

◆특집◆ 생산시스템 및 응용기술

OLP 시뮬레이터 기반의 다이오드 레이저 열처리 로봇시스템 개발

박기진^{*,**}, 윤성호^{**,#}

^{*}대구기계부품연구원 기계로봇연구본부, ^{**}금오공과대학교 기계공학과

Development of the Diode Laser Heat Treatment Robot System Based on OLP Simulator

Kee-Jin Park^{*,**}, Sung-Ho Yoon^{**,#}

^{*}Daegu Mechatronics & Materials Institute, Machinery & Robot Research Division.,

^{**}School of Mechanical Engineering, Kumoh national Institute of Technology.

(Received 10 October 2015; received in revised form 20 October 2015; accepted 21 October 2015)

ABSTRACT

Heat treatment for car body molds is mainly a manual process performed by a worker. The performance of this process is affected by workers' skill level, and has limitation in maintaining uniform product quality. In this study, we developed a diode laser heat treatment robot system that implements an OLP type simulator to overcome the limitation of manual process, and to improve and stabilize the quality level. In addition, we verified the efficiency of the robot system and mechanism stability from the early stage through design verification and simulated analysis in the development stage. In addition, we carried out a field test to study the way to establish optimized D/B for diode laser heat treatment criteria for car body molds, such as heat treatment speed, interval, etc. via site experiment.

Key Words : Diode Laser(다이오드 레이저), Heat Treatment(열처리), OLP(오프라인 프로그래밍), Simulator(시뮬레이터), Robot System(로봇시스템)

1. 서 론

자동차 차체의 프레스 작업시 금형 굴곡 부분에서 발생하는 마찰로 인해 금형의 마모가 자주 일어나며, 금형을 오래 사용하고 일정한 품질을 유지하기 위해서는 표면 열처리를 통해 내마모성을 증가시키는 작업이 반드시 필요하다. 대표적인 표면 열

처리 기법은 고주파 열처리, 화염 열처리, 레이저 열처리 기법 등이 있으나 대부분 작업자에 의한 수동공정으로 작업이 이루어져 제품의 품질 및 생산량이 작업자의 숙련도에 큰 영향을 받고 있다. 특히 레이저 열처리 기법은 열처리 품질이 우수한 장점이 있지만 레이저의 특수성 때문에 작업자에 의한 수동공정은 매우 위험하다. 이러한 수동공정의 한계점을 극복하고 열처리 품질향상 및 안정화를 위해 로봇을 적용한 금형 열처리 공정의 자동화가 지속적으로 요구되고 있으나 자동차 차체 금형은

Corresponding Author : shyoon@kmut.ac.kr

Tel: +82-54-478-7041, Fax: +82-54-478-7064

복잡한 형상이 많고 제품이 매번 변경되는 문제점 때문에 로봇을 적용할 경우 작업 시간 측면에서 자동화 공정의 효율이 매우 낮다^[1].

본 연구에서는 여유자유도 기반의 다이오드 레이저 열처리 로봇시스템과 OLP(off-line program) 방식의 전용 시뮬레이터 개발을 통하여 금형 열처리 작업 효율을 극대화 할 수 있는 자동화 공정을 개발하고자 한다. 또한, 개발단계에서 로봇시뮬레이션 분석 및 동역학 해석을 통하여 여유자유도 로봇시스템의 효율 및 동적 안정성을 사전에 검증하였으며, 필드 테스트를 통하여 금형 형상 조건에 따른 열처리 최적 조건 패턴 개발 및 데이터 베이스(D/B)를 구축하고자 한다.

2. 금형 열처리 자동화 공정 개발

복잡한 차체 금형의 열처리 작업을 일반 산업용 다관절 로봇을 적용하여 자동화 효율을 높이기 위해서는 Fig. 1과 같이 가상의 시뮬레이터 환경을 적용한 자동화 공정개발이 필요하다. 자동화 공정의 작업순서는 우선 가상의 시뮬레이터 환경에서 로봇 열처리 시뮬레이션을 미리 수행하고 로봇 프로그램을 생성한다. 특히 로봇 프로그램을 생성할 때 이송속도, 열처리온도, 빔사이즈 등 레이저 열처리 작업패턴을 함께 적용하여야 한다. 또한 로봇 Calibration 및 OLP(off-line program)의 적용을 통하여 현장 작업시간 및 오차를 최소화 하고, 자동화 공정의 효율을 극대화 하여야 한다.

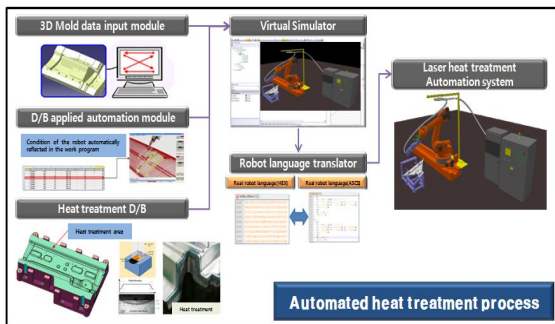


Fig. 1 Automated heat treatment process for car-body mold

3. 레이저 열처리 로봇 시스템 개발

3.1 여유자유도 설계 및 시뮬레이션 분석

일반적으로 산업용 6축 다관절 로봇의 경우 대형 차체 금형의 다양한 면을 모두 열처리 하기는 쉽지 않다. 특히, 형상이 복잡한 곡면부나 작업영역을 벗어날 경우 로봇은 작업자세 불가 및 툴 각도 문제 등 다양한 문제를 일으킨다. Fig. 2는 산업용 6축 로봇을 적용한 대형 차체 금형(side-outer)의 열처리 작업에 대한 시뮬레이션 분석결과를 나타내고 있으며, 그림과 같이 곡면부 작업시 로봇은 작업자세가 확보되지 않는 경우가 많다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 Fig. 3과 같이 2축 여유자유도를 적용한 로봇시스템을 구상하고 시뮬레이션 분석을 통하여 그 효율성을 검증하였다. 이때 시뮬레이션 S/W는 Delmia D5 IGRIP R19를 사용하였다^[2-3].

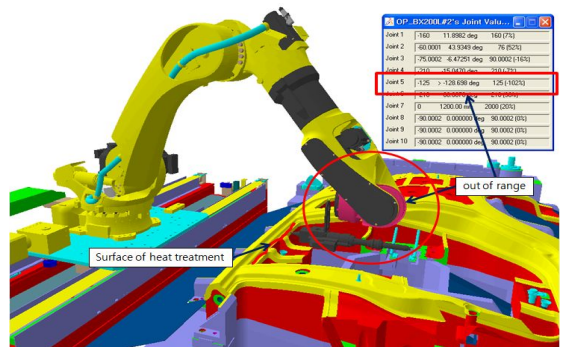


Fig. 2 Result of robot simulation on the normal robot

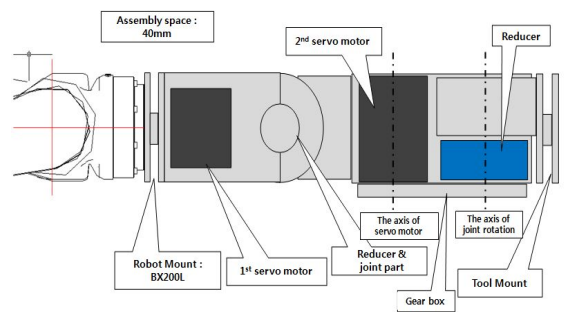


Fig. 3 Conceptual design of a robot with two-axis redundancy

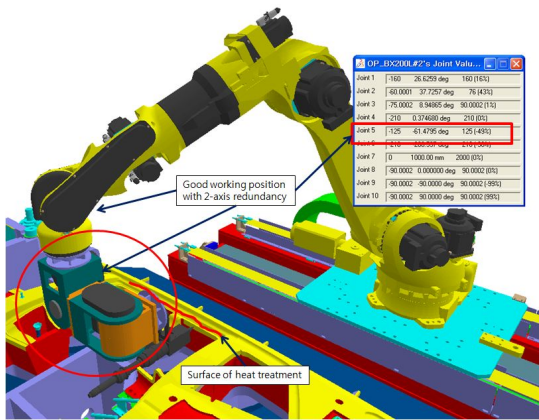


Fig. 4 Result of robot simulation on the robot with 2-axis redundancy

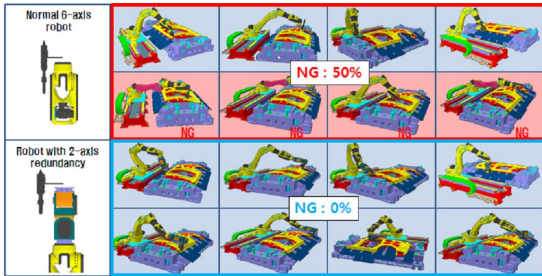


Fig. 5 Result of simulation for 2-axis redundant robot

Fig. 4는 2축 여유자유도를 적용한 로봇시스템의 시뮬레이션 분석 결과를 나타내고 있다. 여유자유도를 적용할 경우 금형의 안쪽면까지 작업영역을 확보할 수 있으며, 작업자세 또한 양호한 것으로 분석되었다. 2축 여유자유도를 적용한 로봇시스템 적용시 작업 효율성이 Fig. 5와 같이 약 50%이상 향상되는 것으로 분석되었다.

3.2 여유자유도의 동역학 해석 검증

로봇의 각 축을 움직이기 위한 모터의 토크를 산정하는데 있어 각 축이 움직이기 시작하고 멈추는 가속 구간에서 많은 토크가 요구된다. 특히, 토크 산정에 있어 최대 토크 및 감속기의 효율이 동시에 고려되어야 한다. 본 연구에서 제한한 로봇의 여유자유도 2축에 대한 모터 및 감속기의 설계 안정성 검증에 대해 동역학 해석을 수행하였다.

Table 1 Weight of each part of the 2-axis redundancy

No.	Items	Weight(Kg)	
1	Additional 2-axis part	Link part	60
2		Servo motor	10
3		Reducer	16
4	Mounting adapter		15
5	Heat treatment equipment		21
6	Cable		5
7	Cable supporter		10

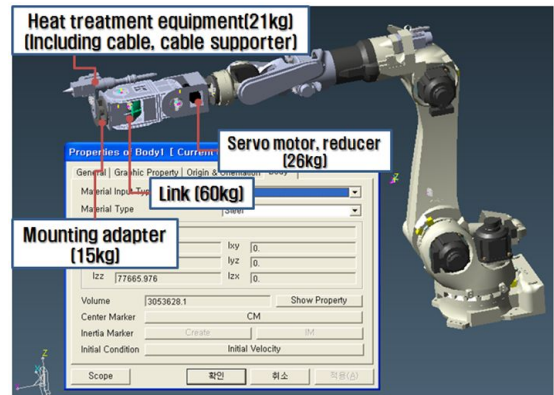


Fig. 6 3-dimensional FEM model for dynamic analysis

Table 1은 해석에 적용된 여유자유도 2축의 무게를 나타내고 있으며, Fig. 6은 여유자유도 2축의 무게가 적용된 동역학 해석 모델을 나타내고 있다. 해석에 적용된 서보 모터는 1.2KW, 2000rpm이며, 감속기는 감속비 1/89의 모델을 적용하였다. 또한, 3차원 설계 데이터 해석을 위해 모델을 import 한 뒤 각 축의 주요 부품을 merge 기능을 사용하여 단순화 하였으며, 구동부와 비구동부를 구분하고 각각의 운동 조건에 맞는 조인트 구속조건으로 정지마찰 계수는 0.3, 동마찰계수는 0.12로 설정하였다. 로봇의 여유자유도 2축에 대한 이론적인 최대허용 토크값은 Table 2와 같이 346Nm 이다. Fig. 7과 Fig. 8은 여유자유도 2축의 동역학 해석 결과를 나타내고 있으며, 여유자유도 2축과 장비의 무게를 고려한 최대 토크값은 187Nm와 83Nm으로 나타났다. 여기서 안전율 1.6을 고려한 각 축의 최대 토크값은 여유자유도 1축은 299Nm, 2축은 133Nm로 이론적인 최대허용 토크값 346Nm 이내로 만족함을 알 수 있다.

Table 2 Weight of each part of the 2-axis redundancy

(a) Rated torque	(b) Gear ratio	(c) Reducer efficiency
5.7Nm	89(1.89)	68%
(a)x(b)x(c) = 346Nm		

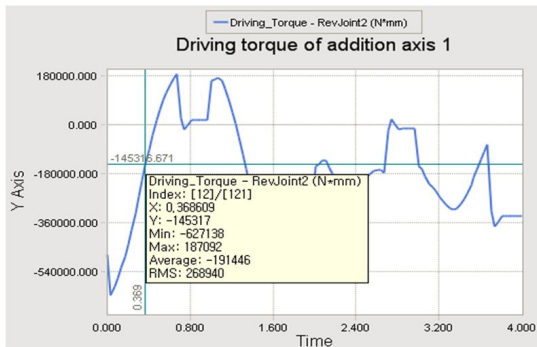


Fig. 7 Results of dynamic analysis on the robot's 1st additional axis

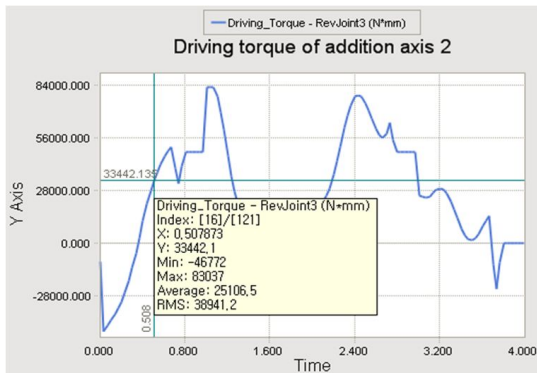


Fig. 8 Results of dynamic analysis on the robot's 2nd additional axis

4. 레이저 열처리 실험 및 분석

4.1 레이저 열처리 실험 조건

Fig. 9는 여유자유도를 적용한 다이오드 레이저 열처리 로봇시스템의 시제품 및 필드 테스트 공정을 나타내고 있다.

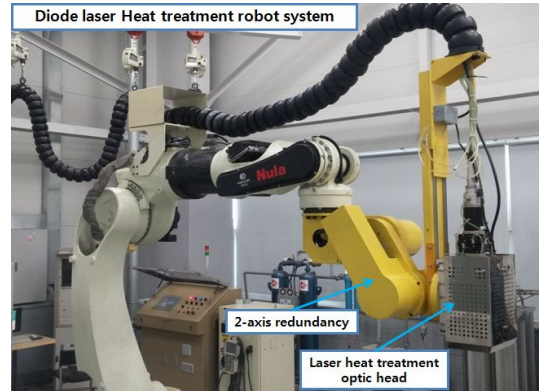


Fig. 9 Field test station for Diode laser heat treatment robot system with redundancy

Table 3 Experiment Plan considering various heat treatment conditions

No.	Transfer speed (mm/sec)	Heat treatment temperature (°C)	Beam size (mm)
1	2	1000	5*30
2	2	1050	5*40
3	2	1100	5*50
4	3	1000	5*40
5	3	1050	5*50
6	3	1100	5*30
7	4	1000	5*50
8	4	1050	5*30
9	4	1100	5*40

다양한 재질의 차체 금형에 대한 레이저 열처리 조건을 분석하기 위해 다구찌 기법의 실험 계획을 설계하고 다양한 설계인자에 대하여 열처리 테스트를 수행하였다^[4]. 다이오드 레이저 열처리 로봇시스템의 주요 설계 인자로는 이송속도, 온도, 빔사이즈가 대표적인 변수이며, Table 1은 열처리 조건을 고려한 실험 계획표를 나타내고 있다. 또한 열처리 헤드와 시편 사이의 거리는 레이저 열처리 효율이 극대화 될 수 있는 278mm를 고정조건으로 적용하였다.

4.2 레이저 열처리 실험 결과 및 분석

레이저 열처리 D/B구축을 위한 실험에 사용된

시편은 HD700 소재의 직육면체 형상으로 크기는 200*150*80 을 적용하였다. 또한 경도측정은 로크웰 경도기를 이용하여 각 시편당 일정한 간격으로 5 포인트씩 경도를 측정하였다. Fig. 10은 9가지 열처리 시편에 대한 열처리 후 경도 측정 결과를 나타내고 있다. 각 조건에서의 경도측정 결과를 분석하였을 때 HD700 소재의 경우 이송속도는 2~3mm/sec, 열처리온도는 1100℃일 때 높은 경도값을 나타내었으며 빔사이즈는 경도값에 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 다양한 재질에 대한 레이저 열처리 경향을 분석하기 위하여 HD700, FCD550, 23F85소재에 대해 온도조건별로 열처리 실험을 수행하였다. 이때 이송속도는 3mm/sec, 빔사이즈는 5*40mm로 고정하였다.

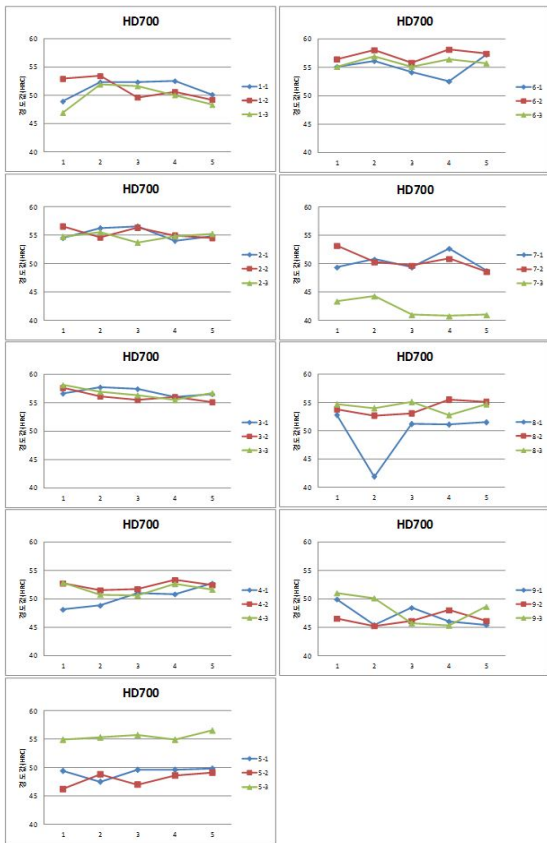


Fig. 10 Diode laser heat treatment experiment results according to Taguchi method

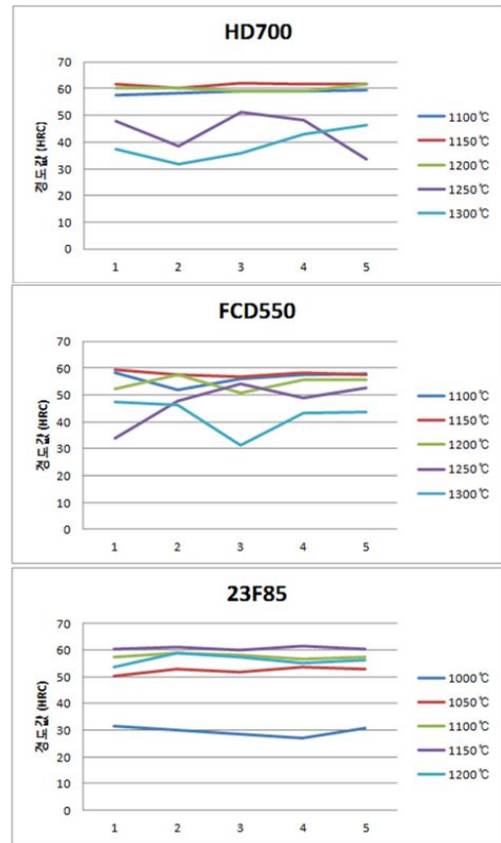


Fig. 11 Hardness results after laser heat treatment for various material

Fig. 11은 레이저 열처리에 대한 각 소재별 경도측정 결과를 나타내고 있다. 온도가 증가할수록 열처리 경도값은 높아지는 경향을 보이나, HD700과 FCD550은 1250℃ 이상의 온도에서 표면에 용융이 발생하였다. 표면에 용융이 발생하지 않고 경화정도가 가장 뛰어난 온도는 1150℃로 나타났다. 실험결과에서 구축된 D/B는 레이저 열처리 시뮬레이터의 OLP 프로그램에 미리 적용되며 현장 작업시간을 단축시킬 수 있다.

5. 시뮬레이터 개발 및 현장 적용

5.1 OLP 기반 시뮬레이터 개발

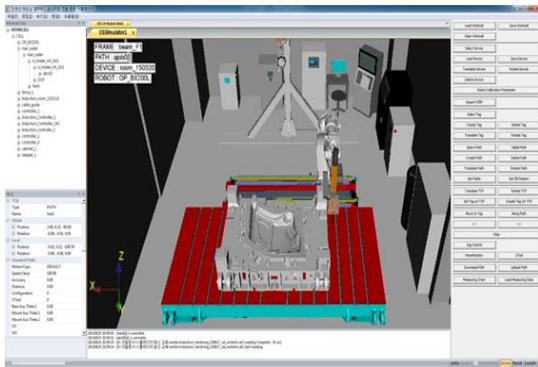


Fig. 12 Simulator for diode laser heat treatment robot system based on OLP

Fig. 12는 본 연구에서 개발된 OLP 기반의 레이저 열처리 전용 시뮬레이터를 나타내고 있다. 시뮬레이터는 3D 가상환경 기반으로 로봇 기구학 및 교시환경, 로봇제어 명령, 로봇 언어 번역기 등의 기능 구현이 가능하며, 로봇 프로그램 생성시 소재의 특성에 따른 최적 경로 생성 및 열처리 조건 D/B를 반영할 수 있도록 개발되었다. 특히 시뮬레이터에서 생성된 로봇 작업 프로그램은 현장의 로봇 컨트롤러에 입력 가능한 로봇 언어 번역기를 통해 OLP 프로그램으로 다운로드 가능하다[6].

5.2 로봇 Calibration 및 OLP 현장 적용

시뮬레이터에서 생성된 로봇 프로그램을 현장에 적용하기 위해서는 우선 가상환경과 실제 공정의 제작/설치/조립에 의한 오차를 Calibration 하여야 한다. 이를 위해 로봇 및 설비 위치의 기구 요소를 파라메타로 하는 최적화 기법을 적용하여 각 파라메타 사이의 오차값을 예측하고, 현장의 정확한 위치를 측정하여야 한다. Fig. 13은 정밀측정 레이저 트래커를 활용하여 실제 공정의 제작/설치/조립에 의한 오차를 측정하고, 이를 가상환경에 반영하는 Calibration 방법을 나타내고 있다[6]. 본 연구에서 개발된 OLP 시뮬레이터의 Calibration 수행 후 정확도는 1.4mm 이하로 정밀도가 매우 높게 측정되었으며, 시뮬레이터 OLP 프로그램의 현장 적용이 가능한 것으로 판단된다.

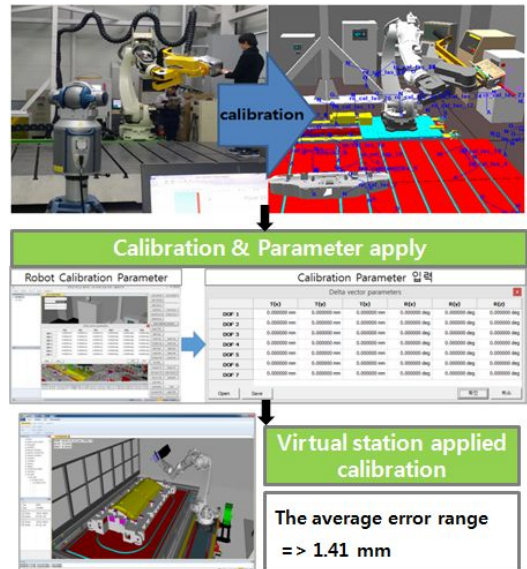


Fig. 13 Calibration field test of OLP simulator using laser tracker

6. 결론

본 연구에서는 금형 열처리 자동화 공정을 위하여 OLP 시뮬레이터와 다이오드 레이저 기반의 열처리 로봇시스템 개발하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 시뮬레이션 및 동역학 해석을 통해 6축 다관절 로봇에 2축 여유자유도를 추가적으로 적용하여 레이저 열처리 작업영역 및 효율을 극대화할 수 있는 방안을 검증하였다.
2. 다양한 레이저 열처리 자동화 조건에 대한 필드 테스트를 수행하여 소재의 재질에 대한 레이저 열처리 경향을 분석하고 이를 D/B로 구축하였다.
3. 필드 테스트로 확보된 레이저 열처리 조건 D/B는 OLP 기반 시뮬레이터의 로봇 열처리 작업 프로그램에 미리 적용하여 현장의 작업시간 단축 및 금형 열처리 품질 향상에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

후 기

“이 논문은 2015년도 대경권 광역경제권 선도산업 기술개발 연구비 지원에 의하여 연구되었음.”

REFERENCES

1. Park, K. J., Son, J. H., Cho, C. S., Kim, B. S. et al., “Development of the Heat Treatment Automation System for the Car-Body Mold,” SAE Technical Paper 2013-01-0008, 2013.
2. Eydgahi A. M. and Sheehan J. J.. “A Computer Animation of Robotic Manipulators and Workcells”. IEEE Control System. pp55~59. 1991.
3. Baillieul, J, “Kinematic Programming Alternatives for Redundant Manipulators”, IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol. 2, pp. 722-728, 1985.
4. D.C. Lee, K.Y. Rhee and Y.N. Park, “Analysis on the characteristics of STS5 by a High Frequency Induction Heater”, Proceeding of KSPE spring Conference, pp. 239-240, 2006.
5. Park Kee-Jin, Kim Yong-Sik and Yoon Sung-ho, “A study on the car-body mold heat treatment automation process based on the robot OLP simulation”, Proceeding International journal of Manufacturing Technology Engineers 2013.
6. Mooring Benjamin W., Roth Zvi S., and Driels Morris R., “Fundamentals of Manipulator Calibration” John Wiley & Sons, New York, 1991.
7. Schroer Klalus, Albright Stephen L., and Lisounkin Alexis, “Modeling Closed loop Mechanics in Robots for Purposes of Calibration”, IEEE Journal of Robotics and Automation. Vol.13, No.2, pp218-229. April, 1997.
8. K.J. Park, Y.S. Kim and S.H. Yoon, “Development of the diode laser heat treatment robot system based on OLP simulator”, Proceeding of KSMPE spring Conference, pp. 8, 2015.