## 남극 바톤반도 주변지역의 융기지형 특성

이 동 영

한국자원연구소

# Topographic Evidences of Raised Beach Along the Baton Peninsula. Antarctica

Dong-Young Lee

Korea Institute of Geology, Mining and Materials, P.O. Box 14, Taedok, Science Town, Taejon, Korea

요 약: 남극 킹조지섬에 위치한 바톤반도와 그 주변 일대에는 고기의 해수면을 지시할 수 있는 여러 지형적특징이 발달하여 있다. 계단형태의 지형을 보이는 융기단구나 바다에 솟아있는 암괴들에 고기의 해수 침식면(sea notch)이 나타나 있으며 파도의 삭마작용에 의하여 마모된 자갈들이 해안사면의 높은 고도에까지 분포하여 있는 것으로도 고기 해안선의 흔적을 찾을 수 있다. 특히 해빈역으로 구성되어 있는 해안퇴적층은 현해수면으로 부터 3.1, 5.4, 6.0, 7.2, 14~15, 17~18m 상부에 계단형태로 발달하여 있으며(Lower series) 24m에서 58m 사이에는 상부로부터 이동된 해빈역들이 분포하여 있다(Middle series). 한편 고도 135m와 최고 185m series까지에도 교란되지 않은 해빈역들이 분포하여 있다(Middle series). 이들의 형성시기는 Lower series는 과거 약 6,000년 사이에 그리고 Middle series는 마지막 빙하기로부터 과거 약 6,000년전 사이에 형성되었으며 Upper series는 마지막 간빙기에 형성된 것으로 해석하였다. 융기해안에 분포하는 자갈들의 형태를 통계학적으로 분석한 결과 해빈역들이 일률적으로 둥글거나 편편하다고 단정할 수는 없다. 단지 해안의 지형, 파도의 방향과세기 및 자갈의 공급경위 등에 따라 선택적으로 편편한 자갈이 우세하거나 혹은 둥글둥글한 자갈들이 우세한 해안등으로 구별되는 것으로 해석된다.

ABSTRACT: During the 91/92 Antarctic summer field campaign, geomorphic features related with glacial isostasy were observed at the Baton Peninsula and its surrounding coastal area of the King George Island. There are several types of geomorphic evidences to indicate the former beach strand such as marine terrace, sea notch or beach deposits. The ancient beach deposits consist of well rounded but slightly flat gravels. These outcrops are subdivided into three different series by outcrop location and gravel shapes. The lower series consist of the succession at the level of 3.1, 5.4, 6.0, 7.2, 14~15, 17~18m. The middle series are characterized by ice pushed reworked gravels at the level of 24~25, 32~33, 38~40, and 57~58. The upper series reach up to the level of 135 and 185m. The age of the lower series must be Holocene, the middle series for the early Holocene, and the higher series are considered belonging to pre-Holocene based on the level of the outcrop and the different gravel shape morphology. The gravel shapes of these beach deposits are characterized by rounded or flat types depending on the selection activity of gravel shapes from wave action. They are more spherical at the lower altitude but more flat at the higher level of ancient beach, and these gravel shapes are also compared with gravel shapes of fluviatile origin.

#### 1. 서 설

바톤반도는 Antartic Peninsula의 북부에 해당하며 South Shetland 군도중의 하나인 킹죠지섬 해안에 위치하고 있다. 이 지역은 12월부터 3월사이는 일 년중 기온이 가장 온화하여 해안을 따라서는 눈들이 녹아 지표지질 조사가 가능한 지역이다. 1991년 12월 20일부터 1992년 1월 27일까지 바톤반도에 위치한 세종기지 주변지역에서 융기해안의 지형적 특징을 조사하였다.

바톤반도에 대한 기존의 지질학적 연구는 Haw-kes(1961), Barsch(1965), Lucas & Lacey(1981), Davies(1982), Birkenmajer(1983), Smellie et al. (1984)등에 의해 실시된 바 있으며 국내 학자들로 서는 이민성 외(1989), 진명식 외(1989), 박병권 (1989), 박맹언(1990), 박용안 외(1991) 등에 의하여 이 지역의 지질조사가 이루어진 바 있다. 이들의 주된 연구결과는 바톤반도의 지질도 작성과 아울러 암석들의 지화학 분석연구 및 열수변질광물들에 대한 연구가 있었으며 또한 김예동 외(1989)에 의한 세종기지 주변의 중력탐사 및 권병두와 좌용주(1991)에 의한 자력탐사도 실시된 바 있다.

바톤반도 일대에는 고기의 해안선을 지시할 수 있는 여러 지형적 특징들이 나타나고 있다. 이중에서도 원마도가 좋은 해빈역들이 산사면에 단계적으로 분포 하고 있는 것으로 보아 제 4기동안 빙하의 중감에 따른 융기작용이 있었던 것으로 해석되고 있다. 이 지역의 해빈역들은 모두가 해안에서 둥그렇게 마모된 결과로서 파도의 삭마작용에 의하여발달할 수 있는 자갈형태에 대한 퇴적학적 연구의주요 대상이 되고 있다. 이와 같은 연구목적을 위하여 고기의 해안선으로 간주할 수 있는 모든 지형적특징을 조사하였으며 이들의 분포위치와 형성시기에 대한 해석을 하였다. 또한 해빈역의 형태를 판별하기위하여 자갈형태에 대한 통계분석을 통하여 파도의삭마작용에 의한 자갈형태 특성을 규명하였다.

#### 2. 세종기지 주변의 해안지형

바톤반도는 필데스반도와 넬손섬으로 이어지는 Maxwell Bay 안쪽에 위치하여 있다. 북으로는 Marian cove에 의해 위버반도와 구별되고 있으며 남으로는 Potter cove와 접하고 있다(Fig.1). 이지역의 cove는 내륙으로부터 발달한 빙하가 해안과 접하는 곳으로서 여름에는 빙하가 유빙으로 갈라져 바다로 흘러 나가고 있다. 오랜동안 빙하가 갈라질때 기반암편들도 포획되어 떨어져 나감으로서 cove가 형성된 것으로 해석된다.

이와 같은 두개의 조그만 만으로 경계되어 있는 바톤반도는 길이 약 5.5km에 폭이 약 5km로서 신생대의 화산암류가 주로 분포하며 중앙부분을 제 외하고는 급한 경사의 지세를 보인다. 이 지역에서 가장 높은 봉은 Noel Hill(255m)이나 이 봉은 세 종기지 조사팀에 의하여 백두봉으로 다시 명명되 었으며 1984년 칠레공군에 의하여 촬영된 항공사 진에 의하여 만들어진 도면에 의하면 307m를 가 르키고 있다. 백두봉은 겨울에는 눈과 얼음으로 덮 이나 여름에는 남서쪽은 대부분 눈이 녹아 지표가 노출하나 북동쪽은 빙하로 계속 덮여 있다. 백두 봉으로부터 서쪽으로는 273m 높이의 설악봉으로 연결되고 있다. 바톤반도의 중앙에는 동서로 여러 봉우리들이 발달하여 있으며 관악 1봉, 2봉, 3봉, 4봉으로 명명되어 있다. 관악봉들과 설악봉 사이 에는 상대적으로 넓고 깊은 계곡이 발달하여 있으며 과거의 계곡빙하가 흘렀던 곳으로 해석된다. 관악 봉들로부터 남부지역은 대체로 완반한 경사의 평탄한 지형을 보이며 수개의 봉우리들이 발달하여 있다. 그러나 해안에서는 거의가 절벽지형을 보이고 있으며 이들은 해침에 의한 결과로 해석된다. 해안에는 현 생의 해빈퇴적층이 발달하여 있으며 이보다 더 높은 위치에도 원마도가 양호한 자갈들로 구성되어 있는 고기의 해안퇴적충들이 서로 다른 여러 높이에 발 달하여 있어 근세에도 융기작용이 계속적으로 일 어나고 있음을 지시하고 있다.

## 3. 고기 해안선 융기

바톤반도와 그 주변 일대에는 고기의 해수면을

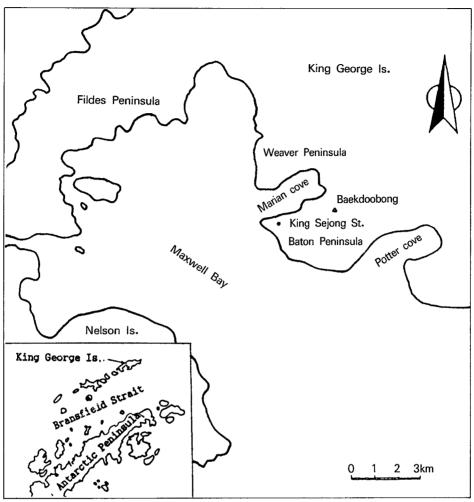


Fig. 1. Location of the King Sejong Station at the Baton Peninsula of the King George Island, Antarctica.

지시할 수 있는 여러 지형적 특징이 나타나고 있다. 계단형태의 지형을 보이는 융기단구나 아니면 바다에 솟아 있는 암괴들에 고기의 해수 침식면(sea notch)이 발달하여 있다. 또한 파도의 삭마작용에 의 하여 마모된 자갈들이 해안사면의 높은 고도에까지 널리 분포하여 있는 것으로도 이 지역은 융기되어 있음을 지시하고 있다.

# 3-1. 융기해안의 지형적 증거

바톤반도에서는 세종기지주변을 제외한 해안은 대체로 가파른 경사의 벼랑들로 이어져 있으며 사면전석(talus)들이 덮고 있어 침식단구의 발달은 상대적으로 불량한 지역이다. 또한 이 지역은 현재는 여름동안에는 얼음이 덮여 있지 않으나 지난 제4 기동안 수차에 걸쳐 반복된 빙하기동안에는 완전히 빙하로 덮여 있었으나 마지막빙하기 이후부터는 빙하가 감소하기 시작하여 glacial isostasy에 의한 융기가 일어날 수 있었던 지역이다. 이와 같이 융기

속도가 상대적으로 높은 지역에서는 일정한 높이에서 장기간의 해안침식에 의한 단구면의 발달은 예상하기 어려운 편이다. 그러나 바톤반도 북부의 Marian cove에 가까운 해안에서는 현 해안으로부터 약 3m 높이에 폭이 약 10m이내의 평탄한 소규모 단구면이 유일하게 발달하여 있다(Photo 1). 단구면에는 간혹원마도가 양호한 자갈들이 흩어져 있는 것으로 보아서도 고기 해안 침식지형임을 알 수 있다. 단구를 제외한 융기해안의 또 다른 지형적 증거로서는 해안에 가까운 바다에 솟아 있는 암괴들에 남아있는 고기 해수면의 침식흔적들이다. 이는 파도에 의하여만들어진 sea notch로서 Potter cove내의 암괴들에현 해수면으로부터 약 3m 높이에 고기해식면이 발달하여 있다(Photo 2).



Photo 1. Abrasion of bedrock at the coast of Marian Cove standing at the level higher than 3m above the present sea level.



Photo 2. Ancient beach strand marked by sea notch at the level of 3m higher than the present sea level.

## 3-2. 해안퇴적층의 분포위치

고기의 해안선은 단구나 해식면과 같은 지형적인 증거뿐만 아니라 해안에서 발달할 수 있는 퇴적층의 분포를 밝힘으로서도 고기 해안선의 변동을 해석할 수 있다. 현재의 해안에는 원마도가 양호한 자갈들이 퇴적되어 있다. 이 지역은 여름철에만 빙하가 녹아서 일시적으로 발달하는 outwash channel을 제외하고는 어떠한 하천도 발달되어 있지 않기 때문에 이 지역에 분포한 자갈들은 전부가 파도의 삭마작용에 의하여 둥글어진 해빈역으로 해석할 수 있다. 이러한 자 갈들은 현해안에만 나타나고 있는 것이 아니라 높은 고도의 산록에까지 분포하고 있다. 이와 같이 자 갈층들이 서로 다른 높이에 발달하여 있는 주된 지역은 절벽으로 접하는 좁은 해안지역보다는 완만한 경사의 넓은 해안에서 특징적으로 발달하여 있다. 세종기지를 중심으로 남쪽과 북쪽해안 및 관악봉으로 이어지는 산사면과 위버반도, 우루과이기지 주변 및 아르헨티나기지 주변에도 여러 고도에 해빈역들이 분포하여 있다. 그러나 산사면의 높은 고도에 잔 류하여 있는 자갈들은 고기 해안에서 퇴적된 후 그 자리에 남아 있는 퇴적층인지 아니면 빙하의 이동에 의하여 상부로부터 재운반된 퇴적층인지의 구별이 중요하다. 이들은 자갈들사이에 모래나 점토질같은 세립의 퇴적물이 포함되어 있거나 아니면 각이진 암편들이 섞여 있는 것 등으로 보아 구별이 가능 하다. 조사지역들 중에서도 세종기지 주변에 발달 되어 있는 자갈퇴적층에 대하여는 고도측량을 실 시하여 정확한 고도위치를 판독하였다. 측량기점은 한국해양연구소에서 인공위성으로부터 수신하여 위 치를 정할 수 있는 GPS 관측에 의하여 설치된 고도 기준점(유흥룡 외, 1991)을 이용하였으며 30m 이 상의 고도에 대하여는 기존의 지형도를 이용하였다.

#### 세종기지 남부지역

바톤반도의 최서단으로부터 남동쪽으로 향하는 해안에는 여러 위치에 고기의 해안으로 간주할 수 있는 해빈역들이 퇴적되어 있다(Fig. 2). 현재의 해 안에는 경사 3~5°와 폭이 10m 내외의 해빈사면이

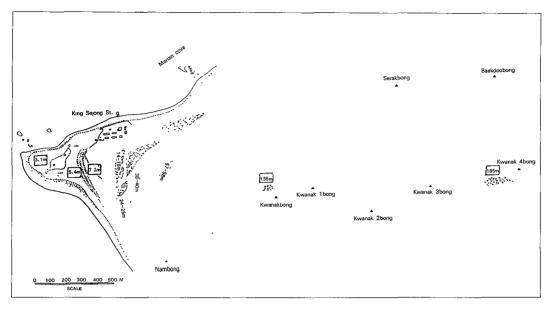


Fig. 2. Location of each raised beach along the coastal area of the Baton Peninsula and at the high altitude around Kwanak-Bong. The rasied beach can be found at the level of 3.1m, 5.4m, 6.0m, 7.2m, 14~15m, 17~18m(Lower series), 24~25m, 32~33m, 38~40m, 5758m(Middle series) and 135m, 185m(Upper series).

발달되어 있으며 그 위에는 대체로 굵은 자갈들로 이루어진 berm이 고도 3~4m에 해안선을 따라 평 행하게 발달하여 있다. Berm을 지나서는 얕은 심 도의 소호가 발달하여 있다. 이러한 소호는 해안에 발달한 berm이 댐 역할을 하여 만들어진 결과로서 아주 경사가 완만하고 약 100m 이상의 해안폭을 갖는 지형에서만 발달하여 있다. 이로부터 상부에는 초생달 형태로 5.4m, 6.0m, 7.2m에 3매의 고기 해안선이 발달하였던 혼적을 찾을 수 있다(Photo 3). 이들 고기해안선에 발달하여 있는 자갈들은 모두가 원마도가 양호한 형태의 자갈들이다. 세종 기지로부터 남동쪽으로 약 750m 연속적으로 발달 하여 있으며, 단지 이들의 중앙부에 소계곡으로부터 흘러내린 하천역들이(outwash deposits) 부분적으로 해빈역들을 교란하고 있을 뿐이다. 고도 14~15m 사이에는 하부의 자갈들보다는 훨씬 더 큰 자갈들이 흩어져 있다. 10~20cm 크기의 자갈들이 주를 이 루며 세종기지 바로 상부지역에 널리 분포하고 있다. 이보다 약간 상부인 17~18m 고도에도 또 다른 자갈층이 약 30m 폭으로 발달하여 있다. 이곳에는 20cm 이상의 큰 자갈(boulder)들이 분포하며 지의류들이 자갈표면을 덮고 있다. 이처럼 상위 두고도위치에 발달하여 있는 큰 자갈들은 해안에서 잘게 부스러져 둥그러진 자갈들과는 달리 상부로부터 굴러온 진석들이 파도에 의하여 제자리에서 둥글게 삭마된 결과로 해석된다.

세종기지 동편사면에서 고도 약 20m 상부로부터 약 80m까지는 기반암으로 구성된 조그만 봉우리들이 여러군데 솟아 있으며 봉우리들 사이에는 고기의 빙하에 밀려 내려와 형성될 "end moraine"이나 혹은 "ice-pushed ridge" 형태를 보이는 퇴적들이 발달하여 있다. 이들은 각이진 암편들이 대부분이지만 간혹 원마도가 양호한 자갈들이 암편들과 혼합되어 있는 경우도 있다. 이와 같이 둥근 자갈이 포함되어 있는 지표피복물은 고도 24~25m, 32~33m, 38~40m, 57~58m 등에 발달하여 있다. 그러나 이들은 모두가 상부로부터 빙하에 의해 운반된 자갈 들로서 고기의 해수면을 지시할 수 있는 고도 판단은



Photo 3. Successive raised beach, composed of well rounded gravels at the level of 5.4m, 6.0m, 7.2m at the southern part of the King Sejong Station.

불가능하다. 단지 이들 속에는 현 해안에서와 유사한 둥근 자갈들이 포함되어 있는 것으로 보아 이들의 분포위치보다 더 높은 고도에 고기 해수면의 흔적을 예상할 수 있으며 적어도 이 지역에 빙하가 소멸되기 이전에 이들은 형성되었던 것으로 해석할 수 있다. 한편 관악봉 바로 하부의 고도 약 135m 부근과 관악 3봉과 관악 4봉 사이의 고도 약 185m 부근에도 둥근 자갈들이 분포하고 있다. 이 두 지역의 자갈들은 지하의 결빙작용에 의하여 만들어진 polygonal structure를 보이며 각이진 암편들이 섞여 있지 않은 것으로 보아 그 자리에서 퇴적된 해빈역들로 해석된다. 특히 185m 고도에 발달하여 있는 자갈들은 극히 평탄한 지형에 그 분포규모가 약 100m 이상을 나타내고 있으며 이 지역에서 발견할 수 있는 가장 높은 위치의 고해수면을 나타내고 있다(Photo 4).

## 세종기지의 북동부지역

세종기지로부터 Marian cove로 이어지는 해안은 해안폭이 급격히 좁아지고 있다. 따라서 기지 남쪽부에 비하여 고기 해안선을 지시하는 해빈역의 발달은 양호하지 못한 편이다. 현재의 해안에는 평탄한 지형의 폭이 좁아서 berm은 발달하여 있지못한 반면에 약 10cm 미만의 자갈들로 구성된 고기해안퇴적층이 고도 4.2m~6.0m 사이에 약 20m

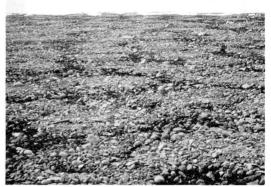


Photo 4. Gravel polygons by well rounded beach gravels, outcropping at the level of 185m near Kwanak-4Bong.

폭으로 발달하여 있다. 따라서 이 지역에 발달한 고해안선과 기지 남부지역에서 발달하고 있는 여러 높이의 각각의 고해수면들과는 서로 연결이 되지는 않고 있다. 고도 6.0m 상부로부터는 고도 9.8m와 11.7m, 15.0m 및 16.8m에는 직경이 약 10cm 이상의 큰 자갈(boulderly gravels)들이 분포하는 고해수면을 관찰할 수 있다. 따라서 북부해안에서도 남부해안에서와 같이 현 해빈역과 유사한 자갈들이약 20m 이하의 낮은 고도에 분포하며 이의 상위지역에는 큰 자갈들로 구성되어 있는 해빈역들이분포하고 있다. 이들의 상부지역인 약80m 고도에도계단형태의 빙하 침식지형이 발달하여 있으며 이곳에도 원마도가 양호한 자갈들이 암편들과 섞여분포하고 있다.

#### 위버반도의 고해수면 위치

위버반도는 세종기지 북부지형과 유사한 낮은 경사의 해안지형으로 계속되다가 급한 경사의 벼랑이 발달하여 있는 지형이다. 따라서 고기해수면을 지시할 수 있는 해빈역들은 낮은 경사의 해안지형에만 분포하고 있다. 이 지역에서는 절대 고도측량을 실시하지 못하여 고해수면의 위치는 1:5,000 지형도를 이용하여 판독하였다. 현생 해안은 2~3m 고도까지 발달하여 있으며 그 상부로는 4~5m와 7~9m 그리고 15~20m 고도에까지 고기해수면에서 발달한

둥근 자갈들이 분포하고 있다.

### 킹죠지섬 주변지역

세종기지 주변지역 이외의 아르헨티나기지와 우루과이기지 주변에도 위버반도나 세종기지 북부지역에서 나타나는 고해수면과 유사한 위치들에 둥근 자갈들이 분포하고 있다. 특히 아르헨티나기지 주변은 넓은 해안에 해수면으로부터 약 3m 더 높은 현생 해안퇴적층과 고도 6m와 16m에 위치한 고기의해빈역들로 구성되어 있는 두개의 퇴적단애가 뚜렷이발달하여 있다.

### 3-3. 해빈역들의 형성 시기에 대한 고찰

기존의 연구결과들에 의하면 남극중에서도 East Antarctic에서는 15m, 20m, 25~27m, 30m, 48~55m의 고도들에서 융기된 해빈흔적이 발견되었으며 Antarctic Peninsula 중에서는 바톤반도에서 융기해안의 표식들이 아래와 같이 크게 두 그룹으로 나타나고 있다고 발표한 바 있다(Aide, 1984).

| Lower series(m) | Upper series(m) |
|-----------------|-----------------|
| 1.5 ~ 2.4       | 9.1             |
| $5.1 \sim 6.1$  | $9.1 \sim 10.6$ |
| $6.5 \sim 7.5$  | 15 ~ 18         |
|                 | 21 ~ 27         |
|                 | 36 ~ 39         |
|                 | 51 ~ 57         |
|                 | 78 ~ 88         |

그는 이들에 대한 형성시기를 Lower series는 Holocene 동안의 빙하감소에 의한 융기해안으로 해석하였으며 Upper series는 Pleistocene의 빙하들과 관련된 고도들로 해석한 바 있다. 그러나 이와 같은 융기해안의 시대적인 해석은 절대연령 측정자료의 부족으로 불가능한 경우가 대부분이나 John(1972)은 킹죠지섬의 여러 지역에서 고해수면의 흔적을 관찰하여 54m까지에 발달하여 있는 융기해안 퇴적은 Holocene때 형성되었으며 275m까지 나타나는 고해수면은 Pleistocene의 Last Interglacial에 형성된

것으로 해석하였다(Table 1). 또한 Barsch & Maüsbacher(1986)는 바톤반도에 인근지역인 Fildes반도에서 고도 20m 이하의 융기해빈은 모두 Holocene에 형성되었다고 해석한 바 있다.

Table 8. The location of the raised beaches and their stratigraphy correlated with European Quaternary stratigraphy(John, 1972).

|                            | King George Island (South Shetlend Is.)        |                      |  |  |  |
|----------------------------|--|----------------------|--|--|--|
| Glacier retreat            | raised beaches below<br>6m above sea-level     | 0. 5ka               |  |  |  |
| Readvance of outlet gls.   | morainic ridge                                 | 0.8~0.5ka            |  |  |  |
| Deglaciation               | raised beaches blow<br>54m above sea-level     | post 10ka            |  |  |  |
| Local glaciation           | expansion of island ice caps                   | Weichselian          |  |  |  |
| Non-glacial<br>interval    | residual beaches up to<br>275m above sea-level | Eemian               |  |  |  |
| Deglaciation               | cutting of meltwater channel                   |                      |  |  |  |
| Maximum glac-<br>iation(s) | glacial erosion                                | Salian or<br>earlier |  |  |  |

이번 조사에서도 절대연대측정을 할 수 있는 여하한 물질도 찾지 못하였다. 그러나, 정확한 고도 측량과 지형도를 이용하여 고기해안선 흔적 위치를 정확히 표시한 결과 기존의 연구결과와는 달리 Fig. 2에서 본 바와 같이 해빈역의 분포위치에 따라 3매의 series로 분류가 가능하였다.

Table 2에서 Lower series는 비록 해빈역의 크기에 차이는 있을지라도 모두가 원마도가 양호한 현생 해빈역들과 유사한 자갈들로 구성되어 있으며 일정한 고도(약 20m이하)에 분포하고 있을 뿐만 아니라 Maxwell Bay 주변 여러 해안지역에서도 연속적으로 분포하고 있는 것으로 보아 이 지역에 빙하들이 현재와 비슷한 상태로 소멸된 이후에 형성된 융기해빈역들로 해석된다. Clapperton &

Table 2. The location of the raised beaches at the Baton Peninsula, King George island, Antarctica.

| Lower series(m)   | Middle series(m)                 | Upper series(m)           |  |  |
|---|----------------------------------|---------------------------|--|--|
| 3.1 very similer gravel shapes to the present shore gravels 7.2 boulderly gravels 17~18 | 24~25<br>32~33<br>38~40<br>57~58 | 135 in situ shore gravels |  |  |

Sugden(1982); Payne et al. (1989)등에 의하여 Antarctic Peninsula 지역에서는 과거 약 6000년전에 이미 빙하는 감소하여 현재와 유사한 빙하지역을 나타내고 있었다고 설명한 바 있다. 즉, 이때부터는 마지막 빙하기에 형성되었던 ice sheets로부터 해 안지역은 노출되기 시작하여 해빈역들이 연속적으로 발달할 수 있었던 것으로 해석할 수 있다. 따라서 Lower series는 모두가 약 6,000년전 이후에 형성된 융기 해안들로 해석된다. 한편 Middle series는 원 래의 해빈역 형성위치로부터 빙하의 이동에 의하여 재운반된 것으로 원래의 형성위치는 판별하기 어 렵다. 이들의 형성시기는 분포위치상으로 보아 중기 Holocene 보다는 더 오래되며 단지 소규모의 기후 변동에 따른 빙하의 생성과 소멸이 반복되면서 나 타난 고기 해수면흔적들로 해석할 수 있다. Hays (1978), Denton & Hughes(1981) 및 Clapperton & Sugden(1982) 등에 의하면 남극대륙은 지금부터 18000년전 이전의 마지막 빙하기동안에도 위도  $50^{\circ}$ 까지 두꺼운 얼음(ice sheets)으로 덮여 있었던 기 간으로 이동안에는 해수면의 흔적이 만들어질 수 없었다. 따라서 Upper series에 속하는 고도 135m와 185m 위치에 분포한 자갈들은 적어도 Last Glacial Maximum이었던 18,000년보다는 훨씬 이전의 Upper Pleistocene 해수면으로 해석할 수 있다.

### 3-4. 해빈역의 원마도 특징

해빈역들에 대한 원마도(roundness)와 원구도 (sphericity)의 특징규명은 이미 오래전부터 실시

되어온 퇴적학 연구분야의 하나였다. 일반적으로 둥근 자갈들이 육지 사면에서 발견되면 이는 고기의 하천수면이나 해수면이 이들에 근접하였던 것을 지 시할 수 있어 지형 변화에 대한 해석을 할 수 있는 증거들로 이용되었다. 그러나 하천의 유수에 의하여 발달한 둥근자갈들과 파도에 의하여 해빈에서 발달된 자갈들 사이에는 원마도나 원구도에 그 차이를 나 타내고 있다. 일반적으로 해빈에서 형성된 자갈은 파도의 삭마작용으로 편편한 형태(flatty)의 자갈들 이 우세하여진다는 학설이나(Cailleux, 1945; Dobkins & Folk, 1970), 아니면 Kuenen(1964)은 파 도의 삭마작용은 원구도에 큰 영향을 미치지 못한 다고 하였으며 Sneed & Folk(1958), Bluck(1967) 들은 해빈의 편편한 자갈들은 파도의 삭마작용에 의해 마모된 결과보다는 이미편편하게 형성된 자 갈들이 파도에 의해 선택적으로 해빈에 퇴적된 결 과로 해석하였다. 그러나 이와 같이 해빈역들에 대한 기존 연구결과는 대부분이 하천에서 유수에 의해 이미 둥글어진 자갈들이 해안으로 유입되어 그 후에 파도에 의한 삭마작용을 경험하기 때문에 해빈역의 형태에 대한 특징은 파도의 삭마작용에 의한 결과 만으로는 해석할 수 없다. 여하튼 Lee(1985), Kim et al. (1990)에 의하면 해빈역과 하천에서 퇴적된 자갈들 사이에는 원마도와 원구도등에 큰 차이가 있음을 이미 밝힌 바 있다. 즉 해빈역들은 하천역 들에 비하여 일정한 형태의 자갈모양을 보이고 있 다고 주장하였다.

세종기지 주변에 나타나는 해빈역들의 자갈형태는 모두가 파도의 삭마작용에 의한 결과로 해석할 수 있다. 이 지역에는 하천이 발달하여 있지 않기 때문에 해안에 근접한 벼랑에서 떨어진 각이진 암편들이 곧바로 파도에 의하여서만 삭마작용이 일어나고 있는 지역이다. Waag & Ogren(1984)은 좁은 해안에 발달한 Talus로 부터 해빈역으로 마모되는 과정을 연구하여 파도의 삭마작용은 암편들을 편편하거나 구에 가까운 형태의 자갈들로 만들수 있으나최종적으로는 더욱 구에 가까운 해빈역들을 만들수있는 것으로 해석한 바 있다. 이번 조사지역에서는현생의 해빈역들과 Holocene에 형성된 서로 다른고도(6.0m, 7.2m)의 융기해안에서 자갈시료들을채취하였으며(현생, 중단, 상단) 또한 185m 위치에발달한 고기의 해빈역들(관악)을 채취하여 이들의자갈형태에 대한 특징을 해석하였다.

자갈의 형태에 대한 측정은 우선 가장 큰 장축 (L)을 설정한 다음 이로부터 서로 직교하는 2축을 설정하여 가장 짧은 축을 단축(S), 그리고 이와 직교하는 축을 중축(I)으로 하여 축들의 길이를 측정하였다. 측정된 시료수는 평균 값들에 대한 표준 편차를 줄이기 위하여 적어도 100개 이상의 자갈들에

대한 축의 길이를 측정하였다. 각각의 시료들에 대한 크기를 비교한 결과 현생 해빈역들이 상대적으로 가장 작은 자갈들로 구성되어 있으며 고도가 높은 곳에 있는 융기해빈역들은 평균 4cm이상의 크기를 나타내고 있다. 또한 각 시료들의 평균 축길이의 비교에 의하면 장축 : 증축의 비는 서로 유사한 값을 보이나(장축: 단축)에서 큰 차이를 보이고 있다. (장축: 단축)의 값이 클수록 자갈들은 편편한 모양 (platy)을 지시하는 것으로 보아 상단의 융기해안 시료 자갈들은 편편한 모양이 우세하며 현생 해빈 역시료는 둥근 형태가 우세한 것으로 나타나고 있 다(Table 3). 즉 상단의 융기해안에 발달하여 있는 자갈들은 상대적으로 platy한 모양의 자갈들이 많 으며 현생으로 갈수록 크기가 작아지며 둥근 자갈 들이 우세하다. 이러한 이유로 자갈의 크기가 작 아질수록 해변의 swashzone에서 파도에 의해 굴림 작용을 오래 받아 둥글게 된 결과이며 상단의 융 기해안에서는 현생 해빈역들과는 달리 큰 자갈들이 선택적으로 해빈에 많이 퇴적된 결과로 해석된다.

Table 3. The mean of 3 axes measured on each gravel on the samples taken at the Baton Peninsula, Antarctica.

| 시료 |                            | _ |                          | L                                |                                  |                                  |                                  |                                  | S                                | 1.1.0  |
|----|----------------------------|---|--------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--|
|    |                            | ī | 측정수                      | 평 균                              | 표준편차                             | 평 균                              | 표준편차                             | 평 균                              | 표준편차                             | L:I:S  |
|    | 현<br>중<br>당<br>단<br>관<br>악 |   | 250<br>524<br>183<br>132 | 1.838<br>2.245<br>4.115<br>4.106 | 0.522<br>0.714<br>1.138<br>0.958 | 1.346<br>1.610<br>2.905<br>3.030 | 0.298<br>0.516<br>0.843<br>0.662 | 0.804<br>0.841<br>0.841<br>1.923 | 0.251<br>0.301<br>0.301<br>0.437 | 1:0.732:0.437<br>1:0.717:0.375<br>1:0.706:0.330<br>1:0.738:0.468 |

자갈들의 형태를 표현하기 위하여는 여러 측정 방법들이 있다. 그 중에서도 대표적인 방법으로는 Zingg(1935)에 의한 분류방법과 Sneed & Folk (1958)에 의한 방법이 있다. 이들의 두 분류방법은 서로 유사하여 sphere(compact), platy, elongated 형태의 자갈들로 분류가 가능하다. 이번 연구에서는 Sneed and Folk(1958)의 분류방법에 따라 모든 자갈시료의 모양에 대하여 S/L, (L-I)/(L-S)의 값들에 따라 표시하였다(Fig. 3). 그림에서 보는 바

와 같이 현생 및 중단의 융기해빈역 시료들은 도표의 중앙을 중심으로 흩어져 있는 상태이며 상단의 융 기해안 자갈시료는 platy나 bladed한 곳으로 편중 되어 있다. 한편, 관악봉 해빈역 시료는 compact한 곳으로 편중되어 있어 각 시료들간에 자갈형태가 다르고 있음을 나타내고 있다. 그러나 이와 같은 도표에 의한 구별방법은 육안으로의 구별은 가능 할지언정 차이의 정도를 양적으로 표현할 수는 없다. 따라서 자갈의 형태를 하나의 숫자(magnitude)로

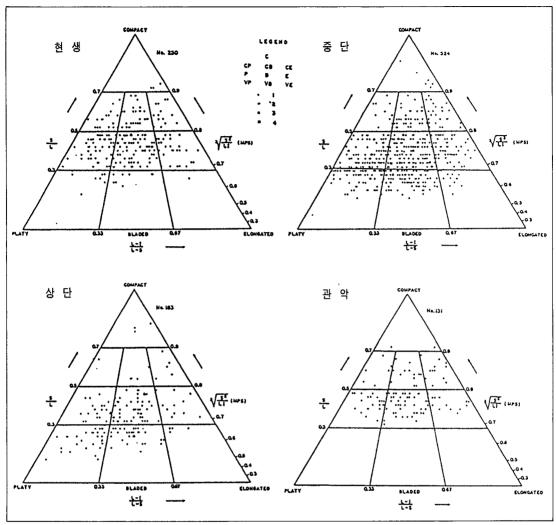


Fig. 3. Shape characteristics of some raised beach gravels taken at the Baton Peninsula (after Sneed & Folk, 1958). Gravel shapes of the Kwanak sample are more concentrated at the center of the diagram, while the others are more scattered (see text).

표현하기 위하여 여러 방법들이 제시된 바 있다 (Kim et al., 1990). 이번 연구에서는 Lee(1985)에 의하여 제안된 M=1/2{(I/L)+(S/I)}을 이용하기로 하였다. M은 항상 1보다 작으며 1에 가까울수록 구의 형태를 보이며 그 반대로 M값이 작아질수록 platy나 bladed한 자갈형태를 지시하고 있다.

각각의 시료들에 대하여 모든 자갈형태를 M으로 계산하여 평균값을 표시한 결과를 보면 각 시료들의 평균값은 0.60~0.70을 나타내며 표준 편차는 0.09 미만으로 분급이 좋은 형태를 나타내고 있다. 특히, 관악봉 해빈역시료에서는 표준편차가 0.066으로서 자갈의 형태가 매우 일률적임을 지시하고 있다. 그

Table 4. Arithmetic means of the axial ratios calculated form the gravel shape measurements and the momentum measures obtained from the cumulative curves of the gravel shape distributions in terms of M; L(long axis); I(intermediate axis); S(short axis) N, number of measurements; and  $M=1/N\Sigma(I/L+S/I)$ . The gravel shapes according to different origin are compared among marine terrace, fluviatile deposits and Antarctic raised beach gravels.

| CI-                  | N   | Arithmetic Means |           |      | Momentum Measures |          |                       |          |          |                           |
|----------------------|-----|------------------|-----------|------|-------------------|----------|-----------------------|----------|----------|---------------------------|
| Sample               |     | a=1/NΣI/L        | b=1/NΣS/I | М    | Mean              | Variance | Standard<br>Deviation | Skewness | Kurtosis | Remarks                   |
| 1 <sup>st</sup> Tr.  | 83  | 0.70             | 0.63      | 0.66 | 0.66              | 0.005    | 0.069                 | -0.013   | 2.779    |                           |
| 2 <sup>nd</sup> Tr.  | 203 | 0.71             | 0.65      | 0.68 | 0.68              | 0.007    | 0.086                 | -0.163   | 2.846    | Marine terrace<br>gravels |
| 3 <sup>rd</sup> Tr.  | 272 | 0.73             | 0.68      | 0.70 | 0.70              | 0.006    | 0.079                 | +0.198   | 3.419    |                           |
| gm — 1               | 282 | 0.68             | 0.62      | 0.65 | 0.65              | 0.009    | 0.097                 | -0.269   | 2.617    |                           |
| gm - 2               | 129 | 0.68             | 0.60      | 0.64 | 0.64              | 0.009    | 0.093                 | -0.296   | 2.707    | Fluviatile                |
| gm <sup>-6</sup> upp | 377 | 0.69             | 0.63      | 0.66 | 0.66              | 0.008    | 0.089                 | +0.248   | 2.986    | gravels                   |
| a                    | 250 | 0.75             | 0.60      | 0.68 | 0.68              | 0.006    | 0.077                 | +0.012   | -0.369   |                           |
| b                    | 524 | 0.73             | 0.54      | 0.64 | 0.64              | 0.008    | 0.090                 | +0.266   | -0.094   | Raised beach              |
| С                    | 183 | 0.72             | 0.49      | 0.60 | 0.60              | 0.007    | 0.086                 | +0.694   | +1.292   | gravels                   |
| d                    | 132 | 0.75             | 0.65      | 0.70 | 0.70              | 0.004    | 0.066                 | +0.526   | +0.203   |                           |

러나 해빈역시료들내에서도 M의 값과 표준편차에 차이를 보이고 있어 일률적으로 해빈역이 둥글거나 편편하다고 단정할 수는 없다. 단지 해안의 지형, 파도의 방향과 세기 및 자갈의 공급경위 등에 따라 선택적으로 편편한 자갈이 우세한 해안 혹은 둥글 둥글한 자갈들이 우세한 해안등으로 구별되는 것으로 해석된다. 이와 같은 해석은 한반도 동해안지역에 분포한 해안단구역들과 하성퇴적층의 역들의 형태를 비교하여 보면 더욱 확실하다. Table 4에서 보는 바와 같이 3개의 서로 다른 환경에서 형성된 자갈 들의 형태를 비교하여 보면 해성기원의 자갈은 M 값의 표준편차가 0.09 이상으로 여러 형태의 자갈 들이 섞여 있음을 지시하며 해안단구역과 바톤반도의 융기해빈역들을 비교할때 M과 표준편차의 값은 유 사하나 단축: 중축의 비인 b의 값에서 차이를 보이고 있어 해안의 자연환경에 따라 남극에서는 b의 값이 적게 나타나는 즉, 편편한 역들이 우세하고 있음을 지시하고 있다. 이와 같이 해안에 발달한 자갈들의 형태는 서로 다를 수 있으며 주변 자연환경에 따라

둥근 자갈, 편편한 자갈 혹은 이들이 섞여 분포하는 자갈들로 구성된 해변역으로 구분할 수 있다.

### 4. 결 론

남극의 South Shetland 군도중의 하나인 킹죠지 섬의 바톤반도와 그 주변 일대에는 고기의 해수면을 지시할 수 있는 여러 지형적 특징이 나타나고 있다. 계단형태의 지형을 보이는 융기단구나 아니면 바다에 솟아 있는 암과들에 고기의 해수 침식면(sea notch) 이 발달하여 있다. 또한 파도의 삭마작용에 의하여 마모된 자갈들이 해안사면의 높은 고도에까지 분포하여 있는 것으로도 이 지역은 융기되어 있음을 지시하고 있다. 특히 해빈역으로 구성되어 있는 해안퇴적층은 현해수면으로 부터 3.1, 5.4, 6.0, 7.2, 14~15, 17~18m 상부에 계단 형태로 발달하여 있으며(Low series) 24m에서 58m사이에는 상부로부터 이동된 해빈역들이 분포하여 있다(Middle series). 한편 이 지역에는 고도 135m와 최고 18

5m까지에도 교란되지 않은 해빈역들이 분포하고 있다(Upper series). 이들의 형성시기는 Lower series는 과거 약 6,000년 사이에 그리고 Middle series는 마지막 빙하기로부터 과거 약 6,000년전 사이에 형성되었으며 Upper series는 마지막 간빙기에 형성된 것으로 해석하였다.

융기해안에 분포하는 자갈들의 형태를 통계학적 으로 분석하면 파도의 삭마작용에 의하여 어떠한 자갈형태가 우세한가를 알 수 있다. 자갈모양을 대 표할 수 있는 M=1/2{(증축/장축)+(단축/증축)}을 이용하여 각각의 시료들에 대하여 모든 자갈형태를 M으로 계산하여 평균값을 표시한 결과를 보면 각 시료들의 평균값은 0.60~0.70을 나타내며 표준 편차는 0.09미만으로 분급이 좋은 형태를 나타내고 있다. 특히, 고도 185m에 분포하는 해빈역시료에 서는 표준편차가 0.066으로서 자갈의 형태가 매우 일률적임을 지시하고 있다. 그러나 바톤반도에서 채취한 시료들내에서도 M의 값과 표준편차에 차이를 보이고 있어 일률적으로 해빈역이 둥글거나 편편 하다고 단정할 수는 없다. 단지 해안의 지형, 파도의 방향과 세기 및 자갈의 공급경위 등에 따라 선택 적으로 편편한 자갈이 우세한 해안 혹은 둥글둥글한 자갈들이 우세한 해안등으로 구별되는 것으로 해 석된다.

#### 참고문헌

- 강필종, 이민성(1988). 지형, 지질 및 지질구조 (남극과학기지 주변환경 조사). 한국해양연구소, BSPG 00069-190-7, 43-106.
- 권병두, 좌용주(1991). 세종기지 주변의 자력탐사 연구(남국환경 및 자원탐사기술, 제 4차년도), 한국해양연구소, BSPG 00140-400-7, 67-90.
- 김예동, 남상헌, 김정우(1989). 세종기지 주변의 중력측정(남극 과학기주 주변환경 조사, 제2차 년도), 한국해양연구소, BSPG 00081-246-7, 107-119.
- 박맹언(1990). 바톤반도 천열수 변질작용과 광학 작용의 특성에 관한 연구(남극과학기지 주변 환

- 경조사, 3차년도), 한국해양연구소, 55-72.
- 박용안, 최문영, 고영이(1991). 남극 킹죠지섬의 위버반도 해빈자갈에 관한 연구. 한국제4기학 회지 제5권, 47-63.
- 유흥룡, 권수재(1991). 세종기지 주변해역 정밀수심 측량(남극환경 및 자원 탐사 기술). 한국해양연 구소, BSPG 00140-400-7, 195-215.
- 이민성, 박병건, 좌용주(1989). 남쉐틀랜드 군도의 지체구조 및 킹죠지섬의 지질(남국 과학기지 주변환경조사, 제2차년도), 한국해양연구소, BSPG 00081-246-7, 51-72.
- 진명식, 이민성, 강필종(1989). 킹죠지섬의 바톤 반도 및 위버반도 지질학적 및 암석학적 연구 (남극과학기지 주변환경조사, 제2차년도). 한국 해양연구소, BSPG 00081-246-7, 73-106.
- Adie, R.J. (1964). Sea level changes in the Scotia Arc and Graham Land. Antarctic Geology, edited by Adie, R.J., Proceedings of the 1st International Symposium on Antarctic geology. Univ. Birmingham, England, John Wiley & Sons inc. New-York, 27-32.
- Barsch, C.M. (1965). The Geology of the South Shetland, III. The Stratigraphy of King George Island. British Antarc. Sur. Sci. Report, 44.
- Barsch, D. and Maüsbacher R. (1986). New data on the relief development of the South Shetland Islands, Antarctica, Interdisciplinary Science Reviews, V.11. 2, 211-218.
- Barton, C.M. (1965). The geology of the South Shetland Islands: III. The stratigraphy of the King George Island. Brit. Antarctic Surv. Sci. Reports, No. 44, 33p.
- Birkenmajor, K. (1983). Late Cenozonic Phases block-faulting on King George Island (South Shetland, West Antarctica). Bull. Acad. Polon. Sci., V.30, 21–32.
- Bluck, B. J. (1967). Sedimentation of beach gravels: Examples from South Wales. J. Sed. Petrol., V.37, 128-156.

- Cailleux, A. (1945). Distinction des galets marins et fluviatiles. Bull. Soc. Geol. France, V. 15, 375-404.
- Clapperton, C.M. and Sugden, D.E. (1982). Late Quaternary glacial history of George VI Sound area, West Antarctica. Quaternary Res. 18, 243-267.
- Davies, R.E.S. (1982). The geology of the Marian Cove area, King George Island and Tertiary age for its supposed Jurassic rocks, Br. Antarc. Surv. Bull., V.51, 151-165.
- Denton, G.H. and Hughes, T.J. (1981). The last glacial ice sheets. Wiley-Interscience, New York.
- Dobkins, J.E. and Folk, R.L. (1970). Shape development on Tahiti-nui. J. Sed. Petrol., V.40, 1156-1203.
- Hawkes, D.D. (1961). The geology of the South Shetland, I. The petrology of King George Island. Falkland Island Defendencies Survey.
- Hays, J.D. (1978). A review of the late Quaternary climatic history of Antarctic seas. in "Antarctic glacial history and world palaeoenvironments", edited by E.M. van Zinderen Bakker Ed., Balkema, Rotterdam, 57–71.
- John, B.S. (1972). Evidence from the South Shetland Islands toward a glacial history of West Antarctica. Polar Geomorphology, ed. by R.J. Price and D.E. Sugden, London, Inst. Brit. Geographers, 75–92. Scientific report. 26.
- Kim, J.Y., Choi, D.K. and Lee, D.Y. (1990).
  Palaeoenvironmental implication of the Quaternary gravel sequences on the basis of gravel shape. Korean J. Quat. Res. V.4, 41-58.
- Krantz, W.B. (1990). Self-organization manifest as patterned ground in recurrently frozen soils. Earth-Science Rev. 29, p.117-130.
- Kuenen, Ph.H. (1964). Experimental abrasion, surf action. Sedimentology, V.3, 29–43.

- Lachenbruch, A.H. (1962). Mechanics of thermal contraction cracks and ice wedge polygons in permafrost. Spe. Paper Gelo. Soc. Am. 70, 69.
- Lee, D.Y. (1985). Quaternary deposits in the coastal fringe of the Korean Peninsula. Ph.D. Thesis, Free University of Brussel, 315p.
- Lucas, R.C. and Lacey, W.S. (1981). A permineralized wood flora of probably early Tertiary age form King George Is., South Shetland Islands. Antarct. Surv. Bull., V.53, 147-151.
- Nichols, R.L. (1960). Sea level changes in the Scotia Arc and Graham Land, Antarctic Geology, edited by Adie, R.J., Proceedings of the 1st International Symposium on Antarctic geology. Univ. Birmingham, England, John Wiley & Sons inc. New-York, 121–137.
- Nichols, R.L. (1961). Characteristics of beaches formed in polar climates. Am. J. Sc., V. 259, 694-708.
- Park, B.-k. (1989). Potassium-argon radiometric ages of volcanic and plutonic rocks from the Barton Peninsula, King George Island, Antarctica. Jour. Geo. Soc. Korea, V.25, 495-497.
- Payne, J.A., Sugden, D.E. and Clapperton, C. M. (1989). Modeling the growth and decay of the Antarctic Peninsula ice sheet. Quaternary Res., V.31, 119-134.
- Peltier, L.C. (1950). Geographic cycle in perglacial regions. Ass. Am. Geogr. Ann., V.40 Smellie, J.L., R.J. Pankhurst, M.R.A. Thomson and R.E.S. Davies (1984). The geology of the South Shetland Island: VI Stratigraphy, Geochemistry and Evolution, British Antarctic Survey Scientific Reports, No.87, 85p.
- Sneed, E.D. and Folk, R.L. (1958). Pebbles in the lower Colorado Riover, Texas, a study in particle morphogenesis. J. Geol., V.66, 114 –150.

Waag, C.J. and Ogren, D.E. (1984). Shape evolution and fabric in a boulder beach, Monument Cove, Maine. J. Sed. Petrol., V.54,

98-102.

Zingg, Th. (1935). Beitrage zur schotteranalyse. Min. Petrog. Mitt. Schweize., V.15, 39-140.