

## 전력선 통신을 이용한 가정용 원격 검침 시스템에 관한 연구

신일식† · 유영호\*

(원고접수일 : 2005년 6월 30일, 심사완료일 : 2005년 8월 26일)

### A Study on Home Telemetry System using Power Line Communication

Il-Sik Shin† · Yung-Ho Yu\*

**Abstract** : In this paper telemetry system for home automation is proposed and implemented. Proposed and developed systems are composed with a home server and a few clients which send metering data of gas, electric power, water and home security to home server using power line communication. Management computer located in office of apartment complex collects all kinds of measured home data from each home server with multi drop communication by UDP protocol. A simple ASK method is used for power line communication. Collected data from each home can be used for issuing the bill of each house and web service. The experiments were carried out under laboratory environment using various kinds of electric home appliances to ascertain the performance.

**Key words** : Telemetry(원격검침), Home automation(가정 자동화), Power line communication(전력선 통신)

### 1. 서 론

최근 고속 인터넷 서비스의 성숙과 함께 첨단 가정용 네트워크 서비스의 필요성이 부각되면서 소비자는 가정외부에서 집안의 상황을 모니터링하고 필요한 가전기기를 제어하는 욕구가 증대되었다. 또한 가전사는 자사가 전기기기의 상태를 원격지에서 감시 및 진단을 행하고 성능을 향상시켜 주는 서비스의 필요성을 갖게 되었다<sup>[1]</sup>. 하지만 홈 네트워크 서비스의 한 분야인 가정용 계량기 검침

은 여전히 인력에 의해 의존하고 있다. 이는 현재의 통신기술 및 자동제어 분야의 발전과 활용에 비하면 비정상적으로 낙후되어 있다.

본 논문에서는 가스, 수도, 운수, 전기등의 가정용 계량기 검침을 원격검침관리시스템으로 구현하였으며 설치비를 줄이고 실용성의 초점을 맞추기 위하여 전력선 통신을 이용하였다. 그리고 지역별 각 가정의 검침데이터를 관리하는 시스템은 인터넷을 이용하여 관리실 서버의 데이터베이스에 저장하는 시스템을 구현하였다<sup>[1], [2]</sup>.

† 책임저자(한국과학기술원 인공위성연구센터), E-mail: isshin@satrec.kaist.ac.kr, Tel: 042)869-8623

\* 한국해양대학교 IT공학부

## 2. 전체 시스템의 개요

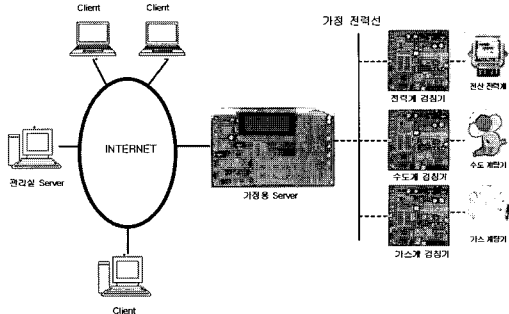


Fig. 1 Configuration of the home telemetering system using PLC

Fig. 1은 한 가정의 시스템 구성도로써 시스템은 한 개의 서버와 수 개의 클라이언트로 구성되어 있다. 클라이언트는 시스템의 데이터 처리, 저장 및 I/O 입출력 등을 관장하는 중앙처리장치, 충전부, 전력선 통신부로 구성되어 있고, 서버는 인터넷 통신을 관장하는 중앙처리장치와 충전부 및 전력선 통신부로 구성되어 있다.

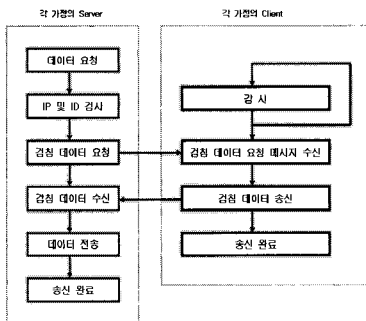


Fig. 2 Flow chart of system

Fig. 2는 시스템의 동작 흐름도로써 관리실 서버에서 인터넷으로 각 세대에 원격 검침 데이터를 요청하면 가정용 서버는 IP주소 및 ID를 검사한다. 만약 IP주소 및 ID가 동일할 경우 저장되어 있던 원격 검침 데이터를 전송하고 그렇지 않으면 패킷을 폐기한다. 또한 각 가정내의 원격 검침은 30 sec간격으로 클라이언트 시스템이 전력선 통신을 이용하여 서버 시스템에게 검침 데이터를 송신하고 서버 시스템은 수신되어진 검침 데이터를

저장한다. 그리고 보안기능을 추가하여 사용자가 의출할 경우 의출모드 기능으로 전환하여 현관문 및 창문이 열린 후 인증 받지 못하면 관리실과 세대주의 휴대폰에 경보메시지를 전송함으로써 각 세대의 보안감시를 관리실에 의해서 자동으로 행할 수 있도록 한다.

## 3. 전력선 통신 시스템

본 논문에서 구현한 전력선 통신의 시스템은 Fig. 3 과 같이 가정용 사용 전압인 220V/110V가 인가되면 중앙처리장치의 전원을 공급하기 위하여 DC 5V로 변환한다. 전력선 통신의 송·수신 회로는 가정용 전력주파수를 분리하기 위하여 고역통과필터회로를 사용한다. 따라서 수신회로는 전력 주파수를 제거하고 데이터만 통과시켜 중앙처리장치에 데이터를 전송하고 송신회로는 펄스트랜스를 이용하여 데이터를 전력선으로 정합한다.

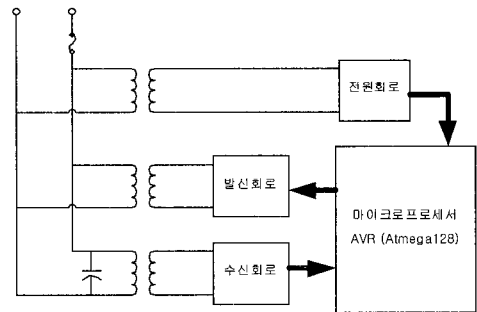


Fig. 3 Power line communication system

Table 1 Design specifications of the system using PLC

항 목	내 용	항 목	내 용
반송주파수	1 MHz	전송속도	4800[bps]
변조방식	ASK	회선구성형태	multidrop
통신프로토콜	전 용	네트워크구성	서버 클라이언트
펄스트랜스 출력	0.6 W	접속 유닛수	최대 16
출력전류	200 mA	콜렉터 전압	12 V

Table 1 은 본 시스템의 전력선 통신 설계사양을 나타내었다. 반송 주파수가 클수록 전송 선로 임피던스는 증가하지만, 용량성 임피던스는 알 수 없기 때문에 주위의 전기기기가 가지는 공진 주파수등을 고려하여 1MHz로 설계하였다. 전송속도는 높을수록 좋지만 본 시스템의 특성상 신뢰성을 높이기 위하여 4800 bps 로 구현하였다.

3.1 수신회로의 설계

전력선 통신 수신회로는 전원 주파수를 차단하고 반송 주파수를 통과시키는 고역통과필터를 회로를 설계하여 전력선 통신 데이터의 신호는 수신하지 않도록 하였다. 임피던스  $Z_1$ 과 병렬 접속된 임피던스  $Z_2$ 가 회로를 이루는 정K형 필터에서 LC의 관계는 식(1)과 같다.

$$Z_1 Z_2 = \frac{L}{C} = K^2 \tag{1}$$

식(1)에서 L과 C에 따라서 차단 주파수가 결정된다. 본 논문에서는 전력선 전송 주파수가 1MHz이므로 선로의 용량성 임피던스 및 용통성등을 고려하여 여러번의 실험을 통하여 고역 통과 필터회로를 설계하였다. 공칭 임피던스는 신호감쇠를 감안하여  $10 \Omega$  이하로 설계하였고 전력선 노이즈 등을 고려하여 차단 주파수를 75KHz로 설계하였다.

식(1)에서 K는

$$K = \sqrt{\frac{L}{C}} \tag{2}$$

이므로 차단 각주파수  $W_c$  는 식(3)으로 나타낼 수 있고 C와 L는 식(4)와 (5)를 이용하여 C 는 0.1uF로, L은 10uH로 설계하였다.

$$W_c = \frac{1}{2KC} = \frac{1}{2\sqrt{LC}} \tag{3}$$

$$C = \frac{1}{4\pi f_c K} \tag{4}$$

$$L = K^{2C} \tag{5}$$

펄스 트랜스의 2차측에 유도되는 기전력의 비는 권수비에 의해 비례하므로 2차측의 권수비는 1:2로 하여 펄스 트랜스를 설계하였다.

3.2 송신회로 설계

전력선 통신의 송신회로는 Fig. 4 과 같이 설계하였다. 따라서 전력선 선로에 신호를 정합하기 위한 펄스 트랜스 설계에 있어서 선택도  $Q_L$ 는 식(7)에서 나타내었다.

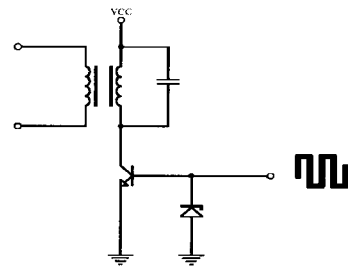


Fig. 4 Transmission circuit of a power line communication

$$Q_L = \frac{R}{X_L} \tag{7}$$

- $Q_L$  : 병렬공진회로의 첨예도
- $R$  : 코일의 병렬저항
- $X_L$  : 펄스 트랜스의 코일 리액턴스

부하가 걸렸을 때 선로임피던스를 1차측으로 합산하여 펄스 트랜스의 L은 식(8)로 구해진다.

$$L = \frac{R_q // |Z_{LN}'|}{2 \times \pi \times F_0 \times Q_L} \tag{8}$$

- $F_0$  : 반송 주파수
- $Q_L$  : 부하가 걸렸을 때의 병렬공진회로의 첨예도
- $R_q$  : 펄스 트랜스 손실을 모델화한 병렬저항
- $Z_{LN}$  : 전력선 선로 임피던스
- $|Z_{LN}'|$  : 선로 임피던스  $Z_{LN}$  의 반사 임피던스

첨예도  $Q_L$  과 대역폭  $BW$ 와의 관계는

$$Q_L = \frac{1}{BW(\% \text{ of } F_0)} \quad (9)$$

이므로 반송주파수에 대한 편차를  $\pm 2.2\%$ 로, 반송주파수에 대한 전력 주파수  $\Delta f$ 를  $3.3\%$  그리고 반송주파수에 대한 시정수를  $1\%$ 로 설정하여,  $Q_L$  은  $11.5$  가 된다. 전송선로 임피던스의 특성은 식 (10)으로 나타낼 수 있다.

$$|Z| = 0.005 \times f^{0.63} \Omega \quad (10)$$

식(10)을 이용하여  $1\text{MHz}$  주파수의 전송 선로 임피던스를 구해보면  $30.1\Omega$  가 구해진다.

펄스 트랜스에서 소비되는 최대 전력  $P_0$ 는

$$P_0 = I_0 \times V_0 = \frac{I_{OPP}}{2\sqrt{2}} \times \frac{2V_{CC}}{2\sqrt{2}} \quad (11)$$

설계 사양에 따라 최대 소비전력은  $0.6\text{W}$  가 구해진다.

$$R_Q // Z_{LN}' = \frac{V_0^2}{P_0} \quad (12)$$

이므로  $V_0$ 와  $P_0$ 의 값을 대입하면  $R_Q // Z_{LN}'$  은  $240\Omega$  가 구해지며 따라서 식(8)에 대입하여 설계사양을 고려한 펄스트랜스의  $L$ 를 구하면  $4\mu\text{H}$  가 구해진다. 또한 병렬공진을 위해 필요한 공진 콘덴서는

$$C = \frac{1}{(2 \times \pi \times F_0)^2 \times L} \quad (13)$$

$C$ 는  $9\text{nF}$  이 구해진다<sup>[11]</sup>.

### 3.3 전력선 통신 패키지 구조

전력선 통신의 패킷 구조는 서버에서 클라이언트로 전송하는 패킷과 클라이언트에서 서버로 전송하는 패킷으로 나누어진다.

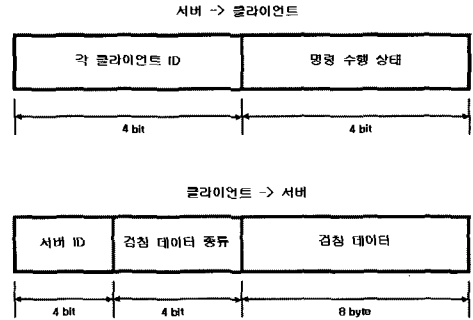


Fig. 5 Packet format of the power line communication

Fig. 5 에서 보는 바와 같이 서버에서 클라이언트로 전송하는 패킷은 1바이트로 구성하며 상위 4비트는 클라이언트 ID를 나타내며 하위 4비트는 명령수행 상태를 나타낸다. ID는 4비트이기 때문에 서버 ID를 제외한 총 15개의 클라이언트 시스템을 구성할 수 있고, 명령수행도 16개의 명령을 수행할 수 있다. 클라이언트가 서버에게 전송하는 패킷구조는 서버 ID와 검침 데이터 종류를 합하여 1바이트의 헤더부분과 검침데이터 8바이트로 구성되어 있다.

## 4. 인터넷 감시 시스템

본 연구에서 각 가정에서 사용한 자원데이터와 보안감시를 위하여 UDP/IP 프로토콜을 이용하였다. UDP/IP 프로토콜은 인터넷으로 데이터가 입력이 되면 IP를 검사를 한다. IP가 동일할 경우 ARP 또는 IP 패킷 형식을 검사하고 ARP 요구 패킷일 경우 응답 패킷을 만들어 전송하고 IP 패킷일 경우 UDP 응답 패킷을 만들어 전송한다<sup>[4]</sup>.

ARP 프로토콜은 Ethernet 인터페이스 고유의 MAC 어드레스를 가지고 있다. 모두 48비트로 구성되어 있으며 8비트씩 나누어 표기를 한다. 데이터링크층에서는 하드웨어 어드레스에 의해 노드를 식별하여 통신하지만 네트워크 층에서는 IP 어드레스를 이용하여 통신을 해야 한다. 따라서 IP 어드레스를 하드웨어 어드레스로 변환이나 하드웨어 어드레스를 IP 어드레스로의 변환이 필요

하게 된다. 여기에서 사용되는 것이 ARP 프로토콜이다.

UDP/IP 패킷은 비 연결형 데이터그램 통신으로서 헤더 처리에 필요한 오버헤드가 적어 간단한 패킷을 주고받는 경우에 아주 적합하다. Ethernet, IP, UDP의 세 가지 프로토콜로 나뉘어 진다.

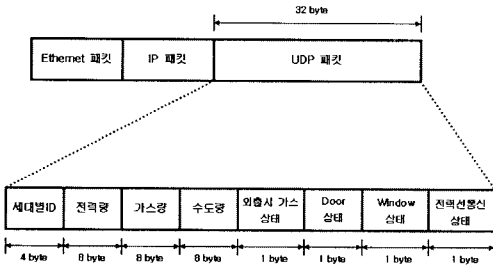


Fig. 6 UDP data formats

Fig. 6 은 각 가정의 서버 시스템이 관리실 서버 시스템에게 전송하는 UDP/IP 패킷구조를 나타내었다. 각 가정의 세대별 ID를 나타내는 세대 번호와 전력량, 가스량, 수도량등의 원격 검침 데이터, 외출시 가스 사용상태와 외출시 보안 상태를 확인하기위해 현관문 상태 및 창문상태, 가정내의 전력선통신상태를 원격으로 점검하기 위한 전력선통신상태점검 데이터로 구성되어있다<sup>[3], [4]</sup>.

### 5. 개발된 H/W

Fig. 7은 각 세대별 검침 데이터를 관리하고 관리실과 인터넷으로 통신하기 위하여 구현되어진 서버 시스템이다.

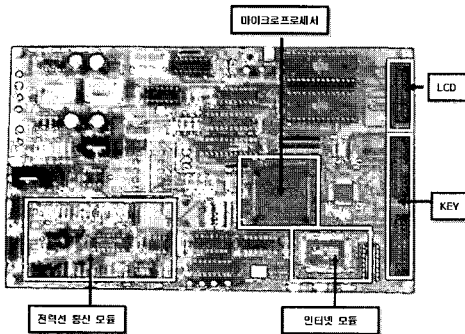


Fig. 7 Developed server system

서버 시스템은 전력선 통신 모듈, 인터넷 통신 모듈, 키와 LCD로 구성되어 있으며 저장성 데이터는 비 휘발성 RAM에 순시성 데이터는 휘발성 RAM에 저장한다. 충전용 배터리를 사용하며 평상시에는 배터리를 충전하고 정전 시에는 배터리를 사용하여 항시 가정내의 검침이 가능토록 하였으며 검침 데이터는 불휘발성 RAM에 저장된다.

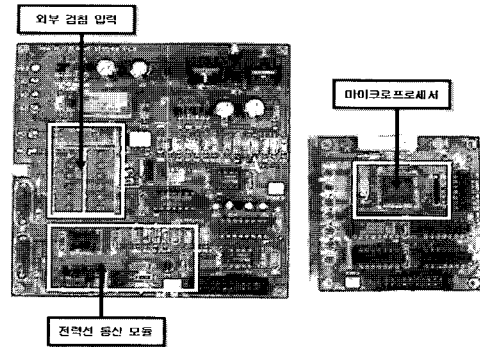


Fig. 8 Developed client system

Fig. 8 은 각 세대별 가스, 수도, 전력량을 검침하고 전력선통신으로 서버에 데이터를 전송하기 위하여 구현된 클라이언트 시스템이다. 클라이언트 시스템은 AVR을 사용하여 소형화하고 서버와 같이 충전용 배터리를 사용하여 정전 시에도 검침이 이루어지도록 하였다.

### 6. 실험 및 고찰

실험은 보통 가정집에 사용하는 HIV 1.6mm의 옥내배선용 동선을 50m씩 6회 회전하여 총 300m의 전력선로를 구성하고 100m마다 3구 플러그를 설치하여 서버시스템과 다수의 클라이언트 시스템을 연결하여 거리를 변화시켜가며 실험을 행하였다. 또한 다양한 가전제품을 사용하는 가정 환경에서도 원활하게 동작하는지를 확인하기 위하여 거리를 변경시켜가며 콘센트에 컴퓨터, 진공소제기, 전동 치솔, 전동공구 등을 사용하면서 시스템의 동작 성능을 확인하였다.

또한 Blocking Filter를 사용함으로써 반송통신에 사용되는 송수신 신호가 외부로 송출되어 인

접한 가정에 침입하여 시스템 동작을 방해하지 않도록 함과 동시에 가정내의 신호레벨을 높혀 동작의 신뢰성을 높일 수 있었다<sup>2)</sup>.

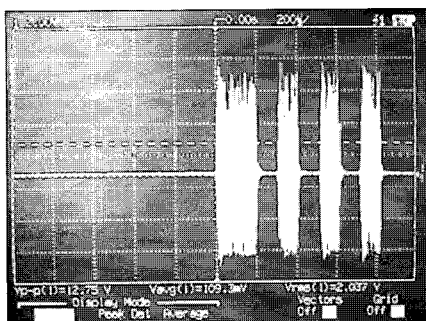


Fig. 9 Signal of transmission side of coupling transformer

Fig. 9은 클라이언트시스템이 서버 시스템으로 보내는 4800bps에 해당하는 검침 데이터이며, Fig. 10 은 서버 시스템에서 수신되어진 검침 데이터를 나타낸 것이다.

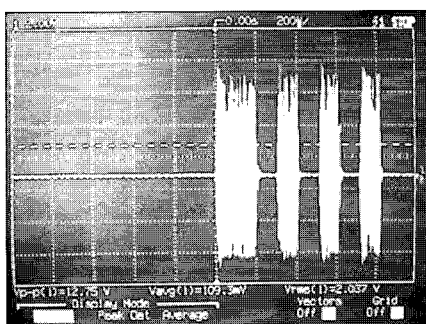


Fig. 10 Received signal of transmission side of coupling transformer

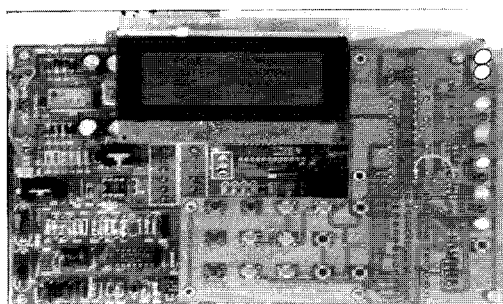


Fig. 11 Display of home telemetering data

	시	상	시	소	분	초	주	분	초	주	분	초	주	분	초	주	분	초	
전력선	1995.04.21	23:58	1302	4219	2784	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
가스	1995.04.21	23:58	1302	4219	2784	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
수돗물	1995.04.21	23:58	1302	4219	2784	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
가스	1995.04.21	23:58	1302	4219	2784	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
수돗물	1995.04.21	23:58	1302	4219	2784	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
전력선	1995.04.21	23:58	1302	4219	2784	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
가스	1995.04.21	23:58	1302	4219	2784	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
수돗물	1995.04.21	23:58	1302	4219	2784	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
가스	1995.04.21	23:58	1302	4219	2784	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
수돗물	1995.04.21	23:58	1302	4219	2784	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
전력선	1995.04.21	23:58	1302	4219	2784	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
가스	1995.04.21	23:58	1302	4219	2784	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
수돗물	1995.04.21	23:58	1302	4219	2784	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
가스	1995.04.21	23:58	1302	4219	2784	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
수돗물	1995.04.21	23:58	1302	4219	2784	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15

Fig. 12 Developed monitoring system

Fig. 11은 서버시스템의 LCD로 검침데이터를 출력한 결과이고 Fig. 12 는 관리실 서버의 모니터링 시스템의 출력화면을 나타낸 것이다.

## 7. 결 론

본 논문은 각 가정의 가스, 수도, 전력량 등 자원 사용량과 보안감시 데이터를 전력선 통신과 인터넷을 이용하여 관리실에서 직접 검침하고 관리하는 시스템을 구현하였다. 전력선 통신을 이용하였기 때문에 별도의 통신회선을 설치할 필요가 없어 설치비를 줄일 수 있고, 제안된 전력선통신실험을 행한 결과 300m이내의 거리에서는 안정적인 동작을 확인할 수 있었다.

향후 연구과제는 조명제어 등 가정내의 모든 제어 감시를 전력선통신으로 이루어질 수 있도록 적용을 확대하는 방안과 국제적으로 논의되고 있는 홈 네트워크의 프로토콜을 수용하여 구현하는 연구를 계속할 예정이다.

## 참고문헌

[1] H. C. Jo, "Development of the Remote Meter Reading System Using a Power Line Communication and PSTN", Thesis of master Knagwon National University, 2002.  
 [2] 김영엽, 문복산, 유영호, "전력선 반송통을 이용한 전기기기 전원제어 시스템에 관한 연구," 박용기관학회지, 제25권, 제4호, pp. 889-897, 2001.

- [3] 유영호, "전력선통신의 현황과 전망," 한국박용기 관학회지, 제25권, 제2호, 2001.
- [4] 서인호, "마이크로 프로세서를 이용한 인터넷 원격감시제어 시스템에 관한 연구," 한국해양대학교, 2001.
- [5] 강혁국 외4, TCP/IP 인터넷워킹, 그린, 2000.
- [6] "고속 전력선 통신망 기술개발에 관한 연구 과제," 산업자원부, 1996.
- [7] Phil Sutterlin and Walter Downey, A Power Line Communication Tutorial Challenges and Technologies, Echelon Corpartion, Echelon white paper.

## 저 자 소 개



**신일식 (申一澁)**

1976년 9월생, 2002년 2월 동명정보대학교 정보통신공학과 졸업, 2004년 9월 한국해양대학교 대학원(공학석사), 현재 한국과학기술원 인공위성연구센터 연구원.



**유영호 (劉永昊)**

1950년 10월생, 1974년 한국해양대학교기관학과 졸업(공학사), 1986년 한국해양대학교대학원졸업(공학석사), 1990년 한국해양대학교대학원졸업(공학박사), 1978~1980년 한국선급협회 기관검사원, 1983~1991년 한국해양수산연수원 교수, 1994~현재 KOSME평의원, 1996~1997, 2000~2002 KOSME재무이사, 1997~1998 영국웨일즈대 연구교수, 2002~2003 한국해양대학교 교무처장, 1991~현재 한국해양대학교 IT공학부 교수,