

## 인공용승구조물 설치에 의한 유동변화 ( I )

김동선\* · 황석범\*\*

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

### The Variation of Current by the Building of Artificial Upwelling Structure ( I )

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 설치해역의 구조물에 의한 유동분포를 파악하기 위하여 ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)를 이용한 정선관측을 2006년 5월 4일(소조기) 및 5월 30일(대조기)에 실시하였다. 동서-남북(uv-component)유동성분의 분석결과, 조시에 따른 흐름이 전반적으로 남동류가 우세하게 나타났으며 구조물 주변역의 표층에서 수심 30~40m까지의 유동과 그 이심에서의 유동이 서로 다르게 나타났다. 연직유동성분(w-component)은 소조기시 구조물 주변해역과 서쪽역에서는 상승류의 흐름이 나타났고 남쪽역, 북쪽역 및 동쪽역에서는 하강류의 흐름이 나타났다. 대조기 E-W line의 낙조시에는 동쪽과 서쪽해역에서 상승류의 흐름이 나타났으며 구조물 중심 동쪽 부근에서 상승류의 흐름이 나타났고 구조물에서 멀어질수록 하강류의 흐름이 나타났다. 대조기시의 분포는 창조시 S-N line에서 상승류의 분포가 전반적으로 나타났다. 또한 구조물 구축 주변해역에서의 단위면적당 상승류의 유량은 대·소조기 창·낙조시에 하강류에 대한 유량보다 크게 나타났다. 소조기에는 창조시보다 낙조시에 더 강하였으며, 대조기에는 창조시가 낙조시보다 큰 유량을 나타내고 있다.

**핵심용어** : 인공용승구조물, ADCP, 연직유동성분, 하강류, 상승류

**ABSTRACT** : In order to estimate the characteristics of water movements around artificial upwelling structure, current measurements were carried out along lines E-W and S-N on May 4th(neap tide) and May 30th(spring tide), 2006. In the study area, southeastward flow was dominant during the field observations, and the pattern of water movement in the upper layer above 30m depth was different from that in the lower layer below 30m depth. Vertical flow(w-component) around the artificial structure area and western area was shown to be upward flow, but downward flow occurred in the southern, northern and eastern parts at the neap tide. At the spring tide, the ebb current along E-W line showed upwelling flow in the eastern part and western area and showed upwelling flow near the artificial structure area and downwelling flow far away that one. At the spring tide, upward flow was dominant along S-N line during the flood current. Volume transport by upward flow was higher than that by downward flow. Volume transport by upward flow during ebb of neap tide was greater than during flood current of neap tide, but was reverse at the spring tide.

**KEY WORDS** : Artificial upwelling structure, ADCP, Vertical flow, Upward flow, Downward flow

### 1. 서 론

우리나라의 연안역은 지속적인 해양환경 오염과 대규모의 간척사업확대 등으로 인하여 어장환경이 악화되고 UN 해양법(1994년 12월 발효) 및 배타적 경제수역 선포(2001년 발효)로 어장이 축소되고 수산자원의 어획량이 줄어들고 있는 실정이다. 이러한 환경오염 및 어장축소로 인하여 잡는 어업보다 기르는 어업인 수산자원의 육성에 대한 중요성이 부각되어 국책 사업으로 바다 목장화 사업 및 인공어초 사업이 현재 우리

나라 연안에서 실시되고 있다(국립수산진흥원, 1989, 1992).

이러한 어장환경조성사업과는 다른 개념으로 해중에 구조물을 설치하여 인공적으로 용승류를 발생시키는 개념으로 인공용승류를 이용한 어장환경조성사업이 현재 남해안 거제 앞바다에서 시행되고 있다(해수부, 2005; 해수부, 2005; 김 등, 2006; 조 등, 2003; Fig. 1).

인공용승류의 발생기작은 저층의 강한 유속이 분포하는 해역에 인공적으로 구조물을 투하하여 해중산(sea mount)을 설치하고 저층의 강한 유속을 상층의 유평층(euphotic zone)까지 끌어올리는 개념으로 저층의 풍부한 영양염이 함께 부유되고 그에 따른 먹이 연쇄작용 및 어군 군집효과를 기대한다(Yanagi and Nakajima, 1991; Yanagi et al., 1995; Yanagi and Okada,

\* 대표저자: 중신희원, kimds@pknu.ac.kr, 051)620-6255

\*\* chamsin75@hanmail.net 051)620-6211

1993). 이러한 용승 해역은 전 해양에서 차지하는 면적은 0.1% 밖에 되지 않지만 어류의 생산량은 전 생산량의 약 50%를 차지하고 있어 용승해역이 어업생산에 차지하는 중요성은 매우 크다 (Ryther, 1969).

인공용승 구조물은 경남 거제도 앞바다인 매물도와 국도사 이해역에서 2005년 5월부터 2006년 7월까지 약 1년간 조성하여 길이 80m, 폭 40m 규모의 해중산을 해저에 16~19m로 구축하였다.

따라서 본 연구는 ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)를 이용한 정선관측을 실시하여 인공용승구조물에 의한 유동분포를 파악하고자 한다. 특히, 구조물 설치에 따른 상승류의 발생유무와 그 크기를 조사하고자 한다.

## 2. 자료 및 방법

### 2.1 자료 및 방법

인공용승구조물에 대한 유동분포를 파악하기 위하여 선박에 ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler, RD Instruments)를 장착하여 정선관측을 실시하였다(Fig. 2). 인공용승 구조물 설치해역에 대하여 공간적인 해수유동분포를 파악하기 위하여 정점관측보다 공간적 유동분포 파악이 용이한 정선관측을 실시하였다. 일반적으로 ADCP를 이용하여 정선관측을 실시하려면 대형선박에 장착되어진 선저장착형 ADCP(vessel-mount ADCP)를 이용하여야 하지만 시간적·경제적 문제를 최소화하기 위하여 소형선박(10 ton 미만의 선박)에 ADCP를 거치하여 관측을 실시하였다(Fig. 2).

(128° 30' E, 34° 36' N)으로 반경 1.5 km인 5개의 관측선을 위도와 경도별로 설정하여 실시하였으며, 구조물의 중심을 지나는 관측선(line 3, 8)과 위·경도 1.5 km 떨어진 관측선(line 1, 5 및 line 6, 10) 및 구조물의 끝부분을 지나는 관측선(line 2, 4 및 line 7, 9)을 설정하여 실시하였다(Fig. 3). 또한 선박 항행 시 선속은 여러 번의 테스트 결과 데이터의 최소 오차속도인 약 7 knot로 일정하게 유지하여 관측을 실시하였다.

관측 자료의 처리는 10 sec 및 60 sec 평균 처리된 자료를 사용하였으며, 수심 간격은 4m로 설정하였다.

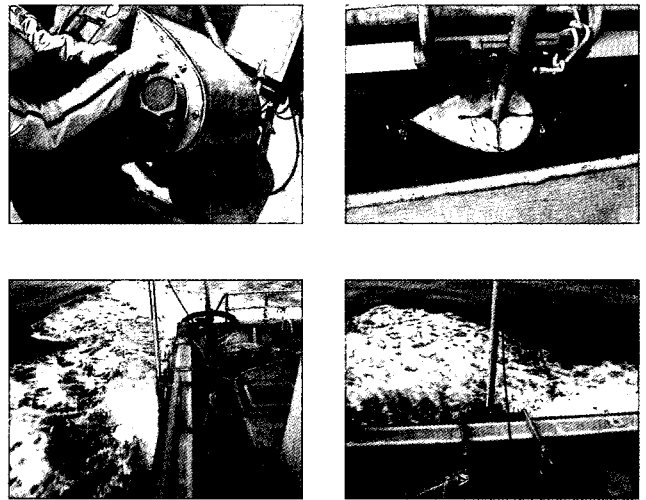


Fig. 2. Set up image of ADCP on the ship.

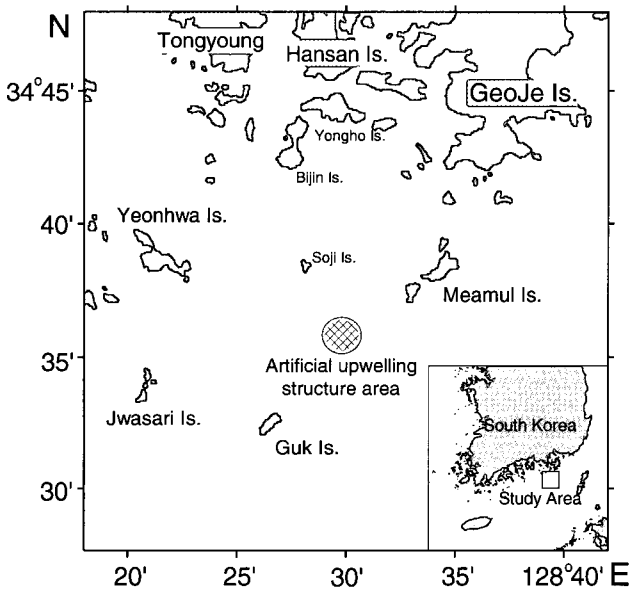


Fig. 1. Artificial upwelling structure area.

관측 시기는 2006년 5월 4일(소조기) 및 5월 30일(대조기)에 창·낙조시 각각 실시하였다. 관측 이동 경로는 구조물을 중심

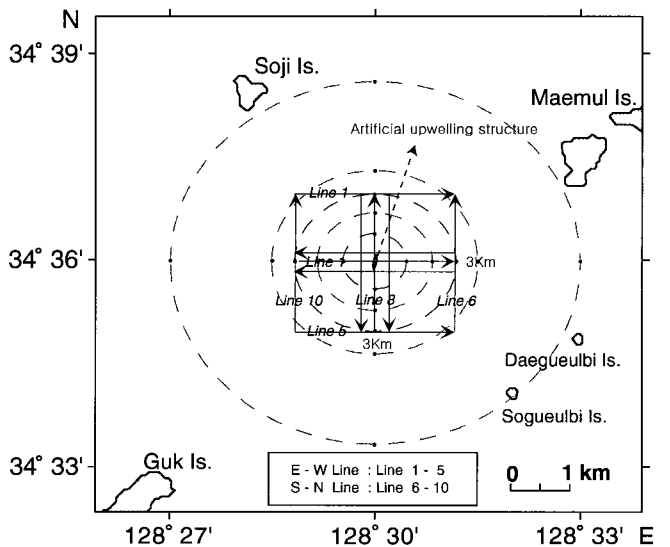


Fig. 3. Observation line by ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler) in study area.

### 2.2 인공용승 구조물

해저에 구축한 인공용승 구조물은 2005년 6월에 실시하여 2006년 7월까지 약 1년에 걸쳐 총 19,115개의 블록(블록 1개 크기: 1m × 1m × 1m)을 투하하였다. 본 연구에서는 산맥을

형성하기 전 2개의 해중산을 구축한 시기인 2006년 5월에 관측한 결과를 나타내었다. 구조물 투하는 DGPS와 해상측량프로그램을 이용하여 정확한 위치(34° 36' N, 128° 30' E)에 측정하여 실시하였고, 구조물의 구축형태는 Side Scan Sonar을 이용하여 그 크기를 파악하였다(Table 1, Fig. 4).

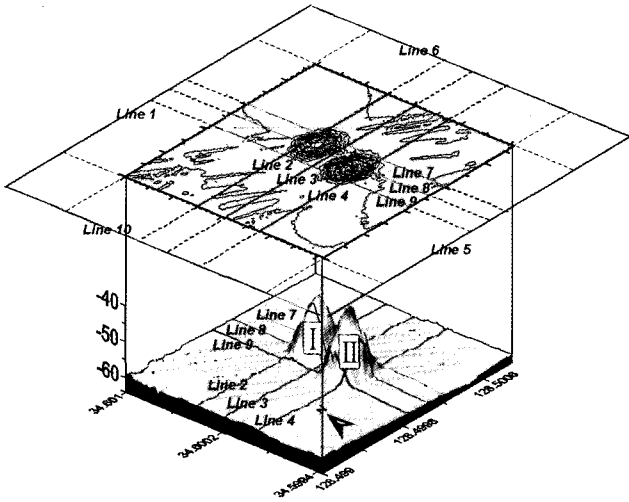


Fig. 4. 3-dimensional image of artificial upwelling structure.

Table 1. Type of artificial upwelling structure

Type	Date	Quantity (EA)	Size (H×L×W)
Sea mount I	Jun. ~ Sep. 2005.	6,215	19×35×42m
Sea mount II	Oct. ~ Nov. 2005.	4,800	18×42×42m
Sea mountains III (I + II)	Jun. ~ Jul. 2006.	8,100	19×80×42m

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 동서-남북 유동성분(UV-component)의 수심별 분포

2005년 5월 4일(소조기) 및 5월 30일(대조기)에 실시한 정선관측의 결과를 수심별 stick vector diagram으로 나타내었다(Fig. 5, 6). 그림의 가로축은 각각의 경도 및 위도, 세로축은 수심을 표시하고 있다. 또한 그림의 상단과 하단은 각각 창조시와 낙조시를 나타내고, 좌측은 E-W line인 line 3 및 line 2, 우측은 S-N line인 line 8을 표시하고 있다.

먼저 소조기인 2005년 5월 4일 창조시 E-W line의 관측 결과를 보면(Fig. 5), 전체적으로 남동류의 흐름이 우세하나 수심 약 40m 이심에서 구조물의 동편으로 갈수록 약한 북동류의 흐름이 나타나고 있다. 그리고 S-N line은 E-W line과 마찬가지로 남동류의 흐름이 우세하게 나타났으나 수심 약 40m 이심에서 약한 북동류의 흐름이 나타났다. 또한 낙조시 E-W line은

구조물의 동쪽역에서 남동류가 전 수심에 걸쳐 우세하게 나타났으며, 서쪽역에서는 북동류와 남동류가 분산되는 분포를 보였다. S-N line에서는, 구조물의 남쪽역에서 북동류의 흐름이 우세하게 나타났으며 북쪽역에서는 수심 약 40m를 기준으로 상층에서는 남동류의 흐름이, 저층에서는 북동류의 흐름이 나타났다.

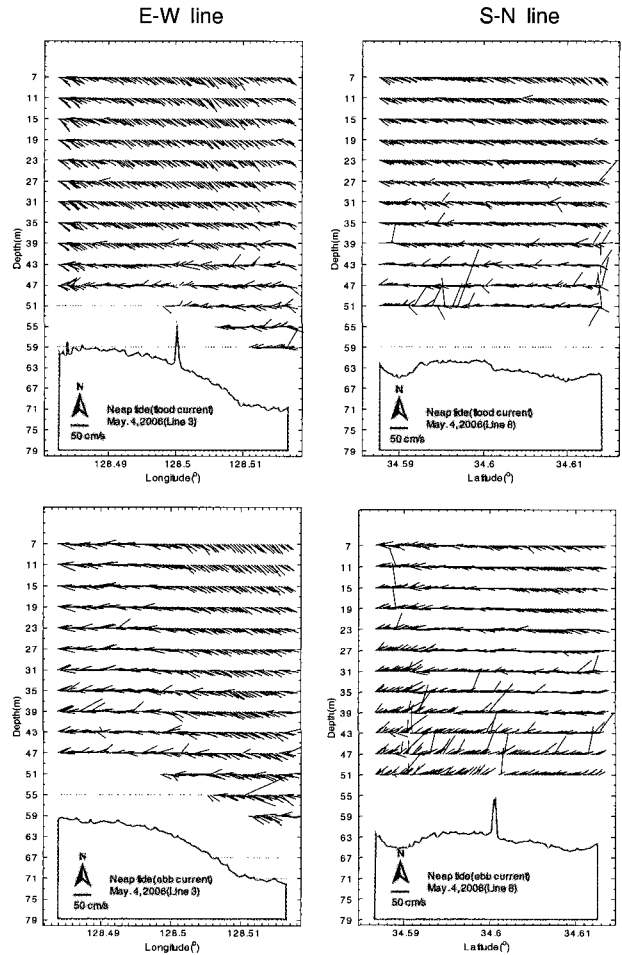


Fig. 5. Stick vector plot with depth on flood current(upper panel) and ebb current(lower panel) of the neap tide at line 3 (left column) and line 8 (right column), May 4, 2004.

따라서 창조시의 수심별·공간적 유동분포는 전체적으로 남동류의 흐름이 우세하지만 구조물을 중심으로 남동역에서 수심 40m 이심의 흐름은 북동류의 흐름을 약하게 나타내고 있다. 한편 낙조시의 흐름은 구조물을 중심으로 동쪽역에서는 전 수심에 걸쳐 남동류의 흐름이 분포하고 있으며, 북쪽역에서는 수심 40m를 기준으로 상층에서는 남동류, 그 이심에서는 북동류의 흐름이 분포하고 있다. 남서역에서의 흐름을 보면 남쪽에서는 전 수심에 걸쳐 북동류의 흐름이, 서쪽역에서는 북동류 및 남동류가 분산되는 분포를 보이고 있다.

Fig. 6은 2005년 5월 30일 대조기에 실시한 결과를 나타낸

것으로써 E-W line의 창조시 유동성분 분포는 구조물 중심지역의 수심 약 30m를 기준으로 상층에서는 남향류의 흐름이 강하게 분포하고 있으며 하층에서는 북향류의 흐름이 강하게 나타나 상층과 하층의 유향이 다르게 나타났다.

S-N line에서도 E-W line과 마찬가지로 상층과 하층의 흐름이 서로 다르게 나타났다. 낙조시의 분포를 보면 E-W line에서 남동류의 흐름이 강하게 나타나고 있으며 수심 약 40m 이심에서는 북동류의 흐름이 나타나고 있다. 또한 S-N line의 흐름은 전 수심에 걸쳐 남동류의 흐름이 강하게 분포하고 있다.

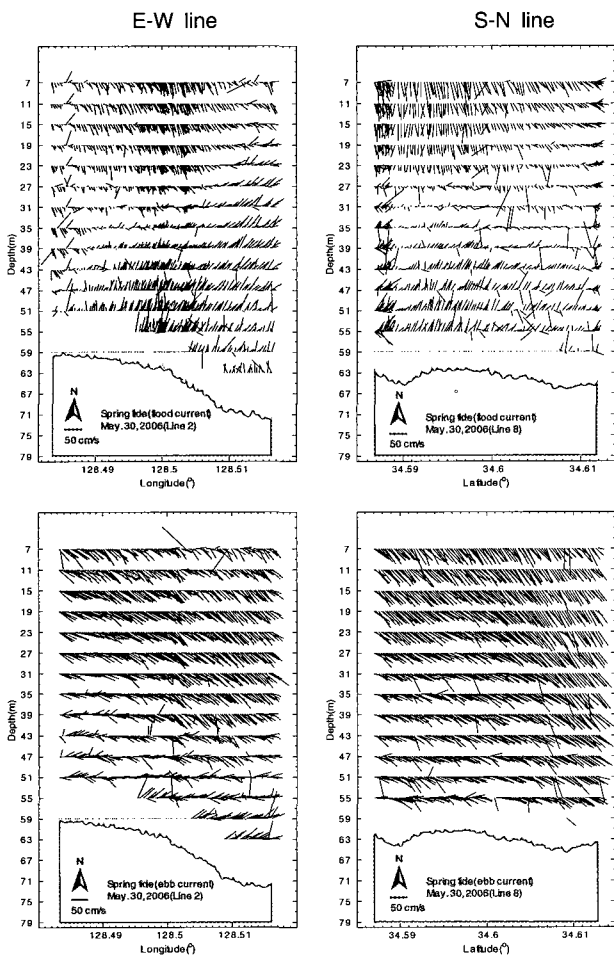


Fig. 6. Stick vector plot with depth on flood current(upper panel) and ebb current(lower panel) of the spring tide at line 2 (left column) and line 8 (right column), May 30, 2004.

따라서 수심별 유동성분 분포는 창조시에는 수심 30m를 기준으로 상층에서는 남향류가, 그 이심에서는 북향류가 우점 하였으며, 낙조시에는 모두 전반적으로 남동류의 흐름이 우세하였으며 소조기보다 대조기의 흐름이 강하게 나타났으며, 구조물 주변역의 대조기시 표층에서 수심 30~40m까지의 유동성분과 그 이심에서의 유동은 서로 다르게 나타남을 알 수 있었

다.

### 3.2 연직유동성분(w-component)의 수심별 분포

연직유동성분의 수심별 분포를 파악하기 위해 2006년 5월 4일(소조기)과 5월 30일(대조기)에 실시한 정선 관측 자료를 이용하여 분포를 나타내었다(Fig. 7, 8). 그림에서 점선은 구조물 주변역을 나타낸 것이다.

소조기시의 연직유동성분 분포(Fig. 7)를 보면 창조시의 line 3의 구조물 주변역 및 서쪽역에서 상승류의 흐름이 분포하고 있으며 동쪽에서는 하강류가 우점하였다. 또한 line 8에서는 구조물의 주변해역에서 상승류의 흐름이 나타나고 있다. 한편 낙조시의 흐름은 line 3의 동쪽과 서쪽역에서 전반적으로 상승되는 흐름이 나타났으며, line 8에서는 구조물 중심부에서 상승류의 흐름이 강하게 나타났다.

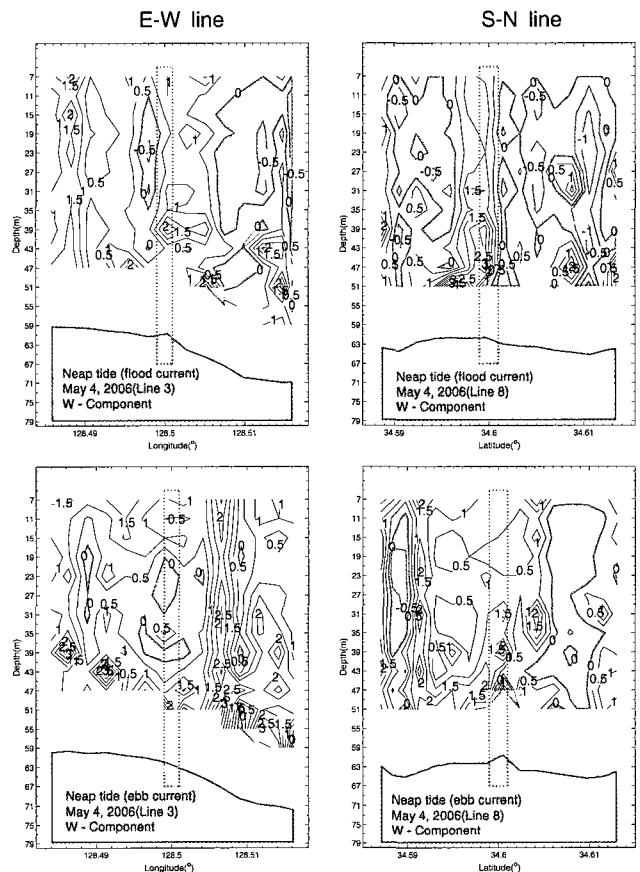


Fig. 7. Vertical distribution of w-component with the depth on flood current(upper panel) and ebb current(lower panel) of the neap tide at line 3 (left column) and line 8 (right column), May 4, 2004. Dotted line shows artificial structure area.

대조기 창조시의 연직유동성분(Fig. 8)은 line 2의 구조물 동·서쪽에서 상승류의 흐름이 분포하였으나, 구조물 주변역에서는 하강류의 흐름이 나타나는 특징을 보이고 있다. 또한

line 8에서는 남쪽역의 일부분을 제외하고 전 수심에 걸쳐 상승류의 흐름이 우세하게 나타났다. 낙조시 line 2의 흐름은 상승류와 하강류가 번갈아 발생하는 특징을 볼 수 있다. 한편 line 8의 결과에서는 중층에 비해 표층과 저층에서 상승류의 흐름을 보이고 있다.

따라서 소조기 창조시의 연직유동성분의 공간적 분포는 구조물 주변역과 서쪽역에서 상승류의 흐름이 나타났고, 구조물 주변해역을 중심으로 남쪽역, 북쪽역 및 동쪽역에서 하강류의 흐름이 나타났다. 그리고 낙조시의 흐름은 구조물을 중심으로 하여 전반적으로 상승류의 흐름이 뚜렷하였으며, 남쪽역과 북쪽역에서 하강류의 흐름이 미약하게 나타났다. 따라서 E-W line에서는 창조시 동쪽에서의 하강류역을 제외하고 창·낙조시 상승류역이 우세하였으며, S-N line에서는 낙조시 구조물 주변역에서 상승류의 흐름이 나타났다.

류와 하강류가 번갈아 가면서 나타나는 특징을 볼 수 있다. 또한 남북방향인 line 8에서는 구조물 주변 저층과 표층·중층 및 저층에서 상승류와 하강류가 강하게 나타나는 특징을 볼 수 있다.

연직유동성분의 상승류 및 하강류에 대한 유량계산결과를 보면 대·소조기 창·낙조시에 하강류보다 상승류에 의한 유량이 크게 나타났다. 또한 소조기 낙조시에 350 및 259.6 m<sup>3</sup>/sec로 창조시인 206.8 및 168.8 m<sup>3</sup>/sec보다 높게 나타났으며, 대조기는 창조시 614.3 및 1,235.2 m<sup>3</sup>/sec, 낙조시는 355.2 및 569.6 m<sup>3</sup>/sec으로 창조시가 낙조시보다 상승류의 분포가 크게 나타났다(Table 2).

Table 2. Volume transport of vertical velocity per unit area

Tide	Cur- rent	Upwelling (+, m <sup>3</sup> /sec)		Downwelling (-, m <sup>3</sup> /sec)	
		E-W line 2,3	S-N line 8	E-W line 2,3	S-N line 8
Neap	Flood	206.8	168.8	34	72
	Ebb	350	259.6	9.6	35.8
Spring	Flood	614.3	1235.2	100.5	106.8
	Ebb	355.2	569.6	122.6	244

따라서 구조물 구축해역에서의 구조물에 의해 발생하는 상승류의 공간적인 분포를 보면, E-W line에서는 대조기보다 소조기 때 또한 창조시보다 낙조시 때에 광역의 범위에서 상승류가 발생하였다. S-N line에서의 상승류 발생 시기 및 범위를 보면, 창조시에는 소조기보다 대조기 때 상승류의 뚜렷한 공간분포를 나타내고 있으며, 낙조시에는 소조기에 구조물 주변 해역에서 강한 상승류가 발생하였다. 한편 상승류의 단위면적당 유량은 소조기에는 창조시보다 낙조시에 더 강하였으며, 대조기에는 창조시가 낙조시보다 큰 유량을 나타내고 있다.

#### 4. 결론

인공용승구조물 설치해역의 구조물에 의한 유동분포를 파악하기 위하여 ADCP를 이용한 정선관측을 대조기와 소조기에 각각 실시하였다.

동서남북 유동성분의 수심별 분포를 보면 소조기 창조시의 공간적 유동분포는 전체적으로 남동류의 흐름이 우세하지만 구조물을 중심으로 남동역에서 수심 40m 이심의 흐름은 북동류의 흐름을 약하게 나타내고 있다. 또한 낙조시의 흐름은 구조물을 중심으로 북동역에서는 전 수심에 걸쳐 북동류의 흐름이 분포하고 있으며 남동역에서는 수심 40m를 기준으로 상층에서는 남동류의 흐름이, 하층에서는 북동류의 흐름이 나타났다.

대조기시의 흐름은 창조시에 E-W line 및 S-N line의 수심 약 30m를 기준으로 상층과 하층의 유향이 다르게 나타났으며,

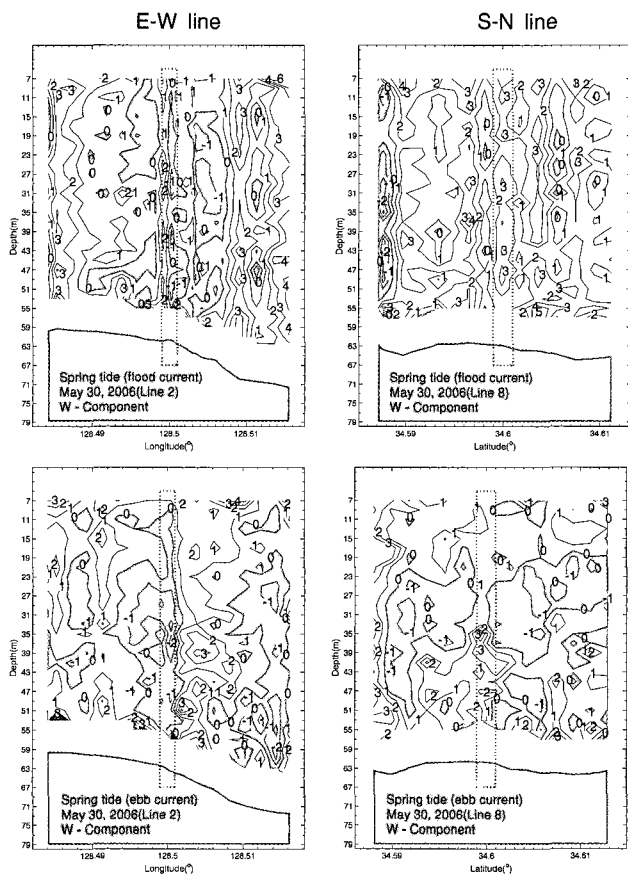


Fig. 8. Vertical distribution of w-component with the depth on flood current(upper panel) and ebb current(lower panel) of the spring tide at line 2 (left column) and line 8 (right column), May 30, 2004. Dotted line shows artificial structure area.

따라서 대조기 창조시의 연직유동성분의 공간적 분포는 line 2의 동·서쪽해역에서 상승류의 흐름이 나타났으며, line 8은 남쪽해역의 일부분을 제외하고 전체적으로 상승류의 흐름이 뚜렷하게 나타났다. 또한 낙조시 line 2의 흐름은 서쪽에서 동쪽으로 가면서 상승

낙조시에는 E-W line에서 남동류의 흐름이 강하게 분포하였고 S-N line에서는 전 수심에 걸쳐 남동류의 흐름이 강하게 나타났다. 따라서 동서-남북(UV component)유동성분 분포는 창·낙조시 모두 전반적으로 남동류의 흐름이 우세하였으며 구조물 주변역의 표층에서 수심 30~40m까지의 유동과 그 이심에서의 유동이 서로 다르게 나타났다.

또한 연직유동성분을 파악하여 상승류와 하강류의 흐름을 조사하였다. 소조기 창조시의 연직유동성분의 공간적 분포는 구조물 주변역과 서쪽역에서 상승류의 흐름이 나타났고, 구조물 주변해역을 중심으로 남쪽역, 동쪽역 및 북쪽역에서 하강류 흐름이 나타났다. 그리고 낙조시의 흐름은 구조물의 동쪽역에서 상승류의 흐름이 강하게 분포하였다. 또한 구조물 주변해역에서는 상승류의 발생이 뚜렷하였다.

한편, 대조기 창조시의 연직유동성분의 공간적 분포를 보면 구조물 주변역에서는 하강류가 발생하였으나 line 2의 동쪽과 서쪽 해역에서는 상승류의 흐름이 나타났다. 또한 line 8은 남쪽해역의 일부분을 제외하고 전체적으로 상승류의 흐름이 뚜렷하게 나타났다. 또한 낙조시 line 2의 흐름은 구조물 중심 동쪽부근에서 상승류의 흐름이 나타났고 구조물에서 멀어질수록 하강류의 흐름이 나타났다. 또한 line 8의 표층에서는 상승류가 발생하였으며 중층에서는 하강류가 우점하였다. 그러나 저층에서는 상승류와 하강류가 번갈아 나타나는 특징을 볼 수 있다.

연직유동성분의 유량계산결과는 소조기 낙조시에 E-W line에서 259.6 m<sup>3</sup>/sec와 350 m<sup>3</sup>/sec로 창조시보다 크게 나타났으며 대조기에는 창조시가 614.3 m<sup>3</sup>/sec 및 1,235.2 m<sup>3</sup>/sec로 낙조시보다 크게 나타났다. 따라서 구조물 구축 주변해역에서의 단위면적당 상승류의 유량은 대·소조기 창·낙조시에 하강류에 대한 유량보다 크게 나타났다. 소조기에는 창조시보다 낙조시에 더 강하였으며, 대조기에는 창조시가 낙조시보다 큰 유량을 나타내고 있다.

### 감사의 글

본 연구는 해양수산부의 『인공 용승류를 이용한 어장환경 개선 연구』의 연구비 지원에 의해 수행한 연구결과의 일부입니다.

### 참고 문헌

- [1] 국립수산진흥원(1989), 전국 연안 인공어초 어장 생산성 조사, 사업보고 제 82호. pp. 107.
- [2] 국립수산진흥원(1992), 한국 연안 인공어초의 자원조성효과에 관한 연구, 사업보고 제 95호. pp. 89.
- [3] 김동선, 황석범(2006), 인공용승구조물 설치해역의 해양환경 특성, 해양환경안전학회지, 12(1), pp. 1-8.
- [4] 조규대, 김동선, 박성은(2003), 인공용승구조물 설치에 적합한 해역의 해양환경 특성, J. Kor. Fish. Soc., 36(2), pp. 187-192.
- [5] 해양수산부(2005), 인공용승류를 이용한 어장환경 개선 연구, 1차년도 보고서. pp. 375.
- [6] 해양수산부(2005), 인공용승류를 이용한 어장환경 개선 연구, 2차년도 보고서. pp. 299.
- [7] 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, pp. 72-76.
- [8] Yanagi, T. and M. Nakajima(1991), Change of oceanic condition by the man-made structure for upwelling, Marine Pollution Bulletin, 23, pp. 131-135.
- [9] Yanagi, T., S. Igawa, and O. Matsuda, O.(1995), Tidal Front at Osaka Bay, Japan, in winter, Continental Shelf Research, 15(14), pp. 1723-1735.
- [10] Yanagi, T. and S. Okada(1993), Tidal Front in the Seto Inland Sea, Memoirs of the Faculty of Engineering, Ehime University, 12-4, pp. 337-343.

원고접수일 : 2006 년 12월 01일

원고채택일 : 2006 년 12월 26일