

대기-P12 인공호수의 열환경 변화에 따른 도시 냉각효과 수치모의

이화운, 오은주, 김민선*
 부산대학교 대기과학과

1. 서론

도시가 개발됨에 따라 녹지 등의 자연지면이 포장지면으로 바뀌고, 대량의 열과 오염물질이 대기중으로 배출되고 있다. 그 결과 도시는 주변지역보다 온도가 높은 고온화 현상, 풍속의 감소와 함께 운량, 안개일수, 강수량의 변화, 지표면의 증발량 감소에 의한 상대습도의 저하 등의 도시의 고유한 기후특성을 가진다. 이러한 도시의 기후특성 중 가장 뚜렷한 특징은 기온의 고온화현상이다. 기존의 도시기후에 대한 연구는 이러한 열섬현상에 대한 활발한 연구(Suhail M. Khan and Rod W. Simpson, 2001)가 행해지고 있다. 그러나 이에 반해 도시의 냉각효과에 대한 연구는 미흡한 실정이며, 정부의 정책 또한 도심에 가로수를 심는 것과 같은 소극적인 대처에 그치고 있다. 이에 대해 본 연구에서는 도시내 인공호수를 가상으로 건설하여 인공호수가 도시냉각에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

2. 수치모델

본 연구에서 사용된 수치모델의 기본 방정식계는 다음과 같다.

$$\frac{du'}{dt} = -r_v c_p \theta \left(\frac{\partial \Pi'}{\partial x} + G_2 \frac{\partial \Pi'}{\partial z^*} \right) + D(u) - r_v C_D \xi_u A u \sqrt{u^2} \quad (1)$$

$$\frac{dw}{dt} = r_v g \left(\frac{\theta'}{\theta} + 0.608 q_v' \right) - r_v c_p \theta G_1 \frac{\partial \Pi'}{\partial x} + D(w) \quad (2)$$

$$\frac{\partial r_x u}{\partial x} + \frac{\partial r_z w^*}{\partial z^*} + G_2 \left(\frac{\partial r_x u}{\partial z^*} + \frac{\partial r_z u}{\partial z^*} \right) - \frac{1}{z^* - s} (G_2 r_z u) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = D(\theta) + r_v \frac{1}{\rho_a c_p} (H_B + H_A) \quad (4)$$

$$\frac{dq_v}{dt} = D(q_v) + r_v \frac{1}{\rho_a L_w} (L_w E_B + L_w E_A) \quad (5)$$

또한, 난류에너지식은 아래와 같다.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{q^2}{2} \right) = D \left(\frac{q^2}{2} \right) + r_v \beta g \overline{w' \theta'} - r_v \frac{q^3}{B_1 l} + r_v G_1 \left(-\overline{u' w'} \frac{\partial u}{\partial z^*} - \overline{v' w'} \frac{\partial v}{\partial z^*} \right) + r_v C_D A (\xi_u |u|^3) \quad (6)$$

$$\text{여기서, } G_1 = \frac{\partial z^*}{\partial z} = \frac{s}{s - z_G} \quad G_2 = \frac{\partial z^*}{\partial x} = \frac{z^* - s}{s - z_G} \frac{\partial z_G}{\partial x}$$

$$\frac{d}{dt} = r_v \frac{\partial}{\partial t} + r_x u \frac{\partial}{\partial x} + r_z w^* \frac{\partial}{\partial z^*}, \quad w^* = G_1 w + G_2 u$$

$$D() = \frac{\partial}{\partial x} (r_x K_H \frac{\partial}{\partial x} + r_x K_H G_2 \frac{\partial}{\partial z^*}) + G_2 \frac{\partial}{\partial z^*} (r_x K_H \frac{\partial}{\partial x} + r_x K_H G_2 \frac{\partial}{\partial z^*}) + G_1^2 \frac{\partial}{\partial z^*} (r_z K_V \frac{\partial}{\partial z^*})$$

이며, r_p 는 격자공간과 건물로 차있지 않는 공간의 비, r_x, r_z 는 격자의 x, z 단면에서 건물로 차있지 않는 x, z 단면의 비이다. $H_B, L_w E_B$ 는 각각 건물표면의 현열, 잠열플럭스이다. $H_A, L_w E_A$ 는 각각 인간활동에 의한 현열, 잠열플럭스 방출을 의미한다. C_D 는 저항계수, ξ_u 는 x 방향에 대해 수직인 건물의 표면적의 비, A 는 건물의 표면적밀도를 나타낸다. 여기서 난류에너지의 확산계수는 $K_V = K_H = qI S_q$ 이다. 연직확산계수는 난류 closure model Level 2.5를 사용하였으며, 수평확산계수는 다음의 식을 이용하였다.

$$K_H = \alpha \Delta x^2 \left| \frac{\partial u}{\partial x} \right| \quad (7)$$

3. 계산 영역과 조건

Fig. 1은 인공호수에 의한 도시냉각효과를 수치모의 하는데 사용된 계산영역으로 $5\text{km} \times 240\text{m}$ 이며, 격자간격은 수평방향으로 50m , 연직방향은 높이 40m 까지는 2m 간격, 그 이상고도에서는 5m 간격으로 하였다. 수평방향의 중앙부분에 1.5km 넓이의 인공호수가 존재하고, 그 풍하측에 1km 의 주택지가 존재하도록 모델을 설계하였다. 좌측경계에서 풍속은 상단이 5ms^{-1} 가 되는 지수분포이고, 온위는 $\theta = 307 - 0.005[K]$ 의 불안정조건을 주었다. 우측경계는 전변수에 대해 gradient를 0으로 설정하였다. 또한 인공호수의 표면온도는 300K , 그밖의 지면에 대한 온도는 313.5K 로 설정하고, 계산영역의 상단은 초기치에서 변동이 없다고 가정하였다.

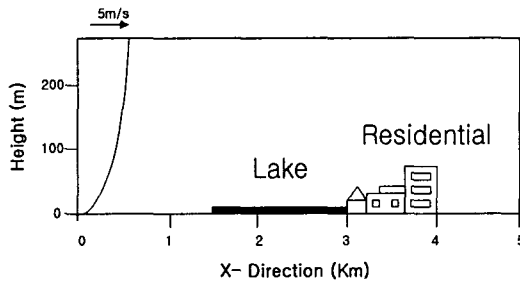


Fig. 1 Calculation domain for numerical simulation

4. 결과 Case

본 연구에서는 3가지 Case로 나누어 계산하였다. Case1은 인공호수와 주택지가 없는 조건, Case2는 인공호수만 존재하는 조건, Case3은 주택지만 존재하는 조건, Case4는 인공호수와 주택지가 있는 조건을 사용한 경우이다. 각 Case 계산 결과를 비교하여 인공호수에 의한 주택지의 냉각효과가 잘 수치모의됨을 알 수 있었다.

참고 문헌

Suhail M. Khan and Rod W. Simpson, 2001, Effect of a heat island on the meteorology of a complex urban airshed. *Boundary-Layer Meteorology*. 100, 487-506