



도시가스 시설 안전관리를 위한 네트워크 인프라 및 지능형 서비스 구축

†오정석 · 성종규 · 김영대

가스안전공사 가스안전연구원

(2010년 9월 27일 접수, 2011년 2월 18일 수정, 2011년 2월 25일 채택)

Developing Network Infrastructure and Smart Service for Safety Management of City-gas Facilities

† Jeong Seok Oh · Jong Gyu Sung · Young Dae Kim

Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation, Gyeonggi-do, Korea

(Received September 27, 2010; Revised February 18, 2011; Accepted February 25, 2011)

요 약

최근에 정보기술 패러다임은 유비쿼터스 기술이 도입되면서 스마트 서비스 환경으로 변화하고 있다. 도로, 상하수도, 가스 등과 산업 시설물에 유비쿼터스 기술이 접목되어 비용 감소 및 사고 예방성 향상이 높아지면서 관련된 연구 및 기술이 가속화되고 있다. 그러나 현재까지 공통환경 IT기술 위주로 개발되어 산업 도메인 특성이 고려되지 않았기 때문에 유비쿼터스 기술이 생활환경 및 산업시설에 활발하게 도입되지 못하고 있다. 본 논문은 도시가스 주요시설에 유비쿼터스 기술을 도입하기 위하여 현장지향형 무선 데이터 전송 인프라를 구축하고 효율적인 서비스를 제공하는 무선기반 도시가스 안전관리 시스템을 목적으로 한다.

Abstract - The information technology paradigm has been shift to smart service environment, as ubiquitous technology is used in the latest industry trend. The convergency between industry facilities and ubiquitous technologies accelerate related studies and technologies because of increasing accident prevention and decreasing cost. However, ubiquitous technologies are not used to life environment and industry facilities, because those technologies did not consider industry domain characteristics by means of developing IT technology for common environment until now. This paper aims to develop wireless city gas safety management system, which provide efficient service, and establish the field oriented wireless data transmission infrastructure in order to use ubiquitous technology to city gas facilities.

Key words : ubiquitous technology, safety management, city-gas

1. 서 론

2005년 이후부터 국내에서는 유비쿼터스 관련 기술을 확대/보급하기 위하여 행정수요에 대한 실시간 대응 강화, 공공기관과 국민간 상시접속성 강화

를 통한 수용자/현장 중심의 행정 서비스 실현, 상황 인지를 통해 사회기반 시설의 상태 파악과 자율적 판단을 통한 상황대처 실현, 유비쿼터스 IT를 기반으로 다양한 산업 분야 간 융/복합 촉진을 통한 시너지 효과 창출, 실시간 정보 수집 및 과학적 분석에 의한 예측 기능 등을 통한 사전 예방적 정책을 실현하여 사회안전관리 기능을 강화하고 있다[1-3].

†주저자:dbstar@kgs.or.kr

미국의 경우에는 유비쿼터스 IT 환경 구현을 목표로 연간 3억달러 규모의 프로젝트를 추진 중이며 DOE(에너지부) 산하의 NETL(국가에너지기술연구소)은 가스배관 센서 네트워크 시스템을 구축하여 국가 천연가스 분배 시설구조의 기능을 최적화한 사례도 존재한다[4]. 유럽은 생활환경 지능화(Ambient Intelligence) 비전을 추진하면서 스마트 그리드 등 ad-hoc 네트워킹 및 저전력 기술에 주목하고 있다[5,6].

특히, 도로, 상하수도, 가스 등과 같은 시설물에 유비쿼터스 기술이 접목되면 소비비용 및 유지보수 비용이 감소되고 이력관리 및 위험성 예측 가능성이 높아지면서 관련된 연구 및 개발이 가속화 되고 있다. 그러나 현재까지 유비쿼터스 기술이 생활환경 및 산업시설에 활발하게 도입되고 있지 못하고 있다. 근본적인 이유는 공통기술 위주로 연구 및 기술이 개발되었기 때문에 산업 특성이 고려되지 않아 적용하기가 매우 어려웠기 때문이다[7-9].

본 논문은 도시가스 주요시설에 유비쿼터스 기술을 도입하기 위하여 도시가스 환경에 따른 시설 및 주변환경 특성을 고려한 현장지향형 무선 데이터 전송 인프라를 구축하고 효율적이고 융통성 있는 서비스를 제공하는 유비쿼터스 기반 지능형 도시가스 안전관리 시스템 구축을 목적으로 한다. 이 안전관리 시스템은 도시가스 실외환경에서 안전관리를 자동/지능화하여 안전성 향상을 유도한다.

II. 주요시설에 대한 유비쿼터스 기술 적용 범위 및 기준

도시가스 주요 시설들은 크게 배관, 정압기, 테스트 박스, 계량기 등으로 분류할 수 있으며 이 시설에 대한 측정인자는 지진, 지반침하 등 환경적 인자와 전기방식, 압력, 가스누출 등 관리적 인자로 구분된다. 본 연구는 유비쿼터스 기술을 접목하여 관리가 필요한 4개의 시설과 측정인자를 선정하였고 Table 1에서 보인다.

이러한 시설들은 도시가스사에서 시스템에 의한 안전관리에 포함되어 있지 않으면서 사고예방 및 분석을 위해 자동화된 관리가 필요한 시설로 사료된다.

Table 1. Facilities and Parameters

주요시설	측정인자
특수압력구간	압력
가스밸브실	가스누출, 수위, 전류
노출배관	진동, 응력
테스트 박스	방식전위

특정압력구간은 압력측정이 필요한 구간으로 현재 측정되지 못한 유량을 압력에 의해 계산하고 지하폐쇄환경에서 데이터를 신뢰성 있게 전송하는 것을 목적으로 한다. 가스밸브실은 가스누출, 수위, 방식전류, 외기온도 등을 측정하여 배관의 안전성과 관리 능력을 강화하는 것을 목적으로 한다. 배관의 테스트 박스는 방식전위를 측정하며 실시간성을 목적으로 한다. 도시가스 안전관리 서비스는 데이터를 축적하고 그 데이터를 바탕으로 시설 위험성을 예측하며 단말장치의 제어를 수행한다.

도시가스 산업에 적용하기 위한 유비쿼터스 기술의 핵심은 무선 네트워크를 이용한 데이터 전송 기술이다. 선정된 도시가스 시설별로 적절한 네트워크 적용기술을 도입하기 위해서 본 연구는 근거리 네트워크 기술과 중/장거리 네트워크 기술로 분류하여 적용성을 시험하고 검토하였다. 근거리 통신기술을 위해서는 WPAN (Wireless Personal Area Network) 표준인 IEEE 802.15의 무선방식에 기반을 두었으며 국내 개방형 주파수 대역인 2.4GHz, 900MHz, 400MHz 대역이 고려되었다. 특히, Zigbee는 자가구성(self-organization)이 가능한 매쉬 네트워크가 가능하며 최대 255개의 주변장치를 다룰 수 있는 장점이 있다. 중/장거리 통신 기술을 위해서는 CDMA, WIBRO, WiMAX, 6LoPan 등이 고려되었다.

데이터 전송에서 첫 번째 눈점은 근거리 전송과 중/장거리 전송의 선택조건이다. 도시가스 시설에는 이미 SCADA처럼 IT 기술을 이용한 데이터 전송 체계가 존재하다. 일반적으로 도시가스 사는 정압기처럼 유선 혹은 CDMA 방식의 무선 전송방식이 탑재된 시설이 존재하며 본 연구의 무선 데이터 전송방식이

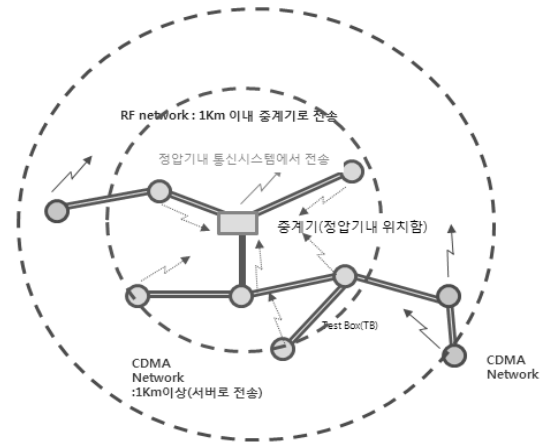


Fig. 1. Classification criteria for selecting wireless communication method.

적용되기 위해서는 이러한 시스템과 상호운영 가능해야 한다. 이런 시설은 도심지에서 1~3km 당 존재하는 것으로 검토되어 Fig. 1처럼 대상시설이 반경 1km 이내에 도시가스 전용통신시설이 존재한다면 구축비용과 운용비용 검토에 따라 근거리 통신기술과 도시가스 전용통신시설을 같이 사용하는 것이 적절하며, 그렇지 않으며 중/장거리 통신기술을 적용한다. 거리 1km는 비용감소와 기술개선에 따라 확장 가능한 유동적인 기준이다[7].

두 번째 논점은 신뢰성 있는 데이터 전송거리이다. 특히, 가스밸브실 같은 지하폐쇄환경에서 지상까지 데이터 신뢰성을 잃지 않는 최소거리이다. 도심지에서 도시가스 배관은 도로를 중심으로 매설되어 있으므로 가스밸브실과 테스트 박스 또한 배관을 중심으로 형성되어 있다. 이러한 환경에서 단말노드, 중계노드가 존재하는 근거리 통신 기술인 경우에 지하에서 지상의 주변 구조물의 상단까지 데이터를 전송해야 하며 수도권 중심의 가스밸브와 주변 구조물의 관계를 검토해보았을 때 적어도 80m 이상 수신감도의 감쇄 없이 전달될 수 있어야 한다.

도시가스 시설에 유비쿼터스 기술을 적용하기 위한 다른 핵심은 저전력 기술이다. 도시가스 많은 시설은 상시전원을 사용할 수 없다. 이러한 경우에는 대부분 배터리를 이용해서 기기를 운용하고 있다. 그러나 기기를 설치하면 대부분이 장기간 사용을 요구하며 빈번하게 교체나 수정을 원하지 않기 때문에 최대한 배터리에 의해 전력을 사용할 수 있는 기술이 요구된다. 시설별 최소 검사시간은 다르지만 분기 또는 반기에 1회 정도이며 본 연구에서 개발된 시스템을 적용하면 도시가스 안전성 향상을 유도하여 검사주기가 연장되는 것을 고려하여 1년 이상은 사용할 수 있어야 한다.

III. 주요시설 별 무선 네트워크 인프라

3.1. 근거리 기반 무선 네트워크 인프라

본 연구에서 근거리 시스템은 특수압력구간과 테스트박스 일부에 적용하였다. 적절한 주파수 대역 도출시험에 따라 지하환경에서 지상환경으로 데이터 전송은 900MHz 이하가 가능하였으며 424.7MHz 대역을 이용하여 약 100m까지 전송 가능하도록 하였고 지상간의 데이터 전송에는 2.4GHz를 사용하여 개활지에서 최대전송거리가 1km 이상이 되도록 하였다. 또한 지하환경시설 10개와 정압기실 3개로 구성된 시험환경을 실제 도시가스가 공급되는 광명시에 구성하였다. 시험환경의 최소구간 거리는 43m에서 최대구간거리 495m로 구성하였다.

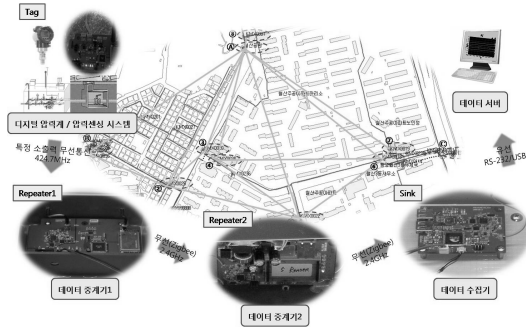


Fig. 2. wireless sensor network architecture for managing specific pressure area.

Fig. 2는 본 연구에서 개발된 근거리 기반 무선 네트워크 시스템을 광명시 시험환경에 투영된 구조를 도식화한 것이다. 근거리 기반 무선 네트워크 시스템은 전송기, 중계기1(변환기), 중계기2(중계기), 수집기 관리시스템으로 구성된다.

전송기는 가스압력센서로부터 압력 데이터를 수신하여 424.7MHz 무선대역으로 변환기에 전송하는 장치이다. 전송기는 일반모드와 테스트 모드로 동작되며, 테스트 모드는 무선 네트워크의 상태를 점검하여 위치 최적화 및 데이터 신뢰성을 판별할 수 있다.

변환기는 저주파 대역에서 정보를 받아 고주파 대역인 424.7MHz에서 정보를 받아 2.4GHz 대역으로 변환하여 중계기로 정보를 재전송한다. 변환기는 IEEE 802.15.4의 매쉬 네트워크 참여하여 근거리 네트워크의 브릿지 역할을 수행하고 최초 전원 인가 시 현존하는 네트워크의 구성요소로서 추가해줄 것을 싱크노드에 요청한다.

전송기와 변환기는 1:1 또는 1:N 대응을 통해 데이터 전송이 형성된다. 1:1 대응은 전송기별로 전용 변환기가 대응되며 비용 및 공간문제로 인해 특수목적일 때 사용가능하다. 1:N 대응은 변환기 범위내에 다수 전송기가 대응할 수 있는 방식으로 본 연구에서는 1:N 방식을 적용하였다.

중계기는 변환기 또는 다른 중계기로부터 전송받은 데이터를 수집기까지 전송해주며 IEEE 802.15.4 무선 네트워크를 지원한다. 수집기는 센싱(sensing)된 모든 데이터를 수집하여 관리 시스템으로 전송하는 역할을 수행하며 IEEE 802.15.4 전체 네트워크의 조정역할을 수행한다. 또한 관리 시스템에 데이터를 전송하기 위해 기존 도시가스 정압실에 설치되어 있는 통신시설을 이용한다.

싱크노드 역할을 수행하는 수집기는 IEEE 802.15.4 기본 MAC 프로토콜과 네트워크 프로토콜의 라우팅

알고리즘을 현 도시가스 실외환경에 적절하도록 트리 기반 알고리즘으로 개선하였다. 특히 등비수열($a_n = r^{n-1}$)이 적용되어 매쉬 네트워크 생성 시 신호강도표시(RSSI)와 지정된 n개의 자식노드 수에 따라 계층이 구성된다. 즉, 트리의 구성은 802.15.4에 나와 있는 기본 구성방식이 아닌 신호강도제기와 지정된 수에 따라 계층 간 등비수열에 의해 하부단계 자식노드를 할당한다. 예를 들어, 자식노드가 3개로 지정되었을 때, 2단계 계층(1홉)은 3개의 노드들이 있으며, 3단계 계층(2홉)은 9개의 노드들이 존재한다.

Fig. 3은 트리 네트워크 구성 순서와 데이터 전송 경로 과정을 보인다. 특히 라우팅 구조가 완성된 후 센싱 노드에서 데이터는 구축된 트리를 통해 유니캐스트 형식으로 부모에게 전달되고 최종적으로 수집기에 정보를 전송한다. 각각의 노드는 부모노드와 자식노드들에 대한 정보만을 가지고 있으므로 멀티홉 라우팅을 위해 복잡한 패스정보를 유지할 필요가 없다. 수집기는 하부노드들을 체크하여 가동여부 및 신호강도표시 측정으로 매쉬 재구축 및 네트워크에서 이탈되는 중계 노드들을 인지할 수 있다.

3.2. 중/장거리 기반 무선 네트워크 인프라

본 연구에서 중/장거리 시스템은 가스밸브실, 노출배관, 테스트박스 일부에 적용하였고 지하폐쇄환

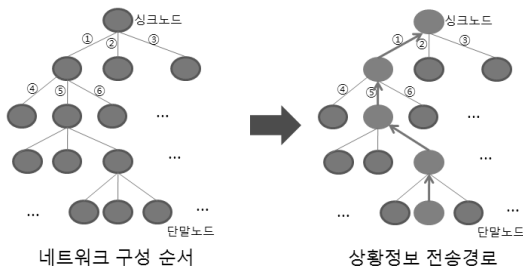


Fig. 3. Network transmission path.

Table 2. Sensitivity test results

시설	구분	감도
-	지상	-55 dB
테스트박스	덮개 open	-76 dB
	덮개 close	-84 dB
가스밸브실	덮개 open	-59 dB
	내부 덮개 close	-67dB
	2중 덮개 close	-77dB

경도 포함된다. 가스밸브실과 테스트 박스는 현장에 따라 다양한 환경이 존재하며 가스밸브실에서는 2중 덮개로 구성되어 있는 경우도 존재하기 때문에 모든 경우에서 신뢰성 있는 데이터 전송이 가능해야 한다. 이런 측면에서 신뢰성 있는 데이터 송/수신의 기준이 -95dB이상인 CDMA가 Table 2에 있는 모든 경우를 만족하기 때문에 본 연구의 중/장거리 네트워크 방식으로 선정되었다.

이러한 시설 주변에는 AC 전원을 공급할 수 없으므로 본 연구에서는 wake-up 모드와 sleep 모드로 기기에 대한 저전력 설계를 수행하였다. 평상시에는 sleep 상태를 유지하여 전력소모량을 최소화하다가 일정시간에 wake-up 되어 운영이 가능하도록 전지소모를 감소시켰으며 Fig.4에서 시간대별 전력변화를 보인다.

지하폐쇄환경을 위해서 일반적인 풀형의 안테나는 외부에 장착하고 사용할 수가 없는 것으로 검토되었다. 본 연구에서는 가스밸브실 내부 상단이나 테스트박스 덮개에 패치 형태로 설치할 수 있는 스마트 원형 안테나를 개발하였으며 Fig. 5에서 개발된 모형을 보이며 Table 3에서 주요 성능을 설명한다.

중/장거리 기반 가스밸브실 시설관리 시스템은 근처에 도시가스사 전용통신시설이 없는 경우를 가정하였으며 지하폐쇄환경에 900MHz이하이기 때문에

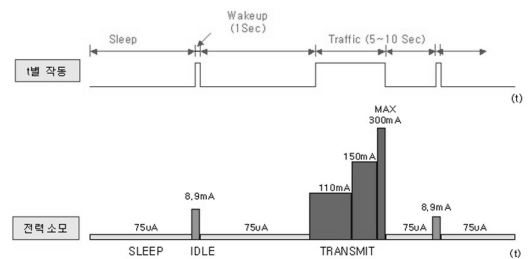


Fig. 4. Power consumption change.

Table 3. Antenna performance

항목	성능
형태	원형
주파수 대역	859MHz, 2.4GHz
크기	θ 800 이하
정자파비	1:1.2이하
효율	6dB
임피던스	z=50Ω

주파수 대역인 800MHz인 2세대 이동통신 기법을 적용하였다. 시스템 단말기는 CIRCUIT방식의 CDMA 방식으로 서버와 통신하며 밸브실 내에서 가스누출, 수위, 전류, 외기온도, 밸브실 개폐 여부를 측정한다. 단말기의 기능은 크게 기본기능, 통신기능, 측정기능, 전원지원기능, 데이터 저장 기능 등이 있다. 특히 단말기는 다양한 환경에 노출될 수 있으므로 table 4와 같은 조건을 만족함으로써 견고성을 유지해야 한다.

측정기능은 측정인자에 대한 상세기준을 정의하였으며 전원지원기능은 배터리에 의한 가스밸브실 환경 특성을 고려한 저전력 세부설계를 수행하였다. 가스밸브실 단말기를 위한 저전력 설계는 대기

모드, 측정모드, 통신모드로 구분하여 전력사용량을 제어함으로써 전력 소모량을 최소화하였다. 예를 들어, 하루에 2번 세 가지 항목을 측정하고 1회 1주일 정상적으로 통신하며 비정상적 통신이 분기별 1회 발생한다고 가정하였을 때 개발된 제품의 전력 소모량은 Fig. 6과 같다.

데이터 저장기능은 측정되는 항목에 대해 최대 1년분을 저장하며 통신이 부정확하거나 통신기능 삭제시 데이터 로깅용으로 활용하기 위함이다. 본 연구에서 이 기능은 기본메모리(단말기의 EEPROM)과 보조메모리(SD card)를 병행하여 사용함으로써 구현하였다. 완성된 시스템의 단말기는 내부온도측정, 배터리 잔류용량체크, 모뎀 자동리셋, 측정인자 상/하한치 원격 설정 및 선택 등이 존재하면 탑재되는 소프트웨어 갱신은 펌웨어 기술을 이용하여 원격으로 수행된다. 최종 완성된 단말기는 방폭형 센서박스, 단말기, 케이블로 구성되어 있다.

중/장거리 기반 방식전위 관리 시스템은 배관의 부식감시를 목적으로 하며, 부식상태를 방지하기 위해 데이터의 연속적인 관리, 배관의 방식상황의 이력관리, 배관 보수 시점 결정에 대한 시기를 제공하며 Fig. 7과 같은 구성도를 가진다. 정류기에서 전류가 Anode를 통해 생성되면 매설배관에서 음의 방식전류를 유입하여 기준전극과 매설배관 사이의 전위를 테스트박스의 방식전위 수집기에서 측정한다. 측정된 데이터는 CDMA에 의해 목적지까지 원격으로 전송된다.

방식전위 수집기의 규격과 기능은 일반, 측정부/처리부, 송신부 규격으로 분류된다. 일반규격으로 측정범위는 -10V~10V, 측정오차는 0.2%, 분해능은 1mV이다. 측정/처리부에서는 절전형 16 bit micro-processor를 탑재되었고 시스템 자동복구를 위한 watchdog 기능을 추가되었다. 2중 surge 보호회로 및 밀폐형 방수처리 케이스를 적용함으로써 기기 안전성 또한

Table 4. Device robustness condition

항목	조건기준
방폭	내압방폭기준
방수	IP68
염수	IEC68-2-11Ka
진동	1G, 10~150Hz, 0.1 octave/min
온도	-10°C ~ +70°C



Fig. 5. 850MHz and 2.4GHz Antenna shape

시간	구분	소모 예상 전류			횟수(일기준)	측정 시간	소모량(1일)	소모량(1년)	소모량(5년)	단위	
02시 14시	측정 [기준 : 2회]	가스누기	230	mA	2	18.0	s	0.0023	0.8395	4.1975	Ah
		방식전류	0	mA	2	0.0	s	-	-	-	Ah
		수위감지	0	mA	2	-	s	-	-	-	Ah
24시간	대기모드	1	mA	-	24	H	0.0000	0.0088	0.0438	Ah	
	통신시 (정규통신)	1회/1주일	220	mA	0.14	33	s	0.0003	0.1052	0.5258	Ah
	통신시 (EVENT)	1회/분기	220	mA	24	33	s	-	0.0484	0.2420	Ah

전체전류							0.0026	1.0018	5.0091	Ah
------	--	--	--	--	--	--	--------	--------	--------	----

사용 배터리 용량	19	Ah	10년후 80% 사용가능
10년후 사용가능 용량	15.2	Ah	
사용가능 시간	15.17	년	

Fig. 6. Power consumption about end unit of valve box management system.

도시가스 시설 안전관리를 위한 네트워크 인프라 및 지능형 서비스 구축

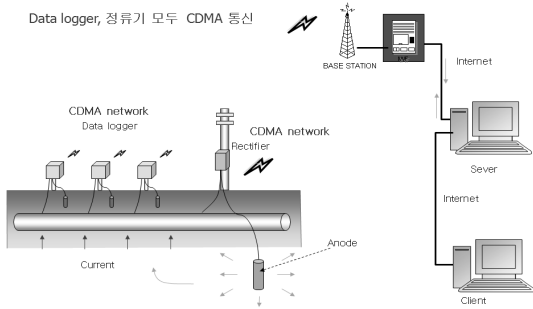


Fig. 7. Corrosion management system based on CDMA.

Table 5. Battery test result

구분	측정 전류량(mA)
휴지시 전류값	0.02
측정시 전류값	30
송신시 전류값	200~400
1일 소비 전류량	4.78mAh
건전지 전류량	8,5Ah
예상사용시간	4,87년

Table 6. Test results for protective potential device

순번	단말기	계측기	측정값	전송값	배터리전압	감도
1	-1537	-1525	-1537	-1537	3.9V	82dB
2	-2350	-2378	-2350	-2350	3.9V	78dB
3	-2136	-1980	-2136	-2136	3.8V	76dB
4	-1636	-1653	-1636	-1636	3.9V	81dB
5	-1843	-1876	-1843	-1843	3.9V	85dB
6	-2541	-2578	-2541	-2541	3.9V	79dB
7	-2134	-2138	-2134	-2134	3.8V	77dB
8	-3145	-3121	-3145	-3145	3.9V	83dB
9	-1648	-1624	-1648	-1648	3.9V	85dB
10	-1419	-1418	-1419	-1419	3.8V	79dB

증가시켰으며 사용온도를 -20℃에서 50℃까지 견딜 수 있게 함으로써 견고성을 향상시켰다.

송신부는 데이터 송신 실패 시 가스밸브실처럼

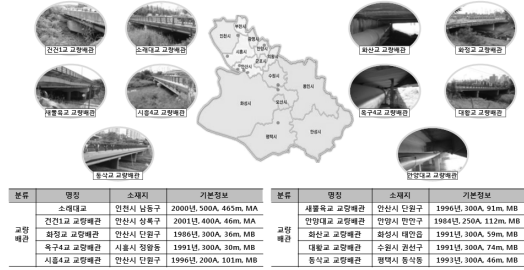


Fig. 8. Test-bed for above pipeline.

보조메모리를 이용하여 저장되고 다음 송신 때 같이 전송될 수 있도록 하였다. 전원은 Table 5와 같이 전원 소모량을 제어함으로써 계산 상으로 약 4.87년 동안 배터리 전원을 사용할 수 있도록 하였다.

실제 현장 테스트박스 방식전위 시스템 단말기를 설치한 후 정확한 측정 및 서버로의 데이터 전송을 위하여 시험을 실시하였다. 현장에서 측정한 데이터는 방식전위 측정용 계측기로 측정된 값과 허용오차 범위내에서 일치하였고 측정 데이터는 모두 서버에 정확하게 전송/저장 되었으며 안테나 감도 역시 허용 감도 이내에 포함되어 Table 6에서 보인다.

노출배관 진동/응력 관리 시스템도 CDMA 기반 단말기를 제작하여 최대 응력 5채널, 진동 5채널을 측정하도록 구성하였고 Fig. 8처럼 경기도 안양시 및 안산시 중심의 시험환경을 조성하여 현장 적용 시험을 수행하고 있다.

V. 지능형 안전관리 서비스

지능형 안전관리 서비스는 Fig. 9처럼 하부 네트워크 단계(network layer), 변환단계(adaptor layer), 통합단계(middleware layer), 서비스 단계(application layer)로 구성된다. 변환단계는 각 하부네트워크에서 데이터를 수신받아 공통 메시지 형식으로 통합한 후 공용 네트워크 인터페이스를 통해 미들웨어 단계에 전송하며 네트워크 별 담당 변환기가 존재하여 특정 하부 네트워크 추가 및 삭제에도 전체 시스템에 영향을 주지 않는다. 미들웨어 단계는 대용량 정보구조 지원, 지능형 정보처리, 효율적인 정보 탐색 서비스 등을 수행하며 응용서 서비스와 개방형 인터페이스를 통해 접근함으로써 다른 응용시스템과도 연계 가능하다. 서비스 단계에는 사용자에게 쉽고 효과적으로 결과를 접근할 수 있도록 구성된다.

이러한 서비스 플랫폼 기반하에 지능형 가스안전 포털을 구축하였으며 디렉토리 서비스, 실시간 검색 서비스, 지능형 서비스로 구분되어 Fig.10에서 보

- (2005)
- [5] Held, G. *Data Over Wireless Network: Bluetooth, WAP, and Wireless LANs*, McGraw-Hill (2001)
- [6] Shen, C. "Sensor Information Networking Architecture and Applications", *IEEE personal Communications*, 2(4), 52-598, (2001)
- [7] J. S. Oh, J. S. Park, and J. R. Kwon, "Selecting the Wireless Communication Methods for Establishing Ubiquitous City-Gas Facilities in Korea", *Lecture Notes in Computer Science*, 5576, 823-828, (2009)
- [8] J. S. Oh, J. S. Park, and J. R. Kwon, "Design Middleware Platforms for Ubiquitous Smart Service on City Gas Environment in Korea", *Communications in Computer and Information*, 62, 90-97, (2009)
- [9] J. S. Oh, J. S. Park, and J. R. Kwon, "A Study on Autonomic Decision Method for Smart Gas Environments in Korea", *Advances in Intelligent and Soft Computing*, 72, 1-9, (2010)