

우리나라 토양에 대한 수분함량예측에 관한 연구

강지원*, 조성배*, 강연욱*
한전 전력연구원*

Study on the forecasting of soil moisture content in our country

J.W.Kang*, S.B.Cho*, Y.W.Kang*
KEPRI*

Abstract - An Ampacity of a power cable depends on the soil thermal property, especially the soil thermal resistivity. Also, The soil thermal resistivity depends on the soil moisture contents in soil surrounding the power cable. This paper propose the prediction algorithm of the soil moisture contents using the Thornthwaite theory.

이때, 지중전력케이블의 송전용량은 토양열저항율이 낮을수록 증가하게 되는데 이 경우 약 20%이상의 송전 용량 증대효과가 있다. 이와 같이 지중전력케이블의 송전용량은 토양의 열특성 특히 열저항율과 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다.

본 논문에서는 지중전력케이블의 송전용량을 평가하는데 필수적인 우리나라의 표준 열저항율값을 제시하기 위하여 기상상태를 이용한 토양 수분함량예측 기법을 제시하였다.

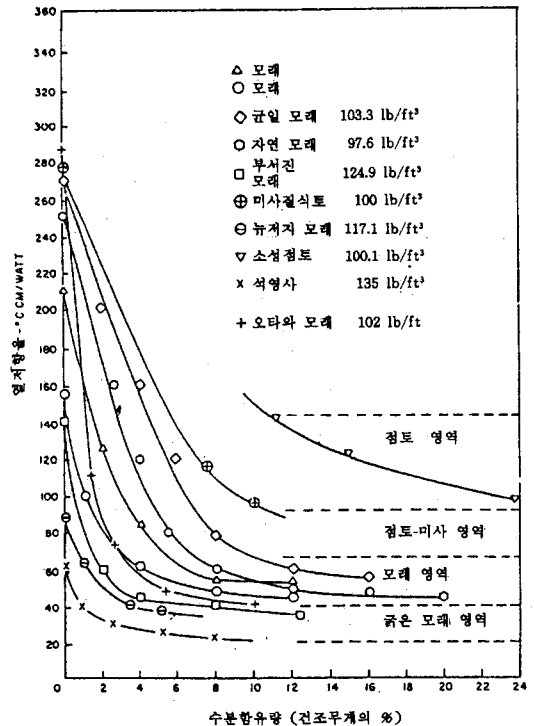
1. 서 론

도심지역의 급증하는 전력수요에 따라 지중전력케이블의 설치가 늘어나고 있으며, 부하의 증가에 따라 점점 높은 전압의 전력케이블을 요구하고 있다. 교류의 경우에 전력케이블의 전압상승은 전력케이블에서 발생하는 손실의 증가를 의미하며 이 손실은 열에너지로 변화하여 주위의 토양에 전달된다. 이때 지중전력케이블의 전류용량은 전력케이블 자신 혹은 전력케이블을 에워싸고 있는 토양의 열특성에 의해 제한된다.

따라서 전력케이블을 에워싸고 있는 토양이 전력케이블에서 발생한 열을 얼마나 쉽게 전달할 수 있으며, 어느 정도 신속하게 에너지를 받아들이고 전도하는가 혹은 어느 정도까지 열적으로 안정할 수 있는가를 평가하는 것은 전력계통의 초고압화 추세에 따라 더욱더 중요한 문제가 되고 있다.

토양 열특성은 열저항율, 열확산율 및 열안정도가 있다. 토양의 열저항율을 나타내는 단위는 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}/\text{W}$ 혹은 $\text{K}\cdot\text{m}/\text{W}$ 이다. 이것은 한 변의 길이가 1 [m]인 정육면체 내부를 통해 1 [W]의 열이 흐르면 정육면체 전체에 1[$^{\circ}\text{C}$]의 온도상승을 일으킨다는 것으로, 토양이 Heat Source로 부터 받은 열을 얼마나 쉽게 Heat Sink로 전달할 수 있는 가를 의미한다. 토양의 열확산율을 나타내는 단위는 m^2/sec 로서 토양내부에 서로 다른 온도차가 존재할 때 전체계의 온도분포가 열평형상태가 되어 온도분포가 균일하게 되는 변화율을 나타내는 것으로 이는 토양이 열원으로 부터 얼마나 신속하게 에너지를 흡수 전도하는가를 의미한다. 또, 토양의 열안정도는 어떤 단위와 함께 나타낼 수 있는 물리적인 양은 아니지만, 조사하고자 하는 토양의 형태에 따라 여러 가지 의미를 가지는 용어이다. 위와 같은 토양의 열특성중 지중전력케이블의 송전용량과 관련된 것은 토양의 열저항율과 열확산율이다.

일반적으로 토양의 열특성은 구성성분, 밀도 및 수분함량등에 의해 영향을 받으며 그 중에 토양의 수분함량이 가장 큰 영향을 준다. (그림 1-1)은 토양별 토양수분함량(건조무게의 비)과 토양열저항율과의 상관관계를 나타내고 있다. 가령, 모래영역에 있는 토양의 경우, 완전건조상태(0%수분함량)일 때의 토양열저항율이 260 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$ 이지만, 토양수분함량이 16%(포장용수량)일 때 토양열저항율은 약 50 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}/\text{W}$ 정도가 된다.



(그림 1-1) 토양수분함량과 열저항율

2. 토양의 수분함량예측 기법

2.1 Thornthwaite 이론

미국의 농학자 Thornthwaite는 수분의 증발량과 증산량을 포함한 잠재증발산(Potential Evapo-transpiration)이라는 개념을 도입하여 이 양을 계산할 수 있는 경험식을 식(2-1)과 같이 개발하였다.

이 잠재증발산량은 대기중으로 이동하는 실제 크기의 수분량을 나타내지는 않지만 토양층의 수분함량과 식물의 분포가 이상적이라는 가정하에서 일어날 수 있는 최대 수분출력을 나타낸다.

$$E_p^j = 3.73 \left[\frac{10}{I} T_w^{j-1} \right]^A \quad (2-1)$$

여기서, E_p^j = j번째 주 잠재증발산 [mm]
 T_w^{j-1} = j-1번째 주 평균온도 [°C]
 $I = \sum [T_m^k]^{1.514}$ ($k = 1, \dots, 12$)
 T_m^k = k월째 월평균온도 [°C]
 $A = I$ 의 함수
 $= 675 \times 10^{-9} I^3 - 771 \times 10^{-7} I^2 + 1729 \times 10^{-5} I + 0.49239$

식(2-1)은 한달의 일수를 30일로 하고, 하루중의 일조시간을 12시간으로 가정한 것으로 계절과 위도에 따라 일조시간과 한 달의 일수(28일 및 31일)가 다르기 때문에 식(2-1)은 <표 2-1>의 보정계수에 의해 식(2-2)와 같이 보정하여야 한다.

$$E_{cp}^j = CE_p^j \quad (2-2)$$

<표 2-1> 위도별 보정계수

월	위도					
	33	34	35	36	37	38
1	0.88	0.88	0.87	0.87	0.86	0.85
2	0.86	0.85	0.85	0.85	0.84	0.84
3	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
4	1.09	1.09	1.09	1.10	1.10	1.10
5	1.19	1.20	1.21	1.21	1.22	1.23
6	1.20	1.20	1.21	1.22	1.23	1.24
7	1.22	1.22	1.23	1.24	1.25	1.25
8	1.15	1.16	1.16	1.16	1.17	1.17
9	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.04
10	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.96
11	0.88	0.87	0.86	0.86	0.85	0.84
12	0.86	0.86	0.85	0.84	0.83	0.83

만일, 수분함량이 포장용수량이하로 떨어지면 증발산되는 수분의 양은 식(2-3)과 같이 수정된다.

$$E_a^j = \frac{M^{j-1}}{F_c} E_{cp}^j \quad (2-3)$$

여기서, E_a^j = j번째 주 실질증발산량 [mm]
 M^{j-1} = j-1번째 주 평형수분량 [mm]
 F_c = 토양의 포장용수량 [mm]
 E_{cp}^j = j번째 주 보정된 잠재증발산량 [mm]

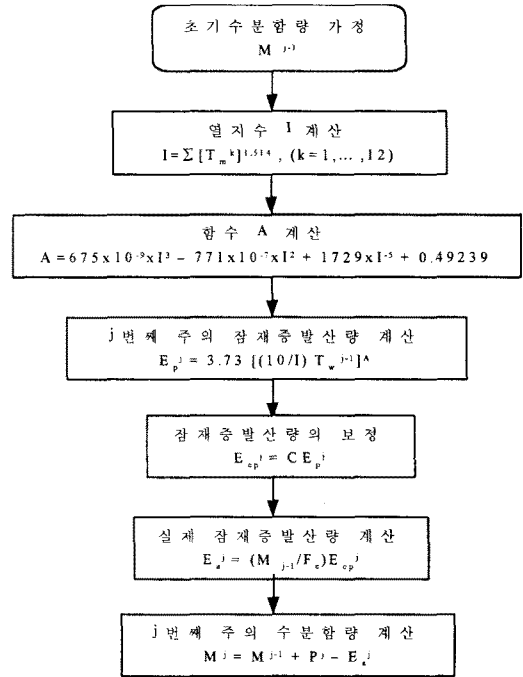
따라서 j번째 주 현재 평형수분함량은 식(2-4)와 같다.

$$M^j = M^{j-1} + P^j - E_a^j \quad (2-4)$$

여기서, P^j : j번째 주 강수량 [mm]

위 식을 정리하여 Thornthwaite의 잠재증발산량을 계산하는 흐름도는 (그림 2-1)과 같다.

토양의 잠재증발산량 계산을 월별, 주별 또는 일별로 수행할 수 있으나, 월별계산은 짧은 주기의 건조기틀 모의할 때 충분한 분해능을 제공하지 못하고 일별계산은 계산시간이 많이 걸리므로 보통 주별계산을 한다.



(그림 2-1) Thornthwaite의 잠재증발산량 계산 흐름도

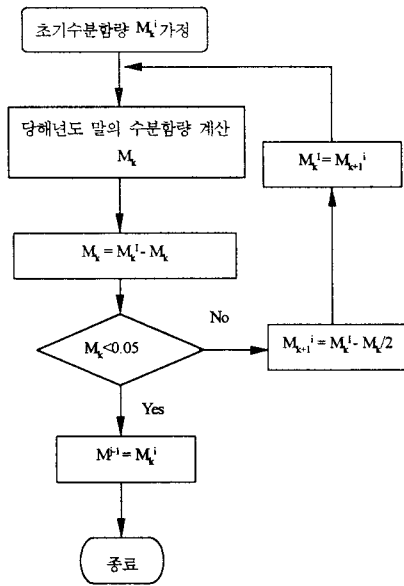
2.2 초기수분함량 계산

Thornthwaite가 제시한 모델로 수분함량을 계산하기 위해서는 토양수분함량의 초기값이 요구되며 이 초기값은 지역에 따라 다르다. 예를들면 결빙기가 있는 지역은 초기수분함량을 그 지역 토양의 포장용수량으로 가정하며, 결빙기가 없고 일정한 건조기가 있는 지역이라면 초기수분함량은 0%이며 이 경우는 수분함량해석을 수행할 필요가 없다. 결빙기도 없고 건조기도 없는 지역의 초기수분함량은 반복 계산으로 결정한다. 즉, 포장용수량을 그 해 초의 최소수분함량으로 가정하여, 이 초기값을 사용하여 그 해 말의 수분함량을 계산한 후 이 값과 그 해 초의 수분함량을 비교하여 그 오차 (M^k)가 허용치 범위내에 있으면 반복 계산을 종료하고 그 값을 초기수분함량으로 한다. 만일, 오차가 허용치를 벗어날 경우 식(2-4)에 의해 새로운 초기수분함량을 초기값으로 하여 반복계산을 수행한다. (그림 2-2)는 초기수분함량을 계산하는 알고리즘이다.

$$M_{k+1}^i = M_k^i - \frac{M_k^i}{2} \quad (2-4)$$

2.3 기상자료의 통계처리

기상자료(강수량, 온도)를 이용하여 토양수분함량을 예측할 경우, 기상형태는 매년 변화하므로 계산된 수분함량도 매년 변해야 한다. 따라서 어느 한 해의 기상자료만으로 토양의 수분함량 혹은 토양의 열저항율을 결정하여 사용하는 것은 불합리하며 다년간에 걸친 기상자료를 통계처리하여 평균 수분함량 및 최저허용한계를 계산하여야 한다.



(그림 2-2) 초기수분함량 계산 알고리즘

표본의 평균과 분산을 이용하여 모집단의 평균을 추정하는 알고리즘은 다음과 같다.

첫째, 표본의 평균과 분산을 구한다. 이때 표본의 평균과 분산을 구하는 식은 각각 식(2-5) 및 식(2-6)과 같다.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2-5)$$

$$S = \left[\frac{n}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2} \quad (2-6)$$

여기서, \bar{x} : 표본의 평균
 S : 표본의 표준편차
 n : 사용된 데이터의 수

둘째, 모집단을 정규분포로 가정하여 표본의 평균을 모집단의 평균으로 추정하면, 표본의 평균과 표준편차를 이용하여 최저허용한계 (One Sided Lower Tolerance Limit)를 구할 수 있다.

표본의 평균과 표준편차를 이용하여 최저허용한계를 구하는 식은 식(2-7)과 같다. 식(2-7)에 사용되는 k_{1-p} 및 k_{1-r} 은 <표 2-2>와 같다.

$$L = \bar{x} - k_s \quad (2-7)$$

$$\text{여기서, } k_s = \frac{k_{1-p} + \sqrt{k_{1-p}^2 - ab}}{a}$$

$$a = 1 - \frac{k_{1-\gamma}^2}{2(n-1)}$$

$$b = k_{1-p}^2 - \frac{k_{1-\gamma}^2}{n}$$

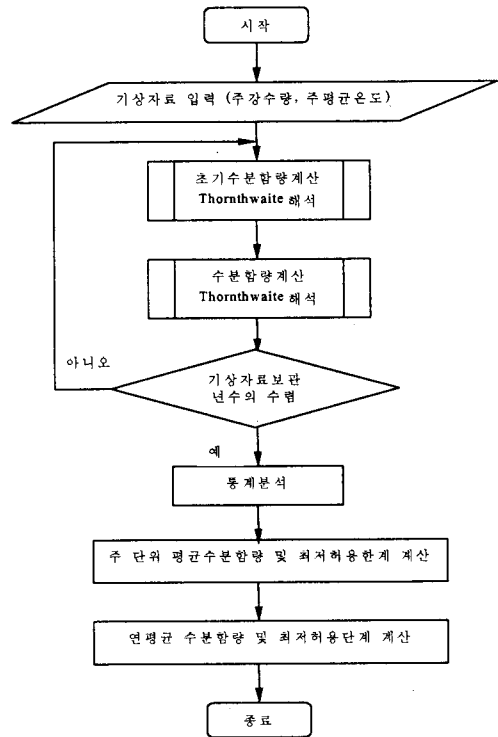
p = 확률
 γ = 신뢰도

2.4 토양 수분함량예측 기법

위에서 설명한 각 과정을 종합하여 작성한 수분함량 예측기법의 알고리즘은 (그림 2-3)과 같다.

<표 2-2> 프로그램에 사용된 제상수

반복주기	확률 p	K_{1-p}	K_{1-r}	비고
50	0.98	2.06	1.645	신뢰도 0.95
42	0.976	1.98	1.645	
39	0.974	1.95	1.645	
37	0.973	1.93	1.645	
30	0.967	1.84	1.645	
22	0.955	1.695	1.645	



(그림 2-3) 토양의 수분함량예측기법 알고리즘

3. 결 론

토양수분함량을 예측하는 기법과 알고리즘을 제시하였다. 향후 우리나라에서 관측한 기상자료를 이용하여 토양의 수분함량을 예측하여 이것을 지역별로 주기적으로 실측한 토양의 열저항율과의 상관성을 조사하여 우리나라의 표준 열저항율 값을 제시하는데 활용할 것이다.

한편, 국내에서는 1992년도에 한국전력공사가 배전케이블의 열적용량평가를 위하여 특별시와 6대 광역시 및 제주도 등에 대하여 토양열저항율을 측정 한 바 있으며, 이때 우리나라 양토의 경우 열저항율은 3%수분함량일 때 1.0(°C-m/W)이하인 것으로 추정 한 바 있다.

[참 고 문 헌]

[1] 한국전력공사, "지중배전케이블의 동적용량평가에 관한 연구", 1992