

제 출 문

국토교통부 장관 귀하

이 보고서를 "국토교통기술촉진연구사업에 관한 연구"과제(세부과제 "U-City 도시시설물의 지능화 체계구축을 위한 상수도관의 중앙누수모니터링 시스템 개발에 관한 연구")의 보고서로 제출합니다.

2015. 2. 9.

주관연구기관명 : (주)아남정보기술

주관연구책임자 : 이 호 영

연 구 원 : 전 호 섭

연 구 원 : 엄 창 현

연 구 원 : 황 상 원

연 구 원 : 엄 태 길

연 구 원 : 성 승 현

보고서 요약서

과제고유번호	12첨단도시05	해 당 단 계 연 구 기 간	2014. 3. 1 ~ 2015. 2. 9	단 계 구 분	3/3
연 구 사 업 명	도시건축연구사업				
연 구 과 제 명	최 상 위 과 제 명	U-City 도시시설물의 지능화 체계구축을 위한 상수도관의 중앙누수모니터링 시스템 개발			
	단위과제명				
연 구 책 임 자	이호영	총연구기간 참 여 연구원수	총 : 6명 내부 : 6명 외부 : 명	총연구비	정부 : 434,000천원 기업 : 151,481천원 계 : 585,481천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	(주)아남정보기술 부설 SI연구소		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 : 상대국연구기관명 :				
요약			보고서면수	125	
그동안 국내의 다양한 연구사업을 통해 연구성과는 입증이 되었으나, 상용화를 이루지 못하였던 상관식 누수탐지기를 ‘상수도관의 중앙누수모니터링 시스템 개발 연구사업’을 통해, 국산화 및 상용화 모델을 완성하였고, 이와 더불어 시간동기화 기술을 이용하여 누수위치를 추정할 수 있는 알고리즘을 개발함으로써 수입대체가 가능한 토대를 마련하였다. 기존 상수관로에 대한 지능적 누수탐사가 가능해 짐으로써, 기존 상수관로 탐사에 소요되는 인적, 물적 비용을 줄일 수 있을 것이며, 누수징후 탐지 이후에도 누수위치를 추정할 수 있는 알고리즘을 통하여 위치추정까지 가능함으로써, 누수위치를 찾는 데 보다 신속하게 대응할 수 있을 것이다. 이러한 장비의 개발은 상수관로의 누수탐지에 대한 연구가 주로 신규 매설되는 관로에 대한 누수탐지 신기술이 많이 나오고 있는 실정에서, 기존 매설되어 있는 상수관로에 대한 누수탐지기능을 충실히 수행함으로써, 교체전 누수에 따른 국고손실을 줄일 수 있을 것이며, 도시지하 시설물의 지능화 체계구축을 위한 기본적인 자료로 활용이 가능할 것이다. 수자원 관리의 사각지대이자 많은 문제점을 안고 있던 노후 상수관의 체계적 관리가 본 장비개발로 인해 가능해짐으로써, 전국 수자원 관리와 관련된 종사자 및 업계에 보다 효율적인 누수탐사 업무를 수행할 수 있을 것이다. 추후 본 장비를 확장하게 되면 센서의 교체만으로도 다양한 탐지기능을 수행하는 장비를 개발하는데 좀 더 손 쉽게 다가설 수 있을 것이다.					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	누수탐사, 상수도, 기존통신망, 원격 송신, 중앙모니터링			
	영 어	Leak detection, Waterworks, wireless network, central monitoring			

요 약 문

I. 제목

: U-City 도시시설물의 지능화 체계구축을 위한 상수도관의 중앙누수모니터링 시스템 개발

II. 연구개발과제 개요

○ 개요

- 음파를 활용하여, 누수를 탐지하고, 누수위치를 추정할 수 있는 센서모듈, 이와 관련된 무선 전송모듈 및 이를 모니터링 및 분석할 수 있는 소프트웨어를 개발하고자 하는 것이다. 이 방식은 기존 상수도관에 부착하여 활용이 가능하며, 가격이 상대적으로 저렴하고, 상시 모니터링이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

○ 목적

- 기존 연구사업에서 연구된 상관식 탐지기를 상용화 제품으로 개발.
- 누수위치를 탐지할 수 있는 제품을 개발하여 누수탐지 단계 축소에 따른 비용 절감.

○ 필요성

- 기존 매설관로에 대한 지능적 누수탐지
- 연구목적이 아닌 상용화 제품 개발

○ 범위

- 도관음(누수음 포함)을 채집할 수 있는 센서부 개발
- 시간동기화를 위한 FM 신호 수집부 개발
- 수집된 신호를 정제하는 로거부 개발
- 로거에 저장된 데이터를 중앙서버로 전송하는 전송부 개발
- 수집된 데이터를 보여주는 뷰어 소프트웨어 개발
- 이상지점의 데이터를 활용하여 누수위치 추정 소프트웨어 개발.

III. 연구개발 수행내용 및 결과(연구수행과정, 연구수행결과 등을 기술)

○ 해외실용화 제품 벤치마킹

- 국내에 주로 도입되어 운용되고 있는 해외 4개 제품을 대상으로 선정하여 제품의 스펙 비교 및 시스템 구성등을 확인.
- 4개 제품 분석 (기능, 시장 점유율) 후 대상 제품 선정하여 1종 구매

- 대상 제품을 구매 및 분해하여 구조 분석 및 기능 스펙 확인
- 도관음(누수음 포함)을 채집할 수 있는 센서부 개발완료
- 누수 센싱 유닛은 일체형 또는 분리형으로 구성할 수 있다. 일체형의 경우 부품 단순화 및 제조원가 절감에 도움이 되나, 단점으로는 부피가 커짐으로써 도관 부착등이 용이하지 않을 수 있다. 분리형의 경우 일체형과는 반대로 부착등에 따른 편이성을 추구할 수 있고, 분리되어 있음으로서 부착위치 등의 조절 또한 용이하다. 본 연구과제에서는 분리형을 제작함으로써 다양한 환경조건에 대응하도록 했다.
 - 누수센싱유닛은 누수음을 감지하는 센서부와 센서부의 음파신호를 처리하는 신호처리부로 구분하여 제작하였다.
- 시간동기화를 위한 FM 신호 수집부 개발
- 누수위치의 추정을 위해서는 시간동기화가 가장 중요하다. 기존 GPS를 활용한 시간동기화는 해당 작업을 위해 외부에 노출을 시켜야 하는 문제점이 있기 때문에, 신속한 측정 및 대응이 어렵게 된다.
 - 본 연구에서는 시간동기화를 위해 FM 방송 신호를 활용하는 모듈을 개발하였다.
- 수집된 신호를 정제하는 로거부 개발완료
- 필터링된 도관음과 FM신호음을 결합하여 전송하는 모듈을 개발하였다.
 - 1,2차 필터링된 도관음을 FM 신호음을 결합함으로써, 누수위치 추정계산이 용이하도록 설계를 진행하였다.
- 로거에 저장된 데이터를 중앙서버로 전송하는 전송부 개발완료
- 3G모듈을 사용하여 수집된 데이터를 중앙서버로 전송하는 모듈을 개발.
 - 3G모듈은 중앙에서 모든 데이터를 볼 수 있도록 전송하는 역할을 하며, 다양한 환경에서도 무선망을 활용할 수 있는 장점을 가지고 있다.
- 수집된 데이터를 보여주는 뷰어 소프트웨어 개발.
- 중앙에서 전송된 데이터를 정제하여 해당 맨홀의 도관 음압값을 표현함으로써, 식별이 용이하도록 하였음.
 - 과거 측정데이터를 그래프로 보여줌으로써, 빠른 판정이 가능하도록 유도할 수 있다.

- 누수위치 추정 소프트웨어 개발완료
 - 이상지점의 데이터를 활용하여 누수위치를 추정하는 소프트웨어 개발.
 - FM신호와 도관음을 분석하여 상호 일치하는 지점을 계산하도록 설계되었으며, 실제 작업에는 다양한 변수들이 적용되어 보다 정확한 판정이 가능하도록 하였다.

IV. 최종 연구성과 및 적용실적

- 최종 연구성과
 - 음파를 이용한 분리형 누수모니터링 장비 (누수센서 유닛 및 로거) 개발.
 - 중앙관제식 누수위치 파악이 가능한 누수모니터링 프로그램
- 적용실적
 - 제작된 시제품의 현장테스트(동두천 수도관리단)를 통해 실용성을 입증.
 - 지속적인 테스트를 통하여 다양한 데이터를 추가 수집하여 개선작업 진행.

V. 연구목표 달성 및 효과

No	연구목표	내용	달성도
1	음파를 이용한 분리형 누수모니터링 장비 (누수센서 유닛 및 로거)	파에조센서(압력변화에 따른 음파감지)를 기반으로 한 음파를 이용하여 도관의 누수정보를 수집.	100%
		시간 동기화를 위한 FM 신호 정보 수집.	100%
		수집된 누수정보를 3G망을 이용하여 중앙 서버로 전송.	100%
2	중앙관제식 누수위치 파악이 가능한 누수모니터링 프로그램	중앙관제실에서 누수 센서 로거를 통해 수집된 정보를 시간별로 보여주는 프로그램 개발.	100%
		2지점간의 수집정보를 활용하여 누수위치를 파악 할 수 있는 소프트웨어 개발.	100%
3	사업화	시제품 제작 2건	100%
4	기술성능검증	전문가 검토 의견 1건	100%
5	지적재산권	소프트웨어 등록 1건	100%
6	인증	2건	100%
7	기술실시	1건	100%

VI. 연구성과 활용계획

- 기업으로의 기술실시를 통하여 상용화 제품 출시
- 판매보다 리스, 유지보수등의 방식을 통한 판매 활성화 전략 마련
- 추가 연구를 통한 소형화 연구 진행.
- 기술제휴를 통한 기기 신뢰성 향상방안 모색.

SUMMARY

I. Subject

: Central leak monitoring system of water supply pipes for building an intelligent system of U-City city facilities

II. R&D Projects Overview

○ Overview

- The project developed sensor module for detects a leak using sound waves and capable of estimating a water leakage position, a wireless transmission module, and it can monitor and analysis software. This approach can be utilized to attach to the existing water supply pipe, the price is relatively inexpensive, has the advantage that continuous monitoring is possible.

○ Purpose

- Development of a correlation detector that research on existing business to commercialize products.
- Development of a product which can detect the leak location and Cost savings from the reduction leak detection step

○ Needs

- Intelligent detection of buried pipeline leak
- Product development, commercialization purposes

○ Scope

- Sensing Part development for collect water duct sound (included leak sound)
- FM signal acquisition unit development for Time Synchronization
- Loggers development department to refine the collected signal
- Transfer section development for transferring the data stored in the logger to a central server,
- Viewer software development showing the collected data
- Leak Location Estimation Software Development

III. R&D Information and Results

○ Developed Sensing Part for collect water duct sound (included leak sound)

- Devices designed to facilitate the signal collected.

○ Developed FM signal acquisition unit for Time Synchronization

- Developed using an FM broadcast signal for time synchronization.

- Developed Loggers department to refine the collected signal
 - Development logger keeping by combining the filtered duct sound and FM tone.
- Developed transfer section for transferring the data stored in the logger to a central server
 - Transmitting the collected data to a central server by using the 3G module
- Developed viewer software showing the collected data
- Developed Leak Location Estimation Software
 - Development of software for estimating a water leakage position by using the data of point.

IV. The Final Results of R&D and Apply the Results

- The Final Results of R&D
 - Water Leak Monitoring Device using sound wave
 - Water Leak Monitoring Program on Central Office (S/W)
- Apply the Results
 - Demonstrate the effectiveness through field testing of the fabricated prototype.
 - Process improvements by adding a variety of data collection through the continuous test.

V. Research objectives and effects

No	Goal	Contents	%
1	Water Leak Monitoring Device using sound wave	Collect the leak information using the sound wave of the water pipe based on a sensor.	100%
		FM signal acquisition information for time synchronization.	100%
		Transmitting the collected data to a central server by using the 3G module	100%
2	Water Leak Monitoring Program on Central Office	Development program that shows the information collected through the leak sensor logger.	100%

	(S/W)	Development S/W that can identify the leak location. using Gather information between the 2 point.	100%
3	Commercialization	Prototype 2	100%
4	Technical Performance Verification	Expert Opinion 1	100%
5	Intellectual Property	S/W Enrollment 1	100%
6	Certification	2	100%
7	Technical implementation	Agreement 1	100%

VI. Utilization of research results

- Commercialization of products through the technical implementation of the enterprise
- Sales Strategies prepared by methods such as leases, maintenance than sales
- Through additional research studies conducted miniaturization.
- Improving equipment reliability through technical cooperation.

CONTENTS

Chapter 1. R&D Projects Overview	14
Section 1. R&D purpose and needs	4
1. R&D OverView	14
2. R&D Purpose	16
3. R&D Needs	16
Section 2. R&D Definition, Scope and	7
1. R&D Definition	17
2. R&D Scope	17
3. R&D Special Feature	18
Section 3. Technology Development Status of Domestic and Foreign	8 1
1. Domestic technology and industry trends	81
2. Foreign technology and industry trends	91
Section 4. Position of R&D Results	02
1. Excellence of R&D results	02
2. Differentiation of R&D results	12
 Chapter 2. R&D Information and Results	 23
Section 1. R&D Strategy and methodology	32
1. Technology Development Strategy	32
2. Development Plan and Method	3
Section 2. R&D Process and Information	52
1. R&D Goal and Information	25
2. R&D Process and Information	3
Section 3. R&D Results and Verification Method	86
1. Field Test – Device field Test	86
2. Foreign Product Performance Test	0
3. Field Test – Wave Detection Test	19
4. Test – Water Proof Test	111

Chapter 3. The Final Results of R&D and Apply the Results	112
Section 1. Research List	12
Section 2. Individual Research	13
1. Water Leak Monitoring Device using sound wave	13
2. Water Leak Monitoring Program on Central Office (S/W)	16
Chapter 4. Research objectives and effects	118
Section 1. R&D Final Goal Achievement	18
1. R&D Final Goal	118
2. Performance Indicators	18
Section 2. Technical Effects Analysis of R&D results	911
Section 3. Economic Effects Analysis of R&D results	01
Section 4. Policy Effects Analysis of R&D results	121
Chapter 5. Utilization of research results and additional research needs	122
Section 1. Utilization of research results	21
Section 2. additional research needs	123
References	125

목 차

제1장 연구개발과제 개요	4
제1절 연구개발의 목적 및 필요성	4
1. 연구개발 개요	4
2. 연구개발 목적	6
3. 연구개발 필요성	6
제2절 연구개발의 정의, 범위, 특징	7
1. 연구개발의 정의	7
2. 연구개발의 범위	7
3. 연구개발의 특징	8
제3절 관련분야의 국내외 기술개발 현황	8
1. 국내 기술 및 산업 동향	8
2. 국외 기술 및 산업 동향	9
제4절 연구개발결과가 관련분야에서 차지하는 위치	10
1. 연구개발결과의 우수성	10
2. 연구개발결과의 차별성	12
 제2장 연구개발 수행 내용 및 결과	 12
제1절 연구수행 전략 및 방법론	12
1. 기술개발 추진 체계	13
2. 세부 추진계획 및 방법	13
제2절 연구수행과정 및 내용(이론적, 실험적)	14
1. 연구 목표 및 내용	14
2. 연구수행 과정 및 내용	14
제3절 연구수행결과 및 결과의 검증 방법 등	16
1. 현장시험 - 기기 현장시험	16
2. 외산제품 성능비교	10
3. 현장시험 - 음파 탐지 테스트	109
4. 시험 - 방수 테스트	111
 제3장 최종 연구성과 및 적용실적	 12
제1절 연구성과 리스트	12
제2절 개별 연구 성과	113
1. 음파를 이용한 분리형 누수모니터링 장비 (누수센서 유닛 및 로거)	11
2. 중앙관제식 누수위치 파악이 가능한 누수모니터링 프로그램(S/W)	11

제4장 연구목표 달성 및 효과	118
제1절 연구개발 최종목표 달성도	118
1. 연구개발 최종목표	118
2. 성과지표	118
제2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석	119
제3절 연구개발 성과의 경제적 효과분석(시장창출,고용창출 등)	121
제4절 연구개발 성과의 정책적 효과분석	121
 제5장 연구 성과의 활용 및 추가연구 필요성	 122
제1절 연구 성과 향후 활용방안	122
제2절 추가연구 필요성	123
 참고문헌	 125

제1장 연구개발과제 개요

제1절 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발 개요

- 우리나라는 2005년 기준 1인당 가용(재생가능) 수자원량¹⁾이 1,488m³로 세계 130위이며, 국제인구활동연구소(PAI)²⁾ 기준 1,700m³에 미달하는 물 부족 국가군에 포함되고 있으며, 물 빈곤 지수(WPI)³⁾는 전체 147개국에서 43위 수준이며, 29개 OECD 국가 중 20위로서 선진국에 비하면 낮은 수준인 것으로 나타났다.
- 이렇게 부족한 수자원을 가지고 있지만, 국내수자원 총생산 59억9백만m³ 중 10.8%에 달하는 6억3천8백만m³의 수자원이 누수⁴⁾에 의해 매년 4,940억 원 이상 손실이 발생⁵⁾되고 있는 것이 현실이다.
- 이러한 문제점을 해결하기 위해서, 누수가 되었을 경우 정확한 누수시점 및 정확한 위치를 찾아내는 기술은 수자원의 원활한 순환 및 자원보호 차원에서 중요한 국가적인 역량을 쏠아야 하는 기술임에 틀림없다.
- 따라서 국내에서도 다양한 연구가 국내에서도 진행되고 있지만, 아직 상용화 단계에는 이르지 못하고 있는 실정이다. 상수도 누수탐사장비 및 누수 방지시스템은 일부 국가의 독점 기술로 여겨지고 있으며, 현재까지 국내에서는 관련 장비의 상용화가 미비한 상태이다. 또한, 누수탐지 감지에 관한 국내 기술 수준은 개념정립 단계이며, 응용기술에 의한 국내 현장 적용 및 개발 사례 또한 부족한게 현실이다.
- 본 연구개발에서 수행한 방식은 음파를 활용하여, 누수를 탐지하고, 누수 위치를 추정할 수 있는 센서모듈, 이와 관련된 무선 전송모듈 및 이를 분석 및 모니터링 할 수 있는 소프트웨어를 개발하고자 하는 것이다. 이 방식은 기존 상수도관에 부착하여 활용이 가능하며, 가격이 상대적으로 저렴하고, 상시 모니터링이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

1) 1인당 가용 수자원량(Renewable Water Resources)은 국토면적에 떨어지는 연간 강수량중 증발산 등의 손실을 제외한 유출량을 인구수로 나눈 값으로, 국가별 기본적인 수자원 여건을 판단할 수 있는 일반적으로 통용되는 지표로 UNEP, ESCAP, PAI 등 유엔산하 기관 등에서도 공식적으로 인용됨.

2) PAI(Population Action International)

3) WPI(Water Poverty Index)

4) 2010년 환경부 상수도 통계

5) 2010년 환경부 상수도 통계 전국 평균 수도요금 777원/m³ 환산

○ 누수탐지 방식

방식	내용
청음식 탐지기	상수관의 소리를 직접적으로 들으면서 누수 여부를 탐지하는 기기로, 국내에서 제조되는 대부분의 탐지기가 청음식 탐지기이다. 이 탐지기는 하나의 청음센서부, 증폭부, 이어폰으로 구성되어 있다. 일반적으로 누수음을 직접 들으면서 탐지하는 방식이라 시간이 오래 걸릴수 있고, 장시간 탐사시 피로감이 누적될 수 있다.
가스식 탐지기	가스식은 배관의 물을 뺀 후 질소와 수소를 혼합한 가스를 배관으로 넣어 새는 가스를 탐지하는 방식으로 누수여부 및 누수 지점을 판단한다. 탐지속도가 빠르다는 장점은 있으나, 배관의 물을 빼야 하는등 여러 조건이 성립되어야 하는 방식이기 때문에 일반적으로 청음식과 같이 사용한다.
상관식 탐지기	상관식은 맨홀의 각 밸브부에 센서를 부착하여 상수관의 음압변화에 따른 소리를 수집하는 장치로서, 누수 발생시 나타나는 주파수 변화를 통해 누수여부를 탐지하는 장치이다. 일반적으로 옥외 상수관의 대량 탐사를 위해 사용되며, 국외산이 대부분이며, 가격이 비싼점이 단점이다.
TDR 기술	도관의 외부에 케이블을 감은 다음 케이블의 단선, 단락등의 임피던스 불균등을 탐지해 각종 현황을 파악하는 기술로 신규 도관 매설시에 적용이 가능하다.
DTS 기술	2014년에 국내 개발된 기술로 광케이블을 이용해 관로 연장을 따라 온도와 변형율을 측정하여 각종 누수, 가스 누출등을 탐지할 수 있는 기술이다.

2. 연구개발 목적

- 개발하고자 하는 것은 상관식 탐지기로써, 국내에 다양한 연구를 수행하였지만, 상용화된 탐지기가 없는 실정이라고 할 수 있다. 따라서 상관식 탐지기의 국산화를 통하여 도입비용을 절감하고, 네트워크 방식의 탐지관리 시스템을 구축할 수 있다.
- 누수의 탐지 뿐만 아니라, 누수 발생 가능성이 있는 지점까지 추정할 수 있는 시스템을 개발함으로써, 전체구간을 탐사하는 탐사비용을 획기적으로 절감할 수 있다.
- 기존 연구된 연구목적의 제품이 아닌 상용화 제품을 개발함으로써, 도시 지하 시설물의 지능망 구성에 일조 할 것으로 본다.

3. 연구개발 필요성

- 선진국의 누수율은 3% 이하이며, 본 누수율을 유지하기 위해 중앙 관제시스템 도입 및 상시 관리 시스템 구축을 통해 해당 누수율을 유지하고 있다.
- 국내에서도 유수율 제고를 위해 다양한 방법등을 사용하고 있지만, 노후관이 많아 누수율을 줄이는데 한계를 가지고 있으며, 현재 국내에서 신기술로 개발된 다양한 누수 탐지 기술이 신규관로 매설시에는 적용이 가능하지만, 기존 관로에는 적용이 쉽지 않기 때문에 기존 관로의 상시모니터링 시스템 도입으로 누수발생 시 실시간 조치가 가능한 통합관리 체계가 반드시 필요하다.
- 누수방지를 위해서는 2가지 방법이 있다.
 - 노후된 상수도관을 교체하여 누수를 방지하는 방법과, 누수모니터링 통합관리 시스템에 의한 지속 관리를 통하여 누수를 방지하는 방법이 있다. 일상적인 노후 상수도관 교체와 더불어 통합모니터링 관리시스템이 존재하지 않는다면 누수율은 노후관 교체 당시에만 낮아질 뿐 시간 경과에 따라 누수율은 다시 증가할 수 밖에 없다.
- 본 과제에서는 누수센싱유닛 및 로거(도관 유체흐름에서 발생하는 소리를 채집하여 분석한 후 누수여부 및 누수위치 판단)와 소프트웨어를 국산화함으로써, 수입대체효과, 도입가격 최소화등의 기대효과를 달성 할수 있다.
- 본 연구개발의 필요성이라 할 수 있는 요소는 다음과 같다.
 - 누수로 인한 시민 불편 최소화
 - 누수에 의한 경제적 손실의 최소화
 - 누수센싱유닛의 수입대체 효과로 예산절감
 - 국내 누수모니터링시스템 원천기술 확보로 국가 경쟁력 확보
 - 조기탐지로 인해 계획된 유지보수 가능

제2절 연구개발의 정의, 범위, 특징

1. 연구개발의 정의

○ 최종목표

U-city 도시시설물 지능화 체계구축에 필요한 상수도관의 중앙 누수모니터링 시스템 개발.

○ 최종성과물

- 누수센싱유닛 개발(누수센싱유닛은 센서, 신호증폭장치 및 데이터저장시스템으로 구성)
- 기존통신망을 이용한 원격 전송시스템
- 누수여부/위치를 판단하는 분석/판정 소프트웨어 개발



2. 연구개발의 범위

- 최종 연구개발 성과물은 누수센싱유닛과 원격 전송시스템 및 누수 분석/판정 소프트웨어의 개발을 목표로 하는 시제품 개발에 해당되고, 본 연구의 성과물을 통한 실효성을 입증하는 것이 주요 목표다.
- 국내에는 음파감지에 의한 누수센싱 시스템은 개발된 바 없으며, 실효성 검증을 위한 본 기술의 개별 성과물 개발이 우선적으로 필요하다. 2차년도 사업에서는 시제품 및 전체 누수모니터링시스템을 개발하고, 최종 3차년도의 실효성 검증을 통해 향후 U-city에 본격적이고 체계적으로 적용하기 위한 기초 데이터를 제공하는데 있다.
- 본 사업에 의해 누수센싱유닛 및 누수모니터링시스템이 개발되면 수입대체 효과 뿐만 아니라 U-city의 모델로서의 세계시장 진출도 기대된다.

3. 연구개발의 특징

- 상관식 누수탐지기의 국산화

상관식 누수탐지기의 경우 수용가로 들어가기 전의 배관에 많이 사용하는 방식으로, 국내에서는 연구목적의 개발을 수행된적이 있으나, 상용제품의 출시는 되어 있지 않다. 따라서, 본 탐지기를 국산화 함으로써, 도시 상수도관의 지능망 구축에 도움이 될것으로 본다.

- 누수위치 판별을 위한 거리 제공

기존 누수 탐지기의 경우 위치거리 판별을 위해서 별도의 기기를 사용하고 있으며, 별도의 기기를 사용할 경우 비용적인 면에서 비효율적이기 때문에, 위치를 판별할 수 있는 소프트웨어를 개발 함으로써, 누수위치를 중앙에서 판별할 수 있다.

제3절 관련분야의 국내외 기술개발 현황

1. 국내 기술 및 산업 동향

- 기존의 누수 관리 방식은 투입유량 대비 총사용자에 의한 총사용량의 비교에 의해 이루어졌으며, 이에 대한 누수탐지에 관한 기술은 수동식 누수탐자장비인 청음봉 방식에 의존해 왔다. 이러한 청음봉 방식은 민간에서 사용하는 주거 배관 검사등에 일반적으로 사용되고 있으며, 상수관로에도 동일한 방식으로 적용하고 있어, 탐지에 많은 시간이 소요되는 단점이 있다.

- 이러한 수동식 방식을 개선하여 누수발생시 추측되는 영역을 파악하고 그 해당영역에 발생하는 음파를 탐지하는 해외제품을 설치하고 해당지역의 누수를 인력을 투입하여 탐지하는 반자동화된 누수탐지가 약 10여년전부터 적용되기 시작하고 있다.

- 국내 주요관련업체도 탐사장비를 보유하고, 누수탐지를 요청받아 위치를 검색해주는 용역기반의 업체들이 대부분이다.

- 누수탐지를 위한 신기술로 TDR방식, DTS방식에 의한 누수탐지 방식을 연구하여 실용화하고 있으나, 이는 신규 매설하는 도관에 적용가능한 기술로서, 이미 매설된 노후관로에는 적용이 불가능하다.

- 본 연구과제에서는 상대적으로 비용효율적인 음파탐지 방식의 누수센서 및 상시 모니터링 모듈을 개발하고자 하며, 이 기술은 다양한 연구를 통해 개념정립이 된 수준으로, 상관식 탐지기는 전량 수입에 의존하고 있으며, 국내에는 상용화된 제품은 전무한 상태이다.

- 연구개발과제의 중복방지를 위한 조사 및 검토결과

- TDR 기술을 이용한 상수도 관망의 누수탐지 시스템 개발(2011)

TDR기술을 이용한 누수감지 방식으로 시설비 및 시공비가 음파감지 방식에 비해 상대적으로 많이 소요된다.

- 지능형 국토정보기술혁신사업단 2핵심(2007)
구간별 유량계측에 의한 누수탐지 방법으로, 해당 구간별로 일정 시간 경과 후 누수여부를 판단한다.
- DTS 기술을 이용한 누수탐지 기술(2014)
광케이블을 이용해 관로연장을 따라 온도와 변형율을 측정하는 기술을 이용해 누수탐지등이 가능한 기술로 신규 상수관로 매설시에 적용이 가능하다.

2. 국외 기술 및 산업 동향

- 도관 부착형 음파기반 누수탐지장비에 대한 세계 시장은 유럽 업체가 기술력으로 선도해 나가고 있는 상황이다. 주요 해외 업체로는 스위스의 Wagamet 사, 영국의 Primayer, Palmer사 등이 있으며, 국내에는 Palmer사의 제품을 많이 사용하고 있다.
- 수자원에 대한 인식이 지구환경의 중요한 자원으로 점차 부각되면서 전 세계 시장에서 첨단 누수 탐사 장비에 대한 수요는 꾸준히 증가하고 있다.
- 누수탐지기술에 대한 향후 세계시장은 24시간 상시 모니터링 방식으로 누수 발생시 상황실에서 실시간 파악이 가능한 장비 및 시스템이 주축을 이룰 것이다. 따라서, 수동 데이터 수집작업이 불필요한 자동 데이터수집 및 모니터링 방식으로 전환이 필요하며, 수자원 관리 또한 이를 이용한 자동화 상시모니터링 시스템 방식으로 개선되어 가고 있다.

제4절 연구개발결과가 관련분야에서 차지하는 위치

1. 연구개발결과의 우수성

○ 시간 동기화를 통한 누수위치 추정.

- 누수위치 추정에서는 시간 동기화기술이 매우 중요하다. 관로 연장선상에서 2지점을 기준으로 누수로 추정되는 위치를 찾기위해서는 2지점에서 동시에 같은 파장의 신호음을 검출해야 한다.
- 이를 위해 GPS를 활용하기도 하지만, 이럴 경우 외부 신호 수신을 위한 안테나등 부대시설물이 늘어나 시공성이나 비용면에서 비효율적이라고 할 수 있다.
- 시간 동기화를 위해 FM 신호를 사용함으로써, 보다 저렴한 비용으로 시간 동기화를 통해 누수위치 추정이 가능하다.

○ 중앙관제방식의 적용

- 각 탐지기의 데이터를 현장에서 보는게 아니라, 3G망을 통해 중앙으로 전송하는 방식을 취함으로써, 수집을 위해 현장방문이 필요없고, 관련업무를 처리함에 있어 보다 편리하고, 신속하게 업무를 수행할 수 있다.

○ 연구개발품의 사업화

- 기존의 다양한 연구에서 시험제품의 제작은 있었으나, 양산품이 없는 실정이었다. 이러한 연구결과물을 양산을 위한 제품으로 개발 함으로써, 외산제품의 대체효과 뿐만 아니라, 보다 저렴한 가격으로 탐지업무를 수행할 수 있어 비용절감의 효과가 클것으로 본다.

2. 연구개발결과의 차별성

○ 기존 매설된 상수도관에 적용 가능

- 현재 국내에서 개발되고 있는 상수도관 누수탐지기술은 신규 상수관로에 적용할 수 있는 기술이 대부분이다. TDR기술을 이용한 누수탐지시스템 기술이나, 최근 DTS기술을 이용한 누수탐지 기술등이 그것이라 할 수 있다.
- 하지만 국내 누수의 대부분이 노후화된 상수도관에서 발생하고 있다. 누수를 줄이기 위해서는 상수도관을 교체하는 것이 근본적인 해결책일 것이나, 상수도 교체사업 또한 지방정부의 재정확보의 어려움 때문에 중앙정부의 지원을 반려했고 있는 상황이다.
- 따라서, 상관식 누수탐지기의 개발을 통해 기존 매설된 상수관로의 누수를 지능적으로 탐지함으로써 유수율 제고에 기여할 것이다.

○ 일체형 제품

- 개발된 시제품은 센서부, 로거부, 송신부를 겸하고 있고, 신호의 수집 및 해석은 중앙관제부에서 처리하는 형식을 취하고 있다.
- 이러한 형식은 제품의 시공성을 향상시키고, 신호처리방식을 중앙에서 처리함으로써 보다 사용성이 향상되어 최적의 성능을 발휘할 것이다.

○ 상관식 탐지기의 국산화

- 상관식 탐지기의 국산화를 통해 외산제품의 대체가 가능하고, 비용대비 약 50%이상의 비용을 절감할 수 있다.

○ 시간동기화를 위한 FM 신호의 이용

- 시간동기화를 위해 FM 신호를 이용함으로써, GPS등을 활용하는 경우보다 시공성등이 월등히 뛰어나며, 외부 동기화 신호장비의 필요없이 동기화를 통해 누수위치를 계산하게 된다.
- 시중에 판매중인 제품의 경우 누수위치계산을 위해 장비를 외부에 노출시켜 GPS신호를 기반으로 추정하게 되지만, 본 연구개발품은 그럴 필요없이 데이터 자동 수집을 통해 누수위치 추정이 중앙관제실에서 가능하게 된다.

○ 외산장비와의 차별성

- 상판식 탐지기의 국산화로 실제 도입비용을 50%이상 절감이 가능하여 탐지기의 확산에 기여할 수 있다. 상수도 관리 기관에서는 대부분 외산 탐지기를 구매하여 사용하는 것이 일반적이다이기 때문에, 동일 가격에 도입할 경우 훨씬 많은 탐지기를 구매하여 상수관로의 관 상태를 파악 하는데 시간과 비용을 절약할 수 있다.
- 외산 장비의 경우 탐지와 위치확인을 별개로 하는 경우가 대부분으로 탐지를 위해 장비를 설치하여, 이상 관로를 우선 파악한 후 위치확인 장비로 위치를 탐지하는 절차를 거친다. 이를 위해서는 시일과 인원이 많이 소요되게 된다. 본 연구개발로 개발된 장비는 설치부터 탐지, 위치 확인까지 일시에 처리가 가능하다. 즉, 맨홀내에 탐지기를 설치한 후부터 최종 탐지결과 및 이상징후에 따른 위치확인할 때까지 맨홀을 다시 개방할 필요가 없어 비용대비 효율적인 장비라 하겠다.
- 위치확인을 위해서는 시간동기화가 필수이다. 하지만, 기존 방식은 GPS 를 이용하는 방식으로 탐지와 위치확인이 별개로 이루어지는 단점이 있다. 이러한 단점을 보강하기 위해 맨홀에서도 통신이 가능한 FM신호를 이용하여 시간을 동기화한다. 이렇게 되면, 위치확인을 위해 별도의 장비를 필요로 하지 않아 장비의 효율성을 기대할 수 있다.
- 하드웨어 장비의 경우 필연적으로 고장이 발생하게 된다. 실제로 외산 장비의 경우 수리를 위해 최소 1개월에서 많게는 수개월동안 장비의 운용을 할 수 없는 경우가 발생하게 된다. 이는 유지보수에 심각한 문제를 일으키게 된다. 하지만, 현재 개발된 국내장비의 경우 양산화를 하게 된다면 장비 고장 발생시 즉시 대처할 수 있게 되어, 장비를 운용치 못하는 문제를 미연에 방지할 수 있다.

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과

제1절 연구수행 전략 및 방법론

1. 기술개발 추진 체계

구분	주관연구기관 (아남정보기술)
1차년도 (2012)	• 해외실용화 제품 벤치마킹 • 누수 유닛 설계 • 데이터 로거 하드웨어와 프로세스 설계
2차년도 (2013)	• 데이터 전송 시스템 개발 • 누수 분석/판정 소프트웨어 개발 • 누수 모니터링 시스템 개발
3차년도 (2014)	• 누수위치 분석 S/W 개발 • 누수 모니터링 시스템 고도화 개발 • 현장 테스트

2. 세부 추진계획 및 방법

연차	연구내용	세부추진 계획 및 방법	수행 기간
1차 년도	해외 실용화 제품 벤치마킹	• 해외 우수 제품 선정 • 제품 분해 및 구조 분석	12 개월
	고성능 누수센싱유닛 설계	• 누수센서 유닛 설계 • 주파수: 3Hz-3000Hz • 온도: -20℃ ~ 70℃ • 누수음탐지: >250 meter • 유닛케이스: 100% 방수	
	데이터 로거 하드웨어와 프로세서 설계	• 데이터 수집 장치 설계 • 데이터 저장 프로세스 설계 • 데이터 분석 알고리즘 확립	

2차 년도	데이터 전송 시스템개발	• 국내/외 통신 인프라 분석 (CDMA/ 3G/ 4G/ Wibro 등) • 전송 시스템 선정 • 통신사와 전략적 제휴 타진 (통신비용 절감) • 적합 전송 시스템 개발 • 적합 통신 국내인증 확인	12 개월
	누수 분석/판정 S/W 개발	• 로거 데이터 구분 • 로거 데이터 저장 • 누수 분석/판정	
	누수 모니터링 시스템 개발	• 누수센싱유닛 시제품 제조 • 로거 시제품 제조 • 중앙 운용 S/W 개발	
3차년 도	누수위치 분석 / 표시 소프트웨어 개발	• 누수위치 추정 프로그램 개발	11 개월
	누수 모니터링시스템 고도화개발	• 중앙 운용소프트웨어 에 누수위치 추정 프로그램 추가 • 로거 에 누수위치 추가정보 수집 기능 추가 • 누수모니터링 시스템에 음파분석 및 비교 기술 개발	
	실용화 검증	• 시범설치 현장 선정 • 실용화 성능 검증	

제2절 연구수행과정 및 내용(이론적, 실험적)

1. 연구 목표 및 내용

연차	내용
1차년도 (2012)	• 해외실용화 제품 벤치마킹 • 누수 유닛 설계 • 데이터 로거 하드웨어와 프로세스 설계
2차년도 (2013)	• 데이터 전송 시스템 개발 • 누수 분석/판정 소프트웨어 개발 • 누수 모니터링 시스템 개발
3차년도 (2014)	• 누수위치 분석 S/W 개발 • 누수 모니터링 시스템 고도화 개발 • 현장 테스트

2. 연구수행 과정 및 내용

가. 해외실용화 제품 벤치마킹

(1) 접근방법

- 해외 우수제품의 비교 분석 후 분석 대상제품 구매
- 벤치마킹 대상 제품의 분해 및 분석

(2) 연구내용

- 국내에 주로 도입되어 운용되고 있는 해외 4개 제품을 대상으로 선정하여 제품의 스펙 비교 및 시스템 구성등을 확인.
- 4개 제품 분석 (기능, 시장 점유율) 후 대상 제품 선정하여 1종 구매
- 대상 제품을 구매 및 분해하여 구조 분석
- 대상 제품의 기능 스펙 확인

(3) 국산화 및 제품 개선 방안

- 통신방식 개선 필요
 - 해외 제품은 일부 제품의 경우 GSM 모듈을 탑재하고 있어 유럽 외 지역에서는 이동통신을 통한 데이터 송신이 제한됨.
 - 한국내에서 사용이 가능한 통신방식 적용을 위한 모듈(3G) 적용 방법 고려.

- 장비 모듈의 국산환경 적용
 - 국내 상수도 환경에 적합한 제품의 개발 필요.
 - 다양한 상수도관에 부착 또는 거치할 수 있는 방법 개발.
- 누수위치 확인 방법의 개선
 - 현황 : 현재 송신되는 누수 데이터로는 누수 여부가 확인 되지만 위치는 추가 장비를 통해 확인이 가능하도록 되어 있음.
 - 개선 : 종합 관리 소프트웨어에 누수위치 탐지 가능한 기능까지 추가하여 누수위치 까지 중앙 관제소에서 분석이 가능한 시스템으로 개발 필요.

(4) 대상 제품 개요

		WAGAMET Ortomat	Gutermann Zonescann	Primayer Phocus2	Palmer Permalog3
					
무게	g	550	400	--	1000
높이	mm	150	125	90	114
지름	mm	40	40	60	62
구성	mm	1- and 2-part	1-part	1-part	1-part
설치필요공간높이	mm	70 (2-part)	125	90	114
방수기능	IP	68	68	68	68
소화전 설치 가능여부		yes	no	limited	limited
밸브 설치 가능 여부		yes	limited	limitid	limited
데이터읽기		radio	radio	optical / IR	radio
데이터수신기		radio receiver	radio receiver	reading case	radio receiver
유효거리	m	up to 250m**	up to 250m	no	--
안테나		intern	intern	no	extern
파워	mW	10	100	no	10
주파수	MHz	433	868/ 915	no	173/ 433/463
배터리사용기간	year	5 to 10	5 to 10	5 to 10	5 to 10
센서기술		Piezzo	Piezzo	Piezzo	Piezzo
센서부착		magnetic	magnetic	magnetic	magnetic
데이터 접속		RFID / USB	radio	infrared	infrared
데이터 저장 기간	일	40	190	365	6

나. 누수 유닛 설계

(1) 연구목표

- 제품 기능부 구성 방안 및 부품선정을 위한 기준자료 마련
기능부는 누수음을 감지하는 센서부, 센서부의 음파신호를 처리하는 신호처리부로 구분하여 구성방안 마련.
- 누수센싱 유닛 설계
사전 벤치마킹을 위해 구매한 제품을 기반으로 개발 제품의 기능 및 스펙을 기준으로 유닛 설계.

(2) 연구내용

- 누수 센싱 유닛은 일체형 또는 분리형으로 구성할 수 있다. 일체형의 경우 부품 단순화 및 제조원가 절감에 도움이 되나, 단점으로는 부피가 커짐으로써 도관 부착등이 용이하지 않을 수 있다. 분리형의 경우 일체형과는 반대로 부착등에 따른 편이성을 추구할 수 있고, 분리되어 있음으로서 부착위치등의 조절 또한 용이하다. 단점으로는 부품이 많아지고, 제조원가가 상승이 된다. 본 연구과제에서는 분리형을 제작함으로써 다양한 환경조건에 대응하고자 한다.
- 누수센싱유닛은 누수음을 감지하는 센서부와 센서부의 음파신호를 처리하는 신호처리부로 구분하여 제작하였다.

(가) 센서부

- 상수도관은 지하 1.5~2m 지하에 매설되어 있으며, 매설된 상수도관의 누수를 탐지하기 위한 센서부를 부착하는 것은 간단치 만은 않다. 따라서, 기존 맨홀의 상수도관 연결부에 센서부를 부착함으로써, 설치작업 및 이설작업이 용이하도록 한다. 즉, 상관식 탐지법을 사용하여 누수여부를 판단하는 방법을 사용한다.
- 누수를 탐지하는 센서는 일반 음향센서, 하이드로폰 센서, 피에조 센서등 다양하게 있지만, 일반 음향센서보다는 누수가 발생된 부분에서 전달되어 오는 누수 파동을 감지하는 피에조 센서를 사용함으로써, 보다 정확한 탐지가 가능하다.
- 부착방식은 강력한 자석을 이용하여 도관에 부착하는 방식으로 하여 부착이 용이하도록 한다.
- 맨홀의 경우 빗물 유입등에 따른 침수가능성을 배제할 수 없기 때문에 100% 방수가 되어야 하고, 부식 또한 방지해야 한다. 그러므로, 플라스틱 또는 스테인레스 스틸 소재를 활용하여 부식에 완벽히 대처해야 한다. 또한 센서부의 경우 100% 방수기능을 위하여 스테인레스 스틸을 사용할 경우 밀링머신을 이용하여 일체형으로

깍아 제조하는 방식을 적용하는 것이 밀봉 및 수분유입 방지에 도움이 될 것이다.

- 센서의 전원 공급은 센서 신호처리모듈에서 센서로 전원이 공급되는 방식을 사용하여, 센서부의 전원부 교환을 위한 분해를 하지 않음으로써, 초기 밀폐력을 보장하게 된다.

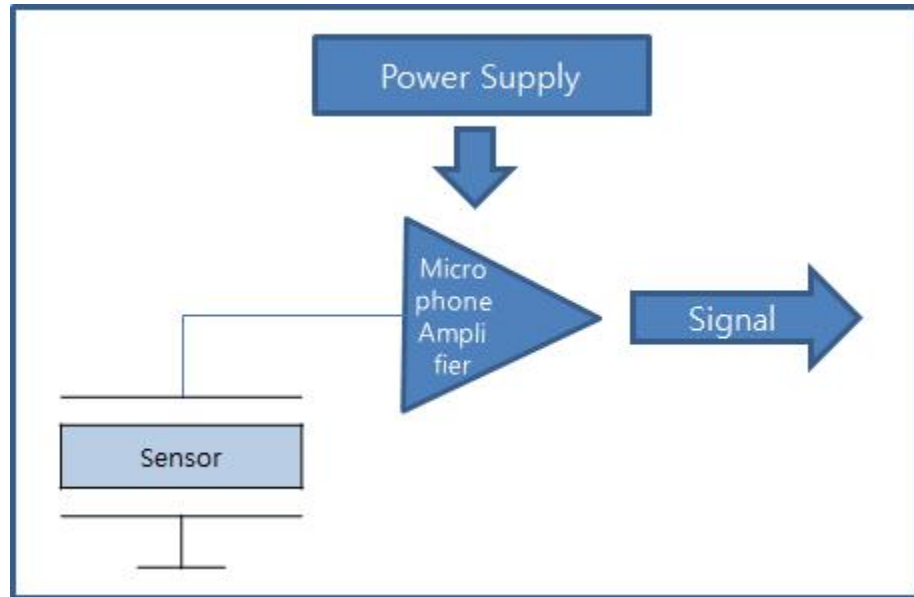
센서부의 구성 내용을 정리하면 아래와 같다.

구분	내용
센서	- 저소음 증폭기를 이용한 피에조센서 사용 - 센서에서 채집된 음은 저소음 증폭 후 신호처리모듈에 전달
전원	- 전원공급방식은 신호처리모듈에서 전원을 공급함으로써 향후 유지보수에 용이하도록 구성.
재질	- 부식방지를 위한 스테인레스 스틸을 사용. - 필요시 플라스틱 재질을 동일하게 사용.
연결부	- 신호처리 모듈에 전달하기 위해 커넥터 사용 - 모듈과 일체화를 할 경우 부피문제로 인해 부착에 장애가 발생할 수 있음.
부착부	- 상관식 탐지법을 적용함으로 도관에 부착하여야 함. - 기존 자석 방식으로 밸브 상부에 부착하는 방식으로 처리.

또한 센싱 유닛 기능 목표치는 아래와 같다.

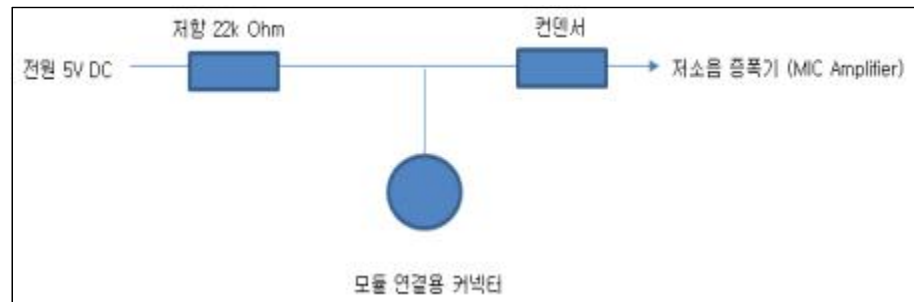
구분	개발 제품 상세	비고
감도	10mV/ μ g	
주파수 범위	3Hz ~ 3kHz	
재질	플라스틱 + 스테인레스	부식방지
부착방법	자석 적용	
케이블 길이	100cm(최장)	모듈 연결용
온도 범위	-20도 ~ 60도	
모양	원형 또는 타원형	

센서부에 사용되는 피에조 센서는 물리적인 과동량을 전기적인 양으로 바꿔주게 되어 있으며, 이렇게 바뀐 전기적 신호는 저소음 증폭기를 통해 신호처리 모듈로 전달되게 된다.



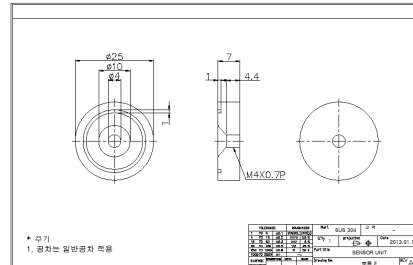
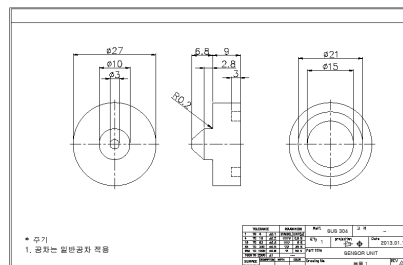
< 센서부 개념 >

다시 말하면 아래의 그림과 같다.



< 센서부 개발 모델 >

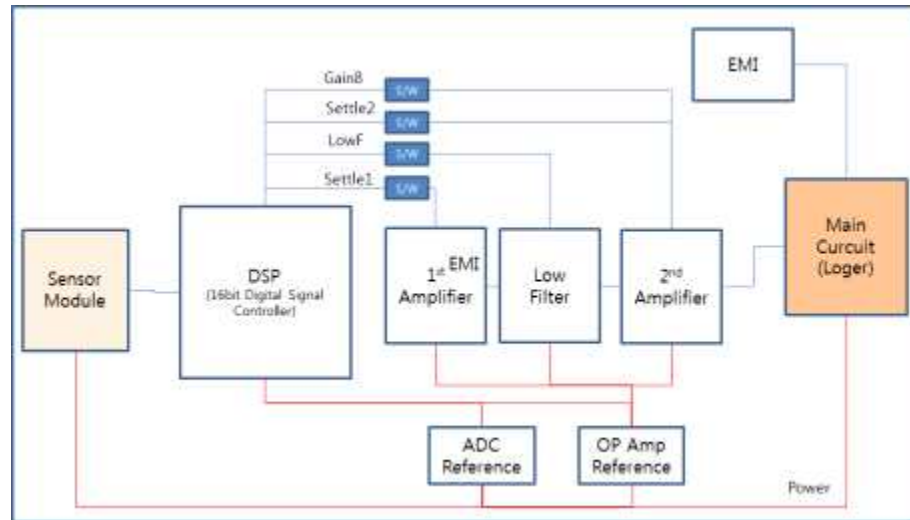
또한 센서부의 외관설계는 아래와 같다.



(나) 신호처리 모듈

- 누수음의 측정을 위해서는 일반적으로 도관의 정상적인 파동을 측정하여 평균적인 값을 구하게 된다. 이러한 평균적인 값을 수집된 파동값과 비교하여 특이 주파수 대역이 활성화된다면 누수가 있다고 판단을 하게 된다. 물론 이런 경우 수용가의 환경에 따라 잡음, 특이대역음, 지속적인 소음등이 유입될 수 있음은 판단에 있어 변수로 작용하게 된다. 이러한 환경은 너무나 다양하기 때문에 지속적인 데이터 수집을 통한 연구가 추가적으로 필요하다고 하겠다.
- 평균적인 값을 수집하기 위해서는 일반적으로 새벽시간대인 2시부터 4시사이의 값을 평균적인 파동음이라고 규정한다. 여기서 수용가는 일반주택이 된다. 새벽시간대의 물 사용량이 줄어들므로 인해 일정한 유량 및 유속을 가지기 때문이다.
- 누수음 또는 누수파동의 경우 기존 연구결과를 밝힌 다양한 논문에서 저주파 대역인 5~250Hz대역의 저주파 신호가 특이하게 활성화되는 특징을 가지고 있다.
- 따라서, 신호처리 모듈 또한 이러한 연구결과를 기반으로 구성하였으며, 저주파 대역만을 활성화하여 처리하도록 하였다.
- 신호처리 모듈은 DSP(Digital Signal Processor)를 통해서 전체 신호처리량, 증폭, 채집주기등을 프로그램하여 신호처리모듈을 제어하게 된다. 본 과제에서는 16bit Digital signal Controller를 사용하여 샘플링을 진행하게 된다.
- 수신된 도관신호는 A/D 컨버터를 통과해 DC를 제거하고, 1차증폭 후 Low Filter를 통과해 신호에 따라 2차증폭을 진행한 후 전송모듈로 전달이 되게 된다.
- 여기에서 본 연구과제에 2차증폭회로를 추가한 이유는 1차증폭 후 불완전 할 경우 DSP의 판단에 따라 2차증폭을 통해 판별이 가능한 온전한 신호로 변환을 하게 되는 것이다. 이는 보다 정확한 누수 판단을 위한 보완조치로서 타 제품에는 없는 추가 회로로 볼 수 있다.
- DSP는 신호 적합성에 따라 4가지 상태를 조절하도록 하였으며, 이러한 4가지 상태는 최상의 신호상태를 만들기 위한 회로 설계이다.

회로에 대한 개념도는 아래와 같다.



<신호처리 개념도>

다. 데이터 로거 하드웨어와 프로세스 설계

(1) 연구목표

- 제품 기능부 구성 방안 및 부품선정을 위한 기준자료 마련
기능부는 신호처리모듈에서 전달된 신호를 보관, 측정기초 정보를 저장하는 로거모듈과 로거모듈에 있는 정보를 전송하는 전송모듈로 구성.
- 데이터 로거의 기능 스펙을 정하고, 관련된 프로세서 모듈을 설계
- 중앙모니터링 소프트웨어 설계

(2) 연구내용

(가) 데이터 로거

- 신호처리모듈에서 전달된 누수신호는 로거모듈에서 보관, 처리, 전송과정을 거치게 된다. 로거모듈에는 전체 모듈을 제어하는 CPU를 장착하게 된다. CPU는 센서모듈에서 처리해야 할 프로세스를 정의하게 되고, 센서에서 수집된 데이터의 전송을 제어하게 된다. 또한 정확한 시간측정을 위한 시간제어 프로세스와 내부기기의 동작상태를 확인하는 정보를 수집, 관리, 전송하도록 되어 있다.
- CPU는 프로그래밍이 가능한 Flash Microcontroller를 사용하여 다양한 환경설정등이 가능하도록 하였다.
- 메모리 모듈은 플래시 메모리를 사용하여 수집된 데이터를 일정기간 보관이 가능하도록 하여, 전송 장애시 보관이 용이하도록

록 설계하였다.

- 온도센서는 일반 온도센서로 적용하여 기기내부 온도를 측정하여 정보를 제공할 것이다.
- 전원모듈은 내부전원회로를 적용하였으며, 빈번한 데이터 측정을 할 경우 전력 소모가 많이 발생하며, 전원모듈은 신호처리모듈 및 센서부에도 전원을 공급하도록 되어 있다.
- 통신모듈의 경우 수집된 데이터를 외부로 전송하는 3G모듈을 적용할 예정이며, 3G모듈의 경우 상용모듈을 사용하여 유지보수등이 용이하도록 한다.

로거모듈의 각부 구성을 정리하면 아래와 같다.

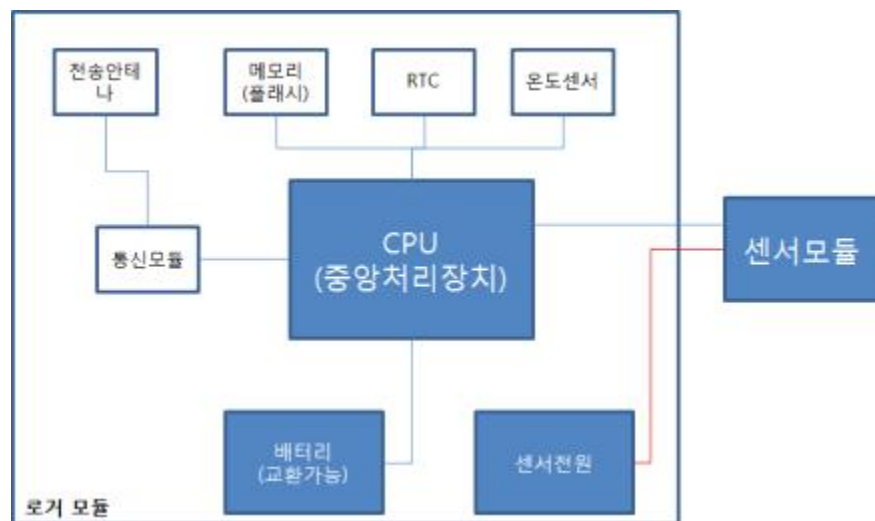
구분	내용
CPU	- 센서모듈에서 처리해야 할 프로세스 정의. - 센서에서 수집된 데이터의 전송 프로세스 - 내부 기기 안정화 프로세스 - 시간제어 프로세스
온도센서	외부 온도 측정을 위한 도구
메모리	- 수집된 데이터를 일정기간 보관. - 최대 30일간의 데이터를 저장할 수 있는 용량 확보 목표. - 순차적인 선입선출 삭제 방식 적용
센서전원	- 센싱모듈에 전원을 공급하기 위한 부분 - 리튬이온 배터리 사용가능성 확인.
배터리	- 모듈의 전원을 공급.
통신모듈	- 중앙센터로 수집된 데이터를 전송하기 위한 모듈 - 3G 모듈을 고려하고 있음.
안테나	- 통신모듈에서 처리된 데이터를 전송할 안테나

로거 모듈의 동작 기능부의 구성은 아래와 같다.

구분	설명
외부 재질	플라스틱 또는 알루미늄
전원	DC 3V
무선통신	3G, USIM 내장.
메모리 용량	30일
동작온도	-20도 ~ 60도
기타	방수기능, 플라스틱 외형 변형 방지
내부회로	PCB 기판.

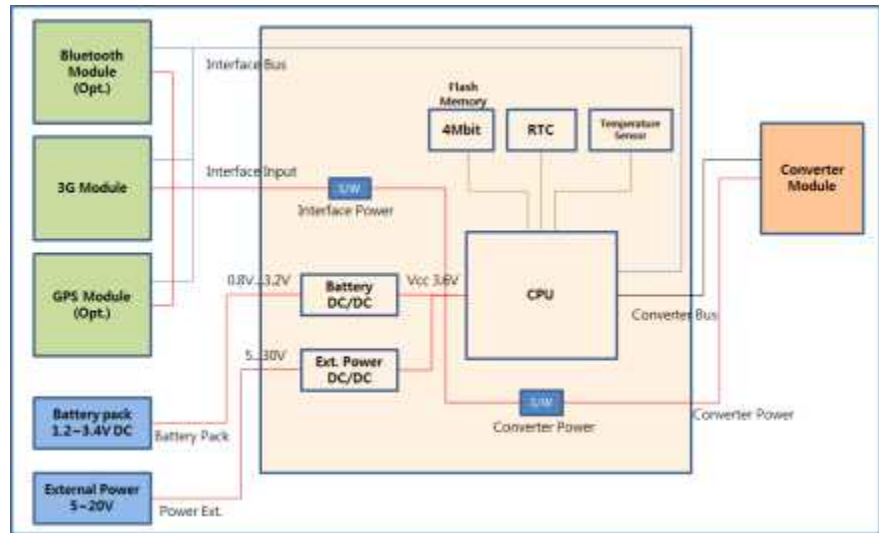
상기와 같은 기능으로 제작될 로거의 기본 개념은 아래와 같다.

CPU가 중심이 되어 모든 동작을 제어하도록 구성하였다.



<로거 모듈 개념>

상기 로거 모듈 개념을 회로 개념으로 확장하면 아래와 같다.



<로거 모듈 회로 개념>

(나) 데이터

로거모듈에서 처리하게될 데이터는 누수음이 포함된 도관음, 위치 정보, 수집일시, 온도정보등이다. 이러한 데이터는 자동수집 또는 수동등록등을 통하여 중앙 모니터링 시스템에서 데이터화 되어 분석에 활용되거나 또는 보조정보로서의 역할을 수행하게 될 것이다.

본 시스템에서 수집되어 DB화할 대상 데이터는 아래와 같다.

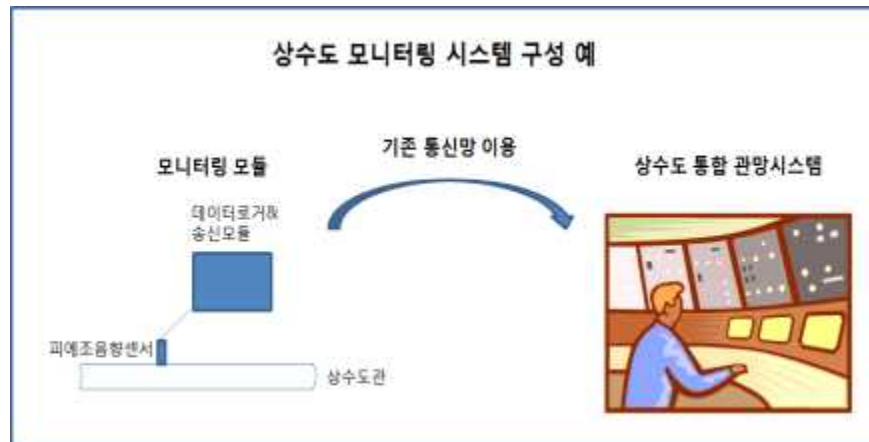
데이터	내용
도관음 (누수음)	- 도관음의 경우 주간, 야간의 도관음이 상이하게 도출되며, 야간의 경우 사용량의 감소로 인하여 일정한 도관음을 내는 경향이 있음. - 누수가 발생할 경우 관망의 양방향으로 음파가 전파되게 되는데, 음파는 상수관과 내부에 흐르는 물에 의해 전파를 진행하게 된다. - 전파되는 음파는 상수관에 의해 고주파 성분은 감소되고, 저주파 성분만이 전파되게 되는데, 이때 음파 채집하여 필터링한 후 중앙으로 전송한다. - 일자별, 시간대별 도관음 수집을 통해 누수음과의 차별점을 식별. - 수집된 데이터는 디지털 음원으로 지정기간동안 보관.

온도정보	- 로거내부 온도정보 수집.
수집일시	- 데이터의 수집일시 기록.
로거ID	- 로거내부에 명기된 독립 ID정보를 전달.

(다) 소프트웨어 설계

로거모듈에서 전송된 정보를 수신하여 중앙 DB에 보관하고, 보관된 데이터의 열람, 분석을 통해 현황정보, 누수정보등을 제공하고, 누수위치 판별까지 가능한 소프트웨어를 개발하였다.

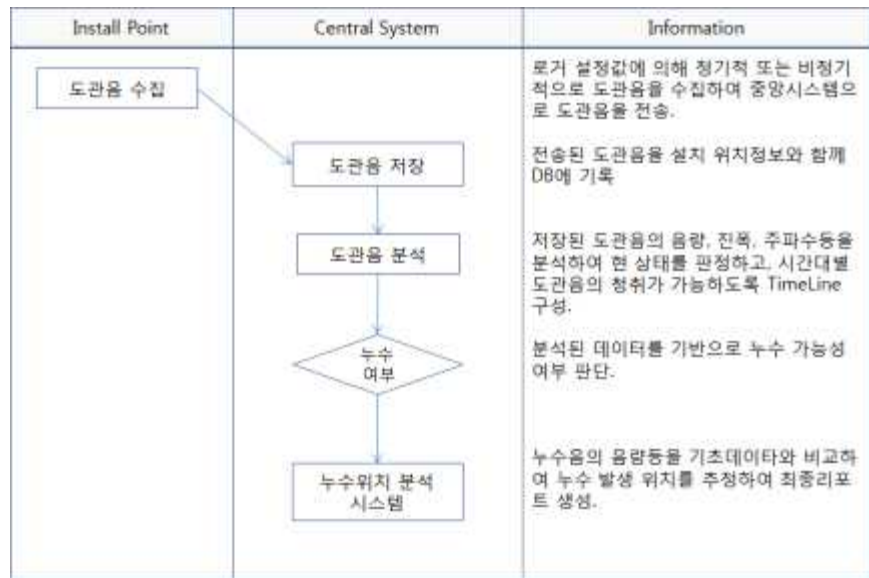
다시 말해 본 연구과제에서는 누수탐지장치에서 수집된 도관음을 분석하여 누수여부를 판단하고, 누수위치를 판별할 수 있는 중앙누수관리 모니터링 시스템을 개발하게 된다. 누수와 관련된 다양한 이론적 바탕, 다양한 연구논문과 경험적 방법을 이용하여, 정확한 누수여부 및 누수위치 판별 알고리즘을 확립하도록 하였다.



<상수도 모니터링 구성 예>

본 시스템의 개발환경은 C/S를 기반으로 구성되었다.

누수 데이터 처리 프로세스는 아래의 프로세스를 기본으로 하여 최종 누수가능성을 판단하게 된다. 이러한 누수의 누수의 판별여부에는 다양한 환경적 요인(공사, 청소, 일반소음등)이 발생함으로 필터링등을 위한 다양한 데이터 수집 및 처리가 필요하다.



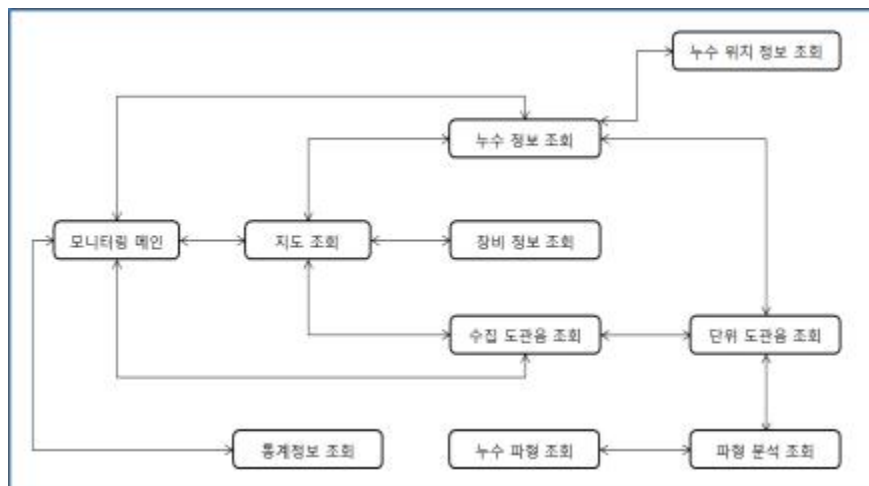
소프트웨어 개발시 요구되는 요구사항은 다음과 같다

구분	요구사항 정의
장비관리	• 탐지장비 고유 정보를 등록 및 관리
설치지점	• 탐지장비의 설치위치를 Map정보와 같이 관리.
탐지 관리	• 탐지장비로부터 수집된 도관음을 관리. • 누수음 발생시 누수경보 발생. • 수집된 도관음의히스토리를 관리. • 수집된 음을 특정 파형등 그래피컬한 데이터로 표시.
현황 관리	• 탐지장비의 현위치등을Map 상에 표시. • 누수음을 탐지한 장비의 상태 변경을 통해 육안확인 확인 후 해당 시점의 도관음 확인이 가능.
UI	• 지도기반 UI 적용으로 누수탐지장치의 현위치 식별 용이 함. • 지도의 확대,축소를 통해 전체적인 탐지장비 위치 분포 확인. • 누수탐지장비가 설치된 상수관로의 위치 및 흐름 표시

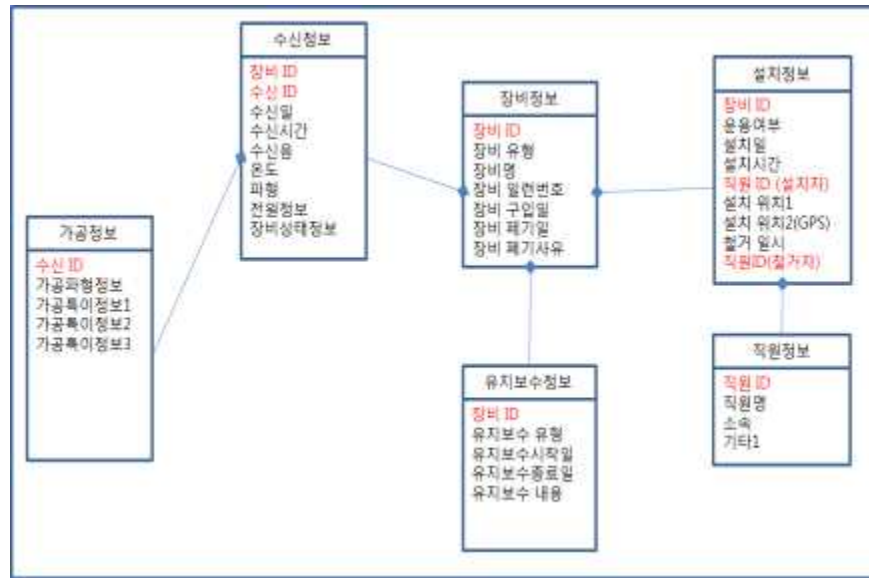
수집된 데이터의 기능처리를 위한 요구사항이다.

구분		요구사항 정의
데이터 처리	데이터 수신	•데이터 로거 모듈에서 전송된 데이터의 수신 •수집을 위한 수신기 모듈 •수신 정보 분해를 위한 파서. •파서에서 수신된 정보의 가공
	데이터 보관	•수신데이터의 DB 보관 모듈 •DB 파서 모듈 개발.
	데이터 가공	•수신 데이터의 특징점 분석. (진폭, 음량, 주파수등.) •분석 정보의 판독모듈 •분석된 데이터를 표시 가능한 형태로 가공.
	데이터 표시	•수신 데이터의 기본 정보 및 가공정보의 표시 •GUI를 활용한 데이터의 표시
	누수위치 표시	•탐지된 정보를 바탕으로 누수 가능 위치 판단 •누수 지점 분석 알고리즘 개발 •누수 지점 분석 정확도 향상 방안 마련

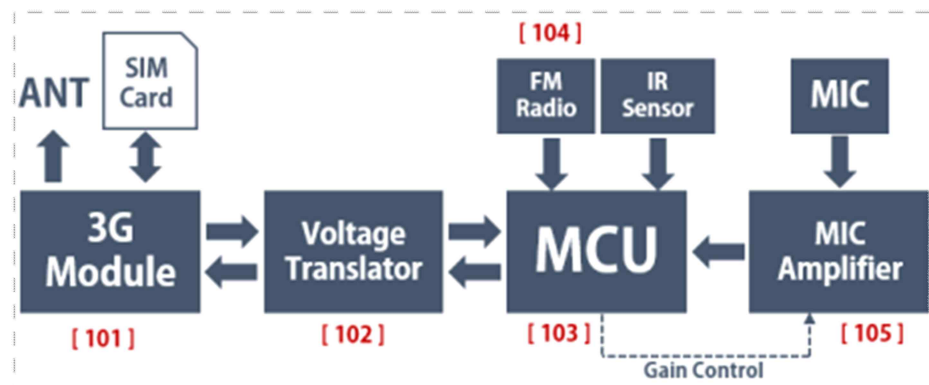
UI 흐름도는 아래와 같다



데이터를 저장할 클래스 다이어그램은 다음과 같다



라. 음파를 이용한 분리형 누수모니터링 장비설계 (누수센서 유닛 및 로거)
(1) 개요



<전체 하드웨어 다이어그램>

- 본 시스템은 각 장비마다 장착되어있는 한 개씩의 마이크로폰에서 수신 받은 신호를 가공, 3G 네트워크를 통하여 녹음된 음향신호를 전송하고 더 나아가 수중음의 특성을 분석하고 현재의 정확한 시간 데이터를 바탕으로 최종적인 누수 위치를 추적한다.
- 시스템의 대략적 다이어그램 및 흐름도는 그림과 같으며, 크게 3G망을 사용하여 전국 어디에서도 통신이 가능한 무선 통신부[101], 데이터를 처리/관리 및 수집하는 메인 프로세서(MCU⁶)[103], 그리고 메인 프로세서에 의해 전적으로 통제되는 안정된 신호 증폭부(MIC

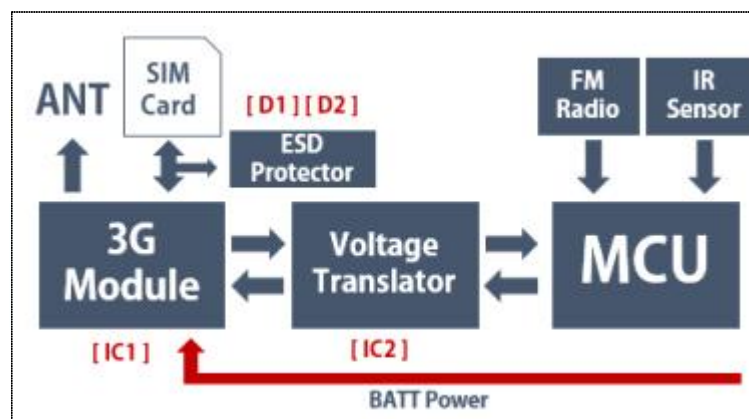
Amplifier⁷⁾)[105]로 구성된다.

- 2차 개발버전과 가장 많은 차이를 보이는 시스템의 전반적 구성요소 중 하나인 FM 라디오 수신기[104]는 각 디바이스간의 상호 동기화를 GPS 신호나 RTC (Realtime Clock Module)을 사용하는 것이 아닌, 공중파 FM신호를 사용함으로써 보다 정확한 누수 위치의 탐지를 가능하도록 한 점이 특징이다.

(2) 무선통신부

(가) 무선통신부 특징 사항

- 위성으로부터 받은 현재의 시간을 추정하기 위한 Global Positioning System(GPS) 혹은 Real Time Clock(RTC)등의 도움을 전혀 받지 않고, FM 수신기 모듈[104] 만을 사용하여 다수의 시스템과 동기화를 위한 정확한 시간을 알 수 있도록 하였고, MCU의 펌웨어 업데이트 및 동작 확인을 위해서 블루투스/지그비⁸⁾ 등의 부수적인 통신 장치가 아닌 리모콘에 사용되는 IR⁹⁾ 송수신 센서를 사용한 것은 본 장비의 가장 큰 특징이라 할 수 있다.
- 또한 저전력/고성능의 16Bit 기반 PIC 프로세서를 사용하여, AA 배터리만 이용하여 최소 2년 이상의 동작시간을 보장하였으며 이는 시스템의 전반적인 복잡성을 낮춤과 동시에 유지보수 면에서 훨씬 큰 편리성을 가질 수 있게 되었다. 그림은 무선통신부의 대략적 하드웨어 블록 다이어그램을 나타내었다.



<무선 통신부의 하드웨어 블록 다이어그램>

(나) 3G 모듈

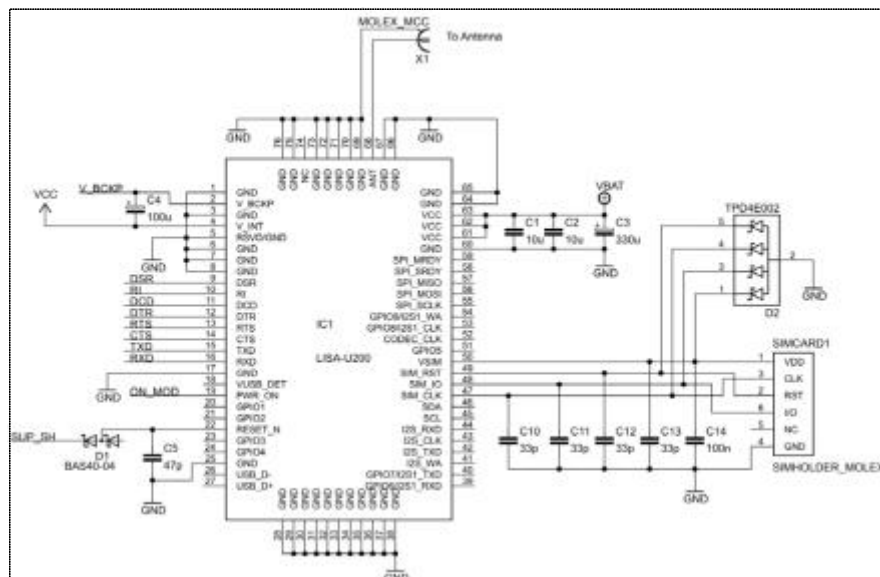
-
- 6) MCU : Micro Controller Unit : 특정 시스템을 제어하기 위한 전용 프로세서
 - 7) MIC Amplifier : MIC 증폭기
 - 8) 지그비 : Zigbee. 저속 전송속도를 갖는 근거리 통신 표준
 - 9) IR : Infrared Ray : 적외선 통신.

- 무선 통신장치는 전국에서 사용이 가능한 3G 데이터망을 사용하며, 시스템에서 수집된 자료들을 메인 서버로 송신하는 역할을 담당함과 동시에 시스템의 FM 라디오를 통하여 전달받은 동기화를 신호를 송신하는 역할 또한 담당한다.



<3G 모듈>

- 본 시스템에서 사용한 스위스 유블릭스사의 LISA-U200 모듈은 산업용 3G 네트워크에서 고속 데이터 전송을 위한 가장 범용적이고 최신의 임베디드 무선 UMTS/HSPA 모듈이며, 특징으로는 전세계적인 네트워크 호환성과, 유휴 모드에서의 1.5mA 저전력 소비, -40~85도의 온도에서도 동작하는 작동온도 범위 등을 꼽을 수 있다. 또한 국내 통신사인 SK에 인증받은 모듈로서 안정성을 동시에 제공해 준다.



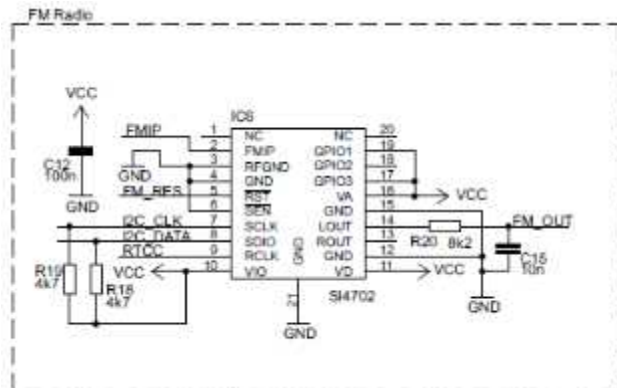
<3G 모듈 회로도>

- 제작사에서 제공하는 레퍼런스에 충실히 임하여 모든 부가회로를 장착하였으며, 모듈을 위한 전원 공급회로를 개별적으로 장착

하여 항상 안정적인 동작이 가능하도록 한 점이 본 회로구성만의 특징이다.

(다) FM 신호부

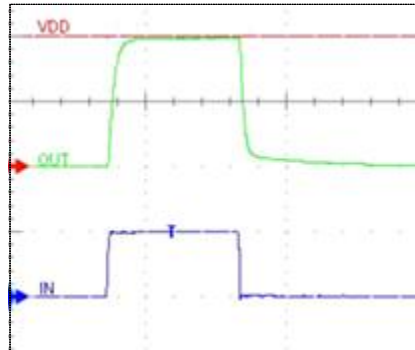
- 기존의 누수탐지 시스템과의 가장 큰 차이점 이라고 할 수 있는 FM 라디오 수신부는, 각 기기간의 시간적 동기화를 FM라디오의 동기화 신호로 대체함으로써 시간적인 관점에서의 정확한 Correlation이 가능하도록 한다.
- Correlation의 정확도가 높아지면 높아질수록 위치 측정에 대한 오차가 줄어들고, 데이터의 신뢰도가 높아지는 장점을 가질 수 있게 된다.
- FM 수신을 위해 사용된 SILICON LABS의 Si4702 칩셋은 세계에서 어디서든 사용 가능한 76-108 Mhz의 수신 대역폭을 가지고 있으며, 자동 주파수 조절 기능 및 자동 증폭률 조정 기능을 추가로 탑재하고 있어, 우수한 품질과 안정성으로 입증 된 칩셋이다.



<FM 라디오 수신부 회로도>

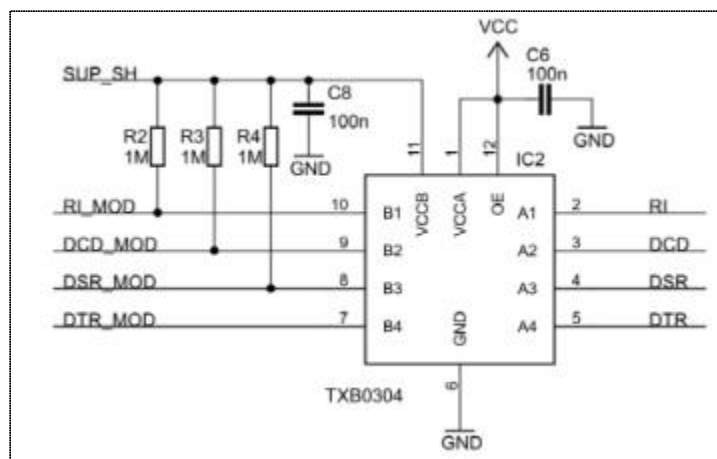
(라) 통신 전압 레벨

- 모든 디지털 IC들은 High와 Low, 두 가지로 이루어진 시간에 따른 전압 레벨을 각각 1과 0으로 약속하여 디지털 통신을 수행한다. 하지만 동작 전압 및 제조사가 서로 다른 여러 개의 IC들이 동시에 통신을 수행하려면, 서로 맞지 않는 전압 레벨로 인하여 IC에 손상을 주거나 통신이 안정적으로 되지 않을 수도 있다. 이에 Voltage Translator를 사용하여 각 IC의 규격 전압에 맞도록 통신 전압을 보정해주어야 한다.



<전압 레벨 보상>

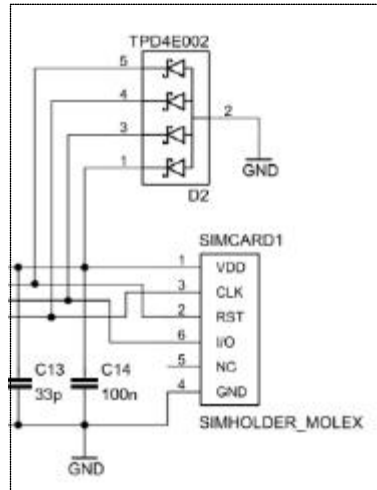
- 본 시스템의 3G 모듈과 Micro Processor Unit(MCU)는 각각 백업 배터리의 전원, AA배터리의 전원으로 구성된 통신 전압 레벨을 가지고 있다. 이에 TXB0304 Voltage Translator를 추가로 사용하여 항상 안정적인 통신이 가능하도록 하였다. 이는 회로의 저항 혹은 잡음이 순간적으로 증가하였을때나 정전기 등의 고전압이 순간적으로 통신회로에 인가되었을 때에 각 IC를 보호할 수 있는 완충장치의 역할도 함께 담당할 수 있다.



< TXB0304 Voltage Translator >

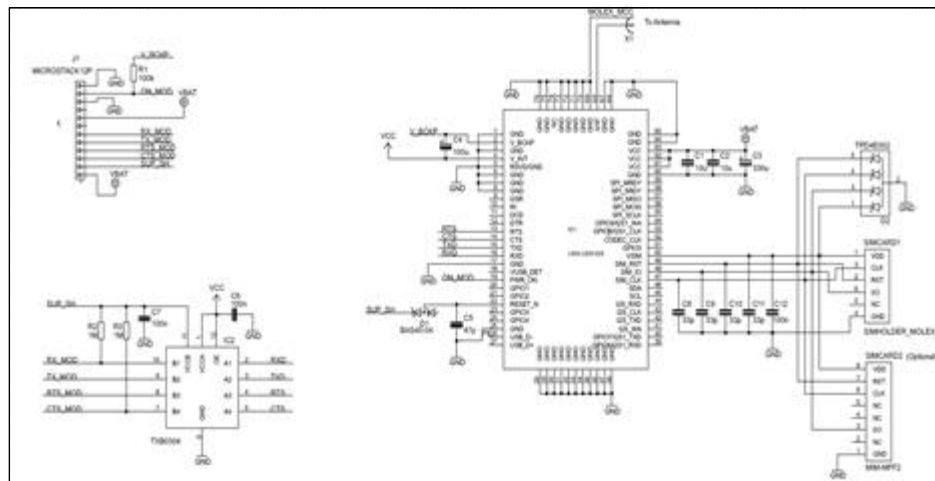
(마) ESD Protector

SIM 카드와 같이 잦은 회로결합이 요구되는 단자의 경우, 외부의 순간적인 Electrostatic Discharge(ESD)가 발생할 수 있는 확률이 높다. 이에 대응하기 위해서는 ESD 방지 전용의 다이오드를 추가 장착하는 것이 일반적인데, 본 무선 통신부의 중요 IC에는 15kV의 순간적인 정전기 및 역 전압에도 IC를 보호할 수 있는 ESD Protection Diode를 장착하였다.

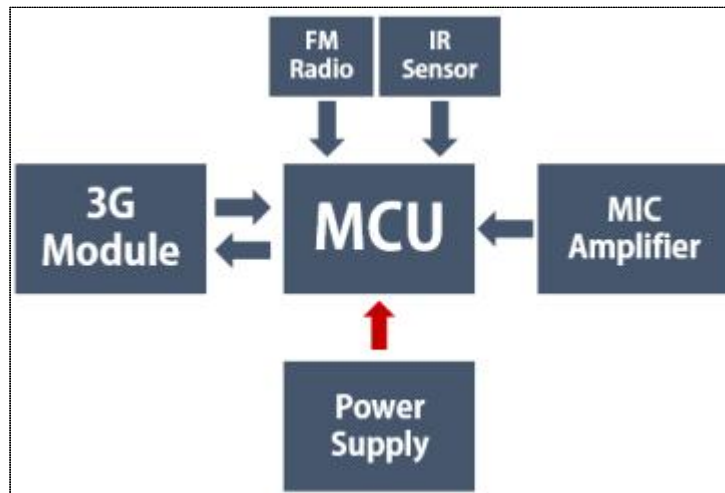


< TPD4E002 >

이상으로, 무선 통신 장치의 전체 회로는 아래와 같으며, 대부분의 통신 회로에는 잡음의 유입으로 인한 오작동을 방지하기 위하여 접지와 회로 사이에 캐패시터를 장착 하였다. 이는 가장 간단히 고주파 성분을 제거 할 수 있는 패시브 로우패스 필터의 일종이며, 모뎀이 공급되는 전원과 접지 사이에도 마찬가지로 안정된 전원을 공급하기 위한 대용량 캐패시터를 장착 하였다.



(3) 메인프로세서 및 신호 수집



< 메인 프로세서 관점에서의 블록 다이어그램 >

(가) 메인프로세서 및 신호 수집부 특징사항

- 메인 프로세서는 외부 크리스탈/클럭을 사용하는 MICROCHIPS사의 저전력/고성능의 PIC24FJ64 유닛을 사용하였으며, 16MIPS의 고속 연산 기능과, 64Kbyte의 플래시 메모리를 탑재함으로써 신호의 수집 및 3G망을 사용한 통신을 장시간 용이하게 하였다.
- 간단한 펌웨어의 업데이트, 신호의 수집을 위해 IR 통신부를 추가적으로 구성 하여 장비를 분해할 필요 없이도 근 거리에서 대부분의 명령 및 수정을 인터페이스를 통해 가능하게 하였고 Step-Up 레귤레이터를 사용하여, 배터리의 전압에 관계 없이 항상 일정되고 안정된 전압을 모든 IC에 공급하고자 하는 것이 특징이다. 메인프로세서 및 신호 수집부의 대략적 블록 다이어그램은 위의 그림과 같다.

(나) MCU (Micro Controller Unit)



< PIC24F MCU >

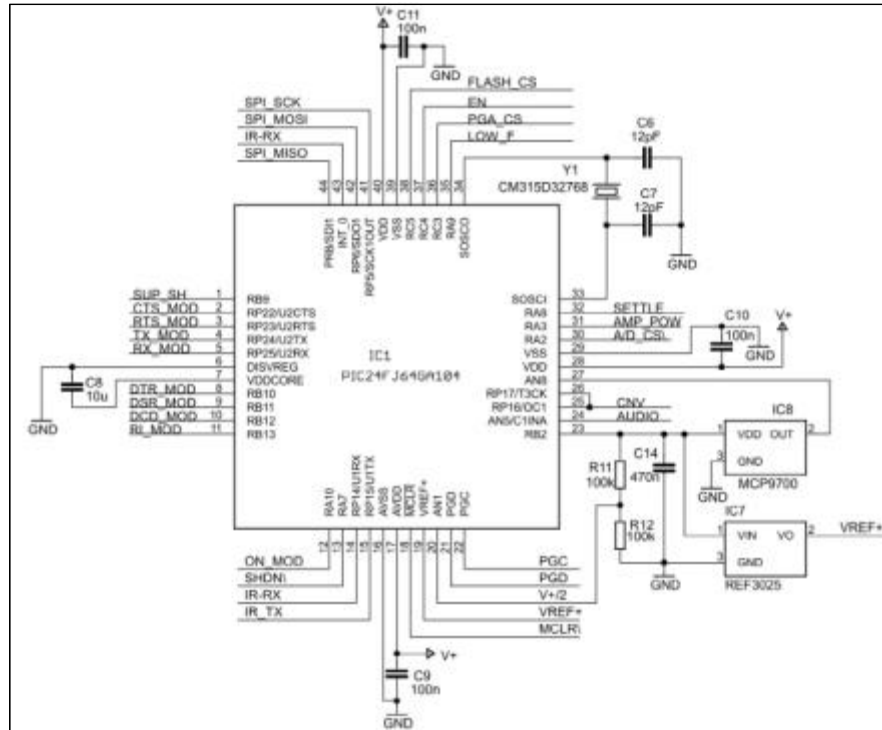
- MCU는 직접회로 위에 장착될 수 있는 작은 컴퓨터의 일종으

로써, 연산을 담당하는 프로세서와 정보를 저장하기 위한 메모리, 그리고 사용자에게 의해 자유롭게 프로그래밍 될 수 있는 입력/출력 포트를 가지고 있다.

- 여러 가지 일을 담당할 수 있는 개인용 컴퓨터(PC)와는 다르게, 한가지의 일만을 효율적으로 처리하기 위한 임베디드 시스템에 주로 사용된다. 본 시스템에 사용된 Microchip사의 PIC24F MCU는 16bit 기반의 초소형 프로세서로, 무선 통신을 위한 2개의 UART 통신포트, 증폭기 및 외부 플래시 메모리와 통신할 수 있는 2개의 SPI 통신포트를 가지고 있으며, 16 Million Instruction Per Second (MIPS)의 속도로 연산을 수행한다.
- 모델과 마찬가지로 유희상태에서의 저전력 대기모드를 지원함으로써 배터리의 사용시간을 비약적으로 끌어 올리는 것이 가능하였다. 극한의 외부 상황에서도 안정적인 동작을 위하여 32.768Khz의 외부 오실레이터(CM315D32768)와, 온도센서(MCP9700)을 포함한 기준전압 생성기(REF3025)를 따로 장착한 것이 큰 특징이라 볼 수 있다.

(다) 정밀한 기준 전압 생성

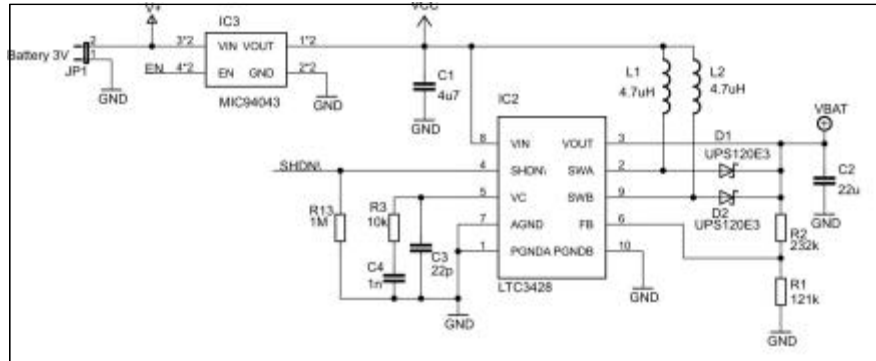
- 모든 아날로그 신호의 측정에 있어서는 어떠한 전압을 기준으로 이것을 수치화 할 것인가가 매우 중요한데, 이러한 기준전압은 온/습도 및 주변 잡음에 의해 변화되기가 쉽다. 기준전압의 변화는 곧 측정신호의 왜곡으로 이어지는데, 이를 방지하기 위하여 Texas Instruments사의 2.5V 정밀 기준전압 생성기(REF3025)를 MCU의 외부에 따로 장착하였다. 정밀하게 생성된 기준 전압은 Microchip사의 정밀 온도 측정 센서(MCP9700)를 통해 프로그래밍적으로 보정될 수 있음과도 동시에, 현재의 정확한 온도까지 측정하여 데이터화 시킬 수 있도록 해 준다.
- 또한 현재의 전압상황을 기준전압과 비교함으로써 현재 MCU에 공급되고 있는 정확한 전원의 품질을 스스로가 측정할 수 있으며, 배터리에 방전을 포함한 전원공급의 이상 동작에서 능동적으로 대처할 수 있도록 하였다. 그림은 시스템에서 사용된 온도센서, 기준전압 생성기, 그리고 MCU 동작에 필요한 모든 주변회로를 나타낸다.



< MCU 주변회로 >

(라) 전원공급

- 1.5V 배터리를 연결하여 장시간 사용하는 본 시스템의 특성상, MCU와 3G모듈 각각에 알맞은 전원을 공급하기 위해서는 안정된 전압의 관리가 필요하다. 특히 배터리가 사용중이지 않을 때, 전력을 완전 차단하여 배터리의 자연방전을 최대한 지연시켜야 하며, 전원의 품질에 가장 큰 영향을 받는 3G 모듈에는 순간적으로 큰 전력을 공급해 줄 수도 있어야 한다.
- 전체 시스템이 유휴 상태일 때, 배터리의 누설전류를 최대한 제거함으로써 결과적으로 배터리의 사용시간을 늘리기 위하여 전자식 스위치(MIC94043)를 사용하였고 이는 무선통신의 지배 아래에서, 신호수집이 필요할 때에만 배터리를 가동시킬 수 있도록 해 준다.



< 전원 공급부 회로도 >

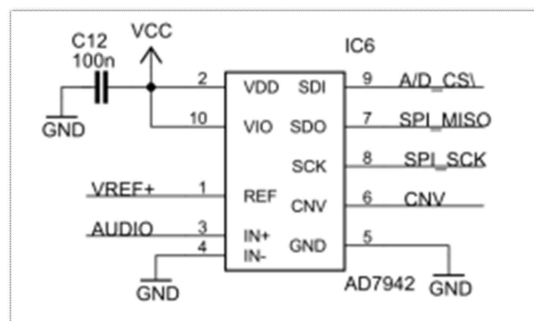
- 3V의 배터리 전압으로 안정적인 모뎀의 필요전압까지 승압하기 위하여 고효율 Step-Up Voltage Regulator(LTC3428)을 사용하였는데, 이는 최대 1.5A, 5V의 출력을 안정적으로 내 줄수 있을 뿐만 아니라, 90%가 넘는 효율을 자랑한다. 동시에 배터리의 전압이 일정전압 이하로 떨어지게 될 경우 MCU 및 모뎀에서 이를 능동적으로 대처할 수도 있도록 하였으며 그림은 전원 공급부의 회로도를 나타낸다.

(마) ADC(Analog to Digital Converter)



그림 15) ADC의 동작

- 입력된 아날로그신호를 디지털로 변환시키기 위해서는 그림과 같이, 연속된 시간과 연속된 전압으로부터 그것을 디지털 데이터로 쪼개는 샘플링작업이 필요하다. ADC는 이러한 작업을 빠르게 해 줄수 있도록 도와주며, 성능의 척도는 최대 샘플링 주파수 및 최대 분해능으로 나타내어질 수 있다.

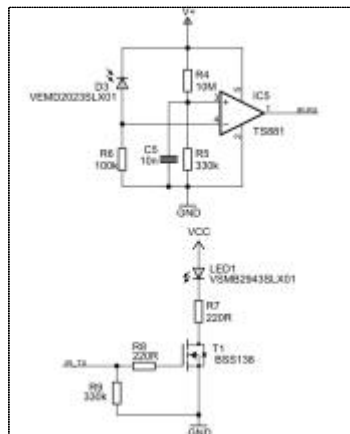


<ADC 회로도>

- 기존 시스템에서는 외부 ADC를 위하여 Analog Devices사의 AD7942를 사용 하였지만, 본 시스템에서는 효율적인 전원 관리 및 배터리 시간의 지속성을 위해 MCU에 내장되어 있는 10bit 분해능의 자체 ADC를 사용한다. 이는 증폭부로부터 넘겨받은 마이크의 신호를 최대 4096의 단계로 쪼갤 수 있음을 의미한다.
- ADC로부터 수집된 마이크로폰의 신호는 별다른 통신과정 없이 MCU에서 직접 연산 및 처리되며, 보다 정밀한 음향신호의 측정을 위하여 기준전압 생성기에서 생성된 기준전압을 MCU와 공유하여 사용하도록 하였다.

(바) IR통신

- 타 무선통신방식과는 다르게, 비교적 간단하게 구성할 수 있는 Infrared Ray (IR)통신은 하나의 발광소자와 하나의 수광소자 그리고 증폭기로를 이용하며, TV 리모컨에서 흔히 볼 수 있는 무선 통신 기술이다.
- 간단한 소자로 이루어져 있으므로 통신을 하는데 있어서 큰 전력이 소모되지 않는것도 장점이다. 시스템에는 MCU와의 통신을 위하여 IR 통신을 채택하였으며, 이는 펌웨어의 간단한 업데이트 및 신호의 수집을 포함한 유지 보수에서 사용된다.



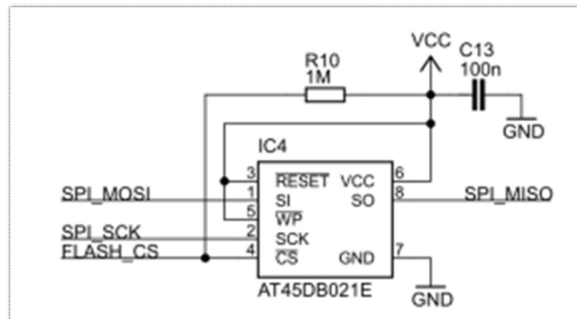
< IR통신부 회로도 >

- MCU에서 지원되는 UART통신방법을 이용하여 통신을 하며 데이터에 송신에는, 적외선을 발광하는 LED(VSMB2943SLX01)와 이를 증폭해 줄 수 있는 FET(BSS138)을 사용한다. 데이터의 수신에는, 적외선에 반응하는 포토 다이오드(VEMD2023SLX01)의 미약한 전류를 비교기 IC(TS881)을 통하여 증폭함으로써 MCU에게 전달할 수 있도록 한다.
- 그림은 IR통신부의 회로도를 나타내며, R4와 R5를 통해 분압된

전압과, 포토다이오드(D3)을 통해 입력된 전압을 비교하여 비교기(IC5)에 통과함으로써, 0과 1로 나타내어질 수 있는 디지털 데이터로의 출력이 가능하도록 하였고, 모든 UART 통신 속도에 대응할 수 있도록 설계하였다.

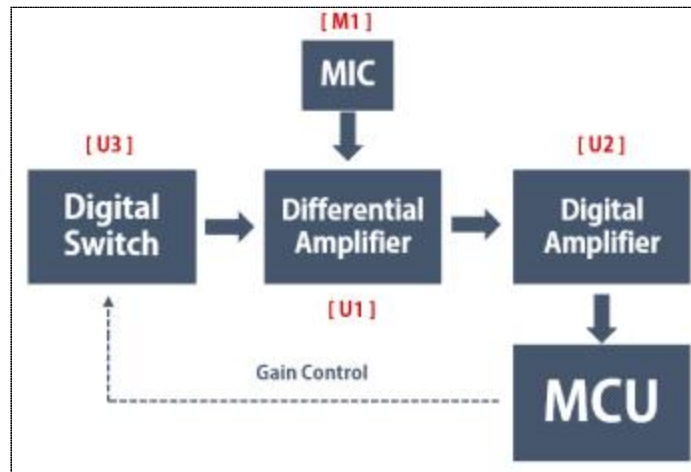
(사) 외부 플래시 메모리

- ADC를 통해 수집된 음향신호는 MCU에 의해 관리되지만, 필요에 따라서 이것을 MCU보다 더욱 저전력으로 보관해 놓아야 할 필요가 있다. 플래시 메모리의 특징은 비휘발성에 있으며 이는 아무런 전력이 공급되지 않더라도 저장된 데이터를 반영구적으로 보관할 수 있을 뿐 더러, 정보의 입출력이 자유로워 실시간으로 모든 데이터의 입/출력이 가능하다는 점에 있다.
- 본 시스템에서 외부 플래시 메모리로 사용한 Adesto사의 AT45DB021E는 20년 동안 최소 10만번 이상의 데이터를 쓰고 지울수 있도록 설계되었으며, 2 Mega bit의 저장용량을 가진다. ADC와 마찬가지로 고속의 SPI통신을 사용하여 MCU와 통신하며, 그림16은 플래시 메모리의 구성 회로도를 나타낸다.



<플래시 메모리 회로도>

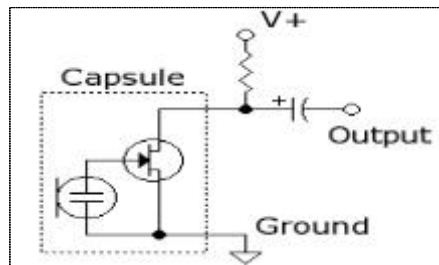
이상으로, 모든 메인 프로세서 및 신호 수집부의 전원/통신 회선에는 기준치 이상의 잡음제거 필터를 장착함으로써 안정된 동작에 최대한의 중점을 두었으며, 신호 증폭부의 전반적인 Gain Control 및 필터, 증폭기 컨트롤 또한 MCU가 전적으로 담당하고자 하였다. 전체 회로도는 다음 그림과 같다.



< 신호 증폭부 블록 다이어그램 >

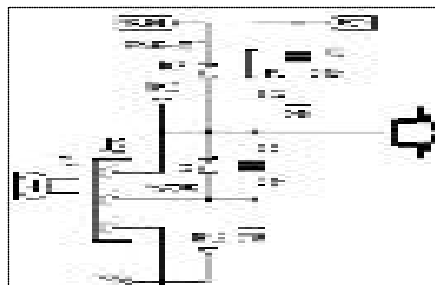
(나) 마이크 신호의 입력

- 수중 음향신호를 전기신호로 바꾸어 주기 위해 사용된 Electret Condenser Microphone(ECM) 마이크로폰은, 진동의 변화로 인한 내부 캐패시턴스의 변화를 증폭하여 출력해 주는 소자이다.



<ECM 마이크로폰의 내부 회로도>

- 그림과 같이 Capsule 안에 자체적인 증폭을 위한 FET를 장착하고 있으며, 일반적인 Dynamic Microphone과는 다르게 외부의 전원을 사용하여 구동된다. 높은 민감도와 높은 Signal/Noise 비를 가진 특징으로, 대부분의 전자회로에서 사용되는 마이크로폰이다.



< 마이크로폰 입력부 회로도 >

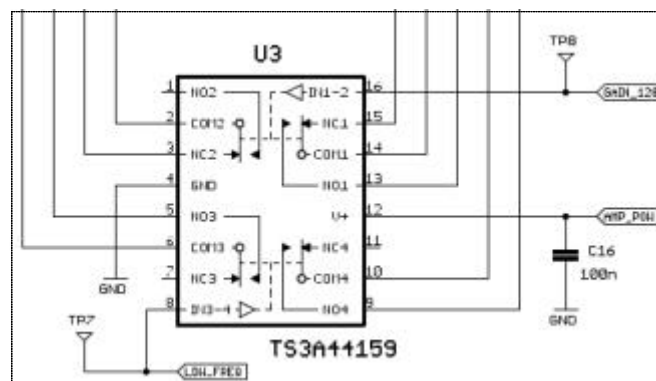
- 그림은 마이크로폰 입력부의 회로도를 나타낸다. 기준전압 생성

기를 통해 생성된 기준전압은 커패시터와 저항으로 구성된 패시브 로우패스 필터를 통해 마이크로폰(MIC)에 입력되며, 마이크로폰의 출력은 곧 전압의 변화량으로 나타나게 된다. 역 전압으로 인하여 마이크로폰 및 하이패스 필터가 손상되는 것을 막기 위하여 접지단자를 통해 저전압 다이오드를 실장해 놓았으며, 이는 마이크로폰의 신호가 순간적으로 음의 전압이 되는 상황을 방지한다.

- 쉬운 회로 디버깅을 위하여 중요 부분에 Test Point(TP)를 삽입해 놓았으며, 상황에 따른 회로의 쉬운 수정을 위하여 0옴의 저항을 가지는 점퍼 스위치를 임시적으로 실장해 놓았다. 본 회로를 통과한 신호는 고속 디지털 스위치에 의해 제어되는 버퍼 및 필터회로로 입력된다.

(다) 증폭 및 필터

- 마이크로폰의 신호는 버퍼 및 필터 회로를 통과하여, 실질적인 증폭에 앞서서 컨디셔닝이 이루어 지도록 하였다. 연산 증폭기는 신호의 손실영역을 최대한 없애고자, Rail-To-Rail방식의 고성능 연산 증폭기인 LMV832를 사용하였으며, 이는 신호의 변화 레벨을 공급전압 근처까지 표현할 수 있는 방식의 IC이다.
- 그림 21은 디지털 선택기의 회로도를 나타내는데, 회로에 장착된 고속 디지털 스위치TS3A44159는 기존의 여러개의 디지털 스위치가 쓰였던 것을 한 개로 통합하여 회로의 단순화를 꾀하였다. 디지털 선택기는 주로 증폭 회로의 사용 여부를 결정하며 이를 MCU에 의해 프로그래밍 될 수 있다.



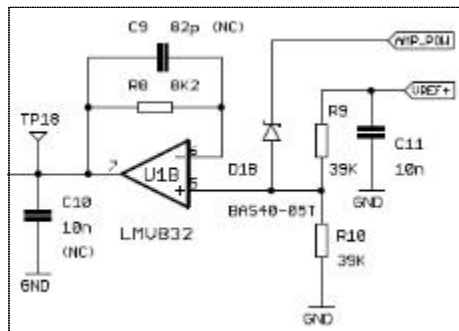
< 디지털 선택기 >

- 모든 연산 증폭기는 입력이 출력에 반응하기까지의 시간적 지연 특성을 가지는데, 만약 디지털 스위치(U3)을 활성화 시키면, 신호는 첫 번째 연산 증폭기(U1A)를 거치지 않은 채 그대로 통과하며, 또한 하이패스 필터의 역할을 하는 캐패시터를 거치지

않은 채 그대로 통과하게 된다. 결과적으로 신호의 버퍼 역할을 하였던 1차 증폭기에 의한 영향이 완전히 무시되기 때문에, 신호의 임피던스 높아지게 되지만 모든 필터를 패시브 필터로만 사용할 수 있어 위상적 지연에서 자유로울 수 있게 된다.

- 이는 액티브 필터와 패시브 필터의 장/단점을 선택적으로 활용하기 위한 회로 구성이며, MCU에서의 프로그래밍으로 간단히 조절될 수 있다. 증폭 및 필터 회로를 통과한 신호는 최종적으로 디지털 증폭기에 입력된다.

(라) 기준전압 보정



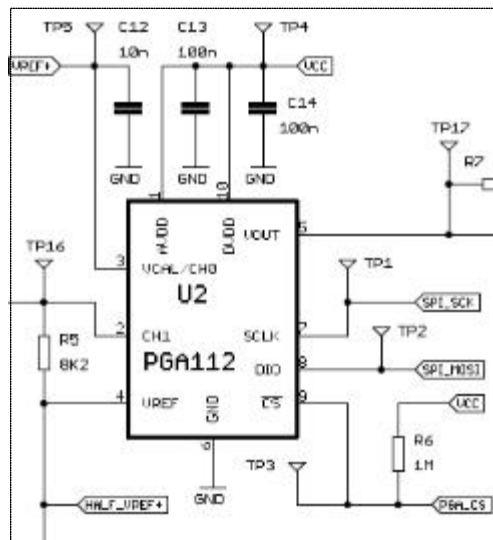
< 기준전압 보정 회로 >

- 디지털 증폭기는 ADC회로와 마찬가지로 기준 전압을 가지고 있는데, 모든 증폭은 기준 전압을 기준으로 하여 입력된 신호를 증폭할 수밖에 없기 때문이다. 가장 이상적인 경우는 버퍼 및 필터를 통한 마이크론의 최종 신호가 기준 전압을 평균점으로 하여 Swing하는 경우인데, 이를 실제 상황에서 구현하는 것은 매우 까다로우며 증폭률을 자유롭게 조절하는 것도 어렵다. 따라서 본 시스템에서는, 최종적인 디지털 증폭에 앞서 그 기준전압을 MCU가 스스로 생성해 낼 수 있는 기준전압 보정회로를 따로 장착하였다.
- MCU에서는 높은 주파수의 Pulse Width Modulation (PWM)신호를 통하여 기준전압 보정 회로에 인가한다. 높은 주파수의 PWM신호는 전압으로 변화될 수 있으며, AMP_POW단자를 통해 인가된 PWM을 통한 전압 레벨과, 기준전압 생성기에서 생성된 기준전압은(VREF+)은 정확히 그것들의 반으로 쪼개어 진다.
- 기준전압 보정 회로를 통해 생성된 전압은, 연산증폭기(U1B)를 통과하여 디지털 앰프에 입력됨과도 동시에, 마이크론의 버퍼에서 바이어스 전압으로 사용된다. MCU에서는 PWM의 Duty

Rate 조절을 통해 최종적으로 본 보정 전압을 미세 조절할 수 있으며 이는 디지털 증폭기에서 최종적으로 사용하게 될 기준 전압이 된다.

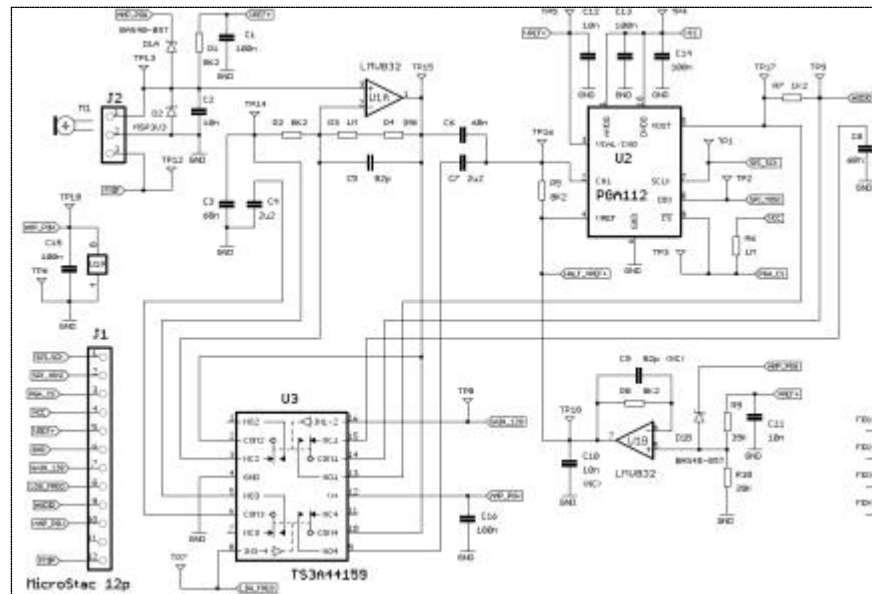
(마) 디지털 증폭기

- 디지털 증폭기는, 기존의 아날로그 증폭기와는 다르게 증폭률을 디지털로 제어할 수 있는 IC이며, 본 시스템에서는 최종적인 Gain Control을 위하여 Texas Instruments사의 Digital Gain Amplifier인 PGA112가 사용되었다.



< 디지털 증폭기 회로도 >

- 그림은 디지털 증폭기의 주변 회로도를 나타내는 데, 버퍼 및 필터를 통과한 신호는 디지털 증폭기(U2)의 CH1 단자로 입력되어 사용되고, 기준전압 보정 회로를 통해 보정된 전압은 디지털 증폭기(U2)의 VREF 단자로 입력되어 최종적인 신호 증폭에 사용된다. 고속의 SPI통신으로 MCU와 연결되어 안정적으로 제어되는 것이 특징이다.



< 마이크론 및 신호 증폭부 전체 회로도 >

이상으로, 마이크론 및 신호 증폭부의 전체 회로도는 그림에 나타내었고, 각 부의 통합적인 제어 및 단순화를 통해, 기존 시스템보다 더욱 안정된 양질의 신호를 습득하고자 하였다.

이상으로 본 시스템을 구성하는 각 부의 다이어그램 및 흐름도를 설명 하였으며, 모든 각 부는, 신뢰성이 입증 된 MicroStac사의 MOLEX 규격 커넥터로 상호간 연결되어 모듈 간 조립 및 보수과정을 최대한 용이하게 하였으며 모든 커넥터에는 잡음의 추가적 유입을 방지하기 위한 패시브 필터또한 추가적으로 장착하였다.

마. 누수 모니터링 시스템 시제품 개발

(1) 개요

구분	내용
누수센싱 모듈	1차 출시 : 2013. 8. (내부 센싱 회로 간격 이상으로 재제작) 2차 출시 : 2013. 11. 3차 출시 : 2014. 6. - 재질 : 플라스틱, SUS 304
데이터 로거	1차 출시 : 2013. 9. (회로간 간섭현상에 의한 이상신호 검출) 2차 출시 : 2013. 10. (복층 회로 구성. 3G모듈 등록) 3차 출시 : 2013. 12. 4차 출시 : 2014. 7. (FM 회로 추가) 5차 출시 : 2015. 1. - 재질 : PCB , 플라스틱, 합금
누수 운용 소프트웨어	1차 출시 : 2013. 12. 2차 출시 : 2015. 1. - Microsoft C#으로 제작

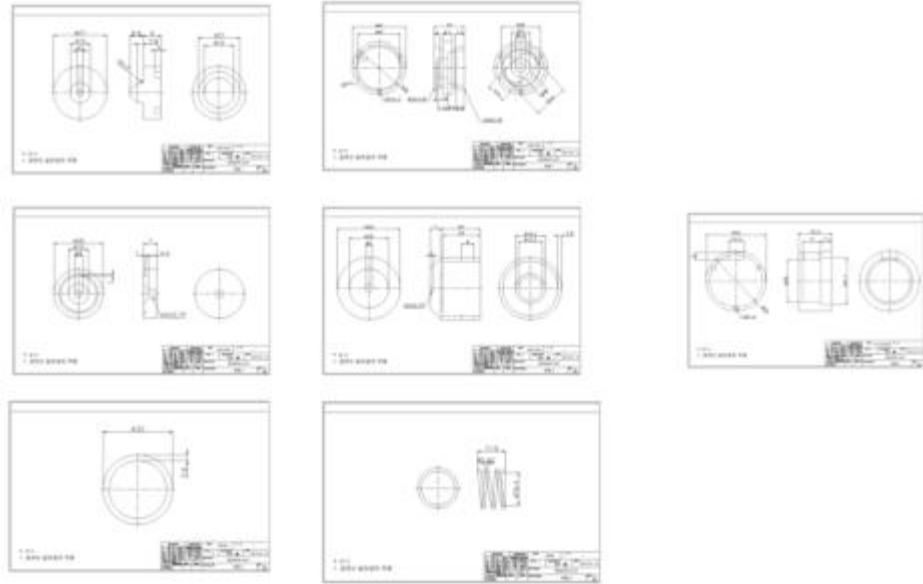


<1차 시제품>



<최종 시제품>

(2) 센서 모듈

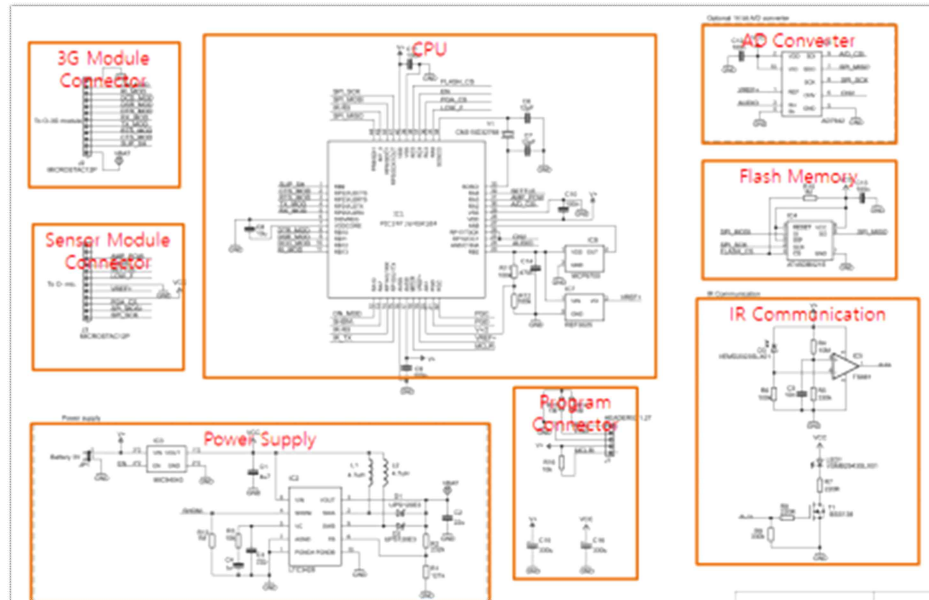


<센서 모듈 개요도>

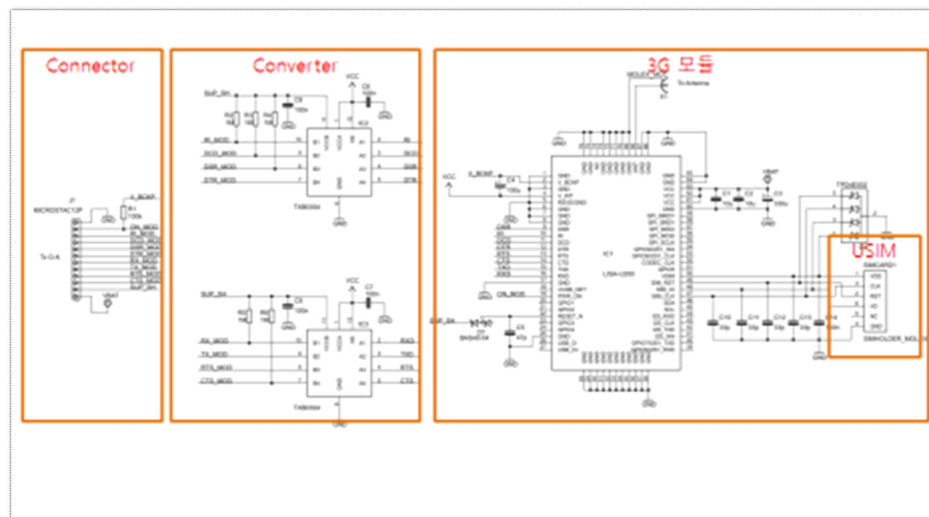


<센서 모듈 분해도>

(3) 데이터 로거 모듈



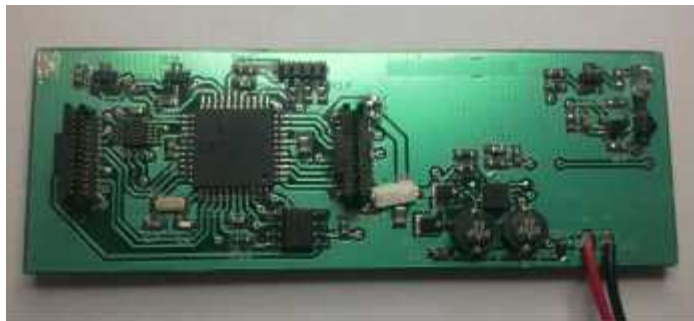
<메인 회로도>



<3G 모듈 회로도>



<1차 시제품 외부 및 내부>



중앙처리모듈



센서 회로 모듈



3G 전송모듈

바. 누수 모니터링 소프트웨어 시제품 개발

(1) 개요

본 연구과제에서의 누수모니터링 소프트웨어는 누수탐지장치에서 수집된 도관음을 분석하여 누수여부를 판단하고, 누수위치를 판별할 수 있는 중앙누수관리 모니터링 시스템을 개발하는 것이다.



<상수도 모니터링 구성>

(2) 개발 내용

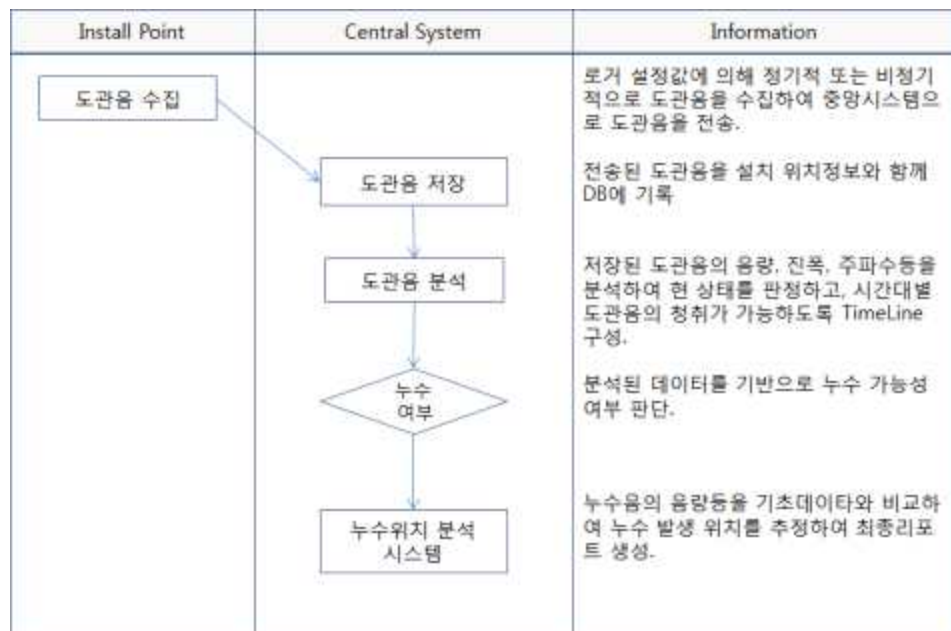
- 본 프로젝트는 누수와 관련된 다양한 이론적 바탕과 경험적 방법을 이용하여, 정확한 누수여부 및 누수위치 판별 알고리즘을 확립하는데 주 연구 목적이 있다.
- 로거모듈에서 전송된 정보를 수신하여 중앙 DB에 보관하고, 보관된 데이터의 열람, 분석을 통해 현황정보, 누수정보등을 제공하고, 누수위치 판별까지 가능한 소프트웨어를 개발하는데 있다.
- 다시 말해 본 연구과제에서는 누수탐지장치에서 수집된 도관음을 분석하여 누수여부를 판단하고, 누수위치를 판별할 수 있는 중앙누수관리 모니터링 시스템을 개발하게 된다. 누수와 관련된 다양한 이론적 바탕, 다양한 연구논문과 경험적 방법을 이용하여, 정확한 누수여부 및 누수위치 판별 알고리즘을 확립하도록 했다.

○ 소프트웨어 개발은 연차별로 다음과 같이 진행되었다.

구분	연구개발내용
1차년도 (2012)	• 누수탐지 시스템에 대한 이해 및 학습 • Map 정보와 설치 위치 정보 연계 방안 • 로거 시스템 데이터 수집 및 전송방법 • 전송 데이터 분석 및 처리 방법
2차년도 (2013)	• 누수탐지 모니터링 시스템 1차 구현 • 전송 데이터 분석 알고리즘 개발 • 누수 정보 확정 방안 연구 • 누수위치 확정에 대한 기초 연구 수행
3차년도 (2014)	• 누수위치 정보 표시 방안 연구 및 구현

(3) 처리 프로세스

누수 데이터 처리 프로세스는 아래의 프로세스를 기본으로 하여 최종 누수가능성을 판단하게 된다. 이러한 누수의 판별여부는 다양한 환경적 요인(공사, 청소, 일반소음등)이 발생함으로 실제 도관음을 듣고, 판별하는 것이 중요하다고 하겠다. 실제 수집된 데이터만 가지고 판단을 할 경우 오판의 가능성을 너무 많이 가지고 있는 경우가 많아 주의를 요한다.



(4) 소프트웨어 시제품 구성

소프트웨어 시제품의 메인화면은 아래와 같다.



2차년도의 소프트웨어 시제품은 데이터의 수집 및 수집데이터의 표시 등과 같은 일을 수행하게 된다. 본 시제품은 데이터의 수집을 위한 파서 동작과 수집된 데이터를 보여주는 표시부를 기본으로 작성되었다. 또한, 수집된 데이터를 축적가능하도록 하여 화면상에 보여주는 시스템을 구축을 하였으며, 본 시스템은 3차년도에 위치추정이 가능한 소프트웨어 시제품 개발까지 수행하게 된다.



위의 화면은 기기별로 표시하는 화면으로서, 전체기간에 대해 그래프로 표시를 하도록 되어 있다.

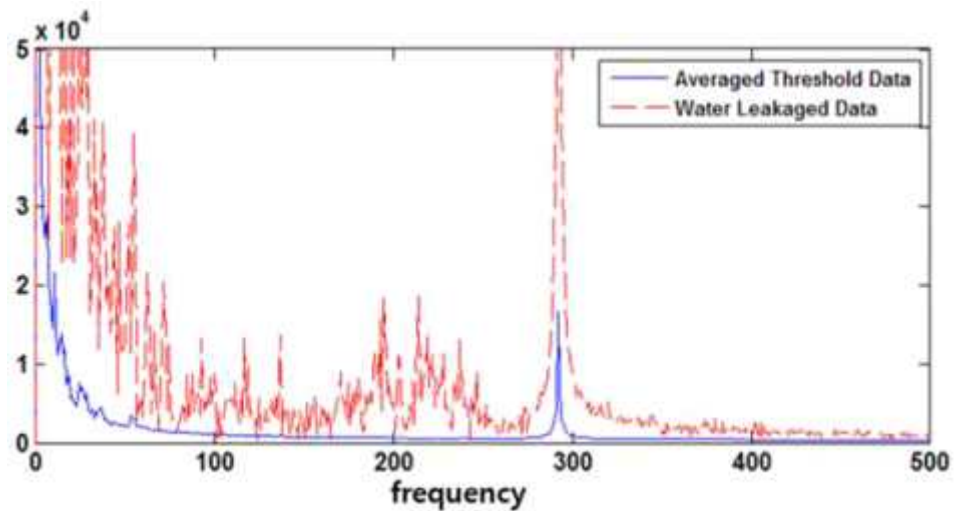
상단의 그래프는 매측정점마다의 값을 연결하여 음파의 추이를 확인하도록 하였고, 하단의 하루 중 가장 낮은 음파값을 표시하도록 되어 있다.

가장 낮은 값을 표시하는 이유는 상수도 사용량이 없을때에도 높은 음파값이 수집된다면 이는 상수도관에 이상이 있거나, 다른 특정 사유가 있을 것으로 볼 수 있기 때문에 쉽게 확인이 가능하도록 하였다.

사. 누수 식별 및 누수위치 개발

(1) 누수 식별

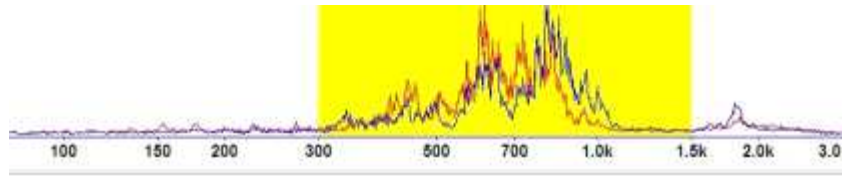
- 상수관로에는 항상 물이 흐르면서, 음을 도관을 따라 양방향으로 전파시킨다. 이러한 음은 전파특성상 도관을 따라 이동하기 때문에 도관의 필터링 역할로 인하여 특정 주파수 대역만 통과하게 된다. 이러한 특정주파수대의 필터링을 위해 하드웨어적으로 추가 필터를 적용시켜 상쇄하는 기본적인 필터링 회로를 내장하였다.
- 아래 그래프를 보면 스펙트럼의 차이를 충분히 알 수 있을 것이다.



<평상시 상수도음의 평균값과 누수음의 주파수 스펙트럼>¹⁰⁾

- 누수음이 발생하게 되면 관중에 따라 다양한 주파수대역의 신호를 발생시킨다. PVC 파이프의 경우 일반적으로 5~250Hz대역의 신호가 매우 커지게 되며, 국내에서 많이 사용하는 주철관, 강관등은 300 ~ 1500Hz대역의 신호가 강하게 발생된다.

10) 센서네트워크를 이용한 무선 누수 탐지 시스템 (최수환, 전자공학회 논문.2011)



<주철판, 강관등의 누수음 주파수 스펙트럼>

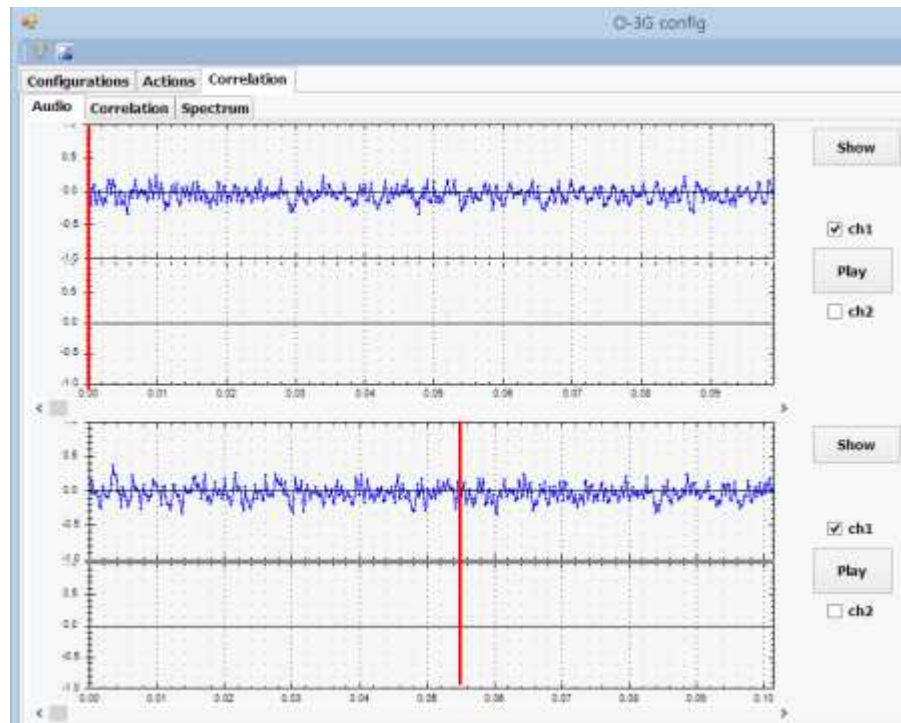
- 누수음의 주파수 스펙트럼의 경우 다양한 형태로 나타날 수 있으나, 외부 유입소음도 동일한 형태의 스펙트럼을 나타내는 경우가 있다. 상수관로가 지나가는 곳에 모터, 보일러, 산소 발생기 및 주기적인 기계음을 발생시키는 장치가 있을 경우 동일한 스펙트럼을 보이는 경우가 있다. 이의 판별은 상수관로를 따라 전해지는 도관음을 직접 청취하여 식별하는 방법밖에는 없기 때문에 반드시 누수판정전 도관음을 반드시 확인 후 진행해야 한다.
- 이렇게 발생된 누수음의 주파수대는 실제로 누수여부를 판별할 때 수집음의 시간대가 매우 중요하다. 이는 물을 수용가가 사용하게 되는 낮시간대에는 누수음과 일반 도관음이 섞여 부정확한 데이터를 생산하게 된다. 따라서 보통 누수여부를 판별할때는 새벽시간대 특히 2시에서 4시대의 음을 채집하여 누수여부를 판단하게 된다.
- 측정시간대는 측정위치가 새벽시간대에도 물을 많이 사용하게 된다면, 이 역시 부정확한 데이터를 양산하게 됨으로 데이터 수집시 주의해야 한다. 새벽시간대에 채집한 데이터에서 누수 주파수대가 활성화될 경우 누수의심지역이라고 볼 수 있다. 물론 이것도 상수도관을 따라서, 다양한 주변음(지하 냉장고 진동음, 수족관 기포발생기음등)에 따라서 왜곡된 신호음이 잡힐 수도 있음을 간과해서는 안 된다.
- 심야시간대에 안정된 주파수 곡선을 보이는 것은 수용가가 물을 사용하지 않기 때문에 유체의 이동이 없거나 느려지기 때문에 동반되는 음의 발생이 상대적으로 적기 때문이라고 하겠다.
- 따라서 수집된 음을 기준으로 다양한 필터를 거치면서, 일반적인 주파수대의 음만 채집을 하여 전송을 하게 된다. 이는 앞서 회로의 필터회로등에서 설명을 하였으므로 생략하도록 한다.

(2) 누수위치 식별

- 누수의 위치를 식별하는 방법은 누수의 발생지점부터 양쪽 탐지기까지 도달하는 누수음의 시간 차이를 이용하여 누수 위치를 추정하는 방식이며, 이를 TDoA(Time Difference of Arrival)라 한다.
- 이 조건에서 가장 중요한 것은 양쪽 측정점에서 동시에 측정을 해야 한다는 것이다. 만약 동시에 측정이 시작되지 않는다면, 측정시간의 간격만큼 오차가 발생할 수 있고, 이 오차는 만약 1초만 차이가 나더라도 실제 거리는 1km 이상의 오차를 발생시킬 수 있다. 실제로 도관의 음 전파속도는 우리나라에 많이 매설되어 있는 주철관의 경우 1,175m/s나 되기 때문이다.¹¹⁾ 공기중에서보다 훨씬 더 빠른 속도로 음이 전파되기 때문에 동기화는 무엇보다 중요하다고 하겠다.
- 일반적으로 측정시간 동기화를 위해서 여러 가지 방식을 사용하지만, 여기서 가장 정확한 것은 GPS의 1PPS 신호를 이용하는 것이다.¹²⁾ 하지만, 이 방식의 경우 지하매설물 속에서는 GPS신호가 수신되기 어렵기 때문에 외부에 안테나가 노출되어야 하는 단점이 있다.
- 이러한 방법을 보완하기 위하여 본 연구과제에서는 측정지점에서 FM 신호를 수신하여 양쪽 수신신호를 동기화 하고, 동기화된 신호를 기반으로 측정된 누수음의 신호를 분석하여 위치를 식별하는 방법을 적용하였다. 이는 일부 유럽지역에서 사용하고 있는 방법으로 알려져 본 연구에 활용하였으며, 지하매설물에 적용이 가능한 동기화 방식으로 향후에도 지속적인 연구가 필요한 부분이라 하겠다.
- 본 연구에서는 신호음과 FM신호음을 동시에 저장하여, 기본적인 신호동기화가 가능하도록 수집되었으며, 내부적으로 약 37kbps의 샘플링율을 가지고 있다.

11) 가속도계를 이용한 상수도 배관의 누수위치 식별연구 (이영섭, 윤동진, 정중채, 2003)

12) 센서네트워크를 이용한 무선 누수 탐지 시스템 (최수환, 전자공학회 논문.2011)



<FM 신호정보의 기기별 입력차>

- 실제 시험 데이터를 측정해보았을 경우 양쪽에서 수신되는 FM 방송의 신호음의 차이는 위의 그래프와 같이 약 0.055초정도의 수신 차이를 보이고 있다. 이는 실제로 기기내부에서 신호정보를 수집한 시간과 무관하지 않으며, 이 시간적 차이를 쉬프트 보정함으로써, 실제 동시에 채집된 누수음의 채집시간의 싱크율을 조정하게 된다.
- 이렇게 조정된 데이터 패턴을 기존 연구에서 검증되었던 TDoA 방식으로 계산하여 누수위치까지의 거리를 추정하게 된다. 물론 여기에는 외부의 물리적인 다양한 오차가 존재할 수 있다. 파이프의 재질, 두께, 수압, 파이프 연결부, 꺾인부위등 다양한 외부의 변수조건이 존재하게 되는데 이는 지속적인 연구를 통해 알아나아가야 할 사항이다.

제3절 연구수행결과 및 결과의 검증 방법 등

1. 현장시험 - 기기 현장시험

가. 개요

본 연구개발사업은 총 3개년 사업으로 1차년도 및 2차년도에 설계되었던 제품을 시험제작하여 시작품을 제작하게 되어 있다. 시작품의 동작여부를 점검하기 위하여 실제 본 기기가 사용될 현장에서 각부 기능을 테스트 해 봄으로써, 설계의 정확성, 현장에서의 정합성 및 문제점등을 찾을 수 있다. 또한, 센서에서 수신되는 데이터를 활용하여 누수에 대한 정보까지 확보가 가능하게 된다.

나. 맨홀의 구조

- 맨홀은 지하매설물을 유지보수하기 위해 지표에서 지하로 구멍을 뚫어 사람이 들어가거나, 아니면 지표에서 작업이 용이하게 하기 위한 시설물 중의 하나입니다. 대표적인 맨홀로는 상수도, 하수도, 우수, 전기통신 맨홀등이 있는데, 일반적으로 KS규격을 따르고 있다.
- 특히, 상수도관의 맨홀은 상수도관의 접합부에 시설되어, 접합부 밸브를 조작하는 기능을 가지고 있는 경우가 많으며, 관의 흐름을 차단하거나 방향을 전환하는 용도로 사용이 된다.
- 상수도 맨홀은 오수나 우수 맨홀과는 다르게 밀폐되는 구조를 가지고 있는 경우가 대부분이며, 우수 또는 오수 맨홀은 빗물의 유입 또는 가스의 배출등을 돕기위해 맨홀 뚜껑에 구멍이 있는 일반적인 특징을 가지고 있다.



<상수도, 전기용 통신 맨홀>

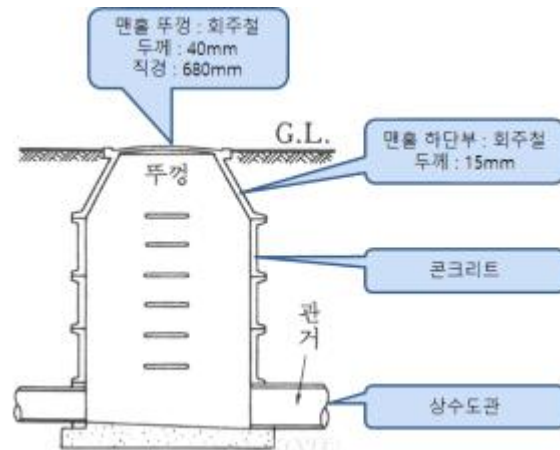


<우수, 오수용 맨홀>

- 맨홀의 구조를 살펴보면 아래의 그림과 같다.
- 상수관이 통과하는 부분 및 상부는 콘크리트 구조로 관의 안정성을 확보하고, 상부는 회주철로 만들어진 맨홀 하단부와 지표에 노출되는 맨홀 뚜껑으로 이루어져 있다.
- 상수도관의 맨홀 뚜껑은 일반적으로 상부 맨홀 직경 680mm와 240mm 두가지 종류가 대부분을 차지하고 있다.



<맨홀 기초 예>



<맨홀 단면 구조>



<맨홀 내부 구조>

- 맨홀 내부는 일반적으로 맨홀 내부는 일반적으로 밸브가 노출되어 있는 것이 맞지만, 물이 가득차 있다든지, 흙으로 메워졌다든지 하는 다양한 환경에 노출되어 있다.
- 맨홀 덮개는 아래의 그림처럼 일반적으로 2종의 형태가 대부분으로 되어 있으며, 덮개의 규격은 동일하게 제작되어 있다.



다. 시공 특이사항

- 본 연구개발사업에서 최종 제작되는 시제품의 탐지센서는 맨홀(manhole) 내부의 밸브 상단부 개폐장치위에 자석으로 부착하도록 되어 있습니다. 또한 기기로거는 맨홀 하단부에 자석으로 거치하도록 되어 있다.
- 앞서 서술한 바와 같이 밀폐된 맨홀 내부의 통신은 장애가 발생하여 신호감도를 저하시키는 원인이 되며, 특히 40mm두께의 회주철 성분의 맨홀 뚜껑은 통신을 막는 대표적인 장애물 중의 하나입니다. 따라서, 3G 통신의 장애를 없애기 위해서는 2가지 방법을 사용하여 시공을 하게 된다.
- 한가지는 맨홀 뚜껑의 개폐를 위한 홀 구멍을 이용하여 안테나를 노출시키는 방법이다. 이는 맨홀 개폐시 손상될 우려는 있으나, 시공이 간편한 장점이 있다.



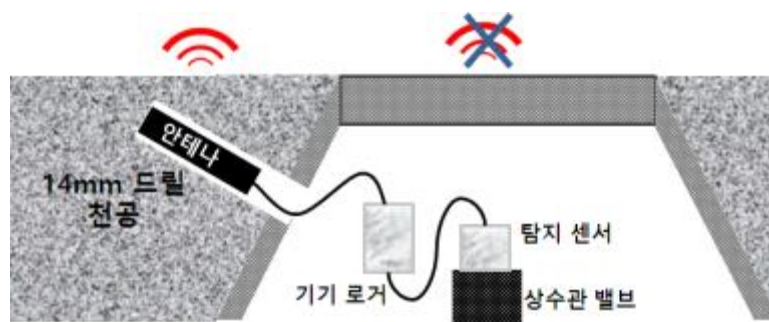
< 맨홀 구멍을 이용한 안테나 노출 방법 >

- 다른 한가지는 아래 그림과 같이 맨홀 하단부 회주철 부분에 14mm 드릴 천공을 하여 콘크리트 또는 아스콘 부분으로 지표와 가까운 쪽으로 안테나를 밀어넣는 방법입니다. 이는 시공이 불편한 단점이 있지만, 맨홀 개폐에 따른 손상이 없다는 장점이 있다.



< 맨홀 하부 천공을 이용한 통신 방법 >

- 이번 현장시험에서는 두가지 방법을 다 혼용하여 시공하였으며 전송결과는 정상적으로 동작하고 있다.
- 일부 현장의 경우 3G 신호가 약하여 전송에 장애를 겪는 경우도 있으나 이는 일부에 한한 상황이라, 테스트에서는 크게 영향을 미치지 않았다.
- 현장의 지표외부의 신호강도는 105 ~ 115dBm을 보이고 있으며, 지표 아래의 신호강도는 98dBm ~ 105dBm으로 측정되고 있다.



<시공방법>



<안테나>

라. 현장 시험 개요

- 현장시험은 다양화적용 모양의 구체적 데이터 확보를 위해 동두천 상수도 사업본부의 의뢰를 받아 2개소를 지정하여 현장 시험을 실시함.
- 선정지역은 주택지역 1개소와 상업지역 1개소이며, 상수도 사용 환경이 상이한 곳을 선정하여 다양한 상수관로 환경 테스트가 가능함.
- 상업지역 1개소는 상수관로 데이터 확보 위주의 테스트를 진행.
- 주택지역 1개소는 누수탐지 위주의 테스트를 진행하며, 누수위치가 발견될 경우 외산장비와의 성능평가를 통해 본 과제에서 개발된 기기와의 비교평가를 진행함.

	동두천 SY02 블록	동두천 SY04 블록
위치	동두천 중앙시장 지역	생연1동 지역
특징	• 동두천의 대표적인 상업지역 • 재래시장이 위치한 곳으로 수용가가 주택지역에 비해 많지 않음. • 상수관로는 직선관 형태가 많으며, 대부분 DCIP를 주재질로 하는 관로가 많음.	• 동두천의 가장 오래된 주택지역 • 3층이하의 양옥 주택 및 단층주택이 대부분인 지역으로, 상업지역에 비해 수용가가 상대적으로 많음. • 상수관로는DCIP, ST, PE등 다양한 재질의 관로를 가지고 있으며, 매설연도 또한 다양함.

마. SY02블록 테스트

(1) 현장 특징

SY02블록의 수용가수는 1,845전으로 전체 급수전대비 12.5%이며 12개 블록중에 가장 많은 급수전수를 나타내고 있다. 하지만 공급량은 2,238m³/일 전체 대비 7.6%를 차지하고 있다.

SY02블록은 구시가지 지역으로 대부분 단독주택지역과 소규모 상업지역으로 구성되어 급수전수에 비하여 용수공급규모가 작은 것으로 나타났다. 2009년 평균 사용량은 1,509m³/일로 유수율은 67.4%로 전체 평균보다 낮게 나타났다.

관로는 배수관로 21.2km, 급수관로 10.4km이며, 매설 경과년이 20년 이상인 관로는 배수관이 전체의 6.5%, 급수관이 21.0%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다.

누수사고는 총 72건이 발생하였으며, 전체 대비 14.5%로 전체 블록중 가장 많은 누수사고가 발생한 것으로 조사되었다. 민원은 총 225건으로 11.3%를 나타내며 특히 누수민원이 12.4%, 수질민원이 10.4%를 나타내 타 블록에 비하여 많은 편이다.¹³⁾

테스트 현장은 동두천시 재래시장인 중앙시장 일대로 4차선 도로에 인접해 있으며, 시민의 통행이 빈번한 곳에 위치해 있다.



<중앙시장 주변 맨홀>



<중앙시장 내부>



<중앙시장 입구>

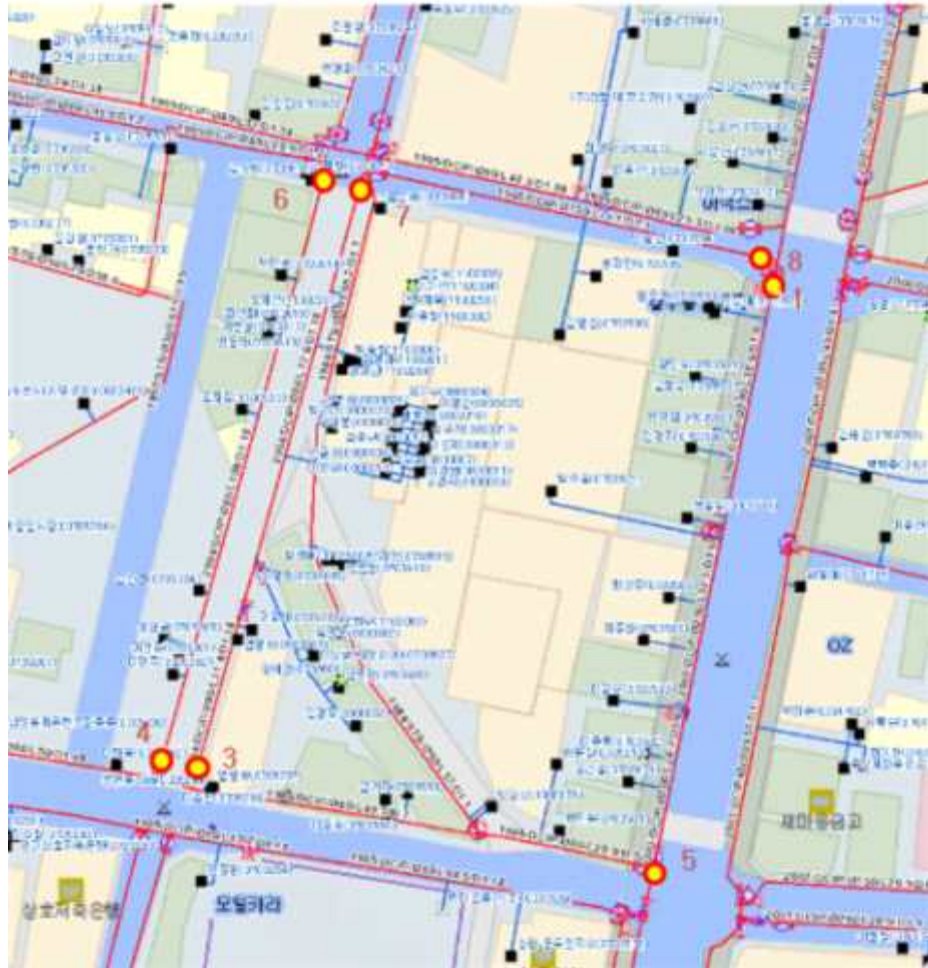
13) 동두천시 발행, '수도정비 기본 계획, 2013

테스트 현장은 아래의 위성사진과 같이 약 110m, 약 70m의 구간을 가지고 있다.



(2) 테스트 현장 관망의 특징

현재 동두천 수도관리단에서 보유하고 있는 관망도를 보면 아래와 같습니다. 아래 그림상에 표기되어 있는 숫자는 설치된 기기를 표기하고 있으며, 7개의 기기를 설치하여 테스트를 진행하였다.



맨홀의 관망은 아래와 같은 특징을 가지고 있다.

구분	개요
관리 기관	한국수자원공사 동두천수도관리단
설치 위치	경기도 동두천시 중앙시장 주변
상수관 종류 및 직경	주철관 (DCIP) , 80mm , 150mm, 200mm
매설 연도 및 깊이	1986년, 1995년, 2001년, 2004년, 깊이 약 1.7m 내외
맨홀 규격	680mm

(3) 시공

시공은 아래와 같이 시행하였다.

	작업	현장사진	
1	현장조사		
2	맨홀천공		
3	설치		

위치별 시공 현장은 아래와 같다.

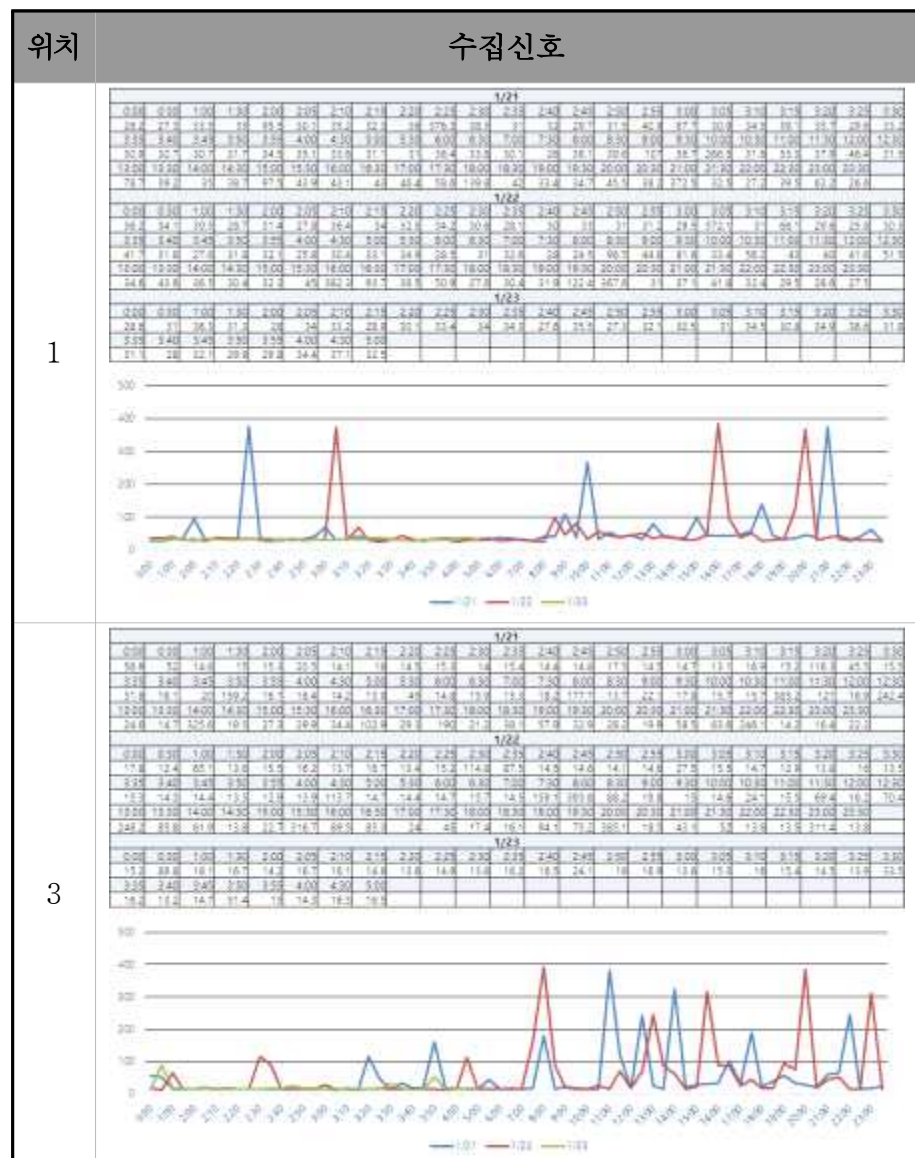
위치	현장설치 사진
1	 
3	 
4	 

위치	현장설치 사진	
5		
6		
7		
8		

(4) 시험 측정 방법

- 시험 데이터의 측정방법은 매 30분마다 도관 음파를 측정하고, 새벽 2시 ~ 4시 사이에는 매 5분마다 측정하여 데이터를 1일 1회 서버로 전송하도록 하고 있다.
- 측정을 새벽에 집중적으로 하는 이유는 상수도관의 특성상 수용가에서 수돗물을 사용할 경우 도관의 음파 측정치가 누수 음파 측정치와 유사하게 나타나는 특성이 있어, 이를 구분하기 위하여 수돗물 사용량이 급감하는 새벽에 짧은 간격으로 측정을 실시하고 있다.

(5) 수집신허



위치

수집신호

4

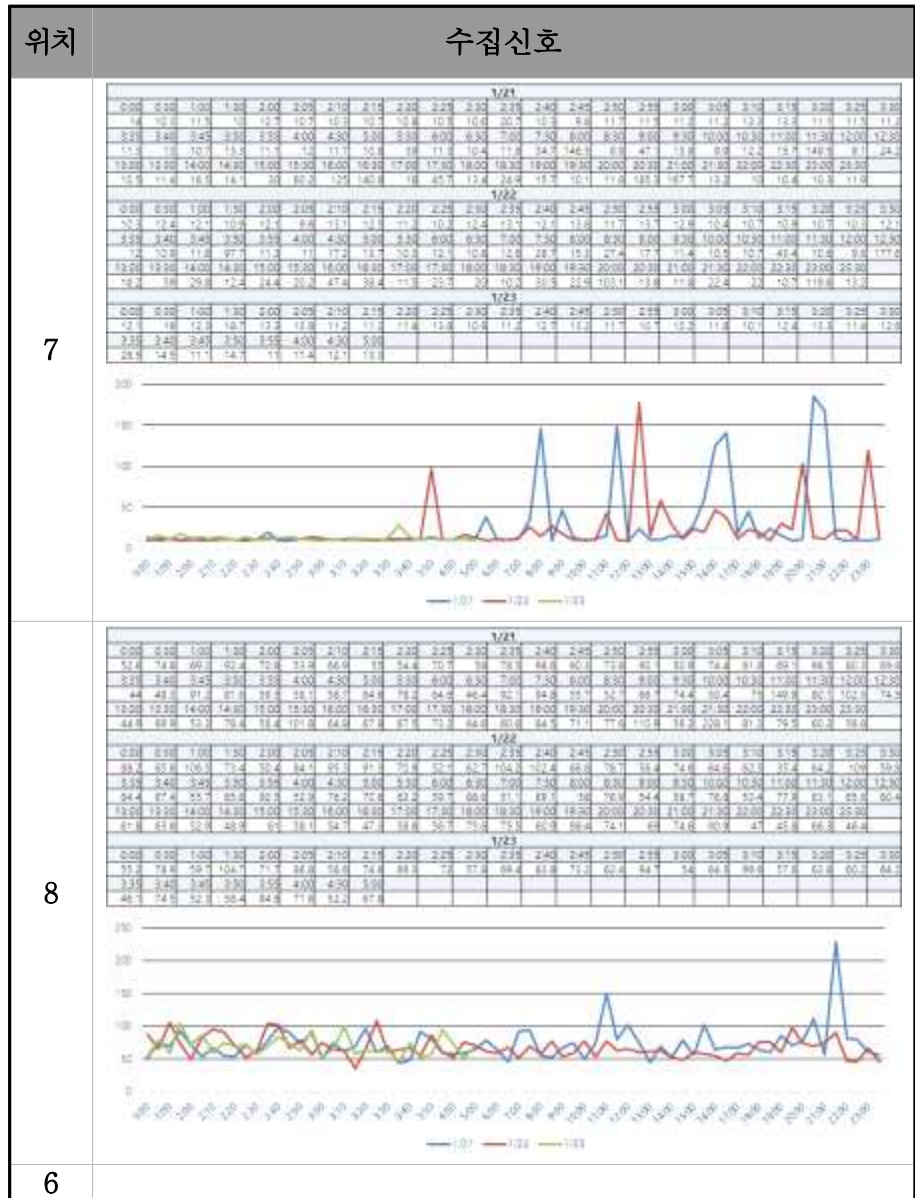


5



6





(6) 수집신호 분석 - 데이터

- 현재 시험기기에서 정상적으로 데이터를 전송해 오고 있으며, 아래의 데이터는 그 기기중 2개의 기기의 데이터를 샘플로 표시한 것이다.
- 아래의 데이터를 보면 낮동안은 음과값이 일자별로 강하게 나오고 있지만, 새벽 2시에서 4시 사이에는 평균적으로 10이내의 안정적인 수치를 보이고 있어, 도관에 특별한 이상은 없는 것으로 사료된다.



<음과 측정치가 정상수치내에 드는 경우>

- 아래의 기기에서 보낸 데이터의 경우에는 24시간내내 150 내외의 신호를 보내오고 있어, 이는 누수가 발생이 된다는지, 아니면 다른 원인이 있을것으로 생각되고 있다. 본 도관이 주 도로에 있는 200mm관이다보니, 물 사용량이 지속적으로 발생하는 원인이 될 수도 있어 이는 추가적인 기기 설치를 통해 지속적인 관찰이 필요한 상황이다.



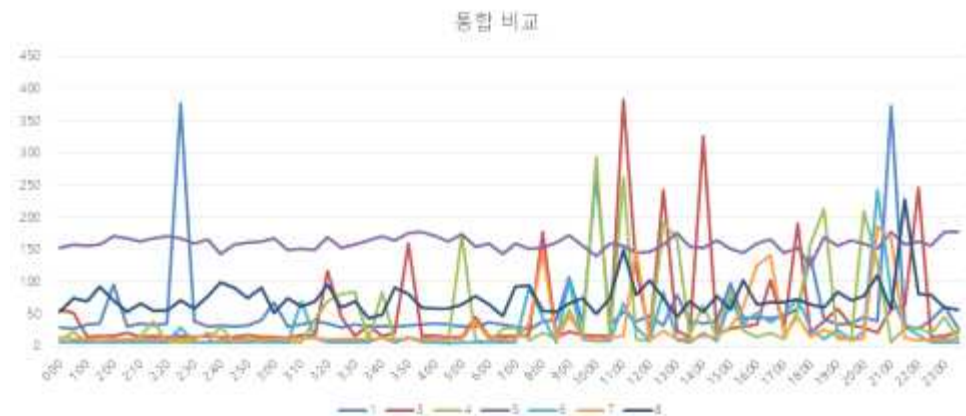
<음파 측정치가 정상범위 밖으로 추정되는 경우>

(7) 수집신호 통합분석 결과

총 7개의 기기에서 보내온 신호를 통합해 보면 아래의 그림과 같다. 그래프를 보면 수도물을 거의 사용하지 않는 것으로 생각되는 새벽 시간에 다양한 진폭의 음파가 만들어 짐을 알 수 있다.

새벽시간대에 측정값이 낮아져야 할 1, 8, 5 번기기가 높은 값을 유지하고 있어 추가적인 탐사작업이 필요하다.

이런 다양한 진폭의 음파는 여러 가지 원인에 의해서 발생할 수 있다. 이의 정확한 판단을 위해서는 현장의 방문을 통한 주변환경 조사 및 새벽시간대 수도 사용량등을 확인하여야 정확한 판단이 가능하다.



바. SY04블록 테스트

(1) 현장 특징

SY04블록의 수용가수는 1,590전으로 전체 급수전대비 10.7%이며, 2009년 공급량은 2,689m³/일 전체 대비 9.1%를 차지하고 있다. 2009년 평균 사용량은 1,733m³/일로 유수율은 64.4%로 전체 평균보다 낮게 나타났다. 관로는 배수관로 18.4km, 급수관로 8.8km이며, 매설 경과년이 20년 이상인 관로는 배수관이 전체의 12.4%, 급수관이 36.8%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다.

누수사고는 총 50건이 발생하였으며, 전체 대비 10.1%이고 전체 블록중 '80년 이전 매설관로 누수사고가 가장 많이 발생한 것으로 조사되었다. 민원은 총 234건으로 11.7%를 나타내며, 출수불량 민원이 80건, 누수민원이 64건으로 타 블록에 비하여 많은 편이다.¹⁴⁾

테스트 현장은 동두천시의 오래된 주택가인 상연1동 일대로 상기 테스트 지역인 중앙시장에 비해 약 4배 이상의 테스트 면적을 가진 넓은 지역이다.



<테스트 현장 위성사진 및 주변 사진>

14) 동두천시 발행, '수도정비 기본 계획, 2013

(2) 테스트 현장 관망 특징

동두천 수도관리단에서 보유하고 있는 관망도는 아래와 같다. 하지만 해당 관망도는 유지정비가 제대로 이루어지지 않아 100% 신뢰하기는 어려우며, 실제 조사해 본 결과 관망도와 다른 경우가 많이 발생하였다.



< 테스트 현장 CAD 관망도 >

테스트 지역 맨홀의 관망은 아래와 같은 특징을 가지고 있다.

구분	개요
관리 기관	한국수자원공사 동두천수도관리단
설치 위치	경기도 동두천시 생연1동 일대
상수관 종류 및 직경	주철관 (DCIP) ,강관(ST), PVC 80mm , 100mm
매설 연도 및 깊이	1994년, 2000년등 다양한 관이 상호 연결되어 있음.
맨홀 규격	680mm

(3) 시공

시공은 중앙시장 일대의 테스트 기기 설치와 유사하나 안테나의 노출을 천공이 아닌 맨홀의 구멍을 통해 노출하는 방식을 적용하여 시공성을 확인하고, 전파의 도달 테스트를 수행하였다.

위치	현장위치 사진
41	
42	
	 

위치	현장위치 사진
43	 
45 46 47 48	  

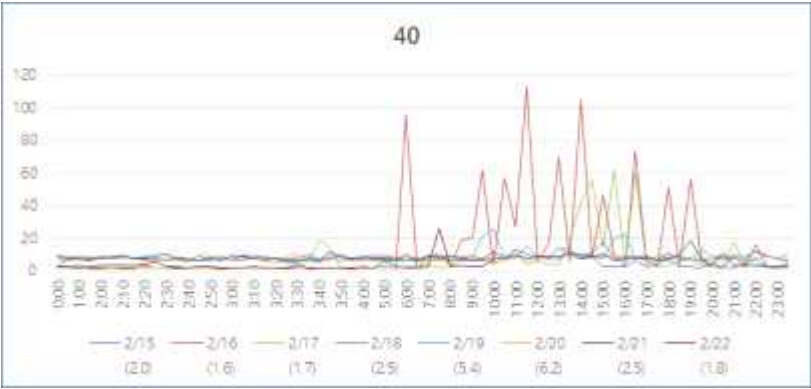
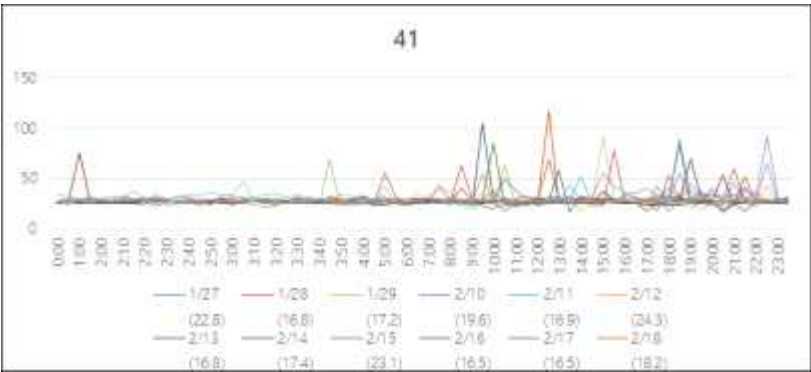
위치	현장위치 사진
53 55 55-1	 
63 64	 

위치	현장위치 사진
76 78	  
70 73	  

(4) 시험 측정 방법

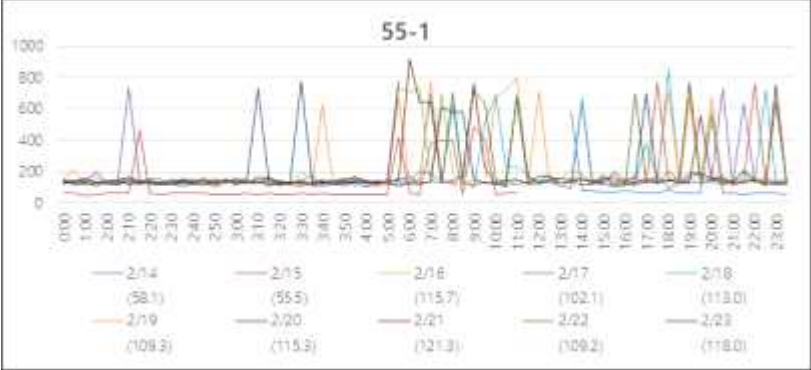
- 시험 데이터의 측정방법은 매 30분마다 도관 음파를 측정하고, 새벽 2시 ~ 4시 사이에는 매 5분마다 측정하여 데이터를 1일 1회 서버로 전송하도록 하고 있다.
- 측정을 새벽에 집중적으로 하는 이유는 상수도관의 특성상 수용가에서 수돗물을 사용할 경우 도관의 음파 측정치가 누수 음파 측정치와 유사하게 나타나는 특성이 있어, 이를 구분하기 위하여 수돗물 사용량이 급감하는 새벽에 짧은 간격으로 측정을 실시하고 있다.
- 하지만 주택지역의 특성상 새벽시간대에 물을 사용하는 경우가 많아 측정 데이터의 왜곡 현상이 발생하고 있다.

(5) 수집신호

위치	수집신호
40	 • 일반적인 수용가의 상수도 사용 흐름을 보이고 있음. • 최저값 : 2 ~ 5
41	 • 물 사용량이 적은 새벽시간 에 15~20에 이르는 수치를 보이고 있어, 추가 조사가 필요함. • 최저값 : 15 ~ 20

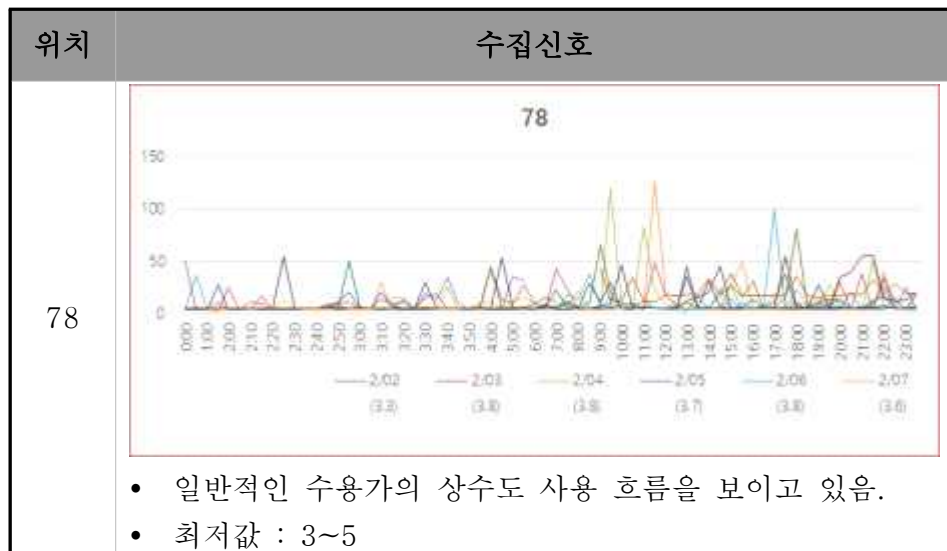
위치	수집신호
42	42 Legend for station 42: 1/29 (3.5) 1/30 (2.5) 1/31 (2.9) 2/01 (2.5) 2/02 (2.8) 2/03 (3.1) 2/04 (2.6) 2/05 (2.8) 2/06 (2.5) 2/07 (2.3) 2/08 (2.7) - 일반적인 수용가의 상수도 사용 흐름을 보이고 있음. - 최저값 : 2~3
43	43 Legend for station 43: 2/10 (3.7) 2/11 (10.8) 2/12 (18.1) 2/13 (7.7) 2/14 (13.9) 2/15 (17.5) 2/16 (7.4) 2/17 (7.6) 2/18 (7.0) 2/19 (8.1) 2/20 (10.9) 2/21 (9.8) 2/22 (18.1) 2/23 (20.0) - 물 사용량이 적은 새벽시간 에 압력값의 변동폭이 큰것은 상수가 유입되는 주관로이기 때문에 발생하는것으로 보이 나 조사는 필요함. - 최저값 : 7~20
46	46 Legend for station 46: 2/22 (9.5) 2/23 (8.4) - 일반적인 수용가의 상수도 사용 흐름을 보이고 있음. - 최저값 : 8~9

위치	수집신호														
47	47 <table><tr><td>1/27 (2.8)</td><td>1/28 (4.1)</td><td>1/29 (3.7)</td><td>1/30 (4.0)</td><td>1/31 (4.0)</td><td>2/1 (4.0)</td><td>2/2 (4.1)</td></tr><tr><td>2/3 (4.0)</td><td>2/4 (4.0)</td><td>2/5 (4.1)</td><td>2/6 (4.1)</td><td>2/7 (4.0)</td><td>2/8 (3.9)</td><td></td></tr></table> - 일반적인 수용가의 상수도 사용 흐름을 보이고 있음. - 최저값 : 2~4	1/27 (2.8)	1/28 (4.1)	1/29 (3.7)	1/30 (4.0)	1/31 (4.0)	2/1 (4.0)	2/2 (4.1)	2/3 (4.0)	2/4 (4.0)	2/5 (4.1)	2/6 (4.1)	2/7 (4.0)	2/8 (3.9)	
1/27 (2.8)	1/28 (4.1)	1/29 (3.7)	1/30 (4.0)	1/31 (4.0)	2/1 (4.0)	2/2 (4.1)									
2/3 (4.0)	2/4 (4.0)	2/5 (4.1)	2/6 (4.1)	2/7 (4.0)	2/8 (3.9)										
51	51 <table><tr><td>2/14 (3.2)</td><td>2/15 (3.4)</td></tr></table> - 일반적인 수용가의 상수도 사용 흐름을 보이고 있음. - 최저값 : 3~4	2/14 (3.2)	2/15 (3.4)												
2/14 (3.2)	2/15 (3.4)														
52	52 <table><tr><td>1/27 (1.6)</td><td>1/28 (1.4)</td><td>1/29 (1.5)</td><td>1/30 (1.6)</td><td>1/31 (2.7)</td><td>2/1 (2.1)</td></tr><tr><td>2/10 (2.3)</td><td>2/11 (2.1)</td><td>2/12 (2.0)</td><td>2/13 (1.9)</td><td>2/14 (2.0)</td><td></td></tr></table> - 일반적인 수용가의 상수도 사용 흐름을 보이고 있음. - 최저값 : 1~2	1/27 (1.6)	1/28 (1.4)	1/29 (1.5)	1/30 (1.6)	1/31 (2.7)	2/1 (2.1)	2/10 (2.3)	2/11 (2.1)	2/12 (2.0)	2/13 (1.9)	2/14 (2.0)			
1/27 (1.6)	1/28 (1.4)	1/29 (1.5)	1/30 (1.6)	1/31 (2.7)	2/1 (2.1)										
2/10 (2.3)	2/11 (2.1)	2/12 (2.0)	2/13 (1.9)	2/14 (2.0)											

위치	수집신호
53	 • 일반적인 수용가의 상수도 사용 흐름을 보이고 있으나 최저 수치가 지역평균보다 높음. • 최저값 : 10~15
55	 • 최저수치가 과도하게 높은 수치를 보이고 있음. • 최저값 : 60 ~ 90
55-1	 • 지역 평균치보다 과도하게 높은 값을 보이고 있음. • 최저값 : 50~120

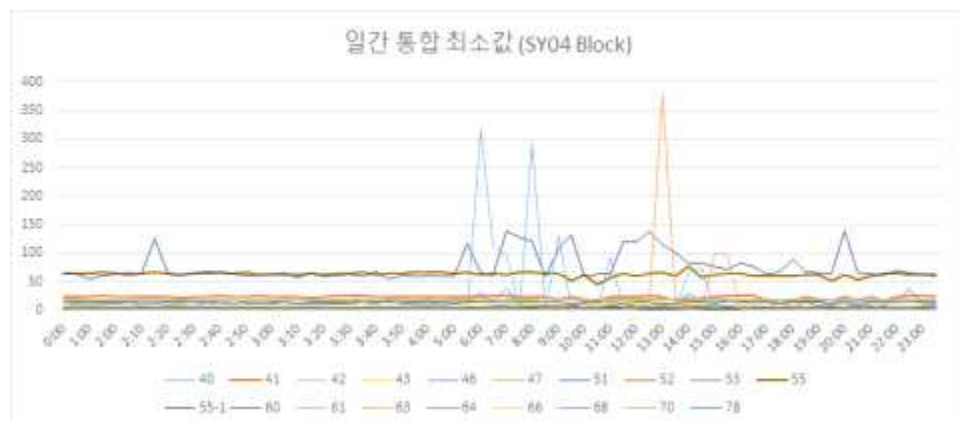
위치	수집신호
60	60 — 2/08 (5.0) — 2/09 (4.0) — 2/10 (3.7) — 2/11 (2.2) — 2/12 (2.2) — 2/13 (2.1) • 일반적인 수용가의 상수도 사용 흐름을 보이고 있음. • 최저값 : 2~5
61	61 — 2/13 (2.5) — 2/14 (2.3) — 2/15 (2.4) • 일반적인 수용가의 상수도 사용 흐름을 보이고 있음. • 최저값 : 2~3
64	64 — 1/27 (19.5) — 1/28 (17.8) — 1/29 (17.4) — 1/30 (26.4) — 1/31 (23.7) — 2/01 (21.2) — 2/02 (20.1) — 2/03 (20.9) — 2/04 (24.6) — 2/05 (21.1) — 2/06 (18.4) — 2/07 (22.6) — 2/08 (21.9) — 2/09 (20.5) — 2/10 (18.9) — 2/11 (17.2) — 2/12 (18.4) — 2/13 (22.6) — 2/14 (21.4) — 2/15 (20.5) — 2/16 (18.6) — 2/17 (18.8) — 2/18 (17.8) — 2/19 (18.4) — 2/20 (17.1) — 2/21 (18.6) — 2/22 (17.4) — 2/23 (18.9) — 2/24 (18.8) — 2/25 (17.8) — 2/26 (17.8) — 2/27 (18.8) — 2/28 (18.8) — 2/29 (18.8) • 최저값이 평균값보다 높음. • 최저값 : 17 ~ 25

위치	수집신호
66	66 - 지역 평균보다 높은 값이 나타나고 있음. - 최저값 : 6~15
68	68 - 일반적인 수용가의 상수도 사용 흐름을 보이고 있음. - 최저값 : 4~6
70	70 - 일반적인 수용가의 상수도 사용 흐름을 보이고 있음. - 최저값 : 4~6



(6) 수집신호 통합 분석 결과

- 아래 일간 통합 최소값 그래프를 보면 지역평균치를 확인할 수 있고, 지역평균치를 넘어서는 데이터를 보내는 맨홀을 알수 있다.



○ 지역평균치를 넘어서는 맨홀을 관망도상에서 살펴보면 아래와 같다.



< 분석결과 맨홀 분포 >

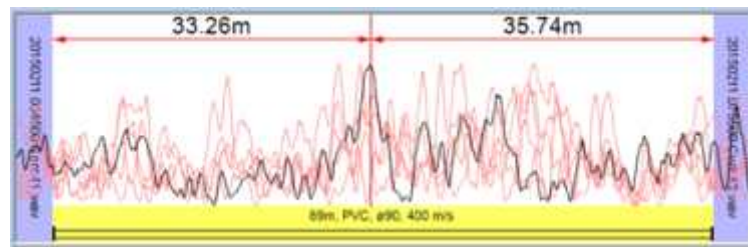
- 측정지역에서 누수가 있을것으로 추정되는 곳은 2군데로 나타남.
- 누수위치 추정 계산을 요하는 구간은 66-64-53-55-55-1 구간과 41-43-46구간을 조사해야 함.
- 다른 구간은 추가조사구간에 비해 상대적으로 안정적인 데이터를 보내고 있음.

(7) 누수위치 소프트웨어 결과

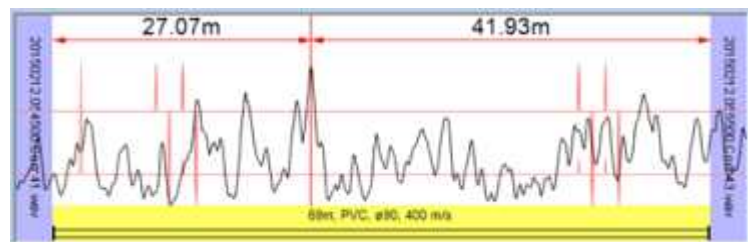
41 ~ 43 구간

- 맨홀 간의 거리 : 69m
- 2주이상의 측정기간중 유사한 형태를 보이고 있음.
- 그래프를 보면 맨홀 양쪽 지점에서 측정된 데이터가 상호연관되지 않고 산란되어 있어, 해당구간에는 누수지점이 없거나 특정하기 어려움.
- 이는 해당구간의 외부에서 누수음이나 특정음이 전파되는 경우이거나 다른 이유가 있는것으로 보임.

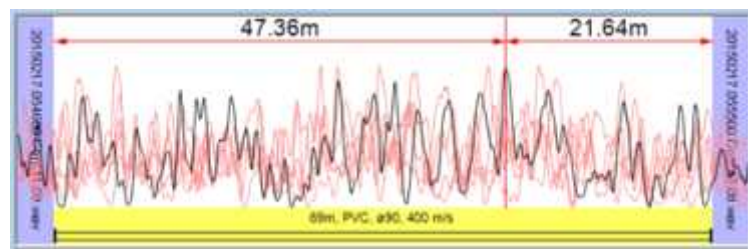
2015-02-11



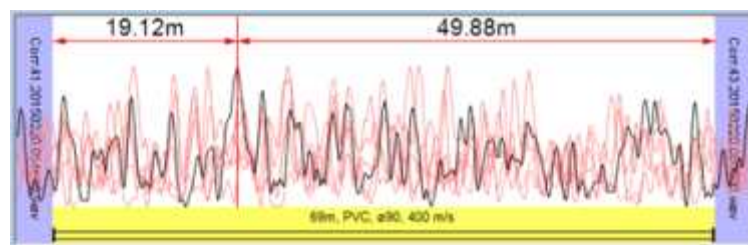
2015-02-12



2015-02-17



2015-02-20

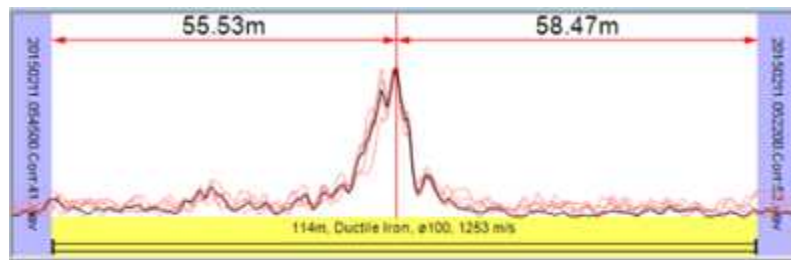


41 ~ 46 ~ 52 구간

- 맨홀 간의 거리 : 114m (41-52) , 62m (41-46)
- 2주 이상의 측정 기간중 유사한 형태를 보이고 있음.
- 그래프를 보면 특정 주파수대가 활성화되며 피크를 나타내고 있어 누수 지점으로 판단됨.
- 누수지점 확인을 위하여 상수관로 연장구간을 포함하여 측정
- 누수지점은 41번과 46번 맨홀 사이에 있으며, 46번 맨홀에서 7m 부근에 있는 것으로 나타남.

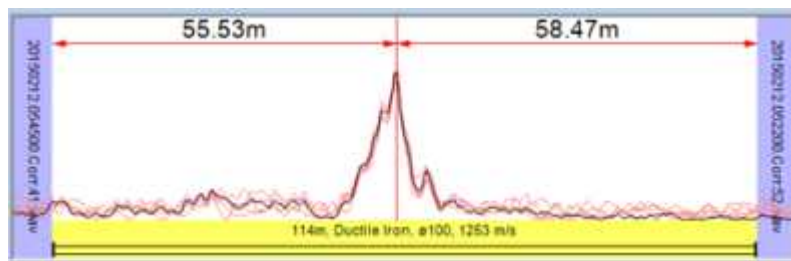
<41 ~ 52>

2015-02-11



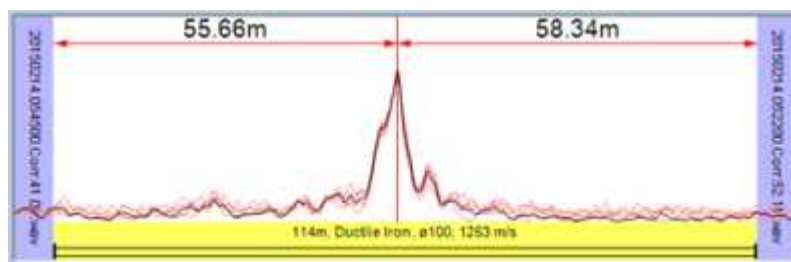
<41 ~ 52>

2015-02-12



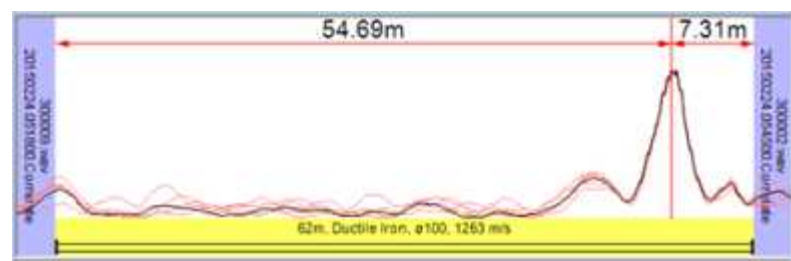
<41 ~ 52>

2015-02-14



<41 ~ 46>

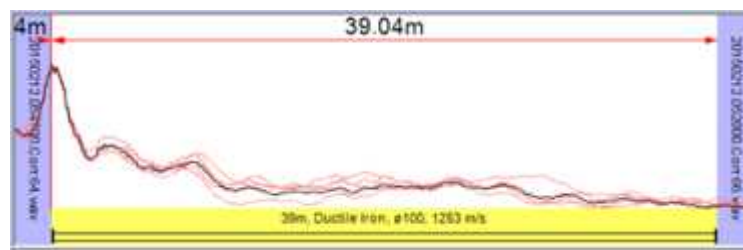
2015-02-24



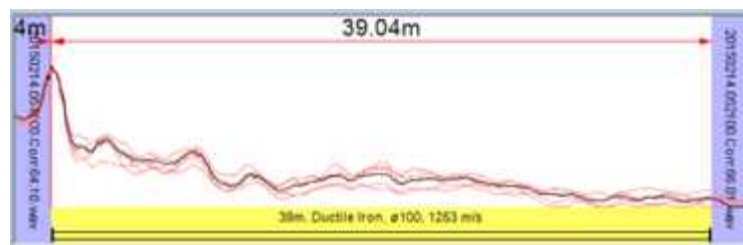
64 ~ 66 구간

- 맨홀 간의 거리 : 39m
- 2주 이상의 측정 기간중 누수음의 특징을 보이는 그래프가 나타남.
- 다만, 누수지점이 상수관로 사이가 아닌 64번 외부 연장관로에 있을것으로 나타남.
- 누수지점 확인을 위하여 관로 연장구간을 포함하여 측정 필요.
- 누수지점은 측정관로 외부에 있으므로, 여기서 나타난 거리는 시사하는 바가 없는 것으로 봐야함

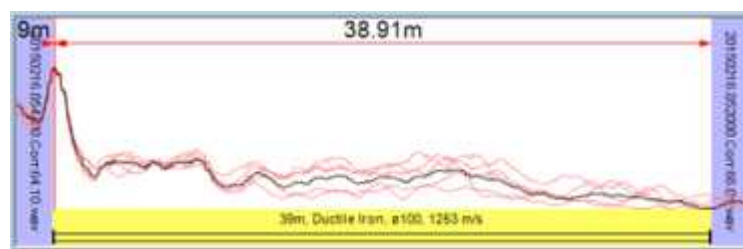
2015-02-12



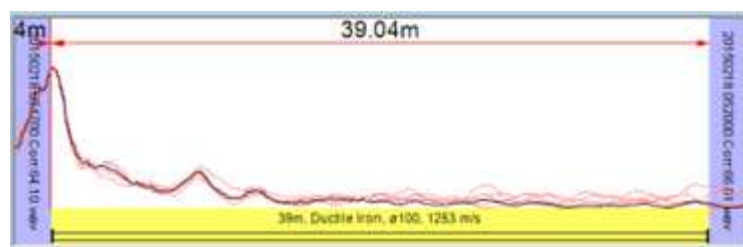
2015-02-14



2015-02-16



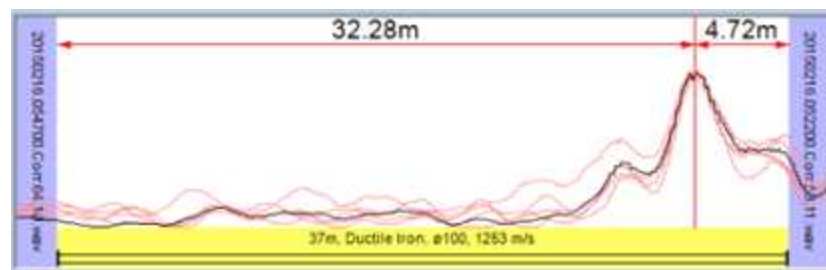
2015-02-18



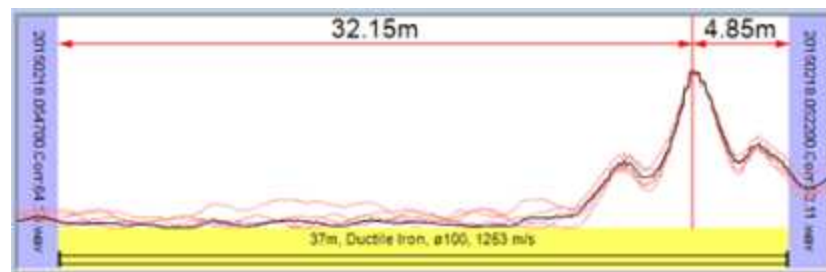
53 ~ 64 구간

- 맨홀 간의 거리 : 40m
- 2주 이상의 측정 기간중 누수음의 특징을 보이는 그래프가 나타남.
- 다만, 누수지점이 53번관로에서 약 5m 지점으로 나타나지만, 해당 지점은 네방향의 상수관로가 얹혀 있는 지점으로 해당 관로 외부의 관로를 추가 조사해야 함.

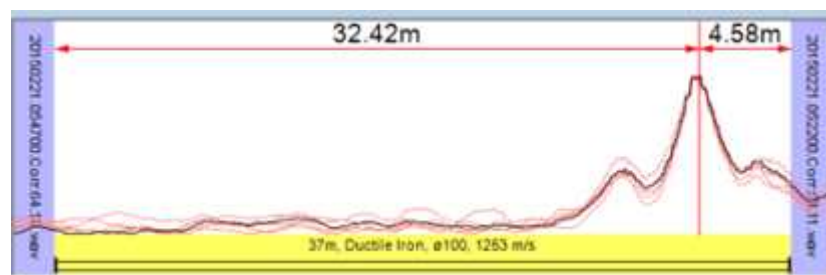
2015-02-16



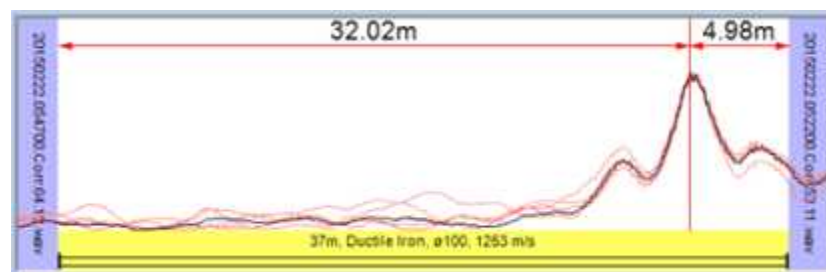
2015-02-18



2015-02-21



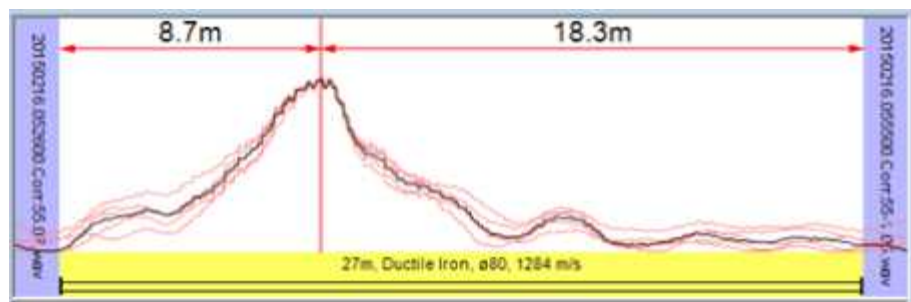
2015-02-22



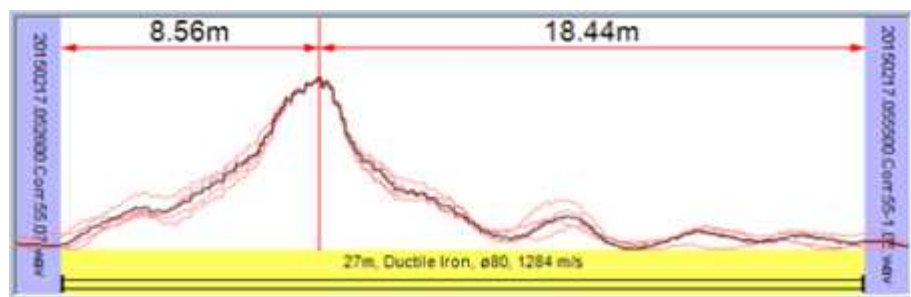
55 ~ 55-1 구간

- 맨홀 간의 거리 : 27m
- 2주이상의 측정기간중 유사한 형태를 보이고 있음.
- 그래프를 보면 특정 주파수대가 활성화되며 피크를 나타내고 있어 누수 지점으로 판단됨.
- 누수지점은 55번과 55-1번 맨홀 사이에 있으며, 55번 맨홀에서 8~9m 부근에 있는 것으로 나타남.

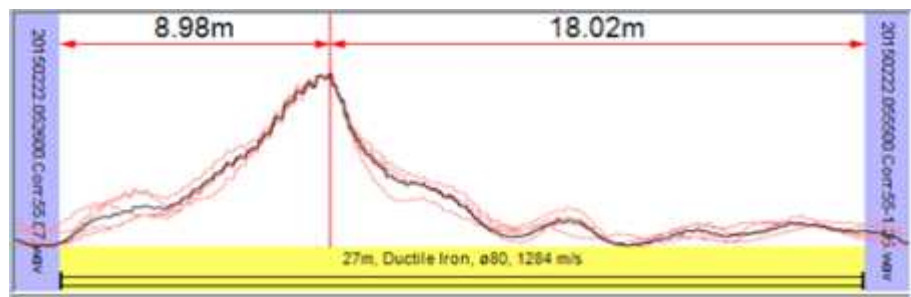
2015-02-16



2015-02-17



2015-02-22



(8) 최종 누수위치 산정 결과

- 제공된 관망도를 기반으로 누수위치 계산결과 좌측관망도 부분에 X 표로 표시된 2곳이 누수지점으로 확인됨.



< 누수위치 분석 결과 >

- 누수위치를 정확히 찾아내는 것은 청음방식을 통하여 우선적으로 이루어지며, 본 누수위치 계산 결과를 기반으로 청음탐사지역으로 줄여 각종 탐지비용을 줄일 수 있음.

2. 외산 제품 성능 비교

가. 개요

- 연구개발을 통해 개발된 국산장비 및 소프트웨어의 현장 적용 가능성을 확인하기 위하여 현장 테스트에서 분석된 누수지점 검증을 위해 외산장비의 성능비교를 진행함.
- 외산장비와의 오차범위를 확인하고, 향후 시험데이터 확보로 추가 연구 방향 수립을 진행할 수 있음.

나. 외산 장비 개요

- 금번 성능 비교를 위한 외산장비는 다음과 같다.

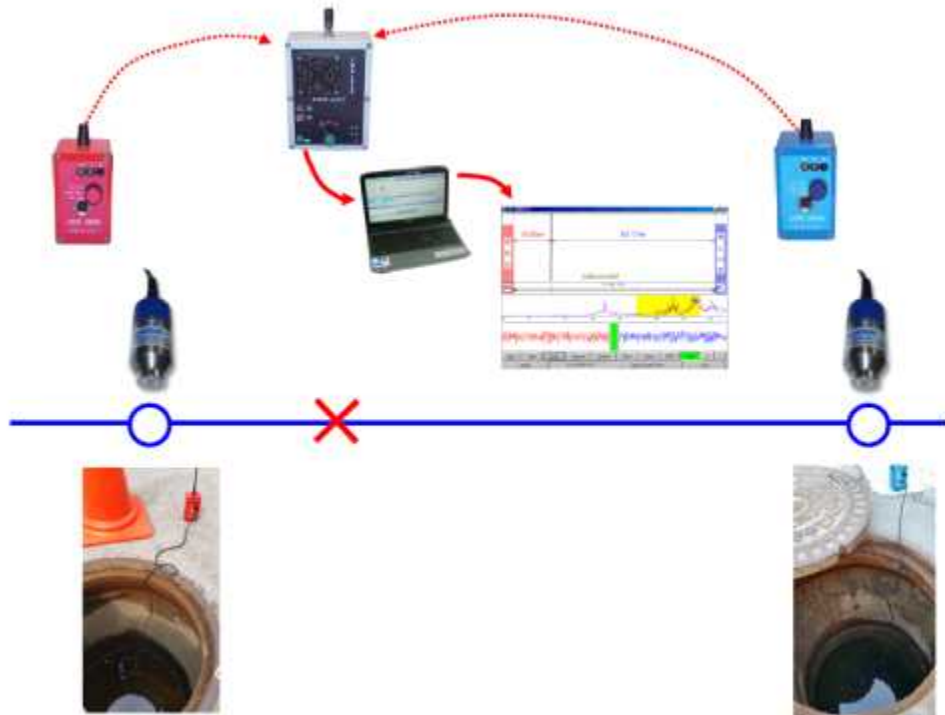


<누수위치 산정 장비 LOG-3000>

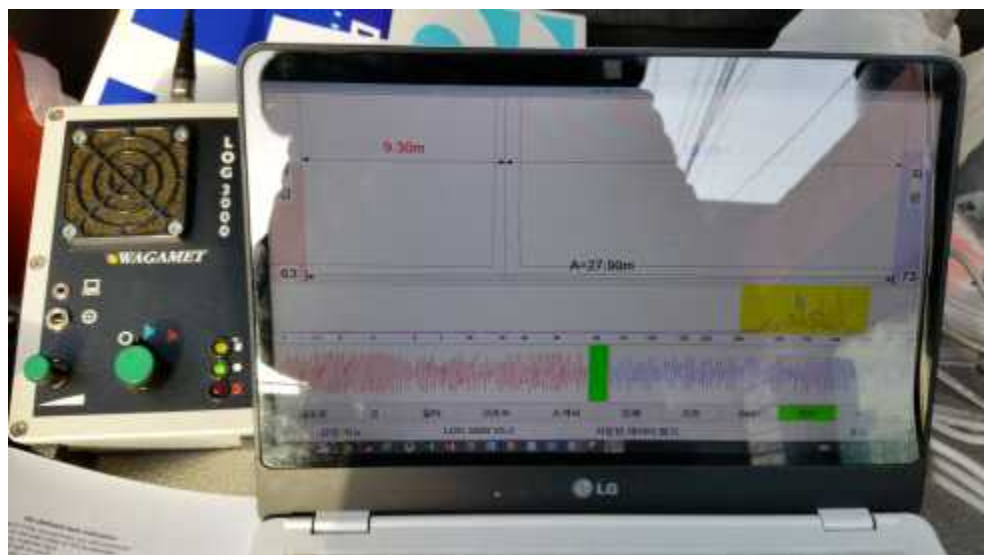
- 제품명 : LOG3000
- 제조국 : 스위스 와가마트
- 기능 : 누수 위치를 계산하여 누수 가능성 있는 거리를 알려주는 장비
- 구성품 : 트랜스미터 2개
리시버 1개
센서 2개
위치계산 소프트웨어 1식

다. 성능비교 방법

- 성능비교를 위하여 SY04 블록에서 계산된 누수위치와 외산장비를 통해 산정된 누수위치를 비교하는 방식으로 진행했다.
- 현재 SY04블록에서 누수위치를 2군데 확인하였으며, 해당 구간에 상기 외산장비를 설치하여 누수위치를 확인하였다.



<외산장비 설치 개념도>

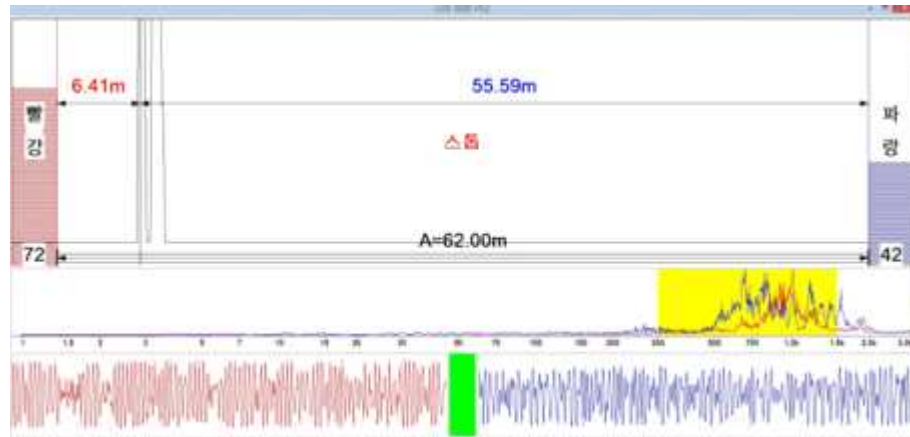


<현장 측정 모습>

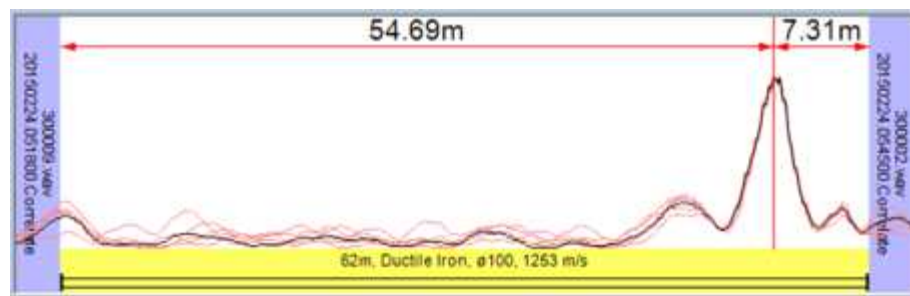
라. 누수지점 계산 및 오차 범위

41 ~ 46 구간

- 맨홀 간의 거리 : 62m
- 누수지점 편차 : 약 1m
- 오차율 : 1.6%



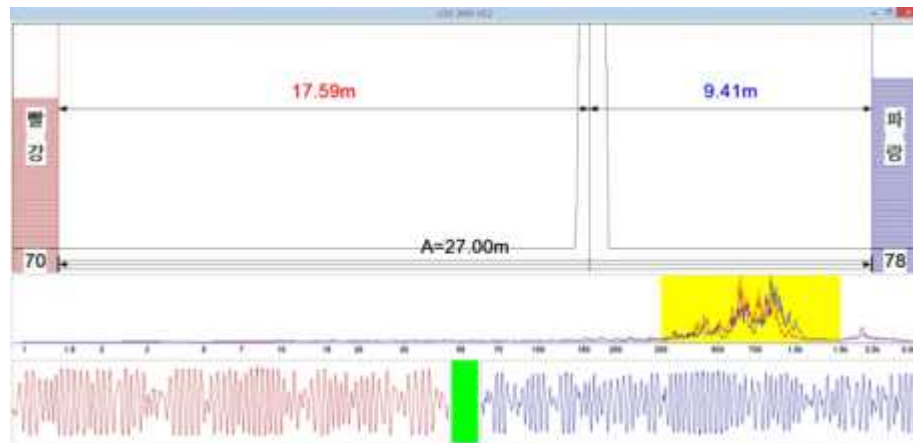
< LOG-3000 측정 결과 >



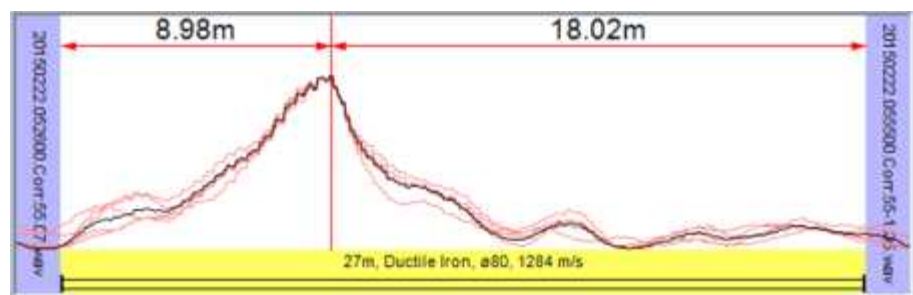
< 개발장비 측정결과 >

55 ~ 55-1 구간

- 맨홀 간의 거리 : 27m
- 누수지점 편차 : 약 -0.4m
- 오차율 : -1.5%



< LOG-3000 측정 결과 >



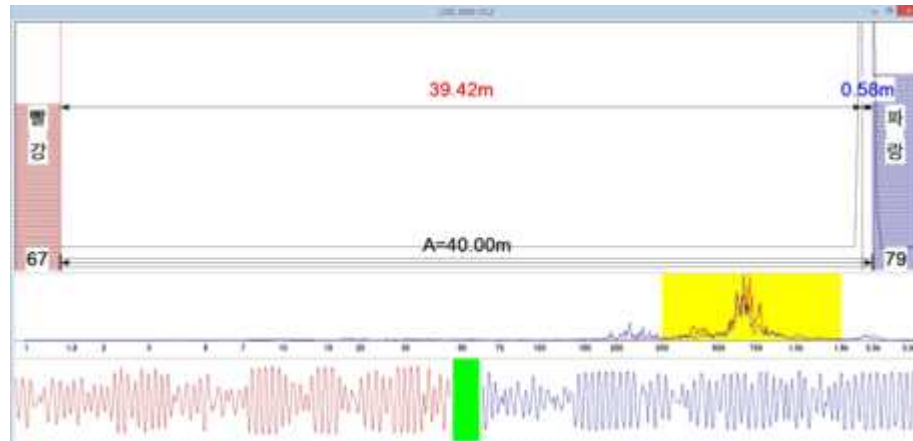
< 개발장비 측정결과 >

마. 외산장비 성능비교 결과

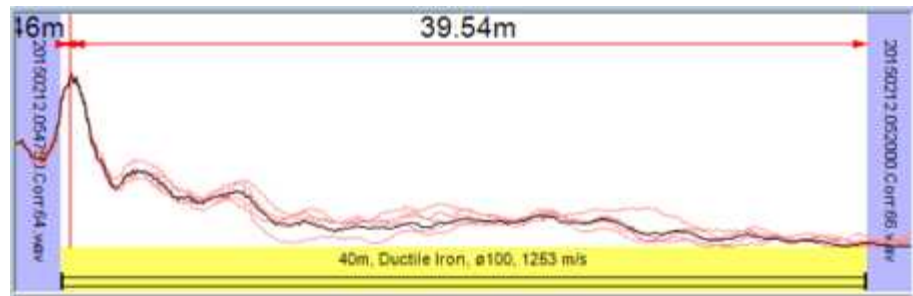
- 외산장비와의 성능비교 결과 유사한 결과가 나왔으며, 오차범위는 1~2% 정도를 보이고 있다. 일반 상수관로가 100m내외인 점을 감안하면 1~2m 정도의 오차를 나타내는 것이며, 이는 누수탐사작업에 있어 외산장비와의 성능에 있어 크게 떨어지지 않는 결과를 나타낸다고 할 수 있다.
- 해당 오차범위에 대해서는 추가적인 연구를 통해 확인, 연구해야 할 내용이라 할 것이다.

64 ~ 66 구간

- 맨홀 간의 거리 : 40m
- 본 지역은 외부관에서 넘어온 누수음이 해당 관로에 영향을 미치는 것으로 보아야 할것으로 판단됨.
- 누수지점 편차 : 0.1m



< LOG-3000 측정 결과 >



< 개발장비 측정 결과 >

3. 현장시험 - 음파 탐지 테스트~

가. 개요

기기에 부착된 센서는 도관을 타고 전파되는 음파를 수집하도록 되어 있다. 이러한 음파는 밸브간의 간격에 따라서 신호소스가 가까울 수도 있고, 신호소스가 멀 수도 있다.

이러한 기본적인 데이터는 최소 250m 이상에서 수집이 가능하도록 개발을 하고 있으며, 이를 증명하기 위해 현장시험을 실시하였다.

나. 시험장소

본 시험을 실시하기 위해 상수도를 활용하려 하였으나, 지하매설물이라 확인하기에 문제점이 있다. 그래서, 시험장소를 지상에 노출된 관을 활용하기로 하였고, 모 유류회사의 협조를 받아 250m의 노출된 송유관에서 시험을 실시하였다.



<시험 장소 도면>

다. 시험방법

시험방법은 송유관 중간에 시제품을 설치하고 250m되는 반대쪽 끝에서 송유관에 인위적인 노이즈를 발생시켜 값을 얻는 방법을 사용하였다. 노이즈 발생은 지속적으로 1시간 동안 발생시켜 30분마다 전송하였다.



<기기 부착 지점>



<노이즈 발생>

라. 시험 결과

시험 결과 데이터는 정상적으로 아래와 같이 수신 되었으며, 아래와 같이 노이즈 발생시 신호 데이터값이 올라간 것을 볼 수 있습니다. 250m 지점에 발생된 음파가 정확하게 수신되었음을 알 수 있다.

수신시간	수신 신호세기
14:30	9.4
15:00	9.1
15:30	11.1
16:00	10.8
16:30	12.7

4. 시험 - 방수 테스트

가. 개요

본 연구사업에서 개발되는 최종기기는 100% 방수처리가 요구되는 기기다. 상수도관이 침수되어 있을때에도 정상적으로 동작을 해야 하는 기기임으로 방수 테스트는 필수라고 하겠다. 본 시제품이 3차년도 사업완료 후에 출시되는 최종 산출물이 아니며 또한, 3차년도 사업이 진행될 경우 추가적인 모델 변경 및 외형 수정을 진행할 예정이지만, 방수 테스트를 진행하였다.

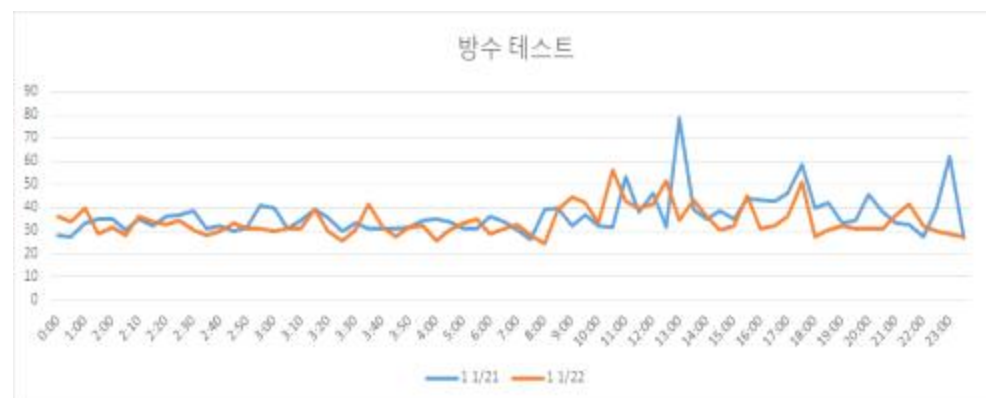
나. 시험방법

시험은 연구소내 수조에 시험기기를 넣고 1주일동안 데이터 전송 테스트를 진행하였다.



다. 시험결과

수신된 시험결과는 아래와 같으며, 정상적으로 데이터를 수신하고 있으며, 기기동작에도 이상이 없었다.



5.

제3장 최종 연구성과 및 적용실적

제1절 연구성과 리스트

연번	핵심 성과명	핵심성과 설명	성과유형
1	음파를 이용한 분리형 누수모니터링 장비 (누수센서 유닛 및 로거)	• 피에조센서(압력변화에 따른 음파감지)를 기반으로 한 음파를 이용하여 도관의 누수정보를 수집. • 시간 동기화를 위한 FM 신호 정보 수집. • 수집된 누수정보를 3G망을 이용하여 중앙 서버로 전송. • 상기기능을 수행하는 장비의 국산화.	장바·장치
2	중앙관제식 누수위치 파악이 가능한 누수모니터링 프로그램	• 중앙관제실에서 누수 센서 로거를 통해 수집된 정보를 시간별로 보여주는 프로그램 개발. • 2지점간의 수집정보를 활용하여 누수 위치를 파악 할 수 있는 소프트웨어 개발.	소프트웨어

제2절 개별 연구 성과

1. 음파를 이용한 분리형 누수모니터링 장비 (누수센서 유닛 및 로거)

정의	• 형태 : 센서부, 로거부, 안테나부로 이루어진 하드웨어제품. • 개념 : 누수를 탐지하는 누수센서 유닛부 및 수집된 데이터를 전송할 수 있는 데이터 로거 부분 및 이를 전송하는 안테나부로 구성.
설정사유	• 본 연구과제의 핵심장비인 누수탐지장비의 사업화를 위한 시제품 개발 및 현장테스트를 통해 제품을 검증함으로써, 연구결과에 대한 사업화를 검증. • 외산장비에서 분리제품으로 되어있는 누수탐지위치를 추정하기 위한 정밀한 제품 개발이 목표임.
목적	• 본 연구는 누수탐지장비 및 분석도구의 국산화 및 상품화를 목표로 하고 있어 각 지자체 수도관리단의 누수율 절감에 기여함으로써 국가예산 절감이 가능함. • 중앙 집중 모니터링 방식을 적용하고 있어, 사용 편의성 및 관리성이 극대화되어 비용대비 효율성을 높일 수 있으며, 외산장비의 수입대체가 가능함. • 개발되는 제품은 신규 설치되는 상수도 관망뿐만 아니라, 기존에 설치된 노후 상수도관망에도 간단히 부착설치가 가능하여 상수관망의 시공성이 우수하여 비용효율적임.
성능목표	(기존기술 수준) 상관식 탐지기는 국내에는 상업화된 제품이 현재 없으며, 외산제품의 수입에 의존하고 있는 실정이어서, 누수탐지에 필요한 비용이 과다 소용되고 있음. (개발기술 수준) • 본 연구과제에서 누수탐지제품의 국산화를 구현함으로써, 비용대비 효율성을 최대화하고, 부가적으로 수입대체효과를 기대하고 있음. • 외산제품에 별도 제품으로 되어 있는 누수된 위치를 추정할 수 있는 기능을 포함하여 국산화함. (개발기술 수준 설정근거)

	• 상업화된 국내 제품이 없으므로, 국산화에 초점을 맞춤. • 누수위치 탐지 기능을 포함하여 제품화함.	
핵심요소 기술	개념	• 필터링된 상수도관의 신호음과 시간동기화를 위한 FM 신호음을 믹싱하여 중앙서버로 전송.
	구성	• 도관의 신호음을 수집하는 센서부 • 시간동기화를 위한 FM 신호 수신부 • 수집된 데이터를 믹싱하는 로거부 • 믹싱된 데이터를 전송하는 전송부
	특징	• 누수위치 추정을 위해 FM 신호음을 사용하며, 도관의 신호음과 믹싱하여 중앙서버로 전송. • FM 신호음의 수집을 위해 지역별 신호음 데이터를 수신하여 강도를 측정하여 리스트화하여 특정 주파수 신호를 지정 사용할 수 있음.
	결과물	• 누수센서유닛 시제품. • 데이터 로거 시제품
주요연구 성과	• 누수센서유닛 최종 시제품 • 데이터 로거 최종 시제품 • 시제품 현장 시험.(동두천 수도 관리단	
기술실시 및 적용사례	• 시제품 제작 <1차 시제품>	



<최종 시제품>

- 현장 시험



<동두천 상수도 맨홀 시험 설치 화면>

- 기술실시
기술실시 계약 1건 체결 예정.

2. 중앙관제식 누수위치 파악이 가능한 누수모니터링 프로그램(S/W)

정의	• 형태 : 중앙서버의 데이터를 활용하는 C/S 방식 S/W • 개념 : 누수모니터링 장비에서 수집된 상수관망 신호를 중앙 관제센터에서 처리하여 분석하는 소프트웨어.	
설정사유	• 본 연구과제는 누수정보를 수집하는 것 뿐 만 아니라, 신호 정보를 분석하여 정확한 분석결과를 보여주는 것이 필요하며, 본 소프트웨어는 분석정보에 대한 시각 정보를 제공하여 최종 누수 여부 판단을 해 줄 수 있음. • 소프트웨어를 중앙서버 기반으로 개발하여, 시간 및 장소에 구애받지 않고 사용이 가능함으로써 활용 및 적용폭을 넓힐 수 있음.	
목적	• 기존 외산 장비에는 분리되어 있는 누수위치를 분석해주는 시스템 개발을 통해 진정한 통합 누수 모니터링 시스템 구축이 가능함. • 특히 ‘중앙관제식 누수위치 파악이 가능한 누수모니터링 프로그램’ 성과는 현장 조사없이 상수도본부 중앙관제실에서 누수위치를 파악할 수 있으므로, 연구성과 달성시 기존의 현장 누수탐지 조사비용 등을 절감할 수 있음	
성능목표	(기존기술 수준) 기존에는 누수탐지와 위치탐지가 분리되어 운용됨으로써, 비용 및 효과측면에서 비효율적임. (개발기술 수준) 개발되는 제품은 통합탐지, 관제가 가능한 시스템으로 서버기반 기술을 활용해 시간 및 장소에 구애받지 않고 사용할 수 있는 제품을 개발. (개발기술 수준 설정근거) S/W 개발의 경우 주요 이슈로 사용자 편의성 및 비용절감을 할 수 있도록 개발.	
핵심요소 기술	개념	• 기기에서 수집된 데이터를 서버에 전송하고, 전송된 데이터를 다운로드하여 보여주고, 분석하는 소프트웨어.
	구성	• 설치기기의 현재 데이터 뷰어 S/W • 의심기기의 누수위치 추정 S/W
	특징	• 지도와 매핑하여 현재 설치된 위치의 데이터를

		보여주어, 시간에 따른 변화를 확인 가능. • 이상징후를 보이는 2지점간의 데이터를 입력시 누수위치추정을 해주는 구조로 되어 있음.
	결과물	• 설치위치별 데이터 뷰어 S/W 1식 • 누수위치 추정 S/W 1식
주요 연구성과	• 설치위치별 데이터 뷰어 S/W 1식 • 누수위치 추정 S/W 1식 • 현장시험 테스트 (동두천 수도관리단)	
사진	• 설치위치별 데이터 뷰어 S/W 1식  《가기별 화면》 • 누수위치 추정 S/W 1식  • 현장시험 테스트 (동두천 수도관리단)	

제4장 연구목표 달성 및 효과

제1절 연구개발 최종목표 달성도

1. 연구개발 최종목표

핵심 성과명	핵심성과 설명	개발단계
음파를 이용한 분리형 누수모니터링 장비 (누수센서 유닛 및 로거)	• 피에조센서(압력변화에 따른 음파감지)를 기반으로 한 음파를 이용하여 도관의 누수정보를 수집.	개발완료
	• 시간 동기화를 위한 FM 신호 정보 수집.	개발완료
	• 수집된 누수정보를 3G망을 이용하여 중앙서버로 전송.	개발완료
중앙관제식 누수위치 파악이 가능한 누수모니터링 프로그램	• 중앙관제실에서 누수 센서 로거를 통해 수집된 정보를 시간별로 보여주는 프로그램 개발.	개발완료
	• 2지점간의 수집정보를 활용하여 누수위치를 파악 할 수 있는 소프트웨어 개발.	개발완료

2. 성과지표

성과목표	성과지표	측정방법	최종목표치	성과달성도	비고
사업화	시제품 제작	시제품출시	2	100%	
기술성능	검토의견	전문가검토	1	100%	
지적재산권	소프트웨어 등록	소프트웨어 등록	1	100%	
인증	방수인증	공인시험	1	100%	
	제품인증	공인시험	1	100%	
기술실시	계약	계약	1	100%	

제2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석

1. 저전력 설계

- 기기의 밀폐적 구조를 고려하여, 초기설계에서 불필요한 확장회로를 제거하고, 대기전력을 최소화하여 PCB회로의 전력소모를 20%가량 줄였으며, 장기간 사용이 가능하도록 배터리의 용량을 2배로 하여 운용이 가능하도록 기기구조물을 설계함.

2. 설치 및 관리비용 절감

- 기존 상수도관 밸브에 자석을 이용하여 부착하는 방식을 이용함으로써, 굴착 또는 매설하지 않고, 간단하게 설치 및 제거가 가능하도록 함.
- 탐지를 위한 부대 비용을 절감할 수 있으며, 이전 비용 또한 절감이 가능함

3. 지능형 관리 네트워크망 구축

- 수집된 데이터의 분석을 중앙에서 처리하도록 구성되어, 수집 및 분석을 분리하여 처리 할 수 있으며, 지능형 관리 네트워크 구축에 필요한 논리적 기초를 확보할 수 있음.
- 지하 매설된 상수도관의 정보와 통합하여 제공할 수 있는 연결점을 제공할 수 있으며, 이는 도시 시설물의 체계적인 관리와도 연계가 가능함.

4. 지속적 통신 가능

- 기존 탐지기의 데이터 수집이 반자동식(근거리통신을 통한 수집방식)이었다면, 현재 개발된 3G통신망을 이용한 데이터 전송을 통해 자동으로 데이터 수집이 가능.
- 수집을 위해 센서설치지점으로 이동이 필요없어, 수집을 위한 별도 비용이 발생치 않아 비용절감효과가 있음.

제3절 연구개발 성과의 경제적 효과분석(시장창출,고용창출 등)

1. 시장창출

- 상관식 누수탐지기는 현재 전량 수입에 의존하고 있는 실정이며, 이마저도 도입가격이 너무 비싸 확산이 되지 못하고 있다. 현재 노후관의 누수를 탐지해 내는데는 상관식 탐지기가 일반적으로 사용되고 있음을 감안하면, 반드시 도입해야 하는 기기임에는 틀림없다.
- 시장확산 방식을 상수도관리기관에 대한 판매에서 리스 또는 유지보수 방식으로 변경하게 되면, 제조자측은 초기투자비용이 많이 소요되는 단점이 있지만, 시장확산에 도움이 될 것으로 본다.
- 추가로 누수탐지업체로의 판매 및 해외수출등도 기대할 수 있어 이에 따른 시장창출 또한 가능하리라 본다.

2. 고용창출

- 상기에서 설명한 시장확산 방식을 유지보수 방식으로 할 경우 유지보수를 위한 인력을 확충해야 하고, 이에 따른 추가 고용창출이 일어날 것으로 보고 있다.

3. 각종 비용 절감

- 현재 일상적인 수작업 상수도관 누수감지 작업에 의한 누수 발생 부위 검색작업에는 수작업 인력이 필요하고, 탐지의 불확실성 및 과다시간 소요가 수반된다. 수작업 누수감지시스템의 자동화 모니터링시스템으로의 전환에 의해, 경제적 효과는 물론 누수 복구까지의 유출 수자원 양의 최소화가 가능하다. 또한, 불필요 누수복구 작업수 저감 및 누수지점 센싱의 정확도 향상에 따른 경제적 절감 효과도 기대된다.
- 기존 방식에 비해 기존 상수도관 부착방식으로 시공비, 시설비 등이 저렴하다.
- 국외산 누수센싱유닛 가격은 현재 약 400만원대이나 이를 국산화함으로써 국외산 가격의 50% 수준인 200만원대로 가능할 것으로 예상되며, 이에 따른 수입대체효과에도 기여하리라 본다.

제4절 연구개발 성과의 정책적 효과분석

1. 누수로 인한 국민 불편 감소로 대국민 삶의 질 향상

- 누수로 인해 발생하는 단수, 교통불편 및 일부 싱크홀 문제까지 다양한 문제가 발생되고 이에 따른 각종 공사 등이 수반되면 국민불편 사항이 여러모로 증가하게 된다.
- 이러한 사항과 관련하여 적기모니터링 및 정확한 누수지점 센싱에 의한 누수지점 탐지등을 통해 불필요한 공사 억제효과 및 지능적 탐지로 국민생활의 불편을 줄일 수 있다.

2. 국가 경쟁력 향상

- 상관식 탐지기의 중앙 모니터링 기술을 더할 경우 IT와 융합된 U-city의 상수도 시설물 관리의 독자적인 인프라 모델을 구축함으로써 국가 기간사업의 신뢰도 향상 및 경쟁력 향상에 기여할 수 있다.

제5장 연구 성과의 활용 및 추가연구 필요성

제1절 - 연구 성과 향후 활용방안(기술실시계획, 판매계획, 사업화 추진방안, 신기술 신청, 정책반영 계획 등, 기존 연구 및 타 연구와의 연계 등)

1. 기술 실시 계획

- 1차로 단순참여기업으로 참여한 업체와의 기술실시계약을 연구개발 종료 전 체결하여 개발기술을 실시할 예정임. 본 기술의 실시를 위하여 관련기술사항등의 협의를 진행하고 있음.
- 추가로 2~3개 기업과 기술 실시를 논의하고 있으며, 1차 기술 실시 후 구체화할 것임.

2. 사업화 추진 방안(판매계획)

- 사업화는 현재 연구개발 종료 후 약 6개월에 걸쳐 양산품 기구물 및 PCB 회로 안정화 재설계 및 소프트웨어 결합 및 재개발을 통해 안정화 단계를 거치고, 실제 필드 테스트를 통해 최종검증을 진행할 것이며, 본격적인 사업전개는 2016년이 될 것임.
- 사업화의 방향은 크게 판매, 리스, 유지보수의 형태를 고려하고 있음.
- 판매의 경우 일반 누수탐지업체가 주로 대상이 될 것이며, 수용가 배관에 대한 탐지 또는 위탁 탐지등을 수행하는데 적용할 수 있을 것으로 보임.
- 리스 또는 유지보수는 상수관망을 관리하는 기관에게 적용하며, 각 판매형태에 대한 부분은 기관의 성격에 맞게 적용이 가능하도록 계획안을 마련할 것임.

제2절 추가연구 필요성

1. 기기의 저전력 설계를 위한 회로 구조 변경

현황	개선방향
- 기기의 장기적인 전원확보를 위해 2타년도에 기존 1.5V 리튬배터리(3,205mAh) AA형식 2개를 직렬로 연결하여, 3V의 전원을 구현하였고, 3차년도에는 배터리 4개를 병렬로 연결하여, 지속시간을 1.8배정도 확장하였으나, 장비의 크기가 커지는 단점이 있음. - 장비의 지속시간을 고려하였을 때 장비의 기밀성을 확보하기 위하여 밀폐구조를 가지고 있어, 교체시 밀폐성이 약화될 수 있음.	- 현 기기의 회로 설계를 변경하여 회로 PCB의 크기를 줄이고, 현 2층구조의 기기를 3층구조로 변경. - 상기와 같이 변경하게 되면, PCB의 크기가 배터리 사이즈와 유사하게 변경되어 기기 구조물의 크기를 현 크기의 75%크기로 변경이 가능함.

2. 기기 구조물 변경

현황	개선방향
- 내부 장치의 환경값을 변경하기 위하여 현재 IR 다이오드를 활용하여 기기의 설정값을 변경하도록 설계되어 있음. - 기기 내부에 있기 때문에 설정값 변경을 위하여 기기를 분해해야 하는 문제점을 가지고 있음.	- 현 기기의 구조물을 변경하여 기기 옆면에 IR 다이오드와의 상호통신을 확보하기 위한 연결창을 마련. - 기구물 분해 없이 장비와의 통신이 가능함.

3. 센서 변경에 따른 적용 대상 확대

현황	개선방향
현재 개발된 기기의 센서는 도관의 음압변동을 감지하는 센서만 장착되어 있음.	개발 기기의 센서를 교체할 수 있는 구조 설계를 통해 음압감지 뿐만 아니라, 온도, 열, 수압등 다양한 분야의 응용이 가능하도록 센서 교체형 모델을 개발.

4. 선진기술제휴를 통한 정밀성 향상

현황	개선방향
상관식 누수탐지기는 유럽제품이 오래전부터 시장을 지배해 오고 있으며, 이에 대한 다양한 경험 데이터도 보유하고 있음.	선진기술업체와의 기술제휴를 통해 선진국의 기술능력을 빨리 적용하고, 발전시켜 한국에 최적화된 누수탐지모델을 정립할 수 있을 것임.

참고문헌

- 물과 미래 (한국수자원공사 지음, 2011, 비매품*)
- 정부과제
 - 상수도관망의 비상시 재해대응 시스템 기술개발(환경부, 2011~)
 - 마이크로그리드 용수공급 기술개발 (건기연 주요과제, 지경부, 2010~)
 - 지능형 국토정보기술혁신사업단 2핵심(국토부, 건교평, 2007~)
 - TDR 기술을 이용한 상수도 관망의 누수탐지 시스템 개발(국토부, 2007~2011)
 - 공간정보 기반 도시 공공시설물 관리 지능화 기술의 주요 연구성과
 - 지하시설물용 USFN 패키지 현장 실효성 극대화를 위한 테스트베드 현장
 - GIS와 연동하여 광범위한 지역의 도시시설물을 실시간 모니터링하는 S/W 통합 솔루션.
- 배관-유체 연성진동을 이용한 누수지점 탐지알고리즘 개발연구
(이영섭, 윤동진, 춘계학술대회 논문집, 한국소음진동공학회, 2004)
- 센서네트워크를 이용한 무선 누수 탐지 시스템
(최수환, 엄두섭, 전자공학회 논문지 제48권 SP편 제 3호, 2011년 5월)
- 누수탐지를 위한 천이류와 주파수분석 적용 연구
(김형근, 김현수, 이미현, 김상현, 대한환경공학회지 논문 pp1065~1071, 2005)
- 가속도계를 이용한 상수도 배관의 누수위치 식별 연구
(이영섭, 윤동진, 정중채, 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집 pp821~826, 2003)
- 시간지연 추정을 통한 누수위치 식별연구
(이영섭, 윤동진, 김치엽, 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집 pp.327~332, 2004)
- 음향방출 및 가속도 신호를 이용한 지하매설 상수도배관의 누수지점 탐지연구
(이영섭, 윤동진, 정중채. 비파괴검사학회지. Vol23, No.3 (2003.6))
- PIPENET: A Wireless Sensor Network for Pipeline Monitoring
(Ivan Stoianov, Lama Nachman, Sam Madden)
- Magnetic induction-based wireless sensor networks for underground pipeline monitoring (Zhi Sun, Pu Wanga, Mehmet C. Vuran Mznah. Al-Rodhaan, Abdullah M. Al-Dhelaan, Ian F. Akyildiz, Ad Hoc Networks 9 (2011) 218.227)