

자동차산업에서의 로봇 기반 레이저 용접 기술 개발 현황

서정, 강희신, 박경택 | 한국기계연구원

1. 서 론

기존의 저항 점용접을 기초로 한 자동차 설계 및 생산방식은 저항 점용접기의 기하학적 구조와 용접특성으로 인해 적용범위가 한정적이며, 용접효율이 낮아 경제적·기술적 한계에 도달하였다^[1-3]. 경쟁이 치열한 자동차산업에서 기존의 생산방식을 극복할 수 있는 새로운 생산방식이 요구되고 있다. 또한 자동차의 경량화, 안전도 향상, 생산성 향상을 달성하기 위하여 TB(Tailored Blank) 레이저 용접 및 적용기술과 3차원 레이저 용접기술이 자동차 업계의 핵심기술로 대두되고 있다^[4-6].

TB 레이저 용접기술은 국내 연구기관 및 자동차 업체를 중심으로 1992년도 부터 연구를 시작하여 현재 TB 레이저 용접기술이 일부 시작품(door inner, bump rail, side inner)에 적용되어 제품이 양산되고 있으며, TB 레이저 용접 시스템의 국산화가 이루어졌다. 현재의 선형 TB는 자동차의 인너도어(inner door), 센터필러(center pillar), 테일게이트(tailgate), 범퍼레일(bump rail), 멤버(member)류 등에 적용되고 있고 용접난이도가 높은 비선형의 TB 레이저용접 기술은 도어링(door ring), 플로어패널(floor panel), 속업소버 마운팅(shock absorber mounting), 휠하우스(wheelhouse), 펜더(fender) 등에 적용된다. TB 레이저 용접 기술은 로봇 기반의 3차원 레이저 용접 기술과 접목하여 적용될 수 있다.

선진국에서는 기존의 저항 점용접의 차체 조립공정을 레이저 용접으로 대체하여 차체 경량화 및 생산성 향상을 달성하고 있으므로 국내 자동차 업계에서도 고출력 Nd:YAG 레이저 및 CO₂ 레이저와 6축 로봇을 접목한 3차원 대량 용접 생산기술의 개발에 필요성을 갖고 많은 관심을 보이고 있다. 따라서, 로봇 기반 레이저 용접 응용기술을 개발하여 복합 형상 자동차 차체 조립을 위한 3차원 레이저 용접기술을 확보하고, 기존의 저항 점용접의 한계성을 극복한다면, 일부 TB 시작품 제작 수준에 있는 국내 자동차업계의 레이저 용접 기술이 선진국 수준에 도달할 수 있을 것이다. 따라서, 본 고에서는 자동차산업에서의 로봇 기반 레이저 용접 기술 개발 현황을 분석하고 한국기계연구원에서의 개발 동향을 소개하고자 한다.

2. 국내 · 외 관련 기술의 현황

2.1 국내 기술의 현황

자동차 생산라인에서 각종 차체 부품들은 저항점용접에 의해 대부분 조립되고 있으며, 저항 점용접의 기하학적 구조와 용접특성으로 인해 적용범위가 한정적이며, 용접효율이 떨어진다. 국내 자동차 제조업체 및 관련업체에서는 선형 TB 레이저 용접기술을 개발하여 양산적용 중이며, 특히 성우하이텍에서 자동차 범퍼에 레이저 용접 TB를 적용한 결과 8~10% 경량화 및 10%의 원가 절감 달성하고 있다.

한국기계연구원에서는 아연도금강판, 알루미늄합금, 이중두께 금속의 레이저 용접기술 및 주변장치 개발(1995, 통상부 공기반과제), TB 응용 자동차 범퍼 빔 개발(1996~1998, 중기혁신사업), 현대자동차와 기술료 및 시험검사 계약(현대자동차 시차품 TB 공급), TB용 레이저 용접 시스템 국산화 및 시범라인 구축(1998~2000, 산자부), 레이저 용접 튜브 생산 공정 최적화(2001~2004, 과기부/프론티어사업)와 같은 정부사업을 수행하였다. 그 외 국내연구기관으로는 한국과학기술원, 한양대학교, 고등기술연구원, RIST 등에서 레이저 용접 연구를 수행 중에 있다.

국내 자동차업체의 현 기술상태는 대단히 취약하다. TB 제품 응용연구는 일부 대상품목(inner door, bumper rail 등)에 적용을 시작한 단계이다. 용접속도가 고속이고 빔(beam)의 직경 0.6mm 이내인 레이저 용접 공정을 위해서는 적합한 용접선 자동추적(weld seam tracking) 기술이 필요하며, 복합 형상 차체 용접을 위해서는 고속으로 정밀한 용접자세와 용접선 추적기능이 필요하다. 이에 따른 레이저 센서에 의한 로봇의 3차원 작업의 경로 보정기술이 필수적인 상황이다.

시스템 관련 기술을 살펴보면 집광, 전송광학계, NC 제어시스템, 가공테이블과 Robot 제어기술, 센싱 및 모니터링 시스템의 정밀도 및 응답속도가 레이저의 잠재능력을 충분히 발휘할 수 있을 정도로 개발되지 않고 있다. Nd:YAG 레이저의 경우, 광케이블로 빔 전송이 가능하여 로봇에 레이저 용접헤드를 부착하여 3차원 구동이 가능하나, CO₂ 레이저의 경우 미러(mirror)에 의해 반사하여 레이저 빔이 전송되므로 3차원 미러 구동이 가능한 빔 전송장치인 가변암(flex arm) 장치가 부가적으로 필요하다. 또한, 복잡한 레이저 집합 가공현상이 충분히 해명되어 있지 아니하며, 시스템의 초기 비용 및 운용 비용이 높고 대량생산 이외의 분야에서는 장점이 적다. 따라서, 이러한 요인들이 해결된다면 레이저 용접은 급속히 보급 가능하게 될 것이다. 용접 품질 관리를 위해 레이저 빔의 모니터링과 용접의 실시간 모니터링에 대한 데이터들이 획득되면 레이저 용접 조건 변화를 실시간으로 확인하여 제어장치에서 피드백함으로써 용접불량을 최소화하여 고품질 · 고속용접이 가능해질 것이다.

2.2 국외 기술 현황

1970년대에는 미국에서 자동차 차체(body)의 3차원 레이저 심용접(seam welding)이 시도되었으나, 3차원 용접선추적(seam tracking) 및 고정지그(zig)에 의한 판간극 관리의 어려움과 용접속도가 늦어 충분한 효과가 없었으나, 최근에는 고출력 레이저 및 용접선추적(seam tracking) 장치가 개발되어 자동차 제조라인에 도입되어 성공적인 결과를 가져오고 있다.

세계 철강업체들이 컨소시엄을 구성하여 초경량 철강 차체 프로젝트(ULSAB)를 수행하여 고장력강판 적용할 수 있는 TB 레이저 용접, 액압성형(hydroforming) 기술을 도출하였고 포르세 911 차량에 적용하였다.

표 1. 차체레이저용접 적용 사례

구 분	년 도	Car Maker	Model/Platform	Application
유 럽	1995	Audi	A4/A12	Roof
	1999	Audi	A12	알루미늄 차체
	1995	VOLVO	V70, S70	Roof
	1997	BENZ	S-Class	Roof, A1차체
	1998	RENAULT	SAFRANE	Roof, A-Pillar
	1996	VW	GOLF IV	Roof, C-Pillar
	1996	VW	PASSAT	Roof
	1996	OPEL	CATERA	T/LID
북 미	1995	Ford	SCORPIO	Roof
	1995	GM	AURORA	Roof
일 본	1999	TOYOTA	VITZ, PLATZ	QUARTER

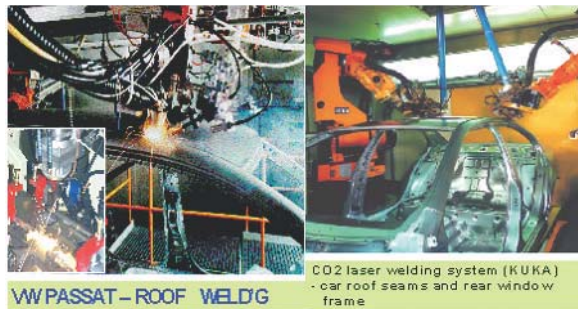


그림 1. 로봇 기반 레이저 용접 장면

일본 도요다 자동차는 쉐르푸, 카울 내장재(inner part of cowl), 사이드멤버(Side Member) 등에 TB 레이저 용접 기술을 적용하여 패널(panel) 생산성을 35% 정도 향상시켰다. 닛산 자동차는 레이저 용접 공정을 전공장에 적용할 계획이다.

미국의 GM은 Cadillac Seville의 센터 필러(center pillar)에 적용하고 있으며 정부와 자동차사(Big3)의 PNGV(Partnership of a New Generation Vehicle) project를 진행 중이다. 시스템 생산업체인 VIL사는 TB 생산용 레이저 용접 시스템 개발 및 판매하고 있다. 5kW 이상의 Nd:YAG 레이저를 활용하여 산업용 로봇과 결합, 응용하는 경향이 두드러진다.

유럽의 기술 현황을 살펴 보면 1984년 부터 독일의 Thyssen에서 레이저 용접 TB가 사용되기 시작했다. Audi에서는 floor panel용 대형강판을 레이저로 용접하여 사용하였으며 독일의 Nothelfer사, 스위스의 Sudronic사에 의해 Tailored Blank 생산용 레이저 용접 시스템이 개발 및 판매되고 있다. 세계 레이저 시장의 30%를 차지할 정도로 레이저 응용기술이 선진화되어 있다.

2.3 특허현황 조사

레이저 가공기술과 관련한 국내 특허 동향을 표 2에서 볼 수 있다. 세부가공기술 중 레이저 용접이 가장 많은 출

원 건수를 보이고 있으며, 이어 조각가공, 절단가공의 순이다. 장치기술 분야에서는 구조에 관련된 것이 장치 제어 보다 특히 출원이 많음을 알 수 있다. 현대자동차, 대우자동차, 고등기술연구원, 한국기계연구원 등의 용접관련 특허 출원이 국내 기술 개발의 선도적 역할을 하고 있다. 레이저 기술과 로봇이 융합된 특허기술은 현대자동차 및 고등기술연구원에 의해 특허 출원되어 있다.

표 2. 레이저 가공 기술별 특허 출원 동향

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	합계
절단가공	0	1	3	1	4	7	1	1	11	12	8	1	0	50
홀가공	1	1	3	1	0	1	0	0	0	3	2	1	2	15
미세가공	0	0	0	0	0	6	2	2	3	4	4	0	0	21
조각가공	4	1	0	1	10	3	3	7	5	16	11	0	0	61
용접	1	1	8	6	5	10	12	15	11	19	7	41	1	100
솔더링	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
플라스틱접합	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
표면처리	1	0	0	0	1	0	1	1	1	2	1	1	0	9
기타가공	1	1	1	3	3	5	3	6	6	3	10	1	1	44
장치구조	8	4	9	5	7	9	15	11	10	9	19	5	0	111
장치제어	2	4	3	5	4	4	7	10	11	5	7	5	1	68
기타장치	3	3	3	1	0	1	5	4	1	0	1	0	0	22
합계	21	16	30	23	34	46	50	57	59	73	72	18	5	504

(국내, 출처 : 국가전략산업분석 “레이저가공기”, KISTI 2002)

표 3. 레이저 용접과 로봇이 융합된 특허 기술 동향

No	등록번호 (출원번호)	등록일 (출원일)	출원인	발명의 명칭
1	10-2002-0027806	2002. 5. 20	현대자동차	레이저 용접의 품질검사 방법 및 그 시스템
2	10-2002-0016613	2002. 3. 27	고등기술연구원	로봇을 이용한 레이저 용접 헤드 위치 제어 장치 및 제어 방법
3	KR0337304	2002. 5. 7	현대자동차	레이저 빔 조사 신호 최적화에 의한 레이저 용접 방법
4	KR0345199	2002. 7. 5	현대자동차	로봇 속도 제어에 의한 레이저 용접방법

3. 한국기계연구원의 연구 현황

제조업용 로봇 기반 레이저 용접 응용기술 개발(성장동력사업)을 수행하고 있으며 첨단 제조용 지능 로봇 시스템의 개발을 지원하고 있다. 로봇 기반 레이저 용접 기술의 적용분야는 자동차 제조 중에서 차체 용접분야이다. 연구개발의 목표는 자동차 제조용 지능 로봇 시스템에서 가장 필요로 하는 핵심기술인 자동차 차체 레이저 용접기

술과 더불어 차체 레이저 용접로봇의 적용 및 응용의 핵심기술인 로봇 Visual-Servo 기술, 로봇 경로 생성(path generation) 기술, 3차원 용접 자세 제어 기술, CAD/CAM 인터페이싱 기술 등을 개발 목표로 하고 있다^[7-8]. 또한 연구개발을 통해 복합 형상 자동차 차체 레이저 용접 로봇의 고기능화와 실 부품의 3차원 레이저 용접기술 개발을 통한 레이저 용접 로봇의 현장 적용 기술을 확보하고자 계획하고 있다.

그림 2는 본 연구를 통하여 구성된 3차원 레이저 용접시스템이다. 레이저 발전기는 TRUMPF사 4kW급 Nd:YAG(HL 4006D) 시스템이며, 로봇은 ABB사의 IRB 6400R을 활용하였다. 또한, 용접선 추적을 위한 장치는 Servo-Robot사의 SMART-20LS를 사용하였다. 용접선 추적 장치는 시각센서로부터 입력된 데이터로부터 용접 헤드를 정밀하고 신속하게 용접선으로 이동시키게 된다. 이 시스템은 먼저 피조사면을 실시간 조사하여 반사된 화상 자료를 피드백하여 데이터 처리 및 제어 공정을 수행하도록 고속 이미지 처리기와 모션 제어기로 구성되었다.

레이저 및 로봇과의 인터페이싱을 토대로 3차원 레이저 용접 시스템을 구축하고, 시작품 제작용 용접지그를 설계 제작하여 레이저 용접 시스템에 대한 기초 성능시험 및 평가를 실시하고자 하였다. 비선형 용접을 위해 seam tracker를 설치하여 이에 대한 제어기술을 개발하고자 하였다. 비선형 테일러드 블랭크 및 차체 부품 용접을 위한 3차원 레이저 용접시스템은 레이저와 로봇을 이용하여 구성될 수 있다. 레이저 발전기로부터 나온 레이저 빔은 광 파이버를 통해 로봇 암(arm)의 끝단에 부착된 용접헤드까지 전송되므로 로봇의 각 축을 움직임으로써 3차원 용접을 수행하게 된다. 그림 3은 용접선 추적장치와 캐드캠 인터페이싱 기술을 보여주고 있다.

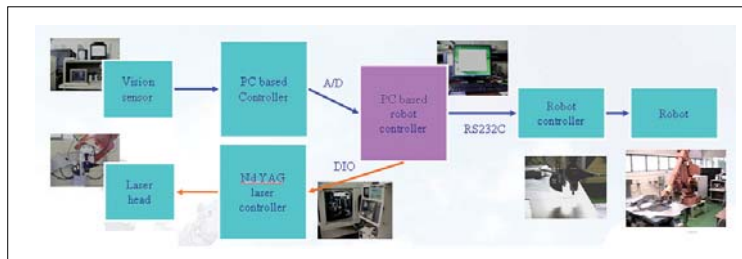


그림 2. 로봇 기반 레이저 용접 시스템

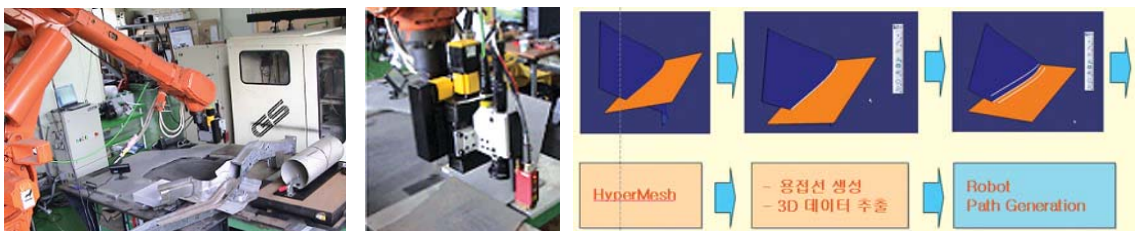


그림 3. 용접선 추적장치와 캐드캠 인터페이싱 기술

레이저 용접 공정 중 실시간으로 용접 품질을 확인하려면 용접 품질을 모니터링할 수 있는 시스템이 필요하다. 용접 품질 모니터링 시스템을 이용하여 제품의 품질을 정량적으로 평가하고 자동으로 제품의 양성 여부를 분류하면 작업의 효율을 높일 수 있고 전체 작업 공정의 생산성 향상을 가져올 수 있다. 레이저 용접 품질을 생산 현장에서 모니터링하기 위해 주로 레이저 유도 플라즈마 광 측정, 음향 신호 측정, 레이저의 반사광 강도 측정과 플라즈마 전계 강도측정 등에 대한 연구가 수행되어 왔다^[9-10]. 그림 4는 플라즈마 측정장치와 실험장면을 보여주고 있다.



그림 4. 플라즈마 측정기(LWM900, CNK)

본 연구에서 CO₂ 레이저와 Nd:YAG 레이저의 플라즈마를 측정하기 위하여 독일 JURCA사의 LWM900과 CNK사의 플라즈마 측정기를 사용하였다.

그림 5는 용접선 추적에 위한 장치인 Servo-Robot사의 SMART-20LS를 사용하여 검출한 용접선 정보와 캐드캠 인터페이스 실험결과이다. 용접선 추적 장치는 시각센서로부터 입력된 데이터로부터 용접헤드를 정밀하고 신속하게 이동시켜 위치오차를 보정한다. 이 실험에서 100 μ m의 정밀도로 6m/min 용접속도에서 용접선을 잘 추종함을 알 수 있었다.

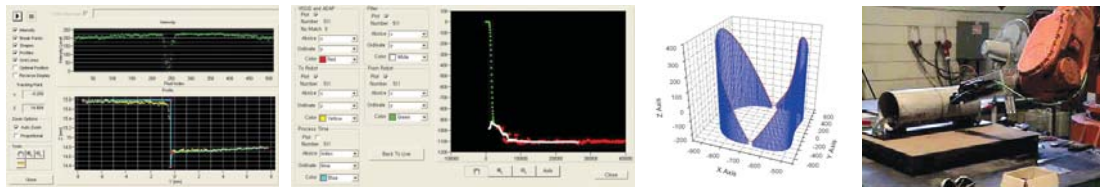


그림 5. 용접선 추적 및 캐드캠 인터페이스 실험 결과

그림 6은 레이저 용접품질을 모니터링하기 위해 실험한 결과이다. 레이저 용접 시편과 플라즈마 검출신호를 보여 준다. 신호에 의해 인위적인 결함을 판별할 수 있었다. 레이저 용접 시 플라즈마 강도 검출을 이용한 용접 품질 모니터링을 위해서는 먼저 용접품의 불량 여부를 판단하기 위한 플라즈마 강도의 초기 기준값을 설정해야 한다. 용접 중 발생하는 플라즈마 강도가 최대 및 최소값 영역 내부에 존재하면 양호한 용접이며 실시간으로 용접자가 모니터 상의 데이터를 확인함으로써 용접품의 불량 여부를 판별할 수 있다.

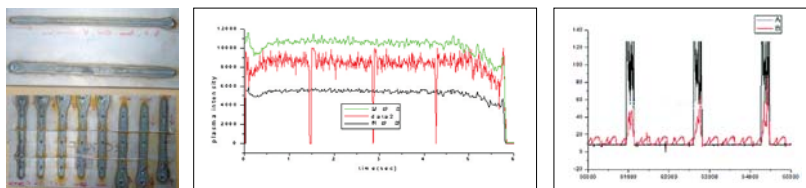


그림 6. 플라즈마 강도 측정 실험 결과

구성된 레이저 용접시스템을 이용하여 프레스품을 고정할 수 있도록 간단한 시험용 지그를 제작한 후 차체부품에 대하여 레이저용접을 실험을 하였다. 그림 7은 로봇 레이저 용접 시스템을 이용해 레이저 용접을 적용한 차체 부품들이다.



그림 7. 레이저 용접을 적용한 차체 부품

4. 결론 및 전망

우리나라 자동차 산업은 전체 2차산업의 15%를 차지할 정도로 국내 경제에 대한 직접적인 전후방 효과가 가장 큰 산업이며 160만명 고용인원을 가지고 있다. 선진국 자동차 산업에서는 생산품의 안전성 증대 및 가격 경쟁력을 확보하고 있는 로봇 기반 레이저 응용 생산 기술이 활발히 개발 사용되고 있으나, 국내 자동차 생산라인에는 저항 점용접 로봇을 사용하는 수준이므로 이를 대체할 로봇 기반 레이저 용접 기술의 개발이 필요하다.

독일의 Optech Consulting사가 발간한 보고서(perspectives of laser processing)에 의하면 레이저 가공기의 세계시장은 2010년에는 111억 달러에 이를 것이라고 예상하고 있으며, 이중 용접분야는 로봇을 이용하여 로봇 기반 레이저 용접 기술을 적용할 수 있을 것이다.

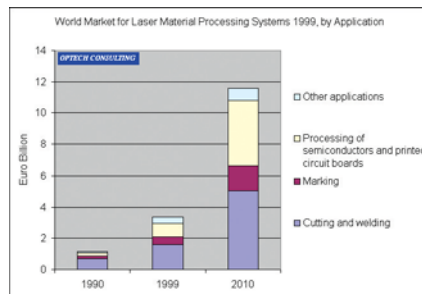


그림 8. 분야별 레이저 가공장비의 사용현황

비선형 TB 레이저 용접 기술 및 시스템 구성기술 확보는 수입대체 효과를 가져올 뿐만 아니라 레이저 용접을 응용한 자동차 생산기술을 확보하여 선진화 대열에 동참할 수 있을 것이다. 또한 후발개도국의 저임금에 의한 추격을 피하고, 가공부분의 국제 경쟁력을 확보할 수 있다. TB용 강관수요를 확대함에 따라 철강업계를 중심으로 한 생산기술 확보유도 및 강관 수출효과를 가져오며, 저출력(<1kW) Nd:YAG 레이저 발전기 국산화 수준을 향상시키는 동기가 마련되어 고출력 레이저 발전기 개발을 촉진할 수 있다.

❁ 참고 문헌

- [1] Abermen Z., Doors and Hoods Laser Welding Replace Gluing or Spot Welding, 25th ISATA Symposium, No. 921025, Florence Italy, 1992.
- [2] Williams N. T. and Waddell W., High Speed Resistance Seam Welding of Uncoated and Coated Steels,

- Technical Steel Research Commission of the European Communications, Report No. EUR 1150 EN, 1988.
- [3] Eimermann T., Hem Flange Laser Welding, 25th ISATA Symposium, No. 921089, Florence Italy, 1992.
- [4] F.Coste et al, A Rapid Seam Tracking Device for YAG and CO₂ High Speed Laser Welding, Proc. ICALEO 85, pp. 217–223, 1998.
- [5] LIA Handbook of laser materials processing, Laser Institute of America, Magnolia Publishing Inc., pp.162–166, 2001.
- [6] Coste F. et al, A Rapid Seam Tracking Device for YAG and CO₂ High Speed Laser Welding, Proc. ICALEO 85, F217–223, 1998.
- [7] Graaf M. W. de, Aarts R. G. K. M., Meijer J., Jonker J. B., Robot–sensor synchronization for real–time seam–tracking in robotic laser welding, Proc. 23rd Int. Cong. On Applications of lasers and Electro–Optics, pp. 1301, 2004.
- [8] Aubry P., Coste F., Fabbro R., Frechett D., 2D YAG welding on non–liner trajectories with 3D camera seam tracker following for automotive applications, Laser Appls. Auto Industry, Section F–ICALEO, pp. 21, 2000.
- [9] Beyer, E. , and Abels, P., Process Monitoring in Laser Materials Processing, Laser Advanced Materials Processing (LAMP92), pp. 433–438, 1992.
- [10] Watanabe, M., Okado, H., Inoue, T., Nakamura, S. and Matsunawa, A., Features of Various In–Process Monitoring Methods and Their Applications to Laser Welding, ICALEO '95, Laser Institute of America, 80, pp. 719–728, 1992.



서 정

· 한국기계연구원 정보장비연구소 책임연구원
· 관심분야 : 레이저 및 전자빔 응용 가공기술 및 시스템
· E-mail : jsuh@kimm.re.kr



강 희 신

· 한국기계연구원 정보장비연구소 선임연구원
· 관심분야 : 레이저용접, 전자빔용접, 용접공정, 용접자동화
· E-mail : khs@kimm.re.kr



박 경 택

· 한국기계연구원 나노공정장비연구소 책임연구원
· 관심분야 : 나노, 산업용 로봇, 자동화
· E-mail : ktpark@kimm.re.kr