

분수에서 생성되는 물입자의 확산과 냉각효과의 범위 예측

이 상 득*

목포대학교 환경공학과

(2010년 8월 3일 접수; 2011년 4월 5일 수정; 2011년 4월 27일 채택)

A Study on Predicting the Range of Cooling Effect and the Diffusion of Water Particles that are Generated from a Fountain

Sang-Deug Lee*

Department of Environmental Engineering, Mokpo National University, Jeonnam 534-729, Korea

(Manuscript received 3 August, 2010; revised 5 April, 2011; accepted 27 April, 2011)

Abstract

This research was done to clarify the cooling effect of water particles generated from a fountain. This effect is a one way to control the heat island effect of big cities. The result of this research was drawn by setting the jets of water in a certain height, and then studying the diffusion of water particles, which is affected by the size of the particles and the wind speed, and the cooling effect caused by the diffusion.

1) When a diameter of a water drop was 500 μm and the wind speed was 2.0 to 6.0 m/sec, the water drop diffused 75 to 190m, and the water vapor spread over 175 to 440 m. As a result, there was more than 0.5°C of cooling effect on the temperature in the atmosphere 130 to 330m around the water fountain.

2) When a diameter of a water drop was 750 μm and the wind speed was 2.0 to 6.0 m/sec, the water drop diffused 65 to 150 m, and the water vapor spread over 160 to 405 m. Moreover, there was more than 0.5°C of cooling effect on the temperature in the atmosphere 110 to 275 m around the water fountain.

3) After studying on the relationship between the diameter of water drop and the wind speed, and the diffusion of water particles and the range of the atmosphere that was cooled, a result could be drawn from the research that the smaller the diameter of the water vapor gets and the faster the wind speed becomes, the wider the water particles diffuse and the cooler the atmosphere around the fountain becomes.

4) This research further extrapolates that when the ordinary water(tap water, water from river and stream) is used in a fountain, the cooling effect of the air near the fountain can be approached similarly. If the seawater is used in a fountain, there is to be more to concern not only on cooling effect on the air, but also on other effects on surrounding environment generated by the salt in seawater.

Key Words : Atmospheric heat, Fountain model, Cooling effect, Wind speed, Diameter of water drop

1. 서론

분수는 다른 조형물과 달리 살아서 움직이는 조형 소재로써 물을 통하여 정적·동적인 분위기 등을 자유롭게 연출할 수 있을 뿐만 아니라 주변 환경과 자연

*Corresponding author : Sang-Deug Lee, Department of Environmental Engineering, Mokpo National University, Jeonnam 534-729, Korea
Phone: +82-61-450-2484
E-mail: leesang@mokpo.ac.kr

친화적인 분위기를 연출할 수 있기에 주변 환경과의 조화 및 사람들의 기분까지도 영향을 주는 소재로 많이 사용되고 있다. 우리 조상들의 모습 속에도 항상 빠지지 않는 것이 계곡, 폭포 등 물을 소재로 한 자연경관을 화폭에 많이 담아 자연을 친화적으로 표현하였다. 이렇듯 우리 주위에서 쉽게 만날 수 있었던 자연경관이 근대화를 통하여 쉽게 만날 수 없게 됨으로 인공적인 계곡 및 폭포 등을 제작하여 대리만족을 누리고자 하는 욕구가 다양하게 표출되고 있다.

고대왕국에서 분수는 신앙이나 종교적인 행사 전에 신전이나 사원 뜰앞에서 몸을 깨끗이 할 수 있는 우물의 용도로부터 왕족이나 귀족부호들의 예술품 내지 사치품으로 발달되어왔으며, 과학의 발달과 각종 기계·기술이 출현한 현대의 분수는 야간의 풍부한 전광을 이용한 분수의 조명·착색, 동력 모터를 사용한 물의 유동성 강화, 물의 분출에 맞춘 음향장치를 이용한 춤추는 물 효과, 조각 설치를 통한 물의 율동미 강조 등 다양한 방법들이 시도되고 있다. 분수의 종류는 연못이나 공원의 분수대 같은 일반분수, 광장의 바닥에서 물이 솟아오르는 바다분수, 음악에 맞춰 물이 춤추는 음악분수, 인공 폭포 조형물을 이용한 벽천분수, 조각물을 이용한 조각분수, 그리고 실내에서 사용할 수 있는 실내분수 등 여러 종류의 분수가 있다.

분수의 효과는 수경관 연출로 동적인 물의 활동으로 순수자연에서 느낄 수 있는 상쾌함과 심리적 안정감을 주며(조, 1989), 대기 중의 먼지 및 자동차에서 배출되는 분진의 정화작용, 대기 중의 온도를 저하시켜 또 다른 휴식처를 제공하며, 수질정화 및 습도조절을 한다. 또한, 조그마한 정원이나 가정집에 소형분수 및 수경식물과의 조화로 작은 자연을 연출하여 인테

리어적인 효과를 얻을 수 있는 등 다양한 장점을 갖추고 있다.

이러한 효과를 연출하고 있는 분수에 대한 연구는 사직 분수대 설계(김 등, 2001), 실내 도제분수에 관한 연구(이, 2004), 바닥 분수의 이용 후 평가(허, 2005), 음악 분수 시뮬레이션 시스템(유 등, 2007) 등 주로 분수 설치에 의한 시각적, 심리적 영향에 대한 연구가 주를 이루고 있으나, 대기의 냉각효과(이, 1998) 등 분수에 의한 대기 환경적 측면에서 연구는 매우 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구는 지구 온난화에 의해 대도시의 열섬현상을 제어하기 위한 하나의 방법으로 사용되고 있는 분수를 착안하여 분수에서 분출되는 물기둥의 높이를 일정하게 하고, 물입자의 크기와 유입되는 풍속에 의해 생성되는 물입자의 확산과 그로인한 냉각효과를 고찰하고자 하였다.

2. 분수모델

분수에서 분출되는 물기둥에 의해 물방울 및 수증기의 확산범위를 정확하게 예측하기 위해서는 분수 Jet에 의한 주변공기흡인과정, 분수 Jet의 분열과정, 분수 Jet의 증발과정, 열·수증기·물방울의 보전식을 이용한 방정식을 사용하였다. 본 계산에서는 분수 Jet에 의한 주변의 공기 흡인과정은 모델의 연직성분을 임의적으로 조건에 의해 계산되며, 분수 Jet의 분열과정도 분수량의 1%가 분수 Jet에 의해서 둘러싸인 영역으로 물방울이 일정하게 분열된 상태를 가정하였다. 분수모델에 사용된 기초방정식은 아래와 같이 기술하였다.

2.1. 기초방정식

2.1.1. 연속 방정식

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

2.1.2. 운동 방정식

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial u_i}(u_i u_j) = -C_p \theta \frac{\partial \Pi}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \nu_{eff} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right\} + g \left(\frac{\theta}{\theta_0} + 0.608q - l \right) \delta_{ij} \quad (2)$$

2.1.3. 난류에너지 방정식

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(u_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_{k,eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + \nu_{eff} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \sigma_\mu \frac{k^2}{\nu_t} - g\beta \frac{\nu_t}{\sigma_T} \frac{\partial \theta}{\partial x_i} \delta_{ij} \quad (3)$$

2.1.4. 난류소산율 방정식

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(u_j \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_{\varepsilon,eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + \sigma_1 \sigma_\mu k \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \sigma_2 \frac{\varepsilon^2}{k} - \frac{\sigma_1 \sigma_\mu}{\sigma_T} g\beta k \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i} \delta_{ij} \quad (4)$$

2.1.5. 에너지 방정식

$$\frac{\partial \theta_e}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(u_j \theta_e') = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(K_{eff} \frac{\partial \theta_e'}{\partial x_j} \right) - \frac{C_u l}{C_p T_0} \left(u_j \frac{\partial T}{\partial x_j} - U_t \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (5)$$

2.1.6. 수증기량 수지식

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(u_j q) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Psi_{eff} \frac{\partial q}{\partial x_j} \right) + P_i \quad (6)$$

2.1.7. 물방울량 보존식

$$\frac{\partial l}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(u_j l) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Psi \frac{\partial l}{\partial x_j} \right) - P_l + \frac{1}{\rho} \frac{\partial(\rho U_t l)}{\partial z} + S_i \quad (7)$$

여기에서, u_j 는 속도성분(m/s), θ 는 온위(K), θ_0 는 기준 온위(K), θ' 는 온위 편차(K), T_0 는 기준온도(K), q 는 비습(kg/kg), Π 는 Exner 함수, δ_{ij} 는 Kronecker의 delta함수, ν_{eff} 는 유효난류 확산계수, $\Gamma_{k,eff}$ 는 k 의 유효 난류 확산계수, $\Gamma_{\varepsilon,eff}$ 는 ε 의 유효난류 확산계수, K_{eff} 는 온위의 유효난류 확산계수, Ψ 는 수증기의 확산계수(m^2/s), P 는 증발항, S_i 는 물방울의 생성항, C_u 는 물의 비열(J/kg), C_p 는 공기의 정압비열(J/kg·K)을 각각 나타내며, $\sigma_u(0.09)$, $\sigma_1(1.44)$, $\sigma_2(1.92)$, $\sigma_k(1.0)$, $\sigma_e(1.3)$, $\sigma_\tau(0.9)$, $\sigma_1 \alpha_1(0.55)$ 는 k- ε 모델의 경험상수를 나타내고 있다.

또한, 비습 q 와 물방울 S_i 의 식에서 P_i 는 증발항이며, 물방울의 단일 입경 D_u (m), 물방울의 수($1/m$)를 N_0 로 하면, 식(8)로 나타낼 수 있다.

$$P_i = \pi D_u \Psi N_0 (q_s - q) \cdot \left(2 + 0.60 R_e^{\frac{1}{2}} S_c^{\frac{1}{3}} \right) \quad (8)$$

여기에서, q_s 는 포화비습(kg/kg), R_e 는 Reynolds 수, S_c 는 Schmidt 수를 나타낸다. 그리고 물방울의 보존식에서 생성항의 제2항은 물방울의 낙하를, 제3항

은 물방울의 생성을 나타내고 있다. 물방울의 낙하속도 U_t 는 Allen의 식에 의해서 식(9)와 같이 나타낸다.

$$U_t = \left\{ \frac{4}{225} \frac{(\rho_u - \rho)^2}{\nu \rho^2} g^2 \right\}^{\frac{1}{3}} D_u \quad (9)$$

여기에서 ρ_u 는 물방울의 밀도(kg/m³), ρ 는 공기밀도(kg/m³), ν 는 동점성계수(m^2/s), g 는 중력가속도(=9.8 m/s²)을 나타낸다.

2.2. 분수의 모델화

분수에는 용도에 따라 여러 가지 모양이 있으며, 본 연구에서는 분사되는 물의 직경의 크기에 따라 물방울의 흩어짐 범위를 알아보기 위해 물방울을 발생하는 고수분수를 대상으로 하였다. 노즐에서 분사된 물방울은 순간적으로 흩어지면서 확산되고, 어느 시점에 도달하면 일정한 속도(종말 낙하속도)로 떨어지게 된다. 물방울의 발생량 S_i 는 다음과 같이 구할 수 있다. 식(7)의 물방울 발생량 S_i 은 유량 Q (ℓ/min), Δt (sec), 물방울의 확산체적 V (m³)을 이용하여 식(10)과 같이 나타내었다.

$$S_i = \frac{1}{V} \frac{Q \times 10^{-3}}{60} \times \frac{\rho_W}{\rho_a} \quad (10)$$

2.3. 경계조건

2.3.1. 속도

지면 등의 고체벽면에서는 다음과 같이 설정하였다. 벽면상에서 풍속의 정의점이 있는 경우에는,

$$\mu_s = \nu_s = \omega_s = 0 \quad (11)$$

벽면상에서 풍속의 정의점이 없는 경우에는,

$$\mu_1 = -\mu_2 \quad (12)$$

$$\nu_1 = -\nu_2$$

$$\omega_1 = -\omega_2$$

2.3.2. 온도

지면의 온도조건은 다음과 같이 설정하였다. 온도의 정의점은 벽면상에는 없기 때문에, 벽면상의 온도 Θ_w 는,

$$\theta_w = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \quad (13)$$

와 같이 정의하였다.

2.3.3. 스칼라량

고체벽면 경계 이외의 온도의 경계조건과 그 밖의 스칼라량에 대한 경계조건은 경계에서 바람의 유입과 유출의 경우로 생각할 수 있다.

$$\text{유출의 경우 : } \phi_1 = \phi_2$$

$$\text{유입의 경우 : } \phi_1 = \phi_{given} \quad (14)$$

ϕ_{given} 의 경우는 Table 1의 값을 이용하였다.

Table 1. Boundary value of scalar.

κ	ϵ	L	$\theta_c(\theta, q)$
0.04	0.008	0.0	Valuation by calculation

3. 결과 및 고찰

3.1. 계산영역

계산영역에 사용된 mesh는 75개(바람에 평행인 방향) \times 35개(바람에 직행인 방향) \times 75개(연직방향)이며, 영역의 크기는 500 m (바람과 평행인 방향) \times 40 m (바람과 직각인 방향) \times 200 m (연직방향)이다. 그리고 확산과 냉각효과를 좀 더 정확하게 계산하기 위하여 분수와 지면에 가까울수록 Mesh의 간격을 세밀한 불균등 mesh를 사용하였다. Fig. 1은 본 모델에 적용된 3차원의 모델격자를 나타낸 것이며, 괄호는 계산영역 각 방향에 사용된 mesh의 개수를 각각 나타낸 것이다.

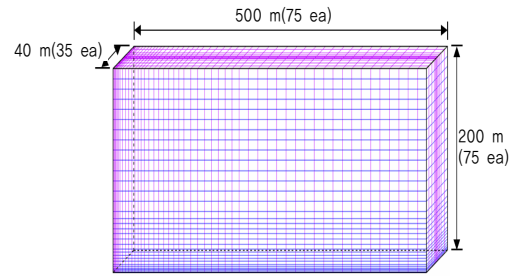


Fig. 1. Simulation region.

3.2. 계산조건

모델 초기의 계산조건은 도시의 열섬현상에 따른 대기온도가 다소 높은 온도인 307 K (34°C), 수온은 299 K (26°C), 상대습도는 45% (=0.01534 kg/kg)의 조건을 하였으며, 모델에 사용된 분수의 유량은 175 [ℓ/sec], 분수 Jet에 의한 수평면적은 0.2 m \times 0.2 m, 한줄기로 분사하는 고사분수로 가정하였으며, 분사량의 1%가 분수 Jet에 의해 물방울이 분열하여 일정한 입경으로 낙하하는 조건으로 계산하였다.

초기입력조건으로 모델의 값을 보정 후 본 연구에서 구하고자 하는 계산결과 값을 얻기 위한 입력조건으로 물기둥의 높이(35 m), 물방울의 직경(500 μm, 750 μm), 유입풍속(2.0 m/s, 4.2 m/s, 5.0 m/s, 6.0 m/s)에 따라 계산을 실시하였다. 계산결과 값은 온도의 경우는 주변 대기온도보다 0.5°C 이상 낮게 나타나는 범위, 수증기의 경우는 계산조건에 주어진 상대습도 45% (=0.01534 kg/kg)보다 습도가 높은 0.0154 kg/kg 이상의 범위, 물방울의 경우는 0.00001 kg/kg의 범위

까지를 확산 및 냉각효과의 영향범위로 간주하여 나타내었다.

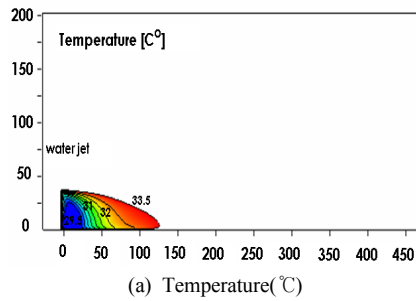
3.3. 분석결과

계산결과는 분사되는 물기둥의 높이(35 m)를 고정하고, 물방울의 직경, 유입풍속에 따른 각각의 온도 변화, 수증기 및 물방울의 확산 범위를 각각 나타내었다.

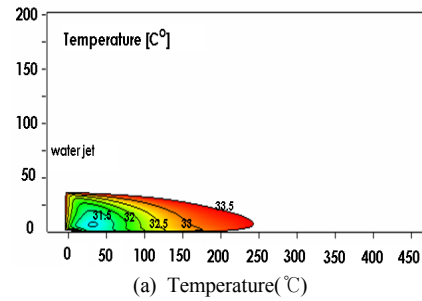
3.3.1. 풍속 2.0 m/s, 물방울 직경이 500 μm인 경우

Fig. 2는 풍속 2.0 m/s, 물방울 직경이 500 μm인 경우의 온도(a), 수증기(b), 물방울의 확산범위(c)를 각

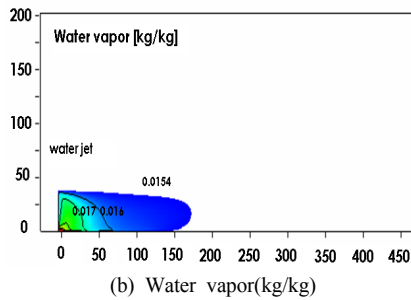
각 나타낸 것이다. 수온의 초기온도(26℃)와 대기의 초기온도(34℃)로 계산한 결과, 분수의 물기둥에 가까운 거리일수록 수온과 같은 온도를 유지하고 있으며, 물기둥에서 약 25 m 떨어진 곳에서 29.5℃, 약 125 m 떨어진 곳에서 33.5℃을 나타내고 있어 물입자의 확산에 의해 대기의 냉각효과가 발생되고 있음을 알 수 있다. (b)와 (c)는 수증기와 물입자의 확산 범위를 나타낸 것이며, (b)는 수증기(0.01534 kg/kg)의 확산 범위가 약 175 m인 것을 나타내고 있으며, (c)는 물입자(0.00001 kg/kg)의 확산 범위가 약 75 m에 이르고 있



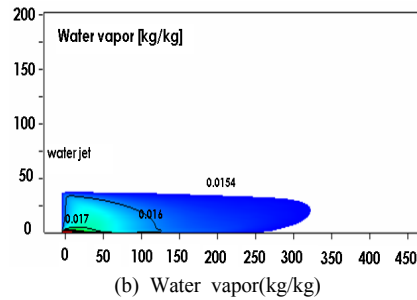
(a) Temperature(°C)



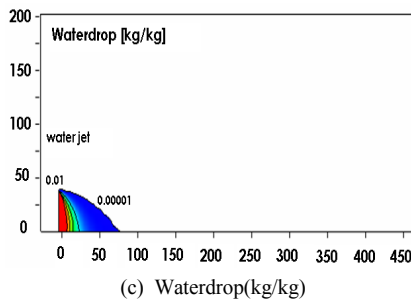
(a) Temperature(°C)



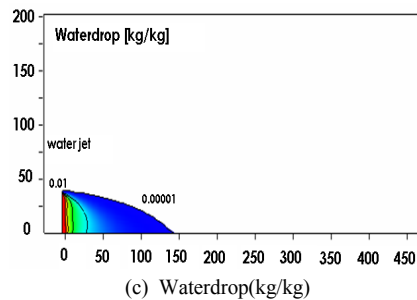
(b) Water vapor(kg/kg)



(b) Water vapor(kg/kg)



(c) Waterdrop(kg/kg)



(c) Waterdrop(kg/kg)

Fig. 2. Result of temperature(a), water vapor (b), water drop(c) when wind speed is 2.0m/s, of water particle is 500 μm

Fig. 3. Result of temperature(a), water vapor (b), water drop(c) when wind speed is 4.2m/s, diameter of water particle is 500 μm.

다. (b)와 (c)에 나타난 수증기와 물입자의 확산으로 분수 주변의 대기에 냉각효과가 나타나 온도가 저하됨을 알 수 있다.

3.3.2. 풍속 4.2 m/s, 물방울 직경이 500 μm 인 경우

Fig. 3는 풍속 4.2 m/s, 물방울의 직경이 500 μm 인 경우의 온도(a), 수증기(b), 물방울의 확산범위(c)를 각각 나타낸 것이다. (a)는 대기온도 변화를 나타낸 것으로, 바람의 증가에 따라 물줄기의 낙하지점이 이동되고, 낙하되는 지점(약 30 m)에서 가장 낮은 온도

(30.5 $^{\circ}\text{C}$)를 나타내고 있다. 약 245 m까지 물입자의 확산으로 인해 0.5 $^{\circ}\text{C}$ 이상의 냉각효과가 나타나고 있음을 알 수 있다. (b)와 (c)는 수증기와 물방울의 확산 결과를 각각 나타낸 것이며, 수증기의 확산 범위가 약 320 m, 물방울의 확산 범위가 약 145 m에 이르고 있음을 나타내고 있다.

3.3.3. 풍속 5.0 m/s, 물방울 직경이 500 μm 인 경우

Fig. 4은 풍속 5.0 m/s, 물방울의 직경이 500 μm 인 경우의 온도(a), 수증기(b), 물방울의 확산범위(c)를

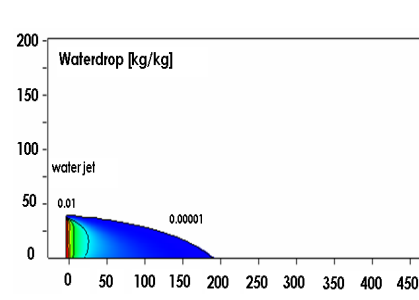
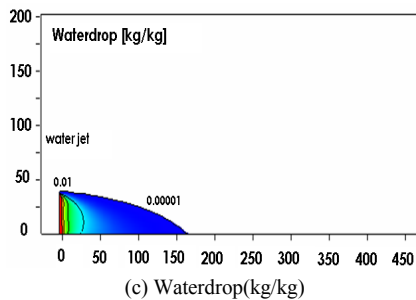
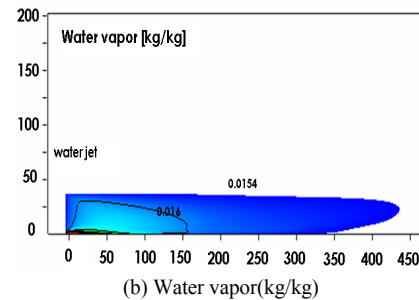
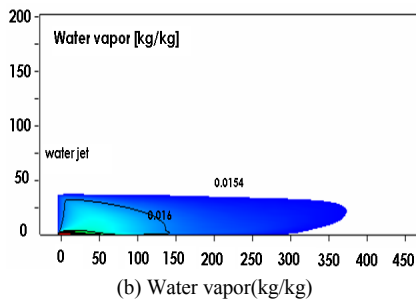
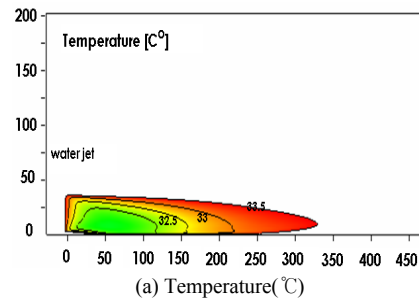
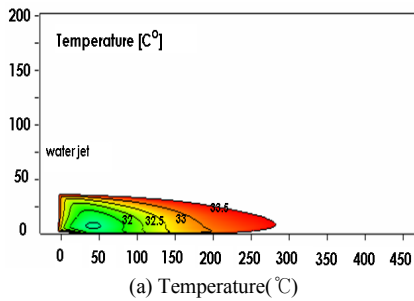


Fig. 4. Result of temperature(a), water vapor (b), water drop(c) when wind speed is 5.0m/s, diameter of water particle is 500 μm

Fig. 5. Result of temperature(a), water vapor (b), water drop(c) when wind speed is 6.0m/s, diameter of water particle is 500 μm

각각 나타낸 것이다. (a)는 대기온도 변화를 나타낸 것으로, 물줄기의 낙하지점이 풍속에 영향을 받아 이동되고, 물줄기가 주로 떨어지는 지점(약 45 m)에서 가장 낮은 온도(31.5°C)가 나타나고 있으며, 약 375 m까지 물입자의 확산으로 인해 0.5°C 이상의 냉각효과가 나타나고 있다. (b)와 (c)는 수증기와 물방울의 확산 결과를 각각 나타낸 것이며, 수증기의 확산 범위가 약 320 m, 물방울의 확산 범위가 약 165 m에 이르러서 풍속의 증가에 따라 수증기와 물입자의 확산범위가 증가되고 있다.

3.3.4. 풍속 6.0 m/s, 물방울 직경이 500 μm인 경우
 풍속 6.0 m/s, 물방울의 직경이 500 μm인 경우의 온도(a), 수증기(b), 물방울의 확산범위(c)를 각각 나타낸 것이 Fig. 5이다. (a)는 대기온도 변화를 나타낸 것으로, 풍속의 증가에 따라 물줄기의 떨어지는 지점이 이동되고, 물줄기가 주로 낙하되는 지점(약 60 m) 부근에서 가장 낮은 온도(32°C) 분포가 형성되며, 약 440 m까지 물입자의 확산으로 인해 0.5°C 이상의 냉각효과가 나타나고 있다.

(b)와 (c)는 수증기와 물입자의 확산 결과를 각각 나타낸 것이며, 수증기와 물입자의 확산 범위가 각각 320 m, 190 m 부근까지 영향을 미치고 있다. 따라서, 풍속의 증가에 따라 수증기와 물입자의 확산범위가 넓어지고, 물에 의해 냉각되는 대기 공간도 확대됨을 알 수 있다.

3.3.5. 풍속이 2.0 m/s, 물방울 직경이 750 μm인 경우
 풍속 2.0 m/s, 물방울의 직경이 750 μm인 경우의 온도(a), 수증기(b), 물방울의 확산범위(c)를 각각 나타낸 것이 Fig. 6이다. (a)는 대기온도 변화를 나타낸 것으로, 바람에 의해 물방울이 주로 떨어지는 지점인 물기둥 부근에서 가장 낮은 온도(29.5°C)가 나타나고 있으며, 약 110 m까지 물입자의 확산으로 인해 0.5°C 이상의 냉각효과가 나타나고 있다. (b)와 (c)는 수증기와 물입자의 확산 결과를 각각 나타낸 것이며, 수증기와 물입자의 확산 범위가 160 m, 65 m 부근까지 도달하고 있다.

3.3.6. 풍속이 4.2 m/s, 물방울 직경이 750 μm인 경우
 Fig. 7는 풍속 4.2 m/s, 물방울의 직경이 750 μm인

경우의 온도(a), 수증기(b), 물입자의 확산범위(c)를 각각 나타낸 것이다. (a)는 대기온도 변화를 나타낸 것으로, 바람에 의해 물줄기가 주로 떨어지는 지점(35 m) 부근에서 가장 낮은 온도(32.0°C)가 나타나고 있으며, 110 m 부근까지 0.5°C 이상의 냉각효과를 나타내고 있다. (b)와 (c)는 수증기와 물입자의 확산 범위를 각각 나타낸 것이며, 수증기의 확산 범위가 300 m, 물방울의 확산 범위가 120 m 부근까지 도달되고 있다.

3.3.7. 풍속이 5.0 m/s, 물방울 직경이 750 μm인 경우
 Fig. 8은 풍속 5.0 m/s, 물방울의 직경이 750 μm인 경우의 온도(a), 수증기(b), 물방울의 확산범위(c)를 각각 나타낸 것이다. (a)는 분수에 의한 대기온도 변화를 나타낸 것으로, 바람에 의해 물줄기가 주로 떨어지는 지점(35 m)에서 가장 낮은 온도(32.5°C)가 나타나고 있으며, 약 245 m까지 물입자의 확산으로 인해 0.5°C 이상의 냉각효과가 발생되고 있다. (b)와 (c)는 수증기와 물방울의 확산 결과를 각각 나타낸 것이며, 수증기와 물입자의 확산 범위가 350 m, 135 m에 이르러 있다.

3.3.8. 풍속이 6.0 m/s, 물방울 직경이 750 μm인 경우
 풍속 6.0 m/s, 물방울의 직경이 750 μm인 경우의 온도(a), 수증기(b), 물방울의 확산범위(c)를 각각 나타낸 것이 Fig. 9이다. (a)는 분수에 의한 대기온도 변화를 나타낸 것으로, 풍속과 물입자 크기의 증가에 의해 물줄기의 낙하되는 지점의 이동과 함께 물줄기의 낙하지점(35 m)에서 가장 낮은 온도(32.0°C)가 나타나고 있다. 275 m 부근까지 물입자의 확산으로 인해 0.5°C 이상의 냉각효과가 발생되고 있다. (b)와 (c)는 수증기와 물방울의 확산 결과를 각각 나타낸 것이며, 수증기와 물입자의 확산 범위가 405 m, 155 m 부근에 도달되고 있다. 따라서, 물방울 크기의 증가에 따라 수증기와 물입자의 확산범위가 좁아지고, 물에 의해 냉각되는 대기 공간도 축소됨을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 지구 온난화에 의해 대도시의 열섬 현상을 제어하기 위한 하나의 방법으로 사용되고 있는 분수에 의한 대기 냉각효과를 알아보았다. 분수는

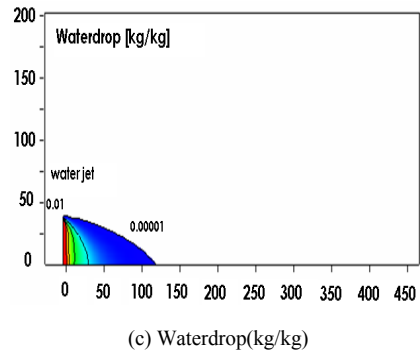
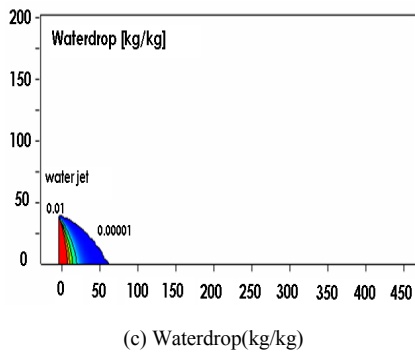
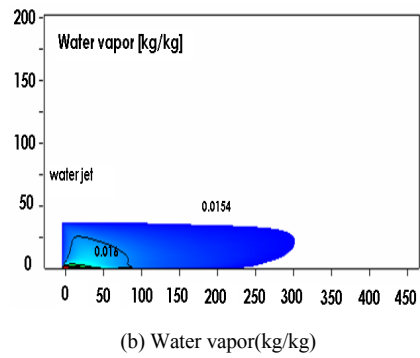
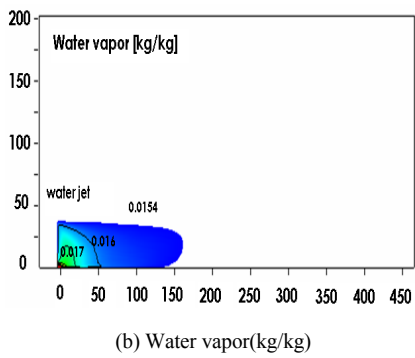
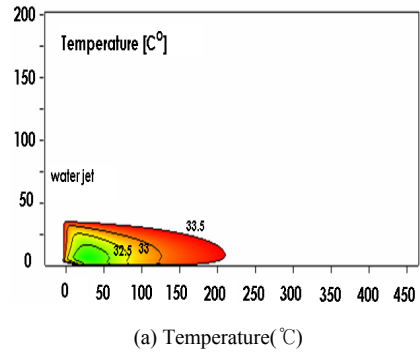
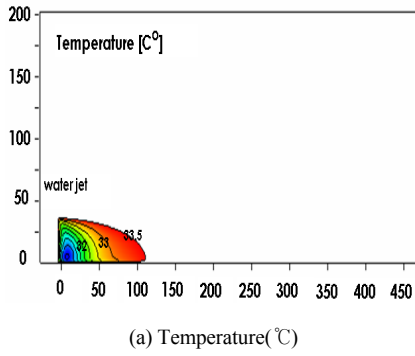
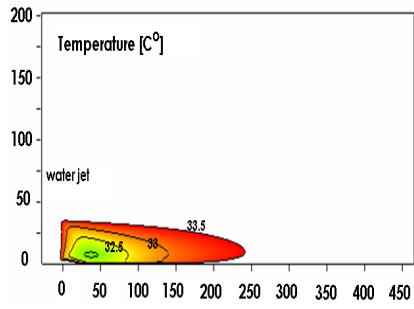
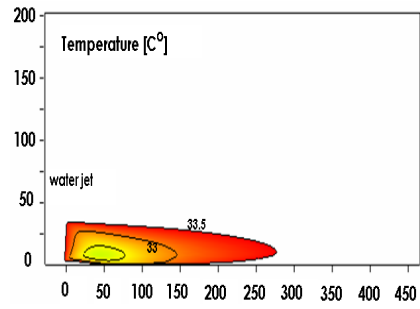


Fig. 6. Result of temperature(a), water vapor (b), water drop(c) when wind speed is 2.0m/s, diameter of water particle is 750 μm .

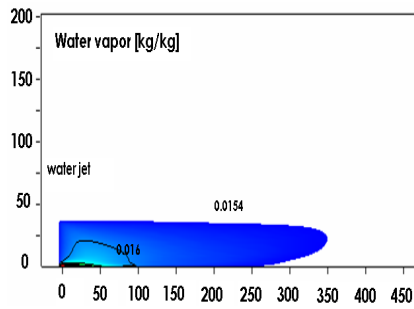
Fig. 7. Result of temperature(a), water vapor (b), water drop(c) when wind speed is 4.2m/s, diameter of water particle is 750 μm .



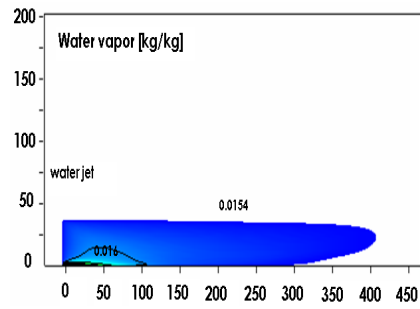
(a) Temperature(°C)



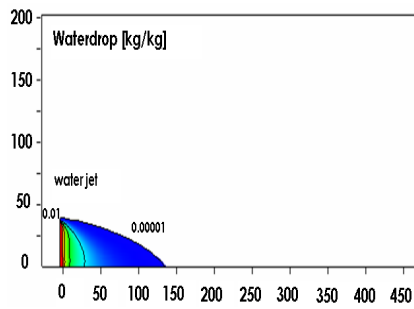
(a) Temperature(°C)



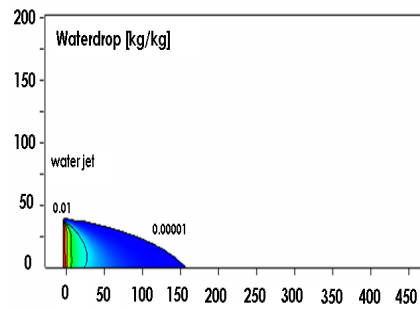
(b) Water vapor(kg/kg)



(b) Water vapor(kg/kg)



(c) Waterdrop(kg/kg)



(c) Waterdrop(kg/kg)

Fig. 8. Result of temperature(a), water vapor (b), water drop(c) when wind speed is 5.0m/s, diameter of water particle is 750 μm .

Fig. 9. Result of temperature(a), water vapor (b), water drop(c) when wind speed is 6.0m/s, diameter of water particle is 750 μm .

일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 고사분수이며, 분수에서 분출되는 물기둥의 높이를 일정하게 하고, 물방울의 크기와 풍속에 의해 생성되는 물입자의 확산과 그로인한 냉각효과를 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 물방울의 입경이 500 μm 일 때는 유입풍속(2.0~6.0 m/sec)에 따라 낙하되는 물줄기의 이동과 함께 물입자는 75~190 m, 수증기는 175~440 m까지 확산되며, 분수가 설치된 지점(0 m)부터 130~330 m의 범위에서 약 0.5°C 이상의 대기온도 냉각효과가 발생되고 있다.

2) 물방울 직경이 750 μm 일 때는 유입풍속 (2.0~6.0 m/sec)의 증가에 따라 물입자는 65~155 m, 수증기는 160~405 m 부근까지 확산되며, 분수가 설치된 지점(0 m)부터 110~275 m의 범위에서 약 0.5°C 이상의 대기온도 냉각효과가 나타나는 것을 알 수 있다.

3) 물방울의 직경, 유입풍속에 따른 물입자의 확산 및 냉각효과 범위를 예측한 결과, 유입풍속의 증가와 함께 물방울 및 수증기의 확산의 범위가 확산되며, 그로인한 주변 대기환경의 냉각효과 범위도 그에 비례하여 커짐을 알 수 있다. 또한, 분출되는 유량이 일정하고 물방울의 입경이 작을수록 물방울의 개수가 증가한다. 따라서, 유량에 물방울이 접촉하는 면적이 크기 때문에 증발량이 증가하고 냉각효과의 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

4) 분수에 사용되는 담수, 수돗물, 강·하천수 등은 미관 및 주변 대기환경의 냉각효과로서 접근이 가능하며, 바닷물일 경우에는 바닷물에 포함되어 있는 염분에 의해 주변지역의 생태계에 염분피해가 예상되므로 바다에 분수를 설치할 경우에는 유입풍속, 물기둥 높이, 물방울 직경 등을 고려하여 염분에 의한 생태계의 미치는 영향을 최소화 할 필요가 있다.

감사의 글

본 과제는 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 광역경제권 선도산업 인제 양성사업의 연구결과입니다.

참고 문헌

- 조세환, 1989, 경관 연출을 위한 Water Design, 환경과 조경, 제31호.
- 김영인, 김민중, 김정수, 홍형순, 장태현, 2001, 사직 분수대 설계, 한국조경학회지, 29(4), 75-81.
- 이승희, 2004, 실내 도제분수에 관한 연구, 석사학위 논문, 숙명여자대학교 디자인대학원.
- 허현철, 2005, 바다 분수의 이용 후 평가, 석사학위 논문, 진주산업대학교 산업대학원.
- 유민준, 노창환, 이인권, 권대현, 2007, 음악 분수 시뮬레이션 시스템, 한국컴퓨터 그래픽스학회, 2007(0), 23-24.
- 이상득, 1998, 냉각효과를 고려한 2차원 분수 모델의 개발, 대기환경학회지, 20(10), 1345-1354.