

## 전산유체역학(CFD)를 활용한 정수공정에서 길이가 긴 유공관 설계 Design of the long perforated pipe in water treatment process using CFD

조영만 · 유수전 · 노재순 · 빈재훈

Youngman Cho · Soojeon Yoo · Jaesoon Roh · Jaehoon Bin

부산광역시 상수도사업본부 수질연구소

(2010년 4월8일 접수 ; 2010년 6월1일 수정 ; 2010년 2010년 6월10일 채택)

### Abstract

Role of the perforated pipe is to drain the water with equal pressure and velocity through the holes of perforated pipe. The perforated pipe is being used in many processes of water treatment system, however, the design parameter of perforated pipe is not standardized in Korea. In this study, we have found the design parameter of perforated pipe in the water treatment system using the Computational Fluid Dynamics (CFD). The uniformity of outflow from the perforated pipe is directly affected according to area ratio (gross area of holes/surface area of the perforated pipe). In other words, the uniformity of outflow is improved as area ratio is smaller. Also, at the same area ratio, the uniformity of outflow is improved as number of holes is increased. Specially, in case of the two holes per length of pipe diameter (2/D) shows the most uniformity of outflow and the best hydraulic with the smaller pressure drop. The uniformity of outflow is aggravated and the pressure drop of pipe is decreased as length of pipe is longer. In case of that pipe length is 10m and above, the pressure drop decreased about 30% when diameter ratio is 40% with 0.2% of area ratio by comparison with 0.1% of area ratio.

**Key words** : Perforated pipe, Holes, Area ratio, Computational Fluid Dynamics(CFD)

**주제어** : 유공관, 유공, 면적비, 전산유체역학

### 1. 서론

정수공정에서 유공관은 전염소나 후염소 투입장치, 맥동식침전지 그리고 여과지 하부집수장치와 같은 여러 단위공정에서 활용되고 있는 중요한 수처리 장치이다. 정수공정에서 가장 그 비중이 높은 여과지의 집수장치의 경우, 유공관 수압과 유량의 균등성을 확보하기 위한 가장 핵심적인 기능을 하는 중요한 장치이므로 하부집수장치의 설계를 위한 많

은 연구와 실험을 통해 각각의 집수장치마다 고유의 유공관 설계 기술을 확보하고 있다(류 등 2003). 즉 유공 크기 및 배치 간격과 같은 핵심적인 설계인자 값이 각각의 집수장치마다 고유의 설계 값을 갖고 개발되어 있으며 맥동식침전지 유입관 역시 기술개발 회사에 의해 특정한 설계인자 값에 의해 설계되고 있다(박 등 2003, Susumu et al. 2000) 이 규격화되어 있는 단위 공정의 경우 각각 설계되어 있는 기성제품을 채용하면 되지만 후염소나 전염소 또는 기타 유

량과 수압의 균등성이 요구되는 공정을 추가할 경우 원하는 공정에 맞는 유공관을 설계해야 할 필요가 있다. 현재 국내에서 유공관 설계 인자는 개략적인 추정값이 알려져 있을 뿐 정확한 설계 기준 및 인자 값이 거의 전무하여, 기업이나 현장 엔지니어의 주관적 판단에 의해 유공관이 설계되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구는 전산유체역학적 방법을 활용하여 중요한 수처리 단위 공정에 속하는 유공관의 일반적인 설계 인자와 기준을 제시하고자 하였다.

본 연구에서는 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics)적 기법을 활용하여 유공관에서 유공의 직경, 개수, 배치간격, 길이 등과 같은 주요한 설계 인자를 도출하였다. 전산유체역학 기법은 컴퓨터 하드웨어 기술의 비약적인 발전과 더불어 정수처리공정 뿐만 아니라 거의 모든 산업분야에서 활용되고 있으며 날이 갈수록 그 중요성과 응용범위가 확대되고 있는 매우 유용한 수치해석 기법이며 최근 들어 정수처리공정에서도 전산유체역학 기법은 정수공정 진단과 개선에 매우 적극적으로 활용되고 있어 향후 정수공정 효율 증진에 크게 이바지 할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 정수공정에서 활용되고 있는 유공관의 일반적인 설계 인자를 전산유체역학적 기법을 활용하여 제시하고자 하였다.

## 2. 실험방법

본 연구에서는 기본적 유공관의 설계 인자 도출을 위해

직경 100mm, 유공개수는 10개, 길이 1.1m의 관에 대해 전산유체역학적 진단을 실시하였다. 유공관 설계에서 가장 중요한 인자는 유공관의 표면적과 유공의 면적비(Area Ratio)이다(식 1). 다시 말하면 유출 가능한 전체 면적 대비 실제 유출이 이루어지는 유공 면적비를 의미한다. 표 1과 같이 각각의 유공 면적비에 대해 유공관의 유출량 균등성을 평가하여 가장 균등성이 높은 면적비를 도출하고자 하였다. 또한 동일한 면적비에 대해 유공 개수를 진단하여 유출량의 균등성이 높고 에너지 손실이 가장 적은 수리적으로 가장 유리한 유공 개수를 도출하였다.

$$R = d^2 \pi n / D \pi L \quad \text{<식 1>}$$

여기서 d : 유공 직경, n : 유공 개수,  
D : 유공관 직경, L : 유공관 길이

표 2는 유공관 길이별 유출량의 균등성을 평가하기 위해 각 유공관 길이별 유공 개수를 정리한 표이다. 본 연구에서는 수리적으로 가장 유리한 유공 개수인 유공관의 직경에 해당하는 길이에 대해 유공을 2개 배치하는 유공 개수 배치 방법을 연구자들은 유공개수/유공관직경((2/D))로 표시하였다. 즉 유입 유속 3/sec, 면적비 0.2%, 유공 개수 2/D인 경우 유공관 길이 1m, 5m, 10m, 15m, 20m 각각에 대해 유출량의 균등성과 압력분포를 진단 평가하였다. 표 3은 유공관 길이가 10m인 경우에 대해 유공관 전단 직경과 후단 직경을 5%에서 50%까지 차이가 있는 경우 유출량의 균등

Table 1. Area ratio and parameters of perforated pipe

area ratio	surface area(m <sup>2</sup> )	holes area(m <sup>2</sup> )	hole diameter(m)
0.06	0.3454	0.0002	0.0055
0.20	0.3454	0.0007	0.0095
0.27	0.3454	0.0009	0.0110
0.55	0.3454	0.0019	0.0155
1.36	0.3454	0.0047	0.0245
1.82	0.3454	0.0063	0.0283

Table 2. Length and number of holes of perforated pipe

Length(m)	1	5	10	15	20
Number of holes	20	100	200	300	400

Table 3. Diameter ratio between forward and backward perforated pipe

Diameter ratio(%)	0	5	10	15	30	40	50
Diameter of forward(mm)	100	102.5	105	107.5	115	120	125
Diameter of backward(mm)	100	97.5	95	92.5	85	80	75

성과 에너지 손실값 등을 비교 하였다. 본 연구에서는 유공관의 전단과 후단의 직경 차이를 직경비(Diameter ratio)로 정의했다.

전산유체역학(Computational Fluid Dynamics)은 실험이나 수작업으로 해석이 어려운 공정을 FDM(Finite Difference Method) 기법과 같은 기법을 활용하여 해석 대상 공정 모형을 작은 셀로 분할한 뒤 각각 경계조건을 주고 해를 구하는 방법이다(Cao et al. 2001, Cocky et al. 1999). 최근에는 컴퓨터 성능의 눈부신 발전에 힘입어 CFD 해석 결과에 대한 신뢰도가 급격히 높아짐에 따라 점차 일반 실험을 대체하는 수준까지 발전하고 있다(Panneerselvam et al. 2009). 본 연구에서 유공관 설계인자를 도출하기 위해 전산유체역학적 진단과 해석을 통해 유공관의 여러 설계인자를 제시하고자 하였다. 진단은 ANSYS사의 상용 CFD 프로그램인 Fluent 6.3과 Gambit 2.4를 사용하였는데, Fluent는 유동해석 소프트웨어이고 Gambit는 형상화와 격자 작업을 수행하는 소프트웨어이다. 유공관에서 유출되는 유체의 유동 특성과 유체의 물리적 성질의 변화는 연속방정식과 운동량 방정식 등의 지배방정식에 의해 설명될 수 있으며, 본 연구에서는 기본적으로 연속방정식, 모멘텀 방정식(Navier-Stokes Equation) 등을 사용하였다. 난류 거동을 모사하기 위해서는 Standard  $k-\epsilon$  모델을 사용하였으며, Steady-state 상태로 해석하였다. 수처리공정처리 비교적 저속인 단순 유동에서는  $k-\epsilon$  모델이 일반적으로 활용되고 있다(Wang et al. 1998)

유공관의 유동특성을 평가하기 위해서는 유공관 유출구에서 유출되는 유량의 균등성과 유속 변화 등을 진단 평가하였으며 또한 유공관 내 정압과 총압력 변화와 유출구에서 압력

강하 등을 평가하여 유출량의 균등성이 가장 높은 유공관 설계 인자값을 제시하고자 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 유공의 면적비

정수공정에서 활용되고 있는 유공관은 그 모양과 크기, 형태가 조금씩 다르지만 유입되는 유량을 균등하게 유출시킨다는 점에서 그 역할과 기능은 큰 차이가 없다. 예를 들어 전염소 투입 유공관은 고압의 염소 용해수를 균등하게 투입하는 역할을 하고 상향류 침전지의 유공관은 저속의 유량을 침전지 전체 면적에 균등하게 유입시키는 역할을 한다.

유공관을 설계하는데 중요한 인자 중에 하나는 유공의 직경과 배치 간격이다. 먼저 유공 직경의 경우 본 연구자는 전체 유출면 대비 유공 전체 면적을 계산하여, 면적비(Area Ratio)의 개념으로 정의하였다. 즉 유공관에서 유출면은 유공관의 겉표면이 된다. 이렇듯 유공관의 겉표면 대비 유공 전체 면적의 합에 대한 비가 유공 설계에서 중요하다. 왜냐하면 면적 비에 따라 유출되는 유량의 균등성에서 차이가 나타나기 때문이다. 표 1과 같은 유공관의 면적비에 대한 유출량의 차이를 진단한 결과 그림 1과 같이 각 면적비에 따라 유출량의 균등성에 차이가 났다. 그래프를 통해 면적비가 작아질수록 유공에서 유출되는 유량의 균등성이 높아진다는 것을 알 수 있으며, 유량은 대체로 갈수록 전단보다 후단으로 유출량이 많아지고 면적비가 줄어들수록 그 편차가 작아지면서 균등성이 높아지는 경향을 보였다.

그림 2는 이와 같은 결과를 최대값과 최소값의 편차와 표준편차로 나타낸 그림이다. 최대 최소값의 편차와 표준편차는 면적비에 거의 선형적으로 변화한다는 것을 알 수 있다.

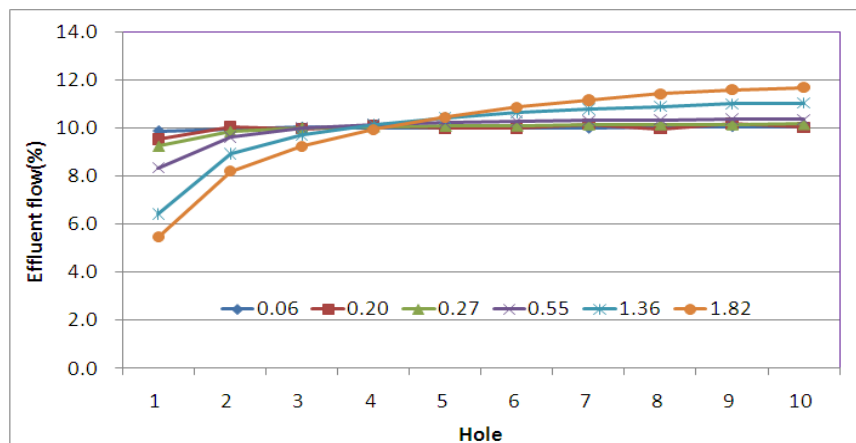


Fig. 1. Variation of Effluent flow at each hole according to Area Ratio

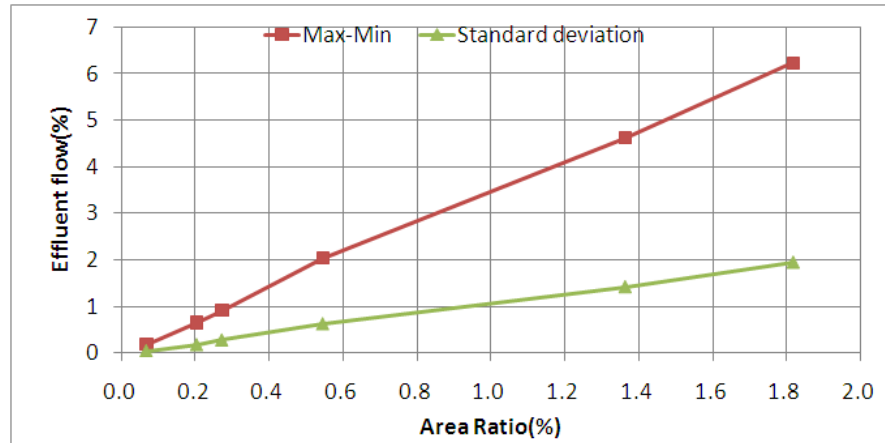


Fig. 2. Max. value - Min. value and Standard deviation of effluent flow according to area ratio

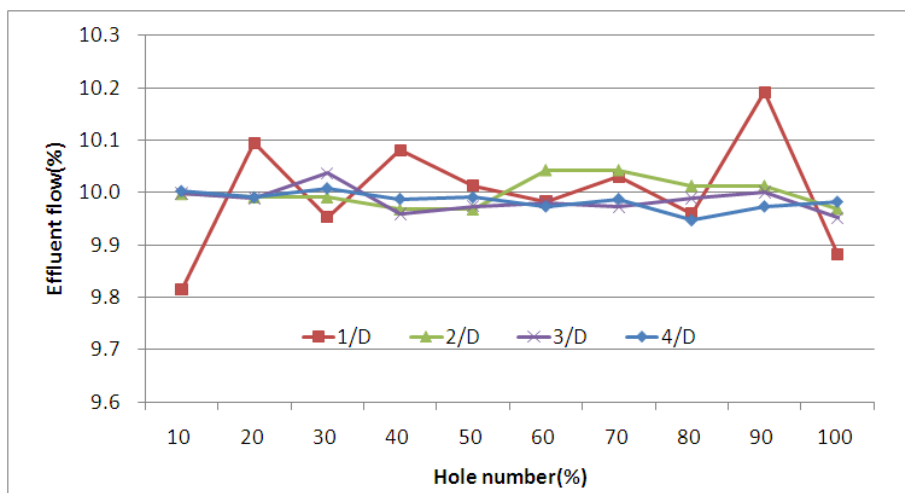


Fig. 3. Variation of effluent flow according to hole number/hole diameter

면적비가 0.2%일 경우 최대값과 최소값의 편차는 0.65%, 표준편차는 0.18 값을 나타내었다. 따라서 유공관이 길이가 1.1m인 경우 유출량의 편차를 0.7%이하로 하고자 할 경우 유공관 결표면 대비 유공의 단면적 비는 0.2% 이내로 설계되어야 할 것으로 판단된다.

### 3.2 유공 개수

유공관 유공 단면적 비가 결정되면 다음에는 동일 단면적에서 유공의 개수나 유공 사이 간격 등이 결정되어야 한다. 동일 단면적에서는 유공의 개수와 간격 중에서 하나만 결정하면 다른 변수가 동시에 결정되기 때문에 유공의 개수와 간격은 동일한 개념이라고 볼 수 있다. 유공 사이 간격(개수) 등을 결정하기 위해 유공관의 직경을 기준으로 직경과 같은

거리에 하나의 유공을 배치하는 경우를 1/직경(D)로 표현하고 유공을 2개 배치하면 2/D 등으로 구분하여 유공의 개수별 유동 특성을 진단하였다. 즉 유공 개수가 증가할수록 유공 직경은 작아지고 유공 개수가 적으면 유공의 직경은 커지게끔 하여 전체적으로 유공 단면적은 동일하게 하였다.

그림 3은 전체 면적비가 0.2%인 경우 유공 간격이 1/D에서 4/D까지 변화할 때 유공에서 유출되는 유량의 변화를 그린 그림이다. 1/D는 유공관이 직경이 100mm이므로 유공이 100mm 간격에 1개가 배치되어 전체적으로 유공이 10개인 경우이고 4/D는 같은 방식으로 유공이 40개가 된다. 2/D와 같이 유공이 20개인 경우는 유공 2개의 유출량을 더해 하나의 유공 유출량으로 간주하여 그래프를 그렸으며 전체 유출구가 10개인 1/D와 동일하게 비교하였다. 그림에서 보

는 바와 같이 유공 개수가 증가할수록 유출량의 균등성이 향상되는 것을 알 수 있다. **그림 4**에서와 같이 유공 개수가 증가할수록 최대 최소값의 편차가 감소하였는데 1/D에서는 0.377%이었고 4/D에서는 0.06%으로 감소하였다. 또한 표준편차 역시 1/D에서 0.108이었던 것이 4/D에서는 0.017로 감소하여 유공의 개수가 증가할수록 유출량의 편차가 감소하면서 전체적으로 유출량의 균등성이 높아짐을 알 수 있다. 유공의 개수가 증가할수록 균등성은 높아지지만 유공 간격이 2/D일 때 균등성 향상 폭이 가장 크고 이후에는 향상 폭이 미미함을 알 수 있다. 따라서 유공 개수는 2/D 이상이 되어야 함을 알 수 있으며 개수가 증가할수록 압력손실이 증가할 수 있기 때문에 개수 증가와 압력손실의 상관관계를 진단해야 적절한 유공 개수를 산정할 수 있다.

**그림 5**는 유공관 유입 총압력과 유공 전체에서 압력손실 값을 나타낸 그림이다. 유공 개수가 증가할수록 총 압력이

증가하는 것을 알 수 있는데 유공 개수에 따라 압력이 증가한다는 것은 유공 개수가 많아질수록 유공에 의한 에너지 손실이 커지기 때문이다. 따라서 유공의 개수가 증가할수록 유출량의 균등성은 증가하지만 압력 손실 또한 증가하기 때문에 적절한 유공개수를 배치하는 것이 중요하다. 그림에서와 같이 1/D에서는 유입 총압이 430.5 pascal인 반면 2/D에서는 유입 총압이 408.8 pascal로 약 20 pascal이 낮아졌으며 또한 유출구에서 압력 강하도 1/D에서 188.8 pascal이었던 것이 2/D에서는 180.2 pascal로 약 9 pascal 정도 낮아졌다. 하지만 유공 개수가 3/D, 4/D로 증가하게 되면 총압과 압력강하 값이 비례하여 증가하는 것으로 나타났다.

동일한 단면적에서 유공의 개수가 증가하게 되면 유공에 의한 유체의 접촉면이 증가하여 유공과 유체의 접촉에 의한 마찰손실과 점성저항 등에 의해 에너지 손실이 발생하게 된다. 따라서 일반적으로 유공 개수에 비례하여 에너지 소모가 증가하는 경향을 나타낸다. 하지만 진단 결과 1/D보다 2/D

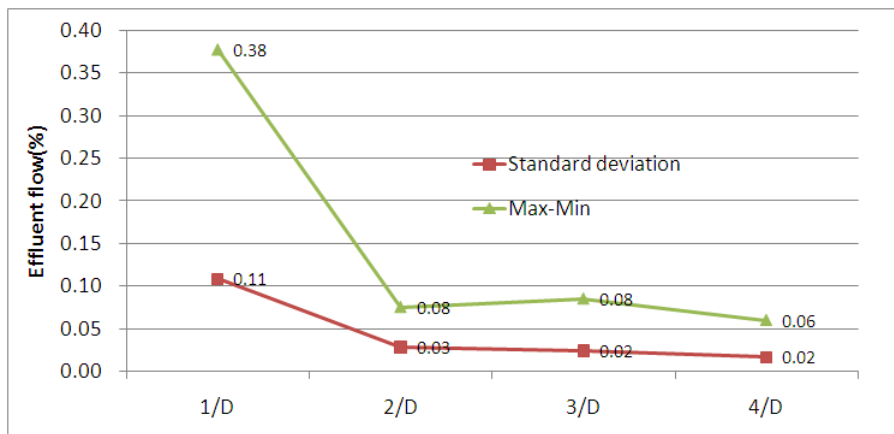


Fig. 4. Max. value - min. value and standard deviation of Effluent flow according to hole number

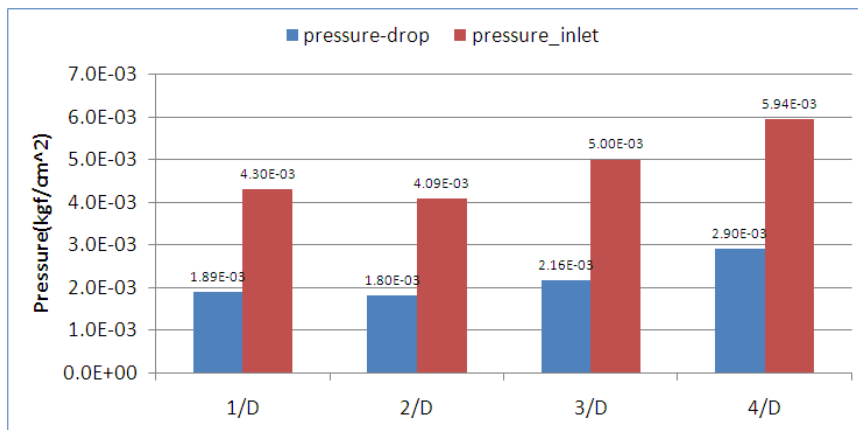


Fig. 5. Pressure-drop and pressure-inlet according to hole number/diameter

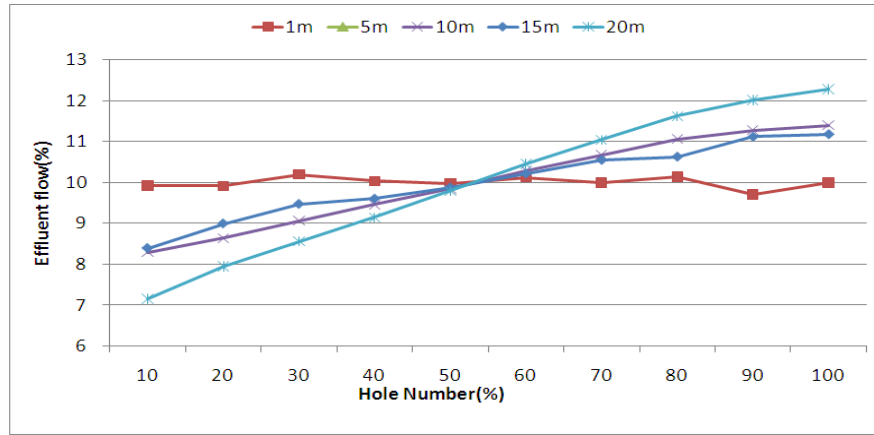


Fig. 6. Variation of effluent flow according to length of pipe(area ratio : 0.2%)

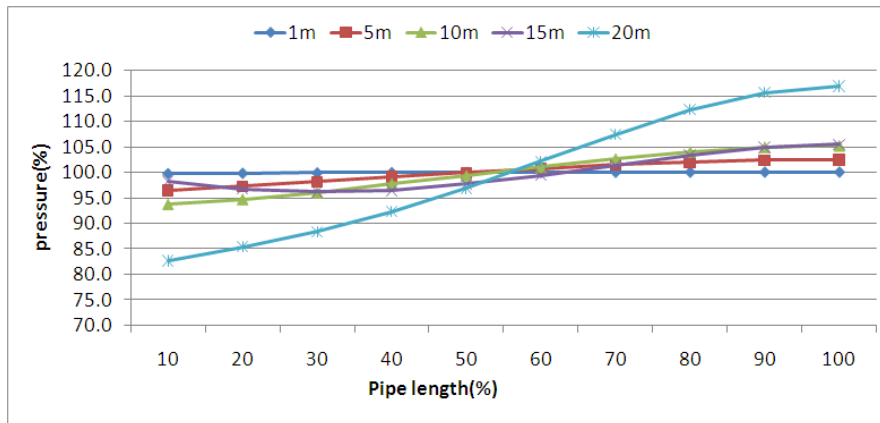


Fig. 7. Variation of static pressure according to length of pipe(area ratio : 0.2%)

에서 에너지 손실이 보다 적다는 것은 이와 같은 마찰손실과 점성저항 등의 에너지 손실 요인이 가장 적은 수리적 구조를 갖고 있다는 것이며 유입 총압이 적다는 것은 적은 에너지로 유체가 유출된다는 의미이다. 또한 압력강하 값이 작아진 것은 유공에서 에너지 손실이 적다는 것을 의미한다. 따라서 유공 개수의 경우, 2/D로 설계하는 것이 에너지 소모가 가장 적고 수리학적으로 가장 유리하다는 것을 알 수 있다.

### 3.3 유공관 길이

유공관의 길이는 단위 공정별 설치 장소 및 공정의 역할 등에 따라 다양하게 변할 수 있다. 동일한 유공 면적비(Area ratio)와 유공 개수라 하더라도 유공관 길이가 달라지면 유공관 내 압력 분포가 달라지기 때문에 유공의 유출량 균등성이 달라질 수밖에 없다. 따라서 동일한 면적비와 유공 개수에서 유공관 길이에 따른 균등성의 차이를 규명해야 목표로 하는 균등성을 확보하기 위한 적절한 유공관 길이를 설계할

수 있다. 본 연구에서는 유입 유속이 3m/sec, 유공 개수는 2/D, 면적비는 0.2%, 0.1%, 유공관 길이는 각각 1m, 5m, 10m, 15m, 20m 각각의 경우에 대해 유출량을 평가하였다.

**그림 6**은 면적비가 0.2%인 경우 길이별 유출량 그래프인데 유공관 길이 1m, 5m에서는 유출량의 비율이 거의 균등하였으나 10m부터는 전단보다는 후단으로 갈수록 유출량이 증가하는 경향을 나타내었다. 이와 같은 결과는 유공관 중심에서 길이 방향의 정압을 그린 **그림 7**에서도 확인할 수 있다. 즉 유공관으로 후단으로 갈수록 전단보다 정압이 증가하는 것을 알 수 있다. 후단에서 정압이 높은 것은 강하게 유입된 유속이 유공관 후단까지 밀려가고 유공관 끝단에서 부딪힌 압력이 전단 쪽으로 분산되는 방식으로 압력이 형성되기 때문이다. **그림 8**은 유공관 내 동압을 나타낸 그림으로 후단으로 갈수록 유속이 감소하면서 일정한 비율로 동압이 감소하는 경향을 나타내고 있다.

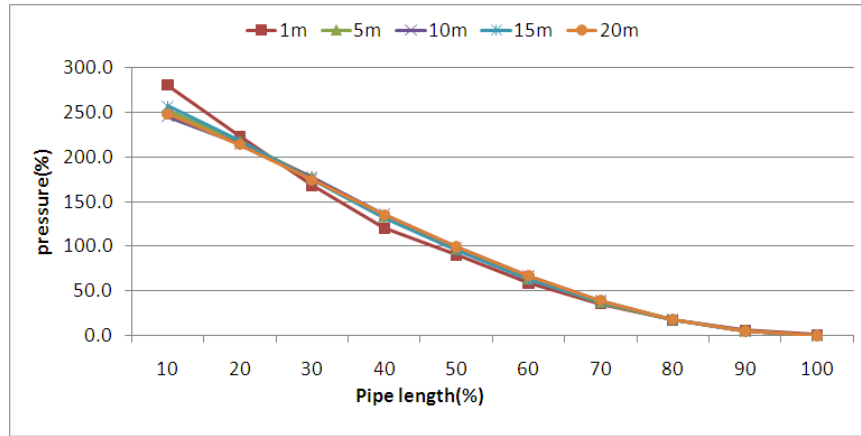


Fig. 8. Variation of dynamic pressure according to length of pipe(area ratio : 0.2%)

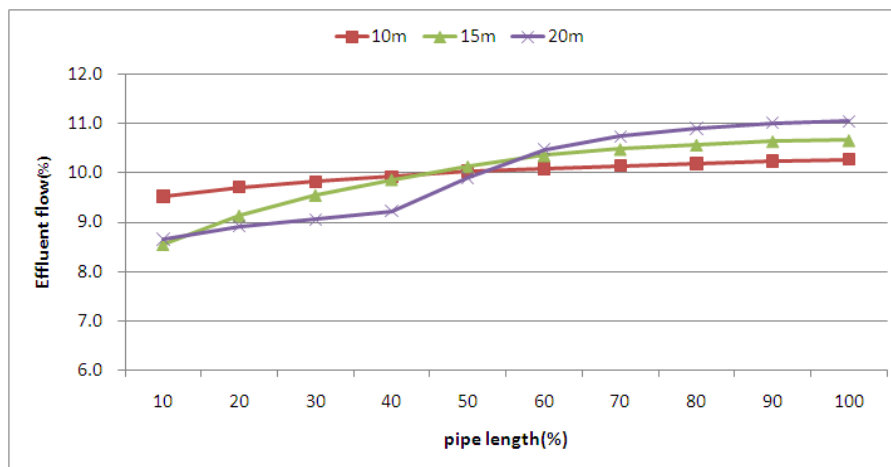


Fig. 9. Variation of effluent flow according to length of pipe(area ratio : 0.1%)

그림 9는 면적비가 0.1%인 경우 유공관이 10m, 15m, 20m에 대한 유출량 그래프이다. 그림에서와 같이 유공관이 길어질수록 유출량의 편차가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 대체로 전단보다 후단에서 유출량이 커지는 경향은 면적비 0.2%일 때와 비슷하다.

그림 10은 면적비가 0.1%인 경우 유공관이 10m, 15m, 20m에 대한 정압분포를 그린 그래프이다. 10m, 15m 길이에서는 후단으로 갈수록 압력이 증가하는 경향을 나타내었으며 유공관이 20m인 경우에는 유공관 입구에서 정압이 크게 상승하였다. 이와 같은 결과는 0.1%로 유공 면적이 크게 감소함으로써 유공관 전체에 걸리는 압력이 증가되면서 유

입구 압력이 상승한 것으로 판단된다. 유공관 길이 50% 지점에서 압력이 최저로 떨어지는 것은 유공관 전단부터 점차로 유출량이 늘어나면서 압력이 감소되기 때문이다. 그림 11은 동압 분포를 그린 그래프로 유출량 증가에 따라 비례적으로 동압이 감소하는 일반적인 경향을 나타내고 있다.

그림 12는 면적비 0.2%, 0.1%에 대해 유공관 길이 10m, 15m, 20m 각각에 대한 유출량의 편차를 그린 그래프이다. 그래프와 같이 면적비가 0.2%에서 0.1%로 감소하게 되면 유출량의 편차도 감소하는 경향을 나타내며 유공관의 길이가 길어질수록 유출량의 편차가 증가하는 경향을 나타내었다.

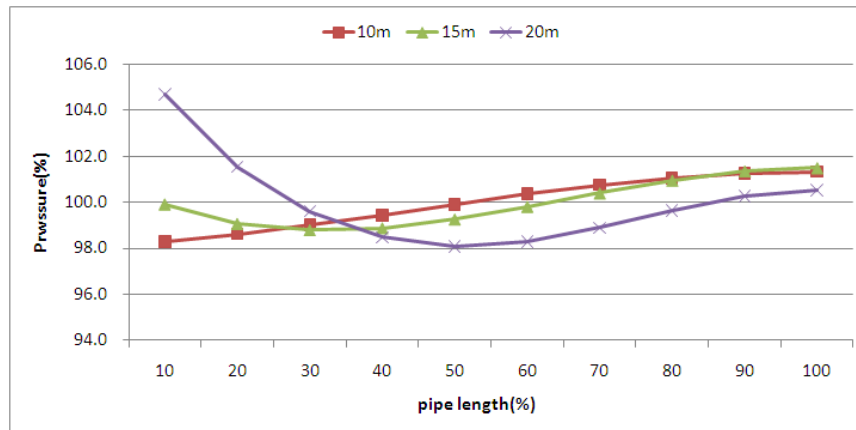


Fig. 10. Variation of static pressure according to length of pipe(area ratio : 0.1%)

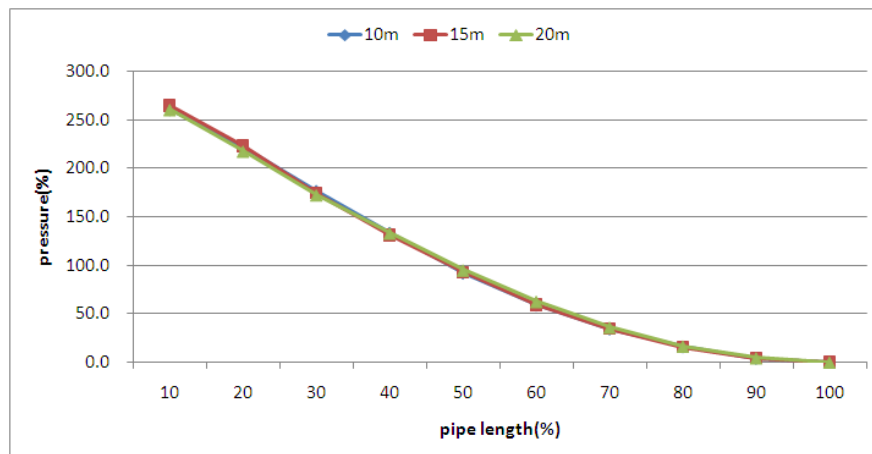


Fig. 11. Variation of dynamic pressure according to length of pipe(area ratio : 0.1%)

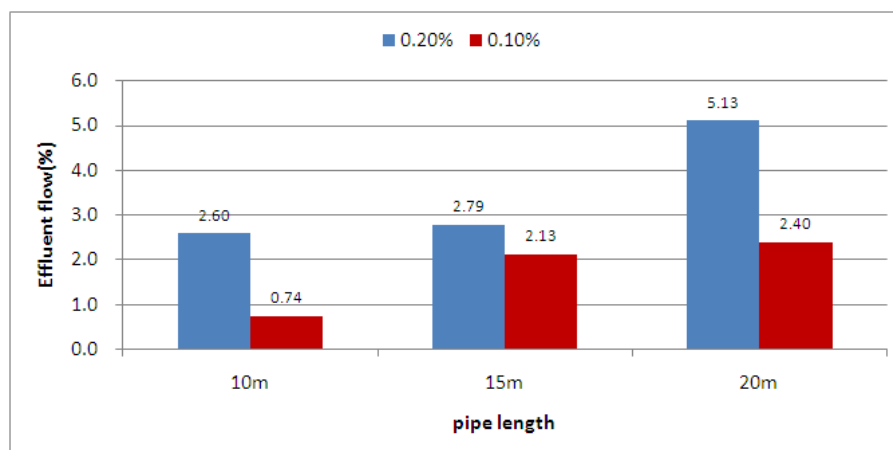


Fig. 12. Max. value - min. value of effluent flow according to length of pipe and area ratio



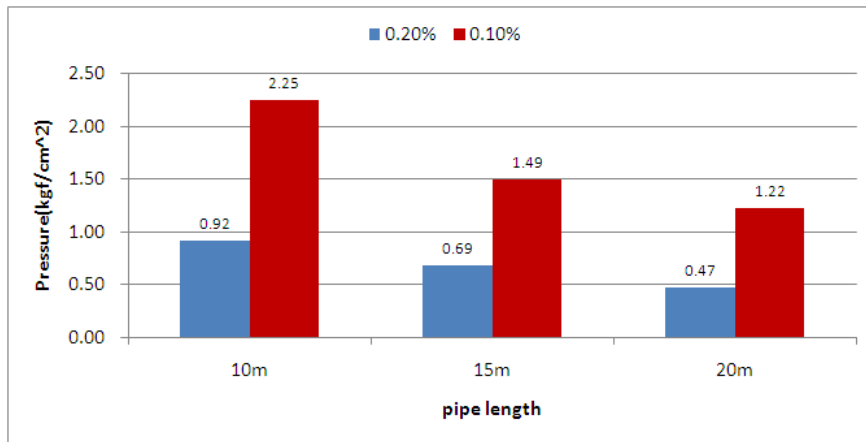


Fig. 13. Pressure drop according to length of pipe and area ratio

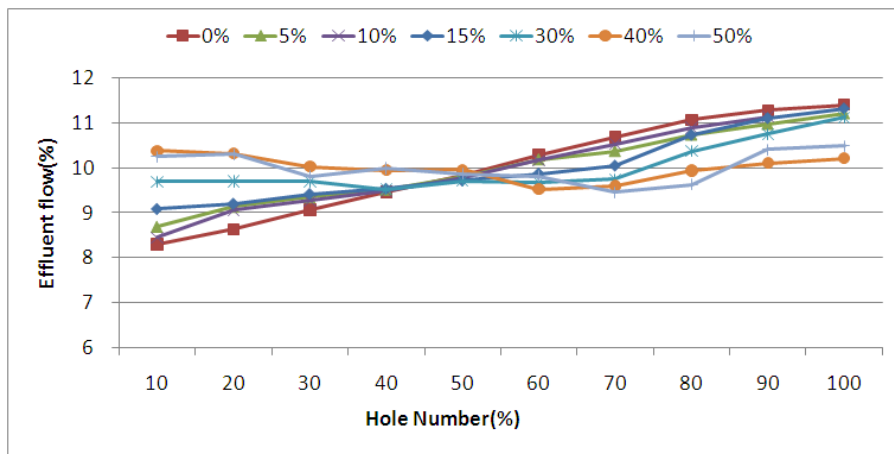


Fig. 14. Variation of effluent flow according to diameter ratio

**그림 13**은 면적비와 길이에 대한 압력강하 값을 그린 그래프이다. 면적비가 0.2%에서 0.1%로 감소하면 압력강하는 거의 2배 이상 증가하는 것을 알 수 있다. 즉 면적비가 감소하면 유출량의 균등성은 향상되지만 상대적으로 압력강하 즉 에너지 손실이 크게 증가되게 된다. 유공관 길이가 길어질수록 압력강하 값이 감소하는 것은 유공관 길이가 길어질수록 정압이 감소되기 때문에 그에 비례하여 압력강하 값 역시 감소되는 것이다. 유공관 길이에 따라 정압이 감소되는 것은 유공관 유입 유속이 일정하기 때문에 길이가 짧을수록 정압이 증가하는 경향을 나타내게 된다.

### 3.4 유공관 직경 변화

유공관의 길이가 길어질수록 유출량의 균등성이 악화되기 때문에 이를 해결하기 위해서 유공의 면적비를 감소시킬

수 있지만 이 경우 에너지손실(압력강하)이 증가되기 때문에 무작정 면적비를 줄일 수 없다. 따라서 유공관이 길이가 긴 경우에 유공관 내 정압 분포를 일정하게 유지할 수 있는 방안으로 유공관의 전단과 후단의 직경을 달리하는 방법을 생각할 수 있다. 본 연구에서는 표 3과 같이 길이 10m 유공관에 대해 유공관의 전단과 후단의 직경비를 달리하면서 유출량의 균등성을 평가하였다.

**그림 14**는 직경비에 따른 유출량 그래프이다. 전단 결과 직경비가 차이가 없는 경우 전단에서 유량이 적고 후단으로 갈수록 유량이 증가하는 경향을 나타내었으나 직경비가 5%에서 50%까지 증가되면 점차로 전단 유량은 증가하고 후단 유량은 감소하여 전체적으로 균등성이 향상되었다. 유출량의 최대, 최소값을 나타낸 **그림 15**에서와 같이 직경비가 40%인 경우 유출량의 편차가 0.85%로 가장 양호한 결과를

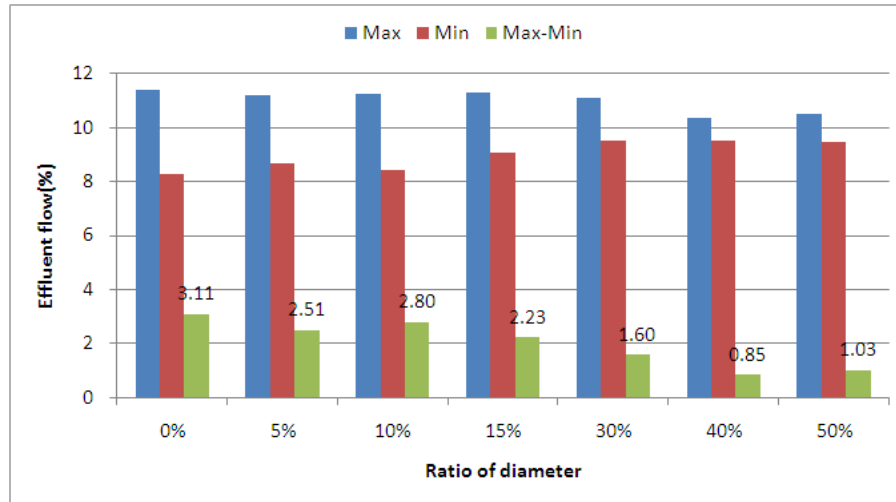


Fig. 15. Max. value, min value and max. value-min value of effluent flow according to diameter ratio

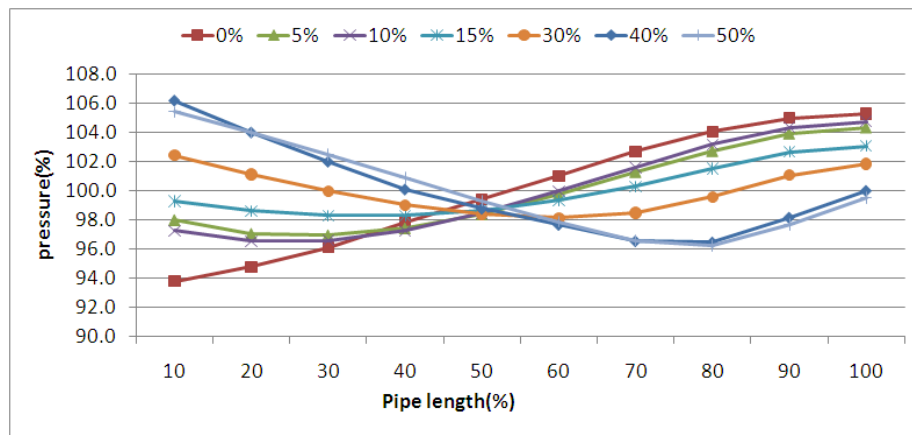


Fig. 16. Variation of static pressure according to diameter ratio

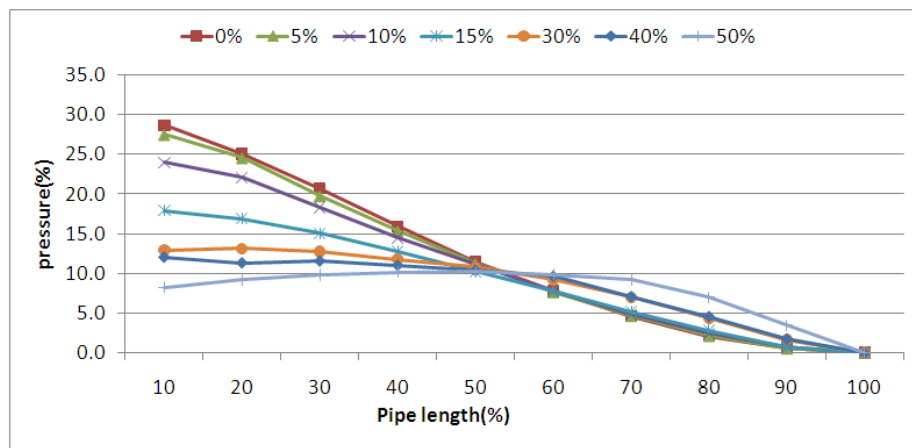


Fig. 17. Variation of dynamic pressure according to diameter ratio

**Table 4.** Pressure-drip and max-min value of effluent according to area and diameter ratio

Area ratio \ Item	Pressure-drop(pascal)	Max-min of effluent(%)
0.2%	9,181	2.60
0.1%	22,495	0.74
0.2%-40%	7,836	0.85

나타내었다.

**그림 16**은 직경비에 따른 정압 분포를 나타낸 그래프로 직경비가 증가할수록 유공관의 전단 정압은 증가하고 후단 정압은 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 동압 분포를 나타낸 **그림 17**은 직경비가 증가할수록 전단의 동압이 감소하는 경향을 나타내었는데 이는 전단 쪽에 직경이 커질수록 유속이 감소하기 때문이다.

**표 4**는 유공관이 10m인 경우 면적비 0.2%, 0.1%와 0.2%의 직경비 40%인 경우에 대해 유출량의 편차와 압력강하 값을 비교한 표이다. 유출량의 편차를 1% 이하로 하기 위해서는 면적비를 0.1%로 설계하는 것이 유공관의 전단을 후단의 직경보다 40% 크게 설계하는 것보다 유지하지만 에너지 손실인 압력강하 값은 거의 3배 증가하는 것을 감수해야 한다. 압력손실 값은 유공관을 운영하는 동안 지속적으로 소모되는 에너지 손실 비용이기 때문에 실제로 유공을 제작하는 초기 비용보다 훨씬 더 경제적 손실을 초래할 수 있다. 따라서 유공관이 10m 초과하는 경우는 면적비를 0.2%로 하고 전단과 후단의 직경비를 40%로 설계하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

전산유체역학적 기법을 활용하여 정수공정에서 적용할 수 있는 유공관 설계인자를 도출한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 유공관의 유출량 균등성은 유공관 표면적 대비 전체 유공 단면적 합을 비(면적비)가 작아질수록 향상된다. 즉 유공 단면적이 적을수록 유출 균등성은 비례하여 향상된다.
- 2) 동일한 면적비에서 유공의 개수가 증가할수록 유출량 균등성은 향상되지만 유공관의 직경에 해당하는 길이 당 2개 유공(2/D)인 경우가 균등성의 향상 폭이 가장 크며 또한 압력 강하 값이 가장 적어 수리학적으로 가장 유리한 유공 개수이다.
- 3) 유공관 길이가 길어질수록 유출량의 균등성은 악화되고 압력강하는 감소하며 유공 면적비가 감소할수록 균등성은

향상되지만 압력손실은 크게 증가한다.

- 4) 유공관 길이가 10m 이상인 경우는 유출량의 편차를 줄이기 위해서는 면적비를 0.2%에서 0.1%로 줄이는 것 보다 면적비 0.2%에서 유공관의 전단과 후단의 직경비를 40%로 설계하면 거의 같은 유출량 균등성을 확보하면서도 압력손실은 0.1% 면적비에 비해 약 30% 줄일 수 있다.

#### 참고문헌

류성호, 권봉기, 이동우, 김광연, 정동규, 박종훈, "전산유체역학을 이용한 유공블럭형 하부집수장치의 유동해석" 대한상하수도학회, 한국물환경학회 공동추계학술발표회논문집, c67-c73(2003)

박희경, 김성훈, 윤재홍, 김충환, 김학철, "유공블럭형 하부집수장치의 설계 개선 방안 연구", 한국물환경학회, 대한상하수도학회, 공동추계학술발표회논문집, 301-304(2003)

Susumu Kawamura, "Integrated design and operation of water treatment facilities", second edition, John Wiley & sons, Inc., New York, 160-175(2000)

Cao, Z., Wiley, D. E., Fane, A. G., "CFD simulations of net-type turbulence promoters in a narrow channel," *J. Membr. Sci.* 185, 157-176(2001)

Cockx, A., Do-quang, Z., Line, A. & Roustan, M., "Use of computational fluid dynamics for simulating hydrodynamics and mass transfer in industrial ozonation towers," *Chem. Eng. Sci.*, 54(21), 5085-5090(1999)

Panneerselvam, R., Savithri, S., Surender, G. D., "CFD simulation of hydrodynamics of as-liquid-solid fluidised bed reactor," *Chem. Eng. Sci.*, 64(6), 1119-1135(2009)

H. Wang, R. A. Falconer, *Wat. Res.* 32, 1529(1998)

N. S. Park, H. K. Park, H. W. Ahn, *J. of Korean society of Water and Wastewater*, 18(3),291(2004)

A. I. Stamou, *Applied Mathematical Modelling*, 15(7), 351(1991)