대한지리학회지 제36권 제2호 2001 (81~92)

GIS Database 구축을 위한 지형요소의 지도화*

이민부** · 김남신*** · 한균형****

Geomorphological Mapping for Constructing GIS Database of Geomorphic Elements*

Min-Boo Lee** · Nam-Shin Kim*** · Kyun-Hyung Han****

요약 : 본 연구의 목적은 지형요소의 GIS Database 구축을 위한 전산화된 지형분류도 제작방안을 제시하는 것이다. 지형요소 전산화는 지형요소의 분류, 지형요소의 코드화, 범례화, 심볼의 제작, 마지막으로 지도화의 과정을 통하여 완성된다.

지형분류는 지형요소의 공간적 분포와 형태, 지형형성과 발달에 영향을 미치는 자연환경체계와 지형형성기구의 역할을 고려하며, 동적인 지형형성과정과 이 과정을 통해 물질관계를 파악할 수 있도록 하였다.

지형분류도는 1: 25,000 축척에 표현 가능한 지형요소를 나타낼 수 있도록 고려하였다. 지형요소들이 지도화되었을 때는 시·공간적인 관계를 통해 지형환경체계가 인식되도록 하였다. 지형요소들은 GIS에서 Layer단위로 입력되어야 하기 때문에 Data Feature의 성격을 점·선·면으로 분류하여 지형요소의 형상을 범례로 만들었다. 지형요소 범례는 지형의 형태, 물질 그리고 성인을 고려하여 지형요소를 상징화할 수 있도록 설계하였다.

주요어 : 지형요소, 지형분류도, 동적인 지형형성과정, GIS Database, 지형요소 범례

Abstract : This research tries to suggest a methodology for the computerized mapping of geomorphic elements for GIS Database. The computerization process includes classifying, coding, and mapping of the geomorphic elements together with constructing legendized symbol. Landforms are classified for understanding of dynamic geomorphic processes and materials, considering of landform distribution, effect of environmental system on landforms and role of agents on geomorphic processes.

Geomorphological map uses 1: 25,000 scale for presentation of geomorphic elements. The mapping of geomorphic elements help to identify the landform setting with temporal and spatial evolutions. For the inputting of geomorphic elements to GIS Database with Layer units, the symbol legend of data feature is characterized with point · line · area system. The legend is planned for symbolizing geomorphic elements with consideration of form, material and processe of today' s landforms.

Key Words : geomorphic elements, geomorphological map, GIS Database, dynamic geomorphic process, symbol legend of geomorphic elements

1. 서론

1) 연구의 배경 및 목적

인간이 살아가고 있는 지표는 자연환경 체계에 의해 형성되고 변화되어 왔을 뿐만 아니라 인간에 의해 서로 끊임없이 간섭을 받으며 변화되고 있는 공간이다. 복잡하며 지속적으로 변화되는 지표공간을 단순화된 몇 가지 요소로 정리하여 나타낸 것이 지도이다. 지도는 지표의 인문·자연현상을 상징화된 기호체계로 표현하므로 지리전문가나 일반인들이 지도를 통해 지리적인 내용을

* 이 연구는 한국과학재단 특정기초연구(과제번호 1999-2-133-001-4)의 연구비 지원에 의하여 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

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

*** 한국교원대학교 지리교육과 박사과정(Ph. D. Candidate, Department of Geography Education, Korea National University of Education)

**** 한국교원대학교 지리교육과 교수(Professor, Department of Geography Education, Korea National University of Education)

쉽게 파악할 수 있다. 이는 지도에 사용되는 범례, 기호, 문자가 지표에서 인식되는 지리현상들을 쉽게 인식할 수 있도록 비교적 표준화되어 있기 때문이다.

오늘날 GIS의 보급이 늘어나면서 제작되기 시작한 수치지도는 종이지도보다 유연성과 탄력성이 높아 이용가치가 점차 증대되고 있다. 국립지리원에서 지형도를 전산화한 일반도는 기존의 종이지도에서 사용되던 기호체계를 사용하여 지리정보들을 표준코드로 분류하고 있다. 현재 1:1,000, 1:5,000, 1:25,000 축척의 주요 지형도에 대한 수치지도의 제작이 완료되었거나 진행 중에 있다. 수치지도의 보급이 늘어나면서 이용빈도가 높은 토지이용도, 지하시설물 위치도와 같은 주제도들에 대해서도 표준화된 코드를 규정한 주제별 수치지도가 제작단계에 있다. 이에 비해 지표 지형환경체계의 결과물인 지형요소별 지형분류도[1]는 표준화된 코드나 기호화에 규정이나 이에 대한 연구가 미흡한 실정이다.

지형요소는 지형환경의 총체적인 결과물로서 지표의 기복 현상의 구성요소들을 말한다. 인간 삶의 터전이 되고 있는 지형경관의 요소들을 지도화하는 작업은 지형학의 학문적 성과로 그치는 것이 아니고 국토개발 및 국토보존에도 기여할 수 있다. 예를 들어 mass movement와 같은 지형재해의 가능성이 있는 지역에서 송전선로나 가스관로, 도로 등을 건설할 때는 특히 계절과 시간의 변화에 따른 지형형성작용에 대해 유의해야 한다.

지형과 토양환경을 중심으로 한 자연환경체계는 지나치게 인간이 개발을 하게되면 자정능력을 상실하게 되어 환경문제를 유발한다. 물과 공기, 식생과 같은 환경요소와 달리 지형요소들의 파괴는 자연적으로 건전한 상태로 복구에는 오랜 시간이 걸릴 뿐만 아니라 영구적으로 복구 불가능한 경우도 많다. 대체로 지형요소들은 인간간섭에 대한 반응의 정도도 다르고 파괴된 후 반영구적으로 복구가 불가능한 경우가 많기 때문에 지형분류도가 환경관리와 계획에 이용가치가 높을 것으로 판단된다.

지형요소들을 전산화하기 위해서는 지형요소의 분류, 지형요소의 표준코드화, 코드에 의한 지형요소 지도화를 위한 심볼 제작에 대한 연구가 필요하다. 지형요소들은 형태, 형성물질, 지형형성과정 등에 따라 연구자 및 실무자들에 따라 개념 및 해석상의 차이가 있어 분류에 어려움이 있다. 그러나 전산화를 위해서는 지형에 대한 분류가 선행되어야 한다. 프랑스, 독일, 폴란드, 벨기에 등에서 지형분류에 대한 연구와 분류체계를 세우고 있지만 GIS DB 구축을 위한 지도제작은 미진한 편이다(오경섭, 1997).

코드단위로 수치지도화된 지형도에서와는 달리 지형요소의 지도화에서 기존의 심볼을 사용하면 지도를 보고 해석하는데 어려움이 따른다. 산록완사면, 와지와 같이 개념적 지형요소를 단순히 점, 선, 면의 심볼로만 표현한다면 지형분류도에서 다시 개념설명이 있어야 이해가 가능할 것이다. 지형분류도가 형태와 프로세스를 상징할 수 있는 표준화된 지형심볼에 따라 제작된다면 해석상의 혼동을 피할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 지형분류도를 통해 지형환경체계를 이해하고 지형학적 연구의 타 분야에 대한 적용이 이루어질 수 있도록 지형분류 체계를 제시하고 이에 따라 구축된 DB를 이용하여 지형분류도를 제작하는 방안을 제시하고자 한다.

2) 연구방법

지형요소의 DB 구축과 지도화를 위해서는 야외답사를 통해 현지에서 파악되는 지형정보가 필요하다. 사례 연구지역은 제4기 현무암 분출에 의한 용암대지 경관을 이루는 경기도 연천군 전곡리 일대로 1999. 10. 30 ~ 2000. 5. 30 기간동안 20일간의 답사를 진행했다. 또한 지표지형에 대한 지형DB 구축에 대한 필요한 지도학적 문헌연구와 사례지역에 대한 지형학적 문헌연구를 동시에 진행했다.

연구대상 지역은 수치지도가 미완성인 지역이므로 1:25,000 지형도를 스캔하여 ArcInfo에서 Semi-Auto Vectorizing으로 등고선 지도를 작성하였다. 등고선 Layer를 DEM, 3D 분석을 통해 야외답사와 지형분류도 제작에 필요한 사전 정보를 파악할 수 있었다.

지형분류도에 사용될 지형심볼에 대한 범례는 ArcInfo의 범례편집기를 이용하여 제작하였다.

2. 지형분류

1) 지형경관을 구성하는 지형요소

지표공간은 끊임없이 순환하는 자연환경 체계들에 의해 변형되고 있다. 자연환경체계들 즉 구조적 요소, 순환적 요소, 생물적 요소들의 동적인 상호작용으로 지표공간이 결정된다(오경섭, 1996). 구조적인 요소로는 지형, 토양, 암석 등이 있으며 인간의 거주에 일차적 영향을 미친다. 특히 지표 피복물의 대부분을 이루는 지형과 토양과 같은 구조적인 요소는 물과 공기와 같은 순환적 요소와 생물적 요소와 상호 영향을 주고 받는다.

지형경관을 구성하는 지형요소들에는 산록완사면, 평탄지, 잔류구릉, 곡지지형, 선상지, 단구 등이 있다. 이들 지형요소들은 지표공간의 시·공간적 변위에 따라 비정형적(anomaly)으로 작용한 지형-토양형성작용의 결과로서 landform set을 이루게 된다. 하안단구, 산록완사면과 같은 개별적인 지형요소들의 형성과 발달은 설명이 가능하다. 그러나 landform set상에서 지형요소별 지형형성 과정의 분리와 요소별 해석에 무리가 따를 수도 있다.

2) 지형요소의 지도화 단위

일반적으로 지형도 활용시 재개발이나 상세 정보가 필요한 경우는 1:5,000 이하 축척지도를 사용한다. 그러나 국토개발계획, 환경관리, 토지이용, 인문/자연지리 답사 등에서는 1:25,000, 1:50,000 축척의 지도가 주로 사용된다. 이는 축척에 따라 지리정보의 양이 달라지기 때문이다. 개발, 계획에 일반화 정도가 낮은 대축척지도를 사용하게 되면 전체적인 윤곽 파악이 힘들 뿐더러 정보의 양이 너무 많아 혼란을 초래할 수 있다.

마찬가지로 지형요소를 지도화하기 위해서는 지형요소를 질서있게 정리하고 이를 통해 지형경관 파악이 가능한 적절한 규모의 축적이 필요하다. 즉 축척에 따라 지형요소들은 모양, 크기, 분포의 양상이 다르게 나타나기 때문에 축척 결정에 주의해야 한다. 예를 들면 카르스트 지형에서 발달한 용식지형들은 대축척지도에서 돌리네, 우발라, 폴리예 등과 같이 크기, 모양, 분포 패턴의 지도화가 가능하다. 소축척지도에서는 용식지형이 단순화되어 지도에서 나타낼 수 없거나 규모가 큰 폴리예 정도만이 용식지형으로 인식될 수 있다. 이와 같이 축적에 따른 지형요소의 표현 여부는 물론 왜곡도 고려해야 한다.

지형요소들을 범례화했을 때 지형경관이 단위로서 인식이 잘되고 야외조사에 사전 정보를 파악하는데 도움이 되는 지도의 축척은 1:25,000과 같은 중축적 지도이다. landform set로서 인식되는 단구, 와지, 산록완사면, 곡지지형 등과 같은 지형요소들은 1:25,000 지도에 범례화가 가능하다. 이는 Tricart(1965)의 지형분류표 체계에서 Ⅵ,Ⅶ 등급에 해당하는 중소규모의 지형들이다(오경섭, 1996).

내적영역에 의해 발달되는 표 1의 Ⅲ, Ⅳ 등급

표 1. 지형분류의 예(Tricart, 1965)

분류등급	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ
면적(km^2)	10^7	10^6	10^4	10^2	10	10^{-2}	10^{-6}	10^{-8}
지형단위*	해륙지형 (continents and oceans)	대구조지형 (large structural units)	중구조지형 (main structural units)	소구조지형 (basic tectonic units)	미구조기복 (tectonic irregularitis)	개별지형 (landforms)	소지형 (microforms)	미지형 (microscopic)
지표단위 (사례)	East Sea basin	Scandinavian shield, Congo basin	Paris basin, Jura, Massif Central	horst, fault troughs	anticline, syncline, hill, valley	ridge, terrace, cirque, moraine.	solifluction lobes, polygonal soils, nebka and badland gullies	details of solution and polishing

*지형단위의 명칭과 일부 지표단위 사례는 재조정된 것임

의 경우와 같은 대규모의 지형단위인 구조곡, 지향사, 단층선 등은 지형도에서 파악이 용이하고 지도화가 쉽다. 하지만 이러한 지형들도 국지적인 기후지형 환경하에서 풍화와 침식, 운반과 퇴적 등으로 곡지지형, 퇴적지형, 암벽, 완사면과 같은 중소규모의 지형요소들로 인식된다. 하천지형, 단구지형, 해안지형 등은 외적 영역인 유수, 기후, 바다에 의해 지형 발달이 주도되지만 기후지형 환경하에서는 보다 작은 지형단위로 분화된다.

이와 같이 지표를 덮고 있는 피복물들의 대부분은 기후지형환경 체계에 의해 분화되어 중소규모나 미지형인 지형요소들로 지표에 반영되고 있다. 이러한 규모는 야외에서도 가장 많이 관찰되는 지형단위이며 1: 25,000 지도에서 지도화하기에 적합한 단위이라고 판단된다. 이보다 큰 단위는 지형학적 연구나 실용적인 측면이 보다 약하고 반대로 작은 단위의 지형요소들은 너무 정밀해 지도화할 때 지도가 복잡하여 혼란을 줄 수 있다.

3. 지형요소의 분류

1) 지형요소 분류에 대한 연구

지형요소에 의한 지형분류도를 제작하기 위해서는 분류체계 기준안이 마련되어야 한다. 지형분류 체계에 대한 우리 나라와 외국의 연구사례를 살펴볼 필요가 있다.

우리 나라에서 지형분류에 대한 연구는, 일반적인 지역지형의 연구에서도 연구자에 따라 다양한 지형분류도가 작성되고 있다(이용범, 1991; 김영래, 1996; Lee, *et al.*, 2000). 한편으로는 사면경사, 절리면, 절봉면 등의 분석과 같은 지형 계측적인 연구가 있고(김우관, 1981, 1984, 1985, 1997; 김주환, 1985), GIS기법을 적용한 DEM 분석에 의한 지형분석(이금삼, 1999; 이금삼 · 조화룡, 1998)과 최근에는 원격탐사에 의한 지형분류도 시도되고 있다(조명희 · 조화룡, 1996).

조태영(1997)은 지형요소 분류를 통해 GIS Database를 시도하고 있다. 그는 ITC, IGU 및 유럽 여러 나라에서 사용되는 지형분류체계를 수정 · 보완하여 지형분류체계를 설정하여 전산화를 위한 코드분류 방법을 구체적으로 제시하고 있다. 그러나 그의 지형분류는 부분적으로 landform set 상에서 지형요소간의 연결성이 부족하여 지형요소 분류단위를 통해 지표환경 해석이 곤란한 경우가 있다. 또한 지형요소들을 기하학적 도형으로 범례화하였는데 지형요소에 대한 지도 이해를 위해서는 지형요소의 상징화를 통한 범례화가 필요하다.

조혜종(1979)은 항공사진 분석과 답사로 파악되는 지형의 형태, 영역, 암석의 형태, 토양, 수리적 상태를 분석하여 지형분류도를 작성하였다. 이를 통해 구성물질, 형성영역 및 시기와의 관련성을 연구하였다.

지형분류도에 대한 보다 체계적인 분류방법을 제시한 예를 들면, 오경섭(1996)은 지형과 토양이 지표의 형태와 물질로서의 정태적인 특성과 함께 생성, 발달 변화하는 동적 의미를 지니고 있어 종합적인 파악의 필요성이 있다고 했다. 지형분류도가 정태적 특성과 동태적 특성이 서로 연결성이 있어야 함을 강조하면서, 지형의 유형 이에 관련된 지형형성작용, 토양의 물질구성, 현재의 토양형성작용의 경향 등 4가지 정보의 해석이 이루어져야 한다고 보았다.

해외의 사례를 살펴보면 국제지구항측연구기구(1968)(ITC, International Institute of Aerospace Survey and Earth Science)와 국제지리학연합(1967)(IGU, International Geographic Union)에서는 각자 지형분류계를 세워 방법을 개선하여 왔다. ITC의 지형분류는 지형발달의 성인, 암석구조, 기하학적 특징, 편년에 근간을 두어 분류체계를 제시했다. 야외답사시 지형분류에 초점을 둔 ITC의 분류체계는 기하학적인 심볼에 의해 지도화를 했기 때문에 지형환경체계의 동적인 질서 파악에는 미흡한 것으로 보인다. 또한 지형요소들간에 시공간적 연결성이 약한 계층적 분류를 갖고 있기 때문에 GIS Database 구축에는 어려움이 따른다(조태영, 1997).

IGU의 분류체계는 지형의 형태가 아닌 지형형성 작용에 초점을 맞추어 지형분류안을 제시하고 있다. 즉 지형발달에 영향을 미치는 내적영역과 외적영역에 따라 지형을 분류하고, 지형분류시 고

려해야 할 사항으로는 지형요소의 빈도와 피복물의 구성, 지형을 발달시킨 process, 지형의 기원, 지형들간의 시공간적 관계, 분포 등을 강조하고 있다(성춘자, 2000). IGU의 Unified Key에 의한 지형분류는 내적영역과 외적영역에 의한 대분류로 지형을 나누고 그 하부영역으로 침식지형과 퇴적지형을 둔다(조태영 1997).

IGU 분류체계는 지형학적인 개념과 방법에 따른 지형의 성인에 의한 지형분류안을 제시하고 있어, 유럽의 여러 나라들은 IGU의 Unified Key를 근거로 재구성한 분류체계를 사용하고 있다(조태영, 1997). 그런데 IGU의 지형분류방법은 지형의 성인, 형성기구, 침식과 퇴적작용에 따른 계층적인 위계질서를 갖고 있어 보완작업을 통해 GIS database가 가능하다. 그러나 여전히 이러한 계층적 질서에서는 지형을 발달시킨 form-process간의 관계를 파악하기는 어려운 점이 있다.

중국의 중국자연지리도집(1998)에는 대륙전체의 기후, 식생, 지질, 지형, 수문지도를 자세하게 지도화하여 학생들이 참고할 수 있도록 하고 있다. 지형환경도는 지역별로 하곡, 평원, 충적, 산록, 산지, 암설, 사막, 황토 지형 등으로 분류해 체계적으로 정리되어 있다.

한편 Peterson(1981)은 미국 대평원지역의 산간분지 지역에 대한 지형과 토양분류 연구에서, 지형의 형태, 성인, 규모에 의해 지형의 분류기준을 정하여 Major physiographic parts(Ⅰ), Major landforms(Ⅱ), Component landforms(Ⅲ), Landform elements(Ⅳ), Slope components(Ⅴ)의 5가지의 계층적 분류방법을 제시하고 있다.

Cowardin, *et al.* (1985)은 미국의 생태적 국토관리를 위한 저습지(wetland) 분류에서 지도화를 위한 생태적인 분류 단위를 제시하고 있다. 생태적인 저습지단위를 해안(Marine), 하구(Estuarine), 하천(Riverine), 호소(Lacustrine), 늪지(Palustrine)의 5개의 상위구조로 분류하고 각각을 다시 하위체계로 분류하고 있다.

Keaton(1984)은 지질공학에서 지형을 지도화하기 위해 형성과정, 구성물질, 세부적 지형형성 유형 등을 문자심볼로 사용하여 야외에서 지도화를 직접할 수 있도록 시도하였다.

2) 새로운 지형요소 분류체계 제안

이상의 연구에서와 같이 지형분류체계는 지표피복물에 대한 형태적, 성인적 특성에 따라 계층적 질서를 갖도록 분류되어 있다. 그러나 지형의 형태와 프로세스간에 연결성이 부족하여 이들의 분류체계로는 동적인 지표환경 체계를 해석하는데는 어려움이 있다. 지형피복물을 구성하는 지형과 토양과 같은 정태적인 요소들은 영구 불변한 지표경관을 이루지는 못한다. 이들은 구조, 순환적, 생물적 요소에 의해 지속적으로 생성, 재배치되어 변화를 받는 동적인 속성을 지닌다(오경섭, 1996).

따라서 지형요소들을 분류하기 위해서는 지형의 형태(form)와 형성과정(process)간의 관계를 읽을 수 있도록 체계를 잡아야 한다. 이 분류체계는 GIS Database로 저장해야 하기 때문에 전산화를 전제로 설계를 해야 한다.

따라서 지형분류 설계는 첫째, 지형분류가 지형요소의 공간적 분포와 형태, 지형의 개념적 지표를 파악할 수 있도록 하고, 둘째, 지형 형성과 발달에 영향을 미치는 자연환경체계와 지형형성기구(agent)의 역할을 고려하며, 셋째, 성인으로서 동적인 형성과정과 이 과정을 통해 물질관계를 파악할 수 있도록 하고, 넷째, 1: 25,000에 지도화가 가능한 지형요소를 고려하였다. 따라서 전체적으로는 지형요소들이 지도화되었을 때 시공간적인 관계를 통해 지형환경체계가 인식되도록 해야 한다. 마지막으로 지형요소들은 GIS에서 Layer단위로 입력되어야 하기 때문에 Data Feature의 성격을 점・선・면으로 분류하였다. Data Type은 지형요소의 형태를 따르고 있지만 전산화의 기술적인 문제와 표현방법의 차이로 면을 선으로 또는 선을 면을 처리해야 하는 경우도 있다.

대분류, 중분류, 소분류, 세분류의 4 단계로 계층적인 구조로 설계하였다. 중분류에서는 지형환경과 기구가 동시적으로 작용하고 있기 때문에 함께 분류하여 2중 코드를 부여하였다. 지형요소들의 명칭은 환경부의 「제2차 전국자연환경조사 지침-지형경관, 식생(2000)」을 참고로 재수정하여 사용하였다.

분류코드는 대분류에서 0 ~ 9와 H, 중분류에서는 환경에서 0 ~ 5, 기구가 0 ~ 7, 소분류에서 0 ~ 7까지 하였으며 세분류는 대분류 지형의 종류

를 고려하되 10개 이상을 감안하여 번호를 01부터 부여하였다. 따라서 코드단위는 5단위로 표현된다 (표2). 예를 들어 solifluction(03)은 사면지형(1)에 속하고 동결과 지형형성작용 우세환경(2)에서 발달하며, 중력(1) 작용으로 이동한 사면이동(7)이므로 분류코드가 121703이 된다.

표 2. 지형분류체계

대분류 Landform	중분류 Process setting 환경(Setting)	기구(Agent)	소분류 Process type	세분류 Process fact
사면지형(1) 하천지형(2) 해안지형(3) 풍화지형(4) 산지지형(5) 주빙하지형(6) 카르스트지형(7) 호소지형(8) 화산지형(9) 구조지형(0) 인공지형(H)	토양형성작용우세환경(1) (온난환경) 지형형성작용우세환경(2) (한랭환경) (1)과 (2)의 교대환경(3) 빙하(4) 건조(5) 해당사항 없음(0)	중력(1) 유수(2) 해수(3) 바람(4) 구조(5) 융설수(6) 빙하(7) 해당사항없음(0)	일반침식(1) 일반퇴적(2) 용식 · 생물(3) 마식(4) 이질결정체의 성장(5) 설식 · 빙식(6) 사면이동(7) 해당사항 없음(0)	각각에 해당되는 지형요소

표 3. 지형분류표: 예1 (사면지형)

대분류 Landform	중분류 Process setting 환경(Setting)	기구(Agent)	소분류 Process type	세분류 Process fact	자료유형 Data type
사면지형(1)	지형형성작용우세환경(2) (한랭환경)	중력(1)	사면이동(7)	mass movement(01)	polygon
			사면이동(7)	gelifluction(02)	line
	지형형성작용우세환경(2) (한랭환경)	중력(1)	사면이동(7)	soliflution(03)	line
	지형형성작용우세환경(2) (한랭환경)	중력(1)	사면이동(7)	talus(04)	point
	지형형성작용우세환경(2) (한랭환경)	중력(1)	사면이동(7)	block stream(05)	line
	해당사항 없음(0)	유수(2)	일반퇴적(2)	fan(06)	line
	지형형성작용우세환경(2) (한랭환경)	중력(1)	사면이동(7)	concave slope(07)	polygon

표 4. 지형분류표: 예2 (하천지형)

대분류 Landform	중분류 Process setting 환경(Setting)	기구(Agent)	소분류 Process type	세분류 Process fact	자료유형 Data type
하천지형(2)	교대환경(3)	유수(2)	일반퇴적(2)	하안단구(01)	polygon
	토양형성작용우세환경(1) (온난환경)	유수(2)	일반퇴적(2)	삼각주(02)	polygon
	토양형성작용우세환경(1) (온난환경)	유수(2)	일반퇴적(2)	범람원(03)	polygon
	해당사항없음(0)	유수(2)	일반침식(1)	우곡(04)	line
	해당사항없음(0)	유수(2)	마식(4)	포트홀(05)	point
	토양형성작용우세환경(1) (온난환경)	유수(2)	일반퇴적(2)	하중도(06)	polygon
	토양형성작용우세환경(1) (온난환경)	유수(2)	일반퇴적(2)	자연제방(07)	line

표 5. 지형분류표: 예3 (주빙하지형)

대분류 Landform	중분류 Process setting 환경(Setting)	중분류 Process setting 기구(Agent)	소분류 Process type	세분류 Process fact	자료유형 Data Type
주빙하지형(6)	지형형성작용우세환경(2) (한랭환경)	융설수(6)	설식/빙식(6)	nivation(01)	line
	지형형성작용우세환경(2) (한랭환경)	해당사항없음(0)	해당사항없음(0)	엽상구조(02)	point
	빙하(4)	해당사항없음(0)	설식/빙식(6)	권곡(03)	line
	빙하(4)	빙하(7)	일반퇴적(2)	모레인(04)	polygon

4. 지형요소의 지도화

1) 지표의 상징화인 범례

지표피복물은 물질은 다양한 이질적인 요소들로 구성되어 있는 경우 모양과 배열이 불규칙적이다. 전산화되기 이전 수작업에 의한 지형요소 범례지도들은 두 가지로 구분된다. 하나는 단순히 점·선·면의 크기, 모양, 색의 농도 및 기하학적 패턴에 의한 지도화가 있고 다른 하나는 지형요소에서 관찰되는 이미지를 상징화하여 지도화한 것이 있다. 전자는 기하학적인 기호에 의해 표현되기 때문에 그리기는 쉽지만 종합적인 지형정보 혹은 지형형성과정 등 지형학적 정보 파악이 어렵다. 후자는 지형을 상징화했기 때문에 지표형태, 피복불의 특징, 토양환경을 파악하는데 도움이 되지만 제작에 어려움이 있다. 예를 들어 산록완사면은 사면의 구성물이 원력, 각력, 이들을 포함하는 토양들로 이루어져 있다. 또한 역들은 불규칙적인 분포와 배열을 갖는다. 만약 이러한 형태들이 지도에 표현될 수 있다면 보다 나은 지형이해가 가능할 것이다. 따라서 지형분류도는 지형의 인식 이미지를 상징화하여 범례를 만드는 것이 효과적이다.

그러나 컴퓨터를 이용하여 지형상징 범례를 만들기는 기술적으로 어려움이 많다. GIS 프로그램에서 일반적으로 제공하는 점·선·면의 패턴들은 단순히 기하학적인 무늬, 모양, 크기를 제공하기 때문이 그 자체를 이용하기에는 무리가 있다. 이를 해결하기 위해서는 사용자가 지형을 상징하는 범례를 제작해야 한다.

2) 범례설계

지형을 상징화한 범례를 제작하기 위해서 고려해야 할 사항은 다음과 같다. 지형요소 범례를 통해 지형의 형태를 파악할 수 있어야 한다. 이 형태에는 다시 그 안에 있는 지형의 물질관계와 형성과정을 이해할 수 있도록 설계되어 범례를 통해 지형의 정태적, 동태적 특징을 파악할 수 있어야 한다. 지형 이미지 상징의 범례화에서 표현되어야 할 것으로 지형요소의 정태적 특징인 형태와 물질이 1차적으로 나타나야 하며 다음으로 지형요소의 형성에 대한 동적인 프로세스를 고려하여 상징화해야 한다(Vitek, *et al.*, 1998).

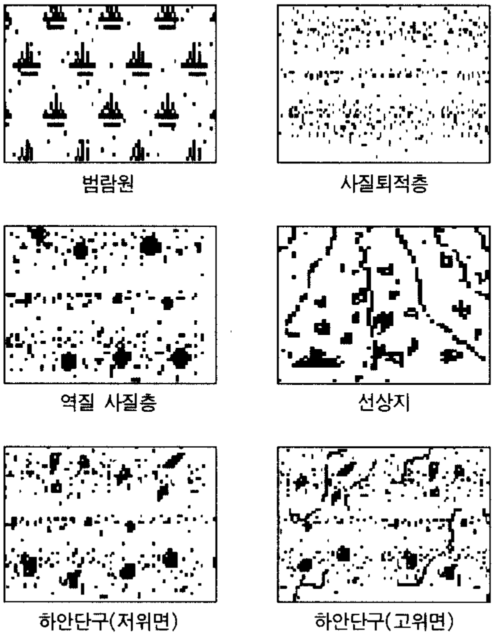

그림 1. 하천지형의 주요 지형요소

지형요소 범례가 완성되면 다음으로는 기술적인 문제가 남는다. 범례는 Vector와 Raster 모두 제작이 가능하지만 불규칙적인 배열과 분포를 갖는 다양한 지형표현을 위해서는 Vector가 합리적이다. 지형요소들이 점·선·면의 특성에 따라 지형의 Data Type이 결정되면 각각의 범례를 Layer로 제작해야 한다. 범례가 완성되면 파일로 저장하여 Database로 저장된 지형요소 분류코드에 따라 지도를 제작하면 된다.

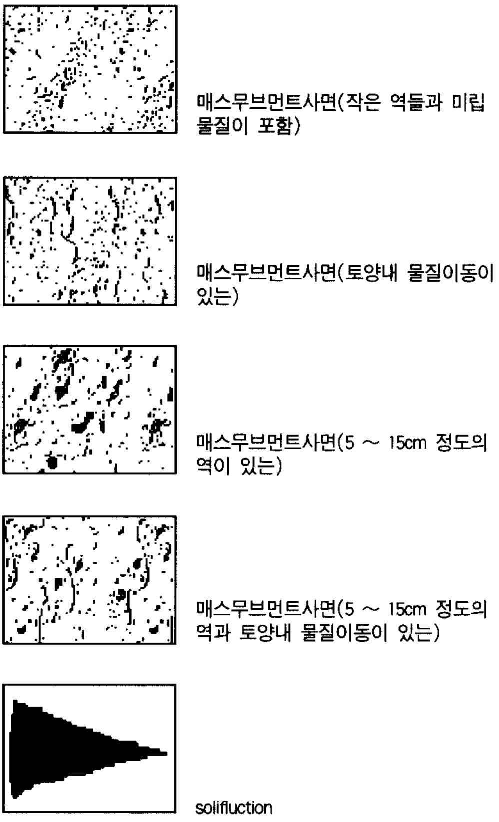

그림 2. 사면지형의 주요 지형요소

그림 3. 산지지형의 주요 지형요소(곡지형태)

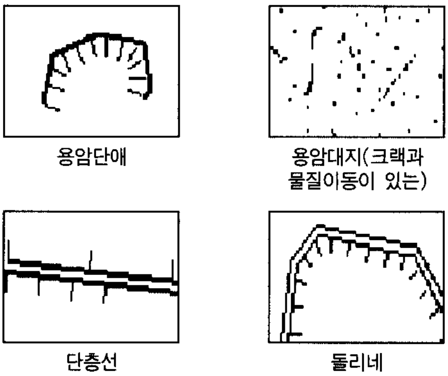

그림 4. 기타지형(화산지형, 구조지형, 카르스트지형)

3) 사례지역적용: 경기도 연천군 전곡리 일대

(1) 사례지역 개관

전곡리 일대는 NNE-SSW 방향 구조선이 지나가는 추가령 열곡의 일부이다. 주변은 해발고도 100 - 300m의 경기변성 복합체의 구릉성 산지들이 분지를 둘러싸고 있으며 북동쪽으로는 일부 중생대의 화산암류 구릉과 접하고 있다. 산지의 내부는 한탄강과 임진강이 구조선을 따라 흐르고 있다(양교석, 1982; 원종관 외, 1987). 전곡리의 평탄지역은 신생대 제 4기에 분출한 유동성이 큰 현무암이 용암대지를 이루고 있다. 용암대지의 상에는 원기반암의 풍화 해체과정에서 남아 있는 고립구릉들이 용암류의 흐름에 매립되지 않고 남아 고립 구릉의 형태를 띠고 있다(김남신, 1994).

용암대지는 주변의 산지들과 연속성을 보이면서 완만한 사면으로 이어진다. 이는 주변의 산지에서 해체되어 나오는 피복물들이 매스무브먼트로 용암대지까지 이어져 산록완사면의 연장으로 이어지기 때문이다. 용암대지의 말단, 즉 현재의 한탄강에 접하는 지역은 하천에 의해 개석되는 과정에서 형성된 단구와 수직단애들이 형성되어 있다. 용암대지를 덮고 있는 피복물은 하천역층, 호소층, 사질층, 점토층으로 구성되어 있다(김남신, 1994).

(2) 사례지역의 지형분류

사례지역의 지형은 전체적으로 lava flow에 의한 대지상 지형으로 용암대지, 하안단구, 주상절리, 매스무브먼트 사면 등이 나타난다. 지형요소의

표 6. 사례지역의 지형분류표

대분류 Landform	중분류 Process setting 환경(Setting)	중분류 Process setting 기구(Agent)	소분류 Process type	세분류 Process fact	자료유형 Data type
사면지형(1)	지형형성작용우세환경(2) (한랭환경)	중력(1)	사면이동(7)	매스무브먼트(01)	polygon 121701
	지형형성작용우세환경(2) (한랭환경)	중력(1)	사면이동(7)	솔리플럭션(03)	line 121703
하천지형(2)	해당사항없음(0)	유수(2)	일반퇴적(2)	역질사질층(01)	polygon 232201
	교대환경(3)	유수(2)	일반퇴적(2)	하안단구(12)	polygon 232212
	해당사항없음(0)	유수(2)	일반퇴적(2)	범람원(03)	polygon 202209
	해당사항없음(0)	해당사함없음(0)	해당사함없음(0)	하천(15)	line 200015
풍화지형(4)	토양형성작용우세환경(1) (온난환경)	해당사항없음(0)	일반침식(1)	고립구릉(01)	polygon 410101
산지지형(5)	토양형성작용우세환경(1) (온난환경)	유수(1)	일반퇴적(2)	곡지(01)	line 911201
	해당사항없음(0)	해당사함없음(0)	해당사함없음(0)	산지(11)	polygon 500011
산지지형(5)	해당사항없음(0)	구조(5)	해당사항없음(0)	용암대지(03)	polygon 905003
	해당사항없음(0)	구조(5)	해당사항없음(0)	용암단애(04)	line 905004
구조지형(0)	해당사항없음(0)	구조(5)	해당사항없음(0)	단층(02)	line 005002

분포를 보면 비교적 단조로운 단조로운 지형경관을 갖는다.

5. 토론

지형요소 전산화에서 제기될 수 있는 문제점에 대해 본 연구의 사례 제시 과정에서 보면 다음과 같다.

첫째는 GIS에 의한 전산화를 위한 지형요소의 분류이다. GIS에 의한 전산화의 응용 범위가 높아지면서 지형요소 전산화를 해야하는 시점에 와 있다. 그러나 지형요소의 분류작업에 있어 주로 지형요소를 형태적 특징과 형성과정에 작용 과정으로 정의를 내리고 분류해 왔다. 형태와 형성과정에 의한 지형분류는 지형학의 오랜 전통이 되어왔지만 어느 관점에 중점을 두느냐에 따라 명명이나 분류 결과가 달라질 수 있다. 따라서 지형분류 체계를 세우기 위해서는 지질, 토양 등 지형학계의 합리적인 판단과 합의가 요구된다.

둘째는 지형요소를 지도화하는 과정에서 scale의 문제이다(Dent, 1985; Clarke, 1990). 우리 나라 지형토양환경에서 고립구릉, 작은 선상지와 같은 지형요소들은 실제로는 면으로 나타나지만 면적 규모가 적으면 지도화 표현이 힘들게 된다. 따라서 축적에 따라 표현될 수 있는 지형요소들에 대한 검토가 필요하다.

셋째는 일반화(generalization)의 문제이다(Clarke, 1990; Buttenfield, *et al.*, 1991). 지형분류도에 지형요소들을 모두 나타낼 경우는 지도가 너무 복잡해져 내용파악이 잘 안되고 혼란만 가져오는 경우가 많다. 지형분류도를 통해서 지형토양환경을 체계적으로 파악하기 위해서는 몇 가지 체계적 지형요소로 지도화가 되어야 한다. 지형요소의 일반화를 위해서는 지형학자와 지도전문가의 공동작업이 필요하다

셋째는 범례로 만들 심볼파일의 코드를 지형요소별로 디스플레이를 하고자 할 때 스케일에 따라 패턴이 잘 나타나지 않는 경우가 자주 발생한다. 이 문제는 Layer에 나타낼 수 있는 지형요소의 크기, 분포위치와 심볼패턴에 의해 발생하는 문제이다. 본 연구에 사용된 프로그램인 ArcInfo에서 부정형의 지형패턴을 잘 처리하지 못하는 원인이 되기도 하다. 이 문제를 해결하기 위해 프로그램의 공간데이타 심볼 처리구조가 보다 개선되어야 한다.

넷째는 기술적인 문제로, 지형요소들을 지형에서 인식되는 이미지를 범례로 만들 경우는 GIS

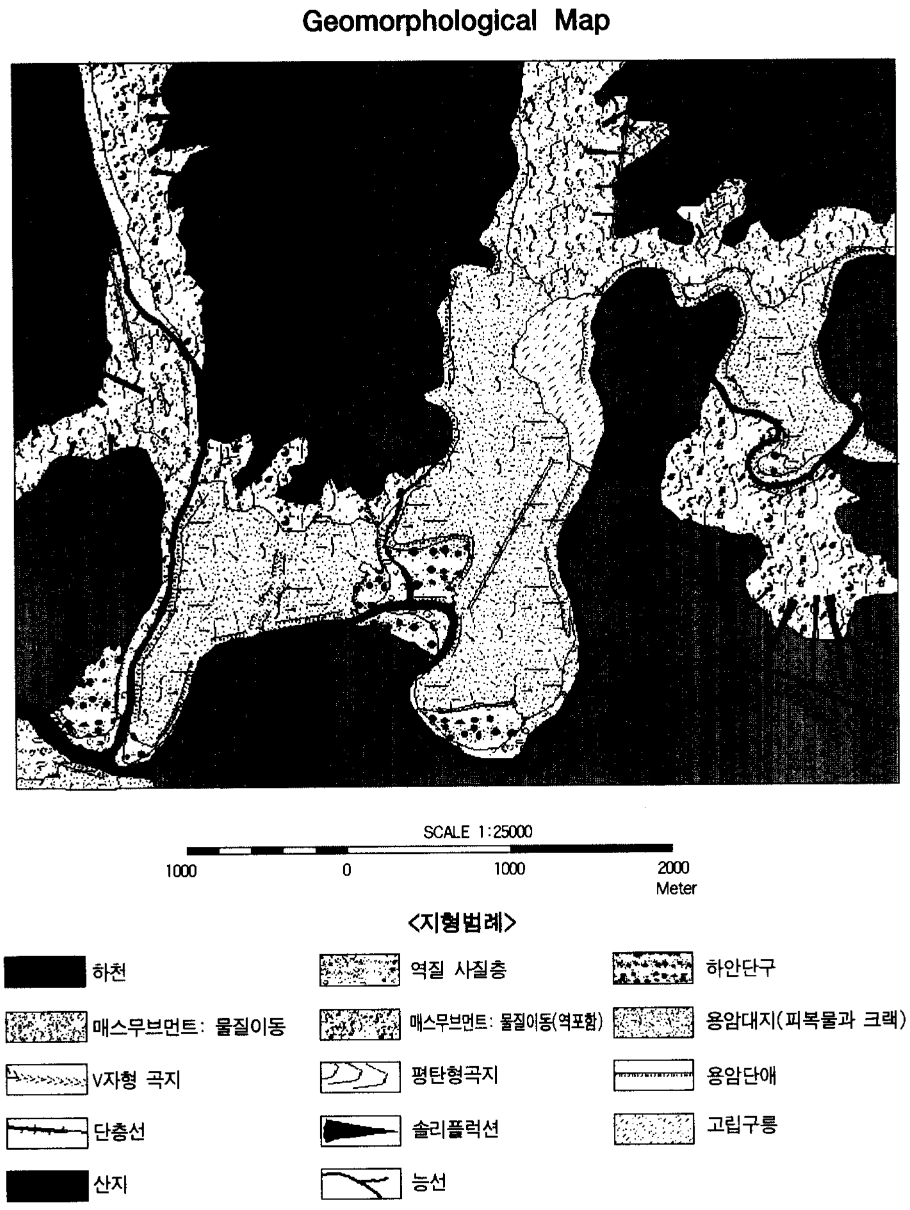

그림 5. 지형분류도

프로그램에서 제공하는 점 · 선 · 면의 패턴이나 심볼을 사용하지 않기 때문에 컴퓨터의 메모리 사용 문제가 발생한다. 메모리를 초과하여 사용하면 Display나 출력이 제대로 되지 않아 메모리 절약에 대한 연구가 필요하다.

이상과 같이 지형분류도를 통해 지형을 해석하고 응용학문으로까지의 연계성을 고려하기 위해서는 지형학, GIS 및 지도학 전문가들의 공동연구 및 논리적인 합의가 있어야 할 것이다.

6. 요약 및 결론

본 연구는 지형요소의 GIS Database 구축을 통

해 전산화된 지형분류도 제작방안을 제시하고자 하였다. 지형요소 전산화는 지형요소의 분류, 지형요소의 코드화, 범례화할 심볼의 제작, 마지막으로 지도화의 과정을 통해서 완성된다.

지형요소의 전산화를 위해서는 지형요소의 분류가 필요하다. 지형요소의 분류는 지형요소를 통해서 지형의 형태와 성인이 파악될 수 있도록 4가지 분류체계를 세웠다. 대분류에서는 지형을 인식하는 단위로서의 landform을, 중분류에서는 지형단위의 발달에 관여하는 큰 틀로서의 환경 영역인 process setting, 소분류에서는 중분류 단위에 구체적으로 작용하는 형성기구인 process type을 설정하였고 세분류에서는 prcoess fact로서 인식될 수 있도록 하였다. 대분류는 0 ~ 9 까지 그리고 인간의 간섭에 의한 인공지형을 H로 하여 10단위로 분류하였다. 중분류에서는 지형형성 과정에 영향을 미치는 주요 환경과 인자를 가정하였다. 주요환경으로는 토양형성작용이 활발한 환경을 1, 지형형성 작용이 활발한 환경을 2로 그리고 이 두 가지가 교대하는 환경을 3으로 분류하였다. 환경이나 지형형성기구에 관계없이 작용하는 예외적인 경우를 위해 각각의 항목에 해당사항 없음(0)을 두었다. 기구에는 중력(1), 유수(2), 해수(3) 바람(4) 등으로 분류하였다. 소분류에서는 침식과 퇴적작용을 기준으로 하였다.

범례제작은 지형요소들을 통해서 지형환경과 형태를 유추할 수 있도록 지형의 형상을 이미지화하여 범례화하였다. 범례를 통해 지형의 형태와 구성물질이 반영되도록 하였고 퇴적후의 변화과정(post-depositional process)를 반영하는 동적인 물질이동관계가 표현될 수 있도록 설계하였다. 범례는 코드화된 파일로 저장했기 때문에 지역이 다른 곳에서도 동일한 지형에 대해 동일한 심볼사용이 가능하게 심볼의 호환성을 높였다.

지형요소들은 지도의 스케일에 따라 점・선・면으로 분류하여 Data Type을 Layer로 제작하였다. 각 지형요소에 대한 Layer에 범례코드를 지정해 범례코드에 따라 심볼이 출력되도록 제작하였다. 다만 표현상의 문제로 지형요소들이 야외에서 면으로 인식되나 선으로 표현해야 하는 경우는 선으로 Data Type을 처리하였다.

그리고 보다 나은 지형요소의 전산화를 위한 노력으로 합리적인 지형분류, 지도화의 scale조정, 지형요소의 일반화, 프로그램의 개선 등 관련 지형학과 지도학계의 공동 노력이 요구된다고 하겠다. 또한 전산화된 지형분류도에서의 지형요소와 실재지역에서의 지형요소와의 일치 여부에 대해서는 답사기록, 전산화, 관찰자의 오류 등의 요인에 의해 발생할 수 있으며 이 부분은 차후 연구에서 무작위 지점설정과 일치여부 확인과정을 통해 통계적으로 처리할 필요가 있다고 본다.

註

1) 본래는 지형도라고 해야 적당한데 현재 국립지리원에서 발행하는 지도를 지형도(topological map)라고 불러왔기 때문에, geomorphological map에 대한 일치된 명칭이 아직은 없다. 지형학도, 지형주제도, 지형분류도 등 다양하게 사용하고 있는데 본 논문에서는 지형분류에 의미를 두어 지형분류도로 통일하였다. 여기서 사용하는 지형도 용어는 지리원에서 발행하는 일반도를 의미한다.

文 獻

김남신, 1994, 전곡리 피복물의 형성과 변화과정, 한국교원대학교 석사학위논문.

김우관, 1981, "남한강 분지의 사면경사 분석과 지형자원," 논문집 제32호(인문사회과학편), 경북대학교.

______, 1984, "북한강 유역의 사면경사 분석과 지형자원," 논문집 제37호(인문사회과학편), 경북대학교.

______, 1985, "낙동강 유역의 사면분석과 그 분포," 지리학연구, 10, 한국지리교육학회.

김우관・임용호, 1997, "GIS를 이용한 거제도 지형 및 하계분석," 한국지역지리학회지, 3(2), 19-35.

김영래, 1996, 미호평야 주변 화강암 풍화층에 발달한 구릉지의 유형화, 한국교원대학교 석사학위논문.

김주환, 1985, "형산강, 태화강, 양산천 유역의

Joint 현상에 관한 연구," 논문집 제24호, 동국대학교 대학원.

신광수, 1998, 철원지역 Landsat TM 자료의 지표 분류 및 지질해석 응용, 충남대학교 석사 논문.

성춘자, 2000, "GIS 데이터베이스를 이용한 지형주제도 제작방안에 관한 연구," 2000년 한국지도학회 학술발표집.

안기원, 1988, 인공위성 영상데이타를 이용한 지형표고의 추출, 서울대학교 박사학위논문.

양교석, 1982, "추가령열곡내 한탄강 하류 지역에 분포하는 화산암류에 관한 연구," 한국지구과학교육회지, 301, 13-25

원종관 · 이문원 · 우준기, 1987, "추가령구조대의 지형발달과 화산활동-민통선 부근을 중심으로", 조규송 외, 휴전선 일대의 자연연구, 강원대출판부, 11-45

오경섭 · 김남신, 1994, "전곡리 용암대지 피복물의 형성과 변화과정," 제4기학회지, 8, 43-68.

______, 1997, "한국의 지형 · 토양환경 정밀 지도화 방안에 관한 연구," 한국지형학회지, 3(1), 1-25.

이금삼, 1999, DEM을 이용한 한반도 지형의 계량적 특성과 기반암질과의 관계분석, 경북대학교 박사학위논문.

이금삼 · 조화룡, 1998, "GIS 기법에 의한 한국의 고도 · 기복량분석," 대한지리학회지, 33(4), 487-497.

이용범, 1991, 대관령 일대 설식와지의 형태적 특색에 관한 연구, 한국교원대학교 석사학위논문.

조명희 · 조화룡, 1996, "Landsat TM 영상을 이용한 충적평야 미지형 분류," 한국지역지리학회지, 2(2), 197-203.

조태영, 1997, GIS 활용을 위한 지형분류체계 및 데이터베이스 설계에 관한 연구, 이화여대 석사학위논문.

조혜종, 1979, "남부 이태리 Agri 강 유역의 지형분류에 관한 연구-항공사진을 통하여," 지리학과 지리교육, 9, 267-281.

환경부, 2000, 제2차 전국자연환경 조사지침: 지형 경관, 식생.

中國地圖出版社編制出版, 1998, 中國自然地理地圖集 第2版.

Buttenfield, B. P., McMaster R. B., and Freeman H., 1991, *Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation*, Longman.

Clarke, K. C., 1990, *Analytcal and Computer Cartography*, Prentice Hall.

Dent, B., 1985, *Principles of Thematic Map Design*, Addison-Wesley Publishing Company.

Keaton, J. R., 1984, Genesis-Lithology-Qualifier (GLQ) system of engineering geology mapping symbols, *Association of Engineering Geologists Bulletin*, 21(3), 355-364.

Lee, M. B, Han, U., Yang, C. S., Choe, H. S., Kim, N. S., and Han, J. Y., 2000, Geomorphic responses to the tectonic activity in the Chugaryung Rift Valley, Central Korea, *Geosciences Journal*, 4(SP. Ed.), 93-96.

Peterson, F. F., 1981, *Landforms of the Basin and Range Province Defined for Soil Survey*, Nevada Agricultural Experiment Station, Max C. Fleischmann College of Agriculture, University of Nevada Reno.

Vitek., J. D., Giardino, J. R. and Fitzgerald, J. W., 1996, Mapping geomorphology: A journey from paper maps, through computer mapping to GIS and virtual reality, *Geomorphology*, 16, 233 - 249.

(2001년 4월 27일 접수)