

굴삭기 작업장치의 동적 안정성 평가

Evaluation for Dynamic Stability of Excavator's Attachment System

김성환[‡] · 강현석[†]
Sunghwan Kim and Hyunseok Kang

1. 서 론

굴삭기(Excavator)는 작업장치(Attachment)를 통해 다양한 작업을 수행하는 건설중장비이다. 과도한 작업 하중으로 인해서 굴삭기 작업장치의 내구 설계는 매우 중요하다. 그리고 굴삭기의 다양한 작업 중에서 대형 수로 공사 등에서 보여지는 대형 파이프의 이동 및 설치 작업 등과 같은 비교적 정교한 조작성이 요구되는 작업에서 굴삭기 작업장치의 동적 안정성 문제가 발생할 수 있다.

이 연구는 굴삭기 작업장치의 동적 안정성을 평가하는 방법을 제안한다.

2. 본 론

2.1 작업장치의 동적 안정성 평가 시험

굴삭기 작업장치의 동적 안정성을 분석하기 위한 굴삭기 장비 시험의 개요를 Fig. 1에 나타내었다.

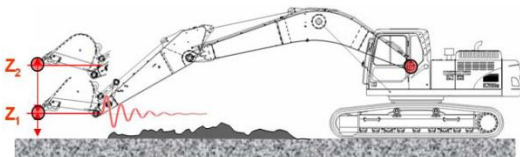


Fig. 1 Apparatus of test

굴삭기 작업장치의 진동을 계측하기 위해서 버킷(Bucket)의 끝부분 상단에 가속도계를 부착하여 규정된 하중을 이용하여 작업장치의 진동을 계측하였고, 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다.

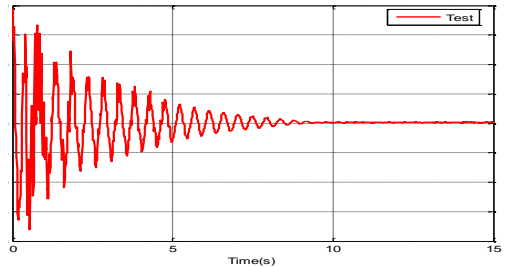


Fig. 2 Acceleration at the end of bucket

여러 부품으로 구성된 굴삭기 작업장치에 초기 하중을 가하면, 작업장치의 끝 부분에서는 Fig. 2와 같은 전형적인 1자유도 감쇠 진동의 양상을 나타낸다. 이 결과로부터 굴삭기 작업장치의 감쇠비, 고유진동수, 고유훈동수 그리고 감쇠비 등의 중요한 진동특성치를 추출 할 수 있으며 Table 1에 그 결과의 예를 나타내었다.

Table 1 Dynamic characteristics

Natural freq. (ω_n , rad/s)	13.521
Damping ratio (ζ)	0.0373
Time Constant ($\omega_n \zeta$)	0.5048

위 결과는 굴삭기 작업장치의 동적 안정성을 평가하는 중요 핵심 인자(KPI)로 볼 수 있다.

2.2 작업장치의 해석 모델 구성

굴삭기 작업장치의 해석 모델 구성을 위해 적용한 물리적인 모델을 Fig. 3에 나타내었다.

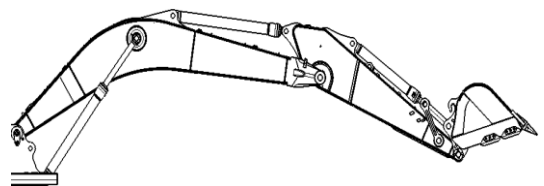


Fig. 3 Physical model

[†] 교신저자; 정회원, NVC(Noise, Vibration and Cooling), VPD, Volvo CE

E-mail : hyunseok.kang@volvo.com

Tel : 055-260-7853, Fax : 055-260-7080

[‡] 발표자; NVC(Noise Vibration, and Cooling), VPD, Volvo CE

앞에서 구한 작업장치의 진동특성치와 작업장치 구조를 결합하여 Fig. 4와 같이 단순화된 수학적인 모델로 구성할 수 있다.

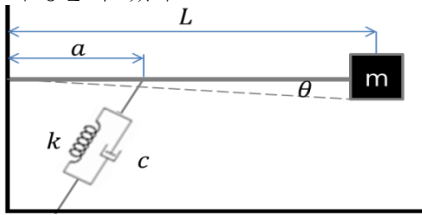


Fig. 4 Mathematical model

이 수학적모델을 운동방정식으로 표현하면 식(1) 및 (2)와 같다.

$$mL^2\ddot{\theta}(t) + ca^2\dot{\theta}(t) + ka^2\theta(t) = f(t) \quad (1)$$

$$M\ddot{\theta}(t) + C\dot{\theta}(t) + L\theta(t) = F \quad (2)$$

운동방정식에 사용된 기호의 의미는 다음과 같다.

m: 1자유도로 모델링 된 작업장치의 질량

c: 붐 실린더의 감쇠상수

k: 붐 실린더의 스프링 상수

L: 붐 고정부에서 1자유도로 모델링 된 작업장치 전체 질량 중심까지의 거리

a: 붐 고정부에서 붐 실린더 장착 위치까지의 거리

식 (1), (2)의 단순화된 1자유도 2계 미분 방정식을 다양한 수치적분을 이용하면 작업장치에서의 진동 응답을 구할 수 있다. 단, 초기조건으로는 시험에 적용한 작업장치의 초기 속도 및 거리를 적용하였다. 이 연구에서는 적용한 수치적분법은 Runge-Kutta 4차식을 이용하였다. 그 계산 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

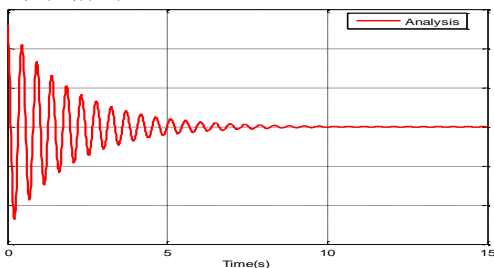


Fig. 5 Acceleration by numerical analysis

시험 결과와 해석 결과를 비교한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 이 결과에서 굴삭기 작업장치 동적 안정성 해석 모델의 결과는 시험 결과와 경향이 크게 다르지 않음을 알 수 있다.

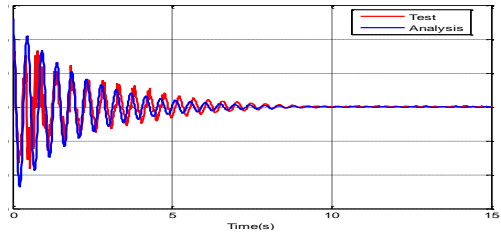


Fig. 6 Acceleration comparison between test & analysis results

2.3 적용 사례

동일한 해석 모델을 이용하여 굴삭기 작업장치의 동적 안정성을 평가 진행한 예를 살펴보았다. 설계 변수로는 암과 붐 질량이 각각 10% 증가되었을 때의 변위응답을 Fig. 7에 나타내었다.

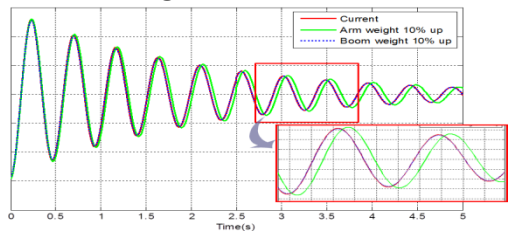


Fig. 7 Displacement comparisons by analysis model

해석 결과로 암의 질량을 증가시켰을 때, 붐 질량을 증가시켰을 때보다 동적 안정성이 좋지 않음을 확인할 수 있다. 이와 같이 작업장치의 설계 변경이 있을 때, 시험 대신 해석 모델을 통해 굴삭기 작업장치의 동적 안정성을 예측 및 평가 할 수 있다.

3. 결론

이 연구는 굴삭기 작업장치의 동적 안정성 평가 방법으로 작업장치의 동적 시험 결과를 입력으로 구성된 작업장치의 해석 모델 구성한 것이다.

시험으로부터 굴삭기 작업장치의 진동특성치와 작업장치의 구조를 결합하여 1 자유도 2 계 미분방정식 해석 모델을 구성하였고, Runge-Kutta 4 차식을 이용한 수치적분을 수행하여 시간에 대한 진동 응답을 구하였다. 그 결과 굴삭기 작업장치 해석 모델 결과는 시험 결과와 경향이 같음을 알 수 있다.

위 결과를 바탕으로 제품개발초기 단계에서 굴삭기 작업장치의 여러 설계 파라미터 변화에 따른 작업장치의 동적 안정성은 해석 모델을 통해 예측 및 평가가 가능하다.