

3차원 CFD 해석을 이용한 정수장 여과지의 환기특성 Ventilation Characteristics of Filtration Basin in Water Treatment Plant using 3-D CFD Simulation

Seung Chul Lee*

Department of Fire Protection Engineering, Kangwon National University, 346 Hwangio-gil, Dogye-eup,
Sancheok-si, Gangwon-do, 245-710, Korea

Abstract

In this paper, the ventilation characteristics of a filter basin of the purification plant were investigated for different windows size and the locations by numerical simulation. It has been found that the maximum concentration of chlorine gas in the filter basin with original windows was predicted about 0.13ppm. It means that an additional required amount of ventilation is needed to maintain good indoor air quality. For the filter basin with double sized windows and relocations, the maximum concentration of chlorine gas was predicted 0.11ppm. It is known that the window size and its locations in a filter basin of the purification plant are important factors to reduce the concentration of chlorine gas in the indoor.

Key words: filtration basin, water treatment plant, ventilation characteristic, CFD.

국문초록

본 연구에서는 창문의 크기와 위치를 달리하여 정수장 여과지동의 환기특성을 3차원 전산유체역학 프로그램을 이용하여 해석하였다. 그 결과 기존 창문의 위치와 크기를 갖는 여과지동에서 최대 염소가스의 농도는 0.13ppm으로 나타났다. 이것은 좀 더 쾌적한 실내 공기질을 유지하기 위해서 추가적인 환기량이 필요함을 의미한다. 정수장 여과지동의 창문의 크기를 2배로 늘리고 재배치한 경우, 실내 염소가스의 최대농도는 0.11ppm으로 감소하였다. 따라서 정수장 여과지동의 염소가스를 줄이기 위해서 환기량과 환기구 위치가 중요함을 알 수 있었다.

주제어: 여과지, 정수장, 환기특성, 전산유체역학.

* Tel. +82-33-540-3122. E-mail. sclee@kangwon.ac.kr

Submission & Publication Process

Received: Jan. 18, 2014 / Revised: Feb. 15, 2014 / Accepted: Feb. 18, 2014

I. 서론

정수장은 수원에서 송수되어 온 자연수를 급배수 지역의 근교에서 사용 목적의 수질로 정화하는 시설을 말하며 여과지, 침전지, 배수지, 정수지 등과 이들의 연락수로가 설치되어 있다. 이러한 시설 중 <Fig 1>에 나타낸 여과지는 자연수를 정화하는 핵심설비로 정수지의 필터와 같은 역할을 하며 자연수를 상수로서 사용하기 위해 염소소독 등을 통해 병원균을 완전히 제거하게 된다.

이러한 염소사용으로 인해 여과지에서 염소를 포함하는 다량의 응축수가 발생되어 금속물질을 부식시킨다. 특히 유수조 난간의 용접부분이나 펌프를 포함한 기계장치의 부식이 심각하게 발생되고 있다[1]. CFD를 이용한 정수장의 환기특성에 관한 연구는 미미하며, 정수장 원수 처리과정에서 소독능을 높이기 위한 정수지 내에서의 유입구와 유출구 위치와 모양, 내부 도류벽 유무와 형태에 대한 연구가 대부분이다[2][3].



<Fig 1> A Filtration Basin of Water Treatment Plant

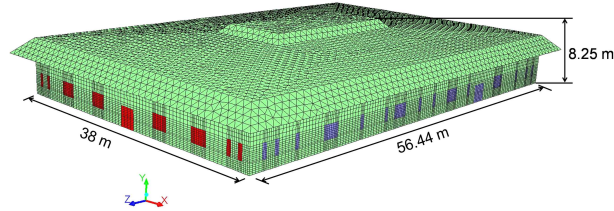
따라서 본 연구에서는 전산유체역학(CFD; Computational Fluid Dynamics) 기법을 이용하여 환기구의 크기를 달리하는 자연 환기량의 변화에 따른 정수장 내 염소농도 분포특성을 분석하고자 한다.

II. 대상 모델

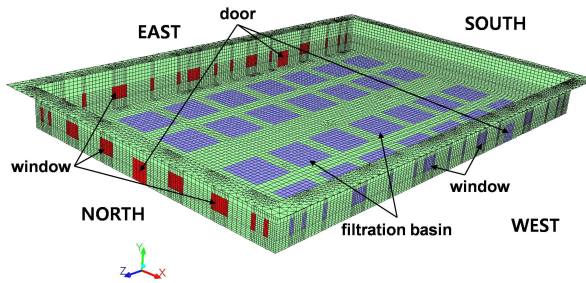
<Fig 2>에는 본 연구에서 채택한 S정수장 여과지동의 개략도를 나타내었다. 그림에서 보이는 바와 같이 여과지동 건물은 56.44 m × 38 m × 8.25 m의 규모이다. 남쪽 벽은 하나의 벽체로만 이루어져 있고 동쪽, 서쪽 및 북쪽의 벽은 출입문, 작은 창문, 큰 창문과 벽체로 이루어져 있다. 동쪽과 서쪽 벽에는 각각 작은 창문(0.5m×0.25m) 11개, 큰 창문(0.5m×1.5m) 4개 및 출입문(2.0m×2.1m) 1개가 설치되어 있으며 북쪽 벽에는 작은 창문(0.5m×0.25m) 4개, 큰 창문(0.5m×1.5m) 4개 및 출입문(2.0m×2.1m) 1개가 설치되어 있다. 또한 여과지는 4개가 1개조로 총 8개조로 구성되어 있으며 여과지 1개조는 예비조이며 가동하는 여과지는 7개조이다. 물은 동쪽

에서 서쪽으로 흐르고 있는 상태이며 일일 여과량은 240,000 ton/day이고 정수장 여과지동 내에서 측정된 염소농도는 0.15ppm이다.

본 연구에서는 서쪽에서 동쪽방향으로 자연환기가 존재하는 것으로 가정하였으며, 외부 신선공기가 정수장 여과지동 내로 문과 창문을 통해 0.3m/s로 유입되는 것으로 가정하였다.



(a) Exterior Shape



(b) Interior Shape

<Fig 2> Computational Model

III. 수치해석 방법

환기량에 따른 정수장 내 염소농도 분포특성을 파악하기 위해서는 RANS(Reynolds Averaged Navier-Stokes) 기반의 연속방정식, 운동량방정식, 농도방정식이 사용되었으며[4], 난류해석을 위해서 wall-function을 채용한 표준 k-ε 난류모델[5]이 사용되었다.

연속방정식

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \tag{1}$$

운동량방정식

$$\tag{2}$$

농도방정식

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho C) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i C) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \rho \left(D_i + \frac{\mu_t}{Sc_t} \right) \frac{\partial C}{\partial x_i} \right\} + S_C \quad (3)$$

난류운동에너지방정식 ;

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right\} + G_k - \rho \epsilon \quad (4)$$

난류운동에너지소산율방정식 ;

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right\} + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} G_k - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (5)$$

여기서,

$$\mu_t = \frac{C_\mu \rho k^2}{\epsilon}, G_k = \mu_t \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (6)$$

$$C_\mu = 0.09, C_{1\epsilon} = 1.44, C_{2\epsilon} = 1.92, \sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 0.9, Pr_t = 0.85$$

본 연구에서 환기량에 따른 정수장 내 염소농도 분포특성을 파악하기 위해 현재의 개구부 크기를 고려한 경우(case 1)와 현 개구부 크기를 4배로 하여 환기량을 증가시킨 경우(case 2)에 대해 각각 수치해석을 수행하였다. 즉 작은 창문의 경우 0.5m×0.25m에서 0.5m×1.5m로 변경시켰으며, 큰 창문의 경우 0.5m×1.5m에서 2m×1.5m로 크기를 변경시켰다.

정수장 여과지동의 개구부 크기에 따른 수치해석에 사용된 경계조건은 Inlet, Outlet, Wall 그리고 정수장 여과지동 물-공기 경계부분에서 염소발생 처리부분이다.

<Table 1>과 <Table 2>에 case 1과 case 2에 대한 경계조건을 각각 나타내었다. 표에서 보이는 바와 같이 입구(Inlet)조건은 서쪽 출입문과 창문을 통해 0.3m/s의 환기속도를 부여하였으며 출구(Outlet)조건은 동쪽과 북쪽의 출입문과 창문에 대기압조건과 염소농도는 정수장 여과지동 내에서 측정된 0.15ppm 부여하였다. 또한 염소기체의 증발량은 수증기의 증발량 계산식 [6]을 이용하여 Y방향(높이 방향)으로 6.0×10^{-11} kg/m²s를 부여하였다. 표에서 I와 Dh는 각각 난류강도(turbulent intensity)와 수력지름(hydraulic diameter)을 의미한다.

본 연구에서는 정수장 내 염소농도분포 특성을 수치해석하기 위해 범용 CFD code인 FLUENT[7]를 사용하였으며 약 27만개의 비균일 격자계를 사용하였다.

<Table 1> Boundary Conditions of Case 1

Boundary condition	Locations	Values	Mass Fraction	I[%]/Dh[m]
Inlet	w_door w_windows	$u=-0.3$ [m/s]	Cl ₂ : 0.0 air: 1.0	5.0/2.05 5.0/0.75 5.0/0.33
Outlet	e_door e_windows n_door n_windows	atmospheric pressure	Cl ₂ : 1.5×10^{-7} air: 1.0	5.0/2.05 5.0/0.75 5.0/0.33
Mass flow Inlet	water-air interface	6.0×10^{-11} [kg/m ² s]	Cl ₂ : 0.15×10^{-7} air: 1.0	5.0/4.75
Wall	e_wall, w_wall, n_wall, roof, water-air interface	no-slip	-	-

<Table 2> Boundary Conditions of Case 2

Boundary condition	Locations	Values	Mass Fraction	I[%]/Dh[m]
Inlet	w_door w_windows	$u=-0.3$ [m/s]	Cl ₂ : 0.0 air: 1.0	5.0/2.05 5.0/1.71 5.0/0.75
Outlet	e_door e_windows n_door n_windows	atmospheric pressure	Cl ₂ : 1.5×10^{-7} air: 1.0	5.0/2.05 5.0/1.71 5.0/0.75
Mass flow Inlet	water-air interface	6.0×10^{-11} [kg/m ² s]	Cl ₂ : 0.15×10^{-7} air: 1.0	5.0/4.75
Wall	e_wall, w_wall, n_wall, roof, water-air interface	no-slip	-	-

IV. 결과 및 검토

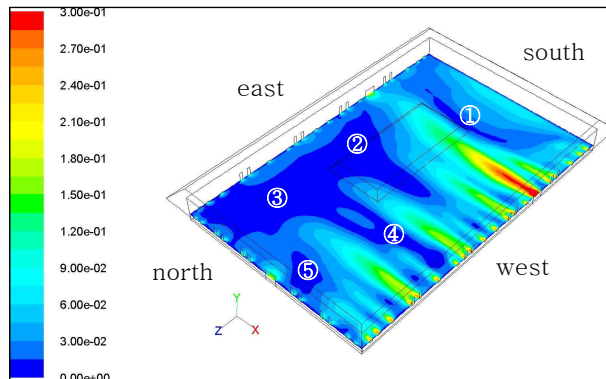
정수장 여과지동에서 기존 개구부 크기를 고려한 재실자 호흡선 높이(바닥면으로부터 1.5m 높이)에서의 기류분포와 염소가스 농도분포를 <Fig 3>과 <Fig 4>에 각각 나타내었다. 그림에서 보이는 바와 같이 서쪽 문과 창문으로부터 신선외기가 유입되어 동쪽과 북쪽의 문과 창문을 통해 배출되어 환기가 이루어진다. <Fig 3>의 기류분포에서 보면 ①, ④ 및 ⑤로 표시된 영역에서 각각 재순환 유동영역이 발생되며, ②와 ③으로 표시된 영역에서 서쪽에서 유입된 기류가 원활하게 도달하지 못하여 정체영역이 형성된다. 이는 유입구와 배기구의 크기와 위치에 따른 것으로 판단된다.

염소가스 농도분포를 나타낸 <Fig 4>를 살펴보면, 서쪽 유입구로부터 유입된 기류영향을 직접 받는 유입구 근처에서의 염소가스 농도는 약 0.09ppm이하로 비교적 양호하게 나타난다. 그

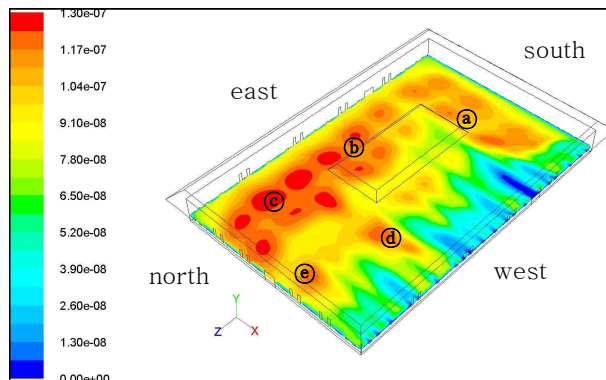
러나 상대적으로 재순환 유동영역(㉠, ㉡ 및 ㉢)과 정체영역(㉣, ㉤)에서는 0.11ppm 이상의 비교적 높은 염소가스 농도분포를 형성하고 있다. 따라서 정수장 여과지에서 발생하는 염소가스의 농도를 줄이기 위해서는 환기량을 증가시킬수 있도록 유입구와 배기구의 크기 및 배치의 재조정이 요구된다.

기존 정수장 여과지동에서 실내 공간의 원활한 환기를 위해 창문의 크기를 4배로 하고 그 위치를 재배치한 상태에 대한 기류분포와 염소가스 농도분포를 <Fig 5>와 <Fig 6>에 각각 나타내었다. <Fig 5>의 기류분포를 살펴보면 서쪽 유입구에서 공급되는 신선외기의 영향이 비교적 적은 ㉥, ㉦ 및 ㉧에서 재순환 영역이 형성된다. ㉥ 영역은 기존 정수장 여과지동 결과보다 재순환 영역의 크기가 작아졌고 기존의 커다란 정체 영역이 ㉦과 ㉧의 재순환 영역으로 바뀐 것을 알 수 있다.

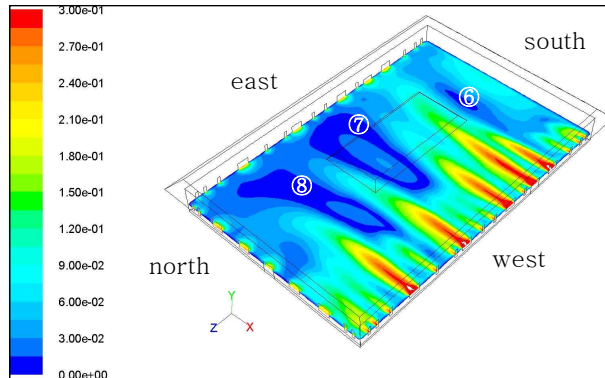
<Fig 6>에 나타낸 염소가스 농도분포를 살펴보면 재순환 영역이 나타나는 ㉥, ㉦ 및 ㉧로 표시된 영역에서 0.1~0.11ppm정도의 분포를 나타내며 그 외의 영역에서는 0.09ppm 이하의 비교적 양호한 염소가스 농도분포를 보인다. 이러한 결과는 창문의 크기를 4배로 하고 그 위치를 재배치하여 원활한 환기가 이루어지고 있음 입증하는 것이다.



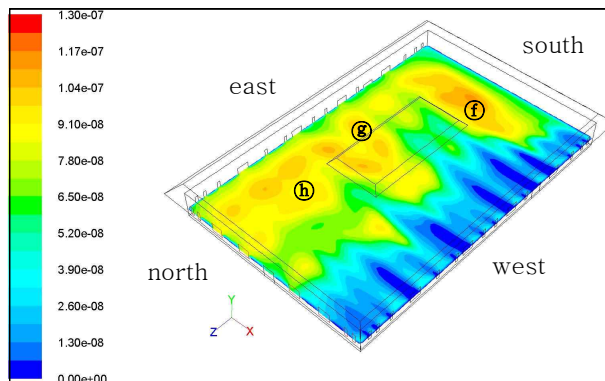
<Fig 3> Velocity Magnitude of Case 1



<Fig 4> Concentration Distribution of Chlorine Gas(Case 1)



<Figure 5> Velocity Magnitude of Case 2



<Figure 6> Concentration Distribution of Chlorine Gas(Case 2)

V. 결론

본 연구에서는 정수장 여과지동에서 염소가스로 인한 유수조 난간의 용접부분이나 펌프를 포함한 기계장치의 부식을 줄이기 위해 창문의 크기를 4배로 확대하여 자연 환기량을 증가시키며 여과지 내 환기특성을 전산유체역학기법을 이용하여 수치해석하였다.

기존 정수장 여과지동에서 재순환 유동영역과 정체영역에서는 0.11ppm 이상의 비교적 높은 염소가스 농도분포를 형성하고 있다. 따라서 정수장 여과지에서 발생하는 염소가스의 농도를 줄이기 위해 환기량을 증가시킬수 있도록 유입구와 배기구의 크기 및 배치의 재조정을 한 경우, 2곳의 재순환유동영역은 그 세기가 작아졌으며 정체영역 또한 줄어들어 최대 염소가스 농도를 약 16%정도 감소시킬 수 있었다.

References

- [1] Kim, M. S. 2006. Case Studies on Improvement of Chemical Injection System. *Magazine of the KWWA* 13: 122-131.
- [2] Seok, Kwan-Soo, sung-Hoon Kim, Eun-Her Shin, Hyun-Ok Kim, and Hee-Kyung Park. 2002. *Clearwell Contact Time Estimation using Computational Fluid Dynamics*. KSWW.
- [3] Lee, S. W., J. J. Park, and G. H. Lee. 2006. Numerical Analysis for Characteristic of Flow and Disinfection Performance with Variation of Guide Wall in Clearwell. *Proceedings of 2006 Summer Annual Conference on SAREK*.
- [4] Patankar, S. V. 1980. *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*. New York: McGraw-Hill.
- [5] Launder, B. E. and D. B. Spalding. 1974. The Numerical Computation of Turbulent Flow. *Comp. Methods Appl. Mech. Eng.* 3: 269-289.
- [6] Kang, Seok-Youn, Jong-Sun Moon, Tae-Gu Lee, and Jae-Heon Lee. 2003. A Study of Thermal, Air-flow and Humidity Conditions in an Indoor Swimming Pool. *Korean Journal of SAREK*. 15(8): 683-689.
- [7] FLUENT Ltd., 2000, FLUENT 6.0 User's Guide.

참고문헌 (References in Non-roman Script)

- [1] 김문성. 2006. 약품 투입설비 개선 사례. 한국상하수도협회지. 13: 122-131.
- [2] 석관수, 김성훈, 신은허, 김현욱, 박희경. 2002. CFD를 이용한 정수지에서의 CT value 평가. 한국물환경학회 2002년 추계학술발표회 논문집.
- [3] 이석원, 박준정, 리광훈. 2006. 도류벽 형태에 따른 정수지 내 유동 특성과 소독능 변화에 대한 수치 해석적 연구. 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집.
- [6] 강석윤, 이태구, 문종선, 이재현. 2003. 실내수영장의 열, 기류 및 습도환경에 관한 연구. 설비공학논문집. 15(8): 683-689.

이승철: 한양대학교에서 공학박사 학위를 취득하고(논문제목: 유동관성을 고려한 복합덕트시스템의 유량분배특성), 현재 강원대학교 소방방재공학전공에서 부교수로 재직중이다. 관심분야는 터널(지하 대공간) 및 초고층 건물의 환기 및 방재설비 분야다(sclee@kangwon.ac.kr).