

열가소성 플라스틱의 흡수체를 이용한 레이저 접합

서명희*, 류광현, 남기중(고등기술연구원)

Laser Welding of Thermoplastics Using the Absorbing Materials

M. H. Seo, K. H. Ryu, G. J. Nam (Institute for Advanced Engineering)

ABSTRACT

Laser bonding between similar and dissimilar thermoplastics has been investigated by making use of laser transmission weld technique. Spot welding of two layers of plastic materials has been demonstrated by using of a high-quality diode-laser with 808nm wavelength. Weld areas increases according to power density, exposure time. The results of peel out test show that peel strengths increase with the area of molten plastics. Layers, which have the same chemical properties, have good bonding qualities. A bonding method which dye film is coated on the interface is used for laser bonding between plastics with high transmission for laser wavelength. Laser transmission bonding is worthy of attention because it is not in contact, requires a few tooling devices, allows a flexible energy delivery and produces nearly invisible welds

Key Words : Thermoplastics (열가소성 플라스틱), Laser Welding (레이저 접합), Laser Transmission Welding (레이저 투과 접합), Coating Materials(코팅 물질), High Power Diode Laser(고출력 다이오드 레이저)

1. 서론

고출력 다이오드 레이저를 이용한 열가소성 플라스틱 필름의 투과 접합 공정 기술은 레이저 재료 가공 분야에서 발전하고 있는 기술의 한 형태이다. 고출력 다이오드 레이저를 이용한 방식은 CO₂ 나 Nd:YAG 레이저에 비하여 에너지 전환 효율이 우수하고 운용비가 저렴하며 장치의 소형화가 가능하므로 이러한 방식은 경쟁력을 가지고 있다.

Laser 접합 방식은 공정 시간이 빠르고 비접촉식 방식을 사용하여 샘플에 손상이 적다. 또한 진동이 없고 접합 품질도 좋게 나타난다. Heat affected zone 이 작아서 깨끗한 접합을 가능하게 하며 미세공정이 가능하다. 실험에서는 열가소성 플라스틱 가운데 Polycarbonate (PC), Polypropylene (PP), Low density polyethylene (LDPE), Polyvinylchloride (PVC), Acrylic 을 사용하여 투과 접합 실험을 하였다. 이 가운데 접합이 어려운 투명한 재질은 코팅을 이용한 접합 방법을 사용하여 투과 접합이 힘든 투과성 재질도 가능하게 하였다.

2. 레이저 투과 접합

레이저 투과 접합 공정 기술 (laser transmission

welding technology)의 기본 원리는 Fig. 1 과 같다.

그림과 같이 접합하고자 하는 두 재질 중 하나는 레이저 파장에 투과성이 우수하고 다른 하나는 흡수성이 강한 재료를 용접하는데 사용될 수 있다.

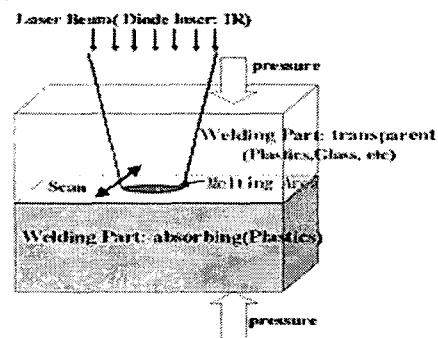


Fig. 1 Laser Transmission welding

레이저 광은 투과성이 강한 재질을 지나 흡수성이 강한 재질에 도달하면 표면에서 흡수가 일어나 순간적인 온도의 증가로 표면이 녹으면서 결합이 되는 원리이다.

3. 실험 장치

공정 장치는 Fig. 2 와 같다. 공정 장치는 상하로 이동이 가능한 sample stage 가 있고, 그 위에 sample 을 놓는다. 레이저 빔이 optical fiber 를 통하여 렌즈 를 지나서 나오면 transmission window 를 통하여 sample 에 조사된다. 압력 지그가 있어서 압력을 가 할 수 있으며 이때 압력 게이지로 압력 (MPa)을 측정 할 수가 있다. 레이저는 808nm 파장의 다이오드 레이저를 사용하였으며 최대 출력은 35W 이다.

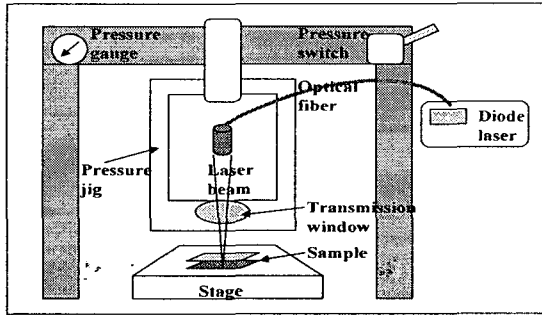


Fig. 2 Experiment set up

특히 이 실험에 사용된 바와 같이 다이오드 레이저를 사용하는 경우에 CO₂ 레이저에 비하여 대부분의 플라스틱에서 비교적 흡수성이 떨어지기 때문에 투과 깊이가 깊은 재료의 접합 등에 이용될 수 있으며 광 전달 광학계로 광파이버를 사용할 수 있으므로 복잡한 구조물의 접합 등에도 쉽게 적용될 수 있고 장치를 매우 소형으로 만들 수 있는 장점이 있다.

4. 실험 내용 및 결과

모든 물질은 파장에 대해서 각기 다른 광학적 특성을 가지고 있기 때문에 laser transmission welding 에 사용되는 샘플 (PC, PP, LDPE, PVC, Acrylic)을 파장 810 nm 의 광학적 특성(흡수, 반사, 투과)에 대해서 조사하였다. 각 샘플의 투과율은 실험을 통해, 흡수율과 반사율을 이론적으로 계산하였다. 다이오드 레이저를 이용한 laser transmission welding 시 PC 에 전달되는 온도를 알아보기 위해 모델링을 사용하였다.

4.1 광학적 특성

4.1.1 흡수체 플라스틱의 광학적 특성

레이저 Power 에 대해서 열가소성 플라스틱의 투과율 실험을 하였다. Laser beam size 는 5 mm 를 사용하였으며 사용한 필름은 PC, PP, LDPE, PVC, Acrylic 이다. 각각의 샘플의 810 nm에서의 투과율 결과를 Fig.3(a)에 나타내었다. Fig.3(a)는 레이저 Power 를 변화시키면서 측정한 데이터를 평균한

것이며 샘플의 투과율은 레이저 Power 에 대해서는 변화가 있지 않고 거의 일정하였다.

샘플에 대한 반사율은 Fresnel equation 에서 구할 수 있다. 본 공정에서는 레이저가 수직으로 입사하기 때문에 Polarization 에 상관없이 다음 식으로 반사율을 구할 수 있다.

$$R = R_s = R_p = \left[\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right]^2$$

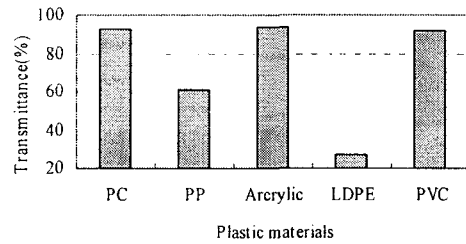


Fig. 3(a) Transmission of plastics at 810 nm

또한 입사한 전체 에너지는

$$\text{전체 에너지} = \text{흡수}(A) + \text{투과}(T) + \text{반사}(R)$$

과 같이 나타낼 수 있으므로 흡수율도 계산을 통하여 얻을 수 있다. Table 1 은 샘플에 대한 광학적 특성을 나타낸 표이다.

Material	Transmission	Reflection	Absorption
Polycarbonate	93%	5%	2%
Polypropylene	61%	4%	35%
Acrylic	94%	4%	2%
LDPE	27%	4%	69%
PVC	92%	4.5%	5.5%

Table 1. Optical properties

4.1.2 투과성 플라스틱의 광학적 특성

투과성을 가진 플라스틱의 접합을 위하여 흡수체 대신 투명한 플라스틱에 코팅하는 방식을 사용하였다. Fig.3(b) 는 PC 플라스틱에 코팅한 후 투과율을 측정한 것이다.

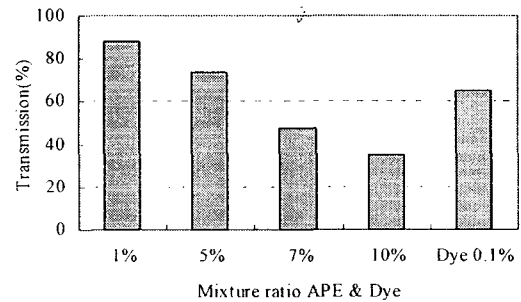


Fig. 3(b) Transmission of coated APE & Dye at 810 nm

APE (Acrylic Polymer Emulsion)을 1%, 5%, 7%, 10% 코팅한 PC 와 Dye 0.1% 코팅한 플라스틱에 대하여 비교한 그래프이다. Dye 의 경우 농도가 짙어서 0.1%만 섞어도 투과율을 많이 낮추고 흡수율을 높일 수 있다.

4.2 PC 모델링

Laser Transmission welding 모델링은 샘플의 접합 표면에서의 온도변화를 알아보기 위해 사용하였다. Laser Transmission welding 에서는 플라스틱의 열경화 정도가 두 필름의 접합 시 인장력을 결정하기 때문에 매우 중요하다. 레이저의 특성상 샘플을 레이저 광이 투과하기 때문에 온도센서에 레이저가 직접 조사 되어 온도가 왜곡되므로 정확한 온도를 측정할 수 없다. 그렇기 때문에 모델링을 사용하여 플라스틱 접합 시 온도변화를 예측해 보았다. Table 2 는 모델링을 하기 위하여 사용된 값이다.

Material	Melting Temp	Tensile Strength	Density	Thermal Expansion	Thermal Conductivity	Specific Heat Capacity
Unit	℃	MPa	g/cm ³	℃	W/mK	J/kgK [*]
Polycarbonate	155	63	1.2	6.8×10^{-5}	0.195	1,256
LDPE	110	11	0.92	8.5×10^{-3}	0.33	2,200
Polypropylene	164	48	0.91	6.2×10^{-5}	0.117	1,700
Acrylic	266	54	0.04	7.2×10^{-5}	0.19	1,470
PVC	182	48	1.38	7.3×10^{-5}	0.16	1,500

Table2. Physical data for modeling used in this study

위의 플라스틱 가운데 특히 PC 를 선택하여 모델링을 하였다. 시간에 대한 열결달 모델링에 관하여 Fig. 4(a)에 나타내었고, 실험적 데이터와 이론적 데이터를 비교하여 Fig. 4(b)에 나타내었다. 시간이 증가함에 따라 분당되는 면적은 점점 증가하였는데 Fig. 4 (b)의 실험치와 열모델링한 데이터를 비교한 그래프를 보면 거의 일치하는 것을 볼 수가 있다.

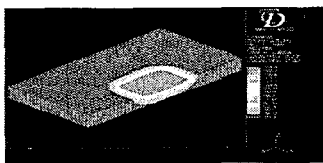


Fig. 4 (a) Heat transfer modeling for time

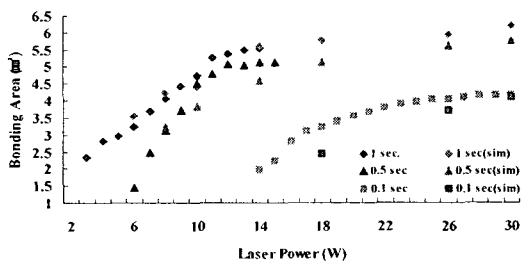


Fig. 4 (b) Heat transfer modeling for time

4.3 플라스틱의 접합 특성

4.3.1 유사/이종 플라스틱의 접합 특성

유사 플라스틱과 이종 플라스틱의 접합 면적을 Fig. 5(a)부터 Fig. 5(f)에 나타내었다.

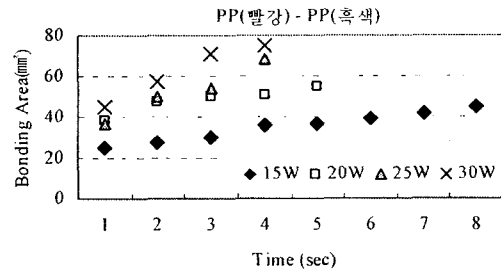


Fig. 5 (a) Bonding Area between PP to PP bonding

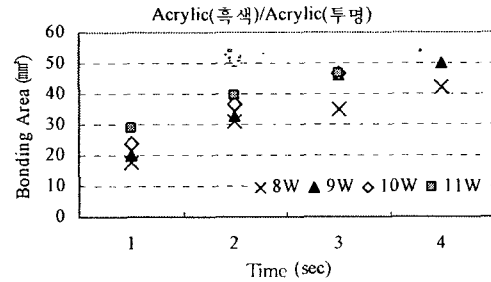


Fig. 5 (b) Bonding Area between Acrylic to Acrylic bonding

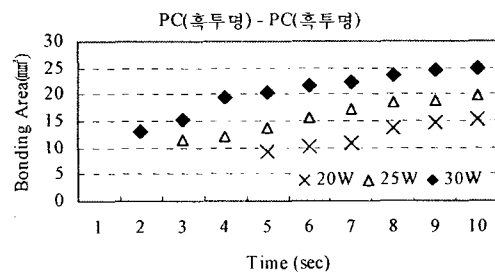


Fig. 5 (c) Bonding Area between PC to PC bonding

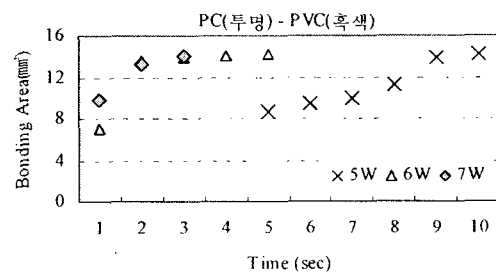


Fig. 5 (d) Bonding Area between PC to PVC bonding

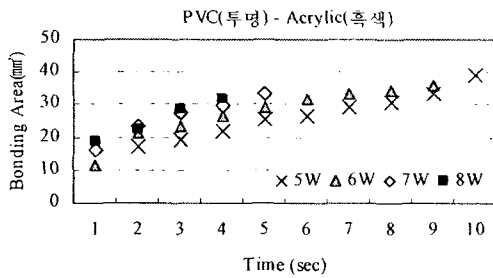


Fig. 5 (e) Bonding Area between PVC to Acrylic bonding

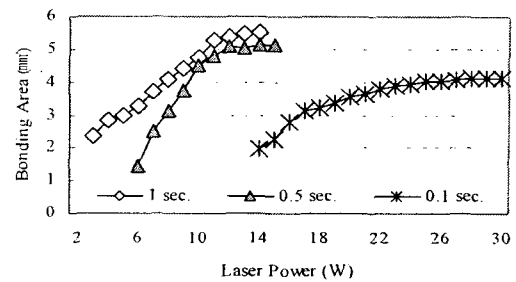


Fig. 6 (b) Bonding Area with dye coated materials

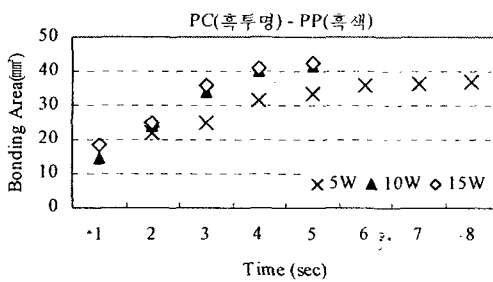


Fig. 5 (f) Bonding Area between PC to PP

빔 크기는 12 mm 이고 압력은 30 kg 이며, 조사 시간은 1-10 초이다. PP 간의 접합은 15 W, 20 W, 25 W, 30 W 로 출력을 변화시키면서 시간과 레이저 출력에 따라 점점 증가하는 그래프를 얻었다. 이중 플라스틱 중 PVC 와 Acrylic 에 대하여 나타낸 그래프를 보면 조건은 유사 플라스틱과 동일하고 레이저 출력은 그보다 낮은 5 W, 6 W, 7 W, 8 W 로 낮은 파워에서 측정하였다. PVC 와 Acrylic 은 재료의 특성이 유사하여 접합이 가능하며 시간과 출력에 따라 위와 같이 증가하는 그래프를 얻었다. 다른 플라스틱도 시간과 레이저 출력에 따라 접합 면적이 증가함을 볼 수 있었다.

4.3.1 투과성 플라스틱의 접합 특성

Fig. 6 은 투과성 플라스틱을 코팅하여 접합한 것이다. 빔 크기는 3 mm 이다. 투과성 플라스틱에 코팅을 하여 접합을 할 경우 코팅물질이 에너지를 많이 흡수하기 때문에 단시간에 접합된다.

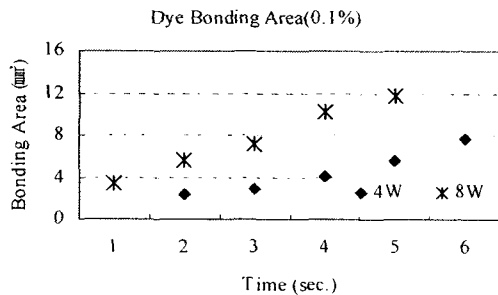


Fig. 6 (a) Bonding area with dye coated materials

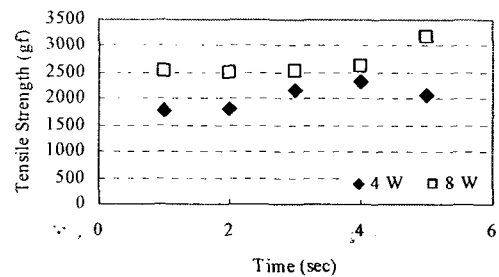


Fig. 7 Tensile strength with coated dye

5. 결론

본 연구에서는 고출력 다이오드 레이저를 이용한 열가소성 플라스틱의 레이저 투과 접합에 대해서 알아보았다. 유사 플라스틱간의 접합은 매우 쉽게 이루어졌으며 접합 품질이 우수하게 나타났다. 접합 면적은 레이저 출력과 조사시간에 비례하여 증가하였으며 접합 인장력은 용융 면적과 비례하였다. 또한 투과성이 강한 플라스틱간의 접합에서는 접합 면에 흡수체 코팅을 통하여 가능함을 확인하였다. 레이저 투과 접합 공정은 향후 전자, 반도체, 디스플레이 산업에서 정밀 패키징 기술로서 활용이 기대된다.

후기

본 연구는 차세대 핵심환경기술개발사업 지원으로 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. V. A. Kagan, R. G. Bray and W. P. Kuhn, "Transmission Welding of Semi-Crystalline Thermoplastics-PART : Optical Characterization of Nylon-Based Plastics" .
2. K. H. Rye, N. I. Kwon, M. H. Seo, and G. J. Nam, "Technology for Anisotropic Conductive Film(ACF) Welding by using a High Power Diode Laser" LMP, 2004.