

패키지형 발전시스템용 라디에이터의 OLP 기반 코팅로봇 자동화시스템 개발

김선진¹, 이종환¹, 노태정^{1*}

¹동명대학교 메카트로닉스공학과

Development of Coating Robot Automation System Based on OLP for Radiators in PPS

Seon-Jin Kim¹, Jong-Hwan Lee¹ and Tae-Jung Lho^{1*}

¹Dept. of Mechatronics Eng., Tongmyong University, Busan, Korea

요 약 패키지형 발전시스템용 라디에이터를 균일한 두께로 코팅할 수 있는 로봇자동화 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 스프레이 건을 부착한 6축 로봇, 로봇을 주행방향으로 이송하는 주행대차, 공압과 함께 도료와 신너를 공급하는 장치, 제어장치 및 로봇경로 오프라인프로그램으로 구성되어 있다. 최적인전 조건으로 코팅로봇 자동화 시스템을 사용하여 라디에이터를 코팅한 결과, 평균 코팅두께가 43 μ m로서 규정치인 25-100 μ m를 만족하였다. OLP를 활용한 코팅로봇 자동화 시스템의 생산성은 기존 수작업의 12.6 배로 향상되었다.

Abstract A robot automation system for coating uniformly a big radiator used in PPS(Packaged Power Station), which consists of 6-axis robot with spray gun, travelling vehicle, supply device of coating paint and thinner with pressured air, HMI controller and robot path OLP(Off-Line Programming), was developed. Experimental results on an optimum operation condition show that a coating thickness is 43 μ m, which is satisfied to a design reference of 25-100 μ m. A productivity of the developed coating robot automation system based on OLP is about 12.6 times of that of manual operation.

Key Words : Coating Robot Automation System, Robot Path OLP(Off-Line Programming), Coating Paint, Uniform Coating Thickness, Radiator, PPS(Packaged Power Station)

1. 서론

중국, 인도 등의 신흥경제 강국은 최근 에너지 수요가 급격히 증가하여 화력, 원자력 및 수력 발전설비를 갖추고 있으나, 아직도 전력 공급이 어려운 지역이 늘고 있다. 자본 및 발전설비 인프라가 미흡한 중동 및 중남미, 아프리카 등은 늘어나는 전력 수요에 대하여 당장 화력, 원자력 및 수력 등의 대규모 발전 설비를 구축하기는 어려운 실정이다. 국내에서 디젤엔진을 이용한 패키지형 발전시스템(PPS(Packaged Power Station))을 개발하여 해외에 발전 플랜트를 공급, 사업화를 하고 있다. PPS는 대기업인 국내 엔진 메이커에 의하여 대부분 공급되고 있으나,

핵심기자재 중 하나인 라디에이터(radiator)는 수입에 의존하고 있는 실정이다. PPS용 라디에이터는 일반적으로 외부 환경에 노출되어 있으므로 핀-튜브(fin & tube)에 부식이 발생하여 열전도도가 저하되어 방열기 효율이 저하되고 수명이 단축되고 있는바 그 상황이 심각하다. PPS 공급 메이커에서는 PPS용 라디에이터를 공급할 경우에는 Netherland Blygold사의 코팅 기술을 확보하여 보증하고 코팅 자동화시스템 구축으로 제품을 생산하여 품질을 보증하는 조건하에서 납품을 허용하고 있는바, Blygold사의 코팅을 고려한 설계기술 확보와 로봇을 활용한 코팅 자동화 시스템의 개발이 절실하다.

GEA, SEARLE사는 PPS용 라디에이터의 설계, 제작

*Corresponding Author : Tae-Jung Lho (Tongmyong Univ.)

Tel: +82-51-629-1533 email: tjlho@tu.ac.kr

Received November 23, 2012

Revised (1st January 7, 2013, 2nd January 25, 2013)

Accepted February 6, 2013

기술을 확보하여 세계적으로 독점 공급하고 있는 실정이다. 핀과 튜브의 부식방지를 위하여 사용되는 코팅액은 Blygold사에서 독점적으로 공급하고 있다. PPS용 라디에이터를 제작 공급하는 중국의 한 제조업체에서는 전용기를 이용한 코팅 자동화시스템을 구축하여 생산 공급하고 있다. 2012년 현재 국외 몇 안 되는 유명 메이커들의 기술 독점으로 본제품의 시장가격이 형성되어 있으며 납기에도 많은 문제가 발생되고 있다.

핀-튜브형 열교환기의 핀에 대한 연구는 에어컨을 비롯한 공조기, 자동차, 플랜트 및 선박 분야에서 활발히 이루어지고 있으나 중소형 열교환기에 한정하여 제작되고 있다. 여러 형태 열교환기의 설계, 제작의 경험과 여기에 축적된 설계기술을 확대 적용하여 PPS용 라디에이터를 개발하여 해외에 설치한 실적이 있다.

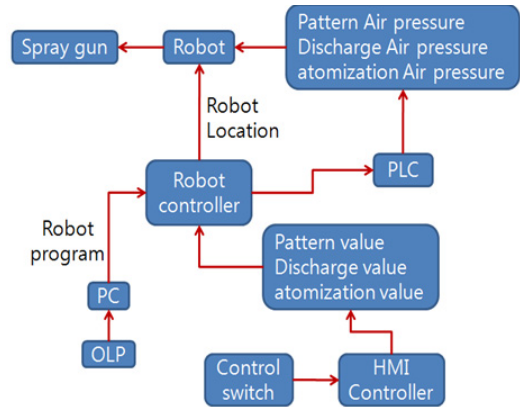
G. Duelen 등은 CNC 코팅 기계에 대한 OLP(Off-Line Programming) 프로그램 및 정전기 코팅 공정에 관한 시뮬레이션을 연구하였고[1], Z. Fu 등은 태양광 모듈에서의 코팅로봇에 관하여 연구하였다.[2], S. H. Suh 등은 페인팅될 물체의 CAD 데이터를 입력 받아 최적 로봇 궤적을 산출할 수 있는 일관계적 계획법을 제시하였다.[3] 또한 Y. H. Cho는 코팅 로봇 및 자동화를 연구하여 그 추세를 제시하였다.[4]

본 연구에서는 OLP를 활용한 코팅로봇 자동화시스템을 개발하여 라디에이터 코팅 작업에 적용함으로써 설계 목표치 범위의 균일한 코팅 두께의 품질을 확보하고, 생산성 향상으로 납기 단축 및 경제적 효과를 가져 올 것이다.

2. 코팅로봇 자동화시스템 구성

Fig. 1과 같이 코팅로봇 자동화시스템은 크게 주행이 가능한 코팅 로봇 및 제어장치, 이액형 도료 분사장치, OLP 및 HMI Controller로 구성되며, 그리고 Fig. 2는 개발한 코팅로봇 자동화시스템의 외관을 나타낸다.

코팅의 대상물인 라디에이터의 최대 사이즈는 $L*H*W=12*3*0.3m$ 이므로 주행대차가 코팅로봇을 주행방향으로 약 12m까지 이송하여 코팅 작업할 수 있으며, 높이방향으로는 약 3m의 코팅작업이 가능하며, 폭 방향으로는 라디에이터 표면에서 스프레이 건(spray gun)으로 코팅액을 핀 내부로 분사하여 약 20cm 정도 떨어진 핀에 코팅되도록 하였다. 그리고 코팅로봇과 주행대차의 주요사양은 표 1과 같다.



[Fig. 1] Configuration of coating robot automation system

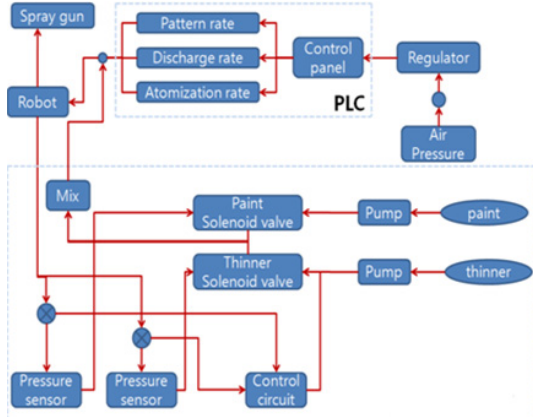


[Fig. 2] Overview of coating robot automation system developed

[Table 1] Main spec. of coating robot and travelling vehicle

coating robot	No. of axis	6	
	handling load	6kg _r	
	repeatability	±0.5mm	
	work-space	axis-1	±150°
		axis-2	+110°~-60°
		axis-3	+90°~-80°
		axis-4	±720°
axis-5		±720°	
	axis-6	±410°	
	Max. reach	1,973mm	
travel. vehicle	No. of axis	1	
	travelling span	12m	
	drive	Rack & Pinion	

신너(thinner)와 도료(coating paint)를 별도로 공급하는 이액형 도료 공급시스템은 자동으로 혼합되어 로봇에 장착된 스프레이 건(spray gun)을 통하여 분사되도록 Fig. 3 과 같이 구성하였다.



[Fig. 3] Configuration of 2 kinds of thinner and coating paint supply system

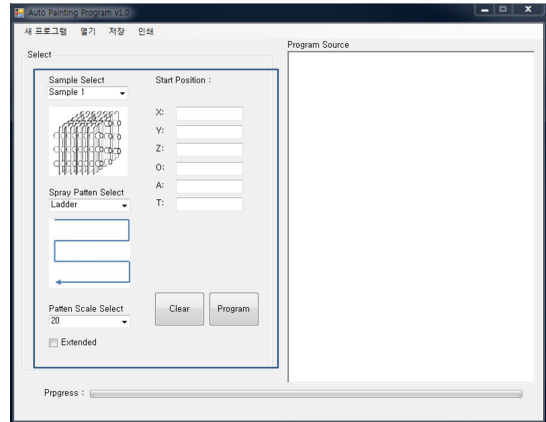
3. 코팅로봇용 OLP 개발

라디에이터는 핀-튜브 모듈(L*H*W= 2m*3m *0.3m) 6개가 직렬로 구성되어 있으며, 로봇은 주행방향으로 이송하여 모듈별로 전면을 순서대로 코팅하며, 후면을 같은 방법으로 코팅한다. 이러한 경우 teaching 방식으로 로봇 경로를 프로그래밍 할 경우 숙련된 전문 작업자가 필요하며, 많은 시간이 소요된다. 이러한 것을 해결하기 위해 코팅용 로봇을 위한 OLP 프로그램을 개발하였다. 코팅용 로봇 OLP는 프로그램 내 라이브러리에 각각 제품의 특성이 입력되어 있으며 사용자는 제품을 선택하고 프로그램 흐름을 선택하면 된다.

OLP를 활용하여 코팅로봇 경로를 작성하는 방법은 아래와 같다. 우선 'Sample Select' 메뉴에서 코팅작업 대상 제품을 선택한다. 그 후 'Spray Pattern Select' 메뉴에서 코팅작업 방식을 선택한다. 그 다음은 제품이 설치되어 있는 지점의 위치 좌표 값을 로봇에서 확인 후 프로그램에 입력한다. 그 후 'Program' 버튼을 눌러 설정된 값을 확인하고, 맞으면 'OK', 틀리면 'Cancel'를 눌러서, 자동으로 코팅로봇 경로 프로그램이 생성된다. 그 후 'Save' 버튼을 눌러 프로그램을 파일화 시킨다.

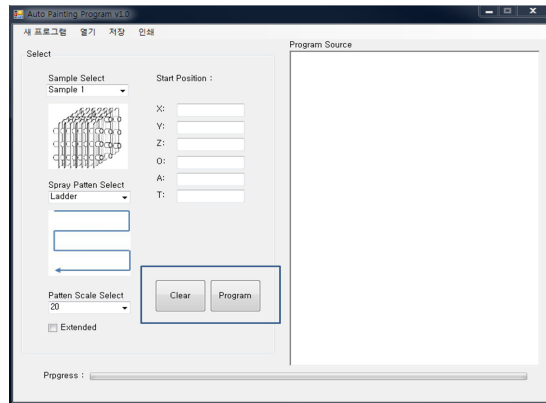
Fig. 4에서 화면의 사각형 영역이 프로그램 선택화면으로써 코팅제품 선택, 도장패턴, 코팅분사범위를 설정하

며, 일부 제품의 경우 로봇의 코팅 작업 범위보다 큰 경우 보조적인 움직임을 추가하여 제품을 코팅한다. 'Start Position'은 로봇의 시작위치를 잡은 후 티칭 펜던트의 X, Y, Z, O, A, T의 베이스 좌표 값을 가져와 입력하여 프로그램에 적용시킨다.



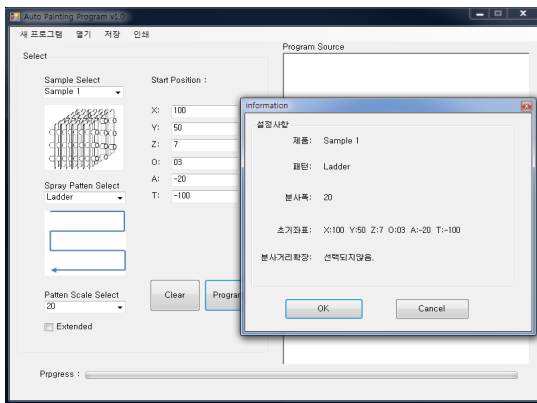
[Fig. 4] Start screen of OLP developed

Fig. 5는 'Clear' 버튼과 'Program' 버튼으로서 'Clear' 버튼은 옆의 소스화면의 프로그램을 삭제시키는 버튼이다. 'Program' 버튼은 설정 파라미터를 읽어와 파라미터에 맞는 프로그램을 옆 소스화면에 출력해주는 버튼이다.



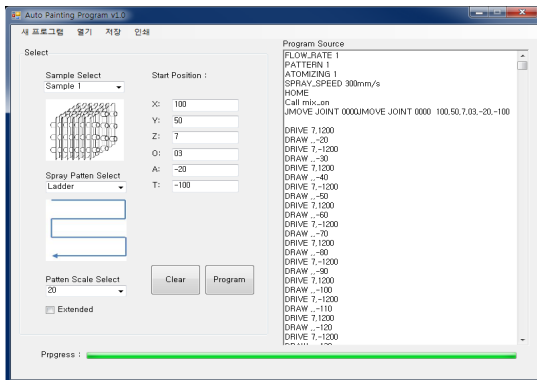
[Fig. 5] Clear screen of OLP developed

Fig. 6은 'Program' 버튼을 눌렀을 때 나오는 화면으로 설정된 사항을 간단한 메시지 형태로 보여주는 화면이다. 'OK' 버튼을 누르면 알고리즘에 의하여 프로그램 소스화면에 프로그램이 출력된다.



[Fig. 6] Setup screen of OLP developed

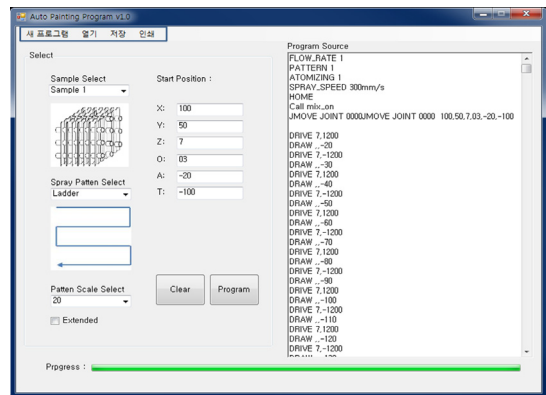
Fig. 7은 'Program' 버튼을 누르고 정보창의 'OK' 버튼을 누른 결과로 알고리즘에 의하여 프로그램의 오른쪽 소스화면에 프로그램이 출력된 화면이다.



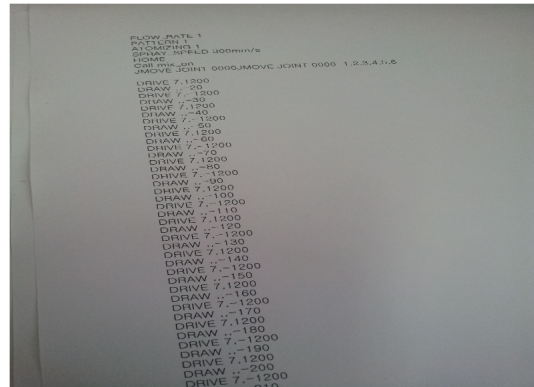
[Fig. 7] Output screen of OLP developed

Fig. 8의 사각형 영역은 메뉴바로서 설정사항 및 프로그램 소스를 초기화시킨다. 'Open' 버튼은 기존의 저장된 프로그램 소스를 불러와 프로그램 소스화면에 출력하고 편집할 수 있게 해준다. 'Save' 버튼은 프로그램 소스화면의 프로그램을 로봇이 읽을 수 있게 전용 언어인 as 언어로 저장시켜 파일화시켜 준다. Fig. 8의 '인쇄' 메뉴에서 Fig. 9와 같이 작성된 프로그램을 출력하여 점검할 수 있도록 하였다.

제품의 특징은 크게 폭, 높이, 두께, 파트폭으로 볼 수 있다. 각 제품마다 각 수치가 다르기 때문에 라이브러리 파일에 각 제품에 따른 수치가 입력되어 프로그램 실행 시 라이브러리에서 제품정보를 가져와 로봇 경로 자동생성 시 반영하여 프로그램을 생성하게 된다.



[Fig. 8] Menu screen of OLP developed



[Fig. 9] Print screen of OLP developed

4. 최적 운전조건 도출 실험

라디에이터의 코팅 두께가 설계목표치 범위에서 균일하게 되도록 코팅로봇 자동화시스템의 최적운전 조건을 도출하기 위하여 실험을 수행하였다. 최적 운전조건 실험은 무화량(atomization rate), 패턴량(pattern rate), 토출량(discharge rate), 로봇의 작업속도, 분사노즐과 라디에이터 시편과의 거리, 분사각을 여러 차례 다르게 설정하여 진행하였다. 그리고 사전 실험으로서 분사노즐과 라디에이터 시편과의 거리가 너무 가깝게 할 경우 핀이 휘어져서 거리를 20mm 이하로 설정하였다.

Fig. 10은 A4용지에 토출량, 패턴량, 무화량을 변경하여 실험한 결과로서, 패턴량이 높아짐에 따라 분사 범위가 원형에서 라운드된 직사각형 형태로 넓어지며, 무화량이 높아짐에 따라 분사되는 도료를 입자화시켜 골고루 뿌려주는 것을 볼 수 있었다.

최적 운전조건 도출 실험은 표 2의 실험 조건을 적용

하여 총 15가지 실험을 진행하였다. 최적 운전 조건은 코팅작업을 라디에이터의 전후면에 작업하기 때문에 적어도 한쪽 작업 시 도료가 6개의 튜브 중 3번째 튜브까지 골고루 퍼져 들어가야 한다. 실험의 경로는 시편의 가로 한 부분을 정해 끝에서 끝까지를 코팅하였다.

토출 0.8 bar 무화 8 bar 패턴 8 bar	토출 0.96 bar 무화 8 bar 패턴 8 bar	토출 1.2 bar 무화 8 bar 패턴 8 bar	토출 1.6 bar 무화 8 bar 패턴 8 bar
토출 3.2 bar 무화 8 bar 패턴 8 bar	토출 4.8 bar 무화 8 bar 패턴 8 bar	토출 6.4 bar 무화 8 bar 패턴 8 bar	토출 8 bar 무화 8 bar 패턴 8 bar
토출 1.2 bar 패턴 1.6 bar 무화 8 bar	토출 1.2 bar 패턴 3.2 bar 무화 8 bar	토출 1.2 bar 패턴 4.8 bar 무화 8 bar	토출 1.2 bar 패턴 6.4 bar 무화 8 bar
토출 1.2 bar 패턴 8 bar 무화 1.6 bar	토출 1.2 bar 패턴 8 bar 무화 3.2 bar	토출 1.2 bar 패턴 8 bar 무화 4.8 bar	토출 1.2 bar 패턴 8 bar 무화 6.4 bar

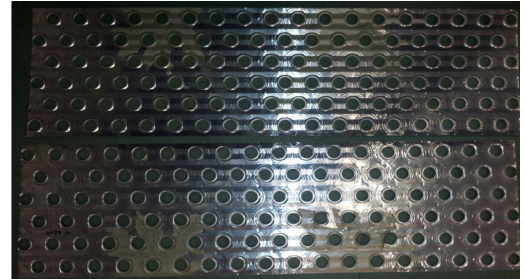
[Fig. 10] Effect of discharge, pattern, atomization rate in coating test

[Table 2] Coating experiment conditions

	distance [mm]	Velocity [mm/s]	Discharge Rate [bar]	Pattern Rate [bar]	Atomization Rate [bar]	Spray Angle [°]
test #1	50	50	8	8	8	0
test #2	50	25	8	8	8	0
test #3	50	25	4	8	8	0
test #4	20	20	3.2	4	8	0
test #5	20	20	3.2	2.4	8	0
test #6	20	20	8	8	8	30
test #7	20	10	2.4	8	8	30
test #8	20	15	1.2	8	8	30
test #9	20	15	3.2	8	8	0
test #10	30	10	2	8	2.4	0
test #11	20	5	2.4	4	8	0
test #12	20	3	1.6	2.4	8	0
test #13	20	1	1.2	2.4	8	0
test #14	20	3	0.96	2.4	8	0
test #15	20	5	2.4	1.2	8	0

최적 운전조건은 노즐과 시편과의 거리 20mm, 스프레이진 속도 3mm/s, 토출량 1.6bar, 패턴량 2.4bar, 무화량 8bar, 분사각(spray angle) 0° 이다. Fig. 11와 같이 라디에이터의 전후면에 도장 작업을 진행 할 때에는 전 튜브에 도료가 균일하게 코팅됨을 알 수 있었다.

Item [unit]	Distance [mm]	Velocity [mm/s]	Discharge Rate [bar]	Pattern Rate [bar]	Atomization Rate [bar]	Spray Angle [°]
condition	20	3	1.6	2.4	8	0



[Fig. 11] Optimal operation conditions

코팅 두께 측정은 우선 시편에서 5개 지점을 선정하여 스티커를 붙인 상태에서 최적 운전 조건으로 코팅작업을 끝내고, 시편을 약 하루 정도 자연 건조시킨 후 시편을 분해하여 스티커를 제거한 후 그 부분과 그 옆 부분의 두께를 측정하여 그 차이를 코팅두께로 계산하였다. 표 3에 서와 같이 각 5개 지점의 코팅두께는 평균 코팅두께 43µm로서 설계규정치인 25-100µm에 만족함을 확인할 수 있었다.

[Table 3] Measurement results of coating thickness

position	thickness before coating	thickness after coating	coating thickness
#1	144µm	195µm	51µm
#2	148µm	193µm	45µm
#3	148µm	178µm	30µm
#4	146µm	198µm	52µm
#5	153µm	179µm	26µm

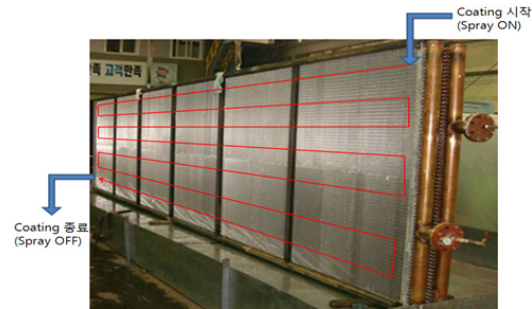
5. OLP 적용 코팅로봇 운전 시험

위의 최적 운전조건으로 2단계로 나누어서 라디에이터를 코팅을 하는데, 1단계로는 그림12(a)와 같이 블록별

로 세밀한 경로를 따라 코팅하고, 2단계로는 그림12(b)와 같이 전체 블록을 주행방향 경로로 코팅할 수 있도록 OLP를 통하여 코팅로봇 경로를 프로그래밍 하였다.



(a) Coating along block by block



(b) Coating along total blocks

[Fig. 12] Coating path of 2 stages

Fig. 13과 같이 이 프로그램을 수행한 결과 코팅이 원활하게 이루어짐을 알 수 있었다.



[Fig. 13] Operation view of coating robot

라이에이터를 수작업으로 코팅한 경우 4명의 작업자가 코팅작업에 22시간 40분이 소요되므로 총 작업공수는

90.67mh(man.hour)이며, 코팅로봇 작업의 경우 1명의 작업자가 투입되며 소요시간은 7시간 10분으로 총 작업공수는 7.17mh 이므로, 로봇 자동화시스템은 작업자의 수작업에 비하여 균일한 코팅두께의 품질을 확보할 뿐만 아니라 약 12.6배의 생산성 향상도 가져왔다.

6. 결론

OLP를 활용한 라디에이터용 코팅로봇 자동화시스템 개발에 관한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 개발한 OLP 프로그램을 활용하여 라디에이터의 사이즈와 제품정보를 입력하면 코팅로봇의 경로를 자동으로 생성하여 경로 프로그램 작성에 많은 시간을 절약하였다.
2. 코팅로봇으로써 최적운전조건으로 라디에이터를 코팅하여 5개 지점에서의 측정한 코팅두께는 설계규정치인 25-100 μ m에 만족하며, 그 평균 코팅두께는 43 μ m로서 균일한 코팅두께의 품질개선 효과를 얻을 수 있었다.
3. PPS용 라이에이터를 코팅하는데 총 7.17mh를 소요하는 코팅로봇 자동화시스템은 총 90.67mh를 소요하는 수작업에 비하여 약 12.6배의 생산성 향상으로 납기 단축 및 경제적 효과를 가져왔다.

References

- [1] X. Liu, G. Duellen, and H. Stahlmann, "An Off-line Planning and Simulation System of the Programming of Coating Robots", *CIRP Mfg. Tech.*, Vol. 38, No.1, pp. 369-372, 1989.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)62725-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0007-8506(07)62725-5)
- [2] Z. Fu, L. Zou, Y. Wu, P. Li and Y. Zhao, "Automatic coating and fastening robot of space solar module to solar panel substrate", *Assembly Automation*, Vol. 28, No. 4, pp.301-307, 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/01445150810904459>
- [3] S. H. Suh and I. K. Woo, "An Integrated Robot-Trajectory-Planning Scheme for Spray Painting Operations", *IE Interface*, Vol. 3, No. 2, pp. 23-38, 1990.
- [4] Y. H. Cho, "Recent Trend of Painting Automation System and Painting Robot.", *J. of New Coating*, Vol. 25, pp.52-59, 2010.

노 태 정(Tae-Jung Lho)

[정회원]



- 1984년 2월 : 부산대 기계설계학과 (공학학사)
- 1986년 2월 : KAIST 생산공학과 (공학석사)
- 1992년 2월 : KAIST 정밀기계공학과 (공학박사)
- 1986년 2월 ~ 1999년 2월 : 삼성중공업 기전연구소(수석연구원)
- 1999년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 메카트로닉스공학과 교수

<관심분야>

Mechatronics, Robotics, 기계제어자동화, 플랜트 I&C 등

김 선 진(Seon-Jin Kim)

[준회원]



- 2011년 2월 : 동명대학교 메카트로닉스공학과 (공학학사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 기계시스템공학과 (석사과정)

<관심분야>

Mechatronics, Robotics, 자동화 등

이 종 환(Jong-Hwan Lee)

[준회원]



- 2006년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 메카트로닉스공학과 (공학학사)

<관심분야>

Mechatronics, Robotics, 자동화 등