

관로 청소 로봇의 최적 설계

Optimal Mechanism Design of In-pipe Cleaning Robot

*정창두¹, #정원지¹, 안진수¹, 신기수², 권순재³

*C. D. Jung¹, #W. J. Chung(wjchung@changwon.ac.kr)¹, J. S. Ahn¹, G. S. Shin², S. J. Kwon³

¹창원대학교 기계설계공학과, ²(주)로봇밸리, ³부경대학교 기계자동차공학과

Key words : In-Pipe Cleaning Robot, 6-Link Sliding Mechanism, Optimal Design, Design Of Experiment(DOE)

1. 서론

최근 관로에 대한 작업이 가능한 로봇에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히, 쓰레기 자동 집하 시설 등과 같은 관로의 경우 이미 한국의 수도권에서는 설치가 현실화 되고 있는 실정이다.

본 논문에서 최적설계 하고자하는 로봇의 슬라이드 메카니즘은 공압을 이용하여 관의 직경에 맞게 링크를 조절할 수 있다. 로봇은 관의 직경에 맞게 링크가 가변할 때 관과 로봇의 링크가 충돌할 때의 충격을 레커다인으로 계산한다. 계산된 값을 엔시스로 링크가 받는 응력을 구조해석하여, 그 값을 토대로 실험계획법을 사용하여 로봇링크 메카니즘을 최적 설계한다.

2. RecurDyn[®]을 이용한 로봇 시뮬레이션

관로 청소 로봇이 관내에서 펼쳐질 때 슬라이드 메커니즘은 관 내벽이 충돌한다.

관내 청소로봇을 3D 모델링을 간략화 하여 시뮬레이션을 수행하도록 한다. 아래의 그림 Fig. 1은 간략화 한 로봇의 슬라이드 메커니즘이다.

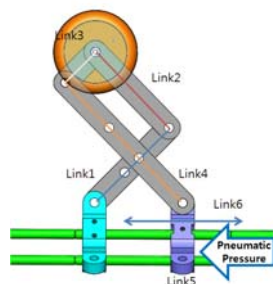


Fig. 1. 6-link sliding mechanism using pneumatic pressure

로봇은 Ø400의 관에서 로봇이 작동하는 조건으로 시뮬레이션 하였다. 중력가속도를 적용하고,

각Joint를 Revolute Joint로 Fig. 2와 같이 6개의 Joint를 설정한다. 아래의 Joint1에 연결된 부품은 고정되어 있으므로 고정하고 Joint2에 연결된 부품은 슬라이드가 가능하도록 구속조건을 두지 않는다.

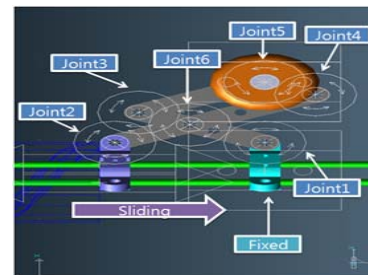


Fig. 2. Constraints of joint and fixed condition

로봇과 관의 충돌할 때 관과 접촉하는 링크부의 2개의 바퀴에 Solid Contact으로 설정한다. 또한 고정 부품(Joint1에 연결된 부품)과 슬라이드 부품(Joint2에 연결된 부품)이 충돌 할 것을 대비하여 부품끼리의 Solid Contact 조건을 준다.



Fig. 3. Contact constraint

로봇의 슬라이드는 공압에 의하여 작용하는데, RecurDyn[®] 프로그램에는 공압 제약조건이 없어 현장 실무자의 경험적 조언을 토대로 스프링 force 조건으로 대체하여 2m/s²의 가속도로 sliding조건을 두어 시뮬레이션을 한다.

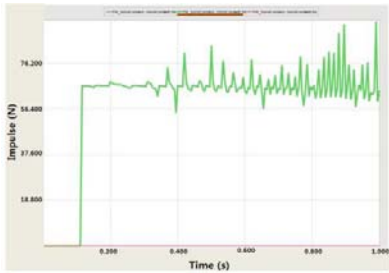


Fig.4. Simulation result of impulsive force using RecurDyn®

Fig. 4에서 확인할 수 있듯, 최대 충격은 100N가량 된다는 것을 확인할 수 있다.

3. 6-Link Sliding Mechanism의 최적 설계^[1]

최적 설계를 하기위하여, 로봇 링크의 두께를 조절하여 가벼우면서 안전률 2를 만족하도록 문제를 해결하고자 한다. Minitab®을 이용하여 로봇 링크의 설계변수들을 직교 배열표를 만들어 구조 해석을 수행하며 최적인자를 찾아 최초로 설계된 로봇 링크부의 안전률을 비교 검증 하였다.

안전율은 로봇 링크의 두께에 영향을 받는다. Fig. 5은 로봇 링크의 안전율에 영향을 미치는 제어인자이다.

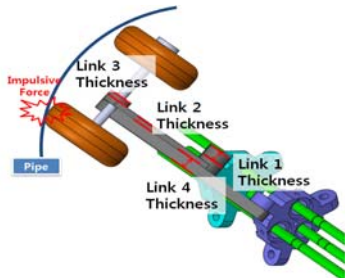


Fig.5 Control factor of 6-link sliding mechanism

Table 1 Level of design variable

Factor \ Level	1	2	3	4
Link 1 Thickness(mm)	5	10	3	8
Link 2 Thickness(mm)	5	10	3	8
Link 3 Thickness(mm)	5	10	3	8
Link 4 Thickness(mm)	5	10	3	8

$$object = w_1 \times \frac{|safety\ factor - 2|}{sf_1} + w_2 \times \frac{mass}{sf_2} \quad (1) [2]$$

식(1)을 이용하여 최적값을 구하면, 아래의 Table 2의 값과 같이 나온다.

Table 2 Orthogonal array

+	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	Link 1	Link 2	Link 3	Link 4	Safety Factor	Mass	object
1	5	5	5	5	2.7065	0.145	0.09853
2	5	10	10	10	3.2207	0.265	0.29040
3	5	3	3	3	1.1350	0.127	0.15870
4	5	8	8	8	2.7980	0.224	0.12080
5	10	5	10	3	1.8569	0.248	0.23687
6	10	10	5	8	3.0684	0.298	0.28754
7	10	3	8	5	2.3294	0.657	0.19853
8	10	8	3	10	1.2015	0.897	0.18643
9	3	5	3	8	1.1023	0.135	0.10854
10	3	10	8	3	1.2007	0.175	0.15871
11	3	3	5	10	1.1132	0.139	0.10258
12	3	8	10	5	1.7965	0.197	0.20779
13	8	5	8	10	2.9856	0.207	0.15768
14	8	10	3	5	1.6759	0.198	0.16587
15	8	3	10	8	3.1520	0.209	0.31907
16	8	8	5	3	1.2113	0.164	0.10847
17	10	5	5	10	3.6751	0.241	0.27631

Table 2에서 확인할 수 있듯, Link1, 2, 3, 4의 두께가 5mm가 된다는 것을 확인할 수 있다. Fig. 6은 100N의 충격을 주어 구조해석을 수행한 그림이다.

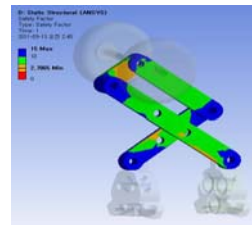


Fig.6 Optimal result of static analysis

4. 결론

본 논문에서는 청소로봇의 링크부와 관의 충격을 RecurDyn®으로 시뮬레이션하여 실험 계획법을 이용하여 최적설계를 하였다. 각 인자를 Anssys® Workbench로 구조해석을 수행하여 로봇 링크부의 최적인자를 도출한 결과 관내 청소로봇의 링크부 안전률이 2.7065로써 최적 설계가 되었다는 것을 확인할 수 있다.

후기

본 논문은 산업단지공사의 현장맞춤형 기술개발 사업(“친환경 쓰레기 자동수거 수평관 내벽 Cleaning 로봇 개발”)으로 수행된 연구결과임.

참고문헌

1. 박성현, “현대실험계획법”, 민영사, 459-494, 2003
2. 이상복, “Minitab을 이용한 다구찌 기법 활용”, 이레테크, 50-60, 2006
3. 안진수, 정원지, “실험계획법을 이용한 글래스 렌즈용 멀티헤드 초정밀 복합 공정 로봇의 처짐 해석”, 한국정밀공학회 춘계논문집, 583-584, 2009