

상용차 오일압력 측정용 압력센서 제작을 위한 레이저용접기술

이 영 민* · 김 순 동* · 최 해 운**.†

*계명대학교 대학원 기계공학과

**계명대학교 기계자동차공학과

Development of Laser Welding Technology for Commercial Vehicle Oil Pressure Sensor

Young Min Lee*, Soon Dong Kim* and Hae Woon Cho**.*†

*Department of Mechanical Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

**Department of Mechanical and Automotive Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

†Corresponding author : hwchoi@kmu.ac.kr

(Received July 24, 2012, ; Revised August 16, 2012 ; Accepted August, 21, 2012)

Abstract

Using a fiber laser heat source, an oil pressure sensor was fabricated to measure the pressure in commercial vehicles. A stepping motor was used for the rotational and translational motion in the diaphragms and hardware joining. Laser welding process algorithm including shielding gas control and vision system was integrated by using LabVIEW software for the high quality welding and in-line monitoring purpose. For the maximum flexibility in pressure transmission to the pressure sensor, thin sheet metal diaphragm, 25~50 μ m(SUS-316L), was used and the diaphragms were optimally designed with FEM analysis. The welded samples were cross-sectioned the observation showed that the maximum depth ratio was more than seven times of diaphragms. The maximum welding speed was measured to be as high as 50in/mm by the developed automation mechanism. The fabricated prototypes were tested for the proof pressure, spring constant and sealing. The FEM results of spring constant measurement was as accurate as up to 80% of the design value and the sensor was safely operated up to the nominal pressure of 10bars.

Key Words : Oil sensor, MEMS sensor, Diaphragm

1. 서 론

최근 상용차의 자동차 부품 및 시스템이 전자화 되면서 액추에이터 및 이를 모니터링하는 장치에 대한 높은 신뢰도가 요구 되고 있다. 이 중 유압시스템의 오일압력 변화를 실시간으로 측정할 필요성이 대두됨에 따라 모든 유압시스템의 안정적인 제어를 위하여 오일압력을 실시간으로 체크하는 신뢰성 높은 기능을 압력센서는 수행 한다. 이를 위해서 상용 차량 한 대당 2~4개의 압력센서를 필요로 하게 되는데, 압력센서는 압력을 감지해서 전기신호로 변환시켜 시스템을 제어하는데 사용되는 센서로써 효율적인 제어를 위해서 감지부의 고 감도화를 수반하는 고 성능화가 요구된다¹⁾.

이러한 기대에 부응하기 위한 센서 중 MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)형 반도체압력센서는 유체에 의한 압력이 금속 다이어프램에 전달되면 다이어프램이 휘면서 센서내의 봉입된 오일이 압력 센서 칩(chip)에 압력을 간접 전달하는 형태를 띄게 된다²⁾. 이때 사용되는 다이어프램은 매질과 센서를 분리시켜 주며 사용 압력 영역에서 소성변형을 일으키지 않고 탄성을 좋게하기 위해서 SUS-316L 박판(두께 : 50~100 μ m)을 주름내어 용접을 하여 사용한다(Fig. 1).

그러나, 용접공정시 발생하는 열변형 및 공정의 복잡성 때문에 자동화 기술보다는 고도의 숙련공들에 의해서 수동 용접으로 제작되는 경우가 많다. 수동용접의 경우 품질이 균일하지 못하고 소입 열원의 제어가 어려워 용접품질에 많은 영향을 미치게 된다³⁾.

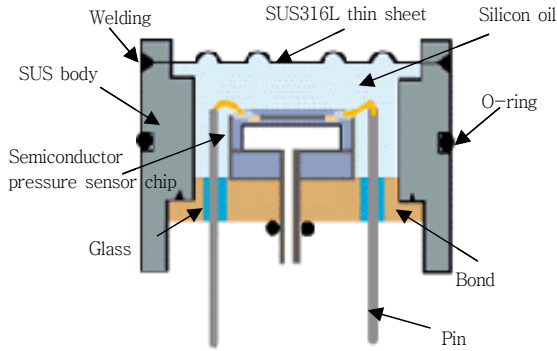


Fig. 1 Structure of metal isolated sensor element

고밀도 레이저 열원을 이용한 접합 기술은 상대적으로 자동화가 쉽고, 소입 열원의 변수를 제어하기 용이하여 신뢰도나 정밀도에 대한 장점을 이유로 전기, 전자, 반도체산업 등 산업 전반에서 그 쓰임이 증가하고 있다⁴⁾. 특히 레이저 용접은 공구와 공작물의 비접촉으로 인해서 공구마모에 의한 정밀도 저하를 막을 수 있고, 공구수명에 따른 비용을 줄일 수 있는 장점이 있다⁵⁻⁷⁾. 이러한 레이저 열원은 고 파워밀도를 가지는 미세 집광빔에 의해 고속 용접 하에서도 키홀(key hole)이 붕괴하지 않고 양호한 비드를 형성될 수 있으며 열영향, 열변형이 거의 없고, 깨끗한 외관 및 충분한 인장강도를 확보 할 수 있어, 타 용접에 비해 월등히 균일한 품질을 기대 할 수 있으며 또한 자동화가 용이하여 대량생산에 적합한 작업성, 양산성 및 경량화 등에 대한 장점으로 인해 미세 박판용접 뿐만 아니라 절단, 마킹 및 드릴링 등에도 많이 적용되고 있다⁹⁾.

본 연구에서는 박판 다이어프램을 고밀도 레이저 열원을 이용한 고 신뢰도 접합을 위한 용접선 추적 자동화시스템 장치를 통한 박판 고속용접을 통해 오일 압력센서의 시제품 제작 및 성능평가에 대한 연구 결과를 소개한다.

2. 실험의 방법

2.1 실험 장치 셋업

실험에 사용된 다이어프램은 압력소자를 외부환경으로부터 격리 시켜줌으로써 반도체 소자가 펄스(충격) 압력 및 고온에도 견딜 수 있도록 하며 동시에 압력을 압력소자로 안정적으로 전달 시켜주는 역할을 한다. 압력소자는 압력센서 바디 속에 위치하며 다이어프램으로 밀봉되고, 그 속은 실리콘 오일로 기포 없이 초기 충전하여, 외부로부터 압력이 가해졌을 때 다이어프램이 내부의 실리콘 오일을 눌러 압력센서 바디 내부에 압력을 높여 압력소자로 압력을 전달하게 되는데, 사용용도 및

Table 1 Mechanical properties of SUS-316L

SUS-316L stainless steel mechanical properties	
Tensile strength, ultimate	560MPa
Tensile strength, yield	290MPa
Elongation at break	50.0%
Modulus of elasticity	193GPa
Charpy impact	103J
Izod impact	150J

사양에 따라서 최적의 다이어프램 형상으로 설계 되게 된다. 실험에 사용된 재료의 상세사양이 Table 1에 표기 되어 있으며, 본 연구에서 접합 후 압력센서가 최고 압력 10bar까지 측정 가능 하도록 소재 선정 및 두께 (50 μ m)를 선정 하였다.

실험에 사용된 장비 구성도는 Fig. 2에 도시되었다. 압력센서 다이어프램 박판을 용접하기 위해서 회전형 이송기구, XY 모션테이블 시스템, 그리고 레이저 시스템을 연동하였다.

스텝핑 모터 위치에 따라 레이저를 제어하기 위해 LabVIEW S/W를 통해서 각종 디바이스를 연동하도록 구성하였다. 신호수집이 가능한 DAQ로 USB-6211 디바이스, 컨트롤러로부터 펄스신호를 받아 제어하는 유니폴라 스텝핑모터 드라이버, 레이저 빔과 용접위치를 설정(align) 하고 용접을 감시하는 비전 시스템, 산화 방지를 위한 보호가스 노즐을 장착하고, 비전시스템 보호 및 용접부 이미지를 위한 ND 필터 (Neutral Density filter)를 장착하였다 (Fig. 3). PC와 카메라는 직접 연결되어 이미지를 PC로부터 확인할 수 있고 PC는 USB-6211을 통해 쉐딩 가스를 공급하기 위한 솔레노이드 밸브와 스텝핑 모터, 레이저 시스템을 통합 제어 하게 된다. 스텝핑 모터드라이버에는 24V 전원이 공급되고 USB-6211에서 발생하는 펄스 신호를 드라이버가 받아 모터를 구동하게 된다.

본 실험에 사용된 레이저 시스템은 파이버 레이저 (CW, 파장 1070nm) 최대 출력은 250Watt이다⁵⁾. 파이버를 통해 전송된 레이저는 Collimating 렌즈를

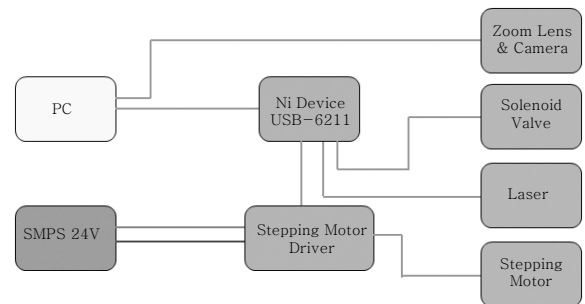
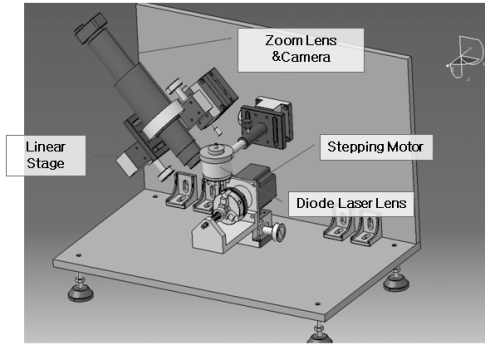
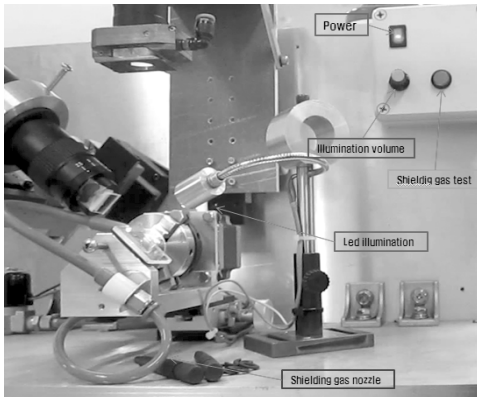


Fig. 2 Configuration of welding equipment



(a) 3D modeling



(b) welding equipment

Fig. 3 Designed equipment configuration

통해 평행 빔으로 바뀌고 45도 기울어진 미러에 의해 수직 방향으로 빔의 진행이 바뀌게 되며, 최종적으로 초점 렌즈에 의해 에너지가 한 점에 모이게 된다.

2.2 다이어프램 용접 실험

시편접합을 위해서 초점렌즈를 사용하여 확산되는 빛을 한 점으로 모아주게 된다. 한 점으로 모이는 위치인 점에서부터 렌즈까지의 거리를 초점 거리라 하며⁴⁾, 초점 거리를 통해서 초점의 크기를 조절 한다. 본 실험에서 초점의 크기는 에너지 집속밀도 뿐만 아니라, 인접 재료의 열변형에 영향을 미칠 수 있으므로, 초점렌즈 사양에 따른 계산 결과가 아닌 가장 Focused된 빔과의 상대 비교를 하기 위해 실제 크기를 측정 하였다. 본 실험에서 사용되는 렌즈의 초점 거리를 알아보기 위해 번(burn) 페이퍼(paper)에 레이저 빔을 0.1초 동안 조사하여 초점의 직경을 현미경으로 측정하였고, 이를 Table 2에 요약하였다. 측정 결과 초점 거리 45.5mm 일 때 0.8mm로 가장 작은 크기로 높은 에너지 밀도를 나타내고 있음을 알 수 있었고 본 실험의 공정변수로 사용하였다⁹⁾.

시제품을 용접하기 위해 압력센서 바디와 다이어프램, 바디 링을 제작하여 250W급 파이버 레이저를 사

Table 2 Spot diameter vs focus length

Focus length (mm)	Spot dia. (mm)
35.5	2.9
37.5	2.3
39.5	1.9
41.5	1.3
43.5	0.9
45.5	0.8
47.5	1.0
49.5	1.6
51.5	1.8
53.5	1.8
55.5	2.3

용하여 목표 용접속도 1.27m/min에서 레이저 출력을 100W에서 10W씩 증가 시키면서 230W까지 높이면서 압력센서 시제품을 용접 하였다. 용접의 방법은 다이어프램 좌우로 센서바디와 바디링을 위치시키고, 용접 신뢰도를 높이기 위해서 레이저 빔위치를 다이어프램 정중앙에 위치 시켰다 (Fig. 4 (a)). Fig. 4(b)는 용접 직전 시제품을 용접장비에 세팅한 사진이며, Fig. 4(c)는 압력센서 바디와 다이어프램, 바디 링이 용접 진행되는 모습이다.

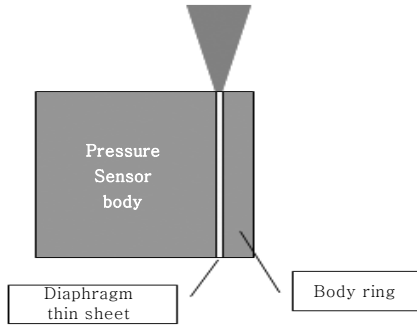
용접의 신뢰도 및 기밀성을 육안으로 확인하기 위해서 비드 외형과 용접이 끝나는 부분의 크레이터(crater) 및 용접 단면을 관찰하였다 (Fig. 5). 레이저 출력이 높아질수록 크레이터의 모양이 또렷해지는 것을 확인할 수 있으며, 일부 크레이터에서는 기포발생으로 인해서 기밀성을 떨어뜨리는 요인이 발견되었다.

이러한 크레이터에 의한 불량방지를 위해서 레이저빔의 출력을 시작과 마지막 부분에서 완만하게 제어하고 약 1mm정도의 오버랩을 통해서 개선 하였다. 용접부위를 관찰하기 위해서 단면촬영을 실시하여 용접깊이와 용접 경계선을 관찰하였고 (Fig. 5), 그 결과를 Fig. 6 에 도시하였다.

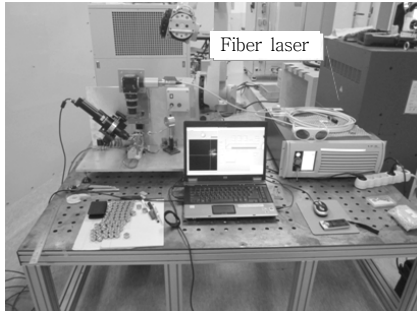
3. 압력센서 시제품 테스트 결과

3.1 스프링 상수 비교

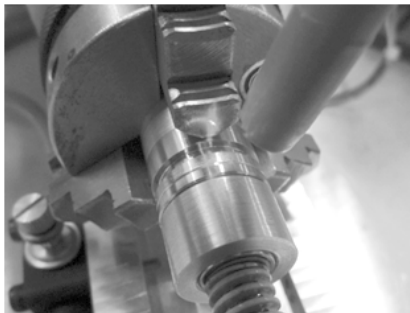
다이어프램 안쪽에 실리콘오일로 기포 없이 채워져 있어 외부에서부터 10bar의 압력이 가해지더라도 실제 다이어프램이 소성변형 되지 않고 견디어 내는 압력과 변형되는 양을 알아보기 위해 스프링상수 값을 계산하였다. 다이어프램의 스프링 상수 값을 알아보기 위해 ANSYS 소프트웨어를 사용하여 예측했던 스프링 상수 값과 제작한 다이어프램의 실제 스프링 상수 값과 비교



(a) Welding position



(b) Welding experiment setup



(c) Pressure sensor welding

Fig. 4 Welding of pressure sensor

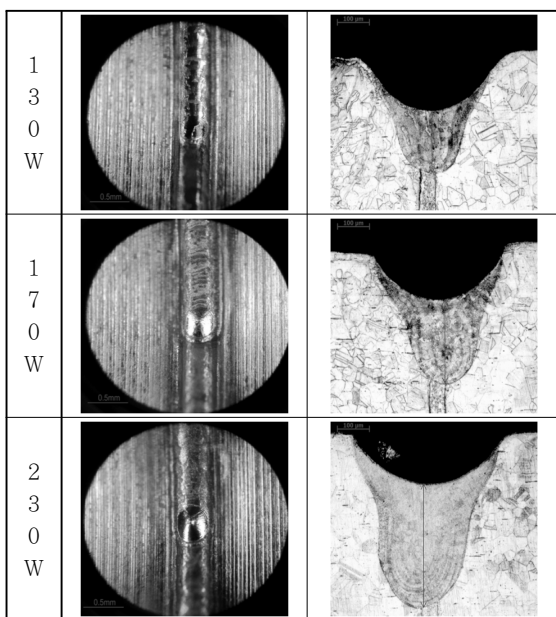


Fig. 5 Result of welded pressure sensor

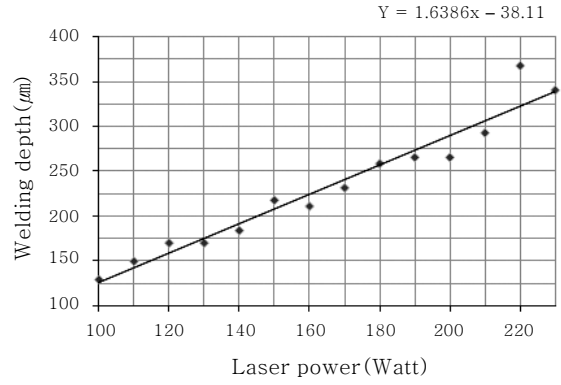


Fig. 6 Welding depth vs. Laser power

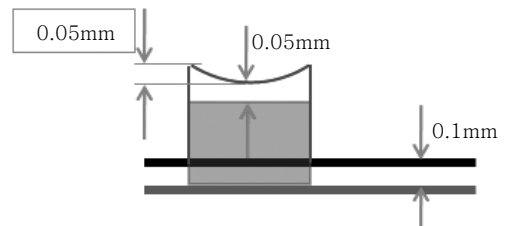


Fig. 7 Overview of diaphragm spring constant measurement

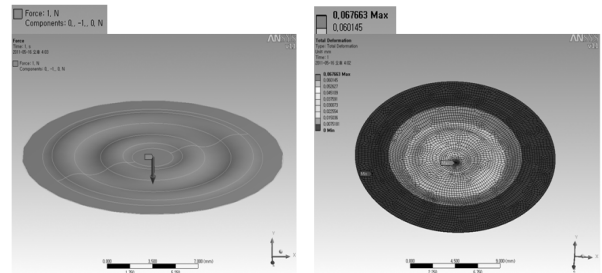


Fig. 8 Diaphragm spring constant in ANSYS in order to reach a load and deformation

를 하였다. ANSYS 소프트웨어에서 다이어프램 중앙 부분에 1N의 하중을 가하고 최대 변형량을 측정하여 스프링 상수를 도출 하였다(Fig. 8). 하중을 최대 변형량으로 나누어 스프링 상수를 계산한 값이 14,778N/m로 나타났다.

제작된 다이어프램의 실제 스프링 상수 값을 알아보기 위해 다이얼게이지 2개를 사용하여 하나는 스테이지 면을 직접 측정하고, 하나는 다이어프램 면을 측정하였다. 스테이지 면이 0.1mm 올라갔을 때 다이어프램 면의 측정 높이는 0.05mm를 나타냈다(Fig. 7). 즉, 다이어프램 변형량은 0.1mm-0.05mm=0.05mm 임을 알 수 있었다. 이때 다이얼게이지의 0.05mm일 때 하중을 3회 실시한 결과 평균 값은 65.7g (0.64N)이었다. 이렇게 찾아낸 하중과 변형량으로 근거로 스프링

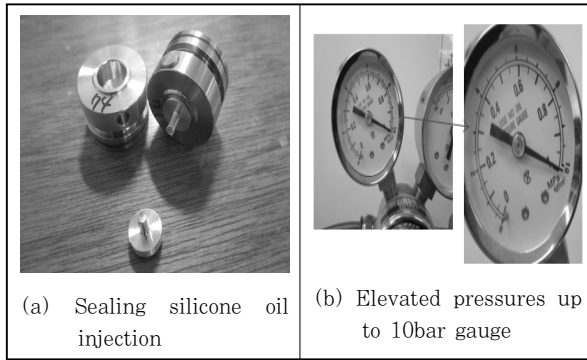


Fig. 9 Pressure test for the sensors

상수를 계산했을 때 실제 다이어프램의 스프링 상수는 12,877N/m 로 나타났다.

ANSYS에서 계산된 스프링상수 예측 값과 실제 다이어프램의 스프링상수 측정 값을 비교 하였을 때 약 87%의 정확도로 계산 되었다.

3.2 용접부 기밀 시험

용접한 부위의 기밀성을 테스트하기 위해 실제 압력 센서에 실리콘 오일을 채워 넣고 오일 주입구와 압력센서 소자가 장착되는 부위를 밀봉하고 압력을 가하였다. 가압을 위해서 공압 기계에 사용되는 수분필터의 필터 부분을 제거하여 공간을 확보하고 압력센서 샘플을 넣고 아르곤가스를 사용하여 10bar 까지 압력을 가압 하였다.

용접 조건의 변수인 레이저 출력별 모든 샘플 14개 모두 실시하였으며 압력을 10bar까지 가압한 후 현미경으로 용접 외관을 관찰 하면서 누유 유무를 확인 하였다. 그 결과 용접 출력별 14개 샘플 모두 누유가 발생하지 않아 기밀성에 있어 신뢰할 수 있다고 판단된다 (Fig. 9).

4. 결 론

상용차 오일압력센서 제작을 위해서 실험장치를 구성 하고, 고밀도 열원을 이용하여 압력센서를 제작하는 방법에 대한 연구를 수행 하였다. 스텝핑 모터를 사용하여 회전 및 직선 모션테이블 시스템을 구축하고 레이저 시스템과 보호가스 및 비전시스템을 연동하였다.

LabVIEW 소프트웨어로 제어할 수 있는 레이저 장비를 자체적으로 개발하고 용접 실험에 사용 하였으며, 용접 장비와 레이저 장비를 연동하여 정확한 위치에 레이저 조사가 가능 하였으며 사용자가 원하는 센서의 사이즈에 따라 제어가 가능한 것을 확인 하였다.

실제 레이저를 이용한 용접 실험을 통해 50 μ m의 초박판 다이어프램도 신뢰도 높게 용접이 가능 하였으며, 단면 관찰을 통해 모재의 두께 대비 약 7배 이상의 용접 깊이로 신뢰도 높은 용접 품질을 확인 하였다. 또한 용접 속도가 1.27m/min의 고속에서 이뤄졌으며, 기존 수동 용접에 비해 자동으로 고속 용접이 가능 한 것을 확인 하였다. ANSYS를 사용하여 다이어프램을 응력해석 하였을 때 스프링 상수 값을 80% 이상 예측 설계가 가능 하였으며, 다이어프램을 직접 성형함으로써 성형기술을 실현화 하였다. 압력센서 시제품 결과 누유 없이 신뢰도 높은 용접 품질을 보였으며 0~10bar 까지의 압력 측정이 가능한 것으로 나타났다.

본 연구의 결과를 토대로 양산에 접목 시킨다면 고압 압력센서 제작이 가능 할 것으로 판단되며 기존 용접방법에서 벗어나 레이저를 사용하여 고속 및 자동화 용접으로 생산효율 증대에 기대가 된다.

후 기

본 연구는 학술진흥재단 일반연구자 지원사업의 지원으로 이루어 졌으며 (2011-0010687), 이에 감사드립니다. 본 연구 수행에 장비를 지원하여 준 IPG Korea 관계자 분께도 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. Ju Young Joung, Kyung Chan Kim and Jae Hee Park : A Study on the Pressure Characteristics of FFPI Pressure Sensor using the Si Diaphragm, Optical Society of Korea, **12-6** (2001), 431-524 (in Korean)
2. Un Ryul Baek, Sung Su Kim and Sung Hwan Kim : Development and Validations of Air Data System using MEMS Sensor for High Performance UAV, The Korea Society for Aeronautical & Space Sciences, **36-10** (2008), 939-1043 (in Korean)
3. J. Seo, Y. Han : Laser Welding in Automotive Industry, Journal of KWS, **12-2** (1994), 49-63 (in Korean)
4. C. Lee, S. and Nam, H. Shin[Co-authors] : Ministry of Science and Technology, Korea Institute of Science and Technology Information, Laser Processing Technology Trends, 2006 (in Korean)
5. Jong Gi Yoo, Choon Woo Lee and Hae woon Choi : Hybrid(CNC+Laser) Process for Polymer Welding, Journal of KWJS, **28-3** (2010), 42-48 (in Korean)
6. Seo Jung Park and Seong Uk Kim, etc : Micro Welding with Fiber Laser and its Applications, Proceedings of the KWS Conference, KWJS 2006-Autumn, (2006), 155-157 (in Korean)
7. J. Lee, J. Seo, D. and Shin S. Kim : Trend of Laser Assisted Machining, Journal of Korean Society

- of Laser Processing, **10-1** (2007), 1-10 (in Korean)
8. M. Seo, K. Ryu, Y. Hong S. and Moon, K. Nam : Study on Laser Transmission Welding of Thermoplastics, Optical Society of Korea Summer Meeting 2004, 7.8~9 (2004), 136-137 (in Korean)
9. Seo Jeong Park, Mok Young Lee and Woong Seong Chang : Dissimilar Metal Welding Titanium and Steel by Fiber Laser, Proceedings of the KWS Conference, KWJS 2008-Spring (2008), 45-45 (in Korean)