유한요소법과 다구찌법을 이용한 미니로더 메인프레임의 최적설계

Optimum design for Main frame of Mini Loader using FEM and Taguchi Method

*권기범[1], #신대영[1]

*K. B. Kwon[1], #D. Y. Shin(dyshin@kitech.re.kr)[1]

[1]한국생산기술연구원

Key words : Loader, Finite Elements Method, Design of experiment, Taguchi Method, Optimum design

1. 서론

본 연구에서 대상으로 하는 미니로더는 도심권 빌딩의 개보수 작업등 협소한 공간 안에서 작업이 가능하도록 고안된 미니건설장비이다. 이러한 미니로더는 작업 환경의 특성상 구성부품에 많은 하중이 가해지기 때문에 구조적 신뢰성 확보가 중요하다.

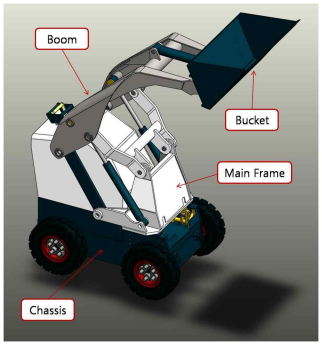

Fig. 1 Mini loader

본 연구에서는 미니로더의 작동조건에 따라 가해지는 하중조건이 변하게 되는 main frame을 최적화 대상으로 선정하고 다구찌법을 이용하여 최적화를 진행하였다.

2. 유한요소해석 모델

main frame은 작동 조건과 형상에 의해서 Fig. 2와 같이 절반으로 나누어서 모델링을 하였으며, 해석시간의 절약 및 해석의 신뢰도 향상을 위해서 shell 요소와 solid 요소를 복합적으로 사용하였다.

하중조건은 유압해석을 통해서 얻은 부하데이터를 절반으로 나누어서 main frame의 각 Joint에 부여하였다.

3. 다구찌법을 이용한 최적화

main frame의 판재를 두껍게 할수록 그 강도는 향상되겠지만 이는 결코 좋은 설계라고 할 수 없다. 따라서 중량은 유지하면서도 강도는 향상시킬 수 있도록 다구찌법을 이용하여 main frame의 판재 두께에 대한 최적화를 진행하였다.

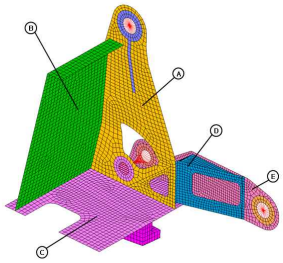

Fig. 2 Design Factors of Main frame

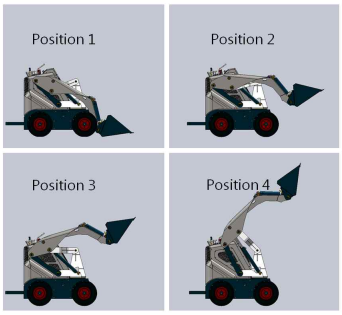

Fig. 3 Position of Mini loader

내측배열은 3수준 제어인자 5개를 이용하여 L18 직교배열표를 사용하였고, 외측배열은 1개의 잡음인자를 4수준으로 배치한 실험계획표를 적용하여 총 72회의 구조해석을 진행하였다.

Table 2는 18개의 모델을 해석하였을 때 main frame에서 발생한 최대 von mises 응력의 SN비와

main frame의 중량을 나타내고 있다.

이 때, 최대 von mises 응력은 낮을수록 좋은 것이므로 망소특성으로 SN비를 계산하였다.

Table 1 Level of Design Factors

제어인자	수준 1 [mm]	수준 2 [mm]	수준 3 [mm]
A	10	11	12
B	2	2.3	2.5
C	18	19	20
D	3.2	6	11
E	15	17	19

잡음인자	수준 1	수준 2	수준 3	수준 4
N	Position 1	Position 2	Position 3	Position 4

Table 2 Orthogonal arrays and analysis results

Exp No	A	B	C	D	E	S/N Ratio (maxσvon)	mass [kg]
1	10	2	18	3.2	15	-44.8121	65.08
2	10	2.3	19	6	17	-41.9715	69.2
3	10	2.5	20	11	19	-38.5186	74.08
4	11	2	18	6	17	-42.1057	68.68
5	11	2.3	19	11	19	-38.5635	73.7
6	11	2.5	20	3.2	15	-44.3306	69.76
7	12	2	19	3.2	19	-43.4028	71.28
8	12	2.3	20	6	15	-42.2919	71.86
9	12	2.5	18	11	17	-38.9949	72.72
10	10	2	20	11	17	-38.9315	72.16
11	10	2.3	18	3.2	19	-43.6233	67.88
12	10	2.5	19	6	15	-42.4749	68.32
13	11	2	19	11	15	-39.4096	70.9
14	11	2.3	20	3.2	17	-43.7033	70.64
15	11	2.5	18	6	19	-41.6465	70.6
16	12	2	20	6	19	-41.3179	73.78
17	12	2.3	18	11	15	-39.4364	71.24
18	12	2.5	19	3.2	17	-43.8859	70.84

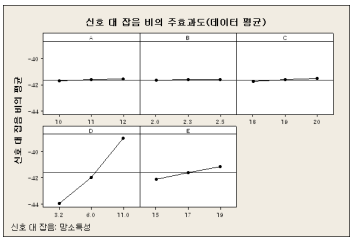

Fig. 4 Main effect of S/N Ratio

Fig. 4는 최대 von mises응력에 대한 SN비의 주효과도를 나타내고 있다. A~E까지 모두 3수준이 최적 조건이며, D의 기여도가 매우 큰 것을 알 수 있다. (D의 기여율은 약 96%)

모든 인자를 3수준으로 선정하게 되면 main frame의 중량 증가가 불가피하게 된다. 따라서 기여도가 낮은 A~C까지의 인자는 모두 1수준으로 선정하였으며 D, E인자는 3수준으로 선정하였다.

기존 설계에서 SN비는 -44.2165dB, 중량은 70.70kg 이었지만, 최적화 후 예측되는 SN비는 -38.7716dB, 중량은 70.66kg으로 중량변화는 거의 없으면서도 응력발생에 대해서는 5.4449dB의 개선효과를 얻을 수 있을 것으로 예측되었다.

4. 최적화 모델의 검증

최적화된 설계인자의 타당성을 검증하기 위하여 main frame에 대한 구조해석을 다시 수행하였다. 해석조건은 응력이 가장 크게 발생했던 Position 4의 경우를 가정하였다. Table 3을 보면 최적화 결과 중량 변화는 거의 없음에도 응력은 약 48.36% 나 감소되는 것을 확인 할 수 있다.

Table 3 Variation of Stress and mass

	maxσ_{von} [MPa]	중량 [kg]
기존	255.8	70.70
최적	132.1	70.66

5. 결론

미니로더 main frame의 중량은 증가시키지 않으면서도 구조안전성을 확보하기 위한 최적 설계치수를 도출하기 위하여 다구찌법을 이용하였다.

main frame의 소재는 항복응력이 280MPa이고, 인장강도가 450MPa인 일반 구조용 압연강(SS400)이다. 이러한 main frame의 최적화 결과 중량은 거의 변화가 없음에도 응력은 약 48.36%정도 감소하여 안전계수 2.12를 확보할 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

1. Park, Y. K., Lee, J. O., Ha, W. I., Kim, B. J., 2009, "A Study on the Reinforcement Method to Ensure the Safety of a Wheeled Loader Cabin," KSME 2009 Autumn Conference, pp. 55~59.
2. Baek, H. Y., Chang, H. W., Lee, I. J., 2005, "Optimal Design of a Hydraulic Breaker using Taguchi Method," Trans. KSME 2005 Fall Conference, pp. 2033~2038.