

지하공간 환경 모니터링 시스템 개발 및 시험

Development of Underground Conduits Eco-Monitoring System

박 정 권*, 한 진 우*, 강 왕 규*, 우 병 수*

Jungl-Kwon Park, Wang-Kyu Kang, Jin-Woo Han, Byong-Soo Woo

Abstract

지하구는 도시의 신경망이라 할 수 있는 통신, 전력, 상수도, 난방, 쓰레기 처리시설 등 도시 운용/관리를 위한 주요시설물을 안전하게 수용하고, 유지 관리하기 위한 시설로 IT기술을 이용하여 수용된 시설을 효과적으로 유지/관리하고, 재난으로부터 안전하게 보호함과 동시에 최소의 비용과 에너지로 수용된 시설물을 유지관리하기 위한 연구가 많이 진행되고 있다.

따라서 본 논문에서는 지하구(공동구, 통신구, 전력구)의 운용 및 유지관리와 지하구에서 발생될 수 있는 각종 재난에 대응하기 위한 지하구 운용 및 유지관리에 대해 알아보고, 지하구 내부에 수용된 시설물을 효과적으로 유지관리하고 재난에 신속히 대응하기 위한 지하구 환경모니터링 시스템에 대해 기술 하고자 한다.

지하구 환경모니터링 시스템은 지하구 내부에는 전력, 상수도, 통신, 난방 등 다양한 시설물이 수용되어 있으며, 이러한 시설물의 부식, 고장 등으로부터 보호하기 위해 지하구내부의 환기시스템인 송풍기와 지하수와 기상재해로 인한 지하구 및 수용시설물의 침수를 막기 위한 양수펌프에 대해 실시간 상태모니터링 통해 송풍기 및 펌프의 고장여부를 판단하여 관리자에게 알림으로써 관리자가 신속하게 대응할 수 있도록 하였다. 송풍기의 제어는 지하구의 내부와 외부에 설치된 온/습도 센서를 통해 지하구 내부환경을 최적으로 유지할 수 있도록 함으로써 쾌적한 지하구 내부환경 유지하고, 급/배기가 필요할 경우에만 송풍기를 가동함으로써 에너지를 절약 할 수 있으며, 화재, 침수 등에 대한 재난시 환풍기의 급/배기, 정지 등을 신속하게 제어할 수 있도록 하였다. 또한 지하구내부에서 발생된 재난을 유/무선을 이용하여 신속하게 지하구 주변의 장치(U-Pole 또는 통합컨트롤러)를 통해 경보를 전파함으로써 주변 시민들이 안전하게 대피할 수 있도록 하였다. 그리고 지하구 환경모니터링 시스템을 검증하기 위해 실제 지하구 및 실험실에 시스템 및 Test Board를 설치하여 운용시험을 실시하였다.

Keywords : 지하공간, 지하구, 공동구, 모니터링

I. 서 론

지하구(공동구)는 시민들의 일상생활 및 사회 경제활동을 원활하고 편리하게 할 수 있는 시설물들을 안전하게 수용할 뿐만 아니라 지하공간에 시설물을 수용함으로써 보행자의 쾌적한 통행공간 확보와 안전하고 안락한 도시환경을 유지시키며 효율적인 도시운용이 가능하도록 한다.

이러한 지하구는 1978년 여의도 공동구를 시초로 구축되기 시작하였으며, 현재 지하구에 대한 화재 및 침수로 인해 인명 및 재산상의 피해가 발생하였다. 지하구를 이러한 재난으로부터 보호하고, 통신, 전력, 상수도 등의 다양한 시설물을 안전하게 수용하기 위해 여러 가지 운용시스템을 운용하고 있다.

본 논문에서는 기존 지하구(공동구)의 유지관리현황과 지하구(공동구, 전력구, 통신구)의 사고사례 및 사고 특성에 대해 기술하고, 지하구를 안전하고 효율적으로 운용하기 위한 지하공간 환경모니터링 시스템의 개요와 시스템의 구성과 특징, 기능에 대해 기술하고, 개발된 시스템을 현장에 시험한 내용을 기술 하고자 한다.

II. 지하구(공동구) 현황

국내의 지하구(공동구)는 1969년 여의도개발 당시에 계획, 건설한 것을 효시고 하여 주로 신도시 건설지구의 개발과 병행하여 설치하였으며, 1970년대부터 시작된 지하철공사와 병행하여 전력 및 통신시설을 위주로 설치하였고, 1980년대 초부터 시작된 공영개발방식에 의한 토지개발사업과 병행하여 신도시 및 신시가지 조성과 더불어 일부 간선도로 내에 설치되었고, 2000년 이후에는 점용예정자의 참여의지 부족으로 행정중심 복합도시, 송도신도시 등 주로 국가 주도의 개발사업 위주로 설치되었다. 따라서 현재 국내 지하구(공동구) 설치 현황은 전국 21개소 102.85km(2007년12월 기준)이며, 지하구(공동구)관리는 표 1과 같이 각 지자체 및 지자체 시설공단, 위탁업체에 의해 관리, 운용되고 있으며, 지하구(공동구)의 규모별로 상이 하지만 2명 ~ 16명의 상주인원이 유지관리 및 운용업무를 수행하고 있다.

지하구 유지관리 및 운용 업무는 일상점검으로 주 1회 이상 실시하는 자체점검과 1일 1회 이상 실시하는 외부점검

표 1. 국내 공동구 관리현황

합 계	직영	위탁	
		공공(공단)	민간
21 개소	7개소	10개소	4개소

접수일자 : 2009년 6월 30일
 최종완료 : 2009년 8월 07일
 *KT 네트워크연구소

이 있으며, 년 4회 실시하는 정기점검은 각 분기별로 관리 기관 및 점검기관, 관할소방서, 외부전문과 합동으로 점검이 이루어진다.

지하구(공동구)에는 국토해양부의 “공동구 시설의 설치 및 유지관리에 관한 규칙”에 의해 지하구(공동구)의 원활한 유지관리를 위하여 지하구(공동구)의 출입이 양호한 지역에 공동구 관리 사무소를 설치하도록 정하고 있으며(연장 1Km미만은 제외), 관리사무소 내에 지하구(공동구)내의 각종 설비의 자동운전, 현장(지하구내)으로부터 전송되는 각종 자료의 감시 및 보관, 분석, 지하구의 제어시스템의 상태 및 제어를 위한 중앙통제설비를 갖추고 있으며 해당 시스템 별 주요기능은 표 2와 같다.

표 2. 지하구(공동구)관련 중앙통제설비

시스템명	주요 기능
화재감시 시스템	화재감지기를 설치하여 화재를 감시하고 유사시 지하구(공동구)내 운전자에게 경보음 송출 및 유도등을 통하여 안전한 방향으로 대피 유도 화재와 연동하여 방화벽출입문/환풍기제어 가능 소방서와 시스템 연계
설비감시조작 시스템	지하구(공동구)내의 배수를 위한 설비로 침수정파 배수펌프의 동작유무, 정전, 펌프고장 등을 감시하고 관련 제어반을 이용하여 침수정의 수위 감시 및 펌프제어 강제환기를 위한 환풍기 제어 상수도관의 파열을 고려한 일정한격마다 잠금장치 제어
침수경보설비	공동구내의 배수켓트에 설치된 배수펌프의 이상유무를 감시(정전, 펌프고장, 이상수위 등)
전력감시 및 조명제어시스템	지하구내의 부하설비에 공급되는 전력의 수배전반의 동작상태 감시 지하구(공동구)내의 조명기구 상태감시/점멸제어
출입자감시 시스템	인체감지기, 출입문감지기, CCTV를 이용한 지하구(공동구)내 출입감시

지하구(공동구)의 사고 유형은 표 3 지하구 사고발생 현황과 같이 주로 화재가 많은 부분을 차지하고 있으며, 주된 원인으로서는 지하구내 시설물에 공급되는 전기의 접속부 및 절연부의 파열 등이며, 그 다음으로 국지성호우 및 기상이변에 의한 우수유입 이나 상수도관의 파열에 의한 침수사고로 나타났다.

이러한 지하구의 재난은 발생할 경우 정전, 통신장애 등으로 인해 도시에 미치는 영향이 매우 큼으로 사전점검이나 효율적인 유지관리 방안 및 시스템을 통해 지속적으로 개선되어야 한다. 현재 지하구 관련으로 효율적인 유지관리 및 운용방안을 위한 시설관리 시스템, 센서기술, 원격모니터링 등을 개발하고 연구하고 있는 곳은 한국건설기술연구원, 시설관리공단(지자체), 한국전력공사, KT 등과 일부 IT업체에서 각 시설에 대한 관리 및 시스템에 필요한 장

표 3. 지하구 사고발생 현황

구분	사고유형	원인
여의도공동구	화재	전력케이블 접속부 과부하
	침수	상수도관파손
목동공동구	침수	우수유입
종로통신구	화재	분전반 파열
남대구통신구	화재	미확인
신양재전력구	화재	송전선 접속함 절연열화로 인
구리전력구	화재	해 유출된 절연유 착화
기타 공동구	화재	용접부주의, 낙뢰 등

치 및 센서에 대한 연구 및 개발이 이루어지고 있다.

그리고 정부 및 민간사업 부문에서도 IT기술을 융합한 유비쿼터스 기술을 적용하여 도시민들에게 보다 편리하고 안전한 생활을 보장하기 위한 다양한 시스템이 개발되고 활발히 진행되고 있다.

지하공간 환경모니터링 시스템은 유비쿼터스 기술을 접목하여 기존의 지하구의 효율적인 유지관리를 위한 모니터링과 시민의 안전 및 편리성을 제공하기 위해 도시민과 관련된 사항을 포함하여 개발하게 되었다.

III. 지하공간 환경모니터링 시스템 개발

1. 시스템 개요

지하공간 환경 모니터링 시스템은 화재감지기, 침수감지기, 수위감지기, 인체감지기, 출입문 감지기 등을 통해 지하구(즉 공동구, 통신구, 전력구)내의 화재, 침수, 외부인 침입 등을 감지하여 운전자에게 알려주어 조기에 대응할 수 있도록 하고, 지하구내 시설물인 펌프와 송풍기의 작동 상태 및 제어를 원격에서 할 수 있도록 하였으며, 주변의 USN 장치와 연동하여 지상의 시민들에게 지하구의 각종 재난정보를 알려줄수 있도록 함으로써 피해를 최소화 할 수 있도록 하였다. 또한 송풍기의 작동을 지상의 환경과 지하구의 환경을 분석하여 작동하도록 하여 현재 시간에 따라 작동되는 송풍기에 비해 전력소비량을 줄일 수 있도록 하였으며, 송풍기로부터 발생하는 소음을 최소화 할 수 있도록 하여 지하구 주변의 시민들에게 소음 피해를 최소화 하며 지하구 내부의 상태를 쾌적하게 유지할 수 있도록 하였다.

2. 시스템 구성 및 특징

지하공간 환경모니터링 시스템은 관제센터에 서버에서 각 지하구별로 전체적인 상황을 모니터링하며, 지하구별 각 장치 및 센서의 값을 정의하고 제어할 수 있도록 하였다.

시스템의 구성은 각 지하구의 센서로부터 수집된 정보는 장치제어를 위한 제어반내의 Data수집장치를 통해 수집하고, Data수집장치는 수집된 Data를 TCP로 변환하여 인터넷망을 이용하여 서버로 보내주게 되며, 서버의 통합 DB에 저장이 된다.

지하구의 규모에 따라 Data 수집장치의 Data를 통합하여 서버로 보내주는 G/W(통합컨트롤러)와 광허브 장치가 추가로 구성이 되며, 전체적인 시스템 구성도는 그림 1과 같다. 각 구간의 전송방식은 주변의 상황에 맞춰 적용할 수 있으며, [표 4]와 같이 유.무선통신을 병행하여 주변 환경에 맞는 통신방식을 사용할 수 있도록 하였다.

표 4. 시스템간 통신방식

통신 구간	통신 방식
센서-Data수집장치	유선 : I/O Interface 무선 : RF/Zigbee
Data수집장치-G/W	유선 : RS232c/RS485
Data수집장치-통합 컨트롤러	유선 : Ethernet(FTTH) 무선 : RF(424Mhz), (WLAN)
G/W(통합컨트롤러) - 서버	유선 : Ethernet(FTTH)

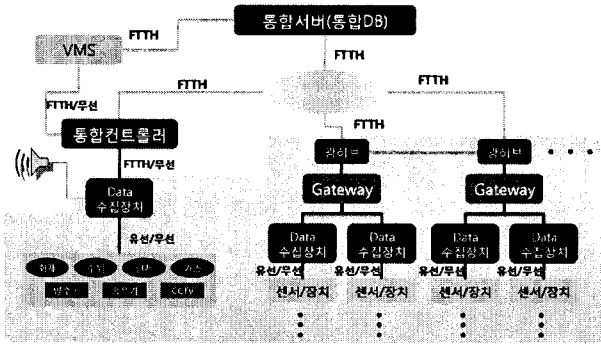


그림 1. 지하공간 환경모니터링 구성도

지하공간 환경모니터링 시스템은 시스템의 안정성을 향상과 유지보수의 용이성, 그리고 확장성, 사용자 운용성을 위해 다음과 같은 특징을 갖는다.

- 1) 표준화된 전송방식과 상용화된 장치를 시스템에 적용함으로써 시스템의 안정성 확보와 유지보수가 용이하도록 하였다.
- 2) 도시기반시설 서비스 통합DB에 각종 경고 및 이벤트 Data를 저장하여 타시스템과 연동 및 자료를 공유할 수 있도록 하였다.
- 3) 지하구의 Data수집장치에서 U-City의 도시기반시설 서비스의 통합컨트롤러와 Data연동을 통해 도시기반시설 서비스인 VMS에 지하구의 재난상황을 지하구 주변의 시민들에게 알림으로서 피해를 최소화 할 수 있도록 하였다.
- 4) 지하구 환풍구의 송풍기 소음으로 인한 시민들의 피해를 방지하기 위해 송풍기의 가동시간을 원격에서 스케줄링이 가능하도록 하였으며, 야간이나 주변 환경을 고려하여 소음을 최소화 할 수 있도록 송풍기의 회전수를 조절할 수 있도록 하였다.
- 5) 지하구 내/외부 온/습도를 측정하여 송풍기 가동시간을 판단할 수 있게 하고, 송풍기의 급/배기를 조절할 수 있도록 하여 상황별 대응이 가능하도록 하였다.
- 6) 범용MMI Tool을 이용하여 센서, 장치의 추가 삭제를 용이하게 하였다.

3. 시스템 주요 기능

지하공간 환경모니터링 시스템의 주요 기능은 감시기능, 제어 기능, 알림기능, 운용관리 기능의 4가지로 나눌 수 있다.

- 1) 감시 기능 : 지하구내의 상황을 모니터링하고 이를 서버로 알려주는 기능으로 지하구내의 시 양수기, 송풍기, 출입문 등의 장치 상태정보와 화재, 침수, 온/습도, 유해가스, 외부침입 등의 센서정보를 실시간으로 수집하여 서버로 전송하고, 경고상황을 운용자에게 알림으로써 운용자가 신속하게 대응할 수 있도록 하였다.
- 2) 제어 기능 : 지하구의 유지관리 및 운용을 위해 설치된 양수기, 송풍기, 출입문, 유도등, CCTV 등과 같은 장치의 작동 알고리즘에 의해 자동제어와 현장에 출동하지 않고 신속하게 장치를 원격제어 할 수 있으며, 지하구 내부 환경에 따라 각각의 센서값을 변경할 수 있도록 하였다.

- 3) 알림기능 : 지하구내의 화재, 침수 등의 긴급상황 발생 시 이를 운용자에게 알리고, 운용자는 이를 해당 지하구 주변의 VMS 혹은 경광등(부저)을 통하여 시민들에게 알림으로써 신속하게 대피할 수 있도록 하였다.
- 4) 운용관리기능 : 지하공간 환경모니터링 시스템의 운용 및 관리를 용이하게 하기 위해 지하구의 전체적인 상황, 지하구 각각의 상황, 센서나 장치의 세부상황으로 화면을 구분하였으며, 각 장치 및 센서의 이력을 별도로 저장하여 이를 이용하여 별도로 분석할 수 있도록 함으로써 지하구의 장치 및 센서 등의 상태를 분석하고 장치고장이나 센서의 이상 등을 사전에 파악할 수 있도록 하였다. 그림 2와 같다.

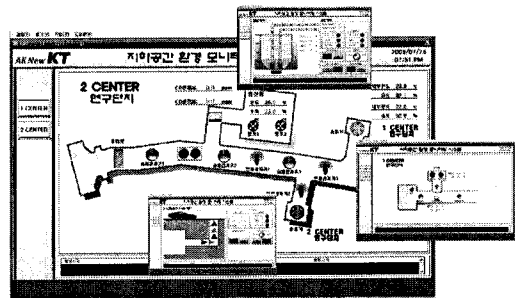


그림 2. 시스템 운용자 UI

4. 시스템 시험 설치 및 운용

개발된 지하공간 환경모니터링 시스템의 안정성 및 기능에 대한 시험을 위해 지하구에 센서 및 장치를 설치하고, 실험실에는 지하구형태의 시연보드에 센서 및 양수기, 송풍기를 설치하여 시험을 진행하였다.

1) 시험설치 개요

시험설치는 도심지의 각각 독립된 지하구를 구현하기 위해 2개소에 설치하였으며, 시스템의 운용성과 다양한 시험을 위해 1개소는 실제 지하구와 동일한 환경인 지하구에 장치 및 센서와 장치제어반 및 data 수집장치를 설치하여 인터넷에 바로 연결하는 방식과 무선통신을 이용하여, U-City의 통합컨트롤러에 연결하여 서버와 연결되도록 하고, 1개소는 장치의 제어 및 상황 시뮬레이션이 용이하도록 실험실에 각 장치 및 센서를 시연보드에 설치하였으며, 여러 개의 data 수집장치가 연결되는 환경으로 G/W를 거쳐 서버로 연결되도록 하여 시험을 실시하였다.

- 2) 시험설치의 구성은 표 5와 같이 개소별로 다르게 설치 하였으며, 시험 설치 구성도는 그림 3와 같다.

표 5. 시스템 구성

시연실		실제 지하구
장치	지하구	송풍기, 양수기, 장치제어반, Data수집장치
	실험실	송풍기, 양수기, 출입문, CCTV, 장치제어반, Data수집장치, G/W, 광허브, 유도등, 제어판넬, 집수정(모형), 화재수신기, 경보부저
센서	지하구	온습도, 사람, 화재, 침수
	실험실	온습도, 사람, 화재, 침수, 수위, CO, 출입문, 온도

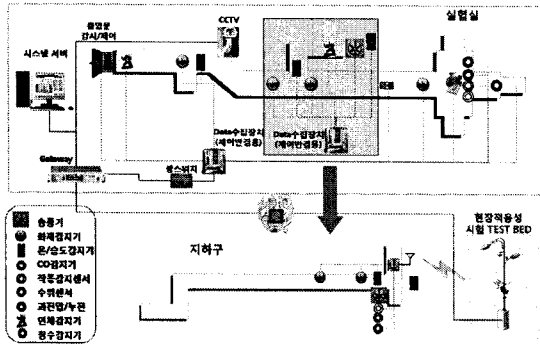


그림 3. 지하공간 환경모니터링 시스템 구성도

3) 시험 운용방법 및 시스템 운용

시스템의 시험운용은 시스템의 안정성과 확장성, 운용 담당자의 시스템 운용 용이성에 중점을 두고 실시하였다. 시스템의 안정성은 각 장치간의 Data전송시 Data손실 여부를 확인하고, 각 장치 및 센서 Data의 정확성과 각 장치의 제어 시 알고리즘에 의한 작동 및 원격제어에 의한 작동의 오류사항과 문제를 검토하였다.

4) 시스템 설치 및 제작 현황

시험을 위해 그림 4와 같이 실험실에 시연보드를 설치하였으며, 그림 5와 같이 지하구에 장치를 설치하였다.

그림 4. 실험실 시연보드 설치

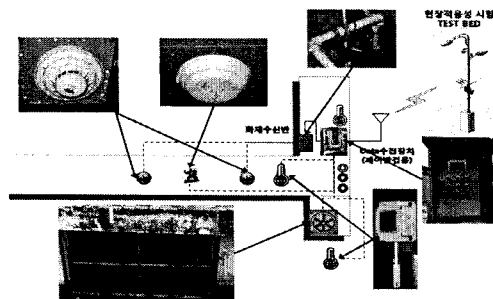
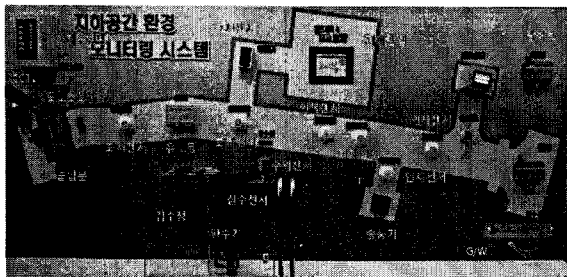


그림 5. 지하구 시스템 설치

5) 시험 운용 결과

시험 운용 결과 지하구에 설치된 Data 수집장치와 서버간의 Data 손실이 가끔 발생하였으며, 이는 Data 수집장치로 사용하고 있는 PLC와 범용 MMI의 호환성문제인 것으로 제작사에 지원을 요청하였다.

그리고 Data 수집장치의 Data를 TCP로 변환한 후 FTTH를 이용하여 서버로 전송하는 과정에서는 유동IP를 사용했음에도 불구하고 data전송은 원활했다. 센서부분에서는 장마로 인해 지하구로 유입되는 수량이 많아

습도가 높고, 환기가 잘 되지 않는 지하구의 끝부분에 위치한 화재센서가 결로로 인해 오작동이 발생하였으며, 지속적인 환기로 해결 가능하였다.

그리고 기존에 사용하던 송풍기는 일정한 속도로 타 이너에 의해 구동되는 방식으로 소음이 크게 발생하였으나, 원격으로 회전속도를 조절할 수 있도록 하여 송풍기 소음을 줄이면서 지하구 내부공기를 순환이 가능하였으며, 지하구 내/외부의 온/습도를 비교하여 송풍기의 자동 작동부분에 대해서는 지하구의 규모에 비해 환기용량이 부족하고, 장마로 인한 지하수 유입으로 지하구내부의 습기가 증가함에 따라 송풍기의 가동시간이 길어져 기존 시간대별로 구동하는 방식보다 더 많이 가동되었으며, 이는 지하구내부의 환경과 시설물의 결로상태 등을 고려하여 작동 알고리즘의 개발이 필요할 것으로 보인다.

실험실의 시연보드를 이용한 시험에서는 사용자의 운용성을 높이기 위해 설치된 터치패널은 해당 지하구에 대해 별도의 단말 없이 서버의 화면과 동일하게 실시간 정보를 보고 바로 장치를 제어 할 수 있어 매우 편리한 것으로 보인다.

IV. 결 론

이상과 같이 지하구 환경모니터링 시스템은 지하구를 화재, 침수 등과 같은 재난으로 부터 사전 경보를 통하여 예방하거나 피해를 최소화하고, 원격제어 및 자동제어를 통해 효율적인 유지관리 업무를 지원하며, 재난시 알림기능을 통해 시민들에게 안전하고 편리한 생활을 할 수 있도록 개발되었다.

하지만 짧은 개발기간으로 충분한 시험을 진행하지 못하였고, 수집된 센서 및 장치 상태 Data의 분석을 통한 지하구내의 상황 분석 부분에 대해 미흡한 부분이 많으며 추가 보완할 부분도 많은 것 같다.

유비쿼터스 도시에서의 지하구의 유지관리 및 운용은 각 센서/장치정보를 이용하여 지하구 내/외부 상황 변화와 센서, 장치의 고장 및 오작동을 판단할 수 있는 알고리즘 개발과 지하구내의 각 센서정보를 이용하여 지하구 상황을 분석, 예측하여 운용자에게 자료를 제공함으로써 지하구 운용자가 상황판단 및 사전 대응을 통해 보다 효율적으로 업무를 수행 할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비지원(07첨단도시 A01)에 의해 수행되었습니다.

【참고 문헌】

[1] 강영구, 김영남 “국내외 공동구 설치 및 운영실태” 국내 공동구 발전을 위한 기술 심포지움, (사) 한국토질 및 기초기술사회 pp.37 - 73 2009.
 [2] 유재성, 양대선 “공동구 설계 및 시방기준 제정방안” 국내 공동구 발전을 위한 기술 심포지움, (사) 한국토질 및 기초기술사회 pp.79 - 97 2009.
 [3] 이상인, 김동민 “공동구 설계 및 시공사례(행정중심복

합동시 공동구건설공사)” 국내 공동구 발전을 위한
기술 심포지움, (사) 한국토질 및 구조기술사회 pp.
165-187, 2009.

- [4] 한국건설기술연구원 “공동구 재해방지와 안정성 강화를 위한 설계 시공 및 관리기술 개발(공동구 설치 기준 및 관리지침 개발)” 04년도 건설기술기반구축사업 최종연구보고서, 건설교통부 한국건설교통기술평가원, 2006.



박 정 권

1991년 금오공과대학교 토목공과 졸업
1996년 금오공과대학교 토목공학과(공학석사)
1998년~현재 KT 네트워크연구소 제직중
<e-mail> jkpark9@kt.com



한 진 우

1986년 부산대학교 토목공학과 졸업
1989년 부산대학교 토목공학과(공학석사)
1990년~현재 KT 네트워크연구소 재직중
<e-mail> jinuhan001@kt.com



강 왕 규

1995년 충남대학교 토목공학과 졸업
1997년 충남대학교 토목공학과(공학석사)
1998년~현재 KT 네트워크연구소 재직중
<e-mail> kangwk@kt.com



우 병 수

1995년 단국대학교 토목공학과 졸업
1998년~현재 KT 네트워크연구소 재직중
<e-mail> woobs@kt.com