

자기 센서를 이용한 지하 매설물 탐지 시스템 개발

천세영(울산대 자동차선박기술대학원), 이영주(울산대자동차선박기술대학원),
조현철(울산대 자동차선박기술대학원), 안태규(울산대 기계자동차공학부)
양순용(울산대 기계자동차공학부)

Development of Detection system of buried Underground Utilities using Magnetic Sensor

Y. S. Cheon (Institute of e-vehicle technology), J. Y. Lee (Institute of e-vehicle technology),
C. H. Cho (Institute of e-vehicle technology), K. T. Ahn (Mecha. & Automotive Eng. UOU),
S. Y. Yang(Mecha. & Automotive Eng. UOU)

ABSTRACT

Incorrect information on public sites can cause serious problem. One of relevant countermeasures against this problem is to detect of buried underground utilities in real time .Although there have been several method to detect of buried underground utilities, such as investigating of gravity and elastic wave and electric field, they have not been so efficient tools. Because it is too expensive and difficult to use. In this paper, magnetic sensors which could provide an easier and more efficient method are used to detect of buried underground utilities. Also fluxgate method of self detection are used. Input signal is used 1~10kHz frequency. Filtering and signal processing of output signal are used labview software.

After experiment, detection system of buried underground utilities which used magnetic shows possibility of precise detecting of laying object based on theoretical analysis for electromagnetic field.

Key Words : magnetic detector (자력탐사기), Simulator (시뮬레이터), Labview (랩뷰)

1. 서론

다양한 종류의 지하 매설물 탐사는 현재 선진국에서 연구가 활발히 이루어지고 있으며 점차 토질조사, 군사목적, 해저탐사, 건설현장 등으로 활동영역이 넓어지고 있다. 특히 건설현장에서 굴삭 작업 시 지하 매설물 유무에 대한 판단은 중요하다. 예를 들어 굴삭 작업 시 수도관, 가스관 및 전화선로 등을 굴삭기의 작업장치인 버킷 끝단과 충돌하여 손상, 파괴되는 일이 최근 빈번히 발생되고 있다. 이런 경우 굴삭 작업 진행을 중단하고 손상된 배관류의 보수작업을 수반하여야 하고, 이에 따라 대도시에서는 교통체증을 유발함은 물론이고, 공기(工期)가 상당히 지연되는 문제점이 생긴다. 특히, 아현동 가스폭발 사건 같이 LPG가스관과 같은 배관이 파손되는 경우, LPG가스가 누설되어 수많은 인명피해 및 재산피해가 수반되는 대형사고의 발생 우려도 있다. 그러므로 사전 지하 상황에서 물체의 유무만이라도 정

확히 판단하는 장치가 필요하다.

지하 매설물 탐지기의 연구에 대해 살펴보면 크게 전자유도탐사법(electromagnetic induction), 지중레이다 탐사법(ground penetration radar), 자력탐사법으로 분류 할 수 있다

전자유도탐사법은 전도체에 전기가 흐르면 도체 주변에 자기장이 형성되는 원리를 이용하는 탐사법이다. 하지만 비금속의 경우 적용이 어렵고 탐사를 할 경우 탐사 대상에 고 전류를 사용해야 한다는 불리한 점이 있다.

지중레이다 탐사법은 전자기파가 지하에서 반사되는 성질을 이용하여 반사된 신호를 처리하여 연속 지중 단면 영상을 얻는 탐사법이다. 지중레이다의 경우 매우 정확한 탐사를 할 수 있으므로 현재 탐사법 중 가장 연구가 활발한 분야이다. 하지만 전문가가 아닌 경우 신호 분석이 어렵고 탐사의 신속성이 떨어지며 장비가 매우 고가여서 현재 지질학 같은 특수한 목적으로 많이 사용되고 있다.

자력탐사법은 자화강도를 측정하고 그 분포 상 황으로부터 지하의 대자율 구조를 추정하는 방법이다. 자력계를 이용하여 지표, 공중, 해상 및 시추공에서 자화강도를 측정할 수 있다. 자력탐사는 신속, 저렴하게 자화강도 분포를 측정할 수 있다. 하지만 비교적 분해능이 낮아 주로 대규모 지질 구조 규명 및 광체 탐사를 위한 광역 탐사에 널리 이용되는 방법이다.

본 연구에서는 시내 굴삭 작업 시 사전 지하 상태를 알기 위해 굴삭기 지하 매설물 탐지시스템 개발의 선행연구로 지하 매설물 탐지 시스템을 구성하였다. 그러므로 기존 방법 중에서 저렴한 가격과 신속성을 가진 자력 탐사법을 이용하였으며 자력 탐사 중 fluxgate 방식을 이용하였다.

2. 탐지기 구성

탐지기는 크게 센서, 송신, 수신부로 나뉘어진다. 센서의 송신측 입력은 signal generator와 전류 증폭기를 거쳐 입력된다. 수신측은 송신측의 자계 변화를 감지하여 신호를 출력하며 이 신호는 DAQ 6032E 보드를 거쳐 controller로 들어간다. controller에서는 신호 증폭 및 필터링 그리고 신호 해석을 하게 된다. 본 연구에서는 이를 토대로 다음 Fig. 1 과 같이 시스템을 구성했다.

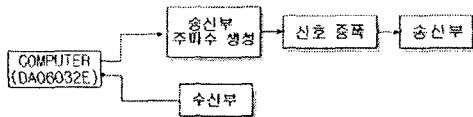


Fig. 1 탐지 장치 구성도

2.1 탐지 방법

시스템에서 자기 센서를 자화시키기 위해 주파수 1~10kHz의 sinewave의 전자파를 사용하였다. 매설물은 전자파를 gain Av만큼 흡수하며 이를 eddy current로 전환하며 이로 인한 2차 방사전자계를 형성하게 만든다. 이때 수신 코일에는 송신코일에 의한 1차 전자계와 매설물의 eddy current에 의한 2차 전자계의 영향을 받아 1차 전자계에 의해 발생하는 reference 수신 신호와 1,2차 전자계 영향을 모두 받은 measurement 수신 신호가 발생한다.(Fig 2) 이렇게 발생한 수신 신호는 주기와 및 진폭의 차이가 발생하며 이로써 매설물의 유무를 판단하게 만든다. 탐

지는 데질에 따라 달라지는데 흙을 매질로 할 때 전자기파의 전파속도는 공기 중에 비해 떨어지고 거리에 따른 위상 변화도 크게 되며 흙의 매질 성분 및 습한 상태에 따라 전파속도 및 위상변화도 그 기준치가 달라지므로 환경에 따른 초기기준치를 측정 전에 설정하여야 하고 그 기준치에 따라 상대적인 비교로 매설물을 판단하도록 설계하여야 한다.

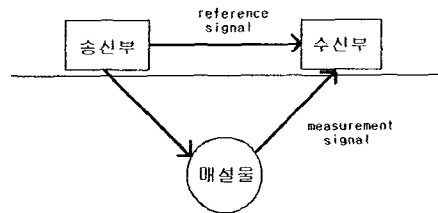


Fig. 2 탐지 방법 개략도

3. 탐지기 설계

전체 회로는 센서에서의 출력을 기준으로 설계했다. 송신 부는 송신 센서를 충분히 자화시키기 위해 전류량을 충분히 공급시켜주도록 구성하였고 수신부의 경우 신호 증폭 및 신호처리를 Labview를 통하여 구성했다. 그리고 초기 기준치를 측정 전에 선정해 주기위해 처음 장치가 처음 구동된 후 10초간 지면을 스캔한 값을 기준 값으로 설정 하여 매설물 유무를 탐지할 수 있도록 제어기를 구성하였다.

3.1 센서 설계

Fluxgate 자력계를 구성하기 위해 두 개의 동일한 투자율을 갖는 철심에 1차 코일을 직렬로 연결하여 이를 송신부에 연결했다. 이 때 두 개의 철심을 감싸는 1차코일은 서로 반대 방향으로 감아서 두 철심에서의 자화방향이 반대가 되도록 하고 2차코일은 두 철심 모두를 감싸고 이를 수신부로 사용하게 했다. 1차 코일에 1~10kHz의 sinewave를 흘려보내면 두 철심은 반대방향으로 자화되고 지자장은 한 철심에서는(+)로, 다른 철심에서는 (-)로 작용한다. 그리고 전류의 크기를 철심의 자화가 포화상태에서 이르도록 충분히 크게 한다면 지자장의 영향 때문에 한 철심은 다른 철심보다 포화가 먼저 일어나게 되고 이 자기장의 원리를 이용하여 자기 센서를 구성하였다.

사용한 철심의 물성치는 다음 Table 1 과 같다. 권선은 wire의 단경은 0.3mm를 사용하였다

Symbol	Unit	Test Condition	Value	Symbol	Unit	Value
μ		25 °C	2000 ± 20%	μ	Initial permeability	
B	mT	25 °C 100 C	450 (1.420) 300 (1.370)	B	Flux density (RMS)	
\hat{B}	A/m		400	\hat{B}	Flux density (peak value)	
\hat{H}	A/m		1.260E	\hat{H}	AC magnetic field strength (peak value)	
H_c	A/m	25 °C	12	H_c	coercive force	
T_c	°C	100 °C	10	T_c	Curie Temperature	
f_c	kHz	25 °C	1.5	f_c	Cut-off frequency	
P_2	mW	200mT 85 °C	159 (1.316)	P_2	Power Loss	
ρ	cm	200mT 100 °C	25 (1.50)	ρ	Resistivity	
D	mm		1			
S	g/cm		4.8			

Table 1 철심의 물성치

$H=Vm/d=NI/leff$ 이고 I 를 계산하면 센서에 필요한 전류 I 는 260mA 가 된다. 수신 센서는 송신 센서와 계산이 동일하고 송신센서의 wiring은 병렬로 하여 저항성과 유도 성을 줄이는 쪽을 이용하고 수신 센서는 작은 자계에서도 유도 전류를 많이 얻을 수 있도록 권선수를 증가시켜 저항성과 유도성을 같이 키워도록 단일 wire로 여러 번 겹쳐 감아 만들었다.

3.2 송신부 설계

송신 회로는 송신용 코일에 일정한 주파수를 가진 전류를 흐르도록 하기 위한 기능을 가져야 한다. 따라서 이 목적을 위해 기능에 따라 송신 주파수(1~10kHz)를 만들기 위한 signal generator, 부하에 따라 파형 변조를 막기 위한 Voltage follow, 또 전류를 증폭시킬 전류 증폭단으로 구성된다. 송신부 Block Diagram은 다음 그림 Fig 3과 같다.

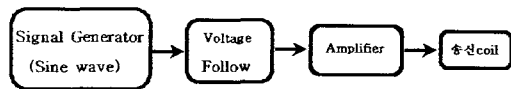


Fig. 3 Block Diagram

주파수 생성을 위해 XR-2206을 사용하였고 회로를 구성하여 실측한 결과는 $V_{P-P}=4.2V$ 이고 주파수는 1~10kHz이다. 그리고 부하에 따라 파형 변조를 막기 위해 Voltage follow를 제작했다. Voltage follow를 하기 위해 LM318을 선택하였다. 전류 증폭을 전류량을 최대로 증폭하기 위해서 Darinton TR 이중으로 연결하여 회로를 적용하였다. 따라서 TR의 emitter 출력을 송신 코일에 연결하고 DC power를 소비하기 위해서 bypass line을 연결하는데 저항성분이 작아야 송신 출력도 커지므로 power 용량이 크고 저

항 값이 작은 저항을 사용했다.

3.3 수신부 설계

수신부는 수신 회로에 감긴 수신 coil에 의해 감지된 신호를 증폭하여 전압 파형으로 전환하고 또 기준 신호와의 gain 및 위상차를 비교 가능한 상태의 신호로 바꾸어 주기 위한 기능을 한다. 따라서 모든 소자를 noise에 민감하지 않도록 선택해야하며 각 channel간의 독립된 전원라인이 연결되도록 구성해야 한다.

수신부 Block Diagram 다음 Fig 4과 같다.

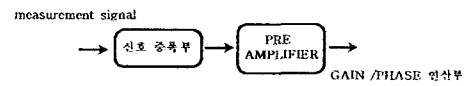


Fig 4 수신부 Block Diagram

수신부는 지하 매설물에 의해 송신측 자계가 변하는 것을 측정하여 그 신호를 Controller로 보내준다. 수신부 신호를 처리하기 위해 입력으로 DAQ 6032E 보드를 사용하였고 신호 처리 및 해석 tool은 Labview를 사용하였다. DAQ 6032E 보드는 신호를 입력 받아 증폭 및 필터링하여 초기 10초 동안 지면을 검색한 값과 새로운 값을 비교하도록 했으며 신호 해석을 아날로그 신호를 RMS 값으로 진폭의 차이와 FFT를 통한 주파수 차이를 분석하였다.

4. 전체 구성 및 시뮬레이션 결과

본 장에서는 2.3장에서 구축된 설계를 바탕으로 실제 실험에 앞서 수신 센서의 출력신호를 가상으로 만들어 시뮬레이션을 했다. 10초간 데이터의 FFT값과 진폭을 기준 값으로 설정하게 하고 연이어 들어오는 신호의 값을 초기 값에서 크게 벗어나지 않는 범위로 랜덤하게 만들어 초기 값과 비교 분석하여 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션 구성은 Fig. 5에 나타내었다. 시뮬레이션 결과를 Fig. 6~Fig. 8에 나타내었다.

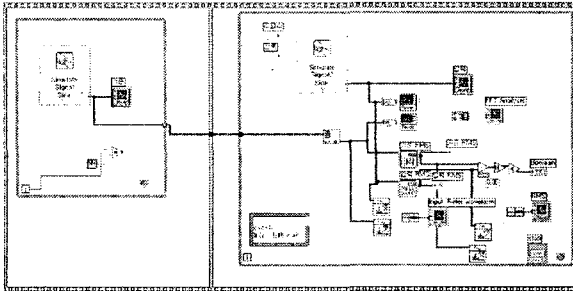


Fig 5 시뮬레이션 프로그램

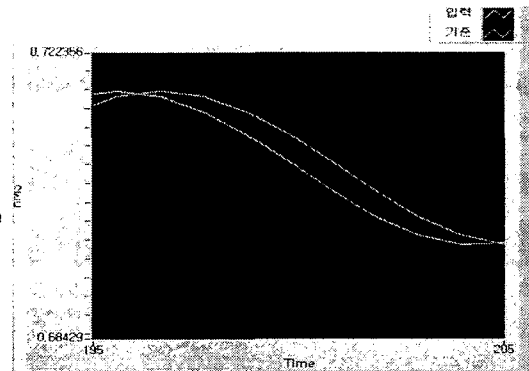


Fig 8 RMS 값 비교

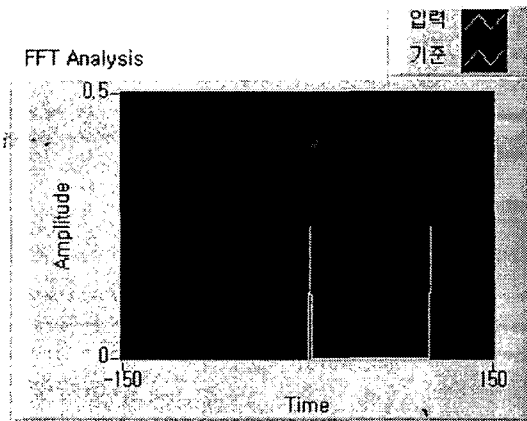


Fig 6 기준 및 가상 탐지 파형 FFT 분석

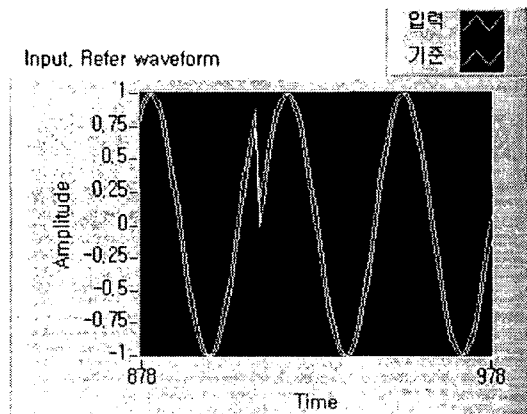


Fig 7 기준 및 가상 탐지 파형 동시 비교

5. 결론

본 논문에서는 자기 센서를 이용한 지하 매설물 탐지 시스템의 구성을 각 부분의 설계와 상용 소프트웨어인 Labview을 이용하여 시뮬레이션을 하였다. 현재 구성한 프로그램의 경우 가상 신호 생성 부분을 analog input icon으로 바꿔주면 실제 수신부의 신호를 받을 수 있도록 구성하였다. 현재 본 연구에서 탐지기 구성은 센서를 제외한 각 구성요소는 설계에 맞게 전체 회로를 구성하였다. 센서의 경우 실험 결과 노이즈의 영향을 많이 받아 신호해석이 어려웠고 그렇기 때문에 현재 센서에 대한 실험을 계속하여 수신신호를 안정화 시키고 있다. 또한 소프트웨어 쪽에서도 수신 신호의 노이즈 처리부분은 실험을 통해 얻은 데이터를 값을 분석하여 구축되어진 시뮬레이터에 노이즈를 분석 및 제거해주는 알고리즘을 추가하고 있는 중이다.

후기

본 연구는 과학기술부-한국과학재단 지정 울산대학교 기계부품 및 소재 특성 평가 연구 센터, (주)현대중공업의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. J.A. Stratton. Electromagnetic Theory, Mcgraw-HILL, 1941.
2. Blumer.M "Polycyclic Aromatic compounds in Nature" scientific American 1976
3. Van Vleck J.H Electric and Magnetic Susceptibilities, Oxford 1932.
4. Xu Zhenye "Identification of multiple underground metal pipes in short range by means of curve fitting", Zhengzhou Univ 1994.

5. Spouse. K.G, "The detection of buried plastic land-mines by electro-magnetic induction" Edinburgh UK 1996.
6. Polvani, D, "Magnetic loops as submarine detectors", Westinghouse Electric Corporation 1977.
7. Xiao-Bang Xu, "A simple computational method for predicting magnetic field in the vicinity of a three-phase underground cable with a fluid-filled steel-pipe enclosure", Dept. of Electr. & Comput. Eng., Clemson Univ, 1994.
8. Bellett, P.T, " Electrically small magnetic GPR antennas", PQueensland Univ , 2003.
9. Olhoeft, G.R, "Electromagnetic field and material properties in ground penetrating radar", Colorado Sch. of Mines Golden, CO, 2003
- 10 .Rhebergen, J.B, " Results of, measurements, processing and modelling of GPR data showing the effect of soil moisture content on land-mine detection", TNO Phys. & Electron. Lab, 2003
- 11 van Kempen, L, "Signal processing techniques for clutter parameters estimation and clutter removal in GPR data for landmine detection" Vrije Univ 2001
12. 손호용., "비파괴 전자탐사에 의한 지하 매설물의 정밀 탐지", 비파괴 검사학회 Vol 22 No 3 2002
- 13 손수정., "비자체제작한 시험장에서의 gpr의 매설물 검출능력에 대한 측정". 비파괴 검사학회 Vol 20 No 4 2000
14. 석창성, 배봉국, 김정표., "자기장을 이용한 매설 배관 의 위치탐지에 관한 연구", 한국정밀 공학회지 Vol 20 No 9 2003
15. 박상호 박관수, "비지하매설 가스관 검출을 위한 누설 자속 탐상 PIG 설계에 관한 연구 ", 비파괴 검사학회 Vol 22 No 2 2002
16. 차영호., "지하 파이프 탐지를 위한 시추공 자력탐사 역산", 서울대학교 학위논문 1992
17. 백준기, 조남익, " 신호와 시스템" 학술정보 2003
18. 광두영, "Labview Express" ohm社 2003
- 19 이병욱 이영정 최성주. "Labview를 이용한 기초 공학 실험" ohm 社 2003
- 20 김창환 , "전자기학" 양서각 . 1999