

사석마운드 위에 설치되는 조력발전용 수문 케이스의 통수성능에 대한 실험적 연구

이달수, 오상호*, 이진학, 박우선, 조휴상, 엄현민

Experimental Investigation on the Change of Water Discharge Capability of Sluice Caisson for Tidal Power Plant Placed on the Rubble Mound

Dal-Soo Lee, Sang-Ho Oh*, Jin-Hak Yi, Woo Sun Park, Hyu-Sang Cho and Hyun-Min Eum

Abstract

The change of water discharge capability of sluice caisson for tidal power plant according to installation of the rubble mound was investigated by performing laboratory experiment. The experiment was carried out in an open channel flume with a great care to measure flow rate and water level in the flume accurately. Eight different sluice caisson models were used in the experiment. The water discharge capabilities of seven sluice models decreased with respect to the placement of the rubble mound, while increased for only one sluice model. On average, the values of discharge coefficient decreased by approximately 10% when the sluice models were placed on the rubble mound. It is concluded that the shape of the rubble mound can affect the water discharge capability of the sluice caisson, so that its shape should be significantly considered in the design of the sluice caisson, especially when it is deployed in a site of relatively deeper depth.

Key words

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

(접수일 2008. 6. 5, 수정일 2008. 6. 13, 게재확정일 2008. 6. 19)

* 한국해양연구원 연안개발·에너지연구부

■ E-mail : ohsangho@kordi.re.kr ■ Tel : (031)400-7802 ■ Fax : (031)408-5823

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 세계적인 조력발전의 적지로 손꼽히고 있다.^(1,2) 이 지역에서 경제성이 있는 것으로 평가되는 조력에너지는 약 2,400MW 정도로 추정된다.^(3,4) 특히, 최근 국제 유가 급등으로 인해서 대체에너지 개발의 필요성이 증대됨에 따라 조력에너지 개발에 대한 관심이 높아지고 있다.

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

해저 지반의 수심이 비교적 얇은 곳에서는 수문 케이슨을 해저면 높이에 설치하지만, 수심이 깊은 곳에서는 수문 케이슨의 크기를 증가시키기보다는 해저면에 사석마운드를 시공하고 그 위에 수문 케이슨을 설치하게 된다. 왜냐하면, 수문 케이슨의 규격을 크게 할 경우 수문 케이슨 구조물의 제작비가 크게 증가하며 시공상의 어려움도 많아지기 때문이다. 또한 수문 케이슨 내 게이트의 연직 높이를 제한 없이 증가시킬 수 없기 때문에 수문 케이슨의 연직 높이에도 제한이 있다. 수문 케이슨을 통한 해수의 유입 및 차폐를 제어하는 게이트(gate)의 연직 높이는 통상적으로 12m 정도로 설계되는데, 게이트 높이가 커질수록 게이트에 작용하는 수압이 점점 더

크게 작용하여 권양기의 시설 용량을 키워야하며, 게이트 개폐에 소요되는 시간도 증가하여 운용의 어려움이 가중되게 된다. 그러므로 수심이 깊은 곳에서는 수문 케이슨을 사석 마운드 위에 설치하는 것이 필요 이상으로 수문 케이슨의 규모를 증가시키지 않으면서 경제적으로도 유리한 방법이다.

수문 케이슨이 해저면 높이에 설치된 경우에 대해서는 최근에 정밀 수리모형실험을 통해 수문 케이슨 최소단면의 수평폭 및 바닥높이가 조금씩 다른 여섯 개 수문 케이슨의 통수성능을 비교한 연구가 이루어진 바 있다.^(5,6) 그러나 이처럼 수문 케이슨이 사석마운드 위에 설치되는 경우의 통수성능에 관해서는 지금까지 연구가 수행된 사례가 없다. 이에 이 연구에서는 다양한 형상의 수문 케이슨이 해저면 높이에 설치되는 경우와 마운드 위에 설치되는 경우에 그 통수성능이 어떻게 변화하는지를 정밀 수리모형실험을 수행하여 고찰하였다.

2. 수리모형실험

2.1 실험 시설

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

실험유량은 웨어수조의 수위를 측정하여 웨어공식으로부터 산정하였다.

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

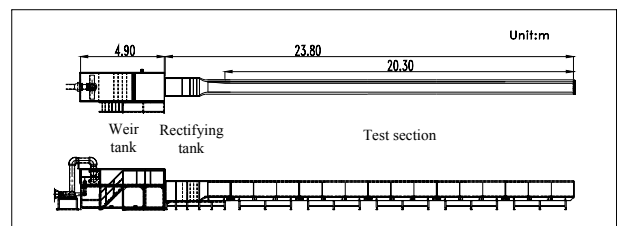


Fig. 1 Schematic view of the open channel flume

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

2.2 수문 케이슨 형상 파라미터

Fig. 2에는 수문 케이슨의 전체적인 형상을 결정짓는 대표적인 파라미터들을 제시하였다. Fig. 2에서 W 는 수문 1개에 해당하는 수문 케이슨의 전체 폭, W_i 는 유입부(inlet) 단면의 폭, W_t 는 통수단면 또는 최소단면(throat)의 폭, W_o 는 유출부(outlet) 단면의 폭을 각각 나타낸다. 길이 방향의 파라미터로는 L 은 수문 케이슨의 전체 길이, L_c 는 수축구간(contraction)의 길이, L_t 는 최소단면(throat) 구간의 길이, L_e 는 확장구간(expansion)의 길이, L_o 는 유출구간(outlet)의 길이를 각각 나타낸다. 한편, 연직방향의 파라미터로는 h_m 은 수문 케이슨이 놓이게 되는 사석 마운드(mound)의 높이, h_b 는 수문 최소단면의 바닥(bottom) 높이, h_t 는 최소단면(throat)의 높이, h_o 는 유출구간(outlet)의 높이, h_{su} 및 h_{sd} 는 수문 상부구조물 상류측(upstream)과 하류측(downstream)에서의 최소단면 상부의 최저점이 수중에 잠긴(submerged) 깊이를 나타낸다. 한편, 수문 전·후면에서 수면으로부터 수평 해저면까지의 수심은 각각 h_{UP} 및 h_{DN} 로 나타내어진다. 수문

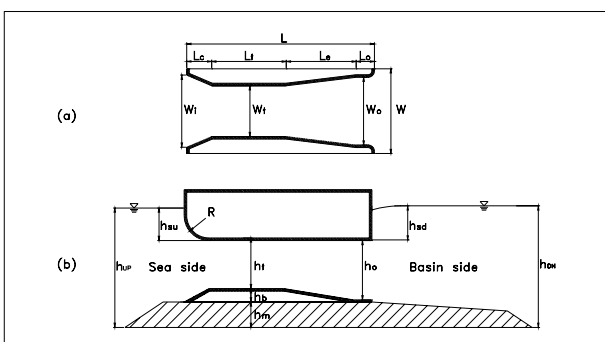


Fig. 2 Parameters related to the shape of a sluice caisson. (a) Plan view and (b) Side view.

이 설치되는 곳의 수심이 얇은 경우에는 해저를 굴착하여 수문에서의 수심이 주변 지반보다도 낮게 될 수도 있는데 이 경우에는 h_m 의 값을 음수가 된다. 또한, R 은 수문 상부구조물 전면부의 곡률반경을 나타낸다.

2.3 모형제작 및 설치

수문 케이슨 모형은 아크릴로 제작하여 관측수로 내 수평 바닥면에 설치하였다. 한편 사석마운드는 PVC 재질로 제작하였다. 마운드의 높이는 15cm이며, 수문 케이슨 전면(상류측)에서의 경사는 1:1.5, 후면(하류측)에서의 경사는 1:15 및 1:1.5이다. 마운드의 형상은 기존에 가로림 조력발전소 타당성 조사사업의 수문 케이슨 설계안⁽⁷⁾을 참고하여 유사하게 제작하였다. Fig. 3에 사석마운드 위에 수문 케이슨 모형이 설치된 예를 제시하였다.

수문 케이슨의 최소단면 폭(W_t)이 2가지, 최소단면 바닥 높이(h_b)가 4가지로 서로 다른 총 8가지 모형을 제작하여 수리모형실험을 수행하였다. 각 모형에 대하여 마운드가 설치된 경우와 그렇지 않은 경우에 대하여 수리모형실험이 수행되었으므로 모형 조건은 총 16가지가 된다. Fig. 4~11에 각 모형이 개수로 바닥에 직접 설치되었을 때와 마운드 위에 설치되었을 때의 단면도를 제시하였다. Fig. 4~11에서 알 수 있듯이 8개 모형의 수문 케이슨 전체 길이(L) 및 전체 폭(W)은 동일하다. 또한, 수문 케이슨 최소단면의 높이(h_t)도 8개 모형에서 모두 30cm로 동일하다. 이것은 위에서 설명한 것처럼 수문 케이슨 설계 시 최소단면의 높이는 케이슨 내에 설치되는 게이트의 높이 제한 때문에 대개 일정한 값을 사용하는 점을 고려한 것이다. 통상적으로 현장에 시공되는 수문 케이



Fig. 3 A model of sluice caisson and mound installed in the open channel flume.

슨의 게이트 및 최소단면의 높이가 12m 정도임을 고려하면, 본 연구에서 수리모형실험의 축척은 1/40 정도라고 할 수 있다.

제작된 수문 모형의 형상이 서로 비슷하기 때문에 실험자료 분석 및 해석에 있어서 혼동을 피하고 이해를 쉽게 하기 위해서 수문 모형의 분류기호를 수문의 평면 및 측면 형상을 반영 하도록 다음과 같은 방법으로 결정하였다. 예를 들어 Fig. 6(b)에 보인 모형의 분류기호는 W70H21L14M50인데, 여기에서 W70은 최소단면의 폭(W_t) 35cm를 수문 케이슨의 폭(W) 50cm로 나눈 백분율을 의미한다. 한편, H21은 수문케이슨 바닥으로부터 최소단면 하단면까지의 높이(h_b) 6.25cm를 최소단면의 높이(h_t) 30cm로 나눈 백분율을 의미한다. 또한, L14는 수문 케이슨 최소단면 길이(L_t) 15cm를 전체 길이(L) 110.75cm로 나눈 백분율을 의미한다. 마지막으로, M50은 사석마운드의 높이(h_m) 15cm를 최소단면의 높이(h_t) 30cm로 나눈 백분율을 의미한다.

Table 1에는 모형 조건 16가지의 분류기호를 최소단면 폭(W_t) 및 바닥높이(h_b)에 따라 구분하여 제시하였다. $h_b/h_t=0.04$ 인 경우에는 Fig. 4~5의 수문 케이슨 단면도에서 볼 수 있듯이 최소단면의 길이(L_t)가 수문 케이슨 전체 길이(L)의 91%(L91)인 반면, h_b/h_t 의 값이 0.04보다 큰 나머지 세 경우에는 최소단면의 길이(L_t)가 수문 케이슨 전체 길이(L)의 14%(L14)임을 알 수 있다. 또한, 각 모형의 마지막 분류기호가 M00이면 마운드가 설치되지 않은 경우를, M50이면 마운드가 설치된 경우를 의미한다.

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

대략 중간에 해당하는 위치가 되었다.

2.4 실험조건 및 계측

각각의 수문 케이슨 모형에 대하여 다섯 가지의 유량 조건, $Q = 0.065, 0.095, 0.125, 0.155, 0.185\text{m}^3/\text{s}$ 및 수문 케이슨 모형 전면(상류측)의 수위가 낮을 때, 중간일 때, 높을 때의 세 가지($h_s = h_{LW}, h_{MW}, h_{HW}$) 조건에 대하여 실험을 수행하였다. 즉, 하나의 수문 케이슨 모형에 대하여 총 실험 조건은 15개가 된다.

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

2.5 수두차 평가 및 유량계수 계산

수문 전·후면의 흐름에서 유량(Q) 및 수두차(ΔH) 사이의 관계는 다음 식으로 표현될 수 있다.⁽⁸⁾

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

여기에서, C_d 는 유량계수(discharge coefficient), 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 계측위치에서의 통수단면적으로 나눈 값이며, h_f 는 개수로 흐름에서 수로 바닥면 및 양측면에서의 마찰 때문에 발생하는 손실 수두를 의미한다.

유량계수는 수문의 통수단면 단위 면적당의 통수성능을 나

Table 1. Classification code of the manufactured sluice caisson models

	$W_t/W=0.7$	$W_t/W=0.8$
$h_b/h_t=0.04$	W70H04L91M00/M50	W80H04L91M00/M50
$h_b/h_t=0.21$	W70H21L14M00/M50	W80H21L14M00/M50
$h_b/h_t=0.29$	W70H29L14M00/M50	W80H29L14M00/M50
$h_b/h_t=0.38$	W70H38L14M00/M50	W80H38L14M00/M50

타내는 지표로서 널리 사용되며, 통수단면적의 크기가 동일한 경우 유량계수의 값이 클수록 수문의 통수성능이 우수함을 의미한다. 이 연구에서는 어떤 하나의 수문 케이스는 모형이 개수로 바닥에 직접 설치되는 경우와 사석마운드 위에 설치되는 경우의 통수성능을 비교하는 것이 주된 관심사항이므로, 두 경우의 유량계수를 비교함으로써 통수성능의 상대적인 우수성을 평가할 수 있다. 즉, 수문 케이스의 통수단면적 자체는 두 경우에 동일하므로 유량계수가 더 큰 경우에 수문을 통과하는 유량도 더 크며 통수성능도 우수하게 된다. 이에 따라 수리모형실험 자료를 분석함에 있어 각각의 수문 케이스는 모형에 대하여 마운드가 설치됨에 따른 유량계수의 증감을 비교하여 통수성능의 향상 또는 저하 여부를 평가하였다. 한편, 유량계수는 식 (2)에 보인 것처럼 수문 케이스 전·후면의 수두차의 $-1/2$ 제곱에 비례하므로, 수리모형실험에서 실험

유량이 작아 수두차가 매우 작은 경우($\Delta H \rightarrow 0$)에는 유량계수가 실제보다 훨씬 크게 평가되기 쉽다. 따라서 본 연구에서는 실험 자료 중에서 수문 케이스 전·후면 사이의 수두차가 3.5mm 보다 작은 것은 분석에 이용하지 않았다. 이는 각 계측점에서 수면 변동이 심한 수리 현상을 계측하게 됨에 따라 1mm 내외의 수위 계측 정밀도로 측정된 수위값의 차이로부터 계산되는 수두차에 포함된 실험 오차는 최대 2mm까지 될 수 있는 여건을 고려하여 유량계수 값을 보수적으로 평가하기 위함이었다.

3. 실험 결과

Fig. 4는 W70H04L91M00 및 W70H04L91M50 모형의 수두차에 따른 통수성능을 서로 비교한 것이다. 그림에서 흰색

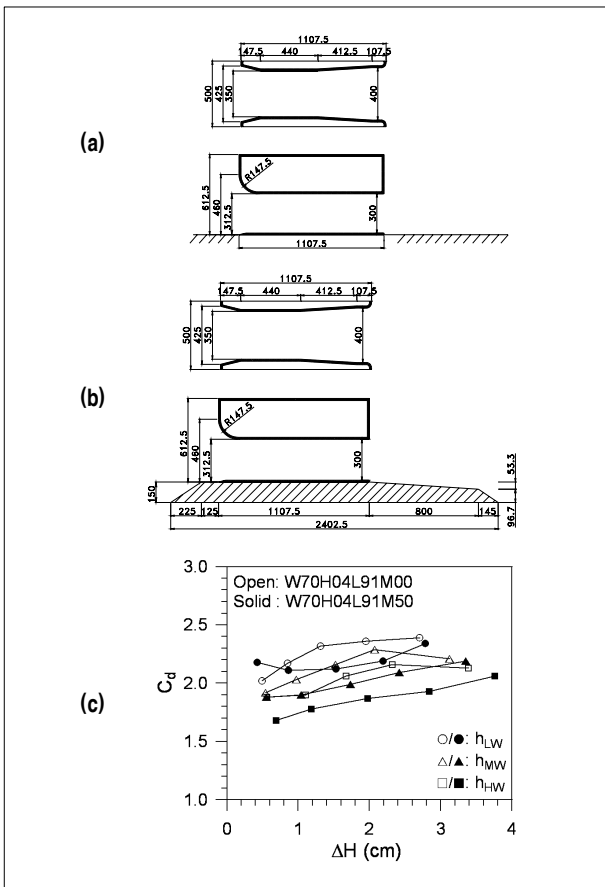


Fig. 4 (a) Diagram of W70H04L91M00 model. (b) Diagram of W70H04L91M50 model. (c) Comparison of discharge coefficients of the two models.

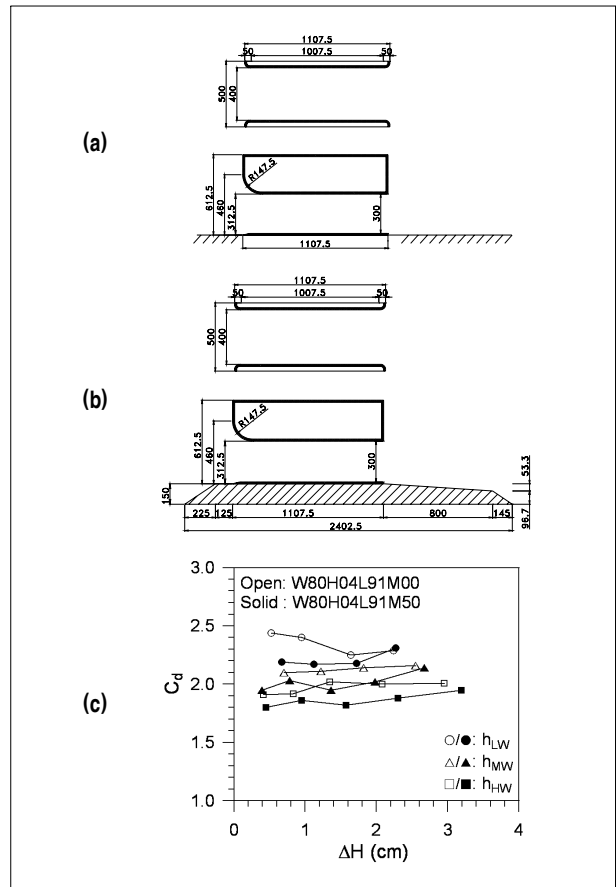


Fig. 5 (a) Diagram of W80H04L91M00 model. (b) Diagram of W80H04L91M50 model. (c) Comparison of discharge coefficients of the two models.

(Open) 심볼은 사석마운드가 설치되지 않은 W70H04L91M00 모형을 나타내며, 검정색(Solid) 기호는 사석마운드가 설치된 W70H04L91M50 모형을 나타낸다. 또한, 수문 케이슨 모형 전면(상류측)의 수위가 낮을 때(○/●), 중간일 때(△/▲), 높을 때(□/■)의 실험 결과를 각각 다른 기호를 사용하여 구분하였다.

Fig. 4로부터 마운드 설치 여부에 상관없이 수문 케이슨 전면(상류측)의 수위가 낮아짐에 따라서 전반적으로 유량계수가 증가하는 경향이 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 Fig. 4에 보인 수문 케이슨 모형 뿐만 아니라 다른 모형의 경우에도 대체로 일관되게 나타나는 현상이다. 그 이유는 수위 조건 세 가지 중에서 수위가 낮을수록 수문이 수문 케이슨 상부구조물 전면부와 만나는 높지에서 수면과 상부구조물이 이루는 경사각이 작아져서 유선이 자연스럽게 형성되기 때문인

것으로 보인다.

한편, Fig. 4에 보인 수문 케이슨 모형의 경우에는 수두차가 같을 때 모형이 마운드 위에 설치되는 경우에 대체로 유량계수가 작음을 알 수 있다. 이러한 경향은 Fig. 5에 보인 것처럼 최소단면 바닥 높이는 Fig. 4의 모형과 동일하고 최소단면 폭은 더 넓은 W80H04L91M00과 W80H04L91M50 모형의 유량계수를 비교할 경우에도 마찬가지로 나타난다. 한편, Fig. 5에서 W80H04L91M00 모형의 경우에는 전면 수위가 낮을 때와 중간일 때, W80H04L91M50 모형의 경우에는 전면 수위가 낮을 때에는 유량이 가장 작을 때($Q = 0.065\text{m}^3/\text{s}$)의 실험 결과가 제시되지 않았는데, 이것은 이들 실험 조건에서는 수문 케이슨 전·후면 사이의 수두차가 3.5mm보다 작아서 유량계수가 과대평가될 수 있기 때문에 2.5절에서 설명한 것처럼 분석에서 제외하였기 때문이다. Fig. 6~12에서도 이처

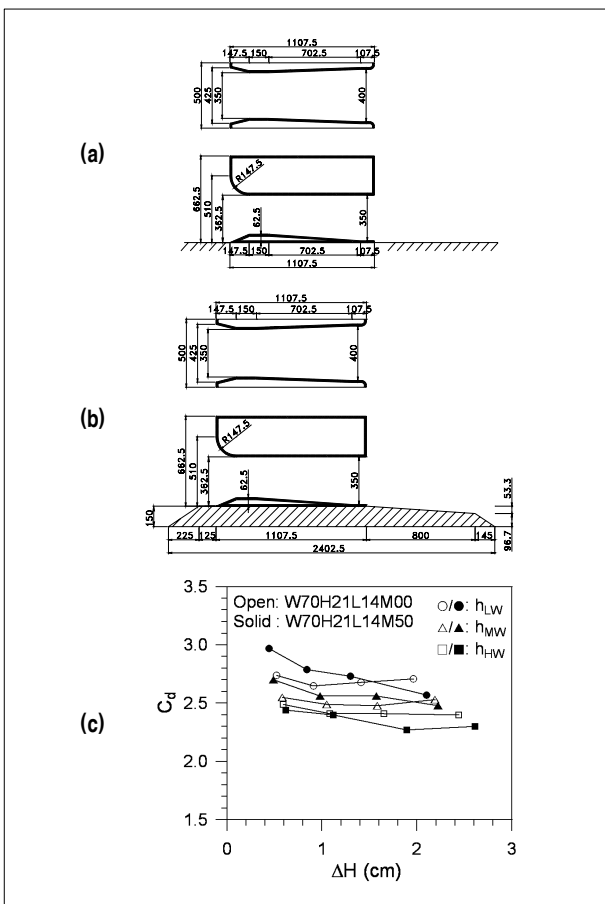


Fig. 6 (a) Diagram of W70H21L14M00 model. (b) Diagram of W70H21L14M50 model. (c) Comparison of discharge coefficients of the two models.

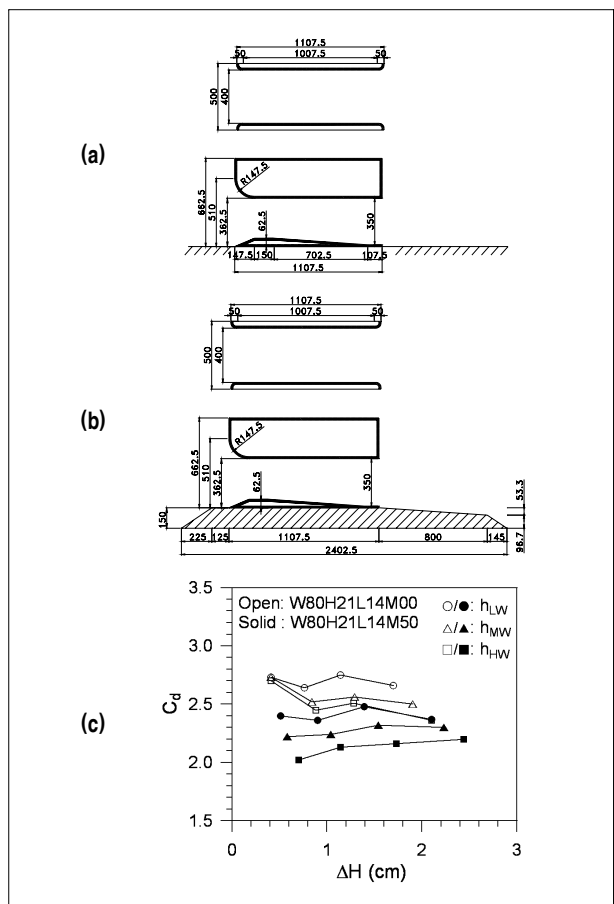


Fig. 7 (a) Diagram of W80H21L14M00 model. (b) Diagram of W80H21L14M50 model. (c) Comparison of discharge coefficients of the two models.

럼 수문 케이슨 전·후면 사이의 수두차가 3.5mm보다 작은 경우의 실험 결과는 그래프에 나타내지 않았다.

Fig. 4 및 Fig. 5에서는 수문 케이슨의 바닥 높이(h_b)가 최소단면의 높이(h_t)의 4%(H04)이므로, 최소단면의 높이가 해저면 또는 마운드 상부면과 거의 차이가 나지 않았다. 수문 케이슨 바닥 높이가 이보다 더 높은 경우, 즉 케이슨 바닥이 위로 약간 볼록하게 솟아오른 경우에 대한 마운드 설치에 따른 통수성능 변화를 Fig. 6~7에 나타내었다. 이 경우 수문 케이슨의 바닥 높이(h_b)는 최소단면의 높이(h_t)의 21%(H21)이다. Fig. 6에 보인 것처럼 수문 케이슨 최소단면의 폭(W_t)이 케이슨 전체 폭(W)의 70%인 경우에는 수문 케이슨이 마운드 위에 설치된 경우(W70H21L14M50)가 개수로 바닥에 설치된 경우(W70H21L14M00)에 비해서 유량계수가 더 컸

다. 반면에, Fig. 7에 보인 것처럼 최소단면의 폭(W_t)이 케이슨 전체 폭(W)의 80%인 경우에는 수문 케이슨이 마운드 위에 설치된 경우(W80H21L14M50)의 유량계수가 더 작았다. 즉, 수문 케이슨 최소단면의 폭에 따라서 마운드 설치 여부에 따른 통수성능 변화 양상이 다르게 나타났다.

한편, 수문 케이슨 바닥이 조금 더 위쪽으로 볼록하게 솟아오른 경우, 즉 수문 케이슨의 바닥 높이(h_b)가 최소단면의 높이(h_t)의 29%(H29)인 경우의 실험 결과는 Fig. 8~9에 제시하였다. 이 경우에는 수문 케이슨 최소단면의 폭(W_t)이 케이슨 전체 폭(W)의 70%인 경우와 80%인 경우 모두 마운드가 설치되었을 때 수문 케이슨의 유량계수 값이 감소함을 알 수 있다. 특히, ΔH 가 작을수록 유량계수 값이 더 큰 차이를 나타내었다.

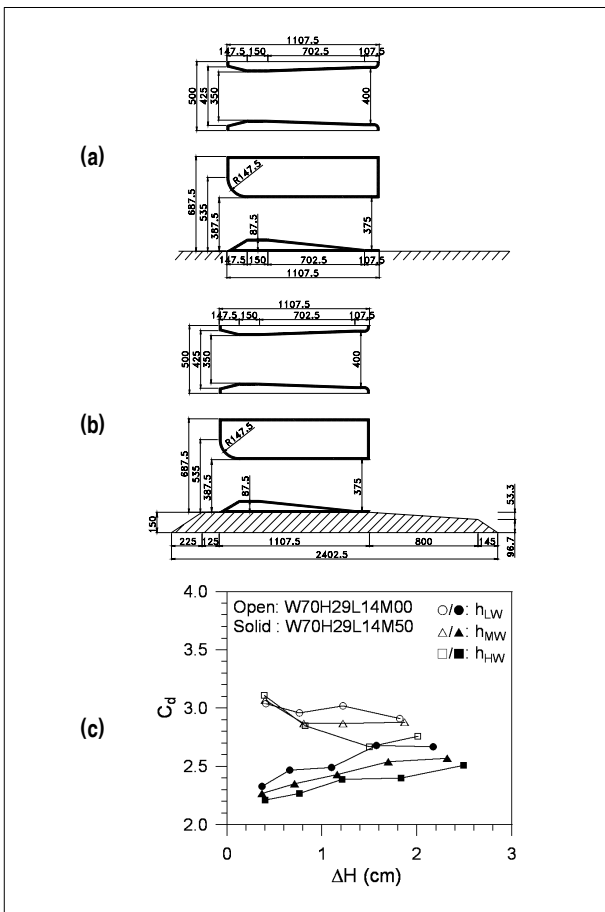


Fig. 8 (a) Diagram of W70H29L14M00 model. (b) Diagram of W70H29L14M50 model. (c) Comparison of discharge coefficients of the two models.

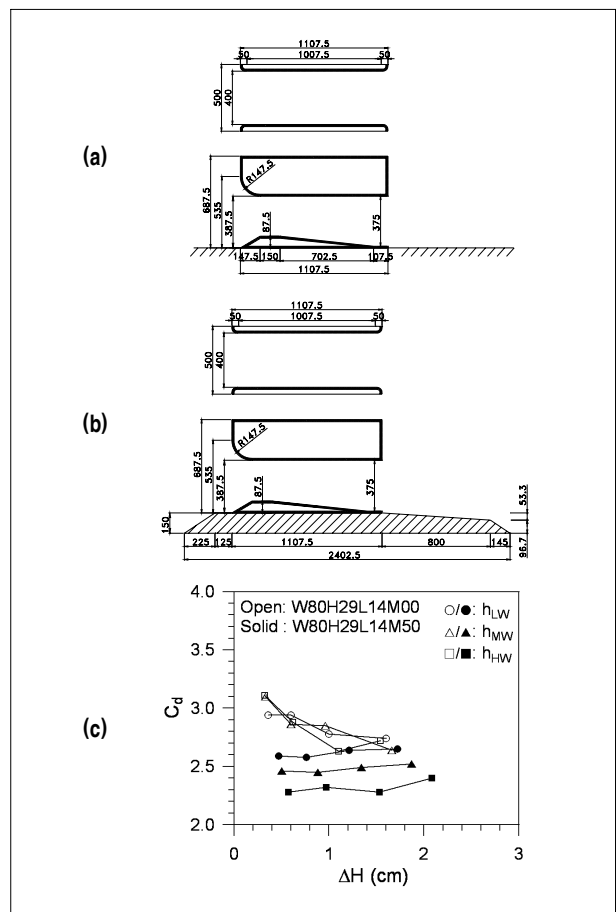


Fig. 9 (a) Diagram of W80H29L14M00 model. (b) Diagram of W80H29L14M50 model. (c) Comparison of discharge coefficients of the two models.

마지막으로 수문 케이슨의 바닥높이가 가장 높은 경우, 즉 수문 케이슨의 바닥 높이(h_b)가 최소단면 높이(h_t)의 38%(H38)인 경우의 통수성능 비교를 Fig. 10~11에 나타내었다. 이 경우에도 Fig. 8~9의 결과와 마찬가지로 수문 케이슨이 마운드 위에 설치되었을 때 통수성능이 저하되는 결과를 얻었다.

마운드 설치 여부에 따른 수문 케이슨 통수성능 변화를 보다 정량적으로 평가하기 위하여 Fig. 4~11에 보인 실험 결과로부터 마운드 설치 전·후의 유량계수의 증감률을 $\Delta H=1.25\text{cm}$ 일 때를 기준으로 계산하였다. Fig. 4~11에 보인 것처럼 유량계수는 수두차에 따라서 달라지게 되는데, $\Delta H=1.25\text{cm}$ 일 때를 기준으로 유량계수 값을 비교한 이유는 현장의 조력발전소 수문 케이슨 해측과 조지측 사이의 운영 수두차가 대부분 0.5m 이내의 범위에 있는데, 이를 본 수리모형실험의 축척이

약 1/40 정도임을 고려하여 실험실 조건으로 환산할 경우 1.25cm가 되기 때문이다. Fig. 12에는 가로림 조력발전소 타당성 조사사업에서 외해측과 조지측의 수위 변화를 모의한 결과로부터 수두차의 확률분포를 계산한 결과를 제시하였다. Fig. 12에 보인 것처럼 수두차 대부분이 0.5m 이내의 범위에 있으며 1m를 넘는 경우는 매우 드뭄을 알 수 있다. 따라서, 수문 케이슨의 통수성능을 비교·평가할 때에는 수두차 0.5m 내외의 작은 수두차에서 유량계수가 큰 수문 케이슨의 성능이 더 우수한 것으로 평가할 수 있다.

Table 2에는 총 8가지 수문 케이슨 모형이 각각 개수로 바닥에 설치된 경우와 마운드 위에 설치된 경우에 대하여 수두차 $\Delta H=1.25\text{cm}$ 일 때의 유량계수 값 및 그 증감률을 제시하였다. $\Delta H=1.25\text{cm}$ 일 때의 유량계수는 선형 보간법으로 계산하였다. Table 2에서 알 수 있듯이 W70H21L14M00과 W70H21L14M50

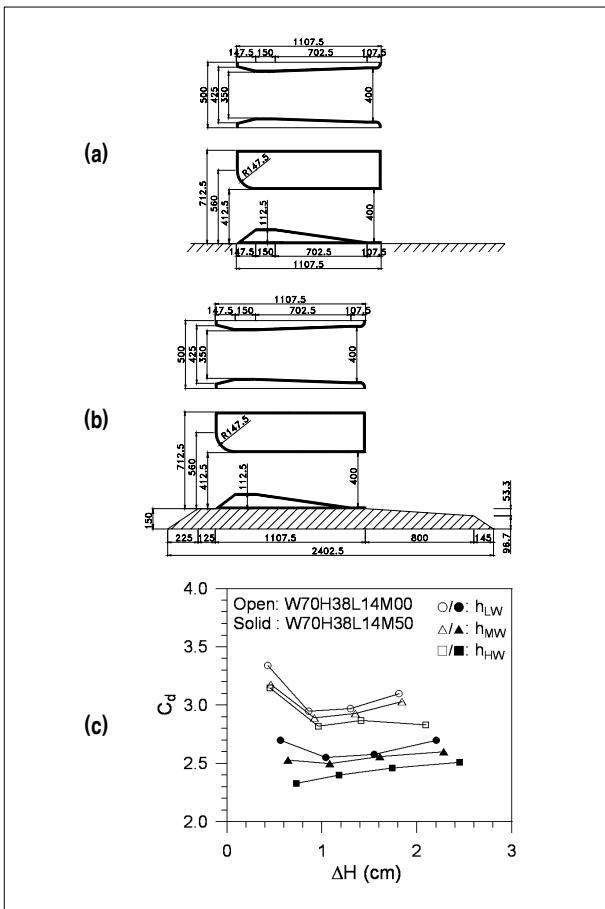


Fig. 10 (a) Diagram of W70H38L14M00 model. (b) Diagram of W70H38L14M50 model. (c) Comparison of discharge coefficients of the two models.

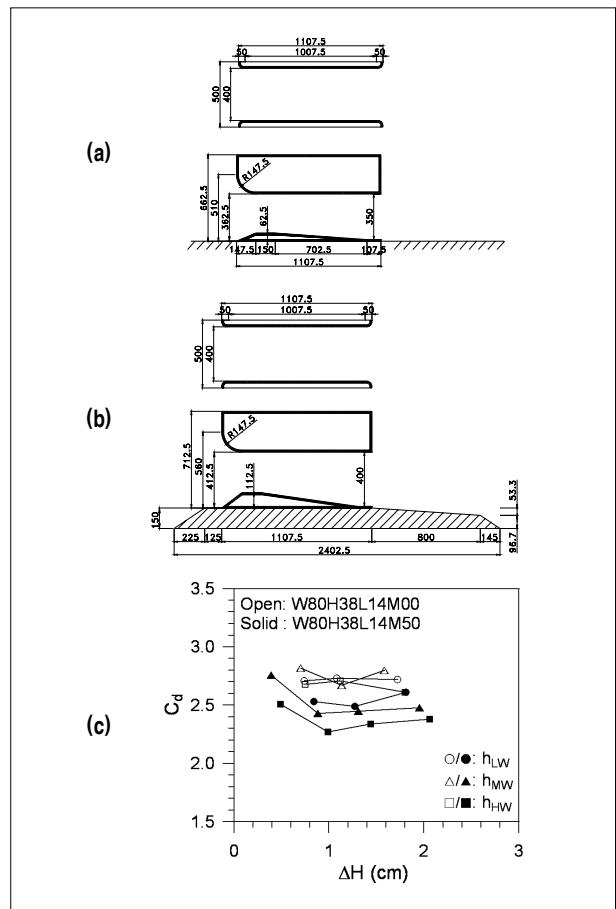


Fig. 11 (a) Diagram of W80H38L14M00 model. (b) Diagram of W80H38L14M50 model. (c) Comparison of discharge coefficients of the two models.

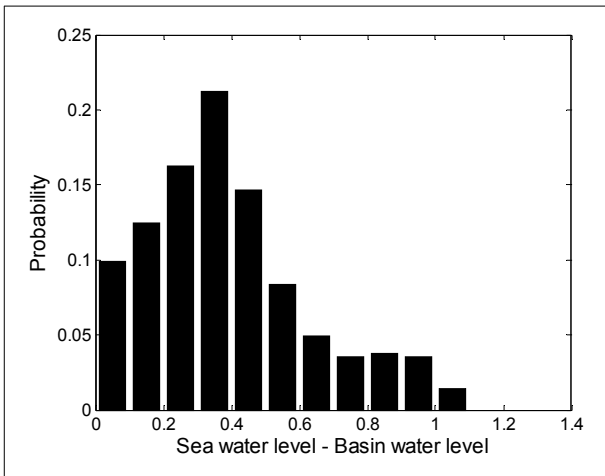


Fig. 12 Probability distribution of the difference in water levels of sea and basin.

Table 2. Change rates of discharge coefficient according to installation of the mound (%)

	h_{LW}	h_{MW}	h_{HW}	평균
W70H04L91M00/M50	-8.0	-8.1	-7.9	-8.0
W80H04L91M00/M50	-7.0	-6.9	-8.1	-7.3
W70H21L14M00/M50	2.5	3.0	-1.3	1.4
W80H21L14M00/M50	-10.5	-11.1	-14.8	-12.1
W70H29L14M00/M50	-15.4	-14.7	-12.6	-14.2
W80H29L14M00/M50	-4.4	-10.2	-13.6	-9.4
W70H38L14M00/M50	-13.7	-13.7	-15.6	-14.3
W80H38L14M00/M50	-8.6	-9.5	-14.1	-10.8
평균	-8.1	-8.9	-11.0	-9.3

모형의 경우를 제외한 나머지 경우에는 모두 수문 케이슨이 마운드 위에 설치될 때의 유량계수가 감소하였다. 수문 케이슨 상류측에서의 수위 조건에 따라서는 낮은 수위일 때 8.1%, 중간 수위일 때 8.9%, 높은 수위일 때 11.0% 유량계수가 감소하였다.

4. 결론

이 연구에서는 조력발전용 수문 케이슨의 통수능력이 사석 마운드 설치 여부에 따라서 어떻게 달라지는지를 수리모형실험을 통해 고찰하였다. 실험에 사용된 여덟 가지 수문 케이슨 모형 중에서 오직 한 가지 경우에만 마운드를 설치하였을 때

의 수문의 통수능력이 향상되었고, 나머지 경우에는 반대로 저하되었다.

본 연구에서는 마운드가 설치됨에 따라서 수문 케이슨의 통수능력이 전반적으로 약 9% 정도 저하되었다. 그러나 이것은 본 연구에서 사용된 마운드의 형상이 오직 하나뿐이므로 일반적인 결론으로 삼는 것은 적절하지 않다. 만약 마운드의 높이 및 형상이 달라지게 되면, 그에 따라서 수문 케이슨 주변에서의 흐름장이 달라지게 되므로 다른 결과를 얻게 될 수도 있다. 이 연구 결과로부터 이끌어 낼 수 있는 결론은 마운드의 형상이 수문 케이슨의 통수능력을 약 10% 정도 변화시킬 수 있기 때문에 설계시에 마운드의 형상도 주요한 설계변수의 하나로 취급해야 한다는 것이다. 즉, 수문 케이슨의 유입 유량을 극대화하기 위해서는 수문 케이슨 자체의 형상 뿐만 아니라 마운드의 높이 및 형상도 함께 종합적으로 고려해야 한다는 것이다. 따라서, 수심이 깊어서 마운드 위에 수문이 놓이게 되는 현장 조건에서는 마운드 형상으로 인해서 수문의 통수능력이 지나치게 저하되지 않도록 수리 또는 수치 모형실험을 통하여 마운드의 형상 및 높이를 가장 적합하게 설계해야 할 필요성이 있다.

수문 케이슨이 마운드 위에 설치되는 경우에는 해저 바닥면 높이에 설치되는 경우와 비교할 때, 수문 케이슨 전면에서 유입되는 흐름장의 패턴이 다르게 형성되기 때문에 통수능수에 변화를 일으키는 것으로 판단된다. 이러한 점에 근거하여 볼 때 수문 케이슨의 평면적 형상보다는 측면적 형상이 마운드 설치 여부에 따른 수문의 통수능수 변화를 결정짓는 주된 인자인 것으로 판단된다. 그러나 W70H21L14M00/M50 모형 및 W80H21L14M00/M50 모형에 대한 실험 결과에서 볼 수 있듯이 수문 케이슨의 평면적 형상이 달라짐에 따라 통수능수에 상당한 변화가 생기기도 하므로 두 가지 요소를 종합적으로 검토하는 것이 보다 바람직하다.

이 연구에서는 마운드의 형상이 한 가지인 경우에 대해서만 수리모형실험이 수행되었는데, 마운드 설치에 따른 수문 케이슨의 통수능수 변화를 보다 종합적으로 검토하기 위해서는 마운드의 높이 및 전면 경사가 서로 다른 다양한 형태의 마운드가 설치된 경우에 대하여 실험을 수행할 필요가 있다. 이를 통해서 현장에 시공되는 수문케이슨의 통수능수를 극대화할 수 있는 마운드 형상 설계가 이루어질 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

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] 이광수, 2005, 한반도 조력자원 개발타당성. 2005년도 한국 신재생에너지학회 학술발표회논문집, 342-350.
- [4] 오명학, 박진순, 이광수, 2007, 우리나라의 조력에너지 개발 여건. 대한토목학회지, 55(12), 135-140.
- [5] 이달수, 오상호, 이진학, 박우선, 조휴상, 안석진, 2008, “조력발전용 수문 형상에 따른 통수성능에 관한 실험적 연구 – II. 실험결과 및 분석”, 한국해양해양공학학회논문집, 20(1), 81-92.
- [6] 이달수, 오상호, 이진학, 박우선, 조휴상, 김덕구, 2008, “조력발전용 수문 형상에 따른 통수성능에 관한 실험적 연구 – I. 수리모형실험”, 한국해양해양공학학회논문집, 20(1), 73-80.
- [7] 한국해양연구소, 1993, 가로림 조력 개발 타당성 조사 보고서.
- [8] Baker AC, 1991, Tidal Power. Peter Peregrinus Ltd., London, United Kingdom.

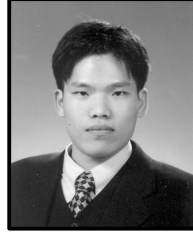
이 달 수



1973년 서울대학교 토목공학과 공학사
 1978년 프랑스 Univ. Grenoble 공학석사(연안공학)
 1981년 프랑스 Univ. Grenoble 공학박사(연안공학)

현재 한국해양연구원 연안개발·에너지연구부 책임연구원
 (E-mail : dslee@kordi.re.kr)

오 상 호



1998년 서울대학교 토목공학과 공학사
 2000년 서울대학교 토목공학과 공학석사
 2005년 서울대학교 지구환경시스템공학부 공학박사

현재 한국해양연구원 연안개발·에너지연구부 연수연구원
 (E-mail : ohsangho@kordi.re.kr)

이 진 학



1994년 한국과학기술원 기계공학과 공학사
 1996년 한국과학기술원 토목공학과 공학석사
 2001년 한국과학기술원 토목공학과 공학박사

현재 한국해양연구원 연안개발·에너지연구부 선임연구원
 (E-mail : yijh@kordi.re.kr)

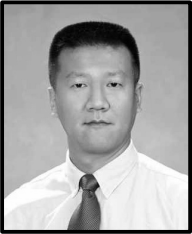
박 우 선



1984년 서울대학교 토목공학과 공학사
 1986년 한국과학기술원 토목공학과 공학석사
 1991년 한국과학기술원 토목공학과 공학박사

현재 한국해양연구원 연안개발·에너지연구부 책임연구원
 (E-mail : wspark@kordi.re.kr)

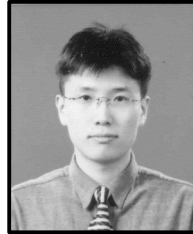
조 휴 상



1992년 명지대학교 토목공학과 공학사
 1994년 명지대학교 토목공학과 공학석사

현재 (주)헤인이앤씨 부설기술연구소 이사
 (E-mail : chohs@hyein.com)

엄 현 민



1999년 성균관대학교 토목공학과 공학사
 2001년 성균관대학교 토목환경공학과 공학석사

현재 (주)헤인이앤씨 부설기술연구소 과장
 (E-mail : eomhm@hyein.com)