

## 한반도 남부 선상지의 계량적 지형 특성과 일본, 타이완, 필리핀 선상지와의 비교 연구

윤순옥\* · 사이토 코지\*\* · 황상일\*\*\* · 오구치 다카시\*\*\*\* · 다나카 유키야\*\*\*\*\*

### Morphometric Characteristics of Alluvial Fans in South Korea and Comparisons with those of Japan, Taiwan and the Philippines

Soon-Ock Yoon\* · Kyoji Saito\*\* · Sangill Hwang\*\*\* · Takashi Oguchi\*\*\*\* · Yukiya Tanaka\*\*\*\*\*

**요약** : 한반도 남부 13개 선상지를 일본, 대만, 필리핀의 690개 선상지와 비교, 분석하였다. 선상지 경사와 함양역 면적, 선상지 경사와 함양역 기복비, 선상지 면적과 함양역 면적, 그리고 함양역 면적과 함양역 기복비와의 관계를 정량적으로 검토한 결과, 한반도 남부의 선상지는 아시아의 선상지 특성과 잘 부합되지만, 선상지 빈도와 밀도가 낮다. 또한 선상지 하천의 함양역 규모가 작고, 기복비가 커서 선상지 규모가 작고 경사가 급하다. 36개 주요 하천 곡구부에서 선상지가 형성되지 않는 것은 상대적으로 낮은 산지고도와 함양역의 기복비 때문이다. 한국의 선상지에서는 Blair and McPherson이 주장한 지형면 경사의 공백을 확인할 수 없으며, 경주 선상지는 경사가 완만한 하성 선상지의 가능성이 높다.

**주요어** : 선상지, 함양역, 한반도 남부, 지형면 공백, 기복비

**Abstract** : The morphometric characteristics of 13 alluvial fans in the southern parts of the Korean Peninsula are studied and relationships between their distributions and causes are discussed by comparing them with 690 alluvial fans in Japan, Taiwan and the Philippines. The relationships between the surface gradient of alluvial fans and source basin area, the surface gradient and the relief ratio of the source basin, and the source basin area and the relief ratio were investigated. The alluvial fans in South Korea have typical characteristics of the Asian fans, although their frequency and density are relatively low, and the size and the relief ratio of their source basins are relatively small and steep, respectively. Moreover 36 major Korean river basins without alluvial fans tend to have lower altitude and relief ratios. Contrary to the argument by Blair and McPherson, the natural depositional gaps on the gradient of alluvial fans were not found. The Gyeongju alluvial fan is probably a fluvial fan with gentle gradient, whereas the other Korean fans seem to be debris-flow related on the base of their gradients.

**Key Words** : alluvial fan, source basin, South Korea, natural depositional gaps, relief ratio

이 연구는 기상청 기후변화 감시·예측 및 국가정책지원 강화사업(RACS 2009-3002)의 지원으로 수행되었습니다.

\* 경희대학교 지리학과 및 기초과학연구소 교수(Professor, Department of Geography and Research Institute for Basic Sciences, Kyung Hee University), soyoon@khu.ac.kr

\*\* 사이타마대학교 지리학과 교수(Professor, Dept. of Geography, Saitama University), kyosaito@mail.saitama-u.ac.jp

\*\*\* 경북대학교 지리학과 부교수(Associate Professor, Department of Geography, Kyungpook National University), hwangsi@knu.ac.kr

\*\*\*\* 도쿄대학교 공간정보과학연구소 교수(Professor, Center for Spatial Information Science, The University of Tokyo), oguchi@csis.u-tokyo.ac.jp

\*\*\*\*\* 경희대학교 지리학과 및 기초과학연구소 교수(Professor, Department of Geography and Research Institute for Basic Sciences, Kyung Hee University), ytanaka@khu.ac.kr

## 1. 서론

### 1) 연구배경과 문제제기

1960년대 이후 오랜 기간 동안 우리나라에서는 지형 조건이 선상지 발달에 불리하므로 침식지형인 페디먼트 유사 지형이 우세하다고 인식되었다. 선상지가 한반도 남부(남한) 지역에는 존재하지 않을 것이라는 주장이 대두되면서, 일선 학교 교육 내용에서도 주로 북한에 있는 석왕사 선상지가 소개되었다. Yoon *et al.* (2005)은 남한의 선상지와 관련된 문제의 심각성을 인식하고, 선상지가 부인되었던 지형학적 쟁점을 중심으로 선상지 존재 가능성을 이론적으로 확인하였다. 이와 같은 과정을 거쳐 세계의 기준에 부합되는 2km<sup>2</sup> 이상 규모의 대표 선상지 13개를 선정하였다.

한반도 남부 선상지의 지형 특성을 밝히고 페디먼트와의 차이점을 규명하는데 있어서 몇몇 지역의 야외조

사에서 얻은 결과나 이론적 검토만으로는 한계가 있다. 그러므로 남한 전체에 대한 지형도 분석을 행하고 지형요소를 측정하여 인접한 아시아 변동대 지역의 선상지 연구결과와 비교하여 선상지 지형면의 특성을 밝혀야 한다고 생각된다. 선상지 규모는 선상지에 퇴적물을 공급하는 함양역 면적과 상관관계가 높다거나, 함양역 면적이 클수록 선상지 규모가 크고 기복비는 작으며, 선상지 지형면의 경사도 작아진다는 것 등 선상지 지형과 관련되어 정립된 여러 가지 이론들은 대부분 계량적 분석에서 확인된 것이다(Bull, 1964; Saito, 1997; Hwang, 2004; Saito and Oguchi, 2005 등). 또한, 동일한 함양역 규모에서도 선상지와 페디먼트의 규모에는 차이가 있고, 페디먼트의 면적이 상대적으로 크다는 사실은 미국의 아마고사 벨리(Amargosa valley)를 포함하는 여러 개의 하곡과 주변 산지에 분포하는 선상지와 페디먼트, 하안단구, 범람원을 계량적으로 분석하여 얻은 결과이다(Figure 1; Denny, 1967).

그럼에도 불구하고, 아직까지 기존에 선정된 한반도 선상지 13개의 지형 특성을 계측하여 외국의 사례와 비교, 분석한 연구는 없다. 그러므로 한반도 선상지가 세계적인 기준과 부합되는지에 대한 의문은 충분히 해소되지 않은 것으로 판단된다.

한편, 지형면 경사가 지나치게 완만한 선형(扇形)지형은 선상지가 아니라는 견해가 있다(Blair and McPherson, 1994; 1995a; 1995b). Chang(1976)은 한국 산록완사면의 지형면 특징 가운데 사면경사는 산지 경계부를 제외하면 1~2° 정도이고 지형면의 형태가 선형일수록 완만하며 선단으로 가면서 더욱 완만해진다고 분석하고, 이것은 일반적인 선상지 지형면의 사면경사와 달리 특이하다고 주장했다.

Blair and McPherson(1994, 1995a, 1995b)은 미국 건조지역의 선상지 237개를 조사하여 선상지는 지형면 구배 1.5°(0.026) 이상인 경우에 한정된다고 주장하여 학계의 새로운 쟁점이 되고 있다. 그리고 지형면 경사 0.5°(0.009) 이하는 범람원으로 분류되므로 지형면 경사가 0.5~1.5°인 선상지는 존재하지 않는다고 하였다. 또한, Blissenbach(1954)도 반건조지역의 선상지에 대해 5°(0.087) 이상을 급경사 선상지, 2~5°(0.035~

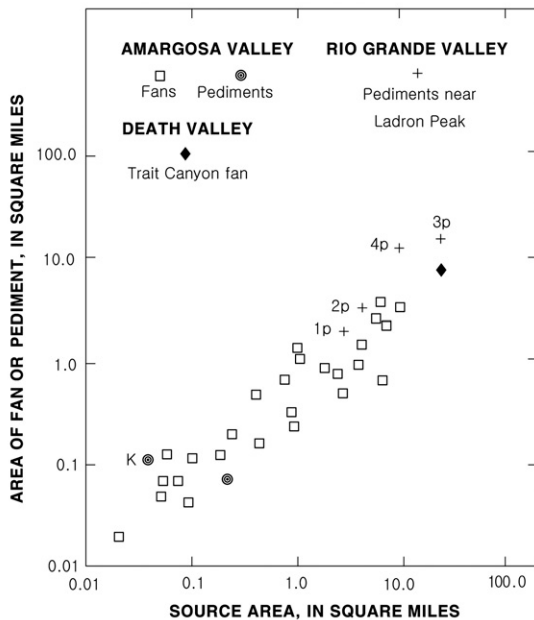


Figure 1. Relationships between fan or pediment areas and their source basin areas (Modified from Denny (1967)). 선상지 및 페디먼트 면적과 함양역과의 관계.

0.087)를 완경사 선상지, 2° 이하를 평탄한 선상지로 구분하고, 범람원은 일반적으로 1°(0.017) 이하라고 보고했다.

Tomida(1951)와 Toya *et al.*(1971) 등은 일본에서 지형면의 경사가 각각 0.5°(0.009)와 0.57°(0.01) 이하의 충적선상지를 확인하였으며, Boothroyd(1972)와 Boothroyd and Nummedal(1978)은 아이슬란드와 알래스카에서 1°(0.017) 이하인 완만한 선형 지형을 선상지로 칭하였고, Evans(1991)는 습윤한 열대지역에서 선상지 지형면 경사가 0.057°(0.001)와 0.57°(0.01) 사이에 있는 것으로 파악하였다. Saito and Oguchi(2005)는 대만, 일본, 필리핀을 대상으로 면적 2km<sup>2</sup> 이상이며, 지형면 경사 0.11°(0.002) 이상인 선상지를 대상으로 평균구배를 분석하였으나, Blair and McPherson(1994)이 주장한 지형면 경사 0.5-1.5°의 지형면 공백, 즉 “the natural depositional gap”은 인정되지 않았다. 아울러 선형 지형의 평균구배와 함양역의 면적도 정 상관관계에 있으며 대수정규분포를 나타내었다.

Blair and McPherson(1994, 1995a, 1995b)의 구분에 따라 지형면 경사를 이용하여 선상지를 분류한다면, 한반도 남부에서 분류된 13개 선상지 가운데 제천, 안강, 월배, 사천, 삼천포 지역은 지형면 경사가 1.5° 이하이므로 선상지에서 제외된다. 또한, 남한의 최대 규모인 경주 선상지도 지형면의 경사가 0.51°(8.9/1,000)이므로 Blissenbach(1954)의 기준을 적용하면 선상지라기보다 범람원에 해당된다(Table 1).

본 연구의 목적은 우리나라 선상지의 지형특성이 세계적인 기준에 부합하는가를 검토하는 것이다. 이와 같은 논의를 위하여 한반도 남부에 분포하는 13개 선상지와 함양역에 대하여, 선상지 지형면 경사와 함양역 면적, 선상지 지형면 경사와 함양역의 기복비, 선상지 면적과 함양역 면적과의 관계를 계량화하였다(Figure 4, 5, 8). 그리고 함양역 면적이 100km<sup>2</sup> 이상인 선상지를 형성하지 않는 36개 주요 하천에 대하여 함양역 면적과 함양역 기복비와의 관계를 일본, 대만, 필리핀의 경우와 비교, 검토하였다(Figure 9). 아울러 지형면 경사가 대단히 완만한 경주 선상지가 선상지 범주

Table 1. Geomorphic characteristics of alluvial fans in South Korea. 한반도 남부의 선상지 지형면 특성.

No.	Name of alluvial fan	Alluvial Fan							Source basin					
		Fan Area (km <sup>2</sup> )	Apex alt. (m)	Toe alt. (m)	Relative height (m)	Fan Length (km <sup>2</sup> )	Mean slope (m/km)	Mean slope (degree)	Basin Area (km <sup>2</sup> )	Highest alt. (m)	Valley mouth alt. (m)	Relief (m)	Basin length (km)	Relief ratio (m/km)
1	Geumwangpyeong	4.0	128	50	78	2.8	28.4	1.62	6.8	985	123	862	3.8	229.9
2	Jecheon	2.4	320	270	50	2.5	20.2	1.16	8.1	871	290	581	4.5	129.8
3	Angang	2.1	65	20	45	1.9	23.7	1.36	3.1	508	61	447	2.1	212.8
4	Gyeongju	7.6	70	30	40	4.5	8.9	0.51	74.7	745	63	682	11.0	62.0
5	Ipsil	2.2	148	70	78	2.4	32.5	1.86	4.4	650	140	510	3.0	170.0
6	Gacheon	3.6	260	100	160	4.0	40.0	2.29	2.3	1081	245	836	2.0	418.0
7	Hwayang(Cheongdo)	2.3	145	70	75	2.2	34.1	1.95	3.5	863	135	728	3.1	234.8
8	Woelbae	3.1	100	30	70	3.6	19.4	1.11	5.1	715	97	618	3.0	206.0
9	Jeogchung	2.1	100	20	80	2.5	32.0	1.83	2.4	662	90	572	2.1	275.6
10	Cheoneunsa	2.7	135	50	85	3.1	27.4	1.57	12.4	1356	118	1238	5.4	231.4
11	Gurye	2.8	140	40	100	3.1	32.0	1.83	13.0	1410	130	1280	6.6	195.4
12	Sacheon	3.9	60	10	50	2.3	22.2	1.27	7.0	798	56	742	4.4	167.7
13	Samchenpo	3.4	68	10	58	2.6	22.3	1.28	7.3	798	65	733	4.0	182.1

Relief ratio of source area(%): basin relief/basin length.

Source: Yoon *et al.*, 2005

에 포함되는지의 여부와 지형면 경사가 1.5° 이하로 완만한 우리나라 선상지가 세계적인 선상지의 일반적인 특징에 부합되는지 등을 객관적으로 파악하고자 한다.

## 2) 연구자료의 수집과 정리

동아시아에 위치한 한국, 일본, 타이완, 필리핀의 면적 2km<sup>2</sup> 이상, 지형면 경사 0.11°(0.002) 이상인 703개 선형(扇形)의 퇴적지형을 지형도에서 확인하여 층적선상지를 분류하고, 이에 대해 작성한 데이터베이스를 본 연구의 기초 자료로 하였다. 한국은 국토지리정보원(1:25,000), 일본은 지질조사소 발행 1:25,000 지형도의 5 내지 10m 등고선도를 기도로 선상지를 확인하였으며, 타이완은 Gakuseisha(1982; 1:50,000), 필리핀은 Board of Technical Surveys and Maps에서 발행된 1:50,000 지형도에서 10 내지 20m 등고선도를 기초로 선상지에 대한 자료를 수집하였다.

선상지 지형면 경사는 Saito(1985)의 방법에 따라 선단부와 선정부 간의 고도차를 선상지 길이로 나눈 값이며, 1:25,000과 1:50,000 두가지 축척의 지형도를 이용하여 측정하였다. 선상지 지형면 규모가 2km<sup>2</sup> 이상으로 비교적 크고, 지형면 경사가 있으므로 오차는 거의 무시할 수 있는 수준이다. 선상지 지형면의 경사 범위는 한국이 0.51°(0.009)에서 1.83°(0.032), 일본의 경우 0.11°(0.002)에서 4.0°(0.070), 타이완은 0.11°(0.002)에서 3.4°(0.059), 그리고 필리핀은 0.15°(0.003)에서 3.4°(0.059)의 범위에 있다. 경사는 직선사면의 지형면을 가정하였으므로, 지형면의 요형도(concavity)가 심각하게 크다면 지형면 경사값은 전체 선상지 경사의 특성을 반영할 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 각 선상지의 선정부 1/3 구간에서 측정된 평균경사를 추가로 참고하였는데, 이 방법은 한국과 일본의 1:25,000 상세 지형도에서는 측정이 가능하였다.

선정된 선상지는 모두 제4기에 형성되었으므로 단구화된 경우가 있고, 일부 선상지는 하천 침식작용으로 인해 단구화된 지형면의 가장자리가 변형되기도 하였다. 기초자료의 수집은 구조운동에 의해 심각하게 변형되었을 가능성이 있는 고위의 면은 제외하고 저위

의 지형면을 대상으로 하였다. 선상지의 함양역은 지형도에서 윤곽을 확인하여 면적을 측정하고, 유역분지 고도 차이를 분지 길이로 나누어 함양역 기복비(Schumm, 1956)를 구하였다. 지질 특성에 따른 선상지 형성과 함양역에 대한 상세한 특성은 Saito(2003)에 기술되어 있다.

## 2. 한반도 남부 선상지의 계량적 지형 특성

하천의 곡구부는 선상지가 형성되는 공간이다. 한국, 일본, 대만, 필리핀에서 함양역 100km<sup>2</sup> 이상인 주요 하천의 곡구부 대부분은 해발고도 500m 전후의 등

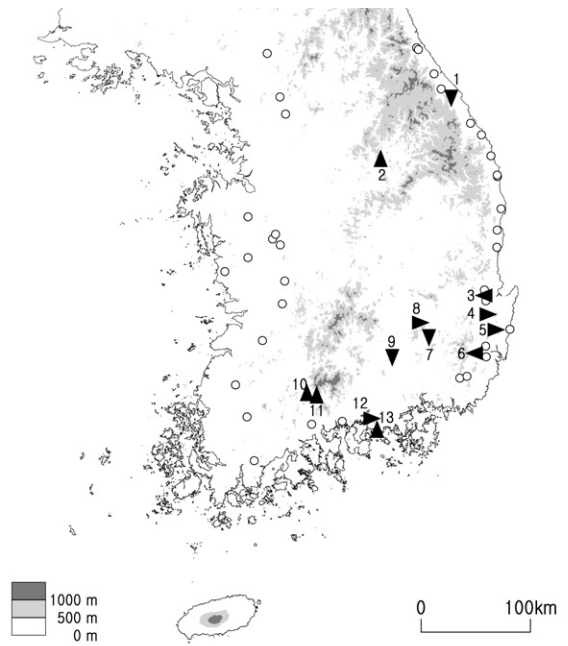


Figure 2. Distribution of valley mouths of drainage basins larger than 100km<sup>2</sup> and alluvial fans in South Korea (Yoon *et al.*, 2005) (Characteristics of alluvial fan No. 1-13 are explained in Table 1. Symbol ○ means a valley mouth and symbol ► means alluvial fan over 2km<sup>2</sup> and acute angle points to its apex). 한반도 남부의 선상지와 함양역 100km<sup>2</sup> 이상의 주요 하천 곡구부 분포도.

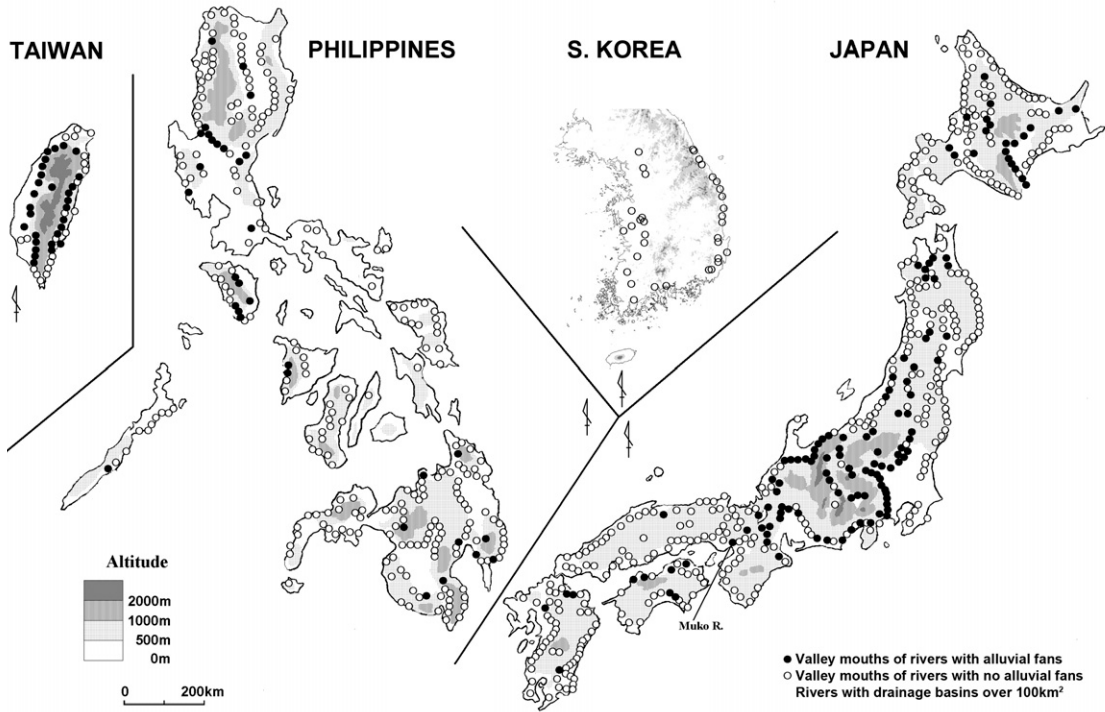


Figure 3. Distribution of valley mouths of drainage basins larger than 100km<sup>2</sup> in South Korea, the Philippines, Taiwan and Japan. Compiled from Saito and Oguchi (2005) and Yoon *et al.* (2005). 한반도 남부, 필리핀, 대만, 일본의 함양역 면적 100km<sup>2</sup> 이상인 주요 하천 곡구부와 선상지 분포도.

고선을 따라 선적으로 나타난다. 한편 해발고도 1,000~2,000m 이상의 높은 산지가 집중되어 있는 대만과 일본 중남부 지역에는 주요 하천 곡구부에 선상지 밀도가 매우 높은데 반하여, 한반도 남부지역은 주요 하천 36개 모두의 곡구부에 선상지가 나타나지 않는다(Yoon *et al.*, 2005; Figure 2; Figure 3).

선상지 형성은 산지의 용기량과 함양역의 면적, 퇴적장의 규모, 곡구(또는 선정부)를 횡단하는 단층선의 유무 등 함양역의 지형 특성과 기후조건, 산지의 용기량, 지질, 화산의 유무 등에 영향을 받지만(Saito, 1999), 한반도는 습윤지역이고 변동대에 벗어나 있으며 높은 산지가 적어서 함양역이 큰 하천들이 선상지를 만드는데 불리한 환경이다. 아시아 변동대에 위치하는 국가들의 1만 km<sup>2</sup> 당 선상지 개수는 대만 19.7개(71/3.6만 km<sup>2</sup>), 일본의 13.0개(490/37.8만 km<sup>2</sup>), 필리핀 4.3개(129/ 30.0만 km<sup>2</sup>)에 비해, 한반도 남부는 1.3

개(13/9.9만 km<sup>2</sup>)로서 선상지의 분포 밀도가 매우 낮다(Yoon *et al.*, 2005).

분포 밀도가 예외적으로 낮은 한반도 남부의 선상지 지형 특성을 파악하기 위하여 변동대인 환태평양 조산대에 위치한 동아시아 국가들의 선상지 지형 특성과 동일한 기준으로 비교하였다. 선상지 특성을 결정짓는 여러 인자 가운데 선상지 지형면 경사, 선상지 면적, 함양역 면적, 함양역 기복비를 지표로 하여 그래프 상에서 상호관련성을 검토하였다.

### 1) 선상지 지형면 경사로 본 한반도 남부 선상지의 지형 특성

Figure 4는 선상지 지형면 경사와 선상지를 형성하는 하천의 함양역 면적과의 관계를 나타낸 것이다. 일반적으로 이 두 요소는 서로 부(負)의 상관관계에 있

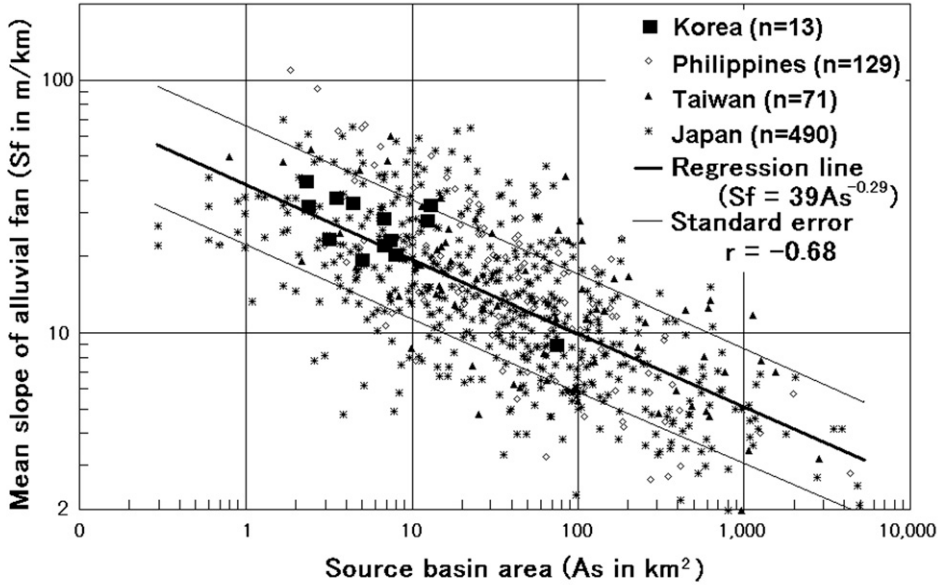


Figure 4. Relationship between fan slope and source basin area (km<sup>2</sup>) (Modified from Saito and Oguchi (2005)). 선상지 지형면 경사와 함양역 면적 관계.

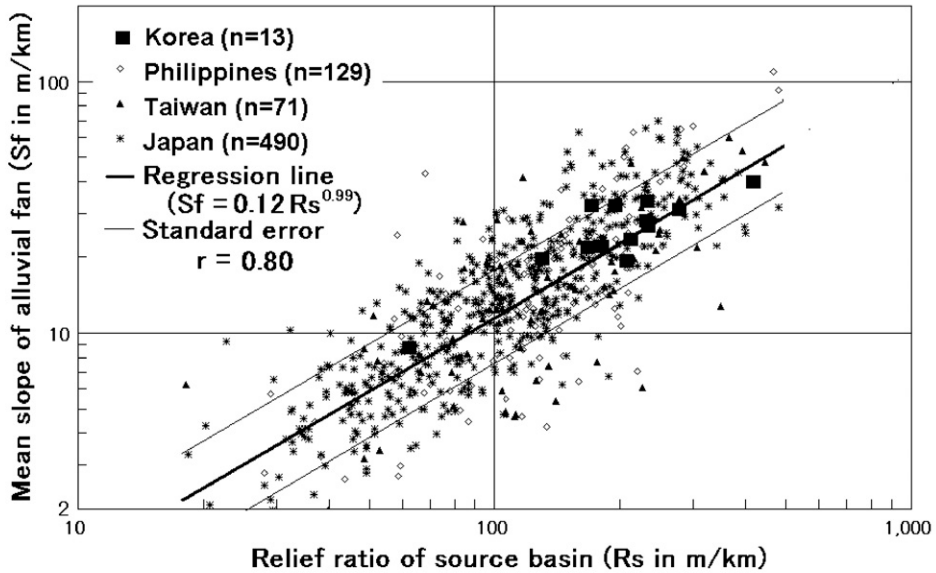


Figure 5. Relationship between the fan slope and relief ratio of source basin (Modified from Saito and Oguchi (2005)). 선상지 지형면 경사와 함양역 기복비 관계.

다. 즉 함양역의 규모가 클수록 지형면 경사는 완만하고, 규모가 작으면 경사가 급한 경향이 있다. 선상지 지형면 경사(Mean slope of alluvial fan; Sf in m/km)

와 함양역 면적(Source basin area; As in km<sup>2</sup>) 간의 관계를 나타내는 회귀식은  $Sf=39As^{-0.29}$ 이고, 표준오차의 상관계수(r)는 -0.68이다. 선상지 지형면 경사와 함

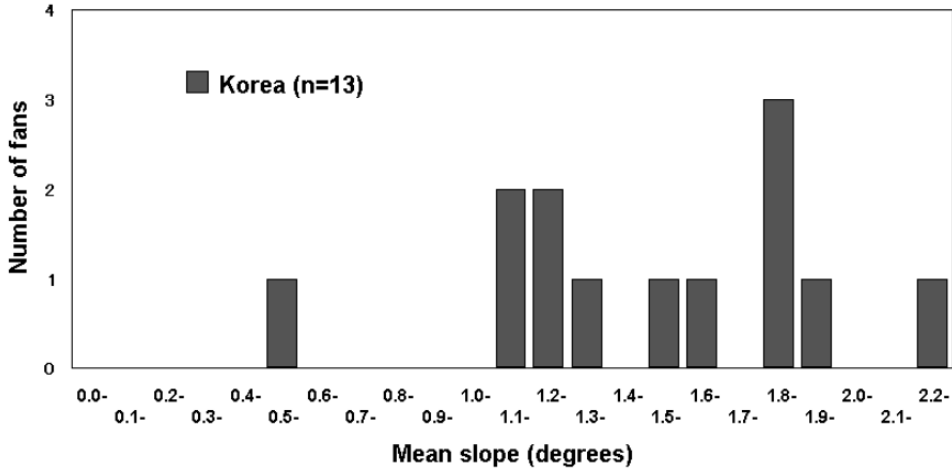


Figure 6. Frequency distribution of the fan slope in South Korea. 한반도 남부 선상지 지형면 경사의 빈도 분포.

양역의 면적은 높은 부의 상관관계를 가지며, 남한의 선상지도 모집단의 범위에 포함된다.

한편, 남한의 선상지 지형면과 선상지 형성 하천의 함양역 면적은 아시아 다른 국가에 비해 작고, 선상지의 지형면 경사가 급한 편이다. 이것은 함양역 규모가 클수록 지형면 경사는 완만해진다는 일반적인 연구결과와 부합된다(Saito, 1988; Saito and Oguchi, 2005). 또한, 경주 선상지의 함양역 규모는 아시아 선상지의 평균치보다 더 크고, 지형면 경사도 더 완만한 편이지만 변동대의 아시아 국가의 경우와 분포 경향을 따르며 정규 분포 범위 내에 포함된다.

Figure 5에서는 선상지 지형면 경사와 함양역 기복비와의 관계를 보여준다. 일본에서는 선상지 지형면 경사에 대한 함양역 기복비와 함양역 면적의 관여 정도가 큰 것으로 밝혀져 있으며, 함양역의 기복비가 클수록 선상지 지형면의 경사도 급하다(Saito, 1988). 선상지 지형면 경사(Sf)와 함양역 기복비(Relief ratio of source basin; Rs in m/km) 간의 관계는 회귀식  $Sf=0.12Rs^{0.99}$ 로 나타낼 수 있고, 표준오차의 상관계수(r)는 0.80으로 상당히 높은 정 상관관계를 나타낸다.

남한의 선상지 그룹은 지형면 경사가 급하고 선상지를 이루는 하천의 함양역 기복비도 크다. 그럼에도 불구하고, 남한 선상지의 지형면 경사는 동일한 함양역 기복비로 비교할 때 일본, 대만, 필리핀의 분포 경향과

유사하다. 따라서 한반도 선상지는 지형면 경사가 완만하여 선상지가 아니라는 주장은 성립되지 않는다. 특히 선상지 지형면 경사가 우리나라에서 가장 완만한 경주 선상지도 함양역 기복비와 지형면 경사와의 관계에서 변동대 아시아 국가의 경우와 잘 조화되고 있다.

Yoon and Hwang(2004)은 경주지역에 대하여 퇴적층의 층후 및 퇴적물의 특징과 평면적으로 선상 형태를 이루고 있는 것으로부터 이 지형면을 선상지로

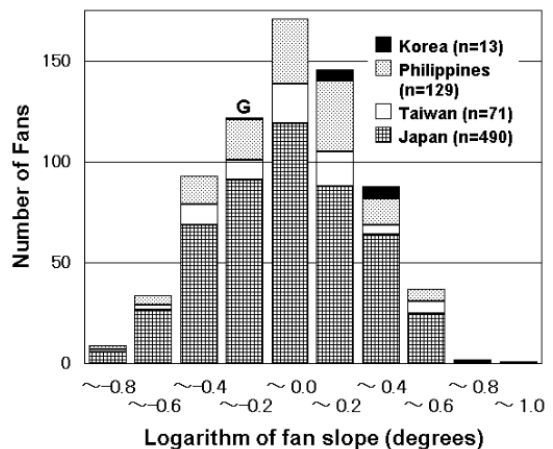


Figure 7. Frequency distribution of the fan slope, G is the Gyeongju alluvial fan (Modified from Saito and Oguchi (2005)). 선상지 지형면 경사의 빈도 분포.

분류하였다. 경주 시가지가 입지하고 있는 경주 선상지 지형면은 북천 하상과 비교차가 뚜렷하며, 역층이 가장 두꺼운 곳은 30m 이상에 이른다. 이러한 지형은 퇴적작용에 의해서만 만들어질 수 있으므로 경주 선상지는 침식작용에 의해 형성된 페디먼트성 산록완사면 일 수는 없다.

경주 선상지의 지형면 경사는  $0.51^\circ$  ( $8.9/1,000$ )이므로, 선상지 지형면 경사가  $1.1^\circ$  이상인 한반도 남부의 다른 12개와 비교하면 상대적으로 완만하다(Figure 6). 지형면의 경사를 기준으로 선상지를 경사  $1.5^\circ$  이상으로 제한한 Blair and McPherson(1994)의 구분에 의하면 경주 선상지는 논란의 여지가 있다. 그들은 이러한 정의가 건조 및 반건조지역의 선상지에 한정되지 않는다고 기술하였으나, 적용한 선상지 예는 그러한 기후지역에 편중되어 있으므로 습윤지역의 선상지 자료는 잘 반영되지 않았다. 이에 대하여 Kim(1995), McCarthy and Cadle(1995) 등은 자료의 편중성 등 이론상의 문제점을 제기하였으나, 여전히 Blair and

McPherson(1995a, 1995b)은 이들의 주장이 계량적 분석 자료에 근거하지 않았다고 반박하고 종래의 견해를 유지하고 있다. Milan and Ruzycski(1999)과 Harvey(2002)도 Blair and McPherson(1995a, 1995b)의 주장에 대해 문제를 제기하고 있다.

Figure 7은 선상지 지형면 경사를 로그함수값으로 변환하여 아시아 선상지와 비교한 그래프이다. 습윤지역인 일본, 대만, 필리핀의 선상지 지형면 경사를 검토한 Saito and Oguchi(2005)는 선상지 지형면 경사와 함양역 면적, 그리고 함양역 기복비의 빈도분포가 하나의 대수정규분포를 나타낸다는 사실을 밝혔다. 우리나라 선상지들의 지형면 경사는 비교적 높은 값을 보이지만, 변동대 아시아 선상지의 모집단 범주 내에 있다. 특히 선상지 지형면 경사도를 지표로 선상지 범위를  $1.5^\circ$  이상으로 한정할 수 없음을 명확히 제시하고 있고, 경주 선상지도 그러한 모집단의 범주에 포함되므로 선상지로 볼 수 있다(Figure 7의 G).

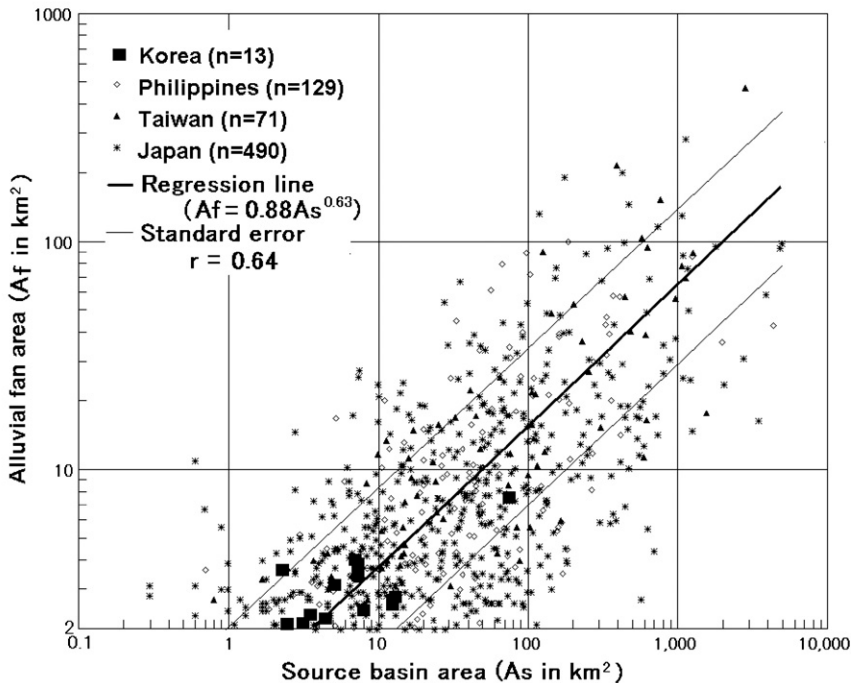


Figure 8. Relationship between alluvial fan area and source basin area. 선상지 면적과 함양역 면적과의 관계.



## 2) 함양역 특성으로 본 한반도 남부 선상지의 특징

Figure 8은 한반도, 일본, 대만, 필리핀에서 함양역 면적과 선상지 면적간의 관계를 나타낸 것이다. 선상지 규모(Alluvial fan area;  $A_f$  in  $km^2$ )와 함양역 면적(Source basin area;  $A_s$  in  $km^2$ ) 간의 관계를 나타내는 회귀식은  $A_f=0.88A_s^{0.63}$ 이고, 표준오차의 상관계수( $r$ )는 0.64이다. 선상지 면적은 대체로 함양역 규모에 비례하며, 양자는 비교적 높은 상관계수를 갖는 정 상관 관계를 나타냈다. 선상지의 규모와 이를 형성하는 하천의 함양역 크기와의 관계는 오래 전부터 정량적으로 표현되었고(Bull, 1964; Denny, 1965; Beaumont, 1972), 일본에서도 선상지 형성에 영향을 미치는 요소들 가운데 함양역 면적의 관여 정도가 가장 컸다(Saito, 1988).

아시아 4개국 703개 선상지 가운데 한국 남부의 선상지는 지형면과 함양역 모두 규모가 가장 작은 그룹에 속한다. 그러나 동일한 함양역 면적으로 비교했을 때, 한국의 선상지 크기가 일본, 대만, 필리핀 선상지의 모집단 범주 내에 있으며 전체 경향과 잘 조화된다. 특히, 선상지 면적과 함양역의 면적 규모가 가장 큰 경

주 선상지는 아시아 선상지 전체의 선상지 모집단의 전반적인 분포 경향과도 잘 대비된다.

남한에서는 하천의 함양역 면적이 작으므로 선상지 면적도 작다. 함양역의 규모가 작고, 산지의 해발고도가 낮지만, 하천 하류부의 해발고도가 매우 낮으므로, 선상지 형성하천의 경우 유역분지 내에서 기복비는 크다고 판단된다. 즉, 함양역이 작아도 상대적으로 높은 함양역의 기복비가 선상지 형성에 유리하게 작용하였을 것이다.

Saito(1988)는 선상지의 형성에 기여하는 중요한 요소로 퇴적장(堆積場), 기후조건, 하천 함양역의 기복비를 들고 있다. 함양역 기복비는 선상지 형성에 가장 크게 영향을 미치는 요소이며 함양역 면적과 부의 상관 관계에 있다. 한반도 남부에는 함양역  $100km^2$  이상인 하천 가운데 선상지를 형성하는 하천은 없으며, 함양역 면적  $74.7km^2$ 인 북천이 형성한 경주 선상지가 면적  $7.6km^2$ 로 최대 규모이다. 이러한 선상지의 규모는 일본에서 최대인  $282km^2$ 의 키누가와[鬼怒川] 선상지(함양역 면적  $1,138km^2$ ), 대만 최대인  $472km^2$ 의 주어슈이시[濁水溪] 선상지(함양역 면적  $2,871km^2$ ), 필리핀에서 가장 면적이 넓은  $101km^2$ 의 산토 토마스 강

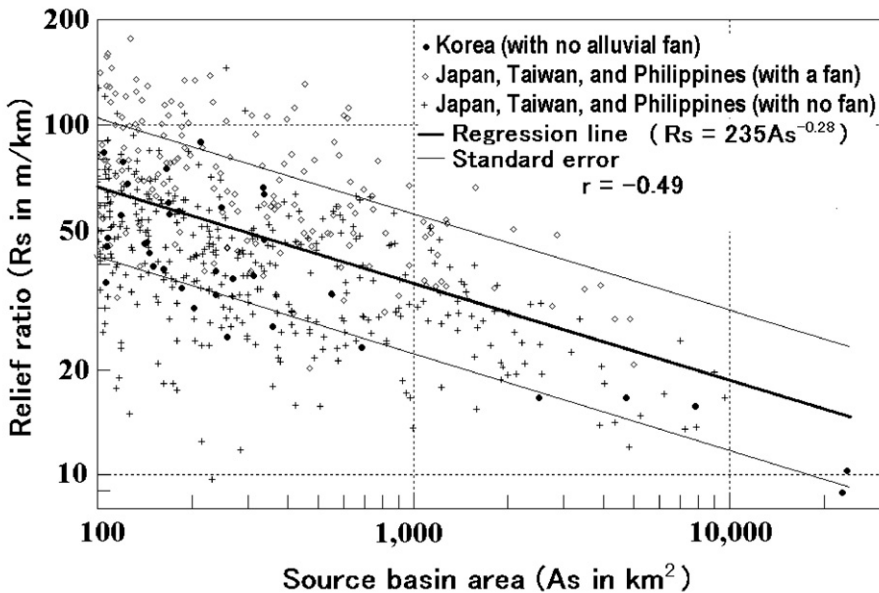


Figure 9. Relationship between source basin area and the relief ratio. 함양역 면적과 함양역 기복비와의 관계.

(Santo Tomas River) 선상지(함양역 면적 189km<sup>2</sup>)와 비교하면 상당히 작다.

Figure 9는 100km<sup>2</sup> 이상의 함양역 면적(As)과 함양역 기복비(Relief ratio of source basin; Rs in m/m)와의 관계를 나타낸 그림이다. 이들 간의 관계는 회귀식  $Rs=235As^{-0.28}$ 로 나타낼 수 있고, 표준오차의 상관계수(r)는 -0.49이다. 앞서의 선상지 관련 지수와 비교하면 상대적으로 낮지만, 자연현상에서는 비교적 높은 부의 상관관계를 나타낸다고 할 수 있다.

우리나라의 하천을 포함하여 동아시아 주요 하천들의 함양역 면적에 대한 기복비는 선상지를 형성하는 하천들이 그렇지 않은 하천과 뚜렷이 구분되며, 전자가 후자에 비해 상대적으로 높다. 남한에서는 100km<sup>2</sup> 이상의 함양역을 갖는 하천은 36개인데 선상지를 형성하지 않는다. 이러한 하천의 함양역 기복비는 대략 40-100m/km로서, 선상지를 형성하는 하천보다 작고, 선상지를 형성하지 않는 하천의 평균보다 높은 값을 나타낸다. 즉, 선상지를 갖는 하천의 함양역은 최소한 대략 50m/km 이상의 기복비를 필요로 하는 것으로 파악되고, 100m/km 이상의 기복비를 갖는 하천은 거의 대부분 선상지를 형성하고 있다. 남한의 13개 선상지 가운데 함양역 기복비가 가장 작은 경주 선상지는 그 값이 62m/km이다.

따라서 남한에서는 36개 주요 하천의 곡구부에서 선상지가 형성되지 않은 원인은 변동대에 위치한 아시아 기타 국가에 비해 함양역의 해발고도가 낮을 뿐 아니라 함양역 기복비가 작기 때문이다. 배후산지 고도가 낮고, 함양역 기복비가 작다면, 산지에서 생성되는 토사량이 적고 아울러 하상구배가 완만하므로 조립물질을 곡구까지 운반할 만큼 하천 에너지가 충분하지 못하여 선상지를 형성하기 어렵다.

선상지는 토석류 퇴적물로 구성된 토석류 탁월 선상지와 유수 퇴적물이 퇴적한 하성 선상지로 크게 구분된다(Harvey, 1984; Kostachuk *et al.*, 1986; Kochel, 1990). 일본에서도 지형면 경사가 급한 토석류 탁월 선상지와 하천 퇴적물로 이루어진 완경사 선상지로 나누고(Nakayama and Takagi, 1987), 지형면 경사가 10m/km(0.57°)보다 완만한 것을 완경사 선상지로 분류한다(Kadomura, 1971). 이렇게 볼 때, 선상지 지형

면 경사 0.51°의 경주 선상지는 유수에 의해 운반된 사력이 퇴적되어 형성된 하성선상지로 볼 수 있다.

한반도 남부에서 지형면이 0.57° 이하인 완경사 선상지는 경주 선상지 뿐인데, 완경사 선상지가 적은 것은 동아시아 다른 국가들에 비해 함양역이 작은 하천이 선상지를 형성하기 때문이다(Figure 10). 경주 선상지를 만든 북천은 함양역 면적 74.7km<sup>2</sup>이고, 이것은 한반도 남부에서 선상지를 형성한 하천 가운데 최대 규모이다. 일본에서는 함양역 면적 100km<sup>2</sup> 이상인 하천이 474개이고, 그 가운데 123개(26%) 하천이 선상지를 형성한다. 대만에서는 50개 중 29개(58%), 필리핀

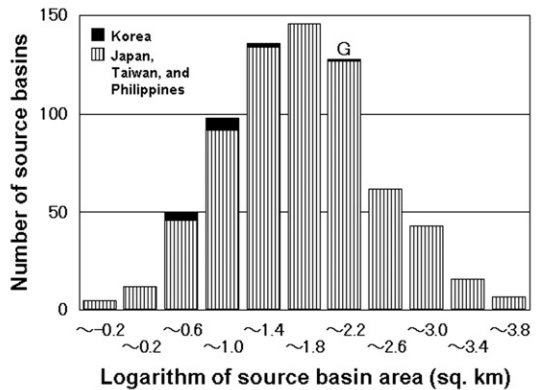


Figure 10. Frequency distributions of source basin. 함양역 면적의 빈도 분포도.

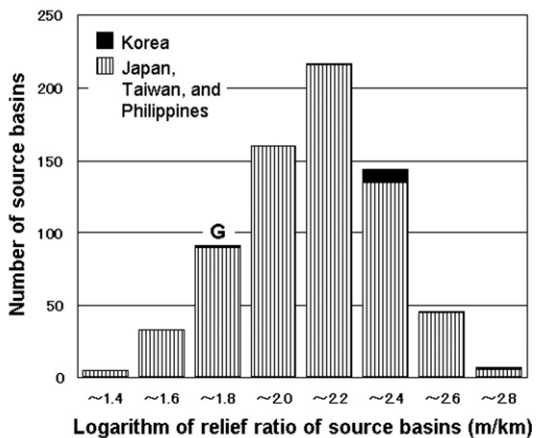


Figure 11. Frequency distributions of the relief ratio of the source basin. 함양역의 기복비 빈도 분포도.

에서는 266개 가운데 32개(12%)가 선상지를 형성하지 만(Saito, 1999). 한반도 남부에서는 함양역 면적 100km<sup>2</sup> 이상의 36개 하천 가운데 선상지를 형성하고 있는 것은 없다.

선상지를 형성하는 남한 하천의 경우, 함양역 면적 은 작고 함양역 기복비가 큰 경향을 Figure 10과 11에 서 확인할 수 있다. 0.57° 이상을 기준으로 선상지를 분류하면, 경주 선상지를 제외한 남한의 선상지는 토 석류 탁월 선상지일 가능성이 높다. 상대적으로 경사 가 급한 소하천은 함양역의 경사도 커서 하천의 우수 작용 뿐 아니라 토석류 등 중력에 의한 매스무브먼트 의 영향이 커지기 때문일 것이다.

### 3. 결론

한반도 남부에서 추출된 면적 2km<sup>2</sup> 이상인 13개 선 상지 지형면을 일본, 대만, 타이완에서 확인한 690개 의 선상지와 비교하여 지형 특성을 밝히고, 선상지 형 성에 영향을 미치는 요인과의 관계를 검토하였다. 또 한 기존의 연구 성과와 함께 동아시아에서 차지하는 경주 선상지의 지형학적 의미에 대하여 고찰한 결과는 다음과 같다.

1) 한반도 남부 13개의 선상지는 아시아의 선상지 구성 요건을 충족시키며, 일본, 대만, 타이완의 선상지 지형 특성과도 잘 조화된다. 남한 지역에서 선상지의 밀도와 빈도가 낮은 것은 일본, 대만, 필리핀과 달리 변동대에서 벗어나 있어서 산지의 고도가 낮고, 곡구 부를 횡단하는 단층이 적은데 기인한다.

2) 한반도 남부 선상지는 일본, 대만, 필리핀의 선상 지와 비교할 때, 지형면 규모가 상대적으로 작고, 경사 가 급하며, 함양역 규모도 작고, 함양역 기복비는 크 다. 남한에서 면적이 가장 크고, 지형면 경사가 가장 완만한 경주 선상지는 동아시아 선상지의 지형 특성과 조화를 이루고 있다.

3) 한반도 남부에서 함양역 규모 100km<sup>2</sup> 이상인 36 개의 하천이 선상지를 형성하지 못하는 것은 동아시아 선상지 모집단에 비해 상대적으로 낮은 함양역 기복비

와 낮은 산지고도 때문인 것으로 파악된다. 선상지를 형성하는 하천의 함양역은 그렇지 않은 경우보다 높은 기복비를 요구하며, 함양역 기복비가 100m/km 이상 인 하천은 거의 대부분 선상지를 형성하고 있다. 그러 나, 한반도 남부 주요 하천의 함양역 기복비는 대략 40-100m/km로서 모집단 가운데 비교적 낮은 값을 갖 는다.

4) Blair and McPherson(1994, 1995a, 1995b)은 선 상지 경사를 1.5° 이상으로 한정하고, 지형면 경사 0.5-1.5°의 공백을 주장하였다. 그리고 Blissenbach (1954)는 선상지는 지형면 경사가 1° 이상이라고 주장 하였다. 그러나 한반도 남부에서 선상지 지형면 경사 0.5-1.5°의 공백은 인정되지 않았다.

5) 선상지 지형면 경사 0.51°인 경주 선상지는 한반 도의 다른 선상지에 비해 대단히 완만하므로 하성 선 상지의 가능성이 높다. 경주 선상지만이 하성 선상지 인 것은 함양역 면적이 74.7km<sup>2</sup> 이상인 다른 주요 하 천에서는 선상지가 형성되지 않았기 때문이다. 또한 지형면 경사가 상대적으로 급한 남한의 선상지는 함양 역의 기복비도 커서 토석류 탁월 선상지의 가능성이 높다.

### 사사

심사과정을 통하여 논문의 질을 한층 높여 주신 심사 위원들께 감사드립니다.

### 참고문헌

- Beaumont, P., 1972, Alluvial fans along the foothills of the Elburz Mountains, Iran, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 12, 251-273.
- Blair, T. C. and McPherson, J. G., 1994, Alluvial fans and their natural distinction from rivers based on morphology, hydraulic processes, sedimentary processes, and facies assemblages, *Journal of Sedimentary Research, Section A: Sedimentary Petrology and Processes*, 64, 450-489.

- Blair, T. C. and McPherson, J. G., 1995a, Reply: Alluvial fans and their natural distinction from rivers based on morphology, hydraulic processes, sedimentary processes, and facies assemblages, *Journal of Sedimentary Research, Section A: Sedimentary Petrology and Processes*, 65, 583-586.
- Blair, T. C. and McPherson, J. G., 1995b, Reply: Alluvial fans and their natural distinction from rivers based on morphology, hydraulic processes, sedimentary processes, and facies assemblages, *Journal of Sedimentary Research, Section A: Sedimentary Petrology and Processes*, 65, 708-711.
- Blissenbach, E., 1954, Geology of alluvial fans in semiarid regions, *Geological Society of America Bulletin*, 65, 175-189.
- Boothroyd, J. C., 1972, Coarse grained sedimentation on a braided outwash fan, northeast Gulf of Alaska, *University of South Carolina Coastal Research Division Technical Report*, 6, 127.
- Boothroyd, J. C. and Nummedal, D., 1978, Proglacial braided outwash: A model for humid alluvial fan deposits, in Miall, A. D. (ed.), *Fluvial Sedimentology*, Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir, 5, 641-668.
- Bull, W. B., 1964, Geomorphology of segmented alluvial fans in western Fresno County, California, *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 352E, 89-129.
- Chang, J. H., 1976, A study on the geomorphic characteristics and origins of piedmont gentle slope, *Sungshin Women's Univ. Bulletin*, 9, 287-306 (in Korean).
- Denny, C. S., 1965, Alluvial fans in the Death Valley region, California and Nevada, *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 466, 62.
- Denny, C. S., 1967, Fans and pediments, *American Journal of Science*, 265, 81-105.
- Evans, J. E., 1991, Facies relationships, alluvial architecture, and paleohydrology of a Paleogene, humid-tropical alluvial fan system: Chumstik formation Washington state, U.S.A., *Journal of Sedimentary Petrology*, 61, 732-755.
- Gakuseisha, 1982, Collection of 1:50,000 topographic maps of Taiwan, *Gakuseisha*, Tokyo, 112 (學生社, 1982, 台湾五万分の一地区集成, 學生社, 東京).
- Harvey, A. M., 1984, Debris flows and fluvial deposits in Spanish Quaternary alluvial fans: Implications for fan morphology, in Koster, E. H. and Steel, R. J. (eds.), *Sedimentology of Gravels and Conglomerates*, Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoirs, 10, 123-132.
- Harvey, A. M., 2002, The relationships between alluvial fans and fan channels within Mediterranean mountain fluvial systems, in Bull, L. J. and Kiekby, M. J. (eds.), *Dryland Rivers: Hydrology and Geomorphology of Semiarid Channels*, John Wiley & Sons, Chichester, 205-226.
- Hwang, S., 2004, The Geomorphic development of alluvial fans in Cheongdo basin, Gyeongsangbuk-do (Province), South Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 39(4), 514-527 (in Korean).
- Kadomura, H., 1971, Microforms on alluvial fans and their formation processes: Focusing on gentle slope fans in the Tokaido district, in Yazawa, D., Toya, H., and Kaizuka, S. (eds.), *Alluvial Fans*, Kokon Shoin, Tokyo, 55-96 (門村 浩, 1971, 扇状地の微地形とその形成, 矢澤大二・戸谷 洋・貝塚爽平編, 扇状地, 古今書院, 東京).
- Kim, S. B., 1995, Discussion on "Alluvial fans and their natural distinction from rivers based on morphology, hydraulic processes, sedimentary processes, and facies assemblages", *Journal of sedimentary Research, section A: Sedimentary Petrology and Processes*, 65, 706-708.
- Kochel, R. C., 1990, Humid fans of the Appalachian Mountains, in Rachoeki, A. H. and Church, M. (eds.), *Alluvial Fans: A Field Approach*, John Wiley & Sons, Chichester, 109-129.
- Kostaschuck, R. A., MacDonald, G. M., and Putnam, P. E., 1986, Depositional process and alluvial fan - Drainage basin morphometric relationships near

- Banff, Alberta, Canada, *Earth Surface Processes and Landforms*, 11, 471-484.
- McCarthy, T. S. and Cadle, A. B., 1995, Discussion on "Alluvial fans and their natural distinction from rivers based on morphology, hydraulic processes, sedimentary processes, and facies assemblages", *Journal of sedimentary Research, section A: Sedimentary Petrology and Processes*, 65, 581-583.
- Milana, J. P. and Ruzycski, L., 1999, Alluvial-fan slope as a function of sediment transport efficiency, *Journal of Sedimentary Research*, 69, 553-562.
- Nakayama, M. and Takagi, I., 1987, Microgeomorphic analysis of the Kofu Basin alluvial fans, central Japan, *Annals of the Toboku Geographical Association*, 39, 98-112 (in Japanese).
- Saito, K., 1985, Comparison between dynamic equilibrium model and climatic linked model for alluvial fans in Japan, Gakuen Ronshu, *Journal Hokkai-Gakuen L(niv)*, 52, 35-81.
- Saito, K., 1988, *Alluvial fans of Japan*, Kokin Shoin Press, Tokyo, 280 (齊藤享治, 1988, 日本の扇狀地, 古今書院, 東京).
- Saito, K., 1997, Distribution and sizes of alluvial fans in Japan, Taiwan, and the Philippines, *Occasional Paper of Department of Geography, Saitama University*, 17, 1-12.
- Saito, K., 1999, Development of mountains and alluvial fans in Japan, Taiwan, and the Philippines. *Geographical Review of Japan*, 72B, 162-172.
- Saito, K., 2003, Model of alluvial fan development based on channel pattern and gravel size, *Report of Research Project, Grant-in-aid for Scientific Research*, 138 (in Japanese).
- Saito, K. and Oguchi, T., 2005, Slope of alluvial fans in humid regions of Japan, Taiwan and the Philippines, *Geomorphology*, 70, 147-162.
- Schumm, S. A., 1956, Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy New Jersey, *Geological Society of America Bulletin*, 67, 597-646.
- Tomida, Y., 1951, On the geomorphological classification of fans in Taiwan, *Journal of Geography*, 60, 2-9 (in Japanese).
- Toya, H., Mashida, H., Naito, H., and Hori, N., 1971, Distribution of alluvial fans in Japan, in Tazawa, D., Toya, H., and Kaizuka, S. (eds.), *Alluvial fans*, Kokon Shoin, Tokyo, 97-120 (戸谷 洋・町田 洋・内藤博夫・堀 信行, 1971, 日本における扇狀地の分布, 矢澤大二・戸谷 洋・貝塚爽平編, 扇狀地, 古今書院, 東京).
- Yoon, S. O. and Hwang, S., 2004, The Geomorphic development of alluvial fans in the Gyeongju city and Cheonbuk area, Southeastern Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 39(1), 56-69 (in Korean).
- Yoon, S. O., Saito, K., Hwang, S., Tanaka, Y., and Oguchi, T., 2005, The theoretical study and distribution characteristics of alluvial fans in Korean peninsula, *Journal of the Korean Geographical Society*, 40(3), 335-352 (in Korean).
- 교신: 황상일, 702-701, 대구광역시 북구 산격동 경북대학교 지리학과(이메일: hwangsi@knu.ac.kr, 전화: 053-950-5230)
- Correspondence: Sangill Hwang, 702-701, Department of Geography, College of Social Sciences, Kyungpook National University, Daegu, 702-701, Korea (e-mail: hwangsi@knu.ac.kr, phone: +82-53-950-5230)
- 최초투고일 2010. 4. 13  
수정일 2010. 5. 19  
최종접수일 2010. 7. 7