

사석마운드 설치에 따른 조력발전용 수문의 통수성능 변화

이 달수¹⁾, 오 상호²⁾, 이 진학³⁾, 박 우선⁴⁾, 조 휴상⁵⁾, 김 덕구⁶⁾

Change of Water Discharge Capability of Sluice Caisson for Tidal Power Plant According to Installation of Rubble Mound

Dal-Soo Lee, Sang-Ho Oh, Jin-Hak Yi, Woo Sun Park, Hyu-Sang Cho, Duk-Gu Kim

Key words : Sluice(수문), Tidal power(조력), Water discharge capability(통수성능), Discharge coefficient(유량계수)

Abstract : In this study, the results of experimental investigation on the water discharge capability of sluice caisson for tidal power plant were presented. In particular, the focus of the study was placed on the examination of change in water discharge capability of a sluice caisson according to the installation of rubble mound. For this purpose, a hydraulic experiment was carried out in an open channel flume with a great care to the measurement of discharge and water level in the flume since they greatly affects the estimation of the discharge capability of each sluice caisson. In the analysis, the experimental data of four different sluice models were used, which showed that the installation of rubble mound affects in different manner depending on each sluice caisson model. When each of the four sluice models were placed on the rubble mound respectively, the water discharge increased for one sluice caisson, whereas decreased for other three sluice caissons. Further detailed analysis is needed to quantitatively estimate the influence of installation of rubble mound on the water discharge capability of a sluice caisson.

Nomenclature

A_t : area of throat section of sluice caisson, m^2
 K : discharge coefficient of weir
 Q : water discharge, m^3/s
 W : width of sluice caisson, m
 W_t : width of throat section of sluice caisson, m
 b : width of weir notch, m
 g : gravitational acceleration, m/s^2
 h : water level of weir notch, m
 h_b : bottom height of throat section of sluice caisson, m
 h_f : head loss in the open channel, m
 h_{HW} : target value of h_{su} at high water level, m
 h_{LW} : target value of h_{su} at low water level, m
 h_{MW} : target value of h_{su} at medium water level, m
 h_s : upstream water level from underside of caisson superstructure, m
 ΔH : Head difference, m

1. 서론

우리나라 서해안 일대는 조석간만의 차가 크고 해안선이 복잡하여 조지면적을 넓게 조성할 수 있어서 조력발전에 유리하다.^(1,2) 특히, 최근 유

가 급등으로 인해서 대체에너지 개발의 필요성이 절실해짐에 따라 조력에너지를 개발하려는 시도가 더 활발하게 전개되고 있다.

조력발전소 설계시 해수의 유출입 통로가 되는 수문(sludge)형상의 설계 기술은 조력발전의 경제성에 직결되는 핵심적인 기술이다. 통수성능이 좋은 고효율의 수문을 사용하게 되면 목표하는 연간발전량을 달성하기 위한 수문의 설치 대수를 감소시킬 수 있어서 공사비를 절감하는 효과를 얻을 수 있다. 따라서 조력발전소의 발전효율을 극대화하기 위해서는 수문의 설계기술에 대한 연구가 폭넓게 이루어져야 할 필요성이 있다.

통상, 해저 지반의 수심이 비교적 얇은 곳에서는 수문 케이슨이 해저면 위에 바로 설치되지만, 수심이 깊은 곳에서는 수문 케이슨이 사석마운드 위에 놓이게 된다. 이 연구에서는 이처럼 현장의 수심 조건에 따라서 수문 케이슨이 사석마운드 위에 또는 해저 지반에 바로 설치됨에 따라서 통수성능이 어떻게 변화하는지를 수리모형실험을 통해 고찰하였다. 이를 위해서 수문의 형상이 서로 다른 수문 모형을 제작하고 개수로시스템에 설치하여 정밀 수리모형실험을 수행하였다.

2. 수리모형실험

2.1 실험 시설

수리모형실험은 한국해양연구원 평면수조실에 설치된 개수로시스템에서 수행되었다. Fig. 1에 개수로의 모식도를 제시하였다. 이 수로의 길이는 23.8 m, 폭은 0.6 m, 높이는 0.8 m 이며, 수로의 바닥 높이는 지면으로부터 0.65 m이다. 단면수로의 상류측에는 웨어 수조를 설치하여 고수조로부터 유입된 유량을 측정하고, 목표유량이 개수로로 공급될 수 있도록 하였다. 본 실험에서는 폭이 0.6 m인 관측수로 내에 종방향으로 연직 분할판을 설치하여 실험 구간의 수로 폭을 0.5 m로 하였다.

실험유량은 웨어수조의 수위를 측정하여 웨어 공식으로부터 산정하였다.

$$Q = Kbh^{3/2} \quad (1)$$

여기서, K 는 웨어의 유량계수, b 는 노치(notch)의 폭, h 는 웨어의 수위를 나타낸다. 본 연구에서는 유량을 정밀하게 평가하기 위하여 웨어탱크 내 2 개소에서 측정된 수위 평균값을 웨어공식에 적용하여 유량을 평가하였다.

한편, 관측수로의 최하류 끝에는 관측수로로부터 빠져나가는 유량을 조절하기 위하여 연직 방향으로 움직이는 게이트를 설치하였다. 게이트의 높이에 따라서 배출되는 유량이 매우 민감하게 변화하기 때문에 게이트를 매우 미세하게 조작할 수 있도록 별도로 감속기어를 설치하였다.

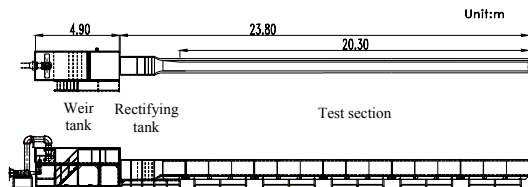


Fig 1 Schematic view of the open channel flume

2.2 모형제작 및 설치

수문 모형은 아크릴로 제작하여 관측수로 내 수평 바닥면에 설치하였다. 한편 사석마운드는 PVC 재질로 제작하였다. Fig. 2에 본 연구에서 사용된 수문모형 네 가지의 평면도 및 측면도를 제시하였다. 한편, Fig. 3에는 Fig. 2(a)에 보인 수문 모형에 대하여 사석마운드 없이 모형이 설치되는 경우와 사석마운드 위에 설치되는 경우를 비교하여 제시하였다.

수문 모형의 분류기호는 수문의 평면 및 측면 형상을 반영하도록 결정하였다. 예를 들어 Fig. 2(a)에 보인 모형의 분류기호는 W60H21M00인데, 여기에서 W60은 최소단면의 폭(W_1) 30 cm를 수문 케이슨의 폭(W) 50 cm로 나눈 백분율을 의

미한다. 한편, H21은 수문케이슨 바닥으로부터 최소단면 하단면까지의 높이(h_b) 6.25 cm를 최소단면의 높이(h_t) 30 cm로 나눈 백분율을 의미한다. 한편, M00은 사석마운드의 높이(h_m)를 최소단면의 높이(h_t) 30 cm로 나눈 백분율을 의미한다. Fig. 3에 보인 것처럼 15cm 높이의 사석마운드가 설치된 경우에는 그에 해당하는 분류기호가 M50 이 된다.

한편, 관측수로 내 모형의 설치 위치는 수문 케이슨 전·후면의 수위 변동 및 수위 계측점의 위치를 고려하여 결정해야 하는데, 가능한 관측수로 내로 유입되는 흐름이 초기에 안정화되도록 하면서, 수문 케이슨의 설치 위치를 최대한 상류쪽으로 하는 것이 바람직하다. 이 실험에서는 예비실험 결과를 토대로 관측수로 시작점으로부터 10.4 m 떨어진 위치에 수문을 설치하기로 결정하였으며, 이는 관측수로의 대략 중간에 해당하는 위치가 되었다.

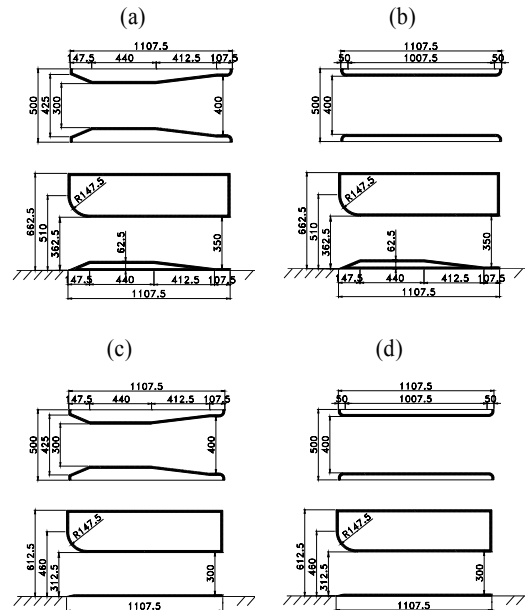


Fig. 2. Sketch of plan and side view of the four sluice models. (a) W60H21M00, (b) W80H21M00, (c) W60H04M00, (d) W80H04M00.

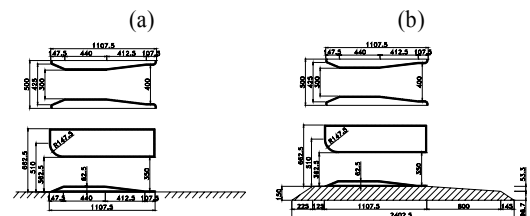


Fig. 3. Comparison of experimental setup of the same sluice model with and without the rubble mound. (a) W60H21M00, (b) W60H21M50

2.3 실험조건 및 계측

실험은 다섯 가지의 유량 조건, $Q = 0.065, 0.095, 0.125, 0.155, 0.185 \text{ m}^3/\text{s}$ 에 대하여 각각 외해 측 수위가 높을 때, 중간일 때, 낮을 때의 세 가지 ($h_s = h_{LW}, h_{MW}, h_{HW}$) 조건에 대하여 실험을 수행하였다. 따라서 하나의 수문 모형에 대하여 총 실험 조건은 15개가 된다.

웨어수조 및 관측수로 내 수위는 용량식과 교계를 이용하여 측정하였다. 수문 모형 전면에서는 모형으로부터 2m 떨어진 위치에서 수위를 측정하였고, 후면에서는 모형으로부터 1~5 m 거리에 1m 간격으로 파고계 다섯 개를 설치하여 각 지점에서의 수위를 측정하였다. 각 실험 조건에 대하여 2분간 25Hz로 수위를 측정하여 각 개별 측정의 평균값을 구하고, 이 과정을 5회 반복하여 5회 측정의 평균값을 최종적인 수위로 결정함으로써 급수펌프에 의해서 공급되는 유량의 시간에 따른 편차의 영향을 가능한 한 감소시켰다.

2.4 수두차 평가 및 유량계수 계산

수문 전·후면의 흐름에서 유량(Q) 및 수두차 (ΔH) 사이의 관계는 다음 식으로 표현될 수 있다⁽³⁾.

$$C_d = \frac{Q}{A_t \sqrt{2g\Delta H}} \quad (2)$$

여기에서, C_d 는 유량계수(coefficient of discharge), A_t 는 최소단면의 단면적, g 는 중력가속도를 나타내며, ΔH 는 수문 전면에서의 전수두에서 후면에서의 전수두를 뺀 값으로서 다음과 같이 정의된다.

$$\Delta H = \left(h_{UP} + \frac{V_{UP}^2}{2g} \right) - \left(h_{DN} + \frac{V_{DN}^2}{2g} \right) + h_f \quad (3)$$

식 (3)에서 V_{UP} 및 V_{DN} 은 각각 수문 상·하류측에서의 평균유속으로서 유량을 측정위치에서의 통수단면적으로 나눈 값이며, h_f 는 개수로 흐름에서 수로 바닥면 및 양측면에서의 마찰 때문에 발생하는 손실 수두를 의미한다. 유량계수는 수문의 통수단면 단위 면적당의 통수성능을 나타내는 지표로서 널리 사용되며, 통수단면의 크기가 동일한 경우 유량계수의 값이 클수록 수문의 통수성능이 우수함을 의미한다.

3. 실험 결과

Fig. 4는 W60H21M00 및 W60H21M50 모형의 통수성능을 서로 비교한 것이다. 그림에서 흰색

심볼은 사석마운드가 설치되지 않은 W60H21M00 모형을 나타내며, 검정색 심볼은 사석마운드가 설치된 W60H21M50 모형을 나타낸다. 그림의 범례에서는 괄호 안에 M 기호를 사용하여 사석마운드가 설치된 경우의 자료를 나타내었다. Fig. 4로부터 수문상류측과 하류측 사이의 수두차가 증가함에 따라 수문을 통과하는 유량은 거의 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 한편, Fig. 4로부터 이 모형의 경우에는 수두차가 같을 때 모형이 사석마운드 위에 설치되면 수문의 통과유량이 증가하게 됨을 알 수 있다. 특히, 이러한 경향은 특히 수문 전면의 수위가 낮은 경우($h_s = h_{LW}$)에 더 분명하게 나타난다.

한편, Fig. 5에서는 W80H21M00 모형과 W80H21M50 모형의 통수성능을 서로 비교하였다. 이 경우에는 Fig. 4의 결과와 반대로 사석마운드가 설치되지 않은 경우에 수문의 통과유량이 더 컸다. 특히, 수문 전면의 수위가 높을 때 ($h_s = h_{HW}$) 수문의 통과유량 차이가 컸다.

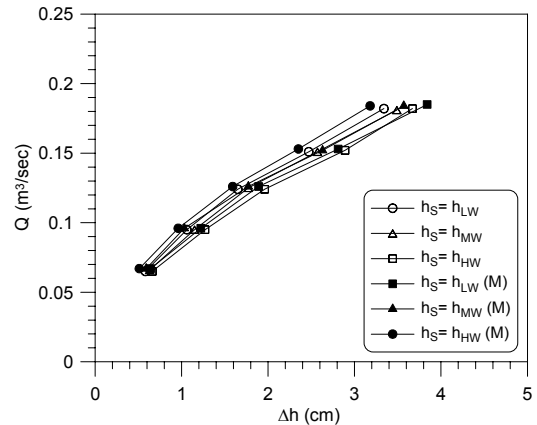


Fig. 4 Comparison of water discharge of W60H21M00 and W60H21M50 models

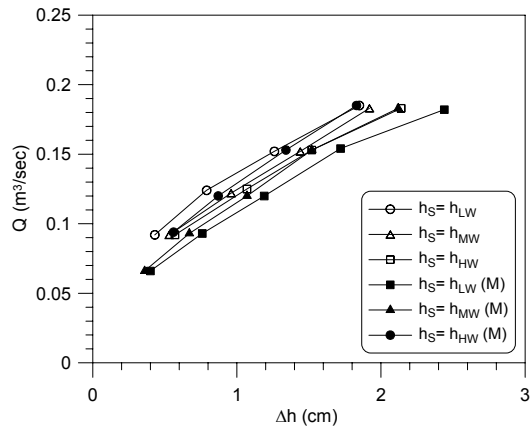


Fig. 5 Comparison of water discharge of W80H21M00 and W80H21M50 models

앞선 두 모형의 경우에는 수문 최소단면의 바닥이 불룩하게 솟아오른 경우였다. Fig. 6~7에서는 이와는 다르게 수문 최소단면의 바닥이 개수로 바닥과 거의 같게 제작된 두 모형의 사석마운드 설치 여부에 따른 통수성능을 서로 비교하였다. Fig. 6에 보인 것처럼 W60H04M00과 W60H04M50 모형의 경우 및 W80H04M00과 W80H04M50 모형의 경우에는 사석마운드를 설치하지 않은 경우에 수문 케이슨의 통수성능이 더 좋았다.

특히, Fig. 6에 보인 W60H04M00 모형과 W60H04M50 모형의 경우에는 수문 최소단면의 폭이 수문 전체폭의 60%로서 Fig.2(a)에 제시한 W60H21M00 및 W60H21M50 모형과 수문의 평면적 형상은 동일하다. 그러나 사석마운드 설치 여부에 따른 수문의 통수성능은 이 두 가지 경우의 결과가 서로 상반되게 나타났다. 이러한 결과로부터 수문케이슨의 평면적 형상보다는 측면적 형상이 사석마운드 설치여부에 따른 통수성능 변화에 더 큰 영향을 미치는 것으로 추론할 수 있다.

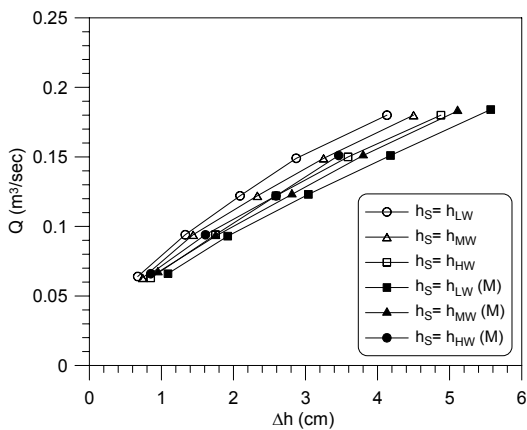


Fig. 6 Comparison of water discharge of W60H04M00 and W60H04M50 models

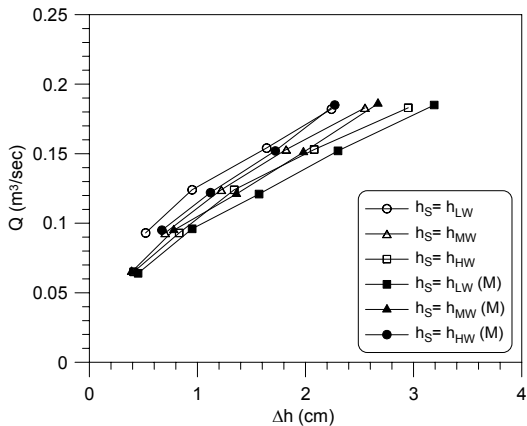


Fig. 7 Comparison of water discharge of W80H04M00 and W80H04M50 models

4. 토의 및 결론

이 연구에서는 조력발전용 수문케이슨의 통수성능 변화가 사석마운드 설치여부에 따라서 어떻게 달라지는지를 수리모형실험을 통해 고찰하였다. 실험에 사용된 네 가지 모형 중에서 오직 한 가지 경우에만 사석마운드를 설치하였을 때의 수문의 통수량이 증가하였고, 나머지 경우에는 오히려 감소하였다.

수문이 사석마운드 위에 설치되게 되는 경우에는 해저바닥면에 바로 설치되는 경우와 비교할 때, 수문케이슨 전면에서 유입되는 흐름의 패턴이 달라져서 수문의 통수성능에 변화를 일으키는 것으로 판단된다. 따라서 수문의 평면적 형상보다는 측면적 형상이 사석마운드 설치에 따른 수문의 통수성능 변화에 더 큰 영향을 미치는 것으로 추론된다.

따라서 수심이 깊어서 사석마운드를 설치하고 그 위에 수문이 놓이게 되는 경우에는 사석마운드 설치로 인해 수문의 통수성능이 지나치게 감소 감소하지 않도록 수리모형실험 또는 수치모형실험을 통하여 사석마운드 전면의 형상을 적절하게 설계해야 할 필요성이 있다.

후기

본 연구는 지식경제부의 신재생에너지기술개발사업의 일환(2005-N-OC02-P-01)으로 수행되었습니다.

References

- [1] 해양수산부. 2001. 해양에너지 실용화 기술개발(I): 조력·조류에너지.
- [2] 해양수산부. 2002. 해양에너지 실용화 기술개발(II): 조력·조류에너지.
- [3] Baker AC. 1991. Tidal Power. Peter Peregrinus Ltd., London, United Kingdom.