

토양속에서 온도마당의 변화동태

김원국, 최동혁

위대한 수령 김일성 동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《현시대는 과학과 기술의 시대인것만큼 과학기술이 안받침되지 않고서는 환경보호사업을 개선강화할수 없습니다.》(《김일성전집》 제83권 298페이지)

토양속에서 일어나는 유독성오염물질들의 존재와 그 물리화학적변화과정을 연구하는데서 토양속에서의 열수송확산 및 그 변화동태해명은 중요한 문제로 나선다.

우리는 토양열수송방정식을 리용하여 토양속에서 온도마당의 변화동태를 연구하였다.

1. 열수송방정식과 그 풀이법

일반적으로 토양은 낮시간에 태양복사에너지를 흡수하므로 토양표면의 온도는 높아지고 토양표면의 열량은 토양의 깊은 층으로 수송된다.

한편 밤에는 지표면이 열복사(장파복사)에 의해 냉각되므로 토양표면의 온도는 낮아지고 깊은 층의 열량이 지표면으로 수송된다. 즉 이러한 열량수송은 주야간 계속된다. 토양속에서의 열흐름은 이밖에도 계절변화와 년변화의 영향도 받으므로 열수송은 비정상흐름으로 볼수 있다.

비정상흐름인 경우 토양속에서 온도마당의 변화동태를 반영하는 열수송방정식은 다음과 같다.[1, 2]

$$\frac{\partial T}{\partial t} = K \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (1)$$

여기서 T 는 온도, t 는 시간, z 는 토양의 깊이, K 는 토양의 온도전도률로서 다음식들로 계산된다.

$$K = \frac{\lambda_s}{C_m}, \quad \lambda_s = 3\pi\lambda_a \ln \frac{43 - 0.31p}{p - 26}.$$

여기서 λ_a 는 공기의 열전도률, p 는 공극도, λ_s 는 토양의 열전도률, C_m 은 토양의 체적열용량으로서 다음과 같이 표시된다.

$$C_m = \rho_b(1 + \theta_m)C_p$$

여기서 ρ_b 는 토양의 밀도, C_p 는 토양의 비열용량, θ_m 은 토양의 함수량이다.

식 (1)은 여러가지 방법(① Euler-Sch, ② Dufeat-Frankel, ③ Crank-Nicholson)으로 수값풀이할수 있는데 ②, ③은 계산과정이 복잡하고 계차도식이 조건부안정인것으로 하여 발산할수 있는 결함이 있으며 ①은 계산과정이 단순하고 편리하면서도 계차도식의 안정성과 수렴성이 담보된다.[1]

식 (1)의 수값풀이도식은 다음과 같다.

$$\frac{T_j^{i+1} - T_j^i}{\Delta t} = \frac{K(T_{j-1}^i - 2T_j^i + T_{j+1}^i)}{(\Delta z)^2} \quad (2)$$

여기서 j 는 수직방향의 그물마디점번호, Δz 는 수직방향그물마디사이거리, i 는 시간그물마디점번호, Δt 는 시간절음이다.

안정성조건 $\frac{K\Delta t}{(\Delta z)^2} \leq 0.5$ 를 고려하면 웃식은 다음과 같다.

$$T_j^{i+1} = 0.5(T_{j-1}^i + T_{j+1}^i) \quad (3)$$

2. 적 용 실 례

연구지역의 2010년 8월27일 온도측정자료는 표 1과 같다.

표 1. 온도측정자료

시각/시	깊이/cm										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	18.8	21.8	23.2	21.8	21.0	20.0	18.8	18.5	18.0	17.0	16.5
2	16.8	20.7	21.5	21.1	20.4	19.7	19.5	18.6	17.2	17.1	16.5
4	15.5	19.5	21.4	21.3	21.0	20.2	19.5	18.6	17.5	17.2	16.5
6	15.6	18.1	20.5	21.4	20.6	20.2	19.5	18.2	17.9	17.1	16.5
8	17.3	18.2	20.2	20.3	20.6	20.5	19.2	18.4	17.5	17.3	16.5
10	23.9	19.1	19.7	20.1	20.4	20.2	19.3	18.3	18.1	17.3	16.5
12	32.1	21.3	19.1	19.7	20.5	19.7	19.7	18.8	18.1	17.3	16.5
14	38.7	25.7	20.5	19.6	19.6	19.6	19.4	18.7	18.2	17.3	16.5
16	37.4	29.7	22.7	20.5	19.8	19.7	19.5	18.7	18.2	17.4	16.5
18	31.9	30.4	24.5	22.4	21.0	19.8	19.5	18.7	18.3	17.4	16.5
20	26.5	28.7	25.8	22.4	20.5	19.8	19.5	18.6	18.3	17.3	16.5
22	23.2	26.1	25.3	23.1	21.3	19.9	19.4	18.6	18.3	17.4	16.5
24	21.5	24.3	24.6	22.9	21.7	20.0	19.3	18.6	18.3	17.3	16.5

온도변화동태에 측정과는 표 2와 같다.

표 2. 수값풀이결과

시각/시	깊이/cm										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	18.8	21.8	23.2	21.8	21.0	20.0	18.8	18.5	18.0	17.0	16.5
2	16.8	20.9	21.8	22.1	20.9	19.9	19.3	18.4	17.8	17.3	16.5
4	15.5	19.3	21.5	21.4	21.0	20.1	19.2	18.6	17.9	17.2	16.5
6	15.6	18.5	20.4	21.3	20.8	20.1	19.4	18.6	17.9	17.2	16.5
8	17.3	18.0	19.9	20.6	20.7	20.1	19.4	18.7	17.9	17.2	16.5
10	23.9	18.6	19.3	20.3	20.4	20.1	19.4	18.7	18.0	17.2	16.5
12	32.1	21.6	19.5	19.9	20.2	19.9	19.4	18.7	18.0	17.3	16.5
14	38.7	25.8	20.8	19.9	19.9	19.8	19.3	18.7	18.0	17.3	16.5
16	37.4	29.8	22.9	20.4	19.9	19.6	19.3	18.7	18.0	17.3	16.5
18	31.9	30.2	25.1	21.4	20.0	19.6	19.2	18.7	18.0	17.3	16.5
20	26.5	28.5	25.8	22.6	20.5	19.6	19.2	18.6	18.0	17.3	16.5
22	23.2	26.2	25.6	23.2	21.1	19.9	19.1	18.6	18.0	17.3	16.5
24	21.5	24.4	24.7	23.4	21.6	20.1	19.3	18.6	18.0	17.3	16.5

분석결과 평균오차는 0.3°C , 최대오차는 0.8°C 로서 풀이가 비교적 정확하다.

맺 는 말

이 방법은 토양의 온도변화동태연구에 리용될수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 조성일; 토양환경학, 김일성종합대학출판사, 54~59, 주체97(2008).
- [2] 王慎强 等; 土壤, 31, 5. 255, 2009.

주체103(2014)년 11월 5일 원고접수

Change of Temperature Field in Soil

Kim Won Guk, Choe Tong Hyok

It is important to solve the thermal transportation and changing characteristic in studying the existence and its physico-chemical changing process of toxic pollutants in soil.

In this study, we have studied the physical structure of thermal transportation equation in soil, its solution and parameter decision method.

Key words: soil environment, pollutant, thermal transport