한국소음진동공학회논문집 제 11 권 제 5 호, pp. 131~139, 2001.

〈논 문〉

차량진동에 대한 노출가스관의 방진 시스템 개발을 위한 실험적 연구

An Experimental Study on Isolation System of Aerial Gas Pipeline for Vehicle Vibration

박 연 수* · 강 성 후** · 박 선 준***

Yeon-Soo Park, Sung-Hoo Kang and Sun-Joon Park

(2001년 5월 21일 접수 : 2001년 7월 24일 심사완료)

Key Words : Aerials Gas Pipeline(노출가스관), Vehicle Vibration(차량진동), Hanger(행어), Response of Vibration(진동응답), Isolation System(방진시스템)

ABSTRACT

In this paper, aerials gas pipeline vibrations due to the passing of vehicles have been measured, and peak values and characteristics of vibration were analyzed. In order to develop isolation system for gas pipeline, six cases with various support condition and hanging method were tested. The hanger used instead of wire rope isolated almost all vibrations transmitted from main beam. In the results of test, we could decrease response of vibration velocity from 49 % to 56 % and response of vertical vibration acceleration from 50 % to 60 %, because hanger instead of wire rope was used and rubber pads instead of wooden shield plates at support positions for proofing horizontal vibration were used.

1. 서 론

도시철도 건설공사는 많은 부분이 도심지의 중심부에서 이루어지는 특성으로 인해서 기존의 많은 지하매설물에 대한 안전하고 적절한 처리 대책을 수립하는 것이 중요하다. 지하철 건설 공법 중 널리 사용되고 있는 open cut 공법에서는 매설된 가스관을 매달기 전용보를 사용하여 노출시키는 방법과 바닥판의 지지보로 사용되는 주빔에 매달아 노출시키는 방법을 주로 사용하고 있다.

* 정회원, 전남대학교 공과대학 토목공학과
E-mail : parkys@chonnam.ac.kr
Tel : (062) 530-1657, FAx : (062) 525-2746

** 동신대학교 공과대학 토목공학과

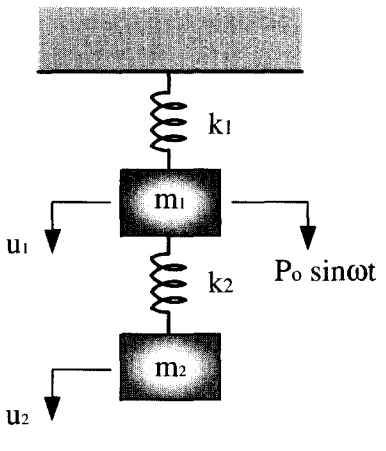
*** 동신대학교 공업기술연구소

본 연구에서는 현재 건설 중에 있는 광주도시철도 ○○공구에서 현장실험을 실시하여 차량의 통행으로 인해 노출가스관에 발생되는 진동을 측정하였다. 측정 결과로부터 노출가스관에 발생되는 진동치의 크기와 진동전파 경로상의 진동특성을 분석하고 현재 사용되고 있는 매달기 방법에 대한 적합성을 평가하고자 한다. 또한 이를 바탕으로 방진시스템을 적용한 다양한 실험 CASE를 통해 효율적인 방진 시스템을 실험적 방법에 의해 제시하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 가스구조물의 2 DOF 모델

방진시스템을 결정하기 위하여 가스관 및 가스관을 지지하고 있는 구조물을 2DOF (Degree Of Freedom) 구조물로 이상화시키고, 차량하중을 조화하중으로 가정하여 가스관의 응답을 구할 수 있는 수



m_1 : 바닥판+주빔의 질량
m_2 : 가스관의 질량
k_1 : 주빔의 stiffness
k_2 : 가스관과 매닮재의 stiffness
u_1 : 주빔의 변위 응답
u_2 : 가스관의 변위 응답

Fig. 1 2DOF model of gas pipeline and main beam

식을 정립하였다. 여기에서 가스관의 속도, 가속도, 변위 응답을 가장 적합하고 효율적으로 감소시킬 수 있는 인자를 선택하여 이를 변화시키는 방법으로 방진시스템을 결정하도록 하였다.

Fig. 1의 2 DOF 시스템 운동방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있으며, 비감쇠 시스템이므로 정상상태 해가 얻어진다고 가정한다.

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \end{Bmatrix}+\begin{bmatrix} k_1+k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix}=\begin{Bmatrix} P_o \\ 0 \end{Bmatrix}\sin\omega t \tag{1}$$

$$\begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix}=\begin{Bmatrix} u_{1o} \\ u_{2o} \end{Bmatrix}\sin\omega t$$

$$\begin{bmatrix} k_1+k_2-m_1\omega^2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2-m_2\omega^2 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} u_{1o} \\ u_{2o} \end{Bmatrix}=\begin{Bmatrix} P_o \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} u_{1o} \\ u_{2o} \end{Bmatrix}=[\boldsymbol{K}-\omega^2\boldsymbol{M}]^{-1}\begin{Bmatrix} P_o \\ 0 \end{Bmatrix}=\frac{1}{\det[\boldsymbol{K}-\omega^2\boldsymbol{M}]}\,\mathrm{adj}[\boldsymbol{K}-\omega^2\boldsymbol{M}]\begin{Bmatrix} P_o \\ 0 \end{Bmatrix} \tag{2}$$

식 (2)는 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$u_{1o}=\frac{P_o(k_2-m_2\omega^2)}{m_1m_2(\omega^2-\omega_1{}^2)(\omega^2-\omega_2{}^2)}$$

$$u_{2o}=\frac{P_ok_2}{m_1m_2(\omega^2-\omega_1{}^2)(\omega^2-\omega_2{}^2)} \tag{3}$$

조화하중의 작용으로 인한 변위, 속도, 가속도 응답은 상호 미·적분 관계에 있기 때문에 가스관의 변위 응답을 감소시키는 것으로 속도 응답의 감소를 유도할 수 있다. 식 (3)에서 가스관의 변위 응답 (u_{2o})을 감소시키기 위해서는 질량(m_2)을 증가시키거나 강성 (k_2)을 감소시키는 방법이 있다. 가스관의 질량을 증가시키기 위해서는 결국 가스관에 추가 하중을 작용시켜야 하므로 가스관의 안전을 위한 2차 적인 조치가 필요한 문제점을 안고 있다. 이러한 이유로 가스관을 매달고 있는 매닮재의 강성과 진동 전달 경로를 변화시켜 방진 효과를 얻고자 한다. 이와 같은 방법은 주빔의 고유진동수(ω_1)가 가스관의 고유진동수 (ω_2) 보다 크다는 일반적인 조건 하에서 적용하였으며, 그렇지 않은 경우에는 구조물의 공진 응답 등에 대해서도 검토해야 한다.

2.2 방진 시스템

주빔으로부터 전달되는 진동은 가스관을 매달고 있는 와이어로프와 횡진방지 앵글을 통해서 가스관으로 전달된다. 현재 매닮재로 사용되는 와이어로프를 대신하여 상부로부터 전달되는 진동을 효과적으로 차단할 수 있도록 행어로드 중간부분이 절단된 형태를 사용하였다(Fig. 2). 방진행어는 고주파 방진에 우수한 네오프렌(고무재)과 저주파 방진에 우수한 금속스프링을 조합하여 직렬형태로 구성하였다. 또한 방진행어의 강성 변화에 따른 방진효과를 비교하기 위하여 TYPE I, II로 구분하여 실험하였다. TYPE I은 TYPE II에 비해 상대적으로 스프링 강성이 2배 강하다.[1] 본 연구에서 방진 시스템이라 함은 방진행어와 가스관과 횡진방지 앵글 사이의 지지조건을 모두 고려한 것을 의미한다. 1개의 방진행어가 부담하는 가스관 및 보호재 중량은 110 kgf이다. 가스관의 매닮재와 지지 조건을 변화시킨 6가지 실험 CASE는 3.2절에 자세히 설명하였다.

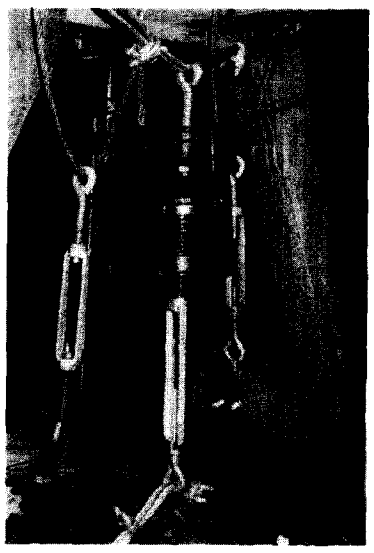


Fig. 2 Test setup

Table 1 Properties of hanger

Type	Rated capacity	Rated deflection		Spring constant kgf /mm
		Spring	Neoprene	
TYPE I	300 kgf	25 mm	6.1 mm	12
TYPE II	150 kgf	25 mm	10.2 mm	6

본 연구에서 노출 가스관에 대한 방진 시스템은 차량진동에 대한 노출가스관의 진동 규준인 2.0 cm/s를 만족하도록 하는데 1차 적인 목적이 있다. 여기에서 기준이 된 가스관의 진동속도 응답 2.0 cm/s는 한국가스공사에서 가스관의 안전성 평가 시 사용하는 규준을 도입한 것이다. 현재 국내에는 건설진동에 대한 가스관의 진동 규준이 법적으로 정립되어 있지는 않은 상태이다. Table 2는 한국가스공사에서 제시하고 있는 차량진동에 대한 가스관의 진동 규준을 나타낸 것이다.[2,3]

Table 2 Vibration criteria of gas pipeline for vehicle vibration

구 분		안전범위	대책범위	금지범위
최대진동속도 (cm/s)	노출가스관	0.6 이내	0.6 - 2.0	2.0 이상
	매설가스관	1.0 이내	1.0 - 3.0	3.0 이상

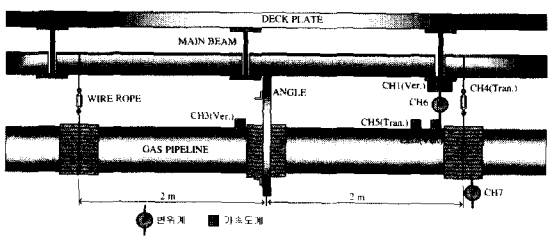


Fig. 3 Measurement system

3. 가스관의 진동 측정 실험

3.1 진동측정 실험 개요

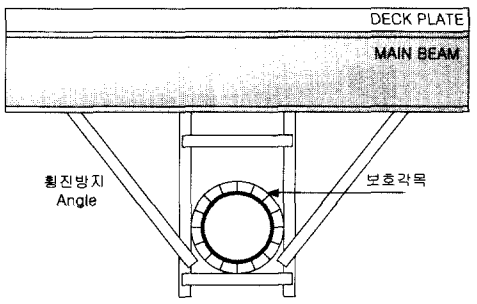
실험 대상 가스관의 노출 길이는 총 54 m, 직경 200 mm로써 광주도시철도 ○○공구 현장에 설치된 저압관을 대상으로 하였다. 노출가스관은 바닥판을 지지하기 위하여 설치한 주빔(I-700×300×13×24)과 주빔 사이의 등변 L자형 앵글(L-90×90×9)이 2개 설치되어 있고 이 2개의 L자형 앵글에 매달려 있다. 횡진방지 L자형 앵글은 4.0 m 등간격으로 설치되어 있으며, 매달기 방호 또한 4.0 m 등간격으로 와이어로프(ϕ8)를 이용하여 설치되어 있다. 횡진방지 앵글과 매달기 방호 와이어로프는 서로 엇갈리게 설치되어 노출 가스관은 2 m 간격으로 지지되어 있는 상태이다. 매달기 길이는 주빔의 하부플렌지에서 가스관의 윗면까지 75 cm~85 cm 길이로 매달려 있다.

진동측정을 위한 가속도계 및 변위계의 설치 위치 개요도는 Fig. 3과 같다. 가속도계는 가스관의 진동응답을 정확하게 평가하기 위하여 가스관 보호재인 유리섬유, 로드시트 등을 제거한 후 가스관의 표면에 직접 부착하였다.[4] 가속도계 및 변위계에서 얻어진 데이터는 미국의 Strawberry社에서 개발한 Workbench 진동 분석 프로그램을 사용하여 분석하였으며, 속도 응답은 가속도 응답을 수치 적분하여 구하였다.

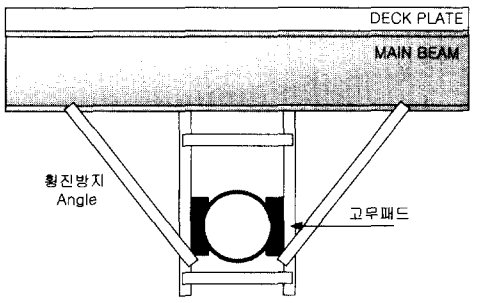
3.2 실험 CASE

차량의 통행에 의해 노출가스관에 발생되는 진동을 측정하기 위하여 본 연구에서는 총 6가지 CASE로 구분하여 실험을 수행하였다. 각각의 CASE는 매달기 와이어로프 및 횡진방지 앵글과 가스관과의 지지 및 경계조건을 변화시킨 경우와 와이어로프를 방진행어로 교체한 경우의 조합에 따라 구분하였다. 각각의 실험 CASE에 따른 지지 및 경계조건을 Fig. 4와

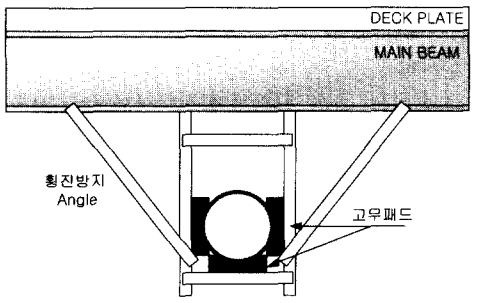
Table 3에 정리하였다. 총 54 m 노출되어 있는 가스관 중에 36 m의 길이에 걸쳐 와이어로프를 이용한 매달기 부분을 방진행어로 8곳을 교체하였다.



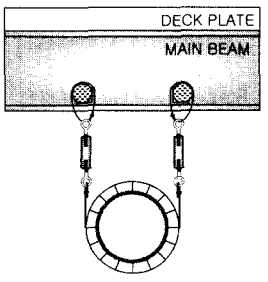
(a) A1



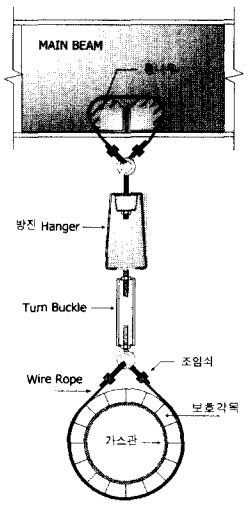
(b) A2



(c) A3



(d) W1



(e) W2 or W3

Fig. 4 Hanging and supporting conditions

Table 3 Hanging and supporting conditions for testing case

구 분	앵글 부위	와이어로프 부위	참 고
CASE 1	A1	W1	현재 시설되어 운용중인 상태
CASE 2	A2	W1	횡진방지 앵글 부위의 가스관 보호목(木)을 제거한 후 측면에 고무패드 삽입. 매달기 와이어로프 만으로 가스관 지지.
CASE 3	A3	W2	방진행어(TYPE I)설치. 횡진방지 앵글 부위의 가스관 보호목(木)을 제거한 후 측면에 고무패드 삽입.
CASE 4	A2	W2	방진행어(TYPE I)설치. 횡진방지 앵글 부위의 가스관 보호목(木)을 제거한 후 측면과 하면에 고무패드 삽입
CASE 5	A3	W3	방진행어(TYPE II)설치. 지지조건은 CASE 3과 동일. 방진행어의 spring constant 만 다름.
CASE 6	A2	W3	방진행어(TYPE II)설치. 지지조건은 CASE 4과 동일. 방진행어의 spring constant 만 다름.

A: 횡진방진 앵글 부위, W: 와이어로프 부위

3.3 차량주행 실험

차량주행은 동적재하실험과 정적재하실험으로 구분하여 실행하였다. 동적주행실험은 한 가지 실험 CASE에 20 km/h, 35 km/h, 50 km/h의 3가지 속도로 한가지 속도에 대해서 각각 2~3회씩 총 39회(6가지 CASE) 주행실험을 실시하였다. 차량의 주행선

은 가스관을 양쪽 바퀴의 중앙에 위치하도록 바닥판에 주행선을 그려 주행 실험동안에 동일한 위치로 주행할 수 있도록 하였다. 실험차량은 15톤 덤프트럭을 사용하였으며 차량중량은 적재중량을 포함하여 총 29.4 tonf(전륜 7.1 tonf, 중륜 11.1 tonf, 후륜 11.2 tonf) 이였다. 정적재하실험은 차량의 하중으로 인한 주빔과 가스관의 변위를 측정하기 위하여 1회 실시하였다.

4. 실험 결과 분석 및 고찰

4.1 진동 응답 측정 결과

Figs. 5~8에는 CASE 1과 CASE 5의 경우에 가스관(CH2)에서 얻어진 진동 가속도 및 속도 응답 시간이력을 나타내었다. CASE 1은 현재 노출가스관이 운용중인 상태이며 CASE 5는 실험 CASE 중 가장 방진효과가 우수한 실험 CASE이다.

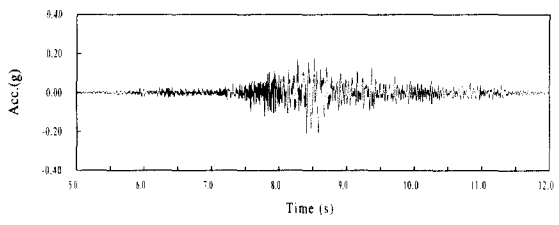


Fig. 5 Acceleration response of gas pipeline for CASE 1

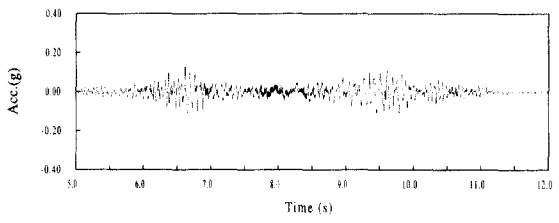


Fig. 6 Acceleration response of gas pipeline for CASE 5

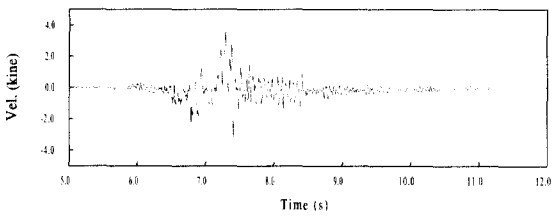


Fig. 7 Velocity response of gas pipeline for CASE 1

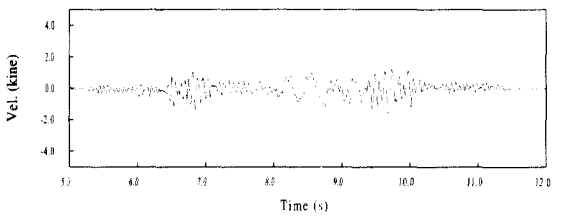


Fig. 8 Velocity response of gas pipeline for CASE 5

가스관에서의 진동 응답 시간이력을 비교해 보면 방진행어를 설치한 실험 CASE 5에서 진동 감소를 확인할 수 있다. 측정 및 분석한 실험차량의 주행속도에 따른 각 실험 CASE 별 진동속도, 가속도, 변위 응답의 평균값을 Table 4에 정리하였다. Table 4에서 CH1-CH6은 가속도와 속도 응답을, CH6, CH7은 변위응답을 나타내고 있다.

현재 노출가스관이 운용되고 있는 상태를 나타내는 CASE 1의 가스관(CH2)에서의 진동 속도 응답(연직방향)은 20 km/h, 35 km/h, 50 km/h의 주행속도에 따라 평균 1.306 cm/s, 2.267 cm/s, 3.460 cm/s로 분석되어, 실험차량을 기준으로 평가 할 때 약 30 km/h 이상 주행 시 가스관의 진동 규준치 2.0 cm/s를 초과하는 진동치가 발생되는 것으로 나타났다. 또한 직접 하중을 받는 주빔(CH1)의 3.212 cm/s, 4.502 cm/s, 6.930 cm/s에 비해 가스관에서의 진동치가 상대적으로 감소되어 나타났으며 차량이 고속으로 주행함에 따라 진동치 또한 크게 나타나는 일반적인 결과를 보였다. CH6과 CH7은 주빔과 가스관의 변위 응답을 각각 나타낸다.

CASE 2에서는 CASE 1에 비해 전체적으로 큰 진동치가 발생되었다. 50 km/h 주행 시 가스관에서 평균 5.821 cm/s의 진동속도 응답을 보였으며, 실험차량이 고속으로 주행할수록 진동 응답의 증가비율이 더 커지고 있음을 알 수 있다.

CASE 3에서 가스관에 발생되는 연직방향의 진동 응답은 CASE 1에 비해 전체적으로 감소하는 결과를 보였다. 50 km/h 주행 시 가스관에서 발생된 연직방향의 진동 응답 성분은 평균 2.198 cm/s와 0.179 g로 각각 얻어졌다. 가스관에 발생되는 최대 변위도 1.876 mm로써 정적 재하 실험으로 인한 가스관의 변위 2.900 mm 보다도 오히려 감소하는 결과를 보였다.

CASE 4의 진동응답은 CASE 1에 비해 전체적으로 감소하는 결과를 보였으나 CASE 3보다는 미소하

Table 4 Vibration response for testing case

CASE	구 분	주행속도 (km/h)	CH1 (주빔)	CH2 (가스관)	CH3 (가스관)	CH4 (주빔)	CH5 (가스관)	CH6 (주빔)	CH7 (가스관)
1	가속도(g) · 변위(mm) 응답	20	1.074	0.100	0.090	0.018	0.091	4.296	3.127
		35	1.181	0.173	0.151	0.037	0.181	4.801	3.262
		50	1.288	0.333	0.333	0.043	0.181	5.495	3.304
	속도응답 (cm/s)	20	3.212	1.306	1.320	0.187	0.791	-	-
		35	4.502	2.267	2.730	0.260	1.006	-	-
		50	6.930	3.460	3.548	0.303	2.217	-	-
2	가속도(g) · 변위(mm) 응답	20	1.004	0.136	0.142	0.022	0.045	4.789	2.210
		35	1.118	0.226	0.216	0.038	0.085	4.868	2.272
		50	1.325	0.459	0.400	0.047	0.150	5.520	2.666
	속도응답 (cm/s)	20	3.553	2.164	2.132	0.179	0.600	-	-
		35	3.919	2.852	2.735	0.256	1.272	-	-
		50	6.546	5.821	6.010	0.287	2.221	-	-
3	가속도(g) · 변위(mm) 응답	20	1.128	0.065	0.055	0.021	0.054	4.755	1.617
		35	1.217	0.091	0.081	0.046	0.068	4.801	1.786
		50	1.258	0.179	0.161	0.048	0.157	5.569	1.876
	속도응답 (cm/s)	20	3.757	0.949	1.157	0.242	0.671	-	-
		35	4.025	1.391	1.277	0.246	0.899	-	-
		50	6.599	2.198	1.949	0.295	1.810	-	-
4	가속도(g) · 변위(mm) 응답	20	1.130	0.064	0.059	0.022	0.049	4.245	1.556
		35	1.154	0.100	0.107	0.035	0.068	4.691	1.735
		50	1.264	0.165	0.145	0.046	0.177	5.428	1.957
	속도응답 (cm/s)	20	3.343	0.952	0.958	0.148	0.502	-	-
		35	4.010	1.539	2.007	0.253	0.990	-	-
		50	6.175	2.256	2.060	0.308	1.754	-	-
5	가속도(g) · 변위(mm) 응답	20	1.118	0.048	0.044	0.024	0.049	4.730	1.491
		35	1.193	0.087	0.092	0.038	0.090	4.578	1.513
		50	1.321	0.132	0.140	0.035	0.169	5.504	1.778
	속도응답 (cm/s)	20	3.279	0.669	0.745	0.137	0.698	-	-
		35	4.067	1.101	1.098	0.221	0.922	-	-
		50	6.439	1.528	1.422	0.252	1.089	-	-
6	가속도(g) · 변위(mm) 응답	20	1.018	0.084	0.079	0.025	0.064	4.710	1.646
		35	1.183	0.083	0.079	0.038	0.071	4.588	1.709
		50	1.268	0.135	0.125	0.046	0.164	5.589	1.933
	속도응답 (cm/s)	20	3.194	1.045	1.068	0.231	0.768	-	-
		35	4.553	1.044	0.976	0.237	1.036	-	-
		50	6.329	1.705	1.659	0.321	1.632	-	-

게 진동 속도 응답이 크게 얻어졌다. 이는 가스관의 하부와 횡진방지 앵글 사이에 고무패드를 삽입한 지지조건으로 인해 횡진방지 앵글로 전달되는 주빔의 연직방향 진동의 일부가 가스관으로 전달되기 때문이라 판단된다.

CASE 5에서는 CASE 3과 가스관의 지지조건은 동일하지만 방진행어의 스프링 강성이 6 kgf/mm로써 CASE 3의 12 kgf/mm에 비해 1/2에 해당한다.

CASE 5의 경우가 전체 실험 CASE 가운데 방진 효과가 가장 우수한 것으로 분석되었다. 50 km/h로 차량이 주행한 경우에 가스관에서는 평균 1.528 cm/s의 진동 속도응답과 0.132 g의 진동 가속도 응답, 1.778 mm의 변위 응답이 각각 얻어졌다. TYPE II의 방진 행어를 사용한 CASE 6의 방진효과 또한 CASE 5와 거의 대등한 방진 효과를 보여 본 연구대상이 된 노출 가스관의 경우에는 강성이 보다 약한 TYPE II의 방진행어를 사용하고 주빔과 거의 일체로 거동하도록 구속하는 횡진방지 앵글 부위의 가스관 보호목을 제거한 후 고무패드를 사용하는 것이 보다 효과적이었다. 실험 CASE 2~6의 가스관의 변위 응답이 CASE 1에 비해 작게 얻어졌다. 이는 CASE 1의 경우 횡진방지 앵글 부위에서 가스관을 둘러싸고 있는 보호목으로 인해 주빔과 가스관이 거의 일체로 거동하도록 되어 있었으나, CASE 2~6의 경우는 횡진방지 앵글 부위의 가스관 보호목을 제거함으로써 주빔과 가스관이 서로 격리되었기 때문으로 판단된다.

Table 5에는 진동 측정 및 분석 후 가스관의 연직방향(CH2) 진동 응답을 기준으로 각 실험 CASE에 따른 방진효과를 정량적으로 평가하였다. 방진 효율의 평가 기준은 현재 노출가스관의 운용상태에 해당하는 CASE 1을 기준으로 나머지 CASE에 대한 진동 응답을 비교하여 제시하였다. Table 5에서 ( )안의 값은 CASE 1의 진동 응답을 "1.00"으로 평가할 때 기타 CASE의 진동 응답을 "1.00"에 대해 환산한 값이다. 예를 들어 20 km/h 주행 시 CASE 5에 해당하는 속도응답의 ( )안의 값 "0.51"은 CASE 5의 진동응답이 CASE 1에 비해 51 %의 진동치를 보인다는 것으로 바꾸어 말하면 진동치가 49 % 감소되었다는 것을 의미한다.

실험 차량의 3가지 주행속도 모두에 대해 CASE 5가 가장 우수한 방진 효과를 보임을 알 수 있다. CASE 1을 기준으로 CASE 5의 가스관의 연직방향 진동 응답을 비교해 보면 속도 응답의 경우 49 % ~ 56 %, 가속도 응답의 경우 50 % ~ 60 %의 진동이 감소되었다. 이러한 진동속도 응답 감소율은 차량의 주행속도가 고속화 될수록 커지고 있음을 알 수 있으며, 50 km/h 주행 시 평균 속도 응답은 1.528 cm/s로 분석되었다. 변위응답에 대한 ( )안의 값은 정적 재하실험으로 인해 발생된 가스관의 변위 2.900 mm를 기준으로 비교한 값이다.

Table 5 Response ratio

주행 속도	CASE	속도응답 : cm/s	가속도응답 : g	변위응답 : mm
20 km/h	1	1.306(1.00)	0.100(1.00)	3.127(1.08)
	2	2.164(1.66)	0.136(1.37)	2.210(0.76)
	3	0.949(0.73)	0.065(0.65)	1.617(0.56)
	4	0.952(0.73)	0.064(0.64)	1.556(0.54)
	5	0.669(0.51)	0.048(0.49)	1.491(0.51)
	6	1.045(0.80)	0.084(0.85)	1.646(0.57)
35 km/h	1	2.267(1.00)	0.173(1.00)	3.262(1.12)
	2	2.852(1.26)	0.226(1.31)	2.272(0.78)
	3	1.391(0.61)	0.091(0.53)	1.786(0.62)
	4	1.539(0.68)	0.100(0.58)	1.735(0.60)
	5	1.101(0.49)	0.087(0.50)	1.513(0.52)
	6	1.044(0.46)	0.083(0.48)	1.709(0.59)
50 km/h	1	3.460(1.00)	0.333(1.00)	3.304(1.14)
	2	5.821(1.68)	0.459(1.38)	2.666(0.92)
	3	2.198(0.64)	0.179(0.54)	1.876(0.65)
	4	2.256(0.65)	0.165(0.50)	1.957(0.67)
	5	1.528(0.44)	0.132(0.40)	1.778(0.61)
	6	1.705(0.49)	0.135(0.41)	1.933(0.67)

4.2 진동 응답 분석 및 고찰

(1) 매닮재의 필터링 기능

실험 차량이 진동 측정 위치를 통과할 때 주빔과 가스관의 진동응답 성분을 분석한 결과 가스관을 매달기 위해 사용된 매닮재와 가스관 지지 조건에 따라 가스관에 발생되는 진동 응답의 주파수 대역이 달라짐을 알 수 있었다. Fig. 9~12에는 50 km/h로 실험 차량이 진동 측정 지점을 통과할 때 가스관과 주빔에 발생되는 1.0초 동안의 진동 시간이력을 주파수 분석하여 나타내었다.[5] 차량의 통행으로 인해 주빔에 발생되는 진동응답에는 10 Hz 이하의 저주파 성분에서부터 200 Hz에 이르는 고주파 성분까지 다양한 진동성분이 분포하고 있음을 주파수 분석결과 알 수 있었다.

CASE 1의 경우 매닮재인 와이어로프는 주빔에 발생된 진동 응답 중 약 100 Hz 이상의 주파수 성분은 차단시키는 low pass 필터링 기능을 하고 있다(Fig. 9). CASE 2의 경우는 CASE 1에 비해 상대적으로 낮은 low pass 필터링 기능을 하고 있는 것으로 분석되었다(Fig. 10). 이는 매닮재와 가스관의 지지 조건과의 관계가 복합적으로 작용하여 가스관에 발생되는 진동 응답 성분이 결정된다는 것을 의미하고 있다.

CASE 2의 경우는 필터링면에서는 CASE 1에 비해 우수하지만 가스관을 지지하는 지지 조건의 변화가 가스관의 진동응답을 오히려 크게 만드는 원인으로 작용한 것으로 판단된다. 가장 방진 효과가 우수한 CASE 5의 경우에 사용된 방진행어와 지지조건은 주빔으로부터 전달되어 오는 거의 모든 진동 성분을 차단하고 있는 것으로 밝혀졌다(Fig. 12). CASE 5의 필터링 기능은 6가지 실험 CASE 가운데 가장 우수한 low pass 필터링 기능을 하고 있다. CASE 5에 비해 상대적으로 강성이 강한 방진행어를 설치한 CASE 3번의 경우와 비교하면 방진 효율은 방진행어의 강성과도 영향이 있음을 알 수 있다(Fig. 11). 즉, 방진행어의 강성이 약할수록 상부에서 전달되는 진동을 저주파수 대역까지 필터링 하게된다. 그러나 방진행어의 강성을 선택할 때는 방진행어 자체가 가지고 있는 하중 용량을 고려하여 선택해야 하므로, 본 연구에서처럼 방진행어 1개가 부담하게될 중량을 계산한 뒤 안전율 1.5를 고려하여 선택하는 것이 바람직하다.

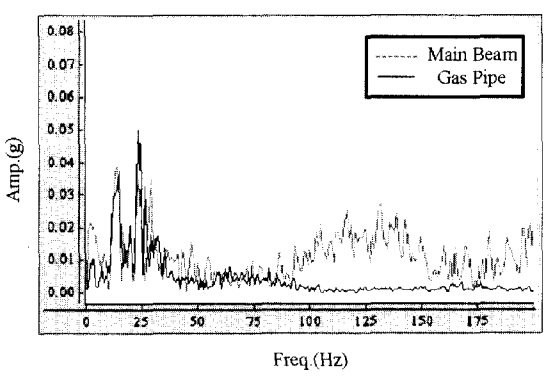


Fig. 9 Frequency analysis for testing CASE 1

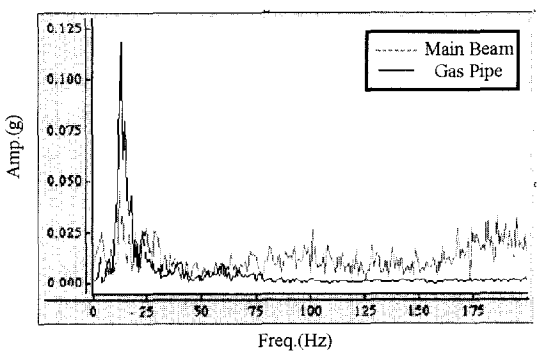


Fig. 10 Frequency analysis for testing CASE 2

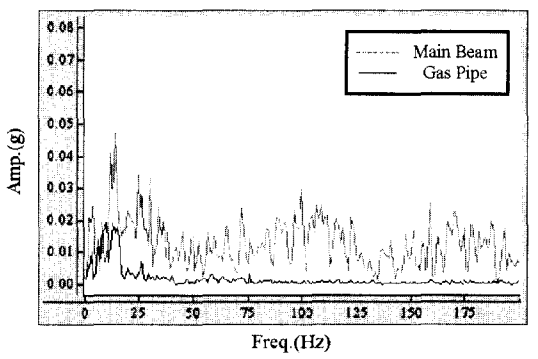


Fig. 11 Frequency analysis for testing CASE 3

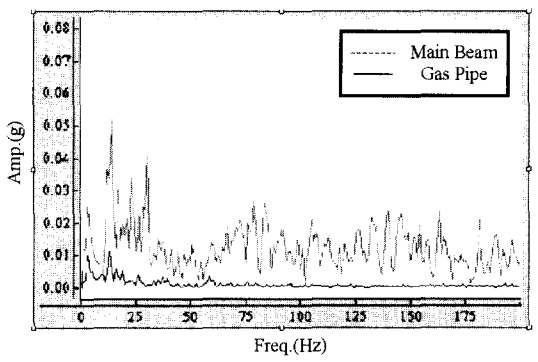
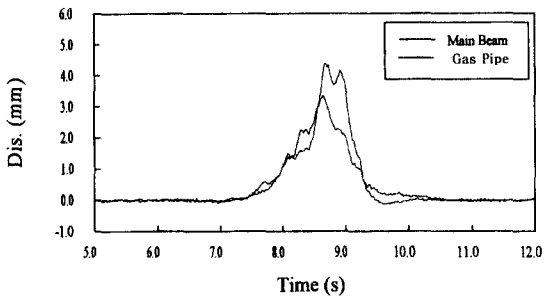


Fig. 12 Frequency analysis for testing CASE 5

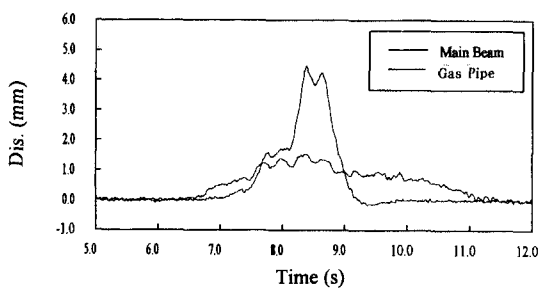
(2) 하중 작용 시간의 변화

CASE 1의 경우 주빔과 가스관의 변위 응답 시간이력은 최대 발생 변위의 크기에만 차이가 있을 뿐 하중의 작용으로 인한 변위 발생 시간은 동일하다는 것을 Fig. 13으로부터 알 수 있다. 이는 가스관과 주빔이 거의 일체로 거동한다는 것을 의미하는 것으로 상부에서 전달되는 진동과 변위를 효과적으로 감소시키지 못하고 있음을 의미한다.

그러나 CASE 2는 물론 CASE 3~6의 경우 가스관에 발생되는 변위 응답 시간이력은 주빔에 비해 최대 2배까지 증가되는 특징을 보이고 있다. 이와 같이 변위 응답이 완만하게 발생한다는 것은 가스관이 상대적으로 정적인 하중을 받는 것처럼 거동한다는 것을 의미하고 있다. 상대적으로 정적인 하중 형태로 변환됨으로 인해 가스관의 진동 속도와 가속도 응답이 감소되는 것으로 판단된다. 진동 속도와 가속도 응답은 동적인 하중작용으로 인한 응답 성분이다.



(a) CASE 1



(b) CASE 5

Fig. 13 Time history of displacement for testing CASE 1 and CASE 5

5. 결 론

차량의 통행으로 인해 노출가스관에 발생되는 진동치를 평가하고 효율적인 방진 시스템을 개발하기 위한 본 연구의 결과는 다음과 같다.

(1) 현재 노출가스관이 운용되고 있는 상태(실험치인 2.0 cm/s를 초과하여 발생하는 것으로 나타났다. CASE 1)에 대한 진동 응답 측정 및 분석 결과 실험차량(29.4 tonf)이 20 km/h, 35 km/h, 50 km/h로 주행함에 따라 평균 1.306 cm/s, 2.267 cm/s, 3.460 cm/s의 진동속도 응답(연직방향)이 얻어져 대부분 한국가스공사에서 규정하고 있는 가스관의 진동 규준

(2) 가장 방진 효율이 우수한 CASE 5는 현재 매 닮재로 사용되는 와이어로프 대신 방진행어를 사용하고 현재 설치되어 있는 가스관 보호목을 제거한 후 가스관 측면에 고무패드를 삽입하도록 횡진방지 앵글과 가스관의 지지 조건을 변경시킨 것으로써 진동 속도 응답을 49 %~56 %, 진동 가속도 응답을 50 %~60 % 감소시키는 것으로 밝혀졌다. 50 km/h 주행 시 평균 속도 응답은 1.528 cm/s로 분석되었다.

(3) 실험 CASE 5에 사용된 방진시스템은 주빔으로부터 전달되어 오는 거의 모든 진동 성분을 차단하는 low pass filter 기능을 하여 진동 가속도 및 속도 응답을 감소시키고 있다.

(4) 방진행어는 부담하게될 중량의 1.5배 용량을 갖는 것을 선택하고 그 범위 내에서 강성이 약한 방진행어를 선택함으로써 방진효율을 높일 수 있다.

참 고 문 헌

(1) Leo, L. B., and Eric, E. U., 1992, Noise and Vibration Control Engineering, John Wiley & Sons, Inc., New York.

(2) 박연수 등, 1998, "발파진동에 의한 가스관의 안전성 평가, 연구보고서", 한국가스공사 연구개발원, 5장.

(3) 박연수 등, 1999, "차량하중하에서 가스관의 진동측정 및 평가", 추계학술발표회 논문집, 한국소음진동공학회, pp. 572~577.

(4) Kenneth, G. M., 1995, Vibration Testing, John Wiley & Sons, Inc., New York.

(5) Mary, J. S., and William, B. S., 1997, Impact-Echo : Nondestructive Evaluation of Concrete and Masonry, Bullbrier Press, Ithaca, New York.