

원격조종 콘크리트 표면절삭 장비를 위한 머신비전 기반 품질관리 시스템

김정환* · 피승우** · 서종원***

Kim, Jeonghwan* , Phi, Seung Woo** , Seo, Jongwon***

Machine Vision based Quality Management System for Tele-operated Concrete Surface Grinding Machine

ABSTRACT

Concrete surface grinding is frequently used for flatness of concrete surface, concrete pavement rehabilitation, and adhesiveness in pavement construction. The procedure is, however, labor intensive and has a hazardous work condition. Also, the productivity and the quality of concrete surface grinding highly depend on the skills 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. Also, 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 integrated 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.

Key words : Machine vision, Concrete grinding, Image processing, GPS

초 록

콘크리트 표면절삭 작업은 포장면의 노화 또는 파손으로 인한 보수작업과 그루빙(Grooving) 시공을 통한 포장면의 배수능력을 강화하거나 평탄성을 확보를 위하여 자주 적용되는 공법이다. 그러나 그 작업특성이 노동집약적이고 분진, 슬러지, 소음 등으로 인한 유해한 작업환경을 보유하고 있으며 장비를 다루는 기능공의 숙련도에 따라 생산성 및 절삭품질의 편차가 큰 경향이 있다. 따라서 장비 조종자가 각종 위험에 노출되지 않도록 하기 위한 원격조종 콘크리트 표면절삭 장비 개발이 필요하다. 원격 조종 환경에서는 조종자가 객관적인 절삭 품질을 확인함과 동시에 장비가 계획 경로에 따라 작업이 올바르게 수행되고 있는지를 확인할 수 있도록 하는 지원시스템이 필요케되는 바, 본 연구에서는 머신비전 시스템(Machine Vision System)과 GPS를 적용하여 네트워크 카메라로 촬영한 절삭면의 이미지를 디지털 영상처리(Image Processing)과정을 거쳐 객관적이며 품질관리 프로세스가 자동화된 시스템을 구축하였다. 또한 장비의 현재 위치와 방향, 속도, 계획된 경로와의 오차정보 그리고 작업의 진척도 등을 종합적으로 산출하여 워크스테이션에 표시함과 동시에 머신 비전 시스템에 의한 작업 품질 정보와의 통합을 위한 프로그램을 개발하였으며, 현장 적용 테스트를 통해 본 기술을 검증하였다.

검색어 : 머신 비전, 콘크리트 절삭, 영상 처리, GPS

* 정희원 · 한양대학교 건설환경공학과 박사과정 (kimjh0418@gmail.com)

** 정희원 · 한양대학교 건설환경공학과 박사과정, (주)한국종합기술 이사 (jackpi@kecc.co.kr)

*** 정희원 · 교신저자 · 한양대학교 건설환경공학과 부교수, P.E. (Corresponding Author · Hanyang University · jseo@hanyang.ac.kr)

Received April 24 2013, Revised May 14 2013, Accepted May 21 2013

1. 서론

콘크리트 표면절삭 작업은 포장면의 노화 또는 파손으로 인한 보수작업과 그루빙(Grooving) 시공을 통한 포장면의 배수능력을 강화하거나 평탄성을 확보를 위하여 자주 적용되는 공법이다. 그러나 기존의 콘크리트 표면절삭 작업은 절삭작업시 발생하는 분진이나 슬러지로 인하여 매우 열악한 작업환경에서 이루어지고 있는 현실이다. 더불어 작업자의 숙련정도에 따라 작업품질의 편차가 커 품질 관리에 어려움이 따르며 습식 절삭의 경우 발생하는 슬러지의 처리에 의한 환경적 문제 및 비효율적인 작업으로 인한 간접적인 손해 발생의 우려가 있다. 이러한 유해한 작업환경에서 발생하는 다양한 피해를 최소화하기 위하여 작업자를 현장에서 멀리 떨어진 곳에 위치시키면서 절삭작업을 오차 없이 수행할 수 있을 뿐만 아니라 장비 조종자의 의사결정에 대한 지원기능을 갖춘 원격조종 콘크리트 표면절삭 기계의 개발이 필요하다.

이러한 장비의 개발을 위해서는 표면절삭 작업의 최적 경로 계획, 시공정보 및 장비의 상태 정보뿐만 아니라 원격에서 절삭 품질을 측정·판단할 수 있는 시스템과 원격조종을 위한 작업 정보 통합 시스템 구축이 필수적이다. 본 연구에서는 이러한 목적과 필요성으로 머신비전을 활용한 품질제어와 장비 운용에 있어 요구되는 모든 정보와 이를 바탕으로 조종자의 의사결정, 즉 장비 조종 명령을 내릴 수 있는 작업 정보 통합 운용 시스템을 제시하였다. 이를 위해 머신비전 시스템을 활용한 사례 연구를 분석하여 최적의 영상처리 알고리즘을 개발함과 동시에, 고정밀의 위치측정기술인 RTK(Real-Time Kinematic) GPS와의 연계를 통해 경로 및 작업 품질 결과를 종합적으로 표현할 수 있는 하드웨어 선정 및 프로그램 개발을 수행 하였다. 또한 시스템 통합단계에서 프로그램간 동기화 문제를 해결하기 위하여 프로토콜을 정의하였으며 현장 실험을 통해 성능을 검증하였다.

2. 원격조종 콘크리트 표면절삭 장비 개발

2.1 하드웨어 부문

콘크리트 표면절삭 장비의 모체는 폭 110cm, 길이는 210cm, 높이는 115cm, 총 중량 1ton으로 구성되어 소형트럭에도 적재가 가능토록 하였으며, 디젤 엔진의 출력을 이용하여 콘크리트 표면을 절삭하는 65cm 폭의 건식 다이아몬드 그라인더를 회전시키며, 24V 배터리로 구동되는 2개의 후륜, 조향을 위한 전륜장치, 장비 높낮이 조절을 위한 복동식 유압 실린더를 포함한다. 또한 2개의 GPS 수신기를 이용한 방향 파악(GPS 나침반), 각종 무선 송수신 모듈, 카메라 모듈, 콘크리트 분진을 흡입하기 위한 집진장치가 추가 장착된다(Lee 등, 2006).

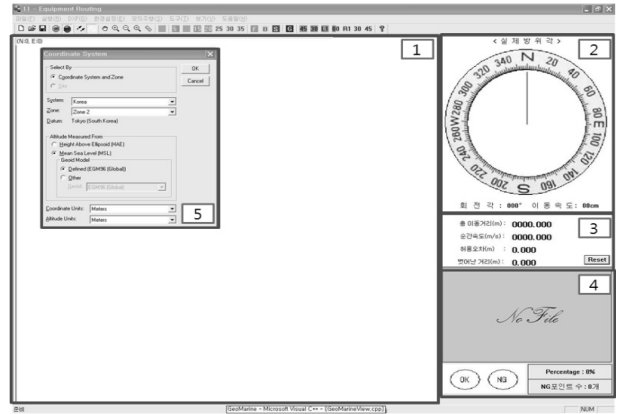


Fig. 1. Integrated Operation Program Interface

2.2 소프트웨어 부문

콘크리트 표면절삭 작업을 원격에서 수행하기 위하여 2.1절에서 소개한 하드웨어를 제어하고 운용할 수 있는 소프트웨어의 개발이 필수적이다. 이에 본 연구에서는 MFC (Microsoft Foundation Class)를 이용하여 프로그램을 개발하였으며, 프로그램의 핵심적인 기능과 그 목표는 작업 수행자로 하여금 모든 작업과 작업 정보가 통합 소프트웨어에서 수행 및 표현되도록 하였다. 또한 즉, 경로계획, 품질관리, 장비제어와 관련된 모든 작업정보가 한 화면에 표현된다. Fig. 1에서 ①은 작업 경로와 현재 기계장비의 위치를, ②는 진행 방위각을, ③은 현재 속도와 계획 경로에서 벗어난 거리 등을, ④는 머신비전 기반 품질제어 결과를 표현하며, ⑤는 시스템 설정을 할 수 있게 되어 있다. 통합 소프트웨어에서 품질관리에 대한 정보를 표현하는 ④의 기능은 절삭작업결과를 경로에 따라 기준치 이상이하 여부를 디스플레이할 수 있는 기능을 갖추어야 한다. 다음 장에서는 절삭 표면의 측정 방식에 대한 검토를 통해 머신 비전 기술을 품질관리 방식에 선정한 이유에 관하여 기술하도록 하겠다.

3. 콘크리트 절삭표면의 품질측정 방법

원격조종 콘크리트 표면절삭 장비의 경우 장비 운전자가 원거리에서 장비를 제어하기 때문에 절삭된 작업의 품질을 측정할 수 없으므로 원거리에서 작업된 절삭품질을 평가할 수 있는 품질관리 시스템이 요구된다. 원거리에서 절삭면에 대한 품질을 측정하기 위해서 다음 Table 1과 같이 적용 가능한 품질 측정 기술들을 검토하였다.

각 방식별 장단점 및 실내 성능실험 분석 결과 입체영상 시스템을 사용하는 것이 가장 뛰어난 성능을 발휘하였으나 현재 상용화되어 있는 입체영상 시스템은 도로 소성변형 측정을 위해 실외의 사용에

Table 1. Quality Control Method

Method	Advantage	Disadvantage
3D Camera	<ul style="list-style-type: none"> Easy Implementation 	<ul style="list-style-type: none"> Requires a Target/Pattern
Laser Scanner	<ul style="list-style-type: none"> High Precision 	<ul style="list-style-type: none"> Requires Some Time to Measure Affected by Vibration
InfraRed (IR) Sensor	<ul style="list-style-type: none"> Very Cheap High Competitiveness 	<ul style="list-style-type: none"> Cause an Error by Dust Large Error
Image Processing (Sensor + Camera)	<ul style="list-style-type: none"> Cheap Outdoor Adaptive Less Affected by Vibration 	<ul style="list-style-type: none"> Lower Precision Image Processing Required

적용한 선행 개발 사례는 있으나 주로 실내에서 완제품들의 품질검사를 위한 용도로 이용되고 있어 실외에서의 사용에는 직사광선을 차단할 수 있는 차양막 등의 별도의 추가적인 조치가 필요하다. 또한 3D Camera와 Laser Scanner를 사용한 입체영상 시스템의 레이저 광원은 진동에 내구성이 상당히 취약하므로 진동이 심한 본 개발 장비의 적용에는 별도의 진동제어를 위한 장치의 개발이 요구되어 진다.

입체영상 시스템은 40-200 μ m의 고 분해능을 이용한 완제품 표면의 불량률 측정하는데 사용되어지는 장비로 콘크리트 표면의 1~2곳의 불량구간을 파악하기에는 매우 유리하지만 절삭면의 전체적인 절삭여부를 판단을 위해서는 어려움이 있다. 이에 반해 센서와 카메라를 이용한 이미지 프로세싱은 실외적용에 별다른 제약은 없으며, 장비에서 발생하는 진동으로 인한 문제점은 크지 않은 것으로 나타났으며, 이미지 프로세싱에 사용되는 머신비전 또는 네트워크 카메라는 일정한 크기의 콘크리트 절삭면 영상을 취득하고, 취득된 영상범위 내의 절삭여부를 일괄적으로 판단할 수 있으므로 본 장비의 품질관리 시스템으로 사용하기에 매우 적합한 것으로 판단되었다.

4. 머신비전 기반 콘크리트 절삭면의 품질제어

4.1 머신비전의 건설분야 적용사례 검토

콘크리트 절삭면의 품질관리를 위하여 영상처리 기술을 도입하였다. 영상처리 기술은 다양한 분야에서 품질 제어 및 객체 인식 등에 사용되고 있으며, 건설분야에서도 이를 적용한 사례를 찾아볼 수 있다. 특히 콘크리트 및 교량에서의 크랙, 하수관거, 절리면 등의 유지/보수 과정에서, 검사관의 육안(Naked Eye)으로 관찰을 통해 보수 여부를 판별하는 부분을 대신하기 위하여 영상처리를 활용한 자동결합계측 시스템에 대한 연구가 많이 진행되고 있다.

Leu 등은(2005) 터널 시공법 NATM에서 굴착면의 결함에 대한 검사를 진행 하는 경우, 이를 이미지 저장, 관리, 이미지

처리, 보관 및 재구성을 통한 3D 시각화를 하여 지형분석을 용이하게 하였다. Lee 등은(2006) 교량에서 발생하는 녹(Rust)을 인식하기 위한 디지털 컬러 영상처리를 적용하여 얻어낸 결과를 다변량 통계 분석(Multivariate Statistical Analysis)을 통하여 정보 데이터를 구축하였다. Yu 등은(2007) 터널면의 이미지를 CCD 카메라를 이용하여 터널 내부 면의 크랙에 대한 이미지를 획득하고 이를 크랙 검사 알고리즘을 통하여 크랙의 존재 여부를 판가를 할 수 있는 자동화 시스템을 개발하였다. Woo 등은(2008) 도로 포장 위 차선 페인팅 자동화를 위하여 상용트럭에 쉽게 설치 가능하고 차선이 지워진 부분을 인식할 수 있는 영상처리 알고리즘을 탑재한 모듈을 개발하였다. Region of Interest(ROI)의 개념을 도입, 프로세싱 타임을 줄이고 소블 연산자와 2차 다항식의 모델링 및 칼만 필터링을 적용한 이미지 노이즈 제거 알고리즘을 개발하였다. Haran 등은(2006) 도로의 실시간 영상 이미지를 획득하여 처리함으로써 도로 환경을 인식 할 수 있는 이미지 프로세싱 알고리즘을 개발하였다.

지금까지 살펴본 머신 비전의 건설 부문 적용 사례를 통해 목적물의 상태를 파악하는데 주로 사용되고 있음을 확인할 수 있었다. 절삭과정에서 필연적으로 발생하는 콘크리트 표면의 패턴 등을 이용한다면, 본 연구에서도 머신 비전 기술이 충분히 적용 가능하다고 판단된다.

4.2 머신비전 하드웨어 구성 및 운영

원격 컨트롤러를 통해 콘크리트 표면을 절삭한 후에는 장비 조종자가 콘크리트 표면절삭 여부 및 품질을 확인할 수 있어야 한다. 이를 위해 본 연구과제에서는 머신 비전 기술을 사용하였으며, 크게 2 단계로 구분되어 운영된다. 첫 번째 단계는 절삭면의 품질측정을 위한 영상 획득 단계이며, 두 번째 단계는 획득한 영상을 처리하여 절삭면의 품질을 측정할 수 있는 영상처리 단계로 이루어지며 이를 위해 카메라에서 획득된 영상을 콘트롤 센터로 송신하기 위한 무선 통신시스템 구축이 선행되어야 한다. 이미지 프로세싱을 위한 하드웨어 및 대략적인 운영 절차는 Fig. 2와 같으며, 사용된

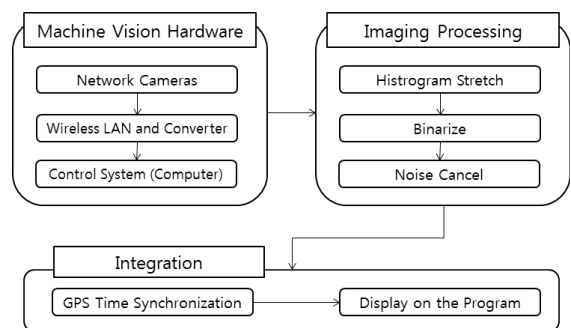


Fig. 2. Image Processing Configuration

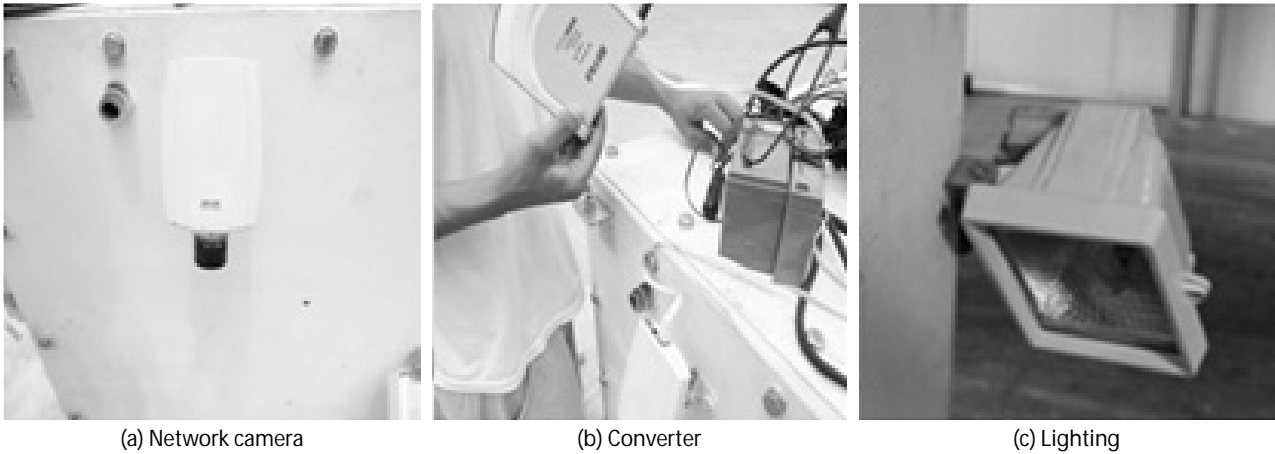


Fig. 3. Hardware configuration

영상기기 및 전송장치는 Fig. 3과 같다.

이미지 프로세싱 중에 주광에 의한 그림자 발생 시 품질관리 오차에 적지 않은 영향을 미치게 된다. 그림자에 대한 오차는 지역적 이진화로 오차를 줄일 수 있으나, 주광이 강한 경우 명부와 암부의 대조차이가 심하여 높은 대조(High-Contrast) 영상에 의한 암부에서의 절삭면과 비절삭면의 구분이 불명확하게 되는 현상이 발생한다. 이런 현상을 억제하기 위하여 Fig. 3의 (c)와 같이 장비 후면에 150W 할로겐전구 두 개를 설치하였다. 명부와 암부의 대조 차이를 줄임으로써 낮은 대조(Low-Contrast) 영상 취득환경을 만들어, CCD가 빛을 명확히 받아들일 수 있도록 하였다.

콘크리트 표면의 정보는 장비 후면에 카메라를 통해 절삭된 표면의 이미지를 취득한다. 장비 이동 속도를 고려하여 이미지 취득 간격 FPM(Frame Per Minute)을 결정한 후, 취득된 영상을 무선랜 컨버터를 통하여 콘트롤 센터로 무선송신 된다. 이를 위한 하드웨어는 절삭 상태를 영상정보로 추출하기 위한 카메라와 영상을 제어장치로 송신하기 위한 무선랜 컨버터, 제어장치에서의 무선랜카드가 필요하다. 본 연구에서는 CPU가 내장되어 있고, 고유의 IP를 가지고 있어 이더넷(Ethernet)으로 데이터를 송출이 가능한 네트워크 카메라(Axis社, Model No. 210)를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 카메라는 프로그레시브 방식을 이용하고 있어, NTSC 방식의 이미지 센서에 비하여 선명한 영상을 취득할 수 있다. 본 카메라는 작업 시작과 동시에 영상을 획득하고 JPEG로 압축하여 무선 전송한다. 일반 RAW 이미지에 비하여 JPEG은 압축된 형태이므로 전송할 데이터의 양이 줄어 전송시간을 단축할 수 있다.

절삭면 이미지의 무선 송수신은 Ad-hoc 모드 무선 네트워크를 통해 이루어진다. 절삭 장비는 이동시 회전이 잦으므로 지향성 안테나는 신뢰할 수 없게 된다. 따라서 장비후면에 비지향성 안테나

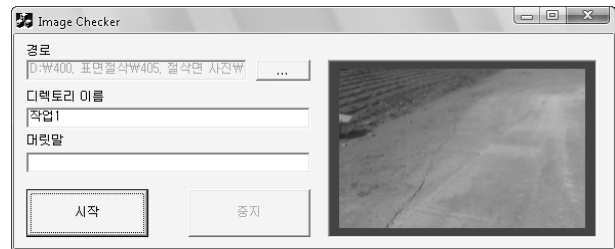


Fig. 4. Image Processing Program Interface

를 설치하였으며 360도, 100미터 반경, 2.4 GHz의 대역폭으로 송신함으로써 콘트롤 센터에서의 데이터 수신 신뢰도를 향상시켰다. 수신측인 제어장치에는 지향성 안테나를 설치, 수신각도(30도 내외)안에 장비가 위치하면 원활한 통신 가능하다.

취득된 영상정보를 GPS 시간과 동기화한 후 실시간 영상처리를 수행하며 품질관리를 진행한다. 영상처리 단계에서는 MFC (Microsoft Foundation Class Library)기반으로 히스토그램 변환, 이진화 및 노이즈 제거 알고리즘을 구축하여 최종적으로 절삭면에 대한 품질 결과를 텍스트 파일(.txt)과 JPEG 파일로 출력한다. 출력된 품질결과는 통합 소프트웨어와 연계되어 표면절삭 원격조종 장비가 작업한 위치에 품질 결과를 표시하게 된다(Fig. 4).

4.3 영상분석 알고리즘 개발

취득된 절삭면의 사진을 바탕으로 절삭 여부를 판단해야 하는데 본 연구에서는 영상처리 기술을 도입하여 이를 해결하고자 하였다. 콘크리트 표면절삭면에서 필연적으로 발생하는 빗금무늬 형태를 이용하여 절삭유무를 판단할 수 있는 영상처리 알고리즘을 개발하였으며 그 과정은 본 논문의 4.3.1절부터 4.3.3절까지 기술되어 있다.

4.3.1 히스토그램 스트레칭

히스토그램 변환이란 영상이 어둡거나 밝은 경우, 또는 명암대비가 낮아 선명하지 않은 경우에 히스토그램을 넓은 영역에 골고루 퍼트리 명암대비를 높임으로써 영상을 보다 선명하게 만드는 알고리즘이며, 영상처리에서 중요한 전처리 과정 중 하나이다. 본 연구에서는 절삭면과 비절삭면의 명도 차이를 넓혀 이진화에서 사용되는 기준 값이 조금 더 유효하도록 하는 의미로써 품질관리 시스템에 히스토그램 스트레칭 알고리즘을 포함하도록 하였다.

히스토그램 변환에는 크게 히스토그램 평활화와 히스토그램 스트레칭으로 나눌 수 있는데, 히스토그램 평활화는 빈도수의 모든 픽셀의 누적 값을 이용하여 각 픽셀을 정규화된 새로운 픽셀로 대체하는 단계로 이루어진다. 히스토그램 평활화 알고리즘은 빈약한 히스토그램을 가진 영상에 쓰여 명암대비를 극대화 시키는 효과가 있으나, 본 연구에서는 명암대비를 극대화 할 경우 절삭면의 형태가 온전히 보존되지 못하는 경우가 발생하므로 적합하지 않다. 따라서 히스토그램 스트레칭 알고리즘을 적용하였다. 히스토그램 스트레칭 알고리즘은 히스토그램으로부터 $P(x, y)$ 를 x, y 좌표의 픽셀값, 영상의 픽셀값의 최소값과 최대값을 구하여 다음과 같은 연산과정을 거친다.

$$P(x, y) = \frac{P(x, y) - P_{\min}}{P_{\max} - P_{\min}} \times 255 \quad (1)$$

이 연산을 통하여 명도 0부터 최소 명도 값과 최대 명도 값부터 명도 255까지의 명도 값을 영상에서 삭제하여, 최소 명도 값과 최대 명도 값을 각각 명도 0과 명도 255로 변환한 다음 나머지 값들을 골고루 퍼트리게 된다. 히스토그램 스트레칭 전후 사진을 비교하면 Fig. 5의 (b)와 같이 뚜렷해진 영상을 구할 수 있다.

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

4.3.2 이진화

본 연구에서 사용된 네트워크 카메라는 640*480의 해상도로 설정되어 사용되었으며, 각각의 픽셀에는 3원색(Red, Green, Blue)에 대한 정보가 0부터 255 사이의 정수 값으로 표현되어 저장되어 있다. 영상분석의 기초단계로써, 절삭면의 절삭상태를 파악하기 위하여 이진화(Binary thresholding) 알고리즘이 가장 효과적이다. 이진화는 특정 명도 값을 기준으로 영상에 존재하는 모든 픽셀들을 명도값 0(흑) 또는 255(백)으로만 표현하는 알고리즘이다.

본 연구에서는 조종자가 절삭 작업시 정보활용능력을 극대화하기 위하여 취득영상을 실시간으로 확인 할 수 있도록 하였다. 또한 조종자의 시간적인 편의를 위하여 RGB 값을 가지는 컬러 이미지를 전송하도록 하였으므로, 이진화를 위하여 흑백영상(Gray-scale

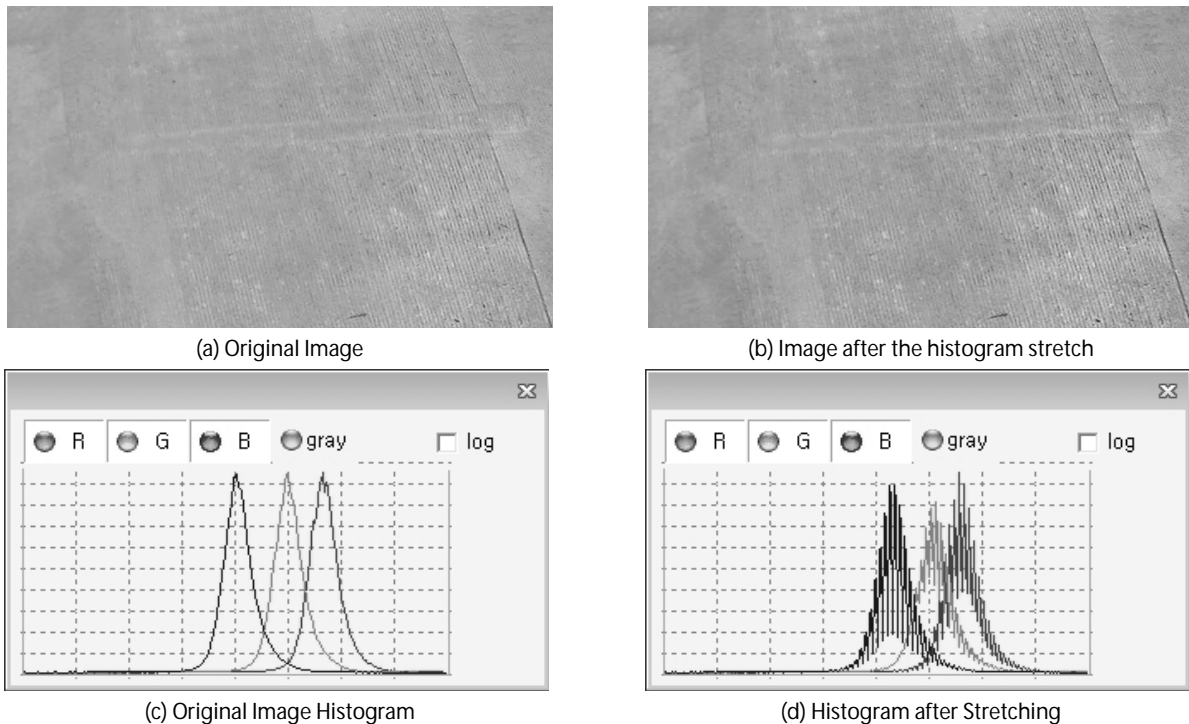


Fig. 5. Histogram Stretching

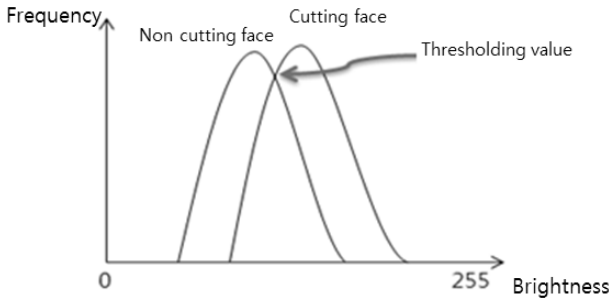


Fig. 6. Basic Concept of Otsu Algorithm

image)으로 변환해야 한다. 흑백 영상 변환에 사용된 공식은 여러 가지가 있으나, 본 연구에서는 우리나라 표준 방식인 NTSC방식을 적용하여, $Y(\text{명도}) = 0.299R + 0.587G + 0.114B$ 의 변환 공식을 사용하였다.

이진화에는 크게 두 가지 방식이 존재하는데, 하나는 전역적 이진화(Global thresholding)와, 지역적 이진화(Local thresholding)로 나눈다. 전역적 이진화는 영상의 전 영역에 단일 이진화 기준 값을 적용하여 변환하는 방법이다. 전역적 이진화는 단일 경계값만을 필요로 하기 때문에 연산속도가 빠르다는 장점이 있으나, 영상에 균일하지 않은 명도의 변화가 존재하거나, 조명, 그림자와 같은 큰 영역을 차지하는 명도차가 존재하는 경우, 이진화가 원활히 이루어 지지 않아 큰 오차를 발생하게 된다. 그런데 콘크리트 표면절삭 장비의 작업특성상 실외작업이 대부분을 차지하며 장비 자체 또는 주변 장애물로 인하여 절삭면에 그림자가 반드시 발생하게 된다. 이 경우 단일 기준 값을 적용하는 전역적 이진화는 매우 높은 오차를 가질 수 밖에 없다. 따라서 지역적 이진화 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. 이진화 알고리즘은 현재 60~70가지가 있으며, 콘크리트 절삭영상을 현재 범용적으로 사용되는 알고리즘(평균, 최빈값, Otsu, 보간법 등)을 적용하여 최적의 이진화 알고리즘을 찾아보았다(Oh 등, 2003, Hryciw. 등, 2006, Gonzalez. 등, 2002). 본 연구에서는 지역적 이진화를 위하여 크기 16×16 마스크를 생성하였다. 본 연구에서 사용하는 네트워크 카메라는 640×480의 해상도로 촬영하므로 한 프레임에 40×30, 즉 1200개의 마스크를 생성하게 된다. 영상의 모든 픽셀을 스캔하며 각각의 마스크에 속하는 픽셀정보를 이용하여 Otsu 알고리즘을 적용하였다(Otsu, 1975).

Otsu 알고리즘은 Fig. 6과 같이 주로 히스토그램이 특정 명도를 기준으로 두 개의 히스토그램 분포를 가지는 영상에서 최대 분산치

를 가지는 명도를 계산하여 두 히스토그램 사이의 경계값을 구하는데 쓰인다. 절삭면은 다이아몬드 커터의 특성상, 절삭면과 비절삭면으로 나뉘게 된다. 두 면의 명도차이에서 발생하는 히스토그램의 분포가 두 가지로 분류되므로 Otsu 알고리즘을 적용하기에 적합한 영상특성을 가진다.

4.3.3 노이즈 제거

이진화가 이루어진 영상은 콘크리트의 골재, 그림자, 잔여분진, 바퀴자국(Skid marks), 낮은 대조 영상(Low-contrast image) 등에 의한 노이즈가 발생하게 된다. 이러한 노이즈는 품질 관리를 위하여 제거되어야 한다. 노이즈 제거 방법은 Gaussian, Soften, Blur, Erode 등이 있다. 최적의 노이즈 제거 방법을 위하여 본 연구에서의 절삭 영상을 적용하여 그 결과를 검토하였다. 테스트 결과 일반적으로 많이 쓰이는 Blur, Soften 등의 알고리즘은 주로 물체를 흐릿하게 만드는 연산을 수행하므로 효과가 떨어지는 것으로 나타났다. Erode(침식)이 분진 등으로 인한 작은 노이즈를 효과적으로 제거하는 알고리즘으로 볼 수 있었다. 콘크리트 절삭면의 특성을 제대로 반영하여 효과적인 노이즈 제거를 수행하는 알고리즘은 Erode(침식) 후 Dilate(확장)를 적용한 열림(Opening) 연산이 가장 효과적이다. 따라서 처리과정이 단순하고 빠른 3×3 마스크를 생성하여 침식연산을 진행하였다. 침식연산이란 마스크내의 명도 0인 픽셀이 존재하는 마스크는 중앙 픽셀을 0으로 변환하고, 반대로 마스크내의 명도가 모두 255인 경우에는 중앙 픽셀을 255로 변환하는 알고리즘이다.

이 알고리즘은 물체의 최외곽 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. 영상에서 노이즈는 소멸되어 사라진 상태에서 줄어든 절삭면을 다시 확장하여 원 영상의 절삭면과 같은 면적을 가지는 영상으로 변환하게 된다. 이로써 절삭면은 온전히 보전하면서 노이즈는 제거하게 된다(Fig. 7).

4.4 영상분석 결과 출력

이미지 프로세싱이 완료가 되면 결과 영상의 전체 픽셀 중 절삭면을 나타내는 명도 255의 픽셀들의 퍼센트를 산출하게 된다. 본 연구에서 정의한 프로토콜은 과일명, 시간 정보와 절삭 면적과 절삭 여부(OK, Not Good으로 표현)의 내용들을 콤마(Comma)를 구별자로 둔 형태이며 Fig. 8에서 보는데와 같이 텍스트 파일로

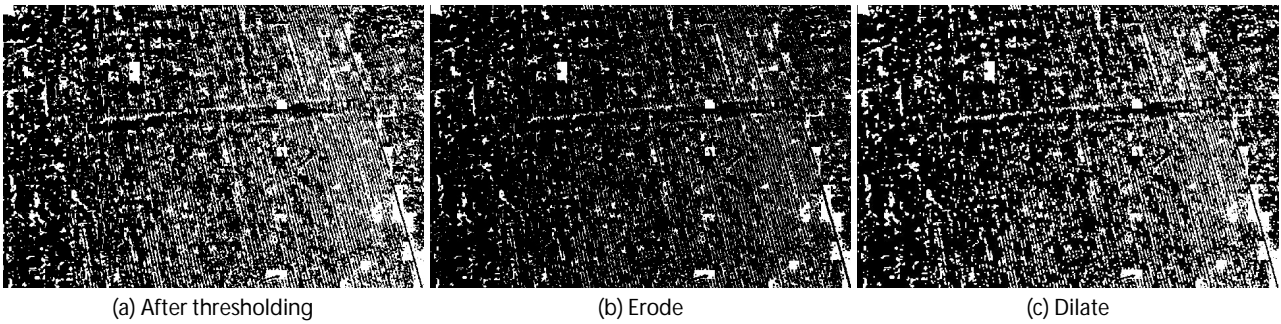


Fig. 7. Applying Noise Removal Algorithm

File Name	TIME (HH/MM/SS)	Grinded rate (%)	OK (1) Not OK (0)
172349.jpg,172349,16.47,1,			

Fig. 8. Results of Image Processing

출력하도록 프로그램을 구성하였고 이 파일을 통합 소프트웨어에서 실시간으로 로드하여 영상처리 최종 결과 JPEG 파일과 함께 디스플레이 된다. 영상 파일 각각에 대한 결과를 텍스트 파일 하나에 담고 있어 절삭 과정 전체적인 결과를 한 번에 파악하기 힘든 점을 감안 이미지 프로세싱 프로그램 정지 후 모든 정보를 포함하도록 하는 로그(log) 파일 파일을 생성한다.

4.5 시스템 통합

4.5.1 시스템 운영 방법

앞서 언급했듯이, 통합 소프트웨어 프로그램은 작업자의 작업 편의성을 위하여 모든 정보를 제공하도록 개발되어 있다. 그리하여

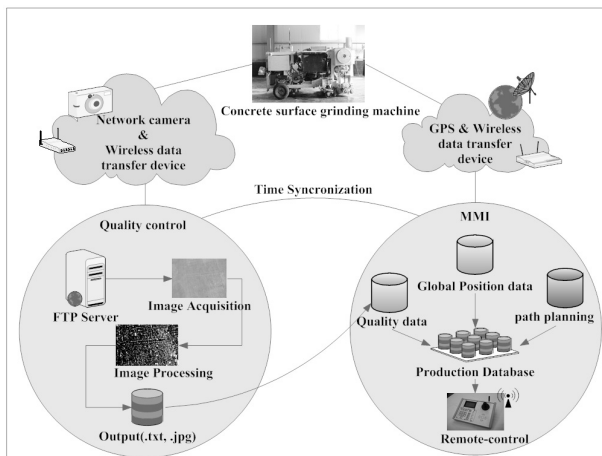


Fig. 9. System Integration

Fig. 9와 같이 머신비전 시스템에서의 하드웨어와 RTK GPS 및 무선 송수신 모듈에서 들어오는 데이터를 통합 소프트웨어 및 머신비전 소프트웨어에서 분석하였다. 또한 프로그램 사이에서의 동기화 프로세스를 거쳐 결과적으로 통합 소프트웨어에서 모든 데이터들을 디스플레이 할 수 있도록 하였으며 관련 데이터베이스를 별도로 저장하는 시스템을 구성하였다.

영상통신 모듈이 모두 설치가 된 상태에서, 콘트롤센터에서의 내부적인 환경설정이 필요하다. 네트워크 카메라로 IP 접속을 통해 영상통신 환경을 구축한 다음, 영상 전송 트리거 신호와 함께 제어 장치의 FTP 서버를 통하여 JPEG으로 압축된 영상파일을 전송 및 저장 한다. 저장된 영상을 이미지 프로세싱 프로그램과 연계하여 최종 결과를 산출한다.

4.5.2 통합 소프트웨어 및 동기화

동기화 프로세스는 품질관리에서 생성하는 결과 텍스트 파일을 이용하는데, GPS 시간 정보와 결과 영상의 시간정보를 표현하는 결과 파일명(네트워크 카메라와 컴퓨터와의 서버 시간)이 일치하면 결과 텍스트 파일을 열도록 설계하였다. 텍스트 파일에 기록된 정보를 토대로 영상처리 결과 파일을 통합 소프트웨어에 표시하고 작업 성공 여부를 표현하도록 개발하였다.

또한 통합 소프트웨어 중앙에 위치한 표면절삭 작업의 경로 계획상에 RTK GPS로부터 수신되는 현재 장비의 위치가 원의 형태로 표현되며 그 원의 색을 이용하여 품질제어 결과가 OK인 경우 초록색, 그렇지 아니한 경우 적색으로 나타나게 된다. 장비 조종자는 이를 주시하여 경로상에 적색 구간이 발생한 경우 재절삭 명령을 무선 조종 장치를 이용하여 내릴 수 있으며, RTK GPS는 장비의 속도와 경로에서 벗어난 거리를 측정하여 통합 소프트웨어에 나타내주어 조종자의 의사결정을 지원한다. 우측 하단에는 이미지 프로세싱의 결과, 즉 영상처리 결과 이미지, 절삭률, 절삭 여부, 재절삭 필요 구간의 개수를 누적하여 볼 수 있도록 인터페이스를 구성하였다(Fig. 10).

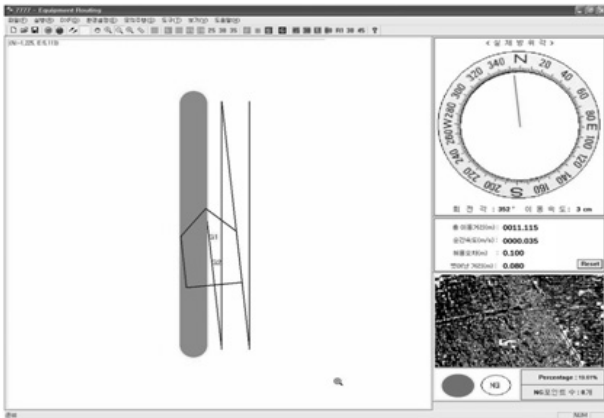


Fig. 10. Display Screen with Quality Management Function

5. 현장 적용 실험 결과

품질관리의 최종 결과를 위한 절삭여부 기준 퍼센트 산정을 위하여 본 연구에서 사용된 그라인더의 표면 형태와 절삭 패턴, 실험으로부터 나온 이미지 프로세싱 결과를 비교하여 최적의 기준을 산출하였다. 실험 영상은 절삭이 잘 진행되었다고 판단되는 경우(100% 절삭) 일반 주광 상태 100 프레임, 그림자 상태 100 프레임을 선정하여 평균을 계산 하였다. 또한 본 연구에서 350개

Table 2. Result of Machine Vision Test for Grinded Concrete Surface

	Daylight	Shadow
Average	16.71	16.21
Standard Deviation	4.07	2.24
Fiducial Value(%)	16.46	
Accuracy	96.6% (350 sample were tested)	

샘플을 조사하여 제안한 품질제어 시스템의 정확도를 알아보기 위하여 100% 절삭된 구간에 대하여 본 시스템을 적용하고 품질제어 결과가 NG로 표시되는 구간을 조사하였다. 총 12개의 NG구간 즉 품질제어의 오차가 발생하였으며 이를 토대로 정확도를 분석한 결과 96.6%의 결과를 얻게 되었다. 이 결과는 시스템 설계 가정에서의 95%를 넘는 만족스러운 결과로 볼 수 있다.

프레임 하나에 소요되는 프로세스 시간은 평균 1.50초이며, 이는 4초당 1프레임을 촬영하도록 구성된 CCD 카메라의 FPM보다 작은 수치이므로 프로세스 과정에서 딜레이가 없어 프로그램간의 동기화가 이루어지지않는 문제는 발생하지 않았다.

그리고 Fig 11과 같이 시스템의 운영성과 구동 신뢰성을 평가하기 위하여 개발된 머신비전 시스템 및 통합 소프트웨어를 토대로 현장 테스트를 수행하였으며 영상처리 알고리즘을 통해 변환된 최종 절삭면 이미지가 통합 소프트웨어 우측 하단에 나타나게 되며 OK, NG에 대한 품질관리 결과값이 경로상에 다른 색으로 표현이 되며 퍼센트 결과값도 올바르게 보여지는 것을 확인하였다 (Fig. 11).

6. 결론

본 연구에서는 콘크리트 표면절삭 작업에서의 품질제어를 위한 머신비전 시스템과 원격조종을 지원하기 위한 영상 처리 알고리즘과 프로그램을 제안하였다. 콘크리트 표면절삭면의 머신비전 알고리즘은 이진화 값의 유효성을 높이기 위한 히스토그램 스트레칭, 16×16 mask 생성을 통한 지역적 Otsu 알고리즘, 잔여 분진 및 골재 등으로 인한 노이즈를 제거하기 위한 열림연산으로 이루어지며 20여개의 주광 및 그림자가 있는 조건에서 실험을 실시하여 머신 비전 알고리즘의 품질 경계값을 도출하였다. 결과값은 모두 텍스트 파일로 통합 소프트웨어와 동기화 되도록 설계 하였으며

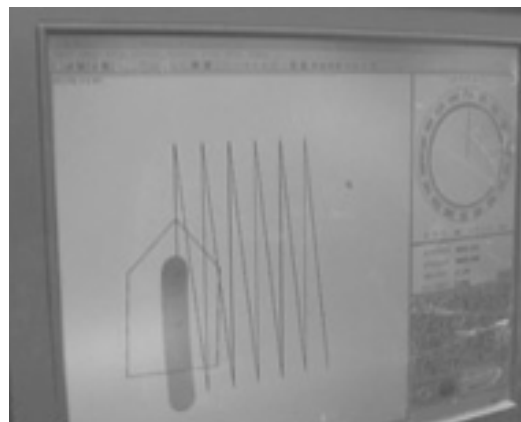
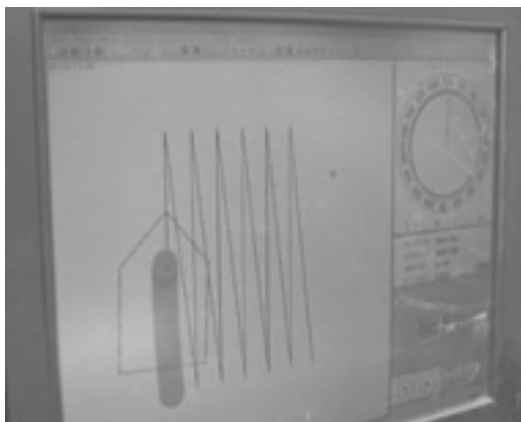


Fig. 11. Final Experiment

텍스트 파일에는 품질관리의 모든 정보들을 포함토록 구성하였다. 제안된 품질제어 시스템은 96.6%의 정확도를 갖추었으며 이는 설계 기준치 95%를 상회하는 만족스러운 결과를 보인다고 할 수 있다. 통합 프로그램을 통해 장비의 최적 이동 경로와 방향, 속도, 오차, 품질관리 결과값 등을 하나의 디스플레이에서 확인할 수 있으며 경로 이동시 장비의 허용오차 2cm 이내로 장비 운용이 됨을 알 수 있었다. 이는 장비 운용에 있어 조종자의 합리적인 판단을 도울 수 있는 충분한 정밀도를 갖추었다고 볼 수 있다.

본 논문에서 제안한 알고리즘을 바탕으로한 품질제어 시스템이 구축됨으로서 본 연구의 궁극적 목표인 통합 소프트웨어 모듈을 갖추게 되었다. 향후 이러한 건설 자동화 분야의 수요는 꾸준히 증가할 것으로 기대되며 본 논문에서 연구하였던 품질관리 시스템과 통합 소프트웨어는 그 수요에 필수불가결한 존재이기에 다양한 연구들이 진행될 것이라 예상된다. 본 연구를 통해 다양한 형태의 건설장비에 적용될 수 있는 통합 품질관리 체계를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

향후 본 논문에서 제안한 내용을 바탕으로 다양한 디지털 영상처리 방법의 적용을 통한 머신비전 알고리즘 개선 방안에 대한 지속적인 연구가 요구되며 통합 소프트웨어의 역할에 있어 머신비전 프로그램과 별도로 설계되어 텍스트 파일로 동기화 된 부분을 머신비전 모듈로서 통합 소프트웨어에 플러그 인 형태로 시스템 설계가 된다면 완벽한 통합 소프트웨어로 구성 될 수 있다고 판단되며 이를 통해 향후 프로그램간 통합 문제를 더욱 원활히 해결할 수 있을 것이다.

References

- Gonzalez, C. R. and Woods, R. E. (2002). *Digital image processing*, Pearson Education. pp. 595-611.
- Haran, G. J., Dillenburg, J. and Nelson, P. (2006). "Real-time image processing algorithms for the detection of road and environmental conditions." *Proc. Of 9th International Conference on Applications of Advanced Technology in Transportation, ASCE*, Illinois, Chicago, pp. 55-60.
- Hryciw, D. R., Shin, S. and Jung, Y. (2006). "Soil image processing -single grains to particle assemblies." *GeoCongress 2006: Geo-Technical Engineering in the Information Technology Age*, pp. 1-6.
- Lee, S., Chang, L. and Skibniewski, M. (2006). "Automated recognition of surface defects using digital color image processing." *Automation in Construction*, Vol. 15, pp. 540-549.
- Lee, W., Seo, J., Moon, S. and Lim, J. (2007). "Development of tele-operated equipment for concrete surface grinding." *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 27, No. 6, pp. 741-748 (in Korean).
- Leu, S. and Chang, S. (2005). "Digital image processing based approach for tunnel excavation faces." *Automation in Construction*, Vol. 14, pp. 750-765.
- Nobuyuki Otsu (1975). "A threshold selection method from gray level histograms." *IEEE Trans. Sys. Man., Cyber*, Vol. 9, No. 1, pp. 62-66.
- Oh, J. T. and John, D. L. I. (2003). "Vehicle detection using video image processing system : Evaluation of PEEK Video Trak." Technical notes, *Journal of Transportation Engineering ASCE*, Vol. 129, pp. 462-465.
- Yu, S., Jang, J. and Han, C. (2007). "Auto inspection system using a mobile robot for detecting concrete cracks in a tunnel." *Automation in Construction*, Vol. 16, pp. 255-261.
- Woo, S., Hong, D., Lee, W., Chung, J. and Kim, T. (2008). "A robotic system for road lane painting." *Automation in Construction*, Vol. 17, pp. 122-129.