

경사계를 이용한 대구 서부지역 반야월층 굴착 지반의 변위 분석

임 명 혁*

대전대학교 지반방재공학전공

Displacement Analysis of an Excavation Wall using Inclinometer Instrumentation Data, Banyawol Formation, Western Daegu

Myeong-Hyeok Ihm*

Dept. of Geotechnical Disaster Prevention Engineering, Daejeon University

대구 지하철 굴착공사 중 노출된 굴착벽의 수평변위분석을 위해 서로 인접한 3개소의 경사계 계측자료를 이용하여 굴착지반의 변위특성 및 원인을 지질공학적 관점에서 고찰하였다. 연구지역은 경상누층군 하양층군 반야월층 지반에 해당하며 안산암질화산암, 석회질셰일, 사암, 호른펠스, 규장암맥 등으로 구성된 하부의 암반층과 이를 부정합으로 피복하고 있는 상부의 토사층으로 구성된다. 경사계 계측공 중 D4 지반의 암반층은 RMR V 등급이며, 층리면과 단층면을 따라 심도 12 m 지점에서 N34W 방향으로 최대수평변위량이 101.39 mm로 분석되었고, D5 지반의 암반층은 RMR IV 등급이며, 셰일의 층리면, 셰일과 규장암의 접촉면을 따라 심도 9 m와 14 m에서 거의 남쪽 방향으로 최대수평변위량이 53.01 mm ~ 55.17 mm로 측정되었다. Y6 지반의 암반층은 RMR III 등급이며, 상부 토사층과 하부 암반층의 경계면인 부정합면을 따라 심도 7 m 지점에서 S52W 방향으로 12.65 mm의 최대수평변위량을 나타낸다. 굴착벽에서 측정된 암반 내 불연속면들을 평사투영하여 예상되는 변위방향과 각 경사계 계측분석 결과 얻어진 수평변위방향이 거의 일치하는 결과를 보였으며, 굴착벽의 지중수평변위는 암반 내 불연속면의 발달도와 종류, 배향 및 암석의 종류에 좌우되며, 굴착벽에 수직방향과 수평평행방향의 벡터 합성 방향으로 많이 발생한다. 또한 토사층 내 지중수평변위의 양상이 심도에 따라 비교적 곡선이며 연속적 궤적을 보이는데 반해 암반층 내 지중수평변위의 양상은 직선적이고 불규칙적 궤적을 나타낸다.

주요어 : 경사계, 지중수평변위, 불연속면, 평사투영, 이방성

To analyze lateral displacement of excavation walls exposed during the construction of Subway Line 1 in the Daegu region, inclinometer measurement data for sites D4, D5, and Y6 are investigated from the perspective of engineering geology. The study area, in the Banyawol Formation, Hayang Group, Gyeongsang Supergroup, is in the lower part of bedrock of andesitic volcanics, calcareous shale, sandstone, hornfels, and felsite dykes that are unconformably overlain by soil. The rock mass around the D4 site is classified as RMR-V grade and the maximum lateral displacement of 101.39 mm, toward N34W, was measured at a bedding-parallel fault, at a depth of 12 m. The rock mass around the D5 site is classified as RMR-IV grade and the maximum lateral displacement of 55.17 mm, toward the south, was measured at a lithologic contact between shale and felsite, at a depth of 14 m. The rock mass around the Y6 site is classified as RMR-III grade and the maximum lateral displacement of 12.65 mm, toward S52W, was measured at an unconformity between the soil and underlying bedrocks, at a depth of 7 m. The directions of lateral displacement in the excavation walls are vector sums of the directions perpendicular to the excavation wall and horizontally parallel to the excavation wall. Lateral displacement graphs according to depth in the soil profile show curvilinear trajectories, whereas those in bedrock show straight and rapid-displacement trajectories.

Key words : Inclinometer, Lateral displacement, Discontinuities, Stereographic projection, Anisotropy

*Corresponding author: mhihm61@dju.kr

© 2013, The Korean Society of Engineering Geology

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서 론

일반적으로 지반공학에서 계측(instrumentation or monitoring)이라 함은 현장에서 암석이나 토양의 강도, 투수성, 등의 측정행위와 대규모 구조물 공사중 지반의 변형, 하중, 응력 및 지하수위 등을 측정하는 행위로 이 대분할 수 있다(Dunnicliff, 1988). 본 연구에서는 후자의 경우에 한정한다.

흔히 많이 이용하는 지반계측기(instrumental equipments) 종류는 경사계(지중수평변위계: inclinometer), 지하수위계(water level indicator), 간극수압계(piezometer), 지표침하계(surface settlement indicator), 하중계(load cell), 변형계(strain gage), 건물경사계(tiltmeter) 및 균열 측정기(crack gage) 등 여러 종류(Controls, 1989)가 있으나 본 연구에서는 경사계를 이용하였다.

경사계를 이용한 지반계측의 목적은 대규모 공사 시 지반의 굴착에 따른 지반의 심도별 수평변위의 방향과 크기를 계측하여 기초지반의 수평방향 변위 및 그에 따른 지반침하, 지반이완 영역의 범위, 가시설 구조물 및 인접건물의 안전도를 판단함이 주목적이다(Dong-A Engineering Co. Ltd., 1991; Lee et al., 1992).

본 연구의 목적은 지반계측기 중 경사계 측정자료를 이용한 기초지반의 횡 변위 원인과 특성을 지질공학적 관점에서 고찰하고자 한다.

본 연구지역은(이하 본역 이라함) 대구시 달서구 송현동 및 남구 대명동 일대로서 1994년 당시 대형구조물 공사와 대구지하철 1호선 공사로 인해 지표하 18m 굴착되어 암반 및 토사의 노출상태가 양호하였다. 따라서 암반 내 불연속면을 따른 암반 활동(sliding) 혹은 암반 변위를 관찰하고 검증하기 쉬웠으며, 1997년 대구 지하철 1호선 굴착 공사는 마무리되었다.

본역 및 본역 인근 지역에 대한 지질 및 지질공학적 연구는 Kim (1986), Jung (1986), Park and Jang (1987), Roh (1988), Jung (1989), Baek and Bok (1990), Seo (1992) 등의 논문이 있고, 수리지질학적 연구는 Lim (1988)과 Seo (1991)의 논문 등이 있으나 지반계측 시스템을 이용한 지질공학적 관점에서의 연구는 거의 없는 상태이다.

본 연구의 목적을 달성키위해 대구지하철 1호선 노선을 따라 설치된 수백 개의 경사계 계측공 중 가장 정밀하게 시공되었다고 판단되는 계측공을 선정하였다. 또한 정밀 시공된 계측공이 지역적으로 분산된 경우에는 계측자료의 신뢰도와 객관성이 낮아지므로 지질과 계측자

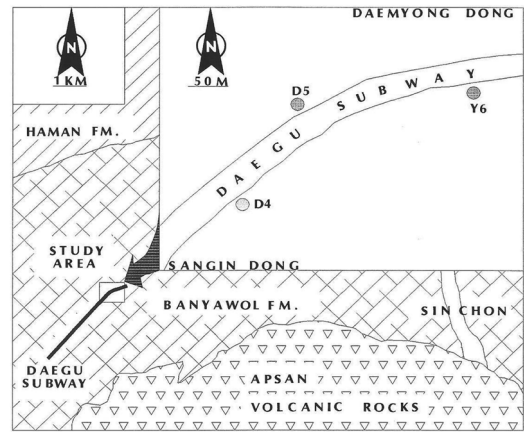


Fig. 1. Generalized geological map of the western Daegu showing the location of inclinometer monitoring holes. Note that D4 and Y6 are in the right excavation wall, whereas D5 is in the left excavation wall.

료의 비교, 검토를 용이하게 하기위하여 정밀 시공된 계측공 중 서로 인접한 3개의 경사계 계측공 자료를 본 연구에 이용하였다(Fig. 1).

지질 개요

본역의 지질은 경상누층군 하양층군 반야월층에 해당하며(Fig. 1), 주구성암석은 담회색 내지 녹회색 안산암질 화산암류, 담회색 석회질 셰일, 담회색 중립질 사암 및 녹회색 호른펠스이고 간혹 규장암맥이 수 m 폭으로 관입하고 있다. 안산암질 화산암류는 대부분 세립질 응회암으로서 괴상으로 산출되거나 부분적으로 불규칙한 전단절리들이 발달되어 있다.

응회암과 더불어 국부적으로 집괴암이 나타나는데 이들은 matrix - supported breccia 들로서 파쇄된 양태로 산출된다. 평균 화산력의 크기는 보통 장경 20cm~30cm 정도이고 큰것은 최대 장경 100cm의 거력도 나타난다. 화산력의 종류는 현무암, 안산암 등 염기성 화산암류가 대부분이고 간혹 규장암 과 산성 반심성암류도 나타난다. 기질의 대부분은 담회색 세립질 암편과 장석류로서 파쇄되어 있다. 석회질 셰일은 부분적으로 괴상으로 나타나는 곳도 있으나 층리간의 최대간격이 10cm 이내로서 세층리의 발달이 양호하다.

본역 퇴적암류의 대체적인 층리의 주향과 경사는 N50E 20SE이나 국부적으로 경사방향이 NW로 변화하는 곳이 많다. 이는 본역과 바로 인접해서 분포하는 후

기의 유천층군 화산암류(안산 화산암류)에 의해 교란된 것으로 사려된다. 담회색 중립질 사암은 대부분 괴상으로 산출되나 세일과 교호하는 곳에서는 층리의 발달이 양호하고 비교적 fissility 현상이 현저하다. 이들 사암은 대체로 3 m 이하 층후로 석회질 세일 내에 협재되고, 사암이나 안산암질화산암류와 접하는 곳에서 후기의 규장암맥이 부분적으로 관입하고 있는 것이 특징이다.

규장암 및 산성반심성암류의 관입 접촉면은 대체로 N50E~N70E 30SE~40SE로서 퇴적암류들의 층리 배향과 비슷한 곳도 있으나 N50E~N70E 30NW~40NW로 층리 배향과 다른 양상도 관찰된다. 또한 이들 관입암류의 접촉면은 간혹 단층면으로 활동한 것도 많이 관찰된다.

D4 지반의 지질공학적 특성

선정된 3개의 경사계 계측공 위치는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 가장 서측의 것부터 임의로 D4, D5, Y6로 명명하였다. D4와 D5는 약 150 m, D5와 Y6는 약 200 m 서로 이격된 지점에 위치하고 있다. 특히 D4와 Y6는 지하철 노선 굴착벽의 남동쪽 측벽에 해당하나 D5는 지하철 노선 굴착벽의 북서쪽 측벽에 위치한다.

D4 주변 지반의 토사층은 자갈, 모래, 점토의 혼합물로 구성되어있고 토사층의 층후는 지점에 따라 차이가 심하나 평균 약 5 m 층후를 나타낸다. 토사층 이하 기반암은 경상누층군 하양층군 반아월층인 안산암질응회암과 사암 및 호온펠스로 구성되어 있다(Fig. 2). 안산암질 응회암은 녹회색이 우세하나 간혹 갈색을 보이며 세립질이 대부분이다. 사암은 중립질로서 담회색이 우세하고 대부분 괴상으로 산출되어 층리의 인지가 어려우나 세일과 교호하는 부분에서는 층리의 발달이 양호하다. 안산암질 응회암과 사암의 접촉부에서 호온펠스가 산출되는데 세층리가 인지되는 것으로 보아 세일이 열 변성된 것으로 사려된다. 안산암질응회암과 사암의 접촉부는 호온펠스화 되거나 단층접촉 하고 있어 각 암석간의 절대적 층서는 알 수 없으나 현재 지반상태가 역전된 경우가 아니라면 사암위에 응회암이 놓여있는 상태이다.

사암 및 협재된 세일의 층리는 본역 암반의 대표적 주향과 경사인 N50E 20SE의 배향은 거의 인지되지 않고 N50E 70NW의 층리가 우세하다. 층리와 거의 직각인 수 개의 단층들(N10W 60SW)이 발달하고 있는데 이들 단층들의 연장성은 매우 길고 단층면내 배태된 단층점토의 폭은 10 cm 정도이다. 단층의 배향과 거의 같

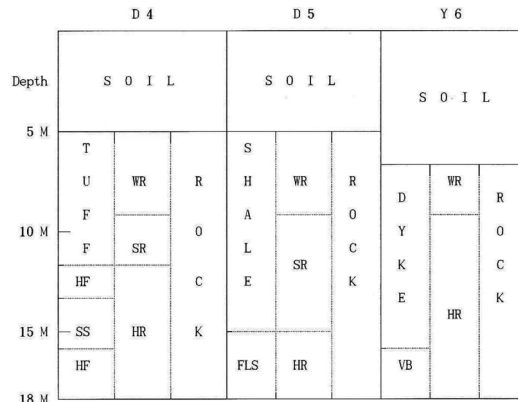


Fig. 2. Rock and soil profiles at the D4, D5, and Y6 sites. HF : hornfels; SS : sandstone; FLS : felsite; VB : volcanic breccia; WR : weathered rock; SR : soft rock; HR : hard rock.

은 방향의 절리들이 비교적 체계적으로 나타나고 NS 20E 배향의 절리들이 단속적이거나 평균 0.5 m의 간격으로 발달한다.

D4 주변 지반의 지질공학적 분류를 위해 Bieniawski (1974)의 RMR 기준에 의해 본 지반을 분류해보면, 암석의 강도는 각 암석별로 점재하시험을 시행하여 그 산술 평균값을 취하였다. 그 결과 약 4.3 MPa로 계산되었고 이는 RMR 등급지수로 12에 해당한다. 또한 RQD는 30%(도화종합기술공사, 1994), 절리간격은 평균 약 0.2 m, 층리의 배향과 D4 지점 굴착벽의 배향이 거의 평행하며, 암반 내 지하수의 상태가 노출면을 따라 흐르는 상태이고, 많은 단층면들이 절리면과 거의 평행하게 발달하며, 절리 틈이 열린 상태로 존재하는 등, 암반분류의 모든 요소들을 종합해 볼 때 RMR 등급 중 가장 불량한 암반등급인 V등급으로 평가된다(Table 1).

D5 지반의 지질공학적 특성

D5 주변 지반은 D4 지반에서 북동쪽으로 약 150 m 떨어진 지점으로서 D4 지반과는 달리 굴착벽의 북서측벽에 해당하며(Fig. 1), 본 지반 역시 토사층의 구성물과 층후는 D4 주변 지반과 유사하나, 토사층 이하 기반암은 반아월층의 세일 및 이를 관입한 규장암맥으로 구성되어 있다(Fig. 2).

세일은 주로 암회색을 띠나 부분적으로 녹회색 내지 흑회색을 띠는 곳도 있으며, 층리의 발달이 양호하여 간헐적으로 사암이 2 cm~3 cm의 두께로 협재하는 경우가 많다. 특히 이들 사암과 세일의 경계면은 수 십 cm³

Table 1. Bieniawski's geomechanics classification of rock masses (RMR) in the study area.

Monitoring Hole No.	Rock name	Strength (Point Load) MPa	Drill Core Quality (RQD) %	Ground Water Condition	Fracture Spacing m	Joint Characteristics	Joint Orientation	RMR Class (Description of Rock Mass)
D4	Andesitic Tuff Homfels Sandstone	Mean 4.3	30	Inflow water	0.2	Open joints, Faults	Subparallel to excavation wall	Very poor rock
D5	Shale Felsite	Mean 2.8	20	Dry	0.2	Smooth surfaces	Subparallel to excavation wall	Poor rock
Y6	Acidic dike Volcanic breccia	Mean 6	45	Moist	0.5	Smooth surfaces	Favorable to excavation wall	Fair rock

크기의 암체가 이들 경계면을 따라 변위를 일으키는 활동면으로 활동한 듯하다. 규장암맥은 담회색 세립질암으로서 대부분 괴상으로 산출되나 부분적으로 수 m 간격의 절리들이 체계적으로 발달하는 곳도 있다. 세일의 층리는 대부분 N50E 40SE이나 규장암맥과의 접촉부에서는 N50E 40SE ~ 50 SE로서 경사가 급해지기도 한다. D4 주변 지반의 단층배향과 유사한 배향의 절리들이 (N10W 60SW) 평균 약 0.2 m 간격으로 발달하며 그 연장성은 비교적 양호한 편이다.

D5 주변 지반의 지질공학적 분류를 위해 Bieniawski (1974)의 RMR 기준에 의해 본 지반을 분류해 보면 암질별로 점재하시험 결과 평균 약 2.8 MPa로 계산되고 (RMR 등급지수 7에 해당), RQD는 20%(DOHWA Engineering Co. Ltd., 1994), 절리간격은 평균 약 0.2 m, 절리면은 평활한 상태이며, 절리면내의 지하수 상태는 거의 건조 상태에 해당하고, 층리의 배향과 D5 지점 굴착벽의 배향이 거의 평행하는 등, 여러 조건을 산정해 볼 때 RMR 등급 중 불량한 암반 등급인 IV 등급으로 평가된다(Table 1).

Y6 지반의 지질공학적 특성

Y6 주변 지반은 D5 지반보다 동쪽으로 약 200 m 이격된 지점에 위치하며 D5 지반과는 달리 지하철 굴착벽의 남동측벽에 해당한다(Fig. 1).

Y6 주변 지반의 토사층은 D4 지반 및 D5 지반과 마찬가지로 자갈, 모래, 점토의 혼합물로 구성되어있고 토사층의 층후는 지점에 따라 차이가 있으나 평균 약 7 m 층후를 나타낸다. 토사층 이하 기반암은 산성암맥과 화산각력암으로 구성되어 있다(Fig. 2). 산성암맥은 대부분 규장암맥이며 규장암과 기타 산성관입암류의 관입 접촉면은 대체로 N50E ~ N70E 30SE ~ 40SE로서

인접 퇴적암류들의 층리 배향과 비슷한 곳도 있으나 층리 배향과 다른 불규칙한 양상도 많이 관찰된다. 산성암맥 하부에 화산각력암인 집괴암이 나타나는데 이들은 matrix - supported breccia 들로서 파쇄된 양태로 산출된다. 평균 화산력의 크기는 보통 장경 20 cm ~ 30 cm 정도이고 큰 것은 최대 장경 100 cm의 거력도 나타난다. 화산력의 종류는 현무암과 안산암 등 염기성 화산암류가 대부분이고 간혹 규장암과 산성 및 반심성암류도 나타난다. 기질의 대부분은 담회색 세립질 암편과 장식류로서 파쇄되어 있다. 화산각력암은 산성암맥 하부에 분포하나 산성암맥이 화산각력암을 관입한 흔적이 부분적으로 관찰되므로 Y6 주변 지반은 화산각력암이 먼저 생성된 후 후기에 산성암맥이 관입하였고 관입접촉면은 단층면으로 활동한 흔적도 관찰된다. 관입접촉면과 평행한 단층면도 존재하나 N10W 60SW 배향의 단층면과 절리들이 비교적 체계적으로 나타나고 불규칙한 배향의 절리들이 단속적이거나 나타나지 않는다.

Y6 주변 지반의 지질공학적 분류를 위해 Bieniawski (1974)의 RMR 기준에 의해 본 지반을 분류해보면, 암석의 강도는 각 암석별로 점재하시험을 시행하여 그 산술 평균값을 취하였다. 그 결과 약 6 MPa로 계산되었고 이는 RMR 등급지수로는 12에 해당한다. 또한 RQD는 45%(DOHWA Engineering Co. Ltd., 1994), 절리간격은 평균 약 0.5 m, 절리 및 단층의 배향과 Y6 지점 굴착벽의 배향이 거의 수직이며, 암반 내 지하수의 상태가 습윤 상태이고, 절리면이 평활한 점 등, 암반분류의 모든 요소들을 종합해 볼 때 RMR 등급 중 보통 암반등급인 III 등급으로 평가된다(Table 1).

D4 경사계 변위 분석

대구지하철 1호선 건설을 위해 개착구간인 대구 서부

Table 2. Instrumentation parameters from inclinometer monitoring holes.

Monitoring Hole No.	Setting Date	Monitoring Period	Monitoring Interval	Distance from Excavation Wall	Depth of Monitoring Hole	Strike of Excavation Wall
D4	1993. 3. 15.	1993. 4. 8. ~ 1994. 8. 9.	7 Days	1.3 m	18 m	N40E
D5	1993. 3. 19.	1993. 4. 8. ~ 1994. 8. 12.	7 Days	1.2 m	18 m	N50E
Y6	1993. 11. 16.	1993. 12. 20. ~ 1994. 9. 7.	7 Days	5.8 m	18 m	N70E

Table 3. Maximum lateral displacement directions and amounts at each monitoring hole.

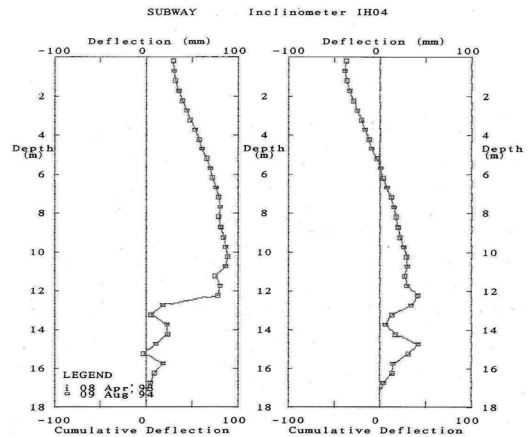
Monitoring Hole No.	Maximum Lateral Displacement				Lithologic Boundary
	Direction		Quantities	Depth (m)	
	Monitoring Value	Graphic Value	Monitoring Value (mm)		
D4	N34W	NW	101.39	12	Tuff ^ Hornfels
D5	S03W	SW	55.17	9	Shale
	S04E	SE	53.01	14	Shale ^ Felsite
Y6	S52W	SW	12.65	7	Soil ^ Dike

지역에 노선을 따라 수직으로 굴착벽을 심도 약 18 m로 시공하여 약 18개월 동안 노출된 상태에서 기초 지반 공사가 진행되었다. 굴착벽의 노출기간동안 지반의 안정성을 위해 경사계 계측공을 굴착벽의 배면에 최대한 가깝게 굴착벽 바닥 심도 이상으로 시공·설치하였다.

본역에 설치한 D4, D5, Y6 계측공은 지름 150 mm로 시공되었으며 계측공 내 측정방향 설정을 위하여 서로 직각 방향인 A와 B 방향을 표시하였다. A 방향은 각 지점의 굴착벽 주향에 직각방향으로 맞추고 B 방향은 A 방향에 직각으로 굴착벽과 평행한 방향으로 설정하였으며, A⁺ 방향은 굴착벽 배면을 등지고 보는 방향이며 B⁺ 방향은 A⁺ 방향과 우수향 직각이다.

본역에 사용한 경사계 계측 장비의 설비 및 측정장치 모두는 미국 Geocon사의 모델 GK - 601을 사용하였다. D4 경사계 계측공은 굴착바닥 심도와 같은 18 m 깊이로 시공하였고, 1993년 3월 15일 설비가 설치 완료되어 초기 계측이 설정되었다. 굴착벽과는 배면방향(A⁻ 방향)으로 1.3 m 이격되고, 굴착벽의 주향은 N40E이다. 따라서 계측 변위 방향 중 A⁺ 방향은 N50W, A⁻ 방향은 S50E, B⁺ 방향은 N40E, B⁻ 방향은 S40W로 설정되었다. 계측 기간은 1993년 4월 8일 ~ 1994년 8월 9일까지 약 18개월간 7일에 한 번씩 정기적으로 계측하였으며 (Table 2), 이상 발생 시는 수시로 계측을 수행하였다.

D4 경사계의 심도별 18개월간 누적 수평변위량과 방향은 Fig. 3과 같다. D4 지반의 지표면에서 심도 5 m까지는 토사층으로서 변위량과 변위방향은 N72W 방향

**Fig. 3.** Final lateral displacement toward the A direction (left) and the B direction (right) based on inclinometer monitoring data at site D4.

(A⁺와 B⁻의 벡터합성 방향)으로 72.42 mm이고, 심도 12 m 구간은 암반으로서 응회암과 호온펠스의 경계부에서 N34W 방향(A⁺와 B⁺의 벡터 합성 방향)으로 101.39 mm를 보였고, 심도 16 m 구간은 역시 암반으로서 사암과 호온펠스의 경계부에서 N42W 방향(A⁺와 B⁺의 벡터 합성 방향)으로 38.33 mm를 나타내었으며, D4 지반 최대수평변위량은 심도 12 m 응회암과 호온펠스 경계부에서 101.39 mm로 분석되었다(Table 3).

D4 경사계 변위 분석 결과와 D4 지반의 노출된 굴착벽에서 측정된 암반의 대표적인 불연속면들을 평사투영(등면적 하반구투영)해보면 Fig. 6과 같다.

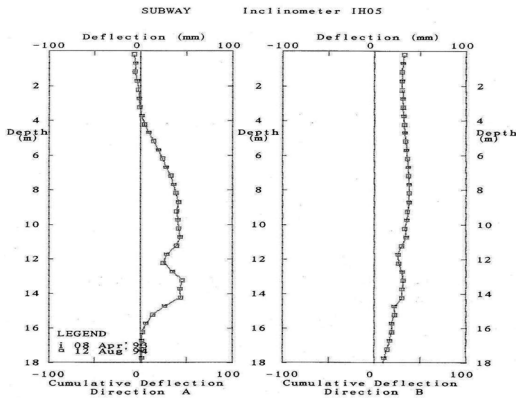


Fig. 4. Final lateral displacement toward the A direction and the B direction based on inclinometer monitoring data at site D5.

비탈면과 마찬가지로 굴착벽을 90도 경사의 비탈면이라고 여긴다면, 굴착벽의 주향과 불연속면의 주향이 거의 평행하고 불연속면의 경사각이 굴착벽 배면을 등지는 방향이며, 불연속면의 경사각이 구성 암반의 일반적인 내부마찰각보다 클 때 불연속면의 조합에 따라 비탈면에서 썩기파괴와 평면파괴가 발생하는 원리와 동일하게 굴착벽의 암반이 변위 할 수 있다.

D5 경사계 변위 분석

D5 경사계 계측공은 굴착바닥 심도와 같은 18m 깊이로 시공하였고 1993년 3월 19일 설비가 설치 완료되어 초기 계측이 설정되었다. 굴착벽과는 배면방향(A⁻ 방향)으로 1.2m 이격되고, 굴착벽의 주향은 N50E이다 (Table 2). 따라서 계측 변위 방향 중 A⁺ 방향은 S40E, A⁻ 방향은 N40W, B⁺ 방향은 S50W, B⁻ 방향은 N50E로 설정되었다. 계측기간은 1993년 4월 8일 ~ 1994년 8월 12일까지 약 18개월간 7일에 한 번 씩 정기적으로 계측하였으며, 이상 발생 시는 수시로 계측을 수행하였다.

D5 경사계의 심도별 18개월 간 누적수평변위량과 방향은 Fig. 4와 같다.

D5 지반의 지표면에서 심도 5m까지는 토사층으로서 변위량과 변위방향은 S48W 방향(A⁺와 B⁺벡터 합성 방향)으로 32.06mm이고, 심도 9m 구간은 암반으로서 세일의 풍화암과 연암의 경계부에서 S03W 방향(A⁺와 B⁺의 벡터 합성 방향)으로 55.17mm를 보였고, 심도 14m 구간은 역시 암반으로서 세일과 규장암의 관입점 측면에서 S04E 방향(A⁺와 B⁺벡터 합성 방향)으로

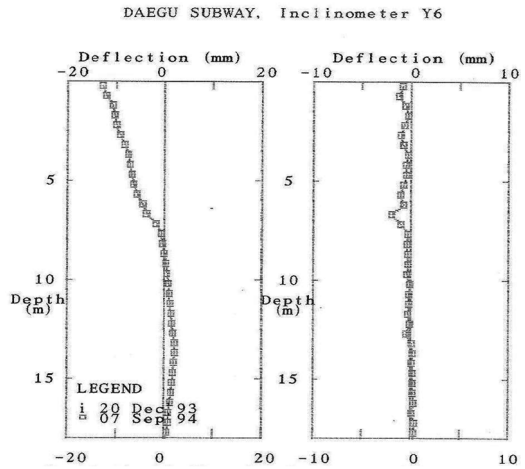


Fig. 5. Final lateral displacement toward the A direction (left) and the B direction (right) based on inclinometer monitoring data at site Y6.

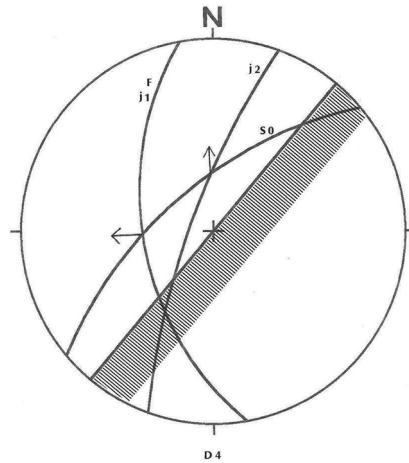


Fig. 6. Stereographic projection (equal area lower hemisphere) showing the orientations of discontinuities in the area around the D4 inclinometer monitoring hole.

53.01mm를 나타내었으며, D5 지반 최대수평변위량은 심도 9m ~ 14m의 세일 내에서 거의 정남 방향으로 53mm ~ 55mm로 분석되었다(Table 3).

D5 경사계 변위 분석 결과와 D5 지반의 노출된 굴착벽에서 측정된 암반의 대표적인 불연속면들을 평사투영(등면적 하반구투영)해보면 Fig. 7과 같다.

Y6 경사계 변위 분석

Y6 경사계 계측공은 굴착바닥 심도와 같은 18m 깊

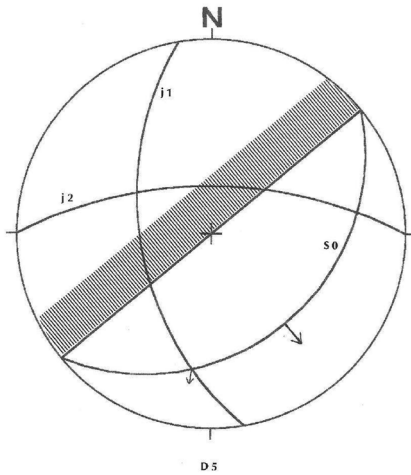


Fig. 7. Stereographic projection (equal area lower hemisphere) showing the orientations of discontinuities around the D5 inclinometer monitoring hole.

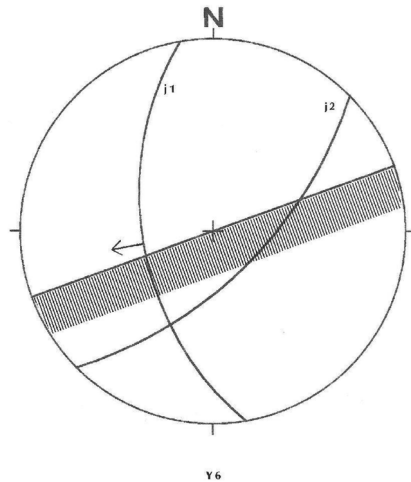


Fig. 8. Stereographic projection (equal area lower hemisphere) showing the orientations of discontinuities around the Y6 inclinometer monitoring hole.

이로 시공하였고 1993년 11월 16일 설비가 설치 완료되어 초기 계측이 설정되었다. 굴착벽과는 배면방향(A⁻방향)으로 5.8 m 이격되고, 굴착벽의 주향은 N70E이다 (Table 2). 따라서 계측 변위 방향 중 A⁺ 방향 N20W, A⁻ 방향은 S20E, B⁺ 방향은 N70E, B⁻ 방향은 S70W로 설정되었다. 계측기간은 1993년 12월 20일 ~ 1994년 9월 7일 약 9개월간 7일에 한 번씩 정기적으로 계측하였으며, 이상 발생 시는 수시로 계측을 수행하였다.

Y6 경사계의 심도별 9개월간 누적수평변위량과 방향

은 Fig. 5와 같다. Y6 지반의 지표면에서 심도 7m까지는 토사층이며 토사와 암반의 경계부인 심도 7m 구간의 변위량과 변위방향은 S52W 방향(A와 B의 벡터 합성 방향)으로 12.65 mm이고 (Table 3), 심도 9m 구간은 암백으로서 풍화암과 경암의 경계부에서 변위량과 변위방향은 S38W 방향으로 1.3 mm로 분석되었다 (Fig. 5).

Y6 경사계 변위 분석 결과와 Y6 지반의 노출된 굴착벽에서 측정된 암반의 대표적인 불연속면들을 평사투영(등면적 하반구투영)해보면 Fig. 8과 같다.

고 찰

비탈면과 마찬가지로 굴착벽을 90도 경사의 비탈면이라고 여긴다면, 굴착벽의 주향과 불연속면의 주향이 거의 평행하고 불연속면의 경사방향이 굴착벽 배면을 등지는 방향이며, 불연속면의 경사각이 구성 암반의 일반적인 내부마찰각보다 클 때 불연속면의 조합에 따라 비탈면에서 썩기파괴와 평면파괴가 발생하는 원리와 동일하게 굴착벽의 암반이 변위 할 수 있다.

D4, D5, Y6 경사계 변위 분석 결과와 D4와 D5 및 Y6 지반의 노출된 굴착벽에서 측정된 암반의 대표적인 불연속면들을 평사투영(등면적 하반구투영)해보면 Fig. 6과 Fig. 7 및 Fig. 8과 같다.

Fig. 6 ~ Fig. 8에서 원의 중심을 지나는 직선은 굴착벽을 의미하며 빗금친 부분은 굴착벽의 배면방향을 나타낸다. 각각의 대원은 암반 내 발달한 불연속면들의 대표 방향을 표시하며 화살표 방향은 불연속면에 의해 분리된 암반 블록(암괴)의 예상 변위 방향을 표시하고, S0는 퇴적암의 층리면, j1과 j2는 규칙적인 전단절리면, F는 단층면을 나타낸다.

D4 굴착벽에서 관찰되는 사암과 호온펠스 및 화산암에 발달한 불연속면의 종류는 층리면, 부정합면, 단층면 및 규칙적인 두 조의 전단절리면이 대표적이며, 층리면은 N50E 70NW, 토사층과 암반의 경계인 부정합면은 거의 수평면이고, 단층면은 N10W 60SW, 제1전단절리면(j1)은 N10W 60SW, 제2전단절리면(j2)은 N20E 80NW로 측정된다. N40E 90 배향의 굴착벽과의 기하학적 관계로 고려해 볼 때 북서방향으로 층리면과 단층면을 따른 변위가 예상되며, 전술한 D4 경사계 변위분석에서 심도 12 m 지점의 화산암과 호온펠스 경계부를 따라 N34W 방향으로 101.39 mm 수평변위량을 나타낸 점과 유사한 결과를 보인다 (Table 3).

D5 굴착벽에서 관찰되는 세일과 규장암에 발달한 불

연속면의 종류는 층리면, 부정합면 및 규칙적인 두 조의 전단절리면이 대표적이며, 층리면은 N50E 40SE, 토사층과 암반의 경계인 부정합면은 거의 수평면이고, 제1전단절리면(j1)은 N10W 60SW, 제2전단절리면(j2)은 EW 70N으로 측정된다(Fig. 7). N50E 90 배향의 굴착벽과의 기하학적 관계로 고려해 볼 때 남남서와 남남동 방향으로 층리면을 따른 변위가 예상되며, 전술한 D5 경사계 변위분석에서 심도 9m와 14m 지점의 세일과 규장암의 경계부를 따라 S03W와 S04E 방향으로 55.17 mm와 53.01 mm 수평변위량을 나타낸 점과 유사한 결과를 보인다(Table 3).

Y6 굴착벽에서 관찰되는 암맥과 화산암에 발달한 불연속면의 종류는 부정합면과 두 조의 전단절리면이 대표적이며, 부정합면은 거의 수평면이고 제1전단절리면(J1)은 N10W 60SW, 제2전단절리면(j2)은 N45E 70SE로 측정된다(Fig. 8). N70E 90 배향의 굴착벽과의 기하학적 관계로 고려해 볼 때 서남서방향으로 제1전단절리면을 따른 변위가 예상되며, 전술한 Y6 경사계 변위 분석에서 심도 7m 지점의 토사층과 암맥의 경계부를 따라 S52W 방향으로 12.65 mm 최대수평변위량을 나타낸 점과는 다른 결과를 보이나(Table 3), 암반층인 암맥과 화산암의 절리면을 따른 수평변위량과 수평변위방향은 심도가 깊어짐에 따라 S38W 방향으로 2 mm ~ 3 mm 값을 나타내는 점에서는 비교적 유사한 결과로 해석된다(Fig. 5).

토의 및 결론

연구지역의 토사층과 암반층으로 구성된 굴착벽의 지중수평변위는 암반 내 불연속면(층리, 절리, 단층, 등)의 발달 정도와 불연속면의 배향 및 암석의 종류에 좌우되며, 특히 토사층과 암반층의 경계인 부정합면 및 암석간의 경계면에서 지중수평변위가 많이 발생한다.

굴착벽의 지중수평변위는 암반층 내에서 비교적 불규칙적인 수평변위가 발생하며 그 크기는 암석의 종류와 불연속면의 배향에 따라 수평변위량이 다르나, 상부 토사층은 연속적이고 규칙적인 수평변위가 발생한다.

연구지역의 경사계 계측 변위 곡선에 의하면 지반심도에 따른 토사층 내 지중수평변위의 양상이 비교적 연속적이고 곡선적 궤적을 나타내는데 반해 암반층 내 지중수평변위의 양상은 직선적이고 불규칙적 궤적을 나타낸다. 이는 암반층에 비해 토사층이 비교적 균질하고 등방성인데 비해 암반층은 토사층보다 불균질하고 이방성

의 특성 때문인 것으로 판단된다.

흔히 지중수평변위는 굴착벽의 수직방향(A⁺ 방향)으로 많이 발생하는 것으로 이해되어 왔으나 연구지역의 실제 경사계 계측자료에 의하면 굴착벽의 수직방향(A⁺와 A⁻ 방향)과 수평평행방향(B⁺와 B⁻ 방향)의 벡터 합성방향으로 지중수평변위가 많이 발생한다.

또한 암반 내 지중수평변위와 변위량은 동일한 암석 내에서 동일한 불연속면의 배향과 굴착벽의 주향과 교차하는 정도에 따른 비교 및 동일한 암석 내에서 불연속면이 있는 경우와 없는 경우의 비교 등, 다양한 조건으로 변위방향과 변위량을 검토하는 것이 합리적이지만, 연구지역의 현장여건 하에서 분석한 지중수평변위 중 굴착벽의 수직방향에서 변위는 퇴적암이 토사층보다 큰 변위를 나타내나 굴착벽과 수평평행한 방향에서 변위는 암반층과 토사층이 비슷한 변위를 나타낸다. 이는 대규모 구조물 공사로 인한 지중의 응력변화에 대한 변형이 토사층 보다는 퇴적암반 내 불연속면의 종류와 배향에 민감한 것으로 사려된다.

References

- Baek, Y. and Bok G.J., 1990, Stability of discontinuity in rocks in Sindong Group, bachelor's thesis of Kyungpook National University, 33p.
- Bieniawski, J. T., 1974, Geomechanics classification in tunneling, Proc. 3rd Cong. ISRM, Denver, 2A, 27p.
- Controls, 1989, Testing equipment for the construction industry, Controls Testing Equipment Ltd., 564p.
- DOHWA Engineering Co. Ltd., 1994, Daegu Metropolitan Subway Line 1, Lot No. 1 - 4, monthly report of instrumentation construction supervision, 355.
- DONG-A Engineering Co. Ltd., 1991, Instrumentation procedure and analysis method, 83p.
- Dunncliff, J., 1988, Geotechnical instrumentation for monitoring field performance, John Wiley and Son's, 577p.
- Jung G. C., 1986, A Study on the Kinematic Characteristics of Banyawol formation discontinuity bedrock in EUNHO-DONG District, master's thesis of Kyungpook National University, 45p.
- Jung T. J., 1989, Mechanical Property of Sandstone in Lower Kyeongsang Supergroup, master's thesis of Kyungpook National University, 38p.
- Kim, J. H., 1986, Mechanical properties of discontinuity in rocks in Lower Kyeongsang Supergroup, master's thesis of Kyungpook National University, 39p.
- Lee, E. S., Nam, S. S., and Lee, S. H., 1992, The plan of the civil engineering and construction field measurement, cultural inquiry, 441.
- Lim, Y. J., 1988, Distribution 'Haman' formation groundwater flow in Daegu, master's thesis of Kyungpook National University, 48p.

- Park, J. H. and Jang, J. I., 1987, A study on the property of matter of sandstone in Upper Kyeongsang Supergroup, bachelor's thesis of Kyungpook National University, 35p.
- Roh, B. D., 1988, Mechanical properties of discontinuity in rocks in Upper Kyeongsang Supergroup, master's thesis of Kyungpook National University, 42p.
- Seo, J. R., 1991, Geochemical study on water quality of underground water and stream water in Daegu, master's thesis of Kyungpook National University, 84p.
- Seo, Y. S., 1992, Geological Engineering characteristics of discontinuity at underground rock mass in Daegu, master's thesis of Kyungpook National University, 39p.
- SHINPOONG Measuring Industry Co. Ltd., 1993, Civil engineering spot measuring tool, 9, 342p.

원고접수일 : 2013년 2월 14일

수정본채택 : 2013년 3월 14일(1차)

2013년 3월 19일(2차)

게재확정일 : 2013년 3월 21일

임명혁

대전대학교 지반방재공학전공

300-716 대전광역시 동구 대학로 62

Tel: 042-280-2570

E-mail: mhihm61@dju.kr