

유전 알고리즘을 이용한 수직다관절 로봇의 최적설계

Optimal Design for a Vertical Articulated Robot Using a GA(Genetic Algorithm)

*#최국진¹, 장우일¹, 노민석¹, 권정희¹, 홍대선¹

*K. J. Choi(Choi@changwon.ac.kr)¹, U. I. Jang¹, M. S. Noh¹, J. H. Kwon¹, D. S. Hong¹

¹국립창원대학교 메카트로닉스 공학부

Key words : FEM(Finite Element Method), GA(Genetic Algorithm), Optimal design, Vertical articulated robot

1. 서론

산업용 로봇은 공장자동화 시스템의 핵심 구성요소의 하나이며 제조업을 중심으로 생산현장에서 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 산업용 로봇의 사용이 증가될수록 로봇에 의한 에너지 소비도 급증하는 문제에 대한 고려와 로봇의 무거운 자체중량에 의한 안전문제도 고려해야만 한다.

산업용 로봇의 성능 향상을 위해 기구학적 해석, 동역학적 해석 및 제어에 관한연구가 많이 발표되고 있다.^{1,2} 로봇의 구조적 관점에서 접근한 연구는 많이 부족한 상태이며 국내 및 국외의 연구 내용은 다음과 같다. Kim³은 주어진 작업영역에 대해서, 표준작업을 정하고 속도관점에서 이를 최대화하는 로봇의 링크 길이를 결정하는 연구를 하였으며, Hong⁴은 로봇의 경량화 구현을 위한 산업용 로봇 구조강도 해석에 관한 연구를 하였고, Kang²은 SCARA형 로봇에 대하여 주어진 조건하에서 재료의 특성에 따른 팔의 치수 최적화에 관한 연구를 수행하였다. Choi¹는 소형의 액추에이터로 작업이 가능하도록 하는 링크의 길이를 결정할 필요를 느끼고 각 조인트 토크를 이용한 각 링크의 길이 최적화에 관한 연구를 하였다. 국외 연구 내용으로는 Yosimura⁵의 다관절 로봇의 고성능화를 위한 동작 계획과 구조 설계의 통합적 최적화에 관한 연구 등이 있다.

본 연구에서는 상용 유한요소 해석 프로그램(ANSYS)과 유전알고리즘을 효과적으로 결합한 최적설계 시스템을 이용하여 산업용 수직 다관절 로봇의 경량화를 위한 최적설계를 수행하였고, 그 결과를 보면 제안한 본 방법은 실제 산업용 로봇의 초기설계에 적용될 수 있음을 보인다.

2. 최적설계와 유전 알고리즘

2.1 최적설계

최적설계란 주어진 설계사양을 만족하는 최적의 설계치를 찾아내는 설계기법이다. 최적설계에서는 설계사양과 최적화 목적에 영향을 끼치는 중요한 요소를 변수로 하여 최적화 알고리즘에 적용시키게 된다. 최적화 알고리즘을 거친 결과를 설계사양 및 초기 설계치와 비교 검토함으로써 설계를 마치게 된다.

2.2 유전알고리즘

자연 생태계에서는 부모가 지니고 있는 유전 성질이 교배를 통해 다음 세대로 전달되고 전달된 유전자의 우열에 의해 환경에 적응하여 살아남느냐 도태되느냐가 결정된다. 유전알고리즘은 이러한 자연계의 변이와 적자생존에 의한 진화의 과정을 모방한 확률적인 탐색 알고리즘이다.

3. FEM과 GA를 이용한 최적설계

본 연구에서는 다음의 3단계의 최적화 과정을 수행한다.

- STEP-1 : 로봇 링크 길이 최적화
- STEP-2 : 로봇 링크 두께 최적화
- STEP-3 : 로봇 링크 형상 치수 최적화

이 중에서 STEP-1은 로봇 기구학과 운동학 해석에 의하여 수행하고 STEP-2와 STEP-3은 ANSYS를 이용한 FEM 구조해석 결과를 이용한다.

3.1 최적설계 시스템 구성

로봇 기구학과 운동학의 수학적 계산은 Matlab으로 프로그래밍 하였다. 최적화 알고리즘인 유전알고리즘 또한 Matlab으로 구성하여 두 시스템의 데이터 교환은 Matlab 내부 변수로 직접 주고받을 수 있다. 그러나 Matlab은 ANSYS와 직접적으로 데이터를 주고받을 수 없다. 따라서 본 연구에서는 Matlab으로 구현된 유전알고리즘에서 설계변수 값을 ANSYS로 보내고, 다시 ANSYS의 해석 결과를 유전알고리즘으로 받기 위하여 Fig. 1과 같은 최적설계 시스템을 구축하고 매개 변수로는 텍스트 파일을 사용하였다.

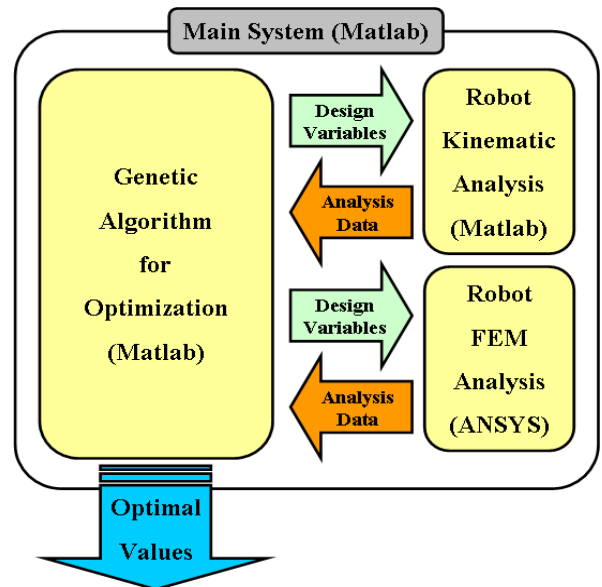


Fig. 1 Diagram of the proposed optimal design system

3.2 로봇 링크의 길이 최적설계 (STEP-1)

STEP-1에서는 각 관절의 발생 토크를 최소로 하는 링크 길이를 최적화 한다. 최적화에 사용되는 목적함수는 각 관절의 토크를 각 관절마다 설정되어 있는 최대 허용 토크에 대한 비율로 변환하였을 때 그 비율의 합을 최소화하는 것이며 식(1)과 같이 표현된다. 여기서 τ_i 는 i 번째 관절의 토크이며, τ_{maxi} 는 i 번째 관절의 최대 허용 토크, n 은 전체 관절의 수가 된다.

최종 최적화 결과는 Table 1에 정리하였다. Link 1만 길이가 증가하고 나머지는 감소하였다.

$$O(x) = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\tau_i}{\tau_{maxi}} \right| \quad (1)$$

Table 1 Optimization result for STEP-1

Variables	Initial value [mm]	Optimized value [mm]	Change [%]
Link 1(a2)	450	624	+ 39
Link 2(a3)	115	32	- 72
Link 3(d4)	735	550	- 25

3.3 로봇 링크의 두께 최적화 (STEP-2)

STEP-2에서는 이 로봇 링크의 길이를 갖는 Fig. 2 와 같은 링크 형상의 두께를 최적화 한다. 로봇 전체 구조 해석 결과를 이용하여 식(2)와 같은 목적함수 $O(x)$ 를 만족하는 최소 중량을 갖도록 한다.

$$O(x) = \sum_{i=1}^n \rho_i A_i L_i \quad (2)$$

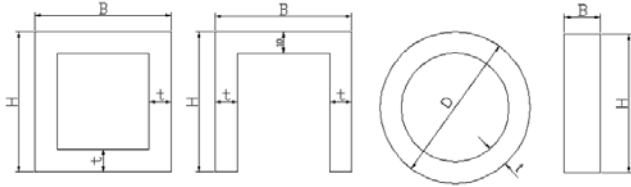


Fig. 2 Shape of section area

Table 2 Optimization result for STEP-2

Variables	Initial value [mm]	Optimized value [mm]	Change [%]
Element 1(t)	10	4	- 60
Element 2(t)	28	11	- 60
Element 3(t)	8	4	- 50
Element 4(t)	8	4	- 50
Element 5(t)	8	12	+ 50
Element 6(t)	8	14	+ 75
Element 7(t)	8	7	- 12
Element 8(t)	8	4	- 50
Element 9(t)	8	10	+ 25
Element 10(B)	20	6	- 50
Element 11(B)	17	14	- 17
Element 12(t)	6	4	- 33
Element 13(t)	6	9	+ 50
Element 14(t)	5	6	+ 25
Element 15(t)	6	6	-
Element 16(t)	5	4	- 20
Element 17(t)	6	4	- 33
Weight[kg]	69.0	46.3	- 32

Table 3 Optimization result for STEP-3

Variables		Initial value [mm]	Optimized value [mm]	Change [%]
Element 5	H	100	100	-
	B	110	60	- 45
Element 6	H	100	100	-
	B	85	60	- 29
Element 7	H	100	100	-
	B	80	60	- 25
Element 8	H	130	100	- 23
	B	72	60	- 16
Element 9	H	100	90	- 10
	B	77	60	- 22
Element 10	H	110	120	+ 9
Element 11	H	35	18	- 48
Element 12	H	102	90	- 11
	B	120	100	- 16
Element 13	H	102	90	- 11
	B	120	100	- 16
Element 14	D	100	70	- 30
Element 15	D	80	60	- 25
Element 16	D	100	70	- 30
Element 17	H	95	80	- 15
	B	123	100	- 19
Weight[kg]		46.3	43.9	- 5

최적화 결과는 Table 2 에 정리하였다. 대부분의 두께가 감소하였고 전체 로봇 중량이 69.0kg에서 46.3kg로 초기 설계치에 비하여 32% 감소하였다.

3.4 로봇 링크의 형상 최적화 (STEP-3)

STEP-3에서는 STEP-2에서 최적화 한 두께를 고정시키고 나머지 외곽 형상 치수를 최적화 한다. Element 1~4 요소는 형상 최적화 작업에서는 제외한다.

최적화 결과는 Table 3에 정리하였다. Element 10을 제외한 모든 형상 치수가 감소하는 결과를 보인다. 전체 로봇 중량은 STEP-1 결과인 46.3kg에서 43.9kg으로 STEP-1 에 비하여 5%가 감소하였고, 초기 설계치인 69.0kg에 비해선 36% 감소하였다.

4. 결론

본 연구에서는 점차적으로 소형화 및 고속화 되고 있는 산업용 로봇의 성능 향상을 위해 로봇의 경량화 최적설계를 수행하였다. 관절 좌표계와 링크 치수 등은 그대로 초기 설계 값으로 적용하였고 링크의 형상은 보 요소로 간략화 시켰다. 주어진 조건하에서 로봇 매니퓰레이터의 경량화와 구동력을 최소화 하는 링크의 길이 및 형상 치수를 결정하는 문제를 FEM과 유전알고리즘을 효과적으로 연동하여 해결하였다.

본 방법에서는 3단계 최적화과정을 통하여 수직 다관절 로봇의 최적설계를 수행하였다. STEP-1에서는 각 관절의 발생 토크를 최소화 하는 링크 길이를 최적 화 하였고 STEP-2에서는 STEP-1에서 최적화 된 길이를 갖는 링크 형상의 두께를 최적화 하였다. 마지막으로 STEP-3에서는 STEP-2에서 최적화 된 두께를 고정시키고 나머지 외곽 형상 치수를 최적화 하였다. 3단계의 최적화를 모두 수행한 결과 로봇 중량은 초기 설계치인 69.0kg에서 43.9kg으로 전체 적으로 36%의 감소 효과를 가져왔다.

본 연구의 결과는 실제 산업용 로봇의 초기 설계에 효과적으로 적용이 가능함을 보이며, 여기에 향후 로봇의 속도 및 가속도를 추가로 고려한 최적화 설계가 요구된다.

후기

이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 「2단계 BK21 사업」의 지원비를 받았음.

참고문헌

1. Choi, H. S., Kim, Y. S. and Back, C. Y., "A Revolute Robot Manipulator with a New Structure" Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers (A), Vol. 28, No. 5, pp. 539-546, 2004.
2. Kang, B. S., "Optimal Design to the SCARA-type Robot" KAIST Master degree thesis, 1993.
3. Kim, C. Y. and Yoon, Y. S., "A Study on the Optimal Design for Articulated Robot Arm" Proceedings of the Korean Society of Mechanical Engineers Spring Meeting (I) pp. 178-181, 1991.
4. Hong, S. H., Park, J. Y., Kim, J. H., Jung, S. H. and Lee, C. D., "Structural Stress Analysis for Industrial Robot" Proceedings of the Korean Society of Mechanical Engineers Autumn Annual Meeting (A) pp. 565-569, 1998.
5. Yoshimura, M. and Masui, H., "Integrated Optimization of Motion Planning and Structural Design for Increasing Product Performance of Articulated Robots" Journal of the Japan Society of Mechanical Engineers (C) Vol. 59, No. 559, 1993.