

Steering Gear 모듈화를 위한 일체형 Rack Housing의 공정에 관한 연구 [Ⅱ] - 일체형 Rack Housing의 공정특성 -

김종도† · 이창제*

(원고접수일 : 2008년 7월 25일, 원고수정일 : 2008년 8월 31일, 심사완료일 : 2008년 8월 31일)

A Study on Processing of Monolithic Rack Housing for Modular Steering Gear [Ⅱ]

- Processing Characteristics of Monolithic Rack Housing -

Jong-Do Kim† · Chang-Je Lee*

Abstract : The purpose of this study is manufacturing of monolithic housing for modularization of steering gear. Monolithic housing is difficult to weld with only rotation and linear motion. It is for this reason that housing of joining parts have a slope of 76.3 degrees. For this reason, welding trajectory was measured by the cooperative controled robot system, and then allowing for measured results, we developed the dedicated system. The developed system can be welded by using only 3 axes in contrast with robot system using 8 axes in housing welding. In addition, we applied CMT and laser welding device to dedicated system and as a result of experiment, sound bead and excellent roundness could be obtained.

Key words : Monolithic rack housing(일체형 랙하우징), Dedicated system(전용 시스템), Cooperative controled robot system(협조제어 로봇시스템), Multi-axis control(다축제어), Laser(레이저), CMT welding(CMT용접)

1. 서 론

자동차의 주요장치 중 하나인 steering gear는 기어를 움직이는 기계식에서 유압과 전기로 작동하는 power steering gear로 발전하였다. 특히, 최근 판매되는 자동차의 대부분이 power steering gear를 장착하여 출고되고 있어, 이 분야의 매출

신장은 매우 크다고 할 수 있다. 이러한 이유로 steering gear의 모듈화를 통한 생산성 및 품질향상이 요구되고 있는 실정이다.

Power steering gear 시스템의 steering gear housing은 피니언기어(pinion gear), 동력 실린더(power cylinder) 및 피스톤(piston) 그리고 랙(rack) 등을 지탱하는 중요한 요소이다.

† 책임저자(한국해양대학교 기관시스템공학부, E-mail:jdkim@hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4253)

* 한국해양대학교 대학원

그러나 기존의 steering gear housing은 다이캐스팅재의 rack housing에 rack tube와 valve housing 등의 여러 부품들을 조립하여 제작하고 있다. 따라서 지금까지는 작동부에 용접 등과 같은 가공을 회피하는 설계 등으로 이 문제를 해결하고 있다. 그러나 고객의 요구사항이 까다로워지고 부품설계 등이 모듈화되면서 작동부의 가공은 피할 수 없는 상황이 되었다. 특히 실린더 역할을 하는 housing의 가공 정밀도는 곧 동력 피스톤의 수명과 직결되기 때문에, 가공에서 정도를 유지하는 것은 매우 중요하다. 그러나 housing 제작시 수반되는 용접은 부득이하게 용접변형을 초래한다^[1,2].

따라서, 본 연구에서는 일체형 rack housing 제작에 수반되는 용접변형을 최소화하기 위해, 일체형 rack housing의 용접에 최적화된 전용시스템의 특징 및 1보^[3]에서 보고한 데이터를 기초로 하여 제작된 housing의 용접특성을 평가하였다.

2. 실험방법

2.1 사용재료

본 연구에서 사용된 재료는 1보에서와 마찬가지로 SAE1020을 사용하여 Fig. 1과 같이 rack housing과 valve housing으로 인발가공(drawing)하였다.

가공된 rack housing의 길이는 540mm, valve housing의 길이는 110mm이었으며, 두 housing의 직경은 50mm로 제작되었다. 특히, 두 housing의 교차 조립부는 직교하지 않고 76.3도의 기울기를 가지고 결합된다. 때문에 각 교차점마다 원주율이 변화하여 용접형상이 매우 복잡한 양상을 띠게 된다.

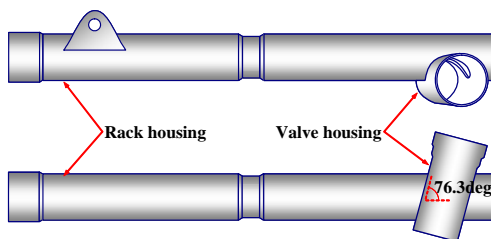


Fig. 1 Schematic illustration of monolithic rack housing

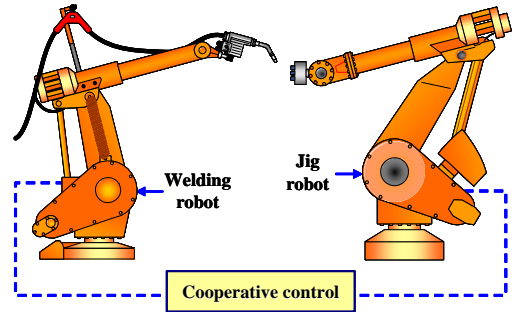


Fig. 2 Schematic illustration of the cooperative controlled robot system

2.2 실험방법

Steering gear housing의 용접은 1보에서 이미 보고된 데이터에 근거하여 실시하였으며, 이때 사용된 열원은 CMT(Cold Metal Transfer)와 CW Nd:YAG레이저를 사용하였다.

다음으로 일체형 rack housing의 시제품 제작 및 용접케직의 분석을 위해 Fig. 2에서와 같이 두 대의 로봇을 동기하여 steering gear housing을 제작한 후, 이를 바탕으로 일체형 steering gear housing에 적합한 전용 시스템을 구축하였다.

이후, 전용 시스템으로 제작된 일체형 steering gear housing은 3차원 스캐너를 이용하여 진원도(roundness)를 평가하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 일체형 rack housing의 용접케직

두 대의 로봇을 이용한 협조제어 시스템으로 구현된 일체형 rack housing의 용접케직은 Fig. 3에 나타난 것처럼 3차원의 말안장과 같은 형상을 띄고 있다. 그러나 rack housing과 valve housing이 76.3도의 기울기를 가지고 있기 때문에 각 교차점에서의 곡률반경은 동일하지 않다.

그러므로 housing의 용접케직을 추종하기 위해서 총 8자유도가 사용되었으며, 로봇 조작자에게는 상당한 조종능력이 요구되었다. 이러한 조건은 대량생산공정에서 숙련된 작업자와 다수의 로봇을 요구하기 때문에 매우 비효율적인 방법이며, 두 대의

로봇을 이용한 협조제어 시스템 또한 용접계획 수준의 재현성이 문제가 될 수 있다.

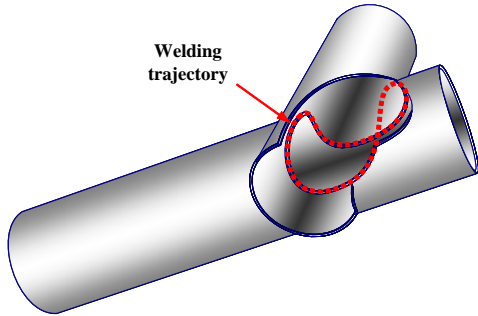


Fig. 3 Welding trajectory of monolithic rack housing

3.2 전용시스템의 구축

3.2.1 전용시스템의 작동기구

앞서 기술한 협조제어 시스템은 두 대의 로봇을 사용하기 때문에 장비간 동기의 어려움이나 숙련도가 요구되며, 3차원 가공의 특성상 대량생산할 때 정도 높은 반복재현성의 구현하기가 매우 어렵다.

이러한 이유로 일체형 rack housing에 적합한 전용시스템이 요구되었으며, 시스템 구현을 위해서 협조제어 시스템에서 사용된 각 축의 운동특성을 분석하였다. 우선, Fig. 2에 나타난 협조제어 시스템은 용접로봇과 지그로봇으로 이루어지는데, 실제 용접에서 용접로봇 6축, 지그로봇 2축이 사용된다. 특히 housing의 교차점에서 두 로봇간의 회전운동이 두드러짐을 확인하였다.

이를 바탕으로 전용 시스템은 직교하는 회전축을 갖는 총 5축의 장치로 구현되었다. Fig. 4에 나타난 것과 같이 시스템은 협조제어 시스템과 마찬가지로 용접축과 지그축으로 구성되어 있으며, 회전하는 두 축이 직교하도록 설계되었다. 이러한 고안은 파이프용접에 최적화된 운동 특성을 나타냈으며, 특히, 교차하는 두 파이프의 용접에 매우 적합한 운동특성을 보였다.

다음으로 전용 시스템의 각 축별 특징을 살펴보면 용접축의 경우 용접헤드를 움직이는 회전축과 승강축 그리고 용접위치를 선정하는 이송축의 3축으로 이루어져 있으며, 지그축은 용접할 부품을 용

접계획이 따라 회전시키는 회전축과 이송축의 2축으로 구성하였다.

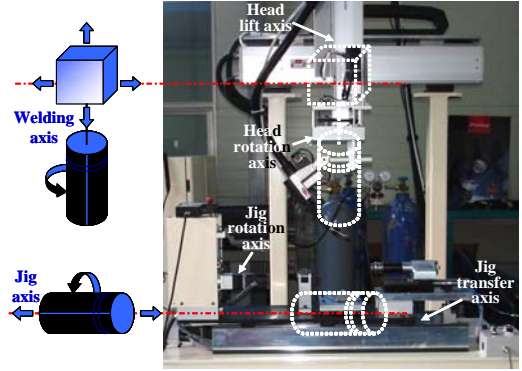


Fig. 4 Setup of dedicated system for monolithic steering gear housing

3.2.2 Housing 용접시의 운동특성

일체형 rack housing의 용접은 3차원으로 이루어지므로 다축제어가 요구된다. 따라서 5자유도를 가지는 전용시스템을 이용하여 housing의 용접계획을 추종하였다.

전용시스템의 housing 용접에서 각축의 이동경로를 Fig. 5에 나타낸다. 그래프에서 보듯이 실제 용접에 사용된 축은 총 4축으로 용접축은 헤드회전축과 승강축이 사용되었으며, 지그축도 회전축과 이송축이 사용되었다. 그러나 위빙(weaving)을 하지 않을 경우에는 헤드 승강축을 사용하지 않고 3축만으로도 용접이 가능하였다.

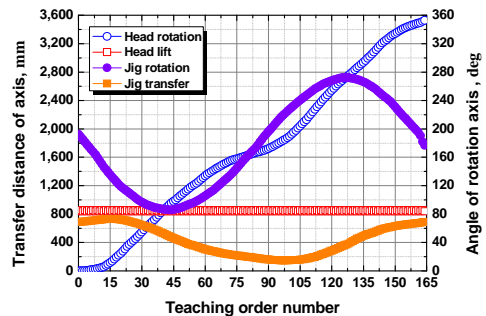


Fig. 5 The moving path with each axis in housing welding

각 축별 이동경로값은 회전을 하는 헤드와 지그

회전축은 각각 360deg 회전과 80~260deg 구간을 왕복반회전 운동을 하였으며, 지그 이송축은 두 housing간의 교차각에 따라 위치별로 최대 580mm의 왕복운동을 하였다. 또한, teach-in 방식인 본 시스템은 총 164 point의 teaching point로 용접계적을 추종할 수 있었다.

다음으로 3차원 가공의 재현성을 확보하기 위해서는 각 축의 반복재현성이 매우 중요하다. 이를 확인하기 위해서 각 축별로 반복재현성을 측정하였다. 측정방법은 축을 특정위치까지 반복적으로 이송시켰을 때의 위치오차를 측정하여 평균하였다.

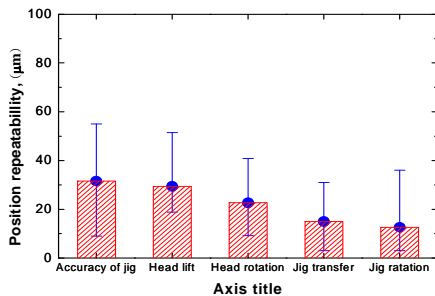


Fig. 6 Position repeatability with each axis of dedicated system

이렇게 측정한 각 축별 반복재현성을 Fig.6에 나타낸다. 각 축별 반복재현성은 약 20 μ m였으며, 헤드 승강축과 지그의 고정정도가 약 30 μ m 정도로 약간 크게 나타났는데, 헤드 승강축의 경우는 용접 헤드축과 승강축의 중량 때문에 이송중 관성에 따른 영향으로 판단되며, 지그의 고정정밀도는 각 housing에 따른 외경의 오차가 그 원인인 것으로

사료된다. 그러나 이러한 오차는 허용값 이내이고 로봇의 반복재현성이 약 200 μ m 전후임을 감안하면 매우 정밀한 재현성을 갖기 때문에 실제 적용에서 우수한 용접계적 추종능력을 보일 것으로 생각된다.

3.3 일체형 rack housing의 용접특성

3.3.1 열원별 용접성

일체형 rack housing의 용접에는 제품의 특성상 용접변형에 우수한 성능을 발휘하는 CMT와 레이저를 열원으로 각각 적용하여 시제품을 제작하였다. 각 열원별 용접조건은 1보에서 보고한 용접조건을 사용하여 실험을 실시하였다. 용접후 각각의 비드외관 및 단면사진의 분석위치를 Fig. 7에 나타낸다.

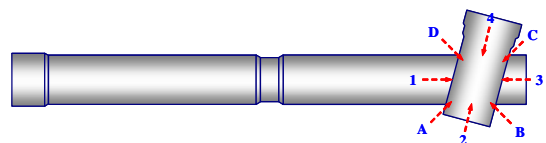


Fig. 7 Measured position of weldment by CMT and laser heat source

CMT용접의 조건은 용접전류 150A, 용접전압 11.9V(아크길이 고정 5%)이었으며, EN440 G3Sil-Ø 1.0mm (AWS ER70-6)의 filler wire를 6.0m/min의 속도로 공급하였다. 이때 실드가스는 Ar과 CO₂를 82:18의 비율로 혼합하여 사용하였으며, 용접속도는 500mm/min으로 하였다.

CMT 용접의 비드외관 및 단면사진을 Fig. 8에

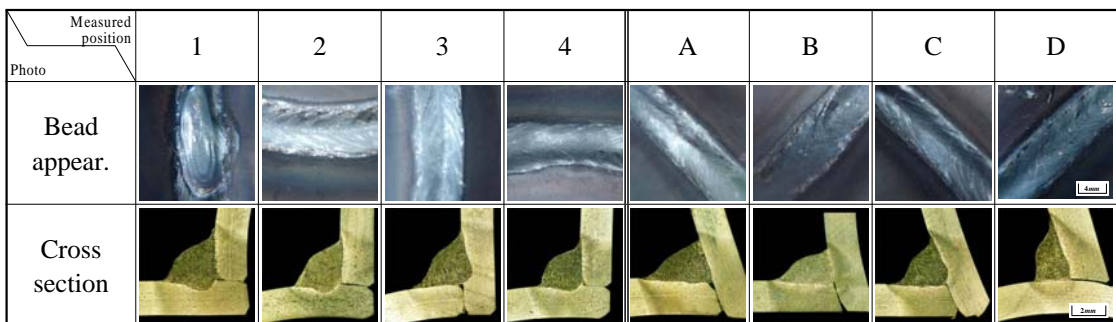


Fig. 8 Bead appearance and cross section of weldment in CMT welding

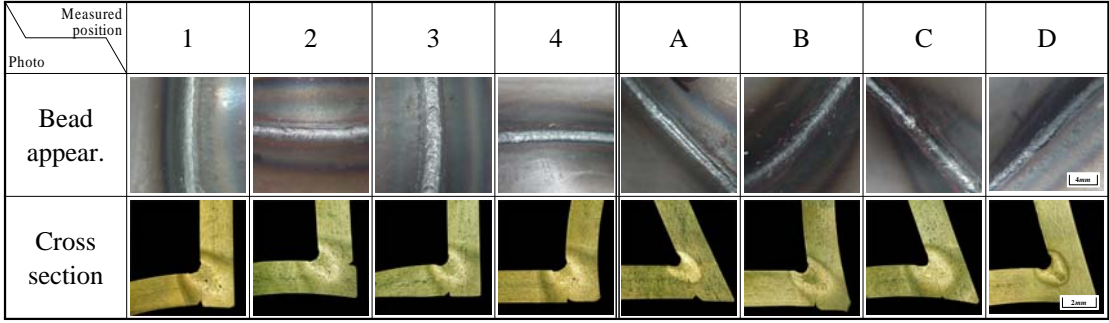


Fig. 9 Bead appearance and cross section of weldment in laser welding

나타내고 있다. 사진에서 보듯이 미드외관은 미려하였으며, CMT에 의한 저입열 용접으로 아크용접시 발생하는 스패터의 부착에 의한 비드외관 및 모재의 오손이 거의 없었다. 또한 용접부의 마지막 끝단은 0.2초간 용접전류를 80%로 하강시켜 크레이터 처리함으로써 결함이 없는 중첩부를 형성하였다.

용접단면은 Fig. 8에서 보듯이 ①, ②, ③ 및 ④ 번의 평행 원주구간에서는 우수한 필릿용접이음을 얻었으며, 용접계적에 많은 영향을 주는 A, B, C 및 ④번의 교차 원주구간도 1보에서 보고한 바와 같이 최소각장길이인 $S=2.43\text{mm}$ 를 만족하였다. 다음으로 레이저용접은 초점 $f_d=0$ 에서 레이저출력 (P) 1.5kW 그리고 Ar 20 l/min으로 실드하면서 $v=500\text{mm/min}$ 의 속도로 용접을 실시하였다. 그 결과를 Fig. 9에 나타낸다. 그림에서 보듯이 평행 원주용접구간인 ①, ②, ③ 및 ④부분에서는 CMT와 마찬가지로 건전한 용접부가 얻어졌으며, 좁은 비드폭과 깊은 용입을 나타냈다.

그러나 레이저 용접에서는 교차 원부주는 평행 원주부와는 달리 급격한 곡률반경에 따른 집광광학계의 이동속도 대비 실제 레이저빔의 이동거리가 짧아 발생하는 입열의 축적에 따른 결함발생을 고려하여 A, B, C 및 ④의 구간에서는 용접속도를 900에서 500mm/min으로 가감속하면서 용접을 실시하여 그림과 같이 건전한 용접부를 얻을 수 있었다.

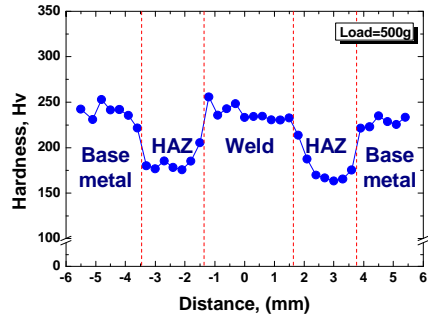
3.3.2 용접부의 품질

일체형 rack housing의 용접품질을 평가하기 위해 경도분포 및 진원도를 측정하였다.

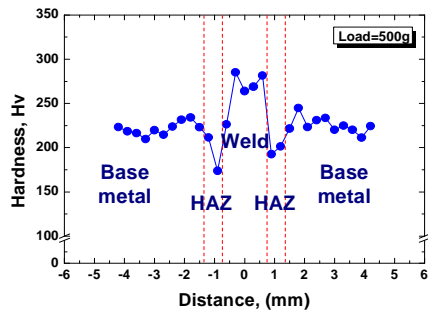
우선 열원별 용접부의 경도분포는 Fig. 10에 나타낸 것과 같이 CMT 용접부는 모재와 비슷한 경

도값을 보인 반면 레이저는 모재대비 70Hv정도 높았다. 그러나 레이저의 열영향부가 CMT에 비해 약 3배 정도 좁고 용접부도 2배 정도 작게 나타났다.

그러나 두 열원으로 용접된 housing을 100kgf/cm²까지 압력시험한 결과 누설이나 용접부의 균열 등은 발견되지 않았다. 따라서 열원에 따른 용접부의 차이가 실제 housing의 강도에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.



(a) CMT welding



(b) Laser welding

Fig. 10 Hardness distribution of weldment in CMT and laser welding

다음으로 용접된 housing의 진원도를 측정하였다. 일반적으로 power steering gear housing 내부에는 유압실린더가 있기 때문에 housing의 진원도는 매우 중요한 요소이다. 이를 위해서 3D 측정기를 사용하였으며, LSC(Least Square Circle)로 진원도를 계산하였다. 그 결과를 Fig. 11에 나타낸다. 측정은 용접부가 있는 housing 끝단 8mm와 90mm 부근에서 실시하였다. CMT 용접의 경우 8mm와 90mm 부근의 진원도가 10/100과 5/100로 측정되었으며, 레이저는 12/100와 3/100을 나타냈다. 두 열원간 진원도의 차이는 크지 않았으나, 이는 단순한 수치 차이일 뿐이며, 용접변형에 대한 housing의 변형형상은 레이저 용접부위가 CMT 용접부위에 비해 규칙적이고 완만한 모습을 나타냈다.

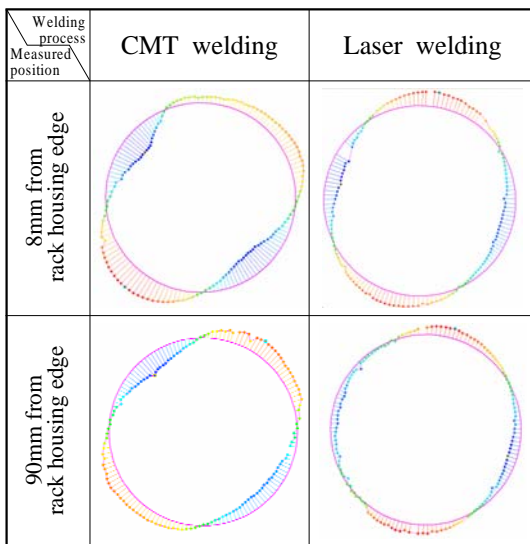


Fig. 11 Roundness of rack housing in CMT and laser welding

따라서 습동부의 특성을 고려할 때 레이저용접부가 CMT에 비해 상대적으로 우수한 결과를 얻을 것으로 판단된다.

4. 결 론

일체형 rack housing 제작을 위한 전용 시스템

의 구축 및 그에 따른 용접특성을 정리하면 다음과 같다.

(1) 일체형 rack housing의 용접부는 76.3도의 기울기를 가지고 있기 때문에 각 교차점에서의 곡률반경이 상이하어 두 대의 로봇을 이용한 협조 제어 시스템으로 용접계적을 추종한 후 그에 따른 각 축별 운동특성을 얻을 수 있었다.

(2) 협조제어 시스템에 얻어진 용접계적의 특성을 바탕으로 전용 시스템은 직교하는 회전축을 갖는 총 5축의 장치로 구현되었다. 전용 시스템의 주요 축은 용접축과 지그축으로 구성되어 있으며, 회전하는 두 축이 직교하도록 설계되었다. 이러한 고안은 파이프용접에 최적화된 운동특성을 나타냈으며, 특히, 교차하는 두 파이프의 용접에 매우 적합한 운동특성을 보였다.

(3) 전용시스템의 housing 용접은 4축으로 진행되었으며, 위빙(weaving)을 하지 않을 경우에는 3축만으로도 용접이 가능하였다. 또한 각 축별 반복재현성은 약 20 μ m 정도로 매우 우수한 성능을 나타냈다.

(4) 전용시스템에서 CMT와 레이저를 용접열원으로 적용하여 housing을 용접한 결과 모두 결함이 없는 건전한 용접부를 얻을 수 있었다. 그러나 레이저 용접부가 CMT에 비해 경도가 높았으나 그 폭이 매우 좁고 열영향부 또한 좁아 두 열원간의 강도 차이는 크지 않았다.

(5) 제품의 적용에 가장 중요한 진원도 또한 10/100 내외로 측정되어 실제 적용시 고품질의 housing 제작이 가능할 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 산업자원부 지역산업중점기술개발 사업(과제번호:10018271)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

[1] J.D KIM, C.J LEE, M.K Song, "A Study on Welding Distortion in

Processing of Modular Steering Gear Housing for Automobile (Ⅲ)", Abstracts of the 2008 Spring Annual of KWS, pp. 41

- [2] 김종도, 이창제, 강운주, "열원에 따른 일체형 Steering Gear Housing의 변형개선에 관한 연구", 한국마린엔지니어링학회, 후기논문집, 2006, pp. 181-182
- [3] J.D KIM, C.J LEE, "A Study on Processing of Monolithic Rack Housing for Modular Steering Gear [I]", Journal of KOSME, Vol.32 No.2, pp. 306-313

저 자 소 개



김종도(金鍾道)

1963년 1월생, 1985년 한국해양대학교 기관공학과 졸업, 1993~1997년 일본 오사카대학 생산기공공학과 응용고온공학 코스(공학석사 및 공학박사), 2003년 1월~현재, 대한용접학회 편집위원겸 사업이사, 2004년 1월~한국레이저가공학회 운영이사, 2008년 10월~대한기계학회 학술이사, 1998년 3월~현재, 한국해양대학교 기관시스템공학부 교수, 당학회 연구이사, 관심분야 : 레이저용접, 가공현상의 고분해능 계측과 실시간 해석



이창제 (李昶濟)

1977년 7월생, 2000년 한국해양대학교 기관시스템공학부 졸업, 2006년 한국해양대학교 기관시스템공학과 재료전공(공학석사), 2006년~현재, 한국해양대학교 기관시스템공학과 박사과정, 관심분야 : 레이저용접, 레이저가공시의 실시간 모니터링