한국소음진동공학회논문집 제18권 제7호, pp. 693~700, 2008.

가스 배관의 차단 주파수에 따른 음파전달특성 연구

Acoustic Wave Propagation Characteristics Corresponding to the Cut-off Frequency in Gas Pipeline

김 민 수* · 이 상 권† · 장 상 엽** · 고 재 필***

Min-Soo Kim, Sang-Kwon Lee, Sang-Yup Jang and Jae-Pil Koh

(2007년 11월 5일 접수 ; 2008년 5월 22일 심사완료)

Key Words : Gas Pipeline(가스 배관), Impact Wave(충격파), Acoustic Wave Propagation(음파전달), Cut-off Frequency(차단 주파수), Finite Element Method(유한요소법), Boundary Element Method(경계요소법)

ABSTRACT

High-pressure gas pipeline which is buried in underground has the possibility that will be exposed to unexpected dangerous impact of construction equipment. To protect from this kind of danger, the real-time health monitoring system of the high-pressure gas pipeline is necessary. First of all, to make the real-time health monitoring system clearly, the acoustic wave propagation characteristics which are made from various construction equipment impacts must be identified. In link of technical development that prevents the damage of high-pressure gas pipeline, this paper gives FEM(finite element method) and BEM(boundary element method) solutions to identify the acoustic wave propagation characteristic of the various impact input signals which consist of Direc delta function and convolution signal of 45 Hz square signal and random signal.

1. 서 론

천연가스의 사용량이 증가함에 따라 천연가스를 사용자에게 원활하게 공급하기 위해 일반적으로 사용되는 것이 배관의 연결에 의한 공급이다. 가스 배관은 지하에 매설되거나 공기 중에 노출되어 있다. 지하에 매설된 경우는 우리가 사는 주택가 근처일 수 있고 지하도, 지하철 주변과 같이 우리의 생활권에 매우 근접해 있다. 그러므로 가스 배관은 항상 안전해야 하고 그 상태가 항상 점검되어야 한다. 가스 배관 내부에 흐르는 가스는 매우 높은 압력을 가지고 흐르고 있다. 조건이 맞는다면 균열을 통해 누출되는 가스가 자연 발화하게 되어 폭발의 위험이 발생하게 될 수 있다.

일반적으로 배관에 손상을 주는 경우는 건설장비를 이용한 굴삭 작업이 대부분이다. 이러한 굴삭 작업 시 건설장비가 가스 배관에 물리적 충격을 주었을 때, 가스 배관 내부에는 충격에 의한 음이 발생한다. 이때 충격음은 가스 배관을 따라 음을 전파하게 되고 전파되는 음은 배관의 기하학적 형상에 의해 전파 특성을 지니게 된다.

많은 연구에서 파이프 내의 음압 전파 특성에 대해 밝힌 바 있다[1,2,6~10]. 특히 파이프의 반지름 방향의 기하학적 특성에 의해 발생하는 차단 주파수(cut-off frequency)는 음압의 전파에 있어 상당히 큰 영향을 미친다. 차단 주파수에 의한 주요 특성은 차단 주파수 이상의 주파수들은 에너지를 전파할 수 있고 그 이하의 주파수들은 감쇠를 하게 되는 것이다.

† 교신저자 : 정회원, 인하대학교 기계공학과
E-mail : sangkwon@inha.ac.kr
Tel : (032)860-7305, Fax : (032)868-1716
* 정회원, 인하대학교 기계공학과
** 한국가스공사 연구개발원
*** 정회원, 한국가스공사 연구개발원

이 연구에서는 차단 주파수를 이론적, 실험적으로 구하고 이를 기초로 배관에 가할 수 있는 가진 신호를 단순 임팩트 신호와 45 Hz의 사각파 신호와 랜덤 신호를 합성한 신호로 두었다. 이 신호들을 이용하여 상용 프로그램(LMS.Virtual Lab.)의 모델에 입력 신호로 사용하였고 이를 통해 유한요소법과 경계요소법을 이용하여 배관 내 음파 전달 특성을 분석하였다. 이 분석 결과는 이론값과 실제 매설되어 있는 배관에서 실시한 실험값에 비교하였다.

2. 음향 전파 특성 이론

2.1 배관에서 음향 파동 방정식

실린더 좌표계를 사용하는 삼차원 선형 파동 방정식은 다음과 같다[11~12].

$$\nabla^2\varphi(t,\hat{r})-\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2}{\partial t^2}\varphi(t,\hat{r})=0 \tag{1}$$

$\varphi(t,\hat{r})$은 시간 t에 대한 속도 포텐셜 함수를 나타내고 $\hat{r}=(r,\theta,z)$은 원통좌표계에서 위치벡터를 나타낸다. 그리고 c는 음속을 나타낸다. 원형단면을 갖는 배관내부의 벽이 강체표면을 갖고 길이 방향으로 무한대인 경계조건을 식(1)에 적용하면, 강체벽을 갖는 도파관(waveguide) 내부 속도 포텐셜 함수의 시간 조화 특성 방정식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\varphi(t,\hat{r})=\sum_{m,n=0}A_{mn}J_m(k_{rmn}r)\cos(m\theta)e^{jk_{zmn}z}e^{-j\omega t} \qquad m,n=0,1,2,... \tag{2}$$

k는 파수를 나타내고 일반적으로 $k=2\pi f/c$와 같이 주파수와 음속과의 관계로 표현된다. 원통 좌표계에서 경계조건과 파수에 대한 설명은 Fig. 1에 나타나 있다.

식(2)에서 k_{zmn}은 길이 방향 파수를 나타내고 다음과 같이 표현된다.

$$k_{zmn}=\sqrt{k^2-k_{rmn}^2} \qquad m,n=0,1,2,... \tag{3}$$

그리고 반지름 방향 파수는 강체벽 경계조건에 의해 반지름 방향 속도 포텐셜 함수가 '0'이 되는 것으로부터 다음을 얻게 된다.

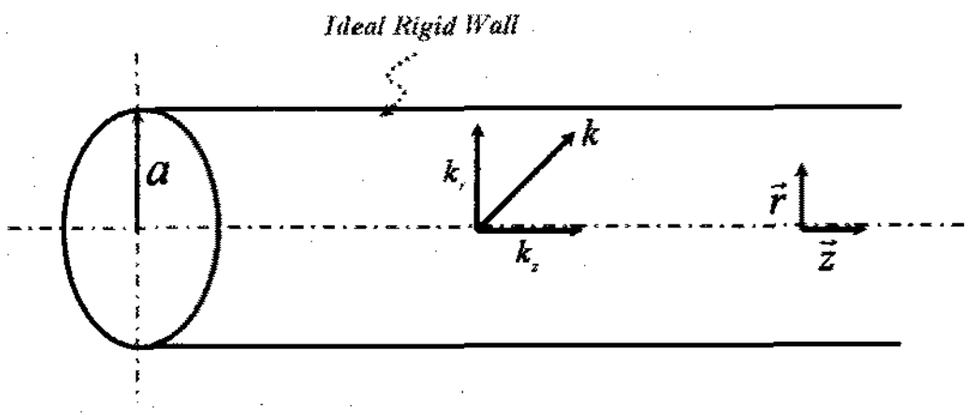


Fig. 1 Boundary condition of a cylindrical pipe

$$J'_m(k_{rmn}a)=\frac{\partial}{\partial r}\{J_m(k_{rmn}r)\}_{r=a}=0 \qquad m,n=0,1,2,... \tag{4}$$

$$k_{rmn}=\frac{j'_{mn}}{a} \qquad m,n=0,1,2,... \tag{5}$$

여기서 파수의 주파수와 음속과의 관계를 식(5)에 대입하면,

$$f_{rmn}=\frac{cj'_{mn}}{2\pi a} \qquad m,n=0,1,2,... \tag{6}$$

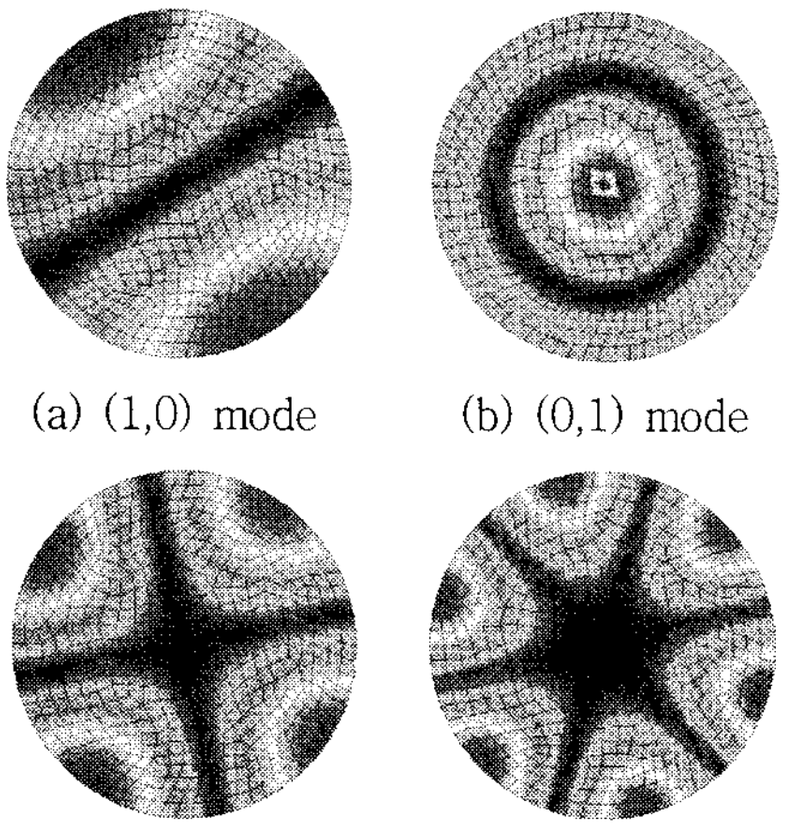
j'_{mn}은 제 1종 Bessel 방정식을 미분했을 때 최대값을 갖는 값을 나타낸다. 즉, $J'_m(j'_{mn})=0$을 만족시키는 값을 나타낸다.

식(5)와 식(6)을 식(3)에 대입하면,

$$k_{zmn}=k\sqrt{1-\left(\frac{f_{rmn}}{f}\right)^2} \quad f\geq f_{rmn} \tag{7}$$

식(7)은 길이 방향 파수와 반지름 방향 파수의 관계식을 나타낸다. 여기서 중요한 사항은 식(6)은 식(7)의 루트 내부에서 길이 방향 파수를 결정하는 중요한 변수가 된다. 그리고 이를 차단 주파수라 한다. 이때, 차단 주파수는 (m,n)모드에 따라 각각 다르다. 기본 4개의 (m,n)모드 특성에 대한 그림은 Fig. 2에 나타내었다. 여기서 m은 지름 방향의 노달 선(nodal line)을 결정하고 n은 원주 방향의 노달 원(nodal circle)을 결정한다.

식(7)에서 만일 주파수가 $f>f_{rmn}$인 경우 길이방향 파수는 $k_{zmn}>0$가 되게 된다. 이때 (m,n)모드는 배관을 따라 길이 방향으로 전파하게 된다. 그리고 주파수가 $f=f_{rmn}$이 되면, $k_{zmn}=0$이 되어 그때의 (m,n)모드는 길이 방향으로 전파되지 않게 된다.



(a) (1,0) mode (b) (0,1) mode

(c) (2,0) mode (d) (3,0) mode

Fig. 2 Fundamental four (m,n) cavity mode shapes[2]

$k_z^2 < 0$가 되는 주파수에서는 길이 방향으로 전파되지 않고 식(2)에 대입해서 볼 수 있듯이 z값이 증가함에 따라 지수적으로 감쇠하는 것을 볼 수 있다. 다시 말해, 길이 방향으로 전파 특성을 보이지 않는다.

식(6)과 식(7)에서 살펴본 차단 주파수와 파수와의 관계는 배관 내부의 정적인 유체인 경우에 해당되는 식이다. 일반적으로 배관 내부에 유체가 일정한 유속 V로 유동하는 경우의 파수는 다음과 같다[1].

$$k_{zmn} = \frac{-Mk \pm \sqrt{k^2 - k_{rmn}^2\left(1-M^2\right)}}{1-M^2} \tag{8}$$

여기서 M은 마하 수(mach number)를 나타내고로 표현된다. 식(8)에 의한 차단 주파수는

$$k = k_{rmn}\sqrt{1-M^2} \tag{9}$$

와 같이 표현된다. 식(9)에서 차단 주파수에 대한 표현은 식(7)에서 $f_{rmn} = f$가 되는 경우와 비교해 볼 때, 마하 수에 의해 그 차이가 나는 것을 볼 수 있다.

가스 배관에서는 일반적으로 유속이 약 20 m/s이하로 유지되고 있다. 그리고 실제 배관의 유속은 20 m/s이하로 약 4 m/s로 일정하게 유지되어 있다[3,4]. 그리고 음속은 약 438±2 m/s이다[5]. 그러므로 마하 수는 M=4/438=0.009132가 되게 된다. 결국, 식(9)에 의해 나타나는 마하 수가 포함된 차단 주파수는 식(7)에서 표현된 차단 주파수와 거의 일치하게 된다. 그러므로 식(6)을 이용하여 가스 배관 내 차단 주파수를 정의 하는 것은 무방하다.

Table 1 Theoretical cut-off frequencies of a steel pipe

Cut-off frequencies : f_{rmn}(Hz)					
m \ n	0	1	2	3	4
0	0	3952	7243	10493	13743
1	1898	5499	8811	12082	15331
2	3147	6923	10286	13588	16869
3	4333	8274	11710	15053	18354
4	5489	9574	13082	16466	19809

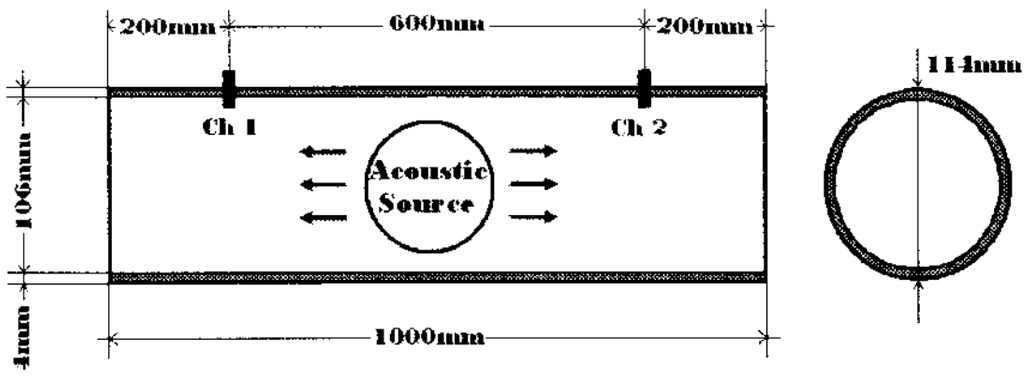


Fig. 3 Drawing of the test pipe

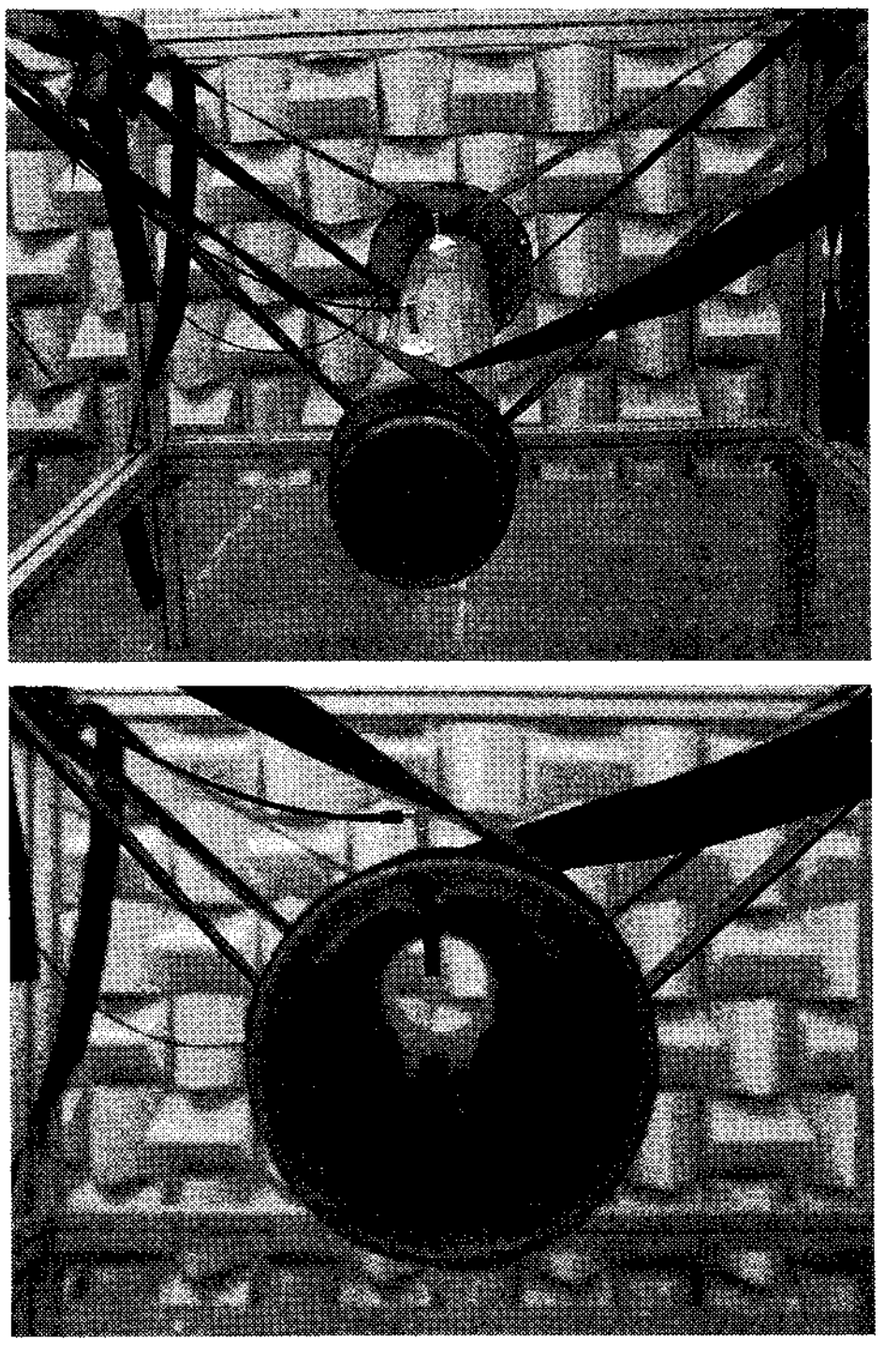


Fig. 4 Picture of a test pipe in the anechoic room

식(6)의 차단 주파수에 대한 이론적 식으로부터 직경 106 mm, 두께 4 mm 그리고 길이 1000 mm인 파이프에 대한 차단 주파수를 계산하여 Table 1에 나타내었다.

2.2 무향실 실험

지금까지 배관에서 음향 파동 방정식의 이론적 특성을 살펴보았다. 이를 통해 배관의 기하학적 형상에 따라 얻어지는 차단 주파수의 특성을 알 수 있었다. 차단 주파수의 실험적 검증을 위해 무향실에서 Fig. 3과 Fig. 4와 같은 형태의 배관을 이용하여 실험하였다.

Fig. 4에서 음원은 100 Hz에서 5 kHz까지 선형 주파수 변조 신호(linearly swept frequency signal)를 사용하였고 직경 40 mm 스피커를 이용하여 배관 내부에서 발생시켰다. 마이크로폰은 Fig. 4에서 보는 바와 같이 배관에 구멍을 뚫어 삽입하였다. 센서1과 센서2에서는 LMS.CADA-X의 signature monitor를 이용하여 시간 데이터를 받았고 이 시간 데이터는 Matlab.을 이용하여 coding을 통해 주파수 분석을 수행하였다. 또한 Fig. 5에 나타난 STFT(short time Fourier transform)를 표현하였다[13,14].

Fig. 5의 결과를 살펴보면 센서1과 센서2에서 모두 (1,0)모드는 1900 Hz, (2,0)모드는 3175 Hz 그리고 (0,1)모드는 3950 Hz에 나타나는 것을 볼 수 있다. 각 모드에서 차단 주파수들은 Table 1에서 이론적으로 구한 차단 주파수와 어느 정도의 차이를 보이고 있는데 이것은 Table 1에서 차단 주파수는 단순히 파이프의 기하학적 형상에 의존하여 그 값이 결정되었고 실험에 의한 차단 주파수는 파이프의 재질이나 온도 같은 물리적 물성치가 연관 되어 있기 때문이라 본다. 그러나 오차가 최대 3.4 %인 것을 볼 때, 그 경향성은 거의 일치한다고 볼 수 있다. 이것은 앞으로 여러 종류의 충격 신호에 의한 결과 예측에 주요 특성이 될 것이다.

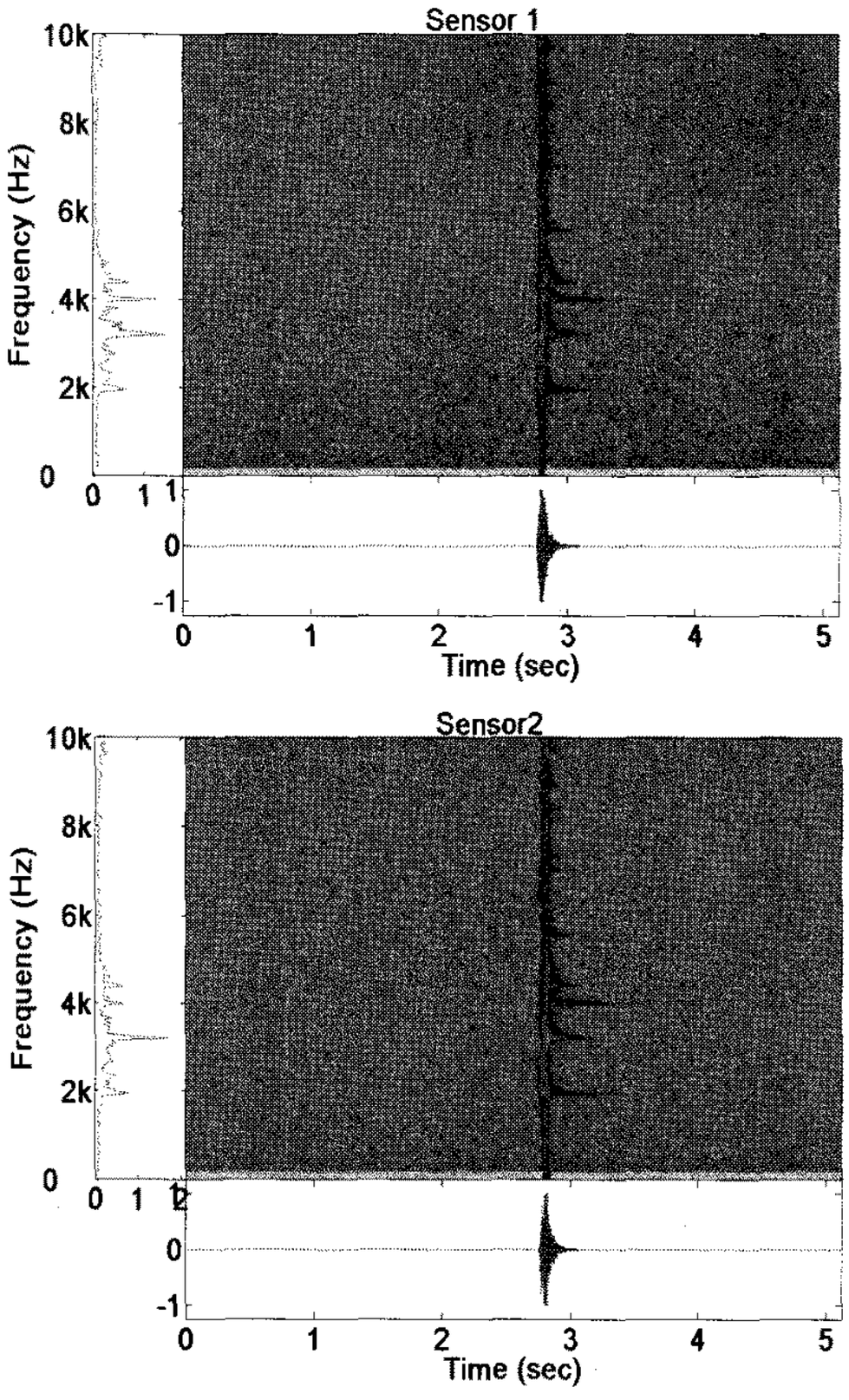


Fig. 5 Time-frequency plot of each sensors

3. 외부 충격 해석

3.1 외부 충격 전달 특성 개념

배관 외부에 물리적 충격이 가해질 경우 그 충격음으로부터 최종 측정 단계까지 전달 특성을 간략히 요약하면 우선 외부 힘과 파이프 내부 압력간 전달함수를 $h_{p1}(t,\hat{r})$라 하고 그 다음으로 유체의 파이프 내부에서 전달 특성을 전달함수 $h_f(t,\hat{r})$라 하자. 그리고 유체 내부 음압이 파이프를 통해 외부에서 측정될 때의 전달 특성을 전달함수 $h_{p2}(t,\hat{r})$라 하면 처음 입력되는 물리적 힘($F(t,\hat{r})$)으로부터 일정 시간이 지나 측정되는 지점에서 단위 면적당 힘($P(t,\hat{r})$)은 다음과 같이 각각 전달 함수의 콘볼루션(convolution)으로 식(10)과 같이 나타낼 수 있다.

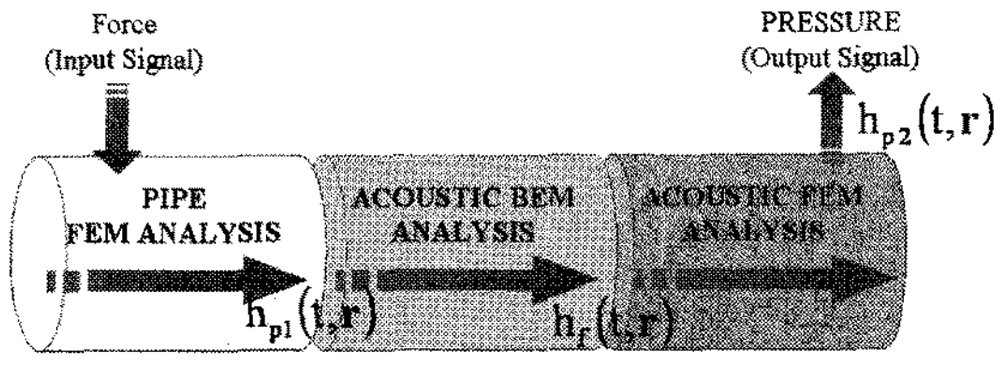


Fig. 6 Characteristics of the transfer function and analysis methods

$$P(t,\hat{r}) = h_{p1}(t,\hat{r}) * h_f(t,\hat{r}) * h_{p2}(t,\hat{r}) * F(t,\hat{r}) \quad (10)$$

여기서 위 식에 대한 표현을 그림으로 도식화 하면 Fig. 6과 같다.

3.2 입력 신호의 결정

단순 임팩트 신호(simple impact signal)와 45 Hz 신호와 랜덤 신호(45 Hz+random signal)를 합성한 신호를 입력 신호로 사용하였다. 각각 신호에 대한 특성은 Fig. 7과 같다. 여기서 45 Hz를 갖는 신호는 보편적으로 사용되는 핸드 브레이커(hand breaker)가 분당 2600~2800회 타격하는 것을 주파수로 바꾸었을 때 평균값을 나타낸다.

3.3 배관의 모델링 및 유한요소, 경계요소 해석

실제 가스 배관에서 단순 임팩트 신호와 45 Hz 합성 신호가 어떤 응답을 갖게 되고 그 응답에 의해 배관을 따라 전파되는 특성을 살펴보기 위해 우선 배관에 대한 유한요소 모델을 디자인해야 한다. 시뮬레이션에서 배관에 대한 디자인은 MSC.PATRAN을 이용하였고 Fig. 8은 결정된 입력 신호를 한 개의 노드에 입력한 것을 나타낸다. 그리고 MSC.NASTRAN을 이용하여 유한요소법을 통해 각각의 노드에서 변위 출력 값을 받았다.

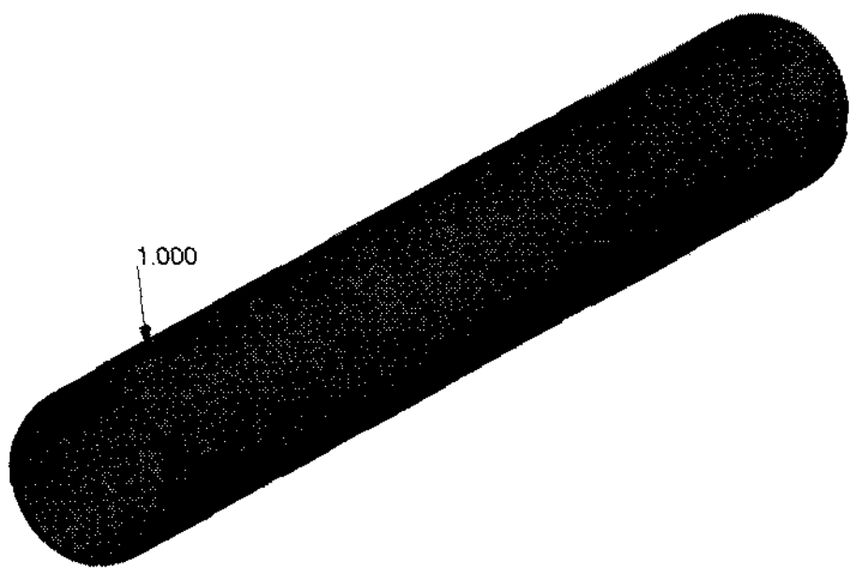
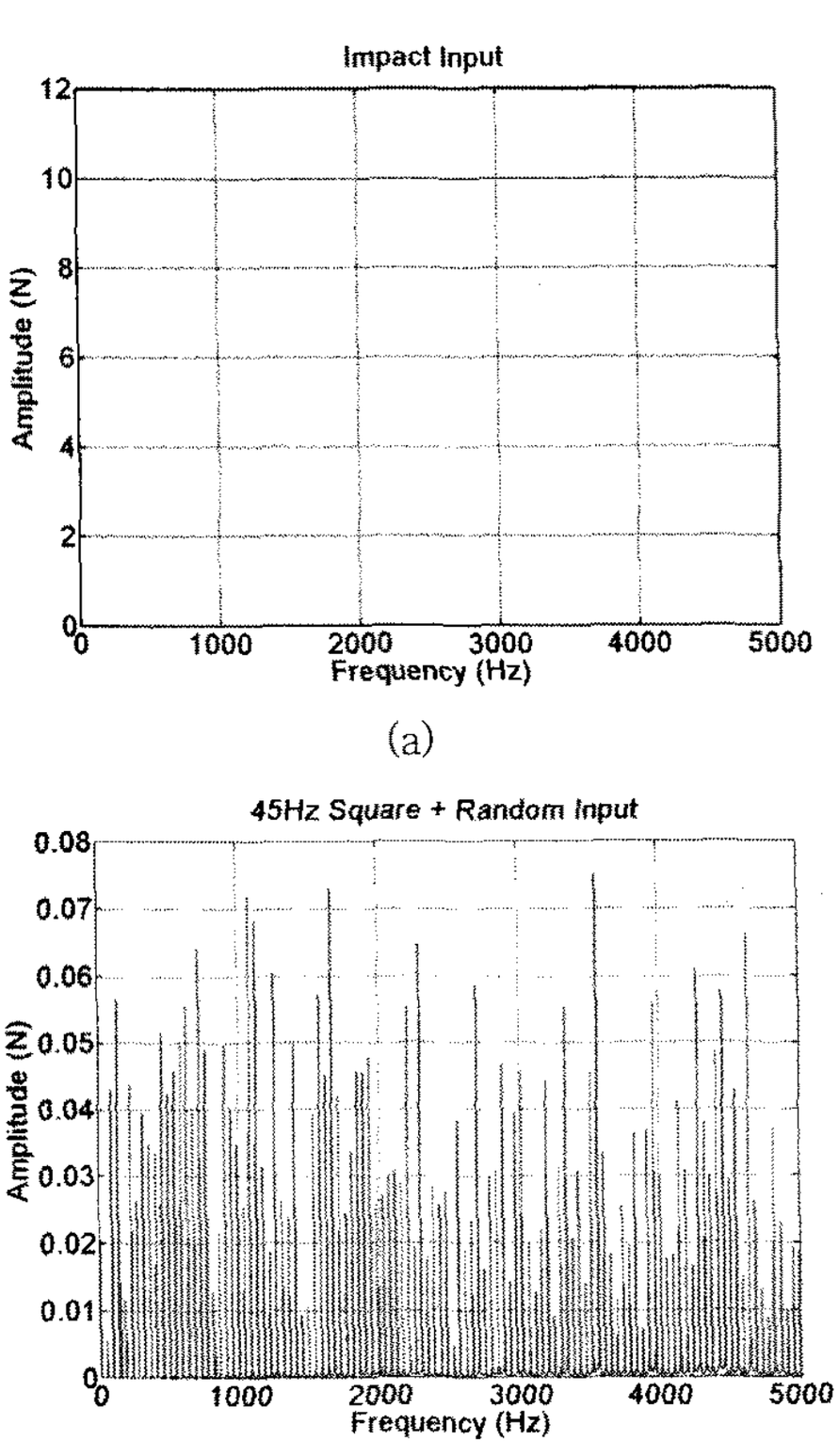
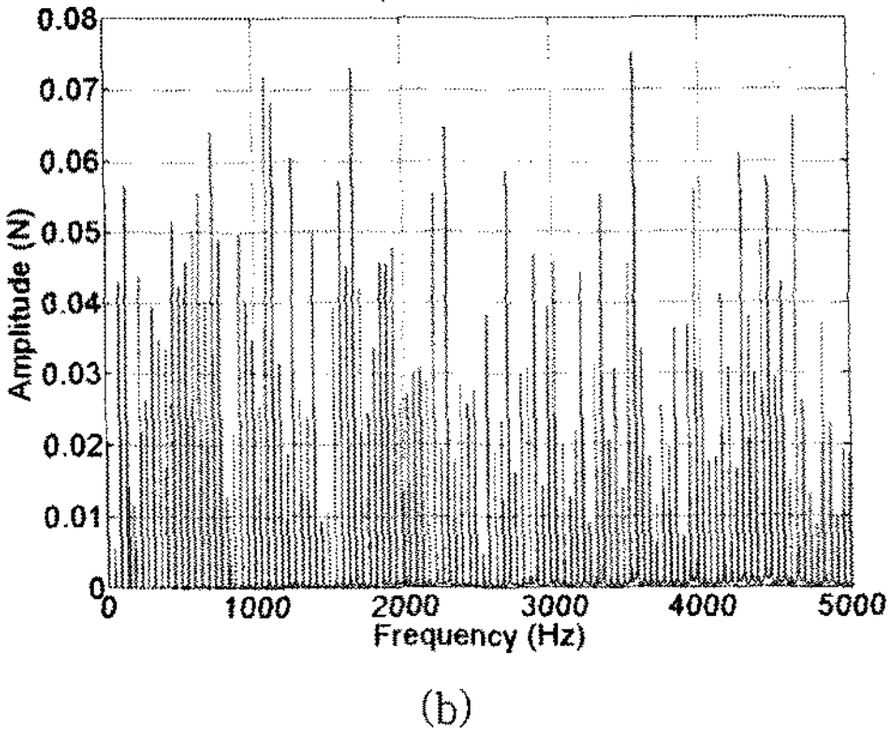


Fig. 8 MSC.PATRAN model & Input signal location

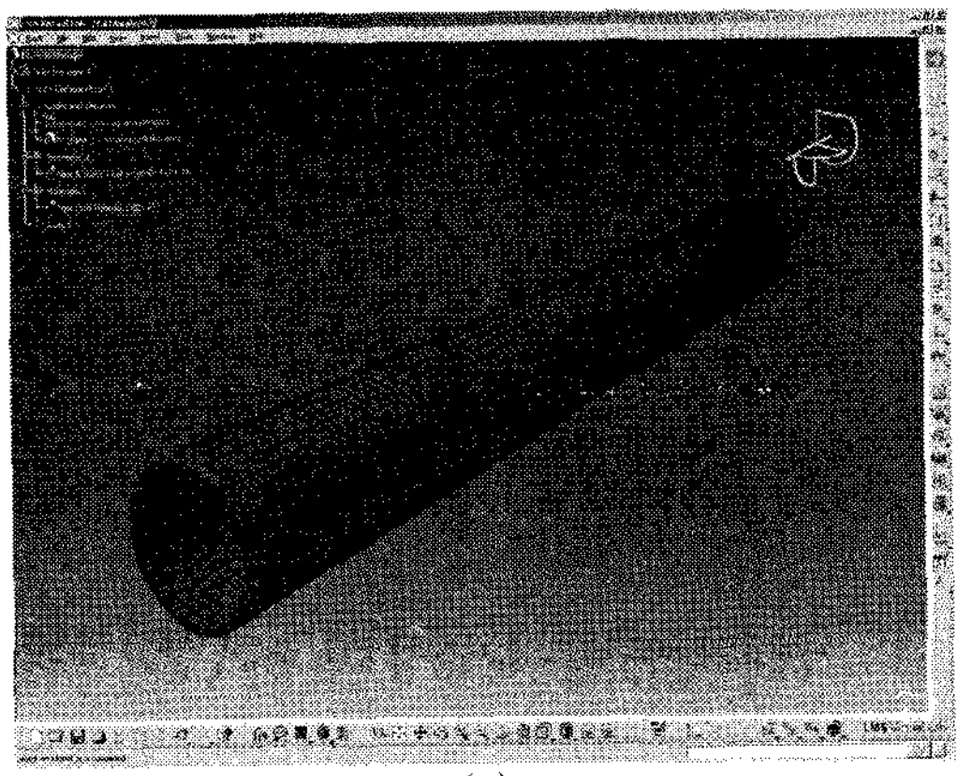


(a)

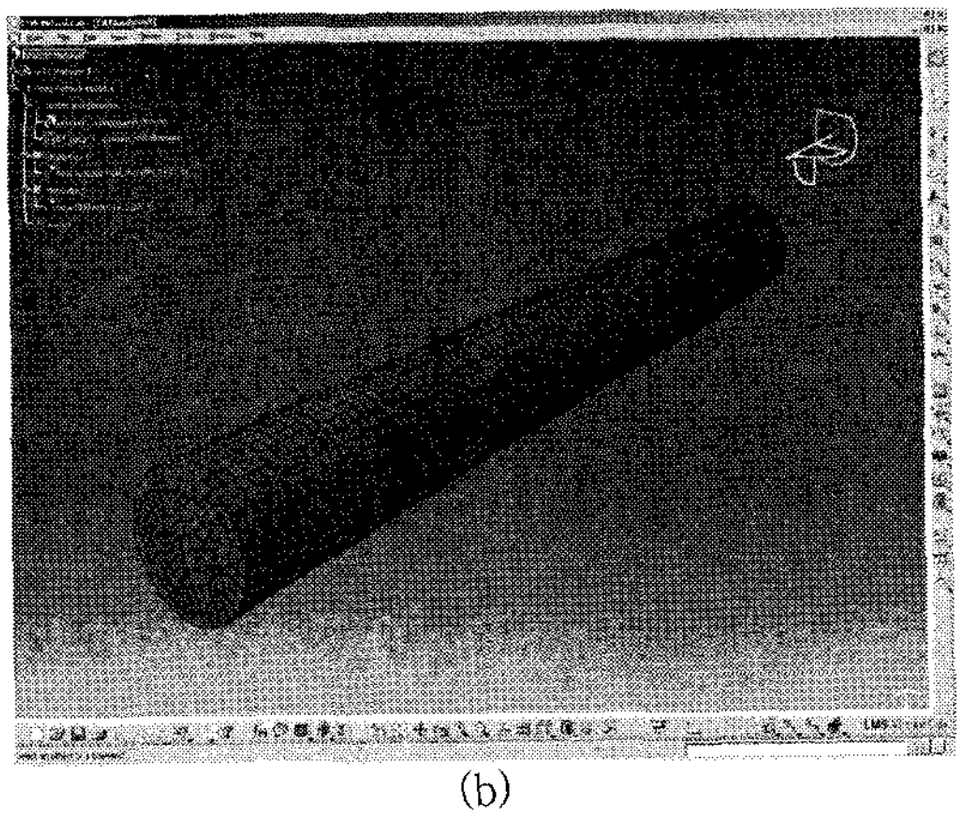


(b)

Fig. 7 (a) Simple impact, (b) 45 Hz + random



(a)



(b)

Fig. 9 (a) Pipe structure model, (b) pipe acoustic model

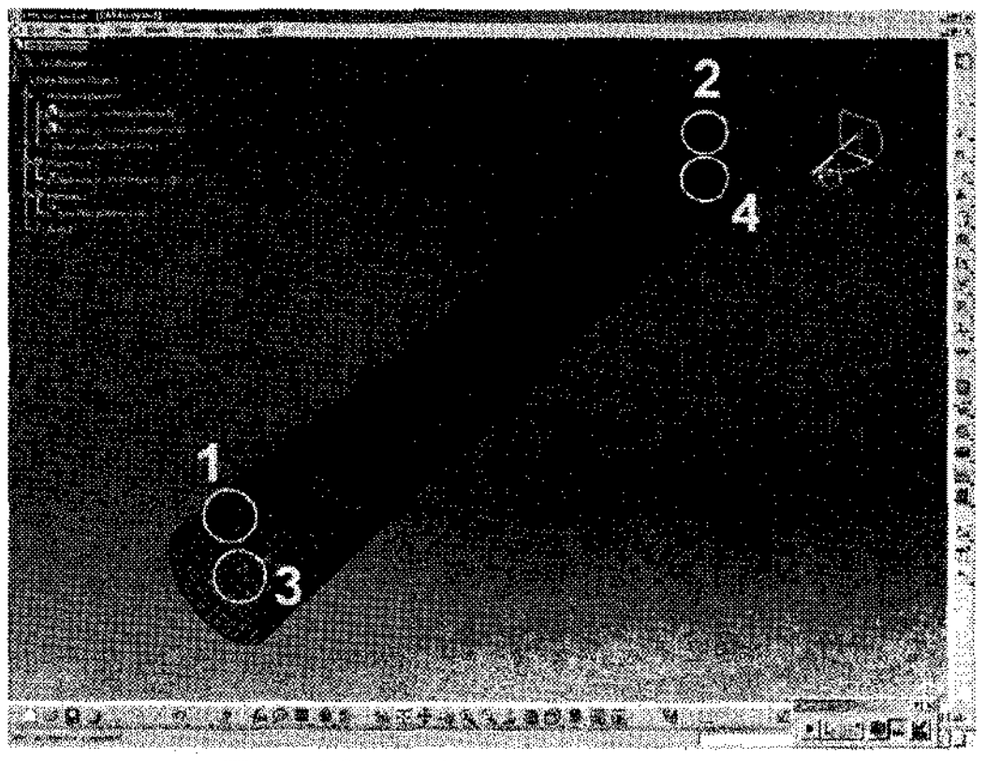


Fig. 10 Field point location

MSC.NASTRAN의 변위 출력 값은 LMS.Virtual Lab에서 경계요소법을 위한 경계 조건으로 사용되었다. Fig. 9(a)는 LMS.Virtual Lab.에서 배관 유한요소 모델을 불러들인 것을 나타내고 이 모델은 유한요소 해석 결과 값을 경계 조건으로 가지고 있고 배관 자체의 물성치를 가지고 있다. Fig. 9(b)는 LMS.Virtual Lab.에서 음향 경계요소 모델을 불러들인 경우를 나타낸다. Fig. 9의 (a), (b) 모델은 서로 결합되어 해석되게 된다.

Fig. 10에서는 해석된 결과 특성을 살펴보기 위해 센서의 역할을 하는 필드 포인트(field point)를 설정한 것을 나타낸다. 총 4개의 필드 포인트를 설정하였는데 1번과 2번은 배관 표면에 위치하여 배관 자체의 진동 값을 측정할 수 있는 필드 포인트이고 3번과 4번은 음향 모델 내부에 위치하여 음압을 측정할 수 있는 필드 포인트이다. 필드 포인트 1번과 3번은 충격의 위치가 가까운 지점이다.

3.4 입력 신호에 대한 결과 값

지금까지 실행한 유한요소와 경계요소 해석을 통해 각각 필드 포인트에서 얻어진 결과 값은 Fig. 11과 Fig. 12와 같다. Fig. 11은 단순 임팩트 신호를 주었을 때 PSD(power spectrum density)를 나타내고, Fig. 12는 45 Hz 합성 신호를 주었을 때, PSD를 나타낸다. Fig. 11과 Fig. 12를 보다 잘 볼 수 있게 하기 위해 카이저 윈도우(Kaiser window)를 사용하였고 90 % 오버랩하였다.

Fig. 11의 단순 임팩트 신호의 결과 값을 보면 2050 Hz에서 (1,0)모드를, 3340 Hz에서 (2,0)모드를 그리고 4260 Hz에서 (0,1)모드를 나타내는 것을 볼

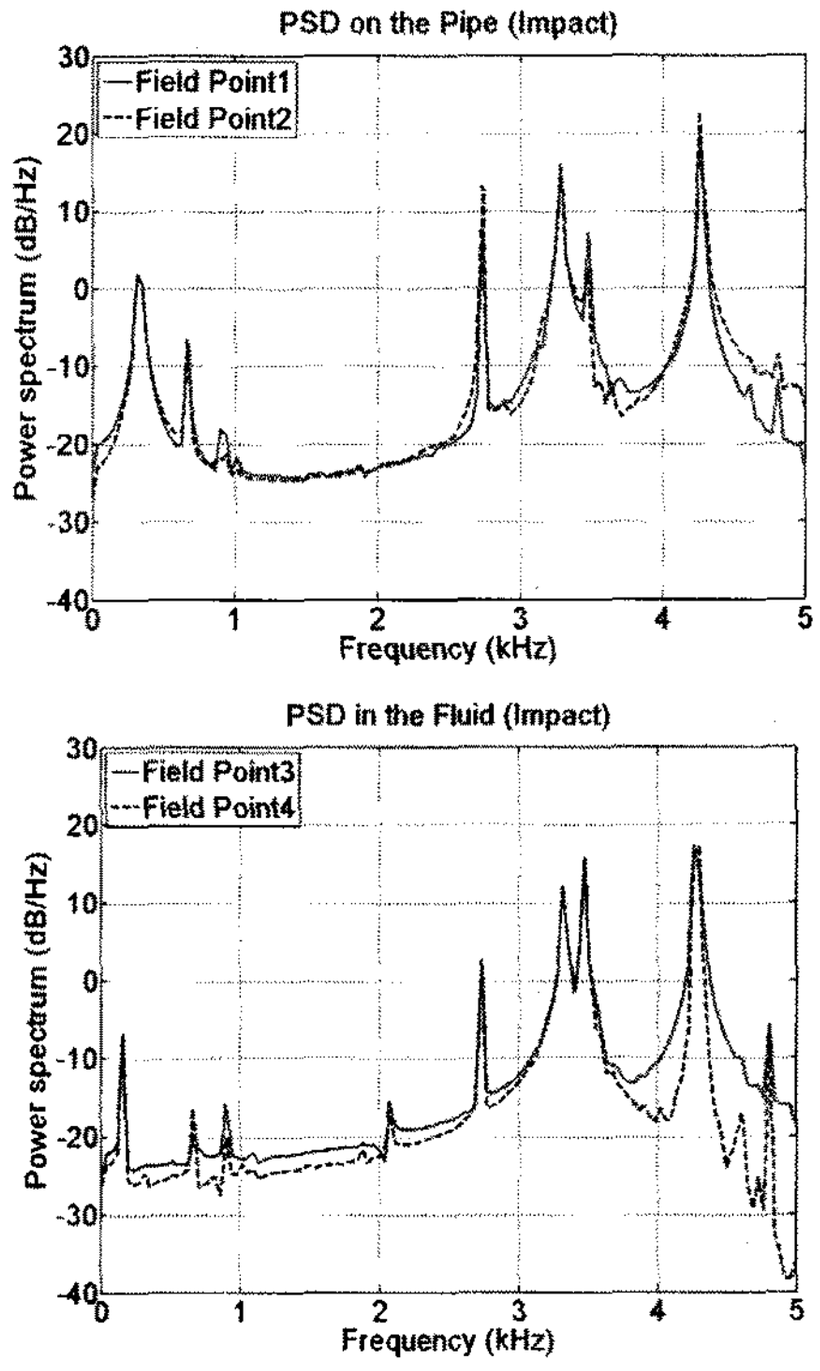


Fig. 11 Simple impact signal response

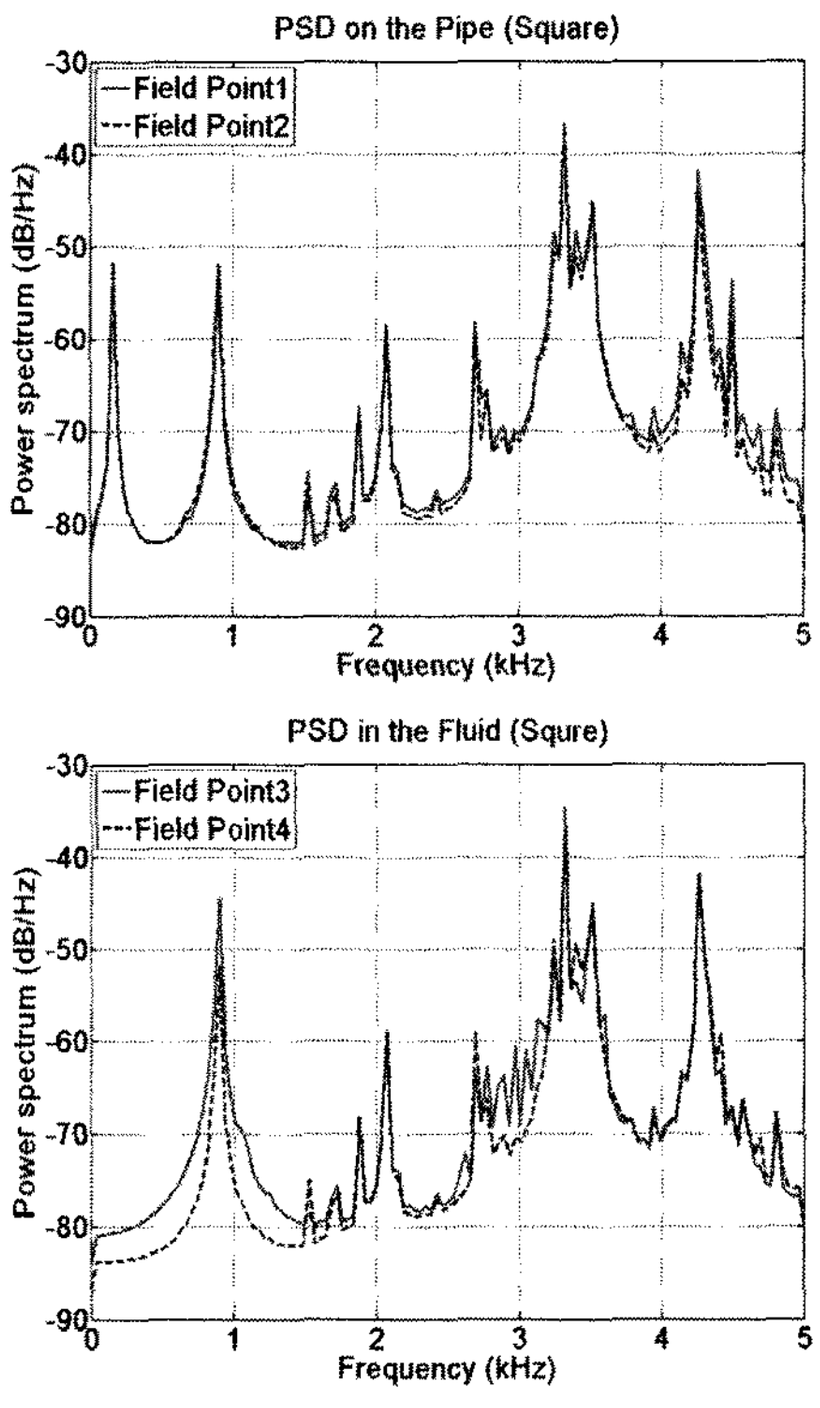


Fig. 12 45 Hz + random signal response

Table 2 Comparison between experiment and simulation cut-off frequencies

Mode	Experiment	Virtual Lab.	Error
(1,0)	1900 Hz	2050 Hz	7.9%
(2,0)	3175 Hz	3340 Hz	5.2%
(0,1)	3950 Hz	4260 Hz	7.8%

수 있다.

Fig. 12의 45 Hz 합성신호의 결과 값에서는 2050 Hz에서 (1,0)모드를, 3340 Hz에서 (2,0)모드를 그리고 4260 Hz에서 (0,1)모드를 나타내는 것을 볼 수 있다.

Fig. 11과 Fig. 12에서 본 모드 특성에서 저주파에서 몇몇의 피크 값을 볼 수 있다. 이것은 이론에서 가정했던 길이 방향으로 무한하다는 것과 달리 상용 프로그램에서는 길이 방향 모드 특성이 함께 나타난 것이다. 배관 위에서 측정한 경우와 배관 내부에서 측정한 경우의 차이점은 대부분의 주파수 대역에서 그 크기의 감쇠가 나타나는 것을 볼 수 있다. 그러나 이론적으로 살펴보았던 차단 주파수에서는 그 감쇠의 크기가 다른 주파수에서 보다 상대적으로 작다는 것을 알 수 있다. Table 2는 실험과 상용 프로그램 사이의 오차를 나타낸다. 어느 정도의 오차가 발생하는 것을 볼 수 있지만 그 경향성은 대부분 일치하는 것을 볼 수 있다.

4. 외부 충격 실험

4.1 실제 가스 배관의 차단 주파수

지금까지 배관 내 음압 전파 특성을 이론적, 실험적 그리고 시뮬레이션 방법을 이용하여 살펴보았다. 이와 같은 방법을 검증하기 위해 매설되어 있는 실제 가스 배관에 실험을 하였다. 우선 식(6)을 이용하여 차단 주파수를 구하였고 그 결과는 Table 3과 같다. 실제 배관의 직경은 30인치이다.

4.2 실제 가스 배관 실험

실제 가스 배관에서 단순 충격을 주었을 때 그리고 해머드릴을 사용하였을 때 실험을 하였다. 이 실험들은 충격 위치에서 약 8 km 떨어진 위치에서 측정한 데이터이고 실제 땅 속에 묻혀있는 배관에 실험한 것이다.

실험 결과에 대한 STFT는 Fig. 13과 Fig. 14와 같다. Fig. 13에서 차단 주파수를 살펴보면 약 390 Hz와 674 Hz에서 모드 특성이 뚜렷이 나타나는 것을 볼 수 있다. 그리고 Fig. 14에서는 약 380 Hz와 664 Hz에서 모드 특성이 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 Table 3에서 (1,0)모드와 (0,1)모드에 해당되는 것을 알 수 있다.

Table 3 Theoretical cut-off frequencies of the buried real gas pipe(diameter = 30in)

Cut-off frequencies : f_{rmn}(Hz)					
m \ n	0	1	2	3	4
0	0	698	1279	1853	2427
1	335	971	1556	2134	2708
2	556	1223	1817	2400	2979
3	765	1461	2068	2659	3242
4	969	1691	2311	2908	3499

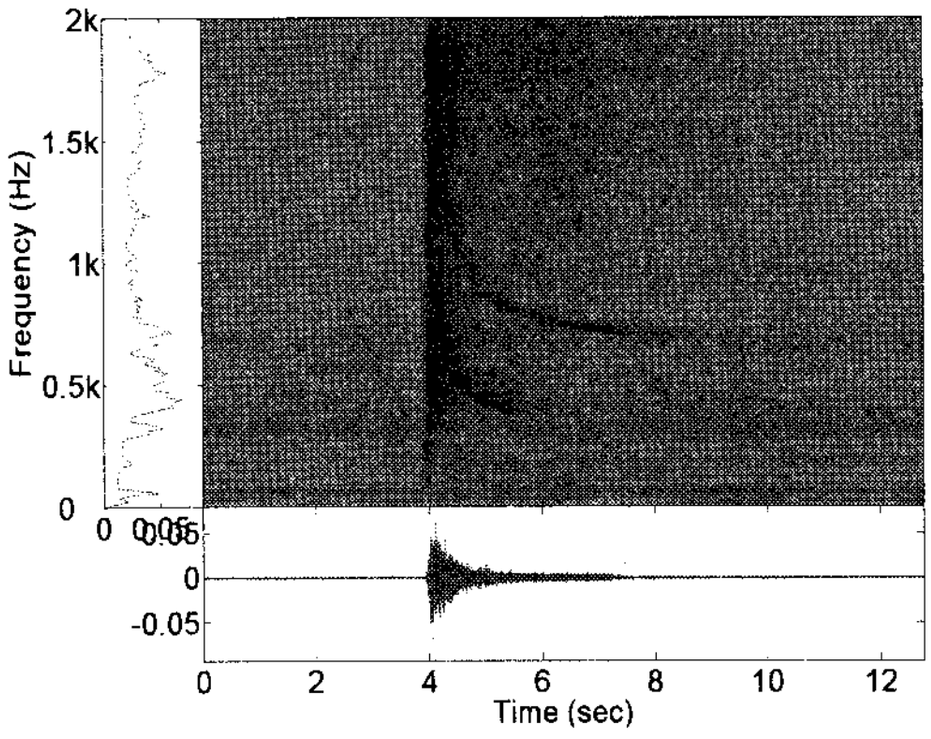


Fig. 13 STFT of the impact test with a weight

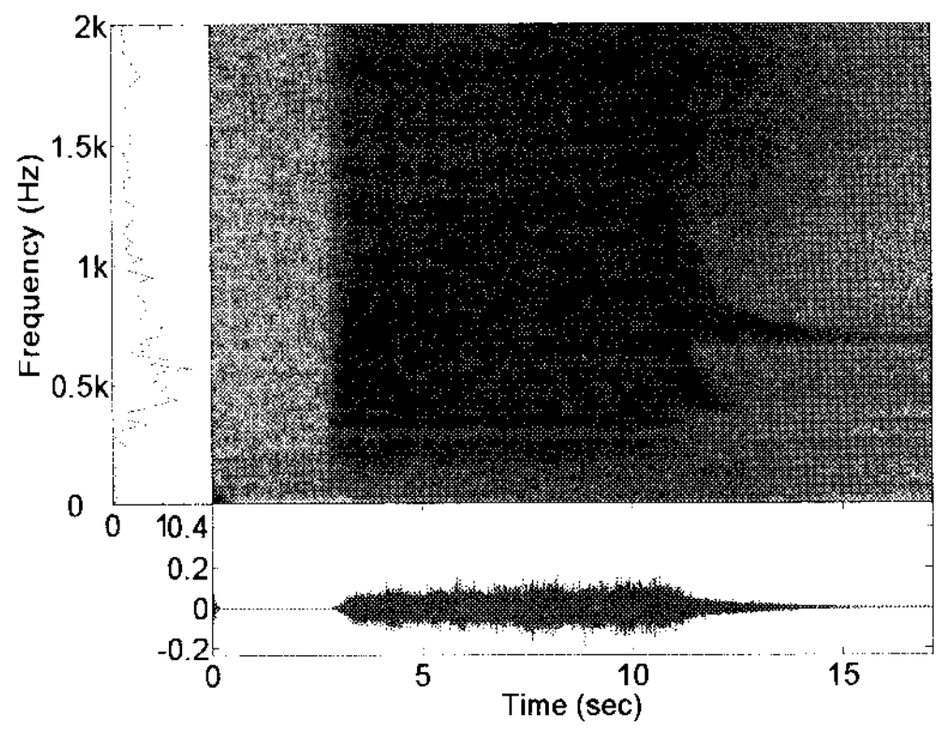


Fig. 14 STFT of the impact test with a hammer drill

5. 결론 및 고찰

실제 땅 속에 묻혀 있는 가스 배관의 건전성을 실시간 감시하기 위한 기초 연구로써 배관 내부의 음압 전파 특성에 대해 살펴보았다. 가스 배관 내 음압 전파 특성 중 배관의 기하학적 형상에 의해 얻어지는 차단 주파수를 파동 방정식을 통해 알 수 있었고 이를 무향실 실험을 통해 음압 전파에 대한 기여도를 실험적으로 검증하였다. 이를 바탕으로 외부의 충격이 다양한 경우를 크게 단순 임팩트와 45 Hz 합성 신호로 가정하여 상용 프로그램(LMS.Virtual Lab.)을 통해 유한요소법과 경계요소법 모델을 사용하여 전파 특성을 예측해 보았다. 그 결과 차단 주파수의 주요 특성이 배관 내부와 외부에서 각각 특성이 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 땅 속에 묻혀 있는 실제 배관 실험에서 그 특성을 또한 살펴 볼 수 있었다.

위와 같은 결과는 배관을 따라 전파되는 음압 특성은 항상 차단 주파수에 의해 나타나게 되고 이것은 앞으로 원거리에서 배관 내 음압이 전파될 때, 주요 측정 대역으로 사용할 수 있을 것이다.

후 기

이 연구는 한국가스공사(KOGAS) 연구개발원의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

(1) Mason, V., 1969, "Some Experiments on the Propagation of Sound Along a Cylindrical Duct Containing Flowing Air", Journal of Sound and Vibration, Vol. 10, pp. 208~226.

(2) Eriksson, L. J., 1980, "Higher Order Mode Effects in Circular Order Mode Effects in Circular Ducts and Expansion Chamber", Journal of Sound and Vibration, Vol. 68, No. 2, pp. 545~550.

(3) Beggs, H. D., 1991, Production Optimization, Oil&Gas Consultants International Inc., 129.

(4) Kumar, S., 1987, Gas Production Engineering, Gulf Publishing Company, pp. 284~285.

(5) Burstein, L., Ingman, D. and Michlin, Y., 1999, "Correlation between Gas Molecular Weight, Heating Value and Sonic Speed under Variable Compositions of Natural Gas", ISA Transactions, Vol. 38, pp. 347~359.

(6) Fuller, C. R. and Fahy, F. J., 1982, "Characteristics of Wave Propagation and Energy Distributions in Cylindrical Elastic Shells Filled with Fluid", Journal of Sound and Vibration, Vol. 81, No. 4, pp. 501~518.

(7) Junger, M. C., 1952, "The Physical Interpretation of the Expression for an Outgoing Wave in Cylindrical Coordinates", Journal of the Acoustic Society of America, Vol. 25, pp. 40~47.

(8) Fuller, C. R. and Fahy, F. J., 1982, "Characteristics of Wave Propagation and Energy Distributions in Cylindrical Elastic Shells Filled with Fluid", Journal of Sound and Vibration, Vol. 81, No. 4, pp. 501~518.

(9) Muggleton, J. M., Brennan, M. J. and Pinnington, R. J., 2002, "Wavenumber Prediction of Waves in Buried Pipes for Water Leak Detection", Journal of Sound and Vibration, Vol. 249, No. 5, pp. 939~954.

(10) Muggleton, J. M., Brennan, M. J. and Linford, P. W., 2004, "Axis Symmetric Wave Propagation in Fluid Filled Pipes : Wavenumber Measurements in Vacuo and Buried Pipes", Journal of Sound and Vibration, Vol. 270, pp. 171~190.

(11) Kinsler, L. E., 1999, "Fundamental of Acoustics 4th Edition", John Wiley & Sons, Inc., NewYork.

(12) Munjal, M. L., 1987, "Acoustics of Ducts and Mufflers with Application to Exhaust and Ventilation System Design", Vibration Testing, John Wiley & Sons, Inc., New York.

(13) Lee, S. K., 2002, "An Acoustic Decay Measurement Based on Time-frequency Analysis Using Wavelet Transform", Journal of Sound and Vibration, Vol. 252, No. 1, pp. 141~152.

(14) Lee, S. K. 2007, "Acoustics and Vibration Signal Processing and its Theory and Application", Journal of KSNVE, Vol. 17 No. 1, pp. 9~15.