

비정상 흐름장의 인공어초 침하특성에 관한 실험적 연구

윤상준* · 김헌태
부경대학교 해양공학과

A Study of Artificial Reef Subsidence in Unsteady Flow Field

SANG-JOON YOON*, HEON-TAE KIM

Dept. of Ocean Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

KEY WORDS: Artificial reef 인공어초, Scour 세굴, Subsidence 퇴적, Unsteady flow 비정상 흐름, Asymmetric ground 비대칭 지반, Slant 기울임

ABSTRACT: The subsidence characteristics of artificial reef in the unsteady flow such as tidal flow were investigated. The scour and subsidence characteristics were confirmed in the steady flow field, wave field and steady flow-wave field. In a main study, the interaction of Flow-Sediment Movement-Structure Behavior and scour · subsidence mechanism were discussed in the unsteady flow field and the unsteady flow-wave field. Most of all, the continuous artificial reef subsidence from the scour was occurred by periodic behavior of artificial reef. This behavior is result from the asymmetric ground, and is influenced by maximum velocity, duration time and direction of flow.

1. 서 론

근래 수자원 감소와 해양의 식량생산성 저하로 인하여 친환경적 연안개발과 함께 연안해양 수산자원의 지속적 생산극대화가 절실한 실정이다. 이에 대처하기 위해 세계 각국에서 수산 자원의 개발, 적정 이용과 관리 방안 수립에 대한 연구가 다양하게 행해지고 있다. 이 중에서도 인공어초에 대한 연구는 기능성과 안정성 차원에서 많은 연구가 있었으며, 이와 관련된 다양한 인공어초가 현재도 활발하게 개발 중에 있다.

이러한 인공어초에 대한 기존 연구내용은 각종 현장조사, 수리실험 및 이론적 검토 등의 다양한 방법에 의해 체계화되어진 것이다. 하지만, 인공어초 주위의 세굴·침하에 대한 연구는 아직 미비한 실정이고 실제 끊임없이 보고되어 오는 다양한 사례에 비추어 볼 때 보다 합리적인 연구의 필요성이 제기되었다. 먼저 인공어초가 설치되는 실제의 해양환경은 흐름과 파랑 두 요소가 공존하고 있으며, 흐름 자체도 조류에 의해 그 크기와 방향이 일정한 주기를 가지고 변하고 있는데 반해, 인공어초의 세굴에 대한 안정성해석에 관한 기존 연구는 흐름장과 파랑장 각각의 환경에서 이루어졌고, 이러한 저질이동특성을 조류와 같은 유속과 유향이 변하는 비정상 흐름장 또는 파랑장과 공존장에 대해 수행된 연구는 없는 실정이다. 한편, 실제 어초가 설치되는 다양한 해역 중 세굴에 대한 안정성 해석이 필요한 해역은 주로 사질, 사니질 및 니질 해역이다. 이때문에 많은 연구자들이 폭 넓은 저질 조건에 대한 해석을 하기 위해 다양한 입경의 실험사를 사용해 왔지만, 대부분의 연구에 사용되어진 실험사는 중앙입경 d_{50} 이 최소 0.3 mm 이상의 조건에서만 세굴 실험이 행해져서 무차원 소류력과 관련한

저질의 한계이동유속을 과대 평가할 위험이 있다. 게다가 실제로 입경이 작은 저질을 가진 어초어장 해역에서의 인공어초 매몰이 최근까지 보고되고 있으며(제주대학교 해양연구소, 2000), 기존의 연구 사례 중 실제 어초가 설치된 어초어장에서 저질 채취 분석 자료(류 등, 1986)에 의하면 50% 이상이 0.3 mm 이하인 것으로 드러났다.

따라서 본 연구에서는 지금까지 인공어초 주위의 저질이동특성을 고찰함에 있어서 정상류 대신 조류를 적용, 유속과 유향이 변하는 흐름장을 고려하여 연구를 수행하는 것을 기본으로 하고, 보다 작은 중앙 입경을 가진 저질을 사용한 수리모형 실험을 통해 인공어초 주변에 발생하는 세굴·퇴적 등의 저질이동특성을 살펴보고 이러한 흐름과 저질 및 구조물(인공어초) 3자간의 상호작용 및 침하 특성을 규명하고, 나아가 인공어초의 계획, 설계, 시설, 사후 관리 등의 다양한 분야에 크게 활용 가능케 하고 현존하고 있는 각 분야의 관련지침을 더욱 발전시키고자 하는데 있다.

2. 실험방법

2.1 차원해석 및 주요인자

주기성 비정상 흐름장 및 흐름-파랑 공존장에서 어초주변유동이 일으키는 세굴과 이에 따른 침하특성을 살펴보기 위한 주요 영향인자들을 조사하면 아래와 같다.

$$f(D, \rho_a, \varepsilon_a, S_a, U, \rho_w, \mu, g, d_{50}, \rho_s, C_u, t, H, T, T_t, \theta) = 0 \quad (3-1)$$

여기서, D 와 ρ_a 는 어초의 대표길이 및 밀도이고 ϵ_a 는 어초의 공극율, S_a 는 어초형상, U 는 평균유속, ρ_w 와 μ 는 유체밀도 및 점성계수, g 는 중력가속도, d_{50} 과 ρ_s 는 저질의 중앙입경 및 밀도, C_u 는 균등계수, t 는 지속시간, H 와 T 는 파고 및 주기, T_s 는 비정상 흐름(조류)의 주기이며 θ 는 어초 설치방향을 나타낸다. 그리고 상기 영향인자들을 무차원화하여 얻어낸 무차원 세굴 침하량 식이 아래와 같다.

$$\frac{h_s}{D} = f \left(\frac{\rho_a - \rho_s}{\rho_w - \rho_s}, \epsilon_a, S_a, \frac{UD}{\nu}, \frac{U}{\sqrt{gD}}, \frac{D}{d_{50}}, \frac{U^2}{(\rho_s/\rho_w - 1)gd_{50}}, C_u, \frac{t}{T}, \frac{t}{T_s}, \theta \right) \quad (3-2)$$

우변에서 1항은 어초자중과 저질의 밀도에 따른 자중 침하깊이와 관련한 항이며, 2항은 어초의 공극율, 3항은 어초의 형상, 4항은 Reynolds 수, 5항은 구조물에 대한 Froude 수, 6항은 사질 입경에 대한 구조물 대표길이비, 7항은 Shields 수로서 저질의 이동한계와 관련한 것이며, 8항은 저질의 균등계수, 9항과 10항은 지속시간, 11항은 어초의 기울기를 나타내는 항이다.

2.2 실험조건 및 실험방법

수리실험은 파랑과 함께 흐름을 동시에 발생시킬 수 있는 2차원수조에서 수행되었다. 흐름은 유속의 증감과 함께 방향전환까지 고려한 정현파형의 유속 변화율을 적용하였고, 실제 조류를 상사율을 적용해 실험하였다. 조파시의 수위 변동은 전기용량식 파고계(CH-305, Kenek co.)로 측정하였고, 유속측정에는 도플러식 유속계(ADV, Nortek co.) 2대를 사용하였으며, 세굴 및 침하의 측정은 어초에 부착한 스케일과 레벨로 정밀하게 측정하였다. 본 실험에 사용된 2차원 수조 및 설치된 이상의 장치들은 Fig. 1과 같다.

한편 수리모형 축척실험에서 사용된 저질의 입경에 대한 체의 통과율이 Fig. 2와 같으며 얻어진 저질의 중앙입경은 0.18 mm, 입경분포 $\sigma_s (= \sqrt{d_{84}/d_{16}}) = 1.48$ 이다.

세굴·침하실험을 위한 저질은 9 cm 정도로 넣고 수심은 60 cm가 되도록 하여 실험을 하였고, 그 외의 실험조건은 실제 인공어초가 기설치된 해역 및 설치예정지에서의 자료를 검토하여 Table 1과 같은 제원으로 하였다.

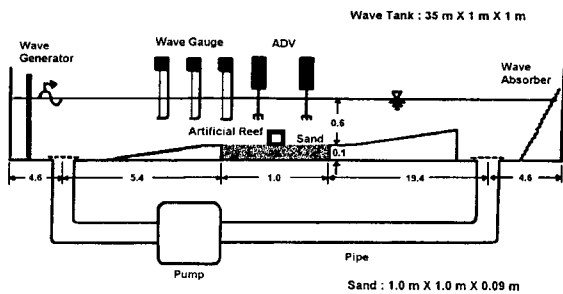


Fig. 1 Layout of wave flume and arrangement of experimental apparatus

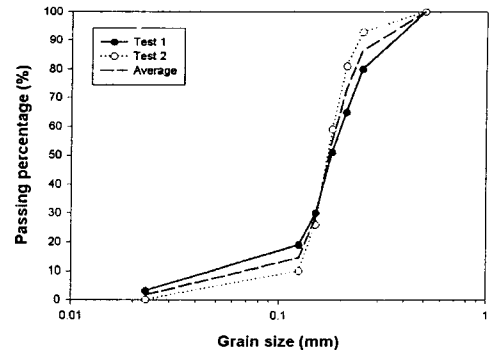


Fig. 2 Accumulation curve for grain size used in experiments

Table 1 Experimental conditions

Sediment			Wave		Current
d_{50} (mm)	σ_s	ρ_s (g/cm^3)	H (cm)	T (sec)	U_{max} (cm/sec)
0.18	1.48	2.062	4~16	0.8~1.8	12~20

흐름은 최고유속이 12, 14, 16, 18, 20 cm/sec 정도가 되도록 조절하였다. 최고유속 지속시간은 20분이고 전후 20분 동안 서서히 증감시켰다. 주기성 비정상 흐름과 비정상 흐름·파랑 공존장 조건하의 각 실험에서 5분마다 세굴 관측 및 침하량과 유속 측정하였다.

3. 실험결과 고찰 및 해석

3.1 주기성 비정상 흐름장

정상흐름 상태에서는 어초 하부의 지반이 세굴로 인해 불안정한 지반상태를 유지하고 있으면서, 어초의 급격한 기울기의 변화는 생기지 않고 매우 천천히 세굴·침하된다.

그런데 비정상 흐름장에서는 봉우리 모양의 지반에 얽힌 불안정한 상태의 어초가 유속이 약해지는 시점부터 기울어지기 시작하며, 유향 역전시 같은 강도의 흐름이라도 어초가 급격하게 기울어지게 된다. 이것은 일단 흐름의 방향이 바뀌면 전면에서 받는 유체력이 사라지고 어초 후방으로부터의 새로운 외력 및 세굴로 인한 불안정한 비대칭적 지반 상의 어초 자중에 의한 무게중심과 지반의 어초 지지점인 최고퇴적지점이 어긋나게 되면서 급격하게 기울어지게 되는 것이다(Fig. 3).

그리고, 이러한 어초의 기울임 현상은 추가적인 세굴로 이어져 어초의 침하가 발생하게 된다. 침하곡선은 주어진 흐름장에서 정현파형의 형태로 증감하는 유속의 패턴과 유사하게 침하와 상승이 반복하는 양상을 보이고 있다(Fig. 4). 비정상 흐름장의 최고지속유속 $U_{max} = 12, 14$ cm/sec의 경우 전반적으로 침하량 자체가 미미한 편이고, $U_{max} = 16$ cm/sec에서는 유속·유향에 따라 어초의 기울임이 생기고 침하가 생기기 시작하였다. $U_{max} = 18$ cm/sec가 나오는 비정상 흐름장에서는 가장 전형적인 세굴과 어초 기울임 및 이에 따른 침하 양상을 볼 수 있다.

$U_{max}=20$ cm/sec에서는 간혹 저질이 현저히 교란되는 것이 보일 정도로 세굴이 강하며 침하도 현저히 발생하였다.

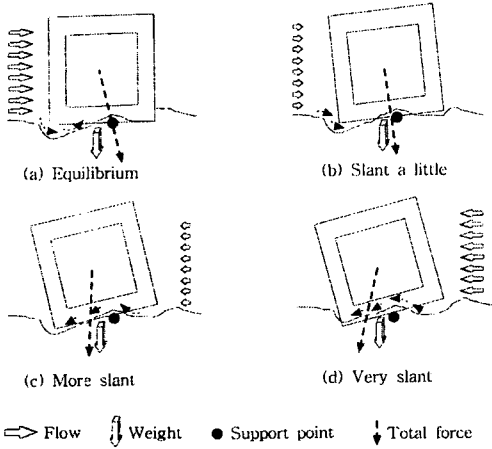


Fig. 3 Sediment movement and behavior of AFR by flow change in the unsteady flow field

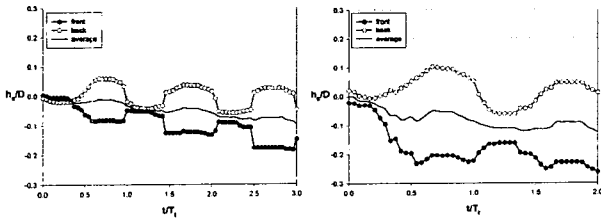


Fig. 4 Dimensionless subsidence process of AFR in tidal flow field ($U_{max}=18, 20$ cm/sec)

조류를 고려한 비정상 흐름장에서 흐름-지반-구조물간의 상호 작용 및 역학적 특성은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 흐름이 순방향일 때
; 유속 강도에 따라 세굴이 진행되고 어초 하부와 접하는 세굴 지반의 저질이동 및 이로 인한 비대칭지반 상에서 어초의 기울임 현상이 생긴다. 초기의 세굴이 한계값 이상이 되면 어초는 크게 기울고 그에 따른 지속적 세굴이 진행된다.
- 2) 흐름이 순방향에서 역방향으로 변할 때
; 순방향 유속이 느려지는 상태에서도 편향된 무게중심에 의해 자중으로 어초가 계속해서 크게 기울어지기도 하며 이 현상은 역방향 유속이 한계값 이상이 되어 세굴지반의 위치가 전반부로 다시 이동해 와서 무게중심이 뒤로 쏠릴 때까지 계속된다.
- 3) 흐름이 역방향일 때
; 어초는 불평형 지반 위에서 기울어진 채로 계속해서 완만하게 침하하고 있으며 동시에 크게 기울어진 어초의 후면부는 가로부재 아래에서 퇴적되던 부분이 세굴되면서 점차 전면부로 이동, 이전의 세굴영역에 들어가 매몰이 진행되기도 한다.
- 4) 흐름이 역방향에서 순방향으로 변할 때
; 어초는 역방향 흐름이 완전히 없어지는 순간까지 계속해서 완만한 침하가 일어나며 다시 순방향의 흐름이 점차 강해지면서 전면의 매몰부위가 다시 세굴이 된다. 이와 함께 어초 전

면부는 약간 들리고, 어느 정도 기울기를 회복하는 양상을 보 이면서 중앙 세굴·퇴적지반은 다시 어초 뒷부분으로 이동하 기 시작해서 1)의 과정으로 되풀이된다.

Fig. 5는 이렇게 흐름의 강도 혹은 방향이 세굴에 영향을 미 치는 것과 세굴이 구조물의 기울임과 같은 주기적 거동을 초 래하는 것, 그리고 이러한 거동은 다시 세굴에 영향을 주는 흐 름을 발생시키는 것을 함께 보여주는 모식도이다.

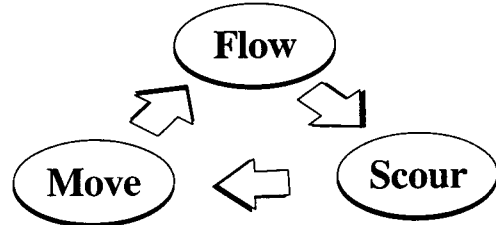


Fig. 5 The interaction of flow-sediment-structure

조류를 고려한 비정상 흐름장에서의 세굴 침하 현상을 주입 된 흐름 주기(조류 주기 T_1)로 무차원화한 x축에 대해서 매 5 분 간격의 무차원 침하폭(dh_s/D)으로 정리하였다(Fig. 6).

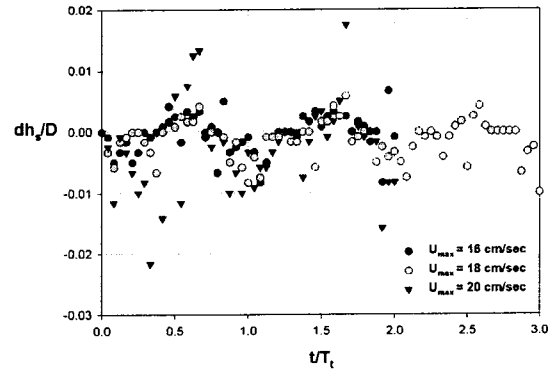


Fig. 6 Subsidence width of AFR according to time elapse

유속에 따라 최대 침하폭이 약간씩 다르며, 또 강한 유속상태 에서는 초기의 침하폭이 큰 반면 시간이 갈수록 조금씩 안정 되어 가는 감쇠 진동하는 파형의 침하폭 특성을 볼 수 있다. 그리고 유속이 변하는 지점($t/T_1=n/2$, n 은 정수)에서 무차원 침 하폭이 극값을 가지므로 크게 침하하거나 상승한다는 것을 알 수 있는데, 이는 조류를 고려한 비정상 흐름, 즉 흐름의 변화 가 미치는 영향이 상당하다는 것을 보여준다.

흐름장의 최대지속유속에 따른 인공어초의 침하량과 침하폭 특성을 살펴보았다. 이때 무차원 최대 침하량 h_{sx}/D 는 흐름의 주기(조류 주기)당 최대 침하량 h_{sx} 를 어초의 대표길이 D 로 무 차원화 한 것이고, 이것을 유속인자로 최대지속유속 U_{max} 를 사 용한 레이놀즈수에 대해 나타내었다(Fig. 7). 전반적으로 $Re^* = 8000$ 부근을 넘어서면서 침하가 일어나는 것으로 판단되며 $Re^* = 9500$ 부근 이상의 영역에서는 최초 1주기간의 침하량 자 체가 현저히 증가된 것을 확인할 수 있다.

비정상 흐름장에서의 침하특성을 저질의 상태를 고려한 Shields 수에 대해 나타내고 정상흐름장에서의 결과와 비교해

보았다(Fig. 8). 이때의 Shields 수는 식(4-1)과 같다.

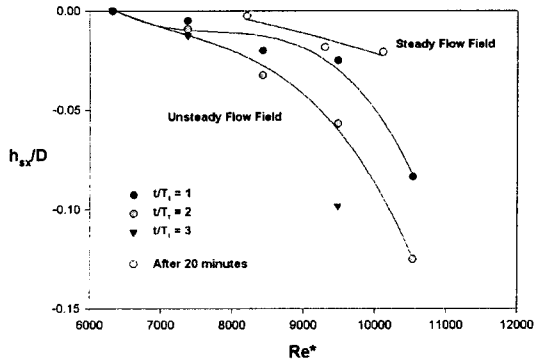


Fig. 7 Subsidence of AFR according to Re^* in the unsteady flow

$$Sn = \frac{u^*{}^2}{(\rho_s/\rho_w - 1)gd_{50}} \quad (4-1)$$

여기서 u^* 는 저부마찰속도(혹은 저면최대수립자속도)의 진폭, g 는 중력가속도, ρ_s 와 ρ_w 는 저질 및 물의 밀도이고 d_{50} 는 저질의 중앙입경이다.

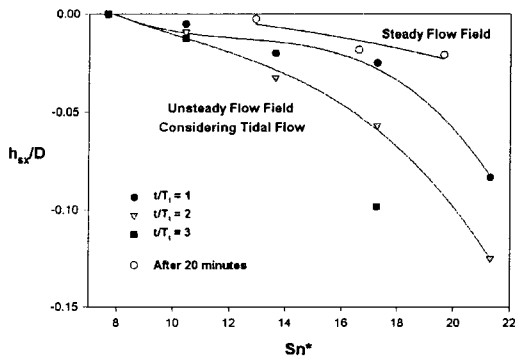


Fig. 8 Subsidence of AFR according to Sn^* in the unsteady flow

각 유속값에 대한 Sn 값의 차이가 거의 일정하여 Reynolds 수에 대한 그래프와 거의 유사한 패턴을 보인다.

한편, 본 연구와 같이 흐름이 변동하는 상황에서의 침하특성을 고찰하는데 있어서 흐름의 변화에 따른 침하 양상의 변화를 침하폭의 차원에서 다루었듯이, 흐름에 있어서도 동적 흐름 상태를 정확히 구분하면서 그 침하특성을 논할 필요가 있다. 따라서 변동하는 흐름의 가속도를 산출한 후 중력가속도 g 로 무차원화 시켜 앞서 논의한 무차원 침하폭을 살펴보았다(Fig. 9). 그 결과 흐름가속구간에 대해서 침하와 상승의 성향이 대체로 구분 것을 볼 수 있다.

그리고 각 주기별(무차원 시간별)로 침하 변동폭을 살펴본 그림이 Fig. 10과 같다. 이 그림으로부터 초기 세굴이 발생하는 한계에서는 매우 작은 가속구간에서도 급격히 침하되는 것을 볼 수 있으며, 한 주기 이후의 세굴 침하폭은 어느 정도 수렴하고 있는 것을 볼 수 있다.

Fig. 11는 시간에 따른 최대 침하량 특성을 나타낸 것이다.

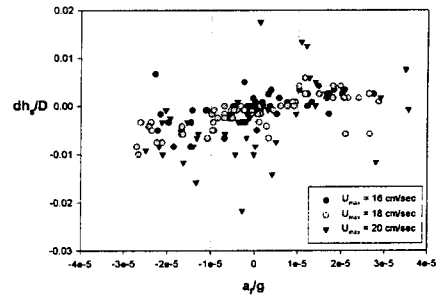


Fig. 9 Dimensionless subsidence width of AFR according to the dimensionless acceleration of flow(by maximum velocity)

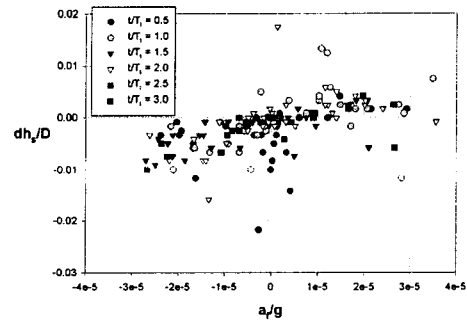


Fig. 10 Dimensionless subsidence width of AFR according to the dimensionless acceleration of flow(by dimensionless time)

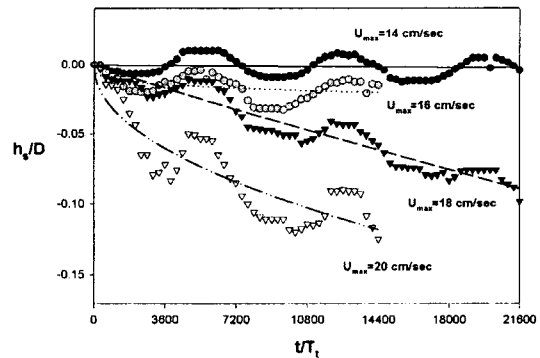


Fig. 11 Measurement and prediction of AFR subsidence according to the dimensionless time

3.2 주기성 비정상 흐름-파랑 공존장

Fig. 12, 13, 14는 공존장에서의 침하를 보여주는 그림이다. 흐름-파랑 공존장에서는 동일 평균최강유속에서의 흐름장 조건에서는 일어나지 않았던 침하현상이 파랑에 의해 현저하게 발생하는 것을 알 수 있는데, 이것은 파랑에 의한 유속의 증가 때문에 발생하는 것이 분명하다. 그리고 더욱 다양한 해역조건으로 실험한다면 침하가 현저히 일어나는 주기와 파고의 한계값이 존재할 것으로 판단되며, 그러한 한계과 검토를 위해 보다 세밀한 연구가 요망된다.

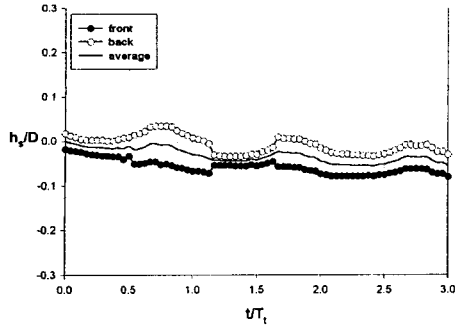


Fig. 12 Subsidence process of AFR in the unsteady flow-wave field($U_{max}=12$ cm/sec, $T=1.2$ sec, $H=9.8$ cm)

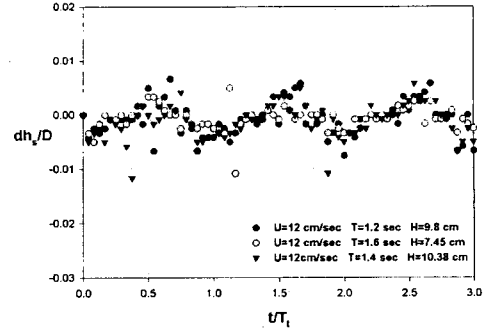


Fig. 15 Subsidence width of AFR according to time elapse in unsteady flow-wave field

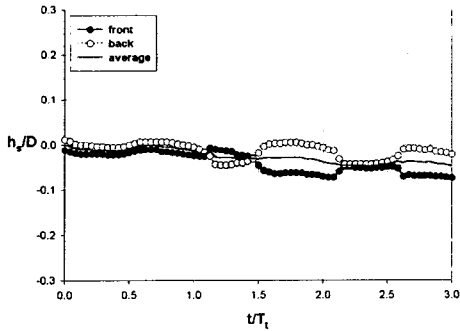


Fig. 13 Subsidence process of AFR in the unsteady flow-wave field($U_{max}=12$ cm/sec, $T=1.6$ sec, $H=7.45$ cm)

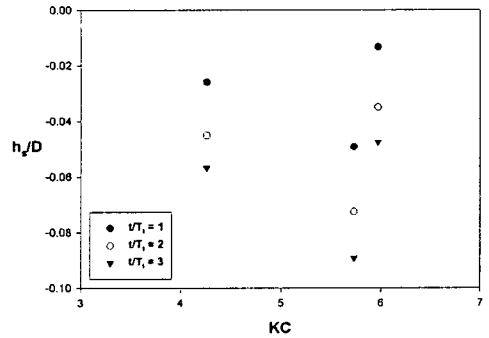


Fig. 16 Dimensionless subsidence of AFR according to KC

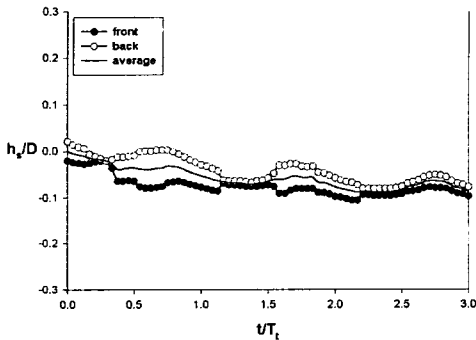


Fig. 14 Subsidence process of AFR in the unsteady flow-wave field($U_{max}=12$ cm/sec, $T=1.4$ sec, $H=10.38$ cm)

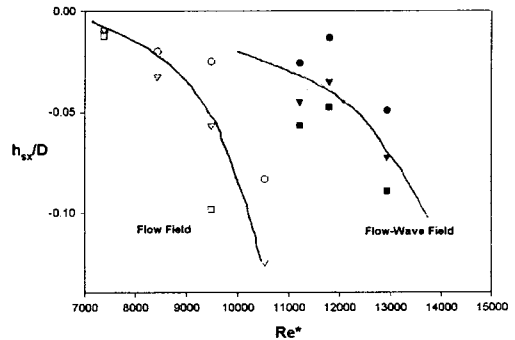


Fig. 17 Subsidence of AFR according to Re^*

Fig. 15는 비정상 흐름-파랑 공존장에서 시간에 따른 무차원 침하폭에 대해 살펴본 것인데, 흐름장에서의 성향과 비슷하다. 한편 파랑장에서 제반 물리량의 특성을 논할 때 보통 KC 수 (Keulegan- Carpenter number)를 사용한다. 유속인자로 수평최대 수립자속도 U_{max}^* 를 사용한 KC수로 침하량을 살펴보았으며(Fig. 16) 또 같은 유속 U_{max}^* 를 사용한 레이놀즈 수(Re^*)로도 나타내어 비교해 보았다(Fig. 17). 그림의 심벌은 동그라미, 세모, 네모가 각각 1, 2, 3주기간의 최대침하량을 나타내는 것이다.

그리고, 저질의 상태를 고려한 이동한계 경험식인 Sn^* 수를 이용하여 침하특성을 나타내고 정상 흐름장, 파랑장, 비정상 흐름장에서의 결과를 함께 비교한 것이 Fig. 18과 같다.

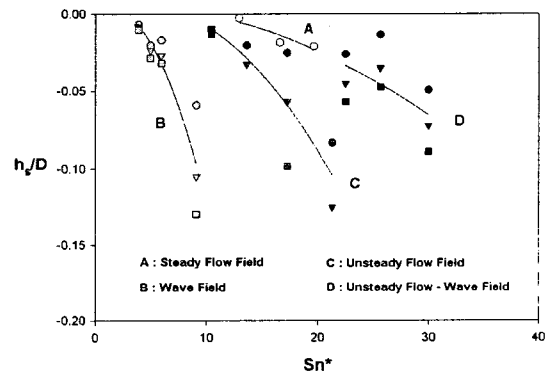


Fig. 18 Maximum subsidence of AFR according to modified Shields number in flow field

Fig. 19는 비정상 흐름·파랑 공존장에서의 흐름가속도에 대한 침하특성을 나타낸 그림이다. 그림에서 최대 유속이 강하게 나오는 주기 1.2 sec, 파고 9.88 cm의 경우 침하폭이 동일한 흐름의 가속값에 대해 큰 변동폭을 가지며 분포하고 있음을 볼 수 있다. 또 주기 1.4 sec, 파고 10.38 cm인 강한 파랑이 흐름과 공존하는 경우에는 거의 전 구간에 걸쳐 침하가 발생한 바 있음을 나타낸다.

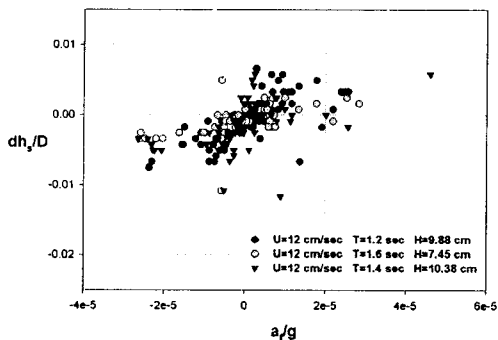


Fig. 19 Dimensionless subsidence width of AFR according to the dimensionless flow acceleration in unsteady flow-wave field

조류를 고려한 비정상 흐름과 파랑과의 공존장에서 무차원 시간에 따른 최대 침하량 특성(Fig. 20)을 파악하였다.

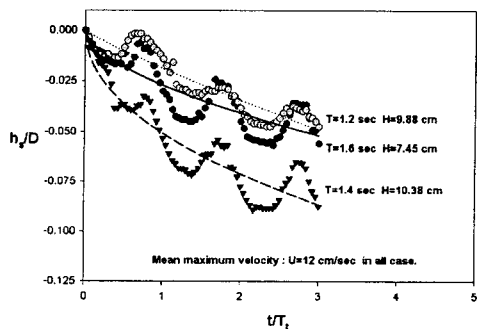


Fig. 20 Measurement and prediction of subsidence of AFR according to the dimensionless time

4. 결 론

본 연구에서 얻어진 결과는 다음과 같다.

- (1) 정상류에서의 침하량은 짧은 시간에 점진적 침하상태로 변하는 반면, 조류를 고려한 비정상 흐름장에서는 흐름이 주기를 거듭하면서 추가적인 침하가 발생하는데, 이것은 어초의 거동과 이에 따른 세굴현상에 기인한 것으로 드러났다.
- (2) 흐름에 의한 어초 주변 저질거동은 어초 하부를 비대칭적 지반이 받치고 있는 형상이 되게 하고, 이 지반은 유속·유향에 따라 거동한다. 한편 비대칭적 지반상에서 흐름상태에 따른 어초의 기울임 현상은 추가적인 세굴·퇴적을 일으킨다. 이 지속적 세굴현상은 저질을 유출을 심화시키고, 이에 따라 어초의 침하·매몰을 일으킨다.

(3) 비정상 흐름장의 경우는 최소 2주기 이상의 시간 스케일로 세굴·침하 특성을 살펴보아야 한다. 특히 유속이 20 cm/sec 이상이 되면 2주기 이상의 조류상황에서도 지속적으로 침하·매몰이 예상된다. 이에 따라 기존의 어초설치 한계유속은 저질의 중앙입경 및 입도 분포의 표준편차 등 저질상태, 수심, 어초에 직접적인 영향을 미치는 최대유속 및 지속시간 등의 흐름상태 등을 고려하여 보다 구체적이고 엄밀하게 설정해야 할 필요가 있다.

(4) 저질의 상태와 관련된 무차원 유속 Sn^* 로 정상 흐름장, 파랑장, 비정상 흐름장 및 비정상 흐름-파랑 공존장의 침하특성을 비교해 본 결과, 각각의 환경에서 나타나는 동일한 침하값에 대한 Sn^* 값 분포영역이 다르며, 이것은 주어진 실험시간동안 세굴과 침하에 직접적으로 영향을 미치는 흐름의 작용시간의 차이에 의한 것으로 판단되므로 보다 합리적인 파라메타의 정립에 대한 많은 연구가 요망된다.

참 고 문 헌

김현주 (1995) : 연안 생태계제어 구조물의 안정성과 기능 극대화를 위한 기초적 연구. 부산수산대학교 해양공학과 공학박사학위논문, 145p.

류청로, 김현주, 이한수, 신동일 (1997) : 생태계 제어 시설물의 설계 및 배치 최적화(2) - 흐름장에서의 인공어초 침하 및 매몰 특성-. 한수지, 30(1), 139-147.

류청로, 이익효, 김현주, 정진호 (1993) : 수중수산시설물에 작용하는 유체력 및 지반거동의 동적해석. 한국해양학회 학술발표논문초록집, 101-105.

張善德, 柳青魯, 松原雄平, 李益孝, 朴哲析, 金鉉周 (1995) : 수중수산시설물에 작용하는 유체력 및 지반거동의 동적해석. 수진연구보고, 51, 1-21.

제주대학교 해양연구소 (2000) : 인공어초 시설어장 사후관리 및 효과조사 보고서, 78p.

D'Itri, F.M. (1985) : Artificial reefs - Marine and freshwater application. Lewis Publishers Inc., 589p.

Ingrsisawang, V., M. Ban, H. Kimura (1995) : Comparative study on the sinking of artificial reefs by local scour between laboratory and field experiments. Fisheries Engineering, 32(2), 95-103.

Kim J.Q, N. Mizutani and K. Iwata (1995) : Experimental study on the local scour and embedment of fish reef by wave action in shallow water depth, Proc. of ECOSSET'95, 168-173.

Kimura, H., V. Ingrsisawang, M. Ban (1994) : A study on local scour of cylinder artificial fish reefs. Fisheries Engineering, 31(1), 33-40.

榎木亨 (1991) : 波と漂砂と構造物. 技報堂出版(株), 482p.

榎木亨 (1984) : 魚礁周辺の局所洗掘とその對策方法について. 第31回海岸工學講演會論文集, 30, 345-349.

2000년 4월 일 원고 접수