

# C-HMI 기반의 원격지 중수도 설비 실시간 제어와 모니터링 구현

## Implementation of C-HMI based Real-time Control and Monitoring for Remote Wastewater Reclamation and Reusing System

이운선\* · 박만곤†  
(Un-Seon Lee · Man-Gon Park)

**Abstract** - The wastewater reclamation and reusing system has been rising as an alternative of water resource exhaustion that the whole world is experiencing. In order to be able to bring about improvement of the existing wastewater reclamation and reusing system, this research has developed of Conversion-Human Machine Interaction (C-HMI) based real-time control and monitoring system such as a sensor module and gate module, web monitoring system. This system was communication almost-error-free in various environment and situation. As a result, we have achieved our goal that has to doing work correctly as a sensor and gateway module that communication error is less than 0.2% throughout the embodied system and add that it can be easily controled and configured as an interface equipment to a complex sensor of water quality. According to this, the construction of a database capable of analyzing and assessing collection, storage and various elements of reliable water quality and flow rate data can be possible.

**Key Words** : Wastewater reclamation and reusing system, Conversion-human machine interaction(C-HMI), USN, Real-time control and monitoring

### 1. 서 론

중수도는 상수도에 의해 공급중인 용수 중 음용수와 동일한 정도의 청정을 필요로 하지 않는 용도에 적합한 수질의 물을 급수하는 것을 의미하며 전 세계적으로 격고 있는 수자원고갈의 대안으로 떠오르고 있다[1]. 이와 같은 상황을 고려해 볼 때, 기 사용한 물을 재활용할 수 있도록 하는 재처리 시설의 구축과 효율적인 운영이 중요할 수밖에 없다. 특히, 중수도 시스템은 설비 후, 공정을 통해서 생산, 공급되는 수질의 품질과 신뢰성 평가를 위해서 인위적 채수와 분석이 필수적이다[2]. 그러나 현재 구축되어 있는 중수도 설비 대다수는 채수와 분석이 오프라인으로 이루어지고 있어 상수 및 중수 공급에 따른 계량 측정에 한계가 존재할 수밖에 없다. 이와 같은 현실은 중수도 설비 시공자가 정기적으로 현장을 방문하는 경우가 발생하며, 사용자의 요청 시에도 현장 방문 횟수가 증가하는 등, 업무 공백이 많아지게 된다. 이를 해결하기 위해서는 중수도 설비 시스템이 IT와 융합되어 온라인으로 실시간 모니터링 및 제어가 이루어져야 하며, 공정 후 수질의 신뢰성, 그리고 상수 및 중수의 흐름을 체크하고 평가할 수 있어야 한다. 또한, 공정시스템 개선을 위해서는 색도와 탁도와 같은 수질 측정센서의 복합화 설계가

필요하며, 유량센서를 통해서도 인입되는 상수량과 생산 및 공급되는 중수와와 흐름을 자동 제어, 검증될 수 있도록 실시간 통제되어야 한다[3,4].

따라서 본 연구에서는 중수도 설비의 수질에 대한 실시간 평가를 목적으로 Conversions-Human Machine Interaction (C-HMI) 엔진시스템으로 실시간 통제를 위한 데이터수집 장치를 구축하여 통신에 대한 신뢰성을 검증하고자 하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 C-HMI 아키텍처와 엔진

##### 2.1.1 C-HMI 엔진 하드웨어와 시스템용 소프트웨어

C-HMI 아키텍처는 크게 엔진용 하드웨어와 엔진 시스템용 소프트웨어 API로 구성된다. PC와 하위 단계 모듈 간의 통신을 위한 개발게이트웨이는 이더넷, RS232, RS485, USB, 지그비(Zigbee) 등 다양한 통신 방법을 지원하고 엔진 시스템용 소프트웨어 API는 각 드라이버별 개발을 위해서 Visual C++가 사용되고 PC 애플리케이션 개발자가 쉽게 모듈을 제어할 수 있도록 구성된 전용 라이브러리를 지원한다.

##### 2.1.2 시스템 구성과 동작

C-HMI 엔진 시스템은 세부적으로 PC 기반의 하드웨어 제어와 다중 통신을 지원하는 게이트웨이 그리고 컨트롤 모듈로 구성되며, 그림 1과 같다.

† Corresponding Author : Dept. of IT Convergence and Application Engineering, Pukyong National University, Korea.

E-mail : mpark@pknu.ac.kr

\* Dept. of Smart Grid Electric, Electronic and Control, Korea Polytechnic IV, Korea.

Received : April 9, 2013; Accepted : April 22, 2013

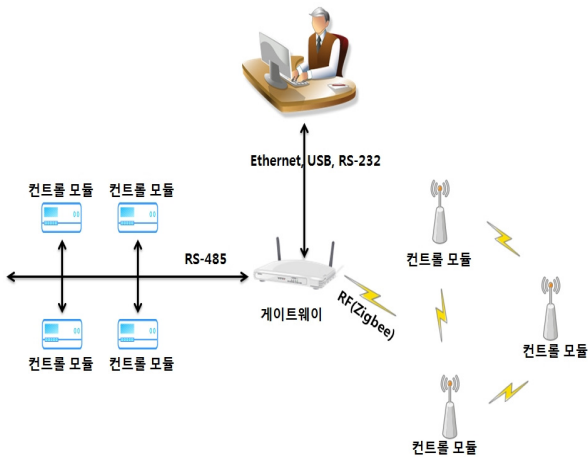


그림 1 C-HMI 엔진 시스템 동작 구성도  
Fig. 1 Configuration diagram of C-HMI engine system

C-HMI 엔진 시스템에서 마스터 PC는 시스템의 하위 단계의 각 디바이스에 명령을 내리고, 그들로부터 데이터를 수집하고, 수집한 데이터를 이용하여 새로운 명령을 내린다. 이더넷, RS232, RS485, USB, 지그비 등 다중 통신 인터페이스를 지원하는 게이트웨이는 PC와 하위 단계의 컨트롤 모듈 간에 다양한 유무선 통신 방법을 이용하여 제어 명령과 데이터가 이동되도록 한다. 게이트웨이와 하위 단계의 컨트롤 모듈과의 통신은 지그비 통신과 RS485 통신을 이용한다. 컨트롤 모듈은 개발자가 원하는 MCU의 사양을 선택할 수 있으며, 사양 별로 다양하게 개발된 MCU 모듈을 컨트롤 모듈에 탈부착시킬 수 있다. 또한, 지그비 통신과 RS485 통신 방법 중 선택할 수 있으며, 게이트웨이 및 다른 컨트롤 모듈과의 상호 인터페이스를 구축한다. 이와 같은 시스템 구성에 따라서 다양한 디바이스 드라이버의 탈부착 및 확장 또한 용이하다[6].

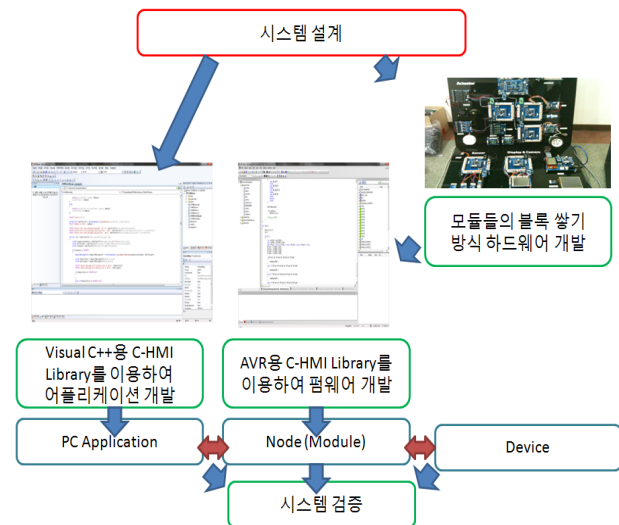


그림 2 응용시스템 개발을 위한 시스템 엔진의 적용[6]  
Fig. 2 Application of system engine for system development

시스템 구성을 위한 장치로는 컨트롤러 모듈 및 액추에이터, 센서부, 디스플레이, 게이트웨이 그리고 통신부로 이루어지며 응용시스템의 적용방법은 그림 2와 같다.

이와 같은 C-HMI 엔진 시스템은 게이트웨이로부터 각종 모듈들에 지그비 통신으로 제어 명령을 보내고, 센서 모듈들로부터 데이터를 수집하도록 구성된다. 또한, 이와 같이 구성된 시스템은 액추에이터를 움직이고, 디스플레이를 통해 데이터를 출력하도록 구현된다. 그림 3은 시스템 구동을 위한 프로토콜 상태를 나타내었다[7,8].

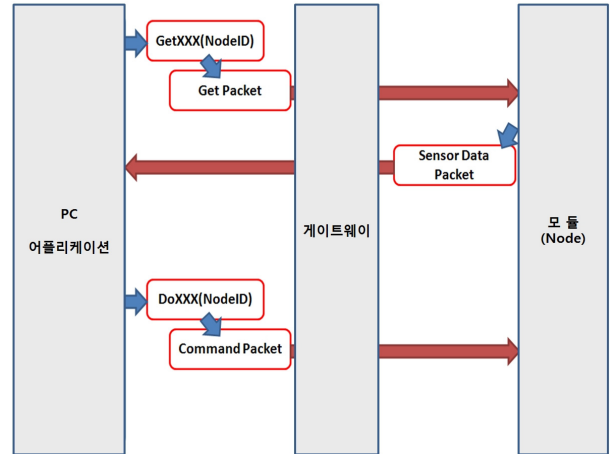


그림 3 시스템 구동을 위한 프로토콜 상태도  
Fig. 3 Protocol status-diagram for system drive

그림 3의 프로토콜 상태도에 따라서 시스템이 구동되고 적용하는데 C-HMI API 하드웨어 및 오픈 API를 사용하게 되며, PC 어플리케이션 개발자가 쉽게 모듈을 제어할 수 있도록 구성된 Visual C++ 전용 라이브러리를 지원한다. C-HMI 엔진용 하드웨어에는 (1)PC와 하위단계 모듈의 통신을 위한 컨트롤 게이트웨이 개발 (2)각종 디바이스에 맞는 하드웨어 컨트롤러 및 드라이버 개발을 포함하고 C-HMI 엔진용 소프트웨어는 각 드라이버별 Visual C++ API 개발이 가능하도록 한다. 적용되는 상세한 기술은 표 1과 같다.

표 1 C-HMI 엔진용 소프트웨어 API

Table 1 Software API for C-HMI engine

* C-HMI 엔진용 하드웨어	
* PC와 하위단계 모듈의 통신을 위한 컨트롤 게이트웨이 개발	
①	이더넷, RS232, RS485
②	USB, 지그비
* 각종 디바이스에 맞는 하드웨어 컨트롤러 및 드라이버 개발	
①	Motion Driver Module : Step Motor , DC Motor , Relay, FET Driver
②	Display Module : TFT LCD
③	Sensor Driver Module : 온도도센서, 자이로센서, 가속도센서, 전류센서
④	TouchPad Driver Module : 4선식 터치패드 입력부
* C-HMI 엔진용 Software API	
①	각 드라이버별 Visual C++ API 개발

이와 같은 기술이 적용되면 (1)RS485 또는 무선 RF 통신을 통한 프로토콜 기반의 제어와 (2)해당 모듈에 적합한 MCU를 모듈 별로 선택적 장착이 가능하며 (3)기본 모듈 외의 추가적인 모듈 확장에 대한 용이성과 (4)각 노드의 컨트롤 모듈 프로그램 제작을 통해 실시간 제어 및 독립적인 기능 수행이 가능하다. 끝으로 (5)PC 어플리케이션 개발자 수준의 손쉬운 개발 환경 구축 가능성을 높여 줄 수 있다.

## 2.2 시스템 설계 및 구현

### 2.2.1 시스템 설계

중수도 설비의 실시간 제어 동작 방법은 그림 4와 같이 원수 주입에서부터 최종 중수처리 공정 후의 수질상태를 측정, 분석하고 생산, 공급되는 중수 및 인입되는 상수량을 평가할 수 있도록 센서 및 유량계를 부착한다. 부착된 장치로부터 실시간 데이터를 전송받을 수 있도록 인터페이스 모듈과 통신모듈을 구현한다. 이를 통해서 수집된 수질데이터와 중수 및 상수량 데이터를 실시간 모니터링이 가능하도록 서버가 구성된다. 또한, 서버에 구현된 알고리즘을 통해서 실시간 전송된 수질데이터의 이상 유무를 평가할 수 있는 재검증 처리와 생산된 중수량과 자동 인입될 상수량의 평가 및 자동제어를 통해서 시각적 통계자료 및 경제적 타당성 평가를 수행할 수 있게 된다.

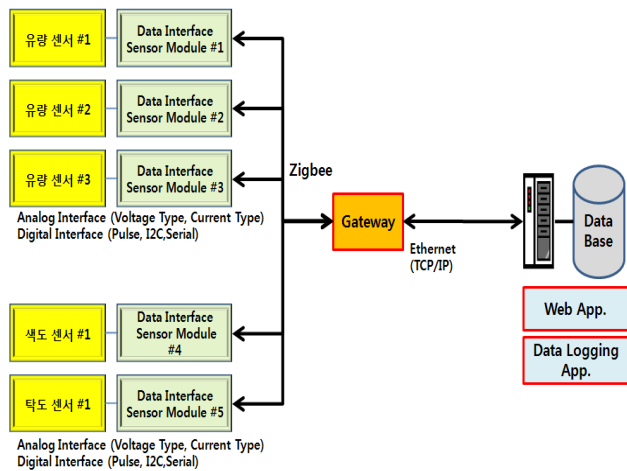


그림 4 IT융합 중수시스템의 동작 구성도

Fig. 4 Behavior configuration of IT convergence wastewater reclamation and reusing system

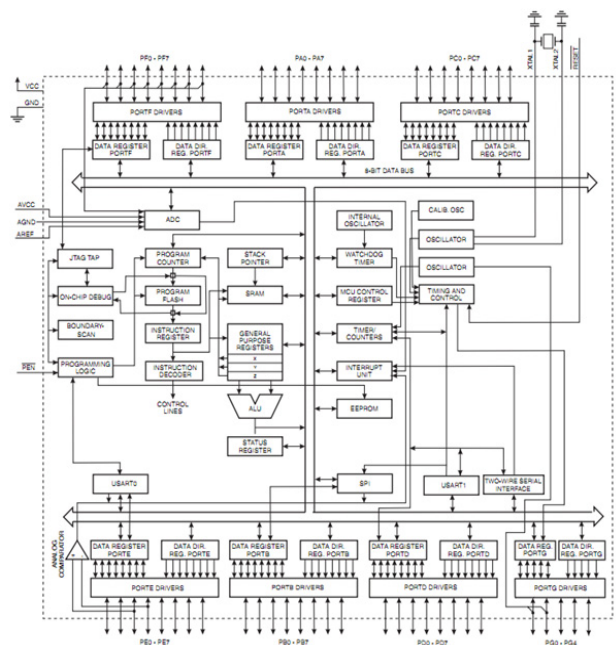
IT융합 중수시스템 구동을 위해서 C-HMI 기반 블록형태의 프로토타입을 적용했으며, 복합형 노드제어가 가능하도록 구현되었다. 센서노드에는 MCU, Power, LCD, Sensor Input, 지그비 부분으로 구성되며, 게이트웨이노드에는 Ethernet, 지그비 통신모듈이 부가된다. 본 시스템은 MCU를 중심으로 지그비 인터페이스, 센서에 대한 디지털 및 아날로그 입력장치, 문자 출력을 위한 LCD(16×2) 등이 포함된다.

MCU는 ATmel사의 8-bit RISC방식의 시스템을 적용했으며, 16Mhz 클럭과 4.5~ 5.5V의 입력전원을 포함한다. 또한, 지그비는 펌테크사의 FZ760BS 모듈을 사용한다.

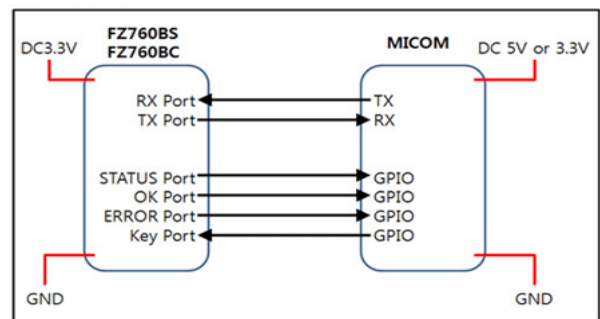
통신모듈을 위해서는 IEE 802.15.4의 무선 규격과 2.4Ghz ISM 대역, 3.3V의 입력, 그리고 UART 인터페이스를 포함하였다. 안정된 통신을 위해서 PC와 RS-232 인터페이스로 접속되며, 이더넷 인터페이스와 동일한 데이터 송/수신을 행하되, 이더넷 인터페이스는 위즈넷사의 WIZ107SR이 사용된다[9].

센서 입력을 위한 디지털 및 아날로그 2채널을 포함하며, 디지털 입력 범위는 5~24V로 하고, 아날로그의 전압 입력 범위는 0~5V, 아날로그의 전류 입력범위는 0~20mA로 한다.

그림 5(a)는 MCU로 사용된 ATmega128에 대한 블록다이아그램이고, 그림 5(b)는 FZ760BS 모듈과 MCU와의 연결도를 나타낸다.



(a) ATmega128 블록다이아그램  
(a) Block diagram of ATmega128

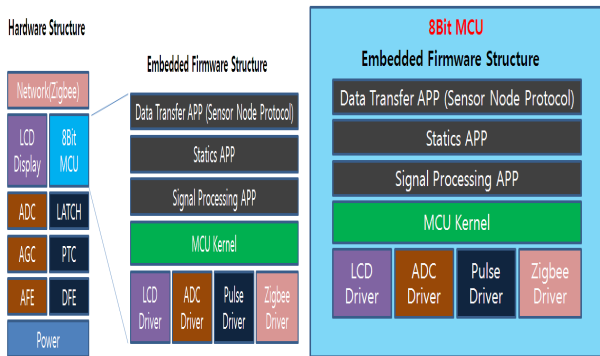


(b) 모듈과 MCU의 연결도  
(b) Connection Diagram of module and MCU

그림 5 MCU 블록다이아그램 및 모듈 & MCU의 연결도  
Fig. 5 Block diagram of ATmega128, connection diagram of between module and MCU

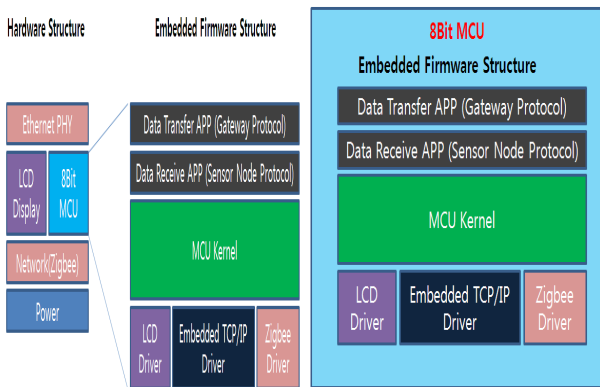
### 2.2.2 시스템 구현

C-HMI 기반으로 하는 중수도 원격 실시간제어를 위해서는 먼저, 수질센서의 복합구성을 필요로 한다. 또한, 수질 및 유량센서로부터의 실시간 데이터(전류, 펄스방식) 전송을 위한 모듈 제어와 전용프로토콜을 구성하되 공정 구동시 발생할 수 있는 노이즈를 개선하고 제거할 수 있는 하우징과 캘리브레이션 처리기능을 포함한다[10].



(a) 센서노드의 하드웨어 및 펌웨어 구조도

(a) Hardware of sensor node and structure diagram of firmware



(b) 게이트웨이 노드의 하드웨어 및 펌웨어 구조도

(b) Hardware of G/W node and structure diagram of firmware

그림 6 하드웨어 및 펌웨어 구조도

Fig. 6 Hardware and structure diagram of firmware

게이트웨이 모듈은 실시간 데이터 전송을 위해서 이더넷으로 바이패스하는 역할과 센서모듈로부터 폴링으로 데이터를 받아올 수 있도록 하는 제어장치가 요구되며, 전용프로토콜 기능을 수행하도록 한다. 여기에 구성되는 하드웨어 및 펌웨어 구조는 그림 6과 같다.

### 2.2.3 전송프로토콜 및 엔진의 구성

센서노드로부터 게이트웨이간 또는 게이트웨이로부터 미들웨어간 주고받는 모든 메시지는 16진수로 표현되며, 메시지 패킷은 표 2, 3과 같은 구조가 되도록 정의한다.

표 2 데이터 전송을 위한 패킷구조와 설명

Table 2 Packet structure and description for data transmission

패킷명	센서 노드	센서1	Data1	센서2	Data2	센서3	Data3
패킷명		패킷설명					
센서노드		센서노드의 ID 표시					
센서1		센서노드에 연결되는 1번 센서의 ID표시(0xFF)					
Data1		1번 센서의 데이터 표시(High byte+Low byte)					
센서2		센서노드에 연결되는 2번 센서의 ID표시(0xFE)					
Data2		2번 센서의 데이터 표시(High byte+Low byte)					
센서3		센서노드에 연결되는 3번 센서의 ID표시(0xFD)					
Data3		3번 센서의 데이터 표시(High byte+Low byte)					
센서4		센서노드에 연결되는 4번 센서의 ID표시(0xFC)					
Data4		4번 센서의 데이터 표시(High byte+Low byte)					
지그비엔터		지그비 데이터 전송 시 엔터키 기능용 패킷(0x0D)					
전송완료		지그비 데이터 전송 마지막을 알리는 패킷(0x0A)					

표 3 메시지 패킷 구조와 설명

Table 3 Packet structure and description of message

STX	Data1	Data2	Data3	Data4	Data5	Checksum	ETX
-----	-------	-------	-------	-------	-------	----------	-----

패킷명	패킷설명
STX	0x02; Start byte
Data1	4bytes - float
Data1	4bytes - float
Data1	4bytes - float
Data1	4bytes - float
Data1	4bytes - float
Checksum	1bytes - unsigned integer Data1의 첫 번째 바이트로부터 Data5의 네 번째 바이트까지 모든 바이트를 더한 값 &0xff로 함
STX	0x03; Stop byte

### 2.3 시스템 테스트

본 논문에서 제안된 시스템 구현을 위해서 블록 형태의 프로토타입이 적용된 C-HMI API가 적용되었다. 즉, C-HMI API를 통해 센서의 값을 읽을 수 있고, 모터, Relay, FET로 명령을 내린다. 이번 테스트 구현에서는 PC와 게이트웨이 간에는 RS232 방식으로 통신하고, 게이트웨이와 각종 하위 모듈들과는 무선 지그비 방식으로 통신하는 것으로 동작을 검증했다. 또한, 시스템 동작 테스트를 위해서 1)데이터 전송률 상태와, 2)8비트 샘플링/10Sec, 3)통신 중의 노이즈 상태 그리고 4)미들웨어 동작 및 센서노드 패킷 상태를 분석하는 것으로 했다.

그림 7은 실험구현에 따른 테스트 상태를 나타내고 있다. 그림 7(a)는 센서노드로부터 수집된 데이터를 무선으로 전



는 모니터링 시스템을 구축할 수 있게 되며, 추가적인 복합형 노드제어 기술을 쉽게 적용할 수 있는 기반을 갖추게 되었다.

향후, 1)본 시스템 구성상 보이는 복합형 노드제어 기술을 이용하여 지원 가능한 디바이스를 많이 확보할 수 있도록 하고, 2)경제적 타당성 평가를 위한 분석인자의 발견과 정량화 등이 가능할 수 있도록 지능화된 응용기술을 확보해야 한다.

**References**

[1] Ministry of Environment, "Enable the reuse of water, the new alternative to overcome drought", Dept. of Water Industry Promotion, 2009.2.

[2] Hang-Sik Shin, "Present tendencies and Strategic Direction for the Development of Wastewater Reclamation and Reusing in Korea", Land Development Technology, Vol. 12, No. 2, pp57-67, 2000.3.

[3] Dae Sung Lee, Woo, Seung-Han, "Real-time monitoring sensor in Biological process for wastewater treatment", DICER TechInfo Part I, Vol. 5, No. 5, pp68-86, 2006.

[4] Che Ok Jeon, Dae Sung Lee, "Technology Trends Survey status and the development of a new process for advanced water treatment process modeling, control, and monitoring systems", DICER TechInfo Part I, Vol. 5, No. 5, pp.1-34, 2006.

[5] Gernaey K., Bogaert H., Vanrolleghem P., Van Vooren L. and Verstraete W. (1998) Sensors for nitrogen removal monitoring in wastewater treatment. In: Environmental Bio-monitoring: The Ecotoxicology Biotechnology Interface. Eds. Lynch J.M. and Wiseman A., Cambridge University Press, UK.180-207.

[6] Tae-Jin Park, Un-Seon Lee, Myung-Kee Jang, Young-Tae Seok, Tea-Hyung Kang, "Implementation of C-HMI engine for Interactive Robot", The Institute of Electronics Engineers of Korea, 2010 IEEE SUMMER CONFERENCE, pp.2149-2153, 2010.06.

[7] C. Breazeal, "Social interactions in HRI: The robot view," IEEE Trans Systems, Man, and Cybernetics-Part C: Applications and Reviews, Vol. 34, No. 2, pp.181-186, 2004.

[8] Thora Tenbrink, Communicative Aspects of Human-Robot Interaction, Proceedings of the International Futuristic Conference On Language Development, 2001.

[9] C. C. Enz, A. El-Hoiydi, J-D. Decotignie, V. Peiris, "WiseNET: An Ultralow-Power Wireless Sensor Network Solution," IEEE Computer, August 2004.

[10] S. Lindsey and C. Raghavendra, "PEGASIS:

Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems," IEEE Aerospace Conf. Proc., 2002.

**저 자 소 개**



**이 윤 선 (李 雲 善)**

한국기술교육대학교 정보통신공학 (공학사), 한국기술교육대학교 산업기술공학 (공학석사), 부경대학교 첨단정보과학 및 정보기술 국제화협동과정 (박사수료), 2006년~현재 한국폴리텍IV대학 SG전기 전자제어과 조교수  
 관심분야 : USN응용시스템, 스마트그리드, 자동제어시스템, 멀티미디어정보처리 기술



**박 만 곤 (朴 萬 坤)**

경북대학교 수학교육 (이학사), 경북대학교 수학교육 (교육학석사), 경북대학교 전산통계학 (이학박사), Philippine Women's University (국제행정학석사), University of Rizal System, Philippines (명예 기술학박사), Dept. of Electrical & Computer Engineering, University of Kansas (Post Doc.), 1981년~현재 부경대학교 IT융합응용공학과 교수, 2008년~현재 한국멀티미디어학회(KMMS) 회장 및 명예 회장, 2002년~2007년 정부간 국제기구 CPSC (콜롬비아폴렌기술교육대학) 총재 (Director General and CEO), 2004년~2007년 Asia Pacific Accreditation and Certification Commission 아태지역 인증 및 검증위원회 위원장, 2005년~2007년 유네스코 (UNESCO-UNEVOC) 자문위원, 아시아개발은행 자문관  
 관심분야 : 소프트웨어신뢰성공학, 비즈니스 프로세스 재공학(BPR), 소프트웨어 공학 및 재공학, 멀티미디어정보 처리기술, ICT-based HRD System, 정보시스템성능평가