서해 연안 호안구조물 리모델링을 위한 사석재의 안정설계

유인상*, 박종렬*, 오국열**, 김기동***, 정상만***

* 공주대학교 건설환경공학과 석사과정
** 공주대학교 건설환경공학과 박사과정
*** 공주대학교 건설환경공학부 교수

e-mail : isyu@kongju.ac.kr

A Stability Design of Riprap for Revetment Structures Remodeling in the West Coast Area

In Sang Yu*, Jong Ryul Park*, Kuk Ryul Oh**, Kee Dong Kim***, Sang Man Jeong***

* Graduate Student, Dept of Civil and Environmental Engineering, Kongju National University
** Ph.D student, Dept of Civil and Environmental Engineering, Kongju National University
*** Professor, Dept of Civil and Environmental Engineering, Kongju National University

요 약

충청남도 서해안은 생태환경의 보고로서 갯벌, 사구, 해안습지 등 독특한 자연적 특성을 갖고 있는 지역이다. 그러나 다른 지역에 비해 대규모 간척 및 매립으로 인한 해양생태계 피해에 현저히 노출되어 있고, 최근 산업화 및 관광권화가 진행되고 있으며 해안선 침식 방지를 위한 연안정비사업으로 각종 연안 방호구조물이 건설되었다. 이 중 가장 많이 건설된 연안 호안구조물은 배후지역의 안정성 확보, 해안도로의 건설 등 다양한 목적으로 축조되었다. 그러나 성장위주의 경제정책으로 연안 호안구조물이 무분별하게 설치되어 파도와 호안구조물의 접촉 시 호안구조물이 파랑을 견디지 못해 사면피복재가 산란되어 외관상 주변 환경을 해칠 뿐만 아니라 2차 피해까지 야기 시킬 우려가 있다.

본 연구에서는 호안구조물의 리모델링을 통해 안정성을 증대시키기 위해 서해 연안지역의 4개 시·군 29개 지점을 대상으로 호안구조물 현황에 대해 조사하고 호안구조물의 리모델링을 통해 붕괴된 지역을 대상으로 파랑에 대해 안정한 사석재 소요질량을 호안구조물의 경사 별로 산정하여 비교하였다. 피복재 소요질량 산정을 위한 설계파고는 유의파고를 적용하였으며, 산정공식은 허드슨공식(Hudson, 1959)을 사용하였다. 추가적으로 사석 층의 두께와 단위면적당 수용해야할 사석재의 개수를 산정하여 호안구조물 설계 시 사석재의 배치를 용이하게 할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 산정된 값들은 초기설계로서 파랑에 안정한 호안구조물의 설계조건 중 일부분으로 호안구조물의 최종 설계 시 조파실험을 통하여 안정성을 검증 해야 할 것으로 판단된다.

1. 서 론

연안역은 해안선을 기준으로 육지와 바다를 포함한 개념으로 인근 해양환경에 영향을 미치는 배후 육지와 바다를 합친 자연 환경대이며 관광, 생태, 문화, 기후, 경제, 환경적으로 중요한 지역이다. 특히, 충청남도 서해안은 생태환경의 보고로서 갯벌, 사구, 해안습지 등 독특한 자연적 특성을 갖고 있는 연안역으로 그 가치가 높다(박종렬, 2010). 그러나 최근의 산업화 및 관광권화로 인해 대규모 간척 및 매립이 진행되어 해양생태계 파괴에 현저히 노출되어 있으며, 무분별하게 설치된 연안 호안구조물은 그 기능을 상실하여 상당수가 설치전보다 오히려 서해안의 독특한 환경성과 관광성을 악화시키고 있는 실정이다(해양수산부, 2005).

한국건설교통기술평가원(2009)은 충남 서해안 연안역의 녹색성장을 위해 연안역의 환경보전 및 지속가능한 개발을 도모할 수 있는 환경친화적 건설기술 개발의 일환으로 서해 연안역의 현장조사를 통해 각 지역별로 설치된 연안 호안구조물의 형태 및 침식상태, 설치 목적 등을 파악하여 환경친화적인 호안구조물 리모델링 기술을 개발하고 있다.

본 연구에서는 서해 연안지역의 4개 시·군 29개 지점을 대상으로 호안구조물 현황에 대해 조사하고 호안구조물이 붕괴된 지역을 대상으로 항만 및 어항설계기준에 제시된 공식을 통해 파랑에 대해 안정한 사석재 소요질량을 호안구조물의 경사 별로 산정하여 비교하고자한다.

2. 연구 대상지역의 호안구조물 현황 조사

2.1 연구 대상지역 및 조사지점

본 연구의 대상지역은 충청남도 서해안 지역으로 해안선은 서해안 전체길이 2,037km중 610km에 해당하며, 조사지점은 충청남도 서해안을 포함하는 충청남도 행정구역별로 구분하였으며, 대상지점은 그림 1과 같이 총 29개 지점으로 서산시 1개, 태안군 20개, 보령시 3개, 서천군 5개 지점으로 선정하였다.

[그림 1] 연구 대상지역

2.2 호안구조물 현황

연구 대상지역의 호안구조물 형태 및 침식상태를 조사하기 위해 5번에 걸친 현장조사와 기 조사된 '연안침식 모니터링 체계구축 (국토해양부, 2008)' 자료를 바탕으로 호안구조물의 붕괴 및 침식피해에 대해 파악하였다. 현장 조사결과, 보령시, 서산시, 서천군의 연안에서는 6개의 조사지점에서 호안구조물이 조사되었고 6개의 조사지점 중 파랑에 의한 호안구조물의 붕괴 및 침식 피해는 발생하지 않았다. 반면, 태안군의 연안에서는 20개의 조사지점 중 제2차 연안정비가 예정인 지점을 제외한 5개의 조사 지점에서 파랑에 의해 붕괴된 호안이 그림 2와 같이 조사되었다.

충청남도 태안군 운여해수욕장

충청남도 태안군 소원면 만리포해수욕장

충청남도 태안군 소원면 의항해수욕장

충청남도 태안군 안면읍 백사장해수욕장

충청남도 태안군 원북면 청산리

[그림 2] 호안붕괴 현황

3. 호안 경사에 따른 사석재의 안정성 분석

3.1 사석재의 안정질량 산정 공식

경사제의 사면 피복재는 내부 사석재를 보호하는 것으로 그 자체가 산란되지 않도록 안정한 질량(소요질량)을 확보해야한다. 이 질량은 적절한 산정 식을 이용하여 계산할 수 있다. 예를 들면, 경사제의 사면피복석의 산정식을 이용하여 계산할 수 있다. 경사제의 사면피복석의 경우는 적절한 계수 (K_D)를 사용하는 허드슨식으로 산정한다(항만 및 어항설계기준 2005).

$$W = \frac{\rho_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot\theta} \qquad (식1)$$

W : 사석재의 안정에 필요한 최소 질량(t)
ρ_r : 사석재의 밀도(t/m^3)
H : 안정계산에 사용하는 파고(m)
K_D: 안정계수
S_r : 사석재의 해수에 대한 비중
θ : 호안경사

[표 1] 피복재 질량을 결정하기 위한 K_D 값

피복재	n	거치	경사	K_D	
				쇄파	비쇄파
매끈하고 둥근사석	2	난적	1.5 ~3.0	1.2	2.4
매끈하고 둥근사석	>3	난적	1.5 ~3.0	1.6	3.2
거칠고 모가있는돌	2	난적	1.5 ~3.0	2.0	4.0
거칠고 모가있는돌	>3	난적	1.5 ~3.0	2.2	4.5
테트라포드	2	난적	1.5 ~3.0	7.0	8.0
트라이바	2	난적	1.5 ~3.0	9.0	10.0

본 연구에서는 기존 호안 구조물의 바다에서 육지로 이동하는 공극수 차단으로 발생하는 구조물 저면 세굴현상 감소와 파랑에너지 저감에 효과가 있으며, 파랑과 호안구조물의 넓은 마찰 면으로 파랑에너지 저감 유도를 통한 침식 방지 효과가 있는 완경사식 사석호안을 피복재로 사용했으며, 호안 경사는 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 4개의 경사로 구분하여 비교하였다. 본 연구의 조건과 미루어볼 때 파고는 쇄파가 아닌 유의파를 사용하여 비쇄파로 구분하여 K_D의 값은 2.4로 선정하였다.

해수의 비중은 1.03, 사석재의 비중은 2.65를 적용하였으며, 설계파고는 유의파고 $H^{\frac{1}{3}}$ 1.03m를 적용하였고, 사석재의 안정질량 산정결과는 표 2와 같다.

[표 2] 사석재의 경사별 안정질량

경사	사석재의 소요질량 (kg)	비고
1 : 1.5	208	사석재 1개에 대한 질량
1 : 2.0	156	
1 : 2.5	125	
1 : 3.0	104	

3.2 사석층의 평균두께

$$r = nK(\frac{W}{\rho_r})^{\frac{1}{3}} \qquad (식2)$$

r : 사석층의 평균두께(m)
n : 사석재의 피복층수
K : 층 계수
W : 사석재의 안정에 필요한 최소 질량(t)
ρ_r : 사석재의 밀도(t/m^3)

[표 3] 피복재별 층상수와 공극률

피복재	n	거치	층상수 (K)	공극률 P(%)
사석 (매끈한 것)	2	난적	1.02	38
사석 (거친것)	2	난적	1.00	37
사석 (평면육면체돌)	2	난적	-	27
트라이바	2	난적	1.02	54
테트라포드	2	난적	1.04	50
돌로스	2	난적	0.94	56

본 연구에서 선정한 완경사식 사석호안의 조건과 부합하는 층상수 K는 1.02, 공극률 P는 38%로 항만 및 어항설계기준에 제시되어 있으며, 이를 사석층의 평균 두께를 산정하는 공식에 적용한 결과는 표 4에 나타내었다.

[표 4] 사석층의 경사 별 평균 두께

경사	사석층의 평균 두께 (cm)
1 : 1.5	85.6cm
1 : 2.0	77.8cm
1 : 2.5	72.3cm
1 : 3.0	68.0cm

3.3 사석재의 단위면적당 소요개수

$$N_r = AnK(1-\frac{P}{100})(\frac{\rho_r}{W})^{\frac{2}{3}} \qquad (식3)$$

N_r : 사석재의 단위면적당 소용개수(EA/m^2)
A : 단위면적(m^2)
n : 사석재의 피복층수
K : 층 계수
P : 피복재의 평균 공극률(%)
W : 사석재의 안정에 필요한 최소 질량(t)
ρ_r : 사석재의 밀도(t/m^3)

사석재의 단위면적당 소요개수 산정공식에서 P는 피복재의 평균 공극률로서 표 3에서 결정되며 그 값은 38%이고, 이를 사석재의 면적당 개수 산정공식에 적용한 결과 표 5와 같은 결과를 얻었다.

[표 5] 사석재의 경사별 면적당 개수

경사	사석재의 단위 면적당 소요개수 (EA/m^2)
1 : 1.5	7
1 : 2.0	8
1 : 2.5	9
1 : 3.0	11

4. 결 론

본 연구에서는 서해 연안 호안구조물의 리모델링을 위해 서해 연안지역의 4개 시·군 29개 지점을 대상으로 호안구조물의 현황을 조사하였다. 그 결과, 내부사석재가 파랑에 대해 안정한 질량을 확보하지 못하여 산란된 호안구조물이 조사되었고, 호안구조물의 안정성을 확보하기 위해 항만 및 어항설계 기준(2005)과 미육군공병단에서 설계기준으로 제시한 Design of Coastal Revetments, Seawalls, and Bulkheads(1995)를 참고하여 1:1.5~1:3.0의 경사별로 호안구조물 사석재의 안정 질량, 사석층의 평균두께, 사석재의 면적당 개수를 산정한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 연안 호안구조물 사석재의 파랑에 대해 안정한 질량을 산정하기 위해 허드슨공식(Hudson, 1959)을 이용하여 산정한 결과, 경사별로 $104kg$ ~$208kg$의 범위를 보였고 경사가 완만할수록 사석재의 소요질량이 감소되는 것으로 산정되었다. 이는 완경사일수록 파랑과 호안구조물의 마찰면(접촉면)이 넓어져 파랑에너지가 저감되는 것을 보여준다.

(2) 사석층의 평균두께는 호안구조물의 경사별로 $68.0cm$~$85.6cm$로 산정되었으며, 경사가 완만할수록 수치가 감소되었는데, 이는 완경사 일수록 사석재 1개의 안정질량 및 부피가 감소하여 사석층의 평균두께 또한 감소하는 것을 나타낸다.

(3) 사석재의 단위면적당 소요개수는 경사별로 7개~11개의 범위로 산정되었으며, 경사가 급할수록 소요개수가 감소되었다. 이는 급경사 일수록 사석재의 질량 및 부피와 사석층의 평균두께가 증가하여 완경사의 경우보다 직경이 큰 사석재를 사용하여 사석재의 단위면적당 소요개수가 감소하는 것으로 보인다.

본 연구를 통해 분석된 호안구조물의 안정설계 결과는 초기설계로서 파랑에 안정한 호안구조물의 설계 조건 중 일부분을 산정한 것으로 호안구조물의 최종 설계 시 수행하는 조파실험의 기초자료로 사용될 것으로 판단된다.

참고문헌

[1] 국토해양부(2005), 연안침식방지 기술개발 연구용역 보고서(I).
[2] 국토해양부(2008), 연안침식 모니터링 체계 구축(IV).
[3] 박종렬, 오국열, 하종주, 김기동, 정상만(2010), “환경친화적 연안 호안구조물 리모델링을 위한 서해안 침식특성 분석” 한국수자원학회 학술발표회 pp. 424.
[4] 한국건설기술평가원(2009), 환경친화적 연안역 개발기술
[5] 해양수산부(2005), 항만 및 어항설계기준
[6] Department of The Army U.S. Army Corps of Engineers Washington, DC(1995), Design of Coastal Revetments, Seawalls, and Bulkheads