냉각탑 주위의 장애물에 의한 재순환 현상에 관한 수치해석

이 정 희, 최 영 기*†
중앙대학교 미래신기술연구소, *중앙대학교 기계공학부

Numerical Analysis on Recirculation Generated by Obstacles around a Cooling Tower

Jung Hee Lee, Young Ki Choi*†
Frontier Technology Innovation Center, Chungang University, Seoul 156-756, Korea
**School of Mechanical Engineering, Chungang University, Seoul 156-756, Korea*

(Received November 16, 2005; revision received June 7, 2006)

ABSTRACT: The present study has been conducted to examine the effect of obstacles around a cooling tower and an air-guide to prevent recirculation. In order to analyze the interaction between external flow and cooling tower exit flow, the external region as well as the cooling tower are included in computational domain. Two dimensional analysis is performed using the finite volume method with non-orthogonal and unstructured grid system. The standard k-ε turbulence model is used. To investigate the recirculation phenomena, flow and temperature fields are calculated with three approaches such as, the distance between cooling tower and obstacle, the allocated geometrical type, and the effect of height of obstacle. In addition, the air-guide is considered in the current computation. The mean recirculation rate increases with the height of obstacle. The effect of air-guide to reduce the mean recirculation rate is obviously observed.

Key words: Recirculation(재순환), Obstacle(장애물), Cooling tower(냉각탑), Air-guide(에어가이드)

기 호 설 명

a : 단위체적당 열전달면적 [m^2/m^3]
C_1, C_2 : 표준 k-ε 난류모델상수
f : 공기유동저항 [N/m^3]
f_G : 습공기 분율 [kg/kg]
G : 공기질량유량 [kg/s]
g : 중력가속도 [m/s^2]
h : 공기의 엔탈피 [J/kg]
H_{obst} : 장애물의 높이 [m]
H_{Fill} : 충전재의 높이 [m]
K : 물질전달계수 [$kg/(m^2 \cdot s)$]
L : 물의 질량유량비 [kg/s]
L_{dist} : 냉각탑의 입구와 장애물간의 간격 [m]
p : 압력 [Pa]
P_k : 난류운동에너지의 생성항
$\dot{q}$: 열전달비 [W]
W_{Fill} : fill의 폭 [m]

하첨자

F : 물

† Corresponding author
Tel.: +82-2-820-5281; fax: +82-2-826-2510
E-mail address: ykchoi@cau.ac.kr

G : 습공기
s : 포화

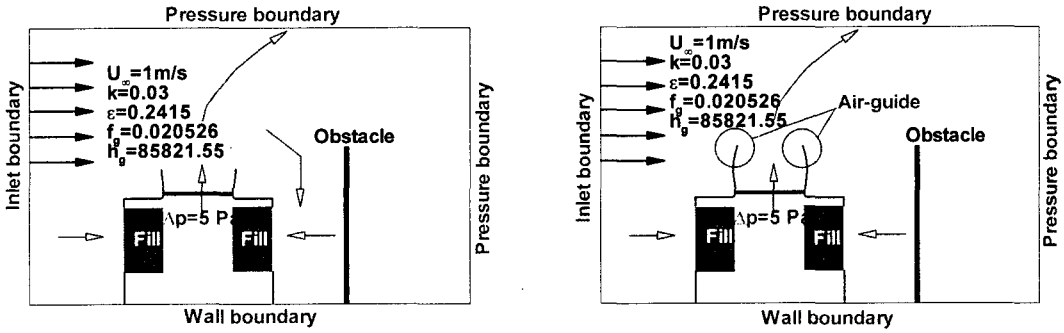
1. 서 론

냉각탑은 최소한의 에너지를 사용하여 가장 경제적이고 효과적인 방법으로 열을 제거하는 수단으로 널리 사용되고 있다. 초기에는 이론적 방법을 이용한 성능해석이 주로 수행되었다. Kelly[1]는 도식적 방법을 이용하여 blue book과 같은 형태의 성능곡선을 구하여 해석하였다. 1980년대 이후 기존의 냉각탑에서 발생되는 환경문제들에 많은 관심을 가지게 되었고 대부분의 연구가 소음, 방출용수 오염, 비산 및 백연 문제 등 환경문제에 집중되고 있는 상황이다. Buss[2]는 백연의 방지조건을 이론적 방법을 이용하여 해석하였으며, Campbell[3]은 습공기 선도를 이용하여 도식적 방법으로 백연 방지조건을 계산하였고, Hanna[4]는 백연의 발생 및 백연의 거동을 예측하기 위하여 수치해석방법을 사용한 바 있다. 최근에는 냉각탑의 수요증가뿐만 아니라 도시환경이 점점 더 복잡해짐에 따라 냉각탑의 설치면적이 점점 줄어들고 펜스와 같은 장애물이 점점 더 늘어나고 있다. 주변환경 여건과 냉각탑의 구조에 따라 냉각탑 주위에 저기압이나 와류현상이 종종 발생하고 있다. 이러한 유동조건에서는 냉각탑 출구유동의 일부가 냉각탑의 팬의 흡입유동에 의해 다시 재순환되는 현상이 일어날 수 있다. 토출된 습공기는 일반적으로 34℃ 이상이며 거의 포화된 상태가 되어 다시 냉각탑으로 유입될 경우에 입구공기의 습구온도가 상승하여 막대한 에너지 손실을 초래할 수 있다. 따라서 이를 제거하기 위한 새로운 기술이 절실히 필요한 실정이다.

재순환율은 주위 유동과 토출공기의 속도비, 냉각탑 형태 및 냉각탑의 주변의 장애물 등에 따라 크게 달라질 수 있다. 따라서 특수한 환경에서 적절한 냉각탑의 선정과 배치방법은 무엇보다 중요하며 이를 위해서는 여러 환경조건에 대한 자료를 구축하는 것이 선행되어야 한다. 그러나 이러한 자료를 실제 환경에서 실험에 의해 얻는 것은 경제적으로나 실제로 구현하는 데 있어 많은 어려움이 있다. 따라서 이 경우에는 각각의 환경을 적은 경비로 쉽게 구현할 수 있는 수치해석법이 효율적이라 사료된다.

그동안 냉각탑의 외부유동을 해석한 몇몇 논문이 발표되었다. Bergstrom et al.[5]은 냉각탑의 외부유동을 2차원 코드를 이용하여 해석하였으며, Takata et al.[6]은 냉각탑을 3차원으로 간단히 형상화하여 냉각탑 출구유동과 외부유동의 상호작용에 의한 백연의 거동을 예측한 바 있다. 그러나 대부분이 냉각탑 내부를 고려하지 않고 해석하였으며 현재까지 냉각탑의 재순환 유동을 외부유동과 냉각탑의 내부유동의 열/물질전달을 동시에 수치해석한 논문은 저자가 문헌을 조사한 바로는 없는 것으로 판단된다. 또한 재순환 현상은 일반적으로 1기만 설치한 경우에는 거의 발생하지 않고 여러 개의 냉각탑을 1열로 배열할 때 주로 발생한다. 특히 사각형 냉각탑의 재순환 유동에서는 측면방향 유동의 영향을 무시할 수 있으며 2차원 해석을 하여도 3차원 해석 결과와 전반적인 경향의 차이점이 없을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 2차원 형



(a) Without air-guide (b) With air-guide

Fig. 1 Schematic diagrams for cooling tower and boundary conditions for external flow.

상에서 냉각탑의 외부유동과 내부유동 및 열/물질전달을 수치해석하고자 한다. 같은 외기조건하에서 장애물에 의한 냉각탑의 재순환 현상을 해석하기 위하여 장애물의 설치형태, 장애물의 높이 및 장애물과 냉각탑 사이의 간격에 따라 어떤 영향을 미치는지 분석하고자 한다. 또한 이러한 재순환 현상을 방지할 수 있는 방법 중 에어가이드의 효과에 대한 연구도 함께 수행하고자 한다.

2. 이론적 모델

충전물 영역을 포함한 강제통풍식 직교류형 냉각탑과 장애물을 포함한 냉각탑 주위 유동을 모두 계산영역에 포함시켰다. 비직교, 비정렬 좌표계에서 지배방정식을 구성하고 공기와 물에 관한 지배방정식을 구성하기 위한 여러 가지 가정과 모델을 도입하고자 한다.

2.1 가 정

지배방정식을 세우기 위한 가정은 다음과 같다.

- 열 및 물질전달은 물방울과 공기의 경계면에서 일어난다.
- 물과의 경계면 상에서 공기는 포화상태이다.
- 물에서 공기로의 물질전달 중 저항은 없다.
- 물과의 경계면 상에서 온도구배는 없다.
- 공기-수증기 시스템은 Lewis 수는 1이다.
- 물의 열 및 물질전달은 유동과 평행한 방향만 고려한다.

2.2 공기에 관한 지배방정식

질량보존방정식

$$\nabla \cdot (\rho \boldsymbol{u}) = 0 \tag{1}$$

운동량보존방정식

$$\nabla \cdot (\rho \boldsymbol{u}\boldsymbol{u} - \boldsymbol{T}) = -\boldsymbol{f} - (\rho - \rho_{amb})\boldsymbol{g} \tag{2}$$

여기서, $T = -pI + \mu_{eff}[\nabla u + (\nabla u)^T]$, μ_{eff}는 유효점성계수이며, 분자점성계수 μ와 난류점성계수 μ_t의 합을 나타낸다.

스칼라 보존방정식

$$\nabla \cdot (\rho u\phi - \Gamma_\phi \nabla \phi) = S_\phi \tag{3}$$

여기서, $\phi = k, \varepsilon, f_G, h_G$, k는 난류운동에너지이고 ε는 난류에너지 소멸률이며 f_G와 h_G는 각각 습공기 분율과 엔탈피를 나타낸다.

난류수송방정식의 생성항

$$S_k = P_k - \rho\varepsilon \tag{4}$$

난류소멸방정식의 생성항

$$S_\varepsilon = \frac{\varepsilon}{k}(C_1 P_k - C_2 \rho\varepsilon) \tag{5}$$

여기서, $P_k = (1/2)\mu_t[\nabla u + (\nabla u)^T]^2$이고 C_1과 C_2는 표준 k-ε 난류모델의 상수이다.

습공기의 평형방정식의 생성항

$$S_{f_g} = \dot{m}''' = Ka(f_s - f_g) \tag{6}$$

여기서, K는 물질전달계수이며, a는 단위체적당 물과 공기의 접촉면적이다.

엔탈피 평형방정식의 생성항

$$S_{h_g} = \dot{q}''' = Ka(h_s - h_g) \tag{7}$$

Kelly's 실험식[1]

$$Ka = \lambda_h L'' \left(\frac{L}{G}\frac{H_{Fill}}{W_{Fill}}\right)^{-n_h} \tag{8}$$

여기서, λ_h와 n_h는 충전물의 종류에 따른 실험상수로 참고문헌[8]에 주어져 있다.

2.3 물에 관한 지배방정식

질량보존방정식

$$\nabla \cdot (\rho_w u_w) = -\dot{m}''' = -Ka(f_s - f_g) \tag{9}$$

엔탈피방정식

$$\nabla \cdot (\rho_w u_w h_w) = -\dot{q}''' = -Ka(h_s - h_g) \quad (10)$$

공기유동저항

$$\int f_i dV = N\frac{1}{2}\rho u_i \triangle V + N_{elim}\frac{1}{2}\rho u_i \triangle A + N_{louver}\frac{1}{2}\rho u_i \triangle A \quad (11)$$

여기서, $\triangle V$는 검사체적이고 $\triangle A$는 속도성분에 수직한 검사면의 면적을 나타내며, N_{elim}와 N_{louver}는 각각 엘리미네이터와 루버에서의 전체 속도손실 수두이다. N은 충전물에서 단위공기 유동거리당 손실속도 수두이며, Lowe and Christie[7]와 Kelly[1]에 의해 다음과 같이 제시하였다.

속도수두손실의 수

$$N = \lambda_v \frac{L''}{G''} + n_v \quad (12)$$

여기서, λ_v와 n_v는 충전물의 종류에 따른 실험상수로 참고문헌[8]에 주어져 있다.

습공기의 밀도

$$\rho = \frac{pW_g}{R(T_{DB} + 273.15)} \quad (13)$$

여기서, R은 일반기체상수를 나타내고, W_G는 습공기의 분자량을 나타낸다.

습공기의 분자량

$$W_g = W_{air}(1 - f_g) + W_{water} f_g \quad (14)$$

여기서, W_{air}는 건공기의 분자량(=28.97)이고 W_{water}는 물의 분자량(=18.00)이다.

3. 수치해석

3.1 냉각탑과 냉각탑 주위의 형상

본 연구에서는 냉각탑, 장애물과 주위 유동의 상호작용에 의한 유동 및 열/물질 전달현상을 해석하기 위해 1열로 배열된 직교류형 냉각탑을 Fig. 1과 같이 2차원 유동현상으로 가정하여 해석하였다.

3.2 격자계

수치해석의 효율성을 높이기 위해 비직교, 비정렬 격자계를 사용하였으며 에어가이드가 없는 경우에는 23,083개의 비균일 격자계를 사용하였고 에어가이드가 있는 경우에는 25,151개를 사용하였다.

3.3 지배방정식의 차분화

지배방정식을 이산화하기 위해 유한체적법을 사용하였고, 대류항에 대해 멱승도식법을 이용하여 보간하였다.

3.4 경계조건

외부유동의 입구경계조건은 주어진 외기의 건구온도, 습구온도 및 압력을 이용하여 PROPATH[9] 함수를 이용하여 입구에서의 습공기 분율과 엔탈피를 계산하여 주었다. 대칭면에서의 경계에서는 질량보존과 운동량보존을 만족시키도록 처리하였으며 벽면경계조건은 점착경계조건으로 처리하였고 온도장에 대해서는 단열조건으로 처리하였다. 그외의 외부유동과 접하는 영역의 경계처리는 유동의 유출입을 고려하기 위해 압력경계로 처리하였다. 또한 냉각탑의 팬 경계조건은 압력차에 의해 유동이 흡입되도록 처리하였다.

3.5 계산절차

(1) 외부유동에 대한 초기값을 설정하고 PROPATH[9]를 이용하여 공기의 엔탈피, 습도비, 분율, 밀도 및 물의 엔탈피, 밀도를 구한다.

(2) 냉각탑 내의 충전물과 엘리미네이터에 대한 유동저항과 냉각탑 출구의 팬 경계조건을 공기에 관한 운동량방정식의 생성항 처리한다.

(3) 공기에 관한 운동량방정식을 풀어 공기의 내부와 외부 유동을 계산한다.

(4) 물의 증발에 의한 습공기의 질량증가를 생성항 처리하고 SIMPLE 알고리즘을 사용하여 압력수정방정식을 풀고 속도장을 수정한다.

(5) 난류운동에너지방정식을 푼다.

(6) 난류에너지소멸율방정식을 푼다.

(7) 이 전 단계에서 계산한 온도와 난류운동에너지, 난류에너지소멸률을 이용하여 유효점성계수, 유효열확산계수와 공기밀도를 구한다.

(8) 물의 증발에 의한 물의 질량감소를 생성항 처리하여 물의 질량보존방정식을 푼다.

(9) 공기로의 열전달에 의한 물의 엔탈피 감소를 생성항 처리하고 물의 엔탈피방정식을 푼다.

(10) 물로부터 열전달된 공기의 엔탈피 증가를 생성항 처리하여 공기의 엔탈피방정식을 푼다.

(11) 물의 증발에 의한 습공기 분율증가를 생성항 처리하고 습공기 분율방정식을 푼다.

(12) 물과 공기의 엔탈피로부터 PROPATH[9] 함수를 이용하여 각각의 온도장을 구한다. 구한 온도장을 이용하여 물의 밀도, 공기의 포화 엔탈피, 포화 습공기 분율을 구한다.

(13) 충전물 내를 흐르는 물과 공기의 질량유량을 가지고 충전물 내 유동저항의 수두와 물질전달계수를 구한다.

(14) (2)~(13)을 모든 종속변수가 수렴할 때까지 반복 계산한다.

4. 결과 및 고찰

본 연구는 냉각탑 주위에 장애물이 있는 경우에 외부유동과 냉각탑 출구유동의 상호작용에 의한 재순환현상을 연구하기 위하여 수행되었다.

외부유동과 냉각탑의 팬의 작동조건은 Table 1에 주어져 있으며 에어가이드 유무에 따른 효과와 장애물의 높이, 냉각탑과 장애물과의 간격 및 장애물의 설치형태에 따른 효과를 해석하기 위해 Table 2에 주어진 조건에서 계산하였다.

4.1 에어가이드가 없는 경우

Figs. 2~6은 에어가이드가 없는 경우에 대해 계산한 속도분포와 유선 및 습공기 분율을 나타낸 것이다.

4.1.1 냉각탑과 장애물 사이에 간격에 따른 유동장

Fig. 2는 장애물의 높이(H_{obst})를 4.675 m로 고정시키고 냉각탑과 장애물 사이의 간격의 변화시킴에 따라 냉각탑 출구유동과 주위유동과의 상호작용에 의한 속도분포와 습공기 분율의 변화를 나타낸 것이다. 냉각탑 출구에서 나온 유동은 상류 입구영역에는 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있고 하류영역 입구에서는 주위유동의 운동량에 의해 −y방향(하향)으로 휘어지게 되고 팬의 흡입력에 의해 일부가 다시 냉각탑 내로 재순환되는 유동현상을 보이고 있다. 냉각탑과 장애물 사이의 간격이 증가함에 따라 하류영역에서 팬에 의해 흡입되는 영역의 확대로 인해 더 많은 유동이 다시 재유입되는 현상이 나타난다. L_{dist}=6 m인 경우에는 영역이 더욱 확대되어 많은 유동이 재유입되는 현상이 나타남을 볼 수 있는데 L_{dist}=4 m인 경우에 비해 주위유동과의 혼합으로 인해 습공기 분율이 현저히 낮게 나타남을 알 수 있다. 따라서 재유입되는 유동의 습공기 분율은 낮아질 것으로 생각된다.

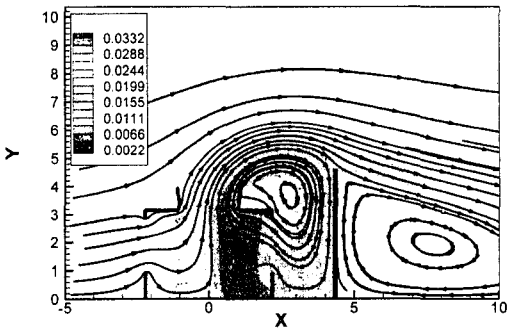
Table 1 Operating conditions

Property	Value
Dry bulb temperature [℃]	32.0
Wet bulb temperature [℃]	27.0
Ambient pressure [kPa]	101.325
Inlet water temperature [℃]	37.0
Water inlet velocity [m/s]	0.0097
Fan boundary (dp) [Pa]	5.0
Flow inlet velocity [m/s]	1.0
Main flow inlet turbulent kinetic energy [m^2/s^2]	0.03
Main flow inlet turbulent dissipation rate	0.2415

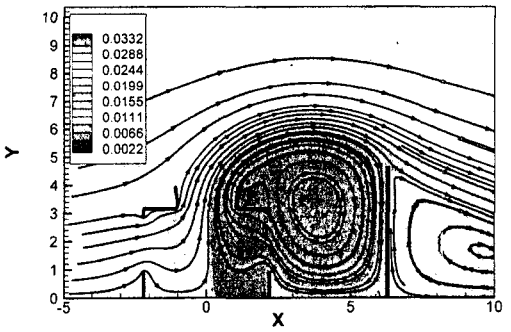
Table 2 Test conditions

Air-guide inclusion	Variable	Value
No	L_{dist} [m]	2, 4, 6
	H_{obst} [m]	3.155, 3.915, 4.675
	Allocated geometrical type	Type 1, Type 2
Yes	H_{obst} [m]	3.155, 3.915, 4.675

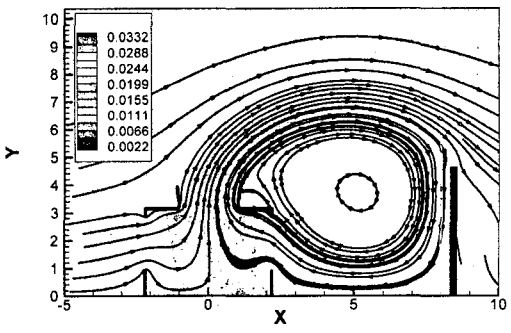
Fig. 3은 장애물의 높이(H_{obst})를 4.675 m로 고정시키고 냉각탑입구와 장애물 사이의 간격의 변화에 따라 상류 및 하류 입구로 유입되는 평균 습공기 분율의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 2의 유동현상에서 본 바와 같이 냉각탑 출구에서 나온 습공기 분율은 상류 입구영역에서는 L_{dist} 변화에 따라 초기 주위유동과 거의 같은 값으로 일정한 분포를 보이고 있으며 하류 입구영역에서는 냉각탑 출구유동의 재흡입으로 인해 유동은 입구쪽에 비해 크게 증가하며 간격의 증가에 따라 서서히 증가되고 L_{dist}=6 m에서는 크게 감소함을



(a) L_{dist}=2 m



(b) L_{dist}=4 m



(c) L_{dist}=6 m

Fig. 2 Moisture fraction rates and streamlines with a variety of the distance between cooling tower and obstacle.

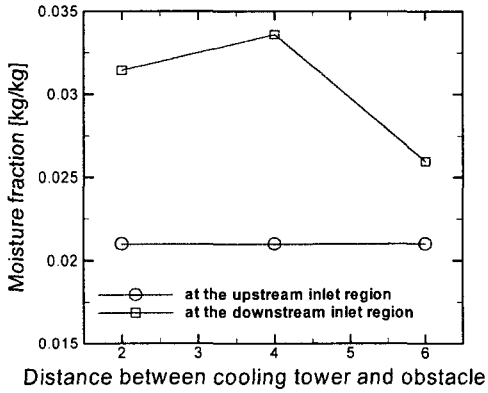
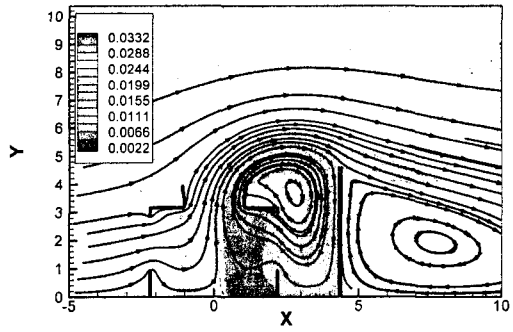
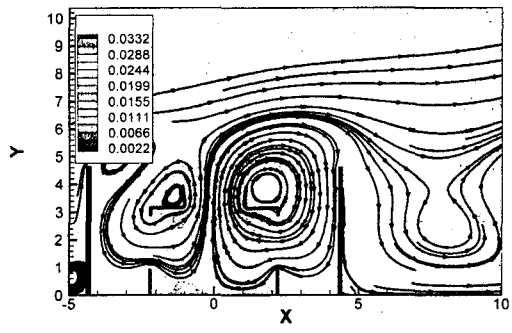


Fig. 3 Profiles of the mean moisture fraction with the distance between cooling tower and obstacle.



(a) Type 1



(b) Type 2

Fig. 4 Moisture fraction rates and streamlines with the allocated geometrical type of obstacle.

알 수 있다. L_{dist}=6 m에서 크게 감소한 이유는 재유입되는 영역은 확대되었으나 재유입되는 유동의 습공기 분율이 현저히 낮아졌기 때문이다.

4.1.2 장애물 설치형태에 따른 유동장

Fig. 4는 장애물의 설치형태에 따라 계산된 유동 및 습공기 분율의 분포를 나타낸 것이다. Type 1은 장애물을 하류영역에만 설치한 경우이고 Type 2는 장애물을 상류와 하류에 각각 하나씩 설치한 경우이다. 하류 입구영역에서 유동은 두 경우 모두 재순환되는 현상이 뚜렷이 나타났다.

그러나 상류 입구영역에서는 Type 1의 경우에는 재유입되는 유동이 거의 없는 반면, Type 2에서는 주유동에 의한 운동량이 크게 감소하여 팬의 흡입유동에 의해 재유입되는 현상이 일어난다. 외부유동의 영향으로 Type 1의 경우에는 −y 방향으로 유동이 많이 휘어지는 반면, Type 2에서는 Type 1에 비해 +y방향으로 상승하는 유동형태를 보인다. Fig. 5는 장애물의 설치형태에 따른 습공기 분율은 Fig. 4에서와 같이 Type 1에서는 재유입되는 유동이 거의 없어 외부유동과 거의 일치한 반면, Type 2에서는 재순환되는 현상이 일어남으로 인해 Type 1에 비해 증가함을 보이고 있다. 하류 입구영역에서 습공기 분율은 Type 1에서 크게 증가한 반면, Type 2에서는 오히려 조금 감소하는 경향을 나타낸다. 이것은 Fig. 4에서 본 바와 같이 상류영역에 있는 장애물이 외부유동의 영향을 줄여 유동을 전반적으로 상승시키는 효과를 가져왔기 때문이고 또 하나는 Type 2의 경우에는 냉각탑 출구유동의 일부가 상류영역으로 유입됨에 따라 하류영역으로 전달되는 양이 그 만큼 줄어들었기 때문으로 사료된다.

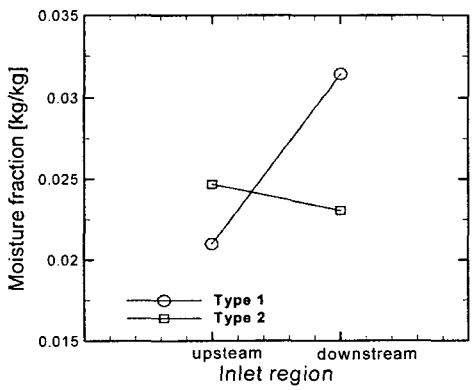
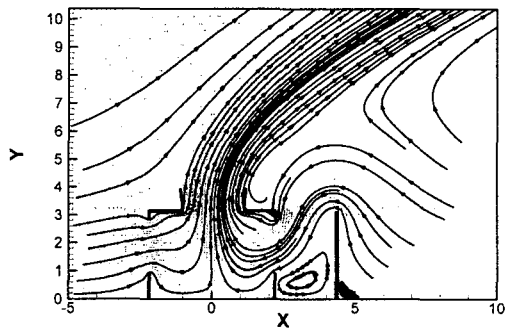


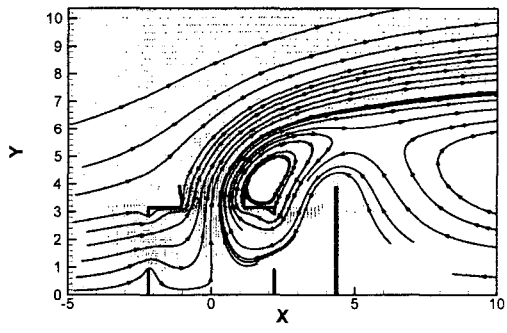
Fig. 5 Profiles of the mean moisture fraction with the allocated geometrical type of obstacle.

4.1.3 장애물 높이에 변화에 따른 유동장

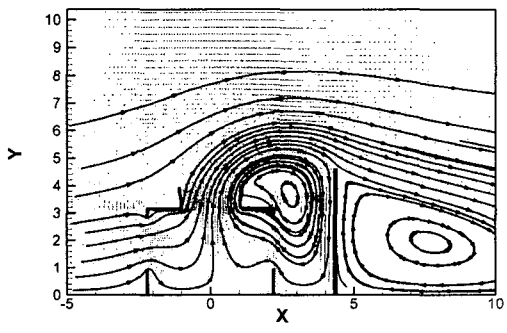
Fig. 6은 에어가이드가 없을 때 장애물과 냉각탑 입구간의 간격(L_{dist})을 2 m로 고정시키고 장애물의 높이 변화에 따른 유동 및 유선의 분포를



(a) H_{obst}=3.155 m



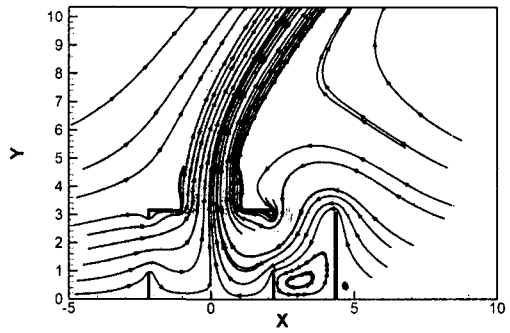
(b) H_{obst}=3.915 m



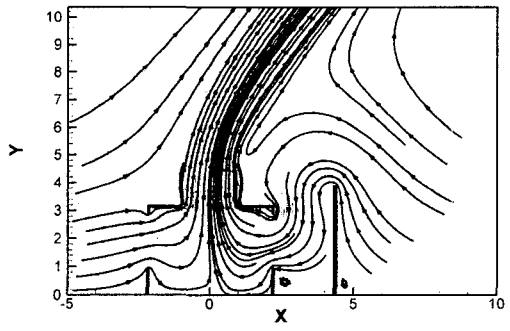
(c) H_{obst}=4.675 m

Fig. 6 Vector distributions and streamlines with a variety of the height of obstacle.

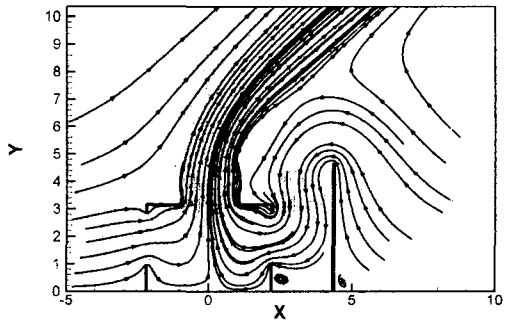
그린 것이다. 상류 입구영역에서는 냉각탑의 높이 변화에 관계없이 유동은 재순환되지 않았다. 하류 입구영역에서는 장애물이 냉각탑의 출구보다 낮을 때에는 대부분의 유동이 +y방향(상향)을 향하고 있다. 이로 인해 냉각탑 출구유동은 거의 재유입되지 않음을 볼 수 있다. 냉각탑의 높이가 증가됨에 따라 서서히 냉각탑 출구유동이 재유입되었고 냉각탑의 높이보다 높은 경우에는 재유입되는 유동이 크게 증가함을 알 수 있다.



(a) H_{obst}=3.155 m



(b) H_{obst}=3.915 m

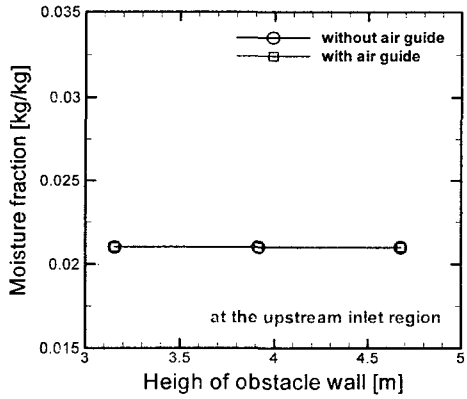


(c) H_{obst}=4.675 m

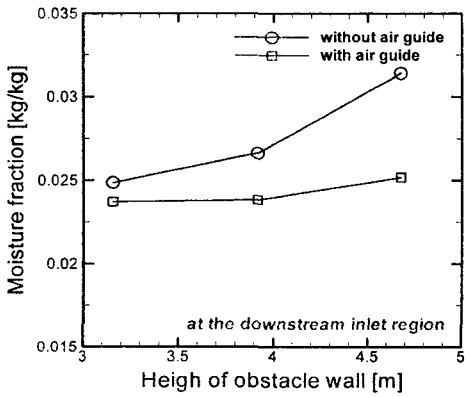
Fig. 7 Vector distributions and streamlines with a variety of the height of obstacle.

4.2 에어가이드가 있는 경우

Fig. 7은 에어가이드가 있을 때 장애물과 냉각탑 입구 간의 거리(L_{dist})를 2 m로 고정시키고 냉각탑의 높이를 변화시킬 때 유동 및 유선의 분포를 그린 것이다. Fig. 6에서와 마찬가지로 상류 입구영역에서는 냉각탑의 높이 변화에 관계없이 유동은 재순환되지 않았다. 그러나 하류 입구영역에서는 에어가이드가 없는 경우(Fig. 6)와는 달리 냉각탑의 출구유동은 장애물의 높이에 관계없이 대부분 +y방향(상향)을 향하고 있다. 이로 인해 냉각탑 출구유동은 거의 재유입되지 않음을 볼 수 있다. 이러한 현상은 에어가이드가 +y방향 운동량을 크게 증가시킴으로 인해 생긴 결과라고 생각된다.



(a) At the upstream inlet region



(b) At the downstream inlet region

Fig. 8 Profiles of the mean moisture fraction with the height of obstacle.

4.3 에어가이드 유무에 따른 효과

Fig. 8은 에어가이드 유무에 따라 장애물의 높이 변화에 따른 평균 습공기 분율을 비교한 것이다. 상류 입구영역에서 습공기 분율은 Fig. 6과 Fig. 7에서 본 바와 같이 재유입되는 유동이 거의 없어 에어가이드 유무에 관계없이, 장애물의 높이 변화에 관계없이 거의 일정한 분포를 나타내고 있다. 하류 입구영역에서는 습공기 분율은 장애물의 높이가 증가함에 따라 증가함을 보이고 있으며 에어가이드가 있는 경우에는 없는 경우에 비해 증가폭이 크게 감소함을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 냉각탑과 주위유동의 상호작용에 의한 유동 및 열/물질전달의 효과를 연구하기 위해 장애물과 냉각탑 사이의 간격, 장애물의 높이, 장애물의 설치형태의 변화 및 에어가이드 유무에 따른 효과를 비교하기 위하여 수행되었으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 하류영역에서 평균 재순환율은 냉각탑과 장애물 사이의 간격이 증가함에 따라 서서히 증가한 후 다시 감소하는 경향을 보였다. 평균 재순환율은 재순환되는 유동의 양과 재순환되는 유동의 습공기 분율에 의해 결정됨을 알 수 있었다.

(2) 장애물의 설치형태에 따라 상류영역에서도 재순환되는 유동이 형성될 수 있음을 확인하였다.

(3) 에어가이드가 없는 경우에 장애물의 높이가 냉각탑 출구와 거의 비슷하거나 높을 때 재순환 유동이 형성됨을 알 수 있었고 높이의 증가에 따라 재순환되는 양이 증가함을 알 수 있었다.

(4) 에어가이드를 설치함에 따라 장애물의 높이에 관계없이 상향운동량의 증가로 인해 재순환되는 유동을 크게 줄일 수 있음을 확인할 수 있었다.

(5) 본 연구에서는 1열로 배열된 냉각탑을 2차원 유동으로 가정하여 해석하였지만 실제과정은 복잡한 3차원 유동특성을 나타낸다. 따라서 차후 연구는 3차원 해석으로 진행되어야 한다고 판단한다.

후 기

이 논문은 2004년도 중앙대학교 학술연구비 지원에 의한 것임.

참고문헌

1. Kelly, N. W., 1976, Kelly's Handbook of Crossflow Cooling Tower Performance, N. W. Kelly and Associates, Kansas City, Mo.
2. Buss, J. R., 1967, Control of Fog from Cooling Towers, Cooling Tower Institute Annual Meeting, New York.
3. Campbell, J. C., 1976, The Prevention of Fog from Cooling Towers, Annual Meeting of the Cooling Tower Institute, Houston.
4. Hanna, S. R., 1971, Meteorological Effects of Cooling Tower Plumes, Cooling Tower Institute Winter Meeting, Houston.
5. Bergstrom, D. J., Derksen, D. and Rezkallah, K. S., 1993, Numerical study of wind flow over a cooling tower, J. Wind Eng. and Indust. Aero.
6. Takata, K., Nasu, K. and Yoshikawa, H., 1996, Prediction of the Plume from a Cooling Tower, Cooling Tower Institute Annual Conference, Houston.
7. Lowe, H. J. and Christie, D. G., 1961, Heat transfer and pressure drop data on cooling tower packings, and model studies of the resistance of natural draught towers to air flow, Proceedings International Heat Transfer Conference, Colorado, pp. 373-406.
8. Majumdar, A. K., Singhal, A. K. and Spalding, D. B., 1983, VERA2D: Program for 2-D analysis of flow, heat, and mass transfer in evaporative cooling towers－Volume 1 and 2, Electric Power Research Institute.
9. PROPATH Group, 1993, A Program Package for Thermophysical Properties of Fluids, Version 8.1/MS-DOS, PROPATH Group.