

인공리프 개구폭 변화에 따른 흐름특성 고찰 Hydraulic Characteristics Investigation due to the Change of Gap Width between Artificial Reefs

김규한* · 심규태*
Kyu-Han Kim* and Kyu-Tae Shim*

요 지 : 비교적 수심이 낮은 해안에 설치되는 소형어항 및 해안구조물 등은 연안흐름을 방해하여 표사이동의 평형상태를 붕괴시킬 수 있으며 구조물에 의한 회절파의 영향으로 파랑이 집중되어 국소적인 해안침식을 유발시킬 가능성이 크다. 이와 같은 해안침식을 제어하기 위한 대책으로는 다양한 저감공법이 제안되어 이용되고 있으나 이안제, 돌제 및 헤드랜드 등의 공법은 침식제어에 대한 직접적인 효과는 우수할 수도 있으나 해수면위로 구조물이 드러나기 때문에 경관이 우수한 해수욕장에서는 경관을 해치게 되어 적용하기 어려운 측면이 있다. 해안관광을 우선시하는 지역에서는 바다조망권을 훼손시키지 않고 2차적인 환경영향을 최소화 시키고자 하는 목적으로 광폭의 잠제인 인공리프를 채택하는 사례가 증가하고 있다. 한편 인공리프를 설치하고자 할 경우에는 인공리프의 길이와 인공리프 사이의 개구폭 및 해안선으로부터의 이안거리를 어떻게 결정하는지가 중요하다. 그러나 이러한 인공리프의 중요설계요소들에 대한 명확한 설계기준은 확립되어 있지 않다. 본 연구에서는 다양한 종류의 수리모형실험을 수행하고 인공리프 주변에서 발생하는 파랑 및 흐름장의 변화를 PIV기법 등을 이용한 정밀측정 및 해석을 수행하여 인공리프 길이와 이안거리 및 개구폭에 대한 기준을 제시하고자 하였다.

핵심용어 : 인공리프, 개구폭, 이안거리, 해안침식, 설계기준

Abstract : Small fishing ports and coastal structures installed in a relatively low sea water depth disturb the wave induced current and cause the collapse of equilibrium state of sediment transport. These structures creates diffracted waves and matter the concentration of waves to cause the beach erosion. In order to mitigate these eroding problems on the beach, many counter measurements were proposed such as detached breakwater, groin or headland; however, these methods interrupt the aesthetic view of sandy beach due to the exposed structures above the sea level and have difficulty of applying to those beaches with the good scenery. Furthermore, some of these methods create secondary environmental problems after the installations. To eliminate these problems, one of the countermeasures, artificial reefs have been selected and used worldwide to minimize the disturbance of the scenery and secondary effects on the environment. Meanwhile, it is important to set the design elements for installing the artificial reefs such as that of length, opening width, clearing distances from the shoreline and more. Nevertheless, there are no construction manuals or standards for designing the artificial reefs with these important design elements yet. In this study, different conditions of artificial reefs were used with various cases throughout hydraulic model test to precisely analyze the changes of waves and currents to propose the standards of design elements to install the artificial reefs.

Keywords : artificial reef, opening width, clearing distance from the shoreline, beach erosion, design elements

1. 서 론

연안보전시설로서의 인공리프는 구조물의 상단이 수면아래에 위치하여 바다 조망권을 확보할 수 있으며, 다른 침식제어 시설에 비하여 주변해안에 2차적인 침식을 최소화 할 수 있기 때문에 여가 및 휴양시설 장소로서의 해수욕장 이용에 보다 유리한 측면을 지니고 있다. 뿐만 아니라 해조류, 어류 등의 해양생물의 서식처를 제공하기 때문에 경관성, 환경성

및 지역경제의 소득 증대 등의 이유로 인공리프의 설치 사례가 증가하고 있다. 인공리프는 단일 구조물로 설치되는 사례가 드물고 일반적으로 2개 이상 설치되는 경우가 많다. 2개 이상의 인공리프가 설치될 경우, 개구부 및 인공리프 주위에 국부세굴이 발생되며, 그 현상은 건설 전후의 수심측량결과를 이용한 해저지형변화분석 사례를 통해서도 알려져 있다 (Minami and Mano, 2001). 인공리프 주변에서의 지형변화에 대해서는 Johnson et al.(2005), Minami and Mano(2002),

*가톨릭관동대학교 토목공학과(Corresponding author: Kyu-Han Kim, Civil Engineering, CatholicKwandong University, 24 Beomil-ro 579beon-gil, Gangneung-si, Gangwon-do 25601, Korea, Tel:+82-33-643-3436, Fax:+82-33-647-3436, khkim@cku.ac.kr)

Uda et al.(2009), Kimura et al.(2010)등에 의해 실험적인 연구 등이 진행되나 있으나, 국내의 경우에는 현장조사를 통하여 인공리프의 효용성을 검토한 연구(Kim and Shin(2014), Kim et al.(2016)) 등이 있을 뿐이며, 인공리프 설치에 따른 흐름장 및 지형변화의 영향까지 검토한 연구는 부족한 실정이다. 인공리프 설치에 따른 구조물 주변의 지형변화 특성에 대한 기준을 제시하기 위해서는 다양한 설치조건에 따른 설치 전후의 수리현상을 실험적으로 면밀히 검토할 필요가 있다.

한편, 인공리프의 길이와 개구폭 변화에 따른 return flow의 발생여부는 개구부에서의 세굴발생과 구조물 침하에 따른 기능저하와 직접적인 연관이 있다. 지형변화는 수위와 저면 유속 계산이 중요하지만 개구부 및 리프주변에서의 급격한 수심변화, 현장 측량에 근거한 효과조사 사례가 적어 정확한 계산 및 예측이 어려운 것으로 알려져 있다(Osanai and Minami, 2003). 뿐만 아니라, 인공리프 길이와 개구부 폭의 결정에 대한 종합적인 연구결과도 찾아보기 어려운 실정이다. 본 연구에서는 수리모형실험을 통하여 인공리프의 설치조건에 따라 변화되는 물리현상을 분석하고, 구조물 배치 조건과

순환류의 발생관계 및 해빈의 안정화에 대한 영향을 고찰하고자 하였다.

2. 실험조건의 설정

2.1 실험시설 및 모형설치(안)

실험은 폭 300 cm, 높이 150 cm, 길이 250 cm의 수조에서 진행되었다. 하상은 베니어보드를 이용하여 해저경사 1/20의 기조마운드를 설치하였으며, 마운드 위에 0.01 cm(d_{50})의 표준사를 약 15 cm 도포하여 투수층 기반조건에서 파랑내습에 따른 흐름변화를 검토하고자 하였다. 인공리프는 보편적으로 사용되는 T.T.P 블록을 난적으로 설치하였으며, Fig.1에서 보여지듯이 마루수심을 1 cm로 고정시킨 후, 이안거리(Y, 83~100 cm), 개구폭(W, 12.5~60 cm), 리프길이(Lr, 100~140 cm), 블록의 외측 전면수심(h, 8.8~11 cm)을 변화하여 총 20개의 조건에 대해 실험을 진행하였다. 구조물의 배치와 파랑의 설정에 대한 치수결정에는 축척 1/50을 적용하였다. 다음 Fig. 2에 실험에 적용된 평면 배치안 중 대표적인 실험안

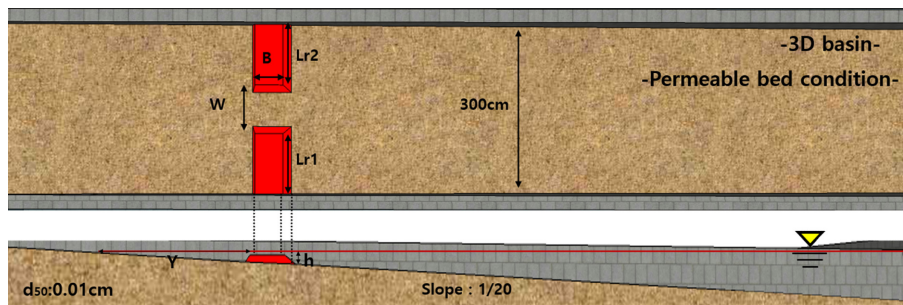


Fig. 1. Definition of structure arrangement and experimental setup.

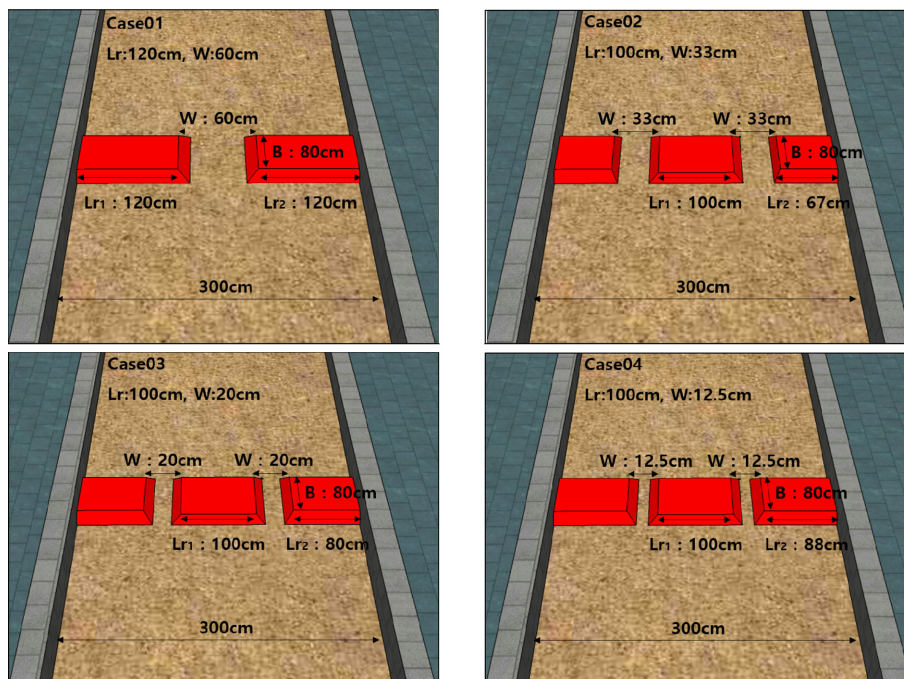


Fig. 2. Structure setup conditions(Case01~04).

2.2 실험파랑

실험에 적용된 파랑은 Table 1에 나타나듯이 인공리프 미 설치시 전후반의 지형형변동에 영향을 미치는 침식성파랑에 대해 이론식을 이용하여 그 범위를 설정하였으며, 사전실험을 통해 침·퇴적 유무를 확인하였다. 그 중 표사이동에 뚜렷한 경향을 나타내는 제원(Hmean: 6 cm, Tmean:1.41sec)을 이용하여 실험을 진행하였다. 이때 파랑은 인공리프의 외측 어깨 법선에 파고계를 설치하여 실험파를 계측하였으며, 파랑이 내습할 때 비쇄파 조건으로 왜곡된 파형이 발생되지 않도록 하였다. 실험은 규칙, 불규칙에 대해 진행하였으며, 본문에는 규칙파에 대한 결과를 위주로 정리하였다.

Table 2에 실험케이스 마다 적용된 매개변수 값을 정리하였으며, 각각의 변수들은 다음과 같이 정의되어 진다.

$$C = H_o/L_o(\tan\beta)^{0.27} \cdot (d_{50}/L_o)^{-0.67} \quad (1)$$

$$F_o = H_o/(V_f \cdot T) \quad (2)$$

식 (1)에서 C는Sunamura 와 Horikawa(1974)가 제안하고 있는 실험식 중 침·퇴적에 대한 무차원 매개변수이며 그 식은 다음과 같이 나타내어진다.

H_o : 심해파고, L_o : 심해파장, $\tan\beta$: 전빈경사, d_{50} : 저질의 중앙입경이며, 실험실 기준으로 다음과 같이 침·퇴적이 분류된다.

- $C > 7$: 침식성 해안(Erosion Type)
- $C < 4$: 퇴적성 해안 (Deposition Type)
- $4 \leq C \leq 7$: 침·퇴적이 반복적으로 발생

식 (2)에서 F_o 는 Dean number이며 다음과 같이 정의 된다. H_o : 심해파고, V_f : 침강속도, T : 주기이며 다음과 같이 침·퇴적이 분류된다(Shore protection manual, 1984).

- $F_o < 1$: 퇴적발생, $F_o > 1$: 침식발생

아울러, 지형변동특성을 나타내는 Mobility number Ψ 와 무차원화된 저면마찰응력을 나타내는 Shields parameter θ 는 다음과 같이 나타내어진다.

$$\Psi = \frac{(A_o)^2}{(s-1)gd} \quad (3)$$

$$\theta = \frac{\hat{\tau}}{\rho(s-1)gd} = \frac{1}{2}f_w \Psi \quad (4)$$

Table 1. Experimental conditions

Wave	Hmean (cm)	Tmean (sec)	Ho/Lo	$\tan\beta$	C	Fo	Ψ	θ
Wave1	4.0	1.13	0.020	1/20	6.79	4.21	45.44	0.071
Wave2	4.0	1.41	0.013	1/20	5.87	3.37	46.07	0.073
Wave3	6.0	1.13	0.030	1/20	10.19	6.31	47.96	0.080
Wave4	6.0	1.41	0.019	1/20	8.80	5.10	48.32	0.084
Wave5	6.0	1.70	0.013	1/20	7.78	4.21	50.06	0.087

여기서, A:경계층 위에서의 웨도 진폭, ω : 각 주파수, $\hat{\tau}$: 저면(바닥) 전단계수, f_w : 파랑 마찰계수를 나타낸다.

2.3 실험장치 및 측정방법

실험은 총 20case에 대해 수행되었으며, 구조물 배치조건은 Table 2에 나타낸바와 같다. 그 중 Case01~Case04는 구조물 설치조건에 따른 파랑변화, 유속변화, 흐름패턴 등 총 3가지 수리특성에 대해 검토하였으며, Case05~Case20에 대해서는 흐름패턴을 위주로 검토·분석하였다. 조파발생시, 하상은 모래를 이용한 투수층상태이기 때문에 내습파랑에 의해 지형변화가 발생된다. 따라서, 각각의 실험을 진행할 경우 초기 하상경사와 블록의 설치조건을 동일하게 하는 것이 가장 중요하다. 본 실험에서는 각 실험안마다 초기지형에 대한 오차발생을 방지하기 위해 레이저 레벨기를 이용하여 실험구간의 하상경사를 확인하였으며, 인공리프 설치시 마루부에 대한 정확한 높이설정을 위해 레이저 레벨기에 의한 상단의 1차 검토와 물채움 후 평균수심에 대해 확인함으로써 실험안에 따라 발생 가능한 지형 및 구조물 설치 오차를 최소화 하였다. 파랑측정의 경우, 용량식 파고계를 이용하여 50 Hz간격으로 계측하였으며 정상파랑 생성 후 계측된 2048개의 데이터를 이용하여 파고변화에 대해 분석하였다. 계측위치는 인공리프 전후면과 개구부 중앙부에서 실시하였으며 조파판 전면에 기준 되는 파고계를 설치하여 수조내 증복파의 발생에 대해 검

Table 2. Test cases

No	Lr1 (cm)	Lr2 (cm)	W (cm)	Y (cm)	R (cm)	B (cm)	Lr1/ Y	Lr1/ W	h (cm)
Case01	120	120	60.0	100	1.0	80	1.20	2.00	10.0
Case02	100	67	33.0	100	1.0	80	1.00	3.00	10.0
Case03	100	80	20.0	100	1.0	80	1.00	5.00	10.0
Case04	100	88	12.5	100	1.0	80	1.00	8.00	10.0
Case05	100	75	25.0	100	1.0	80	1.00	4.00	10.0
Case06	140	57	23.0	100	1.0	80	1.40	6.10	10.0
Case07	140	52	28.0	115	1.0	80	1.22	5.00	10.6
Case08	120	55	35.0	115	1.0	80	1.04	3.40	10.6
Case09	120	62	28.0	100	1.0	80	1.20	4.30	10.0
Case10	120	71	19.0	100	1.0	80	1.20	6.30	10.0
Case11	120	65	25.0	80	1.0	80	1.50	4.80	8.8
Case12	120	55	35.0	80	1.0	80	1.50	3.40	8.8
Case13	120	72	18.0	80	1.0	80	1.50	6.70	8.8
Case14	120	60	60.0	110	1.0	80	1.09	2.00	10.4
Case15	120	67	33.0	110	1.0	80	0.91	3.00	10.4
Case16	100	80	20.0	110	1.0	80	0.91	5.00	10.4
Case17	100	88	12.5	110	1.0	80	0.91	8.00	10.4
Case18	100	65	35.0	120	1.0	80	0.83	2.90	11.0
Case19	100	75	25.0	120	1.0	80	0.83	4.00	11.0
Case20	100	86	14.0	120	1.0	80	0.83	7.10	11.0

토하고자 하였다. 유속은 파고계측 위치와 동일하며, 2차원 전자유속계를 이용하여 50Hz 간격으로 60초간 측정하였다. 여기서, 리프 전·후면은 15 cm, 리프 상단은 20 cm 간격으로 총 15지점에 대해 파고 및 유속분포를 검토하였다. 흐름패턴의 경우 정량적 유동가시화 방법 중 유체유동측정 방법인 PIV(Particle Image Velocimetry)기법을 이용하여 입자추적을 실시하여 각각의 현상을 분석하였다. PIV해석을 위해 수조상부 직각방향으로 HDV:1080i, HD:1,670,000pixel인 고해상도 XHG1카메라를 설치하였으며, 파랑발생 종료시까지 레코딩된 영상자료를 이용하여 sampling rate 1000pps으로 해석을 실시하였다. PIV해석을 위한 입자추적 실험은 2회 반복하였으며, 유동해석결과와 영상장면을 상호 비교하여 흐름분석결과를 확인하였다.

3. 실험결과 분석

3.1 인공리프 주변에서의 흐름변화

인공리프 주변에서의 흐름변화 실험결과, 개구부의 폭(W)과 해안으로부터 인공리프까지의 이격거리(Y) 설정조건에 의해 인공리프 배후에서 입자의 유동시간과 흐름패턴이 변화하는 것을 알 수 있었다. 실험에 적용된 Lr/W 의 범위는 2.0~8.0에 해당되며, case01~04(Fig. 2, Table 2 참조)는 각각 2.0, 3.0, 4.0, 8.0에 해당되므로 대략적으로 각 계급에 대한 대표적인 실험안이라고 할 수 있다. 그 결과에 대해 정리하면 다음과 같다. case01의 경우 단일 개구부를 갖고 있으며 Lr/W 에 대해서도 작은 값을 갖고 있다. 해안에 도달한 내습파랑이 외해로 되돌아갈 때, 강한 흐름이 발생되었으며 인공리프 상단을 통하여 유출되는 흐름은 미소하였다. 특히 인공리프 배후에서 상승된 수위는 개구부를 통한 일방적인 흐름발생과 동시에 뚜렷한 순환cell을 형성시키는 것으로 나타났다. Case02는 2중 개구부를 갖는 배치이며, 전체 개구부의 폭은 case01과 거의 동일하다. 인공리프 배후에서 순환되는 흐름이 발생되었으나, case01에 비하여 다소 작아졌다. 해안전면에서 증가된 유량이 외해로 되돌아갈 때 대부분 개구부를 통해 전파되었으나, 일부 흐름은 중앙에 위치한 인공리프 일부를 통하여 개구부로 유입되는 현상이 나타났다. case03은 Lr/W 와 Lr/Y 의 비가 각각 5와 1인 조건이다. 인공리프 배후에서 수위상승으로 인한 흐름의 정체시간이 case01, 02에 비하여 증가되었으며 외해로 전파되는 흐름은 개구부 뿐만 아니라 리프 상단을 통하여 나아가는 경향이 나타났다. 인공리프 마루를 통하여 이동되는 흐름은 인공리프의 중간지점부터 개구부로 유입되어 해측으로 이동되었다. case04의 경우 Lr/W 값이 실험안 중 가장 큰 조건으로 전 실험안에 걸쳐 배후 수위의 상승이 가장 컸으며 되돌이 흐름은 대부분 리프 마루를 통하여 외해로 나아가는 패턴을 보였다.

실험결과 단일 개구부를 갖는 인공리프 주위에서는 2중 개구부의 경우에 비하여 순환흐름이 탁월하게 형성되었으며,

return flow 역시 강하게 발생되었다. 하지만 case04와 같은 조건이 형성될수록 배후의 수위는 상승될 뿐만 아니라 순환 흐름이 불분명해지며 정체되는 시간 또한 길어지는 것으로 분석되었다.

case05~08과 같이 상대 체체길이가 변화될 때의 흐름패턴에 대한 결과는 다음과 같다. case05의 경우 case02와 case03의 중간적 경향의 흐름결과가 발생되었다. 개구부를 통하여 외해로 전파되는 흐름 이외에 인공리프 상단의 2/3지점까지 흐름이 도달된 후 개구부로 유입되는 현상이 나타났다. case06의 경우 상대적으로 작은 개구폭과 이안거리에 의해 인공리프 배후에서 정체되는 시간이 증가되었으며, case07은 case06에 비하여 정체시간이 감소되었다. Case08은 Lr/W 의 감소로 순환cell이 형성되었으며 개구부를 통해 외해로 전파되는 되돌이 흐름이 강하게 발생되었다. 다음 Fig. 3~5에 각 조건에 대한 흐름패턴을 도시하였다.

이상으로 대표적인 8개의 실험안에 대해 서술하였으며, 전체 실험안에 대한 결과는 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6에서는 상

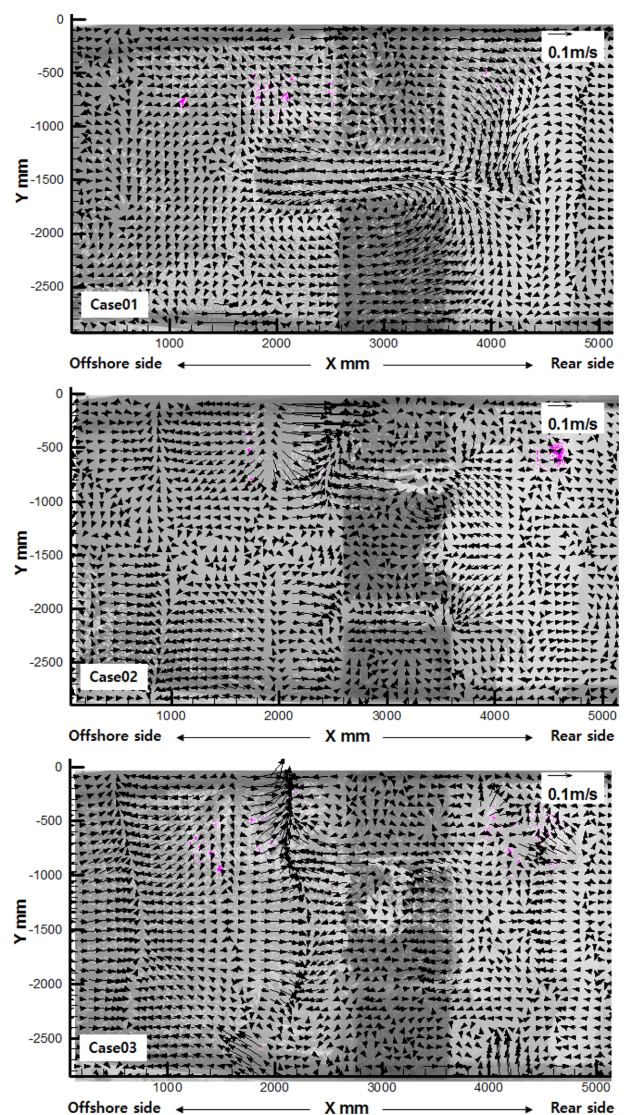


Fig. 3. Result for current pattern(case01~03).

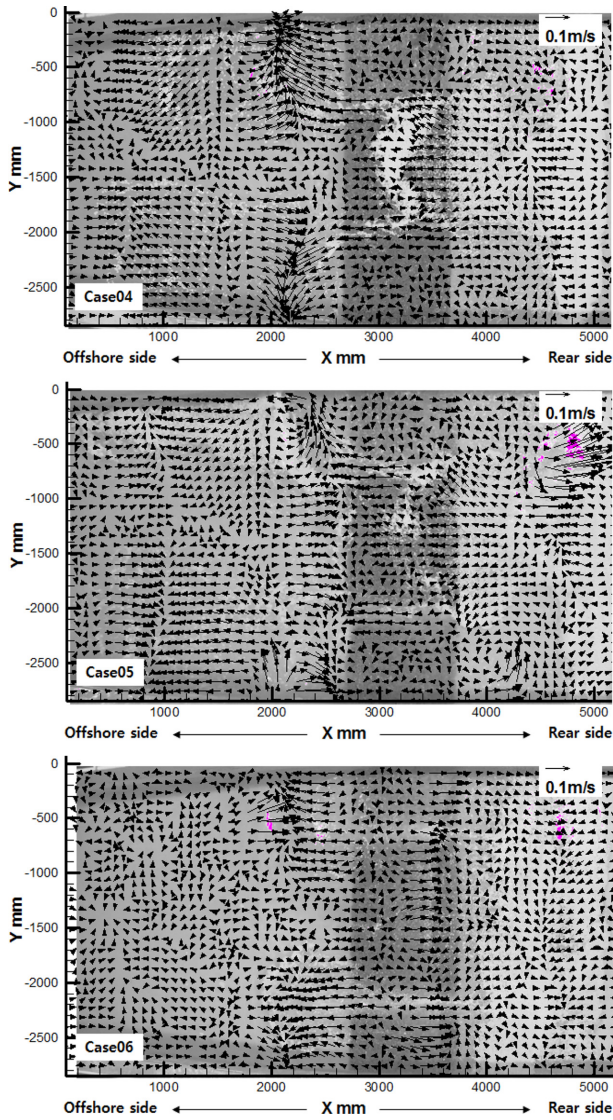


Fig. 4. Result for current pattern(case03~06).

대체체길이(L_r/Y)에 대한 상대 개구폭(L_r/W)에 대해 정리하였으며, 각각의 실험안 비교결과 3개의 영역으로 분류되었다. Section A의 경우 $0 < L_r/W \leq 3.5$ 에 해당되며, 이 영역에서는 인공리프 배후에서 순환cell의 형성으로 인하여 수위 상승량이 작게 발생된다. Section B의 경우 $3.5 < L_r/W \leq 6.0$ 에 해당되며, Section A에 비하여 순환 cell이 약해진다. 반면 상대적으로 배후의 수위 상승량이 증가되고 흐름의 정체시간도 다소 길어진다. 또한, return flow 발생시 최대 해측 방향의 리프상단 2/3지점까지 이안흐름이 도달되며 그 이후, 개구부로 유입되는 경향이 발생된다. Section C의 경우 $6.0 < L_r/W$ 에 해당되며, 인공리프 배후 수위 상승량과 흐름의 정체시간이 가장 길며 순환cell의 형성이 불분명해진다. 또한, 되돌이 흐름 발생시 개구부를 통해 흐르는 이안흐름보다 리프상단을 통하여 전파되는 흐름이 우세하게 나타난다.

PIV 및 영상자료를 이용한 입자추적 분석결과, 인공리프 배후에 위치한 입자가 외해로 되돌아갈 때 설치 조건에 따라 흐

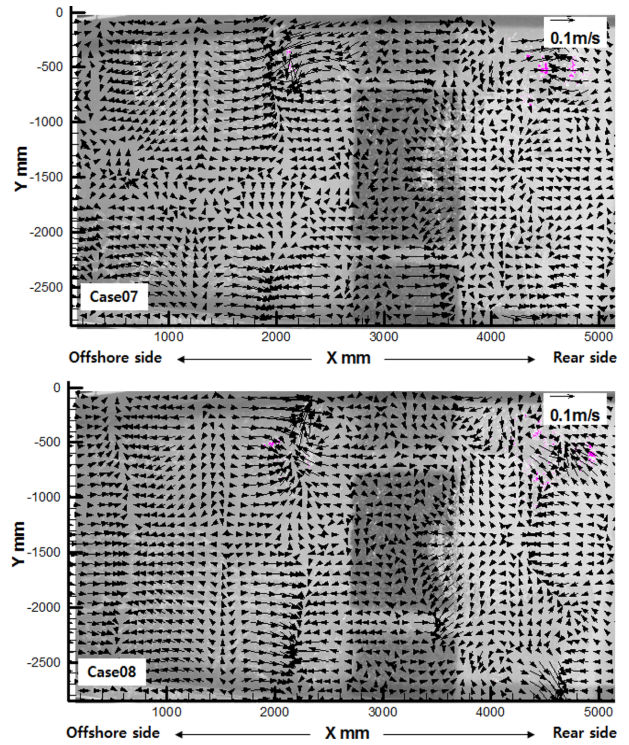


Fig. 5. Result for current pattern(case07, 08).

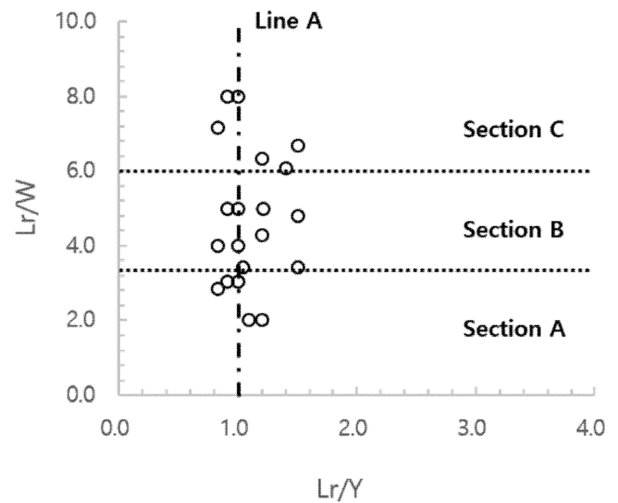


Fig. 6. Comparison of current pattern.

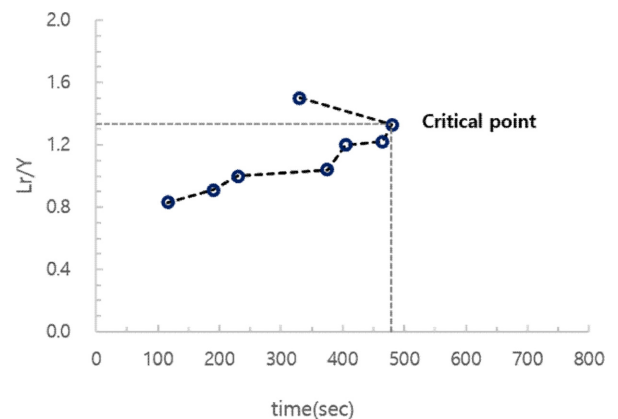


Fig. 7. Transit time with particles on the rear side of artificial reefs(Section B condition).

름에 의한 입자의 정체시간 양상에 차이가 발생되었다. L_r/Y 의 기준을 1.0(Line A)으로 가정할 경우, L_r/W , L_r/Y 의 증감과 정체시간이 비례하는 것으로 나타났으나, 특정 조건을 기준으로 오히려 감소되었다. 본 실험에서 수행한 조건들 중 영역 B의 결과들을 상호 비교하였을 경우 Fig. 7에서 나타나듯이 L_r/Y 가 1.33이 되는 지점을 기준으로 배후에서 흐름의 정체 시간이 감소하였다.

3.2 파고변화

인공리프 상단 및 전후면에서의 파고변화는 조파관 전면에 설치된 파고계의 계측값을 기준으로 비교(H/H_0) 하였다. Fig.

8에 도시되었듯이 리프전면 대부분의 지점에서 파고가 증가되었으며 인공리프의 외해측 저면 시점부에서 이안흐름 등의 영향에 의해 입사파의 1.6배 상당의 파고증가율이 발생되었다. 내습파랑이 해안방향으로 전파될 때 인공리프 외측 어깨부에서 급격한 파랑감쇄가 발생되었으며, 해안방향 거리 60~80 cm 지점에서 가장 낮은 파고비가 나타났다.

또한, 리프배후에서는 개구폭 감소에 의한 수위상승의 영향으로 파고비의 변화가 발생되었으며, 약 0.4~0.6의 범위를 나타내었다. 개구부 전면에서의 파고변화는 리프전면과 같이 증가하는 경향을 나타내었으나, Fig. 9에서 보이듯이 계측된 최대 파고는 외측 어깨부 법선상에서 1.5배까지 증가되었다.

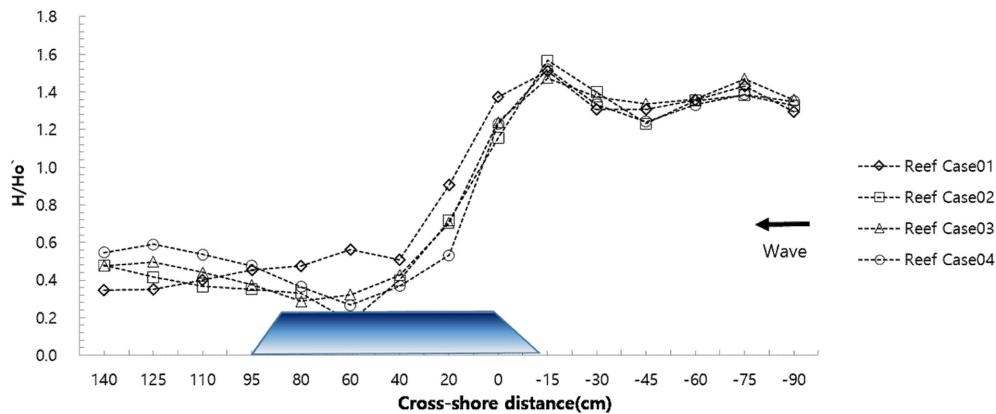


Fig. 8. Result for wave deformation on the reef.

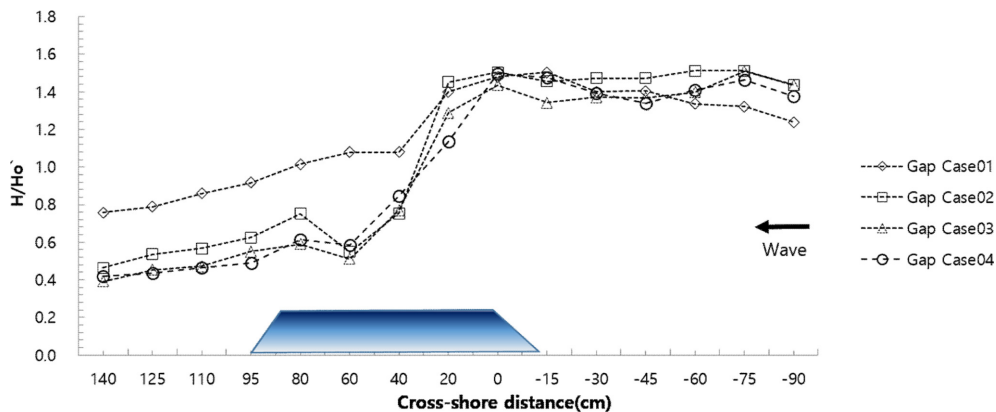


Fig. 9. Result for wave deformation on the gap.

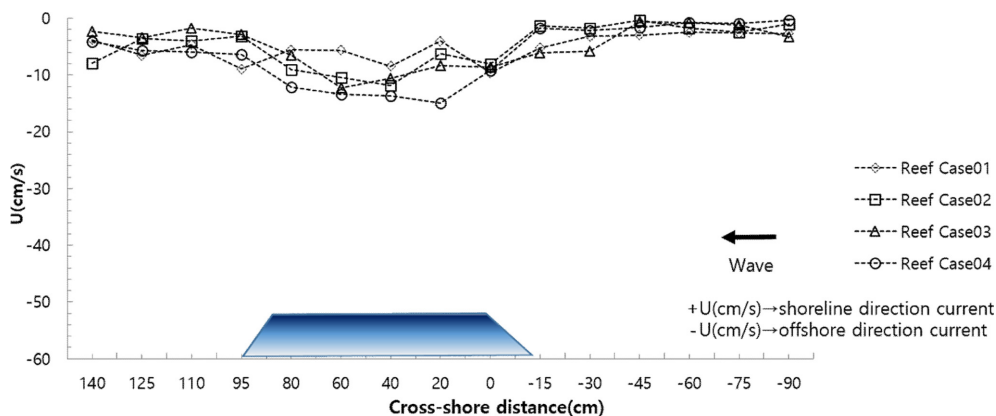


Fig. 10. Result for current velocity on the reef.

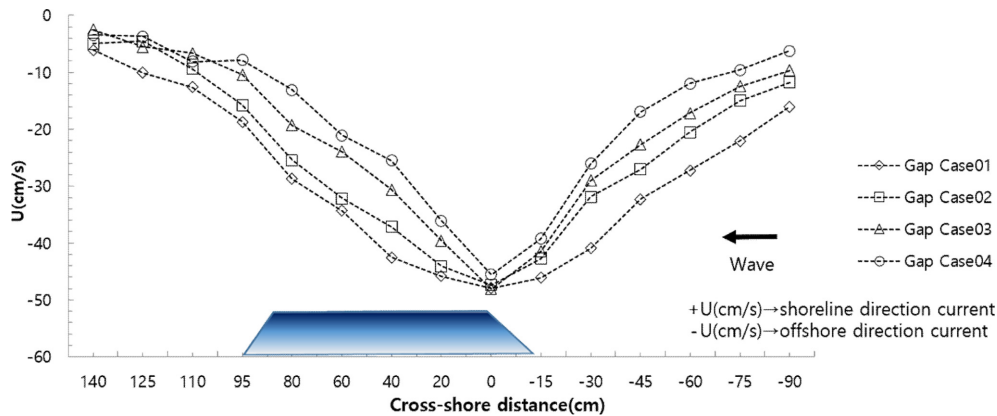


Fig. 11. Result for current velocity on the gap.

또한, 인공리프 사이의 개구폭 내에서는 해안방향 거리 20 cm 지점 이후부터 급격한 파고 감소가 발생되었으며, 해안방향 40~60 cm 지점에서 파고 감소율이 가장 크게 나타났다. 해안 전면에서는 개구부 폭에 따라 약 0.4~0.8의 파고비가 발생되었다. 개구부에서는 쇄파지점의 차이로 리프상에서 계측된 값에 비하여 약 15~20 cm 해안으로 이동된 결과가 나타났다.

3.3 유속변화

인공리프 상단 및 전·후면에서 계측된 유속분포의 경우 개구폭 변화에 따른 급격한 경향(Fig. 10)은 나타나지 않았다. 인공리프 전면에서는 case03의 경우 이안방향으로 최대 6cm/s의 유속이 나타났으며 평균 2 cm/s의 흐름이 발생되었다. 리프배후에서도 개구폭 변화에 따른 뚜렷한 유속변화는 발생되지 않았다. 하지만 리프상단에서는 개구부가 작아질수록 이안방향으로 향하는 흐름이 강해졌는데 이러한 현상은 내습과랑에 의해 증가된 수위(유량)가 외해로 되돌아 갈 때 상대적으로 개구부를 통해 흐르는 유량이 적기 때문인 것으로 분석되었으며, 이때 최대 15 cm/s의 유속이 발생되었다. 개구부에서의 유속은 이안흐름이 인공리프 해안측 어깨부에서 증가되기 시작하였으며 45 cm/s 이상의 최대유속이 발생되었다. 또한, 개구폭이 넓어질수록 최대유속의 지속구간은 증가되었으며, 개구폭이 좁을수록 리프상단을 통해 외해로 전파되는 흐름이 증가되었다(Fig. 11).

4. 결론 및 고찰

인공리프의 평면배치에 따른 수리특성변화를 검토하고자 설치조건을 변화시켜 각각의 현상을 확인하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

(1) 인공리프 주변에서의 흐름은 개구부(W), 인공리프 설치길이(Lr), 이안거리(Y)의 변화와 밀접한 관련이 있으며 Lr/W , Lr/Y 의 비에 따른 순환cell의 형성과도 연관되어진다. 입자운동에 대한 해석결과를 통한 흐름패턴은 순환 cell이 형성되는 Section A($0 < Lr/W \leq 3.5$), 순환 cell의 강도가 약해지

는 Section B ($3.5 < Lr/W \leq 6.0$), 순환류가 불분명해지는 Section C($6.0 < Lr/W$)의 3개 영역으로 구분되어진다. 순환 cell의 형성은 해안 전면에서의 흐름이 정체되는 시간과도 비례하며 Lr/W , Lr/Y 의 비가 증가될수록 정체 시간이 길어지는 경향이 나타났다. 하지만 Fig. 7에서 도시되었듯이 리프길이와 이안거리의 비가 특정 지점을 기준으로 임계점을 형성하였다.

(2) 흐름변화는 인공리프 주위에서의 파고 및 유속 분포와도 비례하였다. 파고의 경우 Lr/W 의 값이 작아질수록 리프배후에서는 순환류의 형성 등의 영향으로 전달파고비가 감소하였으며, Lr/W 가 커질수록 수위상승으로 인한 파고 값이 증가되는 경향이 나타났다. Lr/W 의 감소로 인하여 개구부에서 외해방향으로 최대유속의 지속범위가 증가 되었으며, Lr/W 값의 증가는 리프상단의 유속 값의 증가와도 비례하였다. 이와 같은 흐름변화는 해안선의 변화양상과 전빈 및 개구부에서의 표사 이동량과도 밀접하게 관계될 것으로 예상되며, 이에 대한 추가검토가 필요할 것으로 생각된다.

(3) 개구부와 인공리프 주변에서의 흐름 및 지형변화 특성에 대해서는 대표적으로 인공리프 설계 안내서(the Coast Division, River Department, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2004)에 제시된 연구를 들 수 있는데, 여기서는 인공리프 배후영역에서 발생하는 유향패턴을 대표적으로 4개로 분류하여 설명하고 있으며, 인공리프의 설치 조건에 대해서는 $1 \leq Lr/Y \leq 4$, $0 \leq Lr/W \leq 4$ 의 매우 넓은 범위에서 설계기준이 제시되고 있다. 하지만 본 연구에서는 Lr , W , Y 와의 상관관계에 대한 분석은 유사하나 파랑내습에 따른 개구부 및 인공리프 주변에서의 유속, 파고, 흐름패턴의 변화를 상세히 고려하여 Section A,B,C의 3가지 영역으로 구분하였으며, 각 영역의 구분을 위해서 이안거리 및 개구폭의 변화에 대해 유동해석을 수행하고 배후 흐름의 정체되는 경향, 개구부 및 리프상단을 통해 발생하는 이안흐름의 양상 등 다양한 특성치의 분석이 수행되었다.

(4) 이상의 결과로부터 해빈의 안정을 유도하는 배치는 영역 C에 해당되는 것으로 확인되었다. 설치여건에 따라 변수

가 존재 할 수 있으나, 개구폭은 리프길이의 약 0.15~0.25배, 이안거리는 약 0.7~1.0배가 유리할 것으로 판단된다. 아울러, 인공리프의 길이와 개구폭 및 해안선으로부터의 이안거리는 인공리프 설계시에 가장 중요한 설계요소로서 향후 설계에 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부 지역혁신센터사업(첨단해양공간개발연구센터)과 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비지원(14CRTI-B063773-03)에 의하여 수행되었습니다.

References

- Johnson, H.K., T.V. Karanmbas, I. Avgeris, B. Zanuttigh, D. Gonzalez-Marco, I. Caceres (2005). Modelling of waves and currents around submerged breakwaters, *Coastal Engineering*, 52, 949-969.
- Kimura, A., Ohno, K. and Nakamura, M. (2010). Bathymetric change around artificial reefs along Tottori coast. *J. of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)*, 66, 506-510. (in Japanese)
- Kim, K.H., Shim, K.T., Shin, B.S.(2016). Morphological Change near Artificial Reefs as a Beach Erosion, *J. of Coastal Research*, SI 75, 403-407.
- Kim, K.H., Shin, B.S. (2014). Field Monitoring Examination on Wave Energy Dissipation Effects by Submerged Artificial Reefs, *J. of Korean Society of Coastal Ocean Engineers*, 26(1), 1-8. (in Korean)
- Minami, M., Mano, A. (2002). Study in bottom velocity distribution around opening of impermeable artificial reefs. *J. of civil eng. in the ocean.*, 18, 401-406. (in Japanese)
- Minami, M, Mano, A. (2001). Investigation on constriction instances of artificial reefs and submerged breakwaters, *J. of civil eng. in the ocean.*, 17, 229-234. (in Japanese)
- Osanai, K., Minami, M. (2003). Experimental study on vertical velocity distribution around the opening of artificial reefs, *J. of civil eng. in the ocean.*, 19, 213-218. (in Japanese)
- Revising the Guideline for Designing Artificial Reefs.(2004), The Coast Division, River Department, Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (in Japanese)
- Shore Protection Manual. (1984).4th ed., 2 vols, U.S Army engineer waterways experiment station, coastal engineering research center, U.S. government printing office, washington, DC.
- Sunamura, T. and Horikawa, K. (1974). Two-dimensional beach transformation due to waves, *Proc. 14th coastal engineering conference, american society of civil engineers*, 84-900.
- Uda, T., Morikawa, K., Uehashi, N., Oki, T. et al. (2009). Beach Changes around Artificial Reef with Crests on Kaike Coast and their Prediction, *J. of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)*, 65No. 1, 571-575. (in Japanese)

Received 7 December, 2016

Revised 27 December, 2016

Accepted 28 December, 2016