

흐름장에서 인공용승구조물의 블록투하 및 용승효과에 관한 실험적 연구

전용호* · 이경선* · 강윤구** · 류청로*

*부경대학교 해양공학과

**삼성물산(건설부문)

An Experimental Study for the Falling Test and Upwelling Effect of the Artificial Upwelling Structures in Flow Field

YONG-HO JEON*, GYUNG-SUN LEE*, YOON-KOO KANG** AND CHEONG-RO RYU*

*Department of Ocean Engineering, Pukyong National University, Buasn, Korea

**Engineering and Construction Group, Samasung Corporation, Seongnam, Korea

KEY WORDS: Artificial upwelling structures 인공용승구조물, Optimum section 최적단면, Stratification parameter 성층계수, Falling test 투하실험, Deposit test 퇴적실험, Upwelling effect test 용승효과실험

ABSTRACT: The multiplication equipment of marine products with artificial upwelling structures could be useful in the fishing grounds near coastal areas. Artificial upwelling structures could move the inorganic nutrients from the bottom to the surface. Artificial upwelling structures have been used to improve the productivity of fishing grounds. Until now, research on artificial upwelling structures has been related to the distribution of the upwelling region, upwelling structures, and the marine environment. However, little work on the optimum design of the rubber-mound artificial upwelling structures has been done to increase the efficiency of drawing up the inorganic nutrients. This study investigated the optimum cross-section of rubber-mound artificial upwelling structures by means of hydraulic experiments. The hydraulic experiments include the falling test of rubber. Based on the results of the falling test, the relationship between the length of the rubber mound and water velocity, and the relationship between the shape of the rubber and the stratification parameter were established. In addition, the effect of the void ratio of various artificial structures on the stratification parameter was studied. From the experiment, it was found that upwelling could be enhanced when the ratio of structure height to water depth was 0.3 and stratification parameter was 3.0. The upwelling was not improved when the void ratio exceeded 0.43. The optimum size of rubber mounds was determined when the incident velocity was influenced by the mean horizontal length rather than size of block.

1. 서 론

최근들어 연안의 수산 어획량이 급속히 감소함에 따라 '잡는 어업'에서 '기르는 어업'으로 전환하기위한 해양환경을 적절히 제어함으로써 적정 생태서식환경을 조성하기 위해 다양한 수산 증식시설의 개발 및 배치에 관한 논의가 이론적으로, 실험적으로 활발하게 이루어지고 있다. 생태계 제어 · 조성을 통한 어장 환경 창조, 수산생물자원의 증식을 위한 기술로는 착저식 및 부유식 인공어초, 해조초, 도류제 인공용승구조물, 저질개량구조물 등에 관한 요소기술과 종합적 배치기술을 중심으로 생각할 수 있다고 강조하고 있다(김현주 등, 1996). 특히 생태서식환경 조성을 위한 해양구조물 설치에 관한 연구가 활발히 추진되고 있으며, 이 중에서 해저면에 설치하여 해저면에 퇴적된 풍부한 영양염류를 부상시킬 수 있고, 자체적으로도 서식지의 역할이 가능한 인공어초가 대표적인 사례이다.

이러한 인공용승구조물의 기존 연구사례를 살펴보면, 일본에서 가로 45m, 세로 10m의 인공용승구조물을 설치한 실험적 실험을 통해 조류유속 2할 증가, 표층의 클로로필 a 농도 2~3배 증가, 동물플랑크톤의 개체수 및 침전량도 2배 증가하였으며, 저서생물의 경우 구조물설치 후 2년간은 감소하다가 3년 이후에는 종·개체수가 모두 증가하였던 것으로 보고하고 있다(Yanagi and Nakajima, 1991).

인공용승구조물은 블록이나 자연석을 투하하여 설치하고, 또한 수심이 10~50m 정도로 깊고 저질 조건이 열악한 경우가 많기 때문에 시공상의 난점이 있다(일본해양어장기술연구원, 1996-1999). 그리고 인공용승구조물의 설계 및 시공을 위한 기본적 수리특성 파악을 위한 해석·평가 도구가 정립되지 않았다. 특히 사석 구조물 형태의 인공용승류제어구조물에 대한 최적단면설계 및 시공의 정확성을 위한 연구가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 인공용승구조물 최적단면의 설계 및 시공의 정확성을 위한 지침정립을 위해, 흐름장에서 인공용승구조물의 요소인 블록투하 및 퇴적 그리고 용승효과 실험을 통하여 용승관련수리특성을 해석·정리하고자 한다.

교신저자 전용호 : 부산광역시 남구 대연3동 599-1

051-620-6220 yh21jeon@mail1.pknu.ac.kr

2. 수리모형실험

2.1 인공용승구조물의 수리학적 특성

Fig. 1은 인공용승구조물 설치에 따른 수리현상 모식도로써, 인공용승구조물을 설치함으로써 흐름이 구조물에 의해 상향류와 배후의 와류가 발생한다. 이때 상향류에 의해 저층의 영양염류가 표층으로 이동되고, 이는 표층부쪽에선 플랑크톤 및 어류 등의 생태활동을 촉진시켜, 부족 어업생산성을 향상시키는 역할을 한다. 이러한 인공용승의 현상은 해역의 성층상태와 결부되며, 일반적으로 성층계수(S , Stratification parameter)라 하여 에너지 방정식으로부터 $\log\left(\frac{h}{V_h^3}\right)$ 으로 표현할 수 있다. 여기서 h 는 수심, V_h 는 수평유속이다. 이는 수직혼합성분을 에너지 평형으로부터 유도한 것으로 주로 조석전선의 위치를 파악하고자 할 때 사용된다. 성층계수와 용승효과에서 유속이 강할 경우에는 배후면 와류에 의해 용승이 잘 이루어지지 않고, 유속이 약할 경우에는 성층의 형성 자체가 이루어지지 않아 용승이 나타나지 않는다. 기존 연구결과에 따르면 해역에 따라 다르지만 일반적으로 성층계수 값이 2.5~3.0의 범위인 지역에 인공용승구조물을 설치하였을 때 용승효과 즉, 저면의 해수가 0.2h까지 도달률이 높다고 보고 된 바 있다 (Yanagi and Okada, 1993).

2.2 실험조건 및 방법

본 실험에서는 Fig. 2와 같이 1m(폭)×1m(깊이)×35m(길이) 크기의 흐름발생이 가능한 회류수조를 사용하였다. 인공용승구조물은 해상에서 블록 등을 투하하여 조성하는 제방형태이고, 인공용승구조물이 설치되는 지역은 수심이 깊고, 흐름이 존재하기 때문에 블록 투하시의 블록의 거동을 중심으로 구조물의 형성을 검토해야 할 필요가 있다. 따라서 실험조건은 남해안 매물도 부근 해역으로 대상으로 하였으며, 이를 바탕으로 유속값을 설정하고, 초기의 투하 조건을 통일시키기 위해서 투하장치를 설치하였다(Fig. 2). 실험에서 사용한 블록은 길이가 l_B 인 정육면체의 불투과형이다. 유속은 초음파 도플러 유속계를 용승구조물 전·후 2곳에서 측정하였다. 유속계의 모

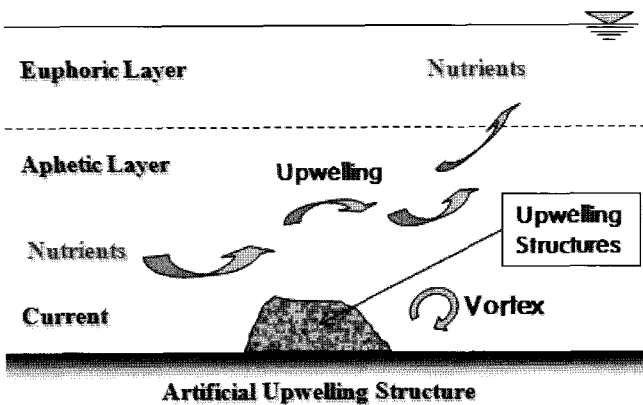


Fig. 1 Conception of artificial upwelling structure

델명은 ADV lab(NORTEK)이며, 측정유속 범위는 ±2500mm/s, 초음파 주파수는 10MHz, 샘플링 볼륨은 0.25cm³ 이하이다. 실험은 블록투하 및 퇴적실험 그리고 용승효과 해석 실험으로 나누어 실시하였고, 실험조건 및 방법은 Table 1에 나타내었다.

먼저 블록투하 실험은 Table 1에서와 같이 각각 한 변 길이가 0.8cm, 2cm, 3cm인 정육면체 블록에 대해서 유속이 없는 정류시와 9.5cm/sec사이에서 실시하였다. 침강속도는 수면의 입사 후 저면에 도달하는 장면까지 디지털비디오카메라 (SONY VX2000)를 이용하여 계측하였다.

또한 블록투하에 따른 퇴적실험은 한 변 길이가 각각 0.8cm, 2cm, 3cm 인 정육면체 블록에 대해서 유속이 없는 정류시와 9.5cm/sec사이에서 실시하였다. 유속이 없는 경우 2000번, 2.4cm/sec인 경우 500번, 5.5cm/sec와 9.5cm/sec인 경우는 1000번 실험을 실시하였다.

그리고 용승구조물에 의한 흐름특성의 변화를 파악하기 위한 용승효과실험은 블록투하에 의해 형성되는 용승구조물의 형상을 Fig. 2에서 보는 바와 같이 높이 h_s 인 삼각형상의 제방으로 단순화 시켜서 수행하였다. 각각 한 변 길이가 0.8cm, 2cm, 3cm인 정육면체 블록에 대해서 유속이 없는 정류시와 9.5cm/sec사이에서 실험하였다. 유속계측지점은 구조물 주위에서 $\Delta x/z = 0.125$, 외곽에서는 $\Delta x/z = 0.625$ 로 하였고, 연직계측간격은 $\Delta x/h = 0.125$ 로 하였다. 계측은 자료의 통계적 안정을 위해 0.2sec의 추출 간격으로 1024개 이상의 유속값을 계측하였다. 지점유속은 Fig. 2에서 x 축 및 z 축의 유속값을 계측 후, 필터링하여 평균값을 사용하였다. 지점유속인 수평 성분과 수직성분의 비를 분석하여, 구조물 전면의 흐름장 변화를 판단하였다. 유향변화는 배후면 후류역에서 계측되어진 유속경사로 판단하였다. 그리고 용승효과 해석을 위한 유속경

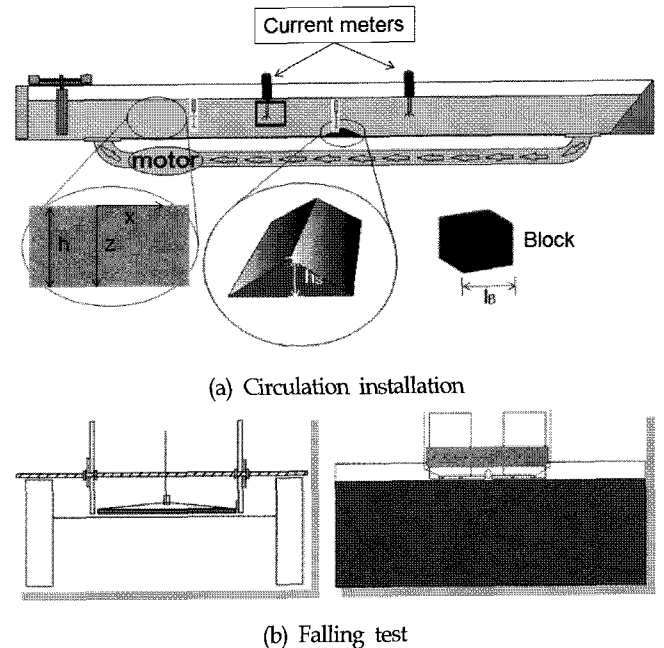


Fig. 2 Experimental setup

Table 1 Experimental conditions

Titles	Block size l_B [cm]	Depth h [cm]	Structures height h_s [cm]	Current speed V_h [cm/sec]	Blocks number
Falling test	0.8	80	×	0	500
	2			2.4	500
	3			5.5	500
				9.5	500
Deposit test	0.8	80	×	0	2000
	2			2.4	500
	3			5.5	1000
				9.5	1000
Upwelling test	0.8	80	10	2.4	
			20	5.5	
			25	9.5	

Table 2 The mean horizontal distance and mean falling speed

Case	Blocks sizes l_B [cm]	Stratification parameters $S[\log(h/V_h^2)]$	Mean horizontal distance l_f [cm]	Mean falling velocity V_s [cm/sec]
1	0.8	-	-2	13.662
2	0.8	3.67	10	14.468
3	0.8	2.96	29	15.000
4	2	3.67	9	18.285
5	2	2.96	22	20.994
6	3	-	4	26.185

사는 $V_{s-mean} = \frac{V_v-mean}{V_h-mean}$ 로 정의하고, 수평 및 수직 평균 유속의 변화율로 나타난다. 유속경사는 연직유속 성분이 상방향인 경우 양의 값을 가지며, 하방향인 경우 음의 값을 가진다. 그리고 구조물 주위에서의 흐름을 육안으로 관측하기 위하여 염료투입장치를 설치하였다. 염료는 로다 민-B 용액을 사용하였다. 염료의 방출 지점은 구조물 전면에서 연직방향으로 10cm씩 등간격으로 구성하였다.

3. 실험 결과

3.1 블록투하실험

Table 2는 블록의 크기 및 유속을 변화시키는 경우 블록의 평균수평거리(l_f)와 평균침강속도(V_s)를 나타내고 있다. 여기서 성층계수S의 범위가 2.96~3.76이다. 기존의 연구결과에서 성층계수S의 범위가 2.5~3.0인 것에 비하여 범위가 달라진 것은 현장을 조건을 고려하여 유속을 결정했기 때문이다. Fig.

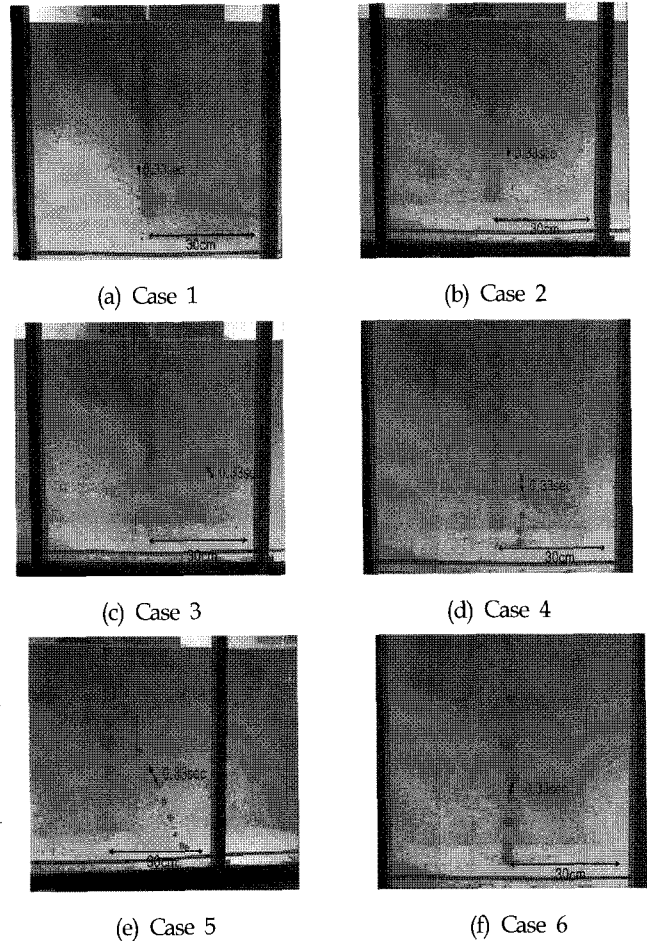
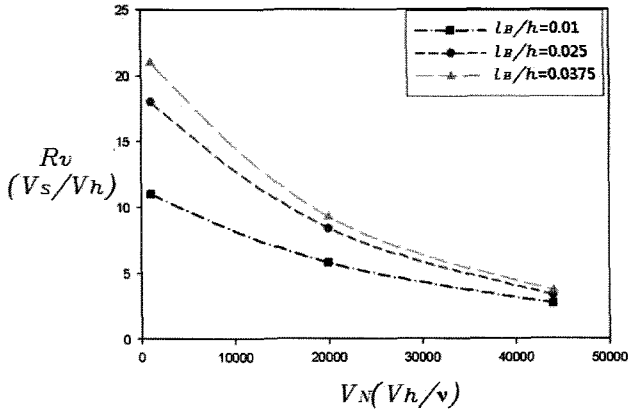


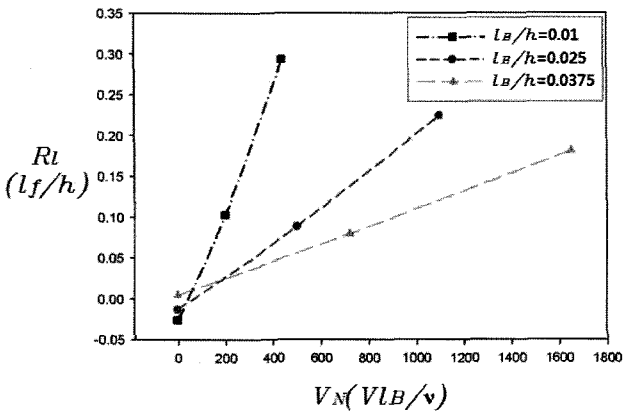
Fig. 3 Photo of falling motion of blocks (time interval: 0.033 sec)

3은 Table 2의 Case 1~6에 대한 실험장면으로서 0.03초 간격으로 연속촬영한 블록의 침강 궤적을 보여준다. Case 1~3은 블록의 크기를 0.8cm로 동일하게 한 경우로서, Case 1은 흐름이 없는 정류시, Case 2, 3은 성층계수가 각각 3.67과 2.96인 경우이다. Case 4, 5는 Case 2, 3과 유속이 같고 블록의 크기를 0.8cm에서 2.0cm로 다르게 한 경우이고, Case 6은 Case 1과는 유속이 같고 블록의 크기 0.8cm에서 3.0cm로 다르게 한 경우이다. Case 1~3에서 성층계수S가 작을수록 수평이동거리 l_f 와 평균침강속도가 증가하고 있다. 즉, 유속이 증가하면 블록의 수평이동 거리와 침강속도가 증가하는 것을 알 수 있다. Case 4~6과 Case1~3을 교하면, 블록의 크기(l_B)가 0.8cm에서 2.0cm로 커지면, 성층계수(S)가 2.96인 경우 블록의 수평이동 거리는 29cm에서 22cm로 작아지고 침강속도는 15.0cm/sec에서 21.0cm/sec로 증가함을 볼 수 있다. 이는 항력의 증가보다 구조물 크기에 따른 증가가 크기 때문이다.

Fig. 4는 블록투하 시 각각의 블록 크기에 대하여 무차원 유속에 $V_N = (V_h l_B / \nu)$ 변화에 따른 (a)수평유속(V_h)에 대한 상대적 침강속도 $R_V = (V_s / V)$ 와 (b)수심에 대한 상대적 수평이동거리 $R_l (=l_f / h)$ 를 나타낸 것이다. 여기서 V_s 는 침강



(a) Falling velocity



(b) Horizontal distance

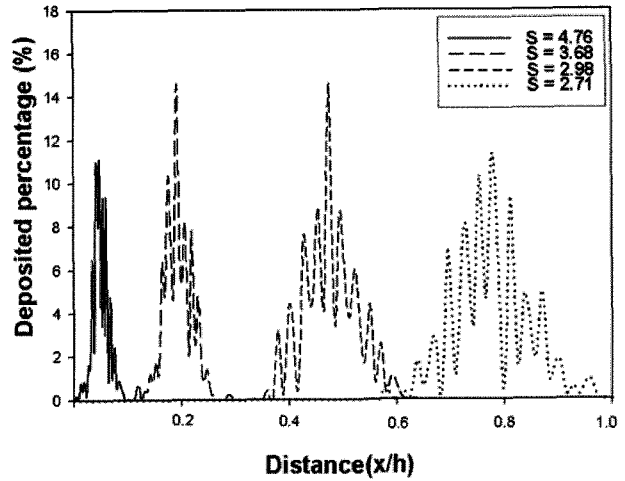
Fig. 4 (a) Variation of falling velocity and (b) mean horizontal distance with block sizes

속도, l_f 는 블록의 수평이동거리, ν 는 동점성계수이다. Fig. 4(a)는 무차원 유속 V_N 이 커지면 수평유속에 대한 블록의 상대침강속도 R_V 가 작아지고 블록이 클수록 R_V 가 커지고 있다. 이때 블록의 크기에 관계없이 무차원 유속이 커짐에 따라 블록의 상대침강속도가 3의 값으로 수렴하는 경향을 보여주고 있다. 이는 블록의 크기가 침강속도에 미치는 영향은 유속이 작은 경우에는 크게 나타나지만, 유속이 큰 경우에는 미미한 것으로 나타났다.

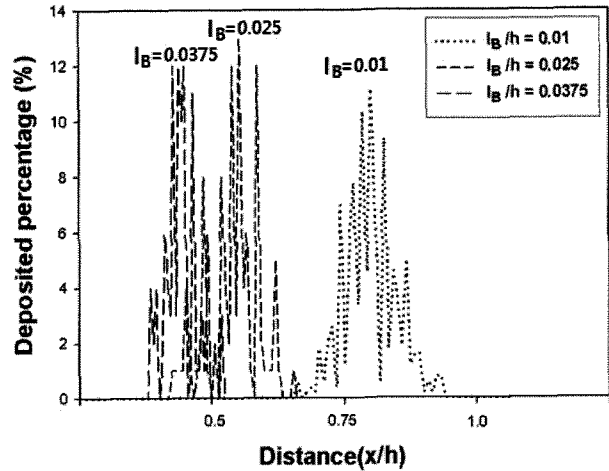
수심에 대한 상대적 수평이동거리 R_l 은 무차원 유속 V_N 이 증가함에 따라 커지고 있으며, 또한 블록이 작을수록 크게 나타나고 있다. 즉, 블록의 수평이동거리는 블록이 작을수록 유속의 영향이 크을 알 수 있다.

3.2 블록의 퇴적특성

Fig. 5는 성층계수(a)와 블록 크기(b)에 따른 블록의 퇴적위치의 분포도를 나타내고 있다. 먼저 Fig 5(a)는 $l_B/h=0.01$ 인 경우 성층계수 $S=2.71\sim 4.76$ 에 대한 블록의 퇴적분포를 나타내



(a) $l_B=0.01$



(b) $S=2.71$

Fig. 5 Deposited percentage of (a) variable stratification parameter and (b) block sizes

고있다. 성층계수의 감소(유속증가)에 따라 퇴적 위치가 투하지점으로부터 멀어지고 있고, 퇴적분포의 범위가 넓어지는 경향을 보이고 있다. 블록의 퇴적분포는 무차원 수평이동거리 ($l_{f-mean}=x/z$)로 정리하면, $S=4.76$ 의 경우 $l_{f-mean}=0.082$ 이고, $S=3.68$, $S=2.96$ 과 $S=2.71$ 의 경우는 l_{f-mean} 가 각각 0.189, 0.442와 0.834이다. S 가 감소함에 따라 l_{f-mean} 가 급격하게 증가하는 것을 알 수 있다. 무차원 수평이동거리는 블록의 이동거리를 수심으로 나눈 값으로서 블록 투하시 정치하고자 하는 지점에 대한 블록의 퇴적지점 거리를 말하는 것으로서 블록의 중앙집중도와 분산을 파악할 수 있다. Fig. 5(b)는 S 가 2.71인 경우, l_B/h 가 0.01, 0.025와 0.0375에 대한 블록의 퇴적분포를 나타내고 있다. l_B/h 가 0.01인 경우, l_{f-mean}

의 값이 0.446이다. 그리고 0.025와 0.0375인 경우는 $l_f - mean$ 값이 각각 0.540과 0.834이다. 분산효과를 고려하면 l_B/h 의 값이 0.2이내가 적당하다고 판단된다.

3.3 인공용승구조물의 용승효과 해석

3.3.1 구조물의 규모에 따른 용승효과

용승효과해석을 위한 실험은 유속이 2.4cm/sec, 5.5cm/sec 와 9.5cm/sec인 경우에 대하여, 구조물의 높이가 10cm, 20cm, 25cm인 경우를 실험하였다(Table 1). 용승효과해석을 위한 Fig. 6은 육안으로 확인하기 위하여 염료실험으로 확인한 구조물 주변에서의 층별 흐름의 모습을 보여준다. h_s/h 가 0.3, S가 2.96인 경우이다. 흐름은 구조물 전면부에서는 수평의 일정한 유선을 나타내지만, 구조물 상부 및 배후면에서 와류에 의해 혼합되는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 구조물 크기에 따른 유속경사($V_s - mean$)의 변화를 나타내고 있다. 구조물 배후에서 표층에서부터 수심 h 의 1/5 영역에 대해서 평균유속경사 값을 구조물의 크기의 변화에 따른 지점유속비의 관계를 나타낸 것이다. 실선은 S가 4.76인 경우이고, 점선은 S가 2.96, 파선은 S가 3.68인 경우이다. S가 4.76인 경우, h_s/h 가 0.3까지 증가함에 따라 $V_s - mean$ 도 0.03에서 0.1까지 증가하는 현상을 보인다. S가 3.68인 경우, h_s/h 가 0.24까지 증가함에 따라 $V_s - mean$ 은 0.04까지 증가를 보이

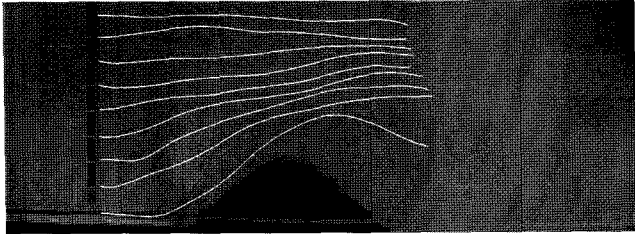


Fig. 6 Pattern of flow around artificial upwelling structures

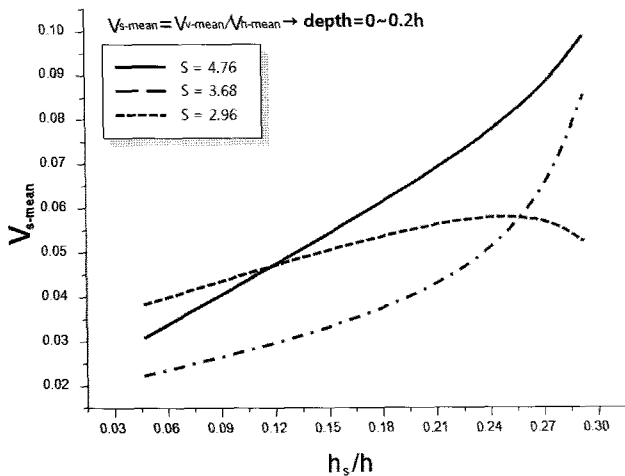


Fig. 7 Variation of velocity gradient with the height of structures

다가 h_s/h 가 0.24이상으로 증가하면 $V_s - mean$ 은 0.04에서 0.1까지 급격하게 증가하는 현상을 보인다. S가 2.96인 경우, h_s/h 가 0.24까지 증가함에 따라 $V_s - mean$ 은 0.055까지 증가하다가 h_s/h 가 0.24이상으로 증가하면 $V_s - mean$ 은 0.055에서 0.04까지 감소하는 현상을 보였다. 이는 $h_s/h > 0.3$ 이상이 되면 표층부근에서 유속경사가 강하게 나타나지만, 배후에서는 와류가 형성되어 저층에서 수직유속이 발달하지 않음을 볼 수 있다. 성층계수가 크고 구조물의 크기가 큰 경우 지점유속비가 h_s/h 의 값이 0.3까지는 증가하다가 이후부터는 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 구조물의 크기가 $h_s/h > 0.3$ 일 경우, 용승효과가 미비하게 나타날 수 있음을 나타낸다.

3.3.2 공극률에 따른 용승효과 해석

인공용승구조물은 구조물이 가지고 있는 재료 및 형태에 따라 달라질 수 있는데, 그 중에서도 공극률이 중요한 요소라고 할 수 있다. Table 3은 공극률에 따른 용승효과 해석을 위해 각각의 구조물의 재료 및 형태에 따른 공극률을 보여주고 있다. 이는 5번에 걸쳐 공극 실험을 수행한 후 얻어진 결과를 평균한 값으로, 블록이 T.T.P보다 낮은 것은 정육면체로 구성되어 있어 서로의 맞물림이 우수하기 때문이다. 이는 완전포화 상태에서 실험한 결과이다.

구조물 재료의 공극률에 따른 인공용승효과 실험에서는 앞서 연구결과를 고려하여 가장 양호한 용승효과를 발생시킬 수 있는 조건으로 $h_s/h = 0.3$, S= 2.96인 경우만을 수행하였다. Fig. 8은 공극률이 따른 유속장의 변화를 나타낸 그림이

Table 3 Structures condition of void ratio

Title	Impermeable layer	Block	T.T.P
Void ratio	0	0.43	0.58

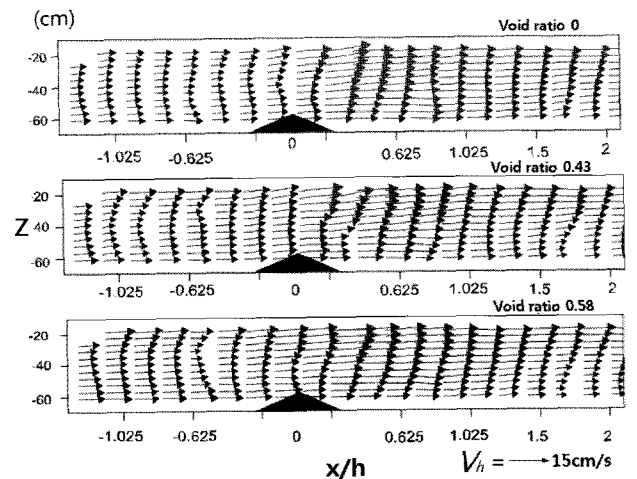


Fig. 8 Variation of current field by void ratio

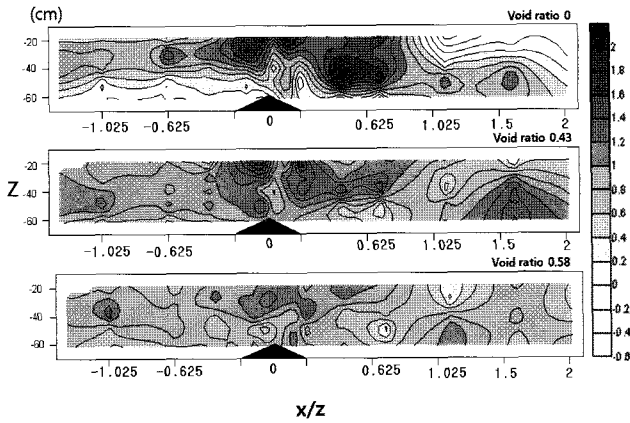


Fig. 9 Distribution of mean velocity gradient by void ratio

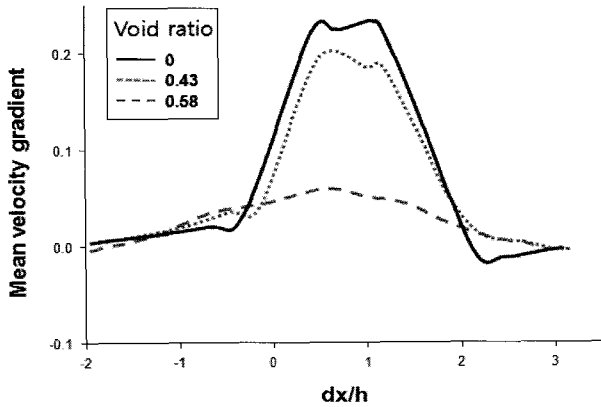


Fig. 10 Variation of mean velocity gradient by void ratio

다. 공극률이 0인 불투과성 사면일 경우, 구조물을 지나면서 유속경사가 강하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 공극률이 0.43인 블록의 경우는 구조물을 지나면서 유속경사가 나타나 불투수성 사면 보다 작게 나타남을 알 수 있다. 또한, 공극률이 0.58인 T.T.P의 경우는 구조물을 지나면서 커지는 것이 보이나 상승하는 유속은 상대적으로 작은 값이 나타난다.

Fig. 9는 공극률에 대한 유속경사를 나타낸 것으로 진한 부분은 연직 방향으로 상승하는 유속이 크게 나타남을 보여준다. 실험 결과를 통해 불투수단면의 경우가 다른 단면 실험결과와 비교해 구조물 배후에서 짙게 나타나고 있다. 또한 불투과성 단면의 경우는 연직유속이 발달한 위치가 명확하게 나타나고 있다. 공극률이 0.43과 0.58의 경우에서 보면 0.43의 경우는 구조물을 지나면서 진한 색깔이 나타나고 있으나 공극률이 0.58인 경우는 전체적으로 상승유속 경향을 보인다. 이 경우는 구조물 배후면에 와류의 형성이 강하기 때문이다.

Fig. 10은 수심 20cm인 지점에서의 평균유속경사를 나타내는 것이다. 공극률이 0인 경우를 보면 구조물을 지나면서 평균유속경사가 0.23까지 상승했다가 수심대비 거리가 2인 지점에서 급격하게 감소하는 경향을 보이고 있다. 공극률이 0.43인 경우는 구조물을 지나면서 공극률이 0인 경우와 마찬가지로

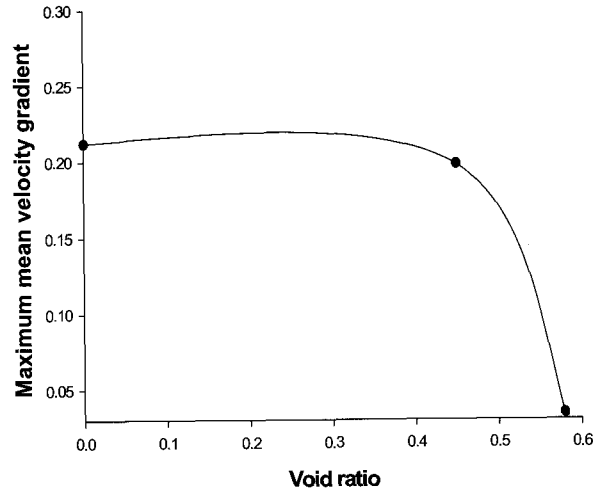


Fig. 11 Variation of maximum mean velocity gradient by void ratio

로 평균유속경사가 0.2까지 상승하다가 수심대비 거리가 1.3인 지점을 지나면서 감소하는 경향을 보인다. 그러나 공극률이 0.58인 경우는 구조물을 지나면서 평균유속경사의 증가가 적고, 완만한 변화를 보이고 있다. 구조물을 통과하면서 용승유속의 큰 증가는 구조물의 공극률이 0.43이상에서 발생하고 있으며, 공극률이 0.43~0.58사이의 어느 값에서 용승유속의 증가가 작아짐을 알 수 있다.

Fig. 11은 인공용승구조물을 설치하여 용승효과를 극대화시키기 위해서는 공극률이 작을 수록 좋다. 예를 들면, 최대 평균유속경사를 0.1이상하고자 할 경우 사용할 재료의 공극률은 0.5보다 작게 해야 함을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 인공용승구조물 최적단면 설계를 위하여 블록의 투하, 퇴적 그리고 용승효과 실험(구조물 규모, 공극률)을 통하여, 용승관련 수리특성을 해석·정리하고자 하였다. 연구로부터 도출된 주요 결론은 다음과 같다.

- (1) 흐름장에서 블록투하시 평균 수평이동거리는 블록의 크기보다 유속의 영향이 더 크다.
 - (2) 블록의 침강속도는 유속 보다 블록의 크기에 의한 영향이 더 크게 나타난다.
 - (3) 사석식 용승구조물의 투수층 효과를 고려하면, 공극률이 작을 수록 용승효과가 크게 나타나며, 0.43~0.58사이에서 용승효과의 증가가 작아짐을 보였다.
 - (4) 용승효과는 구조물의 상대높이(h_s/h)와 성층계수(S)에 영향을 받는다. 수리실험에서 성층계수가 3.0부근, 구조물의 상대높이가 0.3 부근에서 용승효과가 발생함을 알 수 있었다.
- 향후 다양한 유속, 구조물의 크기에 대한 검토가 이루어져야 할 것이다.

후 기

본 연구에 참여한 이경선은 [2단계 BK21사업]의 지원을 받았음. 연구비지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

김현주, 류청로, 손원식 (1996). "생태계제어 구조물의 파랑제어 효과에 관한 연구", 한국해양공학회, 제10권, 제4호, pp 149-159.

일본해안어장기술연구회 (1996-1999). "인공어장조성구조물개발에 관한 보고서"(in Japanese).

Yanagi, T. and Nakajima, M. (1991). "Change of oceanic condition by the man-made structure for upwelling", Marine Pollution Bulletin, Vol 23, pp 131-135.

Yanagi, T. and Okada, S. (1993). "Tidal front in the Seto Inland Sea", Memoirs of the Faculty of Engineering, Ehime University, Vol 12-4, pp 337-343.

2007년 4월 19일 원고 접수

2007년 8월 10일 최종 수정본 채택