

水産施設物の 波力特性 및 安定性 解析

류청로*, 김현주*, 손병규*, 김소원*

1. 서론

연안 생태환경의 창조, 복원 및 개량을 위한 생태계제어 기술의 개발이 요망되고 있으며, 이를 이용한 연안역의 고도이용이 강조되고 있다. 이는 어장·어항·어촌의 개발 및 관리에 대한 장기적이며 상호보완적인 계획을 기초로 한 체계적인 조사, 계획, 실시 및 평가 체제의 정립을 통해 최적화할 수 있다. 이를 위해서는 지속가능한 연안역(자원)의 이용을 위한 연안역 개발 개념 및 방향(김, 1995)과 요소시설물의 설계개념(Ryu and Kim, 1995) 등의 체계화와 각종 요소 시설물의 설계·배치기술의 개발이 요망되고 있다.

종래 많은 생태환경 제어구조물이 개발되어 왔으나 해양공학적인 검토가 미비했으며 이는 생태환경 제어구조물의 기능(어초성 및 환경제어성) 극대화를 위해 매우 복잡한 구조를 하고 있기 때문이었다. 따라서, 수산시설물의 최적설계를 위해서는 안정성 및 기능성의 평가에 있어서 유체력 특성 및 주변 유향 및 지형변화 특성 등을 명확히하고, 체계적으로 정리할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 구조물의 설계 및 유지를 위해 중요한 유체력 특성을 흐름장 및 파랑장에서 논의하고 안정성 해석방법을 정리하고자 한다.

2. 파력 특성과 안정성 해석

2.1. 수산시설물 설계시 고려사항

연안 생태환경 제어기능을 극대화하기 위한 수산시설물의 설계는 연안역의 고도이용과 연안역의 지속가능한 이용을 위해 ①기능성, ②안정성, ③경제성, ④경관성 등을 종합적으로 최적화해야 한다(Ryu and Kim, 1995). 특히 생태환경 제어기능의 극대화를 위해서는 해역의 수리학적 특성, 대상종 및 그 생태적 특성을 고려한 적정시설물의 설계 및 배치가 합리적으로 고려되어야 한다(류 등, 1986). 안정성 해석 및 평가는 ①제작 운반시의 안정성, ②설치시의 지반에의 충격력에 대한 안정성, ③설치 후 유체력 및 ④지반의 거동에 대한 안정성 등을 고려하여야 한다. 한편, 사각어초와 같은 소형블록의 경우 투하(자유낙하)에 의한 충격력이 최대외력이나 본 연구의 대상시설물과 같은 대형어초는 거치식이므로 설치후의 유체력에 대한 전도·활동 및 침하·매몰에 의한 안정성을 고려하여야 한다.

*釜山水産大學校 海洋工學科(Department of Ocean Engineering, National Fisheries University, Pusan, Korea)

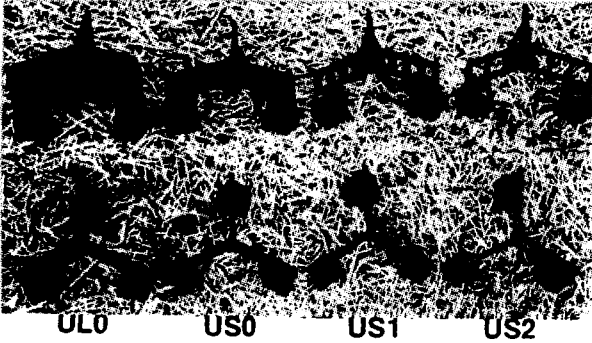


Fig. 1. Various shapes of objective structures.

2.2. 대상 시설물의 특성

본 연구에서 대상으로 하는 수산시설물은 적정 생태환경 조성시설로서 용승류의 발생과 저질개량을 목표로 한 저질개량형 용승구조물이다. 이 구조물은 Fig. 1에 나타난 것과 같이 유공형 삼각기둥 받음 가진 판구조체의 삼각 접속형태로서 매우 복잡한 형상을 가지고 있고, 연직판의 중간보에 의해 상부로 전달되는 흐름이 용승류를 발생케 하며, 하부로 전달되는 흐름은 기초부에 의한 축류 현상과 함께 저질의 이동을 일으켜 저질을 개량할 수 있도록 고려한 구조물이다.

2.3. 유체력 특성

2.3.1. 수리실험 및 해석

수리실험은 Table 1과 같은 조건으로 흐름 및 파동장에서 실시하였고, 정상류장에서의 유체력은 개수로실험장치에서 유속과 조류(정상류)력을 동시 측정하여 측정수심, 설치방향, 구조물의 투과성에 따라 조류력 특성(항력계수)을 정리하였고, 파랑장에서는 파력과 파랑 제원을 측정하여 파력 특성을 정리하였다. 유체력은 strain gage를 이용한 측정장치를 이용하여 선형성 및 공진성 등을 검토한 후 사용하였고, 파력의 해석은 파랑제원으로 부터 수립자 속도 및 가속도를 Koyama and Iwata(1987)의 방법으로 환산하고, 파력계수 산정법 및 해석시의 변동특성 등을 비교·검토한 후 안정한 조건으로 해석하였다.

2.3.2. 파력 특성

수산시설물에 작용하는 파력을 항력과 관성력의 합으로 고려하면 다음과 같은 Morison식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 F &= F_D + F_I \\
 &= \frac{1}{2} C_D \rho A U |U| + C_M \rho V \frac{\partial U}{\partial t}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기서, C_D 는 항력계수, C_M 은 관성력 계수, U 는 수립자 속도, A 는 투영면적, V 는 체적, ρ 는 유체 밀도이다. Morison식으로 파력을 산정할 경우 파력계수 C_D , C_M 의 정도 높은 산정이 중요하다. Morison식의 파력계수를 산정하는 방법으로는 1)최대파력 위상법, 2)Fourier 평균법, 3)최소자승법, 4)가중 최소자승법 등이 있다. 각 방법의 적용성을 비교한 결과 최소자승법 및 수정 최소자승법이 해석 조건에 따른 변동성이 거의 없어 안정된 해석방법임을 알 수 있었고, 최대파력의 측정치(F_{maxM}) 및 계산치(F_{maxC})의 변이계수는 MFP=0.21, FDM=0.15, LSM=0.16, MLS=0.07로서 수정 최소자승법이 가장 안정됨을 알 수 있었다.

Table 1. Experimental conditions for wave and uniform current fields

Wave		Current (cm/sec)	Structure			
H (cm)	T (sec)		Type	Height (cm)	Width (cm)	Permeability
2	0.8	10	UL0	6.3	7.5	0
		15	US0	4.3	7.5	0
		20	US1	4.3	7.5	30
		25	US2	4.3	7.5	50
12	3.0	30				

파력계수로 대표되는 파력 특성은 Fig. 2에 나타난 바와 같이 판의 크기 및 공극율과 밀접한 관계를 가짐을 알 수 있다. 항력계수는 6에서 2로 K.C수(UT/D : U =수립자 속도, T =주기, D =구조물의 폭)에 따라 거의 선형적으로 감소함을 볼 수 있었고, 관성력 계수는 K.C=3에서 정점($C_D=8$)을 가지는 2차함수 형의 분포를 보였다. 이러한 파력 특성은 투과성에 비해 불투과성의 파력이 크게 나타났고, 판부재의 경우에 비해 매우 큰 값이다.

2.3.3. 조류(정상류)력 특성

흐름장에서의 유체력은 항력으로 나타낼 수 있고, 이는 식(1)의 우변 1항만을 고려하는 형태이다. 조류력(항력계수) 특성은 Fig.3에 나타난 것과 같이 $C_D=2.0-3.0$ 에 분포하였고, Re 수(UD/v , v : 유체의 동점성계수)의 증가에 따라 항력계수는 감소하였다. 또한, 시설물의 투과성 및 설치방향에 따라 그 특성은 변동하며, 불투과성의 경우는 흐름수축형 배치시 항력계수가 증가하고, 투과성의 경우는 흐름분리형 배치시 항력계수 증가하였다.

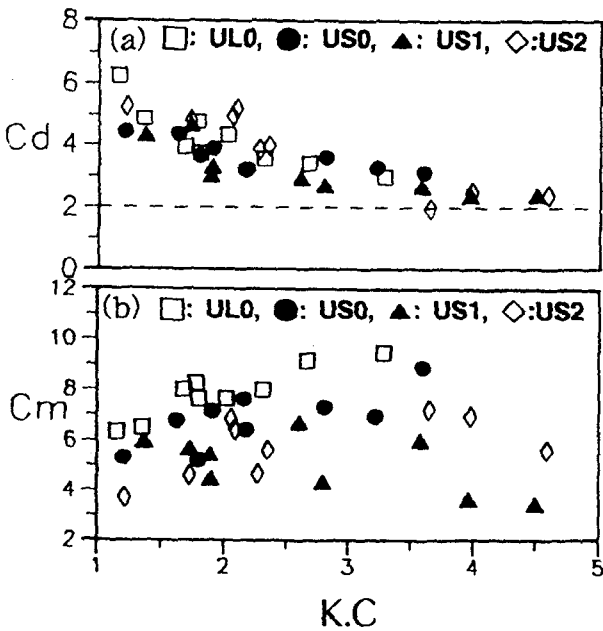


Fig. 2. Drag and inertia coefficients according to K.C number and structural types in wave field.

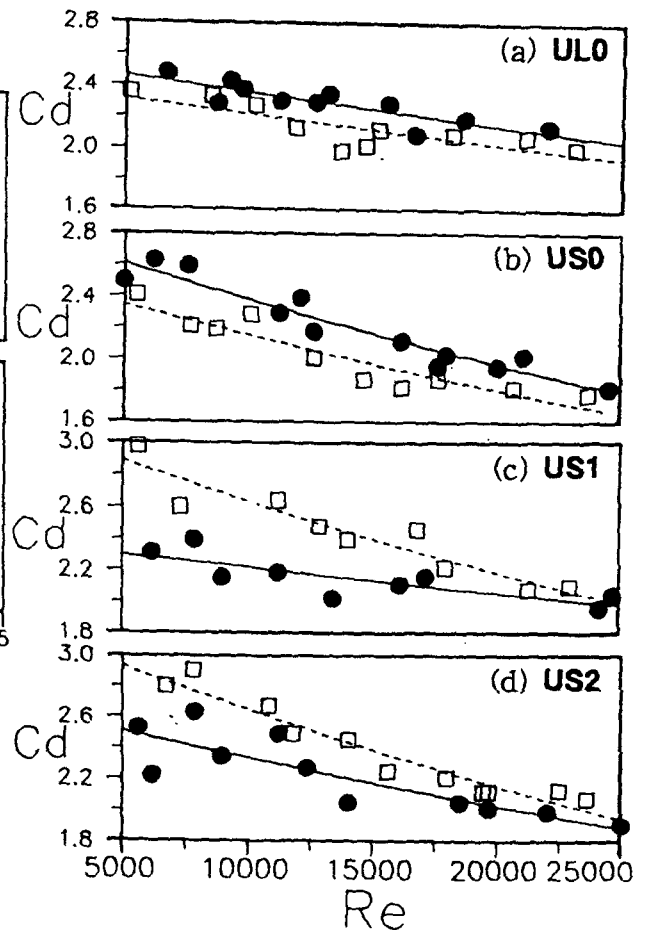


Fig. 3. Drag coefficients according to Re , types and directions of structures in current field. ●: flow converged installation, □: flow divided installation.

2.4. 안정성 해석

2.4.1. 외력에 대한 안정성

고정식(착저식)구조물의 외력에 대한 안정은 유체력과 구조물과 해저지반과의 마찰력, 구조물의 수중중량의 관계로 부터 전도 또는 활동하지 않을 조건으로 해석할 수 있다. 따라서 안정계산을 위한 외력조건은 설계파 및 설계유속, 설치수심, 해저저질 등을 고려하여야 하며, 활동(식(2)) 및 전도(식(3))에 대한 안정계산은 다음 식으로 부터 검토할 수 있다.

$$W > \frac{F}{\mu(1 - w_o/w_A)} \quad (2)$$

$$W > \frac{F}{(1 - w_o/w_A)} \frac{l_A}{l_v} \quad (3)$$

여기서 W는 구조물 중량, F는 유체력, μ 는 구조물과 지반의 마찰계수, w_o 및 w_A 는 해수 및 구조물의 단위체적중량, l_A 및 l_v 는 흐름에 직각인 연직면의 구조물의 정사영면의 도심까지의 높이와 저면의 투영점으로 부터 모서리 연결선까지의 최단거리를 나타낸다.

3. 결론

수산시설물의 최적설계를 위한 기초연구로서 구조물 설계시 고려사항을 논의하고, 흐름장 및 파랑장에서의 유체력 특성과 이를 이용한 안정성 해석에 대해 다음과 같은 결과를 정리할 수 있었다.

- 1) 유체력 특성은 해석조건 및 파력계수 산정법에 따라 변동이 심하므로 유의하여야 하고, 파력계수 산정법은 가중최소자승법이 비교적 안정된 방법으로 나타났다.
- 2) 파동장에서의 유체력 특성을 나타내는 항력계수(C_D)는 2.0-6.0에 분포하며, K.C수의 증가에 따라 선형적으로 감소하였고, 관성력계수(C_M)는 4.0-9.0에 분포하며, K.C수 3.0에서 정점(극대점)을 가지는 2차함수로 나타났다.
- 3) 흐름장에서의 유체력 특성을 대표하는 항력계수(C_D)는 2.0-3.0으로 나타났고, Re수의 증가에 따라 감소하였고, 구조물의 투과성 및 설치방향에 따라 다른 특성을 보였다.
- 4) 구조물의 외력에 대한 안정성 해석은 상기 유체력에 대해 구조물이 전도 또는 활동하지 않을 조건으로 해석할 수 있다. 한편, 저질개량형 구조물은 세굴을 이용하여 적정 저질환경을 조성하는 형식으로서 지나친 세굴이 구조물의 안정에 영향을 줄 수 있으므로 이에 대한 안정성 해석이 요구된다.

참고문헌

- 김현주, 1995. 생태계제어 구조물의 안정성 및 기능 극대화를 위한 기초적 연구, 부산수산대학교 해양공학과 박사학위논문, 145p.
- 류청로, 장선덕, 임기봉, 1986. 인공어초의 규모 및 배치에 관한 연구, 수진연보, 38, 1-24.
- 류청로, 김현주, 1994. 착저식 인공어초에 작용하는 파력특성에 관한 연구, 한국수산학회지, 27(5), 605-612.
- Cheong-Ro Ryu and Hyeon-Ju Kim, 1995. A Design concept of artificial habitat considering the function of coastal defence, Proc. of International Symposium on Coastal Ocean Space Utilization, 347-356.
- Cheong-Ro Ryu, Hyeon-Ju Kim, Jong-Kyu Kim, Heon-Tae Kim and Won-Sik Shon, 1995. Development of bottom control and upwelling forced artificial habitat, Proc. of ECOSSET '95 (in press).
- Koyama, H and K. Iwata, 1985. Estimation of water particle velocities by a modified transfer function method, Coastal Eng. in Japan, 28, 1-13.