

濟州島 海岸地形에 대한 一考察

吳 南 三*

目 次	
I. 序論	2. 海蝕地形의 考察
II. 海岸地形 營力의 討論	3. 海濱과 砂丘
III. 濟州島 海岸地形의 考察	IV. 討論
1. 海水面의 律動	

I. 序 論

국토의 算術的 面積이 국가의 富를 상징하던 시대가 있었다. 그러나 그 算術的 國土面積의 의미는 사라져가고 있는 경향에 있다. 오늘날 국가의 부는 국토이용에 의한 그 국가의 생산력에 있기 때문에 國土面積의 의미는 算術的 數置에 있는 것이 아니라 오히려 그 국가의 국토 이용능력에 의한 가치에 그 중요성이 부여된다. 算術的 國土面積을 평가하던 시대는 전쟁수단을 통하여 국토를 확장하였지만 현세는 과학기술의 진흥을 통하여 국토이용의 內的價値를 증가시킴으로써 實質的 國土擴張을 期하고 있을 뿐 아니라 해안과 沿海를 집중 개발하여 국토자원을 추구하고 있다.

그러나 이러한 시대적 요청에도 불구하고 우리 나라 海岸과 沿海에 대한 地形學的 접근은 상당히 부진한 것 같다. 그래서 본 논문에서는 이러한 社會的

* 經商大學 觀光經營學科 助教授

環境을 숙지하였을 뿐만 아니라 海岸地形에 대한 지형학적 이론을 추구하고 그러한 이론의 근거하에 제주도 해안지형의 일부를 관찰함으로써 제주도 해안 지형에 대한 일반적 탐색입장을 찾아내고자 한다.

필자는 1977년 여름부터 1985년 여름까지 濟州島 海岸地形 觀察을 기초로 연구를 진행하여 작성된 논문인 “濟州島 城山浦~新陽里의 海岸地形 研究(1980)¹⁾ · “濟州島 海岸의 微地形 觀察(1981)²⁾” · “濟州島 波蝕地形(1981)³⁾” 등을 기초로 하고 “海岸地形의 形成作用 考察(1982)⁴⁾” · “波蝕臺의 一般理論(1982)⁵⁾” · “海岸地形 踏査의 實際論(1983)⁶⁾” · “火山景觀 噴出順序 研究(和順地域中心, 1986)⁷⁾” 등의 연구를 진행하면서 얻어낸 일반적 결론을 토대로 하여 본 논문을 작성하였다.

II. 海岸地形 營力の 討論

海岸地形은 지구상에서 가장 복잡하고 다양한 營力에 의하여 형성되는 지형이며 海岸地形學 역시 급진적 발달 과정을 거치면서 장렬한 토론의 장을 마련하고 있다. 그런데 어떤 특정지역의 해안지형을 관찰하려고 하려는 충분한 학문적 기초 없이는 접근이 불가능하다. 그래서 이 장에서는 海岸地形 營力에 관한 토론을 전개하여 海岸地形 관찰의 방향을 찾아 보고자 한다.

Johnson(1919)은 금세기에 교과서와 같은 역할을 한 자신의 논문인 “Shore processes and shoreline development”을 중심으로 Shepard(1937, 1938)와 심한 論爭을 전개했는데 그 중심 문제가 海水面變動 理論이었다. Johnson이 海水面變動을 충분히 고려했다고 주장했으나 현재 대부분의 학자들은 Johnson의 약점을 지적하고 있다.

-
- 1) 吳南三, 高麗大學校 敎育大學院 未出版碩士學位 論文임.
 - 2) 吳南三, 서울大學校 大學院에서 1981年 11月 7日에 中間發表를 한 未完 論文임.
 - 3) 朴東源, 吳南三, “濟州島 波蝕臺에 대한 地形學的 研究”, 《地理學論叢》 八號, 서울大學校, 1981, pp. 1~10.
 - 4), 5), 6)의 論文은 필자가 서울대학교 대학원 세미나에서 중간발표한 미출판 논문임.
 - 7) 吳南三, 《觀光開發研究論文集》 제3집, 제주대학교 사회과학대학, 1986, pp. 21~52.

Fairbridge는 海岸地形을 연구할 때는 Late Pleistocene(약 20,000년)과 Holocene(약 6000년) 동안의 海水面 變化를 전제로 하여야 한다고 주장하고 있다. 海水面 變化 理論에 의하면 水河 최고 기간에는 現 海水面보다 약 130m가 더 낮았으며 最高溫 間氷期에는 現 海水面보다 약 50m가 더 높아서 현재 古波 蝕臺 혹은 海岸平野보다 더 높은 곳에 海안선이 걸려 있었다고 한다.⁸⁾ Holocene(6,000년) 중에도 海水面은 주기적 變化를 일으켜서 3,000년 전, 1,900년 전, 700년 전 등의 最高頂點을 중심으로 海水面에 대하여 +3m와 -4m의 주기를 갖고 있었다고 하며 1890년에서 1950년까지 약 70mm의 海水面 상승이 있었다고 보고되어 있다(Fairbridge, 1962; Fairbridge and Krebs, 1962.).

파도는 바람의 물 表面摩擦에 의하여 발생되므로 바람의 속도, 對岸거리(fetch), 시간이 중요 문제가 된다(Kuenen, 1950). 20m의 波高가 형성되려면 바람의 속력은 시간당 105km, 1,500km의 對岸거리와 50시간 이상 지속되어야 가능하다는 조사 보고가 되어 있다. 26m의 波高가 보고된 바 있으나, 현실적으로 불가능한 것으로 받아들여지고 있으며, 最大波高는 16m로 알려져 있다.

津波(Tsunamis)는 海底地震, 火山噴出, landsliding, slumping에 의하여 발생되는 파도이다. 이는 tidal waves라 칭하나 潮水와는 관계가 없다. 津波는 특히 大洋에서는 그 높이가 미약하나 海岸에 접근하면서 엄청나게 커지는 것이 특징이다. Kuenen(1950)에 의하면 일본과 칠레 해안의 津波는 30~40m까지 달하였으며, Shepard(1948)는 알래스카에서 海拔 100ft의 등대가 파괴된 것을 보고한 바 있으며, 세계 最高津波는 Miller(1961)에 의하여 알래스카의 리트야灣에서 landsliding 津波를 보고한 바 있다(1958.6.9). 津波는 기반의 불안정에 기인하여 발생하는데 그 發生頻度가 극히 적어서 海岸地形 형성작용의 重要因子로 보기는 좀 어렵다.

파도는 海岸에 접근함에 따라서 軌道運動의 불균형 때문에 水位面이 다른 네 가지의 變化運動을 가지면서 海岸에 破碎한다(Fig.1). 그 운동은 바다에서 육지 쪽으로 wavespeak-up-point (firstbreakers), spilling breakers, plunging breakers, translatory wavesbore이다. 위 4개의 지점은 특히 바람 혹은 파도 그 자체 때문에 平均水位面 이상으로 상승하여 特殊水面을 유지하면서 long-shore current를 유발한다. 이 long-shore current는 물질을 灣頭部分으로 이동

8) 태양흑점 주기론을 근거로 한 추정치임(E.C.F.Bird, 1964).

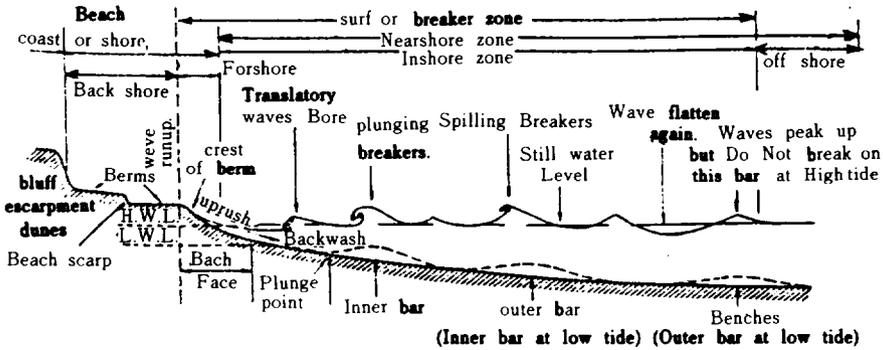


Fig. 1. Terminology of littoral features

시킴으로 海岸地形의 重要 形成因子가 된다(Thornbury). plunging breakers는 摩蝕道具를 풍부하게 갖고 있으므로 地形形成 重要因子가 되고 있으며(Von Richtofen, 1886; Johnson, 1919) plunging breakers 前面의 海水面 上昇은 rip current를 발달시켜 堆積物質 운반을 유도한다. translatable waves bore는 파도의 圓運動 에너지에 의한 것이므로 sawcutting (Morgan, 1937)을 유발하며 Plucking 형태가 pothole 摩蝕作用의 형태를 갖게 한다. 이때 발달하는 Swash와 backwash는 물질의 堆積運搬의 相互作用下에 있게 되며 beach drifting (Sterrs, 1948)을 일으켜 한 방향으로 물질을 이동시켜 海岸地形을 형성하며, under tow 역시 물질 제거작용을 돕는다.

이와 같이 해안에서 파도에 의한 물질 운반 堆積作用을 좀더 잘 인식하기 위해서는 海岸侵蝕 理論의 양대산맥을 충분히 이해할 필요가 있다. 그것은 海岸地形을 형성하는 重要인자가 파도의 기계적인 侵蝕에 의한 것이나 혹은 陸上侵蝕(Subaerial Weathering)에 의하여 형성되었는가 하는 문제이다.⁹⁾

파도의 機械的 削剝 理論은 De la Beche에 의하여 최초로 수립되었고 Ramsay(1846)와 Lyell에 의하여 발전되었다. 더우기 摩蝕道具 理論을 도입시킨 Von Richtofen(1886)에 의하여 확고한 지위를 갖게 되었으며 Gulliver, Davis(1902)에 의하여 더욱 발전되었는데 Johnson(1919, 1925)에 이르러 교과서

9) 기계적 형성이론과 화학적 형성이론은 타협할 수 없는 양대산맥을 이루고 있다. 그러나 필자는 두 개의 이론을 고려하고자 한다.

적 이론으로 확립되었다. 기계적 작용의 증거는 硬岩石海岸에서는 아주 명백하게 나타난다. 이 이론은 전체대륙이 波濤攻擊에 의하여 해수면까지 削剝될 수 있다는 견지에까지 발전하여 많은 학자들로부터 집중적인 공격을 받았다.

化學的 削剝理論은 암석의 Joint와 fissuren을 따라 침투하는 酸性降水 혹은 알칼리성 지하수, 鹽分 融解作用(Salt solution)에 의하여 海岸地形이 형성된다고 주장하고 있다. G. Mau(1886)는 해수면에 의하여 陸上侵蝕이 제한되고 있으며 海岸地形의 상당 부분이 陸上侵蝕에 의하여 형성된 지형을 관찰하였다. W. Whitaker(1867)는 파도의 波蝕 능력을 의심하였으며, Mallard Reade(1885)은 Hutton 이론에 의하여 설명되어야 한다고 주장하면서 大洋은 단순히 물질의 기계적인 分配者(distributor)로서의 역할을 수행한다고 주장했다. A. H. Green(1882)은 바다는 陸上 侵蝕作用을 중단시킬 뿐이라고 하였으며, Jukes Broune(1893)은 파도는 平面化 作用을 할 뿐이라고 했으며, 그의 Nansen(1905), Macfadyen(1930), W. von Zahn(1909), Kuenen(1933), Shepard(1937), Emery(1946), Fairbridge(1948), Revelle and Fairbridge(1957) 등 수많은 논문이 발표되면서 化學的 削剝理論도 그 기반을 구축할 수 있게 되었다.

그러나 양대이론 사이에 어떤 相互矛盾性을 지각할 수 있으나 양쪽 모두 상당한 타당성을 갖고 있음을 전제로 하여 우리는 해안지형을 관찰해야 한다. 해안지형에는 機械的 削剝의 근거와 化學的 削剝의 근거 모두를 갖고 있는 것이 특색이다. 摩蝕面, bench 혹은 Crescent form은¹⁰⁾ 기계적 작용으로 관찰하여야 하며 불규칙적 면, 불규칙한 海岸線 등은 陸上侵蝕의 요인으로 관찰하지 않으면 안 될 것이다. 海流의 海岸形成要因은 longshore current와 깊은 관계를 갖고 있으나(W. D. Thonbury), 潮流는 地形要素로서는 중요하지 않다 (Johnson, 1925; Shepard, 1948; Kuenen, 1950).

10) 해안지형은 최종형으로 반달형을 갖는다고 한다. 대부분 해수욕장은 이런 형태를 띤다.

Ⅲ. 濟州島 海岸地形의 考察

1. 海水面의 律動

앞에서 지적한 바와 같이 해수면은 주기성과 불안정성을 갖고 있는 변화를 전제로 하기 때문에 海岸地形을 관찰하기 위해서는 海水面 변화에 대한 고찰이 선행되어야 할 것이다. 그러나 제주도 해안의 장기적 海水面 변화에 대한 어떠한 관찰 논문도 출판된 적이 없으며 기본적 자료도 없는 형편이다. 그러므로 海岸地形 관찰을 통한 간접적 추정에 의하여 장기간의 해수면 변화를 생각할 수 있으나, 이것 역시 확실한 年代測定 方法이 선행되어야 하기 때문에 어렵다. 다시 말하면 化石分類 方法에 의한 年代測定이 더욱 개발되어야 할 것이며 더 나아가서 radiometric dating이 절실히 요청되고 있는 실정이다. 그러므로 전반적 해수면 변화를 관찰하기는 불가능한 형편이므로 다음 장에서 海岸地形을 관찰하면서 그 일부를 추정하여 보기로 한다.

본 장에서는 지난 3년간의 潮差記錄과 5년간의 波高測定 자료를 중심으로 관찰하면서 해수면이 현세 海岸地形에 어떤 영향을 끼치고 있는지 생각하여 보기로 한다. 潮水面間帶의 면적을 추정하기 위한 자료(吳南三, 1980)에 의하면 年中 最大 滿潮日은 음 7월의 Springtide에 발생하는데 平均潮水面(mean sea level)에 대하여 濟州港이 +1.54m이고 西歸浦港이 +1.8m의 기록을 나타내고 있다. 이 자료에 의하여 추정하면 年中 最大 潮水面間帶 海岸의 해안선에 대한 너비가 약 200m라는 계산이 나온다. 다시 말하면 이와 같은 넓은 波蝕臺가 존재할 수 있다는 가능성을 제시한다.

본 해안의 潮差는 우리 나라 他海岸에 비하여 日潮不等(diurnal inequality)이 매우 커서 1일 2회의 高潮에서 日潮間隔(diurnal tidal interval) 및 潮高는 상당히 심하다. Fig 2, 潮差(吳南三, 1980)에서 보는 바와 같이 日潮間隔의 차가大潮時에 심한데 高高潮(higher high water)의 平均週期는 5시간 36분에 불과하다. 이에 비하여 小潮時에는 비교적 주기가 정확하여 平均週期가 6시간 24분에 이르고 있다. 이것은 Boston港에서의 보고자료와 유사하다(Strahler). 1일 중 潮

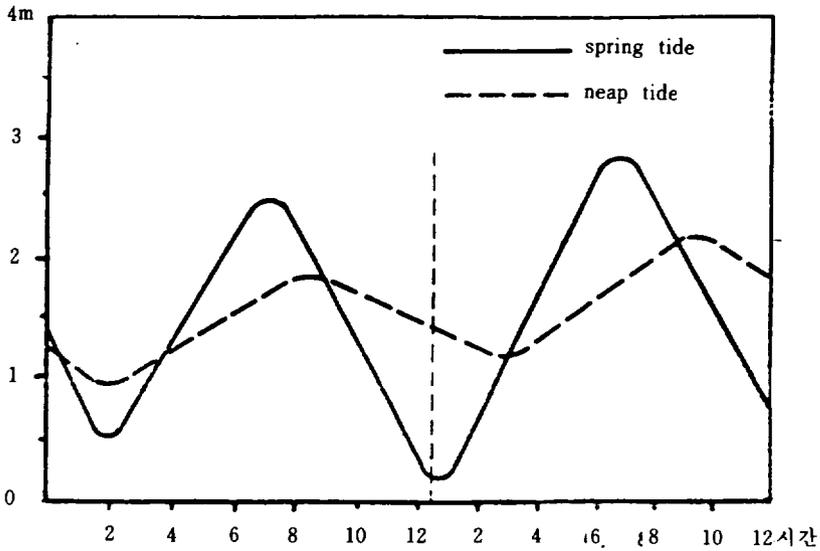


Fig. 2. Tidal range(Seoguiipo)

高差를 보면 大潮時의 2개의 高潮差가 0.3m에 달하여 연중 계절별 平均水面差에 해당되고 있다. 반면 小潮時에는 1일 중 2개의 高潮差가 더욱 커져서 平均 1.3m에 달하고 있다. 한편 大潮時 平均 潮差는 2.7m이며 小潮時 平均 潮差는 1.3m에 불과하다.

그리고 潮流는 風向의 영향을 민감하게 받고 있는데 濟州島 전 해안에 대하여 平均적으로 冬季의 北西風은 潮高 및 海水면을 낮추고 반대로 冬남풍은 潮高 및 海水면을 높이고 있는데 海水面이 가장 높은 달은 6월에서 10월까지 나타나 동북 아세아권에 해당한다. 그러나 본 지역의 남북 비교를 위하여 제주항과 서귀포항의 海水면을 비교하면 겨울철에 제주항이 높고 여름철에 서귀포항이 높다. 이것 역시 계절풍의 역의 위치에 대한 영향으로 보아야 할 것이다.

Fig.3은 제주항 波高 관측소와 서귀포항 波高 관측소의 자료를 이용하여 작성하였다.¹¹⁾ 이 자료를 분석하여 보면 平均 波高는 제주항이 0.9m, 서귀포항이 1.0m로 남북비교에서 서귀포항이 10cm가 높다. 계절별 波高에 대하여 남

11) 濟州港 波高觀測資料, 1970, 1971, 1975, 1976, 1980.

西歸浦港 波高觀測資料, 1973, 1974, 1975, 1976, 1980.

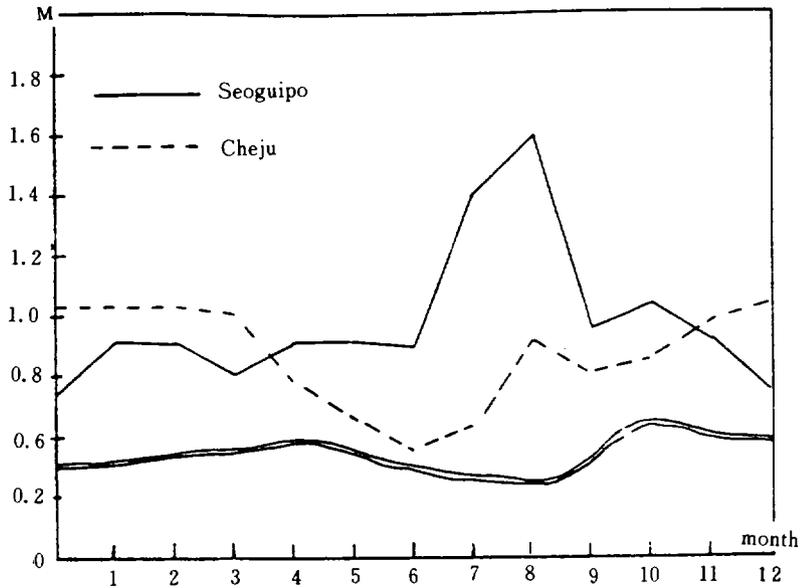


Fig. 3. monthly wave height

북비교를 하여 보면 제주항에서 最高 기간은 겨울로서 12월, 1월, 2월, 3월인데 1m 이상을 나타내고 서귀포항에서 波高가 높은 계절은 7월, 8월, 9월, 10월인데 늦여름과 초가을에 해당되어 남북이 서로 반대 현상을 일으키고 있으나 월별 最大 波高는 남의 1.6m와 북의 1.0m 그 차가 약 50cm에 달하여 남북의 Salt water layer(E.S. Hills, 1949) 및 Salt water sprayer의 한계를 예측할 수가 있다.

2. 波蝕地形의 考察

해안지형의 한계를 결정하는 것은 중요한 문제가 된다. 영역의 개념을 설정하는 제한적 의미가 되기 때문이다. 일부 학자들은 대륙붕(Johnson, 1919)까지를 포함하기도 하고 水深 20~30m(Shepard, 1948)까지를 논하는 사람도 있다. 이것은 파도의 機械的 侵蝕 가능 한계를 통한 토론 개념인 것이다. 어떤 학자들은 最低 干潮線까지의 潮水面 間帶를 관찰하는 사람도 있다. 이 지역은 파도의 機

械的 摩蝕道具가 풍부하고 生化學的인 활동이 가장 활발히 전개되는 곳이기 때문이다. 그리고 內陸 한계를 일부 학자들이 化石海岸線까지를 포함시키는 경우도 많으나 현재 본 연구의 입장에서는 그러하지 못하다.

그래서 현재의 海水面線 혹은 海岸砂濱의 전면까지를 波蝕地形으로 관찰하는 것이 가장 결점이 적은 접근 방법이라 생각된다. 波蝕臺를 海岸傾斜에서 이론적 근거를 찾는 이론도 있으나 (Bartrum, 1926, 1935), 파도의 侵蝕 능력에서 찾는 것이 바람직하다. Shepard(1948)는 波蝕 능력을 30~40피트 깊이로 추정하고 있으며 캘리포니아 海岸研究 자료는 水深 10m가 波蝕 한계임을 나타내고 있다(權赫在, 1980). 波蝕의 水深 10m 이론에 의거하면 현 波蝕臺가 水深 10m 까지 뺄어나갈 수 있다는 결론이 나오며 그 경사가 1°인 경우에는 그 너비가 500m에 달할 수 있으며 潮差까지를 제산한다면 600~800m까지 연장될 수 있다는 가설이 나온다.

濟州島 海岸에서 필자의 관찰에 의하면 軟岩石 혹은 堆積層 海岸의 head land 附近(城山層 등)에서 너비가 350m가 되며 新陽里 灣頭(bay)에서는 약 800m가 되나 玄武岩 波蝕臺에서는 약 150m가 되고 있다.¹²⁾ 그러나 30~40m의 海底 等深線이 해안에서 밀집되어 나타나고 있을 뿐 아니라, 육안으로 그 해저 波蝕臺를 관찰할 수 있기 때문에 또 다른 문제로 등장한다.

Fairbridge(1960, 1961, 1962)의 +3와 -4m의 海水面 昇降 이론을 도입하여 생각할 수가 있을 뿐 아니라 적어도 水深 30m 이상 되는 古波蝕臺는 水期波蝕臺일 가능성이 매우 높다. 海水面 昇降 가능성은 해저뿐 아니라 해상에도 있는데 대부분의 하천 및 상당부분의 해안선에서 높이 3m 내외의 Knickpoint가 존재하고 있으며 해수면 변동에 의한 하천 河刻運動의 변화 유적을 찾을 수가 있어서 古波蝕臺의 존재를 생각할 수 있다.

潮水面 彈力帶의 波蝕帶(Kuenen, 1933; Fairbridge, 1947, 1948)에 관하여 관찰하여 보면 제주도 전 해안선에 넓게 분포하여 있다. 이론상으로 보면 最大 干滿潮差 약 3.5m(전장 참조)를 고려하면 波蝕臺 1°의 경사일 때 波蝕臺 너비가 약 200m가 干潮時 해수면상에 노출될 수 있는데 섭지코지·지귀도·서귀포·신창리·북촌리 등 일부 해안에서 그 원형이 관찰된다(Photo 1.).

12) 신양리층 해안에서 파식지형이 가장 전형적으로 잘 나타나고 있다. 특히 신양리 해안은 해안미지형의 발달에 있어서 세계적이다.

이러한 波蝕臺는 암석의 자세와 성질에 의하여 그 특성을 잘 나타내고 있다. 특히 新陽里層과 같은 軟岩石에서는 機械的 波蝕痕이 현저한데 potholes, Groves, pseudo-lapies가 잘 관찰된다. 그리고 파도의 전진 에너지가 whirling에 의하여 摩蝕하기 때문에 波蝕臺의 기계적 파괴에서 pothole style erosion의 특성을 잘 관찰할 수가 있다.

암석의 자세가 수평일 때는 평면이 비교적 미끈하며 grooves가 잘 발달하고 海岸前面에서는 pseudo-lapies가 잘 관찰된다. 암석 자세가 seaward dipping 하거나 landward dipping할 때는 현저하게 후퇴하는 해안을 나타내고 있다. 그 표면은 몹시 거칠고 날카로우며 層理斷面이 평면상에 노출된다. 이 때 gothole이 많이 관찰되는데 해안선에 병행하여 pothole lines가 형성되어 있는 것이 일반적이다. 그것은 파도의 기계적 波蝕力이 강력하다는 것을 입증하고 있을 뿐 아니라 波蝕의 형태를 설명하고 있는 것으로 생각된다.

硬岩石에서는 보다 다양성을 갖고 있다. 암석의 자세뿐만 아니라 그 岩石學의 특성에 의하여 그 형태가 다양하기 때문이다. 濟州島는 玄武岩 熔岩島이므로 전 해안선에 玄武岩臺가 노출되어 硬岩石 波蝕臺가 전형적으로 잘 발달하여 있다. 이 波蝕臺는 여러 개의 段(terraces)으로 관찰되는데 潮水面 律動에 의한 영향을 심하게 받고 있음이 인식된다.

潮干帶 지역에서는 평균 水位面 상하로 구분하여 관찰할 수 있다(W. Von Zahn, 1909). 평균 水位面 이하에서는 海藻類 활동이 활발하여 전 암석에 附着 孳生하고 있어서 암석 붕괴에 대하여 생화학적 영향을 끼치고 있음이 관찰된다. 이러한 微地形들은 기계적 波蝕力에 추가되는 solution 및 다양한 영력의 중요성을 나타내고 있는 것으로 생각된다(Glaessner, 1948).

특히 新昌里 波蝕臺에서는 30~40cm 정도의 정사각 혹은 정오각의 fissures가 잘 발달하여 이 fissures를 따라서 岩壞들이 다량으로 분리되고 있어서 波蝕臺 破壞現場이 생생하게 관찰된다. 이러한 fissures는 암석의 dry and wet에 의하여 발생하는 것으로 생각된다. 그 외에 육지에서 바다로 熔出된 波蝕臺 중앙에는 대부분이 육지에서 바다를 향하여 직선상으로 joint가 잘 발달하여 중요한 波蝕 혹은 侵蝕의 근원을 제공하고 있다. 이러한 fissures 혹은 joint가 만나는 지점이나 혹은 knickpoints에는 potholes가 자리 잡고 있어서 波蝕의 근간이 관찰된다.

波蝕力은 摩蝕道具에 의존한다(Von Richtofen. 1886: Johnson. 1919). Fig.1에서 摩蝕道具를 풍부하게 갖고 있는 쪽은 plunging breakers와 translatory waves bore이다. 그러므로 파도의 波蝕力은 外海 쪽보다 內海 쪽이 보다 클 수가 있다. 다시 말하면 外海(offshore) 쪽에 일단 분리된 岩島(rocky island)는 內海의 波蝕臺보다 덜 파괴되어 수명이 길 수 있다. 특히 干滿潮에 의한 潮水面 間帶가 넓게 분포하는 지역은 생화학적 작용, solution, wet and dry, isolation process가 활발하여 波蝕力을 가일층 돕고 있다(Juston. 1917: Cotton. 1942: Tricart. 1959: Wellman and Willson. 1965).

그러므로 波蝕臺의 파괴 과정은 Fig.4로 설명된다. 이 그림은 波蝕에 유리한 곳, 다시 말하면 암석의 자세·강도·節理面 등 軟部를 따라 波蝕 地形傾斜(1° 內外)에 의거 波蝕面積을 확대시켜 나가고 있다. 그 波蝕面積이 넓을수록 wet and dry의 영향은 확대되어 波蝕作用을 돕는 process가 활발히 전개되나, 前進波蝕이 지형경사에 의하여 제한되므로 側面波蝕으로 전향되고 있다. 이 轉向波蝕에서의 역할은 주로 摩蝕에 의존되는데 beach drifting (Steers, 1948), undertow(Lewis, 1931, 1932), long shore current(Thornbury)의 영향이 추가된다.

海洋波蝕 영역에서는 최소한 5개의 영역을 중시한다(W.D. Thornbury). 즉 腐蝕(corrasion), 摩蝕(corrasion or abrasion), 摩損(attrition), 水力壓作用과 破碎波浪의 衝擊壓力이다. 波蝕은 풍부한 연장, 節理와 금이 발달한 장소에서 효과적이다. 破碎는 수천 파운드의 압력을 부가시키며 節理面의 공기는 암석에

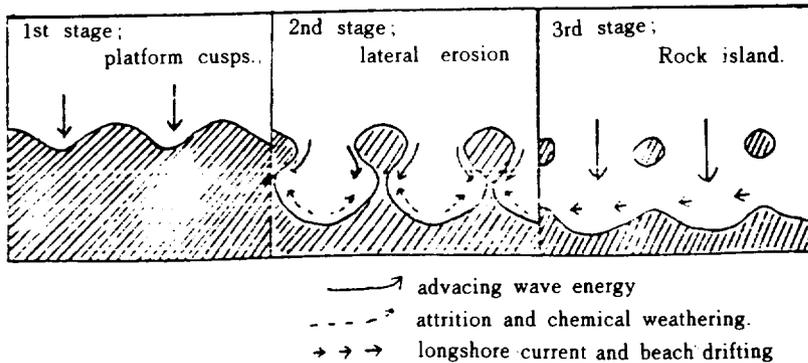
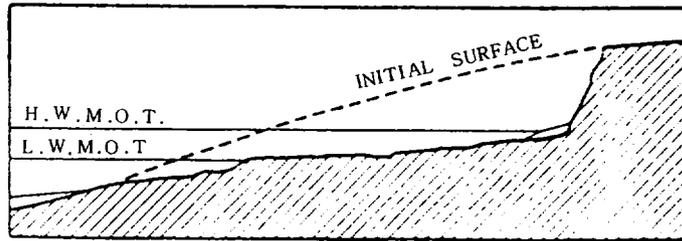


Fig. 4. wave cut plane figures.

쇄기작용을 유발하고 연장의 砲彈作用(artillery action)은 큰 힘을 발휘한다. 이와 같은 영력은 특수 微地形을 조성하는데 濟州島 암석해안에서는 잘 관찰되는 지형들이다.

제주도 波蝕臺上에는 여러 개의 段(terraces)이 잘 발달하여 있다. 이와 같은 波蝕段에 대하여 朴東源¹³⁾과 필자가 공동으로 조사연구한 바가 있다(1981). 이 조사에서 육지 쪽으로 5개의 단으로 구분하였다(Fig.5).



The development of a cliff and wave-cut platform

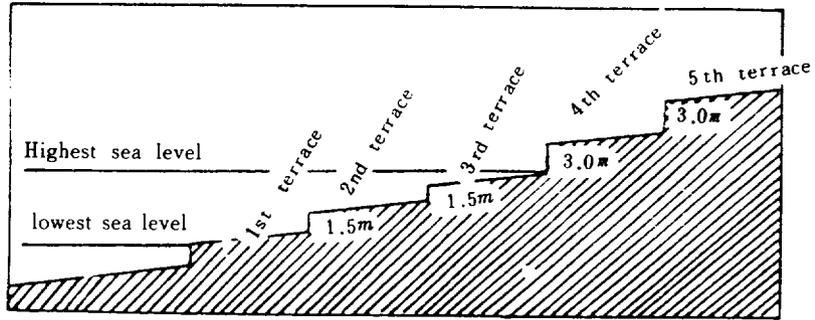


Fig. 5. wave cut terraces

제5단은 化石波蝕臺(fossil wave cut platform)인데 현재 波蝕을 거의 받지 않는 지형이다. 그 해발 높이가 서귀포에서는 15m, 성산포와 신창리에서는 7m 정도, 북촌리에서는 5m로 관찰된다. 그래서 이 波蝕臺는 제주도의 地盤運動의 역사를 입증하는 준거로 추정되는데 이 古波蝕臺가 형성된 후 서귀포 지역이 북촌리 지역보다 약 10m 정도 상대적으로 陸起하였을 가능성이 높다.

13) 당시 서울大學校 社會科學大學 副教授로 박사과정시 필자의 지도교수였으나 타계하였음.

제4단은 異常潮水面 이상에 걸쳐 있는데. 제주도 전 해안에서 그 높이가 거의 같다. 西歸浦·城山浦·新昌里 등지에는 넓게 분포하나 北濟州에서는 비교적 너비가 적으며 波蝕臺가 완전히 파괴된 곳에는 boulders berm이 형성되어 있는 게 일반적이다. 특히 4단은 joint와 fissures가 잘 관찰되나 제3단보다는 그 발달이 미약한 경향을 보인다. 일부 지역에 植生이 관찰되나 seawater sprayer와 강수에 의하여 생성된 water layer(E.S. Hills, 1949)에 의하여 solution process가 활발히 전개되고 있음이 관찰된다.

제3단은 평균 高潮水面과 일치하는 波蝕臺로서 摩蝕 연장이 풍부하여 현재 가장 활발히 波蝕이 진행되고 있는 곳이다. joint와 fissures가 가장 잘 발달하여 암석들이 4~6각형(30×30×40cm)으로 대량 분리되고 있다. 그 외에 solution pan, solution pits, tafoni들이 잘 관찰되는데 특히 제3단과 제4단 단면에 있는 tafoni들이 비교적 큰 것이 특징이다.

제1단과 제2단은 평균 水位面 이하에 걸쳐 있는데 제1단은 최저 干潮水面, 제2단은 평균 干潮水面과 일치하는 것으로 관찰되었다. 제2단은 西歸浦와 城山浦 일대에서는 관찰되나 기타 지역에서는 거의 없으며 대부분 파괴되어 제3단과 연결되어 있는 것이 일반적이다. 제1단과 제2단은 波蝕營力外에 海藻類가 다량으로 밀착되어 있어서 生化學的 營力이 활발한 곳으로 관찰되었다.

濟州島 波蝕臺에서는 이와 같은 海洋營力 지형 외에도 陸上營力地形이 잘 관찰된다. 특히 波蝕에 의하여 노출된 噴石丘의 噴氣空들이 잘 관찰된다. 噴石丘가 波蝕된 지역에는 대부분 높은 단애를 형성하고 있는 것이 일반적이다. 그것은 噴石丘 내부의 암석이 내부분출에 의하여 형성되어 있기 때문에 암석특성이 단애형성에 적합하기 때문이다.

3. 海濱과 砂丘

海濱(beach)이란 말은 波蝕臺(along and on)에 堆積되는 岩稍의 現世層이라 정의되어야 한다(W.D. Thornbury). 海水面 변동에 의한 가능성을 갖고 있기 때문이다. 海濱은 해안을 따라 수백 마일 까지 뻗어가는 수도 있으며 누덕누덕 쪼개어진 불연속적일 수도 있는데 灣이나 혹은 內浦의 頭部에서 제한된다. 이것은 파도가 headland에서는 수렴하여 波蝕이 강화되고 灣에서는 분산하여 약

화되기 때문이다.

long shore currents와 beach drifting 등은 headland에 대하여 灣 쪽으로 모래를 운반하는 경향이 있으며, 폭풍파도와 津波는 海濱侵蝕을 조장하고 평온한 海水運動은 堆積을 증가시킨다 (Shepard and la Fond, 1940). 海濱의 물질은 육지와 바다에서 공급되는데 파도와 그 波碎는 확실히 물질을 육지 쪽으로 이동시킬 수 있다 (Grant, 1943). Johnson(1919)은 영국 해안에서 7~10마일 거리의 수심 약 20길(fathom) 지역에 떨어뜨린 shingle and chalk가 폭풍파도에 의하여 해안에 운반되었던 입증을 제시한 바가 있다.

제주도의 海岸砂濱은 지역적 특성을 갖는다. 그 특성은 전술한 波蝕臺 제3단과 제4단이 완전히 波蝕된 곳에서만 堆積되어 있으며 그 堆積物의 공급원 및 성질과 砂濱의 형태가 이색적인 데 있다. 이러한 특성을 관찰하기 위하여 海濱 구성물질의 粒徑에 의하여 海濱 형태를 분류함이 가장 적당한 접근방법이라 생각된다. Wentworth scale (E.C.F. Bird, 1964)에 의거 boulders beach(직경 256mm 이상), shingle beach(직경 256~2mm), sand beach(2~1/10mm)로 구분할 수가 있다.

제주도의 海濱物質은 거의가 암석해안에서 공급된 물질이기 때문에 대부분 boulders와 shingles로 구성되어 있다. headland 지역에 특히 波蝕이 활발히 진행되는 곳은 예외 없이 boulders beach가 형성된다. boulders의 粒徑이 때에 따라서는 2~3m에 달하는 원형바위가 분포하는 곳도 있다.

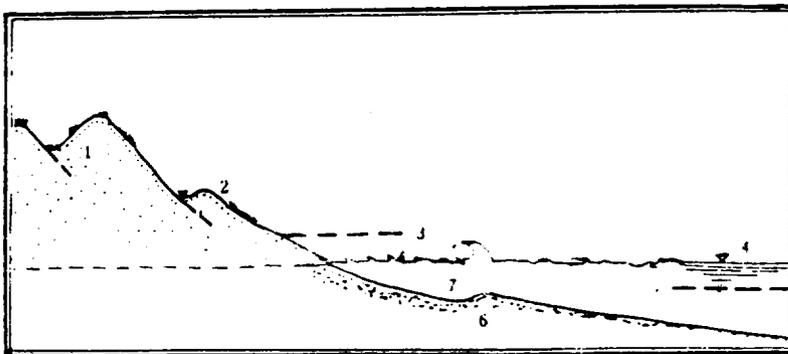
headland에서 灣頭에 가까워질수록 波蝕에너지의 감소에 병행하여 그 粒徑이 작아지면서 shingles beach로 그 형태가 전환된다. 특히 이 지역에는 태풍시 이상 高水位의 Swash에 의하여 형성된 boulders berm 혹은 shingles berm이 대량으로 분포하여 해안을 보호하고 있는 것이 일반적이다. 이러한 半永久的 berm에는 植生이 잘 정착한다(Photo 2).

Sand beach의 분포는 극소적이라 할 수 있다. 특히 그 구성물질에서 玄武岩質 砂濱과 貝砂砂濱으로 구분된다. 제주도 하천은 集水面積이 극히 좁기 때문에 모래 운반량이 적어 일부 중요 하천 하구에서 玄武岩質 砂濱을 형성하고 있을 뿐이다. 그러나 城山浦 新陽里 혹은 和順에처럼 하천 공급이 전연 없는 해안에서 城山層과 같은 火山砂 堆積層이 波蝕되면서 공급되는 경우에 비교적 규모가 큰 玄武岩質 海濱이 형성되는 경우가 많다. 한편 表善·挾才·細花

에서처럼 貝砂砂濱이 다량으로 분포하고 있다. 貝砂는 가벼워서 바람에 의하여 잘 이동되는데 이 지역에서 內陸 3~4km까지 깊숙히 移動되어서 砂丘를 형성하고 있다. 계절적 砂濱의 형태변화는 특히 가을과 겨울의 波浪이 높은 계절에 波蝕에 의하여 급경사를 형성하고 있으며 봄과 여름에는 堆積에 의하여 비교적 완경사 砂濱을 형성하고 있다(Fig.6).

海濱의 모래가 바람에 운반 堆積될 때 砂丘가 형성되는데 비교적 넓은 지역에 형성되어 있다. 남쪽 해안의 玄武岩質 모래에 의하여 형성된 砂丘는 비교적 바람 운반력에 저항성이 강하여 하나의 “列”만을 가진 砂丘를 관찰할 수가 있으나 북부지역 혹은 貝砂地域에서는 砂丘가 이동 중이기 때문에 다양한 砂丘를 형성하고 있다. 특히 新陽里 섭지코지와 狹才·細花지역에는 blowout-dunes도 관찰되며 현세 이동되고 있는 砂丘가 관찰된다(Photo 3).

모래는 지표면에 植生이 없을 때 saltation과 surface creep에 의하여 이동한다. 그러나 植生에 의하여 砂丘가 정착되고 성장되는 것이다. 植生은 뿌리의 接着作用과 뿌리에서 발산하는 炭酸에 의하여 石灰物質이 용해되어 砂丘를 結石化시키므로써 砂丘를 안정시킬 뿐 아니라 출기와 잇은 더욱 모래를 정착시킨다. 제주도 砂丘의 정착적 植生은 무릇(*Scilla Sinensis Merrill*), 향부자(*Cyperus rotunds. L.*), 방동산이(*Cyperus amuricus max*), 띠(*Imperata cylindrica Koenigii*



(1) dunes (2) berm (3) high water (4) mean water level
(5) low water (6) bar (7) Trough

Fig. 6. beach and dune.

Durandet Schintz), 매림풀(Marram grass), 마편초(verbena Officinalis L), 순비기 나무(Vitex rotundfolia, L. fie), 소나무 등인데 原生 砂丘植生은 향부자·방동산 이·매림풀·순비기나무였다.

IV. 討 論

제주도 해안지형은 玄武岩의 분출형태와 그 암석학적 특성에 의하여 영향을 받고 있는 전형적인 암석 해안인데 다음과 같이 요약될 수 있을 것 같다.

1) 波蝕이 현저하게 진행되고 있어서 후퇴하고 있는 해안 특성을 잘 나타내고 있으며 幼年期 海岸地形으로 관찰된다.

2) 암석의 자세와 암석학적 특성에 의하여 해안지형 형태가 상당한 영향을 받고 있다.

3) 파식대는 波蝕進行度에 따라 다음과 같이 5개의 단으로 구분될 수 있다.

① 제5단은 異常高水位面보다 3m정도 더 높은 古波蝕臺인데 제주지역보다 서귀포 지역이 약 10m 정도 상대적으로 융기된 지반운동을 예측할 수가 있다.

② 제4단은 異常高水位面に 걸쳐 있는 波蝕臺로 현세 water sprayer와 water layer의 영향을 심히 받고 있다.

③ 제3단은 주 波蝕臺로서 solution pan, tafoni, pothole, grooves가 다량으로 관찰되고 fissures, Joints가 잘 발달하며 岩塊들이 다량으로 分離波蝕되고 있다.

④ 제1단과 제2단은 生化學的 營力이 活發히 진행되고 있으며 제2단이 관찰되는 지역은 西歸浦·城山浦 등 일부 지역에 국한된다.

4) 제3단과 제4단의 파괴 정도에 따라 해안 波積(wave built) 지형이 상당히 발달되어 있다.

5) 海濱은 구성물질의 粒徑에 의하여 boulders beach, shingles beach, sand beach로 구분되며 波浪에너지가 풍부하고 개방된 해안에는 boulders berm과 shingles berm이 잘 발달하고 있다.

6) 河川河口的 일부지역에 玄武岩質 海濱이 극소적으로 분포하고 新陽里 和順에처럼 火山砂 堆積 지형이 波蝕되는 곳에는 비교적 규모가 큰 玄武岩質 砂濱이 발달한다.

濟州島 海岸地形에 대한 一考察

7) 貝砂砂灘이 현저하게 분포하며 砂丘가 잘 형성되고 있는데 현세도 상당히 파괴되어 이동되고 있음이 관찰된다.

8) 砂丘定着의 주요 植生은 향부자·방동산이·매립풀·순비기나무임이 확실하다.

9) 제주도 전역의 해안, 해저에서 혹은 육상에서 해수면 변화에 의한 化石地形이 뚜렷하게 나타나 있다.

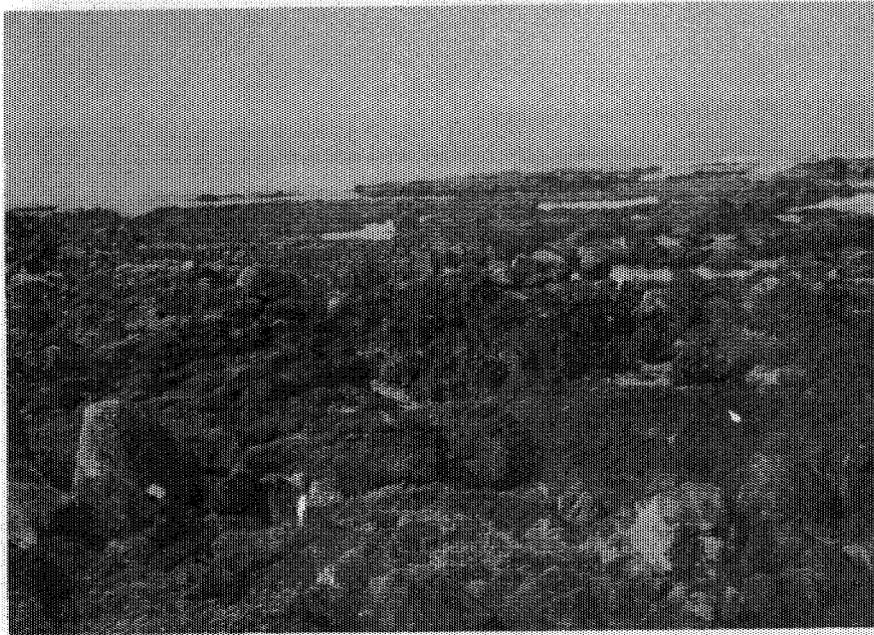


photo 1. Shore Platform



photo 2. Boulder Berm

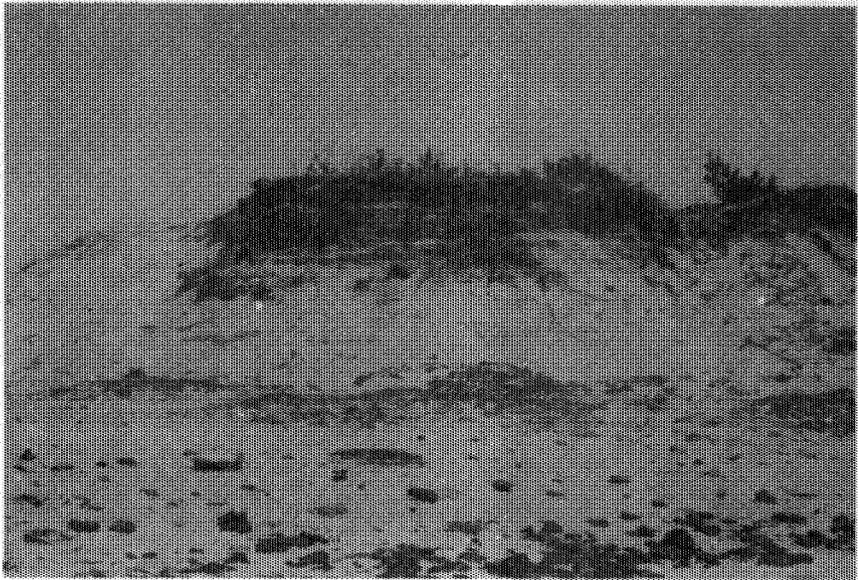


photo 3. Dune



photo 4. Crescenform

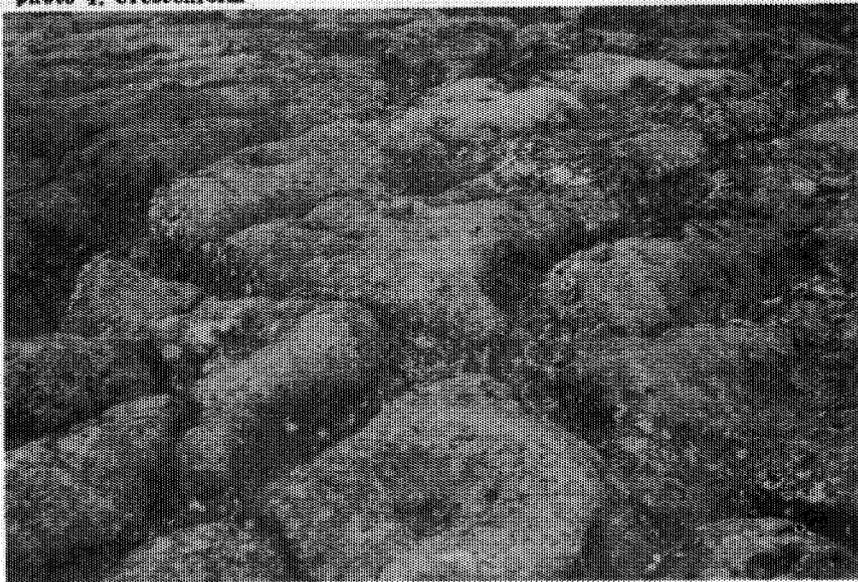


photo 5. Fisuren



photo 6. Pothole

References

1. 權赫在, 1977, “注文津—江陵間의 海岸地形과 海濱 堆積物質”, 《教育論叢》 7號, 高大教育大學院.
2. 權赫在, 1980, 《地形學》, 法文社.
3. 金鳳均, 1969, “濟州島에 發達한 砂丘層의 古生物學的 研究”, 《地質學會誌》 10卷2號.
4. 金相昊, 1963, “濟州島의 自然地理”, 《地理學》(大韓地理學會誌) 第1號, 大韓地理學會.
5. 朴東源, 1977, “遠隔探查方法에 依한 淺水灣干潟地 地形研究”, 《地理學》 第15號, 大韓地理學會.

6. 朴東源, 1980, "古群山 群島의 地形", 《韓國自然保存協會 調查報告書》第18號.
7. 元鍾實, 1976, "濟州島에 分布하는 火山丘의 構造 解釋에 關한 研究", 《理學論集》第2輯, 建國大學校 附設應用科學研究所.
8. 元鍾實, 姜相培, 1979, "濟州島 南·北 斜面에서의 地形發達의 比較 研究", 《理學論集》第5輯, 建國大學校 附設應用科學研究所
9. Bascom, W., 1964, *Waves and Beaches*, Anchor books Doubleday & Company Inc.
10. Bird, E.C.F., 1965, *Coastal Land Forms*, The Australian National University.
11. Cotton, C. A., 1963, Levels of Planation of Marine Benches, *Zeit. fur Geom.* Bd. 7, Heft 2, pp.97~111.
12. Dietz, R. S., 1863, Wave-base marine profile of equilibrium and wave-built terraces; A critical appraisal, *Geol. Society of America Bulletin*, V.74, pp.971~990.
13. Dzulynski, ST. and Kotarba, A., 1979, Solution pans their bearing on the deveopment of pediments and tors in granite, *Zeit. fur Geom.* Bd. 23, Heft 2, pp.172~191.
14. Ellenberg, L., 1978, Coastal types of vene zuela, *Zeit. fur Geom.* Bd. 22, Heft 4, pp.439~456.
15. Emery, K. O., 1946, Marine Solution basins, *The Journal of Geology*, V.54, pp.209~228.
16. Fairbridge, R. W., 1968, *The Encyclopedia of geomorphology* (Earth science Volume III), Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., pp.658~662, pp.859~865, pp.968~970, pp.1033~1036.
17. Goudie, A., 1974, Further experimental investigation of rock weathering by salt and other mechanical processes, *Zeit. fur Geom.* Bd. 21, pp.1~12.
18. Hills, E. S., 1971, A study of cliffy coastal profiles based on examples in Victorica, Australia. *Zeit. fur Geom.* Bd. 15, Heft 2, pp.137~180.

19. King, A. M., 1966, *Beaches and Coasts*, Edward Arnold L.T.D.
20. Martini, I. P., 1978, Tafoni weathering with examples with Tuscany, Italy, *Zeit. fur Geom.* ed. 22, Heft 6, pp.44~67,
21. Russel, R. J., 1959, Caribbean beach rock observations, *Zeit, fur, Geom.* Bd. 3, Heft 3, pp.227~235.
22. Small, R. J., 1979, *The study of land forms*, Cambridge University press, pp.417~479.
23. Steers, J. A., 1971, *Applied Coastal Geomorphology*, The M. I. T. Press.
24. Thornbury, W. D., 1969, *Principles of Geomorphology*, John wiley & sons, Inc., pp.420~471.
25. Wright, L. W., 1967, some characteristics of the shore platforms of the English channel coast and the northern part of the North Island, New zealand, *Zeit. fur geom.* Bd. 11, Heft 1, pp.36~46.