

인공리프의 설치조건에 따른 표사이동 특성 연구

A Study on Topography Change due to Setup Condition of Artificial Reef

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

요지 : 본 연구에서는 침식성 파랑의 내습조건에 대해 인공리프의 길이(Lr), 개구폭(W), 개구부 수의 변화가 인공리프 주변 지형에 미치는 영향을 검토하고자 하였다. 구조물 주변에서의 표사이동 양상은 이동상실험을 통하여 검토하였으며 인공리프의 설치조건과 발생 유속 및 파랑변형, 지형변동과의 관계에 대해 고찰하였다. 실험결과 인공리프의 설치로 인하여 배후 침식량은 감소하였으나 개구부내에서의 세굴은 복수의 개구부를 갖는 구조에 비하여 단일 개구부를 갖는 조건에서 증가되었으며, Lr/W의 변화와 깊은 연관성을 보이는 것으로 확인되었다.

핵심용어 : 인공리프, 개구부, 저면유속, 표사이동, 수리모형 실험

Abstract : The purpose of this study was to investigate the change of length, opening width, and number of openings effecting on topography change around artificial reefs under erosive wave condition. Hydraulic model test was conducted to see sediment transport around the structures and the relation among the installation condition of the artificial reefs, generated velocity, wave deformation, and topographic change was reviewed. Experimental results show that the sediment transport rate was reduced; however, the scour around the structures was increased under the condition of having a single opening compared to the structures having a plurality of openings which shows inversely proportional to the size of Lr/W.

Keywords : artificial reef, opening width, bottom velocity, sediment transport, Hydraulic model test

1. 서 론

기후변화에 기인된 여러 가지 현상은 해수면 상승과 고파랑의 출현빈도 증가에 영향을 미치며 해안에서의 대규모 표사이동 및 해안시설물 파손등의 피해를 유발시킨다. 그 중 지형학적 변화에 따른 해안침식과 퇴적현상은 연안역의 자연환경 및 생태계의 변화를 초래할 수 있으며, 이에 연관된 분야에 종사하는 어민, 휴양지를 찾는 관광객 등 지역경제 활동에 포함되는 여러 가지 요인들에 직 · 간접적인 영향을 미친다. 이러한 해안침식문제에 대처하기 위한 대책공법으로는 오래전부터 사용되어졌던 이안제 · 돌제 · 헤드랜드 등의 Hard한 대책과 양빈, 인공리프 등의 Soft한 대책으로 대별될 수 있다. 이안제와 헤드랜드 등의 공법은 배후 혹은 측면에 강한 퇴적을 유발시키지만 또 한편은 침식이 동시에 발생하는 문제점을 지니고 있다. 2차 침식의 발생을 최소화하는 환경친화적 대책으로는 양빈을 들 수 있으나 우리나라의 동해안과 같이 해변경사가 급한 지역에는 경제성 측면에서 어려움이 존재한다. 인공리프는 수면하에 설치되는 광폭

잠제를 일컫는 것으로서 조망권을 확보 하여야 하는 해수욕장 등에 주로 채택되는 대책공법이며 인공리프 배후에 양빈을 적용하는 면적 방어공법으로도 잘 알려져 있다. 일반적으로 경관성, 해변보호 및 집어기능을 동시에 포함하는 경우가 많기 때문에 인공리프의 설치사례는 계속 증가하고 있다. 하지만 인공리프 설치에 따른 주변지역에서의 흐름장 및 지형변화의 영향에 대해서는 아직 규명되지 않는 문제들이 많기 때문에 인공리프 설치에 따른 구조물 주변의 지형변화 특성에 대한 기준을 제시하기 위해서는 다양한 설치조건에 따른 설치 전 · 후의 수리현상을 면밀히 검토할 필요가 있다(Kim and Shim, 2016). 인공리프에 대해 기 수행된 연구는 Minammi and Mano(2002, 2003), Osanai and Minami(2003, 2004)를 들 수 있는데 주로 불투과성 인공리프 개구부내에서 유속계측 및 수치해석과의 상호 · 비교 등을 수행하였으며, Ota et al.(2009)는 해저경사가 완경사인 조건에서 인공리프 설치시 배후에서의 처오름과 월파량에 대한 연구를 수행하였다. Deguchi et al.(2005, 2006) 등은 실험을 통해 인공리프 주변에서의 세굴발생과 블록의 변형에 대해

*가톨릭관동대학교 토목공학파(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)

연구하였으며, Uda는 인공리프 설계 가이드라인(2004)에서 구조물 배치와 유황패턴 발생을 Lr/Y (상대 이안거리), Lr/W (상대개구폭)의 조건에 대해 대표적인 특성값을 4개의 영역으로 분류하여 제시하였다. 국내에서는 Kim and Shim (2016)이 개구부의 수와 개구폭(W) 및 인공리프의 설치길이(Lr) 변화에 따른 구조물 주변에서의 파랑, 유속변화에 대해 검토하였다. 하지만 인공리프 주변에서의 지형변동을 3차원 적으로 분석한 결과는 극히 드물며, 흐름변화에 따른 지형변화의 예측과 이에 대한 적절한 설계를 위해서는 인공리프 전·후면 및 개구부에서 표사이동에 대한 특성검토가 반드시 수행되어야 할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 Kim and Shim(2016)이 수행한 실험조건을 토대로 구조물 배치 조건과 순환류의 발생관계 및 해빈의 안정화에 미치는 요인을 분석하고, 인공리프 설치조건의 차이가 주변지형에 미치는 영향을 고찰하고자 하였다.

2. 수리모형실험

2.1 실험개요 및 구성

실험은 Fig. 1과 같은 조건의 광폭수로(300 cm(W) × 150 cm(H) × 250 cm(L))를 제작하여 진행하였다. 하상은 볼투과

성의 해저경사위에 0.01 cm(d_{50})의 표준사를 약 15 cm 두께로 도포하여 1/20의 지형을 재현하였으며, 정현파(sinusoidal wave) 내습에 따른 인공리프 주변에서의 지형변화를 검토하고자 하였다. 인공리프는 Tetrapod를 이용하여 난적 거치하였으며 Fig. 1에서 보이듯이 4개의 평면 구조물 배치 및 구조물 미설치안 등 총 5case에 대해 실험을 진행하였다. 각 실험안에 대한 설치조건은 Table 1에 나타내었으며 각각의 변수들은 다음과 같다. $Lr1$, $Lr2$: 인공리프의 길이, W: 개구폭, Y: 이안거리, R: 마루수심, B: 마루폭. $Lr1/W$: 상대개구폭, $Lr1/Y$: 상대 이안거리이며, 1/50의 Froude 상수를 적용하여 구조물의 배치와 파랑 설정에 대한 치수를 결정하였다.

2.2 파랑조건

실험을 진행하기에 앞서, Table 2와 같이 각각의 해저경사 및 파랑조건 변화에 따른 외빈, 전빈 및 후빈지역에서의 대략적인 지형변화 양상을 파악하고자 하였다. 파랑 및 해저경사 설정에 따른 침식성해안의 분류는 Table 2에서 보이듯이 C parameter값(Sunamura and Horikawa, 1974)과, F_o (Shore protection manual, 1984)의 값을 이용하였다. 또한, 인공리프 설치 위치(외해측 어깨부)에서 입사파랑의 쇄

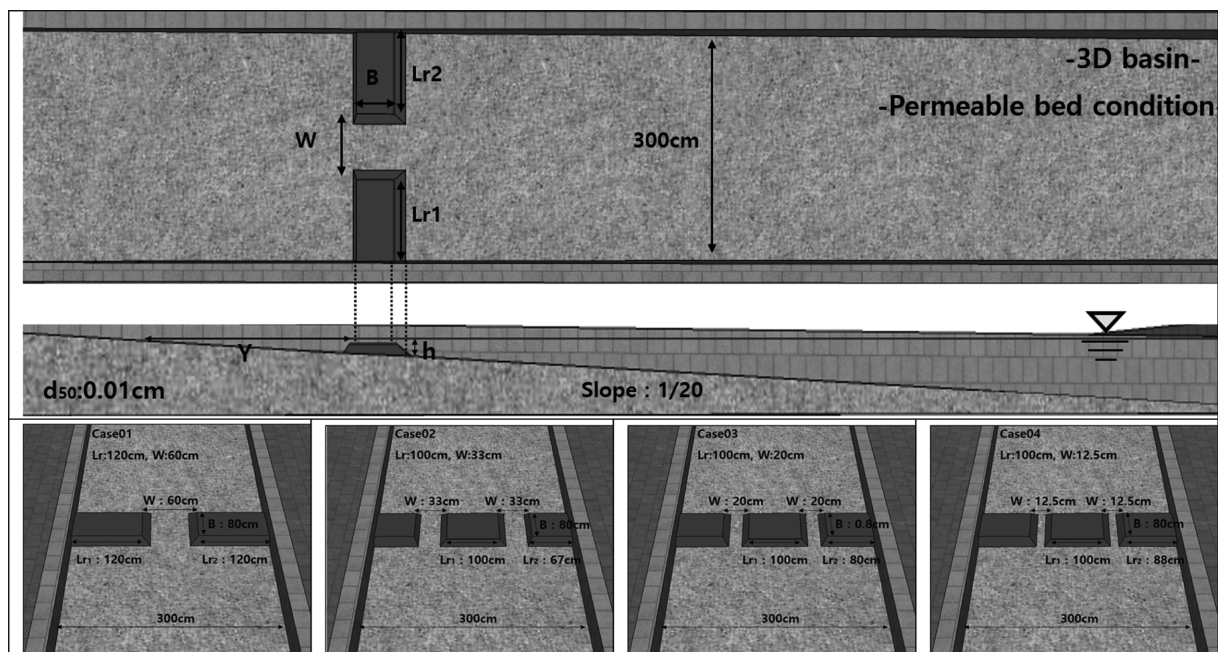


Fig. 1. Definition of structure arrangement and experimental setup (Kim and Shim, 2016).

Table 1. Experimental setup

Case	Lr1 (cm)	Lr2 (cm)	W (cm)	Y (cm)	R (cm)	B (cm)	Lr1/Y	Lr1/W
Case00	No structure							
Case01	120	120	60.0	100	1.0	80	1.20	2.00
Case02	100	67	33.0	100	1.0	80	1.00	3.00
Case03	100	80	20.0	100	1.0	80	1.00	5.00
Case04	100	88	12.5	100	1.0	80	1.00	8.00

Table 2. Wave conditions

Wave	Hmean (cm)	Tmean (sec)	H_0/L_0	$\tan\beta$	C	F_0	ξ	Ψ	θ
Wave01	4.0	1.13	0.200	1/10	7.69	3.96	0.71	30.59	8.41
Wave02	6.0	1.41	0.128	1/10	9.75	4.65	0.72	44.21	12.16
Wave03	8.0	1.70	0.089	1/10	11.40	5.11	0.75	54.07	14.87
Wave04	4.0	1.13	0.200	1/20	6.38	3.96	0.35	30.59	8.41
Wave05	6.0	1.41	0.128	1/20	8.08	4.65	0.36	44.21	12.16
Wave06	8.0	1.70	0.089	1/20	9.45	5.11	0.38	54.07	14.87
Wave07	4.0	1.13	0.200	1/30	5.72	3.96	0.24	30.59	8.41
Wave08	6.0	1.41	0.128	1/30	7.25	4.65	0.24	44.21	12.16
Wave09	8.0	1.70	0.089	1/30	8.47	5.11	0.25	54.07	14.87

과 유무를 확인하기 위해 Galvin(1968)과 Battjes(1974)가 제시한 쇄파대 유사파라메터(Surf similarity parameter, ξ)를 이용하여 검토하였다. 실험과 설정단계 중 인공리프 해측법 선에 도달된 파형은 $\tan\beta$ 가 1/10일 경우(wave01~03) 계산 결과와 동일하게 권파가 발생되었으며, 1/20의 조건(wave04~06)에서는 진행파가 권파로 변하기 직전의 붕괴파가 예상되었으나 천수변형의 영향으로 계측위치에서 배후로 이격된 지점에서 쇄파가 발생되었다. 1/30의 경우 파고(wave07~09)가 증가 될수록 인공리프 해측법선위치 전면에서 붕괴파가 발생되었다.

$$\xi = \frac{\tan\beta}{(H/L_0)^{0.5}} \quad (1)$$

여기서, L_0 : 심해파장, H : 계측위치에서의 파고, $\tan\beta$: 해저 경사이며, 쇄파 형태에 대한 ξ 값은 Fig. 2와 같이 구분되어진다.

또한, Shield parameter(θ)를 분석한 결과 해저지형이 0.1 mm의 미세사(fine sand)로서, r/A (상대바닥거칠기, relative bottom roughness)는 입자의 양이 유한하고, 매끄러운 조건일 경우($r/A > 0$) Swarts(1974)가 제시한 f_w (파랑 마찰계수, wave friction factor) 및 Shield parameter는 해저경사에 관계없이 파고 및 주기의 조건에 대해서만 영향을 받는 것으로 나타났으며 8.41~14.87의 범위를 보였다. 계산에 적용된 지형변동특성을 나타내는 mobility number(Ψ)와 무차원화된 저면마찰응력을 나타내는 Shields parameter(θ)는 아래와

같이 나타내어진다.

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

$$\theta = \frac{\tau}{\rho(s-1)gd} = \frac{0.5f_w(A\omega)^2}{(s-1)gd} = \frac{1}{2}f_w\Psi \quad (3)$$

여기서, A : 경계층 위에서의 궤도 진폭, ω : 각 주파수, s : 모래 입자의 비중, τ : 저면(바닥) 전단계수, f_w : 파랑 마찰계수, g : 중력가속도, ρ : 물의 밀도, d : 저질의입경이며, 실험에 사용된 0.1 mm를 적용하였다. 본 실험에는 인공리프의 해측법선까지 비쇄파가 발생되며, 표사이동량 또한 대체적으로 적절한 wave06의 조건에 대해 실험을 진행하였다.

2.3 실험안의 설정 및 계측 방법

실험은 Table 2에서 제시된 것과 같이 구조물이 없는 조건에서 침식경향을 파악한 후 인공리프 설치(Lr/Y, Lr/W의 변화)에 따른 표사이동 양상에 대해 검토하였다. 이때, 파고 계측은 용량식 파고계를 이용하여 인공리프 전면에서 배후 지역까지 총 15지점에서 실시하였으며, 유속측정은 동일한 위치에서 2차원 전자유속계를 이용하여 실험을 진행하였다. 각 지점에서 측정된 데이터는 하상조건이 동일한 조파초기에 20 Hz 간격으로 2048개의 값을 분석한 값이다. 한편, Kim and Shim(2016)은 해빈류 셀(current cell)의 발생과 유속 및 파고변화에 대하여 Lr/Y, Lr/W의 조건을 변경해 가며 20case의 실험을 수행하였다. 그 범위는 각각 0.83~1.5, 2.0~8.0에 해당되며 국내에 설계 및 시공된 22개의 인공리프 설치사례 분석결과 Lr/Y, Lr/W가 각각 0.7~3.4, 1.1~9.0의 범위를 나타내는 것으로 확인되었다. 실험 및 사례조사에 대한 비교는 다음 Fig. 3에 도시하였다. Fig. 3에서 시공 사례가 가장 많은 범위는 Section A(Lr/Y: 0.71~1.30, Lr/W: 3.35~9.00)에 해당되며, 이 영역에 포함되는 조건(case01, 02)과 개구폭이 변화되는 2개의 조건(case03, 04) 및 구조물 미설치시에 대해 인공리프 설치와 개구폭 변화가 지형변동에 미치는 영향을 검토하고자 하였다. 표사이동실험에서 조파간격은 초기 1시간은 30분, 그 이후는 1시간 간격으로 변동량을 확인하였으며 실험결과는 최종 5시간 조파후의 상태

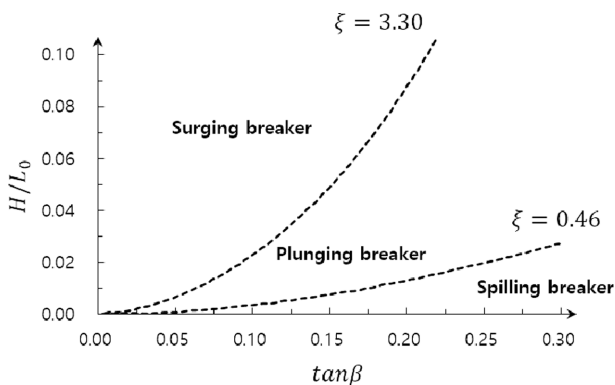


Fig. 2. Breaker type criteria (Battjes, 1974).

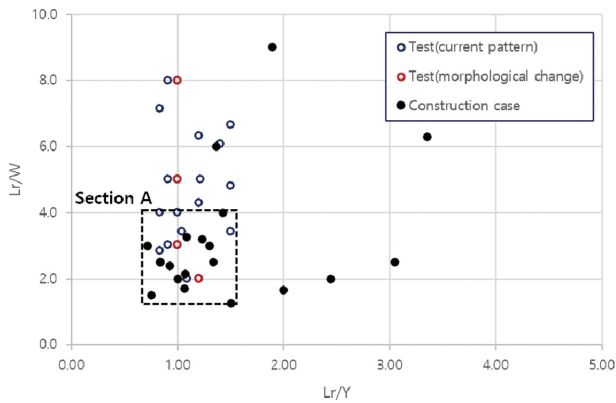


Fig. 3. Comparison with test and construction cases of artificial reefs.

에 대해 나타내었다. 지형변동 실험에서는 정도 높은 실험 결과를 도출하고자 계측시 3D scanner(Artec 3D handheld

Scanner L)를 이용하였으며 사양은 다음과 같다. Working distance 0.8~1.6 m, video frame rate 15 fps, exposure time 0.0001 s, 3D resolution 1 mm(multi mode), 3D accuracy 0.1 mm이며, 시속 30 kph의 속도로 대상물체의 스캔이 가능하다. 또한, 실험진행상황에 맞추어 상부에 비디오 카메라(XHG1: 536만화소, 2592 × 1944픽셀, 6.3~21.6 mm(초점거리), f2.8~5.5(렌즈밝기), ISO 80~400)를 설치하여, 계측결과와 지형상황을 상호 · 비교하였다.

2.4 실험결과

지형변화 실험결과, 인공리프 미설치시(case00), 해안선 전면지역에서 강한 침식이 발생되었다. 침식은 인공리프 설치 부근에서 해안 배후(후빈)까지 발생되었으며, 해안선이 후퇴되어 배후방향으로 모래 둔덕을 형성하는 것으로 나타났다. 또한 파랑내습에 의해 해안선 전면에서 대규모 표사이동이

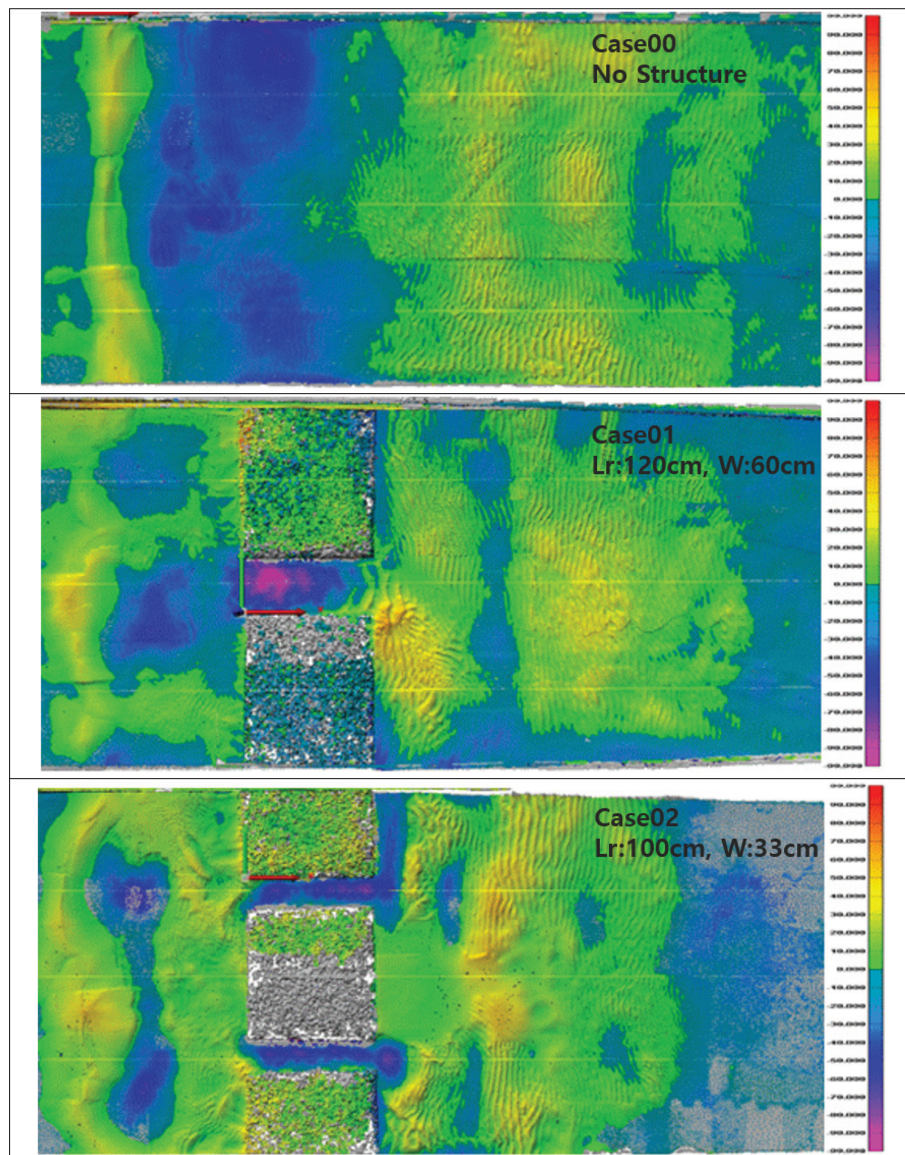


Fig. 4. Result for morphology test (case00~02).

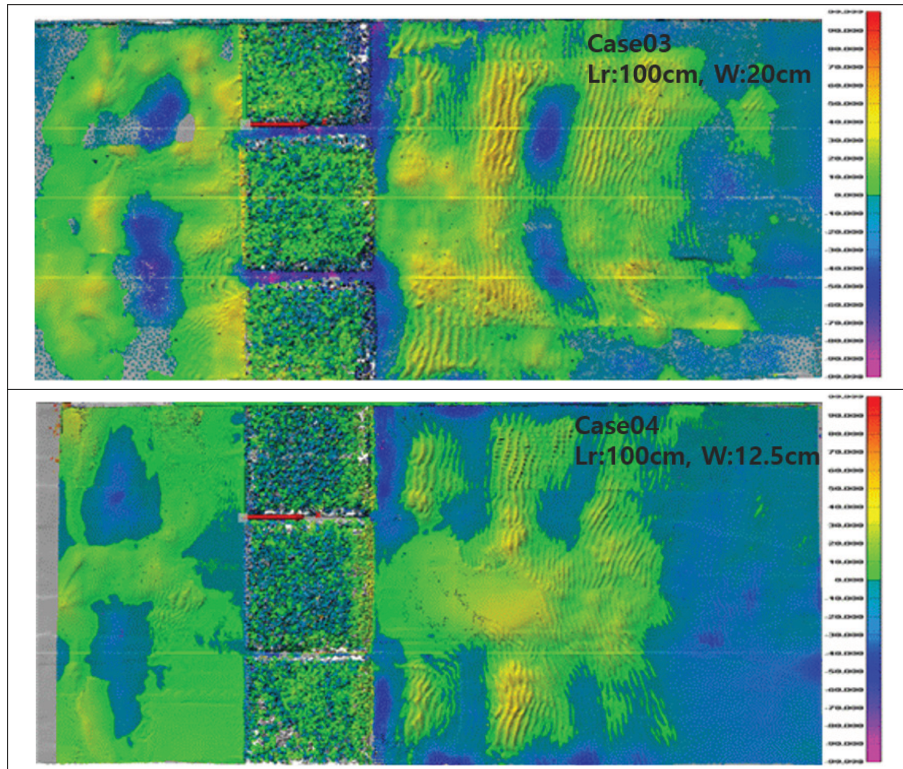


Fig. 5. Result for morphology test (case03~04).

발생되었고, 전빈에서 침식된 모래는 해측방향으로 이동되어 sand bar를 형성하였다. 개구부가 하나인 case01(Lr/Y 1.2, Lr/W 2.0)의 실험결과, 인공리프 배후측의 모래 이동량은 상당부분 감소되었다. 하지만 모래유실로 인한 국부 침식은 개구부내 대부분의 범위에서 발생하는 것으로 나타났다. 또한, 해측방향의 인공리프 저면에서도 침식이 발생되었는데 이는 파랑이 구조물에 작용하면서 세굴을 유발한 것으로 분석되었다. 인공리프 전면 및 개구부에서 유실된 모래는 외해로 이동되어 퇴적된 것으로 확인되었다. 개구부가 두 개 일때의 조건인 case02(Lr/Y 1.0, Lr/W 3.0)의 실험결과, 인공리프 배후에서 표사의 이동은 다소 완화되었으며, 개구부의 전체적인 모래 이동 또한 줄어들었다. 하지만 여전히 개구부내 모래 유실현상이 나타났으며, 인공리프 해측방향 저면에서 세굴이 발생되었다. 침식된 모래는 외해방향으로 이동되어 퇴적된 것으로 확인되었으며, 그 결과를 Fig. 4에 도시하였다. case03(Lr/Y 1.0, Lr/W 5.0)의 실험결과, 해안선 전면에서의 표사이동은 해안선 방향과 인공리프 방향으로 분산되어 해안선 배후에서는 둔덕을 형성하였으며, 인공리프 육측저면에서는 퇴적을 발생시켰다. 개구부에서는 대부분의 영역에서 침식이 발생되었으며, 인공리프 해측저면에서도 구조물 주위의 지형이 세굴되는 것으로 확인되었다. 상대 개구폭의 비율이 가장 큰 case04(Lr/Y 1.0, Lr/W 8.0)의 경우, 침식성파랑 내습시 인공리프 배후에서의 표사이동은 가장 적었으나, 개구부와 인공리프 해측저면에서 모래유실이 발생되었다.

개구부에서는 상대적으로 좁은 폭의 영향으로 모래이동량은 많지 않았으나, 해측저면에서의 세굴정도는 길게 설정된 Lr에 의해 증가하는 것으로 나타났다. 실험결과 침식형 해안에서의 표사이동은 인공리프를 설치하였을 경우 상당부분 저감되는 것을 알 수 있었으며, 그 결과를 Fig. 5에 도시하였다. 또한, 개구폭의 차이가 거의 동일한 조건인 case01과 case02의 결과를 통해 개구부 수의 변화가 인공리프 배후 및 개구부 내 침식양상에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 개구폭이 동일할 경우 단일 개구부를 갖는 구조에 비하여 복수의 개구부를 갖는 배치조건에서 표사이동의 저감정도가 상대적으로 높은 것으로 분석되었다.

3. 실험결과 분석

3.1 파고와 저면유속비교

내습파랑이 인공리프 상단을 통과 할 때 급격한 수심변화로 쇄파가 발생되며, 쇄파된 파랑은 구조물 배후로 이동되어 해안선 전면에서 수위변화가 발생된다. 수위의 상승은 파고값에 정도에 따라 변화되는데 실험결과 Lr/W(상대개구폭)이 증가할수록 그 정도는 작아지는 것으로 확인되었다. 개구부에서는 파랑이 육지방향으로 이동될수록 비선형적인 파형변화와 급격한 수위상승이 나타났으며, 이러한 현상은 Lr/W가 작아질수록 그 경향이 증가되었다. 또한, 쇄파의 발생은 상대적인 고주파성분의 증가와 비례하여 나타났다. 한편, 개구부내의 수위상승(η)을 이용하여 비선형장파의 파속식으

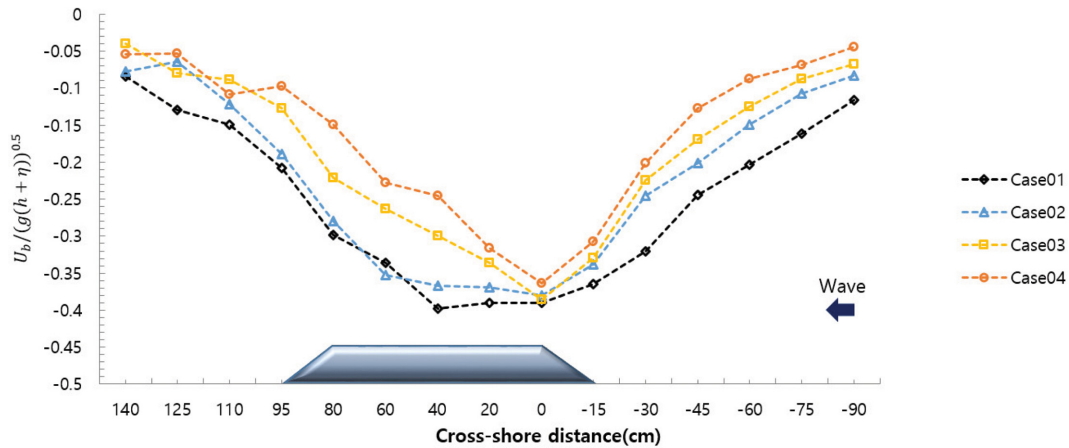


Fig. 6. Comparison result for water level fluctuation and bottom velocity.

로 저면 유속을 무차원하여 정리할 수 있으며, 식(4)를 이용하여 계산된 결과를 각각의 실험안에 대해 정리하면 Fig. 6과 같다.

$$\frac{u_b}{g(h + \eta)^{0.5}} \quad (4)$$

여기서, u_b : 저면유속, g : 중력가속도, h : 수심, η : 수위이며, u_b 와 η 는 실험에서 측정된 값을 적용하였다.

인공리프의 개구부가 설치되는 -15 cm~95 cm 구간의 저면전단 부분에서의 계산결과, Fig. 6에서 보이듯이 개구폭이 넓을수록 최대 유속의 지속구간 또한 늘어났으며 인공리프 외측 어깨부에서 최대가 되었다. 이는 배후에서 증가된 해수가 외해로 되돌아 갈 때 개구부내로 유량이 집중되고 마루높이, 해저경사, 개구폭 등의 영향으로 흐름이 가속된 결과이며, 인공리프 전면에서 유출흐름의 확산은 유속비의 감소로 나타났다. 개구내 최대 유속비는 case01의 경우 이안 방향으로 약 -0.4, 평균유속은 -0.36에 해당되어 실험 case 중 가장 큰 유속이 발생하는 것으로 나타났으며 case04에서는 최대 및 평균유속비가 각각 -0.36, -0.27이 되어 가장

작은 유속분포가 형성되었다. 따라서, 개구폭의 감소는 개구부 및 인공리프 전·후면에서 유속의 감소와 비례하는 것으로 분석되었다.

3.2 입사파 제원을 이용한 흐름유속 검토

인공리프 배후에서 파랑내습 등의 영향으로 증가된 유량은 대부분 개구부를 통하여 이동되며, 이때 수심을 이용하여 이안되는 흐름이 저면에서 수면까지 일정하다고 가정할 때, 입사파 제원을 이용한 단면평균 유속의 산정은 다음 식(5)을 이용하여 계산할 수 있다.

$$u_c = \frac{1}{8} \frac{gH^2}{\sqrt{gh^3}} \frac{W + Lr}{W} \quad (5)$$

여기서, u_c : 단면평균 유속, g : 중력가속도, H : 파고, h : 수심, W : 개구폭, Lr : 인공리프길이이며, case01~04의 계산 결과는 Fig. 7에 도시하였다.

식(5)에서 3번째 항은 개구폭에 영향을 많이 받는 항으로 W 가 작을수록 u_c 는 크게 나타난다. Fig. 7에서 알 수 있듯이 유속은 전반적으로 개구부내 해안방향 60 cm 지점부터

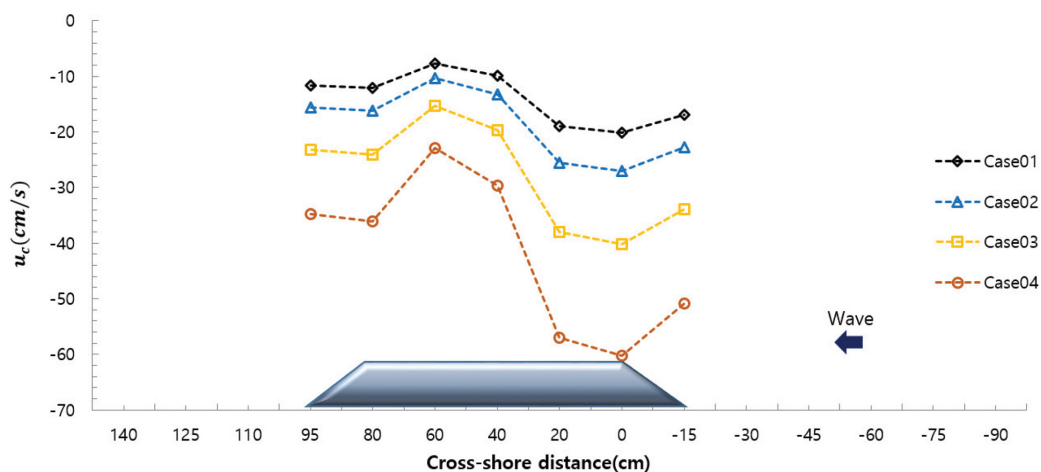


Fig. 7. Velocity distribution of cross section in the opening by mass transport velocity.

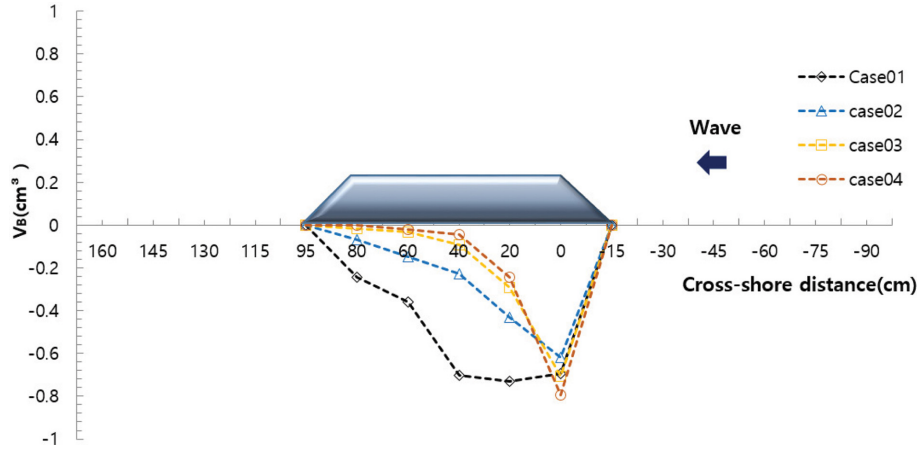


Fig. 8. Distribution of sediment transport rate.

증가하여 0 cm 지점에서 최대가 되었다.

또한, 개구부에서 측정된 유속과 미소진폭과 이론을 이용한 질량 및 유량을 비교하여 되돌이 흐름을 검토하였다. 검토결과 유속은 외해로 이동될수록 감소하는 경향을 나타내었으며, 이러한 현상은 실험에서 측정된 유속과 비교하였을 때 개구부 해측방향으로 유속이 증가하는 것과 동일하게 나타났다지만, 유속변화의 양상은 개구폭이 좁을수록 작아지는 것과는 다소 상이하게 나타났다.

60 cm~15 cm 사이에서 return flow의 흐름이 발달되었으며, 유속이 최대인 0 지점에서 표사이동이 가장 활발하게 발생하는 것으로 나타났다.

3.3 개구부내 표사량 산정

실험에서 측정된 결과와 계산에 의한 개구부내 발생유속을 비교해 보면 흐름이 외해측으로 향할수록 발달되는 것을 확인하였다. 이는 개구부내에서 해안방향으로 이동되는 흐름보다 외해로 전파되는 흐름의 강도가 더 크기 때문이며, 유속의 증가는 표사이동의 정도와 비례할 것으로 예상되었다. 따라서, 개구부내 표사이동량을 계산식을 통하여 예측하고 실험값과의 비교를 통해 그 차이를 검토하고자 하였다. 계산에 적용한 식은 Brown(1950)의 식(6)과 같다.

$$q_b = \frac{10 \tau_*}{s^2 g^2 d} \quad (6)$$

여기서, q_b : 단위폭당 표사이동플럭스(sand flux), τ_* : 흐름의 전단강도, g : 중력가속도, s : 모래의 비중, d : 모래의 입경을 나타낸다. 식(6)은 단위 폭, 단위 시간에 따른 표사량으로서 저면 지형변동량을 의미한다. 여기에 조파시간(T) 동안 개구폭(W)을 통과하는 모래의 전체 이동량(V_B)을 산정하기 위해 다음 식(7)을 이용하였다.

$$V_B = \int W q_B dt = \frac{10}{s^2 g^2 d} C_f^{2.5} W u_R^5 \Delta t \quad (7)$$

여기서, C_f : 마찰저항계수, W : 개구폭, u_R : return flow 유속, Δt : 파랑발생시간을 나타내며, 마찰저항계수 C_f 는 다음 식(8)을 이용하여 산정할 수 있다.

$$C_f = \frac{g}{C^2} = \frac{n^2}{R^{1/3}} \quad (8)$$

이때, g : 중력가속도, C : Chezy 계수, n : 조도계수, R : 경심 값이며, 계산결과는 Fig. 8에 도시하였다.

개구부내에서 발생하는 표사량 산정결과, 인공리프 해측방향으로 표사이동량이 증가하였으며 법선부(0 cm)에서 가장 큰 표사이동량이 발생되었다. 최대유속 구간이 비교적 넓은 유속분포를 갖는 case01과 가파른 분포를 보이는 case04의 경우 Fig. 8에서 도시된 바와 같이 표사발생구간을 비교할 경우 표사량의 발생은 식(4)의 계산결과와 유사한 경향을 갖는 것으로 확인되었다. Fig. 6에서 나타나듯이 0cm 지점에서의 유속은 case01~04의 차이가 미소하였으며, 식(7)에서 W 와 u_R 의 관계는 동일유속일 경우 단면적 변화에 따라 표사이동에 영향을 미치는 강도가 변하므로 0 cm 지점에서의 최대 표사 이동량은 case04의 조건에서 계산값이 다소 크게 나타나는 것으로 확인되었다. 이상의 결과는 Fig. 7과 Fig. 8에서 나타난 결과와 동일한 경향을 보이며 실험결과와의 비교에서도 case02~04(Fig. 5)의 결과와 일치하는 것으로 나타났다으나, case01과는 다소 상이한 차이가 발생되었다.

4. 결론 및 고찰

실험을 통하여 인공리프 주변에서 발생하는 표사이동양상에 대해 검토하였다. 구조물 배치는 국내에 설치되어 있는 시공사례와 해빈류패턴 실험(Kim and Shim, 2016)을 토대로 설정하였다. 실험결과에서 나타나듯이 파랑내습에 따른 자연해빈(case00)은 해안선 및 전빈지역에서 침식이 집중적으로 발생되었으며, 침식된 모래는 외해로 이동되어 sand bar를 형성하였다.

인공리프 설치시 case01의 경우 전빈에서의 표사이동량은 감소하였으나, 개구부에서의 대규모 표사이동으로 인하여 국부세굴이 발생하는 것으로 나타났다. case02는 case01과 같이 개구부의 총 폭이 거의 같지만 복수의 개구부를 갖는 구조이며, 동일 파랑내습에 대해서는 표사의 이동이 줄어들었다. 또한, 상대 개구폭 비가 가장 큰 Case04(Lr/W: 8.0)의 경우 지형변동량이 가장 작게 발생되었다. 실험에서의 결과(case02~04)는 이론식을 이용한 저면유속 계산 결과와도 동일한 경향을 보였으나, case01의 경우 계산상 40 cm~15 cm 구간에서 지형변동이 활발하게 발생할 것으로 예측되었던 것과는 다르게 95 cm~40 cm 구간에서 대규모의 국부세굴이 발생하는 것으로 확인되었다. 이러한 현상은 인공리프 육측 어깨부분은 해안전면에서 형성된 수위의 증가 및 진행파랑, 개구부내로 유입되는 흐름 등 복잡한 파랑 및 흐름장이 상호공존할 뿐만 아니라 상대적으로 넓은 개구폭으로 인하여 조건에 비해 인공리프의 육측 어깨부위부터 광범위하게 세굴이 발생되었기 때문인 것으로 판단된다. 침식된 모래는 외해쪽으로 이동되었지만 흐름의 발달로 인하여 개구부내에 퇴적되지 않고 대부분 개구부를 통과하여 해측으로 이동되는 것으로 확인되었다.

아울러, case01을 제외한 다른 case의 지형변동 실험결과와 개구부내에서의 유속 및 표사량산정에 대한 결과를 비교 분석한 결과 가장 큰 지형변동이 개구부 주변에서 발생하는 것으로 나타났으며, 이는 인공리프 배후에서 상승된 수위가 외해로 되돌아 갈 때 개구부내로 유량이 유량에 기인된 집중된 흐름이 발달되는 과정에 의한 것이다. 또한, 개구부가 두 개인 조건에 대한 경우 이론식에 적용한 유속 및 표사이동 경향은 실험 결과와 비교적 동일한 경향을 나타내는 것으로 확인되었으며, 인공리프 설치조건 및 배치상황에 따른 흐름 및 지형변화를 검토한 결과 상대개구폭 Lr/W의 설정이 인공리프 성능에 중요한 역할을 한다는 것을 재확인할 수 있었다.

향후, 전빈경사 및 마루높이의 변화, 불규칙파형에 대한 실험결과를 추가하여 인공리프 주변의 흐름 및 지형변화특성을 더욱 명확히 하고 그에 따른 인공리프 설치 기준을 도출하고자 한다.

References

- Araki, S., Fumoto, H., Miyoshi, H. and Deguchi, I. (2005). Local scouring at toe of submerged breakwater and deformation of submerged breakwater body. *Proc. of Civil Eng. in the Ocean*, 21, 921-926. (in Japanese).
- Araki, S., Miyoshi, H., Igawa, T., Tanaka, T. and Deguchi, I. (2006). Topography change and settlement of breakwater body caused by constructing submerged breakwater. *Proc. of Civil Eng. in the Ocean*, 22, 751-756. (in Japanese).
- Battjes, J.A. (1974). Surf similarity. *Proc. 14th ICCE*, 466-480.
- Brown, C.B. (1950). *Engineering Hydraulics*, edited by H. Rouse, John Wiley & Sons, Inc., New York, N.Y.
- Galvin, C.J. Jr. (1968). Breaker type classification on three laboratory beaches. *J. Fluid Mech.*, 49, 1-20.
- Kim, K.H. and Shim, K.T. (2016). Hydraulic characteristics investigation due to the change of gap width between artificial reefs. *J. of Korean Society of Coastal Ocean Engineers*, 26(6), 408-415. (in Korean).
- Minami, M. and Mano, A. (2002). Study in bottom velocity distribution around opening of impermeable artificial reefs. *Proc. of Civil Eng. in the Ocean*, 18, 401-406. (in Japanese).
- Minami, M. and Mano, A. (2003). Numerical analysis on wave field near the opening of artificial reefs. *Proc. of Civil Eng. in the Ocean*, 19, 207-212. (in Japanese).
- Osana, K. and Minami, M. (2003). Experimental study on vertical velocity distribution around the opening of artificial reefs. *Proc. of Civil Eng. in the Ocean*, 19, 213-218. (in Japanese).
- Osana, K. and Minami, M. (2004). Numerical analysis on bottom current near the opening of artificial reefs. *Proc. of Civil Eng. in the Ocean*, 20, 659-664. (in Japanese).
- Ota, T., Kimura, K. and Matsumi, Y. (2009). On wave runup height and overtopping quantity of gentle slope revetment placed behind artificial reef. *J. of Jap. Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Eng.)*, 65(1), 776-780. (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.
- Swarts, H. (1974). Offshore sediment transport and equilibrium beach profiles. *Delft Hydr. Lab. Publ. No. 131*.
- The Ministry of Land, Infrastructure and Transport National Institute for Land and Infrastructure Management (2004). *Guide with a design of artificial reef*. (in Japanese).

Received 24 April, 2017

1st Revised 16 June, 2017

2nd Revised 23 June, 2017

Accepted 26 June, 2017