

<Short Note>

거제도 관포리 해안 퇴적층의 퇴적 환경과 시기

이진영 · 김진철* · 임재수 · Katsuki Kota · 홍세선 · 문진아 · 김영은

한국지질자원연구원 국토지질연구본부 제4기지질연구실

요 약

거제도 관포리 해안에 분포하는 미고화 퇴적층은 지금까지 홀로세 동안에 형성된 해안기후단구로 알려져 왔다. 이 연구에서는 정밀 고도 측량, 탄소연대측정 그리고 퇴적상 분석 등을 통하여 이 퇴적층의 퇴적 환경과 퇴적시기를 재해석 하였다. 조사 결과, 이 퇴적층은 상부 역질 점토층, 중간 유기물 점토층 그리고 하부 각력퇴적층으로 구분되며, 퇴적시기는 4380 cal yr BP부터 140 cal yr BP 사이로 측정되었다. 해안 자갈의 특징을 보이는 상부 퇴적층 내의 자갈들은 분포 형태와 배열 방향으로 미루어 폭풍, 해일 등과 같은 일시적 연안 침식에 의해 사면 위로 운반된 후 해안 방향으로 재이동 된 것으로 해석된다.

주요어: 거제도, 미고화 퇴적물, 탄소연대, 해안단구, 해수면

Jin-Young Lee, Jin Cheul Kim, Jaesoo Lim, Kota Katsuki, Sei Sun Hong, Jin Ah Moon and Yong Eun Kim, 2013, Depositional environments and ages of coastal deposits in Gwanpo-ri, Geoje Island. Journal of the Geological Society of Korea. v. 49, no. 6, p. 661-667

ABSTRACT: Unconsolidated sediments exposed in the slope above the beach in Gwanpo-ri, Geoje Island, have been regarded as a climate-controlled coastal terrace deposits, which were formed during the Holocene. In this study, their depositional environments and ages are reinterpreted by high precision measurements of sediment elevation, radiocarbon dating, and sedimentological facies description. The sedimentary sequence is divided into the upper pebbly mud deposit, the middle organic-rich mud deposit, and the lower slope deposit, of which carbon ages range from 4380 cal yr BP to 140 cal yr BP. The distinctive coastal pebbles and their distribution pattern in the upper deposit indicate that they were transported from pebble beach to the slope by coastal erosion during extreme coastal events such as storm surge.

Key words: Geoje Island, unconsolidated sediments, carbon dating, coastal terrace, sea level

(Jin-Young Lee, Jin Cheul Kim, Jaesoo Lim, Kota Katsuki, Sei Sun Hong, Jin Ah Moon and Yong Eun Kim, The Quaternary Geology Department, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea)

1. 서 론

한반도 남동해안에 분포하는 해안단구들은 해수면 변동 및 지각의 융기와 관련된 중요한 주제로 연구되어 왔다(Choi and Lee, 2007; Park, 2011; Lee *et al.*, 2013). 이와 함께 남해안에서도 이 지역의 기후 변화와 지형발달과정 해석과 관련하여 다수의 해안단구가 보고되어 왔으며(Lee and Park, 2006; Yang,

2008, 2011; Yang *et al.*, 2013), 특히 순천시 해룡면 상룡리에 위치한 와온마을과 거제도 관포리에 위치한 신촌마을 인근 해안의 해안단구가 대표적인 사례이다(Yang, 2011; Yang *et al.*, 2013). 연구지역은 파도의 영향을 직접적으로 받는 해안에 위치하며, 최근에 축조된 석축에 의해 추가적인 해안침식은 일어나지 않고 있다. 이 석축의 위에는 해변 자갈을 포함하는 퇴적층이 약 4 m 정도 노출되어 있으며, 퇴적

* Corresponding author: +82-42-868-3137, E-mail: kjc76@kigam.re.kr

층 앞쪽에는 둥근 모양의 자갈로 이루어진 현생 자갈 해변 퇴적층이 분포한다.

기존 연구들에서는 석축 위의 퇴적층이 파도의 침식에 의해 노출된 해성기원의 단구퇴적층으로 해석되었으며, 특히 퇴적층의 기저부가 해수면 상승에 의해 침식 작용을 받아 형성된 '해안기후단구'라 해석되었다(Yang, 2008, 2011). 그러나 아직까지 이 퇴적층의 단구성 퇴적 기원 및 퇴적시기에 대한 명확한 근거 자료가 제시되지 않은 상태이므로, 이 연구에서는 이 퇴적층의 형성시기를 파악하고 퇴적층의 기원 및 퇴적환경을 재해석하고자 한다.

2. 연구지역 및 연구방법

행정구역상 거제시 장목면 관포리에 속하는 연구지역은 소규모의 만곡부 형태로 해안선을 따라 현생 자갈 해변이 분포한다(그림 1). 대봉산(257.7 m)과 제석산(269.7 m)이 배후산지를 형성하며 해안과 인접한 배후 산지의 말단부에는 연구대상 퇴적층이 수평적으로 연장되며 노출되어 있다. 산지로부터 해안까지 소하천이 발달되어 있지만 그 길이가 약 400 m 이내이며, 산지 협곡을 따라 발달되었기 때문에 이 퇴적층에 직접적인 영향을 미치지 않는다. 이 연구

에서는 연구지역에 노출된 해안 퇴적층을 대상으로 야외조사를 통해 퇴적상을 구분하였고, Topcon 사의 Hyper GA 수신기를 이용하여 VRS RTK-GPS (Virtual Reference Station-Real Time Kinematic GPS) 정밀 측량을 통한 퇴적층 해발고도를 측량하였다. 또한 층위마다의 환경해석을 위하여 구조 분석을 실시하고, 퇴적층에 포함된 해안자갈을 채취하여 그 크기와 모양 및 방향을 측정하였다. 퇴적층의 시기를 명확하게 파악하기 위하여 퇴적층에 포함된 5개의 숯 시료와 3개의 토양 시료를 채취하여 한국지질자원연구원 가속기 질량분석기(AMS)를 이용하여 방사성 탄소 연대측정을 실시하였다. 연대 측정용 토양시료의 경우 휴믹산(Humic acid) 처리를 통해 흑연을 추출하였고, 숯 시료는 산-염기-산(AAA) 화학처리를 통해 오염물을 제거한 후 분석용 흑연을 추출하였다. 모든 탄소 연대의 보정은 Oxcal을 이용하였고 2σ 오차 범위를 활용하였다(<http://c14.arch.ox.ac.uk>).

3. 연구결과 및 토의

3.1 GPS 측량 및 연대분석 결과

연구지역에 대한 GPS 측량 당시 해수면 고도는 0.4 m이며, 해발고도 3.0 m까지 파도에 의해 형성된

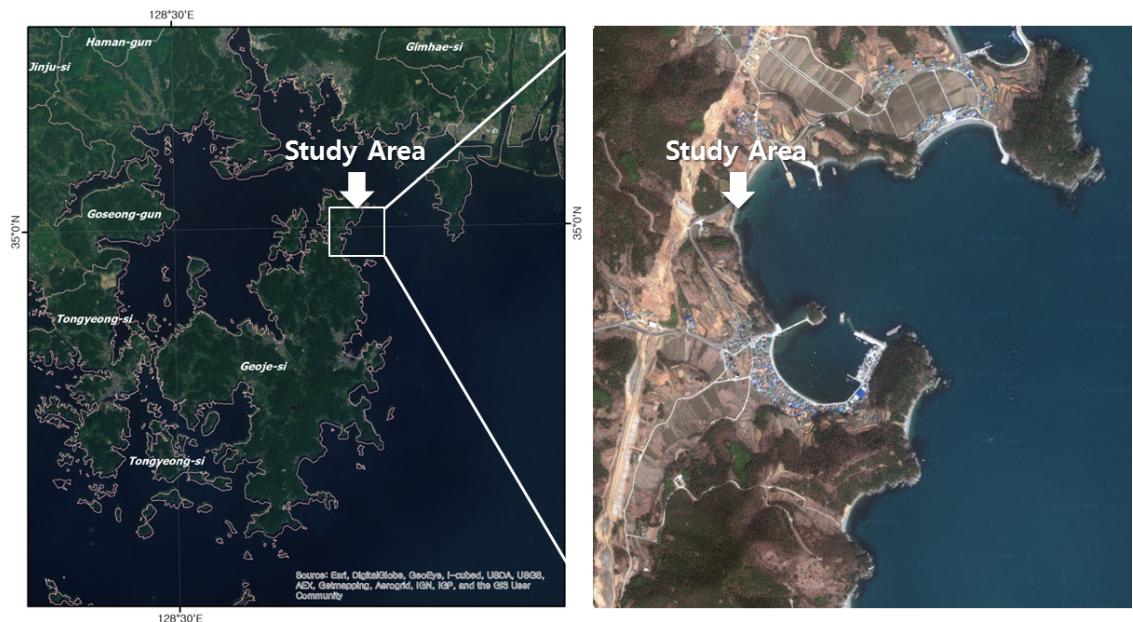


Fig. 1. Location map of the study area and a close-up view of the Gwanpo-ri area.

자갈 해변이 범(beach berm)의 형태로 연구지역에 분포되어 있다. 해안의 침식을 방지하기 위한 석축 위로 연구 대상 퇴적층이 4.3 m부터 7.6 m까지 노출되어 있으며, 최상부에는 식생이 분포한다(그림 2). 이 퇴적층에 대한 탄소연대결과는 대부분 층서적으로 잘 일치하며 해발고도 5.84 m부터 7.30 m까지 4380 cal yr BP에서 140 cal yr BP 사이의 퇴적연대

범위를 보인다(표 1). 특히 해안 자갈을 포함하는 약 6.4 m부터 7.3 m까지의 퇴적구간은 1780 cal yr BP부터 140 cal yr BP 사이의 퇴적연대를 보인다.

3.2 퇴적상 및 퇴적 환경

연구 대상 퇴적층은 노두상에서 3개의 대략적인 퇴적상으로 구분되며, 자갈층이 포함된 퇴적층을 경

Table 1. Radiocarbon dating results for eight samples from the Gwanpo-ri deposit.

Sample ID	Elevation (MSL: m)	Material dated	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	^{14}C age yr BP	Calibrated age (2 σ range) Cal yr BP	Lab Code
GJS1-8A	7.30	Charcoal	-22.4	110 $\pm$ 30	140 $\pm$ 130	ITg130399
GJS1-7A	7.15	Charcoal	-31.8	80 $\pm$ 30	140 $\pm$ 120	ITg130390
GJS1-6A	6.84	Charcoal	-29.1	650 $\pm$ 30	610 $\pm$ 60	ITg130401
GJS1-5H	6.71	Bulk soil	-27.8	1370 $\pm$ 30	1300 $\pm$ 40	ITg130397
GJS1-4A	6.52	Charcoal	-21.9	1230 $\pm$ 30	1160 $\pm$ 100	ITg130410
GJS1-3H	6.38	Bulk soil	-20.3	1830 $\pm$ 30	1780 $\pm$ 80	ITg130398
GJS1-2A	6.02	Charcoal	-28.1	2960 $\pm$ 30	3120 $\pm$ 120	ITg130408
GJS1-1H	5.84	Bulk soil	-16.7	3930 $\pm$ 30	4380 $\pm$ 130	ITg130396



Fig. 2. An overall view of the study area and the elevation profile between pebble beach and coastal deposits.

계로 상부와 중간부 퇴적층이 명확하게 구분된다. 상부 퇴적층(Unit I)에는 다수의 숯 조각과 해빈 자갈의 형태를 띠는 자갈들이 포함되어 있음이 특징이다(그림 3, 4). 중간부 퇴적층(Unit II)은 유기물을 많이 포함하는 사질 점토층이며, 하부 퇴적층(Unit III)은 사면 위에 놓이며 원마도와 분급이 매우 불량한 다양한 크기의 자갈들이 우세하게 포함되는 퇴적층으로써 사면에서 흘러내려온 사면퇴적층으로 해석된다(cf. Yang, 2008; Choi, 2012). 상부 퇴적층과 중간부 퇴적층은 경계가 명확하나 하부 퇴적층과의 경계는 점이적이다. 해빈 자갈을 포함하는 상부 퇴적층의 기질은 주로 세립의 사질 점토로 구성되며, 상부 퇴적층 내에서는 기질의 변화가 거의 나타나지 않는다. 상부 퇴적층의 자갈들은 부분적으로 충리를 보이며 연장성이 확인되나 상부 퇴적층의 하부 약 20 cm를 제외하면 자갈들이 산발적으로 분포하며 충리를 보이지 않는다. 퇴적층에 포함된 자갈들은 하부에 가장 많이 분포하며, 상부로 갈수록 자갈의 크기가 작아지고 산출 빈도는 낮아진다. 유기물을 포함한 중간부의 사질 점토층은 약 40 cm 두께로 질

은 갈색을 띠며 해안 자갈들을 포함하지 않는다. 상부 퇴적층 내에도 해안 자갈이 산발적으로 포함된 일부 구간에서는 유기물을 많이 포함한 사질 점토 퇴적층이 부분적으로 관찰된다. 하부 퇴적층은 2 cm 미만의 각력들이 우세하며 사질 점토의 기질로 구성된다.

전체적인 퇴적상의 변화는 사면 퇴적작용이 우세한 환경에서 하부로부터 각력을 포함한 사질 점토층이 퇴적된 이후에 유기물을 포함한 사질 점토층과 해안 자갈을 포함한 사질 점토층으로 변화된 양상을 띤다. 이러한 퇴적상의 변화를 퇴적 시기별로 유추해 보면 다음과 같다. 약 4380 cal yr BP 이전부터 3120 cal yr BP까지는 사면붕적기원 쇄설류의 유입으로 각력을 다수 포함하는 사면퇴적물이 퇴적되었으며, 지속적인 사면 퇴적 과정에서 유기물을 포함한 세립의 사질 점토 퇴적층이 약 1780 cal yr BP까지 퇴적되었다. 이후 해수면 상승에 따른 해안 환경 변화(Hwang and Yoon, 2011; Park, 2011)로 해안과 인접한 사면에 사질 점토 퇴적물이 퇴적되는 과정 중에 해안으로부터 폭풍 등에 의해 해안 자갈이

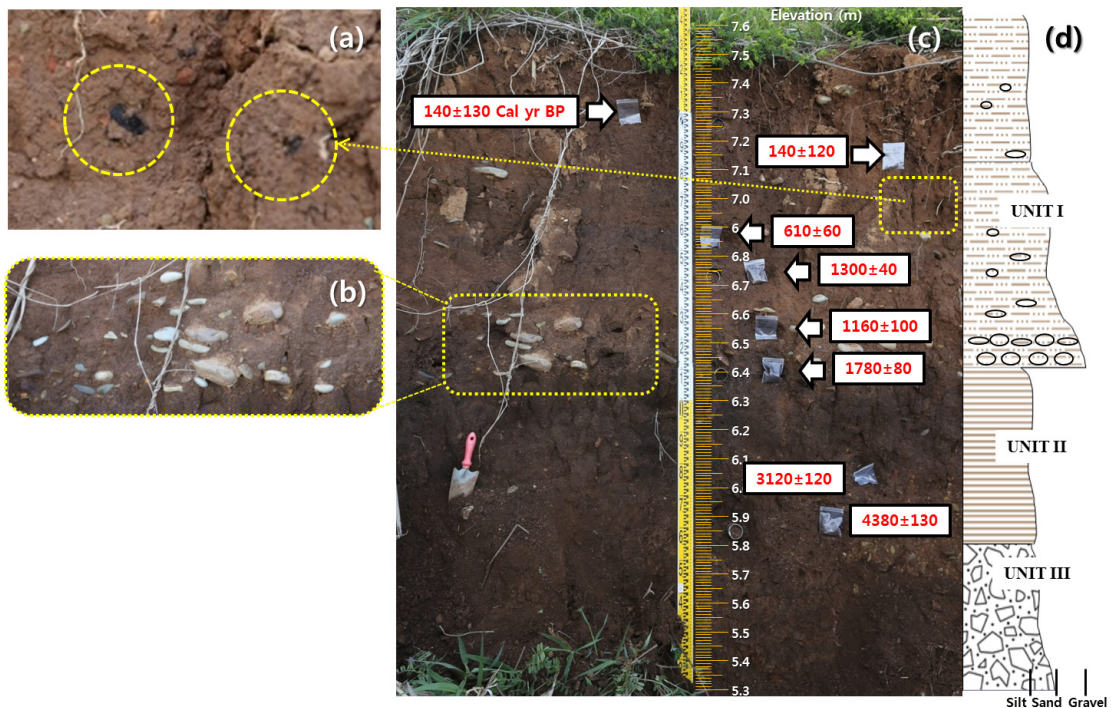


Fig. 3. (a) Charcoal fragments samples within the deposit, (b) pebbles within the deposit. (c) Trenched section with the calibrated carbon dating (cal yr BP) results of the deposit, and (d) stratigraphic columnar section.

다량 유입되기 시작하였으며 간헐적인 유입이 140 cal yr BP까지 지속된 것으로 해석된다.

3.3 퇴적물의 기원 및 해안 자갈의 퇴적 작용

구조류 분석 결과, 연구 대상 퇴적층에서는 구조류가 산출되지 않았다. 기존의 연구 결과(Yang, 2011)에서와 같이 해양 환경의 조간대 퇴적층일 경우 점토층 내에 해양성 구조류의 잔존 가능성이 높을 것으로 예상되었으나, 해양성 뿐만 아니라 육성 기원의 구조류 또한 발견되지 않았기 때문에 구조 분석에 의한 퇴적 기원을 해석하기 어렵다. 그러나 이 결과는 구조류가 서식 또는 보존되기 어려운 환경에서 퇴적되었을 가능성을 지시한다.

상부 퇴적층에 포함된 해안 자갈은 약 20 cm 정도의 구간만 층리면으로 구분될 정도로 층을 이루지 않고 산발적으로 분포하며, 최상부로 갈수록 산출빈도가 낮아지는 경향은 해수면 상승에 의해 나타나는 해안단구의 자갈층(Choi *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2013)과는 다른 특성이다. 또한 퇴적층 내에 포함된 자갈의 배열 형태를 통해 자갈의 퇴적 작용과 퇴적 환경 유추가 가능한데, 그림 4에서 보는 바와 같이 연구지역 퇴적층 내에 포함된 자갈들은 크기와 형태

가 다양하고 자갈의 장축 방향이 주로 해안선과 수직을 이룬다. 이는 파도 등에 의해 퇴적되는 해빈 자갈의 장축방향이 해안선에 대체로 평행으로 배열되는 것과는 다른 특성으로, 연구지역 퇴적층 내의 자갈이 육지에서 해안 방향으로 재 이동하여 퇴적되었음을 지시한다(cf. Buscombe and Masselink, 2006). 이와 함께 자갈을 제외한 퇴적층 내부에서는 해수면 상승으로 인한 퇴적환경 변화의 흔적들이 관찰되지 않는다. 이러한 특징들은 관포리 해안 퇴적층이 해성기원 단구 퇴적층이 아닐 수 있음을 지시한다.

해빈 자갈들을 포함하는 6.4 m부터 7.3 m까지의 퇴적층 구간은 1780 cal yr BP부터 140 cal yr BP 사이의 퇴적연대를 보인다. 이를 고려하면 이 퇴적층의 퇴적 기원에 대한 두 가지의 가설이 가능하다. 첫 번째는 퇴적층이 발달하기 이전의 홀로세 어느 시기에 현재의 해수면보다 높았던 시기가 존재하였으며 (Park *et al.*, 1994; Yang, 2008; Hwang and Yoon, 2011), 이 때 연구대상 퇴적층보다 상위에 퇴적된 해빈 기원의 자갈들이 해수면 하강 후에 사면을 따라 해안 쪽으로 재 이동되어 퇴적된 경우이다. 두 번째는 현재와 비슷한 해수면 고도에서 연안 폭풍 등에 의해 해빈 자갈이 육지 쪽으로 이동되어 연구지역

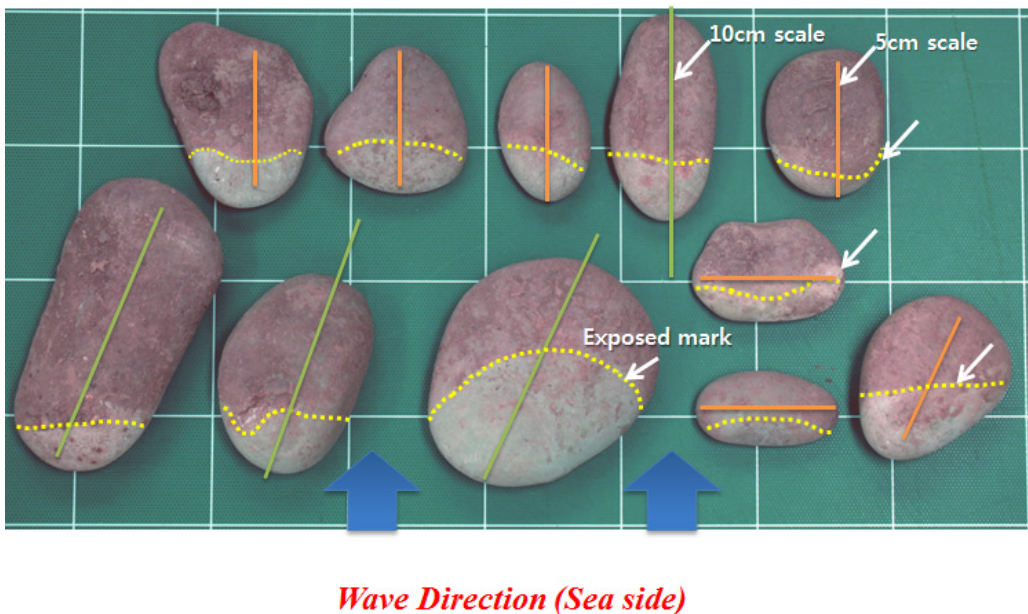


Fig. 4. The shape and orientation of pebbles in the upper pebbly mud deposits. Note that the orientation of the long-axis is nearly parallel to the wave direction. Pebbles were picked out from the upper pebbly mud deposit (Unit I).

퇴적층에 혼입되어 잔류되었을 경우이다.

첫 번째 가정에서는 퇴적층 상위 어느 곳에 과거 해수면 상승으로 퇴적된 퇴적층의 증거가 필요하다. 그러나 현재 퇴적층의 상위지역에 해안단구의 흔적들이 확인되지는 않으며, 배후산지와와의 거리를 고려하면 연구 지역 상위 사면에 해안단구가 분포할 가능성은 매우 낮다. 두 번째 경우에는 연안 폭풍 등에 의한 퇴적 기록이 현재의 퇴적층에 남아있어야 한다. 그러나 연안 폭풍 등에 의한 퇴적기록은 자갈 해변 환경에서 쉽게 남겨지기 어려운 문제점이 있다. 다만, 자갈을 포함한 상부 퇴적층과 중간부 퇴적층 사이의 뚜렷한 경계면은 자갈의 유입과 동시에 기존 퇴적층의 침식 작용이 진행되었음을 지시한다.

연안 폭풍이나 해일 등에 의해 해안 자갈이 해수면 보다 높은 위치에 퇴적될 수 있음은 여러 연구에 의해 제시된 바 있다(cf. Nichol *et al.*, 2003; Buscombe and Masselink, 2006; Etienne and Paris, 2010; Fichaut and Suanez, 2011). Hall *et al.* (2006)은 폭풍 해일 또는 지진해일에 의해 왕자갈(boulder) 크기의 퇴적물이 고도 10 m 이상까지 퇴적됨을 보고하였다. 따라서 이번 연구지역의 측량 당시 해수면 고도 0.4 m를 기준으로 자갈 퇴적층이 분포하는 6.4 m부터 7.3 m 고도까지는 해안 자갈이 유입될 수 있는 가능성은 충분하다. 따라서 연안 폭풍 등의 일시적 해안환경 변화가 상부 퇴적층에 포함된 해안 자갈의 퇴적기원으로 해석하는 것이 더욱 타당할 것으로 판단된다. 한편 1780 cal yr BP부터 140 cal yr BP 사이에 해안 자갈이 산출되는 특징은 연안 환경 및 기후 변화가 그 이전과는 달랐을 가능성을 지시한다. 이는 상대적으로 여름몬순이 약하였으며 강수량이 적은 시기에서 강수량이 증가하며 여름 몬순이 강해지는 시기와 해안 자갈이 산출되는 시기가 유사함을 의미한다(Dykoski *et al.*, 2005).

이번 연구결과는 거제도 관포리 신촌마을 인근 해안에 분포하는 사면퇴적층이 해수면 변동의 직접적인 영향으로 퇴적된 해성퇴적층이라는 이전의 해석과는 달리, 연안 폭풍 등의 해안 기후적인 요인으로부터 기인했을 가능성이 높음을 시사해 준다. 현재의 연구는 이 지역 퇴적층의 형성 과정과 환경에 대한 기초적인 연구결과를 요약한 것으로써 추후 해안자갈 유입과 기후와의 상관성 및 홀로세 동안의 기후 환경변화에 대한 추가적인 분석과 심도 있는

연구가 필요할 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원에서 수행하고 있는 “서·남해 연안육역 환경변화 예측 기초자료 발굴” 연구과제의 일환으로 수행되었습니다. 이 논문의 개선을 위하여 세심한 검토와 유익한 조언을 해주신 부경대학교 백인성 교수님과 익명의 심사위원께 감사드립니다.

REFERENCES

- Buscombe, D. and Masselink, G., 2006, Concepts in gravel beach dynamics. *Earth-Science Reviews*, 79, 33-52.
- Choi, S.G. and Lee, H.J., 2007, The correlation of the last interglacial terraces of the southwestern coast with those of the eastern and western coasts of the Korean peninsula. *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 14, 15-26 (in Korean with English abstract).
- Choi, S.G., 2012, Morphostratigraphical characteristics of deposits of gentle slope in the west slope of Cheongbyuk Mt., Kongju, Korea. *Journal of association of Korean Geographers*, 1, 67-74 (in Korean with English abstract).
- Choi, S.J., Merritts, D.J. and Ota, Y., 2008, Elevation and ages of marine terraces and late Quaternary rock uplift in southeastern Korea. *Journal of Geophysical Research*, 113, B10403, 1-15.
- Dykoski, C.A., Edwards, R.L., Cheng, H., Yuan, D., Cai, Y., Zhang, M., Lin, Y., Qing, J., An, Z. and Revenaugh, J., 2005, A high-resolution, absolute-dated Holocene and deglacial Asian monsoon record from Dongge Cave, China. *Earth and Planetary Science Letters*, 233, 71-86.
- Etienne, S. and Paris, R., 2010, Boulder accumulations related to storms on the south coast of the Reykjanes Peninsula (Iceland). *Geomorphology*, 114, 55-70.
- Fichaut, B. and Suanez, S., 2011, Quarrying, transport and deposition of cliff-top storm deposits during extreme events: Banneg Island, Brittany. *Marine Geology*, 283, 36-55.
- Hall, A.M., Hansom, J.D., Williams, D.M. and Jarvis, J., 2006, Distribution, geomorphology and lithofacies of cliff-top storm deposits: Examples from the high-energy coasts of Scotland and Ireland. *Marine Geology*, 232, 131-155.

- Hwang, S.I. and Yoon, S.O., 2011, Holocene climate characteristics in Korean Peninsula with the special reference to sea level changes. *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 18, 235-246 (in Korean with English abstract).
- Lee, G.R. and Park, C.S., 2006, Properties of Deposits and Geomorphic Formative Ages on Marine Terraces in Gwangyang Bay, South Sea of Korea. *Journal of the Korean Geographic Society*, 41, 346-360 (in Korean with English abstract).
- Lee, H.L., Paik, I.S., Kang, H.C. and Chun, J.-H., 2013, Occurrences and evolution of the second marine terrace deposits in the Yangnam-myeon, Gyeongju City, Gyeongsangbuk-do, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 49, 417-436 (in Korean with English abstract).
- Nichol, S.L., Lian, O.B. and Carter, C.H., 2003, Sheet-gravel evidence for a late Holocene tsunami run-up on beach dunes, Great Barrier Island, New Zealand. *Sedimentary Geology*, 155, 129-145.
- Park, J.-H., 2011, The Quaternary Environmental Research Trend of the Korea and Future Issues -Focused on Last Interglacial ~ Holocene Environmental Study of Physical Geographers. *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 18, 97-126 (in Korean with English abstract).
- Park, Y.A., Kim, B.K. and Zhao, S.R., 1994, Sea level changes of the Yellow Sea Basin. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, 29, 42-49 (in Korean with English abstract).
- Yang, J.H., 2008, Morphogenetic Succession and Coastal Climatic Terrace Associated with Quaternary Climatic Change, Southern Coast in Korean Peninsula. *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 15, 93-110 (in Korean with English abstract).
- Yang, J.H., 2011, Holocene Sea Level Reflected from Marine Terrace in Geoje Island and its Influences on Coastal Morphogenesis. *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 18, 101-112 (in Korean with English abstract).
- Yang, J.H., Kee, K.D. and Kim, Y.R., 2013, Morpho-climatic Milieu and Morphogenetic Succession of Coastal Terrace in Suncheon Bay. *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 20, 57-74 (in Korean with English abstract).

투 고 일 : 2013년 12월 12일

심 사 일 : 2013년 12월 13일

심사완료일 : 2013년 12월 29일