

## 제주도 이호 · 함덕 해변퇴적물의 계절적 변화에 관한 연구

윤정수<sup>1\*</sup> · 박용성<sup>2</sup> · 김태정<sup>1</sup> · 박상운<sup>1</sup>

<sup>1</sup>제주대학교 해양과학대학 해양과학부, <sup>2</sup>제주과학고등학교 지구과학

## Seasonal Variations of Iho and Hamdeok Beach Sediments in the Jeju Island, Korea

Jeung-Su Youn<sup>1\*</sup>, Yong-Seung Park<sup>2</sup>, Tae-Joung Kim<sup>1</sup> and Sang-Woon Park<sup>1</sup>

<sup>1</sup>College of Ocean Sciences, Cheju National University, Jeju-do 690-756, Korea

<sup>2</sup>Jeju Science High School, Ohra 2dong, Jeju-do 690-162, Korea

The Iho and Hamdeok beaches, the major coastal beaches in Jeju Island, have been studied through size analysis and using an experimental extension pole and sediment trap in beach profile, in order to understand their textural characteristics, migration patterns, and seasonal change in beach geometry. The Iho beach is composed of coarse and medium sands, 590 m in total length. The foreshore slope is 12.3° in summer and 10.8° in winter, which shows more steeper in summer. The Hamdeok beach consisting mostly of shell fragments is 950 m long, 5.7~7.4° steep and 97.4~114.5 m wide, respectively. The suspended load drift concentrations in the studied beaches showed 4.5 mg/l during the period of summer and 33.2 mg/l in winter, and those of fine-grained sediments are derived mostly from the marine of northeastward direction. The typical beach transformation of the Iho beach is resulting from the construction of jetties in the west side that built up the sand inside the jetties, whereas the erosion is occurring on the east side of beach. The center and berm sides of the sand in the Hamdeok beach drift into the dune side during the period of the stormy winter season.

**Key words :** beach profile, beach geometry deformation, Iho and Hamdeok beaches

제주도의 주요 해수욕장인 이호와 함덕해빈에 대한 해빈단면 조사와 입도분석 연구를 통해 해변퇴적물의 분포경향과 해빈특성을 파악하고, 폴대와 포사기 조사를 통한 계절별 해빈사의 이동방향과 이동량 및 해빈지형 변화상태를 파악하였다. 이호해빈은 중조립질 모래로 구성되어 있고 총길이 590 m이며, 경사는 하계 12.3°, 동계 10.8°로 하계가 다소 높은 편이다. 함덕해빈은 폐각편 모래로 구성되어 있고 총길이 950 m이며, 경사와 폭은 각각 하계 5.7°, 114.5 m, 동계 7.4°, 97.4 m이다. 해수중의 해빈 부유사의 이동량은 동계가 33.2 mg/l로 하계의 4.5 mg/l 보다 많았고 주로 북동 방향에서 해빈모래가 공급되고 있었다. 이호해빈은 해빈 동쪽에 축조된 방사제의 영향으로 모래유실에 의한 해빈 변형이 일어나고 있었고, 함덕해빈은 해빈 중앙부와 애도지역에서 북서계절풍에 의한 사구쪽으로 표사이동이 일어나고 있다.

**주요어 :** 해빈단면, 해빈지형의 변화, 이호와 함덕해빈

### 1. 서 론

제주도의 중요한 관광자원이며 여름철의 최대 휴양지인 본도 연안의 주요 해빈들이 최근에 심한 침식현상으로 인해 해빈사장 면적이 급속히 축소되어 해양레

저 공간으로서의 기능이 상실되어 가고 있다.

해빈변형을 일으키는 주 요인은 특정 계절에 치우친 높은 파고, 일시적 폭풍에 의한 급속한 해빈사 유실과 해빈내에 설치된 방파제, 돌제(groin), 호안벽, 고층건물, 인공어초 등의 인공구조물에 의한 파랑, 조류, 연

\*Corresponding author: jsyou@cheju.ac.kr

안류 및 바람방향의 변화와 이에 기인한 해양으로부터 운반·퇴적되는 해빈사의 이동방향을 변경 및 차단하는 등이 주된 요인으로 작용한다(Shepard, 1973; Lancaster, 1986). 이러한 해빈침식에 의한 해빈변형은 국내 주요 해수욕장인 부산 해운대 해빈에서도 심각하게 나타나 그 원인을 규명하기 위한 조사·연구가 수년간 수행되었다(Min *et al.*, 1982, 1984, 1987). 그의 한반도 서해 및 남해안에 분포하는 일부 해빈에 대한 연구가 있다(Lee *et al.*, 1994; Ryu *et al.*, 2004; Ryu and Chang, 2005; Choi *et al.*, 2005). 제주도 연안에 분포하는 해빈들의 모래유실에 대한 구체적인 조사연구는 이루어진바 없고, 단지 해수욕장 개장을 앞두고 침식이 심한 지역에 수백 톤에 달하는 많은 양의 모래를 인공 투사하는 정도에 그치고 있어 해빈변형을 일으키는 주요 원인규명과 방지대책 수립을 위한 조사·연구가 절실히 요구되고 있다.

따라서 본 연구는 제주도 연안에 분포하는 주요 해수욕장 중 이호와 함덕해빈에 대하여 동계(2005년 1~3월)와 하계(2005년 8~9월)로 구분하여 야외조사와 실내연구를 통해 해빈 퇴적물의 계절별 분포상태와 부유사의 이동상황 등을 파악하여 해빈변형의 정량적인 이해를 도모하였다.

## 2. 주변지질과 해황

제주도는 신생대 제3기 말에서 제4기 중에 일어난 화산활동에 의해 형성된 화산대로서 장축의 길이가 73 km, 단축은 32 km, 해안선의 길이가 263 km인 타원형의 섬이다(Won and Lee, 1988). 수계는 한라산체를 발원지로 하여 60여개의 크고 작은 하천들이 해안방향으로 방사상으로 발달되어있고, 남북의 급사면에 비하여 경사가 완만하고 용암대지가 발달하는 동서 사면에는 수계발달이 빈약한 편이다(Choi and Kim, 1989). 도내 하천들의 두부침식의 선단표고는 대개 1,400~1,600 m 정도이고, 대부분의 하천은 유로상에 발달된 투수층과 주상절리 구조를 통하여 유수가 쉽게 지하로 침투되어 건천을 이루고 있으며 강우 시에 일시적으로 유출하는 간헐천의 특성을 갖고있어 강과 하천에 의한 바다로의 모래공급을 기대할 수 없다. 이호해빈의 배후 지질은 반상휘석현무암, 장석현무암, 화산쇄설층, 해빈사구층으로 구성되어 있고, 함덕해빈 주위에는 장석 감람석현무암, 비현정질현무암, 분석구층, 사구층으로 구성되어 있다(Won and Lee, 1988).

제주시 지역의 동계(1, 2, 3월)와 하계(7, 8, 9월)의

기온범위는 5.4~27.4°C이며 연평균 16.5°C였다. 기온은 8월에 27.4°C로 가장 높고 1, 2월의 평균은 5.4°C로 가장 낮았다. 강수량은 겨울철에 평균 76.3 mm이며, 여름에는 115.8 mm로 겨울보다 높았다. 최대풍속은 1월이 113.8 m/sec로 최대치를 보였고, 8월에 7.7 m/sec로 가장 낮았으며, 여름철에는 북동계의 계절풍이 우세한 반면 겨울철에는 북서계절풍이 탁월한 편이다. 조차는 139.6~154.1 cm(평균 149.2 cm) 범위로 여름철이 겨울보다 다소 높은 편이다(Korea Meteorological Administration, 2005).

제주항의 평균 파고는 0.9 m이며 계절별로는 겨울철의 평균 1.03 m로 여름철의 평균 0.81 m보다 약 0.21 m 더 높은 값을 보이고 있다. 이는 겨울철에는 북서계절풍이 우세하기 때문이며 그 외에 파고를 높이는 데 크게 영향을 끼치는 것은 태풍에 의한 너울, 풍황, 풍속 순으로 나타났다(Hydrographic Office, 2005).

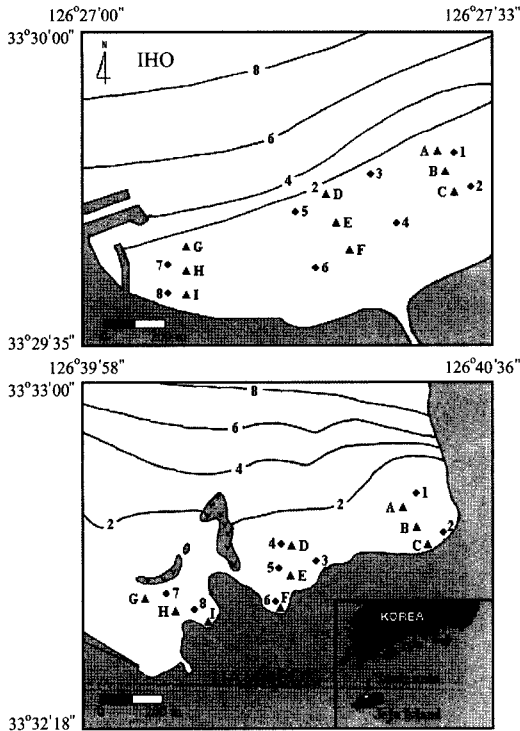
## 3. 연구 방법

### 3.1. 야외 조사

제주도 연안지역에 분포하는 해빈들 중 해빈발달 상태가 양호한 이호·함덕 해수욕장을 대상으로 동계(2005. 1. 15~3. 20)와 하계(2005. 8. 20~10. 2)에 현장조사를 실시하였다. 현장조사는 간조선, 만조선 및 해빈에도(beach berm) 상부로 구분하여 해빈단면(길이, 폭, 경사도) 측정과 해빈 표층부에서 분석용 시료를 채취하였다. 또한, Thompson(1937)이 제시한 방법에 의거 높이 2 m의 눈금이 매겨진 pole대를 각 해빈 당 8 개 지점에 일주일간 고정 설치하여 해빈지형의 변화상을 매일 측정하였다(Fig. 1). 또한 구경 50 mm, 높이 30 cm PVC 파이프를 정방형 앵글가대(사방 2.0 m×높이 0.5 m)에 동서남북 방향별로 4개를 고정시킨 포사기를 제작하여 각 해빈 중앙부지역의 간조선과 만조선 사이 해저면에 25시간 동안 고정 설치하여 해저면 상부수층(저층수) 중의 부유사 이동량을 조사하였다. 아울러, 니스킨형 전도계수기를 이용하여 이호와 함덕항구 방파제 끝지점 수심 중간심도(중층수)의 해수시료 2 l을 동계(1, 2, 3월)와 하계(7, 8, 9월)에 월 1회씩 채수하여 부유퇴적물 함량을 분석하였다.

### 3.2. 실내 연구

채취된 시료는 입도분석을 위해 증류수로 염분을 제거하고 건조기에서 완전히 말린 다음 4분법으로 분류하여 그 중 50 g을 미국 표준체망으로 기준하여 -1Φ



**Fig. 1.** Sampling and pole sites in the Iho and Hamdeok beach areas.  
 Note: 1~8: Sampling stations, A~H: Pole stations, Depth contour is in meter 'V' marks indicate rocky headland areas in the beach.

~+4Φ까지 1Φ 간격으로 나누어 5분간씩 채질하였다. 이 결과 얻어진 1Φ 간격의 입도별 무게백분율을 누적 분포곡선을 작성하여 Folk and Ward(1957)의 공식에 의거 조직표준치를 계산하였다. 탄산염 함량분석은 시료 3g을 분쇄기에서 곱게 부순 후 1N- HCl로 용해시켜 pH시험지에 강산으로 나타날 때까지 계속 염산을 첨가시키고, 반응이 끝나면 여과지(filter paper, No. 6)로 여과시킨 후 증류수로 세척하여 110°C에서 건조시킨 후 원무게에 대한 백분율을 나타내었다. 부유사의 함량분석은 채수된 해수시료 2l를 여과지(GF/C)로 여과하여 105°C에서 건조시킨 후 함량을 계산하였다.

**4. 결과 및 고찰**

**4.1. 해변의 특징**

제주도의 해안지형은 비교적 단조로운 편이며 크게 암석해안과 사질해안으로 구분할 수 있다. 암석해안은 단애로 된 해안과 현무암초로 이루어진 해안으로 나눌 수 있고, 사질해안은 주로 연안성 패각사로 이루어진

백사해빈과 해안 주변의 현무암초와 화산쇄설층의 침식으로부터 비롯된 흑사해빈으로 세분할 수 있다. 이 같은 구분에 따르면, 본 조사지역 중 함덕해빈은 바다로부터 연안류에 의해 공급되는 패각사가 주를 이루는 백사해빈이며, 이호해빈은 패각사와 주변 현무암초와 화산쇄설층의 침식산물로 이루어진 백사와 흑사가 혼재된 해빈이다.

**4.2. 이호해빈**

이호해빈은 총길이 590m이고, 해빈경사와 폭은 하계 12.3°, 65.6m, 동계 10.8°, 56.9m 이다. 본 해빈은 장석현무암, 반상휘석현무암, 화산쇄설층 등의 해빈 배후 지질의 침식물질과 해양으로부터 공급된 패각사가 혼재된 해빈사가 주를 이루며 해빈 경사면 하부에는 평균 34m의 폭을 갖는 자갈대(gravel belt)가 해안선을 따라 길게 뻗어 있는 형태로 항상 존재하여 사력질 해빈으로도 볼 수 있다. 본 역의 해빈퇴적물은 모래가 29.31~81.63%(평균 57.9%), 패각편(CaCO<sub>3</sub>)이 18.37~70.69%(평균 42.1%)로 혼재되어 있고 평균 입도는 0.77Φ로 조립질 모래해빈에 해당한다(Table 1).

본 해빈 중앙에 분포하는 자갈대는 최대 40cm, 최소 1cm(평균 20cm)의 직경을 갖는 둥근 유동성 역들로 이루어져 있으며, 그 하부층은 고결된 화산쇄설층으로 구성되어 있어서 이 유동성 역들은 하부의 화산쇄설층의 침식과 재동작용의 산물인 것으로 생각된다.

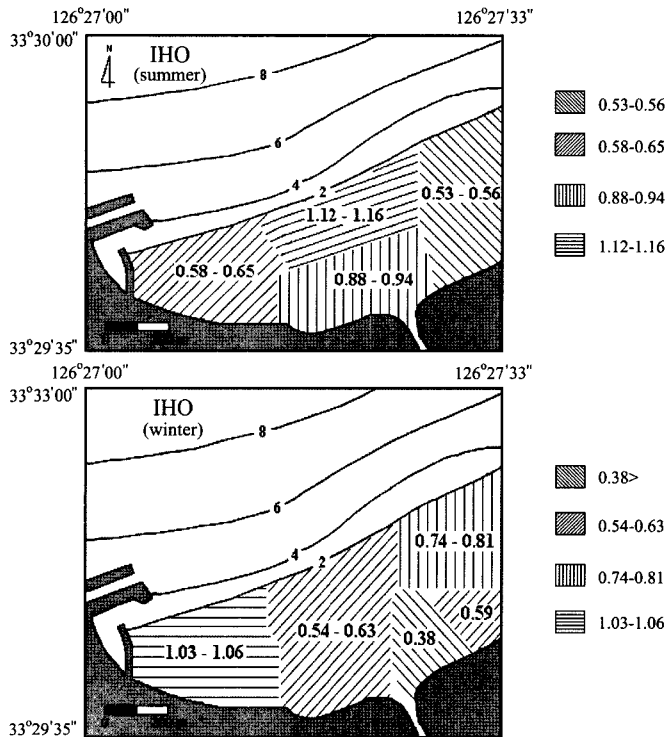
특히 이 자갈대는 계절에 따라 분포양상을 달리하는데 북서계절풍이 우세한 동계에는 강한 북서계절풍의 영향을 외해로부터 직접 받기 때문에 폭이 35~68m로 완전히 노출되어 있어 역질해빈을 방불케 하고 있으나, 북서계절풍의 세력이 약해지는 봄부터는 파고가 낮은 잔잔한 파랑을 통해 바다로부터 운반되어 오는 모래에 묻혀 자갈대 대부분이 모습을 감춘다. 다만 부분적으로는 하계에도 이 자갈대가 여전히 7~12m 폭으로 존재한다. 또한 동계의 잦은 기상변화에 의해 수시로 발생하는 폭풍은 이 역들을 해빈에도 정부에까지 쌓아올리면서 해빈경사면을 파괴시켜 버리므로 해빈경사가 하계에 비해 동계에 높다는 일반적인 현상과는 반대로 하계 12.3°, 동계 10.8°의 경사를 나타낸다. 그러나 해빈폭은 하계 65.6m, 동계 56.9m로 해빈단면 일반적인 계절적 순환현상과 일치한다.

**4.3. 함덕해빈**

본 해빈은 총길이가 950m이고 해빈 경사와 폭은 각각 하계 5.7°, 114.5m, 동계 7.4°, 97.4m이나 간조

**Table 1.** Calcium carbonate content of beach sediments in the Iho and Hamdeok beach(summer).

Study area	Sample No	Mz( $\Phi$ )	Sand(%)	CaCO <sub>3</sub> (%)
IHO	1	0.56	57.15	42.85
	2	0.53	81.63	18.37
	3	1.21	29.31	70.69
	4	0.94	48.61	51.39
	5	1.16	44.44	55.56
	6	0.88	43.76	56.24
	7	0.58	77.54	22.46
	8	0.65	80.76	19.24
	Range	0.53-	29.31-	18.37-
	Average	1.21	81.63	70.69
HAMDEOK	1	1.18	12.27	87.73
	2	0.84	8.73	91.27
	3	0.69	8.22	91.78
	4	0.77	6.83	93.17
	5	0.74	4.53	95.47
	6	0.83	15.37	84.63
	7	0.95	11.88	88.12
	8	0.80	5.90	94.10
	Range	0.69-	4.53-	84.63-
	Average	1.18	15.37	95.47
Average	0.85	9.22	90.78	



**Fig. 2.** Seasonal distribution of mean grain size in the Iho beach (unit: phi).

선의 완만한 경사로 간조시 사장면적이 넓어 해변 발 달이 대체로 양호하다.

본 해변은 해양의 대륙붕지역으로부터 패각사의 공급이 활발한 해변으로 해변퇴적물 구성은 쇄설성 모래

가 4.53~15.37%(평균 9.22%), 패각편(CaCO<sub>3</sub>)이 84.63~95.47%(평균 90.78%)로 구성되어 있고, 퇴적물의 평균입도가 0.84Φ로 조립질 패각사편 모래에 해당한다. 이는 함덕해빈이 이호해빈 보다 다소 세립한 퇴적물로 구성됨을 보여준다(Table 1). 특히 파고가 잔잔한 하계에는 연안으로부터 공급되는 세립질 패각사가 연안류에 의해 경사가 완만한 간조선상에 다량 공급됨으로써 폭이 약 24m정도인 사주가 양쪽 가장자리에 작은 수로를 두고 길게 형성되었다가 폭풍우세 기간인 동계에 빈번한 높은 파고에 의해 파괴되는 현상을 볼 수 있다.

**4.4. 해빈 퇴적물의 분포**

이호와 함덕해빈 지역에서 동계와 하계에 채취한 총 32개의 해빈퇴적물 시료에 대한 입도분석 결과 이호해빈의 평균입도는 하계 0.53~1.21Φ(평균 0.8Φ)이고, 동계 0.38~1.06Φ(평균 0.72Φ)로 중조립사에 해당한다. 저조선, 만조선, 해빈애도 지역에서의 입도분포 경향은 계절에 따라 뚜렷한 변화를 보이는데 해빈 양쪽 가장자리지역(St.-1, 2, 7, 8)은 하계보다 동계가 더 세립한 반면, 해빈 중앙부지역(St.-4, 5, 6)은 하계보다 동계가

더 조립해지는 반대현상을 보인다(Fig. 2). 특히 해빈 동쪽지역(St.-1, 2)이 서쪽지역(St.-7, 8) 보다 더 조립한 입도분포를 보이는 것은 이호해빈 서쪽에 축조된 방파제가 이곳의 연안류와 이안류의 방향을 바꾸어 동쪽 해빈지역은 침식되는 대신 서쪽 항구쪽에서는 해빈 모래가 쌓이는 해변변형이 일어나기 때문으로 해석된다. 또한 해빈 중앙부의 만조선과 해빈애도 지역이 하계보다 동계에 더 조립한 까닭은 겨울철의 빈번한 폭풍파에 의한 세립질 해빈모래가 배후의 사구쪽으로 이동하기 때문으로 해석된다.

함덕해빈의 평균입도는 하계 0.69~1.18Φ(평균 0.85Φ), 동계 0.25~0.78Φ(평균 0.62Φ)로 중조립사로 구성되어 있으며 겨울철이 여름보다 더 조립한 입도분포를 보인다. 해빈동쪽 저조선지역(St. 1)은 하계에 중립사(1.18Φ)로 형성되었던 사주가 동계에는 폭풍파에 의해 파괴되어 조립사로 변했으며, 해빈 중앙부의 애도 상부지역(St.-6)은 겨울철의 빈번한 북서계절풍에 의해 세립질 모래가 사구쪽으로 이동하여 하계보다 경사가 급한 조립사 해빈을 이루고 있다(Fig. 3). 한편 입도분석 결과로부터 계산된 분급도값은 이호해빈은 하계 0.38~0.62Φ

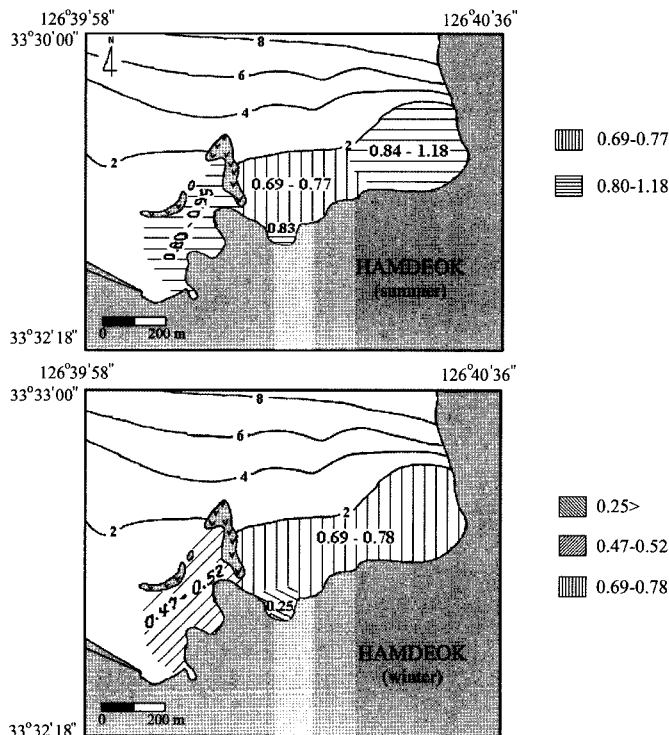


Fig. 3. Seasonal distribution of mean grain size in the Hamdeok beach (unit: phi). Note; 'V' marks indicate rocky headland areas in the beach.

평균0.53Φ), 동계 0.37~0.93Φ(평균 0.60Φ)로 중간경도의 분급에 해당하나 하계가 동계보다 다소 좋은 분급도를 나타냈다. 함덕해빈의 경우도 하계 0.52~0.63Φ(평균 0.58Φ), 동계 0.55~1.26Φ(평균 0.69Φ)로 하계가 동계보다 다소 양호한 분급을 나타내었다.

#### 4.5. 해빈 부유사의 이동

연구지역 해빈지역에서 2005년 동계(1, 2, 3월)와 하계(7, 8, 9월)에 증충수중에 부유사의 함량은(Table 2)와 같다. 이호해빈지역의 증충수중에 부유사의 함량은 여름철은 3.4~7.8 mg/l(평균 5.5 mg/l)이고, 겨울철은 11.3~72.7 mg/l(평균 34.1 mg/l)로 여름철보다 월등히 높는데 이는 제주시의 겨울철의 평균 풍속은 5.0 m/sec로 여름철의 3.4 m/sec보다 높아(Korea Meteorological Administration, 2005) 파랑에 의한 파고가 높아져서 해빈모래가 재 부유되기 때문으로 사료된다. 함덕해빈 지역의 증충수중의 부유사 함량은 여름철이 2.4~4.5 mg/l(평균 3.6 mg/l)이고 겨울철이 9.7~63.5 mg/l(평균 32.2 mg/l)로 이 역시 이호해빈과 유사하게 겨울철이 월등히 높은 특징을 보였다.

해빈은 항상 파랑, 조석, 연안표류, 바람등의 작용을 받고 있는 부단한 유동상태에 있으며 여름철 동안은 쇄파가 들어올린 물질이 연안류에 의해 해안 쪽으로 운반됨으로 해빈지역은 넓게 모래로 덮혀지며 해빈단면은 낮은 구배를 나타내지만, 겨울이 되면 잦은 폭풍의 내습으로 인해 해빈은 심한 침식을 받아 모래가 빠져나가 버림으로 해빈 폭은 줄어들고 경사는 더욱 급하게 된다(Visher, 1969; Shepard, 1973; Macdonald, 1973).

본 연구에서는 조사지역 해빈모래의 방향별 이동량을 조사하기 위하여 2005년 동계(2, 3월)와 하계(8, 9월)에 간조선 지역에 포사기를 설치하여 부유사의 방향별 이동량을 조사하였다(Table 3). 포사기 조사에 의해 부유

사 함량의 방향별 이동량은 Table 3에서 보는 바와 같이 이호해빈은 여름철에는 북(7.45 g)→동(4.84 g)→남(1.62 g)→서(1.49 g) 방향 순으로 부유사 포집량을 보이는데 이는 북동방향에서 해빈쪽으로 모래가 주로 공급되고 있음을 의미한다. 겨울에는 북(26.73 g)→서(17.01 g)→동(15.57 g)→남(9.36 g) 방향 순으로 부유사 포집량을 보이는데 겨울철에는 강한 북서계절풍에 의해 북서쪽에서 남동방향으로 해빈모래가 이동하고 있음을 의미한다. 또한 동계가 하계보다 많은 포사량을 보이는데 이는 겨울철의 높은 파랑에 의한 재부유된 다량의 부유사로 인해 방향별 포사량도 증가하기 때문으로 해석된다.

함덕해빈의 경우 여름철에는 북(6.18 g)→동(4.33 g)→서(3.75 g)→남(2.53 g) 방향 순으로 부유사 포집량을 보이는데 이는 북동 방향에서 해빈쪽으로 모래가 이동되고 있음을 의미한다. 겨울철에는 서(26.16 g)→북(21.08 g)→남(1.17 g)→동(0.34 g) 방향 순으로 모래 포집량을 보이는데 이는 겨울철의 북서계절풍의 영향으로 해빈모래가 서북쪽에서 남동쪽으로 이동되고 있음을 의미한다(Table 3). 포사기에 의한 포사된 부유사의 평균입도는 이호해빈 2.52Φ, 함덕해빈 2.71Φ로 거의가 세립사에 해당 했으며 매우 작은 폐각편들이 주를 이루고 있었다. 따라서 이호와 함덕해빈은 만두형 해빈이라 연안류의 진입방향이 해빈의 북동 방향이고 이안류의 방향은 해빈양쪽 가장자리의 암석돌출부로서 일반적인 해빈사 이동방향과 유사함으로 해빈중앙부 간조선과 만조선사이 지점에서 측정된 포사기에 의한 부유사 함량은 여름철은 연안류의 진입방향과 또한 겨울에는 북서계절풍에 의한 폭풍파의 진입방향과 일치하는 것으로 해석된다.

#### 4.6. 해빈 지형의 변화

해안선에 연하여 형성되어 있는 해빈은 짧은 기간

Table 2. Total suspended load contents in the near bottom water.

Study area	Summer (weight; mg/l)			Winter (weight; mg/l)			Water depth (m)
	'05, 7	'05, 8	'05, 9	'05, 1	'05, 2	'05, 3	
IHO	7.8	5.3	3.4	72.7	18.4	11.3	3.4
HAMDEOK	4.5	2.4	3.8	63.5	23.6	9.7	3.2

Table 3. Directional contents of suspended load drift sampling in the Iho and Hamdeok beach.

Study area	Summer (g/day)				Winter (g/day)				Water depth (m)
	East	West	South	North	East	West	South	North	
IHO	4.84	1.49	1.62	7.45	15.57	17.01	9.36	26.73	4.8
HAMDEOK	4.33	3.75	2.53	6.18	0.34	26.16	1.17	21.08	3.2

내에 외력인 힘 즉, 파랑과 흐름 등의 작용한계 범위 내에서 자유로운 변형을 거듭하고 있으며 해변의 평행상태도 항시 변화함으로써 해변의 변화상태는 동적이라 하겠다. 이와 같이 동적인 해변의 지형변화는 관계 있는 인자들과 상호 밀접한 관계를 유지해 나가면서 인자들이 어느 한 탁월특성에 의해 영향을 많이 받는 경향으로 진행하게 된다(Shepard, 1973; Freedman, 1967).

해빈의 변화를 결정짓는 최소한의 변수는 내적요인으로서 해변을 구성하고 있는 저질특성과 외적요인으로서 해변지역에 작용하고 있는 파랑특성 즉, 파형경사, 파고 및 파랑의 지속기간 및 세기, 또한 해변발달 지역에 직선상으로 구축된 방파제나 돌제(groin), 인공어초, 고층건물과 같은 인공구조물들이 파랑, 조류, 연안류, 바람 등에 의해 운반되는 해빈사의 이동방향 변경이나 차단 등을 들 수 있다(Madsen and Grant, 1976; Shepard, 1973).

해빈모래의 퇴적과 유실과 같은 해변지형 변화를 조사하기 위하여 직경 3cm, 높이 2m의 눈금이 새겨진 pole대를 각 해변의 간조선, 만조선, 해변애도 상부에 각각 9개 지점에 고정 설치하여(Fig. 1), 동계(2, 3월)와 하계(8, 9월)로 구분하여 1일 동안 해변모래의 퇴적

량과 유실량을 6일간에 걸쳐 관측한 결과는 Table 4, 5와 같다(Min *et al.*, 1987; Lee *et al.*, 1994).

이호해빈은 하계와 동계기간의 해빈모래의 퇴적과 유실량이 뚜렷이 구분되고 있다. 즉 하계에 있어서 순 퇴적량의 339.5cm로 순 유실량 33.6cm보다 10배가 높은 것으로 나타나고 있지만 해수욕장 개장 전에 수백톤에 달하는 많은 양의 모래를 인공으로 투사하고 있다는 점을 감안할 때 퇴적의 진행이라 보기는 어렵다. 동계에 있어서는 순 유실량이 242.2cm로 순 퇴적량의 36.9cm에 비해 6배나 높아 침식이 심하게 진행 중인 해빈임을 알 수 있다(Table 4). 이처럼 겨울철이 여름보다 해빈침식이 심한 것은 빈번한 북서계절풍에 의한 폭풍파가 해빈모래를 침식시켜 모래가 배후지의 사구쪽과 또한 바다 쪽으로 빠져나가 버림으로써 해빈폭이 줄어들고 전안에 경사가 급한 해변애(beach scarp)가 형성되기도 한다. 그러나 파도가 잔잔한 여름철에는 연안류의 발달로 전안에 형성되었던 연안 사주들이 연안류 등에 의해 해안 쪽으로 이동하여 안쪽의 골짜기를 메우고 해빈위에 모래가 다시 쌓이므로 해빈폭은 넓어지고 경사도 완만해진다. 또한 항만개설을 위한 해안을 따라 직선상으로 구축된 방파제나 돌제는 파도의 집중력을 감소시키기 때문에 폭풍기간엔 해빈

**Table 4.** Daily loss and accumulation of sand on the surface of the Iho beach area. (cm/day)

Pt	Date	(cm/day)										
		2005Aug. 20	Aug. 21	Aug. 22	Aug. 23	Aug. 24	Aug. 25	Total gain	Total loss	Av. gain	Net gain	Net loss
IHO	A	0.6	5.4	2.5	5.3	6.2	4.8	24.8		4.1	24.8	
	B	1.7	-3.6	-4.8	-5.6	-4.6	-3.7	1.7	22.3	1.7		20.6
	C	1.4	0.7	-7.7	-1.8	-2.5	-3.1	2.1	15.1	1.1		13.0
	D	2.1	4.4	15.3	4.2	16.5	14.6	57.1		9.5	57.1	
	E	-8.5	5.6	1.2	1.3	3.2	-1.6	11.3	10.1	2.8	1.2	
	F	3.4	24.1	18.6	23.4	27.5	50.4	147.4		24.6	147.4	
	G	-1.7	5.6	1.4	2.5	5.4	3.4	18.3	1.7	3.7	16.6	
	H	2.5	1.5	1.9	2.2	2.4	6.2	16.7		2.8	16.7	
	I	8.6	10.4	12.7	9.8	12.7	21.5	75.7		12.6	75.7	
Total								355.1	49.2	62.9	339.5	33.6
Pt	Date	(cm/day)										
		2005Feb. 23	Feb. 24	Feb. 25	Feb. 26	Feb. 27	Feb. 28	Total gain	Total loss	Av. gain	Net gain	Net loss
IHO	A	-8.5	-7.2	-2.3	-7.3	-3.2	-7.1		35.6			35.6
	B	4.2	-5.8	-6.4	-1.6	5.7	-6.6	9.9	20.4	5.0		10.5
	C	-7.6	-5.2	-10.2	-1.3	-2.6	-8.2		35.1			35.1
	D	-7.4	-8.6	-1.2	-28.2	-19.3	-5.4		69.6			69.6
	E	-1.7	3.6	-4.3	-8.7	-17.1	-3.7	3.6	35.5	3.6		31.3
	F	-8.3	-22.1	-2.2	-2.3	-16.2	1.5	1.5	51.1	1.5		49.6
	G	6.6	-4.4	6.3	4.4	-5.6	3.2	20.5	10.0	5.1	10.5	
	H	3.4	-6.8	5.7	6.2	2.1	15.8	33.2	6.8	6.6	26.4	
	Total								68.7	263.9	28.1	36.9

**Table 5.** Daily loss and accumulation of sand on the surface of the Hamdeok beach area.

(cm/day)

Pt	Date	2005						Total gain	Total loss	Av. gain	Net gain	Net loss
		Sep. 3	Sep. 4	Sep. 5	Sep. 6	Sep. 7	Sep. 8					
HAM DEOK	A	1.3	5.8	5.2	1.4	-2.4	6.6	20.3	2.4	4.1	17.9	
	B	10.8	24.4	30.3	35.6	31.2	35.4	167.9		27.9	167.7	
	C	1.5	6.4	5.3	3.3	2.6	7.8	26.9		4.5	26.9	
	D	-3.8	-15.4	-8.8	-12.6	-10.5	-6.7		57.8			57.8
	E	6.4	12.6	12.4	11.4	14.5	17.2	74.5		12.4	74.5	
	F	4.8	5.6	5.2	3.8	4.4	7.6	31.4		5.2	31.4	
	G	-2.6	-1.8	-5.7	-3.2	-3.8	-4.2		21.3			21.3
	H	-1.4	-1.8	-2.0	-1.7	9.1	1.4	10.5	6.3	5.3	3.6	
	I	-1.5	-3.4	2.3	-6.8	-7.5	4.2	6.5	19.2	3.3		12.7
Total								346.8	104.6	62.7	322.0	91.8
Pt	Date	2005						Total gain	Total loss	Av. gain	Net gain	Net loss
		Mar. 11	Mar. 12	Mar. 13	Mar. 14	Mar. 15	Mar. 16					
HAM DEOK	A	1.2	-2.7	2.4	-3.6	2.3	4.2	10.1	6.3	2.5	3.8	
	B	2.2	-3.7	-1.5	-11.9	1.3	2.8	6.3	17.1	2.1		10.8
	C	3.2	-2.8	2.3	-3.6	8.2	4.1	17.8	6.4	4.5	11.4	
	D	1.3	-1.8	-1.6	-2.3	-4.5	-3.7	1.3	13.9	1.3		12.6
	E	-3.4	-1.5	2.2	-0.8	-4.7	-3.3	2.2	13.7	2.2		11.5
	F	-5.9	-3.4	6.2	-2.8	0.6	16.0	22.9	12.1	7.6	10.8	
	G	1.2	-1.7	0.3	-1.6	2.8	1.2	2.7	6.1	0.9		3.4
	H	2.3	-2.8	1.7	-2.4	2.6	4.3	10.3	5.2	2.7	5.7	
	I	2.2	-1.7	1.2	-3.8	3.2	-4.7	6.6	10.2	2.2		3.6
Total								80.8	91.0	26.0	31.7	41.9

을 심하게 침식시켜 해변이 축소되고 폭풍이 없는 기간에는 모래가 보충되지 못하고 이안류에 의해 침식이 계속되기 때문에 해변이 파괴되기도 한다(Shepard, 1973).

함덕해빈은 하계의 순 퇴적량은 322.0cm로 순 유실량의 91.8cm보다 약 3배가 높은 것으로 나타났고, 동계에는 순 유실량의 41.9cm로 순 퇴적량 31.7cm보다 약 1배 정도 높게 나타나 이호해빈 보다 겨울철에 해변침식 현상이 심하게 진행되지 않는 해빈임을 의미한다(Table 5).

이와 같이 본 연구해역 중 이호해빈의 침식이 현저히 일어나고 있는 것은 해변서쪽에 축조되어 있는 방파제와 해변동쪽에 해변과 수직으로 축조된 돌체의 영향에서 비롯되는 것으로 해석된다. 더욱이 이호해빈 발달지역은 모두 외해에 노출되어 있을 뿐만 아니라 기상변화에 의해 수시로 발생하는 폭풍파와 계절풍의 영향을 직접 받고 있어서 귀류표사 현상과 부유표사 현상이 현저히 일어나고 있기 때문에 표사의 이동방향이 인공구조물로 인해 변경되어 해변변형이 일어날 수 있는 조건을 지니고있다.

Fig. 4와 5는 이호와 함덕해빈 지역의 총 퇴적량과 총 유실량을 하계와 동계에 따라 각 지점별로 나타낸

것이다. 이호해빈의 경우 하계에는 해변동쪽 만조선지역(B)과 간조선지역(C)은 조사기간 동안 순 유실량이 각각 20.6cm, 13cm로 모래가 유실되고 있었고 그외 지역은 여름철에 활발한 퇴적작용이 진행되고 있었다(Table 4). 해변동쪽 지역의 모래유실 현상은 최근 이 지역에 해변에 수직으로 구축된 돌체의 영향으로 북쪽으로부터 오는 우세한 해류가 차단된 관계로 정상적인 모래공급이 결핍되는 것으로 해석된다. 동계에는 해변서쪽 이호항구 부근의 애도지역(G) 과 만조선지역(H)은 이곳에 축조된 방파제의 영향으로 북서쪽에서 접근하는 파도로 인해 순 퇴적량이 각각 10.5cm, 26.4cm로 모래가 축적되고 있으나 그 외지역은 겨울철의 빈번한 북서계절풍에 의해 해변배후의 사구쪽으로 해변 모래를 이동시키기 때문에 모래가 유실되는 경향을 보여주었다(Fig. 4).

함덕해빈은 하계에는 해변중앙부의 간조선지역(D), 해변서쪽의 간조선지역(G) 및 해변서쪽의 애도지역(I)은 순 유실량이 각각 57.8cm, 21.3cm, 12.7cm로 주로 해변모래가 유실되고 있었고, 그 외지역은 주로 퇴적작용이 진행되고 있었다(Table 5). 이는 아마도 하절기 동안에는 연안류 등에 의해 다량의 패각편 해변모래가 간조선 지역에서 만조선과 애도지역으로 이동되



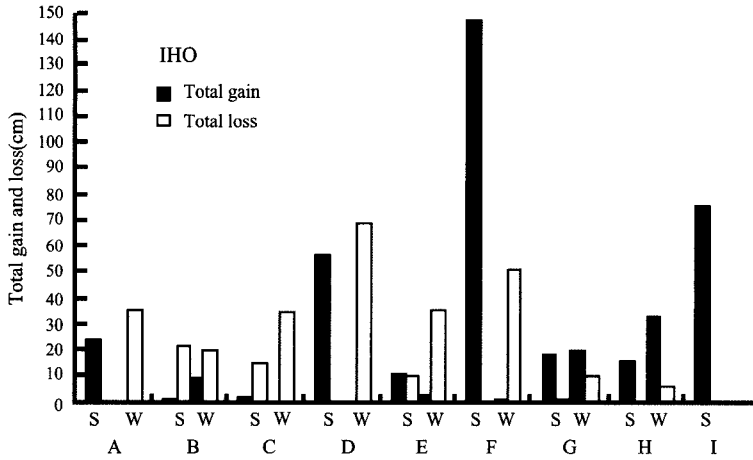


Fig. 4. Seasonal and positional variation of the Iho beach with sand loss and accumulation. Note; A ~ H: Pole position, S: Summer, W: Winter.

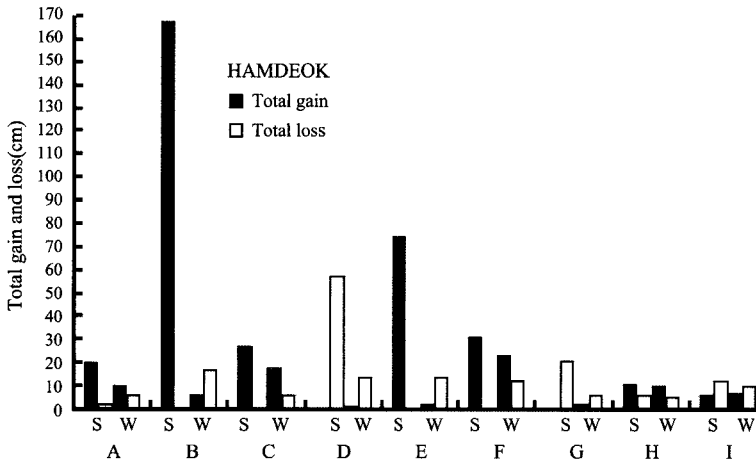


Fig. 5. Seasonal and positional variation of the Hamdeok beach with sand loss and accumulation. Note ; A ~ H: Pole position, S: Summer, W: Winter.

기 때문인 것으로 사료된다. 동계에는 해빈동쪽 간조선지역(A), 해빈동쪽 애도지역(C), 해빈중앙부의 애도지역(F), 해빈서쪽의 만조선지역(H)에서는 조사기간동안 순 퇴적량이 각각 3.8cm, 11.4cm, 10.8cm, 5.7cm로 주로 퇴적작용이 진행되고 있었으며 그 외 지역은 모래 유실이 우세한 경향을 보여주고 있었다(Fig. 5). 이처럼 함덕해빈 지역은 동계에 모래유실이 우세한 것은 전술한 바와 같이 겨울철의 빈번한 북서계절풍에 의한 해빈 배후의 사구쪽으로 해빈모래를 이동시키기 때문으로 사료된다.

이와 같이 본 연구지역의 해빈지형 변형은 파랑의 계절적 특성 및 일시적 변화와 해안지역에 축조된 인

공구조물의 영향으로 인해 해빈모래의 활발한 침식이 진행 중에 있는 해빈으로 해석된다.

### 5. 결 론

제주도 북부 연안에 분포하는 해빈에 대한 해빈단면 조사와 해빈퇴적물의 계절별 분포경향, 부유사의 방향별 이동상황 및 해빈지형의 변형상태에 대한 연구결과 는 다음과 같다.

이호해빈 퇴적물의 평균입도는 하계 0.81Φ 동계 0.72Φ로 겨울철이 다소 조립한 특징을 보이며, 해빈 서쪽에 축조된 방파제의 영향으로 동쪽 해빈지역은 침식

되는 대신 서쪽의 항구쪽은 퇴적이 진행되는 해빈이다.

함덕해빈 퇴적물의 평균입도는 하계 0.85 $\Phi$  동계 0.62 $\Phi$ 로 겨울이 더 조립한 입도분포를 보이고, 해빈경사는 하계 5.7°, 동계 7.4°로 겨울철이 강한 북서계절풍에 의해 세립질 모래의 사구쪽 이동으로 해빈경사가 다소 높다. 해수중 부유사의 방향별 이동량은 이호해빈은 북(7.45 g)→동(4.84 g)→남(1.62 g)→서(1.49 g) 방향 순으로 부유사 포집량을 보였고, 함덕해빈은 북(6.18 g)→동(4.33 g)→서(3.75 g)→남(2.53 g) 방향으로 포집량을 보이는데 이는 북동방향에서 해빈쪽으로 모래가 공급되고 있음을 의미한다. 하계와 동계에 따른 지점별 해빈모래의 퇴적량과 유실량을 분석한 결과에 의하면 이호해빈은 해빈 동쪽에 축조된 돌계의 영향으로 동쪽지역은 하계에 심한 모래유실 현상을 보였으며, 함덕해빈은 해빈중앙부와 동쪽지역에서 활발한 표사이동의 일어나고 있었다.

### 감사의 글

본 연구를 수행하는 동안 도움을 준 제주대학교 해양과학부 지질해양학 연구실의 이수형, 우정미 학생과 제주과학고등학교의 고봉균, 박신후, 김도원, 김남훈 학생들에게 깊은 감사드립니다. 논문의 심사과정에서 세심한 검토와 지적으로 많은 도움을 주신 편집위원님과 익명의 두분이 심사자들에게 감사드립니다.

### 참고문헌

- Choi, S.H. and Kim, Y.K. (1989) Characteristics of groundwater in Jeju Island. *Jour. Geol. Soc. Korea*, v. 25, p. 230-238.
- Choi, J.M., Lee, Y.G. and Woo, H.J. (2005) Seasonal and spatial variation of tidal flat sediments in Yeolja Bay, south coast of Korea. *Jour. Korean Earth Science Soc.*, v. 26, p. 253-267.
- Folk, R.L. and Ward, W.C. (1957) Brazos river bar; A study in significance of grain size parameters. *Jour. Sedi. Petrol.*, v. 27, p. 3-26.
- Friedman, G.M. (1967) Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands. *Jour. Sedi. Petrol.*, v. 37, p. 327-345.
- Hydrographic Office Republic of Korea. (2005) Tide tables V. 1, Pub. No. 1201-1. p. 52-57.
- Korea Meteorological Administration. (2005) Annual Climatological report, Report 11-1360000-000016. Seoul, 248p.
- Lancaster, N. (1986) Grain-size characteristics of linear dunes in the southwestern. *Klahar. Jour. Sedi. Petrol.*, v. 56, p.95-400.
- Madsen, O.S. and Grant, W.D. (1967) Quantitative description of sediment transport by waves. *Inter. Conf. on Coastal Eng., Proc. 15th*, p.1093-1112.
- Macdonald, E.H. (1973) Manual of beach mining practice, exploration and evaluation. Second edition, Australian Government Publishing Service, p.1-16.
- Min, B.H., Ock, C.Y. and Yang, Y.M. (1982) A study on the beach deformation construction of a sea wall. *Jour. Korean Soc. Civil Eng.*, v. 2, p. 26-39.
- Min, B.H., Kim, K. Y. and Lee, S.H. (1984) A study on the deformation influence of Haeundae beach caused by the construction of a sea wall. *Jour. Korean Water Reso. Associ.*, v. 26, p. 49-56.
- Min, B.H., Ock, C.Y. and Yoo, S.H.. (1987) An experimental study on the beach nourishment method Haeundae beach. *Jour Ocean Eng. and Techno.* V. 1, p. 84-93.
- Lee, H.J., Chun, S.S., Chang, J.H. and Han, S.J. (1994) Landward migration of isolated shelly sand ridge(chenier) on the macrotidal flat of Gomso Bay, west coast of Korea: controls of storms and typhoon. *Jour. Sedi. Res.*, v. 64, p.886-893.
- Ryu, S.O., Chang, J.H. and Moon, B.C. (2004) Seasonal variation of sedimentary processes on mesotidal beach in Imjado, southwestern coast of Korea. *The Sea, Jour. of the Korean Soc. Oceano.*, v. 9, p. 83-92.
- Ryu, S.O. and Chang, J.H. (2005) Characteristics of tidal beach and shoreline changes in Chonso Bay, west coast of Korea. *Jour Korean Earth Science Soc.* v. 26, p. 584-596.
- Shepard, F.P. (1973) *Submarine geology*. Third Edition, Harper & Row Publishers, New York, p.123-161.
- Thompson, W.O. (1973) Original structures of beaches, bar and dunes. *Bull. Geolo. Soc. Americ.* v. 46, p. 723-752.
- Visher, G.S. (1969) Grain-size distribution and depositional processes. *Jour. Sedi. Petrol.* v. 39, p. 1074-1106.
- Won, C.K. and Lee, M.W. (1988) The study on petrology for the Quaternary alkali volcanic rock of the Korean Peninsula. *Jour. Geol. Soc. Korea.* V. 24, p. 181-193.