

원형 물탱크내의 격벽수에 따른 유동장 해석

김정환[†] · 강동열 · 정태준 · 김세영 · 최종욱* · 추병길**

(주)제이엘 크린워터 · *순천대학교 기계우주항공공학부 · **순천제일대학 소방행정과

(2008년 3월 28일 접수, 2008년 12월 29일 채택)

Analysis of Flow Field in the Circular Water Tank According to the Number of Baffles

Jung-Hwan Kim[†] · Dong-Youl Kang · Tae-Jun Jung · Se-Young Kim · Jongwook Choi* · Byeong-Gil Chu**

JL Clean Water Co., Ltd

*School of Mechanical and Aerospace Engineering, Suncheon National University

**Department of Fire Protection & Administration, Suncheon First College

ABSTRACT : The concentration of residual chlorine should be kept at over 0.1 mg/L in the circular water tank used in a water purification system. Generally, the concentration of residual chlorine depends on the structure and the volume of water tank, and also the water flow rate. To secure the diffusion time is important to the concentration of residual chlorine. For that reason, the baffles are installed in the circular water tank. In the present study, the variations of water and chlorine concentration were obtained with time using the numerical analysis. And also, the streamlines were shown according to the number of baffles. As a results, the vortex flow appeared between baffles, and the diffusion time of chlorine increased with the more number of baffles.

Key Words : Residual Chlorine, Circular Water Tank, Diffusion, Baffle

요약 : 정수장에서 사용되고 있는 원형 물탱크내의 물은 잔류염소농도 0.1 mg/L 이상을 유지하여야 한다. 일반적으로 잔류염소 농도는 물탱크의 구조, 크기 그리고 물의 유량에 따라 다르다. 잔류염소농도는 염소의 확산시간을 최대한 확보하는 것이 가장 중요하며, 그것을 위하여 일반적으로 원형 물탱크내의 격벽을 설치한다. 본 연구에서는 수치해석을 이용한 유동해석을 수행하여 물과 염소의 농도분포를 구하였다. 유동해석 결과 격벽사이에서 유동내 와류가 발생하였으며, 격벽의 수가 증가할수록 염소가 물에 확산되는 시간을 확보할 수 있었다.

주제어 : 잔류염소, 원형물탱크, 확산, 격벽

1. 서론

저수조의 설치 기준은 [수도시설의 청소 및 위생관리 등에 관한 규칙]에 대형 건축물 등의 소유자 등이 저수조를 설치할 때에는 유지, 관리가 용이하고 수질오염을 방지할 수 있는 구조와 재질로 설치하여야 한다¹⁾라고 규정되어 있다. 이러한 저수조는 설치 위치에 따라 지하저수조, 지상저수조, 고가저수조로 나누어지며 고층 건물에서는 중간 수조를 설치하기도 한다. 이러한 저수조에 대한 유지 관리가 소홀할 경우 이물질의 퇴적 및 미생물 번식, 수돗물 정체로 인한 수질저하가 발생한다.

상수로 사용되고 있는 물은 정수장에서 염소에 의한 소독과정을 거치게 된다. 이때 염소는 유기물, 철, 망간, 암모니아성 질소, 유기성 질소 등의 피산화물에 의하여 소비되며, 물과 접촉하는 상수도 시설인 배수지, 송배수관, 급수관, 펌프 및 계량기 등에 의해서도 소비된다. 이러한 과

정을 통한 물은 0.1 mg/L 이상의 염소농도를 유지하여야 한다.²⁻⁴⁾ 그러나, 물탱크의 구조나 크기, 시간당 물의 사용량에 따라 0.1 mg/L 이상의 염소농도를 유지하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 즉, 물탱크 입구에서 주입된 염소가 물에 잘 확산되기 전에 물탱크 출구로 빠져나가는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 경우 물탱크 내에서 염소가 물에 확산되는데 필요한 시간을 충분히 확보해 주어야 한다. 즉, 물탱크의 입구에서 유입된 물과 염소가 잘 섞여서 최대한의 경로로 배출되게 물탱크를 설계하여야 한다.

일반적인 물탱크의 경우 4각 수조형이지만, 원형 수조형의 경우 최대인장력과 최대전단력이 상대적으로 높아 구조적으로 안전하며,⁵⁾ 시공 및 유지관리에 용이하다. STS 다수격벽 원통형 물탱크의 경우 Fig. 1과 같이 순창과 진주 외에 예천, 고령, 천안, 구미, 옥천, 부여 등의 배수지에 시공 및 운용되고 있다. 한편, 4각 수조형에서 물과 염소에 대한 배출경로를 최대로 하기 위한 연구⁶⁾는 진행되고 있으나, 원형 수조형에서의 구체적인 유동현상이나 이와 관련된 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 전산유체역학을 이용하여, 원형 물탱크 내의 격벽

[†] Corresponding author

E-mail: kjhchsk@hanmail.net

Tel: 061-723-2467

Fax: 061-723-2460



Fig. 1. Circular water tanks.

수에 따른 물과 염소의 유동장 및 농도분포를 구하고자 한다. 또한 염소의 확산 속도를 고려하여 시간에 따른 염소의 물탱크내 체류시간을 구한다. 이때, 수치해석은 물탱크내에 격벽이 없는 경우, 격벽이 1개인 경우, 격벽이 3개인 경우에 대하여 각각 나누어 수행한다.

2. 수치해석

2.1. 물탱크내의 형상

해석하고자 하는 물탱크의 형상은 Fig. 2~4와 같으며, 3가지 경우로 나누어서 고려하였다. Fig. 2는 격벽이 없는 경우로 좌측 하단부의 흡입관과 중앙부의 배출관만 고려하였다. Fig. 3은 격벽이 한 개인 경우로 흡입관에서 배출관의 경로가 최대길이가 되도록 격벽 우측 상단에 반원의 홀(hole)을 만들어 놓았다. Fig. 4의 경우는 격벽이 3개인 경우로 최대 경로가 되도록 홀을 만들어 놓았다.

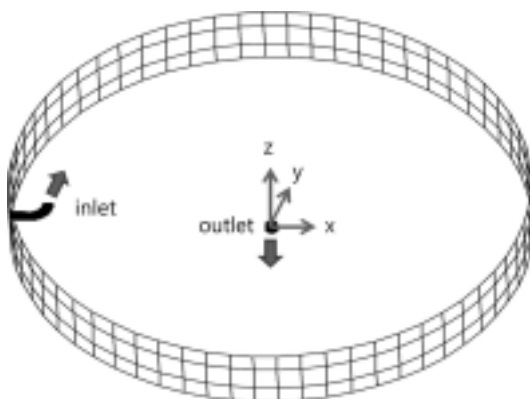


Fig. 2. Shape of water tank without baffle.

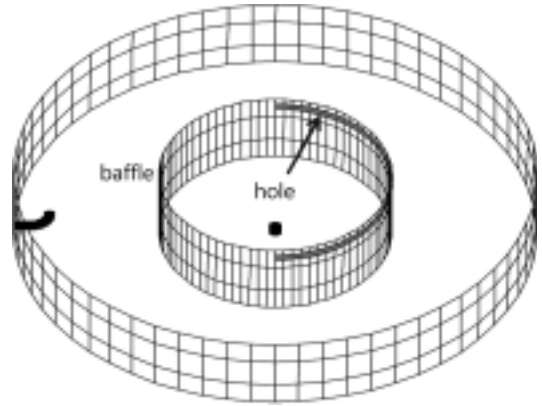


Fig. 3. Shape of water tank with one baffle.

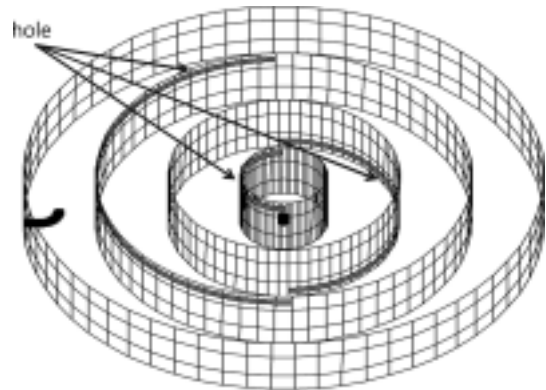


Fig. 4. Shape of water tank with three baffle.

물탱크의 크기는 직경 18 m, 높이 3.76 m이고, 흡입관 및 배출관의 직경은 각각 0.35 m, 0.4 m이다. 이때, 흡입관의 위치는 하단부로 부터 0.47 m 떨어져 있다. 그리고 Fig. 3의 격벽 직경은 8 m이고, Fig. 4의 격벽 직경은 각각 3 m, 8 m, 13 m이다. 또한 홀의 높이는 0.34 m이고 이때, 홀의 위치는 상단면과 하단면으로 부터 각각 0.47 m 떨어져 있다.

2.2. 격자생성

수치계산을 이용한 유동해석을 위하여 Fig. 2~4의 형상에 격자를 생성하면 Fig. 5~7과 같다. 격자의 모양은 사면체 격자(tetra mesh)를 이용하였으며, 이에 대한 격자점(node)의 수와 요소(element)의 수는 Table 1과 같다.

Table 1. The number of the nodes and elements in three cases

	The number of nodes	The number of elements
Case I without baffle	8,665	42,745
Case II with 1 baffle	10,645	54,502
Case III with 3 baffles	12,654	56,795

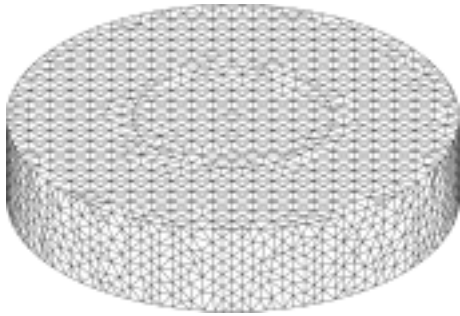


Fig. 5. Mesh generation of the water tank without baffle.

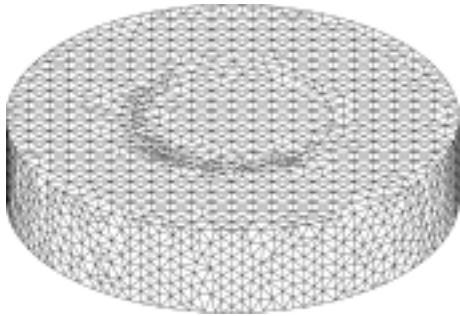


Fig. 6. Mesh generation of water tank with one baffle.

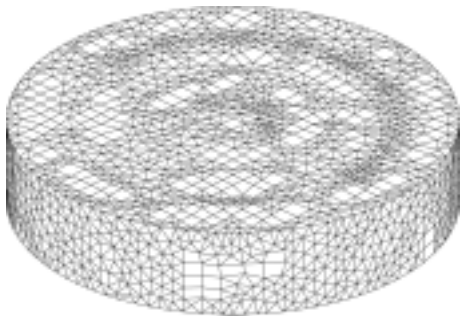


Fig. 7. Mesh generation of water tank with three baffles.

Fig. 5의 경우는 격벽이 없는 경우로 흡입관과 배출관 근처에서만 조밀하게 격자를 구성하였으며, 그 외 부분에 대해서는 일정한 크기의 격자로 구성하였다. 이 때 조밀한 격자와 그 외 격자와의 크기의 비는 1:4로 하였다. Fig. 6의 경우는 격벽이 1개인 경우로 흡입관과 배출관 외에도 격벽 근처에서도 조밀하게 격자를 구성하였다. Fig. 7의 경우는 격벽이 3개인 경우이며, Fig. 6과 같이 흡입관 및 배출관 그리고 3개의 격벽 근처에서 조밀하게 격자를 구성하였다. Fig. 7의 경우는 조밀격자에 의한 요소수의 증가로 수치적 계산시간이 많이 소요될 것으로 사료되어 사면체격자(tetra mesh)에 육면체 격자(hexa mesh)를 병행하여 격자를 구성하였다. 격자생성은 ICEM CFD의 tetra module을 이용하였다. 격자를 구성한 후 smooth기능을 이용하여 격자의 quality를 향상시켰다.⁷⁾

2.3. 지배방정식

물탱크내의 시간에 따른 염소농도를 구하기 위하여 유체

역학에서 사용하는 일반적인 지배방정식⁸⁾을 이용하였다. 식 (1)은 질량보존법칙으로부터 유도된 연속방정식이고, 식 (2)는 운동량보존법칙으로부터 유도된 운동량방정식이다. 식 (3)은 물질의 농도변화를 구하기 위한 농도방정식이다. 식 (1)~(3)은 곡면좌표계에 대하여 수식을 표현한 것으로 임의의 형상에 대하여 유동해석이 가능한 식으로 나타내었다. 본 연구에서는 이와 같은 지배방정식에 대한 해(속도, 압력, 농도)를 상용 유동해석 프로그램인 STAR-CD를 이용하여 구하였다.

$$\frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial t} (\sqrt{g}\rho) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \tilde{u}_i) = s_m \tag{1}$$

$$\frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial t} (\sqrt{g}\rho u_j) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \tilde{u}_j u_i - \tau_{ij}) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} s_i \tag{2}$$

$$\frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial t} (\sqrt{g}\rho m_m) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \tilde{u}_j m_m - F_{m,i}) = s_m \tag{3}$$

여기에서 제시된 nomenclature는 참고문헌 (9)에 잘 나타나 있다.

2.4. 계산조건

물탱크내의 유동현상은 3차원, 비정상상태, 층류유동으로 해석하였으며, 중력항은 무시하였다. 본 연구에서는 격벽의 유무와 형상에 따른 물탱크내의 물과 염소의 농도변화를 상대적인 관점에서 비교한 이유로 동일한 층류조건에서 수치해석을 수행하였다.

앞서 설명한 3가지 경우에 대하여 시간간격은 1초로 하였으며, 데이터출력은 100초 간격으로 하였다. 초기조건으로 물탱크내의 속도와 압력은 0으로 하였으며, 농도는 물을 1, 염소를 0으로 하였다. 경계조건으로 흡입관에서의 속도는 0.3 m/s(유량: 2,500 ton/day)로 하였으며, 농도는 물을 0, 염소를 1로 하였다. 초기에 물로 가득 채워진 물탱크에 염소가 흡입되어 물탱크 내로 확산되는 현상을 해석하였다.

3. 결과 및 고찰

물탱크로 유입되는 염소가 배출구로 빠져나가는 데 소요되는 시간을 고려하기 위하여 배출구(z=0.03 m)에서의 농도변화를 관찰하였다. 그 결과 염소가 배출구까지 확산되는 시간은 각각 격벽이 없는 경우는 8,000초, 1개인 경우는 10,000초, 3개인 경우는 14,000초였다. 격벽이 많을수록 염소가 물에 확산되어지는 시간을 많이 확보함을 알 수 있었다. Fig. 8, Fig. 13, Fig. 18은 시간에 따른 물의 농도변화를 나타내고 있다. 비교 위치는 y=0 m, z=1.88 m에 대하여 각각 x=-7.75 m, -5.25 m, -2.75 m, 0 m이다. 여기서 원점은 물탱크의 중앙 하단부이다.

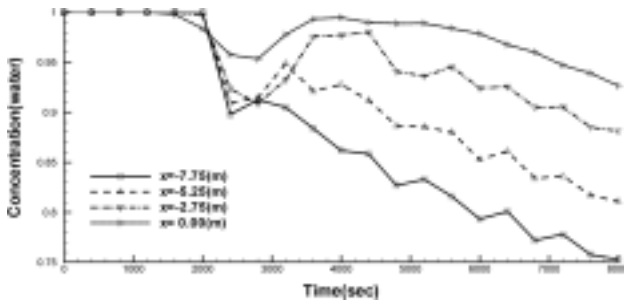


Fig. 8. Variation of water concentration with time in case I ($y=0$ m, $z=1.88$ m).

3.1. Case I : 격벽이 없는 경우

Fig. 8은 격벽이 없는 경우의 시간에 따른 물의 농도변화로 초기에 물의 농도 1을 유지하고 있다가 시간이 지남에 따라 염소가 확산됨을 보여주고 있다. 격벽이 없는 관계로 거의 모든 점에서 약 2,000초와 3,000초 사이에 염소의 농도가 동시에 증가하였다. 그 후 물의 농도가 다시 증가하다가 점차적으로 안정된 물의 농도변화를 나타내었으며, 시간이 지남에 따라 일정한 물의 농도 간격을 유지하였다.

Fig. 9는 8,000초일 때 격벽이 없는 물탱크내의 물의 농도분포를 나타내고 있다. 입구에서 염소가 유입되므로 그

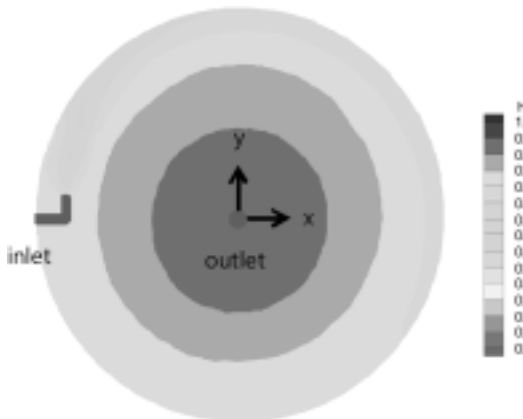


Fig. 9. Concentration of water at 8,000 sec in case I ($z=1.88$ m).

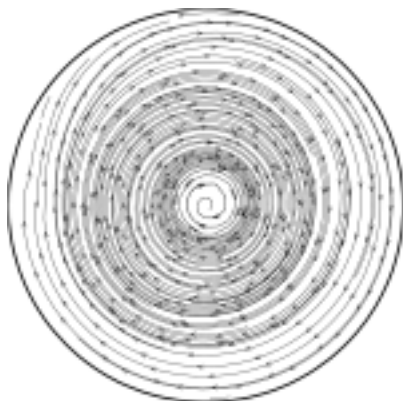


Fig. 10. Streamlines at 8,000 sec in case I ($z=1.88$ m).

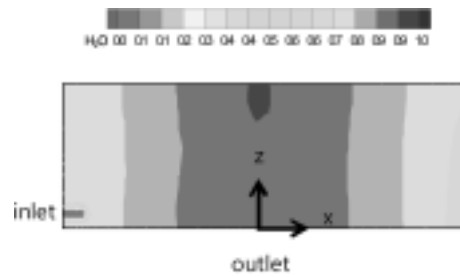


Fig. 11. Concentration of water at 8,000 sec in case I ($y=0$ m).



Fig. 12. Streamlines at 8,000 sec in case I ($y=0$ m).

부분에서 염소농도가 높았고, 점차적으로 확산되어 출구쪽으로 원형모양의 띠를 형성하면서 확산되었다. 이때, 물탱크내의 유선을 그려보면 Fig. 10과 같다. 물탱크내의 유동이 거의 정상상태에 도달하게 보였다. Fig. 11은 $y=0$ m에서 물의 농도분포이고, Fig. 12는 $y=0$ m에서 유선을 나타내고 있다.

3.2. Case II : 격벽이 1개인 경우

Fig. 13은 격벽이 1개인 경우에 대한 시간에 따른 물의 농도변화를 나타내고 있다. 격벽 바깥쪽에 있는 네모 표시와 삼각형 표시의 경우 입구에서 유입되는 염소에 의하여 염소농도가 빠르게 증가함을 보였으며, 격벽내부에서는 이러한 영향에 천천히 반응하였다. 시간이 10,000초에 도달하였을 때 물의 농도변화는 격벽을 중심으로 양분화 되었으며, 격벽이 없는 경우(case I)와 비교하였을 때 출구까지 염소가 확산되는데 약 2,000초 정도 더 소요되었다.

Fig. 14는 10,000초일 때 격벽이 1개인 물탱크내의 물의 농도분포를 나타내고 있다. 격벽을 중심으로 농도분포가 확연히 다름을 알 수 있다. 즉, 격벽의 영향으로 격벽 바깥쪽에서 염소가 물에 확산되는 시간이 확보되어 염소농도가 격벽 안쪽보다 높게 나타났다. 이때, 물탱크내의 유선을 그려보면 Fig. 15와 같다. Fig. 16은 $y=0$ m에서 물의

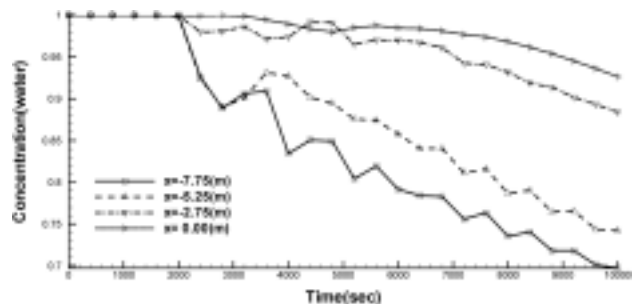


Fig. 13. Variation of water concentration with time in case II ($y=0$ m, $z=1.88$ m).

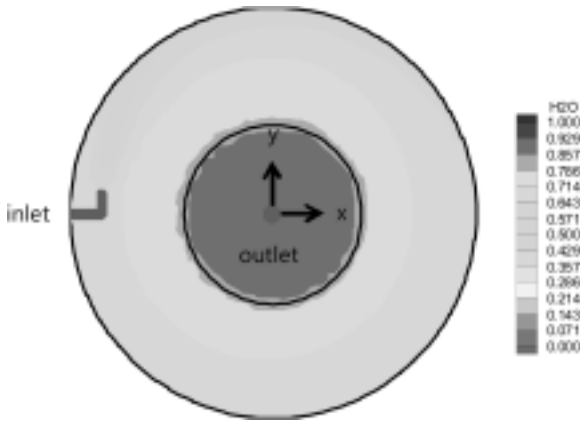


Fig. 14. Concentration of water at 10,000 sec in case II ($z = 1.88$ m).

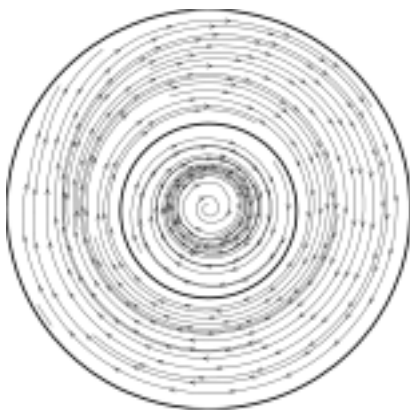


Fig. 15. Streamlines at 10,000 sec in case II ($z = 1.88$ m).

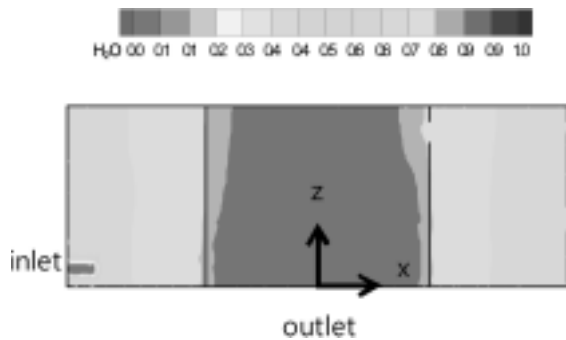


Fig. 16. Concentration of water at 10,000 sec in case II ($y = 0$ m).



Fig. 17. Streamlines at 10,000 sec in case II ($y = 0$ m).

농도분포이고, Fig. 17은 $y = 0$ m에서 유선을 나타내고 있다. 이때, 유선은 여러 가지 유동현상과 맞물려 격벽에 의해 구분되어지고, Fig. 12와 비교하였을 때 와류가 국부적으로 뚜렷이 구분됨을 알 수 있다.

3.3. Case III : 격벽이 3개인 경우

Fig. 18은 격벽이 3개인 경우에 대한 시간에 따른 물의 농도변화이다. 격벽으로 인하여 네모표시의 경우 제일 먼저 입구로부터 유입된 염소의 영향을 받아서 염소의 확산 농도가 증가하였으며, 점차적으로 출구쪽의 물의 농도에 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 유입된 염소가 출구까지 확산되어 도달되는 시간은 약 14,000초로 Case I과 Case II 보다 더 많은 시간이 소요되었다.

Fig. 19는 14,000초일 때 격벽이 3개인 물탱크내의 물의 농도분포를 나타내고 있다. 각각의 격벽을 기준으로 확산된 농도의 차이가 확실히 구분되었다. 즉, 격벽으로 인하

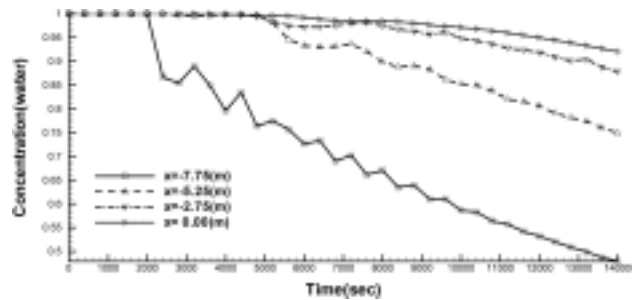


Fig. 18. Variation of water concentration with time in case III ($y = 0$ m, $z = 1.88$ m).

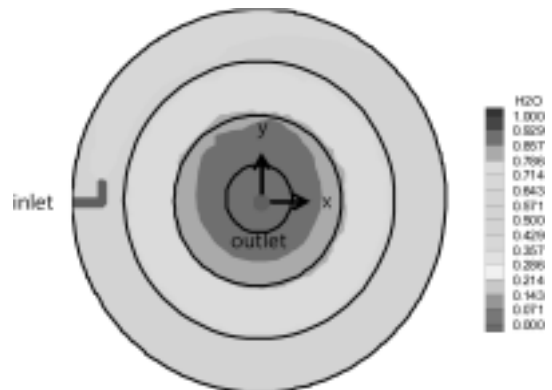


Fig. 19. Concentration of water at 14,000 sec in case III ($z = 1.88$ m).

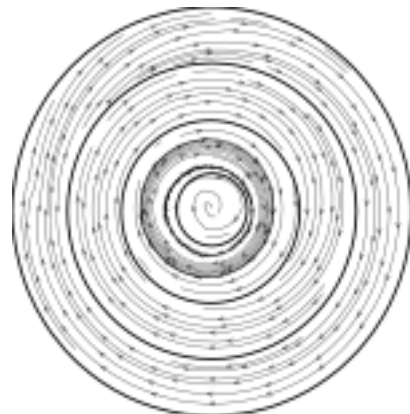


Fig. 20. Streamlines at 14,000 sec in case III ($z = 1.88$ m).

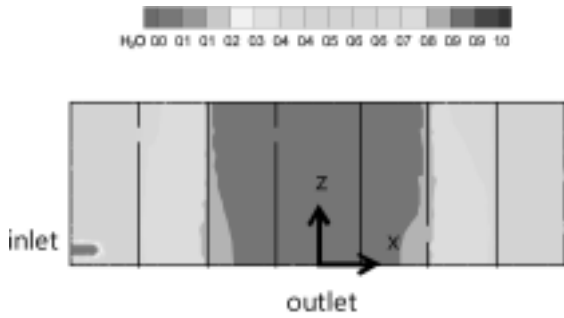


Fig. 21. Concentration of water at 14,000 sec in case III ($y = 0$ m).

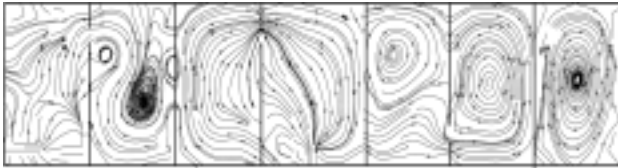


Fig. 22. Streamlines at 14,000 sec in case III ($y = 0$ m).

여 염소가 물에 확산되는 시간이 확보됨을 알 수 있었다. 이때, 물탱크내의 유선을 그려보면 Fig. 20과 같다. Fig. 21은 $y = 0$ m에서 물의 농도분포이고, Fig. 22는 $y = 0$ m에서 유선을 나타내고 있다. 이때, 국부적인 와류의 수는 격벽이 없거나 1개인 경우와 비교하였을 때 증가함을 알 수 있으며, 이러한 와류는 유체역학적 관점에서 볼 때, 염소의 확산속도를 증가시키는 요인으로 작용된다.

4. 결론

정수장에서 사용되고 있는 물탱크내의 잔류염소농도는 최소한 0.1 mg/L 이상을 유지하여야 한다. 하지만 물탱크의 구조나 크기 및 물의 사용량 등에 따라 이러한 잔류염소농도는 변할 수 있다. 본 연구에서는 물탱크 내에서 염소가 물에 충분히 확산되는 시간을 확보하기 위하여 격벽을

설치한 3가지의 탱크에 대하여 격벽의 수에 따른 물탱크내의 물의 농도변화와 유동장을 해석하였다. 해석 결과 염소가 물에 확산되어 배출되는 데 소요된 시간은 각각 격벽이 없는 경우는 8,000초, 1개인 경우는 10,000초, 3개인 경우는 14,000초였다. 여기서 격벽은 염소가 그 다음 격벽으로 흘러가기 전에 물에 확산되어지는 시간을 확보시켜주는 역할을 하여 식수 소독 능력을 향상시키고 있음을 확인하였다. 또한 격벽의 홀(hole)은 염소의 확산 및 배출 경로를 최대가 되게 하고 있다. 이러한 격벽은 지금까지 기술한 사항 외에도 구조적인 안정성에도 도움이 되리라 사료된다. 향후 화학적 반응과 난류유동을 고려하여 농도 분포해석을 수행할 예정이다.

참고문헌

1. “수도시설의 청소 및 위생관리 등에 관한 규칙,” 환경부(2002).
2. 진병진 외 7인, “간이상수도 액체염소 주입장치 규격화에 관한 연구,” 보건환경연구원보, 9, (2000).
3. “먹는 물 수질기준 등에 관한 규칙,” 환경부(2002).
4. “먹는 물 공동시설 관리요령,” 환경부, 환경부훈령 362호(2002).
5. 최명수, “STS 원통형 물탱크 구조해석,” 대한주택공사(2002).
6. 신은현, 김성훈, 석관수, 박희경, “CFD를 이용한 정수지의 모델 개발과 장폭비에 대한 고찰,” 대한환경공학회 2003 춘계학술연구 발표회 논문집, 387~391(2003).
7. “ICEM CFD Meshing Tutorial Manual (version 4.2),” ICEM CFD Engineering(2002).
8. Frank M. White, “Fluid Mechanics(Sixth Edition),” McGraw Hill(2008).
9. “STAR-CD Methodology(version 3.15),” CD-adapco KOREA (2002).