

수량화방법 I을 이용한 퇴적암 터널의 지질 인자별 변위 영향도 분석

임성빈¹ · 서용석^{1*} · 김창용² · 김광엽²

¹충북대학교 지구환경과학과

²한국건설기술연구원 국토지반연구부

A Study on Geological Factors Affecting Behavior of Sedimentary Rock Tunnel Using Quantification Method Type I

Sung-Bin Yim¹, Yong-Seok Seo^{1*}, Chang-Yong Kim², and Kwang-Yoem Kim²

¹Department of Earth & Environmental Sciences, Chungbuk National University

²Korea Institute of Construction Technology, Dept. Geotechnical Engineering Research

터널 시공 중 일상적으로 수행되는 계측에 의해 정량화되는 터널의 거동은 안정성 평가를 위한 주요한 항목이며, 이는 지역적인 지질학적 특성에 크게 의존한다. 본 연구에서는 지질학적 특성 차에 의한 RMR 항목별 터널 거동에 미치는 영향도를 분석하기 위하여, 터널의 face mapping 자료와 계측자료를 각각 설명변수와 종속변수로 한 수량화 분석을 실시하였다. 분석 결과, RMR 인자가 터널의 변위에 미치는 중요도의 평균은 R1, R2, R3, R4, R5 각각 17.0%, 20.4%, 20.4%, 11.6%, 30.6%로서, 이는 분석지역의 지하수특성이 변위에 크게 영향을 미친 것으로 판단된다.

주요어 : RMR, 수량화방법I, 편상관계수, SAS

Tunnel behavior measured by monitoring during construction is a main item for safety evaluation and it depends widely upon local geological characteristics. To assess in this study how much the geological factors influence on tunnel behavior for each RMR factor, a quantification analysis was carried out using tunnel face maps and measurements as explanatory variables and dependent variables, respectively. The results showed that average significance of the influence of RMR factors - R1, R2, R3, R4 and R5, on tunnel displacements are 17.0%, 20.4%, 20.4%, 11.6% and 30.6%, respectively, and this probably indicates that the groundwater condition played a significant role for the tunnel displacement.

Key words : RMR, quantification method type I, partial correlation coefficient, SAS

서 론

터널계측은 굴착에 따른 주변 지반의 거동 및 각 지보재의 역학적 특성을 파악하여 안전하고 경제적인 터널 시공을 하는데 필수적인 요소이며, 계측기술은 NATM 터널시공의 핵심기술이라 할 수 있다. 그리고 계측에 의해 가시화 및 정량화되는 터널 내 지반거동은 터널의 안정성 평가에 있어서 중요한 항목 중 하나이다. 터널의 거동은 터널을 구성하는 암반의 지질학적 특성에 의존하며, 특히 암반의 이방성에 의해 영향을 받는다.

특히 점판암, 편암 및 셰일 등과 같이 암석 내부에 층리와 엽리 등의 뚜렷한 층상구조가 발달한 지반이라던지, 단층대 등과 같이 연약대가 분포할 경우 지역적인 지질학적 특수성이 지반의 거동에 큰 영향을 미치게 된다.

최근에는 지질학적 특수성을 고려한 암반분류 연구가 활발히 이루어지고 있다(Moon *et al.*, 2001; Yasar, 2001; Kim & Yang, 2004). 본 연구에서는 암반의 등급을 결정하는데 있어서 지질학적 특수성이 고려되는 점에 착안하여 터널굴착 변위에도 지질학적 특수성이 영향을 미친다고 판단하고, 이들 지질학적 요소가 터널 거동에 미

*Corresponding author: ysseo@cbu.ac.kr

치는 영향을 정량적으로 분석하기 위하여 수량화 분석을 실시하였다. 수량화 분석에는 현장에서 측정된 터널의 천단침하량과 막장관찰로부터 얻은 RMR 구성인자를 각각 연속형 외적기준과 설명변수로 하는 수량화 방법을 적용하였다. 이를 통하여 RMR 구성 인자들의 터널 변위 영향도를 산정하였으며, 그 원인에 대해 분석하였다.

연구지역의 지질공학적 특성

퇴적암을 기반으로 하는 OO 터널은 중생대 백악기 경상누층군 중 하양층군의 퇴적암류로 이루어져 있으며, 부분적으로 관입한 불국사 화강암으로 구성된다. 또한 화강암의 관입으로 인한 접촉열변성작용으로 인해 혼펠스화 된 부분도 나타난다. 대상지역에 넓게 분포하는 퇴적암류는 주로 적색, 녹회색 및 암회색을 띠는 사암과 셰일이 교호하며, 층리가 잘 발달해 있다.

연구지역의 불연속면 특성

조사지역을 구성하는 암반의 지질공학적 특성을 연구하기 위하여, OO 터널 인근 지역의 노두를 대상으로 불연속면에 대한 조사를 수행하였다. 조사는 ISRM(1978)에서 제안된 항목과 방법에 근거하여 수행하였으며, 결과는 Table 1에 요약하였다. 16/184 방향의 층리가 긴 연장성을 가지며 조밀하게 발달해 있으며, 나머지 고각의 절리군들은 상대적으로 넓은 간격을 가지며 작은 규모로 나타난다. 전체적으로 보통 풍화 상태로 강한 강도를 가지며, RQD는 50%를 넘어서 양호한 편이다. 절리의 틈 간격이 고각의 절리군에서 다소 크지만, 이들 절리군은 발달 정도가 미약하기 때문에 암반의 안정성에는 크게 영향을 주지 않을 것이다.

OO 터널 막장의 RMR 분류

OO 터널 시공 중 1,547개 막장에 대해서 막장관찰이 수행되었으며, 이와 병행하여 각 막장에 대한 RMR 분류를 실시하였다. 조사된 막장의 암반 등급별 RMR 인자의 배점 빈도수 및 분포특성을 Fig. 1에 나타내었으며, 각 암반 등급별 RMR 인자의 통계적 배점 특성을 Table 2에 나타내었다. RMR 값의 범위는 16~79점이며, 이는 II~V등급에 해당된다. RMR 분류의 구성 인자인 무결암의 일축압축강도(R1), RQD(R2), 절리 간격(R3), 절리면 상태(R4), 지하수 상태(R5)의 평균 배점은 각각 10.6, 10.5, 10.1, 10.6, 9.3이다. 이들의 합인 기초 RMR(RMR_b)의 평균은 51.1이며, 이는 3등급에 해당된다. 각 인자의 평균 배점은 암반 등급이 양호해질수록 높아지며, 특히 무결암의 강도(R1), RQD(R2), 절리면의 상태(R4)는 III등급과 IV등급 간의 차이가 비교적 크다. RMR 인자의 표준편차는 절리면의 상태(R4)가 4.4로 가장 크며, 지하수 상태(R5)가 2.6으로 가장 낮은 값을 보인다. 각각의 표준편차는 대체적으로 RMR 분류에서 할당된 각 인자의 배점과 비례한다. 이는 할당된 배점이 높은 항목일수록 전체 RMR 값에 더 큰 영향을 주었음을 의미한다.

암반등급에 따른 터널 거동 특성

RMR 분류에 의한 암반 평가 결과와 터널 변위간의 관계를 살펴보기 위해, Fig. 2와 같이 RMR 값과 터널 천단침하간의 관계를 그래프로 도시하였다. 일반적으로 무보강 지반에서는 RMR 값이 낮을수록 터널의 천단침하량은 커진다. 하지만 Fig. 2는 보강된 지반의 측정치를 나타낸 것이므로 RMR 값의 변화는 터널 변위와 큰 상관성을 보이지 않으며, 오히려 약간 반비례하는 양상

Table 1. The characteristics of discontinuities in the study area.

Field index	SET1		SET2		SET3		Total	
	Mean	ISRM	Mean	ISRM	Mean	ISRM	Mean	ISRM
Orientation	16/184	-	79/285	-	80/033	-	-	-
Spacing(cm)		Close	23.4	Moderate	24.1	Moderate	23.9	Close
Persistence(m)	17.0	Medium	2.41	Low	2.88	Medium	7.51	Very low
Roughness	-	IV,V	-	V	-	V	-	V
JCS(MPa)	57.1	Strong	66.9	Strong	62.3	Strong	62.9	Strong
Aperture(mm)	0.8	Very tight	1.27	Open	1.18	Open	1.08	Open
Seepage	-	I	-	I	-	I	-	I
Weathered	-	III	-	III	-	III	-	III
RQD(%)	58.5	Fair	58.5	Fair	58.5	Fair	58.5	Fair

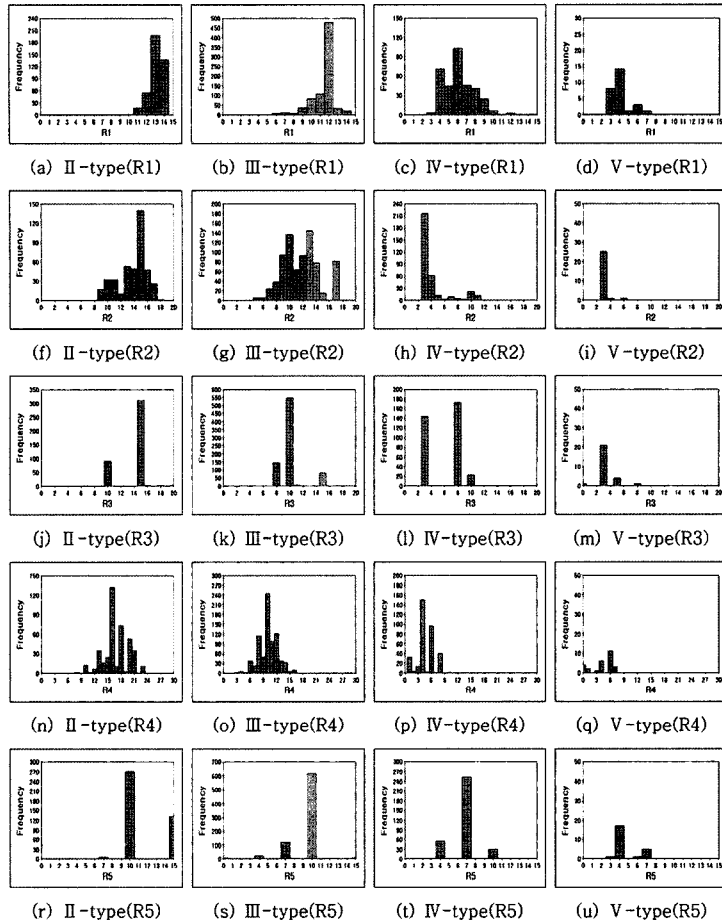


Fig. 1. Histograms showing frequencies of RMR values by each rock mass grade.

을 보인다. 이는 RMR 분류에 의해 평가된 암반 등급에 따라 적용된 보강효과에 의한 것으로 판단된다. 동일 암반등급 내에서의 변위가 크게 차이를 보이는 것은 해당막장의 지질학적 특성이 반영된 결과라고 할 수 있다. 따라서 보강된 지반의 변위와 지질학적 특성과의 상관성을 평가하기 위하여 수량화 방법 I에 의한 통계분석을 실시하였다. 계측결과에는 다소의 측정오차가 있을 수 있지만 본 평가에서는 이를 무시하였다.

변위영향도 분석을 위한 수량화 해석

수량화 방법 I은 외적기준이 양적이고 설명변량이 질적인 경우 설명변량의 범주들을 수량화 한다. 수량화 방법의 목적은 외적기준과 가장 큰 상관성(correlation)을 갖는 설명변량들의 선형결합을 찾는 것이다. 그런데 설

명변수가 범주형인 경우에는 원래의 코드값을 그대로 사용할 수 없으므로 0과 1의 값만을 취하는 변수, 즉 가변수(dummy variable)로 변환하여 선형결합을 실시한다(허명희, 1998).

본 연구에서는 RMR 분류 인자인 일축압축강도(R1), RQD(R2), 절리 간격(R3), 절리면 상태(R4), 지하수 상태(R5)가 터널의 천단침하에 영향을 미치는 영향도를 알아보기 위하여 수량화 방법 I을 적용하였다. 이를 위해 OO 터널의 203개소의 계측결과와 계측편의 위치와 가장 근접한 막장의 RMR 분류 결과를 활용하였다. 즉, 통계처리를 위해 계측결과 중 최종적인 천단침하량을 외적기준으로 하였으며, 각각의 RMR 인자들을 설명변수로 설정하였다. 설명변수 R1~R5는 특성치 구분에 따라 측정된 점수를 RMR 분류표에 근거하여 범주화 하였으

Table 2. Statistical characteristics of RMR factors by each rock mass grade.

Rock type	Number	Factor	Statistical characteristics				
			Mean rating	Median rating	Mode rating	Standard deviation	Range of rating
II	408	R1	13.1	13	14	0.82	6
		R2	13.8	15	15	2.15	9
		R3	13.9	15	15	2.14	10
		R4	16.9	16	16	2.81	15
		R5	11.6	10	10	2.41	11
		RMR _b	69.3	69	72	3.59	18
III	774	R1	11.5	12	12	1.25	8
		R2	11.7	12	10	2.70	12
		R3	10.1	10	10	1.80	7
		R4	10.1	10	10	2.09	13
		R5	9.3	10	10	1.70	15
		RMR _b	52.8	54	58	5.48	19
IV	341	R1	6.1	6	6	1.66	9
		R2	4.2	3	3	2.27	8
		R3	6.0	8	8	2.66	10
		R4	4.7	4	4	1.89	9
		R5	6.8	7	7	1.50	6
		RMR _b	27.8	28	21	6.45	19
V	24	R1	3.8	4	4	0.82	3
		R2	3.0	3	3	0.00	0
		R3	3.3	3	3	0.76	2
		R4	4.1	5	6	2.43	7
		R5	4.7	4	4	1.31	4
		RMR _b	18.9	10	20	1.67	4
Total	1,547	R1	10.6	12	12	2.96	13
		R2	10.5	11	3	4.40	15
		R3	10.1	10	10	3.56	20
		R4	10.6	10	10	4.88	23
		R5	9.3	10	10	2.56	16
		RMR _b	51.1	55	59	15.88	63

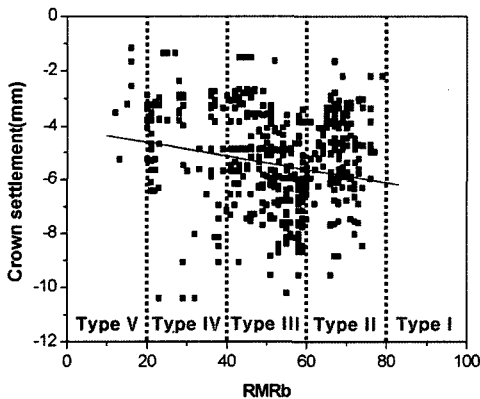


Fig. 2. Relationship between RMR values and crown settlements.

며, 그 결과는 Table 3과 같다.

수량화 방법

수량화 분석을 위해 통계프로그램인 SAS를 사용하였다. SAS의 PRO GLM을 사용하면 가변수들을 만들어 줄 필요가 없으며, PRO GLM의 CLASS문에서 가변수화 해야 될 변수명을 선언해 주면 되기 때문에 분석이 용이하다. 일반적으로 각 설명변량의 중요도를 평가하는 지표로서 수량화 값의 범위, 또는 수량화된 변수들 사이의 편상관이 사용된다. 범위(range)란 각 설명변량 내 범주들의 수량화 값을 중에서 최대값과 최소값의 차이이다. 범위가 큰 설명변량은 수량화에 있어 상대적으로 큰 기여를 하는 것으로 생각된다. 이는 설명변량 각각이 외적기준의 척도에서 수량화 값의 범위만큼 차이를 벌리기 때문이다.

설명변량의 중요도를 평가하는 다른 지표인 수량화

Table 3. Categorized explanatory variables.

Dummy variable		A tunnel(n = 203)		
		Frequency	Percentage	
Strength of intact rock (R1)	var1	1	52	25.6
		2	112	55.2
		3	23	11.3
		4	16	7.9
		5	0	0.0
RQD (R2)	var2	1	0	0.0
		2	60	29.6
		3	94	46.3
		4	16	7.9
		5	33	16.3
Spacing of discontinuities (R3)	var3	1	1	0.5
		2	55	27.1
		3	88	43.3
		4	36	17.7
		5	23	11.3
Condition of discontinuities (R4)	var4	1	0	0.0
		2	51	25.1
		3	103	50.7
		4	47	23.2
		5	2	1.0
Groundwater (R5)	var5	1	17	8.4
		2	127	62.6
		3	42	20.7
		4	16	7.9
		5	1	0.5

변량간의 편상관은 연속형 자료에서 제3의 변량들의 영향을 배제한 상태에서 두 해당변량 간의 순수한 선형적 연관도를 나타낸다. 본 연구에서는 2가지 방법에 의해 편상관을 계산하였다. 첫 번째는 SAS 프로그램을 이용한 방법으로, PROG REG의 MODEL 문에서 PCORR2 옵션을 사용하여 편상관계수를 계산하였다. 두 번째는 식 (1)을 이용하여 종속변량과 설명변량의 제곱편상관을 수작업으로 계산하는 방법이다.

$$Partial\ Corr^2(Y, R_k) = \frac{type\ III\ SS(R_k)}{type\ III\ SS(R_k) + ErrorSS} \quad (1)$$

종속변량 Y 를 설명변량 R_k 이외의 나머지 변량들과 상수항에 의하여 회귀시켰을 때에 잔류하는 오차제곱합($type\ III\ SS(R_k) + ErrorSS$)을 분모로 하고 변량 R_k 에 의해서 추가로 설명되는 제곱합($type\ III\ SS(R_k)$)을 분자로 하여 일종의 편결정계수로 간주할 수 있다.

결과 분석 및 토의

수량화 방법 I을 통한 설명변수, 즉 RMR 인자들의

범주별 원수량화값과 중심화된 수량화값, 그리고 이들을 통해 계산된 범위의 편상관계수를 Table 4에 정리하였다. 또한 범위의 편상관계수를 근거로 계산된 각 RMR 인자의 터널 거동에 미치는 영향도도 함께 나타내었다. Fig. 3은 RMR 배점 체계에서 할당된 각 인자들의 배점과 변위 영향도를 비교한 그래프이다. 범위의 두 가지 방법에 의해 구해진 편상관계수들에 의한 중요도는 무결암의 강도, RQD, 절리간격 항목에서는 큰 차이를 보이지 않지만, 절리면의 상태와 지하수 상태 항목에서는 편차를 가진다. 세 가지 방법에 의한 중요도의 평균은 R1, R2, R3, R4, R5 각각 17.0%, 20.4%, 20.4%, 11.6%, 30.6%이다. 무결암의 강도, RQD, 절리간격은 원래의 RMR 배점과 유사하다. 그러나 절리면의 상태는 RMR 배점 체계에서 30점이 할당된 것에 비하면 매우 낮다. 반대로 RMR 배점체계에서 15점이 할당된 지하수 상태는 변위 중요도가 30.6%로 매우 높은 값을 보인다.

RMR 분류는 지역적인 지질학적 특성을 반영하지 않는 획일적인 기준에 의해 암반을 평가하는 기법이다. 현재 터널에서의 안정성 평가에 RMR 분류가 널리 적용되고 있으며, 모든 암종과 지질조건에서 암반은 이 방법에 의해 평가된다. 터널의 안정성이 변위에 의해 크게 좌우되며 변위를 일으키는 주체인 암반에 대한 평가법이 RMR 분류임을 감안한다면, 보편적인 암석의 지질 인자별 변위 영향도는 RMR 분류체계에서 할당된 배점과 같은 것으로 간주되어 왔다고 할 수 있다. 따라서 이 가정을 근거로 하면, 본 연구지역인 퇴적암을 기반으로 하는 OO터널의 거동은 일반적인 경우에 비해서 절리면 상태에 의해서는 상대적으로 적은 영향을 받으며, 지하수 상태에 크게 영향을 받는다. 이는 연구지역이 가지는 지역적인 지질특성에서 원인을 찾을 수 있다. 일반적으로 터널에서의 지반의 거동은 불연속면의 3차원적인 배향과 이들 불연속면의 간격, 충전물, 거칠기 등의 상태와 불연속면의 규모 등에 의해서 상당부분 좌우되는 것으로 알려져 있다. 하지만 본 조사지역 내에 분포하는 퇴적암의 경우 저각의 층리면이 가장 우세하게 발달해 있으며, 기하학적 특성상 터널의 천단 침하량에 크게 영향을 줄 수 있는 고각의 불연속면의 발달은 미약한 편이다. 따라서 불연속면의 기하 특성은 상대적으로 천단침하에 크게 영향을 주지 않았을 것으로 판단된다. 오히려, 무결암의 강도와 지하수 상태 등이 암반의 전체적인 강도에 영향을 끼침으로서, 터널의 천단침하 특성에 더 중요하게 작용하였을 것이다. 물론 암반의 블록 크기를 결정하는 RQD와 불연속면의 간격도 상당부분

Table 4. Results of quantification analysis.

Explanatory variables	Category	Frequency	Original quantification value	Centralized quantification value	Range	Partial correlation (1)	Partial correlation (2)	RMR ratings
Strength of intact rock (R1)	1	52	-2.3399	0.2273				15
	2	112	-3.0641	-0.4972	1.9390	0.2410	0.0288	
	3	23	-2.4454	0.1215	(19.53%)	(19.25%)	(12.19%)	
	4	16	0.0000	2.5669				
RQD (R2)	2	60	0.9882	-0.1367				20
	3	94	1.4810	0.3561	1.7312	0.2521	0.0557	
	4	16	1.8652	0.7403	(17.44%)	(20.13%)	(23.60%)	
	5	33	0.0000	-1.1249				
Spacing of discontinuities (R3)	1	1	2.2575	1.9685				20
	2	55	0.4056	0.1166				
	3	88	0.0503	-0.2387	2.1628	0.2685	0.0422	
	4	36	0.8242	0.5352	(21.79%)	(21.44%)	(17.89%)	
	5	23	0.0000	0.2890				
Condition of discontinuities (R4)	2	51	-0.1729	0.2023				30
	3	103	-0.6295	-0.2543	1.8702	0.1435	0.0109	
	4	47	-0.0535	0.3217	(18.84%)	(11.46%)	(4.62%)	
	5	2	0.0000	0.3752				
Groundwater (R5)	1	17	3.1391	1.6051				15
	2	127	1.4944	-0.0396				
	3	42	0.8773	0.6567	2.2239	0.3472	0.0984	
	4	16	1.9622	0.4282	(22.40%)	(27.72%)	(41.69%)	
	5	1	0.0000	-1.5340				

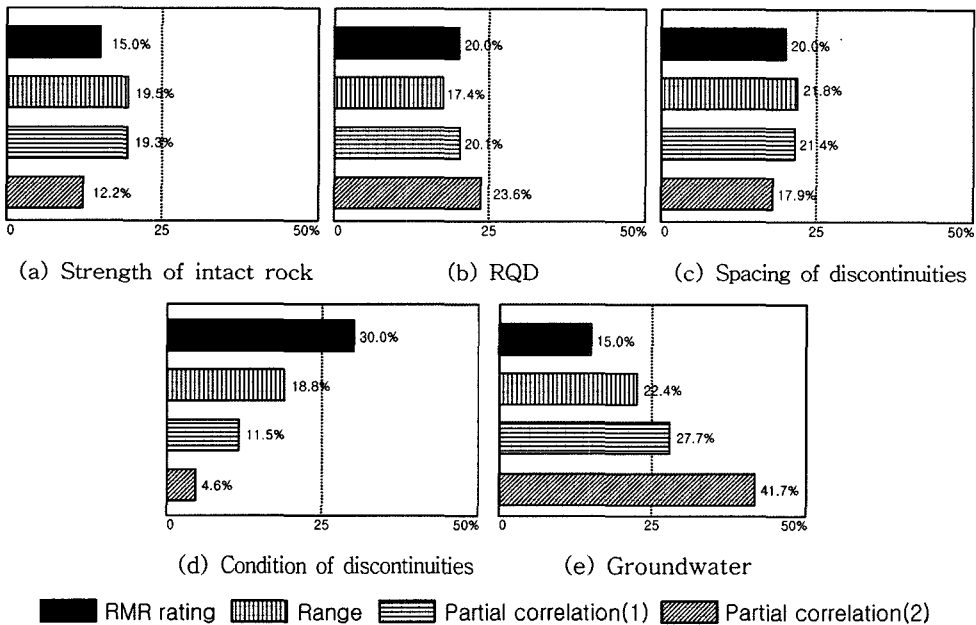


Fig. 3. Summarized results of RMR factors affecting tunnel behavior.

변위에 영향을 끼쳤다. 결과적으로 저각의 층리면이 발달한 퇴적암에서의 터널의 거동은 불연속면에 의한 미끄러짐 보다는 암반 전체의 강도에 의해 결정된다고 할 수 있다.

상기 제시된 결과는 다양한 지질조건을 모두 고려하지 않고 지역적인 특성이 많이 반영되었기 때문에, 퇴적암 암반을 모두 대표한다고 할 수는 없다. 향후 더 많은 퇴적암을 기반으로 하는 터널에서의 자료가 분석된다면 더욱 신뢰성 있는 결과가 될 것이다. 나아가 다른 다양한 암종과 지질조건에 대한 연구가 계속되어야 할 것이다.

결 론

지질학적 특수성이 터널의 거동에 미치는 영향을 분석하기 위하여 저각의 층리가 우세한 퇴적암 터널을 대상으로, 천단침하량과 RMR 인자를 종속변수와 설명변수로 하여 수량화 분석을 수행하였다. 수량화 값을 근거로 범위와 편상관을 계산하였으며, 이를 바탕으로 각 지질인자의 변위 중요도를 산출하였다. 또한 기존 RMR 체계에서 각 인자별 할당된 배점과 중요도를 비교 분석하였다.

1) 퇴적암을 기반으로 하는 OO 터널은 중생대 백악기의 퇴적암류를 기반으로 하며, 일부 관입한 화강암과 혼펠스를 포함한다. 대부분 보통풍화상태이며 저각의 층리가 우세하게 발달한 반면 고각의 절리군의 발달은 미약하다.

2) 수량화 방법 I을 통한 수량화값을 통해 계산된 범위와 편상관에 의한 RMR 인자가 터널의 변위에 미치는 중요도의 평균은 R1, R2, R3, R4, R5 각각 17.0%, 20.4%, 20.4%, 11.6%, 30.6%이다. RMR 배점 체계에서 할당된 각 인자의 배점과 비교하면, 절리면의 상태와 지하수 상태가 큰 차이를 보인다.

(3) 상기 결과는 조사지역의 지질학적 특성과 연관 지을 수 있다. 가장 우세하게 발달한 저각의 층리와 비교적 작은 규모의 고각의 절리군은 터널의 천단침하에 크게 영향을 끼치지 않았으며, 따라서 불연속면의 상태 또한 변위 발생에 중요하게 작용하지 않았을 것이다. 하지만 상대적으로 무결암의 강도와 암반의 강도를 현저하게 저하시키는 지하수 상태가 터널의 천단침하에 많은 영향을 주었을 것으로 판단된다. 또한 암반의 블록 크기를 결정하는 RQD와 불연속면의 간격도 상당부분 변위에 영향을 끼쳤다.

(4) 향후 본 연구 결과는 터널 굴착 중 변위를 추정하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다. 이를 위해서는 더 많은 퇴적암 터널에서의 데이터를 분석 자료로 사용하여 신뢰성을 높여야 할 것이다. 나아가 다양한 암종과 다양한 지질조건에 대한 유사한 연구가 이루어진다면 유사한 지질공학적 특성을 가지는 영역마다의 신뢰성 있는 변위 예측 기법들이 제시될 수 있을 것이다.

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

허명희, 1998, 수량화방법 I-II-III-IV, 자유아카데미.
 ISRM, 1978, International Society for Rock Mechanics, Commission on Standardization of Laboratory and Field Test. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses, Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. and Geomecha. Abstr. 15, pp.319-368.
 Kim, B. H. and Yang, H. S., 2004, Suggestion of reformed RMR by multivariate analysis, SINOROCK2004, 3A03.
 Moon, V, Russel, G. and Stewart, M., 2001, The value of rock mass classification systems for weak rock masses; a case example from Huntly, New Zealand., Engineering Geology, 61, pp.53-67.
 Yasar, E., 2001, A new rock mass classification for coal measures rocks, Engineering geology, 62, pp.293-300.

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

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

김창용

한국건설기술연구원 국토지반연구부
411-712, 경기도 고양시 일산서구 대화동 2311
Tel: 031-910-0224
Fax: 031-910-0211
E-mail: cykim@kict.re.kr

김광엽

한국건설기술연구원 국토지반연구부
411-712, 경기도 고양시 일산서구 대화동 2311
Tel: 031-910-0225
Fax: 031-910-0211
E-mail: kimky@kict.re.kr