

굴삭기 작업 장치의 Pin-point 위치 최적설계

Optimal design of front linkage of hydraulic excavator

○김 중 원*, 정 승 민*, 김 진 옥***, 김 중 원**, 서 태 원****

* 서울대학교 기계항공공학부 대학원 (TEL: 02-880-7144, E-mail: jwkim@rodel.snu.ac.kr)

**서울대학교 기계항공공학부 (TEL: 02-880-7144, E-mail: jongkim@snu.ac.kr)

***두산인프라코어 R & D 센터 (TEL: 032-211-3705, E-mail: jinuk.kim@doosan.com)

****영남대학교 기계공학부 (TEL: 053-810-2442, E-mail: taewon_seo@yu.ac.kr)

Abstract Front linkage of hydraulic excavator is very import to several performances. Digging forces that braking rocks and digging something, load capacity that loading something and dumping them to truck and workspaces with stop state are major performances from front linkage. In this paper, we find optimal pin-points position of front linkage for maximizing these performances simultaneously. Two-step optimization is performed based on Hybrid Taguchi-Random Coordinate search Algorithm(HTRCA). As a result, average 4.7% of performance is increased than the initial desing parameters of a commercial 22 ton hydraulic excavator. In detail, excavating forces, load capacities and workspaces are increased by 7.48%, 0.57%, and 6.98% respectively.

Keywords Hydraulic excavator, Front linkage, optimal design, excavating force, load capacity, workspace, HTRCA

1. Introduction

건설현장에서 굴삭기는 다양한 용도로 활용된다. 흙 또는 암석 등을 굴삭하거나, 인양하여 건설현장에서 큰 역할을 한다. 이러한 굴삭기는 작업 장치와, 작업 장치를 지지하고 있는 선회체 그리고 선회체를 지지하고 있는 하부 주행체로 이루어져 있다.

이중 작업 장치는 굴삭기가 정지상태일 때 나타내는 대부분의 성능에 영향을 미친다. 따라서 작업 장치에 대한 연구는 많이 진행되고 있다. 하지만 현재 기업체등에서 판매하고 있는 제품이기에 때문에 그에 대한 연구의 공개가 매우 제한 적이다. 질량을 최소로 하는 볼 링크의 형상최적화나, 제어성능을 높이기 위한 연구만이 공개되어 있다.[1~3]

이번 연구에서는 굴삭기의 작업 장치를 이루고 있는 pin-point의 위치를 굴삭력, 인양력, 작업범위 등을 고려하여 최적화를 수행하였다.

력과 인양력 그리고 작업범위가 있다.

굴삭력은 크게 버킷실린더에 의한 굴삭력(f_1)과 암실린더에 의한 굴삭력(f_2)으로 이루어져있다. 버킷 실린더에 의한 굴삭력은 버킷 실린더의 압출력에 의하여 버킷 끝단에 접선방향의 힘이 최대가 되는 상태의 하중을 의미한다. 암실린더에 의한 굴삭력은 버킷 굴삭력이 최대인 버킷 위치에서 암실린더의 압출력에 의하여 버킷 끝단에 발생하는 최대 힘이다.

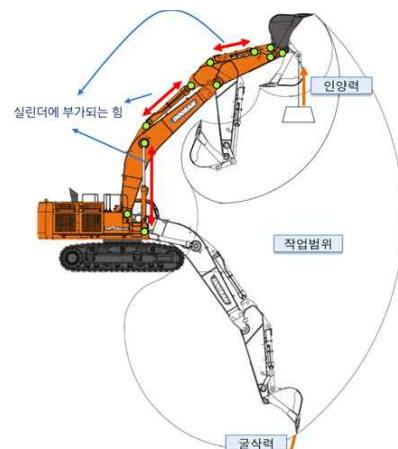


그림 1. 굴삭기 작업 장치와 그에 따른 성능.

2. Definition of performances

굴삭기의 작업 장치로부터 계산되는 성능은 굴삭

인양력은 크게 전도하중과 붐 실린더에 의한 인양력 그리고 암 실린더에 의한 인양력으로 이루어져 있다. 전도하중은 굴삭기가 물체를 인양하고 있는 상황에서 전체가 전도 되지 않는 범위 내에서의 최대 무게이다. 붐 실린더에 의한 인양력은 굴삭기가 땅에 고정되어있을 때 붐 실린더를 제외한 나머지 작업 장치는 강체라 가정하고, 붐실린더에 의해서 인양 할 수 있는 무게를 의미한다. 암실린더에 의한 인양력은 붐실린더에 의한 인양력과 비슷한 상황에서 암 실린더만으로 인양 가능한 무게를 의미한다. 이번 연구에서는 인양상황에서 가장 많이 발생하는 상부(f_3 , 위치: 6m, 3m), 중부(f_4 , 6m, 0m), 하부(f_5 , 6m, -1.5m)의 인양력을 고려하였다. 이렇게 세 가지 성능 중에서 특정한 위치에서 가장 작은 값을 가지는 성능 값이 그 위치의 인양력이라 한다.

작업범위는 총 11가지가 있으나, 이번연구에서는 중요 작업 범위 3가지에 대해서 고려를 한다. 그 세 가지는 최대 굴삭 높이(f_6), 최대 굴삭 반경(f_7), 최대 굴삭 깊이(f_8)이다.

3. Problem Definition and Optimization

핀포인트의 위치를 최적화하기 위해서는 목적 함수가 필요하다. 그 목적함수는 다음과 같다.

$$F_{Object} = F_n \cdot W_n^T \quad (1)$$

$$F_n = \left[\frac{f_1}{f_{ref1}}, \dots, \frac{f_8}{f_{ref8}} \right],$$

$$W_n = [w_1, \dots, w_8].$$

이렇게 만들어진 목적함수는 여러 가지 제한조건과 28개의 설계변수를 사용 하였고, 다구치 방법론과 random coordinate search algorithm(RCA)를 결합한 HTRCA를 이용해서 최적화를 진행하였다.[4] 따라서 최종적으로 적용할 최적화 문제는 다음과 같다.

$$\max_{X \in R^n} (F_{Object}(X)) \quad (2)$$

4. Results and Discussion

최적화 수행 결과 목적함수는 총 4.70% 증가하였다. 굴삭력의 경우에는 평균적으로 7.48%, 인양력의 경우에는 0.57% 그리고 작업범위의 경우는 6.98% 증가했다. [표 1]은 목적함수를 이루고 있는 세부적인 8가지 성능에 대해서 증가 감소를 나타낸 것이다.

이번 연구에서는 Pin-point의 위치를 옮기는 것

표 1. 최적화 결과 성능 증가 비율

f_1	f_2	f_3	f_4
+10.88%	+4.08%	+1.57%	+0.12%
f_5	f_6	f_7	f_8
+0.02%	+12.82%	+4.08%	+4.05%

만으로도 굴삭기의 작업 장치에서 발생하는 대표적인 성능들이 최적화가 되었다. 즉, 메커니즘을 변경하지 않더라도 성능의 증가를 가져올 수 있었다.

하지만 인양력의 경우에는 평균적으로 0.57%만 증가하는 등 매우 적은 성능향상을 보였다. 이것은 pin-point위치만으로는 성능향상이 쉽지 않으며, 실린더의 압출력을 증가시키거나, 메커니즘을 바꿔야 성능이 증가될 것이라 예상 할 수 있다.

이번 연구에서는 굴삭기의 대표적인 성능 8가지를 동시에 고려하여, 다른 성능의 감소 없이 성능향상을 보여주었다. 또한 목적함수의 가중치를 변경하면서, 다양한 목적을 가지고 성능을 향상 시킬 수 있는 최적화 목적함수를 제작하였다.

앞으로 이러한 최적화 목적함수에 작업속도와 같은 몇 가지 성능을 더 추가하고, 조금 더 보완을 해서 굴삭기의 모든 성능을 고려한 최적화 시스템을 완성할 것이다.

Acknowledgement

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 1202-0000348)

참고문헌

- [1] Lim, O. K., and H. Cho. "Optimal Shape Design of Excavator Boom Using the Semi-Analytical Method." *Journal of KSME (domestic)* 19.1 (1995): 301-309.
- [2] Vähä, P. K., & Skibniewski, M. J. (1993). Dynamic model of excavator. *Journal of aerospace engineering*, 6(2), 148-158.
- [3] Koivo, A. J., Thoma, M., Kocaoglan, E., & Andrade-Cetto, J. (1996). Modeling and control of excavator dynamics during digging operation. *Journal of aerospace engineering*, 9(1), 10-18.
- [4] Kim, J.W., Jung, S., Seo, T.W.: A Hybrid Taguchi-Random Coordinate search Algorithm for Global Numerical Optimization Problem. Manuscript submitted for publication.(2013)