

한반도의 현세 융기율

남옥현*, 이호일, 전창표
한국지질자원연구원 국토지질연구본부

Holocene uplift rates in Korea

Wook-Hyun Nahm*, Hoil Lee, Chang-Pyo Jun
Geology Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

요약 : 지질-지형의 안정성을 논할 때에 가장 기본이 되는 것은 융기율이며, 융기율 산정을 위해 서 가장 널리 쓰이는 방법은 해안단구의 높이를 측정하는 것이다. 해안단구는 기본적으로 해수면 높 이에서 형성되는데, 현세 동안에는 해수면 높이와 해안단구의 높이 모두 불확실하다. 본 논문에서는 현세 동안의 해수면 높이, 해안단구 높이, 그리고 GPS 상시관측 결과 등을 토대로 한반도의 융기율 이 지역에 따라 차이가 있음을 밝히고자 하였다. 강원도와 전라도 해안은 최소한 현세 초기 이후 대 체로 안정한 것으로 보이며, 경상도 일대는 현세 중기 이후에 상당량 융기한 것으로 판단할 수 있 다. 한반도에서 지역적으로 융기율의 차이가 나타나는 양상은 육괴의 분포와 연관되어 있을 가능성 이 높다. 물론 이러한 육괴의 경계는 단층이므로 단층의 역할이 크겠지만, 기본적으로 지역적 융기 율의 차이는 육괴 자체의 특성에 따르는 것으로 보는 것이 타당할 것이다. 그 특성은 지구조 규모의 응력에 반응하는 정도 차이, 지각 두께의 차이 등을 포함할 수 있다.

주요어 : 현세, 융기율, 단구, 해수면, 육괴

Abstract : The most common method for estimating the uplifting rate is to measure the height of the coastal terraces. Coastal terraces are basically formed at the sea level position. During the Holocene age, both the height of the sea level and the coastal terrace are uncertain. The purpose of this paper is to clarify that the uplifting rate of the Korean Peninsula varies depending on the region, based on the height of sea level, the height of coastal terraces, and GPS observations. Gangwon-do and Jeolla-do provinces seem to have been stabilized at least since the beginning of the Holocene period. Overall distribution pattern of the uplifting rates on the Korean peninsula is likely to be related to the massifs. Of course, the boundaries of the massifs are faults, so the role of faults would be great. Essentially however, it is reasonable to consider that the difference in local uplift rates depends on the characteristics of the massif itself. The characteristics may include differences in response to stresses from tectonic movements, differences in crustal thicknesses, and so on.

Key words : Holocene, uplifting rate, terrace, sea level, massif

1. 서론

현세는 마지막 빙하기가 끝난 약 11700년 전부터 현재에 이르는 지질시대이다. 현세는 현재 사람들이 살고 있는 시대이므로 여러 측면에서 중요하지만, 현재의 지표면, 즉 지형이 형성된 시대라는 점에서 특히 중요한 의미를 찾을 수 있다. 지형이 변화하는데에는 여러 요인이 작용하겠지만, 그 중에서도 지반의 융기, 해수면 변화, 하천의 발달, 퇴적물의 침식, 운반, 퇴적 양상 등이 직접적으로 관련이 있다고 하겠다.

최근 2016년 경주 지진 (규모 5.8)과 2017년 포항 지진 (규모 5.4)을 비롯하여 크고 작은 지진이 계속 발생하고, 활성단층이 전국적으로 분포하고 있지만 정확한 위치와 규모, 그리고 재활성 여부가 확실하지 않고, 지구 온난화에 따라 해수면이 상승하면서 그 영향 범위를 예측하기 어려운 상황에서 우리나라 장기간 지질-지형의 안정성에도 많은 관심이 쏠리고 있다.

지질-지형의 안정성을 논할 때에 가장 기본이 되는 것은 융기율이다. 지반 융기는 기본적으로 판구조 운동에 기인하며 (Son et al., 2007), 우리나라도 매년 0.1-0.3 mm 정도로 융기하고 있는 것으로 알려져 있다. 예를 들어 지반이 매년 0.3 mm 씩 융기한다고 하면 10만 년 동안 30 m 융기한다는 결과가 나온다.

융기율을 파악하기 위해서는 보통 해안단구를 많이 이용한다. 한반도에서 해안단구 지형이 잘 나타나는 곳은 동해안 울진, 포항, 경주 일대이다. 약 12만5천년 전 (MIS 5e), 간빙기 시기에 해수면 높이가 현재보다 약 6 m 정도 높았을 때에 파도의 작용으로 만들어진 해안단구가 현재 18-35 m 정도 높이에 나타난다. 여기서 논란은 그 시기의 단구가 현재 18-20 m 높이인지, 또는 30-35 m 높이인지 하는 것이다. 이러한 논란은 지금도 계속되고 있으며, 아직까지 정설은 없다. 해안단구 형성 시기를 유추하는 연대측정 문제, 단구 지형면을 인지하고 높이를

측정하는 문제, 단층 활동에 의하여 해안단구 높이가 다르게 나타나는 문제 등에 있어서 연구자 사이의 이견이 있다.

한편, 해안단구는 과거 해수면을 지시하는 지시자로서 해수면 변동과 연동된다. 우리나라에서는 현세 동안 만들어진 해안단구 연구가 많지 않을 뿐만 아니라 해수면 변동과 종합적으로 고찰한 연구도 드물다. 이에 본 논문에서는 현세 동안 해수면과 단구 높이의 변화에 따른 융기율과 최근의 GPS 상시관측 결과에 따른 융기율을 고찰하고 상호비교하였으며, 이를 근거로 현세 한반도 지구조 운동의 양상을 살펴보고자 한다.

2. 해수면 변화

현세 동안의 해수면 변화는 지구 전체적으로 태양 일사량의 변화나 빙하 체적의 변화에 따른 기후환경을 이해하기 위해서, 또 지역적으로 연안 지형의 발달 과정과 신석기 사람들의 주거지와 토지 이용에 대해서 보다 명확하게 설명하기 위해서 이 문제는 매우 중요하다.

현세 이전의 퇴적층, 즉 현세 해수면 상승 이전의 지표면 바로 위에 놓이는 해성층이 퇴적된 연대를 알면 현세 초기에 해수면의 상승 시기를 유추할 수 있다. 해수면 높이의 지시자로 가장 널리 알려진 것은 해수면의 가장 육지쪽 경계에서 형성되는 유기물층 (organic-rich)이나 이탄층 (peat)이다. 그러나 지형면이나 지하수위 등 이탄층의 형성조건이 맞지 않는 경우에는 바로 쇄설성 해성 퇴적층이 쌓이기도 한다. 특히 해수면 상승 시기에 해성층이 퇴적되는 환경은 퇴적-침식-재퇴적이 매우 활발하기 때문에 해성층 자체가 해수면 상승을 지시한다고 보기 어려우나, 해수가 범람한 최소 연대를 나타낸다고 할 수 있다.

동해안의 석호에서 해수가 처음 범람한 시기와 높이는 매호에서 약 8370년 전에 -10.63 m 높이 (Katsuki et al., 2017), 그리고 송지호에

서 약 7360년 전에 -9.63 m 높이 (Song et al., 2018)로 보고된 바 있다. 또한 서해안 영산강 하구 일대에서는 약 10400년 전 -21 m 높이, 8600년 전 -12 m 높이 등으로 보고되었다 (Nahm et al., 2014). 이들 해수면 위치를 시간축과 높이축의 도표에 도시해 보면 거의 일직선 상에 놓이는 것을 알 수 있다. 즉, 강원도 동해안과 전라남도 서해안에서 현세 초기에 해수면이 범람한 시기와 높이는 대체로 같았을 것으로 추정할 수 있다. 그러나 현세 초기 이후에 동해안과 서해안 양쪽이 균등하게 융기하거나 침강하였다면 이들 해수면의 높이가 그 자체가 불확실한 것일 수도 있다.

3. 해안단구의 높이

해안단구의 높이는 지반의 융기 과정과 속도를 해석하기에 가장 유용한 증거로 알려져 있다 (Park et al., 2017). 하지만 우리나라의 해안단구 연구는 아직 절대연대 자료가 많지 않고, 해안단구 지형면에 대한 명확한 이해가 부족하다. 기존 연구에서 어떤 자료를 어느 정도 신뢰할 수 있는지를 잘 판단하고, 자료를 더 축적하여야 한다. 또한 해안단구 지형의 융기 양상이 한반도 전체적으로 동일한 것인지, 동해와 서해가 서로 다른 것인지 여부에 대해서도 신중한 논의가 필요하다.

약 12만5천년 전 (MIS 5e) 시기의 해안단구가 주로 논란의 대상이 되고 있는 와중에, 약 6000년 전 (MIS 1) 시기의 해안단구에 대해서는 보고된 바가 많지는 않다. Lee (1987)와 Kim (1990)은 영일만 남측에서 울산만에 이르는 대보-당사 지역에서 5개의 해안단구면을 분류하였는데, 제1단구 (송하단구, 3-5 m)를 기재하면서 현세 중기 해수면 고조기에 형성된 것으로 추정하였다. 또한 Hwang et al. (2003)는 울산-경주의 경계 지역인 지경리 일대에서 현세 지형면이 5-6 m 높이에 있는 것으로 보았

다. 그러나, 이들 해안단구는 인간활동에 의해서 원래의 형태가 거의 남아있지 않기 때문에 구분하기가 쉽지는 않다.

4. GPS 상시관측

우리나라에서는 1992년 한국천문연구원이 GPS 상시관측소를 개설하였으며, 2000년대에는 여러 GPS 기준망을 구축하면서 관측 좌표를 mm 수준의 정밀도에서 장기적이고 연속적으로 관측할 수 있게 되었다. 한국지질자원연구원 (2015)은 국토지리정보원과 한국천문연구원의 16개 GPS 상시관측소의 2004년 8월 8일부터 2008년 5월 22일까지 자료를 바탕으로 지반의 융기율 변화 (수직 속도)를 측정한 결과를 보고하였다.

이들 자료를 보면, 동해안의 속초 (SKCH), 강릉 (KANG), 울진 (WULJ), 청송 (CHSG) 등에서는 지반의 융기율이 평균 약 0.80 mm/yr로 나타난다. 남해안의 부산 (PUSN), 진주 (JINJ), 하동 (HADG), 순천 (SONC) 등에서는 평균 약 0.70 mm/yr, 그리고 서해안의 목포 (MKPO), 영광 (YONK), 서산 (SEOS), 인천 (INCH) 등에서는 평균 약 0.18 mm/yr 이다. 한편, 내륙 지방의 철원 (CHLW), 원주 (WNJU), 무주 (MUJU), 거창 (GOCH) 등에서는 평균 약 0.07 mm/yr의 융기율을 보인다 (Fig. 1). 즉, 동해안과 남해안 일대의 융기율이 높고, 서해안은 낮으며, 내륙 지방은 매우 낮은 양상이라 하겠다.

5. 토의

현세 해수면 상승에 대해서 가장 많이 논란이 되는 문제는 홀로세 중기 (약 7000-4000년 전), 해수면이 현재보다 높았을까 하는 것이다. 30년이 넘도록 토론이 이어졌지만 아직도 의견 차이가 크다. 마지막 빙하기 이후 현세의 해수

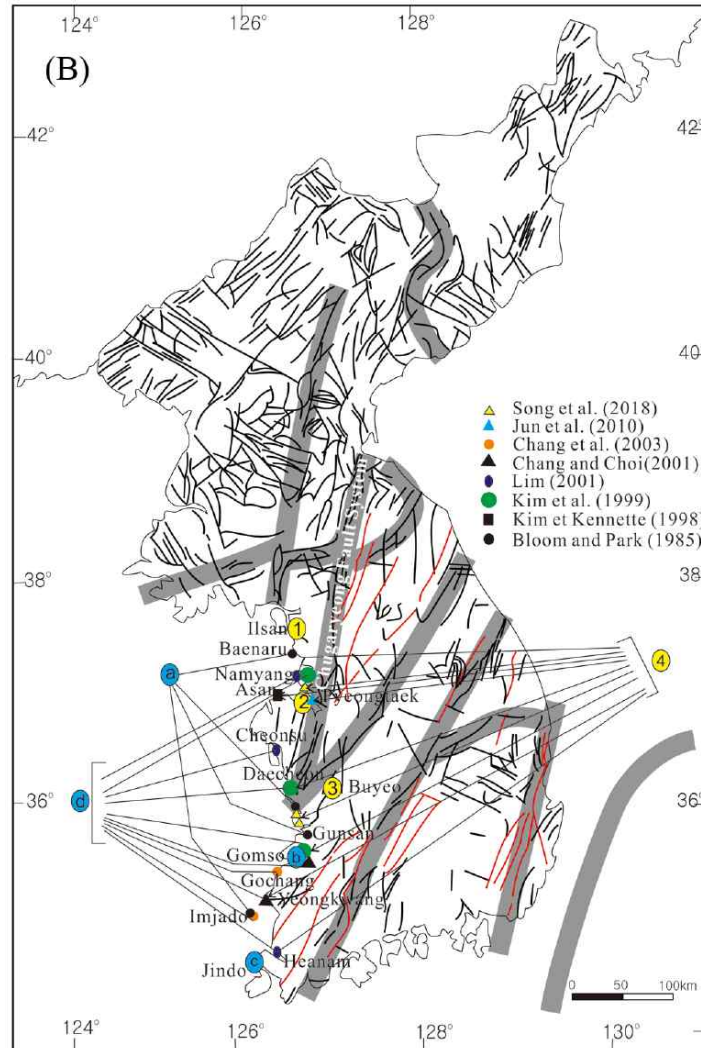


Fig. 2. 한반도 단층 분포 지도 (Choi, 2018).

한반도 일대에서는 해수면이 꾸준하게 상승하였음을 확인하였다.

(2) 두 번째는 현세 초기에 해수면이 급격하게 상승하여 약 7000-6000년 전에 현재의 해수면 보다 약 1-2 m 정도 높게 올라갔다가 (현세 중기 해수면 고조기), 약 5000-4000년 전에 하강하였을 것으로 보는 해수면 변동곡선

(oscillating sea level curve) 이다 (Jo, 1980; Lee, 1987; Yoon, 1996, 1997; Hwang et al., 1997; Hwang, 1998; Yum, 2001; Munyikwa et al., 2008). 실제로 한반도 주변에서 현세 중기의 해수면이 높았을 수도 있으며, 퇴적물의 공급 (강수량, 식생 피복, 하천 운반량 등), 서해 연약지반의 압밀침하, 단층의 움직임

한반도의 현세 융기율

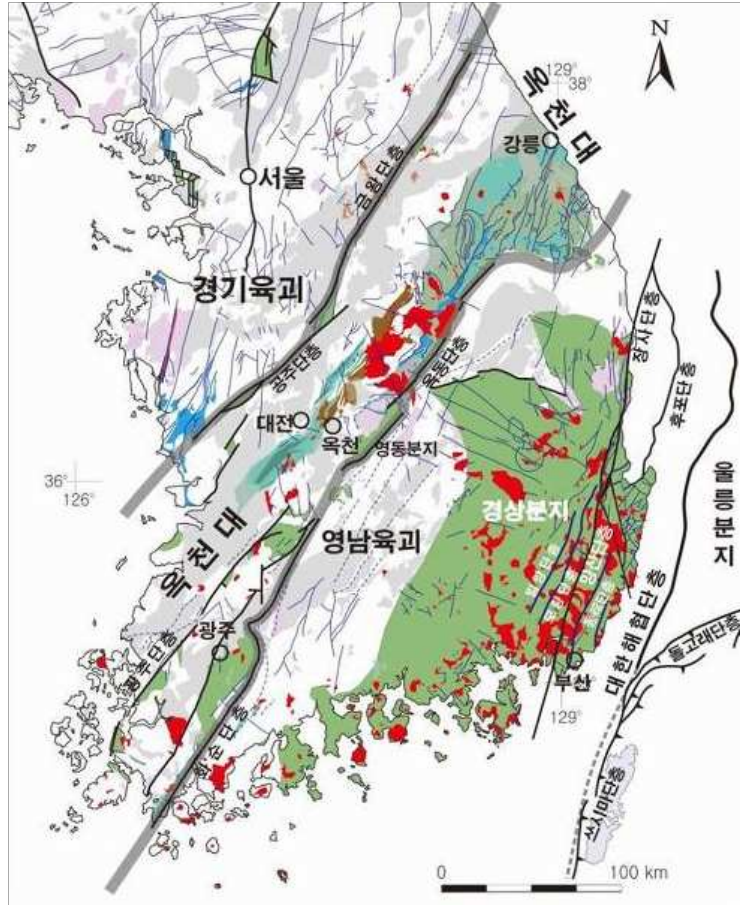


Fig. 3. 한반도 지체구조도 (Choi et al., 2008).

직입과 같은 지구조 운동, 지반의 융기나 침강, 조석 범위의 변화 등 다양한 지역적 요소로 인하여 상대적 해수면 높이가 높게 나타났을 가능성도 있다. 그러나 많은 연구는 해수면이 높았던 시기의 신뢰할 수 있는 해수면 지시자를 제시하지 못한 것도 사실이다. 또한 몇몇 연구자들은 서해 동부의 융기 또는 침강에 대한 문제 (Kim and Kucera, 2000), 한반도 서해 연안에서의 신기지체구조에 대한 문제 (Nahm et al., 2013), 지역적으로 발생하는 단층 지구조 운동에 대한 문제 (Choi, 2018) 등을 제기한 바 있

으나 이에 대한 자세한 연구는 미진한 형편이다.

이러한 해수면 상승 양상에 비추어 앞서 언급한 약 5 m 정도 높이에 위치하는 약 6000년 전 현세 중기의 해안단구 형성에 대해서는 다음과 같이 네가지 경우를 생각해 볼 수 있다. (1) 첫 번째, 해안단구의 존재는 기본적으로 약 6000년 전에 해수면이 현재 보다 약 1 m 정도 높았었다는 것을 전제로 하면서 그 당시에 형성된 해안단구가 현재 약 4 m 융기한 것으로 보는 것이다. 이 경우 융기율은 약 0.67 mm/yr

가 된다. (2) 두 번째, 약 6000년 전에 현세 해수면 고조기가 없었다면, 즉 그 시기에 해수면이 현재의 해수면 보다 약 5 m 낮은 높이에 있었다면 지반의 용기 정도는 거의 10 m에 이르게 된다. 용기율은 1.67 mm/yr 이다. 또한 그 시기에 해수면 상승이 해안단구를 형성할 수 있을 정도의 기간 동안 정체되어 있었다는 말이 된다. 즉, 해수면이 계단상으로 상승한 양상을 보이게 되는 것이다. (3) 세 번째, 약 6000년 전의 해수면 위치가 어느 정도 높이였던 간에 (1)과 (2)에서 언급한 바와 같이 약 6000년 동안 4 m 또는 10 m 정도 상승했다는 것은 용기가 매우 심하게 나타난 것으로서 받아들이기가 쉽지는 않다. 현세의 해안단구 존재 자체를 다시 검토하여야 할 것으로 보인다. (4) 네 번째, 현세 해안단구는 포항-경주-울산 일대에서 부분적으로 보고된 것으로 미루어 볼 때 (Lee, 1987; Kim, 1990; Hwang et al., 2003), 일부 지역에서 단층 활동으로 인하여 현세의 해안단구가 높은 위치에 나타나게 되었을 가능성도 배제할 수 없다.

한편, 2000년대의 GPS 상시관측 결과 (한국 지질자원연구원, 2015)는 동해안에서 용기율이 0.7-0.8 mm/yr 정도로 높게 나타난다 (Fig. 1). 이는 현세 중기의 해안단구가 약 6000년 동안 4 m 정도 용기한 약 0.67 mm/yr 정도의 용기율과 거의 비슷한데, 약 12만5천년 전 (MIS 5e) 시기의 해안단구 연구에서의 0.1-0.3 mm/yr 정도의 용기율과는 차이가 크다. 이렇게 과거 해안단구 연구 결과와 현재의 GPS 상시관측 결과가 차이가 나는 경우는 외국에서도 찾아볼 수 있다. 대만의 경우, Ching et al. (2011)은 그 원인으로서 단층 활동과 판구조 운동 등을 거론한 바 있다. GPS 상시관측에서 용기율의 절대값에 대해서는 앞으로 보다 많은 고찰이 필요할 것이며, 현재로서는 한반도 전체의 용기 양상을 대략적으로 보여주는 것으로 이해하는 것이 바람직할 것이다.

지금까지의 자료를 종합해 보면, 강원도와 전라도 일대는 최소한 현세 초기 이후 대체로 안정한 것으로 보인다. 이는 앞서 언급한 해수면 범람의 시기와 높이에서 확인할 수 있다. 단, GPS 상시관측 결과에서는 강원도 일대의 용기율도 높게 나타나는데, 이에 대해서는 재검토가 필요하다. 또한 서해안의 경우 지반이 침강했다기 보다는 미세하게 용기한 것으로 보이는데, 퇴적물 압밀침하의 영향으로 용기의 폭이 적게 나타났을 가능성도 배제할 수는 없다. 사실 이에 대한 연구는 전무한 형편이다. 그리고 서해안에서 해안단구가 잘 발달하지 못한 이유에 대해서도 아직 자료의 양이 많지 않아 판단하기 어렵지만, 조석 범위가 넓고 지형면이 완만한 경사를 이루고 있다는 점 등이 그 원인일 것으로 판단하고 있다. 경상도에서는 현세 초기의 자료가 없지만, 현세 동안 상당량 용기한 것으로 파악된다. 이러한 지역적인 지반운동 양상의 차이에 대해서 Choi (2018)는 지역적인 지진활동과 단층활동, 그리고 이에 수반된 지구조 운동에 그 원인이 있을 가능성을 제시하였다 (Fig. 2). 서해안의 해수면 변화 양상에 대해서도 균산을 기준으로 북쪽과 남쪽 해안에서 상대적 해수면 상승 기록에 차이가 있을 가능성도 언급하였다.

본 논문에서는 한반도의 지체구조 그 자체에서 원인을 찾을 수 있을 것으로 본다 (Fig. 3). 강원도와 전라도의 용기 양상이 비슷하면서 경상도와는 차이를 보이는 점에서 한반도 전체적인 용기 양상이 육괴의 분포와 연관되어 있을 가능성이 높다. 물론 이러한 육괴의 경계는 단층이므로 단층의 역할이 크겠지만, 기본적으로 지역적 용기율의 차이는 육괴 자체의 특성에 따르는 것으로 보는 것이 타당할 것이다. 그 특성은 지구조 규모의 응력에 반응하는 정도 차이, 지각 두께의 차이 등을 포함할 수 있다.

6. 결론

한반도 지질-지형의 안정성을 논하기 위해서는 제4기 동안의 용기 양상을 정확하게 이해할 필요가 있다. 이를 위해서는 해수면 변동과 해안단구 형성 시기에 관련된 신뢰할 수 있는 정보를 모아 해석하여야 할 것이다. 특히 현세 동안에는 우리의 생활 기반이 되는 현재의 지형이 만들어졌으므로 보다 신중하게 지반의 특성을 규명하여야 한다. 그러나 해수면 변동과 지반의 용기와 같이 서로 상대적인 높이 차이를 시계열적으로 밝히는 일은 쉽지 않다.

아직 의미있는 자료가 많이 부족한 상황이지만 본 논문은 현세 동안 한반도의 지반운동 양상에 대한 고찰을 시도하였다. 현세 초기의 해수면 상승 높이, 현세 중기의 해안단구 높이, 그리고 GPS 상시관측 결과를 종합하여 봤을 때, 한반도는 크게 강원도와 전라도의 용기 양상이 유사하며 비교적 안정적이라 하겠다. 이에 반하여 경상도의 경우는 용기울이 높게 나타나는데, 용기울의 절대값을 산정하기에는 아직 더 많은 연구가 필요하다. 이러한 해수면 상승 특성과 용기 특성의 지역적인 차이는 기존에 보고된 한반도 단층 분포지도와 지체구조도에서 볼 수 있는 육괴 분포와 상당히 유사한 관련성을 보이고 있다.

감사의 글

본 연구는 한국지질자원연구원에서 수행하고 있는 연구 과제 “HLW지층처분 후보부지 선정을 위한 전국 규모 지질환경정보도 작성(GP2018-009)”의 일환으로 수행하였습니다.

참고문헌

한국지질자원연구원, 2015. 심지층 처분 한반도 지질환경 평가 기술개발 과제관리 절차서, 기술보고서. KIGAAM TR-14-04.

70 p.

- Chang, J.H., Park, Y.A., Han, S.J., 1996. Late Quaternary stratigraphy and sea-level change in the tidal flat of Gomso Bay, west coast of Korea. *Journal of the Korean Society of Oceanography* 1, 59-72.
- Ching, K.E., Hsieh, M.L., Johnson, K.M., Chen, K.H., Rau, R.J., Yang, M., 2011. Modern vertical deformation rates and mountain building in Taiwan from precise leveling and continuous GPS observations, 2000-2008, *Journal of Geophysical Research* 116, B08406, doi:10.1029/2011JB008242.
- Choi, P.Y., Rhee, C.W., Lim, S.B., So, Y., 2008. Subdivision of the Upper Paleozoic Taeon Formation in the AnmyeondoBoryeong area, west Korea: a preliminary approach to the sedimentary organization and structural features. *Geosciences Journal* 12, 373-384.
- Choi, S.J., 2018. Review on the Relative Sea-level Changes in the Yellow Sea during the Late Holocene. *Korea Society of Economic and Environmental Geology* 51, 463-471.
- Clark, J.A., Farrell, W.E., Peltier, W.R., 1978. Global changes in postglacial sea-level: a numerical calculation. *Quaternary Research* 9, 265-287.
- Fleming, K., Johnston, P., Zwartz, D., Yokoyama, Y., Lambeck, K., Chappell, J., 1998. Refining the eustatic sea-level curve since the Last Glacial Maximum using far-

- and intermediate-field sites. *Earth and Planetary Science Letters* 163, 327-342.
- Hwang, S.I., 1998. The Holocene depositional environment and sea-level change at Ilsan area. *Journal of the Korean Geographical Society* 33, 143-163.
- Hwang, S.I., Yoon, S.O., Jo, W.R., 1997. The change of the depositional environment on the Dodaechon River basin during the middle Holocene. *Journal of the Korean Geographical Society* 32, 403-420.
- Hwang, S.I., Yoon, S.O., Park, H.S., 2003. The Geomorphological Development of Coastal Terraces at Jigyeong-Ri, the Areal Boundary between Gyeongju- and Ulsan City on the Southeast Coast of Korea. *Journal of the Korean Geographical Society* 38, 490-504.
- Jo, W.R., 1980. Holocene sea-level changes on the east coast of Korea Peninsula. *Geographical Review of Japan* 53, 317-328.
- Katsuki, K., Nakanishi, T., Lim, J., Nahm, W.H., 2017. Holocene salinity fluctuations of the East Korean lagoon related to sea level and precipitation changes. *Island Arc*, DOI: 10.1111/iar.12214.
- Kim, J.M., Kucera, M., 2000. Benthic foraminifera record of environmental changes in the Yellow Sea (Hwanghae) during the last 15,000 years. *Quaternary Science Reviews* 19, 1067-1085.
- Kim, J.Y., 1990. Quaternary Stratigraphy of the terrace gravel sequences in the Pohang area (Korea). Unpublished Ph.D Thesis, Department of Geology, Seoul National University, Seoul, Korea.
- Lambeck, K., Rouby, H., Purcell, A., Sun, Y., Sambridge, M., 2014. Sea level and global ice volumes from the Last Glacial Maximum to the Holocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111, 15296-15303.
- Lee, D.Y., 1987. Stratigraphical research of the Quaternary deposits in the Korean peninsula. *The Korean Journal of Quaternary Research* 1, 3-20.
- Lee, H.J., Yoon, S.H., 1997. Development of stratigraphy and sediment distribution in the northeastern Yellow Sea during Holocene sea-level rise. *Journal of Sedimentary Research* 67, 341-349.
- Munyikwa, K., Choi, J.H., Choi, K.H., Byun, J.M., Kim, J.W., Park, K., 2008. Coastal Dune Luminescence Chronologies Indicating a Mid-Holocene Highstand along the East Coast of the Yellow Sea. *Journal of Coastal Research* 24, 92-103.
- Nahm, W.H., Hong, S.S., 2014. Holocene environmental changes inferred from sedimentary records in the lower reach of the Yeongsan River, Korea. *Holocene* 24, 1798-1809.

한반도의 현세 용기울

- Nahm, W.H., Kim, J.K., Kim, J.Y., Yi, S., Lim, J., Kim, J.C., 2013. The Holocene climatic optimum in Korea: Evidence from wetland records. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 376, 163-171.
- Park, C.S., Khim, Y.H., Nahm, W.H., Lee, G.R., 2017. Formative Age of Coastal Terraces and Uplift Rate in the East Coast of South Korea. *Journal of the Korean Geomorphological Association* 24, 43-55.
- Park, Y.A., Bloom, A.L., 1984. Holocene sea-level history in the Yellow Sea, Korea. *The Journal of the Geological Society Korea* 20, 189-194.
- Park, Y.A., Khim, B.K., Zhao, S.L., 1994. Sea-level fluctuation in the Yellow Sea Basin. *Journal of the Korean Society of Oceanography* 29, 42-49.
- Son, M., Kim, J.S., Chong, H.Y., Lee, Y.H., Kim, I.S., 2007. Characteristics of the Cenozoic crustal deformation in SE Korea and their tectonic implications. *The Korean Journal of Petrological Geology* 13, 1-16.
- Song, B., Yi, S., Jia, H., Nahm, W.H., Kim, J.C., Lim, J., Lee, J.Y., Sha, L., Mao, L., Yang, Z., Nakanishi, T., Hong, W., Li, Z., 2018. Pollen record of the mid- to late-Holocene centennial climate change on the East coast of South Korea and its influential factors. *Journal of Asian Earth Sciences* 151, 240-249.
- Woodroffe, S.A., Horton, B.P., 2005. Holocene sea-level changes in the Indo-Pacific. *Journal of Asian Earth Sciences* 25, 29-43.
- Yoon, S.O., 1996. The geomorphic development and environmental changes on the Samcheonpo area in the later half of Holocene. *Journal of the Geomorphological Association of Korea* 3, 83-98.
- Yoon, S.O., 1997. The Holocene environmental changes and reconstruction of the geography at Ilsan area with special reference to pollen analysis. *Journal of the Korean Geographical Society* 32, 15-30.
- Yum, J.G., 2001. Late Quaternary Environmental Changes of the Hwajinpo and Songjiho lagoons on the Eastern Coast of Korea. Unpublished Ph.D Thesis, Department of Geosciences, Yonsei University, Seoul, Korea.

2018년 11월 20일 접수

2018년 12월 27일 수정

2018년 12월 27일 승인