

암석영상분석의 신뢰도 향상을 위한 컬러보정기법 연구

장운섭¹⁾ · 박형동²⁾

Color Calibration Method for Improvement of Reliability on Image Analysis of Rock

Yoon-Seop Chang and Hyeong-Dong Park

Abstract. Recently, the use of image analysis methods and commercial equipments has been extensively increased in the field of rock engineering. However the problem of errors involved in the image acquisition and subsequent analysis procedure has been frequently neglected. In addition there has been few studies dealing with this problem. So proper color calibration method is needed to be developed for the objectivity and improvement of reliability on image analysis of rock. Color calibration method using standard color rendition chart was adopted on this study. Color calibration and error analysis were carried out for the image acquired from granite rock samples. As a result, comparison among other rock images and improvement of reliability on whole analysis were possible.

Key words : rock image, image analysis, color calibration, standard color chart

초 록. 최근 암반공학 분야에서 영상분석기법 및 상용 영상분석장비의 활용이 활발히 이루어지는 추세이다. 그러나 영상의 획득 및 분석 단계에서 발생 가능한 오차들의 문제에 대해서 많은 부분 무시되어 왔으며 관련 연구 또한 미비하였다. 객관적인 암석영상의 분석 및 신뢰도 향상을 위해서는 암석영상에 적합한 컬러보정기법의 마련이 필요하다. 이에 본 연구에서는 암석영상에 대하여 표준컬러차트를 이용한 컬러보정기법을 도입하였으며, 화강암 시료를 대상으로 획득된 영상에 대하여 컬러보정과 오차분석을 수행하였다. 그 결과 암석영상들간의 상호 비교분석이 가능하였으며 또한 영상 획득 및 분석 단계의 신뢰도 향상을 꾀할 수 있었다.

핵심어 : 암석영상, 영상분석, 컬러보정기법, 표준컬러차트

1. 서 론

암반공학 분야 특히 암반, 암석 및 시추공 조사 등에 있어서 영상분석기법 및 상용 영상처리장비는 기존의 방법들에 비해 신속성과 편리성을 제공해 주어 최근 그 도입이 크게 늘고 있다. 영상분석기법을 이용한 암석 및 석재의 물성치 추정, 평가, 분류(장운섭, 2001, Autio *et al.*, 1999, Bruno *et al.*, 1999, Lebrun *et al.*, 2000, Maurcio and Figueirido, 2000, Pina, 1999, Vanbrabant *et al.*, 1999), 암반의 조사와 평가(류동우, 2000, Reid and Harrison, 1996), 시추공 영상분석(김재동과 김종훈, 1998), 발파 현장의 암석파편 분석(Young and Widzyk-Capehart, 1999) 등의 예가 있다.

그러나 지금까지의 영상분석기법 활용에 있어서 촬영장비, 조명, 대상물 상태 등의 특성과 영향에 대한 고려가 미비하였다. 매 촬영마다의 이들 요인의 변화는 오차를 유발하며 이는 획득영상에 그대로 반영되어 궁극적으로 영상 획득 및 분석 단계를 거친 결과치 전반에 부정적 영향을 미치게 된다. 결과적으로 지금까지 영상 획득 및 분석 단계에서 발생하는 각종 오차의 문제가 많은 부분 무시되어 왔으며, 상용 영상분석장비 또한 잠재적인 오차의 문제를 지니고 있다. 이러한 문제들을 해결하여 암석영상분석 전반의 신뢰성을 확보하기 위한 체계적인 관련 연구 역시 미비하였다.

암석영상분석의 신뢰도 향상 및 객관성 확보를 위해서는 암석영상에 적합한 컬러보정기법의 마련이 시급하다. 이를 위하여 본 연구는 암석영상분석에 적합한 컬러보정기법의 마련을 궁극적인 목적으로 하였다. 화강암 암석 시료들을 대상으로 디지털 장비를 이용하여 디지털 영상을 획득하였으며, 획득영상들에 대하여 표준

¹⁾서울대학교 지구환경시스템공학부 박사과정

²⁾정회원, 서울대학교 지구환경시스템공학부 교수

접수일 : 2001년 6월 18일

심사 완료일 : 2002년 3월 6일

컬러차트를 이용하여 컬러보정기법을 적용한 후 결과의 검토를 위해 오차분석을 수행하였다.

2. 촬영 및 암석영상 획득

2.1 대상 암석시료

본 연구의 컬러보정기법을 적용, 검토하기 위해 화강암 규격석재를 대상으로 촬영을 수행하여 필요한 영상들을 획득하였다. 화강암은 현재 국내에서 가장 널리 쓰이고 있는 석재이다. 화강암 규격석재 중에서도 대표적인 포천석, 운천석, 중국석(G367)을 대상으로 연구를 수행하였다. G367은 중국에서 수입된 석재의 상품명이다. 이들의 컬러 및 텍스처가 각각 특징적이며 차이를 보인다는 것 역시 암석시료 선정의 기준이 되었다. 포천석, 운천석, 중국석(G367) 시료들 모두 30 cm×30 cm×3 cm의 규격이었으며, 각각 PC, UC, G367의 기호와 함께 일련번호가 부여되어 명명되었다.

실제 영상획득 및 컬러보정에 투입된 암석시료는 PC-3, UC-2, G367-2와 PC-4, UC-3, G367-3의 두 그룹이었다. 각 그룹에 대하여 정도를 달리하며 인위적인 변화가 유도되었다. 인위적 변화 유도는 5단계로 촬영은 3가지 스케일로 수행되었으며 결과적으로 획득된 영상의 수는 총 90개였다.

2.2 이용 장비

영상획득에 이용된 장비는 Kodak사의 DC290 디지털 카메라와 카메라 고정을 위한 삼각대(tripod) 그리고 컬러보정을 위한 표준컬러차트(standard color rendition chart) GretagMacbeth™ ColorChecker® 등이었다.

영상획득에 있어서 가장 중요한 장비는 직접 촬영에 이용된 카메라로서 이는 획득된 영상뿐만 아니라 그 보정결과 및 차후 분석결과 전반에 영향을 미치게 되는 매우 중요한 요소이다. 따라서 촬영에 이용되는 디지털 카메라의 제원 파악에 신중하여야 한다. 본 연구에 이용된 Kodak DC290은 일반적인 토목공사 및 지질조사 현장에서 쓰이던 디지털카메라들에 비해 고사양의 제품이었다. 컬러보정기법의 미비는 카메라 제원의 간과와 함께 작용하여 실제 현장에서 잠재적인 문제의 가능성을 가중시킬 수 있다.

컬러보정에 이용된 표준컬러차트 GretagMacbeth™ ColorChecker® 는 판지 위에 정사각형의 24개 컬러 패치(patch)가 배열된 형태이다. 컬러차트의 각 패치는 표준의 R(red), G(green), B(blue) 값을 가지며, 컬러보정은 영상 내에 포착된 컬러 패치의 RGB 측정값들이 표

준값에 수렴하도록 변환하며 수행되었다.

2.3 촬영 조건 및 방법

촬영은 실내 조건에서 수행되었다. 초기에 시료 PC-1, PC-2, UC-1, G367-1에 대해서는 실외 촬영을 시도하였다. 이는 일광(daylight) 조건 하의 영상을 획득하기 위한 시도였다. 그러나 시간에 따른 태양 고도와 방위의 변화, 기상 변화 등에 따라 일정한 촬영 조건을 유지하기 어려웠으며, 촬영을 준비하기 위한 장비 및 암석시료의 이동, 세팅 등에 번거로움이 발생하였다. 결국 이후에는 촬영 조건을 정형화하기 위하여 실내 촬영을 수행하였다. 촬영은 추가 조명 없이 실내 조명 하에서 수행되었다. 실내 조명은 외부 조건보다 다소 어두운 편이었으나, 비교적 일정한 조명 조건을 유지하기에 수월하였다.

조명에 의한 반사, 그림자 형성, 암석 표면상의 불균등한 조명 분포 등을 줄이기 위해 대상 암석 시료를 경사지게 배치함으로써 조명에 대해 수직을 이루도록 하였다. 암석시료를 경사지게 배치함과 동시에 배경 차이에 의한 오차를 줄이고 동일한 배경 조건을 형성하기 위하여, 3 cm 두께의 스티로폼 판재를 이용해 65 cm×60 cm의 배경을 확보하고 암석시료를 경사지게 배치하였다.

스케일에 따른 차이를 파악하고 최적의 촬영 스케일을 결정하기 위해 10 cm×10 cm, 20 cm×20 cm, 30 cm×30 cm의 스케일로 구분하여 촬영을 수행하였다. 각 스케일에서 영상에 확보되는 암석시료의 영역은 Fig. 1

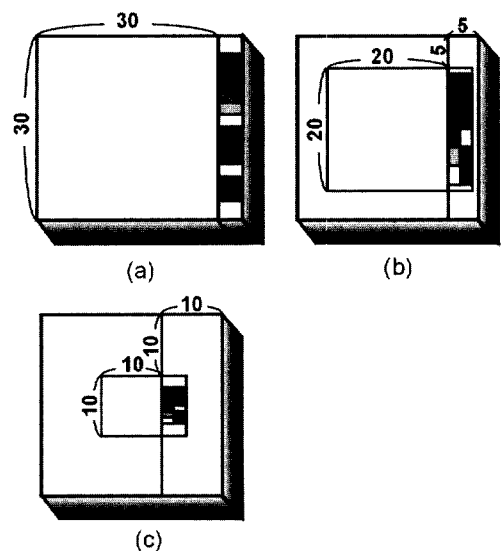


Fig. 1. Arrangement of rock samples and color charts for each scale ; (a) 30 cm×30 cm, (b) 20 cm×20 cm, (c) 10 cm×10 cm scale.

과 같다. 컬러차트 또한 각 스케일에 맞도록 제작하여 암석 시료와 함께 배치하여 촬영을 수행하였다. 컬러차트는 컬러보정 목적 외에 각 스케일에 맞는 암석시료 영역을 확보하기 위한 보조수단으로도 이용되었다.

촬영된 영상은 메모리 카드(Kodak Picture Card)에 저장되어 카드리더기를 통해 데스크탑 컴퓨터에 저장된 후 컬러보정 및 영상분석에 투입되었다.

3. 오차 요인

촬영 조건 및 방법에 있어서 다음과 같은 오차 요인들이 존재하며, 이는 컬러보정이 필요한 이유인 동시에 실험과정 및 결과에 지대한 영향을 미치는 요인이었다. 본 연구의 컬러보정은 영상들간의 상호 비교가 가능하도록 동일조건으로 수립시키는 것이었으며, 컬러차트의 표준값을 이용하여 영상들간에 발생하는 오차를 줄임으로써 동일한 표준조건으로 수립시켜 나갔다. 그러나 오차를 줄여 수립이 되어도 일정 수준의 오차는 남게 되었으며, 이는 촬영조건 및 방법 그리고 오차요인들에 따라 상당히 변화함을 파악할 수 있었다. 그래서 실험과정 중 이들에 대해 신중을 기하였다.

3.1 조명 조건

실내 조건에서 촬영이 이루어지나 실외와 완전히 격리된 공간이 아니어서 창문 등을 통하여 외부로부터 빛이 유입되었다. 외부로부터 유입되는 빛은 기상 변화 및 하루 중의 시간 변화에 따라 촬영 조건에 차이를 발생시킨다. 별도의 격리된 공간이 마련되지 않는 한 이들 오차요인을 완전히 배제할 수는 없으며 컬러보정을 통해 해결되어야 한다.

동일 조명 조건에서도 암석 표면에 비추어지는 조명 상태에 따라 오차 요인이 발생한다. 촬영시 암석시료를 경사지게 배치하여 배제하려 했음에도 불균등한 조명 분포와 반사 및 그림자의 형성의 영향을 완전히 배제할 수는 없었다. 그러나 대상 시료가 연마된 규격석재였다는 이유에서 그림자 형성은 거의 없었으며, 사용된 조명이 점광원(point light source)이 아니었고 조명과 2m 가량 적당한 거리를 유지함으로써 불균등한 조명 분포 및 반사 효과도 무시할 수 있을 정도였다.

3.2 디지털카메라의 특성

디지털카메라는 광학카메라에 비해 그 명세 및 설정이 모호하며, 특히 특정 조건에서의 카메라 상태를 정확히 파악하는데 무리가 있었다. 이는 디지털카메라가

수동식 카메라와 달리 사용자가 직접 설정해 주는 부분 외에 디지털 방식으로 자동 반응, 동작하는 특성이 있기 때문이다.

디지털카메라의 내부 동작방식, 특히 피사체 및 조명 조건에 따라 수치를 생성하는 메커니즘은 정확히 파악하기에 어려움이 따랐다. 특히 자동반응센서는 피사체, 배경 그리고 조명 조건에 따라 초점, 밝기 및 색상을 조정하는데 이는 매 촬영마다 차이를 유발하여 오히려 불필요한 오차를 발생시킬 우려가 있다.

3.3 암석 시료의 특성

암석 종류에 따라 암석 표면의 고유 특성이 연마상태와 결합되어 주의를 요구하였다. 예를 들어 중국석(G367)의 경우 입자들 사이의 경계 및 입자내 균열이 비교적 깊어 연마 중 발생한 미세 암석분이 이들 경계 및 균열 사이에 끼게되어 주의를 기울일 필요가 있었다.

인위적 변화 유도를 위해 산성용액에 투입하였던 암석시료들은 세척 및 침수를 통해 암석내의 산성분을 제거하고 다시 건조하여 촬영하였는데, 이때 건조시간이 획득영향에 많은 영향을 미친 것으로 판단된다.

4. 컬러보정기법

4.1 컬러보정의 필요성

영상획득 단계에서 조명 조건, 디지털카메라 특성, 암석시료 특성 등에 의해 발생하는 오차 요인들로 인해 암석영상들간의 상호 비교 및 분석을 위해서는 컬러보정이 필요하다.

위 요인들은 차후의 분석에 적합한 영상을 획득하는데 있어서 부정적 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어 실내 조명은 일광에 비하여 어두우므로 결과 영상도 전체적으로 어둡고 대비(contrast)도 감소되어 영상분석에 어려움이 따를 수 있다. 이와 같은 경우 컬러보정은 차후 분석에 대한 최적화 영상을 얻기 위한 목적으로 수행되어, 신뢰도의 향상을 가져올 수 있다.

컬러보정이란 특정 기준 조건 또는 최적 조건으로 여러 대상 영상들이 수렴하도록 변환하여 영상들간 상호 비교 및 분석이 가능하도록 함과 동시에 영상분석 전반의 신뢰도 향상을 위한 일종의 전처리 과정이다. 따라서 컬러보정은 대부분 영상분석기법의 적용에 앞서 수행되어야 할 필수적인 작업이다.

4.2 컬러보정 방식

컬러보정기법은 촬영장비에 따라 방식을 달리한다.

촬영장비는 CCD 비디오카메라와 같이 입출력 신호를 실시간으로 조절 가능한 것과 디지털카메라와 같이 고정된 영상을 얻는 것으로 크게 구별할 수 있다. 전자의 경우는 컬러보정 또한 실시간으로 가능하여 동작 중 최적의 영상획득 조건을 유지할 수 있다(Chang and Reid, 1996, Lebrun *et al.*, 1999). 후자의 경우는 획득된 영상을 별도의 컬러보정기법을 통해 후처리하는 방식을 취한다. 본 연구는 디지털카메라를 이용하여 후자의 컬러보정 방식을 채택하였다.

컬러보정의 기본원리는 다음과 같다. 컬러보정은 우선 특정 기준의 선정을 필요로 한다. 임의 조건에서 얻는 획득영상 또는 입력신호가 선정된 기준 조건으로 수렴하도록 오차를 줄여가며 적합한 변환식을 구한다. 구해진 변환식을 이용하여 임의 조건의 획득영상에 적용함으로써 컬러보정을 마친다.

기존의 여러 연구에서 컬러보정의 기준 선정을 위해 컬러차트가 이용되었다. Chang and Reid(1996)는 Truvision사의 ATvista 컬러 이미지 보드를 Lebrun *et al.*(2000)은 Kodak Q-14 표준 그레이스케일(gray scale)과 Munsell 암석컬러차트를 이용하였다. 본 연구에서는 GretagMacbeth™ ColorChecker® 를 이용하였으며 Fig.

1과 같이 스케일별로 수정, 제작되어 암석시료와 함께 배치되어 촬영되었다. 암석시료와 함께 배치되기 위한 면적상의 제약으로 새로운 컬러차트는 13번부터 24번까지의 12개 컬러 패치만이 이용되었다. 그러나 이들 12개 컬러패치 중에는 6단계의 그레이스케일 및 삼원색(red, green, blue)과 대응되는 보색(yellow, magenta, cyan)이 포함되어 컬러보정에 적합한 조합으로 판단된다. 컬러보정은 결과 영상에 포착된 컬러패치들의 RGB 값이 표준값으로 수렴되도록 하며 수행되었다.

Chang and Reid(1996)와 Lebrun 등(2000)의 연구가 비디오카메라, 이미지보드 및 분석 장비를 이용하여 영상신호를 실시간으로 제어·보정하는데 반하여, 본 연구에서는 디지털카메라로 영상을 획득하고 이를 소프트웨어를 이용하여 컬러보정 및 분석을 수행하는 방식을 채택하였다. 이는 현재의 국내 현장여건에 보다 부합되는 접근방법으로 판단된다.

4.3 컬러보정 절차

컬러보정 및 영상분석을 위하여 Fig. 2와 같은 영상 분석프로그램이 자체 개발되었으며, 개발된 프로그램을 이용하여 컬러보정은 다음과 같은 절차로 수행되었

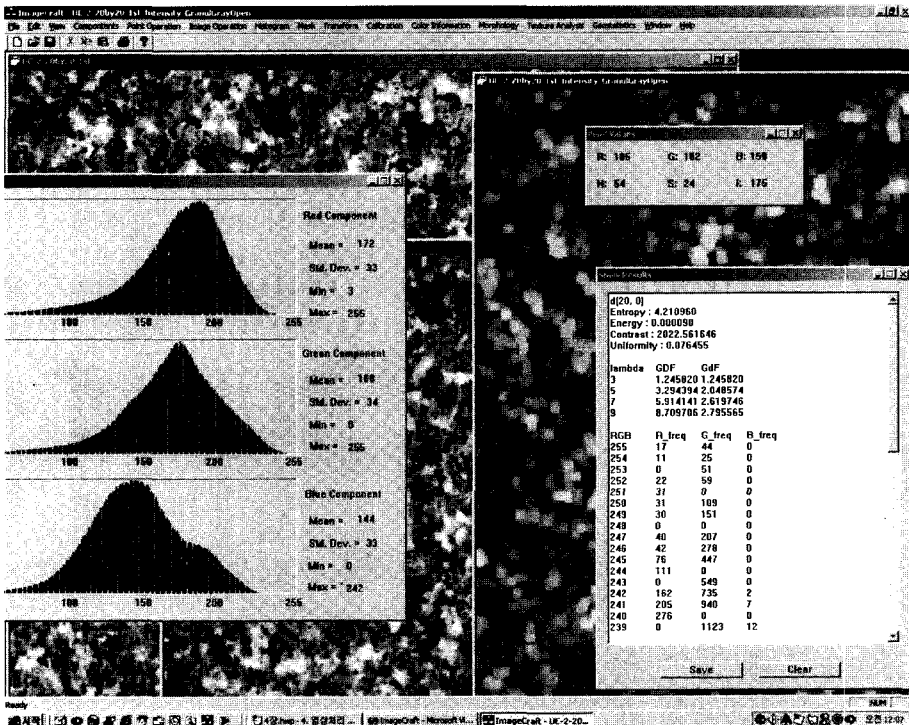


Fig. 2. Image analysis program developed in this study.

다.

- 1) 영상 내에 포착된 컬러차트의 각 패치들에 대하여 마우스 드래그(drag)로 사각형 영역을 설정한다.
- 2) 사각형 영역 내에 들어오는 픽셀들에 대하여 RGB 각 성분의 평균값이 계산되어 결과창에 출력된다.
- 3) 결과창에 출력된 데이터들은 파일로 저장되고 외부 프로그램에서 이용된다.
- 4) 각 패치의 RGB 성분의 측정값에 대하여 표준값과 비교된 오차가 계산된다.
- 5) 측정된 RGB 값과 표준 RGB 값 사이의 1차, 2차 식 등의 회귀식을 계산한다.
- 6) 영상분석프로그램의 컬러보정 메뉴를 통해 각 회귀식을 입력하여 보정된 영상을 생성하고 파일로 저장한다.
- 7) 각 보정 영상에 대하여 1)~4)의 과정으로 오차를 계산한다.
- 8) 각 회귀식, 오차, 결과 영상을 검토하여 적합한 보정식을 결정한다.

5. 결과 분석 및 고찰

6개 시료에 5단계 변화를 유도하며 3가지 스케일에서 촬영한 결과 총 90개의 영상이 얻어졌다. 이들 영상 모두에 컬러보정기법을 적용하고 오차분석을 통해 그 결과를 검토하였다. 이는 최적의 컬러보정식 선정과 컬러보정 효과의 검토를 중심으로 진행되었다. 거의 모든 영상들이 같은 경향을 보였으며, 영상의 수가 많은 관계로 여기서는 운천석 시료 중 UC-2의 경우를 중심으로 분석 결과를 제시하였다.

5.1 컬러보정식 검토

시료 UC-2의 변화 유도 전 20 cm×20 cm 스케일 영상을 예로 들어 컬러보정식의 검토과정을 설명하면 다음과 같다. Table 1은 컬러보정 전 영상에서 계산된 오차들을 보여주고 있다. RGB 모든 성분들의 평균 잔차(residual error)가 음수로 나와 표준 RGB 값에 비해 작은 즉, 표준 조건에 비해 어두운 영상이 촬영에 의해 획득되었음을 파악할 수 있다. 이는 촬영이 이루어진 실내 조건이 표준 조건에 비해 어두웠기 때문이다.

Fig. 3은 이 영상의 측정된 RGB 값과 표준 RGB 값을 이용하여 계산된 1차 및 2차의 회귀식 그래프이며, 식 (1)과 (2)는 각각 이들의 구체적인 식이다. 본 연구에서 컬러보정식은 1차, 2차 회귀식 순으로 검토되었다. 디지털 영상에서 RGB 각 성분들은 0~255의 범위를 갖는다. 그러나 Fig. 3의 그래프를 보면 컬러보정 후의 RGB 성분의 값들이 음수가 되거나 255를 넘는 경우가 발생함을 파악할 수 있다. 이 문제는 본 연구에서 개발된 영상분석프로그램 내에 RGB 값들의 범위를 제한해주는 클램핑(clamping) 함수를 포함시킴으로써 해결하였다. Fig. 4는 컬러보정 전의 영상과 1차식 및 2차식으로 보정된 결과 영상들이며, Table 2는 1차 및 2차식으로 보정된 영상간의 오차들을 비교해 놓은 것이다.

$$\begin{aligned}
 R' &= 1.2655 R + 3.5716 \\
 G' &= 1.3706 G + 35.775 \\
 B' &= 1.3638 B - 16.515
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 R' &= -0.0019 R^2 + 1.6584 R - 4.5532 \\
 G' &= -0.0030 G^2 + 2.1052 G - 65.526
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Table 1. Residual errors for sample UC-2's 20 cm×20 cm image before calibration.

Patch		Standard			Measured			Residual errors		
No.	Name	R	G	B	R	G	B	R	G	B
13	Blue	203	0	0	156	32	36	-47	32	36
14	Green	64	173	38	33	133	33	-31	-40	-5
15	Red	0	0	142	0	31	113	0	31	-29
16	Yellow	255	217	0	207	198	0	-48	-19	0
17	Magenta	207	3	124	165	60	126	-42	57	2
18	Cyan	0	148	189	0	105	145	0	-43	-44
19	White	0	0	0	12	24	18	12	24	18
20	Neutral 8	53	53	53	42	60	48	-11	7	-5
21	Neutral 6.5	117	117	117	84	106	90	-33	-11	-27
22	Neutral 5	180	180	180	131	155	134	-49	-25	-46
23	Neutral 3.5	249	249	249	174	197	178	-75	-52	-71
24	Black	255	255	255	213	230	212	-42	-25	-43
Mean error								-31	-5	-18

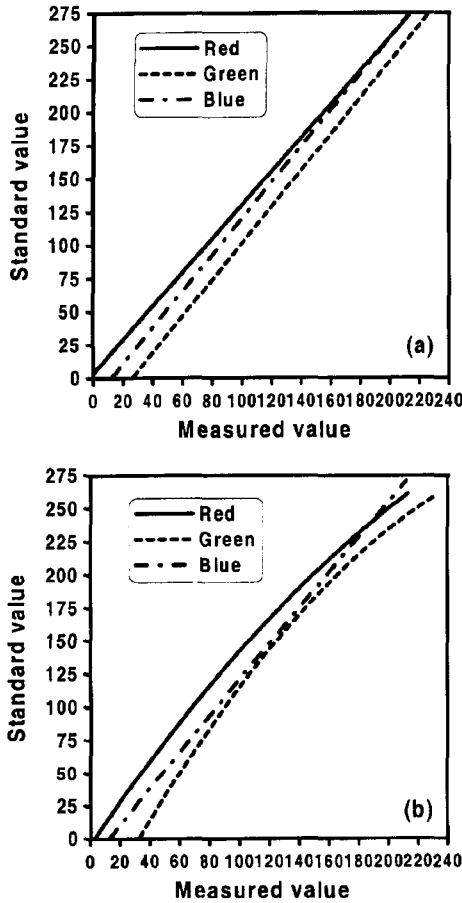


Fig. 3. Graphs of calibration equation for RGB components of sample UC-2's 20 cm×20 cm image ; (a) 1st-order and (b) 2nd-order equation.

$$B' = -0.0002 B^2 + 1.4084 B - 17.819$$

Fig. 3, 4와 Table 2 등의 결과로부터 1차식이 2차식에 비해 보다 적합한 컬러보정식인 것으로 파악되었으며, 그 판단 기준은 다음과 같다.

Fig. 3의 1차식과 2차식의 비교 결과가 가장 결정적인 판단 기준이었다. (a)의 1차식의 경우 Blue 성분 그래프가 다소 차이를 보이지만 전체적으로 세 그래프가 거의 평행하며 유사한 형태임을 알 수 있었다. 그러나 (b)의 2차식의 경우는 Blue 성분의 그래프가 다른 둘과 현저한 차이를 보이며 거의 선형에 가까운 형태를 갖고 있다. (b)의 그래프를 구체적으로 살펴보면 중간 범위에서 Red, Green 성분에 비해 Blue 성분이 상대적으로 낮은 값을 갖게 되어 결과적으로 노란 색조로 치우침을 예상할 수 있으며, 실제로 Fig. 4의 (c) 영상에 예상된 결과가 발생하였다. 이러한 결과를 가지고 1차식이 2차식보다 적합한 컬러보정식이라 판단을 내릴 수 있는 근거는 컬러가 근본적으로 R, G, B 성분의 조합으로 이루어진다는 특성에 기초한다. 다시 말하여 R, G, B 성분 각각에 대하여 최대한의 보정이 이루어졌다 할지라도 이들 성분이 조합되었을 때 왜곡이 발생하게 된다면 결코 적합한 컬러보정이라고 할 수 없는 것이다. Fig. 3의 (b) 그래프가 이러한 왜곡을 보여준다.

Fig. 4의 영상들에 대한 관찰결과도 판단 기준이 되었다. 보정 전 영상 (a)에 비하여 1차식 및 2차식으로 보정된 결과 영상 (b), (c) 모두는 밝기 및 대비, 색상 모두에서 개선을 보여주었다. 그러나 (b)에 비해 (c)의 경우는 과도하게 밝은 영상을 생성하였고, 또한 결과 영

Table 2. Residual errors for sample UC-2's 20 cm×20 cm images calibrated by 1st and 2nd-order equation.

Standard values			1st-order equation						2nd-order equation					
			Calibrated			Errors			Calibrated			Errors		
R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
203	0	0	201	8	32	-2	8	32	208	1	33	5	1	33
64	173	38	45	146	29	-19	-27	-9	49	162	29	-15	-11	-9
0	0	142	4	7	137	4	7	-5	0	0	138	0	0	-4
255	217	0	255	235	0	0	18	0	254	233	0	-1	16	0
207	3	124	212	46	155	5	43	31	217	50	156	10	47	32
0	148	189	3	107	181	3	-41	-8	0	121	182	0	-27	-7
0	0	0	18	0	8	18	0	8	15	0	8	15	0	8
53	53	53	56	46	49	3	-7	-4	61	50	50	8	-3	-3
117	117	117	110	110	106	-7	-7	-11	121	124	107	4	7	-10
180	180	180	169	177	166	-11	-3	-14	180	189	168	0	9	-12
249	249	249	224	234	226	-25	-15	-23	226	232	226	-23	-17	-23
255	255	255	255	255	255	0	0	0	255	255	255	0	0	0
Mean error						-3	-2	0	Mean error			0	2	0

상은 앞에서 언급한 RGB 성분의 왜곡에 의해 노란 색 조 계열로 치우친 현상을 나타내었다.

Table 2의 잔차들을 비교한 결과 두 방식의 보정 결과에 큰 차이가 없는 것으로 파악되었다. 특히 보정 전 영상의 잔차로부터 보정 후 줄어든 잔차의 크기와 비교해 보면 1차식과 2차식간의 잔차의 차이는 미세하였다. 이들 차이가 미세하여 유사한 보정 효과를 보인다면 연산 차원에서 보다 간단한 1차식을 이용하여 컬러보정을 수행하는 것이 바람직하며, 이런 점에서 왜곡이 발생하는 2차식 컬러보정의 결점도 함께 고려될 수 있다.

이 밖의 근거로 디지털 촬영장비의 특성을 들 수 있다. 디지털 촬영장비가 빛에 반응하여 디지털 신호를 만들어내는 방식이 선형식에 가깝기 때문이다(Chang and Reid, 1996). 그러나 이 문제에 대해서는 디지털 촬영장비의 특성 및 동작방식에 대한 보다 깊은 검토와 이해를 필요로 한다.

여러 컬러공간간의 변환식들 또한 대부분이 행렬을 이용한 선형식이란 점도 위의 판단들을 뒷받침해 준다. 다른 컬러공간간의 변환도 대부분 선형식이라면, 촬영 조건만 다른 경우 같은 RGB 공간간의 변환은 선형식이 적합한 것으로 판단된다.

컬러보정에 대한 위와 같은 판단 결과에 따라 보정식 및 오차에 대한 분석은 2차식까지 이루어졌다. 차후 분석에 쓰일 영상들도 1, 2차식 보정 영상까지 생성되었고, 모든 영상들에 대하여 오차 분석이 수행되었으며 그 결과는 모든 영상들에 있어 같은 경향을 보였다.

5.2 컬러보정의 효과

앞에서도 언급되었다시피 Fig. 4의 보정 후 영상 (b), (c)는 보정 전 영상 (a)에 비하여 밝기, 색상, 대비 모두가 크게 개선된 결과를 보여주었다. 이는 영상 내에 포착된 컬러차트 부분을 볼 때 더욱 확실히 파악된다. (a)의 보정 전 영상이 어두운 것은 Table 1의 오차분석 결과와도 일치하는 것으로 실내 조건이 기준 조건보다 어두웠기 때문이다.

Table 3은 운천석 시료 UC-2의 15개 전체 영상에 대한 1, 2차식 컬러보정 후의 오차분석 결과이다. RGB 모든 성분에 대하여 보정 전 영상들간 잔차의 차이가 보정 후 영상들간 잔차의 차이보다 상당히 큼을 알 수 있다. 이는 보정 전 영상들의 경우 서로 다른 촬영 조건이 획득영상에 그대로 반영된 결과에 따른 것으로 판단된다. 그러므로 보정 후 잔차들의 크기 자체가 줄어든 것과 동시에 서로 다른 영상간의 잔차들의 차이 또한 줄어든 결과는 보정된 영상이 표준 조건과 가까워지는 동

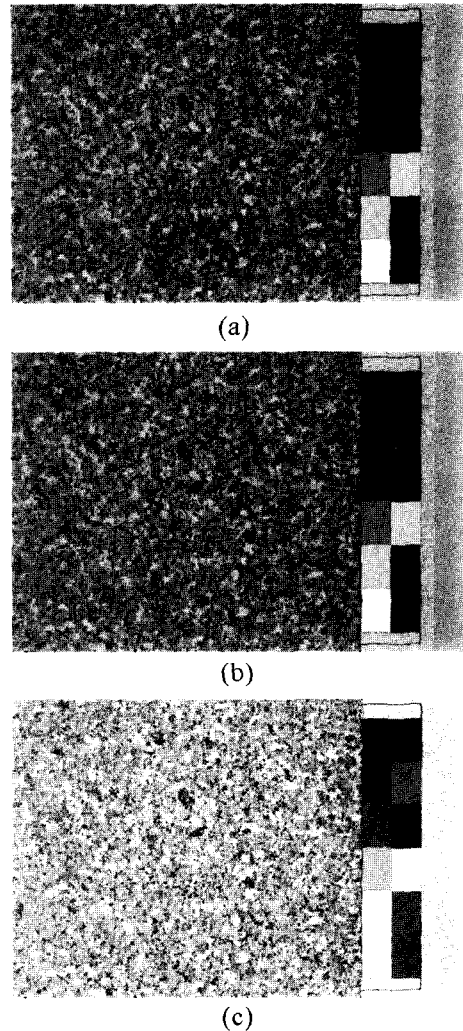


Fig. 4. 20 cm×20 cm images of sample UC-2 ; (a) image before calibration, image after calibration by (b) 1st-order equation and (c) 2nd-order equation.

시에 동일한 조건에서 영상들간의 상호 비교, 분석이 가능해졌다는 뜻이다. 특히 1차식으로 보정된 영상들에서 잔차들간의 차이가 2차식의 경우보다 작다는 점으로 미루어 보아 1차식이 보다 적합한 보정식임을 재확인할 수 있었다. 이와 같은 결과들로부터 본 연구에서 암석 영상에 적합한 컬러보정이 수행된 것을 판단할 수 있다.

6. 결 론

암석영상의 획득 및 분석 단계에서 발생 가능한 오차들의 문제에 관하여 고찰하고, 암석영상분석의 객관성

Table 3. Mean residual errors for sample UC-2's initial image and images calibrated by 1st-order and 2nd-order equation.

Scale	Cycle (day)	Mean residual error								
		Initial image			1st-order eqn.			2nd-order eqn.		
		R	G	B	R	G	B	R	G	B
30×30	0	-44	-14	-29	-3	-2	-1	-1	1	0
	5	-50	-19	-33	-3	-3	-1	0	2	0
	10	-37	-5	-19	-3	-2	0	0	2	0
	15	-55	-25	-38	-4	-3	-2	0	2	0
	20	-59	-30	-42	-4	-3	-2	-1	2	0
20×20	0	-31	-5	-18	-3	-2	0	0	2	0
	5	-50	-11	-29	-3	-3	-1	-1	2	0
	10	-34	0	-9	-3	-2	1	-1	2	0
	15	-64	-17	-35	-4	-3	-1	0	2	0
	20	-70	-21	-36	-4	-3	-2	0	2	0
10×10	0	-45	-11	-22	-3	-3	-1	-1	2	0
	5	-61	-23	-35	-4	-3	-2	0	2	0
	10	-56	-17	-27	-3	-3	-1	0	1	0
	15	-66	-29	-38	-4	-3	-2	-1	2	1
	20	-53	-19	-28	-4	-3	-1	-1	1	0

확보 및 신뢰도 향상을 목적으로 암석영상에 적합한 컬러보정기법의 검토 및 개발을 수행한 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 촬영장비의 특성, 조명 조건, 암석시료의 상태 및 배치 등에 따라 각 영상획득에 있어 촬영조건의 차이가 발생함을 알 수 있었고, 그 결과 영상획득 및 분석 단계에 내재되는 오차들로 인하여 암석영상분석 전반의 신뢰도가 저하될 수 있음을 파악하였다.

2) 표준컬러차트와 오차분석을 이용한 컬러보정기법을 적용한 결과 잔차의 크기가 감소함과 동시에 잔차들 간의 차이 또한 감소하여 효과적인 보정이 이루어짐을 알 수 있었다. 1, 2차 보정 결과영상의 오차분석에 의해 1차식이 2차식에 비해 보다 적합한 컬러보정식으로 판단되었다.

3) 컬러보정 및 오차 분석을 통해 서로 다른 촬영 조건의 암석영상들간의 상호 비교, 분석이 가능함을 파악할 수 있었으며, 영상 획득 및 분석 단계 전반의 신뢰도 향상을 꾀할 수 있었다.

4) 개발된 컬러보정기법을 바탕으로 향후 암석의 시각정보 변화의 정량화가 가능할 것이며, 개선된 영상획득시스템을 갖출 경우 보다 큰 신뢰도 향상을 기대할 수 있다.

5) 본 연구의 결과는 향후 암석 및 석재의 평가와 분류, 암반의 조사 및 평가, 시추공 영상분석 그리고 석조문화재의 복원 및 분석 등의 분야에 적용 가능할 것이다.

사 사

본 연구는 서울대학교 공학연구소, 2001년도 두뇌한국 21사업, 과기부 특정연구개발사업(과제번호: M1010500053-01H020005500)의 지원하에 수행되었으며, 이에 깊은 감사의 뜻을 전합니다.

참고문헌

- 김재동, 김종훈, 1998, 시추공벽 영상을 이용한 암반내 절리구조 해석, 터널과 지하공간(한국암반공학회지), 8, 342-350.
- 류동우, 2000, 암반 절리 트레이스 조사를 위한 화상처리 및 확률집합체 이론에 의한 절리계 모사, 서울대학교 박사학위논문, 188p.
- 장운섭, 2001, 암석표면 시각정보에 대한 영상처리기법, 서울대학교 석사학위논문, 110p.
- Autio, J., Rantanen, L., Visa, A. and Lukkarinen, S., 1999, The classification and characterisation of rock using texture analysis by co-occurrence matrices and the Hough transform, *Geovision'99, Proc. of Int. Symp. on Imaging Applications in Geology*, 5-8.
- Bruno, R. Paoli, S.P., Laurence, P., Coluccino, M., Muge, F., Ramos, V., Pina, P., Mengucc, M., Olmo, M.C. and Olmedo, E.S., 1999, *Image Analysis for Ornamental Stone Standard's Characterisation, Geovision'99, Proc. of Int. Symp. on Imaging Applications in Geology*, 29-32.
- Chang, Y.C. and Reid J.F., 1996, RGB Calibration for Color Image Analysis in Machine Vision, *IEEE Trans. Image Proc.*, 5, 10, 1414-1422.

7. Lebrun, V., Nivart, J.F., Bonino, E. and Pirard, E., 1999, Development of specific acquisition techniques for field imaging, *Geovision'99, Proc. of Int. Symp. on Imaging Applications in Geology*, 165-168.
8. Lebrun, V., Toussaint, C. and Pirard, E., 2000, On the use of image analysis for the quantitative monitoring of stone alteration, *Proc. Int. Symp. Weathering 2000*, 29.
9. Maurício, A. and Figueiredo, C., 2000, Textures Analysis of Grey-Tone Images by Mathematical Morphology: A Nondestructive Tool for the Quantitative Assessment of Stone Decay, *Mathematical Geology*, 32. 5, 619-642.
10. Pina, P., 1999, Segmentation/Classification by Mathematical Morphology. Application to Macroscopic Images of Portuguese Granites, *Geovision'99, Proc. of Int. Symp. on Imaging Applications in Geology*, 193-196.
11. Reid, T.R. and Harrison, J.P., 1996, Development of a system for the automatic construction of discontinuity trace maps and discontinuity measurements from digital images, *Eurock'96*, 303-309.
12. Vanbrabant, Y., Lebrun, V., Nivart, J.F., Jongmans, D. and Pirard, E., 1999, Bulk and grain strain measurements in sandstone by Image Analysis, *Geovision'99, Proc. of Int. Symp. on Imaging Applications in Geology*, 249-252.
13. Young, D.S. and Widzyk-Capehart, E., 1999, Fractals in image analysis of rock fragments, *Geovision'99, Proc. of Int. Symp. on Imaging Applications in Geology*, 257-260.

장윤섭



1999년 서울대학교 공과대학 자원공학과, 공학사
 2001년 서울대학교 대학원 지구환경시스템 공학부, 공학석사
 Tel : 02-880-8283
 E-mail : yshang@nate.com
 현재 서울대학교 대학원 지구환경시스템공학부 박사과정

박형등



1988년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사
 1990년 서울대학교 대학원 자원공학과 공학석사
 1994년 영국 런던 대학교 임페리얼 칼리지 박사
 Tel : 02-880-8808
 E-mail : hpark@gong.snu.ac.kr
 현재 서울대학교 지구환경시스템공학부 조교수
