

동해안 해성단구 분포, 형성시기 및 융기율 검토

김주용¹, 양동윤¹, 김진관¹, 이진영¹, 김정찬¹, 홍세선¹, 오근창¹, 최돈원¹

¹ 한국지질자원연구원 제4기질환경연구팀

The Distribution, Ages and Uplift Ratio of marine Terraces in SE coast of Korea: Review

Ju Yong Kim¹, Dong Yoon Yang¹, Jin Kwan Kim¹, Jin Young Lee¹, Jeong Chan Kim¹,
Sei Sun Hong¹, Keun Chang Oh¹, Don Won Choi¹

¹Quaternary Geology and Environment Team, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

요약: 한반도에서의 해성단구 연구는 1980년대와 1990년대를 거쳐 2000년대에 진입하면서 동해안 전역에 걸친 고해수면 종단 및 횡단 분포도 작성, 해성단구 퇴적상 특성 해석, 해성단구 퇴적물의 OSL 연대 측정 및 융기율 산정 등 여러 부문에 걸쳐 빠르게 발전하여 왔다. 이러한 연구결과를 바탕으로 현재 해성단구 연구자들은 동일 고도에 분포하는 해성단구들이라도 항상 동일한 퇴적상이나 형성연대를 가지는 것은 아니라는 사실에 유의하고 있다. 해성단구 시스템은 낮은 고도로부터 1, 2, 3, 4, 5 단구시스템으로 구분되고 있으며, 단구시스템의 연대는 낮은 단구에서 높은 단구로 갈수록 일률적으로 증가하는 경향을 보여준다. 해성단구 연구에 있어서 여전히 문제시되고 있는 것은 제2단구와 제3단구 시스템의 구분 및 이들의 형성시기에 관한 것이다. 논란의 핵심은 약 30~35m(~40m)에 분포하는 해성단구와 약 20m전후의 해성단구중 어느 것이 최종간빙기에 형성되었느냐에 관한 것이다. 동해안 단구분포와 형성시기에 기초한 지반 융기율은 전체적으로 볼 때 약 0.10~0.20m/ka로 추정된다.

주요어: 해성단구, 융기율

Abstract: Researches on marine terrace in Korea have been drastically progressed during the last two decades. main themes of researches include vertical and horizontal distribution of paleo-shoreline, sedimentary facies of marine terrace deposits, OSL dating of terrace deposits and estimation of uplift rate. At present, it is noted that marine terraces distributed at the same altitude do not always show the same sedimentary facies, nor have the same ages. marine terraces are generally divided into five terrace systems, of which ages increase in ascending order. There are some arguments about discrimination between 2nd and 3rd terrace systems and their age. The core discrepancy lies on the question of whether the level of the last interglacial terrace is on the level of about 20m or on the 30~35m(~40m) in altitude. The uplift rate based on the paleoshoreline distribution ranges between 0.10 and 0.20m/ka.

Key words: marine terrace, uplift ratio

*corresponding author : k jy@kigam.re.kr

1. 서언

우리나라의 해성단구 연구는 1970년대 무렵에 시작하여 1980년대와 1990년대 발전기를 지나 2000년대에 이르러 도약기에 접어들고 있다. 특히 2000년 이후 해성단구 연구는 황상일(2003), 윤순옥(2003), 최성길(2003), 최성자(2003), Kim et al (2004) 등에 의해 실시된 바 있으며, 최근 김종욱 등에 의해 OSL 연대측정 자료와 단구분포 자료를 연계한 동해안 전체의 해안지역에 대한 연구가 진행되었다.

동해안 단구는 고도별로 하부에서 상부로 가면서 1,2,3,4,5 단으로 구분되고 있는데, 이러한 구분은 일부 지역에서는 유용하지만 전 지역에 걸쳐 통용되기에는 어렵다는 단점도 가지고 있다. 해성단구 시스템은 일차적으로 지역이 달라도 특정시기의 해성단구는 동일하거나 적어도 유사한 고도에 분포해야 한다는 가정에서 출발한 개념이다. 하지만, 우리나라에서는 단구에서 산호발달이나 화산재 산출 등을 통해 동일시기의 동일 고도를 지시하는 지시자가 발견되지 않는다. 이와 같은 이유로 동일고도의 단구가 항상 동일시기를 지시한다고 보기는 어려우며, 따라서 고도에 근거한 단구시스템을 일률적으로 적용하기에는 어려움이 있다. 예를 들어 한국원자력안전기술원(2003)의 ‘지진안정성평가기반 기술개발 최종보고서’에 의하면 대보-감포 지구(A지구)의 단구시스템은 제1단구(1~2m), 제2단구(10m), 제3단구(30m), 제4단구(40m), 제5단구(60m) 및 제6단구(75m)로 구분되었으나, 어물리-기장 지구(B지구)의 단구시스템은 제1단구(4m), 제2단구(18m), 제3단구(45m), 제4단구(60m), 제5단구(85m) 등으로 구분되었다. 또한 진하-기장 지구(C지구)의 단구시스템은 제1단구(0.5m), 제2단구(10m), 제3단구(3b: 20m, 3a: 30m), 제4단구(44m) 등으로 구분된 바 있다.

해성단구의 지형고도 분포 연구는 원칙적으로는 고해안선 분포에 따라 해성단구를 구분한 후 이를 도면화하고, 고해안선 연장성에 따라 단

구면을 확정하는 방식으로 이루어지는데, 이때 단구지형 발달은 고해수면 변화와 지반의 용기에 의하여 형성되는 것으로 간주한다. 고해안선 추적을 위해서는 해성단구 예상분포지의 후단에(back-edge) 부분에 대한 현장 정밀조사가 필요하다. 고해안선 조사에서 일반적으로 해성단구 분포고도 분류는 항공사진 판독을 통해 수행한다. 해성단구 지형면은 일차적으로 해빈-충적(평야)면(제1단구), 저위면(제2단구), 중위면(제3단구), 고위면(제4단구), 최고위면(제5단구) 등 5개의 주요 지형면을 기준으로 분류되는데, 각 지형면의 해발고도는 각각 약 $\pm 5\text{m}$ 이내, 10~25m, 32~55m, 63~86, 90~130m이다. 해빈 및 저위면은 지형발달상 현재 해안과 평행하게 대상(帶狀)으로 나타나며, 개석을 많이 받지 않아 해성단구면과 해성단구 퇴적물 보존상태는 양호한 편이다. 중위면은 저위면과 유사하게 해안선과 평행하게 분포하나, 원 단구지형면은 개석을 많이 받았으며, 곳에 따라 polygon이 심한 곡선으로 나타나기도 한다. 고위면은 지역에 따라 부분적으로 분포하며, 개석을 많이 받아, 원 지형면의 변형이 심하다. 최고위 단구면은 고위면 위에 산발적으로 분포하는 고기 해빈 역편들로 확인이 가능하다. 분포고도에 따라 해성단구를 분류할 경우에는 해빈(BP), 저위해성면(mLT), 중위해성면(mMT), 고위해성면(mHT), 및 최고위해성면(muHT)으로 구분이 가능하다. 한편, 하성단구도 역시 분포고도에 따라 해안충적면(AP), 저위하안면(fLT), 중위하안면(fMT), 고위하안면(fHT), 최고위하안면(fuHT) 등으로 구분할 수 있다.

이 연구에서는 강원도 일대와 경북 북부지방을 포함하는 동해안 중북부 지역과 포항, 울산 및 기장 일대의 동해안 남동부 지역에 걸쳐 분포하는 해성단구의 지형형성에 관한 최근 연구를 검토해 보고자 한다. 또한 이러한 검토를 통해서 향후 연구자 간에 핵심 쟁점 도출과 향후 연구방향 설정에 기여하고자 한다.

2. 단구지형 분포 연구동향

1) 동해안 중북부 단구지형

동해안 북부 지역은 강릉, 안인, 정동진, 대진, 삼척과 묵호 일대를 포함한다. 윤순옥 등(2002, 2003)은 오십천 일대 하안단구의 해면변동성 및 기후변동성 단구특성을 검토한 바 있다. 이들은 지형도와 항공사진 판독, 야외답사를 통해 얻은 퇴적상의 특징을 분석하였다. 오십천은 북북동-남남서 방향의 지질구조선을 따라 전체적으로 직선상의 하곡을 취하고 있으나, 중류와 하류부에서는 직선상의 하곡내에서 심하게 감입곡류한다(윤순옥 등, 2002). 오십천의 중하류부에서는 또한 곡류절단이 많이 일어나 4개의 구하도와 곡류핵이 분포할 뿐 아니라 하천 양안에 수많은 하안단구가 발달한다. 오십천 하안단구는 하류부의 해면변동단구와 중하류부의 기후단구로 구분된다(윤순옥 등, 2002).

해면변동단구는 오십천의 최하류부에 국한하여 분포하며, 7개의 지형면으로 세분된다(윤순옥 등, 2002). 각 지형면들 사이의 해발고도차는 20~30m로 대체로 균일한 편인데, 고고위(mHH)면은 해발고도 145~150m에서 확인되고, 이 지형면보다 약 40m 낮은 해발고도 110m에서는 해면변동단구가 확인된다(윤순옥 등, 2002). 그리고 고위 I(mHI)면은 해발고도 90m, 고위 II(mHII)면은 해발고도 70m, 중위(mM)면은 해발고도 40m, 저위 I(mLI)면은 해발고도 25m, 저위 II(mLII)면은 해발고도 13m에 각각 확인된다(윤순옥 등, 2002). 해면변동단구의 분포가 최하류부와 해안가에 제한되는 것과 관련하여 윤순옥 등(2002)은 내만환경에서 기반암 위에 퇴적물이 얇게 얹혀 있는 지형면들이 지금까지 남아 있는데 기인하는 것으로 보았다. 이들 중 오래전에 형성된 고고위면과 고위면은 현재 오십천의 하구로부터 상류 쪽으로 상당히 떨어진 지역에 분포하고 있으며, 이를 근거로 윤순옥 등(2002)은 형성 당시의 하구부는 현재 해안선보다 훨씬 내륙 쪽에 위치하고 있었다고 해석하였다. 한편, 이 지역의 기후변동성 단구는 고위(cH)면, 중위 I(cMI)면, 중위 II(cMII)면, 저위 I(cLI)면, 및 저위 II(cLII)면 등과 같이 5개의 지형면으로 세분된다(윤순옥 등, 2002).

한편, 윤순옥 등(2003)은 한국 동해안 강릉에서 묵호에 이르는 해안 지역을 안인-정동진 지역과 대진-묵호 지역으로 구분하고, 구정선 고도를 기준으로 단구를 분류하였으며, 주변 해면변동단구 및 다른 지역의 해안단구와의 대비를 수행하였다. 이들은 노두 퇴적상을 조사하였으며, 기존 연구와의 비교를 통해 해안단구 형성 시기에 대해 논의하면서 해안단구의 지형발달을 검토하였다. 이들은 구정선 고도를 기준으로 해안단구를 고고위 I 면(HH I: 140m), 고고위 II 면(HH II: 110m), 고위 I 면(90m), 고위 II 면(70m), 중위면(40m), 저위 I 면(25m), 저위 II 면(10m) 등의 지형면으로 구분하였다. 이들은 또한 홀로세에 형성된 것으로 추정되는 해발고도 5~6m의 가장 낮은 해안단구를 연구지역 전체에서 확인하였다. 윤순옥 등(2003)은 연구지역인 안인-정동진지역과 삼척 오십천지역 및 감포지역의 해안단구 구정선들이 거의 같은 형성체계를 보인다는 점에 근거하여 연구지역의 고고위면이 삼척 오십천 지역과 감포지역에서 확인되는 것과 같은 시기에 형성된 것으로 보았다. 이들은 또한 고고위면이 안인-정동진 지역 내의 세 지점에서 단편적으로 확인되지만, 다른 지역에서도 계속 확인될 가능성이 크다고 추정하였다(윤순옥 등, 2003). 고위 I 면은 헤드랜드가 뚜렷한 정동진과 대진동지역에 나타나며, 발달정도에 있어서는 한반도에서 가장 대표적이라 할 수 있을 정도로 탁월하다. 중위면은 묵호-대진 지역과 북평-삼척 지역의 북평동 일대에 연속적으로 분포한다. 저위면은 정동진을 제외한 지역에서 비교적 고르게 나타나지만, 저위 II 면은 안인-대진동 지역에서만 제한적으로 몇 개의 면이 확인된다. 또한, 고위면은 다른 지형면에 비해 지형면 자체의 최고고도와 최저고도 간의 비고차가 30~40m로 매우 크고, I 면과 II 면을 구분하는 단구애가 분명하지 않은데, 윤순옥 등(2003)은 이러한 현상을 I 면과 II 면을 형성한 간빙기들 사이의 빙기의 기간이 매우 짧은데 기인하는 것으로 생각하였다. 그러나 이들은 시기를 달리하는 두개의 면, 즉 고위 I 면과 고위 II 면은 확실하게 존재하는 것으로 보았다. 이들은

또한 고위면이 연구지역 뿐 아니라 감포 지역에서도 유사하게 그 폭이 가장 넓게 나타나는 사실에 주목하였으며, 이러한 현상은 간빙기 지속기간이 길었고, 원래 규모가 큰 파식대가 형성된 것에 기인한다고 보았다. 이들은 지형면의 형성시기가 오래 되었음에도 불구하고 잘 보존된 이유를 형성 후 고위면을 개척시킨 하천의 유로가 짧고 유역분지가 작아 상대적으로 개척을 적게 받았기 때문으로 보았다. 퇴적상 특징을 살펴보면, 고고위면에는 심하게 풍화된 원력이 높은 밀도로 흩어져 나타나며, 고위 I 면은 기반암위에 역층이 상대적으로 얇게 피복된 형태로 나타나는데, 역층의 두께는 안인-정동진 지역에서는 4~7m이고, 목호-대진 지역에서는 1~2m이다. 중위면은 송정동의 두 지점에서 발견되며, 저위 I 면은 안인-대진 지역에서 관찰되는데, 이들은 모두 왕자갈 내지 자갈 크기의 편평력으로 우세한 퇴적물로 구성된다. 토양색은 각각 고고위면에서는 적색(10R 4/6), 고위면에서는 적색(10R 5/8)~적갈색(2.5YR 4/8), 중위면에서는 적갈색(2.5R 5/8)~명적갈색(5YR 5/8), 그리고 저위 I 면에서는 등색(7.5YR 6/8)~황등색(10YR 7/8)으로 시기가 오래된 지형면일수록 토양의 적색화가 진행되었음을 알 수 있다(윤순옥 등, 2003).

해안단구 형성시기와 관련하여 윤순옥 등(2003)은 기존 연구결과와 비교하여 저위 I 면은 최종간빙기인 MIS 5e시기동안 형성되었으며, 최성길(1993)의 저위 I 면 및 황상일과 윤순옥(1996)의 금곡면(19~24m)에 대비되는 것으로 보았다. 윤순옥 등(2003)은 중위면의 형성시기를 MIS 7에 해당하는 북유럽의 Saale/Drenthe 기로 보았고, 고위면은 북유럽의 Holsteinian Interglacial기에 해당하는 MIS 9~11 동안에 형성된 것으로 보았다. 고위면의 형성시기와 관련하여 고위 II 면은 MIS 9에, 그리고 고위 I 면은 MIS 11에 해당한다. 두 개의 고위면 형성시기 중간에 해당하는 MIS 10은 약 1만년 동안 지속되었는데, 이 기간 동안 단구에 발달은 미약하였다(윤순옥 등, 2003). 아울러 MIS 10을 제외한 Holsteinian Interglacial의 기간이 매우 길게 지

속되었으므로 고위면의 규모는 한국 동해안에서 대단히 크게 나타난다. 윤순옥 등(2003)은 고고위 II 면은 Elster1/2기에 해당하는 MIS 13동안에, 그리고 고고위 I 면은 Cromerian IV기에 해당하는 MIS 15동안에 각각 퇴적된 것으로 추정하였다. 이들은 또한 한반도 동해안의 정동진 지역의 해안단구로부터 복원한 구정선 고도체계가 남동해안 감포지역의 그것과 동일하다는 점에 착안하여, 약 65만 년 전(BP)이후 한반도 동해안 지반운동의 양상은 북쪽과 남쪽 해안에서 거의 유사했던 것으로 보았다.

2) 동해안 남동부 단구지형

동해안 남동부는 포항, 감포, 읍천, 울산, 그리고 기장 일대 등을 포함한다. 윤순옥 등(2000)은 해안단구가 잘 발달되어 있는 포항시 구룡포읍 상정리에서 경주시 양남면 하서리 사이의 남동 해안을 대상으로 해안단구 형성 메카니즘을 검토하였다. 한국 남동해안의 해안단구는 바다로 직접 유입하는 유로길이가 짧은 소하천들이 횡적으로 연결되어, 소규모 유역분지를 이루는 해안에 분포하고 있으며, 따라서 큰 하천 하구부의 폭이 좁다. 윤순옥 등(2000)은 이와 같은 해안지형이 남동해안에서의 지속적인 용기에 의해 형성되었고, 이러한 용기작용을 빙하성 해면변동과 함께 해안단구 지형발달의 근본적인 동인으로 보았다. 기존연구에 의하면, 해안단구 고위면은 정동진에서 가장 넓게 나타나고, 남동해안에서는 매우 단편적으로 분포하는 것으로 알려져 있었다. 하지만 윤순옥 등(2000)은 해안단구 고위면이 감포읍 두원리에서 양남면 나리까지 고위면 구정선을 복원할 수 있을 정도로 연속적으로 나타나는 것으로 확인하였다. 이들은 또한 중위면이 연구지역의 일부를 제외하고는 연속적으로 분포하고 있으며, 구룡포읍 장길리에서 장기곶의 최북단까지 매우 넓게 분포하고 있는 것을 확인하였다. 침식에 대한 저항력이 강한 중생대 화강암과 선캠브리아기 변성암이 분포하는 지역의 경우, 고위면과 중위면의 규모가 크고 연속성이 좋지만, 상대적으로 제3기 응회암이나 퇴적암을 기반암으로 가지는 지역에서는 고위면

이 매우 적게 남아 있다. 기반암의 특성에 따른 지형면 분포 특징이 가장 크게 반영되는 것은 고위면으로 침식에 대한 저항력이 약한 암석으로 된 지역에서는 확인되지 않는 경우가 많다. 중위면은 기반암에 따라 개석의 차이는 있지만, 지형면 자체는 여전히 보존되는 경향을 보여준다. 윤순옥 등(2000)은 고위면과 중위면의 이와 같은 차이가 기반암의 차이와 함께 지형면이 개석되는 기간과 관계가 깊다고 보았다. 대중천을 제외하면 남동해안으로 유입하는 하천은 퇴적물 공급이 해안단구의 발달에 영향을 미칠 수 있는 규모가 아니다. 하지만, 대중천은 퇴적물의 공급량이 대단히 많아서 하구 남쪽의 양복면 봉길리 해안에는 대중천이 운반해 온 사력이 정선 부근에 두껍게 퇴적되어 파랑의 파식작용을 저지하였으므로 해안단구의 발달이 미약하고 지형면의 폭이 좁은 편이다(윤순옥 등, 2000). 기반암이 제3기 퇴적암과 응회암으로 구성된 대진천, 장기천, 양포천 하류부의 학계리, 신창리, 그리고 수역리에서는 해안단구 중위면과 저위면이 형성되던 시기에 해면에 대응하여 폭이 대단히 넓은 충적평야가 형성되었으나, 단구화된 이후에도 완전히 해체되지 않고 내만의 해안단구로 비교적 넓게 남아 있는 것으로 보인다(윤순옥 등, 2000).

남동해안의 등심선 분포는 수심 35~40m 깊이를 경계로 크게 변하는 특성을 보여준다. 이 깊이보다 깊은 해역은 북북동-남남서 방향으로 서로 평행하지만, 이보다 얇은 곳은 대부분 현재 해안선의 출입에 조화되어 굴곡하고 있다. 또한 해저사면의 경사도 이 깊이를 경계로 크게 변하는데, 이 깊이보다 얇은 해안부는 급한 경사를 보여준다. 따라서 이 수심은 한국 남동해안 연구 지역의 현재 천해 파형성 수심이다. 천해 파형성 수심은 구룡포읍 장길리에서는 60~90m로 상대적으로 깊지만, 양남면 하서리는 30m로 비교적 얇은 등 지역에 따른 차이를 보여준다. 천해 파형성 수심은 해면이 현 수준에서 안정된다면 시간이 지남에 따라 전체적으로 약간 더 깊어질 가능성이 있으나, 하천 퇴적물의 대량 공급에 의한 해저지형의 변화의 영향에 따라 변할 가능성

은 낮다. 이상과 같은 자료를 종합해 보면, 제4기 간빙기 동안 해안단구를 형성하였던 파랑은 파고 1m 이상이었을 것으로 추정된다. 현재 해안단구는 대부분 현재 해안선의 헤드랜드 부근에 넓게 분포하지만, 내만쪽이나 직선상의 해안에서도 특정 고도의 해안단구면이 발견된다. 이러한 해안단구면이 관찰되는 해안은 현재는 외해로 돌출하지는 않았지만 해안단구면이 형성될 당시에는 헤드랜드 부근이었을 것이다. 이와 같이 과거 해안선의 형태는 등심선 분포를 통해 해저기복과 관련하여 유추할 수 있다. 감포읍 오류리 이남의 해안에서 고위면이 형성될 때, 파식대 형성에 기여한 높은 파고의 파랑은 남동 내지 동남동 방향에서 해안으로 접근하였을 가능성이 높다. 해안단구의 규모는 지형면이 형성될 때 파랑의 침식작용과 풍화작용의 강도와 이들 작용에 대한 기반암의 저항력 정도에 의해 결정되며, 따라서 기반암의 특징은 지형면의 분포를 결정하는데 있어 매우 중요한 요인이 된다. 아울러 해안선이 외해를 향해 돌출한 정도, 해저기복, 파랑 크기와 해안으로의 접근 방향 등도 전체 해안에 걸쳐 지형면의 분포를 결정하는 중요한 변수가 된다. 한편, 하천 수계는 남동해안에서는 국지적인 영향을 미친 것으로 사료된다.

남동해안은 해안단구 분포 특징에 따라 구룡포읍 삼정리-장길리 해안, 구평리-계원리 해안, 그리고 감포읍 두원리-양남면 읍천리 해안으로 구분된다. 삼정리-장길리 해안에는 중위면이 넓게 분포하는데, 이곳은 파고가 높은 파랑이 집중되는 지역으로 중위면 형성은 제3기 화산암으로 구성된 지질 특성에 의한 영향을 많이 받았다. 구평리-계원리 해안은 연약한 기반암, 이에 따른 형성된 내만형태의 해안선 그리고 하천 특성 등의 영향으로 해안단구의 발달이 미약한 것이 특징이다. 두원리-읍천리 해안에서는 중생대 퇴적암, 화성암, 변성암이 갖는 지질 특성, 해안선 형태, 해저기복, 대중천의 퇴적물 공급 등의 복합적인 영향을 받았으며, 이로 인해 고위면, 중위면 및 저위면이 모두 나타나지만, 지형면들의 분포 특징은 다양하고 복잡하다.

황상일 등(2003)은 “한국 남동해안 경주-울

산 경계지역 지경리 일대 해안단구 지형발달” 논문에서 울산과 경주 경계지역에서 확인된 해안단구를 구정선 고도에 따라 고고위 지경면(155m), 고고위 I면(140m), 고고위 II면(120m), 고위 I면(90m), 고위 II면(70m), 저위 I면(25m), 그리고 홀로세 지형면(5~6m) 등으로 분류하였다. 이와 같은 해안단구 분류체계는 남동해안의 대본리-나정리 해안단구 분류체계와 중부 동해안 정동진-대진 분류체계와 거의 같으며, 삼척 오십천 중하류부의 해면변동단구 체계와도 잘 조화된다. 지경리 지역에서 고고위면의 지형면 규모가 고위면과 저위면에 비해 매우 큰 것은 고고위면이 형성될 때 이 해안은 외해로 돌출한 헤드랜드였으며, 해면 부근에 침식에 대한 저항력이 상대적으로 약한 제3기 응회암으로 된 평탄면이 이미 어느 정도 넓게 형성되어 있었기 때문으로 추정된다. 아울러 외해에서 접근하는 파랑은 천해에서 발생하는 마찰력으로 인한 에너지 쇄감효과가 거의 없었으며, 따라서 헤드랜드를 이루고 있던 고고위면에 파랑의 침식력이 강하게 작용하였던 것으로 보인다. 다시 말해서 파랑이 이 독립구릉을 지나면서 효과적으로 침식작용을 일으켜 기반암의 파식대가 넓게 발달할 수 있었던 것으로 추정된다. 연구지역에서 고위면은 해발고도 50m와 90m 사이에 분포하여 최고고도와 최저고도의 비고차가 고고위면보다 크지만, 상대적으로 지형면의 규모는 작다. 고위면은 구정선고도에 따라 90m와 70m 두 개의 지형면으로 세분되며, 이 두 지형면 사이에 단구에 발달은 미약한데, 이는 해안단구면을 형성한 간빙기 사이에 단구애를 형성한 빙기의 지속기간이 매우 짧아 기인한 것으로 생각된다. 고위면은 중위면 및 저위면과 마찬가지로 경사가 급한 고고위면의 단구애에 해당하는 산지 사면에 분포하는데, 중위면과 저위면에 비해 규모가 큰 것은 고위면을 형성한 간빙기의 기간이 매우 길어 오랫동안 파랑의 영향을 받았기 때문으로 해석된다. 이 지역의 해안단구들은 고고위면에서도 신선한 자갈들을 보여주고 있으며, 지형면들 사이에 구정선 고도는 20~30m 비고차를 보이고 있어 그 간격이 상당히 균일하다. 이와

같은 사실은 해안단구들을 형성한 간빙기와 간빙기 사이의 시간 간격이 대체로 일정하였음을 암시한다. 단구면의 형성시기와 관련하여 고고위 지경면은 MIS 17에 해당하는 Cromerian Interglacial III(72~69만년 BP), 고고위 I면은 MIS 15에 해당하는 Cromerian Interglacial IV기(63~56만년 BP), 고고위 II면은 MIS 13에 해당하는 Elster 1/2(51~48만년 BP)에 형성된 것으로 추정하였다(황상일 등, 2003). 또한, 고위 I면은 MIS 11에, 고위 II면은 MIS 9시기에 해당하는 Holsteinian Interglacial(43~30만년 BP)에 형성된 것으로 보았으며, 이들 사이의 MIS 10은 그 지속기간이 약 10,000년으로 매우 짧았던 것으로 보았다. 고고위면과 고위면의 구정선고도가 중부 동해안과 남동해안에서 거의 같은 해발고도에 분포하는 것으로 미루어 고고위면이 형성된 72만년BP 이후, 한반도 동해안의 지반운동 체계는 정동진과 울산지역에서 거의 같았던 것으로 추정된다. 각 해안단구 지형면 구정선고도와 형성시기와의 관계로부터 지반운동량을 계산하면, 지경리 일대는 70만년 BP 이후 지반 용기율은 약 0.23mm/year(2.3m/1만년)이다.

최성길 등(2003)은 한반도 남동해안의 읍천지역에 있어서 100m 이상 구정선 고도를 갖는 ‘고위해성단구’를 구정선고도의 순서에 따라 읍천단구 I면, II면, III면, 그리고 IV면으로 분류하였다. 이들 해성단구에서 각 단구면은 단구애에 의해 명확히 구분되어 있으며, 따라서 각 해성단구의 구정선 고도를 측정하기에 매우 적합한 지형면들이다. 읍천지역 고위단구의 구정선 고도는 읍천단구 I면 160m, II면 140m, III면 120m, 그리고 IV면은 100m로 각각 측정되었다. 최성길 등(2003)은 지형면의 분포와 배열, 뚜렷한 단구애와 단구면의 점점 존재, 해성단구임을 증명할 수 있는 해성퇴적물의 존재 등에 근거하여 이 단구들이 남동부해안의 고위해성단구를 대표할 수 있는 지형면이라고 판단하였다. 이들의 해성단구 분류와 구정선고도는 기존의 연구에서 제시된 황상일 외(2003)의 고고위 I면 140m 및 고고위 II면 110m와는 차이를 보이고

있다.

최성자(2003, 2004)와 한국원자력안전기술원(2003)은 “지진안정성 평가기반 기술개발(I)” 연구보고서에서 한반도 남동해안 해안단구를 대보-구룡포-감포, 감포-당사리, 어물리-기장(혹은 진하-일광) 지역으로 구분하였다. 이들의 연구에서는 우리나라 최초로 디지털 기법에 의한 단구조사와 단열조사를 통하여 이 지역에 대한 제4기 지구조운동 여부를 규명하였다. 이들의 연구에 따르면, 진하-일광 지역의 기반암은 백악기의 퇴적암류와 화산암류 및 불국사 화강암류로 구성되어 있으며, 이 지역의 해안단구는 매우 협소하고 간헐적인 분포를 보이며 발달하고 있고, 타 지역과는 달리 단구 퇴적물이 거의 발달하지 않는다고 하였다. 진하-일광 지역에는 최하위의 홀로세 단구를 포함하여 4개의 단구면이 형성되어 있으며, 이들은 최하위의 것부터 제1단구, 제2단구, 제3단구 및 제4단구로 분류된다. 제1단구의 구정선은 1m 이하, 제2단구의 구정선은 8~11m, 제3단구의 구정선은 17~22m, 제4단구의 구정선은 약 44m이다. 각 단구의 생성시기와 관련하여 제2단구는 MIS 5a의 80,000년이고, 제3단구 하위면은 MIS 5c, 제3단구 상위면은 MIS 5e의 125,000년으로 각각 제안되었다(최성자, 2003, 2004).

Kim et al.(2004)는 남동해안 지역의 감포 일대 해성단구면과 구정선 분포 위치를 조사하였다. 이들의 조사결과를 구정선을 지시하는 단구별 빈도수가 높은 순서대로 나열하면 18~25m구간이 30개소, 10~18m 구간이 25개소, 43~53m 구간이 24개소, 33~43m 구간이 14개소, 60~80m 구간이 14개소, 25~33m 구간이 6개소, 90~100m 구간이 6개소, 53~60m 구간이 5개소, 80~90m 구간이 4개소, 100~110m 구간이 2개소, 5~10m 구간이 1개소, 그리고 120~130m 구간이 1개소이다(Table 1, Fig 1). 감포지역의 해성단구면은 해발고도가 123m에 달하는 marine upper High Terrace(muHT)에서부터 최하 해발고도가 6.5m인 Alluvial Plain(AP)에 이르기 까지 큰 폭의 고도 차이를 보여준다(Table 1). 일반적으로

로 저위면, 중위면, 고위면, 및 최고위면의 구정선 고도자료를 비교하면, 저위면으로 갈수록 완만하고 비교적 단구가 조밀하게 분포하고 비고(比高)차이도 작은 반면, 최고위면으로 갈수록 고도별 단구 분포가 드물고 비고(比高) 차이도 커지는 경향을 보인다. Kim et al.(2004)는 감포 일대의 해성단구면을 도면화하기 위해 해성 최고위단구면(marine upper High Terrace,muHT), 해성고위단구면(marine High Terrace,mHT), 해성중위단구면(marinemiddle Terrace,mMT), 해성저위단구면(marine Lower Terrace,mLT), 그리고 해안충적면(Coastal Alluvial Plain, AP)으로 구분하였다(Table 1). 최고위면(muHT)은 종래의 고기침식면 혹은 고기 해성면(Lee, 1985, 1987; Kim, 1990; Kim et al, 1990, 1987)이나, 윤순옥과 황상일(2003) 등에 의한 고고위면(HHT)과 유사한 의미이다. 최고위면은 현재 일부 연구에서는 muHT(150m), muHT(140m), muHT(130m), muHT(120m), muHT(110m), muHT(100m), muHT(90m) 등 7개 이상의 단구면으로 세부적으로 분류되기도 하지만, Kim et al.(2004)의 연구에서는 muHT(120~130m), muHT(105~110m), muHT(90~100m) 등의 포괄적인 분류가 이용되었다(Table 1). 최고위면의 형성시기와 관련하여 중기 이전 갯신세에 형성된 것으로 보는 전통적인 견해와 중기 갯신세(MIS 19)이후로 보는 견해가 있지만, 이들에 대한 절대연대는 없으며, 다만 단구 시스템을 MIS 홀수기로 대비하여 간접적으로 추정한 연대이다. 고위면(mHT)은 전통적으로 제4단구로 명명되는 단구로 mHT1(86m), mHT2(72m), mHT3 (63m) 등 3개 혹은 그 이상의 지형면으로 세분된다. 이들의 형성시기는 갯신세 초기(Lee, 1985) 및 갯신세 중기초 시실리안 해침기(Kim, 1990; Kim et al, 1998)로 해석된 바 있지만, 이들에 대한 절대연대는 아직까지 제시된 바 없으며, 단지 MIS 11, MIS 13 등의 간빙기에 대비한 상대연대만이 제시되고 있다(황상일과 윤순옥, 2003). 한편, 중위면(mMT)은 다시 mMT1(55m),

mMT2(45m), mMT3(36m) 등으로 세분할 수 있다. 이들은 연구지역에서 가장 흔히 나타나는 지형면으로서 연구지역에서는 단구면의 back edge를 따라 발달하는 고기 구정선을 추적해 볼 수 있는 단구면들이다. 이들의 형성시기에 대해 전통적으로 mMT1(55m)은 MIS 11, mMT2(45m)는 MIS 9, 그리고 mMT3(36m)는 MIS 7에 각각 대비되는 것으로 추정하고 있다. 하지만, 최근 최성자 등(2003, 2004)은 mMT2(45m)를 4단구로 보고 MIS 7에 대비하였고, mMT3a(36m)를 상위3단구로 보아 5e에 대비하였다. 이들은 또한 mMT3b(25m)는 하위3단구(20m 내외)보다 다소 높은 면으로 보았으며, 하위3단구를 5c로 해석한 바 있다. 저위면(mLT)은 mLT1(25m), mLT2(18m) 및 mLT3(13m)으로 세분이 가능하다. 특히 mLT2(18m)는 동해안 전역에 걸쳐 약 20m 내외의 해성단구면으로 분포하고 있는데, 이들은 해빈 역층의 분포고도를 기준으로 할 때, 15m에서 약 20m에 걸쳐 분포하는 단구면이다. 저위단구면 형성시기와 관련하여 mLT1(25m)의 형성

시기는 MIS 7(혹은 MIS 5e)로 해석이 가능하다. mLT2(18m)의 형성시기는 최성길(1997)의 아미노산연대법에 의해 MIS 5e로 해석할 수 있지만, 최성자(2003, 2004)는 이를 5c로 해석한 바 있다. mLT3는 정자동과 감포의 오류동 사이 일대에 널리 분포하는 해빈자갈층으로서 이 퇴적층의 상면은 퇴적층 단구면을 이룬다. 상면의 고도는 지역별로 최종빙기 동안의 국지적 침식 작용 정도에 따라 다르게 나타나는데, 대체로 해빈단구역층의 상면은 약 8~14m의 고도에 분포한다. mLT3는 최종간빙기의 아간빙기인 5a의 해침말기에 의하여 형성된 단구면이다. 마지막으로 충적면(Alluvial Plain, AP)은 해발 4~5m 내외의 해안평야 일대의 해빈역층이 충적면(AP)으로 연장되는 면으로서 최종빙기최성기(18Ka) 이후의 해수면 상승이후 LGM 동안 삭막된 지형면 위에 현재 해안가를 따라 매적되어 형성된 지형면이다. 이들의 최상면은 Flandrian 해침기에 형성된 퇴적체로서 최상부면은 해안 충적평야를 이루고 있다.

Table 1. Subdivision of marine terrace based on paleoshoreline indicators.

해 성 단 구		구정선 고도(m)
최고위면 ;muHT (marine upper High Terrace)		130-120
		110-105
		100-90
고위면 ;mHT (marine High Terrace)	mHT 1	±86
	mHT 2	±72
	mHT 3	±63
중위면 ;mMT (marine middle Terrace)	mMT 1	±55
	mMT 2	±45
	mMT 3	±36
저위면 ;mLT (marine Lower Terrace)	mLT 1	±25
	mLT 2	±18
	mLT 3	±13
해안 충적면 ; AP (Alluvial Plain)		±5

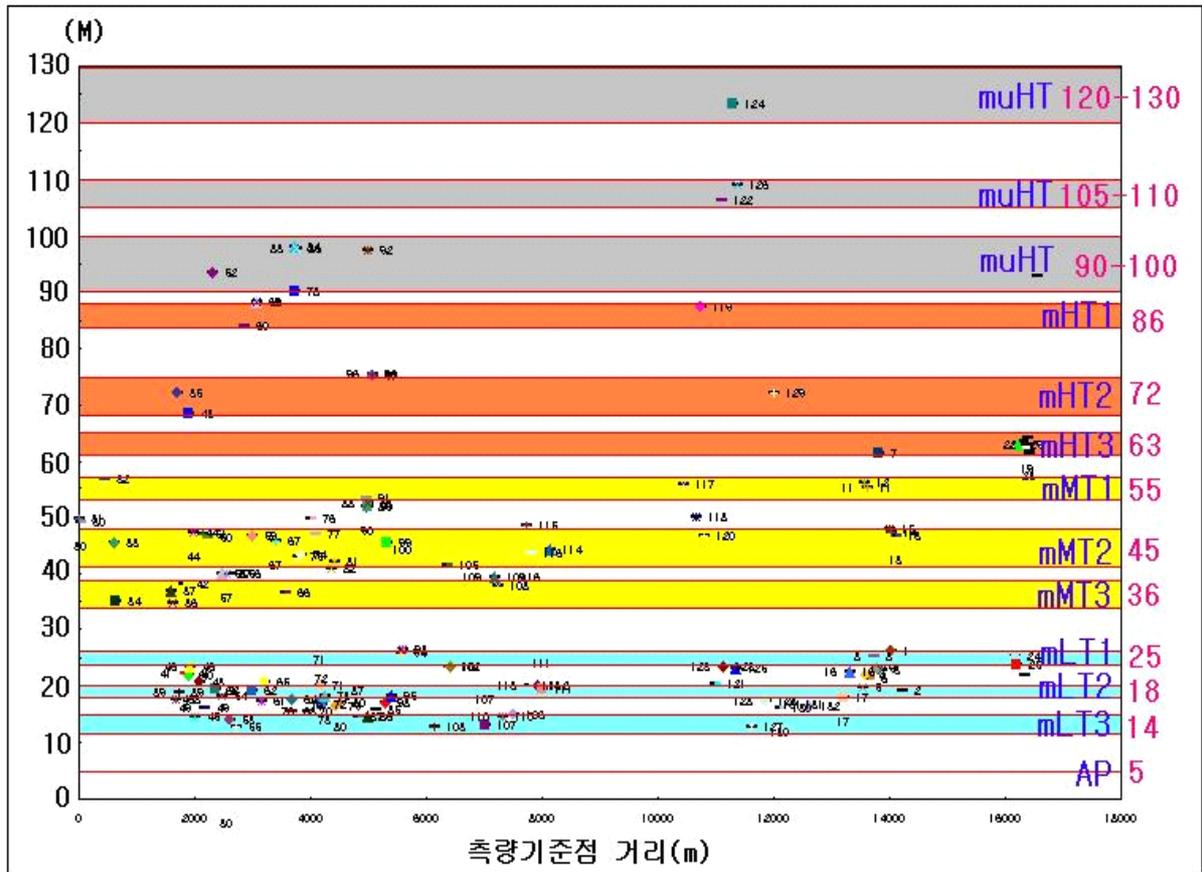


Fig 1. Logitudinal distribution of marine terraces from Jeonchon-ri (Gampo-eup, Kyeongju) to Gangdong-dong(Buk-gu, Ulsan).

3. 해성단구의 OSL 연대측정 연구 고찰

OSL 연대측정에 대한 주요 국내 연구로는 정창식 등(2000)과 홍덕균 등(2001)의 연구 등이 있다. 홍덕균 등(2001)은 OSL 연대측정을 위한 전처리에 있어서 루미네선스의 민감도 등에 대한 문제점을 지적하였으며, 우리나라 제2단구를 비롯한 해성단구에 대한 OSL 연대측정은 한국기초과학연구원의 정창식 박사와 최정현 박사를 중심으로 발전해 왔다.

정창식(2002)은 “해안단구에 대한 연대측정” 논문에서 해안단구 연대측정법 개념을 정리

하고 최근 연구결과를 소개하였다. 그는 해안단구에 대한 연대측정법을 크게 절대연대 측정법, 상대연대 측정법 그리고 지형대비법 등으로 나누어 설명하였다. 그는 절대연대측정법의 일종으로 산호를 주대상으로 하는 우라늄계열 비평형법과 해변층을 대상으로 하는 OSL법, 탄화물을 대상으로 하는 방사성탄소법 및 아미노산법 등을 소개하였다. 그는 또한 지형 및 토양학적인 특징에 주로 의존하는 상대연대 측정법과 함께 지형대비법에 대해서도 소개하였는데, 지형대비법은 일정한 용기율을 가정하고, 절대연대측정 자료가 있는 해안단구의 고도로부터 다른 고도에 위치하는 해안단구의 절대연대를 구하는 방법으로, 용기율

을 구하기 위해서는 과거 해수면 변동을 이해하는 것이 반드시 필요한 것으로 보았다. 정창식(2002)은 특히 OSL연대측정에 대해서는 자세하게 상술하였다. 정창식(2002)의 OSL 연대는 석영이나 장석이 햇빛을 본 마지막 시기를 의미하는 것으로 운반과정 동안이나 퇴적지에서 충분히 햇빛을 받아 OSL 신호가 0으로 된 다음, 상위 퇴적층에 의해 햇빛이 가려지고 난 이후 주변에 있는 U, Th, K 등의 자연방사성원소로부터 받은 방사능에 의해 피폭된 축적선량을 측정하고, 그를 연간선량율로 나눈 값이 OSL 연대가 된다. 따라서 그가 얘기한 OSL 연대는 석영이나 장석을 포함한 퇴적층의 퇴적시기를 지시하며, 그의 해안단구 퇴적층에 대한 OSL 연대측정 결과는 단구면의 최소연대를 지시하게 된다. 정창식(2002)은 우리나라에서 흔히 볼 수 있는 침식형 단구의 경우, 간빙기 초구나 중기에 쌓인 해빈층은 대부분 파도에 의해 깎이고, 해수면이 후퇴하기 직전에 쌓인 간빙기 최후의 해빈층이 남을 가능성이 높다고 보았다.

OSL의 연대측정은 해안단구 퇴적층의 연대측정에 유용하기는 하지만 근본적인 문제점을 내재하고 있다. 해안단구를 구성하는 해빈역층 혹은 사층은 과거 해변에서 물에 잠긴 상태로 퇴적되다가 용기되고 침식되는 과정을 겪었다. 따라서 현재 수분함량은 과거에 가졌던 수분함량보다 낮은 최소값을 보인다. 그런데, 수분함량이 높아짐에 따라 연간선량율은 낮아지게 되므로(Aitken, 1998), 현재 수분함량으로 구한 OSL 연대는 과소평가된 겉보기 연대가 될 수 있다는 것이다. 한편, 고기에 형성된 해빈퇴적층이 가지는 현재 조직은 엄밀히 말해서 퇴적이후 현재까지 지표부근에서 깊이 매몰되지 않은 상태로 오랜 풍화작용을 거치면서 달라져 있기 때문에 현재 시료로부터 과거 포화수분함량을 측정하기도 어렵다. Tanaka 등(1997)은 일본 중부해안에서 채취한 70,000~90,000년의 연대를 가지는 해안단구 퇴적층에 대해 포화수분 함량변화에 의한

겉보기 OSL 연대 변화폭을 $54 \pm 16ka$ (현재 수분함량기준)~ 93 ± 12 (현재 포화수분함량 기준)ka 범위로 보고한 바 있다. 정창식 외(2002)도 경주시 관성지역에 분포하는 소위 제2단구 퇴적층의 OSL 연대가 20내지 30% 정도 젊은 겉보기 연대를 보일 가능성을 제시한 바 있다.

4. 단구 형성시기 종합 고찰

동해안 남동부에 분포하는 해성단구 분포고도로부터 제1단구(5m이내)와 제2단구 mLT3(14m 이하)는 MIS 5a, mLT2(18m이하)는 MIS 5c, mLT1(25m 이하)는 MIS 5e로 비정되고 있으며, 이의 근거로는 주로 OSL이나 화산유리물질(Aso-4, Ata 등)의 산출 등이 이용되었다(정창식, 2003; Kim et al, 2004). 특히 화산물질은 제2단구로 약 10m~25m에 분포하는 mMT3, mMT2, mMT1의 연대를 최종간빙기로 비정하는데 이용된 바 있다(Kim et al., 2004). 제3단구부터는 절대연대 자료가 아주 희박한 편이며, mMT3(36m이하)단구의 경우 연구자에 따라 MIS 5e로 보는 견해와 MIS 7로 보는 견해로 나뉘어져 있다. 전자의 예로는 최성자(2003) 및 정창식(2003)의 연구를 들 수 있다. 이들은 주로 OSL 연대측정결과를 바탕으로 층적면에 해당하는 제1단구(해발 5~10m)는 MIS 3(약 55ka)에, 제2단구(해발 15~25m)는 MIS 5a(약 80ka)에, 그리고 제3단구(해발 30~40m)는 MIS 5e(약 125ka)에 각각 형성된 것으로 주장하였다.

한편 (고)이동영 박사의 단구층 연구결과와 Kim et al.(2004)의 연구결과는 18m(~25m) 내외의 해성단구의 형성시기를 MIS 5e로 보고 있으며, 따라서 mMT3의 형성시기는 MIS 5e 보다 더 오래된 것으로 보고 있다. 해성단구 퇴적물의 형성시기를 아미노산 연대측정법(Amino acid Racemization)을 이용하여 제2단구의 시간 기준면을 제시한 최성길(1991, 1993, 1995, 1996, 1997, 2001)의 연구결과를 토대로 추정해 보면,

층적면(AP)인 1단구는 후빙기(홀로세 중기)로, 저위면(mLT3)는 최종간빙기의 후기(5a)로, 그리고 저위면(mLT2, 18m 전후)는 최종간빙기최성기(5a)로 각각 볼 수 있다. 이들보다 더 높은 고도에 위치한 해성단구는 신뢰할 만한 OSL 연대자료와 다른 정량적인 연대자료는 없지만 상대적인 단구지형 층서대비와 해수면 변동 등에 근거하여 mMT2(45m)는 MIS 9에, 그리고 mMT1(55m)는 MIS 11에 생성된 것으로 추정하고 있다.

기존의 여러 연구결과를 종합해 보면, 적어도 제3단구(mMT3)까지는 최종간빙기에 포함시킬 수 있으며, 약 45m보다 더 높은 고도에 위치하는 해성단구는 최종간빙기보다 더 이른 시기의 고해면기(MIS 7, 9, 11; 서유럽의 Saalian~Hostainian 시기)에 생성된 것으로 보인다. 또한, 고위면(mHT)인 제4단구와 최고위면(muHT)인 제5단구는 단구퇴적물의 풍화정도와 토양의 적색화 정도로 보아 적어도 2번이상의 간빙기 기후를 거친 것으로 보이며 서유럽의 Cromerian(크로메리안) 혹은 그 이전의 갱신세 중기초에 대비될 수 있을 것으로 사료된다.

5. 해성단구 용기율 연구 고찰

동해안 일대의 지반 용기율은 해성단구의 형성시기와 지반용기 특성을 고려한 해성단구와 고도 간의 상관관계 그래프, 고해수면 변동곡선 및 단구 고도간의 대비 등을 이용하여 계산할 수 있다. 한국원자력안전기술원(2003)의 기존 연구결과에 의하면, 동해안 일대의 지반 용기율은 제2단구에서는 약 0.25m/ky, 제3단구에서는 약 0.22m/ky 그리고 제4단구에서는 약 0.2m/ky로 각각 산정되었다. 이러한 용기율은 판 경계부보다는 활동성이 적은 판 내부에서 흔히 나타나는 값이며, 따라서 이로부터 우리나라 남동해안의 지각은 대체로 안정된 지괴임을 추정할 수 있다. 반면, 각 단구의 구정선 고도는 남쪽으로 가면서

매우 미약하지만 점이적으로 낮아지는 현상을 보이는데, 이는 우리나라의 남동해안 남단부에서의 침강운동에 따른 현상으로 해석되었다(한국원자력안전기술원, 2003). 반면 최성자(2003, 2004)의 연구를 비롯한 몇몇 OSL 연구는 3단구의 상위면과 저위면 그리고 2단구가 모두 MIS 5 동안에 형성되었다고 주장하고 있다. 따라서 3단구 중에서 약 30~35m 높이의 단구 형성시기에 따라 용기율 산정은 다소 달라질 수 있는 여지는 남아 있다. 최성길(1996)이 주장한 것과 같이 저위해성단구 I 면의 생성시기를 MIS 5c의 시기에 두는 것에 대해서도 아직 논의 중에 있다.

최근 Kim et al.(2004)은 제2단구 mLT3를 MIS 5a로, 그리고 MIS 5e 해당 단구면을 약 25m로 추정하여 약 0.20mm/yr 내외의 용기율을 산정하였다. 이들은 또한 제3단구에 대해서도 분포와 형성시기의 추정치를 적용하여 용기율을 산정한 결과 약 0.13-0.19mm/yr로 다소 낮은 용기율이 산정되었다(Fig. 2). 남한의 동남부 해안의 단구분포에 근거한 지반 용기율은 전체적으로 약 1.5m/ka로 추정된다. 그러나 약 50만년 이래 해성단구의 분포에서 볼 때, 최근에 형성된 단구일수록 다소 높은 값의 용기율을 보이는 이유에 대해서는 판단하기 어려우나 기후변동에 의한 해수면 상승의 촉진보다는 지체구조 운동증가에 의한 현상일 것으로 추정하고 있을 뿐이다.

6. 논의 및 결론

최근의 해성단구 연구 동향, 해성단구 퇴적물에 대한 OSL 연대측정 및 용기특성 연구 결과 등을 검토한 결과, 동해안의 중북부 해안과 남동부 해안에 분포하는 해안단구는 고기 해수면의 분포고도, 해성단구의 분포범위, 해성단구 퇴적물의 퇴적상 특성 등에 있어서 지역에 따른 차이를 보여주고 있다. 또한 동해안의 해성단구들은 동일한 고도에 분포하지 않는 경우가 있으며, 동일한 고도의 해성단구라도 경우에 따라 해성단구

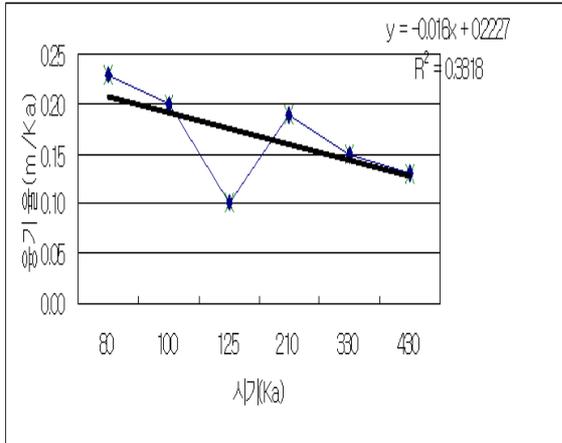


Fig 2. Estimated uplift rate based on ages (assumed) of different marine

상부의 퇴적상은 서로 다른 경우가 많으며, 해성단구 퇴적층들의 형성연대 또한 지역에 따라 동일하지 않은 경우도 많다. 이러한 지역에 따른 단구분포 특성 차이는 분명히 있지만, 해성단구 분포지내 일정구간에 대한 구정선의 고도에 대한 정밀지형 조사결과는 단구 분포지의 고도는 비교적 일정함을 지시한다. 하지만, 해성단구의 고도 분포를 연구할 경우에는 해성단구면 위에 분포하는 퇴적물이 고기의 해안선 부근에 퇴적되었는지, 고기 해수면과는 무관한 고기 풍성층으로 퇴적되었는지, 혹은 해안의 구릉지나 사면으로부터 흘러내린 퇴적물인지 등과 같은 자세한 퇴적상 분석을 먼저 수행하고, 퇴적상 분석이 완료된 퇴적물에 대해서 연대측정을 시행해야 할 것이다. 다시 말해 해성단구의 지표면 고도 분포 보다는 고기 해안선(paleoshoreline)의 분포위치(shoreline angle)를 도면화해야 한다는 의미이며, 또한 이의 연장특성도 중요시해야 한다는 의미이다. 해성단구의 대비를 위한 도면화작업을 위해서 각 지역의 단구면은 우선 하부에서부터 1, 2, 3, 4, 5단구 등으로 구분해야 하며, 다음 단계로는 이들을 지역별 단구시스템으로 구분하여야 한다. 그러나 지역별로 고도가 다른 해성단구 시스템들은 지역간의 근본적인 용기울의 차이 때문으로도 해석될 수도 있다. 그러나 지역간 단

구시스템의 분류체계를 달리하여 지역에 따라 서로 상이한 고도에 나타나는 단구들을 서로 다른 것으로 분류한다면 지역 간 신기지각운동이나 용기울 차이 등과는 무관하게 단구 형성에서부터 원천적으로 상이할 수 있음을 인정해야 한다. 만일 용기울이 같다면 모든 지역의 단구는 모두 비슷한 높이에 분포할 것이라는 가설에도 사실상 문제가 제기될 수 있다.

현재 문제시되고 있는 것은 제2단구와 제3단구의 고기 해안선의 형성시기이다. 최근까지의 연구에 따르면, 최성자 등(2003, 2004)의 소위 제3단구(mMT3a) 중에서도 최종간빙기를 지시하는 단구면은 약 30~35m에 분포하지만, 구룡포 일대에서는 이 단구면이 침식성 해성단구면으로서 25~30m 내외의 고도에 나타나는 것으로 알려져 있다. 실제로 구룡포 지역의 단구는 단구애(terrace escarpment) 발달이 현저하지 않지만 비교적 넓게 나타나기도 하므로 제3단구면이라기보다 침식성 단구면일 수도 있다. 또한 더 남쪽인 감포와 나아 등지에서 약 30m 내외의 단구는 제2단구인 mL1에 비하여 훨씬 더 제한된 분포를 보여준다. 따라서 전체적으로 볼 때, 제한된 분포범위와 빈도를 보이는 약 30m 내외의 해성단구를 최종간빙기 최성기의 고해안선을 지시하는 해성단구면으로 보기에 무리가 있는 것으로 보인다. 전 세계적으로 최종간빙기 최성기의 단구면이 가장 넓게 분포하면서 발달하는 것이 일반적이며, 따라서 이러한 일반적 현상에 비추어 소위 해성단구 3a(mMT3a)의 형성시기를 최종간빙기 최성기로 보기는 어렵다. 한반도 남동해안의 해성단구 분포를 볼 때, 전체 단구지형은 분포고도의 유사성이 있음에도 불구하고 형성시기로 보아 단구지형 발달과정상 다른 간빙기나 아간빙기의 해침기(말)의 퇴적체가 간섭되어 형성될 수도 있다는 점이다. 즉, 일단 최초 단구지형이 형성된 후 지형사박이나 후속 퇴적작용에 의하여 상이한 높이의 해성단구면으로 재조성된 후, 현재까지 남아있게 되었을 가능성도 배제할

수 없다.

동해안 강원도, 경북, 경남지역으로 연결되는 해안지역에 분포하는 해성단구의 분포특성과 OSL, 화산 유리물질 분포 등을 기반으로 하는 연대측정, 그리고 단구지형 층서 연구를 종합하면, 현재까지의 연구결과를 두 가지 견해로 단순화할 수 있다. 첫 번째 견해는 기존의 1985년에서 1998년까지의 (고)이동영 박사 등의 연구 결과와 그 이후 Kim et al(2004)의 연구결과에 나타났듯이 해발고도 약 20m 전후의 해성단구의 형성연대를 MIS 5e로 보는 것이다. 두 번째 견해는 최성자(2003)와 한국원자력안전기술원(2003) 등에 의한 동해안 해성단구 분포 연구 결과에 제시되었듯이 충적면에 해당하는 제1단구는 해발 5~10m에 분포하며 형성시기는 MIS 3(약 55ka), 제2단구는 해발 15~25m에 분포하며, 형성시기는 MIS 5a(약 80ka), 그리고 제3단구는 해발 30~40m에 분포하며 형성시기는 MIS 5e(약 125ka)로 보는 것이다. 결론적으로 (고)이동영 박사가 동해안 해성단구의 층위분포 특성과 형성시기로 제시한 전반적인 연대모델에 대한 검토와 검증 그리고 보완 과정에서 수행된 지난 10년간의 연구결과를 보면, 주요 쟁점은 MIS 5e에 해당하는 해성단구의 고도가 18~25m인가 혹은 30~35m인가 하는 점으로 귀착된다고 할 수 있다. 끝으로 동해안 단구분포와 형성시기에 기초한 지반 융기율은 전체적으로 볼 때 약 1.0m~0.20m/ka로 추정되며, 지난 약 45만년동안 단구형성 연대가 짧아질수록 더 높은 융기율을 보이고 있다는데 주목할 필요가 있다.

참고문헌

김주용, 이동영, 최성길, 1998. 플라이스토신 층서연구. 한국제4기학회지 12(1), 77-87.
 윤순옥, 황상일, 2000. 한국 남동해안 해성단구의 지형형성mechanism. 대한지리학회지 제35권, 제1호, 17-38.

윤순옥 등, 2002. 삼척 오십천 중·하류부의 해안단구 지형발달.
 윤순옥, 황상일, 반학균, 2003. 한반도 중부 동해안 정동진, 대진 지역의 해안단구 지형발달. 대한지리학회지 제38권 제2호, 156 ~ 172.
 정창식, 2002. 해성단구에 대한 연대측정. 지질학회지, 38, 279-291.
 최성길, 1991. 한국 동해안 냉천 하구부의 해면변동단구와 영일만 북안의 해성단구. 공주대지리학논집 17(1), 61-73
 최성길, 1993. 한국 동해안에 있어서 최중간빙기의 구정선고도 연구 - 후기 갯신세 하성단구의 지형층서적 대비의 관점에서. 한국제4기학회지 7(1), 1-26
 최성길, 1995. 한반도 중부동해안 저위해성단구의 대비와 편년. 대한지리학회지 30(2), 103-119
 최성길, 1996. 한국 남동해안 포항 주변지역 후기 갯신세 해성단구의 대비와 편년. 한국지형학회지3(1), 29-44
 최성길, 1997. 韓國東海岸における後期更新世段丘地形の發達過程と最終間氷期の海水準. 東北大 博士論文. 200.
 최성길, 2001. Tectonicmovement indicated by the Pleistocene Palaeo-shoreline in the Eastern Coast of Korea. Transactions, Japanese Geomorphologist Union, 22(3), 265-275.
 최성길, 2003. 신월성 지역 해안단구의 분포 및 연대. KPPEC신월성(봉길)원전지점 세부조사사업 자문보고서.
 최성자, 2003. 진하-일관 지역의 해안단구. 자원환경지질, 36(3), 233-242.
 최성자, 2004. 대보-구룡포-감포 지역의 해안단구(II) 자원환경지질, 37(2), 245-253.
 한국원자력안전기술연구원, 2003. 지진안정성 평가기반 기술개발(I). 최종연구보고서, KINS/GR-255, 과학기술부.
 황상일, 윤순옥, 1996. 한국 동해안 영덕 금곡지역 해안단구의 퇴적물 특성과 지형발달, 한국지형학회지, 3(2), 99-114
 황상일, 윤순옥, 박한산, 2003. 한국 남동해안 경주-울산 경계지역 지경리 일대 해안단구 지형발달. 대한지리학회지 제38권 제4호 2003, 490 ~ 504.

- 홍덕균, 최정현, 한중희, 최만식, 정창식, 2001. 광여기루미네센스를 이용한 신기 퇴적층의 연대측정. 암석학회지 제10권 (특별호), 202 ~ 211.
- Aitken, m.J., 1998. An introduction to optical dating. Oxford University Press
- Choi, S.-J., 2003. marine Terrace of Jinha-Ilgwang Area, Southeast, Korea. Econ. Environ. Geol. 36(3), 233-242.
- Choi, J.H., murray, A.S., Jain, m., Cheong, C.-S. and Chang, H.W., 2002. Luminescence dating of well-sorted marine terrace sediments on the southeastern coast of Korea. Quater. Sci. Rev. (Quaternary Geochronology) (accepted).
- Kim, J. Y., 1990. Quaternary Stratigraphy of the Terrace Gravel Sequences in the Pohang Area (Korea). Dissertation to Seoul National University, 1-203.
- Kim, J.Y., Choi, D.K., Lee, D.Y., 1990. Paleoenvironmental implications of the Quaternary gravel sequences on the basis of gravel shape. Korean J. Quaternary Res., 4(1), 41-58.
- Kim, J.Y., Chang, S.B., Choi, W.H, Jang, H., Choi, S.G., 2004. Geohazard potential and paleoseismology based on coastal geomorphology and structural development. Field guidebook in 2004-Special Lecture Course of Geohazard and Paleoseismology (edited by mCalpin, et al), 1-85.
- Lee, D.Y., 1985. Quaternary Deposits in the Coastal Fringe of the Korean Peninsula. Dissertation to the Vrije Universiteit, Brussel, 315.
- Lee, D.Y., 1987. Stratigraphic research of the Quaternary deposits in the Korean Peninsula : Progress in Quaternary geology of east and southeast Asia, CCOP/TP 18, 227-242
- Tanaka, K., Hataya, R., Spooner, N.A., Questiaux, D.G., Saito, Y. and Hashimoto, T., 1997. Dating of marine terrace sediments by ESR, TL and OSL methods and their applicabilities. Quater. Sci. Rev., 16, 257-264.