전후가 적당한 것으로 사료된다.

4. 4. 진폭의 영향

서로 다른 진폭을 가지는 브스터(booster)를 이용해 4가지의 플라스틱을 용접해 보았다. 식(8)을 이용해 에너지 전파를 예상했고 이때의 진폭은 1:1 브스터에서 strain amplitude는 0.1로 했다.

Fig. 17에서 변형(collapse)은 대체로 진폭이 증가함에 따라 증가함을 알 수 있고 Fig. 18에서 보는 바와

같이 강도의 증가를 위해서는 에너지나 진폭을 증가해야 할 것으로 사료된다. 반결정 플라스틱(semicrystalline plastics, PE, PP)은 비결정 플라스틱(amorphous plastics, ABS, PS)보다 진폭의 영향이 커서 급격한 변화가 보인다. 따라서 반결정 플라스틱의 용접에는 더 많은 에너지가 필요하다고 할 수 있다.

4. 5. 조직 관찰

Photo.2에서 보이는 것은 용접시간이 1초, 2초, 3초에서 조직의 변화상태를 보인 것이다. 같은조건(용접압력 350kPa, 진폭 0.013mm)에서 PS와 PE의 조직은 용접시간 1초(a)에서는 두재료가 용융이 일어나지 않으며 2초(b)에서는 서로 접합이 이루어 졌음을

나타낸다. 용접시간 3초(c)에서는 다시 두 재료간(interface)에 화합물이 생겨 불충분한 이음을 보인다.

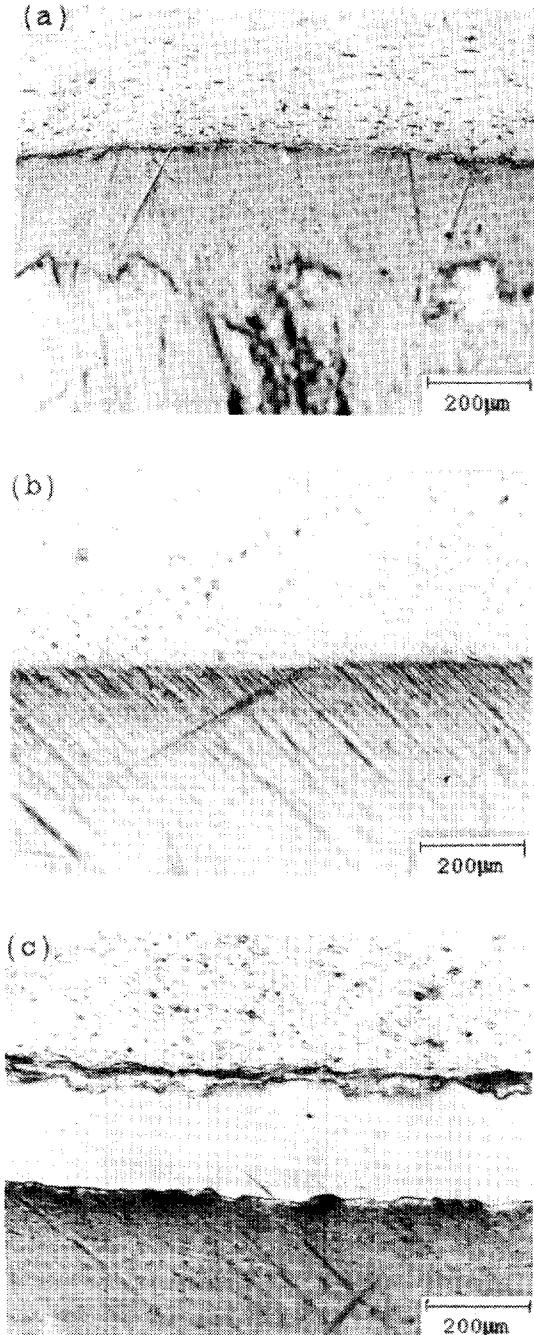


Photo.2 Micrographs of weld interface(PS-PE)

Photo.3은 서로 다른 재질을 접합한 상태인데 사진(a)는 같은 비결정(amorphous) 조직을 가진 ABS와 PS를 용접시간 2초, 용접압력 350kPa, 진폭 0.013 mm로 용접한 것이다. 여기서 보는 바와 같이 같은 조직은 젖음이 양호하여 접합이 용이하게 이루어져 경계층이 소실되어 진것으로 보인다. 이는 확산이 적게나마 이루어져 인장강도나 용접성이 우수함을 예측할 수 있다. 사진(b)는 서로 다른 조직(ABS; amorphous, PP; semicrystalline)을 가진 재질을 접합한 상태인데 두 모재간에 경계가 생김을 알 수 있다. 이는 (a)와 같은 조건으로 용접하였지만 조직이나 인장강도가 취약함을 예측할 수 있다.

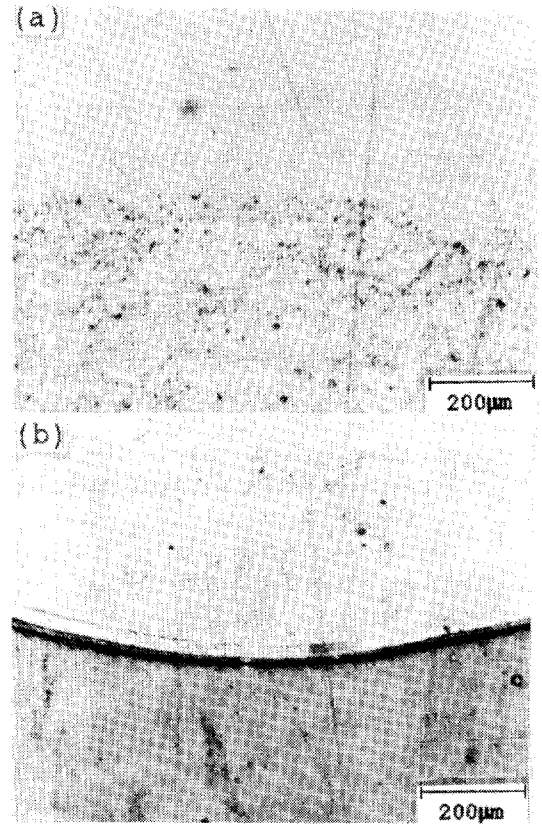


Photo.3 Micrographs of weld intergace(ABS-PS, ABS-PP)

5. 결 론

초음파 용접을 이용해 이중 플라스틱 재료를 접합하여 용접성을 향상시킬 수 있는 실험적 연구로 비결정

(amorphous)과 반결정(semicrystalline) 플라스틱의 최적 용접조건을 얻었다.

1) 재질이 같은 구조를 가진 비결정과 반결정 플라스틱은 용접성이 우수하며 PS와 PE도 대체적으로 양호하다.

2) 4개의 플라스틱에서 초음파를 이용해 모듈러스(modulus)를 측정했다. 이는 플라스틱의 강도 해석에 유용하게 이용될 수 있다.

3) 용접압력의 증가는 용접강도를 증가시키나 너무 크면 분자간 결합력이 약화되므로 350kPa 정도가 적당한 것으로 사료된다.

4) 용접시간의 증가는 에너지전파와 강도를 증가시키나 최적 용접시간은 2초 전후가 적당한 것으로 보인다.

이상과 같은 결론에서 초음파를 이용한 플라스틱의 용접은 다량생산에 적합한 자동화가 용이하며 엔지니어링 플라스틱(engineering plastic) 접합에 크게 기여하리라고 보며 이를 위해 여러가지 재료에 따른 용접조건과 접합부의 형상등 더 깊은 연구가 요망된다.

후 기

본 연구는 1990년도 연암 문화재단의 후원으로 미국 Ohio주립대학, 용접공학과에서 수행된 것으로 그동안 실험에 도움을 주신 D.G. Howden 교수님과 A. Benatar 교수님, 그리고 연암 문화재단 여러분에게 감사드립니다.

참고문헌

1) A. Benatar: Weldability of thermoplastic,

- Proceeding of E.W.I., Edison Welding Institute, Columbus, OH., (1987), pp. 1-13.
- 2) A. Benatar: Ultrasonic welding of advanced thermoplastics, Ph. D. Thesis, Dept. of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA., (1987), pp. 81-165.
- 3) A. Benatar, R.V. Eswaran: Ultrasonic welding of thermoplastics in the near-field. Polymer Engineering and Science, Vol.29, No.23, (1989), pp. 1689-1698.
- 4) Z. Cheng: Far field ultrasonic welding of thermoplastics, Master Thesis, Dept. of Welding Engineering, The Ohio State University, Columbus, OH., (1988), pp. 14-137.
- 5) M.N. Tolunay, P.R. Dawson: Heating and bonding mechanisms in ultrasonic welding of thermoplastics, Polymer Engineering and Science, Vol.23, No.13, (1983), pp. 726-733.
- 6) Ultrasonic plastic assembly, Bronson Sonic Power Company, (1973), pp. 4-108.
- 7) John A. Mock: Joining large plastic parts try vibration welding, Plastic Engineering, June, (1983), pp. 27-29.
- 8) A. Benatar, T.G. Gutowski: Methods for fusion bonding thermoplastic composites, SAMPE, Vol.18, No.1, (1986), pp. 35-42.
- 9) R.J. Crawford, Y. Tam: Friction welding of plastics, Journal of Materials science, No.16, (1981), pp. 3275-3285.