



Article

과거 약 2,000년 동안 익산 황등제 일대의 퇴적환경 변화 연구

남옥현¹, 한 민^{1,*}, 이진영¹, 박정재²

¹한국지질자원연구원 제4기환경연구센터

²서울대학교 지리학과

Study on the changes in the sedimentary environment of the Iksan Hwangdeung-je area over the past 2,000 years

Wook-Hyun Nahm¹, Min Han^{1,*}, Jin-Young Lee¹, Jungjae Park²

¹Quaternary Environment Research Center, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 34132, Republic of Korea

²Department of Geography, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea

Received: November 26, 2024 / Revised: January 2, 2025 / Accepted: January 15, 2025

*Corresponding author: +82-42-868-3145 / E-mail: hanmin@kigam.re.kr

요약: 전라북도 익산시 황등면에 위치한 황등제는 2,250 yr BP (약 BC 300년)에 고도 4 m 정도의 지표면 높이에 축조한 길이 약 1.3 km의 제방이다. 본 연구에서는 황등제 일대에서 회수한 ISL-06, ISL-12, ISL-16 등 3개의 시추공 시료를 이용하여 암상을 기재하고, 구조 분석을 실시하였으며, 방사성 탄소 ¹⁴C 연대측정법으로 퇴적연대를 산출하였다. 분석 결과, 황등제 일대는 과거 약 2,000년 동안 해수 범람, 하천 범람, 가뭄 등에 의하여 다양한 퇴적환경 변화를 겪었음을 확인하였다. 약 2,000 yr BP 이전 시기에는 고도 3-4 m 정도까지 해수의 영향이 있었다. 이후 시기에는 간헐적으로 고도 4-5 m 높이까지 해수가 범람하기도 하였지만 대체로 소규모의 호수나 소택지가 지역적으로 분포하는 담수 환경이었으며, 퇴적과 침식이 빈번하게 일어나는 등 퇴적환경이 다소 불안정했었던 것으로 추정하였다. 약 500 yr BP (약 AD 1500년)에는 해수면 높이가 하강했었던 정황도 볼 수 있었다. 이러한 상황으로 미루어 황등제 제방의 축조 목적은 조수간만으로 올라오는 조수의 영향을 차단하기 위한 것이며, 나중에는 저수지를 만들기 위해서 활용하였을 것으로 판단하였다.

주요어: 황등제, 퇴적환경, 해수면 변동, 홍수, 가뭄

ABSTRACT: Hwangdeung-je, located in Hwangdeung Village, Iksan City, Jeollabuk-do Province, is a 1.3 km-long embankment constructed approximately 2,250 years ago (around BC 300) at an elevation of about 4 meters. In this study, three borehole core samples (ISL-06, ISL-12, and ISL-16) recovered from the Hwangdeung-je area were analyzed. Lithofacies were described, diatom analysis was conducted, and the sedimentation age was determined using radiocarbon (¹⁴C) dating. The results revealed that the Hwangdeung-je area experienced various sedimentary environmental changes over the past 2,000 years due to marine inundation, river flooding, and droughts. Prior to approximately 2,000 years ago, the area was influenced by seawater up to an elevation of 3-4 meters. In subsequent periods, seawater occasionally flooded up to an elevation of 4-5 meters, but the environment was predominantly characterized by small lakes or localized freshwater wetlands. During this time, sedimentation and erosion were frequent, indicating a relatively unstable depositional environment. Evidence also suggested that sea levels dropped around 500 years ago (approximately AD 1500). Based on these findings, the primary purpose of constructing the Hwangdeung-je embankment appears to have been to block the influence of tidal waters brought in by tidal cycles. Later, it was likely utilized as a reservoir.

Key words: Hwangdeung-je, sedimentary environment, sea level changes, floodings, droughts

1. 서론

전라북도 익산시 황등면에 위치한 황등제는 고도 4 m 정도 지표면 높이에 축조한 길이 약 1.3 km의 제방이다. 남쪽의 익산시 신용동 도치 고개와 북쪽의 익산시 황등면 황등산(100 m)의 남쪽 봉우리인 청금산을 연결한다. 익산의 황등제는 김제의 벽골제, 정읍의 놀제와 함께 호남의 3대 제언 또는 3호(三湖)로 알려져 있다. 그러나 제방(황등제)의 기능이 무엇이었는지 확실하지 않으며, 다만 하천의 흐름을 막아 저수지(황등호)를 만들기 위해서 축조한 것으로 추정하고 있을 뿐이다. 2020-2021년의 고고유적 발굴 조사에서는 방사성 탄소(¹⁴C) 연대측정법으로 제방의 축조 시기가 2,250 yr BP (약 BC 300년)인 것으로 밝혔다(Kwon, 2022).

황등제 일대는 소규모의 기양천과 탐천이 구릉지 사이를 흐르다가 평지를 만나면서 합류하는 지점이며, 하천 구배가 낮은 탓으로 비가 많이 올 때에는 배수가 원활하지 못하여 하천이 범람하는 상습 침수 지역이다. 또한 조석의 영향을 받는 탐천 감소 구간에 해당하여 1900년대 초까지 염해를 자주 입었던 것으로 알려져 있다(Park, 2010). 이렇게 퇴적물 공급과 침식, 강수량의 많고 적음, 바닷물의 영향 등 다양한 환경 요인이 복합적으로 작용하는 지역이다. 사람들은 이러한 기상, 기후 환경과 지표 환경의 변화를 마주하여 극복하고 적응하면서 제방을 쌓고 물을 효과적으로 이용하면서 농사를 지으며 생활 터전을 마련하고자 노력한 것으로 보인다.

한편, 지질학 및 지형학 분야에서는 고고학 유적을 대상으로 한 퇴적환경 변화 연구를 통하여 고고학적 해석의 신뢰성을 확보하고 인간 생활과 지표 환경과의 관계를 이해하는데 기여하는 연구를 수행하여 왔다(Yang *et al.*, 2006; Yi *et al.*, 2006; Park and Jang, 2009; Nahm *et al.*, 2012; Han *et al.*, 2017). 이러한 연구들에서는 자연과학적 방법론을 활용하여 연대측정을 통한 유적 형성 시기를 확정하고, 연안 지역의 해수면 변동과 이에 따른 자연환경 변화를 추적하여 유적 주변 환경을 추정하는 등의 기여를 하였다. 이러한 기존의 논의는 대체로 유적 입지 일대의 자연환경 해석에 국한되어, 유적 및 유물과 관련하여 당시 인간이 생활에 활용한 기술 수준, 유적의 특성, 자연 환경에의 적응 등 고고학이나 인류학 분야에서 필요한 해석과 구체적인 정보를 제공하는데 까지 나아가지 못한 측면이 있었다.

이에 본 연구에서는 지난 약 2,000년 동안 황등제 일대에서 어떠한 환경 변화가 있었는지 자연과학적 방법론을 이용하여 확인하고, 역사 문헌 기록을 바탕으로 자연과 인간이 함께하는 공간으로서 어떻게 자리매김하였는지를 추적해 보고자 한다. 이를 통하여 황등제의 축조 시기, 축조 목적, 축조 집단, 축조 기술, 그리고 축조 이후의 역사까지

보다 자세한 다방면의 연구가 이루어질 수 있기를 기대한다.

2. 연구 지역 및 방법

2.1. 황등제의 역사와 문헌 기록

황등제에 대한 삼국시대나 고려시대의 문헌 기록은 거의 없으며, 조선시대 문헌에도 자주 언급되지는 않는다. 또한 문헌에 따라 명칭이 다르게 기술된 경우도 있어 정확한 정보를 파악하기가 쉽지 않다. 조선왕조실록 광해군일기 1614년 3월에는 전주의 옥야(현재 익산시 춘포면으로 추정)에서 황등호 까지 40리(약 16 km)를 연결하는 물길, 이른바 ‘독주항 수도’를 만들어 만경강의 물을 끌어온 것에 대한 기록이 나온다. 조선시대 유학자 유형원(1622-1673)은 그의 저서 반계수록(1670 저술, 1770 간행)에서 벽골제, 놀제, 황등제 등 3개 저수지를 언급하면서 저수지의 필요성을 강조하였다. 1780년에는 제방 보수와 교량 건설에 공을 세운 사람들을 알리기 위한 비석을 세웠는데, 이 비석은 매몰되었다가 1911년에 발굴되었다. 조선시대 실학자 정약용(1762-1836)도 목민심서(1818)에서 저수지 관리의 중요성을 강조하면서 벽골제, 놀제, 황등제 등 3개 저수지를 언급하였다. 조선시대 지리학자 김정호(1804-1866)의 대동여지도(1861)에는 황등제와 황등호의 위치가 모두 표기되어 있다. 그러나 1900년대 초에 황등제는 무너지고 황등호는 토사로 매몰되어 관리가 제대로 되지 않았던 것으로 보인다. 1911년 임익수리조합(1909 설립)은 황등제를 다시 보수하고, 또 익산시 신흥동에서 터질목을 지나 황등호로 연결되는 물길, 이른바 ‘비비정 수도’를 만들어 만경강 물을 끌어와 황등호를 채웠다. 이때 보수한 황등제와 황등호를 각각 요교제, 요교호로 불렀다. 그 후, 만경강 상류에 완주군 동상면 대아저수지(1922), 완주군 화산면 경천저수지(1937) 등의 저수지를 만들면서 황등호를 없애고 호수 바닥을 논으로 바꾸었으며, 황등제는 도로 시설로 이용하게 되었다(Park, 2011).

2.2. 황등제 일대의 지형·지질·기후 환경

익산의 황등제, 김제의 벽골제, 정읍의 놀제는 호남 지역의 대표적인 고대 수리시설로 알려져 있다(그림 1). 이 중에서 본 연구 대상인 익산 황등제 일대는 대체로 동북쪽에 산지와 구릉지, 서남쪽에 충적 평탄지가 분포하고 있다. 익산시 동부의 여산면, 금마면 일대는 선캄브리아기 옥천계 변성퇴적암류가 분포하면서 400-500 m 높이의 산지를 이룬다. 노령산맥의 지맥으로 완주군 비봉면 천호산(501 m), 익산시 금마면 미륵산(429 m) 등이 있다. 이 지역은 옥천변성대의 남부에 해당하여 고생대 조선누층군과 평안누층군이 분포한다(Kim *et al.*, 2012). 특히 천호산 주변으로 익산

시 여산면 천호동굴과 돌리네 등 석회암 카르스트 지형이 나타나기도 한다. 익산시 동남부의 금마면, 왕궁면 일대는 중생대 쥐라기 편마상화강암이 분포하면서 100-200 m 높이의 산지가 분포하며, 익산시 왕궁면 서대산(229 m), 익산시 금마면 금마산(115 m), 익산시 금마면 오금산(124 m) 등을 들 수 있다. 익산시 중부와 서부에는 대부분 중생대 쥐라기 대보화강암이 분포하는데, 풍화와 침식으로 인하여 대체로 해발고도 50 m 미만의 낮고 평탄한 구릉지와 평지로 구성된 준평원을 이룬다. 북서부 금강 연안의 용안면, 옹포면, 성당면, 함라면 등에는 규암, 편마암 등의 변성암류가 분포하면서 익산시 함라면 함라산(240 m), 익산시 함라면 봉화산(236 m) 등 낮은 구릉지를 이룬다. 익산시 남부의 만경강 연안의 목천동, 동산동, 신흥동, 춘포면, 오산면 등과 익산시 북부의 금강 연안의 망성면, 용동면, 용안면, 옹포면의 저지대에는 충적층이 분포한다. 만경강은 완주군 동상면 원등산(713 m)의 밤샘에서 발원하여 완주군 고산면, 완주군 삼례읍을 지나 익산시와 김제시의 경계를 흐르는 유로연장 77.4 km의 강이며, 김제시 진봉면에서 서해로 유출한다. 완주군 삼례읍을 지나 중-하류 지역으로 접어들면 하

상구배가 1/30000 정도로 매우 완만하다. 만경강 중-하류 지역, 즉 하류에서 완주군 삼례읍 비비정과 삼례대교 일대까지는 조석의 영향을 받는 감조 구간에 해당하며, 목천천, 소양천, 전주천, 익산천, 탐천, 고척천 등의 지류가 만경강에 합류한다. 황등제가 위치한 익산시의 기후는 남부 해안형 온대기후구에 속한다. 연 평균기온 13°C, 1월 평균기온 -1.0°C, 8월 평균기온 27°C이며, 연 강수량은 1,210 mm이다(Jeonbuk Cultural Property Research Institute, 2020).

2.3. 연구 방법

이번 연구에서는 황등제 일대에서 확보한 ISL-06, ISL-12, ISL-16의 3개 시추공을 중심으로 분석 및 활용하였다(그림 2). 3개 시추공 모두 황등제 제방의 상류에 위치한다. ISL-06 시추공은 탐천이 평야로 흘러나온 부분, ISL-12 시추공은 ISL-06 시추공 보다 탐천의 상류부에 위치하면서 얕은 구릉 사이를 흐르는 부분, ISL-16은 기양천 상류부로서 구릉의 계곡부에 해당하는 부분에 위치한다. 시추공 시료는 직경 5 cm의 standard stationary piston sampler를 이용한 무수 회전식 시추 방법으로 채취하였다. 시추 시료는 절개하

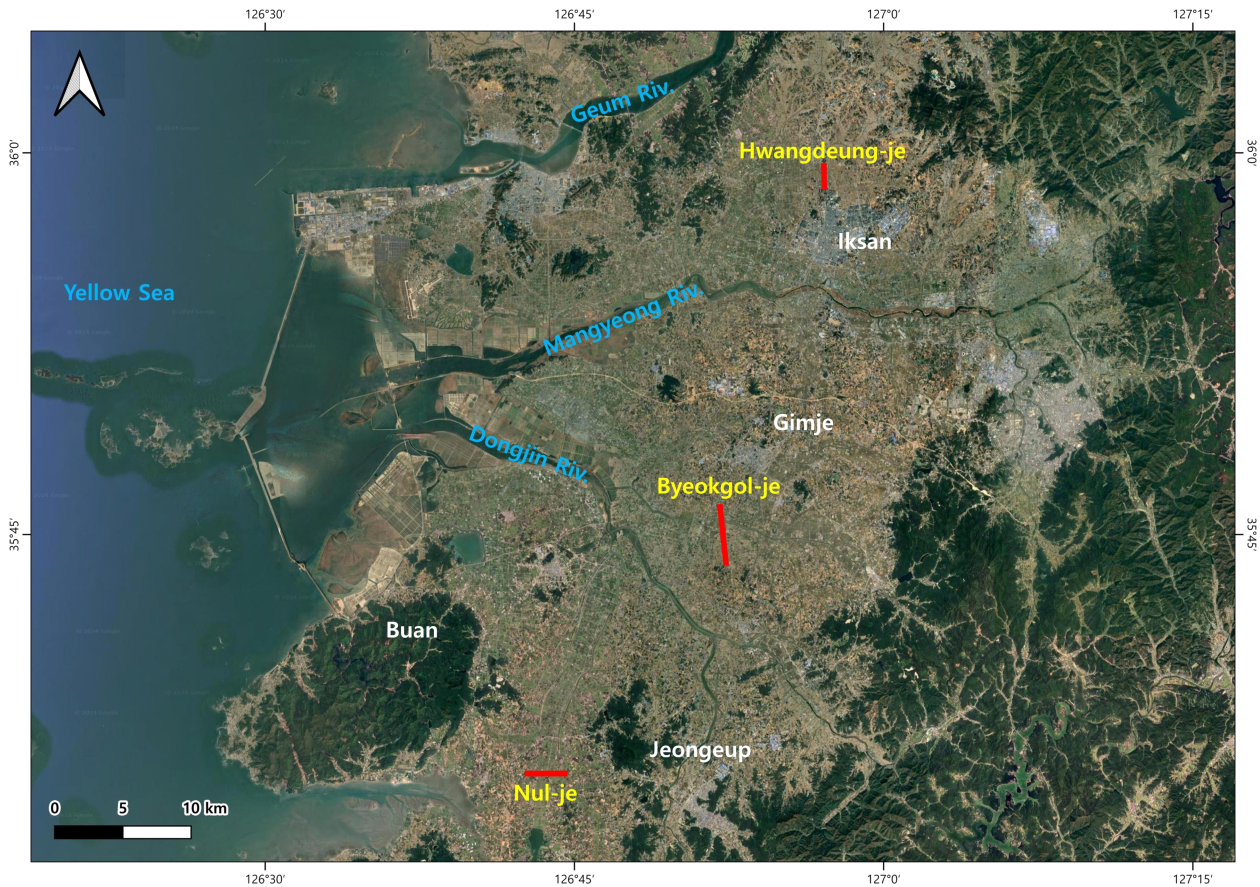


Fig. 1. Map of the study area, with the locations of the Hwangdeung-je (Iksan city), Byeokgol-je (Gimje city), and Nul-je (Jeongeup city).

여 기재 및 사진 촬영을 하고, 부시료를 채취하여 분석에 이용하였다. 입도 분석은 한국지질자원연구원 제4기환경연구센터에서 보유하고 있는 Mastersizer 3000 laser particle analyzer (Malvern Instruments, Ltd., Worcestershire, UK) 을 이용하여 수행하였다. 구조 분석을 위해서 건조시킨 0.1 g의 퇴적물을 부시료에서 수집하여 준비하였다. 이를 200 ml 비이커에 넣고 10 ml의 30% H₂O₂로 유기물을 제거한 후, 200 ml의 증류수를 넣어 1시간 가열하고 4시간 냉각시켰다. 그리고 증류수를 넣고 상등액을 따라내는 과정을 반복하면서 구조를 밀도가 높은 광물질에서 분리하였다. 구조 슬라이드는 400x과 1000x 배율 렌즈를 이용하여 관찰하고 동정하였다(Patrick and Reimer, 1975; Round *et al.*, 1990; Hasle and Syvertsen, 1996). 구조 분석은 모래 함량이 높은 층을 제외하고, 탄소 연대측정을 수행한 층을 중심으로 수행하였다.

퇴적물 퇴적 시기를 추정하기 위하여 한국지질자원연구원 지질자원분석센터에서 방사성 탄소 연대측정을 수행하였으며, 탄소연대 보정에는 IntCal 20 보정곡선(Reimer *et al.*, 2020)을 포함하는 Calib 8.1 program (Stuiver *et al.*, 2023)을 이용하였다. 보정 탄소연대의 오차는 2-sigma (σ) (95.4% 신뢰구간)이다.

과거 해수면 변동을 유추하기 위해서는 오픈 소스 SELEN⁴

빙하 지각평형 조정(Glacial Isostatic Adjustment, GIA) 모델을 사용했다. SELEN⁴는 해수면 방정식(sea-level equation, SLE) 프로그램으로서 해수면 변동에 대한 지구물리학적 영향을 모의하는데, 여기에는 후기 플라이스토세에 빙하가 녹으면서 상대 해수면이 변동하는 것, 빙하기 이후 해양의 고지리학적 분포가 시간에 따라 변하는 것, 지구 자전 특성이 변동하는 것 등을 포함한다(Spada and Melini, 2019). 본 연구에서 SELEN⁴는 빙하 모델 ICE-6G_C와 점탄성 지구 모델 VM5a로 구성하였다(Argus *et al.*, 2014). 암석권의 두께는 90 km, 상부와 하부 맨틀의 점성도는 각각 0.5×10^{21} Pa·s와 3.2×10^{21} Pa·s이다. SELEN⁴는 현재의 전지구 지형 기록 모델인 ETOPO1을 사용하여 해안선이 수평 이동하는 정도를 계산하는데(Eakins and Sharman, 2012), 약 40 km 간격의 격자에서 maximum harmonic degree $l_{max}=256$ 에 해당하는 공간 해상도를 가진 pseudo-spectral approach를 사용한다. 본 연구에서 모델의 위치는 전북 곰소만 부근, 35°37'38.95"N, 126°33'14.67"E 일대이다.

3. 연구 결과

3.1. ISL-06 시추공의 퇴적상-구조연대 분석 결과

황등제 유적과 가장 인접한 ISL-06 시추공은 전라북도

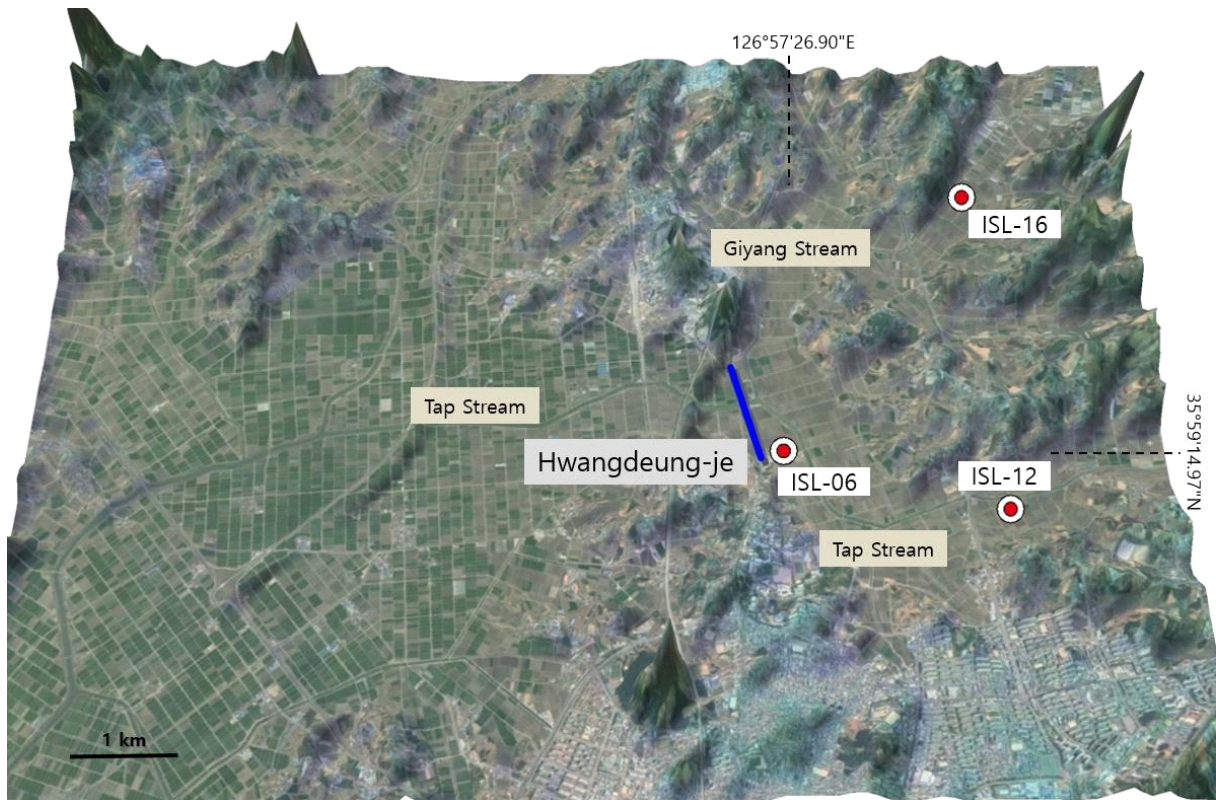


Fig. 2. Topographic map of the Hwangdeung-je area, with the locations of core ISL-06, ISL-12, and ISL-16.

익산시 황등면 황등리(35°59'14.97"N, 126°57'26.90"E)에 위치하며, 지표면 고도는 4.43 m, 시추 심도는 11.5 m이다. 시추공의 퇴적상, 구조 및 연대 분석 결과를 종합하면 다음과 같다.

고도 약 2.9 m의 7,300 yr BP 점토질 실트층에서 해수 규모가 우세하다. 고도 약 3.0 m 전후까지 해수의 영향이 있었던 것을 확인할 수 있다. 고도 약 3.7 m의 810 yr BP의 유기물층에서는 담수 규모가 우세한데, 일부 해수 규모가 산출되기도 한다. 이 유기물층은 육성 호수 또는 소택지 환경인 것으로 추정할 수 있다. 점토질 실트층과 유기물층 사이는 명확한 경계를 보이는 부정합면인데, 기존의 퇴적물이 일부 침식되고 유기물층이 퇴적된 것으로 보인다(그림 3, 4).

3.2. ISL-12 시추공의 퇴적상·구조·연대 분석 결과

황등제로 유입하는 하천 중 하나인 탐천 유역에 위치한 ISL-12 시추공은 전라북도 익산시 부송동(35°58'36.15"N, 126°59'01.65"E)에 위치하며, 지표면 고도는 6.16 m, 시추 심도는 7.0 m이다. 시추공의 퇴적상, 구조 및 연대 분석 결과를 종합하면 다음과 같다.

고도 약 3.0 m의 점토질 실트층, 고도 약 3.4 m의 고토양

층, 고도 약 3.8 m의 5,980 yr BP 유기물층, 고도 약 4.1 m의 고토양층 등 다양한 암상의 퇴적층이 분포하고 있는 것으로 미루어 본 시추공 위치의 퇴적환경은 퇴적, 퇴적 중단, 침식 등 다소 불안정했던 것으로 판단할 수 있다. 고도 약 3.8 m의 5,980 yr BP 유기물층과 고도 약 4.3 m의 4,480 yr BP 점토질 실트층에서는 해수 규모의 산출이 우세하여 해수의 영향을 많이 받은 것으로 보인다. 그 상부에 놓이는 고도 약 4.5 m의 1,640 yr BP 점토질 실트층에서는 담수 규모가 우세하게 산출된다(그림 3, 5).

3.3. ISL-16 시추공의 퇴적상·구조·연대 분석 결과

황등제로 유입하는 하천 중 하나인 기양천 유역에 위치한 ISL-16 시추공은 전라북도 익산시 삼기면 간촌리(36°00'41.70"N, 126°58'58.53"E)에 위치한다. 지표면 고도는 7.23 m이지만, 그림 3에는 상부의 교란층을 제외하고 고도 6.6 m부터 표시하였다. 시추 심도는 7.0 m이다. 시추공의 퇴적상, 구조 및 연대 분석 결과를 종합하면 다음과 같다.

고도 약 4.5 m의 3,490 yr BP 점토질 실트층 이전의 퇴적층은 점토질 실트층, 유기물층, 모래층 등 다양하게 나타난다. 고도 4.8 m의 2,270 yr BP 점토질 실트층에서는 해수 규모가 어느 정도 관찰되는데, 고도 5.4 m의 2,050 yr

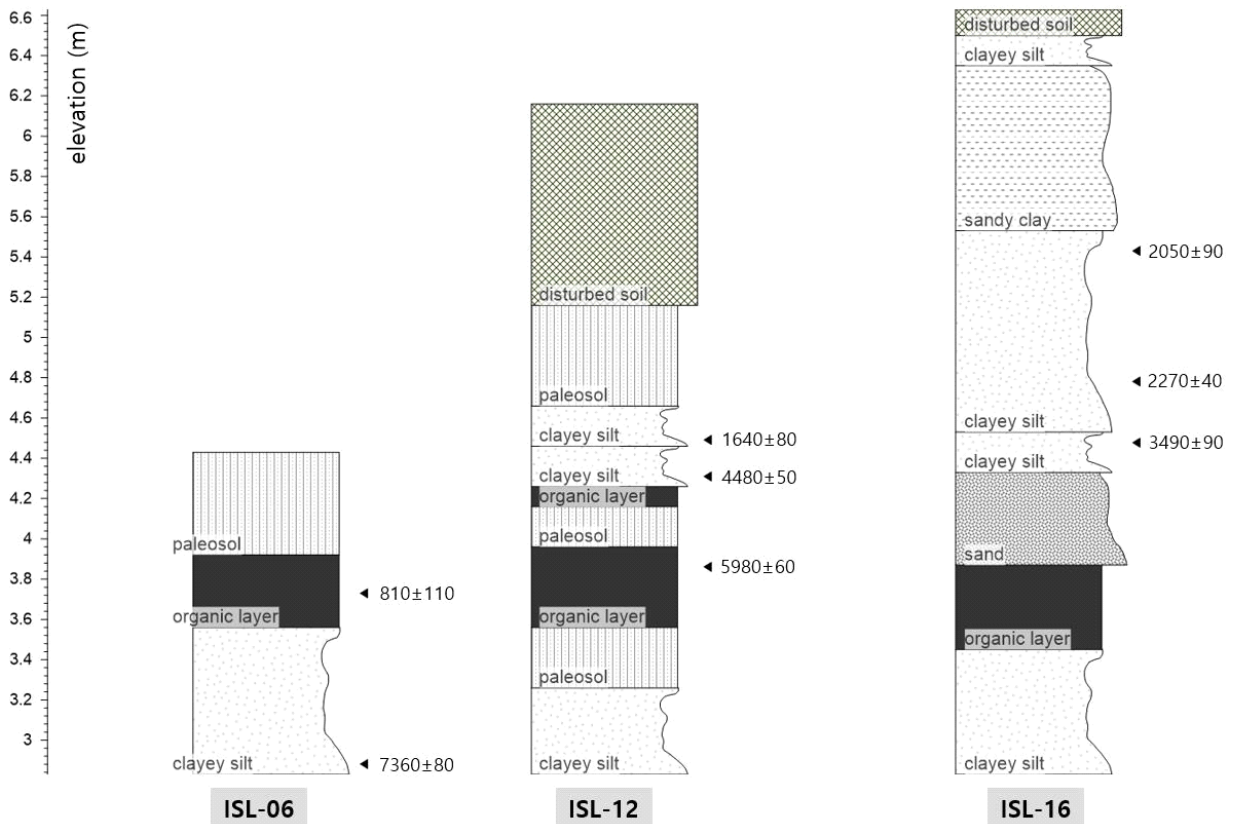


Fig. 3. Simplified radiocarbon-dated sediment strata of the core ISL-06, ISL-12, and ISL-16.

BP 점토질 실트층에서는 담수 규조가 상대적으로 더 우세하다. 그 상부의 모래질 점토층에서는 규조 산출이 없다(그림 3, 6).

4. 토 의

4.1. 약 7,000~2,000년 전의 퇴적환경

7,000-6,000 yr BP 정도에는 해수면이 현재 높이보다 약 2-3 m 정도 높았었던 이른바 홀로세 중기의 sea-level high-stand가 있었던 것으로 보인다(Song *et al.*, 2018). 이 때의 퇴적물은 ISL-06 시추공에서 확인할 수 있는데, 고도 약 2.8 m에서 주로 해수 규조가 산출되면서 해수의 영향을 크게 받은 것을 알 수 있다. ISL-12 시추공에서는 고도 약 3.8 m 정도에 약 6,000 yr BP 시기의 유기물층이 나오는데, 해수 규조의 산출이 우세하다.

5,000-3,000 yr BP 시기에는 해수면이 낮아지지만 연구

지역 일대에서는 여전히 해수의 영향이 있었음을 볼 수 있다. ISL-12 시추공에서는 고도 약 4.3 m, 약 4,400 yr BP 시기의 점토질 실트층에서는 해수 규조 산출이 우세한 가운데 담수 규조의 산출 또한 증가하는 양상이 관찰된다. 본 연구지역은 때때로 해수의 영향을 받는 환경이었음을 유추할 수 있다.

한편, ISL-12 시추공에서는 약 6,000~4,000 yr BP 시기에 고도양층과 유기물층이 번갈아 나타나는데, 이로 미루어 탁천의 유로 변경이 빈번하여 퇴적-침식 작용이 자주 일어났을 가능성, 하천 범람이 있었을 가능성, 높은 해수면으로 인하여 지하수위가 상승하고 이에 습지나 소택지가 부분적으로 존재했을 가능성 등을 생각해 볼 수 있다.

4.2. 약 2,000년 전(AD 0년 전후) 해수의 영향 범위와 황등제의 역할

현재 전북 부안군 곰소만 일대의 평균 해수면(Mean Sea

Table 1. Summary of radiocarbon ages obtained from the core ISL-06, ISL-12, and ISL-16.

Core	Sample ID	Material	Elevation (m)	¹⁴ C ages (¹⁴ C yr BP)	δ ¹³ C (permil)	Calibrated ages (yr BP)
ISL-06	ISa210116	humic acid	3.73	875±30	-27.8	810±110
ISL-06	ISa190067	humic acid	2.88	6,440±30	-24.6	7,360±80
ISL-12	ISa190073	humic acid	4.49	1,730±30	-24.8	1,640±80
ISL-12	ISa190074	humic acid	4.31	4,000±30	-25.9	4,480±50
ISL-12	ISa190075	humic acid	3.86	5,240±30	-28.3	5,980±60
ISL-16	ISa190070	humic acid	5.43	2,070±30	-24.1	2,050±90
ISL-16	ISa190071	humic acid	4.78	2,160±30	-25.6	2,270±40
ISL-16	ISa190072	humic acid	4.48	3,260±30	-26.4	3,490±90

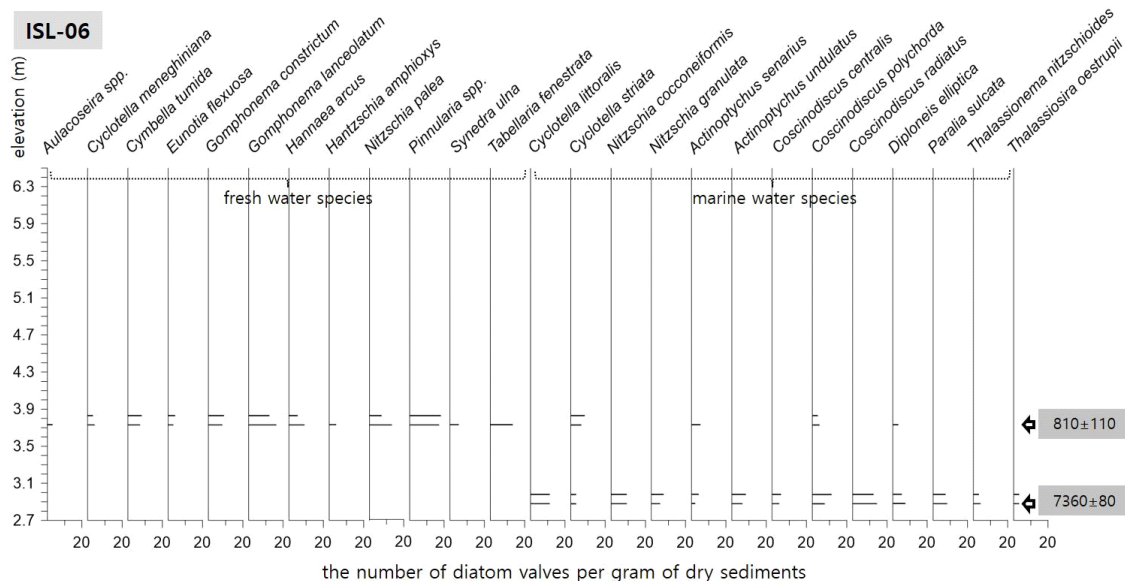


Fig. 4. Diatom occurrences of the core ISL-06 with radiocarbon age data.

Level) 높이는 0.104 m, 대조 평균 고조면(Mean High Water Spring, MHWS) 높이는 3.053 m이다(National Geographic Institute of Korea, 1981). 이 두 높이의 차이 2.949 m는 조차 범위(tidal range)의 1/2값이다. SELEN⁴ 빙하 평형 조절 (Glacio Isostatic Adjustment, GIA) Model (Spada and Melini, 2019)을 이용한 계산에 의하면 2,000 yr BP (약 AD 0년) 시기의 곰소만 일대의 평균 해수면 높이는 약 0.757 m이다 (그림 7). 그 당시의 조차 범위를 알 수는 없으므로 현재의 상황과 비슷하다는 가정하에 2.949 m를 평균 해수면 높이

에 더하여 대조 평균 고조면의 높이를 계산하면 3.706 m가 된다. 이를 통해 대체로 해수가 고도 3.7 m 정도까지 영향을 미쳤을 것으로 추정할 수 있다. 그리고 그 이후에 해수면 높이는 완만하게 하강하게 된다.

시추공 자료를 보면 대체로 2,000 yr BP(약 AD 0년) 이전 시기의 고도 3.7 m 하부에는 해수 규조가 우세하고, 이후 시기의 고도 3.7 m 상부에는 담수 규조가 우세하게 나타난다. 그런데 고도 3.7 m 보다 더 높은 고도 4.8 m의 2,270 yr BP(약 BC 320년) 점토질 실트층에서도 해수 규조가 일

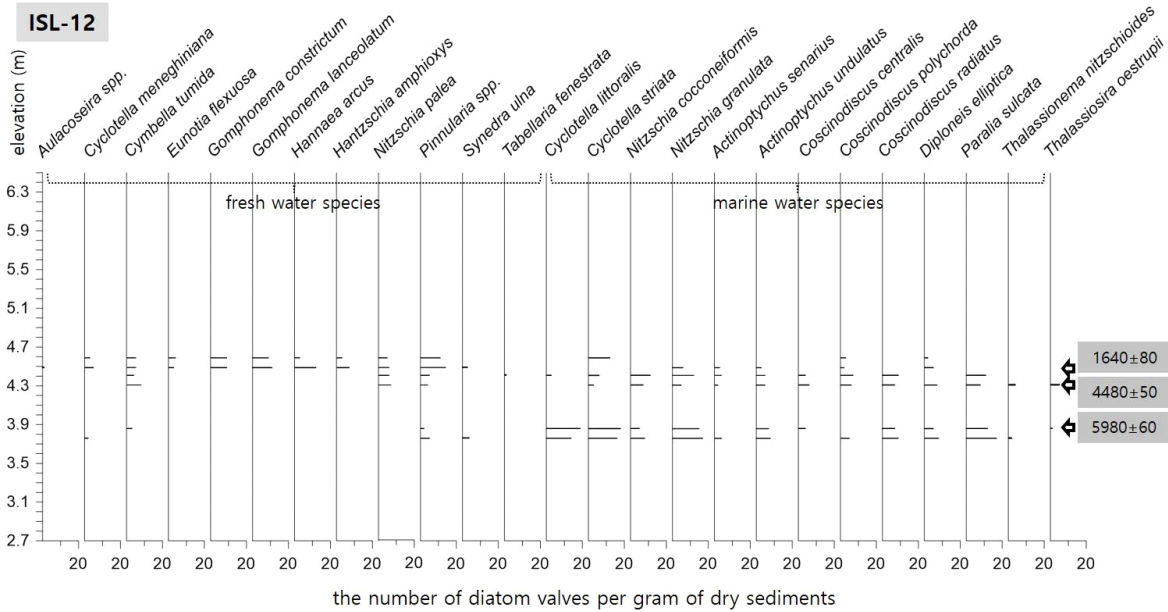


Fig. 5. Diatom occurrences of the core ISL-12 with radiocarbon age data.

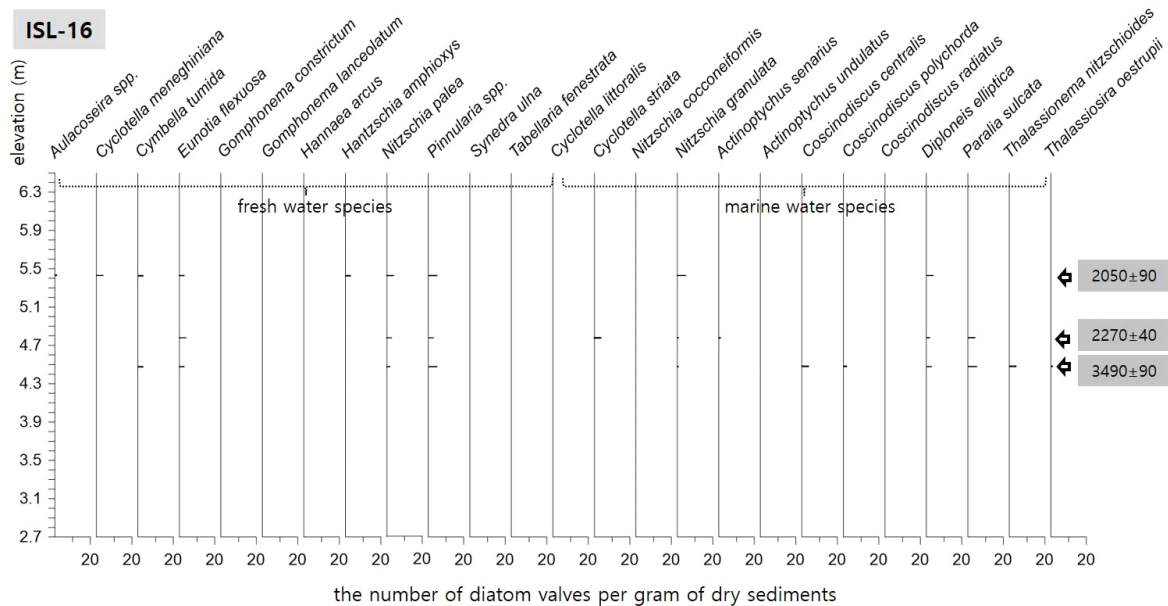


Fig. 6. Diatom occurrences of the core ISL-16 with radiocarbon age data.

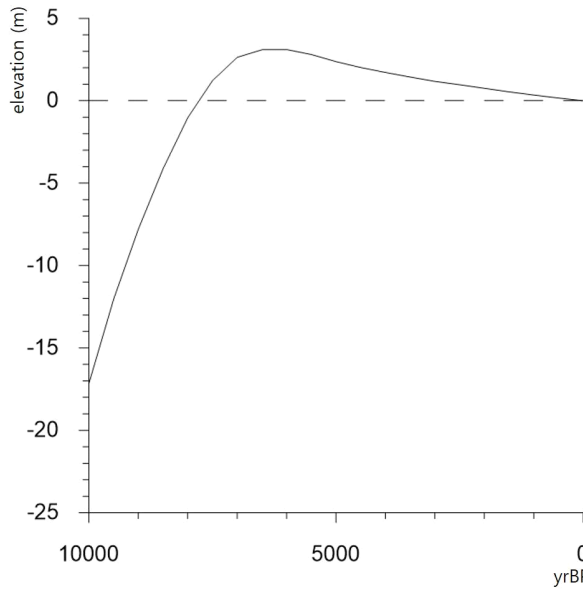


Fig. 7. Relative sea level changes in the western coast of the Korean Peninsula, calculated by SELEN⁴ glacial isostatic adjustment (GIA) model.

부 산출된다. 이는 조수간만에 의한 tidal pumping, 즉 salt wedge와 같은 형태로 하천 감소 구간의 상한까지 밀려 올라온 조수에 의해서 퇴적된 구조각(frustule)으로 생각할 수 있다(Storme *et al.*, 2020). 황등제 제방을 축조한 2,250 yr BP(약 BC 300년) 이후에도 고도 5.4 m의 2,050 yr BP(약 BC 100년) 점토질 실트층, 고도 4.5 m의 1,640 yr BP(약 AD 310년) 점토질 실트층에서 해수 규모가 소량이나마 산출된다. 이 시기에는 해수면이 보다 낮아져 시추공 위치까지 해수면 자체가 영향을 미치지 않았을 것으로 판단되지만, 제방이 일부 붕괴되어 salt wedge 형태로 올라오는 조수를 충분히 막지 못하였거나 태풍이나 폭풍에 의하여 일시적으로 해수가 다소 높은 고도 까지 범람했던 것 등의 가능성을 생각할 수 있다. 이를 확인하기 위해서는 폭풍 퇴적체의 존재 유무를 관찰하여야 하는데, 시추공 시료에서 퇴적구조의 해상도가 다소 낮은 관계로 확인이 어려웠다.

제방 축조 이후에 대규모 저수지가 형성되었다면 호수 퇴적층이 두껍게 형성되었을 것으로 기대할 수 있겠지만, 시추공 자료에서는 제방 축조 이후의 퇴적층이 얇게 소규모로 남아있는 정도에 그쳤다. 그 원인으로서 저수지가 충분히 형성되지 않았거나 호수 퇴적층이 침식되어 소실되었을 가능성 등을 거론할 수 있다. 이러한 정황으로 미루어, 저수지가 없었거나 있었더라도 규모가 크지 않았을 가능성이 더 높아 보인다. 그렇다면 저수지를 만들기 위해서 황등제를 축조한 것이라기보다는 조수의 영향을 차단하기 위해서 축조한 것으로 보는 것이 더 타당할 것이다. 즉, 저수지가 아닌 해수의 침투를 막기 위한 방조제의 역할이 중심이

었을 것으로 판단된다.

4.3. 약 500년 전(AD 1500년 전후) 황등제 일대의 퇴적 환경 변화

황등호의 수원은 익산시 금마면 미륵산(429 m)에서 삼기면 쪽으로 내려오는 유로연장 9.8 km의 기양천(면천, 뱀내)과 금마면 쪽으로 내려오는 유로연장 27.9 km의 탑천(망동천, 두천)이다. 하지만 이 두 하천은 길이가 짧고 유량이 많지 않아 이들 하천이 공급하는 수량으로는 황등호를 채워 농업 용수로 쓰기에 부족했을 것이다. 수도(隧道) 또는 수로(水路)와 같은 인공 물길을 만들어 인위적으로 물을 끌어와 공급해야 하는 것이다(Park, 2018).

1614년 조선왕조실록 광해군일기에는 길이 약 16 km의 물길, 이른바 ‘독주항 수도’에 대한 내용이 나온다. 물길에 쌓인 토사를 퍼내어 물길을 다시 개통했다는 것이다. 이로 미루어 1614년 이전에도 물길이 있었던 것으로 생각할 수 있지만, 언제 어떻게 만들고 관리했었는지는 알 수 없다(Park, 2018). 황등제를 축조한 2,250 yr BP(약 BC 300년) 당시에도 논농사를 위한 저수지가 필요했다면 1614년의 ‘독주항 수도’와 같은 기반 시설을 만들어 수량을 확보했어야 했을 터인데, 이것이 가능했는지는 미지수이다. 보다 합리적인 추론은 황등제 일대에서 논농사나 식수 확보 등을 위하여 해수 범람에 의한 염해를 막아야 했으며, 이것이 제방 축조의 목적일 것으로 상정하는 것이다. 또한 황등제 축조 당시에 어느 정도 규모의 논이나 밭, 그리고 식량 생산량이 필요했는지를 추정하기 위해서 그 당시의 인구압(population pressure)을 연구할 필요도 있다. 또한 화분, 식물구조체 등의 분석을 통하여 과거 식생을 복원한다면 당시 논이나 밭, 습지, 숲 등 주변 환경을 파악하는데 도움이 될 것이다.

조선시대 유학자 유형원은 그의 저서 반계수록에서 벽골제, 눌제, 황등제 모두 훼손되고 황폐해졌지만 이를 보수하여 다시 저수지를 만든다면 가뭄을 견딜 수 있을 것이라고 언급하였다. 그렇다면 1614년에 물길을 보수하여 개통하였는데 1670년에는 이 물길과 황등호 모두 황폐해졌다는 말이 된다. 조선시대에는 계갑 대기근(1593 계사년, 1594 갑오년), 병정 대기근(1626 병인년, 1627 정묘년), 경신 대기근(1670 경술년, 1671 신해년), 을병 대기근(1695 을해년, 1699 병자년) 등 수 차례의 대규모 가뭄 재해가 있었는데(Park, 2021), 이러한 대기근 시기는 황등호가 황폐화된 것과도 관련이 있을 것으로 보인다.

ISL-06과 ISL-12 시추공의 최상부에는 고토양층이 분포하는데, 이 고토양층이 형성된 시기를 정확하게 알 수는 없다. 그러나 층서상의 정황으로 미루어 대략 500 yr BP(약 AD 1500년) 때의 고토양층으로 추정할 수 있다. Choi *et al.* (2021)은 곰소만 일대의 해수면을 다루면서 약 1500년

-1600년대, 즉 소빙하기의 전반기 시기에 해수면이 소폭 하강했었을 것이라고 주장한 바 있다. 본 고토양층은 이러한 해수면 높이가 하강하는 시기에 침식기준면이 낮아지면서 하천 주변까지 퇴적물 공급이 원활하지 않은 상황에서 기존의 퇴적면이 대기 중에 노출되어 형성되었을 가능성도 생각할 수 있다. 또한 앞서 언급한 가뭄의 영향으로 퇴적물을 공급하는 하천이 말랐을 가능성도 있을 것이다. 반면에, 해수면 높이가 낮아지지 않았다면 조수의 영향으로 하천이 범람할 수도 있었을 것이다. 이러한 상황이라면 토양화 작용이 일어나기는 어려웠을 것이고 해수 규모도 일부 확인할 수 있었을 것이다. 그러나 고토양층 전후의 지층에서 구조의 산출은 없었다. 황등제 일대는 이 시기에 해수면 높이가 하강과 가뭄, 두 가지 요인의 영향을 함께 받았을 것으로 보인다.

한편, 고도 약 6.0 m의 모래질 점토층은 일시적으로 다량의 토사가 유입되어 형성된 퇴적층으로 생각할 수 있다. 그 시기를 특정하기는 어려우나, Ahn and Lee (2023)의 고지형 분석 결과에서도 황등제 일대의 퇴적량이 상당히 많은 것으로 파악된 바 있어 이러한 해석을 뒷받침한다.

조선시대를 중심으로 한 황등제의 역할은 농업용수를 공급하기 위한 저수지로 활용되었던 것으로 판단된다. 다만, 역사 문헌에서 인공적 물길이나 훼손된 상태 등을 언급한 바와 같이, 저수지로 활용하기 위하여 만경강 등에서 용수를 공급하거나 지류로부터 공급되는 퇴적물을 준설하는 작업 등이 요구되었던 것으로 보인다. 퇴적환경 변화에서 상당한 변화 양상을 보이는 것을 통해 해수면 변동과 가뭄 등 자연환경의 변화에 따라 저수지로의 기능이 약화된 것 역시 파악할 수 있었다.

5. 결론

황등제 일대는 호우, 홍수, 가뭄 등으로 인하여 퇴적물 이동이 빈번하게 일어나는 다소 불안정한 퇴적환경이었을 것으로 보인다. 7,000 yr BP에는 고도 약 3-4 m 정도까지 해수의 영향을 받았었다. 5,000-3,000 yr BP에는 때때로 해수의 영향을 받는 환경이었으며, 기양천과 탑천에 의한 퇴적물 이동이 빈번하여 퇴적-침식 작용이 크게 일어났었던 것으로 보인다. 또한 ISL-12와 ISL-16 시추공에서 각각 상하부의 암상이 상이한 유기물층이 분포하는 것으로 미루어, 지역적으로 소규모 소택지가 형성되었을 것으로 판단할 수 있다. 2,300 yr BP (약 BC 300년) 황등제 제방 축조 이후, 2,000-800 yr BP (약 AD 0-1200년)에는 소규모의 호수 또는 소택지가 있었으며, 때때로 해수의 영향이 있었던 것으로 보인다. 500 yr BP (약 AD 1500년)에는 해수면 높이가 하강하고 가뭄이 심하여 고토양이 형성되었으며,

그 이후에는 토사가 다량 유입되는 등 불안정한 퇴적환경이 지속되었던 것으로 생각할 수 있다. 이러한 상황에서 사람들은 물과 토지를 효율적으로 관리하고 식량 생산을 유지하기 위한 노력을 계속하였을 것이다.

본 연구에서 밝힌 여러 정황으로 미루어, 황등제 축조 초기에는 조수의 영향을 차단하기 위한 목적이었으나, 나중에는 인공 물길을 통하여 물을 끌어와서 저수지를 만들기 위한 목적으로 활용하였음을 유추할 수 있다. 어떠한 역할이든 간에 황등제 제방은 중요한 사회 기반시설이었음에 틀림없다.

기상기후 환경이나 지표 환경의 변화에 과거 사람들이 어떻게 반응하고 대응하고 적응하였는지를 살펴보는 것은 현재를 살아가는 우리들에게도 많은 시사점을 준다. 그리고 미래 자연환경의 변화를 예측하고, 방안을 마련하는 데에도 큰 도움을 준다. 과학과 공학 기술이 발달하면서 이제 자연환경의 영향을 차단할 수 있다고 과신하기보다는, 변화하는 자연환경에 보다 유연하게 대처할 수 있도록 토지 이용과 구조물 설치에 대해서 다시 생각하고 새롭게 구상할 필요가 있을 것이다.

감사의 글

논문을 검토하고 건설적인 의견을 주신 편집위원님과 익명의 심사위원님께 감사드립니다. 본 연구는 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받은 “과거 2000년 동안의 기후변화와 해수면 변동 특성(NRF-2018R1A5A7025409, NP 2018-026)” 및 한국지질자원연구원의 “국가지질도·지질주제도 디지털전환(DX)과 기반암 내 유망·유해원소 연구(3)(GP2025-032)”으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Ahn, H.K. and Lee, H.J., 2023, A study on the operation of Hwangdeung-je irrigation facilities using aerial archaeology analysis. *Journal of the Honam Archaeological Society*, 73, 136-157 (in Korean with English abstract).
- Argus, D.F., Peltier, W.R., Drummond, R. and Moore, A.W., 2014, The Antarctica component of postglacial rebound model ICE-6G_C (VM5a) based on GPS positioning, exposure age dating of ICE thicknesses, and relative sea level histories. *Geophysical Journal International*, 198, 537-563.
- Choi, J., Nahm, W.H., Jun, C.P., Lee, J.Y., Lee, G.R., Park, B.S., Lee, G.H. and Kemp, A.C., 2021, Sea-level fluctuations during the historical period in Gomsu Bay, Korea. *Marine Geology*, 442, 106647.
- Eakins, B.W. and Sharman, G.F., 2012, *Hypsographic Curve of Earth's Surface from ETOPO1*. NOAA National Geophysical Data Center, Boulder, CO, USA, 5, 1.

- Han, M., Yang, D.-Y. and Lim, J., 2017, Basic research of the paleo-environmental change and possibility of ancient port location through geomorphological survey and sediment analysis in Hwaseong City. *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 24, 27-41 (in Korean with English abstract).
- Hasle, G.R. and Syvertsen, E.E., 1996, Marine diatoms. In: Tomas, C.R. (Ed.), *Identifying Marine Phytoplankton*. Academic Press Inc., San Diego, USA, p. 5-385.
- Jeonbuk Cultural Property Research Institute, 2020, Basic Academic Research Service Report on the Nature and Identity of Hwangdeungje. Iksan-city, Korea, 111 p (in Korean with English abstract).
- Kim, H., Kihm, Y.H. and Kee, W.S., 2012, Geological Report of the Iri Sheet. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Korea, 61 p (in Korean with English abstract).
- Kwon, J., 2022, Reviewing the functions of Byeokgol-je, Nul-je, Hwangdeung-je. *Journal of the Honam Archaeological Society*, 70, 64-93 (in Korean with English abstract).
- Nahm, W.H., Kim, J.K., Kim, J.Y., Lim, J., Kim, J.C. and Yu, K.M., 2012, Topographical evolution and ^{14}C age dating of the construction of the Eurimji reservoir (Jecheon, Korea). *Journal of Archaeological Science*, 39, 3706-3713.
- National Geographic Institute of Korea, 1981, Report on results of basic survey on the coastal region (Kunsan district). Seoul, Korea, 63 p (in Korean with English abstract).
- Park, J., 2021, Holocene Climate Change in the Korean Peninsula and the Rise and Fall of Ancient Societies. *Journal of the Korean Geographical Society*, 30, 215-229 (in Korean with English abstract).
- Park, J.-H. and Jang, D.-H., 2009, A relationship between micro-landforms and distribution of Bronze Age's dwelling sites in a small hilly watershed around Asan City, central Korea. *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 16, 43-61 (in Korean with English abstract).
- Park, R.S., 2011, A historical consideration about Hwangdeungje in Iksan. *Geonji Inmunhak*, 6, 145-170 (in Korean with English abstract).
- Park, R.S., 2018, A study on the irrigation channel of Hwangdeungje. *Geonji Inmunhak*, 23, 113-136 (in Korean with English abstract).
- Park, S.J., 2010, A Historical Geography of Yogyoje in Iksan. *Journal of Cultural and Historical Geography*, 22, 87-98 (in Korean with English abstract).
- Patrick, R. and Reimer, C.W., 1975, The diatoms of the United States exclusive of Alaska and Hawaii. *Monographs of the academy of natural sciences of Philadelphia, USA*, 213 p.
- Reimer, P.J., Austin, W.E.N., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Butzin, M., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kromer, B., Manning, S.W., Muscheler, R., Palmer, J.G., Pearson, C., van der Plicht, J., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Turney, C.S.M., Wacker, L., Adolphi, F., Büntgen, U., Capano, M., Fahrni, S.M., Fogtmann-Schulz, A., Friedrich, R., Köhler, P., Kudsk, S., Miyake, F., Olsen, J., Reinig, F., Sakamoto, M., Sookdeo, A. and Talamo, S., 2020, The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0-55 cal kBP). *Radiocarbon*, 62, 725-757.
- Round, F.E., Caward, R.M. and Mann, D.G., 1990, *The Diatoms: Biology and Morphology of the Genera*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 747 p.
- Song, B., Yi, S., Yu, S.Y., Nahm, W.H., Lee, J.Y., Lim, J., Kim, J.C., Yang, Z., Han, M., Jo, K. and Saito, Y., 2018, Holocene relative sea-level changes inferred from multiple proxies on the west coast of South Korea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 496, 268-281.
- Spada, G. and Melini, D., 2019, SELEN⁴ (SELEN version 4.0): a Fortran program for solving the gravitationally and topographically self-consistent sea-level equation in glacial isostatic adjustment modeling. *Geoscientific Model Development*, 12, 5055-5075.
- Storme, A., Bastiaens, J., Crombe, P., Cruz, F., Louwye, S., Verhegge, J. and Deforce, K., 2020, The significance of palaeoecological indicators in reconstructing estuarine environments: A multi-proxy study of increased Middle Holocene tidal influence in the lower Scheldt river, N-Belgium. *Quaternary Science Reviews*, 230, 106113.
- Stuiver, M., Reimer, P.J. and Reimer, R.W., 2023, CALIB 8.1. <http://calib.org/calib/> (January 15, 2024).
- Yang, D.-Y., Kim, J.-Y. and Shin, S.-C., 2006, Applications of OSL method in archeology. *The Korean Journal of Quaternary Research*, 20, 28-38 (in Korean with English abstract).
- Yi, S., Kim, J.-Y., Oh, K.-C., Yang, D.-Y., Ryu, E. and Oh, K.-J., 2006, Late Pleistocene paleoenvironments of the Poonggi-dong area, Asan, inferred from pollen analysis. *Journal of the Geological Society of Korea*, 42, 57-68 (in Korean with English abstract).