

경북 영천시 고현천의 하안단구 지형 분석

조영동* · 이광률**

Analysis of Fluvial Terraces at Kohyun River in Youngcheon City

Young-Dong Cho* · Gwang-Ryul Lee**

요약 : 본 연구는 태백산맥의 남쪽 말단부에 위치하며 유역 분지의 대부분이 퇴적암으로 구성된 고현천을 대상으로, 하안단구 지형 분류 및 퇴적물 분석을 통해 하안단구의 분포 특성과 형성 과정을 고찰하였다. 고현천 하곡에는 1면~3면의 하안단구가 발달해 있으며, 충적층의 퇴적 상태와 암석 하상의 존재로 판단할 때, 침식단구일 가능성이 높다. 고현천 하안단구 1면의 형성시기는 약 37,000년 전으로 MIS(Marine Oxygen Isotope Stage) 3시기에 해당하며, 하안단구 2면은 약 113,000년 전으로 MIS 5시기에 해당된다. 따라서 고현천의 하안단구는 상대적으로 온난한, 빙기 내의 아간빙기 또는 간빙기 내의 냉랑기에 형성된 것으로 추정된다. 고현천 하안단구 1면의 하각률은 0.054m/ka, 2면의 하각률은 0.115m/ka로 계산되었는데, 이는 낮은 지반 융기율과 부족한 유량으로 인해 우리나라의 다른 하천보다 낮은 하각률을 나타내는 것으로 판단된다.

주요어 : 하안단구, 퇴적암, 침식단구, 하각률, 융기율, 태백산맥, 암석 하상

Abstract : Kohyun River basin is located at southern parts of Taebaek Mountains and most of river basins consists of sedimentary rock. The aims of this study are to investigate the distribution characteristics and processes of fluvial terraces at Kohyun River, using scientific methods such as classification of fluvial landforms, analysis of geomorphological deposits, XRD and OSL age dating. In Kohyun River basin are three levels terraces from T1 to T3. Fluvial terraces are assumed to be erosional terraces according to deposited situation of alluvium and existences of bedrock riverbed. From the result of OSL age dating, formation age of fluvial terrace 1(T1) is calculated about 37,000 yr.B.P.(MIS 3), and fluvial terrace 2(T2) is calculated about 113,000 yr.B.P.(MIS 5). Therefore, fluvial terraces at Kohyun River are assumed to be formed at warmer period in the glacial stages or cooler period in the interglacial stages. The incision rate of fluvial terrace 1 at Kohyun River is calculated to be 0.054m/ka, and the incision rate of fluvial terrace 2 is calculated to be 0.115m/ka. This results suggest to lower incision rate than other rivers in Korea because of low uplift rates and little discharge.

Key Words : fluvial terraces, sedimentary rock, erosional terraces, incision rate, uplift rate, Taebaek Mountains, bedrock riverbed

* 신녕중학교 교사(Teacher, Sinnyeong Middle School), geoterrace@empal.com

** 경북대학교 사범대학 지리교육과 조교수(Assistant Professor, Department of Geography Education, Teachers College, Kyungpook National University), georiver@knu.ac.kr

1. 서론

하천 지형은 오랫동안 인간 생활의 주요한 터전이 되어 왔다(권혁재, 2001). 그러나 인간 활동에 의한 하천 지형의 이용과 개발은 지형 경관과 생태계의 파괴 뿐만 아니라, 홍수와 같은 자연 재해 및 하천의 수질 오염 등 여러 가지 문제를 야기 시켰다. 따라서 하천의 자연성을 유지하면서 인간의 활동을 지속적으로 영위하기 위해서는 하천과 하천 지형에 대한 이해가 선행되어야 한다.

하안단구(fluvial terrace)는 하천이 현재보다 높은 고도에서 흘렀을 때 형성되었던 유기된 범람원이다(Ritter *et al.*, 2002). 따라서 하안단구는 신생대 제4기 동안 유역 분지 내에서 하천이 끊임없이 기후 변화와 지각 운동 등에 영향을 받은 결과이기 때문에 하안단구 지형의 분석은 하천이 그곳에 흐르던 당시의 고환경을 유추할 수 있는 많은 정보를 제공한다.

우리나라의 하안단구 연구는 주로 낙동강 상류 일대(손명원, 1993; 1996; 송언근, 1993), 한강 중상류 일대(임창주, 1989; 박희두, 1989; 이광률, 1999; 2003), 금강 중하류 일대(이의한, 1998; 2000), 그리고 해안에 인접한 중·소 하천(윤순옥 등, 2002; 장호 등, 2007) 등에서 주로 이루어졌다. 특히 이들 지역은 대부분 우리나라에서 가장 넓은 면적을 차지하는 암석인 변성암과 화강암 지역에 해당되며, 층리에 의해 하안단구와 유사한 계단상의 수평 및 수직의 지형 경관이 잘 발달하는 퇴적암 지역을 대상으로 한 하안단구 연구는 거의 드물다.

본 연구는 태백산맥의 남쪽 말단부이며, 대부분의 지역이 퇴적암으로 이루어진 경상북도 영천시 서북지역을 유역분지로 하는 고현천을 대상으로, 하안단구 지형에 대한 분포 특성을 파악하고, 지형 구성 물질을 분석하여 신생대 제4기 동안 고현천의 변화 과정과 하안단구의 형성 과정을 분석하고자 한다.

특히, 본 연구 지역과 같은 낙동강 유역분지의 여러 하천들은 최근 지방 자치 단체들에 의한 개발 요구가 매우 높기 때문에, 하천과 하천 지형의 자연적 특성에 대한 연구가 시급한 곳이다. 또한 본 연구 지역의 상류

인 보현산 일대는 한반도의 용기축으로 설정되는 태백산맥의 남쪽 경계에 해당하는 지역(박수진, 2007)이므로, 본 연구는 태백산맥 경계부의 지반 용기 특성과 하천의 하각 작용을 이해하는데 있어서도 중요한 의의를 가진다.

2. 연구방법

고현천 하안단구의 형태와 분포 특성을 파악하고, 하안단구 퇴적물의 물리·화학적 특성을 분석하여, 지형 형성 과정을 추론하기 위해 다음과 같은 방법을 적용하였다.

먼저, 지형의 형태와 분포 특성을 파악하기 위하여, 국토지리정보원에서 발행한 1:5,000 및 1:25,000 지형도와 한국지질자원연구원서 발행한 1:50,000 지질도를 바탕으로 고현천 유역분지의 지질 및 지형을 분석하였다. 또한 1:20,000 축척의 항공사진과 1:5,000 지형도를 판독하여 하안단구 지형면을 1차적으로 분류하고, 야외 조사를 통해 수정한 후, ArcGIS 프로그램을 이용하여 지형면 분류도를 작성하고, 해당 지형면의 해발 고도와 하상 비고를 측정하였다.

다음으로, 하안단구 퇴적층 노두에서 층서 및 퇴적물 특성을 관찰하였고, 시료를 채취하여 입도 분석, 광물 분석, OSL(Optically Stimulated Luminescence) 연대 측정을 실시하였다. 토색은 야외에서 관찰된 토색을 그대로 기재할 수 있으나, 토양의 수분 함량에 따라 색이 크게 달라질 수 있으므로, 건조 상태와 수분 포화 상태를 구분하여 Munsell 방식의 표준 토색칩을 사용하여 측정하였다. 또한 Taylor(1988)에 의해 수정된 아래와 같은 식의 적색화(rubification) 지수와 흑색화(melanization) 지수를 측정하여 지형면의 형성 시기를 대비하였다.

$$\text{Rubification} = 10[(\text{hue } \Delta X + \text{value } \Delta X + \text{chroma } \Delta X)_{\text{dry}} + (\text{hue } \Delta X + \text{value } \Delta X + \text{chroma } \Delta X)_{\text{wet}}] / 190$$

$$\text{Melanization} = 10[(\text{hue } \Delta Y + \text{value } \Delta Y + \text{chroma } \Delta$$

$$Y)dry+(hue \Delta Y+value \Delta Y+chroma \Delta Y)wet/85$$

(여기서 X는 ‘표본-모재’의 값이 양수이고, Y는 ‘표본-모재’의 값이 음수임)

입도 분석은 Stokes법에 따라 4φ 이상의 clay와 silt를 분류하고, sieve를 이용하여 4φ 이하의 sand 및 granule급의 역을 분류하였다. 입도의 통계 분석은 Fork and Ward(1957)의 방법을 이용해 평균, 분산, 왜도, 첨도 값을 계산하였다. 광물 분석은 경북대학교 공동 실험실습관에서 X선 회절(XRD, X-ray Diffraction) 분석을 실시하여, 하안단구 퇴적층 내의 광물 조성을 파악하였다. XRD분석은 Rigaku D/MAX-2500을 이용하였고, 분석 조건은 Cu target으로 2θ 스캔속에서 10°에서 80°까지의 범위 내에서 실시하였다. 하안단구의 형성시기를 파악하기 위하여, 3개 지점의 퇴적층을 대상으로 한국기초과학지원연구원 연대측정

팀에 의뢰하여 OSL 연대 측정을 실시하여 해당 퇴적층의 퇴적 연대를 파악하였다. 그리고 측정된 연대를 바탕으로 고현천 하안단구의 하각률을 계산하였다.

3. 고현천의 자연 환경

고현천은 유로 연장 30.40km, 유역 면적 180.59km²로써, 행정 구역상 경상북도 영천시 화북면 및 화남면 전체와 영천시 중앙동의 북부 지역을 유역분지로 하고 있다(그림 1). 고현천은 영천시와 청송군의 경계인 노귀재 부근의 봉우리(해발고도 590m)에서 발원하여, 전체적으로 남류하다가 영천시 화룡동에서 신령천에 합류한 후 곧바로 금호강으로 유입된다.

고현천 유역에서 가장 인접하여 AWS 기상관측소가 위치해 있는 영천(1971~2000년)의 연평균 기온은

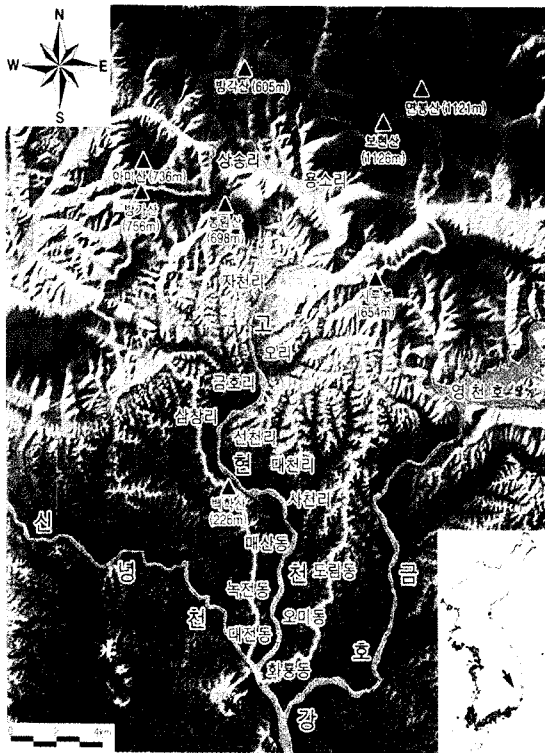


그림 1. 고현천 유역분지의 지형

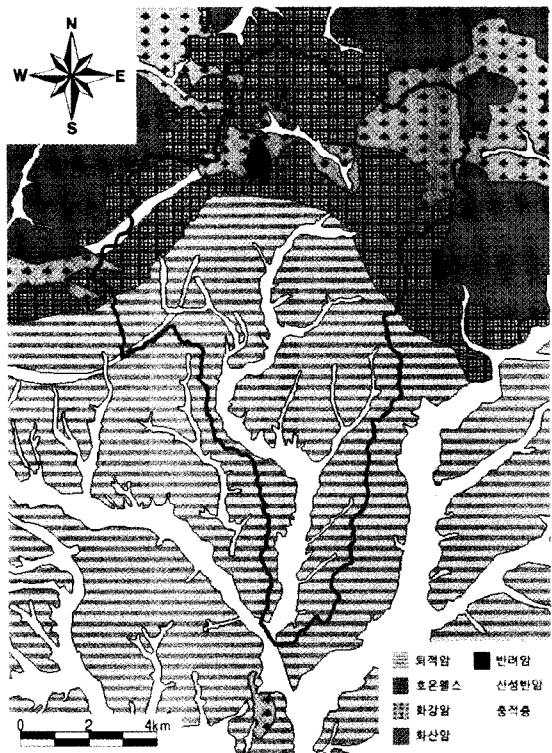


그림 2. 고현천 유역분지의 지질

표 1. 영천시의 월별 평균 기온 및 강수량

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	연평균
구분													
기온(°C)	-1.25	0.88	5.75	12.31	17.21	21.20	24.70	25.05	19.83	13.63	6.87	0.91	12.26
강수량(mm)	23.4	27.3	48.9	76.0	78.4	140.4	199.9	203.8	128.5	41.3	38.3	15.6	1021.8

출처: 대구 기상대, 영천 자동기상관측자료(AWS)

12.26°C이고, 최한월인 1월의 평균 기온은 -1.25°C, 최난월인 8월의 평균 기온은 25.05°C로서, 연교차는 26.3°C이다(표 1). 연평균 강수량은 1,021.8mm로 우리나라의 평균 강수량에 비해 적으며, 하계인 6~8월의 강수량은 544.1mm로서 하계 강수 집중율은 53.25%이다.

고현천 유역분지의 지질은 전체적으로 중생대 백악기 경상계 신라층군의 세일, 사암 등의 퇴적암이 대부분을 차지하며, 상류 일부 지역에는 중생대 백악기 화강암과 그 주변의 접촉 변성암(호온펠스)이 동서 방향으로 분포하고 있다(원종관 등, 1980; 그림 2).

고현천 유역의 전체적인 지형 경관은 화강암 및 접촉변성암 지역에서 고도가 높고 경사가 급한 산지들이 분포하며, 퇴적암 지역의 경우에는 상대적으로 고도가 낮고 경사가 완만한 산지들이 분포한다. 그리고 화강암 지역은 사면의 형태가 요형의 사면 경사를 나타내지만, 퇴적암 지역은 상대적으로 직선 사면이 잘 발달한다.

그림 3은 ArcGIS 프로그램을 이용하여 고현천 유역 분지 내에서 경사가 6° 이하인 곡저면을 추출한 것이다. 화강암 분포 지역인 상류 지역은 곡폭이 평균 약 300m이며, 중류 및 하류 지역에 비해서 매우 좁다. 상류 지역의 말단에는 곡폭이 평균 약 80m인 협곡부가 존재하는데, 지질이 호온펠스화 된 퇴적암으로서, 본 하천 유역의 다른 암석보다 상대적으로 침식 저항력이 큰 경암이기 때문에 하천의 측방 침식에 의한 하곡의 발달이 용이하지 못하여 좁은 협곡을 이루는 것으로 판단된다. 연구 지역에서 분포 면적이 가장 넓은 퇴적암 지역인 중·하류 지역의 경우, 중류 지역의 곡폭은 평균 약 1km, 하류 지역의 곡폭은 약 1.5km로 상류 지

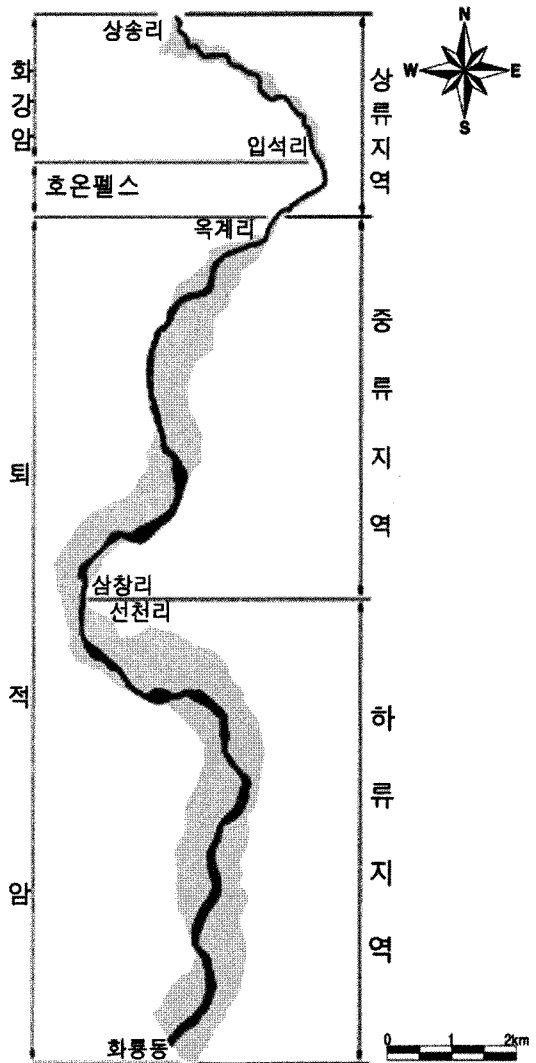


그림 3. 고현천의 하도와 하곡의 평면도

역에 비해 하곡의 폭이 넓게 나타나는데, 이는 수평에 가까운 완경사의 층리면을 갖는 퇴적암의 층리 구조에 의한 영향이 크다고 볼 수 있다.

4. 고현천 하안단구의 분포와 특성

1) 하안단구의 지형 구분 근거

고현천의 하곡에는 계단상의 평탄면들이 모식적으



그림 4. 하류 대천리 일대의 하곡 경관. 범람원과 하안단구면의 대부분은 포도밭으로 이용되며, 해가림 재배를 위해 흰색 비닐 덮개가 쳐져 있다.

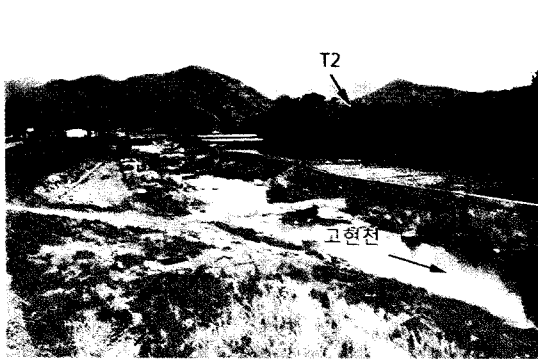


그림 5. 중류 자천리 일대의 하곡 경관



그림 6. 중류 금호리 하안단구 2면의 KH10 노두



그림 7. 하류 대전동의 하상 경관



그림 8. 상류와 중류 사이의 협곡부

로 잘 나타나지만(그림 4, 5), 대부분의 지역에서 하안단구의 증거인 하성 역층이 잘 발견되지 않으며, 기반암이나 기반암 풍화층이 지표에 드러나 있다. 본 연구에서는 아래와 같은 근거를 통해 고현천 하곡에 나타나는 계단상의 지형면을 하안단구로 분류하였다.

첫째, 고현천 하곡에 나타나는 계단상의 지형면이 에치플레인(etchplain)이나 산록완사면이라면, 규모가 넓고 경사가 완만하며 경사 급변점을 갖지 않는 단일한 지형면으로 나타날 가능성이 높을 것이다. 하지만 고현천 하곡 내에는 범람원 상에 암석 단애로 구분되는 3단의 지형면이 일정한 하상비고 값을 가지며, 중·하류의 모든 지역에서 모식적으로 나타난다.

둘째, 야외 조사 결과, 하안단구 2면으로 분류된 금호리의 KH10 노두(그림 6)와 오미동의 KH17 노두, 하안단구 1면으로 분류된 자천리의 KH16 노두 등에서 전형적인 하성 퇴적층이 발견되었다. 가장 규모가 큰 중류 금호리 KH10 노두는 퇴적층의 폭이 약 80m, 두께 약 4m로서, 원력층 및 사질 실트층이 교호하는 대규모 하성 퇴적층이며, 하류 오미동 KH17 노두도 원력 및 사질 실트층이 교호하는 최소 4m 이상의 하성 퇴적층이다. 하안단구 1면으로 분류된 상류 자천리 KH16 노두에서는 역층의 두께가 2.5m 내외로 나타나고 있다. 따라서 몇몇 지점에서의 이러한 다량의 원력을 포함한 대규모 하성 퇴적층의 존재를 근거로 할 때, 고현천 하곡에 나타나는 계단상의 지형면은 하천에 의해 형성된 지형으로 판단된다.

셋째, 현재의 고현천 하상은 최하류 지점을 포함한 많은 곳에서 수평 지층을 이루는 퇴적암의 기반암이 드러나 있으며(그림 7), 상류로부터 공급되는 퇴적물의 양이 적어 퇴적물이 덮인 곳도 두께가 대체로 얇은 편이다. 따라서 이러한 현재 하상의 상태를 감안한다면, 고현천 하안단구면에서 기반암이나 기반암 풍화층이 쉽게 관찰되는 이유를 유추할 수 있다. 즉, 하안단구면에 노출된 기반암 역시 하천의 침식작용에 의해 형성되었을 가능성이 높은 것으로 판단된다. 하안단구는 형성 과정에 따라 퇴적단구와 침식단구로 구분되는데, 퇴적단구는 두꺼운 퇴적층을 갖지만, 침식단구는 주로 암석 하상이 발달한 산지 하천에서 침식작용에 의해 주도되므로, 일반적으로 하식에 의한 매끄럽고 평탄한

기반암면 위에 얇은 층적층이 나타나거나 층적층이 나타나지 않기도 한다(Ritter *et al.*, 2002; Chalton, 2008). 따라서 고현천의 하안단구는 형성과정 상 퇴적단구보다는 침식단구에 보다 가깝다.

2) 하안단구의 분포 및 지형 특성

고현천의 하상 종단면은 요형을 나타내고 있어(그림 9), 하천의 발달 과정이 오랜 기간 동안 꾸준히 진행되어 현재에 도달했음을 알 수 있다. 한편, 하구로부터 8.5~9.5km 지역에는 급경사 구간이 나타나고 있는데, 이 구간은 호온펠스가 분포하는 지역으로 풍화·침식에 대한 저항력이 상대적으로 강한 기반암의 특성으로 인해 하식 작용이 활발하지 못하여, 좁은 협곡과 암석 하상이 나타나고 있다(그림 8).

고현천의 범람원은 하상으로부터 2~6.5m의 비고를 나타내며, 전체 하곡 내에서 연속성 있게 발달해 있지만, 협곡부에서는 존재하지 않는다. 그리고 상류 및 중류 지역에는 주로 곡류부의 활주 사면에 분포하며, 하류 지역에서는 현 하도의 좌우측 양안에 고르게 분포하고 있다.

고현천에서는 가장 최근에 형성되어 하상비고가 가장 낮은 하안단구 1면(T1)부터 가장 오래전에 형성되어 하상비고가 가장 높은 하안단구 3면(T3)까지 총 3단의 단구면이 분류되었다. 하안단구 1면은 전체적으로 지형면의 규모가 매우 협소하고 불연속적인 분포를 보이고 있다.

상류 지역에서는 지류 하천에 의해 운반된 퇴적물이 분류와 합류되는 구간에 퇴적되어 형성된 선상지성 하안단구의 특성을 갖는 하안단구 1면만 관찰될 뿐, 하안단구 2, 3면이 전혀 존재하지 않는다. 그 이유는 상류 지역의 기반암이 풍화와 침식에 약한 화강암이므로, 상류입에도 불구하고 상대적으로 빠르게 하방 침식이 진행되었고, 이후 측방 침식도 활발하여 이전 시기에 형성되었던 단구면을 침식하면서 하곡을 확장하는 과정을 거쳤기 때문에 범람원에 비해 하안단구 지형면의 분포가 매우 미약한 것으로 볼 수 있다.

하안단구 1면은 전체적으로 7~13.5m의 하상비고를 보이며, 하류로 갈수록 하상비고가 높아지는 경향이

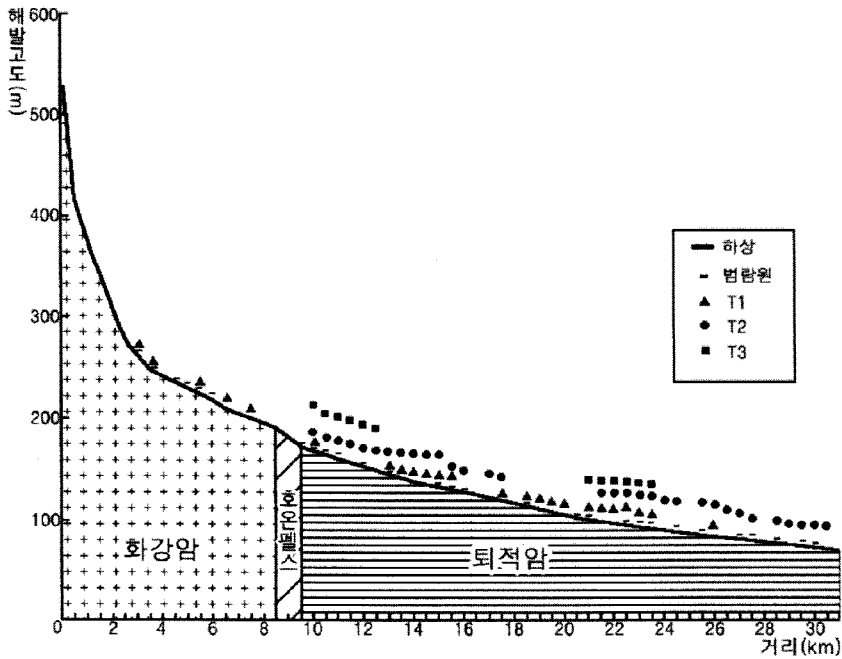


그림 9. 고현천의 하안단구 종단 분포도

표 2. 고현천 범람원과 하안단구의 하상비고

구분		범람원	하안단구 1면	하안단구 2면	하안단구 3면
상류 지역	하상비고	3.5~7m	8~10.5m	-	-
	중앙값	5.5m	9.25m	-	-
중류 지역	하상비고	2~6m	7~13m	16~28m	41~45m
	중앙값	4m	10m	22m	43m
하류 지역	하상비고	2.5~6.5m	11~13.5m	21~32m	38.5~43m
	중앙값	4.5m	12.25m	25.5m	40.75m
전체	하상비고	2~6.5m	7~13.5m	16~32m	38.5~45m
	중앙값	4.25m	10.25m	24m	41.75m

있고, 범람원에 비해 지형면의 규모가 축소하며, 불연속적으로 분포하고 있다. 하안단구 1면은 중·하류 지역에서 분포 밀도가 낮다. 이는 지형면 형성 이후 상대적으로 오랜 기간 동안 하천이 안정되면서 측방 침식이 활발해져 하곡을 확장하는 과정을 통해 범람원이 넓어지고 하안단구면은 꾸준히 개석을 받아 규모가 축소된 것으로 보인다. 또한 인간의 토지 이용 과정에서 하안단구와 범람원 사이의 단애면에 대한 절토와 성토

가 이루어지면서 단구애가 파괴된 곳이 많아 범람원과 하안단구 1면간의 경계가 모호해진 것도 원인으로 볼 수 있다.

하안단구 2면은 16~32m의 하상비고를 나타내며, 하안단구 1면과 같이 하류로 갈수록 하상비고가 높아지는 경향이 있고, 상류 지역에는 나타나지 않는다. 하안단구 2면은 1면에 비해 단구면의 면적이 넓고, 공간적인 연속성도 뚜렷하게 나타난다. 이는 하안단구 2면

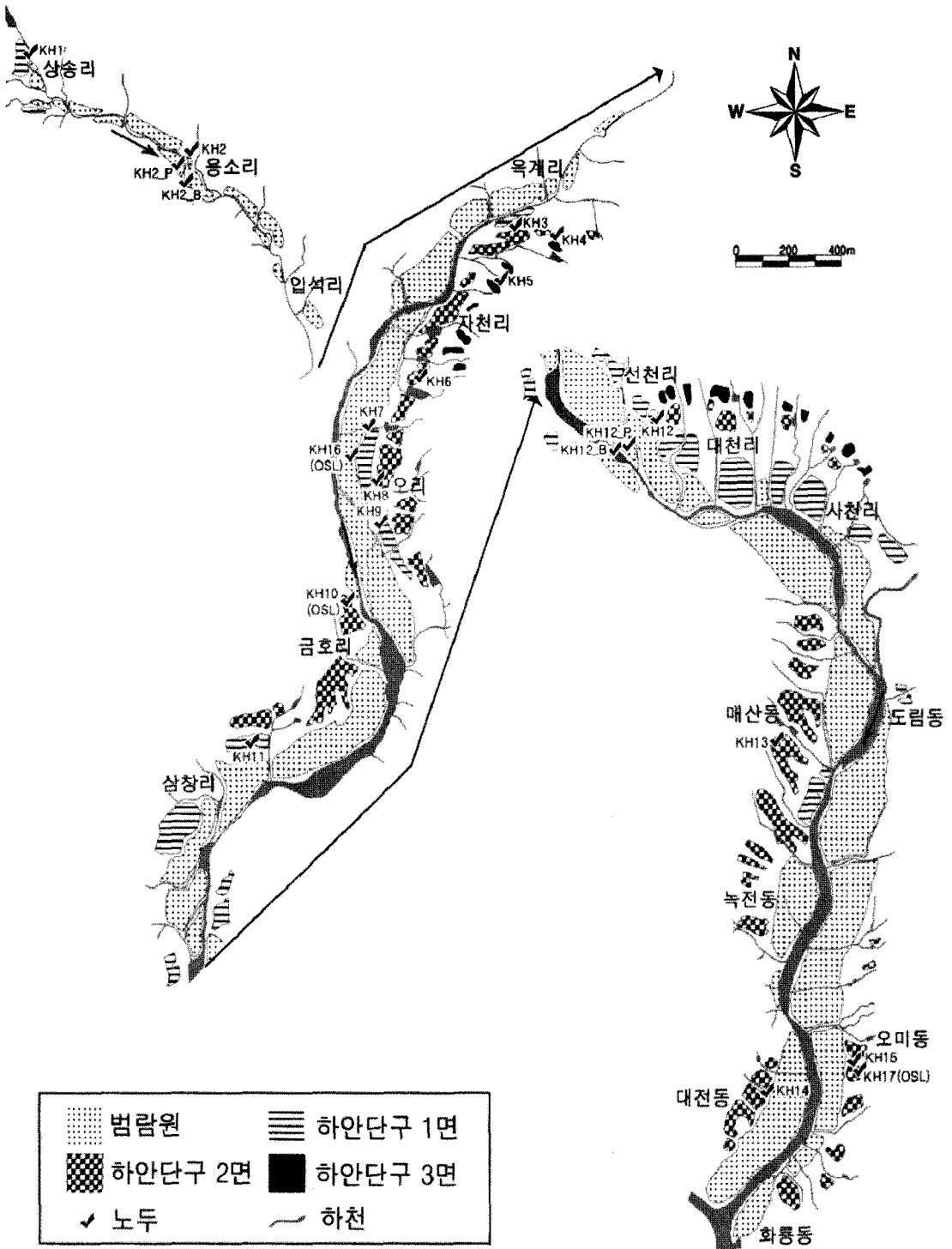


그림 10. 고현천의 하안단구 분류도

형성 시기가 단구면 형성 이후의 침식기보다 더 길었기 때문인 것으로 추정된다. 특이한 것은 중류 지역의 옥계리에서 오리까지는 하도의 좌안에 분포하고, 금호리에서 삼창리까지는 하도의 우안에 분포하고 있는데, 좌안에서 우안으로 분포 지역이 변화하는 지점에서 하안단구 2면의 하상비고 값이 크게 낮아지고 있다는 점이다. 이것은 하안단구 2면이 기반암인 퇴적암의 층리면 형태에 의해 영향을 받았을 가능성과 유로의 측방이동을 통해 형성된 비대칭 하안단구일 가능성을 고려해 볼 수 있다.

하안단구 3면은 38.5~45m의 하상비고를 나타내며, 중류 지역의 사천리에서 오리 구간과 하류 지역의 대천리에서 사천리 구간에서만 분포한다. 그리고 구유로의 곡류부 활주사면에 해당하는 지역에 분포하고 있으며, 지류 하천 사이에 남겨진 산지 능선부에 좁고 길게 존재한다.

5. 하안단구 퇴적물 분석

1) 퇴적층의 특성과 퇴적물의 입도

고현천 유역에 분포하는 하안단구와 범람원 및 현하상의 퇴적물 특성을 파악하기 위하여 KH1부터 KH17까지 21개의 노두¹⁾를 대상으로 퇴적층의 특성과 퇴적물의 입도, 색 지수 분석, 광물 분석을 실시하였다. 고현천의 하안단구 1면 퇴적층은 두께가 약 1.5~2.5m 내외이고, 구성 물질은 주로 cobble급 아각력 내지 원력으로 구성되어 있으며, 자갈은 풍화테가 거의 없는 신선한 상태로 나타난다.

하안단구 2면은 퇴적층의 두께가 약 4~6m 정도이고, 대체로 하부의 자갈층과 상부의 모래질 실트층으로 크게 구분된다. 하부 자갈층은 pebble급과 cobble급의 아각력에서 원력으로 이루어져 있으며, 풍화테가 수mm 정도 나타나며, 자갈 표면은 산화작용을 받아 붉은 색을 띠고 있다. 그리고 상부의 모래질 실트층에는 토양찌꺼기(언땅트기) 구조가 잘 발달하고 있어, 빙기와 같은 한랭한 환경을 경험한 것으로 판단된다. 하안

단구 3면에서는 기반암 풍화층의 상부에 사면 이동 물질이 퇴적되어 있는 형태의 퇴적층이 대부분으로, 원력을 포함한 하성 퇴적층 노두가 발견되지 않았다. 그러나 하안단구 3면의 지표에서는 붉은색을 띠는 원력을 어느 정도 발견할 수 있었다.

고현천의 범람원 퇴적물은 자갈을 포함한 모래가 대부분이며, 입도의 평균값은 0.8~1.8 ϕ 로 하상 퇴적물에 비해 세립이고, 입도의 범위가 넓어 분산은 2.8~3.2 ϕ 로 대체로 불량하다(표 3). 하안단구 1면의 퇴적물은 대체로 자갈과 모래를 포함한 실트로서, 6개 지점을 평균한 값은 자갈이 약 20%, 모래가 약 30%, 실트가 약 34%, 점토가 약 16% 정도의 비율을 보인다. 평균 입경은 3~5 ϕ 범위로 범람원보다 더 세립질로서, 조립 및 중립 실트에 해당된다. 분산은 3~4 ϕ 로 대체로 불량한 편이다.

하안단구 2면의 퇴적물은 주로 모래를 포함한 실트 입자로 구성되며, 평균 입경은 약 4~7 ϕ 로써 하안단구 1면보다 더 세립으로 나타난다. 분산은 1~3 ϕ 로 대체로 불량하지만, 상대적으로 granule 및 조립질 모래의 비율이 감소함에 따라 하안단구 1면에 비해서는 다소 낮은 값을 보인다. 그리고 하안단구 3면의 퇴적물은 평균 입경이 약 3~4 ϕ 로 조립질 실트에 해당된다. 일반적으로 오래된 하안단구 퇴적물일수록 풍화 작용에 의해 조립보다는 세립 물질의 비율이 증가하는 것으로 나타나지만, 하안단구 3면에 위치한 노두인 KH4와 KH5의 구성 물질은 하성 퇴적물이 아니라 기반암의 풍화층 또는 사면 이동 물질일 가능성이 높아서 일반적인 경향과는 다르게 나타나고 있다.

퇴적물이나 토양에서 나타나는 적색화 지수는 퇴적지형이나 모재의 형성 연대와 대수적인 관계로 비례한다(Birkeland, 1999). 고현천의 범람원 퇴적물은 지표로부터의 유기물 공급과 수분의 영향으로 하성 퇴적물보다 흑색화 지수가 낮게 나타나고 있으며, 적색화는 거의 진전되지 않았다.

하안단구 1면 퇴적물은 범람원 퇴적물에 비해 적색화 지수는 증가하고 흑색화 지수는 감소하였으며, 하안단구 2면 퇴적물에서는 적색화 지수의 증가가 더욱 두드러진다. 이는 결국 하안단구 퇴적층 형성 이후, 시간이 경과되면서 퇴적물의 산화 작용을 통하여 점토

표 3. 고현천 하안단구 퇴적물의 입도 조성 및 색 지수

지형면	노두명	입도						색 지수	
		자갈(%)	모래(%)	점토(%)	평균입경(φ)	분산(φ)	토성*	적색화지수	흑색화지수
범람원	KH2_P	30.0	58.2	11.8	0.860	2.864	gmS	0.05	0.94
	KH12_P	16.8	63.4	19.8	1.876	3.114	gmS	0.11	0.24
	평균	23.4	60.8	15.8	1.368	2.989		0.08	0.59
하안단구 1면	KH1	22.0	40.1	37.9	2.635	3.974	gmS	0.32	0.12
	KH2	42.9	42.7	14.4	0.221	3.007	msG	0.21	0.12
	KH7	1.9	14.8	83.3	5.889	2.199	sgsM	0.21	0.12
	KH9	22.9	31.4	45.7	3.077	4.258	gM	0.21	0.12
	KH11	18.9	26.9	54.2	3.934	4.104	gM	0.26	0.12
	KH12	7.5	29.8	62.7	4.773	3.621	gM	0.21	0.12
	평균	19.35	30.95	49.70	3.4215	3.5122		0.24	0.12
하안단구 2면	KH3	5.8	36.6	57.6	4.574	3.060	gM	0.74	0.00
	KH6	2.1	17.6	80.3	7.053	2.665	sgsM	0.37	0.12
	KH8	2.8	28.2	69.0	5.506	3.037	sgsM	0.32	0.12
	KH10-0.8	6.6	20.4	73.0	4.574	2.513	gM	0.79	0.12
	KH10-2.0	0.8	40.0	59.2	4.216	1.647	sgsM	0.58	0.12
	KH10-2.5	1.0	37.7	61.3	4.278	2.279	sgsM	0.58	0.12
	KH10-3.0	0.0	14.6	85.4	5.523	1.477	sM	0.53	0.12
	KH10-clay	0.0	14.6	85.4	6.231	1.933	sM	0.53	0.12
	KH13	0.4	6.1	93.5	6.057	1.303	sgM	0.74	0.12
	KH14	13.9	27.5	58.6	4.144	3.792	gM	0.32	0.24
평균	3.34	24.33	72.33	5.2156	2.3706		0.55	0.12	
하안단구 3면	KH4	12.0	17.6	70.4	4.695	3.833	gM	0.37	0.12
	KH5	7.1	49.4	43.5	3.163	3.541	gmS	0.53	0.12
	평균	9.55	33.50	56.95	3.929	3.6735		0.45	0.12

* gM: gravelly Mud, gmS: gravelly muddy Sand, sgsM: slightly gravelly sandy Mud, sM: sandy Mud, sgM: slightly gravelly Mud

광물이나 산화철 등이 형성되었기 때문이다. 한편, 하안단구 3면 퇴적물은 하안단구 2면보다 적색화 지수가 감소하였는데, 이는 입도 특성과 마찬가지로 하안단구 3면의 표층 물질이 기반암 풍화층이거나 사면 이동 물질이기 때문으로 추정된다.

2) 광물 분석

고현천의 하상 퇴적물과 범람원 퇴적물에서는 석영, 사장석, 정장석과 같은 규산염의 조암 광물이 대부분을 차지하며, 점토 광물은 나타나지 않았다. 그러나 하안단구 1면 퇴적물에서는 석영(Q), 사장석(pl), 정장석(Kf), 석류석(ga), 각섬석(am) 등의 규산염 조암 광물

뿐만 아니라, 범람원에서는 나타나지 않았던 점토 광물인 일라이트(ii)가 확인되었다(그림 11). 일라이트는 풍화 초기 단계에서 나타나는 점토 광물이므로(권동희·박희두, 2007), 시간의 경과에 따라 하안단구 1면의 퇴적물에서 풍화 작용이 다소 진행되었음을 의미한다고 할 수 있다.

하안단구 2면의 퇴적물에서는 석영, 사장석, 정장석 등의 규산염 조암 광물 뿐 아니라, 풍화 작용을 통해 형성되는 2차 광물인 일라이트와 카올리나이트(ka) 등의 점토 광물도 검출되었다(그림 12). 특히 하안단구 2면의 퇴적물에서는 1면과는 다르게 온난 습윤한 상태에서의 지속적인 풍화 작용을 통해 형성될 수 있는 카올리나이트가 나타나고 있어(권동희·박희두, 2007),

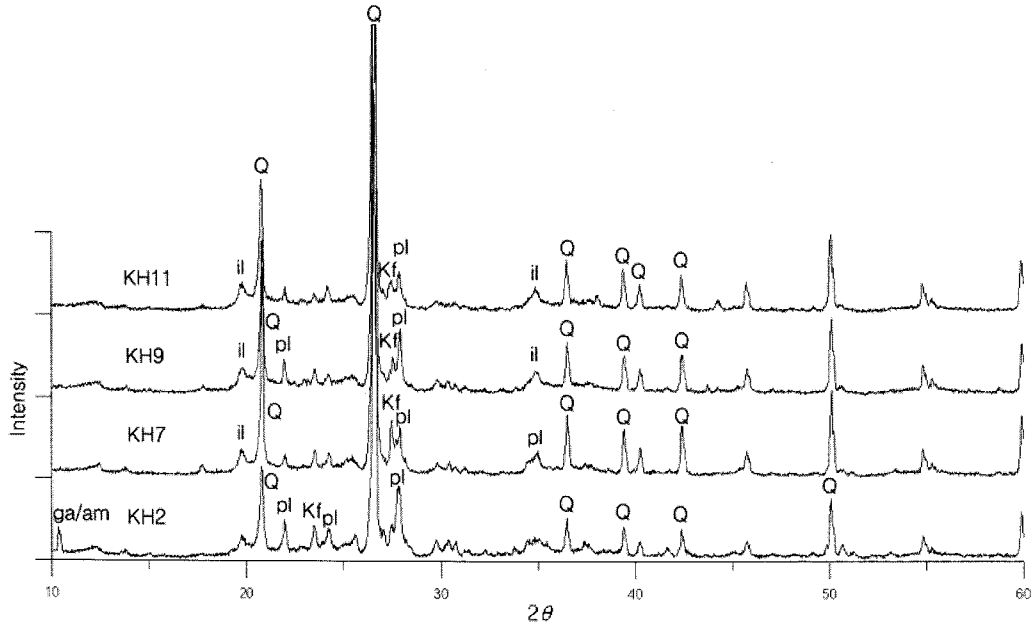


그림 11. 고현천 하안단구 1면 퇴적물의 X선 회절 패턴

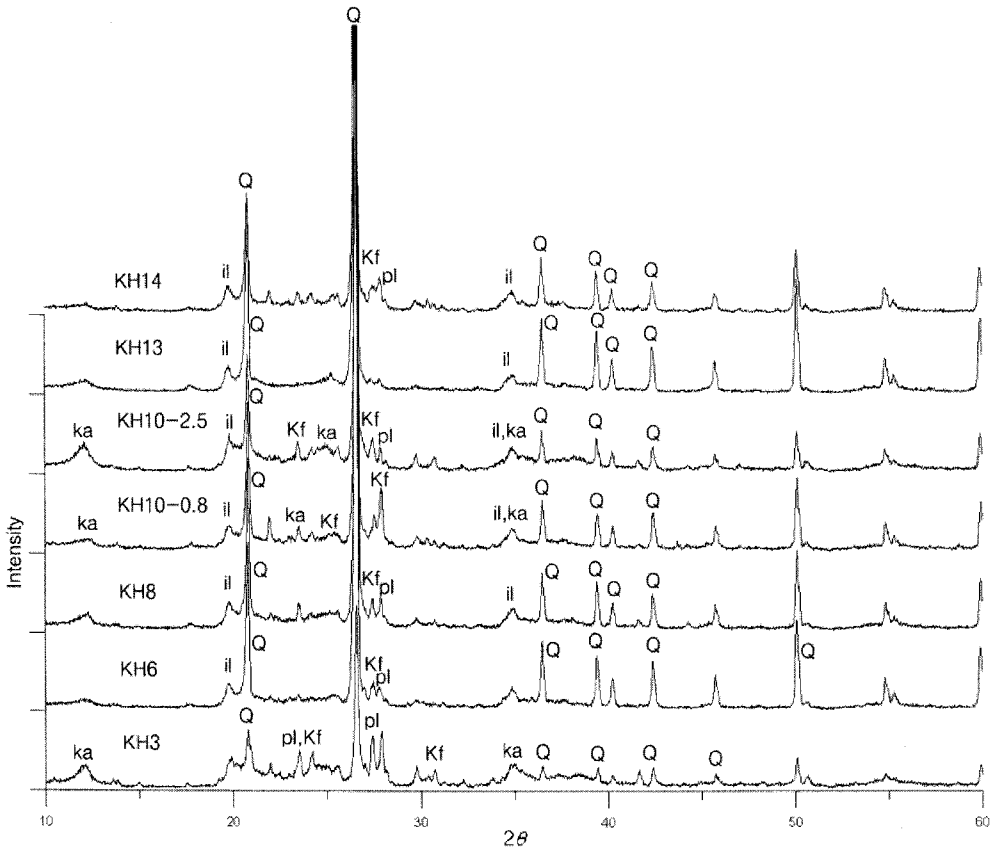


그림 12. 고현천 하안단구 2면 퇴적물의 X선 회절 패턴

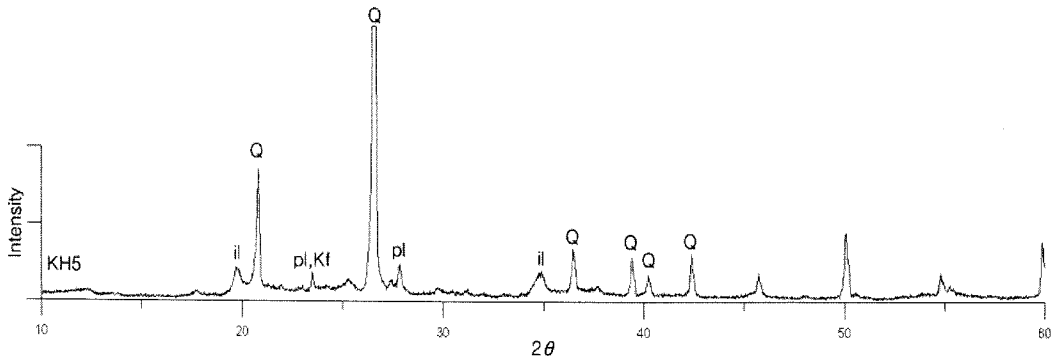


그림 13. 고현천 하안단구 3면 퇴적물의 X선 회절 패턴

하안단구 2면은 1면에 비해 오랜 기간 온난한 시기를 경험했음을 의미한다.

하안단구 3면 퇴적물에서는 석영, 사장석, 정장석 등의 1차 광물과 일라이트 등의 2차 광물이 나타났으며, 하안단구 2면과는 달리 카올리나이트가 존재하지 않는다(그림 13). 이는 앞서 제시한 다른 결과와 마찬가지로, 채취한 시료가 하성 퇴적물이 아니라, 보다 최근에 풍화 작용을 받아 형성된 기반암 풍화토이거나 사면 이동 물질이기 때문이다.

OSL 연대측정을 실시한 결과, 하안단구 1면에 해당되는 KH16 퇴적층의 형성시기는 약 37,000년 전으로 계산되었다. 이는 MIS(해양 산소 동위체 원소 시기, Marine Oxygen Isotope Stage) 3으로서 최종빙기 내에서도 기온이 높았던 아간빙기에 해당된다. 고현천에서 퇴적층이 가장 대규모로 나타나는 하안단구 2면의 KH10은 OSL 연대측정 결과, 최소 42,000년 이상으로만 계산되어 정확한 연대를 추정할 수 없었지만, 이보다 하류에 위치한 KH17은 약 113,000년 전으로 계산되었다. 이는 MIS 5인 지난 간빙기에서도 상대적으로 냉량하였던 MIS 5.4(5d)시기이다.

따라서, 고현천 하안단구는 한랭한 빙기가 아니라, 빙기 내에서도 온난한 아간빙기와 간빙기 내에서도 기온이 낮은 냉량기에 형성된 것으로 추정되어, 산지 하천에서 빙기와 간빙기 사이의 기후변화 과정에서 발달하는 기후단구로서의 하안단구 형성과정과는 상당한 차이를 나타내고 있다.

6. 고현천 하안단구의 형성 과정

1) 하안단구의 형성시기

하안단구 1면 퇴적층 1곳과 2면의 퇴적층 2곳에서

표 4. 고현천 하안단구 퇴적물의 OSL 연대 측정 결과

노두	단구면	연간선량(Gy/ka)	수분 함량(%)	등가선량(Gy)	OSL 연대(ka, 1σSE)
KH16	1면	3.77 ± 0.27	17.7 ± 8.9	139 ± 7	37 ± 3
		(3.56 ± 0.31)	(23.8 ± 11.9)		(39 ± 4)
KH10	2면	3.28 ± 0.29	25.3 ± 12.7	> 138 ± 8	> 42 ± 4
		(3.18 ± 0.31)	(28.7 ± 14.4)		(> 43 ± 5)
KH17	2면	2.63 ± 0.07	19.0	297 ± 23	113 ± 9
		2.61 ± 0.07	(19.9)		114 ± 9

하천의 작용이 활발하게 일어나기 위해서는 유량이 풍부해야 하며, 퇴적물 공급이 많아야 한다. 따라서 고현천의 하안단구가 형성되었을 당시의 환경은 한랭한 기후 환경으로 인해 사면 이동 물질 등의 퇴적물 공급이 풍부하였지만, 상대적으로 온난하여 일정한 유량이 유지될 수 있었던 시기, 즉 연대 측정결과와 마찬가지로, 빙기 내에서는 상대적 온난기, 간빙기 내에서는 상대적 냉랑기가 하안단구로 발전할 수 있는 하도 및 범람원과 같은 하천지형 형성에 보다 적합한 시기였을 것으로 판단된다.

2) 하천의 하각과 지반 용기

OSL 연대 측정 결과를 토대로, 현 하천의 홍수위인 범람원의 해발고도와 각 시료 채취 지점간의 해발고도 차이를 이용하여 하안단구 하각률을 계산하였다. 그 결과, 고현천 하안단구 1면(범람원에서 비고 약 2m)의 하각률은 0.054m/ka, 하안단구 2면(범람원에서 비고 약 13m)의 하각률은 0.115m/ka로 계산되어, 고현천의 하각률은 우리나라 다른 지역에 비해 대체로 작은 편으로 나타났다.

경북 경주시 양남면 일부를 유역 분지로 하는 하서천의 경우, 본류 연안의 기후단구 저위 2면의 하각률은 0.25~0.5m/ka, 기후단구 저위 1면의 하각률은 0.3~0.4m/ka로 계산되었다(장호 등, 2007). 그리고 강원도 정선군 골지천의 경우, 하안단구 1면은 0.20m/ka, 하안단구 2면은 0.16m/ka의 하각률로 계산되었으며(윤순옥 등, 2007), 추가령 구조곡의 차탄천에서는 하각률이 0.12~0.37m/ka로 계산되었다(이민부·이광률, 2003). 또한 고현천 유역 분지와 유사한 기반암의 특성을 보이는 미국 워싱턴 주 Clearwater River의 경우, 0.4m/ka의 하각률이 보고되었다(Pazzaglia *et al.*, 1998).

하천의 하각률에 영향을 미치는 요인에는 기반암에 따른 암석의 저항력, 지반의 용기, 단층 운동, 하천 쟁탈, 침식 기준면의 변화, 하천의 유량 등이 있다(Schumm, 1999). 하지만, 내륙 분지를 흐르고 있는 고현천의 경우를 고려해 보면, 암석의 저항력, 지반의 용기 그리고 하천의 유량을 고현천의 하각률에 영향을

미치는 요인으로 판단할 수 있다. 한편, 화강암을 기준으로 한 암석의 상대적 침식율은 편마암과 편암, 반러암, 사암, 세일, 석회암 순으로 높게 나타난다(Meybeck, 1987).

고현천의 하각률을 암석의 저항력, 지반의 용기, 하천의 유량을 기준으로 다른 지역 하천의 하각률과 비교해 보면 다음과 같다.

하서천은 기반암이 제3기층으로 이루어져 있어, 고현천의 기반암인 퇴적암과 암석 저항력의 차이가 크지 않으며, 유역 면적은 43km²로서 작은 하천이기 때문에 유량도 풍부한 편이 아니지만, 고현천보다는 하각률이 더 높게 나타나고 있다. 이는 하서천 유역이 고현천 유역보다 지반의 용기량이 더 높았던 것으로 판단할 수 있다.

골지천은 기반암이 대체로 편암으로 이루어져 있어 고현천 유역의 중생대 퇴적암보다 암석의 저항력이 작지만, 유역 면적은 542,94km²로서 고현천보다 규모가 큰 하천이므로 유량이 풍부하다고 볼 수 있다. 그리고 지반의 용기량에 대한 정량적인 자료는 존재하지 않지만, 우리나라의 용기축인 태백산맥 지역을 유역 분지로 하는 하천이기 때문에 용기량 또한 크다고 추정할 수 있다. 즉 고현천은 골지천에 비해 큰 암석 저항력으로 인해 하각률이 낮게 나타났다고 추정할 수 있다.

차탄천은 용암대지를 흐르는 하천으로, 급격한 침식 기준면의 변화를 통해 지반 용기와 같은 경험을 하였을 것이다. 따라서 고현천은 차탄천 유역에 비해 낮은 지반 용기량으로 인해 하각률이 낮게 나타났다고 판단할 수 있다.

Clearwater River의 기반암은 사암과 실트암으로 이루어져 있어 고현천 유역과 유사한 기반암으로 암석 저항력의 차이가 크지 않지만, 연평균 강수량이 1,500mm로서 고현천 유역에 비해 많기 때문에 유량은 풍부한 편이다. 따라서 고현천은 Clearwater River와 비교했을 때, 부족한 유량으로 인해 낮은 하각률이 나타났다고 판단할 수 있다. 즉 고현천은 낮은 지반 용기와 풍부하지 못한 유량으로 인해 우리나라의 다른 지역 및 유사한 기반암 지역을 흐르는 하천보다 하각률이 낮게 나타나고 있다.

한편, 하천의 하각률과 지반의 용기량은 개념 상 차

이가 있지만, 하천의 하각량은 지반의 용기량과 기반암의 침식 저항력에 좌우되기 때문에, 하천의 하각량을 통해 지반의 용기량을 유추해 보면, 고현천은 지반 용기량이 낮은 것으로 판단된다. 따라서 박수진(2007)의 연구와 같이 태백산맥의 용기축이 영천시 일대에서 단절되었을 가능성이 높다고 볼 수 있다.

7. 요약 및 결론

낙동강의 지류 하천 중 영천시 북부 지역을 유역 분지로 하는 고현천을 대상으로, 하안단구 지형 분류 및 퇴적물 분석을 통해 고현천의 하안단구 분포 특성과 형성 과정을 고찰한 결과는 아래와 같다.

1) 고현천 하곡에는 범람원과 3단의 지형면이 발달해 있다. 이들 3단의 지형면은 중·하류 지역에서 일정한 하상비고 값을 가지며 종단면상에 분포하고, 몇몇 지점에서는 대규모 하성 퇴적층 노두가 존재하며, 총적층의 퇴적 상태와 암석 하상의 존재로 판단할 때 성인 상 침식단구로 분류되는 하안단구로 볼 수 있다.

2) 하안단구 1면은 하류로 갈수록 하상비고가 증가하지만, 각 지역 내에서의 하상비고 값의 변화가 더 크게 나타나고 있는데, 이는 퇴적암의 층리면이 특정 시기에 존재했던 하천의 일시적인 침식 기준면으로 작용했을 가능성을 고려해 볼 수 있다. 또한 범람원에 비해 지형면의 규모가 매우 협소하게 나타는 것에 비추어, 하안단구 1면이 형성된 이후 활발한 측방 침식으로 하곡이 확장되며 넓은 범람원을 형성하였던 것으로 판단된다.

3) 하안단구 2면은 상류 지역에는 존재하지 않으며, 하안단구 1면과 마찬가지로 각 지역 내에서의 하상비고 값의 변화가 더 크게 나타나는데, 이는 퇴적암의 층리면이 특정 시기에 존재했던 하천의 일시적 침식 기준면으로 작용했을 가능성이 높은 것으로 판단된다. 그리고 하안단구 1면에 비해 공간적 연속성이 뚜렷하고 지형면의 규모가 넓게 나타나는데, 이는 하안단구 2면의 형성시기가 단구면 형성 이후의 침식 시기보다 길었기 때문으로 추정된다.

4) 하안단구 3면은 중·하류 지역 내 일부 구간에서만 존재하고, 대체로 구유로의 곡류부 활주 사면 지역의 지류 하천 사이에 남겨진 산지 능선부에 좁고 길게 분포한다.

5) 노두 조사, 입도 분석 및 색지수 분석 결과, 하안단구 1면 퇴적물은 주로 cobble급 아각력 내지 아원력으로 이루어져 있으며, 범람원 퇴적물에 비해 세립질의 비율이 높게 나타났고, 적색화가 약간 진행되었다. 하안단구 2면 퇴적물은 주로 pebble급 내지 cobble급의 아각력 또는 아원력으로 구성되어 있으며, 퇴적층 내에 토양층이 나타난다. 또한 하안단구 1면 퇴적물에 비해 더 세립질이 많았으며, 적색화 지수도 증가하였다. 하안단구 3면 퇴적물은 뚜렷한 역층이 존재하지 않았으며, 하안단구 2면 퇴적물에 비해 조립질의 비율이 증가하고 적색화 지수도 감소하였다.

6) XRD 분석 결과, 하상 퇴적물과 범람원 퇴적물에서는 규산염 조암광물만 검출되었으며, 하안단구 1면 퇴적물에서는 규산염 조암광물 외에 2차 광물인 일라이트가 검출되었고, 하안단구 2면 퇴적물에서는 점토 광물로 일라이트와 함께 카올리나이트가 검출되었다.

7) OSL 연대 측정 결과 하안단구 1면(KH16)은 약 37,000년 전으로 계산되어, 최종 빙기 중에서도 상대적으로 온난했던 MIS 3시기에 활발한 측방 침식과 왕성한 퇴적물 공급에 의해 형성된 것으로 추정된다. 하안단구 2면(KH17)은 약 113,000년 전으로 계산되었고, 이는 MIS 5.4 시기로서 지난 간빙기 내 냉량기에 해당된다. 따라서 고현천 하안단구는 빙기가 아닌 상대적으로 온난했던 빙기 내 아간빙기 또는 간빙기 내 냉량기에 형성된 것으로 추정되어, 산지 하천에서 나타나는 기후 단구의 일반적인 형성 시기와는 차이가 있다. 즉, 하천의 작용이 활발하게 일어나기 위해서는 유량이 풍부해야 하며, 퇴적물 공급이 많아야 한다. 따라서 고현천의 하안단구가 형성되었을 당시의 환경은 한랭한 기후 환경으로 인해 사면 이동 물질 등의 퇴적물 공급이 풍부하였지만, 상대적으로 온난하여 일정한 유량이 유지될 수 있었던 시기, 즉 빙기 내에서도 상대적으로 온난기 또는 간빙기 내에서도 상대적 냉량기였을 것으로 추정된다.

8) 고현천 하안단구 1면의 하각률은 0.054m/ka, 하

안단구 2면의 하각률은 0.115m/ka로 계산되었는데, 우리나라 및 외국의 다른 하천과 비교해 볼 때, 낮은 지반 용기율과 부족한 유량으로 인해 하각률이 낮은 것으로 판단된다.

주

1) KH1에서 KH17까지 17개의 노두와 4곳의 퇴적층(KH2 노두 전면에 위치한 하상(KH2_B), 범람원(KH2_P) 퇴적층 그리고 KH12 노두 전면에 위치한 하상(KH12_B), 범람원(KH12_P) 퇴적층을 대상으로 조사를 실시하였다.

참고문헌

권동희 · 박희두, 2007, 토양지리학, 한울아카데미.
 권혁재, 2001, 지형학 제4판, 범문사.
 박수진, 2007, “한반도의 지반운동(1): DEM 분석을 통한 지반운동의 공간적 분포 규명,” 대한지리학회지, 42(3), 368-387.
 박희두, 1989, 남한강 중 · 상류 분지의 지형 연구: 퇴적물 분석을 중심으로, 동국대학교 대학원 박사학위 논문.
 손명원, 1993, 낙동강 상류와 왕피천의 하안단구, 서울대학교 대학원 박사학위 논문.
 손명원, 1996, “하안단구와 태백산지의 지반운동 유형,” 한국지형학회지, 3(1), 45-53.
 송언근, 1993, 한반도 중 · 남부 지역의 감입곡류 지형발달, 경북대학교 대학원 박사학위 논문.
 원종관 · 윤선 · 소칠섭, 1980, 1:50,000 지질도폭 설명서 - 신령, 자원개발연구소.
 윤순옥 · 황상일 · 이광률, 2007, “강원도 영동 · 영서 하천의 하안단구 지형 발달 - 내린천, 연곡천, 골지천, 오십천을 사례로,” 대한지리학회지, 42(3), 388-404.
 윤순옥 · 황상일 · 정석교, 2002, “삼척 오십천 중 · 하류부의 하안단구 지형발달,” 대한지리학회지, 37(3), 222-236.
 이광률, 1999, 홍천강 중 · 하류의 하안단구 연구, 경희대학교

교 대학원 석사학위 논문.

이광률, 2003, 북한강 유역분지 하안단구의 퇴적물 특성과 지형 발달, 경희대학교 대학원 박사학위 논문.
 이민부 · 이광률, 2003, “추가령구조곡의 하안단구 지형 분석,” 한국지형학회지, 10(2), 157-173.
 이의한, 1998, “미호천 유역의 층적단구,” 지리학연구, 32(1), 35-56.
 이의한, 2000, “청동기시대 부여지방의 자연환경과 인간생활,” 대한지리학회지, 35(3), 489-501.
 임창주, 1989, 남한강의 하안단구에 관한 연구, 동국대학교 대학원 박사학위 논문.
 장호 · 최성길 · 김주용 · 신현조, 2007, “한반도 남동부 하서천 유역의 하성단구 분포와 형성연대,” 한국지형학회지, 14(1), 1-13.
 Birkeland, P. W., 1999, *Soils and Geomorphology*, Oxford University Press, New York.
 Chalton, R., 2008, *Fundamentals of Fluvial Geomorphology*, Routledge, New York.
 Meybeck, M., 1987, Global chemical weathering of surficial rocks estimated from river dissolved loads, *American Journal of Science*, 287, 401-428.
 Pazzaglia, F., Gardner, T., and Merritts, D., 1998, Bedrock fluvial incision and longitudinal profile development over geologic time scales determined by fluvial terraces, in Tinkler, K. J. and Wohl, E. E.(eds.), *Rivers over rock: fluvial processes in bedrock channels*, *American Geophysical Union*, Washington, D.C. 207-235.
 Ritter, D. F., Kochel, R. C., and Miller, J. R., 2002, *Process Geomorphology*, Waveland Press, Long Grove.
 Schumm, S. A., 1999, Causes and controls of channel incision, in Darby, S. E. and Simon, A.(eds.), *Incised River Channels: Processes, Forms, Engineering and Management*, John Wiley & Sons, New York.
 교신: 이광률, 702-701, 대구광역시 북구 산격동 경북대학교 사범대학 지리교육과(이메일: georiver@knu.ac.kr, 전화: 053-950-5859)

조영동 · 이광률

Correspondence: Gwang-Ryul Lee, Department of
Geography Education, Teachers College, Kyungpook
National University, Sankyuk-dong, Buk-gu, Daegu,
702-701, Korea(e-mail: georiver@knu.ac.kr, phone:
+82-53-950-5859)

최초투고일 09. 08. 31

수정일 09. 09. 15

최종접수일 09. 09. 17