

왕복류 흐름을 고려한 지반의 수리저항성능 실험 Experimental Study on Hydraulic Resistance of Sea Ground Considering Tidal Current Flow

김영상* · 강경오**
Young Sang Kim* and Gyeong O Gang**

요 지 : 지반의 수리저항 특성을 측정하기 위하여 사용되어 온 세굴실험기(EFA)를 개선하여 조류의 흐름방향이 바뀌는 것을 고려할 수 있도록 하였다. 개선된 세굴실험기를 이용하여 인공적으로 조성된 세립질 및 조립질 시료에 대하여 일방향 흐름과 왕복류 흐름을 고려한 수리저항성능 실험을 실시하였고 수리저항 특성을 정량적으로 비교하였다. 실험결과 세립질 및 조립질 시료 모두에서 일방향 흐름보다 왕복류를 고려한 양방향 흐름에서 세굴률이 크게 발생 하는 것으로 나타났다. 또한 세굴률의 증가는 조립질 시료가 더 크게 나타났으며 전 유속에 대한 평균 세굴률을 비교한 결과 상계압력이 큰 쪽이 더 큰 것으로 나타나 해저표면으로부터 상대적으로 깊은 곳에서 양방향 흐름에 대한 고려가 필요한 것으로 나타났다.

핵심용어 : 연약해저지반, 조석류, 양방향 흐름, 수리저항

Abstract : Conventional erosion function apparatus (EFA) which has been used to measure the hydraulic resistance of soil was improved to consider direction change of the current flow. Using improved apparatus, hydraulic resistance capacities of the artificially composed clayey soil and sandy soil were compared. Test result shows that scour rates which were measured under the bi-directional flow were much higher than those measured under uni-directional flow for both type soils. Scour rate of sandy soil was higher than that of clayey soil. Velocity averaged scour rate of specimen which was consolidated under the relatively large consolidation pressure is higher than that of specimen which is consolidated under small consolidation pressure, which means scour problem under bi-directional flow may be more serious for the deep seabed ground.

Keywords : Soft seabed ground, tidal flow, bi-directional current flow, hydraulic resistance

1. 서 론

최근 해안개발이 활발히 진행되면서 흐름이 집중되는 협수로 공간에 육지와 섬을 연결하거나 섬과 섬을 연결하는 장대교량과 다양한 해상 및 해저 구조물이 계획·시공되고 있으며, 이러한 구조물은 기초의 안전을 우선적으로 고려해야 한다. 또한 해상에서의 구조물 기초는 상부의 연약한 지반을 관통하여 풍화암 이상의 지층에 시공되므로 구조물 기초 부분의 토사 및 암반의 세굴문제 등으로 인한 안정성이 관심의 대상이 되고 있다.

해상세굴은 조석에 의한 왕복류 흐름, 파 흐름의 상호작용, 점착성 지반 등 여러 요인들이 복합적으로 작용하여 하천의 경우보다 세굴 발생 메커니즘이 상당히 복잡하다(정현철, 2007). 일반적으로 가장 큰 차이점으로 하천에서는 항상 일정한 한 방향으로 물이 흐르며 토사의 공급이 항상 있지만,

해상에서는 최강유속과 더불어 조석에 의한 왕복운동으로 1일 4회씩 주기적으로 양방향 흐름이 발생된다는 점이다. 김규한(1999)은 수리모형실험을 통해 조석에 의한 1일 4회씩 변하는 왕복류의 양방향 흐름에서 세굴량이 커지고 세굴영역이 확대되는 것이 특성중의 하나라고 보고하였다. 물론 해상의 경우도 세굴과 함께 퇴적이 발생되어 세굴현상이 완화되는 구간도 있지만 퇴적된 토사는 기초구조물을 지지했던 원지반의 강도와 비교해 현저히 떨어지므로 기초구조물을 견고히 지지할 수 없다. 또한 육지와 육지 사이 또는 섬과 섬 사이에 끼어 있는 협수로는 퇴적이 발생하지 않고 세굴만 발생하는 정적세굴이 일어난다(김남형과 김영수, 1998)는 보고도 있어 퇴적효과에 의한 기초 안전성 증강효과는 미미할 것으로 판단된다.

해상세굴에 대한 기존의 연구에서는 대부분 수리모형실험을 실시하거나 실험식이나 경험식을 이용한 예측을 수행하였다. 특

*전남대학교 해양토목공학과 부교수 (Associate professor, Department of Marine and Civil Engineering, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea, geoskim@chonnam.ac.kr)

**전남대학교 건설환경공학과 석사과정 (Graduate student, Department of Civil and Environmental Engineering, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea)

히 우리나라는 수심에 비해 조석간만의 차가 커서 조류에 의한 영향이 크며 김규한(1999)은 아산만을 모델로 하여 수리모형 실험과 현장모니터링을 통하여 조류의 효과를 비교하였다. 김규한(1999)은 흐름 방향에 대한 수리모형실험을 위해 일방향 흐름에 의해 세굴이 발생된 상태에서 조건의 변화 없이 반대방향의 흐름을 발생시켜 세굴을 유발 하였다. 연구결과 왕복류 실험 조건에서는 교각의 수와 위치에 따라 퇴적현상이 발생 되지 않았으며, 일방향 흐름이 작용하였을 때보다 세굴영역이 현저히 확대된다는 것을 확인하였다. 또한 교각의 배치상황에 따라 세굴량의 차이가 발생하였지만, 대체적으로 왕복류에 의한 경우가 일방향의 경우 보다 많은 양의 세굴이 발생하였다. 또한 김경호 등(2008)은 해저관로 주변의 파랑과 흐름 공존영역 조건에 대한 수리모형실험을 실시하였으며 파랑과 흐름방향이 반대인 경우에서 세굴심과 세굴폭이 크게 나타나고, 세굴은 파랑보다 흐름에 의해 지배되는 것으로 보고하였다.

외국의 많은 연구자들은 해상세굴에 대한 여러 형태의 수리모형실험과 수치해석을 통해 세굴에 대한 실험식이나 경험식을 발표하였다. 대표적으로는 해상의 조석을 고려한 경험식(Nakagawa and Suzuki, 1976)과 수리학적 조건과 해저지반의 입도크기 등을 고려한 경험식(Breusers *et al.*, 1977)등이 있다. 또한 현재 우리나라의 해상세굴의 설계기준은 하천설계 기준을 그대로 적용하고 있으며, 세굴량 산정 및 평가절차는 조석이 없는 조건으로 수립되어 있다.

이에 본 연구에는 기존 하천세굴의 세굴량 산정에서 사용되던 수리저항성능 실험기를 조류의 흐름방향이 바뀌는 것을 고려할 수 있도록 개선하고 인공지반시료를 조성하여 수리저항성능 실험을 수행하였다. 조성된 인공 지반시료에 대하여 기존의 하천에서 발생하는 일방향 흐름에 대한 수리저항 특성과 해상에서의 1일 4회의 조석에 의한 왕복류를 고려한 양방향 흐름에 대한 수리저항 특성을 정량적으로 비교함으로써 조류 흐름방향의 변화가 인공 지반시료의 세굴특성에 미치는 영향에 대하여 검토 하였다.

2. 지반 수리저항성능 실험기

2.1 국내외 수리저항성능 실험기

지반의 수리저항 성능 평가를 위해 그간 국내·외에서 제안된 실험기들은 지반의 퇴적물의 침식과 수송을 예측하고 세굴률을 정량적으로 평가하는데 사용되었다(Fig. 1). 지금까지는 대부분 하천에서 발생하는 일반적인 일방향 흐름에 대한 실험을 실시하거나 환형수조(Fig. 1(f))를 이용한 회전 평가실험이 실시되었으며, 조석으로 인한 왕복류의 흐름이 발생하는 해상에서도 동일하게 사용되어 왔다(황규남과 소상돈, 2002, 박기석 등, 2004).

2.2 수리저항성능 원리

세계적으로 일방향 흐름에 대한 지반의 수리저항 성능을 평가하는 실험기는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 여러 종류가 있다. 그 원리는 대부분 동일하며 지반공학분야의 연구에 가장 적합한 것으로 TEXAS A&M 대학의 Briaud 교수가 제안한 EFA(Erosion Function Apparatus)를 들 수 있다.

이 장치는 Fig. 2와 같이 외경이 76 mm인 표준 Thin Wall Tube 한쪽 끝을 직사각형 관수로 바닥에 장착한 후 Thin Wall Tube 내의 흙을 피스톤을 이용하여 1 mm씩 직사각형 관수로 속으로 돌출시켜 1 mm의 흙이 관 속을 흐르는 물에

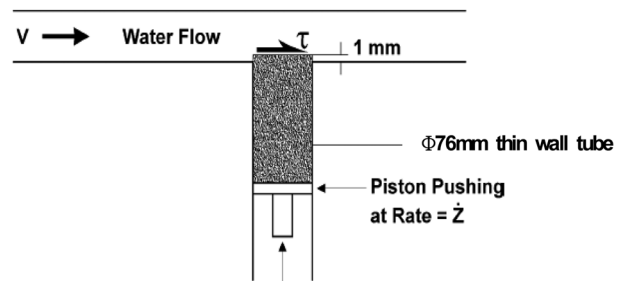


Fig. 2. Schematic diagram of hydraulic resistance measurement.

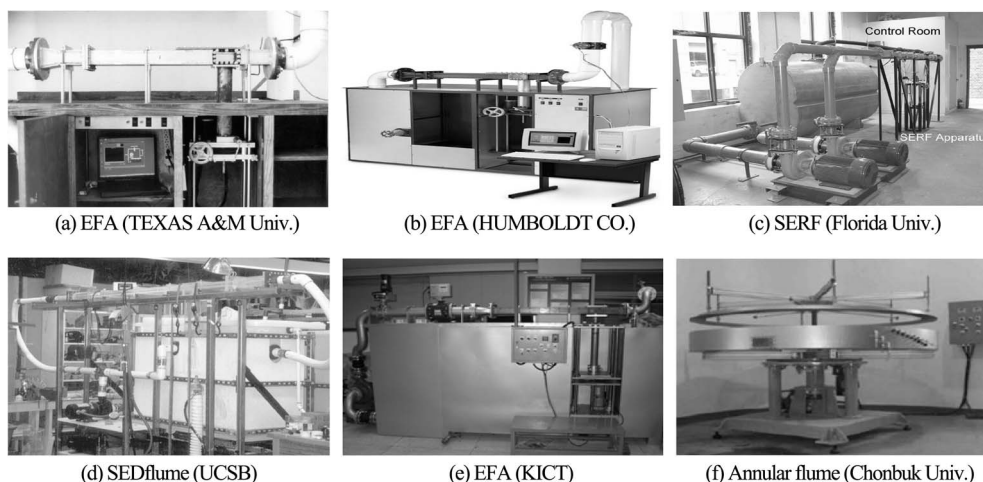


Fig. 1. Hydraulic resistance measurement apparatus for uni-directional flow.

의해 침식되는 유속을 결정한다(Briaud *et al.*, 2001).

EFA의 실험결과를 Fig. 3(a)와 같이 작용유속(V)에 대한 세굴률 변화곡선으로 나타나며, 관속을 흐르는 물로 인해 흙 시료 상부에 야기되는 평균전단응력 τ 는 식 (1)로부터 얻을 수 있어 Fig. 3(b)와 같이 전단응력(τ)-세굴률의 관계로 다시 나타낼 수 있다.

$$\tau = \frac{1}{8}f\rho v^2 \tag{1}$$

여기서, f 는 Moody 도표로부터 얻어지는 마찰계수, ρ 는 물의 밀도(1000 kg/m^3), v 는 관내의 평균유속(m/s)이다. 마찰계수 f 는 관의 레이놀즈수 $Re(=VD/v)$ 와 관의 상대조도 ϵ/D 의 함수이며, 여기서 D 는 관의 직경(m), ν 는 물의 동점성 계수 ($10^{-6} \text{ m}^2/s$, 20°C), ϵ 는 조도.

2.3 조류 흐름을 고려하기 위한 수리저항성능 실험기의 개선

지반의 일방향 수리저항 성능을 측정할 수 있는 실험장치 (Fig. 4)에서 조류의 흐름을 고려하기 위해 Fig. 5와 같이 스크류 감속모터를 장착하여 시료튜브를 회전($\pm 180^\circ$) 할 수 있도록 한 시료 회전부를 고안하였다. 회전을 통해 기존의 일방향 흐름의 수리저항실험에서 고려하지 못한 창조와 낙조시의 조석의 왕복류 흐름 및 해류의 방향을 고려 할 수 있도록 함으로써 다양하고 실제적인 평가 실험을 할 수 있도록 개선하였다. 또한 관 측창에 카메라 2대를 장착하여 각 유속에 따라 발생하는 세굴량을 사진과 동영상으로 정확하게 비교 분석할 수 있다.

2.4 조류 흐름을 고려한 수리저항성능 시험순서

고안된 시료회전부(Fig. 5)를 이용하여 시료를 회전($\pm 180^\circ$)

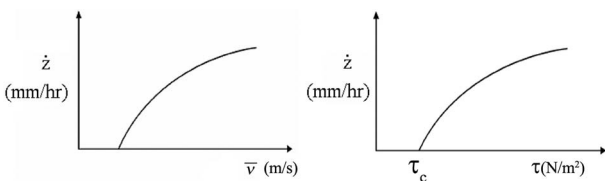


Fig. 3. Result of hydraulic resistance measurement.



Fig. 4. Improved hydraulic resistance measurement apparatus of Chonnam National University.

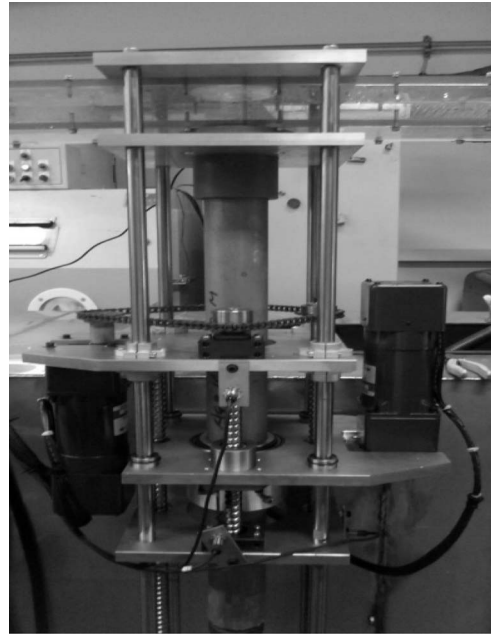


Fig. 5. Specimen rotating parts for current flow simulation.

시킴으로써 조류의 왕복류 흐름에 의한 세굴특성 변화를 관찰하였다. 기본적으로 EFA는 흐름의 시간에 대한 고려는 하지 않으며, 본 연구에서도 흐름방향의 변화가 지반의 세굴특성에 미치는 영향을 확인하고자 하였으므로 해서 지반이 경험하는 흐름방향 변화 회수만을 실제 해류의 흐름과 동일하게 일치 하였으며 경험하는 유속의 지속시간은 기존의 일방향 흐름 실험과 동일하게 유지하였다. 실험순서는 Briaud *et al.*, (2004)의 방법을 따르며 자세한 실험순서는 다음과 같다.

- ① 대상 지역의 불교란 시료를 채취한다.
(불교란 시료 채취가 불가능한 경우, 실내에서 시료를 제작하여 사용할 수 있다.)
- ② 시료를 Thin Wall Tube(외경 76 mm) 상태로 직사각형 관수로 바닥에 장착한 후 직사각형관을 물로 채워 1시간 정도 시료를 포화시킨다.
- ③ 시료를 1 mm 상승시킨 후 펌프를 구동하여 관수로 내에 최초 유속(0.3 m/s)의 흐름을 발생시킨다.
- ④ 1시간 동안 1 mm의 시료가 세굴되는 것을 관찰하거나 1 mm 세굴이 발생될 경우 다시 상승시켜 반복 실험을 한다.
- * 왕복류 흐름 실험에서는 1일 4회 조석 흐름의 조건을 구현하기 위해 동일한 유속에서 3회를 180° 회전시켜 실험한다.
- ⑤ 1시간 동안 세굴된 양(1 mm× 상승횟수)을 기록하여 시간당 세굴률(mm/hr)로 환산한다.
- ⑥ 대상 지역에 맞게 유속을 다양하게 변경(0.3 m/s~4 m/s)하여 ③~⑤의 과정을 반복한다. 그 결과를 Fig. 3과 같이 정리한다.

3. 실험 및 평가

3.1 인공지반시료의 조성

본 연구에서는 균질한 지반시료의 조성을 위해 점토광물의 하나인 카올리나이트(Kaolinite)와 주문진 표준사(Sand)를 중량비로 혼합하여 초기함수비 100%로 Fig. 6의 슬러리 압축고화장치를 사용하여 일정한 상재압력으로 압밀시켜 사용하였다. 이때 충분히 교반한 후 함수비 100% 상태로 균질한 상태의 공기 배출 및 슬러리 안정화를 위하여 1일간 방치하였다. 안정화된 슬러리를 슬러리 압축 고화장치에 넣고 재하장치를 이용하여 50 KPa과 100 KPa의 압밀압력으로 재하 시켜 완전히 압밀이 종료 될 때까지 방치하였다. 조성된 시료에는 76 mm thin wall tube를 밀어 넣어 실험기에 장착할 수 있게 채취하였다.

우리나라 서해안 및 남해안 지역의 지반은 점토와 같은 세립토로 대부분 구성되어 있으며, 심도가 낮은 표층의 경우 점토에 모래와 같은 조립토가 부분적으로 혼재되어 있는 지반도 나타난다. 이러한 다양한 해저 지반재료의 조건을 만족시키기 위하여 Table 1과 같이 대표적인 점토광물인 카올리나이트(Kaolinite)와 우리나라의 대표적인 사질토인 주문진 표준사(Sand)를 혼합하여 4가지 조건의 중량비로 시료를 조성하였다. 또한 해저지반의 심도에 따른 세굴 특성을 검토하기 위

하여 시료 조성 시 압밀압력을 100 KPa과 50 KPa으로 구분하여 조성하고 관련 실험을 수행하였다.

3.2 조성된 인공지반시료의 물리·역학적 특성

실내에서 조성된 인공지반시료의 지반공학적 특성을 평가하기 위하여 Fig. 7과 같이 일축압축실험으로부터 비배수전단강도를 결정하였고 기본 물성실험을 수행하여 액·소성한계, 단위중량, 간극비 등을 파악하였다. Table 2에 조성된 인공지반의 물리·역학적 특성이 정리되어 있다.

통일분류법에 의해 조성된 인공지반시료를 평가한 결과 카올리나이트(Kaolinite)의 함유량이 높은 K80S20과 K70S30은

Table 1. Composition ratio and consolidation pressure of artificial soil (Kaolinite: K, Sand: S)

consolidation pr.(σ_c , KPa)	composition ratio		
	Kaolinite (%)	Sand (%)	
100	K80S20	80	20
	K70S30	70	30
	K50S50	50	50
	K40S60	40	60
50	K80S20	80	20
	K70S30	70	30
	K50S50	50	50
	K40S60	40	60

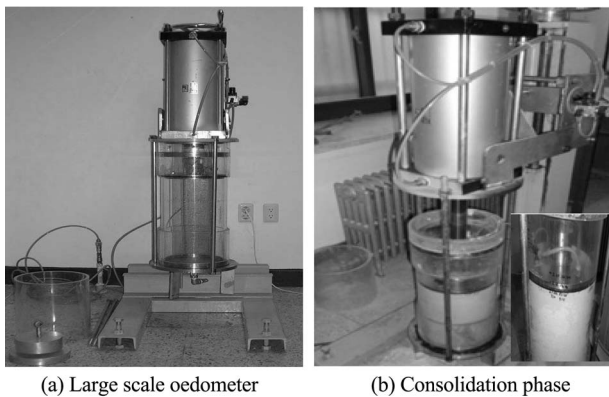


Fig. 6. Large scale oedometer for manufacturing artificial soil sample.



Fig. 7. Unconfined compression test for artificial soil specimen.

Table 2. Physical and mechanical properties of artificial soils

consolidation pressure, σ_c (KPa)	composition ratio	ω (%)	Gs	e	LL (%)	PI (%)	γ_t (kN/m ³)	s_u (KPa)	USCS
100	K80S20	55.30	2.65	1.05	66.70	30.69	1.62	17.36	MH
	K70S30	47.23	2.65	1.15	62.33	26.82	1.69	17.85	MH
	K50S50	34.59	2.67	1.35	56.44	25.94	1.85	12.55	SM-SC
	K40S60	30.63	2.65	1.49	56.78	26.41	1.93	13.78	SM-SC
50	K80S20	56.21	2.65	1.03	66.70	30.69	1.61	12.99	MH
	K70S30	52.09	2.65	1.12	62.33	26.82	1.70	11.82	MH
	K50S50	38.39	2.67	1.29	56.44	25.94	1.78	9.07	SM-SC
	K40S60	38.50	2.71	1.35	56.78	26.41	1.87	5.98	SM-SC

ω : Water content, Gs : Specific gravity, e : Void ratio, LL : Liquid limit, PI : Plasticity index, γ_t : Total unit weight, s_u : Undrained shear strength, USCS : Unified soil classification system

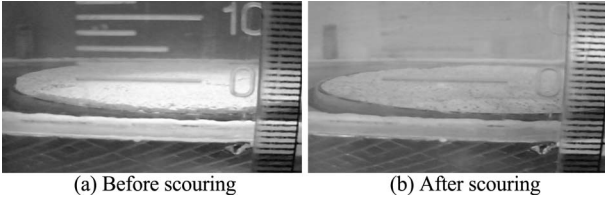
세립질 형태인 MH로 구분되며, 카올리나이트의 함유량이 중량비 50% 이하인 K50S50과 K40S60은 실트 점토질 모래 SM-SC인 조립토로 구분되었다. Table 2에 나타난 것과 같이 액성한계는 카올리나이트에 대하여 표준사의 중량이 증가할수록 감소하나 실트 점토질 모래인 K50S50과 K40S60은 큰 차이가 없다. 또한 표준사의 중량비가 증가함에 따라 초기 간극비가 증가하였으며 소성지수는 감소하였다. 조성된 시료의 역학적 특성은 Table 2에 나타난 바와 같이 카올리나이트에 대

하여 표준사의 중량이 증가할수록 비배수전단강도가 감소하는 경향을 나타내었으며, 같은 성분비에 대해서도 시료를 조성할 때의 압밀압력이 클수록 비배수전단강도가 증가 하였다.

3.3 수리저항 성능 실험 결과

본 연구에서는 흐름방향을 고려한 해저지반의 수리저항 평가를 위해 일반적인 하천에서 발생하는 일방향 흐름과 해상에서 발생하는 조석의 왕복류를 고려한 양방향 흐름에 대한 세굴률 측정을 수행하였으며 실험 결과로부터 한계유속과 한계전단응력을 결정하였다.

Fig. 8에 나타난 것과 같이 관측카메라를 이용하여 세굴 전·후의 시료의 상태를 촬영하여 판단함으로써 육안으로 관측하여 세굴률을 비교는 것 보다 정확한 관측이 가능하도록 하였다. Fig. 9에는 일방향-양방향 실험에 대한 모든 종류의 시료의 유속에 대한 세굴률이 도시되었다. 또한 Fig. 10에는



(a) Before scouring (b) After scouring
Fig. 8. Photographs before and after scouring.

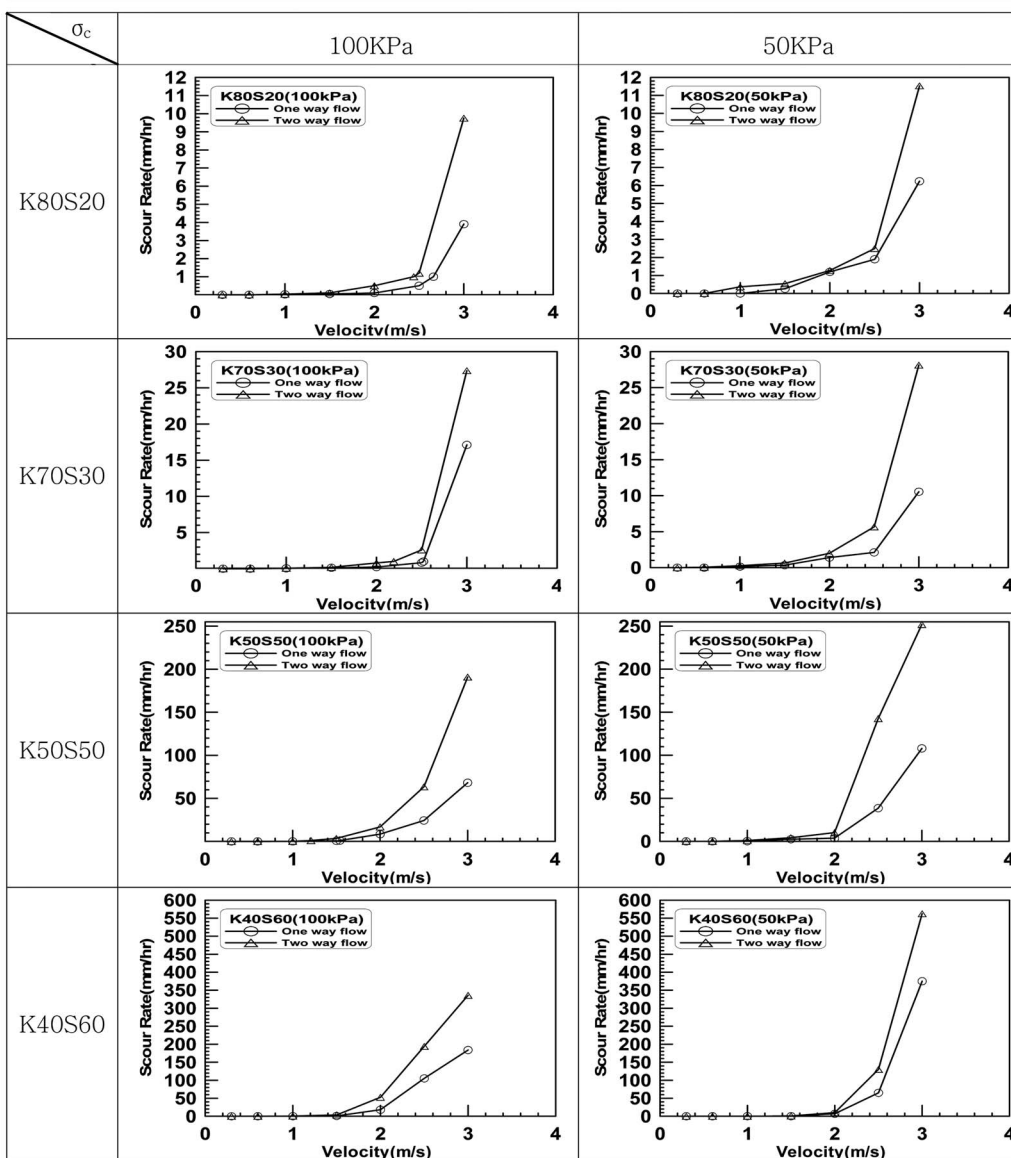


Fig. 9. Test results under uni- and bi-directional flow : velocity-scour rate.

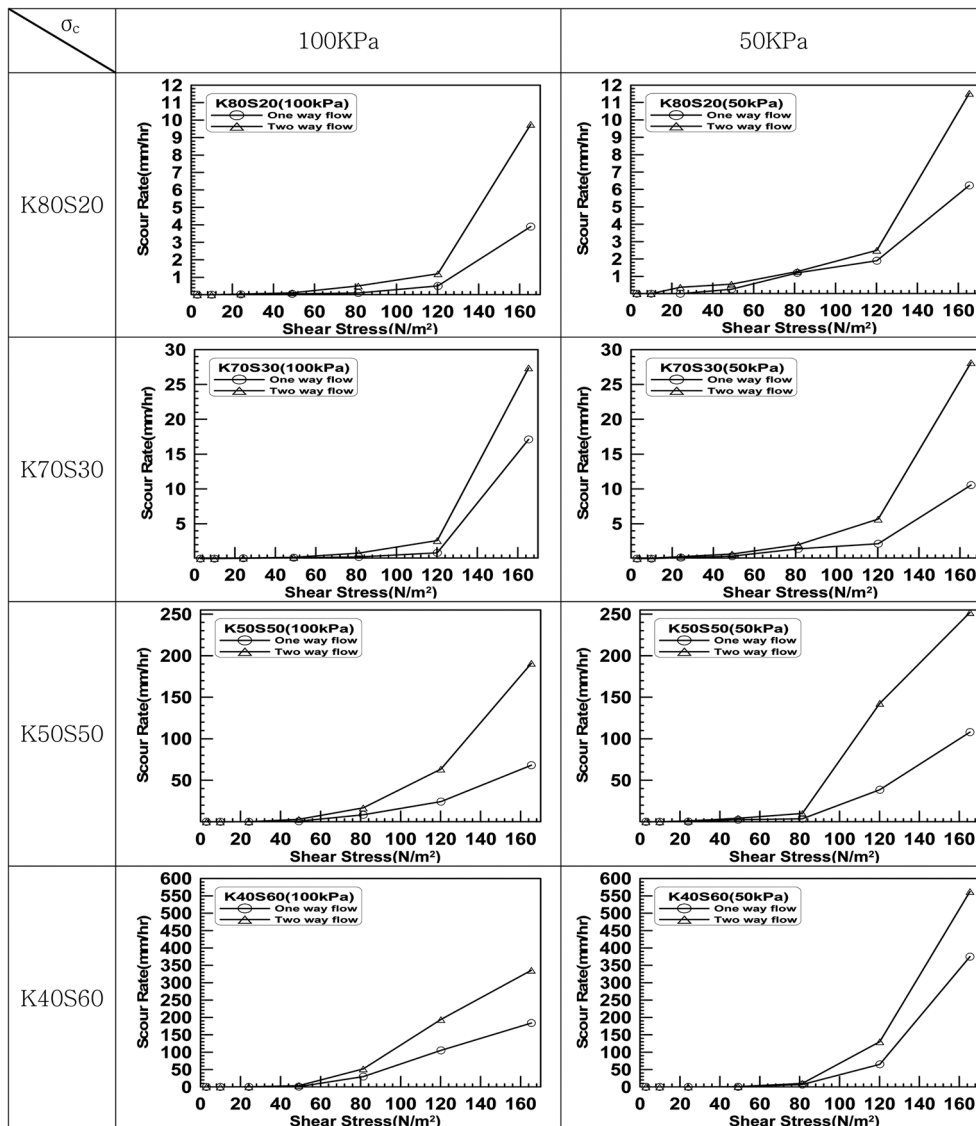


Fig. 10. Test results under uni- and bi-directional flow : shear stress-scour rate.

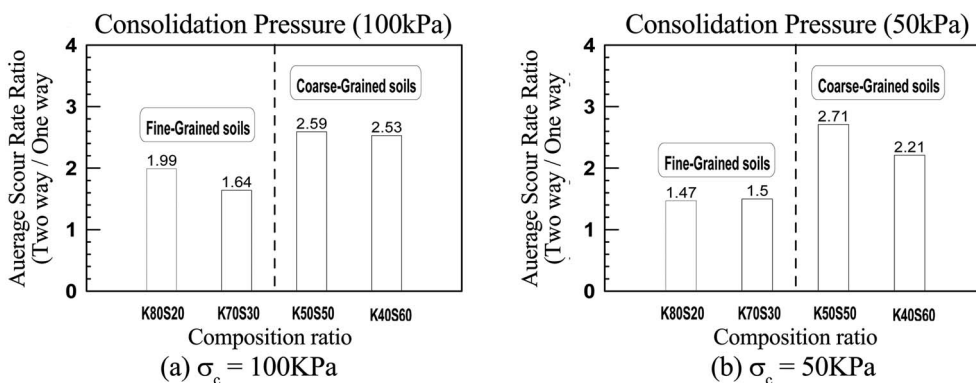


Fig. 11. Averaged scour rate ratio between uni-direction and bi-direction flow.

식 (1)을 이용하여 계산된 전단응력에 대한 세굴률의 변화가 모든 시료와 압밀압력에 대해 도시되었다.

3.4 왕복류 흐름에 따른 수리저항 특성

Fig. 9과 Fig. 10의 실험결과를 바탕으로 동일한 압밀압력

에서 조성된 각 시료의 일방향 대비 양방향 왕복류에 의한 평균 세굴률이 Fig. 11에 나타나 있다. 세립토(MH)와 조립토(SM-SC)에서 모두 양방향 흐름에 의한 세굴률이 일방향 흐름에서 관측된 세굴률 보다 큰 것으로 나타났다. 세립토(MH)가 조립토(SM-SC)에 비해 양방향 흐름에 의한 세굴률 증가가

낮으나 일방향 흐름에 비해 1.47~1.99로 약 1.5~2배정도 큰 세굴률을 보였다. 조립토의 경우는 모두 2.21~2.71로 일방향 대비 양방향 흐름의 세굴률이 2배 이상 증가하는 것으로 나타났다. 이는 조립토의 경우는 전단저항의 발현이 맞물림(Interlocking)에 의한 것이 주요소인데, 왕복흐름은 일방향 흐름에 비해 각 입자의 맞물림을 쉽게 파괴하기 때문인 것으로 판단된다.

또한 일방향에 대한 양방향 흐름의 세굴률 증가비가 압밀 압력이 큰 쪽(100 KPa)이 상대적으로 큰 것으로 나타나 심도가 깊어지더라도 양방향 흐름에 노출될 경우 일방향에 흐름에 비해 더 큰 세굴이 발생할 수 있어 이에 대한 고려가 필요한 것으로 나타났다.

한계유속(Critical Velocity)은 세굴률이 1 mm/hr가 되기 바로 직전에 흐르는 유속으로 정의되며 한계유속에서 물의 흐름이 지반에 작용하는 전단응력을 한계전단응력 τ_c (Critical Shear Stress)으로 정의한다. 본 수리저항 실험에서의 한계유속 결정은 각각의 유속에서 나타난 세굴률의 결과 값을 이용하여 회귀분석을 통해 1시간동안 1 mm가 세굴 되는 한계유속을 도출 하였으며 한계전단응력은 한계유속 값으로부터 식 (1)을 이용하여 계산하였다. 결정된 한계유속과 한계전단응력이 Table 3과 Fig. 12에 정리되어 있다.

Table 3과 Fig. 12에 나타난 바와 같이 지반의 한계유속과 한계전단응력은 시료 조성 시 가해진 압밀압력의 크기가 큰

쪽이 크며 양방향 흐름에서 한계유속과 한계전단응력이 줄어드는 것으로 나타났다. 따라서 조류의 흐름을 받는 해양지반에 대한 세굴평가 시 일방향 흐름에 의해 평가하고 있는 현재 설계법이 해양지반의 세굴현상을 과소평가할 수 있으며 보수적이지 않을 수 있으므로 흐름방향에 대한 지반공학적 평가에 더 많은 관심과 연구가 필요하다.

4. 결 론

본 연구에서는 기존의 일방향 지반 수리저항 특성과 조석에 의한 왕복류 등 조류의 흐름을 고려할 수 있도록 개선된 수리저항성능 실험방법을 제안하였으며, 제안된 실험장비를 이용하여 인공 해저지반에 대한 일방향 흐름과 양방향 흐름에 대한 수리저항 특성과 세굴률을 정량적으로 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 세립토(MH)와 조립토(SM-SC)에서 모두 양방향 흐름에 의한 세굴률이 일방향 흐름에서 관측된 세굴률 보다 큰 것으로 나타났다. 세립토(MH)가 조립토(SM-SC)에 비해 양방향 흐름에 의한 세굴률 증가가 낮으나 일방향 흐름에 비해 1.47~1.99로 약 1.5~2배정도 큰 세굴률을 보였다. 조립토의 경우는 모두 2.21~2.71로 일방향 대비 양방향 흐름의 세굴률이 2배 이상 증가하는 것으로 나타났다. 이는 조립토의 경우는

Table 3. Hydraulic resistance characteristics of artificial soil : critical velocity(m/s), critical shear stress(N/m²)

artificial soil specimen			uni-direction		bi-direction	
consolidation pressure, σ_c (KPa)	composition ratio	USCS	critical velocity (m/s)	critical shear stress (N/m ²)	critical velocity (m/s)	critical shear stress (N/m ²)
100	K80S20	MH	2.66	133.96	2.35	115.23
	K70S30	MH	2.52	121.90	2.08	87.28
	K50S50	SM-SC	1.54	51.49	1.25	35.87
	K40S60	SM-SC	1.51	49.74	1.12	29.48
50	K80S20	MH	1.91	75.28	1.84	70.32
	K70S30	MH	1.89	73.68	1.70	61.29
	K50S50	SM-SC	1.22	34.39	0.99	23.73
	K40S60	SM-SC	1.65	57.80	1.50	49.13

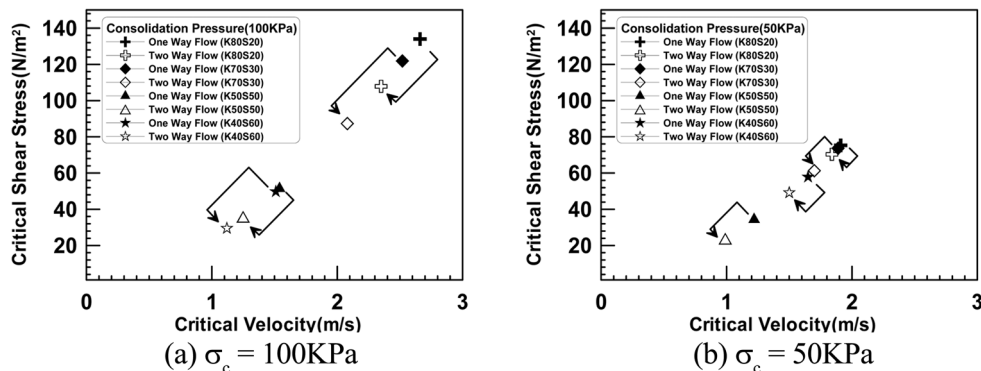


Fig. 12. Critical velocity and critical shear stress with consolidation pressure and composition ratio.

전단저항의 발현이 맞물림(Interlocking)에 의한 것이 주요소인데, 왕복흐름은 일방향 흐름에 비해 각 입자의 맞물림을 쉽게 파괴하기 때문인 것으로 판단된다.

(2) 일방향에 대한 양방향 흐름의 세굴률 증가비가 압밀압력이 큰 쪽(100 KPa)이 상대적으로 큰 것으로 나타나 심도가 깊어지더라도 양방향 흐름에 노출될 경우 일방향에 흐름에 비해 더 큰 세굴이 발생할 수 있어 이에 대한 고려가 필요한 것으로 나타났다.

(3) 흐름방향 변화가 지반이 세굴 되기 시작하는 한계유속과 한계전단응력을 떨어뜨리는 것으로 나타나 양방향 흐름에서 보다 쉽게 세굴이 발생됨을 확인하였다. 따라서 조류의 흐름을 받는 해양지반에 대한 세굴평가 시 일방향 흐름에 의해 평가하고 있는 현재 설계법이 해양지반의 세굴현상을 과소평가할 수 있으며 보수적이지 않을 수 있으므로 흐름방향에 대한 지반공학적 평가에 더 많은 관심이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업(08기술혁신E01) 초장대교량 사업단의 제1핵심과제를 통하여 지원되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

곽기석, 이주형, 박재현, 정문경, 배규진 (2004). 세립토의 침식능에 대한 토질정수의 영향. 한국지반공학회 논문집, 20(8), 89-96.

김경호, 이호진, 김완식 (2008). 파랑과 정상흐름의 공존역에서 해저관로 주변의 국부세굴. 한국해양공학학회 논문집, 20(5), 510-521.

김규한 (1999). 조류가 탁월한 해역에서의 해상 교량세굴. 관동대학교 산업기술논문집, 1(15).

김남형, 김영수 (1998). 해양구조물과 기초. 원기술.

정현철 (2007). 연약한 해저지반의 세굴에 대한 지반공학적 특성. 석사학위논문, 전남대학교.

황규남, 소상돈 (2002). 환형수조를 이용한 미세-점착성 퇴적물의 침식특성 조사. 한국수자원학회 논문집, 20(2-B), 1075-286.

Breusers, H. N. C., Niccollet, G. and Shen, H. W. (1977). Local scour around offshore cylindrical pier. Journal of Hydraulic Research, 15(3), 211-215.

Briaud, J. L., Ting, F., Chen, H. C., Cao, Y., Han, S. W. and Kwak, K. S. (2001). Erosion Function Apparatus for Scour Rate Predictions. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. ASCE, 127(2), 105-113.

Briaud, J. L., Chen, H. C., Nurtjahyo, P. and Wang, J. (2004). Pier and contraction scour in cohesive soils. NCHRP Rep. NO.516, Transportation Research Board, Washington, D.C.

Nakagawa, H. and Suzuki, K. (1976). Local scour around bridge pier in tidal current. Coastal Engineering in Japan, 1(19), 89-100

원고접수일: 2011년 1월 14일

수정본채택: 2011년 2월 8일

게재확정일: 2011년 2월 14일