

# 수압파쇄법과 응력개방법에 의한 초기지압 측정결과 비교

## Comparison of in-situ stresses measured using hydro-fracturing and overcoring techniques

송원경, 박찬, 최성웅  
한국지질자원연구원

### 1. 서론

초기지압은 터널이나 지하공동의 안정성에 대한 수치해석을 실시할 때 반드시 필요한 입력 자료이다. 초기지압을 측정하기 위하여 국내에서는 주로 수압파쇄법과 응력개방법을 이용하고 있다. 수압파쇄법은 지하 구조물이 굴착되기 전에 지압상태를 파악하는데 효과적이며 응력개방법은 굴착후 터널 또는 지하구조물 내에서 관심 대상인 암반에 근접하여 계측함으로써 실제에 가까운 지압상태를 확인하는데 적합하다.

지압은 지질구조와 밀접한 관련을 갖기 때문에 측정지점에 따라 상이한 결과를 얻을 수 있다. 대상 암반의 대표값을 얻기 위해서는 다수의 지점에서 측정을 실시해야 신뢰도가 높아지나 지압측정은 고가의 시험법이기 때문에 한 프로젝트에서 1-2회 밖에 실시할 수 없다는 문제점이 있다.

측정값의 신뢰도를 높이는 또 다른 방법은 서로 다른 두가지 이상의 측정법을 사용하여 계측하는 방법이 있다. 그러나 동일 프로젝트에서 두 방법에 의한 계측이 병행되는 예는 극히 드물다. CAI et. al.(1997)이 광산 터널 설계를 위해 수압파쇄법과 응력개방법을 동시에 사용한 바 있다.

본 논문은 국내의 동일한 장소에서 수압파쇄법과 응력개방법에 의한 지압계측이 동시에 이루어진 연구 사례를 소개한다. 계측 장소는 유류비축용 지하저장 공동으로서 수압파쇄법에 의한 지압계측은 공동 굴착 전에 이루어졌으며(최성웅 외, 1999) 응력개방법에 의한 계측은 굴착 후 터널 내에서 이루어졌다. 두 방법에 의해 계측된 지압상태를 각각 설명하고 그 결과를 비교하였다.

### 2. 측정 위치

그림 1은 초기지압 측정 위치를 보여주는 평면도와 AA' 선을 따른 단면도이다. 수압파쇄시험은 S20E 방향으로 70° 경사진 시추공에서 실시되었다. 시추공 수직고는 155m이고 사거리는 165m이다. 시추공은 터널의 crown부까지 도달하고 있다. 수압파쇄 시험구간은 7개 지점으로서 표 1과 같다.

표 1. 수압파쇄 시험 심도

측점 No	지표로부터 심도(m)	Elevation(m)
1	75.0	54.53
2	97.0	33.85
3	103.5	27.75
4	116.5	15.53
5	124.5	8.01
6	145.0	-11.25
7	152.0	-17.83

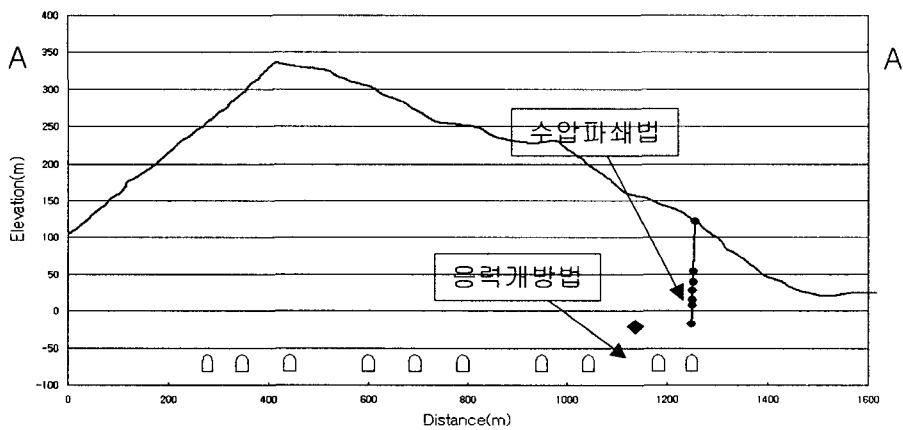
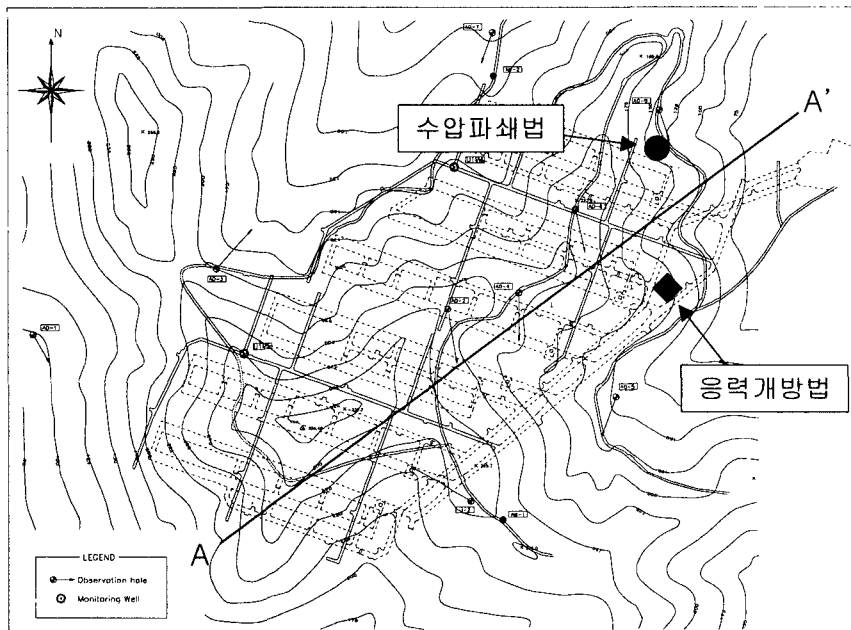


그림 1. 초기지압 측정 위치

응력개방법에 의한 지압계측은 굴진중인 터널 막장전면에서 수행되었다. 측정점은 지표로부터 심도 150m 하부(EL -20m)에 위치하며 시추공 벽면으로부터의 깊이는 12.04m이다. 시추공벽의 변형률은 그림 2와 같이 서로 120도를 이루는 세 개의 rosette에 의해 측정된다. 그림 3은 실제 strain rosette의 모습을 보여준다.

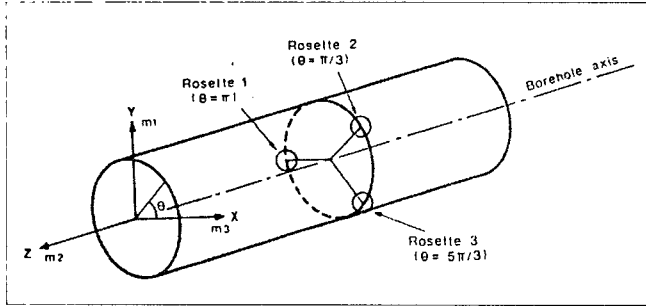


그림 2. 시추공내 strain rosette 위치



그림 3. strain rosette

### 3. 측정 결과

#### 3.1 수압파쇄법에 의한 측정 결과

경사공 응력해석에 의해 계산된 각 심도에서의 응력 상태는 표 2와 같다. 수직응력은 측정심도에서의 지층하중으로부터 계산된다. 이 측정치들은 터널 상부에서 얻은 값이므로 터널 심도에서의 응력을 구하기 위하여 측정값들을 회귀분석한다. 이 때 측정 6번과 같이 비정상적으로 계측된 값은 분석에서 제외하였다. 이렇게 구한 터널심도에서의 응력성분을 정리하면 표 3과 같다. 분석 결과 터널 천정부에서의 측압계수는 2.95이며 최대수평응력성분의 방향은 N53E인 것으로 나타났다.

표 2. 수압파쇄법에 의한 계측결과

No	Elevation m	$\sigma_v$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_h$ kg/cm <sup>2</sup>	$\frac{\sigma_H}{\sigma_v}$ kg/cm <sup>2</sup>	$K_H$
1	75.0	19.0	31.5	46.8	2.46
2	97.0	24.6	45.0	75.6	3.07
3	103.5	26.3	33.5	48.7	1.85
4	116.5	29.6	49.5	79.4	2.69
5	124.5	31.6	40.7	64.8	2.05
6	145.0	36.8	101.5	168.0	4.57
7	152.0	38.6	85.2	150.3	3.90

표 3. 터널심도에서의 응력성분

$\sigma_v$	$\sigma_h$	$\sigma_H$	$K_H$	$\sigma_H$ direction
42 kg/cm <sup>2</sup>	70 kg/cm <sup>2</sup>	124 kg/cm <sup>2</sup>	2.95	N53E

### 3.2 응력개방법에 의한 측정 결과

시추공에서 측정된 변형률로부터 계산된 응력성분과 주응력은 표 4 및 표 5와 같다. 그림 4는 방향이 N110E인 터널을 기준으로 하였을 때 이 터널에 작용하는 주응력의 크기와 방향을 표현한 그림이다. 최대주응력은 수평면과 8.4도의 각을 이루며 그 방향은 N19.8E로서 터널축 방향과 거의 직교하는 방향으로 작용하고 있음을 알 수 있다. 따라서 가장 큰 힘은 상부 지층의 무게가 아닌 지질구조에 의해 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

표 4. 응력개방법에 의해 측정된 응력성분 (단위:kg/cm<sup>2</sup>)

$\sigma_x$ (E-W)	$\sigma_y$ (Vertical)	$\sigma_z$ (N-S)	$\tau_{xy}$	$\tau_{yz}$	$\tau_{zx}$
78.6	55.3	136.8	11.9	26.5	-54.8

표 5. 주응력의 크기와 방향

주응력	크기	Bearing	Inclination
$\sigma_1$	172.2 kg/cm <sup>2</sup>	209.4°	8.4°
$\sigma_2$	73.1 kg/cm <sup>2</sup>	109.8°	48.5°
$\sigma_3$	25.4 kg/cm <sup>2</sup>	306.6°	40.2°

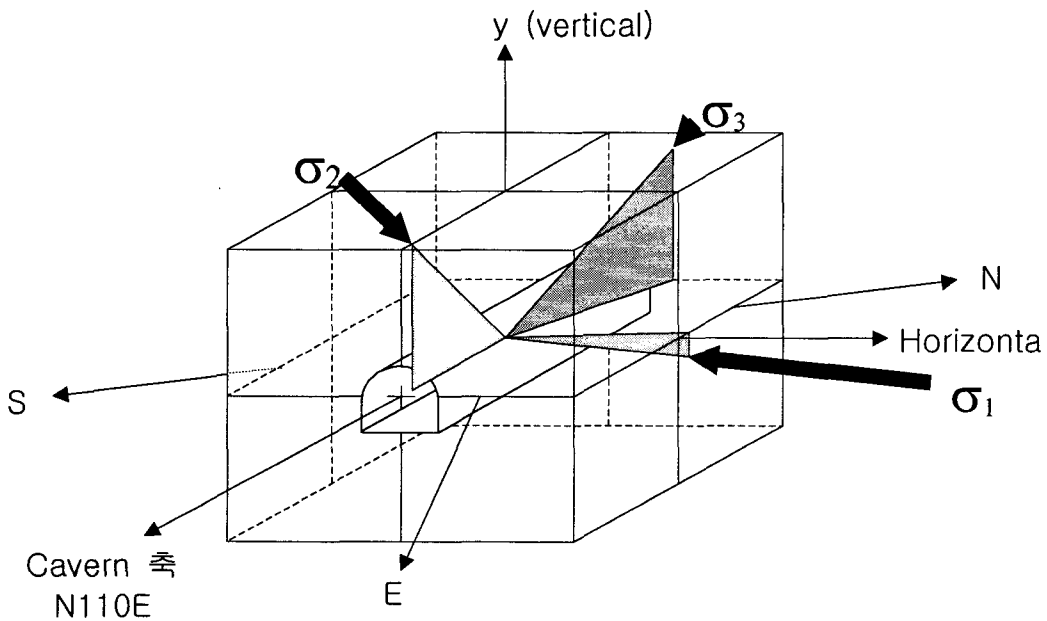


그림 4. 터널을 중심으로 한 주응력 분포

#### 4. 결과 비교

두 가지 측정법에 의해 계측된 초기지압 상태를 비교하면 표 6과 같으며 이를 지형도에 표시하면 그림 5와 같다. 수압파쇄법의 경우 최대 수평응력과 수직응력비는 2.95이며 응력개방법의 경우에는 3.1로서 그 차는 0.15이다. 또한 최대수평응력의 방향에 있어서 수압파쇄법의 경우에는 N53E이고 응력개방법의 경우에는 N58E로서 두 측정값의 차이는 5도에 지나지 않는다. 이와 같이 두 방법에 의해 계측된 결과가 매우 유사하게 나왔다는 사실은 측정값의 신뢰도가 높다는 것을 말해준다.

표 6. 수압파쇄법과 응력개방법에 의한 측정결과 비교

측정법	수압파쇄법	응력개방법	차
K	2.95	3.1	0.15
최대수평응력 방향	N53E	N58E	5도

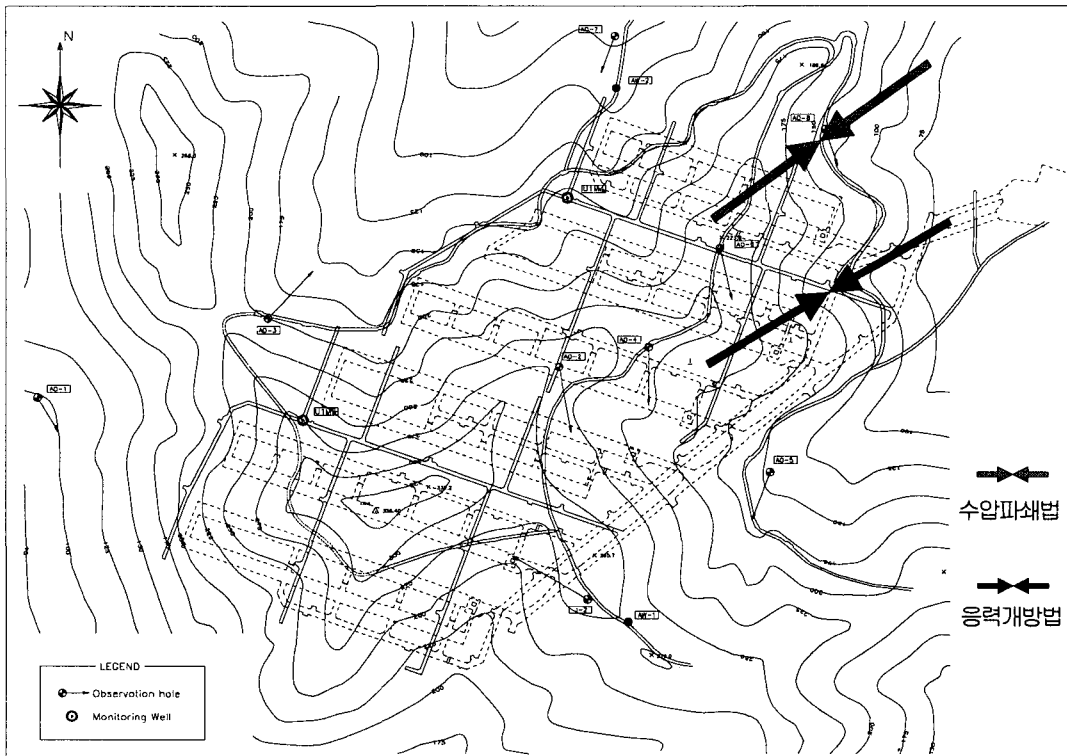


그림 5. 최대수평응력 방향 비교

## 5. 결론

대형 지하저장공동 설계에 필요한 초기응력값을 얻기 위하여 지표상에서 수압파쇄법을 이용한 지압측정을 실시하였으며 굴착중에 터널내에서 다시 한번 응력개방법을 이용하여 지압을 측정하였다. 이들 두 방법에 의해 구한 최대수평응력의 방향과 측압계수는 매우 유사한 값을 나타냈다. 이러한 사실은 두 측정 결과가 신뢰할 수 있음을 말해 준다.

대부분의 터널 또는 지하공동 설계시 응력상태를 파악하기 위하여 수회 또는 두 종류 이상의 방법으로 초기지압을 측정하기란 비용과 시간적 제약으로 인하여 실현하기 어렵다. 따라서 측정치에 대한 신뢰성 문제가 대두되며 측정자는 항상 확신을 가질 수가 없다.

본 연구에서 비록 수압파쇄법과 응력개방법 각 1회의 측정치만을 비교하였기 때문에 충분한 자료를 제시하지는 못하나 개개의 측정법이 신뢰성 있는 초기지압 자료를 제공할 수 있음을 입증하였다.

## 참 고 문 헌

1. 최성웅, 신희순, 한공창, 송원경, 신중호, 박찬, 1999, OO기지 수압파쇄시험 보고서, 한국자원연구소, pp. 65.
2. Cai, M., Yu, B., Qiao, L., Chen, G. and Li, C., 1997, Experience of in situ stress measurement with hydrofracturing and overcoring techniques in Ekou Mine, China, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol. 34, No. 2., pp. 299-302.