

PIV를 활용한 성층수조에서 선택취수방안에 대한 실험적 연구

Experimental study for Selective Withdrawal on Stratified Water Tank by using PIV

손병주*, 박재현**, 김영도***

Byung Ju Son, Jae Hyeon Park, Young Do Kim

요 지

고탁수 장기화 문제를 해결하기 위한 방법으로는 고탁수층을 선택취수하여 우선 배제함으로써 하류하천의 고탁수 발생일수를 최소화하는 방법이 있는데, 이와 같은 선택적 취수기법은 저수지 운영에 있어서 고탁수층을 우선 배제한 후 홍수기 이후에 저수지내로 유입되는 청수를 담수하여 호소 내 탁도 저감 효과를 얻을 수 있다.

본 연구에서는 선택취수 시 성층수조의 동수역학적 변화를 분석하기 위하여 국내에서 처음으로 Two-tank 기법을 이용하여 성층구조를 구현해 내었는데, 소금물의 밀도변화를 이용하여 수심 1m의 성층구조를 만들었고, 밀도경사가 상이한 성층구조에서 취수조건을 변화시키면서 비교란 유속계인 PIV 시스템을 이용해 유속의 흐름을 Vector와 Contour로 분석하였다. 선택취수에 대한 흐름의 동수역학적 분석결과 취수유량보다는 밀도성층경사 변화에 더 민감한 반응을 보였다. 취수유량을 줄이거나 밀도성층경사를 급하게 했을 때에는 선택취수 영역(withdrawal zone)의 수직방향 폭은 줄어드는 반면, X축으로의 영향범위는 증가함을 나타냈다. 취수유량을 증가시키거나 성층밀도경사를 완만히 했을 때 선택취수 영역(withdrawal zone)의 수직방향 폭은 증가하였고 X축으로의 영향범위는 축소됨을 나타내었다. 이 결과는 Richardson 수로도 판단되어지는데, Richardson 수가 증가하면 유속에 비해 상대적으로 밀도성층경사가 크다는 것인데 이럴 경우 선택취수 영역(withdrawal zone)의 수직방향 폭 최대가 되고 선택취수 영역(withdrawal zone)의 수직방향 폭은 최소가 된다. 선택취수 영역(withdrawal zone)의 수직방향 폭이 최소가 되면 취수구 직경 D의 1.8배의 값을 가지고 Richardson 수가 최소가 되더라도 취수구 직경 D의 3.3배를 벗어나지 않는다는 결과를 도출할 수 있었다.

핵심용어 : 밀도성층, PIV, Two-tank 기법

1. 서 론

우리나라는 기후 특성상 강우가 여름철에 집중되므로 국내의 대규모 저수지는 정도의 차이는 있으나 홍수기에 대부분 탁수가 발생한다. 여름철의 강우 시 저수지에 주로 유입되는 고탁수층은 상류지천으로부터 유입되는 탁류가 저수지내의 수체에 대하여 밀도차와 유속차를 가지며, 이로 인하여 저수지의 수체와 난류혼합을 일으키면서 저수지의 주변수를 유입하며 하류방향으로 이송·확산되어 간다. 연직 2차원 단면에 대한 탁수의 이송·확산경로는 유입수의 수온과 부유물질의 농도에 의해 결정되는 유입수의 밀도와 저수지의 비선형 밀도성층구조, 그리고 유입수의 흐름특성에 따라 결정된다. 또한 고탁도의 탁수층이 대량으로 유입되었을 경우에 적절한 시기에 고탁수층을 배제하지 않는 경우, 탁질 입자의 물리적 성분으로 인한 침강속도와 저수지 운영 형태에 따라서 때로는 저수지내에 장기간 체류하기도 한다. 이러한 저수지 수질관리를 위해 고탁수층의 진행경로, 시공간적 분포, 그리고 방류량조절 등에 의한 탁수저감효과를 예측할 수 있도록 시스템의 구축이 필요하다.

* 정회원.인제대학교 건설기술연구소 연구원·공학석사·E-mail: coolsbj@hanmail.net
** 정회원.인제대학교 토목공학과 조교수·공학박사·E-mail: jh-park@inje.ac.kr
*** 정회원.인제대학교 환경공학부 조교수·공학박사·E-mail: ydkim@inje.ac.kr

본 연구에서는 밀도성층화된 저수지내에서 정수나 탁수를 선택취수하는 경우에 일정한 수심에 위치한 방류입구로의 접근흐름에 대한 방류유속 및 밀도성층구조의 영향을 실험을 통해 측정하고자 한다. 그리하여 선택취수를 통한 탁수장기화 방지책의 타당성을 조사하고, 댐 관리자가 실제 선택취수시설을 이용하여 탁도저감의 효율을 증가시킬 수 있는 운영방안을 제시하고자 한다.

2. 선택취수를 위한 방류역학

선택취수를 효율적으로 수행하기 위해서는 밀도성층에 따른 접근흐름유속을 제한해야 한다. 그림 1에서 보는 바와 같이 방류유속이 증가하면 밀도성층으로 인한 영향은 줄어들게 되어 일정한 유속값 보다 큰 경우에는 밀도성층이 전혀 없는 위치흐름과 동일한 형태가 된다. 취수시설에의 접근흐름이 밀도흐름에서 위치흐름으로 전이해갈수록 선택취수 효율은 떨어진다(Fischer 등, 1979).

일반적으로 여름철 국내 저수지에서의 수온은 수표면이 약 25℃ 정도이고, 심수층의 최저온도가 약 5~6℃의 값을 지닌다. 또한 수심 5~10 m 사이에서 바람에 의한 혼합효과로 1차적인 수온약층을 이루고, 25~30 m 범위에서 빛의 투과여부에 따른 2차적인 수온약층을 이룬다. 2차 수온약층이후에는 급격한 온도변화를 보이며, 이러한 비선형 밀도분포로 인하여 유입된 탁수층은 대개 2차 수온약층 위쪽으로 형성된다. 이와 같은 온도 및 탁도분포를 갖는 저수지에서 취수시설에서의 방류탁도는 밀도성층구조와 방류위치, 그리고 방류량에 따라 다양하게 나타난다.

온도에 의한 밀도차는 매우 작으나 바닥의 무거운 물이 중력을 이기고 올라와 표면의 가벼운 물과 섞이기 위해서는 매우 큰 힘이 필요하다. 이러한 힘은 바람으로부터 가능하며, 부력은 바람에 의한 난류현상을 감소시키는 역할을 한다. 이와 같은 저수지의 수층별 혼합에 관한 인자들간의 상호작용은 식 1과 같이 부력과 전단력의 비인 무차원 매개변수, Richardson 수에 의해서 나타낼 수 있다(Chapra, 1997).

$$R = \frac{\text{buoyancy}}{\text{shear}} = \frac{(g/\rho)(\partial\rho/\partial z)}{(du/dz)^2} \quad \text{식 1}$$

여기서, g 는 중력가속도, ρ 는 밀도, z 는 수심, u 는 수평방향 유속이고, $R > 0.25$ 인 경우에는 안정된 분포를 의미하고, $R < 0.25$ 인 경우에는 전단력에 의해 난류가 발생한다(Chapra, 1997).

본 연구에서는 지형특성과 횡방향 접근흐름의 영향을 무시할 수 있다고 가정하고, 밀도성층을 간략화시켜, 밀도성층구조와 방류특성 변화에 따른 접근흐름의 변화를 검토하고자 하였다. 본 연구결과를 바탕으로 밀도 접근흐름에 대한 기본적인 이론을 수립할 수 있으며, 향후 다양한 현장조건에서의 배제효율을 계산할 수 있을 것으로 판단된다.

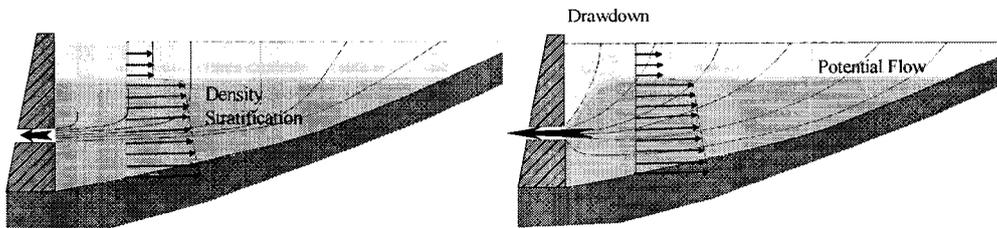


그림 1 방류유속에 따른 밀도 접근흐름의 변화(Fischer 등, 1979)

3. 실험장치구성

본 연구는 밀도, 온도등에 의해 성층이 이루어진 저수지를 구현해 실험해야하므로 무엇보다도 성층구조를 형성하는 것이 중요하다. 성층을 형성하기 위해 사용된 실험 장치는 크게 3가지 시설이 있는데, 다음과 같이 분류 할 수 있다.

저류·혼합수조(Storage & Mixing Tank), 성층실험수조(Lab Tank), 성층흐름을 측정할 PIV 시스템으로 이루어진다. 실험에 사용된 저류·혼합수조와 성층실험수조는 Two-tank 기법을 이용하기 위한 수조이다. 저류·혼합수조에는 소금을 용해시켜 밀도를 가지게 되는 소금물을 만든다. 일정농도의 염도를 가진 저류·혼합수조에 수돗물(Q1)을 공급함과 동시에 성층실험수조로 소금물(Q2)을 배출한다. 이 과정에서 소금물의 초기의 질은 농도가 점점 열어지게 되면서 성층실험수조로 쌓여서 성층이 형성되어지게 된다.

본 연구에서는 이와 같이 만들어진 밀도성층에 수위별, 유량별로 취수하면서 PIV시스템을 이용하여 흐름을 해석하고자 하였다. 그림 2은 성층수조실험을 개념화하여 나타낸 것이다.

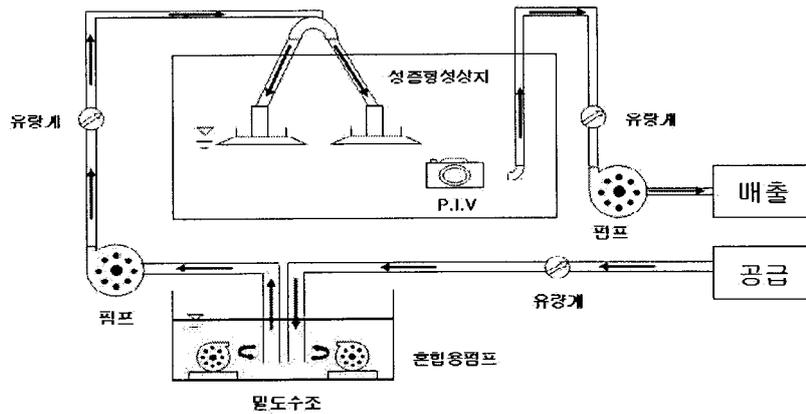


그림 2 Two-tank 기법을 이용한 실험 개념도 1

4. 실험결과분석

연직유속분포도의 X축은 취수구의 직경 D의 배수만큼 떨어진 지점의 유속을 취수구 단면평균 유속으로 나누어 무차원화 하였고 Y축은 길이 단위를 취수구의 직경 D로 나누어 무차원화 하였다. 연직유속분포도의 경향을 보면 밀도경사가 크고 유속이 빠를수록 선택취수 영역(withdrawal zone)의 수직방향 폭은 줄어들고 영향 범위가 길어지는 것을 알 수 있다. 또한 성층경사가 없을 때에는 취수구에 가까울수록 유속이 증가하지만 X축 방향으로의 영향 반경은 증가하지 않지만, 성층경사가 증가되면서 선택취수 영역(withdrawal zone)의 수직방향 폭 증가는 둔화되고, X축 방향으로의 영향 반경이 증가한다. 그림 3과 4와 같이 연직분포도에서 X=1D가 되는 지점에서 각각의 유량별 무차원 유속비를 기준으로 X=2D와 X=4D의 영향범위를 보면 성층기울기가 크고 유량이 많을 때 X축의 영향범위가 증가하는 경향을 뚜렷해지는데 알 수 있다.

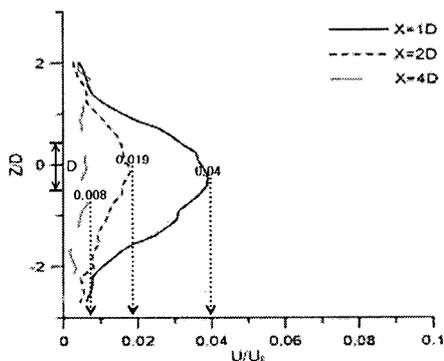


그림 3 연직유속분포도

(밀도경사 0 mg/cm³, 유량 8l/min)

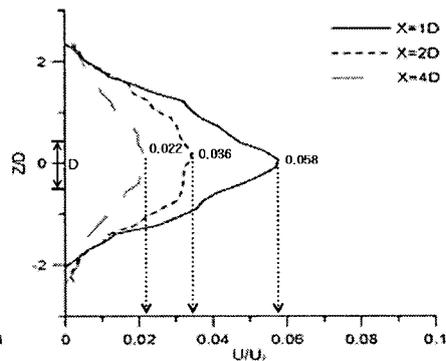


그림 4 연직유속분포도

(밀도경사 26.0 mg/cm³, 유량 8l/min)

5. Richardson 수와 선택취수영역(withdrawal zone)과의 관계

실험결과를 Richardson 수로 해석해보면 성층경사에 비해 상대적으로 유속 빠르면 Richardson 수가 낮아지고 유속에 비해 성층경사가 크면 Richardson 수는 증가한다. 다음 그림 5를 보면 취수폭과 취수구가 동일한 $D=1$ 이 되면 입의의 추세선과 같은 완벽한 선택취수가 된다. 하지만 실험결과를 토대로 Richardson 수를 계산해서 추세선을 그려보면 산분포도와 같이 Richardson 수가 최대가 될 때 $D=1.8$ 까지만 접근한다는 것을 알 수 있었다. 그리고 Richardson 수가 최소가 되더라도 취수구직경 D 의 3.3배를 벗어나지 않는다는 것을 알 수 있었다.

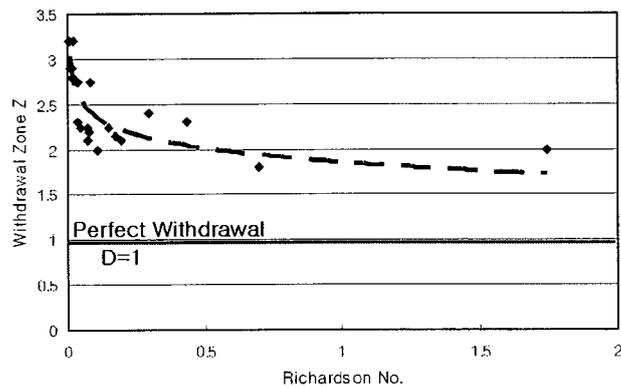


그림 5 Richardson No.와 Withdrawal Zone의 관계

참 고 문 헌

- 이용곤, 김영도, 박기영, 김우구 (2005) "임하호 탁도변화 분석을 위한 2차원 수치모의." 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제 25권, 제 4B호, pp. 257-266.
- 김영도, 이용곤, 고익환, 김우구 (2005) "선택취수를 이용한 댐하류 하천의 수질관리." 2005년도 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, (CD-ROM).
- Fischer, H.B., List, E.J., Koh, R.C.Y., Imberger, J., and Brooks, N.H. (1979). Mixing in inland and coastal waters. Academic Press, New York.