

RNG $k-\epsilon$ 알고리즘을 이용한 해수취수시스템 분석

김지호¹, 김태원^{2*}, 이승오³, 박영진⁴

¹동부엔지니어링 수자원부, ²(주)지티이,
³홍익대학교 건설도시공학부, ⁴서일대학교 토목공학부

Analysis of Seawater Intake System using the RNG $k-\epsilon$ Alogrithm

Ji-Ho Kim¹, Tae-Won Kim^{2*}, Seung-Oh Lee³ and Young-Jin Park⁴

¹Water Resources Dept., Dongbu Engineering Co., Ltd., ²GTE Co., Ltd.,

³School of Urban & Civil Engineering, Hongik University, ⁴Civil Engineering Dept., Seoil University

요 약 기존 해수취수시스템의 경우 해수오염, 부유물질, 취수의 불안정 및 유지관리의 어려움 등으로 인해 해수취수의 어려움이 발생하곤 하였다. 이와 같은 단점을 극복하고자 매설식 해수취수시스템을 개발하여 격포항에 설치하였다. 본 연구에서는 새로운 시스템의 거동을 검토하고자, 수질관측 및 3차원 수치모의 실험을 수행하였다. 이 취수시스템에 대하여 총 5회에 걸쳐 COD, 총질소, 총인, PH 그리고 부유물질에 대하여 수질분석을 수행한 결과, COD, 총질소, 총인, PH의 경우 취수 전·후 저감 효과는 미미하였다. 그러나 부유물질의 경우 수산용수 1급 5 mg/L 이하로 정화되는 효과가 나타났다. 수치모형은 유한체적법 기반의 CFX 모형과 RNG $k-\epsilon$ 알고리즘을 선정하였으며, 여과사, 외부관 지름 및 두께를 재현하기 위해서 다공성 알고리즘을 적용하였다. 수치모의 실험을 수행한 결과, 2중관 구조가 내외부 관 사이의 공간에 의해 압력의 분포를 균등하게 하여, 흐름 상태나 안정적인 취수측면에서 유리한 것으로 분석되었으며, 취수관을 다열 배치하였을 때 중앙 취수관과 비교하여 양쪽 취수관에서 유량이 0.98배로 감소하였지만 유동의 간섭현상은 발생하지 않았다.

Abstract Seawater intake systems have significant problems due to seawater pollution, suspended solids, unstable intake and maintenance etc. An underground type seawater intake system was newly developed to overcome the existing weaknesses and was facilitated in Gyukpo port. In this study, to check the performance of the new system, the samples for water quality and the 3-D numerical modeling test were conducted. The five times test included the COD, total nitrogen, total phosphorus, pH, and suspended solid for the intake system. The analyses show that the COD, total nitrogen, total phosphorus, PH showed minor changes before and after. On the other hand, the change in suspended solids was significant and water was purified below 5 mg/l, first level fisheries water, after. The numerical model adopted the RNG $k-\epsilon$ algorithm and the CFX model based on the finite volume method. The porosity algorithm was used to reproduce filtered-sand, outer diameter, and thickness. The numerical results showed that the double pipe is advantageous in that it provides a uniform pressure between the inner and outer pipe for the flow to be stable. In addition, the use of multiple intake pipes did not interfere with the discharge reduction of 0.98 at the both intake pipes compared with the central intake pipe."

Key Words : Underground-type Seawater Intake System, Double Pipe, Porosity Method, RNG $k-\epsilon$ algorithm

1. 서론

해수는 해수담수화, 발전소 냉각수, 해양심층수에 의

한 음용수, 어항의 어시장 공급수 등 다양한 분야에서 사용되고 있다. 이때 사용되는 해수를 취수하는 방법은 직접 해수를 취수하는 방식(Open seawater intake)과 대

본 연구는 국토교통과학기술진흥원 건설교통기술촉진연구사업의 연구비지원(13CTAP-C066850-01)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Tae-Won Kim(GTE Co., Ltd.)

Tel: +82-2-2028-3832 email: kimtw00@hanmail.net

Received November 25, 2013 Revised December 4, 2013 Accepted December 5, 2013

수층에서 취수하는 방식(Beachwell intake)으로 구분할 수 있다. 직접 해수를 취수하는 방식의 경우 연안의 해수오염 및 부유물질 등으로 인해 문제가 발생할 때 전처리설비가 복잡해지고 많은 비용이 소모되는 단점이 있다. 이러한 단점으로 인하여 최근에는 깨끗한 원수를 얻을 수 있는 해수 대수층에서 취수하는 방식을 선호하고 있다. 그러나 해수 대수층에서 취수하는 방식의 경우 시설 및 유지관리 비용이 과다하고 환경오염을 유발할 수 있다는 단점이 있다. 어항 주변의 어시장에 해수를 공급하기 위한 시설로서 국내에 시공된 해수취수시스템으로는 다음과 같은 방식이 알려져 있고 이들의 장단점을 분석하면 Table 1과 같다. 이처럼 수질을 개선할 수 있는 시설, 해상 기상에 민감하지 않고 안정적으로 해수를 취수할 수 있는 시설, 최대한 유지관리가 용이한 시설이 요구되고 있는 실정이다. 국내의 경우 소규모 해수취수시스템에 대한 개선 방안 연구는 미진한 상태이며, 정수공정에서 유공관을 설계함에 있어서 전산유체역학적 기법을 활용하여 유공관 설계인자들을 도출한 연구는 진행되고 있는 실정이다. 정수공정에서 유공관의 경우 균등한 압력으로 일정한 유량을 유출시키는 설비로 취수시 최대한 균등하게 유량을 취수할 수 있도록 설계인자를 도출함에 있어서 유사하기 때문에 기존 연구결과를 검토하였다.

조영만 등(2010)은 정수공정에서 상용 CFD 프로그램인 Fluent을 이용하여 유공관에서 유공의 직경, 개수, 배치간격, 길이 등 설계인자들에 대하여 검토하였다. 유공관 설계에서 유공 면적비가 작아질수록 유출 균등성은 그에 비례하여 향상되며 또한 동일한 면적비에서 유공

의 개수가 증가할수록 유출량 균등성은 향상된다고 제안하고 있다[1]. 또한 조영만 등(2011)은 정수공정에서 활용되고 있는 압력수 확산공정에 대해 혼합거리, 확산관의 크기, 위치 등을 전산유체역학 기법을 활용하여 제시하였다. 상용 CFD 프로그램 활용은 정수처리공정의 진단과 개선에 매우 적극적으로 활용되고 있으며, 향후 정수공정 효율 증진에 크게 이바지 할 것으로 판단된다고 제안하고 있다[2]. 김지호 등(2013)은 취수관 폐색을 제어하기 위한 매설식 해수취수시스템 개발에 대하여 현장검증 및 3차원 수치모의 실험을 통해 매설식 해수취수설비의 타당성을 제안하였다[3]. 홍익대학교 과학기술연구소(2011) 및 김태원 등은 CFX 모형을 이용하여 근거리 해수취수시스템에 대하여 3차원 수치모의실험을 수행하였다[4, 5].

본 연구에서는 소규모 해수취수시스템에서 제기된 문제점들을 최대한 개선한 매설식 해수취수시스템에 대하여 검토하였다. 현재 격포항에 설치되어 있는 매설식 해수취수시스템에 대하여 전산 유체역학적 진단을 통해 설비의 적정성을 검토하였다. 이와 같은 수치해석 방법은 향후 해수취수시스템 설치에 설계 자료로 활용될 수 있을 것이다.

2. 수치해석 방법

2.1 RNG k-ε 알고리즘

격포항에 설치된 매설식 해수취수시스템에 대하여 3차원 수치모의를 수행하기 위해서는 우선 몇 가지 사항

[Table 1] Methods of Seawater Intake System

Form	Small individual seawater intake	Seawater Intake in outside the harbor	Seawater Intake in inside the harbor
intake system	▪ direct intake from individual sources using small pump	▪ intake from outer port using submerged pump and conveyance to storage	▪ intake from inner port using pumping and direct piping system
amount	▪ small sized intake	▪ medium sized intake	▪ medium sized intake
Advantage	▪ easy to install and maintain	▪ relatively good water quality	① good water quality as result of sea water filtering ② less variation of the amount of intake ③ maintain clean facility
Shortcoming	① vulnerable to suspended materials from inner port ② expensive to maintain	① require large pump capacity due to long pipe line ② weak to weather condition ③ difficult and expensive to maintain outer port facilities	① high initial expenses due to broad and deep digging ② temporary intake system needed during maintenance ③ difficult to construct due to large sized pipe burial ④ difficult to repair after subsidence of large pipe ⑤ long construction duration

을 해결해야 한다. 첫째 2 mm 여과사를 어떻게 재현할 것인가? 둘째 여과층 내에 매설되어 있는 2중관 구조에서 외부관의 경우 지름 및 두께가 몇 mm 정도를 이룰 어떻게 재현할 것인가? 이와 같은 문제를 해결하기 위해서 매개변수 계산 및 기법을 적용하였다.

여과사의 경우 2 mm 단위입자로 구성되어 있다. 이 여과사를 단위입자로 인식하여 수치모의 격자를 구성할 수 없기 때문에 일정 공극을 갖는 솔리드로 해석할 수 있는 다공성 알고리즘(Porosity algorithm)을 적용하였다. 현재 가장 많이 사용되고 있는 투수계수 추정방법 중의 하나인 Creager가 제안한 입도별 투수계수에서 D_{20} 을 평균입경 2.0 mm로 가정하면 투수계수(K)는 1.8 cm/s 이다[4, 6]. 따라서 이 투수계수를 식 (1)에 대입하여 계산하면 손실계수(Quadratic coefficient)는 1.341×10^8 이며, 이 값은 여과사의 물성치로 수치모의 프로그램 입력자료로 적용하였다.

$$\text{Quadratic Coefficient} = \frac{dp}{dz} \cdot \frac{1}{V_0^2} \quad (1)$$

$$\frac{dp}{dz} = \frac{1}{K} \cdot \frac{Q}{A} \cdot \rho \cdot g \quad (2)$$

여기서, K 는 투수계수(m/s) = 0.018 m/s, V_0 [$Q/(A \cdot e_{sand})$]는 여과사내 유체속도, Q 는 여과유량 = 7,500 t/day = 0.0868 m³/s, A 는 여과면적 = 21 m x 11 m = 231 m², e_{sand} 는 여과사 공극률 = 0.3, ρ 는 해수밀도 = 1,028 kg/m³, g 는 중력가속도이다.

외부관은 중심간격 5 mm, 직경 2 mm의 구멍을 갖는 형태로 구성되어 있으며, 내부관과의 간격은 6 mm이다. 취수관의 길이는 20 m로 관경의 길이와 비교하여 외부관 직경 및 두께가 너무 작기 때문에 수치기법상 유한요소법 및 유한체적법이더라도 이를 정확히 재현하기는 격자 생성에 어려움이 발생할 수 있다. 이와 같은 상황을 극복하기 위해서 외부관은 공극을 갖는 솔리드로 가정하여 해석하였으며, 관의 두께 또한 얇아서 해석의 수렴성이 낮아지므로 관의 두께를 4배 늘려서 해석하였다. 동일한 압력손실 조건을 설정하기 위해 원래의 손실계수의 1/4을 적용함으로써 외부관의 두께가 증가하였어도 외부관을 통과한 후의 압력손실은 동일하게 된다. 외부관의 손실계수는 식 (3)으로 구할 수 있다.

$$\text{Quadratic Coefficient} = \frac{dp}{dz} \cdot \frac{1}{w_0^2} \quad (3)$$

$$\frac{dp}{dz} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot w_0^2 \cdot \zeta \quad (4)$$

여기서, ζ 는 환산 계수 = $[\zeta_0 + \overline{\epsilon_0^{Re}}(\zeta_0 - \bar{f})^2]/\bar{f}^2$, ζ_0 는 $f_1(Re)$ 로 실험을 통해 결정되는 변수, $\overline{\epsilon_0^{Re}}$ 는 $f_2(Re)$ 로 실험을 통해 결정되는 변수, $Re = w_0 d_h / \nu$, $\zeta_0 = 1 + 0.707 \sqrt{1 - \bar{f}}$, w_0 는 여과사내 유체속도 = $Q/(A \cdot e_{sand} \cdot e_{outer pipe}) = 7.830 \times 10^{-3}$ m/s, d_h 는 외부관 유공의 직경 = 0.002 m, $e_{outer pipe}$ 는 외부관 공극률 = 0.16 = \bar{f} , ν 는 해수의 동점성계수 = 1.17×10^{-6} m²/s, g 는 중력가속도이다. 식 (3)과 (4)를 이용하여 계산된 손실계수는 6.823×10^6 이다. 외부관의 두께를 4배 확대하였기 때문에 실제 적용되는 손실계수 값은 1.7058×10^6 이다.

해수취수시스템에 대하여 수치모의를 수행하기 위해서는 수치기법상 유한차분법을 기반으로 하는 모형은 몇 mm 간격에 대하여 격자를 구성하는 것이 어렵기 때문에 유한요소법 또는 유한체적법을 기반으로 하는 모형을 선정하였다. 선정된 모형은 CFX이다. CFX는 ANSYS사에서 개발한 3차원 유체해석 프로그램으로 수치기법은 유한체적법이다. 지배방정식은 연속방정식, 운동량 방정식 그리고 Volume fraction 운송방정식이다. 지배방정식과 메움문제를 해결하기 위해 CFX에서 제공하는 난류모형은 zero 방정식, standard $k-\epsilon$ 방정식, RNG $k-\epsilon$ 방정식, Reynold Stress 방정식 등이 있다. 본 연구에서는 zero 방정식, standard $k-\epsilon$ 방정식보다 계산 시간은 길지만 복잡한 난류 흐름을 더욱 정확하게 모의할 수 있기 때문에 RNG $k-\epsilon$ 방정식을 선정하였다. Reynold Stress 방정식은 와점성계수를 가정하지 않는 모형으로 $k-\epsilon$ 모형들보다는 너무 계산시간이 길기 때문에 선정하지 않았다. 본 모형은 해석 대상이 매우 복잡한 형상을 가졌다 하더라도 형상 및 격자를 생성할 수 있으며, 고체와 유체의 접촉면에서의 흐름을 정확하게 표현할 수 있는 장점이 있다[7].

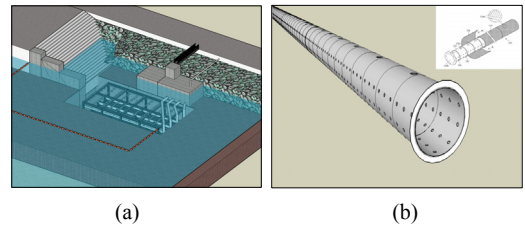
본 연구에서는 취수관 길이와 비교하여 유공의 제원이 너무 작은 경우에 대하여 수치모의를 수행하는 방법 및 취수시설에 대하여 수리학적 가능성을 검토하였으며, 여과성에 대한 수질개선을 확인하기 위해서 수질관측을 수행하였다.

2.2 매설식 해수취수시스템

현재 격포항에 설치된 매설식 해수취수시스템은 부유물질 농도가 높아 양질의 해수를 직접 취수하기 곤란한 해안에서 해중에 여과사를 이용한 여과지를 설치해 부

유물질이 저장된 해수를 2중관 구조의 취수관을 이용하여 직접 취수하고, 취수된 해수를 어촌 등 사용처에 직접 공급하는 방식이다. 이 시설은 여과된 해수를 취수함으로써 취수시설의 효율을 극대화하였으며, 취수지에 직접 강제 역세척 장치를 설치하여 취수관의 폐색으로 인한 취수시설의 가동중단을 효율적으로 방지했다. 매설식 해수취수시스템은 기존의 해수취수시스템(소규모 개별 해수취수시스템 및 항외 해수취수시스템)이 갖고 있던 단점인 취수 수질의 불안정성에 따른 어류폐사, 공급수량의 부족 및 고가의 유지관리비 문제를 해결한 취수시설이다.

격포항에 설치된 매설식 해수취수시스템(Fig. 1 참조)은 취수관 주변 2 mm 직경의 모래를 여과제로 이용하여 취수성능과 역세척 효율을 높였으며, 여과사의 두께는 취수관 중심으로 상부는 2 m, 하부 1 m 포설하여 여과성능을 높였다. 격포항의 경우 간조와 만조의 차이가 7.0 m로 해수면의 복원력을 이용하여 여과에 가해지는 투과압력을 변화시켜 여과효율을 증가시킬 수 있는 지역적 잇점을 가지고 있으며, 간조시의 수위와 여과사의 상부가 일치하는 구조로 설치되어 있다. 취수관은 스트레이너형과 유공관형의 장점을 조합한 2중관 구조로서, 외부관은 타공관을 등갈래 말아 내부관의 외측에 연속적으로 용접하여 구성하였다. 내·외부관 사이에 6 mm 간격을 둠으로써 서로 다른 크기를 가지는 유공이 형성된 내·외부관 사이의 유입/유출압 버퍼 공간을 형성하였다. 외부관은 여과사가 내부로 유입되는 것을 방지하고 압력 집중에 의한 여과사의 석화현상으로 내부관의 유공이 폐색되는 것을 방지하기 위해 내부관과 일정한 간격을 두고 직경 2 mm의 타공관으로 구성하였다. 강제 세척시설로서, 산기관을 통한 공기분사와 취수관을 통한 역세척수의 공급으로 여과사의 공극을 메우는 슬러지를 부유시키고 부유된 슬러지를 포집관을 통해 포집하는 방식으로 여과사를 주기적으로 세척할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 매립설치로 취수관, 역세척장치 등을 해저 지반에 매립하여 폭풍 등 외력에 의해 해수취수시스템의 손상을 방지하여 구조물의 안정성을 확보하였고, 해수 취수부를 해저 지반에 매립함에 따라 취수지역의 해상 기상 악화에 따른 파손을 최소화하여 해수 공급의 안정성을 확보하였다. 그리고 해수 취수 및 공급을 위한 펌프, 역세척을 위한 송풍장치 등을 콘크리트 구조물의 펌프실 내부에 배치하여 펌프 등의 고장 확인 및 수리가 용이하게 이루어지고 유지관리 인원을 최소화할 수 있도록 하였다.

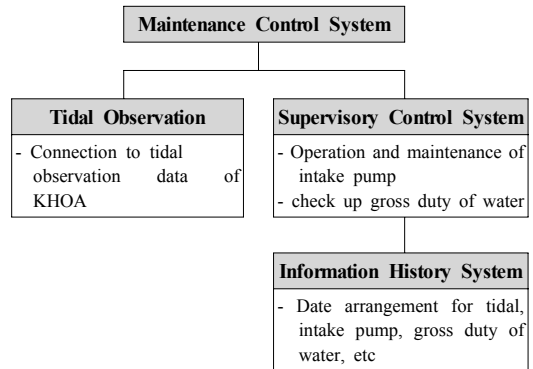


[Fig. 1] Underground-type Seawater Intake System
(a) Seawater Intake Facility (b) Pipe

2.3 유지관리 시스템

현재 격포항에 설치된 매설식 해수취수시스템의 경우 관리인원이 취수 현황을 수기로 작성하고 있는 실정이다. 작성 항목들은 시간, 조위현상(밀물 또는 썰물 현황 등), 펌프 작동 유무 등이다. 이와 같이 수기로 작성하는 것보다는 향후 유지관리 시스템(Fig. 2 참조)을 설치할 경우 보다 효율적일 것으로 예상되며, 설치 시스템 구성은 다음과 같다.

조위관측은 국립해양조사원에서 구축한 국가해양관측정보와 연계한다면 조위 변화에 따른 취수량을 정확히 표출할 수 있으며, 이를 통해 감시제어시스템에서 조위변화에 따른 취수량 검토 및 운영을 효과적으로 수행할 수 있을 것이다. 또한 정보이력관리시스템 구축을 통해 자료 관리를 보다 효율적으로 관리할 수 있으며, 향후 스마트폰과 연계한 표출시스템을 적용한다면 현장에서 관리자가 손쉽게 해수취수 관리시스템을 관리 운영할 수 있을 것으로 예측된다.



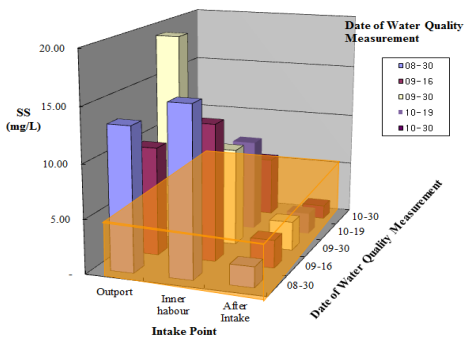
[Fig. 2] Maintenance Control System

3. 결과 및 고찰

3.1 여과층을 이용한 전처리

여과층을 설치한 목적은 우선적으로 부유물질 저감에

있다. 소규모 해수취수시스템의 경우 어항 주변의 어시장, 회센터 및 횃집에 해수를 주로 공급하는 용도로 이용되는데, 부유물질이 함유된 해수의 경우 어류에 악영향을 미친다. 부유물질의 유기성 성분은 물속에 체류하면서 분해되어 DO를 소모시키는 작용을 하며, 무기질소와 무기인 등의 무기성 성분 등은 부영화현상을 일으키는 원인이 되고 있다. 또한 어류의 아가미에 부착되어 어류를 폐사시키기는 원인이 되기 때문에 이와 같은 부유물질을 제거하기 위해서 여과층을 설치하여 수질 모니터링을 수행하였다. 검토한 수질항목은 COD, 총질소, 총인, PH 그리고 부유물질에 대하여 격포항 주변 외항과 내항 그리고 취수된 해수에 대하여 COD, 총질소, 총인, PH 그리고 부유물질 수질항목에 대하여 저감효과를 검토하였다. 측정일자는 2011년 8월 30일부터 10월 30일까지 총 5회에 대하여 수질측정을 수행하였다. 수질 모니터링 결과, COD, 총질소, 총인, PH의 경우 취수후 저감 효과가 미미하였다. 부유물질의 경우 해양환경기준에는 기준이 제시되어 있지 않고, 하천수 수질환경기준의 경우 수산용수 1급, 2급의 부유물질 기준이 25 mg/l 이하로만 제시되어 있어 변별성이 없으므로 호소수 수질환경기준을 검토한 결과, 어류를 장기간 보전하는데 있어 직접적인 영향을 미치는 부유물질의 경우 호소수 수질환경 기준상 15 mg/L 이하(수산용수 2급), 5 mg/L 이하(수산용수 1급) 이하로 제시되어 있다. 부유물질 개선효과에 대하여 검토한 결과는 Fig. 3과 같으며, 여과층을 이용하여 취수된 해수는 수산용수 1급 5 mg/L 이하로 정화되는 효과를 보여주고 있다.



[Fig. 3] Result of Suspended Material (SS)

3.2 2중관 구조

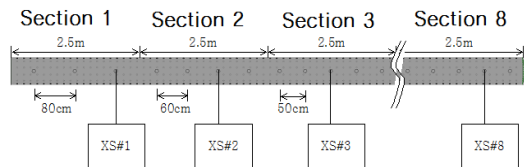
격포항에 설치된 매설식 해수취수시스템은 2중관 구조로 일 계획취수량은 7,500 t/day이며, 3개의 취수관에서 취수가 이루어지기 때문에 하나의 취수관으로

0.029 m³/s (= 29.75 kg/s)가 취수되도록 펌프가 설치되어 있다. 원래 격포항의 취수시설은 4개의 취수관을 갖지만 1개는 예비용으로 실제 취수시는 3개의 취수관만 사용한다. 따라서, 금회 수치모의 경우 상류 경계조건은 수위, 하류는 펌프로 강제취수를 하기 때문에 계획취수량 조건을 부여하였다.

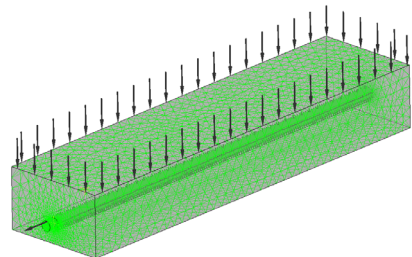
설치된 해수취수시스템의 경우 4개의 취수관(지름 0.5 m)으로 구성되어 있지만, 여과층에 매설된 취수관의 경우 투수계수가 0.018 m/s로 취수시 2.5 m 간격으로 배치된 취수관 사이의 간섭현상은 발생하지 않을 것으로 예상되며, 또한 격자 생성문제로 인해 하나의 취수관만 모의하였다. 현재 취수관 내 유공배치 현황은 Table 2와 Fig. 4와 같다. Fig. 5는 단일관 수치모의 격자 생성도이다.

[Table 2] Holes Interval and Number for Pipe

	1	2	3	4	5	6	7	8
Upper Holes Interval (m)	0.8	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Number of Holes	3	4	5	5	5	5	5	5



[Fig. 4] Sketch of upper holes



[Fig. 5] Grid Generation for Intake Pipe

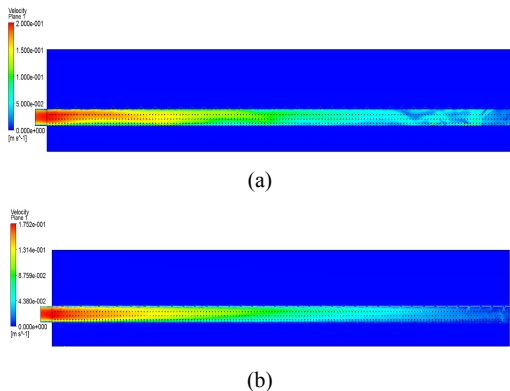
[Table 3] Intake Discharge for each section

[unit: m³/s]

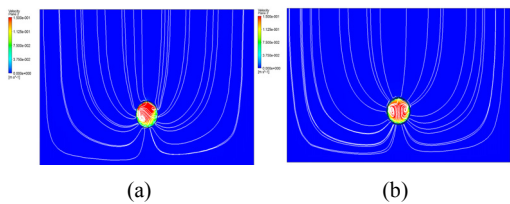
section / outer pipe	1	2	3	4	5	6	7	8
Nothing	4.03	4.06	3.98	3.89	3.64	3.68	3.29	3.19
Exist	4.31	3.74	3.68	3.52	3.60	3.60	3.56	3.76

우선 외부관 유무에 대하여 취수관으로 계획취수량이 유입되는지를 검토하였다. Table 3은 Fig. 3에서 표시된 구간별 유입유량을 검토한 결과이다. 외부관이 없는 경우 유입최대유량과 최소유량의 차는 0.873 kg/s, 구간별 유입유량 표준편차를 분석한 결과, 0.336 kg/s인 반면, 외부관이 있는 경우는 유입최대유량과 최소유량의 차는 0.788 kg/s, 구간별 유입유량 표준편차를 분석한 결과, 0.255 kg/s이다. 이처럼 외부관을 갖는 2중관 구조의 취수관 형태가 좀 더 균등하게 유량을 취수할 수 있는 것으로 분석되었다.

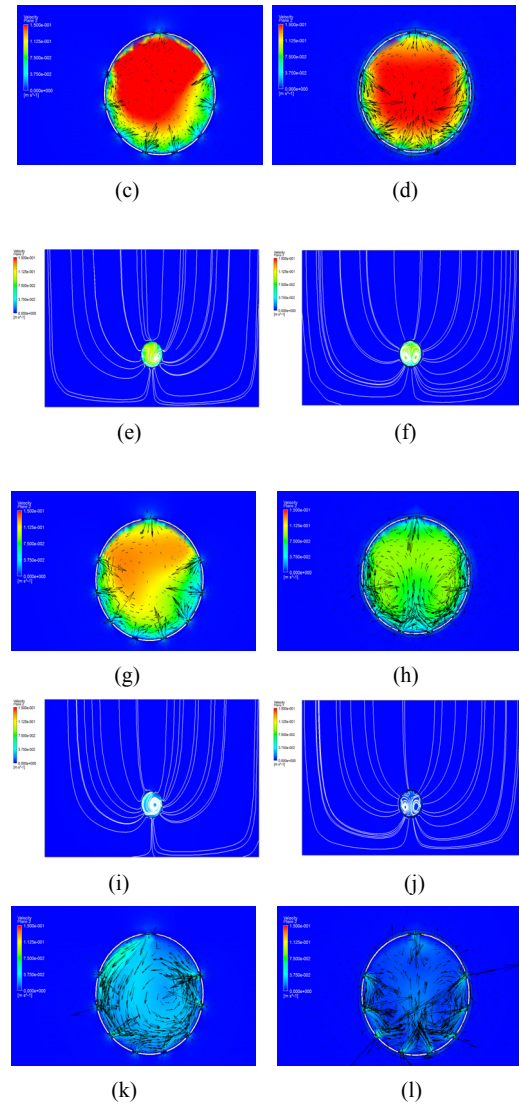
외부관 유무에 대하여 유속분포를 검토한 결과는 Fig. 6, 7과 같다. Fig. 5는 중방향에 대한 유속분포도를 검토한 그림이며, Fig. 6은 Fig. 3에서 각각의 단면에 대한 유속분포를 검토하여 XS#1, 4, 8번 단면에 대하여 유선 및 유속 벡터도를 도시한 그림이다. 외부관이 없는 경우는 취수부에서 멀어질수록 유속분포는 편향되고, 불규칙한 흐름이 분포하였으며, 큰 와류(vortex)가 발생하였다. 이는 취수관으로 유입되는 흐름의 특성이 불균등하기 때문인 것으로 판단된다. 외부관이 있는 경우는 관 내부에서 흐름특성이 대칭적이며, 안정적인 형태로 취수부까지 고른 유속분포가 발생하였다.



[Fig. 6] Velocity Distribution for x-z cross section
(a) There is not outer pipe.
(b) There is outer pipe.



(a) (b)



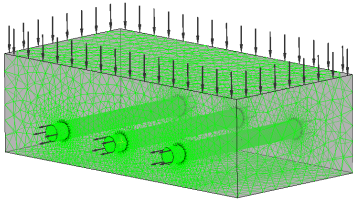
[Fig. 7] Velocity Distribution for y-z cross section
There is not outer pipe. (a) (c) (Section 1)
(e) (g) (Section 4) (i) (k) (Section 8)
There is outer pipe. (b) (d) (Section 1)
(f) (h) (Section 4) (j) (l) (Section 8)

3.3 다열관 분석

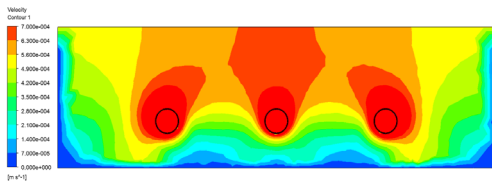
취수관을 2.5 m 간격으로 3열로 배치되어 있을 경우, 취수시 간섭 현상을 검토하였다. 이때 취수관 20 m, 3열에 대하여 격자를 적용할 경우 계산 시간 및 저장 용량의 한계로 인해 관의 길이는 5 m로 설정하여 분석하였다(Fig. 8 참조). 상류 경계조건은 수위, 하류경계조건은 취수량 조건을 부여하였다.

수치모의 결과 취수량은 좌열이 29.25 kg/s, 중앙열이

29.75 kg/s, 우열이 29.29 kg/s로 가운데 기준으로 양옆이 약 1.6 % 감소하였다. 그러나 1.6 %의 취수량 감소는 취수량 변화에 큰 영향을 끼치지 않는 것으로 간주하였다. 따라서 현재 설치된 2.5 m의 간격이 주변 관의 영향을 주지 않는 적절한 간격이라고 판단된다. 취수부에서 2.5 m 떨어진 부분에 대하여 유속분포를 검토한 결과, 취수시 간섭현상은 발생하지 않는 것으로 분석되었다.



[Fig. 8] Grid Generation for multiseriate pipe



[Fig. 9] Velocity Distribution for multiseriate pipe

4. 결론

본 연구에서는 소규모 해수취수시스템에서 제기된 문제점들을 반영하여 격포항에 설치된 매설식 해수취수시설에 대하여 수질모니터링 및 3차원 수치모의 실험을 수행하여 수리학적 검토를 수행하였다.

2011년 8월 30일부터 10월 30일까지 총 5회에 대하여 수질항목은 COD, 총질소, 총인, PH 그리고 부유물질에 대하여 격포항 주변 외항과 내항 그리고 취수된 해수에 대하여 수질분석을 수행하였다. 수질 모니터링 결과, COD, 총질소, 총인, PH의 경우 취수후 저감 효과가 미미하였다. 부유물질의 경우 DO의 고갈, 부영화현상 유발, 어류의 아가미에 부착되어 어류를 폐사시키는 원인이 되기 때문에 호소수 수질환경 기준에 의거하여 검토한 결과, 여과층을 이용하여 취수된 해수는 수산용수 1급 5 mg/L 이하로 정화되는 효과를 보여주고 있다.

매설식 해수취수시스템에서 2 mm 여과사 및 2중관 형태로 구성된 취수관에서 외부관 유공의 지름 및 두께가 몇 mm에 불과하여 이를 재현하기 위해서는 공극을 갖는 슬리드로 가정하여 해석하였으며, 또한 수치기법에

서 유한체적법을 기반으로하는 CFX 모형을 선정하여 현재 설치된 취수관에 대한 수리학적 거동을 해석하였다.

외부관이 있는 경우, 즉 2중관 구조가 내·외부 관 사이의 공간에 의해 압력의 분포를 균등하게 하여, 흐름 상태나 안정적인 취수측면에서 유리한 것으로 분석되었으며, 취수관을 다열 배치하였을 때 양측의 유량이 0.98 배로 감소하였지만 간섭현상은 발생하지 않았다.

현재 격포항에 설치된 해수취수시스템은 여과층 내 취수관을 매설하는 방식을 통해 부유물질 저감 및 2중관 구조를 선정하여 안정적인 흐름을 확보할 수 있는 취수 방식을 제안하고 있다. 따라서 이와 같은 설치방법 및 검토결과는 향후 해수취수시스템 설계시 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

References

- [1] Youngman Cho, Soojeon Yoo, Jaesoon Roh, Jaehoon Bin. "Design of the Perforated Pipe in Water Treatment Process Using CFD". *Journal of KSEE*, Vol. 32, No. 9, pp. 887~893, 2010.
- [2] Youngman Cho, Soojeon Yoo, Jaesoon Roh, Jaehoon Bin, Kwangju Choe, Kwangug Lee, Gibong Lee, Jeonggyu Lee. "Evaluation of Pressurized Water Diffusion in Water Treatment Process Using CFD". *Journal of KSEE*, Vol. 33, No. 5, pp. 359-367, 2011.
- [3] Ji Ho Kim, In Gyu Lim, Seung Oh Lee, Young Jin Park. "Development of Undergrounding-type Seawater Intake Facility for Controlling the Intake-pipe Obstruction". *Proceedings of KWARA*, pp. 116-120, 2013.
- [4] The Hongik University Institute of Technology. *The Report of 3D Numerical Simulation for Near part Seawater Intake Facility*(in Korea). 2011.
- [5] Taewon Kim, Jiho Kim, Seungoh Lee, YoungJin Park. "Analysis of Undergrounding-type Seawater Intake System using Numerical Model". *Proceedings of KAIS*, pp. 317-319, 2013.
- [6] JSSMFE. *Handbook of Soil Mechanics*. 1985.
- [7] ANSYS Inc.. *ANSYS CFX-solver theory guide*. Release 13.0, 2010.

김 지 호(Ji-Ho Kim)

[정회원]



- 1994년 2월 : 홍익대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2003년 8월 : 홍익대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2002년 2월 ~ 2006년 3월 : 홍익대학교 과학기술연구소
- 2006년 3월 ~ 현재 : 동부엔지니어링 상무

<관심분야>
토목공학, 수자원

박 영 진(Young-Jin Park)

[정회원]

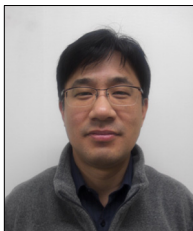


- 1991년 2월 : 홍익대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1998년 2월 : 홍익대학교 토목공학과 (공학박사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 서일대학교 토목공학과 교수

<관심분야>
수자원시스템, 수치해석

김 태 원(Tae-Won Kim)

[정회원]



- 1997년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 서울대학교 지구환경시스템공학부 (공학박사)
- 2005년 1월 ~ 2013년 2월 : 웹솔루션 수자원부
- 2013년 3월 ~ 현재 : (주)지티이 대표이사

<관심분야>
수자원, 정보통신

이 승 오(Seung Oh Lee)

[정회원]



- 1999년 2월 : 한양대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2006년 5월 : Georgia Institute of Technology 토목공학과 (공학박사)
- 2007년 9월 ~ 현재 : 홍익대학교 건설도시공학부 교수

<관심분야>
토목공학, 수자원