

# 배관 충격의 실시간 감지를 위한 모니터링 시스템 개발

박승수 · 조성호 · 유취룡 · 김동규 · 전경수 · 박대진 · 구성자 · 노용우  
한국가스공사 연구개발원

## Development of Real Time Monitoring System for Third-party Damage Imposed on Gas Pipeline

S.S.Park · S.H.Cho · H.R.Yoo · D.K.Kim · K.S.Jeon · D.J.Park  
· S.J.Koo · Y.W.Rho  
*R&D Center, Korea Gas Corporation*

### 1. 서 론

타공사에 의한 매설 가스배관의 손상은 사고 즉시 보고되지 않는 경향이 있어, 시간이 경과함에 따라 커다란 위험을 초래할 수 있다. 만약 그러한 손상부위가 보고되지 않고 보수없이 매설될 경우, 배관에 부식등을 야기시켜 가스누설로 인한 가스폭발을 발생시킬 수 있다. 따라서 배관에 가해지는 충격을 실시간으로 감지하고자 하는 연구가 수행되어지고 있다. 미국의 GRI(Gas Research Institute)에서는 가속도센서 및 수중음향기를 모의배관에 설치하여 충격위치에서 5.1km 떨어진 거리에서도 감지하였으며 일본에서는 배관의 방식전위의 변화량을 측정하여 배관에 가해지는 충격을 실시간으로 감지하는 연구가 진행되어지고 있다.[1][2] 한국가스공사 연구개발원에서도 가속도센서를 운영중인 활배관에 설치까지 5.3km 구간의 충격을 감지하였고, 충격위치를 구하고자 모의배관에서 연구를 수행한 바 있다.[3]

배관에 가해지는 충격을 실시간으로 감지하기 위해서는 센서와 증폭기를 포함하는 신호처리부, 통신망, 데이터분석 및 경보 시스템 그리고 무선 전원장치로 구성된 시스템을 필요로한다. 그러나 상기의 연구들은 충격 감지 기법에 초점을 둔 기초적인 단계에 머무르고 있어 이러한 시스템 구성을 실현하지 못하고 있다. 그리고 실시간 손상감지 시스템에서는 충격의 유무를 감지하는 것 못지 않게 충격의 위치를 정도 높게 산출하는 기능이 요구되어진다. 현재 일본의 오사카 가스에서는 방식전위를 이용하여 충격의 위치를 파악하는 시스템을 구현한바 있으나, 이는 일본에서만 적용가능하고 그리 실용적이지 못한 단계이다.

따라서 본 논문에서는 배관에 가해지는 충격을 실시간으로 모니터링하고 충격위치를 산출할 수 있는 모니터링 시스템을 무선데이터 통신을 이용하여 개발하였고, 마산만 해저 배관에 현장적용 후 충격실험을 통하여 유용성을 검증하였다.

## 2. 시스템 구성

배관에 충격이 가해질 경우, 충격파는 배관의 가스를 타고 양방향으로 전파하게 된다. 따라서 충격을 감지하기 위해서는 Fig.1에 보여지는 바와 같이 센서를 양쪽에 설치하여야 한다. Fig. 1은 현장에 적용한 시스템 개요도를 보여주고 있다.

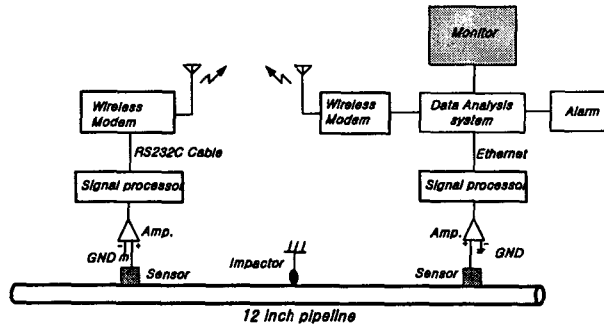


Fig. 1 schematic diagram of real time third party damage monitoring system

기본구성은 배관의 충격을 감지하기 위한 가속도센서, 신호를 증폭하고 필터링하는 증폭기, 증폭된 신호를 A/D 변환하고 trigger하는 신호처리기, trigger된 신호를 실시간으로 데이터 분석 시스템에 보내주는 무선모뎀으로 구성된다. 데이터 분석 시스템에서는 양쪽 구간 충격신호 모니터링, alarm기능 및 시간차를 구하여 충격위치를 연산하도록 되어있다.

Fig.2는 시스템 flow chart 나타내고 있다.

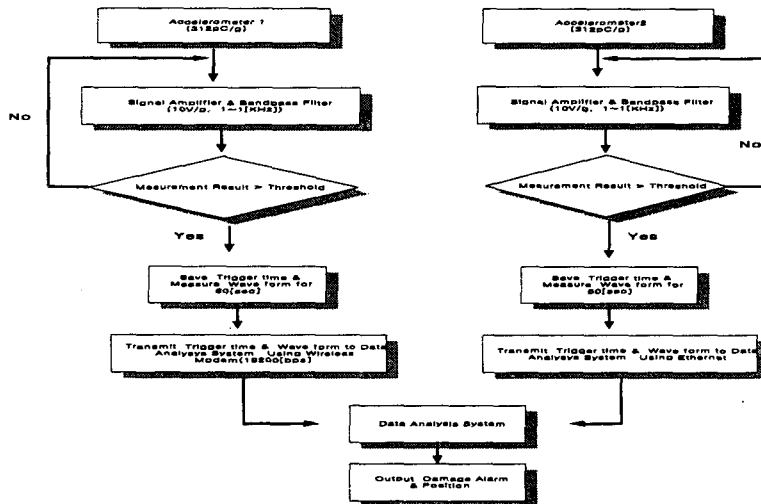


Fig. 2 The flow chart of procedure to detect third party damage

배관의 끝단에 312pC/g의 감도를 가진 가속도계를 설치하여 신호를 감지하고 증폭기에 서 10V/g로 증폭하여 증폭기에 내장된 bandpass filter로 1~1kHz대역의 신호를 필터링하고 신호처리기에서 정해진 크기보다 큰 신호가 들어오면 trigger하고, trigger시간과 wave를 RS232C의 19200bps로 무선모뎀을 통하여 데이터분석시스템에 보내진다. 배관의 반대편에서는 가속도계, 증폭기를 거친 신호를 ethernet으로 trigger하고 trigger된 신호와 wave를 데이터 분석처리기로 보내진다. 데이터 분석처리기에서는 trigger된 시간을 이용하여 충격위치를 계산하고 경고음이 울리게 되어있다.

### 3. 충격위치 산출 알고리즘 및 실현

충격위치를 알기 위해서는 Fig.3과 같이 센서를 배관의 양쪽에 설치하고 충격신호의 속도 및 도달된 시간차를 알면, 충격위치를 파악할 수 있다.[3]

$x_1$ 은 충격지점C에서 센서A까지의 거리,  $x_2$ 는 C에서 센서B까지의 거리이다. D는 센서A와 센서B의 배관실거리로 놓으면,  $x_1$ 과  $x_2$ 의 거리는 아래와 같이 식(1), (2)로 나타낼 수 있다.

$$x_1 = \frac{v \cdot (t_1 - t_2) + D}{2} \quad (1)$$

$$x_2 = \frac{v \cdot (t_2 - t_1) + D}{2} \quad (2)$$

여기서  $v$ 는 매질내에서의 음향파의 속도이고,  $t_1$ 은 음향파가 A센서에 도달하는데 걸리는 시간이다.  $t_2$ 는 B센서에 도달하는데 걸리는 시간이다.

실험 현장인 마산만 해저 가배관 설치지점의 직선거리(L)는 1334m, 심해의 평균 깊이(d)는 13m이고, 배관 실제 거리(D)는 1365m이다.

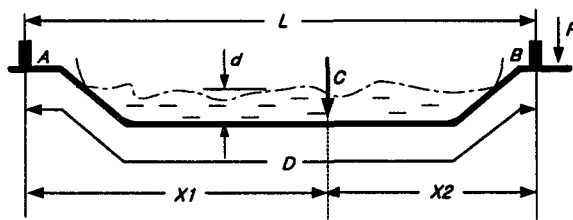


Fig. 3 Cross section of the subsea pipeline & damage position estimation

정확한 충격위치를 구하기 위해선 양쪽의 신호처리기가 같은 시간으로 동기화 되어야만 한다. 시간동기화가 되지 않은 각각의 신호처리기는 시간이 흐름에 따라 서로의 시간오차는 계속 증가한다. 따라서 시간동기화를 위하여 실험실에서 실험을 수행하였다. Fig.4는

시간동기화를 위한 실험 개요도이다. 판위에 Fig.1의 시스템을 설치한 후 트리거 레벨 이상의 충격을 가하여 모니터링 한 결과 양쪽의 신호처리기는 0.6922sec의 시간차이( $\Delta t$ )를 보였다.

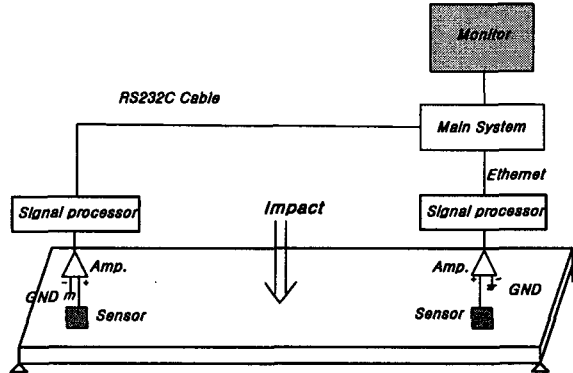


Fig.4. Experimental setup to make same time base

따라서 식(1),(2)는 두 개의 신호처리기의 시스템 시간차이  $\Delta t$ 를 소거하면 아래 식(3),(4)와 같이 표현되며, 정확한 충격지점의 위치를 구할 수 있다.

$$x1 = \frac{v \cdot (t_1 - t_2 - \Delta t) + D}{2} \quad (3)$$

$$x2 = \frac{v \cdot (t_2 - t_1 - \Delta t) + D}{2} \quad (4)$$

천연가스 배관내에서 충격 음파의 속도를 식(5)와 같이 구하였고, 매질의 상태를 이상적인 천연가스로 가정하였다. 각각의 상수는 한국가스공사 경남지사 통제소의 당시 가스 분석표의 제공으로 만들어 졌다.

$$v = \sqrt{\frac{\chi RT}{M}} = 421.3 [m/ sec] \quad (5)$$

$\chi$  : ratio of specific heats[ 1.32]

$R$  : universal gas constant[ 8,318J/kmol · K]

$T$  : absolute temperature [ 291K]

$M$  : molecular weight[ 18kg/kmol]

## 4. 충격실험 및 분석

### 4.1 실험방법

이상적인 충격실험은 Fig.3의 L구간에서 실험해야 했으나, 이구간의 현장은 심해의 한 가운데 이기 때문에 그림과 같이 센서B와 0.3m 이격된 P점에 충격을 가하였다. Fig. 5는 실험에 사용한 충격기이고 Fig.6은 충격기에 사용한 5kg의 추이다.

실험에 사용된 배관은 실제 운용중인 두께1.7cm, 직경12inch, 압력 약 8.6kgf/cm<sup>2</sup> 배관을 이용하였다.

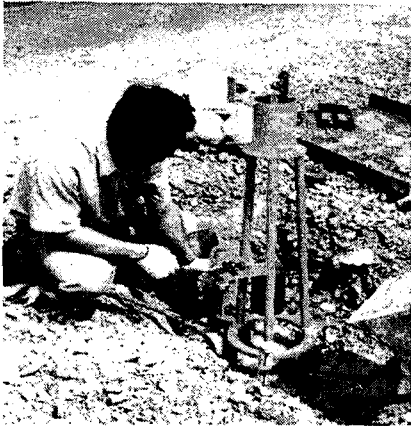


Fig. 5. field experiment using impact machine



Fig. 6. lead shot to reduce rebound impacts

### 4.2. 충격위치 계산 및 주파수 분석

Fig.7은 5kg추 충격시 센서A와 센서B의 입력신호이다. 충격을 가하는 센서B 구간의 신호분석기의 샘플링 타임은 10ms, 반대편 센서A 구간의 신호분석기의 샘플링 타임은 100  $\mu$ s로 하였다. Fig.7의 첫 번째 입력신호가 센서B의 입력신호이고, 두 번째 입력신호가 센서A의 입력신호이다. 센서A와 센서B의 시간차이는 3.9322초이었다. 동일실험을 20회 한 결과 이시간에 크게 벗어나지 않았다. 센서B의 충격레벨은 약 600mg정도의 큰 신호가 입력되었고, 1365m 떨어진 센서A의 입력신호는 거리에 따라 약 3.5mg정도로 감쇠가 일어났다.

추5kg의 충격은 실제 천공기나 포크레인의 타공사에 비교할 때 사실상 미약한 충격으로 간주할 수 있다. 이와같은 실험은 충격레벨의 범위가 어떻게 주어짐에 따라, 미미한 타공사나 광범위 충격위치 검출범위거리를 얻을 수 있다는 것을 보여주고 있다. 또한, 정상상태의 주변 노이즈 신호 또는, 차량이나 기타장비등의 신호를 극복할 수 있다.

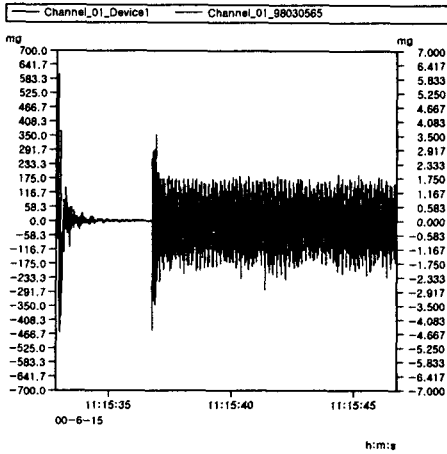


Fig. 7. the waves obtained from field experiment

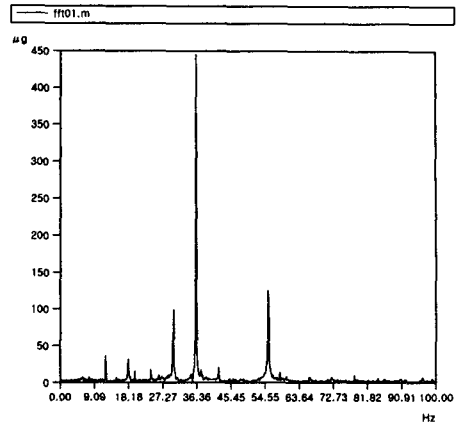


Fig. 8 sensorA's signal fft(5kg, 10kg, 20kg weight)

Fig.7에서 x2와 x1의 트리거 시간차가 3.9322초임을 보였다. 따라서 실제거리(D) 도달거리 시간은 시간동기화를 위한 시간차이  $\Delta t$ 의 0.6922sec.를 제거하게 되면 3.24sec.걸리게 된다. D의 거리는 1,365.012m가 된다. 그러므로 충격지점 C와 센서A의 거리인 x1은 식(3)으로부터 1,365.312m로서 오차가 12cm임을 보인다. 이오차는 충격점의 거리가 약 1.3km인 것을 감안하면 상당한 정확성을 보인다.

Fig. 8,9는 센서A와 센서B의 입력신호를 주파수 분석한 결과이다. 1365m 떨어진 센서A의 주파수는 36.2Hz의 주성분이 나타났다. 이 36.2Hz의 주파수 대역은 사용된 추 5kg, 10kg, 20kg에 상관없이, 같은 재질의 충격물체에서는 항상 같은 대역으로 나타났다. Fig. 9는 30cm 이격거리에서 충격을 가했기 때문에 주파수 대역이 저주파 영역에서 나타났다.

같은 재질 이외의 충격재인 다른 물체로 충격을 가해 보았다. 이것은 20kg의 바벨로서 일정 높이 없이 임의로 10회 충격을 가한 것으로서, 위의 추보다는 충격에너지가 많은 상태였다. 이때의 센서A의 주파수 분석을 Fig.10에 나타냈다. 이 주파수의 주성분은 52.6Hz의 일정주파수를 보였다.

이와같이 같은 재질의 충격 주파수는 같은 매질에서 일정하기 때문에, 실제 현장 적용시 충격량에 관계없이 자주발생되는 타공사의 몇가지 종류 재질의 주파수 분석표를 만들어 타공사시 충격원인을 바로 분석할 수 있다.

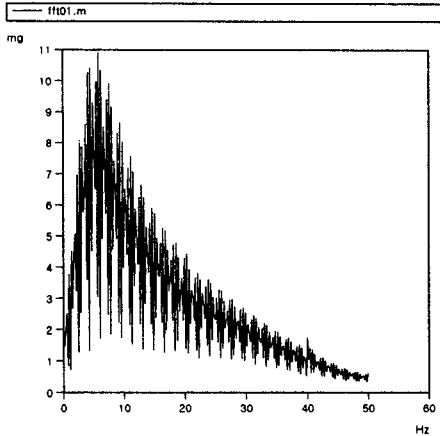


Fig.9 sensorB's signal fft  
(5kg,10kg,20kg weight)

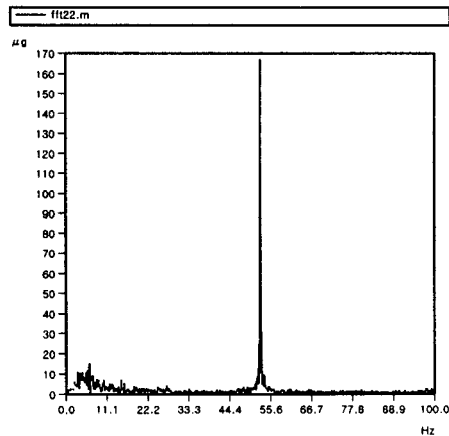


Fig. 10. 20kg barbell's signal fft

## VI. 결론 및 고찰

실제 운용중인 가스배관에 가속도센서 및 무선데이터 통신을 통하여 충격위치를 찾을수 있었으며 다음과 같은 결론을 얻을수 있었다.

1. 배관에 가해지는 충격을 실시간으로 모니터링하고, 충격위치를 산출 할 수 있는 모니터링 시스템을 무선데이터 통신을 이용하여 개발하였다.
2. 음향파의 도달시간을 구함으로써 충격지점의 위치를 오차범위 내에서 얻을 수 있었다. 실제로 본논문에서 1,365m의 거리에서 12cm의 오차가 발생하였다.
3. 동일 매질에서 충격물체의 재질이 결정되면 충격량에 관계없이 전달되는 음향파 진동의 주요 주파수를 주파수분석을 통하여 구할 수 있다. 따라서 타공사시 주파수 분석을 통하여 충격원인을 바로 분석할 수 있다.

## 참고문헌

1. GRI,"Real-time monitoring to detect third-party damage", GRI-1996, 1997
2. International gas research conference,"Damage monitoring system for pipeline",1995
3. 조성호외,"진동신호를 이용한 타공사 조기 감시 기술 연구(I)"한국가스학회지, Vol.4, No.1, March, 2000