

# 국내 암반 초기응력의 전반적 분포 특성과 공학적 중요성

배성호<sup>1)\*</sup> · 김재민<sup>1)</sup> · 김장순<sup>1)</sup> · 박의섭<sup>2)</sup>

## 1. 서 론

지하 암반 구조물의 굴착 과정에서 발생하는 잠재적 취성파괴 현상은 구조물의 안정성뿐만 아니라 지보재의 파괴, 추가적 보강작업과 공정 지연 등을 유발하여 시공의 장애 요인으로 작용한다. 이러한 취성파괴는 초기응력, 강도조건 그리고 굴착 단면 형태에 영향을 받으며 특히 초기응력과 강도조건에 절대적인 영향을 받게 된다. 구조물의 심도가 깊어지고 규모가 대형화 되어가는 국내 현실을 고려해 볼 때 설계 적정성과 시공의 경제성 확보에 직접적으로 영향을 미치는 초기응력 분포 특성에 대한 공학적인 정보를 확보할 수 있는 체계적인 분석과 연구가 필요하다. 그러나 국내의 경우 사전 조사 단계에서 수행되는 초기응력 측정은 물량 면에서는 크게 증가하고 있으나 그 중요성에 비해 상세 연구는 매우 부족한 실정이다. 이 논문에서는 지난 수년간 수행된 700개 이상의 현장 초기응력 측정 결과들을 분석하였으며 그 분석 결과들을 토대로 국내 암반 초기응력의 전반적인 분포 특성과 공학적 중요성에 대해 개괄적으로 소개하고자 한다.

## 2. 현장시험 및 자료 분석

### 2.1 현장 수압파쇄시험

현장 초기응력 조사는 국내 45개 지역 내 15~310m 심도의 140개 개별 시추공을 대상으로 710개 시험구간을 선정하여 측정을 시행하였다. 전체 710개의 측정자료 중 불연속면의 개방 거동이나 기타 장비의 오류에 의해 측정된 비정상적인 측정값들은 해석의 보조 자료로만 활용하고 정상적인 측정값이 얻어진 510개의 자료만 초기응력 해석에 직접적 적용하였다. Fig. 1은 지체 구조구별 현장 수압파쇄시험 위치도를 나타내는데 각 조사지역에는 2~9개의 개별 시험공들이 포함된다.

### 2.2 측정 시스템 및 자료 해석

본 연구에 사용된 자료는 국내 지형조건에 적합하도록 설계, 제작된 엔진 구동방식 유압-와이어 라인 시스템에 의해 측정되었다(Fig. 2). 일반적으로 수직 시추공에 대한 수압파쇄시험 결과의 해석모델은 크게 탄성모델, 공극 탄성모델, 파괴역학 모델 그리고 균열 가압모델로 구분된다. 본 연구에서는 탄성모델에 근거하여 자료 해석을 수행하였다. 초기응력의 크기 산정에 관련된 압력 매개변수 자료들은 Lee and Haimson(1989)에 의해 제안된 비선형 회귀분석 기법을 적용하여 변수값을 결정하였으며 부분적으로 도해적 방법을 이용하였다. 그리고 유도된 인장 균열의 특성, 즉 초기응력 방향성 해석에는 결과의 정밀도가 높고 영상 이미지의 제공이 가능한 초음파 주사검층과 공내 영상촬영법을 적용하였다.

---

주요어 : 취성파괴, 초기응력, 수압파쇄시험, 측압계수

1) (주) 지오제니 컨설턴트 지반사업부(shbae007@geogeny.biz)

2) 한국지질자원연구원 지반안전연구부(espark@kigam.re.kr)

### 3. 국내 초기응력 분포 특성

#### 3.1 수평응력 분포 및 측압계수(K) 변화 특성

최대 수평응력( $S_H$ )과 최소 수평응력( $S_h$ )은 각각 0.90~21.13MPa 0.65~11.51MPa의 값을 가지는 것으로 나타났다(Fig. 3). Fig. 4와 Fig. 5는 최대 수평응력 방향의 방위각별 빈도-히스토그램과 분포 특성을 나타내는데 절대적으로 우세한 방향성은 나타나지 않았으나 N70°E~EW에서 상대적으로 높은 빈도를 나타내며 평균 N77°E의 값을 가지는 것으로 분석되었다.

Fig. 6은 평균 측압계수( $K_{avg}$ )와 최대 측압계수( $K_H$ ) 분포를 나타낸다. 평균 측압계수는 약 0.52~4.91 범위, 최대 측압계수는 0.83~5.63 범위로 큰 분산도를 가지며 분포하는 것으로 조사되었다. 심도 증가에 따라 분포 범위가 좁아지며 다소 안정화되는 경향이 나타나지만 지역에 따라 심도 200m 이상의 대심도 구간에도 2.5 이상의 높은 측압계수를 가지는 과잉 수평응력장이 형성되어 있는 것으로 분석되었다(배성호 2005).

#### 3.2 굴착 공동 주변에서의 취성파괴 가능성 평가

현장 자료들에 근거하여 제시된 초기응력 성분들 중 최대 주응력( $\sigma_1$ )의 매질 일축압축강도( $\sigma_c$ )에 대한 비인 응력 강도비에 따른 공동 주변의 파괴 기준(Hoek and Brown 1980; Martin et al. 1999)에 따르면 응력 강도비( $\sigma_1/\sigma_c$ )가 약 0.15 이상인 지반조건에서 굴착 공동 주변 매질에 응력에 의한 취성파괴가 발생하는 것으로 보고되고 있다. 국내에도 지역에 따라 100m 이상의 심도 영역에 높은 수준의 수평응력장이 분포하고 있으며 암반의 강도 특성도 대부분의 공학적 구조물이 설계, 시공되는 500m 미만 심도에서 일축압축강도 분포가 높은 분산도를 가지는 점을 고려해 볼 때 국내 심도 200m 미만인 영역도 암반 굴착시 초기응력에 의한 공동 주변의 취성파괴 가능성과 위험성이 항상 잠재되어 있는 것으로 분석되었다.

### 4. 결론

- 1) 수평응력 성분들은 심도 증가에 따라 분포 범위가 좁아지며 안정화되는 경향을 나타내지만 여러 지역의 200m 이상 대심도 구간에서 3.0에 가까운 측압계수를 가지는 과잉 수평응력장이 형성되어 있는 것으로 조사되었다.
- 2) 지금까지는 현장 초기응력 측정 자료가 설계 단계에서 간과되거나 충분히 반영되지 않은 것이 국내 현실이나 시공 심도가 100m 이상인 지반 조건에서는 설계 안전성과 적정성 그리고 시공의 경제성 확보에 직접적으로 영향을 미치는 초기응력의 분포 특성과 구조물에 미치는 영향에 대한 공학적 검토가 심도 있게 이루어져야 할 것으로 판단된다.

### 참고 문헌

1. 배성호 (2005), 수압파쇄법에 의해 측정된 국내 초기응력의 지체구조구별 분포 특성에 관한 연구, 공학박사학위논문, 서울대학교 대학원, pp.120-128.
2. Hoek, E. and Brown, E.T. (1980), *Underground Excavation in Rock*, The Institute of Mining & Metallurgy, London, pp. 183~220.
3. Martin, C.D., Kaiser, P. K. and McCreath, D. R. (1999), "Hoek-Brown Parameters for Predicting the Depth of Brittle Failure Around Tunnels", *Can. Geotech. J.*, pp.136-151.

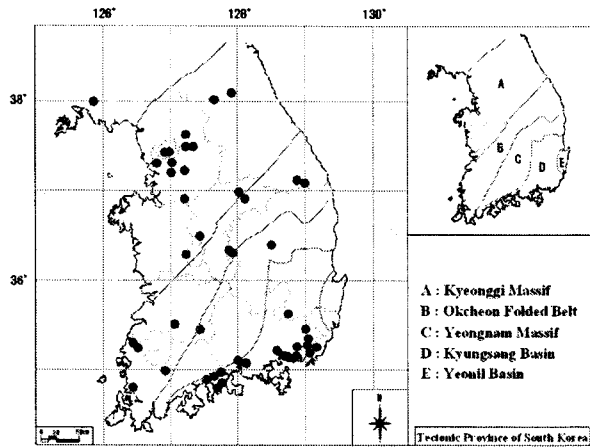


Fig. 1. Location map of in-situ hydraulic fracturing stress measurements in Korea

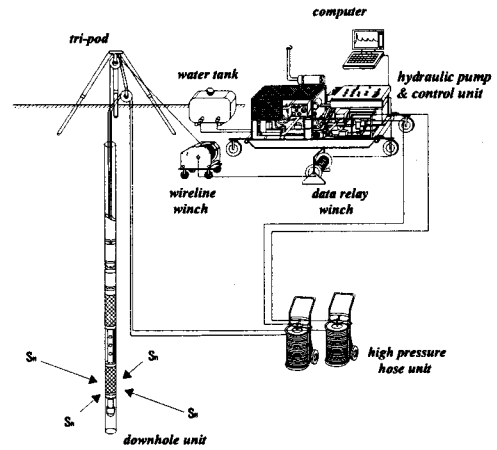


Fig. 2. Schematic diagram of hydraulically powered measuring system

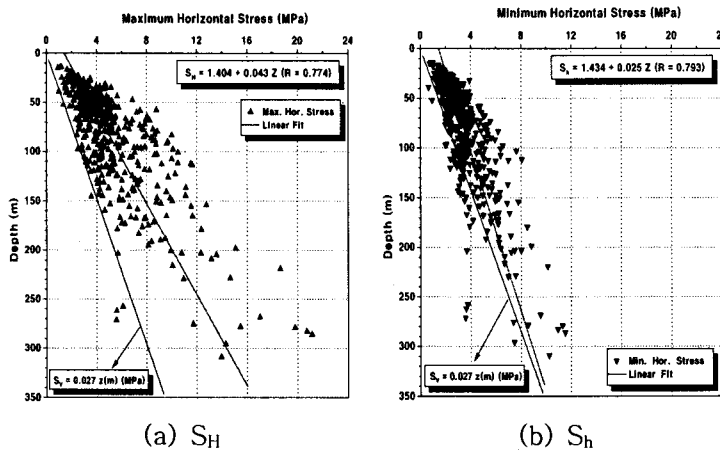


Fig. 3. Variation of horizontal stress components with depth (depth : 15 ~ 310m)

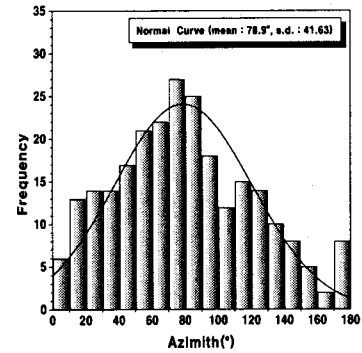


Fig. 4. Histogram of average azimuth of  $S_H$

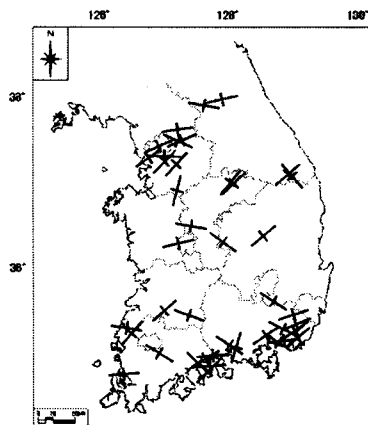


Fig. 5. Distribution of average azimuth of  $S_H$  in Korea

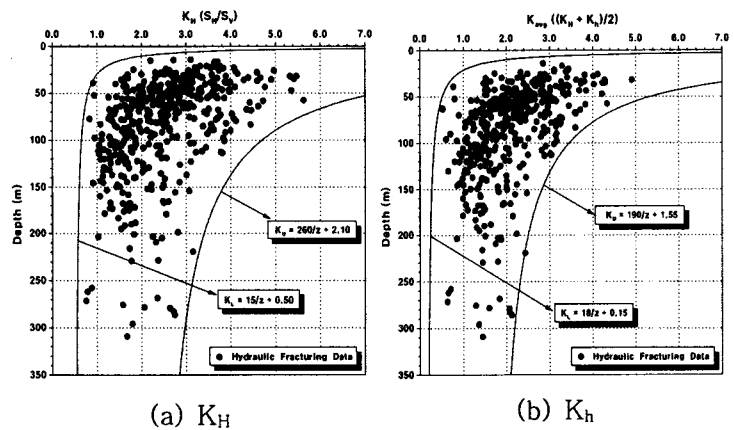


Fig. 6. Variation of stress ratio (K) with depth (depth : 15 ~ 310m)