

RMR을 이용한 풍화암 터널의 천단침하량 예측 평가

Application for Prediction of Crown Settlements Using RMR in Weathering Rock Tunnels

김 영 수¹ Kim, Young-Su

김 대 만² Kim, Dae-Man

Abstract

Statistical analysis was performed using a series of data on RMR, RMR* and crown settlements collected from sites of weathering rock tunnels in Korea. The crown settlements were predicted by recurrence analysis, exponential function, and artificial neural network (ANN) using collected in-situ data. The result of the prediction fitted well compared to the measured settlement in the order of ANN, exponential function, and recurrence analysis. The range of crown settlement predicted by recurrence analysis widely scattered and promised larger settlement than the measured. Also in all method, the predicted value by RMR well matched compared to the measured settlement predicted by RMR*.

요 지

국내 풍화암 터널현장에서 수집한 RMR 평점, RMR* 평점 그리고 천단침하량의 자료를 이용하여 통계적 분석을 실시하였으며, 분석된 자료를 이용하여 회귀분석, 지수함수, 그리고 인공신경망(ANN)으로 천단침하량을 예측하였다. 예측 결과, ANN, 지수함수에 의한 근사함수, 그리고 회귀분석의 천단침하량 예측 순으로 실측치에 근접하였다. 회귀 분석으로 추정된 천단침하량의 범위는 매우 넓게 분포하였으며, 계측치에 비하여 과대한 침하량을 예측하였다. 또한 모든 방법에서 RMR 평점을 사용한 예측이 RMR* 평점을 사용하여 예측한 결과보다 계측 침하량에 더 가까운 예측을 하였다.

Keywords : Artificial neural network, Crown settlement of tunnel, Exponential function, Recurrence analysis, RMR

1. 서 론

시공 중 암반터널의 변형거동은 암반의 비균질성, 비등방성, 현장조사 및 시험의 한계성, 그리고 모델링 및 이론의 단순성 등으로 인해 설계단계에서 수치해석기법으로 예측된 암반의 변형거동은 실제와 차이를 보이는 경우가 많다. 따라서 시공단계의 터널현장에서 계

측을 실시하여 안정성을 판단해야하며, 굴착에 따른 천단변위와 내공변위 계측은 시공 중 터널의 안정성을 검토하기 위한 중요한 자료이다. 현재 Sakurai(1982)가 제시한 한계변형률에 의한 안정성 평가는 다양한 지반에서 적용가능하며, 천단변위만으로도 간단히 터널의 안정성을 평가할 수 있다. 또한 국내에서도 박시현(2008)은 국내 터널 현장의 계측자료의 천단변위결과로부터

1 정희원, 경북대학교 토목공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil Engrg., Kyungpook National Univ.)

2 정희원, 경북대학교 토목공학과 연구원 (Member, Researcher, Dept. of Civil Engrg., KNU, ksmans11@hanmail.net, 교신저자)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2010년 4월 30일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

굴착단계별로 한계변형률 도표를 이용한 안정성 평가를 실시하여 터널 시공 및 지보재의 지보효과를 확인하였다.

막장의 최종 천단침하량을 예측하기 위한 초기자료로서 침하계측 이외에 RMR 분류법이 있다. 터널 설계시 사용되는 암반분류에는 여러 가지 암반분류법이 있으나 RMR 분류법이 세계적으로 가장 보편화된 분류법이다. RMR 분류법의 평가항목인 암석강도(R1), RQD(R2), 불연속면의 간격(R3), 불연속면의 상태(R4), 그리고 지하수 상태(R5)와 불연속면의 방향성 보정(R6)을 통하여 산정된 RMR 평점은 지보패턴을 결정하기 위하여 널리 사용되고 있다. RMR 분류법은 설계단계에서 적용할 때는 조사항목이 세부적이지 않아 많은 문제점을 가지나 굴착 중인 막장면에 대해서 평가할 때는 가장 간단하게 터널의 안정성을 판단할 수 있다.

본 논문에서는 시공 중 터널의 안정성 관리기준으로 사용되는 천단침하의 예측을 위하여 국내 터널현장의

천단침하 계측결과와 RMR 분류법에 대한 자료를 수집하였다. 연암과 경암 지반의 경우 천단침하의 발생량이 적을 뿐만 아니라 안정평가 자체가 불필요한 경우가 많아 본 연구의 대상 터널은 풍화가 많이 진행된 상태의 천단침하 발생이 큰 현장의 자료를 선택하여 수집하였다. 수집된 RMR 자료는 회귀분석, 근사함수의 통계적 방법, 그리고 인공신경망을 이용하여 천단침하량을 예측한 후 현장의 계측결과와 비교하여 RMR 평점에 의한 천단침하량 예측의 타당성을 검토하였다.

2. 연구대상 터널의 현황

연구대상 터널의 경우 경상북도에서 시공중인 병렬터널로서 연장 4,345m이고, 굴착직경이 12.175m인 터널로 기계굴착을 이용한 상하반 분할굴착공법으로 시공하였다. 그림 1에 본 터널의 표준 단면도를 나타내었다.

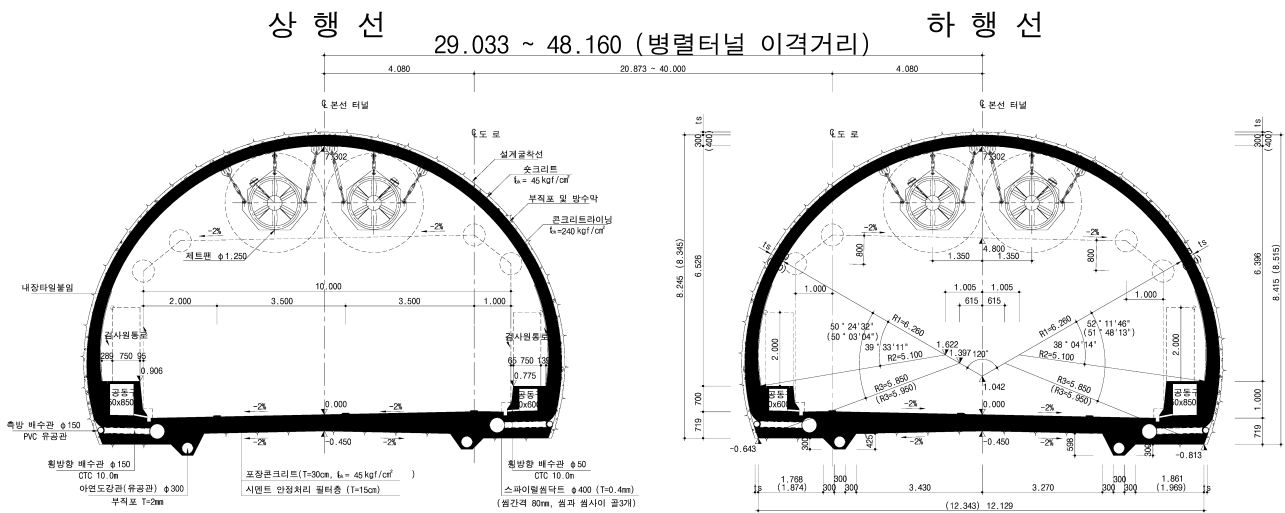


그림 1. 터널의 표준 단면도

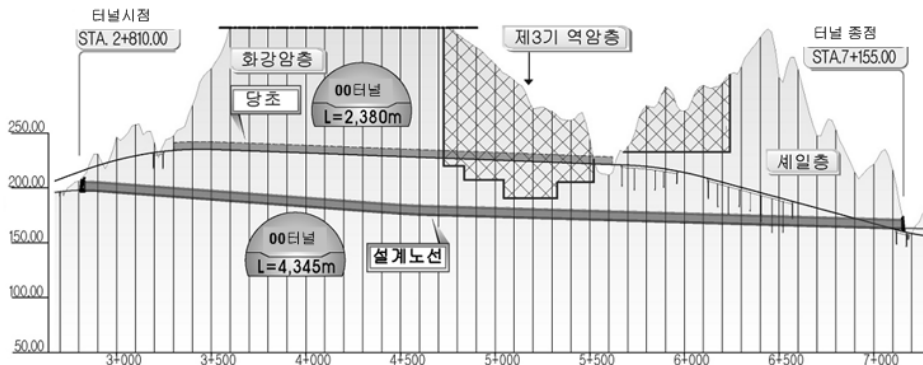


그림 2. 터널 종단노선도

그림 2의 터널 종단노선도에서 지질단면을 살펴보면, 하위로부터 백악기 경상누층군 하양층군에 속하는 암회색 셰일 및 실트암과 이들을 관입하고 있는 제3기의 불국사화강암류(각섬석-흑운모 화강섬록암, 흑운모화강암), 제3기의 염기성 및 산성의 응회암과 암맥 그리고 유문암으로 구성되며 상기의 유문암을 제외한 모든 암석을 마이오신 말에 생성된 미고결 퇴적암(역암층)이 피복하고 있다. 최상위 지층은 제4기층들로서 비교적 고결된 하부층과 이를 덮고 있는 상부층으로 구분된다.

계측을 실시한 단면은 시점부와 종점부에 해당하며, 시점부는 흑운모화강암지대로서 들립질의 반상구조를 보이는 화강암으로서 풍화가 많이 진행되었고, 또한 윤문상조직의 유문암이 소규모로 발달되어 있다. 종점부는 하양층군 퇴적암류에 해당하는 흑색셰일지대로 주로 암회색 셰일이 많이 분포하고 실트암과 호운펠스도 발견되며, 종점부 역시 많은 풍화가 진행되어있었다.

3. 자료의 분석

3.1 통계분석

RMR 평가항목, RMR 평점, 그리고 천단침하의 126개 자료에 대한 통계분석을 실시한 결과를 표 1에 나타내었다. RMR 평가항목별로 자료의 분포를 사전에 확인하는 것은 통계분석의 방향을 결정할 때 매우 중요하므로 수집된 자료를 통계적으로 분석하기 위하여 RMR 평가항목과 천단침하량에 대하여 빈도분석을 실시하였다. RMR 분류 시 터널단면을 3등분하여 평가를 실시한 후

그 평균값을 이용하여 막장의 RMR 평점을 채점하였으나, 본 연구에서는 천단침하와의 관련성을 확인하고자 터널단면 중 천단부의 RMR 평점을 사용하여 분석하였다. 분석한 단면은 상행선 시점부 43단면과 종점부 19단면, 하행선 시점부 45단면과 종점부 19단면의 총 126개 단면이다. 또한 RMR* 평점에 대해서도 정리하였는데, RMR* 평점은 RMR 평점 중 R5와 R6을 제외한 값으로서 김교원(1993)은 RMR 평점보다 RMR* 평점이 지반의 점착력과 내부 마찰각, 포아슨 비 등 지반의 강도와 변형에 더 큰 관련이 있다고 하였다.

자료의 분석에 있어서 먼저 수집한 자료의 특성을 파악하기 위해 도수분포표를 작성하여 분포현황을 알아 보았다. 그림 3에 RMR 분류법의 5가지 평가항목에 대한 빈도분포를 나타내었다. 일축압축강도(R1)는 대부분의 값이 0~4에 분포하고 평균은 2.6, 그리고 RQD(R2), 불연속면 상태(R3)의 평균값은 4.24, 6.25로서 대상터널의 암반등급이 낮게 평가되어 풍화가 많이 진행되어 있음을 확인할 수 있다.

그림 4는 RMR과 RMR* 평점에 대한 도수분포표로 RMR 평점은 5~55의 범위로 평균 21.37이었고, RMR* 평점은 8~52의 범위에 평균 20.23이었다. RMR 평점에 비하여 RMR* 평점의 도수분포가 전반적으로 분산이 크게 나타났다. 본 연구 대상 터널은 상반계측과 하반계측을 실시하였으며, 선행침하는 계측되지 않았다. 터널 천단침하량이 큰 경우에는 상·하반 침하를 동시에 측정하여 침하분포를 파악하여야 하므로 상반굴착에 의한 상반침하량과 전체 굴착 후의 천단침하량으로 나누어 나타내었다. 그림 5에 상반굴착시 천단침하량(상반침하량)과 전체 굴착 후의 총 천단침하량에 대한 도수분포표를 나타내었다. 상반침하량은 3.3~

표 1. 통계분석 결과

자료항목	R1	R2	R3	R4	R5	R6	RMR	RMR*	상반 침하량 (mm)	천단 침하량 (mm)
평균	2.60	4.24	6.25	7.14	7.24	-6.10	21.37	20.23	17.83	26.34
중위수	2	3	5	8	7	-5	21	20	12.6	18.8
최빈값	4	3	5	0	7	-5	16	8	9.2	9.5
표준편차	2.29	2.44	1.72	5.39	2.34	3.42	9.82	10.30	14.71	20.68
분산	5.27	5.96	2.97	29.10	5.46	11.71	96.52	106.07	216.35	427.78
왜도	0.44	2.18	1.45	-0.03	0.40	-0.54	0.60	0.38	2.34	2.12
첨도	-0.72	5.83	3.63	-1.20	2.22	-0.17	0.28	-0.68	8.07	5.36
최소값	0	3	5	0	1	-12	5	8	3.3	6
최대값	8	17	15	20	15	0	55	52	99.6	126.3

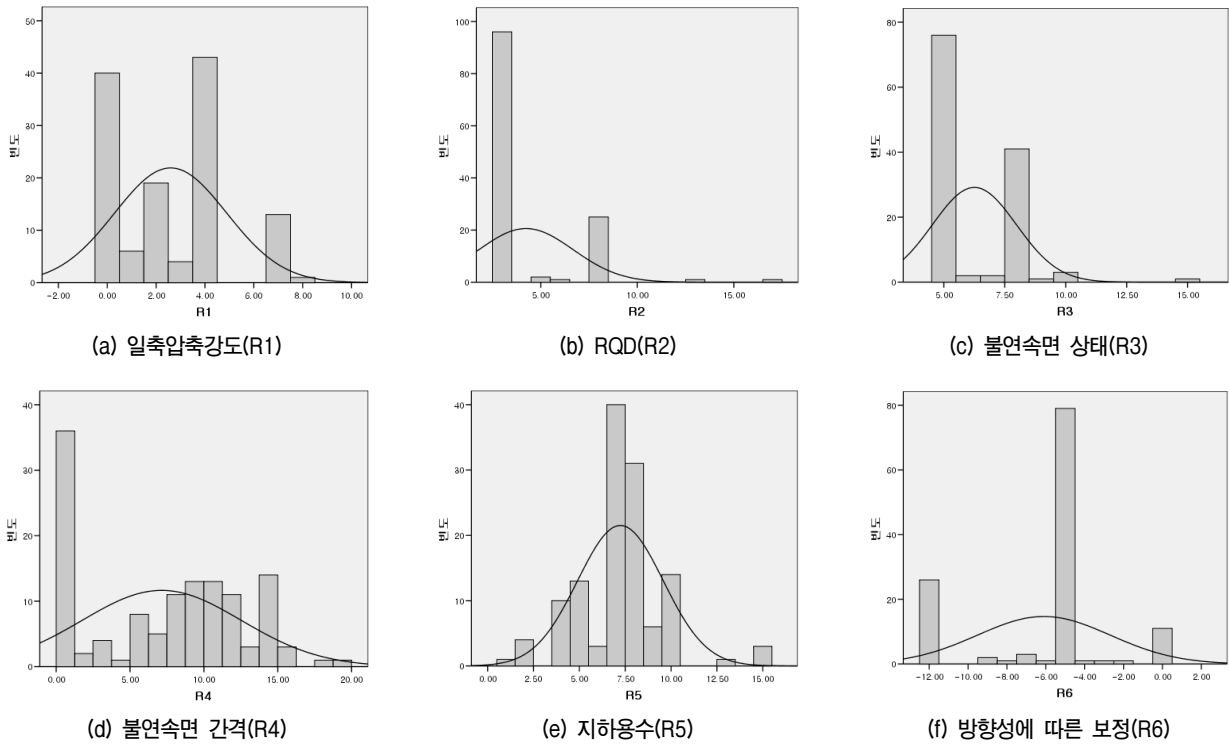


그림 3. RMR 평가항목에 대한 빈도분석

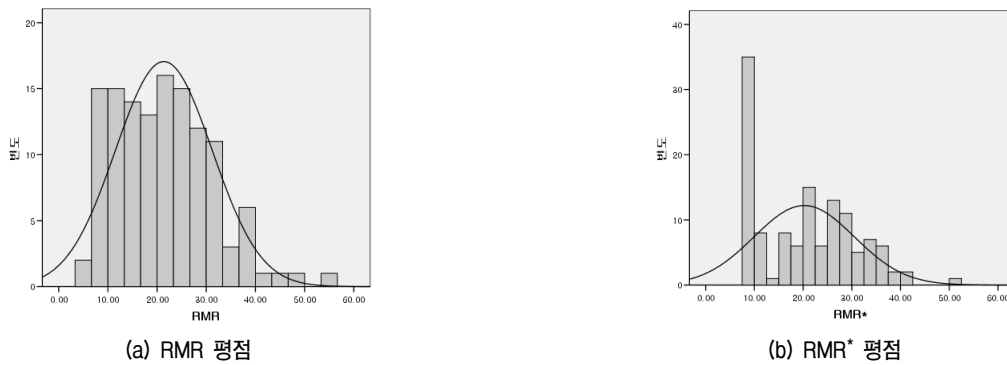


그림 4. RMR과 RMR* 평점의 빈도분석

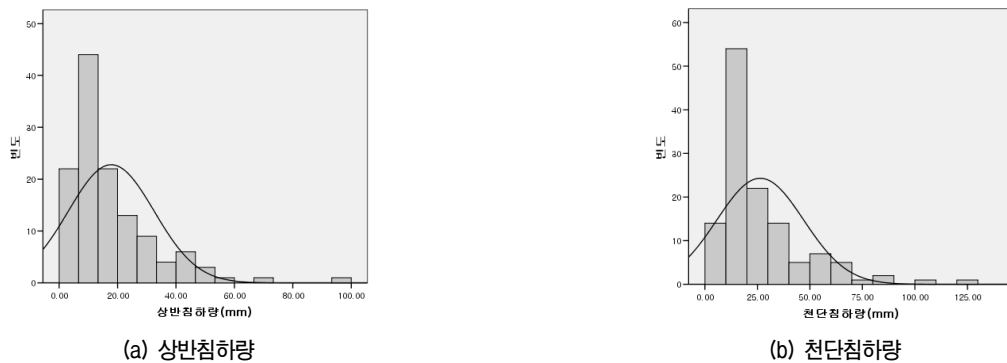


그림 5. 터널의 천단침하량의 빈도분석

99.6mm의 범위로 평균 17.83mm이었고, 천단침하량은 6.0~126.3mm의 범위로 평균 26.34mm로 나타났다. 대상 터널의 시점부는 화강암 지대에 해당하며, 풍

화가 많이 진행되었고 토피가 얇아 침하가 많이 발생하였다.

3.2 상관분석

본 연구에서는 RMR 평가항목에 대하여 변수들 간의 관련성을 분석하기 위하여 상관분석을 실시하였다. 상관분석은 두 변수들 간의 상관관계를 분석하여 연속 두 변수의 선형상관관계를 나타내는 통계적 기법으로 두 변수간의 관련성에 대한 의문을 해결하기 위해서 또는 두 변수의 상호관계 유무를 분석하기 위해서 실시한다. RMR 평가항목, RMR 및 RMR* 평점과 천단침하의 상관성을 확인하기 위하여 SPSS(Statistical Package for the Social Sciences) 프로그램을 사용하여 상관분석을 수행하여 표 2에 분석결과를 나타내었다. RMR 평가항목 중 R1과 R4가 평가항목 중 침하량과 가장 큰 상관이 있는 것으로 나타났다. 그리고 RMR 평점이 RMR* 평점보다 침하량에 더 큰 상관성이 있는 것으로 나타나 기존의 연구(김교원, 1993)와 상이하게 나타났는데, 이는 회귀분석특성상 인자가 많을수록 상관관계가 높아졌다고 판단할 수 있으며, 이에 대한 원인은 대상터널의 암반이 풍화가 많이 진행되었기 때문에 R5와 R6 항목

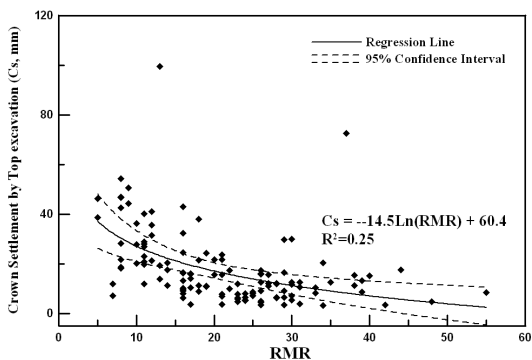
이 침하에 영향을 미쳤다고 판단할 수 있다. 또한 그림 6에 RMR과 RMR* 평점을 상반침하량과의 산포도를 각각 나타내었는데, 산포도로부터 지수함수로 된 회귀식을 제시하였다. 전반적으로 RMR과 RMR* 평점의 증가에 따라 상반침하량이 감소하는 추세이나 자료들의 분포가 크게 분산되어 있어 최대 상반침하량을 정확하게 예측하는데 활용하기보다는 대략적인 상반침하량의 범위를 확인하는데 활용하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

4. 천단침하의 예측

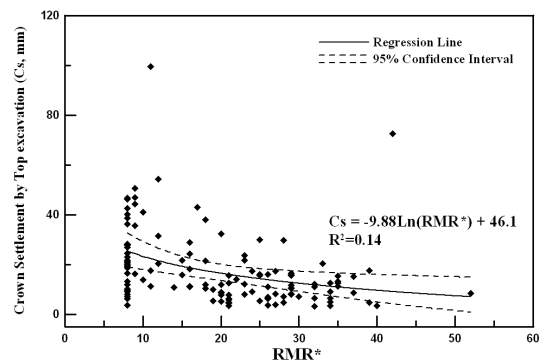
최근까지 최종 변위량 예측하기 위한 방법으로서 주로 내공변위 곡선을 시간과 거리에 따른 여러 함수로 표현하여 예측하거나 또는 과거의 시공실적을 바탕으로 굴착 개시 후 초기 변위량에서 최종 변위량을 통계적 기법을 이용하여 예측하는 연구가 많이 진행되어 왔다(김호영 외, 1993; 송승곤 외, 2002; 문승백 외, 2001; 김종우, 2003). 이들 대부분의 연구가 연암과 경암 지반에 대한 예측자료만을 이용하여 최종 내공변위량을 산정

표 2. 상관분석 결과

자료항목	R1	R2	R3	R4	R5	R6	RMR	RMR*	상반 침하량 (mm)	천단 침하량 (mm)
R1	1.000									
R2	0.560	1.000								
R3	0.596	0.683	1.000							
R4	0.857	0.513	0.607	1.000						
R5	0.172	0.024	0.102	0.167	1.000					
R6	-0.341	-0.303	-0.418	-0.511	0.022	1.000				
RMR	0.870	0.681	0.696	0.845	0.401	-0.155	1.000			
RMR*	0.904	0.745	0.780	0.938	0.149	-0.486	0.915	1.000		
상반침하량(mm)	-0.365	-0.126	-0.265	-0.372	-0.261	0.011	-0.426	-0.351	1.000	
천단침하량(mm)	-0.357	-0.143	-0.247	-0.343	-0.236	-0.013	-0.411	-0.334	0.959	1.000



(a) RMR



(b) RMR*

그림 6. RMR 및 RMR* 평점에 따른 상반침하량

하였다. 이와 달리 본 연구에서는 풍화가 많이 진행된 풍화암 지반에서 막장에 관한 자료 중 가장 신속하고 간편하게 얻을 수 있는 막장의 RMR 평가항목에 의한 RMR 평점과 천단침하의 계측자료를 이용하여 회귀분석, 근사함수 그리고 인공신경망으로 최종 천단침하량을 예측하였다.

4.1 회귀 분석에 의한 예측

앞에서 상관분석을 통하여 RMR 평가항목과 천단침하와의 상관성을 살펴보았다. 본 절에서는 중회귀분석을 실시하여 천단침하량을 추정하였다. 중회귀분석은

둘 이상의 독립변수가 하나의 종속변수에 미치는 영향을 분석하거나 종속변수의 값을 예측하기 위하여 독립변수와 종속변수간의 관계식을 세우고 그 관계식을 검증하는 과정이다.

RMR과 RMR* 평가항목을 이용한 중회귀분석식은 각각 아래의 식 (1), (2)와 같고, 표 3과 4에 그 결과를 각각 나타내었다. 두 중회귀분석식 모두 공차한계가 기준치인 0.1 보다 크고, 분산팽창요인(VIF, variance inflation factors)도 기준치인 10보다 작아 다중공선성의 문제는 없는 것으로 나타났다. RMR과 RMR* 평가항목으로 중회귀분석식 (1), (2)을 이용하여 천단 침하량을 산정한 결과를 그림 7에 계측치와 비교 도시하였다. 그림 7에서

표 3. 회귀분석 결과(RMR)

모형	비표준화 계수		표준화 계수	t 값	유의 확률	공선성 통계량	
	B	표준오차	베타			공차한계	VIF
(상수)	33.640	5.967		5.637	0.000		
R1	-0.617	1.074	-0.096	-0.574	0.567	0.229	4.371
R2	1.048	0.689	0.174	1.520	0.131	0.491	2.037
R3	-1.630	1.044	-0.191	-1.561	0.121	0.429	2.331
R4	-0.956	0.482	-0.351	-1.984	0.050	0.206	4.857
R5	-1.041	0.519	-0.165	-2.007	0.047	0.946	1.058
R6	-0.967	0.423	-0.225	-2.283	0.024	0.662	1.510

표 4. 회귀분석 결과(RMR*)

모형	비표준화 계수		표준화 계수	t 값	유의 확률	공선성 통계량	
	B	표준오차	베타			공차한계	VIF
(상수)	28.328	4.928		5.749	0.000		
R1	-1.410	1.073	-0.220	-1.314	0.191	0.245	4.077
R2	1.215	0.709	0.202	1.713	0.089	0.496	2.016
R3	-1.314	1.062	-0.154	-1.238	0.218	0.444	2.254
R4	-0.529	0.452	-0.194	-1.170	0.244	0.251	3.991

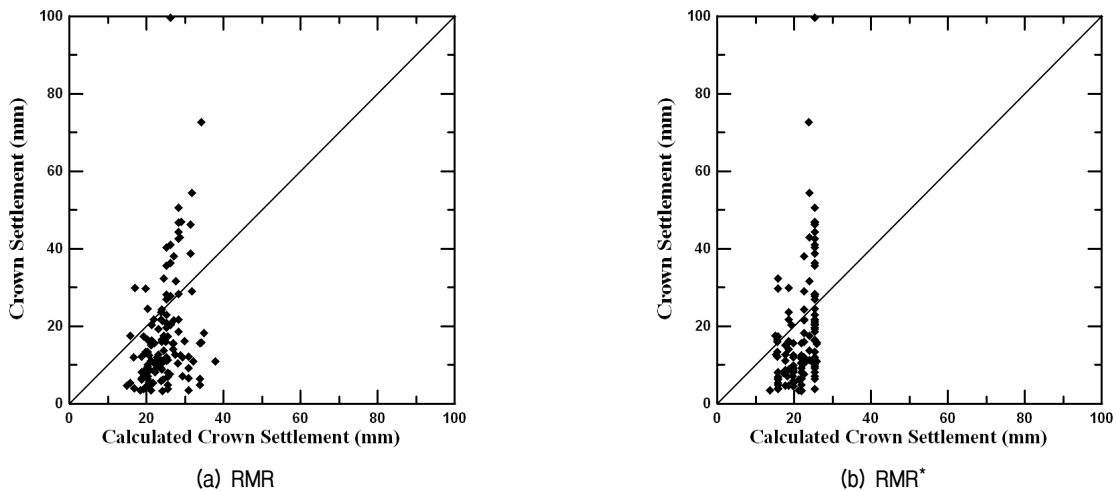


그림 7. 중회귀분석식에 의한 천단침하량 예측결과

대각선 상에 위치할수록 산정된 천단침하량이 정확하게 예측된 것으로 동일 RMR과 RMR* 평점에 대하여 산정된 천단침하량의 범위가 매우 넓게 분포하였으며, 전반적으로 예측된 침하량에 비하여 과대하게 예측되었다. RMR 평점에 의하여 산정된 천단침하량은 실측 천단침하량과의 상관관계수(R2)가 0.235, RMR* 평점은 상관관계수(R2) 0.168로 나타나 실측 천단침하량과 다소 큰 차이를 보였다.

$$\text{천단침하량 (mm)}, C_s = -0.617R_1 + 1.048R_2 - 1.630R_3 - 0.956R_4 - 1.041R_5 - 0.967R_6 + 33.640 \quad (1)$$

$$\text{천단침하량 (mm)}, C_s = -1.410R_1 + 1.218R_2 - 1.314R_3 - 0.529R_4 + 28.328 \quad (2)$$

4.2 근사함수에 의한 막장거리에 따른 예측

대상터널의 계측자료를 분석한 결과 전반적으로 막장의 굴진속도가 일정하지 않아 침하예측함수의 설정

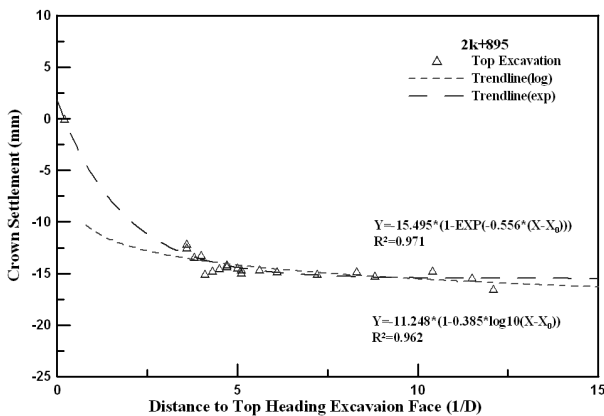
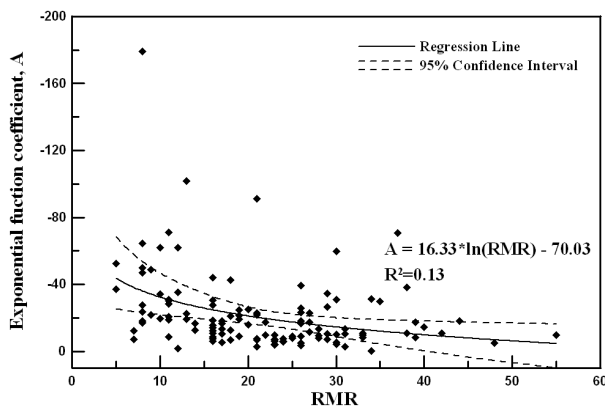


그림 8. 지수함수에 의한 근사식

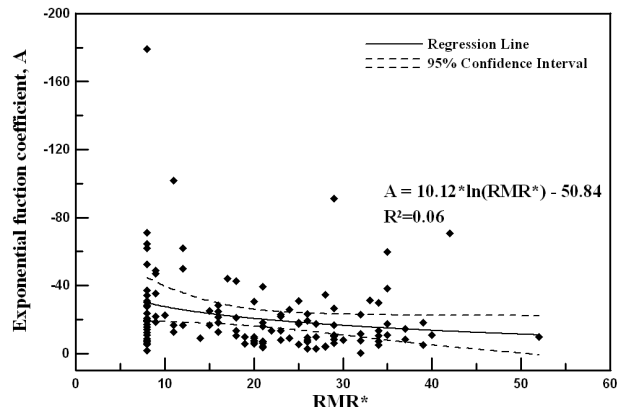
에 있어 시간에 대한 함수보다는 막장거리에 따른 함수로 표현하는 것이 합리적이라고 판단하였다. 따라서 침하예측함수를 막장거리에 따른 함수로 하여 천단침하량을 log함수와 지수함수를 사용하여 추정한 결과를 그림 8에 나타내었다. 기존의 연구에서 김호영(1993)은 내공변위 함수로 탄성 암반에는 지수함수, 탄소성 암반에는 분수함수가 적합함을 국내 사례연구로 보고하였으며, 김종우(2003)도 국내 안산암과 화강암류 암반지반의 내공변위 예측함수로 지수함수가 더 적합함을 보였다. 본 연구에서도 그림 8에서 log 함수보다 지수함수에 의한 추세가 계측치에 더 적합하게 나타났으며, 이는 대상터널이 풍화암 지반으로 굴착 후 바로 지보를 설치하여 지보 효과로 인하여 탄성 암반에서 적합한 지수함수가 우세하게 나타난 것으로 판단된다. 추세에 사용된 지수함수는 식 (3)과 같다. 식 (3)에서 X는 막장과 거리를 터널직경(D)으로 나눈 값이며, X₀는 막장에서 설치된 계측기까지의 거리, 그리고 A와 B는 지수함수의 상수이다. 지면상 그림 8에 2K+895 구간에 대하여 지수함수로 자료를 근사함수화시킨 것만 예를 들어 나타내었으며, 근사함수에 의한 상관관계수(R2)는 모든 구간에서 0.9 이상으로 비교적 매우 정확하였다.

$$Y = A[1 - \exp B(X - X_0)] \quad (3)$$

그림 9와 10에 RMR과 RMR* 평점에 식 (3)의 지수함수식 상수 A, B를 구하여 나타내었다. 상수 A의 값은 RMR과 RMR* 평점이 증가함에 따라 감소하였으며, 로그함수로 회귀식을 구하여 그림 9에 표시하였다. 상수 B의 값은 큰 상관성을 찾을 수 없었으며, 그림 10에서 보듯이 대부분이 0~2사이의 범위에 위치하였다. 이

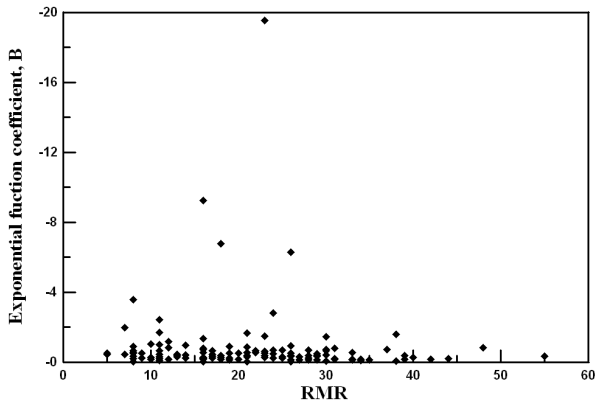


(a) RMR

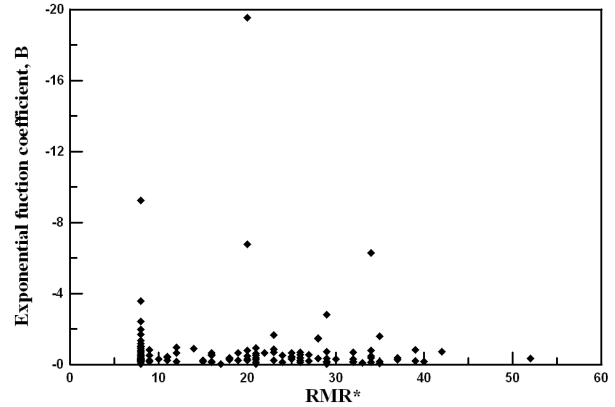


(b) RMR*

그림 9. 지수함수의 상수 A

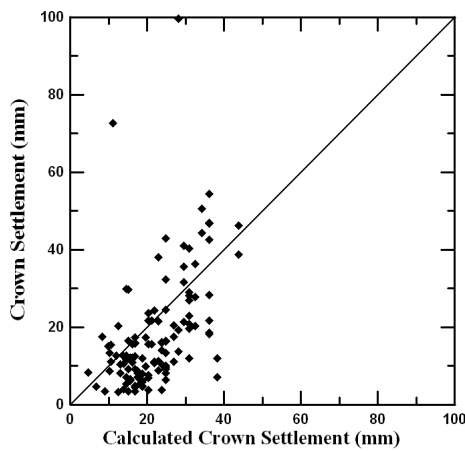


(a) RMR

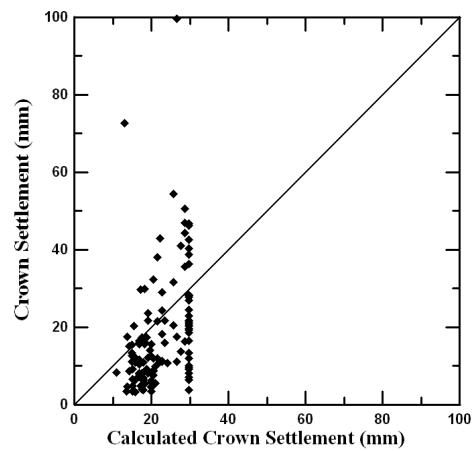


(b) RMR*

그림 10. 지수함수의 상수 B



(a) RMR



(b) RMR*

그림 11. 지수함수에 의한 천단침하량 예측결과

범위의 값을 이용하여 천단침하량을 계산한 결과 천단 침하량에 큰 영향을 미치지 않았으며, 본 연구에서는 B 값의 평균값인 -0.87을 사용하여 계산하였다. 식 (3)을 이용하여 RMR과 RMR* 평점에 수렴하였다고 판단하는 10D에서의 천단침하량 예측치와 실측치를 비교하여 그림 11에 나타내었다. RMR 평점에 의한 결과는 상관 계수(R2)가 0.427, RMR* 평점에 의한 상관계수(R2)는 0.355로 전반적으로 회귀분석에 의한 천단침하량 예측치보다는 아주 양호한 결과를 나타내었으나, RMR* 평점에 의한 예측치는 회귀분석결과와 같이 예측된 천단 침하량의 범위가 넓고 과대한 예측을 보였다.

4.3 인공신경망에 의한 예측

본 연구에 사용한 인공신경망은 BPNN(역전파 인공 신경망)으로서 입력층, 은닉층 및 출력층으로 구성되어

있으며 터널현장의 계측자료를 대상으로 다양한 매개 변수연구의 변화를 통해 최적 인공신경망을 선정하였다. 역전파 인공신경망은 입·출력층 및 은닉층의 구조에 따라 학습효율 및 추론능력이 크게 변화하며, 학습에 필요한 학습률 및 모멘텀상수, 학습횟수 등과 같은 인자들에 의해서도 인공신경망의 학습효율 및 추론능력이 영향을 받는다. 따라서 본 연구에서는 터널 시공현장 천단침하 예측은 5종류의 인공신경망 구조와 16종류의 학습상수쌍을 설정하여 조합된 90개의 인공신경망을 시험하였다. 조합된 90개의 인공신경망의 학습결과 및 학습자료에 대한 결과를 분석 및 평가함으로써 천단침하 예측을 위한 최적 인공신경망 모델을 선정하고자 하였다. 또한 천단침하 예측을 위하여 RMR 평가항목과 RMR* 평가항목을 입력인자로 사용하였다. 표 5에 사용된 영향인자 나타내었으며, 인공신경망에 의하여 예측된 천단침하량과 실측 천단침하량을 그림 12에 비교하여 도

시하였다. 앞의 회귀분석과 근사함수에 의한 예측결과 보다는 전반적으로 좋은 예측을 보였으며, 특히 RMR*에 대한 결과가 훨씬 향상되었다는 것을 알 수 있다. 표 6에 인공지능망 예측결과에 대한 RMSE(Root Mean Square Error)와 상관계수(R2)를 산정하여 회귀분석과 지수함수의 상관계수(R2)와 비교하여 나타내었다. RMSE는 통계학에서 표준편차의 의미로 인공지능망의 예상치와 실측치가 평균적으로 얼마나 차이를 나타내는가의 개

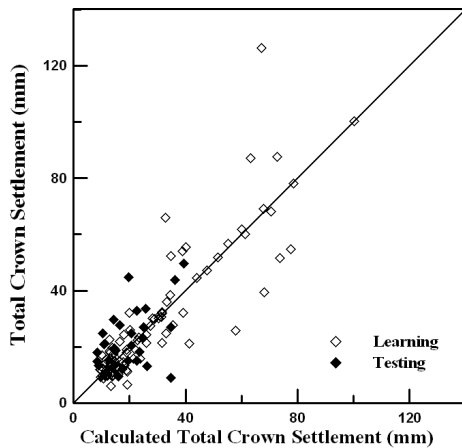
념과 유사한 것으로 RMSE가 적을수록 실측치에 근사한 예측이 이루어진 것을 의미한다. RMR에 의한 예측치의 RMSE와 상관계수는 10.2, 0.47 그리고 RMR*에 의한 예측치의 RMSE와 상관계수는 14.08, 0.388로 산정되어 인공지능망에 의한 예측결과도 RMR에 의한 예측치가 RMR*에 의한 예측치보다 더 좋은 예측을 하였다. 또한 RMR과 RMR*의 평가항목 중 어느 항목이 예측결과에 많은 영향을 주었는지를 분석하기 위하여 중

표 5. 영향 인자

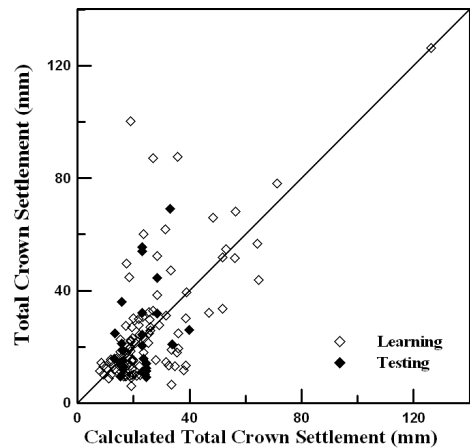
정보	영향인자	
	RMR	RMR*
입력인자	일축압축강도(R1)	일축압축강도(R1)
	암질지수(R2)	암질지수(R2)
	불연속면 간격(R3)	
	불연속면 상태(R4)	불연속면 간격(R3)
	발생용수(R5)	불연속면 상태(R4)
	방향성에 따른 평점 보정(R6)	
출력인자	천단침하량	

표 6. 인공지능망에 의한 예측결과

해석 방법		RMSE	상관계수
인공 신경망	RMR	학습	6.56
		예측	10.20
	RMR*	학습	12.40
		예측	14.08
회귀 분석	RMR	-	0.235
	RMR*	-	0.168
지수 함수	RMR	-	0.427
	RMR*	-	0.355

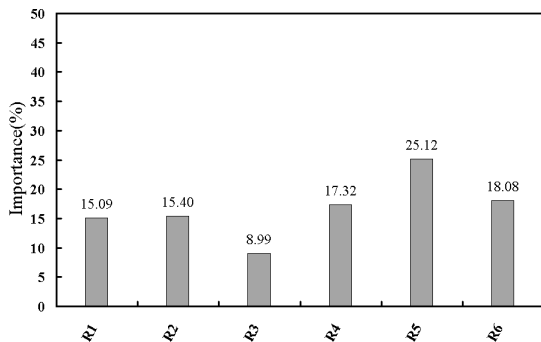


(a) RMR

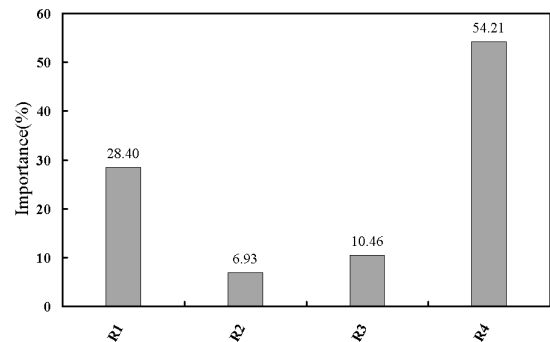


(b) RMR*

그림 12. 인공지능망에 의한 천단침하량 예측결과



(a) RMR



(b) RMR*

그림 13. 최적신경망의 인자의 중요도 분석

요도 분석을 실시하여 그림 13에 나타내었다. 최적 인공 신경망의 중요도 분석결과 RMR의 경우에 R4(불연속면 상태), R5(지하수상태), R6(불연속면 방향성에 대한 보정)의 항목이 중요도가 상대적으로 크게 나왔으며, RMR*의 경우에는 R4의 항목이 아주 크게 나타나 천단침하량 예측에 많은 영향을 주었다. 이와 같은 결과로 불연속면의 상태와 방향성이 터널 천단침하량 예측에 있어서 가장 중요한 항목임을 알 수 있다.

5. 결론

국내 터널현장에서 수집한 RMR 평가항목, RMR 평점, RMR* 평점 그리고 천단침하량의 자료를 이용하여 통계적 분석을 실시하였으며, 분석된 자료를 이용하여 회귀분석, 근사함수, 그리고 인공신경망으로 천단침하량을 예측한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 연구대상 터널의 시점부는 흑운모화강암지대이고, 종점부는 하양층군 퇴적암류에 해당하는 흑색셰일 지대로 모두 풍화가 많이 진행된 구간이다. 수집된 자료를 이용하여 통계적 분석을 실시한 결과, RMR 평점은 5~55의 범위로 평균 21.37이었고, RMR* 평점은 8~52의 범위에 평균 20.23으로 산정되었다. 그리고 상반 굴착시 천단침하량은 3.3~99.6mm의 범위로 평균 17.83mm이었고, 전체 굴착 후의 총 천단침하량은 6.0~126.3mm의 범위로 평균 26.34mm로 나타나 침하가 많이 발생되었다.
- (2) 천단침하량과의 상관관계를 알아보기 위하여 RMR과 RMR* 그리고 평가항목과의 상관성 분석을 실시한 결과, RMR* 평가 항목 중에는 R1과 R4가 평가항목 중 천단침하량과 가장 상관이 있게 나타났다. 그리고 RMR 평점이 RMR* 평점보다 침하량에 더 큰 상관성이 있는 것으로 나타나 기존의 연구와 상이하게 나타났는데, 이에 대한 원인으로서는 대상터널의 암반이 풍화가 많이 진행되었기 때문이라 판단된다.
- (3) 회귀분석, 근사함수, 그리고 인공신경망을 이용하여 RMR과 RMR* 평점으로 천단침하량을 예측한 결

과, 인공신경망에 의한 천단침하량 예측이 가장 실측치에 근사하게 접근하였다. 회귀분석과 지수함수로 추정된 천단침하량은 범위가 매우 넓게 분포하였으며, 계측치에 비하여 과대한 침하를 예측하였다. 또한 모든 방법에서 RMR 평점을 사용한 예측이 RMR* 평점을 사용하여 예측한 결과보다 계측 침하량에 더 가까운 예측을 하였다.

- (4) 본 연구에서 실시한 결과는 풍화지대에 해당하는 자료의 제한으로 인하여 모든 터널에 적용하기에는 어려우나 신뢰성 있는 많은 자료를 확보한다면, 본 연구에서의 실시한 방법에 의하여 터널의 최종 천단침하량을 보다 정확히 예측할 수 있으리라 생각된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부의 지원에 의하여 첨단도시개발사업(과제관리번호 R&D/05건설핵심 D03-01) 주관으로 수행된 과제 내용의 일부를 정리한 것입니다. 연구비 지원에 깊은 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. 김교원 (1993), “지공학적 암반분류의 재평가”, 93년도 불학술발표회 논문집 *지반공학파 터널기술*, 한국지반공학회, pp.33-40.
2. 김종우 (2003), “통계처리를 활용한 터널 내공침하의 분석에 관한 연구”, *터널과 지하공간*, 한국암반공학회, Vol.13, No.2, pp.108-116.
3. 김호영, 박의섭 (1993), “터널 내공침하의 이론과 계측결과에 분석”, *터널과 지하공간*, 한국암반공학회, Vol.3, pp.80-95.
4. 문승백, 송승근, 양형식, 전양수, 한공창 (2001), “천층 광폭터널의 내공침하 및 침하거동특성 예측을 위한 수치해석적 연구”, *터널과 지하공간*, 한국암반공학회, Vol.11, No.1, pp.20-29.
5. 박시현, 신용석, 배규진 (2008), “터널공학에서의 한계변형률 개념의 공학적 의미에 관한 연구”, *한국터널공학회논문집*, 한국터널공학회, 제10권, 제2호, pp.129-137.
6. 송승근, 양형식, 임성식, 정소걸 (2002), “초기계측치를 이용한 경암 지반내 터널의 최종침하량 예측”, *터널과 지하공간*, 한국암반공학회, Vol.12, No.2, pp.99-106.
7. Sakurai, S. (1982), “An evaluation technique of displacement measurements in tunnels”, *Journal of Geotechnical Engineering*, JSCE, Vol.317, pp.93-100.

(접수일자 2009. 7. 9, 심사완료일 2009. 10. 23)