

# PCA 기법을 이용한 폐탄광 지역의 지반침하 관련 요인 추출

최종국\*, 김기동

120-749 서울특별시 서대문구 신촌동 134

연세대학교 지구시스템학과

Tel : 02-6325-1401, Fax : 02-6325-1403, E-mail : jongugi@yonsei.ac.kr

## Extract the main factors related to ground subsidence near abandoned underground coal mine using PCA

Jong-Kuk Choi\*, Ki-Dong Kim

요약 : 본 연구에서는 폐탄광 지역에서 발생하는 지반침하에 영향을 주는 주요 요인들을 추출하기 위하여 다변량 통계분석 방법의 하나인 주성분분석(Principle Component Analysis : PCA)기법과 지리정보시스템(Geographic Information System : GIS)을 이용하였다. 이를 위해 연구지역에서 수행한 지표지질조사, 정밀조사, 실내암석시험 등으로부터 취득된 자료를 데이터베이스로 구축하고, 지반침하 위험지역 분포를 공간적으로 해석할 수 있는 지질, 토지이용, 경사도, 지표로부터 지하 갱도까지의 심도, 갱도의 지표상 위치로부터의 수평거리, 지하수심도, 투수계수, RMR(Rock Mass Rating) 값을 분석대상으로 선정하였다. 각 요인들이 연구지역 전체에 걸쳐 분포하도록 GIS의 공간분석 기법의 하나인 표면분석(Surface Analysis), 버퍼링기법(Buffering) 및 내삽법(Interpolation)을 이용하여 래스터 데이터베이스로 구축하고 이로부터 추출된 자료들을 입력값으로 하는 주성분분석을 수행하였다. 주성분분석 결과 폐탄광 지역의 지반침하에 영향을 주는 주요인을 추출하는 것이 가능하였으며, 연구지역은 지질 및 지반강도 관련 요인이 침하발생의 가장 큰 요인인 것으로 분석되었다.

주요어 : 폐탄광, 지반침하, 요인추출, 주성분분석, 지리정보시스템

### 1. 서론

최근 폐광지역의 환경복원과 균형적인 지역발전을 통한 삶의 질적 향상을 위해 광해의 분석 및 예측과 방지에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 폐탄광지역에서의 광해 중 지반침하는 그 피해규모가 크고, 국가 경제적 피해 및 인명 피해를 초래할 수 있으므로 이에 대한 정량적인 예측 및 이를 통한 대책 마련이 필요한 실정이다.

이에 본 연구에서는 다변량 통계분석 방법인 주성분분석(Principle Component Analysis : PCA) 기법과 지리정보시스템(Geographic Information System : GIS)을 이용하여 폐탄광지역에서 발생하는 지반침하에 영향을 주는 주요 요인들을 추출하고자 하였다.

국내외 폐광지역 지반침하 예측 연구로는, 암반의 강도(intact strength of the rock), 응력장(stress field), 지질구조, 수평갱의 깊이, 채광지역의 범위, 단위 광산면

적당 채굴부피 등을 이용한 지반침하 가능지역에 대한 예측 기법 연구(Goel & Page, 1982), 인공신경망을 이용한 지반침하 예측 및 퍼지이론에 의한 함몰형 지반침하 예측기법 개발(최성웅 등, 2004), 지리정보시스템과 확률, 통계기법을 함께 적용한 지반침하 위험지역의 예측(김기동, 2006) 등이 있다.

연구대상 지역은 1999년 이후 21개소의 지반침하 발생 지역이 관측된 강원도 삼척시 도계읍 고사리로서, 위도 37° 14' 26" ~ 37° 15' 24"N, 경도 129° 2' 40" ~ 129° 3' 30"E에 위치한다. 이 지역은 구 삼탄광 주변으로 1975년부터 1989년까지 채탄활동이 이루어졌던 곳이다(석탄산업합리화사업단, 1999). 그림1은 연구대상지역을 나타낸다.

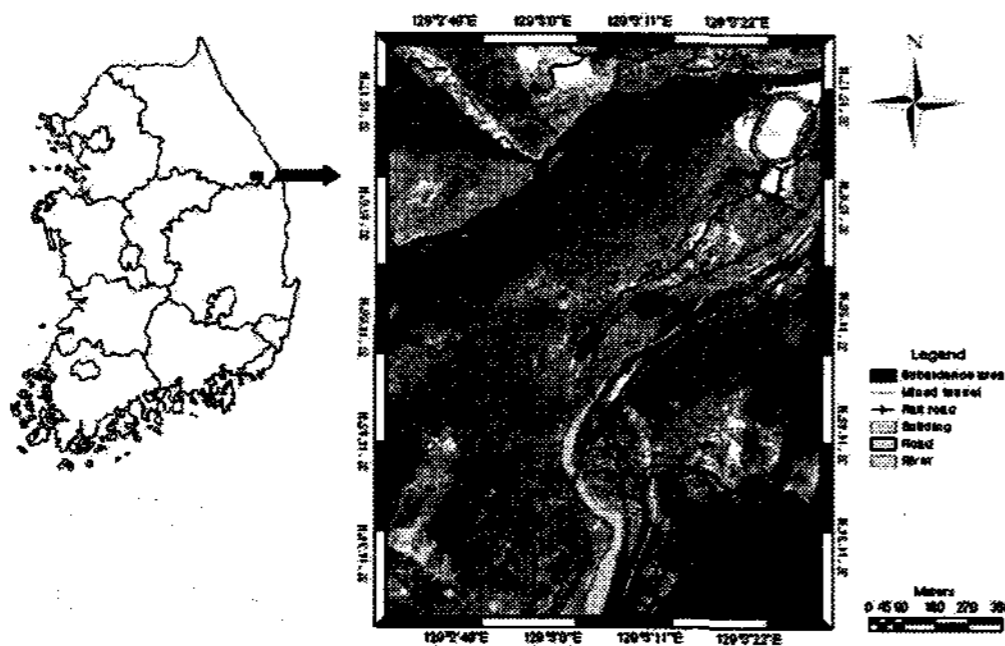


그림1. 연구대상지역

## 2. 연구자료

지반침하에 영향을 주는 요인을 추출하기 위하여 1/50,000 수치지질도, 1/5,000 수치지형도, 1/5,000 토지특성도, 1/1,200 수치갱내도 및 시추공 자료 등을 벡터형식의 공간자료로 구축하고 이로부터 지반침하 위험지역 분포를 공간적으로 해석할 수 있는 지질, 토지이용, 경사도, 지표로부터 지하 갱도까지의 심도, 갱도의 지표상 위치로부터의 수평거리, 지하수심도, 투수계수, RMR(Rock Mass Rating) 값 등 8개 요인을 분석대상으로 선정하고 지리정보시스템을 이용하여 각 분석대상별로 데이터베이스를 구축하였다.

지질과 토지이용은 수치지질도와 토지특성도로부터 자료를 추출하여 래스터변환을 실시하였으며, 경사도는 수치지형도로부터 작성한 수치표고모델(Digital Elevation Model : DEM)로부터 표면분석(Surface Analysis)을 실시하여 구축하였다. 석탄산업합리화사업단(현 광해방지사업단)에서 해발고도 보정작업을 수행하여 작성한 수치갱내도를 래스터변환하여 지표로부터 지하 갱도까지의 심도 데이터베이스를 구축하고 버퍼링기법(Buffering)에 의해 갱도의 수평위치로부터 지표상 거리 데이터베이스를 구축하였다. 또한, 연구지역에서 석탄산업합리화사업단(1999)이 수행한 지반안정성 조사결과 취득한 38개 시추공 자료에서 지하수심도, 투수계수, RMR값을 추출하였으며, 이들을 연구지역 전체 범위에 대해 해석하기 위하여 내삽법(Interpolation)을 이용하여 래스터 데이터베이스로 구축하였다. 구축된 모든 데이터베이스는 1m X 1m 크기의 ArcGIS Grid 형태로 구축되었다. 표1은 분석대상별로 구축된 데이터베이스를 나타낸다.

표1. 분석대상 요인별 데이터베이스

벡터자료	구축 데이터베이스
수치지질도	지질
수치지형도	경사도
토지특성도	토지이용
수치갱내도	지표로부터 지하갱도까지의 심도
	갱도의 지표상 위치로부터의 수평거리 버퍼링
시추공자료	지하수심도 내삽자료
	투수계수 내삽자료
	RMR 내삽자료

주성분분석 기법을 적용하기 위하여, 연구지역에서 관측된 지반침하 범위를 표1의 요인들과 동일한 형태의 래스터 데이터베이스로 구축하였고, 각 요인 자료들과의 래스터 연산(Map Calculator)을 수행하여 분석대상 요인들이 지반침하 범위 내에 속하도록 데이터베이스를 재구축하였다.

각 요인별로 재구축된 래스터 데이터 베이스는 Ascii 파일로 변환한 후 통계처리 프로그램인 SPSS에서 사용 가능하도록 엑셀 파일로 변환하였다.

### 3. 주성분분석

주성분분석은 다변량 자료들의 경향을 찾아내고, 각 자료들 간의 동질성과 이질성을 부각시키는 방향으로 데이터를 재정의하고자 하는 것이다. 이를 통해 자료들이 가지는 정보의 손실을 가능한 적게 해서 2차원 또는 3차원의 자료로 축약하는 통계적 기술이다(노형진, 2005).

주성분분석을 위해 각 요인별 자료값으로부터 평균을 빼고 표준편차로 나누어 표준화한 후, SPSS 프로그램의 입력값으로 사용하여 주성분분석을 실시하였다. 표준화된 데이터는 평균 0, 표준편차 1이 된다. 변수마다 데이터를 표준화함으로써 변수간 단위의 상위를 소거할 수 있다. 이와 같이 측정단위가 다른 각 변수를 표준화하여 주성분분석을 적용하는 방법을 '상관행렬로부터 출발하는 주성분분석'이라고 한다(노형진, 2005).

주성분분석을 수행한 결과, 추출된 각 주성분의 고유치(Eigen value)와 기여율 및 누적 기여율은 표 2와 같다. 또한, 각 주성분 별로 분석대상 요인들의 적재값(factor loading)은 표3과 같다.

표2. 주성분분석 결과 고유치 및 기여율

성분	고유치	기여율	누적기여율
1	2.044	25.553	25.553
2	1.554	19.429	44.981
3	1.272	15.912	60.894
4	1.151	14.396	75.289
5	0.709	8.857	84.146
6	0.589	7.361	91.507
7	0.389	4.861	96.368
8	0.291	3.632	100.000

표3. 각 요인의 주성분별 적재값

	PC1	PC2	PC3	PC4
갱심도	0.159	0.133	0.525	0.689
RMR	0.766	0.401	-0.210	-0.100
투수계수	-0.162	0.710	-0.452	0.375
토지이용	-0.132	0.536	0.471	-0.381
지하수심도	-0.643	0.608	0.033	0.158
지질	0.635	0.040	-0.473	0.222
갱거리	0.563	-0.017	0.514	0.304
경사도	0.503	0.461	0.195	-0.463

8개의 분석대상을 이용한 주성분분석 결과 8개의 주성분이 추출되며, 각 주성분의 고유치의 합은 8이 된다. 즉, 초기에는 각 변수가 1씩의 정보량을 가지고 있었으나, 주성분분석 후 각 주성분이 고유치에 해당하는 정보량을 가지게 되는 것이다. 또한, 높은 양의 적재값을 보이는 변수들이 각 주성분의 특성을 나타내는 공통성을 가지는 변수들이므로 볼 수 있다(노형진, 2005).

### 4. 결과 및 토의

채택할 주성분 개수의 기준은 누적기여율이 70~80% 이상이고, 상관행렬의 고유치인 경우 고유치가 1 이상이어야 한다는 기준이 자주 쓰인다(노형진, 2005). 따라서 주성분분석에 의해 얻어진 초기 4개의 주성분은 모두 고유치가 1 이상으로서 주성분으로 채택 가능하다고 볼 수 있으며, 이들은 전체 분산의 75.289%를 설명하였다.

고유치가 2.044인 주성분1(PC1)은 전체 분산의 25.553%를 설명하고 있다. 갱심도, RMR, 지질, 경사도, 갱거리 등이 양의 적재값을 보이고 있으며, RMR, 지질, 갱거리의 적재값이 높게 나타났다. 이를 통해 주성분1은 지질 및 지반의 강도와 관련이 있는 요인으로 해석될 수 있다. 주성분2(PC2)는 고유치가 1.554이고 전체 분산의 19.429%를 설명하고 있다. 각 요인의 적재

값은 모두 양의 적재값을 보이며, 투수계수, 지하수심도, 토지이용의 적재값이 높게 나타나는 바, 연구지역의 수리학적 요인과 관련이 있는 것으로 분석될 수 있다. 주성분3(PC3)는 갱심도와 갱거리가 높은 적재값을 보이며, 주성분4(PC4)에서는 갱심도가 높은 적재값을 보이고 있다.

위의 결과로부터 도출된 결론은 다음과 같다.

- 1) 연구지역에서 지반침하 발생의 주성분1은 RMR, 지질, 갱으로부터 수평거리 등 지질 및 지반강도 관련 요인으로 분석되었으며, 주성분2는 지하수 분포와 밀접한 관련이 있는 것으로 분석되었다.
- 2) 지표로부터 지하 갱도까지의 심도는 추출된 모든 주성분에서 양의 적재값을 보이고 있으며, 갱도의 지표상 위치로부터의 수평거리 또한 주성분2를 제외하면 모든 주성분에서 높은 양의 적재값을 보이므로, 지하 갱도의 분포는 지반침하 발생의 중요한 요인이라 할 수 있다.
- 3) 주성분분석에 의해 폐탄광 지역의 지반침하에 영향을 주는 주요인을 추출하는 것이 가능하며, 분석결과 각 주성분의 기여율을 주요인의 가중치로 활용한 침하예측 등의 추가연구가 수행되어야 할 것이다.
- 4) 본 연구에서 분석되지 않은 취득 가능한 요인들을 추가적으로 고려하여 분석을 실시하는 것이 필요하며, 이를 타 폐탄광 지역에도 적용하여 비교분석함으로써 공통적인 주요인을 추출하기 위한 연구가 진행되어야 할 것이다.

## 5. 참고문헌

김기동, 2006, 지리정보시스템(GIS)을 이용

한 폐탄광지역의 지반침하 예측 및 검증, 연세대학교 박사학위 논문.

노형진, 2005, Excel 및 SPSS를 활용한 다변량분석 이론과 실제, 형설출판사, p. 410-449.

석탄산업합리화사업단, 1999, 고사리지역 지반보강공사 실시설계 지반조사보고서, 기술총서 99-06, p. 1-166.

최성웅, 2004, 지반침해재해 저감기술 개발, 한국지질자원연구원, KR-04(연차)-13-5, p. 197-253.

Goel, S.C. and Page, C.H, 1982, An Empirical Method for Predicting the Probability of Chimney Cave Occurrence over a Mining Area. Int. J. Rock Mech. Min, Sci. & Geomech. Abstr., v19, p. 325-337.