

실험을 통한 유압브레이커용 측면 댐퍼의 충격특성 고찰

Study on the Characteristics of shock for Side Damper Of Hydraulic breaker

*허진관¹, 한순형², #김광³

*J. K. Heo¹, B. K. Lee², #K. Kim (kimkwang@kpu.ac.kr)³

¹ 한국산업기술대학교 기계시스템설계, ² 대모엔지니어링(주), ³ 한국산업기술대학교 기계설계공학과

Key words : Shock, rubber seat, Rubber Materials, Hyper-Elastic, Breaker, Side Damper

1. 서론

브레이커(BREAKER)는 건설현장에서 굴삭기(EXCAVATOR)에 장착하여 포장도로 파쇄, 상하수도 공사, 기초 토목공사, 통신구, 전력구 공사, 채석장의 암반 파쇄 등 전형적인 토목 및 건설현장에서 주로 사용되며 초소형에서 대형까지 다양하게 개발되어 있다.

55톤급 이상 초대형 브레이커는 대형 건설현장에 적용되며 이러한 대형화에 따른 충격력이 커지게 되어 운전자에게 전달되는 충격량도 증가하게 되었다. 이에 댐퍼의 채용이 필수적이며 주어진 공간에서 충격완화의 성능을 향상시켜야 한다.

일반적으로 댐퍼의 재료로 사용되는 고무는 금속에 비하여 내부마찰이 크고 경제성, 성형이 용이하고 일반탄성체와는 달리 하중과 변형이 비선형관계를 대변형 범위에서도 탄성거동을 나타내는 초탄성(hyper-elastic)의 성질과 진동 감쇠특성으로 인하여 방진, 제진 및 밀봉 기능부품으로서 자동차, 철도차량 및 각종 산업 기계류의 부품들뿐만 아니라 건축, 토목 분야에서도 광범위하게 사용되고 있다.[1][2][3]

고무의 해석은 유한요소법과 실험적 방법을 병행하여 사용하고 있으나 초탄성(hyper-elastic)의 특성을 지니고 있으며 또한 화학적 조성이나 비율에 따라 물성치 또한 다르기 때문에 일반 금속과는 달리 필요한 물성치를 구하기가 쉽지 않다. 실제로 방진고무는 지지하는 시스템의 무게 또는 의도적으로 가해지는 경계조건에 의해 강성이 영향을 받게 되며, 이는 곧바로 시스템의 동특성을 변화시킴으로 고무의 강성에 대한 정확한 해석 및 예측이 필요하다.[4][5]

본 연구에서는 유압 브레이커의 전달 충격량을 감소시키기 위해 동일 공간에 적용 가능한 크기의 4가지 구조의 사이드 댐퍼를 제시하여 간략화 축소모델의 충격실험을 통하여 이에 대한 각 구조의 충격전달 특성을 비교해보고 이를 통해 가장 이상적인 측면댐퍼의 특성을 유추하여 보았다.

2. 충격실험 설계

2.1 운동 방정식

전체 시스템이 정적 평형 상태일 때 질량의 좌표계($x_i(t)$)와 대표적 질량(m_i)을 Newton의 제2 운동법칙을 통하여 정리하면 (1)과 같으며,

$$m_i \ddot{x}_i = -k_i(x_i - x_{i-1}) + k_{i+1}(x_{i+1} - x_i) - c_i(\dot{x}_i - \dot{x}_{i-1}) + c_{i+1}(\dot{x}_{i+1} - \dot{x}_i) + F_i; \quad i = 2, 3, \dots, n-1 \quad (1)$$

이를 행렬식으로 표현할 수 있으며(2) 여기에서 $\ddot{x}, \dot{x}, x, \vec{F}$ 를 각각 변위, 속도, 가속도, 힘 벡터라 하며(3) 과 같이 표현하며, $[m], [c], [k]$ 는 각각 질량행렬, 감쇠행렬, 강성행렬 이라고 하여 n 자유도계일때 (4)와 같이 주어지며, 각 행렬을 계산하면 n 자유도계의 운동방정식을 세울 수 있다.

$$[m]\ddot{x} + [c]\dot{x} + [k]x = \vec{F} \quad (2)$$

$$\ddot{x} = \begin{bmatrix} \ddot{x}_1(t) \\ \ddot{x}_2(t) \\ \vdots \\ \ddot{x}_n(t) \end{bmatrix}, \dot{x} = \begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \\ \vdots \\ \dot{x}_n(t) \end{bmatrix}, x = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \vdots \\ x_n(t) \end{bmatrix}, \vec{F} = \begin{bmatrix} F_1(t) \\ F_2(t) \\ \vdots \\ F_n(t) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$[m] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & m_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & m_n \end{bmatrix}, [c] = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & \dots & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & c_n + c_{n+1} \end{bmatrix}, [k] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & \dots & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & k_n + k_{n+1} \end{bmatrix} \quad (4)$$

2.2 충격 실험

Fig. 1에서 impact tool은 피스톤 해머와 치즐을, Bracket은 순수 질량과 굴삭기에서 전달되는 힘을 통합해서 나타내었으며 이 운동을 간단하게 1자유도 모델(1 Degree Of Freedom system)으로 나타낼 수 있으며, 이 운동 모델은 식(5)의 운동방정식으로 표현된다.

$$m_1 \ddot{x} + c_1 \dot{x} + k_1 x = F(t) \quad (5)$$

여기에서 임펄스 힘 $F(t)$ 는 $-m\dot{v}$ 와 같으며 충격후 가속도변화로로부터 $F(t)$ 는 식(6)과 같이 표현할 수 있으며 이를 Fig.2와 같은 형태의 사이드댐퍼 구조에 적용하여 보았다.

$$(m_1 + m) \ddot{x} + c_1 \dot{x} + k_1 x = F(t) = [m v(0^-) - m \dot{x}(0^+)] \delta(t) \quad (6)$$

Fig. 2의 네 가지 구조는 유압 브레이커에 사용되어지거나 사용될 수 있는 Side Damper 모델로 A형의 순수 전단 댐퍼와 B형과 C형의 압축 전단 형 댐퍼 그리고 새로운 구조의 압축형 D형의 댐퍼를 모델링한 것이다.

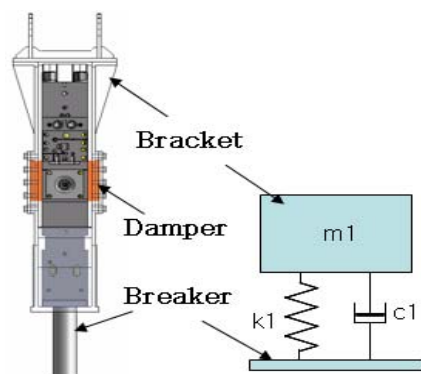


Fig.1 Hydraulic breaker system and 1DOF model

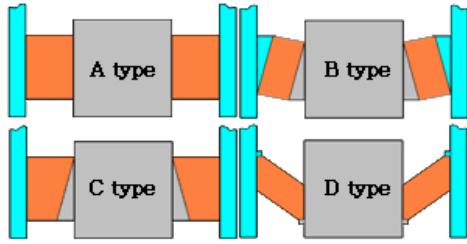


Fig.2 Four side dumper model

3. 해석 및 고찰

Hydraulic breaker의 동작을 1자유도계 모델로 표현할 경우 실제 제품의 실험결과와 차이가 발생할 수 있으나 본 논문에서는 실제 지면의 특성이 Bracket에 전달되어지는 충격량에 거의 영향을 끼치지 않는 것으로 가정하여 1자유도계로 정하였다.

각 형태의 축소모형에 각각 4회 이상의 동일 충격을 가하고 변위를 측정하여 평균치를 구하면 Fig.3과 같으며, 전체적으로 감쇠Sin파형의 특성을 지니고 있음으로 그 결과를 감쇠sin함수에 적용하여 각각 curve fitting하면 Fig.4 와 같으며

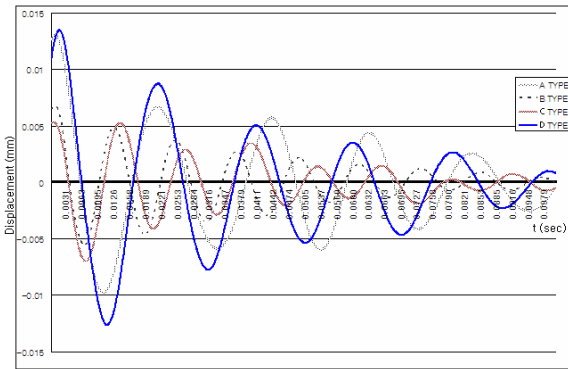


Fig.3 Impulse respond of 1DOF model

이를 토대로 근사 물성을 구하여 가진 실험을 통해 구한 공진 data Fig.5와 비교하여 정리하면 Table.1 과 같이 정리할 수 있다.

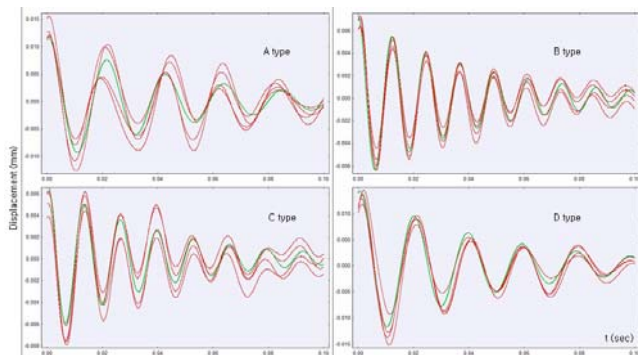


Fig.4 Curve fitting for Impulse respond

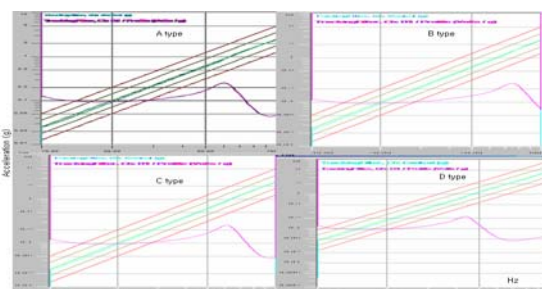


Fig.5 Vibration respond

		ω_n	ξ	f_0 (평균)	ω_n (평균)	ω_n (가진실험)	ω_n (공진실험)
A	A1	298,840	0.0710	0.0685	297,835	410,041	655,612
	A2	298,487	0.0720				
	A3	298,551	0.0751				
	A4	295,463	0.0559				
B	B1	513,243	0.0454	0.0462	511,374	520,059	809,951
	B2	510,644	0.0465				
	B3	510,675	0.0459				
	B4	510,935	0.0471				
C	C1	477,656	0.0528	0.0535	476,973	412,554	636,329
	C2	478,277	0.0542				
	C3	474,714	0.0542				
	C4	477,242	0.0526				
D	D1	314,132	0.0655	0.0653	322,216	298,137	453,520
	D2	319,516	0.0624				
	D3	327,609	0.0734				
	D4	327,609	0.0593				

Table.1 Comparison of Fitting

실험결과를 curve fitting 하면 Fig.4와 같고 이를 토대로 시스템의 근사 물성을 계산하여 Table.1 과 같이 정리 할 수 있었다.

고무의 경우 일반 금속과는 달리 필요한 물성 자료를 구하기가 쉽지 않아 충격응답 특성을 이용하여 근사 물성을 구하였으며 근사물성을 통해 충격응답 특성을 계산해 보면 어느 정도의 오차가 존재 하여 정확한 물성과약은 힘들지만 충격특성 비교에는 큰 문제가 발생하지 않았다. 전체적으로 실험결과와 근사물성을 통한 결과와는 오차가 있었으며 이는 실제모델과는 달리 축소모형에서는 지면으로 가정한 부분의 물성이 어느 정도 영향을 끼치는 것으로 파악 하였다.

충격응답 특성을 비교해 볼 때 전체적으로 A type의 주기가 가장 크고 B type의 주기가 가장 짧게 나타났으며 이는 A>D>C>B 순으로 실제 모델에서 Breaker에 적게 피해를 줄 것으로 예상되며, 각 타입의 전단 변형특성으로 비교해보면 A>C>B≥D 순으로 나타나며 전단특성의 고무부품이 압축형태의 고무 부품보다 수명특성이 좋지 못함으로 C type 이나 D type 또는 그 중간형태의 측면댐퍼를 사용할시 소음과 제품의 수명에 도움이 될 것으로 예상된다.

4. 결론

본 논문에서는 충격 실험을 통해 작용하는 응력의 양상이 다른 4가지 종류의 사이드댐퍼를 1DOF system에 적용하여 충격 특성을 살펴보고 근사물성을 구해 보았으며, 또 그 특성을 비교하여 보고 실제 제품에 적용 가능한 C type 이나 D type 형태의 측면댐퍼 구조의 제시하였다.

끝으로 위 실험은 지면의 특성을 고려하지 않은 1차원 모델로 가정하여 계산한 결과이며 간단하게 표현한 축소 모델을 통한 결과이기 때문에 실제의 사용에서는 어느 정도의 오차가 있을 수 있음을 밝힌다.

후기

본 연구는 산업단지 혁신클러스터사업 현장맞춤형 기술개발 과제의 연구비 지원으로 수행된 연구결과 일부입니다.

참고문헌

- Scharnhorst, T. and Pian, T.H.H., 1978, "Finite Element Analysis of Rubberlike Materials by a Mixed Model", Int J. Nom, Meth, Engng., Vol. 12 pp.665-676
- 한국 기계연구원, "고무류 기계부품의 통합 설계 시스템 개발" pp.79-119, 2000.10.
- P M. Sheridan, F.O. James and T.S. Miller "Engineering with Rubber", pp.211-235,1992.
- 권오병, 김종연, 김영구, 한문성, 고철수 "고무의 복합 강성을 이용한 방진 마운트의 정적·동적특성에 관한 연구", 추계 소음진동공학회 학술대논문집 (II) pp. 927-932, 2001
- 권순덕. "Development of Dynamic Vibration Absorber for Suppressing Traffic-Induced Vibration Bridges(I)", pp. 13-30, 1997