

간이상수도에서 물과 약품의 혼합방법

유영현[†] · 기현* · 최종욱** · 김성초** · 김정수** · 김용선***

Mixing Method of Water and Chemicals in a Small-Scale Water Supply System

Younghyun Yoo, Hyun Ki, Jongwook Choi, Sungcho Kim, Jeongsoo Kim,
Yongseon Kim

Key Words: Concentration Distribution(농도분포), Mixing Index(혼합지수), Flow Analysis(유동해석), Small-Scale Water Supply System(간이상수도),

Abstract

The mixing method of water and chemicals is significant in a small-scale water supply system because drinking water should be supplied with a certain quantity of remaining chemicals maintained. In the present study, the concentration distribution and the mixing index were obtained from four models, which were to find out the optimal mixing method of water and chemicals. The two models brought the good mixing effects out of the four, one for providing chemicals from the center of water supply pipe and the other for setting up the semicircle block at the downstream of the chemicals-providing pipe. As a result, the mixing effect was found out to be increased due to the diffusion and the disturbance of flows. In conclusion, these results are expected to contribute to designing the optimal mixing system.

1. 서론

요즘 환경오염으로 인한 식수 문제가 날로 심각해지고 있다. 여러 가지 여건상 상수도 설치가 어려운 지역에서는 간이상수도를 이용하고 있다. 간이상수도의 경우 지하수나 계곡수를 정화, 소독하여 수용가에 공급하고 있다.

물을 소독하는 방법에는 크게 물리적 처리방법과 화학적 처리방법이 있다. 물리적 처리방법에는 자외선 소독법, 전기장 소독법, 초음파 소독법, 플

라즈마 소독법 등이 있으며, 이러한 경우 고가의 시스템이 필요하기 때문에 간이상수에 적용하기에는 경제적으로 적합하지 않다. 화학적 처리방법에는 일반적으로 차아염소산칼슘($\text{Ca}(\text{ClO})_2$; 고체)이나 차아염소산나트륨(NaClO ; 액체)을 물에 주입(차아염소산칼슘의 경우 물에 용해시켜 사용)하여 소독하는 방법이 있으며, 물리적 처리방법과는 달리 단순한 시스템으로 장치를 제작할 수 있을 뿐만 아니라 유지비용도 저렴하여 간이상수에 많이 사용되고 있다.

간이상수도에서 약품(차아염소산칼슘이나 차아염소산나트륨)을 공급하는 방법으로는 지하수관 정에서 물탱크로 연결된 관에 비례제어식 정량펌프를 이용하여 액체상태의 약품을 공급한다. 이때 식수로 사용하기 위해서는 간이상수도관내 잔류염소량이 약 0.2ppm(하절기에는 약0.4ppm)이상 유지되어야 한다. 수용가에서 물의 사용량이 급격

† 학생회원, 순천대학교 기계자동차공학부
E-mail : yyh0512@mail.sunchon.ac.kr
TEL : (061)750-3820 FAX : (061)750-3820

* 학생회원, 순천대학교 기계자동차공학부

** 회원, 순천대학교 기계우주항공공학부

*** 석성기업(주)

히 증가하는 경우 물과 약품이 미처 혼합되기 전에 공급될 수 있으며, 이러한 경우 세균번식이 우려되어 특히, 여름철 물과 약품의 혼합은 매우 중요하다고 볼 수 있다.

혼합농도해석에 관한 연구는 실험적인 방법⁽¹⁻³⁾으로 해석할 수 있지만 대부분 수치해석을 이용한 해석방법⁽⁴⁻⁷⁾이 주로 사용되고 있다. 또한, 일반적으로 수치해석으로 구한 농도분포는 혼합정도를 정량적으로 판별하기 어렵기 때문에 표준편차의 개념을 도입한 혼합지수(Mixing index)를 구하여 그 혼합정도를 정량적으로 평가하고 있다.

한편 혼합의 효과를 높이기 위한 방식은 교반기를 설치하여 강제적으로 유체를 직접 교란 및 혼합시키는 능동형방식과 형상변화를 통해 유체흐름을 변화시켜 혼합하는 수동형방식으로 구분할 수 있다. 능동형방식의 경우 큰 혼합효과를 기대할 수는 있지만 교반기를 따로 설치해야하기 때문에 모든 경우에 다 적용할 수 없으며, 설치가 용이하지 않는 곳에는 적합하지가 않다. 수동형방식의 경우 혼합효과는 능동형방식 보다 낮지만 비교적 설치 및 유지관리가 용이하다.

본 연구에서는 간이상수도 약품공급장치에서 물과 약품이 잘 혼합되게 하기 위한 수동형 방식으로 약품공급파이프의 형상모델을 설계하여 농도분포를 구함으로써 보다 효과적으로 약품공급을 할 수 있는 방법을 제시하고자 한다. 이를 위하여 기본모델을 포함한 4가지 모델에 대한 형상설계를 한 후 유동해석 프로그램인 ANSYS CFX를 이용하여 각각 농도분포 및 혼합지수를 구한다. 여기서 나온 결과를 분석하여 혼합효과를 높일 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

2. 형상모델설계 및 농도분포해석

2.1 간이상수도 약품공급장치

실제 현장에 설치되어 있는 간이상수도의 약품공급장치 개략도는 Fig. 1과 같으며, 비례제어식 정량펌프에 의하여 약품(용해된 차아염소산칼슘 혹은 차아염소산나트륨)이 지하수공급량에 비례하여 주입된다. 지하수 펌프의 사양은 최대양정 80m, 양정량은 220ℓ/min이고, 정량펌프의 약품공급량은 25ml/min이다. 물과 약품은 점선으로 표시된 곳에서 혼합되며, 이 부분을 혼합효과를 극대화시키기 위한 방안을 찾기 위한 농도해석구

간으로 설정하였다.

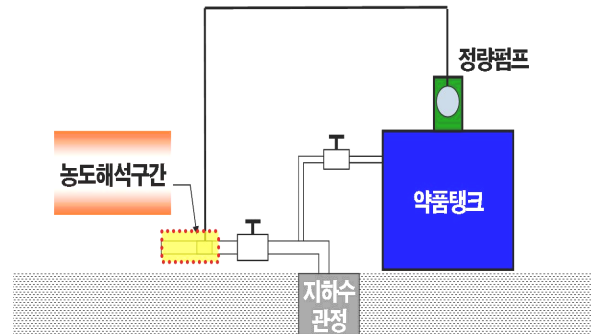


Fig. 1 Chemicals-providing system

2.2 형상모델

물과 약품이 혼합되어지는 구간에서 농도해석을 통한 혼합효과를 알아보기 위하여 Fig. 2와 같은 실제치수를 갖는 4가지 모델의 형상설계를 수행하였다. Model 1의 경우 지하수가 흐르는 큰 파이프에 약품공급파이프를 상단에 연결하여 공급하는 기본 방식이다. Model 2의 경우는 Model 1에서 약품공급파이프를 큰 파이프 중앙까지 확장하여 약품이 중앙에서 공급되게 하는 모델이다. Model 3의 경우는 Model 1에서 약품공급파이프는 그대로 유지시키고, 지하수가 흐르는 큰 파이프에 반원형태의 블록(block)을 설치한 모델이다.

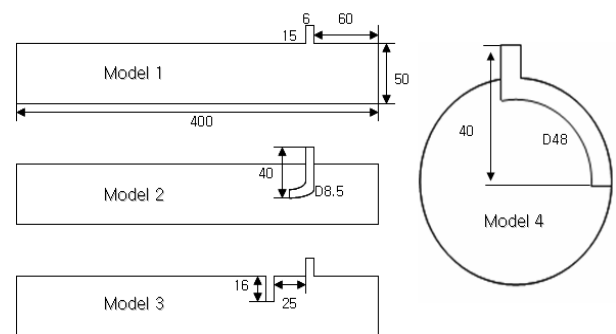


Fig. 2 Four models in mixing section of water and chemicals(unit : mm)

블록의 위치는 약품공급파이프 출구로부터 25mm 후류에 설치하였으며, 블록의 높이는 직경의 약 1/3의 크기로 설정하였다. Model 4의 경우는

Model 1에서 약품공급파이프의 형상을 큰 파이프의 원주방향으로 90°회전시켜 확장하였으며 출구는 큰 파이프 가장자리에 위치시켰다.

2.3 격자생성

4가지 모델에 대한 수치해석적 농도분포를 구하기 위하여 각각의 형상모델에 대하여 격자생성을 수행하였다. 격자는 비정렬 사면체 격자를 이용하였으며, 수치계산의 수렴성과 정확성을 확보하기 위하여 벽근처에서는 프리즘(prism)격자를 사용하여 사면체 격자의 단점을 보완하였다. 형상설계 및 격자생성은 ANSYS CFX에서 제공하고 있는 Pre-Processor(DesignModeler & CFX-Mesh Program)를 이용하였다.

2.4 지배방정식 및 계산조건

농도해석을 위한 지배방정식으로 연속방정식, 운동량방정식, 농도방정식, 난류방정식(k-ε모델)이 필요하며, 다음과 같은 가정하에 유동해석 프로그램인 ANSYS CFX를 이용하여 계산하였다.⁽⁸⁾

- 파이프내의 유체의 온도는 일정하다.
- 파이프내의 유체의 모든 물성치는 일정하며, 비압축성(incompressible)이다.
- 파이프내 유체(물과 약품) 상호간의 화학반응은 일어나지 않는다.

초기조건 및 경계조건은 Table 1과 같으며, 물의 농도를 0.0, 약품의 농도를 1.0으로 설정하여 농도계산을 수행하였다. 수치계산은 계산시간을 단축하기 위하여 비정상상태(0초에서 5초까지)와 정상상태로 나누어서 각각 수행하였다. 비정상 상태에서 초기경향을 파악한 후 정상상태의 최종결과를 얻었다. 이때 수렴조건으로 속도와 농도의 모든 변화량을 10^{-4} 이하로 설정하였다.

Table 1 Initial and boundary conditions

		속도(m/s)			농도(C)
		U	V	W	
초기조건		0.0	0.0	0.0	0.0
경계조건	지하수 파이프 입구	1.8	0.0	0.0	0.0
	지하수 파이프 출구	상대압력 = 0(pa)			
	약품공급 파이프 입구	0.0	0.1	0.0	1.0
	파이프 모든 벽면	0.0	0.0	0.0	0.0

2.5 혼합지수

일반적으로 수치해석 결과에 대한 농도분포의 윤곽선(contour line)은 농도분포의 가시화는 가능하지만 혼합의 정도를 판별 하기에는 적합하지 않다. 이러한 이유로 많은 연구에서 표준편차의 개념을 도입한 혼합지수 식⁽⁴⁻⁷⁾이 사용되고 있으며, 대부분 균일한 격자계에 대하여 적용이 가능하다. 본 연구의 비정렬 사면체 격자에 대해서는 격자의 부피가 일정하지 않으므로 그 식을 바로 적용할 수 없는 관계로 격자의 부피비를 고려한 식(1)과 같은 혼합지수 식을 이용하였다.

$$\text{Mixing index} = \sum_{i=1}^N W |C_i - \bar{C}| \quad (1)$$

여기서, N 은 전체격자수를 나타내며, 부피 가중치 $W(= V_i/V)$ 는 전체 격자 부피에 대한 i 번째 격자 부피의 비를 나타낸다. 또한 C_i 는 i 번째 격자의 농도를 나타내며, 평균농도 \bar{C} 는 식(2)와 같이 구한다.

$$\bar{C} = \frac{C_1 Q_1 + C_2 Q_2}{Q_1 + Q_2} \quad (2)$$

여기서, C_1 은 약품농도, C_2 는 물의 농도, Q_1 은 약품공급유량, Q_2 는 물의 공급유량이다.

2.6 결과 및 고찰

Model 1에 대하여 약품공급 후 5초가 경과된 뒤 파이프 중앙단면에서의 농도분포결과는 Fig. 3과 같다.

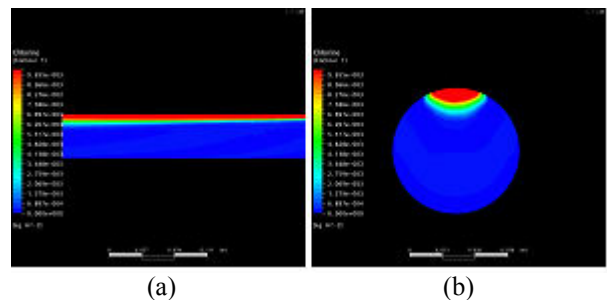


Fig. 3 Concentration distribution for Model 1

파이프 상단부에서 약품의 농도가 높게 나타났으며, 물과 약품이 잘 혼합이 되지 않은 상태로 흐

름이 지속됨을 알 수 있다. 이와 같은 약품공급 파이프의 형태는 현재 일반적으로 사용되고 있는 것으로 개선의 여지가 필요하다.

파이프 상단부에 약품의 농도가 높은 Model 1에 대한 혼합효과를 높이기 위하여, 약품공급파이프의 출구를 지하수 파이프 중앙에 위치시킨 Model 2에 대한 농도분포는 Fig. 4와 같다.

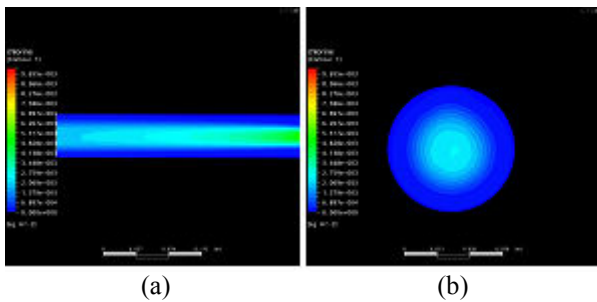


Fig. 4 Concentration distribution for Model 2

지하수파이프 중앙에서 상대적으로 약품농도는 높지만, 반경 방향으로 점점 퍼져 나가고 있는 결과를 보여주고 있다. 이때 Model 1과 비교하여 보면 상대적으로 혼합효과가 Model 2가 더 좋을 수 있다.

Model 3의 경우는 Model 1에서 지하수파이프 상단에 약품농도가 높게 나타난 현상(Fig. 3)을 방지하기 위하여 파이프 상단부에 반원형태의 블록을 설치하여 농도해석을 수행하였다.

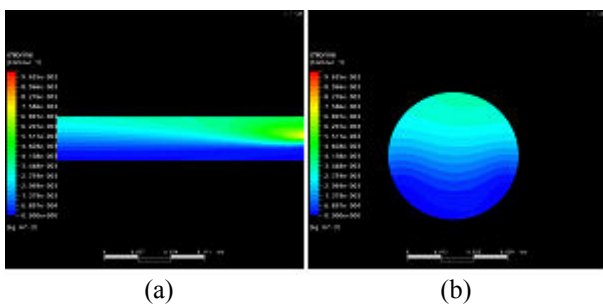


Fig. 5 Concentration distribution for Model 3

Fig. 5는 Model 3에 대한 농도해석 결과로 Model 1과 비교하여 보면 상단부의 약품농도의 집중현상을 피할 수 있었다. 그러나 상단부와 하단부의 농도분포가 확연히 구분이 되고 Model 2와 비교 하였을 때 혼합정도를 판단하기가 어려운 실정이다.

지하수 파이프내 인위적인 와(vortex)를 생성하

여 혼합효과를 높이기 위한 Model 4에 대한 농도해석결과는 Fig. 6과 같다.

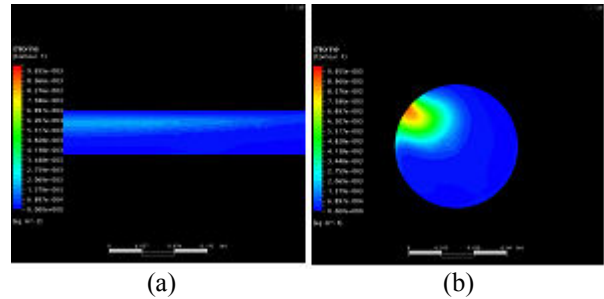


Fig. 6 Concentration distribution for Model 4

약품의 농도분포가 한부분에 집중되는 현상을 보여주고 있으며, 지하수 파이프내의 물의 흐름이 상대적으로 빠른 관계로 약품파이프의 구조상 발생하는 와가 혼합효과를 높인데 도움이 되지 못한 결과가 나왔다. 즉, 현재의 설계조건으로는 Model 4의 결과가 혼합효과에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 판단되지만, 속도가 낮은 곳에서는 혼합효과를 높일 수 있는 모델로 예측된다.

지금까지의 파이프내 농도분포 결과를 고찰하였으나 혼합정도를 정량적으로 판단하기가 어려운 실정이다. 이에 앞에서 언급한 식(1)을 이용하여 각각의 모델에 대한 혼합지수(Mixing index)를 구하여 Fig. 7에 나타내었다. 이때 혼합지수를 구하는 구간은 지하수 파이프 끝단으로 부터 10cm영역이다.

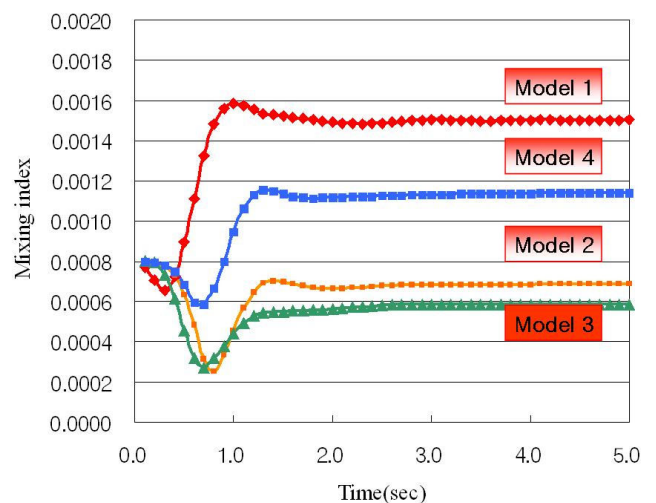


Fig. 7 Variations of mixing indexes with time

시간에 따른 혼합지수의 변화를 살펴보면 초기

약 1.5초 동안은 약품이 지하수 파이프 끝단에 처음으로 도달되기 때문에 혼합지수의 변동이 있으나, 그 이후에는 일정한 값으로 수렴되는 형태를 보이고 있다. 혼합지수는 각 격자의 농도값과 평균농도값의 차이를 합한 값으로 0에 가까울수록 혼합이 잘됨을 의미한다. 이상적인 경우로 혼합지수의 값이 0이 되면 모든 점에서 평균농도값에 도달함을 의미하며 완전혼합이 이루어졌음을 나타낸다. 이러한 관점에서 Model 3의 경우 다른 모델과 비교하면 혼합지수가 제일 작아 혼합효과가 높은 모델로 판단된다.

한편, 시간에 따른 농도변화 계산을 정상상태까지 수행하기에는 많은 계산시간이 소요되므로, 바로 정상상태의 지배방정식을 이용하여 혼합지수를 구하여 Fig. 8에 나타내었다.

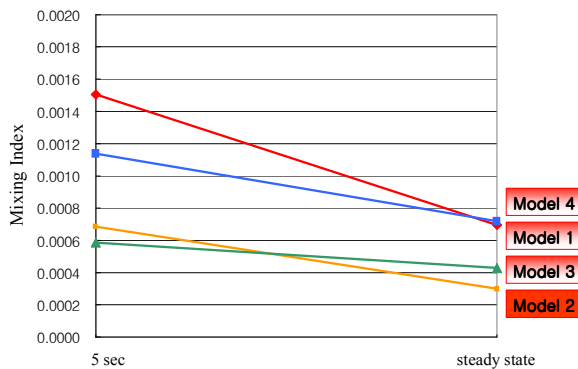


Fig. 8 Mixing indexes at 5(sec) and in steady state

그 결과 Model 2의 경우 정상상태에서는 Model 3보다 혼합지수가 0에 가까운 관계로 혼합효율을 높일 수 있는 모델이라고 판단된다. 즉, 짧은 시간 동안에 혼합정도는 Model 3이 우수하였으나, 장시간동안 간이상수도가 작동된다면 Model 2가 더 적합한 모델임을 알 수 있다.

3. 결론

간이상수도에서 물과 약품의 혼합은 매우 중요하다. 즉, 지하수 파이프에 약품공급을 어떻게 하느냐에 따라 수질이 달라질 수 있다. 이에 본 연구에서는 물과 약품의 혼합효율을 높이는 방안으로 4가지 모델에 대하여 수치해석을 통한 농도분포해석을 수행하였다. 4가지 모델 중 약품공급파이프 출구를 지하수파이프 중앙에 설치한 Model

2와 약품공급파이프 후류에 원형 블록을 설치한 Model 3의 혼합효과가 높음을 알 수 있었다. Model 2의 경우는 적절한 약품공급위치를 확보하여 혼합효과를 크게 한 결과이고, Model 3의 경우는 유로의 구조를 변경하여 유체 교란에 의한 혼합효과를 크게 한 결과라고 볼 수 있다.

이러한 방법 모두 교반기를 사용하지 않고 혼합효과를 높이는 방법으로 기존 장치에 적용이 용이하며, 비용이 저렴하다는 장점이 있다. 향후 여러 가지 혼합방식에 대한 수치계산을 수행하여 최적의 혼합장치를 설계하는데 필요한 데이터를 확보할 계획이다.

후 기

본 과제는 교육인적자원부·산업자원부의 출연금으로 수행한 산학협력중심대학육성사업의 연구결과이며, 부분적으로 2007년도 교육인적자원부의 지방대학 혁신역량강화사업(NURI)과 순천대학교 산학협력중심대학에 의해 지원되었음.

참고문헌

- (1) Kim, D. K., Bae, S. T., Kim, J. H., Kim, O. K. and Lee, Y. H., 2006, "A Study about Choice of Industrial Mixer's Impeller Type for Concentration Measurement Method and PIV," *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol. 30, No. 3, pp. 413~419.
- (2) Costin, D. C. and Synovec, E. R., 2002, "Measuring the transverse concentration gradient between adjacent laminar flows in a microfluidic device by a laser-based refractive index gradient detector," *Talanta*, Vol. 58, No. 3, pp. 551~560.
- (3) Beebe, J. D., Adrian, J. R., Olsen, G. M., Stremmer, A. M., Aref, H. and Jo, B., 2001, "Passive mixing in microchannels: Fabrication and flow experiments," *Mec. Ind.*, Vol. 2, pp. 343~348.
- (4) Suh, Y. K., 2006, "On the Problem of Using Mixing Index Based on the Concentration Dispersion," *Trans. of the KSME(B)*, Vol. 30, No. 8, pp. 796~805.
- (5) Kim, Y., An, S. and Maeng, J., 2006, "The Effect of Karman Vortex for Mixing in a Micro-channel with an Oscillating Micro-stirrer," *Trans. of the KSME(B)*, Vol. 30, No. 2, pp.

144~152.

(6) Lee, D. S., Kim, H. G., Ha, M. Y., Park, Y. H. and Park, I. M., 2005, "Mixing Effect by the Geometry of Static Mixer with Turbulent In-Situ Mixing," *Trans. of the KSME(B)*, Vol. 29, No. 12, pp. 1307~1312.

(7) Maeng, J., Cho, I. and Kim, B., 2005, "Prediction of Degree of Mixing for Insoluble Solution with Vortex Index in a Passive Micromixer," *Trans. of the KSME(B)*, Vol. 29, No. 2, pp. 232~238.