

주행상태에서의 가이드라인 계측 시스템 개발에 관한 연구 A Study on the Development of Guide Line Measurement System in the Driving Condition

김 영 복
Young-Bok Kim

(접수일 : 2011년 05월 26일, 수정일 : 2011년 06월 15일, 채택확정 : 2011년 06월 21일)

Key Words : Rubber Tired Gantry Crane(RTGC), Rail Mounted Gantry Crane(RMGC), High efficient(고효율), Image processing(화상처리), Line position measurement(라인위치계측), Driving condition(주행조건)

Abstract : The handling ability of containers at the terminal strongly depends on the performance of the cargo handling system such as RTGC(Rubber Tired Gantry Crane) and RMGC(Rail Mounted Gantry Crane). This paper introduces a guide line measurement system on the operating condition, in which two camera are installed to detect the guide line. Because the line tracking is the basic technique for control system design of RTGC, it is necessary to develop a useful and reliable measurement system. If the displacement and angle of the RTGC relative to a guide line as the trajectory to follow is obtained, the position of RTGC is automatically calculated. Therefore, in this paper, a camera-based measurement system is introduced. The proposed measurement system is robust against light fluctuation and cracks of the guide line. This system consists of two camera and a PC which are installed at the lower side of the RTGC. Two edges of the guide line are detected from an input image taken by the cameras in the moving state, and these positions are determined in a Hough parameter space by using the Hough transformation method. From the experimental results, the accuracy and usefulness of the proposed system is evaluated by comparing other instruments.

1. 서 론

최근 세계적으로 컨테이너 화물량이 증가함에 따라 각 컨테이너 터미널의 하역작업에 있어서의 효율성 향상이 꾸준히 요구되고 있다. 터미널에서는 하역작업을 위해 컨테이너 크레인이 필수장비로 이용되고 있기 때문에 크레인의 하역능력향상은 터미널 전체의 하역효율향상으로 이어진다. 항만에서는 화물의 흐름에 각각의 처리시스템 및 장비가 다양하게 분류된다. 예를 들어 선박과 가장 가까운 곳에서 작업을 지원하는 Quay 크레인에서 야드에서 화물을 정리하는 RTGC(Rubber Tired Gantry Crane) 및 RMGC(Rail Mounted Gantry Crane) 등이 있다. 미래항만개념은 친환경항만구축이라는 목표아래 운영시스템의 효율성향상에 매진하고 있다. 이와 함께 하

역장비에도 친환경시스템구축이라는 목표아래 다양한 기술개발노력이 추진되고 있다. 그 결과의 하나로 전기식 RTGC 및 RMGC를 들 수 있다. RMGC의 경우에는 레일위를 따라 운영되기 때문에 자동화가 지극히 용이하여 거의 무인화 운영수준에 이르러 있다. 이유는 레일위에 장비가 구속되기 때문에 전원공급, 계측시스템 및 제어시스템구축이 상대적으로 수월하여 자동화시스템 구축이 지극히 용이할 수밖에 없다. 단, 레일 등의 기반시설을 필요로 하기 때문에 높은 시설투자비 및 유지·관리비가 요구된다. 또한 Bay에서 다른 Bay로의 이동이 불가능하여 작업스케줄상의 유연성이 현저히 낮다. 반면, RTGC는 타이어로 야드 전역을 자유롭게 이동할 수 있으며, 장비도입비가 저렴하여 RMGC에 비해 상당한 작업유연성을 갖는다. 저렴한 장비도입비, 작업유연성 등의 이유로 항만에서의 그 유용성은 상당히 높게 평가되고 있다.^{1~4)} 그러나 유연한 구조, 복잡한 운동특성 등으로 자동화시스템구축이 쉽지 않은 것이 사실이

김영복(교신저자) : 부경대학교 기계시스템공학과
E-mail : kpjiwoo@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6197

며, 따라서 자동화를 위한 고도의 핵심기술개발이 요구된다. 즉, RMGC 적용기술보다 높은 기술수준이 요구됨을 의미한다. 이러한 기술적용상의 어려움을 극복하고 RMGC에 준하는 자동화 RTGC가 개발되어 상용화 단계에 이르고 있으며, 미쓰비시중공업이 개발한 자동화 RTGC⁵⁾가 대표적이라 할 수 있다. 이 장비에는 원격제어시스템을 지원하기 위한 다양한 기술이 적용되어 있다. 그 중 주행제어를 위한 가장 기본적인 기술이라 할 수 있는 것이 주행경로 계측 기술이다. 미쓰비시중공업을 비롯한 대부분의 경로계측기법은 지중에 마그네틱라인을 매설하여 Reader로 주행경로를 계측하는 기술을 이용하고 있다. 이 기술은 지중에 라인을 매설해야 하는 등, 기반시설 구축에 가까운 고비용이 필요한 번거로운 작업이 필수적이다. 또한 지반 침하 등으로 라인이 절단되거나 변형되는 등의 문제가 빈번하게 발생한다. 이와 같은 문제점을 개선하고자 시도된 기술이 지상에 라인을 도장하고 도장된 라인을 카메라로 검출하여 주행경로를 계측하는 방법이다. 그러나 카메라를 이용한 계측시스템은 외부환경에 많은 영향을 받기 때문에 항만과 같은 열악한 환경에 적용하는 것이 쉽지 않다. 즉, 내환경성이 뛰어난 이미지 프로세싱기술 기반의 계측시스템이 요구됨을 의미한다. 이와 같은 실제 환경에도 적용이 가능한 계측기술개발에 대한 기초연구가 수행되어 이미 보고된 바 있다.⁶⁾ 본 논문에서는 기초연구결과를 기반으로, 실제 RTGC가 주행하는 경우를 고려하여 주행상태에서 고정도로 계측이 가능한 카메라 기반의 계측시스템을 제안하고 실험을

통해 그 유용성을 검증한다.

2. 시스템 개요

RTGC 주행제어를 위해서는 기본적으로 주행궤도에 대한 RTGC의 상대위치 및 각도정보가 필요하다. 제안하는 계측시스템은 지상표면에 도장된 가이드라인을 화상처리에 의해 주행궤도의 변위와 각도를 계산한다. Fig. 1은 제안하는 위치계측시스템의 개요를 보여준다. 본 계측시스템은 RTGC의 측면하부에 설치된 2대의 후백카메라와 화상처리용의 PC로 구성되어 있다. RTGC가 주행궤도상을 움직이고 있는 경우, 카메라로 촬영한 입력화상에는 가이드라인이 화상증상에 Y축과 평행하게 각각 촬영된다. 즉, 제안하는 계측시스템은 입력화상 내에 가이드 암의 위치를 검출해서 영상중심에서 X축 방향의 변화량 x 와 Y축과 가이드라인이 이루는 각 θ 를 계측하는 방법이다.

3. 화상처리에 의한 가이드라인 위치계측

제안된 계측시스템이 외부환경에서도 사용 가능하도록 하기 위해서는 조명조건의 변화에 강인한 화상처리법이 필요하다. 예상되는 조명조건의 변화에는 일조조건에 의한 일정한 조명조건의 변화와 RTGC 자신과 적재된 컨테이너 및 외부물체의 그림자에 의한 부분적 조명조건의 변화가 포함된다(Fig. 3(a)). 또한 경년열화에 의한 도장선 내부의 균열 발생도 고려한다(Fig. 3(b)).

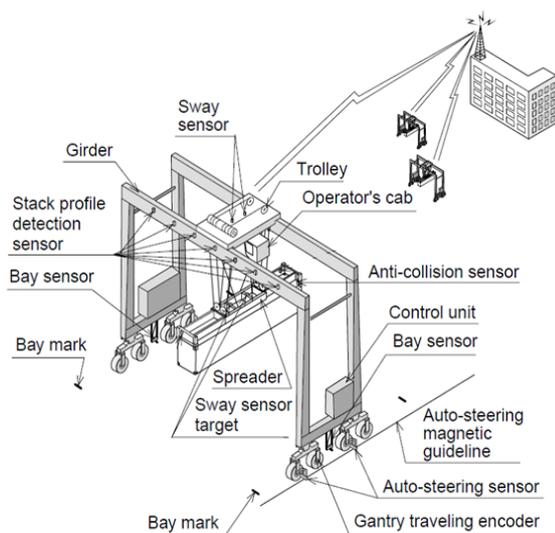


Fig. 1 A remotely controlled RTGC by MHI (Mitsubishi Heavy Industry)⁵⁾

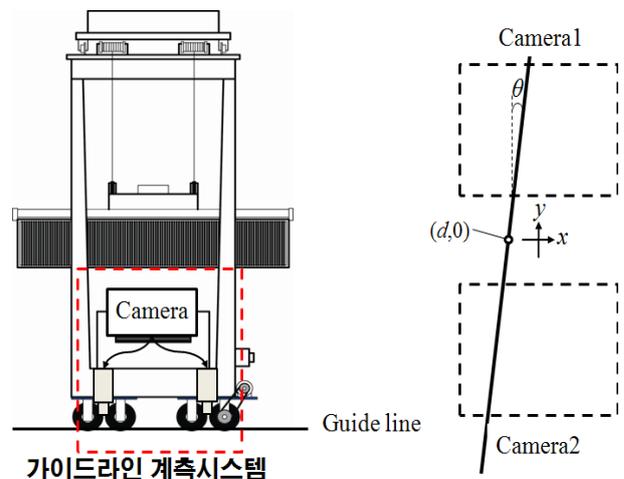
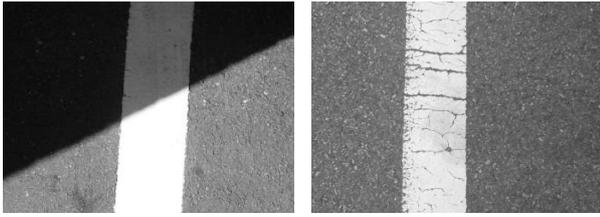


Fig. 2 Schematic diagram of the proposed lane position measurement system



(a) Shadow (b) Crack

Fig. 3 Disturbances of input images

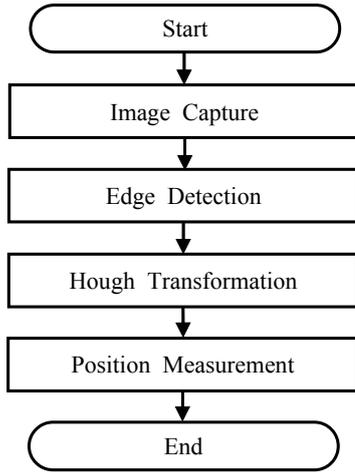


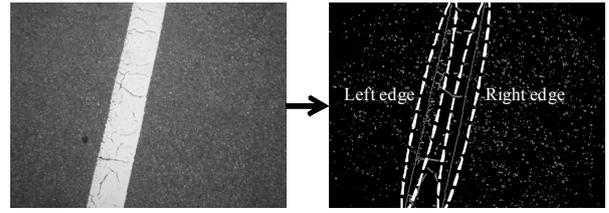
Fig. 4 Processing flow of the proposed measurement system

참조(template)화상을 이용하여 매칭기법으로 위치를 검출하는 경우, 가이드라인에 균열이 포함되면 오차가 발생할 우려가 높게 된다. 따라서 제안하는 계측시스템에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 가이드라인 양단의 에지정보에 기초를 둔 위치계측기법을 도입하였다.⁶⁾ Fig. 4는 제안하는 계측시스템의 위치계측절차를 보여주는 순서도이다. 그 순서는 1) 에지추출, 2) Hough 변환, 3) 위치계측으로 간단히 정리할 수 있다.

3.1 가이드라인 위치검출 및 Hough 변환

가이드라인 위치검출을 위해, 제안된 계측시스템에서는 카메라로부터 얻은 입력영상에 대한 에지검출을 실행한다. 통상적으로 에지검출은 화상 내에 있는 물체의 윤곽정보를 취득하기 위해 이용되며, $n \times n$ 의 필터를 이용하여 연산한다.⁷⁾ 그리고 제안하는 계측시스템에서는 식 (1)에 나타난 3×3 크기의 2개의 Sobel 필터를 사용하였다.

$$S_x(i, j) = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}, S_y(i, j) = \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$



Input image $I(x,y)$ Edge image $E(x,y)$

Fig. 5 Edge detection from an input image with Sobel filter

식 (1)의 필터를 사용하여 입력화상 $I(x, y)$ 대한 에지강도화상 D_x, D_y 는 식 (2)로부터 구할 수 있다.

$$D_{x,y}(x, y) = \sum_{j=0}^2 \sum_{i=0}^2 I(x-1+i, y-1+j) \times S_{x,y}(i, j) \quad (2)$$

이렇게 구해진 D_x, D_y 의 절대치 합으로부터 2개의 에지화상은 식 (3)과 같이 구해진다. 여기서 t_h 는 �레숄드(threshold) 값을 나타낸다.

$$E(x, y) = \begin{cases} 1 & |D_x| + |D_y| \geq t_h \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

Fig. 5는 1대의 카메라로부터 얻은 입력화상 $I(x, y)$ 에 대한 에지화상 $E(x, y)$ 를 나타낸다. 그림으로부터 알 수 있듯이 에지화상 $E(x, y)$ 에서 가이드라인 좌우의 에지가 추출됨을 알 수 있다. 따라서 가이드라인 좌우 에지위치로부터 가이드라인의 위치를 계측할 수 있게 된다.

위에서 설명한 것처럼 본 논문에서 고려하는 계측시스템은 에지화상 $E(x, y)$ 로부터 가이드라인의 좌우위치를 검출하는 기법이다. 그런데 에지화상 $E(x, y)$ 에 나타나는 좌우 가이드라인 에지에 균열과 박리에 의한 외란이 존재할 경우, 에지가 추출되지 않는 부분이 존재한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Hough 변환을 사용하여 좌우 에지위치 검출에 있어서의 신뢰성을 확보하였다. Hough 변환은 이진(binary)화된 화상으로부터 직선을 검출하는 방법으로, 화상내의 X-Y좌표계에 나타나 있는 직선을 식 (4)를 이용하여 계산한 것이다.⁸⁾

$$\rho = x \cos\theta + y \sin\theta \quad (4)$$

그리고 $E(x_1, y_1) = 1$ 의 좌표에 대응하는 직선 파라미터를 구하기 위해 (x_1, y_1) 을 $\rho - \theta$ 공간에 사상시킨다. 이때 사상된 좌표는 $\rho - \theta$ 공간에서 곡선으로 표현되고, 이 곡선에서 교차가 가장 많이 일어나

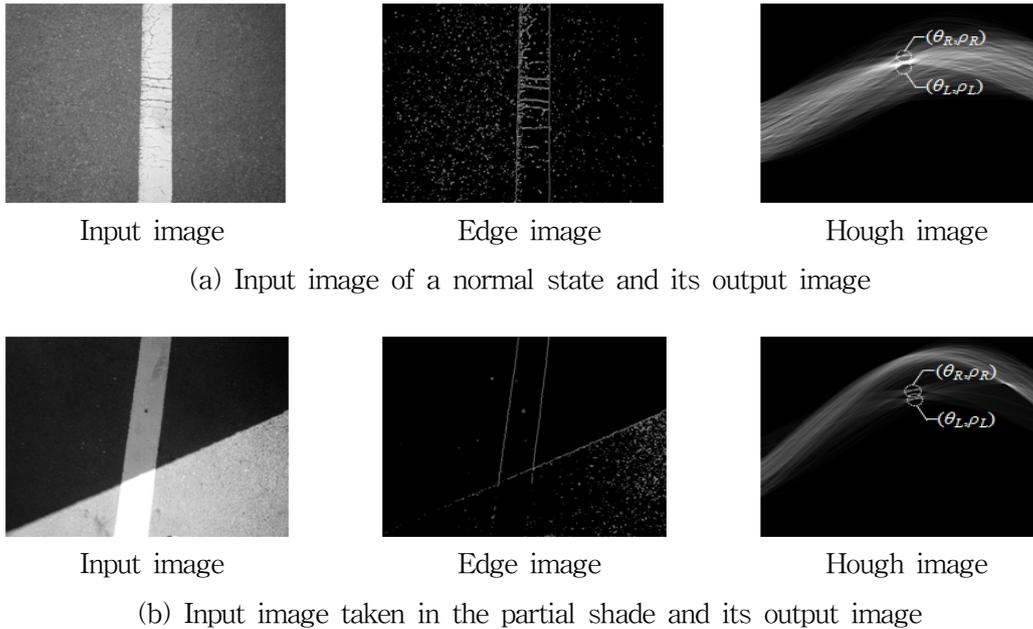


Fig. 6 Experimental results on edge detection and Hough transformation

는 좌표 (ρ_j, θ_j) 가 직선파라미터가 된다.

Fig. 6은 Fig. 5의 에지화상에 대한 Hough 변환된 화상을 나타낸 것이다. 이때 Fig. 6에 나타낸 Hough 변환에서 화상의 좌상을 원점으로 두고 있다. Hough 변환화상 $H(\rho, \theta)$ 의 각 픽셀(pixel)값은 각 좌표를 통하는 곡선의 수를 나타내고 있고, 픽셀값이 높은 좌표위치가 직선 파라미터 후보가 된다.

3.2 거리계측 기본 원리

가이드라인의 변위와 각도는 검출된 2개의 에지직선 파라미터 (ρ_L, θ_L) , (ρ_R, θ_R) 를 사용하여 계측할 수 있는데, Fig. 6은 그 계측원리를 나타낸다. 계측을 위해서 가이드라인을 X-Y평면상의 하나의 직선으로 간주하고, 그 위치는 좌우 에지직선과 거리가 같은 중심에 있다고 간주한다. 즉, 가이드라인에 대한 (ρ, θ) 은 (ρ_L, θ_L) , (ρ_R, θ_R) 로부터 다음 식 (5)로부터 간단히 구할 수 있다.

$$(\rho, \theta) = \left(\frac{\rho_L + \rho_R}{2}, \frac{\theta_L + \theta_R}{2} \right) \quad (5)$$

식 (5)에서 계산된 θ 는 가이드라인의 각도가 된다. 여기서 가이드라인의 변위 x 는 식 (4)에서 $y=0$ 으로 두면 다음 식 (6)으로 계산할 수 있다.

$$x = \frac{\rho}{\cos \theta} \quad (6)$$

단, 식 (6)의 단위가 픽셀이기 때문에 실제 가이드라인 변위(D)는 식 (7)과 같이 가이드라인의 폭(L)을 이용하여 계산한다.

$$D = \frac{L}{|\rho_R - \rho_L|} x \quad (7)$$

3.3 두 개의 카메라 정보를 이용한 가이드라인 계측

카메라를 이용한 가이드라인 계측에는 Fig. 2와 같이 두 대의 카메라를 이용하는 것이 효과적이다. 즉, 하나의 카메라로 각도와 위치를 고정도로 계측하는 것은 어렵다. 따라서 본 연구에서는 3.1절과 3.2절에 설명한 방법을 기초로 하여, 전·후 양단에 설치한 두 대의 카메라로 각 위치에서의 가이드라인 중심위치를 계측한다. 이것으로부터 두 개의 점을 잇는 라인을 구성하여 아래 Fig. 7과 같이 가이드라인과의 상대위치 및 각도를 계산할 수 있게 된다. 그림에서, ρ_1, ρ_2 는 각각의 카메라 위치에서의 가이드라인 중심점과 기준라인과의 상대거리를 나타내며, ρ_c 는 카메라 간 중심점과 기준라인과의 상대거리를 나타낸다. 그리고 기준라인과 가이드라인이 이루는 각도를 θ 로 표시하고, 기지의 값인 카메라간의 거리를 L_c 로 나타낸다. 이것으로부터 크레인이 가이드라인과 이루는 각(θ)은 각각 다음과 같이 간단하게 계산할 수 있다.

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\rho_1 - \rho_2}{L_c}\right) \quad (8)$$

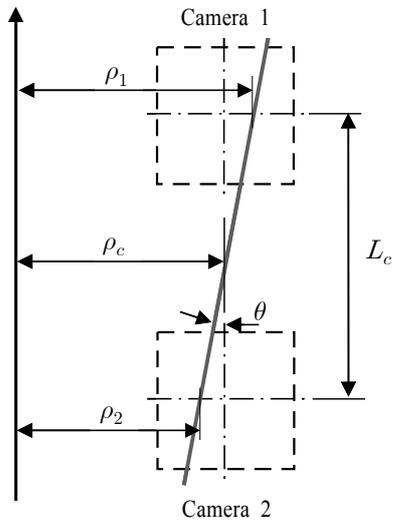


Fig. 7 Measurement principle using two cameras

4. 실험

Fig. 8과 같이 실험장치를 구성하여 실험을 수행하였다. 실험장치는 가이드라인, 두 대의 카메라, 엔코더 및 포텐쇼미터로 구성하였다. 가이드라인은 주행 상황을 구현하기 위해 컨베이어벨트에 라인을 그려 넣어 만들었다. 컨베이어벨트 상부에는 가이드라인을 계측하기 위해 두 대의 카메라를 각각 회전과 이동이 가능한 프레임 위에 설치하였다. 이것은 카메라를 장착한 크레인이 주행할 때 가이드라인으로부터 벗어나거나, 임의의 각도를 이루는 상황을 구현하기 위해서이다. 이때 본 논문에서 제안하는 카메라 계측시스템의 계측성능을 비교평가하기 위해 카메라가 설치된 프레임에 엔코더와 포텐쇼미터를 설치하였다. 엔코더는 회전각도를 계측하고, 포텐쇼미터는 카메라가 설치된 프레임의 직선이동거리(크레인이 가이드라인으로부터 벗어난 거리)를 계측한다.

본 실험에서 사용한 카메라기반 계측시스템, 엔코더 및 포텐쇼미터의 규격 및 성능을 Table 1에 정리하였으며, 실험결과를 Fig. 10~Fig. 13에 나타내었다.

Fig. 10은 가이드라인으로부터 크레인(기준선)이 벗어난 거리(변위)를 계측한 결과를 나타낸 것이다. 즉, 카메라기반 계측시스템을 이용한 경우와 포텐쇼미터를 이용하여 계측한 결과를 나타낸 것이다. Fig. 11은 거리 계측의 경우와 동일한 방법으로 가이드라인이 기준선과 이루는 각도를 계측한 결과를 나타내

고 있다. 그리고 Fig. 12와 Fig. 13은 카메라기반 계측시스템의 변위 및 각도 계측오차를 나타낸다. 그 오차범위는 변위의 경우 약 2mm, 각도의 경우에는 약 0.5도 정도로, 가이드라인 계측을 통해 RTGC의 주행제어를 위한 센싱시스템으로 적용하기에 충분한 정도이다. 본 연구에서 사용한 이미지프로세싱 기법은 바닥이 물에 젖어있거나, 조도변화가 발생하는 실제 환경에서도 강인하게 계측이 가능한 방법으로 이미 그 유용성이 검증되어 있다.³⁾ 따라서 정적인 상태가 아닌 주행상황을 고려한 본 연구결과를 이용하면 실제 시스템에 효과적으로 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 1 Specifications of measurement systems

Item	Specification
Image Processing Board	Model : NI PCIe-1430 Dual Ch. Connector x PCIeXpress
Camera	Model : VH-V264MC Resolution : 640 x 480 [pixel] Speed : 140[fps]
Potentiometer	Resolution : ± 0.1 [mm]
Encoder	2000pulses/rev

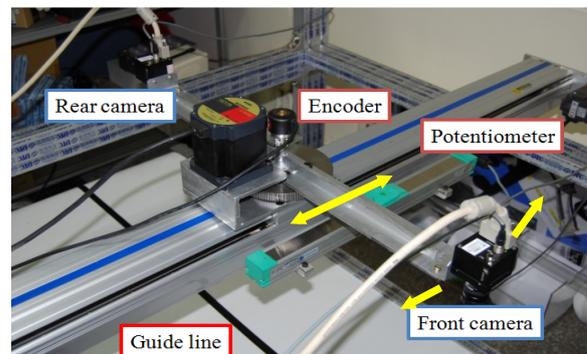


Fig. 8 Experiment apparatus

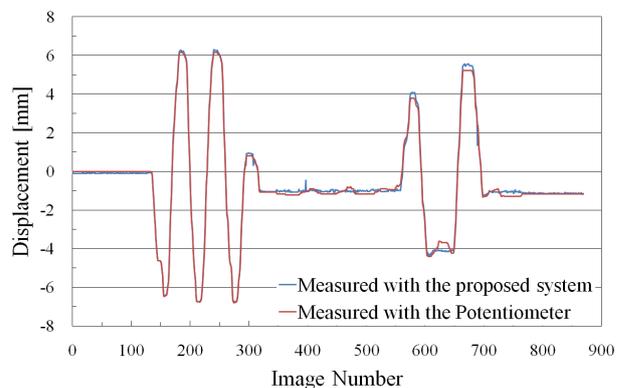


Fig. 9 Measurement results : displacement [mm]

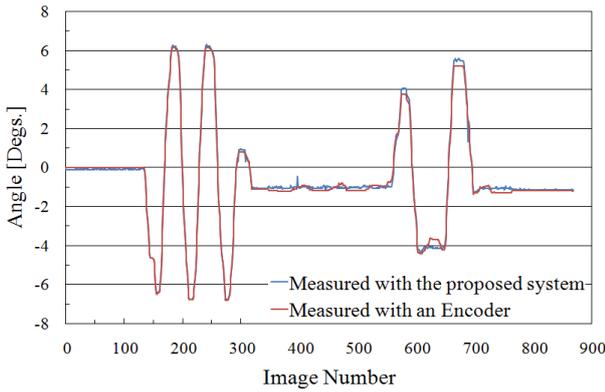


Fig. 10 Measurement results : angle [deg]

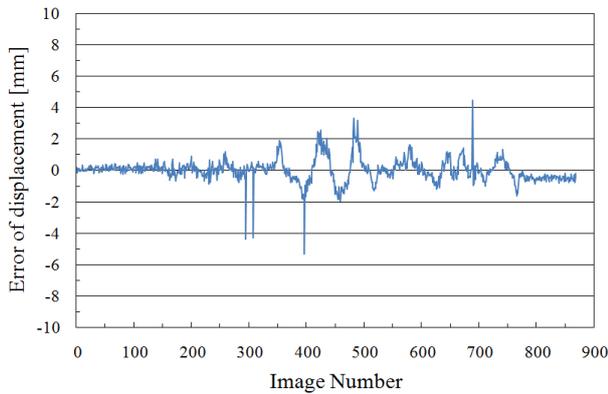


Fig. 11 Measurement error : displacement [mm]

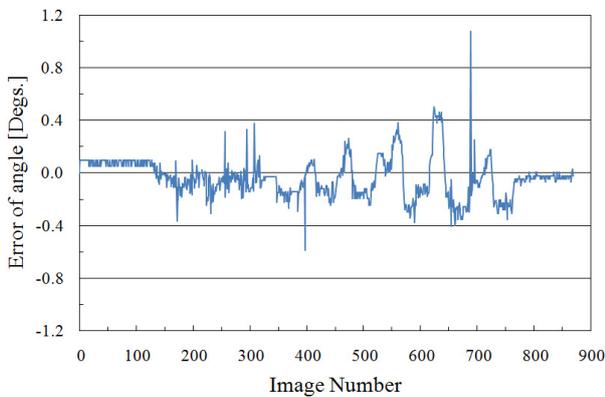


Fig. 12 Measurement error : angle [deg]

5. 결론

본 논문에서는 RTGC의 자동화시스템구축을 위해 제안된 가이드라인 계측시스템의 실험적 평가를 수행하였다. 즉, 주행궤도에 따라 도장된 가이드라인에 대한 RTGC의 변위와 비틀림각도를 계측하는 방법에 대해 연구하였다. 두 대의 카메라로 전·후 각각의 가이드라인 에지중심을 계측하고, 그것으로부터 크레인 이 가이드라인으로부터 벗어나는 변위와 각도를

계측하는 방법을 실험적으로 평가하였다. 카메라로 가이드라인을 검출할 경우에는 열악한 외부환경도 충분히 고려해야 하므로, 본 논문에서는 이러한 조건 하에서도 강인하게 대처할 수 있는 계측기법에 대해서도 고찰하였다. 계측된 변위와 각도오차는 계측시스템구축 및 운용에 필요한 정밀도를 충분히 만족시키는 수준이었다. 본 연구결과는 기존의 계측기법이 갖는 기술적 한계를 극복할 수 있는 계측기법이며, 제안된 계측시스템은 RTGC 자동화를 위한 주행제어시스템구축에 유용하게 이용될 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. T. Chikura, M. Yamamoto, T. Monzen, T. Taguchi, and K. Utida, 2005, "Auto steering control of a transfer crane", Trans. of the JSME(C), Vol. 71, No. 705, pp. 1591-1596.(in Japanese)
2. K. Obata, T. Sakamoto, N. Yoshioka, N. Fujisawa, H. Yoshikawa, and T. Monzen, 2010, "Grid-powered electric transfer crane", Mitsubishi Heavy Industries Technical Review, Vol. 47, No. 2, pp. 15-18.
3. D. Kim and R. B. Langley, 2003, "On ultrahigh-precision GPS positioning and navigation", Journal of the Institute of Navigation, Vol. 50, No. 2, pp. 103-116.
4. K. Yasunaga, N. Watanabe, K. Tanouchi, M. Nishioka and S. Nagashima, 2000, "Auto steering system for transfer crane", Mitsubishi Heavy Industries Technical Review, Vol. 37, No.5, pp. 298-301.(in Japanese)
5. Mitsubshhi Heavy Industry, 2007, "Remote Control Automated Transfer Crane", MHI Technical Review, Vol. 44, No. 2, p.21.
6. 정지현, 카와이 히데키, 김영복, 장지성, 배헌민, 2011, "RTGC 주행제어를 위한 카메라 기반 가이드라인 위치계측시스템 개발", 한국동력기계공학 회지, 제15권, 제1호, pp. 72-77.
7. R. C. Gonzales and R. E. Woods, 2001, "Digital image processing second edition", Prentice Hall, pp. 134-137.
8. R. C. Gonzales and R. E. Woods, 2001, "Digital image processing second edition", Prentice Hall, pp. 587-591.