

재질에 따른 인공용승구조물의 기능성에 관한 연구

전용호* · 김홍진* · 류청로**

A Study on Function of Artificial Upwelling Structure of Material

Yong-ho Jeon* · Hong-Jin Kim* · Cheong-Ro Ryu**

Key Word : Artificial Upwelling Structure(인공용승구조물), Upwelling(용승), Porosity(간극률)

ABSTRACT

This study was performed to find out basic function of artificial upwelling structures. Generation of artificial upwelling current was affected by size of structures, incident current and porosity. when stratification parameters was about 3.0, relative height(hs/h) of structures was 0.125~0.15, stable artificial upwelling current was generated in the back-side of structures. when porosity is lower than 50%, the effect of artificial upwelling structure was to be better than little by little.

1. 서 론

최근, 해양환경을 적극적으로 제어하여 적정 생태환경을 조성하기 위한 다양한 수산 증식시설의 개발 및 배치가 이루어지고 있다. 연안역 어장의 생산기능이 극대화 될 수 있도록 함으로써 어군행동의 제어에 의해 자원조성, 관리 및 어획 효율화를 위해 활용되어야 한다(류 등1993). 이는 수산생물을 보호, 육성함으로써 생물자원을 조성하고 증대시키기 위한 착저식 및 부유식 인공어초, 해조초, 도류제 인공용승구조물, 저질개량 구조물 등이 설치되고 있다(김과류, 1997).

세계 해양면적의 불과 0.1%인 용승해역은 전체 어류생산량의 40%에 달하며 이는 저층의 풍부한 영양염류를 표층으로 이동시켜 식물플랑크톤의 증가로 기초생산력의 증대로 인해 좋은 어장이 형성되고 있다(Ryther, 1969). 연안의 용승해역은 해조류, 새우류, 패류 등의 생산량이 3배, 우뚝가사리의 생산력은 10

배에 이른다(續辰·中尾, 1986).

이런 인공용승구조물이 가지는 잇점을 위해서 기능성에 대한 검토가 선행되어야 한다. 따라서 구조물의 구조적인 문제에 대한 연구는 주로 잠재형식이 주된 대상이 되고, 구조물의 형상에 따라 흐름장이 변화하게 되며 크게 주류역, 천이역, 역류역의 세가지 영역으로 구분할 수 있다(杜多, 1992).

용승류를 제어하기 위해 주로 잠재형식의 흐름제어 구조물을 저층부에 설치하여 저면의 흐름장을 변화시켜 저층의 흐름을 상부로 유도하게 된다. 주로 제작 및 설치가 용이한 대형 블록을 이용하여 구조물을 설치하게 되는데 최근에는 육지의 산업폐기물을 이용한 환경친화성 재료를 사용한 블록을 이용하기도 한다. 따라서 본 연구에서는 블록을 이용한 인공용승구조물의 용승유량 특성을 검토하고, 투수와 불투수의 재료에 따른 간극비를 비교하여 인공용승구조물의 기능성을 검토하고자한다.

2. 본 론

2.1 연안의 용승

용승구조물의 주된 주된 기능은 저층에 있는 영양 염류를 표층으로 이동시켜 어업생산성의 향상 및 생태계를 촉진시키는 것이다. 이러한 인공용승의 문제는 해역의 성층상태와도 결부되는 현상이며 일반적으로 성층계수라 하여 에너지 방정식으로부터 사용된다.

$$\log \frac{h}{V^3} \quad (1)$$

성층계수(s stratification parameter)는 연직수심에 대한 수평유속의 비이다. 이는 수주내의 수직혼합성분을 에너지 평형으로부터 유도한 것으로 주로 조석전선의 위치를 파악 하고자 할 때 사용된다. 연구결과에 따르면 해역에 따라 다르지만 일반적으로 성층계수가 2.5~3.0의 범위인 지역에 인공용승구조물의 설치하였을 때 용승효과가 높다고 보고된 바 있다 (Yanagi & Okada, 1993). 이는 유속이 강할 경우에는 성층의 형성에 어려움이 있고, 유속이 약할 경우에는 성층의 형성 자체가 이루어지기 어렵기 때문이다. 우리나라의 경우에는 서해안 및 남해안의 성층계수가 1.5~2.5 정도로 알려져 있다.

이러한 성층은 하계의 태양에 의한 수면가열로 인해 이루어지며 이는 조석전선을 형성하게 한다. 본 연구에서는 현장의 조건을 적용하기 위하여 우리나라 남해안을 대상으로 한 연직유속분포를 대상으로 실험조건을 구성하였다.

2.2 인공용승구조물 개요 및 실험

이상에서 언급한 조석전선이나 성층계수의 경우를 이용하여 우리나라 연안역의 인공용승에 관한 일반적인 문제로 적용하기 위해 우리나라 동·남해안을 기준으로 하여 실험조건을 구성하였다.

우리나라의 동·남해안은 일반적으로 최강 창·낙조시의 유속이 0.9에서 2.6 kn이며(해양조사원, 2000) 본 연구에서 대상으로 한 유속은 1 kn를 중심으로 실험조건을 구성하였으며 이는 용승류 발생의 최소유속 인 20 cm/sec를 충분히 만족하는 값이다.

수리실험에서 용승구조물의 기능성에 관한 문제는 용승유량실험을 통해서 확인하였다. 각 실험에서의 영향인자를 검토하면 식 (2)와 같다.

$$F[x] = f_1 [H, L, T, V_0] + f_2 [h_s, h_u, h, \theta, d_{50}, w_B, l_B, n] + f_3 [\alpha, l_f, V_{m-h}, V_{m-v}] + f_4 [g, \rho_w, \mu, e... etc] = 0 \quad (2)$$

식에서 f_1 은 외력에 관한 물리량들이고, f_2 는 구조물의 특성에 관한 물리량, f_3 은 수리현상에 관한 물리량 그리고 f_4 는 기타 제반 실험상의 물리량을 나타낸다. 본 실험에서는 외력조건 중 파랑에 의한 외력은 일반적인 인공용승구조물의 설치수심이 50m 이상의 수심이므로 파랑의 영향은 비교적 작다고 할 수 있다. 따라서 본 실험에서는 파랑 입사에 대한 조건은 고려하지 않고 성층유속에 대한 실험만을 실시하였다.

본 실험은 부경대학교 내 해양수리실험소에 설치된 회류수조에서 실시하였다. 수조의 크기는 1m(폭) × 1m(깊이) × 35m(길이)로 회류장치에 의한 흐름 제어가 가능하다.

본 실험의 예비실험으로 제어흐름영역에 대한 연직유속분포를 수조전체에 대하여 실시하였으며, 예비실험의 결과로 결정된 유효영역은 수조의 중앙부를 중심으로 5m 영역을 실험영역으로 결정하였다. 수조 및 실험영역은 Fig. 1과 같다. (a)그림에서의 수조내의 중공점들은 유속 관측점이고, 수심은 80cm이다. 수조의 길이 방향으로 1 m, 그리고 폭 방향으로 20 cm, 수심방향으로 10 cm의 간격으로 계측하였다. (b)의 그림은 실험장치를 설치한 모식도이다. 수조에서의 실험은 회류장치 약 8 m 앞에서 구조물을 설치하여 실시하였다. 구조물의 전면과 후면에 각각 도플러 유속계를 설치하여 구조물 주위에서는 길이 방향으로 10 cm 간격으로 6 포인트를 계측하였고, 그 이외의 지역에서는 30~50 cm간격으로 계측하였다. 수심 방향으로 10 cm씩 계측하였다. 옆의 그림은 도플러 유속계의 모식도를 나타내고 있다.

Table 1.은 본 연구에 사용된 실험조건을 나타내고 있다. 인공용승구조물의 기능성을 알아보기 위해서 구조물 사면의 경사각을 각각 0.25, 0.67과 0.625로 하였으며, 흐름 속도도 0.0107, 0.0214와 0.0321의 무차원 값으로 설정하였다.

이는 우리나라 남해안의 최강 창·낙조류의 유속을 중심으로 수심과 대비해서 결정한 값이다.

Table 1. Experimental conditions

Titles	Size of blocks (lb/h)	Size of Structures (tan θ(B/h))	Current speed ($\frac{V_0}{\sqrt{gh}}$)	Number of blocks
Upwelling test	0.01	0.25(0.5)	0.0107	
		0.67(0.75)	0.0214	
		0.625(1)	0.0321	

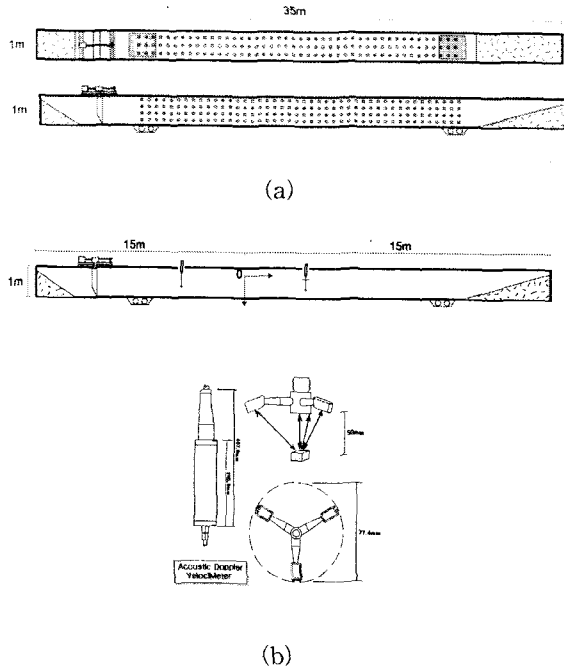


Fig. 1. Schematic diagram of flow flume.

2.3 용승유량실험

인공용승구조물 설치의 주된 목적은 양호한 인공 용승유량의 유도이다. 따라서 용승유량의 검토 및 예측에 대한 연구는 필수적이며 본 연구에서는 대표적인 구조물의 단면에 대해 입사유속 조건을 변경하며 성층계수에 따른 용승유량을 검토하고자 한다. 실험 조건은 Table 1과 같으며, Fig. 2에서 구조물 주위에서는 $\Delta x/h = 0.125$ 이며, 외곽에서는 $\Delta x/h = 0.625$ 의 간격으로 격자를 구성하였고 수심은 80cm로 일정하며, 계측격자는 $\Delta y/h = 0.125$ 이다.

유속의 계측은 도플러유속계를 사용하여 계측하였다. 구조물은 정육면체의 기본 블록을 적재하여 단면을 제작하였고, 각 단면에서의 공극율은 일정하다.

용승유량을 평가하기 위해서 본 연구에서는 입사하는 유속이 수평유속이므로 구조물 전면에서의 흐름장의 변화와 배후면 후류역까지의 수평유속 및 연직유속의 비를 이용하여 유향경사를 정의하였다. 이는 용승유량검토를 위한 유향경사를 나타내며, 수

평 및 수직 유속의 변화율을 통해서 용승유량을 검토한다.

실험은 도플러유속계를 이용한 구조물 주위의 정점 관측을 통한 유속분포실험을 행하였다. 정점관측은 관측자료의 통계적 안정을 위해서 20msec의 추출간격으로 2000개의 유속값을 삼축 방향으로 계측하였으며, 각 정점에서 산술평균값을 지점유속으로 결정하였다.

아래의 Fig. 2는 각 구조물에 작용하는 흐름에 대한 구조물 주위의 유속벡터의 분포를 단면으로 나타낸 것이다.

그림의 위에서부터 구조물의 규모의 증가에 따른 구조물주위의 흐름장의 변화 즉 후류길이의 차이가 현저함을 볼 수 있으며 구조물의 크기가 증가하면서 구조물 배후의 와동의 증가, 구조물 상부로의 유속증가가 현저하다. 또한 a)~c)의 경우 구조물의 배후 ($dx/h=2.5$ 이상)에서는 성층을 이루며 진행되는 것을 볼 수 있다. 그러나 아래의 d)~i)까지의 그림을 보면 유속 분포의 부등에 의한 와류의 발생 및 성층의 발생이 저해되고 있음을 알 수 있다.

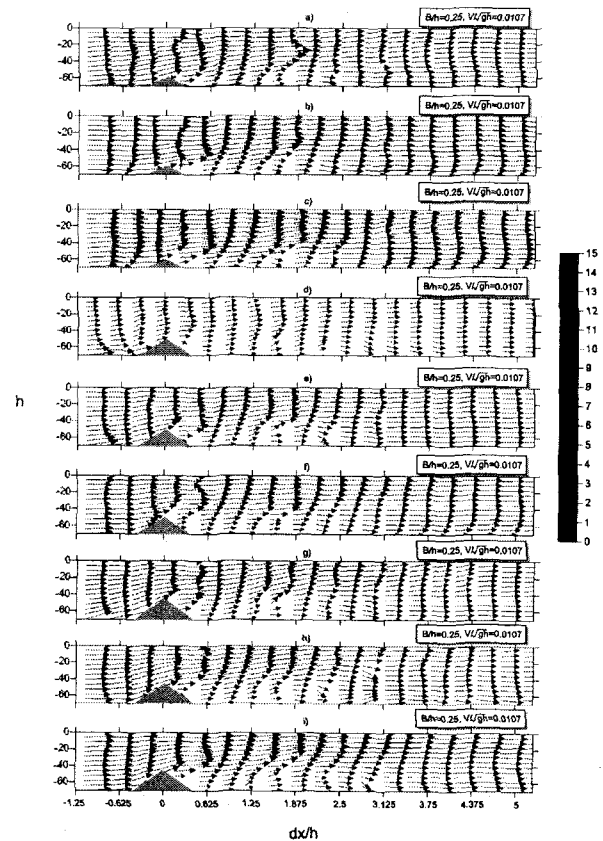


Fig. 2. Distribution of current vectors around the structures.

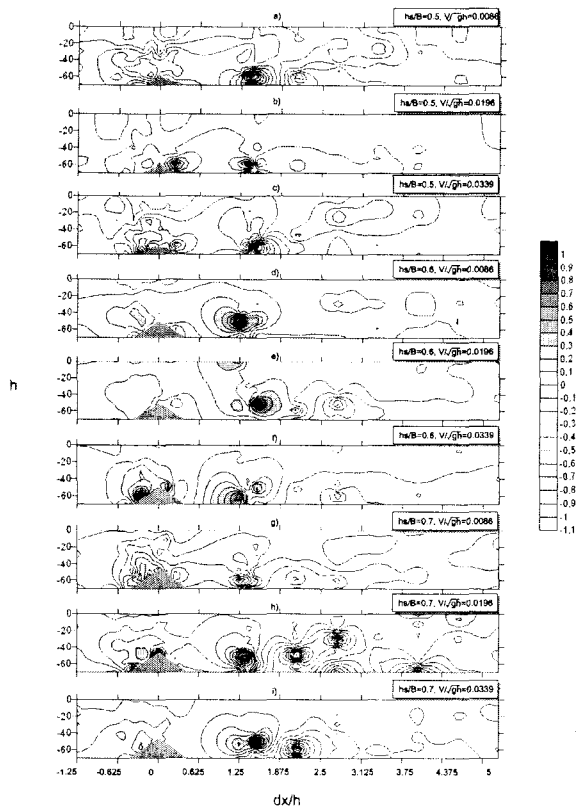


Fig. 3. Distribution of velocity gradient around the structures

Fig. 3은 연직유속의 수평유속에 대한 비를 나타내어 연직유속성분의 크기를 확인하고자 한다. 그림에서 연직유속이 발달하는 위치가 명확하게 나타나며 그림을 통해 유속이 상대적으로 강하고, 구조물의 크기가 상대적으로 강할 때 연직유속은 배후면에서 발달하고 배후의 수면까지 전달되지 않고 있음을 알 수 있다. 본 그림에서 색이 있는 등연직속도비 선은 하향유속이며, 색이 포함되지 않은 등연직속도비선은 상방향 유속을 이야기한다.

Fig. 4는 구조물의 형상에 따른 표층 평균유속의 변화를 나타낸다. 일반적으로 구조물의 크기의 증가는 배후면 와류의 증가가 예상되나 본 실험에서 목적으로 하고있는 저층의 수괴를 표층으로 유도하기 위한 용승유량의 평가에서는 구조물의 대상해역의 외력조건에 대한 적절한 규모로 건설되었을 때 가장 양호한 용승유량을 보임을 알 수 있다.

Fig. 4. Variation of mean velocity in surface layer with structure size.

2.4 재료의 특성

인공용승구조물의 기능성 중에서 구조물을 따라 상승하는 저층의 수괴가 구조물이 가지고 있는 재료의 특성에 따라 많이 달라질 것이다. 그 중에서도 간극률이 가장 중요한 요소라고 할 수 있다. Table 2는 각각의 재료에 따른 간극률을 보여주고 있다. 그중에서도 T.T.P와 사석은 3일간 물에 넣어두어 재료가 물을 흡수하지 않을 조건에서 측정한 것이다.

Fig. 5는 수조에 설치한 구조물의 그림으로서 불투수성사면, 사석을 설치 했을 경우, T.T.P를 설치 했을 경우를 보여주고 있다.

Table 2. Structure condition of porosity(%).

Titles	Impermeable layer	Block	Core	T.T.P
Porosity	0	40.43	45.35	58.09

블록은 한 변이 25 mm인 정육각형을 사용하였고, 사석은 20~25 mm, T.T.P는 최전단의 높이가 35 mm이고 무게가 20 g인 것을 사용하였다. 이는 실험역의 대수심대비 크기로서 결정한 것이다.

Table 2.는 5회에 걸쳐 평균한 값을 나타낸 것인데, 블록이 코어나 T.T.P보다 간극률이 낮게 나온 것은 블록이 정육면체로 구성되어있기 때문에 서로의 맞물림이 우수하였기 때문이다. T.T.P의 경우 서로 맞물리면서 구조물의 안정성면에서는 우수한 편이나 간극률은 떨어지는 편이다.

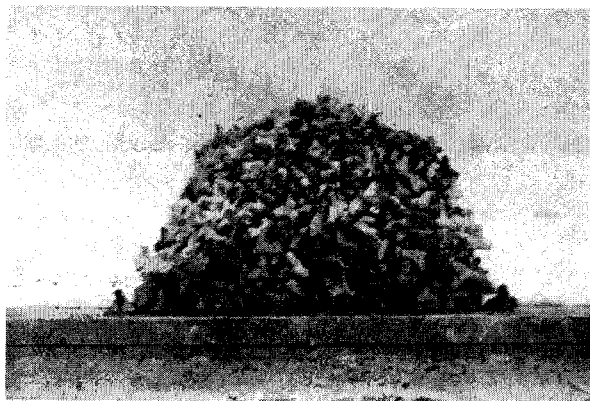
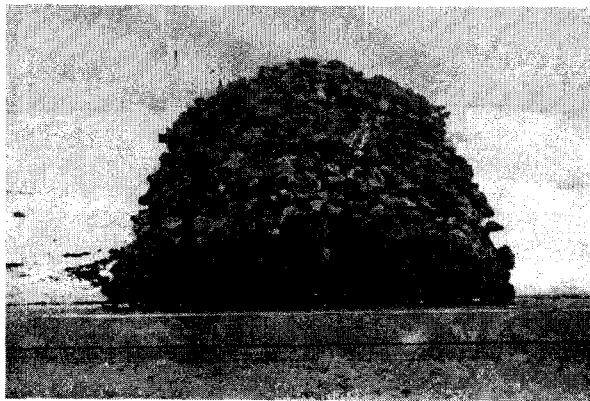
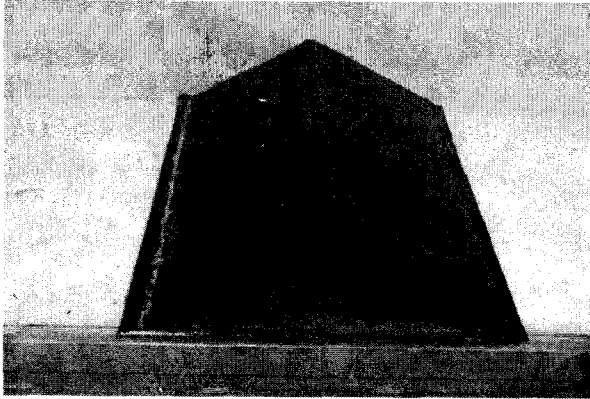


Fig. 5. Experimental condition of porosity.

2.5 재질에 따른 인공용승유량 실험 결과

앞의 실험 결과에서 구조물의 크기가 증가하면 와류가 증가한다. 본 실험에서 저층의 수피를 표층으로 유도하기 위한 용승유량의 평가에서는 구조물의 대상해역의 외력조건에 대해 적절한 규모로 건설되었을 때 가장 양호한 용승유량을 보임을 알 수 있었다. 따라서 재질에 따른 인공용승유량 실험에서는 앞선 실험에서의 $h_s/B = 0.5$, 이고 $V/\sqrt{gh} = 0.0339$ 일의 경우만 실시하였다. 이 경우가 용승의 효과가 가장 잘 일어이기 때문이다.

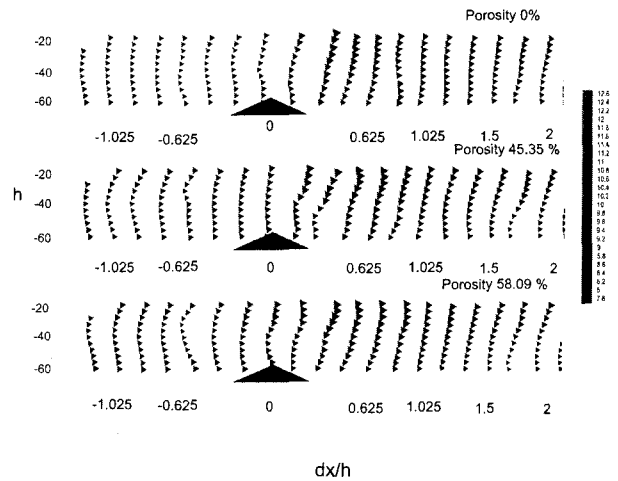


Fig. 6. Distribution of current vectors around the structures of porosity.

Fig.6를 보면 공극률이 없는 불투수성 사면일 경우 흐름이 구조물을 지나면서 점점 강해지는 것을 볼 수 있으며, 상층으로 상승하는 유속패턴을 보인다.

공극률이 45.35 %인 사석과 58.09 %인 경우를 보면 유속은 단면이 작아짐으로 해서 커지는 것이 보이나 용승의 효과가 많이 일어나지 않는 것을 알 수 있다. 붉은 색이 많이 있다는 것은 유속이 커진다는 것인데 불투수성 사면의 경우가 가장크게 나타나고 있으며 공극률이 클수록 작게 나타나는 것을 알 수 있다.

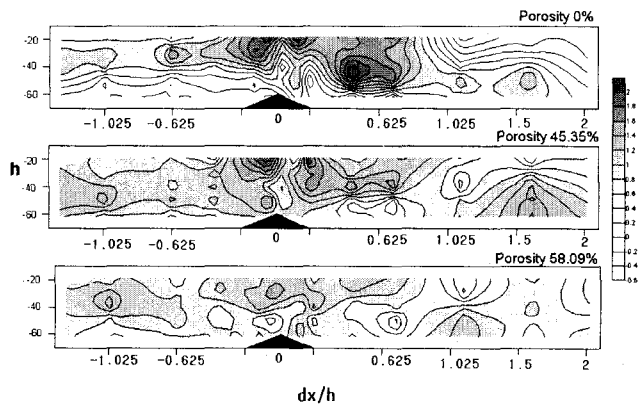


Fig. 7. Distribution of velocity gradient around the structures.

Fig. 7은 연직유속의 수평유속에 대한 비를 나타내어 연직유속성분의 크기를 나타낸 것이다. 그림에서 연직유속이 발달한 위치가 명확하게 나타나고 있다. 불투수구조물의 경우는 구조물의 배후면에서 유속의 분포가 강하게 나타나고 있음을 보여준다. 간극

률이 커지면서 연직유속의 비가 전체적으로 농도가 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 단면의 형상과 구조물 내부로의 흐름이 유입되어 유속이 감소하기 때문에 나타나는 것이다.

3. 결론

이상의 결과를 통해서 얻어진 내용을 요약하면 인공용승구조물에서 인공용승유량은 적절한 용승구조물의 규모에 의해서 결정이 된다. 인공용승은 구조물의 크기와 유속에 큰 영향을 받지만 성층계수가 2.5~3.0, 수심에 대한 구조물의 높이와 폭이 각각 0.125~0.15, 0.5인 경우에 안정적인 용승류가 발생한다.

공극률이 작을수록 안정적인 용승류가 발생하며 공극률이 45 %인 경우까지 보다 안정적인 용승류가 나타남을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) Yanagi, T. and M. Nakajima, 1991, Change of oceanic condition by the man-made structure for upwelling. Marine Pollution Bulletin, 23, pp.131-135.
- 4) 柳哲雄・中鳴昌記・大竹臣哉・近藤浩右, 1991, 魚礁としての人工湧昇流發生構造物, 水産工學, 27, pp.73-77.
- 5) 今村 均・友田啓二郎・鈴木達雄・細野成一, 1995, 人工湧昇流發生漁場造成の研究, 沿岸工學論文集, 第42号, 1131-1135.
- 6) 沿岸漁場技術研究會, 1996, 1997, 1998, 1999, マウンド漁場造成システムの開發にする報告書.
- 7) Deigaard, R., J. Fredsoe, "Shear Stress Distribution in Dissipative Water Waves", Coastal Engineering Vol. 13, 357-378, 1989.