

퍼지이론을 이용한 위험절개면 평가법 및 대책공법 결정기법 개발 연구

백 용, 구호본, 장현식
한국건설기술연구원 토목연구부

초 록

절개면의 안정도 평가와 더불어 낙석으로 인한 안전사고를 방지하기 위한 적절한 투자와 대책 마련은 도로의 신설과 유지 차원에서 실시되어야 한다. 절개면의 안정도를 정량적으로 파악하여 위험등급을 분류하는 것은 현실적으로 많은 어려움이 뒤따른다. 이는 절개면 안정도 평가시 조사인자의 선정에서 전문기술자의 주관적인 판단 차이로 인하여 발생하는 경우가 적지 않다. 본 연구에서는 절개면의 안정도 평가법 개발을 위하여 절개면의 조사인자를 설정하고 설정된 인자를 5점 척도법을 이용한 퍼지 이론으로 안정도를 평가하는 기법을 개발하였다.

또한, 정량화 값만으로 평가된 절개면 안정도에 따른 대책공법의 설정은 현장성과 적용성에서 문제가 발생할 가능성이 많다. 본 연구에서는 현장의 여건을 최대한으로 고려하여 도로 관리자뿐만 아니라 지반 전문가가 대책공법을 선정할 수 있는 기법을 개발하였다. 개발된 평가법과 시스템은 효율적인 정보관리가 이루어지도록 전산시스템화 되어 있으며 도로절개면 유지관리시스템에 병합하여 운영하도록 되어 있다.

1. 서 론

국토의 대부분이 산지로 구성되어 있으며 이에 따라 발생하는 도로건설은 지형적인 특성으로 인하여 필연적으로 절개면을 발생시키고 있다. 최근 전세계 이상기후 및 지구 온난화로 인하여 발생하는 기상이변은 많은 재산피해 및 인명피해를 수반시키고 있다. 국내의 경우, 계절라성 집중호우로 인하여 산지가 집중되어 분포하고 있는 강원도나 경기도 지역에 발생하는 낙석 및 산사태 사고를 최대한 저지하는 것이 지반관련 기술자들의 향후 과제라 할 수 있다. 절개면의 붕괴 사고를 사전에 감지하고 안전한 도로유지관리를 위하여는 절개면의 적절한 평가가 선행되어야 한다. 절개면을 유지관리차원에서 위험도에 따라 등급화하고 관리하여 위험 절개면에 대한 지속적인 관심을 배려한다면 안전사고의 위험을 최대한으로 억제할 수 있을 것이라 사료된다.

본 연구에서는 절개면의 안정도를 평가하기 위하여 기존의 국내외 절개면 조사 항목을 분석하여 절개면 평가조사항목을 선정하였으며 이를 토대로 절개면 안정도의 정량적 평가가 실시되도록 하였다. 절개면의 조사항목은 국내의 경우, 한국건설기술연구원 사면 조사팀에서 과거 3년간 수행한 자료와 한국도로공사연구소의 자료를 토대로 선정 작업을 수행하였고 국외의 자료로는 일본, 홍콩, 호주, 미국의 자료를 검토하였다.

국내 산재된 도로 절개면들은 과거 기술력 부족과 한정된 재원으로 인하여 도로개통 및 자체 공사에 주력하여 절개면의 정확한 파악이나 안정화에는 간과한 경우가 적지 않다. 더욱이 국내의 지질 및 기후 특성으로 인해 암반대의 노출에 의한 풍화, 여름철의 집중강우로

인한 지표수 침투 및 지하수 용수, 그리고 사계절의 뚜렷한 차이에 의한 동결 및 융해작용 발생 등으로 매년 우기나 해빙기에 낙석, 절개면 붕괴 등이 발생하여 인명피해 및 재산 피해, 교통두절 등과 함께 재해관련 정부의 대국민 신뢰도를 실추시키고 있다.

본 연구에서는 정량적인 도로 절개면의 안정도와 병행하여 도로관리자나 전문가들이 현황조사 및 기초 자료를 근거로 예비 대책공법을 결정할 수 있는 전문가시스템을 이용한 대책공법 결정기법을 개발하였다. 이는 기존의 붕괴 사후 대책 차원의 유지관리에서 재해 사전예방차원의 유지관리가 가능하고 도로절개면 예산의 효율적 투자에 의해 국가예산 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 퍼지 이론을 이용한 절개면 정량화 평가법

2.1 퍼지 이론

퍼지이론이란 불분명한 수량적 정보를 다루는 수학적 기법의 하나로 인간의 사고나 판단의 애매 모호함을 다루기 위하여 1965년 미국 University of California, Berkely의 L. Zadeh 교수에 의해서 제안된 이론이다. 퍼지시스템으로 모델링이 되는 분야는 기본적으로 수학적 모델링이 불가능하거나 모델링이 가능하더라도 관련 변수가 많고 복잡한 비선형성이나 시변성, 변동 등의 원인으로 적절한 시스템 모델링이 불가능한 경우에 적절하다. 퍼지시스템은 언어적인 알고리즘(Ligustic algorithm)의 도출이 다소 어려움이 있다는 점을 제외하고는 구성이 쉽기 때문에 학문적인 이론 연구보다는 실용화에 대한 비중이 크다.

일반적으로 과학의 계산범위는 이분법적으로 “예” 또는 “아니오”, 논리적으로 “참”, 또는 “거짓”, 집합의 경우는 원소가 집합에 속하는가 속하지 않는가를 표현하며 컴퓨터상에서는 “0” 또는 “1”중에서 한 값을 갖는 명확한 계산영역을 가졌다. 그러나 인간의 의사결정은 객관적이고 명확한 것이 아닌 주관적이고 모호한 언어표현을 사용하기 때문에 사건, 현상, 명제들에 대한 의미가 불명확하고 애매하게 나타나는 경우가 많다. 이러한 것을 취급하기 위해 제안된 개념이 퍼지이론이다.

퍼지이론에 따른 시스템은 퍼지화 장치, 퍼지룰베이스, 퍼지추론엔진, 비퍼지화 장치 등으로 구성된다. 퍼지화장치는 입력되는 crisp한 수치적인 변수값을 퍼지집합변수로 변환시키는 기능을 하며 본 연구에서는 주어진 x 에 대하여 멤버십 함수를 중형으로 정의하는 방법을 사용하였다. 퍼지룰베이스는 IF/THAN룰로 구성하였으며 이러한 퍼지룰베이스에 기초하여 추론기관은 입력되는 변수들의 퍼지 멤버십 함수값에 대하여 각가의 룰에 대한 추론을 하게 되는데 본 연구에서는 각 룰에 대하여 전건부(antecedent statement)의 최소 멤버십 함수값을 후건부(consequent statement)의 멤버십 함수값으로 결정하는 최소연산규칙인 Mamdani의 추론방법(max, min composition)을 사용하였다. 또한 퍼지추론의 결과를 비퍼지화된 수치적인 출력값으로 바꿔주는 비퍼지화 장치는 일반적으로 가장 많이 사용되는 무게 중심법을 사용하였다. 이 방법은 전체 멤버십 함수의 무게 중심이 되는 점을 출력함으로 결정된다.

2.2 위험 절개면 정량화 평가법

절개면의 안전성에 영향을 미치는 불안정 요인들을 선정한 후, 과거의 사면 붕괴에 대한 경험과 자료들을 기초로 가중치를 부여하여 위험절개면 정량화 평가를 실시하였다. 이런 위

험 절개면의 평가법은 외국의 경우, 폭 넓게 사용하고 있으나 국내의 상황에 부합되게 수정 보완하였다. 홍콩의 경우, 경사면 안전도 평가법을 개발하여 홍콩 전역에 산재한 불안정 사면에 대해서 장기적인 계획 하에 사면 붕괴에 대한 예방과 대책을 강구하고 있다. 일본의 경우, 건설성, 도로공단, 국철 등이 각 기관의 필요성과 구조물의 특성에 따라 나름대로 안정성 평가법을 개발하여 사용하고 있다. 호주의 경우는 빅토리아주의 한 지역을 상대로 인공 사면 및 자연 사면에 대하여 작성된 안정성 평가법을 개발하였다. 조사항목에는 사면의 경사각, 식생 상태, 사면 상태, 강우, 절리 등 9개 요소로 구분하여 점수를 정하고 이를 합산하여 안정성 평가에 이용하였다. 그러나, 이 평가법은 너무 단순하여 개략적인 평가이외에 사용되기엔 무리가 있다. 미국의 경우는 1989년 미연방도로국에 의해 개발된 평가법으로 사면 높이, 낙석흡수도량, 평균차량위험도, 도로폭, 지질적 특성, 암반크기, 기후, 낙석 이력 등의 항목에 대해 각각 0~100점까지의 점수를 부여한다. 이 평가법의 검증을 위해 약 3,000개 이상의 사면을 대상으로 적용성 평가를 시행하였으며 특히 암반사면의 안정성에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되는 지질적 요인과 절리면의 특성을 붕괴요인으로 고려함으로 다른 평가법과 차이를 보이고 있다. 본 연구에서 개발된 평가법은 각국의 경사면 안전도 평가표에서 절개면 불안정요인으로 고려되었던 위험요인들을 비교, 분석하여 종합하는 방법으로 개발하였다. 절개면 안정도에 사용될 조사인자 항목과 가중치는 표 1과 같으며 각 항목들은 5 점 척도의 퍼지 집합으로 구성하였다.

표 1. 절개면 대책공법을 위한 조사 항목의 퍼지 집합

항목	1	2	3	4	5
절개면 종류	토사절개면	자연절개면 혼합절개면	암반절개면	.	.
자연절개면	$\leq 20^\circ$	$\leq 25^\circ$	$\leq 30^\circ$	$\leq 35^\circ$	$> 35^\circ$
토사/혼합절개면	$\leq 35^\circ$	$\leq 45^\circ$	$\leq 55^\circ$	$\leq 60^\circ$	$> 60^\circ$
암반절개면	$\leq 50^\circ$	$\leq 60^\circ$	$\leq 70^\circ$	$\leq 80^\circ$	$> 80^\circ$
종단형상	평행형	약간 요형	요형	약간철형	철형
횡단형상	Smooth	Bumpy	.	Undercut	Overhang
절개면 높이	$\geq 5m$	$\geq 10m$	$\geq 20m$	$\geq 30m$	$< 30m$
주변지형	평지	완구릉	구릉	준산악	산악
상부 자연절개면 경사	$\leq 20^\circ$	$\leq 30^\circ$	$\leq 40^\circ$	$\leq 45^\circ$	$> 45^\circ$
차선	4차선초과	4차선	3차선	2차선	1차선
인공구조물	없음	작음	중간	큼	매우 큼
암종	심성암류	화산암류	퇴적암류	변성암류	제3기암류
토질	점토	점성토	사질토	화강암풍화토	붕적토
불연속면	없음	층리	엽리/암맥	단층	파쇄대
절리의 경사	$A+B \leq 5$	$A+B \leq 15$	$A+B \leq 20$	$A+B \leq 25$	$A+B > 25$
풍화도	신선	약간풍화	보통풍화	심한풍화	완전풍화
붕괴이력	없음	.	낙석존재	.	있음
식생특징	중경목	소경목	관목	유수림	미립목지
식생밀도	매우조밀	조밀	보통	느슨	매우느슨
용수관로	없음	용수관존재	약간파손	중간파손	완전파손
계곡부	없음	1개소	2개소	3개소	4개소이상
지하수배수능력	완전배수	.	불완전배수	.	배수못함
표층침식	없음	낮음	보통	높음	매우높음
지하수	건조	하부젖음	중상부젖음	하부흐름	중상부흐름
표면수배수능력	완전배수	.	불완전배수	.	배수못함
사질층이나 연약층존재	매우큼	큼	보통	작음	매우 작음
보호공 현황	심층공법	표층공법	심층+표층공법	.	.
보호공 상태	매우양호	양호	보통	불량	매우작음
배수공 현황	심층공법	표층공법	심층+표층공법	.	.
배수공 상태	매우 양호	양호	보통	불량	매우작음

3. 대책공법 결정 기법

3.1 절개면 안정도와 대책공법 결정

개발된 대책공법 수립 시스템(일명, 대책공법 전문가 시스템)은 사용자와 컴퓨터와 대화식 컴퓨터 프로그램으로 최근 몇 년 사이에 다양한 분야에 적용되고 있는 새로운 CAE(computer aided engineering) 분야이다. 컴퓨터 프로그램 자체가 마치 사람처럼 어떤 분야에 대한 정보를 인식하여 질문을 받으면 스스로 추론하여 답을 주는 시스템으로 기존의 컴퓨터 프로그램이 할 수 있었던 역할보다 한단계 향상된 프로그램이다. 어떤 문제를 해결하기 위한 기존의 프로그램과 전문가 시스템의 차이점을 살펴보면, 기존 프로그램과 달리 주위의 상황과 경험적 지식 등을 고려하여 안전하고 경제적인 구조물 설계 등이 이루어지도록 한다.

절개면의 대책공법결정을 위하여 안정성 평가에 사용되는 항목을 퍼지 이론을 이용하여 절개면 안정도를 설정하고 이에 따른 대책공법을 설정하는 시스템을 구축한다. 절개면 조사항목에 가중치를 부여하여 절개면의 상태를 분류한다 그러나 조사항목에서 고려할 수 없는 지반재료와 배수에 대한 보강공법의 고려와 절개면의 안정성에 큰 영향을 미칠 수 있는 사질층, 연약지반의 존재와 같은 특수한 경우를 고려할 필요가 있다. 따라서 절개면에 대한 보강공법에 대해서는 보강할인이라는 항목으로 연약층에 대해서는 극한 할증이라는 항목으로 지수를 계산하여 적절히 절개면 상태를 분류하고 대책공법을 결정한다.

보강할인에 대하여 고려하면 절개면의 안정성에 영향을 미치는 1. 조사대상절개면, 2. 주변상황, 3. 지반재료, 4. 배수의 항목에 대하여 보호공법이 필요한 절개면과 보강공법이 필요한 절개면으로 구분하였다.

3.2 대책공법 결정 시스템 운영

절개면의 붕괴는 단순한 몇 가지 특정인자에 의해 발생되기 보다 강우, 지질, 토질, 지형 및 식생 등 다양한 인자의 조합에 의해 발생된다. 국내 도로 절개면의 붕괴인자들의 영향력의 범위와 특성을 파악하기 위해서는 상기 인자들에 관한 자료 축적이 선행되어야 한다. 또한, 이를 근거로 절개면의 설계 시방서나 시공 지침서 등이 작성되어야 할 것이다. 이러한 사항은 단기간에 이루어지는 것이 아니라 오랜 시간동안 꾸준히 연구 개발하여야 하며, 개발을 위한 하나의 방법으로 관련 자료의 데이터베이스 구축을 들 수 있다. 도로 절개면의 안정성을 평가할 수 있는 각종 자료를 체계적으로 수집하고 효율적으로 데이터베이스화 한다면 도로 절개면의 설계기준, 시공시 유의사항, 유지관리의 방법 등, 도로 절개면 전반에 대해 국내 여건에 적합한 기준이 작성될 수 있을 것이다. 아울러 구축된 데이터베이스에 지리정보시스템(Geographic Information System, GIS)을 적용하여 각각의 도로 절개면 현장의 특성을 수치지도상에 구현한다면 도로 절개면의 지역적인 특성뿐만 아니라 기타 다른 현장과의 상관관계를 얻을 수 있을 것이다.

본 도로 절개면 유지관리 데이터베이스 시스템은 한국건설기술연구원 사면 조사팀에 의해 개발이 되었으며 본 연구에서 개발된 대책공법 결정 시스템은 도로절개면 유지관리 시스템에 병합하여 운영이 되도록 하였다. 도로절개면 유지관리 시스템(Cut slope management system, CSMS)은 검색엔진의 강화 및 다양화, 통계처리기능 강화와 우선순위 점수 산출 부여 및 우선순위 평가와 대책공법 결정 전문가 시스템과의 통합환경, 사용자 인터페이스

보강에 중점을 두고 본격적인 GIS시스템을 구축하여 기존의 도로 절개면 현장의 데이터베이스와 지도위치정보를 접목하여, 효과적으로 데이터에 대한 분석이 가능하다. 또한 지도 데이터는 도로망 주제도를 활용하여 교량이나 포장관리의 도로관리통합시스템과의 연계 가능성을 부여하였다.

향후 네트워크 가능한 웹(Web) 서버 상에서 도로관리자인 국토유지건설사무소의 실무자가 자료를 조회 및 갱신할 수 있도록 웹 GIS에 대한 개발목표로 설정하고 있으며 아울러 공간질의기능을 개발 계획 중이다.

상기의 유지관리시스템에 대책공법 설정 기법을 접목하여 시스템에서 운용될 수 있도록 개발하였다. 다음 그림 1은 도로절개면 유지관리시스템 프로그램을 실행할 경우의 메인 화면이다. 그림 2는 대책공법에 필요한 요소들의 입력창과 절개면의 세부적인 사항이 나타나고 있는 화면이다. 그림 3은 조사항목에서 고려할 수 없는 지반재료와 배수에 대한 보강공법 설정시 필요한 보강할인과 극한 활중의 지수를 삼입하는 화면이다. 해당 절개면에 대한 입력치를 입력하고 연산작용을 실시하면 그림 4의 화면에 연산후 결과가 도시되도록 하였다.

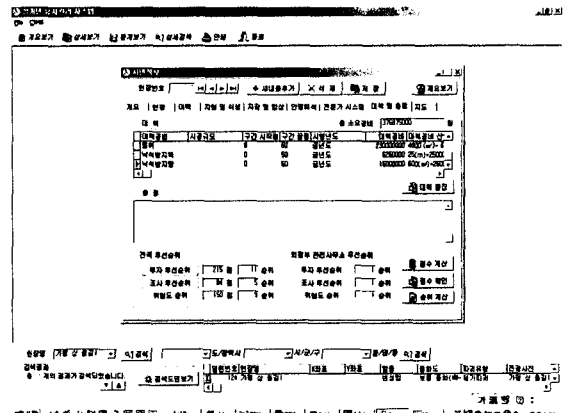
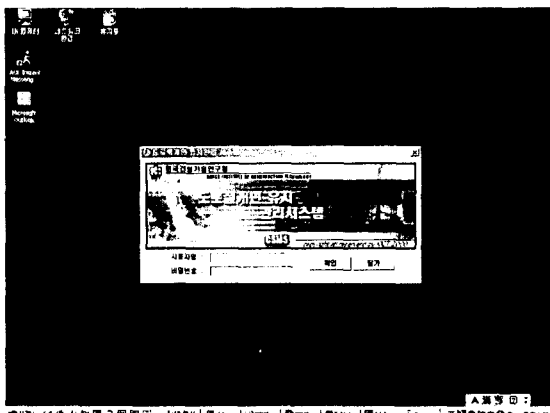


그림 1. 도로절개면 유지관리시스템 메인 화면 그림 2. 대책공법에 필요한 요소입력화면

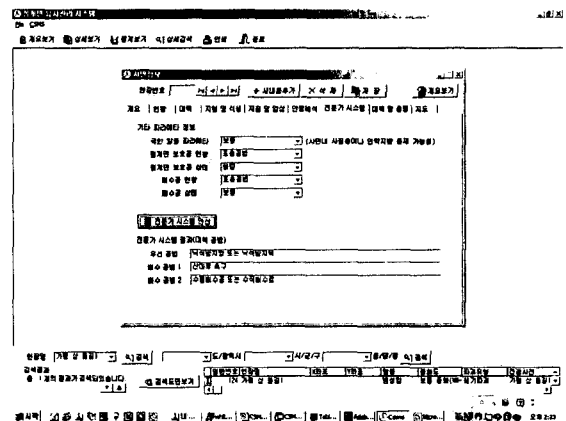
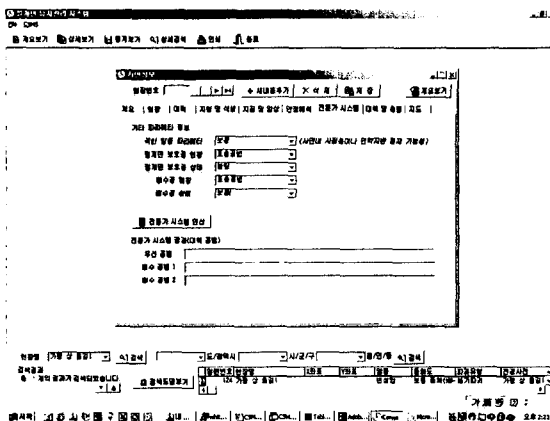


그림 3. 절개면 대책공법 설정을 위한 연산 그림 4. 대책공법 설정 결과 예시 화면

4. 고찰 및 결과

절개면의 안정성을 정량적으로 평가하는 방법은 간단하지 않으며 현재에도 선진 각국에서 많은 연구와 기술 개발을 시도하고 있다. 본 연구에서 개발된 방법은 가능한 현장 조사 요소를 정량화하기 위하여 요소들은 설정하였으나 부분적으로 미흡한 점이 없지 않다.

앞으로 수정보안할 점으로는 현재 조사항목이 많아 도로관리자가 자료를 수집할 경우 적지 않은 어려움이 예상된다. 이런 항목을 간단히 하면서 배점이나 가중치를 조절하는 방안으로 개발 및 수정보완을 할 예정이다. 도로절개면의 장기적인 유지관리를 위하여 시간적인 지역의 기후 및 환경에 대한 항목 사항을 고려하여 설정할 예정이다.

대책공법 설정에서는 프로그램의 한계성에 관한 것이나 정량화된 절개면의 안정도에 따라 획일화된 절개면의 대책공법이 결정된다. 이런 점에서는 좀 더 자세하게 대책공법 적용 부분에 대하여만 공법이 수립될 수 있도록 시스템을 개발할 필요가 있다. 그러나, 이런 부분에 대하여는 조사항목의 세분화가 계획이 수반될 수 있어 상호 장단점을 섭렵하여 개발하여야 할 것이다.

5. 향후 연구방향

국내에서 주로 사용하는 도로절개면 대책공법 관련 특성분석과 국내 적용사례를 검토하였으며 절개면 관리자를 위한 현황자료를 근거로 개략적 대책공법을 결정할 수 있는 대책공법 결정 시스템을 개발하였다. 이로 인하여 도로절개면에 대한 예산의 효율적 투자와 사전 재해 예방에 만전을 기할 것으로 기대된다.

위험절개면 유지관리시스템은 부분적으로 수정·보완하여야 되는 부분이 적지 않은 게 사실이다. 본 시스템의 보완부분으로는 다음과 같은 점을 들 수 있다. 첫째, 입·출력 인터페이스를 사용자의 편의성을 위하여 검색창과 자료입력창의 분리, 연관성 있는 항목간의 카테고리 형성, 화면 출력창의 신축성 부여, 인쇄 출력폼의 개선 등을 들 수 있다. 둘째로 통계 분석 기능을 강화하여 다양한 출력폼을 구성하여야 한다. 셋째로, 특정자료의 공간적 상관관계를 통계 처리하는 기능인 공간통계처리가 필요하다. 이러한 기능은 값이 알려진 여러 지점사이의 미지점의 값을 추정하는데 큰 도움이 된다. 또한 GIS 도구들에서 제공하는 공간질의 함수들을 사용할 수 있도록 지도 검색창의 기능을 강화할 필요가 있다. 이외에도 지도 데이터의 보완 등 많은 문제점을 안고 있지만 앞으로 보다 나은 시스템을 개발하여 효율적인 국토 관리에 기여를 하리라 사료된다.

참고문헌

- 1) 구호본 외 3인, 1994, "The Characteristics of Landslides in Korea", Proc. of The North-East Asia Symposium on Landslides and Debris Flows.
- 2) 김광식, 최윤철, 이태승, 1993, 지리정보 시스템 INTGIS의 설계와 구현, 원격탐사학회지, vol. 9, no. 1.
- 3) 김광은, 이태섭, 1994, 수질오염 감시에의 활용을 위한 항공원격탐사의 적용연구, 한국 GIS학회지, vol. 2, pp. 65-74.

- 5) 김창제, 1997, Web기반의 환경 GIS 자료구축과 검색, 한국GIS학회지, vol. 5, pp. 195-198.
- 6) 일본도로공단,1986, 道路土工 のり面工・斜面安定工 指針, 사단법인 일본도로협회.
- 7) 한국건설기술연구원, 2001, 도로절개면 유지관리시스템 개발 및 운용 III, 건설교통부.
- 8) Koirala, N. P. and Watkins, A. T.(1988), "Bulk Appraisal of Slopes in HongKong", Proceedings of 5th International Symposium on Landslides, Lausanne, Switzerland, pp. 1181-1186, Balkema.
- 9) Norrish, N.I and Wyllie, D.C.(1996), Rock Slope Stability Analysis, Landslides : Investigation and Mitigation, National Research Council, pp. 391-425.
- 10) Varnes, D. J.(1984), Land Hazard Zonation, a Review of Principles and Practice, Natural hazards, 3. UNESCO, Paris.