

# 한반도 남부의 제4기 말 하각률 분포\*

이광률\*\*

## Distribution of Late Quaternary Incision Rates in the Southern Part of the Korean Peninsula\*

Gwang-Ryul Lee\*\*

**요약 :** 한반도에서는 신생대 제4기 동안에 경동성 요곡 융기 작용과 하천의 침식 및 퇴적 작용을 통해 지표 기복의 변화가 일어났다. 한반도 남부에서 총 53개 하안단구 및 선상지 단구 지형을 대상으로 하천 하각률의 분포와 하각에 영향을 미친 요인을 분석하였다. 한반도 남부에서 하각률이 가장 큰 곳은 융기를 통해 해발고도가 높은 소백산맥 남부와 태백산맥 최남단 일대이고, 하각률이 가장 작은 곳은 침식기준면과 고도차가 크지 않은 해안 및 대하천 하류부 일대로 나타났다. 융기축 산맥에서의 최단 거리와 침식기준면에서의 최단 거리는 하각률과 상관관계가 가장 높아서, 한반도 남부에서는 소백산맥 또는 태백산맥과 가까우면서 해안선 및 대하천 하류 하도와 멀수록 하천의 하각 작용이 활발해지는 것으로 나타났다. 그리고 소백산맥 중심부가 태백산맥 중심부보다 하각률이 더 커서, 제4기 말 동안에 한반도 남부에서는 태백산맥보다 소백산맥 일대에서 하천의 하각 작용이 더 활발하였다.

주요어 : 하각률, 하안단구, 융기, 소백산맥, 침식기준면

**Abstract :** During the Quaternary period, the Korean Peninsula underwent macroscopic changes of surface relief driven by tilted flexure uplifting and fluvial processes. This study analyzed the distribution of fluvial incision rates and the factors influencing them, targeting a total of 53 fluvial and fan terraces in the southern part of the Korean Peninsula. The results indicate that the highest incision rates are found in the southern Sobaek Mountains and the southernmost part of the Taebaek Mountains, areas characterized by high altitudes due to uplifting. Conversely, the lowest incision rates were observed in coastal areas and the lower reaches of major rivers close to base level of erosion. The shortest distance from the uplift axis mountains and the shortest distance from the base level of erosion showed the strongest correlation with incision rates. In southern Korea, fluvial incision becomes more active as the distance to the Sobaek or Taebaek Mountains decreases and the distance from the coastline or lower river channels increases. Furthermore, the Sobaek Mountains exhibited higher incision rates than the Taebaek Mountains, suggesting that fluvial incision was more vigorous in the Sobaek Mountains area during the late Quaternary.

Key Words : Incision rate, Fluvial terrace, Uplift, Sobaek Mountains, Base level of erosion

\*이 논문은 2025년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 인문사회분야 중견연구자지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2025S1A5A2A01005487).

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

## I. 서론

지표는 융기(uplift), 침강(subsidence) 등 자체의 고도 변화와 침식(erosion), 퇴적(deposit) 등 지표 물질의 이동에 의해 다양한 형태의 지형(landform)을 형성한다. 지형은 신생대 제4기(Quaternary) 동안에 발생한 다양한 방식의 지구조 운동과 기후 변화의 영향으로 현재와 같은 고도와 형태를 가지게 되었다. 한반도는 전체적으로 동부가 높고 서부가 낮은 동고서저의 지형 특성을 가진다. 특히, 융기 축으로 추정되는 태백산맥이 동쪽에 치우쳐 분포하는 한반도 중부 지역은 뚜렷한 동고서저의 지형을 보인다. 한반도는 중생대 백악기 이후 전체적으로 지표가 평탄화되었다가, 신생대 신진기(Neogene) 무렵부터 현재까지 동해 쪽을 융기축으로 하여 지각이 광범위하게 휘면서 상승하는 경동성 요곡 융기(tilted flexure uplifting)를 받아 현재의 지체 구조를 이루고 있는 것으로 설명되어 왔다(Koto, 1903; Lautensach, 1945; 권혁재, 2006). 한반도 중·남부에서 신진기 마이오세층의 최고 고도는 황해저에서 -200m, 동해안에서 420m에 분포하고 있어서, 신진기 이후 한반도 중·남부의 동부에서는 융기 운동이, 서부에서는 침강 운동이 발생한 것으로 보인다(신재열·황상일, 2014).

육상에 하천이 잘 발달해 있는 우리나라와 같은 중위도 습윤 기후 지역에서 지표의 고도를 낮추는 침식 작용은 대부분 하천에 의해 이루어진다. 하천은 하상을 아래로 파고 내려가는 하각(incision) 또는 하방 침식(downward erosion)을 통해 하천과 유역 분지의 고도를 낮추는 침식 작용을 진행한다(Charlton, 2008; Ritter *et al.*, 2011; 이광률 2025). 하각의 속도인 하각률(incision rate)은 하안단구(fluvial terrace)의 고도와 퇴적물의 매몰 연대나 기반암의 노출 연대를 통해 계산할 수 있다(Viveen *et al.*, 2012; Baotian *et al.*, 2013; Hidy *et al.*, 2014; Saillard *et al.*, 2014; 이광률 2018b; 2019; 이광률·박충선, 2020b; 2021; 2022). 특히, 융기로 인해 지표의 고도가 상승하면, 하천은 침식기준면(base level of erosion)인 해수면과의 고도 차이를 줄이기 위하여 하각을 활발하게 진행한다. 따라서 어느 지역에서 지표의 하각률은 융기율과 관련이 매우 높으며, 두 값은 대체로 유사하게 나타나는 경향이 있다(Cyr and Granger, 2008; Viveen *et al.*, 2012; Baotian *et al.*, 2013; Vanacker *et al.*, 2015; Bender *et al.*, 2016).

한반도 중·남부에서도 융기축으로 추정되는 태백산맥

과 소백산맥에서 멀어질수록 하각률은 낮아지는 경향을 보여, 지반 융기가 하천의 하각 작용에 가장 큰 영향을 미친 것으로 제시되고 있다(이광률, 2018b; 2019; 2023; 이광률·박충선, 2022). 그러나 지금까지의 선행 연구에서는 태백산맥과 소백산맥 일대 산지 하천의 하안단구를 대상으로 하각률 산출과 분석이 주로 이루어져서, 한반도 중·남부의 융기 축으로 추정되는 태백산맥과 소백산맥으로부터 거리가 먼 내륙과 해안 지역을 흐르는 하천의 하각률 분포 특성에 대한 연구가 미진하였다. 본 연구는 한반도 남부에서도 지금까지 연구가 거의 이루어지지 않은 대하천 중·하류 지역과 해안 중·소 하천의 하안단구와 선상지 단구(fan terrace)에 대한 조사를 통해 하각률을 산출하고, 그 결과를 소백산맥 및 태백산맥을 중심으로 이루어진 선행 연구와 종합하여, 한반도 남부 전역의 하천 하각률 분포를 통해 하각 작용에 영향을 미친 요인의 공간 분포 특성을 검토하고자 한다.

## II. 연구 지역 및 방법

### 1. 연구 지역

하각률 분포를 분석한 연구 지역은 한반도 남부로, 북동-남서 방향을 가진 남해안의 해안 형태를 고려하여, 동해안은 북위 36°30' 부근의 경북 영덕 남부 이남 지역, 서해안은 북위 36°00' 부근의 전북 군산 이남 지역으로 설정하였다(그림 1). 한반도 남부에서 동서간 지형 기복은 태백산맥과 영남 동남부 산지가 위치한 동부 및 동해안 일대와 소백산맥이 위치한 중부에서 고도가 높고 기복이 복잡한 산지를 이룬다. 특히, 한반도 중부와 달리 한반도 남부는 소백산맥이 위치한 중부 일대가 태백산맥이 위치한 동부 일대보다 해발고도가 더 높은 산지를 이루고 있다. 그리고 서부 및 황해안 일대와 중동부의 낙동강 일대는 고도와 기복이 낮은 구릉지나 평지를 이루고 있다.

한반도 남부 전역을 포괄하는 연구 지역 내에서 총 53개 지점의 하안단구와 선상지 단구를 대상으로 하각률을 분석하였다(그림 1, 표 1). 본 연구를 통해 하안단구의 고도 측량과 연대 측정이 실시되어 하각률 산출이 이루어진 곳은 소백산맥과 태백산맥으로부터 거리가 먼 11개 지점이며, 선행 연구(조영동·이광률, 2009; 이광률, 2014; 2019; 이광률·박충선, 2020b; 2021; 2022; 신재열 등,

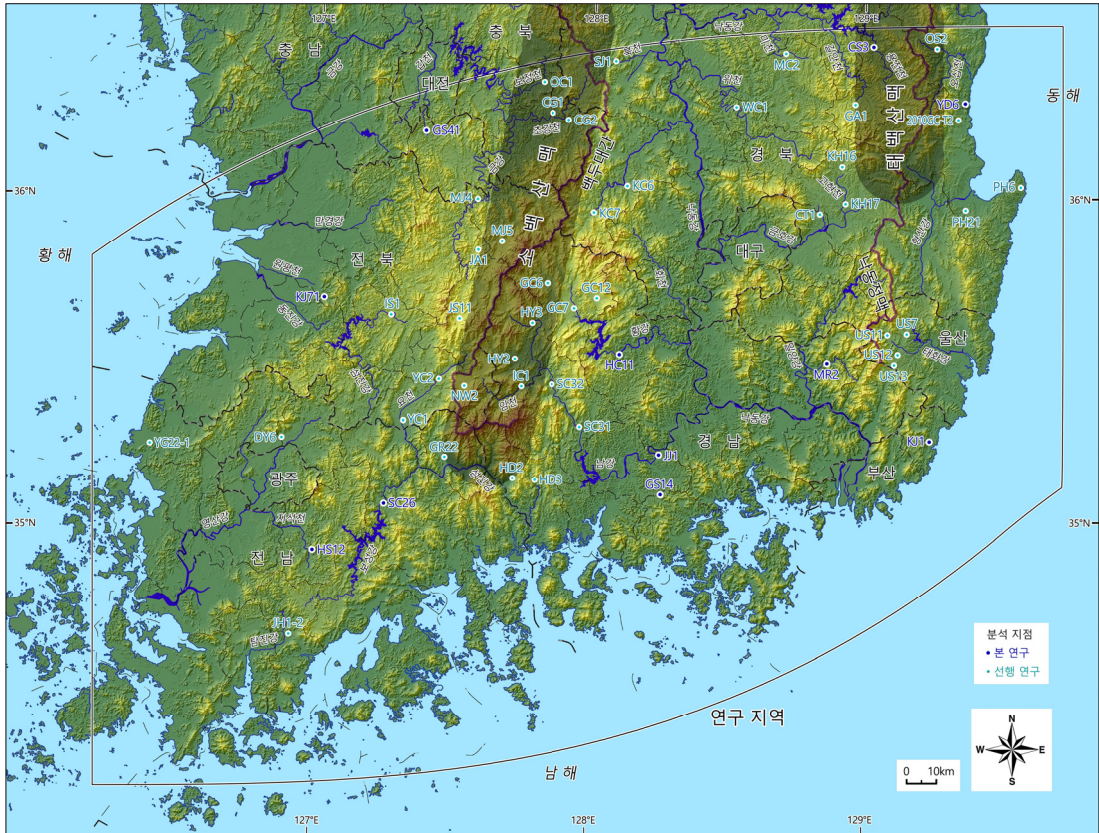


그림 1. 연구 지역의 하각률 분석 지점

2023; 이광률 등, 2023; 2024)에서 제시된 하안단구 고도 및 연대 자료를 이용하여 하각률을 분석한 곳은 42개 지점이다.

## 2. 연구 방법

본 연구에서 조사된 11개 지점은 신생대 제4기 말에 하천의 퇴적 작용으로 형성된 범람원이나 선상지 지형이 이후에 하천의 하각 작용을 받아 현재는 단구 지형으로 변화한 하안단구 또는 선상지 단구에 위치한다. 하각률 산출이 가능한 하안단구나 선상지 단구와 같은 이들 제4기 충적 지형의 분포 지역에 대한 야외의 조사를 실시하여, 하성 퇴적층 노두를 발견하고 단구와 퇴적층의 지형 및 층서 특성을 파악하였으며, 고도 측량과 OSL(Optically Stimulated Luminescence) 절대 연대 측정을 실시하였다. 각 지형의 해발고도는 최대 오차 1cm인 Sokkia의 GNSS(Global Network Satellite System) 수신기 GRX1을 이용

하여 정밀 측량하였다. OSL 연대 측정 시료는 노두에서도 모래 함량이 높은 퇴적층에 금속관을 삽입해 수집하였고, 이를 한국기초과학지원연구원에 의뢰하여 조립(90~250 $\mu$ m) 석영 입자의 절대 연대를 획득하였다.

$$\text{하각률(m/ka)} = \frac{\text{하안단구의 하각 고도(m)}}{\text{하안단구의 형성 연대(ka)}} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{하각 고도(m)} &= \text{하안단구면 최고 고도(m)} \\ &\quad - \text{현 하천 홍수위 고도(m)} \end{aligned} \quad (2)$$

하각률은 우리나라 하안단구 선행 연구(이광률, 2019; 이광률·박충선, 2020b; 2021; 2022)에서 제시된 위의 식(1)과 같이 하안단구의 하각 고도를 하안단구의 형성 연대로 나눈 값으로 계산하였다. 현재는 하안단구나 선상지 단구로 변화된 이전의 범람원이나 선상지 퇴적층은 주로 홍수 시에 형성된다는 점을 고려하여, 하각 고도는 단구 지형을 형성한 하천의 고흡수위에서 현 홍수위 고도

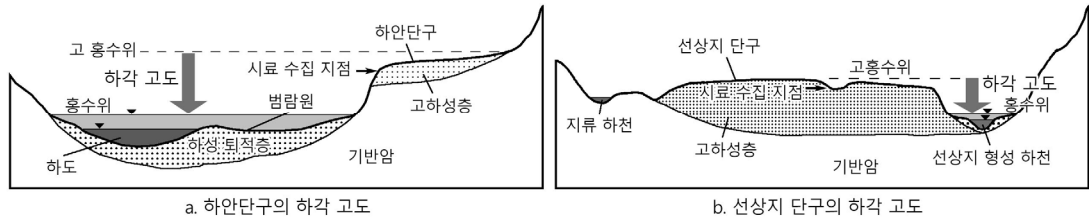


그림 2 하안단구(a)와 선상지 단구(b)의 하각 고도(이광률·박충선, 2022 수정)

를 뺀 값으로 사용하였으며(식 (2), 그림 2), 현 하천 홍수 위 고도는 하안단구나 선상지 단구를 형성한 하천에 대한 하천정비기본계획 보고서의 100년 빈도 계획 홍수위 고도로 적용하였다. 그리고 하안단구의 형성 연대는 해당 퇴적층에서 수집된 OSL 절대 연대 결과를 그대로 적용하였다.

### III. 하각률 분석 지점의 고도와 연대

연구 지역에서 하각률을 분석한 53개 지점의 위치, 고도, 연대와 산출된 하각률은 표 1과 같다. 하각률 분석 지점의 대부분은 1단 이상의 하안단구가 발달해 있는 태백산맥과 소백산맥 일대 산지를 흐르는 낙동강, 금강, 섬진강의 상류부 하천 유역이다. 반면, 낙동강 본류의 중·하류, 금강 본류의 하류, 만경·동진강 중·하류, 영산강 중·하류, 섬진강 하류 일대는 범람원보다 높은 고도에서 하안단구가 확인되지 않기 때문에 하각률 조사가 이루어진 지점이 존재하지 않는다.

본 연구에서 하안단구 조사와 분석을 통해 하각률이 산출된 11개 지점의 지형 및 퇴적층 특성은 다음과 같다. 가장 북쪽에 위치한 CS3 지점은 낙동강의 2차 지류인 용천천에 발달한 하안단구로, 경북 청송군 파천면 중평리의 북위 36°27'09", 동경 129°01'41"에 위치한다(그림 3-a). 둥근 자갈을 포함한 하안단구 퇴적층 노두는 농경지 사이 높이 약 3m의 단애면 하부에서 확인되었으며, 퇴적층은 전체적으로 풍화를 심하게 받은 아각(sub-angular)~아원(sub-rounded)의 왕모래(granule)~잔자갈(pebble)이 우세한 실트질 모래질의 자갈층을 이루고 있다. OSL 연대 측정 지점의 해발고도는 199.8m, 해당 하안단구면의 최고 고도는 201.2m이고, 홍수위 고도는 176.5m, 하각 고도는 24.7m로 계산되었다. 그리고 OSL 연대는 74±6ka로 획득되어(표 2), 하각률은 0.333m/ka로 산출되었다.

경북 영덕군 남정면 양성리의 북위 36°17'02", 동경 129°21'44"에 위치한 YD6 지점은 낙동강 동해 유역 하천인 장사천 지류 오십천에 발달한 하안단구에서 동해고속도로 공사 과정 중에 발견되었다(그림 3-b). 퇴적층의 두께는 5m 이상에 달하며, 풍화를 심하게 받은 모래질 실트층과 실트질 자갈층이 교호하고 있으며, 자갈은 대체로 아각~아원의 잔자갈~거력(boulder)으로 구성되어 있다. OSL 연대 측정 지점의 해발고도는 27.1m, 해당 하안단구면의 최고 고도는 31.8m이고, 홍수위 고도는 11.2m, 하각 고도는 20.6m로 계산되었다. 그리고 OSL 연대는 171±18ka로 획득되어(표 2), 하각률은 0.121m/ka로 산출되었다.

충남 금산군 복수면 구례리의 북위 36°11'38", 동경 127°23'09"에 위치한 GS41 지점은 금강의 2차 지류인 유등천 중류의 곡류부 안쪽에 발달한 하안단구 지형면에서 확인된 노두이다(그림 3-c). 길이 약 20m, 두께 약 2m가 넘는 하안단구 퇴적층 노두에서는 하부에서 기반암이 확인되지 않으며, 퇴적층 상부의 0.6m 내외는 풍화가 심한 모래질 실트층을 이루며, 하부는 풍화가 심한 아각~아원의 왕모래~잔자갈이 우세한 모래질 실트질의 자갈층을 이루고 있다. OSL 연대 측정 지점의 해발고도는 131.6m, 해당 하안단구면의 최고 고도는 136.5m이고, 홍수위 고도는 115.6m, 하각 고도는 20.9m로 계산되었다. 그리고 OSL 연대는 181±13ka로 획득되어(표 2), 하각률은 0.116m/ka로 산출되었다.

금강의 만경·동진 유역에 해당하는 원평천 상류에 위치한 GJ71 지점은 전북 김제시 금산면 금성리의 북위 35°41'42", 동경 127°01'22"에 위치한다. GJ71은 원평천 좌안의 지류 곡저에 발달한 선상지 단구가 원평천 하안과 접하는 말단부에서 확인된 퇴적층 노두이다(그림 4-a). 퇴적층은 두께 3m 이상이며, 아각~아원의 잔자갈~왕자갈(pebble)이 우세한 실트질 모래질 자갈층을 이루고 있다. OSL 연대 측정 지점의 해발고도는 53.9m, 해당 단구

표 1. 하각을 분석 지점 전체의 고도 및 연대 정보와 산출된 하각을

번호	대권역 유역	하천	지역	지점명	단구면 고도 (m)	홍수위 고도 (m)	하각 고도 (m)	OSL 연대 (ka)	자료 출처	하각을 (m/ka)
1	낙동강	용전천	청송	CS3	201.2	176.5	24.7	74±6		0.333
2	"	영덕 오십천	영덕	OS2	99.0	92.0	7.0	30±2	이광률, 2014	0.233
3	"	미천	의성	MC2	157.0	140.2	16.8	157±15	이광률, 2019	0.107
4	"	북천	상주	SJ1	93.8	84.4	9.3	86±16	이광률·박충선, 2021	0.108
5	금강	보정천	옥천	OC1	125.6	112.9	12.7	68±4	이광률·박충선, 2021	0.187
6	낙동강	장사 오십천	영덕	YD6	31.8	11.2	20.6	171±18		0.121
7	"	길안천	청송	GA1	292.0	280.6	11.4	39±4	이광률, 2019	0.292
8	"	위천	군위	WC1	78.5	73.0	5.5	96±6	이광률, 2019	0.057
9	금강	초강천	영동	CG1	149.7	139.7	10.0	39±4	이광률·박충선, 2021	0.256
10	"	광천	포항	2010GC-T2	50.5	41.8	8.7	67±7	신재열 등, 2023	0.130
11	금강	초강천	영동	CG2	176.9	158.9	18.0	73±4	이광률·박충선, 2021	0.247
12	"	유등천	금산	GS41	136.5	115.6	20.9	181±13		0.116
13	낙동강	고현천	영천	KH16	149.5	142.0	7.5	37±3	조영동·이광률, 2009	0.203
14	"	감천	김천	KC6	96.9	92.6	4.3	36±4	이광률·박충선, 2021	0.118
15	"	강사천	포항	PH6	16.8	11.1	5.7	59±4	이광률·박충선, 2020b	0.097
16	금강	금강	무주	MJ4	206.8	190.9	15.9	65±6	이광률·박충선, 2021	0.245
17	낙동강	고현천	영천	KH17	94.0	79.0	15.0	113±9	조영동·이광률, 2009	0.133
18	"	칠성천	포항	PH21	17.6	14.2	3.4	46±5	이광률·박충선, 2020b	0.075
19	"	감천	김천	KC7	174.7	163.3	11.4	78±5	이광률·박충선, 2021	0.146
20	"	청통천	경산	CT1	77.8	64.8	13.0	104±7	이광률, 2019	0.125
21	금강	구량천	무주	MJ5	430.3	417.9	12.4	47±7	이광률·박충선, 2021	0.264
22	"	구량천	진안	JA1	350.1	320.0	30.1	129±14	이광률·박충선, 2021	0.233
23	낙동강	거창 위천	거창	GC6	295.6	285.2	10.4	30±3	이광률·박충선, 2022	0.347
24	"	고경천	거창	GC12	282.1	268.9	13.2	74±13	이광률·박충선, 2021	0.179
25	금강	원평천	김제	GJ71	55.4	50.7	4.7	39±4		0.121
26	낙동강	황강	거창	GC7	202.7	186.4	16.3	53±4	이광률·박충선, 2022	0.307
27	섬진강	임실천	임실	IS1	225.3	210.3	15.0	88±11	이광률·박충선, 2022	0.171
28	금강	금강	장수	JS11	434.3	424.7	9.6	27±3	이광률·박충선, 2022	0.354
29	낙동강	남강	함양	HY3	227.0	221.0	6.0	16±1	이광률·박충선, 2022	0.373
30	"	반곡천	울주	US7	102.0	91.3	10.7	117±7	이광률 등, 2023	0.091
31	"	태화강	울주	US11	171.7	154.6	17.1	114±11	이광률 등, 2023	0.150
32	"	가천천	울주	US12	104.0	99.3	4.7	114±8	이광률 등, 2023	0.042
33	"	황강	함양	HC11	57.0	49.3	7.8	79±13		0.098
34	"	함양 위천	함양	HY2	187.7	172.2	15.6	42±7	이광률·박충선, 2022	0.370
35	"	단장천	밀양	MR2	66.9	57.8	9.1	43±2		0.213
36	"	방기천	울주	US13	134.9	121.7	13.2	155±9	이광률 등, 2023	0.085
37	섬진강	요천	남원	YC2	153.5	137.8	15.8	67±9	이광률·박충선, 2022	0.235
38	낙동강	남강	산청	SC32	118.0	102.6	15.4	54±8	이광률·박충선, 2022	0.284
39	"	랍천	남원	NW2	479.9	462.8	17.1	48±6	이광률·박충선, 2022	0.355
40	"	임천	함양	IC1	170.7	164.1	6.6	17±2	이광률·박충선, 2022	0.388
41	"	남강	산청	SC31	72.2	55.3	16.9	94±6	이광률·박충선, 2022	0.180
42	섬진강	요천	남원	YC1	66.7	58.3	8.4	49±9	이광률·박충선, 2022	0.172
43	낙동강	일광천	기장	KJ1	19.3	9.2	10.1	173±7		0.058
44	영산강	영산강	담양	DY6	64.1	48.5	15.6	91±4	이광률 등, 2023	0.171
45	"	불갑천	영광	YG22-1	13.0	6.4	6.6	67.1±4.4	이광률 등, 2024	0.098
46	낙동강	남강	진주	JJ1	23.1	18.8	4.4	46±6		0.095
47	섬진강	마산천	구례	GR22	53.9	37.2	16.8	70±10	이광률·박충선, 2022	0.239
48	"	약양천	하동	HD2	61.4	48.2	13.2	45±8	이광률·박충선, 2022	0.294
49	"	회천강	하동	HD3	89.2	80.7	8.5	33±2	이광률·박충선, 2022	0.258
50	낙동강	개천천	고성	GS14	64.7	63.8	0.9	9.1±0.4		0.095
51	섬진강	보성강	순천	SC26	80.6	66.0	16.4	79±10		0.185
52	영산강	지석천	화순	HS12	60.9	58.7	2.2	13±2		0.166
53	"	부동천	장흥	JH1-2	44.2	34.3	9.9	89.6±6.5	이광률 등, 2023	0.111

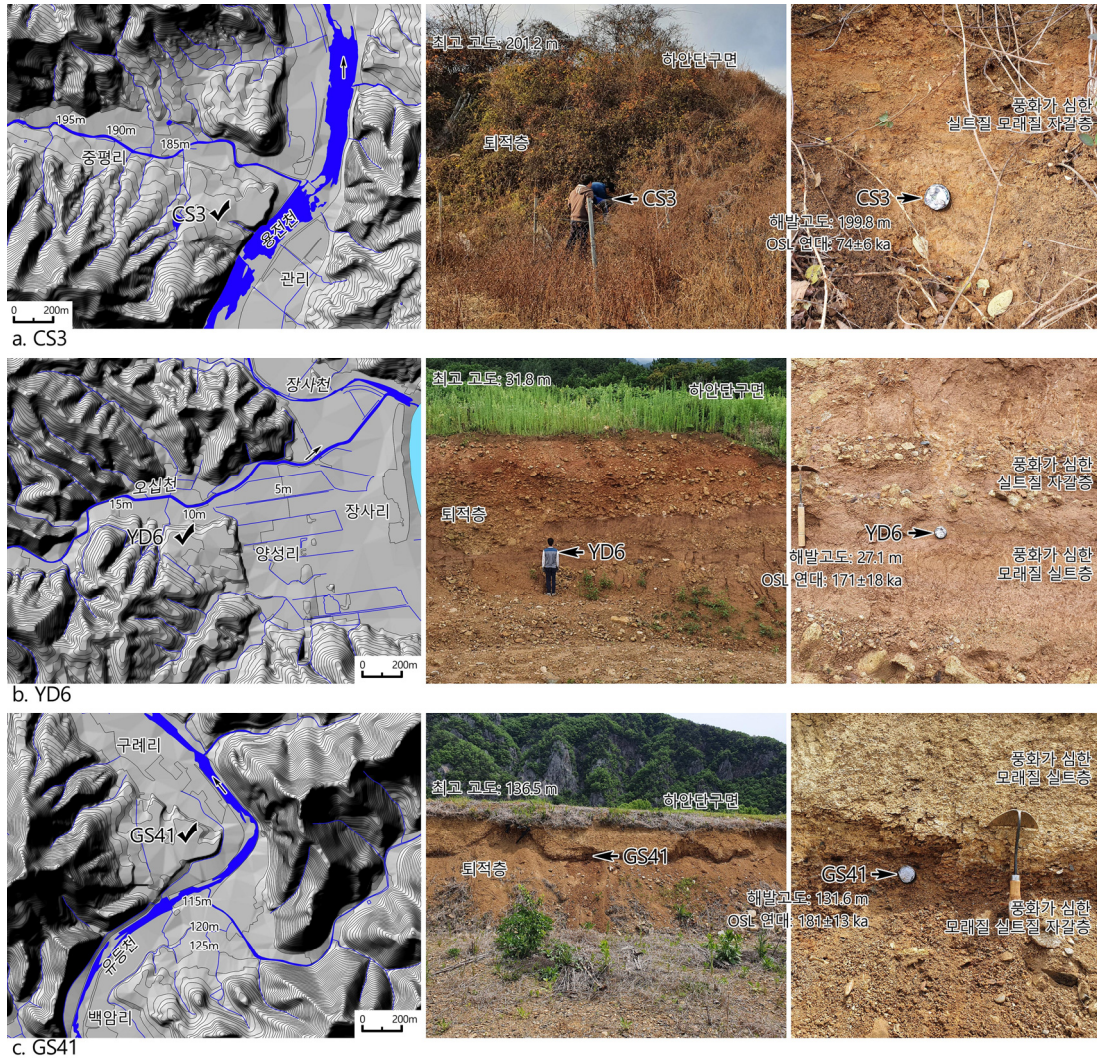


그림 3. CS3, YD6, GS41 지점의 지형도와 노두 사진

면의 최고 고도는 55.4m이고, 홍수위 고도는 50.7m, 하각 고도는 4.7m로 계산되었다. 그리고 OSL 연대는  $39\pm 4$ ka로 획득되어(표 2), 하각률은 0.121m/ka로 산출되었다.

경남 합천군 용주면 고평리의 북위  $35^{\circ}32'10''$ , 동경  $128^{\circ}06'13''$ 에 위치한 HC11 지점은 낙동강의 지류인 황강 하류에 발달한 하안단구면의 절개지에서 확인되었다(그림 4-b). 퇴적층은 두께 2m 이상의 풍화를 심하게 받은 실트질 모래층을 이루고 있으며, 황강 하류의 하상 표면 물질과 마찬가지로 자갈은 확인되지 않는다. OSL 연대 측정 지점의 해발고도는 49.4m, 해당 하안단구면의 최고 고도는 57.0m이고, 홍수위 고도는 49.3m, 하각 고도는

7.8m로 계산되었다. 그리고 OSL 연대는  $79\pm 13$ ka로 획득되어(표 2), 하각률은 0.098m/ka로 산출되었다.

낙동강의 2차 지류인 단장천에 동천이 합류하는 지점에서 단장천의 곡류절단으로 형성된 구하도 내에서 확인된 MR2 지점은 경남 밀양시 단장면 단장리의 북위  $35^{\circ}30'43''$ , 동경  $128^{\circ}51'19''$ 에 위치한다(그림 4-c). 구하도 내 곡지와 산록의 경계부에는 구하도 내부 곡지를 흐르는 소하천에 의해 형성된 후 개석된 단구면이 일부 남겨져 있다. 이 단구의 단애면에서는 붕적층 하부에 두께 2m 내외의 아각~아원의 잔자갈을 포함한 모래질 실트층으로 이루어진 하성 퇴적층이 확인된다. OSL 연대 측정 지점

표 2 본 연구 분석 지점의 OSL 절대 연대

지점명	연간선량* (Gy/ka)	수분 함량* (%)	등가선량 (Gy)	분석 수량 (n/N)	OSL 연대* (ka, 1σSE)
CS3	3.15 ± 0.08 (2.99 ± 0.08)	13.2 (18.4)	234 ± 19	15/16	74 ± 6 (78 ± 7)
YD6	2.50 ± 0.07 (2.42 ± 0.07)	25.4 (29.1)	428 ± 44	8/8	171 ± 18 (177 ± 19)
GS41	3.14 ± 0.08 (3.03 ± 0.08)	32.1 (36.6)	568 ± 37	11/16	181 ± 13 (188 ± 13)
GJ71	4.47 ± 0.11 (4.16 ± 0.10)	9.0 (16.0)	175 ± 18	11/16	39 ± 4 (42 ± 4)
HC11	3.65 ± 0.09 (3.47 ± 0.09)	18.9 (24.2)	289 ± 46	7/8	79 ± 13 (83 ± 13)
MR2	3.47 ± 0.10 (3.39 ± 0.09)	17.1 (19.7)	151 ± 6	16/16	43 ± 2 (45 ± 2)
KJ1	1.90 ± 0.06 (1.80 ± 0.06)	23.8 (29.9)	328 ± 7	8/8	173 ± 7 (182 ± 7)
JJ1	3.16 ± 0.09 (3.03 ± 0.08)	27.6 (32.7)	146 ± 17	15/16	46 ± 6 (48 ± 6)
GS14	2.64 ± 0.07 (2.58 ± 0.07)	18.1 (20.8)	24 ± 1	15/16	9.1 ± 0.4 (9.3 ± 0.4)
SC26	3.13 ± 0.08 (2.91 ± 0.08)	10.6 (18.1)	247 ± 31	12/16	79 ± 10 (85 ± 11)
HS12	3.60 ± 0.09 (3.50 ± 0.09)	16.9 (19.7)	46 ± 8	14/16	13 ± 2 (13 ± 2)

\* 괄호 안의 숫자는 수분 함량을 토대로 계산된 것임.

의 해발고도는 64.3m, 해당 하안단구면의 최고 고도는 67.0m이고, 구하도를 개석한 소하천 곡저부로 추정된 홍수위 고도는 57.8m, 하각 고도는 9.2m로 계산되었다. 그리고 OSL 연대는 43±2ka로 획득되어(표 2), 하각률은 0.213m/ka로 산출되었다.

부산 기장군 일광면 화전리의 북위 35°16'41", 동경 129°13'36"에 위치한 KJ1 지점은 해안으로부터 약 1.7km 떨어진 낙동강 동해 유역 소하천인 일광천 하류에 발달한 하안단구를 지나는 고속도로 절개지에서 확인되었다(그림 4-d). 퇴적층은 두께 3m 이상으로, 풍화를 심하게 받아 호미로도 쉽게 부수어지는 아각~아원의 잔자갈이 우세한 실트질 모래질 자갈층을 이루고 있다. OSL 연대 측정 지점의 해발고도는 15.5m, 해당 하안단구면의 최고 고도는 19.3m이고, 홍수위 고도는 9.2m, 하각 고도는 10.1m로 계산되었다. 그리고 OSL 연대는 173±7ka로 획득되어(표 2), 하각률은 0.058m/ka로 산출되었다.

JJ1 지점은 경남 진주시 지수면 압사리의 북위 35°14'14", 동경 128°14'58"에 위치하며, 낙동강의 지류인 남강 하류의 곡류절단으로 형성된 구하도에 해당하는 하안단구에서 확인되었다(그림 5-a). 노두는 농경지로 이용되는 단구면의 절개지로, 높이 4m가 넘는 절개면의 하부에서는 기반암은 확인되지 않고, 남강 하류의 하상 표면 피복 물질과 마찬가지로 실트질 모래층만이 나타난다. OSL 연대 측정 지점의 해발고도는 16.8m, 해당 하안단구면의 최고 고도는 23.1m이고, 홍수위 고도는 18.8m, 하각 고도는 4.4m로 계산되었다. 그리고 OSL 연대는 46±6ka로 획득되어(표 2), 하각률은 0.095m/ka로 산출되었다.

경남 고성군 영오면 연당리의 북위 35°07'02", 동경 128°15'08"에 위치한 GS14 지점은 남강의 2차 지류인 개천천의 곡저에 남겨져 있는 하안단구 단애면에서 확인되었다(그림 5-b). 개천천의 곡류에 의한 측방 침식으로 형성된 단애면에서 노두는 길이 20m, 높이 3m 내외로 나타

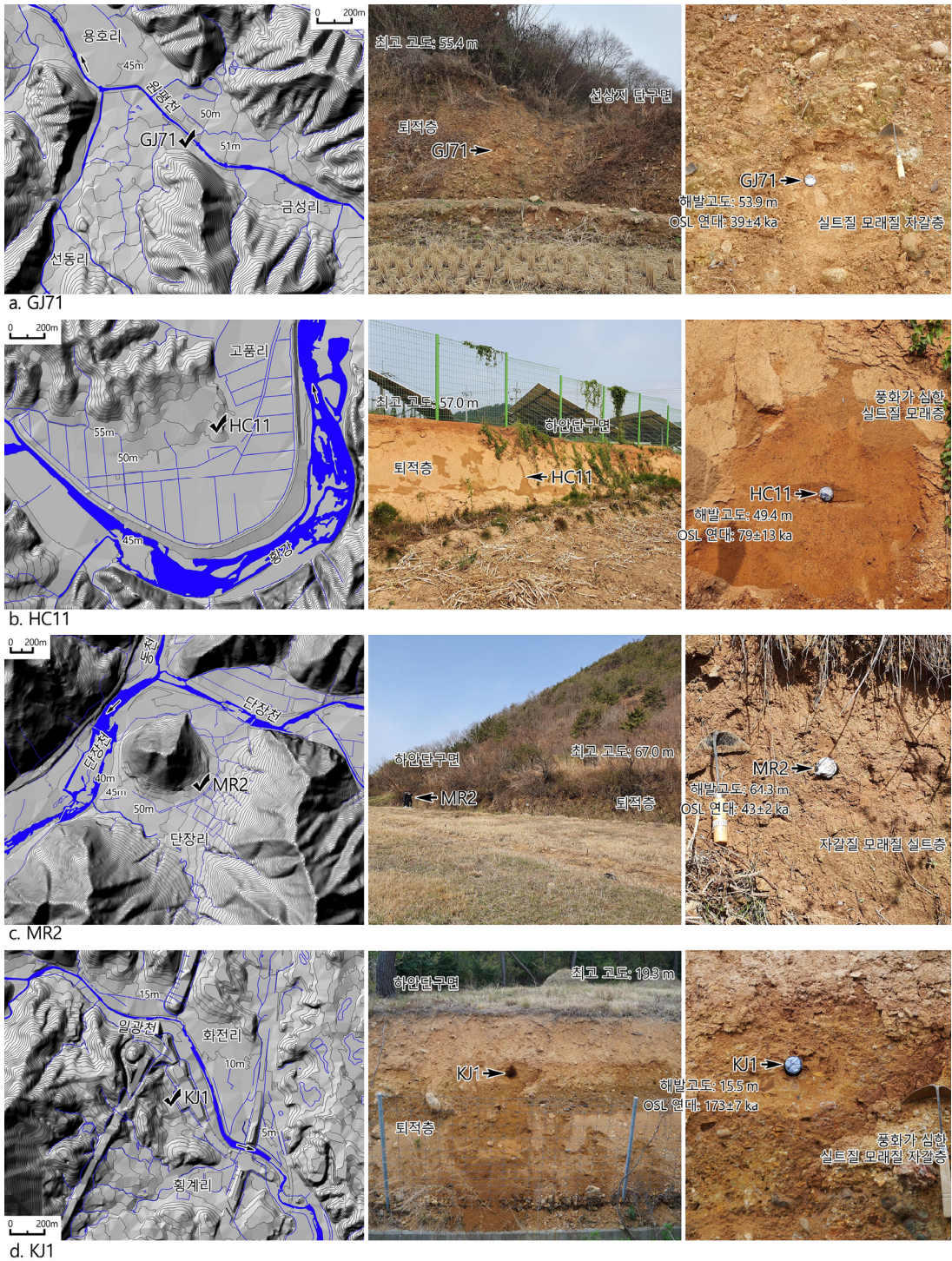


그림 4. GJ71, HC11, MR2, KJ1 지점의 지형도와 노두 사진

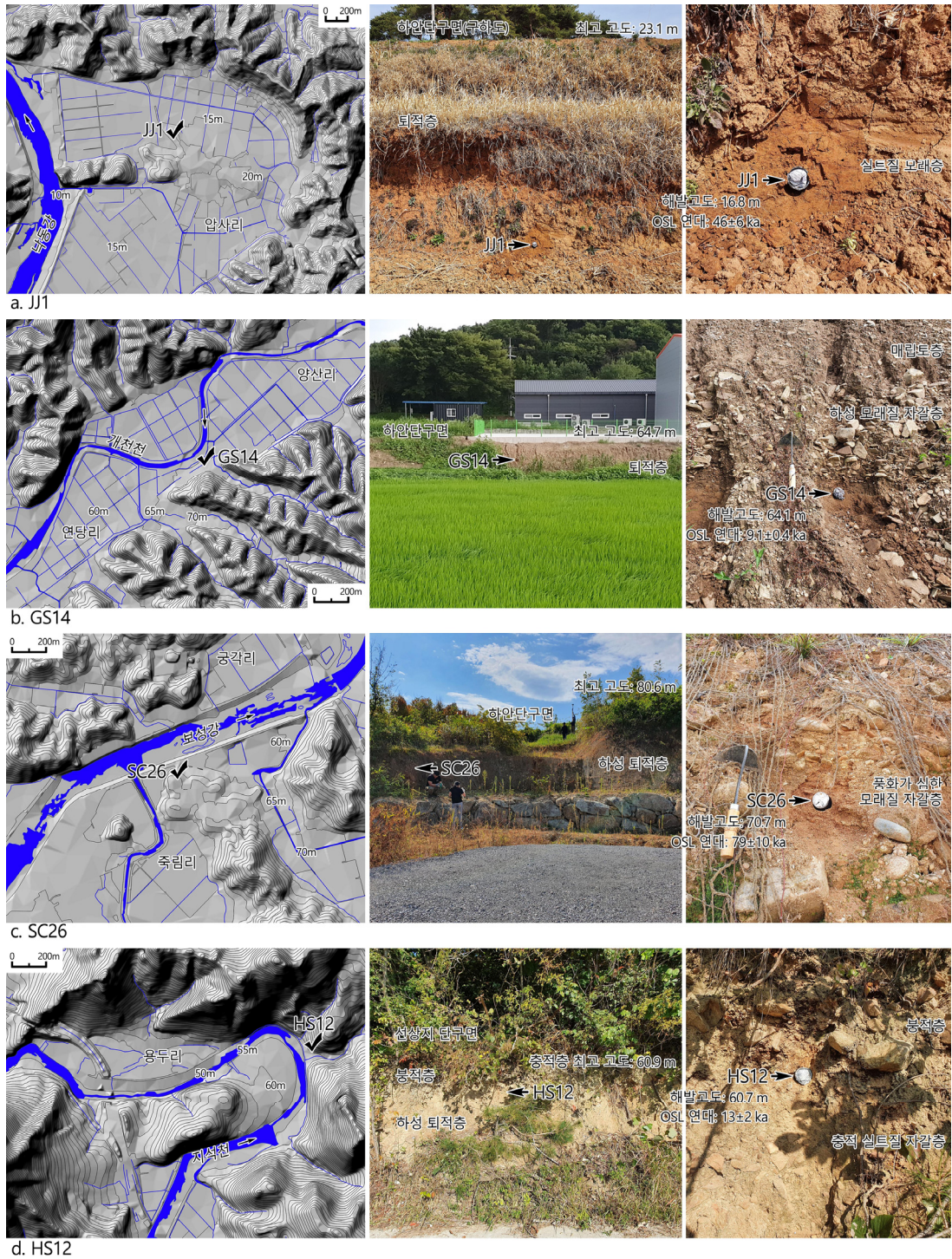


그림 5. JJ1, GS14, SC26, HS12 지점의 지형도와 노두 사진

나며, 상부의 두께 0.5m 정도는 매립토층이, 하부의 두께 2m 정도는 신선한 아각~아원의 잔자갈이 우세한 모래질 자갈층으로 이루어져 있다. OSL 연대 측정 지점의 해발고도는 64.1m, 해당 하안단구면의 최고 고도는 64.7m이고, 홍수위 고도는 63.8m, 하각 고도는 0.9m로 계산되었다. 그리고 OSL 연대는  $9.1 \pm 0.4ka$ 로 획득되어(표 2), 하각률은 0.095m/ka로 산출되었다.

섬진강의 지류인 보성강 하류에 발달한 하안단구 절개지에서 확인된 SC26 지점은 전남 순천시 주암면 죽림리의 북위  $35^{\circ}05'00''$ , 동경  $127^{\circ}15'03''$ 에 위치한다(그림 5-c). 4m 이상의 높이를 가진 절개지에서는 원마도가 양호한 등근 자갈만 발견되고 있어, 전형적인 하안단구 퇴적층을 이루고 있다. 퇴적층은 풍화를 심하게 받은 아원~완원(well-rounded)의 잔자갈~왕자갈이 우세한 모래질 자갈층을 이루고 있다. OSL 연대 측정 지점의 해발고도는 70.7m, 해당 하안단구면의 최고 고도는 80.6m이고, 홍수위 고도는 66.0m, 하각 고도는 14.6m로 계산되었다. 그리고 OSL 연대는  $79 \pm 10ka$ 로 획득되어(표 2), 하각률은 0.185m/ka로 산출되었다.

전남 화순군 춘양면 용두리의 북위  $34^{\circ}56'34''$ , 동경  $126^{\circ}59'46''$ 에 위치한 HS12 지점은 영산강의 지류인 지석천의 상류 곡저에서 지류 소하천이 지석천에 합류하면서 형성한 소규모 선상지 단구의 단애면에서 확인되었다(그림 5-d). 노두 상부의 두께 약 0.3m에서는 붕적층이 나타나며, 하부 1m 이상에서는 고결도가 높은 각(agnular)~아각의 잔자갈로 이루어진 홍수 시에 형성된 소하천의 소규모 토석류 선상지 퇴적층이 나타난다. OSL 연대 측정 시료는 이 선상지 퇴적층의 최상부에서 수집되었다. OSL 연대 측정 지점의 해발고도는 60.7m, 해당 선상지 퇴적층의 최고 고도는 60.9m이고, 선상지를 형성한 소하천 곡저의 고도로 산정한 홍수위 고도는 58.7m로서, 하각 고도는 2.2m로 계산되었다. 그리고 OSL 연대는  $13 \pm 2ka$ 로 획득되어(표 2), 하각률은 0.166m/ka로 산출되었다.

## IV. 하각률 분포와 영향 요인

### 1. 하각률 분포

연구 지역인 한반도 남부에서 53개 하안단구를 대상으로 하여 산출된 하각률 값을 지도로 나타내면 그림 6과 같

다. 하각률은 소백산맥 남부와 태백산맥 최남단 일대에서 높게 나타나며, 구릉, 대하천 주변, 해안 지역에서는 매우 낮게 나타나고 있다. 0.3m/ka 이상의 매우 높은 하각률은 소백산맥 남부의 지리산에서 덕유산 사이의 산지 일대와 태백산맥 최남부의 청송군 일대에서 나타난다. 0.2m/ka 이상의 대체로 높은 하각률은 영동군에서 하동군까지의 소백산맥 남부 산지 일대에서 넓게 나타나며, 태백산맥의 최남단 일대에서도 나타난다. 따라서, 신생대 제4기 말 동안 소백산맥과 태백산맥 일대 산지에서는 하천의 하각 작용이 매우 활발하였던 것으로 보인다. 반면, 0.1m/ka 미만으로 하각률이 매우 낮은 지역은 황강 하류, 남강 하류, 개천천 등 낙동강 유역 하류부의 본류 및 지류 하천 일대와 포항시, 기장군, 영광군 등 바다에 인접한 하천 하류 일대이다. 즉, 궁극적 또는 국지적 침식기준면과의 고도 차이가 크지 않은 해안 및 대하천 하류 일대에서는 제4기 말 동안 하천의 하각 작용이 미약하였다고 볼 수 있다. 한편, 울주군의 양산 단층곡을 가로질러 흐르는 3개 지점 하천에서도 하각률이 0.1m/ka 미만으로 모두 낮게 나타나고 있다. 이는 3개 분석 지점이 모두 양산 단층곡 내에 위치하고 있어서, 활성 단층인 양산 단층에 의한 영향으로 추정된다. 풍화·침식이 용이한 단층 파쇄대를 따라 형성된 단층곡 내부에서는 단층 활동이 발생하였던 신생대 제4기 이전부터 하천의 침식 작용이 활발하게 발생하여 하천의 고도를 충분히 낮춘 결과, 제4기 말 동안의 하천 하각률은 상대적으로 작게 나타날 가능성이 있다.

### 2. 하각률과 하각 영향 요인과의 관계

본 연구 지역에 속하는 소백산맥 남부를 대상으로 하각률 분포에 영향을 미친 요인을 분석한 선행 연구(이광률·박충선, 2022)에서는 용기축으로 추정되는 소백산맥 중심축에서의 거리가 하각률과 가장 높은 상관성을 가지고 있어서 지반 용기가 하각의 가장 중요한 요인이라고 제시하였다. 이러한 선행 연구 결과에 착안하여, 본 연구에서도 한반도 남부 53개 지점을 대상으로 하각률과 이에 영향을 미치는 요인 사이의 상관관계를 분석하였다(그림 7). 먼저, 하각률과 하안단구면 해발고도 사이의 상관관계는 상관계수 0.4079로서 양의 관계가 뚜렷하다(그림 7-a). 즉, 해발고도가 높은 곳을 흐르는 하천일수록 침식기준면과의 고도 차이가 크므로, 하천의 고도를 낮추는

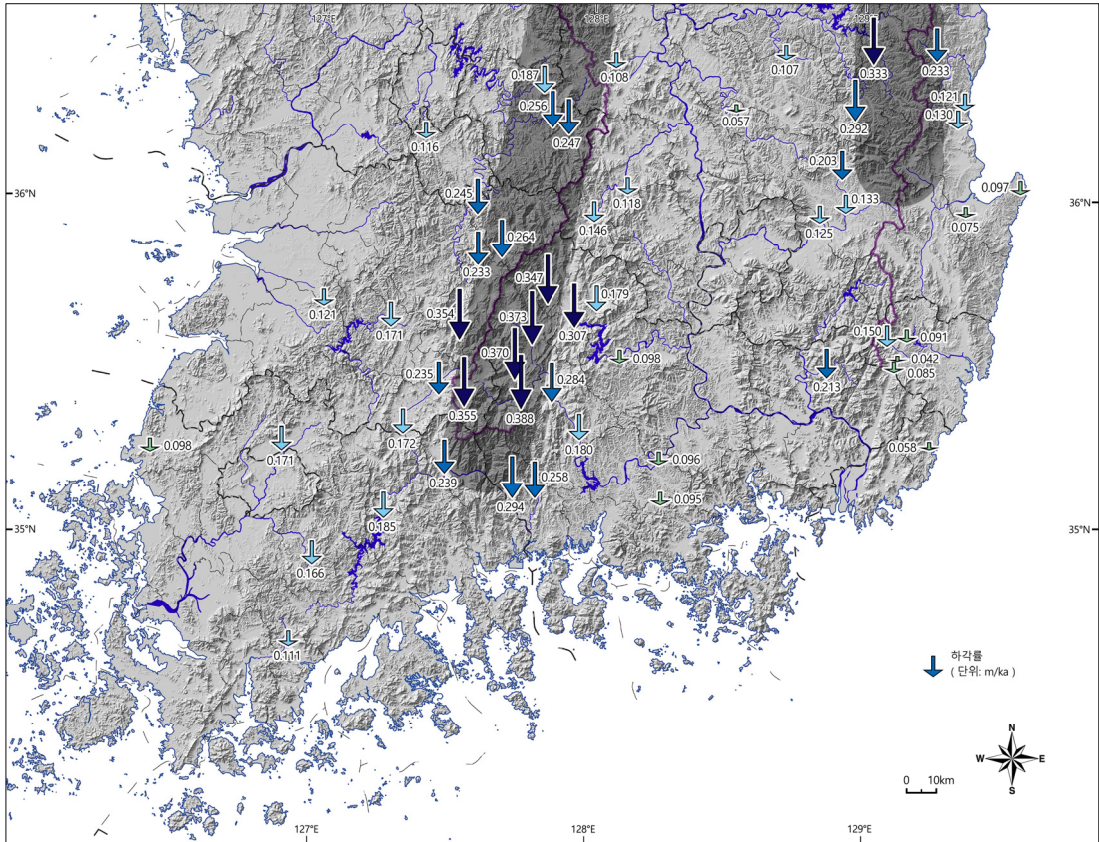


그림 6. 한반도 남부의 하각률 분포

하각 작용이 활발해져 하각률이 크게 나타나는 것으로 해석된다. 다음으로 하각률과 하안단구 형성시기와의 상관관계를 살펴보면, 최근에 형성된 하안단구는 다양한 범위에서 하각률이 나타나지만, 오래된 하안단구일수록 하각률의 최대값이 감소하는 경향을 보인다(그림 7-b). 이러한 결과는 제4기 말 동안 하천 하각 작용의 속도 변화 가능성도 예상해 볼 수 있지만, 그보다는 대하천 주변과 해안 지역 하천에 발달한 하안단구의 경우, 후빙기 해수면 상승에 의한 영향으로 형성 시기가 오래된 하성 퇴적층만이 현 범람원 위에 하안단구의 형태로 잔존하기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

하천의 하각 작용은 침식기준면과의 고도 차이를 줄이기 위하여 발생한다. 따라서 침식기준면과의 고도차가 큰 해발고도가 높은 지역은 하각 작용이 활발하며, 침식기준면과의 고도차가 작은 해발고도가 낮은 지역에서는 하각 작용이 거의 발생하지 않는다. 그리고 본 연구 지역

인 한반도 남부에는 용기에 의해서만 형성될 수 있는 지형인 해안단구가 동·서·남해안 모두에서 확인되고 있어서(신재열·홍성찬, 2018; 이광률·박충선, 2019; 2020a; 2020c; 신재열 등, 2021; 이광률 등, 2024), 한반도 남부에 발달한 소백산맥과 태백산맥 등의 산지는 1차적으로 지반 용기를 통해 현재와 같이 높은 고도에 위치하게 되었다고 볼 수 있다. 또한 국내외의 여러 선행 연구(Cyr and Granger, 2008; Viveen *et al.*, 2012; Baotian *et al.*, 2013; Vanacker *et al.*, 2015; Bender *et al.*, 2016; 이광률, 2018a; 2023; 이광률 등, 2024)는 용기가 발생하는 지역의 경우, 용기가 하천 하각 작용에 가장 중요한 영향을 미치는 요인이라고 제시하고 있다.

하각률 분포에 가장 큰 영향을 미치는 요인인 지반 용기의 결과로 형성된 산지와 하각률 사이의 관계를 살펴보면 다음과 같다. 먼저, 한반도의 중심 산줄기이자 분수계인 백두대간으로부터의 거리와 하각률의 상관관계는 백두대

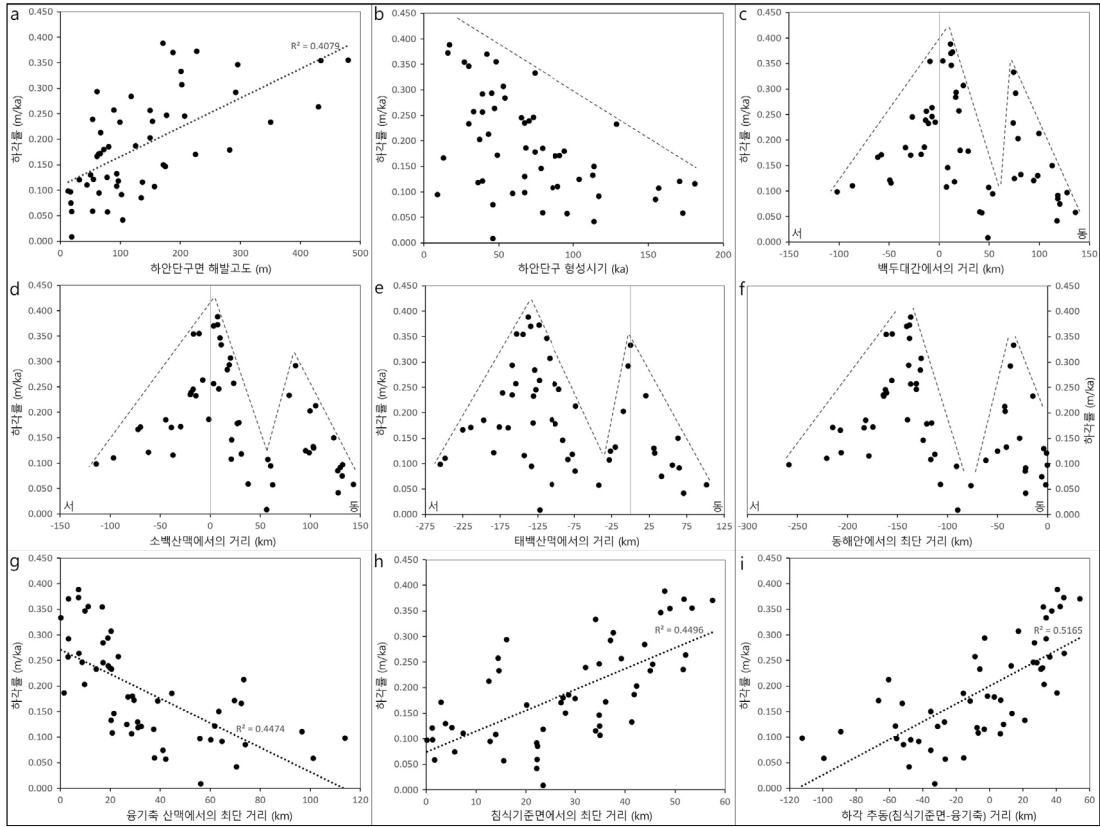


그림 7. 한반도 남부에서 하각률과 하각 영향 요인과의 상관관계

간에 가까울수록 하각률의 최대값이 큰 경향을 보여서, 고도가 높은 백두대간 부근에서 하각 작용이 활발하게 발생하였음을 보여준다(그림 7-c). 특히, 하각률의 최대값이 나타나는 지점이 백두대간 중심과 동쪽으로 약 75km 떨어진 지점의 두 곳에서 확인되고 있다. 그리고 이러한 하각률 최대값 분포 경향은 소백산맥 주능선에서의 거리, 태백산맥 주능선에서의 거리, 동해안에서의 거리에서도 동일하게 나타나고 있어서, 결국, 한반도 남부의 동서측에서는 해발고도가 높거나 용기가 활발하여 하각 작용을 빠르게 발생시키는 지점이 두 곳에 위치하고 있음을 의미한다.

본 연구에서는 용기축으로 추정되는 산맥 주능선에서의 거리와 하각률 사이의 관계를 파악하기 위하여, 소백산맥은 산지 중앙에 위치한 최고봉인 태백산(1,567m)-소백산(1,440m)-속리산(1,054m)-덕유산(1,614m)-지리산 벽소령(1,403m)을 잇는 가상의 선을 산맥의 중심축인 주능선으로 설정하고, 태백산맥은 태백산(1,567m)-일월산(1,217m)-보현산(1,124m)을 잇는 선을 산맥의 중심축

인 주능선으로 설정하여, 각 지점에서 산맥 주능선까지의 최단 거리를 측정하였다. 한반도 남부에서 백두대간은 소백산맥에 위치하고 있어서, 소백산맥 주능선에서의 거리와 하각률 간의 상관관계는 백두대간에서의 거리와 동일하게 나타나고 있다(그림 7-d). 즉, 소백산맥 주능선에서 하각률이 가장 높게 나타나고, 동쪽으로 약 85km 떨어진 지점에서도 두 번째로 큰 값이 나타나고 있다. 또한 태백산맥 주능선에서의 거리와 하각률 간의 상관관계도 이와 거의 유사하여, 태백산맥 주능선에서 서쪽으로 약 135km 떨어진 지점에서 최대값이, 태백산맥 중심에서 다음으로 큰 값이 나타난다(그림 7-e). 따라서 한반도 남부에서는 소백산맥의 중심부에서 하천의 하각 작용이 가장 활발하였으며, 다음으로 태백산맥의 중심부에서도 하각 작용이 활발하였다. 또한 동해안 해안선으로부터의 최단 거리와 하각률 사이의 관계도 이와 마찬가지로, 동해안에서 평균 약 140km 떨어진 소백산맥 일대에서 하각률의 최대값이, 평균 약 35km 떨어진 태백산맥 일대에

서 다음으로 큰 하각률 값이 나타나고 있다(그림 7-f).

한반도 남부의 용기축 산맥으로 추정되는 소백산맥 또는 태백산맥 주능선으로부터의 최단 거리와 하각률 사이의 관계를 살펴보면, 상관계수 0.4474의 음의 상관성을 가져, 두 산맥 중 어느 하나라도 거리가 가까울수록 하각률은 커지고, 거리가 멀어질수록 하각률이 작아지는 것으로 나타난다(그림 7-g). 따라서 제4기 말 동안 하각률이 가장 크게 나타나는 소백산맥과 태백산맥은 한반도 남부에서 제4기 동안 지반 용기가 가장 활발하게 발생하였던 중심축일 가능성 매우 크다. 특히, 거리별 하각률 최대값의 분포 경향으로 추정할 때, 한반도 남부에서 소백산맥 또는 태백산맥 주능선으로부터 140~150km 이상 떨어진 지점은 하각률이 0m/ka 미만인 되어 지표상에 하안단구가 존재하지 않을 가능성이 크다. 이러한 결과는 태백산지 일대 하안단구 최고위면의 분석을 통해, 한반도 중부에서 태백산맥으로부터 약 100~120km 떨어진 지점부터는 하안단구의 최고 고도가 해수면 고도에 도달하여, 지반 용기에 의해 형성된 하안단구인 구조 단구가 존재하지 않을 가능성을 언급한 이광률(2018a)의 연구 결과와도 맥락을 같이 한다.

하각은 침식기준면과의 고도 차이로 발생하므로, 하각률의 분포는 궁극적 침식기준면이 되는 해안선과 국지적 침식기준면이 되는 해수면 고도 부근의 대하천 하류 하도에서의 거리와도 관계가 깊다. 해안선까지의 최단 거리 또는 하안단구가 존재하지 않는 대하천 하류 하도까지의 최단 거리로 산정한 침식기준면에서의 최단 거리와 하각률 사이의 관계는 상관계수 0.4496으로, 비교적 높은 양의 상관관계를 갖는 것으로 나타났다(그림 7-h). 즉, 침식기준면에서 거리가 멀수록 고도 차이에 따른 하천의 하각 작용이 활발해져 하각률 값이 커진다. 결과적으로 해발고도를 높이는 용기와 하각 작용의 하한인 침식기준면은 하천의 하각 작용을 추동하는 주요 요인이라고 볼 수 있다. 이러한 점에서, 양의 상관관계를 갖는 침식기준면으로부터의 최단 거리에서 음의 상관관계를 갖는 용기축 산맥으로부터의 최단 거리를 빼 값을 하각 추동 거리로 가정하고 하각률 사이의 관계를 살펴본 결과, 상관계수 0.5165의 상당히 높은 양의 상관성이 나타났다(그림 7-i). 따라서 한반도 남부에서는 용기축 산맥인 소백산맥 또는 태백산맥과 가까우면서 침식기준면에 해당하는 해안선 및 대하천 하류 하도와 멀수록 하각률이 커지는 공간 분포 경향이 뚜렷하게 나타나고 있다.

## V. 결론

본 연구는 한반도 남부의 총 53개 하안단구 및 선상지 단구 지형을 대상으로 하각률의 분포와 영향 요인을 분석하였다. 본 연구를 통해 고도 측량과 연대 측정이 실시된 지점은 11개이며, 나머지 42개 지점은 선행 연구에서 제시된 고도 및 연대 자료를 토대로 분석을 진행하였다. 하각률은 하안단구면의 최고 고도에서 현 하천 홍수위 고도를 빼 값인 하안단구의 하각 고도를 하안단구 퇴적층의 연대로 나눈 값으로 계산하였다.

한반도 남부에서 하각률은 지반 용기를 받아 해발고도가 높은 소백산맥 남부와 태백산맥 최남단 일대에서 크게 나타났으며, 침식기준면과 고도차가 크지 않은 해안 및 대하천 하류부 일대에서는 하각률이 매우 작게 나타났다. 하각률 분포에 영향을 미치는 요인으로는 해발고도, 소백산맥 및 태백산맥과 같은 용기축 산맥으로부터의 거리, 해안선과 대하천 하류 같은 침식기준면으로부터의 거리 등이 하각률과 높은 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 특히, 용기축 산맥에서의 최단 거리와 침식기준면에서의 최단 거리는 하각률과 상관관계가 가장 높아서, 한반도 남부에서는 소백산맥 또는 태백산맥과 가까우면서 해안선 및 대하천 하류 하도와 멀수록 하천의 하각 작용이 활발해지는 공간 분포 특성이 뚜렷하게 나타났다. 또한 동서 방향의 하각률은 소백산맥 중심축 부근에서 가장 크고, 태백산맥 중심축 부근이 다음으로 커서, 제4기 말 동안에 한반도 남부에서는 태백산맥보다 소백산맥 일대에서 하천의 하각 작용이 가장 활발하였던 것으로 확인되었다.

한반도 남부 서해안과 남해안의 평야 및 구릉 지역을 흐르는 하천에서는 후빙기 해수면 상승의 영향으로 하안단구가 현 범람원보다 낮은 고도에 매몰 단구의 형태로 존재하는 지역이 많아서, 하각률 계산에 적합한 하안단구 분석 자료가 매우 부족하다. 이로 인해, 하각률의 공간적 분포를 정밀하게 해석하여, 제4기 동안 한반도 남부 여러 지역에 발생한 지표 및 지형 기록의 변화 과정을 과학적으로 설명하기에는 여전히 많은 한계가 존재한다. 그러나 본 연구에서는 한반도 남부를 대상으로 연대 측정이 가능한 퇴적층 노두가 잔존하는 하안단구 분포 지역을 발견하여, 하안단구의 고도 측량과 연대 측정을 실시하여 하각 작용의 공간적 분포 특성을 분석하였다. 그럼에도 불구하고, 아직까지 서해안과 대하천 하류부 하곡에서는

단구 퇴적층 노두를 발견하지 못한 지역이 대다수이며, 현 범람원 고도 아래에 매몰 단구로 존재하는 제4기 하성층이 광범위하게 발달할 것으로 예상된다. 우리나라에서 신생대 제4기 동안의 용기 및 침강과 침식 및 퇴적 작용에 의한 지시적 지형 형성과정과 지표 고도의 변화 과정을 보다 정밀하고 객관적으로 해석하기 위해서는 제4기 층적층이 명확하게 확인되지 않는 이들 지역에 대한 지속적인 관심과 조사가 요구된다.

### 참고문헌

권혁재, 2006, 「지형학」, 서울: 범문사.

신재열·오정식·홍성찬·최진혁·홍영민, 2023, “포항 광천 유역 제4기 후기 하안단구의 발달 - 하각률과 현생 지각 변형률의 관계에 관한 함의 -” 대한지리학회지, 58(1), 1-10.

신재열·홍성찬, 2018, “남해안 사천시 대포동 일대에 분포하는 고해안 퇴적물의 형성 과정과 형성 시기: 한반도 제4기 후기 지각운동의 양식과 변형률 산출을 위한 연구(II)” 한국지형학회지, 25(3), 57-70.

신재열·홍영민·류희경·홍성찬, 2021, “서해안 서천군 당정리 일대에 분포하는 육상 고해안 퇴적물의 형성 과정과 형성 시기(II): 추가 연대 자료 및 제4기 후기 연안 지형 발달 모델” 한국지형학회지, 28(3), 51-61.

신재열·황상일, 2014, “신생대 제3기 경동성 요곡운동의 개념, 시기, 기작에 관한 비판적 고찰: 판구조운동 기원의 새로운 가설” 대한지리학회지, 49(2), 200-220.

이광률, 2014, “태백산맥 남부 동해안 하천 유역의 하안단구 지형 형성” 대한지리학회지, 49(1), 1-17.

이광률, 2018a, “하안단구 최고위면에 기초한 태백 산지 일대의 하각과 용기의 공간 분포 특성” 한국지형학회지, 25(2), 31-42.

이광률, 2018b, “태백 산지 북부의 하천 하각률 분포” 한국지형학회지, 25(4), 1-19.

이광률, 2019, “태백산맥 남부 일대 산지 하천의 하각률” 한국지리학회지, 8(2), 155-168.

이광률, 2023, “강원 영동 지역 하천의 하각률 분포와 영향 요인” 대한지리학회지, 58(3), 274-286.

이광률, 2025, 「이미지로 이해하는 지형학」, 대구: 가디언북.

이광률·김주연·이해빈·정지윤, 2023, “울산 언양 일대 선상지 단구의 형성과정과 제4기 단층 변위” 지질학회지, 59(4), 535-549.

이광률·남옥현·김진철·한민, 2024, “영광 불갑천 하구 해안의 최종 간빙기 이후 용기율과 하각률” 한국지형학회지, 31(1), 27-38.

이광률·박충선, 2019, “한반도 남부 해안의 용기율 비교” 한국지형학회지, 26(2), 55-67.

이광률·박충선, 2020a, “동해안의 용기율도와 용기율 분포” 한국지형학회지, 27(1), 47-60.

이광률·박충선, 2020b, “소백산맥 북부 지역 하천의 하각률 분포” 한국지형학회지, 27(3), 41-51.

이광률·박충선, 2020c, “울산단층 동부 지괴의 용기율” 한국지형학회지, 27(4), 29-39.

이광률·박충선, 2021, “소백산맥 중부 지역의 하안단구와 하각률” 한국지형학회지, 28(2), 15-30.

이광률·박충선, 2022, “소백산맥 남부 지역의 하천 하각률 분포” 지질학회지, 58(2), 151-165.

조영동·이광률, 2009, “경북 영천시 고현천의 하안단구 지형 분석” 대한지리학회지, 44(4), 447-462.

Baotian, P., Xiaofei, H., Hongshan, G., Zhenbo, H., Bo, C., Haopeng, G., and Qingyang, L., 2013, Late Quaternary river incision rates and rock uplift pattern of the eastern Qilian Shan Mountain, China, *Geomorphology*, 184, 84-97.

Bender, A.M., Amos, C.B., Bierman, P., Rood, D.H., Staisch, L., Kelsey, H., and Sherrod, B., 2016, Differential uplift and incision of the Yakima River terraces, central Washington State, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 121, 365-384.

Charlton, R., 2008, *Fundamentals of Fluvial Geomorphology*, New York: Routledge.

Cyr, A.J. and Granger, D.E., 2008, Dynamic equilibrium among erosion, river incision, and coastal uplift in the northern and central Apennines, Italy, *Geology*, 36(2), 103-106.

Hidy, A.J., Gosse, J.C., Blum, M.D., and Gibling, M.R., 2014, Glacial-interglacial variation in denudation rates from interior Texas, USA, established with cosmogenic nuclides, *Earth and Planetary Science Letters*, 390, 209-221.

- Koto, B., 1903, An Orographic sketch of Korea, Journal of the College of Science, XIX, Tokyo Imperial University (in Japan).
- Lautensach, H., 1945, *Korea, eine Landeskunde auf Grund eigener Reisen und der Literatur*, Berlin: Lipsia, Koehler Verlag (in German).
- Ritter, D.E., Kochel, R.C., and Miller, J.R., 2011, *Process Geomorphology*, Boston: McGraw-Hill.
- Saillard, M., Petit, C., Rolland, Y., Braucher, R., Bourlès, D.L., Zerathe, S., Revel, M., and Jourdon, A., 2014, Late Quaternary incision rates in the Vésubie catchment area (Southern French Alps) from in situ-produced <sup>36</sup>Cl cosmogenic nuclide dating: Tectonic and climatic implications, *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 119, 1121-1135.
- Vanacker, V., von Blanckenburg, E., Govers, G., Molina, A., Campforts, B., and Kubik, P.W., 2015, Transient river response, captured by channel steepness and its concavity, *Geomorphology*, 228, 234-243.
- Viveen, W., Braucher, R., Bourlès, D., Schoorl, J.M., Veldkamp, A., van Balen, R.T., Wallinga, J., Fernandez-Mosquera, D., Vidal-Romani, J.R., and Sanjurjo-Sanchez, J., 2012, A 0.65 Ma chronology and incision rate assessment of the NW Iberian Miño River terraces based on <sup>10</sup>Be and luminescence dating, *Global and Planetary Change*, 94-95, 82-100.
- 교신: 이광률, 41566, 대구광역시 북구 대학로 80, 경북대학교 사범대학 지리교육과(이메일: georiver@knu.ac.kr)
- Correspondence: Gwang-Ryul Lee, 41566, 80 Daehakro, Buk-gu, Daegu, South Korea, Department of Geography Education, Teachers College, Kyungpook National University (Email: georiver@knu.ac.kr)
- 투고접수일: 2026년 2월 18일  
심사완료일: 2026년 3월 10일  
게재확정일: 2026년 3월 11일