

디퓨전 공식 모델을 이용한 한국 사면 지형의 연대 측정 연구*

이 민 부**

The Age Dating of Slope Landform in Korea Using Diffusion Equation Model*

Min-Boo Lee**

요약 : 디퓨전 공식 모형은 한국 하천의 중·상류 지역의 하안 단구의 단구애와 같은 삭박 사면에 대한 연대 측정 에 유용하게 적용될 수 있다. 지형 연대 측정 방법은 최대 사면각, 사면의 높이 등과 같은 사면 단면에 대한 측정된 자료를 사용하는 보조적 연대 측정법의 하나이다. 토단층에 대한 탄소연대측정법 또는 화분분석과 같은 방법으로 잘 통제되어진 연대를 이 모형에 적용하여 생성 연대를 모르는 다른 사면의 연대를 추정하는데 사용될 수 있다. 적용 사례로 경북 영양의 연지 저위단구에서 구해진 연대값 6ka를 이용하여, 최대 사면각과 사면의 높이간의 모의실험을 통해 연지 단구의 저위면/중위면 사이의 단구애 상의 삭박률 $100 \cdot 10^4 \text{m}^2/\text{yr}$ 을 구할 수 있었다. 이 삭박률을 영춘 단구의 저위면/중위면 사이의 단구애의 최대 사면각과 사면 연대간의 모의실험에 적용하여 영춘 단구의 저위면/중위면 사이의 단구애의 형성 시기를 약 37,000년 전으로 구할 수 있었다. 그러나 보다 정밀한 값을 얻기 위해서는 남한강 중·상류의 단구 지역에 대한 적절한 사면 측정 자료가 요구된다.

주요어 : 디퓨전 공식, 최대 사면각, 삭박률, 사면의 연대-사면의 높이 간의 모의실험, 사면의 연대-최대 사면각 간의 모의실험, 연대

Abstract : The diffusion equation model can be useful in age-dating of the denuded slope profiles such as the terrace scarps or bluffs of river terraces in the Korean mid and upper river zones. The geomorphic dating method works as an auxiliary age dating using the surveyed slope profile data like maximum slope angles and slope heights. The well-controlled age of one slope derived from radio-carbon dating or pollen analysis of peat is highly available for estimating the apparent ages of unknown slopes. From the given age(6ka) in Yeon-ji terrace at Yongyang region, a denudation rate of the terrace scarp, $100 \cdot 10^4 \text{m}^2/\text{yr}$. can be directly obtained through the mathematical simulation plot between slope angle versus slope height. In applying the calculated denudation rate to the simulation plot of slope angle versus age in Young-choon terrace lower-part scarps, the scarp age is estimated tentatively about 37,000 years B.P. for the 14.8° maximum slope angle. But more profile pantometering works are needed to get more accurate data on the slope heights and angles and to estimate ages of the terrace forming of the river terraces around the Tan-Yang(Nam-Han river) regions.

Key Words : diffusion equation model, maximum slope angle, denudation rate, angle-height simulation, age-angle simulation, slope age

1. 서론

지형은 자연 상태에서 암석, 지체구조 등의 구조적인 조건과 기후에 의한 지표상에서의 풍화와 침식 조건에 의해서 변화한다. 사면 지형도 이러한 조건에 대한 변화과정의 사례가 된다. 본 연구

는 급사면으로 이루어진 사면이 시간의 경과에 따라 변화하는 과정을 모형화하여 지형변화의 연대측정의 도구로서의 가능성을 제시하고자 한다.

사면에 급사면을 형성시키는 경우는 해안 단구나 하안 단구가 해수나 유수에 의해 침식받는 경우, 단층 작용에 의한 경우, 그리고 급격한 사태작

* 이 논문은 1994년도 한국학술진흥재단의 학술연구조성비(신진연구)에 의하여 연구되었음.

** 한국교원대학교 제2대학 지리교육과 부교수(Associate Professor, Department of Geography Education, Korea National University of Education)

용에 의해서 발생하는 경우 등이 있다. 급사면이 형성된 이후에 형성 작용이 사라지거나 새로운 형성 요인이 없다면 가파른 사면은 형성 이후부터 기후적인 작용에 의한 풍화와 침식을 받아 비교적 일정한 비율로 삭박이 이루어지면서 사면의 평균 각도가 완만해진다. 삭박되어지는 정도는 사면의 물질적, 지형적 특성과 그 지역의 기후적 특성에 따라 다르게 나타난다.

시간의 흐름에 따라 사면의 각도가 완만해지는 정도가 일정하고, 완만해지는 정도를 수치로 측정할 수 있다면, 사면의 형태적 변화과정에 대한 분석을 통해서 특정 사면의 초기 형성 시기를 알아낼 수 있다는 가설을 세울 수 있다. 또한 초기의 형성 시기를 알 수 있다면 현재의 사면 각도로 변화하는 동안의 삭박률도 계산해 낼 수 있다.

본고에서는 이러한 가설과 모델화를 한국의 지형에 대한 적용의 가능성을 살펴보고자 한다. 주된 연구대상 지형은 하안 단구 사면이다. 그것은 단층애와 해안 단구 보다는 하안 단구에 대한 연구가 많이 이루어져 왔고, 단층애나 해안 단구 지역보다 하안 단구의 사면 형태를 측정하기에 좀 더 효율적이었기 때문이다.

2. 사면 변화 과정에 관한 선행 연구

사면의 변화 과정이 디퓨전 공식(diffusion equation)과 유사하다는 사실은 먼저 Gilbert, G. K. 에 의해 개념적으로 제시되었는데, 그는 악지형의 산정이 등글게 침식되는 형태적 변화에 주목하였으며(Hanks *et al.*, 1984), 단층사면의 침식을 시간의 함수로 보았다.

Culling(1960; 1963; 1965)은 토양포행 작용에 대해 선형(linear) 디퓨전 모델을 처음으로 제시했다. 그의 모델은, (1) 토양 개별 입자의 랜덤한 하향 이동, (2) 주된 형성작용으로서의 토양포행, (3) 사면각의 함수로서의 이동률이라는 가정에 기초를 두고 있다.

Hirano(1975)는 다양한 평형상태의 경계조건들에 기초한 사면발달에 대한 디퓨전 공식의 수학적 모델을 제시했다. Trofimov and Moskovkin(1984)는 다음과 같은 다양한 조건의 사면에 대한 디퓨

전 모델을 제시하고 있다. (1) linear coefficient, (2) quadratic coefficient, (3) 기준면의 수직적 저하(downcutting 하부침식), (4) 수평적 하부침식을 받고 있는 안정된 기준면, (5) 하부 침식된 사면의 안정된 상태, (6) 페디먼트와 암설(scree) 사면 등이다. 위의 두 연구는 보다 다양한 상태의 사면에 디퓨전 공식 모델을 적용한 것이지만, 실제 측정 자료에 적용한 것이 아닌 모델의 제시이다.

Wallace(1977)는 단층사면의 상대적인 연대는 사면의 지형계측(geomorphometry)에 의해서 나타날 수 있음을 제시하고 있다. 그는 주된 침식과정과 사면의 연대간의 관계를 보여주었다. 즉 초기의 중력 지배의 사면(gravity-controlled slopes)이 암설 및 우세 사면(debris-and-wash slopes), 그리고 우세 및 스플래쉬 지배의 사면(wash-and-splash slopes)으로 변화되어 간다고 분석했다.

Buchnam and Anderson(1979)은 간단한 그래프도식(plots)을 이용하여 연대가 다양한 단층사면에 대하여 사면각과 사면 높이간의 관계를 경험론적 계량화를 시도하여, 보다 형성시기가 짧은 사면일수록 보다 급한 경사도를 가지고 있음을 보여주었다. 이후 간단한 도식(plotting) 방법은 다양한 초기의 조건들, 기후 조건, 그리고 물질 조건을 가진 단층사면들(Colman and Watson, 1983; Mayer, 1984; Hanks *et al.*, 1984; Machette, 1986 and 1988; Zhang *et al.*, 1986), 하안단구(Colman, 1983), 해안단구(Crittenden and Muhs, 1986), 그리고 빙퇴적단구(Pierce and Colman, 1986) 등에 이용되었다.

Nash(1980a; 1980b; 1981; 1984)는 단순선형모델을 여러가지의 암석적 조건과 기후적 조건 아래에 있는 호안사면, 단구사면, 그리고 하안단구 등에 적용하였다. 그가 구한 삭박률(diffusivity, c)은 사면의 암질, 기후, 일사방향과 상관관계를 가진다. Sterr(1985)는 지형계측적인 파라미터들(최대 사면각, 사면의 높이, 능선의 위치, 능선 곡률도)을 이용하여 사면 단면들에 대한 계량적 분석을 보여 주고 있다.

실제 지형에 직접 적용되지는 않았지만, 비선형적 삭박률에 대한 연구(Andrews and Hanks, 1985; Pierce and Colman, 1986)와 비선형 모델도 제시되었다(Andrews and Bucknam, 1987). 삭박률

에 대한 사면의 높이와 일사방향의 효과(Pierce and Colman, 1986), 원지형 구배의 효과(Hanks and Andrews, 1989)도 중요하게 작용한다. 디퓨전 공식 자체에 대한 종합적인 설명은 다음 연구들에 의해 정리가 잘 되었다: Mayer(1987); Colman(1987); Machette(1989); Lee(1993; 1993b); 이민부(1995).

3. 한국의 사면 지형

사면은 자연 상태에서 항상 존재한다. 중력의 작용과 이에 따른 평형화 작용 등은 사면형성의 원인과 과정 모두에 관련되는 만큼 완전한 수평면은 실상 거의 보기 힘들다. 연구대상이 될 수 있는 사면 지형 중에서 대표적인 경우는 단구면, 선상지, 삼각주, 심층풍화 침식사면(산록완사면), 사구(해안사구, 고사구), 잔류성 침식면(평탄면), 해안사취 및 사주, 해안암석사면, 사빈해안, 암설사면(talus, rock stream, rock field) 등으로 다양하다.

이들 중에서 디퓨전 공식 모델 적용이 가능한 사면지형들 중에서 한국지형에서 찾을 수 있는 형태는 하안단구, 해안단구들이 대부분이다. 기반암이 심층 풍화하여 형성된 구릉지의 지형이 침식에 의해 삭박되는 경우도 물론 가능하지만 인위적인 훼손이 없는 자연상태는 드문 편이다. 인위적인 작용에 의한 지형의 변화가 심한 경우에는 이론의 적용이 대단히 힘들다.

기존의 연구들 중 하안단구에 대한 연구가 많고 다음으로 해안단구에 대한 연구가 많은 편이다. 물론 이들도 형태면에서 볼 때 단구면(terrace)에 대한 연구가 대부분이고 단구 사면(cliff or bluff) 자체에 대한 연구는 많지 않다. 해안단구 사면도 비슷한 연구 양상을 띤다. 풍화층의 완사면에 대한 연구도 역사적, 성인적, 기술적 연구와 토양층과 같은 표면의 물질적 성격에 대한 연구가 대부분이다. 사태 사면이나 단층 사면에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 사면의 기울기가 사면지형 형성작용과 관련이 있음을 보여 주는 설명(임창주, 1989; 손명원, 1993)은 더러 나타난다.

사면의 경사도를 밝히고 있는 논문은 그리 많지 않다. 임창주(1989)의 영월 부근의 남한강 상

류의 하안단구면에서는 고위면일수록 단구애의 사면각이 크게 나타나고 있다. 그 원인은 (1)고위면은 기반암적인 물질구조이고 저위면은 고결성이 약한 충적물질이며, (2)고위와 저위간의 사면 높이의 차이 때문으로 보인다. 따라서 인간의 지형에 대한 간섭의 정도가 무시될 수 있는 수준이라면 모델의 적용가능성이 있다.

손명원(1993)의 연구에 의하면, 낙동강 상류의 왕피천의 단구애에는 장기간의 사면 발달과정을 통하여 대체로 15~30°의 경사를 보이거나 고위 단구면은 완만한 경사를 보이고 저위단구면은 40~90°의 급경사를 보인다고 보고한다. 이 지역의 고위면과 저위면의 물질 구조가 비슷한 충적층으로서 디퓨전 모델적용이 가능하다. 그러나 기반암의 노두가 자주 나타나면서 적용에 어려움을 주기도 한다.

암설사면으로서의 테일러스는 단구와는 성격을 달리하는 사면으로서, 안식각의 영향을 받는다. 안식각은 암설의 형태, 크기, 분급 등에 영향을 받는다. 테일러스는 40° 이상되는 단애면에서 낙하한 암석의 퇴적으로 이루어져 있다. 장양기의 연구(1992)에 따르면 정선군 동면의 테일러스의 평균 경사각은 14.5~33.5°까지 나타난다. 대표적인 사면각은 22.5~27.5°(53.8%)가 가장 많다.

4. 한국의 단구에 대한 기존의 연구

하안 단구에 대한 연구는 박노식(1959), 정장호(1962), 장호(1980), 임창주(1973; 1977; 1989), 반용부(1981; 1985), 박희두(1989; 1991; 1992), 손명원(1985; 1993; 1996), 서화진(1988), 송연근(1993; 1994; 1998), 김동이(1994), 박종원(1998), 이의한(1998; 1999) 등이 있다. 해안 단구는 최한성(1982), 최성길(1985; 1991; 1996; 1998), 황만익(1968), 황상일·윤순옥(1996) 등의 논문이 있다. 이들 연구들은 주로 단구의 전체적인 단면의 형태, 단구면의 층서, 단구의 형성의 원인, 형성에 대한 기후조건에 대한 것이 대부분이다. 단층사면에 대한 자료를 참조할 수 있는 단층면에 대한 연구는 드문 편으로 황철 단층으로 추정하는 양산단층에 대한 연구들이 있다(Yoon and

Kim, 1990; 조화룡 외, 1994; 조화룡, 1997).

현재까지의 연구는 주로 단구면의 수, 즉 하천의 역사적인 연대에 대한 연구, 단구면의 물질구조(기반암의 풍화의 정도, 피복물의 성격, 식생의 영향 등) 등의 연구가 성하다(오경섭, 1996). 또한 연대지시적 토양층서(점토층, 화산회층, 토탄층 등)의 연구로 지층의 연대를 알고자 하는 연구들이 많다. 이러한 연구는 지층의 형성 연대를 알려주는 자료로 활용될 수 있다.

5. 한국의 사면 지형의 연대에 관한 연구

지질층서적인 증거를 근거로 분석할 때 우리나라의 대하천 상류지역에 발달된 하안단구는 제4기에 형성되었으며 기후변화(빙기/간빙기)의 산물로 인식되어지고 있다(손명원, 1993).

반변천의 경우 고위단구(하상비고 60~70m)는 리스/뷔름 간빙기, 중위단구(30~45m)는 뷔름빙기, 저위단구(10~20m)는 뷔름말 이후로 보고 있다(손명원, 1985).

Chang(1986)의 연구결과에 따르면 화분과 탄소동위원소를 이용한 연대측정에서 고위면은 민텔빙기, 중위면은 리스빙기에 형성되었고, 저위면은 뷔름빙기의 초반과 뷔름빙기의 후반에 형성되었다고 추정된다.

박희두(1989)의 연구는 남한강 중상류에 분포하는 단구들에서 고위단구는 원력의 두께로 보아 퇴적층 상부는 민텔/리스 간빙기에 퇴적되었고, 하부는 리스/뷔름 간빙기에 퇴적되었다고 추정한다.

반변천 하안단구의 연대는 토탄층의 분석에 의하여 비교적 상세히 알려지고 있다(송언근, 1993). 진보, 입암, 영양에 걸친 반변천의 하안에서 토탄의 탄소동위원소 연대측정의 결과를 보면 구하상역층 바로 위의 토탄층의 연대는 43,090 yr. B.P.로 나타나고 있다. 이층은 대체로 저위단구면에 해당한다. 충북 영동군 황간 주변의 초강천과 그 지류인 석천유역의 하안단구의 저위면에 대응하는 구하도면의 토탄층의 탄소동위원소 측정 연대는 $\geq 41,530$ yr. B.P.로 나타났다. 영월의 방절리 부근의 구하도면 토탄층은 $\geq 44,580$ yr. B.P.로 나타난다. 이들은 뷔름 초기에서 뷔름 소간빙기로 이행

하는 시기에 형성되었다고 볼 수 있다. 이처럼 간접적이거나 구체적인 연대가 측정된 것은 저위면에서만 보이고 있다.

반변천 구하도의 화분분석의 결과를 보면 대략 60,000~43,000 yr. B.P.의 연대를 보이고 있다(윤순옥, 1995; 윤순옥·조화룡, 1996).

조화룡(1990)은 비교적 많은 지역에 대해 각 토탄지의 연대 측정 결과를 정리하고 있다. 특히 단구상의 토탄지는 경남 가조분지($\geq 30,650$, $\geq 32,050$ yr. B.P.), 속초 쌍천($31,900 \pm 2,280$ yr. B.P.), 경북 청하($33,030 \pm 1,100$ yr. B.P.), 강릉($> 36,840$ yr. B.P.) 등의 연대 결과가 조사되고 있다.

거의 모든 연구들은 빙하기와 간빙기라는 개략적인 연대(편년)로 하상비고별의 하안단구의 형성 시기를 추정하고 있다. 또한 동일한 조건에서는 개석의 정도로서 상대적인 연대측정을 할 수 있다. 개석정도는 단구력의 풍화도, 원면의 보존도, 단구면의 경사도 등으로 측정할 수 있다.

그러나 퇴적층의 물질과 그 구성에 의한 형성 연대 추정, 탄소동위원소를 이용한 연대 측정법 등과 같은 연대 추정은 사면에 퇴적층이 존재하지 않는 삭박 사면의 경우, 그 사면의 형성 시기를 추정하기가 정량적으로 어려웠다. 삭박 사면의 형태적 발달에 관한 디퓨전 공식 모델의 사용을 통해서 퇴적층이 없거나 교란되어 있는 삭박사면의 생성 연대를 추정할 수 있어서 보조적 연대 측정법으로 고려되어질 수 있다.

6. 디퓨전 공식의 적용 가능 조건

디퓨전 공식 모델의 적용이 가능한 사면들의 조건들은 (1)균질한 물질로 이루어진 사면, (2)급격한 혹은 지속적인 변화의 과정이 정지한 후에 일정한 변화를 겪어오고 있는 사면, (3)convex-concave적인 사면형태를 띠고 있는 사면 등의 조건이 동시에 이루어져야한다. 이러한 조건들이 가능한 사면지형은 (1)충적퇴적물로 이루어진 하안단구 사면, (2)해안퇴적물로 이루어진 해안단구 사면, (3)해식에 의해 파괴된 후에 잔류하는 해안 고사구 삭박사면, (4)단층작용 후에 잔류하는 단층 사면 등이 가능하다.

모델의 적용에 문제를 야기하는 것으로 (1)균질한 물질이라도 침식저항력이 지나치게 강한 기반암의 경우에는 낮은 삭박률의 적용으로 연대 측정이 곤란한 점, (2)인간의 토지이용에 의한 지형 변화의 간섭이 지나친 점, (3)연대해석 단계에서는 참고 연대의 정확성과 대상적용 사면과의 관계를 증명하는 일이 필요한 점 등이다.

그러나 풍화와 침식에 의한 사면의 변화과정이 시간 변수의 함수로서 가능한 사면들도 변화 정도의 허용한도 내에서는 적용이 가능하다. 허용한도라 함은 catastrophic한 측면이 적으며 대표적인 현재의 사면각을 표현해 내고 있음을 의미한다.

사면의 높이와 경사가 간의 관계는 물질, 일사 방향, 식생 등과 같은 조건이 동일하다면, 높이가 큰 사면일수록 높은 경사각을 유지한다. 하천의 충적물의 물질적 조건이 같다면 이와 같은 가설은 한국의 하천 단구면 간의 단구애에는 적용이 가능할 것으로 본다.

7. 디퓨전 공식의 적용 가능한 지역

실제 사면의 형태를 측정 가능한 지역을 찾을 수 있는 방법은 (1)지형도 상에서 가능성 있는 지역의 조사와 직접적인 답사를 통한 확인 작업, (2)기존의 사면 연구 분야, 특히 단구면에 대한 연구 논문들에서 연구된 단구면 간의 단구애를 조사하고 직접적인 답사를 통하여 가능성 있는 지역을 조사했다. 특히 기존의 단구면의 연구가 있었던 지역에 답사가 가능 지역이 집중된다. 그것은 단구면들이 잘 발달하고 있어 하상고도가 다른 단구면 간의 단구애에 대한 연구가 가능하고 또한 일부 사면에서는 연대가 알려지고 있기 때문이다.

우리나라 하천의 중상류에서는 거의 전국적으로 단구지형들이 나타나 답사가 가능한 지역들이 상당수 있을 것으로 본다. 특히 낙동강 상류, 남한강 상류 지역에서 상당한 논문들이 나와 있어 가능성이 있는 지역들을 찾을 수 있다. 그러나 하천의 중상류에 위치한 단구 지형은 인간의 점유 역사가 장대하다는 점과 특히 현세에 들어와서는 인간의 간섭에 의한 급속한 지형변화가 심하게 진전되었으므로 시급한 조사가 이루어져야 한다.

경상북도의 영천, 청송, 영양, 강원도의 영월, 정선, 경남의 양산, 함천 등지에서 연구 성과가 보고 되고 있고 본 연구의 답사 지역도 이러한 지역들에서 선별적으로 이루어졌다. 예비조사에서는 이러한 지역에 있는 단구면 간의 단구애의 연구 가능 여부의 판단과 단구애의 단면조사 가능 위치들이 조사되었다.

8. 연구 지역

단구면의 수평화 작업, 사면에 대한 절토와 성토 작업 등에 의해 변형이 크게 이루어지지 않으면서 형태가 비교적 잘 남아있다고 판단되는 단구를 선정할 수 있었다. 충청북도 단양군 영춘 단구와 경상북도 영양군의 단구 사면을 대상으로 1m 단위로 pantometering을 하였다. 사면각을 측정하는 동안 식생, 토지 이용, 미기복 등과 같은 자료들도 같이 구할 수 있었다. 사면각을 측정하기 위해서 사면 단면 상에 선상의 지형 발달을 가져오는 릴류, 우곡 현상보다는 포행, 우세, 슬라이드 등과 같은 사면 형성작용을 주로 받는 사면 부분을 선정할 후에 사면의 주향과 직각이 되도록 측정되어졌다.



그림 1. 영춘 단구의 profile 위치(P₁, P₂)

영춘 지역에는 영춘 단구, 밤수거리 단구, 느티 단구가 북측으로는 동대천과 남측으로 남천을 경계로 남한강 하안에 분포하고 있다. 영춘 단구(임창주, 1973; 1989)의 경우, 표고가 170~260m(하상 비고 20~110m)이며 길이가 750~1,500m, 폭은 250~550m로 나타나고 있다. 고위면의 경우 2~5m의 기복이 나타나며 4~5개의 doline 사면을 중심으로 기복차가 커지는 경향을 나타낸다. 중위면에는 3개의 소계류가 발달하고 있다. 표고 200~220m와 180~190m에 급경사면이 나타나며, 이 급사면을 대상으로 사면 단면 형태를 측정한 사례(한주엽, 1997)가 있다.

영춘 단구의 저위면과 중위면 사이의 단구애의 경우 전체적으로 볼 때 경사가 12.6~14.9°사이이며 밭으로 이용되고 있다. 사면의 중간 부분부터 사면 아래방향으로 고추밭과 논으로 이용되면서 사면의 형태가 인위적으로 상당한 변화과정을 겪었다. 단구애의 구성물질은 사질 양토를 matrix로 하여 granule, pebble급의 원력들이 혼합되어 사면을 덮고 있다.

영춘 단구의 중위면과 고위면 사이의 단구애의 경우 전반적으로 볼 때 사면각은 약 12° 정도이며 사과 과수원이 들어서 있다. 단구애의 정상부근은 피복물이 장시간에 제거되어진 결과 기반암이 그대로 노출되어 있다. 사면 구성 물질은 pebble 크기

의 아각력들이 풍화물과 함께 혼재되어 나타났다.

경상북도 영양군 수비면 수하리 공수 단구는 하상 비고 약 3m 정도에서 저위면을 보이며 하상 비고 약 6~12m 사이에 저위면과 중위면의 사이의 급사면이 형성되어져 있다. 고위 단구면은 boulder급의 사면퇴적물을 구성물질로 하고 있다. 저위면과 중위면의 급사면의 경사는 약 14.7°로 나타났다. 중위면과 고위면과의 경계는 확실하게 밝힐 수 없었다. 신원리 단구의 저위면도 하상 비고 3~7m 정도 위에 나타난다. 단구면에서 연마도가 높으며 직경 2~20cm의 pebble급의 자갈을 볼 수 있다. 중위면과 고위면간의 구별이 확실치 않으며 고위면은 다양한 크기의 boulder급 력들이 산재해 있다. 고위면과 중위면은 밭으로 이용되고 있다. 비고 약 8~40m사이의 저위면과 중위면 사이의 단구애의 사면각은 약 38.4° 정도로 나왔으며 참나무류의 숲이 자리잡고 있다.

영양군 일월면 칠성리 칠성 2교 옆의 칠성리 단구는 하상 비고 약 15m 위에 나타나며 저위면 위의 높이 약 5m의 단구애의 사면각은 약 12.18°로 나왔다. 배후 산지의 기반암으로 부터 boulder급의 거력을 포함한 사면퇴적물이 단구면으로 이동되어져 있다. 일월면 섭촌리의 저위면은 하상 비고 약 15m에서 시작되고 있으며 저위면과 중위면 사이의 높이 약 36m의 단구애의 사면각은 약 39.7°

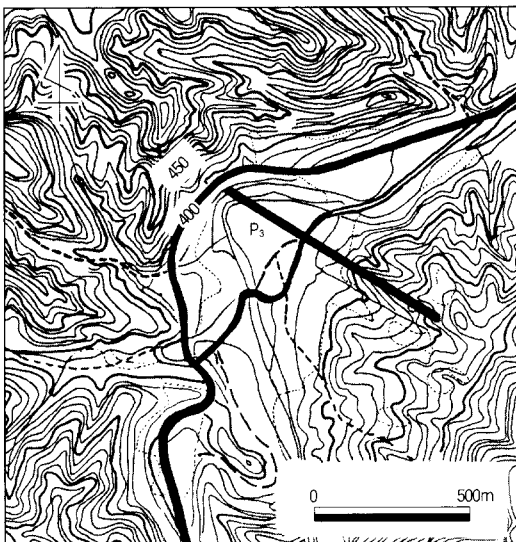


그림 2. 영양군 공수 단구의 profile 위치(P₃)

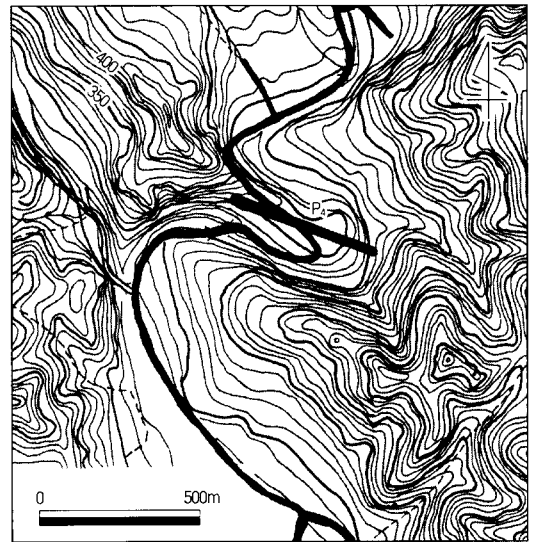


그림 3. 영양군 칠성리 단구의 profile 위치(P₄)

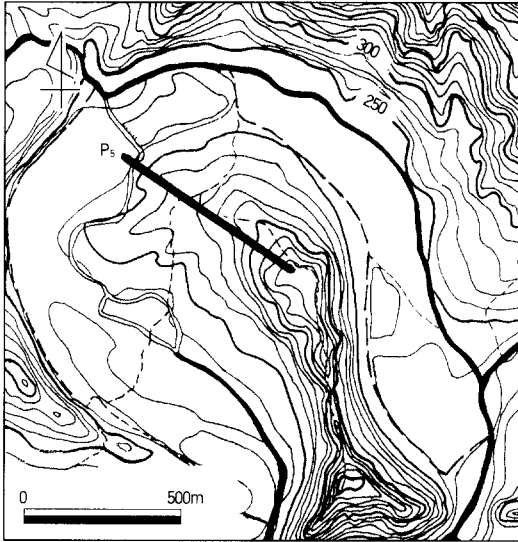


그림 4. 영양읍 연지동 단구의 profile 위치(P₅)

정도이다.

영양읍 삼지리 연지동 단구상에서 저위, 중위, 고위면을 확인할 수 있다. 구하도에서 비고 7m 사이가 저위면으로 보이며 높이 약 12m로 저위면과 중위면 사이의 단구에 사면각 24.7° 정도로 나타난다. 중위면 상에는 원마된 boulder급의 역을 볼 수 있으며 밭으로 이용되고 있다. 중위면과 고위면 사이에도 단구에 지역을 확인할 수 있는데

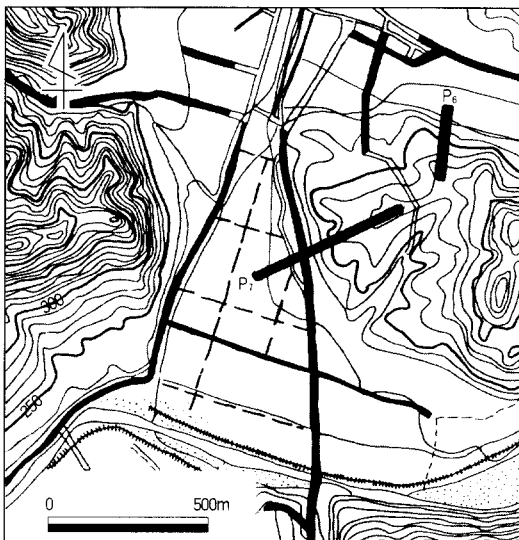


그림 5. 영양읍 삼지리 단구의 profile 위치(P₅, P₆)

구하도에서 비고 약 25m부터 시작되어 높이가 약 35m 정도이며 사면각은 약 10.7°를 보인다. 이 단구의 구성물질은 영춘 단구의 중위면과 고위면 사이의 단구에 상의 사면 물질과 유사하게 기반암의 절리를 따라 절개된 절편들이 부식질의 피복층과 섞여 있다.

삼지리의 군민회관 쪽의 단구 지역은 저위면이 구하도와 상응되는 곳으로 하상 비고 약 10m에 위치하고 있다. 사면각 측정 방향이 북사면인 곳은 고위면과 중위면 사이는 기반암 위에 사면퇴적물이 V자 곡으로 개석되어져 있다. 높이 약 20m의 저위면과 중위면 사이의 급사면의 사면각은 27.7° 정도이다. 남서 방향으로 사면각을 측정한 곳에서는 저위면과 중위면 사이의 급사면의 높이가 약 10m 정도로 나타나며 사면각은 17.4° 정도로 나왔다.

9. 사면의 높이와 최대 사면각 분석

앞에서 사면각 측정 지역(profile 지역)에서 구해진 사면각을 변형하여 사면의 높이와 단구에의 최대 사면각을 구할 수 있다. 사면 높이는 1m 단위로 측정되어진 사면각을 sine값으로 변형하여 누적한 값을 사용하여 그림으로 표현된다. 사면의 단면을 보이는 이 그림은 실제의 단면 형태를 복원하게 된다. 최대 사면각이란 사면 중간 부분인 직선 구간의 사면각의 평균값을 뜻한다. 보다 자세한 사면 측정방법과 원자료 가공방법은 Lee(1993; 1993b)의 논문에 제시되어 있다.

일정 지역의 단구들에서 구해진 각각의 단구의 높이와 최대 사면각을 회귀선으로 나타낼 수 있다. 비슷한 시기에 생성되었더라도 사면의 높이가 서로 다른 같은 지역 내의 사면들의 경우, 최대 사면각은 사면의 높이가 증가할수록 증가하는데 그러한 사면의 높이와 최대 사면각 간의 관계를 나타내는 것이다. 여기서 구해지는 회귀선의 기울기가 비슷한 여러 지역의 사면들의 경우 사면 구성물질의 특성이 유사하다면, 특정 사면 높이를 기준으로 서로 간의 연대를 비교할 수 있게 된다 (Lee, 1993). 또한 하나의 회귀선은 사면의 높이와 최대 사면각 간의 모의실험도를 통하여 주어진 생성 연대를 통하여 사박률을 추정할 수도 있다.

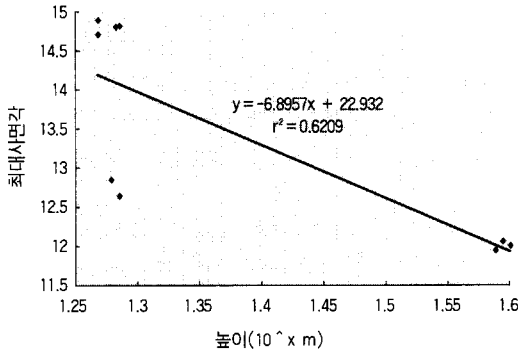


그림 6. 영춘 단구의 사면 높이와 최대 사면각 간의 회귀선도

최대 사면각이 미고결 물질의 안식각인 33.5° 이상이 나오는 경우는 현재 빠른 속도로 사면 형성 작용이 발생하고 있음을 뜻하거나 사면 구성 물질이 삭박작용에 대한 저항도가 높은 경우이다. 디퓨전 공식의 적용은 안식각에 도달한 이후부터의 사면의 삭박작용과 사면의 형태적 발달과정을 설명하는 것이다. 측정된 단구 사면 지역의 일부 분은 안식각보다 높게 나와 제외되었다. 사면의 높이는 로그값(log₁₀ H)으로 표시되어 있다.

영춘 단구에서 측정된 사면의 높이와 최대 사면각 간의 회귀선의 경우(그림 6), -6.8957이라는 기울기를 나타낸다. 이렇게 음의 기울기를 나타내는 이유는 영춘 지역 주변의 단구에서 저위면/중위면 사이의 단구애간의 높이에 따른 최대 사면각의 변화를 그린 것이 아니기 때문이다. 고도를 통해서도 차이나는 저위면/중위면 사이의 단구애와 중위면/고위면 사이의 단구애간의 사면의 높이와 최대 사면각 간의 관계를 나타내었으며 또한 두 단구애의 생성 연대가 상당한 차이를 가지고 있기 때문이다.

영춘 단구의 중위면/고위면 사이의 단구애가 생성 이후 장시간에 걸쳐 상당한 삭박을 받아왔으며 그로 인해 최대 사면각이 사면의 높이에 비해 작게 나오는 것이다. 또한 단구애의 구성물질이 아각력의 기반암 절편과 풍화물이 사면을 덮고 있는 점으로 봐서 장기간 동안에 발생했을 삭박 작용의 정도를 알 수 있다. 중위면/고위면 사이의 단구애의 최대 사면각은 약 12°로 나왔으며, 저위면/중위면 사이의 단구애에서 구한 최대 사

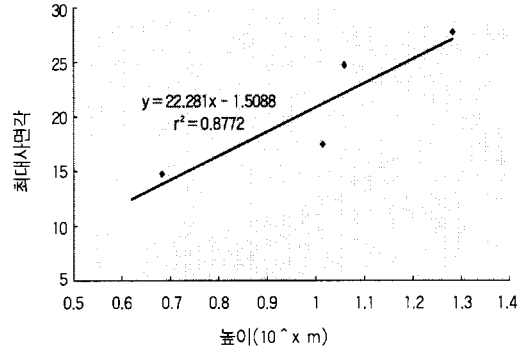


그림 7. 영양 지역의 단구들의 사면 높이와 최대 사면각간의 회귀선도

면각은 약 14.8°로 나왔다(한주엽, 1997).

영양 지역에서 측정된 단구 사면에서 구해진 사면의 높이와 최대 사면각 간의 회귀선을 보여주는 그림 7에서는 사면 구성물질의 안식각(본고에서는 충적물의 안식각을 33.5°로 가정)을 초과하는 두 개의 지점을 제외된 상태이며 또한 연지동 단구 사면에서 구해진 중위면/고위면 사이의 단구애의 낮은 생성 연대가 저위면/중위면 사이의 단구애와 차이므로 제외된 것이다.

연지동 단구의 중위면/고위면 사이의 단구애에서 구해진 사면의 높이와 최대 사면각이 영춘 단구의 중위면/고위면 사이의 단구애에서 구해진 사면의 높이와 최대 사면각과 비슷한 값을 가지며 연지동 단구의 중위면/고위면 사이의 단구애상의 구성물질도 아각력의 풍화물로 이루어져 있다는 점이다. 지역간의 거리차가 상당히 나지만 두 단구의 중위면/고위면 간의 단구애의 사면 형태 발달 단계가 매우 유사하게 나타나는 것이다. 영양 지역에서 5개의 저위면/중위면 사이의 단구애의 사면 높이와 최대 사면각 간의 관계를 나타낸 회귀선의 기울기가 22.3 정도이며 결정계수도 상당히 높게 나왔다.

10. 단구 사면에 대한 디퓨전 공식의 적용

특정 지역의 사면의 연대가 다른 지역의 사면의 것과 비교할 수 있을 정도로 잘 제어되었다면, 디퓨전 공식으로 부터 특정 사면의 연대 또는 삭

박률을 추정하는데 사용되게 된다. 연대가 잘 통제되어져 있을 때, 사면의 높이와 최대 사면각 간의 모의 실험도를 통하여 그려진 일련의 등식박률선과, 그 지역의 사면의 높이와 최대 사면각간의 회귀선과 교차되어지는 등식박률선의 지점으로부터 식박률을 얻을 수 있게 된다. 이렇게 구해진 식박률은 다른 지역의 사면에 적용하여 그 곳의 최대 사면각 또는 총 식박량으로부터 어느 정도의 생성 연대를 추정할 수 있는 것이다(Lee, 1993).

반변천의 구하도(연지동 단구 지역)의 토탄층에 대한 ¹⁴C 연대측정 결과, 43,000 yr. B.P.±2,860 yr. B.P.(부정합면 아래쪽의 하부 토탄층), 17,940 ±140 yr. B.P.(부정합면 위쪽 상부 토탄층), 그리고 최근(modern)으로 조사되었다(윤순옥·조화룡, 1996; 송언근, 1993). 그러나 상부 토탄층에 대한 화분분석 결과 상부 토탄층의 일부가 누락된 것으로 드러났다. 상부 토탄층 내의 누락된 부분을 포함하는 토탄층(IVb)의 형성 시기는 화분 조성으로 보아서 약 6,000~7,000 yr. B.P.로 추정되었다. 이는 홀로세 초기에 해당되며 그 하부 약 3,000~4,000년 기간이 불연속 기간 속에 포함되었을 것으로 보고 있다(윤순옥·조화룡, 1996).

하안 단구 사면의 diffusive한 발달은 사면에 대한 하천의 영향력이 완전히 사라지는 단구 형성 시기라고 볼 때, 지질적인 부정합이 나타나는 토탄층의 교란이 더 이상 발생하지 않는 부분의 최초 부분의 시기부터 단구 사면의 diffusive한 발달이 시작된다고 할 수 있다. 또한 화분대 V의 최초 시기가 6,000 yr. B.P.로 잠정적으로 제시되어 있다(윤순옥·조화룡, 1996). 토탄층에 대한 교란 현상이 이 시기 이후부터 발생하지 않고 위층으로 화분대가 연속되고 있다. 단구 사면의 diffusive한 발전도 바로 이 시기에 시작되었다고 볼 수 있다.

단구의 초기 형성 연대값을 연지동 저위 단구의 형성 연대로 본다면, 저위면/중위면 사이의 단구애의 형성 연대로 간주할 수 있다. 저위면/중위면 사이의 단구애 생성 연대를 토탄층 IVb층과 V층의 구해진 화분분석의 결과값, 약 6ka(1ka=1,000 years)로 이 값을 검증연대로 사용하여 영양 지역 단구의 저위면/중위면 사이의 단구애들의 사면의 높이와 최대 사면각 간의 모의 실험도를 그릴 수 있다.

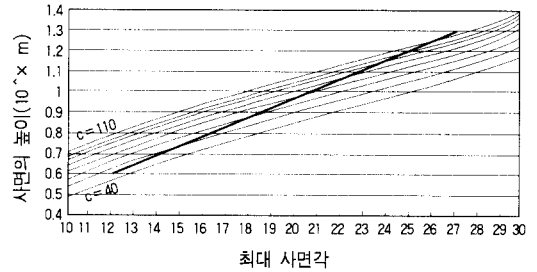


그림 8. 연대값 6ka에서 최대 사면각과 사면의 높이 간의 모의실험도

생성 초기 이후의 사면은 안식각으로 짧은 시기에 변화되어가는데, 미고결 총적물의 안식각은 일반적으로 33~35°이며(Machette, 1988), 본고의 모의실험도에서 사용되어지고 있는 초기 사면의 최대 사면각은 33.5°로 하였다.

최대 사면각과 사면의 높이 간의 모의실험도(그림 8)는 주어진 연대(6ka)와 디퓨전 공식의 해 $ct = \{H/4 \tan \theta \cdot \text{erf}^2(\tan \theta / \tan \theta_0)\}^2$ (c: 식박률, t: 연대, H: 사면의 높이, θ : 최대 사면각, θ_0 : 안식각)에서 등식박률값이 계산되어진 것을 그림으로 표현한 것이다(Lee, 1993). 계산되어진 c값은 현재의 최대 사면각과 관련된 가시적인 값으로, diffusive한 사면 형성 작용이 시작된 시기부터 현재까지의 각각의 시간대의 평균 식박률이다.

또한 영양 지역의 단구애의 최대 사면각과 사면의 높이 간의 회귀선도 같이 그려져 있다. 등식박률과 회귀선이 서로 교차되는 부분을 통해 최대 사면각 정보만으로도 사면의 식박률을 구할 수 있다. 연지동 단구 저위면/중위면 사이의 단구애의 최대 사면각이 24.7°로 측정되어 등식박률선 약 100(10⁴m²/yr.)에 근접하여 교차하고 있다. 연지동 단구의 저위면과 저위면/중위면 사이의 단구애의 형성 연대를 6,000년으로 한다면 이 지역의 식박률은 약 10 G.K.G.(1 G.K.G.=1m²/ka)가 된다.

이렇게 구해진 식박률값은 총식박률이 계산되어져 있거나 사면의 높이와 최대 사면각에 대한 정보를 알고 있는, 사면 구성물질의 특성이 유사한 다른 지역의 급사면의 형성 시기를 추론할 수 있게 한다. 주어진 높이에 대한 사면의 연대와 최대 사면각 간의 모의실험도는 최대 사면각과 등식박률선의 교차지점에서 사면의 연대를 쉽게 추

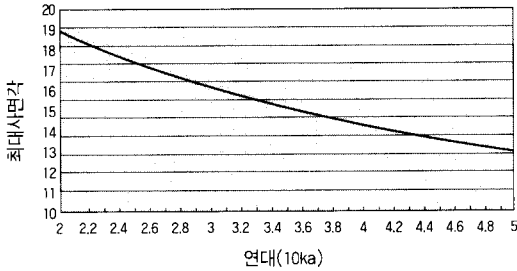


그림 9. 등산박물선(100 10⁴m²/yr)과 사면의 높이(18.825m)에 대한 최대 사면각과 사면의 형성연대 간의 모의 실험도

론할 수 있게 하는 것이다.

영춘 단구의 저위면/중위면 사이의 단구애의 사면 최대각과 사면의 높이를 측정(한주엽, 1997)한 값을 바탕으로 사면의 높이에 대한 사면의 연대와 최대 사면각간의 모의실험도(그림 9)를 그릴 수 있었다.

영춘 단구의 저위면/중위면 사이의 단구애의 최대 사면각이 14.8° 정도이면 단구애의 형성 시기는 약 3만 7천년 전으로 추정해 볼 수 있는 것이다. 영춘 단구의 저위면/중위면 사이의 단구애의 구성물질이 영양 연지동 단구의 저위면/중위면 사이의 단구애의 구성물질과 유사하고, 영춘 지역의 저위면/중위면 사이의 단구애들의 최대 사면각과 사면의 높이간의 회귀선의 기울기가 영양 연지동 단구의 저위면/중위면 사이의 단구애의 최대 사면각과 사면의 높이간의 회귀선의 기울기와 비슷하게 그려진다면 통제되어진 하나의 사면 연대를 통하여 더 정확한 사면의 형성연대를 추정할 수 있게 되는 것이다. 영춘 단구 지역을 포함한 단양 일대의 남한강 중·상류 지역의 단구 사면에 대한 더 많은 자료 수집이 필요하며 실측된 자료를 토대로 사면간의 연대 비교의 가능성이 더 높아질 것이다.

11. 결 론

한국의 사면지형에 대한 디퓨전 모델의 적용이 부분적으로 가능하다. 주로 하안단구의 단구애가 대표적인 경우이다. 해안단구와 단층애, 암설사면인 테일러스의 경우에도 전체적인 사면 경사도의

상대적인 비교는 가능할 것으로 본다. 동일한 지역에서 여러 면의 단구가 나타나고 고위/중위/저위 등의 단구면 간의 단애면에 대한 사면분석과 기존의 대략적인 편년간의 관계, 또는 절대적인 연대측정법 등을 통해 단구 형성 시기와 삭박률을 밝히는 단구 사면 지형의 지형적 연대측정 모델이 가능하다.

단구 지역이 우리나라 중·상류 지역의 주요 사회·경제적 생활의 토대를 이루고 있기 때문에 변형을 받지 않은 사면을 찾기란 상당히 어렵긴 하지만, 비교적 자연 상태로 남아 있다고 판단되는 사면을 대상으로한 pantometering과 측정되어진 사면각을 사용하여 profiling을 할 수 있다. 비교적 광역적인 범위(남한강 상류, 낙동강 상류)의 단구 사면에 대한 profile 측정과 조사가 이루어지고, 상당히 많은 자료를 획득할 수 있다면 통계적으로 좀더 안정된 사면간의 형성 연대, 삭박률 비교의 가능성이 보다 높게 나올 수 있을 것이다.

삭박이 상당히 진전되어진 고위 단구면 연대 측정도 조심스럽게 시도할 수 있으나 좀더 자세한 자료 수집과 디퓨전 공식의 적용이 요구된다. 또한 우리나라의 기후 조건(간빙기, 빙하기)과 현대의 사면 상태와 변화 과정에 대하여 적용할 수 있는 모델이 필요하다. 기존의 모델의 적용은 5~120ka 정도의 범위를 지니고 있으나 한국사면의 경우는 5ka부터 시작하여 오래된 연대의 적용은 시대적 범위가 더 클 것으로 보이나 모델 적용의 정밀도는 매우 떨어질 것으로 보인다.

단구 사면에 대한 인위적인 지형 변형의 정도가 상당히 진전되어 있다는 점을 다시 한번 밝힌다. 만약 인간의 간섭을 받지 않은 자연 상태의 사면에 대한 자료 수집을 체계적으로 할 수 있다면, 지형형성에 대한 인위성의 정도에 대해서도 대략적인 정량 분석이 가능할 것으로 보인다.

토탄층에 대한 화분분석, C¹⁴ 연대 측정 방법과 같은 경우, 시료를 포함하는 퇴적층이 존재하여야 연대의 측정이 가능한 것이다. 구하도가 저위면으로 된 단구의 경우 그의 형성 시기를 비교적 정확하게 추정할 수 있다. 그리고 퇴적 작용보다는 삭박 작용이 사면 형성 작용으로 더 많이 작용하는 사면의 급사면, 중위면과 고위면 사이의 단구애와 같은 급사면 등의 형성 연대를 추정하는데는 고

도에 따른 또는 삭박의 정도를 대비하는 방법을 사용하여왔다. 다퓨전 공식은 삭박 사면의 발달과정을 설명하는 것으로, 사면의 발달과정의 정도를 정확하게 구할 수 있다면 급사면과 삭박 작용이 오랜 시간동안 발생한 사면에 대한 연대 측정을 가능하게 하는 것이다. 지형의 형태적 발달 정도로 삭박 사면에 대한 형성 연대를 할 수 있으며 다른 연대 측정방법과 병행하여 지형 연대 측정의 보조적 방법을 제공해 주는 것이다.

영양읍 연지동 단구의 저위면에 해당되는 구하도에서 구해진 화분의 연대값을 검증 연대(6ka)로 사용하여 영양 지역의 단구애에 대한 사면의 높이와 최대 사면각 간의 모의실험을 통하여 삭박률 $100 \text{ } 10^4 \text{ m}^2/\text{yr}$ 의 값을 구할 수 있었다. 이 값을 이용하여 영춘 단구의 저위면/중위면 사이의 단구애의 생성연대를 사면의 형성 연대와 최대 사면각 간의 모의실험을 통하여 약 37,000년 전으로 파악할 수 있었다. 그러나 단양 일대의 단구 지형에 대한 더 많은 실측 작업과 함께 사면의 높이와 최대 사면각간의 관계를 좀더 밝혀 지역간의 연대비교 가능성을 먼저 검증해야 할 것이다. 또한 사면의 일사 방향, 원사면의 영향 등의 사면 발달 과정에 영향을 주는 요인들의 영향력의 정도도 다루어야 할 것이다.

우선 다퓨전 모델이 적용될 수 있는 지형에 대한 정확한 조사는 필수적이다. 특히 측정되어지는 사면의 최대 사면각과 사면의 높이 등에 대한 자료는 한국의 지형에 대한 주요한 정보를 제공해 주기도 한다. 또한 더 많은 단구 사면에 대한 자료 수집 활동은 기후 변동으로 인한 사면의 발달 과정의 변동에 대한 부분과 인위적 변형을 포함하는 한국의 단구 사면의 형태적 변형에 대한 부분에 대한 모델화를 제시할 수 있을 것이다. 다퓨전 모델은 대체적으로 기본 가정이 지켜진다면, 사면 지형의 변화를 기술하고 그 형성 연대를 알 수 있으며, 사면 구성물질의 특징이나 기후 변화를 어느 정도 알 수 있게 하는 지형 연대 측정법의 하나이다.

文 獻

김동이, 1994, 영덕 오십천 하안의 단구지형 발달

- 에 관한 연구, 서울대학교 석사학위 논문.
 김상호, 1973, "중부지방의 침식면 지형연구," 서울대학교 논문집(이공계), 21, 85-115.
 ———, 1982, "강릉 단상지의 고찰," 지리학논총 9, 1-12.
 김주환, 1973, "Joint와 하천유향과의 관계 고찰," 지리학연구, 1(1), 25-65.
 김훈기, 1994, "사면 단면 분석을 통한 사면 형태의 특성에 관한 연구-송천 유역 분지를 사례지역으로-," 지리교육논집, 32, 24-39.
 박노식, 1959, "한국 선상지 연구," 신흥대학교논문집, 1-29.
 ———, 1967, "한강 하류 지형면의 분류와 지형 발달에 대한 연구: 양수리에서 능곡까지," 경희대학교 논문집, 5, 117-168.
 박동원, 1985, "남한강에 있어서 하계망과 지질구조선의 관계에 대한 연구," 지리학논총, 12, 99-101.
 반응부, 1981, "만수천 상류의 단상지형 연구," 지리학총, 9, 19-28.
 ———, 1985, "양산천 상류의 단상지형," 부산여대 논문집, 18, 415-443.
 박종원, 1997, "쌍천 하상단구의 퇴적물 특징과 토양 특성," 충북지리, 14, 1-28.
 박희두, 1989, "남한강 중·상류 분지의 지형연구-퇴적물 분석을 중심으로-," 동국대학교 박사학위 논문, 157.
 ———, 1991, "영월지역 단구퇴적물층내의 sand에 대한 현미경분석," 지리학연구, 18, 125-140.
 ———, 1992, "단양지역의 하안단구에 관한 연구," 기초과학연구논문집, 6, 서원대, 69-92.
 반응부, 1985, "양산천 상류의 단상지형," 부산여대 논문집, 18, 415-444.
 ———, 1981, "만수천 상류의 단상지형 연구," 지리학총 9, 경희대학교 지리학과, 19-28.
 서화진, 1988, "감입곡류천의 구하도 형성과정에 관한 연구 - 방절리, 구학리, 동점등을 중심으로-," 지리교육논집, 20, 43-66.
 손명원, 1985, "반변천의 하안단구에 관한 연구," 지리학연구, 10, 749-767.
 ———, 1993, "낙동강 상류와 왕피천의 하안단구," 서울대학교 박사학위 논문.

- _____, 1996, "하안단구와 태백산지의 지반운동 유형," 한국지형학회지, 3(1), 45-53.
- 송언근, 1993, "한반도 중·남부지역의 감입곡류 지형발달," 경북대학교 박사학위 논문, 139.
- _____, 1994, "구계천에 있어서 감입곡류절단과 관련된 하안단구의 지형발달," 한국지형학회지, 1(1), 33-42.
- _____, 1998, "동강유역 하안단구와 곡류절단의 지형 발달," 한국지형학회지, 5(2), 109-130.
- 오경섭, 1976, "북평 주변의 침식지형연구," 지리학연구, 1(2), 45-57.
- _____, 1996, "한국 지형학의 50년 회고와 전망," 대한지리학회지, 31(2), 106-127.
- 오기세, 1995, "단양 텃밭 주변의 TALUS의 형태와 구조," 고려대학교 석사학위 논문.
- 유홍식, 1982, "용한 단상지의 절갈 연구," 지리학회지, 9, 13-22.
- 윤순옥, 1995, "제4기 후기 한반도의 식생환경 변화," 지형학회 제15차 학술대회 발표요지문 및 답사자료집, 3-11.
- _____, 조화룡, 1996, "제4기 후기 영양분지의 자연환경변화," 대한지리학회지, 31(3), 447-468.
- 이민부, 1996, "지형 연대 측정을 위한 디퓨전 공식 모형," 지리학논집, 22(1), 49-59.
- 이의한, 1998, "미호천유역의 충적단구," 지리학연구, 32(1), 35-56.
- _____, 1999, "안성천 종류의 충적단구," 대한지리학회지, 34(1), 17-26.
- 임창주, 1973, "영춘지구의 하안단구 연구," 지리학연구, 1(1), 1-24.
- _____, 1977, "영월지역의 하안단구 연구," 상명여자사범대 논문집, 281-306.
- _____, 1989, "남한강의 하안단구에 관한 연구," 동국대학교 박사학위 논문.
- _____, 1990, "남한강 유로의 사행과 하안단구분포의 상관성 연구," 상명여대 논문집, 26, 45-62.
- 장양기, 1992, "정선군 동면 테일러스의 형태적 특징과 형성과정," 충북지리, 10, 충북대학교 지리교육과, 25-52.
- 장 호, 1980, "섬진강 상류(백운-마령)의 단구상 지형의 연구," 전북대학교 논문집, 22(자연 과학편), 201-209.
- _____, 1995, "호남평야와 논산평야내의 충적 평야 주변에 분포한 저구릉의 토양지형학적 연구," 한국지형학회지, 2(2), 73-100.
- 정장호, 1962, "영월부근의 지형: 하안단구지형을 중심으로," 지리, 2, 29-34.
- 조화룡·장 호·이종남, 1987, "가조분지의 지형발달," 제4기학회지, 1, 35-45.
- 조화룡, 1990, "한국의 토단지 연구," 지리학, 41, 109-127.
- _____, 1994, "양산단층 중앙부의 활단층 지형과 Trench 조사," 한국지형학회지, 2, 67-83.
- _____, 1997, "양산단층 주변의 지형분석," 대한지리학회지, 32(1), 1-14.
- 최성길, 1985, "진도 내만지역 shore platform의 형태와 발달과정에 관한 연구," 지리학, 31, 16-31.
- _____, 1991, "한국 동해안 냉천 하구부의 해면변동단구와 영일만 북안의 해성단구," 지리학논집, 17(1), 61-73.
- _____, 1993, "한국 동해안에 있어서 최종간빙기의 구정선고도 연구; 후기 갯신세 하성단구의 지형층서적 대비의 관점에서," 한국제4기학회지, 7(1), 1-26.
- _____, 1996, "한국 남동부해안 포항 주변지역 후기갯신세 해성단구의 대비와 편년," 한국지형학회지, 3(1), 29-44.
- _____, 1998, "충남 서해안에 있어서 제4기 지형발달과정의 연구를 위한 기준시간면 설정에 관한 시론적 연구," 한국지형학회지, 5(1), 21-40.
- 최한성, 1982, "연일 단상지의 저습지형 퇴적물에 관한 연구," 지리학논총, 9, 23-30.
- 한주엽, 1997, "영춘 지역의 단구 사면 형태의 발달과정 분석," 한국교원대학교 석사학위 논문.
- 황만익, 1968, "동해안 정동리일대의 해안평탄면 지형연구," 지리학, 3, 1-10.
- 황상일·윤순옥, 1996, "한국 동해안 영덕 금곡지역 해안단구의 퇴적물 특성과 지형발달," 한국지형학회지, 3(2), 99-114.
- Andrews, D. J. and Bucknam, R. C., 1987, Fitting

- degradation of shoreline scarps by a nonlinear diffusion model, *Journal of Geographical Research*, 92, 12857-12867.
- _____ and Hanks, T. C., 1985, Scarp degraded by linear diffusion: inverse solution for age, *Journal of Geophysical Research*, 90, 10193-10208.
- Buckman, R. C. and Anderson, R. E., 1979, Estimation of fault-scarp ages from a scarp-height-slope-angle relationship, *Geology*, 7, 11-14.
- Bull, W. B., 1990, Stream-terrace genesis: implications for soil development, *Geomorphology* 3, 351-367.
- Chang, H., 1986, Geomorphic development of intermontane basins in Korea, Ph. D. Dissertation, University of Tsukuba.
- Chang, K. et al., 1990, Cretaceous and Early Cenozoic stratigraphy and history of eastern Kyongsang Basin, South Korea, *Journal of Geol. Soc. Korea*, 26, 471-487.
- Colman, S. M., 1983, Progressive changes in the morphology of fluvial terraces and scarps along Rappahannock River, Virginia, *Earth Surface Processes and Landforms*, 8, 201-212.
- _____, 1987, Limits and constraints of the diffusion equation in modelling geological processes of scarp degradation, in Directions in paleoseismology, in Crone, A. J. and Omdahl, E. M. (eds.), *U.S. Geological Society of America Abstracts with Programs*, 13, 429.
- Colman, S. M. and Watson, K., 1983, Ages estimated from a diffusion-equation model of scarp degradation, *Science*, 221, 263-265.
- Crittenden, R. and Muhs, D. R., 1986, Cliff-height and slope-angle relationship on a chronosequence of Quaternary marine terraces, San Clemente Island, California, *Zeitschrift fur Geomorphologie N. F.*, 30, 291-301.
- _____, 1963, Soil creep and the development of hillslopes, *Journal of Geology*, 71, 127-161.
- _____, 1965, Theory of erosion on soil-covered slope, *Journal of Geology*, 73, 230-254.
- Culling, W. E. H., 1960, Analytical theory of erosion, *Journal of Geology*, 68, 336-344.
- _____, 1963, Soil creep and the development of hillslopes, *Journal of Geology*, 71, 127-161.
- _____, 1965, Theory of erosion on soil-covered slopes, *Journal of Geology*, 73, 230-254.
- Gilbert, G. K., 1928, Studies of basin-range structure, *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 153, 92.
- Hanks, T. C. and Andrews, D. J., 1989, Effect of far-field slope on morphologic dating of scarplike landforms, *Journal of Geophysical Research*, 94, 565-573.
- _____, Bucknam, R. C., Lajoie, K. R. and Wallace, R. E., 1984, Modification of Wave-cut and fault-controlled landforms, *Journal of Geophysical Research*, 89, 5771-5790.
- Hirano, M., 1975, Simulation of developmental process of interfluvial slope with reference to graded form, *Journal of Geology*, 83, 113-123.
- Lee, M., 1993, Geomorphoc evolution of lacustrine and prolacustrine slope profiles of late Pleistocene pluvial lakes in the eastern Great Basin, western U.S.A., University of Utah, Salt Lake City, Ph.D. dissertation.
- _____, 1993b, Diffusion Equation Model for Geomorphic Dating, *Journal of the Korean Geographical Society*, 28(4), 285-297.
- Machette, M. N., 1986, History of Quaternary offset and paleoseismicity along the La Jencia fault, central Rio Grande rift, New Mexico, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 76, 259-272.
- _____, 1988, Quaternary movement along the Jencia fault, central New Mexico, U.S. Geological Survey Professional Paper, 1440. 81.

- , 1989, Slope-morphometric dating, in Forman, S. L. (ed.), Dating methods applicable to Quaternary geologic studies in the weatern United States, *Utah Geological and Mineral Survey Miscellaneous Publication*, 89-7, 30-42.
- Mayer, L., 1984, Dating Quaternary fault scarps formed in alluvium using morphologic parameters, *Quaternary*, 22, 300-313.
- , 1987, Sources of error in morphologic dating of fault scarps, in Crone, A. J. and Omdahl, E. M., *Direction in Report*, 87-673, 302-310.
- Nash, D. B., 1980a, Forms of bluffs degraded for different lengths of time in Emmet County, Michigan, U.S.A., *Earth Surface Processes and Landforms*, 5, 331-345.
- , 1980b, Morphologic dating of degraded normal fault scarps, *Journal of Geology*, 88, 353-360.
- , 1981, Fault: A Fortran program for modeling for degradation of active normal fault scarps, *Computers and Geoscience*, 7, 249-266.
- , 1984, Morphologic dating of fluvial terrace scarps and fault scarps near West Yellowstone, Montana, *Geological Society of America Bullutin*, 95, 1413-1424.
- Pierce, K. L. and Colman, S. M., 1986, Effect of height and orientation (microclimate) on geomorphic degradation rates and processes, late-glacial terrace scarps in central Idaho, *Geological Society of America Bulletin*, 97, 869-885.
- Sterr, H., 1985, Rates of change and degradation of hillslope formed in unconsolidated materials: a morphometric approach to date Quaternary fault scarps in western Utah, USA, *Zeitschrift fur Geomorphologie N. F.*, 29, 315-333.
- Trofimov, A. M. and Moskovkin, V. M., 1984, Diffusion models of slope development, *Earth Surface Processes and Landforms*, 9, 435-453.
- Wallace, R. E., 1977, Profiles and ages of young fault scarp, north-central Nevada, *Geological Society of America Bulletin*, 88, 1267-1281.
- Yi, H., Han, S., Shin, H., Kang, J. and Park, Y., 1995, Neotectonics and late quaternary marine terraces along the coastal zone of the northern Chile, *The Korean Journal of Quaternary Research*, 9(1), 61-86.
- Yoon, S. and Kim, J. Y., 1990, Tectonic history of the Yangsan Fault, south western part of the Korea Penninsula, *Pacific Neogene Events, Their Timing, Nature and Interrelationship*, Univ. Tokyo Press.
- Zhang, B., Liao, Y., Guo, S., Wallace, R. E., Bucknam, R. C. and Hanks, T. C., 1986, Fault scarps related to the 1793 earthquake and seismicity of the Yinchuan graben, Ningxia Huizu, China: *Bulletin of the Seismological Society of America*, 76, 1253-1287.