

다구찌 방법을 이용한 선체 외판 전처리 로봇의 최적 작업 조건 선정

정원지*, 김기정⁺, 김효곤⁺⁺, 김정현⁺⁺, 김호경⁺, 이동훈⁺

(논문접수일 2006. 1. 5, 심사완료일 2006. 4. 20)

A Selection of the Optimal Working Condition for an Outer-hull Preprocessing Robot Using a Taguchi Method

Won-Jee Chung*, Ki-Jung Kim⁺, Hyo-Gon Kim⁺⁺, Jung-Hyun Kim⁺⁺,
Ho-Kyung Kim⁺, Hun-Dong Lee⁺

Abstract

This paper present the optimal cleaning condition of the out-hull preprocessing robot by Taguchi method in design of experiments. A $L_8(2^3)$ orthogonal array is adopted to study the effect of adjustment parameters. The adjustment parameters consist of robot speed, motor torque, motor speed and tool angle. And the quality feature is selected as surface roughness of sheet metal. Taguchi analysis is performed in order to evaluate the effect of adjustment parameters of the quality feature of cleaning process by Minitab[®].

Key Words : Outer-hull Preprocessing Robot(외판 전처리 로봇), Taguchi Method(다구찌 방법), Cleaning Work(크리닝 작업), Orthogonal Array(직교 배열표)

1. 서론

선체 외판 전처리 작업은 대조립 과정에서 발생하는 용접 부위를 도장을 위해 깨끗하게 청소하는 공정이다⁽¹⁾. 선체

외판 전처리 작업은 크게 용접선을 청소하는 크리닝(cleaning) 작업과 용접선 주위의 도장면을 다듬는 패더링 작업으로 분류한다. 크리닝 작업의 경우 현재 대부분의 현장에서 사람이 직접 그라인딩(grinding)작업을 통해 이뤄지고 있다. 일부

* 국립창원대학교 메카트로닉스 공학부 (wjchung@sarim.changwon.ac.kr)

주소: 641-773 경남 창원시 사림동 9번지

+ STX조선 생산기술연구팀

++ 국립창원대학교 기계설계공학과 로봇텍스실험실

블라스팅 로봇을 개발하여 사용하고 있다. 블라스팅 로봇의 경우 블라스팅을 위한 부대 장비가 워낙 크기 때문에 로봇 운영에 많은 애로 사항이 있다⁽²⁾. 이런 단점을 보완하기 위해 선체 외판 전처리 로봇 개발에 있어 가장 중요한 크리닝 작업의 최적 조건을 알아내는 것은 중요한 것이다. Fig. 1은 선체 외판 전처리 로봇을 나타낸 것으로 크리닝 작업은 로봇의 중앙의 컵안의 세 개의 크리닝 브러시를 이용하여 작업한다. 크리닝 작업 성능에 영향을 미치는 주요인자는 로봇의 이동 속도, 브러시의 회전 속도, 브러시의 압력, 브러시의 각도 등을 들 수 있다.

본 연구에서는 현재 개발 중인 선체 외판 전처리 로봇의 최적 작업 조건을 구하는데 목적이 있다. 따라서 선체 외판 전처리 로봇의 최적 작업 조건 산정을 위해 실험계획법 중 다구찌법(Taguchi method)⁽³⁻⁵⁾을 사용하여 실험을 실시하고, 데이터의 형태로 얻어지는 반응치(특성치)에 대해서 영향을 미치고 있는 원인이 어떻게 관계되어 있는가를 분석하여 최적의 작업 조건을 선정한다⁽³⁾.

2. 관련이론

2.1 다구찌 방법

많은 변수들에 의하여 지배되는 복잡한 현상이 있을 때 각 변수가 전체 현상에 미치는 영향을 알아보기 위하여 다양한 변수의 조합에 대하여 실험을 수행하여야 한다. 또한 변수의 조합은 실험으로부터 얻어지는 분석결과와 신뢰성을 확보하기 위하여 신중하게 선택되어야 한다. 다구찌 이전의 실험계획법에서는 총 변수조합(Full factorial)에 대한 실험을 선택하였다. 총 변수조합은 그 숫자가 매우 많게 되어 실험의 횟수가 방대하게 된다. 이러한 문제에 대하여 다구찌는

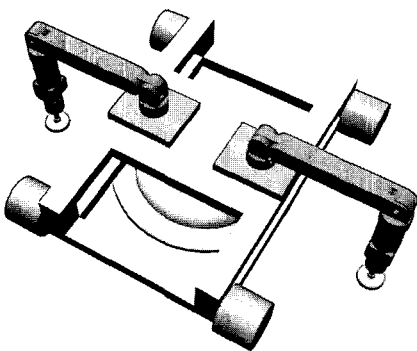


Fig. 1 Outer-hull Preprocessing Robot

직교 배열표(Orthogonal array)⁽⁵⁾를 이용해서 각 변수의 영향을 분석하는 방법을 제안하였다. 이 방법에 따르면 총 변수조합에 비하여 현저히 감소된 실험만으로 각 변수의 영향을 확인할 수 있게 되었다. 또한 변수들을 현실적으로 제어가 가능한 제어변수(Control factor)와 제어가 어려운 잡음 변수(Noise factor)로 구분하여 최적 제어변수의 조합을 찾는 방법을 제안하였다. 이는 복잡한 통계이론을 통하여 잡음 변수의 영향을 차단하고자 하는 종래의 실험계획법에 비하여 훨씬 더 이해하기 쉽고 현실적인 방안으로 받아들여지고 있으며 강건설계(Robust Design)⁽⁵⁾의 기본적인 수단을 이루고 있다. 강건설계는 제품의 사용 환경, 작업자의 숙련도, 소비자의 수준 등과 같은 잡음변수의 영향하에서 생산 및 소비 비용이 최소화된 제품을 최단 시간에 시장에 공급하는 것을 목적으로 한다. 여기서 소비비용은 제품이 완벽하지 못하여 사용과정에서 소비자가 추가로 부담해야하는 제반 비용을 말한다. 다구찌 방법은 제품의 개발 초기 단계에서 각 설계변수의 영향을 신속하게 파악하고 발생 가능한 문제를 예방하는 수단을 제공하므로 강건설계의 유력한 수단이 된다.

또한 다구찌 방법의 강건설계는 제어할 수 있는 영향력이 큰 인자를 찾아내어 이 인자들의 영향력을 최대로 하여 잡음의 영향력을 최소화 하는 것이다. 교란인자의 영향으로부터 품질을 강건하게 유지하기 위하여 SN비(Signal to noise ratio)를 사용한다. SN비는 신호 대 잡음의 비율을 뜻하는 것으로 신호입력의 힘과 잡음의 힘의 비율로서 나타낸다. 즉 각각의 조절인자의 SN비를 크게 만드는 값을 그 인자의 값으로 결정하면 이렇게 선정된 값은 잡음에 대하여 강건해진다.

SN비는 목적함수, 즉 특성치(Characteristic value)에 의해 그 정의가 달라지게 되는데 특성치는 망목(Normal is best), 망소(Lower is better), 망대(Higher is better) 특성으로 나누어진다. 본 연구에서는 특성치를 표면 거칠기 값이 클 수록 도막의 흡착력이 커지기 때문에 거칠기 값이 클 수록 좋은 망대 특성을 선정하였다. 망대 특성의 SN비는 식 (1)을 이용하여 구할 수 있다⁽⁶⁾.

$$SN = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (1)$$

식 (1)에서 n 은 측정값의 수를 나타내고 y_i 는 측정된 특성값을 나타내며 SN값의 단위는 데시벨(dB) 이다.

3. 실험

3.1 실험 장치 및 시험편

본 논문에서 사용한 실험장치는 Fig. 2와 같다. 개발 되는 선체 외판 전처리 로봇의 사양을 결정하기 위해 6축 수직 다관절에 800W의 AC 서보모터(AC servo motor)를 장착하여 실험을 수행하였다. 6축 수직 다관절의 경우 모든 3차원 공간상에서 자유롭게 위치와 자세를 표현할 수 있다. 그리고 AC 서보모터는 모터의 토크를 통해 시험편에 가해지는 압력을 역추정 할 수 있다. 그리고 실험 시험편은 두께 14mm의 연강(Mild steel)에 블라스팅 처리를 하고 산화방지 코팅을 하였다. 실제 선체 외판에서는 용접을 하고 나서 용접 불순물을 파워툴을 이용하여 제거한다. 다음 단계인 용접 검사, 도장 작업 까지는 약간의 시간적 차이가 있기 때문에 그 동안의 산화방지를 위해 용접선을 포함한 주변을 산화 방지제로 코팅을 한다. 크리닝 작업은 도장을 위해 산화방지제와 이물질질을 제거하는 작업이다.

3.2 실험 방법

선체 전처리 로봇의 크리닝 작업의 경우 품질에 영향을 미치는 인자로는 로봇의 이동속도, 톨의 회전속도, 톨의 작업면을 누르는 압력, 톨과 작업면과의 각이 있다. 톨이 작업면을 누르는 압력 측정은 모터가 작업면을 압력을 가하게 되면 모터가 받는 토크가 증가하게 된다. 그래서 모터 토크 측정을 통해 작업면을 누르는 압력을 대신할 수 있다. 그리고 잡음인자로는 주변 환경이나 톨의 마모정도 등이 있겠지만 본 실험에서는 산화방지제의 두께를 잡음인자로 놓고 실험을 수행하였다. 현장의 경우 산화방지제의 두께가 다르기 때문에 어떠한 경우에서도 크리닝 작업이 원활하게 되는 조건 선정이 필수적이다. 그래서 산화방지제가 얇게(50 μ m 이

하) 코팅 된 것과 두껍게(100 μ m 이상) 코팅 된 것에 대하여 실험을 수행하였다. 그리고 결과는 표면 상태를 측정식 표면 조도 측정기(Surfest SV-600, Mitutoyo)를 이용하여 표면 거칠기가 높은 것은 것이 좋은 망대 특성을 이용하였다⁽⁶⁾. 크리닝 작업이 도장을 위한 작업이기 때문에 표면 거칠기가 높을 수록 도장이 표면에 잘 흡착되기 때문이다. 그리고 측정은 Fig. 3과 같이 한 번에 3군데를 측정하여 실험의 정확도를 향상시켰다. 용접 부위의 경우 용접 조건에 따라 표면 조도 차이가 워낙 크고, 용접 부위를 포함한 200mm정도를 크리닝 작업해야 되기 때문에 평면에 나타나는 최적의 작업 조건을 선정한다.

Table 1은 반복실험을 통해 가장 작업이 잘 이루어지는 작업 조건으로 다루찌 방법 적용 이전 실험에 사용되어진 것으로 현재 작업 조건으로 선정하였다.

다구찌 방법을 위해 선정된 인자와 수준은 Table 2와 같다. 수준의 경우 1번 수준과 2번 수준을 벗어난 경우는 작업이 제대로 이루어지지 않기 때문에 이와 같은 범위를 선정할 수 있다.

로봇의 속도의 경우 경제성 검토 결과 5mm/s이상이어야 하고, 10mm/s이상에서는 크리닝 작업의 질이 떨어지기 때문에 Table 2와 같은 수준이 결정되었다. 그리고 모터 토크의 경우 800W 서보 모터의 정격토크가 2.4N·m이다. 회전 속도의 경우 정격 회전 속도가 3,000rpm이고 2,000rpm이

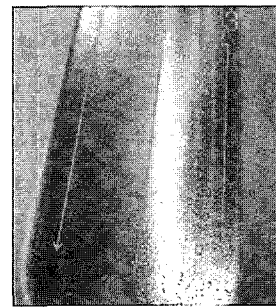


Fig. 3 Test Metals

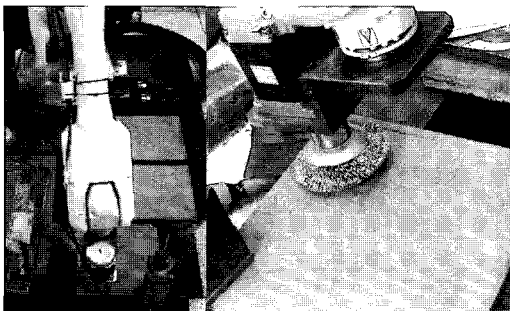


Fig. 2 Cleaning Process

Table 1 Present Condition

Sign	Factor	Unit	Present Conditon
A	Robot speed	mm/s	5
B	Motor torque	N·m	2.4
C	Motor speed	rpm	2,000
D	Tool angle	degree	15

Table 2 Factors and Levels used in Experiment

Sign	Factor	Unit	Level	
			1	2
A	Robot speed	mm/s	5	10
B	Motor torque	N·m	1.6	2.4
C	Motor speed	rpm	2,000	3,000
D	Tool angle	degree	15	30

Table 3 Table of Orthogonal Array for L₈(2⁴)

Experiment No.	Factor			
	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	1	2	2
3	1	2	1	2
4	1	2	2	1
5	2	1	1	2
6	2	1	2	1
7	2	2	1	1
8	2	2	2	2
Sign	A	B	C	D

하에서는 작업이 제대로 이루어지지 않는다. 끝으로, 작업물의 각도의 경우 30°이상일 경우 크리닝 폭이 작아 원하는 작업이 이루어지지 않는다. Table 1의 제어 인자와 수준수를 고려하여 Table 3과 같이 L₈(2⁴) 직교 배열표에 배치하였다.

4. 실험결과 및 분석

앞 절의 내용을 바탕으로 실험을 수행하여 시편의 중심선 평균 거칠기(R_a)를 측정된 결과는 Table 4와 같다.

Table 4를 결과를 토대로 Minitab[®](7)을 이용하여 SN비를 계산한 결과는 Table 5와 같다. 그리고 이에 해당 하는 그래프는 Figs. 4, 5과 같다. Table 5와 Figs. 4, 5에서 알 수 있듯이 크리닝 작업에 기여하는 중요인자는 로봇의 이동 속도 - 모터의 토크 - 회전 속도 - 툴의 각도 순으로 나타났으며 크리닝 작업에 C, D인자가 미치는 영향이 다른 요인에 비해 매우 작으며 A인자인 로봇의 이동 속도가 다른 인자에 비해 크리닝 작업에 가장 많은 영향을 미치는 주요 인자로 나타나고 있음을 알 수 있다. Fig. 6에서와 보는 바와 같이

Table 4 Experimental Results

(단위 : μm)

Experiment No.	Condition 1(50μm이하)			Condition 2(100μm이상)		
	1	2	3	1	2	3
1	4.48	5.35	6.45	3.62	4.78	5.32
2	4.96	5.83	6.58	4.34	5.66	5.96
3	5.85	6.11	7.32	4.65	6.07	6.8
4	5.11	5.98	7.19	4.61	5.81	6.19
5	2.84	3.8	5.56	2.74	4.03	4.61
6	3.16	5	5.89	2.82	4.41	4.65
7	3.96	5.15	6.01	2.83	4.47	5.14
8	4.21	5.15	6.07	3.22	4.56	5.15

Table 5 Response Table of S/N Ratio

Level	Robot speed	Motor torque	Motor Speed	Tool angle
1	14.68	12.79	13.14	13.22
2	12.08	13.98	13.62	13.55
Rank	1	2	3	4

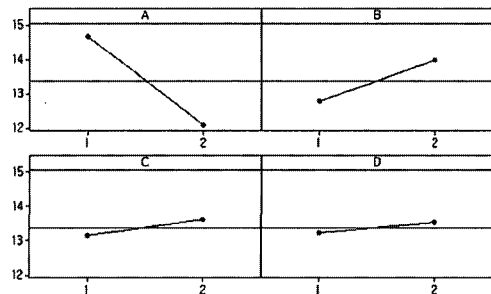


Fig. 4 S/N Ratio Value Response for Design Variables on Minitab[®]

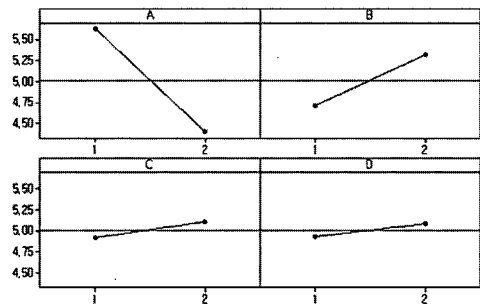


Fig. 5 Mean Value Response for Design Variables on Minitab[®]

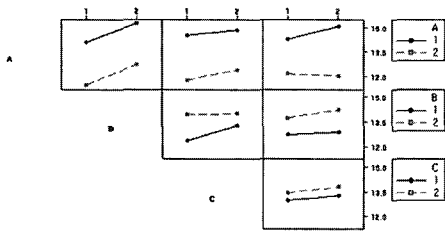


Fig. 6 Plot of Interaction of S/N Ratio on Minitab®

Table 6 Optimal Condition

Factor	Unit	Condition
Robot speed	mm/s	5
Motor torque	N·m	2.4
Motor speed	rpm	3,000
Tool angle	degree	30

Table 7 Result of Optimal Condition

	Condition 1 (50µm이하)			Condition 2(100µm이상)		
	1	2	3	1	2	3
Ra(µm)	6.18	8.11	8.33	4.79	6.82	7.17

분산분석을 통한 각 변수 간의 교호작용(Interaction)은 없으므로 S/N비를 이용하여 최적조건을 찾아내는 것은 타당성이 있다고 할 수 있다.

크리닝 작업의 최적 작업 조건은 Table 6과 같다.

Table 6과 같이 최적조건으로 S/N비를 예측하면 15.681으로 현재 조건의 15.485에 비하여 0.196만큼 개선되었음을 알 수 있다. 그리고 최적조건으로 확인 실험을 수행한 결과는 Table 7과 같다.

Table 7과 같이 모든 경우에 앞서 수행한 실험보다 중심선 평균 거칠기의 크기가 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 선체 외판 전처리 로봇의 개발 단계에서 이와 같은 실험 과정을 통해 크리닝 작업시 최적의 조건으로 로봇이 구동할 수 있는 설계 데이터로 이용할 수 있다.

5. 결론

본 논문은 선체 외판 전처리 로봇 개발에 있어 최적의 작업 조건 선정에 관한 것이다. 선체 외판 전처리 로봇의 크리닝

작업은 용접선 및 그 주변의 산화 방지제 및 이물질들을 도장 작업을 위해 제거하는 것이다. 실험을 위해 6축 수직 다관절 로봇에 크리닝 브러시를 장착하여 여러가지 작업 조건으로 실험을 수행하였다. 선체 외판 전처리 로봇의 크리닝 작업의 최적 작업 조건을 찾기 위해 다구찌 방법을 이용하였다. 분석은 Minitab®을 이용하였고, 크리닝 작업에 가장 영향을 많이 주는 인자는 로봇의 이동 속도 - 모터의 토크(압력) - 톨의 회전 속도 - 톨의 각 순으로 나타났다. 분산 분석을 통한 각 변수 간의 교호작용은 없으므로 S/N비를 이용하여 최적조건을 찾아내는 것은 타당하다. 그리고 최적의 작업조건으로 확인실험을 통해 제한한 최적 작업조건의 정확성을 입증하였다.

후기

본 논문은 2004년도 창원대학교 연구비에 의해 연구되었습니다. 본 연구는창원대학교 공작기계기술연구소 지원으로 수행되었습니다. 본 과제는 산업자원부의 출연금등으로 수행한 지역전략산업 석·박사 연구인력양성사업의 연구결과입니다.

참고 문헌

- (1) Park, M. G. and Kywon, Y. J., 2003, *Design of Ship, KLG.*
- (2) Park, D. S., Cho, M. W., Kim, D. W. and Cho, W. S., 2004, "Micro-Pattern Machining Characteristics Evaluatin of Si₃N₄-hBN based Machinable Ceramics Using Powder Blasting Process," *KSMTE*, Vol. 13, No. 2, pp. 33~39.
- (3) Park, S. H. and Choi, B. C., 2005, *Understanding of Design of Experiments Through Analysis of SPSS and SAS*, MYS.
- (4) Park, S. H., 2001, *Design of experiments*, MYS.
- (5) Lim, S. H., Park, D. K. and Lee, C. M., 2004, "A Study on the Optimal Cutting Condition of High Speed Feeding Type Laser Cutting Machine by Taguchi Method," *JKSPE*, Vol. 21, No. 6, pp. 77~83.
- (6) Kang, S. J. and Kim, J. K., 2004, "Characteristics Evaluation of Surface Roughness with Ultra Precesion Machining," *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 13, No. 1, pp. 9~15.
- (7) Lee, S. B., 2001, *Minitab User Handbook*, ERETEC.