DOI: http://dx.doi.org/10.25202/JAKG.6.3.7 한국지리학회지 6권 3호 2017(395~405)

이용 강도에 따른 등산로 간 침식 특성 차이: 무등산 국립공원을 대상으로

김자수* · 김진관**

Impacts of Different Hiking-trail Use Frequency on Soil Erosion: A Case of Mt. Mudeng National Park, Korea

Jisu Kim* · Jin Kwan Kim**

요약 : 이용 강도에 따른 등산로 침식 특성 차이를 확인하기 위해 무등산 국립공원을 대상으로 이용 강도가 높은 증심사~중머리재 구간(Ta)와 이용 강도가 낮은 제2수원지~중머리재 구간(Tb)에서 비교 연구가 진행되었다. 두 등산로 구간은 계곡을 따라 사면 옆에 위치하였고, 경사 차이는 크지 않았다. 그러나 Ta에서 우곡형 구조가 더 많이 존재하였다. 등산로 바닥은 대부분의 지점에서 Ta는 기반암, Tb는 자갈로 구성되어 있었다. 뿌리 노출 문제는 두 등산로에서 공통적으로 발견되었으나, 다중 등산로는 오직 Ta의 상부 구간에서만 발견되었다. 등산로 단면으로 추정한 토양 침식량은 Ta가 Tb보다 많았다. 그러나 침식량의 차이는 등산로 깊이가 아닌 두 등산로 간의 폭의 차이에 의해 발생하였으며, 이러한 결과는 이용 강도에 따른 등산로 침식 특성 차이는 주로 등산로 확장으로 나타남을 의미한다. 그리하여 본 연구는 이용이 많거나 증가하는 등산로에서는 등산로 확장에 관한 주의나 대응책이 필요함을 시사한다.

주요어 : 등산 활동, 토양 침식, 등산로, 무등산 국립공원

Abstract : To identify erosion properties of trail with the different trail use, a comparative study was conducted in Mt. Mudeung National Park (Gwangju, Korea) in Jeungsimsa~Jungmeorijae area of high traffic (Ta) and Second catchment area~Jungmeorijae of low traffic (Tb). The two hiking trails were located on sidehill of valleys, and the gradient difference was not large. However, Ta has more points of gully shape more than Tb in trail structure. The bottom of the trail was composed of bedrock (Ta) and gravel (Tb) at most points. Root exposure problems were commonly found in two trails, but multiple trails were found only in the upper part of Ta. Soil erosion rate estimated by the measurement of cross-section area of the trail was significantly bigger on the Ta than Tb. However, the significant difference between Ta and Tb was occurring from trail-width not trail-depth. The difference of trail erosion characteristics according to the intensity of use is led by the expansion of the trail. Therefore, this study suggests that the attention and countermeasure about trail widening will be needed with increasing hiking trail use.

Key Words : Mountain hiking, Soil erosion, Hiking-trail, Mt. Mudeng National Park

*이 논문은 2016년 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2016S1A5A8018578).

**전남대학교 사회교육학과 석사과정(Master Student, Department of Social Studies Education, Chonnam National University, kjs25kr@naver.com)

***전남대학교 지리교육과 조교수(Assistant Professor, Department of Geography Education, Chonnam National University, jinkwankim77@gmail.com)

I. 서론

여가 활동에 대한 수요가 증가하면서 등산은 가장 대중적인 여가 활동으로 자리 잡았다. 국내의 많은 산들은 등산을 위한 장소로 이용되고 있고, 특히 2007년 국립공원 입장료 폐지 이후 산악형 국립공원을 찾는 등산객이 급증하였다(국립공원관리공단 홈페이지). 그러나 등산객들이 접근성이 좋은 일부 등산로 구간에 몰리게 되면서, 등산로 훼손으로 인한 환경 파괴 문제도 함께 대두되고 있다(동아일보, 2016년 10월 26일자). 특히, 2012년에 국립공원으로 승격된 무등산 또한 등산객 쏠림 현상으로 인한 등산로 훼손 문제가 발생하였다(광주일보, 2015년 1월 28일자).

일찍이 해외에서는 국립공원 및 등산로 관리를 위해서는 등산 활동의 영향에 대한 정량화가 필수적임을 인식하였다(James *et al.*, 1979). 50년 넘게 관련 연구가 진행되면서 등산 활동은 등산로에 상당한 스트레스를 주고, 주변 자연환경의 변화를 일으킨다고 알려졌다(Cole, 1983; Sun and Liddle, 1993; Deluca *et al.*, 1998; Sutherland *et al.*, 2001; Pickering *et al.*, 2009). 최근에는 현장의 특성 차이 비교에서 나아가 보다 직접적인 실험 연구가 진행되고 있다. Korlanc(2014)은 등산 활동 강도를 조작 통제하는 실험을 설계하였고, 단기적이고 정량화된 등산로 특성 변화를 확인하였다.

국내에서도 국립공원으로 지정되어 있는 산들을 중심으로 등산로 훼손 실태에 관한 조사(권태호 등, 1989; 1990; 1994; 1995; 1996; 2003; 2005), 등산 활동으로 인한 토양 및 등산로 단면 변화에 관한 연구(김태호, 2003; 2008; 김태호 · 이승욱, 2013)가 진행되었다. 최근 국립공원으로 승격된 무등산 또한 국내 산악형 국립공원 중 두 번째로 많은 등산객이 이용하고 있으며, 등산객의 통행 패턴에 관한 연구(오구균 등, 2011; 심석영 · 박석곤, 2017) 위주로 연구가 진행되었으나, 위와 같은 등산로 훼손 실태와 관련된 연구가 필요하다.

그리하여, 본 연구는 등산 활동이 등산로에 미치는 영향을 정량화하기 위한 기초 연구로서, 이용 강도에 따른 등산로 간의 침식 특성 차이를 알아보고자 한다. 이를 위해 무등산 국립공원 등산로 중 이용 강도가 높은 구간과 이용 강도가 낮은 구간을 대상으로 지형적 특성(경사, 위치, 등산로 및 주변 사면 구조), 등산로 상태(등산로 구성 물질, 침식으로 인한 문제), 그리고 등산로 단면 및 침식량을 비교 분석하였다. 이와 같은 연구는 등산로 관리에 필요한 정보를 제공하고, 올바른 등산로 관리 방안 설정에 도움을 줄 것으로 생각된다.

II. 연구지역 및 방법

1. 연구지역

무등산 국립공원은 총면적 약 75㎢로 광주광역시 동구와 북구, 전라남도 화순군과 담양군 경계에 위치해 있다. 1972년 도립공원으로 지정되었으며, 2012년 12월에 국립공원으로 승격되었다. 정상인 천왕봉은 해발 1,187m이고, 전체적으로 완만한 산세를 지니고 있다. 상부에 위치한 주상절리대와 중턱에 분포하고 있는 암괴류 너덜은 무등산 국립공원의 대표적인 지형 경관이다.

무등산 국립공원의 지질은 원생대의 화강편마암이 공원 전역에 넓게 나타나고, 중생대 쥐라기에 광범위하게 관입한 화강암이 북서부에 위치하고 있다(안건상 등, 2014). 주된 토양은 구릉성 산지에서 매우 흔하게 볼 수 있는 암쇄토이며, 미국 토양 분류체계에 따르면 우드엡트(Udepts)로 분류된다(국립농업과학원, 2006). 연평균 기온은 13.8℃이고, 연평균 강수량은 1,391mm로 연평균 강수량의 57%가 여름에 내린다(기상청 홈페이지).

무등산 국립공원에는 총 길이 165km인 63개 구간의 등산로가 존재한다(그림 1). 그 중 등산객이 몰리는 주요 탐방로는 그림 1에 굵은 선으로 표시되어 있다. 증심사~중머리재~장불재로 이어지는 구간과 원효사~장불재로 이어지는 구간이다. 이 구간은 인구가 많은 광주광역시로부터 접근이 용이하고, 최고점인 천왕봉과 주요 명소인 입석대와 서석대로 가는 길이 이어졌다. 그리하여 무등산 국립공원 등산객의 약 85%가 이 구간을 이용한다(국립공원관리공단 홈페이지).

무등산에는 여러 구간의 등산로가 있지만 본 연구의 비교 분석을 위해서는 이용객 수를 제외한 다른 조건이 최대한 유사해야 하기 때문에 계곡에 위치한 증심사~당산나무~중머리재 구간(Ta)과 제2수원지~용추폭포갈림길~중머리재 구간(Tb)을 선정하였다. Ta는 증심사(해발 343m)에서 계곡을 따라 1.9km 이어진다. 증심사로 진입하는 길 입구에는 상가 및 편의시설이 상당히 들어서 있다. Tb는 제2수원지(해발 133m)에서 계곡을 따라 3.8km

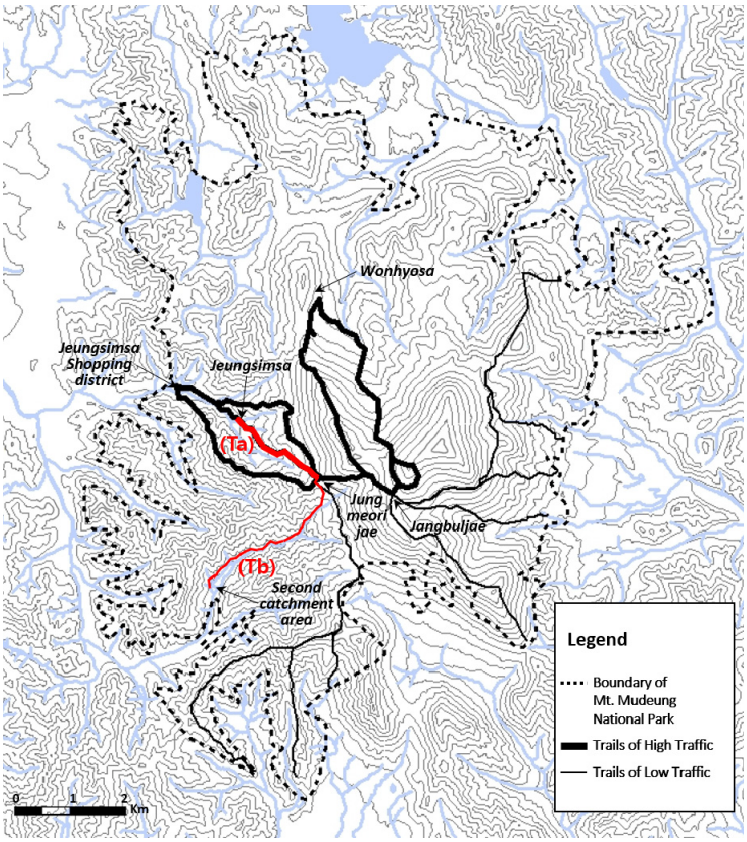

그림 1. 무등산 국립공원 내 등산로들과 연구지역의 위치

* 1:25,000 지형도에 ArcGIS를 활용하여 필자가 직접 표시함.

이어진다. 1981년 상수원보호구역으로 지정되어 출입이 통제되었다가 2015년 재개방 되었다. 두 구간은 중머리재(해발 617m)를 교차점으로 이어진다. 국립공원관리공단에서 자동화 계수 시스템(오버헤드)으로 측정한 자료에 따르면 2016년 일 년 동안 Ta에 716,118명, Tb에 62,723명으로 광주 내 전체 등산객의 51%가 Ta 구간, 5%가 Tb 구간의 입구에 진입하였다(국립공원관리공단 홈페이지). 하지만 실제 조사 기간 동안(2016년 6월~ 2016년 10월) 현장에서 확인한 Tb 등산로의 등산객 수는 평균적으로 하루에 5명 이내로 매우 적어 실제로는 Ta 구간과 Tb 구간의 등산객 차이가 더 클 수 있다.

2. 연구방법

이용 강도가 높은 등산로 구간(Ta)과 이용 강도가 낮은 등산로 구간(Tb) 간의 침식 특성 차이를 알아보기 위해 2016년 8월부터 10월까지 현장 조사를 수행하였다. 두 등산로 구간을 비교하기 위한 샘플링 및 현장 조사 방법으로 Leung and Marion(2001)이 제안한 '지점 측정 방법'을 사용하였다. 각 등산로 구간이 시작하는 지점에서부터 100m 간격으로 조사 지점을 선정하였고, 인공구조물 및 하천으로 인하여 조사가 불가능한 지점에서는 20m 내외에서 적합한 지점으로 재선정 하였다. 지점 간의 거리는 국립공원관리공단에서 제공하는 애플리케이션 '국립공원 산행정보'의 GPS 트래킹 기능을 이용하여 측정하였다. 이에 대한 보정은 등산로에 500m 간격으로 설치된 위치표시판을 이용하였다. 조사 지점은 Ta 구간에서 17개, Tb 구간에서 30개, 총 47개 지점을 선정하였다.

각 구간의 전체 사면 경사는 시작 지점과 끝 지점 간의 고도 차이와 길이를 이용하여 산정되었다. 지점별 경사는 지점의 등산로 중앙에서 1m 앞 등산 방향을 향해 클

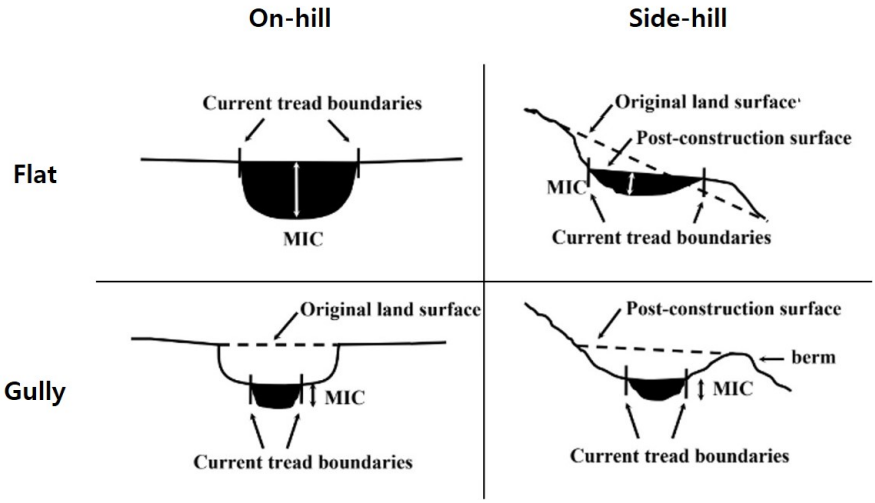

그림 2. 등산로의 위치와 구조 모식도

* Marion(2006)의 자료를 재구성함. MIC는 Maximum Incision을 의미함.

리노미터로 측정하였다. 등산로의 위치와 형태는 Marion (2006)이 분류한 모식도를 토대로 조사되어 기록되었다 (그림 2). 등산로의 위치는 각 지점에서 등산로가 사면 옆에 위치하는지 또는 위치하지 않는지 두 가지로 구분되었다. 등산로가 사면 옆에 위치하지 않을 경우에는 두 개의 사면 사이나 평탄면 위에 위치하였다. 등산로의 구조는 우곡형과 평탄형 두 가지로 구분되었다. 등산로가 우곡형일 경우 등산로의 구조가 반원에 가까우며, 등산로 구조 내의 물이 빠져나가기 어려우며, 호우 시에는 등산로가 일시적인 물과 퇴적물의 운반통로 역할을 수행하기도 한다.

등산로 표면의 구성 물질은 각 지점별로 모래 · 점토, 자갈, 기반암 세 종류로 구분되었다. 등산로 바닥에서 최대 50×50cm 부분을 수직 방향으로 사진 촬영한 후, 모래 · 점토, 자갈, 기반암 중 가장 면적이 큰 물질을 해당 지점의 피복 상태로 나타내었다. 등산로에 나타나는 침식 문제는 조사 지점에서 나무뿌리 노출이나 다중 등산로(Multiple trail)가 3m 이상 나타날 경우에 기록되었다(Leung and Marion, 1999). 특히, 다중 등산로는 기존 등산로 옆에 등산로가 새로 만들어져 두 개 이상의 등산로가 형성된 것을 기록하였다.

등산로의 폭, 최대 깊이, 단면적을 구하기 위해 Cole (1983)의 방법을 따라 수행하였다. 등산로의 양 끝 기준점들은 식생 및 구성 물질이 시각적으로 완연히 차이가 나는 곳으로 정해졌다. 등산로의 폭은 막대 사이의 거리를 레이저 거리 측정기로 구하였다. 등산로의 최대 깊이는 등산로 내의 3개에서 5개의 점 중 기준점에 설치한 실로부터 수직으로 가장 먼 점의 길이를 측정하여 구하였다. 등산로의 단면적은 기존 공식을 변형한 '변동 간격 단면적 공식'(Leung and Marion, 2006)을 이용하여 구하였다.

$$CSA = \sum_{i=1}^{n} \{ (V_i + V_{i+1}) \times I_i \times 0.5 \}$$

CSA는 단면적(Cross section area), i는 양 끝 점을 포함한 등산로 내의 점, V_i는 i의 깊이, 그리고 I_i는 i와 $i+1$ 사이의 간격이다.

등산객의 이용 강도에 따른 등산로 구간(Ta, Tb) 간의 폭, 최대 깊이, 단면적의 차이를 설명하기 위해 통계 분석을 수행하였다. 변수들이 정규분포하지 않고 편향되어 분포하기 때문에 중앙값을 이용하여 경향성을 설명하였다(Helsel and Hirsch, 1992). 또 Wilcoxon signed rank test를 통하여 등산로 구간 간의 중앙값이 통계적으로 유의미한 차이를 보이는지 유의수준 0.05로 검정하였다. 통계 분석은 IBM SPSS statistics 23 프로그램(IBM, USA)을 활용하였다.

III. 결과 및 논의

1. 지형적 특성

경사, 위치, 구조와 같은 등산로의 지형적 특성은 등산로 침식 특성에 영향을 미치는 중요한 요인이다. Ta 구간의 전체 사면 경사는 8.21°이고, Tb 구간의 전체 사면 경사는 7.26°이다. Ta 구간 지점별 경사의 평균은 9.65°였다. 가장 완만한 경사를 가진 지점은 1°였고, 가장 가파른 지점은 22°였다. Tb 구간 지점별 경사의 평균은 6.57°였다. 가장 완만한 경사를 가진 지점은 0°였고, 가장 가파른 지점은 23°였다. 두 구간의 경사에 대한 분포는 통계적으로는 그 차이가 크게 나타나지 않았다.

등산로 Ta 구간에서는 총 17개의 측정 지점 중 15곳이 사면 옆에 위치하였고, 2곳이 사면 옆이 아닌 곳에 위치하였다. 등산로 Tb 구간에서는 총 30개의 측점 지점 중 28곳이 사면 옆에 위치하였고, 2곳이 사면 옆이 아닌 곳에 위치하였다. Ta 구간과 Tb 구간 모두 등산로는 대부분 사면 옆에 위치하고 있으며, 일부 짧은 구간만이 사면 옆이 아닌 곳에 위치하고 있었다. 두 구간의 등산로는 모두 계곡을 따라 이어지는데, 완만한 경사를 가지는 능선과 달리 계곡의 경사는 일반적으로 급하다. 이 가파른 지형으로 인해 구간의 일부를 제외한 거의 모든 곳에서 등산로가 사면 옆에 위치한 것으로 나타났다.

사면의 옆으로 등산로가 조성될 경우 주변 사면의 경사에 따라 등산로 옆에 둔턱(Berm)이 발달할 수 있다. 이 우곡형 구조가 발달하면 사면으로 흘러내리는 물길이 등산로에서 빠져나가지 못해 유수에 의한 침식이 커질 수 있다(Birchard and Proudman, 2000; Hesselbarth and Vachowski, 2000). 지점별로 등산로 구조를 구분한 결과 Ta 구간에서는 총 17개의 측정 지점 중 우곡형이 8곳, 평탄형이 9곳 있었다. Tb 구간에서는 총 30개의 측점 지점 중 우곡형이 9곳, 평탄형이 21곳 있었다. Ta 구간에서는 전체 중 절반 가까이 되는 지점이 우곡형인 반면, Tb 구간에서는 30% 정도의 지점이 우곡형이었다. Ta 구간과 Tb 구간의 경사 분포와 위치에 대한 차이는 거의 나타나지 않았다. 다만 침식 가능성 정도의 의미를 내포하는 단면 구조(Marion and Leung, 2001)는 두 구간 간에서 차이가 나타났다. 특히 Ta 구간에서 우곡형이 Tb 구간보다 더 많이 나타났으며, 이는 Ta 구간에서 보다 더 많은 침식이 발생할 수 있음을 의미한다.

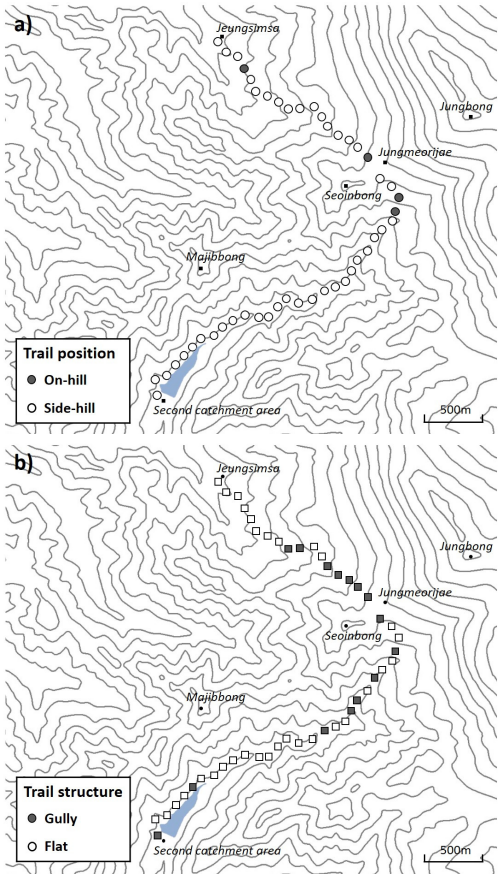

그림 3. 지형적 특성의 분포

* 1:25,000 지형도에 ArcGIS를 활용하여 필자가 직접 표시함.

** a) 등산로 위치; b) 등산로 구조.

2. 등산로의 상태

그림 4는 Ta 구간과 Tb 구간의 각 측정 지점에서 발견되는 등산로 상태를 요약 · 정리한 것이다. 등산로 표면의 구성 물질은 Ta 구간 총 17개 측정 지점 중 4곳에서 모래 · 점토 (24%), 1곳에서 자갈 (6%), 12곳에서 기반암 (70%)이 지배적이다. Tb 구간은 총 30개 측정 지점 중 8곳에서 모래 · 점토 (27%), 18곳에서 자갈 (60%), 4곳에서 기반암 (13%)이 지배적이다. Ta 구간은 기반암으로 피복된 곳이 많은 반면 Tb 구간은 자갈로 피복된 곳이 많았다. 일반적으로 등산로 표면에 기반암 또는 자갈층이 노출되면 심각한 침식작용이 발생하였던 것으로, 이들의 노출 이후에는 침식작용이 중지되거나 둔화된다 (Bryan, 1977; Weaver and Dale, 1978). Ta 구간과 Tb

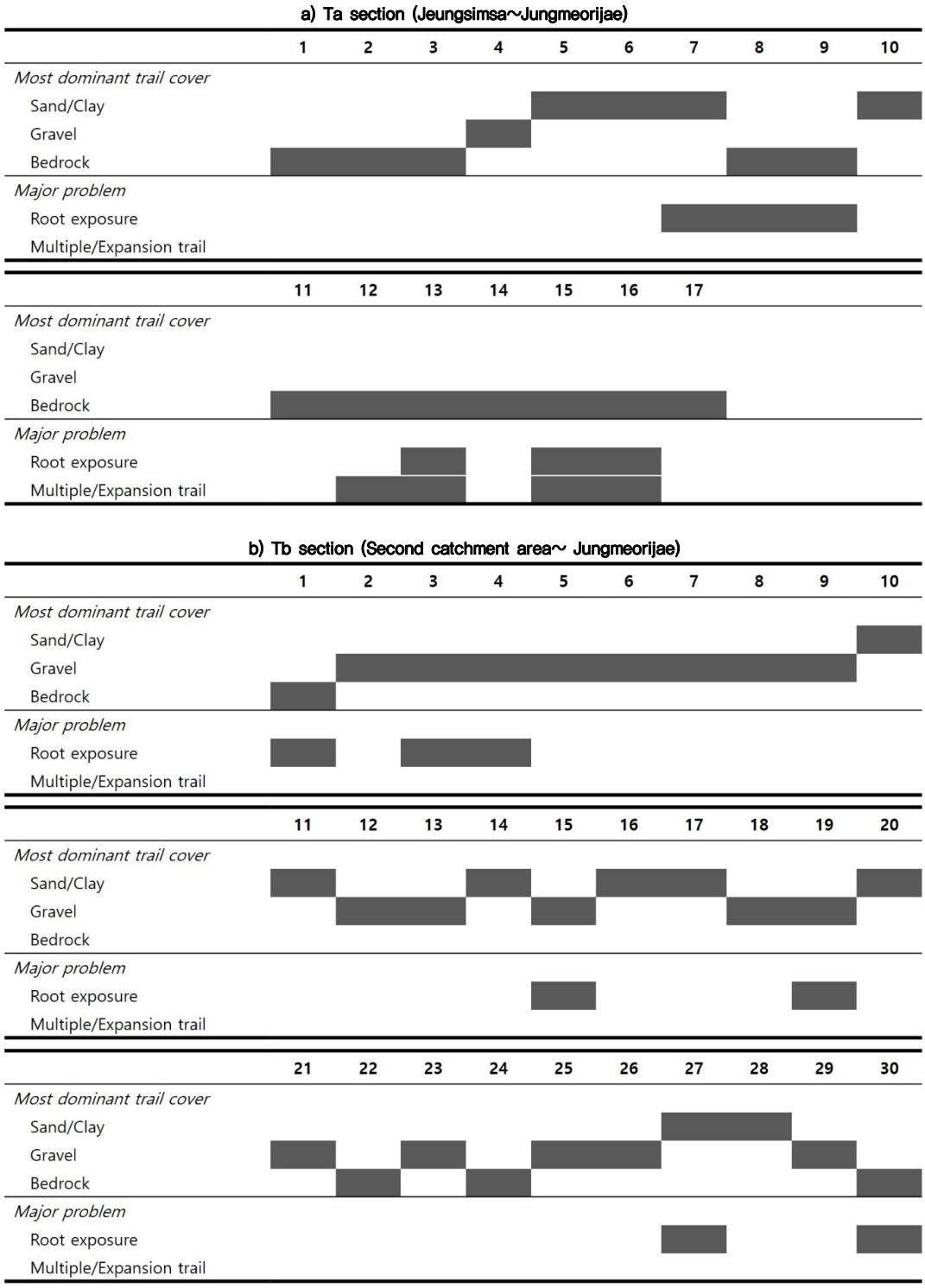

그림 4. 등산로 상태 요약 다이어그램

* a) 등산로 Ta; b) 등산로 Tb.

구간 상당 부분의 등산로 바닥 표면이 기반암 또는 자갈로 구성되어 있어, 이 구간들에서는 과거에 침식작용이 활발했었던 것으로 추정되며 현재는 침식이 많이 일어나지 않을 것으로 보인다.

등산로에 노출된 나무뿌리는 Ta 구간 총 17개 측정 지점 중 6곳에서 발견되었다. Tb 구간에서는 총 30개의 측정 지점 중 7곳에서 발견되었다. 다중 등산로는 Ta 구간 상부의 4개 지점에서 발견되었으나, Tb에서는 발견되지 않았다. 등산로 침식과 관련된 문제인 뿌리 노출은 Ta 구간과 Tb 구간에서 공통적으로 나타났다. 반면 다중 등산로는 Ta 구간 상부에서만 발견되었으며, 발견된 지점에서는 한 곳을 제외하고 뿌리 노출도 함께 나타났다. 이것으로 미루어보아 등산로의 이용 강도가 낮은 곳에서도 뿌리 노출 문제는 나타날 수 있지만, 다중 등산로의 형성은 이용 강도가 상대적으로 높은 곳에서 나타나는 것으로 보인다.

3. 등산로 단면 및 침식량

이용 강도가 높은 Ta 구간의 등산로 폭은 중앙값 177.91 cm, 최소값 117.12cm, 최대값 422.67cm이다. 이용 강도가 낮은 Tb 구간의 등산로 폭은 중앙값 66.45cm, 최소값 36.08, 최대값 178.58cm이다. Ta 구간 등산로 폭의 중앙값이 Tb 구간 등산로 폭의 중앙값 보다 167.7% 크다. 두 구간의 등산로 폭은 유의수준 1% 미만에서 통계적으로 유의미한 차이를 가진다. Ta 구간의 등산로 최대 깊이는 중앙값 2.78cm, 최소값 0.63cm, 최대값 17.89cm이다. Tb 구간의 등산로 최대 깊이는 중앙값 2.85cm, 최소값 0.32, 최대값 21.94cm이다. Ta 구간 등산로 최대 깊이의 중앙값이 Tb 구간 등산로 최대 깊이의 중앙값보다 2.5% 작다. 그러나 두 구간의 등산로 최대 깊이는 통계적으로 유의미한 차이를 가지지 않는다.

Ta 구간의 등산로 단면적은 중앙값 191.4cm^2, 최소값 191.4cm^2, 최대값 191.4cm^2이다. Tb 구간의 등산로 단면적은 중앙값 87.47cm^2, 최소값 6.65cm^2, 최대값 1848.47cm^2이다. Ta 구간 등산로 단면적의 중앙값이 Tb 구간 등산로 단면적의 중앙값보다 118.8% 크다. 두 구간의 등산로 단면적은 유의수준 5%에서 통계적으로 유의미한 차이를 가진다(표 1). 등산로의 단면적은 등산로에서 침식된 토양의 총량으로도 볼 수 있다(Cole, 1991). 따라서 이용 강도가 높은 Ta 구간에서 이용 강도가 낮은 Tb 구간보다 등산로의 토양 침식량이 훨씬 크다고 볼 수 있다.

침식량(단면적)을 결정하는 변수인 등산로의 폭과 깊이를 살펴보면, 등산로의 이용 강도에 따라 등산로 깊이 차이는 없는 반면, 등산로 폭의 차이는 통계적으로도 상당히 유의미했다(표 1). 그러나 이는 Ta 구간이 Tb보다 우곡형이 많은 지형적 특성의 차이에 의한 결과로도 볼 수 있다. 그리하여 지형적 특성을 고려하여 Ta 구간과 Tb 구간을 우곡형과 평탄형으로 나누어서 비교해 본 결과, 등산로의 이용 강도에 따라 등산로 깊이 차이는 없는 반면, 등산로 폭의 차이는 통계적으로도 상당히 유의미했다(표 2). 기존에 연구된 다른 국립공원(덕유산, 주왕

표 1. 등산로 단면적의 기하학적 변수와 Wilcoxon paired sample test 결과: (Ta) 높은 이용 강도 등산로; (Tb) 낮은 이용 강도 등산로

Variable	Unit	High traffic (Ta)*	Low traffic (Tb)**	Relative Difference (%)**	*p*-value***
Morphological property					
Trail width	cm	177.91 (117.12 – 422.67)	66.45 (36.08 – 178.58)	+167.7	<0.0001
Trail maximum depth	cm	2.78 (0.63 – 17.89)	2.85 (0.32 – 21.94)	-2.5	0.463
Trail cross section area	cm^2	191.4 (36.75 – 4356.21)	87.47 (6.65 – 1848.47)	+118.8	0.015

* Median values; values in parentheses are the minimum and maximum values.

** The median relative percent change from Ta to Tb was calculated using Equation; positive values indicate Ta>Tb and negative values indicate Tb>Ta.

*** *p*-values were calculated using the Wilcoxon (non-parametric) paired test, with values less than 0.05 indicating a statistically significant difference between Ta and Tb.

표 2. 등산로 단면적의 기하학적 변수와 Wilcoxon paired sample test 결과: (Ta–G) 우곡형의 높은 이용 강도 등산로; (Tb–G) 우곡형의 낮은 이용 강도 등산로; (Ta–F) 평탄형의 높은 이용 강도 등산로; (Tb–F) 평탄형의 낮은 이용 강도 등산로

Variable	Unit	High traffic (Ta-G)*	Low traffic (Tb-G)*	Relative Difference (%)**	*p*-value***
Morphological property					
Trail width	cm	215.08 (117.12 – 422.67)	79.49 (54.84 – 178.58)	+170.6	0.018
Trail maximum depth	cm	8.86 (1.44 – 17.89)	3.97 (0.68 – 21.94)	+123.2	0.398
Trail cross section area	cm^2	552.74 (94.4 – 4356.21)	187.81 (22.38 – 1848.47)	+194.3	0.237
Variable	Unit	High traffic (Ta-F)[1]	Low traffic (Tb-F)[1]	Relative Difference (%)[2]	*p*-value[3]
Morphological property					
Trail width	cm	160.45 (117.60 – 398.52)	62.23 (36.08 – 101.55)	+157.8	0.005
Trail maximum depth	cm	1.55 (0.63 – 17.29)	2.71 (0.32 – 7.21)	-74.8	0.241
Trail cross section area	cm^2	141.14 (36.75 – 2691.68)	84.67 (6.65 – 284.63)	+66.7	0.139

* Median values; values in parentheses are the minimum and maximum values.

** The median relative percent change from Ta to Tb was calculated using Equation; positive values indicate Ta>Tb and negative values indicate Tb>Ta.

*** *p*-values were calculated using the Wilcoxon (non-parametric) paired test, with values less than 0.05 indicating a statistically significant difference between Ta and Tb.

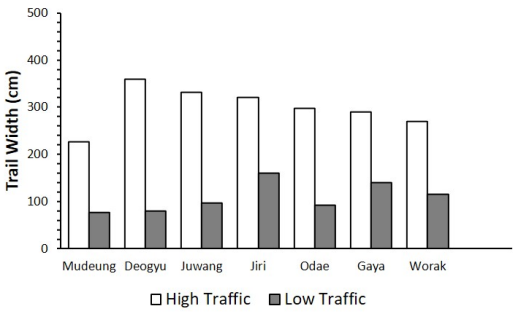

그림 5. 국내 산악형 국립공원 등산로 폭의 평균값 비교
* 권태호 등(1989; 1991; 1994; 1995; 1996; 2005)과 비교함.

산, 지리산, 오대산, 가야산, 월악산)에서도 이용 강도가 높은 등산로가 이용 강도가 낮은 등산로 보다 폭의 평균값이 높았지만, 깊이의 평균값은 일부 국립공원(덕유산, 오대산, 가야산)에서만 높았다(권태호 등, 1989; 1991; 1994; 1995; 1996; 2005). 즉 등산로의 이용 강도가 커질수록 등산로의 하방 침식은 일정 깊이에서 한계를 갖는 것으로 보인다. 반면, 등산로 양안의 침식으로 등산로 폭이 확대되는 경향이 있음을 추정할 수 있다. 이용 강도가 높을수록 깊이의 변화는 일정 깊이에서 더 이상 깊어지지 않고 폭의 변화가 더 크게 나타난 것으로 보아 하방침식을 제약하는 어떤 요인이 있는 것으로 판단된다. 앞으로의 연구에서는 등산로에서의 하방 침식을 제약하는 요인들과 측방 확장하는 프로세스를 규명하기 위한 토질역학과 관련된 실험 및 강우 침식 실험(김진관 등, 2016a; 2016b)을 수행할 예정이며, 또한 모델링을 이용하여 공간적인 토사유출 특성을 비교하는 연구(김민석, 2016)도 추후 필요하다고 생각된다.

IV. 결론

본 연구에서는 이용 강도에 따른 등산로 간의 침식 특성 차이를 알아보고자 무등산 국립공원 등산로 중 이용 강도가 높은 등산로 구간(Ta)과 이용 강도가 낮은 등산

로 구간(Tb)을 비교 분석하였다. 등산로 Ta와 Tb 구간에서 경사와 위치 같은 지형적 차이는 크게 나타나지 않았다. 그러나 나무뿌리 노출과 다중 등산로의 형성과 같은 침식 문제 정도나 단면적 측정 결과로 보았을 때, 이용 강도에 따라 등산로 Ta 구간에서 Tb 구간보다 더 많은 침식이 진행된 것으로 판단된다. 그러나 등산로 단면적으로 본 이용 강도에 따른 침식량 차이는 하방으로의 침식(최대 깊이)보다 양옆으로의 침식(폭)에 의해 구별할 수 있었다. 이와 같은 결과는 하방으로의 침식에 있어 수리적 혹은 토양의 물리적 특성에 의한 한계가 존재함을 의미하며, 이로 인하여 결국은 양옆으로의 붕괴와 침식이 진행해 나가는 것으로 보이지만 보다 정확한 침식 과정에 대해 이해하기 위해서는 추가적인 연구가 필요하다. 본 연구는 무등산 국립공원 등산로의 침식에 대한 기초 정보를 제공하며 등산로 이용 강도에 따른 등산로 확장에 대한 주의와 대응 방안이 필요함을 시사한다.

참고문헌

권태호·김동욱·이준우, 2005, “월악산국립공원 등산로의 훼손실태 분석,” 한국환경생태학회지, 19(2), 130-138.

권태호·오구균·이준우, 1994, “덕유산 국립공원 등산로 및 야영장의 환경훼손에 대한 이용영향,” 한국환경생태학회지, 7(2), 241-251.

권태호·오구균·이준우, 1995, “주왕산국립공원 등산로의 이용패턴 및 주변환경훼손에 대한 이용영향,” 한국환경생태학회지, 8(2), 167-176.

권태호·오구균·이준우, 1996, “오대산 국립공원 이용에 따른 등산로 및 주변환경훼손,” 한국환경생태학회지, 9(2), 211-220.

권태호·오구균·정남훈, 1989, “가야산국립공원의 등산로 및 야영장 훼손과 주변 환경에 대한 이용영향,” 한국환경생태학회지, 3(1), 81-94.

권태호·이준우, 2003, “백두대간 마루금 등산로 및 주변환경의 훼손실태-만복대-복성이재 구간을 대상으로,” 한국환경생태학회지, 16(4), 465-474.

김민석, 2016, “GeoWEPP model을 이용한 화강암과 변성암 기반 두 소유역에서의 토사유출 특성 분석,” 한국지리학회지, 5(1), 61-70

김진관·강재원·정관수·최훈·김민석, 2016a, “인공 강우 시뮬레이터의 강우 특성 분석을 통한 최적 운영방법 제안,” 한국지리학회지, 5(1), 51-60

김진관·김민석·한민·양동윤, 2016b, “Veejet 노즐을 이용한 진동 강우 시뮬레이터: 토양 침식 및 붕괴 연구를 위한 이의 구성과 특성 측정,” 한국지리학회지, 5(2), 133-142.

김태호, 2003, “한라산과 다랑쉬오름 등산로의 답압에 의한 토양 압밀현상,” 한국지역지리학회지, 9(2), 169-179.

김태호, 2008, “한라산 성판악 등산로 노폭의 확대 속도와 요인,” 대한지리학회지, 43(3), 296-311.

김태호, 2011, “지리산 국립공원 종주 등산로의 물리적 특성,” 대한지리학회지, 46(4), 425-441.

김태호·이승욱, 2013, “지리산국립공원 종주등산로의 횡단면 변화,” 한국지역지리학회지, 19(2), 234-245.

심석영·박석곤, 2017, “무등산국립공원 서석대 정상부의 탐방패턴 분석,” 한국환경생태학회지, 31(2), 266-274.

안건상·허민·손정모, 2014, “국립공원 무등산의 지질 형성사와 자연경관,” 지질학회지, 50(1), 91-105.

오구균·김보현·김철의, 2011, “무등산도립공원 탐방객 수 추정 및 통행 패턴,” 한국환경생태학회지, 25(2), 227-234.

Birchard, W. and Proudman, R.D., 2000, *Appalanchian Trail Design, Construction, and Maintenance*, 2nd edition, Harpers Ferry, W.V.: Appalanchian Trail Conference, 1-237.

Bryan, R.B., 1977, The influence of soil properties on degradation of mountain hiking trails at Grövelsjön. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 59(1-2), 49-65.

Cole, D.N., 1983, *Assessing and Monitoring Backcountry Trail Conditions* (Vol. 303), US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station.

Deluca, T.H., Patterson Iv, W.A., Freimund, W.A., and Cole, D.N., 1998, Influence of llamas, horses, and hikers on soil erosion from established recreation trails in western Montana, USA, *Environmental Management*, *22*(2), 255-262.

Helsel, D.R. and Hirsch, R.M., 1992, *Statistical Methods in Water Resources* (Vol. 49), New York: Elsevier.

Hesselbarth, W., Vachowski, B., and Davies, M.A., 1996,

Trail Construction and Maintenance Notebook, USDA Forest Service, Technology and Development Program.

Hill, W. and Pickering, C.M., 2006, Vegetation associated with different walking track types in the Kosciuszko alpine area, Australia, *Journal of Environmental Management*, *78*(1), 24-34.

James, T.D.W., Smith, D.W., Mackintosh, E.E., Hoffman, M.K., and Monti, P., 1979, Effects of camping recreation on soil, jack pine, and understory vegetation in a northwestern Ontario park, *Forest Science*, *25*(2), 333-349.

Korkanç, S.Y., 2014, Impacts of recreational human trampling on selected soil and vegetation properties of Aladag Natural Park, Turkey, *Catena*, 113, 219-225.

Lee, Y.L. and Watanabe, T., 2011, *Multidisciplinary assessments of Trail Degradation for Framing Future Trail Management: Examination in Shei-Pa National Park, Taiwan*, Institute of Mountaun Research, 212-221.

Leung, Y.F. and Marion, J.L., 1996, Trail degradation as influenced by environmental factors: A state-of-the-knowledge review, *Journal of Soil and Water Conservation*, *51*(2), 130-136.

Leung, Y.F. and Marion, J.L., 1999, Assessing trail conditions in protected areas: Application of a problem-assessment method in Great Smoky Mountains National Park, USA, *Environmental Conservation*, *26*(4), 270-279.

Leung, Y.F. and Marion, J.L., 2000, Recreation impacts and management in wilderness: A state-of-knowledge review, *Wilderness Science in a Time of Change Conference*, 5, 23-48.

Liddle, M.J., 1991, Recreation ecology: Effects of trampling on plants and corals, *Trends in Ecology and Evolution*, *6*(1), 13-17.

Marion, J.L. and Leung, Y.F., 2001, Trail resource impacts and an examination of alternative assessment techniques, *Journal of Park and Recreation Administration*, *19*(3), 17-37.

Marion, J.L. and Olive, N., 2006, *Assessing and Understanding Trail Degradation: Results from Big South Fork National River and Recreational Area*, US Geological Survey.

Pickering, C.M., Hill, W., Newsome, D., and Leung, Y.F., 2010, Comparing hiking, mountain biking and horse riding impacts on vegetation and soils in Australia and the United States of America, *Journal of Environmental Management*, *91*(3), 551-562.

Sun, D. and Liddle, M.J., 1993, A survey of trampling effects on vegetation and soil in eight tropical and subtropical sites, *Environmental Management*, *17*(4), 497-510.

Sutherland, R.A., Bussen, J.O., Plondke, D.L., Evans, B. M., and Ziegler, A.D., 2001, Hydrophysical degradation associated with hiking-trail use: a case study of Hawai'iloa Ridge Trail, O'ahu, Hawai'I, *Land Degradation and Development*, 12(1), 71-86.

Tarolli, P., Calligaro, S., Cazorzi, F., and Fontana, G.D., 2013, Recognition of surface flow processes influenced by roads and trails in mountain areas using high-resolution topography, *European Journal of Remote Sensing*, 46(1), 176-197.

Thurston, E. and Reader, R.J., 2001, Impacts of experimentally applied mountain biking and hiking on vegetation and soil of a deciduous forest, *Environmental Management*, *27*(3), 397-409.

Weaver, T., Dale, D., and Hartley, E., 1979, The relationship of trail condition to use, vegetation, user, slope, season, and time, in Weaver, T., Dale, D., Hartley, E., Ittner, R., Potter, D.R., Agee, J.K., and Anschell, S., eds., *Recreational Impact on Wildlands*, Pacific Northwest Region: USDA Forest Service, 94-100.

Wilson, J.P. and Seney, J. P., 1994, Erosional impact of hikers, horses, motorcycles, and off-road bicycles on mountain trails in Montana, *Mountain Research and Development*, 14(1), 77-88.

광주일보, 2015년 1월 28일자, "무등산 탐방로 '쏠림현상' 심각…환경 파괴 우려"

동아일보, 2016년 10월 26일자, “국립공원 망치는 ‘북새통 탐방’”
국립공원관리공단 홈페이지, “2016 국립공원기본통계 [탐방지원]”, http://www.knps.or.kr
국립공원관리공단 홈페이지, “2016 무등산국립공원 탐방객 수 통계”, http://www.knps.or.kr
국립농업과학원 홈페이지, “토양환경지도”, http://soil.rda.go.kr
기상청 홈페이지, 2010, “평년값자료(30년)”, http://www.kma.go.kr

교신 : 김진관, 61186, 광주광역시 북구 용봉로 77, 전남대학교 사범대학 지리교육과 (이메일: jinkwankim77@gmail.com)

Correspondence: Jin Kwan Kim, 61186, 77 Yongbong-ro, Buk-gu, Gwangju, Korea, Department of Geography Education, College of Education, Chonnam National University (Email: jinkwankim77@gmail.com)

투 고 일: 2017년 10월 22일
심사완료일: 2017년 11월 8일
투고확정일: 2017년 11월 22일