

연약 암반내 터널 보강법 설계를 위한 2차 응력 및 변위 계측에 관한 연구

임한옥¹⁾ · 이상은²⁾

On Monitoring of Induced Stress and Displacement for Support Design around Tunnel in Weak Rock

Han-Uk Lim and Sang-Eun Lee

ABSTRACT

This study aimed at analysis of induced stress and deformation behavior in rock mass around coal seams of Sam Chuck coal mine. For this study Vibrating Wire Stressmeters and Multi-Point Borehole Extensometers were installed in the area of coal shale near coal seams. Induced stress and displacement in this area were continuously increased for 6 days from the beginning of measurement, and then converged. But induced stress and displacement occurred when there were another openings by tunnelling and mining. The value of final induced stress was 21.8 kgf/cm², displacement of rod extensometer was 1.3 mm at arch. Especially, over 1 mm of displacement between E₂ and E₃ in rod extensometer was measured.

1. 서 론

최근 국내 광업계는 경영 수지의 악화로 다수의 광산이 폐쇄되고, 가행되고 있는 몇개의 광산 역시 어려움을 겪고 있다. 이러한 여건 속에서 생산성 향상을 위한 대책의 일환으로 대형장비에 의한 기계화 채굴과 무폐도 운반법인 램프 웨이 시스템(ramp way system)을 채택하거나, 또는 채택하고자 계획 중이다.

램프 웨이 시스템에 의한 무폐도 운반법을 채택하는 경우 기존의 재래식 운반갱도와는 달리 대단면의 갱도, 예를 들면 5×5 m 규격의 갱도를 굴착하고 이를 효과적으로 유지하여야 된다.

일반적으로 운반 갱도에서는 NATM의 원리를 이용한 지보법을 채택하거나 가축성 지보 등을 사용하므로써 효과적인 보강이 가능하지만 붕괴성 암반지대,

예를 들면 크로스 갱도에서 착탄 또는 착맥 지점 부근은 심한 지질변동으로 극히 취약하여 갱도의 개설 및 유지에 여러가지 기술적인 어려움이 뒤따르게 된다.

특히 연약한 암반중이나 복잡한 형태의 공동 응력 집중부에서는 시간의 경과에 따른 응력의 변화량이 상당히 크게 나타나므로 변화상태를 지속적으로 측정할 필요가 있다. 이렇게 불안정한 상태의 갱도를 안전하게 유지하기 위해서는 다양한 현장 계측과 그 결과의 분석을 통하여 시공된 지보의 변형 특성 및 갱도 단면의 변화양상을 관찰하여야 한다.

본 연구에서는 램프 웨이 시스템을 이용한 운반과 대규모 채탄을 위하여 준비중인 삼척탄좌 450갱의 탄층 인접구간을 굴착하여 록 볼트를 시공한 갱도에서 안정성 평가의 수단으로 2차 응력(induced stress) 및

* 1994년 12월 15일 접수

1) 정회원, 강원대학교 공과대학 자원공학과 교수

2) 정회원, 강원대학교 공과대학 자원공학과 박사과정

지중변위를 계측하였다. 이때 사용된 계측기는 진동현 응력계(vibrating wire stressmeter)와 지중변위계(rod extensometer)이다. 지금까지 국내에서는 주로 내공 변위, 지중변위 등 변위 계측에 의해 암반의 거동을 관찰하였으나 본 연구에서는 직접 2차 응력과 지중 변위를 동시에 계측하고 이 결과를 비교분석하고자 한다.

2. 현지 암반의 기초조사 및 암반보강

2.1 지질

삼척탄좌의 지질은 조선계의 대석회암통을 기저로 평안계의 홍점통, 사동통, 고방산통 및 녹암통 순으로 구성되어 있다. 광구 중앙부에 동서방향의 축을 갖고 발달되어 있는 함백 대향사 구조에 지배되어 남과 북에서 거의 대칭적인 분포를 보여주고 있다. 함백산

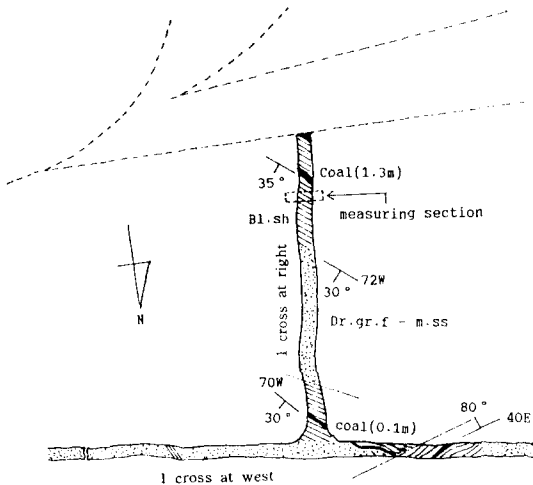


Fig. 1. The geological map of the test site.

대향사 남익부에 분포하는 이러한 지층들의 일반적인 주향은 동서방향이고 경사는 35~40°로 북경한다. 또한 본 탄좌 일대는 비교적 큰 지질구조 외에도 향사의 남익부에는 N20°E 내외의 축방향을 갖는 소습 곡들이 발달되어 있다.

계측기 설치지점은 서부지역의 서부 1 크로스(1X) 착탄 부근으로서 탄폭이 1.5~3m로 존재하며 축방향 N20~30°E의 소매사 구조로 비교적 규칙적으로 발달되어 있으나 하부로 내려갈 수록 맥암발달로 탄폭이 빈약해진다(Fig. 1).

2.2 암반분류 및 보강

계측기 설치지점인 서부 1 크로스는 상반갱도로서 사동통 사암과 셰일로 복잡한 지질구조를 보이며 간헐적으로 탄층이 협재하기도 한다. 계측기는 사실세 일대에 설치되었는데 실내실험 결과 비중은 2.66 g/cm³, 단축압축강도는 950~1,100 kgf/cm², 탄성계수는 4.9×10⁵ kgf/cm², 내부마찰각은 54°이다. 굴착면의 절리간격은 30 cm 이내로 비교적 좁게 분포하고 있다. 절리군은 2~3개로 존재하고 절리면의 주향은 N10~20°W로 거의 굴착 진행방향과 동일방향으로 발달되어 있으며, 경사각은 대체적으로 30~40°로 형성되어 있다. 또한 절리의 틈은 1 mm 이내로 매우 압밀되어 있으며 그 절리면의 굴곡현상은 거의 나타나지 않고 있다. 서부 1 크로스 전체구간의 보강조치를 위해서 암반을 공학적으로 분류한 결과 R.M.R 값은 대체로 25~40 정도, Q 값은 0.3~1.2 정도로 나타나 NATM 지보법에 의한 록볼트와 슛크리트 시공이 요구되나 착탄된 후 채탄작업이 완료되는 약 6개월 동안 한시적(限時的)으로 갱도가 유지되면 가능한 구간이므로 Table 1과 같이 록볼트 지보재만 시공하고 계측을 통하여 갱도의 변형 및 유지상태를 관찰하였다.

Table 1. Classification of rock mass conditions and pattern of rock bolting.

Rock conditions	R.M.R	Q	Drift size (W×H)	Rock bolt type	
				Type	L×S
<ul style="list-style-type: none"> • Included slightly sandy filling in joint • Planar and smooth joint surfaces • Spacing of joints, range about 30 cm 	25~40	0.3~1.2	5.2×5.0 m	Resin+S.B + Wm	2.4×0.9 m

*S.B: systematic rock bolting, Wm: weld mesh, L: length of rock bolt, S: span of rock bolt

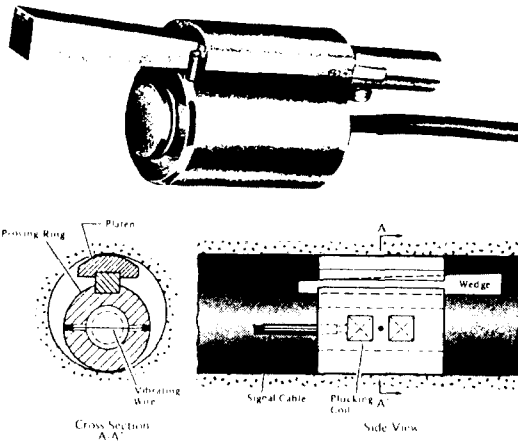


Fig. 2. Exploded view of vibrating wire stressmeter.

3. 계측기의 구조 및 계측원리

본 연구를 위해 사용한 진동현식 응력계와 지중변위계의 구조 및 계측원리는 다음과 같다.

3.1 진동현식 응력계

2차응력을 직접 계측하는 방법으로는 유압계(hydraulic borehole pressure cell)와 유압캡슐(hydraulic capsule)이 있으나 본 연구에서는 최근 미국에서 개발된 진동현식 응력계(V.W.S)를 사용하였다.

V.W.S에 의한 2차 응력의 계측은 앞의 두 방법에 비하여 계측치의 정도(精度)가 높고 한번 설치한 다음 계속하여 2차 응력의 변화를 측정할 수 있는 특성을 갖고 있다.

매립식 케이시중 최근에 개발되어 비교적 널리 사용되고 있는 이 계측기는 Fig.2과 같이 상, 하의 수압부, 쐼기(wedge) 및 본체로 되어 있다. 시추공내 임의의 깊이까지 응력계를 넣고 쐼기를 밀어 넣으면 수압부는 공벽에 강한 힘으로 밀착된다. 처음 설치할 때는 본체내의 현(vibrating wire)이 장력에 의해 팽팽해지나 현의 방향으로 지압이 증가하면 지압 방향의 응력계 직경이 줄어들어 현의 고유 진동수가 감소된다. 반대로 지압이 낮아지면 현에 가해진 장력이 증가하여 고유 진동수가 증가한다.

현의 고유 진동수는 응력계 내의 전자석에 의해 자기필스를 가해 현을 진동시킨 후, 현의 진동에 의해 전자석 코일에 생기는 전압의 진동수를 현의 진동수

측정기(readout box)로 측정할 수 있다. 이때 진동수는 식 (1)과 같이 표시된다.^{1,2,3)}

$$f = \frac{1}{2L} \times \frac{\sqrt{\sigma \times g}}{\sqrt{\gamma}} \quad (1)$$

f: frequency of the wire

L: length of the wire

σ : tension of the wire

γ : density of the wire

g: gravitational constant

이 계측기는 이미 개발되어 사용되는 유압계나 유압캡슐에 비해 정밀도가 높아 신뢰성이 좋다. 또한 암반의 탄성계수가 $1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ 이하인 경우에도 고유진동수의 변화와 지압의 변화 사이에는 탄성계수를 비례상수로 하는 비례관계가 근사적으로 성립하기 때문에 결과의 처리가 비교적 용이한 장점이 있다.

3.2 다측점 변위계(Multi-Point Borehole Extensometer, MPBX)

공동 주변 이완영역의 범위와 파쇄된 암반의 거동을 확인하고 록볼트(rock bolt)의 적정 길이를 판단할 목적으로 이용되는 변위 계측법에서는 주로 다측점 지중변위계가 사용된다.

계측기의 구조는 여러개의 측정점(rock anchor 부)이 가축성 튜브로 연결되어 있는 파이프 형태이며, 각 측정점은 로드(measuring rod)에 의해 시추공의 입구에 고정된 변위계의 헤드와 독립적으로 연결되어 있다. 따라서 변위계를 시멘트 모르타르나 레진(resin) 등으로 시추공내에 매설, 고정시키면 지중에 고정된 측정점 부분의 암반변위가 발생할 경우 측정점이 이동하게 되며, 이와 연결된 로드가 움직이게 되므로 터널 벽면의 변위계 헤드에서 각 로드 끝 부분의 움직임을 측정하므로써 지중의 측정점과 터널 표면과의 상대 변위를 측정할 수 있게 된다. 변위계측 결과는 변위계 헤드와 지중 측정점들간의 상대변위이므로 벽면으로부터 깊은 심도의 신선한 암체내의 측정점과 이완대내의 측정점으로 부터 얻은 계측결과는 시간의 경과에 따라 서로 상이한 변형거동을 나타내므로 여러 측정점에서의 계측결과를 분석하여 이완대의 범위를 추정할 수 있다.^{4,6,7,8)}

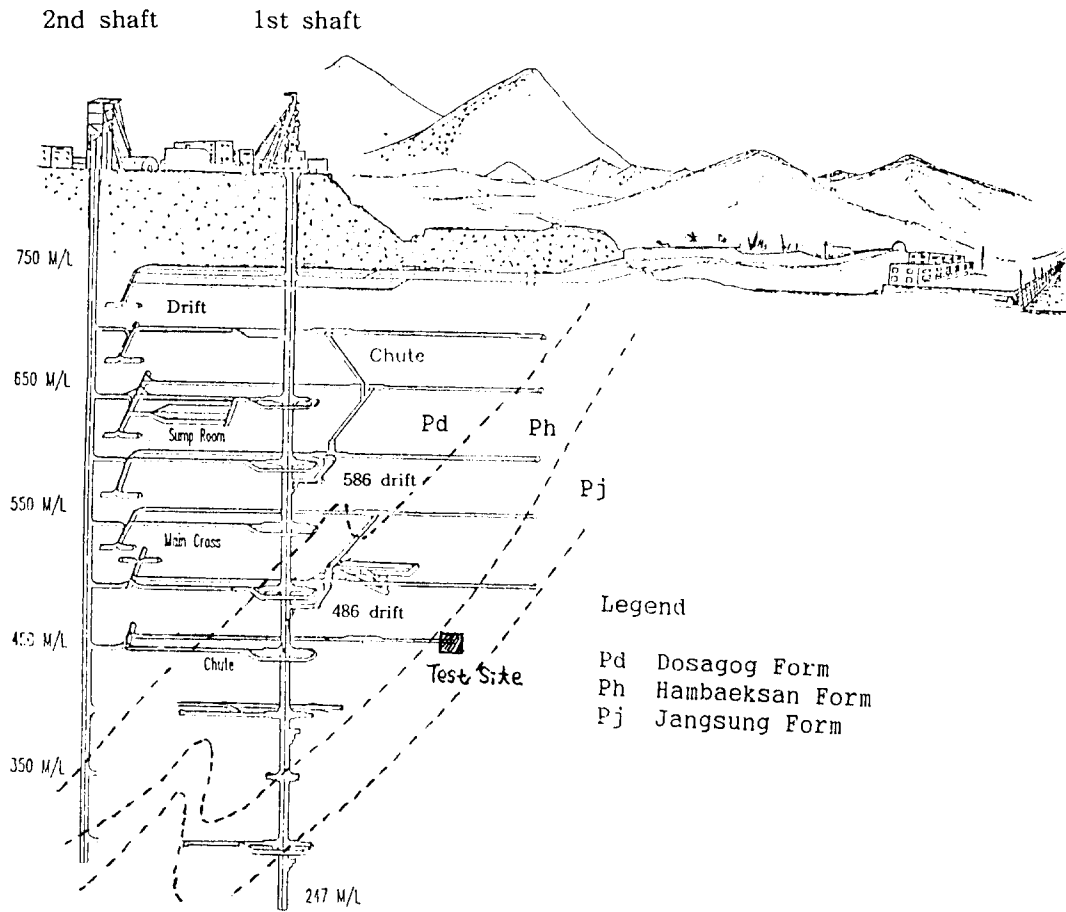
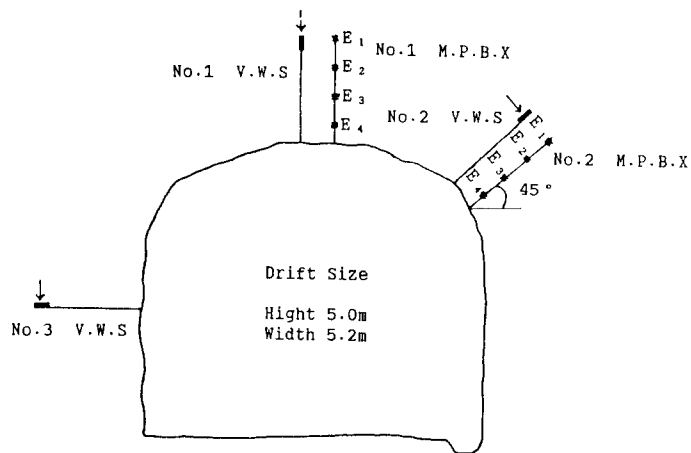


Fig. 3. The location of test site.



V.W.S Vibrating Wire Stressmeter
 M.P.B.X Multi Point Borehole Extensometer

Fig. 4. Layout of instruments and measuring section.

4. 현지 계측

4.1 계측위치의 선정

본 연구는 착탄지점에 인접하고 있는 갱도의 안정성과 지보시공의 타당성을 파악하기 위하여 계측을 실시한 것이다. 계측기 설치지점은 Fig. 3과 같이 지표로부터 하부에 위치한 450갱 서부 1 크로스로서 착탄지점에서 10 m 후방이다. 이 지역은 사질세일과 탄질세일이 복잡하게 존재한다. 계측기는 Fig. 4와 같이 천반, 아치 및 측벽부에 설치하였는데 계측기별 측정값의 상호관계를 분석하고자 지중변위계는 진동현 응력계를 설치한 위치에서 50 cm 떨어진 인접부, 즉 천반 및 아치부에 설치하였고, 측벽에는 2차 응력만을 측정하기 위하여 진동현 응력계를 설치하였다.

4.2 계측기 설치 및 계측방법

4.2.1 진동현 응력계

진동현 응력계는 NX Size(ϕ 76 mm)로서 1차적으로 직경이 38 mm인 비트가 부착된 점보드릴을 이용하여 천공장이 3 m가 되도록 천공한 후 직경이 76 mm인 확공비트(reaming bit)를 이용하여 2차로 천공하였다.

천공된 공에 게이지를 삽입한 후 설치도구를 이용하여 게이지의 웨지(wedge)를 잡아당겨 프래튼(platen)과 푸르빙 링(proving ring)을 완벽하게 공내에 밀착시켰다. 게이지를 완전히 설치한 후 게이지에 부착된 4 가닥의 케이블을 이동관독기에 연결하고 초기값 및 임의 시점에서의 값을 측정하는데, 이들 측정치로부터 식 (2)를 이용하여 2차 응력을 구한다.^{1,2,3,4)}

$$\sigma = (R_1 - R_2) \times G \quad (2)$$

σ : Stress (p.s.i)

R_1 : Reading at subsequent stress (p.s.i)

R_2 : Initial reading at zero stress (p.s.i)

G: Gage calibration factor

여기서 G 값은 게이지가 감응하는 감도지수로서 측정공이 위치한 암반의 물성이 구해지면 제작회사가 제시한 선형 해석표를 이용하여 결정한다.

4.2.2 지중변위 계측기

지중변위 계측기는 게이지가 각각 4개의 로드와 연결되어 3, 2.25, 1.5, 0.75 m 지점에 센서가 설치되어 있는 양카식 측정기이다. 지중변위 계측기는 직경 38

mm 비트를 이용하여 천공하였으며 시멘트 모르타르를 공내에 주입시킨 후 계측기를 삽입하였다.

각 측정점에 부착된 로드의 끝 부분이 일직선이 되도록 쇠톱을 이용하여 동일하게 절단시킨 후 보호캡을 설치하여 발파 및 부석으로부터 보호하였다. 또한 계측시 발생될 수 있는 오차를 최소화시키기 위해서 계측 전담자를 지정하여 측정토록 하였다.

5. 계측 결과 및 고찰

본 연구를 수행하기 위해서 진동현 응력계 3개, 지중변위계 2개를 동일단면에 설치하였다. 진동현 응력계는 갱도 주변암반의 2차응력 변화상태를 측정하기 위해서 천반, 아치부 및 측벽부 암벽면에 수직으로 설치하였는데, 천반에 매설된 계측기는 갱도 진행방향과 동일한 방향으로 작용하는 지압을 측정할 수 있도록 설치하였으며 아치부는 수직방향과 45° 방향 그리고 측벽부는 수직지압을 측정할 수 있도록 설치하였다. 지중변위계는 천반부와 아치부 벽면에 수직으로 설치하여 절리면의 유동 및 암반의 침하현상을 측정할 수 있도록 하였다.

계측값은 진동현 응력계의 경우 계측기를 암반에 설치한 즉시 측정된 것을 초기값으로, 지중변위계는 시멘트 모르타르의 고결시간을 감안해서 계측기 설치 후 1일이 경과한 후에 측정된 계측값을 초기값으로 설정하였다. 계측빈도는 계측치의 변화가 급속히 이루어지는 초기에는 계측횟수를 많게 하고 변위변화가 작게 나타날 때는 간헐적으로 측정하였다. 즉, 최초로 계측기를 설치한 후와 연층갱도를 굴착하기 시작할 때인 1주일 동안은 매일 1회, 1주일에서 3주일까지는 3일에 1회, 3주 이상에서는 주 1회씩 계측하는 것으로 하였다.

5.1 2차응력의 변화

착탄지점에서 10 m 후방의 천반, 아치부 및 측벽부에 설치된 진동현 응력계로부터 측정된 계측값의 변동상태는 Fig. 5와 같다. 게이지가 설치된 공내의 온도는 21~22.5°C로서 온도의 변화로 인하여 게이지 및 진동현 응력계에 미치는 영향은 없을 것으로 간주되어 온도변화에 따른 보정은 하지 않았다.

Fig. 5는 3개월 동안 측정된 계측값으로 아치부에서는 인장응력이 발생되었음을 알 수 있다. 이는 계

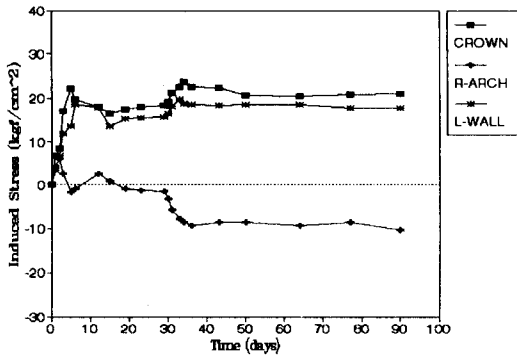


Fig. 5. The relationship between induced stress and time.

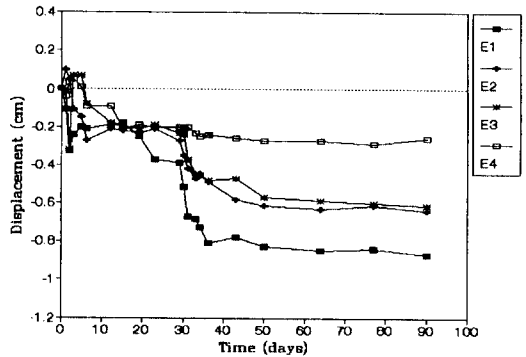


Fig. 6. The relationship between displacement and time at crown.

측기 설치 위치가 발파를 수행하는 막장면에서 멀지 않기 때문에 굴착에 따른 응력변화와 발파의 영향으로 보인다.

최종적인 2차응력의 크기는 천반의 경우 21.1 kgf/cm², 측벽은 17.9 kgf/cm²의 압축응력이, 그리고 아치 부분에서는 10.2 kgf/cm²의 인장응력이 발생하였다. 게이지를 설치한 후 5일 동안은 천반과 측벽에서 4~8 kgf/cm²/day의 크기로 많은 지압변화 현상이 발생하였는데 6일째부터 수렴되기 시작하였다. 이는 계측기 설치지점으로부터 막장이 멀어졌을 뿐만 아니라 착탄된 후 굴진을 중단했기 때문으로 보인다.

또한 계측이 시작된 30일 후에 다시 2차적인 지압변화가 발생되었는데 이것은 작업이 중단되었던 착탄지점을 2.4×2.4 m의 크기로 연층을 굴진하였을 뿐만 아니라 채탄작업이 이루어졌기 때문이다. 즉, 아치부와 측벽부에서 약 2 kgf/cm²/day의 크기로 증가하다가 다시 6일째부터 수렴되었는데 1차적인 지압이 발생되었을 때 보다 4~8 kgf/cm² 정도의 추가 지압이 발생되었다.

그러나 굴진 진행 방향의 지압상태가 측정될 수 있도록 설치된 천반부에서는 채탄작업이 이루어지는 동안 2차적인 지압이 크게 증가하다가 6일째부터 1차적으로 발생한 지압의 크기로 되돌아 가다가 약 12 일째부터 수렴되기 시작하였으나 1차 때 발생한 지압보다 최종적으로 2~3 kgf/cm² 정도 증가되었다.

5.2 지중변위의 변화

갱도 주변암반의 이완대의 크기와 파쇄된 암반의 거동상태를 파악하기 위해서 진동현 응력계에 인접

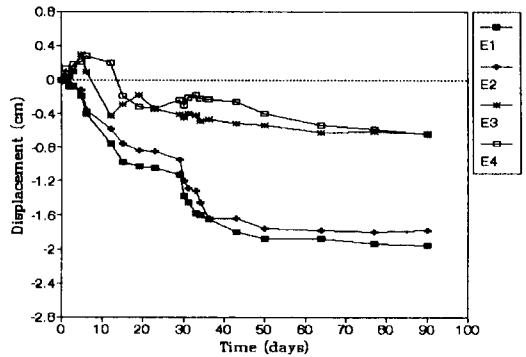


Fig. 7. The relationship between displacement and time at right arch.

해서 천반 및 아치부에 지중변위계를 설치하여 변위의 변화를 측정하였다. Fig. 6과 7은 천반 및 아치부에서 측정된 계측값이다. 지중변위 측정은 변위계 끝 부분에 노출되어 있는 각 측점에 연결된 로드의 길이 변화를 다이얼 게이지로 측정해서 변위량을 계산하였는데 첫날부터 6일째까지는 변위발생에 따른 교란이 크게 일어나고 있음을 알 수 있다. 이것은 시멘트 모르타르로 암벽면과 접착되어 있는 변위계가 암반 중에서 발생하는 응력의 재배치로 인해 암반의 수평, 수직이동에 따른 순간적인 변동치라고 볼 수 있다. 천반부에서는 계측기 설치 후부터 착탄될 때까지는 거의 변위발생이 나타나지 않고 연층굴진 및 채탄작업으로 인한 변위발생량이 0.1~0.2 mm/day 내외로 나타나고 있으며 약 6일째부터 서서히 수렴되어 최종적으로 E₃와 E₄ 사이에서 0.4 mm 내외의 변위가 발생되었음을 알 수 있다. 또한 아치부에서는 굴진

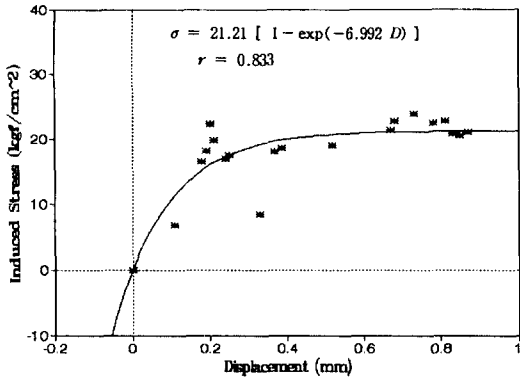


Fig. 8. The relationship between induced stress and displacement at crown.

중에 약 0.05 mm/day의 크기로 계속하여 변위가 발생되었음을 알 수 있으며 연층굴진 및 채탄시 0.2 mm/day 크기로 변위량이 증가되었다. 변위 계측치로 미루어 보아 E_2 와 E_3 사이에서 1 mm 이상의 균열이 발생되고 있는 것으로 추정되며, 계측기 설치 후 36일 이후부터는 수렴이 이루어져 안정된 상태로 갱도가 유지되고 있다고 볼 수 있다.

5.3 계측결과의 비교

본 연구에서는 진동현 응력계 설치지점으로부터 우측으로 50 cm 정도 이격하여 지중변위계를 타설하였다. 계측 결과 천반부에서는 5일이 경과된 후 21 kgf/cm² 정도의 압축응력이, 지중변위는 36일이 경과된 후 0.8 mm를 상회하는 수준으로 수렴됨을 알 수 있다. 또한 우측 아치부의 경우 2차 응력은 15일 동안 굴착에 따른 지압변동에 따라 복잡한 응력변화의 양상을 보이다가 34일이 경과된 후 약간의 증가를 보이면서 인장응력으로, 지중변위는 36일이 경과된 후 2 mm 정도의 변위량으로 일정하게 유지됨을 보여준다.

이와같이 천반부와 아치부의 경우 2차 응력과 지중변위의 관계가 서로 상이함을 보여주고 있는데, 진동현 응력계와 지중변위계에서 수집된 계측값을 통한 회귀분석 결과는 식 (3)과 같으며 이를 나타내면 각각 Fig. 8 및 9와 같다.

$$\bullet \text{ Crown ; } \sigma = 21.21 [1 - \exp(-6.992 D)] \quad (3)$$

$$r = 0.833$$

$$\bullet \text{ R-Arch ; } \sigma = 4.66 - 2.186 \exp(D)$$

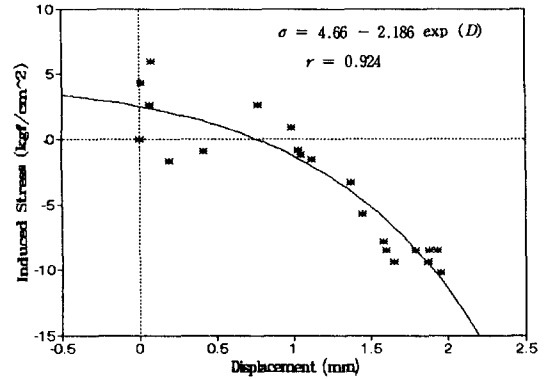


Fig. 9. The relationship between induced stress and displacement at right arch.

$$r = 0.924$$

σ : Value of induced stress (kgf/cm²)

D : Value of displacement (mm)

압축응력이 작용하는 천반부의 경우 0.3 mm의 변위가 발생하였을 때 20 kgf/cm²으로 일정한 변화를 보이는 반면에, 인장응력이 작용하는 우측 아치부에서는 변위 증가량에 따라 거의 지수적인 응력의 변화를 보이고 있다. 이러한 현상은 굴착에 따른 응력 개방으로 특히 인장응력이 분포하고 있는 특정지역에서는 더욱 민감한 변위발생량을 보이는 것으로 여겨진다. 그러나 위의 상호 관계식은 본 시험연구의 특정지역에서 수집된 계측자료에 의존한 것이므로 적용에 제한이 따를 것으로 예상된다. 이러한 계측별 상호 관계식이 대표값으로 적용되기 위해서는 앞으로 갱도의 지층구조, 암질상태, 갱도의 변형 및 크기 등의 다양한 조건과 비교분석하여 검토되어야 할 것이다.

6. 결 론

본 연구는 삼척탄좌에서 현대화 개발방식(ramp way system)을 도입하여 개발하고 있는 450개의 서부 1 코스 착탄지점 인접갱도에서 수행되었다. 암질상태는 매우 불량하여 많은 경험적 지보설계 기준으로 보아 록볼트 시공 뿐만 아니라 2차 숏크리트까지 시공해야 암반이 안정적으로 유지되는 것으로 평가되는데, 본 구간은 채탄이 완료되면 전혀 사용되지 않는 일시적인 갱도로서 가장 경제적인 지보시공이 필요하여 록볼트만으로 단독지보를 설치하고 암반의

변화상태를 측정하였다. 암반의 변형거동과 2차응력의 크기를 측정하고 연층굴진 및 채탄작업시 발생하는 2차적인 암반변형과 지압의 변화를 분석하기 위해서 갱도규격을 5.2×5.0 m 크기로 굴진한 후 즉시 진동현 응력계와 지중변위계를 암반내 설치하여 계측하고 그 결과를 비교검토하였다.

이를 통하여 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 굴착갱도 주변암반의 2차응력의 크기를 측정하기 위해서 진동현 응력계를 천반, 우측 아치부 및 좌측 측벽부에 설치하여 계측한 결과 초기일로부터 5일 동안은 4~8 kgf/cm²/day의 크기로 증가되다가 그후 서서히 수렴되기 시작하였으나 연층굴진 및 채탄작업이 진행되면서 또 다른 2차적 지압변동이 나타났다. 그러나 천반부에서는 지압의 크기가 증가하다가 다시 1차 때 발생되었던 지압의 크기로 원상회복되는 현상을 나타내었다.

2. 절리가 발달된 갱도 주변암반의 이완영역 및 변형거동 상태를 확인하기 위해서 지중변위계를 천반 및 우측 아치부에 설치하였는데, 모두 초기일로부터 6일 동안은 변형치가 교란되다가, 그후 규칙적으로 증가되었는데 천반부보다 아치부에서 심하게 나타났다. 또한 연층굴진 및 채탄작업이 진행되는 동안에는 아치부에서 0.2 mm/day 크기로 변위가 발생되었다. 또한 E₂와 E₃ 사이에서 1 mm 정도의 균열 및 변위가 발생되었으며, 36일째부터는 서서히 수렴되기 시작하여 안정상태로 유지되었다.

3. 천반부와 우측 아치부의 경우 2차응력과 지중변위의 분석 결과는 서로 상이한 현상을 보이고 있다. 즉 천반부에는 압축응력이, 우측 아치부에는 인장응력이 발생되고 있다. 이와같은 현상을 규명하기 위해서는 계측 뿐만이 아니고 갱도가 위치한 지층의 구조, 탄층과의 관계, 굴진 및 채굴작업의 영향 등 종합적인 평가가 요구된다.

4. 이와같은 결과를 통하여 볼 때 국내 석탄광의 크로스 갱도 및 착탄 부근에서의 지보설계 기준은 암질, 갱도형태 및 심도에 따라 다르겠지만 삼척탄

좌의 경우로 보아 한시적인 갱도 및 구간임을 감안할 때 R.M.R 25, Q 값 0.3 이상일 경우에는 록볼트 단 독지보로 보강이 가능할 것으로 본다.

7. 사 사

본 연구는 1993년도 교육부 학술재단의 자유공모 과제로 수행된 것으로 재단 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) L.J. Wardle and K.E. Monabb, 1985, Stress monitoring during wongawilli extraction in 3 North Panel, Colliery South Blackwater, Queensland, CSIRO, Division of Geomech.
- 2) L.J. Wardle and J.R. Enever, 1983, Application of stress monitoring at Laleham tunnel, CSIRO Report 83-11.
- 3) G. Skybey, 1982, Geotechnical evaluation of a Wongawilli extraction system at Coalcliff colliery, Australian Coal Industry Research Laboratories Ltd, 82-7.
- 4) A.W. Khair, Han-Uk Lim and S.J. Jung, 1990, Application of rock mechanics principles to alleviate a complex rock engineering problem in a coal mine, 31st U.S. Rock Mechanics Symp. pp. 77-84.
- 5) K. Kaluchev and M. Slavov, 1988, Control and readout system of underground hydro-electric power station., 29th U.S. Rock Mechanics Symp. pp. 139-146.
- 6) 이재선, 김호영, 이경운, 이희근, 1986, 굴진갱도 주위암반거동의 측정 및 해석에 관한 연구, 대한광산학회지, 23권 4호, pp. 265-276.
- 7) 안대영, 양승진, 1987, 운반갱도 주변암반의 거동과 Rock Bolt 지보의 적용성에 관한 연구, 대한광산학회지, 24권 6호, pp. 371-383.
- 8) 김호영, 1989, 과지압 암반내 갱도의 변형거동과 지보설계에 관한 연구, 서울대학교 공학박사 학위논문.