

액체봉입형 Viscous 굴삭기 Cabin Mount 개발

김원영*, 전범석*, 박외경*, 강하근*

Development of Viscous Cabin Mount for Excavator

WON-YOUNG, KIM, BEOM-SEOK, JEON, OE-KYUNG, PARK, HA-GEUN, KANG

ABSTRACT

Samsung Ltd. has developed a new-type cab mount for specific use on construction machinery subjected to strong vibration and multi-directional impact force. These all make it possible to achieve an excellent damping effect over a wide frequency range against large amplitude vibration as well as excellent insulation against small-amplitude vibration. This new mount make lower vibration and noise levels while increasing riding comfort at the same time. Characteristics of Cab mount were optimized through computer simulation, advanced bench testing, ODS testing, and a real equipment offroad testing.

I. 서론

1. 굴삭기 Cabin Mount 개요

(1) 개발 배경

굴삭기는 선회, 협지 주행, 작업등을 통한 외부 과도 충격(Transient impact)의 빈번한 동적부하에 노출되기 때문에, 강제 진동에 의한 Cabin의 지배적인 진동 취약 모드(Natural Mode)인 Rolling Mode로 내구성이 취약해지며 이로 인한 운전 승차감 저하 및 작업 소음의 불량이 발생하게 된다.

또한 기능품에 의한 저진폭의 지속적인 진동으로 쉽게 피로감을 느끼게 된다. 이러한 원인의 대책으로 외부 과도입력에 대한 고진폭, 광대역 주파수의 감쇄, 저진폭, 중·고주파수 특성 입력의 절연 및 Cabin Body에 가해지는 외부부하에 의한 응력완화조건이 요구된다. 이러한 조건을 만족시키기 위해 Cabin Mount는 넓은 주파수 영역에서의 높은 감쇄력(Damping), 낮은 탄성계수(Spring Constant)가 요구되지만 Rubber Mount로는 고무의 물성 제약으로 인해 이러한 조건들을

모두 충족시키기에는 한계가 있다.

(2) Cabin Mount 특성 비교

일반적으로 굴삭기 Cabin Mount의 종류로는 Table 1과 같이 4가지로 분류할 수 있다.

II. Cabin Mount 최적화

1. Cabin 강제 특성을 이용한 최적 마운트 위치 선정

(1) 외부 충격 가진시의 Rubber Mount의 최적 위치 선정

Cabin Mount의 최적 위치 선정을 위해 Cabin Mount 강제 동역학 해석을 수행하였다.

상부프레임과 Cabin은 3축방향의 TSDA(Translational Damper Actuator)로 마운트 되어 있다고 가정하고 6개의 마운트 지점을 하중조건에 따라 최적 마운트 위치를 선정하였다.

Simulation에 주어진 하중 조건은 실제 작업에 있어서 운전자의 전방으로 작용하는 굴삭력과 도로의 요철에 의해 운전자의 측면방향으로 작용하는 모멘트가 Cab의 움직임에 지배적인 영향을 미친다고 가정하고 복합하중을 부여하였고, 0초

*정회원:삼성중공업 건기부문 NVH Group.

Table1. A Class of Cabin Viscous Mount

	RUBBER MOUNT	HYDRO MOUNT	VISCOUS MOUNT	CAB SUSPENSION
충격완화	×	×	◎	◎
절연성	×(◎)	○	▲	○
공진억제	×	◎	○	◎
형요동	×	×	◎	◎
COST	◎	○	○	×
기타	<ul style="list-style-type: none"> • $\tan \delta = 0.1 \sim 0.2$ • 외부STOPPER 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • Orifice 구조 • 저점도 액체 	<ul style="list-style-type: none"> • $\tan \delta = 0.7$ 이상 • 고점도액체 	<ul style="list-style-type: none"> • SUSPENSION • 공간필요

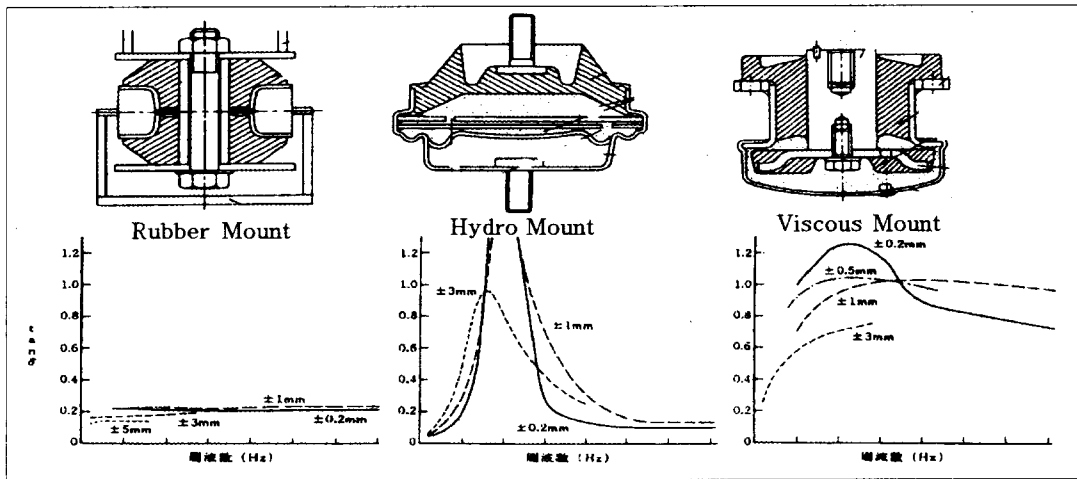


Fig 1. Example of Cabin Mount

일때의 각방향으로 작용하는 충격력 및 충격모멘트로 나타난다. 이때 가장 큰 움직임이 일어날 것으로 예상되는 Cab의 측면 윗부분인 Cab Top 지점의 변위 및 가속도를 측정함으로써 마운트 위치에 따른 각 방향의 요동을 분석하였다. 평가 기준으로는 Mount부의 반력이 최소화 되고 Cab Top에서의 진동이 최소화 되는 위치를 찾아 내었다. Mount수는 6점, 5점, 4점 지지의 3가지 경우를 선택하였고 6가지 모델에 대해 Simulation을 수행하였다.

일반적으로 Cabin Mount에 있어서 적용되고 있는 지지 방법은 크게 4점, 5점, 6점 지지의 3가지 경우로 분류된다. 기본적으로 안정성 (Stability)과 힘의 분산 측면에서 Bottom Plate의 최외각 모퉁이에 4개의 마운트 지점을 설정하면 Cabin의 대체적인 요동을 제어할 수 있다. 그러나, Cabin Floor의 flexible 효과를 고려하고, 운전자의 Seat Bracket의 위치가 Cabin의 중앙 부위에 위치함을 감안하면 승차감 측면에서 4점 지지만으로는 불안정 하기 때문에 많은 선진사에서 5점 또는 6점지지를 통해서 Cabin Mount를

적용하고 있다.

(2) 요철 도로(Rough Road) 주행시의 Cabin Mount의 최적 위치 선정

굴삭기가 Rough Road를 주행할 때 Rough Road 돌기와의 접촉과 수직반력을 고려할 수 있는 DADS User routine 을 만들고, 반력을 접촉할 때의 변형량으로부터 전달력을 구하며, 변형량과 전달력의 관계는 일반적인 접촉문제에 적용하는 Mertz식을 이용하였다.

$$F = K \cdot (\text{Def.})^{1.5} + C \cdot (\text{Def. Velocity})$$

Fig.2에 3모델에 대한 가속도 비교 결과를 나타내었다. Fig.2에서 보면 정상 상태에서의 응답레벨은 비슷하지만 충격력이 들어왔을 때는 Viscous Mount가 Rubber Mount에 비해 3배 가량 낮게 나타나며 5점 지지 Viscous Mount가 4점 지지보다 좋게 나타난다.

Rough Road Computer Simulation에서 Cabin의 고유 진동수는 Table 2와 같이 나타난다.

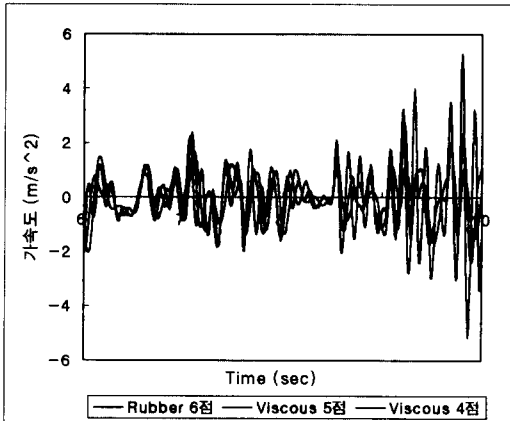


Fig. 2 Acceleration of Cabin Mount

Table 2. Results of Computer Simulation for Cabin Mount

	Rubber 6점	Viscous 5점	Viscous 4점
고유 진동수 (Hz)	8.1 Hz	4.5 Hz	6.2 Hz

2.Cabin Mount 진동 특성

(1) Mount계 고유진동수

실제 Cabin Mount계의 고유진동수를 구하기 위해서 Fig.3과 같은 실험 장치를 구성하여 시험하였다.

굴삭기 Cabin의 고유 진동 특성 시험 결과는 Table 3과 같다. Viscous 5점 지지가 4점지지에 비해 진동 감쇄 특성 및 고유진동 특성이 우수한 것으로 나타났다.

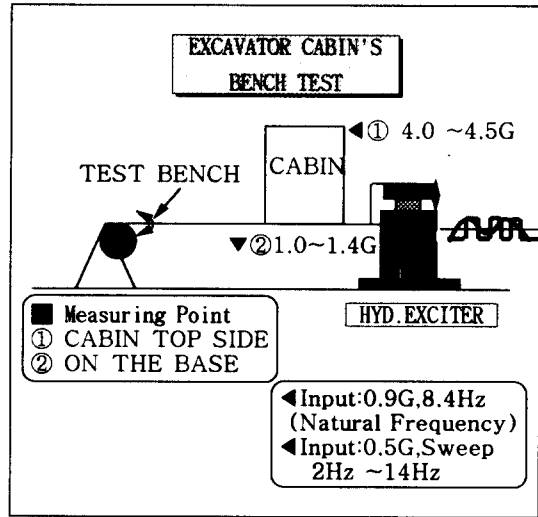


Fig.3 Test Bench of Cabin Mount System

Table 3. Results of Cabin Mount System By Bench Test

	Rubber 6점	Viscous 5점	Viscous 4점
고유 진동수(Hz)	8.25Hz	4.75 Hz	6 Hz
가속도레벨 (m/s ²)	12.7	5.4	6.7
비 고	.	57% 감쇄	47% 감쇄

(2) 작동 변형 모드(ODS, Operational Deflection Shape)

i) ODS 개요

ODS는 구조물이 특정 작동 조건(specific operation condition)하에서 진동하는 형태로 모드가 lightly coupled인 시스템에서 공진에 의한 문제의 경우 ODS는 공진주파수에 해당하는 모드형태와 같게 나타나고, modal coupling이 큰 시스템에서 문제를 유발하는 주파수가 고유진동수 사이에 있으면 ODS는 근치모드의 임의의 선형 결합으로 표현할 수가 있다.

이같은 특성으로 ODS는 진동이 과도한 가진에 의한 것이든 자체의 공진 증폭 현상에 의한 것이든 동적 변형의 가시화(visualization)는 문제를 이해하는데 결정적인 역할을 수행한다.

ODS와 Mode Shape과의 차이점은 다음과 같다.

- ODS
 - . Fixed(absolute) values
 - . Dependent on exciting sources
- Mode Shape
 - . Non-fixed(relative) values
 - . Independent of exciting sources

ODS는 계산 방법에 따라 직접측정법과 Modal model을 이용한 간접추정법으로 나눌 수 있다.

ii) Signal Analysis Approach using Transmissibility

Transmissibility(TR)를 사용하는 직접 측정 방법은 한개 또는 소수의 작동 조건하에서의 진동에 관심이 있으며 modal test를 하기 어려운 경우, 가진 조건을 시험 또는 해석적으로 구하기 어려운 경우, 구조물에 비선형성이 강하게 나타난다고 생각되는 경우등에 사용된다.

해석 방법은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

- ODS 해석 순서

- ① 구조물상의 기준위치에서의 신호(fixed reference transducer)와 순차적으로 이동하는 센서(roving transducer) 신호 사이의 complex transmissibility 측정한다.
- ② 관심있는 각각의 주파수에서 상대적인 진폭과 위상을 추출하며 이를 벡터로 나타내면 그 주파수에서의 상대적인 ODS가 된다.
- ③ 통상의 모드 해석 S/W를 이용하여 분석을 용이

하게 하기위해 ODS에 대한 animation을 한다.

- ④ 절대적인 크기의 ODS는 기준 좌표에서 측정된 절대 응답에 의한 변형을 곱하여 구한다.

여기에서 계산되는 Complex Transmissibility Function은 다음과 같이 정의된다.

$$T_{ij}(\omega) = X_i(\omega) / X_j(\omega) \quad (2.2)$$

- j : 기준 자유도
- i : 임의의 자유도

i, j에서의 두 신호는 $T_{ij}(\omega)$ 에 대한 statistical noise reduction process를 적용할 수 있으며 이는 operation condition에서의 small variation에 의한 영향을 최소화 한다. Transmissibility로부터 구한 상대적인 ODS는

$$\{X\}_{f_0} = \{T_{ij}(f)\}_{f_0}$$

로 나타낼 수 있고, 절대적인 ODS는 각각의 ODS에 기준 신호의 Auto spectrum $G_{jj}(f_0)$ 에서 원하는 주파수에서의 RMS 값을 곱하여 구한다.

$$\{X(t)\}_{f_0} = \{X\}_{f_0} \sqrt{G_{jj}^{XX}(f_0)}$$

iv) ODS 시험 결과

굴삭기 Cabin Mount계의 측정 및 분석은 직접측정법을 사용하였고, Transmissibility Function을 이용하여 분석하였다. Fig. 4에 Cabin Mount계의 작동 변형 모드를 나타내었다. Viscous Mount가 Rubber Mount에 비해 진동량이 1/2이상 저감됨을 알수 있다.

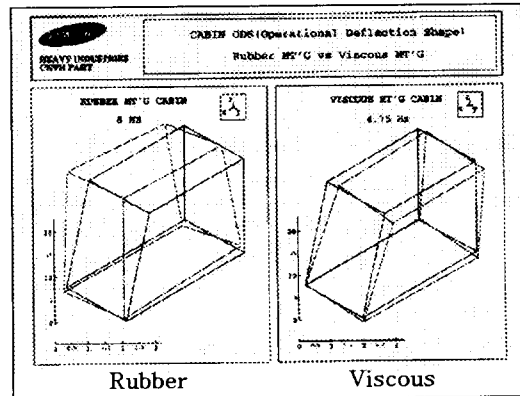


Fig. 4. Rolling Mode of Cabin Mount System

Ⅲ. 실차 요철 도로 주행시의 Cabin Mount계 응답 특성

1. Viscous Mount 진동 특성

실차 요철 노면 주행시의 Cabin 진동 특성을 Rubber Mount와 Viscous Mount에 대해 진동 특성을 비교하였다. 요철 노면의 시험 개념도는 Fig. 5와 같으며, 속도는 1단 주행으로 실시하였다. 이때 나타난 진동 결과는 Table 4와 같다. Fig. 6은 요철 노면 주행시의 Frame과 Cabin Bottom Plate 사이의 진동 절연 특성을 비교한 것이다.

Viscous Mount는 20 Hz 이상부터 진동 절연 특성이 나타나는데 비해 Rubber Mount는 저주파에서는 오히려 진동 증폭 현상이 일어나며, 80Hz 이상에서 절연 특성이 나타난다.

Fig. 7은 Bottom Plate와 Cab top의 진동 특성을 비교한 것으로 Cabin의 고유 진동 모드가 Rubber Mount의 지배적인 고유 진동 모드인 8 Hz 진동 특성이 4.75 Hz로 떨어지며, Pitching과 Bouncing 모드와 함께 진동이 분산되어 나타나 진동이 크게 저감되었다.

특히 Cab Top에서의 진동가속도 스펙트럼을 분석해 보면 Rubber Mount는 10 Hz 근방의 저주파에서 많은 진동이 집중되어 있고, 이에 반해 Viscous Mount는 진동 레벨이 줄어들며 각 주파수로 분산되어 있음을 알 수 있다.

Cab Top에서의 진동 분포 Histogram과 Time Trace를 분석하면 Rubber Mount는 높은 진동 가속도 범위에 걸쳐 광범위하게 분포되어 있으나, Viscous Mount는 작은 진동 가속도 범위내에서만 진동 하는 것을 알 수 있다.

Table 4. Vibration Level of Rough Road Test

	진동 가속도 [m/s^2] rms (peak)		
	상부프레임	Bottom Plate	Cab Top
Rubber Mount	30(6.6)	40(10.2)	40(16.8)
Viscous Mount	40(10.2)	30(6.9)	20(4.3)

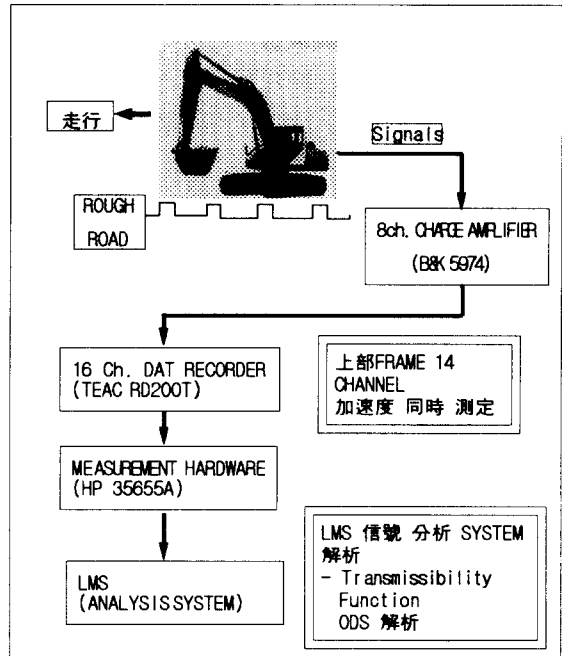


Fig. 5. Rough Road Simulation

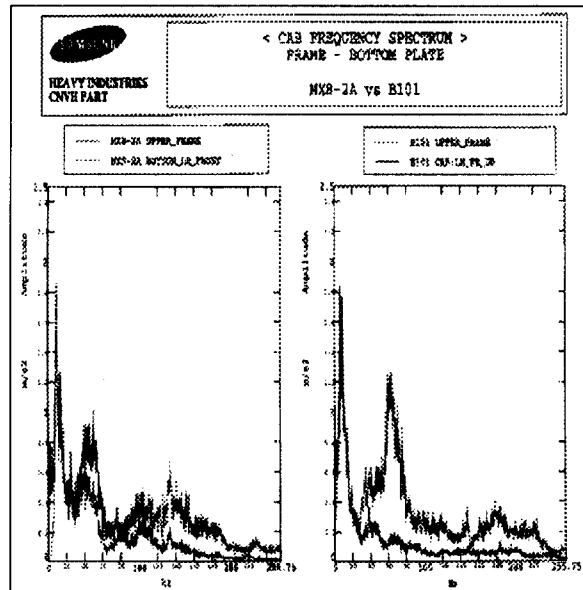


Fig. 6. Isolation Characteristic of Frame & Bottom Plate (Rubber vs Viscous)

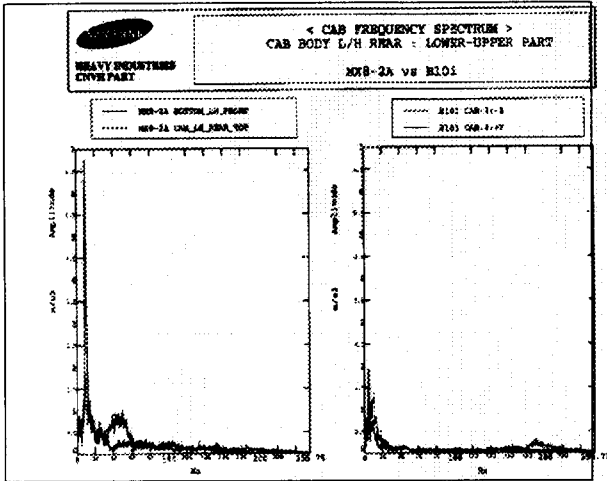


Fig.7 Isolation Characteristic of Bottom Plate & Cab Top(Rubber Mount vs Viscous Mount)

IV. 결론

본 논문에서는 굴삭기 Cabin Mount 계를 대상으로 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

1. 굴삭기 Cabin Mount 계의 설계프로세서를 확립하였다.
 - Design Concept 단계에서의 설계/해석 기술 확보
 - R/R 주행시의 응답 시뮬레이션 기술 확립
 - Bench O.D.S 해석 및 R/R 주행 평가 기술 확립

2. 국내 최초의 저진동형 Viscous Mount를 개발 개발 적용하였다.

【Rubber Mount 대비】

- 충격 완충성 개선
- 진동 절연성 개선
- 고유진동모드
 - ▶ 지배적모드 --> 분산형모드
 - 8Hz ROLL특성 --> 4.75Hz(ROLL)
 - 7.75(PITCH)
 - 9.5(BOUNCE)

분산되어 충격진동 저감

- Cabin 내구성 획기적 개선

참고문헌

1. Operational Deflection Shapes: Background, Measurement and Application, Ole Døssing B&K, Denmark
2. Structural Stroboscopy Measurement of Operational Deflection Shapes, Ole Døssing B&K, Denmark
3. Operational Deflection Shapes in Multisource Environments. D.Otte, P.Van de Ponselee, J.Leuridan LMS International
4. 建設機械用 キャブマウントの研究開発 Kuniaki Nakada, KOMATSU TECHNICAL REPORT