

암반사면을 대상으로 다변량 수량화 기법을 응용한 RMR 인자의 수정 가중치 제안

채병곤¹⁾ · 김광식²⁾ · 조용찬¹⁾ · 서용석²⁾

¹⁾한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 산사태재해연구팀

²⁾충북대학교 지구환경과학과·기초과학연구소

A Suggestion of the Modified Weighting Values of the RMR Parameters Using a Multiple Regression Analysis on Rock Slopes

Byung-Gon Chae¹⁾ · Kwang-Sik Kim²⁾ · Yong-Chan Cho¹⁾ · Yong-Seok Seo²⁾

¹⁾Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

²⁾Dept. of Earth & Environmental Sci. & Institute for Basic Science Research,
Chungbuk National University

본 연구는 지질특성에 따라 해당 지역의 지질조건과 특성을 최대한 반영한 RMR 항목별 가중치를 결정하는 방법을 제안하기 위하여 수행되었다. 이를 위해 본 연구에서는 우선 울산지역에 분포하는 백악기 퇴적암을 대상으로 RMR 분류의 인자별 배점체계를 검토하였다. 이 과정에서 기존 연구들이 수행한 경험적 연구방법을 탈피하여 다중회귀분석을 이용한 객관적·과학적 방법으로 인자별 배점을 설정하였다. 이를 통해 인자별 배점설정의 객관적 근거를 확보한 수정된 RMR 분류체계를 제안하고, 그 결과를 지질학적 관점에서 평가하였다. 다중회귀분석을 위해 RMR 항목과 사면경사를 각각 독립변수와 종속변수로 설정하였다. 다중회귀분석을 통한 수정된 RMR 항목별 가중치는 무결암의 강도가 30, RQD가 18, 불연속면 간격이 8, 불연속면 조건이 32, 그리고 지하수 12로 나타났다.

주요어 : RMR, 가중치, 지질특성, 백악기 퇴적암, 다중회귀분석

This study was conducted to suggest a method to determine weighting values of each parameter of the RMR system considered with geologic characteristics of a study area. This study reviewed the weighting values of the RMR system for the Cretaceous sedimentary rocks distributed in Ulsan area. Based on the data of field survey at the study area, a multiple regression analysis was used to set up an optimal weighting values of the RMR parameters. For the multiple regression analysis, each parameter of the RMR and the slope gradient were regarded as the independent variable and the dependent variable, respectively. The analysis result suggested a modified weighting values of the RMR parameters as follows; 30 for the intact strength of rock; 18 for RQD; 8 for spacing of discontinuities; 32 for the condition of discontinuities; and 12 for ground water.

Key words : RMR system, weighting values, geologic characteristics, the Cretaceous sedimentary rocks, multiple regression analysis

* Corresponding author: ysseo@cbu.ac.kr

서 론

암석으로 구성된 지반에 사면을 개설하거나 터널을 굴착할 경우 해당 암반의 안정성을 평가하는 것이 중요하다. 암반의 안정성 평가를 위해서는 기존에 제안된 다양한 방법을 이용하여 암반분류를 하고 등급으로 표시한다. 이 과정에서 사면에 일반적으로 적용하는 것이 Rock Mass Rating(RMR)법이다.

RMR법은 Bieniawski(1976)에 의해 1970년대에 최초로 제안되었고, 그동안 여러 학자와 기술자들에 의해 수정 제안되며 현재까지 가장 많이 사용되고 있는 암반분류법 중의 하나이다. RMR은 초창기부터 많은 수의 현장 자료를 검토하여 제안되었으며, 그 이후에도 다양한 암반조건을 고려하기 위하여 추가적으로 수정되었다. 그러나 이 과정에서 RMR 값을 산출하는 각 인자의 가중치 또는 배점 설정이 대부분 경험적 방법에 의해 산정되거나 기초적 통계분석을 통해서 제안되어 왔다. 따라서 RMR 값은 많은 수의 자료를 토대로 제안된 항목별 배점이기는 하지만, 다양한 지질조건을 충분히 고려하여 만족할 만한 결과를 도출하지 못하고 있음도 사실이다. 예를 들어 암석종류에 따라 암석의 풍화특성이 달라지는 조건에 위치하는 사면, 또는 대규모 단층대에 위치하여 단층과 절리의 밀도가 높은 암반사면, 단층대에서 멀리 떨어져 불연속면이 거의 발달하지 않는 사면 등 다양한 지질환경과 조건을 충분히 고려하여 각각의 지질특성에 부합하는 암반분류를 하기에는 다소간의 제약이 따른다.

본 연구에서는 이와 같은 점을 고려하여 지질특성에 따라 RMR 인자별 배점을 조정하여 해당 지역의 지질조건과 특성을 최대한 반영한 RMR 분류체계를 구성하는 방법을 제안하고자 하였다. 즉, 본 연구의 대상지역 지질인 퇴적암의 지질특성을 충분히 반영한 RMR 분류체계를 제안하여 퇴적암지역 암반사면의 안정성을 새로운 각도에서 검토할 수 있는 방법을 개발하고자 노력하였다. 특히, 울산지역 구성지질의 특성에 따라 기존 RMR 분류의 인자별 배점체계를 수정하여 서로 상이한 지질조건을 충분히 고려한 암반분류 및 사면안정성 검토가 가능한 기반을 확보하고자 하였다.

이를 위해 본 연구에서는 우선 울산지역에 분포하는 백악기 퇴적암을 대상으로 RMR 분류의 인자별 배점체계를 검토하였다. 이 과정에서 기존 연구들이 수행한 경험적 연구방법을 탈피하여 응용통계기법을 이용한 객관적·과학적 방법으로 인자별 배점을 설정하였다. 이를 통해 인자별 배점설정의 객관적 근거를 확보한 수정된

RMR 분류체계를 제안하고, 그 결과를 지질학적 관점에서 평가하였다.

연구방법

본 연구수행을 위해 백악기 경상누층군의 하양층군을 구성하는 사암과 셰일을 대상지질로 선정하였다. 부산-울산간 고속도로 건설현장에 위치하는 퇴적암 암반사면을 대상으로 총 33개 지점에서 RMR 분류를 위한 사면조사를 실시하고, 조사된 자료에 대한 특성을 분석하였다. 전술한 바와 같이 새로운 RMR 분류체계를 제안하기 위해 응용통계 기법 중 다중회귀분석법을 이용하여 자료를 분석하였다.

연구지역

연구지역은 울산시 굴화리 일대와 청량면 일대의 부산-울산간 고속도로 현장의 총 19개의 퇴적암 사면을 선정하고, 33개의 조사지점을 대상으로 굴화리 일대(A지역)와 청량면 일대(B지역)로 나누어 조사를 실시하였다(Fig. 1).

연구지역의 구성 지질은 백악기 경상누층군에 속하는 하양층군과 이들을 관입하고 있는 불국사 관입암류 및 그 상위에 분출 혹은 부정합으로 놓이는 소규모의 제3기 지층, 제4기 층적층으로 구성되어 있다(Fig. 1). 조사 대상지역의 하양층군 퇴적암류는 주로 적색, 녹회색 및 암회색을 띠는 사암과 셰일이 서로 교호하며 발달한다. 이들 퇴적암류는 층리가 잘 발달하고 긴 연장성을 갖는 것이 특징이며, 조사지역에서는 화강암 주변부에서 관입에 따른 접촉열변성작용으로 인해 혼펠스화 되어있다. 퇴적암 층리의 주향은 주로 서북서방향의 주향에 남서방향으로 저각도 경사를 가진다.

한편, 연구지역 내 하양층군 퇴적암류에 분포하는 사면은 폭이 20~100m이며, 높이는 8~60m이다. 이 사면들에 대해 ISRM(1978)에서 제안한 기준과 RMR 분류를 위한 방법을 적용하여 암반의 지질조건을 조사하고 각 사면별 face mapping을 실시하였다(Fig. 2).

불연속면 조사방법

불연속면은 지질학적 의미와 공학적 의미로 구분하여 정의할 수 있다. 지질학적 의미의 불연속면(discontinuity)은 암반내에 발달하는 단층(fault), 절리(joint), 층리(bedding), 엽리(foliation), 틈(crack), 균열

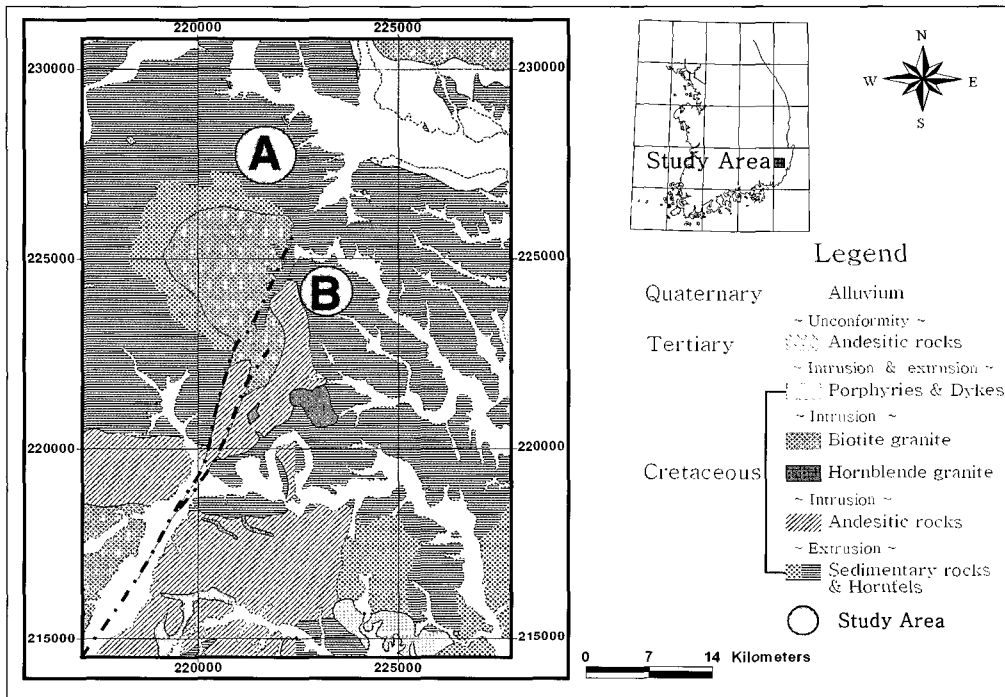


Fig. 1. Geologic map of the study area.

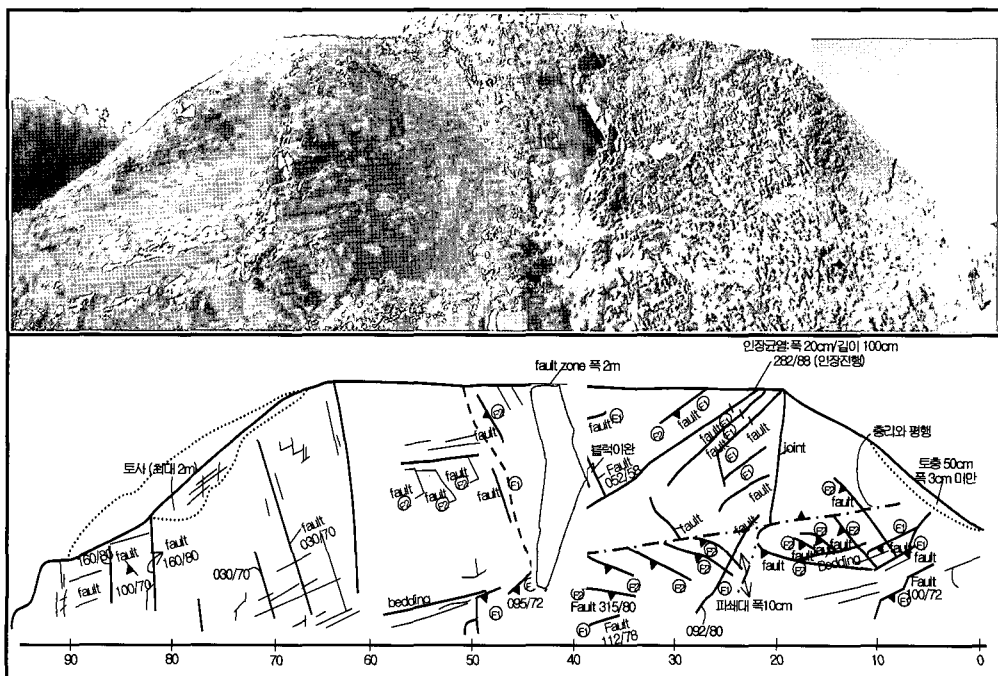


Fig. 2. An example of face map for a surveyed slope.

(fissure), 깨짐(fracture) 등을 나타낸다. 공학적 의미의 불연속면은 암반 내에 존재하는 인장강도가 작거나 또는 전혀 없는 역학적 결합을 총칭하고, 암반에서 나타나는 모든 연약한 면을 총괄적으로 나타내는 용어으로써 1960년대 후반부터 여러 연구자들에 의하여 사용되기 시작하였다 (Fookes and Dennes, 1969; Priest and Hudson, 1976; Goodman, 1976).

암반의 거동은 토질과 다르게 암반 내에 발달하고 있는 불연속면의 발달특성(불연속면의 방향, 간격, 연속성, 간극, 충전물, 투수성, 강도 및 절리군의 수, 압괴의 크기 및 모양)에 따라 영향을 받으므로 각종 공사에서 암반의 안정성에 미치는 이들의 영향을 고려하여야 한다.

일반적으로 불연속면을 조사하는 방법은 축선법(scanline method) 혹은 조사창 측정법(window method)이 사용되는데, 본 연구에서는 조사 축선법을 사용하였다. 조사 축선법은 일련의 선을 조사대상 부분에 설정하는 것으로써, 서로 다른 두 개의 축선을 가능한 한 서로 수직을 이루도록 위치시키고 축선을 따라 선과 교차하는 불연속면의 위치와 특성을 기록하는 방법이다 (Piteau, 1971).

연구지역 암반의 RMR 분류

조사지역의 RMR값 산정을 위해 먼저 ISRM에서 제안한 조사방법에 의해 현장조사를 실시하고 각각 조사된 내용을 RMR항목에 적용하여 연구지역의 RMR값을 획득하였다(Table 1). 먼저 현장조사자료는 기초 RMR에 해당되는 5가지 분류인자인 무결암의 강도, 코어암질 지수(RQD), 간격, 불연속면 상태, 지하수 순서로 R1~R5로 구분하였다.

조사지역에서 R1, R2, R3, R4는 각 지점에서 조사된 자료의 평균값을 구하여 각각의 해당 범위의 점수로 환산하여 산출하였으며, 거칠기와 지하수 상태는 김교원(2001)이 제안한 방법에 의해 Table 2, Table 3과 같은 분류표를 이용하여 각각의 점수를 산출하였다.

조사지역의 RMR 인자별 값의 분포를 보면 R1은 2~12, R2는 3~20, R3은 5~10, R4는 8~22, R5는 4~15의 범위를 나타내며, 기초 RMR값은 36~71로 IV~II 등급으로 나타났다. RMR 값의 차이가 심한 이유는 한 사면

에서 수직고가 큰 사면일 경우 풍화상태의 차이가 있는 소단별로 조사지점을 설정하였기 때문이다.

다변량 수량화 기법을 응용한 RMR분류 수정제안

RMR 분류법은 여러 종류의 암반분류법 중에서 세계적으로 통용되어 온 주요 암반분류법이며, 특히 많은 학자들에 의해 다양하게 연구되고 적용되어 왔다. 그러나 RMR 분류법은 실제 현장에서 적용하는데 몇 가지 문제점이 있다. 즉, 이 암반분류법은 매우 일반적이고 적용 대상이 광범위하여 현장 적용 시 불합리한 점이 나타난다. 각 평가요소별 가중치를 적용함에 있어 조사자의 주관이 개입되는 모호성이 있다. 또한 각 인자의 평가에 대한 구체적인 지침 없이 구분과 등급만 제시된 경우가 많아 다양한 지질학적 조건에서는 적용과정에 혼란을 주고 있다. 이와 같은 RMR 분류법의 문제점을 요약하면 다음과 같다.

- 5개의 기본인자 중 RQD와 불연속면 간격과 같은 유사특성의 인자가 중복 적용되고 있다.
 - 불연속면 연장성은 대상 노두면 혹은 굴착면의 규모에 따라 그 의미가 달라지므로 불연속면 연장성의 치수효과가 고려되어야 한다.
 - 전체적으로 평점 범위가 너무 크고 등급간의 경계 값에 대한 적용이 어렵다.
 - 현장조건에 따른 입력인자간의 보정이 필요할 수 있다.
- 본 연구는 과거의 경험적 방법에 의한 RMR 항목들의 가중치와 배점 설정을 지양하고, 객관적이고 과학적인 방법을 이용하여 연구지역 지질특성을 충분히 반영한 RMR 항목별 가중치를 설정하기 위해 통계학적 방법을 적용하였다. 통계분석방법은 분산이 크고 이질성이 강한 지질자료의 분석에 적합한 다중회귀분석을 적용하였다. 다중회귀분석의 장점은 첫째, 오차분산(error variance)을 줄이고 종속변수에 대하여 보다 충분한 설명이나 예견이 가능하다. 또한, 다른 독립변수의 값을 통제된 상태에서 특정 독립변수가 종속변수에 독립적으로 행사하는 영향력을 측정할 수 있고, 각 독립변수가 종속변수에 미치는 효과의 상대적인 비교와 보다 정밀한 인과관계의 분석이 가능하다.

Table 1. RMR values of the study area.

Parameters Study points	UCS (R1)	RQD (R2)	Spacing (R3)	Condition of discontinuities (R4)	Ground Water (R5)	RMR	Grade
1	7	13	10	22	15	66	II
2	4	17	10	19	15	65	II
3	12	13	8	22	15	56	III
4	7	13	10	13	15	56	III
5	7	13	10	8	15	37	IV
6	4	17	10	15	15	71	II
7	7	13	8	10	15	49	III
8	4	17	10	15	15	53	III
9	7	17	10	20	15	57	III
10	4	17	10	20	15	54	III
11	4	13	10	20	15	43	III
12	7	20	10	17	15	64	II
13	7	17	10	20	15	62	II
14	7	13	10	19	15	62	II
15	4	13	8	20	15	56	III
16	7	13	8	21	10	59	III
17	4	17	10	17	15	67	II
18	7	13	8	20	10	57	III
19	7	17	10	19	15	67	II
20	7	13	10	15	15	60	III
21	4	13	8	18	15	58	III
22	4	17	8	17	15	41	III
23	7	8	8	21	15	52	III
24	7	3	5	14	15	42	III
25	7	13	8	20	15	58	III
26	7	17	10	20	15	64	II
27	2	13	10	20	15	45	III
28	7	8	8	16	15	54	III
29	4	3	8	20	15	45	III
30	4	8	8	21	15	47	III
31	4	13	8	21	15	40	IV
32	12	13	10	21	4	60	III
33	4	13	8	17	15	36	IV

Table 2. Classification of discontinuity roughness(Kim, 2001).

Grade	Roughness		RMR (R4)
	Large scale	Small scale	
I	Stepped	Rough	6
II		Smooth	5
III		Slickensided	3
IV	Undulate	Rough	5
V		Smooth	3
VI		Slickensided	1
VII	Planar	Rough	3
VIII		Smooth	1
IX		Slickensided	0

Table 3. Classification of discontinuities dependent on seepage from unfilled and filled discontinuities(Kim, 2001).

Discontinuities	Grade	Description	R5
Unfilled	I	The discontinuity is very tight and dry, water flow along it does not appear possible.	15
	II	The discontinuity is dry with no evidence of water flow.	15
	III	The discontinuity is dry but shows evidence of water flow, i. e. rust staining, etc.	10
	IV	The discontinuity is damp but no free water is present.	7
	V	The discontinuity shows seepage, occasional drops of water, but no continuous flow.	4
	VI	The discontinuity shows a continuous flow of water. (Estimate 1/min and describe pressure i. e. low, medium, high)	0
Filled	I	The filling materials are heavily consolidated and dry, significant flow appears unlikely due to very low permeability.	15
	II	The filling materials are damp, but no free water is present.	10
	III	The filling materials are wet, occasional drops of water.	7
	IV	The filling materials show signs of outwash, continuous flow of water (estimate 1/min)	4
	V	The filling materials are washed out locally, considerable water flow along out-wash channels (estimate 1/min and describe pressure i. e. low, medium, high)	0
	VI	The filling materials are washed out completely, very high water pressures experienced, especially on first exposure (estimate 1/min and describe pressure).	0

일반적으로 RMR 등급에 따라 사면의 경사도가 민감하게 결정됨을 감안하여 RMR 값과 사면 경사도와의 관계에 대한 상관성 분석을 실시하였다(Banks, 2005). 변수의 결정은 기본 RMR 값과 기본 RMR의 분류인자인 무결암의 강도, RQD, 간격, 불연속면의 상태, 지하수를 독립변수로 설정하고 사면 경사도를 종속변수로 설정하였다. 추출된 변수들은 다중회귀분석 알고리즘을 통하여 통계프로그램인 SPSS Ver. 13을 사용하여 분석하였다. 분석 결과를 토대로 다중회귀식을 구하였고, 중요도를 산출하여 각 분류인자 간의 배점 보정을 실시하여 RMR 수정안을 제시하였다.

적용모형

통계분석은 표준화 단계, 다중회귀분석 단계, 수량화 단계의 3단계로 진행되고, 이 과정을 거쳐 결과 값을 획득하였다(Fig. 3). 각 단계에 대한 설명은 다음과 같다.

표준화 단계

표준화단계는 데이터(변수)의 입력, 데이터 표준화의 과정으로 나뉜다. 데이터의 입력단계에서는 분석할 자료의 변수를 결정하며, 본 연구에서 입력변수는 경사도를 종속변수로 놓고, 각각의 RMR분류인자들(R1~R5)을

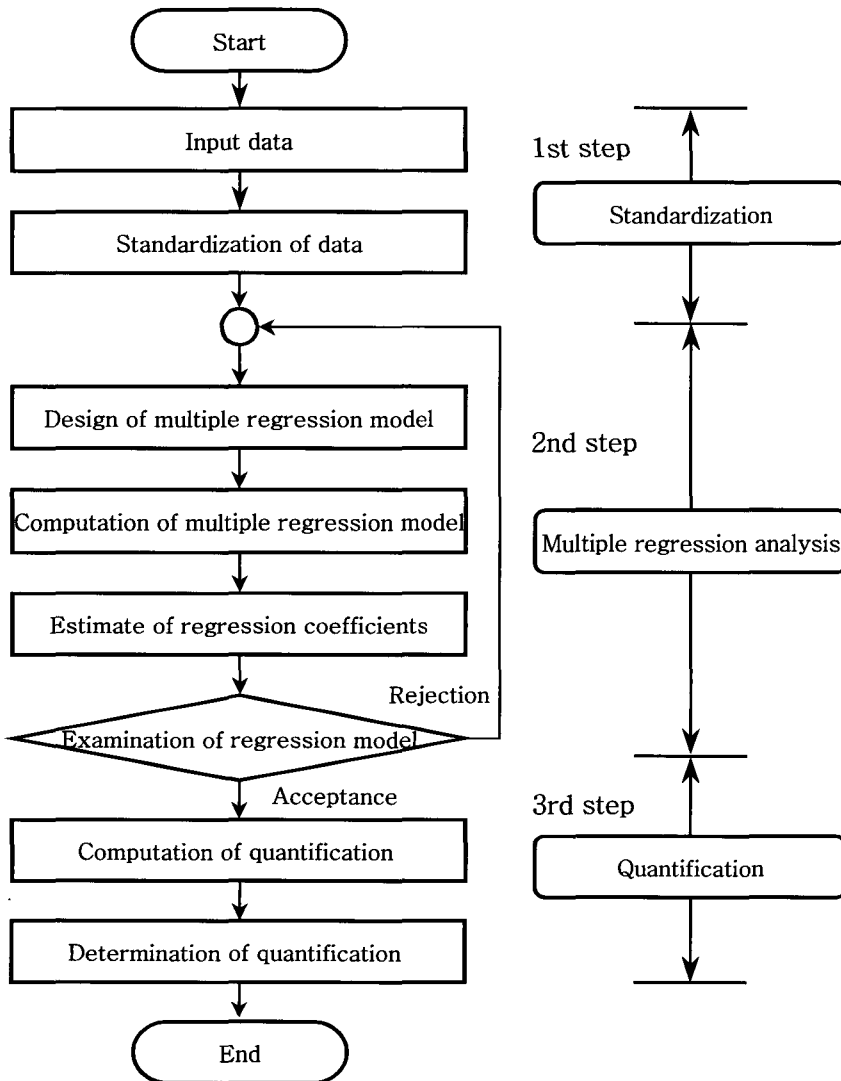


Fig. 3. An algorithm of multiple regression analysis.

독립변수로 취하였다. 데이터 표준화단계는 독립변수들 중 각 변수들의 측정단위를 동일하게 해주는 과정이다. 이는 RMR 값에 서로 다른 배점을 갖는 독립변수들의 비중을 동일하게 하여 경사도에 동일한 영향력을 미칠 수 있도록 해주는 것이다.

다중회귀분석 단계

다중회귀분석 단계는 다중회귀모형 설계, 다중회귀모형 계산, 회귀계수 추정, 회귀모형 검증의 단계를 거친다. 다중회귀모형 설계단계에서는 다중회귀모형식을 만들게 된다. 이때 회귀모형식은 통계분석 결과를 이용한 적합성 유무를 통해 검증되며, 이후 다중회귀모형 계산 과정으로 넘어간다. 다중회귀모형 계산단계는 검증된 회귀모형식을 통해 표준화된 회귀계수 값을 획득하는 과정이다. 회귀계수 추정 단계에서는 유의 확률을 통해 회귀계수가 적합한지를 추정하게 된다. 유의 확률이 0.005를 기준으로 0에 가까운 유의 확률 값을 보이면 이는 적합한 회귀계수임을 뜻한다. 회귀모형 검증단계에서는 수정된 r^2 (결정계수)의 값으로 검증을 하게 된다. 이때 수정된 r^2 의 값이 1에 가까운 값을 보이면 추정된 회귀계수가 설명력을 가질 수 있게 된다. 위의 과정 검증이 기각되면 회귀모형 단계로 다시 돌아가게 된다.

수량화 단계

수량화 단계의 과정은 수량화 및 중요도 결정단계로 진행된다. 수량화 결정단계에서는 개별 회귀계수의 총합에서 각 값들이 차지하는 비율로부터 독립변수의 영향을 수량화하고, 중요도 결정단계에서는 결정된 회귀계수를 백분율로 표시하면 중요도가 결정되게 된다.

분석결과

연구지역의 조사 자료를 이용하여 통계분석을 실시한 결과는 다음과 같다. Table 4는 회귀식의 적합성을 검증한 결과이다. 유의확률(significant probability)이 0.005를 기준으로 0에 근접한 값을 나타내면 적합하다고 본다. 그러나 0.005보다 큰 값을 나타내면 이 회귀모형은 적합하지 않다고 가정하고 회귀모형을 새로 만들어야 한다. 분석결과의 유의확률은 0으로서 이 모형의 회귀식은 적합한 것으로 검증되었다.

Table 5는 추정된 회귀계수를 검증한 결과이다. 여기서 유의확률 역시 0.005보다 작은 값을 가져야 회귀계수 산정이 적합하게 이루어진 것이다. 그러나 Table 5에서 일부 항목의 유의확률이 0.005보다 큰 값을 나타내지만 Table 4에서 설정된 회귀식이 유의한 것으로 나타났으므로, 회귀계수 검증에서 일부 항목의 유의확률이 0.005보다 크더라도 전체적인 회귀식과 회귀계수의 유의성은 확보된 것으로 판단할 수 있다. Table 6은 검증된 회귀계수가 설명력이 있는지를 나타낸다. 분석결과 수정된 결정계수(r^2)가 1에 가까운 값일수록 이 회귀계수는 설명력을 가지게 된다. 모형식과 회귀계수가 모두 적합하고 결정계수가 0.651로서 이 분석결과의 회귀계수는 설명력이 있는 값으로 채택 될 수 있다. Table 7은 추정된 회귀계수를 수량화하여 중요도를 나타낸 것으로서 R1은 30, R2는 18, R3은 8 R4는 32, R5는 12이며, 이들 값은 각 요소들이 경사도에 미치는 영향력을 설명해 줄 수 있다.

이와 같이 결정된 회귀계수가 바로 선형 회귀식에서의 회귀계수(기울기)가 되며, 결정된 회귀계수로부터 다음과 같은 모형 식이 도출된다.

Table 4. Result of analysis of variance.

Model		Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F-statistic	Significant probability
Slope angle Parameter of RMR	Regression	0.829	5	0.166	12.957	0.000
	Residual	0.346	27	0.0128	-	-
	Total	1.175	32	-	-	-

Table 5. Verification results of the inferred regression coefficients of each parameter.

Model		Unstandardized coefficients		Standardized coefficients	T-statistic	Significant probability
		B	Std. error	Beta		
Slope angle Parameter of RMR	Constant	1.574	0.221	-	7.118	0.000
	R1	-0.0267	0.009	-0.393	-2.988	0.006
	R2	-0.0103	0.007	-0.234	-1.501	0.145
	R3	-0.0152	0.022	-0.108	-0.702	0.489
	R4	-0.0185	0.005	-0.428	-3.362	0.002
	R5	-0.0133	0.011	-0.154	-1.252	0.221

Table 6. Result of model summary.

Model	r	r ²	Adjusted r ²	Std. Error of the estimate	Durbin-Watson
Slope angle Parameter of RMR	0.840	0.706	0.651	0.1132	1.688

Table 7. The determined coefficients and the quantification results of each parameter.

Explanatory variable	Standardized coefficients	Determined coefficients	Quantification results
R1	-0.3928	0.30	30%
R1	-0.2337	0.18	18%
R3	-0.1077	0.08	8%
R4	-0.4284	0.32	32%
R5	-0.1543	0.12	12%
Sum	-1.3169	1	100%

$$RMR = 0.30R1 + 0.18R2 + 0.08R3 + 0.32R4 + 0.12R5 \quad (r^2 = 0.651) \quad (1)$$

여기서 중요도는 각 분류인자들과 경사도의 인과관계를 분석한 결과 값으로서, RMR분류 인자간의 보정된 배점 값을 의미한다. 이는 기존 RMR로부터 수정 제안하는 RMR의 배점을 나타내는 것으로서, 특이한 점은 무결암의 강도 값이 기존 RMR의 배점보다 2배 증가하였고, 간격의 배점은 60%정도 감소하였다(Table 8).

토의 및 결론

Table 8. Comparison of the parameters between the preexisting RMR and the modified RMR.

Variable	Parameter	Rating	
		Preexisting RMR	Modified RMR
R1	Intack rock strength	15	30
R2	RQD	20	18
R3	Spacing	20	8
R4	Discontinuity condition	30	32
R5	Groundwater	15	12
R1+R2+R3+R4+R5	RMRb	100	100

Table 9. Values of the preexisting RMR and the modified RMR of the study area.

Study points	R1 (15)	R2 (20)	R3 (20)	R4 (30)	R5 (15)	Pre-existing RMR (100)	R1 (30)	R2 (18)	R3 (8)	R4 (32)	R5 (12)	Modified RMR(100)	Difference
1	7	13	10	21	15	66	14	12	4	22	12	64	2
2	4	17	10	19	15	65	8	15	4	20	12	60	5
3	12	13	8	8	15	56	24	12	3	9	12	59	3
4	7	13	8	13	15	56	14	12	3	14	12	55	1
5	2	8	8	4	15	37	4	7	3	4	12	31	6
6	12	17	10	17	15	71	24	15	4	18	12	73	2
7	7	13	8	6	15	49	14	12	3	6	12	47	2
8	4	13	8	13	15	53	8	12	3	14	12	49	4
9	7	13	8	14	15	57	14	12	3	15	12	56	1
10	4	13	10	12	15	54	8	12	4	13	12	49	5
11	2	8	8	10	15	43	4	7	3	11	12	37	6
12	7	17	10	15	15	64	14	15	4	16	12	61	3
13	7	17	10	13	15	62	14	15	4	14	12	59	3
14	7	13	10	17	15	62	14	12	4	18	12	60	2
15	4	13	8	16	15	56	8	12	3	17	12	52	4
16	7	13	8	21	10	59	14	12	3	22	8	59	0
17	7	17	10	18	15	67	14	15	4	19	12	65	2
18	7	13	8	19	10	57	14	12	3	20	8	57	0
19	7	17	10	18	15	67	14	15	4	19	12	65	2
20	7	13	10	15	15	60	14	12	4	16	12	58	2
21	4	13	8	18	15	58	8	12	3	19	12	54	4
22	4	8	8	6	15	41	8	7	3	6	12	37	4
23	7	8	10	17	15	57	14	7	4	18	12	55	2
24	7	3	5	12	15	42	14	3	2	13	12	44	2
25	7	13	10	13	15	58	14	12	4	14	12	56	2
26	7	17	10	15	15	64	14	15	4	16	12	61	3
27	2	13	8	7	15	45	4	12	3	7	12	38	7
28	7	8	8	16	15	54	14	7	3	17	12	53	1
29	4	3	8	15	15	45	8	3	3	16	12	42	3
30	4	8	8	12	15	47	8	7	3	13	12	43	4
31	1	3	8	13	15	40	2	3	3	14	12	34	6
32	12	13	10	21	4	60	24	12	4	22	3	65	5
33	1	3	5	12	15	36	2	3	2	13	12	32	4

연구지역의 퇴적암은 적색 세일, 암회색의 사암, 적색 세일과 암녹색의 사암이 교호하는 층들이 분포하고 세일과 사암은 각각 다른 풍화상태를 보이고 있다. 이 지역의 세일은 풍화에 약하고 박리작용이 활발히 진행됨을 볼 수 있고, 사암은 세일보다는 풍화에 강한 지질학적 특성을 보인다. 이 지역 퇴적암의 지질공학적 특성을 살펴보면 세일과 사암의 강도값은 위치별로 큰 편차를 보인다. 그러나 풍화도는 심한 풍화(HW)와 중간 풍화(MW) 상태, 불연속면의 간격은 좁거나 중간정도의 상태로 상대적으로 낮은 값의 편차를 보인다. 이와 같은 양상을 고려할 때, 하양층군 퇴적암에서 RMR 값에 가장 큰 영향력을 미치면서 변별력을 가지는 인자는 무결암의 강도임을 알 수 있다. 이 인자에 대한 지질학적 측면에서의 영향력과 변별력은 암석강도 값이 기존 15점에서 30점으로 2배 증가하는 결과를 보이는 다중회귀분석 결과에도 잘 반영되어 있다. 따라서 부산과 울산지역에 분포하는 하양층군 퇴적암에 대한 RMR 분류 시 무결암 강도 값이 매우 중요한 역할을 한다고 할 수 있다.

반면, 불연속면 간격은 상대적으로 낮은 가중치를 가진다. 이는 이 지역의 퇴적암에서 층리의 발달이 전체적으로 매우 양호하기 때문에 불연속면 간격이 큰 변별력이 없기 때문인 것으로 생각된다. 즉, 불연속면 간격의 분포특성이 전체 지역에서 비슷한 조건을 이루어 지역적으로 차별화 되지 못하기 때문이다. 이로 인해 본 연구에서 제안된 RMR은 기존 RMR보다 불연속면 간격에 낮은 배점을 설정한 것으로 설명할 수 있다.

이를 감안하여 각 조사지점별 기존 RMR 값과 수정 제안한 RMR 값을 비교해 보면 무결암 강도 값이 큰 지점에서는 수정된 RMR 값이 기존 보다 커지는 반면, 무결암 강도 값이 작은 지점에서는 수정된 RMR 값이 낮아짐을 알 수 있다(Table 9). 이를 통해서 여러 가지 지질학적인 요인들과 공학적인 요인들을 고려해 볼 때 하양층군 퇴적암의 암반분류 항목 중 암석의 강도가 중요한 비중을 차지함을 알 수 있다.

본 연구에 사용된 자료는 조사지역의 한계로 인해 33개로 비교적 적은 수이다. 본 연구결과와 신뢰도 향상과 범용적인 결과도출을 위해서는 본 연구에서 사용한 자료의 수가 충분하지 않다. 따라서 향후 연구에서는 더욱 많은 수의 자료를 획득하여 종합적인 분석이 이루어져야 할 것이다. 뿐만 아니라 퇴적암 외에도 다른 종류의 암석과 대규모 지질구조 발달 유무에 따른 RMR 인자별 배점 설정도 함께 이루어져야 할 것이다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원 기본연구사업인 “대도시 사면 통합관리시스템 구축(부산지역)”과제의 일환으로 수행되었습니다. 본 연구를 위하여 현장조사에 협조해 준 삼성물산(주) 건설부문 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

김교원, 2001, 암반불연속면의 지질공학적 특성 및 조사상의 문제, 한국지반공학회 추계학술발표집, 185-194.

Banks, D., 2005, Rock mass ratings(RMRs) predicted from slope angles of natural rock outcrops, *Int. J. Rock Mech. & Min. Sci.*, 42, 440-449.

Bieniawski, Z. T., 1976, Rock mass classification in rock engineering, *Proc. Symposium on Exploration for Rock Engineering, Johannesburg*, 1, 97-106.

Fookes, P. G. and Dennes, B., 1969, Observation studies on fissure patterns in cretaceous sediments of south-east England, *Geotechnique*, 19, 453-477.

Goodman, R. E., 1976, *Methods of geological engineering*, West publishing, San Francisco.

ISRM, 1978, *International Society for Rock Mechanics, Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses*, *Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. And Geomecha. Abstr.* 15, 319-368.

Piteau, D.R., 1971, Geological factors significant to the stability of slopes cut in rock. In *Discontinuity Analysis for Rock Engineering* (ed. Priest, S.D.), Chapman & Hall, London.

Priest, S. D. and Hudson, J. A., 1976, Discontinuity spacings in the rock, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 13, 135-148.

투 고 일	2006년	2월	7일
심 사 일	2006년	2월	8일
심사완료일	2006년	3월	16일

채병곤

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부
305-350, 대전시 유성구 가정동 30
Tel: 042-868-3052
Fax: 042-861-9723
E-mail: bgchae@kigam.re.kr

김광식

충북대학교 지구환경과학과
361-763, 충북 청주시 흥덕구 개신동 12
Tel: 043-261-2765
Fax: 043- 043-273-9645
E-mail: kwangks@hotmail.com

조용찬

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부
305-350, 대전시 유성구 가정동 30
Tel: 042-868-3059
Fax: 042-861-9723
E-mail: choych@kigam.re.kr

서용석

충북대학교 지구환경과학과
361-763, 충북 청주시 흥덕구 개신동 12
Tel: 043-261-2765
Fax: 043-273-9645
E-mail: ysseo@cbu.ac.kr