

지중 매설물 무선 위치인식 시스템 개발

* 이원태*, 이재조*, 박양하*, 김관호*, 김쌍우**, 이영철***
 한국전기연구소*, (주)인터컴 엔지니어링**, 경남대학교***

The development of RF-ID system for position recognition of underground facilities

* W.T.Lee*, J.J.Lee*, Y.H.Park*, K.H.Kim*, S.W.Kim**, Y.C.Lee***
 KERI*, Intercom Engineering**, Kyungnam Univ.***

Abstract - 본 논문은 전자유도방식을 이용한 무선인식시스템을 지하매설물에 적용하였다. 설계된 시스템은 송신주파수 132KHz, 응답주파수 66KHz로서 반반송파에 의한 ASK 방식으로 쌍방향 전송방식을 채택하였다. 실험결과 지하 2m 범위까지 4800bps의 전송속도로 60Km의 이동속도를 갖는 차량으로 쌍방향 통신이 가능하여 차량을 이용한 지중 매설물 위치탐지 시스템 적용에 별다른 문제점이 없었다. 따라서 본 시스템의 도입으로 방대한 도면이나 DB에 의존해야 하는 기존의 지중 매설물 관리시스템에서 벗어나 정확한 현장 데이터에 의한 효율적인 지하 매설물 탐색은 물론 쌍방향 통신에 의한 신속한 매설물 데이터의 변경으로 신뢰성 있는 지중 매설물 관리가 기대된다.

설물 관리용 위치 인식시스템을 설계·구현하였다.



그림 1. 전체적인 시스템의 형태

2. 저주파 무선 시스템 해석

2.1 전자유도결합

무선주파수를 이용한 인식 특성을 나타내는 기본적인 분류는 전자결합(電磁結合), 전자유도(電子誘導), 마이크로파 방식, 광통신 방식 등의 전송매체에 의해 구분된다. 광통신 방식은 전송거리가 30cm 이내로 전자계의 영향을 받지 않으나 방해물에 의한 빛의 차단으로 전송이 제한되는 단점이 있으며, 무선에 의한 전송 방식으로는 전자유도에 의한 유도무선식과 마이크로파 방식이 있다. 전자유도 결합방식은 무지향 특성으로 유도전자계를 전송매체로 사용하므로 신호의 전송이 양호하고 데이터 전송상의 신뢰성을 보여주는 특성이 있으며, 가까운 금속물체의 전파흡수 현상을 제외하고는 통신장해를 주지 않기 때문에, 본 논문에서는 진파법에서 규정하는 미약전파를 이용하여 1~2m 내외의 근거리 인식범위와 저속의 이동체를 자동 인식하는 비접촉 형태의 전자 유도 무선 결합방식인 LF-ID(Low Frequency Identification) 시스템을 제작하여, 이를 지중 매설물 무선 위치 인식시스템에 적용하였다.

1. 서 론

최근 무선통신방식에 의한 비접촉식 무선인식 시스템(RF-ID)이 산업 전반에서 활발하게 응용되고 있다. 비접촉식 무선 데이터 인식시스템은 무선통신 기술을 산업 현장에 접목시킨 응용기술로서 근거리 설비정보를 인식하여 이에 대한 정보를 분석·제어하는 원리로서 지금까지 사용되어 왔던 바코드등 접촉식 인식방식의 한계를 극복할 수 있는 기술로 각광을 받고 있다. 이러한 비접촉식 무선 데이터 인식 시스템은 대상 물체를 비접촉에 의한 무선방식으로 신속하게 인식할 수 있으므로 FA, 축산, 지하매설물 감시, 물류자동화, 보안, 레저, 교통관리 등 특성에 따라 다양하게 응용되고 있다.

일반적으로 무선데이터 인식시스템은 주파수 대역에 따라 사용용도가 구분되어 활용되고 있다. 장파(LF)대의 주파수 대역은 주로 낮은 전송속도를 갖는 인식 분야인 보안시스템이나 공장자동화 등에, 그리고 높은 전송속도를 요구하는 교통 및 물류 등의 인식분야에는 VHF나 마이크로웨이브 대역이 많이 활용되고 있다. 무선 데이터 인식시스템은 인식 대상설비에 전자 꼬리표 성격인 Tag가 부착되고, 안테나를 매개로 하여 Decoder를 통해 컴퓨터 시스템에서 정보를 처리하도록 구성된다. 전송방식도 Tag의 소형화와 경제성을 고려하여 구성이 간단한 디지털 변조방식인 ASK나 PSK 방식이 주로 활용되고 있고, 인식 거리에 따라 Tag에 전지를 내장하여 인식범위를 확장한 Active형과 전지를 내장하지 않은 근접형 Passive형 Tag들이 사용되고 있다. 특히 장애물의 영향을 받지 않기 위해서는 비교적 저주파(LF)의 전자파를 활용한 무선 데이터 통신방식 구성이 필요하며, 그 원리도 저주파수의 교류 자계에 의한 코일의 상호유도작용을 이용하여 1~2m 정도의 통신거리를 가질 수 있으므로 지중 매설물 관리를 위한 장치의 소형화와 경제성을 충분히 만족시킬 수 있다.

최근 빈번한 지중 매설물의 유지보수 굴착 공사시 발생하는 매설물의 파손 사고와 이로 인한 사회적 재해 등을 미연에 방지할 수 있고, 또한 지중 시설물에 대한 유지보수의 효율성을 높일 수 있는 방법이 요구되고 있다. 따라서 본 논문에서는 유도무선 통신을 이용한 지중 매

2.1.1 전자유도결합 무선시스템 해석

자계유도의 가역성에 의한 무선인식 시스템의 디코드와 Tag 사이의 신호전송에 따른 에너지 전달관계를 2단계 회로망으로 등가회로를 구성하면 그림2와 같다. 등가회로에서 Tag의 수신전력을 P_1 , 디코드의 송 주파수를 f_1 라고 하면, 디코드의 송신 안테나 L1과 Tag의 트랜스폰더 안테나 L2 사이에서 송신결합이 이루어지며, 다시 Tag에 의하여 디지털 변조 코드화된 응답 신호로 디코드의 수신단에서 응답 전송결합이 형성된다. 이때 Tag의 응답회로는 디지털 변조로 코드화된 응답신호를 디코드의 수신장치에 전달하는 계통으로 신호결합이 Tag 안테나 L3와 디코드의 수신안테나 L4 사이에서 나타난다. 이와 같은 관계에서 P_1 을 Quality Q_1 이 갖는 디코드 송신기의 전력, P_2 를 Q_2 가 갖는 Tag의 수신 전력이라 할 때, 디코드와 Tag의 트랜스폰더 수신부 사이에서의 에너지 관계는

$$P_2/P_1 = K_1^2 Q_1 Q_2 \text{ ----- (식1)}$$

로 표현된다. 여기에서 K_1 는 디코드와 Tag의 트랜스폰

더 사이의 결합지수이다.

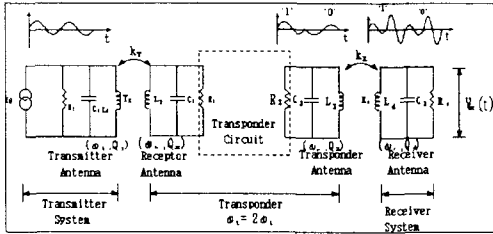


그림2. 디코드와 Tag 사이의 에너지 전달

2.1.2 저주파 전자유도 무선시스템 특성

디코드용 루프 안테나와 Tag용 페라이트 안테나와의 에너지 결합관계는 안테나 사이의 전력 전달비와 상호 작용 거리에 의해 결정된다. 이러한 현상은 미약한 전자 유도 결합상태를 갖는 Tag용 안테나와 디코드용 루프 안테나에 의한 자계 결합 관계로 규명된다. 디코드의 신호전력 전달은 디코드용 송신 안테나의 파라미터 및 세기 정도(Excitation Level)에 의하여 대부분 결정되며, Tag의 페라이트 안테나 수신 코일에 형성되는 미약 전력에 의하지 않는다. 이러한 관계를 설정하기 위해 Tag에 수신되는 수신 자계를 수신 안테나의 작은 체적에 대하여 균일한 것으로 한다.

디코드용 송신 루프 안테나에 전류가 흐를 때 Tag에서 형성되는 에너지는 $\mu_0 H^2$ 가 되며, Tag의 페라이트 수신 안테나의 전력은 에너지 밀도와 공진에 따른 Quality factor Q에 의하여 결정된다. 수신 페라이트 안테나의 크기와 Q 관계를 구분하여 수신 페라이트 안테나의 결합 체적(coupling volume) V_c 는 다음과 같이 정의된다.

$$V_c = \frac{\text{수신안테나 인덕터를 단락시켰을때 축적에너지}}{\text{트랜스폰더에 형성되는 자장에너지 밀도}}$$

따라서 N 권선비를 갖는 공심 Coil에 대한 V_c 는

$$V_c = \frac{\mu_0 A^2 N^2}{L} \quad \text{----- (식2)}$$

가 된다. 여기에서 A는 수신 안테나의 자속면적, L은 자기 인덕턴스이다.

2.2 저주파 무선시스템용 안테나

무선인식용 저주파 데이터 캐리어 시스템에 적용되는 안테나는 디코드용 사각 루프 안테나와 Tag용 페라이트 봉(Ferrite Rod) 안테나로 구성하였다.

2.2.1 디코드용 루프 안테나

루프 안테나는 원형, 구형, 사각형, 삼각형 및 타원형 등 다양한 형태로 구성할 수 있으나, 일반적으로 루프 안테나에 대한 분석과 설계에 있어서 해석이 용이하고 설계가 간단한 원형 루프 안테나 및 사각 루프 안테나가 가장 많이 이용된다. 송신 안테나는 정확한 주파수로 무선 신호를 전송하기 위하여 송신 주파수에 대하여 직렬 동조되어야 하며, 일반적으로 안테나 루프 코일은 비교적 낮은 임피던스를 갖고 있으므로 근접 금속물체에 의하여 쉽게 조정되지 않는 문제점을 고려하여 양단에 첨예전압(Peak Voltage)이 나타나도록 동조되어야 한다. 실제적으로 디코드용 송신 안테나의 인덕턴스는 25 ~ 30 μH 의 안테나를 이용하고 있다. 공진시의 실효 임피던스는 안테나 코일의 손실 저항과 캐패시터와의 직렬 연결에 의한 것으로, 표피효과에 의한 손실 저항은 DC 저항의 2배 정도가 된다. 송신용 루프안테나 설계시 루프 안테나용 도선(32/0.2mm 또는 50/0.25mm)은 손실을 적게 하고, 동조 캐패시터는 동조에 의해 동작 전류 및

전압의 값을 크게 할 필요가 있다.

송신용 루프 안테나는 고조파 감쇄의 효과를 고려하여 Q값이 40~60 범위에서 동작하는 것이 바람직하며, 근접 금속물질의 영향으로 인한 효율 손실을 고려하여야 한다. 근접 금속물질은 코일의 실효 인덕턴스를 감쇄시키므로 부가적인 권선을 형성하여 원하는 최대출력을 얻도록 하여야 한다. 따라서 본 논문에서는 응답기가 2m 범위에서 동작할 수 있도록 유도 전자파를 발생하거나 수신하는 특성을 나타내고, 교신범위를 허용하는 한 자계 유도결합 범위내의 전력을 유지하고 있어야 하므로, 안테나 인덕턴스를 25-35 μH 범위에서 설정하였다.

2.2.2 Tag용 페라이트 안테나

저주파형 무선인식 Tag에서는 페라이트 코어 루프 안테나가 많이 사용되며, 일반적으로 500KHz 이하의 주파수를 사용한다. 페라이트 코어 루프 안테나는 사용 주파수에 비하여 비교적 소형이면서 인가된 자장을 감지하는 작용과 자장을 발생하여 신호를 전달하는 신호 발생원으로 작용하므로, 무선인식 Tag에 가장 적합한 안테나로서 이용된다. 페라이트 자성체는 복소비 투자율과 비유전율에 의하여 특성이 나타나므로, 손실이 가장 작은 값을 갖는 자성체를 선정해야 하며, 또한 코어의 크기는 페라이트 파장과 비교하여 그 값이 작은 것으로 가정하여 코어 내에서 외부공진 현상을 방지하는 특성을 나타내는 페라이트로 선정해야 한다. 따라서 Tag에 적용되는 페라이트 안테나를 국내업체에서 개발된 초기 투자율이 3200이며, Mn-Zn 물질로 구성된 페라이트를 사용하여 제작하였다. 그리고 봉의 길이와 직경은 54x10(mm)로 제작하였으며, 측정 결과 인덕턴스와 Q값은 f=66KHz에서 L=1.15mH, Q=23, 그리고 f=132KHz에서 L=1.12mH, Q=36.6으로 측정되었다.

3. 디코드와 Tag의 Firmware

3.1 Decoder의 Firmware 설계

디코드는 Host 시스템 및 Tag와의 통신을 위하여 2개의 시리얼 통신채널이 필요하다. 이에 따라 디코드의 CPU를 MCS-51 계열의 DS80C320을 사용하여 구성하였다. Tag와는 채널 1을 사용하여 4800bps의 전송 속도로 비동기 통신을 행하며, Host 시스템과는 채널 2를 통하여 9600bps의 전송속도로 통신을 수행한다.

그리고 본 장치에서는 ROM 32KB, RAM 32 KB의 메모리를 사용하였으며, DALLAS사의 Real-Time IC인 DS1687을 사용하여 디코드의 동작시간을 나타낼 수 있도록 하였다. 그리고 데이터 전송패킷은 패킷 시작 필드, TSW(Tag Status Word) 바이트, 데이터 필드, Check Sum 검사 값으로 구성되며, 패킷 규약의 형태는 자동반복 요구방식(ARQ)으로 설계하였다.

디코드는 Tag로부터의 ID신호, 잠음 및 질문용 캐리어의 신호가 존재된 상태에서 수신되므로, 이들 신호로부터 Tag의 신호를 추출하기 위하여 Coupling 회로, LC 공진회로, BPF, LPF 및 증폭기로 수신단을 구성하였으며, 수신된 신호에는 Tag의 미약한 ID 신호뿐만 아니라 잠음과 디코드의 반송파 검출신호까지 혼합하여 수신되므로 이러한 불필요한 신호를 제거하기 위하여 증폭기 및 필터들을 함께 구성하였다.

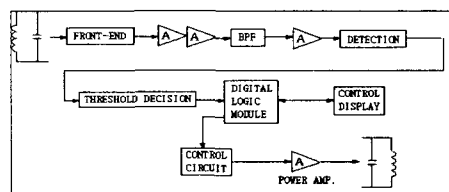


그림3. 디코드 회로 구성도

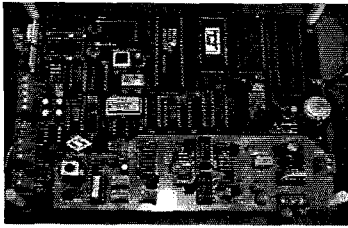


그림4. 제작된 디코드 전체회로

3.2. Tag의 Firmware 설계

지하에 매설되는 Tag는 내장된 배터리로부터 전원을 공급받기 때문에 효율적인 소비전력 관리가 매우 중요하다. Tag에서는 내장된 마이크로프로세서가 대부분의 전력을 소비하므로, Power down mode를 지원하는 MSC-51 계열인 저전압형의 P80CL580 프로세서를 사용하였다. Tag의 소비전력을 줄이기 위하여 평상시에는 Power down mode로 동작하다가 디코드에서 발생되는 132KHz의 주파수가 Tag의 안테나에 유도되었을 때만 이 신호를 Tag의 Wake-up signal로 사용하여 Tag가 작동하도록 하였다. Tag 수신회로는 안테나 공진회로, ASK 복조회로, A/D 변환회로 및 분주회로로 구성되어 있다. Tag는 높은 Q값의 페라이트-로드 안테나와 C와의 공진에 의해서 신호가 수신되며, 수신된 신호는 A/D 신호변환을 거쳐 포락선 검파에 의해 원래의 데이터 신호로 복조된다. 통신채널에서 출력된 디지털 신호는 RF 변조부를 거쳐 각각의 안테나로 출력된다. 그리고 데이터 신호와 반송 신호는 AND 회로를 사용하여 ASK 변조를 하였다.

이와 같이 구성된 전체적인 시스템의 프로토콜은 다음과 같은 절차에 의하여 수행된다.

- 1) 평상시에 Tag는 매우 적은 전력(20 μ A)을 소비하는 대기상태(power down mode)에 놓여 있다.
- 2) 디코드로부터 132KHz의 신호를 인식했을 때 Tag를 Wake-up 하며, 66KHz의 반송파에 의한 고유의 ID에 의한 ASK 변조신호를 디코드에 송신한다.
- 3) 132KHz의 신호범위를 벗어났을 때 Tag는 ID 신호의 송신을 멈추고 다시 Power down mode 상태로 돌입한다.

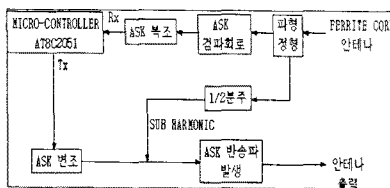


그림5. Tag 회로 구성도

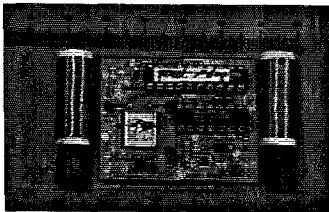


그림6. 제작된 Tag 전체회로

4. 시스템 분석

저주파 무선인식 시스템의 통신에서 제일 중요한 문제는 신뢰성 높은 데이터의 전송과 효율적인 시스템의 운

용이다. 무선통신은 유선통신에 비해 데이터가 전송 중에 손실되거나 잡음 등의 영향으로 에러가 발생할 확률이 매우 높다. 그러므로 디코드와 Tag 사이의 송·수신 중에 발생하는 에러를 검출하여 정확한 데이터를 사용자에게 전달하는 검파방식을 채택하여 에러를 감소시켜야 한다. 이에 따라 본 장치에서는 시스템의 구현이 간단한 비동기 검파방식을 사용하여 시스템을 구성하였다.

표1. 설계된 시스템의 규격

방식	규격	방식	규격
안테나	디코드	Loop Coil	Battery(3.6V)내장형
	Tag	Ferrite Rod	
변조방식	ASK 변조	전송거리	최대 2.5m
복조방식	포락선 검파	전송속도	4800bps
반송주파수	132kHz, 66kHz		

Tag의 전원은 건전지를 이용한 3.6V로 하며, 전송속도는 4800bps에서 지하에서의 최대 인식거리가 3m로 나타났으나, 인식거리가 2.5m와 3m 사이에서는 잡음과 간섭에 의한 환경의 영향으로 전송에 제한적이었으며, 2m일 때 최적으로 안정된 통신을 할 수 있는 교신거리를 나타내었다. 그리고 Tag 제어회로에서는 20 μ A의 저전류 소모특성을 실현하였으며, 60km/h의 이동속도에서 Tag의 데이터 전송 성공률이 99% 이상의 결과를 얻었다.

5. 결 론

본 연구에서는 저중 매설물 무선위치 인식을 위하여 유도무선방식을 이용한 저주파 무선 시스템을 개발하였다. 디코드와 Tag 사이의 데이터 전송은 부고조파를 이용한 ASK 디지털 변조방식을 채택하였으며, 효율적인 통신을 하기 위하여 디코드와 Tag의 정보전송 절차와 에러검출 및 보정, 전원제어 등을 할 수 있도록 통신 프로토콜을 설계하여 Firmware를 구성하였다. 이 시스템은 향후 지속적인 현장 적용 시험과 더불어 GIS (Geographic Information System)와 연계함으로써 변화하는 환경에 신속히 대응할 수 있으며 손쉬운 데이터의 변경과 정확한 데이터의 관리로 현재의 지하매설물 관리체계를 보완할 수 있는 대체 시스템으로 기대된다.

(참 고 문 헌)

- [1] R. Page, "A Low Power RF-ID Transponders," RF Design, pp. 31~36, Jul. 1995
- [2] Richard C. Hohnson and H. Jasik, Antenna Engineering Handbook, 3rd ed. ch. 5 Loop Antennas. McGraw-Hill, Inc., New York, 1993
- [3] David K. Cheng, Field and Wave Electromagnetics, second ed., Addison-Wesley Pub. Inc. New York, 1989.
- [4] Cole P. H., Eshraghian K., "Theory and Operation of Passive Subharmonic Transponder", IREE Inter Conv. Digest, August 1979, pp. 51-54