

생태계 제어 시설물의 설계 및 배치 최적화 (2)

— 흐름장에서의 인공어초의 침하 및 매몰 특성 —

류청로 · 김현주* · 이한수 · 신동일

부경대학교 해양과학대학 해양공학부 · 선박해양공학연구센터 해양기술연구부

Structural and Layout Design Optimization of Ecosystem Control Structures (2)

— Characteristics of Subsidence and Burial of Artificial Habitat due to Sediment Transport in Flow Field —

Cheong-Ro RYU, Hyeon-Ju KIM*, Han-Su LEE and Dong-Il SHIN

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

*Ocean Engineering Department, Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering, KIMM, Taejon 305-600, Korea

Sediment transport around *artificial habitat* which is induced by the change of flow due to installation of the structure plays a role not only as a defect function of *subsidence* and burial but also bottom-environment control function. This study examined the characteristics of local *scouring* and deposition with sediment sizes, current velocities and installation direction of artificial habitat in flow field. Resultant subsidence and burial processes are investigated and discussed with Reynolds number. Together with sediment number and dimensionless time elapse, prediction formulas are established by combining these relationships. Bottom control function as cultivating effects is discussed with installation direction, and applicability of countermeasures is compared and stone pavement method is recommended.

Key words : artificial habitat, scour, subsidence, bottom control, flow field

1. 서 론

연안어장의 보호, 개량을 위한 요소시설로서 중요한 인공어초어장은 대상어종의 생태적 특성을 고려한 적지 선정 및 어류생활사를 통한 생태환경 변화를 고려하여 종합적인 설계 배치로써 조성되어야 한다. 인공어초는 주로 20~30 m의 수심에 시설되지만 어군 유도, 산란이나 치어 보호 등을 위해 10 m 이하의 천해역이나 50 m 이상의 수심역에도 설치하는 경우가 있다. 인공어초의 효과에 대해서는 많은 연구가 되어 있으며, 어초 기능의 유지 또는 최대화를 위해서는 어초가 작용외력(加藤, 1984; 류 등, 1986; 中村, 1991; Ryu and Kim 1994)에 의해 전도, 활동되지 않아야 할 뿐 아니라 어초가 침하나 매몰에 의해서 기능이 저하되지 않도록 유지관리되어야 한다. 그러나, 어초의 설치계획지는 주로 사질이므로 어초 주변부의 국소세굴 및 이에 의한 침하, 매몰 등이 예측되고 있다. 이에 대해서는 工藤·内田(1981)에 의한 현지잠수조사결과로부터 관측된 바 있고, 榎木·松見(1982)에 의해 실험으로 확인된 바 있다. 특히, 榎木·松見(1982)은 저질이 파 또는 흐름에 의한 초기이동한계

조건 이하에서도 어초 주변에 생기는 와류, 축류 등에 의해 국소세굴이 발생함을 지적한 바 있다. 파랑장에 있어서 어초주변의 세굴이나 침하에 대한 연구가 榎木等(1984), 류 등(1986), 久寶(1987) 등에 의해 수리실험으로 수행된 바 있다. 특히, 木甚木 등은 저질이 파 또는 흐름에 의한 초기이동한계 조건 이하에서도 어초 주변에 생기는 와류, 축류 등에 의해 국소세굴이 발생함을 지적한 바 있다. 파랑장에 있어서 어초주변의 세굴이나 침하에 대한 연구가 木甚木等, 류 등은 세굴의 주요기구에 대한 실험결과를 정리하여 K.C.수의 중요성을 강조하였고, 久寶는 실험결과를 이용하여 침하량 산정식을 제시하였다. 인공구조물 설치에 따른 세굴현상은 인공어초의 안정성 및 기능을 저하시키는 문제를 야기시키는 반면, 저서어의 서식처를 제공하고 저질을 개량시키는 기능을 하기도 한다(Ryu et al., 1995). 따라서 이러한 양면성을 잘 파악하여 대상어종이나 기능형 어초개발에 대응해야 한다. 한편, 설치 수심 또는 해역 특성에 따라 조류가 강한 해역을 고려해 볼때, 흐름장에 대한 세굴 및 침하특성에 관한 연구는 중요한 과제의 하나이나 찾아보기 힘들다. 이에 본 연구에서는 합리적인 저질개량 효과의 평

가와 침하 · 매물 방지대책 수립을 위한 기초적 연구로서 흐름장에서의 인공어초에 대한 국소세굴 및 퇴적 특성과 이에 의한 침하 및 매물 특성을 논의하고, 저질개량 효과 및 침하 · 매물 방지대책을 비교 검토하였다.

2. 인공어초의 세굴 · 침하에 관한 차원해석 및 수리실험

2.1. 차원해석 및 주요 인자

인공어초 주변의 세굴현상에 의한 어초의 침하, 매물 문제를 고려할 경우, 그 외력으로는 조류 및 파랑에 의한 수립자 운동을 생각할 수 있다. 여기서는 흐름장에서 사질 저면상에 위치한 인공어초를 대상으로 주변의 국소세굴을 일으키는 수리기본량들의 세굴 · 침하에 관한 영향을 차원해석에 의해 검토하고, 이를 기초로 한 주 영향인자를 실험결과에 의해 규명하여 이를 이용한 세굴 · 침하의 특성 및 산정식을 정립하고자 한다. 인공어초의 세굴침하량 h_s (또는 퇴적높이 (h_p) 및 세굴깊이 (d_s))에 영향을 주는 주요인자는 다음 식과 같이 고려할 수 있다.

$$f(d, \rho_a, \varepsilon_a, S_a, U, \rho_w, g, \mu, d_{50}, \rho_b, C_u, t, \theta=0) \quad (1)$$

여기서, D 는 어초의 대표고, ρ_a 는 어초 밀도, ε_a 는 어초 공극율, S_a 는 어초 형상, U 는 평균유속, ρ_w 는 유체 밀도, g 는 중력가속도, μ 는 유체점성계수, d_{50} 는 저질 중앙입경, ρ_b 는 저질 (모래) 밀도, C_u 는 균등계수, t 는 지속시간, θ 는 흐름에 대한 어초 설치 방향을 나타낸다.

인공어초의 세굴침하량 h_s (또는 세굴깊이 S)를 종속 변수로 하고, 식(1)의 13개의 독립변수에서 D, U, μ 를 반복변수로 하여 Buckingham의 π 定理로부터 정리하고, 각 무차원량을 물리적 해석이 용이하도록 정리하면 무차원 세굴침하량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{h_s}{D} = f\left(\frac{(\rho_a - \rho_b)}{(\rho_w - \rho_b)}, \varepsilon_a, S_a, \frac{DU}{\nu}, \frac{U}{\sqrt{gD}}\right)$$

$$\frac{D}{d_{50}}, \frac{U^2}{dg_{50}(\frac{\rho_b}{\rho_w} - 1)}, C_u, \frac{t}{T_p}, \theta \quad (2)$$

여기서, T_p 는 D/U 로서 평균류의 인공어초 통과시간을 나타낸다. 우변에서 제1항은 어초의 자중과 저질의 밀도에 따른 자중 침하 깊이와 관련한 항이며, 제2항은 어초의 공극율, 제3항은 어초의 형상, 제4항은 인공어초에 대한 Reynolds수로서 흐름변화에 관계하는 물리량이며, 제5항은 구조물에 대한 Froude수, 제6항은 사질 및 구조물 직경비, 제7항은 모래입자에 대한 Sediment수로서 무차원소류력과 밀접한 항으로서 저질의 이동량과 밀접한 물리량이며, 제8항은 저질의 균등계수, 제9항은 지속시간, 제10항은 어초 설치방향을 나타내는 항이다.

정상류장에서 인공어초 설치에 따른 유동패턴의 변화 지표는 식(2)의 4항인 Reynolds수가 유효한 parameter로 고려되며, 저질의 이동에 대한 지표로서는 $U^2/gd_{50}(\rho_s/\rho - 1)$ 이 중요한 인자로 고려된다. 또한, 자중 침하, 구조물 Froude수, 저질 특성 및 경과시간에 대한 영향의 검토가 필요할 것으로 고려된다. 그러나, 본 연구에서는 어초의 공극율 및 형상은 일정히 하고, 흐름 및 저질을 대상으로 사각어초의 설치방향을 흐름방향과 직각 (0°) 및 편향 (45°)되게 설치하여 인공어초의 세굴, 침하 및 매물에 관한 영향인자의 해석 및 산정식의 정립과 대책에 대한 기초적 실험을 실시하고자 한다.

2.2. 수리실험 및 해석

세굴침하에 대한 주 영향인자의 해석을 위해 수리모형 실험을 실시하였다. 수리모형실험은 Fig. 1과 같은 2차원 개수로 실험장치 (부경대학교 해양수리실험소)에서 실시하였으며, 수심은 25cm로 일정하게 유지하였다. 어초 주변의 세굴침하를 파악하기 위하여 사용한 어초모형, 저질 및 유동 특성 등은 Table 1에 나타난 바와 같다. 실험대상 어초는 일반적으로 많이 사용되고 있는 사각어초로서 아

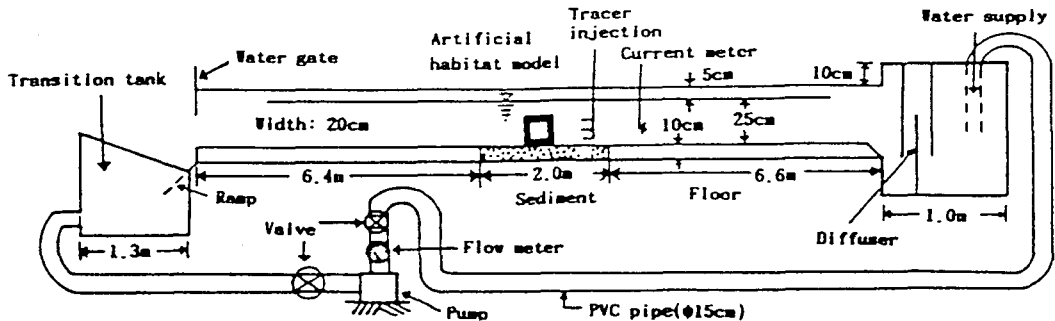


Fig. 1. Recirculating current channel and experimental apparatus.

Table 1. Experimental conditions

Current	Structure	Sediment
15 cm/sec	Hieght : 6 cm	A : 0.0254 cm ($C_u=1.56$)
20 cm/sec	Width : 6 cm	B : 0.0427 cm ($C_u=1.27$)
25 cm/sec	Length : 6 cm	C : 0.0620 cm ($C_u=1.27$)
30 cm/sec		

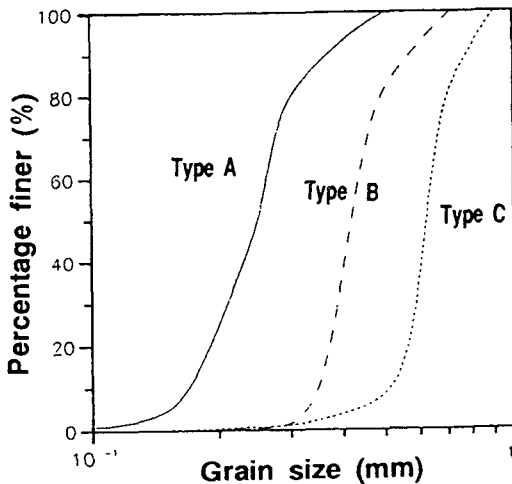


Fig. 2. Accumulation curve for grain size used in experiments.

크릴을 사용하여 높이 6 cm로 제작 사용하였다. 인공어초의 세굴침하에 관한 실험은 수조 저부에 Fig. 2와 같

은 실험사를 두께 10 cm 정도로 넣고 정지한 초기 저면에 어초모형을 설치하고, 흐름을 작용시키며 5분 간격으로 30분~60분 동안 인공어초의 침하가 거의 진행되지 않을 때까지 세굴, 퇴적 및 침하량을 측정하였다. 국소세굴은 구조물 주위의 세굴 패턴 및 세굴깊이를, 퇴적은 퇴적 패턴 및 퇴적 높이를, 침하량은 전면과 후면을 측정하여 평균 침하량으로 환산하여 제 수리 및 저질조건과 비교, 해석하였다. 유속은 프로펠러형 정밀유속계를 이용하였고, 세굴깊이, 퇴적 높이 및 침하량은 본 연구에서 제작한 이동용 연직고정스케일자 및 레벨을 이용하여 측정하였다. 이를 차원해석 결과를 이용하여 정리하였으며, 본 연구에서 제시하는 실험식들은 실험조건으로 부터 $8000 < Re < 18000$, $4 < Sn < 13$ 의 구간에 대해 유효함을 밝혀둔다.

3. 인공어초 주위의 국소세굴 특성

3.1. 인공어초 주위의 흐름변화 및 저질이동과정

일반적으로 저질 이동은 저질에 대한 이동한계유속보다 강한 흐름이 작용할 때 발생하는 것으로 고려할 수 있고, 그 이하의 흐름장이더라도 구조물 설치에 따른 측류나 와동의 생성 분리 등에 의해 국지적으로 한계유속보다 강한 흐름이 생성될 수 있다. 일반적으로 정상류에서 구조물과 유체의 상호작용 결과에 의한 후류의 형태는 레이놀즈수를 기준으로 구분할 수 있는 것으로 알려져 있다.

흐름장에서 인공어초의 세굴 및 침하는 어초설치에 따른 주변 유동의 변화에 의해 어초 주변의 표사이동량에

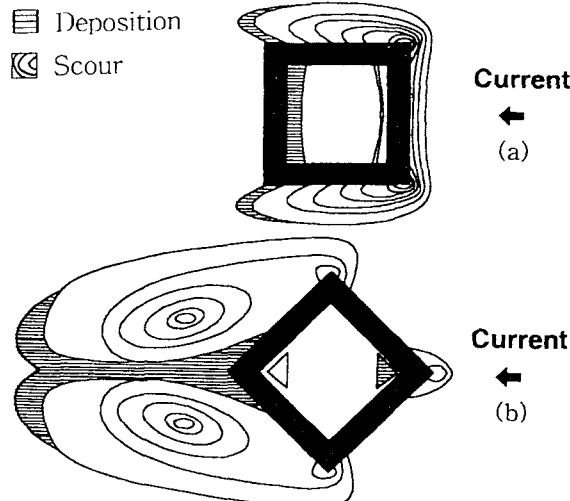


Fig. 3. Schematic patterns of sediment transport due to flow change according to the installation direction of artificial habitat. (a) 0°, (b) 45°.

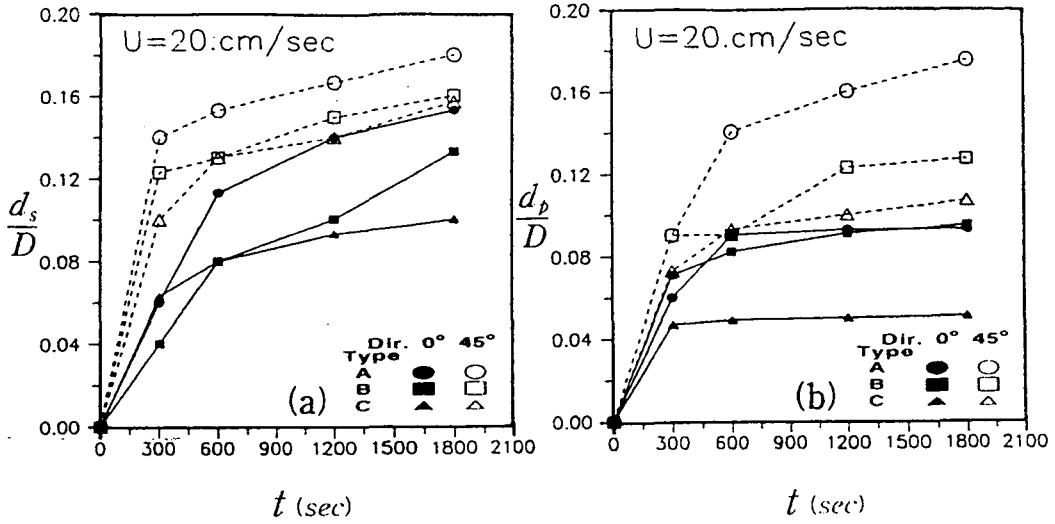


Fig. 4. Scouring (a) and deposition process (b) according to the installation direction of artificial habitat. (a) 0°, (b) 45°.

불균형이 발생하여, 어초주변이 세굴됨에 따라 발생 진행되는 것으로 고려할 수 있다. 따라서, 조류 또는 파동 류장에서 어초를 설치하기 전에는 수립자 속도가 저질의 이동한계속속 이하일지라도 어초설치 후에는 어초주변의 와동이나 축류에 의해 수립자의 운동이 가속되어 저질의 이동을 일으키게 될 수도 있다. 이러한 상태에서 발생하는 어초주변의 세굴깊이는 흐름 중에 설치된 구조물 주변의 유동 또는 와류의 형성패턴과 밀접한 관계가 있음을 추측할 수 있다.

흐름 중에 인공어초를 설치하게 되면, 어초를 포함한 하류측에 어초 기능의 하나인 후류장이 형성되며 어초를 구성하는 각주의 배열에 따라 수평, 연직 방향 또는 합성된 와동이 형성된다. 후류의 패턴은 어초의 설치방향에 따라 변화하며, 흐름방향에 직각인 경우(0°)는 상하류측 하부 부재 전면에서의 하강류(연직와동)와 이와 연직재에 의한 수평와동의 합성에 의한 말굽형 와동이 상류측 양 모서리에서 강화되었고, 흐름방향과 45° 경사지게 설치된 경우는 하류측에 탁월한 수평와동이 생성되고 하류측 내부의 접속부에 흐름이 모여 하강하는 양상이 보였다. 이 결과로서 어초의 설치방향에 따라 어초 주변의 저질이 이동하며, 그 과정의 예로서 30 cm/sec에 대한 20 분 후의 세굴 퇴적 양상을 Fig. 3에 모식적으로 나타내었다.

3.2. 인공어초 주변의 세굴 및 퇴적 과정

인공어초 설치에 따른 주변 흐름의 변화에 기인한 저질이동 결과로서 국소세굴 및 퇴적이 발생하였으며, 이

는 인공어초의 침하, 매물 및 저질 개량의 원인 현상으로서 중요하다. 일정 유속하에서 시간경과에 따른 세굴 및 퇴적 과정을 고찰하였고, 그 대표적인 예를 Fig. 4에 나타내었다. 그림으로부터 이들 현상은 시간경과에 따라 점진적으로 평형상태로 접근해 가는 정적 세굴의 특징을 보이며, 직각으로 설치한 경우보다 편향되게 설치된 경우 세굴 및 퇴적현상은 증가함을 알 수 있다. 이는 흐름에 대한 어초의 설치방향에 따라 전술한 바와 같은 후류장의 변화에 기인하는 것으로서, 직각으로 설치된 경우보다 편향(45°)되게 설치된 경우가 탁월하였으며, Fig. 3에서 볼 수 있었던 것처럼 발생위치도 편향된 경우 하류측 먼 곳이어서 저질개량의 효과는 양호한 것으로 고려되었다.

또한, 그 양은 사질의 종류에 따라 달라지며, 입경이 클수록 감소함을 알 수 있다. 이는 모래의 이동한계소류력과 작용외력의 차이에 기인하는 것으로 고려할 수 있고, 이로 부터 Sediment수의 중요성을 지적할 수 있다. 또한, 그림에 나타내지는 않았으나 유속의 변화에 따라 그 변화는 탁월하였고, 이는 인공어초 설치에 따른 흐름의 변화 결과로 생각된다. 이러한 흐름 변화는 부유 모래입자의 거동에서도 확인할 수 있었다. 이로부터, 어초 주변의 저질이동에 의한 세굴 및 퇴적은 Reynolds수, Sediment수, 지속시간 등이 중요한 영향인자로 작용하는 것으로 예측할 수 있다.

3.3. 최대 세굴깊이 및 퇴적 높이의 특성

세굴 및 퇴적현상은 시간의 경과와 함께 일정한 값으

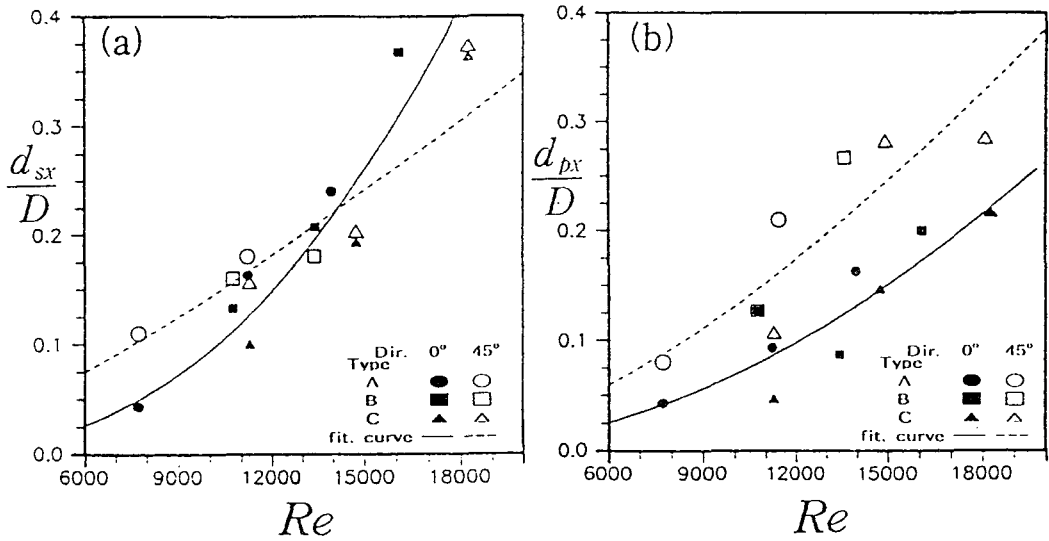


Fig. 5. Potential maximum scouring depth (a) and deposition height (b) versus Reynolds number.

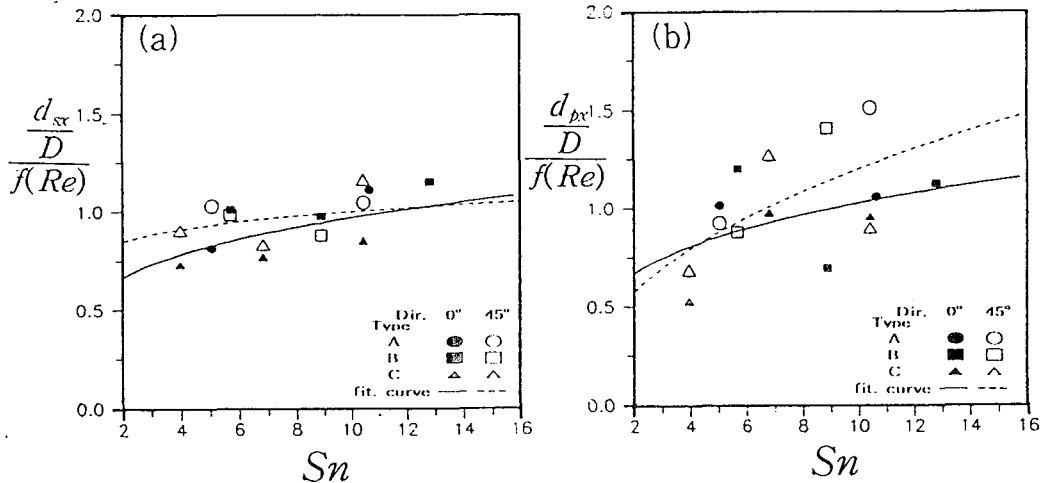


Fig. 6. Maximum scouring depth (a) and deposition height (b) with consider to Reynolds number versus Sediment number.

로 수렴해가며, 그 최대 세굴깊이 (d_{sx}) 및 퇴적높이 (d_{px})에 대한 식 (2)의 각 파라미터의 영향을 조사하였다. 그 결과, Fig. 5에서 볼 수 있듯이 최대 세굴깊이 및 퇴적높이는 레이놀즈수와 밀접한 관계를 보이는 것으로 나타났다. 이를 정리하면 다음과 같은 관계식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{d_{sx}}{D} = 1.02 \times 10^{-11} Re^{2.5}, \theta = 0^\circ \quad (3)$$

$$\frac{d_{sx}}{D} = 1.13 \times 10^{-6} Re^{1.25}, \theta = 45^\circ$$

$$\frac{d_{px}}{D} = 1.23 \times 10^{-9} Re^{2.0}, \theta = 0^\circ \quad (4)$$

$$\frac{d_{px}}{D} = 8.16 \times 10^{-8} Re^{1.5}, \theta = 45^\circ$$

세굴 및 퇴적현상을 발생케 하는 저질의 이동은 외력이 저질의 안정력보다 크게 될 경우 발생하는 현상이다. 외력은 유속의 함수로서 레이놀즈수와 밀접하며, 저질의 안정력은 저질의 수중중량과 밀접한 것으로 생각되며 Fig. 5로 부터 저질의 종류에 따른 변화를 볼 수 있다. 이로 부터, 식 (2)의 Sediment수의 영향을 식 (3), (4)에 추가적으로 고려하고자 하였다. Fig. 6에 그 영향을 나타내었으며, Sediment수가 커짐에 따라 (3), (4)식의 예측 값은 커짐을 알 수 있다.

3.4. 시간경과에 따른 세굴 및 퇴적 진행 특성

흐름장에서의 사각어초 주변의 세굴진행 특성을 관찰하기 위해 시간경과에 따른 세굴 및 퇴적 진행과정은 Fig. 4에서 볼 수 있었던 것처럼 시간의 경과에 따라 점

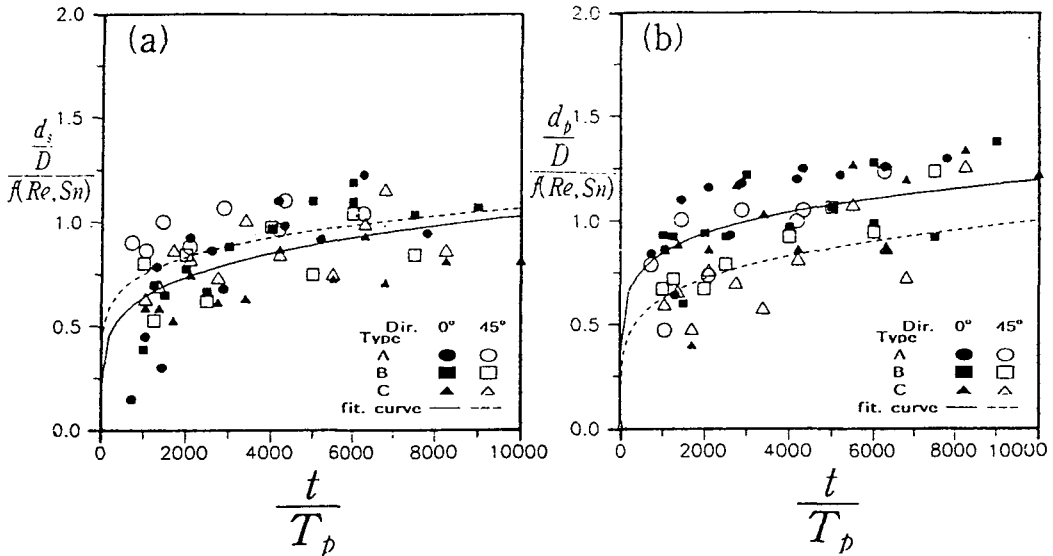


Fig. 7. Comparisons between prediction and measurement of scouring depth (a) and deposition height (b) according to time elapse.

진적으로 평형상태로 수렴해 감을 알 수 있다. 시간경과를 평균류의 어초 통과시간을 기준으로 Reynolds수와 Sediment수를 고려한 무차원 세굴깊이 및 퇴적높이와의 관계를 고찰하였다. 시간경과에 따른 세굴깊이 및 퇴적높이의 진행은 Fig. 7과 같고, 이는 다음 식으로 근사시킬 수 있다.

$$\frac{d_s}{D} = 0.89 \times 10^{-12} Re^{2.5} Sn^{0.25} \left(\frac{t}{T_p}\right)^{0.2}, \theta = 0^\circ \quad (5)$$

$$\frac{d_s}{D} = 0.24 \times 10^{-6} Re^{1.25} Sn^{0.1} \left(\frac{t}{T_p}\right)^{0.15}, \theta = 45^\circ$$

$$\frac{d_p}{D} = 0.21 \times 10^{-9} Re^{2.0} Sn^{0.25} \left(\frac{t}{T_p}\right)^{0.15}, \theta = 0^\circ \quad (6)$$

$$\frac{d_p}{D} = 0.53 \times 10^{-8} Re^{1.5} Sn^{0.45} \left(\frac{t}{T_p}\right)^{0.2}, \theta = 45^\circ$$

4. 흐름장의 인공어초 세굴침하 및 매몰 특성

4.1. 세굴침하의 특성

인공어초의 설치에 따른 주위 흐름의 변화 및 저질 이동에 의한 국소세굴 및 퇴적현상을 살펴보았고, 이로부터 어초는 침하 및 매몰하는 현상으로 나타난다. 침하는 식 (2)의 우변 1항과 같은 어초자중에 의한 침하도 고려할 수 있으나, 점토질이 아닐 경우 그 효과는 크지 않을 것

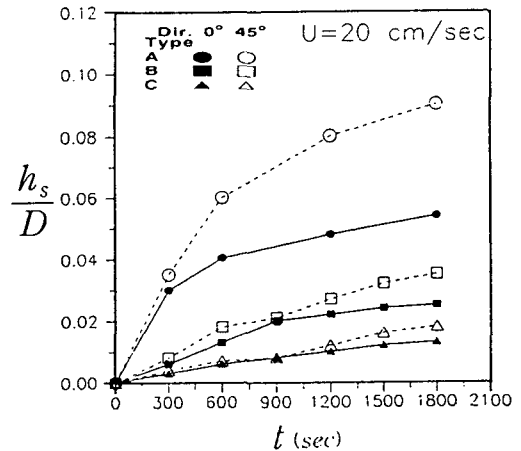


Fig. 8. Subsidence process of artificial habitat.

으로 고려되나 연약지반에의 인공 어초어장시설을 위한 침하방지 대책의 하나로서 고려할 수 있는 자중 조절방안으로서 추후 검토가 필요할 것으로 고려된다. 또한 예비실험에서 수중 다짐효과에 의한 어초침하의 차이를 검토하였으나 무시할 만한 것으로 나타났다. 이로부터 세굴 및 퇴적현상을 조사 정리하는 것과 같은 수준으로 어초의 침하현상을 해석하였다.

류 등 (1994)은 파랑장에서 어초 주위의 흐름 특성 변화는 K.C.수를 파라미터로 잘 정리할 수 있으며, 어초 설치에 의한 세굴발생 한계유속은 모래입경 및 어초 공극율에 관계없이 K.C.수가 6부근에서 급격히 저하하며, K.C. 수의 증가에 따라 서서히 감소하여 일정치에 접근

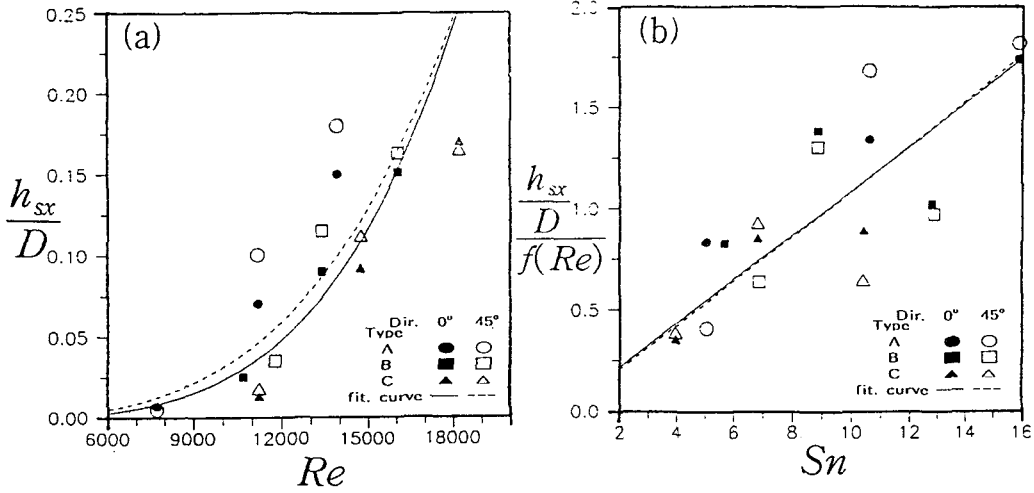


Fig. 9. Potential maximum subsidence of artificial habitat according to Reynolds number (a) and Sediment number (b).

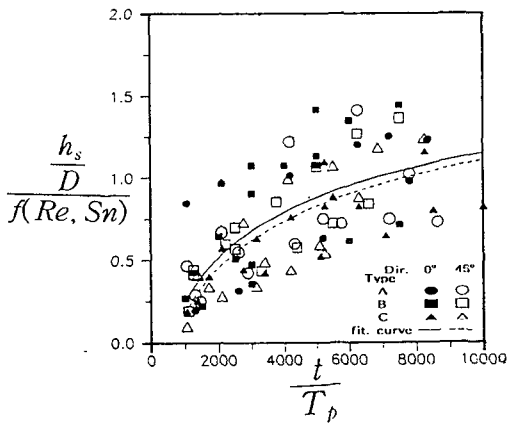


Fig. 10. Comparisons between prediction and measurement of subsidence of artificial habitat according to time elapse.

하는 경향을 보이며, 인공어초 주변의 세굴깊이 및 침하량은 K.C.수와 밀접함을 나타내었다. 또한, 久寶 (1987)는 강제어초의 수리실험 결과로부터 어초의 침하는 지속시간의 1/3승에 비례함을 나타내었다. 흐름장에서의 세굴 침하는 Fig. 8에 나타난 바와 같이 세굴 및 퇴적과 유사하게 점진적으로 진행되어 수렴해가는 양상을 보였고, 이는 세굴에 대한 주 영향인자의 기여와 유사한 것으로 보인다.

4.2. 최대 세굴 침하량의 특성 및 예측

세굴에 의한 최대 침하량 (h_{sx}/D)도 식 (2)의 영향인자가 중요한 파라미터이며, 그에 대한 영향을 조사한 결과 세굴 및 퇴적과 마찬가지로 레이놀즈수와 밀접한 관계를

보였다. 일정 흐름장에서 세굴에 의한 어초의 침하는 시간이 경과함에 따라 일정침하량으로 수렴하는 양상을 보였다. 이는 모래층의 두께와도 유관한 것으로 고려되나 본 수리모형실험의 모래층 두께인 10 cm를 충분한 두께로 고려하였다. Fig. 9 (a)에 레이놀즈수에 따른 무차원 최대 침하량의 변화를 나타내었고, 최소자승법으로 이를 정리하면 식 (7)과 같다.

$$\frac{h_{sx}}{D} = 0.0000198Re - 0.17, \theta = 0^\circ$$

$$\frac{h_{sx}}{D} = 0.0000199Re - 0.16, \theta = 45^\circ$$
(7)

그림으로부터, 이 평균적인 관계는 저질 입경이 작을수록 과소평가함을 알 수 있다. 따라서, 입경의 효과를 고려하기 위한 Sediment 수의 영향을 정리한 것이 Fig. 9 (b)이다. 이들 인자를 종합적으로 고려하여, 무차원 침하량의 시간경과에 따른 진행과정을 정리하면, Fig. 10과 같고 다음 식으로 정리할 수 있다.

$$\frac{h_s}{D} = 0.25 \times 10^{-18} Re^4 Sn (0.4 \ln \frac{t}{T_p} - 2.4), \theta = 0^\circ$$

$$\frac{h_s}{D} = 0.25 \times 10^{-16} Re^{3.5} Sn (0.4 \ln \frac{t}{T_p} - 2.6), \theta = 45^\circ$$
(8)

4.3. 세굴 침하와 퇴적에 의한 인공어초의 매물 특성

인공어초 주변의 저질이동 결과는 세굴에 의한 침하와 퇴적과 침하의 결과인 매물현상으로 나타나게 된다. 이러한 인공어초의 침하 및 매물은 인공어초의 기능 저하

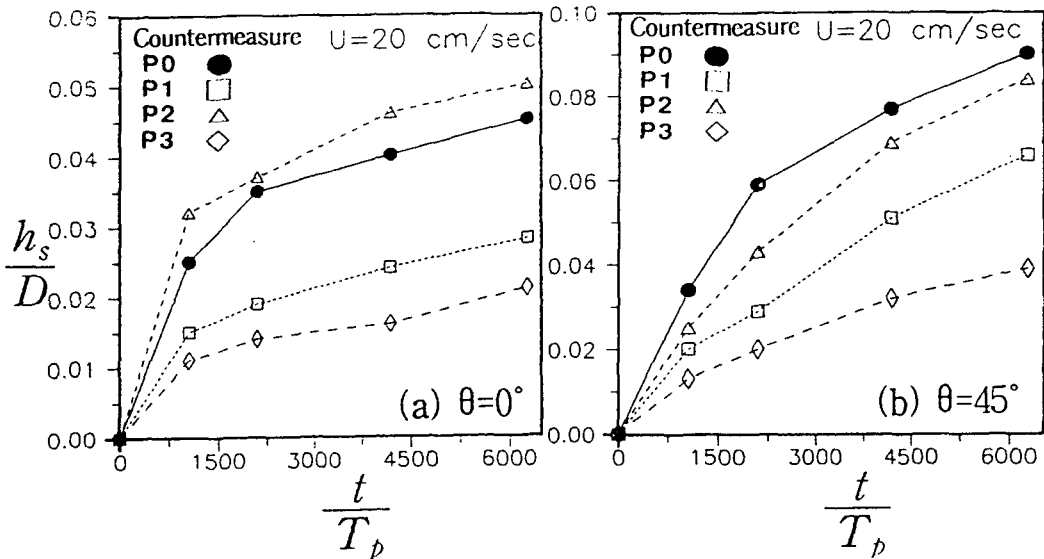


Fig. 11. Comparison of countermeasures to the subsidence of artificial habitat.

및 안정성 저하의 원인이 되므로 이에 대한 규명과 대책이 중요하다. 어초의 매몰량 (h_b)은 어초의 침하량 (h_s)과 퇴적높이 (d_p)의 합으로 생각할 수 있다. 따라서, 전술한 어초의 침하량과 퇴적높이의 예측식을 합산하여, 다음 식과 같이 고려할 수 있다.

$$\frac{h_b}{D} = \frac{h_s}{D} + \frac{d_p}{D} \quad (9)$$

5. 인공어초의 세굴침하 방지에 관한 대책

어초 주변의 국소세굴은 어초 주변의 와류, 축류 및 어초 전면의 하강류가 원인으로 작용하는 것으로 고려되며, 세굴에 의한 어초의 침하 및 매몰을 저감시키기 위한 대책으로서는 1) 어초 구조 및 부재의 형상 개량에 의한 방법, 2) 어초 전면 하강류의 차단공법, 3) 어초 전면의 경계층 제어 공법, 4) 기초의 한계소류력 증대법, 5) 어초 전면 압력경사 완화법 등으로 고려할 수 있다. 이들 중에서 어초 자체의 형상 개량은 부재의 형상을 개선시켜 흐름장을 제어하고 세굴을 완화시키는 방법이며, 부재 구조의 보완은 전면 하강류의 차단 (조도 증대, 보조판 부착 등), 전후방 저면의 경계층 제어 (보조 판, 보조 구조물의 배열 등)와 전후방의 압력경사 완화 (완화공 시공법, 침투수 흡입법 등) 등의 방법을 생각할 수 있다. 기초의 한계소류력 증대법으로는 소류저항 증대를 위한 사석공법과 매트 시공법, 모래 (모르타르)말뚝공법 등을 들 수 있다. 그러나, 어초 형상의 개량에 의한 방법은

어초의 집어 매카니즘의 하나인 와류 및 축류 등을 감소시키는 작용도 할 수 있으므로 신중히 검토되어야 한다. 따라서, 상부의 흐름장에 영향을 최소화하고 어초 주변의 흐름과 저질의 상호작용을 차단할 수 있는 보조 밀판 부착공법 (榑木 等, 1984)은 어초군으로의 시공에 곤란한 점이 많을 것으로 고려되므로 이에 대한 추가적인 검토와 어초의 배열에 의한 저면 경계층의 제어 및 사석이나 매트 등을 이용한 저질 개량 공법의 적용을 생각할 수 있다.

이에 본 연구에서는 대책공법을 실시하지 않은 경우 (P0)를 기준으로 하강류에 의한 세굴방지를 위한 밀판 부착공법과 쇄석을 깬 후 어초를 설치하는 방법의 효과를 비교하고자 하였다. 밀판은 어초의 외측에만 어초부재 폭 정도의 판을 부착한 전면하강류 차단공법 (P1)과 내부의 저면에 보조판을 부착하는 저면 차단공법 (P2)으로 고려하였고, 쇄석공법은 대표경 ((장경+단경)/2) 1cm 정도의 쇄석을 1층으로 미리 설치하는 방법 (P3)으로 고려하였다. 어초의 침하량을 기준으로 $U=20$ cm/sec에 대한 대책공법별 효과가 Fig. 11에 비교되어 있다. 그럼으로부터 P2를 제외하고는 대책공법을 실시하지 않은 경우에 비해 대책공법이 실시되었을 경우에 침하량이 감소함을 볼 수 있다. 저면 하강류 차단공법의 경우 50~60%로 감소하며, 내부 저면 차단공법의 경우 90~110%로 변화하며, 쇄석공법의 경우 30~40% 정도로 감소함을 볼 수 있다. 여기서, 내부 저면 차단공법의 경우 역효과가 발생하는 경우도 있으므로 보조판의 이용은 신중을 기해야 함을 알 수 있다. 또한, 쇄석의 경우 기초의 한계소류력 증대 뿐 아니라 전면 하강류의 차단 및 전후방 저면경계

층 제어 효과를 나타내므로, 주변의 굴착공사, 가용 쇄석 등을 고려하여 적용 가능한 대책으로 고려되며, 쇄석 자체의 어초효과도 기대할 수 있을 것으로 고려된다.

6. 결 론

인공어초의 세굴침하 및 매몰에 대한 대책 수립과 국소세굴을 이용한 저질개량 효과의 정리를 위한 기초적 연구로서 수리실험을 통해 흐름장에서의 인공어초 주변의 세굴 및 퇴적 과정과 침하 및 매몰기구 및 특성을 검토하였고, 그 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

- 1) 인공어초 주변의 저질이동 특성은 인공어초의 설치에 따른 흐름의 축류, 와류 등과 밀접함을 확인하였다. 흐름장의 경우 후류장 변화의 지표인 Reynolds수와 밀접하며, 정적 세굴의 형태를 나타내었다.
- 2) 인공어초의 설치방향에 따른 주변의 세굴 과정 및 특성은 주변 흐름장의 변화 차이에 따라 상이하며, 흐름에 대해 직각방향으로 설치한 경우에 비해 편향(45°)되게 설치한 경우의 세굴 위치가 어초로부터 멀고, 세굴은 깊어 저질개량 효과가 비교적 양호한 것으로 고려된다.
- 3) 흐름장에서 인공어초의 최대 세굴깊이, 퇴적높이 및 세굴침하량은 Reynolds수가 중요한 영향인자이며, 저질이동의 지표인 Sediment수와 지속시간을 고려하여 예측식으로 정리할 수 있었다. 또한, 세굴침하량과 퇴적높이로부터 인공어초의 매몰량을 예측할 수 있다.
- 4) 인공어초에 대한 세굴침하 및 매몰의 저감을 위한 대책으로서는 어초 구조 및 부재의 형상 개량에 의한 방법, 어초 전면 하강류의 차단공법, 어초 전면의 경계층 제어 공법, 기초의 한계소류력 증대법 등을 고려할 수 있으며, 흐름장에서의 실험결과로부터 쇄석공법이 양호한 방법으로 나타났다.
- 5) 인공어초군에 대한 세굴 침하 및 매몰에 관한 연

구 검토가 요망되며, 이를 위한 수리실험 및 수치시물레이션 기법의 정립이 차후 과제로 강조될 수 있다. 또한, 연약지반에 대한 인공어초어장 조성 및 유지를 위해 침하에 대한 어초 자중의 효과를 체계적으로 정리할 필요가 있다.

사 사

본 연구는 해양산업개발연구소의 연구비 지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사를 표한다.

참 고 문 헌

- Ryu, C. R. and H. J. Kim. 1994. A study on the characteristics of wave forces on artificial reefs. *Bul. of the Korean Fisheries Society*, 27 (6), pp. 605~612.
- Ryu, C. R., H. J. Kim, H.T. Kim, J.K. Kim and W.S. Shon. 1995. Development of bottom control and upwelling forced artificial habitat. *Proc. of ECOSSET '95*. 233~238.
- 류청로, 장선덕, 임기봉. 1986. 인공어초의 규모 및 배치에 관한 연구. *수진연보* 38, pp. 1~24.
- 加藤重一. 1984. *水産土木概論*. 恒星社 厚生閣, 381p.
- 久寶啓作. 1987. 人工魚礁洗掘沈下實驗的研究. *水産土木* 23 (1), pp. 1~6.
- 工藤基善, 内田爲彦. 1981. 日向灘中部沿岸の人工魚礁潜水調査結果. *水産土木* 17 (2), pp. 9~16.
- 樫木亨, 松見吉晴. 1982. 魚礁背後の水平渦流による地形變動機構について. *海岸工學論文集*, 30. pp. 288~291.
- 樫木亨, 松見吉晴, 北口雅章. 1984. 魚礁周邊の局所洗掘とその對策工法について. *海岸工學論文集*, 31. pp. 345~349.
- 中村 充. 1991. *水産土木學*. 工業時事通信社. 561p.

1996년 7월 19일 접수

1997년 1월 7일 수리