



## 이 학 석 사 학 위 논 문

# 인공 해중산 설치에 따른 해수의 물리적 특성 변화



부경대학교대학원

해양산업공학협동과정

황 석 범

### 이 학 석 사 학 위 논 문

# 인공 해중산 설치에 따른 해수의 물리적 특성 변화

지도교수 김 동 선

이 논문을 이학석사 학위논문으로 제출함.

2007년 8월

부경대학교대학원

해양산업공학협동과정

황 석 범

## 황석범의 이학석사 학위논문을 인준함.

2007년 8월 일



Li	st of	Figures ······iii
Li	st of	Tables wi
At	ostrac	•t vii
1.	서론	
2.	자료	및 방법
	•	INTIONAL .
	21	해양관측
	2.2	이곳 해준사의 형태 ···································
	2.2. 2.3	자르 부서바버
	2.0.	
2	石礼	12
э.	설과	
	91	이고 ᆌ즈사 즈버어이 스오 여보 미 미드 보고
	ა.1. ე.ე	신승 해중신 구선극의 구근, 금근 옷 골도 군도 ·································
	3.2.	인종 해중산 구변역의 유공준포
	3.3.	인종 해당산 구면역의 연작유종정문(w-component) 문포
	3.4.	연직 전단(vertical shear) 및 상대와노(relative vorticity)의 계산…·35
4.	고찰	
	4.1.	수온, 염분 및 밀도의 계절별 특성45
	4.2.	인공 해중산 주변역의 유동
5.	결론	

6.	요약	58
7.	감사의 글	60
8.	참고문헌	62



## List of Figures

Fig. 1. Map showing the study area in southern sea of Korea.
Numbers are indicated depth(m)5
Fig. 2. Set up image of ADCP on the ship6
Fig. 3. Observation line along distance of 3km(a) and 6km(b)
(Numbers is CTD observation point). From the artificial
seamount(st. 01) to the circles of 4th distance is 500m,
respectively and most of outer located stations(st. 18, 19, 20
and 21) is indicated in radius of 4km7
Fig. 4. 3-dimensional image of artificial seamount
Fig. 5. Vertical distribution of temperature(°C), salinity(psu) and
sigma-t along the EW line(left panel) and SN line(right
panel) on 9th December 200516
Fig. 6. Vertical distribution of temperature(°C), salinity(psu) and
sigma-t along the EW line(left panel) and SN line(right
panel) on 27th April, 2006
Fig. 7. Vertical distribution of temperature(°C), salinity(psu) and sigma-t
along the EW line(left panel) on 28th August, 2006
Fig. 8. Vertical distribution of temperature(°C), salinity(psu) and
sigma-t along the EW line(left panel) and SN line(right
panel) on 18th October, 2006
Fig. 9. Scatter plot of current of mooring st. 01 on 16th-17th April
and August 29th-30th, 200522
Fig. 10. Stick vector plot of current with depth of mooring st. 01 on
16th-17th April, 200523
Fig. 11. Stick vector plot of current with depth of mooring st. 01 on

- Fig. 15. Vertical distribution of w-component along the EW and SN line on 27th July 2006(spring tide). Hatching and white color are indicated upwelling(+) and downwelling(-) flow, respectively.

- Fig. 19. Vertical distribution of vertical shear(upper penal) and relative vorticity(lower penal) along the EW and SN line at ebb current on 27th July 2006(spring tide). Hatching is indicated ascending value(+)at vertical shear and

## List of Tables

Table 1. Summary of current and temperature-salinity(T-S) observation … 9
Table 2. Statistics of vertical mean gradient of temperature on December 9, 2005, April 27, August 28 and October 18, 2006.
48



## Variation of Physical Characteristics in Seawater by Construction of Artificial Seamount

Suk Bum Hwang

Interdisciplinary Program of Ocean Industrial Engineering, Graduate School, Pukyong National University

#### Abstracts

To illustrate the variation of physical factors like water temperature, salinity, current around artificial seamount which is located in the South Sea of Korea, CTD observations and current measurements using ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) during neap and spring tides were carried out from April, 2005 to November, 2006.

Temperature, salinity and density(sigma-t) was nearly homogeneous through the whole depth by mixing of the seawater in winter. Stratification was not clear in spring, and it was only formed weakly in the surface layer shallower than 10m. In summer, stratification was formed between 10m and 20m depth, and in autumn between 30m and 40m. Vertical gradient of temperature was larger than that in the part of western area along the artificial seamount in summer and autumn. Difference in current velocity between surface and bottom layer before artificial seamount was not set up about 5.9 cm/sec, it means that relatively strong current exists in the bottom layer. Current direction after the set up of artificial seamount (size :  $18 \text{ m} \times 40 \text{ m} \times 40 \text{ m}$ ;  $H \times W \times L$ ) were shown different in the upper layer and lower layer, the boundary between the upper layer and lower layer was at  $27 \sim 30 \text{m}$  depth. When the size of the seamount was 40m in length bigger, the boundary was formed at 30-40m. Upwelling and downwelling were occurred around the seamount, and these vertical flows were connected from surface to bottom. The distribution of vertical shear and relative vorticity support the vertical flow around the seamount. The strength of vertical shear was higher and the direction of relative vorticity was anticlockwise (+) around the upwelling area.

N I II II

#### 1. 서 론

우리나라의 연안역은 도시화·산업화와 더불어 산업 및 생활폐수의 육상 유입으로 인한 지속적인 해양환경 오염과 대규모의 간척·매립사 업의 확대 등으로 인하여 어장환경 악화가 가속되고 있다. 또한 UN 해 양법(1994년 12월 발효), 일본, 중국 등의 배타적 경제수역 선포(2001 년 발효) 및 조업규제강화로 어장 축소, 이에 따른 수산자원의 어획량 이 줄어들고 있는 현실이다. 이러한 연안역의 환경오염 및 어장축소로 인하여 잡는 어업에서 기르는 어업으로의 수산자원의 육성에 대한 중 요성이 부각되고 있다. 또한 국내·외 어업여건의 변화에 능동적으로 대체하고 연안어업을 경쟁력 있는 산업으로 육성하기 위해서 현재 국 책 사업으로 바다 목장화 사업 및 인공어초 사업과 같은 수산자원조성 사업이 연안역에서 실시되고 있다.

이와 같은 수산자원조성사업 중 인공어초사업은 사용 어초의 구조, 크기, 배치형태 및 시설규모 등의 요인에 의해 크게 영향을 받으나 실 제 어장이용 측면에서 볼 때 시설규모의 크기가 가장 중요한 요인이라 할 수 있다. 또한 인공어초 시설어장은 어획량에 있어서 일반 어장에 비해 1.2~12.0(평균 2.7배)의 효과가 있고, 자연초 어장보다 1.3~2.2 배의 어획효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 어업생산에 집결되는 기 능 이외에 미성어 보호 육성 등 자원배양 기능과 어군을 유도하는 유 도기능을 갖고 있음이 확인되고 있다(국립수산진흥원, 1989, 1992).

한편 어장환경조성사업과는 다른 개념으로 해중에 구조물을 설치하 여 인공적으로 용승류를 발생시키는 개념으로 인공용승류를 이용한 어 장환경조성사업이 현재 남해안 거제 앞바다에서 시행되고 있다(해수부, 2005; 해수부, 2005; 해수부, 2006; 김 등, 2006; 김 등, 2006; 조

- 1 -

등, 2003).

일반적인 연안용승의 발생기작은 심층수가 표층으로 상승하는 현상 으로써 표층수가 다른 외력에 의해서 수송될 경우 그 자리를 보충하기 위한 저층의 해수가 연직 상방향으로 흐름이 생기는 일종의 보류이다 (T. Beer, 1997). 또한 연안용승의 경우 육지를 오른쪽에 두고 바람이 연안선과 평행한 북풍이 불 경우 에크만 수송(ekman transport)에 의 하여 용승이 발생한다(T. Yanagi, 1999). 연안용승이 발생하면 영양염 이 풍부한 심층수가 표층의 유광층까지 도달하여 먹이연쇄 작용으로 어군군집을 유도하는 데에 효과적이다. Ryther(1969)에 의하면, 용승 어장은 전 해양에서 면적이 0.1%에 그치지만 어류 생산량은 전해양의 50%에 달한다. 전 세계적인 용승어장으로 캘리포니아, 페루 및 서아프 리카에서 어군군집을 많이 형성하는 호어장으로 알려져 있다.

자연초의 경우 미국 캘리포니아 만에 위치하고 있는 EBES(El Bajo de Espiritu Santo) seamount의 정상부에서 안정도는 매우 낮게 나타 났으며, 등온선의 분포는 해중산 주변에서 낮아졌다(Castro et al., 2003). 이와 같은 해중산 주변의 환경변화는 플랑크톤 및 주위에 서식 하는 생물 군집들을 집적시키며 다른 환경에 비해 생물들의 높은 기초 생산력을 가지는 해역으로 나타났다(Roden and Taft, 1982; Castro et al., 2003). 또한 우리나라의 동해에 위치하고 있는 왕돌초의 경우 그 규모는 수심 100 m를 기준으로 남북으로 약 6~10 km, 동서로도 약 6 km로 전체 약 15 km<sup>2</sup>의 매우 넓은 면적으로 가지는 자연초로 알려져 있으며(국립수산과학원, 1977), 울진, 후포지역의 어민들을 중 심으로 주변해역에서의 어업활동이 활발히 이루어져 왔다(국립수산과학 원, 2003).

한편, 인공적으로 용승이 발생하기 위해서는 해저 수심이 유광층

(euphotic zone)보다 깊은 해역으로 우리나라의 경우 약 20 m 이상의 해역이어야 하고, 하계의 성층(stratification)이 발달한 조석 전선이 형 성되는 전선역에 존재하여야 하고, 저층의 강한 유속을 상부 유광층까 지 상승시킬 수 있는 강한 유속이 존재하여야 한다(Yanagi and Okada, 1993). 이러한 인공용승류의 발생기작은 저층의 강한 유속이 인공구조물에 의해서 유광층까지 상승시키는 개념으로 저층의 풍부한 영양염이 함께 부유되고 그에 따른 먹이 연쇄작용 및 어군 군집효과가 기대된다(Yanagi and Nakajima, 1991; Yanagi et al., 1995; Yanagi and Okada, 1993).

이와 같이 해저에 설치한 인공 용승발생구조물에 대한 연구사례를 보면 일본의 豊後水道 宇和海에서 인공용승류발생구조물(가로: 45 m, 세로: 10 m)의 설치에 의한 효과는 조류유속이 20% 증가하고, 아표층 의 클로로필 a 농도도 2~3배 증가, 동물플랑크톤의 개체수 및 침전량 도 2배로 증가하였다. 또한 저서생물의 경우 구조물 설치 후 2년간은 감소하였으며 3년 이후에는 종 개체수도 증가하였던 것으로 밝혀졌다 (Yanagi and Nakajima, 1991).

따라서 본 연구는 현재 한국 남해안 거제도 앞바다인 소매물도와 국 도 사이 해역에 설치된 인공 해중산에 의한 해수의 물리적 특성변화를 파악하기 위하여 CTD 및 ADCP를 이용하여 해양물리조사를 실시한다. 수온, 염분 및 밀도의 구조와 유동구조를 파악하여 해중산에 의한 효과 를 제시하고 해중산에 의하여 발생되는 상승류의 존재여부와 크기 및 범위를 알기 위하여 연직전단(vertical shear) 및 상대와도(relative vorticity)를 계산한다. 또한 연직전단 및 상대와도와 연직유동성분 (w-component)의 분포를 비교하여 상승류 및 하강류의 분포를 정량적 으로 제시한다.

- 3 -

#### 2. 자료 및 방법

#### 2.1. 해양관측

본 연구의 대상해역은 인공 해중산(정점 01 : 128° 30' E, 34° 36' N)을 중심으로 저층의 영양염이 표층으로 부상하여 확산될 가능성이 있는 주변해역으로 설정하였다(Fig. 1).

일반적으로 연안역에서의 ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler; RDI, workhorse mariner 300khz) 관측방법은 해저 계류용 틀(Trawl Resistant Bottom Mount; TRBM)을 이용한 고정점의 관측 과 정지된 선박 및 고정점에서 계류하는 방법 등이 있다. 또한 선박에 장착하여 관측하는 방법으로는 중·대형의 조사선에 부착되어있는 vessel mount형 ADCP와 소형 예인선에 연결되어 관측을 실시하는 towed-fish형 ADCP가 있다. 하지만 해양에서의 정점관측은 장기간의 관측으로 인한 기기유실의 위험이 수반되는 등 제한이 있다. 이에 따른 데이터를 획득하는 데에 문제가 있으며, vessel mount 형 ADCP의 경 우 시간적·경제적인 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 고정된 정 점에서의 관측보다 더 넓은 범위에서의 공간적인 흐름을 파악할 수 있 는 정선관측 방법을 채택하였다. 중·대형 조사선의 사용에 따른 제약 으로 시간적 및 경제적 문제를 최소화하기 위하여 소형선박(10 ton 미 만의 선박)에 ADCP를 거치하여 관측을 실시하였다(Fig. 2).

유동관측시기는 해중산이 설치되기 전인 2005년 4월 16~17일(소조 기)과 해중산의 규모가 18 m × 40 m × 40 m(H × W × L)인 8월 29~30일(소조기)에 Fig. 3의 st. 01에서 25시간 정점관측을 실시하였 다. 또한 해중산이 큰 규모(16~20 m × 42 m × 80 m : H × W × L)인 2006년 7월 27일(대조기) 및 10월 14일(소조기)에 직경 3 km로

- 4 -

해중산의 남북방향과 동서방향으로 지나는 정선관측을 실시하였다(Fig. 3(a), Table 1).

한편 해중산 규모에 따른 와류 및 연직유동성분(w-component)의 크기 및 범위를 보다 더 상세히 파악하기 위하여 조차를 고려하여 가 능한 연장된 범위인 직경 6 km에서 2006년 11월 30일(소조기)에 정 선관측을 실시하였다(Fig.3(b), Table 1).



Fig. 1. Map showing the study area in southern sea of Korea. Numbers are indicated depth(m).









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



Fig. 3. Observation line along distance of 3km(a) and 6km(b) (Numbers is CTD observation point). From the artificial seamount(st. 01) to the circles of 4th distance is 500m, respectively and most of outer located stations(st. 18, 19, 20 and 21) is indicated in radius of 4km.

먼저 정선 관측시 이동경로는 구조물을 중심(128° 30' E, 34° 36' N)으로 직경 3 km인 5개의 관측선을 위도와 경도별로 설정하여 실시 하였으며, 해중산의 중심을 지나는 관측선(line 3, 8)과 해중산 중심으 로부터 위·경도가 각각 1.5 km 떨어진 직경 3km인 관측선(line 1, 5 및 line 6, 10) 및 해중산의 끝단 부분을 지나는 관측선(line 2, 4 및 line 7, 9)을 설정하여 실시하였다(Fig. 3(a)). 한편, 직경 6 km로 확장 된 조사해역을 2006년 11월 30일 동서(EW) 및 남북(SN) 관측선을 2 회 왕복하여 유동을 정선 관측하였다(Fig. 3(b)).

선박 항행 시 선박의 속도는 여러 번의 테스트를 거친 결과, 자료의 최소 오차속도인 약 7 knot로 일정하게 유지하여 관측을 실시하였다. 선박의 정선 관측시 해중산에 대한 정확한 위치와 해중산을 지나는 관 측선 좌표 값의 위치오차를 최소화하기 위하여 DGPS(Differential Global Position System)를 ADCP와 연동하여 관측 선박의 정확한 위 치와 유속 값의 실시간 자료를 획득하여 결과에 나타내었다. ADCP의 ping의 간격은 초(sec)당 1개(ping/sec=1)로 설정하였고 해저면 추적 모드(Bottom tracking mode)를 실시하였으며 10 sec 및 60 sec 평균 된 자료를 사용하였다. 그리고 ADCP 측정오차범위는 Bin size(Depth) 를 4 m, ensemble(Δt)의 크기가 10 sec일 경우 1.18 cm/sec 이고 60 sec일 경우 0.74 cm/sec의 오차범위를 나타낸다(RDI, 1989).

수온·염분관측은 CTD(Conductivity Temperature Depth; Seabird, SBE-19)를 사용하였으며 관측시기는 2005년 12월 9일(동 계), 2006년 4월 27일(춘계), 8월 28일(하계) 및 10월 18일(추계)에 실시하였다(Table 1).

Current o	bservation	T-S observation	Type of structure
Period (tide)	Method of observation	Period	$(H \times W \times L, m)$
Apr.16-17, 2005. (Neap)	25hr mooring	_	None
Aug.29-30, 2005. (Neap)	observation	Dec. 9, 2005.	$18 \times 40 \times 40$
Jul.27, 2006. (Spring)	Jul.27, 2006.       Iine observation         (Spring)       Iine observation         Oct. 14, 2006.       (3 × 3 km)         (Neap)       Iine observation         Nov. 30, 2006.       Iine observation         (Neap)       (6 × 6 km)	Apr. 27, 2006.	
Oct. 14, 2006. (Neap)		Aug. 28, 2006.	$16\sim20\times42\times\\80$
Nov. 30, 2006. (Neap)		Oct. 18, 2006.	LE I

Table 1. Summary of current and temperature-salinity(T-S) observation

#### 2.2. 인공 해중산의 형태

연구해역에 설치된 해중산은 2005년부터 2006년까지 약 2년에 걸 쳐 설치되었다(김과 황, 2006; 김과 황, 2006; 해양수산부, 2002, 2002, 2005, 2005, 2006). 설치된 해중산은 블록(1 m × 1 m × 1 m)을 총 19,115개 투하하여 16~20 m × 42 m × 80 m(H × W × L)규모의 크기이다(Fig. 4).



Fig. 4. 3-dimensional image of artificial seamount.

#### 2.3. 자료 분석방법

연구해역의 공간적 유동분포를 파악하기 위하여 ADCP 자료로부터 유향, 유속의 시계열 분포를 작성하였다. 또한 유동의 연직성분 (w-component)의 수심별 분포도를 작성하여 상승류 및 하강류의 분포 를 파악하였다. 한편 CTD 자료는 수온 및 염분의 수심별 분포도를 나 타내었으며, 밀도(sigma-t)는 수온 및 염분자료를 이용하여 국제상태방 정식(International Equation of State, 1980)에 의거하여 계산하였다. 또한 ADCP의 연직유동성분(w-component)에 대한 신뢰도 및 오차에 대한 문제를 해결하기 위하여 연직전단(vertical shear) 및 상대와도 (relative vorticity)를 계산하였다. 계산에 사용된 자료는 ADCP에서의 수평유동성분(u, v-component)을 사용하였으며 수평유동성분의 오차 범위는 ensemble(Δt)의 크기가 60 sec 일 때 0.74 cm/sec를 나타내 었다.

1) 연직 전단(vertical shear) 계산

본 연구에서는 연직 전단을 이용하여 연직류의 크기를 계산하였고 (식 1), 관측된 연직유동성분(w-component)과 비교·분석하였다.

연직 전단(sec<sup>-1</sup>) = 
$$\sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z}\right)^2}$$
 ....(1)

여기서, u 및 v는 유속의 x 및 y성분을 나타내며 z는 ADCP의 수심 간 격인 4 m이다. 2) 상대와도(relative vorticity) 계산

CK the S

본 연구에서 상대와도를 이용하여 연직(z)방향의 와도성분을 간접적 으로 추정하였다. 상대와도는 연직류에 대한 방향(상승류 및 하강류)을 지시한다.

상대와도(sec<sup>-1</sup>) =  $\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$  .....(2)

여기서, u 및 v는 유속의 x 및 y성분을 나타내고,  $\partial x$  및  $\partial y$ 는 ADCP 관측 시 선박이 위도 및 경도 상으로 항행한 거리를 나타낸다. 식(2)에서 상대와도가 양(+)일 때, 즉 식(2)의 오른쪽 두 항이  $\partial v/\partial x > \partial u/\partial y$ 일 때 흐름은 반시계 방향으로 회전하여 상승류의 흐름 을 가진다. 또한 상대와도가 음(-)인 경우 즉  $\partial v/\partial x < \partial u/\partial y$ 일 때 흐 름은 시계방향으로 회전하여 하강류의 특성을 가진다(John, 1997).

प थ ज

#### 3. 결 과

#### 3.1. 인공 해중산 주변역의 수온, 염분 및 밀도 분포

Fig. 5는 2005년 12월 9일 동계의 수온, 염분 및 밀도(sigma-t)의 연직분포를 동서성분(EW line) 및 남북성분(SN line)으로 나타내었다.

먼저 동서성분에 대한 수온의 연직분포를 살펴보면, 서쪽인 정점 17 과 정점 21에서 표·저층에 걸쳐 14.5~17°C의 수온이 분포하고 있으며 동쪽인 정점 15에서 정점 19의 수온은 14.5℃로 나타났다. 서쪽에서 수온은 지역적으로 약 3.0°C 차이가 나는 고수온 분포를 나타내고 있 다. 또한 정점 15와 정점 19의 표·저층에서는 14.5~15.0°C 범위의 수 온이 균질하게 분포하고 있다. 한편 남북성분에 대한 수온의 연직분포 를 살펴보면 남쪽인 정점 16과 정점 20에서는 14.5℃의 수온대가 표· 저층에 걸쳐 균질한 분포를 나타내고 있으며, 북쪽인 정점 14와 정점 18의 수심 20 m 이천에서 16.5°C의 수온분포를 나타내고 있다. 염분 의 동서성분의 연직분포를 보면 서쪽인 정점 9에서 정점 21까지 33.75~34.00PSU로 전 수층에 걸쳐 거의 균질한 분포를 나타내고 있 으며, 서쪽으로 갈수록 약간 증가하였다. 또한 동쪽의 정점 15에서 정 점 19는 33.75PSU의 염분이 표·저층에 걸쳐서 분포하였다. 한편, 남 북성분의 염분분포를 살펴보면 정점 20에서 33.75PSU의 염분대가 표 ·저층에 걸쳐 존재하였으며 북쪽인 정점 14에서 정점 18까지는 34.00PSU의 염분대가 나타났다. 밀도(sigma-t)의 동서성분의 연직분포 는 전체적으로 25.0로 지역적인 차이가 작게 나타났으며 서쪽인 정점 21 주변에서 다른 해역에 비해 낮은 밀도 분포를 보였다. 또한 남북성 분의 연직분포를 보면 북쪽인 정점 6을 기준으로 북쪽역에서는 정점 25보다 작은 저밀도대가 분포하였으며 남쪽에서는 고밀도대가 존재하 고 있으나 그 차이는 약 0.3로 작게 나타났다.

Fig. 6은 춘계(2006년 4월 27일)의 수온, 염분 및 밀도(sigma-t)의 연직분포를 동서성분(EW line) 및 남북성분(SN line)으로 나타내었다.

동서성분에 대한 수온분포를 살펴보면, 수심 약 10~20 m 층의 이 천에서 그 이심보다 고수온분포를 나타냈으며 그 이심에서는 13.0°C의 균질한 수온분포를 나타내었다. 남북성분의 수온분포를 보면 전 수층에 서 약 13.0°C로 균질한 분포가 나타났으며 정점 1의 남쪽 수심 10m 이천에서는 13.0°C보다 약간 높은 수온대를 보이고 있다. 또한 동서성 분에 대한 염분분포를 보면 전 수층에 걸쳐 34.50PSU로 균질하게 분 포하였으며 일부 동쪽의 표층에서 다른 지역보다 0.25PSU 정도 낮은 염분이 존재하였다. 남북성분에 대한 염분분포를 보면 전 해역에 걸쳐 서 34.00PSU로 균질하게 분포하였으며 일부 북쪽의 표층에서 34.00PSU보다 약 0.25PSU 정도 높은 염분대가 존재하였다. 밀도의 연 직분포를 보면 수온 및 염분의 분포와 유사하게 전 수층에서 균질한 분포로 동서성분은 25.0, 남북성분은 26.0으로 그 차이는 약 1.0로 나 타났다.

2006년 8월 28일 하계에 실시한 수온, 염분 및 밀도(sigma-t)의 연 직분포를 나타내었다(Fig. 7). 하계에 실시한 수온, 염분 및 밀도 관측 은 기상상태 악화로 인하여 남북성분의 자료를 획득하지 못하여 결과 로 나타내지 못하였다.

먼저 수온은 전 수심에 걸쳐 15.0~27.0°C의 수온분포를 나타내어 정점과 수심에 따른 큰 차이를 나타내고 있다. 또한 해중산 지점인 정 점 1을 기준으로 서쪽에서는 수심 약 10~20 m에 강한 수온약층이 형 성되었으며 정점 1에서는 수온약층대가 수심 약 20~30 m로 낮아졌다. 또한 동쪽에서는 서쪽보다 수온약층이 강하게 전 수심에서 형성되지 않았으나 표층의 수온이 서쪽역 보다 약 3.0°C정도 높게 나타났다. 염 분의 연직구조를 보면 춘계(2006년 4월)에 비교하여 30.50~33.50PSU 로 염분이 감소하였으며, 표층과 저층에 차이가 약 3.50PSU 정도 나타 났다. 또한 정점 1을 기준으로 서쪽은 동쪽에 비해 고염분 분포를 나타 내고 있다. 한편 밀도의 연직분포는 수온의 연직구조와 유사한 수심 및 지역에서 밀도약층을 형성하였으며 표층에서 약 1.5정도 서쪽보다 동 쪽이 낮은 밀도대를 형성하였다.

Fig. 8은 2006년 10월 18일인 추계에 실시한 수온, 염분 및 밀도 (sigma-t)의 동서성분 및 남북성분에 대한 연직분포를 나타내었다.

동서성분의 관측결과 중 서쪽인 정점 17에서 정점 21까지의 자료는 관측에러로 해석이 불가능했다. 동서성분의 수온분포를 보면 수심 약 30~40 m에서 15.0~20.0°C의 수온약층이 강하게 형성하고 수심 약 25m 이천에서는 20.0°C 이상의 고수온이 분포하고 있다. 남북성분의 연직분포에서는 수심 약 30~40 m에서 강한 수온약층이 형성되고 수 심 약 10 m 이천에서는 22.0°C의 고수온대가 동서영역에 걸쳐 존재하 였다. 또한 수심 약 50 m 이천에서는 14.0°C보다 낮은 저수온대가 존 재하였다. 한편 염분의 연직분포는 수심 약 30~40 m에서 약한 염분약 층 해중산의 주변과 동쪽 및 남북쪽에서 존재하고 있다. 저층에서는 고 염분대가 형성되고, 표·저층간의 염분 차이는 약 2.00PSU 정도로 나 타났다. 밀도의 연직분포를 보면 수온의 연직분포와 유사한 경향을 나 타냈으며 밀도약층은 해중산의 주변 및 동쪽과 남북쪽의 수심 20 m 이천에서는 저밀도(22.0 이하)의 분포를 보이고 있다.



Fig. 5. Vertical distribution of temperature(°C), salinity(PSU) and sigma-t along the EW line(left panel) and SN line(right panel) on 9th December 2005.



Fig. 6. Vertical distribution of temperature(°C), salinity(PSU) and sigma-t along the EW line(left panel) and SN line(right panel) on 27th April, 2006.



Fig. 7. Vertical distribution of temperature(°C), salinity(PSU) and sigma-t along the EW line(left panel) on 28th August, 2006.



Fig. 8. Vertical distribution of temperature(°C), salinity(PSU) and sigma-t along the EW line(left panel) and SN line(right panel) on 18th October, 2006.

#### 3.2. 인공 해중산 주변역의 유동분포

2005년 4월 16~17일(소조기)과 8월 29~30일(소조기)에 인공 해중 산의 구축 지점(정점 01; 128° 30'E, 34° 36'N)에서 실시한 25시간 정점관측자료를 이용하여 조류의 분산도 및 Stick vector diagram을 Fig. 9와 Fig. 10 및 Fig. 11에 나타내었다.

조류 분산도의 결과(Fig. 9)에서의 조류의 주방향은 창조시 외해에 서 연안으로 유입되는 흐름인 북서류가 우세하게 나타났고 낙조시에는 연안에서 외해로 유출되는 남동류가 우세하게 나타났다. 또한 해중산의 규모가 18 m × 40 m × 40 m(H × W × L)으로 설치된 2006년 8 월 29~30일의 분포는 해중산이 설치되기 전의 분포보다 조류의 분포 범위가 더 넓게 나타났으며, 4월 16~17일의 최소 및 최대 유속은 0.5 cm/sec 및 45.7 cm/sec로 나타났고, 8월의 최고 및 최대유속은 0.5 cm/sec 및 76.2 cm/sec로 나타났다.

Fig. 10의 2005년 4월 16일~17일의 Stick vector diagram을 살펴 보면, 최강 낙조시(16일 14:00~18:00)에는 남동류의 분포가 표·저층 에서 분포하였으며 최강 창조시(16일 21:00~17일 01:00)에는 표·저 층에서 북서류의 유동 분포가 약 23.6 cm/sec로 나타났고 수심 31 m 이심에서는 평균유속이 약 18.3 cm/sec로 유속의 크기가 크게 나타나 고 있다. 한편, 최강 낙조시인 17일 5시부터 9시까지의 유동 분포는 수심 35 m 이천에서 북향류를 보이고 있으며 47 m 이심에서는 남동 류를 나타내었다. 이와 같은 해중산 설치 전에 발생하는 저층에서의 강 한 유동구조는 해중산 설치 시 해중산에 의한 상승류의 발생 가능성을 나타낸다.

한편 인공 해중산이 18 m × 40 m × 40 m(H × W × L)로 구축 된 2005년 8월 29일부터 30일까지의 유동분포는 낙조시(29일 06:30~ 09:30) 수심 약 35 m 이천에서 남동류의 흐름이 강하게 나타났으며, 수심 39 m 이심에서는 그 크기가 약 3.5 cm/sec로 표충보다 작게 나 타났다. 그리고 9시 30분부터 13시 30분까지의 유동분포는 수심 35 m를 기준으로 이천에서는 남향류가 나타났으며, 이심에서는 북향류의 분포가 나타났다. 또한 창조시인 29일 13시 30분부터 16시 30분까지 의 표·저충간의 유동분포는 표충과 저충의 다른 구조를 나타내었다. 수심 27 m 이천은 남서류의 흐름을 나타냈으며, 31 m 이심부터 북향 류로 유향이 바뀌어 북서류의 강한 유동분포가 나타났다. 특히 중층 수 심 31 m에서 평균 약 46.0 cm/sec의 강한 크기를 나타내었다. 19시 30분부터 23시 30분인 낙조시의 유동분포는 수심 27 m 이천에서 남 동류의 분포를 보였으며 수심 27 m에서 유향이 바뀌어 수심 31 m 이 심에서는 북향류의 유동분포를 나타내었다. 또한 저층으로 갈수록 북향 류의 크기가 작아졌다. 창조시(30일 01:30~05:30)의 유동분포는 수심 27 m 이천에서 남동류의 분포를 나타냈으며 수심 27~31 m에서 약한 북동류의 흐름이 나타났으며 43 m 이심에서 북동류가 크게 나타났다.

따라서 인공 해중산이 구축된 시기인 8월 29일~30일의 유동분포는 형성전인 4월 16일~17일의 분포와 다르게 표층과 저층의 흐름이 수심 27~31 m를 기준으로 상하의 유향 및 유속의 크기가 다르게 분포하였 다.



Fig. 9. Scatter plot of current of mooring st. 01 on 16th-17th April and August 29th-30th, 2005.



Fig. 10. Stick vector plot of current with depth of mooring st. 01 on 16th-17th April, 2005.



Fig. 11. Stick vector plot of current with depth of mooring st. 01 on 29th-30th August, 2005.
또한 2006년 7월 27일, 10월 14일 및 11월 30일의 결과는 해중산 의 규모가 16~20 m × 42 m × 80 m(H × W × L)에서의 ADCP 정 선관측 자료를 이용하여 수심별 Stick vector diagram을 나타낸 것이 다(Fig. 12, Fig 13 and Fig 14).

Fig. 12은 2006년 7월 27일 대조기 창·낙조시에 실시한 EW 및 SN line에서의 수평유동의 연직분포를 나타낸 것이다. 창조시의 SN line 결과는 관측 에러로 데이터 획득에 실패하여 결과를 나타내지 못 하였다. 창조시 EW line은 인공 해중산 동쪽의 수심 약 20 m 이천에 서 강한 남서류의 흐름이 나타났으며, 수심 약 30 m 이심에서는 강한 북서류의 흐름이 나타났다. 또한 수심 약 30~40 m의 흐름은 동쪽에서 북서류의 흐름을 보이다가 서쪽으로 갈수록 남서류로 흐름이 바뀌는 양상을 보이고 있다. 또한 낙조시의 EW line의 결과는 전 수심에 걸쳐 남동류의 흐름이 우세하게 나타났으며 SN line에서도 남동류의 흐름이 전반적으로 우세하게 나타났다. 이와 같이 하계인 2006년 7월 27일 대조기에 실시한 정선관측의 결과는 창조시에는 수심 약 30~40 m에 경계수심이 존재하였고 그 경계수심을 기준으로 하여 상층에서는 남서 류, 하층에서는 북동류의 흐름이 나타났다. 또한 낙조시의 흐름은 EW line과 SN line 모두 남동류의 흐름이 우세하게 나타났다.

Fig. 13은 2006년 10월 14일 소조기 창·낙조시에 실시한 EW 및 SN line에서의 수평유동의 연직분포를 나타낸 것이다. 인공 해중산 주 변을 횡단하는 EW line을 보면 전체적으로 수심 약 35 m에서 경계수 심이 존재하였고 경계수심을 기준으로 상층에서는 남향류, 하층에서는 북향류의 흐름이 우세하게 나타났다. 특히 인공 해중산 북쪽의 수심 약 19 m에서 저층까지 강한 북서류의 흐름이 우세하게 나타났다. 또한 SN line에서는 전체적으로 북서류의 흐름이 우세하게 나타났다. 한편 낙조시의 유동분포를 보면, EW line에서는 서로 다른 흐름이 수심별로 존재하였다. 즉 인공 해중산에서 서쪽 수심 약 35 m 이천에서는 남향 류의 흐름이 우세하였고, 동쪽에서는 북향류의 흐름이 나타났다. 또한 수심 35 m 이심에서는 북서류의 흐름이 나타났으며 인공 해중산 동쪽 의 수심 59 m 이심에서는 남향류의 흐름이 존재하였다. 특히, 수심 35 m의 경계수심을 경계로 그 이심(수심 43 m)에서는 다른 수심에 비하 여 강한 북향류를 보이고 있다. SN line 뿐만 아니라 EW line에서도 동쪽 수심 59 m 이심에서 남향류를 나타내는 3층류의 흐름이 나타났 다. 즉, 수심 약 27 m를 기준으로 이천에서는 남향류의 흐름이 나타났 으며 그 이심인 수심 27 m에서 북향류의 흐름이 그리고 수심 51 m 이심에서는 남향류의 분포를 보이고 있다. 특히, 수심 31~47 m에서의 북향류는 다른 수심의 유속에 비하여 강하게 나타나고 있다.

Fig. 14는 2006년 11월 30일 소조기 창·낙조시에 실시한 EW과 SN line에서의 수평유동의 연직분포를 나타낸 것이다. 창조시 EW line 의 결과를 보면 흐름의 크기는 작지만 전체적으로 북서류의 흐름이 우 세하였고 표층에서 저층으로 갈수록 흐름의 크기는 강해지고 흐름 방 향은 북서류와 남서류가 혼합하여 나타나는 유동분포특성을 보이고 있 다. 또한 SN line에서는 34.584°N에서 그 남쪽의 수심 약 20 m 이천 에서는 남서류의 흐름이 우세하였으나 다른 지역에서는 표층에서 수심 약 45 m까지 북향류의 성분이 우세하게 나타났다. 한편, 인공 해중산 북쪽의 수심 약 50 m이심에서의 유동의 세기는 다른 지역에 비하여 크고 그 방향은 남·북향류가 번갈아 가면서 나타났다. 한편 낙조시에 는 EW 및 SN line에서 전 수심 및 지역에 걸쳐 남동류의 흐름이 우세 하게 분포하였다. 특히 SN line에서 북쪽역으로 갈수록 전 수심에 걸쳐 서 그 크기가 강하게 나타났다.



Fig. 12. Vertical distribution of stick vector along the EW and SN line on 27th July 2006(spring tide).



Fig. 13. Vertical distribution of stick vector along the EW and SN line on 14th October 2006(neap tide).



Fig. 14. Vertical distribution of stick vector along the EW and SN line on 30th November 2006(neap tide).

#### 3.3. 인공 해중산 주변역의 연직유동성분(w-component) 분포

인공 해중산에 의한 상승류의 발생 유무 및 그 크기와 공간적 분포 범위를 파악하기 위해서 ADCP에서 관측된 연직유동성분 (w-component)을 분석하였다.

Fig. 15는 2006년 7월 27일 대조기 창·낙조시에 실시한 EW 및 SN line에서의 연직유동성분의 분포를 나타낸 것이다. 창조시의 SN line 결과는 관측 에러로 데이터 획득에 실패하여 결과를 나타내지 못 하였다. 창조시 EW line에서는 인공 해중산을 중심으로 동쪽인 128.5°E~128.51°E에서 2.0 cm/sec 이상의 크기를 가지는 상승류의 분포가 표·저층에 걸쳐서 우세하게 나타났다. 또한 낙조시의 결과를 보면, EW line에서는 해중산 서쪽에서 상승류의 흐름이 표·저층에 걸 쳐서 강하게 나타났으나 동쪽으로 갈수록 하강류보다 상승류의 세기가 약해지면서 해중산 정상부에서 하강류의 분포를 하고 있다. SN line에 서는 해중산 중심에서 하강류가 약 4.0 cm/sec 이상의 크기로 존재하 였으며, 남쪽 및 북쪽역에서 상승류의 분포가 약 2.0 cm/sec로 나타났 다. 이와 같이 2006년 7월 27일 대조기에 실시한 연직유동분포는 창 · 낙조시 모두 상승류의 분포가 하강류 보다 우세하게 나타났으며, 낙 조시에는 상승류 및 하강류가 번갈아 분포하는 형태를 보이고 있다. 특 히 낙조시의 해중산 정상부에서는 하강류가 그 주변에는 상승류가 강 하게 나타나는 특성을 보이고 있다.

Fig. 16은 2006년 10월 14일 소조기 창·낙조시에 실시한 EW 및 SN line에서의 연직유동분포를 나타낸 것이다. 창조시 EW line에서는 해중산을 중심으로 하여 동쪽 및 서쪽 끝부분에서 상승류의 흐름이 약 4.0 cm/s 이상의 크기로 존재하였으며 서쪽 및 동쪽 끝 부분 (128.488°E 및 128.516°E)에서 하강류가 미약하게 존재하였다. SN line에서는 34.591°N~34.596°N 지역에서 전 수심에 걸쳐 하강류의 흐름이 존재하였으나 해중산을 중심으로 하여 수심 약 40 m 이심의 동쪽에서 상승류의 분포가 나타났으며 저층으로 갈수록 상승류의 크기 가 강한 분포특징을 보이고 있다. 낙조시의 EW line에서는 수심 약 35 m 이천에서는 하강류가 나타났으나 그 이심에서는 상승류의 분포를 보 이고 있다. 또한 SN line에서도 EW line과 유사하게 수심 약 31 m 이 심에서 해중산을 중심으로 하여 상승류와 하강류의 분포가 번갈아 나 타났다.

Fig. 17은 2006년 11월 30일 소조기 창·낙조시에 실시한 EW line 과 SN line에서의 연직유동분포를 나타낸 것이다. 창조시 EW 및 SN line에서는 전체적으로 상승류의 흐름이 우세하게 나타났으며 북쪽역 끝부분에서 하강류가 일부 존재하였다. 낙조시 EW line에서 동쪽에서 서쪽으로 갈수록 상승류에서 하강류로 번갈아 가면서 나타나는 분포를 보였으나 SN line에서는 전체적으로 상승류의 흐름이 우세하게 나타났 다. 또한 동계인 11월 30일의 상승류 및 하강류의 분포는 해중산에 의 한 효과와 태양복사 에너지의 감소로 인한 표층과 저층간의 자연 Mixing로 표층과 저층에 걸쳐서 나타나는 상승류와 하강류의 분포가 지배적으로 나타났다고 생각된다.



Fig. 15. Vertical distribution of w-component along the EW and SN line on 27th July 2006(spring tide). Hatching and white color are indicated upwelling(+) and downwelling(-) flow, respectively.



Fig. 16. Vertical distribution of w-component along the EW and SN line on 14th October 2006(neap tide). Hatching and white color are indicated upwelling(+) and downwelling(-) flow, respectively.



Fig. 17. Vertical distribution of w-component along the EW and SN line on 30th November 2006(neap tide). Hatching and white color are indicated upwelling(+) and downwelling(-) flow, respectively.

#### 3.4. 연직 전단(vertical shear) 및 상대와도(relative vorticity)의 계산

인공 해중산 주변에서 발생하는 와류의 크기 및 형성범위를 파악하 기 위하여 수평유동성분(u, v-component)을 이용한 연직전단(vertical shear) 및 상대와도(relative vorticity)를 계산하여 Fig. 18 - Fig. 23 에 나타내었다.

계산된 연직전단 및 상대와도를 관측된 연직유동성분과 비교분석하 여 상승류 및 하강류에 대한 분포를 정량적으로 제시하였다. 그림에서 +값(음영부분) 및 -값(백색부분)은 연직전단에서 각각 상승류 및 하강 류의 크기를, 상대와도에서는 연직류의 방향을 나타낸다. 따라서 상대 와도에서의 +값은 반시계 방향의 회전인 상승류의 흐름을 나타내고 -값은 시계 방향의 회전인 하강류의 흐름을 나타낸다(John, 1997).

Fig. 18 및 Fig. 19는 2006년 7월 27일 대조기의 연직전단 및 상 대와도의 결과이다. 먼저 창조시(EW line)의 해중산의 서쪽인 128.484°E~128.488°E에서는 연직전단의 크기가 약 2.5×10<sup>-2</sup> sec<sup>-1</sup>로 나타났으며 해중산 중심부까지는 약 2.3×10<sup>-2</sup> sec<sup>-1</sup>로 작게 나타났다. 반면, 해중산 동쪽인 128.502°E~128.508°E의 수심 약 15~43 m에서 연직전단의 값이 약 3.8×10<sup>-2</sup> sec<sup>-1</sup>로 가장 높은 분포를 나타내었으며 128.51°E의 수심 약 15~19 m에서 일부 높게 나타나는 분포를 보였 다. 또한 창조시 상대와도는 해중산의 서쪽과 정상부에서는 +의 분포 를 보였으며 128.504°E~128.507°E에서는 -값이 우세하였으며, 128.507°E~128.510°E에서는 +값이 높은 분포를 나타내었다. 한편 낙 조시 EW line의 결과는 연직전단의 값이 서쪽 128.486°E~128.496°E 의 수심 약 15~30 m에서 2.6×10<sup>-2</sup> sec<sup>-1</sup>로 높은 분포를 나타내었으 며 동쪽에서는 1.9×10<sup>-2</sup> sec<sup>-1</sup>로 작게 분포하였다. 또한 상대와도의 결과 연직전단과 같은 지역에서 상승류(+)와 하강류(-)의 부분이 혼재 하고 있었다. SN line의 결과는 연직전단의 크기는 해중산 정상부에서 높게 나타났으며, 특히 수심 약 11~27 m와 43~51 m에서 3.4×10<sup>-2</sup> sec<sup>-1</sup> 및 5.0×10<sup>-2</sup> sec<sup>-1</sup>로 높게 나타났다. 또한 상대와도의 결과 해중 산 정상부에서 + 값인 상승류의 방향을 지시하고 있다. 따라서 2007년 7월 27일 하계의 연직전단 및 상대와도의 결과는 창조시의 EW line에 서는 해중산의 동쪽에서 상승류의 분포가 나타났으며, 낙조시에는 서쪽 에서 상승류의 분포가 나타났다. 또한 SN line에서는 해중산의 정상부 에서 상승류의 분포가 나타났다.

Fig. 20 및 Fig. 21은 2006년 10월 14일 소조기의 연직전단 및 상 대와도의 결과를 나타낸 것이다. 먼저 창조시 EW line에서의 결과를 보면 연직전단은 수심 약 30 m 이천에서 크기가 작게 나타났으며 이 심에서는 약 4.9×10<sup>-2</sup> sec<sup>-1</sup>로 높게 나타났다. 또한 상대와도의 결과 수심 약 30 m 이심에서 + 값을 가지는 상승류의 부분이 많이 분포하였 다. 특히, 128.508°E~128.516°E의 수심 약 47~59 m에서 연직 전단 의 크기가 높게 나타났으며 상대와도의 결과에서도 +값을 나타내는 상 승류의 분포역으로 나타났다. 또한 SN line의 결과를 보면 연직전단은 34.593°N~34.612°N의 수심 약 30~40 m에서 약 4.2×10<sup>-2</sup> sec<sup>-1</sup>로 높은 값을 나타내고 있으며 해중산의 남쪽인 34.589°N~34.594°N과 북쪽인 34.609°N~34.612°N의 수심 약 50 m 이심에서 약 4.0×10<sup>-2</sup> sec<sup>-1</sup> 및 3.6×10<sup>-2</sup> sec<sup>-1</sup>로 높은 값을 나타내고 있다. 또한 상대와도에 서는 수심 약 30~40 m 이심에서 전체적으로 +값을 나타내고 있다. 한편 낙조시 EW line의 연직전단의 결과를 보면 서쪽 수심 약 40 m 이심에서 높게 나타났으며 128.486°E~128.492°E의 수심 약 30~35 m에서 5.2×10<sup>-2</sup> sec<sup>-1</sup>이상의 분포가 일부 존재하였으며, 128.486°E~ 128.504°E의 수심 약 40 m 이심에서 5.7×10<sup>-2</sup> sec<sup>-1</sup>의 높은 분포를

나타냈다. 또한 상대와도의 분포를 보면 서쪽 128.486°E~128.490°E 에서 + 값인 상승류의 분포를 나타내고 있으며, 해중산 정상부의 수심 약 20 m 이심에서 +값의 분포를 보였다. SN line의 연직전단 결과 수 심 약 30 m 이천에서의 분포는 동쪽 및 서쪽에서 약 2.1×10<sup>-2</sup> sec<sup>-1</sup> 로 나타났으며 서쪽 34.587°N~34.595°N의 수심 약 40 m 이심에서 높은 값을 나타냈으며 동쪽 34.604°N~34.608°N의 수심 약 43 m 부 근과 34.608°N~34.613°N의 수심 약 49 m 이심에서 높은 값을 나타 내었다. 또한 상대와도의 결과 연직전단이 큰 지역인 서쪽과 동쪽에서 + 값인 반시계방향의 회전을 보이고 있다. 따라서 2007년 10월 14일의 연직전단 및 상대와도의 계산결과는 창조시 수심 약 30 m를 경계로 이천에서는 연직전단의 크기가 약하게 나타났으며 이심에서는 강하게 나타났다. 또한 30 m 이심의 연직전단의 크기가 강한 분포역에서의 상 대와도는 반시계 방향인 상승류를 나타내었다. 낙조시에는 수심 약 40 m를 기준으로 이천에서는 연직전단의 크기가 약하게 분포하였고 이심 에서는 강하게 나타났다. 또한 상대와도의 계산 결과 해중산 중심으로 상승류의 분포를 나타내었다.

2006년 11월 30일에 실시한 연직전단 및 상대와도의 결과를 보면 (Fig. 22 and Fig. 23), 창조시 EW line의 결과 연직전단은 해중산 서쪽 인 128.470°E~128.500°E의 수심 약 35 m 이심에서 약 1.6×10<sup>-2</sup> sec<sup>-1</sup> 로 나타났으며 동쪽인 128.506°E~128.532°E의 수심 약 35 m 이심에서 약 2.6×10<sup>-2</sup> sec<sup>-1</sup>로 크게 분포하고 있다. 상대와도의 결과 연직전단이 크게 나타나고 있는 동쪽인 128.518°E~128.530°E에서 + 및 -값이 혼재 하는 분포를 나타내었다. 또한 SN line에서는 수심 약 20 m 이심의 남쪽 과 북쪽에서 연직전단이 약 5.7×10<sup>-2</sup> sec<sup>-1</sup>로 큰 값을 나타내고 있으며 상대와도의 결과는 수심 약 27 m 이심에서 +값을 나타내는 분포가 번갈

아가는 경향을 나타냈으며, 연직전단의 큰 값을 나타내는 해중산 주변인 34.598°N~34.602°N에서는 + 값인 반시계 방향을 나타내었다. 또한 상대 와도의 결과 서쪽 128.470°E~128.478°E의 수심 약 30 m 이심에서 +값 을 나타내고 있으며 해중산 주변인 128.492°E~128.508°E의 수심 약 30 m 이심에서 +값을 나타내고 있으며, 연직전단의 큰 값을 나타내고 있는 128.518°E~128.530°E의 수심 약 30 m 이심에서도 +값을 나타내는 반 시계방향인 상승류의 방향을 나타내고 있다. SN line에서는 수심 약 20 m 이심의 남쪽과 북쪽에서 연직전단이 약 5.7×10<sup>-2</sup> sec<sup>-1</sup>로 큰 값을 나 타내고 있다. 또한 상대와도의 결과 서쪽 128.470°E~128.478°E의 수심 약 30 m 이심에서 +값을 나타내고 있으며 해중산 주변인 128.492°E~ 128.508°E의 수심 약 30 m이심에서 +값을 나타내고 있으며, 연직전단의 큰 값을 나타내고 있는 128.518°E~128.530°E의 수심 약 30 m 이심에 서도 +값을 나타내는 반시계방향인 상승류의 방향을 나타내었다. 상대와 도는 34.576°N~34.604°N의 수심 약 35 m 이심에서 +값을 나타내고 있 다. 한편 낙조시 EW line의 연직전단의 결과를 보면 수심 약 30 m 이심 에서 연직전단이 약 4.5×10<sup>-2</sup> sec<sup>-1</sup>로 크게 나타나고 있으며 서쪽보다 동 쪽 해역에서 크게 분포하였다. 또한 상대와도의 결과 34.576°N~ 34.604°N의 수심 약 35 m 이심에서 +값을 나타내고 있다. 이와 같이 2007년 11월 30일에 실시한 연직전단 및 상대와도의 결과 수심 약 20~30 m를 기준으로 이천에서는 연직전단의 크기가 약하게 나타났으며 이심에서는 크기가 강하게 나타냈으며 상대와도는 상승류의 방향을 나타 내었다. 동계의 연직전단 및 상대와도의 분포는 태양 복사에너지의 감소 및 바람에 의한 혼합으로 의한 효과와 해중산에 의한 상승류의 효과가 함 께 발생되어 수심 약 20~30 m를 기준으로 연직혼합이 잘 발달되었다고 생각된다.



Fig. 18. Vertical distribution of vertical shear(upper penal) and relative vorticity(lower penal) along the EW and SN line at flood current on 27th July 2006(spring tide). Hatching is indicated ascending value(+)at vertical shear and counter-clockwise direction(+) at relative vorticity.



Fig. 19. Vertical distribution of vertical shear(upper penal) and relative vorticity(lower penal) along the EW and SN line at ebb current on 27th July 2006(spring tide). Hatching is indicated ascending value(+)at vertical shear and counter-clockwise direction(+) at relative vorticity.



Fig. 20. Vertical distribution of vertical shear(upper penal) and relative vorticity(lower penal) along the EW and SN line at flood current on 14th October 2006(neap tide). Hatching is indicated ascending value(+)at vertical shear and counter-clockwise direction(+) at relative vorticity.



Fig. 21. Vertical distribution of vertical shear(upper penal) and relative vorticity(lower penal) along the EW and SN line at ebb current on 14th October 2006(neap tide). Hatching is indicated ascending value(+)at vertical shear and counter-clockwise direction(+) at relative vorticity.



Fig. 22. Vertical distribution of vertical shear(upper penal) and relative vorticity(lower penal) along the EW and SN line at flood current on 30th November 2006(neap tide). Hatching is indicated ascending value(+)at vertical shear and counter-clockwise direction(+) at relative vorticity.



Fig. 23. Vertical distribution of vertical shear(upper penal) and relative vorticity(lower penal) along the EW and SN line at ebb current on 30th November 2006(neap tide). Hatching is indicated ascending value(+)at vertical shear and counter-clockwise direction(+) at relative vorticity.

### 4. 고 찰

본 연구는 우리나라 경남 남해안에 설치된 인공 해중산에 대하여 설 치효과를 파악하기 위하여 유동관측 및 수온·염분관측을 실시하여 해 중산에 의한 수온, 염분 및 밀도 분포와 유동분포의 변화와 그 범위를 조사하였다.

### 4.1. 수온, 염분 및 밀도의 계절별 특성

연구해역의 수온·염분 및 밀도의 계절 변동은 다음과 같다. 해중산 의 규모가 18 m × 40 m × 40 m(H × W × L)로 구축된 동계(2005 년 12월 9일)의 수온, 염분 및 밀도(sigma-t) 분포를 보면 표·저층간 의 연직혼합에 의하여 전 수심이 수온, 염분 및 밀도의 차가 작게 나타 났다. 수온은 북서쪽이 남동쪽보다 약 2°C정도 고수온 분포를 하고 있 으며, 염분은 북서쪽에서 약 0.25PSU 정도 고염분을 나타냈다. 또한 밀도는 북서쪽에서 약 0.25 정도의 밀도를 형성하고 있으며, 전 수심에 걸쳐 균질한 수괴분포를 보이는 순압적인(barotropic) 구조를 나타내고 있다(Fig. 5). 또한 해중산의 규모가 16~20 m × 42 m × 80 m(H × W × L)로 구축된 춘계(2006년 4월 27일)의 수온, 염분 및 밀도 (sigma-t)연직분포는 동계에 혼합되었던 수괴들이 동서성분에서 수온 대가 약 10~20 m에서 나타났으며 일부 동쪽(정점 07~19) 및 북쪽(정 점 06~18)에서 약한 고염분 및 고밀도 대를 형성하였다(Fig. 6). 한편 하계인 2006년 8월 28일 수온, 염분 및 밀도(sigma-t)의 결과는 정점 1을 기준으로 서쪽에서는 수심 약 10~20 m에 강한 수온약층이 형성 되었으며 해중산 구축지점인 정점 01에서는 수온 약층이 수심 약 20~30 m로 낮아졌다. 이와 같이 해중산 상부로 수온약층이 수렴하는 결과를 보이는 것은 해중산에 의한 수온분포의 변화라고 생각된다(Fig. 7). 추계(2006년 10월 18일)의 수온, 염분 및 밀도(sigma-t)의 연직구 조는 표층수의 냉각 및 바람에 의한 표층혼합으로 인하여 약층의 형성 수심이 하계에 비해 약 20 m 정도 깊은 30~40 m에 존재하였다. 또한 지역적인 차이는 크게 나타나지 않았으며, 수심에 따른 구배가 큰 경압 적인(baroclinic) 분포를 보였다(Fig. 8).

따라서 본 연구해역의 수온, 염분 및 밀도의 분포는 동계의 경우, 표 ·저층에 걸쳐서 균질한 수괴 분포를 나타내었다. 이와 같은 이유는 태 양복사에너지의 감소로 인하여 표·저층간의 자연 혼합과 해중산에 의 한 상승류의 효과가 더해져 성층이 완전히 파괴되고 그에 따라서 전 수층에 걸쳐 균질한 해수가 존재한다고 생각된다. 한편 춘계는 수심 약 10 m 이천에서 약한 성층의 형성을 볼 수 있었으며, 본 연구해역은 평 균 수심이 약 60m로 수심이 얕은 연안역보다 성층의 형성시기가 늦어 서 일부 표층에서만 성층현상을 볼 수 있었다. 이와 같은 성층의 존재 는 표층에서의 태양열에 의한 가열현상이라 볼 수 있다. 또한 하계에서 의 성층의 분포 수심은 약 10~20 m에 존재하였으며 추계에는 30~40 m 에 존재하였다. 하계의 표층은 태양복사열로 인하여 표층수온의 높 은 상승을 이루며, 표·저층간의 수온차로 인하여 강한 성층이 형성되 었다고 생각된다. 그리고 추계의 경우 하계에 존재한 강한 성층이 서서 히 파괴되기 시작하여 성층이 깊어지며 수온의 범위도 작아지는 분포 를 나타내었다.

해중산에 의하여 성층이 파괴되거나 해중산 주변역에서의 성층 변화 를 살펴보기 위하여 성층이 강하게 형성된 시기인 하계와 추계에서 수 온의 기울기(Vertical gradient)를 Fig. 24와 Table 2에 나타내었다. 본 연구해역에서의 조류의 주축은 동-서 방향으로, 주방향인 EW line

- 46 -

상의 수온 기울기를 나타내었다. 먼저 하계의 수온의 기울기는 수온약 층인 수심 10~20 m에서의 해중산 서쪽과 동쪽에서의 수온의 기울기 를 비교 하였을 때 해중산 동쪽에서 기울기가 평균 0.35℃ m<sup>-1</sup>로 나타 났지만 해중산 서쪽에서는 평균 0.47°C m<sup>-1</sup>로 후면부의 기울기가 크게 나타났다(Fig. 24(a) and Table 2). 또한 수심 약 10~40 m에서 해중 산의 동쪽 정점(st. 07, 11 and 15)보다 해중산의 서쪽 정점(st. 09, 13 and 17)에서 수온이 약 1.8°C 낮아지는 저수온 분포를 보이고 있 다. 추계 낙조시에 관측된 EW line에서의 수온약층의 기울기는 해중산 의 전면부인 서쪽에서는 평균 0.51°C m<sup>-1</sup>, 후면부인 동쪽에서는 평균 0.38°C m<sup>-1</sup>로 해중산 전면부에서 기울기가 크게 나타났다(Fig. 24(b) and Table 2). 한편 동계(2005년 12월 9일)와 춘계의 기울기는 평균 약 0.03°C m<sup>-1</sup>로 동쪽과 서쪽의 차이가 거의 나지 않는 균질한 분포를 나타냈다. 이와 같이 하계 및 추계에서의 공간적인 수온 분포의 발생 원인을 보면, 하계에는 창조류인 서향류(북서류) 및 추계에는 낙조류인 동향류(남동류)가 우세하여(Fig. 9), 조류의 방향과 인공 해중산의 효과 로 인한 것으로 생각한다. 즉, 조류에 따른 해중산 동·서쪽에서 기울 기의 계절(하계 및 추계) 차이는 하계의 경우 표층의 고온수가 최대 28.0°C까지 분포하여 표·저층간의 수온의 차이가 많이 나타나 저층의 저온수가 조류의 진행방향에 따라서 해중산에 의해 상승되어 해중산의 서쪽에서 수온을 하강시키고, 표·저층간의 수온차로 인한 기울기의 차 이가 크게 나타났다고 생각된다. 하지만 추계에서는 22.0°C의 등온선 이 수심 약 30 m 이천까지 균질하게 분포하고 하계와의 성층 깊이가 약 20 m 이며 하계와의 표층 고온수의 차이도 약 6.0°C로 크게 나타 난다. 따라서 추계의 해중산 동·서쪽에서 수온의 기울기 차이는 표층 과 저층간의 수온차가 하계보다 크지 않으므로 하계보다 기울기의 차 이가 작게 나타났다.

따라서 수온의 연직구조는 하계의 경우 서쪽인 정점 09, 13 및 17(dash line)의 경우 수심 10~20 m 와 20~30 m 사이에서 부분 혼 합이 발생하는 부분이 나타났으며, 추계에서는 동쪽인 정점 07, 11 및 15(solid line)에서 수심 30~40 m에서 부분 혼합이 발생하는 층이 나 타났다.

Table 2. Statistics of vertical mean gradient of temperature onDecember 9, 2005, April 27, August 28 and October 18, 2006.

Date	Vertical gradient(°C m <sup>-1</sup> )	
	West area	East area
Dec. 9, 2005.	0.02	0.03
Apr. 27, 2006.	0.03	0.03
Aug. 28, 2006.	0.32 (0.47)	0.28 (0.35)
Oct. 18, 2006.	0.04 (0.51)	0.06 (0.38)

( ) vertical mean gradient of temperature at thermocline depth on August 28 and October 18, 2006.

이러한 부분 혼합층은 해중산 구축 후 해중산 배후에서 연직류에 의 한 와류의 발생으로 부분적인 혼합이 되었다고 생각한다. Castro et al.(2003)이 캘리포니아 만에 위치한 EBES 해중산에서 관측한 수온약 층의 연직 분포에서는 해중산 후면부에서 수온의 기울기가 약 0.25°C m-1로 나타났으며, 해중산 정상부에서는 수온의 기울기가 0.1°C m-1 로 등온선의 구조가 해중산 정상부로 수렴하는 결과를 나타내었다. 이 러한 결과는 본 연구해역에서의 해중산 동서쪽에서 수온 분포와 다른 결과를 나타내지만 하계 및 추계에 나타난 조류에 따른 해중산 주변에

- 48 -

서의 수온 기울기의 차이와 연직 혼합으로 인한 성층의 파괴는 해중산 규모의 차이(약 103 배)라 판단된다. 또한 추계 SN line에서 나타난 해중산 정상부로의 수온 분포의 수렴(Fig. 8)은 Castro et al.(2003)에 서 나타낸 seamount로 수렴하는 연직전단(vertical shear)과도 연관성 이 있다.





Fig. 24. Vertical profile of temperature at st. 9, 13, 17(dash line) and st. 7, 11, 15(solid line) along EW line on August 28(flood) and October 18(ebb), 2006. Thermocline is indicated with the hatching area.

#### 4.2. 인공 해중산 주변역의 유동

해중산 구축 전인 2005년 4월 16~17일에 실시한 정점관측 결과 표 층의 평균유속은 11.3 cm/sec, 저층의 평균유속은 5.4 cm/sec로 표층 과 저층의 유속차는 약 5.9 cm/sec로 그 차이가 작게 나타났다. 일반 적으로 표층에서 저층으로 갈수록 마찰력에 의한 유속 감소현상을 볼 수 있으나 본 연구해역에서는 저층의 유속도 일부 강하게 존재하여 인 공적으로 용승을 발생시킬 수 있는 흐름의 존재를 파악되었다(Fig. 10). 이러한 결과는 해중산 구축전인 2001년 8월에 조 등(2003)이 실 시한 해중산 주변에서의 유동관측 결과와도 유사하게 나타났다. 또한 저층에 일부 강하게 나타나는 유동구조는 해중산 주변역에서 하계 저 층의 고농도 영양염을 표층으로 상승시킬 수 있는 물리적인 작용으로 발생 가능할 것이다. 또한 해중산의 규모가 18 m × 40 m × 40 m(H × W × L)인 정점관측결과 수심 약 27~35 m을 경계로 상층과 하층 에서의 유동구조가 바뀌는 분포 특성을 나타냈다(Fig. 11).

한편, 해중산 구축 후의 공간적인 유동변화를 파악하기 위한 정선관 측 결과를 보면 수심 약 30~40 m를 기준으로 상층과 하층의 다른 유 동특성을 보이는 경계수심이 존재하였다. 즉 하계인 2006년 7월 27일 대조기에 실시한 정선관측의 결과는 창조시에는 약 30~40 m에 경계 수심이 존재하였고 그 경계수심을 기준으로 하여 상층에서는 남서류, 하층에서는 북동류의 흐름이 나타났다. 또한 낙조시의 흐름은 EW line 과 SN line 모두 남동류의 흐름이 우세하게 나타났다(Fig. 12).

Fig. 13에 나타낸 2006년 10월 14일 소조기에 실시한 정선관측의 결과를 살펴보면, 창조시의 동서방향에서는 수심 약 35 m 이천에서는 남향류의 흐름이 우세하였고 이심에서는 북서류의 흐름이 존재하였다. 또한 남북방향에서는 수심 15 m 이천에서는 북서류의 흐름이 존재하 였고 그 이심에서는 표층보다 흐름이 더 강하게 나타났으며 서쪽에서 동쪽으로 갈수록 그 크기가 강하게 나타났다. 한편 낙조시의 결과는 수 심 약 30 m를 기준으로 이천에서 남향류 및 남동류의 흐름이 나타났 다. 또한 수심 30~50 m에서는 북향류 및 북서류의 흐름이 나타났으며 수심 약 50 m 이심에서는 북향류 및 남향류가 나타나거나 북서류의 흐름으로 3층 구조를 가지는 분포가 나타났다. 이러한 유동분포의 결과 는 10월(추계)인 관측시기에 경계수심(수심 약 27~35 m)에서 성층이 형성되어 그 이천과 이심의 흐름이 서로 다르게 나타났다고 생각한다. 또한 수심 50 m 지역에서 흐름이 서로 다른 이유는 해중산 형성으로 인한 저층에서의 확산 및 와류의 효과로 그 이천과는 다르게 분포한다. 2006년 11월 30일 소조기 창조시에는 북서류의 흐름이 우세하게 분포 하였으며 낙조시에는 남동류의 흐름이 우세하게 나타났다. 또한 창조시 보다 낙조시의 흐름의 크기가 더 크게 나타남을 알 수 있다(Fig. 14).

인공 해중산에 의한 상승류의 발생 유무 및 그 크기와 공간적 분포 범위를 파악하기 위해서 ADCP에서 관측된 연직유동성분 (w-component)을 분석하였다. 2006년 10월 14일의 분포는 7월 27일 분포와 유사한 상승류 및 하강류가 번갈아 나타났다. 또한 2006년 10 월 27일(중조기) 및 11월 30일(소조기)에는 전체적으로 상승류의 분포 가 우세하게 나타났으며 관측 거리가 연장된 범위(2006년 11월 30일) 를 비교하여 보았을 때 상승류 및 하강류가 번갈아 가면서 나타나는 분포를 보였다. 이러한 특성은 해중산에 의한 상승류 효과와 더불어 성 층의 파괴로 인한 상·하층의 연직혼합에 의한 상승류의 효과가 더해 진 현상으로 생각된다(Fig. 15, 16 and 17).

인공 해중산 주변역에서 발생하는 연직전단(vertical shear) 및 상대 와도(relative vorticity)의 계절변동은 다음과 같다. 하계에는 연직전단

및 상대와도의 분포역이 같은 지역에서 상승류(+)와 하강류(-)의 부분 이 혼재하고 있었다. 또한 해중산 정상부에서 연직전단의 높은 분포를 나타내었으며 상대와도의 결과 해중산 정상부에서 +값인 상승류의 방 향을 지시하고 있다(Fig. 18 and Fig. 19). 추계 소조기의 연직 전단 및 상대와도는 수심 약 30 m를 기준으로 하는 층류로 인하여 이천지 역과 이심지역에 대한 경계가 뚜렷하게 나타났고, 연직유동성분에서도 이와 유사한 결과를 나타내었다(Fig. 20 and Fig. 21). 또한 수심 약 30 m 이천에서는 연직 혼합에 따른 성층의 파괴로 인하여 수평성분의 층류가 발생하지 않았다고 생각된다. 그러나 성층이 파괴되는 시기인 2006년 11월 30일 소조기의 수심 약 30 m 이심에서 발생하는 연직전 단은 비교적 높은 수치를 나타내며, 상대와도는 +값인 반시계 방향(상 승류)을 나타내며 연직유동성분의 상승류 발생해역과 계산결과가 지역 적으로 유사한 분포를 나타내었다(Fig. 22 and Fig. 23). 이와 같이 연 직전단이 높은 해역은 연직유속이 강하게 나타나는 해역이다. 또한, 연 직유속이 강한 해역에서 상대와도가 양(+)의 값을 보이는 해역은 반시 계 방향의 회전류에 의한 상승류가 발생하는 해역이다. 따라서 인공 해 중산 주변의 연직전단과 상대와도는 대·소조기 및 창·낙조시에 상승 류가 발생하는 해역과 일치하고 있다. 그러나 동시기에 나타난 해중산 주변 저층의 상승류 및 하강류는 해중산에 의한 효과라기보다는 하계 에 수심 30~40 m에서 형성된 성층이 태양복사 에너지의 감소로 인하 여 파괴되었다고 생각한다. 이러한 현상은 이 시기의 수온 분포에 의해 서 보듯이 표·저층간의 수온이 거의 균질한 분포를 보이고 있다. 따라 서 이 시기에 나타나는 해중산 주변역의 상승류는 인공 해중산에 의한 효과뿐만 아니라 표·저층간의 성층파괴로 인한 연직혼합에 의한 결과 로 생각한다.

자연 용승해역인 미국 캘리포니아 만에 위치하고 있는 EBES(El Bajo de Espiritu Santo) seamount의 정상부에서 관측된 자료로 계산 한 연직전단(vertical shear)의 크기는 약 3.0×10<sup>-1</sup> sec<sup>-1</sup>정도이다 (Castro et al., 2003). 이것은 본 연구해역에 설치된 해중산 주변역에 서 계산된 연직전단 크기(3.0×10<sup>-2</sup> sec<sup>-1</sup>)에 비교하여 약 10배정도로 큰 값이다. EBES seamount의 경우 그 규모가 6.0×107 m<sup>3</sup>(20 m × 1000 m × 3000 m, H × W × L)이지만, 본 연구해역의 해중산의 규 모는 6.0×104 m<sup>3</sup>(20 m × 40 m × 80 m, H × W × L)로 약 10<sup>3</sup>배 정도 차이가 나타나는 결과라 생각된다. 해중산이 규모면에서 EBES보 다 작지만 상승류 발생의 공간적 분포가 유사하게 나타남을 알 수 있 다. 또한 해중산 주변에서 발생하는 와류는 해중산 주변에서 저층의 해 류가 해중산을 돌아가는 형태의 흐름으로 Taylor column과 유사한 형 태를 보이고 있다(R. Karsten, 2002). Owens and Hogg(1980)은 Gulf stream에 위치한 400 m 높이의 해중산에서 상대와도 및 연직와 류가 발생하는 지역과 Taylor column이 발생하는 지역과 일치하고 있 음을 밝혔다. 따라서 본 연구해역의 상대와도 및 연직전단의 결과를 보 았을 때 Taylor column과 유사한 형태로 상승류 및 하강류가 발생된 다고 생각된다.

## 5. 결 론

본 연구는 한국 경남 남해안에 설치되어 있는 인공 해중산에 대한 물리적 해양환경변화를 파악하기 위하여 해양물리인자인 수온, 염분, 밀도 및 유동에 대한 시공간적인 변동을 파악하였다.

연구해역에서 해황의 계절변동을 분석한 결과는 다음과 같다. 해중 산의 규모가 18 m × 40 m × 40 m(H × W × L)로 구축된 동계에 는 성층이 완전히 파괴되며, 표층과 저층간의 연직혼합이 활발히 발생 하여 표·저층간의 거의 균질한 해수가 존재하였다. 또한 해중산의 규 모가 16~20 m × 42 m × 80 m(H × W × L)로 구축된 춘계에는 본 연구해역의 수심이 평균 60 m로 얕은 연안역보다 성층이 형성시기가 늦어 성층을 볼 수 없었으며, 단지 표층 10 m 이천에서의 태양열에 의 한 가열현상을 볼 수 있었다. 또한 하계에서는 표층의 태양 복사열로 인한 표층 수온의 상승으로 표·저층간의 성층이 약 10~20 m에 형성 되었으며 추계에는 하계에 존재한 강한 성층이 서서히 파괴되어 하계 보다 약 20 m 깊어진 수심 30~40 m 에 성층이 존재하였다.

특히 조시에 따른 해중산 동쪽 및 서쪽에 대한 수온의 기울기 (vertical gradient)를 하계와 추계에 나타내었다. 먼저 하계에서는 해 중산 전면부인 동쪽에서 기울기가 평균 0.35°C m<sup>-1</sup>로 나타났지만 해중 산 후면부인 서쪽에서는 평균 0.47°C m<sup>-1</sup>로 후면부의 기울기가 크게 나타났다. 또한 추계에서는 해중산 전면부인 서쪽에서 평균 0.51°C m<sup>-1</sup>로 나타났으며 후면부에서는 평균 0.38°C m<sup>-1</sup>로 전면부에서의 기 울기가 크게 나타났다. 이와 같이 하계 및 추계의 해중산 주변의 수온 의 기울기 변화는 상승류의 발생과 연관성이 있다. 즉, 저층의 유동으 로 인한 해중산 주변에서 상승류가 발생했을 때 직접적인 영향을 받는 해중산 주변역은 평균 수온 기울기가 작게 나타났다. 또한 해중산 동· 서쪽에서 기울기의 계절(하계 및 추계) 차이는 하계에 표층의 태양 복 사열로 인한 고수온 분포를 하고 표·저층간의 차이가 많이 나타나는 반면 추계에서는 수심 약 30 m이천까지 22°C 등온선이 균질하게 분포 하여서 수온의 범위의 차이로 발생하는 것임을 알 수 있다.

ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)를 이용한 유동 정점관 측 결과 해중산 구축 전에는 표층과 저층의 유속차이가 약 5.9 cm/sec 로 저층의 유속도 일부 강하게 존재하여 인공적으로 용승을 발생시킬 수 있는 흐름의 존재를 파악하였다. 그러나 해중산의 규모가 18 m × 40 m × 40 m(H × W × L)인 정점관측결과 수심 약 27~35 m을 경 계로 상층과 하층에서의 유동구조가 바뀌는 분포 특성을 나타냈다. 한 편, 해중산 구축후의 공간적 유동변화를 파악하기 위해 소형선박에 ADCP를 거치하여 실시한 정선관측 결과 수심 약 30~40 m를 기준으 로 상층과 하층의 다른 유동특성을 보이는 경계수심이 존재하였다. 이 러한 경계수심은 큰 규모(16~20 m × 42 m × 80 m : H × W × L) 에서의 관측결과에서 보다 확실히 상층과 하층을 구분 지었으며, 창· 낙조시에 따라 유동분포가 다르게 나타났다.

인공 해중산에 의한 상승류의 발생 유무 및 크기와 공간적인 범위를 파악하기 위하여 정선 관측 자료를 이용하여 연직유동성분 (w-component)을 분석하였다. 연직유동성분결과 수심과 지역을 따라 서 상승류와 하강류가 번갈아 분포를 나타냈으며 확장된 관측영역(직경 3 km에서 직경 6 km로 연장됨)에서의 결과는 연직류의 범위가 연장되 어 번갈아 나타났다. 이러한 특성은 해중산에 의한 상승류 효과와 더불 어 표·저층 간의 연직혼합에 의한 성층이 파괴되는 효과가 더해진 현 상으로 예상된다.

인공 해중산 주변역에서 발생하는 와류의 크기 및 형성범위를 파악 하기 위하여 수평유동성분(u, v-component)을 이용한 연직전단 (vertical shear) 및 상대와도(relative vorticity)를 계산하였다. 하계의 연직전단 및 상대와도의 결과는 연직전단이 큰 값을 나타나는 부분에 서 상대와도가 상승류와 하강류의 방향으로 혼재하여 나타났다. 또한 해중산 정상부에서의 연직전단이 높은 분포역은 상대와도에서 상승류 의 방향을 나타내었다. 또한 추계의 연직전단 및 상대와도의 크기와 방 향은 수심 약 30 m를 기준으로 상승류와 하강류의 분포가 번갈아 나 타났으며, 이러한 결과는 연직유동성분의 분포와 유사하게 나타났다. 동계의 연직전단 및 상대와도는 수심 약 30 m 이심에서 연직전단이 높은 값을 나타냈으며, 상대와도는 상승류의 방향을 나타냈다. 이와 같 이 연직유동성분에서 나타나는 상승류의 발생 해역과 연직전단 및 상 대와도의 상승류 발생해역은 지역적으로 유사한 분포를 나타내었으며, 상승류 발생해역의 지역적인 일치는 연직유동성분에 대한 신뢰도 문제 를 수평유동성분을 이용한 연직전단 및 상대와도 값으로 설명하였다.

따라서 인공 해중산에 의한 상승류의 발생은 저층에 존재하고 있는 고농도의 저층 영양염이 유광층으로 부상하고 조류에 의해서 확산하여 해중산 주변역의 기초 생산력 증대를 가져온다. 또한, 해중산 주변역에 서의 기초 생산력 증대는 먹이연쇄효과에 따른 어류를 유도하고 집적 하여 어장환경조성에 대한 가능성을 제시한다. 따라서 본 연구해역에 대한 수질환경 및 생물학적인 해양환경변화와 상승류에 대한 물리적인 메카니즘을 접목하여 인공 해중산 주변역의 어장환경조성에 대한 해양 환경변화에 따른 정량적인 연구가 필요하다.

- 57 -

## 6. 요 약

본 논문은 한국 남해안(경남 거제도 앞바다 매물도와 국도 사이해 역)에 위치하고 있는 인공 해중산 주변해역의 수온·염분 및 유동의 물 리적 특성 변화를 파악하고자 한다.

먼저, 동계 수온, 염분 및 밀도의 분포를 살펴보면 표·저층간의 연 직혼합에 의하여 그 차가 작게 나타났다. 춘계에는 수심이 얕은 연안역 보다 성층의 형성시기가 늦어 연구해역에서는 성층을 볼 수 없었으며, 표층 10 m 이천에서 태양 복사열에 의한 가열현상을 볼 수 있었다. 또 한 하계는 표층 수온의 상승으로 표·저층간의 성층이 약 10~20 m에 형성되었으며 추계에는 하계에 존재한 강한 성층이 서서히 파괴되어 하계보다 약 20 m 깊어진 수심 30~40 m 에 성층이 존재하였다. 또한 성층이 형성되는 하계 및 추계의 수온의 기울기(vertical gradient)는 하계에 해중산 동쪽보다 서쪽에서 기울기가 크게 나타났으며, 추계에서 도 서쪽에서 기울기가 크게 나타났다.

ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)를 이용한 유동 정점관 측 결과는 해중산 구축 전에는 표층과 저층의 유속차이가 약 5.9 cm/sec로 저층에서도 표층과 차이가 없는 강한 유속의 존재를 발견하 였으며 인공적으로 용승을 발생시킬 수 있는 가능성을 확인하였다. 또 한 해중산(18 m × 40 m × 40 m ; H × W × L)이 설치 된 후의 정 점관측결과 수심 약 27~35 m을 경계로 상층과 하층에서의 유동구조 가 바뀌는 분포 특성을 나타냈다.

한편 해중산의 규모가 연장된 16~20 m × 42 m × 80 m(H × W × L)일 때 실시한 정선관측 결과 수심 약 30~40 m를 기준으로 상층 과 하층이 다른 경계수심이 존재하였으며, 창・낙조시에 따라 유동분포

가 다르게 나타났다. 또한 연직유동성분(w-component)은 수심과 지역 에 따라 상승류와 하강류가 번갈아 분포하였으며 연장된 관측범위에서 는 상승류와 하강류의 범위가 연장되어 번갈아 나타났다.

한편 ADCP의 수평유동성분(u, v-component)을 이용하여 계산된 연직전단(vertical shear) 및 상대와도(relative vorticity)는 대·소조기 및 창·낙조시에서 상승류가 발생하는 지역에서 연직전단은 큰 값을 나타내었고, 상대와도는 +값으로 상승류의 방향을 나타내었다. 이러한 결과는 유동성분의 상승류 분포역과 유사하게 나타났다.



# 7. 감사의 글

본 논문이 나오기까지 저에게 많은 지도와 격려를 해주신 김동선 교 수님께 먼저 감사의 말씀을 드립니다. 아무것도 모르는 저에게 논문작 성법에서부터 관측 자료해석까지 많은 것을 지도해주심이 정말 감사드 립니다. 첫 학회 투고논문을 쓰려할 때 어떻게 써야 될지, 어디서부터 시작해야 될지 모르는 저에게 교수님께서 지도해주셔서 이와 같은 노 력의 산실이 나오게 되었습니다. 교수님의 첫 제자인 만큼 항상 노력하 고 또 노력하는 제가 되겠습니다. 감사합니다.

그리고 이 논문을 심사해주신 한국해양대학교의 윤종휘 교수님과 해 양산업개발연구소의 윤한삼 교수님께도 감사드립니다. 그리고 많은 조 언과 격려를 아껴주지 않으셨던 조규대 교수님께도 감사드립니다. 또한 학부시절 처음 해양물리란 학문의 기초를 잡아주신 전남대학교의 추효 상 교수님께도 감사드립니다.

또한 연구실에서 항상 큰 버팀목이 되어주시는 배상완 선배님께도 감사의 말씀을 드립니다. 그리고 대학원에 입학하여 관측자료 해석과 데이터처리에 많은 도움을 주신 해양과학공동연구소의 김대현 선배님 에게 감사의 말씀을 드립니다. 또한 저의 힘든 고충과 논문에 대한 토 의를 마다하지 않으시고 저와 함께 해주셨던 사과를 깎아주신 이충일 박사님께도 감사의 말씀을 드립니다. 사과 잘 먹었습니다. 그리고 제가 항상 방으로 가면 절 기쁘게 맞아주셔서 저의 고민거리나 연구에 대한 문제를 들어주셨던 이병관박사님께도 감사드립니다. 제 옆에서 해양조 사부터 여러 가지 많은 제가 할 수 없는 일들을 도와준 너무나도 고마 운 김성현 후배에게도 감사의 말씀을 드립니다. 부산에서 힘들 때 위로 해주고 나의 고충을 잘 들어준하나 뿐인 친구 남기문에게도 감사드립
니다. 또 멀리 태국에서 부산까지 와서 공부하고 있는 우리 아피타 캐 왕잔에게도 감사의 말씀드립니다.

그리고 저를 위해서 항상 기도해 주시는 부모님께 감사의 말씀을 드 립니다. 아들 석사 졸업합니다! 또 올해 새 가정을 이룬 우리 형님과 형수님께도 감사드립니다. 형님 가정에 하나님의 은혜가 깃들길 기도합 니다.

마지막으로 하나님께서 모든 것을 주관하시는 어쩌면 하나님과 가장 가까이에서 공부하는 분야인 자연과학이란 학문을 시작하면서 나 자신 이 어떻게 공부를 하는 것으로 하나님께 영광을 돌릴 수 있을까라는 기도제목으로 항상 기도하여 왔었습니다. 그 응답이 이 작은 논문이라 생각됩니다. 모든 감사와 기쁨을 사랑하는 하나님께 돌립니다.



## 8. 참고문헌

- 국립수산진흥원. 1977. 울진근해 왕돌암 어장개발조사. 국립수산진흥원 사 업보고, 38. pp.58.
- 국립수산진흥원. 1989. 전국 연안 인공어초 어장 생산성 조사. 사업보고 제 82호.
- 국립수산진흥원. 1992. 한국연안 인공어초의 자원조성효과에 관한 연구. 사 업보고. 제 95호.
- 국립수산과학원. 2003. 동해 왕돌초 해역 생태계 연구. 국립수산과학원 동 해수산연구소 보고서.
- 김동선, 황석범. 2006. 인공용승구조물 설치에 의한 유동변화(1). 해양환경 안전학회지. 12(6). pp.301-306.
- 김동선, 황석범. 2006. 인공용승구조물 설치해역의 해양환경 특성. 해양환경 안전학회지. 12(1). pp.1-8.
- 조규대, 김동선, 박성은. 2003. 인공용승구조물 설치에 적합한 해역의 해양 환경특성. 한수지. 36(2). pp.187-192.
- 해양수산부. 2002. 인공용승류를 활용한 어장환경조성에 관한 연구(2차년 도). pp.185.
- 해양수산부. 2002. 인공용승류를 활용한 어장환경조성에 관한 연구(3차년 도). pp.184.
- 해양수산부. 2005. 인공용승류를 이용한 어장환경 개선 연구(1차년도). pp.375.
- 해양수산부. 2005. 인공용승류를 이용한 어장환경 개선 연구(2차년도). pp.299.
- 해양수산부. 2006. 인공용승류를 이용한 어장환경 개선 연구(3차년도). pp.524.
- A.T. Castro, G.G.d Velasco, A.V. Levinson, R.G. Armas, A. Muhlia and M.A. Cosio. 2003. Hydrographic observations of the flow in the

vicinity of a shallow seamount top in the Gulf of California. Estuarine Coastal and Shelf Science. 57. pp.149-162.

- John A. Knauss. 1997. Introduction to Physical Oceanography second edition. Prentice Hall. pp. 105.
- Owens, W.B. and N.G. Hogg. 1980. Oceanic observations of stratified Taylor columns near a bump. Deep Sea Research. 27. pp.1029-1045.
- RD-Instruments. 1989. Principles of operation: A practical primer. pp.36.
- Richard Karsten. 2002. Fluid Dynamics and Taylor Columns. Acadia university(http://ace.acadiau.ca/math/karsten/Projectwebpages/Ti mandJeff/fluid.pdf).
- Roden, G.I. and Taft, B.A. 1982. Effect of Emperor Seamounts on the mesoscale thermohaline structure during the summer of 1982. J. of Geophysical Research 90: pp.839-855.
- 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.
- Tom. Beer. 1997. Environmental Oceanography second edition. CRC Press. pp.367.
- Yanagi, T. and M. Nakajima. 1991. Change of oceanic condition by the man-made structure for upwelling. Marine Pollution Bulletin. 23, pp.131-135.
- 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.
- 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.

- Yanagi T. 1999. Coastal oceanography. Terra Scientific Publishing Company. Tokyo. pp.162.
- 屬辰之介・中尾徹. 1986. 天然湧昇域の海洋環境特性について. 水産土木 第 22卷 第2号.

