

## 암석영상처리의 신뢰도 향상을 위한 컬러보정기법 연구

### Color Calibration Method for Improvement of Reliability on Image Processing of Rock

장 윤 섭 (Yoon-Seop Chang)

서울대학교 지구환경시스템공학부

박 형 동 (Hyeong-Dong Park)

서울대학교 지구환경시스템공학부

#### 요약 / Abstract

최근 지질공학의 다양한 분야에 영상처리기법들이 적용되고 있다. 그러나 영상의 획득 및 분석 단계에서 발생하는 각종 오차에 관한 문제는 많은 부분 무시되어 왔다. 이에 본 연구에서는 암석영상처리의 신뢰도 향상을 위한 컬러보정기법을 개발하였다. 표준 컬러차트를 이용하여 컬러보정과 오차분석을 수행하였으며, 그 결과 영상처리의 신뢰도 향상과 영상들간의 상호 비교·분석을 꾀할 수 있었다.

주요어 : 컬러보정, 컬러차트, 영상처리, 암석영상

#### 1. 서 론

암석 및 석재의 물성치 추정, 분류, 평가(장윤섭, 2001; Autio et al. 1999; Bruno et al., 1999; Lebrun, 2000; Maurício and Figueirido, 2000; Pina, 1999; Vanbrabant et al., 1999), 암석학 및 광물학적 연구의 현미경 사진 분석(Fueten, 1999; Sardini et al., 1999; Thomson et al., 1999), 암반의 조사 및 평가(류동우, 2000; Reid and Harrison, 1996; Bonifazi et al., 1999; Lieberman and Anderson, 1999), 시추공 영상 분석(김재동, 김종훈, 1998), 발파 현장의 암석 파편 분석(Young and Widzyk - Capehart, 1999), 문화재 평가 및 진단 등 지질공학의 다양한 분야에 걸쳐 영상처리 기법의 도입이 활발히 이루어지고 있다.

그러나 지금까지 지질공학 분야의 영상처리 연구에서는 카메라, 조명 등 장비 자체와 이들의 영향에 관하여 간과해 왔으며, 영상분석에 앞서 선행되어야 할 영상 획득 및 보정기법에 대한 검토 또한 미비하였다. 카메라, 조명, 암석시료의 상태 등에

다른 촬영 조건의 변화는 결과 획득영상에 그대로 반영된다. 이는 영상의 획득 및 분석 과정 중에 여러 오차 요인들이 포함될 수 있음을 뜻하며, 이들 오차를 줄이고 신뢰도를 향상시키기 위해 컬러보정을 필요로 한다. 또한 서로 다른 암석영상들간의 상호 비교·분석을 위하여 이들 영상을 동일한 기준조건에 유지할 필요가 있을 때 컬러보정이 요구된다.

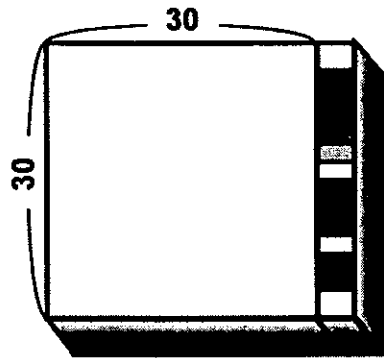
본 연구에서는 영상처리에 이용되는 장비 자체와 영상획득 및 보정기법에 대하여 고찰하고, 컬러차트 및 오차분석을 이용한 컬러보정기법의 개발을 통하여 영상처리의 신뢰도 향상을 꾀하였다.

## 2. 촬영 및 영상획득

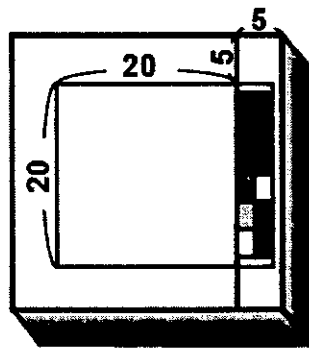
촬영에는 KODAK DC290 디지털카메라와 삼각대(tripod), 컬러보정을 위한 컬러차트(color rendition chart) GretagMacbeth™ ColorChecker® 등이 이용되었다. DC290 디지털카메라는 일반적인 토목공사 현장에서 이용되는 디지털카메라들에 비해 약 230만 화소에 24bit 컬러를 갖는 고사양의 제품이다. 컬러보정을 위해 이용된 컬러차트 GretagMacbeth™ ColorChecker®는 두꺼운 판지 위에 정사각형의 24개 표준 컬러 패치(patch)가 배열된 형태이다.

조명에 의한 반사 및 그림자의 형성, 암석 표면상의 불균등한 조명 분포 등을 줄이기 위해 대상 암석 시료를 경사지게 배치함으로써 조명에 대하여 수직이 되도록 함과 동시에 배경에 의한 오차 요인을 줄이고 동일한 배경 조건을 설정하기 위하여, 3 cm 두께의 스티로폼 판재를 이용해 65 × 60 cm<sup>2</sup>의 배경을 확보하고 암석 시료를 경사지게 놓힐 수 있도록 하였다.

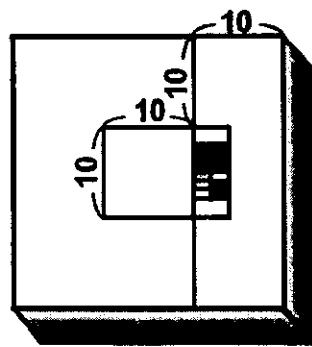
스케일(scale)에 따른 차이를 파악하고 최적의 촬영 스케일을 결정하기 위해 10 × 10, 20 × 20, 30 × 30 cm<sup>2</sup>의 스케일로 구분하여 암석 시료를 촬영하였다. 각 스케일에서 영상에 확보되는 암석 표면의 영역은 Figure 1과 같다. 컬러차트 또한 각 스케일에 맞도록 제작하여 암석 시료와 함께 배치하여 촬영을 수행하였다. 컬러차트는 컬러보정 목적 외에 각 스케일에 맞는 암석 표면 영역을 확보할 수 있도록 하였다.



(a)



(b)



(c)

Figure 1. Arrange of rock samples and color charts for each scale :  
(a)  $30 \times 30 \text{ cm}^2$ , (b)  $20 \times 20 \text{ cm}^2$  and (c)  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  scale.

### 3. 오차 요인

#### 1) 조명 조건

실험실 내에서 촬영이 이루어지나 완전히 격리된 조건이 아니므로 외부로부터 빛이 유입된다. 실험실 외부의 조명은 계절 변화 및 하루 중의 시간 변화, 기상변화에 따라서 조건이 변화한다. 비록 이런 현상을 줄일 수는 있어도, 별도의 격리된 촬영 공간이 마련되지 않는다면 이들 오차 요인을 완전히 배제하기는 쉽지 않다.

단일 조명 조건에서도 암석 표면에 비추어지는 조명 상태에 따라 오차가 발생한다. 촬영시 암석 시료를 경사지게 배치하여 조명에 수직이 되도록 함으로써 암석 표면상의 불균등한 조명 분포와 반사 및 그림자의 형성을 줄이고자 하였다. 또한 사용된 조명이 점광원(point light source)이 아니었고, 조명과 2 m 가량 적당한 거리를 유지함으로써 이러한 효과를 줄일 수 있었다.

#### 2) 디지털카메라

디지털카메라는 광학카메라에 비해 그 명세가 모호하며 촬영 중 특정 조건에서의 카메라 상태를 정확히 알기가 어렵다. 이는 디지털 카메라가 수동식 광학카메라와 달리 사용자가 카메라 조건을 직접 설정해 주지 않고 디지털 방식으로 자동 동작하기 때문이다. 디지털카메라의 내부 동작방식, 특히 피사체 및 조명 조건에 따라 색을 만들어내는 동작방식을 정확히 파악하기 어렵다. 또한 디지털카메라의 자동반응 센서가 문제이다. 센서는 피사체, 배경 그리고 조명 조건에 따라 영상의 초점, 밝기 및 색상 등을 조정하는데, 이러한 조정은 매 촬영마다 다른 조건을 형성하여 오히려 불필요한 오차를 발생시킬 우려가 있다.

#### 3) 암석 시료의 특성

암석 시료의 상태는 조명 조건과 결합되어 오차를 발생시킬 수 있다. 특히 연구에 사용된 암석 시료가 연마된(polished) 규격 석재라는 점에서 조명 반사가 발생할 수 있다. 암석 종류에 따라 암석 표면의 고유 특성이 연마 상태와 결합되어 예상하지 못한 문제를 낳을 수 있다. 예를 들어 입자들 사이의 경계 및 입자내 균열이 비교적 깊어 연마 중 발생한 미세한 암석 가루가 이들 경계 및 균열 내에 끼인 경우 주의를 요구하였다.

#### 4. 컬러보정기법

컬러보정은 우선 특정 기준의 선정을 필요로 한다. 임의 조건에서 얻는 획득 영상 또는 입력 신호가 선정된 기준에 수렴하도록 오차를 줄이며 적합한 변환식을 찾는다. 구해진 변환식을 임의 조건의 획득 영상에 적용하여 컬러보정을 마친다. 컬러보정의 기준 선정을 위해 Chang and Reid(1996)는 Truevision사의 ATvista 컬러 이미지 보드를 Lebrun et al.(2000)은 KODAK Q-14 표준 그레이스케일과 Munsell 암석 컬러차트를 이용한 예가 있다.

본 연구에서 이용한 GretagMacbethTM Colorchecker® 컬러차트는 총 24개의 컬러 패치(patch)를 포함한다. Table 1은 이들 컬러 패치가 갖는 표준 RGB를 보여준다. Figure 1과 같이 스케일별로 수정, 제작된 컬러차트가 암석 시료와 함께 배치되어 촬영되었다. 시료와 함께 배치되기 위한 면적상의 제약으로 새로운 컬러차트에는 13부터 24번까지 12개의 컬러 패치만이 이용되었다. 그러나 이들 중에는 6단계의 그레이스케일과 삼원색 red, green, blue 그리고 보색인 yellow, magenta, cyan이 포함되어 적합한 조합이었다. 컬러보정은 결과 영상에 나타난 컬러차트의 RGB 값이 표준값으로 수렴되도록 수행되었다. 이는 다음과 같은 절차로 이루어졌다.

- (1) 영상처리프로그램을 이용하여 영상 내에 포착된 컬러차트의 각 패치들에 대하여 마우스 드래그(drag)로 사각형 영역을 설정한다.
- (2) 사각형 영역 내에 들어오는 모든 픽셀들에 대해 R, G, B 각 성분들의 평균 값이 계산되어 결과창에 출력된다.
- (3) 결과창에 출력된 데이터들은 파일로 저장되고 외부 프로그램에서 이용된다.
- (4) 각 패치의 R, G, B 성분에 대해 표준 R, G, B 값과 비교된 오차를 계산한다.
- (5) 측정된 R, G, B 값과 표준 R, G, B 간의 1차 선형, 2차식 등의 회귀식을 구한다.
- (6) 영상처리프로그램의 컬러보정 메뉴를 통해 각 회귀식을 이용하여 보정된 영상을 생성하고 저장한다.
- (7) 각 보정 영상에 대하여 (1) ~ (4)의 과정으로 오차를 계산한다.
- (8) 각 회귀식, 오차, 결과 영상을 검토한다.

**Table 1.** RGB values for each patch in the ColorChecker (McCamy et al., 1976).

No.	Name	R	G	B
1	Dark skin	94	28	13
2	Light skin	241	149	108
3	Blue sky	97	119	171
4	Foliage	90	103	39
5	Blue flower	164	131	196
6	Bluish green	140	253	153
7	Orange	255	116	21
8	Purplish blue	7	47	122
9	Moderate red	222	29	42
10	Purple	69	0	68
11	Yellow green	187	255	19
12	Orange yellow	255	142	0
13	Blue	0	0	142
14	Green	64	173	38
15	Red	203	0	0
16	Yellow	255	217	0
17	Magenta	207	3	124
18	Cyan	0	148	189
19	White(.05 <sup>*</sup> )	255	255	255
20	Neutral 8(.23 <sup>*</sup> )	249	249	249
21	Neutral 6.5(.44 <sup>*</sup> )	180	180	180
22	Neutral 5(.70 <sup>*</sup> )	117	117	117
23	Neutral 3.5(1.05 <sup>*</sup> )	53	53	53
24	Black(1.50 <sup>*</sup> )	0	0	0

\* Optical density

## 5. 결과 분석 및 토의

다음은 실제 컬러보정의 예로서 대상은 운천석 시료(UC-2)의 20 × 20 cm 스케일 영상이다. Table 2는 보정 전 영상의 오차이다. 모든 RGB 성분의 평균 잔차(mean residual error)가 음수로 나와 표준 RGB 값에 비하여 낮게 즉, 표준 조건보다 어두운 영상이 얻어졌음을 알 수 있다.

Table 2. Measured RGB values and residual errors for sample UC-2 20 × 20 cm<sup>2</sup> image before color 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

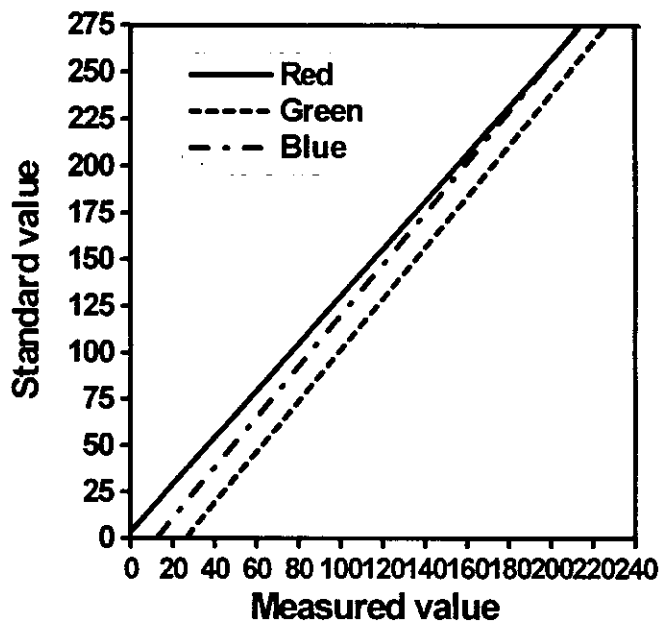
Figure 2의 (a), (b)는 각각 RGB 성분에 대한 1차 선형식과 2차식의 회귀 그래프이며, Figure 3은 보정 전 영상과 1차식 및 2차식으로 보정된 영상을 보여준다. Table 3은 두 회귀식으로 보정된 결과의 오차를 비교한 것이다.

#### 1) 1차 선형식 vs 2차식

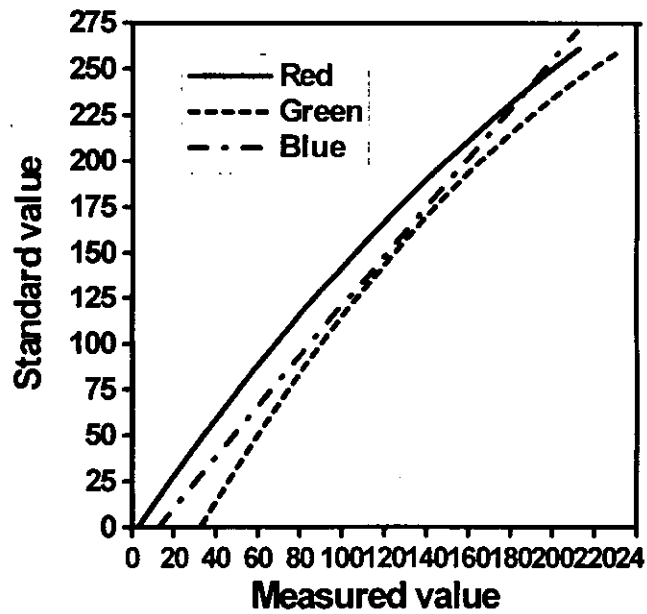
나아가 컬러보정에 있어서 1차 선형식이 2차식에 비해 보다 적합한 것으로 판단되었다. 모든 암색영상들에 대하여 이와 같이 판단되었으며, UC-2의 영상을 예로 그 근거를 설명하면 다음과 같다.

Figure 3(b), (c)의 1차식과 2차식을 이용한 각 보정 결과 영상을 비교하였을 때 (c)의 2차식 보정 영상이 지나치게 밝으며, 색상도 다소 노란 색조로 치우쳐 왜곡이 발생하였다.

Table 3을 볼 때 보정 전 영상의 잔차로부터 줄어든 크기에 비해 1차식과 2차식의 잔차간 차이가 미세하다. 이는 Table 4를 볼 때 더욱 분명하다. 이 경우 보다 간단한 1차식을 이용하여 컬러보정을 수행하는 것이 바람직하다.



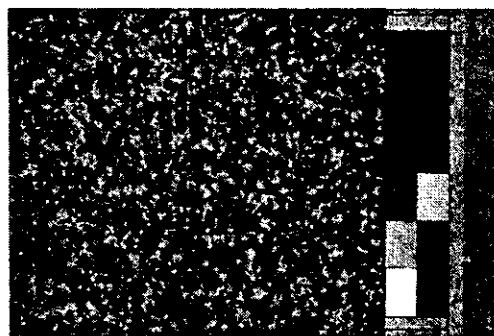
(a)



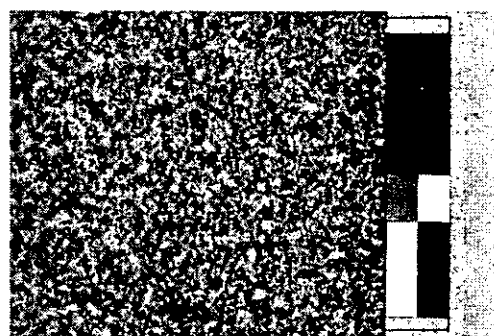
(b)

Figure 2. Regression graphs for R, G, B of sample UC-2 20×20cm<sup>2</sup> image are plotted together : (a) 1st-order linear and (b) 2nd-order regression graph.

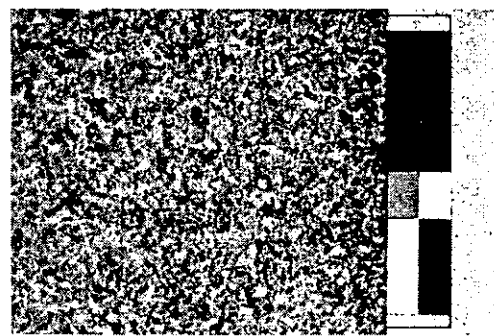




(a)



(b)



(c)

Figure 3.  $20 \times 20 \text{cm}^2$  images of sample UC-2 : (a) image before calibration, image after calibration by (b) 1st-order linear equation and (c) 2nd-order equation.

Table 3. RGB values and residual errors for sample UC-2 20×20cm<sup>2</sup> image calibrated by 1st-order linear 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

Figure 2(a)의 1차 선형식의 경우 Blue 성분이 다소 차이를 보이나 전체적으로 세 그래프가 거의 평행하며 유사한 형태임을 알 수 있다. 그러나 (b)의 2차식 경우는 Blue의 경우가 특히 다른 둘과 현저히 달리 거의 선형에 가까운 형태를 보여주고 있다. (b)의 그래프를 살펴보면 중간 부분에서 Red, Green 성분에 비해 Blue 성분이 상대적으로 낮은 값을 갖게되어 결과적으로는 노란 색조로 치우침을 예상할 수 있으며, 실제로 Figure 3(c)에서 그러한 결과를 관찰하였다. 이 결과는 근본적으로 컬러가 R, G, B의 조합으로 이루어진다는 점에 근거한다. 다시 말해 R, G, B 각각에 대하여 아무리 좋은 보정이 이루어졌다고 하여도 이들이 다시 조합되었을 때 왜곡이 발생한다면 결코 적합한 보정이 될 수 없다.

디지털 촬영 장비의 특성에 또 다른 근거가 있다. 디지털 촬영 장비가 자극 즉, 빛에 반응하여 디지털 신호를 만들어내는 반응식이 선형식에 가깝기 때문이다 (Chang and Reid, 1996).

많은 컬러공간간의 변환식들 또한 행렬을 이용한 선형식이라는데 근거를 둘 수 있다.

## 2) 컬러보정의 효과

Figure 3(a)의 보정 전 영상은 전체적으로 어둡고 대비도 적은데, 이는 Table 2로 설명된 바와 같으며 실험실 내 조명 조건에 따른 것이다. 반면 (b), (c)의 영상은 보정에 의해 밝기 및 대비가 크게 개선되었음을 보여준다.

Table 4는 UC-2의 전체 영상들에 대한 컬러보정의 오차분석 결과이다. 같은 암석 시료에 대하여 보정 전 영상의 평균 잔차들간의 차이가 보정 후 평균 잔차들간의 차이보다 큼을 알 수 있다. 이는 평균 잔차들의 절대값이 보정 전 영상에서 보다 크기 때문일 수도 있으나, 그 보다는 보정 전 영상의 경우 서로 다른 촬영 조건이 그대로 반영되어 나타난 결과라고 판단된다. 보정 후 평균 잔차들간의 차가 줄어든 것은 표준 조건과 가까워지는 동시에 동일한 조건에서 영상들의 상호비교가 가능하다는 것이다. 이로부터 적합한 보정이 이루어진 것으로 판단된다.

Table 4. RGB 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

## 6. 결 론

- 1) 촬영 조건에 따라 획득영상간에 상당한 차이가 발생하며, 영상획득 및 분석 단계에 내재되는 오차들로 인하여 신뢰도가 저하될 수 있음을 파악하였다.
- 2) 컬러보정을 통하여 서로 다른 촬영 조건의 암석영상들간 상호 비교, 분석이 가능하였다.
- 3) 오차를 줄여 영상의 획득 및 분석 단계의 신뢰도 향상을 꾀할 수 있었다.
- 4) 개발된 컬러보정기법을 바탕으로 향후 암석의 시각정보 변화의 정량화가 가능할 것이다.
- 5) 개선된 영상획득시스템을 갖출 경우 보다 큰 신뢰도 향상을 기대할 수 있다.

## 참 고 문 헌

- 김재동, 김종훈, 1998, 시추공벽 영상을 이용한 암반내 절리구조 해석, 터널과 지하 공간, 한국암반공학회, Vol. 8, pp.342-350.
- 류동우, 2000, 암반 절리 트레이스 조사를 위한 화상 처리 및 확률집합체 이론에 의한 절리계 모사, 서울대학교 박사학위논문, 188p.
- 장윤섭, 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, pp.5-8.
- Bonifazi, G., Massacci, P. and Volpe, F., 1999, Remote sensing as instrument for open pit monitoring, Geovision'99, Proc. of Int. Symp. on Imaging Applications in Geology, pp.17-20.
- Bruno, R. Paoli, S.P., Laurence, P., Coluccino, M., Muge, F., Ramos, V., Pina, P., Mengucci, 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, pp.29-32.
- Chang, Y.C. and Reid J.F., 1996, RGB Calibration for Color Image Analysis in Machine Vision, *IEEE Trans. Image Proc.*, Vol. 5, No. 10, pp.1414-1422.
- Fueten, F., 1999, Petrographic image processing of thin sections using the rotating polarizer stage, *Geovision'99, Proc. of Int. Symp. on Imaging Applications in Geology*, pp.105-108.
- 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*, pp.29.
- Lieberman, S.H. and Anderson, G.W., 1999, Use of Direct Push Video-Imaging System for In Situ Characterization of Subsurface Soil Environmentals, *Geovision'99, Proc. of Int. Symp. on Imaging Applications in Geology*, pp.169-172.
- 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*, Vol. 32, No. 5, pp.619-642.
- 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*, pp.193-196.
- Reid, T.R. and Harrison, J.P., 1996, Development of system of a system for the automatic construction of discontinuity trace maps and discontinuity measurements from digital images, *Eurock'96, Barla(ed.), Balkema, Rotterdam*, pp.303-309.
- Sardini, P., Moreau, E., Sammartino, S. and Touchard, G., 1999, Primary mineral connectivity of polyphasic igneous rocks by high-quality digitisation and 2D image analysis, *Computers and Geosciences*, Vol. 25, No. 5, pp.599-608.
- Thompson, S., Fueten, F. and Bockus, D., 1999, Mineral identification using artificial neural networks and the rotating polarizer, *Geovision'99, Proc. of Int. Symp. on Imaging Applications in Geology*, pp.225-228.

- 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, pp.249-252.
- 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, pp.257-260.