

영상처리기법을 이용한 자율주행시스템 개발

조지운* · 박성원*

Development of Automatic Steering System using Image Processing Technique

Chi Woon Cho · Sung Won Park

〈Abstract〉

Material handling equipment such as container cranes and transtainer cranes have been made larger and faster to improve the efficiency of container handling. As conditions of use in container terminal have become severe, and also the automation level required has become higher. For the high level automation for transtainer crane, the following characteristics have to be developed :

- 1) Container Terminal Operation & Planning System with high efficiency.
- 2) Autosteering System of transtainer crane with precise position sensing system using image processing and feedback control system.
- 3) Automatic Container Handling System with precise position control, precise anti-sway control, and container stacking guide.
- 4) Automatic Position Identification System with transponder

We have developed an AGSS(Automatic Gantry Steering System) of transtainer crane with image processing technology preferentially. In this paper, the system will be introduced.

1. 서론

최근 국제간의 컨테이너 물동량이 급격히 증가하고 있으며 항만의 국제 경쟁력 강화의 필요성이 강하게 대두되고 있다. 항만은 국제간 수출입 화물을 처리하는 물류시스템의 중요한 한 분야이며, 특히 복합 일관운송이 요구되는 컨테이너 운송에 있어 해상운송과 육상운송을 연결하는 기능을 담당한다. 이와 함께 항만간의 영업 경쟁이 날로 치열해지고 있는 요즘, 결국 특정 항만의 경쟁력은 항만 운영에 필요한 충분한 설비와 효율적인 운영 시스템에 의해 결정된다고 할

수 있으며, 특히 주요한 항만 물류 장비인 크레인의 기능 향상 및 효율적인 관리는 전체 항만 물류의 원활한 흐름을 위해 필수적이다. 컨테이너 터미날의 운영 효율화 및 무인화를 위해 터미날의 장치장에서 컨테이너를 처리(Handling)하는 트랜스테이너 크레인의 고기능화에 대한 관련 연구가 활발히 진행되고 있다. 트랜스테이너 크레인의 고기능화를 위한 연구로는 자동 위치 확인 시스템(APIIS, Automatic Position Identification System), 컨테이너 No. 자동 인식 시스템, 컨테이너 터미날 운영 정보 처리시스템(Terminal Operation and Planning System), 그리고 본 자율 주행 시스템

* 현대중공업 산업기술연구소 자동화연구실

(AGSS, Automatic Gantry Steering System) 등이 있다. 본 연구 개발을 통해 독자적인 트랜스테인너 크레인의 자율 주행 시스템을 개발하였으며 향후 트랜스테인너 크레인의 고기능화 및 무인 운영을 위한 관련 연구를 지속적으로 수행코자 한다. 현재 자율 주행 시스템과 관련된 국내의 기술 수준은 외국의 경우 MHI(일본)[2][4], MES(일본), AEG(독일) 등에서 Optical System, Gyro-Tas, Transponder, Laser 방식 등을 이용하여 자율 주행 시스템을 개발하였으나 옥외(Outdoors)라는 열악한 작업 여건으로 인해 원활한 주행이 이루어지지 못하여 안정적인 실적용에 다소 어려움이 있으며, 국내의 경우는 상용 자동차용으로 자율 고속 주행 시스템을 개발 성공적으로 테스트하였으나 트랜스테인너 크레인의 분야에서는 연구가 아직 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 MHI사의 Optical System 방식과 유사한 영상인식 및 처리기법을 응용하였는데 영상정보를 입력받기 위해 MHI사는 1대의 카메라를 이용함으로써 카메라의 오류 발생시 이에 대응하기 위한 추가적인 시스템(Gyroscope)이 필요한데 비해, 당사는 트랜스테인너 크레인의 전후 방향에 각각 1대씩의 카메라를 설치하여 동시에 두 영상정보를 이용함으로써 특정 카메라의 오동작에 대처할 수 있도록 유연성을 고려하였다. 또한, 옥외작업 여건으로 인해 입력받은 영상정보에 포함될 수 있는 장애 요소들을 고려하여 특정 시점에서의 크레인의 변위값을 구한 후, 이를 이용하여 PLC에 전달되는 제어값을 계산해 내는 영상 처리 모듈을 개발하였다. 더불어 영상시스템의 오류, 즉 오동작이나 동작 중지 등의 발생에 대비해 오류 발생 시점의 크레인 위치를 예측하는 예측 제어 모듈과 트랜스테인너 크레인의 운동 특성까지를 고려한 시스템 제어 모듈 등을 추가로 개발하였다.

2. 트랜스테인너 크레인의 특성

컨테이너 터미널의 장치장내에 설치된 컨테이너 처리(Handling)용 크레인을 트랜스테인너 크레인(Trans-tainer Crane)이라고 한다. 간혹 이 크레인은 Travel Crane, Yard Gantry Crane, 혹은 Transfer Crane이라고 불린다. 일반적으로 트랜스테인너 크레인은 1개의 블

록(Block)에 6열 4단까지 컨테이너를 적재한다. 트랜스테인너의 구동 바퀴는 크게 두가지 형태가 있는데, 전후 직진 이동뿐만 아니라 회전도 가능한 Rubber Tire Type과 미리 정해진 Rail 궤도를 주행하는 Rail Guided Tire Type이다. 본 연구를 통해 유연성과 적용성에서 다소 앞서는 Rubber Tire Type의 트랜스테인너 크레인의 보다 안정된 전후 직진 주행을 제어하는 자율주행시스템을 개발하였다.

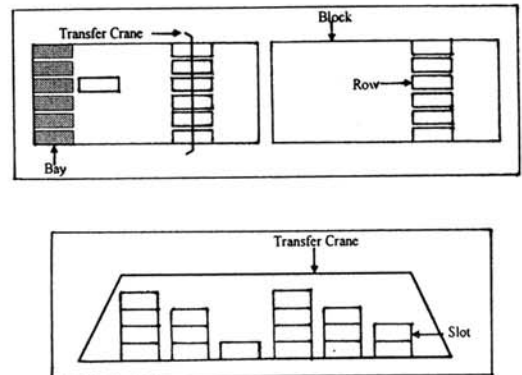


Fig. 1 블록과 트랜스테인너 크레인의 배치

Fig. 1은 장치장의 한 블록과 트랜스테인너 크레인의 배치를 보여준다. 컨테이너 터미널에서의 컨테이너의 흐름을 간략히 소개하면 다음과 같다. 항만의 선석(Berth)에 도착한 컨테이너 선박으로부터 컨테이너 크레인에 의해 양하(Unloading)되어진 컨테이너는 Yard Tractor, Chassis, 혹은 Straddle Carrier에 의해 장치장에 옮겨지며 트랜스테인너 크레인이 컨테이너를 특정한 블록(Block)에 장치한다. 일정시간 장치되어진 컨테이너는 반출차량에 의해 다음 목적지로 운송된다. 반입되어 수출되는 컨테이너의 경우는 위와 반대의 흐름에 의해 수출 선박에 적하(Loading)되어진다.

3. 연구 개발의 내용

3.1 영상 처리 모듈

본 자율 주행 시스템은 크게 Sensor Unit, Control Unit, PLC, 그리고 Monitor 등으로 구성되어 있다. 전

체 시스템의 구성도는 Fig. 2에서 설명하고 있다.

1) Sensor Unit

- CCD BLACK/WHITE Camera : 1/2"
- Auto IRIS Lens : f=12mm
- Camera Housing

2) Control Unit

- CPU (486dx4-100)
- Frame Grabber Board
- Analog Signal Out Unit
- Digital Signal Out Unit
- RAM/ROM Drive
- Case & Power Unit

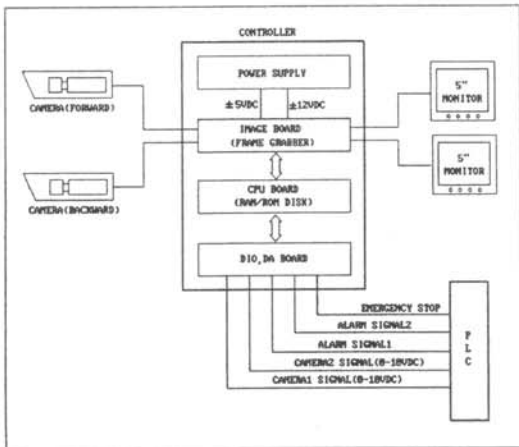


Fig. 2 System Diagram

시스템의 전체 개요는 다음과 같다. 1.5cm의 검정색 Line을 트랜스테인너 크레인의 주행 경로를 따라 표시하고 두 대의 카메라를 트랜스테인너 크레인의 구동축에 설치하여 이미지 정보가 2대의 모니터와 Image Processing Board에 전달되게 하고, 트랜스테인너 크레인의 주행시 카메라로부터의 이미지 정보를 분석하여 현재 Line의 위치를 찾아 지속적으로 Line이 모니터상의 센터(Center)로부터 ±100mm 범위내에 위치토록 PLC가 구동Motor를 제어케 함으로써 트랜스테인너 크레인의 안정된 직진 주행을 유도한다. 본

자율 주행 시스템은 크게 3개의 Sub Module로 구성되어 있는데 카메라로부터 전달된 영상의 밝기를 특성화한 Grape를 분석하여 현 모니터상의 Line의 위치를 계산하는 즉 카메라 영상을 처리하는 영상 처리 (Image Processing) 모듈, 두 대의 카메라 영상중 어느 하나가 Fault 일때 이전의 이미지값으로부터 현재의 크레인의 위치를 계산하는 예측 제어 모듈, 그리고 질량 중심점(무게)의 변화와 관련된 요소들을 고려한 시스템 제어 모듈 등이며 Main Logic은 Fig. 3과 같다.

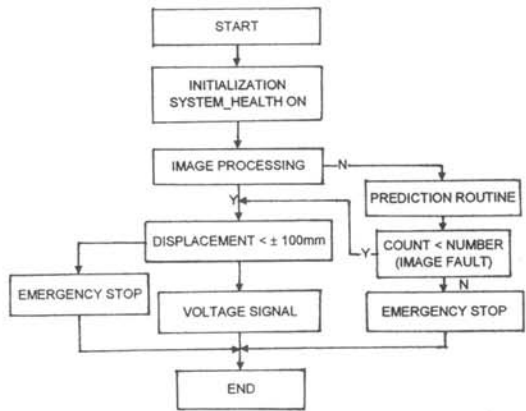


Fig. 3 Main Logic

본 영상 처리 알고리즘은 전(全)라인 스캔, 부분라인 스캔, 부분 전(全)라인 스캔으로 구성되어 있다. 전 라인 스캔은 카메라로부터 전달된 모니터 영상의 전체 영역을 일정한 채널 간격으로 구분하여 일정 채널 간격별 평균 밝기를 구하고 이를 Graph화 하고 분석하여 라인을 찾는 루틴이며, 더불어 영상처리 알고리즘에 의해 현재 Line이 모니터상의 센터로부터 ± 100mm 범위내에 위치토록 구동 모터를 제어하기 위해 PLC에 전달할 전압값을 계산해 준다. 부분라인 스캔은 구해진 이전 라인 위치로부터 일정범위 안에서 일정 채널 간격의 밝기 특성 Graph를 분석하여 라인의 위치를 찾는 방법이다. 프로그램이 시작되면 전라인 스캔을 통하여 라인의 위치를 찾는다. 그 다음부터는 구해진 라인의 위치를 기준으로 부분라인 스캔이 실행된다. 현재 부분라인 스캔에서 구해진 Line과 이전 라인의 변화가 일정값을 초과하면 부분라인 스

캔 실패가 되어 부분 전라인 스캔을 실행한다. 부분 전라인 스캔은 부분라인 스캔보다 넓은 범위에서 라인을 찾는 루틴이며 이를 통해 라인을 성공적으로 찾으면 부분라인 스캔으로 돌아간다. 그러나 부분전라인 스캔 실패시 Image Fault 신호를 출력하고 전라인 스캔을 실행한다. Fig. 4는 영상 처리 Main Routine이다.

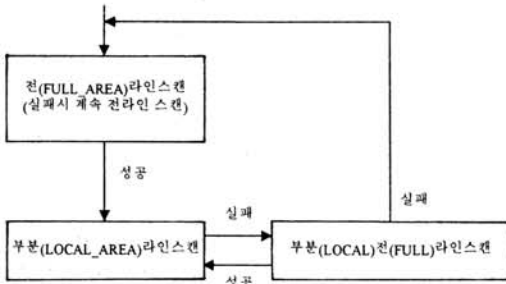


Fig. 4 Main Routine

카메라로부터 받은 영상 이미지, 일정 채널 밝기 특성 그래프, 그리고 영상처리 알고리즘에 의해 처리되어진 결과값 등 영상 처리(Image Processing) 모듈을 이용한 트랜스테이너 크레인의 제어를 위한 일련의 처리과정은 Fig. 5, Fig. 6, Fig 7순이다.

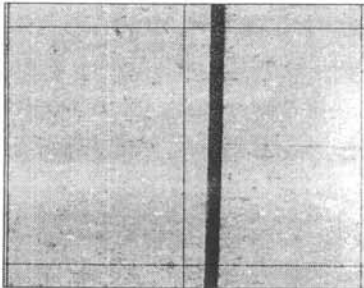


Fig. 5 카메라의 영상 이미지

Fig. 5는 컨테이너 터미날의 장치장에 표시된 크레인의 주행경로선에 대한 영상 정보를 나타낸 것이며, 중앙에 수직으로 얇게 표시된 선이 크레인의 변위값을 산출하는데 이용되는 기준선이다.

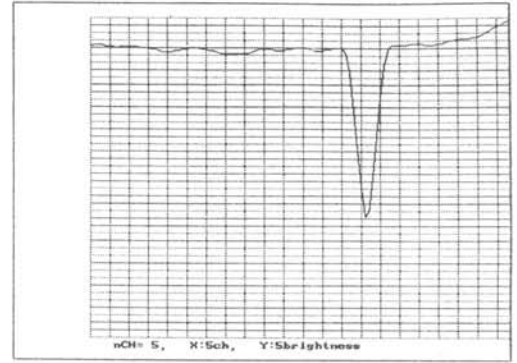


Fig. 6 밝기 특성 그래프

Fig. 6은 Fig. 5의 이미지를 일정 채널 간격으로 나누어 분석하는 Area Scan 방식을 이용하여 생성된 밝기 특성 그래프를 나타낸 것이며, x축은 일정 간격의 채널 구간, y축은 밝기를 각각 나타낸다. 그림에서 뾰족한 부분이 라인의 중심으로 인식 되며, 이는 크레인의 주행 경로선이 검정색으로 칠해져 있으므로 주위 배경의 밝기값보다 그 값이 작기 때문이다.

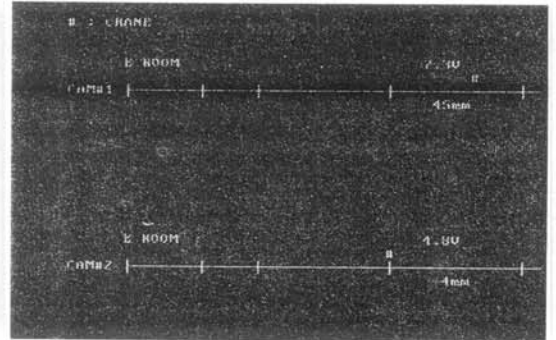


Fig. 7 PLC로 전달되는 제어값

Fig. 7은 두 카메라의 영상정보와 밝기 특성 그래프로부터 구해진 크레인의 변위값과 이를 보정하기 위해 PLC에 전달하는 제어값을 표시하는 것이다. 그림에서 45mm, -4mm는 변위값을 나타내며, 11.3V, 4.8V는 PLC에 전달되는 제어값을 각각 나타낸다.

더불어 카메라로부터 안정적인 Image Data를 받아들이기 위해 본 영상 처리 모듈외에 다음과 같은 추가 조치로 영상 장애 요소를 제거하였다.

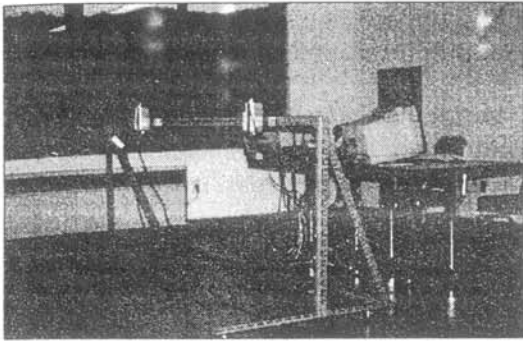


Fig. 8 실험실 전경

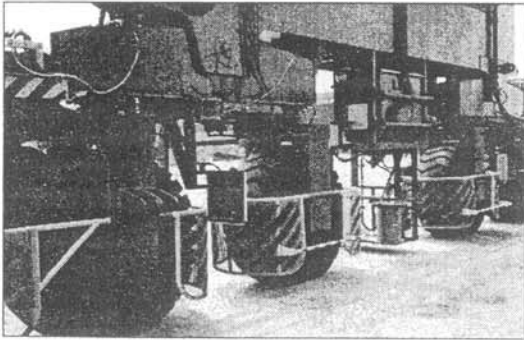


Fig. 9 실적용되어진 자율 주행 시스템

여 그림자의 방해 요소를 프로그램상의 소프트웨어 필터링을 통하여 배제하였고, 소프트웨어 필터링을 통하여도 구분하기 어려운 상황이 간혹 발생하므로 그림자의 형상이 Line 식별에 영향을 끼치지 않는 근본적인 하드웨어적인 보완도 강구하여 항상 일정한 그림자가 형성되어 수시로 변화되는 타 그림자의 영상이 Line을 식별하는데 영향을 미치지 않도록 하였다.

*** 반사**

우천시 지표면상의 물기에 의한 반사나 강렬한 태양에 의한 지표면의 반사로 인하여 카메라가 정확한 영상을 취득할 수 없는 경우는 원천적으로 영상이 취득되지 않는 관계로 Image Processing을 통한 분석이 불가능하다. 하드웨어적인 보장을 통하여 반사를 극소화시키기 위해 그림자 차단용 차단막을 설치하여 강한 빛의 유입을 막고 반사를 최소화시킬 수 있도록 고려하였다. 이와같은 하드웨어적인 보강에도 불구하고 발생할 수 있는 반사에 의한 영상취득의 장애는 크레인의 운동 특성을 분석하고 운동의 궤도를 추적하여 Line의 변위를 예측하는 별도의 알고리즘을 구축하여 원활한 운전이 가능토록 보완하였다. 이에 대한 내용은 뒤에서 설명될 예측제어 모듈에서 자세히 다루어질 것이다.

3.2 시스템 제어 모듈

1) 운동학적 모델링

Fig. 10은 트랜스테이너 크레인을 위에서 내려다 본 개념도이다.

그림에서 (x, y) 는 고정된 좌표계 $\{X, Y\}$ 에 대한 트랜스테이너 크레인의 무게중심에 설정된 좌표계 $\{x, y\}$ 의 원점을 나타내며, 또한 크레인의 방향을 나타내는 θ 와 함께 크레인의 평면 운동을 묘사하기 위한 변수들이고, θ_i 는 구동바퀴 i 의 구동축에 대한 바퀴의 회전 각도를 나타낸다. 동력학적 모델링시 필요한 외력들은 바닥과 구동 바퀴 i 사이에서 작용하는 마찰력의 두 성분들 F_{i1} 과 F_{i2} , ($i=1, 2$)이며, 나머지 바퀴들의 마찰력은 모델링의 단순화를 위해 고려하지 않았다. 주목할 것은 그림에서 표현되지는 않았지만, 트롤리의 움

*** Line상의 이물질**

Line Scan 방식을 탈피하고 Area Scan 방식을 도입하여 부분적인 장애요소를 극소화시켰다. 이는 Area Scan 방식이 국부에 위치한 이물질에 대한 영상 정보를 전체적으로 퍼지게 하는 효과를 갖기 때문이다.

*** 명암의 변화**

자동노출보정렌즈(Auto IRIS Lens)를 채택하여 주변의 빛의 밝기의 변화에 따라 자동으로 최적의 영상을 취득토록 하였다.

*** 그림자**

Line 및 그림자가 갖는 명암의 비교만으로는 구분이 곤란하므로 각각의 명암값을 Graph화 하여 Line만이 갖는 특성을 분석/식별하고 Line의 변위를 추적하

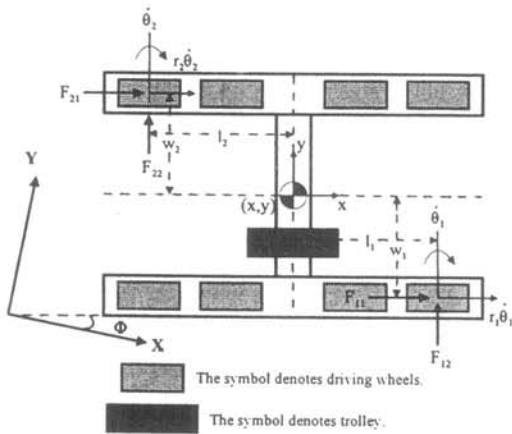


Fig. 10 개념도 1 (Top View)

직임으로 인하여 무게 중심점에 대한 구동 바퀴의 반경이 변한다는 사실이다.

운동학적 해석[6]을 위하여 우선적으로 고려되어야 할 것은 라그랑지안(Lagrangian)변수의 선정 문제와 트랜스레이너 크레인의 구조 특성상 주어지는 운동학적 구속 조건이다. 라그랑지안 변수들로는 트랜스레이너 크레인의 평면상에서의 위치와 방향을 나타내기 위한 3개의 변수 x, y, ϕ 와 두 개의 구동 바퀴의 구동 각도 θ_1, θ_2 를 선정하면, 이 시스템은 5개의 라그랑지안 변수를 갖게 된다. 이들 5개의 라그랑지안 변수들은 크레인의 구동 바퀴의 반경을 r_i 이라 하면 식(1)-(4)와 같은 4개의 독립적인 미분형의 운동학적 구속 조건을 얻을 수 있다.

$$\dot{x} = r_1 \dot{\theta}_1 \cos(\phi + \phi_1) - w_1 \dot{\phi} \cos \phi + l_1 \dot{\phi} \sin \phi \quad (1)$$

$$\dot{y} = r_1 \dot{\theta}_1 \sin(\phi + \phi_1) - w_1 \dot{\phi} \sin \phi + l_1 \dot{\phi} \cos \phi \quad (2)$$

$$\dot{x} = r_2 \dot{\theta}_2 \cos(\phi + \phi_2) + w_2 \dot{\phi} \cos \phi + l_2 \dot{\phi} \sin \phi \quad (3)$$

$$\dot{y} = r_2 \dot{\theta}_2 \sin(\phi + \phi_2) + w_2 \dot{\phi} \sin \phi + l_2 \dot{\phi} \cos \phi \quad (4)$$

여기서, ϕ_i 는 Fig. 10에 나타내지는 않았지만 시스템의 비선형 특성에 의해 발생하는 조향각도를 나타낸다. 위 식이 서로 독립적임은 크레인의 주행 자유도가 1이 되고 5개의 라그랑지안 변수들중 한 개만 독립적으로 변화할 수 있고 나머지 변수들은 정해진 독립변수에 종속적인 변화로써 나타낼 수 있다.

2) 동역학적 모델링

Fig. 11은 트랜스레이너 크레인을 앞에서 본 것을 개념적으로 표현한 것이다.

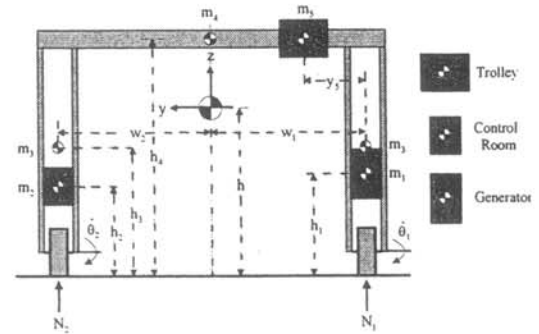


Fig. 11 개념도 2 (Front View)

트랜스레이너 크레인이 빠른 운동을 할 경우에는 구동 바퀴와 바닥과의 미끄러짐 현상을 동역학적 모델링[5][6]을 통하여 관찰하여야 하며, 특히 무게중심의 바닥으로부터 수직 높이와 바닥과 바퀴들 사이의 수직 반력들이 고려되어야 한다. Fig. 11에서 크레인에 고정된 좌표계 $\{y, z\}$ 가 무게중심에 위치하여 중앙에 표시되었으며, 시스템의 대표적인 질량을 6개 나누었다. 여기서 m_3 는 양쪽에 같은 양이라고 가정한다. 주목할 것은 m_3 는 트롤리를 나타내며, 그의 변위인 y , 의 변화에 따라, 크레인 전체의 무게중심은 종속적으로 변하기 때문에 이에 대한 관찰이 필수적으로 이루어져야 한다. 따라서 크레인 무게중심의 변위는 식(5)에 의하여 구할 수 있다.

$$m r = \sum m_i r_i, \quad i = 1, \dots, 6 \quad (5)$$

여기서 m 은 전체 질량이며, m_i 는 각 부분의 질량이다. Fig. 10과 Fig. 11로부터 외력과 모멘트의 합은 식(6)-(8)로 표현된다.

$$F_{11} \cos(\phi + \phi_1) - F_{12} \sin(\phi + \phi_1) + F_{21} \cos(\phi + \phi_2) - F_{22} \sin(\phi + \phi_2) = m \ddot{x} \quad (6)$$

$$F_{11} \sin(\phi + \phi_1) + F_{12} \cos(\phi + \phi_1) + F_{21} \sin(\phi + \phi_2) + F_{22} \cos(\phi + \phi_2) = m \ddot{y} \quad (7)$$

$$I_1 F_{12} + w_1 F_{11} - I_2 F_{22} - w_2 F_{21} + I_{zz} \ddot{\phi} = 0 \tag{5}$$

위 식으로는 수직반력인 $N_{1과} N_2$ 의 변화는 무리한 구동으로 미끄러짐이 발생하는 것을 관찰할 수 있을 뿐만 아니라, 구동 바퀴의 반경의 변화와도 연관이 있다. 이는 정적인 힘의 변화를 고려하여 식(9)-(10)으로 표현할 수 있다.

$$N_1 = k(\Delta h - w_1 \Delta \theta) \tag{9}$$

$$N_2 = k(\Delta h + w_2 \Delta \theta) \tag{10}$$

여기서, Δh 는 z축의 상하방향의 변위의 변화를 나타낸 것이고, $\Delta \theta$ 는 x축을 중심으로 회전량의 변화를 나타낸다. 주목할 것은 y축을 중심으로 회전량의 변화로 실제적으로 이루어지나 미소량이므로 변수를 선정하지 않아 모델링을 단순화한다는 사실이다.

3) 시스템 제어

운동학적 모델링에서 생성된 식(1)-(4)에서 비선형 특성에 해당하는 조향각은 고려하지 않을 경우, 트랜스태이너 크레인은 두가지의 주목할만한 특성을 갖게 된다. 먼저 크레인의 주행 방향을 나타내는 ϕ 는 시스템 구성 특성에 따라 그 방향이 변하지 않는다는 것이다. 그리고 크레인의 주행에 관련된 두 모터의 회전비는 바퀴의 반경의 역으로 작용한다. 이는 실제 시스템의 직선 주행은 이론적으로는 서보(Servo)의 문제만으로 국한되며, 한 개의 모터에서 서보 제어를 정확히 할 경우에는 직선 주행에 문제는 발생하지 않는다. 그러나 실제 시스템은 비선형 특성 때문에 방향이 직선에 대해 뒤틀리며, 이에 대한 제어가 필히 이루어져야 한다. 이 시스템은 주행에 관해 1 자유도 운동을 하므로 방향에 대한 정보를 모터에 부착된 엔코드로는 알 수 없다. 이를 보완하기 위해 카메라를 부착하여 이미지 정보로부터 방향에 대한 정보를 생성해 낼 수 있다. 이 정보를 현재의 시스템에서 얻어지는 입출력 방정식에 삽입하여 양측 모터에서 내야할 각속도와 토크를 생성하는데 필히 참고하여야 한다. 이는 시스템의 비선형 특성에 대응할 수 있는 한 방법으로 채택하였다. 주목할 것은 트롤리의 위치 변화

에 기인한 무게중심점의 변화가 시스템 변수들을 변화시킨다는 것이다. 이 시스템 변수는 제어시에 각속도 및 토크를 생성하는데 이용되어지므로, 이에 대한 모니터링이 이루어져야 한다. 모터의 각속도는 트롤리 위치의 변화에 따라 달라지는 바퀴의 반경에 영향을 많이 받으며, 이는 수직 반력 크기의 변화를 관찰하여 얻어질 수 있다. 또한 토크는 운동학 수준에서의 정보들과 질량중심점의 변화에 많은 영향을 받는다. 결국 이 시스템은 모터의 제어에 이용되는 두 가지 물리량인 각속도와 토크를 매순간 적절히 제어함으로써 직진성을 보유할 수 있다.

3.3 예측제어 모듈

앞에서 언급했듯이 트랜스태이너 크레인의 주행 방향은 처음에 놓인 상태에서 변하지 않게 되어 있으나, 실제 운행시에는 시스템의 비선형 특성 때문에 주행 방향이 틀어진다. 이를 시스템에 반영하기 위해서는 외부의 카메라에 의한 이미지 정보를 판독하여, 편차와 편차각을 구한 후 이를 제어시 활용하는 것이다. 카메라 각각에 대한 이미지 정보를 통해 아래 Fig. 12와 같이 편차가 주어지면, 크레인의 편차각은 아래의 과정을 통해 구할 수 있다.

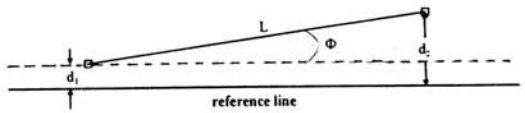


Fig. 12 편차와 편차각

Fig. 12에서 d_1 과 d_2 는 카메라 이미지로부터 얻어진 편차이며, L 은 두 카메라 사이의 거리이다. 카메라 이미지 정보인 d_1 과 d_2 를 동일한 시간에 얻을 수 있다면, 크레인의 방향을 나타내는 ϕ 는 식(11)로 구해질 수 있다.

$$\phi = \tan^{-1} \frac{d_2 - d_1}{\sqrt{L^2 - (d_2 - d_1)^2}} \tag{11}$$

만약 $d_2 - d_1 \ll L$ 이면 위식은 식(12)로 단순화할 수 있다.

$$\phi = \tan^{-1} \frac{d_2 - d_1}{L} \tag{12}$$

만약, 이미지 정보가 동일 시간에 얻어지지 않으면 시간차에 의한 편차 정보의 보정이 필요하다. 즉, 카메라의 이미지 정보가 서로 번갈아 가면서 얻어지는 경우는 보정이 필수적으로 이루어져야 한다. 예를 들어 현재 얻어진 정보가 d_1 이라면 d_2 는 이전 정보이며, 이의 보정이 필요하다.

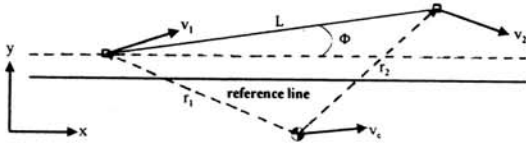


Fig. 13 두 점의 무게중심에 대한 상대 속도

보정을 하기 전에 먼저, Fig. 13과 같이 중심점의 속도 v_c 에 대한 카메라의 설치점에 대한 속도를 표현은 식(13)-(14)로 표현된다.

$$v_1 = v_c + \dot{\phi} \times r_1 \tag{13}$$

$$v_2 = v_c + \dot{\phi} \times r_2 \tag{14}$$

여기서,

$$v_c = \dot{x}i + \dot{y}j, r_1 = -l_1i + w_1j,$$

$r_2 = l_2i + w_2j, \dot{\phi} = \dot{\phi}k$ 라고 하면, 속도 v_1, v_2 는 식(15)-(16)으로 각각 구해진다.

$$v_1 = (\dot{x} - w_1\dot{\phi})i + (\dot{y} - l_1\dot{\phi})j \tag{15}$$

$$v_2 = (\dot{x} - w_2\dot{\phi})i + (\dot{y} + l_2\dot{\phi})j \tag{16}$$

만약 $w_1 \approx w_2$ 이고 $l_1 \approx l_2$ 라면, 속도 v_1, v_2 는 x 방향의 성분은 같으며, y 방향의 성분은 중심점의 y 방향의 속도에 대해 같은 양이 반대 방향으로 작용함을 볼 수 있다. 이 물리적 현상으로부터 편차량은 서로 반대로 작용함을 볼 수 있다.

편차의 보정은 정보의 생성 시각에 의존적이다. 예를 들어서 Fig. 14에서 화살표 지점에서의 편차각의 생성은 R_4 를 F_5 와 비교하여야 하나, 실제적으로 R_4 가

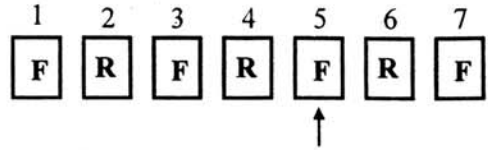


Fig.14 이미지 데이터 생성 및 보정

생성된 시점과 F_5 가 생성된 시점은 다르다. F_5 가 생성될 시각에서 R_4 는 크레인의 물리적인 특성에 따라 $(F_5 - F_3)/2$ 를 빼주어야 하며, 이는 전륜과 후륜의 y 성분의 방향이 반대이기 때문이다. 이는 시스템의 비선형 성분을 고려하지 않은 경우이기는 하지만, 예를 들어 한 카메라가 자체 FAULT로 인하여 이미지 정보를 생성하지 못할 경우에는 이를 적용하여 카메라가 이미지 정보를 정상적으로 보낼 때까지 크레인의 운영을 할 수 있는 정보를 생성할 수 있게 된다. 이 알고리즘의 특성에 따라 예측 제어 알고리즘이라고 불리워질 수 있을 것이다. Fig. 15는 예측 제어 알고리즘의 실행 화면이다.

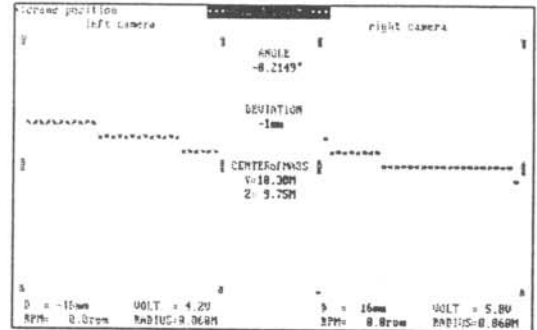


Fig. 15 예측 제어 알고리즘 실행 화면

4. 결론

원활한 항만 물류 운영을 위해 주요 물류 장비인 크레인의 기능 최적화 및 효율적인 운영은 매우 중요한 부분이다. 특히 최근 관련 연구가 진행되고 있거나 일부 개발되어진 트랜스태이너 크레인의 직진 보행을 위한 자율 주행 시스템은 옥외(Outdoors)라는 작업 환경으로 인해 발생하는 여러 가지 문제점들로 안정적

인 실적용에 다소 어려움이 있으므로, 본 연구를 통해 예측제어가 가능하고 노면상태 및 빛의 산란 등에 유연하게 대처할 수 있는 자율 주행 시스템을 개발하였다. 더불어 향후 연구과제로 트랜스레이너 크레인의 무인화 운영을 위해서 본 자율 주행 시스템외에 컨테이너 터미널의 효율적인 운영 시스템, 크레인의 자동 위치 확인 시스템, 컨테이너 No. 자동 인식 시스템 등의 관련 연구들을 연관성을 갖고 지속적으로 추진코자 한다.

【참 고 문 헌】

[1] Yuji Kosaka, et al., "Development of Automatic Operation System of Transfer Crane", MHI Tech. Review, Vol 32, No 2, pp 66-70, 1995

[2] Hiromitsu Hoshina, et al., "Development and Application of Image Processing Technique for Cranes", MHI Tech. Review, Vol 32, No 2, pp 54-60, 1995

[3] Yoshiaki Okubo, "On-Ground Operation System of Container Cranes", MHI Tech. Review, Vol 33, No 2, pp 56-60, 1996

[4] "Position Detection of Object Hanging from a Crane by Image-Processing Method", 일본기계학회논문집

(C편), 60권 569호, pp 198-203, 1994

[5] Kane T.R., Dynamics, 2th edition, 1972

[6] Rosenberg, R.M., Analytical Dynamic of Discrete Systems, Chap. 14, 1977

[7] Cho, W., "Development of a Dynamic Modeling Technique and its Application to the Analysis and Control of a High Precision Robotic Manipulator", Ph. D., 1989



조지운

울산대학교 산업공학과 학사, University of Missouri-Columbia 석사, 현대중공업(주) 산업기술연구소 연구원. 관심분야는 물류자동화, CAD/CAM, Manufacturing Design 및 Analysis임.



박성원

광운대학교 제어계측공학과 학사, 광운대학교 제어계측공학과 석사, 현대중공업(주) 산업기술연구소 연구원. 관심분야는 Dynamics, Nonlinear Control, Wheeled Mobil Robot, Biped Robot임.

97년 2월 최초 접수, 97년 5월 최종 수정