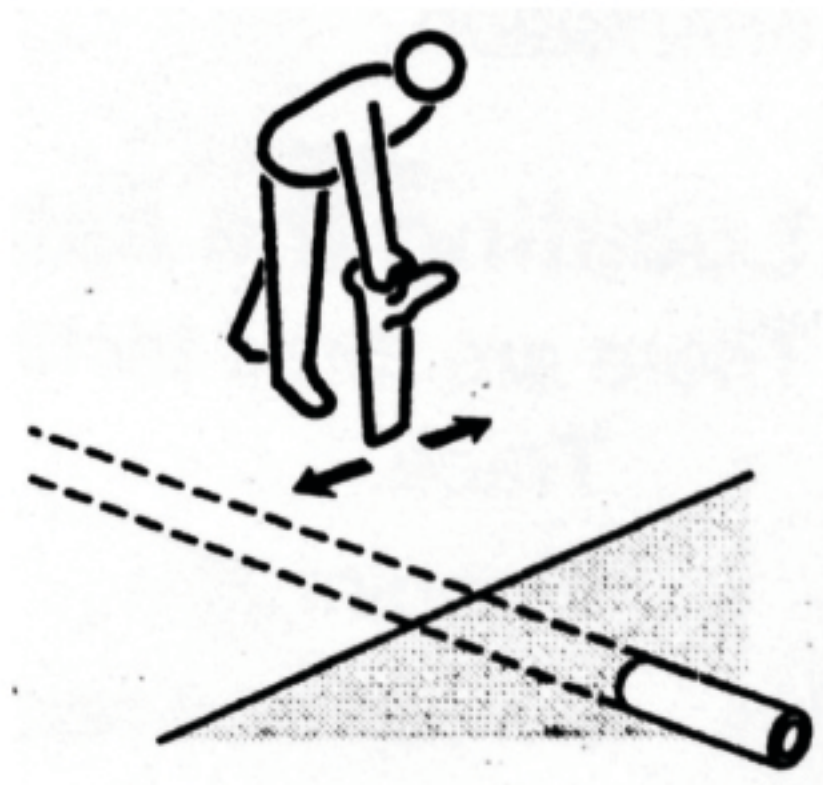


# Pipe & Cable Locator

The Theory of Buried Pipe and Cable Location



 송암엔지니어링(주)

서울시 영등포구 당산동 3가 290번지 송암빌딩5층 TEL:(02) 2679-3404 FAX:(02) 2679-3406  
<http://www.songameng.com> E-mail : [email@songameng.com](mailto:email@songameng.com)

## 1. 전자기장 위치 탐지(Electromagnetic Location)

파이프와 케이블 로케이터는 전자기장 원리를 이용한다. 이 방법으로 매설파이프, 케이블 그리고 하수도관의 위치 탐지하는 기술은 보편화되고 있다. 이 기술의 주된 단점은 플라스틱 관과 같은 비금속관로는 탐지가 되지 않은 다는 점이다.

그러나 플라스틱관에 로케이팅 와이어를 설치해서 이 문제점을 극복할 수 있다.

### 전자기장 위치탐지의 장점 (Advantages of electromagnetic location)

전자기장 위치탐지 기술은 지하의 정보를 얻을 수 있는 효과적으로 얻을 수 있는 많은 장점과 재능 들을 가지고 있다.

- 매설된 위치를 지상에서 찾을 수 있다.
- 찾고자 하는 라인을 추적하고 확인할 수 있다.
- 접근이 가능할 경우에는 하수도나 비금속 관로도 탐지가 가능하다. 무너진 곳이나 막힌 곳을 찾을 수 있다.
- 지상에서 깊이를 측정할 수 있다.
- 비굴착 도구나 장비의 진행상황을 모니터 할 수 있다.
- 이 기술은 지상이나 지하 또는 해저에서 steer 장비의 데이터를 보내줄 수 있다.
- 케이블손상, 파이프 코팅 상태, 플라스틱 파이프에서의 물의 누설 등을 찾을 수 있다.
- 주철 가스관의 조인트 부분을 정확히 찾을 수 있다.
- 장비를 휴대하며 들고 다닐 수 있다.
- 장비를 작업자가 취급하기 용이하고 사용하기 쉽다.
- 모든 토양이나 바닥 조건 및 수면 위에서도 사용이 가능하다.
- 이 기술들의 적용은 비용이 낮다. 충분히 현장 계약자가 구입하여 사용이 가능하다.
- 오늘 날 현존하는 기술이다.

### 광범위하고 다양한 기능과 적용에 단지 3가지의 단순한 작업만이 필요:

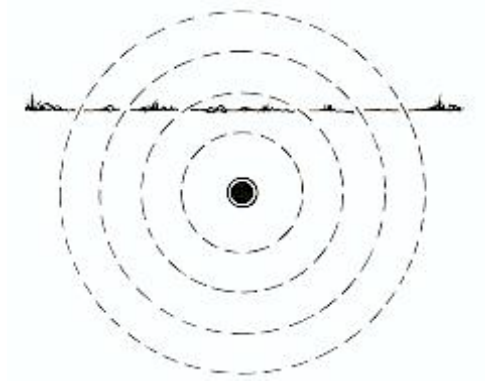
- 신호 발신기 또는 송신기로 매설파이프에 신호 부여
- 작은 자가송신기능을 비금속관로나 덕트, 드레인에 삽입
- 휴대용 수신기로 송신기나 또는 매설배관으로부터 자연적으로 발생하는 신호를 탐지

## 2. 전자기장의 기본 이론(Basic electromagnetic theory)

### 2.1 신호는 교류인가? 직류인가? (The signal, a.c. or d.c.?)

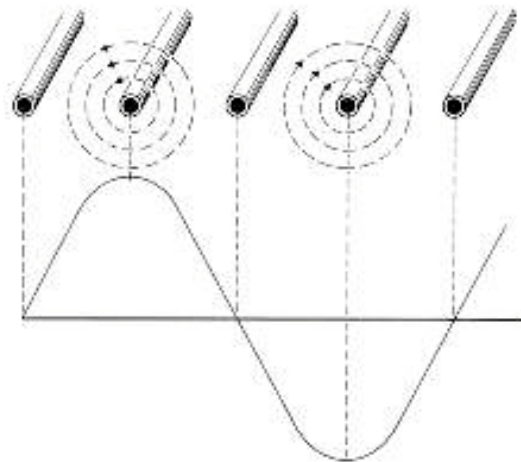
도체에 전류가 흐르면 전자기장이 생성된다. 전자기장의 모양은 도체의 주위로 원통형의 모

양으로 형성되며 신호라 부른다. 이 장(Field)은 전류로부터 생성되며, 전압에 의해서는 형성되지 않는다.



전기의 흐름에 대해서 절연하는 것은 가능해도 전자기장을 절연 시킬 수는 없다. 그리고 장(Field)의 모양은 케이블이 절연되어있거나 토양이 틀려진다 해도 변경되지 않는다. 도체에 d.c.가 흐르게 되면은 지구자장의 영구자석처럼 일정한 크기와 방향을 가진 장(Field)이 형성된다.

이런 d.c.장(Field)을 감지하기 위해서는 크기와 극성을 측정할 수 있는 기구가 필요하다. 지구자장에 대한 정적인 장(static field)을 측정하기는 어려워서 이는 가능하지 못하다.

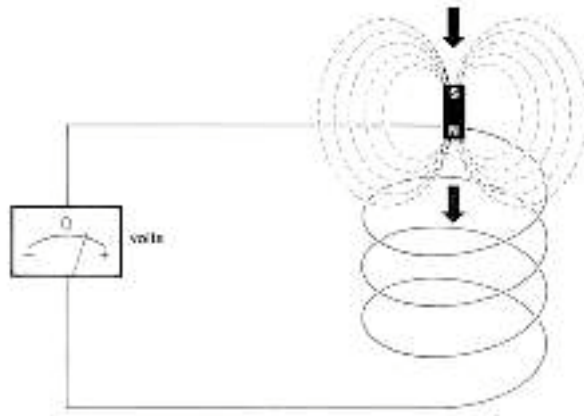


<-----one a.c. cycle----->

그러나 a.c.는 장(field) 뿐만 아니라 반전되는 진동주파수를 만들어 준다. 이는 전자장유도의 원리를 이용하여 효과적인 위치탐지를 가능하게 한다.

## 2.2 전자기장 유도(Electromagnetic induction)

막대 자석을 코일 속으로 넣으면 민감한 전압계는 자석이 움직이는 동안 바늘이 동요를 보여주게 된다. 자석이 멈추면 기계는 0 값을 읽는다. 만약 자석을 빠르게 빼면은 전압계는 반대의 방향으로 동요될 것이고 또한 움직임을 멈출 것이다. 더 빠르게 움직이면 더 높은 값을 읽을 것이다.



이 도식은 전자기유도의 기본적인 원리 그림이다. 전도체에 연결된 자장의 흐름은 전압을 전도체에 유도한다.

교체하는 흐름은 상시 변하면 이에 대응하는 변하는 전압이 유도 된다. 우리는 이 원리를 2가지로 이용한다.

- 근접하여 a.c.신호송신기를 이용하여 자기장을 매설된 유도체에 신호를 부여
- 수신기로 공중에 있는 장(field)에서 유도되는 작은 전압을 증폭하여 매설된 유도체로부터의 신호를 감지

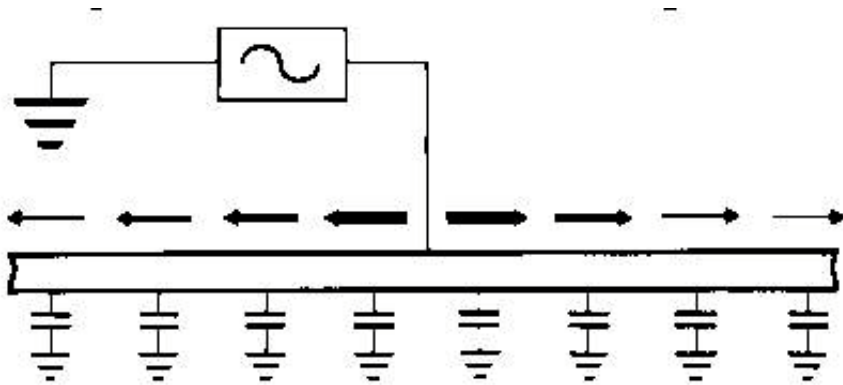
변동하는 전압의 변화비는 그것의 주파수이다. 즉, 국제적으로 통용되어 말하는 Hertz(Hz) 즉 양과 음의 펄스의 수, 초당 싸이클이다. 자석을 빠르게 움직이면 높은 값을 준다. 이는 같은 장(field)의 세기에서는 높은 주파수의 변동하는 장이 높은 전압을 유도한다.

### 3. 지구귀환전류, a.c.신호 & 콘덴서

#### (Earth return current, a.c. signals and capacitance)

##### 3.1 콘덴서 효과(Capacitance effects)

여러분도 알고있듯이 전기회로는 전류가 흐르도록 폐쇄되어 있다. 그러면 어떻게 절연되어 매설된 전도체에 약한 신호의 전류흐름을 지상에서 감지할 수 있는가? 전압은 분명히 절연되어 있으면 불가능하다. 해답은 a.c. 회로의 콘덴서 효과이다. 전통적인 콘덴서는 2 개의 전도체가 요구된다. 여기에 파이프나 케이블의 전도체가 있다 다른 하나는 어디에 있는가? 그것은 땅이다. 토양, 모래 또는 바위의 입자들이 높은 저항을 가지고 있지만 전도체의 주변으로 땅이 유도체의 역할을 하게 된다. 그래서 유도체는 땅으로 상대적은 충전이 된다.



광범위한 지역에 걸쳐서 이러한 효과가 땅속에 생겨서 매설된 전도체는 그 전도체를 따라서 조그마한 콘덴서의 연결처럼 되어진다. 만약 전도체의 어느 지점에서 a.c 가 인가되면 전류는 양쪽으로 흐르고 좀 더 멀어져 빠져 나가면 그 크기가 줄어 든다. 더 큰 주파수가 더 큰 전류이고 전도체의 더 큰 콘덴서가 더 큰 전류이다. 인가된 응용 신호의 크기는 더 빠른 신호의 소멸이다.

전도체 영역에는 전하가 증가하며, 그리고 전도체의 주위 표면도 그렇다. 그래서 파이프의 사이즈는 신호를 운반하는 거리에 영향을 준다. 같은 세기의 신호라면 작은 것 보다 큰 환경의 파이프에서 빨리 신호가 소멸되어 거리가 짧아 진다. 반대로 작은 환경의 케이블은 작거나 전류가 흐르지 않게 되어 콘덴서의(유기되는 전하) 효과가 적어서 그 결과 신호가 너무 적어서 감지가 어렵다. 콘덴서 효과는 접지되어 있지 않은 절연된 전도체의 마지막에 다다르기 전에 신호가 감소되어 결국 어느 정도의 거리에서 사라지는 지를 설명해 준다.

##### 3.2 토양 전도도 (Ground Conductivity)

땅의 전류 흐름의 능력은 지역적으로 매우 다양하다. 간단하게 말하면 젖은 토양은 건조한 모래 보다 전도성이 좋으며, 콘덴서 효과는 매우 다양한 도체의 전도도로 된다.

높은 접지 전도성의 효과는 좋은 귀환 경로 때문에 매설된 전도체에 신호와 전류의 흐름을

쉽게 유도하게 만든다. 동시에 쉬운 귀환은 전도체의 짧은 경로를 따라 신호가 없어짐을 의미한다. 반대로 낮은 토양 전도성은 신호를 유도하기 위해 좀더 많은 에너지가 필요하거나 이는 전도체를 좀더 길게 감지하는 것이 가능하게 된다.

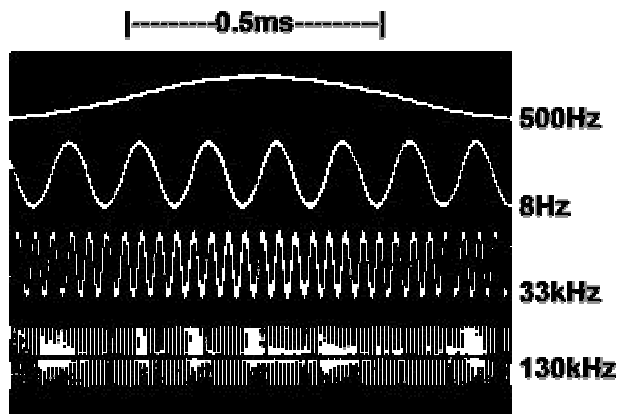
만약 매설된 전도체가 직접적으로 토양에 접촉되어 있거나 파이프의 피복이 침투되어 있다면 신호는 직접 유도되어 약하게 사라진다.

### 3.3 a.c 주파수의 효과 (Effect of a.c. frequency)

2.1 과 2.2 에서 높은 주파수가 좀더 높은 a.c 전압과 전도체의 강한 신호를 유도함을 알았다.

3.1 에서 높은 주파수가 좀더 높은 전하전류의 흐름과 신호를 야기시키는 것도 알았다.

그러면 높은 주파수가 신호를 인가하는데 유리한 것처럼 보인다.



이 그림은 같은 증폭과 전류 또는 장의 세기의 4 개의 다른 주파수의 오실로스코프의 도식이다. 0.5mS 같은 시간 동안 얼마나 많은 변화가 있었는지를 보여 준다. 그리고 유도 효과는 주파수에 비례해서 다양하다.

다른 한편으로 주파수의 증가는 좀더 쉽게 콘덴서 전하량이 유도 되어 신호전류가 흐르게 되고 이는 파이프나 케이블에 흐르는 신호가 빨리 없어져 거리가 짧아진다. 더욱이 높은 주파수는 목표전도체에 신호를 인가해도 주변의 다른 유도체에 상호 유도로 신호가 커플링 될 수 있다. 이것이 종종 복잡한 지역에서 목표 전도체를 찾는데 더욱 어렵게 만든다.

## 4. 동적신호와 정적신호(Active and Passive Signals)

매설 전도체에는 2 개의 신호가 있다. 이는 ‘passive’ 와 ‘active’ 신호이다.

### 4.1 정적신호 (Passive Signals)

사용자의 어떤 행위가 없어도 많은 도체에 자연스럽게 존재하는 신호이다. 확실한 예로 자기 임무인 전류를 운반하는 전력선이다. 좀 약한 예로 지구 자체가 전류의 귀환의 전

력시스템이기도 하다. 이들은 금속관이나 케이블의 틈으로 저항이 적은 쪽의 경로를 따라서 흐르는 경향이 있다. 또한 무선 주파수 역시 전기적으로 살아 있건 죽어 있건 간에 땅속으로 침투하여 매설 파이프나 케이블을 통하여 무선 주파수 운반 역할을 한다. 정적신호는 그래서 전도체 만으로도 로케이트가 가능하다. 그러나 구별되지 않는다. 왜냐하면 같은 신호가 다른 전도체에서도 나타나기 때문이다.

## 4.2 동적신호 (Active Signals)

목표 라인에 신호 송신기로부터 알고 있는 a.c 신호를 직접 또는 유도하여 인가한다.

Active 신호는 매설 라인의 위치를 가능하게 할 뿐만 아니라 전형적인 도시의 거리 밑에 존재하는 많은 혼잡한 여러 서비스라인 중에서 적극적으로 구별해 낼 수 있다.

작업자가 통제하는 신호의 소스로 좀더 정확한 작업(깊이 측정, 신호 세기의 비교)이 가능하다. 또한 작업 상황이 적합한 주파수를 선택할 수 있고, 특히 멀티 주파수 신호를 송신기로 부여할 수 있다.

## 5. Passive Signals (정적 신호)

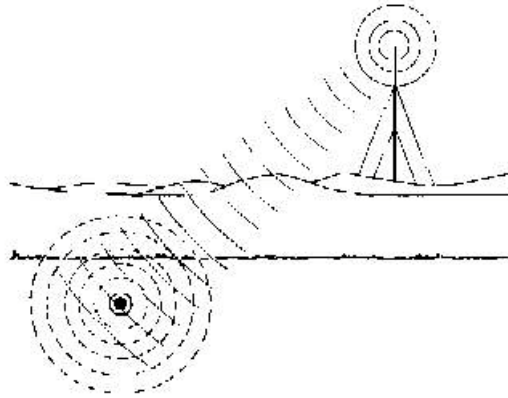
### 5.1 Electrical power frequencies (전력 주파수)

a.c 전력을 운반하는 케이블은 자체 신호인 50-60Hz 를 생산할 때 좀더 높은 주파수와 조화(동조)를 이루어 passive 수신기로 탐지할 수 있는 기본을 제공한다. 그러나 지중은 전력 시스템과 케이블의 접지점 사이로 전력 주파수의 전류가 흐른다. 이 전류는 자동적으로 저항이 적은 경로를 택하게 되고 이것은 매설된 금속라인과 전도체 등이다.

이 점들은 또한 콘덴서 및 유도로 coupled 된다. 그 결과 50-60Hz 의 신호이고 그리고 주변의 수많은 파이프 또는 다른 전도체 뿐만 아니라 매설된 주된 케이블에 약 3KHz 정도의 강한 주파수와 조화를 나타내기도 한다. 이는 전력 주파수 신호를 운반하는 전도체의 위치를 확인하게 하지만 passive 신호 위치로 각각을 구별할 수 없다. 신호는 살아 있는 전력선이나 파이프 또는 콘크리트의 철근으로부터 올 수도 있으나 우리는 어디에 전도체가 있는지 알 수 있다. 단상 전력선은 일반적으로 선명한 신호를 방출하지만 삼상 전력선은 신호는 강하여 각 선들 사이의 불균형으로 균형적인 전류는 그들 field로부터 소멸되는 경향이 있다.

## 5.2 무선 주파수 (Radio frequencies)

서로 멀리 떨어져 있는 송신기로부터 나오는 매우 낮은 주파수(긴파장) Radio 에너지는 전세계의 대기에 존재한다. 지중은 이러한 방산 신호의 귀환 경로를 제공한다. 매설 강관은 좋은 경로이다. 이 들은 이러한 신호를 재방사하는 역할을 한다. 이러한 신호들의 크기는 Line 의 크기와 토양전로도, 각각의 끝이 좋은 접지로 된 라인으로부터 오는 강한 신호 등 여러 조건에 따라 다양하다.



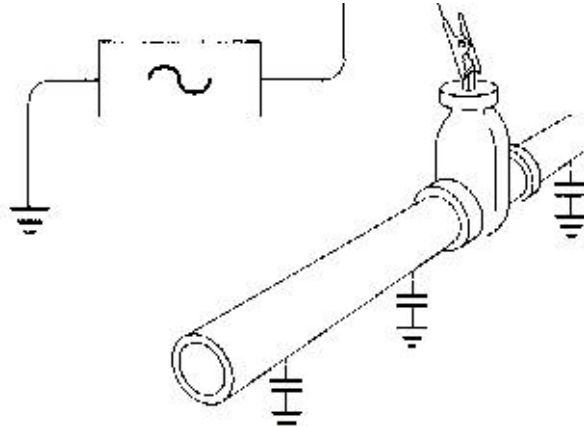
이러한 Radio 주파수 신호는 전도체의 존재를 수신기로 이용하여 확인하게 할 수 있다. 수신기는 죽어 있고 전력선 또는 잘 조화된 Power 주파수 모드로 쉽게 놓칠 수 있는 고압 전력선을 찾을 수 있다. 통신 케이블과 금속관 또는 VLF Radio 신호를 운반 한다. 또한 passive 탐지는 효과적으로 되나 마찬가지로 그들 라인을 구별하는 방법은 없다.

## 6. 동적 신호의 적용(Active Signal Application)

Active 신호의 적용은 배터리로 알고 있는 주파수와 신호를 a.c 전압으로 만들 수 있고 신호 송신기가 필요하며 이 신호를 매설 된 전도체에 부여한다.

### 6.1 직접 접속

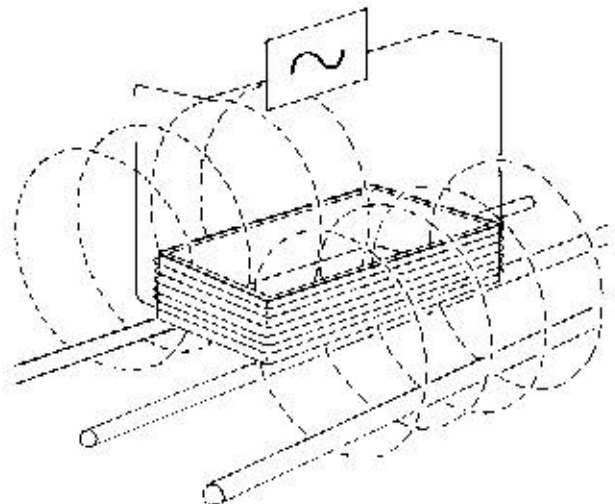
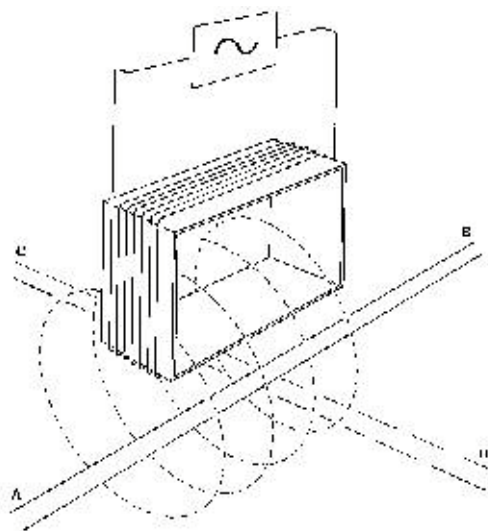
신호 발신기(송신기)로부터 a.c 전압 신호를 접속이 가능한 지점(밸브, 미터기 또는 전도체의 끝단 등)에 직접 접속하고 접지봉 또는 다른 접지 접속점과 폐쇄된 회로를 형성한다. 이 신호는 라인의 타입과 크기 그리고 토양의 조건 등에 따라 일정한 거리를 라인을 따라 탐지가 가능하다. 파이프 절연 조인트는 신호의 심대한 감소나 멈춤을 야기시키며 주파수의 선택 또한 중요한 영향을 준다. 접지를 공유하고 있는 라인들은 같은 신호를 접지의 상태에 따라서 좀더 넓게 또는 적게 퍼져 나간다.



## 6.2 유도 (Induction)

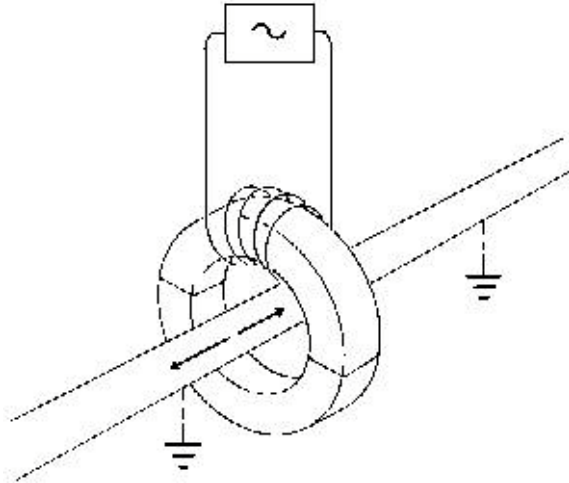
신호 송신기의 직사각형 코일을 통하여 a.c 전압은 자장을 만들게 되며, 이 자장은 지하로 귀환한다. 코일과 평행하게 놓여 있는 전도체 AB는 이 자장과 결합되어 전압이 유도된다. 만약 코일과 교차하는 방향의 전도체 CD는 코일과 결합되지 않아서 전압이 유도되지 않는다. 바르게 목표관로에 코일을 위치시키는 것이 따라서 중요하며, 그러면 자장은 코일 아래의 좁은 대역으로 집중된다.

그리고 신호 전류의 유도는 라인의 접지 상태, 사용된 주파수, 파이프의 절연 여부 등에 달려 있음을 알아야 한다. 일반적으로 8kHz 주파수 또는 더 높은 주파수가 유도에 효과적이다. 그러나 높은 주파수는 주변의 다른 라인에 좀더 쉽게 coupled 된다. 가끔 유도가 라인에 active 신호를 부여하는 유일한 방법일 수 있다. 그러나 유도는 직접 접촉이나 클램프보다 효과적이지 못하다. 라인이 근접해 있거나 한 개 이상일 경우 받는 수신 신호는 종종 라인을 구별하지 못할 때가 있다.



### 6.3 클램프로 신호부여(Clamping a signal to a line)

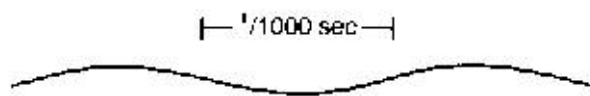
클램프는 유도 원리를 이용하여 라인에 전기적 접촉 없이 직접 접속의 효과를 줄 수 있는 방법이다.



### 6.4 동적신호 탐지를 위한 주파수선택

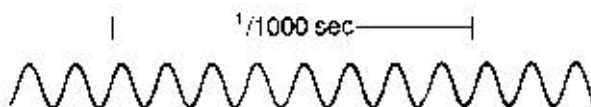
#### (Choice of frequency for active location)

매설 라인의 효과적인 추적과 구별을 위해서는 신호 주파수의 선택이 중요한 요소이지만 모든 상황을 커버할 수 있는 주파수는 없다. Active 신호는 일반적으로 8KHz 와 33KHz 사이의 주파수들이 이 응용에 사용되고 있다. 이러한 주파수의 전형적인 예와 그것의 사용에 대한 이유들을 그림과 같이 아래에 기술하면



**512Hz**

낮은 주파수는 라인의 장거리 탐사나 구별에 매우 유용하다. 이 주파수는 원하지 않는 라인에 쉽게 coupling 되지 않는다. 그러나 이 주파수는 유도에는 너무 낮으며 전력 주파수와 동조 간섭의 밴드 안에 있기 쉽다.



**8kHz**

이 중간 주파수는 일반적 목적의 신호로 가장 유용하다. 유도에 충분하며, 전력 주파수의

간섭 밴드로부터 벗어나 있으며, 원치 않는 라인의 coupling 을 제한한다. 그러나 통신 선로와 같은 직경의 라인에는 강한 신호를 부여하기에는 충분하지 못하다.



**33KHz**

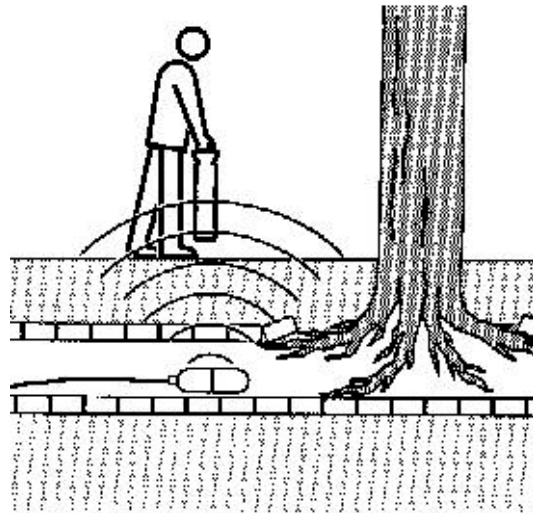
이 높은 주파수는 모든 라인에 쉽게 유도를 적용할 수 있어서 초기 단계의 탐사에 매우 유용하다. 그리고 작은 직경의 라인에도 잘 운반된다. 그러나 이것은 원치 않는 라인에 coupling 이 좀더 쉽게 되며 쉽게 세기가 줄어들어 낮은 주파수 보다 탐사 거리가 짧다.



**100KHz and over**

매우 높은 이 주파수는 어려운 상황 즉, 짧은 길이의 케이블이나 건조한 모래 땅의 작은 직경의 라인 등에 아주 용이하게 유도를 할 수 있다. 그러나 원치 않는 라인에 매우 쉽게 coupling 되며 탐지할 수 있는 거리가 짧다.

**7. 비금속 관로의 탐지 (Tracing non-metallic pipes)**



지금까지의 기술 들은 금속 라인이나 전도체에 신호 전류가 흐름을 감지함을 기본 전제로 했다. 플라스틱이나 콘크리트, 덕트, 드레인 등이 염려된다. 분명 Trace wire 가 line 을 따라서 설치되어 있지 않다면 전류의 흐름으로 전자기장을 감지할 수 없기 때문에 방법이 없다. 대안으로 손드라 불리우는 신호 송신기를 라인 속으로 삽입하여 지상에서 손드 (sonde)와 같은 주파수를 동조시킬 수 있는 수신기를 사용하여 이것의 정확한 위치를 탐지할 수 있다.

손드는 자체 배터리를 전원으로 하여 신호를 송신할 수 있는 것으로 철자석에 코일을 감아 놓은 형태로 이루어져 있다. 손드의 감지 가능한 깊이는 손드의 송출 파워에 따라 다르며 이는 손드의 사이즈와 관련되어 있다. 작은 직경의 조그마한 손드는 큰 손드에 비해 감지 되는 깊이에 제한이 있다.

## 8. 송신기 신호로 얼마나 멀리 탐지 가능한가?

### (How far can a transmitter signal be traced?)

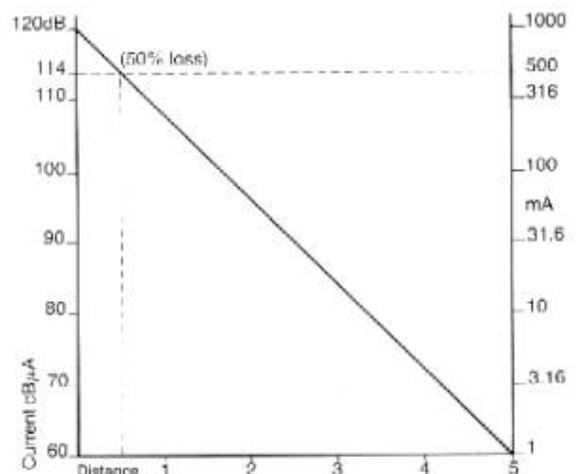
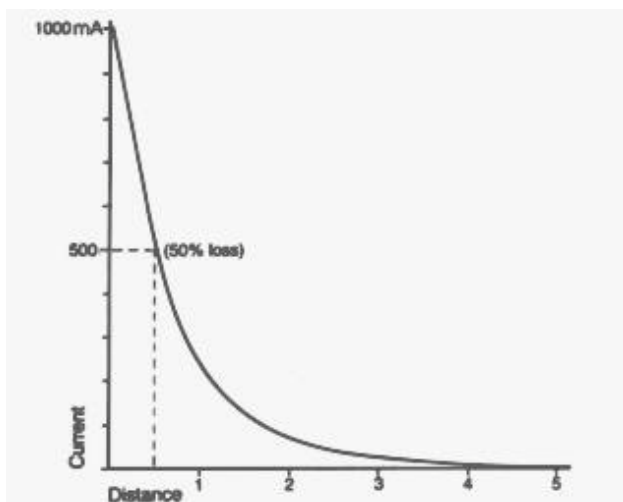
이 질문은 모든 로케이터 사용자들이 묻고 싶을 것이고 그리고 모든 제조자들이 대답을 회피하고자 원한다. 그것은 똑바로 가지 않기 때문이다. 간단히 말하면 어떤 주어진 라인에 경험적인 실험에 의해서만이 그 해답을 찾을 수 있는 방법 외엔 다른 길이 없기 때문이다. 좀더 효과적인 질문은 ‘어떻게 하면 송신기로부터 탐지 거리를 늘리고 최대화 할 수 있는가?’ 이다.

탐지 거리는 주어진 전류가 신호가 출발한 지점부터 소멸되는 지점에 이르는 점이며 이는 라인의 신호 소멸비에 따른다. 탐지의 거리는 수신기의 감도 기능에 의하여 감지될 수 있는 지점까지의 거리이다. 그 지점은 수신기로 감지할 수 있는 어떤 전류가 존재해야 하며 노이즈라 불리는 의심되거나 간섭 신호로부터 구별이 가능해야 한다. 높은 전류는 더 쉬운 감지를 가능하게 한다.

신호 손실의 비율은 실제 라인과 신호 주파수의 값에 따라 보통은 고정 된다. 이것은 기본적인 전기적 특성인 금속라인 또는 구조물과 토양에 대한 상대적인 전도도, 콘덴서 효과, 유도성 등에 의존한다. 이는 또한 라인의 직경, 절연, 토양의 종류와 전도도등에 관련 된다.

탐지 거리를 증가시킬 수 있는 가능성 등은 아래의 방법들 이다.

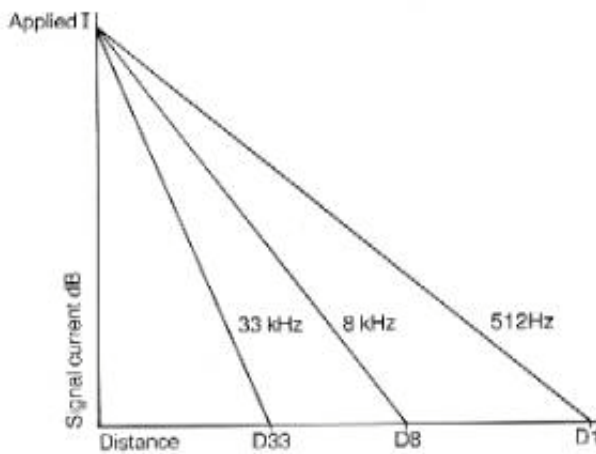
1. 신호 소멸의 비율을 줄인다.
2. 신호 전류의 증가
3. 수신기의 감도 증가



이 그래프는 1A의 신호 전류가 어떻게 소멸되는가를 보여준다. 송신기로부터 가까운 곳에서 대부분의 신호를 잃어버리고 그 이후로 낮은 값으로 완만하게 0 값에 이른다.

### 8.1 신호 소멸의 비율을 줄인다.(Reducing the rate of signal loss)

일반적으로 낮은 주파수의 신호가 높은 주파수보다 보다 멀리 전달된다. 아래의 그래프는 같은 신호 전류에서 33KHz, 8KHz, 512Hz의 신호가 0dB로 떨어지는 지점을 보여준다.



그러나 이것은 어떠한 주파수가 적용되는 것이 가장 효과적일가는 것이 매우 다양하기 때문에 단지 참고 사항에 지나지 않는다. 예를 들면 더 높은 주파수가 유도의 적용에는 더 용이하다. 백그라운드 노이즈 역시 서로 다른 주파수별로 다르며, 특히 전력선과의 조화를 이루는 범위 내에 있을 때 그리고 수신기의 감도 등도 영향을 준다. 어떠한 라인과 주변 환경에 따라서 최적의 주파수 범위의 선택은 경험적인 방법에 의하는 것이 최상이다.

### 8.2 신호전류의 증가(Increasing the signal current)

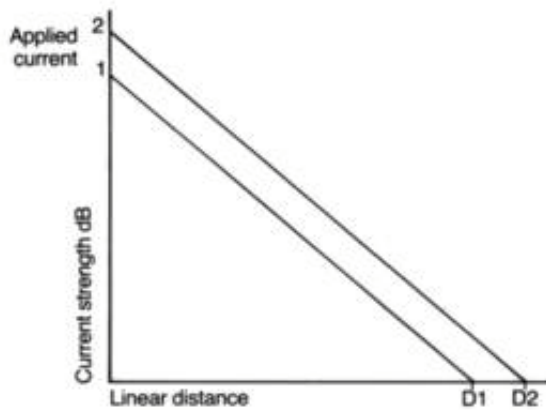
신호전류의 증가를 달성하는 방법은 기본적으로 3가지가 있다. 각각은 비용이 낮드는 방법, 적게드는 방법, 많이드는 방법이 있다.

첫번째 방법은 분명히 그러나 자주 소홀히하기 쉬운 것으로 신호의 귀환을 위한 접지를 가장 좋게 하는 것이다.

두번째는 적은 비용이 소요되는 것으로 장비의 설계에 따른 것으로 임피던스의 매칭을 사용하는 것이다. 어떤 주어진 라인은 어떤 특정한 주파수에 대해서 고정된 임피던스를 가지게 되며, 이의 감지를 위해서 어떤 신호전류의 흐름이 필요하다. 라인에 전류를 부여하기 위해서는 전압이 필요하며 그러면 신호전류가 생기고 그러면 송신기로부터 라인의 임피던스를 알 수 있다.

세번째는 비용이 가장 많이 드는 것으로 송신기의 파워를 증가시켜서 전류량을 증가시키는 방법이다. 두배의 전류량 증가를 위해서는 4 배의 송신기 파워가 필요하다. 이는 송신기의 크기와 무게 그리고 비용의 증가를 수반하며 배터리의 큰 소모가 필요하다.

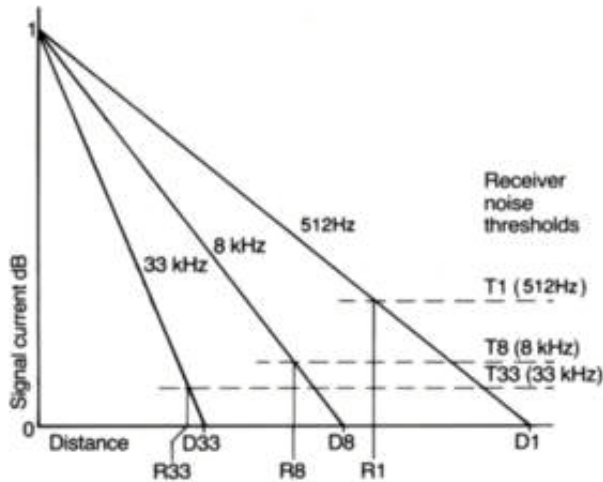
어떠한 방법들이 적용되든 간에 주어진 라인과 주파수에서 신호 전류량의 증가의 노력은 탐지 거리의 증가를 의미한다.



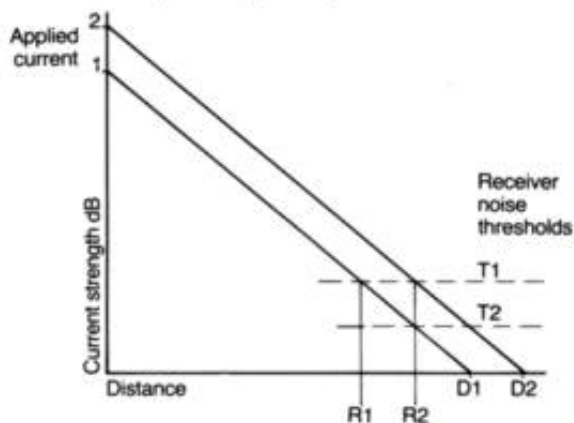
Note that doubling applied current does not double the range

### 8.3 수신기의 감도 증가 (Increasing Receiver sensitivity)

아래의 그래프는 신호전류가 탐지라인에서 점차적으로 0 으로 떨어지는 것을 보여준다. 그러나 0 에 이르기 전에 신호전류의 상태는 보통 수신기로 탐지하기 어렵게 된다. 왜냐하면 지층의 노이즈와 갑섭 때문에 구별이 어렵기 때문이다. 따라서 이러한 노이즈의 threshold 는 상당히 고려되어야 할 사항이다. 아래의 그래프는 다른 주파수 별로 신호 손실의 비를 비교를 나타낸다. 또한 각 주파수별로 노이즈 threshold 를 보여준다. 이 표에서 0dB 에 이르는 거리가 512Hz 인 D1 이 8KHz 인 D2 보다 훨씬 많이 길지만 수신기의 512Hz 의 노이즈 threshold T1 이 8KHz 의 threshold T8 보다 높다. 이는 512Hz 가 대부분의 작업환경에서 존재하는 전력시스템의 50,60Hz 에 연관되어 조화되기 쉬운 주파수로 되기 쉽기 때문이다. 따라서 최대 탐사 거리는 512Hz 의 R1 이 8KHz 의 R8 보다 실제 비교되어 제시된 거리보다 그렇게 길지 않다. 마찬가지로 33KHz 와 8KHz 도 같은 효과로 비교될 수 있다.



따라서 수신기의 감도 성능이 탐지 거리의 정도에 영향을 주는 매우 중요한 요소이다. 낮은 노이즈 threshold 뿐만 아니라 높은 증폭 또는 게인(gain)이 달성 되어 한다. 필터링의 성능 즉, 송신기로부터의 신호주파수가 아닌 다른 주파수를 거부하는 능력은 기본적인 요소이다. 아래의 그림은 수신기의 노이즈 threshold의 성능에 따른 탐색거리의 비교를 보여준다.



#### 8.4 요약 (Summary)

어떤 주어진 라인과 신호주파수에서 궁극적인 탐지거리의 범위는 수신기의 감도 즉 필터링의 수준(증폭 능력과 수신안테나의 설계)에 달려있다.

송신기로부터 얼마만큼의 거리를 탐지할 수 있는냐는 라인, 주파수 그리고 송신기로부터 얼마만큼의 강한 송신 신호를 부여할 수 있는가에 따라 매우 다양하다. 이러한 기능은 단지 송신기의 파워뿐만 아니라 임피던스의 매칭과 귀환 경로의 좋은 접지등과도 관련이 있다.

효과적인 범위의 최적화는 신호주파수, 작업자의 안전과 배터리 상태 등을 고려하여 송신기의 전류/전압의 옵션의 선택 그리고 수신기의 성능과 관련되어져 달성될 수 있다.