



## 방조제 해측피복석의 마모특성분석 -새만금방조제를 중심으로-

### Abrasion Characteristics of Seaside Armor Stones of Seadike -Focused on Saemangeum Seadike-

고남영\* · 김학원\*\* · 최진규\* · 장태일\* · 손재권\*,†

Goh, Nam Young · Kim, Hak Won · Choi, Jin Kyu · Jang, Tae Il · Son, Jae Gwon

#### Abstract

The results of Saemangeum seadike field inspection and material testing of armor stones in order to analyze causes of abrasion according to material characteristics of seaside armor stones in Saemangeum seadike are in the following: 1. The armor stones in Saemangeum seadike have been constructed by using internal stones (mainly, sinsi stones) and external stones, which had less strength (77.3 %) and more abrasion rate (133.3 %) compared with sinsi stones. 2. The compressive strength and abrasion rate were compared between ordinary wave section and high wave section for the purpose of analyzing the influence of waves. In compressive strength, sinsi stones were 4.0 % stronger and external stones were 0.6 % stronger in ordinary wave section than those of high wave section in average. In the case of abrasion rate, sinsi stones were 3.0 % higher and external stones were 8.2 % higher in the high wave section than those in the ordinary section. 3. The result of comparing compressive strength according to a zone is that the compressive strength in the Intertidal area was less strong in most of the zones. 4. Considering that deviated stones are moving around over the surface of armor stones in situ, it is important to compare material characteristics. So the comparison test about this factor showed that deviated sinsi stones were stronger than armor stones in situ in terms of compressive strength and resistance to abrasion. Based on these results, abraded armor stones may have resulted from their durability. Therefore it is assumed that armor stones are likely to be abraded when deviated stones which are more durable are moving around over armor stones which are less durable.

**Keywords:** Armor stone; Abrasion; Saemangeum seadike; deviated stones; Ordinary wave

#### 1. 서 론

우리나라의 간척사업은 1960년대 동진강 간척사업을 기점으로 본격적으로 시작된 후 남양, 아산, 삼교천, 영산강, 대호, 금강, 영암, 시화방조제 등이 축조되었다 (KRC, 2009). 2010년에는 세계에서 가장 긴 방조제 (33.9 km)로 기네스월드레코드에 등재된 새만금방조제가 준공되었다. 새만금 방조제는 28,300 ha의 국토를 확장하고 11,800 ha의 담수호 등 총 40,100 ha를 개발하는 새만금간척사업의 핵심 구조물이다 (KRC, 2002). 방조제는 자연재료인 석재와 준설해사를 이용한 제체에 돌붙임식 피복석이 시공되었다 (KRC,

2008).

피복석은 방조제의 사면에 작용하는 파랑의 충격하중과 기상 영향에 의한 풍화작용 등에 의하여 지속적으로 외력을 받기 때문에 변형 및 이탈에 대해 안정성을 확보할 수 있어야 한다. 특히 심해에 시공된 새만금방조제의 해측피복석은 외해에서 작용하는 강력한 파랑과 쇄파의 충격하중에 직접 저항하는 재료로서 방조제 안정에 중요한 재료이다. 그러나 시화, 남양, 아산, 대호방조제 등은 빈번히 발생하는 북서계절풍의 영향으로 피복석이 변형되거나 탈락하는 피해가 있었다 (KRC, 2009). 뿐만 아니라 새만금방조제에 대한 모니터링 결과 해측피복석의 마모, 이탈, 유동 등과 같은 피해가 조사되었다 (KRC, 2011). 따라서 새만금 방조제의 안정성 확보를 위해서는 피복석의 마모원인을 분석하여 이에 따른 안정적인 피복석 설계 및 유지관리를 실시하는 것이 중요하며 피복석의 마모에 대한 국내외 연구동향을 살펴보면 다음과 같다.

Latham and Poole (1988)은 피복석 마모정도를 분석할 수 있는 원통형 굴림 분쇄마모장치를 새롭게 제작하여 다양한 종류의 암석에 대하여 마모시간의 변화에 따른 피복석 마모

\* Department of Regional Construction Engineering, Chonbuk National University

\*\* Technical Review & Quality Management Institute, KRC

† Corresponding author

Tel.: +82-63-270-2523 Fax: +82-63-270-2517

E-mail: sjg@jbnu.ac.kr

Received: July 3, 2015

Revised: July 20, 2015

Accepted: August 19, 2015

및 변형을 평가 하였다. Poole (1991)은 방조제에 사용되는 피복석은 시공 목적과 해안 환경의 중대성에 따라 강도, 마모 저항 등 재료특성이 중요하다고 하였다. Latham (1993)은 원통형 분쇄마모시험을 보완하기 위하여 LA마모시험, 데발시험을 실시하였고 11종류 암석에 대하여 분쇄 회전수를 증가시켜 피복석의 마모저항을 측정하는 마모시험을 통해 무게감량 곡선의 기울기를 분석하였다. Lienhart (1998)는 피복석의 품질을 평가 할 경우 조사, 평가, 생산, 이동방법 등의 복잡한 평가인자를 적용한 RERS (Rock Engineering Rating System) 을 제안하여 다양한 피복석에 대한 적합도를 평가하였다. Tomasicchio et al (2003)은 피복석이 방조제에 작용하는 파랑 상태에서 마모에 따른 피복석 체적손실을 평가하였다. 평가인자는 피복석 유동에 의한 마모, 파손, 동결융해, 화학적 침식이 고려되었다. Kong (2003)은 방조제 피복공을 대상으로 피해원인 및 보강방법을 제시하기 위하여 피복공 피해유형을 공극발생, 흐트러짐, 이탈, 침하, Key이탈, 근고공 유실 등의 6개 유형으로 분류하였다. Deniz and Topal (2009)은 피복석의 마모 원인 중에서 마모에 대한 내구성을 평가하기 위하여 석회암 방조제 피복석에 대하여 재료시험을 실시하고 파랑에 의한 마모량을 측정하여 피복석의 내구성을 평가 하였다. Latham et al. (2006)은 피복석의 내구성과 공용기간을 예상하기 위하여 피복석에 대한 LA마모시험, 동결융해시험, 반발경도시험 등 여러 가지 재료시험을 수행하여 Rock Manual (CIRIA)로 평가하는 방법과 암석의 광범위한 재료 특성을 고려한 AQD 방식으로 평가하는 방법 등 2가지 평가 방법을 제시하였다. Beak and Lee (2011)은 방조제의 피복석에 작용하는 파랑이 충격하중으로 작용하게 되어 피복석에 마모를 일으키는 가장 큰 원인이라고 하였다. KRC (2011)는 새만금방조제 해측 피복석에 대한 현장조사 결과 4호 방조제가 1, 2, 3호 방조제보다 마모의 정도가 더 크고 유동석이 더 많이 발생한다고 하였고 특히 조간대 영역에서 마모가 더 심하다고 하였다. Son et al. (2013)은 새만금 방조제 전 구간의 피복석 및 유동석에 대하여 현장조사를 실시하고 해측피복석의 변형 유형을 분류하였다. 피복석의 마모는 유동석의 마찰 및 충격이 가장 큰 원인이라고 하였다. 그러나 새만금 방조제와 같이 파랑에 의해 유동석이 발생하고 다양한 석재로 시공된 방조제의 피복석 마모원인에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 새만금방조제의 해측피복석의 재료특성에 따른 마모원인을 분석하여 방조제의 안정성 확보에 필요한 기초자료를 제공하고자 하였다.

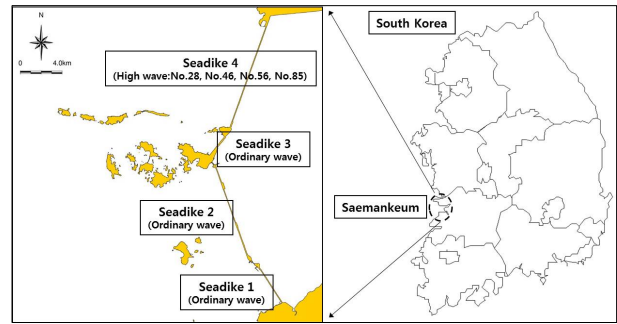


Fig. 1 Location of the studied area

Table 1 The outline of section for study subject

Classification	Constructive sector	Sector of field inspection (m)
Seadike 1	No.01+35 ~ No.43+00	4,265.0
Seadike 2	No.00+00 ~ No.97+56.5	9,756.5
Seadike 3	No.00+30 ~ No.26+93	2,663.0
Seadike 4	No.00+30 ~ No.113+40	11,310.0
Total		27,994.5

## II. 연구 방법

### 1. 연구대상지역

새만금방조제의 현장조사 및 재료시험은 2009년 6월부터 2014년 12월까지 실시하였으며 공간적 범위는 Fig. 1과 Table 1과 같다. 그림과 같이 총길이 33.9 km의 새만금방조제 중 선착장, 유지관리시설 등 피복석이 시공되어 있지 않은 구간을 제외한 27.99 km를 선정하였다. 현장조사는 새만금방조제 전 구간에 대하여 피복석의 마모, 이탈, 변형, 파손상태를 조사하고 재료시험을 병행 실시하였다.

### 2. 방조제 현장조사 및 시험 구간

새만금 방조제의 해측에 시공되어 있는 원위치 피복석 및 유동석의 재료시험은 Fig. 2에 나타난 바와 같이 각 방조제별로 소단 (Zone 3), 조간대 (Zone 2), 근고공 (Zone 1)의 3개 영역 (Zone)으로 나누어 현장조사를 실시하고 재료시험을 위한 시료를 채취하였다. 시험구간은 방조제별로 현장조사 및 유의파고 분석 결과에 따라서 마모현상이 심하고 유의파고가 높은 고파랑 구간과 마모현상이 적고 유의파고가 크지 않은 평상 파랑구간을 선정하였다. Table 2~Table 3과 같이 영역별 석재원, 시공방식, 파랑구분 (고파랑 : 유의파고 5 m 이상, 평상파랑 : 유의파고 5 m 이하)을 나타냈다.

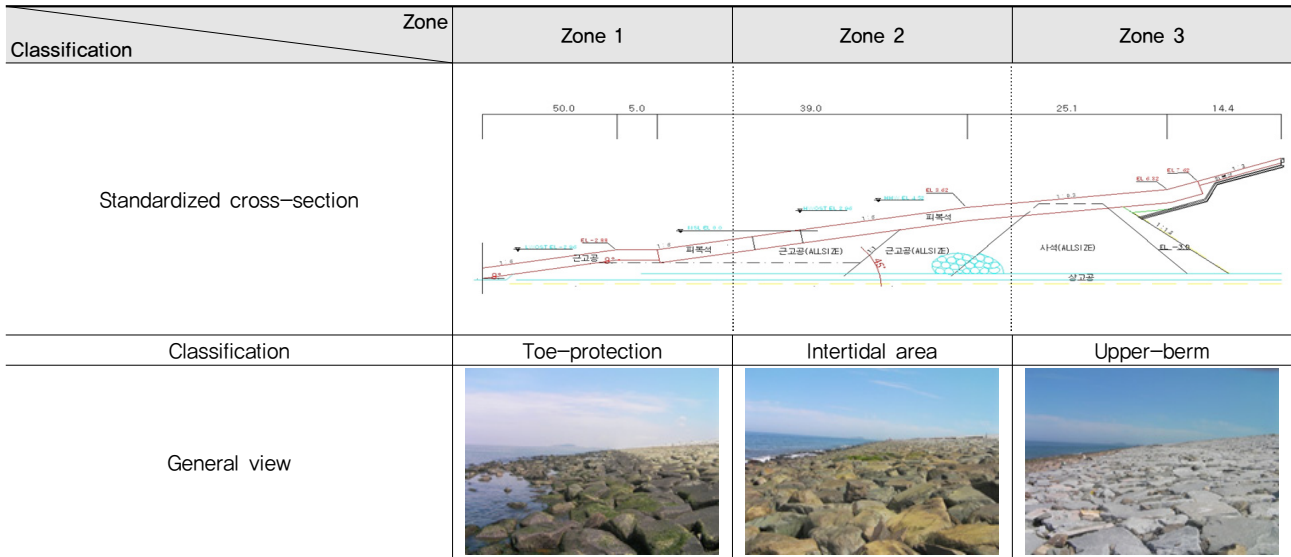


Fig. 2 Classification of zone

Table 2 Source of armor stones in situ by zone (Seadike 1~Seadike 3)

Seadike		Seadike 1		Seadike 2			Seadike 3	
Classification	Sector	No,16	No,20	No,45	No,78	No,95	No,11	No,16
Source of stone	Zone 1	Hechang	Hechang	Sinsi	Sinsi	Sinsi	Sinsi	Sinsi
	Zone 2	Hechang	Hechang	Sinsi	Sinsi	Sinsi	Sinsi	Sinsi
	Zone 3	Hechang	Hechang	Sinsi	Sinsi	Sinsi	Sinsi	Sinsi
Classification of wave		O						
Method of construction		Single stone construction						

※ O : Ordinary wave , H : High wave

Table 3 Source of armor stones in situ by zone (Seadike 4)

Seadike		Seadike 4							
Classification	Sector	No,18	No,28	No,46	No,56	No,66	No,76	No,85	No,98
Source of stone	Zone 1	Sinsi	Sinsi	Sinsi	Sinsi	Sinsi	Sinsi	Bieung	Bieung
	Zone 2	Sinsi	Sinsi	External	External	External	External	External	Bieung
	Zone 3	External	External	External	External	External	External	External	External
Classification of wave		O	H	H	H	O	O	H	O
Method of construction		Multiple stone construction							

※ O : Ordinary wave , H : High wave

### 3. 재료시험 및 분석

해측피복석 재료시험은 한국농어촌공사가 피복석 품질시험에서 사용하고 있는 ‘피복석 품질기준’, ‘실내시험에 의한 암분류 방법’과 일관성을 유지하고 기존자료의 활용도를 높이기 위하여 Table 4와 같이 KS기준에 따라 시험하였다 (KRC, 2011).

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 피복석의 석재원별 재료특성분석

새만금 방조제 축조에 주로 이용된 석재원은 Table 2~Table 3과 같이 새만금 공사구간 주변에서 채취된 내부석재와 공사구간 외부에서 반입된 외부석재이다. 내부석재는 신

Table 4 Method of material testing

Classification	Method	Korean standards
Test of durability	Testing method for compressive strength of natural building stone	KS F 2519
	Standard test method for density and absorption of coarse aggregate	KS F 2503
Test of abrasion	Method of test for resistance to abrasion of coarse aggregate by using the Los Angeles machine	KS F 2508

Table 5 Results of material test (Seadike 1, 2, 3)

Seadike	Sector	Zone	Specific gravity	Absorption rate (%)	Compressive strength (MPa)	Abrasion rate (%)
Seadike 1	No.16	Zone1	2,632	0,257	115,9	19,7
		Zone2	2,636	0,211	118,3	15,6
		Zone3	2,660	0,162	149,7	14,7
	No.20	Zone1	2,628	0,189	116,7	17,4
		Zone2	2,640	0,215	119,5	15,8
		Zone3	2,623	0,333	139,9	16,0
Seadike 2	No.45	Zone1	2,620	0,416	192,9	10,7
		Zone2	2,616	0,296	133,7	10,0
		Zone3	2,623	0,211	144,3	11,9
	No.78	Zone1	2,608	0,242	176,9	10,8
		Zone2	2,600	0,400	140,5	9,8
		Zone3	2,604	0,213	163,5	11,4
	No.95	Zone1	2,605	0,223	204,5	11,7
		Zone2	2,638	0,229	131,5	15,2
		Zone3	2,623	0,225	174,5	22,4
Seadike 3	No.11	Zone1	2,616	0,178	111,2	10,1
		Zone2	2,587	0,219	276,8	12,1
		Zone3	2,611	0,151	218,9	11,6
	No.16	Zone1	2,624	0,155	178,1	10,4
		Zone2	2,618	0,308	158,4	7,6
		Zone3	2,594	0,239	143,5	7,2

시, 해창, 비응 석재가 사용되었으나 주로 신시석재가 시공되었다. 따라서 피복석의 석재원별 재료특성을 파악하기 위해 분석한 구간별 재료시험결과는 Table 5~Table 6과 같다. 또한, 마모현상이 가장 많이 발생된 4호방조제 (KRC, 2011)에 주로 사용된 신시석재와 외부석재의 재료시험 비교결과는 Table 7과 Fig. 3~Fig. 4와 같다. 결과와 같이 비중과 흡수율 차이는 5% 이하로 작게 나타났지만 압축강도는 외부석재가 신시석재 대비 77.3%로 약하고 마모율은 133.3%로 크게 나타나 신시석재에 비하여 상대적으로 약한 내구특성을 보이고 있다. 분석결과 외부석재와 신시석재가 조합 시공된 4호방조제는 파랑이나 유동석 충격 등의 외력이 작용할 경우 내구성이 상대적으로 약한 외부석재 시공구간에서 마모량이 집중적

으로 발생하는 피해를 입을 수 있기 때문에 피복석은 동일 석재원 재료를 사용하도록 하는 시방서 규정 제정 등이 필요하다고 판단된다.

## 2. 피복석의 석재원 별 파랑영향 분석

새만금 방조제는 외해에 축조되었기 때문에 북서 계절풍에 의해서 발생하는 강력한 파랑에 저항해야하므로 파랑이 피복석의 압축강도와 마모율에 끼치는 영향을 분석하였다. 이를 위해 신시석재와 외부석재로 조합시공 (Multiple stone construction)된 4호방조제에서 고파랑구간과 평상파랑구간으로 구분하여 석재원별로 비교분석 한 결과는 Table 8~Table 11과 같다. Table 8~Table 11에서 보는 바와 같이 압축

**Table 6** Results of material test (Seadike 4)

Seadike	Sector	Zone	Specific gravity	Absorption rate (%)	Compressive strength (MPa)	Abrasion rate (%)
Seadike 4	No.18	Zone1	2,611	0,213	207,5	8,6
		Zone2	2,598	0,287	203,6	9,3
		Zone3	2,746	0,244	108,0	17,7
	No.28	Zone1	2,617	0,220	184,5	8,8
		Zone2	2,613	0,220	200,9	9,6
		Zone3	2,697	0,167	122,8	16,1
	No.46	Zone1	2,609	0,255	170,1	9,2
		Zone2	2,676	0,248	120,1	13,1
		Zone3	2,695	0,160	140,8	19,1
	No.56	Zone1	2,603	0,218	162,3	14,0
		Zone2	2,817	0,194	155,9	9,1
		Zone3	2,708	0,235	164,4	15,8
	No.66	Zone1	2,599	0,215	148,4	10,7
		Zone2	2,636	0,248	126,9	13,7
		Zone3	2,666	0,215	132,6	5,3
	No.76	Zone1	2,593	0,233	187,4	11,6
		Zone2	2,657	0,263	154,4	14,0
		Zone3	2,702	0,175	185,9	16,6
	No.85	Zone1	2,612	0,120	160,4	10,0
		Zone2	2,818	0,189	126,3	10,3
		Zone3	2,780	0,278	127,5	10,0
	No.98	Zone1	2,607	0,225	138,2	12,9
		Zone2	2,594	0,343	183,0	10,3
		Zone3	2,658	0,224	191,3	15,4

**Table 7** The average of material test of sinsi stones and external stones (Seadike 4)

Classification	Sinsi stone	External stone	Remarks
Compressive strength (Mpa)	184,3	142,5	Sinsi stones are 29,3% higher than external stones
Abrasion rate (%)	10,2	13,6	External stones are 33,3% higher than sinsi stones
Absorption rate (%)	0,23	0,22	Sinsi stones are 4,5% higher than external stones
Specific gravity	2,61	2,71	External stones are 3,8% higher than sinsi stones

강도는 평상파랑구간이 고파랑구간에 비해 신시석재 평균 4.0%, 외부석재는 0.6% 강한 것으로 나타났다. 마모율은 고파랑구간이 평상파랑구간에 비해 신시석재 평균 3.0%, 외부석재는 8.2% 크게 나타났다. 이같은 조사결과로 볼 때 신시석재와 외부석재 모두가 고파랑구간에서 내구특성이 약한 것으로 나타났다. 이것은 고파랑 구간의 파랑에너지가 평상파랑구간에 비하여 더 크게 작용하고 있어 파랑 또는 유동석의 물리적 충격이 더 많이 발생하였기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 방조제 유지관리 시 고파랑구간에 대한 보강대책이

필요한 것으로 나타났다.

### 3. 방조제 영역 (Zone)별 내구성 분석

#### 가. 압축강도 비교

방조제 영역별 내구성을 조사하기 위하여 동일한 석재원으로 시공된 조건대 영역 (Zone2)과 소단 영역 (Zone3)에 대한 압축강도 분석 결과는 Table 12 및 Fig. 5와 같다. 단, 4호 방조제는 조건대영역 (Zone2)와 소단영역 (Zone3)만이 동일

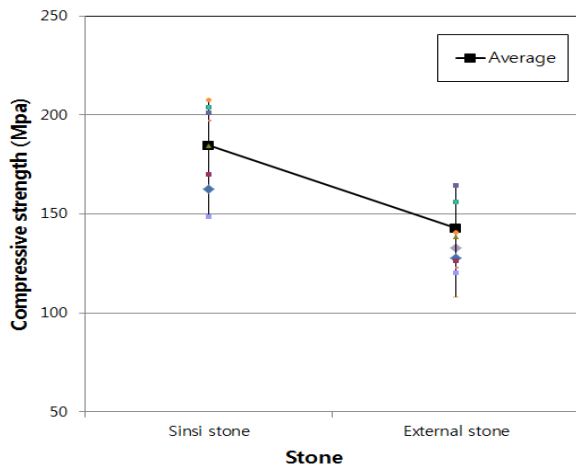


Fig. 3 Comparison of compressive strength between sinsi stones and external stones (Seadike 4)

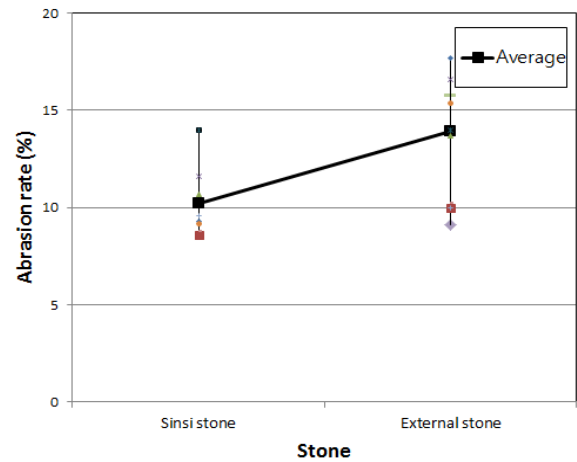


Fig. 4 Comparison of abrasion rate between sinsi stones and external stones (Seadike 4)

Table 8 Compressive strength of sinsi stone by wave

Stone	Sinsi		Remarks
	High wave	Ordinary wave	
Compressive strength (MPa)	200.9	203.6	
	184.5	207.5	
	170.1	148.4	
	162.3	187.4	
Average	179.5	186.7	Ordinary wave section is 4.0% higher than high wave

Table 10 Abrasion rate of sinsi stone by wave

Stone	Sinsi		Remarks
	High wave	Ordinary wave	
Abrasion rate (%)	9.6	9.3	
	8.8	8.6	
	9.2	10.7	
	14.0	11.6	
Average	10.4	10.1	High wave section is 0.6% higher than ordinary wave

Table 9 Compressive strength of external stone by wave

Stone	External		Remarks
	High wave	Ordinary wave	
Compressive strength (MPa)	122.8	108.0	
	140.8	132.6	
	120.1	126.9	
	164.4	185.9	
	155.9	154.4	
Average	140.8	141.6	Ordinary wave section is 0.6% higher than high wave

Table 11 Abrasion rate of external stone by wave

Stone	External		Remarks
	High wave	Ordinary wave	
Abrasion rate (%)	16.1	17.7	
	19.1	5.3	
	13.1	13.7	
	15.8	16.6	
	9.1	14.0	
Average	14.6	13.5	High wave section is 8.2% higher than ordinary wave

한 석재원으로 시공되었다. Table 12와 Fig. 5에서 보는 바와 같이 2개 영역 중 조위의 영향이 가장 큰 조건대 영역 (Zone2) 과 영향을 가장 작게 받는 소단 영역 (Zone3)의 압축강도 분포를 비교한 결과 3호방조제 16번 구간을 제외한 대부분의 구

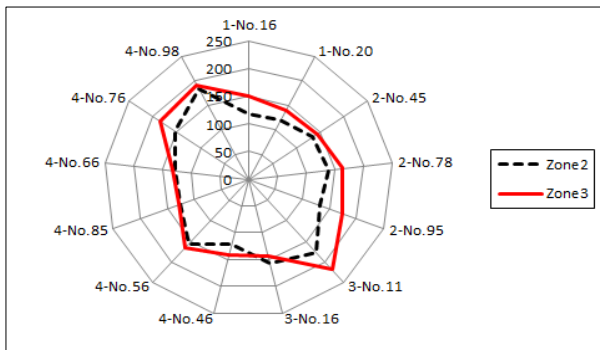
간에서 조건대영역의 압축강도가 소단영역에 비하여 75.4%~99.1%로 작게 나타났다. 이러한 결과는 일반적으로 조건대영역은 다른 영역에 비하여 물리적인 영향 즉 조위와 파압에 지속적인 영향을 받을 뿐만 아니라 해수의 화학적 영향이

**Table 12** Distribution of compressive strength by zone, (MPa)

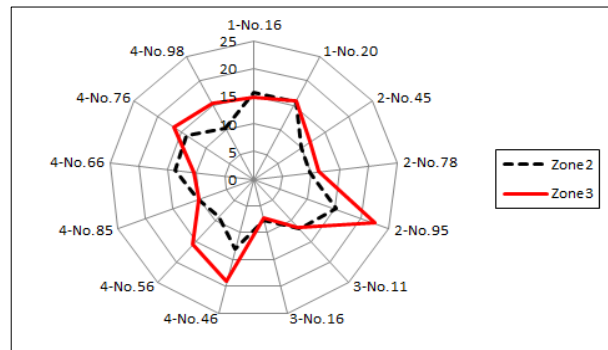
Seadike	Zone		Zone3	Remarks
	Sector	Zone2 (Comparison with Zone3:%)		
Seadike 1	No.16	118,3 (79,0)	149,7	
	No.20	119,5 (85,4)	139,9	
Seadike 2	No.45	133,7 (92,7)	144,3	
	No.78	140,5 (85,9)	163,5	
	No.95	131,5 (75,4)	174,5	
Seadike 3	No.11	176,8 (80,8)	218,9	
	No.16	157,4 (110,4)	143,5	
Seadike 4	No.46	120,1 (85,3)	140,8	High wave section
	No.56	155,9 (94,9)	164,4	
	No.85	126,3 (99,1)	127,5	
	No.66	126,9 (95,7)	132,6	Ordinary wave section
	No.76	154,4 (83,1)	185,9	
	No.98	183,0 (95,7)	191,3	

**Table 13** Distribution of abrasion rate by zone, (%)

Seadike	Zone		Zone3	Remarks
	Sector	Zone2 (Comparison with Zone3:%)		
Seadike 1	No.16	15,6 (106,1)	14,7	
	No.20	15,8 (98,8)	16,0	
Seadike 2	No.45	10,0 (84,0)	11,9	
	No.78	9,8 (86,0)	11,4	
	No.95	15,2 (67,9)	22,4	
Seadike 3	No.11	12,1 (104,3)	11,6	
	No.16	7,6 (105,6)	7,2	
Seadike 4	No.46	13,1 (68,6)	19,1	High wave section
	No.56	9,1 (57,6)	15,8	
	No.85	10,3 (103,0)	10,0	
	No.66	13,7 (133,0)	10,3	Ordinary wave section
	No.76	14,0 (84,3)	16,6	
	No.98	10,3 (66,9)	15,4	



**Fig. 5** Distribution of compressive strength by zone



**Fig. 6** Distribution of abrasion rate by zone

큰 영역이기 때문에 조간대영역의 피복석이 다른 영역보다 빠르게 압축강도가 저하되는 것으로 판단된다. 따라서 방조제 설계 시 조간대의 피복석은 고강도의 석재를 사용하는 등의 대책이 필요한 것으로 나타났다.

#### 나. 마모율 비교

새만금방조제 피복석의 영역별 마모특성을 알아보기 위하여 동일한 석재원으로 시공된 조간대 영역 (Zone2)과 소단 영역 (Zone3)에 대한 마모율을 비교한 결과는 Table 13과 Fig. 6과 같다. Table 13에서 보는 바와 같이 1호방조제 1개구간, 3호방조제 2개구간, 4호방조제 2개구간 등 총 5개 구간에서 조간대 (Zone2)의 마모율이 크게 나타났지만 나머지 8개구간에서는 소단영역 (Zone3)의 마모율이 크게 나타나는 등 소단영역에 대한 조간대영역의 마모율 분포는 57.6~133.0%로 압축강도의 경우와는 달리 일관된 경향을 보이지 않았다. 그

러나 현장조사결과 조간대의 마모정도가 다른 영역에 비하여 심하게 나타난 것 (KRC, 2011)으로 판단할 때 해측피복석의 마모특성에는 마모율보다 압축강도가 더 주요한 역할을 할 가능성이 있다고 판단된다. 이와 같은 현상에 대하여는 향후에도 지속적인 연구와 분석이 필요하다고 판단된다.

#### 4. 유동석에 의한 피복석의 마모원인 분석

새만금 방조제의 유동석은 파랑의 영향에 의하여 사면위를 기어오른 근고사석 (0.98~3.11 ton)과 채움사석으로 사용된 잔사석이다 (KRC, 2011). Table 2~Table 3에서 보는 바와 같이 근고공은 대부분 신시석재로 시공되었으며 유동석의 외관조사 및 재료시험 결과 유동석은 신시석재가 주를 이루는 내부석재이다.

원위치 피복석의 표면 위를 오르내리며 피복석의 표면에 물리적인 충격을 가하는 유동석은 원위치 피복석의 재료특성과



**Table 14** Compressive strength comparison of armor stones in situ and deviated stone (Seadike 4, Sinsi stone), (MPa)

Sector	Stone	Insitu armour stone (A)	Deviation stone (B)	Comparison result (%) (B)/(A)
No.28	Sinsi stone	192.7	251.3	130.4
No.46	Sinsi stone	170.1	214.6	126.2
No.56	Sinsi stone	162.3	217.6	134.1
No.85	Sinsi stone	160.4	203.1	126.6
Average		171.4	221.7	131.1

**Table 15** Abrasion rate comparison of insitu armour stone and deviation stone (Seadike 4, Sinsi stone), (%)

Sector	Stone	Insitu armour stone (A)	Deviation stone (B)	Comparison result (%) (B)/(A)
No.28	Sinsi stone	9.2	6.2	67.4
No.46	Sinsi stone	9.2	8.7	94.6
No.56	Sinsi stone	14.0	5.8	41.4
No.85	Sinsi stone	10.0	6.2	62.0
Average		10.6	6.7	63.5

비교하는 것이 중요하다. 따라서 현장조사 결과 유동석이 가장 많이 발생하는 4호방조제 4개구간 (No.28, No.46, No.56, No.85)에 대한 원위치 피복석과 유동석의 압축강도와 마모율 등 재료특성을 비교하였다. 이에 대한 비교 결과는 Table 14~Table 15에서 보는 바와 같다. 유동석의 압축강도는 원위치 피복석보다 평균 131.1% 정도 강한 것으로 나타났다. 유동석의 마모율은 원위치 피복석 대비 63.5%로 작게 나타났다. 이와 같은 결과는 신시석재를 석재원으로 하는 유동석이 원위치피복석보다 내구성과 마모저항성이 강한 것을 알 수 있다.

하부사면에서 발견된 유동석은 신시석재가 대부분을 이루고 있는 것으로 조사되었으며 이러한 점을 감안할 때 유동석과 원위치피복석이 상호 마모작용이 일어날 경우에는 원위치 피복석이 더욱 마모될 것으로 판단된다. 특히 피복석이 외부석재로 시공된 경우에는 더욱 큰 마모현상이 나타날 것으로 예측되며 이것은 현장조사 결과에서 4호방조제의 조간대(외부석재)에서 마모현상이 큰 것과 같은 결과이다. 따라서 유동석에 의한 피복석의 마모원인은 피복석보다 내구성이 강한 유동석이 피복석 위를 유동할 때 내구성이 상대적으로 약한 피복석이 먼저 마모되는 것으로 판단되는바 이에 대한 대책이 마련되어야 할 것으로 사료된다.

#### IV. 요약 및 결론

본 연구는 새만금방조제 해측피복석의 재료특성에 따른 마모원인을 구명하기 위하여 새만금방조제의 전 구간에 대하

여 현장조사 및 재료시험을 실시하였다. 이에 대한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 재료시험결과 외부석재의 압축강도는 신시석재 대비 77.3%로 약하고 마모율은 133.3%로 크게 나타나 신시석재에 비하여 상대적으로 약한 내구특성을 보이고 있다. 따라서 신시석재가 외부석재로 조합시공된 4호 방조제의 경우 외력이 작용할 경우 내부석재의 마모가 더 많이 발생할 것으로 판단된다.
2. 석재원별 파랑영향에 대한 압축강도는 평상파랑구간이 고파랑구간에 비해 신시석재가 평균 4.0%, 외부석재가 0.6% 강한 것으로 나타났다. 마모율은 고파랑구간이 평상파랑구간에 비해 신시석재 평균 3.0%, 외부석재에서 8.2% 크게 나타나 신시석재와 외부석재 모두가 고파랑구간에서 내구특성이 약한 것으로 나타났다.
3. 영역별 압축강도를 비교한 결과 대부분의 구간에서 조간대 영역의 압축강도는 75.4~99.1%로 작게 나타났다. 이러한 결과는 일반적으로 조간대영역이 다른 영역에 비하여 파랑 및 해수의 화학적 영향이 큰 영역이기 때문인 것으로 판단된다.
4. 소단영역에 대한 조간대영역의 마모율 분포는 57.6~133.0%로 압축강도의 경우와는 달리 일관된 경향을 보이지 않았다. 그러나 현장조사 결과 조간대의 마모가 심한 것을 감안할 때 이와 같은 현상은 향후에도 지속적인 모니터링 및 연구가 필요한 것으로 나타났다.
5. 유동석은 원위치 피복석의 표면 위를 유동하므로 유동석과



원위치 피복석의 재료특성을 비교하는 것이 중요하다. 이에 대한 비교 결과 신시석재의 유동석이 원위치피복석보다 압축강도는 131.1 %로 크고 마모율은 63.5 %로 작게 나타났다. 이러한 결과로 미루어 볼 때 피복석의 마모원인은 피복석보다 재료특성이 강한 유동석이 피복석 위를 유동할 때 재료특성이 상대적으로 약한 원위치 피복석이 먼저 마모되는 것으로 판단된다.

따라서 피복석의 마모를 방지하기 위해서는 우선 사면위의 유동석을 제거하고 장기적으로는 재료특성의 차이가 큰 피복석의 조합시공을 방지할 수 있는 시방규정의 제정이 필요하다고 사료된다.

## REFERENCES

1. Baek, S. C. and Lee, S. Y., 2011, Study on movement features of seaside armor stones according to wave in saemangum sea dike, *Korean geo-environmental society*, 12-7 (in korean).
2. Deniz, B., and Topal, T., 2009, Testing of armourstone for the purpose of durability: A Case Study from Two Rubble Mound Breakwaters(Mersin TURKEY). *Journal of Coastal Research, Special Issue* 56, 501-504.
3. Korea rural community corporation(KRC), 2002, Seamankeum tideland reclamation project, 158-159 (in korean).
4. Kong B. S., 2003, The study on the strengthening method of seadike armor-layer, Master's thesis., Konkuk University, 32-35 (in korean).
5. Korea rural community corporation(KRC), 2008, Study on effective methods for maintenance of saemangum facilities, 3-5 (in korean).
6. Korea rural community corporation(KRC), 2009, Report of Tideland reclamation, 3-10 (in korean).
7. Korea rural community corporation(KRC), 2011, Study on devices against abrasion of seaside armor stones in saemangum sea dike, 3-6, 99-100 (in korean).
8. Lienhart, D.A., 1998, Rock engineering rating system for assessing the suitability of armourstone sourcees, *Advances in Aggregates and armourstone Evaluation, Engineering Geology Special Publications*, 13, 91-106.
9. Latham, J.P., 1993, A mill Abrasion test for wear resistance of armour stone, *Rock for Erosion Control*, ASTM STP 1177.
10. Latham, J.P., Lienhart, D.A., and Dupray, S., 2006, Rock quality, durability and service life prediction of armourstone, *Engineering Geology* 87, 122-140.
11. Latham, J.P., and Poole, A.B., 1988, Abrasion Testing and Armourstone Degradation, *Coastal Engineering*, 12, 233-255.
12. Poole, A, B, 1991, Rock quality in coastal engineering. *Journal of Engineering Geology*, 24, 85-90.
13. Son, J. G., Goh, N. Y., Choi, J. K., Kim, H. W., 2013, Analysis on the Cause of Abrasion according to Deformation Types of Seaside Armor Stones in Saemangeum Seadike, *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers*, 55(6):187-196 (in korean).
14. Tomasicchio, G.R., Lamberti, A., and Archetti, R., 2003, Armourstone abrasion due to displacements in sea storms, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE 129. 5, 229-232.