

RGB 값을 고려한 레이저 스캐너 반사율과 풍화도의 관계에 대한 연구

유완규¹, 김진환^{*}, 김태호²
¹한국건설기술연구원 지반연구소, ²(주)넥스지오

The Relationship between Weathering Degree and Reflectance of Laser Scanner Considering RGB Value

Wan-Kyu Yoo¹, Jinhwan Kim^{*}, Tae-Ho Kim²

¹Geotechnical Engineering Research Institute, Korea Institute of
Civil Engineering and Building Technology
²NEXGEO Inc.

요약 최근 수기에 의한 맵핑 방식을 탈피하고자 고해상도 카메라, 레이저스캐너 등의 장비를 이용한 디지털 맵핑에 대한 관심이 높아지고 있으며 관련 연구도 보고된바 있다. 본 연구에서는 고해상도 화상기술이 연동된 레이저스캐너를 활용하여 굴진면의 공학적 특징 중 하나인 풍화도를 정량적으로 분석 및 산출하고자 실내 및 현장시험을 수행하였다. 레이저스캐너의 반사율(reflectance)값과 풍화도의 상관관계를 분석하고자 현장테스트를 통해 반사율에 영향을 미치는 인자를 파악하였다. 또한 반사율에 영향을 미치는 주요 인자 중 하나인 색상값(RGB value)에 대한 영향을 최소화하고자 실내테스트를 통해 보정식을 제안하였다. 본 연구에서 제안된 보정식은 실제 현장에서 취득한 스캐닝 데이터를 이용하여 보정 전과 후의 결과를 비교하여 검증하였다. 검증결과 보정 반사율 값을 통해 산정된 풍화도 index는 현장에서 관찰된 우세 풍화도 등급 및 풍화도 비율 등과 매우 유사한 결과를 보이는 것으로 확인되었다.

Abstract Recently, to improve manual mapping method, digital mapping using high-resolution camera and laser scanner has increasingly attracted attention and the relevant study is reportedly on the rise. In this study, laboratory and field test which are intended to quantitatively analyze and estimate the weathering degree which is one of the engineering characteristics of tunnel face using laser scanner that integrates high-resolution imaging technique have been conducted. In a bid to analyze correlation between reflectance of laser scanner and weathering degree, investigation of the factors influencing on reflectance was carried out. And to minimize the effect on RGB value which is one the critical influential factors on reflectance, modification equation obtained from lab test was proposed. Modification equation proposed in this study was verified by comparing the values before and after correction using the data obtained by scanning. Consequently, weathering index estimated by modified reflectance appeared very similar with dominant weathering degree and weathering ratio monitored at the field.

Keywords : Digital mapping, Laser scanner, Modified reflectance, RGB value, Weathering index

본 연구는 국토교통과학기술진흥원 건설기술연구사업의 연구비지원(터널시공 중 디지털 맵핑을 통한 온라인 암관정 기술 및 운 영모델 개발(14SCIP-C069074-02))에 의해 수행 되었습니다.

*Corresponding Author : Jinhwan Kim(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

Tel: +82-31-910-0099 email: goethite@kict.re.kr

Received July 15, 2015

Revised (1st October 5, 2015, 2nd October 7, 2015)

Accepted October 8, 2015

Published October 31, 2015

1. 서론

최근 들어 토목분야에서도 건설기술과 IT기술을 융·복합하기 위한 노력이 지속되고 있다. 터널 분야에서도 예외는 아니며 기존 수기에 의한 방식을 보완하고자 고해상도 카메라, 레이저스캐너 등의 장비를 이용한 디지털 맵핑에 대한 관심증가와 관련 연구가 보고되고 있다. 이중 고해상도 카메라를 이용한 방법의 경우 주로 터널 및 사면 암반의 지질조사(절리면의 거칠기, 불연속면 특성 등)를 목적으로 연구가 수행되었으며 레이저스캐너 방식의 경우 주로 불연속면 추출, 절리 특성 분석 및 여굴량 측정 등을 목적으로 연구가 수행되었다[1-5].

본 연구는 레이저 스캐닝을 활용한 디지털 맵핑 기술 개발의 일환으로 터널 굴진면 지질특성을 고려한 풍화도 표준 Index를 제시하기 위한 선행연구이다. 본 논문에서는 반사율(reflectance)에 영향을 미치는 다양한 요인 중 대상체의 RGB 값이 반사율에 미치는 영향을 파악하고 현장테스트를 통해 RGB 값을 보정한 반사율과 암반 풍화도의 상관관계를 파악하고자 한다.

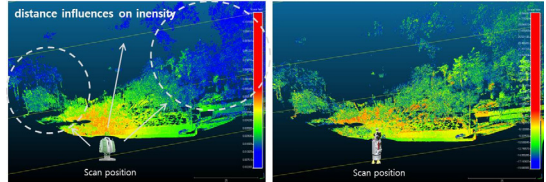
2. 기초 자료 수집 및 분석

2.1 사용 장비 선정

레이저스캐너의 반사값이란 레이저 광원이 대상 물체에 반사되어 스캐너로 되돌아왔을 때의 강도값을 의미하여 이 값은 거리, 각도, 대상 물체의 매질 등에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다[6-10]. 암반의 경우 종류에 따른 색상 및 강도, 동일한 암질에서도 풍화정도에 따른 색상, 강도 및 표면특성 등이 반사값에 영향을 미치는 요인이라고 예상할 수 있으며 풍화도에 따른 반사값의 차이를 비교, 분석하여 상관관계를 파악하고자 하였다.

사용 장비 선정을 위한 레이저 스캐닝 테스트는 2014년 4월 16일 13~14시에 실시하였으며 대상사면으로부터의 거리는 15m, 각도는 사면 중심과 스캐너가 직교(90°)하는 동일한 조건에서 획득한 결과를 비교, 분석하였다. Fig. 1은 대상 물체의 반사값을 지시하는 인자로 반사강도(intensity)를 취득하는 장비(a)와 반사율을 취득하는 장비(b)의 테스트를 통해 거리에 대한 영향을 비교하여 나타난 것이다. 테스트 결과 반사율을 취득하는 장비를 사용할 경우 대상체의 거리에 따른 영향이 거의 없는 장점이 관찰되었다(Fig. 1(b) 참조). 따라서 본 연구

에서는 측정시 대상물체와의 거리에 대한 영향을 최소화하기 위하여 반사율을 취득하는 특징을 갖는 오스트리아 RIEGL사의 VZ-400 모델을 사용 장비로 선정하였다.



(a) Leica P20 (b) Riegl VZ-400

Fig. 1. Result of characteristic comparison about reflection value

2.2 풍화도에 따른 스캐닝데이터 특성분석

풍화도에 따른 스캐닝데이터의 특성분석을 위해 전라북도 무주군 적상면 삼유리 일대의 자연사면 4곳을 선정하여 기초테스트를 수행하였으며 가능한 암종, 수리조건, 기후 등이 유사할 수 있도록 근접한 사면을 대상으로 하였다. 테스트를 수행한 총 4개 사면의 전경 및 육안으로 관찰된 풍화특성은 Fig. 2와 Table 1에 나타난 바와 같으며 TS A에서 TS D로 갈수록 풍화단계가 순차적으로 낮아지는 현장특성을 갖고 있다.

Table 1. Characteristic of test slope

	Length	Hight	Schmidt hammer value	Grade
TS A	15m	8m	50~60	FR~SW
TS B	15m	6m	40~50(left), 10~20(right)	MW
TS C	15m	10m	25~30(left), 30~40(right)	MW~CW
TS D	25m	6m	unavailable(soil)	CW~RS



(a) TS A

(b) TS B



(c) TS C

(d) TS D

Fig. 2. Test slope for fundamental test

스캐닝 점군자료의 반사율(reflectance)은 강도가 높아질수록 -25에서 5dB까지의 값을 나타내며 취득된 반사율은 낮은 수치에서는 푸른색계열, 높은 수치에서는 붉은색계열을 보이도록 설정하여 Site A~Site D에서 각각 스캐닝 자료를 취득하였다. 테스트에서 취득한 레이저 스캐닝 자료 중 반사율과 풍화특성의 관계를 파악하기 위하여 육안으로 관찰된 풍화특성과 레이저 스캐닝에서 취득된 반사율 자료를 비교, 분석하였으며 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

Site A의 경우 신선암(FR)에서는 파란색에서 노란색까지의 수치가 표출되었고 약한풍화암(SW)에서는 노란색에서 붉은색까지의 수치가 표출되는 것으로 나타났다(Fig. 3(a) 참조). Site B의 경우 보통풍화암(MW)에서는 녹색에서 노란색까지의 수치가 표출되었다. 반면에 비교적 높은 곳에 위치하여 육안으로 상세한 관찰이 어려웠던 사면 상부에서는 낮은 수치의 반사율 취득으로 붉은 계열의 수치가 표출되었다(Fig. 3(b) 참조). Site C의 경우 육안상 관찰된 심한풍화암(HW)에서는 푸른색에서 붉은색계열의 수치가 다양하게 표출되었으며 상부에서 관찰된 완전풍화(CW) 단계의 암반에서는 붉은색에서 노란색의 수치가 표출되었다. 상부와 하단부 사이에서는 풍화잔류토(RS)로 추정되는 녹색계열의 수치가 넓은 범위로 분포하였다(Fig. 3(c) 참조).

Site D의 경우 Fig. 3(d)에서 보는 바와 같이 상부에 위치한 완전풍화암(CW)에서는 붉은색계열의 수치가 표출되었으며 하부에서 관찰된 풍화잔류토(RS) 단계의 암반에서는 푸른색계열의 수치가 표출되었다(Fig. 3(d) 참조).

4개 자연사면의 육안조사 및 슈미트해머 반발경도(Table 1)를 반사율 값과 비교해 볼 때 개별 현장에서 암질에 따른 구분은 가능하나 색상계열(Fig. 3)과 풍화도의 공통적인 상관성은 찾기 힘들었으므로 풍화도와 반사율의 상관관계가 모든 현장에서 동일한 결과를 보이지는 않는 것으로 판단되었다. 이와 같은 결과는 반사값(반사율)에 풍화도 외에도 대상체 RGB 값, 경사각, 조명 등의 영향이 작용했기 때문인 것으로 판단된다. 하지만 모든 현장에서 풍화정도에 따라 반사율이 상이하게 나타나는 결과를 확인하였으며 특히 Site C의 결과에서와 같이 레이저 스캐닝을 통해 비교적 상세한 풍화단계 구분이 가능할 수 있음을 확인하였다. 따라서 반사율에 영향을 미치는 요인을 분석하고 이를 보정할 수 있는 방안을 제시

할 경우 좀 더 정확한 풍화도와 반사율의 상관관계에 파악이 가능할 것으로 판단하였으며 본 연구에서는 대상체 RGB 값의 영향을 보정하는 방안을 제시하고자 하였다.

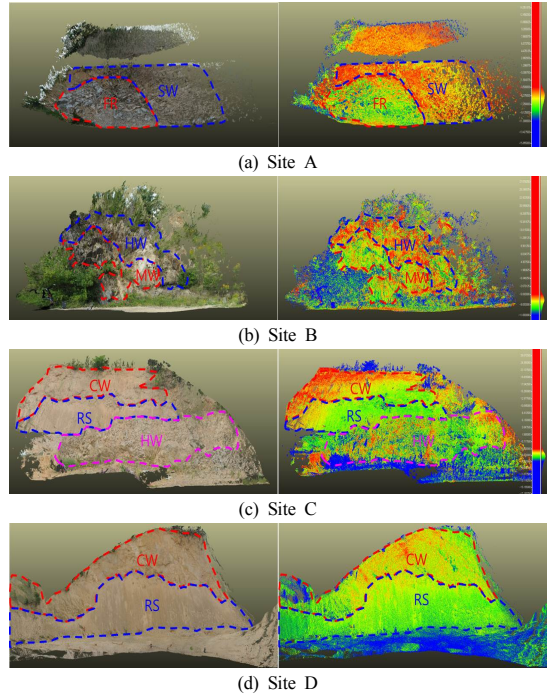


Fig. 3. Result of fundamental test

3. RGB 값 보정

3.1 RGB 값에 대한 반사율 분석

선행연구조사와 기초테스트를 통해 암반 풍화도와 반사율의 상관관계에는 암반의 특성(암종, 풍화도 등) 외에도 물체의 색상값인 RGB 값(채도, 조도가 포함)이 영향을 미치는 것으로 판단하였다. 또한 사면에 유출수가 존재할 경우 RGB값에 영향을 미치는 요인으로 작용될 수 있으므로 본 연구에서는 완전 건조상태 수리조건의 사면을 대상으로 하였다.

본 연구에서는 반사율에 영향을 미치는 RGB 값의 특성을 파악하고자 일조량, 대기 조건 등의 영향을 최소화할 수 있도록 실내 색상테스트(color test)를 수행하였다. 대상체의 색상에 대한 반사율 차이를 확인하기 위하여 총 31가지 RGB 값을 설정하여 프린트한 용지를 대상으로 테스트를 수행하였다(Fig. 4(a) 참조). Fig. 4(b)는

RGB값이 설정된 모델로부터 획득된 반사율 값을 나타낸 것으로 육안으로는 일정한 경향성을 찾을 수 없었으며 정량적 분석을 위해 통계분석을 실시하였다.

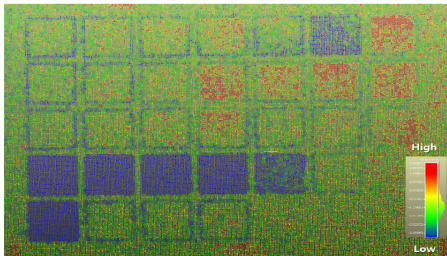
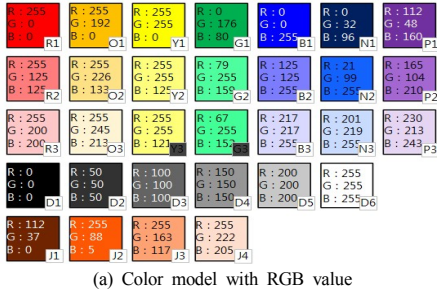
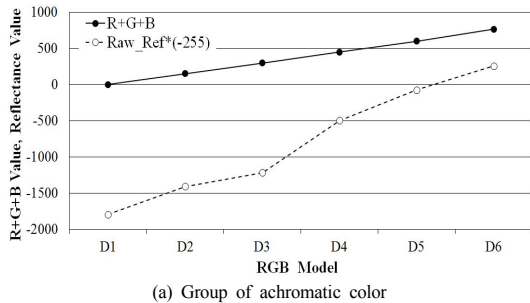
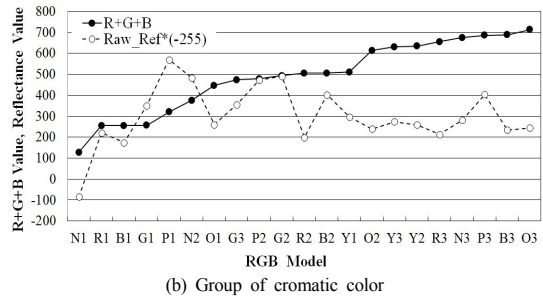


Fig. 4. Result of color test

테스트에 사용된 31가지 RGB 모델은 4행에 정렬된 6개의 무채색군(D1~D6) 모델과 나머지 25개 모델의 유채색군으로 구분된다. 무채색군과 유채색군으로 구분된 RGB의 합산값과 반사율의 일정 배수값을 비교하여 Fig. 5에 나타내었다. 무채색군의 경우에는 RGB 합산값이 높을수록 반사율이 높아지는 경향(Fig. 5(a) 참조)을 보였지만 유채색군에서는 RGB 합산값과 반사율 사이에 일정한 상관성을 보이지 않는 것으로 나타났다(Fig. 5(b) 참조). 이에 본 연구에서는 무채색군 RGB 값과 반사율의 상관관계식을 우선적으로 산출하였으며 유채색군에 대해서는 향후 추가 연구가 필요한 것으로 판단하였다.



(a) Group of achromatic color



(b) Group of chromatic color

Fig. 5. Relationship between RGB value and reflectance value

3.2 RGB 값에 대한 보정식 도출

무채색군의 RGB 합산값과 반사율의 상관관계 및 무채색군의 RGB 합산값과 RGB 영향을 제거하여 보정한 반사율의 상관관계는 Fig. 6과 같이 나타낼 수 있으며 각각에 대한 상관관계식은 식(1) 및 식(2)와 같이 산정된다. 또한 식 (2)를 평균 반사율 값에 적용한 결과를 Table 2에 정리하여 나타내었다. 여기서 REF는 스캐너를 통해 취득된 원시 반사율이며 M_REF는 RGB값을 보정한 반사율이다.

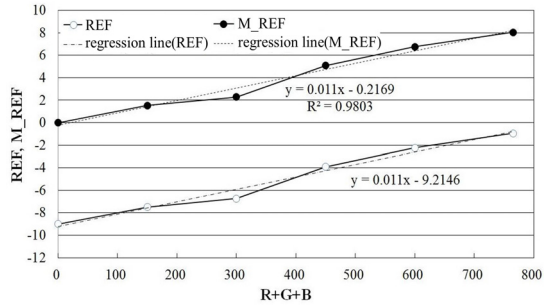


Fig. 6. RGB value-reflectance value / RGB value-modified reflectance value

$$REF = 0.011667*(R+G+B)-9.2146 \quad (1)$$

$$M_REF = REF-(0.011*(R+G+B)-0.2169) \quad (2)$$

보정된 반사율은 고해상도 카메라에서 추출된 RGB 합산값에 따라 자동 산출되도록 하였으며 보정 RGB의 기준이 되는 색상은 R+G+B값이 0인 검은색이 되도록 설정하였다. Table 2의 오차크기는 보정된 값과 R+G+B가 0일 때의 반사율을 비교하여 산출한 절대 값으로 최소 0.086에서 최대 0.807까지 산출되었으며 오차크기의 평균 값은 0.33 평균오차율은 3.614%인 것으로 나타났다

다. 이는 추정식 및 통계적 기법에서 신뢰성 있는 오차율로 통용되는 5% 이내의 값이므로 효용성 있는 결과인 것으로 판단하였다[11-12].

Table 2. Correction value and error for achromatic color

	R+G+B	REF	Correction value	M_REF	Error
D1	0	-8.998	-0.217	-8.781	0.217
D2	150	-7.479	1.433	-8.912	0.086
D3	300	-6.721	3.083	-9.804	0.807
D4	450	-3.909	4.733	-8.642	0.356
D5	600	-2.240	6.383	-8.623	0.374
D6	765	-0.942	8.198	-9.140	0.1423

4. RGB 값에 대한 보정식 검증

4.1 보정식 검증을 위한 현장테스트

본 연구에서는 보정식 검증을 위하여 현장에서 취득된 스캐닝 데이터에 보정식을 대입하여 보정 전과 후의 결과를 비교하고자 하였다. 대상 현장은 대전광역시 유성구에 위치한 도로 사면으로 스캐닝을 통해 x, y, z 좌표, RGB 값, 반사율 등을 취득하였다. Fig. 7(a)는 테스트를 수행한 대상 사면을 나타낸 것이며 이 중 풍화도가 유사하고 암반의 색상 차이가 뚜렷한 구간(Fig. 7(b))을 선정하여 결과를 비교하였다.

Fig. 7(b)의 ①번 영역은 풍화도가 유사하지만 색상이 서로 다른 암반으로 Fig. 8에 원시 반사율 값과 보정된 반사율 값을 통해서 확인한 결과를 비교하여 나타내었다. 원시 반사율 값을 적용한 Fig. 8의 좌측 그림에서는 두 암반 색상차이에 의해 경계를 중심으로 색상차가 뚜렷하게 나타난다. 하지만 보정된 반사율을 적용한 우측 그림에서는 우백색 암반과 회색 암반의 구분이 상대적으로 불분명하므로 색상에 의한 영향은 상대적으로 제거된 것으로 판단된다.

Fig. 7(b)의 ②번 영역은 암반내에 존재하는 단층대로 주변 암반과 풍화도가 확연하게 다른 부분이라 할 수 있다. 이러한 조건에서 보정전 반사율(Fig. 8 좌측 참조)에 비해 우측의 보정후 반사율(Fig. 8 우측 참조) 값에서 더욱 뚜렷한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 현장테스트를 통해 영역 ①과 ②에 대한 반사율을 비교한 결과 본 연구에서 제안된 보정식을 적용하여 색상에 의한 영향을 최소화 할 경우 반사율에 의한 풍화도 차이를 좀 더 명

확히 나타낼 수 있으며 보정된 반사율을 통해 일정부분 풍화도를 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

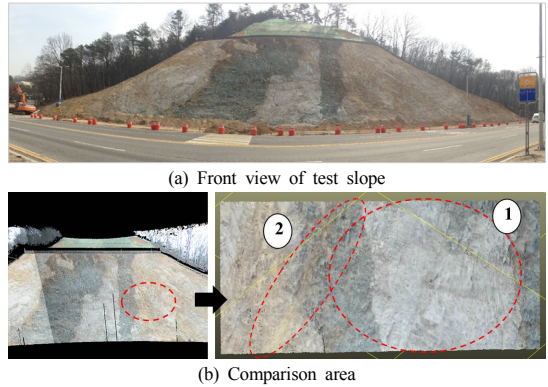


Fig. 7. Test slope for verification of correction equation

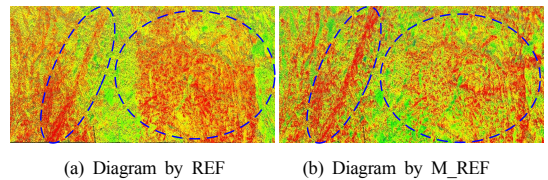


Fig. 8. Result comparison by color distribution diagram

4.2 보정식을 이용한 풍화도 INDEX 산정

앞에서 수행된 실내 및 현장테스트를 통해 반사율과 암반 풍화도가 상관성이 있으며 RGB 값에 대한 영향을 보정할 경우 상관성이 더욱 높아짐을 확인하였다. 본 연구에서는 이러한 반사율과 풍화도의 상관관계를 고려하여 풍화도의 구분인자로 반사율을 활용한 객관적인 풍화도 Index산정을 위해 추가 현장테스트를 수행하였다.

Fig. 9는 현장에서 수집된 자료로 모델링한 결과를 나타낸 것이며 각 현장에서는 지질 전문가를 통해 대표 풍화도의 범위 및 비율을 Table 3과 같이 규정하였다.

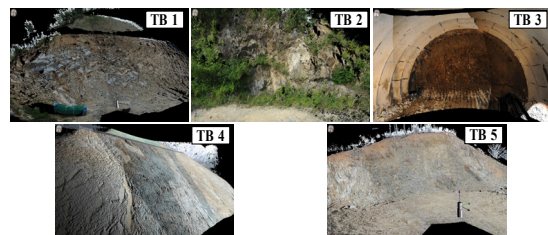


Fig. 9. Test site for collection of weathering degree index data

Table 3. Weathering condition of test site

Site	Type	Range of weathering	Predominant
TB 1	Slope	SW~HW	SW
TB 2	Slope	SW~MW	MW
TB 3	Tunnel	MW~HW	MW
TB 4	Slope	MW~HW	MW
TB 5	Slope	MW~HW	MW

풍화도 index는 M_REF의 범위를 풍화도 6단계 (FR~RS)에 따라 설정하고 시행착오법을 통해 다수의 현장에서 관찰된 풍화도 비율에 부합되도록 조정하였다. 이러한 과정은 산출된 M_REF의 최대/최소값 설정으로 시작하여 각 풍화 단계에 대한 범위 설정을 최종 목표로 하여 수행하였다. 이와 같은 과정을 거쳐 본 연구에서 최종 산출된 풍화도 index는 Table 4와 같다. 보정식으로 보정된 반사율을 대상으로 최대/최소값은 -6/-18, 범위는 3으로 설정하였으며 이에 따라 총 6개의 풍화 단계별로 최종 풍화도 index를 설정하였다.

Table 4. Weathering degree index by trial and error method

Weathering	FR	SW	MW	HW	CW	RS
M_REF (R)	$R \geq -6$	$-6 > R \geq -9$	$-9 > R \geq -12$	$-12 > R \geq -15$	$-15 > R \geq -18$	$-18 > R$

본 연구에서 제시된 풍화도 index는 Table 3에 나타난 현장 중 TB 1, TB 2, TB 4에 적용하여 그 효율성을 검증하였다. 각 현장의 풍화범위와 우세한 풍화도는 Table 3에 나타난 바와 같으며 각각의 현장에 취득된 자료에 풍화도 index를 대입하여 육안으로 관찰된 풍화도 등급 및 비율과의 부합여부를 확인하였다. Fig. 10은 M_REF와 풍화도 Index를 이용하여 산출된 풍화도 히스토그램으로 해당 풍화도 인덱스에 해당하는 점군자료 수의 합을 나타낸 것이며 현장에서 관찰된 우세 풍화도 등급 및 풍화도 비율과 매우 유사한 결과를 나타내었다.

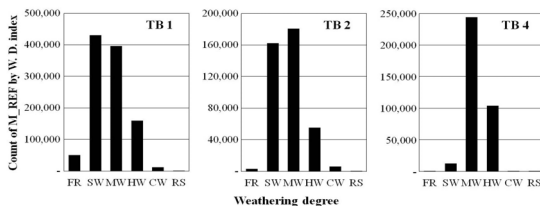


Fig. 10. Weathering degree histogram by M_FEF and weathering degree index

이러한 결과는 스캐닝 데이터의 취득을 통해 반사율과 풍화도 Index 등을 이용할 경우 전체 대상물(암반)에 대한 정량적인 풍화도를 유추할 수 있는 가능성을 보여주는 결과로 실제 현장에서의 적용 가능성이 높은 것으로 판단된다. 하지만 본 연구의 결과는 RGB 값(무채색)에 대한 영향만을 고려하여 산출한 것으로 좀 더 객관적, 정량적, 현장 적용성이 높은 결과도출을 위해서는 추가적인 영향인자(유채색 RGB 값, 대상물 반사각도, 조명 등)에 대한 연구 및 다양한 현장테스트가 필요할 것으로 판단된다. 특히 본 연구에서 제시된 풍화도 index를 적용하기 위해서는 대상체 암반 고유의 RGB값을 나타낼 수 있는 일정한 조명 조건이 수반되어야 하므로 터널 내 디지털 맵핑에 효율적으로 적용하기 위해서는 다양한 터널 시공현장에 대한 현장테스트가 필요하다고 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 레이저 스캐너의 반사율을 이용하여 굴진면의 공학적 특징 중 하나인 풍화도를 정량적으로 분석 및 산출하기 위한 기초연구를 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 원시 반사율은 암반의 풍화도와 상관성이 있지만 일관성은 보이지 않았으며 이는 풍화도 뿐만 아니라 대상체 색상(RGB 값) 등에 영향을 받기 때문인 것으로 판단된다.
- 2) 무채색에 대한 RGB 값 변화는 반사율과 상관관계에 있으며 일정한 선형 방정식으로 정의하였고 RGB 값 영향을 고려한 보정 반사율(M_REF) 산정식을 제안하였다.
- 3) 보정 반사율(M_REF)은 암반의 풍화도와 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났으며 원시 반사율에 비해서 암반의 풍화도를 좀 더 직접적으로 지시하는 인자로 활용이 가능하다고 판단된다.
- 4) 보정된 반사율의 범위를 육안상 관찰된 암반 풍화도 6단계에 부합되도록 풍화도 index를 제시하였으며 테스트 결과 암반의 풍화범위 및 우세 풍화도를 정성적으로 유추할 수 있음을 확인하였다.
- 5) 정량적이고 실효성 높은 풍화도 index 산정 및 검증 위해서는 경사각 등 다른 영향요소들에 의한 분석 및 보정연구와 다양한 조명 조건을 고려한 추가 현장테스트가 필요할 것으로 판단된다.

References

- [1] C. H. Kim and J. Kemeny, "Automatic Extraction of Fractures and Their Characteristics in Rock Masses by LIDAR System and the Split-FX Software", TUNNEL & UNDERGROUND SPACE, Vol. 19, No. 1, pp. 1-10, 2009.
- [2] H. K. Seo and J. G. Um, "A Study on Measurement of Rock Joint Roughness Using the Digital Photogrammetry", TUNNEL & UNDERGROUND SPACE, Vol. 22, No. 6, pp. 438-448, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7474/tus.2012.22.6.438>
- [3] J. W. Son, W. Min, J. G. Ahn and I. W. Heo, "Application of 3D Scanner for Tunnel Construction Using IT", The Korea Society of Information Technology Services Semiannual, pp. 162-165, May, 2010.
- [4] N. K. Kwak, S. J. Cho and S. Lee, "Study of Tunnel Face Mapping Using Tunnel Mapper", KGS Fall National Conference, pp. 200-211, September, 2010.
- [5] S. G. Hwang, "Remote Measurements of the Geological Structures, Using Photogrammetric Method", The Journal of Engineering Geology, Vol. 15, No. 2, pp. 201-212, 2005.
- [6] C. Gerthsen and H. Vogel, "Physik. 17, verbesserte und erweiterte Auflage", Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1993.
- [7] D. D. Lichti and B. R. Harvey, "The Effects of Reflecting Surface Material Properties on Time-of-Flight Laser Scanner Measurements", Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications, Ottawa, 2002.
- [8] H. Ingensand, A. Ryf and T. Schulz, "Performances and Experiences in Terrestrial Laserscanning", Proceedings of the 6th Conference on Optical 3D Measurement Techniques, Zurich, pp. 1-8, 2003.
- [9] I. S. Lee, C. S. Yang, D. K. Tcha, J. M. Lee and H. M. Kim, "Investigation into the Reflectance Intensity of Colorchecker Chart Using Terrestrial Laser Scanner VZ-400", (KSCE 2010 Convention) 2010 Civil Expo & Conference, pp. 1089-1090, 2010.
- [10] N. Pfeifer, P. Doring, A. Haring and H. Fan, "Investigating Terrestrial Laser Scanning Intensity Data: Quality and Functional Relations", International 8th Conference on O3D, Zurich, Switzerland, pp. 328-337, 2007.
- [11] G. Y. Kim, D. J. Seo and D. Y. Moon, "An Analysis of Accuracy for Submarine Topographic Information by Interpolation Method", Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 20, No. 3, pp. 67-76, 2006.
- [12] J. S. Park, "Solar Radiation Analysis of Atria by the Monte Carlo Method and Ray-tracing Technique", Journal of The Korean Society of Living Environment System, Vol. 7, No. 1, pp. 16-24, 2000.

유 완 규(Wan-Kyu Yoo)

[정회원]



- 2006년 2월 : 명지대학교 토목환경 공학과 (공학석사)
- 2011년 8월 : 명지대학교 토목환경 공학과 (공학박사)
- 2013년 2월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 지반연구소 수석연구원

<관심분야>

토질역학, 기초공학, 지하구조물

김 진 환(Jinhwan Kim)

[정회원]



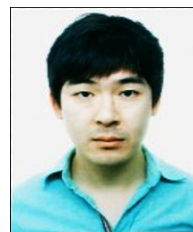
- 2001년 2월 : 강원대학교 지질학과 (이학석사)
- 2002년 5월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 지반연구소 전임연구원

<관심분야>

사면안정, 지반환경, 지하구조물

김 태 호(Tae-Ho Kim)

[정회원]



- 2010년 2월 : 강원대학교 지구물리학과 (공학석사)
- 2010년 2월 ~ 현재 : ㈜넥스지오 기술사업본부 과장

<관심분야>

지구물리, 지질공학