

불균일 복합매질의 투과도 및 신호감쇄량 계산

(Computation of Transmissivity and Signal Loss in Inhomogeneous Complex Media)

김 채 영* · 정 종 철**
Che Young, Kim · Jong Chul, Jung

초 록

흙으로 침투하는 전파의 투과도와 흙에 의한 신호감쇄량을 계산하였다. 대상 복합매질을 이층구조로 모델링한 후, 적분형태로 주어진 전계 표현식을 보였다. 불균일 복합매질에서는 체적산란이 일어나며, 이의 영향이 감안된 전파특성을 분석하기 위하여 반복법인 본(Born) 근사법을 사용하였다. 또한 불균일 복합매질이 가진 랜덤성의 정도는 분산과 상관길이에 의해 정해지도록 하였다.

흙에 함유된 수분량, 흙 입자의 반경, 온도 및 주파수를 변수로 하는 투과도 및 신호감쇄량 식을 제안하였다. 제안된 식으로부터 이들 변수에 따른 투과도 및 신호감쇄량의 변화를 보였다. 분석 결과, 수분이 함유된 경우에는 신호감쇄량의 변동폭이 온도에 따라서 크게 달라짐을 보게 되었고, 그 변동치는 일반적인 예상치를 훨씬 초과하였으며 그 물리적 이유를 설명하였다.

ABSTRACT

Transmissivity and the signal loss in soil are computed. An electric field expression for the inhomogeneous complex media modelled by two layers is shown as an integral form. Volume scattering occurs in inhomogeneous media, and iterative Born approximation is used to analyze this scattering effect. The degree of randomness is controlled by specifying the variance and correlation length.

Expression for the transmissivity and the signal loss is presented as the parameter of soil moisture contents, soil particle radius, temperature and frequency. The analysis shows that big deviation in signal loss depends on the temperature variation remarkably and the physical reason of unusual level is explained.

* 경북대학교 전자공학과, 대구시 북구 산격동 1370

** 국방과학연구소, 대전시 유성우체국 사서함 35-5호

※ 이 연구는 국방과학연구소 기초연구 수행에 의한 결과임(과제번호 ADD-98-2-3)

1. 서론

자유공간으로부터 입사된 전파가 지표면으로 침투되는 문제는 통신 및 물체탐지에 활용되기에 많은 연구가 수행되었다[1-3]. 이때 사용하고자 하는 문제의 종류에 따라서 해당 지표면을 적절히 모델링하며, 가장 단순한 모델링은 지표면의 크기가 무한대인 완전도체면으로 두는 것이다[4,5]. 더욱 실제에 근접한 모델링은 지표면을 손실을 가진 균일 유전체로 가정하는 것이다. 이러한 모델링은 비교적 주파수가 낮은 대역에서는 매우 적절한 모델링이 된다. 그러나 최근에는 사용하는 주파수가 점점 높아져서 100 GHz 정도의 밀리미터파대역이 사용되며, 이 주파수대에서의 통신 및 물체탐지가 행해진다. 한 예로서 밀리미터파보다 더 높은 주파수인 적외선을 이용한 지표면 탐사가 이루어지고 있다[6]. 따라서 밀리미터파대가 포함될 매우 높은 주파수대에서의 지표면 침투문제를 취급해야 할 필요성이 대두된다.

지표면은 흙이며, 흙은 유전상수가 거리에 따라서 변화되는 불균일 매질인 동시에 그 유전상수가 랜덤하게 변하는 랜덤매질이다. 그리고 흙을 구성하는 입자들은 그 크기와 각 입자들의 유전상수가 서로 다르며, 또한 혼합비율이 서로 상이한 복합매질이다. 또한 고주파수가 되면 파장과 입자의 크기가 서로 비슷한 크기가 되기에 각 입자에서는 산란이 발생된다. 따라서 저주파수대에서 가정하였던 균일매질이란 전제조건이 더 이상 성립되지 않으며, 입자들에 의한 산란현상이 고려되어야 한다. 관련분야에 대한 연구가 국외에서는 다수 수행되었으나[7,8] 국내에서는 거의 이루어지지 않고 있다.

본 논문에서는 지표면을 이층 구조로 모델링하였다. 즉 전기적 특성을 서로 달리하는 두 개의 층으로 두었다. 이층 모델링시 영역 0은 공기이고 영역 1과

영역 2는 전기적 특성이 서로 다른 흙이다. 여기서 영역 1은 불균일 복합매질로 두었고, 영역 2는 손실을 가진 균일유전체로 두었다. 불균일 복합매질의 경우 랜덤성의 정도를 정해 주어야 하는데 이를 위하여 상관길이의 분산을 사용하였다[9]. 그리고 흙속에 함유된 수분의 기술시는 Debye 공식을 사용하였다[10].

불균일 복합매질내에서는 균일매질과는 달리 체적산란이 발생된다. 즉 랜덤매질 자체가 하나의 전원(source) 역할을 하여 이로부터 전자파가 발생된다. 체적산란에 의한 전파의 크기를 구하기 위하여, 균일매질만으로 채워진 이층구조의 그린함수를 구한 후 이 그린함수와 랜덤매질에 의한 전원으로부터 수분이 함유된 흙에 의한 산란파를 결정하였다. 이때 그 산란과 표현식은 적분방정식으로 주어지는데, 이 식의 해는 반복법인 본 근사(Born approximation)법을 사용하여 구하였다[11]. 결정된 산란파로부터 계산된 물리량은 지표면에 의한 반사도, 지표면으로의 침투 정도를 알려주는 투과도, 그리고 수분이 함유된 흙속에서의 전파신호의 감쇄량이다. 언급된 세 가지 물리량의 변화를 관찰하기 위하여 사용된 파라미터는 주파수, 입자의 크기, 체적용적율, 유전상수 및 온도이다. 이들 파라미터에 따라서 반사도, 투과도 및 신호감쇄량이 어떻게 변동되는 지를 관측하였다.

2. 본론

(1) 랜덤매질 기술을 위한 적분방정식

유전상수 $\epsilon(r)$ 이 거리 r 에 따라서 변동되는, 즉 불균일 매질내에서의 파동방정식은 식 (1)과 같이 주어진다[12].

$$\nabla \times \nabla \times \bar{E} - \omega^2 \mu \epsilon(r) \bar{E} = 0 \quad (1)$$

식 (1)에서 \bar{E} 는 전장벡터이고, ω 는 각주파수이며, μ 는 투자율이다. 직각좌표계를 사용하여 전장벡터를 거리 z 만의 함수로 가정하면 식 (1)은 식 (2)와 같이 주어진다.

$$\begin{cases} \left(\frac{d^2}{dz^2} + k^2(z) \right) E(z) = 0 \\ k^2(z) = w^2 \mu \epsilon(z) \end{cases} \quad (2)$$

식 (2)에 주어진 $k(z)$ 는 파수이다.

랜덤매질이 속한 영역을 영역 1로 둔 후, 그 유전상수를 식 (3)과 같이 쓴다.

$$\epsilon_1(z) = \epsilon_1 + \epsilon_f(z) \quad (3)$$

식 (3)에서 ϵ_1 은 매질의 평균 유전상수이고, $\epsilon_f(z)$ 는 랜덤성을 나타낸 것이다. 따라서 식 (3)에 대한 공간평균인 앙상블 평균(ensemble average)을 취하면 식 (4)와 같이 된다.

$$\begin{cases} \langle \epsilon_1(z) \rangle = \epsilon_1 \\ \langle \epsilon_f(z) \rangle = 0 \end{cases} \quad (4)$$

지금 식 (3)을 (2)에 보인 파수항에 대입하면 식 (5a)와 같이 된다.

$$k_1^2(z) = k_1^2 - Q(z) \quad (5a)$$

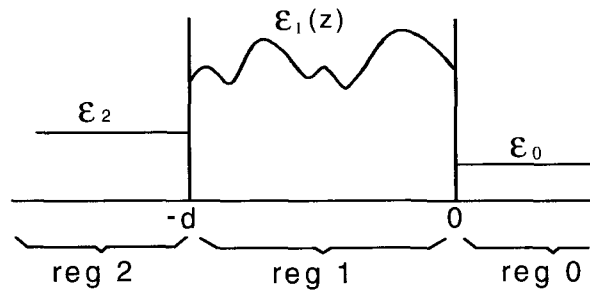
여기서

$$k_1^2 = k_0^2 \frac{\epsilon_1}{\epsilon_0} \quad (5b)$$

$$Q(z) = -k_0^2 \frac{\epsilon_f(z)}{\epsilon_0} \quad (5c)$$

이며, k_0 는 영역 0에서의 파수이다.

그림 1은 풀고자 하는 전체구조를 보인 것이다. 그림 1에서 영역 0은 전파가 입사되는 자유공간이며, 영역 1과 2는 수분이 함유된 흙이다. 모델링시 영역 1은 랜덤매질로 가정하였고 영역 2는 균일매질로 두었다. 식 (5)를 식 (2)에 대입하면 영역 1에서의 파동 방정식이 얻어진다. 이제 식 (2)를 그림 1에 보인 각각의 영역에 적용하면 세 영역에서의 파동 방정식이 식 (6a)와 같이 얻어진다.



(그림 1) 이층구조에서의 유전율 분포

$$\begin{aligned} \left(\frac{d^2}{dz^2} + k_0^2 \right) E_0 &= 0 && \text{영역 0} \\ \left(\frac{d^2}{dz^2} + k_1^2 \right) E_1 &= Q(z) E_1 && \text{영역 1} \\ \left(\frac{d^2}{dz^2} + k_2^2 \right) E_2 &= 0 && \text{영역 2} \end{aligned} \quad (6a)$$

여기서

$$k_0^2 = w^2 \mu \epsilon_0, \quad k_1^2 = k_0^2 \frac{\epsilon_1}{\epsilon_0}, \quad k_2^2 = k_0^2 \frac{\epsilon_2}{\epsilon_0} \quad (6b)$$

이다.

식 (6a)에 주어진 영역 1에 대한 식을 보면, 영역 1의

랜덤매질이 전원의 역할을 함을 알게 되며 이 항에 의하여 체적산란(volume scattering)이 발생된다.

식 (6)의 해는 그림 1 구조에 대한 그린함수를 이용하면 다음처럼 표현된다. 입사전계의 진폭이 1 인 경우, 영역 0의 반사파 전계는 식 (7)과 같이 주어진다.

$$\begin{cases} E_0(z) = E_0^{(0)}(z) + \int_{-d}^0 G_{01}(z, z_1) \\ \quad Q(z_1)E_1(z_1)dz_1 \\ E_0^{(0)}(z) = \Gamma_0 e^{ik_0 z} \end{cases} \quad (7)$$

식 (7)의 첫 항은 균일매질하에서 발생된 주 반사파(specular wave)이며, Γ_0 는 반사계수이다. 두 번째 항은 랜덤매질에 기인된 체적산란항이다. $G_{01}(z, z_1)$ 은 지점 z_1 에 위치한임펄스 전원에 의한 지점 z 에서의 응답인 그린함수이다.

영역 1의 전계는 식 (8)과 같이 주어진다.

$$\begin{cases} E_1(z) = E_1^{(0)}(z) + \int_{-d}^0 G_{11}(z, z_1) \\ \quad Q(z_1)E_1(z_1)dz_1 \\ E_1^{(0)}(z) = \frac{X_{01}}{D_2} [e^{-ik_1 x} + R_{12}e^{ik_1(x+2d)}] \end{cases} \quad (8)$$

여기서 $X_{01} = 1 + R_{01}$ 이고 $D_2 = 1 + R_{01}R_{12}e^{i2k_1 d}$ 이다. R_{01} 및 R_{12} 는 각각 영역 0과 1간의 반사계수 및 영역 1과 2간의 반사계수를 나타낸다. 식 (8)의 첫 항은 균일매질만에 의한 전계이고 두 번째 항은 랜덤매질에 기인된 전계이다.

영역 2의 전계는 식 (9)와 같이 주어진다.

$$\begin{cases} E_2(z) = E_2^{(0)}(z) + \int_{-d}^0 G_{21}(z, z_1)Q(z_1)E_1(z_1)dz_1 \\ E_2^{(0)}(z) = \frac{X_{01}X_{12}}{D_2} e^{i(k_1 - k_2)d} \cdot e^{-ik_2 z} \end{cases} \quad (9)$$

식 (9)의 첫 항은 균일매질만에 의한 전계이고, 두 번째 항은 랜덤매질에 기인된 전계이다.

2. 본(born) 근사에 의한 적분방정식의 해

랜덤매질을 기술하는 적분방정식인 식 (7), 식 (8) 및 식 (9)의 해는 반복법인 본 근사법에 의해 구해진다. 본 근사법이 적용되는 과정은 다음과 같다. 본 논문에서는 간략한 기술을 위하여, 본 근사법을 이용한 식 (7)의 풀이 과정만을 보이고자 한다. 나머지 식인 식 (8)과 식 (9)의 풀이시에도 동일한 과정을 적용하면 된다.

영차 산란근사를 위하여, 식 (7)의 피적분항에서 $E_1(z) = E_1^{(0)}(z)$ 를 적용하면 식(7)은 식 (10)과 같이 쓸 수 있다.

$$E_0(z) = E_0^{(0)}(z) + \int_{-d}^0 G_{01}(z, z_1) Q(z_1)E_1^{(0)}(z_1)dz_1 \quad (10)$$

식 (10)은 계산 가능하며, 이것을 영차 산란(0th order scattering)이라고 부른다. 그림 1에 보인 구조에서 $z = 0$ 점의 투과도를 구할 경우 축약된 기호를 사용하면 편리하다. 축약된 기호를 사용하여 식 (10)을 다음과처럼 표현한다.

$z = 0$ 를 식 (10)에 대입하면

$$E_0(0) = E_0^{(0)}(0) + G_{01}(01)Q(1)E_1^{(0)}(1) \quad (11)$$

가 된다. 식 (10)과 식 (11)은 동일한 의미이다. 다음 반복을 위하여 식 (11)의 $E_1^{(0)}(1)$ 대신에

$$E_1^{(0)}(1) \Rightarrow E_1^{(0)}(1) + G_{11}(12)Q(2)E_1^{(0)}(2) \quad (12)$$

를 대입하면 식 (11)은 식 (13)과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned}
 E_0(0) &= E_0^{(0)}(0) + G_{01}(01)Q(1)E_1^{(0)}(1) + \\
 &G_{01}(01)G_{11}(12)Q(1)Q(2)E_1^{(0)}(2) \\
 &= \textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3}
 \end{aligned}
 \tag{13a}$$

여기서

$$\begin{aligned}
 \textcircled{1} &= E_0^{(0)}(0) \\
 \textcircled{2} &= G_{01}(01)Q(1)E_1^{(0)}(1) \\
 \textcircled{3} &= G_{01}(01)G_{11}(12)Q(1)Q(2)E_1^{(0)}(2)
 \end{aligned}
 \tag{13b}$$

가 된다. 식 (13a)는 1차 산란(1st order scattering)을 나타낸다. 다시 다음 번 반복을 위하여 식 (13)에 있는 $E_1^{(0)}(2)$ 대신에

$$E_1^{(0)}(2) \Rightarrow E_1^{(0)}(2) + G_{11}(23)Q(3)E_1^{(0)}(3)
 \tag{14}$$

를 대입하면 다음 식 (15)가 얻어진다.

$$\begin{aligned}
 E_{0(0)} &= E_0^{(0)}(0) + G_{01}(01)Q(1)E_1^{(0)}(1) + \\
 &G_{01}(01)G_{11}(12)Q(1)Q(2)E_1^{(0)}(2) + \\
 &G_{01}(01)G_{11}(12)G_{11}(23)Q(1)Q(2) \\
 &Q(3)E_1^{(0)}(3)
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

식 (15)는 2차 산란(2nd order scattering)을 나타낸다. 식 (15)에 나타난 그린함수를 구하기 위해서는 그림 1에 보인 경계면인 $z=0$ 와 $z=-d$ 에서의 경계조건이 필요하다. 또한 영역 1내에 위치한 전원점에서 그린함수의 연속조건과 전원조건(source condition)이 필요하다. 언급된 6 개의 조건식을 사용하면 식 (15)에

주어진 그린함수가 결정된다. 식 (15)에 주어진 $Q(\cdot)$ 은 랜덤매질에 부여된 랜덤성의 정도에 따라서 결정되며 그 결정 과정은 다음 절에 주어진다.

3. 반사도 및 투과도

그림 1에 보인 이층 구조에 대한 반사도를 식 (13a)를 사용하여서 계산하고자 한다. 반사도(reflectivity) r 를 식 (16)과 같이 정의한다[13].

$$r = \frac{\langle E_0(0)E_0^*(0) \rangle}{\langle E_i(0)E_i^*(0) \rangle}
 \tag{16}$$

단 $E_i(z) = e^{-ik_0z}$ 로서 입사파이고, $E_i(0)$ 는 $z=0$ 점에 입사된 입사파이다. 따라서 식 (16)의 분모는 1이 된다. 기호 $\langle \rangle$ 는 앙상블 평균이다. 그리고 $E_0(0)$ 는 식 (13a)에 주어진 반사전계이며, “*”는 공액복소수이다. 따라서 식 (16)은 반사전력과 입사전력의 비가 된다. 즉 식 (16)으로 주어진 반사도는 전력 반사계수이다.

반사도를 구할 경우, 본 근사로 얻은 반사전계의 항수가 많아지면 매우 복잡해진다. 따라서 여기서는 1차 산란식인 식 (13a)를 사용하여서 반사도를 산출하고자 한다. 식 (13a)를 (16)에 대입하면

$$\begin{aligned}
 r &= \langle E_0(0)E_0^*(0) \rangle = \\
 &\langle (\textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3})(\textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3})^* \rangle \\
 &\cong \langle \textcircled{1}\textcircled{1}^* \rangle + \langle \textcircled{2}\textcircled{2}^* \rangle + \langle \textcircled{1}\textcircled{3}^{**} + \textcircled{1}^*\textcircled{3} \rangle
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

가 된다. 여기서 $\langle \textcircled{1}\textcircled{2}^* \rangle = \langle \textcircled{1}^*\textcircled{2} \rangle = 0$ 가 되는 데, 그 이유는 랜덤매질에 대해서는 식 (4)인 $\langle \epsilon_f(z) \rangle = 0$ 가 성립하기 때문이다. 그리고 식 (17)에 보인 세 개 항 이외의 항들은 그 크기가 2차 크기

(second order)이기에 무시되었다. 식 (17)에서 첫 항은 영차 크기(0th order)이고 두 번째 및 세 번째 항은 1차 크기(1st order)이다. 식 (17)의 각 항들은 식 (18)로 주어진다.

$$\langle \textcircled{1}\textcircled{1}^* \rangle = |\Gamma_0|^2 \quad (18a)$$

$$\langle \textcircled{2}\textcircled{2}^* \rangle = G_{01}(01)G_{01}^*(02)E_1^{(0)}(1)E_1^{(0)}(2)^* \langle Q(1)Q^*(2) \rangle \quad (18b)$$

그리고 ① 및 ③이 각각 복소수이기에 $\textcircled{1}\textcircled{3}^* + \textcircled{1}^*\textcircled{3} = 2\text{Re}(\textcircled{1}^*\textcircled{3})$ 이 성립된다. 따라서

$$\begin{aligned} \langle \textcircled{1}\textcircled{3}^* + \textcircled{1}^*\textcircled{3} \rangle = & \\ 2\text{Re}[E_0^{(0)}(0)^* G_{01}(01)G_{11}(12)E_1^{(0)}(2) & \\ \langle Q(1)Q^*(2) \rangle] & \quad (18c) \end{aligned}$$

로 주어진다. 식 (18b) 및 식(18c)에 나타난 $\langle Q(1)Q^*(2) \rangle$ 는 지점 z_1 과 z_2 에 위치한 두 랜덤매질간의 상관관계를 알려주는 상관함수(correlation function)이다. 즉 이 상관함수에 의하여 랜덤매질의 거리에 따른 변동정도가 결정된다. 그 변동정도는 변동폭의 크기와 관계된 분산(variance) 및 산란체의 크기와 관계된 상관길이(correlation length)에 의해 결정된다. 분산의 차원은 무차원이고 상관길이의 차원은 거리이다. 상관함수를 식 (19)와 같이 정의한다[13].

$$\langle Q(z_1)Q^*(z_2) \rangle = \delta k_1^4 e^{-|z_1 - z_2|/l} \quad (19)$$

단 δ 는 분산이고 l 은 상관길이이다. 그리고 k_1 는 영역 1 파수의 실수부이다. 복합매질에서 분산과 상관길이의 선정을 다음처럼 하였다. 먼저 상관길이는 산란체의 직경과 동일하게 두었다. 그리고 분산의 경우

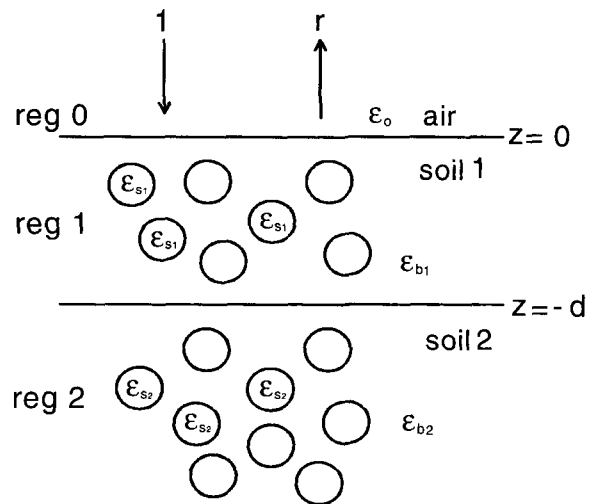
에는 배경매질하에 놓인 산란체의 밀도가 크지 않다는 가정하에 성립되는 약 유전체 변동이론(weak permittivity fluctuation theory)을 사용하였다[14]. 식 (19)를 (18)에 대입하고 그 결과식을 (17)에 대입하면 그림 1 구조에 대한 반사도가 계산된다.

투과도(transmissivity)는 매질로 투과된 전력과 입사 전력간의 비이며, 이는 식 (20)과 같이 주어진다.

$$t = 1 - r \quad (20)$$

여기서 t 는 투과도이고 r 은 식 (16)에 주어진 반사도이다. 식 (20)은 에너지 보존법칙이기에 반사도 표현식이 엄밀해인 경우에 성립되는 식이다. 그러나 근사식인 식 (17)을 사용하게 되면 식 (20)이 정확하게 성립되는 것은 아니다.

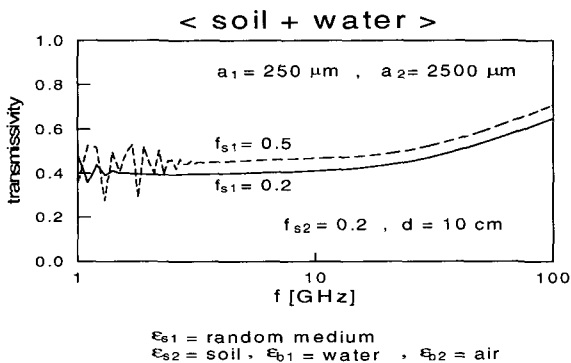
그림 2는 이층 구조이다. 영역 0은 공기이고, 영역 1과 2는 서로 상이한 유전상수를 가진다. 여기서 영역 1 배경매질의 유전상수는 ϵ_{b1} 이고 산란체의 유전상수는 ϵ_{s1} 이다. 그리고 영역 2 배경매질의 유전상수는 ϵ_{b2} 이고 산란체의 유전상수는 ϵ_{s2} 이다.



(그림 2) 산란체로 채워진 이층 구조

영역 0에서 크기가 1 인 전파가 입사되며 또한 반사파가 발생되는데 그 반사파의 반사도는 r 이다. 영역 1 은 흙과 물로 구성되었다. 영역 1의 배경매질은 물이고 산란체는 반경이 $250 \mu m$ 인 흙이다. 영역 2의 배경매질은 공기이고 산란체는 반경이 $2,500 \mu m$ 인 흙이다. 영역 1의 두께는 $10 cm$ 이고, 영역 2의 체적용적비는 0.2이다. 체적용적비란 매질의 전체 부피중에서 산란체가 차지한 체적의 비율을 가리킨다.

그림 3은 그림 2 구조에 대한 주파수에 따른 투과도 변화이다. 여기서 영역 1의 체적용적비에 따른 투과도 변화를 보기 위해서 영역 1의 체적용적비인 f_{s1} 을 각각 0.2 및 0.5로 두었다. 체적용적비 0.2의 경우가 0.5의 경우보다 수분함량이 더 많다. 그 결과 0.2 경우의 반사도가 0.5보다 커진다. 따라서 투과도는 그림 3의 결과처럼 0.2의 경우가 0.5보다 더 작아진다. 그림 3에는 $3 GHz$ 이하에서 진동하는 영역이 있는데, 이는 이 주파수대에서 도파관 모드에 의한 장의 변화가 크게 관측되기 때문이다. 그리고 주파수가 더욱 증가하여서 $1 [THz]$ 이상이 되면, 입자에 의한 산란파가 증가되기 때문에 투과도가 감소하기 시작한다. 이 이유로 인하여 고주파수대의 전파가 그림 1에 보인 복합매질을 투과하지 못하게 된다.



(그림 3) 주파수에 따른 투과도 변화

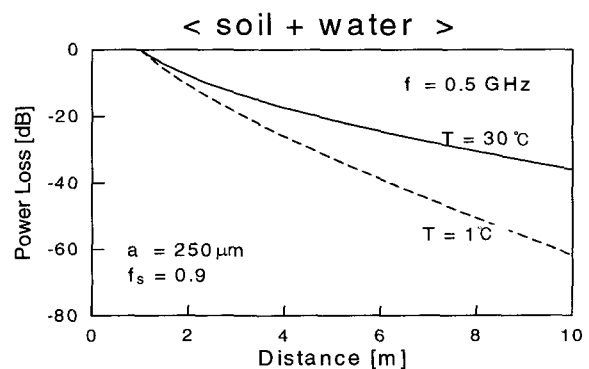
4. 신호전력 감쇄량

다음은 복합매질에서 전파가 진행될 때 겪는 신호전력의 감쇄량을 구하고자 한다. 복합매질내에서 매질에 의한 흡수계수가 $x_a = 2k_I$ 인 경우, 정규화된 신호전력은 식 (21)와 같이 주어진다.

$$\frac{P(x)}{P_0} = \frac{x_0^2}{x^2} e^{-x_a(x-x_0)} \quad (21)$$

단 P_0 는 기준점인 x_0 에서의 전력이다. 기준거리 $x_0 = 1 m$ 로 두었고, 이 점에서의 전력 $P_0 = 1 watt$ 로 두었다. 식 (21)에서 신호전력이 거리의 제곱으로 감소하는 이유는 원거리 장을 감안했기 때문이다. 신호전력 감쇄량 계산시 산란체의 반경은 $250 \mu m$ 이고 체적용적비는 0.9로 두었다. 그리고 복합매질은 수분을 함유한 흙이다.

그림 4는 식 (21)을 사용하여 계산된 복합매질내에서의 신호전력 감쇄량이다. 사용 주파수는 $0.5 [GHz]$ 이다. 수분의 상대유전율은 온도의 함수이기에 온도에 따라서 신호감쇄량은 변화하게 된다. 온도가 높을수록 물의 허수부 유전상수가 감소하며, 이는 곧 신호전력의 증가를 의미한다. 그 결과 그림 4의 결과처럼 온도가 증가할수록 신호전력의 감쇄폭이 작아진다.



(그림 4) 거리에 따른 신호전력 감쇄량 변화

3. 결론

수분이 함유된 흡인 복합매질에 대한 전파의 반사도, 투과도, 및 신호전력 감쇄량을 계산하였다. 복합매질을 정의하기 위해서 사용된 파라미터는 유전상수의 평균치, 랜덤성의 정도, 배경매질과 산란체의 유전상수, 산란체 반경, 체적용적비, 유전체 층의 두께이다. 그리고 온도와 주파수를 변수로 하였다. 이들 파라미터 설정에 따른 투과도와 신호전력 감쇄량 계산방법을 보였다. 계산 결과 일반적 예상과는 달리 온도에 따라서 신호전력 감쇄량 변화폭이 현저함을 알게 되었다. 송수신기간 거리가 10 m 인 경우, 온도변화가 30℃ 인 경우, 이에 대응되는 신호전력의 변화폭은 약 20 dB 이었다. 본 연구결과는 복합매질내에서의 전파현상 규명에 도움을 주리라고 기대된다.

참 고 문 헌

1. E.C. Jordan, K.G. Balmain, Electromagnetic Waves and Radiating Systems, Prentice Hall, pp. 628-666, 1968
2. T.S.M. Maclean, Z. Wu, Radiowave Propagation Over Ground, Chapman & Hall, pp. 105-113, 1993
3. Y.L. Chow, R.M. Shubair, "A simple and accurate complex image interpretation of vertical antennas present in contiguous dielectric half-spaces," IEEE Trans. AP. vol. 41, pp. 806-812, June 1993
4. Y.L. Chow, R.M. Shubair, "A closed form of vertical dipole antennas above a dielectric half-spaces," IEEE Trans. AP. vol. 41, pp. 1737-1741, Dec. 1993
5. J.R. Wait, Characteristics of antennas over lossy earth in Antenna Theory, Part 2, McGraw-Hill, 1969
6. J.A. Richards, Remote Sensing Digital Image Analysis, Springer-Verlag New York, pp. 9-13, 1986
7. S. Ito, S. Adachi, "Multiple scattering effect on back scattering from a random medium," IEEE Trans. AP-25, pp. 205-208, 1977
8. P.L. Chow, W.E. Kohler, G.C. Papanicolaou, Multiple Scattering and Waves in Random Media, North-Holland Publishing Company, 1981
9. J.A. Kong, Electromagnetic Wave Theory, John Wiley & Sons, pp. 525-527, 1990
10. A.V. Hippel, Dielectric Materials and Applications, MIT Press p. 361, 1954
11. V.I. Tatarskii, Wave Propagation in a Turbulent Medium, McGraw-Hill, New York 1961
12. A. Ishimaru, Electromagnetic Wave Propagation, Radiation, and Scattering, Prentice Hall pp. 60-62 1991
13. J.A. Kong, Electromagnetic Wave Theory, John Wiley & Sons, p. 120, 1990
14. L. Tsang, J.A. Kong, "Scattering of electromagnetic waves from random media with strong permittivity fluctuations," Radio Science Vol. 16, No. 3, pp. 303-320, May 1981