

# 비정상 흐름장의 인공어초 침하특성에 관한 실험적 연구

김헌태  
부경대학교 해양공학과

## A Study of Artificial Reef Subsidence in Unsteady Flow Field

HEON-TAE KIM

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

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

**ABSTRACT:** The subsidence characteristics of artificial reef (AFR) in the unsteady flow such as tidal flow were investigated. The scour and subsidence characteristics were confirmed in the steady flow field. In a main study, the interaction of "Flow - Sediment Movement - Structure Behavior" and scour/subsidence mechanism were discussed in the unsteady flow field. AFR subsidence characteristics was discussed with Reynolds number( $Re^*$ ), Shields number( $Sn^*$ ), dimensionless acceleration of flow ( $aff/g$ ) and dimensionless time ( $t/T$ ). Most of all, the continuous AFR subsidence from the scour was occurred by periodic behavior of AFR. 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 다방면으로 행해지고 있다. 이중에서도 인공어초에 대한 연구는 기능성과 안정성 차원에서 많은 연구가 있었으며, 이와 관련된 다양한 인공어초가 현재도 활발하게 개발 중에 있다.

이러한 인공어초에 대한 기존 연구내용 중 기능성에 관한 것이 국립수산진흥원(1992)을 비롯하여 다양하게 국내외로부터 보고되었다. 인공어초에 있어서 이러한 기능적 차원의 설치효과 극대화를 위해서 해역의 수리학적 특성을 조사하고, 대상종 선정 및 그 생태학적 특성을 면밀히 고려하여 적절한 형태 및 재질의 어초를 설정하는 것은 물론 시설·배치가 합리적으로 이루어져야 하는 것으로 많은 연구자들에 의해 논의되었다.

한편, 인공어초의 기능극대화를 위한 안정성에 관한 연구는 다시 인공어초 설치 후 받게 되는 작용유체력에 대한 것과는 반거동에 대한 것으로 나눌 수 있다. 작용유체력 산정 및 그 특성에 관한 것은 大西 等(1983), 上北 等(1985), 松見(1991), 류 등(1994) 등의 연구가 있다. 大西 等은 정상류에서, 上北 等은 정상류, 파동류, 파·흐름장을 대상으로 인공어초의 유체력 특성을 논하였고, 松見은 파랑장에서 착저식 어초를 대상으로 어초 부재 및 어초 상호간의 간섭효과, 저면효과 등을 고려한 파력특성을 논의하였으며, 류 등은 여러 가지 파력산정법의 비교를 통한 합리적 산정법을 제안하고 최대파력 산정식을 제시하였다.

그리고 착저식 인공어초의 기능유지 및 극대화와 관련한 어초하부 저질거동에 관한 안정성 연구는 工藤 等(1980)의 현장 조사에서 시작하여 榎木 等(1984), 류 등(1986) 등의 다양한 수리실험연구 결과가 보고되어 있다. 특히 榎木 等은 저질이 파 또는 흐름이 초기이동 한계조건 이하일 때에도 어초주변에 생기는 와류·축류에 의해 국소세굴이 발생함을 지적하였다. 또 Kimura et al.(1994)는 원통형 어초에 대한 세굴·퇴적 특성과 주요 영향인자를 논하였고, Kim et al.(1995)은 파랑장에서 어초 저면형상에 따른 세굴·퇴적특성을 연구하였으며, Ingsrisawang et al.(1995)은 인공어초의 침하특성을 실험 및 실험해역 각각에서 검토하였다.

이와 같이 인공어초의 연구는 이미 이론 및 실험적으로 많은 부분 체계화되어 있으며 현장 응용사례도 매우 다양하다. 그러나, 인공어초 주위의 세굴·침하와 관련된 안정성에 대한 연구는 아직 미비한 실정이며 최근까지 보고되어 오는 사례(제주대학교 해양연구소, 2000)에 비추어 볼 때 보다 합리적인 연구의 필요성이 제기되고 있다. 구체적인 예로서 인공어초가 설치되는 실제의 해양환경은 흐름과 파랑 두 요소가 공존하고 있으며, 흐름 자체도 조류에 의해 그 크기와 방향이 일정한 주기를 가지고 변하고 있다. 그러나, 인공어초의 세굴에 대한 안정성해석에 관한 기존 연구는 흐름장과 파랑장 각각의 환경에서 이루어졌고, 실험해역에서의 침하연구(Ingsrisawang et al., 1995)를 제외하면, 조류와 같은 유속과 유향이 변화하는 비정상 흐름장의 인공어초 주변 저질이동특성에 관한 연구는 극히 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 지금까지 인공어초 주위의 저질이동 및 인공어초 침하특성을 고찰함에 있어서 정상류 대신 조류와

같은 유속과 유향이 변하는 왕복성 비정상 흐름장을 고려한 수리모형 실험을 통해 인공어초 주변에 발생하는 세굴·퇴적 등의 저질이동특성을 살펴보고 이러한 흐름과 저질 및 구조물(인공어초) 3자간의 상호작용 및 침하 특성을 규명하고자 하는데 그 목적이 있으며, 나아가 인공어초의 계획, 설계, 시설, 사후 관리 등의 다양한 분야에 크게 활용 가능케 하고 현존하고 있는 관련 분야의 설계지침을 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 다음과 같다.

$$f(D, \rho_a, \epsilon_a, S_a, U, \rho_w, \mu, g, d_{50}, \rho_s, C_u, t, T_t, \theta) = h_s \quad (1)$$

여기서,  $D$ 와  $\rho_a$ 는 어초의 대표길이 및 밀도이고  $\epsilon_a$ 는 어초의 공극율,  $S_a$ 는 어초형상,  $U$ 는 평균유속,  $\rho_w$ 와  $\mu$ 는 유체밀도 및 점성계수,  $g$ 는 중력가속도,  $d_{50}$ 과  $\rho_s$ 는 저질의 중앙입경 및 밀도,  $C_u$ 는 균등계수,  $t$ 는 지속시간,  $T_t$ 는 비정상 흐름(조류)의 주기이며  $\theta$ 는 어초 설치방향(혹은 기울기)를 나타낸다. 그리고 상기 영향인자들을  $D, U, \mu$ 를 반복변수로 무차원화하여 구한 무차원 세굴침하량 식은 다음과 같다.

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

우변에서 1항은 어초자중과 저질밀도에 따른 자중침하와 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 지속시간인데 여기서  $T_p$ 는  $D/U$ 로서 평균류의 어초통과시간을 나타내며, 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, 실 현장에서의 조류 데이터를 상사법칙에 적용하여 실험을 수행하였다. 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 10 cm 정도로 넣고 수심은 60 cm가 되도록 하여 실험을 하였고, 어초 형상의 크기 및 작용 유속에 관한 실험조

건은 실제 인공어초가 기설치된 해역 및 설치 예정지에서의 자료를 검토하여 Table 1과 같은 제원으로 설정하였다.

흐름은 최고유속이 12, 14, 16, 18, 20 cm/sec 정도가 되도록 조절하였다. 최고유속 지속시간은 20분이고 전후 20분 동안 서서히 증감시켰으며, 5분마다 세굴 관측 및 침하량과 유속 측정을 하였다.

## 3. 실험결과 고찰 및 해석

### 3.1 정상 흐름장

정상흐름 상태의 실험에서는 어초 하부를 지지하는 저질상태가 세굴로 인해 불안정해지지만, 지지상태는 어느 정도 일정하게 유지하고 있어서 어초의 급격한 기울기의 변화는 생기지

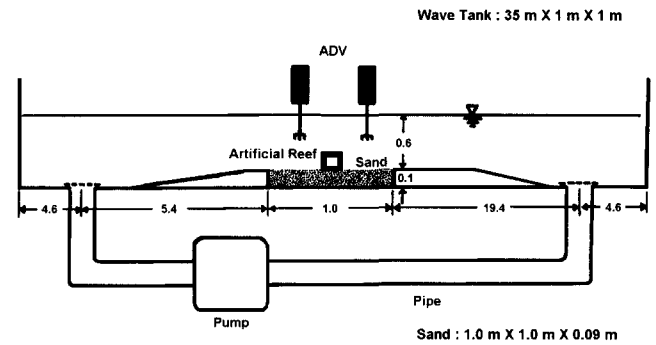


Fig. 1 Layout of wave flume and arrangement of experimental apparatus

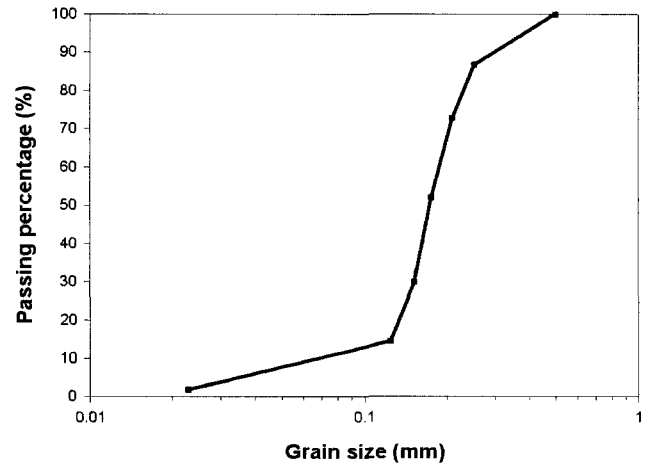


Fig. 2 Accumulation curve for grain size

Table 1 Experimental conditions

Structure	Sediment			Current	
	Shape (cm)	$d_{50}$ (mm)	$\sigma_s$	$\rho_s$ ( $g/cm^3$ )	$U_{max}$ (cm/sec)
Tetragon; 6×6×6		0.18	1.48	2.062	12~20

않고 매우 천천히 세굴·침하되는 특성이 나타났다. 이 결과는 기존의 연구결과(류청로 등, 1997)와 일치하는 것으로서 본 고에서는 생략하기로 한다.

3.2 주기성 비정상 흐름장

비정상 흐름장에서 인공어초의 세굴·침하 특성을 분석할 때, 최대지속 유속의 크기와 관계없이 공통적으로 Fig. 3과 같은 4가지 단계로 세굴 및 어초의 기울임 현상이 발생하는 것을 실험에서 확인할 수 있었다. 즉, 흐름발생초기(a)에 강한 유속으로 인한 세굴로 어초는 불안정한 상태가 되어 어초는 약간 기울어지지만, 어초의 지지점에서 어초 자중에 의한 반시계 방향의 모멘트와 작용 유체력에 의한 시계 방향의 모멘트가 균형을 이루고 있어 어초의 기울임 및 세굴의 증가는 거의 일어나지 않는다. 그러나, 봉우리 모양의 지반에 얽힌 불안정한 상태의 어초가 유속이 약해지는 시점(b)부터 기울어지기 시작하며, 유향 역전시(c) 같은 강도의 흐름이라도 작용 유체력에 의한 반시계 방향 모멘트와 함께 자중에 의한 모멘트가 작용하여 어초는 더욱 크게 기울어지게 된다. 역방향의 강한 흐름이 작용할 때(d)는 어초는 급격하게 기울어지며, 경우에 따라 초기 세굴영역으로 어초 일부가 들어가면서 세굴되어 이동하는 저질에 의해 매몰현상이 발생한다.

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  $U_{max}=12, 14 \text{ cm/sec}$ 의 경우 전반적으로 침하량 자체는 거의 없었으며,  $U_{max}=16 \text{ cm/sec}$ 에서는 유속·유향에 따라 어초의 기울임이 생기고 침하가 생기기 시작하였다.  $U_{max}=18 \text{ cm/sec}$ 의 비정상 흐름장에서는 가장 전형적인 세굴과 어초 기울임 및 이에 따른 침하 양상을 볼 수 있다.  $U_{max}=20$

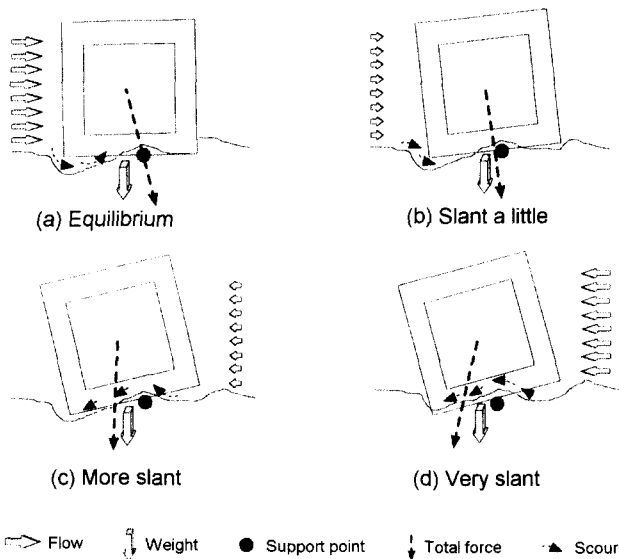


Fig. 3 Sediment movement and AFR behavior by flow change in the unsteady flow field

cm/sec에서는 저질이 현저히 교란되는 것이 보일 정도로 세굴이 강하며 침하도 크게 발생하였다.

조류를 고려한 비정상 흐름장에서 흐름—지반—구조물간의 상호작용 및 역학적 특성은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 흐름이 순방향일 때 ;  
 유속 강도에 따라 세굴이 진행되고 어초 하부에 접하는 세굴지반의 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 어초 자중과 어초 지지점의 불일치에 따른 편향된 무게중심은, 자중으로도 어초가 계속해서 크게 기울어지게 하며 이 현상은 역방향 유속이 한계값 이상이 되어 세굴지반의 위치가 전방부로 다시 이동해 와서 무게중심이 뒤로 쏠릴 때까지 계속된다.
- 3) 흐름이 역방향일 때 ;  
 어초는 불평형 지반 위에서 기울어진 채로 계속해서 천천히 침하하고 있으며 동시에 크게 기울어진 어초의 후면부는 가로

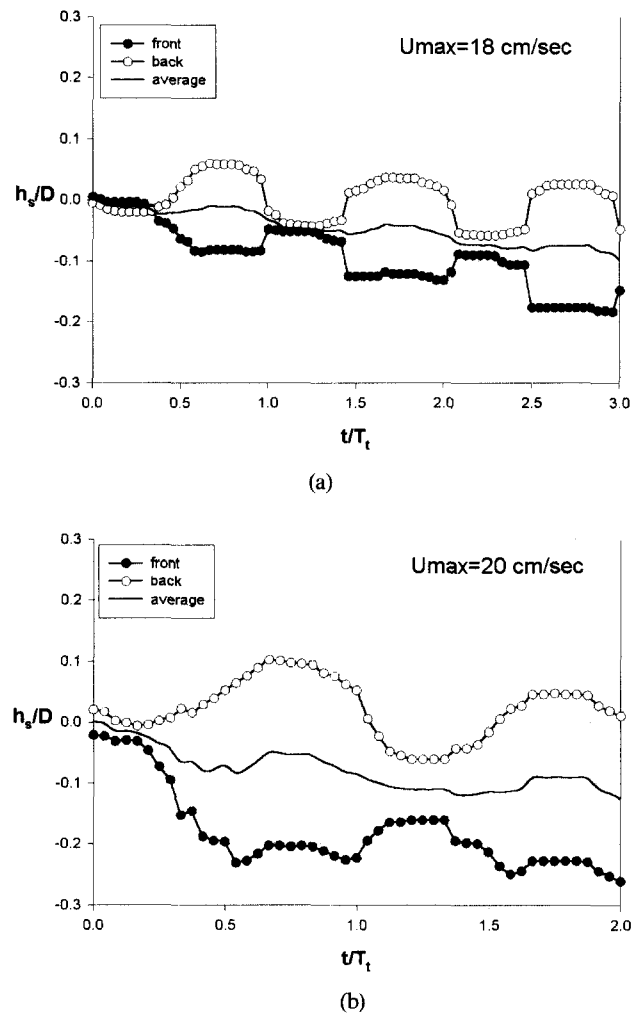


Fig. 4 Dimensionless subsidence process of AFR in the unsteady flow field((a)  $U_{max}=18 \text{ cm/sec}$ , (b)  $U_{max}=20 \text{ cm/sec}$ )

부재 아래에서 퇴적되던 부분이 세굴되면서 점차 전면부로 이동, 이전의 세굴영역에 들어가 매물이 진행된다.

4) 흐름이 역방향에서 순방향으로 변할 때 ;

어초는 역방향 흐름이 완전히 없어지는 순간까지 계속해서 완만한 침하가 일어나며 다시 순방향의 흐름이 점차 강해지면서 전면의 매물부위가 다시 세굴이 된다. 이와 함께 어초 전면부는 약간 들리고, 어느 정도 기울기를 회복하는 양상을 보이면서 중앙 세굴·퇴적지반은 다시 어초 뒷부분으로 이동하기 시작해서 1)의 과정으로 되풀이된다.

Fig. 5는 이렇게 흐름의 강도 혹은 방향이 세굴에 영향을 미치는 것과 세굴이 구조물의 기울임과 같은 주기적 거동을 초래하는 것, 그리고 이러한 거동은 다시 세굴에 영향을 주는 흐름을 발생시키는 것을 함께 보여주는 모식도이다.

조류를 고려한 비정상 흐름장의 세굴·침하 현상을 비정상 흐름의 주기(조류 주기  $T_t$ )로 무차원화한 x축에 대해서 매 5분 간격의 무차원 침하폭( $dh_s/D$ )으로 정리하였다(Fig. 6).

이 결과에 의하면, 유속의 크기에 따라 최대 침하폭이 약간씩 다르게 나타나는 것을 알 수 있으며, 특히 강한 유속상태에서 초기 침하폭이 크고 시간이 갈수록 점차 안정되어 가는 감소진동 파형의 침하폭 특성을 볼 수 있다. 그리고 유향이 변하는 지점( $t/T_t = n/2$ , n은 정수)에서 무차원 침하폭이 극값을 가지므로 크게 침하하거나 상승한다는 것을 알 수 있는데, 이는 조류를 고려한 비정상 흐름, 즉 흐름의 변화가 미치는 영향이 매우 크다는 것을 보여준다.

한편, Fig. 7은 흐름장의 최대지속유속에 따른 인공어초의 침

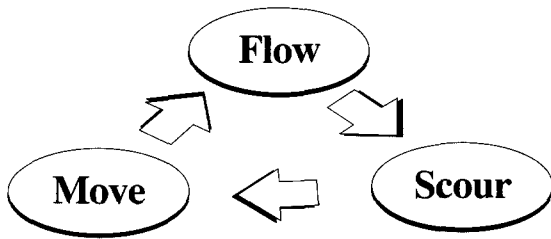


Fig. 5 The interaction of flow-sediment-structure

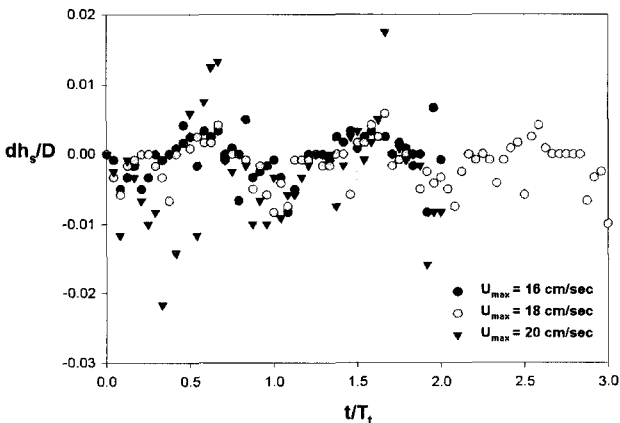


Fig. 6 Subsidence width of AFR according to time elapse

하량과 침하폭 특성을 나타낸 그림이다. 이때 무차원 최대 침하량  $h_{sx}/D$ 는 흐름의 주기(조류 주기)당 최대 침하량  $h_{sx}$ 를 어초의 대표길이  $D$ 로 무차원화 한 것이며, 횡축은 최대지속유속  $U_{max}$ 를 사용한 Reynolds 수에 대해 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 전반적으로  $Re^*$  수가 8000 부근에서 침하가 일어나는 것으로 판단되며  $Re^*$  수가 9500 이상이 되는 영역에서는 최초 1주기간의 침하량 자체가 현저히 증가된 것을 확인할 수 있다.

Fig. 8은 비정상 흐름장에서의 침하특성을 저질의 상태를 고려한 Shields 수에 대해 나타내어 정상흐름장에서의 결과와 비교한 것이다. 이때의 Shields 수는 식(3)과 같다.

$$Sn^* = \frac{u^{*2}}{(\rho_s/\rho_w - 1)gd_{50}} \quad (3)$$

여기서  $u^*$ 는 저면마찰속도(혹은 저면최대 물입자속도)의 진폭,  $g$ 는 중력가속도,  $\rho_s$ 와  $\rho_w$ 는 저질 및 물의 밀도이고  $d_{50}$ 는 저질의 중앙입경이다.

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

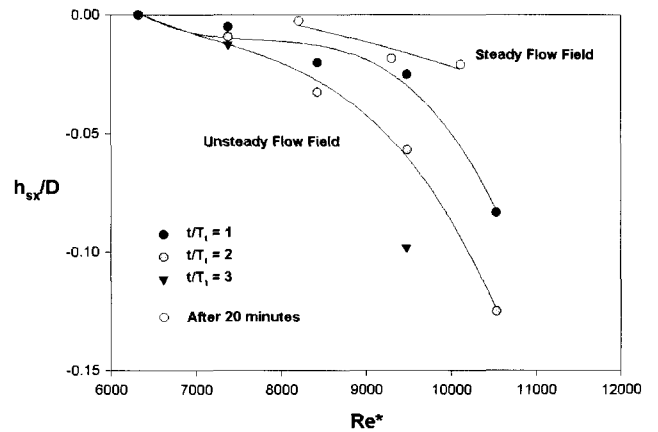


Fig. 7 AFR subsidence according to  $Re^*$  in the unsteady flow

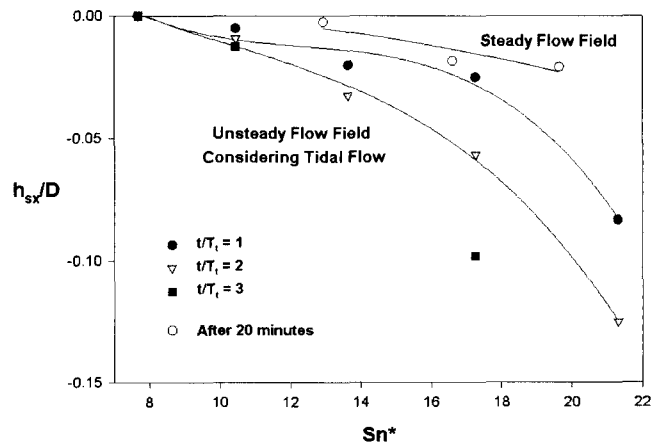


Fig. 8 AFR subsidence according to  $Sn^*$  in the unsteady flow

한편, 본 연구와 같은 비정상 흐름장에서는 변동하는 흐름상태를 고려하면서 그 침하특성을 논할 필요가 있다. 따라서 순간순간 달라지는 침하특성을 침하폭의 개념으로 살펴보았듯이 변동하는 흐름상태에서의 가속도( $a_f$ , 단위 시간당 유속의 변동폭)를 산출한 후 중력가속도  $g$ 로 무차원화시켜 앞서 논의한 무차원 침하폭을 살펴보았다(Fig. 9). 그 결과 흐름가속구간에 대해서 침하와 상승의 성향이 구분되는 것을 볼 수 있다.

Fig. 10은 비정상 흐름장의 주기(무차원 시간)에 대한 침하 변동폭을 나타낸 것이다. 이 그림으로부터 초기 세굴이 발생하는 단계에서는 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. 이 그림에서 볼 수 있듯이 최대 지속유속( $U_{max}$ )이 14 cm/sec 미만인 경우에 어초는 세굴 침하에 대해 매우 안정적인 것으로 판단되나 최대 지속 유속이 18 cm/sec 이상의 경우에는 시간의 경과에 따라 침하량이 증가되고 있다. 또한,  $U_{max}=20$  cm/sec

인 경우에서 알 수 있듯이 시간경과에 따른 침하곡선이 경사가 완만해짐을 알 수 있으며, 이는 시간경과에 따라 어느 정도 침하가 진행되면 Fig. 3에서 나타낸 모멘트의 작용특성이 없어지는 것을 의미한다. 따라서 비정상 흐름에서도 정상흐름의 경우와 같이 최대 침하량이 존재할 것으로 판단되므로, 비정상 흐름장에서의 최대 침하량을 밝힐 수 있는 지속적인 연구가 필요하다고 사료된다.

### 4. 결 론

본 연구에서는 인공어초의 침하 및 매물 특성을 명확히 밝히기 위한 목적으로, 실험역과 같은 주기성 비정상 흐름장(조류)을 실험으로 재현하여 그 특성을 규명해 보았다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 정상류에서의 침하량은 짧은 시간에 점진적 침하상태로 변하는 반면, 조류를 고려한 비정상 흐름장에서는 흐름이 주기를 거듭하면서 추가적인 침하가 발생하며, 이것은 어초의 거동과 이에 따른 세굴현상에 기인한 것으로 드러났다.
- (2) 흐름에 의한 어초주변 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·매물을 일으킨다.
- (3) 비정상 흐름장의 경우는 최소 3~4 주기 이상의 시간 스케일로 세굴·침하 특성을 살펴보아야 한다. 특히 유속이 18~20 cm/sec 이상이 되면 2주기 이상의 조류상황에서도 지속적으로 침하·매물이 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.

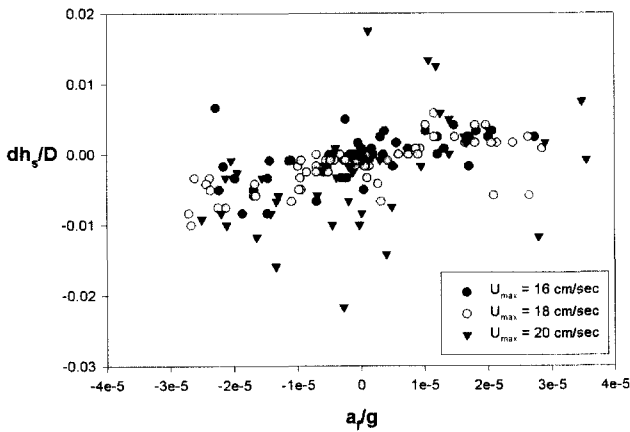


Fig. 9 Dimensionless subsidence width of AFR according to the dimensionless acceleration of flow(by maximum velocity)

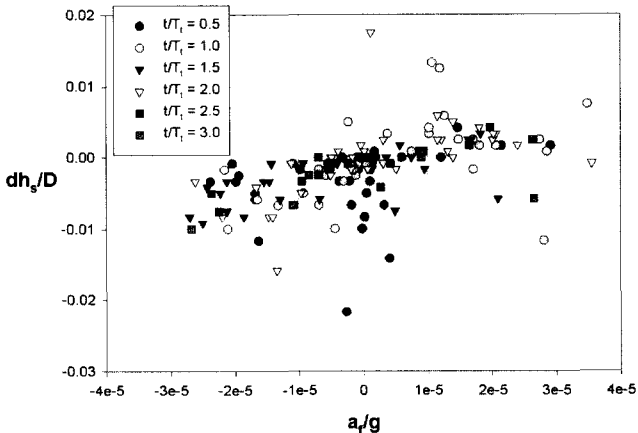


Fig. 10 Dimensionless subsidence width of AFR according to the dimensionless acceleration of flow(by dimensionless time)

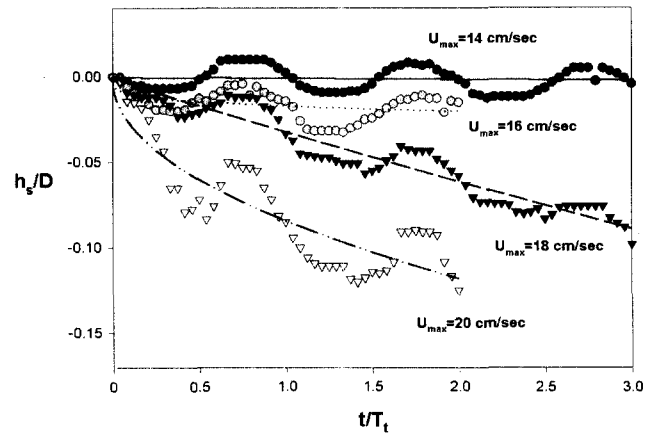


Fig. 11 Measurement and prediction of AFR subsidence according to the dimensionless time

## 참 고 문 헌

- 국립수산진흥원(1992). 사업보고 제95호 한국연안 인공어초의 자원조성효과에 관한 연구, 89p.
- 柳靑魯, 柳演善, 林琦琿(1986). 人工魚礁의 規模와 配置에 관한 研究. 수진연구보고, 38, 1-24.
- 류청로, 김현주(1994). 착저식 인공어초에 작용하는 파력특성에 관한 연구, 한수지, 27(5), pp 605~612.
- 류청로, 김현주, 이한수, 신동일(1997). 생태계 제어 시설물의 설계 및 배치 최적화(2) -호름장에서의 인공어초 침하 및 매몰 특성-, 한수지, 30(1), pp 139~147.
- 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), pp 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 ECOSET'95, pp 168~173.
- Kimura, H., V. Ingrsisawang, M. Ban(1994). "A study on local scour of cylinder artificial fish reefs", Fisheries Engineering, 31(1), pp 33~40.
- 工藤基善 等(1980). "日向灘中部沿岸の人工魚礁水調査結果", 水産土木, 17(2), pp 9~15.
- 大西外明, 松本要一(1983). "魚礁ブラクの抗力係數實驗的檢討", 水産土木, 20(1), pp 7~14.
- 上北征男, 明田定滿(1985). "角形魚礁に作用する流體力の特性について", 第32回海岸工學講演會論文集, pp 643~646.
- 松見吉晴(1991). "着底式魚礁に作用する流體力に關する研究", 海岸工學論文集, 38, pp 801~805.
- 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工法について", 第31回海岸工學講演會論文集, 30, pp 345~349.

---

2001년 4월 2일 원고 접수

2001년 5월 3일 수정본 채택