

횡등방성 암반 내 쌍굴형 유류 비축공동의 수치해석

최미진, 하태욱 (전남대학교 지구시스템공학과)

양형식 (전남대학교 건설지구환경공학부)

1. 서 론

암반은 층리, 엽리, 편리 등의 영향으로 방향에 따라 탄성적 성질이 다른 이방성을 나타내는 경우가 많고, 이러한 이방성을 무시하고 지하 구조물 건설시에는 안정성에 문제가 발생할 수 있다. 그러므로 암반의 이방성을 고려해야 한다(Amadei, 1996, Van Heerden, 1983).

횡등방성 암반(Transversely isotropic)이란 일정한 평면에 대칭해서 탄성적 성질이 일치하지만 다른 평면을 설정하였을 때는 탄성적 성질이 상이한 암반을 말한다.

본 연구에서는 FLAC^{2D}를 이용하여 횡등방성 암반 내 쌍굴형 공동이 건설될 경우 이방성 정도(E2/E1)에 따른 이방성을 고려한 경우와 고려하지 않고 해석하였을 때 공동에서 발생한 변위를 해석하였다. 또한 이방성 정도(E2/E1)와 이격거리에 따른 1차 공동 굴착 후 2차 공동 굴진에 따른 천단침하정도를 비교·분석하였다.

2. 수치해석

2.1 해석조건 및 방법

본 연구에서는 2차원 유한차분 해석 프로그램인 FLAC^{2D}(version 5.0)를 이용하여 횡등방성 암반에서 이방성을 고려한 경우에 대한 고려하지 않을 때 공동의 천단부, 측벽, 바닥부에서의 변위와 천단침하정도를 비교·분석하고자 한다.

이방성 방향은 x축으로부터 시계 반대방향으로 45°를 이루고 있으며, 이방성 정도는 1.25, 1.5, 2.0이다. 지하공동의 이격거리는 공동 직경의 2배, 3배, 5배로 하였으며 본 연구에서는 해석시간의 단축을 위하여 록볼트와 슛크리트는 생략하였고 초기응력조건으로는 지체압없이 중력만 고려하였다.

해석에 사용된 지하공동의 폭은 18m, 높이는 30m이며, 공동의 토피고는 180m이다. 좌우 경계는 각각 공동의 벽면에서 공동 높이의 5배 이상 멀게 하였으며, 하부 경계는 공동의 심도와 유사하게 공동 폭의 약 10배 정도로 하였다. 좌우 경계는 수평변위를 구속하고 하부 경계는 수직변위

를 구속하였다. 지반은 RMR 60의 편마암으로 구성되어 있으며, 입력물성은 Table 1과 같다.

Table 1. Input data

	Transversely isotropic		Isotropic	
	ratio of anisotropy 1.25	ratio of anisotropy 1.5	ratio of anisotropy 2.0	ratio of anisotropy 1.0
unit weight(kg/m^3)	2600	2600	2600	2600
$\nu(xy)$	0.25	0.25	0.25	0.25
$\nu(yz)$	0.27	0.27	0.27	
$E(x)$ (GPa)	20	20	20	20
$E(y)$ (GPa)	25	30	40	
$G(xy)$ (GPa)	8.96	9.87	11.30	7.94

해석에 사용될 입력물성값인 탄성계수의 산정과정은 다음과 같다(Bieniawski, 1978).

$$RMR > 50 \quad E = 2RMR - 100 \quad (\text{GPa}) \quad (1)$$

계수 G_{xy} 는 Saint-Venant가 제시한 다음의 경험식을 통해 E_x , E_y , ν_{xy} , ν_{yz} 의 항으로 표현할 수 있으며 본 연구에서도 식 (2)를 이용하여 G_{xy} 를 구하였다. (Saint-Venant, 1863)

$$\frac{1}{G_{xy}} = \frac{1}{E_x} + \frac{1}{E_y} + 2\frac{\nu_{yz}}{E_y} \quad (2)$$

이 식은 경험식으로서 본 연구와 같이 이방성 정도가 높지 않은 변성암 계열의 암석은 경험식의 값과 실험값이 비교적 잘 일치하는 것으로 알려져 있다(Worotnicki, 1993).

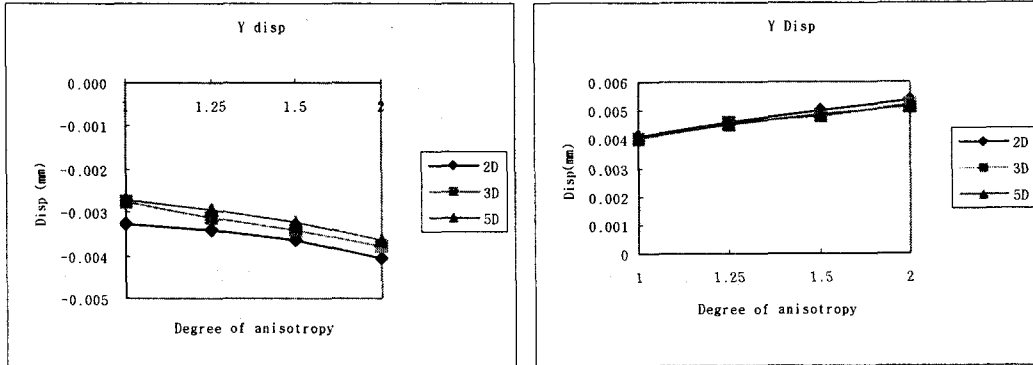
2차원 해석의 경우 평면변형을 조건에 의한 해석을 수행하였으며, 이방성을 고려한 경우의 파괴조건식은 Elastic transversely isotropic 파괴조건식을 사용하였으며, 이방성을 고려하지 않는 경우에는 Elastic isotropic 파괴조건식을 사용하였다.

E_x , E_y 는 각각 횡등방성 평면과 여기에 수직인 방향의 탄성계수이고, G_{xy} 는 등방 평면과 이에 수직인 평면에서의 전단계수이다. ν_{xy} , ν_{xz} 는 각각 횡등방성 평면에 평행과 수직으로 작용하는 응력에 대한 횡등방성 평면에서의 횡방향 변형률을 통해 구해지는 포아송비이다.

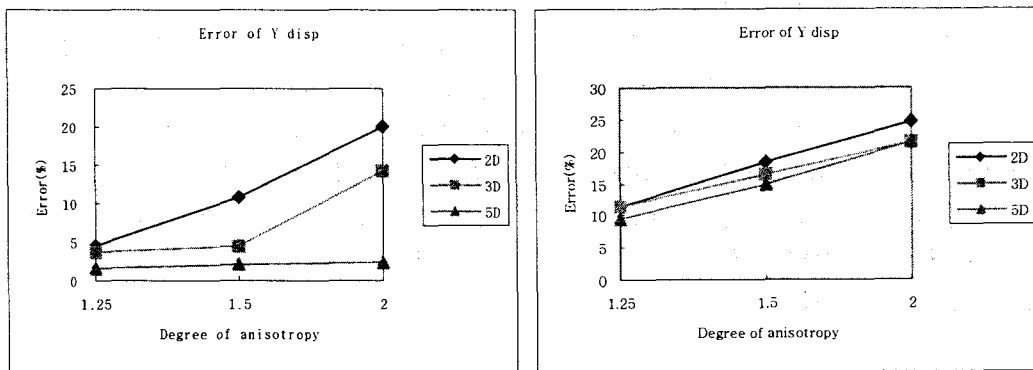
3. 해석결과

횡등방성 암반의 이방성 정도($E2/E1$)가 1.0, 1.25, 2.0일 때 공동간의 이격거리가 2D, 3D, 5D인 경우 공동의 천단부, 바닥부, 측벽부에서 이방성을 고려한 경우에 대한 고려하지 않을 때 변위와 오차를 알아보았다.

Fig 1은 이방성 정도와 이격거리에 따른 공동의 천단부, 바닥부에서의 Y변위를 나타내며, Fig 2는 이방성을 고려한 경우에 대한 고려하지 않는 경우의 천단부, 바닥부 Y변위 오차를 나타낸다.



a) crown
b) bottom
Fig 1. Y disp around underground opening(+:dilation, -:compress)



a) crown
b) bottom
Fig 2. Y disp error around underground opening

Fig 1~2의 그래프를 살펴보면, 공동간의 이격거리가 가까울수록 천단부, 바닥부의 y변위는 더 많이 발생하였다. 또한 이방성의 정도($E2/E1$)가 증가함에 따라 이방성을 고려한 경우와 고려하지 않는 경우의 y변위 오차는 증가하며, 공동간의 이격거리가 감소하면 오차는 증가하였다.

Fig 3은 이방성 정도($E2/E1$)와 이격거리에 따른 공동의 측벽부에서의 x변위를 나타내며, Fig 4는 이방성을 고려한 경우에 대한 고려하지 않는 경우의 측벽부 x변위 오차를 나타낸다.

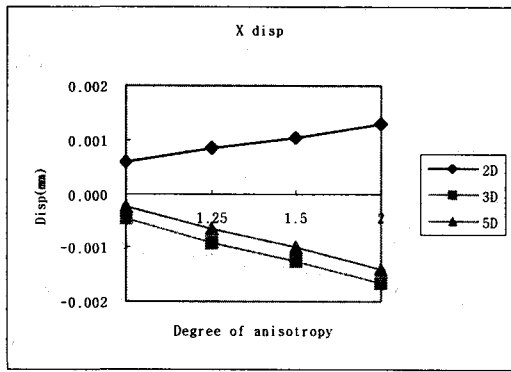


Fig 3. X disp around underground opening sidewall

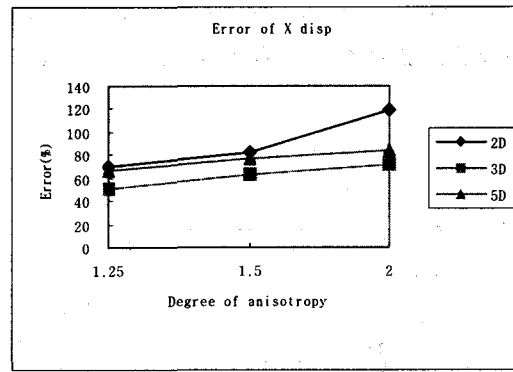


Fig 4. Error of X disp around underground opening sidewall

공동 측벽부의 X변위 결과 주어진 응력 하에서 공동간의 이격거리가 3D에서 2D로 감소함에 따라 공동 벽체가 팽창하였으며, 이방성 비가 증가할수록 이방성을 고려한 경우에 대한 고려하지 않는 경우 X변위 오차는 증가하였다. 또한 이격거리가 증가할수록 오차는 감소하였다. 이를 통해 횡등방성 암반의 경우 이방성을 고려해야 할 필요성이 있다.

다음은 천단침하증가비를 분석하였다. 공동 굴착에 의한 주변지반거동에 영향을 주는 요소 중 천단침하는 공동주변지반에 이완영역을 발생시키며, 이로 인하여 지표면 침하에 영향을 미쳐 공동상부 인접구조물에 영향을 줄 수 있는 중요한 요소이다. 천단침하증분은 1차 굴착에 대한 2차 굴착과 1차 굴착의 차이를 의미하여 천단침하량의 정도를 예측하고자 한다.

Fig 5에서 공동간의 이격거리가 2D에서 5D로 변화함에 따라 천단침하증분은 감소하는 것을 볼 수 있고 이격거리가 2D정도에서는 약 10%이상의 증분을 나타내며, 이격거리가 5D경우에는 약 2%미만의 값을 나타내었다.

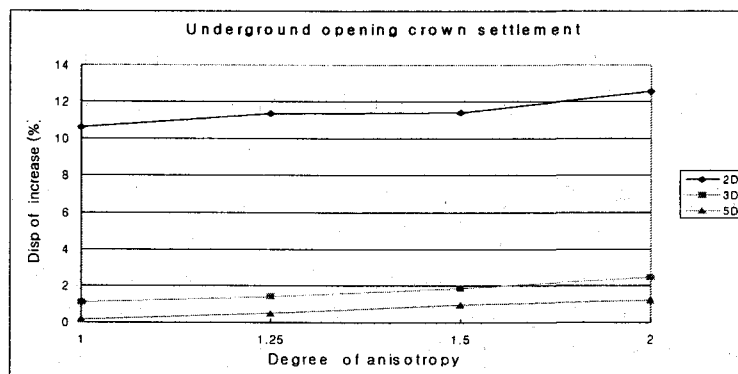


Fig 5. Crown settlements of twin tunnel

4. 결 론

본 논문에서는 횡등방성 암반내 존재하는 공동간의 이격거리에 따른 영향과 이방성 정도에 따른 영향을 분석하였다.

1. 횡등방성 암반내 존재하는 공동에서 이방성 정도(E_2/E_1)가 증가할수록 이방성을 고려한 경우에 대한 고려하지 않는 경우의 변위 오차는 증가한다. 또한 공동간의 이격거리가 감소할수록 오차는 증가한다. 그러므로 이방성이 강한 횡등방성 암반내 존재하는 지하공동의 경우 이방성을 고려해야 한다.
2. 주어진 응력조건 하에서 공동 측벽부의 변위 분석 결과 공동간의 이격거리가 3D에서 2D로 감소함에 따라 공동 측벽의 벽체가 팽창하였다.
3. 주어진 응력 조건하에서 천단침하 증분은 이격거리가 가까울수록, 이방성 정도가 증가할수록 증가함을 보였으며, 이격거리가 5D정도에서는 공동의 천단침하가 거의 발생하지 않았다.

참고문헌

1. Amadei B., 1996, Important of Anisotropy When Estimating and Measuring In Situ Stress in Rock, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol.33, No.3, pp.293-325, 1996.
2. Saint-Venant B., 1863, Sur la disyribution des elasticites author de chaque point d'un milieu de contexture quelconque. J. de Mathematiques Pures et Appliquees 7-8, 353-430, 257-261.(In France)
3. Van Herdden, W. L., 1983, Stress Strain Relations Applicable to Overcoring Techniaues in Transversely Isotropic Rocks, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol.20, No.6, pp.277-282.
4. Worotnicki, G., 1993, CSIRO triaxial stress measurement cell, Comprehensive Rock Engineering, 3, 329-394.