

유해물질 이송관로 파손누출 실시간 예방 및 감시 기술개발

The Development of Real-Time Leak Monitoring System for Management of Hazardous Material Pipeline

Sookwon Chae^{a,1}, Jaeson Seo^{b,2}, Joonseok Kim^{c,*}

^a Department of Environmental Health and Safety, University of Eulji, 553 Sanseong-Daero, Seongnam, 461-713, Republic of Korea

^b Department of R&D, WACON Co, Ltd, 15, Nonhyeon-ro, 26Beon-gil, Namdong-gu, Incheon, 405-825, Republic of Korea

^c Department of civil and environmental engineering, Chungwoon University, 113 Sukgol-ro, Nam-gu, Incheon, 402-803, Republic of Korea

ABSTRACT

In this study, a dual structured pipe for a preventive monitoring on a accident damage, a smartphone app program for a survey and a construction data collection and a server program for a real-time monitoring were developed. A pilot system was installed in the test field to analyze effects of a system developed in this study.

The data for a damage prevention was detected by the attached sensors on the pipe. Exclusion was tested by the pressure sensors to be installed at regular intervals. The app and server programs was enabled to the real-time data collection and real-time monitoring linked by VRS survey equipments and a smartphone.

KEYWORDS

Real-time monitoring
Underground pipeline
Accident Prevention
Chemically
contaminated water
VRS

본 연구에서는 돌발적 충격에 의한 파손사건 예방감시를 위한 이중구조 파이프, 측량 및 시공 속성정보 수집을 위한 스마트 폰 앱 프로그램 개발, 실시간 감시를 위한 서버프로그램 등을 개발하였다. 본 연구에서 개발한 시스템의 효과를 분석하기 위하여 파일럿규모의 시험을 야외시험장에 구축하였다. 파손 예방을 위한 데이터는 파이프에 부착된 센서를 통하여 감지된다. 누출은 압력센서를 일정한 간격으로 설치하여 시험하였다. VRS 측량장비와 스마트폰을 연계한 앱 프로그램과 서버프로그램을 통하여 실시간 자료 수집과 감시가 가능하도록 하였다.

실시간 감시
지하매설배관
사고예방
유해화학물질 오염수
가상참조시스템

© 2016 Korea Society of Disaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel. 82-32-770-8191. Email. jskim@chungwoon.ac.kr

1 Tel. 82-32-421-1672. Email. jsseo21c@naver.com

2 Tel. 82-31-740-7146. Email. cskwen@eulji.ac.kr

ARTICLE HISTORY

Received Mar. 08, 2016

Revised Mar. 16, 2016

Accepted Mar. 27, 2016

1. 서론

최근 국가적 재난에 따른 사고 대응 체계구축에 새로운 패러다임이 요구되고 있는 상황에서 지하매설배관의 파손 및 누출에 따른 대형사고가 빈번하게 발생하고 있다. 기존의 재난사고는 사후처리 중심의 관리체계였으나, 최근 선제적 대응을 요구하는 인식의 전환으로 인하여 사전예방 중심의 대응을 위한 요소기술의 개발이 요구되고 있다(J.Y. Koo, 2007).

특히, 도시화가 진행됨에 따라 산업시설에서 배출되는 유해화학물질에 의해 오염된 산업폐수를 처리장까지 운반하기 위하여 지하에 매설한 파이프 배관의 빈번한 파손 발생에도 불구하고 사후조치의 부재로 인한 배관의 노화 촉진과 그로인한 누출로 인하여 도로 및 지반 침하 또는 합몰로 이어지고 있다(Korea Water and Wastewater Association, 2010).

이러한 지하매설 파이프라인 가운데, 가장 위험도가 높은 것이 유해화학물질과 관련된 산업폐수의 이송 파이프라인이다 (J.H.Cha, 2006). 이처럼 위험한 파이프라인의 파손 시에는 유해화학물질의 누출로 인하여 생태계 교란 및 파괴는 물론이고, 인체 접촉 시, 인명사고 이어질 수 있는 심각한 문제가 발생될 수 있다. 최근 대구 불산 누출사고로 인한 인명피해가 발생한 사례가 있다.

본 논문에서는 상기와 같은 문제를 해결하기 위하여 예방감지 기능, 시공정보의 정확한 자료수집 관리 고도화 기능, 실시간 위치추적 감시 기능을 구현할 수 있는 실시간 예방 및 감시 시스템을 개발하였다.



Fig. 1. Cases of environmental damage according to the underground line break

Table 1. Target the development of technology

기준	목표치
배관관로 파손누출 감지 시간	60초 이내
배관관로 시공자료 수집 자료 손실율	2% 이내
배관관로 파손누출감지 위치추적 오차	+3m 이내

2. 개발 시스템 모델 구성

본 논문에서 연구개발된 시스템 모델에 대하여 각각의 기능과 분류범위에 대하여 구성하였다.

2.1 개발 시스템 구성

본 시스템은 현장관리 부분과 중앙관제센터 운영관리 부분 등 크게 2 부분으로 구성된다. 아래 Fig.2는 두 부분에 대한 운영 흐름을 블록도로 도시한 것이다.

첫째로 현장관리 부분에서는 매설배관 유지관리 정보를 시공 시에 수집하고, 파손누출의 예방 및 감시를 위한 시스템(센서, 원격감시장치)으로 구성하였다. 수집은 VRS라는 측량장비를 스마트 폰과 연계하도록 하여, 배관연결부 위치를 측량 수집하도록 하였고, 기타 부속정보를 배관시공과 동시에 현장에 수집할 수 있도록 개발하였다. 그리고 이렇게 수집된 정보는 서버로 동기화되며, 향후 모니터링 시스템 구축 데이터베이스로 사용된다(Yoon, Byoungjo,2016).

둘째로 중앙관제센터 운영관리 부분에서는 웹으로 개발하였다. 이로써 운영자의 정보 접근성을 편리하도록 하였으며, 아이폰 파손누출 감시 및 알람, 위치추적 기능이 제공된다.

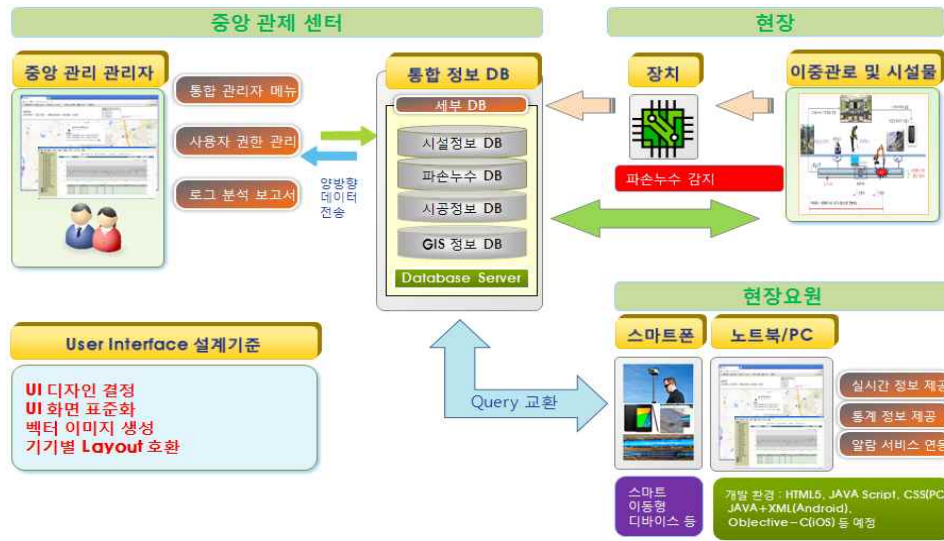


Fig. 2. Operating system diagram

2.2 이중구조 파이프 개발

유해화학물질을 이용해야 하는 위험성을 가지고 있기 때문에 안전과 사고예방을 고려하여 아래의 Fig.3과 같은 이중구조를 설계하여 제작하였고 외관과 내관으로 구성하였다.

내관은 유해화학물질에 잘 견딜 수 있는 재질인 PE를 선택하였다. 그러나 연성관으로서 파손에 약하기 때문에 안전에 취약하다. 따라서, 외관으로 내관의 취약성을 극복할 수 있도록 하였다. 선택된 외관 재질은 강관(주철관, 코팅강관)으로 하였다.

그리고 파손 및 누출의 감지를 위하여 감지선이 삽입된 슈트를 외관의 상단에 부착하도록 하였고, 내관의 누출을 외관에서 감지할 수 있도록 압력센서를 일정한 간격으로 부착하도록 하였다. 이렇게 부착된 센서 및 감지선은 TDR(Time Domain Reflectometer)을 내장한 원격감시장치(RTU : Remote Terminal Unit)에 연결하여 배관의 파손 및 누출 상태를 감시하도록 하였다. 원격감시장치에서는 파손 및 누출 지점까지의 거리를 계산할 수 있고, 이 정보가 서버로 전달되어 GIS 시스템과 연계하도록 하여 사용자는 웹 상에서 배관의 파손 및 누출 위치를 확인할 수 있도록 구성하였다.

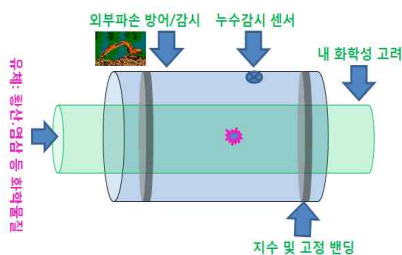


Fig 3. Concepts of the dual structure pipe

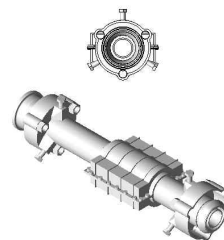


Fig 4. Designs for the dual structure pipe 3D



Fig 5. Pilot pipe model using a dual structure concept

2.3 VRS 측량장비 연동 스마트폰 앱 개발

VRS(Virtual Reference Station) 측량장비의 스마트 폰 연동으로 별도의 전용 단말기 없이 측량 작업을 수행할 수 있다는 장점이 있다(J.W. Ko, 2010). 앱 프로그램으로 다운 받아서 안드로이드 운영체제를 지원하는 폰에서는 모두 사용할 수 있는 장점이 있다.



Fig 6. Smartphone app program for data collections

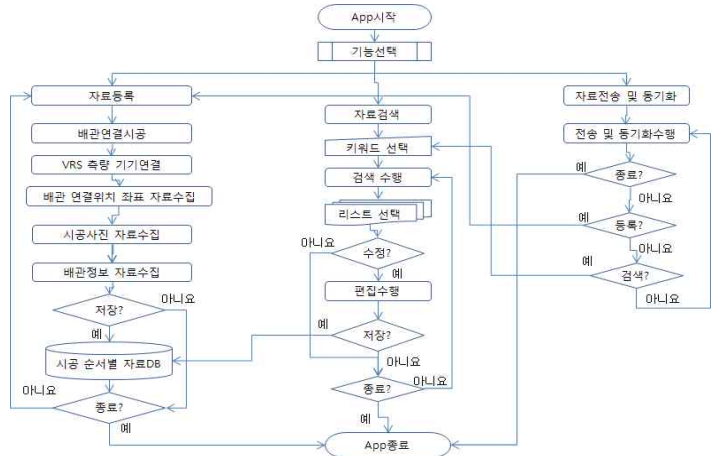


Fig 7. Smartphone app programming flowchart

앱 프로그램에서 제공하는 기능에는 배관연결부 실시간 GPS측량 좌표값, 관중, 구경, 심도, 시공사진, 시공일자 등 유지관리 기본정보를 수집하도록 하고 있다. 그리고 측량된 정보는 현장에서 오픈 GIS 상에서 표시하고 확인할 수 있도록 구성하였다. 그리고 서버와 실시간 동기화가 이루어져 서버에서 현장에서 작업하고 있는 상황을 실시간 확인할 수 있어서 작업 진척관리에도 사용이 가능하다. Fig.5는 상기의 기능을 수행하기 위한 앱 프로그램 동작 순서도를 나타내고 있다.

2.4 실시간 감시서버 프로그램 개발

스마트 폰을 이용하여 수집되는 시공정보는 서버와 실시간으로 동기화가 이루어진다. 서버로 전송되어 온 수집 정보는 실제 사용을 위한 데이터베이스 구축으로 들어가기 전에 사전 점검 작업을 수행한다. 정보의 오류를 걸러내고 교정하는 작업을 수행하게 되며, 이를 위한 편집작업을 수행할 수 있도록 되어 있다. 이러한 과정이 끝나면, 스마트 폰 앱 프로그램과 서버 프로그램이 가지고 있는 정보의 동기화를 수행하여 서로 일치시킨다. 이 과정이 끝나면 감시체계로 들어가며, 상시 운영 중 파손 및 누출 사고가 발생하게 되면 그 위치를 실시간으로 알려주게 된다. Fig.7은 웹 실시간 감시서버 프로그램의 동작 순서를 나타내고 있다.

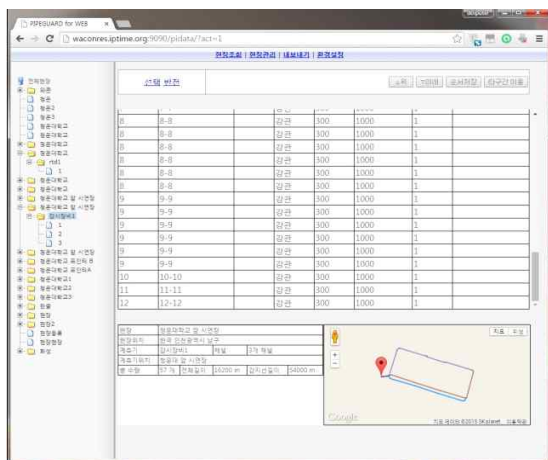


Fig. 8. Real-time monitoring server program

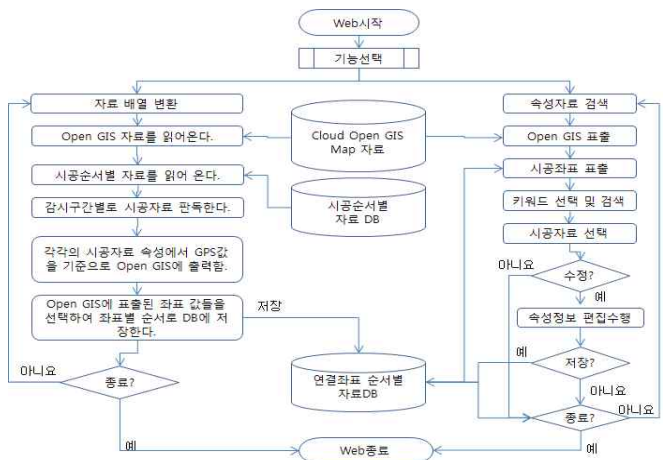


Fig. 9. Real-time monitoring server program flowchart

3. 시스템 동작 시험

3.1 시험 시스템 구성

본 연구에 사용된 시료는 학교 운동장 부지에 파일릿으로 시험설비를 시공 구축하였다. 시험에 사용된 시료의 물리적 사용 목적은 Table 2로 분류된다. 통합적 시스템 동작 기능을 시험하는 특성을 가짐으로써 시험 관망의 물리적 구성이 IT기술을 이용한 정보고도화 적용 가능성, 위치추적 성능, 반응시간 시험 3가지로 시험이 이루어지도록 구성하였다.

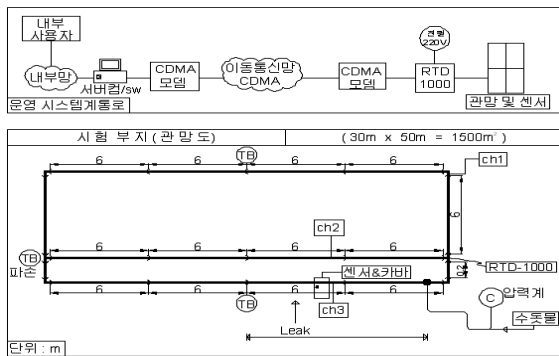


Fig. 10. System test facility configuration



Fig. 11. Picture a test tube, and monitoring systems installation

Table 2. Physical test installation configuration

항목	규격	기능
이중구조체 파이프	D100A, D80A	- 내관: 유해화학물질 이송 - 외관: 내관보호
파손감지 스마트슈트	D100A	- 외부로부터 파이프 파손감지
누출감시 센서 및 카버	D100A	- 내관누출 센싱
시험점검구	소형철괴	- 장비 동작 테스트 설비
압력계/타입머	아날로그 검침	- 센서동작 압력검사
원격감시장치	RTD-1000	- 파손누출 감지 및 위치거리계산
시험운영 모니터	32인치 LED	- 시험운영 자료표출 확인
시험운영 서버컴퓨터	64bit	- 시험운영 정보저장, 위치추적계산 및 자료정렬 등
시험운영 모뎀	CDMA	- 시험운영 정보 전송 및 알람
GPS 장비	VRS기능 지원	- 배관연결부 측량
스마트 폰	안드로이드	- 배관연결부 측량 및 시공자료 수집

3.2 시험 장치 및 방법

스마트폰 앱 프로그램을 통한 VRS 측량 자료 수집 기능을 확인 위하여 각 연결부를 반복적으로 측량작업을 수행하여 서버와 동기화시켜서 자료의 손실이 얼마나 발생하는지를 확인하고, 압력계 및 타이머를 이용하여 관로 파손 및 누출의 반응에 걸리는 시간을 확인 하도록 하며, 마지막으로 파손 및 누출 지점이 GIS 지도에 표시할 때, 실제와 얼마만큼의 오차를 가지고 있는지를 알아보도록 하였다(J. H. Bae, 2011).

이때, 시스템 동작을 위하여 이중배관의 누출 실험을 위해서는 외부에서 전동펌프로 공급하여 약 2kgf/cm²의 압력이 생기도록

하여 실험을 수행하며, 파손은 임의 지점에서 감지선을 인위적으로 끊어서 굴착기가 파손시킨 것을 가정하여 시험을 수행하였다.

원격감시장치가 설치된 지점에서 각각 3개의 실험 경로를 설정하였다. 1번 경로의 16.2m 지점과 2번 경로의 15.8m 지점을 파손 시험 지점으로 정하였고, 3번 경로의 9.3m 지점은 누출 시험 지점으로 정하여 시험을 수행하였다.

4. 시험 결과 분석

4.1 자료수집 손실을

아래 Table는 스마트 폰 앱 프로그램을 통하여 수집된 자료를 서버로 저장하고 동기화를 수행할 때, 발생하는 자료의 손실율을 나타내는 결과이다. 이 앱을 사용하는 것으로 주로 현장에서 이루어진다. 현장과 서버 사이에 무선통신망을 통하여 운영하는 것이 대부분이다(Y.W Kim, 2010). 따라서 무선 통신 환경에서 자료의 동기화 과정에 자료의 손실이 얼마나 일어나는지를 알아보기 위한 실험을 수행하였다. 많은 현장을 통하여 자료를 만드는 것이 좋겠으나, 실험 설비가 갖추어진 파일럿 설치 현장을 중심으로 자료를 수집하고, 서버로 자료를 동기화시키는 실험을 수행하였다. 이를 통하여 대부분 자료 전송 중에 큰 문제는 없었으나, 약간의 2%이내의 손실이 발생할 것을 가정하여 실험을 하였으나, 시험 중에는 100%의 결과를 얻었다. 그러나 네트워크 상에 문제로 발생할 수 있는 것으로서, 앱 프로그램 상에서 차기 동기화 과정에서 재전송을 수행함으로써, 완벽한 동기화를 유지하도록 하는 것이 가능하다 판단된다.

Table 3. Data transfer ratio using net CDMA(electrical transmission)

회	자료수	전송자료수	시작시간	종료시간	전송시간(초)	전송율(%)
1	100	100	13:36:33	13:36:52	19	100
2	100	100	13:37:16	13:37:38	22	100
3	100	100	13:38:40	13:38:57	17	100
4	100	100	13:39:43	13:39:58	15	100
5	100	100	13:40:42	13:40:57	15	100
6	100	100	13:41:29	13:41:50	21	100
7	100	100	13:42:20	13:42:35	15	100
8	100	100	13:43:34	13:43:50	16	100
9	100	100	13:44:21	13:44:37	16	100
10	100	100	13:45:11	13:45:29	18	100

Table 4. Data transfer ratio using net CDMA(inward correspondence)

회	자료수	전송자료수	시작시간	종료시간	전송시간(초)	전송율(%)
1	100	100	15:49:56	15:50:11	15	100
2	100	100	15:52:56	15:53:09	13	100
3	100	100	15:55:02	15:55:14	12	100
4	100	100	15:57:30	15:57:42	12	100
5	100	100	15:59:33	15:59:46	13	100
6	100	100	16:01:57	16:02:09	12	100
7	100	100	16:04:09	16:04:21	12	100
8	100	100	16:06:31	16:06:43	12	100
9	100	100	16:09:35	16:09:47	12	100
10	100	100	16:12:08	16:12:20	12	100

4.2 파손누출 감시 반응시간

아래 Table5 및 Table6은 파손 및 누출에 대한 실험을 반복수행하여 이벤트 발생에서 운영자의 핸드폰까지 알람문자 메시지가 수신되기까지의 전 과정에 얼마만큼의 시간이 걸리는지를 나타내는 그래프이다. 이 실험을 통하여 파손은 평균 약44.74초, 누출은 평균 약44.12초가 걸렸음을 알 수 있다. 이는 현장 실시간 대응 측면에서 평가하면 현장적용에 큰 문제는 없을 것으로 판단되지만, 개발 목표에서 약 16초 정도 빨리 반응하고 있음을 알 수 있다. 향후 시스템 최적화를 통하여 개선할 필요가 있다고 사료된다. 누출 실험인 경우에 현장에서 운영되는 실제 배관의 유체 압력 상황과 차이가 있을 수 있으며, 이에 따라 센서가 동작하는 시간적 차이가 좀 더 있을 수 있으나, 시험과정에서는 고압이 아니기 때문에 실제보다 느린 반응시간을 나타내고 있다고 볼 수 있다.

Table 9. Results of damage detection time and location tracking error

회	채널	수신시간(초)	실제위치(m)	측정위치(m)	오차(m)
1	3	44.09	9.3	11.94	+2.64
2	3	46.31	9.3	11.94	+2.64
3	3	43.47	9.3	11.94	+2.64
4	3	49.72	9.3	11.94	+2.64
5	3	37.82	9.3	11.94	+2.64
6	3	43.25	9.3	11.94	+2.64
7	3	43.85	9.3	11.94	+2.64
8	3	46.00	9.3	11.94	+2.64
9	3	42.00	9.3	11.94	+2.64
10	3	44.72	9.3	11.94	+2.64

Table 10. Results of leakage detection time and location tracking error

회	채널	수신시간(초)	실제위치(m)	측정위치(m)	오차(m)
1	2	42.87	15.8	16.69	+0.89
2	2	43.03	15.8	16.69	+0.89
3	2	42.28	15.8	16.69	+0.89
4	2	43.10	15.8	16.69	+0.89
5	2	48.91	15.8	16.69	+0.89
6	1	43.09	16.2	17.20	+1.00
7	1	44.59	16.2	17.20	+1.00
8	1	42.53	16.2	17.20	+1.00
9	1	47.81	16.2	17.65	+1.45
10	1	49.22	16.2	17.65	+1.45

4.3 파손누출 위치추적 오차

상기의 Table 5 및 Table 6은 파손 및 누출 발생 시, 발생된 위치를 추적하기 위하여, 개발된 프로그램에서 알려주는 위치와 실제위치 사이의 오차가 얼마나 나는지를 알려주는 실험결과 Table이다. 현장에서 굴착기를 이용하여 보통 3m 깊이 이내에서 땅을 굴착하여 보수를 수행하게 된다. 현실적으로 위치를 추적할 때는 이를 감안하였을 때, ±3m이내에서 위치추적이 가능하다면 현장에서 작업을 수행하는데, 큰 문제가 없을 것으로 판단된다. 따라서 이번 실험에서 나온 결과로 보아서 현장에서 큰 ±3m이내에서 위치추적이 가능할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 유해화학물질 이송관로의 실시간 유지관리를 위하여 파손 사전 예방감시를 위한 이중구조 파이프 제작, GIS관망 구축을 위한 측량 및 시공 속성정보 수집을 위한 스마트 폰 앱 프로그램 개발, 실시간 감시를 위한 서버 프로그램을 개발하였다.
- (2) 그리고 개발된 시스템의 성능을 검증을 수행하였는데, 자료 손실을 측면에서 손실 없이 100% 송수신이 이루어져서 목표치 2%이내에 들어올 수 있었고, 파손 및 누출의 반응 시간은 파손은 평균 약44.74초, 누출은 평균 약44.12초의 결과를 얻어서 목표치 60초이내에 들어왔으며, 또한 위치추적 오차 측면에서는 +0.89 ~ +2.64m 범위의 오차가 발생하여 목표치인 $\pm 3m$ 이내에 들어왔다.

따라서, 본 연구과정의 개발된 시스템의 성능검증 3가지 목표치를 달성할 수 있었다. 다만, 실제 현장에 적용할 경우에는 현장의 상황에 따른 다양한 변수로 인하여 영향을 받을 수 있지만, 향후 현장 적용된다면, 인적재난정보 확보에 큰 기여를 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 한국산학연합회 중소기업기술개발지원사업-연구마을(과제코드:C0220384)의 지원을 받아 수행된 연구 결과이며 이에 감사드립니다.

References

- Yoon, Byoungjo(2016), ITS system architecture based upon object-oriented methodology, Journal of the Korean Society of Disaster Information. Vol.12 No.1 , pp.106~107
- Korea Water and Wastewater Association(2010), Water Accident casebook.
- J. H. Bae(2011), "Using the low frequency communication leak detection technology research and planning"
- Y.W Kim(2010), "Acoustic Emission Sensors gaapkkwan and wireless communication and self-healing systems monitoring seepage of a 3-D in a tank"
- J.W. Ko(2010),"A gas safety management system technologies in development for the U- safety"
- J.Y. Koo(2007),"21 Century Frontier R&D Program, in water leakage prevention and reduction - a Base Technology for Sustainable Development System"
- J.H.Cha(2006),"Trunk natural gas pipeline safety management skills"