

# 전산유체역학(CFD)를 활용한 정수공정에서 유공관 설계 Design of the Perforated Pipe in Water Treatment Process using CFD

조영만<sup>†</sup> · 유수전 · 노재순 · 빈재훈  
Youngman Cho<sup>†</sup> · Soojeon Yoo · Jaesoon Roh · Jaehoon Bin

부산광역시 상수도사업본부 수질연구소  
Water Quality Research of Busan Water Authority

(2010년 4월 5일 접수, 2010년 9월 30일 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 increase. 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. When the inlet velocity of pipe is about 0.06m/sec, the flux of pipe has decreased as from front to backward. When the inlet velocity is 3 m/s, the flux of pipe has increased as from front to backward.

**Key Words :** Perforated Pipe, Holes, Area Ratio, Computational Fluid Dynamics (CFD)

**요약 :** 정수공정에서 활용되고 있는 유공관의 일반적인 기능은 균등한 압력으로 일정한 유량을 유출시키는 것이다. 정수공정에서 유공관이 여러 공정에서 활용되고 있음에도 불구하고 유공관 설계에 대한 일반적인 설계인자가 없는 실정이며 따라서 본 연구에서는 전산유체역학적(Computational Fluid Dynamics) 기법을 활용하여 정수공정에 활용되고 있는 유공관 설계인자를 도출하고자 하였다. 유공관 유출량의 균등성은 유공관 표면적 대비 전체 유공단면적 합의 비가 작아질수록 향상되는 경향을 보인다. 즉 유공 면적비가 작아질수록 유출 균등성은 그에 비례하여 향상되며 또한 동일한 면적비에서 유공의 개수가 증가할수록 유출량 균등성은 향상된다. 특히 유공관의 직경에 해당하는 길이 당 2개의 유공(2/D)을 배치하는 경우가 균등성의 향상 폭이 가장 크며 또한 압력 강하 값이 가장 적어 수리학적으로 가장 유리한 유공 개수이다. 유공관 유입 유속이 작고(약 0.06 m/s), 유공관 길이가 길어질수록 유출량은 전단에서 후단으로 갈수록 감소하며 반대로 유공관 유입 유속이 크고(3 m/s) 유공관이 길어지면 유출량은 후단으로 갈수록 증가하는 경향을 보인다.

**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 많은 연구와 실험을 통해 각각의 집수장치마다 고유의 유공관 설계 기술을 확보하고 있다.<sup>1)</sup> 즉 유공 크기 및 배치 간격과 같은 핵심적인 설계인자 값이 각각의 집수장치마다 고유의 설계 값을 갖고 개발되어 있으며 맥동식침전지의 유량 분배 유입관 역시 기술개발 회사에 의해 특정한 설계인자 값에 의해 설계되고 있다.<sup>2,3)</sup> 이와 같이 규격화되어 있는 단위 공정의 경우 각각 설계되어 있는 기성제품을 채용하면 되지만 후염소나 전염소 투입관 또는 기타 유량과 수압의 균등성이 요구되는 공정을 추가할 경우 원하는 공정에 맞

는 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. 일반적인 유공관의 형상은 Fig. 1과 같고 전단으로 물이나 약품이 유입되어 유공으로 배출되고 유공관의 후단은 막혀있는 구조이다. 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 기법

<sup>†</sup> Corresponding author E-mail: cho1221@korea.kr Tel: 051-669-4622 Fax: 055-323-4719

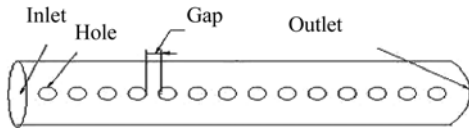


Fig. 1. Stereograph of the perforated pipe.

은 정수공정 진단과 개선에 매우 적극적으로 활용되고 있어 향후 정수공정 효율 증진에 크게 이바지 할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 정수공정에서 활용되고 있는 유공관의 일반적인 설계인자를 전산유체역학적 기법을 활용하여 제시하고자 하였다.

## 2. 수치해석 방법

본 연구에서는 유공관 설계인자 도출의 신뢰성을 확보하기 위해 전산유체역학적 해석값과 실험값을 비교 평가하였다. 실험 유공관은 실험의 용의성을 감안하여 직경 15 mm, 길이 880 mm, 유공은 직경 7 mm, 개수 10개이었다. 실험 유량은 0.0951 L/sec 이었고 각 유공에서 유출되는 유량을 반복적으로 비커를 활용하여 측정하였으며 전산유체역학적 해석값과 비교 평가하였다.

유공관 설계 인자 도출을 위해 유공관의 직경 100mm, 유공개수는 10개, 길이 1.1 m의 관에 대해 전산유체역학적 진단을 실시하였다. 유공관 설계에서 가장 중요한 인자는 유공관의 표면적과 유공의 면적비(Area Ratio)이다. 다시 말하면 유출 가능한 전체 면적 대비 실제 유출이 이루어지는 유공 면적비를 의미한다. 면적비를 구하기 위해서 Table 1 과 같이 유공 단면적을 변경해가면서 유공에서 유출되는 유량의 균등성이 가장 높은 면적비를 도출하고자 하였다. 또한 동일한 면적비에서 유공관으로 유입되는 유량이 변화하였을 때 유공관의 유출 균등성의 변화를 평가하기 위해 유공관 유입 유속을 0.0001 m/s, 0.0015 m/s, 0.0146 m/s, 0.0584 m/s, 2.333 m/s, 23.39 m/s 등으로 변경하면서 유공관 유공에서 유출되는 유량을 평가하였다. 이와 같이 유량 변화 폭을 크게 한 것은 정수공정에서는 상향류 침전지 유입관처럼 매우 저속의 유공관과 후염소 투입관처럼 유속이 빠른 유공관이 사용될 수 있기 때문이다.

Table 2는 유공관 길이별 유출량의 균등성을 평가하기 위해 각 유공관 길이별 유공 개수를 정리한 표이다. 유공 개수는 유공관의 직경에 해당하는 길이에 대해 유공을 2개 배

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)
0.07	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

치하였다. 이와 같은 유공 개수 배치방법을 연구자들은 유공개수/유공관 직경((2/D)로 표시하였다.

전산유체역학(Computational Fluid Dynamics)은 실험이나 수작업으로 해석이 어려운 공정을 FDM (Finite Difference Method) 기법을 이용하여 해석 대상 공정 모형을 작은 셀로 분할한 뒤 각각 경계조건을 주고 해를 구하는 방법이다.<sup>4,5)</sup> 최근에는 컴퓨터 성능의 눈부신 발전에 힘입어 CFD 해석 결과에 대한 신뢰도가 급격히 높아짐에 따라 점차 일반 실험을 대체하는 수준까지 발전하고 있다.<sup>6)</sup> 본 연구에서 유공관 설계인자를 도출하기 위해 전산유체역학적 진단과 해석을 통해 유공관의 여러 설계 인자를 제시하고자 하였다. 진단은 상용 CFD 프로그램인 Fluent 6.3과 Gambit 2.4를 사용하였다. 유공관의 Geometry는 tetra 격자 550,380로 해석하였으며 유공관에서 유출되는 유체의 유동 특성과 유체의 물리적 성질의 변화는 기본적으로 연속방정식, 모멘텀 방정식(Navier-Stokes Equation) 등을 사용하였다. 난류 거동을 모사하기 위해서는 Standard k-ε 모델을 사용하였으며, 정상상태로 해석하였다.

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. 전산유체해석과 실험값의 비교 평가

실험 유공관에서 유출되는 유량에 대한 전산유체역학적 해석값과 실험값의 비교결과 Fig. 2와 같이 약간의 오차가 있었다. 오차 발생 요인은 실험 유공관이 아크릴 재질이어서 유공 구멍을 뚫은 과정에서 마찰열이 발생하여 구멍의 직경을 정밀하게 맞추기 힘들었던 점을 감안해 볼 때 직경 차이에서 기인한 것을 추정된다. 그러나 유출량의 전체적인 경향이 일치하며 오차값이 크지 않기 때문에 전산유체역학적 방법으로 유공의 설계인자를 도출하는데 크게 문제가 없는 것으로 판단된다.

Fig. 3은 전산유체역적 해석결과에 대한 유공관 내 벡터 분포를 그린 그림이다. 벡터 분포는 유공에서 유속이 크게 증가하며 유공관의 끝단에서 유속이 감소하는 분포 경향을 보이고 있다.

### 3.2. 유공관 유공의 단면적비

정수공정에서 활용되고 있는 유공관은 그 모양과 크기, 형태가 조금씩 다르지만 유입되는 유량을 균등하게 유출시

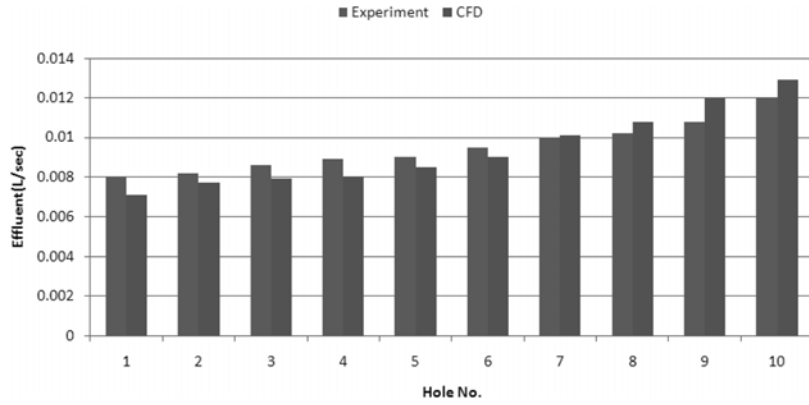


Fig. 2. Comparison of CFD simulation and experimental data.

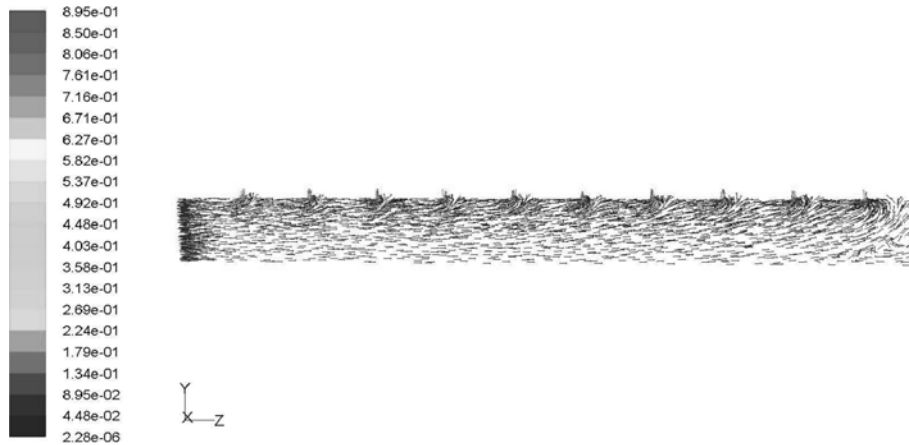


Fig. 3. The vector of CFD simulation in the perforated pipe.

킨다는 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 가장 중요한 인자는 유공의 직경과 배치 간격이다. 먼저 유공의 직경은 전체 유출면 대비 유공 전체 면적비(Area Ratio)가 가장 중요한 설계인자이다. 즉 유공관에서 유출면은 유공관의 겉표면이므로 유공관의 겉표면을 유공 전체 면적의 합으로 나눈 값이 면적비가 된다. Table 1과 같은 유공관의 면적비에 대한 유출량의 차이를 진단한 결과, Fig. 4와 같이 각 면적비에 따라 전단보다 후단에서 유출량이 증가하는 경향을 보였으며 면적비가 작아 질수록 유공관 전단과 후단의 유출량 편차가 줄어들면서 유공에서 유출되는 유량의 균등성이 높았다.

Fig. 5는 유출량을 최대값과 최소값의 편차와 표준편차로 나타낸 그림이다. 최대 최소값의 편차와 표준편차는 면적비에 대해 거의 선형적으로 변화한다는 것을 알 수 있다. 면적비가 0.2%일 경우 최대값과 최소값의 편차는 0.65%, 표준편차는 0.18 값을 나타내었다. 따라서 유공관이 길이가 1.1 m인 경우 유출량의 편차를 0.7% 이하로 하고자 할 경우 면적비는 0.2% 이내로 설계되어야 할 것으로 판단된다.

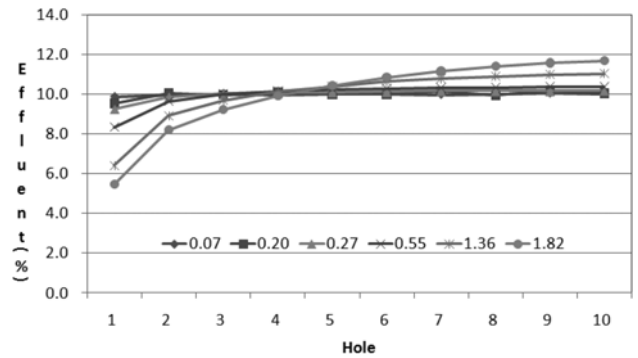


Fig. 4. Effluent (%) at each hole according to Area Ratio (surface area of pipe/area of hole).

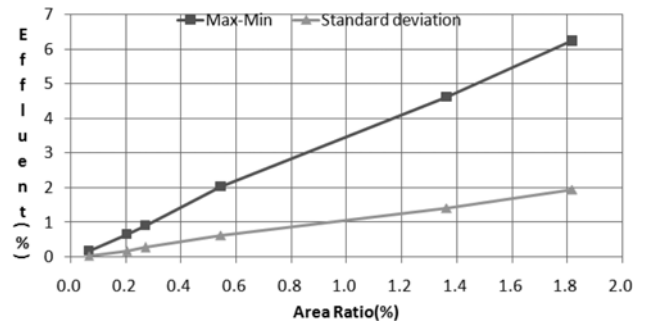


Fig. 5. Max-Min and Standard deviation of effluent (%) according to area ratio.

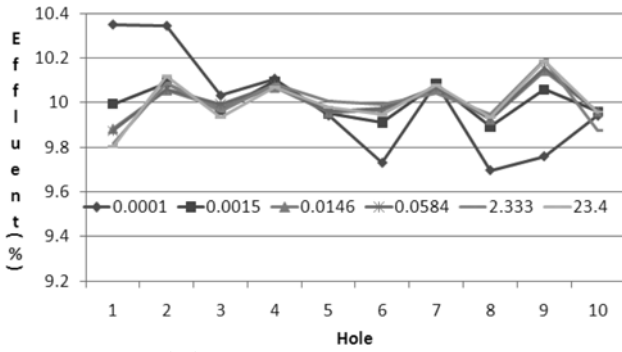


Fig. 6. Effluent (%) at each hole according to influent velocity of pipe.

### 3.3. 유입 유속에 대한 진단

Fig. 6은 유공관으로 유입되는 유속 변화에 따른 유출량의 비를 나타낸 그림이다. 유속을 저속인 0.0001 m/s에서 고속인 23.4 m/s까지 설정하여 진단한 이유는 침전지처럼 매우 저속인 경우와 염소 투입관처럼 고속 분사 등을 고려하기 위한 것이다. 그림에서와 같이 유속이 매우 느린 0.0001 mm/s인 경우 유공에서 유출량은 유공관 전단에서 유출량이 크고 후단으로 갈수록 유출량이 작아지는 경향을 보였다. 원인은 유속이 매우 적을 경우 유입되는 동에너지가 유공관의 후단까지 영향을 미치지 전에 전단 유공관으로 유출되기 때문인 것으로 판단된다. 유속이 0.0015 m/s 보다 큰 경우는 유출량의 차이가 거의 없는 것으로 나타났으며 유공관이 1.1 m인 경우 유공관 유입유속이 0.001 m/s 이상에서는 유공에서 유출량의 편차가 매우 미미 하였다. 따라서 유공관이 1 m 정도로 짧은 경우는 유입 유속에 그다지 큰 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다.

### 3.4. 유공 배치 간격

유공관 유공 면적비가 결정되면 동일 면적비에서 유공의 개수나 유공 사이 간격 등이 결정되어야 한다. 동일 면적비에서는 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 커져서 전체적으로 유공 단면적은 동일하게 하였다.

Fig. 7은 전체 면적비가 0.2%인 경우 유공 간격이 1/D에서 4/D까지 변화할 때 유공에서 유출되는 유량의 변화를 그린 그림이다. 1/D는 유공관이 직경이 100 mm이므로 유공이 100 mm 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 그려 전체 유출구가 10개인 1/D와 동일하게 비교하였다. 그림에서 보

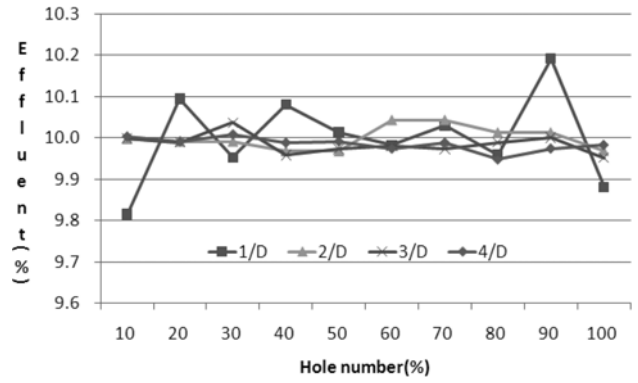


Fig. 7. Variation of effluent (%) according to hole number/pipe diameter.

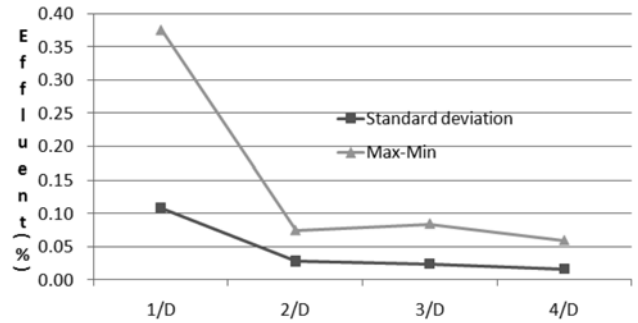


Fig. 8. Max. value-min. value and standard deviation of Effluent (%) according to hole number/pipe diameter.

Table 3. Max. value-min. value and standard deviation of effluent (%) according to hole number/pipe diameter

Item	1/D	2/D	3/D	4/D
Standard deviation	0.108	0.028	0.024	0.017
Max-Min	0.377	0.075	0.085	0.060

는 바와 같이 유공 개수가 증가할수록 유출량의 균등성이 향상되는 것을 알 수 있다. Fig. 8과 Table 3에서와 같이 유공 개수가 증가할수록 최대 최소값의 편차가 감소하였는데 1/D에서는 0.377%이었고 4/D에서는 0.06%로 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 미미하였다. 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.

Fig. 9는 유공관의 개수가 1/D에서 4/D로 증가함에 따른 유공 유출구에서 총압력의 변화를 그린 그림이다. 유입구에서 총압력이 적다는 것은 유공관 전체에서 상대적으로 적은 에너지로 유체가 유출된다는 의미로 해석할 수 있다. 진단 결과 유공 개수가 증가할수록 총 압력이 증가하는 것을 알 수 있다. 유공 개수에 따라 압력이 증가한다는 것은

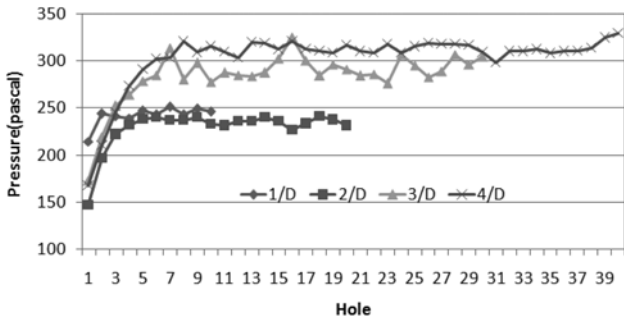


Fig. 9. Total pressure at each hole according to hole number/diameter.

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.

Fig. 10은 유공관 유입 총압력과 유공 전체에서 압력손실 값을 나타낸 그림이다. 그림에서와 같이 1/D에서는 유입 총압이 430.5 pascal인 반면 2/D에서는 유입 총압이 408.8 pascal로 약 20 pascal이 낮아졌다. 또한 유출구에서 압력강하도 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 면적비에서 유공의 개수가 증가하게 되면 유공에 의한 유체의 접촉면이 증가하여 유공과 유체의 접촉에 의한 마찰손실과 점성저항 등에 의해 에너지 손실이 증가하게 된다. 따라서 일반적으로 유공 개수에 비례하여 에너지 소모가 증가하는 경향을 나타낸다. 하지만 진단 결과 1/D 보다 2/D에서 에너지 손실이 보다 적다는 것은 이와 같은 마찰손실과 점성저항 등의 에너지 손실 요인이 가장 적은 수리적 구조를 갖고 있다는 것을 의미한다. 즉 유입 총압이 적다는 것은 적은 에너지로 유체가 유출된다는 의미이며 또한 압력강하 값이 작아진 것은 유공에서 에너지 손실이 적다는 것을 의미한다. 따라서 유공 개수는 2/D로 설계하는 것이 에너지 소모가 가장 적고 수리학적으로 가장 유리하다는 것을 알 수 있다.

### 3.5. 유공관 길이

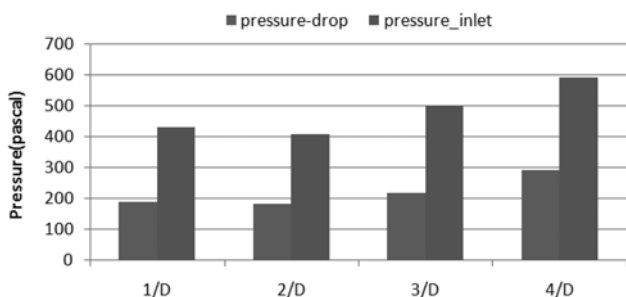


Fig. 10. Pressure-drop and pressure-inlet according to hole number/diameter.

유공관의 길이는 단위 공정별 설치 장소 및 위치 또는 그 역할에 따라 다양하게 변할 수 있다. 동일한 유공 면적비(Area ratio)와 유공 개수를 갖고 있다하더라도 유공관 길이가 달라지면 유공관 내 압력 분포가 달라지기 때문에 유공에서 유출되는 유출량의 균등성이 달라질 수밖에 없다. 따라서 동일한 면적비와 개수/D 에서 유공관 길이, 유입유속에 따른 균등성의 차이를 규명해야 목표로 하는 균등성을 확보하기 위한 적절한 유공관 길이를 설계할 수 있다.

본 연구에서는 면적비가 0.2%이고, 유공 개수는 2/D, 유공관 길이는 각각 1 m, 5 m, 10 m, 15 m, 20 m이고 유속은 0.06 m/s, 3 m/s 두 가지 경우에 대해 유출량을 평가하였다. Fig. 8-10은 유입 유속이 0.06 m/s일 때 유출량을 평가한 결과이다. 유출량은 유공관 길이 방향으로 10%씩 증가되는 지점에서 유출량을 평가하였다. Fig. 11에서와 같이 1 m, 5 m, 10 m까지는 유출량의 편차가 크지 않고 대체로 각 유공관으로 균등하게 유출되는 것으로 나타났으나 15 m, 20 m 등으로 길이 증가하면 유출량은 전단에서 증가하고 후단으로 갈수록 감소하는 경향을 나타내었다. 이와 같은 요인은 유공관의 정압(Static pressure)분포로 설명할 수 있는데 Fig. 12에서 유공관 내 정압이 전단에서 높고 후단으로 갈수록 낮아지는 것을 보여주고 있다. 이와 같이 전단에서 유출량이 많고 후단으로 갈수록 유출량이 적은 이유는 유입 유속이 낮은 경우 유공관이 일정 길이 이상으로 길어지면 유공관 후단까지 압력이 전달되지 못하기 때문이다. 즉 전단이 후단보다 정압이 높은 것은 저속으로 유입된 유

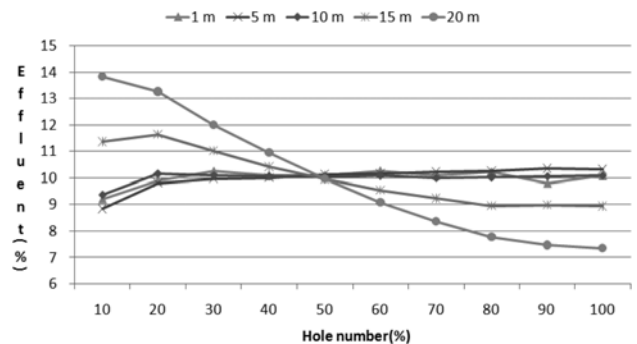


Fig. 11. Variation of effluent (%) according to length of pipe (Inlet velocity : 0.06 m/s).

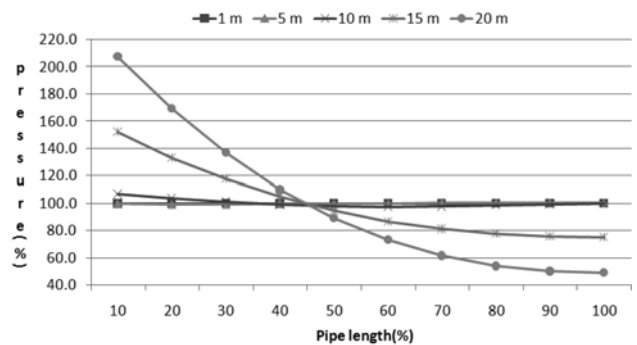


Fig. 12. Variation of static pressure (%) according to length of pipe(Inlet velocity : 0.06 m/s).

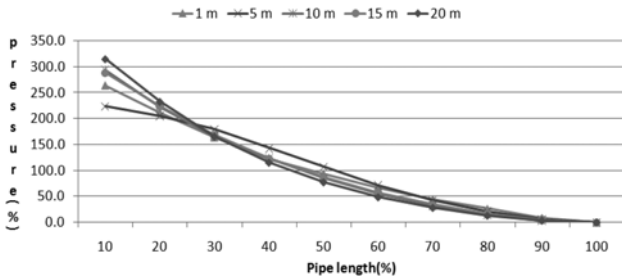


Fig. 13. Variation of dynamic pressure (%) according to length of pipe (Inlet velocity : 0.06 m/s).

량이 전단 유공으로 유출되고 후단으로 갈수록 유출량이 적어지고 수압 또한 감소되기 때문이다. Fig. 13은 유공의 길이별 동압(Dynamic pressure)을 나타낸 그림으로 유공관 길이 방향으로 갈수록 유속이 감소되고 따라서 동압(유동 에너지)가 유공관 길이와 상관없이 일정 비율로 감소하는 경향을 나타내고 있다.

Fig. 14~16은 유공관 유입 유속을 3 m/s로 하였을 경우 유공관 길이별 유출량을 진단한 결과이다. Fig. 13에서와 같이 유공관 길이 1 m, 5 m에서는 유출량의 비율이 거의 균등하였으나 10 m부터는 전단보다는 후단으로 갈수록 유출량이 증가하는 경향을 나타내었다. 이와 같은 결과는 유공관 중심에서 길이 방향의 정압을 그린 Fig. 15에서도 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. 따라서 유공관으로 유입되는 유

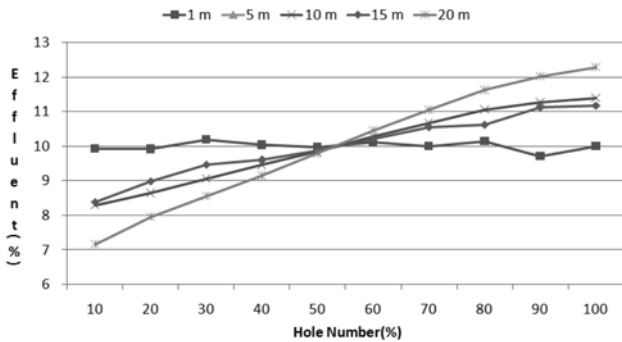


Fig. 14. Variation effluent (%) according to length of pipe (Inlet velocity : 3 m/s).

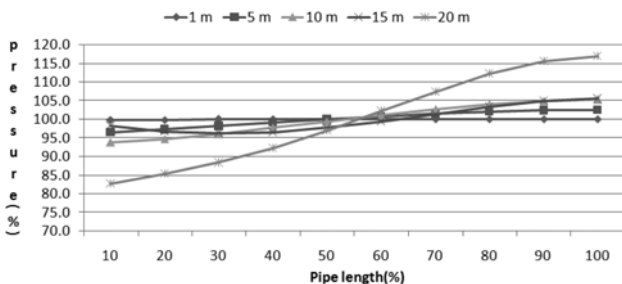


Fig. 15. Variation of static pressure (%) according to length of pipe (Inlet velocity : 3 m/s).

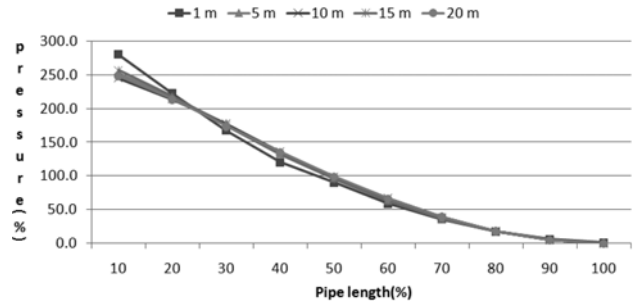


Fig. 16. Variation of dynamic pressure (%) according to length of pipe (Inlet velocity : 3 m/s).

Table 4. Max. value-min. value of effluent according to length of pipe (D=100 mm, v=0.06 n/s, 3 m/s)

Velocity Length	1 m	5 m	10 m	15 m	20 m
0.06 m/s	1.0 %	1.3%	1.5%	2.7%	6.5%
3 m/s	0.5 %	1.4%	2.6%	2.8%	5.1%

속이 약할수록 전단으로 유출량이 많아지고 유입유속이 강할수록 유공관 후단으로 유출량이 증가하는 경향을 보이게 된다. Fig. 16은 유공관 내 동압을 나타낸 그림으로 후단으로 갈수록 유속이 감소하면서 일정한 비율로 동압이 감소하는 경향을 나타내고 있다.

Table 4는 유공관 면적비가 0.2%이고 직경 100 mm인 유공관의 길이별 유출량의 편차를 진단한 결과를 유입 유속 별로 나타내었다. 유속이 느린 침전지와 같은 공정에서 유공관 유출량의 편차를 2%로 하기 위해서는 유공관 길이는 10 m 이하로 설계해야 하며 길이를 늘리기 위해서는 유공관 면적비를 0.2% 이하로 감소시켜야 한다. 또한 염소나 응집제 투입관처럼 유속이 빠른 경우 유출량의 편차를 2% 이하로 하기 위해서는 유공관 길이는 5 m 이하로 설계해야 하며 유출량의 편차를 3% 이하까지 허용할 수 있을 경우, 15 m까지 길이를 증가시킬 수 있다.

#### 4. 결론

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

- 1) 유공관 유출량의 균등성은 유공관 표면적 대비 전체 유공단면적 합의 비(면적비)가 작아질수록 향상되는 경향을 보인다. 즉 면적비가 적을수록 유출량 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 유입 유속이 작은 경우(약 0.06 m/s), 유공관 길이가 길어질수록 유출량은 전단에서 증가하고 후단으로 갈수록 감소하며 반대로 유공관 유입유속이 큰 경우(3 m/s) 유공관이 길어지면 유출량은 후단으로 갈수록 증가하는 경향을 보인다.

4) 유공 단면적비가 0.2%이고 유공개수가 2/D일 때 유공관 유입유속이 약 0.06 m/s에서 유공의 유출량의 편차를 2%로 하기 위해서는 유공관 길이는 10 m 이하로 설계해야 하며 유입유속이 3 m/s에서 유출량의 편차를 2% 이하로 하기 위해서는 유공관 길이는 5 m 이하로 설계해야 하며 유출량의 편차를 3% 이하까지 허용할 수 있을 경우 15 m까지 길이를 증가시킬 수 있다.

### 참고문헌

1. 류성호, 권봉기, 이동우, 김광연, 정동규, 박종훈, “전산유체역학을 이용한 유공블러형 하부집수장치의 유동해석,” 대한상하수도학회 · 한국물환경학회 공동추계학술발표회 논문집, c67~c73(2003).
2. 박희경, 김성훈, 윤재홍, 김충환, 김학철, “유공블러형 하부집수장치의 설계 개선 방안 연구,” 한국물환경학회 · 대한상하수도학회, 공동추계학술발표회 논문집, pp. 301~304 (2003).
3. Susumu Kawamura, “Integrated design and operation of water treatment facilities,” second edition, John Wiley & sons, Inc., New York, 160~175(2000).
4. Cao, Z., Wiley, D. E. and Fane, A. G., “CFD simulations of net-type turbulence promoters in a narrow channel,” *J. Membr. Sci.*, **185**, 157~176(2001).
5. Cockx, A., Do-quang, Z., Line, A. and 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).
6. Panneerselvam, R., Savithri, S. and Surender, G. D., “CFD simulation of hydrodynamics of gas-liquid-solid fluidised bed reactor,” *Chem. Eng. Sci.*, **64**(6), 1119~1135(2009).