

전도성류체수지관통로의 신호전송특성에 대한 연구

서 상 목

바다물공급을 위하여 땅속에 매몰된 수지관들에서는 용접부위의 결함 및 파열 등으로 인한 류실현상이 자주 나타난다.

이러한 수지관의 파손위치를 찾아내는 방법에는 직접적 및 간접적방법이 있는데 직접적방법은 기계적으로 땅을 직접 파보아야 하므로 많은 노력과 시간이 요구되므로 비효과적이다.

론문에서는 수지관을 동축선으로 모형화하고 전도손실과 파동저항을 계산함으로써 전자기파를 리용하여 간접적인 방법으로 수지관의 파손위치를 찾아내기 위한 이론적이고찰을 진행하였다.

일반적으로 전기적방법으로 고장위치를 찾기 위하여서는 수송관을 신호전송통로로 고찰할 필요가 제기된다. 특히 그 수송관이 수지로 되어있는 경우에는 그것을 일종의 동축선형태로 된 전송통로로 볼수 있다.

바다물은 소금농도가 3.5%정도이고 비저항이 $15\Omega\cdot\text{cm}$ 로서 동의 100 000배이므로 직경(내경)이 20cm인 수지관에 차있는 바다물의 전기저항은 직경이 5mm인 동선의 저항과 맞먹는다. 따라서 습한 땅에 묻은 바다물수송관은 동축형선로로 충분히 볼수 있다.

한편 신호를 전달하는 전송통로는 직렬방향의 유도도 L 과 손실저항 R 그리고 병렬방향의 용량 C 와 손실유도도 G 등이 전체 선로방향의 길이에 따라 균일하게 분포되어 있는 분포정수회로로 볼수 있다.

이와 같은 회로의 파동저항은 직렬방향의 단위길이당 완전저항

$$Z = R + j\omega L$$

과 병렬방향의 단위길이당 완전전도도

$$Y = G + j\omega C$$

의 값이 주어질 때 다음과 같이 결정된다.

$$Z_{\text{파}} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

여기서 R, L, G, C 들은 선로의 단위길이당 값이다.

금속으로 된 동축선에서는 R 와 G 를 무시하고 $Z_{\text{파}}$ 를 계산할수 있지만 우리 경우에는 손실이 크므로 L 과 C 를 무시하고 파동저항을 계산해야 한다.

한편 선로의 어떤 점 x 에서의 입구저항은 다음과 같다.

$$Z_{\text{입}} = Z_{\text{파}} \left(Z_{\text{부}} + jZ_{\text{파}} \tan \frac{2\pi}{\lambda} x \right) / \left(Z_{\text{파}} + jZ_{\text{부}} \tan \frac{2\pi}{\lambda} x \right)$$

여기서 $Z_{\text{부}}$ 는 선로의 끝에 련결된 등가완전저항 즉 부하저항이며 λ 는 신호의 파장이다.

만일 수지관이 어떤 위치에서 터져 바다물이 샌다면 그 위치에서의 R, L, G, C 값들은 다른 위치에 비하여 크게 변하게 되며 그것은 해당 위치에서의 파동저항이 변하는것

으로 나타난다.

수송관안의 바다물은 매몰된 수지수송관을 둘러싼 토양에 비하여 훨씬 큰 전기전도도를 가진다.

따라서 신호에 대한 감쇠를 계산할 때 동축선중심선에 해당하는 바다물에서의 감쇠는 무시하고 매몰토양에서의 감쇠만 고려하여도 된다.

각이한 습도를 가진 땅속으로 전자기파를 작용시킬 때 감쇠계수와 위상속도 및 반사파지연값[1]은 다음과 같다.

모래땅인 경우와 진흙땅인 경우에 주파수가 $f=150\text{ MHz}$ 인 전자기파에 대하여 그 값들은 표 1, 2와 같다.

표 1. 모래땅인 경우

습도/%	감쇠/(dB·m ⁻¹)(배수)	위상속도/(cm·ns ⁻¹)	반사파지연/(ns·m ⁻¹)
0	0.05(≈1)	17	12
4	1.8(1.2)	13	15
8	3.5(1.5)	11	18
12	5.3(1.8)	9	22
16	6.5(2.1)	8	26

표 2. 진흙땅인 경우

습도/%	감쇠/(dB·m ⁻¹)(배수)	위상속도/(cm·ns ⁻¹)	반사파지연/(ns·m ⁻¹)
0	0.3(1.04)	19	10
4	23(14.1)	13	16
8	27(22.4)	11	19
12	40(100)	9	23
16	53(447)	7	29

표에 제시된 감쇠를 리용하면 토양의 전도도를 구할수 있고 위상속도와 전자기파의 지연값을 리용하면 토양의 유전률과 수송관의 파동저항을 계산할수 있다.

바다물수송관을 동축선로로 모형화한 전송통로의 손실특성과 파동저항을 계산하기 위하여서는 동축형구조에서 TEM파가 전파될 때의 감쇠계수에 대한 공식[2]

$$\alpha = \frac{\sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}}}{2b \ln\left(\frac{b}{a}\right)} \sqrt{\frac{\pi f \mu}{\sigma}} \left(\frac{b}{a} + 1\right)$$

을 리용하여 먼저 손실전도도를 구해야 한다. 여기서 f 는 전자기파의 주파수, μ 는 토양의 투자률($\mu \approx 1$)이며 a 와 b 는 동축구조의 내경과 외경으로서 근사적으로 관의 매몰깊이(대략 1m)로 볼수 있다. 그리고 ϵ_0 과 μ_0 은 진공의 유전률과 투자률이다.

한편 토양층의 전도도와 유전률을 알면 선로모형의 파동저항을 구할수 있다.

수지관을 동축선으로 보고 그 《내부도체》토막의 길이를 Δx 라고 할 때 유효저항은

$$\Delta R_1 = \frac{1}{\sigma_1} \frac{\Delta x}{S} = \frac{1}{\sigma_1} \frac{\Delta x}{\pi r^2}$$

이며 따라서 단위길이당 유효저항은

$$R_1 = \frac{\Delta R_1}{\Delta x} = \frac{\rho_1}{\pi r_1}$$

로 된다. 여기서 r 는 수송관의 내경, σ_1 은 바다물의 전기전도도, ρ_1 은 땅의 비저항이다.

한편 외부도체 즉 관을 매몰한 땅의 단위길이당 유효저항은 다음과 같이 계산할수 있다.

$$\Delta R_2 = \frac{1}{\sigma_2} \frac{\Delta x}{\int_{r_1}^{r_2} 2\pi r dr} = \frac{1}{\sigma_2} \frac{\Delta x}{\pi(r_2^2 - r_1^2)}$$

$$R_2 = \frac{\Delta R_2}{\Delta x} = \frac{\rho_2}{\pi(r_2^2 - r_1^2)}$$

여기서 r_1 은 수지관의 외경이고 r_2 는 근사적으로 매몰깊이로 볼수 있다. 물론 매몰된 관 으로부터 지면까지는 r_2 로 볼수 있지만 수평방향이나 밑으로는 무한대라고 보아야 한다. 그러나 전자기마당이 수송관의 주변에 집중되어있다는 사정을 고려하여 그런 근사를 적용하기로 한다. 위의 공식들에서 첨수 1은 《내부도체》 즉 바다물에 해당되고 첨수 2는 외부도체 즉 관을 매몰한 땅에 해당된다.

앞에서 지적한바와 같이 $R_1 \ll R_2$ 이다.

이런 조건에서 토양의 유전률과 전도도 및 수송관의 파동저항을 계산하면 다음과 같은 결과를 얻는다.(표 3, 4)

표 3. 모래땅인 경우

습도/%	상대 유전률	비전도도/ $(\Omega m)^{-1}$	선로 파동저항/ (Ωm)
0	3.2	0.001	1 426.8
4	5	0.621	1 371.7
8	7	1.326	1 324.6
12	11	2.673	1 252.4
16	15	3.125	1 172.5

표 4. 진흙땅인 경우

습도/%	상대 유전률	비전도도/ $(\Omega m)^{-1}$	선로 파동저항/ (Ωm)
0	2.4	0.311	1 367.2
4	5.4	1.154	1 238.9
8	8	2.836	1 214.7
12	12	3.512	1 155.2
16	18.6	5.482	1 036.1

맺 는 말

동축선형태로 모형화한 바다물수송용 수지수송관의 터진 위치를 찾기 위하여서는 통신케블의 고장위치를 탐지하는 전자기적방법을 적용할수 있으며 이때 위의 표에 제시한 량들은 그런 탐지기구를 설계하기 위한 중요한 기초자료로 리용할수 있다.

참 고 문 헌

- [1] W. K. Anderson et al.; Microwave and Wireless Components Letters, **23**, 6, 234, 2013.
[2] G. Gok et al.; IEEE Trans. MTT., **61**, 3, 1414, 2013.

주제108(2019)년 2월 5일 원고접수

Study on Signal Transmission Characteristics of Plastic Pipe Channel for Transport of Conducting Fluid

So Sang Uk

We introduced a new coaxial transmission system. The system comprised of a plastic pipe and inner conductive fluid.

We obtained the wave impedance of the coaxial transmission system by distribution characteristic modeling.

This result can be applied in detecting various objects by underground radar.

Key words: signal transmission, conducting fluid