

# 인공용승구조물 주변 흐름의 3차원 특성에 관한 연구

전용호 · 류청로  
부경대학교 해양공학과

## A Study on Characteristic of Three-Dimensional Flow around the Artificial Upwelling Structures

YONGHO JEON AND CHEONGRO RYU  
Department of Ocean Engineering, Pukyong National University, Busan, Korea

**KEY WORDS:** Artificial upwelling structures 인공용승구조물, Three-Dimensional Flow 3차원 흐름, Stratification parameter 성층계수, Upwelling test 용승유량실험

### ABSTRACT:

From the hydraulic experiment, it was concluded that upwelling could be enhanced when the relative structure height (the ratio of structure height to water depth) was 0.3 and stratification parameter was 3.0. In addition, the optimum size of rubbers was determined that the effect of the mean horizontal length of block was affected incident velocity than size of block.

In the numerical experiment, the relation between the shape of rubber and stratification parameter was verified, and the hydraulic characteristics of 3-D flow field around the artificial structures were investigated. Phenomena of flow field around the artificial upwelling structures corresponded with the results of hydraulic experiment. The position with maximum velocity in artificial upwelling structure was the center of top of its front side and the slip stream occurred at the inside and behind-bottom of artificial upwelling structures. The velocity of slip stream and early amplitude of velocity were higher in the inside than the behind-bottom.

### 1. 서 론

최근에는 인위적인 해양구조물을 설치함으로써 연안역 기초생산성을 증대시키기 위한 좋은 어장을 조성하려는 새로운 개념이 대두되고 있다. 기존 연구사례를 살펴보면, 일본에서 인공용승류발생구조물(가로 45m, 세로 10m) 설치 시 조류유속 2할 증가, 표층의 클로로필 a 농도 2~3배 증가, 동물플랑크톤의 개체수 및 침전량도 2배 증가하였으며, 저서생물의 경우 구조물설치 후 2년간은 감소하였으며 3년 이후에는 종·개체수도 증가하였던 것으로 보고되었다(Yanagi and Nakajima, 1991). 이들 연구에서는 어떤 구조형식을 통해 인공용승의 기능을 극대화 할 것인가? 어떻게 심해저에 정확히 시공할 것인가? 가 중요한 과제로 다루어지면서 이에 대한 기술적 문제의 해결과 현장적용실험과정이 주된 것이었다.

그러나 이 용승류제어구조물의 설계 및 시공에 있어서는 아직도 그 기본적인 수리특성을 해석·평가 할 수 있는 도구가 정립되지 못하고 있다. 특히 사석식 구조 형식에 의한 인공용승류제어구조물의 최적 단면설계 및 그 시공의 정확성을 위한 기초연구 및 지침의 필요성이 강조되어 왔다.

본 연구에서는 먼저 사석식 인공용승구조물을 대상으로 현장조건을 고려한 용승기능 최적화 및 구조물 주변의 수리특성을 해석·정리하고자 한다.

### 2. 본 론

#### 2.1 실험조건 및 방법

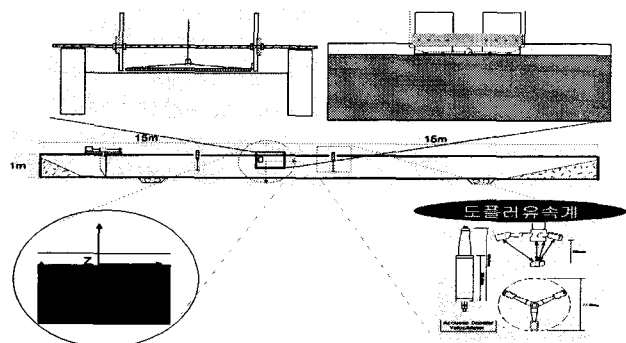


Fig. 1 Experimental setup.

전용호: 부산광역시 남구 대연3동 599-1

051-620-6222 yh21jeon@mail1.pknu.ac.kr

Table 1 Experimental conditions

Titles	Block size [cm]	Depth [cm]	Structures	Current	Stratification
			height [cm]	speed [cm/sec]	parameters [log h/V <sup>3</sup> ]
Upwelling test	0.8	80	10	2.4	2.98
			20	5.5	3.67
			25	9.5	4.76

본 연구에서는 1) 흐름제어구조물 사면형상 변화에 따른 유동특성 해석 2) 흐름제어구조물 측면 외동특성을 고려한 길이변화에 따른 유동특성 해석 등의 연구를 수행하기 위한 수치실험 제원은 Table 1 같다.

흐름제어구조물을 우리나라 연안에 설치·적용하기 위해서는 앞 절에서 언급한 조석전선이나 성층계수의 특성을 고려하여 남해안을 대상으로 실험조건을 구성하였다. 우리나라 남해안의 평균유속이 약 20cm/sec - 80cm/sec로 조사되어 그 값을 제원으로 사용하였으며 용승류 발생의 최소 유속인 20 cm/sec도 충분히 만족하는 값이다. 이러한 유속 값은 성층계수 ( $\log \frac{h}{V^3}$ )의 값이 2.98 - 4.76의 범위를 가지게 한다.

2.2 인공용승구조물의 용승유량 해석

인공용승구조물 설치의 주된 목적은 양호한 용승유량의 유도이며, 이를 위해 용승유량의 검토 및 예측에 대한 연구는 필수적이다. 본 논문에서는 대표적인 구조물의 단면에 대해 입사유속 조건을 변경하여 성층계수에 따른 용승유량을 검토하고자

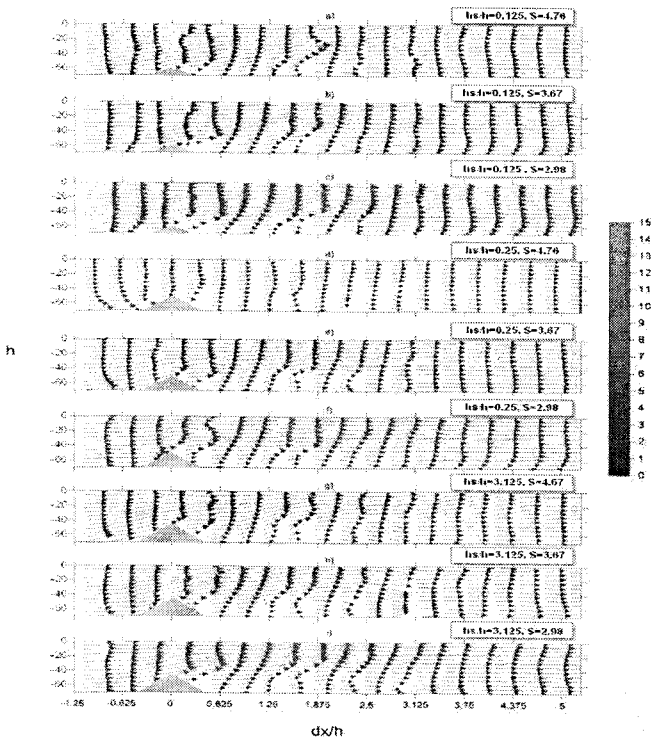


Fig. 2 Variation of current field by the artificial upwelling structures.

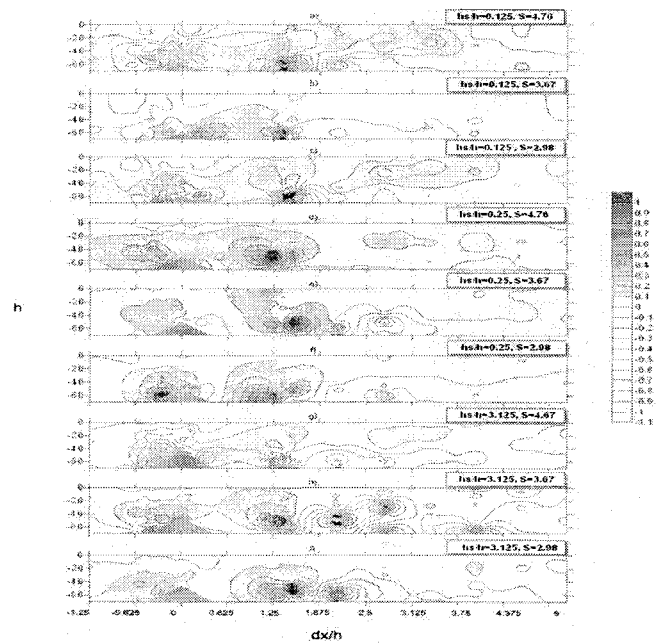


Fig. 3 Distribution of mean velocity gradient around the artificial upwelling structures.

한다.

지점유속의 비를 통하여 구조물 전면에서의 흐름장의 변화와 배후면 후류역에서 계측되어진 수평유속 및 연직유속의 비를 이용하여 평균유속경사를 정의하고 이를 이용하여 각 지점에서 유향변화를 확인하였다. 용승유량검토를 위한 유향경사는 수평 및 수직 유속의 변화율을 나타내어 사용하였다.

Fig. 2 구조물의 규모와 성층계수의 변화에 따른 구조물 주위 유속벡터의 단면분포를 나타낸 것이다. 염료실험을 통한 유선분포와 유사한 결과를 보이고 있음을 알 수 있다. 구조물 규모의 증가에 따른 구조물 주위의 흐름장 변화에서는 후류 길이의 차이가 나타남을 볼 수 있는데, 이는 구조물의 규모가 증가함에 따라 구조물 상부 유속 증가와 아울러 구조물

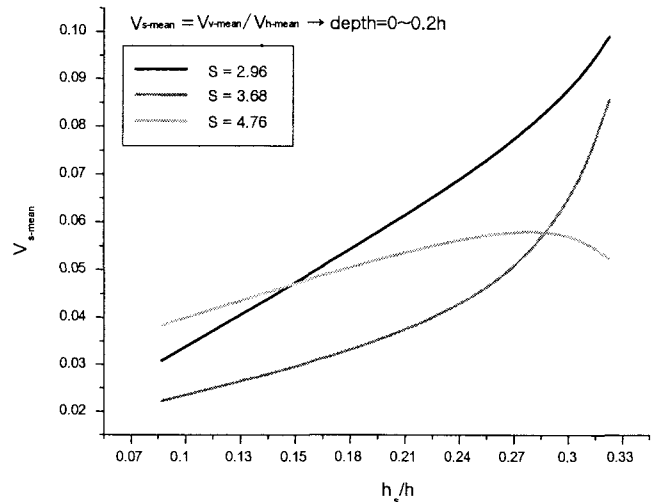


Fig. 4 Variation of mean velocity gradient with the height of structures.

배후의 와동이 증가하기 때문이다. c), f), i))의 경우 구조물 배후( $dx/h = 2.5$  이상)에서 성층을 이루며 진행되는 것을 볼 수 있다. 그러나 이들 경우를 제외한 그림을 보면 구조물 배후에서 유속 성분의 부등에 의해 와류와 성층의 발생이 일어나고 있음을 알 수 있다. 구조물 주위에서의 유속분포를 확인을 위해서 지점유속의 수평성분과 연직성분의 비를 Fig. 3 나타내었다. 이를 통해 구조물에 의한 흐름장의 교란으로 연직유속이 발생함을 알 수 있다.

Fig. 4는 조물 배후면에서 전체수심의 1/5 영역에 대해서 평균유속경사 값을 평균하여 구조물의 크기와 지점유속비의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 세 가지 선은 성층계수의 차이를 나타내며 성층계수가 크고 구조물의 크기가 큰 경우 지점유속비는 증가하다가 감소하고 있음을 알 수 있다.

### 2.2 형상에 따른 용승유량 해석

흐름제어구조물의 사면의 거침 정도와 기울기가 다른 세 가지 형상에 대해 수행하였다. 계산결과를 바탕으로 먼저 구조물 배후면의 x-z축, x-y축 단면의 수평유속(u) 및 연직유속 분포를 길이를 알아보았다.

Fig.5~Fig.7은 평유속(u)이 9.5cm/s인 경우, 즉 성층계수 S가 2.98인 경우에 각 구조물의 사면형상에 따른 x-z축

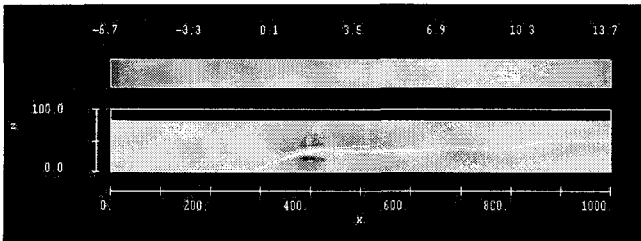


Fig. 5 x velocity contours of x-z section by TAS (u=9.5cm/s)

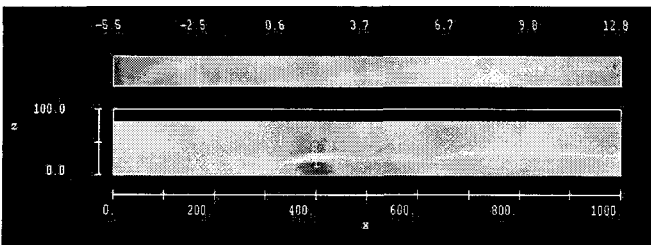


Fig. 6 x velocity contours of x-z section by TPS (u=9.5cm/s)

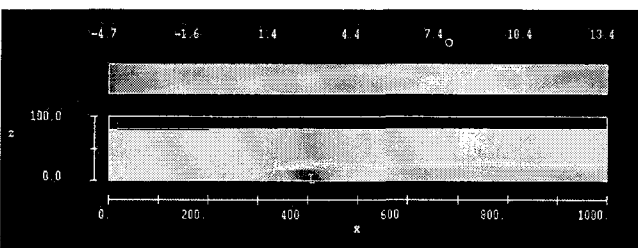


Fig. 7 x velocity contours of x-z section by TPR (u=9.5cm/s)

단면의 수평유속(u) 분포를 나타낸 그림이다. 먼저, 매끄러운 사면을 가진 TAS 구조물에 의한 수평유속(u) 분포를 나타내는

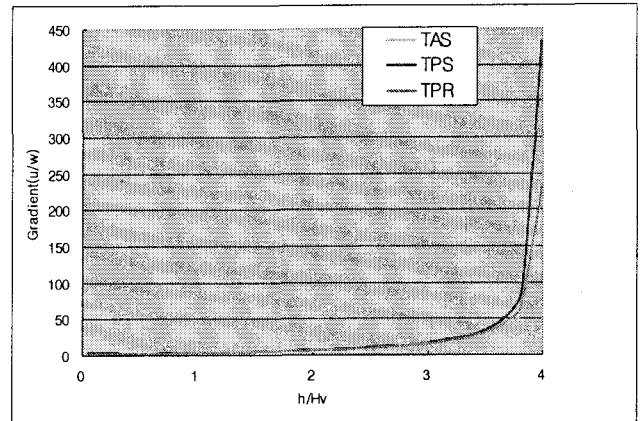


Fig. 8 Variation of velocity gradient(at the front of structures)

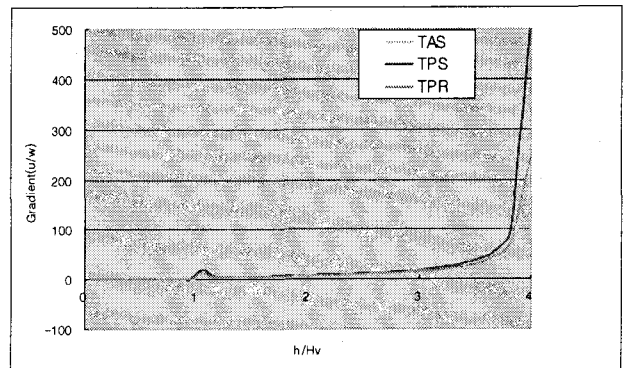


Fig. 9 Variation of velocity gradient(at center of structures)

분석하고 유속경사( $\frac{w}{u}$ )를 나타내어 용승효과를 알아보았다. 동

시에 x축 방향의 저면유속 분포를 분석하여 후류영역 및 후류 Fig. 5를 살펴보면, 경계유속의 약 1.4배 정도의 값을 가지는 최강유속은 구조물 배후면에서 x방향으로 구조물 폭(40cm)의 약 1배 정도 지점, z방향으로 구조물 높이(Hv)의 약 2배 지점에서 나타나고 경계유속의 음의 방향으로 약 0.7배 정도의 값을 가지는 최저유속은 구조물 배후면에서 x방향으로 구조물 폭(40cm)의 약 1배 정도 지점, z방향으로 구조물 높이(Hv)의 약 1배 정도에서 나타난다. 다음으로 매끄러운 사면을 가진 TPS 구조물에 의한 수평유속(u) 분포를 나타내는 Fig. 6을 보면 경계유속의 약 1.4배 정도의 값을 가지는 최강유속이 구조물 중앙 상부 지점에서 나타나며, 경계유속의 음의 방향으로 약 0.5배 정도의 값을 가지는 최저유속이 x방향으로 구조물 폭(40cm)의 약 1배 정도 지점, 저면에서 나타난다. 마지막으로, 거친 사면을 가진 TPR 구조물에 의한 수평유속(u) 분포를 나타내는 Fig. 7을 보면 TAS 구조물에 의해 발생하는 최강유

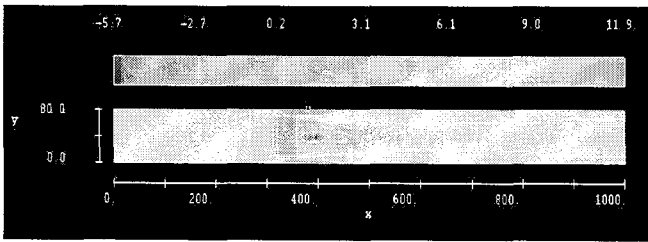


Fig. 10 x velocity contours of x-y section by TAS  
( $u=9.5\text{cm/s}$ )

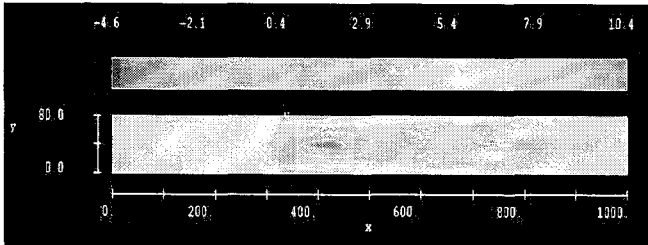


Fig. 11 x velocity contours of x-y section by TPS  
( $u=9.5\text{cm/s}$ )

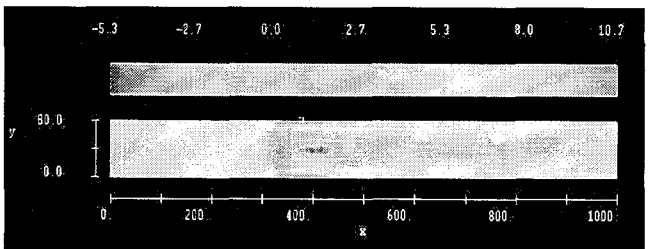


Fig. 12 x velocity contours of x-y section by TPR  
( $u=9.5\text{cm/s}$ )

속 및 최저유속의 지점의 거의 비슷하며 그 값은 최강유속이 경계유속의 1.3배, 최저유속이 경계유속의 약 0.56배 정도로 나타난다. 다시 정리해보면, TAS 구조물과 TPS 구조물에 의한 최강유속은 배후면의 x방향으로 약 1배 정도, z방향으로 높이( $H_V$ )의 약 2배 정도의 거의 동일한 지점에서 발생하는데 이는 구조물의 매끄러운 사면에 의한 용승효과의 영향으로 볼 수 있으며 TPR 구조물에 의한 최강유속이 중앙 상부지점에서 발생하는 이유는 거친 사면에 의한 상부에서의 와동과 구조물 폭의 0.05의 작은 천단 폭에 의한 영향으로 사료된다. 또한, TAS 구조물과 TPS 구조물에 의한 최저유속의 발생지점이 구조물 높이의 2배 지점으로 거의 동일한데 이는 구조물 배후면의 와동에 의한 영향으로 사료된다. 결과적으로, 구조물 사면이 매끄러울수록 용승효과가 뛰어남을 알 수 있다.

Fig. 10~Fig 12는 수심( $h$ )과 사면형상이 다른 각 구조물의 높이( $H_V$ )의 비에 대해 x-z 단면에서 구조물 사면의 시작지점, 중앙지점, 끝지점에서의 속도경사( $\frac{w}{u}$ )를 도시한 그림이다.

### 3. 결론

본 연구에서는 인공용승구조물의 사면형상 변화 및 구조물

측면의 와동을 고려한 구조물 길이 변화 등의 다양한 조건하에서 인공용승구조물의 기능성 평가를 위해 3차원 수치모델(FLOW-3D)를 이용한 수치실험을 통하여 구조물 주위의 유동특성을 해석하고 용승효과를 평가하기 위한 속도경사 분포 및 후류영역 등을 알아보았다. 이러한 일련의 연구로부터 도출된 주요 결론들을 정리해보면 다음과 같다.

1) 매끄러운 사면을 가진 인공용승구조물에 의해 발생하는 최강유속은 구조물 배후면의 x방향으로 구조물 폭의 1배 정도, z방향으로 구조물 높이의 2배정도 위치에 나타나며 그 크기는 경계유속의 약 1.4-1.5배, 최저유속은 구조물 배후면의 x방향으로 구조물 폭의 1배 정도, z방향으로 구조물 높이의 1배정도 위치에 나타나며 그 크기는 경계유속의 음의 방향으로 약 0.6-0.7배 정도로 나타난다.

2) 인공용승구조물에 의한 용승효과는 TAS>TPS>TPR 순으로 나타나는데 이는 사면의 거침정도가 적을수록 용승효과가 탁월함을 나타낸다.

3) 인공용승구조물에 의한 후류길이는 3차원 수치실험을 통하여 얻은 값이 2차원 수치실험의 결과 값보다 약 0.5배 정도로 나타났다. 이는 선행 연구(김, 2000)에 의해 밝혀진 결과와 뜻을 같이한다.

4) 난류에서의 인공용승구조물에 의한 후류길이는 유속의 변화에 상관없이 거의일정한 값을 가진다.

5) 인공용승구조물의 높이( $H_V$ )에 대한 길이(L)비( $L/H_V$ )가 증가할수록 후류영역도 비례적으로 증가하며 후류길이는 로그 함수 적으로 증가한다.

이상의 결과로부터 인공용승구조물 주위의 유동특성 및 기능성 예측을 할 수 있을 것으로 사료된다. 그러나, 수치실험이 극히 제한적인 조건에 대해 수행되어져 현장조건을 고려한 설계에 있어 기초자료로 사용되기에는 아직도 미흡하다. 이러한 점을 보완하기 위해 다양한 현장조건을 고려한 연구의 수행이 필요할 것이다.

### 참고 문헌

- 류청로, 이익효, 김현주, 정진호, (1993). "수중수산시설물에 작용하는 유체력 및 지반거동의 해석", 한국해양해양공학회 학술발표논문초록집, pp 101-105.
- A. P. Kroon, K. Hoekstra, K. Houwman and G. Ruessink, (1994). "Morphological monitoring of a shore face nourishment nourtec experiment at Terschelling", The Netherlands. Coastal Eng., Vol 161, pp 2222-2236.
- T. Yanagi and M. Nakajima, (1991). "Change of oceanic condition by the man-made structure for upwelling". Marine Pollution Bulletin, Vol23, pp 131-135.
- T. Yanagi and S. Okada, (1993). "Tidal front in the Seto Inland Sea". Memoirs of the Faculty of Engineering, Ehime University, Vol 12-4, pp 337-343.