새로운 샌드바이패싱 시스템의 토출율 예측을 위한 현장실험 연구 Discharge Rate Prediction of a new Sandbypassing System in a Field

권혁민* · 박상신** · 권오균***

Hyuck-Min Kweon*, Sang-Shin Park** and Oh-Kyun Kwon***

요 지 : 본 연구에서는 현재 전 세계적으로 해안선 회복공법의 주류가 된 연성방어 중 하나인 샌드바이패싱을 위한 새로운 시스템을 제안하고자 한다. 검증을 위하여 경제성을 고려한 연구장비를 설계 및 제작하였다. 본 장비의 모래 토출율 예측은 일반적인 하천준설 시스템에 적용시켜 정류상태에서 시간당 토출된 물과 토사 무게를 측정·분석하는 방법으로 수행했다. 자료의 분석 결과, 본 시스템은 이론치에 약 9.6% 차이로 근접한 618 ton/hr의 토출율을 나타냈다. 본 토사류는 고밀도 흐름으로 가정했을 때 비교적 높은 수준으로 예측이 가능함을 알았다. 현장실험에 의한 토출율을 기초로 모래의 토출부피를 예측하였다. 본 시스템과 동일한 400 HP 엔진, 흡입 파이프 300 mm (12 inch), 토출 파이프 250 mm(10 inch)인 미국 플로리다 South Lake Worth Inlet에 설치되어 있는 고정식 샌드바이패싱 장비는 함미비가 20% 수준이며 토사 토출율이 110 m³/hr이다. 본 연구에서 제안된 장비의 펌핑 능력은 함미비가 동일할 때, 플로리다 설비와 거의 유사한 토사 효율이 103 m³/hr로 예측된다. 본 장비는 플로리다에 설치된 고정식이 아니며 친수성을 고려한 이동식 형태이다. 플로리다 South Lake Worth Inlet 설비의 샌드바이패싱 단가는 미화 8~9 달러/m³이다(Brunn, 1993). 본 시스템은 모래량이 적은 경우에 적절하며 이동을 위한 별도의 장비가 필요하지 않으므로 경제적이고 운행을 위해 25~30 l/hr의 경유가 소모된다. 많은 양의 모래이동을 위해 다수의 소형장비를 동시에 운영하는 시스템은 추후 연구대상이 될 것으로 기대된다.

핵심용어 : 샌드바이패싱 시스템, 침식해안의 회복, 연성방어, 해안선 방호, 고밀도 흐름

Abstract : A new type of sand bypassing system is proposed for recovering the eroded beach in this study. This system provides an added methodology to the soft defence which is main recovery method for the coastal shore protection in the world. The study proposes a conceptional design and manufacturing procedure for the relatively small size machine of sand bypassing. In order to get the discharging volume information, the power capacity of the system is tested in the field. The discharge rate of the new system shows up to the expected maximum of 618 ton/hr which is 9.6% lower than that by theoretical calculation. It gives a reasonable agreement in this system when the flow is assumed to be of the high density. In this study, the delivering volume of sand is estimated according to the discharge rate. The combination of 300 mm(12 inch) intake and 250 mm(10 inch) discharge pipe line has the pumping capacity of 103 m³/hr which is nearly the same as that of South Lake Worth Inlet sand bypassing system, Florida, U.S.A.. The proposed system added the mobility to its merit. The unit price of Florida's sand bypassing is \$8~9/m³ (US). The system would be economically suitable for small volume of sand because no additional equipment is necessary for the intake. The diesel fuel of 25~30 l/hr was consumed during the system operation. The multiple working system would be the next investigation target for large volume of sand.

Keywords : sand bypassing system, recovery of beach erosion, soft defence, coastal shore protection, high density flow

1. 서 론

우리나라의 해안선 침식문제는 이미 사회적 문제로 진행되고 있으며 이를 완화할 수 있는 대책 기술체계가 시급히 요구된다. 전국적으로 약 120개소에서 해안침식이 발생한 것으로 파악되어 있음에도 불구하고 해안선 보호를 위한 적절한 공법이 충분히 확보되어 있지 않다. 이로 인하여 해안선 보호를 위한

전략이 기존의 기술에만 의존하는 수준에 머물러 있다. 국내에서는 주로 강성방호를 채택해 왔으나 선진 외국에서는 이미 연성방호가 주류를 이루고 있다.

현재까지 우리나라에서는 관수로 파이프에 의한 샌드바이패싱 전용장비 및 시설의 개발과 현장에 적용한 사례가 전무하다. 지금까지 보고된 다양한 방법에 의한 샌드바이패싱 설비는 2001년 현재 전 세계적으로 총 53개소에 설치되어 있으며, 미

*경주대학교 건축토목학과 (Department of Architecture and Civil Engineering, Gyeongju University)

**영남대학교 기계공학과 (Corresponding author : School of Mechanical Engineering, Gyeongsan, Gyeongsangbuk-Do, 712-749, Korea. pss@ynu.ac.kr)

***계명대학교 토목공학과 (Department of Civil Engineering, Keimyung University)

국(35), 호주(4), 인도(3), 남아프리카공화국(3), 덴마크(3), 이탈리아(2), 캐나다(1), 스페인(1), 일본(1) 순으로 설치되어 있다. 동아시아권에서는 유일하게 일본에서 1997년 당시 가동을 위한 준비단계에 있었다(Boswood and Murray, 2001). 미국은 총 35개소를 운영하고 있으며, 이 중 15개소가 플로리다 주에 소재하고 있고 동부해안의 경우는 10개소에 달한다. 미국 플로리다 동부해안의 연안표사 이동은 우리나라 동해안과 같이 남향이 우세하다. 또한 대부분 해안선 침식이 도류제 등 해안선 구조물에 의해 발생하고 있다는 점도 동일하다(권 등, 2004). 미국과 호주를 중심으로 샌드바이패싱 시설 또는 장비가 설치되어 있는 곳의 대표적인 예는 Table 1에서 보는 바와 같다.

샌드바이패싱 설비의 형식은 고정식과 이동식으로 대별할 수 있다. Table 1에서 South Lake Worth Inlet에 설치되어 있는 고정식 샌드바이패싱 장비는 1937년에 최초로 설비가 완료되었고, 1948년과 1967년 개선되어 현재에 이르고 있다

. 이 시설은 현재 흡입구 300 mm(12 inch), 400HP 디젤 케터필러 엔진 펌프를 장착하고, 20% 함미비 및 250 mm (10inch) 토출라인으로 구성되어 있다(Yeend and Hatheway, 1988; Dombrowski and Mehta, 1990). 이 시스템은 북측 도류제에서 하류부 남측으로 총 365.76 m의 거리를 이송하는 시스템이다. Fig. 1은 이동식 관수로 형식의 샌드바이패싱 시스템이 가능한 여러 가지 공법을 보인 것이다.

고정식 샌드바이패싱 방법들은 대부분 Fig. 1(a)에 보인 바와 같이 적송형식이다. 하지만, 거리가 먼 경우는 Fig. 1(b)와 같이 트럭을 이용하여 이동하는 방법이 경제적이다. 앞바다에서 전면 해안에 모래를 공급하는 방법도 수행되고 있으며 이는 거리에 따라 양빈형태로 분류할 수도 있다. 이안제 배후지의 퇴적모래는 하류측으로 이송시키는 것이 타당한데, 이때 관수로 형식의 이동식 샌드바이패싱 시스템을 활용할 수 있다.

본 연구에서는 침식대책을 위한 공법 중 최근 들어 국제적

Table 1. Examples of representative sandbypassing system

Location	Country	Type of sandbypassing system
Nerang River Entrance, Queensland	Australia	Trestle and jet pump system (fixed).
Boca Raton, Florida	U.S.A.	Weir training wall and trap with conventional dredging.
Channel Islands Harbour, California	U.S.A	Detached breakwater and sand trap with biannual dredging and pumping down coast of Port Hueneme.
Dawesville, Western Australia	Australia	Crawler excavator (mobile) and crawler mounted pump system.
Indian River Inlet, Delaware	U.S.A	Jet pump and crane (mobile system).
Oceanside Harbour, California	U.S.A	Jet pumps and fluidisers (experimental fixed system).
South Lake Worth Inlet, Palm Beach County, Florida	U.S.A	Fixed hydraulic suction dredge with a rotating boom (fixed).

Fig. 1. Images of available methods by movable sandbypassing machine equipped with pipe flow.

으로 많이 채택되고 있는 샌드바이패싱이 가능하고 우리나라 해안실정에 적합한 시스템을 제공하고자 한다. 이를 위하여 새로운 장비를 구성 및 제작하고, 토출력을 파악하기 위하여 현장검증실험을 수행하였다.

2. 현장실험 장비의 설계 및 제작

본 연구에서는 우리나라 여건을 고려한 샌드바이패싱 시스템의 설계목표를 설정하기 위하여 탐문 조사를 수행했다(권 등, 2007). 탐문조사는 준설관련 전문가, 해안선 침식 연구자, 선박 전문가, 향후 사용자 등을 대상으로 수행되었다. 탐문조사 내용을 분석하여 본 연구에서는 ① 육상이동 가능성, ② 자항 능력, ③ 수륙양용, ④ 소형이면서 기존 샌드바이패싱 장비와 유사한 토출능력 보유 등의 목표를 설정했다. 장비의 육상이동 가능성은 대부분의 해상장비들이 해상 이동시 많은 비용이 발생하므로 비용절감을 위하여 육상이동을 목표로 했다. 바지선에 포크레인 등을 탑재하여 준설할 경우는 자항능력이 없기 때문에 예인선 등 추가장비가 필요하여 비용증가의 요인이 될 수 있다. 수륙양용은 육상으로부터 이동하여 접근이 열악한 지역에도 소형장비가 진입할 수 있어야 하며, 입수 후 작업 중 얇은 수심의 통과 또는 부대장비 없이 신속하게 해안으로 스스로 대피할 수 있도록 설정한 목표이다. 최종적으로 경제성 확보를 위한 목표로서, 소형이면서 기존의 샌드바이패싱 장비와 유사한 토출능력을 채택했다. 본 장비는 소형, 육상이동식, 수륙양용, 자항능력, 기존의 고정식과 유사한 토출력 등을 목표로 한다. 흡입과 토출 파이프 직경 그리고 펌프동력 수 등은 경험적으로 물과 모래를 함께 펌핑하는 경우가 물만 펌핑한 경우 보다 두배의 유량차이를 보인다는 경험치에 근거하여 설계를 수행했다.

상기한 목표는 육상이동을 위한 폭, 높이 및 길이의 제한, 수륙양용을 위한 무한궤도의 장착, 자항능력을 위한 가변홀

수식 추진프로펠러의 장착, 미국 플로리다 샌드바이패싱 시설조사 등을 통하여 달성하고자 하였다. 각 요소가 본체에 장착되면 부력계산이 가능하여 추가 부력 설치 여부를 판단하였다. 그러나, 현재 우리나라 지역별 연안표사의 연간 추정량이 제시된 바가 없으므로 샌드바이패싱량을 추정하기가 곤란하다. 이에 본 연구에서는 미국 플로리다 동부해안의 South Lake Worth Inlet에 설치되어 있는 고정식 샌드바이패싱 장비를 목표로 하였으며, 이 지역의 연간 남측방향 표사 이동량은 134,000~172,000 m³/yr이다(Dombrowski and Mehta, 1990).

2.1 설계 및 제작

본 연구의 장비 설계는 상기한 목표가 만족될 때까지 각부 요소와 부품을 상업체원으로 적용하여 시행착오 방법으로 수행하였다. 먼저 펌프와 동력장치의 제원을 결정한 다음, 장비의 전체 폭과 높이를 확인하고 설계를 진행하였다. 무한궤도는 부품 교환을 수월하게 하고 부력을 확보하기 위하여 전후 분리하여 장착하였다. 몸대는 유압식으로 최대 6m 수심을 목표로 설계하였다. 수심 6m는 쇄파고 약 4.8m에 상당하므로 평상파보다 일반적으로 큰 파에 해당하며, 본 장비는 주로 평상파에 의한 연안표사를 대상으로 하므로 충분한 목표수심이 라고 판단된다. 유압식은 운전자가 흡입구를 저반에 밀착한 후 힘을 가할 수 있으므로, 흡입력이 주변 물로 유출되는 것을 어느 정도 방지할 수 있어서 함미비를 높일 수 있다. 이는 South Lake Worth Inlet에 설치되어 있는 고정식 샌드바이패싱 장비가 부유사를 대상으로 흡입하는 경우와 크게 다른 점이다. 또한 최종적으로 이러한 작업이 가능하도록 장비부품의 무게분산에 의해 전후 부력차이를 발생시켜 전방으로 5도 기울어지게 설계했다. 뒷 부분에 주향이 가능하도록 설치한 프로펠러는 유압식으로 상하이동이 가능하여 물수심을 조절할 수 있도록 하였다. 이는 수심이 현장조건에 따라 불규칙하게 변하기 때문이다. 본 연구에서 제안된 장비의 각부명칭은 Fig. 2에

Fig. 2. Part names of the sandbypassing machine.

Table 2. Specifications of the sandbypassing machine

Items	Specification
Engine output power	400 PS (5% up than HP)
Pump capacity (water+sand)	400~500 m ³ /hr (expected)
Total length	10.5 m
Total width	3.2 m
Total height	3.4 m
Diameter of suction pipe	12 inch (300 mm)
Diameter of discharge pipe	10 inch (250 mm)
Working depth	5~6 m
Gear ratio	2.51 : 1
Fuel	diesel
Volume of fuel tank	300L × 2EA = 600L
Running speed on land	3~5 km/hr
Running speed on water	3~5 km/hr
The number of operators	2 persons

보이는 바와 같고 외형 제원은 Table 2와 같다.

본 연구에서 제안하고자 하는 샌드바이패싱 장비의 목표는 상기한 바와 같이 4가지가 있다. 이 중 육상이동 기능을 위하여 선체길이 10.5 m, 선체폭 3.2 m, 선체높이 3.4 m로 제한하였다. 길이는 트레일러에 상차할 수 있는 조건을 만족하며, 폭은 일반도로 폭이고, 높이는 저상 트레일러 높이와 선체높이를 합한 높이가 육교를 통과할 수 있도록 했다. 자항능력을 위하여 선체 후부에 스크류 어셈블리(Fig. 2의 ⑨)를 장착하였으며, 수륙양용을 위하여 궤도(①)를 설치하였다. Table 2는 제안된 장비의 설계 제원 및 특성을 정리한 것이다.

Table 2에 보는 바와 같이 본 장비의 흡입부와 토출부 환경은 미국 플로리다 주에 있는 South Lake Worth Inlet에 고정식으로 설치되어 있는 장비의 제원과 같으며, 엔진출력도 400HP으로 동일하다.

펌프용량의 설계와 엔진출력은 다음과 같은 방법으로 계산하였다. 기존의 문헌(김, 2004)에 근거하여 펌프와 동력원의 용량을 선정하였다. 우선 물과 모래의 비율은 경험치를 바탕으로 최대 3 : 1 (모래농도 25%에 상당)로 가정하여 설계를 진행하였다. Table 2에서의 목표 최대 토출유량을 단위 환산하면 다음의 식 (1)과 같다.

$$Q = \frac{500 \text{ m}^3/\text{hr}}{60 \text{ min}/\text{hr}} = 8.33 \text{ m}^3/\text{min} = 0.139 \text{ m}^3/\text{s} \quad (1)$$

펌프 흡입구에서의 평균유속(u_{si})과 토출구의 평균유속(u_{so})은 식 (2)와 같다.

$$u_{si} = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi d_i^2}{4}} = \frac{0.139 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi/4(12 \text{ in} \times 25.4 \times 10^{-3} \text{ m}/\text{in})^2} = 1.905 \text{ m/s} \quad (2)$$

$$u_{so} = \frac{Q}{A_o} = \frac{Q}{\frac{\pi d_o^2}{4}} = \frac{0.139 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi/4(10 \text{ in} \times 25.4 \times 10^{-3} \text{ m}/\text{in})^2} = 2.74 \text{ m/s}$$

펌프용량을 산정하기 위하여 전 양정에 대한 검토를 해야 한다. 본 연구에서는 담수와 모래가 함께 섞인 유체를 고밀도 흐름으로 해석하였다. 탐문조사를 통하여 물과 모래를 함께 펌핑한 경우가 물만 펌핑한 경우보다 두배의 유량차이를 보이는 경험치에 착안하여, 관로내 유동의 점도는 5°C 물의 점도의 2배로 가정하였다. 따라서 5°C 물의 동점성 계수(ν_{water})는 $1.591 \times 10^{-6} [\text{m}^2/\text{s}]$ 이므로 설계에서 동점성 계수를 $3.182 \times 10^{-6} [\text{m}^2/\text{s}]$ 로 가정하였다. 강관의 마찰계수를 결정하기 위하여 흡입관의 레이놀즈 수는 다음의 식 (3)과 같다.

$$Re = \frac{d_i v_{si}}{\nu} = \frac{(12 \text{ in} \times 25.4 \times 10^{-3} \text{ m}/\text{in}) \times 1.905 \text{ m/s}}{3.182 \times 10^{-6} [\text{m}^2/\text{s}]} = 1.83 \times 10^5 \quad (3)$$

식 (3)의 결과는 난류영역에 해당하고, 이 레이놀즈 수에 해당하는 시중강관의 마찰계수는 Moody 선도(White, 1986)로부터 $\lambda = 0.02$ 이다.

샌드바이패싱 장비가 입수 후 준설깊이는 Fig. 3과 같이 5~6 m로 가정하였다. 이 수심은 전빈(前濱)의 평균 경사를 1/10로 가정했을 때 60 m 면바다 방향 위치에서의 수심을 의미한다. 본 장비는 대부분 해안선 인근에서 작업을 수행하므로 충분한 작업심도라고 판단된다. 수면으로부터 펌프의 높이가 2 m 정도이므로 흡입높이는 최대 8 m가 될 수 있다. 또한 펌프로부터 최대 높이는 10 m 정도까지 올려줄 수 있도록 설계하였다. 이러한 시스템의 전 양정(H)은 $H_a + \Delta H$ 이며, 여기서 H_a 는 실양정으로 18 m이고, ΔH 는 관로계의 전손실수두이다. 최대 모래이동거리(L_{max})를 800 m의 직관으로 가정하였으며, 거리 800 m는 권 등(2007)에서 동해안 37개 지역을 대상으로 직선거리를 분석한 결과 50%에 해당하는 약 19개소를 직송할 수 있는 거리에 해당한다. 이에 근거하여 전손실수두는 Darcy-Weisbach 식으로부터 다음의 식 (4)와 같다.

$$\Delta H = \lambda \frac{L}{d_o} \frac{u_{so}^2}{2g} = 0.02 \times \frac{800}{12 \times 25.4 \times 10^{-3} \times 2 \times 9.81} \frac{2.74^2}{2} = 20.09 \text{ m} \quad (4)$$

Fig. 3. Schematic for the assumption of total lift.

전술한 식 (4)에 따라 전 양정은 $H = 38.09\text{ m}$ 가 된다. 유체의 밀도는 모래가 물보다 약 1.9배 무거우며, 모래가 25% 정도이기 때문에 순수 물의 밀도인 1000 kg/m^3 보다 50% 증가시킨 1500 kg/m^3 으로 가정하였다. 이 펌프의 구동 엔진은 이동식 차에 탑재되어야 하므로 1800 rpm으로 회전할 수 있는 엔진을 부착하고, 이를 1:2.51의 비율로 감속하는 감속기를 달아서 토크를 증강시켜 구동시키도록 하였다. 회전차의 회전에 의하여 펌프를 통과하는 유체에 주어지는 동력을 수동력이라 하며, 이를 구하면 식 (5)와 같다.

$$L_{HP} = \frac{\kappa \rho Q H}{75 \times 60} [HP] = \frac{2.51 \times 1500 \text{ kg/m}^3 \times 8.33 \text{ m}^3 \times \text{min} \times 38.09 \text{ m}}{75 \times 60} = 265.44 \text{ HP} \quad (5)$$

KS 규격에서 제공하는 펌프효율은 72% 정도이며, 원활한 구동을 위한 동력여유는 15% 정도이므로 필요한 엔진용량은 식 (6)과 같다. 본 연구에서는 계산된 407HP와 상용조건을 고려하여 엔진의 용량을 400HP으로 결정하였다.

Photo 1. Turning process of the body after caterpillar setting.

$$L_r = \frac{L_{HP}}{\eta} = \frac{265.44}{0.72} \times 1.15 = 407 \text{ HP} \approx 400 \text{ HP} \quad (6)$$

금번 현장실험과 같이 배송거리 220 m에 대해서는 전술한 식 (3)~(6)의 과정으로 계산하면, 상용조건을 고려하여 250HP의 엔진을 선택할 수 있다. 하지만, 본 장비처럼 400HP 엔진을 장착한 경우가 250HP 엔진 보다 더 높은 토출율을 보이는 것은 아니다. 단, 배송거리가 220 m보다 길어지는 경우는 손실수두 영향으로 상대적으로 250HP 엔진펌프의 토출율이 400HP 엔진펌프 보다 작아진다.

장비의 제작은 전문 제작소에서 가능하고, 제작공정은 25 개로 분리할 수 있으며 Photo 1은 캐도 장착 후 선체를 돌리는 공정을 보이고 있다.

2.2 연구 장비의 기본 목표 검토

제작이 완료된 후 장비의 기본 목표를 검토하였다. 설정된 목표 중 제작 후 검토가 가능한 항목은 ① 육상이동 기능, ② 자항능력, ③ 수륙양용 등이며 토출 예비실험 등을 통하여 이것들을 확인할 수 있다. 목표 중 ④ 소형이면서 기존 샌드바이 패싱 장비와 유사한 토출능력 보유는 다음 절에서 자세히 검토하고자 한다. 육상이동기능 여부에 대해서 외형치수는 Fig. 4에 나타나 있으며, 상차된 장비의 상태는 Photo 2에서 보는 바와 같다. 장비의 상차는 50 ton 크레인을 이용했다. Fig. 4와 Photo 2에서 보는 바와 같이 장비 폭은 3.2 m이며 일반 도로에서 통행이 가능하다. 저장 트레일러에 상차된 상태에서 높이가 4.2 m이며 대구에서 울주군까지 고속도로와 일반 도로를 이용하여 운반하였으며, 이동시 장비의 무게는 25.76 ton이다. 보조 부력통, 부력 장치, 흡입호스 등은 별도의 25 ton 카고로 운반하였다.

입수 후 자항 능력 시험은 이동 및 회전을 시험했으며, 옆

Fig. 4. Dimensions on the low deck trailer.

Photo 2. State on the low deck trailer.

Photo 3. Preliminary discharge testing.

으로 입수하여 흡입호스 조립 후 자세를 정면으로 향하도록 바꿀 수 있었다. 수륙양용은 시험운행 중 저수심 통과시 궤도를 사용하여 이동이 가능함을 확인했다. 토출 예비 실험은 본 실험을 위해 배사관을 설치하기 전에 장비의 상태를 확인하기 위하여 Photo 3과 같이 수행되었다. 이때, 펌프와 엔진의 상태, 부력 계통 안전성 및 안정성을 점검하였으며, 동시에 각종 유압장치에 의한 운동부위를 작동시켜 토사비 실험의 지속적인 안정화를 확보하고자 했다.

위에서 설명한 바와 같이 이동식 샌드바이패싱 장비의 토

출력 현장실험을 위하여 사전 예비실험을 수행하였다. 기본 목표 항목 3가지에 관한 사전 점검을 수행하면서 국부적인 문제점들을 극복하여 본 실험이 가능하게 되었다.

3. 토출력의 현장실험 및 측정

장비의 토출력 측정은 하천에서 수행되었다. 바이패싱을 할 해안의 모래는 다져진 상태가 아닌 포화상태이거나 쇄파에 의한 부유사로 존재하므로 전단력이 존재하지 않는다. 따라서 단위시간당 토출력을 알면 이동대상 모래의 구성비에 따라 단위중량으로 환산하여 부피를 추정할 수 있다. 또한 해안에서 실험의 일관성을 확보하기 위하여 실험 중 정류(定流) 상태 확인이 필수적이나 이를 위한 시설이나 토사분리기 등 부대장비를 설치한다는 것이 관계기관의 허가취득과 비용측면에서 어려운 점이 있으므로 하천에서 현장실험을 수행하였다. 즉, 본 장비는 힘으로 토사를 운반하는 시스템이므로 토출력은 하천에서도 확인이 가능하다. 본 시스템의 토출력 현장 실험은 향후 샌드바이패싱에 의한 토사량 설계의 기본자료를 획득하기 위하여 수행하였다. 현장실험은 시간당 토사별 준설능력을 예측하기 위하여 토출력을 대상으로 하였으며 Photo 4에 보이는 바와 같이 회야강 하류부의 울주군 온산 덕신일원 하상오니 준설공사 현장에서 수행되었다.

현장실험을 위한 구성도는 Fig. 5에서 보는 바와 같다. 기본 구성은 샌드바이패싱 장비로부터 배출 파이프를 통하여 이동한 토사류가 분리기를 통과하면서 토사량과 유량으로 분리된다. 분리된 유량과 부유사는 침사지로 유입되고 침사지에 응집체를 첨가하여 부유사가 빨리 침전되도록 하였다. 침전지를 통과한 토사류의 상등수는 최종 침전지에 설치되어 있는 웨어를 넘어 암거를 통하여 하천으로 회류하도록 되어 있다.

현장에서 사용된 샌드바이패싱 장비는 300 mm(12 inch) 흡입 파이프를 흡입한 토사류를 배출구에 부착되어 있는 250 mm(10 inch) 관수로형 배사관에서 220 m 이송시켜 분리기에 배출한다. 배출 총토사류량 Q_1 는 토사와 물로 분리되며 토사는 다시 저함수비의 Q_2 와 고함수비의 Q_3 로 분리배출된다. 분리기

(a) Aerial photograph of the field testing site

(b) Signboard for the dredge

Photo 4. Field location of the discharge rate testing.

Fig. 5. Diagram for the discharge rate testing of a new sandbypassing system in the field.

에서 배출되지 못한 미세 토사인 부유사량 Q_{ss} 는 유량 Q_w 와 함께 침사지로 $Q_{ss} + Q_w$ 만큼 유입된다. 유량 Q_w 는 최종 침사지에 설치되어 있는 웨어를 통과한다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 토사류 흐름의 관계는 식 (7)과 같이 표시할 수 있다.

$$Q_t = Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{ss} + Q_w \quad (7)$$

여기서, Q_t 는 배출 총토사류량, Q_{s1} 는 분리기를 통과한 저함수비 토사량, Q_{s2} 는 분리기를 통과한 고풍수비 토사량, Q_{ss} 는 부유사량, Q_w 는 유량이며, 각 항의 단위는 m^3/hr 이다.

본 현장실험에 설치된 샌드바이패싱 장비는 Photo 5와 같이 배사관과 연결되어 있으며, 부유식 250 mm(10 inch) 원형 배사관 220 m를 통하여 Q 가 운송되며, 분리기는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 $Q_{s1} + Q_{s2}$ 와 $Q_{ss} + Q_w$ 로 구분한다.

침사지는 총 4개로 분리되어 있으며, 각 길이는 12 m이고,

Photo 5. Connection between sandbypassing machine and discharge pipe.

중간에 3개의 월류벽이 1 m씩 설치되어 있어 총 51 m이다. 현장실험은 2010년 10월 16일에 수행되었으며, 13시 50분부터 14시 20분까지 30분간 샌드바이패싱 장비가 가동되었다. 30분간의 장비 가동에서 필요한 자료의 대부분이 측정되었으며 토사량 Q_{s1} 과 Q_{s2} 는 상응하는 체적측정이 현장에서 가능하여 장비 30분 가동 후 15시 10분에 모든 측정이 종료되었다. 현장실험 동안 샌드바이패싱 장비의 엔진은 1350 rpm으로 고정하였으며, 이는 현장 엔지니어들이 경험적으로 최적 작업 조건이라고 판단한 값이다. 엔진 제작자가 제공한 성능곡선에 따르면, 최대 출력 400HP 장비에 대하여 효율 70%에 해당하는 280HP에 상당한다. 이 값에 따른 토출력은 최종적으로 기존의 장비와 비교·분석하였다. 엔진은 동력을 펌프에 전달하므로 펌프능력에 따라 토출력이 결정되나 본 연구에서는 주된 연구대상이 아니므로 언급하지 않는다.

측정 대상은 식 (7)에서 우변의 각항에 해당하는 값들이다. Q_{s1} 과 Q_{s2} 는 30분간 서로 다른 두 곳에 미리 파 놓은 웅덩이에 퇴적된 것을 $1 m^3$ 급 굴삭기로 평탄지로 옮겨서 체적을 구하고 상중하 부분의 토사를 채취하여 실험실에서 함수비를 측정하였다. 부유사량 Q_{ss} 는 침사지에 입수하기 직전의 토사류를 채취하여 실험실에서 측정된 함수비로 부터 분석하였다. 유량 Q_w 는 장비 가동 중 30분간 간헐적으로 예연웨어를 넘는 수류의 높이를 장비 가동시작 6분 후에 측정하여 정류상태임을 확인하면서 정기적으로 측정하였다. 분리기에 의해 배출된 토사량 Q_{s1} 과 Q_{s2} 는 Photo 6 및 7에서 보는 바와 같다.

Photo 6과 7에 보는 바와 같이 분리기에 의해 30분간 채취한 토사는 물을 포함하고 있으므로 함수비를 측정하여야 하는데, 현장에서는 무게 측정이 곤란하므로 부피를 측정하였다. Q_{s1} 의 부피를 측정하기 위하여 $1 m^3$ 급 굴삭기를 이용하여 웅덩이로부터 평탄지로 이동시켜 상부를 눌러서 육면체 형상에 가깝도록 성형하였으며, 각부 체적을 측정하였다. 토사량 Q_{ss}

Photo 6. Accumulated soil volume by a separator in front dig (lower moisture content) Q_{s1} .

Photo 7. Accumulated soil volume by a separator in rearward dig (higher moisture content) Q_{s2} .

Photo 8. Sampling $Q_{ss} + Q_w$ before flowing into the fond.

는 미량이므로 현장에서 부피측정이 곤란하여 토사류 형태 $Q_{ss} + Q_w$ 로 채취하여 함수비 측정을 실시하였다. 토사류 형태 $Q_{ss} + Q_w$ 는 시간과 관계없이 측정하여 유량 Q_w 의 비로 환산하고자 했다. Photo 8은 분리기를 통과한 토사류가 유량과 부유사가 혼합되어 침사지에 유입되기 직전에 시료를 채취하는

Photo 9. Measuring the water height passing over a weir.

모습을 나타내고 있다. 침사지내에서는 응집제가 투입되어 있어 부유사가 침전하는 상태이므로 토사량을 측정할 수 없다. 입수 직전의 수류를 4회에 걸쳐서 시료를 채취하여 작은 플라스틱 통 4개에 보관하였다.

유량 Q_w 의 측정은 Fig. 5에 보인 바와 같이 최종 침전지의 끝단에 설치되어 있는 사각예연웨어에서 이루어 졌다. 샌드바이패싱 장비를 가동시킨 후 약 6분 시점에 최초로 실시했다. 매 측정마다 전후 월류높이를 비교하면서 실험 중 정류 상태 여부를 수시로 점검하여 각 지점에서 측정하는 값의 일관성을 확인했다. 단, 웨어 설치위치에서 측정된 값은 수면이 저하곡선 상태인 부등류가 되므로 상류부 측의 수평수면과의 작은 차이를 앞두려서 목측으로 확인했다. Photo 9는 최종 침전지에 설치되어 있는 웨어에서 월류수맥의 높이를 측정하고 있는 모습이다.

4. 현장실험의 결과 및 분석

본 실험의 목적은 침식해안 대책공법인 새로운 샌드바이패싱 시스템을 활용한 이동 가능한 모래량 예측에 있다. 하지만, 근변 실험현장인 하천의 토사와 해안의 토사는 서로 단위중량이 다를 수 있으므로 결과분석은 시간당 토출된 총무게로 일반화하고자 한다. 또한 해안의 바이패싱 대상 모래는 대부분 쇄파대에 존재하므로 다져진 상태가 아니지만, 하천은 바닥의 다짐정도를 나타내는 N 값에 따라 준설시 토사 함유율이 크게 차이가 난다. 무게로 환산하면, 단위중량이 서로 다른 토사의 경우에 대해서도 시간당 토출 부피의 예측이 가능하다. 현장 실험의 결과 및 분석에서는 식 (7)에 보인 각 항의 단위를 편의상 m^3/hr 에서 ton/hr 로 하고, 각항에 위첨자 *로 구별하면, 식 (7)은 식 (8)과 같이 된다.

$$Q^*_t = Q^*_{s1} + Q^*_{s2} + Q^*_{ss} + Q^*_{sw} \quad (8)$$

여기서, Q^*_t 는 배출 총토사류 무게, Q^*_{s1} 는 분리기를 통과한

저함수비 토사중량, Q_{s2}^* 는 분리기를 통과한 고태수비 토사 중량, Q_{ss}^* 는 부유사 중량, Q_w^* 는 유량 무게이며, 각 항의 단위는 ton/hr이다.

4.1 분리기에 의한 토사중량 Q_{s1}^* 과 Q_{s2}^*

상기한 Q_{s1} 과 Q_{s2} 에 상응하는 부피가 각각 4.19 m^3 과 2.3 m^3 으로 나타났다. 이때, Q_{s1} 시료의 상중하 부분에서의 함수비는 각각 14%, 14%, 15%이며, 평균함수비는 14.33%이다. 따라서 30분간 누적된 습윤한 토사의 체적 4.19 m^3 에서 모래의 무게는 식 (9)에서 산정할 수 있다.

$$\frac{V_w \gamma_w}{V_s \gamma_s} = 0.1433 \quad (9)$$

여기서, V_w 는 물의 체적, γ_w 는 물의 단위중량, V_s 는 모래의 부피, γ_s 는 모래의 단위중량이다. 습윤한 시료의 총체적은 물과 모래의 합과 같고 관계식 (10)으로 표현되며, 물의 체적 (V_w)을 구하여 식 (9)에 대입하면 식 (11)과 같이 된다.

$$V_w + V_s = 4.19 \quad (10)$$

$$\frac{(4.19 - V_s) \gamma_w}{V_s \gamma_s} = 0.1433 \quad (11)$$

여기서, 습기가 있는 모래의 단위중량 γ_s 는 $1.7 \sim 1.8 \text{ ton/m}^3$ 이며, 물의 단위중량 γ_w 는 1 ton/m^3 이다. 작은 자갈이 약간 포함되어 있음을 고려하여 모래의 단위중량을 1.8 ton/m^3 으로 가정하면, 모래의 부피가 3.33 m^3 이 되고, 식 (10)으로부터 물의 부피는 0.86 m^3 이 된다. 현장에서 30분간 얻은 토사부피에 상응하는 전체 무게는 6854 kg 이 되고, 이를 단위시간당으로 환산하면 $Q_{s1}^* = 13.708 \text{ ton/hr}$ 가 된다.

분리기에 의한 토사량 Q_{s2} 에 상응하는 상중하 시료의 함수비는 각각 24%, 26%, 21%이고 평균함수비는 23.67%이다. 따라서 30분간 누적된 습윤한 토사의 체적 2.3 m^3 에서 모래의 무게를 구하기 위하여 동일하게 식 (9)~(11)의 관계를 적용한다. 단, 여기서 γ_s 는 자갈이 포함되어 있지 않으므로 1.7 ton/m^3 으로 가정한다. 계산결과, V_s 가 1.64 m^3 이고 V_w 가 0.66 m^3 이 된다. 현장에서 30분간 실험한 시료의 총무게는 3448 kg 이 되고, 이를 단위시간당으로 환산하면 약 $Q_{s2}^* = 6.9 \text{ ton/hr}$ 가 된다.

분리기에 의해 웅덩이 2곳에서 습윤한 토사량을 측정된 결과, 모래와 물을 각각 계산한 후 합을 구하면 $Q_{s1}^* + Q_{s2}^* = 13.708 + 6.9 = 20.608 \text{ ton/hr}$ 이 된다.

4.2 침사지 입수 직전의 부유사 중량 Q_{ss}^*

본 자료는 장비 가동 중인 13시 50분부터 14시 20분까지 30분 사이에 채취된 시료를 대상으로 했다. 4회에 걸쳐 채취한 시료를 각각 분석한 결과, 니토비율이 각각 0.15%, 0.25%, 0.10%, 0.01%로 측정되었으며, 평균은 0.1275%이다. 이 값은

다음에 계산할 수류의 유량 무게 Q_w^* 의 상대치이므로 미리 계산하면, $Q_{ss}^* = (0.1275/100) \times Q_w^*$ 가 되어 0.76 ton/hr 를 얻을 수 있다.

4.3 웨어를 통과하는 수류의 유량 무게 Q_w^* 산정

현장에 설치된 웨어는 수평형 외연형상이므로 수류의 높이를 Bazins 공식에 적용이 가능하도록 측정했다. 특히, 시간이 진행되면서 간헐적 측정을 연속하여 정류상태가 유지되는 지를 확인하고자 하였다. 수평 외연웨어의 유량은 일반적으로 Bazins 공식을 적용할 수 있으며, 식 (12)와 같다.

$$Q_w = 0.66cB(2g)^{0.66}(H)^{1.5} \quad (12)$$

여기서, Q_w 는 유량(m^3/sec)이고 c 는 유출계수로 평균값이 0.62이고, B 는 웨어의 폭으로 1.03 m 이고, g 는 중력가속도로 9.81 m/sec^2 이고 H 는 월류수맥의 높이(m)이다.

본 측정은 장비 가동시작 후 6분이 지나면서 측정을 시작하여 가동 중지 30분 전인 28분까지 총 14회에 걸쳐서 간헐적으로 수행했다. 월류수맥의 높이는 전부 13.5 cm 로 관측되었다. 월류수맥의 높이가 일정하게 나타나므로 정류상태임이 확인되었으며, 전 계측자료가 유효함을 확인하였다. 측정하는 동안 일정한 수위를 나타낸 것은 장비 가동 중 토사비가 일정하게 유지되었음을 의미한다. 실험을 위한 장비 운전은 하천 및 호수 준설공사에 수년간의 경험자가 담당하였다. 현장의 침사지가 입수하여 측정하기 곤란하여 웨어에서 직접 월류수맥의 높이를 측정했다. 웨어를 통과하는 순간은 이미 수면형상이 기울어지는 저하곡선을 보이므로 부동류 상태가 된다. 따라서 웨어의 약간 앞 부분에서 수면형상이 수평으로 보이는 곳의 자료가 필요하다. 본 연구에서는 웨어에서 직접 월류수맥의 높이를 쟀 다음 목측으로 수평수면과의 차이를 관측하였다. 수평면은 웨어의 월류수맥의 높이보다 1 cm 정도 높게 나타났으며, 따라서 월류수맥의 높이 H 는 최종적으로 14.5 cm 로 결정하였다.

현장실험에 의한 자료를 식 (12)에 대입하여 계산한 다음, 시간당 월류유량의 부피를 무게로 환산하면 $Q_w^* = 597.46 \text{ ton/hr}$ 이 된다.

4.4 샌드바이패싱 시스템의 토출율 예측

본 연구는 샌드바이패싱 시스템의 토출율을 예측하고자 수행되었으며, 결과 및 분석에서 토출율을 예측하기 위하여 관계식 (8)을 적용하였으며, 각 항의 값들은 현장실험을 통하여 얻었다. 분석한 값은 각각 $Q_{s1}^* + Q_{s2}^* = 20.608 \text{ ton/hr}$, $Q_{ss}^* = 0.76 \text{ ton/hr}$, $Q_s^* = 597.46 \text{ ton/hr}$ 이며, 총합 $Q_t^* = 618.83 \text{ ton/hr}$ 이다. 단위시간당 총토출 무게 Q_t^* 는 항상 일정하므로 토사 종류에 따라 토출할 토사무게를 가정하면 물의 무게는 Q_t^* 에서 뺀 값이 되어 각종 지표를 생산할 수 있게 된다.

총토출 부피에서 모래의 양, 토출대상 토사의 함수비가 얻

마인데 시간당 어느 정도 이송량, 침사지의 웨어를 통과하는 수맥높이의 측정으로 토사량 산정 등에 정보가 제공될 수 있도록, 계산 대상 지표는 함미비(체적비), 함수비, 토사비, 총 체적 등으로 선별하였다. 토사비는 함수비의 역수이다. 이러한 정보는 침사지 설계, 작업일수 판단, 시스템의 운영시 수시 점검 등에 유효할 수 있다. 함미비 r_{sv} 는 식 (13)과 같이 백분율로 정의한다.

$$r_{sv} = \frac{\bar{V}_s}{\bar{V}_s + V_{sw}} \times 100 \quad (13)$$

여기서, $\bar{V}_s$ 는 구성토사의 평균체적, V_{sw} 는 해수의 체적이며 해수의 단위중량은 1.03 ton/m^3 이다.

본 연구에서 제안한 샌드바이패싱 시스템의 단위 시간당 토출량은 Table 3과 같이 예측이 가능하다. Table 3에 의하면, 함미비 20%의 경우는 구성토사가 모래로만 되어 있다고 가정하면 $103 \text{ m}^3/\text{hr}$ 가 토출된다. 이는 거의 동일한 시스템인 South Lake Worth Inlet에 설치되어 있는 고정식 샌드바이패싱 시스템은 함미비 20%, 토출율 $110 \text{ m}^3/\text{hr}$ 이며 배출토사는 Shell

60%와 모래 40%로 구성(Boswood and Murray, 2001))되어 있고, 이를 모래로 환산하면 시간당 토출무게는 660 ton/hr 이 된다. 이 결과는 본 시스템의 시간당 토출무게 618.83 ton/hr 보다 약 6.2% 정도 크게 나타나고 있음을 보여준다. 이는 본 실험이 하천수를 대상으로 한 경험적 최적 rpm을 선택하였으나, 해수를 대상으로 할 경우는 3%정도 증가되므로 운전시 엔진의 rpm을 상향 조정함에 따라 달라질 수 있는 정도의 값으로 판단된다. 이러한 분석으로부터 본 시스템은 기존의 장비와 거의 유사한 성능을 갖추고 있다고 추정된다. 단, 제안하고자 하는 시스템은 이동식이지만, 미국 플로리다 South Lake Worth Inlet에 설치되어 있는 시설은 고정식이며 흡입구를 저층에 밀착시킬 수 없다.

고밀도 흐름으로 가정한 이론식 (1)~(6)이 타당한지 여부를 알아보기 위하여 이번 실험에서 측정한 값과 이론식 (4)와 (5)에 의한 계산치를 비교하고자 한다. 측정값은 실험결과에 의해 정리한 Table 3의 모래 함미비 25%의 경우를 대상으로 하였다. 현장조건은 울산광역시 울주군(2009)을 근거로 하여 샌드바이패싱 장비가 준설한 위치의 수위로 부터 분리기 밑

Table 3. Prediction of the soil discharge rate per hour by the sandbypassing system

soil				various indices						
type	unit weight (ton/m^3)	soil discharge		water weight rate (ton/hr)	soil volume ratio, γ_{sv}		water content (%)	soil content ratio (%)	total volume rate	
		weight (ton/hr)	volume (m^3/hr)		freshwater (%)	seawater (%)			freshwater (m^3/hr)	seawater (m^3/hr)
sand	1.9	82.50	43	536	7	8	650.09	15.38	580	564
clay	1.85	82.50	45	536	8	8	650.09	15.38	581	565
clayey soil	1.6	82.50	52	536	9	9	650.09	15.38	588	572
sand	1.9	100	53	519	9	9	518.83	19.27	571	556
clay	1.85	100	54	519	9	10	518.83	19.27	573	557
clayey soil	1.6	100	63	519	11	11	518.83	19.27	581	566
sand	1.9	150	79	469	14	15	312.55	31.99	548	534
clay	1.85	150	81	469	15	15	312.55	31.99	550	536
clayey soil	1.6	150	94	469	17	17	312.55	31.99	563	549
sand	1.9	195	103	424	19	20	217.35	46.01	526	514
clay	1.85	195	105	424	20	20	217.35	46.01	529	517
clayey soil	1.6	195	122	424	22	23	217.35	46.01	546	533
sand	1.9	200	105	419	20	21	209.41	47.75	524	512
clay	1.85	200	108	419	21	21	209.41	47.75	527	514
clayey soil	1.6	200	125	419	23	24	209.41	47.75	544	531
sand	1.9	237	125	382	25	25	161.11	62.07	507	495
clay	1.85	237	128	382	25	26	161.11	62.07	510	498
clayey soil	1.6	237	148	382	28	29	161.11	62.07	530	518
sand	1.9	250	132	369	26	27	147.53	67.78	500	489
clay	1.85	250	135	369	27	27	147.53	67.78	504	493
clayey soil	1.6	250	156	369	30	30	147.53	67.78	525	514

* $Q_t^* = (\text{soil weight} + \text{fresh water weight})/\text{hr} = 618.83 \text{ ton/hr} = \text{constant}$

까지는 2.5 m이고, 이로부터 분리기 유도 파이프의 최정점 L 보 끝까지의 높이는 6.5 m이므로 합이 9 m가 된다. 따라서 실양정은 토출구 끝단까지 수심 6 m를 더한 15 m가 된다. 관로계의 전손실수두 ΔH 는 설계를 위한 식 (4)에 현장실험 조건인 $l = 220$ m와 Table 3의 함미비 25%에 상응하는 유량 $507 \text{ m}^3/\text{hr}$ 를 대입하면 5.68 m가 된다. 따라서 전양정거리 H 는 20.68 m이다. 이를 식 (5)에 대입하면 146.23HP가 되고 해수의 단위중량 3% 증가분을 고려하면 150.61HP가 된다. 본 장비에서 사용된 엔진의 제작자가 제공하는 성능곡선에서 1350 rpm에 상응하는 HP를 눈으로 읽어 280HP를 얻었다. 본 280HP는 식 (6)과 같이 기계 효율과 원활한 구동을 위한 여유를 허용한 값이므로 일반적 효율 72%를 적용하고 15% 동력여유를 고려하여 역으로 환산하여 보면 $280 \times 0.72/1.15 = 175.30\text{HP}$ 으로 추산된다. 이는 본 현장실험 결과인 150.61HP와 약 9.6% 차이를 보인다. 즉, 근변 실험에서 기계적 요소를 배제한 수리학적 단계의 동력이 이론치보다 약 9.6% 더 소요되었음을 알 수 있다. 현장실험에서 분리기에서 토사에 포함된 물이 아래로 흘러 무게로 반영할 수 없었던 점 등을 고려해 보면, 본 연구에서 엔진유량 산정을 위해 적용한 식 (1)~(6)은 본 시스템의 설계에 9.6% 이하의 차이로 적용이 가능하다고 판단된다. 이러한 차이는 현장실험시 토출파이프의 형상효과에 의한 손실수두에 의한 것으로 추정된다.

실해역에 적용할 경우는 상기한 Table 3의 토사종류와 점유율을 조사하여 각종 지표를 정리할 수 있다. 예를 들어, 총토사의 중량에 대하여 무게의 점유비가 각각 모래 40%, 점토 30%, 점질토 30%라고 가정하면, 혼합된 토사의 새로운 단위중량 γ_{ave} 는 식 (14)로 표현된다.

$$\gamma_{ave} = 0.4\gamma_s + 0.3\gamma_c + 0.3\gamma_{cl} \quad (14)$$

여기서, γ_s , γ_c , γ_{cl} 은 각각 모래, 점토, 점질토의 단위중량이며, 값은 각각 1.9 ton/m^3 , 1.85 ton/m^3 , 1.6 ton/m^3 이다. 계산하면 $\gamma_{ave} = 1.795 \text{ ton/m}^3$ 이 된다. 식 (14)의 계산결과로 표 3과 같은 관계를 정리하면 실해역 현장의 토출량에 관한 정보가 생산된다.

5. 결론 및 추후연구

본 연구에서는 새로운 샌드바이패싱 시스템을 제공하고 토출을 산정을 위한 현장실험을 수행하였다. 제안된 시스템은 소형, 수륙양용, 육상이동 가능, 자항능력을 가지고 있어 이동식 장비라고 할 수 있다. 토출을 예측을 위한 각종 지표들은 설계를 위한 이론값과 기존의 시설과 비교하여 근사한 값을 얻을 수 있었다. 특히, 본 현장실험에 의한 예측값은 미국 플로리다 동부해안 South Lake Worth Inlet에 설치되어 있는 고정식 시설과 거의 동일한 수준의 모래이동 능력을 가지고 있다고 추정된다. 본 연구에서는 토사와 물을 고밀도 흐름으

로 가정하여 비교적 높은 수준의 예측이 가능함을 알았다. 따라서 본 연구에서 적용한 펌프엔진 용량을 산정하기 위한 식 (1)~(6)이 본 시스템의 설계에 적합한 것으로 추정된다.

우리나라 해안 전역에 걸쳐 발생하고 있는 침식 문제는 지역 실정에 맞는 대책공법이 요구된다. 본 시스템은 대책공법 중 우선적으로 고려해야 하는 샌드바이패싱을 가능하게 하며 비교적 적은 양의 모래이동에 적합하고, 여러번 다수의 장소를 이동할 수 있다는 장점이 있다. 본 시스템은 우리나라 실정에 적합한 전략적 해안선 보호 정책을 실현시킬 수 있는 핵심요소기술으로써 역할이 가능할 것으로 기대된다. 향후 대용량 샌드바이패싱을 위하여 다수의 소형장비를 동시에 운영하는 시스템의 연구가 기대된다. 근변 실험은 하천에서 수행되었으므로 향후 연구는 실해역에서 장비 및 배출 파이프의 거치 및 운동에 관한 적용성 그리고 토출율을 밝힐 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 지역특성화연구개발사업의 연구비지원(05지역특성 B04-01, 2005~2010)에 의해 수행되었으며 연구의 추가 기술개발이 요구되어 한국건설기술평가원 R&D정책인프라사업 창업사업화(10TRPI-C054461-02, 2009년 12월 28일~2011년 2월 12일) 연구비 지원으로 수행된 성과 중 일부를 밝히며 연구비 지원에 감사드립니다. 본 현장의 유지관리를 책임져 주신 남선개발주식회사 안상순 전무께 감사드리며 현장채취 시료의 함수비측정 실험을 수행하여 주신 경성대학교 최용규 교수와 박사과정 한유식님께 감사드립니다.

참고문헌

- 권혁민 (1997). 친수성 연안 구조물. 향만. 한국향만협회, 21(2), 75-85.
- 권혁민 (1999). 21세기형 연안역 구상(I)-면적방호방식에 의한 환경친화적 연안공간 구성-. 한국수자원학회지, 32(2), 43-51.
- 권혁민, 김인호, 이정렬, 이화경, 우승룡, 류간성 (2004). 미국 플로리다州의 沿岸域 防災에 관한 調査報告書. 향만, 한국향만협회, 90, 28-57.
- 권혁민, 한유식, 박상신, 고경래, 이정렬, 김인호 (2007). 이동식 샌드바이패싱 장비의 기본구조 및 목표설정. 대한토목학회 정기학술대회, 향만 및 해양, 622-625.
- 김영득, 김성구, 최상호 (2004). 최신 유체기계, 문운당.
- 울산광역시 울주군 (2009). 온산 덕신일원 하상오니 준설공사 보고서.
- Boswood P.K. and Murray R.J. (2001) World-wide Sand Bypassing System: Data Report, Queensland Government, Environmental Protection Agency, Conservation technical report, 15 (R20), August, 5p and pp. 19-22, p 56.
- Brunn, P. (1993). An update on sand bypassing procedures and prices, Journal Coastal Research, Special Issue, 18, Fort Lauderdale, Florida, 277-284.

Dombrowski, M. R. and Mehta, A.J. (1993). Inlets and Management practices: Southeast coast of Florida. Journal Coastal Research, Special Issue, 18, Fort Lauderdale, Florida, 29-57.

Yeend, J.S. and Hatheway, D.J. (1988). Quantification of longshore sand transport and sand bypassing at South Lake Worth Inlet, Palm Beach County, Florida, Proceedings of 21st Coastal Engi-

neering Conference, 3, ASCE, Costa del Sol, Malaga, Spain, June 20-25, pp. 2772-2783.

White, F. M. (2004). Fluid Mechanics. McGrawHill

원고접수일: 2011년 4월 26일

수정본채택: 2011년 8월 1일

게재확정일: 2011년 8월 9일