

실험계획법을 이용한 3축 수직다관절 로봇의 최적설계에 관한 연구

Optimal Design of 3-Axis Articulated Robot using Design of Experiments

*김민규¹, #정원지², 이성조³

*M. G. Kim¹, #W. J. Chung(wjchung@changwon.ac.kr)², S. J. Lee³

¹창원대학교 기계설계공학과, ²창원대학교 기계설계공학과, ³창원대학교 기계설계공학과

Key words : Optimal Design, DOE, Articulated Robot, 최적설계, 실험계획법

1. 서론

현대 산업에 있어서 수직 다관절 로봇은 용접과 핸들링용을 비롯하여 가반중량 10kg에서 300kg까지 다양하게 분포하고 있으나 그 설계기술은 대동소이하다. 이런 로봇은 제어정밀도, 신뢰성 등의 측면에서 최적설계가 수반되어야 하며 로봇설계기술의 최종단계라 할 수 있을 정도로 로봇기계기술의 종합적 완성이 필요하다.

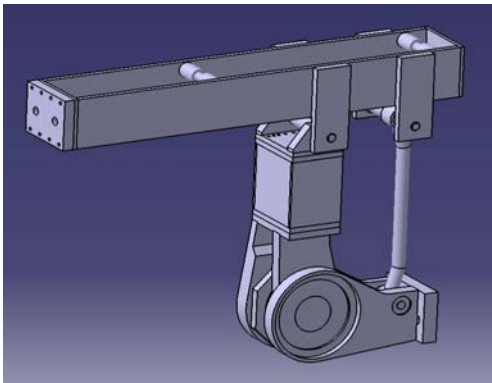


Fig. 1 Modeling of articulated robot arm

일반적으로 최적 설계를 위해 컨셉(Concept) 설계 후 유한요소 해석(Finite Element Method, FEM)의 결과 값을 직접 이용한다. 이 경우 해석 결과에 따라 설계 변수를 변경한 후 재해석이 수행되며 목표치를 만족 할 때까지 이 과정이 반복된다. 설계 변수의 변경은 전적으로 엔지니어의 경험과 시행착오에 의존하기 때문에 소요시간의 변동이 크며, 최적의 설계 변수를 찾기가 힘들다는 단점이 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 실험계획법(Design of Experiments, DOE)을 이용하여 로봇 암부의 설계변수들을 직교배열표(Orthogonal array)를 구성하여 해석을 수행하였고, 결정된 최적 사양은 해석을 통해 최초 설계된 로봇의 암부와 비교하여 검증하였다.

2. 실험계획법

실험계획법(Design of Experiments, DOE)은 통계적 분석 기법으로 통계적 프로그램인 MINITAB과 같이 많이 사용되어지고 있다. 이러한 실험계획법은 시간이 많이 소요되는 복잡한 해석을 수행할 때 실험계획법에 따라 해석을 수행하면 최소 횟수의 해석으로 인자의 영향을 파악해 주 인자가 무엇인지 파악 할 수 있다. 특히 이 방법을 이용하면 총 변수조합에 비하여 현저히 감소된 해석 수행만으로 각 변수의 영향을 확인할 수 있게 된다. 또한 현실적으로 제어가 가능한 제어변수(control factor)와 제어가 어려운 잡음변수(noise factor)로 구분하여 최적 변수의 조합을 찾는 방법이 제안되었고, 이는 복잡한 통계이론을 통하여 잡음변수의 영향을 차단코자하는 방안으로 받아들여지고 있다.

따라서 제어할 수 있는 영향력이 큰 인자를 찾아내어 이 인자들의 영향력을 최대로 하여 잡음의 영향력을 최소로 하는 것이다. 잡음인자의 영향으로부터 품질을 강건하게 유지하기 위하여 SN비(Signal to Noise Ratio)를 사용한다. SN비는 신호 대 잡음의

비율을 뜻하는 것으로서 각각의 조절인자의 SN비를 크게 만드는 값을 그 인자의 최적인자로 결정하면 된다.

SN비는 목적함수에 의해 좌우된다. 즉, 특성치(characteristic value)에 의해 그 정의가 달라지는데 특성치는 망목(normal is best), 망소(lower is better), 망대(higher is better)특성으로 나누어진다. 본 연구에서는 특성치의 대상을 가공부분의 처짐량에 두었으므로 적을수록 좋은 망소 특성을 선정 하였다. 망소 특성의 SN비는 다음 식(1)을 이용하여 구할 수 있다.

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

위 식에서 n 은 측정값의 수를 나타내고 y_i 는 측정된 특성값을 나타내며 SN값의 단위는 데시벨[dB]이다.

3. 최적인자 도출

Robot arm 설계에 있어 제어인자는 최초 설계된 암부의 해석을 통해 Fig.3과 같이 3개로 선정하였고, 각 제어인자에 대한 Level 수는 5 Level로 Table 1과 같다. 각 제어인자와 대응하는 직교배열표를 만들어 보면 Table 2와 같으며 총 25회의 실험만으로 243번(3^5)의 실험을 대신할 수 있다.

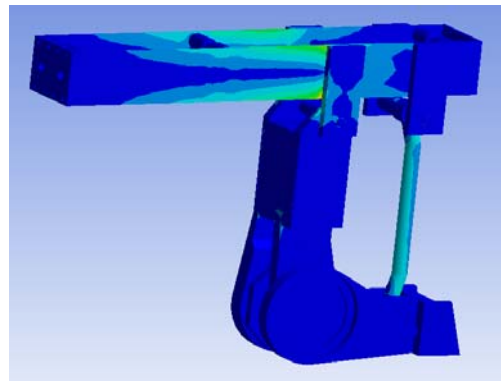


Fig. 2 Analysis of robot arm

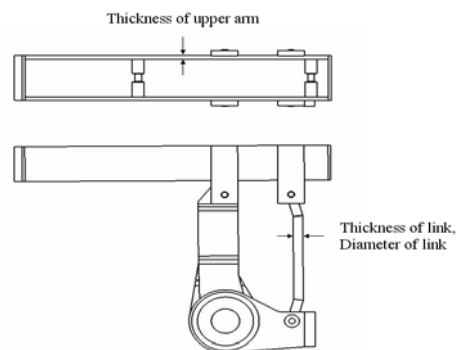


Fig. 3 Schematic diagram of robot arm

Table 1 Level of design variables

Control factor	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
Thickness of link	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
Diameter of link	18	19	20	21	22
Thickness of upper arm	4	5	6	7	8

Table 2 Orthogonal array

No	Thickness of link	Diameter of link	Thickness of upper arm	SN ratio
1	1.0	18	4	5.616
2	1.0	19	5	5.677
3	1.0	20	6	5.668
4	1.0	21	7	5.587
5	1.0	22	8	5.475
6	1.5	18	5	5.723
7	1.5	19	6	5.692
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
18	2.5	20	4	5.689
19	2.5	21	5	5.749
20	2.5	22	6	5.707
21	3.0	18	8	5.489
22	3.0	19	4	5.687
23	3.0	20	5	5.747
24	3.0	21	6	5.703
25	3.0	22	7	5.606

각 사양에 따른 해석을 수행하여 나온 변위의 결과 값으로부터 MINITAB을 이용하여 SN비와 평균값을 도출하고 최적 수준을 결정하였다. 즉 최대 처짐량과 질량을 동시에 최소로 하는데 중요한 인자를 실험계획법을 이용하여 찾아낸 것이다. 이는 다목적 함수의 문제로서 최적화기법을 사용하기 위해서는 식(2)에서와 같이 Weight factor와 Scale factor를 적절히 설정하여 여러 목적함수들이 선형 결합한 하나의 목적함수로 지정하고 그 값을 최소화 하여야한다.

$$Object = w_1 \times \frac{mass}{f_1} + w_2 \times \frac{deformation}{f_2} \quad (2)$$

여기서 목적함수의 w_1, w_2 는 각각 0.4, 0.6으로 두었으며 f_1 과 f_2 는 최초 설계에 의한 값 8.446kg과 0.483mm로 설정하였다. 여기서 w_1, w_2 의 값은 각 제어인자에 대한 가중치이다.

이상의 실험계획법에 따라 최대처짐량의 최소화를 위한 Robot arm의 최적화 값은 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 Thickness of link는 2.5mm, Diameter of link는 21mm 그리고 Thickness of upper arm은 5mm임을 알 수 있다. 그리고 결과값에 영향을 미치는 주 인자가 Thickness of upper arm이라는 것을 알 수 있다.

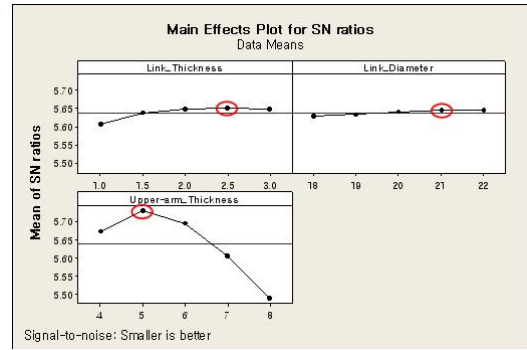


Fig. 4 SN ratio value response for design variables

4. 결론

앞의 결과에서 도출한 최적인자를 적용하여 실험계획법의 효과를 알아보기 위해 제어인자를 초기조건과 동일하게 설정한 후 해석을 수행하였다.

Table 3 Analysis Results

	Initial condition	Optimal condition
Thickness of link	1.0	2.5
Diameter of link	20	21
Thickness of upper arm	4	5
Mass	8.446	8.715
deformation	0.483	0.396

Table 3을 통해서 최적화 후 0.269kg의 질량증가가 있었지만 최대처짐량은 0.087mm 감소하여 18.05%의 감소 효과를 보았다. 이는 초기 조건에 비교하여 가중치에 따른 결과로서 고강성을 갖는 로봇설계라는 초기의 목적을 달성하였다고 볼 수 있다. 그리고 실험계획법을 이용하여 243번의 실험을 통해 주 인자와 각 제어인자의 영향을 25회만으로 알아 낼 수 있었다.

후기

본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력 양성사업으로 수행된 연구결과임.

이 연구에 참여자는 [2단계 BK 21사업]의 지원비를 받았습니다.

참고문헌

1. S. H. Park and B. C. Choi, "Understanding of Design of Experiments Through Analysis of SPSS and SAS," MYS, 2005.
2. S. H. Park, "Design of experiments," MYS, 2001.
3. Genichi Taguchi, yuin wu, "TAGUCHI's Quality Engineering Handbook," Wiley, 2001.
4. S. B. Lee, "Minitab User Handbook," ERETEC, 2001.
5. 박성현, "현대실험계획법," 민영사, pp. 631-646, 1999.
6. D. W. Jung, "A Study on Six Sigma Based Robust Design of Gripper Part for LCD Stocker Crane" 창원대학교 대학원 석사학위논문, 2006.