

## 한국 남해 완도 정도리 자갈 해변의 퇴적작용

고영이 · 박용안 · 최강원\*  
서울대학교 자연과학대학 해양학과  
\*서울대학교 해양연구소

## Sorting and Abrasion Processes on Gravel Beach of Jeongdo-ri, Wando, Korea

Young Yi Koh, Yong Ahn Park and Kang Won Choi\*

Department of Oceanography, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

\* Research Institute of Oceanography, Seoul National University

### 요 약

전라남도 완도의 남단에 동-서 방향으로 발달되어 있는 정도리 자갈해빈 (shingle beach)은 전형적인 만입형 해빈 (pocket beach)에 속한다. 1992년 5월부터 1993년 3월까지 야외조사를 실시하여 폭풍이후의 해빈단면 변화를 관찰하고 자갈의 조직변수들 (textural parameters)을 계산하였다. 또한 해안선에 수직 및 수평한 방향으로의 자갈의 입도와 형태분포를 조사하여 해빈 전반에 걸친 퇴적물의 운반과정과 퇴적과정을 고찰하였다.

정도리 자갈해빈의 단면 (beach profile)은 크게 평상시에 조석과 파랑의 영향을 받는 보통대 (Fair-weather zone)와 폭풍 기상조건하에서 형성되는 폭풍대 (Storm-weather zone)로 구분된다. 각 부분 (zone)은 파랑의 swash, overwash 및 backwash의 연속적 퇴적시스템에 의한 일련의 해빈면 (beach face)과 범 (berm)으로 구성된다. 폭풍대는 다시 해빈면과 범을 하나의 단위로 하여 A-, B-, C-group으로 세분하였다.

해안선과 수직한 방향으로의 입도변화는 보통대의 경우 범의 자갈입도 (45.5 mm ~ 123.6 mm)가 해빈면의 것 (36.8 mm ~ 78.3 mm)보다 더 조립하여 모래해빈 (sand beach)에서 나타나는 입도분포와 유사하게 나타났다. 그러나 폭풍대에서는 범의 자갈입도 (33.1 mm ~ 82.5 mm)가 해빈면의 자갈입도 (46.2 mm ~ 105.2 mm)보다 더 세립한 양상을 보였다. 수직한 방향으로의 자갈형태 분포의 변화는 폭풍대의 C-group을 제외한 각 부분의 disc형태의 비율이 해빈면 (45.9 % ~ 51.3 %)보다 범 (50.0 % ~ 58.5 %)에서 더 높게 나타났으며, equant형태의 비율은 전체적으로 바다 쪽으로 가면서 10 % 정도 증가하는 양상을 보였다. 이와 같은 결과로 해안선에 수직

한 방향으로는 강한 파랑에너지에 의한 입자의 크기와 형태에 따른 분급작용이 이루어지고 있음을 알 수 있었다.

해안선에 평행한 방향으로의 자갈입도는 해빈의 동쪽 끝부분이 조립하게 나타나는 것을 제외하고는 동서 방향으로의 입도분포가 별다른 변화를 보이지 않았다. 그러나 동서 방향으로의 자갈형태 분포는 뚜렷한 변화를 보여 해빈의 동쪽에서 서쪽으로 갈수록 disc와 blade형태가 각각 20 %와 13 %로 감소하고, equant형태는 34 % 정도 증가하는 경향을 보였다. 이로써 해안선에 평행한 방향으로 자갈의 형태에 따른 분급작용이 우세하게 일어남을 알 수 있었다.

자갈의 형태를 입도별로 삼각도표에 나타낸 결과 입도가 작을수록 둥글거나 편장된 (elongate) 형태로의 방향성을 보이는 것으로 나타났다. 이러한 사실로 미루어 볼 때, 자갈의 형태는 일차적으로 모암의 암석성분에 의해 결정되나 운반된 이후에는 파랑의 작용을 끊임없이 받으면서 분급작용과 자갈의 크기에 따른 형태적 진화과정을 겪는 것으로 사료된다.

## ABSTRACT

The shingle beach as a typical pocket beach located in Jeongdo-ri, Wando, Cheolanam-do, Korea has been investigated in terms of textural characteristics, mainly gravel shape and roundness.

In the Jeongdo-ri gravel beach, changes of beach profile after storm weather and textural parameters of gravels were observed and measured from May 1992 to March 1993.

Beach profile is divided into two different Fair-weather zone and Storm-weather zone influenced by dynamic condition of wave energy. The former is affected by wave and tide under fair-weather condition, the latter seems to be formed under storm-weather condition. Each zone comprises a series of beach faces and berms formed by continuous sedimentary processes of swash, overwash and backwash. Storm-weather zone is subdivided into three groups having a pair of beach face and berm respectively.

Mean sizes of berm gravel(45.5 mm - 123.6 mm) are coarser than gravels of beach face (36.8 mm - 78.3 mm) in fair-weather zone. On the other hand, in storm-weather zone, gravels of berms (33.1 mm - 82.5 mm) are finer than those of beachfaces (46.2 mm - 105.2 mm). The proportion of disc shaped gravels of berm (50.0 % - 58.5 %) is higher than that of beachface (45.9 % - 51.3 %) in each subzone except C-group of storm-weather zone. And the proportion of the equant shaped gravel increases about up to 10 % seaward. Therefore, shore-normal distribution of gravels seems to be affected by shape and size sorting effects.

Shore-parallel distribution pattern of gravel shape is more distinctive than size distribution patterns. That is, disc and blade shaped particles decrease up to 20% and 13% respectively, and equants increase up to 34% to the westward.

Gravels plotted on Sneed and Folk's triangular diagram are more compacted and elongated with decreasing size. Therefore primary gravels are shaped by characteristics of country rock e.g. cleavage, joint etc., and secondary are affected by sorting and

size-controlled process evolution by wave action.

## 서 론

자갈해빈에 관한 연구는 해빈에서의 입도특성과 분포, 수력학적인 특성, 그리고 이와 관련된 퇴적물의 이동양상에 관하여 연구가 실행되어 왔다. Landon (1930)은 자갈해빈에서 일어나는 분급작용에 관심을 갖고, 둥근 모양의 자갈이 납작한 모양의 자갈보다 굴림작용(rolling)에 더 불안정하여, 납작한 모양의 입자는 해빈에 남는 반면, 둥근 자갈은 바다쪽으로 이동됨을 규명하였다. 또한 해빈에 평행한 방향으로 입도와 모양이 달라짐을 발견하고, 이를 마모작용(abrasion)과 선택적인 이동(selective transport)으로 설명하였다. Krumbein (1941)은 실험을 통해 마모작용이 입도와 입자의 모양, 그리고 원마도에 미치는 효과를 연구하였다. 그 결과 마모작용은 원마도에 미치는 효과가 가장 크며, 입도에 미치는 영향이 가장 적고, 모양에 미치는 효과는 그 중간 정도라고 하였다. Wagg & Ogren (1984)은 좁은 해안에 발달한 애추(talus)로부터 해빈역으로 마모되는 과정을 연구하여 파랑에 의한 마모작용은 암편들을 납작하거나 구에 가까운 모양의 해빈역으로 만든는데, 특히 구에 가까워지는 과정이 더 우세하다고 하였다. Bluck (1967)은 자갈 입자의 크기와 형태에 따른 선택적인 분급을 기초로 자갈해빈 환경에 대한 퇴적상 모델(facies model)을 정립하려 하였으며, 자갈의 모양은 모암의 암석성분에 의해 결정된다고 하였다. William & Caldwell (1985, 1988)은 Bluck이 제시한 모델이 항상 적용되지는 않으며, 입자의 형태에 의한 분급은 파랑에너지가 입자를 움직일 수 있을 정도에 도달했을 때 지배적인 반면, 보다 큰 에너지조건하에서는 입자크기에 대한 분급작용이 우세해진다고 하였다. Illenberger (1990)는 입자 실험(tracer experiment)을 통해서 해빈의 발달 단계에서 초기 분급작용이 일단 평형상태(equilibrium)에 도달하게 되면, 더 이상의 분급작용은 미미하게 일어난다고 하였다.

그외에도 자갈 퇴적물을 이용하여 환경을 구분하는 연구들이 실행되어졌는데, Dobkins & Folk (1970)는 자갈이 납작한 모양으로 마모되어 가는

과정에 대한 연구를 수행하면서 해빈자갈이 강의 자갈보다 더 납작한 모양이며, 구형도가 낮고 원마도가 양호하다고 하였다. 그리고 큰 입자들이 미끄러짐(sliding)에 의해 납작한 모양으로 발전하며, 작은 입자들의 경우에는 파랑(wave)에 의한 굴림작용(rolling)에 의해 해빈면(beach face)의 하부로 내려가 큰 자갈(cobble) 사이에 퇴적된다고 하였다. 또한 작은 규모의 만입형 해빈(pocket beach)의 경우, 해빈자갈의 구형도는 하천자갈의 구형도와 유사한데, 이는 주위의 해안절벽으로부터 공급이 너무 빨리 진행되어 충분히 형태가 만들어지지 못한 때문이라고 하였다. 그러나 Gale (1990)은 만입형 해빈에서 구형도가 높게 나타나는 것을 발견하고, Dobkins & Folk (1970)가 제시한 구형도를 수정하였으며, 구형도를 환경 지시자로서 사용할 수 있다고 설명하였다. Samsuddin (1986)은 표준편차에 대한 왜도(skewness)를 도표에 표시함으로써 같은 지역 내의 서로 다른 단위체(units)를 구분했다. Kim *et al.* (1990)은 한반도의 동남 해안에 발달하고 있는 제4기(Quaternary)의 단구역층(terrace gravel sequences)을 조사하여 하천환경(fluvial environment)과 해양환경(marine environment)에서 각각 퇴적되는 자갈의 조직적인 특성(textural characteristics), 특히 구형도/원마도가 서로 다르다고 하였다. 이와 같이 자갈해빈에 대한 연구는 주로 입도특성과 입도에 따른 입자의 형태에 대한 연구, 그리고 입자모양에 따른 이동양상에 대한 연구등으로 진행되어 왔으며, 다양한 환경에서 퇴적되는 자갈들의 조직적인 특성을 이용하여 고환경을 해석하려고 하였다.

한반도의 동남해안(경주군 나아리(Park, 1992) 등)과 남해안 도서지역(홍도, 보길도, 예송리, 완도 정도리 등)에 자갈해빈이 잘 발달되어 있으며, 특히 남해안에 위치한 완도 정도리 지역에는 특징적인 자갈해빈이 잘 발달하고 있다. 따라서 본 연구는 먼저 완도 정도리 지역의 기상, 조석, 수심 및 해저 표층퇴적물의 분포자료를 분석함으로써 본 연구해빈에 미치는 수력학적(hydrodynamic) 및 퇴적학적 영향을 조사하였다. 그리고 본 연구지

역인 정도리 자갈해빈에 대하여 해안선에 직각한 방향과 평행한 방향으로의 입도분포 특성 및 입도에 따른 입자형태 분석을 통하여 해빈 전반에 걸친 자갈입자들의 분포양상 (또는 분급양상)을 조사하였으며, 아울러 해빈에서의 자갈들의 이동양상을 조사하였다.

### 지역 개관

연구대상의 해빈은 전라남도 완도군 완도읍 정도리의 남쪽 해안에 위치한 자갈해빈이다 (Fig. 1). 해빈의 길이는 약 730 m, 폭은 약 55 m 정도이며, 해빈의 동서 양끝에 암반이 노출되어 있는 전형적인 만입형 해빈 (pocket beach)의 형태를 지니고 있다. 완도의 기반지질은 주로 백악기의 안산암 및 조면안산암질 용암류, 유문암, 응회암, 섬록암, 석영반암, 화강암 등으로 이루어져 있으며, 자갈해빈의 동쪽에는 주로 안산암과 응회암이, 서쪽끝에는 주로 유문암이 노출되어 있다 (한국동력자원연구소, 1967). 한편, 해안에서부터 수심 약 30 m 부근까지의 해저는 자갈과 모래로 구성되어 있으며, 좀더 외해쪽으로는 지형이 점차 완만한 경사로 깊어지면서 이토가 넓게 분포한다 (국립지리원, 1986).

연구지역 주변해역의 평균 조차는 214.2 cm로서 중조차 (meso-tidal) 환경에 해당하며, 평균 최강유속은 창 낙조류가 다같이 2.0 knots (약 1.02 m/sec)로 창조류는 서쪽으로 낙조류는 동쪽으로 흐른다 (국립지리원, 1986). 이 지방에서는 늦은 여름과 초가을 사이에 우리나라를 지나는 태풍

(Typhoon)의 영향을 받으며, 10월 하순부터 3월 사이에 북풍에 의한 폭풍이 빈번하게 발생한다. 우리나라에 영향을 주는 태풍은 해에 따라 그 발생수가 다르지만 연평균 2개 ~ 3개 정도이며, 우리나라 남해안 지역은 태풍의 직접적인 영향을 받게 된다 (중앙기상대, 1984). 또한 태풍 또는 온대성 저기압이 통과할 때에 조위 (tide level)가 이상적으로 높아지는 폭풍해일 (storm surge)이 발생하는데, 남해안의 경우 고조시의 해일고는 40 cm ~ 90 cm 정도이다 (Kim, 1988). 이러한 폭풍해일 현상은 태풍에 의한 파고의 상승을 더욱 크게 하여 해안지역에 막대한 피해를 주게 된다 (이, 1983).

### 연구 방법

#### 해빈 표층퇴적물의 채취

해빈자갈의 채취는 해안을 따라 약 100 m 간격으로 해안에 수직한 방향으로 8개 축선을 정하고, 각 축선에서 해빈단면의 경사가 달라지는 5개 ~ 9개 지점에서 표층을 채취하여 총 67개의 표층을 채취하였다 (Fig. 2). 표층퇴적물의 조직은 현장에서 직접 채취 측정하는 방법을 이용하였다. 즉, 조직특성을 알아보기 위하여 각 지점에서 20개 ~ 30개 자갈입자의 장축 (long axis), 중축 (intermediate axis) 및 단축 (short axis)의 길이를 calipers와 줄자를 사용하여 직접 현장에서 측정하였다.

#### 해빈단면 (beach profile)의 측량

해빈의 단면은 두 지점간의 거리와 경사도를 측정하여 작성하였으며, 경사도 측정에는 clinometer를 사용하였다. 단면 변화는 line 1, 3, 5, 7등의 4개 단면을 1차 (1992. 5. 2)와 2차 (1992. 10. 26) 두차례에 걸쳐 비교 관찰하였다.

#### 입도 분석

야외현장에서 측정된 자갈입자의 축의 길이를 바탕으로 하여 조직변수 (textural parameters; 평균입도, 분급도, 왜도, 첨도)를 계산하였다. 조직변수를 계산하는 데에는 Friedman & Johnson (1982)이 제시한 moment 방법을 사용하였다. 또한 해안선에 수직 및 평행한 방향으로의 입도변화를 분석하기 위하여 채취한 자갈중에서 큰입자 11

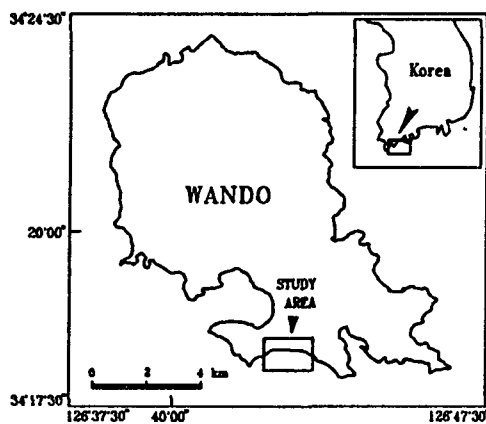


Fig. 1. Location of study area.

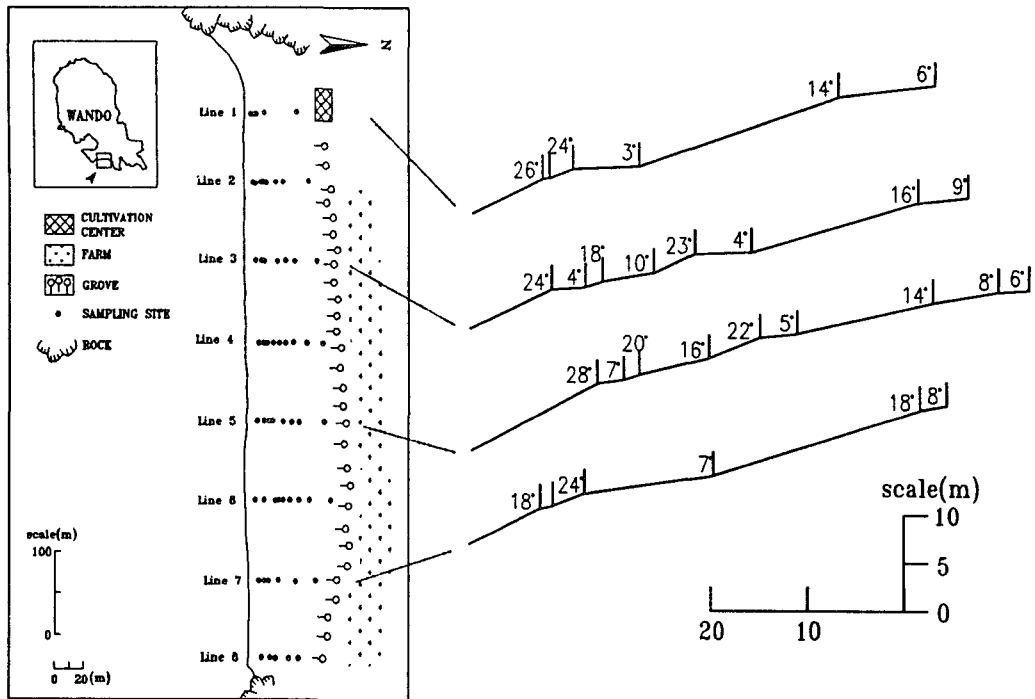


Fig. 2. Sampling sites and beach profiles measured in May, 1992.

개를 선택하여 가장 큰 1개를 제외한 나머지 10개를 평균하는 D-10값을 측정하였다.

자갈입자의 형태 분석 (shape analysis)

자갈입자의 형태는 Zingg (1983)의 분류방법에 따라 장축 (long axis; L), 중축 (intermediate axis; I), 그리고 단축 (short axis; S)의 측정값을 이용하여 4가지 형태 (disc, blade, equant, prolate)로 분류하였으며, 이러한 4가지 형태의 백분비를 정점별, 각 입도 구간별의 두가지로 구분하여 계산하였다. 그리고 본 연구지역을 대표할 수 있는 자갈형태의 분포양상을 나타내기 위해서 Sneed & Folk (1958)의 방법을 이용하여 S/L, (L-I)/(L-S)의 값들에 따라 삼각도표에 표시하였다.

자갈의 원마도 (roundness)는 수정된 Wentworth의 원마도식 ( $Rwt = Dk/Di$ ; Dk: 입자의 가장 작은 내접경, Di: 입자의 가장 큰 내접경)을 이용하여 계산하였으며, 모든 지점에서 공통적으로 분포하는 범위인 56 mm ~ 60 mm 크기의 자갈을 대상으로 하여 line 1, 3, 5 그리고 7의 각 지점에서 측정하였다.

해빈자갈의 박편 관찰

해빈퇴적물의 근원을 해석하기 위하여 채취된 해빈자갈과 해빈 주위에 분포하는 돌출암층의 박편 (thin section)을 제작하여 편광현미경하에서 관찰하였다.

연구 결과 및 고찰

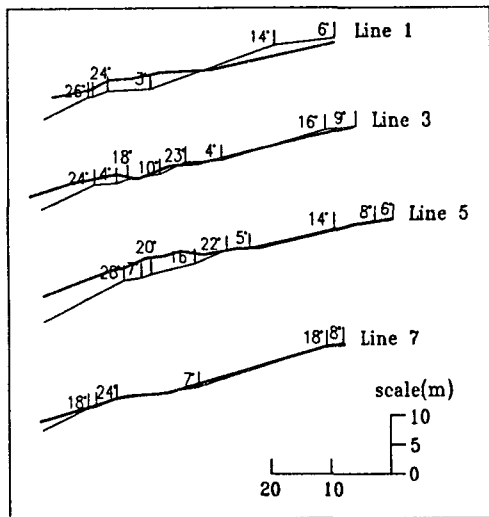
해빈 단면 (beach profile)

정도리 자갈해빈의 전체적인 해빈단면의 형태는 swash, overwash 및 backwash의 연속적 퇴적 시스템 (continuous depositional system)에 의해 형성된 해빈면 (beach face)과 범 (berm)이 반복되는 양상을 보인다 (Fig. 2). 해빈면은 기울기 14° ~ 28°, 길이 1 m ~ 25 m의 범위를 가지며, 범은 기울기 3° ~ 10°, 길이 1 m ~ 10 m 정도의 범위로 나타났다.

해빈면과 범은 해안선에 평행하게 발달하여 있으며, 이들이 서로 다른 고도에서 반복되어 나타나는 것은 기상조건에 따라 에너지의 세기가 달라지는 파랑에 의해 해빈지형이 형성되기 때문인 것으로 사료된다. 관찰한 바에 따르면, 보통의 기상조

건 (fair-weather condition)에서는 바다쪽에서부터 1번째 해변면과 범이 조석과 파랑의 영향을 받으며, 폭풍 기상조건 (storm-weather condition)에서는 파랑에너지의 강약에 따라 2, 3, 4번째 해변면과 범까지 파랑의 영향이 미치는 것으로 사료된다. 실제로 1987년 A급에 해당하는 태풍 **Thelma**가 이 지역을 통과할 때의 관찰 결과에 의하면 3번째 범까지 파랑의 영향을 받았었다고 한다(정, 1987). 이 때 태풍 **Thelma**의 중심 최저 기압은 915 mb, 최대 풍속은 50 m/sec를 기록했으며, 완도 기상대에서 관측한 최대 풍속은 21 m/sec였다 (기상청, 1987).

1992년 5월과 10월 두차례에 걸쳐 해변단면을 관측한 결과 서로 다른 변화된 모습을 보였다 (Fig. 3). 즉, 해변단면의 바다쪽 부분이 좀 더 두꺼워진 양상을 보였으며, 바다쪽에서부터 2번째 또는 3번째 해변면과 범 부분에 언덕 (ridge)과 골짜기 (trough) 형태가 형성된 것을 관찰할 수 있었다. 1차 조사 이후 2차 조사를 하기전까지, 완도 지역에 영향을 준 폭풍으로는 9월 25일 우리나라를 통과한 태풍 **Ted**가 있었으며, 완도 기상대에서 관측한 태풍에 의한 최대 풍향과 풍속은 북북서 방향의 14.5 m/sec로 기록되었다 (기상청, 1992. 9). 따라서 1차 조사 이후에 나타난 단면변화는 태풍



**Fig. 3.** Beach profiles measured before and after the typhoon **Ted**(9/25/1992). Thin lines in May, thick lines in October, 1992.

**Ted**에 의한 것이며, 해변은 전반적으로 성장과정에 있는 것으로 사료된다. 즉, 폭풍의 영향으로 해변단면이 언덕과 골짜기 형태로 형성되었다가, 다음에 오는 더 강한 폭풍에 의해 평평한 단면이 형성되는 등의 과정이 되풀이 되어 나타나는 것으로 사료된다 (Fig. 4).

이러한 기상변화에 따른 파랑의 작용과 퇴적물의 입도분포와의 연관성을 파악하기 위하여 단면을 크게 보통대 (Fair-weather zone)와 폭풍대 (Storm-weather zone)의 2개 부분 (zone)으로 나누었다 (Fig. 5).

가) 보통대 (Fair-weather zone)

이 부분 (zone)은 보통의 기상조건에서 파랑의 영향을 받는 곳으로서 해변면과 범으로 구성된다.

(1) 해변면 (beach face)

파가 swash되면서 자갈입자들이 육지쪽으로 이동 퇴적되는 곳이다.

(2) 범 (berm)

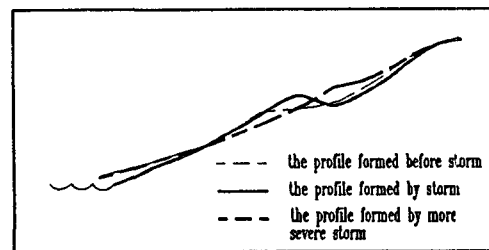
swash되는 파에 의해 육지쪽으로 운반된 크고 작은 입자들이 파가 backwash될 때 파랑에너지가 약해지면서 바다쪽으로 재 운반되지 못하고 집적되는 곳이다.

나) 폭풍대 (Storm-weather zone)

폭풍대는 폭풍 기상조건에서 강해진 파랑에너지의 영향을 받는 곳으로서 기상상태에 따라 다양한 형태로 변화하는 부분이다. 그러나 대체적으로 해변면과 범이 3회 (A-, B-, C-group)정도 반복되는 형태로 나타난다.

(1) A-group, B-group

A-, B-group은 폭풍 또는 태풍에 의해 강해진 파랑의 작용으로 형성된 해변지형으로서 각각 해변면과 범으로 구성된다. 해변면은 강한 폭풍파 (storm waves)에 의해 크고 작은 자갈입



**Fig. 4.** Proposed modifications of beach profile by storms.

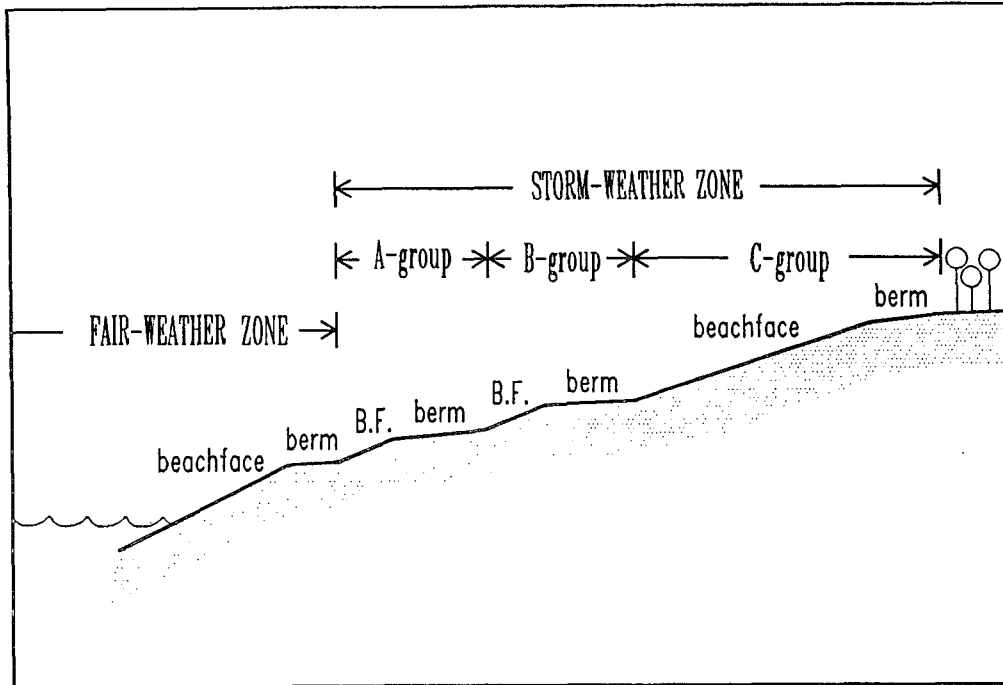


Fig. 5. Generalized gravel beach profile of Jeongdo-ri, Wando, Korea.

\* B.F.:beach face.

자들이 육지쪽으로 이동 퇴적되는 곳이다. 폭풍대에서의 범은 강한 폭풍파가 해변면을 지나 overwash되어 에너지가 약해지면서 자갈입자들을 퇴적시키는 곳이다.

(2) C-group

C-group은 주기적으로 이 지역에 영향을 주는 폭풍이나 태풍과는 달리 매우 드물게 발생하는 강한 태풍에 의해, 특히 조위상승과 관련된 일련의 현상들과 결합하여 에너지가 더욱 강하게 작용하는 경우에 형성되는 해변지형이다.

해빈 퇴적물의 조직 특성 (textural characteristics)

정도리 해변에서 나타나는 퇴적물의 입자크기는 medium pebble (8 mm - 16 mm)부터 small boulder (256 mm - 512 mm)까지 비교적 다양하나 대부분이 very coarse pebble (32 mm - 64 mm)과 small cobble (64 mm - 128 mm)에 속하며, large cobble (128 mm - 256 mm)과 small boulder는 해변의 동쪽끝에서만 분포한다. 입자의 형태 (grain shape)는 disc가 53.5%로 가장 많고 equant가 20.7%, prolate는 14.2%, blade

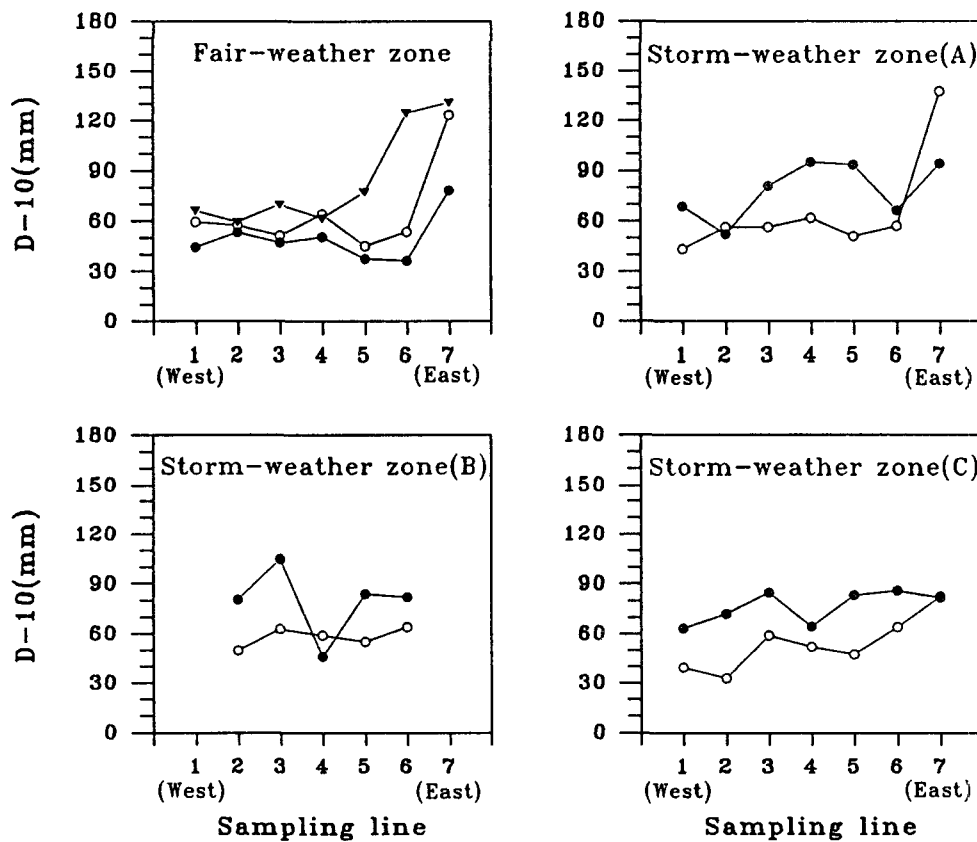
는 12.2%이다. 원마도 (roundness)는 매우 둥근 것 (well rounded)이 65.6% 정도로 가장 많고 둥근 것 (rounded)은 32.2% 정도를 차지한다.

(1) 해안선에 수직한 방향으로의 입도특성과 입자형태의 변화

연구대상 해변은 해안선에 평행한 대상분포 (zonation)가 잘 발달되어 있으므로 이들의 조직적 특성을 figure 5에서와 같이 크게 두 부분으로 나누어서 분석하였다. 각 부분의 조직적 통계분석에서 해변의 폭이 좁고 인위적인 변화를 많이 받고 있는 line 8은 제외하였다. 해안선에 수직한 방향으로 전체적인 조직적 특성과 분포양상을 살펴보면 평균 입자크기는 36.5 mm ~ 62.3 mm로서 모두 very coarse pebble에 속하며, 분급도는 0.39 ~ 0.85 로 양호한 것으로 나타났다 (Table 1). 왜도의 범위는 -0.42 ~ 0.39, 첨도의 범위는 1.89 ~ 2.96으로 나타났다. 본 연구지역의 분포는 분급이 매우 양호하고 단정분포 (unimodal distribution)를 보이는 관계로 아주 높은 첨도값을 나타내는 것으로 사료된다. 또한 해안선에 수직한 방향으로의 입도변화를 D-10값으로 나타내본 결과 각

**Table 1.** Textural parameters of shore-normal sediment.

Zone	Sub-zone	Mz[ $\phi$ (mm)]	Sorting	Skewness	Kurtosis
Fair-weather zone	Lower beach face	-5.54(46.5)	0.85	0.01	1.89
	Upper beach face	-5.19(36.5)	0.46	-0.42	2.84
	Berm	-5.52(45.9)	0.39	-0.29	2.82
Storm-weather zone	Beach face(A-group)	-5.96(62.3)	0.40	0.08	2.24
	Berm(A-group)	-5.50(45.3)	0.40	-0.03	2.53
	Beach face(B-group)	-5.91(60.1)	0.57	0.39	2.48
	Berm(B-group)	-5.39(41.9)	0.57	-0.04	2.40
	Beach face(C-group)	-5.86(58.1)	0.49	0.31	2.96
	Berm(C-group)	-5.39(41.9)	0.39	-0.35	2.74

**Fig. 6.** D-10 size distributions. Solid triangle: lower beach face, solid circle: (upper) beach face and open circle: berm.

부분 (zone) 별로 그 분포양상이 다르게 나타났다 (Fig. 6). 보통대에서는 해변면보다 범 부분의 입도가 크게 나타나, 모래해빈에서와 유사한 입도분포를 보였다. 그리고 입자의 형태는 해변면보다 범에서 disc 형태가 약간 우세한 반면, equant 형태는 해변면 부분에서 더 우세하게 나타났다 (Fig. 7a). 이러한 분포를 보이는 이유는 해파가 swash되는 동안 입자들이 육지쪽으로 이동되었다가 파가 다

시 backwash될 때에 파랑에너지가 약해져 바다 쪽으로 재 이동하지 못하는 disc 형태의 큰 입자들이 범 부분에 남기 때문이다. 그러나 이러한 입자 형태에 따른 분급은 입도에 대한 분급에 비해 뚜렷하게 나타나지는 않았다. 따라서 보통대의 경우에는 입자의 크기와 형태에 따른 분급이 동시에 이루어졌으며, 특히 입도에 따른 분급이 우세함을 알 수 있었다.



폭풍대는 세 개의 해변면과 세 개의 범으로 구성이 되는데, 범에서보다 해변면에서 입도가 더 크게 나타났다 (Fig. 6). 이는 강한 폭풍파의 swash peak 동안 크고 작은 입자들이 이동되면서 해변면에서 일차적으로 큰 입자들이 걸러지고, 나머지는 범으로 overwash되어 퇴적되기 때문이다. 자갈의 형태는 보통대에서와 마찬가지로 해변면보다 범에서 disc형태가 더 우세하게 나타나나, equant 형태는 별다른 변화를 보이지 않았다 (Fig. 7a). 이는 폭풍파에 의한 입자의 형태에 따른 분급작용의 범위가 하부 해변면까지 포함되므로 equant 형태는 바다쪽으로 쉽게 운반되어 폭풍대의 해변면과 범에서는 분포변화가 거의 나타나지 않은 것으로 생각된다. 이와 같이 폭풍대의 경우에도 입자의 크기와 형태에 따른 분급이 동시에 이루어졌으나, 입자 형태에 따른 분급작용은 미미하게 일어났음을 알 수 있다. 따라서 해안선에 수직인 방향으로의 분급작용은 전체적으로 입자의 크기와 형태에 따른 분급작용이 동시에 이루어지고 있으며 특히, 매우 강한 파랑에너지에 의한 입자의 크기에 따른 분급이 우세한 것으로 사료된다. 이는 큰 에너지 조건하에서는 입자크기에 대한 분급작용이 우세해진다는 William & Caldwell (1985, 1988)의 주장과도 일치하는 결과이다.

변화는 직각 방향으로의 변화보다 더 뚜렷하게 나타났다. 즉, 해변의 동쪽 부분에서는 disc와 blade 형태가 우세한 반면, 해변의 서쪽으로 갈수록 equant 형태가 우세해지는 경향을 보인다 (Fig. 7b). 입도분포는 해변의 동쪽 부분이 다른 부분보다 조립하게 나타나는 것을 제외하면, 동서 방향으로의 변화가 뚜렷하게 나타나지 않는다 (Fig. 6). 즉, 해안선에 평행한 방향으로의 분급은 입자의 형태에 의한 분급작용이 우세하다.

Line 7과 line 8 사이에는 왕자갈지대 (cobble patch)가 해안선과 약 45°의 각을 이루며 해변의 중간 부분까지 길게 발달하고 있다. 이러한 사실과 해안선에 수직 및 수평한 방향으로의 분급양상을 고려해볼 때, 정도리 자갈해빈에서는 주로 북서 방향으로 접근하는 파랑에 의해 figure 8과 같은 퇴적시스템에 따라 입자들이 선택적으로 분급 퇴적되는 것으로 사료된다. 이 모델은 주로 모래해빈에 적용되어 온 퇴적시스템으로서 본 연구 자갈해빈에서 일어나는 퇴적과정을 잘 반영해 준다. 즉, 해안선과 기울어지게 접근하는 파랑은 swash되는 동안 강한 에너지를 이용해 입자들을 주로 크기에 따라 분급시키고, 에너지가 약화된 backwash되는 파랑은 작은 크기의 입자들과 둥근 형태를 갖는 입자들을 다시 바다쪽으로 이동시킨다. 이 때, 같은 크기의 자갈들 중에서도 둥근 형태를 갖는 자갈들이 바다쪽으로 쉽게 이동된다. 따라서 입도구간별로 자자갈형태의 비율을 나타내 보면, 입

(2) 해안선에 평행한 방향으로의 변화  
해안선에 평행한 방향으로의 자갈의 형태분포

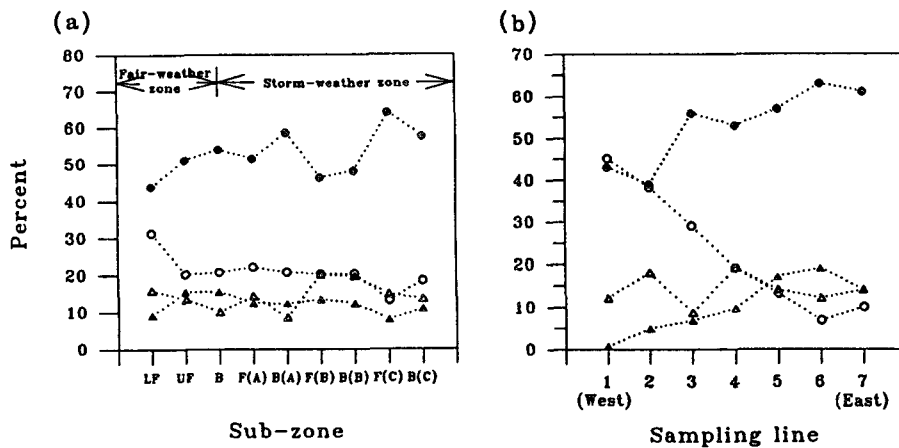


Fig. 7. Particle shape distributions (a) normal to, and (b) parallel to shoreline. Solid circle:disc, open circle:equant, solid triangle:blade and open triangle:prolate.  
\* LBF:lower beach face, UBF:upper beach face, B:berm, F(A):beach face in A-group, B(A):berm in A-group.

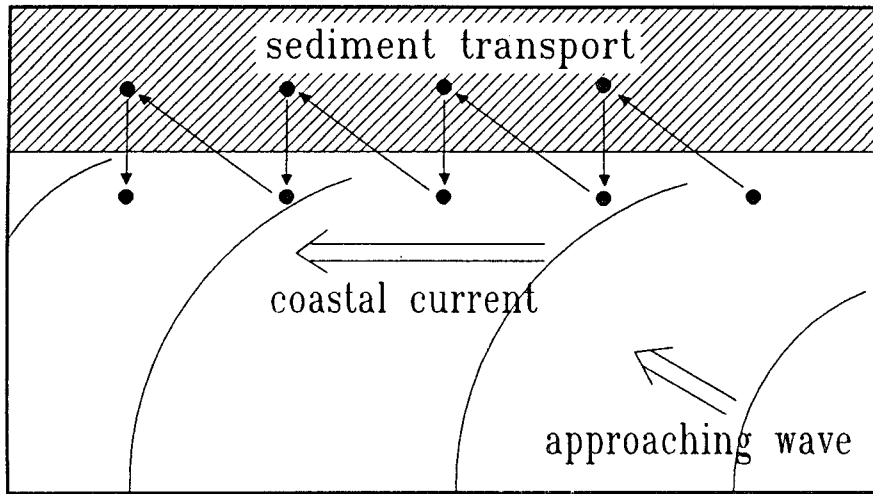


Fig. 8. Longshore transport of particles by uprush and backwash of waves(from Principles of Oceanography, Davis, R.A., 1972).

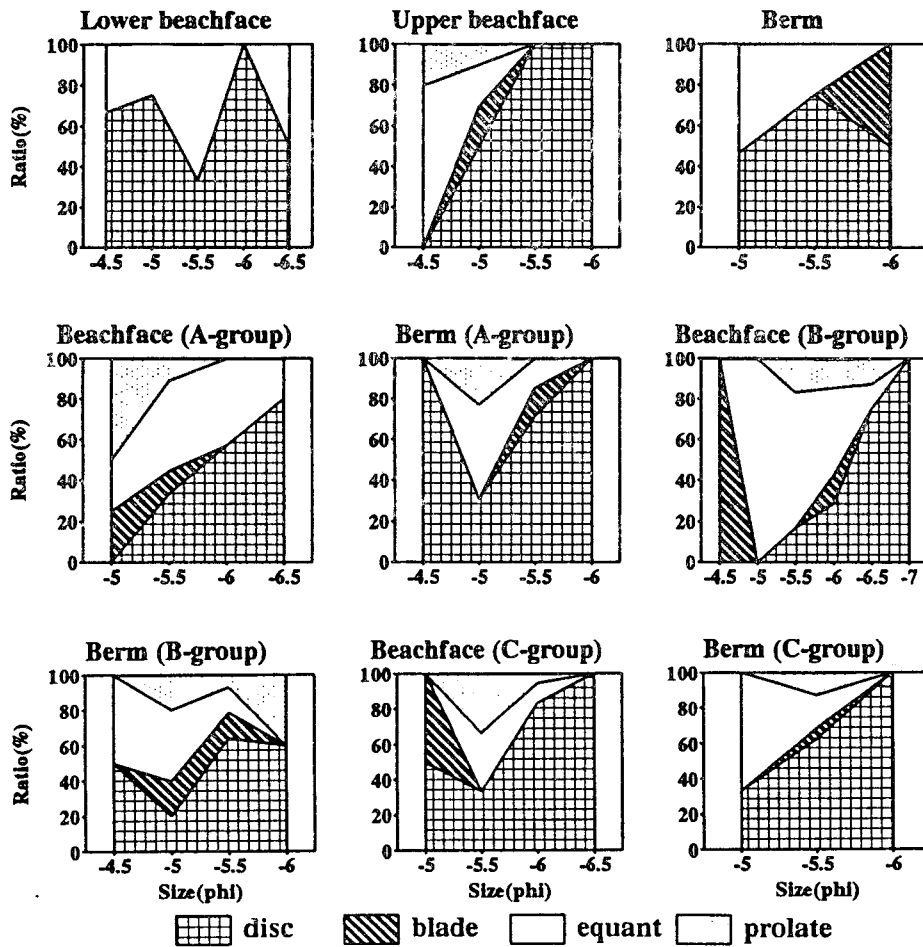


Fig. 9. Ratio variations of 4 major shapes of the gravels along the line 3(based on Bluck(1967)'s shape-percent method).

자의 크기가 클수록 disc의 비율이 증가하고 작은 입자일수록 equant형태가 우세함을 알 수 있다 (Fig. 9). 이러한 과정에 의해 둥근 형태의 입자들이 결국 해변의 서쪽까지 이동될 수 있다. 또한 이것은 파랑에너지가 입자들을 움직일 수 있을 정도로 다달았을 때에는 입자의 형태에 의한 분급이 이루어지며, 보다 큰 에너지 조건하에서는 입자크기에 대한 분급작용이 우세해진다는 William & Caldwell (1985, 1988)의 주장을 뒷받침하는 결과라고 할 수 있다.

해빈퇴적물의 암석조성과 파랑에 의한 마모 과정

본 연구해빈의 자갈을 구성하는 암석은 안산암, 응회암 그리고 유문암 등으로 해변 주위에 분포하는 돌출암의 종류와 일치한다.

56 mm ~ 60 mm 자갈을 대상으로 측정한 원마도는 전체적으로 0.35 ~ 0.87의 범위를 가지며, 보통대와 폭풍대의 A-group에서 다른 부분보다 원마도가 더 양호한 것으로 나타났다 (Table 2). 그러나 해안선에 평행한 방향으로의 원마도 변화는 뚜렷하게 나타나지 않았다. 또한 각이진 자갈들이 거의 발견되지 않는 것으로 미루어 볼 때, 주위 암반에서 침식되어 떨어져 나온 자갈들은 해저에 넓게 분포하면서 오랜 기간동안 충분한 마모과정을 거친 후에 폭풍 등의 동기에 의해 육지쪽으로 운반되어 해변을 형성하는 것으로 사료된다.

본 연구지역의 자갈형태의 분포양상을 나타내기 위하여 Sneed & Folk (1958)가 제시한 방법에 따라 입자의 형태를 각 입도별로 삼각도표에 나타내 보았다 (Fig. 10). 그 결과 입도가 작을수록 구 (compact) 또는 편장된 (elongate) 형태로의 방향성을 보임을 알 수 있었다. 이는 입자의 크

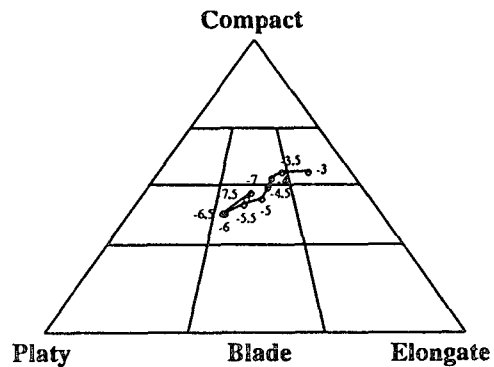


Fig. 10. Diagram showing the variation of shape parameters(S/L, (L - 1)/(L-S) averaged for each size intervals.

기가 작을수록 마모의 기회가 많아지면서 점차 구에 가까운 형태를 갖기 때문인 것으로 사료된다. Wagg & Ogren (1984)은 애추 (talus)가 해변역으로 마모되어 가는 과정을 연구하여, 암편들이 결국은 구에 가까워진다고 하였다. 또한 Bluck (1967)은 입도별 자갈의 형태분포를 조사하여 자갈의 형태는 모암의 암석성분에 따라 달라지며, 파랑에 의해 자갈형태에 따른 분급작용을 받아 큰 입도에서는 disc형태가 우세하게 나타나고, equant형태는 작은 입도에서 우세함을 알아내었다.

이러한 결과를 종합해 볼 때, 일차적으로 모암의 암석성분에 따라 자갈의 형태가 결정되나, 해변으로 운반된 이후에는 파랑의 작용을 끊임없이 받으면서 크기와 형태에 따른 분급과 형태적 진화가 이루어지는 것으로 사료된다. 여기에서 형태적 진화과정이란 크기가 큰 자갈들은 이동되기 어렵기 때문에 한쪽면이 지속적으로 마모되어 납작한 모양으로 되어가고, 이동이 용이한 작은 자갈들은 마모의 기회가 많아지면서 점차 구에 가까워지는 형태적 특징을 갖게 되는 것을 말한다.

Table 2. Roundness of 56-60 mm gravels on each sampling sites.

Line No.	FL-BF	FU-BF	F-B	SA-BF	SB-B	SC-BF	SC-B		
Line 1	0.79	0.87	0.60	0.62		0.58	0.69		
Line 3	0.72	0.85	0.60	0.64	0.67	0.75	0.49	0.59	0.50
Line 5	0.71	0.49	0.51	0.51	0.48	0.43	0.58	0.58	0.35
Line 7	0.64	0.73	0.67	0.68	0.68	0.66	0.61	0.62	0.64

Note :FL-BF: Lower beach face , FU-BF:Upper beach face, F-B: Berm in Fair weater zone. SA-BF: Beach face of A- group, SA-B:Berm of A- group, SB-BF: Beach face of B group, SB-B: Berm of B- group, SC BF:Beach face of C- group, SC-B: Berm of C group in Storm-weather zone.

## 결 론

1. 완도군 정도리의 자갈해빈은 전형적인 만입형 해빈 (pocket beach)의 형태로서, 평상시에 조석과 파랑의 영향을 받는 보통대 (Fair-weather zone)와 폭풍 기상조건에서 형성되는 폭풍대 (Storm-weather zone)로 구분된다.

2. 정도리 자갈해빈은 전체적으로 퇴적체가 점차 두꺼워지는 성장과정에 있으며, 폭풍 기상조건 하에서 언덕-골짜기 형태를 이루거나 바다쪽으로 완만한 단면을 형성하는 등의 단면변화를 보인다.

3. 해안선에 수직인 방향으로의 자갈의 입도와 형태에 따른 분급작용이 동시에 이루어지며 특히, 강한 파랑에너지에 의한 입도에 따른 분급작용이 더 우세하게 작용한다. 해안선에 평행한 방향으로의 분급은 자갈의 형태에 따른 분급이 매우 우세하게 나타난다.

이와 같은 수직 및 수평한 방향으로의 자갈의 분급양상은 해안선과 각을 이루며 접근하는 파랑에 의한 퇴적시스템 (Fig. 8)의 결과인 것으로 생각된다.

4. 삼각도표에 나타난 입자의 형태분포는 입도가 작을수록 등글거나 (compact) 편장된 (elongate) 형태로의 방향성을 보여, 자갈의 형태는 일차적으로 모암의 암석성분에 따라 결정되고, 이차적으로 운반된 이후에 형태적 진화와 선택적 분급을 겪는 것으로 사료된다.

## 참고 문헌

- 국립지리원. 건설부. 1986. 연안해역 기본조사 보고서 (완도지구).
- 기상청 (Korea Meteorological Administration), 1987. 기상연보 (Annual climatological report).
- 기상청 (Korea Meteorological Administration), 1992년 9월. 기상월보 (Monthly climatological report).
- 이 석우, 1983. 물리 해양학 통론. 집문당.
- 정 용식, 1987. 해수에너지에 의한 해빈역의 퇴적환경. 제 33회 전국과학전람회 중앙기상대 (Central Meteorological Office). 1984. 한국 태풍 80년보 (Typhoon Report of Korea, 1904-1983).
- 한국동력자원연구소, 1967. 남창도폭 지질도
- Bluck, B. J., 1967. Sedimentation of beach gravels examples from South Wales. *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 37, No. 1, 128-156.
- Dobkins, Jr. J. E. and R. L. Folk, 1970. Shape development on Tahiti-Nui. *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 40, No. 4, 1167-1203.
- Friedman, G. M. and K. G. Johnson, 1982. *Exercises in Sedimentology*. Wiley, New York.
- Gale, S. J., 1990. The shape of beach gravels. *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 60, No. 5, 787-789.
- Illenberger, W. K., 1990. Pebble dynamics on a sandy beach, Alogoa Bay, South Africa. 13th International Sedimentological Congress, Nottingham, England, Abstract, 238-239.
- Kim, J. Y., D. K. Choi, and D. Y. Lee, 1990. Paleoenvironmental implication of the Quaternary gravel sequences on the basis of gravel shape. *The Korean Journal of Quaternary Research*, vol. 4, 41-57.
- Kim, S. I., 1988. A study on the sea level variations caused by the Typhoon passing through the South Sea of Korea. M. Sc. thesis, Seoul National University, Seoul, Korea.
- Koh, Y. Y., 1993. Sedimentological study on the shingle beach of Jeongdo-ri, Wando-gun, Korea and King George Island, Antarctica. M. Sc. thesis, Seoul National University, Seoul, Korea.
- Krumbein, W. C., 1941. The effects of abrasion on the size, shape, and roundness of rock fragments. *Journal of Geology*, vol. 49, 482-520.
- Landon, R. E., 1930. An analysis of beach pebble abrasion and transportation. *Journal of*

- Geology, vol.38, 437-446.
- Lewis, D. W., 1984. Practical Sedimentology. Hitchinson Ross. Publishing Company, 58-67.
- Park, J. Y., 1992. Sedimentation in Naa-ri Gravel Beach, Kyungju-gun Kyungsangbuk-do, the East Coast of Korea. M. Sc. thesis, Seoul National University, Seoul, Korea.
- Samsuddin, M., 1986. Textural differentiation of the foreshore and breaker zone sediments on the Northern Kerala Coast, India. Sedimentary Geology, vol.46, 135-145.
- Sneed, E. D. and R. L. Folk, 1958. Pebbles in the lower Colorado River, Texas; a study in particle morphogenesis. Journal of Geology, vol.66, 114-160.
- Tucker, M., 1988. Techniques in Sedimentology. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Wagg, C. J. and D. E. Ogren, 1984. Shape evolution and fabric in a boulder beach, Monument Cove, Mainen. Journal of Sedimentary Petrology, vol.54, 98-102.
- Williams, A. T. and N. E. Caldwell, 1988. Particle size and shape in pebble-beach sedimentation. Marine Geology, vol.82, 199-215.
- Zingg, T., 1935. Beitrag zur Schotter analyse. Schweize, Min-Petr. Mill, vol.15, No.1, 39-140.

Received : October 25, 1993

Accepted : December 10, 1993