

관리도 기법을 이용한 터널 변위수렴 특성에 관한 연구

임성빈¹ · 김성권¹ · 서용석^{1*} · 박시현²

¹충북대학교 지구환경과학과
²한국시설안전기술공단 지하시설실

A Study on Convergence of Tunnel Displacement using Control Chart Method

Sung-Bin Yim¹, Sung-Kwon Kim¹, Yong-Seok Seo^{1*}, and Si-Hyun Park²

¹Department of Earth & Environmental Sciences, Chungbuk National University
²Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation, Underground Facility Dept.

터널은 굴착에 의해 지반의 변형을 일으키며, 지보를 설치하고 시간이 지남에 따라 점차 안정화된다. 터널 굴착이 지반 거동에 미치는 영향은 계측지점과 막장간의 거리가 증가함에 따라 감소한다. 터널의 변위가 수렴하여 안정화 되는 시점을 예측할 수 있다면, 안정화 이후 이루어지는 여러 공정들을 앞당김으로써 시간적, 경제적 손실을 줄일 수 있다. 따라서 본 연구에서는 변위 수렴 시점을 예측하기 위하여 관리도 기법을 적용하였다. 퇴적암을 기반으로 하는 터널에 대한 관리도 판정 결과, 막장에서부터의 거리가 최대 100 m 이내에서 변위가 수렴하였다.

주요어 : 관리도 기법, $x-MR$ 관리도, 관리 한계선, 변위 수렴

Tunnel deformation happens by excavation. After installation of support, tunnel is gradually stabilized over time. Effect of excavation on tunnel behavior decreases as increase of distance from face. If the time that the displacement converges by tunnel stabilization is estimated, processes after stabilization can be advanced and economic loss can be reduced. In this study, the distance of displacement convergent point from face in the tunnel constructed on sedimentary rock is estimated using control chart method. As the results of analysis using a control chart, displacements in a sedimentary rock tunnel are converged within 100 m from each tunnel face.

Key words : control chart method, $x-MR$ control chart, control limit, displacement convergence

서 론

일반적으로 지반은 건설공사 등으로 인하여 굴착이나 성토 시 새로운 응력상태에 맞게 평형상태로 전이되는 과정으로 거동한다. 따라서 터널 굴착에서의 가장 핵심은 새로운 평형 상태로의 지반거동이 급격하지 않도록 억제하면서 재평형 상태로 전이시켜 안정상태의 재평형 상태를 만들어 주는 것이며, 이러한 평형 상태가 구조물의 수명한계까지 이어지도록 하는 것이 터널시공의 중요한 과업이다(한국터널공학회, 2004).

터널 굴착이 터널 거동에 미치는 영향은 계측지점과

막장간의 거리가 증가함에 따라 감소한다. 따라서 누적 정규분포곡선의 형태와 유사한 터널 굴진에 따른 지반 내 중방향 침하 형태는 막장 간 거리가 증가하면서 곡선의 경사가 완만해진다. 즉 터널의 굴착에 따라 곡선의 변위가 완만해져서 수렴하는 지점은 굴착 영향 범위를 지나서 안정상태가 되었음을 의미한다. 따라서 일반적으로 응력의 재분배가 끝나고 평형상태가 된 지반에 대해서 2차 라이닝 타설 등의 추가적인 작업을 하게 된다. 최근 이러한 변위 수렴 위치를 초기에 예측하고 발파에 의한 영향도를 정량적으로 평가하여 터널굴착과 동시에 라이닝을 병행시공하는 급속시공법(REST 연구단, 2006)

*Corresponding author: ysseo@cnu.ac.kr

이 연구되고 있으며, 이러한 공법이 성공적으로 적용된다면 공사 기간의 단축 등으로 인해 저비용 · 고효율의 터널시공이 가능할 것이다.

관리도(control chart)는 1924년 미국 Bell 전화연구소의 W. A. Shewhart에 의해 최초로 제안된 이론이다. 그 후 관리도는 많은 연구와 발전을 거듭하여 오늘날에는 제조 공정에서 품질관리를 위한 중요한 도구로 이용되고 있다. 그 중 가장 성공적인 결과는 Page(1954)가 제안하고 Brook and Evans(1972)가 발전시킨 누적합(CUSUM) 관리도, Lucas and Saccucci(1990)가 집대성한 지수이동평균(EWMA) 관리도, 그리고 Prabhu et al.(1994) 및 Costa(1997)가 제안한 적응형 관리도 등이 있다. 관리도는 시간에 따른 특정결과의 변화과정을 통계적으로 관리하는데 널리 사용되어 왔으며, 또한 변화과정의 모수들을 추정하고 그 추이를 분석하는데 효과적인 이론이다.

본 연구에서는 퇴적암을 기반으로 하는 OO터널 199곳의 계측지점에 대하여 시간에 따라 변화하는 계측 결과를 관리도 기법을 이용하여 통계적으로 분석함으로써 암반등급별로 막장으로부터의 변위 수렴 위치를 산정하였다.

통계 관리도 기법

관리도의 기본개념 및 최적 관리도 선정

관리도는 어떤 공정의 상태를 나타내는 품질특성치를 이용하여 품질변동에 영향을 끼치는 원인을 신속히 판별하여, 이상원인에 일련의 조치를 취하여 공정을 관리 상태로 유지시킬 수 있는 통계적 방법이다. 즉, 우연원인으로 인한 산포와 이상원인으로 인한 산포를 구분할 수 있도록 중심선의 상하에 합리적인 판단을 내릴 수 있는 통계적인 관리한계선(관리상한선, 관리하한선)을 결

정한 다음, 공정의 상태를 나타내는 품질 특성치(측정치, 데이터)를 타점하여 공정 중 이상원인이나 우연원인을 신속히 발견할 수 있는 기법이다. 관리도는 데이터의 유형, 관리 유형, 적용 유형에 따라 여러 가지 방법으로 분류된다. 데이터의 유형에 따라 관리도는 계량형 관리도와 계수형 관리도로 분류할 수 있으며 다양한 관리도를 정리하면 Table 1과 같다.

본 연구에서 관리도 기법을 적용하는 목적은 터널 굴착 중 변위의 수렴 지점을 찾기 위함이다. 따라서 관리되어야 할 측정값은 계측에 의해 측정된 변위값이 된다. 따라서 온도, 압력, 인장 강도, 무게 등의 계량치의 품질 특성에 대한 관리도인 계량형 관리도가 적합하다. 그리고 터널 변위의 변동 특성을 분석해야 하기 때문에, 적용 유형에 따라서는 공정 변동을 관리하는 R, S, MR 관리도가 적합하다. 이들 중 $x-MR$ 관리도는 일일 또는 수일간 걸쳐 자료를 1개 밖에 얻을 수 없는 경우 사용하는 1군 1점의 관리도이다. 즉, 1회에 1개 자료 밖에 얻을 수 없거나 자료의 발생간격이 긴 공정관리에 이용한다. 터널에서 1개의 계측판에 대한 1회 계측마다 1개의 계측 결과가 산출되고 초기 계측 횟수가 1회/일 정도인 점을 감안한다면 본 연구에서는 $x-MR$ 관리도가 최적 관리도로 판단된다.

$x-MR$ (Moving Range) 관리도

x 관리도는 제품의 품질을 관리할 목적으로 개개의 측정값을 하나의 점으로 기입하는 관리도이다. x 관리도에서는 한 개의 측정값이 얻어지면 곧 관리도에 점으로 기록되므로, 각각의 측정으로부터 공정의 안정상태의 판정이 가능하고 조치까지 시간적으로 지연이 없는 것이 특징이다. x 관리도는 측정값을 합리적인 군으로 나눌 수 없는 경우 MR 관리도를 병행하여 함께 사용한다. 이것을 $x-MR$ 관리도라 부른다.

Table 1. Classification of quality control(QC) chart by data types.

Quantitative data	Qualitative data
\bar{x} (sample mean) QC chart	p (fraction defectives) QC chart
R (range) QC chart	np (number of defectives) QC chart
x (individual data) QC chart	c (number of defects) QC chart
R_s (range of adjacent data) QC chart	u (number of defect per unit) QC chart
\tilde{x} (median) QC chart	
s (standard deviation) QC chart	
MR (moving range) QC chart	
MA (moving average) QC chart	
$EWMA$ (exponentially weighted moving average) QC chart	
$CUSUM$ (cumulative sum) QC chart	

개개의 데이터 x_1, x_2, \dots, x_n 이 $N(\mu, \sigma^2)$ 의 공정에서 얻어졌다면, x -MR 관리도의 관리한계선은 다음과 같이 주어진다.

$$UCL = \mu + 3\sigma$$

$$LCL = \mu - 3\sigma$$

여기서, μ 는 측정값의 평균치이며 σ 는 표준편차이다.

이들의 추정값은 $\hat{\mu} = \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$, $\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$ 의 식으로 구할 수 있다.

그러나 개별 측정값의 관리도에서는 범위를 계산할 수 없으므로, 이 경우에는 인접한 두 측정치 사이의 차이인 이동범위(moving range, MR)를 사용한다. 이동범위의 수는 $n-1$ 개 이므로 이동범위의 평균 \overline{MR} 는 다음과 같이 계산된다.

$$\overline{MR} = \frac{\sum MR}{n-1}$$

이 때 범위를 구하는데 사용된 데이터의 수는 2개이므로 관리도용 계수표에서 $d_2=1.128$ 이다. 따라서 실제로 사용되는 x 관리도의 중심선과 관리한계선은 다음과 같다.

$$CL = \overline{MR}$$

$$UCL = \bar{x} + 3\left(\frac{MR}{d_2}\right) = \bar{x} + \frac{3MR}{1.128} = \bar{x} + 2.66\overline{MR}$$

$$LCL = \bar{x} - 3\left(\frac{MR}{d_2}\right) = \bar{x} - \frac{3MR}{1.128} = \bar{x} - 2.66\overline{MR}$$

MR 관리도의 경우에는 이동범위를 구하는데 2개의 데이터만 사용되었으므로 관리도용 계수표에서 $D_4=3.27$ 이고, D_3 은 값이 없으므로 생각할 필요가 없다. 따라서 MR 관리도의 중심선과 관리한계선은 다음과 같이 계산된다.

$$CL = \overline{MR}$$

$$UCL = D_4\overline{MR} = 3.27\overline{MR}$$

$$LCL = \text{미고려}$$

x -MR 관리도의 작성 방법은 다음과 같다.

[단계 1] 데이터 수집 : 약 $k=20\sim 25$ 군으로부터 각각 1개씩의 시료를 채취하여 측정한다.

[단계 2] \bar{x} , MR, \overline{MR} 을 계산한다.

$$\bar{x} = \frac{\sum s_i}{k}$$

$$MR_{si} = |i \text{ 번째 측정치} - (i+1) \text{ 번째 측정치}|$$

[단계 3] x -MR 관리도의 관리한계선을 계산한다.

[단계 4] 관리한계선과 점을 기입하고 관리 상태를 조사한다.

관리도 작성 및 판정

터널계측결과와 x -MR 관리도 설계

앞서 언급하였듯이 x 관리도는 개개의 측정값을 하나 하나의 점으로 기입하는 관리도를 말한다. OO 터널에서 측정된 각 천단변위 측정값은 부분군의 크기가 $n=1$ 이므로, x 관리도와 MR 관리도를 작성하였다. 관리도 작성은 OO 터널의 총 199개 계측지점에서의 계측결과를 대상으로 하였다. x 관리도는 각 계측지점 당 1개씩 199개를 작성하였다. MR 관리도에서의 이동범위는 5, 10, 15, 20, 25, 30m로 하였으며, 따라서 1개 계측지점 당 6개씩 총 1,194개의 관리도를 작성하였다. 작성된 관리도의 종류와 개수는 Table 2에 요약하였다.

각 개별 MR 관리도를 작성하는 방법은 다음과 같다.

[단계 1] 관측값 x_i 에서 구간 k 를 더하여 구간을 결정한다($i = 1, 2, \dots, n$).

[단계 2] 구간 내에서 자료의 범위 $R_{xi}(x_{imax}-x_{imin})$ 을 구한다.

[단계 3] (y_i, R_{xi})를 관리도에 도시한다($y : k$ 의 시작점).

[단계 4] [단계 1]~[단계 3]의 과정을 다음 관측값(x_{i+1})으로 이동시켜서 반복한다.

[단계 5] [단계 1]~[단계 4]는 $k=5, 10, 15, 20, 25, 30$ 으로 하여 반복한다.

Table 2. Numbers of each control charts divided by tunnel support patterns.

Classification	Support pattern						Total
	I	II	III	IV	V	VI	
x control chart	8	37	100	15	23	16	199
MR control chart	48	222	600	90	138	96	1,194
Total	56	259	700	105	161	112	1,393

상기 내용 중 $k=10$ 인 경우 첫 번째 관측값과 두 번째 관측값에 대한 범위를 구하는 방법을 Fig. 1에 도시하였다.

변위의 수렴 여부를 판별하기 위한 본 연구의 목적상 관리한계선은 관리하한선만 적용하였다. 관리하한선은 공정관리를 위해 일반적으로 사용되는 이론식을 적용하지 않았으며, 막장에서 충분한 거리에서는 계측변위의 진동 폭이 0.5 mm 이내로 판명되어 $R=0.5$ 로 하였다. 그리고 계측 수행 시 발생할 수 있는 오차 및 국지적으로 관리한계선에 포함되는 경우를 감안하여, 연속 3회의 계측값의 범위가 관리한계선 내에 포함될 때 변위가 수렴하는 것으로 판정하였다.

관리도 결과 및 판정

Table 3은 계측지점 MG-2의 각 데이터에 대한 이동 범위를 나타낸 것이다. 이를 바탕으로 작성된 Fig. 2와 Fig. 3은 천단침하의 x 관리도와 $k=5, 10, 15, 20, 25,$

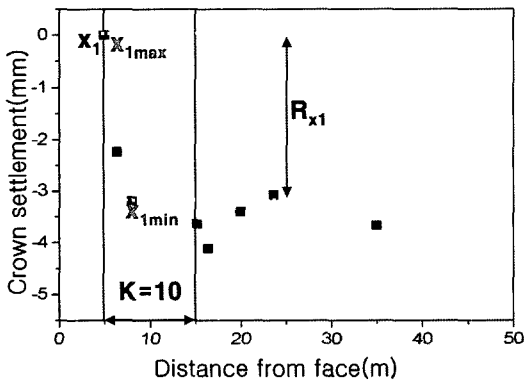
30인 경우의 MR 관리도 결과이다. x 관리도는 막장 거리에 따른 천단침하의 변화 특성을 확인하기 위한 참고 자료로 활용하였으며, 관리 한계선을 설정한 수렴 여부 판정은 MR 관리도를 이용하였다. MR 관리도에서 이동 범위 $k=5, 10, 15, 20, 25$ m인 경우 막장에서의 거리가 약 27 m인 지점에서부터 연속 3개 이상의 값이 관리한계선인 0.5 mm 이내에 포함된다. 그리고 이동범위 $k=30$ m인 경우는 수렴 지점이 약 37 m이다.

x 관리도에서 막장 거리가 증가할수록 변위가 서서히 줄어들다가 약 100 m 지점에서 변위가 커지는 경향이 보인다. 이로 인해 MR 관리도 중 $k=20, 25, 30$ m인 경우, 수렴되었던 변위가 동일 지점에서 관리한계선을 다시 넘는 양상을 보인다. 이는 계측의 오류 및 이상대의 출현 등과 같은 이상 현상으로 판단하여 관리도를 판정할 때 무시하였다.

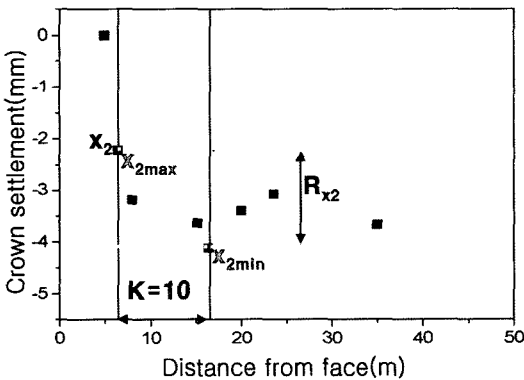
OO 터널의 4등급 지반의 계측지점 15개소에 대한 천단침하 MR 관리도 중 $k=10$ 인 경우를 Fig. 4에 도시하였다. Fig. 4(b)는 수렴 위치 부분을 확대하여 나타낸 것이다. 수렴 위치는 각 데이터별로 크게 차이가 나지 않으며 10~30 m 범위에 해당되는 것을 알 수 있다. Table 4는 4등급 지반의 이동범위에 따른 관리도 판정 결과를 요약한 것이다. k 의 값이 커질수록 수렴지점은 막장에서 다소 멀어진다. 각 계측지점별 평균 수렴 지점은 7.0~41.2 m이며, 4등급 지반의 전체 평균은 20.3 m이다.

결과 분석 및 토의

상기 절에 언급된 방법에 의한 OO 터널의 1194개소



(a) $i = 1$



(b) $i = 2$

Fig. 1. Method of drawing up of MR control chart ($k=10$).

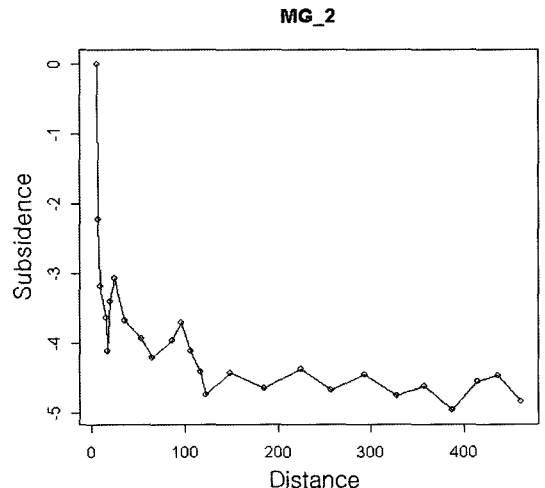


Fig. 2. x control chart of IV class rock mass.

Table 3. Moving ranges of MG-2 for x-MR control chart.

i	TH	Distance	5			10			15			20			25			30		
			Last TH	End	Range (mm)	Last TH	End	Range (mm)	Last TH	End	Range (mm)	Last TH	End	Range (mm)	Last TH	End	Range (mm)	Last TH	End	Range (mm)
1	5	0.000	3	10	3.184	3	15	3.184	6	20	4.116	7	25	4.116	7	30	4.116	8	35	4.116
2	6.4	-2.229	3	11.4	0.955	5	16.4	1.886	6	21.4	1.886	7	26.4	1.886	7	31.4	1.886	8	36.4	1.886
3	8	-3.184	3	13	0.452	5	18	0.931	6	23	0.931	7	28	1.042	7	33	1.042	8	38	1.042
4	15.2	-3.636	6	20.2	0.713	7	25.2	1.042	7	30.2	1.042	8	35.2	1.042	8	40.2	1.042	8	45.2	1.042
5	16.4	-4.116	6	21.4	0.713	7	26.4	1.042	7	31.4	1.042	8	36.4	1.042	8	41.4	1.042	8	46.4	1.042
6	20	-3.403	7	25	0.329	7	30	0.329	8	35	0.596	8	40	0.596	8	45	0.596	8	50	0.596
7	23.6	-3.074	7	28.6	0.596	7	33.6	0.596	8	38.6	0.596	8	43.6	0.596	8	48.6	0.596	9	53.6	0.868
8	35	-3.670	8	40	0.272	8	45	0.272	8	50	0.272	9	55	0.272	9	60	0.272	10	65	0.536
9	52.8	-3.942	9	57.8	0.264	9	62.8	0.264	10	67.8	0.264	10	72.8	0.264	10	77.8	0.264	10	82.8	0.264
10	64.8	-4.206	10	69.8	0.245	10	74.8	0.245	10	79.8	0.245	10	84.8	0.245	11	89.8	0.245	11	94.8	0.245
11	86	-3.961	11	91	0.261	12	96	0.261	12	101	0.261	13	106	0.411	13	111	0.411	13	116	0.411
12	95.2	-3.700	12	100.2	0.411	12	105.2	0.411	13	110.2	0.411	13	115.2	0.411	14	120.2	0.715	15	125.2	1.044
13	105.6	-4.111	13	110.6	0.304	13	115.6	0.304	14	120.6	0.304	15	125.6	0.634	15	130.6	0.634	15	135.6	0.634
14	116.5	-4.415	14	121.5	0.330	15	126.5	0.330	15	131.5	0.330	15	136.5	0.330	15	141.5	0.330	15	146.5	0.330
15	122.2	-4.744	15	127.2	0.312	15	132.2	0.312	15	137.2	0.312	15	142.2	0.312	15	147.2	0.312	16	152.2	0.312
16	148.7	-4.433	16	153.7	0.220	16	158.7	0.220	16	163.7	0.220	16	168.7	0.220	16	173.7	0.220	16	178.7	0.220
17	184.7	-4.653	17	189.7	0.283	17	194.7	0.283	17	199.7	0.283	17	204.7	0.283	17	209.7	0.283	17	214.7	0.283
18	225	-4.370	18	230	0.300	18	235	0.300	18	240	0.300	18	245	0.300	18	250	0.300	18	255	0.300
19	256.7	-4.670	19	261.7	0.214	19	266.7	0.214	19	271.7	0.214	19	276.7	0.214	19	281.7	0.214	19	286.7	0.214
20	292.7	-4.456	20	297.7	0.296	20	302.7	0.296	20	307.7	0.296	20	312.7	0.296	20	317.7	0.296	20	322.7	0.296
21	326.7	-4.753	21	331.7	0.126	21	336.7	0.126	21	341.7	0.126	21	346.7	0.126	21	351.7	0.126	22	356.7	0.126
22	356.7	-4.627	22	361.7	0.339	22	366.7	0.339	22	371.7	0.339	22	376.7	0.339	22	381.7	0.339	23	386.7	0.339
23	386.7	-4.966	23	391.7	0.421	23	396.7	0.421	23	401.7	0.421	23	406.7	0.421	23	411.7	0.421	24	416.7	0.421
24	414.7	-4.545	24	419.7	0.072	24	424.7	0.072	24	429.7	0.072	24	434.7	0.072	25	439.7	0.072	25	444.7	0.072
25	436.2	-4.473	25	441.2	0.369	25	446.2	0.369	25	451.2	0.369	25	456.2	0.369	26	461.2	0.369	26	466.2	0.369

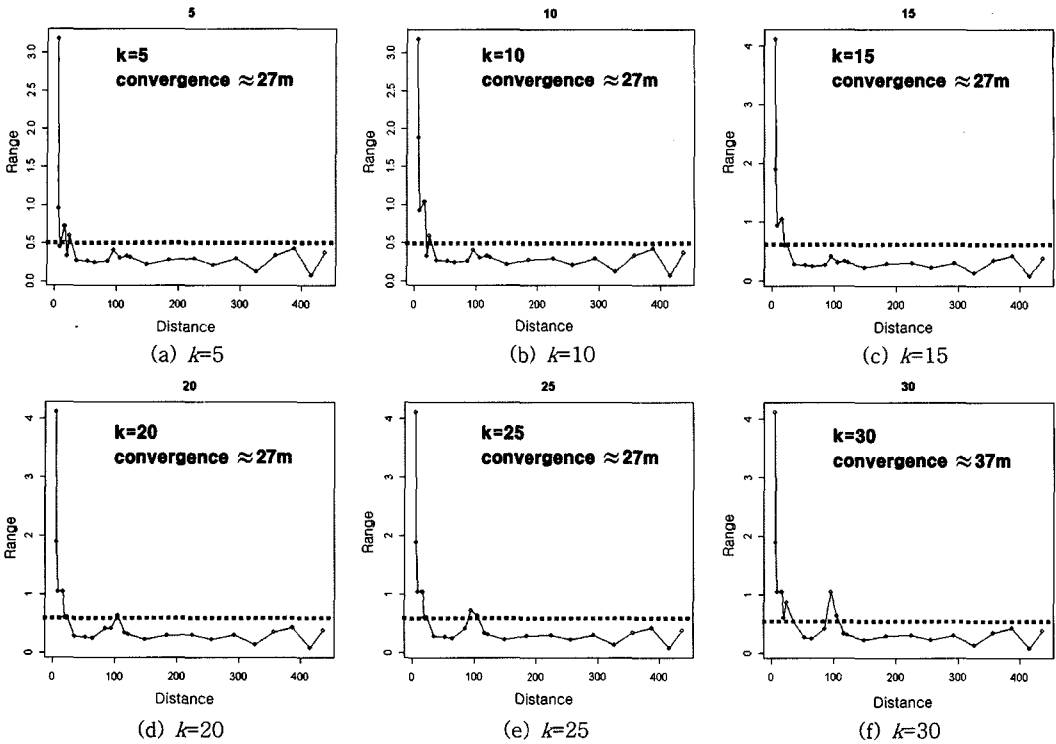


Fig. 3. MR control chart of MG-2 among IV class rock mass.

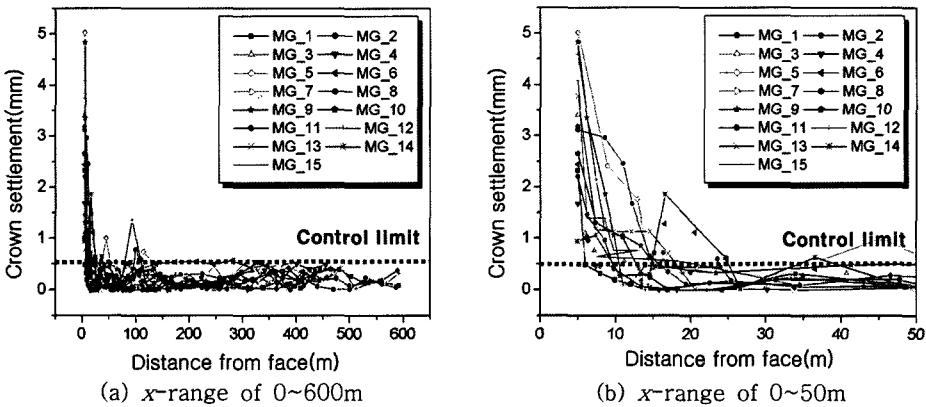


Fig. 4. MR Control charts of IV class rock mass ($k = 10$).

계측지점에 대한 암반 등급별 천단침하 관리도 판정 결과는 Table 5에 요약하였다. 수렴 지점은 막장에서부터의 거리가 5~172 m 이며, 최소값과 최대값 부근의 결과들은 데이터의 분포특성에 따른 오차로 판단된다. 암반 등급별 평균 수렴 위치는 II 등급 지반이 30.4 m 로 막장에서부터의 거리가 가장 크며, VI 등급 지반이 12.5 m로 가장 작다. 각 지반 등급 별 평균 천단침하량

과 막장으로 부터의 평균 수렴 거리는 Table 6과 같이 대체로 비례관계를 보인다. 암반 상태가 가장 양호한 I 등급의 평균 천단침하는 4.74 mm 이며 막장에서부터의 변위 수렴 거리는 22.7 m 이다. 반면에 단층대, 연약대 등이 분포하는 VI등급 지반은 2.50 mm 의 가장 작은 평균 침하량과 12.5 m 의 평균 수렴 거리를 보인다. 이는 낮은 암반 등급일수록 그에 적합한 보강패턴을 적용

Table 4. Results of MR control charts for IV class rock mass.

Range	Mg -1	Mg -2	Mg -3	Mg -4	Mg -5	Mg -6	Mg -7	Mg -8	Mg -9	Mg -10	Mg -11	Mg -12	Mg -13	Mg -14	Mg -15	Max.	Min.	Av.
k=5	6	27	17	7	17	9	6	16	16	12	10	10	19	39	21	39	6	15.5
k=10	6	27	17	7	17	31	6	16	16	12	10	10	19	39	21	39	6	16.9
k=15	6	27	17	7	53	31	6	16	16	12	10	10	19	39	21	53	6	19.3
k=20	11	27	17	7	53	31	24	16	16	12	10	10	19	39	21	53	7	20.9
k=25	11	27	17	7	53	31	24	16	63	12	10	10	19	39	21	63	7	24.0
k=30	11	37	19	7	54	34	24	16	63	12	10	10	19	40	21	63	7	25.2
Max.	11	37	19	7	54	34	24	16	63	12	10	10	19	40	21	63	-	-
Min.	6	27	17	7	17	9	6	16	16	12	10	10	19	39	21	-	6	-
Av.	8.5	28.8	17.3	7.0	41.2	27.8	15.0	16.0	31.7	12.0	10.0	10	19.0	39.2	21.0	-	-	20.3

Table 5. The summary of the distance of displacement convergent point from face using MR control charts.

Support type	Number of monitoring points	Number of MR control charts	Convergent point (m)		
			Max.	Min.	Av.
I	8	48	49	5	22.7
II	37	222	97	6	30.4
III	100	600	172	5	29.0
IV	15	90	63	6	20.3
V	23	138	78	5	13.8
VI	16	96	25	6	12.5
Total	199	1194	172	5	25.3

Table 6. Average crown settlement and the distance of displacement convergent point from face for support type.

Support type	Average crown settlement (mm)	Distance of displacement convergent point (m)
I	4.74	22.7
II	4.27	30.4
III	4.56	29.0
IV	4.00	20.3
V	3.40	13.8
VI	2.50	12.5

함으로써, 원래의 더 좋은 등급의 암반보다 더 양호한 상태가 되었음을 의미한다. 각 등급별 최대 수렴거리는 I등급부터 VI 등급까지 49 m, 97 m, 172 m, 63 m, 78 m, 25 m 로 나타났다. III 등급지반의 경우 최대 172 m 의 수렴거리를 보이고 있으나, 특정 1개소에서 나타난 값으로서 이를 제외한다면 약 100 m 내에서 모두 수렴되는 것으로 분석되었다.

결 론

터널은 굴착에 따른 응력의 재분배가 이루어지는 동

안 변형을 일으키며, 이후 재 평형상태가 됨으로써 안정화된다. 본 연구에서는 터널의 변위가 수렴되는 지점, 즉 안정화 되는 시점을 추정하기 위하여 퇴적암을 기반으로 하는 OO 터널의 199개의 계측지점의 천단침하 분포 특성을 대상으로 관리도 기법을 적용하였다. 총 1393개의 x 관리도와 MR 관리도를 작성하였으며, 관리한계선을 설정하여 수렴 여부를 판정하였다.

(1) 1개의 계측지점에 대해 1회 계측 시 1개의 계측 결과가 산출되고 초기 계측 횟수가 1회/1일 인 점을 감안하여, 1군 1점의 x -MR 관리도를 변위 수렴성 판정을 위한 최적 관리도로 선정하였다.

(2) 막장에서 충분한 거리에서는 계측변위의 진동 폭이 0.5 mm 이내이다. 따라서 계측 수행 시 발생할 수 있는 오차와 일시적으로 작은 진동 폭을 가지는 경우를 고려하여, 연속 3회 계측값의 이동범위가 0.5 mm 이내에 포함되는 경우를 계측 변위의 수렴 여부를 판별하기 위한 관리한계선으로 설정하였다.

(3) 관리도 판정 결과 OO 터널의 변위 수렴은 막장으로부터 25.3 m 떨어진 지점에서 이루어 졌다. 각 암반 등급별 평균 변위 수렴 지점은 I, II, III, IV, V, VI 등급에서 각각 22.7m, 30.4m, 29.0m, 20.3m, 13.8m, 12.5 m 이다. 이 값은 암반 등급에 따른 평균 천단침하량과 대체적으로 비례한다. 하지만 변위 수렴지점의 최대값은 49 m, 97 m, 172 m, 63 m, 78 m, 25 m 로 나타났다.

사 사

본 연구는 건설교통부의 2005년 건설핵심기술연구개발사업인 "IT 및 신소재를 활용한 급속 안정화 터널시공기술개발(과제번호:C105A1020001-05A0502-00240)" 연구사업의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 터널의 이론과 실무, 2004, 한국터널공학회.
 REST 연구단, 2006, IT 및 신소재를 활용한 급속안정
 화 터널시공기술개발 성과발표회 논문집.
 Brook, D. and Evans, D. A., 1972, An Approach to the
 Probability Distribution of CUSUM Run Length,
 Biometrika, 59, pp.639-549.
 Costa, A. F. B., 1997, X Chart with Variable Sample Size
 and Sampling Interval, Journal of Quality Technol-
 ogy, 29, pp.197-204.
 Lucas, J. M. and Saccucci, M. S., 1990, Exponentially
 Weighted Moving Average Control Schemes; Prop-
 erties and Enhancements, Technometrics, 32, pp.1-12.
 Page, E. S., 1954, Continuous Inspection Schemes,
 Biometrika, 41, pp.100-114.
 Prabhu, S. S., Montgomery, D. C. and Runger, G. C.,
 1994, A Combined Adaptive Sample Size and Sam-
 pling Interval X Control Scheme, Journal of Quality
 Technology, 26, pp.164-176.

2007년 4월 25일 원고접수, 2007년 6월 14일 게재승인

임성빈

충북대학교 지구환경과학과
 361-763, 충북 청주시 흥덕구 성봉로 410(개신동)
 Tel: 043-261-2765
 Fax: 043-273-9645
 E-mail: bins123@hanmail.net

김성권

충북대학교 지구환경과학과
 361-763, 충북 청주시 흥덕구 성봉로 410(개신동)
 Tel: 043-261-2765
 Fax: 043-273-9645
 E-mail: 302bedal@hanmail.net

서용석

충북대학교 지구환경과학과
 361-763, 충북 청주시 흥덕구 성봉로 410(개신동)
 Tel: 043-261-2765
 Fax: 043-273-9645
 E-mail: ysseo@cbu.ac.kr

박시현

한국시설안전기술공단 지하시설실
 411-758, 경기도 고양시 일산서구 대화동 2311
 Tel: 031-910-4085
 Fax: 031-910-4178
 E-mail: parksh@kistec.or.kr