

경북 경주시 양남면에 분포하는 제2 해안단구 퇴적층의 산상 및 형성과정

이호일^{1,2} · 백인성^{1,*} · 강희철¹ · 천종화³

¹부경대학교 지구환경과학과

²한국전력기술(주)

³한국지질자원연구원

요 약

경북 경주시 양남면 해안가에 폭 넓게 발달한 고도 10~18 m의 제2 해안단구를 구성하는 제4기 퇴적층의 산상 및 형성과정을 파악하기 위해 북측으로부터 나아, 진리 및 수렴 지역에 노출된 해안단구 퇴적단면을 조사하였다. 세 지역의 퇴적층은 대부분 역층으로 구성되며, 퇴적층을 구성하는 역들의 입자 크기, 지지 특성, 분급, 원마도, 내부 층리변화 등을 바탕으로 하성환경, 후안, 전안 그리고 내해안 상부 환경 등의 퇴적층으로 해석되었다. 각 지역 제2 해안단구 퇴적단면에서의 퇴적기록은 전반적으로 해침 이후에 해수면 상승이 일정 기간 지속되다가 마지막에 해퇴가 일어나는 퇴적양상을 나타내며, 발달 표고 차이를 제외하고는 상대적인 해수면 변동기록의 측면에서 서로 간에 대비가 된다. 이들 제2 해안단구 퇴적층의 기저부 표고와 구성선 표고의 지역 간 차이는 퇴적 당시의 지형기록의 차이에 의한 것이 아니라, 이 지역의 용기율과 지구조운동이 주 요인이었을 가능성이 높은 것으로 판단되며, 이는 한반도 동해안 해안단구의 표고 차이의 원인 현상에 대한 논의가 층서, 퇴적, 지질구조, 기반암의 물성 등 보다 다각적인 측면에서 이루어져야 함을 말해 준다. 연구지역 제2 해안단구 퇴적층의 퇴적 시기는 이전에 보고된 제2 해안단구의 연대자료와 연구지역 제2 해안단구 퇴적층의 퇴적기록을 함께 고려할 때 MIS 5a에 해당될 것으로 여겨지며, 약 80-90 ka의 시기에 퇴적되었을 것으로 해석된다. 한편 연구지역 현생 사갈 해변의 퇴적특성과 연구지역 제4기 해안단구 퇴적층의 퇴적특성은 서로 간에 높은 유사성을 가지며, 이는 이 지역의 해안 지형과 퇴적환경 특성이 플라이스토세말 이후에 크게 변화하지 않았음을 시사한다.

주요어: 양남면, 제4기, 제2 해안단구, 역층, 해수면 변동

Ho IL Lee, In Sung Paik, Hee Cheol Kang and Jong-Hwa Chun, 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. v. 49, no. 4, p. 417-436

ABSTRACT: The occurrences and evolution of Quaternary 2nd marine terrace (10 to 18 m in altitude) deposits at Naa, Jinri, and Suryeom area along the coast of Yangnam-myeon, Gyeongju City have been studied. Those deposits consist of mostly gravelly beds, and their depositional environments are interpreted to be fluvial, backshore, foreshore, and upper shoreface on the basis of their grain size, framework, sorting, roundness, and bedding. The vertical profiles of those marine terrace deposits show the over-all sequence of transgression and subsequent regression, and are correlated in terms of relative sea-level change except the difference in their altitudes. The differences in elevations of the bases and surfaces between the terrace deposits are deemed to have been resulted not from original topographic relief but from rate of uplifting and tectonic movement, which suggests that the elevation variation of the marine terraces in eastern coast of Korean peninsula should be discussed later in diverse aspects of stratigraphy, sedimentation, geological structures, and physical properties of basement rocks. The absolute age data for the 2nd marine terrace deposits in eastern coast and the vertical profiles of the 2nd marine terrace deposits in the study area showing transgressive and regressive sequence suggest that the 2nd marine terrace deposits were formed from 90 to 80 ka during MIS 5a. The sedimentary features of the recent gravelly beaches in study area are very similar to those of the examined 2nd marine terrace deposits, indicating that shoreline topography of study area has been changed little since late Pleistocene.

* Corresponding author: +82-51-629-6625, E-mail: paikis@pknu.ac.kr

Key words: Yangnam-Myeon, Quaternary, 2nd marine terrace, gravel deposits, sea-level change

(*Ho IL Lee, KEPCO Engineering & Construction Company, Inc., Sungnam 463-870, Korea; In Sung Paik and Hee Cheol Kang, Department of Earth and Environmental Sciences, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea; Jong-Hwa Chun, Petroleum & Marine Resources Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea*)

1. 서 언

제4기 퇴적층은 지질시대의 퇴적기록 중 현재와 가장 가까운 시기의 기록이기 때문에 과거의 환경변화에 대한 이해를 바탕으로 현재의 지구환경 변화를 이해하는 데에 유용한 정보를 제공해 준다(Zazo *et al.*, 2003; Zecchin *et al.*, 2004; Pedoja *et al.*, 2006; Claessens *et al.*, 2009; Robustelli *et al.*, 2009; Kadiri *et al.*, 2010). 이러한 관심 속에 우리나라의 제4기 퇴적층에 대한 연구는 지형, 화분, 연대측정 등 다양한 분야에 걸쳐 이루어져 왔으며, 특히 지형적으로 평탄한 단구면이 서해안이나 남해안에 비해 동해안 지역에서 비교적 용이하게 인지된 까닭에 동해안에 발달된 해안단구를 대상으로 주로 연구가 진행되었다(Oh, 1980, 1983; Choi, 1996, 2004, 2007; Yoon and Hwang, 2000; Choi *et al.*, 2003, 2009; Yoon *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2005, 2007; Choi and Lee, 2007).

지금까지 국내 해안단구를 대상으로 이루어진 연구들은 지리학 및 지형학적인 연구가 대부분을 차지한다(Oh, 1980, 1983; Choi, 1996; Choi *et al.*, 2003; Yoon *et al.*, 2003). 이들 연구는 주로 해안단구면을 인지하여 고도를 산출하고 해안단구를 구성하는 제4기 퇴적층의 연대 산출을 통한 지역 간 대비와 융기율 산출을 대상으로 이루어졌다(Yoon and Hwang, 2000; Yoon *et al.*, 2003; Choi, 2004; Kim *et al.*, 2005, 2007; Choi and Lee, 2007; Choi *et al.*, 2008, 2009). 최근에는 우주선 기원 원소분석에 의한 연대측정(Lee *et al.*, 2012)이 이루어졌으며, 이와 함께 해안단구 상부 퇴적층 내에 함유된 일본에서 기원한 화산분출물(tephra)과 중국 본토에서 기원한 풍성토(loess)를 대상으로 해안단구의 형성시기를 추정하는 방법도 도입된 바 있다(Choi, 2003; Inoue and Choi, 2006; Choi *et al.*, 2007). 따라서 해안단구 퇴적층의 연령 자료는 상당수 축적되었으나, 이들 해안단구 및 퇴적층의 형성시기와 관련해서는 체계화된 층서대비가 이루어져 있지 않은 상태이다. 이와

같은 동해안 해안단구들의 형성시기에 대한 논란은 일차적으로 측정방법과 여러 연구자들에 의해 측정된 절대연령 측정값의 상이성에 있지만, 해안단구를 구성하는 제4기 퇴적층의 퇴적특성과 퇴적환경 변화에 대한 구체적인 연구의 부족 또한 동해안 해안단구의 체계적인 층서대비를 어렵게 하는 원인이다.

동해안의 제4기 해안단구 퇴적층에 대한 퇴적특성의 이해와 퇴적환경 해석은 이들 해안단구 퇴적층의 발달과정을 통해 해수면 변동을 추정하는데 기초자료가 되며, 이를 통해 제4기 플라이스토세말의 범지구적 해수면 변동 기록과 대비함으로써 동해안 해안단구의 지질시대 결정과 층서대비의 신뢰도를 제고시킬 수 있을 것이다. 동해안 해안단구 퇴적층의 퇴적특성과 퇴적환경에 대한 연구는 부분적으로 이루어진 바 있으나(Lee, 1985, 1987; Choi *et al.*, 2008), 아직은 부족한 상태이다. 연구지역 부근의 해안단구 퇴적층을 절단하는 읍천단층의 연구를 통해 제3 해안단구 및 제4 해안단구 퇴적층의 특성이 기재된 바 있으나(Kee *et al.*, 2007; Choi *et al.*, 2008), 제2 해안단구의 퇴적특성에 대한 연구는 미흡한 상태이다. 따라서 이 연구에서는 경북 경주시 양남면 나아, 진리, 수렴 등의 해안 지역에 분포하는 제2 해안단구에 발달된 퇴적층을 대상으로 이들 퇴적층의 퇴적지질학적 산상을 기재하여 이를 바탕으로 퇴적 환경과 각 지역별 상대 해수면 변동의 기록을 해석하였으며, 이들 자료를 토대로 이 제2 해안단구의 형성 과정을 해석하였다.

이 연구에서 얻어진 제4기 해안단구에 대한 퇴적지질학적 연구결과는 연구대상 지역 해안단구의 층서대비에 기초 자료가 됨은 물론, 앞으로 동해안 지역 해안단구들의 지역 간 층서대비는 물론 한반도 동남부 해안의 제4기 지구조운동의 특성을 이해하는 데에도 유용한 바탕 자료가 될 수 있을 것이다.

2. 지형 및 지질 개관

연구 지역은 경북 경주시 양남면 일대의 해안가에

위치한다(그림 1). 한반도 남동부 지역에는 북북동-남남서 방향으로 여러 개의 지질구조선이 발달되어 있으며, 장기곶에서 방어진에 이르는 해안선의 방향은 이 구조선들 중 양산단층선의 주향과 같은 방향을 가진다. 이 지역의 해안선은 대체적으로 직선상이고 단순한 편이나, 작은 내만과 곶이 해안을 따라 단속적으로 발달되어 있다(Yoon and Hwang, 2000). 연구지역 북쪽의 나아 지역에는 나산천, 남쪽의 수렴지역에는 하서천이 발달되어 있으며, 이들 두 하천은 북서쪽에서 남동쪽으로 흐른다. 하서천은 나산천에 비해 유로의 폭이 크며 하천의 연장 또한 10 km 이상으로 나산천에 비해 하천의 규모가 큰 편이다. 이 두 하천이 동해안과 만나는 지역에는 해변(나아 해수욕장 및 하서 해수욕장)이 발달되어 있다.

연구 지역은 신제3기의 분지 중 하나인 하서분지에 속한다(그림 2). 하서분지는 주로 안산암질 응회암과 응회암질 퇴적암으로 충진되어 있으며 유문암질 응회암이 일부 산출한다(Kee *et al.*, 2007). 이와 함께 현무암 및 안산암이 분지 경계부를 따라 분포하며, 이들 화산암들은 송전층에 의해 부정합으로 덮인다(Kee *et al.*, 2007). 하서분지의 기반암은 백악기 울산층으로서(Park and Yoon, 1968), 부분적으로

혼펠스질을 띠는 녹회색 및 암회색 이암이 우세하며, 하서리 화산암류 중 가장 넓은 분포를 보이는 응회암은 대부분 라필리 응회암으로서 안산암 내지 현무암기원의 화산력과 장석 결정편을 다량 포함하고, 응회암 내에는 이들이 재동되어 형성된 응회질 퇴적암이 빈번하게 협재되어 있다(Kee *et al.*, 2007). 현무암은 하서리 화산암류를 구성하는 암체 중 가장 후기의 암체로서 매우 치밀한 조직을 보이며 연구지역의 기반암을 이룬다. 연구지역의 현무암에서는 유동구조와 주상절리 등이 잘 나타난다. 이 지역 현무암의 K-Ar 연대는 20.89 ± 0.48 Ma 로서 전기 마이오세를 지시한다(Lee *et al.*, 1992).

한반도 남동부 해안의 대보, 월성, 고리 등의 지역에서는 해안단구의 구성선 고도를 바탕으로 총 6개 고도의 해안단구(제1 단구: <5 m, 제2 단구: 10-25 m, 제3 단구 저위면: 17-35 m, 제3 단구 고위면: 25-50 m, 제4 단구: 40-70 m, 제5 단구: 75-85 m)가 보고되었다(Chwae and Choi, 2007; Choi *et al.*, 2008; 그림 3). 한편 Choi *et al.* (2008)은 해수면 최고조 시기인 117-132 ka 시기의 해수면이 현재보다 약 6 m 정도 높았던 것을 고려하여, 월성 지역이 대보 및 고리 지역보다 해안단구의 고도가 약 10~15 m 정도 높음

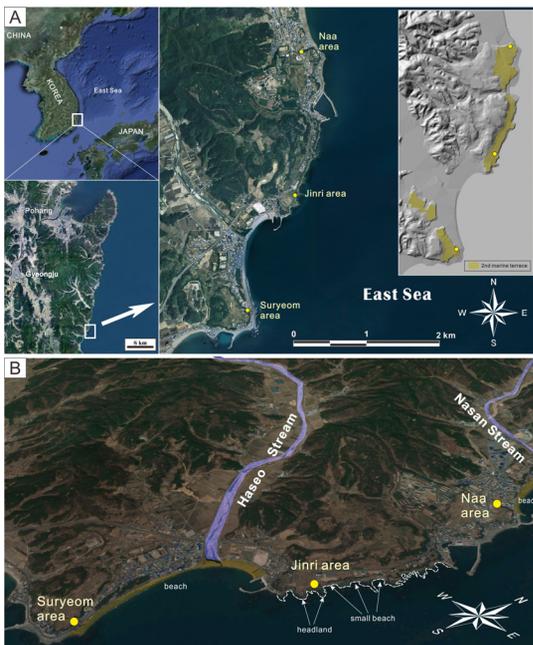


Fig. 1. Satellite and shaded relief images of study area.

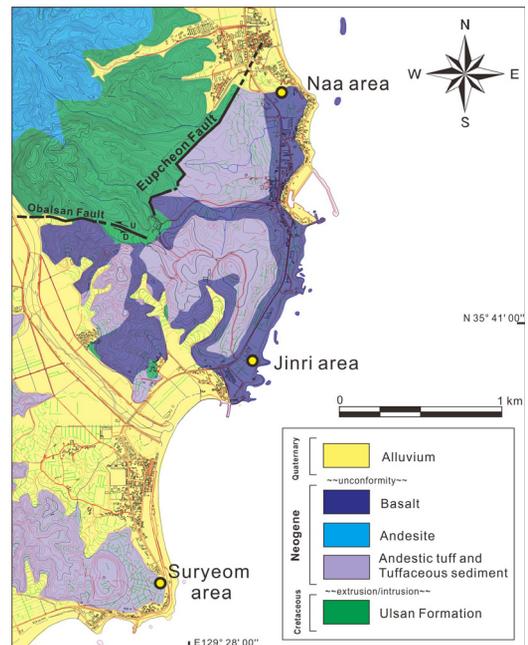


Fig. 2. Geological map of study area (after Kee *et al.*, 2007).

Elevations of the 2nd marine terrace in SE Korea				Daebu area	Weolsung area	Gori area
Jungja-ri (10-20m)	Sanha-ri (10-20m)	Terrace 2 (10-15m)	Lower II (10m)	Terrace 2 (9-11m)	Terrace 2 (9-24m)	Terrace 2 (8-11m)
Kim (1973)	Oh (1980a, b, 1981, 1983a, b)	Lee (1985, 1987, 1993)	Inoue and Choi (2006)	Choi et al. (2008)		
Late Pleistocene						

Fig. 3. The elevations of the 2nd marine terraces in southeastern part of the Korea peninsula by previous studies.

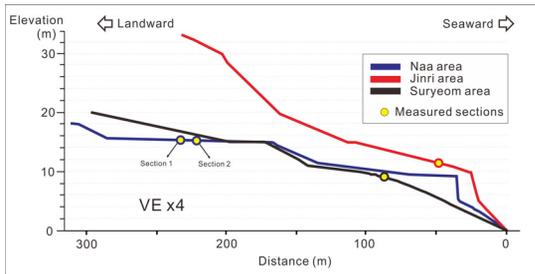


Fig. 4. Simplified elevation profile of 2nd marine terraces in study area with elevation of measured sections.

을 제시하였다. Kim *et al.* (2007)은 연구지역 인근의 제2 해안단구 및 제3 해안단구 퇴적층의 사질층으로부터 OSL 연대측정을 통해 각각 약 60-64 ka 및 116-126 ka의 시기를 보고하였다.

제2 해안단구는 연구지역에 발달된 해안단구 중 가장 넓게 분포하며 지형적으로도 제2 해안단구의 평탄면이 가장 현저하게 인지된다(그림 1). 이 연구에서는 북쪽으로부터 나아, 진리 및 수렴 지역의 제2 해안단구 퇴적층을 연구 대상으로 선정하였으며, 북단의 나아 지역과 남단의 수렴지역 간 직선거리는 약 3.5 km이다. 나아, 진리, 수렴 지역에서의 해안단구 퇴적층 노출면의 방향은 각각 동-서, 북동-남서, 동-서 방향으로 나아 지역과 수렴 지역은 현재의 해안선과 사교하는 방향이며, 진리 지역은 현재의 해안선과 거의 평행한 방향을 이룬다.

한편 연구 대상 해안단구 퇴적층의 발달 위치는 나아 지역이 해안으로부터 가장 멀리 떨어져 있으며 (약 200 m), 진리와 수렴 지역은 각각 약 30 m, 80 m로 나아 지역에 비해 해안으로부터 가까이 위치한다(그림 4). 나아, 진리, 수렴 지역에서의 부정합면의 기저 고도는 각각 15 m, 9 m, 7 m이며, 구성선의 고도는 각각 16.5 m, 11.5 m, 8.8 m, 노출된 해안단구

퇴적층의 두께는 각각 1.5 m, 2.5 m, 1.8 m로 지역에 따라 변화하는 양상을 보여준다.

3. 퇴적특성 및 퇴적환경

연구지역에 발달하는 해안단구의 노출단면은 기반암과 그 상위에 부정합으로 놓이는 제4기 퇴적층으로 구성된다. 연구지역의 제4기 퇴적층은 사질층이 발달하는 다른 지역과는 달리 대부분 역층으로 구성되어 있으며 사질 및 이질층은 극히 드물다. 연구지역 세 곳에서 관찰된 퇴적층은 입도, 원마도, 분급, 점이층리 등의 수직적인 변화에 따라 각각의 단위퇴적층으로 구분하였으며(표 1; 그림 5, 6), 각 지역별 이들 단위퇴적층의 퇴적특성과 퇴적환경은 다음과 같다.

3.1 나아 지역

3.1.1 퇴적층 특성

이 지역의 제2 해안단구 퇴적층은 전반적으로 육지에서 바다 쪽으로 10° 내외의 경사를 가지며 발달되어 있다(그림 7). 이 지역에서는 서로 간에 동서 방향으로 약 10 m 떨어져 있는 두 지점이 관찰대상으로 선정되었으며, 1지점이 2지점에 비해 육지 쪽에 위치한다(그림 4). 1지점 및 2지점에서 관찰되는 퇴적층은 모두 현무암질의 기반암을 부정합으로 피복하며, 부정합면의 고도는 바다 쪽에 가까운 2지점이 1지점에 비해 상대적으로 낮다.

1지점의 경우 4개의 단위퇴적층으로 구분된다. 최하부인 N1 단위퇴적층은 약 30 cm의 두께이며 역지지의 거력 내지 왕모래로 구성된 퇴적층으로 역의 원마도가 좋으며 분급은 불량한 편이다(그림 7A). 약 20 내지 30 cm의 두께의 N2 단위퇴적층은 역지지의 잔자갈로 구성되며, 원마도 및 분급이 양호한 편이다(그림 7B). N2를 피복하는 N3 단위퇴적층은

40 cm의 두께를 가지며, N2와 유사한 역지지의 잔자갈로 이루어져 있다. 또한 원마도 및 분급도 양호한 편이다. N2와 N3에서는 역점이층리가 공통적으로 관찰되며 상향 조립화의 경향이 나타난다. 약 20 cm 두께의 N4 단위퇴적층 또한 원마도와 분급이 양호한 역지지의 잔자갈로 이루어져 있으며, 이 퇴적층에서는 정상점이층리가 나타난다. 이와 함께 N4에서는 판상의 역들이 흔히 관찰된다. N4의 상위에는 토양층이 피복하며 토양층 상부는 나아 지역의 제2 해안단구 평탄면과 동일한 고도이다(그림 7C).

나아 2지점의 퇴적층은 5개의 단위퇴적층으로 구분된다. 최하부 단위 퇴적층인 N5는 약 40 cm의 두께를 가지며 다른 단위 퇴적층과는 달리 기질지로서, 역은 주로 거력을 함유한 왕자갈에서 잔자갈로 구성된다(그림 7D). 원마도는 아원형 내지 아각형으로 1지점에서 관찰되는 단위 퇴적층과는 차이를 보

인다. 이 퇴적층 상위의 15 cm 두께의 N6 단위퇴적층은 원마도 및 분급이 양호한 역지지의 잔자갈층이다. 약 35 cm의 두께를 가지는 N7 단위퇴적층은 역지지의 왕자갈 내지 잔자갈로 구성되며, 원마도는 좋은 편이나 분급은 보통이다(그림 7E). N8 단위퇴적층은 하위의 N6과 유사한 퇴적상 및 두께를 보인다. 최상부의 N9는 최하부 N5에서와 같은 기질지지의 왕자갈 내지 잔자갈로 구성된 층이 다시 나타나거나 거력은 관찰되지 않는다(그림 7F).

3.1.2 해석

나아 지역 1지점의 N1 단위퇴적층의 경우, 거력에서부터 잔자갈까지 다양한 입도를 가지는 역지지의 특성과 아각형 내지 아원형의 원마도 및 불량한 분급의 특성은 후안(backshore) 환경에서의 퇴적을 지시한다(Gupta and Allen, 1999). 한편 왕자갈 내지

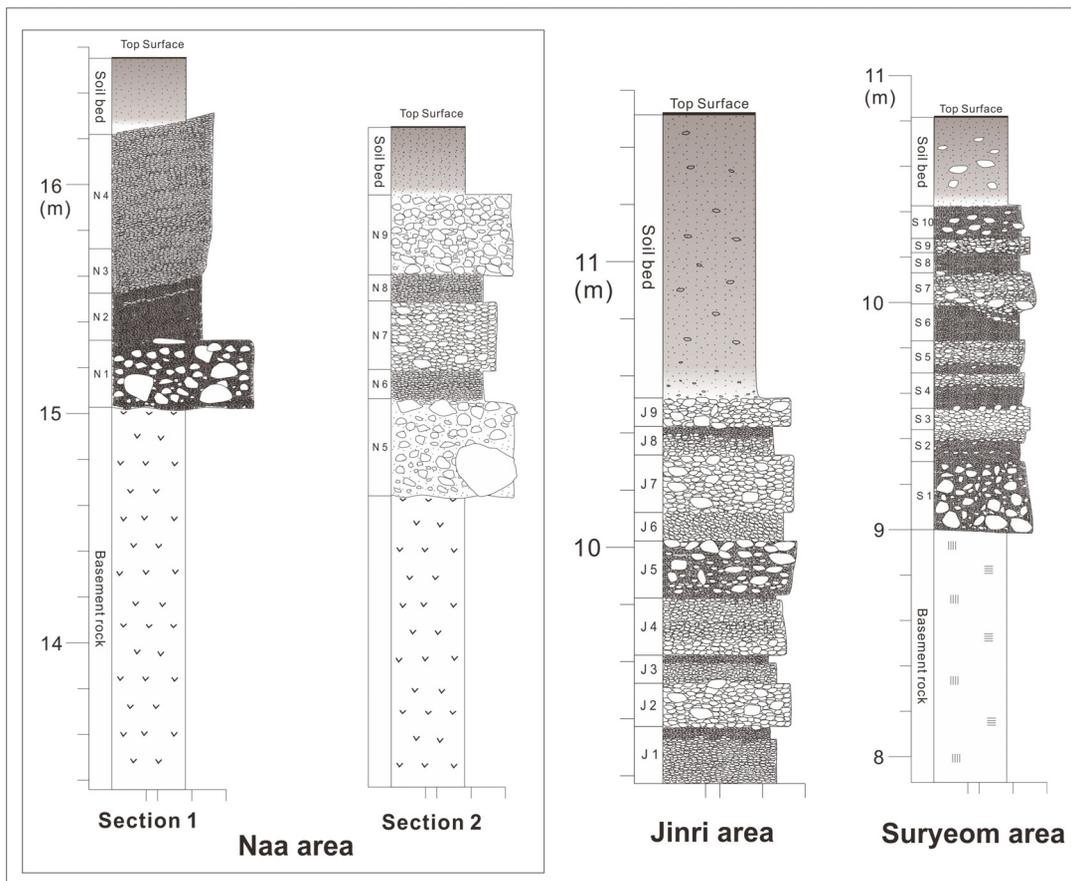


Fig. 5. Stratigraphic sections at Naa, Jinri, and Suryeom areas.

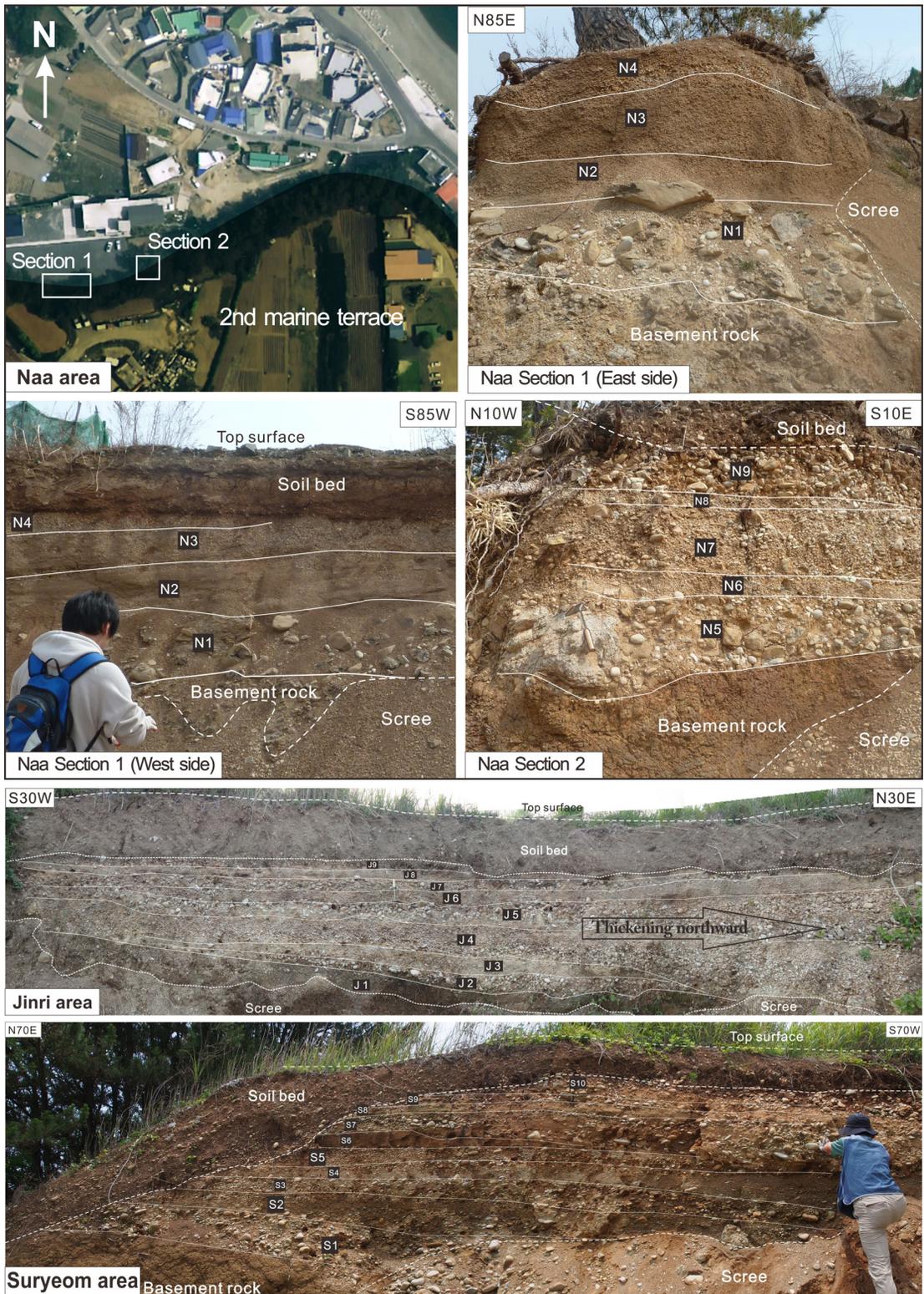


Fig. 6. Overall views of the examined sections at Naa, Jinri, and Suryeom areas.

Table 1. Description and interpretation of each sedimentary units in three examined marine terraces.

Units	Descriptions						Interpretation
	Grain size	Framework	Roundness	Sorting	Grading	Imbrication	
N5	Cobble to pebble (boulder bearing)	Matrix-supported (coarse-grained sand matrix)	Rounded	Very poor	None	None	River/stream
N9	Cobble to pebble		(Sub-rounded to	Poor			
N1	Boulder to granule		sub-angular in boulder)	Very poor	Weakly inverse-graded		
J5	Cobble to granule (boulder bearing)		Rounded	Poor	None		Backshore (Gupta and Allen, 1999)
S1 / S10	Cobble to granule						
N7						Seaward dipping	
J2 / J7 / J9	Cobble to pebble			Moderate			
S3 / S9							
S7	Cobble to granule	Clast-supported	Rounded to well-rounded	Moderate to poor	None	Both seaward and landward dipping	Foreshore except S6 and S8 (Upper shoreface) (Gupta and Allen, 1999; Buscomb and Masselink, 2006; Bizzarri, 2010)
N6 / N8	Pebble			Well	None	Seaward dipping	
J4 / J6 / J8							
J1 / J3	Pebble to granule		Moderate	Weakly graded			
S2 / S4 / S5							
S6 / S8	Granule		Well	Graded	None		
N4					weakly Seaward dipping		
N3	Pebble			Very well	Inverse-graded	None	
N2	Granule						

잔자갈들은 원마도가 좋은 편인데 반해 거력의 원마도가 좋지 않은 점은 이들 거력이 후안 환경에 인접한 해안절벽으로부터 유입되었음을 시사한다. N2, N3 및 N4 단위퇴적층은 전반적으로 원마도 및 분급이 매우 양호하고, 역점이층리 또는 정상점이층리가 나타나며, 판상의 역들이 산출함은 이들 퇴적층이 전안(foreshore)환경에서 형성되었음을 지시한다(Gupta and Allen, 1999; Buscombe and Masselink, 2006).

한편 2지점 최하부인 N5 단위퇴적층은 N1 단위퇴적층과 입도의 구성은 유사하나 역지지가 아닌 기질지지로 이루어져 있어 N1과는 차이를 보인다. 이는 N5의 퇴적에 하천이 영향을 미쳤음을 시사하며, 이러한 하성 환경은 현재 연구지역 북쪽에 발달된 나산천 수계의 일부였을 것으로 여겨진다. N5 상위의 N6, N7, N8 단위퇴적층은 N2, N3, N4 단위퇴적층과 마찬가지로 전안환경에서 파도에 의한 반복적인 퇴적을 지시하며(Gupta and Allen, 1999; Buscombe and Masselink, 2006; Bizzarri, 2010), 이에 따라 세립질

(잔자갈) 및 조립질(왕자갈)의 퇴적물이 반복적으로 퇴적된 것으로 여겨진다. 이러한 퇴적작용은 전안환경에서 파도의 에너지 차에 따라 이루어지는 선별적 퇴적의 결과로(Buscombe and Masselink, 2006) 해석된다. 분급 및 원마도가 불량하며 기질지지의 왕자갈 내지 잔자갈 조직을 보이는 N9 단위퇴적층은 N4와 마찬가지로 하성환경의 영향을 받은 것으로 해석된다.

3.2 진리 지역

3.2.1 퇴적층 특성

진리 지역은 총 9개의 단위 퇴적층으로 구분된다(그림 5,6). 진리 지역의 최하부 단위 퇴적층인 J1은 하부에서 기반암과의 접촉을 확인할 수 없지만 남쪽으로 약 5 m 지점에서 역층과 그 하위 현무암질 기반암과의 경계가 확인된다(그림 8A). J1 단위퇴적층은 역지지의 잔자갈 내지 왕모래로 구성된다. 약 20 cm 두께 중 하부의 15 cm는 잔자갈이 주성분이며, 상부 5 cm에서는 왕모래가 우세하게 나타난다. 원

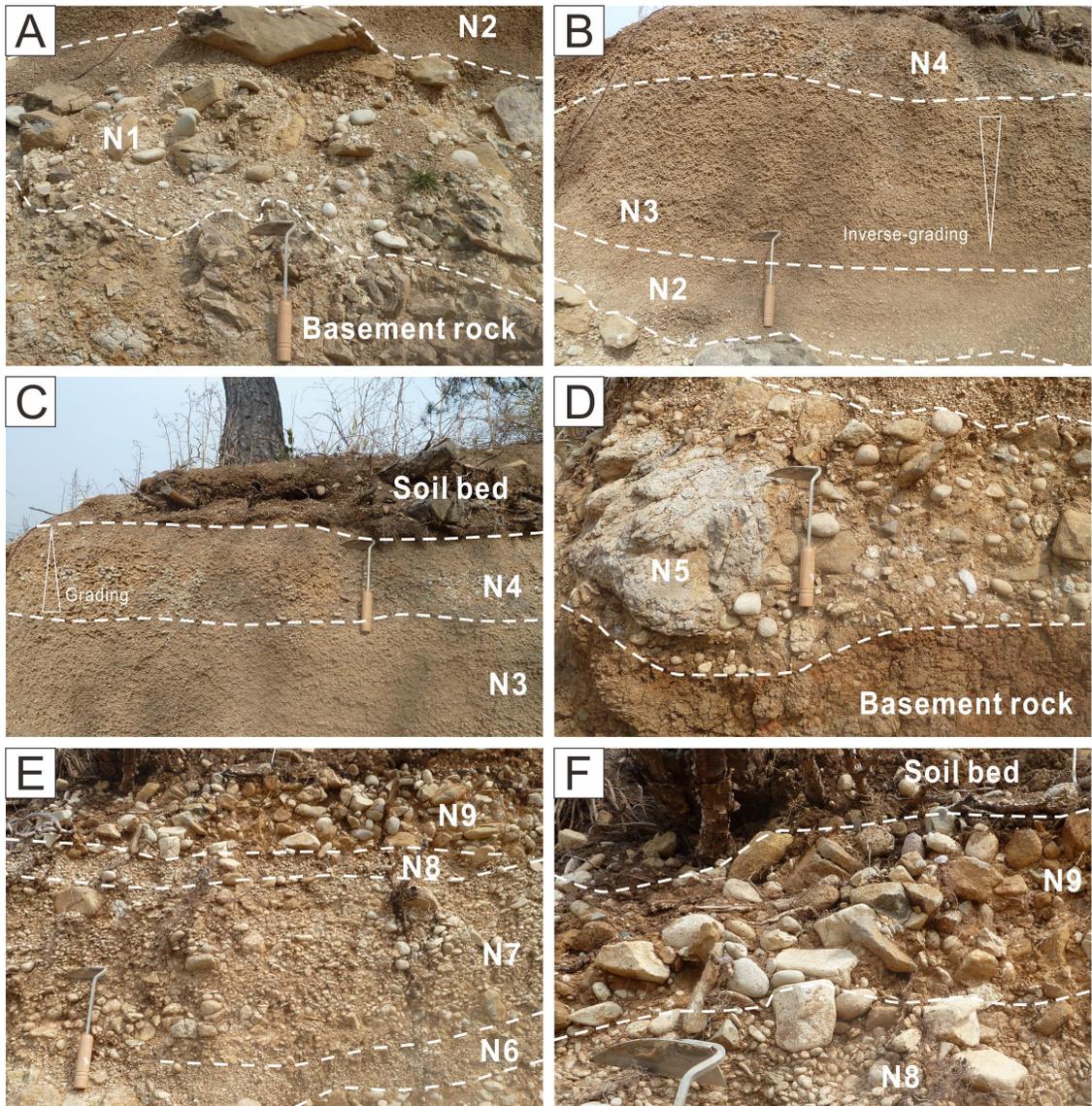


Fig. 7. Occurrences of the 2nd marine terrace deposits at Naa area. A. Very poorly sorted boulder to granule bed of unit N1 unconformably overlying basaltic basement rock with irregular relief. B, C. Granule to pebble bed of units N3 and N4 showing normal and inverse grading. D. Very poorly sorted boulder-bearing cobble to pebble bed of unit N5. E. Repetition of cobble and pebble beds through units N6 to N8. F. Poorly sorted and sub-angular gravels of unit N9.

마도는 양호하며 분급은 보통이다. 미약하게 역점이 층리가 나타나며 역들의 인편구조가 부분적으로 관찰된다(그림 8B). 약 17 cm의 두께를 가지는 역지지의 J2 단위퇴적층은 왕자갈 내지 잔자갈이 주를 이루며 원마도는 양호하고 분급은 보통이다. J2에서도 J1에서와 같은 역들의 인편구조가 나타나나 역점이 층리는 관찰되지 않는다.

J2 상위에 오는 J3 단위퇴적층은 J1과 동일한 퇴적상을 보이며 두께는 약 10 cm 정도로 J1보다 얇게 발달한다. J4 단위퇴적층은 약 20 cm 두께로 역지지의 잔자갈로 구성된다. 원마도 및 분급은 양호한 편이며, 인편구조도 함께 관찰된다. J5 단위퇴적층은 역지지의 왕자갈 내지 왕모래로 구성되며, 두께는 약 20 cm 이다. 원마도는 좋으나 분급은 매우 불량하며,

전반적으로 역점이층리가 미약하게 나타난다(그림 8C, D). J6 단위퇴적층은 약 10 cm 두께로 하위의 J4와 유사한 퇴적 특성을 보인다. 특히 J4에 비해 역들의 인편구조가 매우 현저하게 관찰되는 특징을 보여 준다(그림 8E). 약 20 cm 두께의 J7 단위퇴적층은 J2

와, 약 10 cm 두께의 J8 단위퇴적층은 J4와 각각 동일한 퇴적상을 보인다. 진리 지역 퇴적층 최상부에 위치하는 J9 역시 J2 및 J4와 동일한 퇴적상을 보이며, 두께는 약 10 cm로 상대적으로 얇게 발달한다(그림 8F). J9의 상위에는 부분적으로 잔자갈을 포함

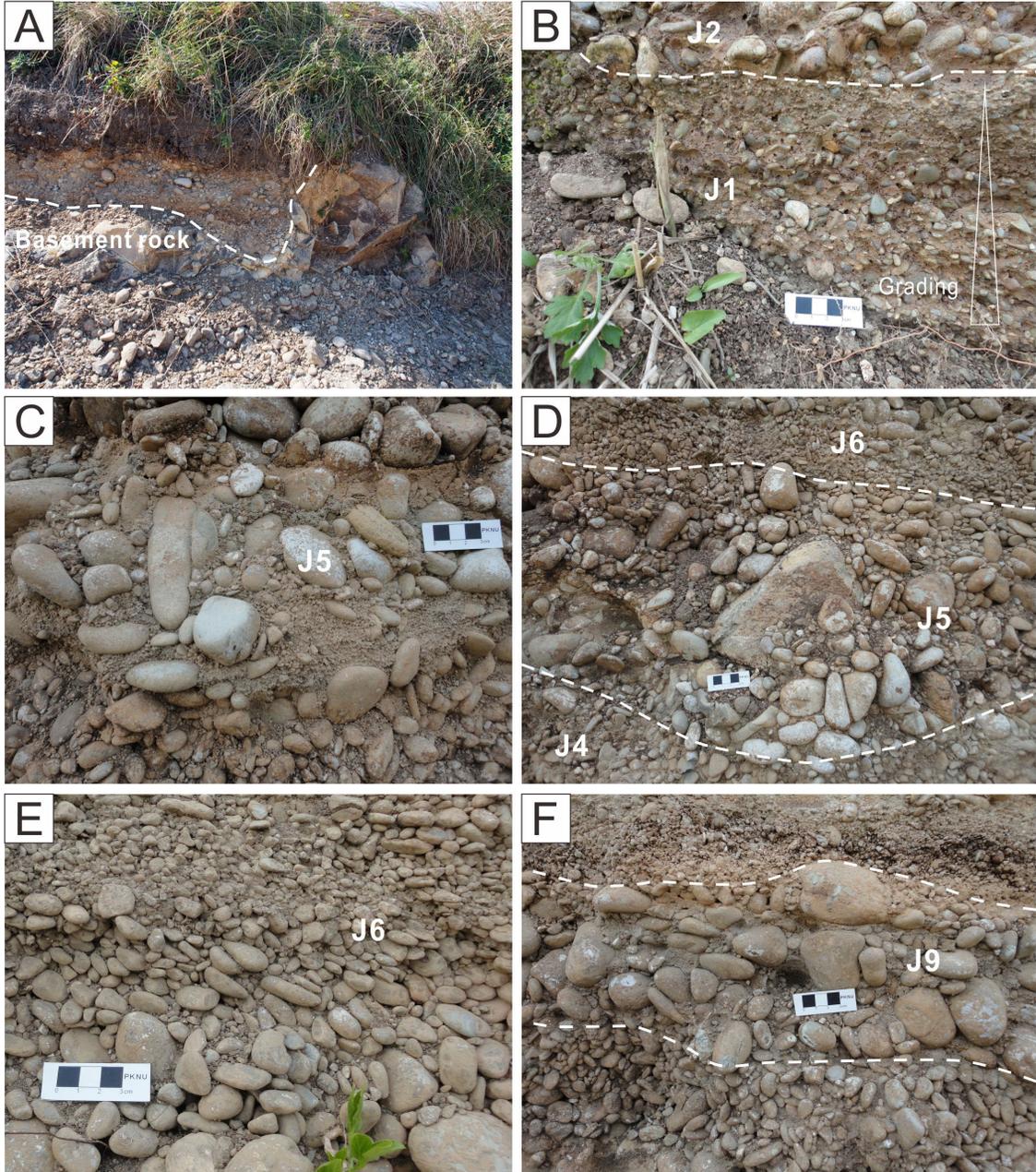


Fig. 8. Occurrences of the 2nd marine terrace deposits at Jinri area. A. Basal unconformity surface. B. Graded pebble bed of unit J1. C, D. Poorly sorted gravel bed of unit J5 including boulders. E. Unit J6 with imbricated pebbles. F. Cobble to pebble bed of unit J9.

하는 약 1 m 두께의 암회색 토양층이 덮여 있다.

3.2.2 해석

진리 지역의 퇴적층은 J5 단위퇴적층을 제외하고

는 전반적으로 세립질(잔자갈 내지 왕모래)과 조립질(왕자갈)의 역층이 수직적으로 수 회 반복되어 발달하는 특성을 보인다. 이러한 반복적인 역층의 발달은 전술한 바와 같이 전안환경에서 파도의 에너지

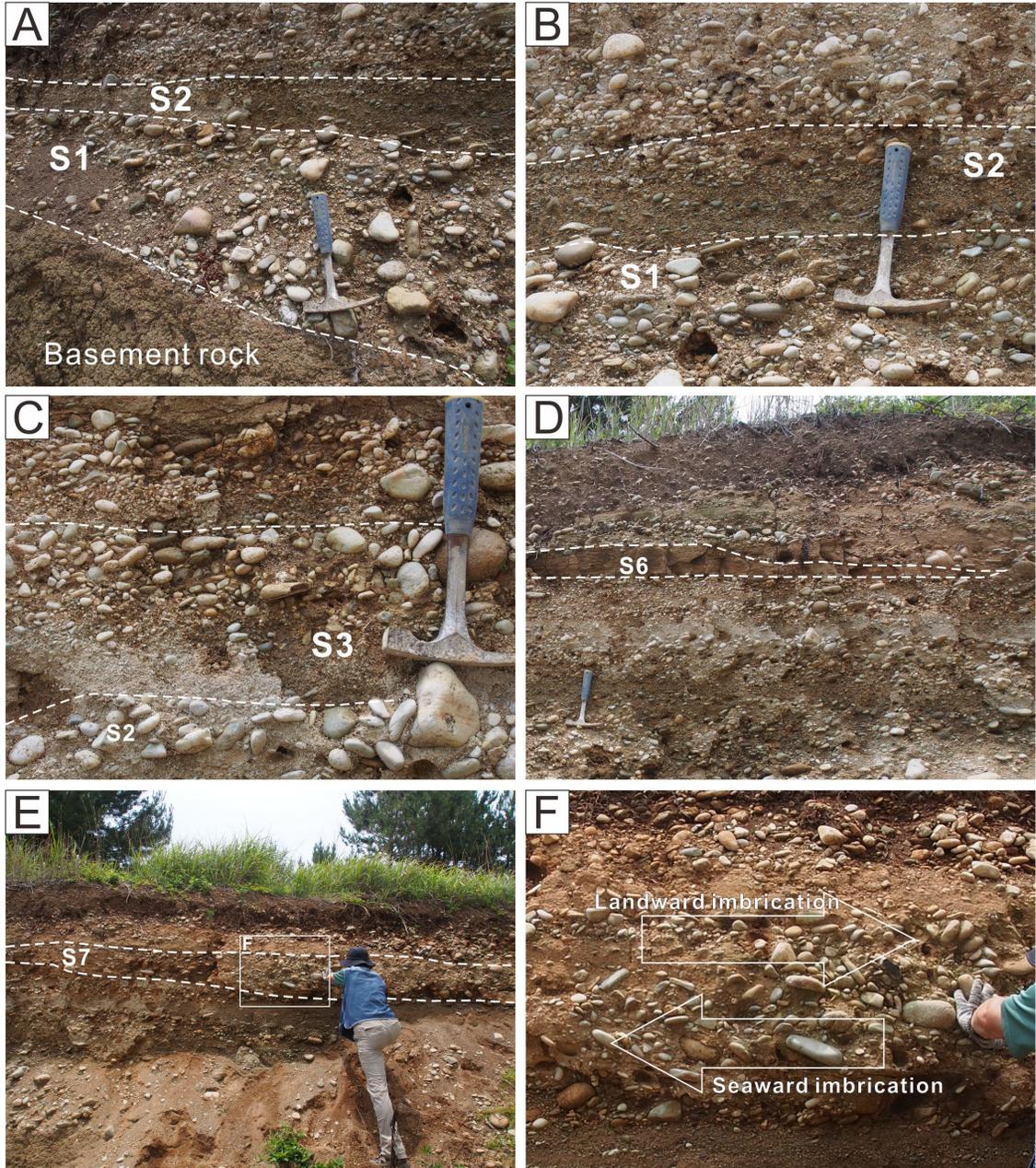


Fig. 9. Occurrences of the 2nd marine terrace deposits at Suryum area. A. Poorly sorted gravels of unit S1 unconformably overlying tuffaceous basement rock. B, C. Inverse grading observed in units S2 and S3. D. Lenticular bedding of unit S6 decreasing westward (landward) in bed thickness. E. Unit S7 with lateral change of bed thickness in dip direction. F. Bidirectional imbrication preserved in unit S7.

차이에 기인한 반복적인 퇴적을 지시한다(Gupta and Allen, 1999; Buscombe and Masselink, 2006; Bizzarri, 2010). 한편 미약한 역점이 층리의 발달은 세립질 입자가 조립질 입자들 사이로 빠져들어 퇴적되는 'kinetic sieving' 또는 파도의 에너지 변화에 의해 세립질 입자 위에 조립질 입자들이 얹히는 'overpassing' 현상의 결과로 해석되며, 이와 같은 퇴적특성은 자갈해빈의 퇴적특성 중 하나이다(Buscombe and Masselink, 2006). 또한 빈번하게 발달하는 편평한 역들의 인편 구조는 파도에 의한 퇴적을 지시한다(Bluck, 1967, 1999). 한편 다른 단위퇴적층과는 달리 역지지의 왕자갈에서부터 왕모래까지의 다양한 입도와 아각형 내지 아원형의 원마도, 불량한 분급, 아각형의 거력 산출 등의 퇴적 특성을 가지는 J5 단위퇴적층은 후안 환경의 퇴적물로 해석된다(Gupta and Allen, 1999). 따라서 진리 지역의 퇴적층은 J1에서 J4까지는 전안 환경, J5는 후안환경 그리고 J6에서 J9까지는 전안 환경의 퇴적물로 해석된다.

3.3 수렴 지역

3.3.1 퇴적층 특성

수렴 지역은 총 10개의 단위퇴적층으로 구분되며(그림 5, 6) 10개의 단위퇴적층 모두 역지지 퇴적층이다(그림 9). 최하부의 S1 단위퇴적층은 30 cm의 두께로, 노출 단면이 수직이 아닌 경사진 면이라 상위의 역들이 쓸려 내려와 표면에서 일부 혼재된 양상을 보이지만 전반적으로는 왕자갈 내지 왕모래로 구성된다. 아원형 내지 아각형의 원마도 및 불량한 분급을 가지며, 10 cm 내외의 왕자갈이 우세하게 나타난다(그림 9A,B). 10 cm 내외의 두께로 발달된 S2 단위퇴적층은 잔자갈 내지 왕모래로 구성되며 미약한 역점이 층리가 관찰된다(그림 9B). 원마도 및 분급은 양호하고 잔자갈보다는 왕모래가 우세하게 나타난다. 특히 잔자갈들은 해안 방향인 동쪽으로의 경사를 가지는 인편구조가 발달한다. S3 단위퇴적층은 약 10 cm 두께로 주로 왕자갈 내지 잔자갈로 구성된다. 원마도는 양호하고 분급은 보통이며 인편구조가 나타난다(그림 9C). S3 상위에 오는 S4 단위퇴적층 및 S5 단위퇴적층은 약 15 cm 내외의 두께로 하위의 S2와 유사한 잔자갈 내지 왕모래로 구성되며 미약한 역점이 층리가 발달하는 퇴적상을 보인다. 이와 함께 하위의 S2, S3과 마찬가지로 역들의 인편구조가 흔히 관찰된다.

S6 단위퇴적층은 두께가 약 18 cm 내외로 해안가 쪽인 동쪽에서 육지 쪽인 서쪽으로 갈수록 층의 두께가 줄어드는 썩기상으로 발달하며, 노출된 S6의 수평 연장은 약 2 m 내외이다(그림 9D). S6은 대부분 왕모래로 이루어져 있으며, 원마도 및 분급은 양호한 편이다. 그러나 간간히 협재되는 잔자갈에서 관찰될 수 있는 인편구조 및 단위퇴적층 내부의 역점이 층리는 관찰되지 않는다. S7 단위퇴적층은 두께가 약 10~30 cm로 해안방향에서 육지 방향으로 갈수록 층의 두께가 두꺼워진다(그림 9E). 주로 왕자갈에서 왕모래까지 다양한 조직을 가지며 원마도는 양호하다. S7의 분급은 중간 정도이나 육지 방향으로 갈수록 분급이 나빠진다. 한편 S7에서는 해안가 방향으로의 인편구조와 함께 육지방향으로의 인편구조가 교호된 양상이 나타난다(그림 9F). S8 단위퇴적층은 S6과 유사한 퇴적상을 보이며, S9 단위퇴적층은 S3과 유사한 퇴적상으로 나타난다. 수렴 지역 최상부 단위퇴적층인 S10 단위퇴적층은 두께가 약 15 cm 내외로, 주로 왕자갈 내지 왕모래로 구성된다. 원마도는 양호한 편이나 분급이 매우 불량하며, 미약한 역점이 층리가 일부 관찰된다.

3.3.2 해석

이 지역 최하부 단위퇴적층인 S1은 나아 및 진리 지역 후안환경 퇴적층의 조직특성과 유사하게 불량한 분급과 역지지의 왕자갈 내지 왕모래로 이루어진 조직 특성을 가지고 있어 후안환경으로 해석된다(Gupta and Allen, 1999). 한편 S2에서 S5 단위퇴적층에 이르는 왕모래 내지 잔자갈층과 잔자갈 내지 왕자갈층의 반복 퇴적은 진리지역 퇴적층에서와 같은 전안환경에서의 수직적 누적에 의한 것으로 여겨진다. 이들 단위퇴적층에 미약한 역점이 층리가 발달하며 원마도와 분급이 양호하고 인편구조가 발달되어 있음은 이들 단위퇴적층이 전안환경에서 형성되었음을 뒷받침해 준다(Gupta and Allen, 1999; Buscombe and Masselink, 2006; Bizzarri, 2010).

하위의 단위퇴적층들과는 달리 왕모래층이 우세하게 발달하며 인편구조와 역점이 층리가 나타나지 않는 S6 단위퇴적층의 퇴적특성은 내해안 상부 환경에서의 퇴적을 시사한다(Bizzarri, 2010). S7 단위퇴적층에서 나타나는 양방향 인편구조의 발달은 S7이 전안환경의 퇴적산물임을 지시한다(Gupta and Allen,

1999). S6과 유사한 퇴적특성을 보이는 S8 단위퇴적층의 퇴적환경은 내해안 환경으로 해석되며, S9 단위퇴적층은 S8에 비해 입도가 크고 인편구조가 발달하는 것으로 미루어 전안환경에서 퇴적된 것으로 해석된다(Gupta and Allen, 1999). 불량한 분급과 왕자갈 내지 왕모래층의 입도, 인편구조의 부재 등이 나타나는 S10 단위퇴적층은 파도의 영향이 제한된 후안환경에서의 퇴적산물로 해석된다(Gupta and Allen, 1999).

4. 연구지역 해안단구 퇴적층의 층서적 발달 특성

나아 지역 퇴적단면의 경우, 1지점에서는 후안에

서 전안으로의 퇴적상 변화가 나타나며 2지점에서는 하성-전안-하성으로의 퇴적상 변화가 나타난다(그림 10). 이는 나아 지역의 제 2 해안단구 퇴적층이 해침과 해퇴에 의한 퇴적기록임을 지시한다. 한편 2지점의 최하부 및 최상부에 하성퇴적층이 발달된 반면, 1지점에는 하성퇴적층의 발달이 나타나지 않는 것은 퇴적 당시의 해안선을 가로지르는 동-서 방향, 즉 퇴적층 경사의 방향을 따른 퇴적상의 횡적 변화의 결과로 해석된다. 즉 퇴적 당시에도 현재의 이 지역 지형과 유사하게, 동서-방향의 하천이 이 지역 해안으로 유입되었음을 지시해 준다.

진리 지역 퇴적단면의 경우, 전반적으로 전안환경의 퇴적층이 지속적으로 나타남은(그림 10) 이 지역 제2 해안단구퇴적층의 퇴적과정에 해침이 지배

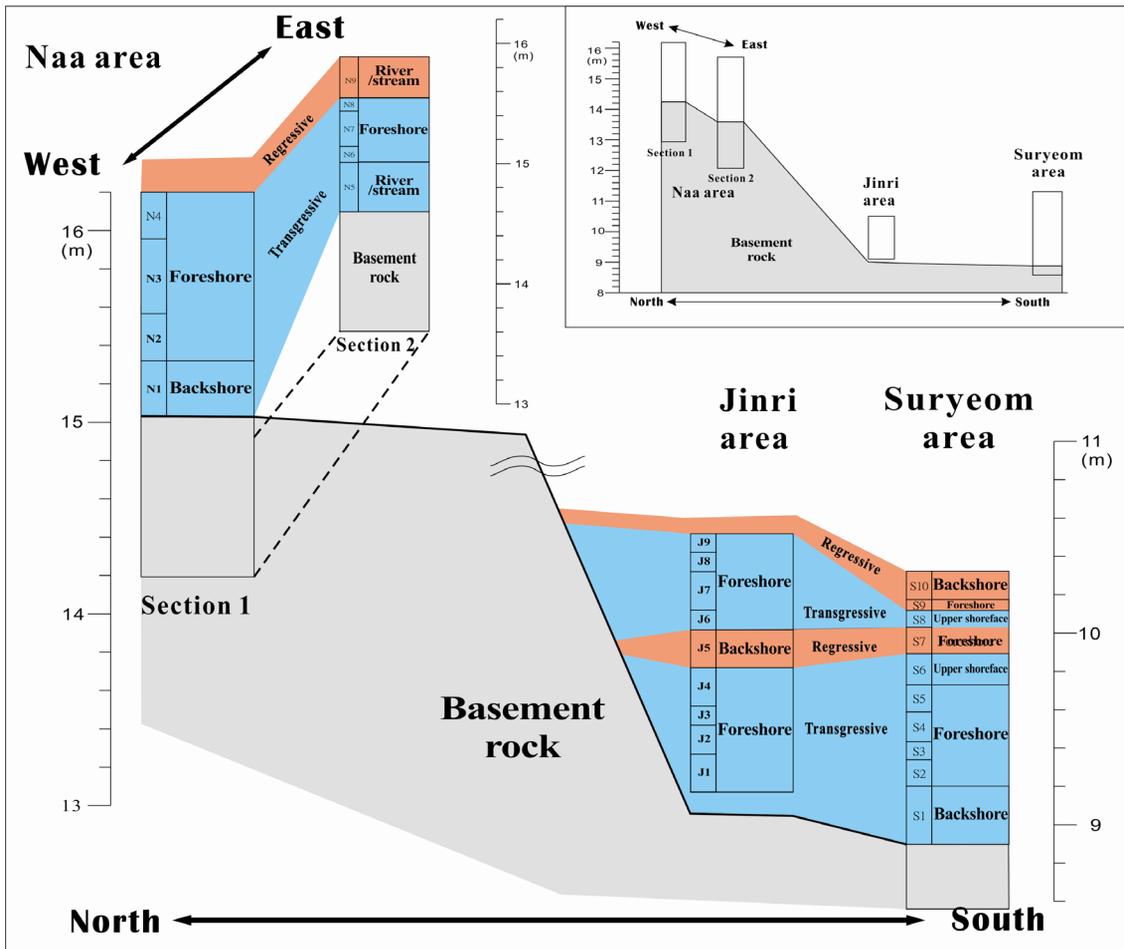


Fig. 10. Stratigraphic correlation between each sections in study area, and interpretation of relative sea-level changes.

적인 영향을 미치면서 전안환경의 퇴적층이 수직적으로 누적되며 발달하였음을 지시한다. 한편 이 지역의 주향 방향으로 노출된 퇴적층에서 북쪽으로 갈수록 퇴적층의 두께가 두꺼워지고 남쪽으로 갈수록 두께가 얇아지는 횡적 변화가 나타나며, 이와 함께 최하부 단위퇴적층인 J1이 나타나는 층준에서 남쪽으로 약 5 m 떨어진 곳에 현무암질 기반암이 나타난다(그림 8A). 이와 같은 산출 특성은 이 지역 제2 해안단구퇴적층 퇴적 당시의 해빈 환경에 소규모의 곳과 만의 지형이 존재하였으며, 이와 같은 지형 특성에 따라 퇴적층의 횡적인 두께의 변화가 나타나고 기

반암의 노출 고도가 달라진 것으로 해석된다(Felton, 2002). 이와 같은 이 지역 해안단구 퇴적층 기저부의 지형기복 현상은 제2 해안단구 퇴적층의 퇴적 기반 전체가 기반암의 파식대지 지형은 아니었음을 지시하는 것으로, 해침 이후에 해안가 곳의 일부를 퇴적물이 덮을 정도로 해수면의 상승이 일정 기간 지속되었음을 시사한다.

수렴 지역은 최하부 단위퇴적층 S1에서 후안환경의 퇴적특성이 나타나며 그 상위의 S2에서부터 S9까지는 전안 내지 내해안 상부 환경의 퇴적특성이 수 회 반복되다가 S10에서는 다시 후안환경의 퇴적



Fig. 11. Occurrences of present gravel beaches in study area. A. Naa beach with continuous shoreline. B. Jinri beach with small headlands and bays. C. Suryeom beach with continuous shoreline. D. Poorly sorted gravel deposit at backshore of Naa beach. E. Poorly sorted gravel deposit including boulders at backshore of Jinri beach with sea cliff. F. Cusped shoreline with coarse-grained horns and fine-grained bays at Suryeom beach. G. Grading formed in swash zone of Suryeom beach.

특성이 나타나는 수직변화 특성을 보인다(그림 10). 이와 같은 퇴적특성 또한 나아와 진리 지역에서와 마찬가지로 이 지역에서의 제2 해안단구 퇴적 당시 해침 이후에 해수면 상승이 일정 기간 지속되다가 마지막에 해퇴가 일어났음을 시사해 준다.

따라서 나아, 진리 및 수렴 지역에서의 제2 해안단구 퇴적층의 수직적 퇴적기록은 이들 퇴적층들의 발달 표고 차이를 제외하고는 상대적인 해수면 변동 기록의 측면에서 서로 간에 대비가 된다.

5. 토 의

5.1 연구 지역 부근 현생 해안 퇴적 특성과의 비교

연구지역 일원의 해안에는 자갈 해변이 넓게 발달되어 있어(그림 11) 이 지역 제4기 해안단구퇴적층의 퇴적특성을 이해하는 데에 유용한 비교자료를 제공해 준다. 연구지역의 해안 중 진리 지역을 제외한 나아 및 수렴 지역에는 자갈 해변이 비교적 넓게 발달되어 있으며(그림 11A, C), 진리 지역의 해안에는 소규모 헤드랜드 지형의 발달에 의해 자갈 해변이 단속적으로 발달되어 있다(그림 11B). 나아 및 수렴 지역의 자갈 해변에는 왕자갈에서부터 왕모래까지 다양한 크기의 퇴적물이 나타난다(그림 11D). 한편 진리 지역의 자갈 해변에는 헤드랜드 및 해안 절벽으로부터 유입된 거력들이 산포하며, 이에 따라 비교적 불량한 분급을 보인다(그림 11E).

이와 같은 현재 이 지역 해안의 지형특성 및 퇴적특성과 연구 대상 제2 해안단구 퇴적층의 퇴적특성을 서로 비교해 볼 때, 나아와 진리 지역 해안단구퇴적층의 퇴적기록은 퇴적 초기에 현재의 진리 지역 해안과 유사하게 소규모 헤드랜드와 그 사이의 좁은 해변들로 이루어진 지형환경에서 퇴적이 이루어지다가, 점차 현재의 나아 및 수렴 지역과 같은 넓은 해변환경에서의 퇴적으로 변화했을 것으로 해석된다. 한편 수렴지역에 발달된 후안환경의 단위퇴적층인 S1 및 S10에 거력이 나타나지 않음은 수렴지역에서의 퇴적이 현재의 수렴지역 해안과 같이 비교적 넓은 해변지형에서 이루어졌음을 시사한다.

연구지역의 현재 자갈 해변에서는 파도에 의해 형성된 다양한 퇴적기록들이 관찰된다. 해변으로 밀려 온 파도에 의해 나타나는 스위시류(swash flow)에 의해 형성되는 뾰족부(cusp)의 발달(Buscombe

and Masselink, 2006)이 자갈 해변의 해안선을 따라 잘 나타나며, 이 경우 표면에서 만 지역이 돌출부(horn) 지역보다 세립질로 나타나고 층의 두께가 상대적으로 얇게 발달함이 관찰된다(그림 11F). 이러한 환경배치는 자갈 해안의 전안환경에서 퇴적물의 입도와 두께의 횡적 변화가 비교적 짧은 거리에서 나타날 수 있음을 지시해 준다. 이와 함께 이 지역 자갈해빈의 전안환경에서는 파도의 에너지 차에 의한 선별적 퇴적의 결과로 나타나는 역점이층리도 관찰된다(그림 11G). 이와 같이 연구지역 현생 자갈 해변에서 보여주는 퇴적특성은 전술한 바와 같은 연구지역 제4기 해안단구퇴적층의 퇴적특성과 높은 유사성을 가지며, 이는 이 지역의 해안 지형 특성이 플라이스토세말 이후에 크게 변하지 않았음을 시사한다.

5.2 해안단구면 및 퇴적층 기저부의 표고 차이

나아, 진리 및 수렴 지역은 서로 간에 비교적 가까운 거리에 위치함에도 불구하고 각 지역별 제2 해안단구퇴적층의 기저부 표고, 구정선 표고, 퇴적 단면 등은 지역 간에 부분적으로 차이가 있다(그림 10). 이에 대한 원인으로서는 퇴적 당시 각 지역의 지형기복에 의한 표고 차이, 지역 간 용기율의 차이, 제2 해안단구 형성 이후의 구조 운동 등을 가정해 볼 수 있다.

제2 해안단구 퇴적층의 지역별 기저부 표고의 변화는 일차적으로 퇴적 당시 이 지역 해안 지형의 기복 차이에 의한 것으로 판단할 수 있다. 실제로 진리 지역 퇴적층에서 나타나는 수 m 이내 범위에서의 기저부 표고의 변화와 나아 지역에서 나타나는 기저부의 지형 기복은 연구 지역에 해침이 이루어질 당시 해안 전 지역에 균일한 표고의 파식대지가 발달한 것이 아님을 지시해 준다. 그렇다면 수렴 및 진리 지역과 나아 지역 간에 나타나는 기저부 사이의 6 내지 8 m의 표고 차이는 원래부터의 지형 기복에 의한 것으로 가정할 수 있다. 따라서 지형적 기복에 의한 세 지역의 표고 차이만을 고려할 경우, 부정합면의 기저 표고가 가장 낮은 수렴 지역이 세 지역 중 해침의 영향을 가장 먼저 받았을 것이며, 이후 진리 지역 그리고 나아 지역에 차례로 해침이 이루어졌을 것이다. 나아 지역까지 해침이 이루어졌을 때 수렴과 진리 지역은 해변의 환경에서 천해의 환경으로 바뀌고 이에 따라 해변퇴적층 위에 천해 기원의 퇴적층이 덮는 퇴적기록이 나타나야 한다. 그러나 기반암 위

에 퇴적된 퇴적층의 두께와 퇴적단면의 퇴적특성이 세 지역 간에 유사하게 나타남은 제2 해안단구 퇴적층의 세 지역 간 기저부의 표고 차이가 퇴적 당시의 지형 기록에 따른 것이 아님을 지시해 준다.

따라서 지역 간 용기율의 차이와 제2 해안단구 형성 이후의 지구조 운동이 연구지역 제2 해안단구 퇴적층의 기저부 표고와 구정선 표고의 지역 간 차이의 가능한 원인으로 가정해 볼 수 있다. 한반도 동해안에 발달한 제4기 해안단구에 대한 지각 용기율은 여러 연구자들에 의하여 계산된 바 있다. 한반도의 경우 판 내부에 위치한 안정된 지각으로 지역 간에 차이가 없이 비교적 일정한 낮은 용기율(0.1-0.22 m/ka)을 갖는다는 의견이 지배적이었다(Choi, 2001; Lee and Park, 2006; Kim *et al.*, 2008). 그러나 최근 각 지역마다 서로 다른 용기율(0.19-0.46 m/ka)을 보인다는 견해가 제시되고 있다(Chwae and Choi, 2007; Choi *et al.*, 2008, 2009; Hwang *et al.*, 2012). 이러한 지역별 용기율의 변화는 국지적인 지각운동의 차이를 일으키는 단층대와 같은 불연속면이 존재하거나 침식환경의 차이에 기인한 결과로 추정하고 있다. 특히 Chwae and Choi (2007)는 포항 이남의 해안에서의 용기율의 차이는 울산단층대와 양산단층대에 발달한 제4기 단층과 관련한 구조운동과 함께 동서방향 및 남북방향의 기반암 단층의 재활성에 의한 가능성을 제시하였다.

Choi *et al.* (2008)은 북서 주향의 울산단층과 교차하는 동북동 주향의 감포 선형구조를 제시하고 이들 불연속면에 의한 삼각형 소지괴의 국지적인 수직운동을 지역 간 용기율의 차이로 해석하였다. 또한 이들 지역이 비록 판내부에 위치하지만 국지적인 지구조 활동에 의해서도 판경계부에 일어나는 용기율과 비슷한 비교적 높은 값을 보일 수 있음을 제시하였다. 한편 해안단구에서 나타나는 지역 간 용기율의 차이는 전 세계적으로도 판경계에서 단층운동에 수반된 지괴들의 지각운동으로 판단하는 경향이 있다(Ota and Omura, 1992; Hanson *et al.*, 1994; Ota *et al.*, 1995; Zazo *et al.*, 1999; Marquardt *et al.*, 2004; Saillard *et al.*, 2009).

그러나 연구지역 3곳의 제2 해안단구는 직선거리로 3.5 km 이내의 비교적 좁은 지역에 위치하여, 이들 지역 간에 용기율이 현저하게 다르게 나타날 가능성은 높지 않다. 그렇지만 나아 및 진리 지역의 기

반암은 현무암이고 수렴 지역은 고결도가 낮은 응회암 내지 응회질 퇴적암으로 이루어져 있어(그림 2), 이들 지역 기반암의 물성 차이가 연구지역의 지역 간 용기율에 부분적인 차이를 가져올 가능성은 있다. 예를 들어 진리지역의 제2 단구 및 제3 단구에서 수행된 기반암의 탄성과 속도 자료를 보면 제2 단구의 기반암인 현무암은 약 3,400m/s, 제3 단구의 기반암인 응회암 내지 응회질 퇴적암은 약 2,100m/s로 비교적 큰 차이를 나타낸다(Kim *et al.*, 2007). 그러나 현무암질의 기반암으로 이루어진 나아 지역이 응회암질의 기반암으로 이루어진 수렴 지역에 비해 오히려 높은 표고를 가짐은 기반암의 물성 차이가 연구지역 제2 단구의 지역 간 용기율 차이의 직접적인 원인은 아님을 지시해 준다. 따라서 이러한 국지적인 기반암의 물성차이가 지각 용기율에 어느 정도로 기여하였는가에 대해서는 향후 정밀한 검토가 필요하다.

연구지역 제2 해안단구 퇴적층의 기저부 표고와 구정선 표고의 지역 간 차이의 또 다른 원인으로 단구 퇴적층 형성 이후의 구조운동을 가정해 볼 수 있다. 한반도 남동부 일원에는 비교적 제4기의 활동시기를 가지는 단층들이 다수 보고되어 있다(Kyung *et al.*, 1995; Kyung, 1997, 2007; Lee *et al.*, 1999; Ryoo *et al.*, 2000, 2002; Kyung and Chang, 2001; Ree *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2004; Choi, 2005; Ree and Kwon, 2005; Kee *et al.*, 2007). 이 단층들 중 연구지역 인근에는 북동-남서 방향의 제4기 읍천단층(Chwae *et al.*, 1998; Kee *et al.*, 2007)과 수렴단층(Chwae *et al.*, 1998)이 발달되어 있다. 이들 단층은 연구지역 일원에 분포하는 제3 해안단구 및 제4 해안단구를 절단하는데, 현재까지 제2 해안단구를 절단하는 제4기 단층의 존재는 확인된 바 없다. 그럼에도 불구하고 이들 해안단구들의 표고 차이가 이 지역의 제4기 단층으로부터 기인했을 가능성은 남아 있다. 특히 연구지역 중앙부에 위치하는 동서방향의 하서천을 따르는 선형구조 및 기반암을 절단하는 오발산 단층의 재활성 가능성이 추후 검토되어야 할 필요성이 있다.

이상에서와 같이 연구지역 제2 해안단구 퇴적층의 기저부 표고와 구정선 표고의 지역 간 차이가 퇴적 당시의 지형기록의 차이에 의한 것이 아니라, 이 지역의 용기율과 구조운동으로부터 기인되었을 가능성이 높은 것으로 해석되므로 앞으로 한반도 동해

안 해안단구의 표고 차이의 원인 현상에 대한 조사와 연구는 층서, 퇴적, 지질구조, 기반암의 물성 등 보다 다각적인 측면에서 이루어져야 할 것이다.

5.3 해안단구 퇴적층 퇴적 시기

전술한 바와 같이 연구지역을 포함한 한반도 남동부 지역에는 다수의 해안단구가 발달되어 있다.

특히 제2 해안단구는 연장성이 좋아 단구면을 쉽게 인지할 수 있으며, 지역적으로 발달 표고에 약간의 변화를 보이고 있지만 전반적으로 유사한 고도로 분포하므로 지형적인 측면에서의 대비는 비교적 잘 이루어지는 편이다. 대부분의 연구자들은 제2 해안단구가 마지막 최대 간빙기 이후에 형성된 것으로 공통된 견해를 가지고 있으나, 절대적 연대에 있어서

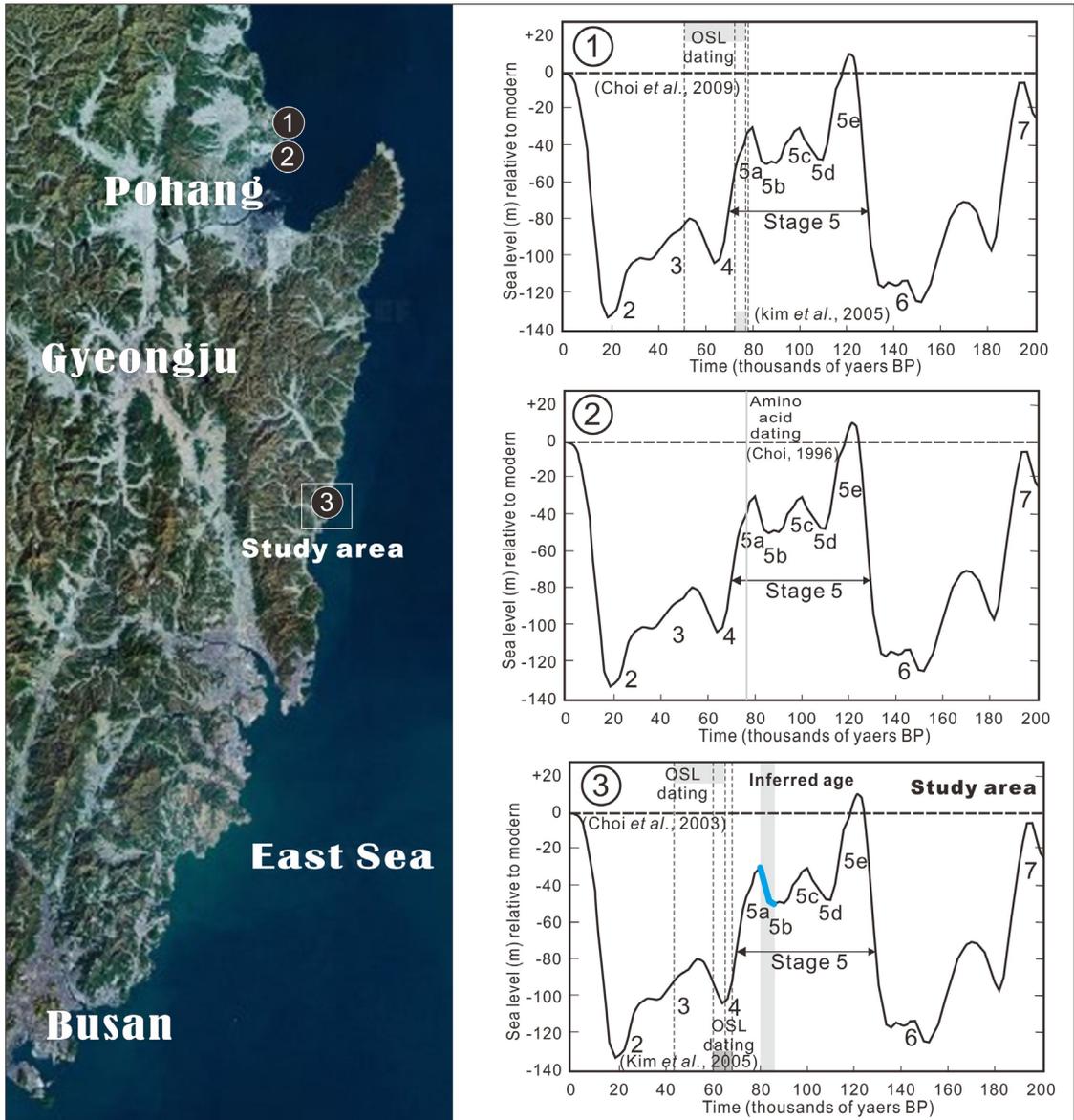


Fig. 12. Correlative ranges of the 2nd marine terrace deposits of southeastern part of the Korean peninsula with global sea-level change for the past 200,000 years. Thick black line indicates inferred age of 2nd marine terrace deposits in study area.

는 연구자 간에 차이를 보인다(그림 12).

포항에서부터 연구지역이 포함되는 경주 지역에 지에 분포하는 제2 해안단구들의 형성 연대를 보면, 포항 지역은 73-78 ka (Kim *et al.*, 2005)와 51-77 ka (Choi *et al.*, 2009)의 OSL 연대가, 그리고 77 ka의 아미노산 연대가 산출된 바 있다(Choi, 1996). 또한 연구지역에 포함되는 경주 나아 지역은 60-64 ka의 OSL 연대가 Kim *et al.* (2007)에 의해 제시되었다. 이와 함께 Choi (2004)는 대보에서 갑포에 이르는 지역의 제2 단구 형성시기를 MIS 5a로 해석하였다. 따라서 이러한 산출연대를 종합해 보면 정확한 연대는 결정하기는 어려우나 제2 단구의 형성시기는 MIS 3에서부터 MIS 5C까지 폭넓게 나타나며, 대부분 마지막 최대 간빙기(MIS 5e) 이후로 나타난다(그림 12).

따라서 연구지역의 제2 해안단구퇴적층에 나타나는 지속적인 해침의 기록과 OSL 연대측정에서의 수분함량 변화에 따른 연대감소효과를 함께 고려할 때, 연구지역에 발달된 제2 해안단구퇴적층의 퇴적 시기는 MIS 5a에 해당될 것으로 여겨지며, 약 80-90ka의 시기에 퇴적되었을 것으로 해석된다(그림 12).

6. 결론

1. 경주시 양남면의 나아, 진리 및 수렴 지역에 발달된 제2 해안단구의 노출단면은 기반암과 그 상위에 부정합으로 놓이는 제4기 퇴적층으로 구성되며, 이 지역의 제4기 퇴적층은 사질층이 발달한 다른 지역과는 달리 대부분 역층으로 구성되어 있다.

2. 나아, 진리, 수렴 지역에서의 부정합면의 기저 고도는 각각 15 m, 9 m, 7 m이며, 구정선의 고도는 각각 16.5 m, 11.5 m, 8.8 m, 노출된 해안단구 퇴적층의 두께는 각각 1.5 m, 2.5 m, 1.8 m로 지역에 따라 변화하는 양상을 보여준다.

3. 나아 지역 퇴적단면에서는 하성-후안 내지 전안-하성으로의 퇴적상 변화가 나타나며, 퇴적 당시 현재의 이 지역 지형과 유사하게 동서-방향의 하천이 이 지역 해안으로 유입된 기록이 나타난다.

4. 진리 지역 퇴적단면에서는 전반적으로 전안 환경의 퇴적층이 지속적으로 나타나며, 이는 퇴적과정에 해침이 지배적인 영향을 미치면서 전안 환경의 퇴적층이 수직적으로 누적되며 발달하였음을 지시한다. 이와 함께 이 지역 제2 해안단구퇴적층에서는

퇴적층의 횡적인 두께의 변화 및 기반암 노출 고도의 변화를 가져 온 해안단구 퇴적층 기저부의 지형 기록 현상이 확인되었다. 이는 제2 해안단구 퇴적층의 퇴적 기반 전체가 기반암의 파식대지 지형은 아니었음을 지시하는 것이며, 아울러 해침 이후에 해안가 곳 지형의 일부를 퇴적물이 덮을 정도로 해수면의 상승이 일정 기간 지속되었음을 시사한다.

5. 수렴 지역 또한 나아와 진리 지역에서와 마찬가지로 이 지역에서의 제2 해안단구 퇴적 당시, 해침 이후에 해수면 상승이 일정 기간 지속되다가 마지막에 해퇴가 일어나는 퇴적기록이 나타난다. 따라서 나아, 진리 및 수렴 지역에서의 제2 해안단구 퇴적층의 수직적 퇴적기록은 이들 퇴적층들의 발달 표고 차이를 제외하고는 상대적인 해수면 변동기록의 측면에서 서로 간에 대비가 된다.

6. 연구지역 현생 자갈 해변의 퇴적특성과 연구지역 제4기 해안단구퇴적층의 퇴적특성은 서로 간에 높은 유사성을 가지며, 이는 이 지역의 해안 지형과 퇴적환경 특성이 플라이스토세말 이후에 크게 변하지 않았음을 시사한다.

7. 연구지역 제2 해안단구퇴적층의 기저부 표고와 구정선 표고의 지역 간 차이는 퇴적 당시의 지형 기록의 차이에 의한 것이 아니라, 이 지역의 용기울과 지구조운동이 주요인이었을 가능성이 높은 것으로 해석된다. 따라서 앞으로 한반도 동해안 해안단구의 표고 차이의 원인 현상에 대한 조사와 연구는 층서, 퇴적, 지질구조, 기반암의 물성 등 보다 다각적인 측면에서 이루어져야 할 것이다.

8. 한반도 남동부 지역 제2 해안단구들의 형성시기가 대부분 마지막 최대 간빙기(MIS 5e) 이후이며, 연구지역의 제2 해안단구퇴적층에 지속적인 해침의 기록이 나타남을 함께 고려할 때, 연구지역에 발달된 제2 해안단구퇴적층의 퇴적 시기는 MIS 5a에 해당될 것으로 여겨지며, 약 80-90 ka의 시기에 퇴적되었을 것으로 해석된다.

사 사

이 논문은 2012년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구결과이며(NRF-2012R1A1A2002678) 이에 감사를 드린다. 이 논문의 개선을 위해 유익한 지적과 도움말

을 주신 강원대학교 정대교 교수님과 익명의 심사위원, 그리고 한국지질자원연구원 박장준 박사님께 감사사를 드린다. 아울러 이 연구의 수행에 도움을 준 진주교육대학교 지질유산연구센터 김정민 연구원에게 고마움을 전한다.

REFERENCES

- Bizzarri, R., 2010, Early Pleistocene rocky coasts (Orvoeto area, Western Umbria, Central Italy): facies analysis and sedimentation models. *Italian Journal of Geosciences*, 129, 251-268.
- Bluck, B., 1967, Sedimentation of beach gravels: examples from South Wales. *Journal of Sedimentary Petrology*, 37, 128-156.
- Bluck, B., 1999, Clast assembling, bed forms and structure in gravel beaches. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Science*, 89, 291-323.
- Buscombe, D. and Masselink, G., 2006, Concepts in gravel beach dynamics. *Earth-Science Review*, 79, 33-52.
- Choi, J.H., Kim, J.W., Murray, A.S., Hong, D.G., Chang, H.W. and Cheong, C.S., 2009, OSL dating of marine terrace sediments on the southeastern coast of Korea with implications for Quaternary tectonics. *Quaternary International*, 199, 3-14.
- Choi, J.H., Murray, A.S., Jain, M., Cheong, C.S. and Chang, H.W., 2003, Luminescence dating of well-sorted marine terrace sediments on the southeastern coast of Korea: *Quaternary Science Reviews*, 22, 407-421.
- Choi, P.Y., 2005, Geometric analysis of the Quaternary Eupchon Fault: an interpretation of trench sections. *Journal of the Geological Society of Korea*. 41, 129-140 (in Korean with English abstract).
- Choi, S.G., 1996, Chronological study of Late Pleistocene marine terraces around Pohang area, southeastern coast of Korea. *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 3, 29-44 (in Korean with English abstract).
- Choi, S.G., 2001, Tectonic Movement indicated by the Pleistocene Palaeo-shoreline in the Eastern Coast of Korea. *Transactions, Japanese Geomorphologists Union*, 22, 265-275.
- Choi, S.G., 2007, Comparison of environmental changes induced by marine and fluvial terraces of the eastern coast of Korea with global environmental changes in the Late Pleistocene. *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 14, 29-39 (in Korean with English abstract).
- 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.J., 2004, Marine terrace of Daebo-Guryongpo-Gampo, SE Korea (II). *Economic and Environmental Geology*, 37, 245-253 (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.
- Choi, W.H., 2003, Neotectonics of the Gyeongju-Ulsan area in the southeastern part of Korean peninsula. Ph.D. thesis, Seoul National University, 205p (in Korean with English abstract).
- Choi, W.H., Jang, C.J., Inoue, D., Yanagida, M. and Sasaki, T., 2007, Tephra chronology of marine terraces and its implication for sea level change and uplift rate in the SE Korea Peninsula. (60th Anniversary of Geological Society of Korea) *International Symposium on Global Environmental Change*, pp. 85.
- Chwae, U. and Choi, S.J., 2007, Active fault study of Korea: the past, present and future. In: Kee, W.-S., Kihm, Y.-H., Song, K.-Y. (eds.), *Quaternary tectonic of southeastern Korea*. Korea Institute of Geosciences & Mineral Resources, 1-31 (in Korean with English abstract).
- Chwae, U., Lee, D.Y., Lee, B.J., Ryoo, C.R., Choi, P.Y., Choi, S.J., Cho, D.R., Kim, J.Y., Lee, C.B., Kee, W.S., Yang, D.Y., Kim, I.J., Kim, Y.S., Yoo, J.H., Chae, B.G., Kim, W.Y., Kang, P.J., Yoo, I.H. and Lee, H.G., 1998, Investigation and Evaluation of Capable Fault ; Southeastern Part of the Korean Peninsula. *KIGAM Research Report KR-98(C)-22*, 301p (in Korean with English abstract).
- Claessens, L., Veldkamp, A., Broeke, E.M. and Vloemans, H., 2009, A Quaternary uplift record for the Auckland region, North Island, New Zealand, based on marine and fluvial terraces. *Global and Planetary Change*, 68, 383-394.
- Felton, E.A., 2002, Sedimentology of rocky shorelines: 1. A review of the problem, with analytical methods, and insights gained from the Hulopoe Gravel and the modern rocky shoreline of Lanai, Hawaii. *Sedimentary Geology*, 152, 221-245.
- Gupta, S. and Allen, P.A., 1999, Fossil shore platforms and drowned gravel beaches: evidence for high-frequency sea-level fluctuations in the distal Alpine Foreland Basin. *Journal of Sedimentary Research*, 69, 394-413.
- Hanson, K.L., Wesling, J.R., Lettis, W.R., Kelson, K.I. and Mezger, L., 1994, Correlation and ages of Quaternary

- marine terraces, south-central coastal California, in *Seismotectonics of the Central California Coast Ranges*, edited by I.B. Alterman *et al.*, pp. 45-71, Geological Society of America, Boulder, Colorado.
- Hwang, S.I., Shin, J.R. and Yoon, S.O., 2012, Marine terrace and its implications to paleoenvironment during the Quaternary at Suje-ri - Suryum-ri of the East coast of Gyeongju, SE Korea. *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 19, 97-108.
- Inoue, D. and Choi, W.H., 2006, The activity of the Ulsan Fault system based on marine terrace age study at the southeastern part of Korea Peninsula. Central Research Institute of Electric Power Industry, CRIEPI report N05012, 83P.
- Kadiri, K.E., Galdeano, C.S., Pedrera, A., Chalouan, A., Galindo-Zaldivar, J., Julia, R., Akil, M., Hlila, R. and Ahmamou, M., 2010, Eustatic and tectonic controls on Quaternary Ras Leona marine terraces (Strait of Gibraltar, northern Morocco). *Quaternary Research*, 74, 277-288.
- Kee, W.S., Kim, B.C., Hwang, J.H., Song, K.Y. and Kihm, Y.H., 2007, The Eupcheon Fault, SE Korea. In: Kee, W.S., Kihm, Y.H., Song, K.Y. (eds.), *Quaternary tectonic of southeastern Korea*. Korea Institute of Geosciences & Mineral Resources, 119-149 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.W., Chang, H.W., Choi, J.H., Choi, K.H. and Byun, J.M., 2005, The morphological characteristics and geochronological ages of coastal terraces of Heunghae region in northern Pohang City, Korea. *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 12, 103-116 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.W., Chang, H.W., Choi, J.H., Choi, K.H. and Byun, J.M., 2007, Landform characteristics of coastal terraces and optically stimulated luminescence dating on the terrace deposits in Yangnam and Yangbuk area of the Gyeongju city, South Korea. *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 14, 1-14 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.Y., Oh, K.C., Yang, D.Y., Choi, W.H., Hong, S.S. and Lee, J.Y., 2008, Stratigraphy, chronology and implied uplift rate of coastal terraces in the southeastern part of Korea. *Quaternary International*, 183, 76-82.
- Kim, Y.S., Park, J.Y., Kim, J.H., Shin, H.C. and Sanderson, D.J., 2004, Thrust geometries in unconsolidated Quaternary sediments and evolution of the Eupchon Fault, southeast Korea. *The Island Arc*, 13, 403-415.
- Kyung, J.B., 1997, Paleoseismological study of mid-northern part of the Ulsan Fault by trench method. *Journal of Engineering Geology*, 7, 81-90.
- Kyung, J.B., 2007, Paleoseismological characteristics of the Yangsan and the Ulsan faults since the Late Quaternary time. In: Kee, W.S., Kihm, Y.H., Song, K.Y. (eds.), *Quaternary tectonic of southeastern Korea*. Korea Institute of Geosciences & Mineral Resources, 105-117 (in Korean with English abstract).
- Kyung, J.B. and Chang, T.W., 2001, The latest fault movement on the northern Yangsan fault zone around the Yugye-Ri Area, southeast Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 37, 563-577 (in Korea with English abstract).
- Kyung, J.B., Kim, S.K., Jo, W.R., Okada, A., Watanabe, M., Suzuki, Y. and Oike, K., 1995, Fault outcrops and geomorphic criteria of the occurrence of the great earthquake in the central part of the Ulsan Fault (Korea). *Proceedings of 50th Symposium, Geological Society of Korea*, 99.
- Lee, B.J., Ryoo, C.R. and Chwae, U., 1999, Quaternary Faults in the Yangnam area, Kyongju, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 35, 1-14 (in Korea with English abstract).
- Lee, D.Y., 1985, Quaternary deposits in the coastal fringe of the Korean Peninsula. PhD thesis, Vrije Universiteit, Brussel, p. 315.
- Lee, D.Y., 1987, Stratigraphical research of the Quaternary Deposits in the Korean Peninsula, *Korean Journal of Quaternary Research*, 1, 3-20.
- 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 Geographical Society*, 41, 346-360 (in Korean with English abstract).
- Lee, H.K., Moon, H.S., Min, K.D., Kim, I.S., Yun, H. and Itaya, T., 1992, Paleomagnetism, stratigraphy and geologic structure of the Tertiary Pohang and Changgi Basins; K-Ar ages for the volcanic rocks. *Journal of Korean Institute Mining Geology*, 25, 337-349 (in Korean with English abstract).
- Lee, S., Seong, Y.B., Kang, H.-C. and Choi, K.H., 2012, Some Evidences for Glacial Landforms on the Baekdusan and Its Implications to Quaternary Volcanic Eruptions. *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 47, 159-178 (in Korean with English abstract).
- Marquardt, C., Lavenu, A., Ortlieb, L., Godoy, E. and Comte, D., 2004, Coastal neotectonics in southern central Andes: Uplift and deformation of marine terraces in northern Chile (27°S), *Tectonophysics*, 394, 193-219.
- Oh, G.H., 1980, The Correlation of the Marine Terrace Surface along the Eastern and the Western Coast in the Central Part of the Korean Peninsula. *Silla University Journal*, 8, 157-170.

- Oh, G.H., 1983, The late quaternary tectonic movement deduced from former shorelines in the Korean peninsula. *Bulletin of College of Education, Pusan National University*, 10, 245-253 (in Korean with English abstract).
- Ota, Y., Miyauchi, T., Paskoff, R. and Koba, M., 1995, Plio-Quaternary terraces and their deformation along the Altos de Talinay, North-Central Chile. *Revista Geologica de Chile* 22, 89-102.
- Ota, Y. and Omura, A., 1992, Contrasting styles and rates of tectonic uplift of coral reef terraces in the Ryukyu and Daito islands, southwestern Japan. *Quaternary International*, 15-16, 17-29.
- Park, Y.D. and Yoon, H.D., 1968, Geological Map and Explanatory Text of the Ulsan sheet, scale 1:50,000. Geological Survey of Korea, 30p.
- Pedoja, K., Ortlieb, L., Dumont, J.F., Lamothe, M., Ghaleb, B., Auclair, M. and Labrousse, B., 2006, Quaternary coastal uplift along the Talara Arc (Ecuador, Northern Peru) from new marine terrace data. *Marine Geology*, 228, 73-91.
- Ree, J.H. and Kwon, S.T., 2005, The Wangsan Fault: One of the most 'activate' faults in South Korea? *Geoscience Journal*, 9, 223-226.
- Ree, J.H., Lee, Y.J., Rhodes, E.J., Park, Y., Kwon, S.T., Chwae, U., Keon, J.S. and Lee, B., 2003, Quaternary reactivation of Tertiary faults in the southeastern Korean peninsula: Age constraint by optically Stimulated luminescence dating. *The Island Arc*, 12, 1-12.
- Robustelli, G., Luca, F., Corbi, F., Pelle, T., Dramis, F., Fubelli, G., Scarciglia, F., Muto, F. and Cugliari, D., 2009, Alluvial terraces on the Ionian coast of northern Calabria, southern Italy: Implications for tectonic and sea level controls. *Geomorphology*, 106, 165-179.
- Ryoo, C.R., Lee, B.J. and Chwae, U., 2000, Quaternary fault and its remote sensing image in the southeastern Korea. CCOP (Coordinating Committee for Coastal and Offshore Geoscience Programmes in East and Southeast Asia) Technical Bulletin, 29, 5-28.
- Ryoo, C.R., Lee, B.J., Son, M., Lee, Y.H., Choi, S.J. and Chwae, U., 2002, Quaternary faults in Gaegok-ri, Oedong-eup, Gyeongju, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 38, 309-323 (in Korean with English abstract).
- Saillard, M., Hall, S.R., Audin, L., Farber, D.L., Héail, L., Martinod, J., Regard, V., Finkel, R.C. and Bondoux, F., 2009, Non-steady long-term uplift rates and Pleistocene marine terrace development along the Andean margin of Chile (31°S) inferred from 10Be dating. *Earth and Planetary Science Letters*, 277, 50-63.
- Yoon, S.O. and Hwang, S.I., 2000, Mechanism of the marine terrace formation on the southeastern coast in Korea. *Journal of the Korean Geographical Society*, 35, 17-38 (in Korean with English abstract).
- Yoon, S.O., Hwang, S.I. and Ban, H.K., 2003, Geomorphic development of marine terraces at Jeongdongjin-Daejin area on the east coast, central part of Korean peninsula. *Journal of the Korean Geographical Society*, 38, 156-172 (in Korean with English abstract).
- Zazo, C., Goy, J.L., Dabrio, C.J., Bardaji, T., Hillaire-Marcel, C., Ghaleb, B., Gonzalez-Delgado, J. and Soler, V., 2003, Pleistocene raised marine terraces of the Spanish Mediterranean and Atlantic coasts: records of coastal uplift, sea-level highstands and climate changes. *Marine Geology*, 194, 103-133.
- Zazo, C., Silva, P.G., Goy, J.L., Hillaire-Marcel, C., Ghaleb, B., Lario, J., Bardaji, T. and González, A., 1999, Coastal uplift in continental collision plate boundaries: Data from the Last Interglacial marine terraces of the Gibraltar Strait area (South Spain). *Tectonophysics*, 301, 95-109.
- Zecchin, M., Nalin, R. and Roda, C., 2004, Raised Pleistocene marine terraces of the Crotona peninsula (Calabria, southern Italy): facies analysis and organization of their deposits. *Sedimentary Geology*, 172, 165-185.

투 고 일 : 2013년 7월 23일

심 사 일 : 2013년 7월 24일

심사완료일 : 2013년 8월 18일