

韓國 南東部 慶州市 佛國寺斷層線 北部의 活斷層地形

尹順玉* · 黃相一**

The Active Fault Topography of the Northern Part of the Bulguksa Fault System in Kyungju City, Southeastern Korea

Soon-Ock Yoon* · Sang-Il Hwang**

요약 : 佛國寺斷層線¹⁾ 북쪽 지역에서 斷層運動에 의한 선상지의 地形面 변위를 조사하였다. 항공사진판독과 야외 답사를 통해 불국사단층선을 따라 第四紀 지형면을 변위시킨 活斷層의 逆斷層이 확인되었다. 연구지역에서 불국사단층선은 북서-남동 주향과 북-남 주향으로 구분된다. 이들은 慶州市 진티마을에서 교차하고 예각의 단층 경사는 이곳에서 수직으로 변한다. 따라서 두 방향에서 작용하는 횡압력이 예각의 불국사단층선을 형성하였으나, 힘이 충돌하는 진티마을에서는 수직의 경사각을 이루게 되었다. 북서-남동 주향의 단층선을 따라 나타나는 역단층은 북북동 내지 북동 방향에서 오는 횡압력을 받아 上盤인 토함산쪽 지괴가 下盤인 남서쪽 扇狀地面 위로 밀고 올라간다. 또한, 북-남 주향의 역단층은 동쪽에서 서쪽으로 작용하는 힘에 의해 상반인 토함산지괴가 서쪽 지형면 위로 밀고 올라간다. Early Riss水期(marine oxygen isotope stage 8, 30-25萬年 BP)에 형성된 것으로 추정되는 高位面의 垂直變位는 蝦洞에서 약 10.5m, 迎峴洞 9.5-10.5m, 진티마을에서 약 10m이다. Late Riss水期(marine oxygen isotope stage 6, 20-14萬年 BP)에 형성된 중위면은 蝦洞에서 수직변위량이 6m였다. 그러므로 고위면과 중위면의 변위속도는 0.03-0.043mm/年이다.

주요어 : 佛國寺斷層線, 第四紀, 活斷層, 逆斷層, 斷層線의 交叉, 扇狀地의 垂直變位

Abstract : The geomorphic deformation of the alluvial fans by tectonic movement was investigated along the lineaments of the northern part of the Bulguksa fault system. Based on the aerial photographs interpretation and field surveys Bulguksa fault system was identified as an active reverse fault which has displaced the Quaternary fan deposits. Bulguksa fault system strikes for the direction of NW-SE and N-S. These two lineaments of active fault are crossing at Jinty village in Kyungju city and the fault plane forms here almost vertical dip. The lateral pressures from the two directions have possibly influenced on the formation of the vertical dip at Jinty village. It should be resulted from that the two pressures responsible for the active reverse fault at which the one with the NW-SE strike thrusts the hanging wall of Tohamsan block southwestward and the other pressure with the N-S strike thrusts it westward over the foot wall of the fan deposits. The marine oxygen isotope stage 8(0.30-0.25 Ma. BP) and stage 6(0.20-0.14 Ma. BP) are presumed to be the ages of high and middle surfaces of the alluvial fan, respectively. The vertical displacements on the high surfaces along the Bulguksa fault system are about 10.5m at Ha-dong, 9.5-10.5m at Jinhyun-dong, and about 10m at Jinty village. And the vertical displacement on the middle surface was measured about 6m high at Ha-dong. The average slip rate of vertical displacements is calculated about 0.03-0.043mm/y.

Key Words · Bulguksa fault system, the Quaternary, active fault, reverse fault, crossing of lineaments, vertical displacement of alluvial fan

1. 문제제기 및 연구목적

한반도 남동부지역에 대한 최근의 지형학 및 지질학 연구는 이 지역에서 확인되고 있는 일련의 단층선이 活斷層인가의 여부와 지형면의 변위

속도 등에 초점이 모아지고 있다. 이와 같은 논의는 이 지역의 지형연구 뿐 아니라, 부근에 있는 원자력발전소와 고속철도 건설 등 대형 토목공사 계획과 연계된 지반안정문제와 관련하여 관심의 대상이 되고 있다. 현재까지 조사된 것을 종합하

* 경희대학교 문리과대학 지리학과 부교수(Associate Professor, Department of Geography, Kyung Hee University)

** 경희대학교 문리과대학 지리학과 강사(Instructor, Department of Geography, Kyung Hee University)

면, 양산단층선과 불국사단층선은 新生代 第四紀 퇴적층을 변위시킨 증거가 제시되어 活斷層임이 보고되고 있으나, 여기에 대한 반론도 제기되고 있다. 이와 같은 논의를 통해 한반도 남동부 지역의 지반운동연구는 새로운 국면에 접어들고 있다.

佛國寺斷層線에 대해서는 岡田 等(1998)에 의해 연구가 이루어졌다. 그들은 慶州市 末方里 부근의 斷層露頭 조사를 통하여, 경주와 울산 사이의 불국사단층선이 活斷層임을 증명하고, 단층운동에 의해 나타나는 각 河岸段丘面의 變位 정도를 보고하였다. 黃相一(1998)은 불국사단층선의 북쪽에 해당하는 경주시 鰐洞과 馬洞의 노두조사를 통해, 이 지역에 형성된 선상지의 지형발달과 역단층에 의한 지형면 변위를 보고하였다. 그러나 이 연구

들은 활단층 노두를 불국사단층선 북부지역에서도 매우 좁은 범위에서 조사하고 있어, 불국사단층계의 전체 분포 및 특징을 파악하는데 한계가 있다.

본 연구에서는 조사지역을 보다 확대하여 불국사단층선 북부지역에서 단층선 경로를 확인하고, 단층운동의 지역차와 단층작용을 일으킨 횡압력 방향을 논의하였다. 이를 위하여 이미 단층선이 확인된 末方里에서 불국사단층선의 北端인 慶州市 鰐洞에 이르는 선상지 상에서 역단층에 의한 지형면 변위를 조사하였다.

지형면 분류는 항공사진과 1:25,000 및 1:5,000 지형도로 작업한 것을 현지조사를 통해 확인하여 완성하였다. 또한 야외답사에서 찾은 활단층 노두



그림 1. 한국 남동부지역 지형 개관

에서 단층운동과 관계된 퇴적상의 특징을 파악하였다. 아울러 단층선 부근을 정밀측량하여 작성된 지형면의 縱斷面圖로 地盤運動의 크기를 측정하였다.

2. 연구지역 개관

한반도 남동부 지역에는 북북동-서서남 방향으로 數列의 地質構造線(tectolineament)이 남쪽에서 북쪽으로 가면서 梁山斷層線에 수렴되는 형태로 나타난다. 이들은 慶北 盈德郡 寧海平野를 중심으로 약간 펼친 부채살처럼 분포하고 있다. 禹柄榮(1984)은 梁山斷層線의 동쪽지괴는 북북동-남남서 방향의 회전하는 응력이 작용하여 남쪽으로 약 25km 右橫變位되었다고 보고하였다. 岡田 等(1994)은 梁山斷層線의 동쪽지괴가 현재도 용기를 계속하고 있는 活斷層이며, 수직운동속도가 0.02-0.03mm/年 정도라고 주장하였다. 이 지역에서는 이 단층선들과 예각으로 만나는 북서-남동 내지 북북서-남남동 방향의 지질구조선들도 확인할 수 있다. 그 중 가장 뚜렷한 것은 울산만에서 시작하여 경주 부근에서 양산단층선과 만나는 불국사단층선이다. 岡田 等(1998)은 경주시 외동읍 말방리 주변에 대한 조사를 통해, 이 단층선 동쪽지괴는 동해쪽에서 오는 횡압력에 의해서 서쪽지괴 위로 밀고 올라가는 逆斷層이며, 第四紀 퇴적층을 0.08-0.1mm/年 정도의 속도로 변위시키는 活斷層으로 보고하였다.

울산과 경주 사이의 낮은 곡은 단층선을 따라 암석이 파열되고, 우수에 의해 차별침식을 받아 하곡의 발달이 조장되어 형성된 斷層線谷(fault-line vally)인 것으로 보고 있다.²⁾ 이 斷層線谷에는 佛國寺 동쪽 吐舍山地에서 발원하여 북서류하여 경주시 남서쪽에서 兪山江에 합류하는 南川이 흐르고, 慶州市 外東邑 末方里 동쪽 吐舍山 남쪽 산지에서 발원하여 南南東流하여 太和江에 합류하는 東川이 흐르고 있다. 이 하천들은 適從河川(subsequent stream)이다. 이 두 하천의 분수계는 慶州市 外東邑 北吐里 신원마을 서쪽의 해발고도 80m 정도의 논으로서, 불국사단층선곡의 곡저층적평야에서 고도가 가장 높다.

불국사단층선의 동쪽에는 토함산(745m)을 정점으로, 분수계가 북북서-남남동 또는 남북 방향으로 단층선에 인접하여 달리는 불국사산맥이 있다. 이 산지를 이루는 암석은 중생대 백악기에 퇴적된 하양층군의 퇴적암과 백악기 말기에 관입한 불국사화강암이다. 특히 불국사화강암은 불국사단층선의 북쪽에서부터 경상북도와 경상남도의 경계까지 분포하고 있다. 이 산지의 서사면은 경사가 매우 급하며, 適從河川(subsequent stream)인 南川과 東川으로 유입하는 再從河川(resequent stream)은 대부분 불국사산지 서사면에서 유입하고 있다. 岡田 等(1988)은 경사가 급한 불국사산지 서사면을 蔚山斷層崖(Ulsan fault scarp)로 명명하였다. 이 산지의 서사면으로 많은 하천이 흐르면서 깊은 하곡을 형성하고 있으며, 이들이 산지를 벗어난 산록부에는 두터운 礫層이 퇴적되어 있다. 黃相一(1998)에 의하면, 이 礫層은 하상고도가 다른 세 段의 지형면으로 구성된 扇狀地로, 단층선을 따라 횡적으로 연결되어 合流扇狀地를 이루고 있다.

또한, 경주시의 동쪽에 위치한 연구지역에는 蔚山灣에서 蔚山市 農所面, 慶州市 外東邑을 거쳐 慶州市로 연결되는 佛國寺斷層線과 蔚山市 凡西面에서 북으로 佛國寺地域 서쪽과 보문단지를 거쳐 川北面으로 향하는 오봉단층선이 교차하고 있다. 후자는 대부분의 구간에서 양산단층선과 거의 평행한다. 따라서 연구지역은 이 두 단층선의 영향을 받고 있다.

3. 佛國寺地域 扇狀地 地形面 分類 및 形成時期

1) 地形面 分類

(1) 지형면의 평면적인 분포

연구지역의 선상지 형성에는 구조운동으로 형성된 단층선, 횡압력과 단층선의 영향으로 형성된 경사가 급한 산지사면, 풍화와 침식에 의한 화강암으로 된 불국사산지의 지질적 특색이 크게 기여하였으며, 이들 요소가 빙기의 빈약한 식생피복과 길고 낮은 겨울기온으로 인한 활발한 풍화작

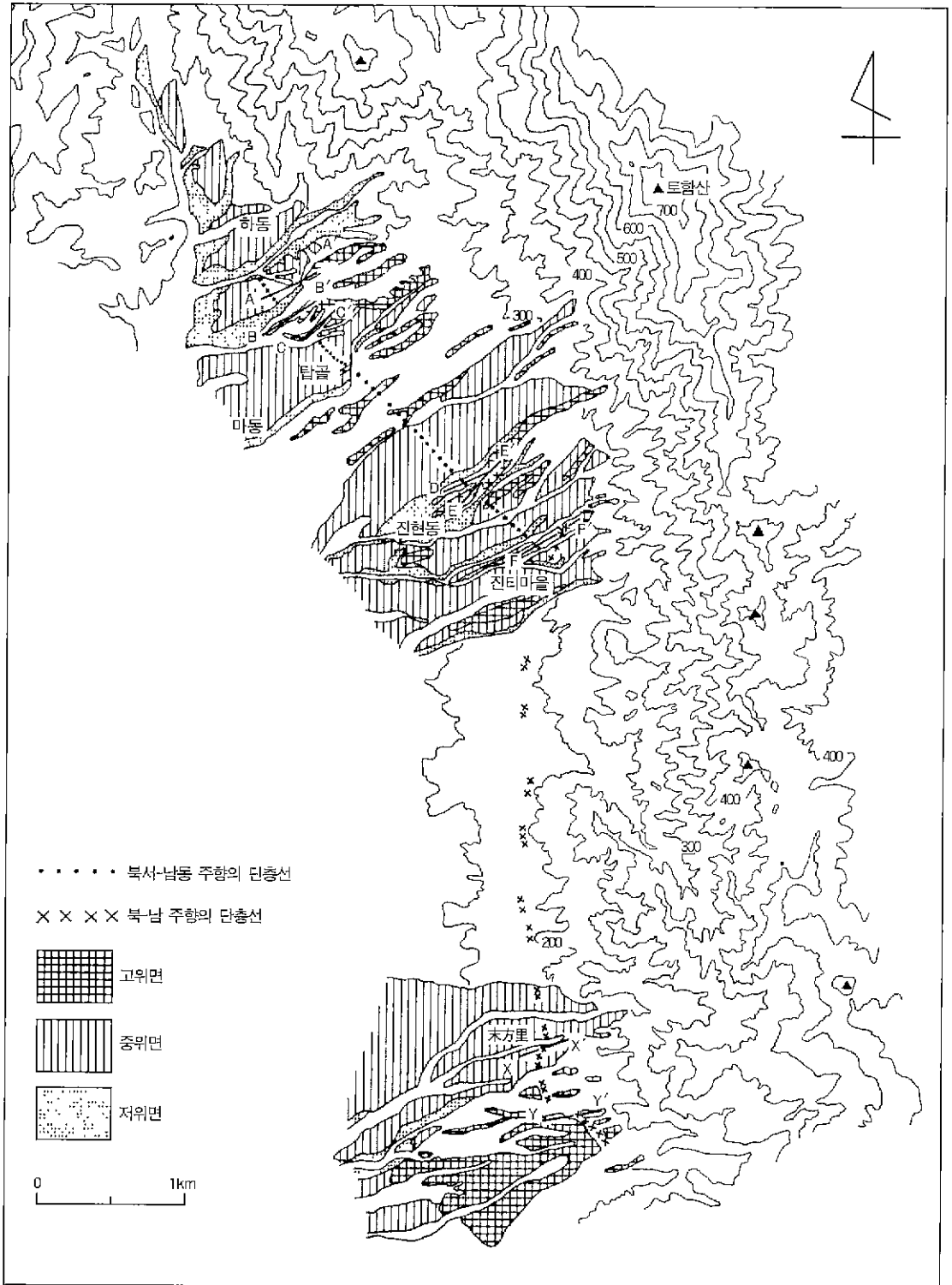


그림 2. 불국사단층선 북부의 지형면 분류와 단층선

용과 결합되어, 산지로부터 왕성하게 공급된 하천 퇴적물이 하곡의 경사가 급격하게 감소하는 산지, 즉 斷層崖의 전면에 퇴적되어 선상지를 형성한 것이다(黃相一, 1998).

지형면의 평면적인 분포특징은 지형면 분류도(그림 2)에서 살펴볼 수 있다. 지형면은 배후산지를 종단하는 河谷의 傾斜變換點 부근에서 나타나기 시작한다.

연구지역에는 吐岫山(745m)을 비롯한 불국사산맥에서 발원하는 많은 하천들이 급경사의 서사면에 깊은 곡을 형성하며, 南川과 東川에 합류하고 있다. 이 하천들이 산지를 벗어나는 곡구에는 주로 礫과 모래로 구성된 扇狀地가 분포한다. 선상지는 河床比高, 보존상태와 개석정도, 퇴적물의 물리적 특징 등에 따라 세 개의 지형면으로 구분되었다. 扇狀地 礫層의 두께는 고위면의 경우 단층선을 경계로 크게 차이가 난다. 즉, 단층선의 동쪽은 기반암 위에 두께 7-10m 정도의 礫層이 확인된다. 그러나, 단층선 서쪽에서는 하상에서 기반암을 확인할 수 없었으나, 20m 이상에 이를 것으로 추정된다.

형성된지 오래된 高位面은 배후산지 쪽에 주로 분포하며, 하천에 의해 심하게 개석되었다. 원면은 일부만이 남아 있을 뿐이며, 대부분 능선의 형태를 이룬다. 아울러 이 면은 단편적으로 분포하여 하안단구의 형태를 취하므로, 선상지의 원래 범위를 추정하기는 쉽지 않다. 고위면은 중위면의 선상부근에서 중위면 아래로 매몰된다. 현재 대부분의 고위면은 소나무숲으로 덮혀 있으나, 최근까지 경작했던 흔적도 드물게 볼 수 있다.

中位面은 지형면의 분포가 가장 넓고, 연속성이 좋아 선상지의 형태를 확인할 수 있다. 이 면은 곡구의 선정부에서 선단부까지 연속적이다. 산지에서 발원하는 많은 하천들에 의해 개석되고, 선상부에는 개석곡이 깊게 들어와 있으나, 원면의 보존상태는 양호하여 전체적으로 선상지의 형태를 잘 파악할 수 있다. 현재 이 지형면은 취락지, 과수원, 밭, 논 등으로 이용되고 있다. 선정부에는 묘지, 과수원, 밭들이 분포하고, 관개수로 주변부터 논이 나타나기 시작하여 선단까지 분포한다. 선정에서 선단에 이르기까지 현하상과 비교차를 뿐 아니라, 배후산지가 화강암으로 구성되어,

matrix물질이 거의 모래와 礫이므로 토양의 보수력이 약하여, 관개수위가 없으면 논농사에 어려움이 많다. 중위면과 현하상의 縱斷面을 검토하면, 중위면은 선정에서 선상까지의 河床比高差가 점점 줄어들지만, 선상부터는 하상과 비교차가 거의 같아 선단까지 하상면과 평행하게 연속된다. 선단부에서도 저위면과는 어느정도 비교차를 유지하고 있다. 이것은 고위면과 중위면과의 관계와는 달리 저위면이 중위면을 개석하여 퇴적되었고, 중위면 형성기가 상당히 길었음을 암시한다.

低位面은 산지에서 흘러나오는 하천에 의하여 좁게, 소규모로 나타난다.

(2) 각 지형면의 縱斷關係

고위면은 선정 부근에서는 현하상과 비교차가 약 20-25m에 이르지만, 중위면 선상으로 올수록 그 차이는 급격하게 줄어든다. 중위면과의 고도차도 선정부에서는 약 5-15m에 이르지만, 점차 줄어 선상부에서는 거의 고도차가 없다. 따라서 高位面은 中位面의 선상 부근에서 중위면 아래로 埋沒되는 형태를 취한다. 이와 같은 종단면의 형태는 중위면이 퇴적될 때, 산지에서 운반된 풍부한 퇴적물이 고위면의 말단부를 덮었음을 의미한다.

이와 같이 고위면이 선정부에서는 중위면에 비해 높으나, 선단부에서 다소 급하게 낮아져 중위면 아래로 들어가는 것은 고위면과 중위면을 퇴적시킨 氷期の 持續期間과 한랭한 정도의 차이와 관계 있을 것으로 추정된다. 즉, 이 지역의 지반운동속도가 고위면 형성기 이후 거의 균일하다고 가정하면, 고위면을 형성한 氷期는 중위면 형성기에 비해 짧거나, 기온의 하강정도가 미약하여 선상지에 공급된 퇴적물의 양이 상대적으로 적었을 가능성도 생각할 수 있다.

한편 고위면형성기에 침식기준면이 중위면형성기의 침식기준면보다 더욱 낮았을 가능성도 고려할 수 있다. 그러나 이렇게 설명하기 위해서는 고위면형성기가 중위면형성기보다 기온이 더 한랭했는지 온화했는지를 증명해야 하지만, 한반도에 대해 이에 대한 연구가 없다. 第四紀 Pleistocene 후기 동안 한반도에서 선상지를 형성한 각 氷期の 기온이 대체로 비슷했다고 한다면, 고위면이 중위면 아래로 들어가는 형태로 퇴적된 것은 빙기 기온의 하

강 정도보다는 氷期の 持續期間이 더 크게 영향을 미친 것으로 볼 수 있다.

(3) 扇狀地 地形面의 編年

연구지역의 선상지들은 고위면, 중위면, 저위면으로 구분되었다. 이와 같은 구분은 岡田 等(1994), 曹華龍(1997)의 梁山斷層線 주변의 지형분류, 岡田 等(1998)의 末方里 부근의 지형면 분류와 유사하다.

연구지역 고위면의 노두는 鰍洞과 馬洞, 불국사 남쪽 進峴洞에서 확인되었으나, 지형면 형성시기를 판단할 수 있는 절대연대자료는 얻지 못하였

으므로, 堆積相, 礫層의 특징, 지형면의 變位程度 등을 선행 연구 성과와 비교하여 전체 지형면의 편년을 추정하였다. 이 면과 같은 시기에 형성된 것으로 볼 수 있는 연구지역의 남쪽 末方里의 高位面은 Riss氷期(20-14萬年 BP)³⁾에 퇴적된 것으로 보고되었다(岡田 等, 1998). 한편 양산단층선을 통하여 나타나는 선상지와 河岸段丘의 高位面은 Mindel/Riss間氷期 혹은 그 以前(50-25萬年 BP)으로 추정되었다(岡田 等, 1994; 曹華龍, 1997).

불국사단층선지역의 고위면의 형성시기를 파악하기 위해서는 이 지형면이 양산단층선지역의 고위면과 같은 시기에 형성되었지에 대해 논의해

표 1. 한반도 남동부 지역의 선상지 및 선상지성 하안단구의 형성시기와 퇴적물 특징

지역 구분	內陸의 河岸段丘 高位面 (曹華龍, 1997; 岡田 等, 1994)	末方지역의 高位面(岡田 等, 1998)	海岸段丘 淸보산면(黃相一 · 尹順玉, 1996)	廣州市 鰍洞-진티마을 高位面	內陸의 河岸段丘 中位面 (曹華龍, 1997; 岡田 等, 1994)	末方지역의 中位面(岡田 等, 1998)	海岸段丘 금곡면(黃相一 · 尹順玉, 1996)	廣州市 鰍洞-진티마을 中位面
형성시기	Mindel/Riss 間氷期 혹은 그 以前(50-25萬年 BP)	Riss氷期(20-14萬年 BP)	Mindel/Riss 間氷期	Early Riss 氷期(Marine oxygen isotope stage 8, 30-25萬年 BP)	Riss氷期(20-14萬年 BP)	Early Würm 氷期 (5-6萬年 BP)	Riss/Würm 間氷期 (13-7萬年 BP)	Late Riss 氷期(Marine oxygen isotope stage 6, 20-14萬年 BP)
구정선고도			해발고도 35-40m				해발고도 19-24m	
변위량 및 변위속도	12m 0.024-0.048 mm/年	15m 0.08mm/年		10m 0.033-0.042 mm/年	5-7m 0.05-0.07 mm/年	5m 0.1mm/年		6m 0.03-0.043 mm/年
토양색	橙色 (2.5YR 6/6) 明赤褐色 (2.5YR 5/8) 赤褐色 (5YR 4/8)		明赤褐色 (5YR 5/8) 明褐色 (7.5YR 5/8)	黃橙色 (10YR 7/8) 橙色 (7.5YR 6/8) 明黃褐色 (2.5Y 7/6)	黃褐色 (7.5YR 8/8), 黃橙色 (7.5YR 7/8), 橙色 (7.5YR 7/6)		明黃褐色 (10YR 6/8)	
풍화도	호미로 급할 정도로 완전히 풍화	호미로 급할 정도로 완전히 풍화	호미로 모자이크무늬를 만들 정도로 완전 풍화, 礫의 약 1/2 이 완전 풍화	대부분 礫은 완전 풍화되었으나, 풍화각이 얇은 변성암도 포함됨.	礫은 粘土皮膜과 風化殼이 대부분 형성되어 있고, 가끔 완전 풍화礫 포함.		礫은 粘土皮膜과 風化殼이 대부분 형성되어 있고, 가끔 완전 풍화礫 포함.	
비교	虎斑紋, 회백색 용탈층		虎斑紋, 회백색 용탈층의 발달이 微弱	虎斑紋, 회백색 용탈층이 두텁게 형성. bedding 과 sorting이 양호함.	虎斑紋, 회백색 용탈층		虎斑紋, 회백색 용탈층이 두텁게 형성	

불 필요가 있다. 이들 양 지역에서 고위면의 평면적인 분포특징은 매우 유사하다. 모두 稜線 형태로 지형면이 좁게 분포하며, 공통적으로 두 지역에서 현재까지 가장 높은 하상고도에서 확인된 扇狀地 地形面이다. 따라서 이 두 지역의 고위면은 같은 시기에 형성된 것으로 보는 것이 타당하다. 또한, 양 지역의 중위면도 지형면 상의 개석곡 분포특징, 종단면 상에서 저위면과의 관계 등으로 미루어 볼 때, 무리없이 잘 대비된다.

이렇게 볼 때, 전술한 바와 같이 岡田 等(1994, 1998)이 양 지역의 형성시기를 다르게 논의한 것은 납득하기 어렵다. 그들은 말방리지역 연구에서 C¹년대층정값, 고위면의 수직변위값이 중위면의 3배 정도 되는 점 그리고 일본에서의 단구면 편년자료에 의거하여 고위면의 형성시기를 결정하였다. 그러나 양산단층선을 따라 나타나는 고위면의 赤色土는 약 50萬年 BP 이후 온난기의 반복에 의해 형성된 것으로 생각하였다. 따라서 고위면의 형성시기에 대한 논의는 앞으로 보다 많은 연대자료가 축적되어야 형성시기를 명확히 할 수 있을 것이 적절하다고 본다. 다만 후술하는 바와 같이

불국사단층선 북부에서는 단층운동에 의한 변위량이 末方里와는 달리 고위면이 중위면의 약 2배이다. 또한 고위면의 礫層이 완전 풍화되어 있고, 赤色化가 매우 진전되었으므로, 양산단층선을 향한 고위면과 대비하는 것이 적절하다고 본다.

더우기 金谷지역의 Mindel/Riss間氷期에 형성된 것으로 추정되는 해안단구 칠보산면(해발고도 35-40m)의 礫層보다 양산단층선의 고위면 礫層이 풍화가 더 진전된 것에서 볼 때, 한국 남동부 내륙의 양산단층선을 따라 분포하는 선상지 고위면 형성시기는 Mindel/Riss間氷期 이전의 빙기(富華龍, 1997)에 해당하므로, Mindel氷期로 보는 것이 타당하다고 생각하여, 慶州 鞍洞의 扇狀地 고위면의 형성시기를 Mindel氷期로 推定한 바 있다(黃相一, 1998). 그러나 Mindel氷期の 절대연대와 지속기간에 대해서는 연구성과가 적어서 논의하기가 쉽지 않다. 小林國夫(1982)는 Mindel 빙기를 Scandinavia를 비롯한 Northern Europe의 Elster氷期에 대비하였다⁴⁾(표 1). 이 대비를 적용하면, Elster氷期가 56-43만년 BP(marine oxygen isotope stage 14, 13, 12)에 해당하므로, 중위면과의 관계

표 2. 북반구 제4기 층서⁵⁾

Timescale Ma, BP	Manne Oxygen isotope stages	Northern Europe	The Netherlands	British Isles	Northern Alps	North America	Cold/ Tem- perate
0.01	1	Holocene	Holocene	Flandrian	Holocene	Holocene	T
	2-4d	Weichselian	Weichselian	Devensian	Wurm	Wisconsinan	C
0.08	5e	Eemian	Eemian	Ipswichian	Riss-Würm	Sangamon	T
0.13	6	Warthe			Penultimate Glac. Late Riss?	Late	C
0.19	7	Saale/Drenthe		Wolstonian		Illinoian	T
0.25	8	Drenthe			Antepenultimate Glac. Early Riss/Mindel?	Early	C
0.30	9	Domonitz (Wacken)					T
0.34	10	Fuhne (Mehleck)	Holsteinian Interglacial	Hoxnian	Pre-Riss?	Pre-Illinoian A	C
0.35	11	Holsteinian (Muldberg)					T
0.43	12	Elster 1		Anglian	Late Mindel? /Donau	B	C
0.48	13	Elster 1/2	Elster				T
0.51	14	Elster 2		Cromenian	Early Mindel?/Donau	C	C
0.56	15	Cromerian IV	Cromerian IV (Noordbergum)				T

에서 볼 때, 다음의 몇 가지 이유 때문에 고위면을 단순히 Mindel氷期에 대비하는 데 무리가 있다. 첫째, Elster氷期の 지속기간이 약 13만년에 달해 고위면의 규모와 크게 상치된다. 둘째, 중위면 형성기인 Late Riss가 20만년 BP 경에 시작되므로, 이들 사이가 무려 23만년의 간격이 있다는 점이다. 셋째, Elster氷期와 Late Riss氷期 사이에는 Scandinavia를 포함한 Northern Europe의 Holsteman間氷期(43-30만년 BP, marine oxygen isotope stage 11, 10, 9), Drenthe氷期(30-25만년 BP, Early Riss, Early Illinoian, marine oxygen isotope stage 8), Saale/Drenthe亞間氷期(25-20만년 BP, marine oxygen isotope stage 7)가 있다. 따라서 고위면과 중위면의 관계, 고위면의 하상비고, 고위면의 규모 등에서 볼 때, 고위면의 형성시기를 중위면 형성기인 Late Riss氷期보다 한단계 앞선 한랭기인 Drenthe氷期(30-25만년 BP, Early Riss, Early Illinoian, marine oxygen isotope stage 8)에 대비하는 것이 보다 설득력이 있다고 본다. 이 시기는 북미의 Early Illinoian氷期에 해당하고, Scandinavia반도를 비롯한 북유럽의 Drenthe氷期, Northern Alps에서 Early Riss氷期에 대비된다.

4. 斷層變位

단층선에 의해 지형면이 변위된 곳에는 파쇄대의 포함한 단층노두가 관찰된다. 북서-남동 주향

의 단층노두는 하동 남쪽, 마동 탑골 북쪽, 진현동의 고위면에서, 북-남 주향의 단층노두는 진터마을 동쪽의 고위면에서 확인되었다. 이들 지점에서 확인된 각 노두의 특징은 다음과 같다.

1) 鰈洞 남쪽의 역단층 노두

그림 3은 鰈洞 남쪽 선상지 고위면이 하천에 의해 개석되어 형성된 단층노두를 북쪽에서 관찰한 것이다. 이 노두에서 역단층의 破碎帶가 확인된다. 이 파쇄대는 폭이 매우 좁다. 파쇄대 아랫쪽의 下盤을 이루는 지형면은 河床高度가 17-20m 정도이며 밭으로 이용되고 있다. 上盤의 지형면은 하상비고가 35-36m 정도로 1990년대 초까지 밭으로 이용되었으나, 현재는 소나무와 아카시아숲으로 덮혀 있다.

이 노두에서 확인되는 역단층운동은 花崗岩으로 된 상반이 礫層으로 이루어진 하반을 밀고 올라가는데, 상반은 하상에서 18-19m까지 灰白色(2.5YR 7/1)의 saprolite가 확인되며(사진 1), 그 위에는 다시 두께 약 10m 정도의 礫層이 얹혀 있다. 礫層은 아각력과 각력이 주를 이루고, 아원력도 포함되어 있다. pebble級 이하는 원력과 아원력이 포함되어 있다. 礫의 최대입경은 약 30cm 정도이다. 변성암은 풍화각이 얇고, 신선한 礫도 포함되어 있으나, 대부분은 완전히 풍화되었다. matrix는 모래와 granule로 구성되어 있으며, 토양색은 橙色(7.5YR 6/8)이다. 퇴적층은 bedding과 sorting이 인정되며, 부분적으로 양호하다. 파쇄대의 폭은 약

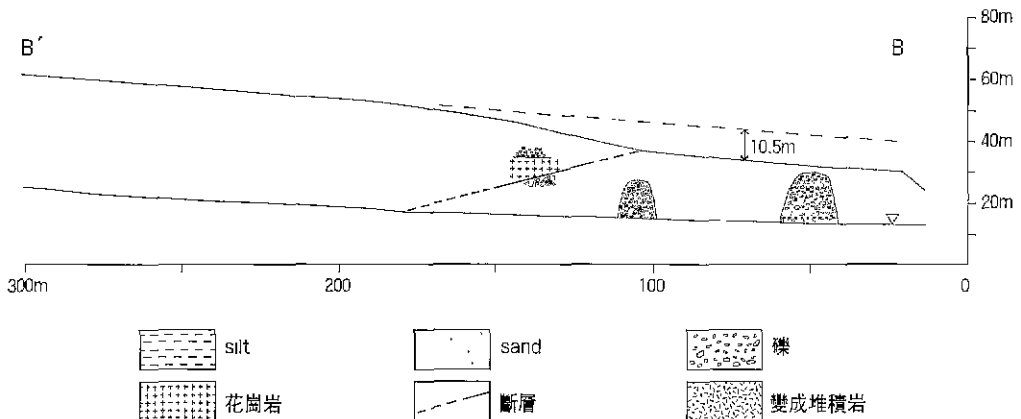


그림 3. 鰈洞 남쪽 선상지 고위면 종단면도와 단층노두



사진 1. 鰻洞 남쪽 선상지 고위면의 파쇄대(→는 saprolite, ⇨는 礫層)

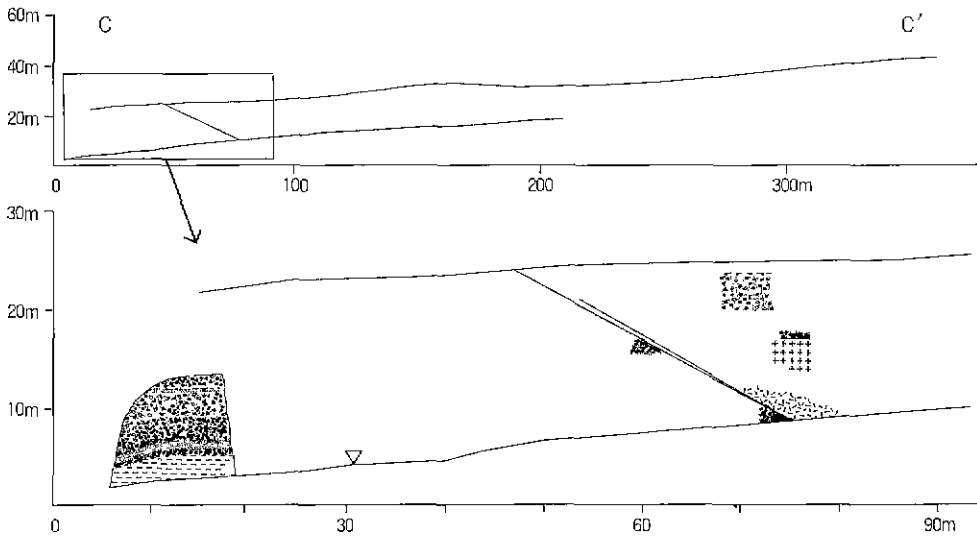


그림 4 馬洞 탑골 북쪽 선상지 고위면 종단면도와 단층노두

10cm이며, 파쇄점토(gouge)는 회황갈색(10YR 6/2)의 clay로 되어 있다. 단층면을 이루는 파쇄대와 수평면의 경사각은 15° 정도이다.

2) 馬洞 탑골 북쪽의 역단층 노두

馬洞 탑골 북쪽에 있는 고위면을 남쪽에서 관

찰하여 종단면도와 노두를 그린 것이 그림 4이다.

이 노두에서도 逆斷層 破碎帶가 확인된다. 파쇄대 부근에서 상반 표층의 하상비고는 16 내지 18m 정도이다. 이 지형면은 경지로 이용할 수 없을 정도로 좁게 남아 있으며, 현재는 밭, 묘지, 소나무숲 등으로 이용되고 있다. 종단면도로 볼 때, 개석을 많이 받아 원면이 깎여 버렸으므로, 파쇄대

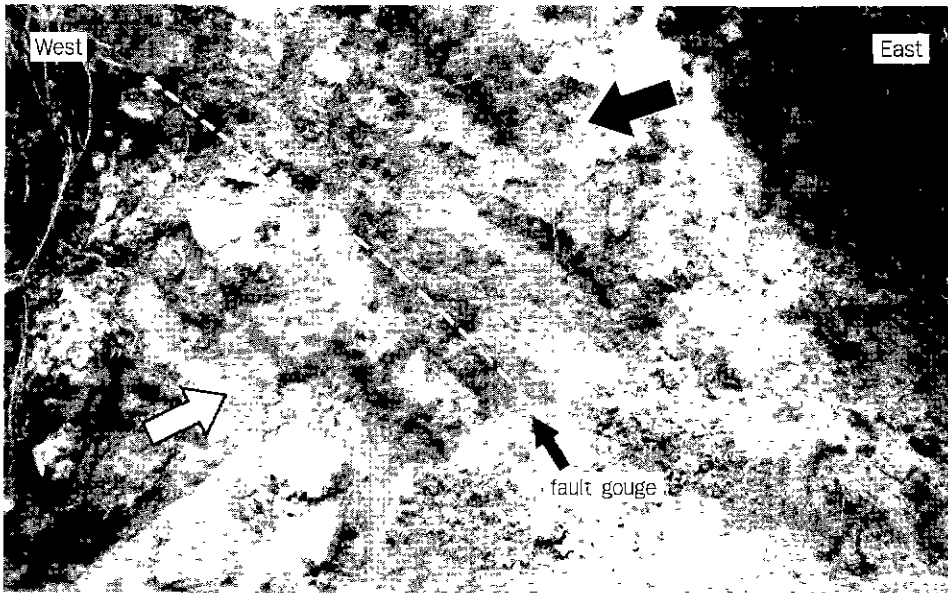


사진 2 馬洞 탐골 북쪽 선상지 고위면의 파쇄대(→는 saprolite, ←는 礫層)

부근에서 나타나는 斷層崖는 확인할 수 없으며, 종 단면도에서 단층면변위량을 측정하는 것도 불가능 하였다. 하반의 표층을 이루는 선상지는 개석을 받아 경지로 이용할 수 없을 정도로 원면이 매우 좁게 남아있다. 주민들의 기억에 의하면, 약 60년 전에 하상과 선상지면 사이에는 식생에 피복된 경사진 사면으로 쉽게 오를 수 있었으나, 밭으로 이용하면서 土壤侵蝕이 일어나 개석되어, 현재는 식생 피복이 거의 제거된 수직의 崖面이 남아있다.

이 노두에서 상반은 하상에서 10m 정도까지 灰白色(2.5YR 7/1)의 saprolite와 변성퇴적암이 거의 완전히 풍화된 회색 olive(5YR 6/2)의 세사질 실트로 구성되어 있고, 이 기반암 풍화토 위에 다시 두께 8m 정도의 礫層이 퇴적되어 있다(사진 2). 기반암과 부정합으로 퇴적된 礫層에서 礫은 거의 완전히 풍화되었고, matrix는 橙色(7.5YR 6/8)인 모래 및 granule級 礫으로 되어 있다. 하반은 완전히 풍화된 礫層으로 되어 있다. 파쇄점토는 폭 약 10cm이며, 회황갈색(10YR 6/2)의 clay로 되어 있다.

다만 파쇄대의 단층면이 수평면과 이루는 경사는 35-40° 정도로 鰐洞 남쪽에 비해 약 20-25° 커졌다.

3) 進峴洞 역단층 노두

그림 5는 진티마을 북쪽 진현동에서 관찰한 고위면의 파쇄대 노두를 그린 것이다. 노두 전체 높이는 하상비고 약 20m에 이르며, 파쇄대는 하부 약 7m 정도까지 확인된다. 파쇄대 전체 모습은 파악할 수 없었으나, 확인된 부분은 하상과 거의 수직이었다. 그러나 노두의 상부에서는 역층의 분포로 볼 때, 동쪽의 상반이 하반 위를 밀고 올라가는 역단층 형태를 취할 것으로 추정된다.

파쇄대의 동쪽은 하상에서 약 14-15m까지 화강암 풍화토인 saprolite로 되어 있다. 기반암 위의 15m 두께는 granule과 pebble級의 礫層이 40-50cm 두께로 수평층리를 하며 퇴적되어 있고, 그 사이에는 5-10cm의 모래층과 silt층이 협재되어 있다. 전체적으로 bedding과 sorting은 매우 양호하며, matrix는 明赤褐色(5YR 5/8)이다. 이 礫層의 礫은 완전히 풍화되어 호미로 긁으면 그 표면이 매끈하게 쭈인다. 이 礫層 위에는 최대 입경 1m 정도인 화강암 거력층이 5-6m 두께로 관찰된다. 거의 대부분의 礫은 각력 및 아각력이고, 완전히 풍화되었다. matrix는 明赤褐色(2.5YR 5/8)이다. 이 거력층은 식생에 피복되어 있는 부분을 감안하면,

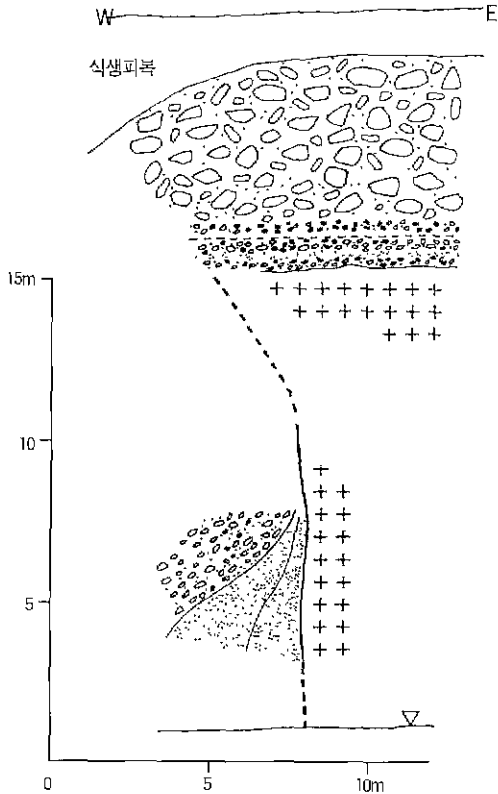


그림 5. 進峴洞 선상지 고위면 단층노두

두께가 거의 8-9m에 이를 것으로 추정된다.

파쇄대의 서쪽 노두의 대부분은 식생에 덮혀 있어 퇴적층을 확인할 수 없었다. 그러나 파쇄대 부근은 소규모 개석곡이 형성되면서 퇴적층이 드러나 있다. 파쇄대의 서쪽 하반의 하부에서는 모래층과 그 위의 pebble 및 cobble級의 礫層이 확인되었다. 아랫쪽의 모래층은 sorting이 양호하였으며, 토양색은 明褐色(7.5YR 5/8)이었다. 그 위에 퇴적된 礫層은 주로 각력이고, 礫은 완전히 풍화되었으며, matrix는 明褐色(7.5YR 5/8)이었다. 이들 간에는 경계가 뚜렷하였으나, 경계면이 수평이 아니라 수평면에 대해 45° 이상 기울어진 상태였다. 이것은 상반이 단층면을 따라 밀려올라가면서 하반인 수평층리의 모래층과 역층도 끌려올라가면서 변형된 drag현상의 결과이다. 이와 같은 현상은 상반 쪽 파쇄대의 斷層粘土(gouge)에 인접한 saprolite가 수직으로 끌린 흔적도 있어 상대적인 운동방향을 보여주고 있다.

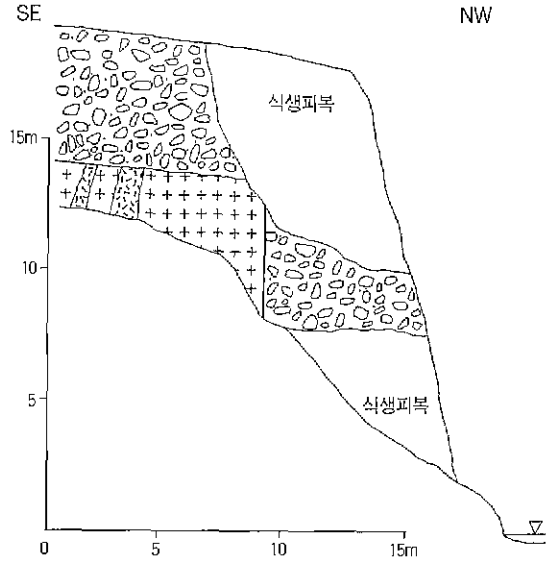


그림 6. 진티마을 동쪽 선상지 고위면 단층노두

이 노두에서 관찰되는 斷層粘土는 폭 20cm 정도이며, 초코렛색(10YR 5/2, grayish yellow brown)이다. 이 단층면의 파쇄대는 다소 구부러져 있으나 수평면에 대해 거의 수직을 이룬다.

4) 진티마을 동쪽의 단층노두

본 노두에서는 북-남 주향의 단층선이 북쪽 말단에서 북동-남서 방향으로 만곡하는 단층선의 파쇄대를 확인할 수 있다. 이 노두를 북동쪽에서 정면으로 보고 그린 것이 그림 6이다. 이 노두는 개석곡이 현재 밭으로 이용되고 있는 폭이 좁은 고위면을 가로지르며 형성한 것이다. 이 개석곡에 의해 두부침식이 진행되어 머지않아 지형면이 분리될 것으로 예상된다. 파쇄대는 수평면에 대해 수직으로 서있으며, 초코렛색의 폭 10cm 내외의 斷層粘土(10YR 5/2, grayish yellow brown)가 확인된다. 파쇄대의 남동쪽에는 기반암인 화강암의 saprolite와 saprolite내에 협재된 변성암의 풍화토가 하상에서 14m까지 확인된다. 기반암 위에는 주로 cobble 및 boulder級으로 구성된 각력 및 아각력의 礫層이 두께 4-5m 정도 퇴적되어 있는데, 礫은 완전히 풍화되었다. matrix는 明赤褐色(5YR 5/8) 내지 橙色(7.5YR 6/8)이며, bedding이 양호하다.

연구지역에서 북서-남동 주향의 단층선을 따라 관찰되는 수평면에 대한 역단층면의 경사각은 가장 북쪽의 鰐洞 남쪽에서 약 15°, 馬洞 북쪽에서 35-40°, 남쪽의 진현동에서 직각을 이룬다. 따라서, 북쪽에서 남쪽으로 향하면서 역단층의 경사가 커짐을 알 수 있다. 한편 북-남 주향의 단층선을 따라서는 북쪽의 진티마을 동쪽에서 파쇄대가 수직으로 서있으나, 말방에서는 약 25-30°의 예각으로 바뀐다.

5. 討論

1) 단층운동에 의한 지형면 변위

단층선을 따라 나타나는 단층운동의 지역차를 알아보기 위하여 파쇄대가 확인되거나, 확실하게 추정 가능한 지점을 중심으로 지형면 종단면도를 작성하였다. 그림 7은 단층선 통과가 확인된 다섯 지점의 고위면과 한 지점의 중위면을 정밀측량한 자료로 작성한 종단면도이며, 그림 8은 岡田 등 (1998)에 의해 작성된 종단면도이다.

이들 중 종단면 A-A'에서 파쇄대는 식생으로 피복되어 확인되지 않았으나, 바로 남쪽에서 확인된 파쇄대노두 위치와 종단면도에서 확인되는 중위면의 변위 형태에서 파쇄대 위치를 추정할 수 있었다. 연구지역의 역단층은 진티마을 북쪽으로 가면서 경사각이 작아지므로, 이 종단면도에서는 15°이하일 것이다. 여기서 확인되는 중위면의 변위량은 6m이다.

鰐洞 남쪽의 B-B' 종단면도가 작성된 곳은 연구지역에서 상반과 하반의 고위면들이 가장 양호하게 보존되어 있다. 파쇄대를 따라 역단층운동에 의해 고위면이 변위되고, 斷層崖가 전형적으로 나타난다. 종단면도에서 측정된 고위면의 변위량은 10.5m이다.

馬洞 북쪽의 C-C' 종단면도로 볼 때, 파쇄대가 통과하는 지점에서 고위면의 원면 보존상태가 대단히 불량하다(그림 4 참조). 지형면의 표면지형이 매끈하게 깎여있으므로 종단면도로 용기한 증거를 찾기 어려우며, 따라서 고위면 변위량을 측정할 수 없었다.

불국사 집단시설지구 동쪽, 진현동의 D-E' 중

단면도에서 단층선이 통과하는 지점은 후술할 종단면도 E-E'에서 파쇄대가 확인되었으므로 유추할 수 있었다. 종단면도에서 나타나는 고위면의 변위량은 9.5m 이다.

E-E' 종단면도의 단층노두에서 확인되는 단층면의 경사는 거의 수직이다. 다만, 노두의 상부에서는 파쇄대를 확인할 수 없었으나, 확인된 礫層으로 미루어 보면 역단층의 형태를 취하고 있을 것으로 추정된다. 이 종단면도에서 고위면은 10.5m 변위되었다.

F-F' 종단면도에는 두 열의 단층선이 통과하고 있다. 鰐洞, 馬洞, 진티마을 북쪽을 거쳐 이어지는 북서-남동 방향의 단층선과 진티마을 동쪽에서

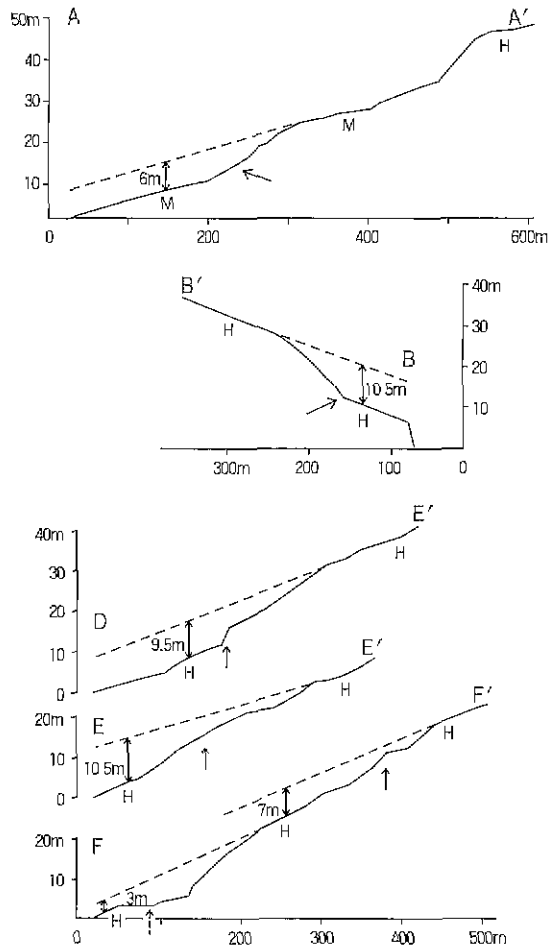


그림 7 불국사단층선 북부 선상지 종단면도와 단층변위량
H: 고위면, M: 중위면, 화살표는 파쇄대 위치임.

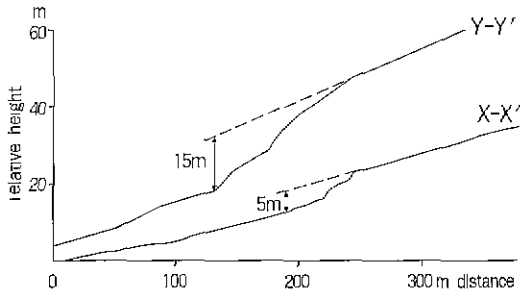


그림 8. 末方里 선상지의 종단면과 단층변위량
 자료: 岡田 等, 1998

파쇄대가 확인되는 북-남 주향 단층선이 만곡된 북동-남서 주향의 단층선이다. 종단면도에 의하면, 전자는 3m, 후자는 7m를 변위시키고 있어 전체적으로 10m의 변위량을 나타내었다.

본 연구지역에서 확인되는 북서-남동 주향의 단층선에서 고위면은 9.5-10.5m, 중위면은 6m 변위되었다. 이에 대해 岡田 等(1998)에 의하면, 북-남 주향 단층선의 말방리에서는 고위면의 변위량은 15m였고, 중위면은 5m였다(그림 8). 한편 이 두개의 단층선이 교차하는 진티마을에서는 고위면의 전체 변위량이 10m였다.

이와 같은 사실들을 종합하면, 고위면 전체 변위량은 연구지역의 북쪽인 鰐洞-진티마을 사이에서 약 10m, 상대적으로 남쪽인 말방리에서는 15m 정도여서, 남쪽보다 북쪽이 약 5m 더 낮다. 그러나 중위면 변위량은 북쪽의 鰐洞이 말방리보다 1m 더 높게 계속되었다.

2) 단층운동의 속도

연구지역에서 斷層運動은 동쪽의 上盤을 서쪽의 下盤 위로 밀어 올리면서, 扇狀地面을 變位시키고 있다. 본 조사에서는 고위면과 중위면의 변위량을 정밀 測量하였다. 鰐洞 남쪽의 고위면은 變位량이 10.5m에 달하며, 佛國寺 남쪽 進峴洞의 고위면에서는 9.5-10.5m이다. 가장 남쪽의 진티마을의 고위면에서는 북서-남동 주향의 단층선에서는 3m, 북-남 주향의 단층선이 만곡된 북동-남서 방향의 단층선에서는 약 7m 정도로 모두 약 10m의 변위가 인정된다. 한편 중위면의 변위는 하동 남쪽에서 6m로 고위면 변위량의 약 1/2 정도였다.

이와 같은 변위량을 末方里와 비교하면, 고위면에서는 末方里보다 4.5-6m 적고, 중위면은 1m 정도 많다. 또한 末方里에서 고위면 변위량은 중위면 변위량의 3배이나, 불국사단층선 북쪽에서는 약 2배이다.

上述한 바와 같이 고위면의 형성시기는 Early Riss氷期(marine oxygen isotope stage 8, 30-25萬年 BP), 중위면은 Late Riss氷期(marine oxygen isotope stage 6, 20-14萬年 BP)로 추정되므로, 鰐洞 남쪽의 중위면 변위속도는 0.03-0.043mm/年이다. 고위면은 북서-남동 주향의 단층선을 따라서 연구지역에서 가장 북쪽에 있는 鰐洞 남쪽에서 0.035-0.042mm/年, 佛國寺 남쪽 進峴洞에서는 0.033-0.04mm/年이다. 한편, 진티마을의 고위면 변위속도는 북서-남동 주향의 단층선에서는 0.01-0.012mm/年, 북동-남서 주향의 단층선에서는 0.023-0.028mm/年로, 전체적으로는 변위속도가 0.033-0.04mm/年이다. 따라서 불국사단층선 북쪽에서 고위면의 변위속도는 0.033-0.042mm/年로 볼 수 있다.

즉, 중위면과 고위면의 변위속도는 0.03-0.043mm/年로 추정할 수 있으므로, 불국사단층선 북부에서는 고위면과 중위면의 변위속도가 거의 같다.

단층운동이 일어난 지역에서 지반의 변위속도를 정확하게 계산하려면 변위가 일어난 지형면의 형성시기를 알면 가능하다. 연구지역의 경우 아직 형성시기는 추정의 단계이다. 그러나 이들 扇狀地 高位面 礫層이 Pleistocene 후기 이후에 퇴적된 것은 확실하고, 이보다 더 늦게 퇴적된 中位面 礫層도 변위가 되었으므로 활단층인 것은 분명하다. 다만 扇狀地 礫層의 편년에 대한 많은 연구가 이루어진 후에, 보다 정확한 지반운동속도를 측정할 수 있을 것이다.

3) 단층작용에 미친 횡압력의 방향

불국사단층선 북부지역의 단층선 및 추정단층선의 파쇄대와 수평면에 대한 경사각의 변화가 그림 9에 제시되어 있다. 본 연구에서 조사된 대부분의 역단층 노두들은 북서-남동 주향의 단층선을 따라 분포하고 있다. 이 단층선은 연구지역에서는 거의 직선으로 연결된다. 한편 진티마을

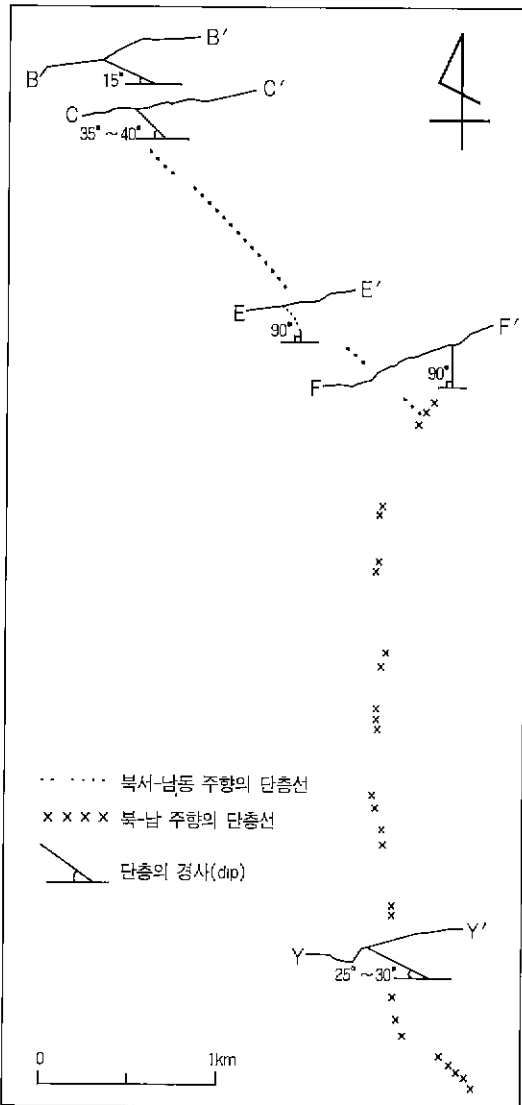


그림 9. 불국사단층선 북부 단층선의 분포 및 단층의 경사

동쪽의 북동-남서 주향의 단층선은 末方里 부근에서 확인된 북-남 주향의 단층선과 연결될 것으로 추정된다. 이 단층선은 末方里 남쪽지역에서 산지 말단부를 따라서 북북서-남남동 방향으로 만곡하며 북쪽으로 이어지고, 진티마을의 동쪽에서는 북동-남서 방향을 취하며 산지쪽으로 약간 휘어진다. 末方里와 진티마을 사이의 단층선의 경로는 앞으로 계속 조사되어야 할 것이다. 진티마을에는 북서-남동 주향의 단층선과 북동-남서 방향으로 휘는 북-남 주향의 단층선이 거의 직각으

로 교차하고 있다.

본 연구지역에서 확인되는 단층은 주로 逆斷層이지만, 북서-남동 주향의 단층선은 북쪽에서 남쪽으로 갈수록 수평면에 대한 단층면의 경사각이 커진다. 즉, 가장 북쪽의 鰐洞 부근에서는 15°, 馬洞 부근에서는 35-40°, 佛國寺 남쪽의 進峴洞 노두에서는 거의 수직에 이른다. 한편 북-남 주향의 단층선은 북쪽인 진티마을에서는 수평면에 대한 단층면의 경사가 거의 수직인데 비해, 남쪽인 말방에서는 약 25-30°인 역단층이다.

이와 같이 진티마을 부근에서 북서-남동 주향과 북-남 주향의 단층선 파쇄대가 이루는 경사각이 수직으로 변하는 것은 이 두개의 단층선이 진티마을 부근에서 교차할 때, 방향이 다른 두개의 힘이 합쳐지면서 간접한 결과로 볼 수 있다. 만약 두 단층선이 교차하지 않고 평행했다면 원래의 예각을 유지하였을 것이나, 거의 직각으로 교차하므로 힘의 간섭이 일어나 단층각이 커졌을 것이다.

단층변위량은 북서-남동 주향의 단층선에서는 가장 북쪽의 鰐洞 부근 고위면에서 약 10.5m이며 중위면은 6m, 佛國寺 남쪽 進峴洞 고위면에서 9.5-10.5m 정도이다. 한편, 가장 남쪽의 진티마을의 고위면에서는 3m에 지나지 않아 두개의 단층선이 교차하는 진티마을에서 크게 작아지는 것을 알 수 있다. 그러나 진티마을에서는 후술할 북-남 주향의 단층선에 의해 변위된 7m를 합하면 10m가 된다. 북-남 방향의 단층선에서 가장 북쪽의 진티마을에서는 7m 정도인데 비해, 말방에서는 15m에 이르므로 차이가 크게 난다.

연구지역은 단층선을 따라 상반이 불국사산맥 쪽인 역단층이므로, 이 단층선의 동쪽인 東海 쪽에서 가하는 壓縮力이 작용한 것으로 볼 수 있다. 단층선의 주향이 북서-남동 및 북-남 방향이므로, 전자의 경우 압축력의 방향은 북동쪽에서 작용하는 횡압력이다. 한국 남동부에서 북동 방향에서 오는 힘 중 대표적인 것은 양산단층선에 다소 비스듬하게 작용하여 이 단층선을 북북동에서 남남서 방향으로 주향이동시킨 힘이다.

Otsuka and Ehro(1978)에 의하면, 대한해협 부근에는 한국남동부에 북북동-남남서 방향의 평행하는 2개의 地質構造線이 있다. 이 두개의 구조선은 모두 주향이동을 하므로, 이들 사이의 양산단층선

동쪽의 지괴는 북북동쪽에서 남남서 방향으로 작용하는 힘을 받고 있다. 이 힘이 불국사 단층선 북부의 북서-남동 주향의 역단층을 형성한 것으로 판단된다. 북-남 주향의 단층선은 동해쪽으로 부터 서쪽으로 작용하는 압축력에 의해 단층운동이 일어난 것으로 생각된다. 따라서 불국사단층선 북부에서는 이와 같이 방향이 다른 두개의 압축력이 동시에 작용함으로써 진티마을 부근에서 두 방향의 단층선이 거의 직각으로 교차하였다고 볼 수 있다.

6. 결 론

불국사단층선 북부의 慶州市 鰐洞에서 末方里 지역에 걸쳐 지형분류, 逆斷層 노두조사, 지형계측을 통해 단층선 경로를 확인하고, 단층운동의 지역차와 단층작용을 일으킨 횡압력 방향을 논의하였다. 밝혀진 내용을 요약하면 다음과 같다.

1. 불국사단층선 북부에는 東海 쪽에서 오는 서로 다른 두 방향의 압축력에 의해 형성된 북서-남동 주향과 북-남 주향의 단층선이 형성되어 있다. 이들 단층면의 동쪽지괴는 橫壓力에 의해서 서쪽 지괴 위로 밀고 올라가는 逆斷層이며, 新生代 第四紀 礫層을 변위시키고 있는 活斷層이다.

2. 扇狀地는 高位面, 中位面, 低位面으로 구분된다. 고위면은 산록부의 산지쪽에 주로 樹枝狀으로 분포하고, 지형면의 경사가 중위면보다 급하며, 중위면의 선암 부근에서 중위면의 아래로 들어간다. 불국사단층선 북부에서는 고위면의 礫層은 완전 풍화되어 있으며, 赤色化가 매우 진전되었으므로, 양산단층선을 향한 고위면과 대비된다. 고위면 형성시기는 Early Riss氷期(marine oxygen isotope stage 8, 30-25萬年 BP), 중위면은 Late Riss氷期(marine oxygen isotope stage 6, 20-14萬年 BP)로 추정된다

3. 第四紀 동안 活斷層運動으로 선상지면은 변위되었다. 鰐洞 남쪽의 고위면은 變位量이 10.5m에 달하며, 佛國寺 남쪽 進峴洞의 고위면에서는 9.5-10.5m 정도이다. 가장 남쪽의 진티마을의 고위면에서는 북서-남동 주향의 단층선에서는 3m, 북-남 주향의 단층선이 진티마을 부근에서 만곡하여 형성된 북동-남서 주향의 단층선에서는 약

7m 정도로 모두 10m 정도의 변위량이 인정된다. 한편 중위면의 변위량은 鰐洞 남쪽에서 6m이다.

4. 불국사단층선 북부의 活斷層에 의한 扇狀地의 變位를 末方里지역과 비교하면, 변위량의 절대값은 고위면에서는 末方里지역보다 5m 정도 작으며, 중위면은 1m 정도 크다. 따라서 末方里지역에서는 고위면의 변위량이 중위면의 3배에 이르렀으나, 불국사단층선 북쪽에서는 2배이다.

5. 고위면의 형성시기를 30-25萬年 BP으로 추정하면, 북서-남동 주향의 단층선을 따라 연구지역에서 가장 북쪽에 있는 鰐洞 남쪽에서의 변위속도는 0.035-0.042mm/年, 佛國寺 남쪽 進峴洞 고위면은 0.033-0.04mm/年이다. 한편, 진티마을의 고위면의 변위속도는 북서-남동 주향의 단층선에서는 0.01-0.012mm/年, 북동-남서 주향의 단층선에서는 0.023-0.028/年로, 전체적으로는 0.033-0.04mm/年이다. 따라서 불국사단층선 북쪽의 고위면의 변위량은 10m이고, 변위속도는 0.033-0.042mm/年로 생각할 수 있다. 중위면 형성시기를 20-14萬年 BP로 추정하면, 鰐洞 남쪽의 중위면 변위속도는 0.03-0.043mm/年였다. 이렇게 볼 때, 불국사단층선 북부의 고위면과 중위면의 변위속도는 거의 같으며, 전체적으로 중위면과 고위면의 변위속도는 0.03-0.043mm/年으로 볼 수 있다.

6. 불국사단층선 북부의 북서-남동 주향과 북-남 주향의 단층선을 따라 형성된 파쇄대는 단층면의 경사각이 각각 남쪽과 북쪽으로 갈수록 커져 두 단층선이 교차하는 진티마을 부근에서 거의 90°이다. 이와 같은 변화는 방향이 다른 이 두개의 단층선이 진티마을 부근에서 거의 직각으로 교차하면서 서로 간섭한 결과인 것으로 볼 수 있다.

7. 북서-남동 주향과 북-남 주향의 단층선을 형성한 힘은, 전자의 경우, 양산단층선에 다소 비스듬하게 작용하여 이 단층선을 북북동에서 남남서 주향으로 走向移動시킨 압축력이며, 후자는 東海 쪽으로 부터 서쪽으로 작용하는 압축력으로 볼 수 있다.

註

1) 이 단층선은 慶州와 蔚山 사이에 있으며, 한때 兪

山江構造谷으로 불려졌다. 岡田 等(1998)은 蔚山 斷層系로 명명하였으나, 본 연구에서는 曹華龍 (1997)이 사용한 佛國寺斷層線이라 칭한다.

- 2) 권혁재, 1994, 지형학, 407-408.
- 3) marine oxygen isotope stages의 6에 해당하는 시기이다. 이 시기는 북미의 Late Illinoian氷期에 해당하고, Scandinavia반도를 비롯한 북유럽의 Warthe氷期에 대비된다. 많은 연구자들은 이시기를 Northern Alps에서 Late Riss氷期로 구분한다.
- 4) 小林國夫, 1982. 地學事典, 平凡社, 1073에 의하면, Mindel氷期는 Scandinavia의 Elster氷期, 북미의 Kansan氷期에 대비된다.
- 5) 이 표의 marine oxygen isotope stage와 관계된 명칭 및 絶對年代는 Šibrava(1986)의 연구를 기초로, Zagwijn(1985), de Jong(1988), Shackleton et al.(1990), Gibbard et al.(1991)의 자료를 참고하여 Lowe, J. J. and Walker, M. J. C.(1997)가 작성한 것의 일부이다.
- 6) 韓國資源研究所(1997)에서 참고하였음.

文 獻

權赫在, 1991, 地形學, 法文社, 서울.

朴敬錫, 1989, “韓國의 雨谷地形研究,” 慶北大學校 教育大學院 碩士學位論文.

朴魯植, 1959, “韓國扇狀地研究,” 慶熙大學校論文集, 2, 1-28.

宋彥根, 1993, “韓半島 中·南部地域의 嵌入曲流地形發達” 慶北大學校 大學院 博士學位論文.

吳建煥, 1977, “韓半島南部東海岸의地形發達,” 地理學評論, 50, 689-699.

禹柄榮, 1984, “梁山斷層의 地形學的 研究,” 慶北大學校 大學院 碩士學位論文.

尹順玉, 1984, “泗川·三千浦일대의 扇狀地에 대한 研究,” 慶熙大學校 大學院 碩士學位論文.

尹順玉·曹華龍, 1996, “第四紀 後期 英陽盆地的 自然環境變化,” 대한지리학회지, 31(3), 447-468.

李金三·曹華龍, 1998, “기반지질이 지형에 미친 영향분석,” 대한지리학회 1998년도 춘계학술논문 발표대회 요약집, 107-110.

曹華龍, 1997, “梁山斷層 周邊의 地形分析,” 대한지리학회지, 32(1), 1-14.

韓國資源研究所, 1997, 활성단층 조사평가 연구, 한국자원연구소 연구보고서, KR-97(C)-5.

黃相一·尹順玉, 1996, “韓國 東海岸 金谷地域 海岸段丘의 堆積物 特性和 地形發達,” 한국지형학회지, 3(2), 99-114.

黃相一, 1998, “慶州市 蝦浦 湖邊의 扇狀地 地形發達과 構造運動,” 한국지형학회지, 5(2), 189-200.

岡田篤正·渡邊滿久·佐藤比呂志·全明純·曹華龍·金性均·田正秀·池憲哲·尾池和夫, 1994, “梁山斷層 (韓國南東部) 中央部の活斷層地形とトレンチ調査,” 地學雜誌, 103(2), 111-126.

岡田篤正·渡 滿久·鈴木康弘·慶在福·曹華龍·金性均·尾池和夫·中村俊夫, 1998, “蔚山斷層系 (韓國南東部) 中央部の活斷層地形と斷層露頭,” 地學雜誌, 107(5), 644-658.

立岩巖(梁承榮譯), 1996, 韓半島地質學의 初期研究史, 慶北大學校出版部, 大邱.

Howell, D. G., 1993, *Tectonics of Suspect Terranes; Mountain Building and Continental Growth*, Chapman & Hall, London.

Lowe, J. J. and Walker, M. J. C., 1997, *Reconstructing Quaternary Environments* (2nd ed.), Longman, Hong Kong.