

電力線搬送通信을 利用한 탱크모니터링 시스템의 開發에 관한 研究

김 형 기¹⁾, 劉 永 昊²⁾

A Study on the Development of Tank Monitoring System Using
Power Line Carrier Communication

Hyung-ki Kim , Yung-Ho Yu

ABSTRACT

This study describes the design and implementation of tank monitoring system using the Power Line carrier Communication(PLC). In order to monitor the level and temperature of the tank, a lot of gauges are used in a ship and the industry, which the target system to be measured is spread out to wide area, so the cost of installing a communication line is very high. Recently, to reduce the installation cost, many kinds of control and monitoring systems tend to use the method of power line carrier communication.

A tank monitoring system monitors four analog signals of the tank ; one for level and three for temperature, is developed using the power line carrier communication with embedded microprocessor (80c196KC). The system consists of two parts. The one is main system which monitors local gauges, the other is local gauge which measures the analog signals of the tank. The signals between them are transmitted through the power line with FSK(frequency shift keying) modulation of PCM baseband data signals. Received signals at the power connection are demodulated by PLL(phase locked loop) demodulation, so reliable data are transferred.

This experiment of PLC was carried out with 150m power line of 10.4 Ω . In this case, we select the carrier frequency of 24KHz because amplitude attenuation of power line is low at the 10KHz~30KHz frequency. This carrier frequency is synchronized with a 1200bps data rate.

1)한국해양대학교 제어계측공학과 석사과정 제어공학전공

2)한국해양대학교 제어계측공학과 교수

제 1 장 서 론

현재 선박과 플랜트 산업현장에서 각종 탱크의 레벨 및 온도를 자동으로 측정하여 감시하는 게이지들이 사용되고 있다. 하지만 많은 타겟 시스템이 수 km에 걸쳐 분산되어 있을 경우 이를 통합하여 종합적으로 감시하는 데는 상당한 통신선로 추가 설치비용이 들게 될 뿐만 아니라 통신선로를 설치하는데 기술적인 어려움이 따르게 된다.

따라서 최근 들어 각종 제어장치 및 원격 시스템의 경우 전력선을 이용한 통신방법이 많이 사용되고 있는 추세이다. 전력선 통신은 배전 자동화를 위한 중요한 통신 링크로서 전력선망 어디에서나 접근할 수 있다는 것 외에 추가 설비의 제한성을 주지않는 등의 여러 장점들로 인해 보다 높은 데이터 속도와 낮은 전송전력을 갖는 PLC(Power Line Carrier) 통신시스템 개발에 많은 시도가 있어왔다.^[1] 이러한 전력선 반송통신 시스템은 전력송·배전 반송(Power Transmission Line Carrier) 통신시스템이 있으며 이는 수백볼트에서 수천 볼트의 전압을 전달하므로 고압으로부터 유기되는 잡음레벨과 전기기기의 스위치 동작에 따른 넓은 주파수스펙트럼의 노이즈발생, 제한된 대역폭 및 감쇄특성 그리고 부하에 의한 선로 임피던스 레벨의 특성변화 등의 많은 문제점을 갖는다.^{[6][8]}

근래에는 근거리 통신망(LAN)의 발달과 공장 자동화, 홈 오토메이션 등의 필요성이 커짐에 따라 낮은 전송전력을 이용한 통신이 많은 잇점을 가지게 되므로 건물내 및 국부적인 시스템에서 고속의 데이터전송이 필요치 않은 경우, 잡음원을 최소화하여 신뢰성 있는 전력선 반송통신을 쉽게 구현할 수 있다.

실제 과거 몇 년동안, 전력선 통신 개발들이 꾸준히 이루어져 왔는데 National Semiconductor사의 경우 현재 다양한 전력선 모뎀칩을 개발하고 있고, 유럽에서는 전력선통신을 이용한 가정용 네트워킹 시스템의 구상 일환으로 1992년부터 홈 오토메이션에 관한 기초안인 EHS-프로토콜(European Home Systems)^[2]이 제정되어 이제는 평가 단계에 와있다. 전력선 모뎀통신의 경우 여러 가지 응용상의 요구에 부합하여 필요성이 점점 커질 것이다.

본 연구에서는 이러한 전력선 반송통신의 장점을 이용하여 전력선 모뎀장치를 구현한 탱크 모니터링 시스템을 원칩 마이크로프로세서(80196KC)를 사용하여 개발한다. 시스템의 구성은 로컬게이지와 메인시스템으로 구성하고 로컬게이지는 탱크에서 측정된 레벨과 온도의 아날로그신호를 80196KC의 AD변환채널로 입력받아 디지털신호로 변환한 후 메인시스템으로 데이터신호를 전송하며, 메인시스템은 각 로컬게이지로부터 수신된 데이터신호를 사용하여 각 탱크레벨 및 온도와 에러상태를 나타내도록 한다.

전송데이터를 선로와 결합을 위해 선로가 갖고 있는 주파수 특성을 검토하고 PCM 데

이터신호의 주파수성분의 대역통과특성을 알아 본다. 그리고 신호파형의 스펙트럼 분포를 분석하여 전력선 통신에 대한 분석을 기초로 전력선 반송모형을 구현한 탱크모니터링 시스템을 개발하여 상품화가 가능함을 제시한다.

제 2 장 전력선 반송통신 및 다중 프로세서의 멀티통신

'0' 과 '1' 로 연속되는 PCM신호는 실고 있는 정보량에 따라 주파수대역폭을 정하기위해 다음과 같이 고려하였다. 크기는 A, 구형파주기함수 E(t), 펄스폭 τ , 주기 T, 기본주파수

$$\omega_0 \text{ 일 때 펄스함수는 } E(t) = \frac{\tau A}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{Sin}(n\omega_0\tau/2)e^{jn\omega_0 t} \text{ 이므로}$$

PCM신호의 스펙트럼 이산정도는 펄스(데이터 비트) τ 에 의해 정해지게 되므로 시리얼신호의 주파수대역폭을 bps의 크기로 대략 살펴보았다. Fig. 2-1에 나타내고 있다.

FSK의 점유 주파수대역폭은 원리적으로 무한대로 확장이 가능하다. 하지만, 실제로는 변조파의 전체 에너지의 95%을 포함하는 측파대까지를 갖는 점유주파수 대역폭이라 한다. 그래서 이 점유주파수의 대역폭은 변조지수(m)의 크기에 따라 다르게 되고, 이 변조지수는 변조의 깊이를 표시하는 파라미터로서 다음 식으로 정의 된다.^[10]

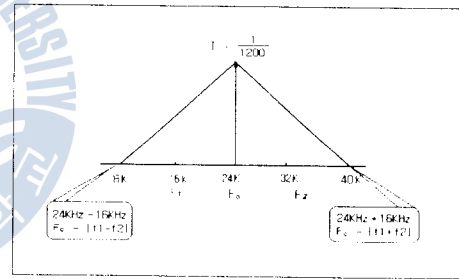


Fig. 2-1 FSK 신호의 주파수 대역폭

$$m = |f_1 - f_2| \cdot T \quad (\text{식 2})$$

마크와 스페이스주파수 f_1 과 f_2 는 "0"과 "1"에 해당하는 반송주파수 이다. FSK 신호의 주파수스펙트럼은 f_1 과 f_2 의 단일 주파수 스펙트럼이 아니고, 변조지수 m에 의해 스펙트럼의 넓이가 변화하게 된다. 일반적으로 m이 큰 경우에 스펙트럼의 분포가 넓게 되고 f_1 f_2 의 분리가 명확하게 된다. 그러나 m이 작은 경우에는 스펙트럼의 분포가 좁게되고, $m < 1$ 일 때 제 1 측파대 정도까지의 스펙트럼 분포를 가진다. 이와 같이 FSK가 가지는 주파수 대역폭은 전체에너지의 95% 정도를 가진다고 고려하면 아래의 식과 같이 구할 수가

$$m \ll 1 : B = 2 \cdot \frac{1}{T} \text{ 있다.}^{[11]}$$

(식 3)

$$m \gg 1 : B = 2 \cdot m \cdot \frac{1}{T} = 2 |f_1 - f_2| \quad (\text{식 4})$$

따라서, 전송속도를 1200bps, 반송주파수 f_1 과 f_2 를 $2400 \pm 8\text{KHz}$ 를 사용할 경우 FSK의 주파수 대역폭 B_f 을 계산하면 아래와 같이 된다.

$$m = |32,000 - 16,000| \cdot \frac{1}{1200} = 13.3$$

$m \gg 1$ 이므로 주파수대역폭 B_f 는

$$B_f = 2 \cdot |32,000 - 16,000| = 32\text{KHz}$$

이를 더욱 구체적으로 알아보기 위해 99%의 전력비를 갖는 스펙트럼범위를 대역폭으로 알아 보았다. 시리얼 신호의 스펙트럼 이산은 프레임 구성비트의 값에 의해 결정되며, 예로서 데이터 값 55H(01010101B) 와 10H(11110000B)때의 신호파형이 갖는 스펙트럼분포를 확인하였다. 시리얼 프레임의 구성은 시작비트 1비트, 데이터비트 8비트, 프로그램적인 1비트 그리고, 정지비트 1비트로 구성되는 11비트 비동기식 프레임구조로 되어 있다. 300bps 로 전송실험결과 성능이 우수하였으며, 2400bps까지는 무난히 전송가능함을 확인하였다. 다만 예기치 않은 잡음을 고려 했을 때는 이보다 전송속도를 저속으로 한다면 만족스럽게 통신이 가능하게 할 수 있다.

저항 임피던스가 10.4Ω 이고, 길이가 350m 인 두가닥의 트위스트 단선선로에 주파수 입력에 따른 선로의 주파수 특성을 실험한 결과 192Hz 보다 적을 경우 반송주파수의 복조가 어렵게 됨을 알 수 있다. 그리고 반송주파수를 193KHz 보다 높은 주파수를 전송 하였을 때 신호의 감쇄로 인해 복조가 어렵게 됨을 알 수 있었다.

따라서 신호 전송을 위한 반송주파수는 190Hz 에서 190KHz 사이의 주파수를 선택함으로써 신뢰성 있는 통신이 가능함을 알 수가 있다. 그러나, 예기치 않은 노이즈로 인한 오류를 방지하기 위해서는 적절한 점유주파수 대역폭을 선정함으로써 안정된 신호전송 및 복조가 가능하게 된다.

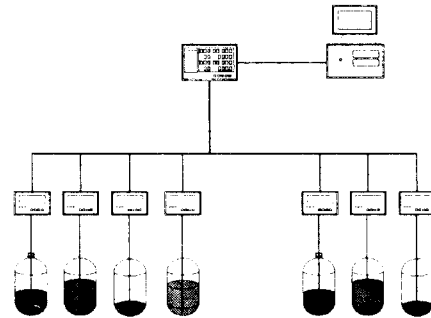
제 3 장 전력선 반송통신을 이용한 탱크모니터링 시스템

3.1 메인시스템의 구성 및 기능

초기 메인시스템에서 Remote로 각 탱크의 파라메타인 탱크번호, 레벨측정방법(Ullageing,Sounding), 온도측정(°F,°C), 레벨Alarm(0~99.999m), 온도Alarm(-40°C~+99°C), Gravity(0~2.00), Sampling 간격(1~20)을 설정할 수가 있다. 이 파라메타는 로컬 페이지에서도 설정가능하다.

다수의 탱크의 레벨,온도,에러상태 데이터를 로컬 페이지로부터 전송받아 DOT LED로 제작되어 있는 2개의 표시장치(UP,LOW)에 표시하고, 16개의 모든 Tank의 레벨Alarm, 온도Alarm, 에러Alarm 상태를 표시LED에 나타내도록 하였다.

그리고 메인시스템은 CPU부, 통신부, 표시부, 조작부로 구성된다.



[전체시스템의 구성도]

3.2 로컬게이지의 구성 및 기능

탱크의 레벨과 온도의 아날로그 신호를 A/D변환하고, 메인시스템으로 그 변환된 값을 전송한다. 초기에 탱크의 파라메타를 설정하도록하며 이 파라메타 값은 메인시스템에서도 설정이 가능하므로 반드시 설정시 같은 파라메타를 입력하여야 한다. 표시장치로는 LCD가 사용되는데 이것은 선택 스위치의 조작에 의해 탱크의 레벨값, 탱크의 상·중·하 온도를 쉽게 확인이 가능하도록 하고 AUTO 스위치를 선택하게 되면 자동으로 레벨, 온도를 2초간격으로 표시한다. 탱크가 이상이 있을 경우는 정보등이 작동하게 되고, 레벨과 온도경보를 표시하는 LED가 점등한다.

제 4 장 탱크모니터링 시스템이 설계 및 구현

4.1.1 MPU 데이터 처리부

MPU 데이터 처리부는 Intel사의 80C196KC를 사용하였다. 80C196KC는 MCS-96 CHM OS형으로 고성능의 16비트 마이크로컨트롤러로 기존의 MCS-96계열들보다 두 배의 메모

리와 동작 속도면에서 30%이상 향상되었고, 또한 Timer와 다양한 I/O를 내장하고 있어 각종 컨트롤러에 적합하다.^[4]

로컬게이지를 모니터하기 위한 메인시스템의 MPU부의 메모리의 영역은 ROM영역을 8K바이트, RAM영역으로 32K바이트를 사용한다. 그리고 두 개의 8255 PPI의 A, B, C 포트 출력으로 사용하기 위해 메모리를 할당하고 있다. 또한, 나머지의 필요한 입출력장치는 80c196KC의 내장된 입출력 포트를 사용하였으며, 80c196KC의 포트 1은 데이터를 표시하기 위한 출력으로 DOT LED을 드라이버하기 위해 Serial data, /BRIGHT, CLK, A0, A1, A2, A3 로 각각 사용한다. 여기서 A3 비트에 의해 두개의 표시유닛 중 하나를 선택한다. 포트 0과 HSI의 입력단자는 입력키로 사용하고, HSO0은 부저알람을 위한 출력단자로서 사용하고 있다.

4.2.2 데이터 송·수신부의 구성

송신부는 PCM 시리얼 신호를 통과 주파수대역이 다른 전송선로에 송신하기 위해 비교적 잡음에 강한 FM 변조방식인 FSK(Frequency Shift Keying)로 변조하여 송신한다. FSK 변조방식은 VCO에의한 방법도 있으나, 이 경우는 PLL로 동작을 시킨다 해도 주파수 안정이 만족되지 않으므로 Mark Frequency F_1 와 Space Frequency F_2 를 크리스탈 클럭을 분주하여 각 $24\text{KHz} \pm 8\text{KHz}$ 로 변조된 FSK(Frequency Shift Keying) 신호를 발생시킨다. Fig. 3-1은 메인시스템의 송신부의 기능을 나타내는 블록도 이다.

송신부의 출력신호는 TXD 단자의 시리얼 데이터신호에 따라 멀티플렉서에 의해 Mark

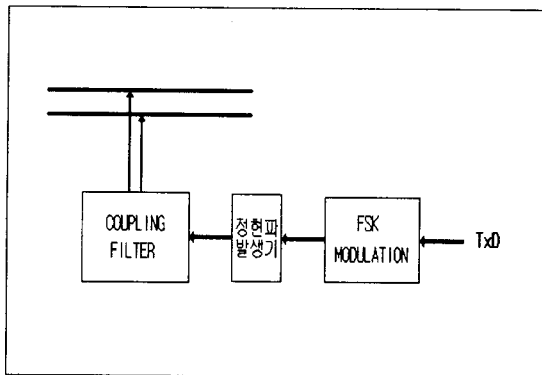


Fig. 3-1 송신부의 블록도

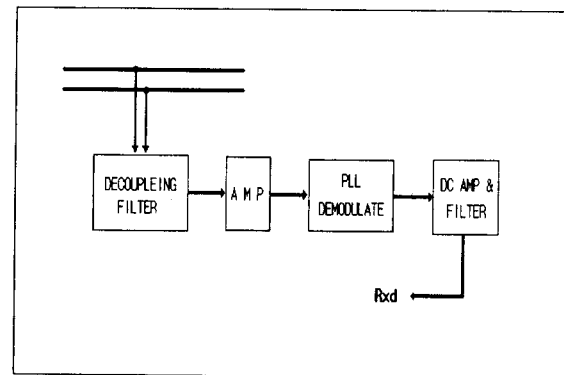


Fig. 3-2 수신부의 블록도

주파수를 32KHz로 하고, Space 주파수를 16KHz로 분주한다. FSK 변조된 후 구형파로 인한 고조파 성분을 없애기 위해 R-L-C로 정현발전파로 변환하여 배진선로와 결합하였다. 수신부는 입력신호의 위상차를 검출하고, 검출신호를 직류신호로 복조한다. 이를 위해 동작 중심 주파수 및 대역폭의 설정이 용이하고, 높은 주파수 안정도의 대역통과 여파기 특성을 지니고 있는 PLL(Phase Locked Loop)로 복조한다. 복조를 위해 연산증폭기 거쳐 증폭 및 직류신호로 변환한 뒤 위상차를 검출하여 데이터를 시리얼 신호를 복조한다.

4.1.3 DOT LED 디스플레이 장치

두 개의 독립적인 표시부는 DOT LED(LM-0352VRB)로 표시되고 이를 구동하기 위한 드라이버회로는 시리얼 입력/패러렐 출력 시프트레지스터 74HC4049 14개를 사용하여 제작하였으며, 표시하고자 하는 문자들은 5×7 폰트로 나타나게 된다. 또한, 16개 탱크의 모든 알람상태를 표시하기 위해 8255 PPI로 LED를 구동하도록 하였다.

외부 출력으로는 호스트 컴퓨터와 연결이 가능하도록 USART 8251 IC를 사용한 시리얼 포트와 외부에 경보기능을 위한 출력단자가 있다.

4.2 로컬게이지의 구현

4.2.1 로컬게이지의 MPU 보드의 구성

로컬게이지의 MPU 제작은 메인시스템의 MPU와 똑같이 80c196KC를 사용하여 로컬게이지를 제작하였다. 로컬게이지의 메모리 영역은 2000H~4FFFH 까지 16KB 영역을 ROM 영역으로, 8000H~FFFFH까지 32KB을 RAM영역으로 사용한다. 7000H~7003H는 로컬게이지의 LCD를 위한 메모리 영역으로 8255 PPI을 출력모드로 설정한다.

I80C196KC의 포트1은 입력모드, 출력모드, 에러상태를 표시하기 위해 출력포트로 사용하고, HSI0, HSI1, HSI2, HSI3와 EXTIN(P2.3)은 키입력을 위해 외부인터럽트 소스로서 사용한다.

아날로그 입력은 포트1의 8채널 중 ACH0, ACH1, ACH2, ACH4을 사용하고, 탱크센서에서 발생하는 아날로그 값을 디지털로 변환하기 위해 사용한다. 이 A/D 변환부는 10비트의 분해능을 가지는데 변환값의 계산은 다음식과 같다.

$$[\text{변환값}] = 1023 \times (V_i - \text{ANGND}) / (V_{ref} - \text{ANGND}) \quad (\text{식 } 5)$$

그리고 아날로그 입력에 가해지는 과전압에 대한 제한된 보호기능을 가지도록 전류제한 저항을 달아 안정되게 A/D 변환이 가능하다. 변환시간은 탱크의 레벨 및 온도변화가 급격히 변하지 않으므로 충분히 여유 있게 할당할 수가 있고, 입력파라메타 값인 샘플링간격과 Gravity 을 사용하여 프로그래밍에 의한 신호처리로 필터역할을 할 수 있었다. Fig. 4-1에 로컬게이지의 전체 블록도를 나타내고 있다.

4.2.2 데이터 송·수신부의 구성

메인 시스템과 같이 송신 데이터를 FSK 변조하여 송신하고, 수신 데이터는 PLL 복조하여 수신 한다. 로컬게이지는 반송파에 실려 오는 변조파와 DC전원 24V가 함께 전송되므로 이를 분리하기 위해 DC-DC Convertor 와 전압레귤레이터를 사용하였다. 공급전원이 DC전원이므로 교류 보다는 쉽게 분리가 가능하며, 단지 신호의 감쇄가 존재하게 된다. 분리된 전원은 로컬게이지 만을 동작시키기 위한 것이므로 소비전류가 150mA 이하로 간단히 구성될 수 있었다.

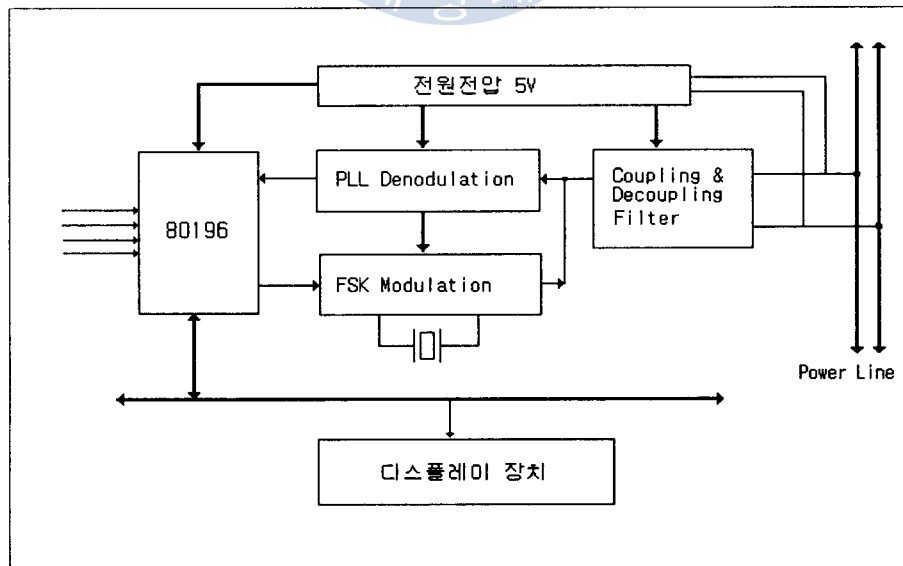


Fig. 4-1 로컬게이지의 전체블럭도

실제 로컬케이블은 탱크의 종류에 따라 위험성이 존재 한다. 따라서 과전류로 인한 스파크가 없어야 하므로 사용전류를 제한하고 있다. 전류의 사용을 최소로 줄이기 위해서 LED와 같은 전류소모가 많은 것을 사용하지 않고, 소비전력이 낮은 LCD(FEM:5026)을 사용하여 표시장치를 제작하였다.

제 5 장 결 론

본 논문에서는 전력선 모뎀장치를 이용한 탱크모니터링 시스템의 실제 구현에 목표를 두었다. 제작된 장치는 실제 현장에서 장착하여 동작이 가능하도록 모든 환경과 제약조건을 고려하여 설계 되었으며, 실험을 통해 전송선로의 임피던스에 의한 신호감쇄를 고려해 반송주파수를 190KHz~190KHz에서는 데이터 전송이 가능함을 확인 하였다. 가장 안정적 인 주파수 대역은 10KHz에서 35KHz임을 알 수 있었다. 또한 전기기가 등의 스위치 동작에 의한 노이즈에도 데이터의 신뢰성 있는 송·수신이 가능함을 확인 할 수 있었다.

따라서 본 개발 시스템의 효용성을 입증하였고, 실용화가 가능함을 확인하였다. 또한 앞으로 전력선 모뎀장치와 세부적인 회로특성들에 대해 개선해야 할 점이 많으며, 아울러 배전선의 전송특성에 대해서도 상세한 특성연구가 뒤 따라야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] A.C.M Chen, "Automated Power Distribution", IEEE Spectrum, April. 1982, pp. 55-60.
- [2] Woojoo Hi_Tech corp., "Measurement & Interface", Oct. 1996, pp. 45~8.
- [3] Frank F.E. Owen, "PCM and Digital Transmission System", McGraw Hill, Inc., 1982, pp. 35-48.
- [4] Intel, 16bit Embedded Controllors, 1991.
- [5] Intel, Embedded Applications, 1994.
- [6] MOTOROLA logic data HandBook, 1991.
- [7] Larry Hughes, "Data Communications", 1993.

- [8] TankaKa, "Transmission characteristics of a power line used for data communications at high frequencies", IEEE Trans, Cons. Electron., vol.35, 1989, pp. 37~41.
- [9] M. Annis and R. Larson, "Bi-directional Power-line-carrier load management", Electrical Review International, vol.203, 1978, pp. 40~43.
- [10] "テ-タ 傳送기술 實用ノウハウのすへ" て", CQ출판사, 1991.
- [11] 최순만, " A Study of BFSK MODEM Device on Electric Power Line Distribution System", 한국해양대학교 대학원, 1990, pp. 6~24.

