

工学碩士學位論文

천연가스 배관용 타공사 모니터링
시스템의 개발

Development of Third-Party Damage
Monitoring System for



2003 年 2 月

釜慶大學校大學院

機械設計學科

中承穆

工學碩士 學位論文

천연가스 배관용 타공사 모니터링
시스템의 개발

Development of Third-Party Damage
Monitoring System for
Natural Gas Pipeline

指導教授 金 相 奉

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함

2003 年 2 月

釜 慶 大 學 校 大 學 院

機械設計學科

申 承 穆

申承穆의 工學碩士 學位論文을 認准함

2003 年 2 月

主 審 工學博士

김 동 조

委 員 工學博士

정 영 석

委 員 工學博士

김 상 봉



목 차

Abstract	1
제 1 장 서 론	3
1.1 연구 배경	3
1.2 연구 내용 및 목적	4
제 2 장 시스템의 구성	7
2.1 하드웨어 구성	9
2.1.1 데이터 수집 및 신호처리 시스템	9
2.1.2 무선 통신 시스템	14
2.2 소프트웨어 구성	15
2.2.1 신호 처리기의 소프트웨어	16
2.2.2 모니터링 PC의 소프트웨어	22
제 3 장 충격 위치 산출 알고리즘 및 소프트웨어 개발	30
제 4 장 시뮬레이션 및 실험 결과	34
4.1 시뮬레이션 결과	34
4.1.1 음원	35
4.1.2 배관을 통한 전송과 평면 파형 방정식	36
4.1.3 배관벽에 부착된 센서를 이용한 감지	43

4.2 현장 실험 결과	46
제 5 장 결 론	53
참고 문헌	54

Development of Third-Party Damage Monitoring System for Natural Gas Pipeline

Seung Mok SHIN

*Department of Mechanical Design, Graduate School
PUKYONG National University*

Abstract

In this paper, a real time monitoring system to detect third-party damage on natural gas pipeline is introduced. When the damage due to third-party incidents causes an immediate rupture, the developed on-line monitoring system can help reducing the sequences of event at once. Moreover, since many third-party incidents cause damage that does not lead to immediate rupture but can grow with time, the developed on-line monitoring system can execute a significant role in reducing many third party damage incidents. Also, when the damage is given at a point on natural gas pipeline, the acoustic wave is propagated very fast about 421.3m/s. Therefore, the data processing time should be very short in order to detect precisely the impact position. Generally, the pipeline is laid under ground or sea and the length is very long. So a wireless communication method is

recommendable and the sensing positions are limited by laid circumstance and setting cost of sensors.

In this paper, the systems is designed and developed as follows: i) DSP based system in order to obtain the satisfied processing time, ii) a microprocessor based wireless communication system using commercial wireless modem, iii) the calculation and monitoring software to detect the position of third-party damage. Especially, the calculation and monitoring software is developed by an algorithm using the propagation speed of acoustic wave and data base system.

Simulation results show the modeling of acoustic pressure for a real-time monitoring of transmission pipeline to detect third-party damage. In this simulation, we can see that third-party damage can be detected at the position over 15km from impact source.

Finally, the developed monitoring system is examined by field testing at Balan pilot plant, KOGAS being done in order to demonstrate its validity through reactive detection of third-party contact with pipelines. Furthermore, the development system was set at practical offshore pipeline between two islands of Yul-Do and Youngjong-Do, Korea and it has been operated in real time.

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경

오늘날 공급능력 극대화의 일환으로 해저배관 건설이 증가하고 있는 추세이다. 그런데 해저배관은 토양매설배관에 비해 사고발생시 손상위치를 실시간 탐지하고 보수하는데 있어서 많은 어려움을 겪고 있다. 그래서 배관 충격을 실시간으로 감지 필요성을 느끼고 있으며 이것을 가스배관에 적용하여 안전사고 발생시 조기에 대처할 수 있게 하는 것이 목적이라고 할 수 있다.^[2]

배관의 안전성을 위해하는 요소는 매우 많으나, 문헌 및 각종 매체 등 여러 가지 종합하여 고려해보면 부식(corrosion), 지반침하(subsidence), 타공사(third-party damage)으로 크게 나눌 수 있다. 이 중에서도 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 부식 등을 야기시켜 가스누설로 인한 가스폭발을 발생시킬 수 있다. 따라서 배관에 가해지는 충격을 실시간으로 감지하고자 하는 연구가 수행되어지고 있다.^{[1][2]}

기술적인 측면에서 볼 경우, 미국의 GRI(Gas Research Institute)에서는 가속도 센서 및 수중음향기를 이용하였고, 일본에서는 배관의 방식전위의 변화량을 측정하여 배관에 가해지는 충격을 실시간으로 감지하는 연구가 진행되어지고 있다. 배관에 가해지는 충격을 실시간으로 감지하기 위해서는 센서와 증폭기를 포함하는 신호 처리부, 통신망, 데이터 분석 및 경보 시스템 그리고 무선, 전원장치로 구성되는 시스템을 필요로

한다. 그리고 실시간 손상감지 시스템에서는 충격의 유무를 감지하는 것 못지 않게, 충격의 위치를 정도 높게 산출하는 기능이 요구되어진다. 따라서 배관에 가해지는 충격을 실시간으로 모니터링하고 충격위치를 산출할 수 있는 한국형의 모니터링 시스템을 무선 데이터 통신을 이용하여 개발하는 것은 반드시 수행되어야 할 개발 과제라고 할 수 있다.[7][8]

경제·산업적 측면에서 볼 경우, 배관은 서울과 부산을 비롯하여 대도시의 도심지역이나 인근지역을 통과하는 구간이 매우 많은 편이다. 타공사에 의해 가스유출사고가 발생할 경우 경제, 산업적인 측면에서의 그 피해와 파장은 예측하기 곤란할 정도로 문제화 될 것이다. 대표적인 타공사 사례가 1995년에 발생한 대구지하철 공사장 도시가스 폭발사고이다. 사고 원인은 천공기의 가스 배관 굴삭과 주변 우수관을 통한 지하철 공사장으로의 유입이었다. 따라서 이러한 사고를 실시간적으로 감지할 수 있는 시스템 개발의 기술력을 자체 보유한다면 이는 경제, 산업적으로 큰 영향을 미칠 것이다.^[2]

사회·문화적 측면에서 볼 경우, 도심권에 장기간 매설되어 있는 고압 가스 배관들이 다수 있으므로, 배관의 타공사에 의한 파손으로 가스 누출이 발생한다면 인명피해 뿐만 아니라 사회적으로 문제화 될 것이다. 또한 타공사에 의한 배관 파손을 조기에 감지할 수 있는 시스템의 기술을 보유한다면 국민들이 안정된 사회생활을 영위할 수 있으며, 이는 국가의 미래 도약을 위해 필수적일 것이다.

1.2 연구 내용 및 목적

현재 이러한 타공사로 인한 피해를 줄이기 위한 연구가 계속적으로 진행되고 있으나, 전체 시스템을 구성하는 각각의 세부 시스템의 연구들은

충격 감지 기법에 추첨을 둔 기초적인 단계에 머무르고 있어, 이러한 시스템 구성을 실현하지 못하고 있는 상태이다. 그리고, 현재 일본의 오사카 가스에서는 방식전위를 이용하여 충격의 위치를 파악하는 시스템을 구현한 바 있으나, 이는 일본에서만 적용가능하고 아직 실용적인 단계는 아니며 국내에서는 여건상 제도와 기술도 정착 되어있지 않은 상태이다. 타공사 실시간 감지 시스템의 국내와 기술 현황은 다음과 같다.^{[2][7][8]}

i) 미국 GRI(Gas Research Institute) 연구 사례

- 가속도센서(accelerometer) 및 수중음향기(hydrophone)
- 24" 배관에 설치 충격위치에서 5.1km 떨어진 거리에서 감지
- PSF(Pipeline Simulation Facility)에서 밸브의 개구상태에 따라 충격신호의 소음에 대한 영향 연구

ii) 일본 Tokyo Gas의 연구 사례

- 방식전류의 이상유무에 따라 타공사를 감시하는 방법을 개발
- AC를 인가하고, AC 전류를 측정, 이 구간의 배관의 접지저항 계산

iii) KOGAS 연구개발원에서의 연구사례

- "97~"98년 : "공급배관 안전성 향상을 위한 배관상시기술개발"

AE센서, shock센서, 가속도센서 감지 실험

호남지사의 비하관리소에서 충격을 가하고 5.3km 떨어진 하남관리소에 가속도센서를 설치하여 충격신호를 감지

- "99.12~00.10 : 마산만 해저가배관 손상 실시간감시 현장적용 연구
- 위의 사례들을 고려해 볼 때 현재의 기술 수준은 충격 감지 기법에 초점을 둔 기초적인 단계이고 외국 제품의 조립에 의한 적용가능성 검증 단계라고 할 수 있다. 우리나라의 천연가스 배관은 2000년 9월 현재를 기준으로 총 연장 1,980km이다. 연구 배경에서 언급한 바와 같이 배관의 안전을 위해하는 요소는 여러 가지가 있지만, 그 중에서도 타공사에 의

한 사고는 대형사고를 일으키며 손상시 즉각적인 보수가 필요하며 우리나라의 실정에 맞는 감시시스템이 필요한 실정이다.^[2]

본 논문에서는 다음과 같은 시스템들을 설계 및 개발하였다. i) DSP 기반의 만족스러운 처리 시간을 얻을수 있는 데이터 처리 시스템, ii) 마이크로프로세서 기반의 상용 모뎀을 이용한 무선 통신 시스템, iii) 타공사에 의한 손상 위치를 감지하기 위한 계산 및 모니터링 소프트웨어

특히, 계산 및 모니터링 소프트웨어는 음향파의 전파속도와 데이터베이스 시스템의 알고리즘에 의해서 개발되었다.

마지막으로, 개발된 모니터링 시스템은 배관의 타공사 충격에 대한 민감한 감지를 통해서 시스템의 유효성을 증명하기위해 KOGAS의 발안기지에서 현장 실험에 의해 시험되었다. 거기에 더해서 개발된 시스템은 현재 율도와 영종도 두 섬 사이의 실제 해안 배관에 설치되어 실시간으로 작동되고 있다.

제 2 장 시스템의 구성

Fig. 1은 타공사를 감지하기 위한 천연가스배관을 묘사하고 있다.

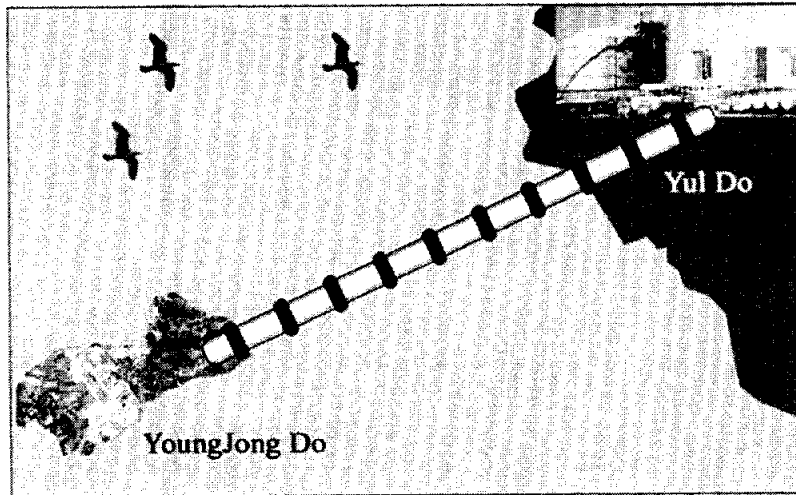


Fig. 1 Description of natural gas pipeline

천연가스 배관에서의 음향과 속도는 약 421.3m/sec 이다. 그러므로 두 센서 사이에서의 충격 지점을 정밀하게 감지하기 위해서는 고속의 신호 처리 시스템이 필요하다. 전형적인 실시간 모니터링 시스템은 다음과 같은 네가지의 일반적 요소들로 구성된다.

- i) 무정전 전원 장치(UPS)
- ii) 센서, 센서에서 출력되는 신호의 조정, 처리 및 분석
- iii) 통신 연결
- iv) 데이터 산출, 응답 및 제어 체계

Fig. 2는 개발된 타공사 실시간 모니터링 시스템을 보여준다. 본 시스템은 무선 통신 시스템, 데이터 분석 및 모니터링 시스템, 그리고 데이터

수집 및 신호 처리 시스템으로 구성된다.

통신 시스템은 RS232C 방식의 무선 모듈과 마이크로프로세서를 이용하여 개발되었으며, TMS320C32 기반의 신호 처리기인 데이터 수집 시스템과 PC 기반의 모니터링 시스템간의 통신 인터페이스에 이용한다. 데이터 수집 및 신호 처리 시스템 역시 DSP 프로세서인 TMS320C32를 이용하여 개발되었다. 그리고, 두 개의 가속도 센서가 타공사 충격 감지를 위해 이용된다.

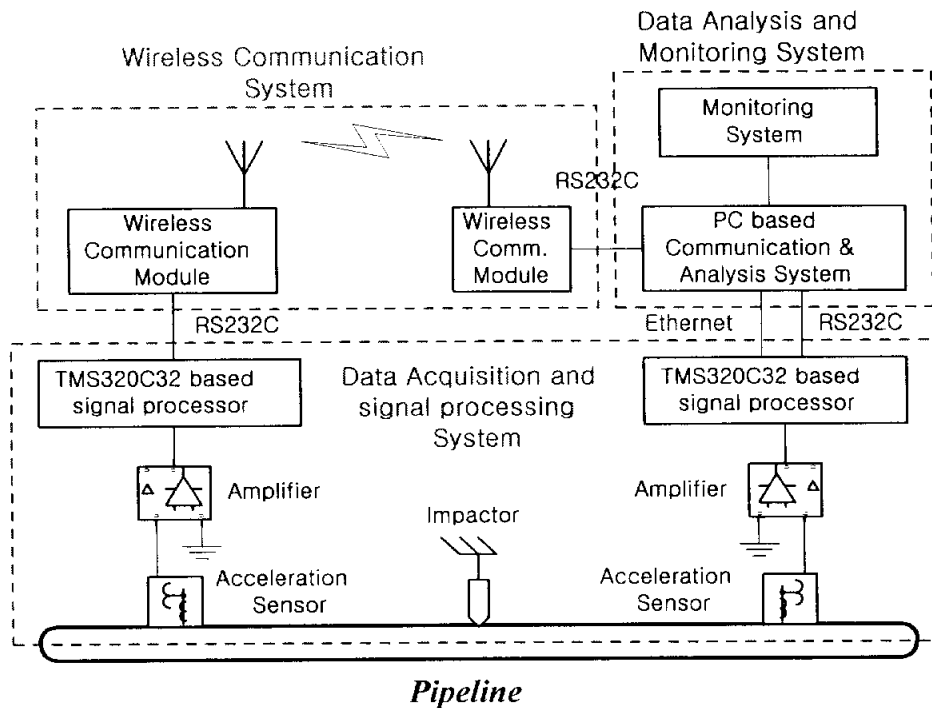


Fig. 2 Schematic diagram of the system to be developed

2.1 하드웨어 구성

2.1.1 데이터 수집 및 신호 처리 시스템

배관에 부착되거나 배관 바로 가까이에 인접한 가속도 센서들은 음향 진동을 감지할 수 있고, 그것을 전압으로 변환할 수도 있다. 신호 조정 (Signal Conditioning)은 감지된 응답을 과정이나 결과에 대한 유용한 정보로 변환하는 역할을 한다. 신호 처리 및 분석(Signal Processing & Analysis)은 배경 노이즈를 제거하기 위한 신호의 필터링(filtering)과 같이 간단하다. 신호 처리 및 분석의 적용성은 또한 잘못된 경보를 피하기 위해서 실제 위협을 나타내지 않는 기록되어 있는 아날로그 신호들에서 노이즈 및 다른 형태의 신호와 실제 충격신호를 더욱 정확히 구별하기 위한 작업인 신호 증폭을 포함한다.

일반적으로 가스 산업에서 요구되고 있는 사항들은 다음과 같다.

- i) 센서 출력의 위험성과 관련된 신호의 상태 조정
- ii) 신호 처리
- iii) 분석을 평가하기 위한 체제

그러므로, 본 논문에서 개발한 시스템에서는 다음의 두가지 조건이 강조되어야만 한다.

- a) 치안과 환경적인 안전
- b) 가스 공급 중단에 산업상 이용자들에 대한 재정적 부담

평가와 응답, 그리고 제어체제로 불리어지는 모니터링 시스템의 요소는 센서나 신호 처리, 통신, 그리고 UPS와 같은 다른 요소들보다 더욱 더 중요하다.

데이터 수집 및 신호 처리 시스템은 Fig. 2에서 보여주는 것과 같이

배관내의 매체를 통하여 전파되는 충격파 신호를 감지하는 기능을 가지고 있고, 무선 통신 시스템을 이용하여 감지된 신호를 전송한다. 본 시스템에서는 두개의 가속도계와 신호 증폭기가 사용되었고, DSP인 TMS320C32를 기반으로 한 신호처리 시스템을 신호를 처리하기 위해 개발하였다. 본 시스템은 가속도계에 의해서 감지된 충격파의 출력 신호를 증폭하고, TMS320C32 기반의 신호 처리기를 이용함으로써 증폭된 신호의 시간 테이블을 만든다. 그 때, RS232C를 이용한 무선 모듈은 PC 기반의 모니터링 시스템으로 데이터를 전송한다.

[1] 가속도 센서에 의한 충격파 감지 및 인터페이스 회로

본 연구에서 이용한 가속도 센서는 B&W 사의 전압 출력 방식의 가속도 센서이며, 센서의 사양은 Table 1에서 보여주듯이 입력전원은 24V 까지 자유롭게 변화시킬 수 있다.

Table 1 The Specification of Accelerometer

Contents	Unit	161/162
Sensitivity	mV/g	500
Resolution	g	0.00004
Linearity	%	< ± 1
Transverse Sensitivity	%	< 5
Resonance Frequency	kHz	13
Amplitude Linearity	%	1/85 g
Shock Limit	g	1600
Electric Noise	mVrms	0.02
Output Impedance	Ω	< 100
Temperature	$^{\circ}\text{C}$	-50 to 125
Side $\Phi \times H \times L$	mm	18 $\times$ 26 $\times$ 25
Weight	g	38
Case Material		Stainless Steel

출력 가속도는 출력 전압에 비례하여 얻어지게 된다. 또한 전기적인 노이즈는 0.02 mVrms로써 상당히 양호함을 알 수 있다.

이 센서의 출력 신호는 매우 약한 신호이므로, 이를 직접 긴 케이블을 통해 전송한다면 많은 노이즈의 영향을 받기 쉽다. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위해서 직접 센서부에서 센싱 신호를 증폭하여 전송하는 방법을 취하였다. 본 연구에서는 이와 같은 센서 증폭기 회로를 구성하였다.

[2] TMS320C32를 이용한 신호처리기의 H/W 및 S/W 개발

본 연구에서 사용된 신호처리기의 메인 프로세서는 고성능 32비트 부동소수점 방식의 범용 DSP 마이크로프로세서 소자인 TMS320C32를 이용하였다.

본 DSP는 디지털 신호처리 분야에서 실시간으로 매우 빠른 연산을 수행할 수 있도록 개발된 마이크로프로세서이다. Table 2에서는 TMS320C32의 기능 및 특징을 나타내고 있다.

TMS320C32의 내부에는 2개의 DMA(Direct Memory Access) 제어기, 2개의 32비트 타이머, 1개의 직렬통신 포트, 3개의 버스 제어 레지스터(bus control register) 등의 내부 주변 장치가 위치한다. 그러나 본 시스템에서는 센서의 아날로그 신호를 입력받아 디지털 신호로 변환할 수 있는 기능과, 또한 RS-232C 및 RS-485 통신, Ethernet 통신이 가능하도록 전용 신호처리기를 개발해야 하므로 주변 회로를 직접 설계할 필요가 있었다.

Table 2 Characteristics and function of TMS320C32

Item	Function and Characteristic
Outline	· 32-bit floating-point operation 32 bits floating point operation · Modified Harvard structure (3 internal bus, 1 external bus)
Processing speed	· 40/50/80MHz according to processing speed · One operation cycle in 2 clocks · 30 MIPS, 60 MFLOPS at 60MHz, processing speed of 330MOPS
Memory	· Two 256×32 bits internal RAM block · 8/16/32 bits external memory connection · 16M×32 bits external extended memory
Internal structure	· 8 extended precise register of 40/32 bits · 40/32 bits floating point and integer operation ALU · 32 bits barrel shifter · 2 address generators
I/O	· 2 channels DMA controller for I/O and CPU command · 2 timers of 32 bits · 1 serial port for 8/16/32 bits transmission

Fig. 3은 최종으로 개발한 멀티 PCB보드로서 최대한 노이즈 제거에 중점을 두었다.

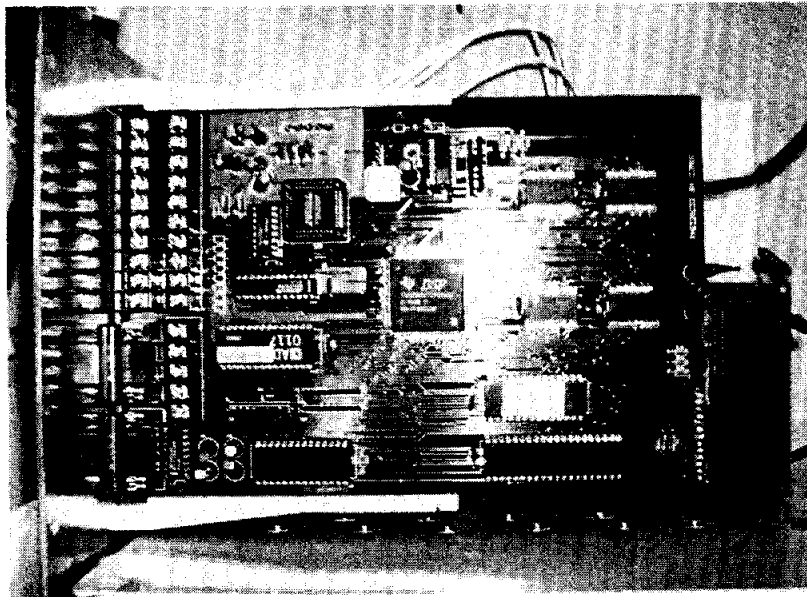


Fig. 3 the designed practical pcb board of DSP TMS320C32

Fig. 4는 TMS320C32 보드의 전체적인 하드웨어 구성도를 나타낸다.

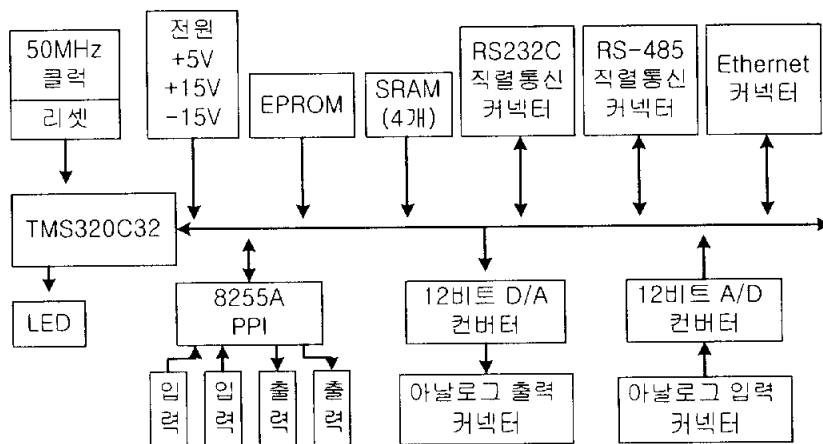


Fig. 4 Hardware composition of TMS320C32 board

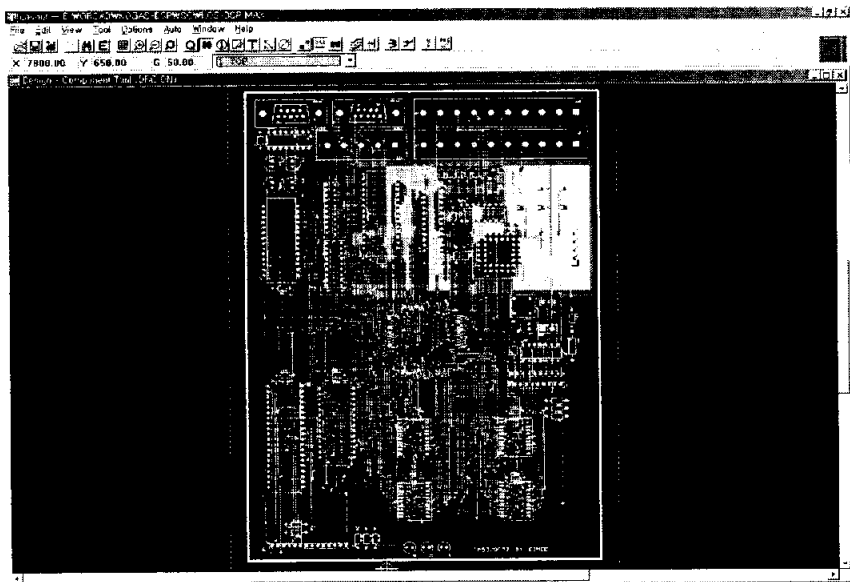


Fig. 5 The Screen of layout

Fig. 5는 실제 개발한 DSP TMS320C32보드의 OR-CAD의 레이아웃을 나타낸다.

본 시스템에서는 신호처리기의 입력으로써 한쪽은 GND, 다른 한쪽은 입력신호로 하는 single-ended로 하였다. 한쪽 site의 신호처리기는 송신기와 RS-232C 직렬 통신 케이블로 연결하여 송·수신하고, 다른 쪽 site에서는 메인 컴퓨터와 RS-232C로 연결하도록 하였다.

2.1.2 무선 통신 시스템

본 연구의 핵심은 배관에 가해지는 충격을 실시간으로 감지하여 무선모뎀을 이용, 데이터를 전송하여 충격지점을 알아내는 것이다.

본 시스템은 한 쪽 site의 데이터 수집 및 신호 처리 시스템으로부터

데이터를 입력받아서 다른 쪽 site의 데이터 분석 및 모니터링 시스템으로 그 데이터를 무선 모듈을 이용하여 전송하는 기능을 가지고 있다. 사용한 무선 모듈은 한국 RF DATA(주)의 RATA 20U이다.

이 모듈은 산업표준 통신규격인 RS-232C 비동기식 통신포트로 산업현장의 주변기기와 Link 되며, 무선 모듈과 모듈간 RAN(Radio Area Network)을 연결할 수 있는 기능을 가지고 있다.

RATA 20U는 통신거리를 약10km까지 가능하게 해주고, 노이즈에 강한 통신 방식을 사용하고 있어 악조건에 있는 산업현장에서 사용 가능하다.

2.2 소프트웨어 구성

가스 수송 배관 시스템은 현장에서 파이프 조각들의 끝과 끝을 용접하여 연장한 것이다. 이 시스템들은 해안 배관에서 부력 제어와 보호를 위해 도장되어 있다. 배관 시스템들은 타공사에 의한 손상을 감지하여 피하기 위해 직접적으로 배관의 둘레의 모든 면(파이프 둘레면, 윗면, 안쪽면)에 센서를 이용하거나 간접적으로 배관의 주위에 센서를 이용하여 감시되어질 수 있다. 거기에 더해, 센서들은 충격에 대해 민감하기 때문에 이런 센서들은 배관에 가해지는 충격들이나 배관 시스템의 반응을 감지해야만 한다.

본 시스템에서 개발된 신호처리기는 일정한 Sampling Time 간격마다 실시간으로 가속도 센서로부터의 신호를 입력받아서 데이터 처리한다. 이 때 신호처리기에 입력되는 센서 데이터와 그 데이터의 입력 시간 정보는 매우 중요하다. 그러므로, 신호처리기는 센서 데이터와 그 입력 시간 데이터와의 관련 정보를 테이블화 하여 자체 저장하며, 또 그 테이블

데이터를 무선 통신 시스템을 통해 데이터 분석 시스템으로 전송하도록 하였다. 이 테이블을 Time Table이라고 하며 아래의 Table 3과 같은 형태로 작성되도록 하였다.

Table 3 Time table data

T(sampling time)	Data(Accelerometer signal)
1	x1
2	x2
3	x3
⋮	⋮

A/D 컨버터에 의한 디지털 신호를 받아 임계(threshold)값과 비교한 후 조건을 만족하면 Impact Routine부분으로 넘어가서 RAM 영역에 충격 데이터를 저장하게 되고, 데이터를 저장할 수 있는 RAM 영역이 가득 채워지면 그 데이터를 모니터링 PC로 전송한다. 그 후에 다시 초기화하여 지속적인 감시를 할 수 있도록 설계되었다.

개발된 메인 모니터링 소프트웨어는 주간 보고서, 월간 보고서, 통신 데이터 분석, 그리고 소프트웨어 설정 등 여러 가지 기능을 가지고 있다. 또한 보고서를 만들때 사용되는 데이터의 최소값을 지정하기 위해 소프트웨어 설정을 재저장하는 폼을 설계하였다.

2.2.1 신호처리의 소프트웨어

본 시스템에서는 DSP 기반의 신호처리를 이용하여 가속도 센서로부터 데이터를 수집하며 수집된 데이터를 유선 및 무선 통신을 이용해서

모니터링 PC로 보내지게 된다. 다음 그림들은 신호처리 시스템에 적용한 소프트웨어의 플로우 차트를 보여준다. 프로그램의 진행 흐름을 한 눈에 볼 수 있을 것이다. Fig. 6은 신호처리기의 소프트웨어의 전반적인 흐름을 보여준다.

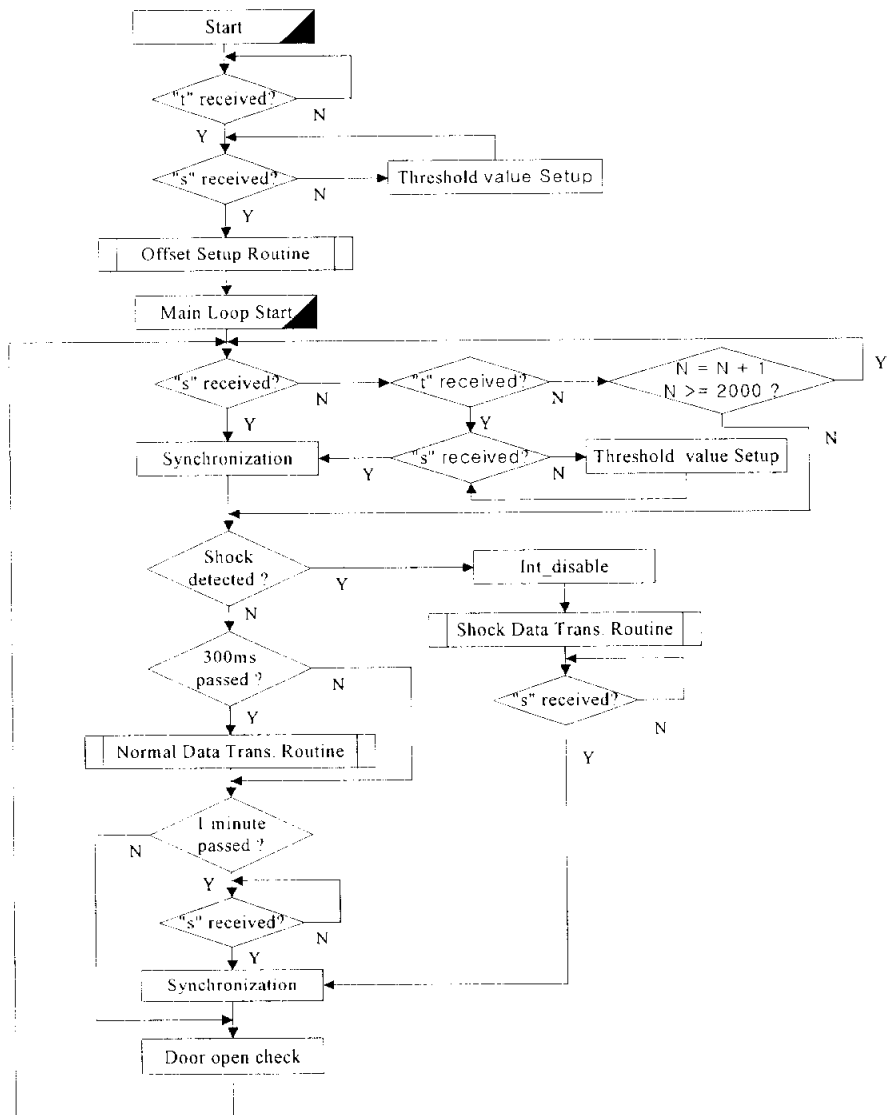


Fig. 6 The Flow chart of DSP software

Fig. 7은 Fig. 6의 전체 흐름도 중에서 “Offset값 설정 Routine”에 대한 자세한 흐름도를 보여준다.

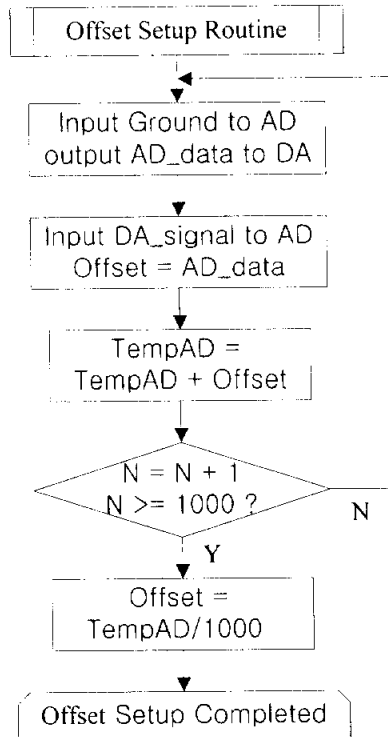


Fig. 7 Offset configuration routine

Fig. 8은 Fig. 6의 전체 흐름도 중에서 “Normal Data Trans. Routine”에 대한 흐름도를 보여준다.

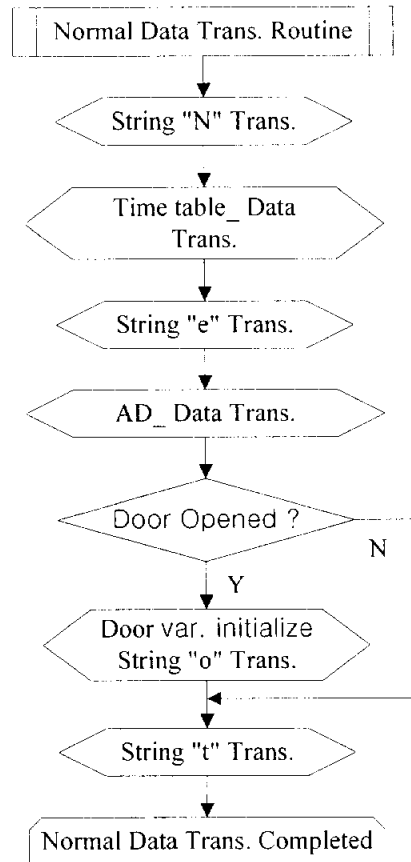


Fig. 8 Normal data transmission routine

Fig. 9는 Fig. 6의 전체 흐름도 중에서 “Shock Data Trans. Routine”에 대한 흐름도를 보여준다.

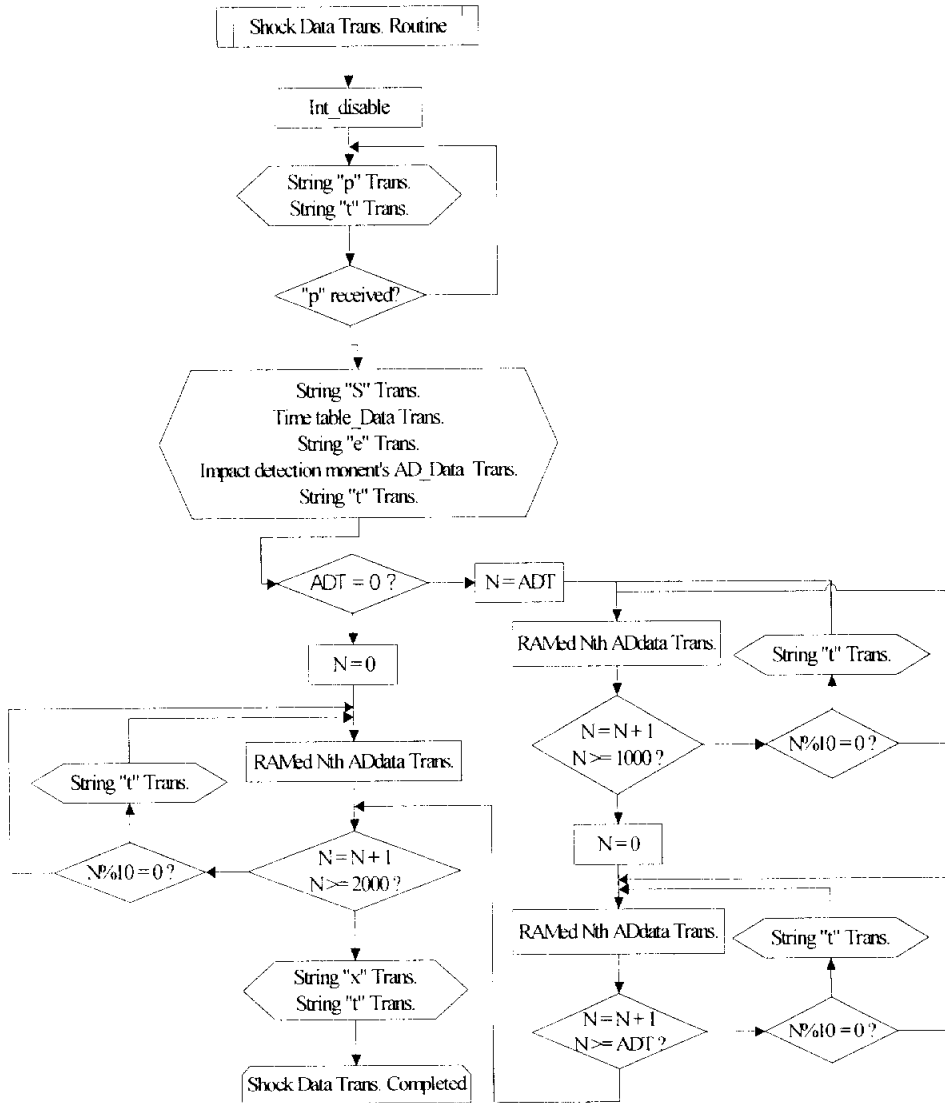


Fig. 9 Shock data transmission routine

그리고, 정상적인 상태에서의 데이터의 전송 형식은 Fig. 10과 같다.

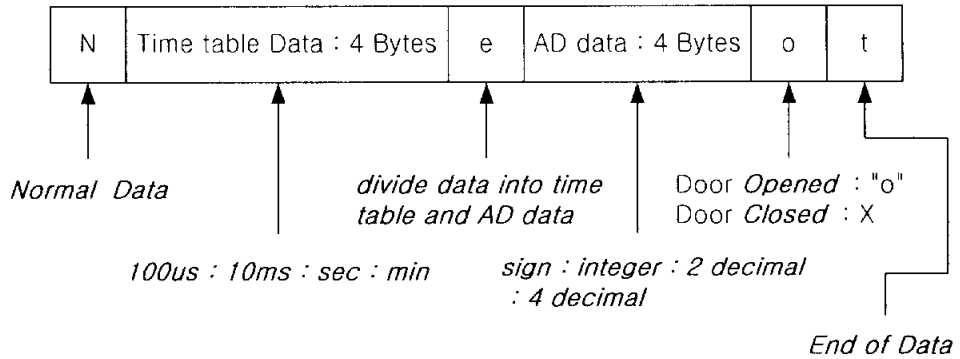


Fig. 10 Transmission format of normal data

또한, 충격을 감지했을 경우 데이터의 전송 형식은 Fig. 11과 같다.

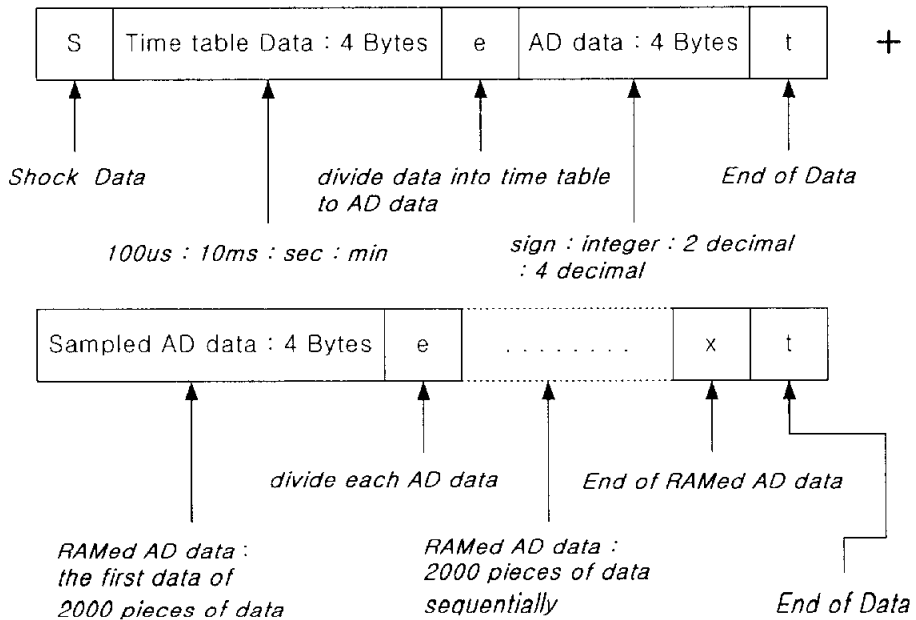


Fig. 11 Transmission format of shocked data

2.2.2 모니터링 PC의 소프트웨어

본 시스템에서는 모니터링 PC를 이용하여 양쪽의 신호처리기로부터 전송되어져 오는 데이터를 수신한다. 수신한 데이터를 모니터링 PC를 이용하여 분석 및 처리하며 각종 작업들을 수행한다. 이 단원에서는 모니터링 PC에서 사용한 소프트웨어의 흐름도를 보여준다.

Fig. 12는 모니터링 PC의 전체 흐름도를 보여준다.

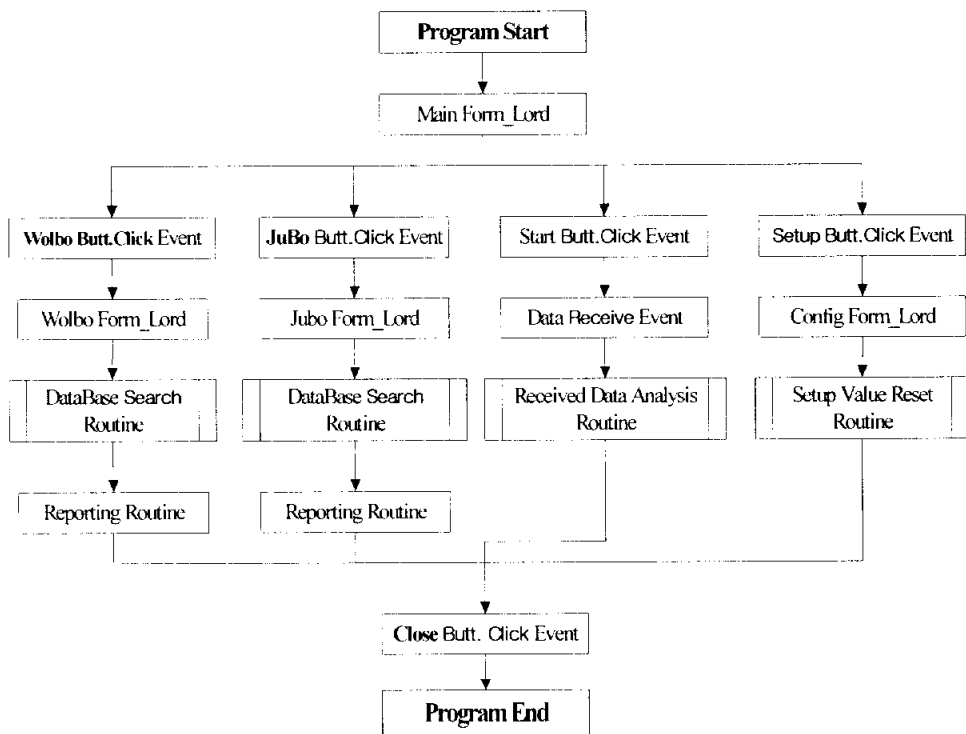


Fig. 12 Flow chart of software in monitoring PC

Fig. 13은 Fig. 12의 전체 흐름도 중에서 “수신 Data 분석 Routine”에 대한 자세한 흐름도를 보여준다.

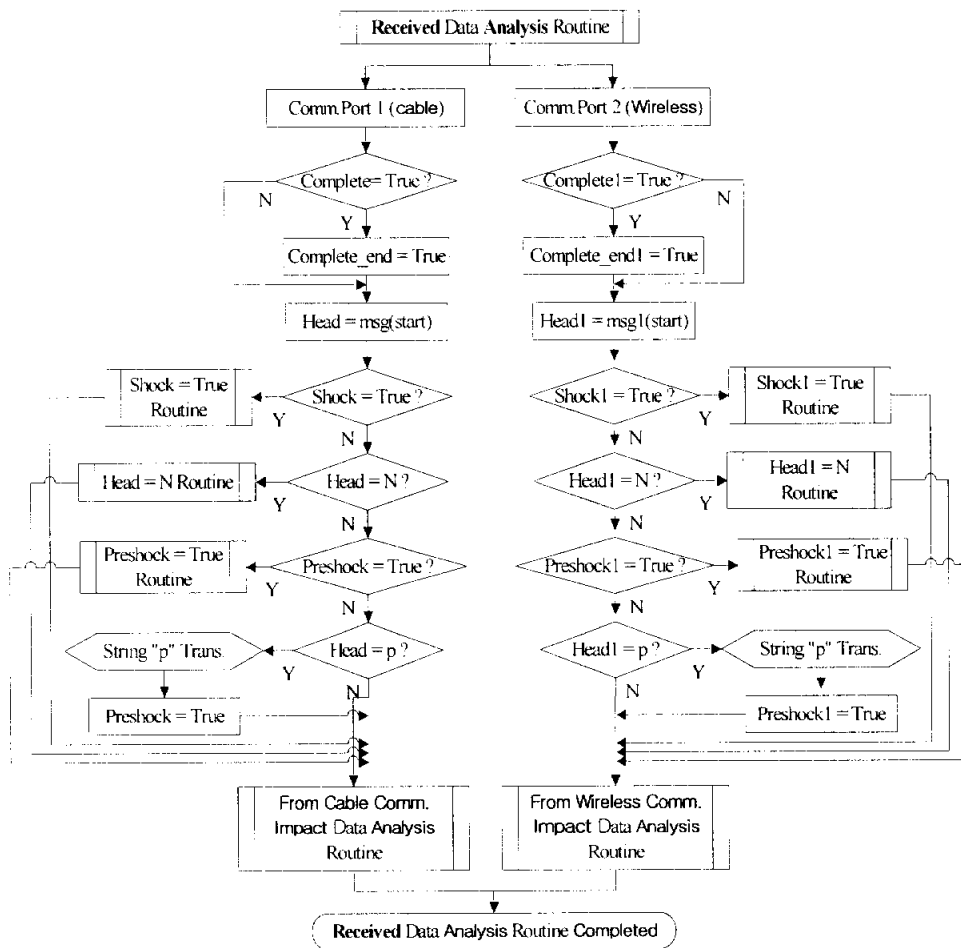


Fig. 13 Received data analysis routine

Fig. 14는 Fig. 13의 수신 Data 분석 Routine 중에서 "Shock=True Routine"에 대한 자세한 흐름도를 보여준다.

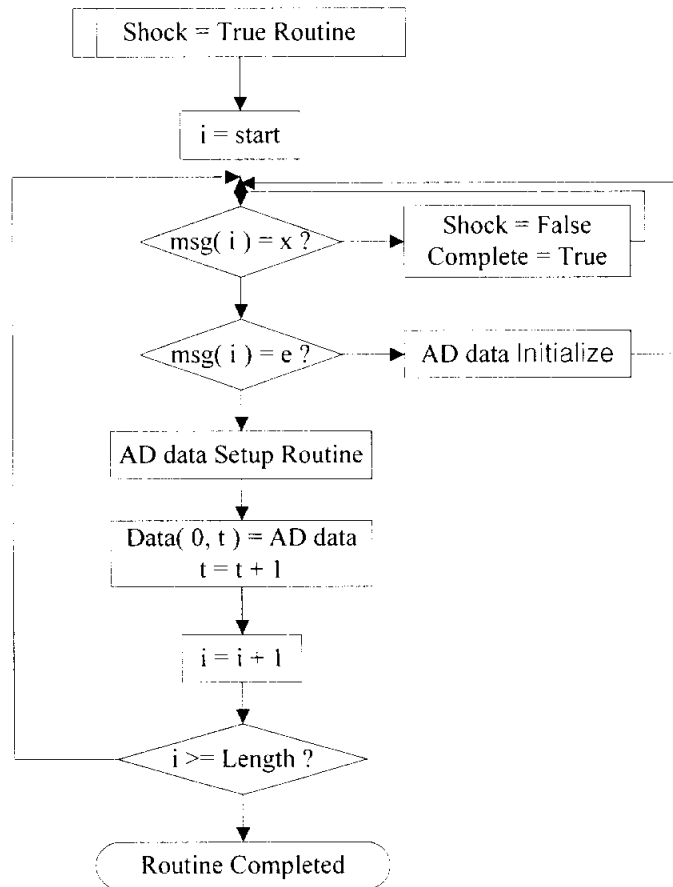


Fig. 14 Shock=True routine

Fig. 15는 Fig. 13의 수신 Data 분석 Routine 중에서 "Head=N Routine"에 대한 자세한 흐름도를 보여준다.

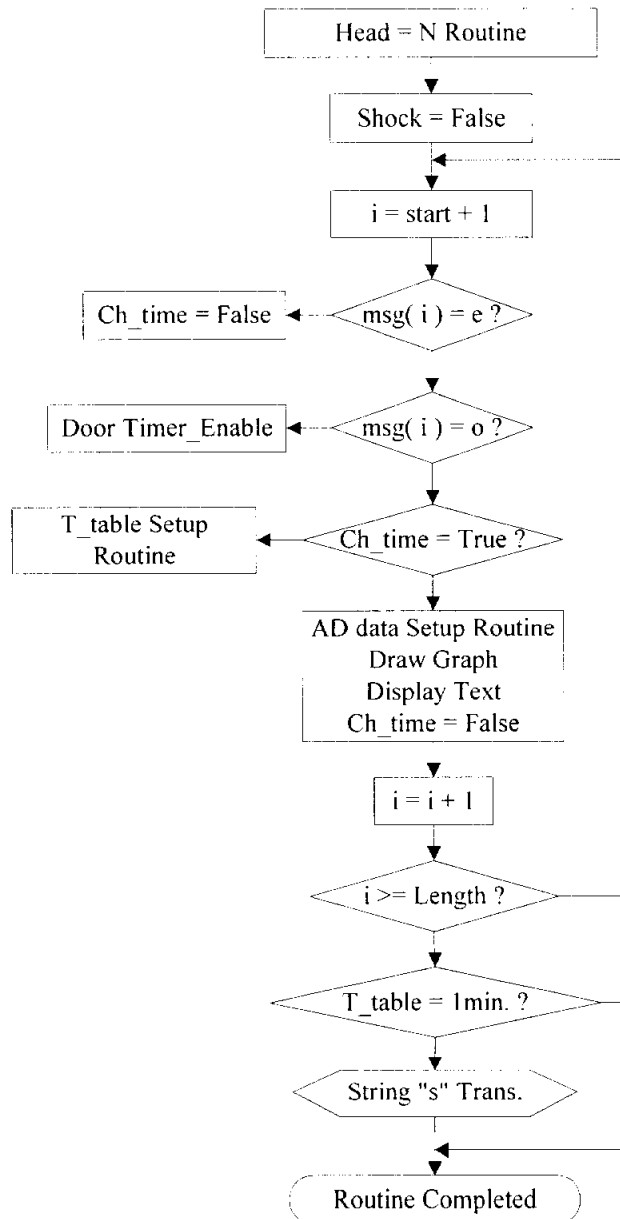


Fig. 15 Head=N routine

Fig. 16은 Fig. 13의 수신 Data 분석 Routine중에서 "Preshock=True Routine"에 대한 자세한 흐름도를 보여준다.

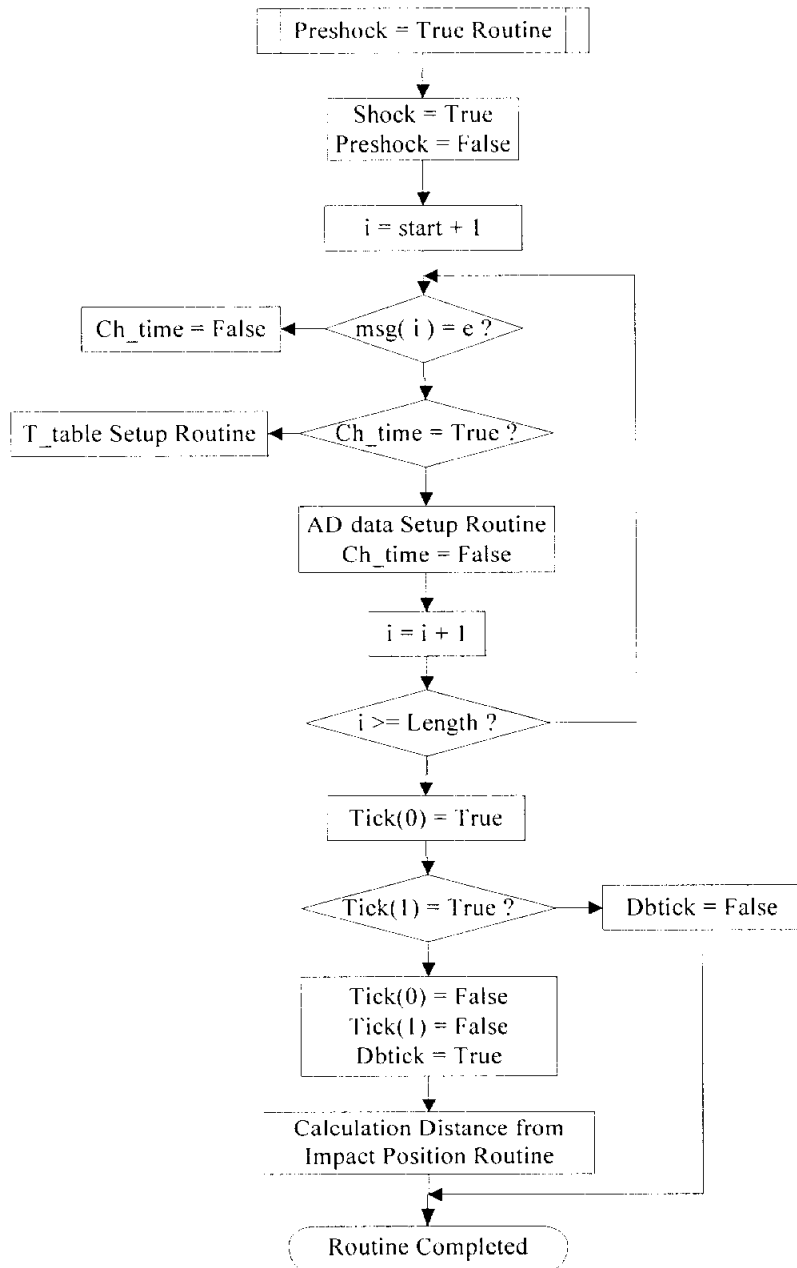


Fig. 16 Preshock=True routine

Fig. 17은 Fig. 13의 수신 Data 분석 Routine중에서 "유선 통신측 충격 Data 분석 Routine"에 대한 자세한 흐름도를 보여준다.

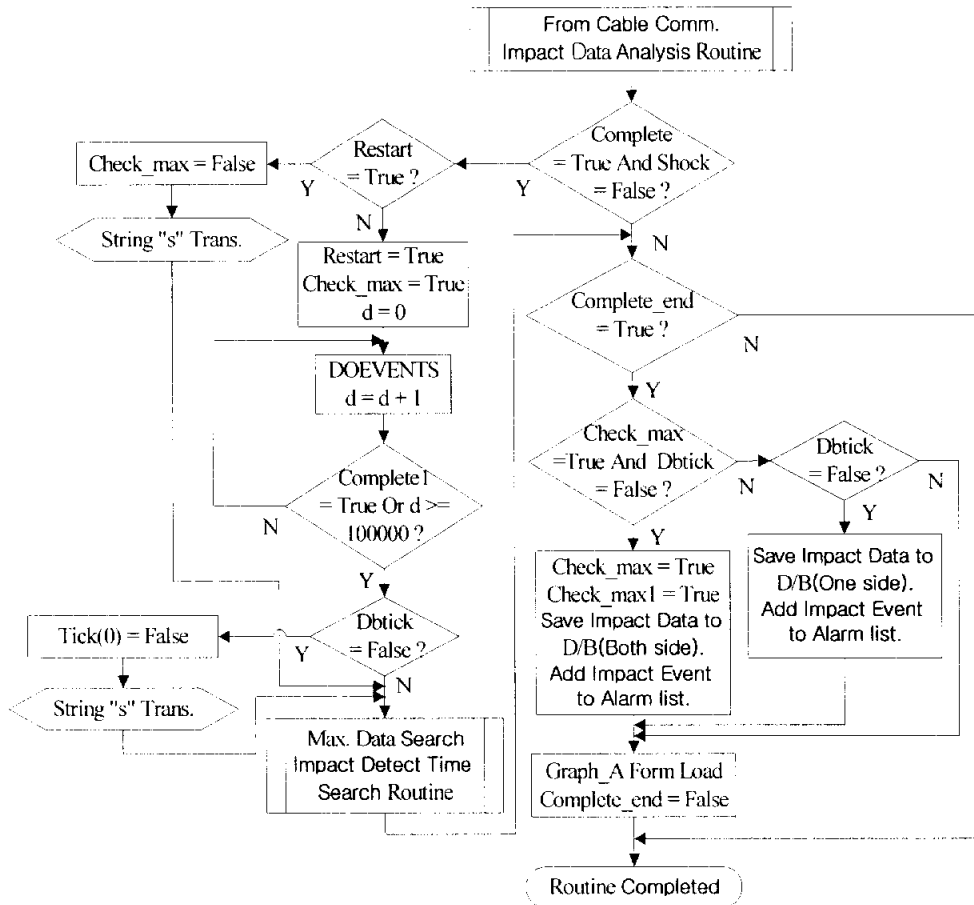


Fig. 17 Shocked data receiving routine

Fig. 18은 Fig. 13의 수신 Data 분석 Routine중에서 "무선 통신측 충격 Data 분석 Routine"에 대한 자세한 흐름도를 보여준다.

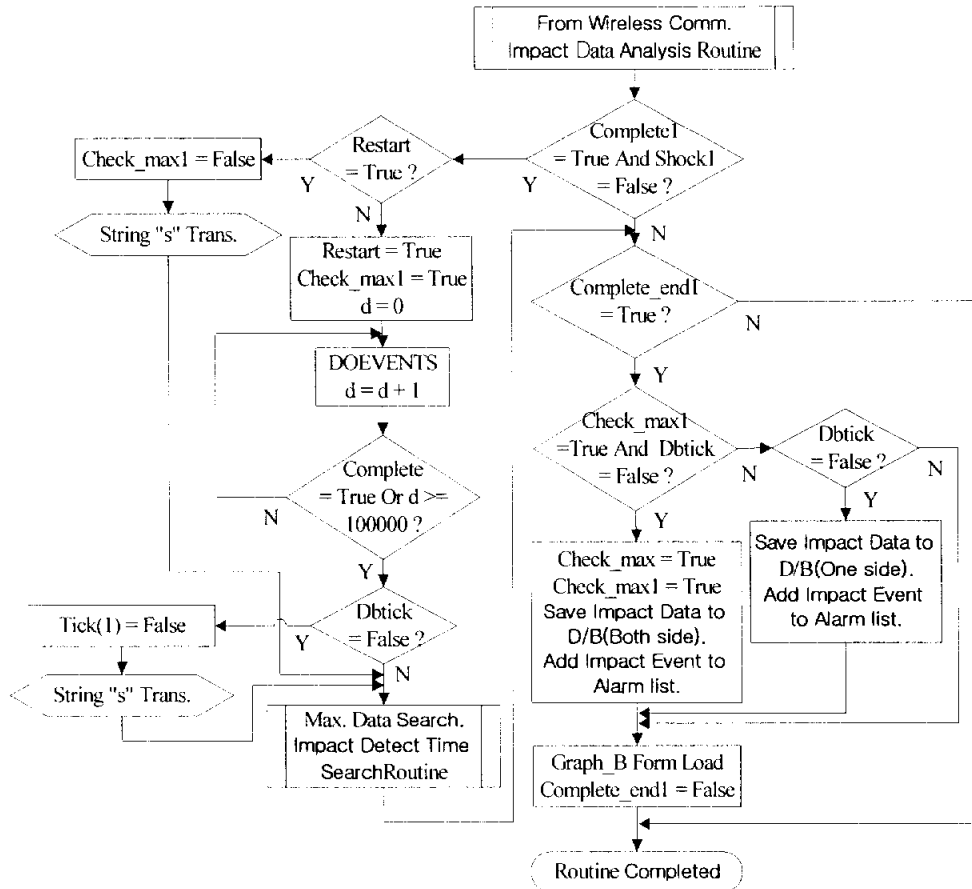


Fig. 18 Shocked data analysis routine in wireless communication

Fig. 19는 Fig. 12의 전체 흐름도 중에서 “DataBase 검색 Routine”에 대한 자세한 흐름도를 보여준다.

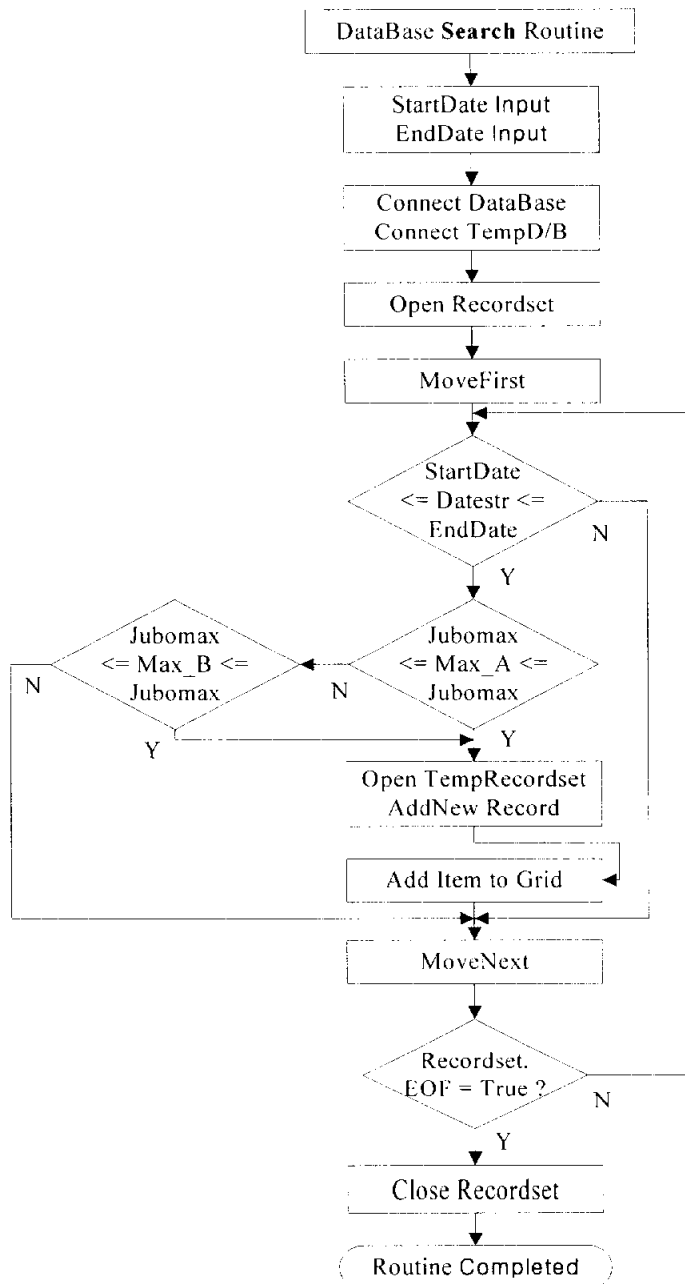


Fig. 19 DataBase searching routine

제 3 장 충격 위치 산출 알고리즘 및 소프트웨어 개발

실시간으로 충격위치 산출 방법으로서는 Fig. 20과 같이 센서를 배관의 양쪽에 설치하고 충격신호의 속도 및 도달된 시간차를 이용하여 그 위치를 계산하는 알고리즘을 제안하였다.

먼저 충격 위치 산출 알고리즘을 개발하기 위해서 다음과 같이 몇 가지 가정을 하였다.

- i) 가스배관내의 매질은 항상 동일
- ii) 가스배관내의 매질은 균일 분포, 즉 신호 전달 속도가 일정
- iii) 두 센서에서 수신하고 있는 데이터는 일정한 sampling 간격으로 동기되어 처리되거나 동일한 clock 특성을 갖는 신호처리기로 데이터 처리되는 것으로 한다.

일정한 샘플링 간격으로 동기 되었을 경우, kT 샘플링 시점에서 그 지점 A, B의 충격 수신과는 Fig. 21과 같은 전달 time chart로 표현할 수 있다.

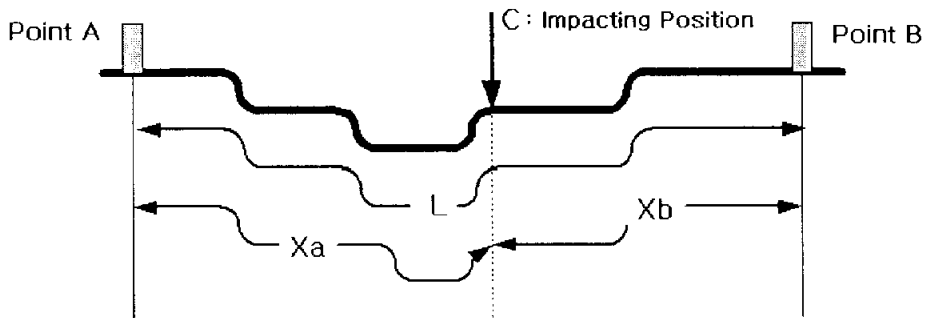


Fig. 20 Pipeline description

여기서 사용되는 기호는 다음과 같이 정의한다.

T : Sampling time

t_A : A 지점까지 충격파가 전파된 시간

t_B : B 지점까지 충격파가 전파된 시간

t_T : A 지점과 B 지점사이로 충격파가 전파된 총 시간

x_A : C 지점으로부터 A 지점까지 실제 가스배관 길이

x_B : C 지점으로부터 B 지점까지 실제 가스배관 길이

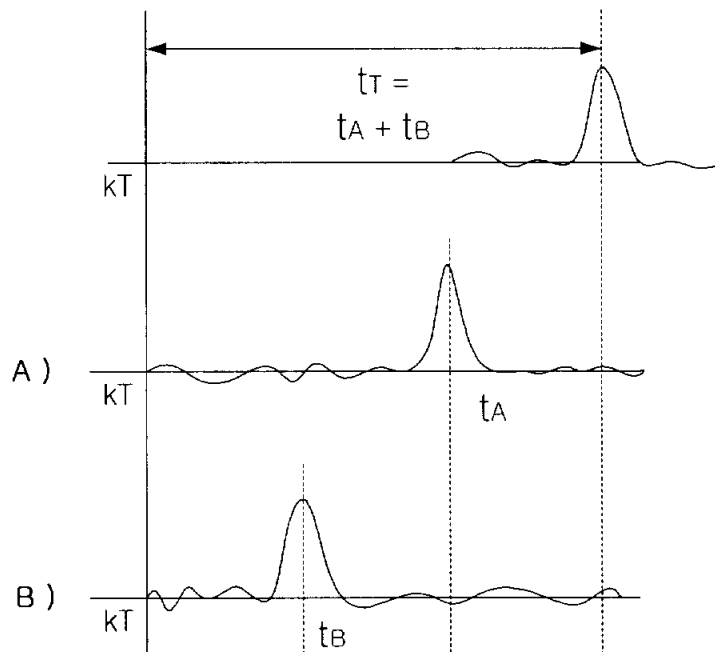


Fig. 21 Propagation time chart

Fig. 21에서 보는 바와 같이 배관에 설치할 센서 중 A point에서의 충격 위치로부터 충격파 전달 시간이 t_A 이고 B point에서의 충격파 전달

시간이 t_B 이면, A에서 Bpoint까지의 전달시간을 t_T 라고 했을 때 $t_T = t_A + t_B$ 가 된다. 이 때의 t_A 와 t_B 의 시간차를 이용하여 충격파 발생의 위치를 추정해 낼 수 있다.

Fig. 20과 같은 경우에는 x_A 구간과 x_B 구간은 배관의 형태상 차이 점을 가지고 있어 x_A 구간에서의 유체의 속도 v_A 와 x_B 구간에서의 유체의 속도 v_B 는 다르므로 이 점을 고려하였다.

실제 파이프라인의 길이는 다음과 같이 주어진다.

$$L = v t_T \quad (3.1)$$

Fig. 21의 충격파 전송 time chart에 의해 충격파가 전송된 거리는 다음과 같다.

$$v t_T = v_A t_A + v_B t_B \quad (3.2)$$

(3.1)식을 (3.2)식에 대입하면

$$\begin{aligned} L &= v_A t_A + v_B t_B \\ \Leftrightarrow x_A &= L - v_B t_B \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$\Leftrightarrow v_A t_A = L - v_B t_B \quad (3.4)$$

$$x_B = L - v_A t_A$$

만일 sampling 구간에서 동기화 오차가 ΔT 만큼 발생되었을 경우,

T_A : A지점 신호처리의 sampling time

T_B : B지점 신호처리의 sampling time

즉 $\Delta T = |T_B - T_A|$ 로 되므로,

식 (3.2)는 다음과 같이

$$v t_T = v_A (t_A \pm \Delta T) + v_B t_B$$

또는,

$$v t_T = v_A t_A + v_B (t_B \pm \Delta T) \quad (3.5)$$

로 주어지게 됨을 알 수 있다.

이 때, 식 (3.3)과 (3.4)도 각각 다음과 같이 식(3.6)과 (3.7)로 수정 계산된다.

$$x_A = L - v_B (t_B \pm \Delta T) \quad (3.6)$$

$$x_B = L - v_A (t_A \pm \Delta T) \quad (3.7)$$

그리고 두 신호처리가 일정한 sampling 간격으로 동기 처리되지 않고 Time clock check 만으로 고려했을 경우는

$$2x_A = v_A t_A - v_B t_B + L$$

$$2x_B = v_B t_B - v_A t_A + L$$

$$x_A = \frac{(v_A t_A - v_B t_B) + L}{2} \quad (3.8)$$

$$x_B = \frac{(v_B t_B - v_A t_A) + L}{2} \quad (3.9)$$

와 같이 나타낼 수 있다.

제 4 장 시뮬레이션 및 실험 결과

4.1 시뮬레이션 결과

타공사에 의한 충격에 대한 음향 감지의 개념이 Fig. 22에 보여지고 있다.

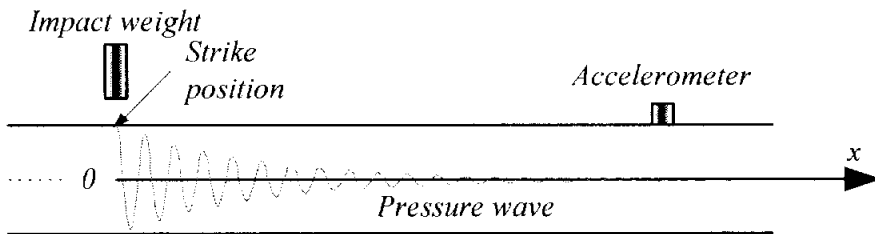


Fig. 22 Mechanical transmission line

충격이나 구조물에 대한 작용들과 같은 순간적인 하중이 가해졌을 때, 순간적인 탄성 파형이 발생된다. 이 파형은 하중이 가해진 지점으로부터 구조물을 관통해서 전파되고, 전파 특성은 물질의 특성과 구조물의 형상에 의해 좌우된다. 제한된 탄성체에서는 전파의 유형이 수직파형과 전단파형이 존재하고, 기체나 액체에서는 물질 특성상 전단 응력을 운반하지 않기 때문에 전단파형은 없다. 탄성 에너지는 원천으로부터 전파되어 구조물을 관통해서 퍼져나가 버린다. 이와 같은 기하학적 퍼짐은 모든 지점에서 신호의 강도가 원천으로부터 멀어져가면 갈수록 더욱 줄어들기 때문에 감쇠 계수로써 작용한다.

굴착기가 파이프에 충격을 가했을 때, 다음의 일련의 작용들이 발생한

다.

- ① 도구로 강의 벽에 충격을 가한다.
- ② 탄성파가 파이프 벽에서 시작되고, 음향파가 가스내에서 시작된다. 강에 의해 전달되는탄성파는 매우 빠른 속도로 이동해 나가고, 음향파는 그 뒤를 따라간다. 실험과 분석의 연구는 파이프 벽에서의 이동은 둘러싸인 주위의 환경과의 상호작용에 의해서 매우 빠른 속도로 사라져 없어진다는 것을 보여주었다.
- ③ 가스내에 음향파는 먼 거리를 전파하며 전형적인 흡수와 벽에서의 손실 메커니즘에 의해 감소된다. 음향파가 전파됨에따라 파이프의 외벽에 가해질 수 있는 파이프 벽에서의 응력과 변형이 발생한다. 그것은, 전파되는 진동 파형이 통과함에 따라 그것에 대해 파이프 벽이 반응하는 것이다. 이 진동 파동의 통과는 가속도 센서에 의해 감지될 수 있다.

4.1.1 음원(Sound Source)

음원은 무게 m 인 강철공이 높이 h 에서 배관위로 떨어뜨려짐으로써 발생된다. 이것은 파이프에서 음성 충격을 발생시키게 되고, 그 때 배관을 따라 몇몇 지점들에서 그것은 측정되게 된다. 높이 h 가 높아질수록 충격 에너지도 더욱 커진다. 이 충격은 가스내에 청음기를 이용하여 측정될 수 있는 음향 진동을 만든다.

충격 무게에 의해 발생된 음향 진동은 다음 형식으로 나타내어질 수 있다.

$$p(t,0) = p_0 e^{-\beta t} e^{j\omega t} \quad (4.1)$$

여기서,

β : decay factor

$$\omega = 2\pi f$$

무게 $m=41\text{kg}$ 인 강철공이 높이 $h=7\text{cm}$ 인 곳에서 떨어뜨려짐으로써 발생하는 음향 진동이 Fig. 23에서 나타난다.

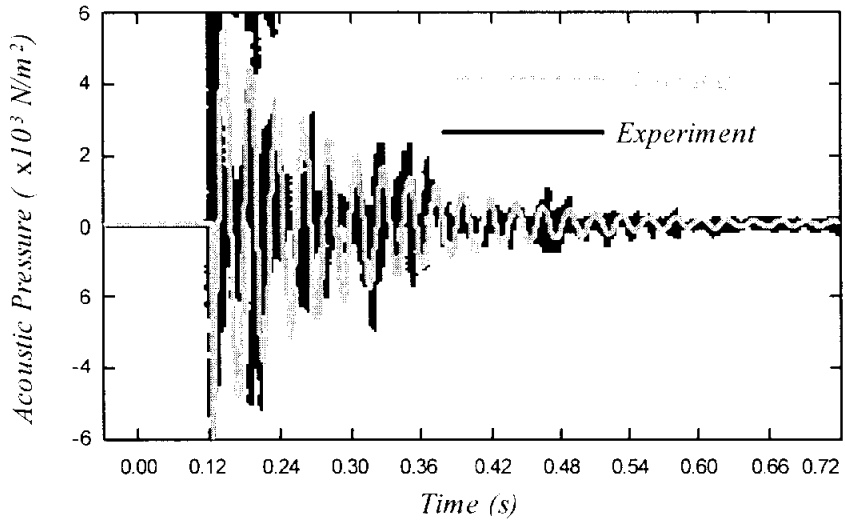


Fig. 23 Acoustic pressure with the 7cm drop height

4.1.2 배관을 통한 전송과 평면 파동 방정식

제어량 ABDC를 고려하면 이 제어량은 Fig. 24에서 보여주는 것과 같이 음파의 통과 동안 A'B'D'C'로 변한다. 이 요소의 부피는 다음과 같이 된다.

$$v + dv = Sdx \left(1 + \frac{\partial \xi}{\partial x} \right)$$

또는 ,

$$\frac{dv}{v} = \frac{\partial \xi}{\partial x}$$

$$dv = S dx \frac{\partial \xi}{\partial x} \quad (4.2)$$

여기서,

v : volume of element [m^3]

dv : thickness of element [m]

S : pipe area [m^2]

ξ : displacement of gas during the passage of a sound wave [m]

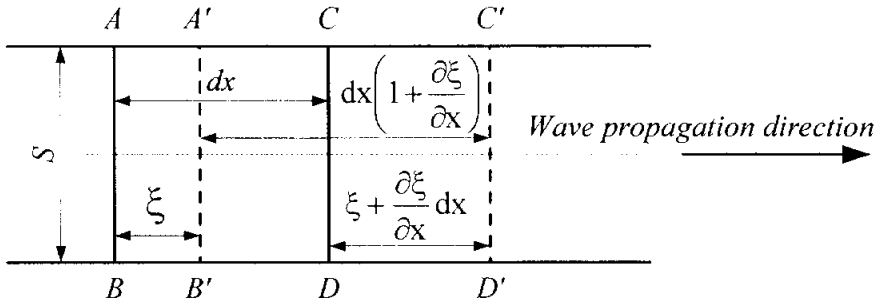


Fig. 24 Displacement of the gas during the passage of a sound wave

용적율(bulk modulus) K [Pa]는 그 상관관계에 의해 다음과 같이 정의된다.

$$dp = p = -K \frac{dv}{v} \quad (4.3)$$

여기서 dp 는 압력 변화이다. 음향 진동(음성 진동)이기 때문에 dp 를 p 로 한다.

따라서 음성 진동은 변위 ξ 를 이용하여 다음과 같이 표현된다.

$$p = -K \frac{dv}{v} = -K \frac{\partial \xi}{\partial x} \Rightarrow \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = -K \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \right) \quad (4.4)$$

뉴턴의 제2법칙에 의해 다음과 같이 표현된다.

$$-S \left(\frac{\partial p}{\partial x} dx \right) = (\rho S dx) \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}$$

또는,

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \rho \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} \Rightarrow -\frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} \quad (4.5)$$

여기서,

ρ : gas density[km/m³]

식 (4.4)와 (4.5)로부터

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} \quad (4.6)$$

여기서,

$$c \equiv \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (4.7)$$

c 는 가스내에서의 음속(sound speed)을 나타낸다.

단열 조건을 가정한 이상적인 가스에서 음속은 다음과 같이 계산되어질 수 있다.

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad (4.8)$$

여기서,

γ : ratio of specific heats

R : universal gas constant [$\text{m}^2\text{K}^{-1}/(\text{gm}/\text{gm.mole})$]

T : absolute temperature [$^{\circ}\text{K}$]

M : molecular weight of the gas [$\text{gm}/\text{gm.mole}$]

만약 $e^{j\omega t}$ 를 시간 종속적이라고 가정하면, 그 때 파동 방정식 (4.6)은 다음과 같이 된다.

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = -\frac{\omega^2}{c^2} p = -k^2 p \quad (4.9)$$

여기서,

k : wave number, $k = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda}$

λ : wave length [m]

$e^{j\omega t}$ 에 시간 종속적인 파동 방정식 (4.9)의 일반해는 다음과 같다.

$$p = Ae^{j(\omega t - kx)} + Be^{j(\omega t + kx)} \quad (4.10)$$

여기서, A 항과 B 항은 각각 왼쪽과 오른쪽을 이동하는 것이고, kx 는 x 의 거리가 떨어져있는 두 위치 사이에서의 파동의 위상 변화를 나타낸다. 파동이 x 의 거리를 이동하는동안 진행되는 파동의 위상은 kx 에 의해 변화된다. 해 (4.10)을 구하기 위해서는 두 가지의 경계 조건이 주어져야한다.

[1] 흡수율(Absorption coefficient)

송수관에서는 두 가지의 초기 감쇠 작용이 있다.

① 부피가 커지는 현상인 전형적인 흡수작용은 열전도 손실과 점성 손실, 그리고 회전 이완 손실을 포함한다. 이 흡수율은 주파수의 제곱에 좌우된다.

② 송수관 벽에서의 손실. 이 흡수율은 주파수의 제곱근에 좌우된다.

전체 흡수율은 다음과 같이 주어진다.

$$\alpha = \alpha_\beta + \alpha_\omega = \frac{a}{P_0} f^2 + \frac{b}{\sqrt{P_0}} \sqrt{f} \quad (4.11)$$

식 (4.11)을 포함하면 식 (4.10)의 해는 다음과 같이 된다.

$$p = (Ae^{j(\omega t - kx)} + Be^{j(\omega t + kx)})e^{-\alpha x} \quad (4.12)$$

[2] 경계 조건(Boundary conditions)

식 (4.12)의 해를 완성하기위해, 경계 조건들은 A 와 B 항을 계산할 필요가 있다. 보통 경계들은 실제 시스템 파라미터(parameter)로부터 얻어진다. 시뮬레이션의 목적에서 충격원으로 부터 배관은 반 무한대라고 가정할 수 있다.

따라서, 경계 조건들은 다음과 같다.

$$x = 0 \text{ 에서 } p = p(t, 0)$$

$$x = \infty \text{ 에서 } p = 0$$

[3] 해(Solution)

해는 다음과 같이 주어진다.

$$p = p_0 e^{-\beta t} e^{i(\omega t - kx)} e^{-\alpha x} \quad (4.13)$$

충격원으로부터 5060m 떨어진 지점에서의 음향 진동의 결과는 Fig. 25에 주어진다.

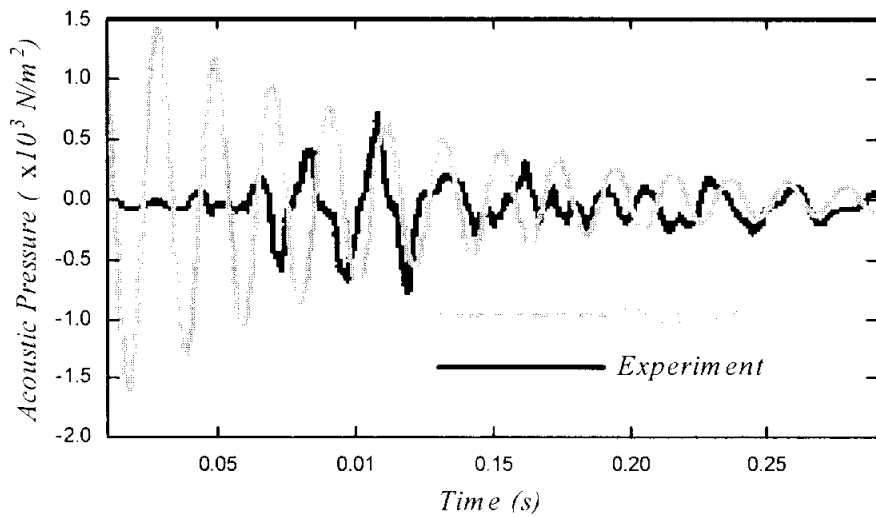
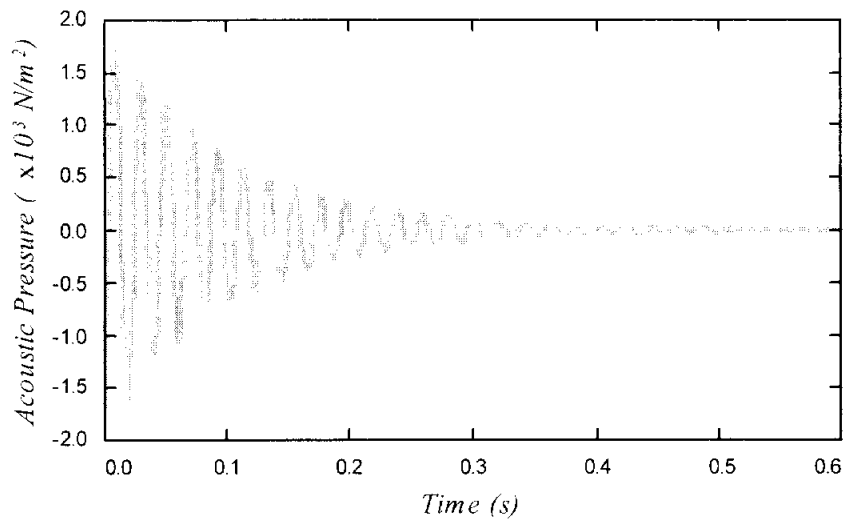
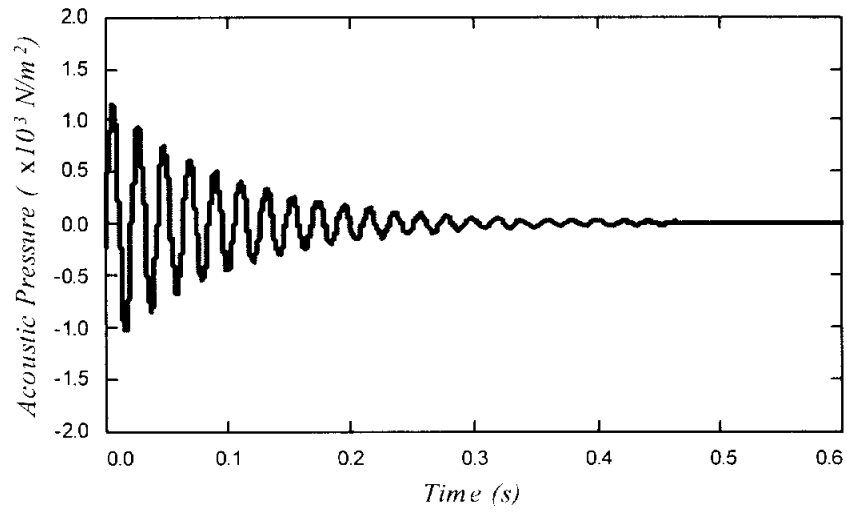


Fig. 25 Acoustic pressure at the position of 5060m from source

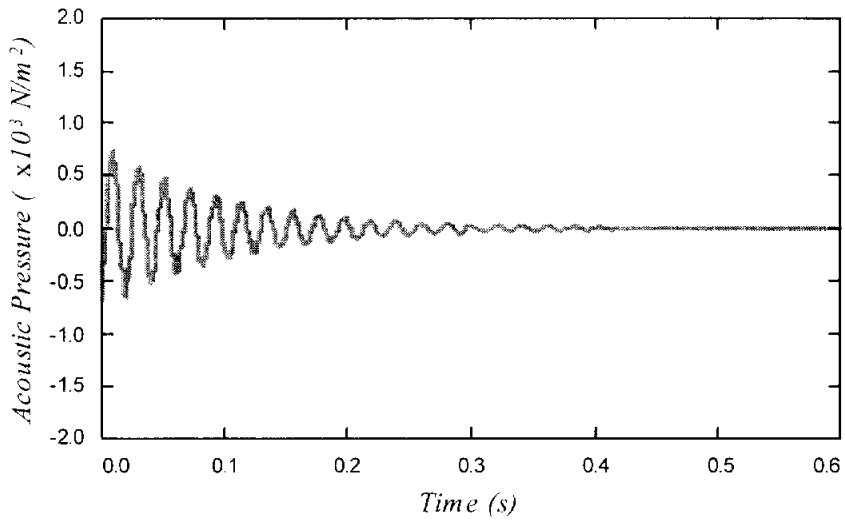
시작할때, 실험적 결과는 이론적 해에서는 무시되는 감쇠 효과 때문에 서서히 응답한다. 충격원으로부터 5km, 10km, 그리고 15km 떨어진 곳에서 측정한 음향 진동이 Fig. 26에서 보여지고 있다.



(a) 5km



(b) 10km



(c) 15km

Fig. 26 Estimate acoustic pressure at the position of 5,10, and 15km from source

본 시뮬레이션에서는 배관을 통한 음향의 전송에 있어서 유체와 유동의 영향을 고려하지 않았으며, 실제 적용 환경에서의 흡수율(absorption coefficients)에 대하여 더욱 자세한 정보를 가지고 있지 못했고, 감쇠 계수와 경계 조건에 대한 정확한 자료를 수집하지 못한 상태에서 수행한 결과이다. 실제 현장으로부터 상기 사항들에 대한 더 많은 자료 수집 및 자세한 데이터의 수집이 필요하다.

4.1.3 배관벽에 부착된 센서를 이용한 감지

음향 파동은 배관의 바깥쪽 벽에 부착된 가속도 센서를 이용하여 감지되어질 수 있다. 음향 파동에서 벽의 가속도로의 전달 함수를 유도하기 위해서, Fig. 27에서 보여지는 것과 같이 극세 요소를 고려하는데, 그것

에 가해지는 힘들은 다음과 같다:

- 이웃한 요소로부터의 인장 응력 : $(tl)\vec{\sigma}$
- 압축 응력 : $[(rd\theta)tl]\vec{p}$

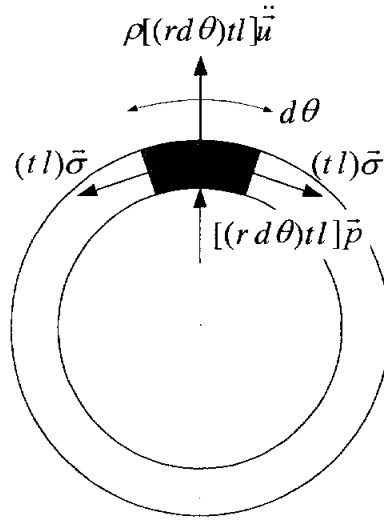


Fig. 27 Pipewall description

뉴턴의 제 2 법칙으로부터 다음 식을 얻을 수 있다.

$$\rho[(rd\theta)tl]\ddot{u} = [(rd\theta)tl]\vec{p} + 2(tl)\vec{\sigma} \quad (4.14)$$

또는,

$$\rho[(rd\theta)tl]\ddot{u} = [(rd\theta)tl]p - 2(tl)\sigma \sin\left(\frac{d\theta}{2}\right)$$

$d\theta$ 가 매우 적으므로, 다음 식을 얻는다.

$$\rho[(rd\theta)tl]\ddot{u} = [(rd\theta)tl]p - 2(tl)\sigma\left(\frac{d\theta}{2}\right)$$

또는

$$\rho r t \ddot{u} = p r - \sigma t \quad (4.15)$$

여기서,

l : length into cylinder

p : acoustic pressure

ρ : density of steel(7800kg/m³)

u : displacement of wall

t : thickness of pipeline wall

r : radius of pipeline

변형률의 관계식은 다음과 같고

$$\sigma = \frac{E}{r} u \quad (4.16)$$

여기서,

E : Young's modulus of steel

그러므로

$$\rho \ddot{u} + \frac{E}{r^2} u = \frac{1}{t} p \quad (4.17)$$

이것은 변위와 압력 간의 전달 함수를 나타내기 위해 다음과 같이 조정되어 질 수 있다.

$$\frac{U(s)}{P(s)} = \frac{1/t}{\rho s^2 + E/r^2} \quad (4.18)$$

더욱이 분모에 있는 인자는 물질의 하중이 중요하게 되는 것 이상으로 주파수를 결정하는데 이용되어질 수 있다. 그 주파수는 다음과 같다.

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{E}{r^2 \rho}} \quad (4.19)$$

주파수가 공기중에서는 5,000Hz이고, 천연가스 내에서는 6,000Hz이다. 관심은 먼 거리에서 신호를 관측하는 것이기 때문에, 1,000Hz 이상의 중요한 요소들은 주의가 기대되지 않는다. 그러므로, 물질의 하중은 중요한 인자가 아니다. 물질의 영향을 무시하고 식 (18)을 조정함으로써 다음의 가속도에 대한 전달 함수가 얻어진다.

$$\frac{\ddot{u}}{p} = (4\pi^2 f^2) \frac{r^2}{Et} \quad (4.20)$$

4.2 현장 실험 결과

Fig. 28은 센서가 부착되는 외부로 나와있는 배관의 전체적인 모습을 나타내고 있다. 실제 배관의 총 길이는 약 360m이다.

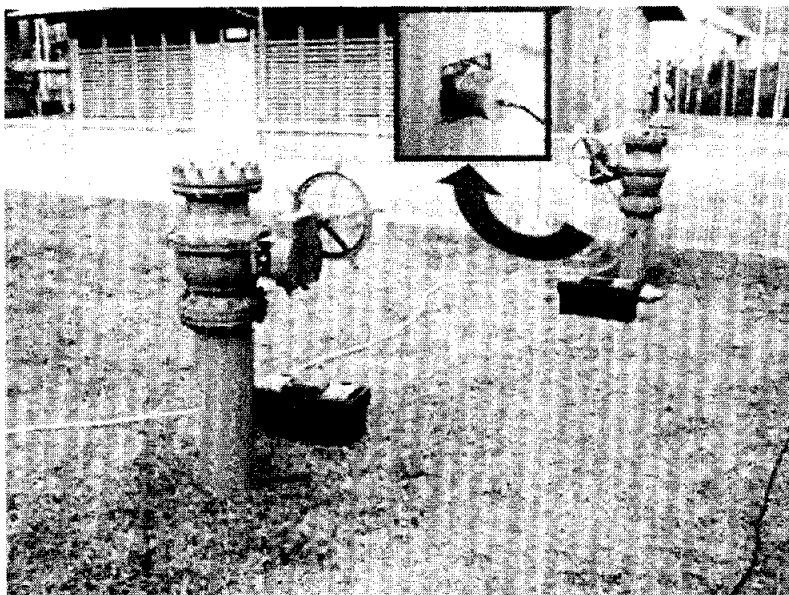


Fig. 28 Practical pipeline and impact detection sensors

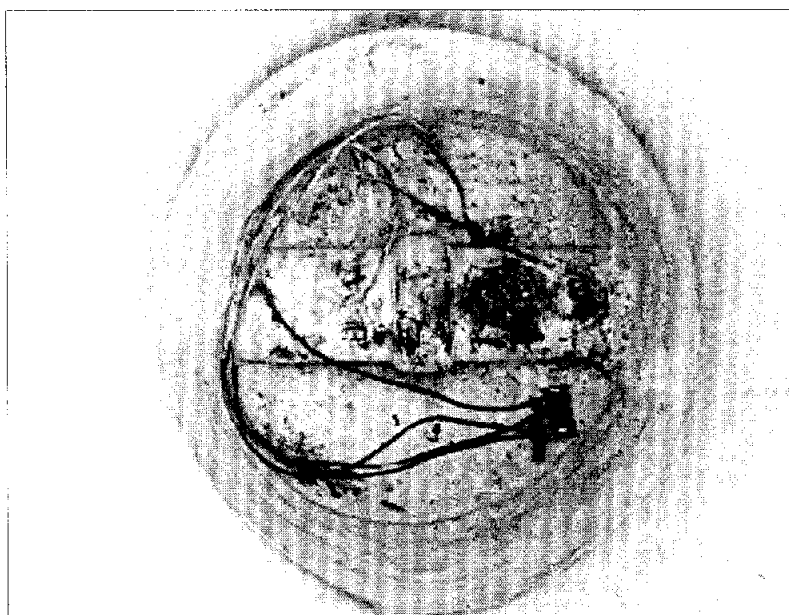


Fig. 29 Exposed pipeline for impact experiment

Fig. 28은 지면으로부터 약 1.5m 아래의 맨홀 속에 노출되어 있는 실제 배관의 모습을 보여주고 있다. 바벨을 이용해서 Fig. 29에서 보여주고 있는 맨홀의 아래에 위치한 배관을 타격하였다. 그리고, 그 충격을 Fig. 29과 같이 노출된 배관의 양쪽 끝에 설치된 가속도 센서를 이용하여 감지하는 충격 감지 실험을 실행하였다.

다음 Fig. 30는 실험에 사용된 충격 감지 모니터링 소프트웨어의 실행 화면을 보여주고 있다.

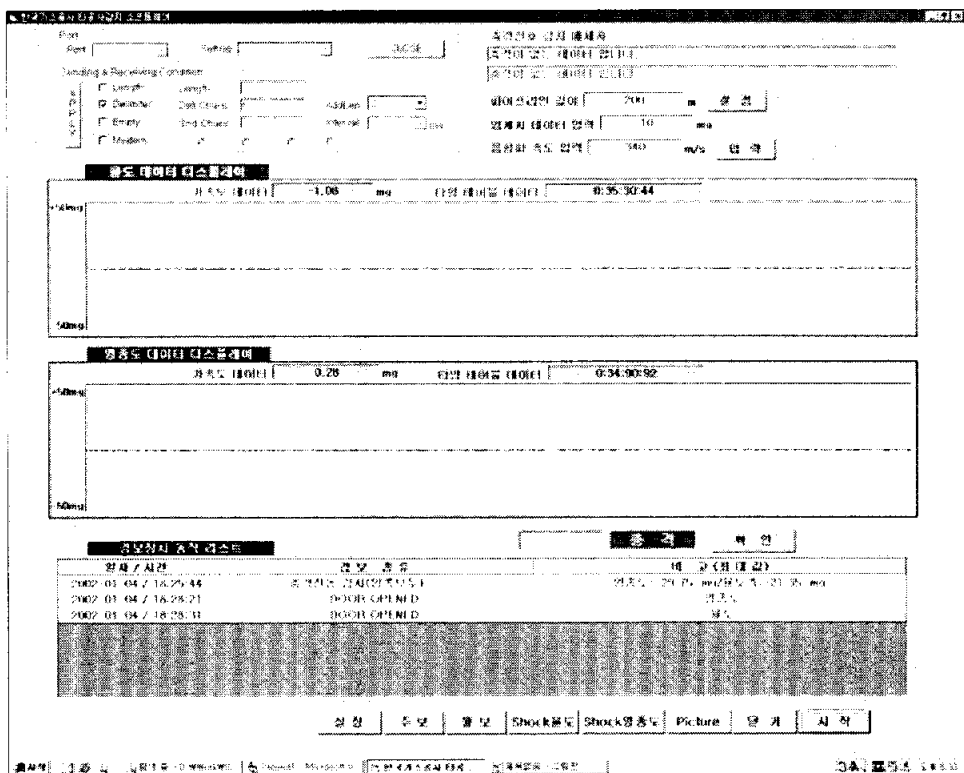


Fig. 30 Main screen of damage monitoring software

충격감지 소프트웨어를 실행하면 처음에 Fig. 30에서 보여주는 메인 화면이 실행된다. 메인 화면에서는 300ms의 간격으로 계속해서 데이터

를 텍스트 및 그래프로써 디스플레이 해준다. 그리고, 충격이 감지 됐을 경우 충격 전후의 데이터를 저장하여 Fig. 31과 Fig. 32에서 보여주는 그래프창을 팝업해 준다. Fig. 31과 Fig. 32를 이용해서 충격 전후의 데이터를 디스플레이할 수 있다.

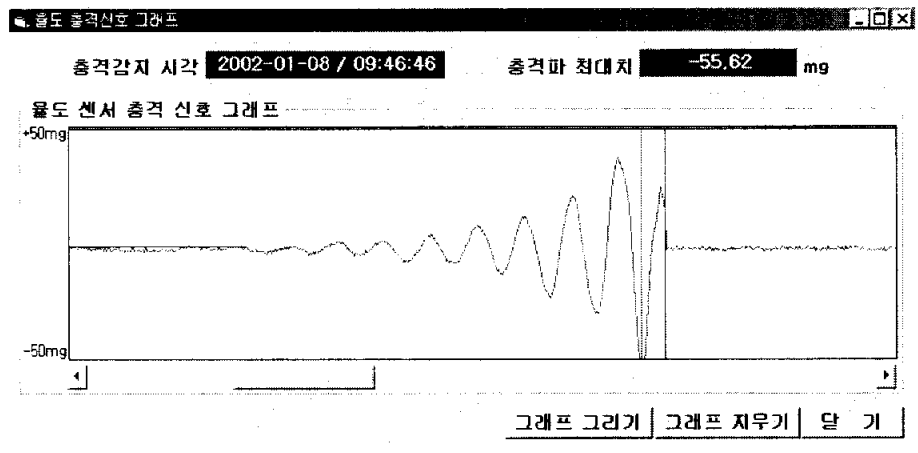


Fig. 31 Graph screen of shocked data(One Site)

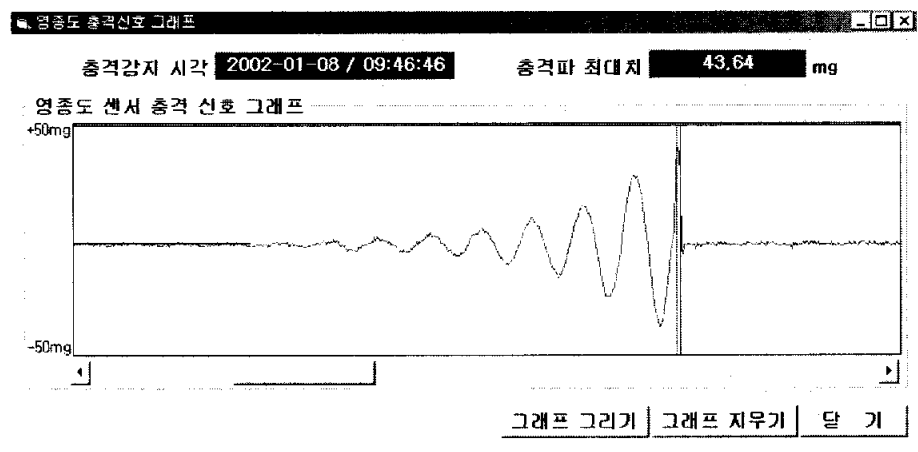


Fig. 32 Graph screen of shocked data(The Other Site)

충격 전후의 데이터는 $100\mu s$ 의 샘플링 타임으로 A/D 변환된 데이터이다. 그리고, 만약 율도와 영종도 양쪽에서 충격을 감지했을 경우는 Fig. 33와 같은 충격위치 표시 그림창을 팝업(pop up)해서 예상 충격위치를 텍스트 및 그래픽으로써 나타내어 준다.

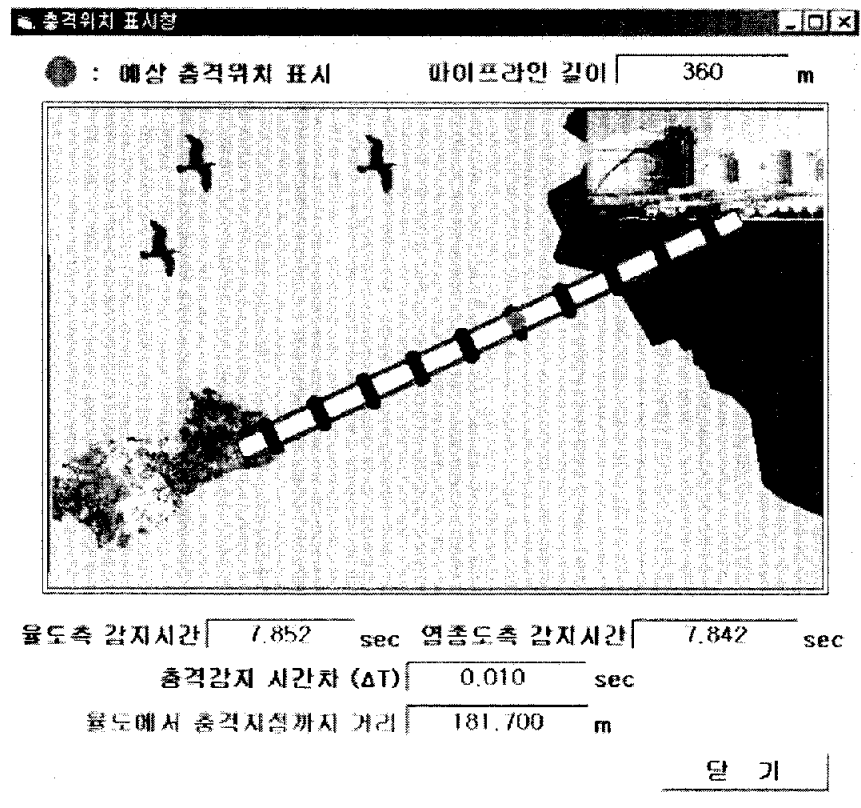


Fig. 33 Damaged position display screen

Fig. 33는 충격위치 계산 화면을 보여주고 있다. 센서로부터 측정되는 값과 특정 임계(threshold)값을 만족하는 충격이 감지되었을 때 충격신호를 그래프모드로 나타냄과 동시에 앞에서 언급한 식들에 의하여 충격위치를 실시간적으로 계산할 수 있다.

충격이 양쪽 모두의 데이터 수집 및 신호 처리 시스템에서 감지되었을 때, 3장에서 보여주었던 알고리즘을 이용함으로써 시간 테이블 데이터로부터 충격 위치를 계산해 낼 수 있고, A 지점과 B 지점에서의 충격 감지 시간과 시간차이 및 A 지점으로부터 충격 지점까지의 거리를 소프트웨어를 통해서 볼 수 있다.

3장의 (3.8)식에서 각각의 매개 변수들은 다음과 같이 정의되고

$$t_A = 7.852 \text{ sec}, \quad t_B = 7.842 \text{ sec}$$

$$L = 360 \text{ m}, \quad v_A = v_B = 340 \text{ m/s}$$

x_A 는 다음과 같이 계산된다.

$$x_A = \frac{(v_A t_A - v_B t_B) + L}{2} = 181.7 \text{ m}$$

본 실험에서 충격 지점 산출 오차는 1.7m이고, 이 오차는 배관의 전체 길이의 0.5% 이하이다.

개발된 모니터링 소프트웨어에서는 수집된 데이터를 이용하여 보고서 작업을 할 수 있고, 프린트까지 할 수 있다. Fig. 34는 모니터링 소프트웨어내의 한 기능으로써 보고서 작업을 할 수 있는 화면이다.

주간 보고서

기 간 2002-01-03 ~

2002-01-05

검색

No.	일자 / 시간	경 보 종 류	비 고(최대값)
1	2002-01-03/13:10:52	충격진동 감지(양쪽모두)	떨도 : -10.84, 영중도 : -12.70
2	2002-01-03/14:26:35	충격진동 감지(양쪽모두)	떨도 : -133.39, 영중도 : -132.39
3	2002-01-04/18:04:40	충격진동 감지(양쪽모두)	떨도 : 31.40, 영중도 : 9603.05
4	2002-01-03/15:12:11	충격진동 감지(영중도)	떨도 : 00, 영중도 : 12.25
5	2002-01-03/15:28:17	충격진동 감지(영중도)	떨도 : 00, 영중도 : 15.92
6	2002-01-03/15:34:33	충격진동 감지(양쪽모두)	떨도 : -84.58, 영중도 : -97.17
7	2002-01-04/18:09:01	충격진동 감지(양쪽모두)	떨도 : -23.31, 영중도 : -11202.3
8	2002-01-04/18:26:31	충격진동 감지(양쪽모두)	떨도 : -21.35, 영중도 : -29.75
9	2002-01-03/10:54:53	충격진동 감지(영중도)	떨도 : 00, 영중도 : -11.73
10	2002-01-03/10:57:22	충격진동 감지(영중도)	떨도 : 00, 영중도 : -11.73
11	2002-01-03/11:05:39	충격진동 감지(양쪽모두)	떨도 : -23.05, 영중도 : -27.60
12	2002-01-03/15:25:20	충격진동 감지(양쪽모두)	떨도 : 42.91, 영중도 : -58.08
13	2002-01-03/15:29:24	충격진동 감지(양쪽모두)	떨도 : -39.64, 영중도 : 39.37
14	2002-01-03/14:10:10	충격진동 감지(양쪽모두)	떨도 : 19.31, 영중도 : 20.52

원래 미리보기

달 기

Fig. 34 Weekly report making screen

제 5 장 결 론

본 논문에서는 DSP TMS320C32 기반의 신호처리기, 무선 통신, 데이터 베이스 시스템을 이용하여 천연가스 배관의 타공사 실시간 감지 시스템을 개발하였다. 개발한 시스템을 이용하여 배관의 상태정보를 실시간으로 모니터링 할 수 있고, 타공사를 감지 할 수 있으며 그리고 배관에 가해지는 충격의 위치를 산출해 낼 수 있다는 것을 모의 실험을 통해 증명하였다.

시뮬레이션의 결과에서는 음향 진동이 충격 위치로부터 15km 이상 떨어진 거리에 까지도 도달할 수 있다는 것을 보여주었다. 그러므로, 15km 이상의 거리에서도 개발한 시스템을 이용하여 충격을 감지할 수 있다고 사료되며, 본 시스템의 적용성을 더욱 넓혀갈 수 있다고 판단된다. 그리고 배관을 통한 음향의 전송에 있어서 유체와 유동의 영향을 고려할 필요성이 있으며, 실제 가스 배관에서의 보다 정확한 흡수율(absorption coefficients)과 감쇠 계수 및 경계 조건 등에 대한 자세한 자료 수집이 수행되어져야 한다.

현재 개발된 시스템은 한국 가스 공사 경인지사의 울도 기지와 영종도 기지 사이의 구간에 설치되어 있는 상태에서 성공적으로 동작해 오고 있으며, 한국 가스 공사 평택지사에도 본 시스템을 설치할 계획이다. 이로써 본 시스템의 실제 적용 효과를 증명하였다.

앞으로 개발된 시스템에 대한 현장 적용성을 더욱 넓게 확대하여 나가는 것이 과제이다.

참 고 문 헌

- [1] S.M.Shin, H.R.Yoo, J.S.Im, S.B.Kim, "Development of Third-Party Damage Monitoring System for Natural Gas Pipeline", 2002, *The fifth International Conference on Science and Technology*, April 25-26, Hochiminh City University of Technology, hochiminh, Vietnam
- [2] R&D Center, Korea Gas Corporation, "A study on the real-time monitoring to detect third-party damage on subsea pipelines in Masan Bay", 2000, Research Report.
- [3] S.S.Park, et. al., "Development of real time monitoring system for third party damage detection using wireless data communicating", 2000, *Journal of KIGAS*, Vol.4, No.3.
- [4] B.N.Leis, R.B.Francini, R.Mohan, D.L.Rudland and R.J.Olson, "Pressure-Displacement Behavior of Transmission Pipelines Under Outside Forces Toward a Serviceability Criterion for Mechanical Damage", 1998, *Proceeding of the Eighth International Offshore and Polar Engineering Conference*, Vol. II, pp. 60-67
- [5] B.N.Leis, R.B.Francini, F.B.Stulen and R.W.Hyatt, "Real-time monitoring to detect third-party damage", 1998, *In Proceedings of the Eighth International Offshore and Polar Engineering Conference*, pp.34-38.

- [6] Mikio Tohyama and Tsunehiko Koike, "Fundamentals of Acoustic Signal Processing", 1998, Academic Press.
- [7] R.B.Francini, B.N.Leis, V.K.Narendan, and F.,B.Stulen, "Real Time Monitoring to Detect Thid-Party Damage:Phase II", 1997, GRI(Gas Research Institute), Chicago, IL.
- [8] R.B.Francini, R.W.Hytatt, B.N.Leis, V.K.Narendan, D.Pape and F.B.Stulen, "Real Time Nonitoring to Detect Third-Party Damage", 1996, GRI(Gas Research Institute), Chichago, IL.
- [9] Igal Brodetsky and Michael Savic, "Leak monitoring system for gas pipelines", 1993, *In Proceedings of IEEE Acoustic, Speech, and Signal Processing*, Vol.3, pp.17-20.
- [10] J.Krautkramer and H.Krautkramer, "Ultrasonic Testing of Materials", 4th Edition, 1990, Springer-Velarg.

Publications and Conferences

I . Proceedings and Conferences

- [1] "토목구조물의 정밀 변위 측정시스템의 개발 및 그 응용", 신승목, 전양배, 김춘식, 윤수호, 김상봉, ICCAS2001(Proceedings of the International Conference on Control, Automation and Systems), October 17-21, Cheju National University, cheju, Korea
- [2] "Development of Real Time Monitoring and Forecasting /Emergency for Land Slide of Road", Seung-Mok Shin, Hur Chul, Choon-Sik Kim, Soo-Ho Yoon, Sang-Bong Kim, ICCAS2001(Proceedings of the International Conference on Control, Automation and Systems), October 17-21, Cheju National University, cheju, Korea
- [3] "Development of Third-Party Damage Monitoring System for Natural Gas Pipeline", Seung-Mok Shin, Hui-Ryong Yoo, Jae-Sung im, Sang-Bong Kim, The fifth International Conference on Science and Technology, April 25-26, Hochiminh City University of Technology, hochiminh, Vietnam
- [4] 박성재, 신승목, 김상봉, 윤지근, "Development of Emergency Generator Controller in Automatic Switchboard", 2002 춘계 학술대회 논문집, 한국동력기계공학회, pp.209-216, 2002.5

II . Submitted

- [1] "Development of Third-Party Damage Monitoring System for Natural Gas Pipeline", Seung-Mok Shin, Hui-Ryong Yoo, Jin-Ho Suh and Sang-Bong Kim, 대한기계학회 International Journal.

감사의 글

저의 졸업 논문이 완성되기까지 끊임없는 지도와 격려로써 인도하여 주신 김상봉 지도교수님께 더할 수 없는 감사의 말씀을 드리며, 보살펴 주신 은혜 잊지 않고 하루하루를 행복을 나눈다는 마음으로 가꾸어가겠습니다.

그리고 본 논문의 심사과정을 통하여 따뜻한 충고와 조언을 아끼지 않고 다듬어 주신 김동조 교수님, 정영석 교수님께 진심으로 감사의 말씀을 드립니다.

또한 연구실에서 연구과제 세미나와 논문 실험 및 전체 연구실 생활에 있어서 항상 아낌없는 도움을 주신 산민생 교수님, 안휘웅 교수님, 이진우 박사님, 박순실 선배님, 정남수 선배님, 김환성 교수님, 이충환 교수님, 유휘룡 박사님, 김성민 선배님, 김진호 선배님, 배경수 선배님, 전봉환 선배님, 박진선 선배님, 지명석 선배님, 강호원 선배님, 김재윤 선배님, 서진호 박사님, 감병오 선배님, 박홍수 선배님, 박장완 선배님, 김동규 박사님, 박준형 선배님, 강병철 선배님, 이재동 선배님, 이근유 선배님, 여태경 선배님, 전양배님에게 진심으로 감사드립니다. 그리고, 배트남에서 유학을 와서 많은 도움을 주신 Tien 박사님, Hieu님, Lam님, Kim님, Dung님과 중국에서 유학을 오신 허철님에게 진심으로 감사드립니다.

그리고 한국 가스공사 연구 개발원에서 논문 실험 및 연구과제 수행에 아낌없는 도움을 주신 전경수 박사님, 박승수 연구원님, 조성호 연구원님에게 진심으로 감사의 말씀드립니다.

CIMEC 연구실 동료님들, 김석열님, 박성재님, 이원기님, 김성욱님과 여러 후배님들에게 진심 어린 고마운 마음을 전합니다.

마지막으로, 저에게 그 누구보다 아낌없는 사랑을 보내주신 아버님, 어머니님, 아우에게 진심으로 감사드리며, 저에게 큰 힘이 되어준 애인 윤지혜양에게 감사한 마음을 전합니다.

저와 함께한 모든 분들에게 항상 행복함이 깃들기를 기원합니다.