

콘크리트 표면절삭 장비의 품질관리를 위한 머신비전 알고리즘 개발

A Study of the Machine Vision Algorithm for Quality Control of Concrete Surface Grinding Equipment

김정환*, 서종원**, 송순호***, 이원식****
Kim, Jeong-Hwan, Seo, Jong-Won, Song, Soon-Ho, Lee, Won-Sik

요 약

콘크리트 표면절삭 작업은 콘크리트 표면의 평탄성 및 부착성을 필요로 하는 공사에서 빈번히 사용되고 있으나 작업형태가 노동집약적이며, 유해한 작업환경을 보유하고 있다. 또한 장비를 다루는 기능공의 숙련도에 따라 생산성 및 절삭품질의 편차가 큰 경향이 있다. 그러므로 주변 환경오염 방지와 장비 조종자가 위험에 노출되지 않도록 하기 위한 원격조종 콘크리트 표면절삭 장비 개발이 요구된다. 그러나 원격 조종 시스템에서 조종자가 절삭면의 품질을 측정하기 난해하고 품질에 대한 객관적인 판단을 내리기가 어려우므로, 본 연구에서는 머신비전 시스템(Machine Vision System)을 적용하여 네트워크 카메라로 촬영한 절삭면의 이미지를 디지털 영상처리(Image Processing)과정을 거쳐 그 결과를 그래픽 MMI(Man-Machine Interface) 프로그램에 표현함으로써 품질 관리 시스템을 구축하였다. 머신비전 알고리즘은 콘크리트 절삭면의 디지털 영상처리 알고리즘을 의미하며 본 논문에서 제안된 알고리즘을 적용하여 콘크리트 절삭면의 객관적인 품질관리 기준을 제시하고자 한다.

키워드: 디지털 영상처리, 콘크리트 절삭, 머신비전, 품질관리

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

콘크리트 표면절삭 작업은 선 시공면과 후 시공면 사이의 부착력 증대와 콘크리트 표면의 평탄성 확보를 위한 작업이다. 그러나 표면절삭 작업은 노동집약적 형태를 가지며 절삭작업시 발생하는 분진이나 슬러지로 인하여 매우 열악한 작업환경을 보유하고 있다. 따라서 콘크리트 표면절삭 작업의 자동화가 요구되며 콘크리트 표면절삭 원격조종 장비의 개발을 위해서는 원격에서 절삭 품질을 측정·판단할 수 있는 시스템의 구축이 필수적이다. 이를 위해 본 연구에서는 머신비전을 활용한 품질관리 시스템을 개발하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구개발의 최종 목표는 원격조종 상황에서의 품질 관리를 위한 머신비전 시스템 구축에 있으며 연구의 범위는 다음과 같다.

1) 조종자가 실시간으로 절삭면의 품질을 확인할 수 있도록 하기 위한 머신비전 알고리즘을 개발하고 MFC(Microsoft Foundation Class) 기반의 프로그램을 이용하여 시스템을 구축한다.

2) 콘크리트 절삭면의 형상에 가장 적합한 머신비전 알고리즘을 개발하고 디지털 영상처리된 이미지와 절삭면의 품질 등의 머신비전 시스템의 최종 결과는 그래픽 MMI 프로그램과 동기화 되어 조종자가 모든 정보를 하나의 프로그램 안에서 볼 수 있도록 한다.

2. 머신비전 알고리즘 개발

2.1 머신비전 시스템 하드웨어 구성

머신비전 시스템은 절삭면의 촬영을 위한 네트워크 카메라, 콘트롤 센터로의 데이터전송을 위한 무선 컨버터, 위치 정보 및 영상정보를 처리하기 위한 무선 수신 모듈을 갖춘 콘트롤 센터로 구성되어 있다.

* 일반회원, 한양대학교 토목공학과 석사과정
kimjh0418@gmail.com

** 일반회원, 한양대학교 토목공학과 조교수
jseo@hanyang.ac.kr

*** 일반회원, 한양대학교 토목공학과 석사과정
songsnow@hotmail.com

**** 일반회원, 한양대학교 토목공학과 석사
beaukor@gmail.com

본 연구는 건설교통부 건설핵심기술연구개발사업의 연구비 지원(과제번호 05건설핵심C15)에 의해 수행되었습니다.

2.2 히스토그램 변환

히스토그램 변환이란 영상이 어둡거나 밝은 경우, 또는 명암대비가 낮아 선명하지 않은 경우에 히스토그램을 넓은 영역에 분산시켜 명암대비를 높임으로써 영상을 보다 선명하게 만드는 알고리즘이며, 영상처리에서 중요한 전처리 과정 중 하나이다. 히스토그램 스트레칭 알고리즘은 히스토그램으로부터 영상의 x, y 좌표에서의 픽셀의 명도 P(x,y)를 명도의 최소값과 최대값을 구하여 다음과 같은 연산과정을 거쳐 새로운 P(x,y)를 얻는 알고리즘이다.

$$R(x, y) = \frac{P(x, y) - P_{\min}}{P_{\max} - P_{\min}} \times 255$$

히스토그램 스트레칭 전후 사진을 비교하면 그림 1의 ②와 같이 보다 뚜렷해진 영상을 구할 수 있다.

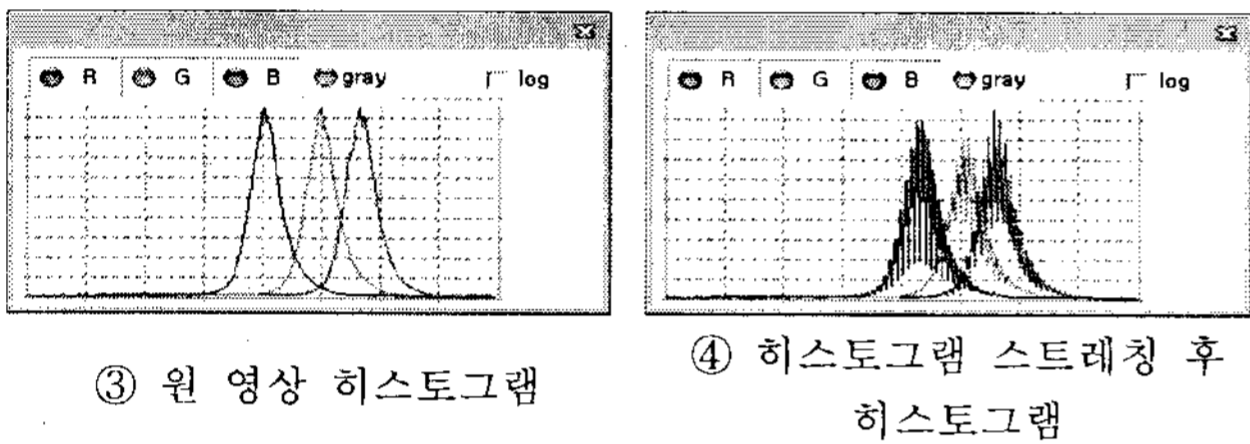


그림 1. 히스토그램 스트레칭

히스토그램 변환으로 인하여 본 연구에서와 같이 히스토그램이 특정 구간에 몰려있는 경우, 절삭면과 비절삭면의 명도차이가 커져 후속 이진화 과정에서 쓰이는 이진화 값이 더욱 유효하게 된다.

2.3 이진화

이진화는 특정 명도 값을 기준하여 영상에 존재하는 모든 픽셀들을 명도 0(흑) 또는 255(백)으로만 표현하는 알고리즘이다. 본 연구에서는 조종자가 절삭작업시 정보활용을 극대화하기 위하여 취득영상을 실시간으로 수 있도록 하였다. 또한 조종자의 시각적인 편의를 위하여 컬러 이미지를 전송하도록 하였으므로, 이진화를 위하여 흑백영상으로 변환할 필요가 있다. 흑백 영상 변환에 사용된 공식은 여러가지가 있으나, 본 연구에서는 우리나라 표준 방식인 NTSC방식을 적용하여 $Y(\text{명도}) = 0.299R + 0.587G + 0.114B$ 의 변환 공식을 사용하였다.

이진화 알고리즘은 현재 60~70가지가 있으며, 콘크리트 절삭영상을 현재 범용적으로 사용되는 알고리즘(평균, 최빈값, Otsu, 보간법 등)을 적용하여 최적의 이진화 알고리즘을 찾아보았다.

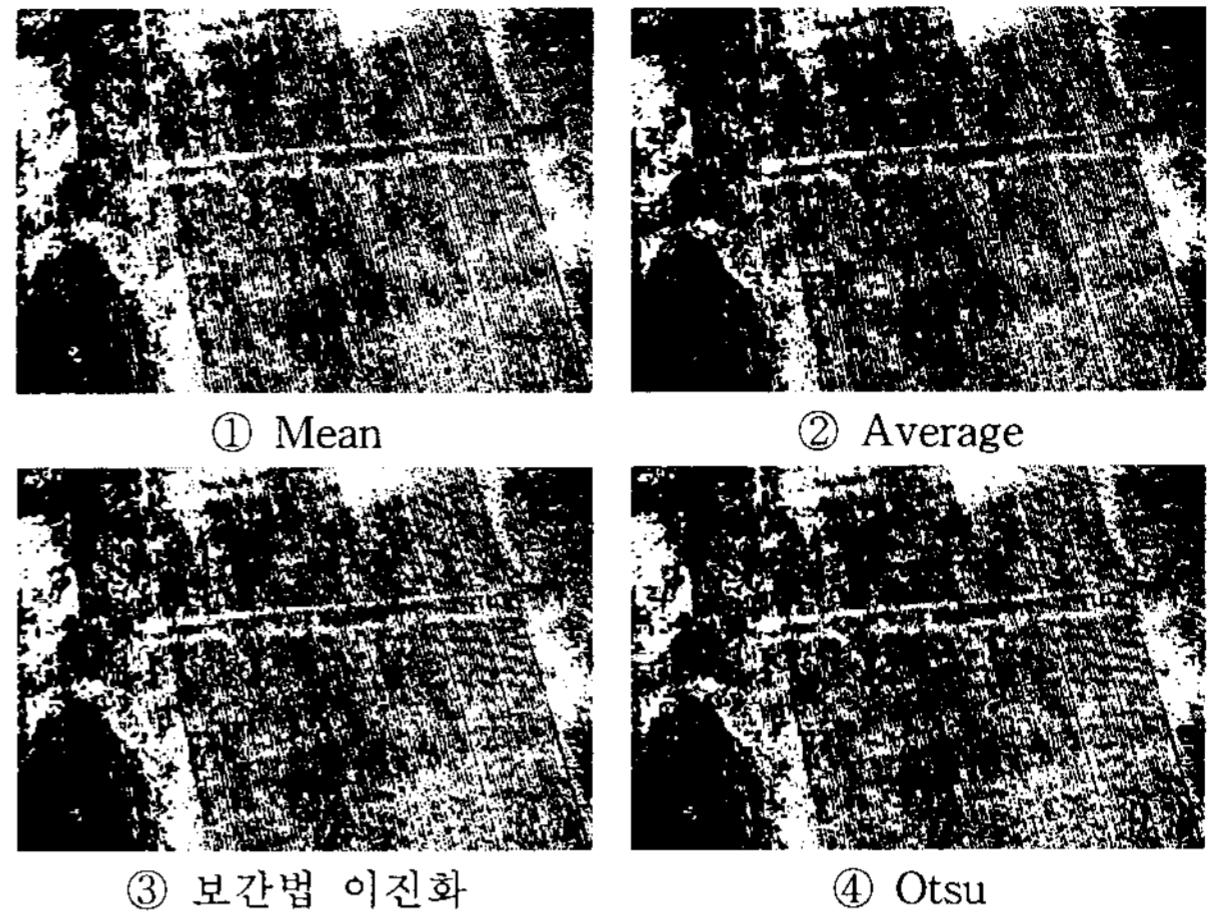


그림 2. 이진화 알고리즘 적용

절삭면은 그라인더의 특성상, 절삭면과 비절삭면으로 나뉘게 되는데, 이중에서 Otsu 알고리즘은 히스토그램이 특정 명도를 기준으로 두 개의 히스토그램 분포를 가지는 영상에서 최대 분산을 가지는 명도를 계산하여 두 히스토그램 사이의 경계값을 구하는데 쓰인다. 따라서 Otsu 알고리즘을 적용하기에 적합한 영상특성을 가진다. 수식으로 표현하면 $\sigma_b^2(t) = q_1(t)[1 - q_1(t)][\mu_1(t) - \mu_2(t)]^2$ 에서 $\sigma_b^2(t)$ 을 최대화하는 t를 기준 값으로 하는 알고리즘이다. 연산과정은 다음과 같다.

$$P(m) = \frac{h(m)}{I \times J} \quad \mu = \sum_{m=1}^M mP(m)$$

$$q_1(t) = \sum_{m=1}^t P(m), \quad q_1(t+1) = q_1(t) + P(t+1)$$

$$\mu_1(t) = \frac{q_1(t-1)\mu_1(t-1) + tP(t)}{q_1(t)} \quad \mu_2(t) = \frac{\mu - q_1(t)\mu_1(t)}{1 - q_1(t)}$$

그러나 실외작업에서 장비로 인하여 그림 3과 같이 그림자가 발생하는 경우가 잦으므로 영상의 전 영역에 단일 이진화 기준 값을 적용하여 변환하는 전역적 이진화(Global Thresholding)을 적용할 수 없다.



그림 3. 이진화 방식 비교

따라서 지역적 이진화(Local Thresholding) 알고리즘을 도입하여 이러한 문제들을 해결하고자 하였다. 지역적 이진화 알고리즘이란, 이진화에 필요한 경계값을 영역에 따라 다르게 적용하는 알고리즘이다. 특정 크기의 마스크, 즉, 픽셀을 적정 크기로 그룹핑(Grouping)을 하여 영상을 분할하고 분할된 영역 내에서의 이진화를 수행한다. 본 연구에서

는 지역적 이진화를 위하여 크기 16×16 마스크를 생성하였다. 영상의 모든 픽셀을 스캔하며 각각의 마스크에 속하는 픽셀정보를 이용하여 Otsu 알고리즘을 적용하였다.

2.4 노이즈 제거

이진화가 이루어진 영상은 콘크리트의 골재, 그림자, 잔여분진, 바퀴자국(Skid marks), 낮은 대조 영상(low-contrast image) 등에 의한 노이즈가 발생하며 노이즈의 적절한 제거가 요구되어 진다. 노이즈 제거 방법은 여러 가지가 있으며 최적의 노이즈 제거 알고리즘을 개발하기 위하여 절삭 영상을 적용하여 보았다.

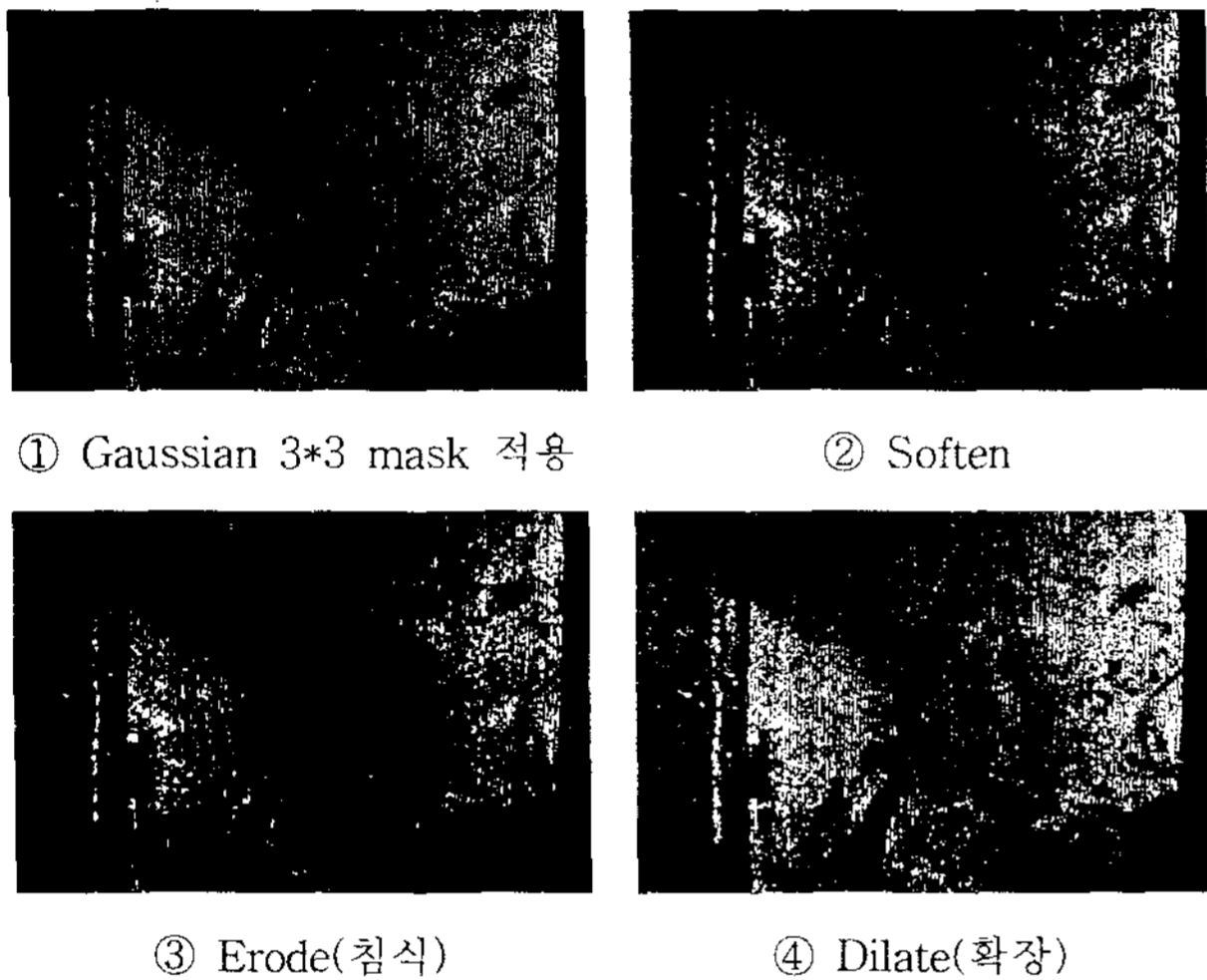


그림 4. 노이즈 제거 알고리즘 적용 결과

일반적으로 쓰이는 Gaussian, Soften 등의 알고리즘은 주로 물체를 흐릿하게 만드는 연산을 수행하므로, 분진 등으로 인한 입자가 작은 노이즈를 효과적으로 제거하는 알고리즘은 아니다. 콘크리트 절삭면의 특성을 제대로 반영하여 효과적인 노이즈 제거를 수행하는 알고리즘은 Erode(침식) 후 Dilate(확장)를 적용한 열림연산(Opening) 이라 판단된다. 침식연산이란 3×3 마스크내의 명도 0인 픽셀이 존재하는 마스크는 중앙 픽셀을 0으로 변환하고, 반대로 마스크내의 명도가 모두 255인 경우에는 중앙 픽셀을 255로 변환하는 알고리즘이다. 이 알고리즘은 물체의 최외각 픽셀을 배경과 동화 시키는 연산이므로 분진등과 같은 크기가 작은 노이즈는 배경에 사라지게 된다. 작은 입자들과 같이 절삭면 또한 같이 수축하게 되어 오차를 발생하게 된다. 이에 대한 오차를 보정하기 위한 확장연산을 수행하게 된다. 확장연산이란 침식연산과는 반대의 개념으로써, 물체의 픽셀을 배경의 픽셀에 확장함으로써 물체가 면적이 확장하게 된다. 마스크 내의 픽셀이 모두 0인 경우 중앙 픽셀을 0으로 변환하고 그 이외의 경우는 255로 변환한다. 침식 및 확장 연산을 도식화하면 그림 5와 같다.

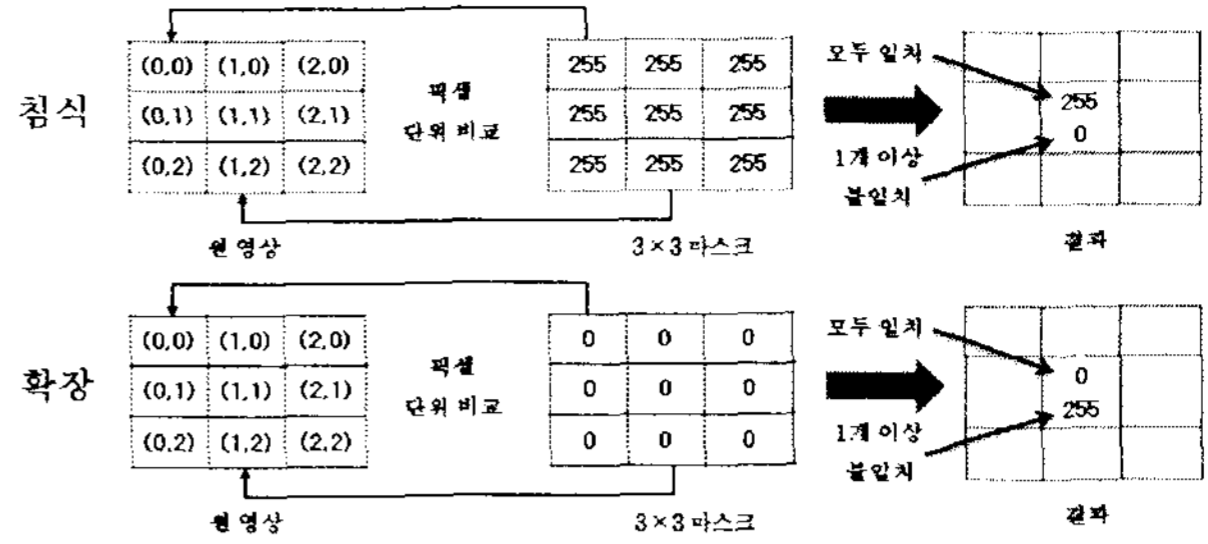


그림 5. 침식 및 확장연산

영상에서 노이즈는 소멸되어 사라진 상태에서 줄어드는 절삭면을 다시 확장하여 원 영상의 절삭면과 같은 면적을 가지는 영상으로 변환하게 된다. 이로써 절삭면은 온전히 보전하면서 노이즈는 제거하게 된다.

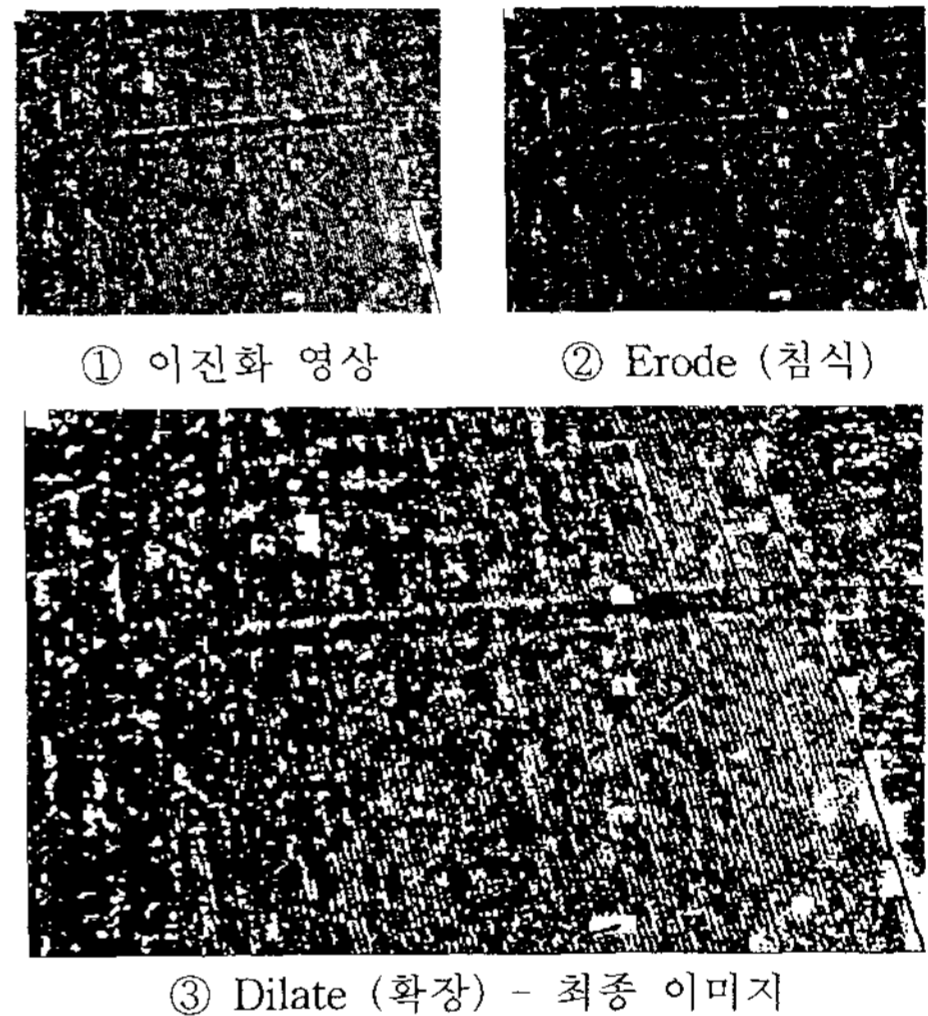


그림 6. 노이즈 제거 알고리즘 적용

2.5 품질측정 결과 산출

결과 영상의 전체 픽셀 중 절삭면을 나타내는 명도 255의 픽셀의 퍼센트를 산출하게 된다. 결과는 TXT 파일 형태로 출력이 되며 시간 정보와 절삭 면적과 절삭 여부(OK, NG)의 내용들을 포함한다.

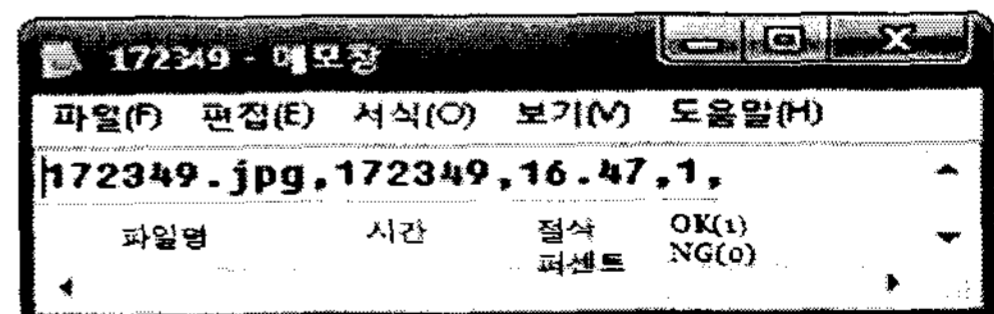


그림 7. 이미지 프로세싱 결과 TXT 파일

품질관리의 최종 결과를 위한 절삭여부를 판단하는 퍼센트 기준 산정을 위하여 본 연구에서 사용된 그라인더의 표면 형태와 절삭 패턴, 실험으로부터 나온 이미지 프로세싱 결과를 비교하여 최적의 기준을 산출하였다. 실험 영상은 절삭이 되었다고 판단되는 경우(100% 절삭) 일반 주광 상태 20프레임, 그림자 상태 20프레임을 선정하여 평균을 계산 하여 다음의 기준값을 얻었다.

표 1. 절삭 퍼센트 기준 값 산정

	주광	그림자
평균	16.71	16.21
표준 편차	4.07	2.24
기준값(%)	16.46	

프레임 하나당 소요되는 프로세스 타임은 평균 1.50초이며, 이는 4초당 1프레임을 촬영하도록 설정한 네트워크 카메라의 FPM보다 작은 수치이므로 프로세스 과정에서 딜레이는 발생하지 않는다. 최종 이미지와 절삭 퍼센트 기준값을 토대로 한 절삭면 품질관리 정보를 그림 8과 같이 그래픽 MMI 프로그램에 동기화 하여 장비의 모든 정보를 하나의 모듈로 통합하였다.

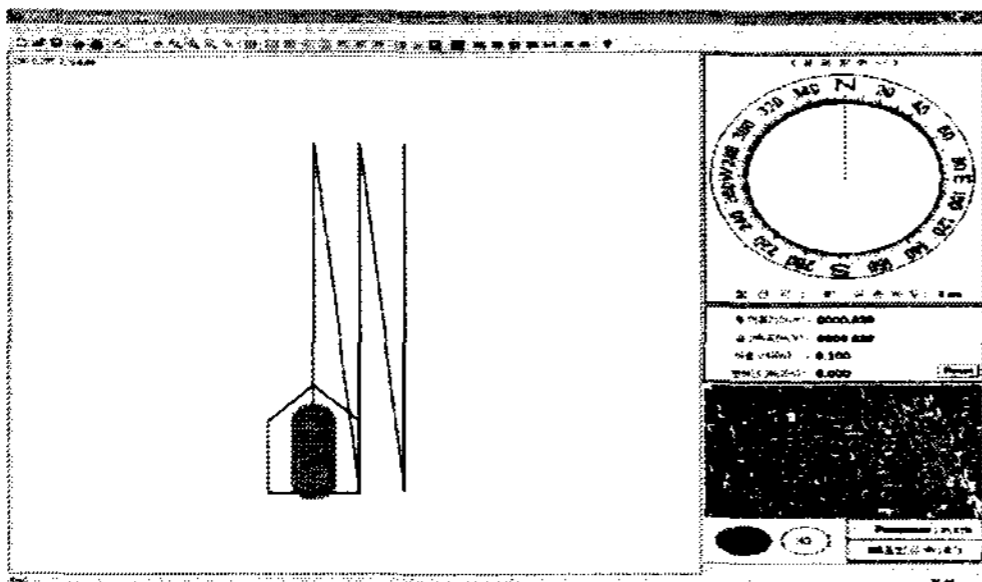


그림 8. 그래픽 MMI 운용

3. 결론

본 연구에서 제안한 콘크리트 표면절삭면의 머신비전 알고리즘은 이진화 값의 유효성을 높이기 위한 히스토그램 스트레칭, 지역적 Otsu 알고리즘, 잔여 분진등으로 인한 노이즈를 제거하기 위한 열림연산으로 이루어지며 그래픽 MMI 프로그램을 통해 장비의 이동 경로와 방향 및 속도, 본 논문에서 제안한 알고리즘을 바탕으로 한 품질관리 시스템이 구축됨으로써 본 연구의 궁극적 목표인 통합 소프트웨어 모듈을 갖추게 되었다. 그러나 향후 본 논문에서 제안한 내용을 바탕으로 퍼지로지적이나 다른 디지털 영상처리 방법의 적용을 통한 머신비전 알고리즘 개선 방안에 대한 지속적인 연구가 요구되어 진다.

참고문헌

1. N.Otsu, 'A threshold selection method from gray level histograms,'
2. 장지원, "수치영상처리에 의한 아스팔트 포장노면의 균열 검출", 한국지형공간정보학회 2002
3. 이승호, "3차원 영상처리를 이용한 암반사면 절리 측정 연구", 대한토목학회 2005
4. James G. Haran "realtime Image Processing Algorithms for the Detection of Road and Environmental Conditions, ASCE 2006
5. Juteak Oh "Vehicle detection using Video image Processing System : Evaluation of PEEK VideoTrak" ASCE August 2003
6. Gonzalez, Rafael C. & Woods, Richard E. (2002). Thresholding. In Digital Image Processing, pp. 595 - 611. Pearson Education.

Abstract

Concrete surface grinding is required for flatness and adhesiveness of concrete surface. The procedure is, however, labor intensive and has a hazardous work condition. Also, the productivity and the quality of concrete surface grinding depend on the levels of worker. Thus, the development of remote controlled concrete surface grinding equipment is necessary to prevent the environmental pollution and to protect the workers from hazardous work condition. However, it is difficult to evaluate the grinded surface objectively in a remote controlled system. The machine vision system developed in this study takes the images of grinded surface with the network camera for image processing. Then, by representing the quality test results to the graphic MMI program of the remote control station, the quality control system is constructed. The machine vision algorithm means the image processing algorithm of grinded concrete surface and this paper presents the objective quality control standard of grinded concrete surface through the application of the suggested algorithm.

Keyword : Digital image processing, Concrete grinding, Machine vision, Quality control