

조력발전용 수문 성능평가를 위한 평면 수리모형실험 Plane Experiments for Estimating Performance of the Sluice of Tidal Power Plant

오상호* · 이광수* · 장세철* · 이달수*
Sang-Ho Oh*, Kwang Soo Lee*, Se-Chul Jang* and Dal Soo Lee*

요 지 : 조력발전용 수문의 성능을 평가하기 위한 평면 수리모형실험을 수행하여 수문의 유량계수 및 수문별 공간적 유속 분포 특성을 규명하였다. 수리모형실험은 평면 개수로에 현장 규모 수문의 1/70 축척 모형 10개를 제작 및 설치하고, 수문 구조물 전·후면에는 Apron 구간을 설치하여 수행되었다. 특히, 유량계수 평가에 영향을 미칠 수 있는 수문 구조물 전·후면에서의 수위 계측위치 및 계측방법을 합리적으로 결정하려고 시도하였다. 실험 유량 및 조위 조건을 변화시키면서 실험을 수행한 결과 본 실험에서의 수문 유량계수는 1.3~1.4로 평가되었다. 한편, 수문 10개 각각의 평균유속을 비교한 결과, 평균유속이 10개 평균값에 비해서 중앙부 수문에서는 2~3% 빠르고, 측면부 수문에서는 4~5% 느린 결과를 얻었다.

핵심용어 : 조력 발전, 수문, 유량계수, 통수성능, 수리모형실험

Abstract : The discharge coefficient and spatial velocity distribution were clarified by carrying out a physical experiment to assess the performance of sluice for tidal power generation. The physical experiment was performed by manufacturing 10 sluice models whose scale is 1/70 of the prototype and installing it in the planar open channel, which has apron sections in front of and behind the sluice models. In particular, it was attempted to reasonably determine the locations and method of measuring water levels that may affect estimation of the discharge coefficient. Based on the experimental results for various conditions of discharges and tidal levels, the discharge coefficient of the sluice in the experiment was estimated as 1.3 to 1.4. Meanwhile, it was found that velocities were 2~3% faster at the sluices near the central region whereas 4~5% slower at the sluices on both sides, in comparison to the average value of the mean velocities of the ten sluices.

Keywords : Tidal power generation, Sluice caisson, Discharge coefficient, Discharge capability, physical experiment

1. 서 론

조수 간만의 차이를 이용하여 전기에너지를 생산하는 조력(潮力) 발전은 조석 에너지원이 고갈될 염려가 없고, 해상풍력 또는 파력 에너지 등 다른 해양에너지원에 비해서 전력 생산 규모를 예측하기 쉽다는 장점으로 인해 여러 국가에서 상용화 개발 또는 타당성 검토가 진행되고 있다. 우리나라의 경우 현재 시화호 조력발전소가 완공되어 시험 발전을 시작하였으며 가로림만, 인천만, 아산만 등 서해안의 주요 조력발전 후보지를 대상으로 여러 연구개발 사업 및 타당성조사 사업이 수행되고 있다.

조력 발전의 기본적 개념은 매우 단순하며, 관련 기술도 비교적 잘 확립되어 있는 편이다. 그러나 전세계적으로 상용 규모의 조력발전소가 건설된 사례가 많지 않기 때문에 조력발전의 효율을 높이고, 친환경성 및 안전성을 제고할 수 있는 세부 기술개발의 여지는 여전히 남아 있다. 특히, 그 중에서도

해수의 유·출입 통로가 되는 수문(sluice)은 발전량과 직결되는 유량 확보 측면에서 높은 중요성을 가지는 설계 대상 구조물이다. 동일한 조건에서 수문을 통과하여 유입되는 유량을 극대화시키게 되면 발전 시 이용 가능한 용수량이 많아지므로 발전 효율을 더 높일 수 있다. 통상 조력발전소 건설 시 발전 규모(목표 발전량)를 설정하게 되므로, 수문의 통수성능을 증대시키게 되면 목표발전량 달성에 필요한 수문의 설치 대수를 줄임으로써 그에 따른 공사비 절감 효과를 거둘 수 있다.

한편, 조력발전용 수문의 통수성능에 관련된 국·내외 선행 연구는 비교적 많지 않다. 국내의 경우 방조제 또는 댐에 사용되는 배수갑문 등의 통수성능에 관한 연구보고서 또는 학술논문은 다수 찾아볼 수 있지만(권·나, 1986; 농어촌연구원, 1991; 조·박, 1999; 이 등, 2007; 박·이, 2008), 조력발전용 수문의 수리특성에 관한 연구 사례는 그 수가 매우 적은 편이다. 시화호 조력발전소 건설사업과 관련하여 윤 등(2005a, 2005b) 이 실험적 연구를 소개한 바 있으며, 보다 최근에는 특

*한국해양연구원 연안개발 · 에너지연구부 (Corresponding author, Sang-Ho Oh, Coastal Engineering & Ocean Energy Research Department, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan, Kyunggi 426-744, Korea, ohsangho@kordi.re.kr)

정 조력발전소 건설 사업과는 무관하게 효율이 높은 조력발전용 수문 형상을 개발하기 위한 연구가 수행된 바 있다 (이 등, 2008a, 2008b).

이들 연구를 통해서 조력발전용 수문의 주요한 수리적 특성이 규명된 바 있지만, 현업에서 다양한 현장 조건을 고려하여 설계가 진행될 경우 여전히 불확실한 요소가 있으며, 따라서 이러한 어려움을 해소하기 위한 연구 수행의 필요성이 있다. 특히 수문의 통수성능을 평가할 때 자주 활용되는 지표인 유량계수의 평가 방법 및 그 값과 관련해서는 선행 연구 결과 간에 큰 차이가 있었다. 이러한 점에 착안하여 본 연구에서는 3차원 평면개수로에서 수문의 통수성능을 평가하기 위한 수리모형실험을 수행하였으며, 특별히 유량계수 평가와 관련하여 수위계측 위치의 선정 및 평가 방법을 합리적으로 결정하고자 시도하였다. 또한 수문 구조물이 다수 설치될 경우 각 수문의 통수성능이 위치별로 공간적으로 어떻게 달라지는지에 대해서도 고찰하여 주요한 실험결과를 제시하였다.

2. 평면 수리모형실험

2.1 평면 수리모형실험 시설

평면 수리모형실험이 수행된 평면개수로의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 이 평면개수로의 길이는 22.2 m이며, 실험이 가능한 관측구간의 길이는 18.9 m이다. 한편 개수로의 폭은 16.2 m, 높이는 0.5 m이고, 수로의 바닥 높이는 지면으로부터 0.5 m이다. 평면개수로 유입부에는 개수로 내로 유입되는 물을 효과적으로 정류시키기 위하여 다열의 타공판을 설치하여 관측수로로 유입되는 흐름의 평면분포가 최대한 균일하게 유지될 수 있도록 하였다. 한편, 평면개수로 끝 부분에는 플랩 형식의 웨어를 설치하여 평면개수로 내 수위를 조절하였다. 수위 조절용 웨어는 전자식 제어기에 의해서 작동되며, 미세 조절이 가능하여 평면개수로 내 수위를 정밀하게 조절할 수 있도록 제작되었다.

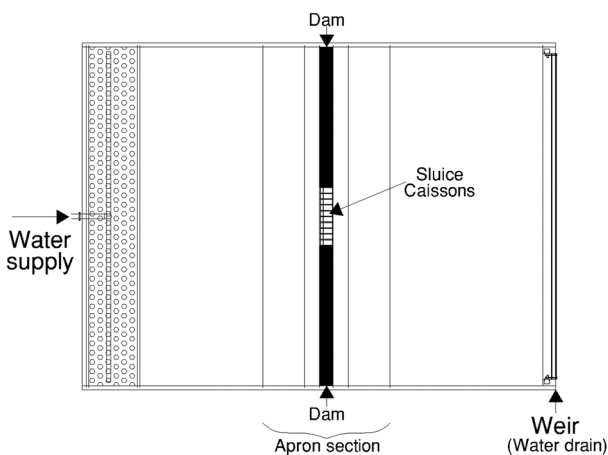


Fig. 1. General view of the planar open channel.

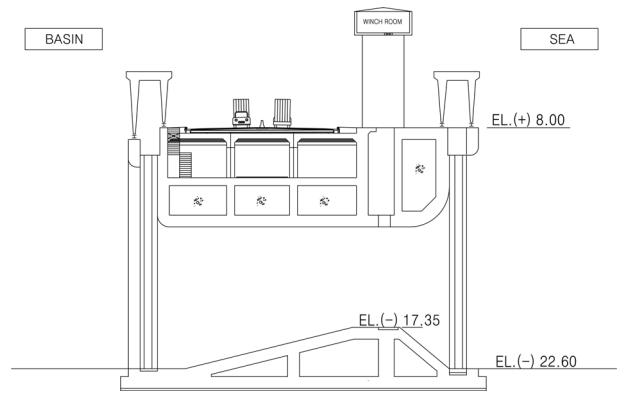


Fig. 2. Schematic diagram of the sluice caisson (prototype).

2.2 수문 구조물 모형 제작 및 설치

수리모형실험을 위한 수문 구조물로는 인천만 조력발전 예비타당성조사 결과를 참고하여 Fig. 2에 보인 것처럼 벤츄리(Venturi) 형식의 수문을 선정하였다. 모형 구조물은 평면개수로의 규모 및 실험 조건 등을 종합적으로 고려하여 원형(prototype)의 1/70로 제작하였다. 실험 축척 결정 시 가장 중요한 요소는 실험유량인데, 이는 통상 수리모형실험 시 적용하는 Froude 상사법칙을 적용할 경우 유량은 실험축척의 2.5제곱에 비례하므로 축척에 따라 가장 민감하게 변하기 때문이다. 따라서 본 실험의 경우에도 유량공급시설의 설치 규모 및 실험유량 조건을 감안하여 모형 축척을 결정하였으며, 1/70 축척이 실험 가능한 최대 축척이었다. 통상 항만구조물의 성능 평가등을 위한 조파실험의 경우 1/100 이하의 축척을 채택하는 경우도 많지만, 개수로 실험의 경우 수위의 절대값 계측이 중요한 요소이므로, 가능한 축척을 1/100보다 대축척으로 하는 것이 바람직하다.

Fig. 1에 보인 것처럼 총 10개의 수문 구조물과 2개의 연결구조물을 아크릴로 제작하여 길이 방향으로 관측구간의 중앙에 설치하였으며, 그 양 측면은 조력발전소 방조제와 같이 물이 통과하지 못하도록 벽을 만들어서 차폐하였다. 모형 수문 1개의 길이는 63.6 cm, 폭은 27.1 cm였으며, 따라서 수문구조물 10개에 해당하는 전체 폭은 2.71 m였다. 한편, 평면개수로 바닥면은 Fig. 3에 보인 것처럼 수문 구조물 전·후면에 물받이(Apron) 구간을 설치하였다. 이처럼 물받이 구간을 설치한 이유는 인천만 조력발전소 설치 예정지의 주변 수심이 비교적 얕아서 수문 구조물 설치 시 굴착을 시행해야 하며, 따라서 급격한 수심 차이가 발생하지 않도록 한 설계안을 따른 것이다. 본 실험에서는 수문 구조물 준설 계획평면도를 참고하여 주변 지반고를 EL.(-)9.0 m로 적용하였다.

2.3 실험조건 및 계측방법

수리모형실험은 세 가지 서로 다른 외해측 조위 조건에 대하여 유량 조건을 일곱 가지로 달리하면서 수행하였다. 외해측 조위는 EL.(±)0.0 m, EL.(-)1.5 m, EL.(-)3.0 m의 세 가지 조건을

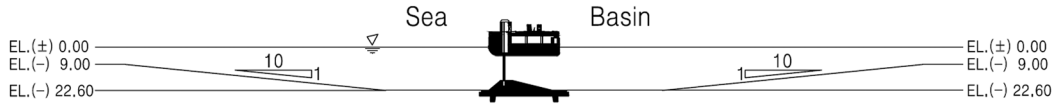


Fig. 3. Apron structures in front of and behind the sluice caisson.

적용하였으며, 실험 유량은 $Q=400, 520, 640, 770, 890, 970, 1070 \text{ m}^3/\text{sec}$ 의 일곱 가지 조건으로 변화시켰다. 다만 위 외해측 조위 조건은 목표 조건으로서 실험 수행 중 최대한 이 목표에 가깝게 되도록 시행착오를 거치면서 계측을 수행하였다. 모든 실험 조건에 대하여 각 실험 조위의 목표값과 재현값 사이의 차이는 1 mm 이내였으며, 이는 현장 조건으로 환산할 경우 대략 7 cm 이내에 해당한다. 실험 유량도 목표 유량의 $\pm 2\%$ 이내에서 형성될 수 있도록 유량공급 장치를 제어하였다.

실험 유량은 유량공급시설에 부착된 전자식유량계의 지지값으로 평가하였으며, 수위는 초음파식 수위계를 이용하여 측정하였다. 수위 계측은 25 Hz의 시간 간격으로 1분간 수행하여 평균값을 구하고, 이러한 과정을 3회 연속적으로 반복하여 3회 평균값을 최종적인 수위로 결정하였다. 만약 계측 진행 중 수위가 급격하게 변하는 경우에는 그 때까지 계측된 데이터를 무시하고 처음부터 다시 3회 계측을 수행하여 수위 계측 평균값이 일관되게 나타나는 경우에만 최종적인 데이터를 수집하였다.

3. 수위 계측위치 선정

수문 구조물의 통수성능을 평가함에 있어 수위 계측위치는 영향을 미치게 되는데, 계측위치 결정에 관해서 참고할 만한 국·내외 문헌 또는 지침이 별로 없는 실정이다. 본 연구에서는 가능한 합리적으로 계측위치를 결정하기 위해서 다음과 같이 실험 조건에 대하여 평면개수로에서 흐름방향 및 횡방향으로 각각 수위 분포를 파악한 후에 그 결과를 바탕으로 수위 계측위치를 선정하였다.

3.1 흐름방향 수위 분포

우선, 흐름방향 수위 분석을 위해서 Fig. 4와 같이 평면개수로의 중앙 단면을 따라서 총 19점에서 평균수위를 계측하였다. Fig. 5에는 그 계측 결과를 나타내었으며, 평면개수로 내 흐름방향의 수위 변화를 잘 나타내고 있다. 그림에서 가로축은 수문 구조물 전면을 원점으로 하여 흐름방향을 양(+)의 방향으로 정의된다. 한편, 세로축은 19개의 각 계측점에서 계측된 평균수위(w)로부터 수문 구조물 전면($x=0$)에서의 평균수위(w_{sc})를 뺀 값을 나타내며, 즉, $x=0$ 인 위치에서의 수위에 대한 상대수위라고 해석할 수 있다.

Fig. 5로부터 수문 구조물 상류측에서는 흐름방향으로의 거리 증가에 따라서 수위가 미세하게 감소하기는 하지만, 급격한 변화가 발생하지는 않는다는 점을 확인할 수 있다. 다만, 평면개수로의 유량 유입부로부터는 가능한 하류측 방향에 수위 계측점이 위치할수록 흐름 안정화 측면에서 더 바람직하다.

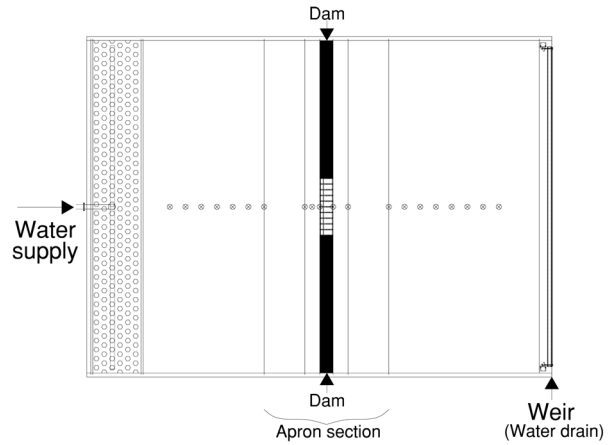


Fig. 4. Locations for measuring streamwise variation of water levels.

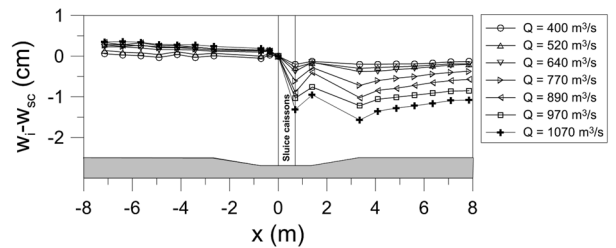


Fig. 5. Streamwise variation of water levels in the planar open channel.

한편, 수문 구조물 전·후면에 Apron 구간이 존재하며, Apron의 형상에 따라서 수문의 통수성능이 달라질 수 있기 때문에 수위 계측점의 위치는 Apron 구간 바깥쪽에 위치해야 할 것이다. 이러한 점을 종합적으로 고려하여 수문 구조물 상류측에서의 수위 계측 위치는 Apron 구간 시작점(경사면 상단)으로부터 상류측 방향으로 1 m 떨어진 곳으로 선정하였다.

3.2 횡방향 수위 분포

한편, 수문 구조물 하류측에서는 수문을 통과한 흐름이 제트(jet)와 유사한 형태로 형성되며, 특히 Fig. 5에 보인 것처럼 Apron 구간 경사면에서 급격한 수위 변동이 발생하기 때문에 수문 구조물 상류측에 비해서는 계측위치를 선정하기가 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 6에 보인 것처럼 횡방향으로 평면개수로의 중앙 위치를 기준으로 0 m, ± 2 m 및 ± 4 m의 5점에서의 수위를 수문 구조물 하류측 Apron 구간 중점(경사면 상단)으로부터 흐름방향으로 0, 1, 2, 3, 4 m 떨어진 다섯 위치에 대하여 각각 계측하고, 그 결과를 바탕으로 하류측에서의 최종 수위 계측위치를 결정하였다.

이러한 계측의 수행 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 그림에서

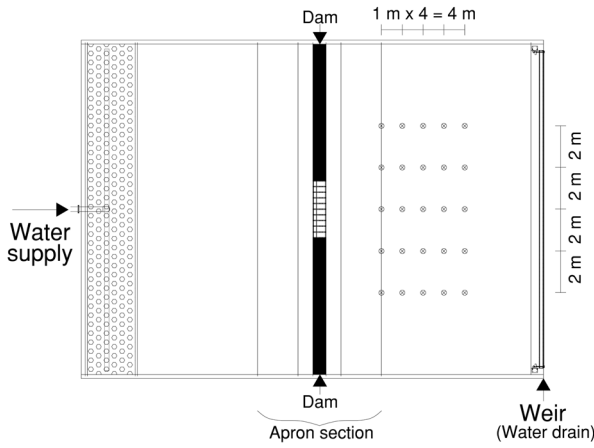


Fig. 6. Locations for measuring lateral variation of water levels.

가로축은 평면개수로 중앙으로부터의 거리(y)를 나타내며, 세로축은 각각의 개별 계측점의 평균 수위(w_i)로부터 중앙($y = 0$) 위치에서의 평균 수위(w_c)를 뺀 값으로서 횡방향으로의 상대 수위 분포를 나타낸다. Fig. 7로부터 수문 구조물에서 하류측 방향으로 갈수록 횡방향 수위 분포가 비교적 균일하게 수렴되어 감을 확인할 수 있다. 특히 Apron 경사면 종점 위치에서는 수문 구조물을 통과한 후류(wake)의 영향으로 중앙부와 양 측면 사이에 수위차가 크게 나타난다. 이러한 큰 수위차는 수문 구조물 하류측으로 갈수록 완화되지만, 경사면 종점으로

부터 하류측으로 3 m 떨어진 지점에서까지도 여전히 남아있는 모습이다. 경사면 종점으로부터 하류측으로 4 m 떨어진 위치에 도달해서야 횡방향 수위 변동폭의 범위가 0.5 mm 이내 정도로 작아지며, 특히, 유량별로도 큰 차이를 나타내지 않음을 확인할 수 있다. 이러한 점에 근거하여 하류측 수위 계측 위치는 1:10 경사면 끝단으로부터 4 m 하류 지점으로 선정하였다.

Fig. 8에는 최종 수위 계측이 이루어진 위치를 표시하였다. 위에서 설명한 것처럼 수문 구조물 전면에서는 Apron 상단에서 상류측 방향으로 1 m, 수문 구조물 후면에서는 Apron 상단에서 하류측 방향으로 4 m 떨어진 지점에서 각각 횡방향으로 수조 중앙 위치를 기준으로 0 m(중앙), ± 2 m 및 ± 4 m의 5 지점에서 수위를 계측하였다. 그리고, 수문 구조물 상류측과 하류측의 최종 수위는 이 각각의 5점의 평균 수위를 공간적으로 평균한 값으로 결정하였다.

4. 실험 결과

4.1 유량계수 산정 방법

통상적으로 수문 구조물의 통수성능은 아래와 같이 정의되는 유량계수(C_d)를 사용하여 평가된다(Baker, 1991).

$$C_d = \frac{Q}{A_r \sqrt{2g\Delta H}} \tag{1}$$

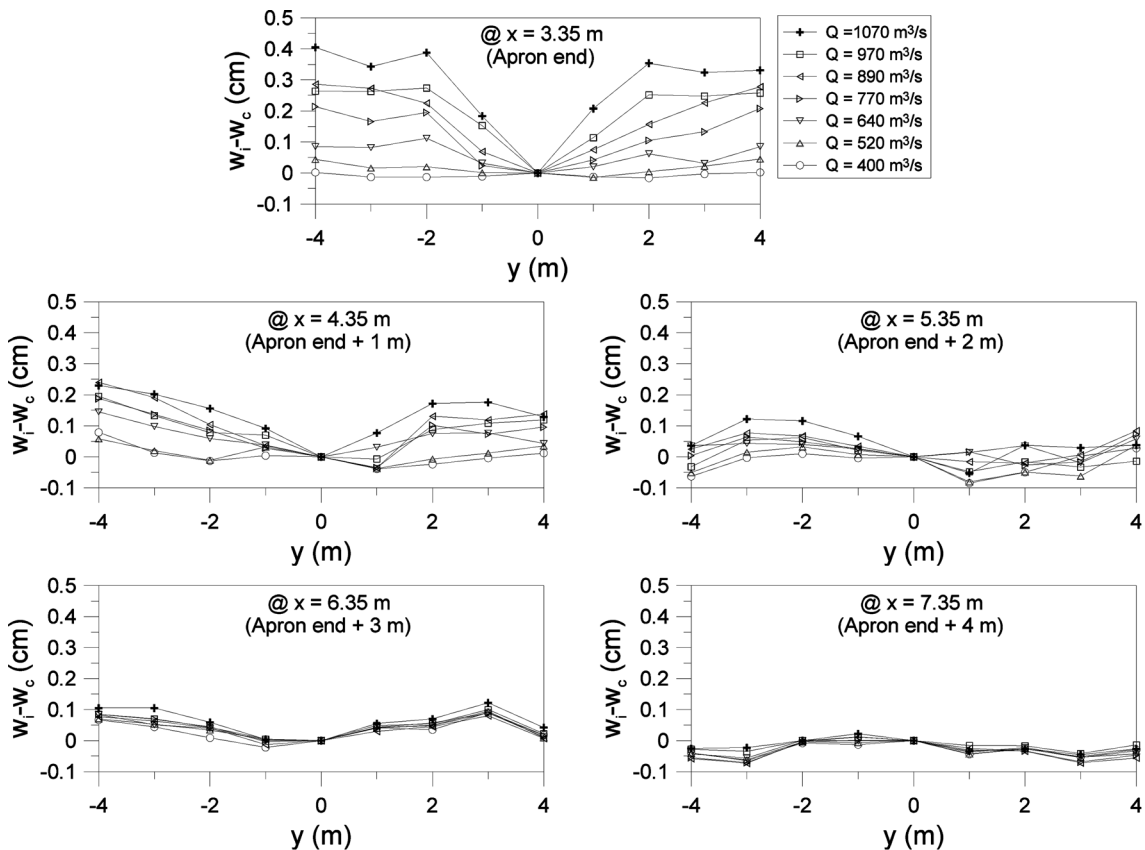


Fig. 7. Lateral variation of water levels in the planar open channel.

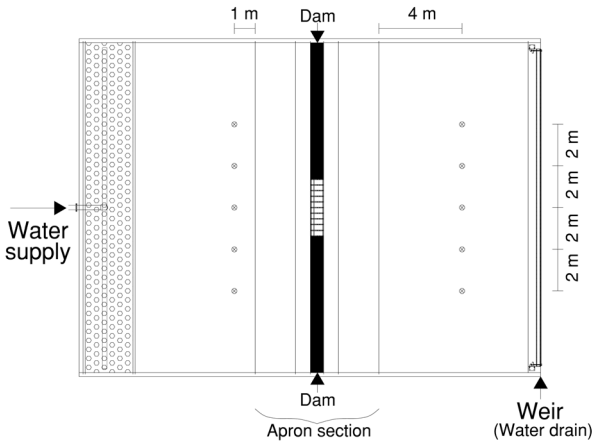


Fig. 8. The final locations of water level measurement.

여기에서 Q 는 유량, A_s 는 최소단면의 단면적, g 는 중력가속도를 나타내며, ΔH 는 수문 상·하류측에서의 전수두차로서 다음과 같이 정의된다.

$$\Delta H = \left(h_{UP} + \frac{V_{UP}^2}{2g} \right) - \left(h_{DN} + \frac{V_{DN}^2}{2g} \right) \quad (2)$$

식 (2)에서 V_{UP} 및 V_{DN} 은 각각 수문 상·하류측에서의 평균 유속을 의미한다. 유량계수(C_d)는 수문의 통수단면 단위 면적당의 통수능을 나타내는 지표로서 자주 사용되며, 통수단면의 크기가 동일한 경우 유량계수의 값이 클수록 수문의 통수능이 우수함을 의미한다.

유량계수를 합리적으로 평가하기 위하여 이 등(2008a)에 제시된 것처럼 개수로 내 마찰에 의한 수두 손실의 영향을 고려하였다. 즉, 수로 바닥면에서 흐름과의 마찰 효과로 인하여 수문이 설치되어 있지 않는 경우에도 임의의 두 지점 사이에는 수두차가 발생하게 되며, 이러한 수두 손실은 실제 조력발전소 내·외측의 조차를 평가하는 경우에는 무시될 수 있는 것이므로 수두차(ΔH) 산정 시 이 효과를 고려할 필요가 있다. 본 연구에서는 마찰 손실수두를 평가하기 위하여 각 실험 조건 별로 수문 및 조력댐이 설치되지 않은 상태에서 Fig. 8에 보인 수위 계측점에서 수위 계측을 수행하여 상·하류측 사이의 수위차를 산정하였다. 그리고, 수문이 설치된 경우에 이루어진 실험에서 계측된 수두차로부터 이 수두차를 뺀 값을 최종적인 수두차(ΔH)로 산정하였다. 다만, 최종 수두차가 현장 환산값으로 0.1 m 보다 작은 경우에는 해당 데이터를 제외하였는데, 이것은 계측 정밀도를 고려하여 수두차 산정 시의 오차는 최대 ± 1.5 mm까지 될 수 있는 여건을 고려하여 보수적 결론을 얻기 위함이었다.

4.2 통수성능 검토 및 비교

Fig. 9에는 수문의 통과유량 및 유량계수에 대한 실험결과를 나타내었다. 그림에서 ○, □, 및 △ 기호는 각각 외해측 조

위가 EL.(±)0.0 m, EL.(-)1.5 m, 및 EL.(-)3.0 m인 세 가지 조건에 해당한다. Fig. 9로부터 수문의 통과유량은 수두차에 비례하여 거의 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 한편, 유량계수는 대체로 1.3~1.4의 범위에 분포하였으며, 외해측 조위 및 수두차에 따른 뚜렷한 추세나 경향성은 발견되지 않았다.

특히, 유량계수 값은 이 등(2008b)의 연구 결과와 비교해 볼 때 큰 차이를 나타내었다. 이 등(2008b)의 경우 유량계수의 값은 대개 2.0~2.5의 범위였던 반면, 본 연구에서는 그 결과에 비해서 평균적으로 40% 정도 작은 유량계수 값을 나타내었다. 이처럼 본 실험에서 유량계수가 작게 평가된 이유는 이 등(2008b)의 실험에서와는 달리 수문 구조물 상·하류측의 주변 지반고가 높아서 수문이 평평한 바닥 지형에 설치되는 경우에 비해 수문으로 유입되는 통수 단면이 작기 때문인 것으로 판단된다. 또 다른 영향으로는 본 연구에서의 수리모형실험은

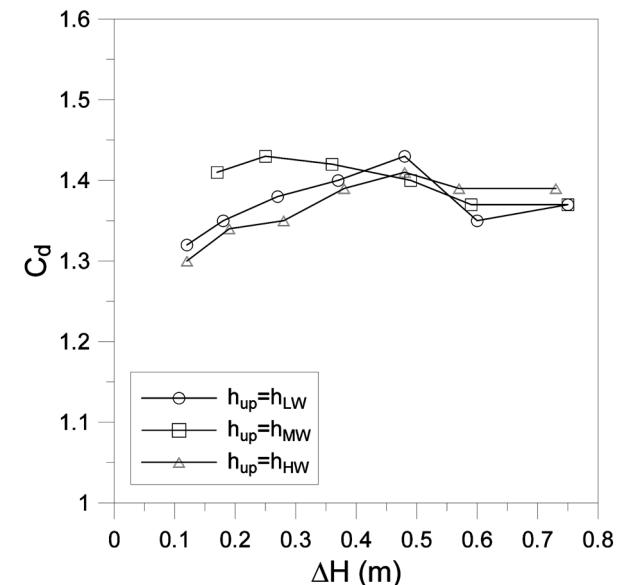
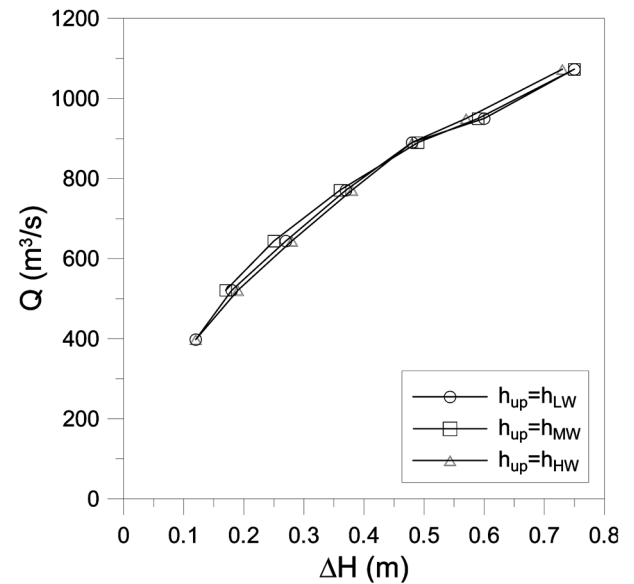


Fig. 9. Values of Q and C_d as a function of ΔH .

평면 개수로에서 수행된 반면, 이 등(2008b)의 실험은 2차원 개수로에서 수행되었기 때문에 수문 구조물에 유입되는 접근 유속에 차이가 있기 때문으로 추정된다.

한편, 수문 구조물을 통과하는 흐름이 역방향일 경우에 대해서도 동일한 수위 및 유량 조건에 대하여 수리모형실험을 수행하였다. 이를 위해서 평면 개수로에 수문 모형을 반대 방향으로 설치한 후에 실험을 진행하였다. 통상 수문 구조물은 발전 낙차를 극대화시키기 위해서 발전기를 가동하지 않는 시간대(낙조식 발전의 경우에는 창조 시, 창조식 발전의 경우에는 낙조 시)에 개방하는 것이 일반적이지만, 경우에 따라서는 특별한 목적을 위해 역방향 흐름 조건에서 수문을 개방할 수도 있다. Fig. 10에 보인 것처럼 수문을 통과하는 흐름이 역방향일 경우에는 정방향에 비해서 유량계수가 작아지게 되며, 특히 수문 구조물 상·하류측 사이의 수두차가 커질수록 정방향 흐름에 비해서 유량계수의 감소율도 증가하는 경향이 나

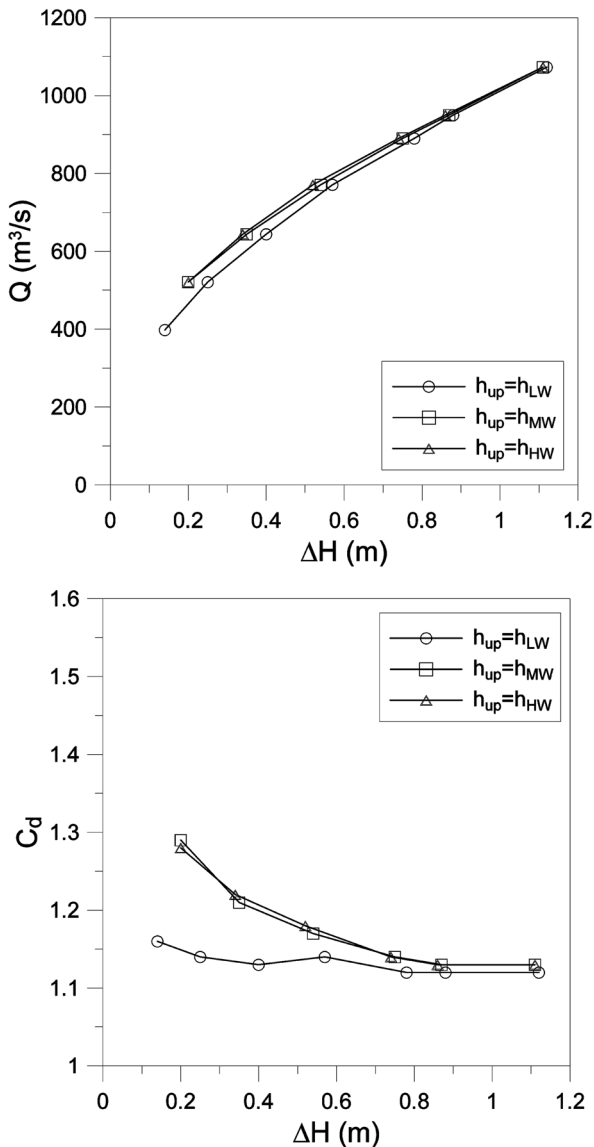


Fig. 10. Values of Q and C_d as a function of ΔH for the reverse flow direction.

타났다. 평균적으로는 정방향 흐름의 경우에 비해서 유량계수가 16% 감소하였다. Fig. 2에 보인 것처럼 본 실험 대상 수문의 경우, 상부구조물 전면은 원호형 곡선형태이지만, 상부구조물 후면은 연직벽의 형태를 띠고 있다. 따라서 역방향 흐름의 경우 이 연직벽 주변에서 흐름의 정체구간이 크게 형성되며, 이로 인해 수문의 통수성능이 크게 저하될 수 있다. 이러한 맥락에서 통과유량이 많아서 수두차가 크게 발생할수록 역방향 흐름 조건의 유량계수는 정방향 흐름에 비해 현저하게 작아지게 되는 것으로 추정할 수 있다.

4.3 평면적 유속 분포

한편, 10개의 수문별 평균유속 및 통과유량 분포를 파악하기 위해서 모든 실험 조건에 대해서 10개의 수문 구조물 바로 뒤에서 각각 유속을 측정하였다. 각 수문 구조물 별 평균유속은 수문 구조물 통수단면의 연직 높이를 h 라고 했을 때, $0.2h, 0.6h, 0.8h$ 의 세 위치에서 측정한 값을 평균하여 계산하였다. 유속 측정에는 전자기식 유속계를 사용하였으며, 각 위치 별로 1분간 50 Hz로 데이터를 수집하였다. Fig. 11은 그 측정 결과를 나타낸 것이며, 그림에서 유속 값은 실험 축척을 고려하여 현장에 해당하는 값으로 환산한 것이다. 본 평면실험의 경우 수문 유·출입부의 평면적 형상이 좌우 대칭적이기 때문에 수문 10개를 통과하는 유속도 대체로 균일한 양상을 나타내었다. 그러나 세부적으로는 10개의 수문 중 가운데 쪽에 위치한 5번과 6번 수문에서 유속이 다소 빠르며 가장자리에 위치한 1번과 10번 수문에서는 다소 느린 것을 확인할 수 있다. 또한, 실험유량이 증가할수록 수문 구조물 통과유속도 증가하는 경향을 확인할 수 있었으며, 실험 유량이 가장 큰 경우($Q = 1070 \text{ m}^3/\text{s}$)에는 중앙부에 위치한 수문의 평균유속이 약 4.5 m/s 에 이르렀다.

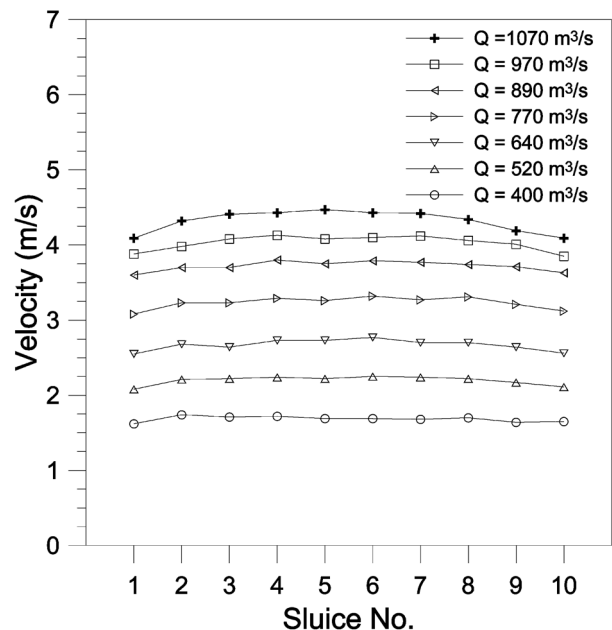


Fig. 11. Velocity distributions along the 10 sluice caissons.

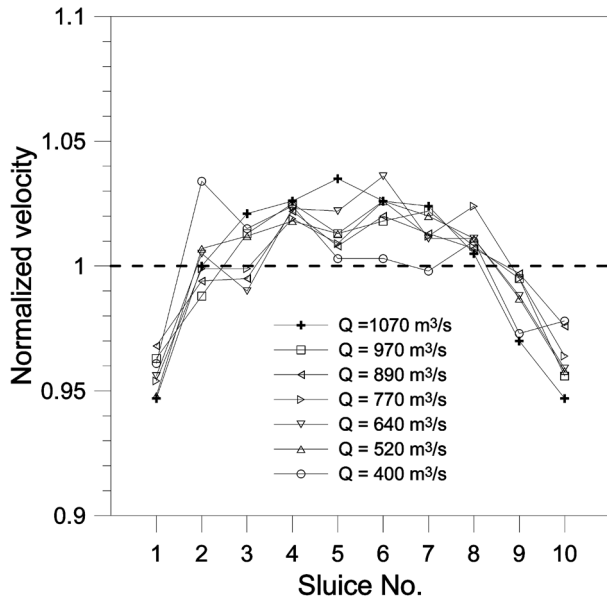


Fig. 12. Normalized velocity distributions along the 10 sluice caissons.

Fig. 12에는 각 실험유량 별로 전체 10개 수문의 평균유속을 구한 후 각각의 유속을 이 평균유속으로 나누어 정규화(Normalization)시킨 유속 분포를 제시하였다. 이 그림으로부터 중앙부 수문 구조물의 유속은 전체 평균값에 비해서 약 2~3% 정도 빠르며, 맨 가장자리에 위치한 수문 구조물의 유속은 전체 평균값에 비해서 약 4~5% 정도 느림을 확인할 수 있다. 특히, 이러한 경향은 실험유량이 클수록 뚜렷하게 나타났으며, 실험유량이 작은 경우에는 상대적으로 공간적인 분포가 더 균질한 특성을 보였다.

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 평면개수로에서 조력발전용 수문 구조물의 수리적 특성을 고찰하기 위한 실험을 수행하였으며, 수문의 통수성능 및 공간적 유속 분포 등에 대한 실험 결과를 제시하였다. 특히, 수문의 통수성능 지표로 사용되고 있는 유량계수가 본질적으로 수문 구조물 전면과 후면의 조차(수위차)에 반비례하는 관계가 있기 때문에 수위차 평가 방법에 따라서 유량계수 산정값이 달라질 수 있다는 점에 주목하여 평면개수로 내 흐름방향 및 횡방향 수위 분포를 계측하여 가능한 객관적으로 수위차를 평가하는 방법을 제시하였다.

취득된 실험자료의 분석 결과로부터 본 연구에서 사용된 수문 구조물의 유량계수는 대체로 1.3~1.4의 범위에 분포하는 것으로 평가되었으며, 이는 선행연구인 이 등(2008b)의 실험 결과와 비교해 볼 때 평균적으로 40% 정도 작은 값이다. 이러한 차이가 발생하는 이유는 이 등(2008b)의 실험은 Apron 구간이 없는 평평한 바닥에서 수행되었던 반면, 본 연구에서는 수문 구조물 전·후면에 Apron 구간이 존재하여 수문 구조물 유·출입 유량이 제한되었던 점과 이 등(2008b)의 실험은 2차원

개수로에서 수행된 반면, 본 연구에서는 평면개수로에서 3차원적 실험이 수행되어서 수문 구조물 접근 유속장이 서로 달랐던 점의 두 가지 요인 때문인 것으로 파악된다. 향후 이 두 가지 요인에 대해서는 추가적인 연구를 수행하여 각각의 영향에 대하여 보다 상세하고 명확한 결론을 도출할 계획이다.

한편, 외해측 조위 및 수두차를 다양하게 변화시키면서 실험을 수행한 결과, 유량계수의 값이 이 두 가지 요인의 변화에 따라서 크게 변하지 않는다는 점을 알 수 있었다. 또한, 특수한 상황을 가정하여 수문 구조물을 통상의 경우와 반대인 조건(역방향 흐름)에서 개방할 때의 수문의 통수성능을 평가하였으며, 이 경우에는 정방향 흐름 조건에 비해서 유량계수가 평균적으로 16% 감소하는 결과를 얻었다. 역방향 흐름의 경우 수문 상부구조물의 단면이 급격하게 변하기 때문에 유량 유입 과정에서 더 많은 에너지 손실이 발생하여 통수성능이 저하되는 것으로 추정된다.

마지막으로, 수문 구조물 10개의 통과유속을 각각 계측한 결과로부터 중앙 쪽에 위치한 수문의 통과유속은 10개 수문의 전체 평균값에 비해서 약 2~3% 빠르며, 가장자리 쪽에 위치한 수문의 통과유속은 약 4~5% 느림을 확인하였다. 다만, 이러한 결과는 본 실험이 수행된 평면개수로 수문 구조물 상·하류측 지형의 형상이 대칭적인 조건에서의 결과이며, 만약 지형이 비대칭적일 경우에는 수문 통과유속의 평면 분포가 달라질 수 있음을 유의해야 할 것이다.

사 사

본 논문은 국토해양부 연구개발사업 “조력에너지 실용화 기술개발” 및 한국해양연구원 주요사업 “조력발전용 시스템 성능향상 기술개발(PE98603)”의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

- 권순국, 나정우 (1986). 배수갑문의 유량계수 결정에 대한 실험적 연구. 한국농공학회지, 28(1), 51-59.
- 농어촌연구원 (1991). 배수갑문 수리사항을 감안한 최적 통수단면 설계기법 연구.
- 박병준, 이상화 (2008). 수리모형실험과 FLOW-3D를 이용한 배수갑문 통수능력 검토. 한국해양공학학회논문집, 20(2), 168-175.
- 윤광석, 여규동 (2005a). 물받이 길이 및 접근경사에 따른 조력발전 배수구조물 통수능 검토 실험 연구. 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 1026-1030.
- 윤광석, 여규동 (2005b). Apron 경사 및 길이에 따른 수문 구조물 배수능 평면실험 연구. 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 1031-1035.
- 이달수, 오상호, 이진학, 박우선, 조휴상, 김덕구 (2008a). 조력발전용 수문 형상에 따른 통수성능에 관한 실험적 연구 - I. 수리모형실험. 한국해양·해양공학학회논문집, 20(1), 73-80.
- 이달수, 오상호, 이진학, 박우선, 조휴상, 김덕구 (2008b). 조력발전용 수문 형상에 따른 통수성능에 관한 실험적 연구 - II. 실

험결과 및 분석. 한국해안·해양공학회논문집, 20(1), 81-92.
이상화, 장은철, 하재율 (2007). 배수갑문 주위의 흐름현상에 대한
3차원 난류 수치모형과 수리모형실험의 비교. 한국해안·해
양공학회지, 19(2), 162-169.
조진훈, 박상현 (1999). 배수갑문 접근배수로 유입흐름의 에너지
감세량 추정. 한국관개배수, 6(1), 9-19.

Baker, A.C. (1991). Tidal Power. Peter Peregrinus Ltd., London,
United Kingdom.

원고접수일: 2011년 11월 10일

수정본채택: 2011년 12월 6일

게재확정일: 2011년 12월 8일