

論文

# 인공용승구조물 설치해역의 해양환경 특성

김동선\* · 황석범\*\*

\*부경대학교 해양산업개발연구소, \*\*부경대학교 해양산업공학(협)

## Characteristics of Oceanographic Environment in a Building with a Sea Area for the Artificial Upwelling Structure.

Dong-Sun Kim\* · Suk-Bum Hwang\*\*

\*Research Center for Ocean Industrial and Development(RCOID), Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

\*\*Interdisciplinary Program of Ocean Industrial Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

**요 약 :** 인공용승구조물 설치해역에서 구조물 설치에 따른 해양환경변화를 조사하였다. 남해안의 전선역에 인접한 연구해역의 남동역에서 고온·고염의 분포가 하계에 뚜렷하게 나타났다. 또한 구조물 설치 해역에서는 구조물 설치에 따른 유동의 변화 양상을 볼 수 있었다. 하계 영양염은 표층과 중층에서 구조물 투하 전인 2002년보다 구조물 투하 후인 2005년에 크게 증가하였다. 인공용승구조물설치에 따른 해역의 해양환경특성을 파악하기 위해서는 구조물 효과에 의한 구조물 투하 전·후의 보다 장기적인 해양환경조사를 통한 환경변화를 정량적으로 파악할 필요가 있다.

**핵심용어 :** 인공용승구조물, 용승류, 영양염,

**ABSTRACT :** To investigated the variation of marine environments due to set up of artificial structure, we carried out field observations. High temperature and salinity waters were distributed clearly in the southeastern part of study area during summer season. The variation of current structure was also occurred around study area where artificial structure set up. In 2005 after set up of artificial structure, the nutrient concentration increased greater than that in 2002 before set up artificial structures. To illustrate the characteristics of marine environment due to set up of artificial structure, quantitative analyses on the effect of artificial structure are important.

**KEY WORDS :** Artificial upwelling structure, Upwelling, Nutrient.

### 1. 서 론

최근 우리나라 연안역은 도시화·산업화로 인하여 육상으로부터 산업 및 생활폐수가 유입되어 어장환경이 악화되고 있다. 또한 주변국의 배타적 경제수역 선포 등에 의한 조업규제 강화로 어장이 축소되고 있는 실정이다.

용승해역은 전 해양의 면적 중 0.1% 정도로 매우 작은 비중을 차지하는 해역이지만, 어류 생산량은 전 해양의 1/2 정도로써 어류 생산성 및 기초 생산력이 아주 큰 해역이다(Ryther, 1969). 어류군집을 유도하기 위한 필수요건인 기초 생산력이 증대되는 용승해역은 수산자원이 다량 어획되는 좋은 어장으로써 수산물을 통한 고 부가가치를 창출할 수 있다.

용승해역의 메카니즘을 이용한 어장환경조성 연구를 보면, 일본에서 분고수도(豊後水道), 우화해(宇和海) 및 나가사키현 연안에 인공용승 구조물을 설치한 연구가 있다. 이 결과 조류 유속이 2할 증가하였고, 아표층의 클로로필 a농도도 2~3배, 동물플랑크톤의 개체수 및 침전량도 2배로 증가하였다. 또한,

저서생물이 설치 후 2년간은 감소하였으나 3년 이후에는 종·개체수도 증가하였던 것으로 밝혀졌다. (Yanagi and Nakajima, 1991)

어장환경조성 사업에 대한 우리나라의 연구사례를 보면, 인공어초사업이나 방류사업 등이 행해지고 있는 실정이다. 인공어초 설치해역은 어획량에 있어서, 일반 어장에 비해 1.2~12.0(평균 2.7배)의 효과가 있고, 자연초 어장보다 1.3~2.2배의 어획효과가 있는 것으로 나타났다. (국립수산진흥원, 1989, 1992)

이러한 기존의 인공어초와 같은 어장환경조성사업과 더불어 새로운 개념인 인공용승류를 이용한 기초생산력 증대에 따른 어장환경조성 사업이 현재(2004년부터 2009년까지 6개년) 해양수산부에서 시행되고 있다. 인공용승류를 이용한 구조물 설치해역은 구조물 설치 후 2~3년의 기간에 기초생산력 및 수자원 증대에 큰 효과를 나타낼 수 있으며, 어장환경 조성사업이 장기적으로 지속되고 보완된다면 어민 소득의 증대에 기여할 것으로 기대한다.

따라서 본 논문에서는 현재 우리나라에서 설치 중인 인공 용승해역에서 구조물 설치로 인한 해양환경특성을 파악하여 앞으로의 연구에 기초 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 자료 및 방법

### 2.1 연구 자료 및 방법

구조물 투하지역 (정점B : E 128°30', N 34°36')을 중심으로 저층에서부터 표층까지 영양염의 용승이 발생 가능하고 12시간, 24시간 및 48시간 후에 확산 할 가능성이 있는 광역화된 해역을 연구해역으로 설정하였다(Fig. 1).

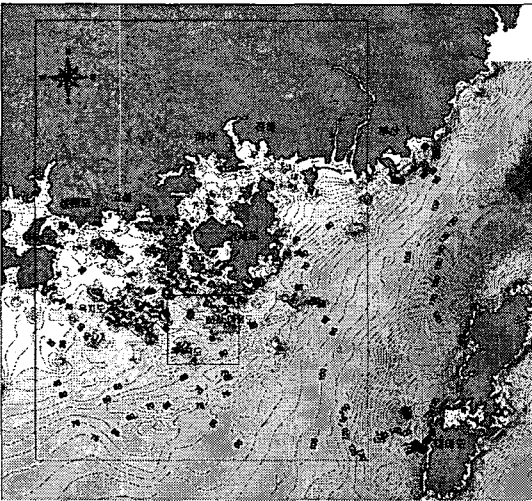


Fig. 1 Topography (numbers : m) (upper) and observation point (lower) of study area.

CTD(Sea bird社, SBE-19) 및 YSI Model Sonder 6600을 이용하여 구조물 투하 해역을 중심으로 수온 및 염분(2005년 3월 2일, 5월 3일 및 8월 4일)을 조사하여 성층구조 및 용승역 범위의 해황을 파악하였다. 또한 구조물 구축 전인 2001년과 2002년(조 등, 2003) 및 2005년의 자료를 T-S도로 나타내어 수괴를 비교하였다. 해수 유동 관측은 구조물 투하 해역 Fig. 1(정점 A~C)을 중심으로 도플러 음향유속계(RD Instruments, Acoustic Doppler Current Profiler, 300KHz)를 이용하였고 25시간 연속 관

측(10분 간격)을 실시하여 구조물 투하지역 및 주변 해역에 대한 해류의 유향·유속을 파악하였다.

수질환경조사(DIN, DIP, COD, SPM, Chl-a 등)는 2005년 3월, 5월, 8월에 13개 정점을 선정(Fig. 1)하여 표층(수면하 0.5 m), 중층(25m), 및 저층(바닥으로부터 1m)으로 구분하여 실시하였고, 니스캔 채수기를 사용하여 3개층에서 채수한 다음 폴리에틸렌병에 담아 냉장보관 후 실험실로 옮겨 해양환경공정 시험방법(해양수산부, 2002)에 따라 분석하였다.

### 2.2 인공용승 구조물

인공용승구조물 설치는 정육면체 형태의 블록(가로 : 1m, 세로 : 1m, 높이 : 1m) 6,125개를 1차년도에 정점 B에 투하하였다(2005년 6월 8일~9월 3일). 투하된 블록의 확인 결과 구조물의 높이는 약 18m, 폭은 약 45m로 원추 형태의 구조물 모형이 쌓여 있는 것이 확인 되었다.

Fig. 2는 6,215개의 블록을 투하 후 다중음향측심기(Multi-beam Sonar)를 이용하여 조사한 3차원의 구축된 구조물 영상을 나타낸 것이다 (by KOCECO : Korea Ocean Engineering & Consultants Co.). 주변의 수심은 약 64m이고 구조물 정상에서의 수심은 41.38m로 나타났으며, 구조물은 높이 약 18m, 반경 약 45m로 쌓여져 있었다.

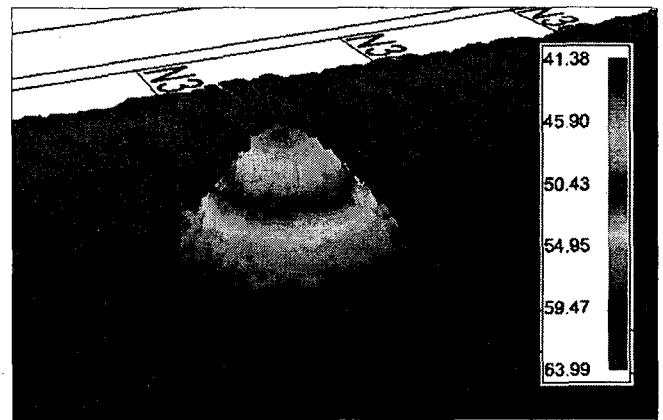


Fig. 2 3-dimensional Image of structure.(by KOCECO)

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 수온·염분 특성

인공용승구조물 설치해역에 대한 수괴분포를 Fig. 3에 T-S도로 나타내었다. 2005년의 관측 결과(Fig. 3(a))를 보면 동계(2005년 3월 2일)의 수온범위는 10.4~12.3℃, 염분범위는 34.6~34.7psu로 표층과 저층에서의 수온·염분의 차이가 거의 나타나지 않았다. 춘계(2005년 5월 3일)의 수온범위는 13.0~15.1℃, 염분범위는 34.2~34.9psu로써 동계보다 전체적으로 높은 수온이 나타났으나 전 수층에서는 차이는 거의 나지 않았고 균질한 수괴 분포를 보이고 있다. 이는 Fig. 2(b)에 나타난 2001

년~2002년 관측결과와도 유사한 분포로써 저온·고염의 분포가 나타나고 변화폭이 작은 균질한 수괴가 나타나는 것을 알 수 있다.

하계(2005년 8월 4일)의 수괴분포는 수온이 14.0~25.5℃의 범위이고 염분은 31.1~33.8psu의 범위로 나타났다. 이는 2001년 8월과 2002년 9월에 조사한 수괴(하계)와 비슷한 분포를 나타내고 있다. 즉, 수온과 염분의 차가 매우 큰 범위의 해수의 존재를 보이고 있다. 이러한 하계의 수온과 염분의 표·저층의 분포는 하계에 태양 복사열로 인한 대기의 온도상승이 해수의 표층에 영향을 끼쳐 표층수온은 높아지고 수심이 깊어질수록 수온이 낮아져 표층과 저층간의 각각 다른 수괴가 형성함을 알 수 있다.

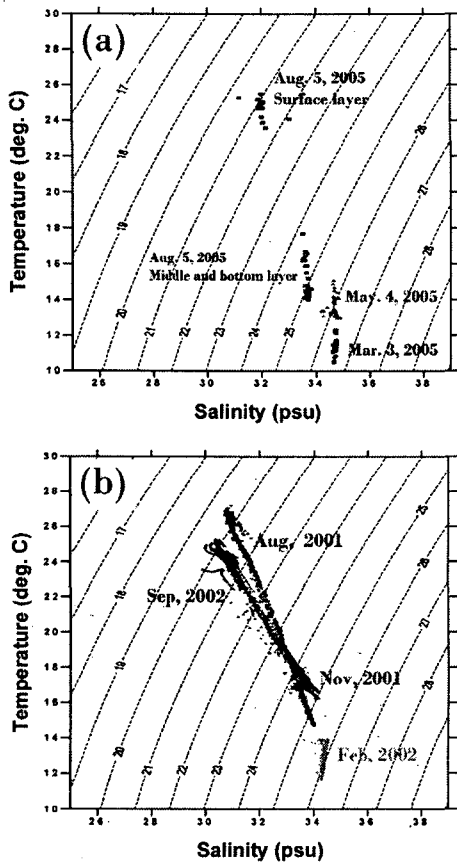


Fig. 3 T-S diagrams of water masses observed in 2005(a) and 2001~2002(b).

본 연구해역은 북상하는 대마난류수와 한국 남해안의 연안수가 만나 전선역을 이루는, 연안전선역에 인접한 해역이다. 공(1971)의 연구에서 한국 남해안 전선역의 특징은 여름 상·중층에서는 고온, 저염(수온, 25℃이상, 염분, 32.5‰내외)의 분포를 보이고 있으며, 저층에서는 고온·고염의 분포가 나타난다고 했다. 이는 본 연구해역이 전선역에 인접하고 있어서 이전의 이 지역에 대한 수괴분포와 유사한 형태의 분포를 보임을 알 수 있다.

Fig. 4는 SST(Sea Surface Temperature)의 인공위성 영상

자료(by NFRDI : National Fisheries Research & Development Institute)를 나타낸 것으로써, 이는 본 연구해역에서 수온·염분 현장관측일의 가장 근접한 날에 대한 영상자료이다. 이 자료를 통해서도 알 수 있듯이 구조물 설치해역의 표면수온은 한국 남해안 전선대에 걸쳐 있는 것을 볼 수 있다.

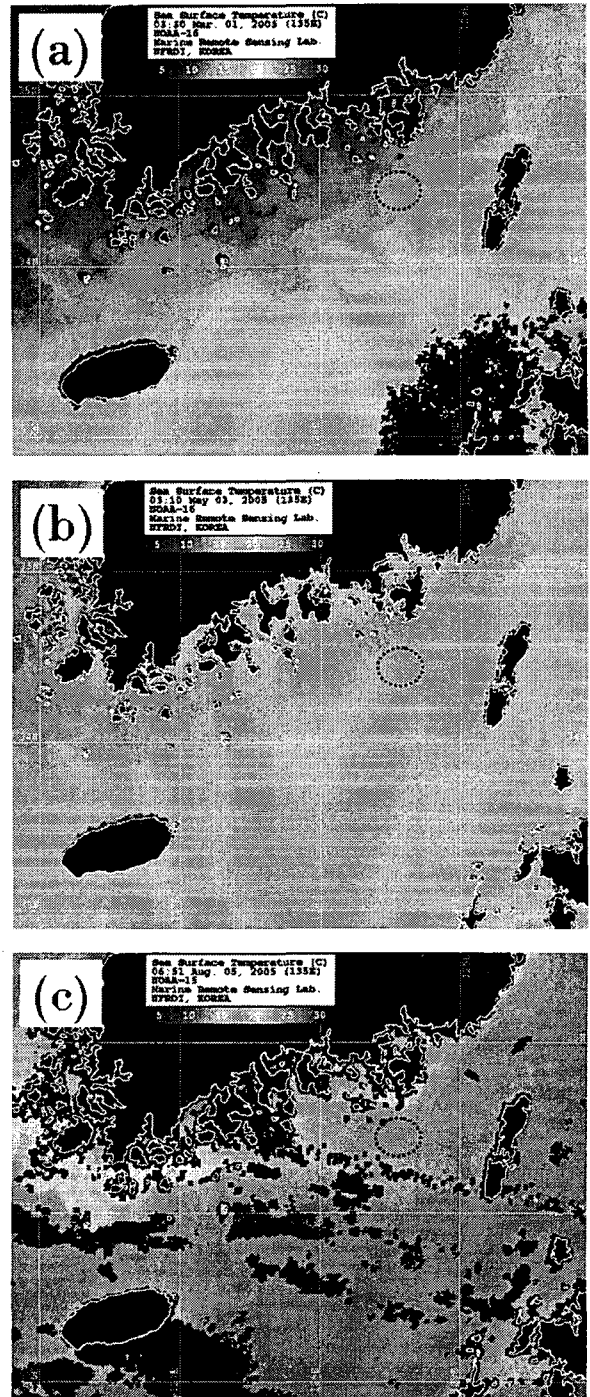


Fig. 4 Marine remote sensing images of Sea Surface Temperature(SST)(a: March 1, b: May 3, and c: August 5, 2005)(by NFRDI). ○ shows a building with a sea area for the artificial upwelling structure.

3.2 해수유동 특성

Fig. 5는 구조물 투하지역(정점 B)에서 유동 관측 결과(구조물 투하 전 : 2005년 4월, 구조물 투하 후 : 2005년 8월, 소조기)에 대한 U성분(동서성분)과 V성분(남북성분)의 연직 분포를 나타낸 것으로써 가로축은 시간을 나타내고 세로축은 수심을 나타낸다.

구조물 투하 전인 2005년 4월 U-V 성분의 연직분포를 보면 시간에 따라서 U 성분은 표·저층에 걸쳐서 동향류(+)에서 서향류(-), 서향류(-)에서 동향류(+)로의 흐름이 주기적으로 나타나고 있다. V 성분은 U성분과는 다르게 북향류(+)와 남향류(-)의 흐름이 일정하지 않고 표층과 저층의 흐름이 서로 다른 분포를 보이고 있다. 구조물 투하 직후인 2005년 8월 U-V 성분의 연직분포를 보면, U성분의 수심 약 30m 이천에서는 동향류(+)가 그 이십에서는 서향류(-)가 강하게 나타났다. V 성분은 표층에서 남향류(-), 저층에서 북향류(+)의 흐름이 지배적으로 나타났다.

따라서 구조물 투하 전인 2005년 4월에는 북서-남동성분의 흐름이 주류를 이루고 있는 반면, 2005년 8월은 구조물 설치로 인한 저층의 유속 감소와 구조물의 크기(2005년 8월 현재 구조물 투하 갯수 : 5,518개로 높이는 약 16m, 반경은 약 45m)에 영향을 받아 북향류의 유속이 구조물 높이(수심 30m 부근) 부근에서 강한 흐름이 나타났다.

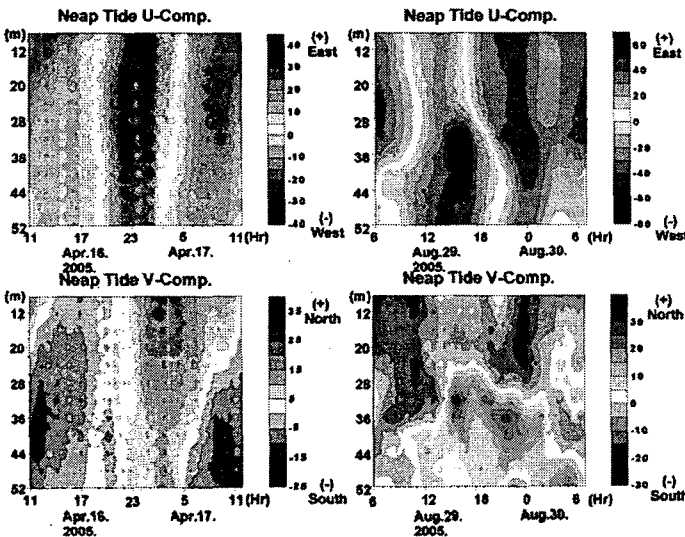


Fig. 5 Vertical distribution of U-V components with the depth of the mooring site st.B in April 16~17 (left panel) and August 29~30 (right panel), 2005.

이는 박 등 (2003)이 실시한 3차원 수치모델을 이용한 hill 주변의 유속장 계산 결과, hill의 전면부에서의 유속성분은 감소하고 후면부에서는 와류로 인한 증가 양상과 비슷한 분포를 나타내고 있다. 이와 같이 구조물 주위에 발생하는 와류는 물질이 해역에 체류할수 있는 시간(retention time)이 길어지도록 하는 역할을 한다.

따라서 이러한 현상을 규명하기 위해서는 보다 장기적인 해양모니터링에 의한 구조물 주위의 유동분포특성 파악에 대한 연구가 필요하다.

3.3 수질환경 특성

Fig. 6는 구조물 설치 해역에서 구조물 투하 전(2002년 9월)(조 등, 2003)과 구조물 투하 후(2005년 8월) 하계 영양염의 평균농도를 나타낸 것이다. 용존무기질소(DIN)는 2005년 8월의 농도가 2002년 9월에 비해 표층과 중층에서 4~5배 증가하였고 저층은 감소하였다. 용존무기인(DIP)의 관측결과를 보면, 2002년 9월에 비해 2005년 8월 평균농도가 표층과 저층은 비슷하였으나 중층에서는 약 3배 정도 증가한 것으로 나타났다. 또한 규산규소(SiO<sub>2</sub>-Si)는 2002년 9월의 조사결과에 비해 2005년 8월에 전 수층에서 증가하였고 표층과 중층에서 증가폭이 크게 나타났다.

따라서 인공용승 구조물 설치 후 영양염 농도는 구조물 설치 전보다 대체적으로 표층 및 중층에서 증가되는 양상을 나타내고 있다. 본 연구해역에서 구조물 구축에 따른 영양염 농도의 변화에 대한 구조물 효과에 대해서는 보다 장기적인 모니터링이 수반 되어야 한다.

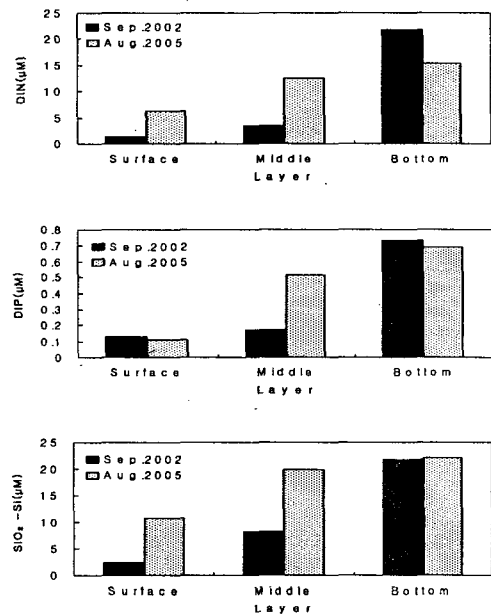


Fig. 6 Comparison of average concentrations of nutrients in September, 2002 and August, 2005.

4. 결론

본 연구에서는 인공용승구조물 설치해역에서 구조물 설치 전·후의 해양환경 특성을 비교 분석하였다. 수온·염분은 계절별(동계, 춘계, 하계)로 변동하고 있다. 즉, 전선역에 인접한 연구해역은 동계에는 표·저층간의 혼합으로 연직적인

균질한 수온·염분분포를 나타냈고, 하계에는 태양복사열로 인한 표층 수온상승으로 표층과 중·저층의 강한 성층이 존재하였다. 해수유동은 소조기에 구조물 주변 해역(높이 약 18m, 반경 약 45m)에서 구조물의 효과에 의한 흐름이 관측되었으며, 그 방향은 북서-남동류의 흐름 형태를 보이고 있다. 영양염의 변동은 구조물 투하 전인 2002년 9월보다 구조물 투하 후인 2005년 8월에 표층과 중층에서 영양염의 농도 분포가 크게 증가함을 알 수 있었다.

따라서 인공용승구조물설치에 따른 해역의 해양환경특성을 파악하기 위해서는 구조물 투하 전·후에 따른 단기간의 비교로부터 보다 장기간의 해양환경조사에 의한 분석을 통하여 구조물에 의한 효과를 정량적으로 파악할 필요가 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] 공영(1971), 한국 남해연안 전선에 관한 연구. The Journal of the Oceanological Society of Korea. vol. 6. No. 1, pp.25-36.
- [2] 국립수산진흥원, 1989, 전국 연안 인공어초 어장 생산성 조사, 사업보고 제 82호.
- [3] 국립수산진흥원, 1992, 한국 연안 인공어초의 자원조성효과에 관한 연구, 사업보고 제 95호.
- [4] 박성은, 김동선, 이충일, 황재동, 윤종휘, 조규대(2003), 성층화된 수로에서 3차원 Hill에 의한 유속장 변동. 해양환경안전학회지. 제9권 2호, pp.79-77.
- [5] 조규대, 김동선, 박성은(2003), 인공용승구조물 설치에 적합한 해역의 해양환경 특성. J. Kor. Fish. Soc. 36(2), pp. 187-192.
- [6] 해양수산부, 2002, 해양환경공정시험법. p.330.
- [7] Carlos A. Andrade, Eric D. Barton(2005), The Guajira upwelling system. Continental Shelf Research.vol 25,pp 1003-1022.
- [8] Ryther,J.H(1969). Photosynthesis and fish production in the sea, The production of organic matter and its conversation to higher forms of life vary throughout the world ocean. Science, 166, 72-76.
- [9] Tetsuo Yanagi, Shuzo Igawa, Osamu Matsuda(1995), Tidal Front at Osaka Bay, Japan, in winter. Continental Shelf Research. vol 15, No. 14, pp.1723-1735.
- [10] Yanagi,T. and M.Nakajima(1991). Change of oceanic condition by the man-made structure for upwelling. Marine Pollution Bulletin, 23, pp.131-135.