

論文97-34S-10-6

# 정적 및 동적 Range 검출에 의한 원료 처리 자동화용 Vision 시스템 (A Vision System for Autonomous Material Handling by Static and Dynamic Range Finding)

安賢植\*, 崔珍泰\*, 李官熙\*, 辛基泰\*, 河永浩\*\*

(Hyunsik Ahn, Chintae Choi, Kawnhee Lee, Kitae Shin, and Yeong-Ho Ha)

## 요 약

최근 물체의 3차원 정보를 직접적으로 검출하는 능동적 range 검출 응용 기술이 많이 연구되고 있으나 원료 처리 분야에 대한 응용 연구는 거의 이루어 지고 있지 않다. 본 논문에서는 laser range 검출과 strip 광원 range 검출 기법을 이용한 원료 처리 자동화용 vision 시스템을 제안한다. 먼저 정적 range 검출기는 목표로 하는 원료의 전방에 정지한 상태에서 목표 원료의 전체에 대한 range 데이터를 검출하고 제안한 알고리즘에 의해 고도 지도를 구성한다. 고도 지도로부터 원료 처리를 위한 feature인 작업 경로를 추출하며 최초 원료 처리 기능을 수행하기 위한 입력 정보로 이용한다. 동적 range 검출기는 원료 처리 기능이 수행됨과 동시에 변동된 원료의 국부적 특성을 인식하여 원료 처리 제어기에 전달하여 변동된 환경에 적응하도록 하는 기능을 가진다. 본 논문에서는 제안한 시스템을 제철소의 원료 불출 기기인 리클레이머에 적용하기 위하여 1/20 크기의 simulator를 제작하고 제안한 range 검출 vision 시스템을 실험한 결과 옥외에 있는 대형 원료 파일의 처리가 자동화 될 수 있음을 보인다.

## Abstract

Until now, considerable progress has been made in the application of range finding technique performing direct 3-D measurement from the object. However, there are few use of the method in the area of the application of material handling. We present a range finding vision system consisting of static and dynamic range finders to automate a reclaiming system used for material handling. A static range finder detects range data of the front part of the piles of material, and a height map is obtained from the proposed image processing algorithm. The height map is used to calculate the optimal job path as features for required information for material handling function. A dynamic range finder attached on the side of the arm of the reclaiming system detects the change of the local properties of the material with the handling function, which is used for avoiding collision and detecting the ending point for changing direction. The developed vision system was applied to a 1/20 simulator and the results of test show that it is appropriate to use for automating the material handling.

\* 正會員, 浦項産業科學研究院 工程自動化研究팀  
(Process Automation Research Team, Research  
Institute of Industrial Science and Technology  
(RIST))

\*\* 正會員, 慶北大學校 電子電氣工學部  
(Electric and Electronics Dept., Kyungpook

National University)

※ 본 논문은 POSCO(Pohang Iron & Steel Co.,  
Ltd.)의 과제 지원에 의해 이루어진 연구 결과 내  
용임

接受日字: 1997年7月8日, 수정완료일: 1997年9月23日

## I. 서 론

최근 산업계의 자동화 추세에 따라 물체에 어떤 종류의 에너지를 주사하고 되돌아오는 에너지의 일부를 측정하여 거리를 검출하는 능동적(active) range 검출 기술이 급속히 발전해 왔다. 특히 수동적 range 검출 방법은 2차원 영상 내에서 정합에 필요한 feature를 찾아야 하는데, 물체의 외형적 특성이 feature를 찾기가 곤란한 경우에는 능동적 range 검출 기법을 적용하는 것이 타당하다<sup>[1,2]</sup>. Nizan은 3-D vision 기법들이 로보틱스 분야에 응용이 될 수 있는 분야를 소개하면서 range 검출에 대한 분류와 각각의 기법을 설명하였다<sup>[2]</sup>. 그는 능동적 range 검출 기법을 strip light range 검출과 비월 시간(time-of-flight) range 검출로 분류하였다. Strip light range 검출 기법은 strip 형태의 광원과 CCD 카메라를 사용하여, 광원이 이루는 평면과 목표물에 광원이 반사되어 입력된 영상이 이루는 삼각법(triangulation)에 의해 거리 데이터를 구하는 방법으로서 센서의 설계 방법과 calibration 및 응용에 관하여 많은 연구가 이루어져 왔다<sup>[3-8]</sup>. 이 방법은 Oxford Vision Project의 Autonomous Guided Vehicle(AGV) 등에 적용되었다<sup>[8]</sup>. 그러나 먼 거리에서는 광원이 희미해 지기 때문에 수 m 정도의 거리 한계를 가지고 있으므로 실내나 근거리의 range 검출 등에만 응용이 제한되고 있다. 레이저 range 검출 방법은 레이저 빔을 목표물 표면에 주사하고 반사되어 오는 빛의 비월 시간을 이용한다. 목표물과 센서 사이의 거리에 비례하는 비월 시간을 측정하는 데는 3가지 방법이 이용되고 있는데 Herbert 등은 이에 대한 개략적 설명을 하면서 레이저 range 검출 기법의 특징을 자세히 분석하였다<sup>[9]</sup>. 먼저 pulse detection measure(PDM) 방법은 불연속의 광 펄스를 목표물에 주사하고 광 자체가 목표물의 표면에 반사되어 돌아오는 비월 시간을 직접 측정하여 거리를 구한다. 이에 비해 간접적인 방법으로서 frequency-modulated continuous-wave(FM-CW) 방법은 주파수 변조된 연속적 파형을 받고 beat frequency를 측정하여 간접적으로 비월 시간을 측정하는 방법이며, amplitude-modulated continuous-wave(AM-CW) 방법은 진폭 변조된 연속파형을 주사하고 되돌아 오는 신호의 파형의 위상차로서 간접적으로 비월 시간을 측정하는 방법이다. 이중 AM-CW

방식의 센서들은 무인 운전차 등에서 방해물 회피용으로 연구되고 있는데 Turk 등이 Autonomous Land Vehicle(ALV) Project에서 컬러 CCD카메라와 range 영상화 기법을 함께 사용하여 10km/hr의 주행이 가능함을 보였다<sup>[10]</sup>. Thorpe등은 Navlab Project를 수행하면서 컬러 영상장치에 의한 road following과 range 영상화에 의한 장애물 인식 장치를 이용하여 이동 계획과 4륜의 제어 등을 통합한 주행 실험을 하였다<sup>[11]</sup>. Langer등은 Unmanned Ground Vehicle(UGV) Project의 navigation을 위해 range 영상화 시스템을 이용하여 옥외의 자연 지형을 지도화 하고 장애물을 인식하면서 수 km 이동하는 실험을 수행하였다<sup>[12]</sup>. Krotkov 등은 달표면을 탐색하는 6개의 달이 달린 Ambler를 개발하면서 range 영상화에 의한 terrain mapping방법을 제시하였다<sup>[13]</sup>. 위에서 언급한 연구에 사용된 거리 영상화 센서는 모두 Perceptron사에서 제작한 AM-CW 형식의 센서인 ERIM을 이용하였다. ERIM은 40m 이하의 거리 밖에 측정할 수 없으며 일정 주기 이상 되면 한 주기 전방의 거리 데이터와 동일한 range 값을 가지므로 거리에 대해 일정한 제한 조건을 주어야만 한다는 단점이 있다. 이에서 보듯이 레이저 range 검출 기법은 주로 무인 이동차의 센서로서 응용이 되고 있으나 원료 처리(material handling) 등에는 응용한 예가 거의 보고 되고 있지 않다.

본 논문에서는 원료 처리의 자동화를 위하여 정적(static) 및 동적(dynamic) range 검출 방법에 의한 vision 시스템을 제안한다. 먼저 PDM 기법을 이용하여 물체의 3차원 형상을 검출하는 정적 range 검출로서 목표 원료의 전체 표면에 대한 3차원 형상을 검출하고 이로부터 원료 처리에 필요한 정보를 얻는다. 로보트가 원료에 대한 처리와 동시에 strip light range 검출 기법에 의한 동적 range 검출기는 로보트 팔의 측근에 부착되어 국부적 range 데이터를 검출함으로써 변동된 원료의 특성에 적응하도록 한다. 본 논문에서는 제안한 시스템을 제철소의 원료 불출 기기인 리클레이머(reclaimer)에 적용하여 산업계에 응용할 수 있는 시스템으로 구성한다.

지금까지는 리클레이머의 운전은 작업자가 탑승하여 직접 눈으로 보면서 joystick을 조작하여 불출하였다. 최근 도입되는 방법으로서 리클레이머에 비디오 카메라를 장착하고 중앙관제실에 있는 모니터를 보면서 원

적 joystick을 이용하여 제어하는 방법이 있다. 그러나 이 방법은 작업자가 2차원적 정보에만 의존함으로써 원료 파일(pile)과 리클레이머 간의 거리를 추정하기가 어려우며 특히 악천후에는 시계가 열악하여 작업이 곤란한 경우가 발생한다. 본 논문에서는 이 문제점을 극복하고 완전한 자동화를 실현하기 위한 vision 시스템을 구성한다. 본 논문의 구성은 먼저 제한한 시스템 구성과 이를 리클레이머에 적용하는 방법을 설명한다. 그 다음 장에서는 실제로 제작한 정적 및 동적 range 검출기의 구성과 영상 처리 알고리즘에 대해 설명한다. 다음은 리클레이머를 1/20로 축소한 simulator에 장착한 후 실험한 결과 원료 처리 자동화용 시스템으로서 충분함을 보이며 마지막으로 결론을 맺는다.

## II. 시스템 구성

이 장에서는 range 검출 시스템의 구성과 본 시스템이 적용되는 리클레이머의 기능 등을 언급한다. 로봇 sensing이라는 것은 일반적으로 어떤 환경 속에 있는 목표물 상호 특성(object properties)을 변환하여 로봇 기능(robot function)을 제어 하기 위해 필요로 하는 정보(required information)로 만들어 주는 것으로 정의될 수 있다<sup>[2]</sup>. 그런데 원료 처리용 로봇은 그림 1과 같이 먼저 로봇 sensing이 이루어진 후 로봇 기능에 의한 원료 처리가 진행되면 그 동안에 원료에 대한 특성이 변하게 된다. 따라서 지속적으로 원료를 처리하는 기능을 발휘하기 위해서는 원료를 처리하는 동안에 계속 변한 특성에 대한 sensing을 함으로써 필요로 하는 정보를 갱신해 주어야 한다. 이와 같은 관점에서 원료를 불출하는 리클레이머를 자동화하기 위해서는 그림 2와 같은 sensing 과정을 거쳐야 한다. 즉 리클레이머가 목표 원료의 전방에서 정지한 뒤 정적 range 검출기에 의해 목표물에 대한 range 데이터를 얻는다. 이로부터 리클레이머가 수행해야 하는 기능을 제어하기 위해 필요한 정보를 추출할 목적으로 먼저 적치된 원료 파일의 3차원 형상을 나타내는 고도 지도를 구성한다. 다음은 원료 파일의 특성을 가장 잘 표현하는 등고선을 feature로 추출하고 이 중에서 리클레이머가 불출 가능한 위치를 의미하는 작업 경로를 얻는다. 이 작업 경로는 정적 range 검출기의 원점에 대한 정보이므로 이를 world 좌표계로 변환하며 이것을 리클레이머 주제어기에 전달한다. 그러나

불출 기능을 수행하는 동안 목표로 하는 원료 파일의 특성이 바뀌게 되므로 동적 range 검출기를 작동시킨다. 즉 리클레이머 버킷의 양 옆의 거리를 측정하는 동적 range 검출기는 리클레이머가 불출을 함과 동시에 동작하여 변경된 국부적 특성(local properties)에 대한 range 정보를 sensing한다. 먼저 입력 영상으로부터 거리 정보를 계산하고 이를 역시 world 좌표계로 변환한 후 변경된 특성에 대한 환경에 적응하면서 불출 기능을 할 수 있도록 리클레이머 주제어기에 전달한다.

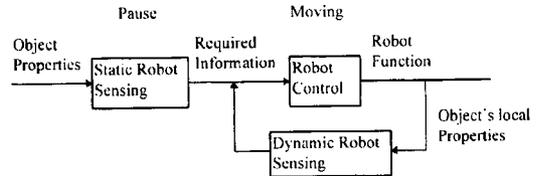


그림 1. 원료 처리를 위한 로봇 기능의 제어를 위한 sensing

Fig. 1. Sensing for controlling robot function for material handling.

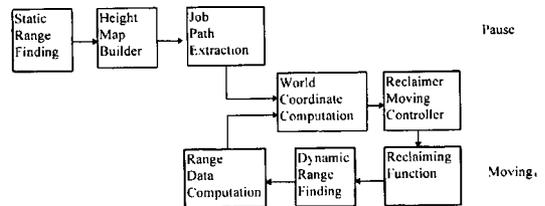


그림 2. 자동화된 리클레이머의 sensing

Fig. 2. Sensing for the autonomous reclaiming.

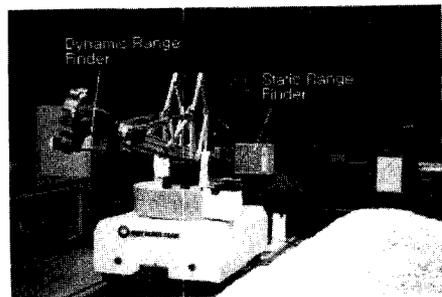


그림 3. 리클레이머의 1/20 시뮬레이터

Fig. 3. 1/20 simulator of a reclaimer.

본 논문에서 제안한 range 검출 vision 시스템을 적용한 기기는 제철 공정에서 원료 야드상에 적치된 원료 파일을 불출하는 리클레이머이다. 리클레이머는 원

료적치 파일에서 필요할 경우 일정량 불출하여 컨베이어 벨트로 통해 고로에 전달하기 위한 대형 기기이다. 리클레이머는 레일 위로 구동하는 직진 주행축(traveling axis)과 붐(boom)을 움직이는 선회축(slewing axis) 및 부양축(hoisting axis)이 있으며 붐 선단에는 원료를 파내는 버킷(bucket)이 회전 드럼에 달려 있어서 원료를 파내는 작업을 수행한다. 본 논문에서 개발한 vision 시스템을 테스트 하기 위해 그림 3과 같이 실제 리클레이머 크기의 1/20 크기의 simulator를 제작하였으며 실제 원료의 입자와 비슷한 소형 자갈을 이용하여 원료 파일을 대신하여 테스트 하였다.

본 논문에서 제안하는 자동화 시스템은 아래와 같은 가정하에 이루어 진다. 먼저 원료 불출 작업이 수 초 내라는 긴급을 요하지 않으므로 원료 파일의 range 데이터 검출과 영상 처리에 비교적 시간이 충분히 배분할 수 있어서 약 2분 까지의 시간을 허용한다. 둘째로 정확도에 있어서 실제 리클레이머는 다른 시스템과는 달리 대형 물체를 다루므로 +/-20cm의 오차를 허용할 수 있으므로 simulator상에서는 +/-1cm의 오차가 있다 하더라도 원료 불출 기능에는 지장이 없다.

그림 4는 본 논문에서 구성한 시스템의 구조를 보여주고 있는데 제어기로 사용되는 주컴퓨터는 VME 시스템을 사용하였다. 여기에 장착된 CPU 보드는 Motorola의 MVME162보드이며, 정적 range 검출기의 영상 입력용으로 Datatranslation사의 VME용 영상 처리 보드인 DT1451과 DT1458을 이용하였다.

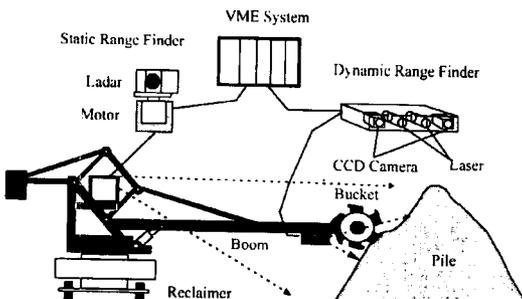


그림 4. Range 검출 vision 시스템의 구조  
Fig. 4. Structure of range finding vision system.

정적 range 검출기는 목표물의 거리를 2축에 대해 스캔할 수 있는 range imaging이 장치이다. 본 논문에서는 IBEO사의 Ladar를 이용하고 별도의 모터를 이용하여 스캐닝 장치를 구성하였다. Ladar는 파장

902nm의 다이오드 레이저를 사용하고 있으며 PDM 방식을 취하고 있다. 즉 불연속의 광 펄스를 목표물에 주사하고 광 자체가 목표물의 표면에 반사되어 돌아오는 비월 시간을 직접 측정하여 이 시간과 비례하는 거리를 구한다. Ladar는 500m 까지 거리를 측정할 수 있는 사양의 센서들이 생산되고 있는데 거리 측정 범위는 동일 센서라도 원료 파일의 종류에 따른 반사도에 따라 차이가 있다. 본 연구에서는 반사계수가 90% 일 경우 30m 까지 측정할 수 있고 반사 계수가 18% 일 경우 15m 까지 측정 할 수 있으며, 정확도(accuracy)가 +/-5cm인 사양의 Ladar를 선택 하였다. 이 센서는 한 축에 대해 scan할 수 있는 거울을 가지고 있는데 초당 8회전하며 270 범위 내에서 scan이 가능하고 0.75의 분해능을 가진다. 이 회전 거울에 의해 한 축에 대한 scan이 이루어 지며 Ladar의 광학적 중심을 축으로 하여 스테핑(steping) 모터를 회전함으로써 다른 한 축에 대한 scan이 이루어 지도록 하였다. 스테핑 모터는 Oriental Motor사의 UPD599HG2를 사용하였다. 이 모터는 분해능이 0.72°인데 감속비가 1:100인 하모닉(harmonic) 기어(gear)를 이용하여 0.0072°의 분해능을 얻는다.

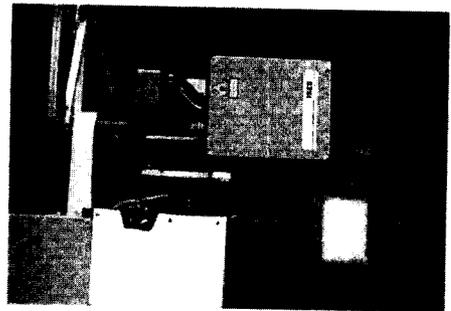


그림 5. 정적 range 검출기  
Fig. 5. Static range finder.

동적 range 검출기는 CCD 카메라와 slit 레이저 광원을 이용한 strip light range 검출 기법을 사용하였다. 이 방법을 이용한 센서를 버킷 양단에 각각 한 개씩 위치 할 수 있도록 제작하여 모두 두개의 센서가 하나의 동적 range 검출기를 구성하도록 하였다. 좌측 센서는 좌측 선회시에 이용하고 우측 센서는 우측 선회시에 사용되며, 불출시에 국부적으로 변동된 원료 파일의 형상의 range 정보를 검출하여 충돌 경고 및 선회 종료 지점에 대한 정보를 리클레이머 제어기에 전달한다. 그림 5와 6은 simulator에 장착된 정적

range 검출기와 동적 range 검출기의 외형을 보여 주고 있다.

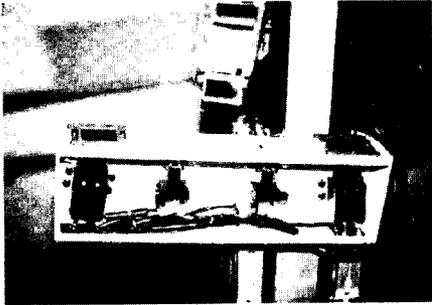


그림 6. 동적 range 검출기  
Fig. 6. Dynamic range finder.

### III. 정적 range 검출과 영상 처리

본 장에서는 정적 range 검출 과정과 이로부터 리클레이머의 제어에 필요한 정보를 추출하기 위한 영상 처리 알고리즘을 설명한다. 먼저 목표 파일에 대한 range 데이터를 추출하고 이로부터 고도 지도(height map)를 만든 후 작업 경로를 추출한다.

#### 1. 정적 range 데이터 추출

상위 컴퓨터로부터 목표 파일의 개략적 위치와 불출량 등에 대한 명령이 떨어지면 원료 파일의 전방에 정지한 후 목표 파일에 대한 range 검출이 이루어진다. 정적 range 검출은 목표 파일의 전면에 대해 PDM 방식으로 scan한다. 따라서 그림 7과 같이 구 좌표계의 두 축( $\theta, \phi$ )에 대해 scan하면서 range 정보를 얻는다. 먼저 Ladar는 축에 대한 scan과 range 데이터의 추출이 가능하므로 축은 별도의 스텝핑 모터를 이용하여 scan한다. 즉 스텝핑 모터에 의해 한 스텝 이동하고 이때의 모터 각도를 한 축에 대한 정보로 사용하고 Ladar를 스캔하면서 얻어지는 회전 거울의 각도를 다른 한 축의 데이터가 되며 추출된 거리 데이터를 조합하여 range 데이터 어레이를 얻는다. 정적 range 검출기의 오차를 줄이기 위하여 동일 지점에 대해 5회 거리 데이터를 얻어서 정확도를 높이도록 하였다. 이때 평균을 취하게 되면 물체의 가장자리에서 검출이 이루어질 경우 실제로 존재하지 않는 지점의 range 데이터가 얻어질 수 있으므로 median을 취한다. Range 데이터  $x_i, i = 1, \dots, n$ ,에서  $n$ 이 홀수일때  $x_i$ 를 오름차순으로 정렬하면  $x(1) < x(2) < \dots < x(n)$

이다. 여기서  $x(i)$ 는 오름차순으로 정렬된  $i$ 번째  $x$ 값을 의미하며 median값  $med(x_i)$ 은 식 (1)과 같다<sup>[15]</sup>.

$$med(x_i) = x_{(\frac{n+1}{2})} \quad (1)$$

이로부터 추출하고자 하는 파일의 거리 영상화를 위한 회전 거울의 각도  $\phi$ 와 회전 모터의 각도값  $\theta$ 와 이 각도에서 얻은 거리 데이터  $r$  값으로 구성된 range 데이터 array를 얻는다.

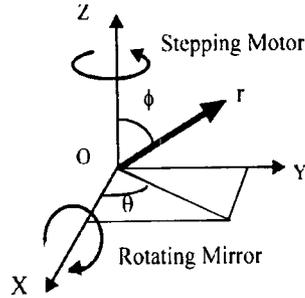


그림 7. 정적 range 검출기의 좌표계  
Fig. 7. Coordinate system of static range finder.

#### 2. 좌표계 변환

추출된 range 데이터로 부터 원료 파일의 feature 인 등고선 정보를 얻기가 어려우므로 본 논문에서는 직교 좌표계의 고도 지도를 구성하였다. 먼저 얻어진 range 데이터는 구 좌표계로 이루어져 있으므로 이를 직교 좌표계로 변환 할 필요가 있다. 얻어진 거리 데이터는 식 (2)에 의해  $\theta, \phi, R$  로 이루어진 구 좌표계를  $X, Y, Z$  로 이루어진 직교 좌표계로 변환한다.

$$\begin{aligned} x &= r \sin \phi \cos \theta \\ y &= r \sin \phi \sin \theta \\ z &= r \cos \phi \end{aligned} \quad (2)$$

즉 그림 7에서와 같이 광학적 중심  $O$  를 중심으로 하여  $X$  축으로 회전하는 거울의  $\phi$ 축과,  $Z$  축을 중심으로 회전하는  $\theta$ 축 및 거리 데이터를 나타내는  $R$  축을  $X, Y, Z$  축으로 변환한다.

#### 3. 보간화 및 병합화

고도 지도를 만든다는 것은  $(x,y)$  평면의 해상도에 따른 단위 grid를 가지는 모든 점  $(x,y)$ 에 높이 값  $z$ 를 찾는 것이다.  $X, Y$ 축의 단위 grid는 3차원 profile에서 원하는 기본 해상도에 따라 결정한다. 최초의 고

도 지도는  $X, Y, Z$ 축으로 이루어진 직교 좌표계의 데이터를 영상 평면  $(u,v)$ 의 명암도(intensity)로 표시함으로써 이루어진다. 즉 점  $(x,y)$ 는 영상 평면 내에서  $(u,v)$ 로 표시되고 높이값  $z$ 는 명암도로 나타난다. 얻어진 거리 데이터 영상은  $(u,v)$  평면에서 정적 range 검출기의 광학적 중심에서  $\theta$ 축 스캔에 따라 방사형의 점으로 나타난다. 따라서 정적 range 검출기에 가까이 있거나 수직적인 물체 주변에는 같은 점의 위치에 여러 개의 거리 데이터가 mapping된다. 이 경우는 수직적 물체의 최고 높을 지점의 정보를 잃지 않도록 한 점에 mapping되는 데이터 중 가장 높은 점을 선택하여야 한다. 반대로 정적 range 검출기의 광학적 중심에서 거리가 멀거나 평면 지역의 경우는 모든 지점의 높이 정보를 가지고 있지 않다. 따라서 높이 정보가 없는 지점에 대해서는 서로 보간해 주어야 완전한 고도 지도를 구성할 수 있다. 본 논문에서 사용한 보간화의 방법은 다음과 같다.

- 1)  $\phi_i$  가 고정된  $\theta_k$  와  $\theta_{k+1}$  ( $k=1,2, \dots, m-1$ ) 은 고도 지도상에서 구 좌표계에서 직교 좌표계로 변환되면서  $x_k, y_k$  와  $x_{k+1}, y_{k+1}$  로 mapping되며, 이때  $x_k, y_k$  와  $x_{k+1}, y_{k+1}$  사이의 모든  $x, y$  점들을 선형적으로 보간화 한다.
- 2) 동일한 방법으로  $\theta_k$  가 고정된  $\phi_i$  와  $\phi_{i+1}$  ( $i=1,2, \dots, n-1$ ) 은 고도 지도상에서 구 좌표계에서 직교 좌표계로 변환되면서  $x_i, y_i$  와  $x_{i+1}, y_{i+1}$  로 mapping되며, 이때  $x_k, y_k$  와  $x_{i+1}, y_{i+1}$  사이의 모든  $x, y$  점들을 선형적으로 보간화 한다.

그러나 위의 보간화를 거친 고도 지도는 여전히 높이 값을 가지고 있지 않은 점들을 가지고 있다. 즉 위의 두 축에 대한 보간화로 생기는 사변형의 내부에는 여전히 높이 값을 가지고 있지 못하다. 본 논문에서는 이 점들을 높이 값으로 채우기 위해 정적 range 검출기의 광학적 중심과 사변형을 이루는 각 점들의 높이를 이용하여 병합화(merging)를 아래와 같은 방법으로 처리한다. 그림 8은 병합화 과정을 보여주고 있다.

- 1)  $\theta_k$  와  $\theta_{k+1}$  사이에 존재하면서 높이 값을 가지지 못한 영역에 포함되는 한 점  $(x,y)$ 는 정적 range 검출기의 원점에서부터 그 점을 지나는 각도  $\theta'$ 를 찾고 그 점과  $\theta'$ 에 따른 조사선

(searching line)을 정의 한다.

- 2) 조사선을 따라  $(x,y)$ 의 전후로 이동하면서 사변형을 구성하는 선분을 이루는 전방점(front point)과 후방점(rear point)을 찾는다.
- 3) 전방점과 후방점을 병합화의 계산의 기준 값으로 사용하고 선형 보간에 의해  $(x,y)$ 의 높이를 계산한다. 즉 이 두 점과의 거리에 대한 가중치(weighting)를 준 평균치로서  $(x,y)$ 의 높이를 설정한다.

이 과정을 거치면 고도 지도는 3가지 종류의 영역으로 나누어 지는데 높이 값을 가지는 영역과 높이 값을 가질 수 있는 영역이지만 전방의 물체에 의해 가려진 폐색(occlusion) 영역 및 정적 range 검출기의 시계 영역(field of view)을 벗어난 무관심 영역으로 나누어진다. 여기서 폐색 영역은 필요에 따라 임의의 값으로 대체할 수 있으나 거리 데이터로서의 의미는 가지지 않는다. 본 논문에서는 작업 경로 추출을 용이하게 하기 위해 폐색 영역을 정적 range 검출기로부터 멀어질 수록 일정하게 감소하는 값으로 높이 값을 대체 하였다. 여기에 노이즈를 제거하고 평활화(smoothing)를 위해 저역 필터링(low pass filtering)을 실시하여 완전한 고도 지도를 얻는다.

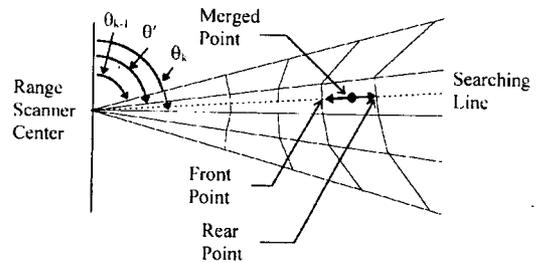


그림 8. 보간화와 병합화

Fig. 8. Interpolation and merging.

#### 4. 작업 경로 추출

리클레이머의 버킷은 원료를 불출할 때 일정한 높이에 대하여 좌우로 진행 하면서 작업한다. 따라서 얻어진 원료 파일의 3차원 고도 지도에서 동일한 높이인 파일의 가장 자리 좌표를 다음과 같이 순서적으로 추출하면 작업 계획 경로가 얻어진다.

- 1) 먼저 고도 지도의 가장 높은 지점을 찾고 각 단의 높이를 정한다.

- 2) 일정한 높이에 따라 고도 지도에 thresholding을 취하여 이치화된 slice 영상을 얻는다.
- 3) 각 slice에 대해 edge following에 의해 가장자리 화소를 추출한다. 이때 폐색 영역의 화소 데이터는 불필요한 데이터이므로 스캔한 원료 야적 파일의 전면만을 선택하고  $x, y, z$ 값을 순서대로 나열하여 작업 경로 데이터를 얻는다.

#### IV. 동적 range 검출과 영상 처리

정적 range 검출기는 리클레이머가 정지한 상태에서 원료 야적의 원료 파일에 대한 3차원 형상을 구하고 이로부터 실제 자동화 작업에 필요한 작업 경로를 추출한다. 그러나 리클레이머의 버킷이 회전하면서 붐의 선회에 의한 불출 작업이 진행되면 원료 파일의 형상이 변경되며, 상당한 불출이 이루어졌을 경우 정적 range 검출기로 부터 구한 작업 경로는 신뢰할 만한 데이터가 되지 못한다. 따라서 불출기능을 수행하는 동안 원료 파일의 특성이 바뀌어진 부분에 대하여 동적 range 검출기를 작동시킨다. 즉 리클레이머의 선회시에 동적 range 검출기는 리클레이머가 불출을 함과 동시에 동작하여 변경된 국부적 특성에 대한 range 정보를 sensing한다. 동적 range 검출기는 slit 광원과 CCD 카메라를 사용하는 두개의 slit light range 검출기로서 구성되며 이를 장착하면 붐 끝단에 있는 버킷 드럼의 좌우측에 좌우측 센서가 각각 위치하도록 제작한다. 만약 붐이 우측으로 선회하면서 불출할 경우 우측 센서로부터 파일과 버킷까지의 거리를 측정하며 좌측 선회할 경우 좌측 센서를 이용한다. 리클레이머 제어기는 만약 거리가 어떤 설정치 이상이 되면 파일의 끝으로 판단하고 주행이나 선회 방향을 바꾸라는 기능을 동작 시킨다. 이를 위해 먼저 동적 range 검출기의 입력 영상으로부터 거리 정보를 계산하고 이를 world 좌표계로 변환한 후 리클레이머 제어기에 전달한다.

##### 1. Calibration

Strip light range 검출은 많은 calibration 종류가 있는데 본 논문에서는 제작한 동적 range 검출기의 calibration을 perspective transformation matrix 방법을 사용하였다<sup>[34]</sup>. 이 방법은 카메라 matrix와 slit 광원이 이루는 광 평면 방정식을 함께 풀어

sensor matrix를 구하고 이로부터 range 데이터를 얻는 기법이다. 먼저 3차원 world 좌표계를 2차원 영상 좌표계로 mapping되는 perspective 변환을 카메라 matrix라 하는데 이를 homogeneous 좌표계로 나타내면 (3)과 같다.

$$\begin{bmatrix} s^* u \\ s^* v \\ s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서  $(x,y,z)$ 는 world 좌표계의 한 점이며  $a_{ij}$ 는 카메라 matrix의 component이고  $(u,v)$ 는 영상 평면의 한 점이며  $s$ 는 scale factor이다. 식(3)에서  $s$ 는 scale factor이므로 12개의 요소 중  $a_{34}$ 는 1로 할 수 있으므로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$xa_{11} + ya_{12} + za_{13} + a_{14} - uxa_{31} - uya_{32} - uza_{33} = u \quad (4)$$

$$xa_{21} + ya_{22} + za_{23} + a_{24} - uxa_{31} - uya_{32} - uza_{33} = v \quad (5)$$

여기서 카메라 matrix의 11개의 component는  $m$ 개의 알고 있는 world 좌표계에서 영상 좌표 대응하는 점들의 좌표에 의해  $2m \times 11$  matrix로 표현할 수 있으며 pseudo-inverse 방법을 이용하여 카메라 matrix의 component를 구할 수 있다. 그 다음 slit 광원이 이루는 광 평면 방정식은 식(6)과 같이 구할 수 있다.

$$b_1x + b_2y + b_3z + b_4 = 0 \quad (6)$$

카메라 calibration으로 부터 카메라 matrix의 component를 구하고 식(4)(5)와 식(6)을 함께 풀어 matrix로 표현하면 식(7)와 같이  $4 \times 3$ 의 sensor matrix  $M$ 을 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} s^* x \\ s^* y \\ s^* z \\ s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \\ m_{41} & m_{42} & m_{43} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

카메라 calibration을 위해서는 알고 있는 world 좌표계의 점들이 동적 range 검출기의 좌 우측 센서의 영상 좌표계 내에 mapping되는 좌표를 찾아야 한

다. 이를 위해 본 논문에서는 흰색의 배경에 여러 개의 흑색 원형 마크가 있는 panel을 이용하였다. 즉 panel의 원형 마크의 중심을 찾고 이 panel을 동적 range 검출기의 좌우측 센서의 CCD 카메라에 입력한다. 입력된 원형 마크를 이치화하여 영역 분할하고 이에 대한 중심을 찾는다. 즉 panel에 있는 원형마크의 중심 위치를 world 좌표계로 하고 영상에서의 원형 마크의 중심을 영상 좌표로 하였다. 그림 9는 panel에서 동적 range 검출기를 calibration하는 과정을 보여주고 있다.

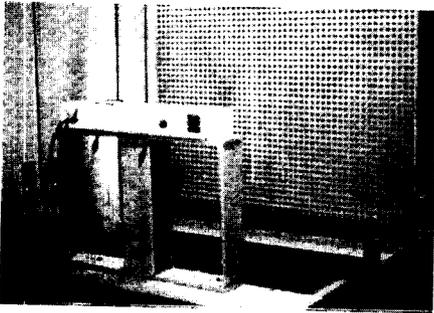


그림 9. Calibration 모습

Fig. 9. A view of calibration procedure.

## 2. Range 데이터 검출 및 영상처리

불출 작업을 하는 동안에 동적 range 검출기는 파일과 센서 사이의 거리를 측정하게 된다. 이를 위해 버켓 양단에 부착된 동적 range 검출기의 좌우 센서는 각각 CCD 카메라와 slit 광 레이저를 투사하고 레이저의 파장만을 통과시키는 광학 필터를 카메라 전방에 설치한다. 따라서 입력된 영상은 레이저의 빛에 해당하는 영역만이 선의 형태로 나타난다. 이로부터 원하는 range 정보를 얻기 위해 아래와 같은 세선화(thinning) 방법을 적용한다.

- 1) 먼저 영상을 입력하고 레이저 만을 구분해 낼 수 있는 문턱값(threshold value)으로 이치화하여 영역 분할한다.
- 2) 이 영역 안에서 포함되는 부분만 원영상에 대하여 수평축으로 scan하면서 최대값을 나타내는 화소를 추출한다.
- 3) 영상 평면에서 이 화소가 위치하는 좌표( $u, v$ ) 값을 얻어진 sensor matrix에 대입하여 world 좌표값( $x, y, z$ )를 구한다.

## V. World 좌표계로의 변환

정적 range 검출기에 의해 얻어진 파일의 형상과 작업 경로 데이터를 실제로 리클레이머가 사용할 수 있도록 하기 위해 데이터를 world 좌표계로 변환하여야 한다. 즉 리클레이머에 부착된 정적 range 검출기의 원점에서부터 얻어진 거리 데이터이므로 이를 world 좌표계로 translation 및 rotation을 이용하여 변환하여야 리클레이머 제어가 이용될 수 있다. 형상 추출 작업으로 통해 정적 range 검출기를 중심으로 얻어진 거리 데이터를 world 좌표계로 변환하기 위한 기하학적 모델을 그림 10에서 보여 주고 있다. 먼저 정적 range 검출기의 상대적인 위치 좌표계( $X_a, Y_a, Z_a$ )에서 선회 중심 좌표계( $X_b, Y_b, Z_b$ )와 리클레이머 원점 좌표계( $X_r, Y_r, Z_r$ )를 거쳐서 world 좌표계( $X_w, Y_w, Z_w$ )로 변환한다. 좌표계 변환을 위해 스테핑 모터의 회전 각도  $\theta_a$ 와 리클레이머의 선회 각도  $\theta_b$ 에 대한 rotation을 계산하고, 선회 회전축과 정적 range 검출기까지의 거리  $d_a$ , 정적 range 검출기 취부 높이  $d_b$ , 및 주행 거리  $d_t$  만큼 translation을 계산하면 된다.

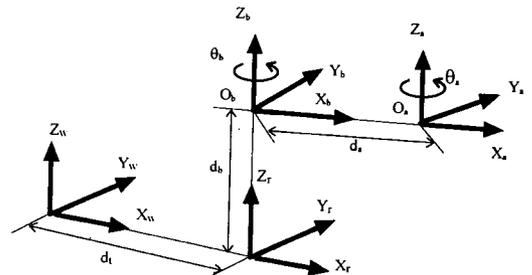


그림 10. 정적 range 검출기의 기하학적 모델

Fig. 10. Geometric model of static range finder.

동적 range 검출기로부터 얻어진 range 데이터는 동적 거리 측정기의 상대 위치에 대한 거리 정보이다. 따라서 이를 리클레이머에 장착하고 range 데이터를 검출하게 되면 이를 world 좌표계로 변환해야 필요한 정보로 사용할 수 있다. 이를 위해 그림 11과 같이 동적 range 검출기의 중심에 대해 기하학적 모델을 구성한다. 동적 range 검출기 좌표계( $X_1, Y_1, Z_1$ )에서 선회와 부양 중심 좌표계( $X_2, Y_2, Z_2$ )와 리클레이머 원점 좌표계( $X_r, Y_r, Z_r$ )를 거쳐서 원하는 world 좌표계( $X_w, Y_w, Z_w$ )로 변환한다. 여기서 리클레이머의

부양과 선회 각도인  $\theta_1$  과  $\theta_2$ 에 대한 rotation을 처리하고 선회 회전축에서 동적 range 검출기 부착 위치 까지 거리  $d_1$  , 리클레이머 부양 회전축 높이  $d_2$ , 주행 거리  $d_3$ 에 대한 translation을 각각 계산한다.

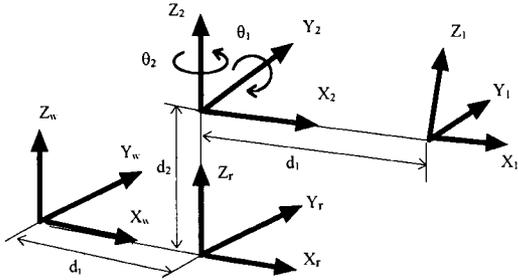


그림 11. 동적 range 검출기의 기하학적 모델  
Fig. 11. Geometric model of dynamic range finder.

### VI. 실험 및 고찰

본 논문에서 제안한 시스템을 실험하기 위하여 리클레이머의 1/20 축소된 시뮬레이터를 제작하였고 원료 야적 파일의 모형을 2×4m의 용기에 미세 자갈을 적치하여 만들었다. 먼저 정적 range 검출에 있어서는 개발한 정적 range 검출기를 시뮬레이터 상에서 적치된 원료를 방해 받지 않고 스캔할 수 있도록 충분히 높은 위치에 부착하였다. 제작한 정적 range 검출기는 Ladar와 이를 구동하는 스테핑 모터로 구성이 되는데  $\phi$ 축인 Ladar의 회전 거울은 60°의 field-of-view를 가지며 unit angle은 0.57°로 설정하였고,  $\theta$ 축인 스테핑 모터는 한 원료 파일을 대상으로 스캔할 경우 57°의 field-of-view를 가지며 0.72°의 해상도로 실험하였다. 추출된 거리 데이터를 직교 좌표계로 변환하여 영상에  $(x,y,z)$ 값을 각각  $(u,v)$ 값 및 명암도로 나타내어 최초 고도 지도를 구성한 결과는 그림 12(a)와 같다. 여기에 scan축을 따라 보간한화 한 결과는 그림 12(b)에 나타나 있으며 이를 다시 전방점과 후방점에 의해 병합화 하고 폐색영역에 대해 일정하게 감소하는 높이 값으로 대체한 후 저역 필터링을 취하여 완전한 고도 지도를 추출한 결과가 그림 12(c)에 나타나 있다. 이로부터 야적 파일이 쌓여 있는 영역에 대해 원료 파일의 feature인 등고선을 얻었다. 여기서 원료 파일의 후반부는 폐색 영역이므로 이를 제외한 후 얻어진 작업 경로는 15개의 단으로 찾은 결과를 그림

12(d)에서 보여주고 있다. 실험으로부터 얻어진 작업 경로 데이터를 이용하여 simulator에 실험한 결과 버켓이 파일과 닿는 부분이 최대 +/-2cm의 오차 이하로 불출 작업을 진행하였다. 이 오차는 센서 자체의 거리 데이터 오차, simulator의 기구학적 parameter의 오차 등으로부터 기인한다.

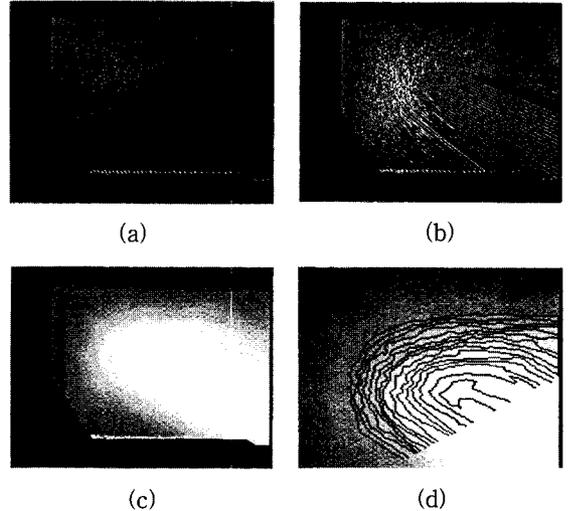


그림 12. 정적 range 검출후의 영상 처리 결과  
(a) 초기 고도 지도 (250×300cm; 250×300 pixels), (b) 보간화된 결과(250×300cm; 250×300pixels) (c) 병합화된 결과 250×300cm; 250×300pixels), (d) 작업경로(150×150cm; 150×150pixels)

Fig. 12. Results of static range finder.  
(a) Range data image (250×300cm; 250×300pixels), (b) Interpolated image of range data image (250×300cm; 250×300pixels), (c) Merged image and height map (250×300cm; 250×300pixels) and (d) Job schedule path (150×150cm; 150×150pixels)

동적 range 검출에 있어서는 리클레이머 버켓의 양 옆에 각각 하나의 거리 센서가 위치하도록 하였다. 먼저 카메라 calibration을 위해 130개의 흑색의 원형 마크가 있는 panel을 사용하였는데, 이 panel을 60, 70, 80cm의 거리에 대해 두고 각각에 대해 calibration 함으로서 모두 390개의 원형 마크의 중심 위치가 알고있는 world 좌표계로 사용되었다. 원형 마크에 대해 영상 평면 내에서 대응하는 좌표를 얻기 위해 panel을 좌우측 거리 센서의 CCD 카메라에 입력하고 원형 마크만이 구분되도록 이치화 하고 각각의

원형 마크의 중심 좌표를 구하였다. 카메라 calibration에서는 얻어진 390개의 world 좌표계와 이에 대응하는 영상 좌표에 의해 780×11 matrix가 구성되며 pseudo-inverse 방법에 의해 식(3)의 카메라 matrix의 component를 구한다. 이로부터 식(4), (5)와 광 평면 방정식인 식(6)을 함께 계산하여 sensor matrix를 구한다. 동적 range 검출기의 좌우측 센서를 calibration한 후 얻어진 sensor matrix **M**의 인수 값을 계산한 결과는 다음과 같다.

$$M_{right} = \begin{bmatrix} 39997.11 & 1040.78 & -6782402.00 \\ -9885.43 & -64581.54 & 3897884.50 \\ -31149.21 & -321.66 & 57670128.00 \\ 6119.18 & 159.74 & -980070.13 \end{bmatrix}$$

$$M_{left} = \begin{bmatrix} 26878.90 & -100.54 & 1560025.50 \\ 5365.78 & -36019.48 & 1043251.94 \\ 18835.19 & 220.73 & 30118788.00 \\ -3555.15 & 13.75 & -162109.41 \end{bmatrix}$$

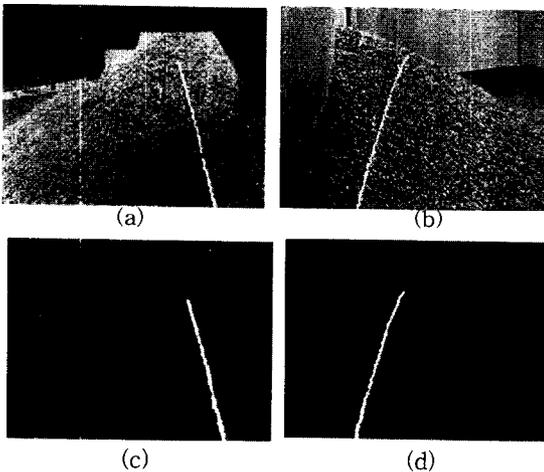


그림 13. 동적 range 검출의 영상 처리 결과 (512×480 pixels)

(a) 좌측 range 검출기의 입력 영상, (b) 우측 range 검출기의 입력 영상, (c) 광학 필터를 사용한 좌측 검출기의 영상, (d) 광학 필터를 사용한 우측 검출기의 영상

Fig. 13. Results of dynamic range finder. (512×480 pixels) (a) A grabbed image of left range finder, (b) A grabbed image of right range finder, (c) Filtered image of left range finder and (d) A filtered image of right range finder

그림 13(a)와 (b)는 동적 range 검출기의 좌측 및 우측 센서로부터 입력된 영상으로서 광학 필터를 사용하지 않은 입력 영상이며 그림 13(c)와 (d)는 좌 우측 센서로부터 입력된 영상으로서 광학 필터를 사용하여 레이저의 빛이 주사된 영역만을 영역 분할한 영상이다.

레이저 빛에 해당하는 영역에 대해 본 논문에서 사용한 세션화 방법으로 영상좌표를 추출하고, 이에 대해 수직축으로 50 화소당 하나의 지점에 대해 센서 matrix에 대입하여 얻어진 실제 거리를 표 1에서 보여주고 있다. 이 데이터는 실제 거리에 대해 최대 +/-3mm이하의 오차를 보이고 있는데 이 오차는 calibration시에 발생하는 오차, 영상 처리시의 digitizing 오차 등으로부터 기인한다. 이 오차는 앞에서 밝힌 허용 오차 범위보다 낮으므로 리클레이머 불출 자동화를 충분히 가능함을 알 수 있다. 제안한 vision 시스템을 이용하여 simulator가 자동 불출하는 과정을 그림 14에서 보여주고 있다.

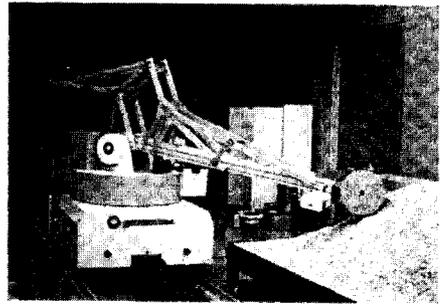


그림 14. Range 검출에 의해 자동화된 리클레이머의 불출 모습

Fig. 14. A view of autonomous reclaiming using range finding vision system.

표 1. 동적 range 검출기의 range 데이터 (a) 좌측 range 검출기 (b) 우측 range 검출기

Table 1. Range data of the dynamic range finder. (a) Right side range finder. (b) Left side range finder

(a)				
pixel (i,j)	Dynamic coordinates (mm) (x, y, z)			
200,211	68.4,	-5.8,	-607.5	
250,194	68.1,	-30.4,	-537.4	
300,183	68.0,	-52.0,	-496.4	
350,170	67.8,	-71.1,	-453.8	
400,155	67.7,	-87.6,	-410.9	
450,146	67.6,	-104.0,	-386.3	

(b)				
pixel (i,i)	Dynamic coordinates (mm) (x, y, z)			
200,321	-84.1,	9.4,	-522.3	
250,334	-83.2,	-16.7,	-485.9	
300,345	-82.6,	-38.1,	-460.6	
350,358	-81.9,	-55.6,	-435.8	
400,367	-81.6,	-71.9,	-420.9	
450,379	-81.1,	-84.9,	-403.7	

## VII. 결 론

본 논문에서는 정적 및 동적 range 검출 방법에 의한 원료 처리의 자동화용 vision 시스템을 제안하였다. 먼저 정적 range 검출로써 목표 원료의 전체 표면에 대한 3차원 형상을 검출하고 이로부터 원료 처리에 필요한 기본적인 정보를 얻었다. 로봇트가 원료에 대한 처리와 동시에 동적 range 검출기는 로봇트 팔의 측근에 부착되어 국부적 range 데이터를 검출함으로써 변동된 원료의 특성에 적응하도록 하였다. 본 논문에서는 제안한 시스템을 제철소의 원료 불출 기기인 리클레이머에 응용할 수 있는 vision 시스템으로 구성하였다. 정적 range 측정을 위해 PDM 방식의 range 검출기를 제작 하였고 이로부터 물체를 scan하여 range 데이터 array를 구성하였다. 이 range 데이터 array를 이용하여 직교 좌표계 상에 mapping하고 선형 보간과 본 논문에서 제안한 병합화를 이용하여 고도 지도를 구성하였다. 고도 지도로부터 파일의 feature인 등고선을 추출하여 불출을 위한 작업 경로를 추출하였다. 리클레이머가 불출 기능을 수행하면서 목표 원료 파일의 특성이 변하므로 리클레이머의 움직임과 동시에 동적 range 검출에서는 변한 국부적 특성을 추출하여 제어기로 전달한다. 동적 range 검출기는 strip light range 검출 기법을 이용한 두개의 센서로 구성되었고 이를 버킷의 좌우측 양단에 장착하였다. 동적 range 검출기는 파일과 리클레이머의 끝단인 버킷의 거리를 측정하여 충돌 방지 및 불출 종료 지점을 선택하여 정적 range 검출에서 변경된 원료 파일의 정보를 재구성 할 수 있도록 하였다. 제작한 simulator에 적용 실험한 결과 리클레이머 자동화가 가능한 오차 범위 내에서 불출할 수 있었다. 본 논문에서 개발된 range 검출 vision 시스템을 옥외의 현장 환경 조건에 대한 문제 즉 분진 및 악천후에 대한 보호 장치와 vision 시스템의 내구성에 대한 보완이 이루어 지면 리클레이머 자동화를 위해 현장에 적용될 계획이다. 본 연구의 결과는 제철소의 현장 뿐 아니라 대형 물체를 다루어야 하는 타 산업계에도 적용할 수 있을 것으로 보인다.

## 참 고 문 헌

[1] R. A. Jarvis, A Perspective on Range

- Finding Techniques for Computer Vision, PAMI, vol.5, no.2, pp. 122-139, Mar. 1983.
- [2] D. Nitzan, Three-Dimensional Vision Structure for Robot Application, PAMI, vol.10, no.3, pp. 291-309, May 1988.
- [3] R. C. Bolles, J. H. Kremers, and R. A. Cain, A Simple Sensor to Gather Three-Dimensional Data, SRI computer scientist dept. technical report, Jul. 1981.
- [4] R. Y. Tsai, A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Methodology Using Off-the-Shelf TV Camera and Lenses, IEEE Trans. Robotics Automat., vol.3, no.4, pp.323-344, Aug. 1987.
- [5] V. E. Theodoracatos and D. E. Calkins, A 3-D Vision System Model for Automatic Object surface Sensing, International Journal of Computer Vision, vol.11, no.1, pp. 75-99, 1993.
- [6] I. D. Reid, Projective Calibration of a Laser-Strip Range Finder, Image and Vision Computing, vol.14, pp.659-666, Oct. 1996.
- [7] M. Asada, M. Kimura, Y. Taniguchi, and Y. Shrai, Dynamic Integration of Height Maps into a 3D World Representation from Range Image Sequences, International Journal of Computer Vision, vol.9, no.1, pp. 31-53, 1992.
- [8] I. Reid and M. Brady, Model-based Recognition and Range Imaging for a Guided Vehicle, Image and Vision Computing, vol.10, no.3, pp. 197-207, 1992.
- [9] M. Hebert and E. Krotkov, 3D Measurement from Imaging Laser Radars: How Good Are They?, Image and Vision Computing, vol.10, no.3, pp. 170-178, 1992.
- [10] M. A. Turk, D. G. Morgenthaler, K. D. Gremban, and M. Marra, VITS-A Vision System for Autonomous Land Vehicle Navigation, IEEE Trans. Robotics and Automation, vol.10, no.3, pp. 342-361, May 1988.
- [11] C. Thorpe, M. H. Herbert, T. Kanade, and S. A. Shafer, Vision and Navigation for the

Carnegie-Mellon Navlab, IEEE Trans. Robotics and Automation, vol.10, no.3, pp. 342-361, May 1988.

- [12] D. Langer, J. K. Rosenblatt, and M. Hebert, A Behavior-Based System for Off-Round Navigation, IEEE Trans. Robotics and Automation, vol.10, no.6, pp. 776-783, 1994.
- [13] E. Krotkov and R. Hoffman, Terrain Mapping for a Working Planetary Rover, IEEE Trans. Robotics and Automation,

vol.10, no.6, pp. 728-739, 1994.

- [14] Hyunsik Ahn, Chintae Choi, Kwanhee Lee, and Yeong-Ho Ha, Automation of a Reclaimer Using Global and Local Range Finding Systems, IS&T/SPIE Electronic Imaging '96: Science and Technology (San Jose, CA), vol.2665, pp.26-35, Jan. 1996.
- [15] I. Pitas, Digital Image Processing Algorithm, Prentice Hall, pp. 134-145, 1993.

저 자 소 개



安 賢 植(正會員)

1986년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(학사). 1989년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1996년 2월 경북대학교 대학원 박사과정 수료. 1992년 1월 ~ 현재 포항산업과학연구원(RIST)

선임연구원. 주관심분야는 컴퓨터 비전, 영상처리 및 자동화공학 등임

崔 珍 泰(正會員)

第 29卷 B編 第 12號 參照  
현재 포항산업과학연구원(RIST) 책임연구원



李 官 熙(正會員)

1990년 2월 한국과학기술대학교 전자계산학과 졸업(학사). 1992년 2월 포항공과대학교 대학원 전자계산학과 졸업(석사). 1992년 1월 ~ 현재 포항산업과학연구원(RIST) 선임연구원. 주관심분야는 컴퓨터

그래픽 및 자동화공학 등임



辛 基 泰(正會員)

1993년 2월 부산대학교 기계공학과 졸업(학사). 1995년 2월 부산대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사). 1994년 12월 ~ 현재 포항산업과학 연구원(RIST) 선임연구원. 주관심분야는 컴퓨터그래픽 및 자

동화공학 등임

河 永 浩(正會員) 第 34卷 S編 第 6號 參照

현재 경북대학교 전자전기공학부 교수