

전기비저항탐사결과와 터널막장 암반분류의 상관성 검토

최재화^{1)*}, 조철현¹⁾, 류동우¹⁾, 김 훈²⁾, 오병삼²⁾, 강문구²⁾, 서백수³⁾

A study on the Correlation Between the Result of Electrical Resistivity Survey and the Rock Mass Classification Values Determined by the Tunnel Face Mapping

Jai-Hoa Choi, Churl-Hyun Jo, Dong-Woo Ryu, Hoon Kim, Byung-Sam Oh,
Moon-Gu Kang and Baek-Soo Suh

Abstract Many trials to set up the correlation between the rock mass classification and the earth resistivity have been carried out to design tunnel support type based on the interpreted electrical resistivity acquired by surface electrical survey. But it is hard to find reports on the comparison of the real rock support type determined during the excavation with the electrical resistivity by the inversion of the survey data acquired before the tunneling. In this study, the rock mass classification based on the face mapping data and the resistivity inversion data are investigated to see if it is possible to design reliably the rock support type based on the surface electrical survey. To get the quantitative correlation, rock engineering indices such as RCR(rock condition rating), N(Rock mass number), Q-system and RMR(rock mass rating) are calculated. Since resistivity data has low resolution, Kriging method as a post processing technique which minimizes the estimated variance is used to improve resolution. The result of correlation analysis shows that the 2D electrical resistivity survey is appropriate to see the general trend of the geology in the sense of rock type, though there might be some local area where these two factors do not coincide. But the correlation between the result of 3D survey and the rock mass classification turns out to be very high, and then 3D electrical resistivity survey can make it possible to set up more reliable rock support type.

KeyWords: Rock mass classification, electrical resistivity, RMR, RCR, N, Q-system, Kriging, 2D survey, 3D survey

초 록 최근의 터널설계에 있어서 지보패턴 선정시 전기비저항탐사 결과를 효과적으로 활용하기 위하여 전기비저항 역산결과와 암반분류와의 상관관계를 도출해 내고자 하는 시도가 이루어지고 있다. 그러나 전기비저항탐사 결과를 고려한 예상지보패턴과 실제로 시공된 지보패턴 결과를 비교한 연구는 찾아보기 힘들다. 본 연구에서는 실제 터널굴진 상태에서 막장관찰에 기초한 암반분류 및 지보패턴 선정과 시공 전 수행한 전기비저항 탐사자료를 비교함으로써 전기비저항 탐사 결과가 어느 정도의 신뢰도로 이용될 수 있는가를 살펴보고자 한다. 전기비저항 자료와 암반분류의 정량적인 상관성을 얻기 위하여 암반분류값으로 RMR(rock mass rating)을 기본으로, RCR(rock condition rating), N(Rock mass number), Q-system 등을 이용하였다. 전기비저항탐사는 공간적 해상도가 낮기 때문에 후처리 과정으로 크리깅 기법을 사용하여 해상도를 향상시키고자 하였다. 상관도 분석 결과, 2차원 전기비저항탐사결과는 정성적인 경향을 살펴보는 데 적합한 것으로 나타났다. 3차원 전기비저항탐사 결과와의 상관관계는 매우 높은 것으로 나타나 신뢰도 높은 암반분류에 적용 가능하리라 예상된다.

핵심어: 암반분류, 전기비저항탐사, RMR, RCR, N, Q-system, 크리깅

1. 서 론

과거 터널의 지보패턴은 몇 개소의 시추 자료와 지표

지질조사를 통해 결정되었다. 시추공 조사는 시추 코어에 대한 육안 관찰 및 암석시험, 시추공 영상촬영과 원위치 시험을 통해 RQD, RMR 및 Q-system 값을 결정한다. 그러나 이러한 자료는 한정된 개수와 공간적으로 이격된 지점에 국한되어 터널의 전구간을 추정하는데 있어서 많은 한계들이 있다.

최근 설계시 지구물리탐사자료결과를 고려하고자 하는 시도가 계속되어 왔다. 과거에는 탄성파굴절법

¹⁾정회원, 지하정보기술(주)

²⁾정회원, 두산건설주식회사

³⁾정회원, 강원대학교

*교신저자(Corresponding Author): cjh@geeha.co.kr

접수일: 2003년 3월 28일

심사 완료일: 2003년 8월 19일

탐사가 기본적으로 수행되었으나 지표굴절법탐사의 가탐심도에 한계가 있고 심도 증가에 따라 속도가 증가해야 하는 기본적인 가정에 맞지 않는 현장여건이 많아 유용한 자료로 사용되지 못한 것이 사실이다. 1990년대 중반이후 전기비저항탐사 자료의 역산기법들이 발전함에 따라 전기비저항 탐사 해석결과는 실제 지층상황을 정성적으로는 비교적 높은 신뢰도를 보여주고 있다. 이와 같은 배경 하에서 시추자료와 전기비저항의 상호 관련성을 연구하여 전기비저항 자료로부터 암반분류 나아가 지보패턴의 선정에 필요한 정량적인 정보를 얻고자 하는 시도가 자연스럽게 수반되었다.

시추공 내에서 수행하는 전기검층에 의한 전기비저항 값과 암반분류 기준과는 비교적 높은 상관관계를 보이고 있는 것으로 보고되었지만(권형석 등, 2000), 일반적인 2차원 지표전기비저항탐사자료는 RMR를 비롯한 암반분류 기준과 높은 상관성을 보이지 않고 있는 것으로 나타나고 있으며 해석자의 주관이 많이 반영된다. 그럼에도 현실적으로 전기비저항탐사 자료만큼 터널전반에 대한 정보를 제공하는 자료가 없는 실정이므로 전기비저항결과를 시추조사 및 지표지질조사 등의 결과와 함께 종합적으로 고려하여 지보패턴을 결정하고 있다. 따라서 전기비저항탐사자료에 기반한 지보패턴 설정이 실제 시공시 설정된 지보패턴과 얼마나 정확히 일치하는가에 대한 검토를 수행할 필요가 있다.

본 연구는 이러한 배경에서 전기비저항 탐사의 해석 결과와 시공과정 중 터널을 굴착하면서 얻은 Face mapping 자료에 기반한 실제 암반분류를 비교 분석함으로써 상호 관련성을 살펴보고자 하였다. 연구 대상은 시공직전에 2차원과 3차원 전기비저항탐사가 선행되었고 매 막장마다 막장관찰이 세밀히 수행된 터널을 선택하였다. 막장관찰은 암석강도, RQD, 절리면의 간격, 절리면의 상태, 지하수, 불연속면 방향 등 6가지 조사항목으로 수행되었다.

2. 전기비저항탐사와 막장관찰

연구 대상은 38국도 확장 및 포장공사 영월-덕포 구간에 존재하는 영월1터널이다. 대상터널은 지리적으로는 영월군 영월읍 방절리에 위치하며 지질학적으로는 석회암 지역에 속한다(Fig. 1). 석회암 지역에서 흔히 발생하는 석회암 공동 발견 등 암반상태를 예측하기 위하여 터널 전구간에 대하여 시공 전에 2차원 전기비저항탐사를 수행하였다. 한편 지표지질조사에 의하면 터널 시점부에서 중반까지 단층이 관찰되었으며, 시공 중 발견된 석회공동의 존재범위를 정확히 파악하기 위하여 3

차원 전기비저항탐사를 추가적으로 수행하였다.

2.1 전기비저항탐사

터널 전구간에 대하여 수행한 2차원 전기비저항탐사의 전극배열은 지하영상화의 분해능이 가장 높은 쌍극자배열을 채택하였다. 전극간격은 해상도와 가탐심도를 적절히 고려하여 10 m 간격으로 수행하였다. 한편 단층이 교차하는 예상취약부위에서 수행한 3차원전기비저항탐사의 탐사구간은 STA 6+020에서 STA 6+140으로, 단층이 교차할 것으로 예상되는 지점이 상행선(제천방향)에 가까이 위치하기 때문에 상행선을 중심으로

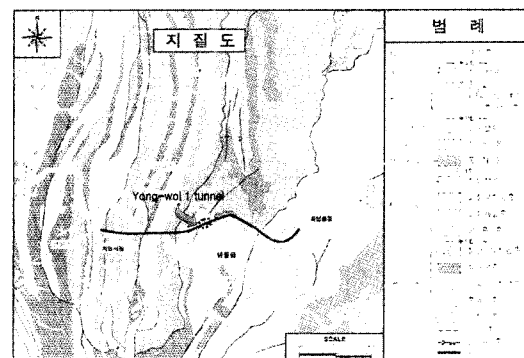


Fig. 1. Geological map of the construction area.

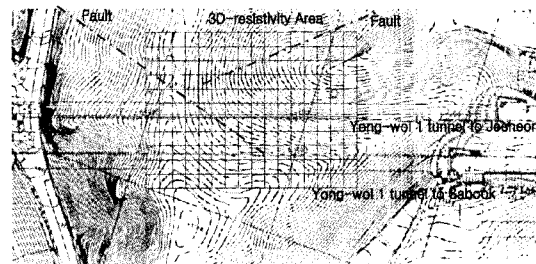


Fig. 2. 2D and 3D electrical resistivity survey lines on Yong-wol 1 Tunnel.

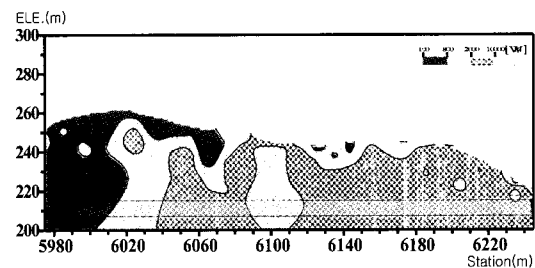


Fig. 3. Resistivity inversion image of Yong-wol 1 Tunnel to Jecheon.

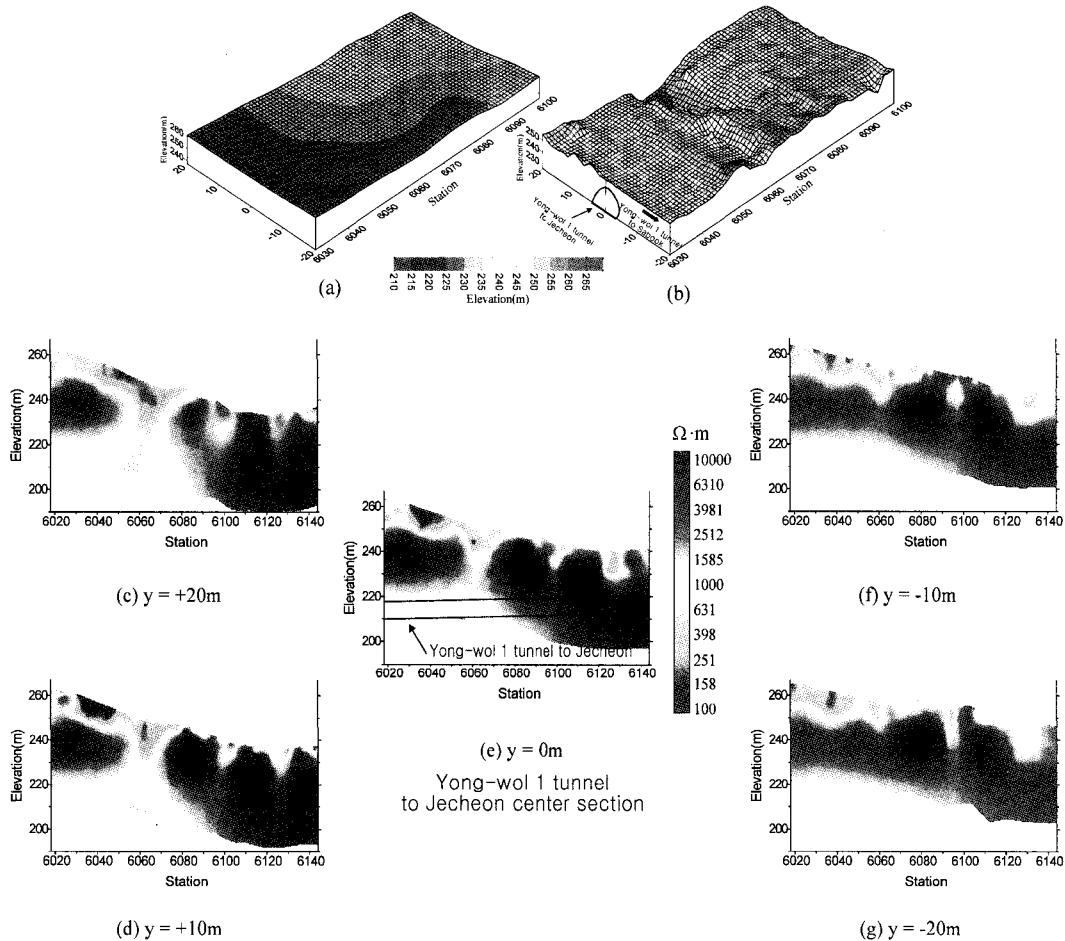


Fig. 4. The results of 3-dimensional resistivity survey on Yong-wol 1 Tunnel: (a) topography of the survey area, (b) interpreted equal resistivity (600Ωm) surface, and (c) to (g) resistivity sections parallel to the tunnel direction.

좌우 각각 40 m 구간을 탐사영역으로 설정하였다. 3차원 전기비저항탐사 시에 적용한 전극배열은 단극자-단극자 배열을 채택함으로써 탐사 시 요구되는 측정면적을 최소화하였다. 탐사측선은 터널 종방향으로 12 측선, 터널 횡방향으로 17 측선을 설정하였다. 터널심도를 고려하여 측정간격과 측선간격은 모두 8 m로 설정하였다. 3차원 전기비저항탐사 측선도는 Fig. 2와 같다.

전기비저항탐사자료는 유한차분법에 기초한 비선형 역산 프로그램을 이용하여 해석하였다. 2차원 및 3차원 역산결과는 Fig. 3과 Fig. 4와 같다. 2차원 탐사결과에서는 터널 시점에 저비저항대가 집중되어 있으며 터널 종점으로 갈수록 고비저항대가 나타남을 알 수 있다. 이는 터널 취약대가 시점부에 주로 존재하는 시공결과와도 대략적으로 일치한다. 3차원탐사결과에서 두드러진 점은 STA 6+060 부근에 저비저항대가 수직으로 발

달하여 있는 현상이다. 이 저비저항대는 station이 증가하는 방향을 바라보며 터널 왼쪽으로 형성되어 있음을 알 수 있다.

2.2 막장관찰 및 암반공학적 변수의 추출

터널을 굴진하면서 매 단면마다 막장관찰에 의한 RMR(Rock Mass Rating)을 구하였다. 조사한 항목은 암석강도, RQD, 절리면의 간격, 절리면의 상태, 지하수, 불연속면 방향 6가지 요소이다. 이렇게 RMR을 정할 때 상당히 주관적인 요소가 많이 개입되고 있는 것이 사실이다. 따라서 RMR 값과 전기비저항 값의 상호 관련성을 보고, 주관성에 기인한 오류를 최대한 배제하기 위해 20 m씩 구간을 나누어 RMR 값의 평균을 내고, 10 m씩 중첩되게 자료를 정리하여 비저항 값과 비교하였다. 또한 RMR 값의 요소를 보면 절리면의 방향이나,

암석강도는 전기비저항값을 결정하는 요소와 상관성이 낮게 나타나므로 이 두 가지 요소를 배제한 4가지 요소, 즉 RQD(rock quality designation), 절리면의 간격, 절리면의 상태, 지하수만의 값으로 구성된 RCR(rock condition rating)을 구하여 전기비저항 값과의 상관성을 분석하고자 하였다. RCR은 N(Rock mass number)과의 관계식을 통하여 N값을 추정하고 N값을 통하여 다시 Q값을 추정하여 전기비저항값과 RMR, RCR, N, Q값을 모두 비교하여 상관성을 알아보하고자 하였다.

역산된 비저항 값은 지층을 유한한 개수로 나눈 절점에서 얻어지며 절점의 간격은 측점 간격보다 같거나 크므로 지층분해능은 높지 않다. 따라서, 역산 결과에 대한 후처리 과정을 통해 지층분해능을 높이고자 하였으며, 특히 암 판정이 내려진 막장 위치에서 최적 전기비저항 추정치를 얻기 위해 크리깅 기법을 활용하였다.

3. 전기비저항탐사 및 막장관찰에 의한 암반분류

3.1 2차원 전기비저항탐사 결과 검토

전기비저항값과 RMR 값의 상관성을 Fig. 6(a)에 나타내었으며, 그래프의 A 구간은 RMR값이 커질수록 비저항값도 커지는 경향성을 보이나, B구간의 RMR값은 30점대를 보이는 반면 비저항은 수천 Ωm의 높은 값을 보여주고 있다. Fig. 6(b)는 일정구간 RMR 값의 이동평균(moving average)을 계산하여 전기비저항값과의 상관도를 고찰하기 위하여 나타낸 그래프다. RMR 평균은 터널진행 방향에 20 m 구간으로 나누어서 구하였고, 구간 구간 사이에 10 m 증첩을 하였다. Fig. 6(a)의 B 구간이 상당부분 축소되어 나타나고 있다. 전기비저항과 RCR값의 분포를 나타낸 Fig. 6(c)도 B지역의 40 점 내외의 낮은 RMR값과 3000 Ωm 내외의 상대적인 고전기비저항 값을 나타내고 있다. 이는 지역적으로 보면 터널 굴착시 공동이 존재하는 구간으로서 STA 6+056~6+075 구간이다. 여기서 유의할 점은 공동이 존재하는 구간이 고비저항대로 나타나고 있는 점인데, 막장 매핑도를 참고로 하면 공동은 충전된 점토가 건조된 상태로 존재하기 때문에 비저항 값이 높게 나타난 것으로 판단되며, 이 지점의 지형을 관찰하면, 산 정상

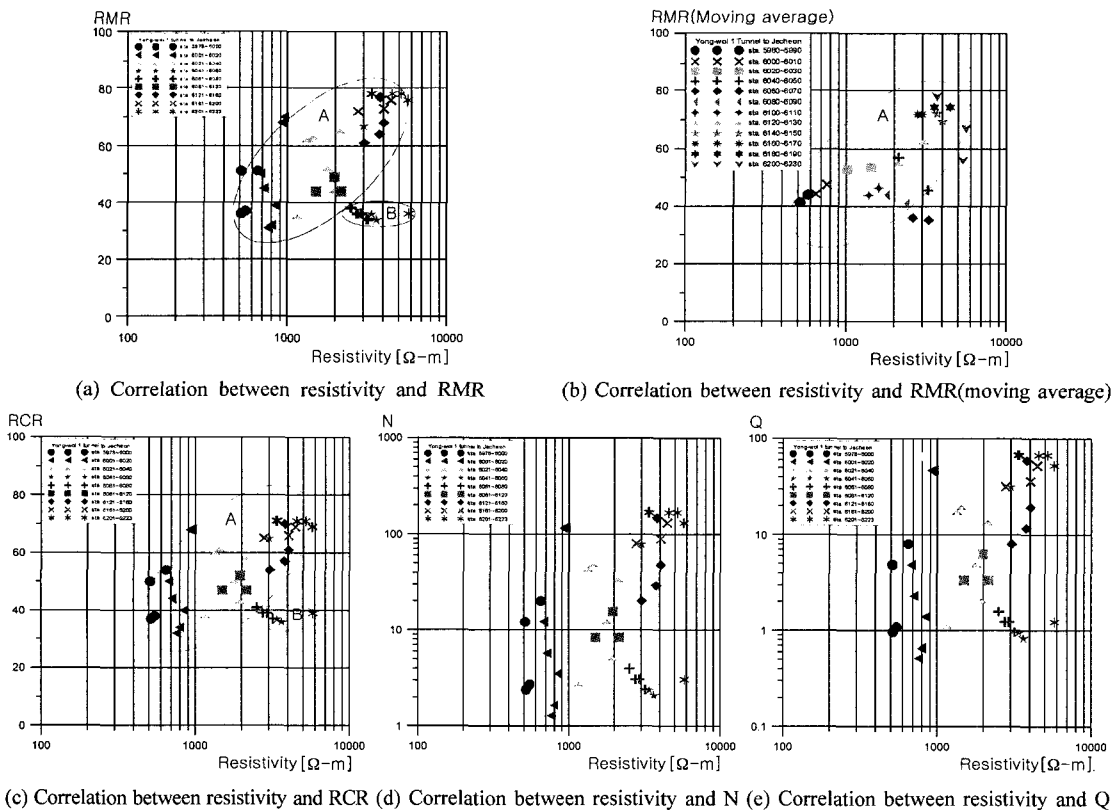


Fig. 6. Relationship between resistivity and rock-mass classification at Yong-Wol 1 Tunnel to Jecheon.

부분 능선 사이의 대체적으로 완만한 계곡 부에 해당되며, 주변부에 단층이 발달된 것으로 나타나고 있다. Fig. 6(a)와 (c)를 비교하면 전반적으로 동일한 양상을 나타내고 있다. Fig. 6(d)는 전기비저항값과 N의 상관성을 나타내며, Fig. 6(e)는 전기비저항값과, Q와의 상관성을 나타내고 있다. 2차원 전기비저항탐사 결과와 RMR을 비롯한 다양한 종류의 암반분류값들과의 상관성을 정량적으로 평가하기 위해 건조한 점토로 충전된 공동의 이상치를 제거한 후 상관성분석을 수행하였으며, 분석 결과는 Table 1과 같다.

Fig. 7(a)는 station에 따른 순수 RMR 값과 전기비저항의 상관성을 나타낸 그래프로서 D지역은 RMR 값의 변화가 매우 심한데 이는 지역적으로 절리가 발달하고 지하수의 용출이 관찰되는 지역이 교차되고 있다. 그러

Table 1. Results of correlation analysis between rock mass classification values and specific resistivity.

	Correlation coefficients			
	RMR	RCR	N	Q
Resistivity.	0.772	0.712	0.711	0.711
Log-transformed Res.	0.764	0.711	0.658	0.658

나 전기비저항 값은 비교적 안정적인 증가경향을 보이고 있다. Fig. 7(b) 그래프는 station에 따른 전기비저항값과 RMR 평균값의 경향성을 비교하기 위해 나타낸 것으로 B지역은 Fig. 6(a)의 B 지역과 동일 지점으로 경향성이 반대로 나타나고 있다. C 지역은 급격히 RMR 값이 낮아지고 있는데 이는 국부적으로 파쇄대가 발달

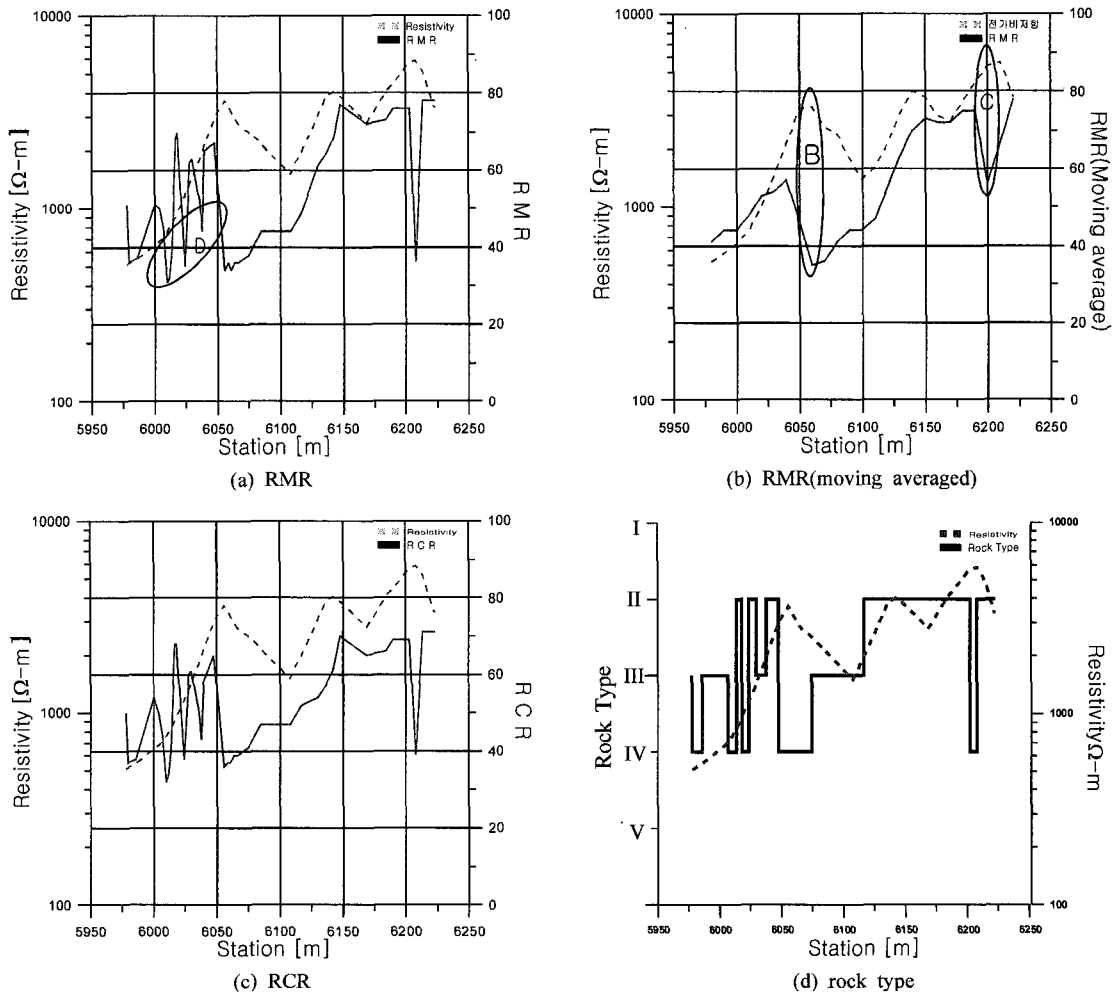


Fig. 7. Distribution of resistivity and rock-mass classification according to station at Yong-Wol 1 Tunnel to Jecheon.

되어 있고, 누수가 발생하는 지역으로 나타나고 있다.

Fig. 7(c)는 station에 따른 전기비저항 값과 RCR 값의 경향성을 비교하기 위해 나타냈으며, Fig.7(d) 그래프는 RMR 값을 점수별로 5등급으로 구분한 암반등급으로 나타낸 것으로써 대체적으로 2등급과 3등급으로 시공이 이루어졌음을 알 수 있고, 공동이 노출된 STA 6+050 주변과, 국부적인 파쇄대가 발달한 STA 6+200 주변은 4등급으로 시공이 이루어 졌다. 암반분류와 전기비저항의 상관성을 볼 때, 건조된 점토가 충전된 공동이 존재하는 지점과 국부적인 파쇄대를 제외한 전 구간에서 상관성이 비교적 잘 일치하고 있다.

3.2 3차원 전기비저항탐사 결과 검토

3차원 전기비저항 탐사는 상행선 굴착시, STA 6+056~6+076 부근 터널 천정부에서 공동이 발견됨에 따라 터널의 안전한 시공을 위하여 정밀 탐사가 필요하게 되어 실시하였다. 전기비저항의 분포 패턴과 RMR의 분포패턴이 높은 상관성을 보이고 있음을 확인할 수 있다 (Fig. 8(a)). 따라서 이들 관계에 대한 정량적 분석을 위

해 각 암반분류값들에 대해 선형회귀분석을 수행하였다(Fig. 8(b)-(e)). 상관계수 0.9이상의 높은 값을 보여주는 것은 3차원 전기비저항탐사로부터 얻은 비저항치 값과 암반분류값들간에 선형적 관계가 있음을 보여준다.

동일 구간에서 수행한 2차원탐사의 상관도는 Fig. 6에 나타나 있듯이 서로 일치하지 않는 구간이다. 이 구간은 탐사측선 외곽 근처에 구조선이 존재하는 등 2차원 탐사의 전제조건을 크게 벗어나는 지질을 지니고 있기 때문에 이러한 불일치가 야기되었을 것으로 판단된다. 따라서 복잡한 지형을 가지는 탐사현장의 경우 이러한 3차원 효과를 고려할 수 있는 3차원 전기비저항탐사가 2차원 탐사에서 파악하기 힘든 이상대를 매우 정확하게 탐사할 수 있음을 보여 주고 있다.

4. 결론

근래에 이르러 토목 건설 현장에서는 좀 더 합리적인 설계를 위하여 지구물리탐사의 활용이 증대되고 있다. 특히 전기비저항탐사는 터널현장에 가장 적용성이 높

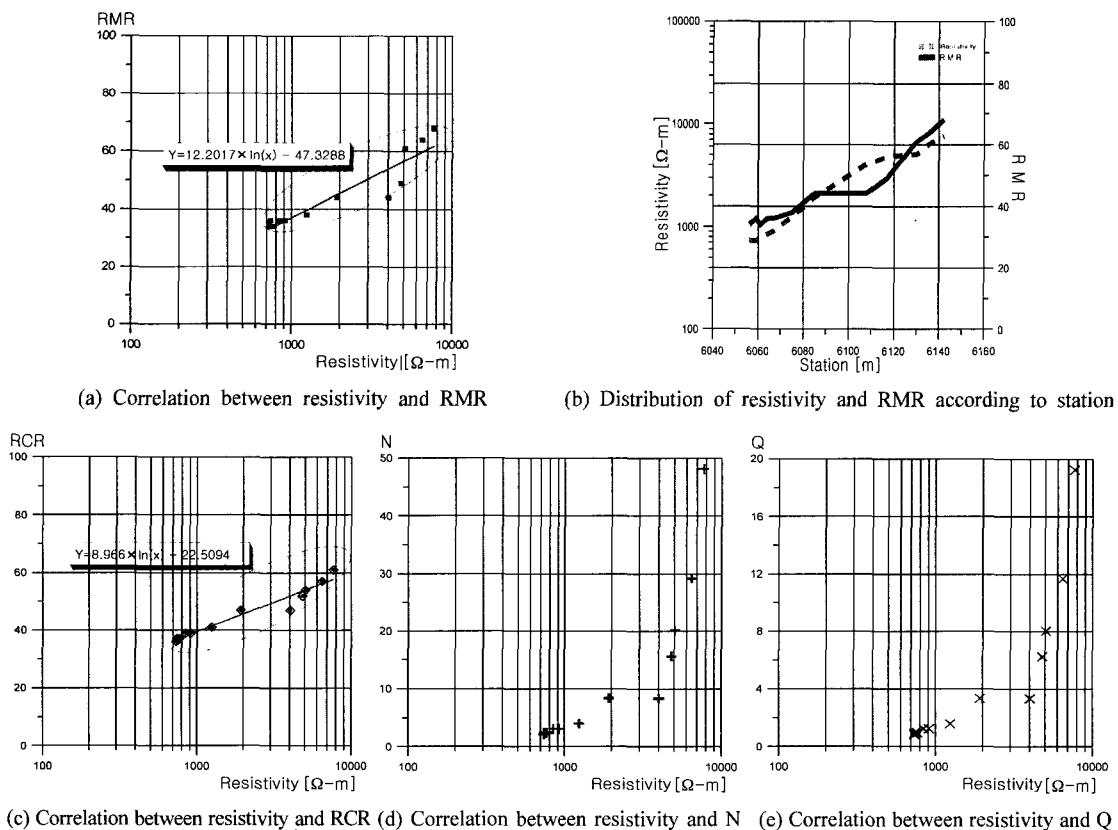


Fig. 8. Relationship between resistivity and rock-mass classification at Yong-Wol 1 Tunnel by 3D resistivity survey.

을 것으로 판단되는 탐사법이다. 그러나 아직까지 탐사 결과를 설계 단계에서만 주로 사용할 뿐, 전기비저항탐사결과를 기반으로한 예측된 암반분류가 시공 과정에서 어느 정도 정확하게 일치하는지, 정확하게 일치하지 않았다면 원인은 무엇인지에 대한 연구는 아직 발표된 바 없다. 본 연구에서는 시공전 수행한 전기비저항탐사와 시공과정에서 막장관찰에 의해 확인된 실제 암반상태를 비교함으로써 현재 활용되고 있는 전기비저항탐사에 의한 암반분류의 정확성을 고찰해보고자 하였다.

시공 시 얻은 RMR 자료를 바탕으로 하여 RCR, N, Q 값들을 차례로 작성하여 각각을 전기비저항탐사결과와 비교하였다. 또한 station에 따른 전기비저항값과 암반분류값들의 분포 특성에 대하여도 고찰하여 보았다. 이러한 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 통상적으로 가장 많이 수행되는 2차원 전기비저항과 RMR과의 상관 그래프는 일반적으로 높은 상관도를 찾기가 힘들었으나, station 진행에 따른 전기비저항과 RMR의 경향성은 많은 구간에서 비교적 높은 상관도를 나타내었다. 따라서 정성적인 암질의 변화 예측 목적으로는 만족스럽게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.
- 2) 2차원전기비저항탐사시 일부 구간에서 상관관계가 낮은 원인으로는 무엇보다도 실제 지질조건은 3차원인데 일반탐사는 2차원적인 지질조건을 가정하여 해석되기 때문이라 판단된다. 많은 구간에서 정성적으로 상관관계가 높게 나타나는 이유 역시 터널은 산맥(2차원 구조에 가까움)에 수직되게 굴착하는 경우가 많아 2차원 가정에 어느 정도는 부합하기 때문이라고 판단된다.
- 3) station 진행에 따른 전기비저항과 RMR의 분포 경향이 일치하지 않는 지역의 특성을 막장 매핑 자료로 살펴보면, 국부적인 파쇄대나, 약한 용수 현상이 발생하고 있음을 알 수 있다. 이러한 오류의 원인은 앞서 언급한 2차원탐사의 한계임과 동시에 탐사법 자체가 지하지질에 대한 분해능에 한계가 있기 때문이다.
- 4) RMR 값을 기반으로 전기비저항과 보다 밀접한 요소만으로 구성된 RCR, Q, N값을 계산하였으며 이들 값과 전기비저항사이의 상관성을 구하여 보았으나 상관도가 높게 나타나지는 않았다. 단지 RCR의 분포가 보다 밀집된 형태로 나타나는데 이는 불연속

면의 방향이 터널 방향과 평행 시 RMR 값에 마이너스 요소가 제거되었기 때문으로 해석된다.

- 5) 3차원 전기비저항 탐사는 전기비저항과 RMR의 상관성이 확연하게 높게 나타나고 있다. 이는 3차원전기비저항 탐사가 복잡한 지형 및 지질을 가지는 지역에서 2차원 전기비저항으로는 근사화될 수 없는 현실 지질조건을 충실히 고려하여 보다 정확한 자료를 제시해 주고 있기 때문이다.

시공전 설계단계에서 수행한 지표물리탐사인 전기비저항탐사, 그것도 지하지층을 2차원으로 가정하여 수행된 탐사결과로 지하상태를 정확히 파악한다는 것은 무리이다. 그러나 정성적으로는 상당한 구간에서 비교적 높은 상관도를 보이고 있음을 부정할 수 없다. 더구나 3차원탐사는 매우 높은 상관도를 나타내어 정확한 예측이 필요한 구간에 수행되면 큰 효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 권형석, 2001, 전기비저항과 암반등급의 상관관계에 대한 고찰, 한국지반공학회 2001 봄 학술발표회 논문집, 81-88.
2. 박권규, 1994, 유한요소법을 이용한 3차원 전기비저항 모델링 및 지형보정에 관한 연구: 공학석사 학위논문, 서울대학교.
3. 김정호, 1987, 2차원 전기비저항 탐사자료의 역산: 공학박사 학위논문, 서울대학교.
4. 이병중, 김정호, 조성준, 정승환, 1997, 전기비저항 탐사자료의 3차원 역산: 전기·전자탐사법에 의한 지하 영상화 기술연구, 한국자원연구소, KR-97(C)-16, 57-100.
5. 한국암반공학회, 한국지구물리탐사학회, 한국자원연구소, 1999. 건설기술자를 위한 지반조사 및 시험기술.
6. Bieniawski, Z. T., 1973. Engineering Classification of Joint Rock masses, The Civil Engineering in South Africa, 15, 335-334.
7. Goel, R. K., Jethwa, J. L. and Paithankar, A.G., 1996. Correlation Between Barton's Q and Bieniawski's RMR - A New Approach, Int. Jr. Rock Mech. and Min. Sci. & Geomech. Abstr., pergamon, 33.2, 179-181.
8. Barton, N., 1993. Application of Q-system and Index Tests to Estimate Shear Strength and Deformability of Rock Masses, Workshop on Norwegian Method of Tunnelling, New Delhi, India, 66-84.
9. Kitanidis, P. K., 1997, Introduction to geostatistics: Applications to Hydrogeology, 30-99.

**최재화**

1999년 강원대학교 공과대학 자원공학과
공학사
2002년 강원대학교 공과대학 자원공학과
공학석사

Tel: 02-522-2694
E-mail: cjh@geeha.co.kr
현재 지하정보기술(주)

**조철현**

1983년 서울대학교 공과대학 자원공학과
공학사
1985년 서울대학교 공과대학 자원공학과
공학석사
1992년 서울대학교 공과대학 자원공학과
공학박사

Tel: 02-522-2694
E-mail: jch@geeha.co.kr
현재 지하정보기술(주)

**류동우**

1994년 서울대학교 공과대학 자원공학과
공학사
1996년 서울대학교 대학원 자원공학과
공학석사
2000년 서울대학교 대학원
지구환경시스템 공학부 공학박사

Tel: 02-871-4752
E-mail: ryurock@geeha.co.kr
현재 지하정보기술(주)

**김훈**

1975년 서울대학교 공과대학 토목공학과
공학사
한국암반공학회 사업이사

Tel: 02-510-3401
E-mail: kimhn@doosan.com
현재 두산건설주식회사

**오병삼**

1985년 고려대학교 공과대학 토목공학과
공학사

Tel: 02-510-3835
E-mail: ohbsam@doosan.com
현재 두산건설주식회사

**강문구**

1986년 강원대학교 공과대학 자원공학과
공학사
1990년 강원대학교 공과대학 자원공학과
공학석사

Tel: 02-510-3253
E-mail: moongu@doosan.com
현재 두산건설주식회사

**서백수**

1976년 서울대학교 공과대학 자원공학과
공학사
1978년 서울대학교 공과대학 자원공학과
공학석사
1988년 서울대학교 공과대학 자원공학과
공학박사

Tel: 033-250-6254
E-mail: bssuh@kangwon.ac.kr
현재 강원대학교