

# GIS기반의 지질·지형 자료를 활용한 경상도지역의 지반분류 사례\*

강수영<sup>1</sup> · 김광희<sup>1\*</sup>

## A Case Study of GIS-Based Site Classification in the Gyeongsang Province Constrained by Geologic and Topographic Information\*

Su-Young KANG<sup>1</sup> · Kwang-Hee KIM<sup>1\*</sup>

### 요 약

지반특성은 지진동, 액상화 및 산사태 등으로 인한 지질재해 위험성 평가에서 중요한 요소로 사용될 수 있다. 일반적으로 지역적 지반특성을 규명하기 위한 지반분류에서는 시추나 탄성과 탐사를 이용하는 방법을 많이 사용하나, 이번 연구에서는 지질도와 지형도를 활용하였다. 본 연구에서는 수치지질도로부터 지질시대와 암상 자료를 추출하고, 지형도로부터는 고도와 경사도 자료를 추출한 후 GIS를 사용하여 경상남북도 지역의 지반을 분류하였다. 그 결과 연구지역의 지반은 지반분류 B(보통암)가 우세하게 나타나며, 하천과 매립지 부근에서는 이보다 연약한 지반으로 이루어져 있다. 이 결과를 연구지역의 시추자료를 사용한 지반분류와 비교해보면 약 73% 정도 일치한다. 오차원인은 주로 지질도 혹은 지형도에서 기인한다고 사료되며, 일부는 시추작업과 현장조사를 통해 직접적인 오류원인을 찾아야 하는 경우도 있다. 이 연구 결과는 지진, 홍수, 사태 및 액상화 등의 지질재해 및 토지이용계획 수립 시 유용한 자료로 사용될 수 있을 것이다.

주요어: 지반분류, GIS, 지질도, 지형도, 지질재해

### ABSTRACT

Site characteristic is an important input parameter in the geologic hazard assessments including, but not limited to, earthquakes, liquefaction and landslides. Although it is a routine to use data collected by boreholes or seismic prospecting for site classifications, we used indirect methods using the geologic and the topographic maps. A site classification map in the

---

2009년 4월 13일 접수 Received on April 13, 2009 / 2009년 5월 29일 수정 Revised on May 29, 2009 / 2009년 12월 1일 심사 완료 Accepted on December 1, 2009

\* 본 연구는 항만 지진응답 계측시스템 구축 및 활용기술 개발 연구사업 결과의 일부로서, 국토해양부의 지원에 의해 수행되었습니다.

1 한국해양연구원 해양위성·관측기술연구부 Ocean Satellite Remote Sensing & Observation Technology Research Dept. Korea Ocean Research & Development Institute

\* 연락처 E-mail: kwanghee@kordi.re.kr

Gyeongsang Province has been produced by GIS tools based on geologic age, rock types, and elevations from the geologic map and the topographic map of Korea. Site B (rock site) is dominant in the study area, although softer soils are observed along rivers and in reclaimed lands. We have found that 73% of the site classification results in the study are in concordance with those obtained from borehole data. Observed discrepancies are attributed to errors in the geologic and the topographic maps. For some sites, the origin of the differences is not clear, which requires a further field study or a drilling. Site classification from this study provides essential information for reliable hazard assessments of earthquakes, floods, landslides and liquefaction. Results obtained in the study also play a crucial role in land use planning for developing areas.

*KEYWORDS : Site Classification, GIS, Geologic Map, Topographic Map, Geologic Hazard*

## 서론

우리나라에서는 1990년대에 이르러 지리정보의 중요성에 관한 인식증대와 더불어 정보체계 구축 사업을 시작하면서 지리정보시스템(Geographic Information System, GIS)을 이용한 정보의 활용이 활발해졌다(황재홍 등, 2007). 우리나라 지질도의 수치지질도화가 그 대표적인 예이다. 한국지질자원연구원의 전신인 지질조사소에서는 1918년부터 전 국토를 대상으로 지질조사를 수행하여, 2002년에 1:50,000과 1:250,000의 지질도를 생산한 후 이들의 지질자료를 표준화하고 지질도를 수정·보완함으로써 수치지질도가 완성되었다(한국지질자원연구원, 2008). 이 수치지질도에는 지질시대와 암상, 현장정보 등이 포함되어 있고, 근래에는 지리정보시스템을 기반으로 지역적 혹은 전국적 지질정보를 활용한 연구가 활발히 진행되고 있다. 지질조건에 따라 변화하는 지질 혹은 지반의 특성을 알기 위해 지질정보 또는 지층정보가 활용되며(선창국과 정충기, 2008), 지질·지진재해 예측 시재해크기 산정에 있어서 중요한 변수로 작용한다. 지반의 특성을 규명하기 위해서는 일반적으로 시추조사를 통하여 지표면 아래 상부 30m까지의 평균 전단파 속도( $V_s^{30}$ )를 추정한 후 이를 사용하여 지반을 분류하게 된다. 국내

에서 보유하고 있는 시추자료는 도시지역의 도로예정지역을 따라 조사되어 그 위치가 제한적이므로 넓은 지역의 지반을 연속적으로 분류하기는 어렵다.

시추자료 분포의 공간적 한계를 극복하고 상대적으로 넓은 지역의 지반을 분류하기 위하여 지질도, 지형도, 지진자료, 시추자료 등 다양한 자료를 함께 이용하는 연구가 진행되고 있다. 대만 전체의 지반특성 분류를 위하여 지질도, 고도, 시추자료, 지진동 자료를 이용한 사례가 있고(Lee 등, 2001), 미국, 대만, 이탈리아, 호주 등의 광역적 지반분류를 위해서 지형의 경사도와 지진동 지도(ShakeMap)를 사용하여 그 결과를  $V_s^{30}$ 지도로 도출한바있다(Wald와 Allen, 2007). 상기 연구에서는 지형특성과 지질특성의 상관관계가 지반분류 시 중요 변수로 활용되었다. 즉, 가파른 경사도의 지역은 그 경사도를 유지할 수 있는 암석 등으로 이루어져있는 반면에, 완만한 경사도의 지역은 퇴적층과 같은 연약지질층이 주를 이룬다. 암석은 높은  $V_s^{30}$ 와 높은 고도에서 발견되며, 연약지질층은 낮은  $V_s^{30}$ 와 낮은 고도에서 발견된다는 일반적인 관측을 이용하였다(Lee 등, 2001; Wald와 Allen, 2007).

Wald와 Allen(2007)의 연구에서는 지반분류( $V_s^{30}$ 지도)를 지형도 및 지진동 자료를 이용하여 작성하는 것이 일반적이지만, 일부 지역에 대

해서는 지형의 경사도만을 이용하여  $V_s^{30}$  지도를 제작하기도 하였다. 이 방법이 지형도만을 사용함으로써 그 과정이 다른 방법에 비하여 매우 간단하지만, 오차가 클 수 있으므로 보다 명확하고 풍부한 자료를 이용해  $V_s^{30}$  지도를 보완·작성할 것을 권장하고 있다. 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여 지질도와 지형도를 조합한 후 경상도 지역의 지반을 분류하여 보았다. 또한 본 연구의 결과를 동일지역 시추자료를 이용하여 지반분류한 결과와 비교하였다.

지반분류를 위하여 일반적으로 사용되는 직접지반탐사는 많은 시간과 비용, 연구인력 등이 필요하지만, 본 연구에서는 지리정보시스템(GIS)을 기반시스템으로 하고, 해외 유사 선행 연구에서 제시된 방법에 따라 비교적 간단히 개략적이거나 경상도 전 지역의 지반을 분류할 수 있었다. 지형 혹은 지질 단일 자료만을 사용한 결과가 아니므로 지반분류 결과 측면에서도 한층 발전된 결과를 산출하였다 할 수 있다. 그러나 향후 연구에서는 보다 명확하고 풍부한 자료를 추가 사용함으로써 오류를 보정하여 결과의 신뢰성을 높여야 할 것이다. 이 결과는 지진재해 혹은 산사태와 액상화 등의 지질재해 관련 연구, 그리고 토지이용계획에서 유용한 정보를 제공할 것이다.

## 자료구축 및 연구방법

### 1. 자료 및 연구지역

본 연구에서는 GIS 기반자료인 1:250,000 수치지질도와 DEM(Digital Elevation Mode) 자료를 이용하였다(한국지질자원연구원, 2008; USGS, 2009). 수치지질도에서는 지질시대와 암상 자료를 이용하였고, DEM 자료에서는 고도와 경사도 정보를 활용하였으며, 그 결과물을 GIS에서 도시하였다. 결과물 비교검토를 위해서는 Geotechnical Information DB System(GeoInfo 지반정보, 2009)에서 충분한 시추 깊이를 갖춘 시추자료를 취합하여  $T_g$ (Site Period)

를 산출하는데 이용하였다. 이 자료는 시추의 위치에서 결정되는 점 좌표이다. 연구지역은 근래에 재해를 유발할 정도로 큰 지진은 아니지만 소규모 지진이 꾸준히 발생하고 있으며, 과거 역사적으로도 사상자와 재해 경험이 있었던 경상남북도 지역으로 제한하였다(강수영 등, 2007). 연구지역은 대구, 부산, 울산광역시를 포함한다.

### 2. 지반분류를 위한 기준설정

지반분류 기준은 해외의 선행연구를 참고로 정립하였다. 우선, 지반분류를 위한 기준을 설정하기 위해 본 연구에서는 Lee 등(2001)의 연구에서 제시한 지질도를 활용하여 변성암, 화성암, 화산암, 퇴적암, 석회암, 미고결퇴적물로 구분하고, 이를 다시 시대별로 세분화하여 지질속성을 시대별·암상별로 1차 분류하였다. 다음은 고도 50m 이하, 50~150m, 150~500m에 해당하는 지반분류 대상지역에 대하여 Site E, Site D, Site C로 분류하였다. 지반분류 대상지역의 고도가 500m 이상인 산과 언덕은 Site A 혹은 B로 분류하였다(Lee 등, 2001). 고도별 지반분류 후 비교적 단단한 암석인 석회암, 관입암, 변성암, 화성암 등은 고도와 상관없이 시대별 암상의 지반분류를 기초로 하는 지반분류 방법에 따라 암상별로 다시 세분화하였다(Lee 등, 2001). 마지막으로 경사도를 이용한 지반분류를 위해서는 Wald와 Allen(2007)에서 제시한 경사도에 의한 지반분류 정보와 DEM 자료를 이용하여 미국 국가지진재해저감 프로그램(National Earthquake Hazard Reduction Program, NEHRP)기준을 따라 지반을 분류하였다(표 1).

분류기준을 요약하면 경암 지반인 Site A는  $V_s^{30}$ 가 1,500m/sec 이상이며, 고도가 500~2,000m 사이에 위치하고, 경사도가 0.025m/m 이상의 범주 내에 존재하는 관입암이다(Wald와 Allen, 2007; USGS, 2008). 보통암 지반인 Site B는 500~2,000 m 고도와 경사도가 0.025 m/m 이상, 760~1,500m/sec의  $V_s^{30}$ 를 보이는 관입

TABLE 1. 경상도와 NEHRP 기준에 따른 지반분류 (Wald와 Allen, 2007)

지반분류	지반종류	전단파속도 (m/sec)	경사도 (m/m)
A	경암	1,500	
B	보통암	760~1,500	> 0.025
C	매우 조밀한 토사 또는 연암	360~760	7.2E-3~0.025
D	단단한 토사	180~360	2.0E-5~7.2E-3
E	연약한 토사	~180	< 2.0E-5
F	부지 고유의 특성평가가 요구되는 지반		

암, 원생대와 고생대의 변성암과 석회암, 중생대의 화강암, 변성암, 퇴적암, 화산암, 그리고 제 3기의 관입암, 화산암과 퇴적암을 들 수 있다(Lee 등, 2001; Matsuoka 등, 2006; Tinsley와 Fumal, 1985a; Tinsley와 Fumal, 1985b; Wills 등, 2000; Collins 등, 2008; Park와 Elrick, 1998; Williams 등, 1997; Williams 등, 1999; Borchardt와 Fumal, 2002; Wald와 Allen, 2007). 매우 조밀한 토사나 연암 지반인 Site C의 경우에는 150~500m 고도와 7.2E-3~0.025m/m의 경사도에서 360~760m/sec의 전단파 속도를 보이는 변성암, 중생대와 신생대 초기 화산암과 퇴적암 등이 이에 속한다(Lee 등, 2001; Tinsley와 Fumal, 1985a; Tinsley와 Fumal, 1985b; Wills 등, 2000; Matsuoka 등, 2006; Williams 등, 1997; Williams 등, 1999; Park와 Elrick, 1998). 그리고 단단한 토사지반인 Site D는 50~150m의 고도와 2.0E-5~7.2E-3m/m의 경사도에서 180~360m/sec의 전단파 속도를 보이는 제 4기 층적토와 화산쇄설성 퇴적층을 들 수 있다(Lee 등, 2001). 마지막으로 연약한 토사지반인 Site E는 50m 미만의 고도와 2.0E-5m/m 이하의 경사도에서 180m/sec의  $V_s^{30}$ 를 보이는 미고결퇴적물 또는 매립토가 이에 해당한다(Lee 등, 2001).

### 3. 지반분류 과정

본 연구에서 사용한 지반분류 과정은 그림 1과 같이 요약할 수 있다. 우선, 연구지역의

지반을 지질도상의 지질시대 및 암상 자료를 이용하여 일차적으로 분류하였다. 동시에 지질도와 지형도를 GIS를 이용해 결합한 후 고도와 경사도에 따라 지반을 분류하였다. 최종적으로 각각 일차적으로 지반 분류된 결과를 다시 GIS를 이용하여 조합한 후 정립된 지반분류 기준에 따라 지반을 분류하여 결과물을 도출하였다. 이때 연구과정과 결과에 도시한 지반분류는 미국 국가지진재해저감 프로그램(National Earthquake Hazard Reduction Program, NEHRP) 기준에 따라 Site A~Site E로 지반을 분류하였으며(표 1), 노출되지 않은 관입암이 존재할 수 있는 지역을 고려하여 Site A 혹은 Site B의 가능성을 합쳐 Site AB로 표시하였다.

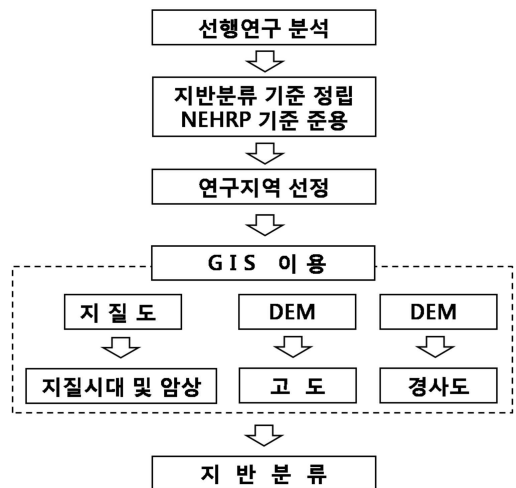


FIGURE 1. 지반분류 과정

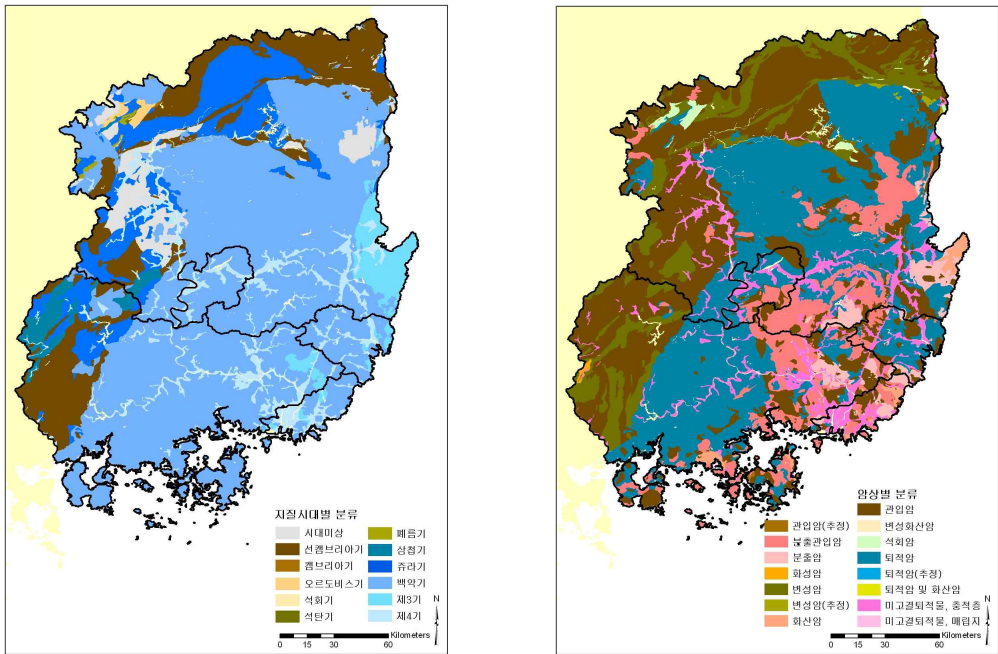


FIGURE 2. 경상도 지역의 지질시대와 암상구조 (한국지질자원연구원, 2008)

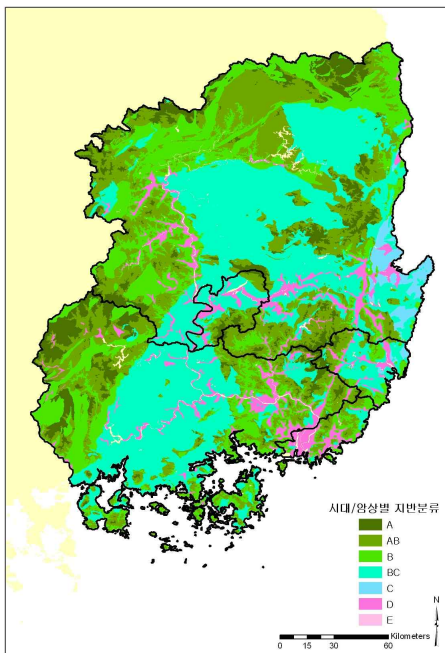


FIGURE 3. 경상도 지역의 지질시대와 암상구조로 구분한 지반분류

## 지반분류

### 1. 지질도 DB를 이용한 지반분류

한국지질자원연구원에서 배포하는 1:250,000의 지질도에 의하면, 본 연구의 대상지역인 경상도는 백악기에 주로 형성된 지질형태로, 선캄브리아기부터 제4기까지 여러 시대에 걸쳐 형성되었다(그림 2). 암상으로는 퇴적암과 관입암이 주를 이루며, 위에서 언급한 지반분류 기준에 따라 지질도의 지질시대와 암상 자료를 이용해 지반을 분류하면 그림 3과 같이 나타난다. 많은 백악기 퇴적암의 분포로 인하여 Site B 혹은 C(Site BC로 표시)가 우세하게 나타나고, 관입암 또한 많이 분포하여 Site A 혹은 B도 상당부분 차지하고 있다.

### 2. 고도 DB를 이용한 지반분류

지형도와 지질도를 GIS를 이용해 결합한 후 고도별로 지반 분류한 결과를 그림 4(a)에 도시

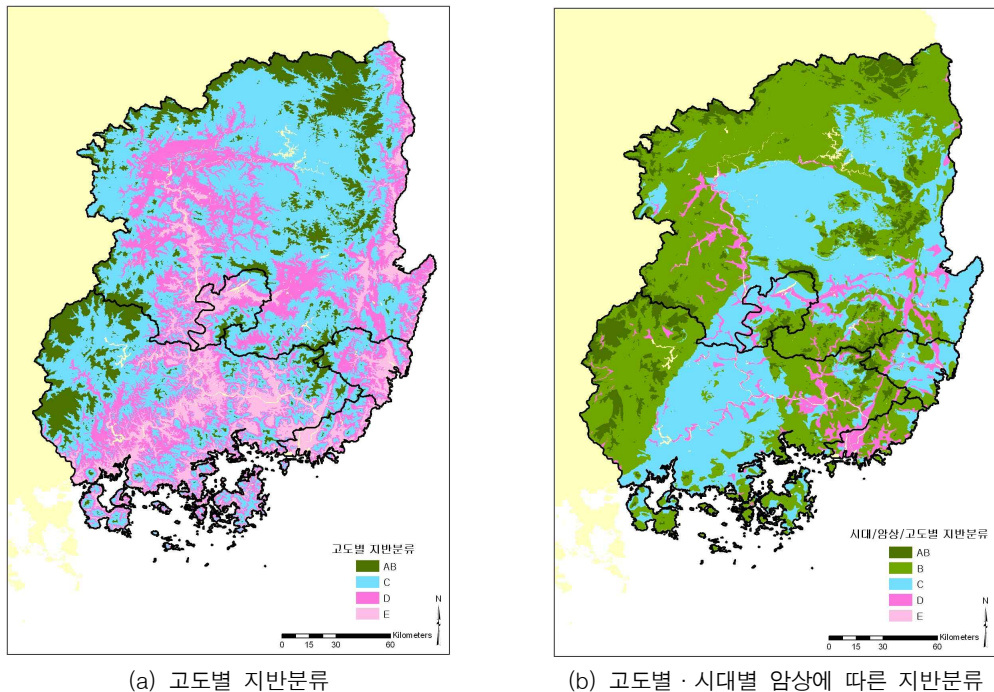


FIGURE 4. 지형도 및 지질도 기반의 고도와 시대별 암상에 따른 지반분류

하였다. 고도별 분류결과에 의하면 연구지역 대부분이 하천을 따라 낮은 지대를 형성하므로 Site C와 D 혹은 E로 분류된다. 이로 인하여 지질시대와 암상을 이용하여 앞에서 분류한 결과와는 차이가 발생한다. 그러나 비교적 단단한 암석으로 분류되는 관입암, 화성암, 석회암, 변성암은 고도와 상관없이 암상에 따라 지반을 분류할 필요가 있으므로(Lee 등, 2001), 그림 4(b)와 같이 암상을 추가로 고려하여 재분류하였다. 관입암의 노출여부 또한 고려해야 하지만(USGS, 2008), 우리나라 지질도 혹은 지형도에서는 관입암의 노출여부가 확인이 되지 않으므로, 고도에 따라 500m 이상의 경우 Site A, 150~500m의 경우 Site A 또는 B, 그보다 낮은 고도에서는 다른 암석과 같이 취급하였다. 그 결과, 관입암이 많은 경상도의 북부와 서부 지역에서는 Site A 또는 B의 지반이 주를 이루었다. 반면에 미고결퇴적물이 많고 고도가 낮은 하천지역은 Site D 또는 E로 분류되었다. 포항부근 지역은 고도가 낮은 제

3기에 형성된 화산암이 주를 이루어 Site C(매우 조밀한 토사나 연암 지반)를 나타내고 있다. 연구지역의 내륙은 넓은 퇴적암 지역이 중간고도(150~500m)에 분포하여 Site C를 이룬다.

### 3. 경사도를 이용한 지반분류

지형도에서 GIS의 공간분석(Spatial Analyst) 도구를 이용하여 경사도를 추출한 후 표 1의 경사도에 따라 지반을 분류하면 그림 5(a)와 같이 나타난다. 이 지도는 경사도를 이용해 작성되었기 때문에 산과 언덕이 많은 연구지역은 대부분 Site B(보통암)로 구분되었다. 그림 5(b)는 지질도의 시대와 암상, 그리고 지형도의 경사도를 고려한 지반분류 결과이다.

## 지반분류 결과 및 검토

GIS를 이용하여 이미 작성된 세 가지 결과

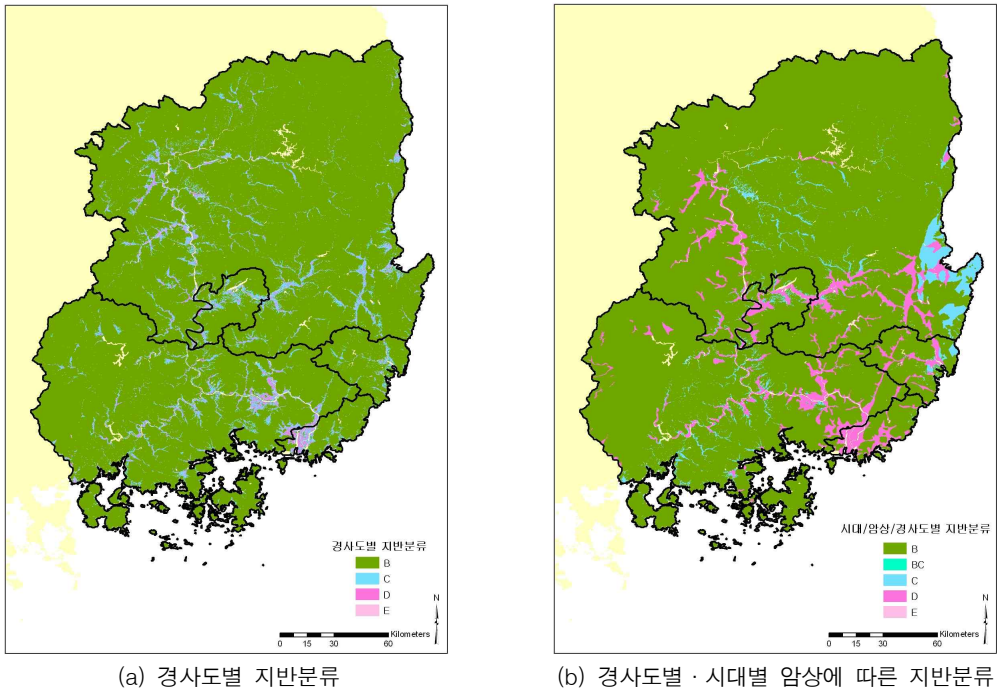


FIGURE 5. 지형도 및 지질도 기반의 경사도와 시대별 암상에 따른 지반분류

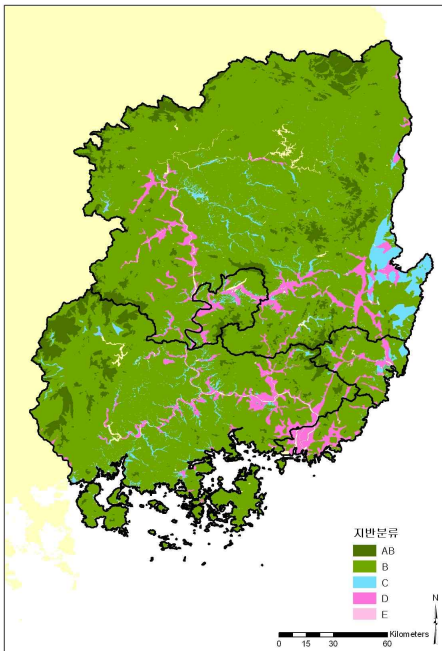


FIGURE 6. 지질도와 지형도 자료를 이용한 지반분류 결과

물(그림 3, 그림 4(b), 그림 5(b))을 조합하여 DB를 만든 후 지반분류 기준에 따라 최종적으로 분류하였다(그림 6). 연구지역은 주로 Site B(보통암)로 분리되었으며, 비교적 낮은 고도와 경사도를 보이는 일부 하천과 해변을 따라 보다 연약한 지반도 있다. 또한 일부 관입암으로 형성된 산악지역은 Site A(경암) 혹은 B(보통암)로 분류되기도 하였다. 지역적으로 살펴보면, 경상북도 북부지역과 경상남도 서부지역은 높은 고도에 위치한 산악지역이므로 단단한 지반으로 분류되었다. 그러나 남부지역의 하천 부근과 해안지역은 비교적 연약한 지반으로 분류되었다.

본 연구의 지반분류 결과를 검증하기 위하여 시추자료를 활용하였다. Geotechnical Information DB System(GeoInfo 지반정보, 2009)에서 연구지역의 시추자료를 추출한 후 김용석(2007)의 연구에서 제시한 각 층의 전단과 속도를 적용하여  $T_g$ (Site Period)를 산출하였다. 김용

석(2007)의 연구에서는 각 층의 최대 전단파 속도와 최소 전단파 속도를 제시하였으며, 본 연구에서는 그 평균치를 사용하였다. 계산된  $T_g$ 는 다시 Rodriguez-Maret 등(2001)의 연구에서 제시한 방법에 의하여 분류(Site A~Site E)되었다. 본 연구에서 GIS를 활용하여 지반분류한 결과와 시추자료를 이용하여 지반분류한 결과를 비교하면, 약 73% 일치율을 보인다(그림 7).

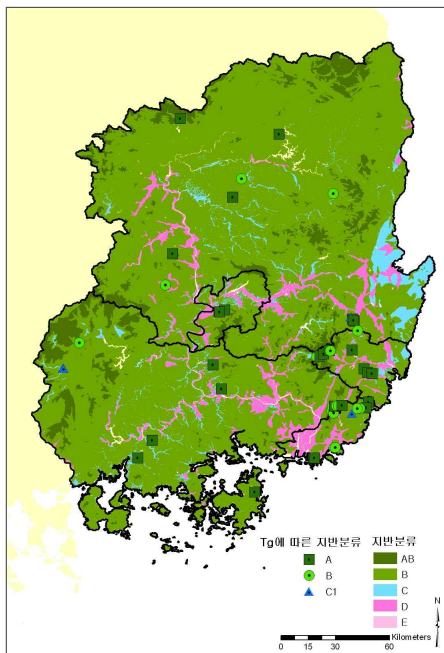


FIGURE 7. 시추자료에 의한 지반분류와의 비교검토

### 결론 및 토의

대상지역의 지반특성을 규명하기 위하여  $V_s^{30}$ (지표면 상부 30 m에서의 평균 전단파 속도)이 흔히 사용되며, 시추를 통해 정확한 전단파 속도를 측정하고 이를 활용하여 대상지역의 지반을 분류하는 것이 가장 이상적인 방법이다. 그러나 이러한 직접적인 방법은 활용할 수 있는 자료가 매우 제한되어 있으며, 데이터베

이스를 구축하는데 많은 시간과 비용 그리고 인력이 투입되어야 한다. 이러한 단점을 보완하고 광역적 지반분류를 위하여 지진자료나 지질정보를 활용하여 지반을 분류하는 간접적인 방법을 채택할 수 있다. 본 연구에서는 지질도와 지형도로부터 수집한 자료를 GIS 도구로 지반 분류하는 방법을 사용하였다. 연구지역은 경상도 지역으로 제한하고, 지질도는 1:250,000을 사용하였다. 지반분류 기준은 Lee 등(2001)의 연구방법을 비롯한 선행연구를 토대로 작성하였다.

연구지역은 약 50% 이상이 백악기 시대의 퇴적암과 관입암으로 이루어져 있다. 고도는 약 40%가 150~500m, 약 30%가 50~150m, 약 20%는 0~50m, 그리고 나머지 약 10%는 500~1,000m 정도의 지형으로 이루어져 있으며, 경사도는 비교적 가파른 지역이 많다. 이러한 정보가 담긴 지질도와 지형도를 GIS를 이용하여 결합한 후 본 연구에서 지반분류한 결과, 연구지역은 대부분 보통암(Site B) 이상의 단단한 지반으로 이루어진 것으로 나타났다. 단, 낮은 고도와 경사도, 그리고 연약한 암석으로 비교적 근래에 형성된 하천이나 퇴적층 지역을 중심으로 연약지반이 형성된 곳도 있다.

본 연구의 지반분류 결과를 연구지역에서 추출한 시추자료 결과와 비교·검토한 결과, 그 일치율이 약 73% 정도이다. 불일치의 원인으로서는 지질도 속성 오류, 지질도 축척에 기인한 오류, 그리고 연구방법상의 문제로 나누어 생각할 수가 있다. 첫째, 지질도 속성 오류는 지질도폭 간 경계에서 지질속성이 비현실적으로 상이하거나, 실제와는 다르게 하천 등이 생략되는 경우를 확인하였다. 이러한 현상은 지질도의 중축척 혹은 대축척(1:50,000)에서도 찾아볼 수 있었다. 이러한 경우, 정확한 지질정보 획득을 위하여 연구대상지역에 대한 정밀 지질조사가 필요하다.

둘째, 소축척(1:250,000) 지질도 사용에 따른



거리오차에 원인이 있다. 거리오차 보정을 위하여 실제로 현장조사를 실시하는 방법이 가장 정확한 방법이지만, 오차거리만큼의 완충거리(Buffering Distance)를 가정하는 방법도 있다. 이 완충거리를 포함하는 지역은 오차 가능성이 있는 두 지반정보를 공유하게 된다. 본 연구의 경우, 연구지역의 지반분류 경계에 임의로 500m의 완충지역을 가정한 후 지반분류할 경우에는 일치율이 약 84%까지 향상된다.

셋째, 본 연구의 지반분류 기준이 선행연구 사례를 기반으로 작성되었기 때문에, 연구지역 고유의 지반 혹은 지질특성을 충분히 반영하지 않았을 가능성을 배제할 수 없다. 향후 연구에서는 연구지역의 지반특성을 충분히 반영하기 위하여 지진동 자료와 시추자료, 현장답습 등을 통하여 보다 상세하고 정확한 지반분류 방법을 모색해야 할 것이다.

본 연구에서는 복잡한 지진관계식과 직접적인 시추작업을 통하지 않고, 선행연구와 수치지질도, 지형도를 토대로 GIS를 이용해 비교적 간단한 방법으로 지반분류를 시도하였다. 연구지역으로는 최근에도 소규모 지진이 지속적으로 발생하고 있으며, 역사적으로도 큰 지진이 발생하여 많은 인명피해와 재산 손실을 야기한 바 있는 경상도 지역을 선정하였다. 이러한 지진위험성이 항상 존재하는 지역에서 지진피해를 예측할 때 보다 정확한 지반정보를 사용하여 강진동 크기를 예측하면 지진으로 인한 피해 규모를 보다 정확히 추정할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 개략적으로나마 GIS를 이용하여 지질도와 지형도에서 추출한 정보로 지반을 분류하였고, 이 정보가 향후 정확한 지반분류 연구에 유용한 자료로서 도움이 될 것이다. 또한 이러한 지반분류 정보는 연구지역에서 지진이 발생할 경우 빠른 시간 내에 효과적인 재난관리 및 안전관리 계획수립에 유용한 정보로 사용될 수 있고, 이 밖에도 토지이용계획 수립에 활용될 수도 있다. 약하고 젖은 연약지반 지역은 지진이나 홍수,

산사태, 액상화 등의 자연재해로부터 보다 심각한 영향을 받을 수 있으므로, 사전에 대상지역의 지반정보를 인지하고 대처방안을 확보함으로써 대규모 피해를 방지할 수 있을 것이다.

## 감사의 글

세분 심사위원께서 익명으로 원고에 대한 많은 의견을 주셨습니다. 심사위원 의견은 논문의 질을 향상 시키는데 많은 도움이 되었습니다. 감사드립니다. 본 연구는 항만 지진응답 계측시스템 구축 및 활용기술 개발 연구사업 결과의 일부로서, 국토해양부의 지원에 의해 수행되었습니다. **KAGIS**

## 참고 문헌

- 강수영, 김광희, 김동춘, 유해수, 민동주, 석봉출. 2007. 지진재해예측을 위한 HAZUS와 ShakeMap의 한반도에서의 적용가능성 연구. 한국지리정보학회지 10(1):1-10.
- 김용석. 2007. KBC 내진설계기준을 위한 지반분류와 지반계수에 대한 연구. 한국지진공학회 논문집 11(1):59-65.
- 선창국, 정충기. 2008. GIS 기반의 지반 정보 시스템 구축을 통한 경주 지역 부지고유 지진응답의 지역적 평가. 한국지리정보학회지 11(2):38-50.
- 한국지질자원연구원. 2008. <http://www.kigam.re.kr/> accessed on January 30, 2008.
- 황재홍, 지광훈, 한종규, 연영광, 류근호. 2007. 지질 자료의 수요조사 및 상관성 분석. 한국지리정보학회지 10(1): 60-72.
- Borcherdt, R.D. and T.E. Fumal. 2002. Shear-wave velocity compilation for Northridge strong-motion recording sites. U.S.Geological Survey Report Open-File Report Number 2002-107.
- Collins, C., R. Kayen, B. Carkin, T. Allen and P. Cummins. Shear Wave Velocity measurement at Australian Ground Motion Seismometer Sites by the Spectral Analysis

- of Surface Waves(SASW) Method. Papers by Geoscience Australia Scientists for the Australian Earthquake Engineering Society (AEES). pp.1-7.  
[http://www.ga.gov.au/image\\_cache/GA10008.pdf](http://www.ga.gov.au/image_cache/GA10008.pdf), accessed on January 24, 2008.
- GeoInfo 지반정보. Geotechnical Information DB System, [www.geoinfo.or.kr](http://www.geoinfo.or.kr), last accessed on August 5, 2009.
- Lee, C.T., C.T. Cheng, C.W. Liao and Y.B. Tsai. 2001. Site Classification of Taiwan Free-Field Strong-Motion Stations. Bulletin of the Seismological Society of America 91(5):1283-1297.
- Matsuoka, M., K. Wakamatsu, K. Fujimoto, and S. Midorikawa. 2006. Average Shear-Wave Velocity Mapping Using Japan Engineering Geomorphologic Classification Map. Structural Eng./Earthquake Eng., JSCE 23(1):57-68.
- Park, S. and S. Elrick. 1998. Predictions of Shear-Wave Velocities in Southern California Using Surface Geology. Bulletin of the Seismological Society of America 88(3):677-685.
- Rodriguez-Marek, A., J.D. Bray and N. Abrahamson. 2001. A Empirical Geotechnical Seismic Site Response Procedure. Earthquake Spectra 17(1):65-87.
- Tinsley, J.C. and T.E. Fumal. 1985a. Mapping quaternary sedimentary deposits for areal variations in shaking response. Evaluating Earthquake Hazards in the Los Angeles Region-An Earth-Science Perspective: U.S. Geological Survey Professional Paper 1360, pp.101-126.
- Tinsley, J.C. and T.E. Fumal. 1985b. Mapping shear-wave velocities of near-surface geologic materials, Evaluating Earthquake Hazards in the Los Angeles Region-An Earth-Science Perspective: U.S. Geological Survey Professional Paper 1360, pp.127-150.
- USGS. 2008. Soil type and shaking hazard in the San Francisco Bay area, <http://earthquake.usgs.gov/regional/nca/soiltype/> last accessed on January 22, 2008.
- USGS. 2009. Global 30 Arc-Second Elevation (GTOPO30), [http://eros.usgs.gov/#/Find\\_Data/Products\\_and\\_Data\\_Available/GTOPO30](http://eros.usgs.gov/#/Find_Data/Products_and_Data_Available/GTOPO30), last accessed on November 10, 2009.
- Wald, D.J. and T.I. Allen. 2007. Topographic Slope as a Proxy for Seismic Site Conditions and Amplification. Bulletin of the Seismological Society of America 97(5):1379-1395.
- Williams, R.A., W.J. Stephenson, J.K. Odum and D.M. Worley. 1997. High-Resolution Surface-Seismic Imaging Techniques for NEHRP Soil Profile Classifications and Earthquake Hazard Assessments in Urban Areas. U.S. Geological Survey Open-File Report 97-501.
- Williams, R.A., W.J. Stephenson, J.K. Odum and D.M. Worley. 1999. S-wave Velocities for Specific Near-Surface Deposits in Seattle. Washington, Seismological Research Letters 70(2): 257.
- Wills, C.J., M. Petersen, W.A. Bryant, M. Reichle, G.J.Saucedo, S. Tan, G. Taylor and J. Treiman. 2000. A Site-conditions map for California based on geology and shear-wave velocity. Bulletin of the Seismological Society of America 90(6B):187-208. 