

# 수치근접사진측량에 의한 고해상도 디지털 카메라의 석재표면 거칠기 측정정확도 파악

## Analysis of Stone's Surface Roughness Measurement Accuracy of a High Resolution Digital Camera by Digital Close-Range Photogrammetry

안기원\* · 이효성\*\* · 유주현\*\*\*

Ahn, Ki-Won · Lee, Hyo-Sung · Yoo, Ju-Hyun

### 要 旨

본 연구에서는 수치근접사진측량기법에 의한 DCS 420 디지털 카메라의 석재표면 거칠기 측정정확도 파악을 위하여 윈도우 환경의 Microsoft Visual basic 6.0으로 표면거칠기측정시스템을 구축하였다. 본 시스템을 통하여 거칠기가 거의 없는 이상적인 평면과 곡면인 돌의 표면 거칠기를 최소제곱법으로 기준면을 적용, 측정한 결과  $\pm 0.1$  mm 이하의 정확도로 측정할 수 있었다.

### ABSTRACT

This study aims to analyze stone's surface roughness measurement accuracy of a high resolution DCS 420 digital camera by digital close-range photogrammetric technique. For this purpose, the surface roughness measurement system was constructed by means of microsoft visual basic 6.0 in windows. As the analysis results of measurement accuracy of digital camera using this system, the roughness error of the normal distance between the best fitting reference surface obtained by least square method and sample points in the ideal plane or surface did not exceed  $\pm 0.1$  mm

### 1. 서 론

여러 가지 가공법에 의하여 제작된 공업제품이나 기계 부품 및 구조물은 반드시 설계도면과 일치되기는 어렵다. 따라서 이들의 품질검사 및 관리를 위한 표면 거칠기는 재료의 특성과 밀접하게 연관된 중요한 물리량으로 mm단위 이하의 높은 측정 정밀도가 요구되어진다. 특히 조정분야는 물론 건설분야 등에 사용되는 가공석은 안전을 고려하여 표면의 연마상태 즉, 표면 거칠기가 작아야 하는 것이 중요하다. 그러나 연마된 돌의 표면 거칠기는 그 크기가 매우 작기 때문에 품질의 한 가지로서 표면 거칠기를 제시하기 위하여는 정밀측정방법에 의한 표면 거칠기 측정이 이루어져야만 한다.

표면 거칠기의 정밀측정방법으로는 표준면과의 비교측정법, 촉침식 표면 거칠기 측정법, 현미 간섭식 표면 거칠기 측정법, 광절단식 표면 거칠기 측정법 등이 있다.<sup>1)</sup> 그러나 이 방법들은 주로 크기가 작은 금속 시편이나 기계 가공품들을 측정대상으로 실내에서 이루어지는 실험실 측정방법이기 때문에 가공석과 같은 큰 크기의 표면 거칠기 측정에는 적합하지 않은 방법이다. 따라서 돌의 표면 거칠기는 현장에서 직접 측정할 수 있는 방법으로 수행하여야 하는데 그 방법으로는 수치근접사진측량방법이 효율적인 방법으로 기대 되어진다.

수치근접사진측량방법에 의한 가공석의 표면 거칠기 측정에 있어서는 mm 이하 단위의 높은 정밀도를 얻을 수 있고, 현장에서 휴대용 컴퓨터로 직접 다운로드 할 수 있는 고해상도의 디지털 카메라를 이용한다면 각종 분석을 효율적으로 하여 손쉽게 결과값을 얻을 수 있을 것이다.

국내외적으로 디지털 카메라를 이용하여 기하학적인 원리로 구조물 표면의 형태파악과 변형을 해석하는 연구가 활발히 진행되어왔다. 국외의 연구로 Fraser등은 DCS

\*정회원 · 경상대학교 공과대학 토목공학과 교수

(경상대학교 부속 생산기술연구소 연구원)

\*\*정회원 · 서울대학교 BK21사회기반 및 건설기술  
인력양성사업단, 연구원

\*\*\*정회원 · 경상대학교 대학원 토목공학과 석사과정

200 디지털 카메라와 CRC-1 측정용 카메라를 이용하여 보잉 777 항공기의 방향타 탭(tab)을 제조하는 기계부품을 수치근접사진측량으로 품질검사를 행한 후, 기계의 치수를 검정하고 각각의 카메라에 대하여 정확도를 비교하였다.<sup>2)</sup> Licht 등은 DCS 420 디지털 카메라의 렌즈왜곡에 대한 자체검정을 행하고, 촬영거리 0.3 m에서 직경 14.3 mm의 강철원반과 길이 25.4 mm, 직경 12.7 mm인 원통을 대상으로 각각 평면방정식 및 원통면 방정식을 적용하여 이상적인 기준면과의 차이를 구하였다.<sup>3)</sup> Zhou 등은 약 0.9 m의 거리에서 Panasonic WV-CD20 CCD 카메라에 의한 근접사진측량을 행하여 물에 적셔 불려진 인화지 표면을 LMC(Local Maximum Convolution) 기법으로 보간한 후, 재구성하여 약  $\pm 0.1 \sim 0.3$  mm의 정확도로 측정하였다.<sup>4)</sup>

국내에 있어서, 이진덕은 차량 표면을 대상으로 촬영거리 5~8 m에서 DCS200 디지털 카메라의 자체검정과 수치근접사진측량을 행하여  $\pm 0.1$  mm 이하의 표준오차와 1/60,000의 높은 정확도를 제시한 바 있다.<sup>5)</sup> 신봉호 등은 DCS 200 디지털 카메라를 사용하여 구조를 변형 측정과 수치화상의 분석정확도 향상을 위하여 비주얼 베이직으로 윈도우 환경의 수치화상분석시스템을 구축한 후, 하중변화에 의한 모의교량의 순간거동을 파악하였다.<sup>6)</sup> 이창경은 자동차에 부착된 3차원 위치를 이용하여 시동시 자동차의 진동방향과 크기, 출발시 자동차의 움직임을 비디오 카메라에 의해 추적하여 비디오시스템과 사진측량학적 원리를 이용하는 새로운 동적거동측정기법을 제시하였다.<sup>7)</sup>

본 연구에서는 디지털 카메라와 윈도우 환경의 Microsoft Visual basic 6.0을 이용하여 표면 거칠기 결과값을 현장에서 직접 얻을 수 있도록 기초적 표면거칠기 측정시스템을 구축하고자 하였다. 또한 본 시스템과 DCS 420 디지털 카메라로 거칠기가 거의 없는 이상적인 평면과 곡면인 돌의 수치화상을 취득하여 최소제곱법으로 기준면을 적용, 표면 거칠기를 측정 후, 그 결과를 Rolleiflex 6006 측정용 카메라에 의한 결과 값과 비교하여 표면 거칠기 측정에 있어서 디지털 카메라의 정밀 측정 수행능력을 평가하고자 하였다.

## 2. 기초적 통합환경 구축

수치근접사진측량에 의한 표면 거칠기 측정에 있어서

주제별 처리과정이 서로 독립되어 있지 않은 단일화된 통합환경을 구축한다면 보다 신속하고 효율적인 처리가 가능하리라고 본다. 따라서 본 연구에서는 디지털 카메라와 윈도우 환경의 Microsoft Visual basic 6.0을 이용하여 표면 거칠기 결과값을 현장에서 직접 얻을 수 있도록 수치화상처리용 소프트웨어에서 제공되지 않으면서 기본적으로 필요한 프로그램을 주제별 클래스 및 모듈로 작성하여 기초적 표면거칠기 측정시스템을 구축하고자 하였다.

표면 거칠기 측정 시스템의 메뉴형식은 사용자가 편리하게 이용할 수 있도록 다중문서인터페이스(Multiple Document Interface) 폼으로 주화면을 구성한 후 하위메뉴로서 이미지 뷰어, 기준점 측량, 변들조정, 자동매칭, 3차원 위치결정 및 표면 거칠기의 순으로 작성하였다. 표면 거칠기 측정 시스템에 사용되는 하위메뉴들은 주화면 창 안에 있으며, 주화면 창은 응용 프로그램에서 모든 하위메뉴창에 작업 공간을 제공할 수 있도록 구성하였다. 특히 검정데이터가 있는 필름전용 카메라인 경우엔 스캐닝 왜곡, 필름변형 및 렌즈왜곡에 대한 보정을 해주기 위하여 다항식에 의한 기하보정 및 뉴턴랩선 방법에 의한 방사보정을 할 수 있는 모듈을 추가하였다. 본 연구에서 제작한 시스템의 흐름도와 주화면 메뉴는 Fig. 1 및 Fig. 2에서 보는바와 같다.

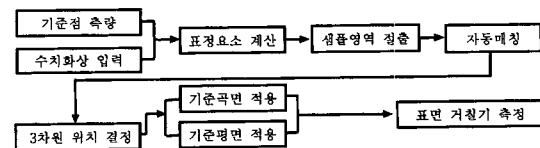


Fig. 1. Flow chart of roughness measurement system



Fig. 2. Program of roughness measurement system

## 3. 샘플영역의 3차원 위치결정

### 3.1 수치화상의 획득

촬영대상물로는 원석을 수시간 동안 연마시킨 후, 절단기로 절삭한 면상에 해변가 조약들을 절단하여 부착한 면을 대상으로 선정하였다. 또한 대상물 각각에 중앙 원

형의 직경이 1.0 mm인 별표모양의 25개 표정점을 부착하여 기준점 및 검사점으로 활용하도록 하였다.

촬영에 있어서는 DCS 420 디지털 카메라를 사용, 초점거리 35 mm, 70 mm 각각에 대하여 촬영기선 1.2 m, 2.0 m, 촬영거리 약 2.0 m, 4.0 m로 하였으며, 수평 촬영하여 입체화상을 얻었다. 표정점에 대한 3차원 위치는 1 초읽기 토탈스테이션을 이용한 삼각측량 원리에 의하여 구하였다.

특히 DCS 420 디지털 카메라로 촬영되어진 대상물은 크기 13.8 mm×9.2 mm인 CCD(1524×1012 pixel, 한 화소 : 0.009×0.009 mm)칩을 통하여 디지털 형태로 변환되어 4.5 MB의 DRAM(Dynamic Random Access Memory)에 저장되어지며, 최대 203 프레임까지 비압축 화상으로 저장할 수 있는 340 MB의 하드디스크로 이동된다. 획득되어진 수치화상들은 SCSI 인터페이스와 Adobe Photoshop Software등을 이용하여 컴퓨터로 다운로드되고 사진 프로세싱 및 여러 가지의 화상형식으로의 변환 및 저장이 이루어진다.<sup>8)</sup>

Fig. 3은 획득한 좌·우화상을 모니터상에 출력시켜 표정점의 정확한 위치 확인이 가능하도록 화상을 확대 축소할 수 있는 기능과 여러 개의 화상을 동시에 출력시킬 수 있는 기능 및 대상물에 대한 샘플영역을 절출할

수 있는 잘라내기 등과 같은 편집기능의 이미지 뷰어 모듈을 나타낸 것이다. 또한 표면 거칠기 측정을 위하여 절출할 샘플영역은 Fig. 3에서 보느바와 같이 거칠기가 거의 없는 기준곡면 적용영역인 곡면(샘플 1, 샘플 2)과 기준평면 적용영역인 평면(샘플 3, 샘플 4)을 대상으로 하였다.

### 3.2 외부표정요소 결정

한 쌍의 중복사진으로부터 3차원 위치를 결정하기 위하여는 사진상 점과 대상물 점간의 관계를 결정할 수 있는 카메라의 위치 및 자세, 즉 외부표정요소를 결정하여야 한다. 이를 위하여 번들조정기법을 적용하였다. 번들조정이란 다수의 번들에 대하여 투영중심과 사진상의 점, 지상의 물체가 일직선상에 있다는 공선조건식을 기본으로 최소제곱법에 의하여 각 사진의 외부표정요소 회전인자( $\kappa, \phi, \omega$ ) 및 카메라 노출점 중심의 지상좌표( $X_0, Y_0, Z_0$ )를 결정하는 것이다.

본 연구에서 사용한 DCS 420 디지털 카메라는 렌즈 왜곡과 관련된 검정자료가 없기 때문에 번들조정법의 기본식에 정오차 검정항 즉, 주점이동량  $x_0, y_0$  및 초점거리  $f$  항을 부가하여 조정하는 방법을 택하였다.

따라서 부가항을 고려한 번들조정법으로 주점이동량과

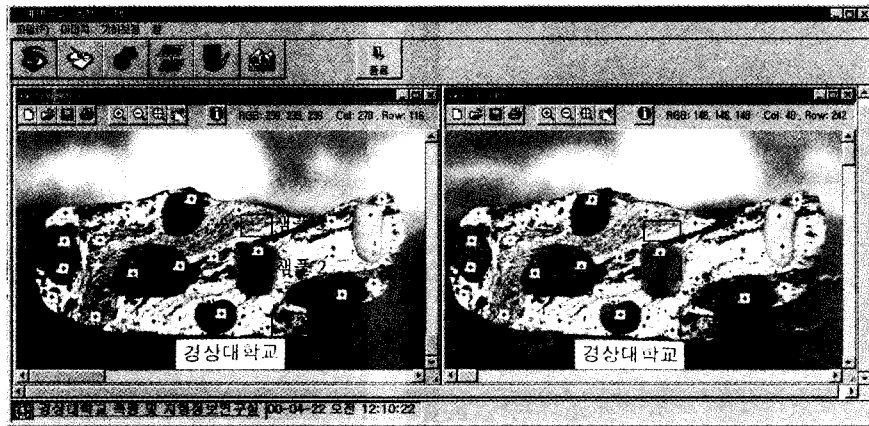


Fig. 3. Edit module of image viewer

Table 1. RMSE of 3D ground coordinates of the check points in digital image acquired by DCS 420 camera(unit : mm)

Focal length	RMSE	X		Y		Z	
		Bundle	Additional Bundle	Bundle	Additional Bundle	Bundle	Additional Bundle
35 mm	0.251	0.219	0.280	0.188	0.245	0.237	
70 mm	0.146	0.099	0.120	0.106	0.157	0.154	

초점거리 및 외부표정요소를 구한 후, 검사점의 3차원 위치를 구하여 실측값과 비교하여 보았다. 마찬가지로 번들조정법에 의한 외부표정요소를 이용, 검사점의 3차원 위치를 구하여 이를 실측값과 비교하였으며, 그 결과는 Table 1에서 보는 바와 같다.

이상과 같은 결과로부터 초점거리 35 mm에 비해 70 mm에서 획득한 결과값의 정확도가 향상되었음을 알 수 있었으며, 번들조정법에 비해 부가항을 고려한 번들조정법의 결과정확도가 높음을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서의 표면 거칠기 측정을 위한 수치적인 적용은 초점거리 70 mm에서 촬영되어진 화상만을 대상으로 하였다.

### 3.3 자동매칭

자동매칭기법으로는 여러 가지 기법이 개발되어 있으나 수치표고모델 생성을 위한 자동매칭에는 표준상관계수가 많이 사용되고 있으며 본 연구에서도 이 방법을 택하였다. 또한 매칭사이즈를 결정하기 위하여 먼저 좌·

우화상 표정점간의 기하학적인 관계를 근사적으로 파악한 후 이 관계식을 이용하여 20화소 간격으로 매칭점을 결정하였으며, 결정된 좌·우 매칭쌍을 기준점으로 활용하였다. 기준점 주위로 윈도우 영역을 7×7부터 2화소 간격으로 21×21까지 각각의 영역별 자동매칭을 수행하여 최대상관계수의 평균값을 계산한 결과, Table 2에서 보는바와 같이 17×17까지는 그 값이 크게 향상되지만 19×19부터 점차적으로 낮아지기 시작하므로 기준 영역 및 검색영역의 크기를 17×17 및 45×45로 결정하였다.

결정된 매칭사이즈로 샘플영역내의 모든점들에 대하여 자동매칭을 실시한 후, 우측화상좌표에 해당하는 화소이하단위의 좌측화상좌표를 취득하였다. 또한 매칭의 신뢰도를 파악하기 위하여 실수형 상관계수화상을 작성하였으며 그 결과는 Table 3에서 보는바와 같다. Table 3에서 알 수 있듯이 평면영역에 비해 곡면영역의 매칭결과가 좋지않은 것은 전체적인 밝기 값 즉, 화소값들간의 변화량이 적은 것에 기인한 것 같다.

Table 2. Average correlation coefficients of each window size

Size	7	9	11	13	15	17	19	21
Ave.	0.753	0.772	0.832	0.881	0.883	0.888	0.885	0.885

Table 3. Average correlation coefficients of each sample areas

Sample area	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4
Ave.	0.80	0.75	0.96	0.94

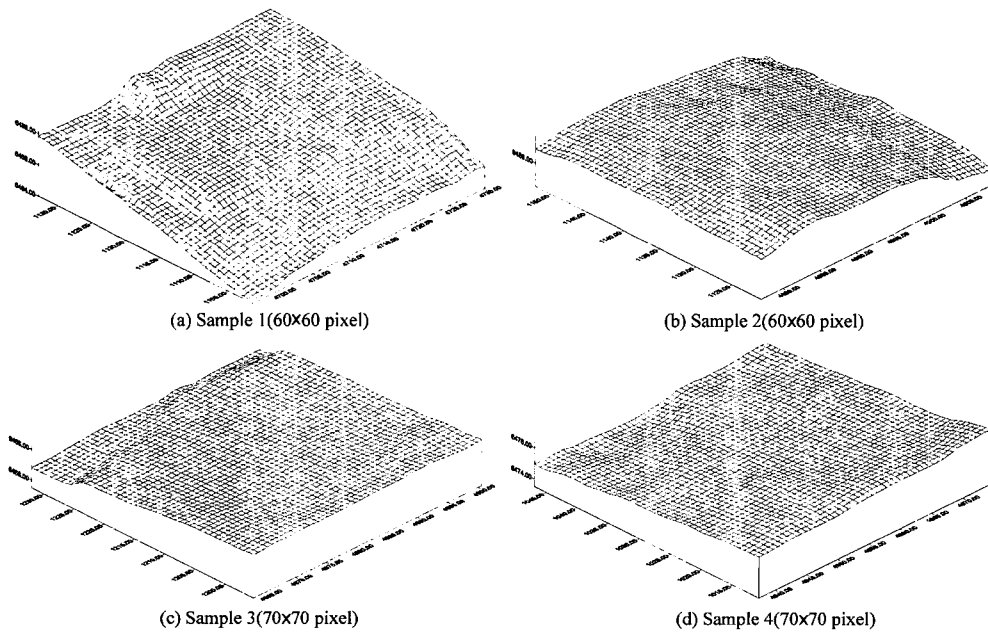


Fig. 4. DEM on each sample area by DCS 420 camera

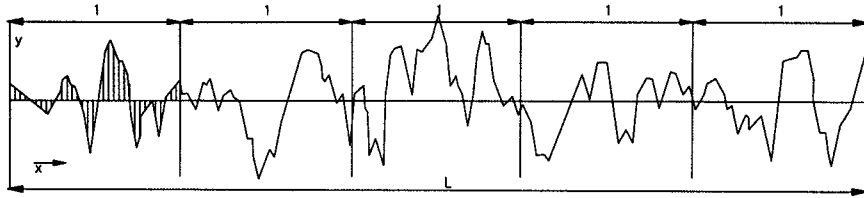


Fig. 5. Profile of a curved line for centerline average height roughness designation method

### 3.4 3차원 위치결정

자동매칭으로 찾은 좌·우화상좌표와 정오차 검정을 과정을 거친 외부표정요소를 이용하여 공간교차이론으로 3차원 위치를 획득할 수 있었다. Fig. 4는 각각의 샘플영역에 대한 3차원 위치정보를 이용하여 수치표고모형을 나타낸 것이다.

### 3.5 표면 거칠기 측정

현행 KS에서는 여러종류의 가공법에 의하여 제작된 공업제품이나 부품의 표면에서 작은 간격으로 나타나는 표면의 요철로서 거칠다 매끄럽다하는 감각의 근원이 되는 것을 표면 거칠기로 정의하고 있으며, 그 표시 방법으로는 최대높이 거칠기, 10점 평균거칠기, 중심선 평균 거칠기의 3종류의 거칠기를 규정하고 있다. 이중 중심선 평균 거칠기 표시방법은 국제적으로 가장 많이 사용되는 표면 거칠기의 표시방법으로서 Fig. 5 및 식 (1)에서 보는바와 같이 거칠기 곡선의 요철과 그 중심선에 포함된 면적의 합을 측정 길이로 나눈 것 즉, 중심선으로부터 모든 측정점에 대한 절대값의 높이 차이를 산술평균한 것이다.<sup>1)</sup>

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |f(x)| dx \quad (1)$$

본 연구에서는 표면 거칠기를 현행 KS에서 규정하고 있는 중심선 평균 거칠기 표시방법으로 측정하기 위하여 먼저 대상물내 샘플영역의 모든 격자점에서 Z값 차이가 최소인 기준면을 찾은 다음 그 기준면으로부터의 거리를 구하고자 하였다. 따라서 기준면을 구하기 위하여 평면의 방정식 및 곡면 방정식을 적용하였다.

기준평면(Reference plane)을 구하기 위한 평면방정식은 식 (2)과 같으며, 이 식의 계수는 함수 F에 관한 식 (3)을 사용하여 최소제곱법으로 구할 수 있다.

$$Z = a_0 + a_1X + a_2Y \quad (2)$$

$$F = \sum \{Z_i - (a_0 + a_1X_i + a_2Y_i)\}^2 = \min. \quad (3)$$

여기서,  $X_i, Y_i, Z_i$  : 대상영역내 임의 점의 3차원 위치 샘플영역의 임의 점으로부터 기준평면까지의 수직거리는 아래의 식 (4)으로부터 구할 수 있으며, 대상영역의 모든점에 대하여 평면으로부터의 거리를 구한 다음 표면 거칠기를 구할 수 있었다.<sup>1)</sup>

$$d_i = \frac{|a_0 + a_1X_i + a_2Y_i - Z_i|}{\sqrt{a_1^2 + a_2^2 + (-1)^2}} \quad (4)$$

또한 기준곡면(Reference surface)으로부터의 표면 거칠기 측정을 위한 식 (5)과 같은 2차 곡면방정식을 적용하였다.

$$Z = a_0 + a_1X + a_2Y + a_3X^2 + a_4XY + a_5Y^2 \quad (5)$$

이 식에서의 계수는 평면방정식과 마찬가지로 함수 F에 관한 식 (6)을 사용하여 최소제곱법으로 구할 수 있으며, 구한 계수를 이용하여 샘플영역내의 모든 격자 점들간의 Z값 차이가 최소인 기준곡면방정식이 얻어진다.

$$F = \sum \{Z_i - (a_0 + a_1X_i + a_2Y_i + a_3X_i^2 + a_4X_iY_i + a_5Y_i^2)\}^2 = \min. \quad (6)$$

결정된 기준곡면상의 임의의 점  $P(X_0, Y_0, Z_0)$ 로부터

Table 4. Average of normal distance between the sample points and the reference surface by DCS 420 digital camera and Rolleiflex 6006 camera(unit : mm)

Sample area	DCS 420		Rolleiflex 6006	
	Applied reference surface	surface plane	surface plane	plane
Sample 1	0.122		0.076	
Sample 2	0.092		0.076	
Sample 3		0.093		0.051
Sample 4		0.085		0.060

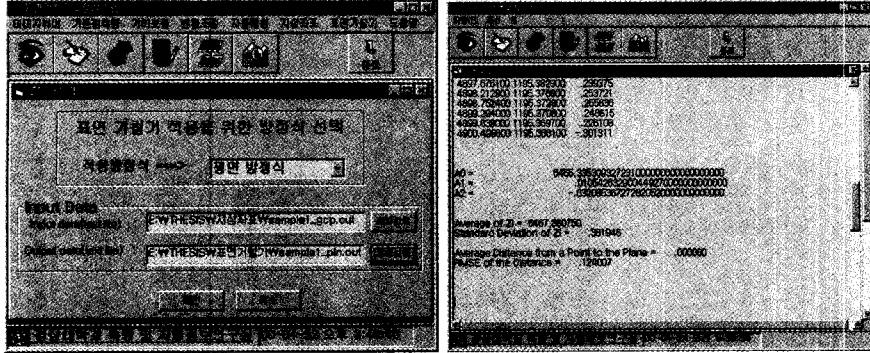


Fig. 6. Roughness measurement module

샘플영역내의 임의의 점  $Q(X_i, Y_i, Z_i)$ 까지의 수직거리(d)를 구하기 위하여는 식 (7)과 같은 단위연직벡터(unit normal vector)로부터 구할 수 있으며,<sup>9)</sup> 대상영역의 모든 점에 대하여 곡면으로부터의 거리를 구한 다음 표면 거칠기를 구할 수 있었다. Table 4는 거칠기가 거의 없는 이상적인 평면과 곡면인 샘플영역내의 모든점으로 부터 기준평면 및 기준곡면까지의 중심선 평균 거칠기를 나타낸 것이며, Fig. 6은 표면 거칠기 측정 모듈과 출력값을 나타낸 것이다.

$$n = \frac{-\frac{\partial F}{\partial X}(X_0, Y_0)i - \frac{\partial F}{\partial Y}(X_0, Y_0)j + k}{\sqrt{\left\{\frac{\partial F}{\partial X}(X_0, Y_0)\right\}^2 + \left\{\frac{\partial F}{\partial Y}(X_0, Y_0)\right\}^2 + 1}} \quad (7)$$

#### 4. 비교 · 분석

본 연구에서는 고해상도 디지털 카메라의 표면 거칠기 측정 수행능력을 평가하기 위하여 필름전용 Rolleiflex 6006 측정용 카메라로 표면 거칠기를 측정, 상호비교하고자 하였다.

Rolleiflex 6006 카메라로 획득한 수치화상의 촬영 대상물은 DCS 420 카메라로 획득한 대상물과 동일하며, 샘플영역도 거의 동일한 영역을 선정하였다. 촬영에 있어서는 촬영거리 및 촬영기선을 각각 1.2m, 1.0m로 수렴 촬영하여 입체화상을 얻었다. 촬영대상물의 수치화상 데이터를 취득하기 위하여 필름을 현상한 후 필름전용 스캐너(MICROTEK 스캐너)로 스캐닝 하였다. 스캐닝 후의 화상은 약 6000×6000 화소크기(1화소는 사진상 약 0.01×0.01 mm크기)가 되도록 하였으며, 데이터 값은 0에서 255사이가 되도록 하였다. 특히 Rolleiflex 6006

카메라에는 필름 전면에 5mm 간격마다 모두 121개의 십자선이 그려져 있는 레조플레이트(reseau plate)가 내장되어 있어서 이를 토대로 현상 과정의 필름변형과 스캐너의 기하학적 왜곡을 보정할 수 있었다. 또한 검정자료(calibration data)를 이용, 카메라의 주점 이동량 및 렌즈방사왜곡을 뉴턴랩선방법으로 보정하였다.

각 샘플영역에 대한 3차원 위치를 결정하기 위하여 번들조정법으로 외부표정요소를 구한 후, 자동매칭과 공간교차이론을 적용하였다. 결정된 3차원 위치정보를 이용하여 앞에서 제시한 기준면 방정식을 적용, 표면 거칠기를 측정할 수 있었으며, 그 결과는 Table 4에서 보는바와 같다.

앞의 결과에서 보는바와 같이 측정용 카메라인 경우 표면 거칠기가 평균적으로 0.07 mm이며, 디지털 카메라인 경우 0.10 mm 정도로서 표면 거칠기 측정에 있어서 측정용에 비해 약 0.03 mm 측정 정확도가 떨어짐을 알 수 있다. 이는 측정용 카메라인 경우 렌즈왜곡과 관련된 검정자료를 제공하고 있으며, 필름을 스캐닝 한 후 해상도를 마음대로 조정할 수 있는 반면에 디지털 카메라인 경우 검정자료가 없는 비측정용이면서 CCD 센서에 의한 해상도가 1524×1012화소로서 고정되어 있으며, CCD 배열의 격자 간격이 일정하지 않기 때문이다. 특히 본 연구에서 사용되어진 모니터의 최대 해상도는 1600×1200 화소로서 디지털 카메라의 해상도와 맞지 않기 때문에 화상을 전산기상의 모니터로 표현하기 위한 화상재배열 과정에서 왜곡이 발생하여 위치결정의 정확도에 영향을 미친다고 판단된다.

따라서 본 연구에서는 수치근접사진측량기법을 적용한 표면거칠기측정시스템과 고해상도 디지털 카메라를 이용하여 ±0.1 mm 오차 이하의 정확도로 석재표면 거칠기

를 측정할 수 있었다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 고해상도의 DCS 420 디지털 카메라로 거칠기가 거의 없는 이상적인 평면과 곡면에 대한 수치화상을 획득하고 Visual basic 6.0을 이용하여 표면 거칠기측정시스템을 구축한 후, 기준면을 적용하여 표면 거칠기를 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. DCS 420 디지털 카메라로부터 촬영된 화상을 이용, 수치근접사진측량을 실시하여 기준평면 및 기준곡면으로부터의 거칠기가 거의 없는 이상적인 대상물의 표면 거칠기를 측정된 결과, 그 거칠기를 기대정확도 이상인  $\pm 0.1$  mm 이하의 정확도로 측정할 수 있었다.

2. DCS 420 디지털 카메라와 윈도우 운영체제인 Visual basic 6.0을 이용하여, 표면 거칠기 측정에 기본적으로 필요한 프로그램을 모듈화한 표면거칠기측정시스템을 구축함으로써 석재표면 거칠기를 실시간으로 정밀 측정할 수 있는 수치근접사진측량기법을 제시할 수 있었다. 이는 근접사진측량에 의하여 높은 정밀도를 요하는 산업분야의 정밀측정에 응용이 가능할 것으로 사료된다.

또한 향후 3차이상의 곡면으로 설계 제작된 산업용 구조물의 표면변형이나 표면 거칠기 측정하기 위한 기준면 적용연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. 이장구, 이종대, 정밀측정학, 기전연구소, 서울시, 1989, 273-286.
2. Fraser, C. S. and Shortis M. R., Metric Exploitation of Still Video Imagery, Photogrammetric Record, 15(85), 1995, 107-122.
3. Lichti, D. D., Chapman, M. A., Boyd, S. K., Ronsky, J. L., Digital Photogrammetric Measurement of Knee Joint Surfaces, Technical Papers of 1997 ACSM/ASPRS Annual Convention & Exposition, (3), 1997, 283-292.
4. Zhou, W., Brock, R. H., Hopkins, P. F., A Digital System for Surface Reconstruction, PE & RS, 62(6), 1996, 719-726.
5. 이진덕, 고해상도의 스틸비디오 카메라를 이용한 수치 근접사진측량 시스템의 실용성 평가, 대한토목학회논문집, 18(3-2), 1998, 183-193.
6. 신봉호, 엄재구, 양승용, 송왕재, 구조물의 변형측정을 위한 수치영상의 정확도 향상, 대한토목학회논문집, 19(3-4), 1997, 677-685.
7. 이창경, 비디오 카메라에 의한 동적거동측정, 대한토목학회 학술발표회논문집, 3, 1996, 97-100.
8. KODAK, Professional Digital Cameras User's Manual, Estman Kodak Company, U.S.A, 1997, 1-1-8-74.
9. Protter, M., and Protter, P. E., Calculus with Analytic Geometry, Jones and Bartlett Publishers, 548-551, 1988, 649-651.
10. Prara, S., 비주얼 베이직 4 자율학습, 대림출판사, 서울시, 1996, 17-826.