

창고 CRANE 무인화 시스템 개발 및 적용

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF UNMANNED CRANE SYSTEM IN THE WAREHOUSE

박 남 수, 김 태 진

포항제철소 설비기술부 냉연제어팀(Tel: 220-0347; Fax: 220-6000; E-mail: pc257666@smail.posco.co.kr)

Abstracts Automatic control systems for warehouse composed of unmanned crane system and vision system. Unmanned crane system is introduced to reject oscillations of a load suspended from a trolley at a moment of its arrival at its target position. And vision system is applied to find out the coordinates of coils on trucks using image processing.

Keyword Crane, Antiswing, Vision, Warehouse, automation

표2 운반기기 사양

Table 2. The specification of cranes

속도: 주행·횡행·hoist

설비명	수 량	속 도(m/분)	정격하중	비 고
창고 crane	3	80*80*20	30 톤	제품 출하용
대 차	2	70*30	30 톤	부두 이송용
선적 crane	1	80*20*20	30 톤	제품 선적용

1. 서 론

포항제철소 전천후 부두 및 임항창고 시스템은 '92년 11월에 Crane One-Man Control에 의한 자동화 시스템을 가동하였고, 이를 보완 '94년 12월에 Crane 완전 무인 운전을 실현하여 적용 되고 있다.

제철소의 Crane 무인화는 다른 제조업이나 유통업과 마찬가지로 인력절감과 물류 비용 절감을 통한 기업 경쟁력 제고를 위해 반드시 해결해야 할 과제로 급부상 되었고, 최근 첨단 Sensor 기술의 비약적인 발전과 새로운 제어 기능의 개발에 힘입어 각국의 제철소에서는 무인 Crane으로 대표되는 창고 자동화에 주력해왔으며 몇몇 제철소에서는 실제로 무인화 창고 System의 개발에 성공한 사례가 발표되고 있다. 그러나 선진국의 기술 보호 장벽으로 개발된 기술의 공개는 철저하게 차단되고 심지어 가동 현장의 견학 조차 기피하고 있는 실정이다.

이에 포항제철소에서는 순수 국내 기술에 의한 독자적인 Crane 무인화 기술을 개발하여 현장에 적용하게 되었다.

2. 설비사양 및 물류현황

2.1 설비 사양

취급품목 : 외경(직경)관리가 가능한 coil류로 일본 지역 수출용 제품
일일처리량 : 창고 Crane 3,000톤/대 * 3 = 9,000톤
부두 Crane 3,000톤

표 1 창고 규모 및 저장 능력
Table 1. The capacity of warehouse

연 장	건물고	폭	면 적(㎡)			저장능력 (톤)
			총면적	손실면적	유효면적	
105 m	16 m	70 m	7,350	2,796	4,554	15,000

2.2 물류 현황

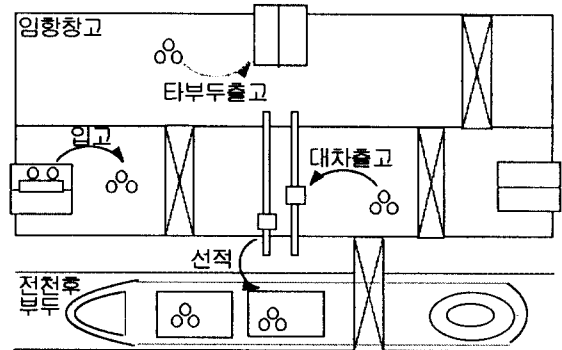


그림 1. 창고 Layout 및 물류 흐름

Fig. 1. The layout of warehouse and material flow

입고 : 공장 또는 타 창고로 부터 임항창고로 이송하는 작업
타부두 출고 : 임항창고에서 타부두로 선적하기 위한 이송
대차출고 : 창고내에서 전천후 부두 선적을 위해 대차에 상차
선적 : 대차상 제품을 배에 선적하는 작업

상기 작업 물류외에도 창고내 이적작업등이 있으며 전천후부두 선적 작업외에는 모두 무인 Crane 및 대차에 의해 전 자동으로 이루어 지고 있다.

3. 창고 자동화 시스템

3.1 자동화 시스템 구성 및 주요 사양

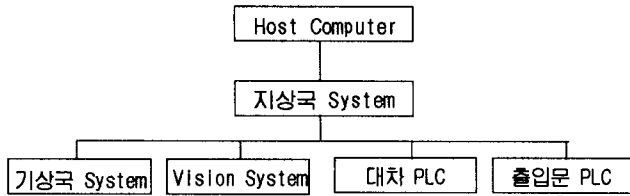


그림 2. 시스템 구성도
Fig. 2. System Configuration

표 3 구성 System의 주요 사양
Table 3. System Specifications

구분	기종	수량	비고
Host Computer	FACOM M780	1	-제철소 물류 관리 -작업 Scheduling
지 상 국	VAX4000-400 -200	2	-Crane 작업제어 및 실적 관리 -하위 설비 제어
기 상 국	PEP	4	-Crane 무인제어 -흔들림 방지
Vision System	산업용 P/C	1	-차량위 Coil 인식 및 좌표 계산
대차 PLC	MELSEC	1	-대차 이동 제어
출입문 PLC	GOLDSEC	1	-출입문 자동 개폐

3.2 지상국 시스템

지상국 System은 임항창고 내 전체 물류 Tracking, 상 하위 기기 제어 및 Interface를 담당하는 Main Computer로서 이중화 시스템으로 구성되어 완벽하고 효율적인 물류 관리가 이루어 질 수 있도록 구성하였다.

- 이중화 : 2대의 CPU를 On-Line과 Stand-By System으로 구성하여 On-Line계 이상시 Stand-By System이 On-Line계로 전환되어, 이상 발생시에도 연속 작업이 가능하다.
- 작업지시 : Host로부터 작업 지시를 수신하여 처리하고 재편성하여 기상국으로 전송한다.
- Crane 제어 : Crane의 현재 위치를 Real Time으로 Tracking하여 작업지시를 송신하고, 또한 동일 동내(B동)에 위치한 #15, #16호기간 충돌을 방지하면서 효율적인 작업을 가능케 하는 Scheduling 기능을 가지고 있다.
- 대차제어 : 대차의 위치를 Tracking 하여 대차이동 및 상/하차 지시를 처리하며 실적 전문을 수신하여 처리한다.
- Vision System 제어 : 화상처리 System이 처리한 Coil 좌표 및 위치를 Host 정보와 비교하여 정상 또는 비정상을 판단.
- 출입문 PLC : 출입문의 상태 정보 및 작업 상황에 따라 출입문의 자동 개폐를 제어한다.

- Yard Map 관리 : 창고내 제품의 Tracking 및 입/출고 관리를 하며, Host와 지상국간 Yard Map 동기 기능을 가진다.
- 화면처리 : CRT를 통하여 모든 작업 상황 및 설비 상태를 감시하는 기능을 수행한다.
- 기타 : 상 하위 기기들과의 Interface 처리, 경보 발생 및 Report 발행 기능도 가진다.

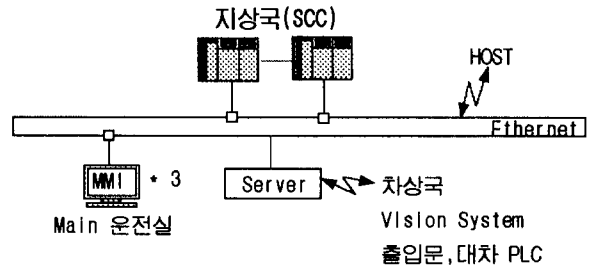


그림 3. 지상국 시스템 구성
Fig.3 Configuration of SCC

3.3 기상국 System

Crane 무인제어에 필요한 핵심 Processor로서 Crane Girder내에 설치 되어 있으며 지상국으로 부터 수신한 작업 정보에 따라 제품의 이송 작업을 수행한다. 또한 설비 진단 알고리즘을 이용하여 설비의 이상 상태 감시 및 조치를 취할 수 있도록 하였다.

Crane 무인운전은 지상국으로 부터 작업지시를 수신후, 그림4와 같이 나뉘어 지는데 이송시키고자 하는 물체를 집어서(Pick-ing), 적정 높이까지 들어 올린 뒤(Hoisting), 목적 위치까지 이송시켜(Traveling), 원하는 지점까지 내려(Lowering), 안착시키는(Placing) 5가지 작업으로 구분된다.

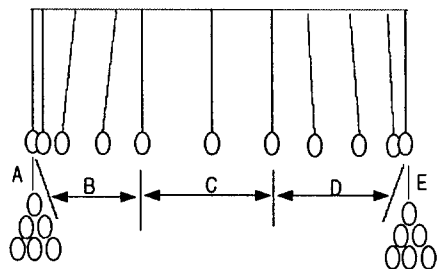


그림 4 천정 Crane 의 작업

Fig.4. The operation of overhead crane

5가지의 작업 구간 중 B,C,D의 이송 구간은 다시 가속(Acceleration), 정속(Constant Velocity), 감속(Deceleration), 정지(Stop), 보정(Correction) 구간 등으로 나뉘어 진다.

Crane 무인 운전을 실현하기 위한 필수 기술로는 Crane 이동 중 흔들림을 억제하는 Anti-Swing Control 및 Crane 속도 제어 등을 언급할 수 있다.

-Anti-Swing Control

Crane의 지시된 작업 위치에서 정지시 Lifter에 생기는 관성의 요인으로 Lifter는 단진자 운동(Swing)이 생기게 된다. Crane 작업시 Swing은 원활한 작업 수행을 불가능 하게 하는 요인이 되므로 Swing 각도를 검지하여 Crane 위치 제어 알고리즘에 Feedback 함으로써 Crane의 속도 가감속 제어를 통한 Lifter Swing 각도 제어가 이루어 지게 된다.

아래 그림 5에서 Crane Lifter Wire 길이를 l , 총 중량을 m , 중력가속도를 g , 이동속도를 v 로 하면 Lifter의 단진자 운동은 운동량 보존의 법칙에 따라 다음과 같이 된다.

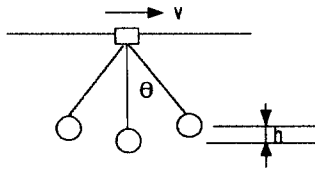


그림 5. 천정 Crane의 Modeling

Fig. 5. The modeling of overhead crane

$$\begin{aligned}
 mv^2 / 2 &= mgh \\
 h &= l (1 - \cos \theta) \\
 h &= v^2 / 2g = l (1 - \cos \theta) \\
 \therefore \theta &= \cos^{-1} (1 - v^2 / 2gl) \quad (1)
 \end{aligned}$$

윗 식으로 부터 천정 Crane의 진동은 속도에 의해 영향을 받고 Crane의 속도를 제어함으로써 최소 진동을 가지고 목표 위치까지 이동시킬 수 있음을 알 수 있다.

- Crane 속도 제어

천정 Crane을 이용하여 물체를 한 지점에서 목표 위치까지 이송시킬때 정해진 속도 Pattern에 따라 이동시킨다. 이때 사용되는 속도 Pattern을 생성하는 속도 Profile 발생기는 Crane의 최고 가속도(a_{max}), 최고 속도(v_{max}), 주기(T) 그리고 이동 위치(P_d)를 감안하여 최적의 속도 Pattern을 구성하고, 그 속도 Profile에 의해 Crane의 모터를 제어하는 구조를 가지고 있다.

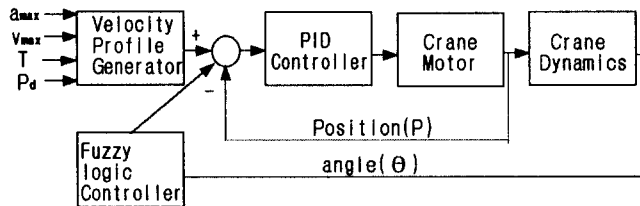


그림 6. 제어 System의 구성도

Fig. 6. Block Diagram of Control System

그림 6에서와 같이 Crane 모터는 위치 Feedback의 구조를 가지고 있기 때문에 속도 Pattern에 의하여 계산 되어지는 위치를 발생기에서 출력하게 된다.

또한 외란이란 비선형 시스템에 기인한 진동 현상이 발생하게 되는데 이 진동을 적절하게 보상하지 않을 경우, 도착후에도 진동이 존재하게 된다. 이런 현상을 극복하는 방법으로 무진동 구간(최고속 정속 구간과 도착 직후)에서의 진동을 보정하는 방법을 사용하였다. 이를 위하여 천정 Crane System으로 부터 진동 각도(θ) 신호를 감지하여 퍼지 논리 제어기를 사용한 각도 Feedback 제어방식을 사용하여 진동을 보정하였다.

- Velocity Profile

천정 Crane의 운전 동작을 가속, 최고속(정속), 그리고 감속으로 나누었을 때 가속 구간에서 Trolley의 속도를 최고 속도로

만들고 동시에 진동 각도를 최고속도 달성 0도로 만들어 주면, 최고속(정속) 구간동안 가속도가 0이기 때문에 진동 각도가 0도를 유지하게 된다. 감속 구간에서는 가속 구간과는 역과정이기 때문에 결국 가속 구간에서의 제어 문제가 속도 계획의 핵심이라 할 수 있다. Trolley의 속도를 주행 모터에 가하는 전압에 의해 제어하며, 모터의 시간적인 응답속도가 상당히 빠르다고 가정할 때 Trolley의 가속도는 정확하게 제어할 수 있다.

다음 그림은 본 System에서 구현한 속도 Profile의 예를 보여 주고 있다

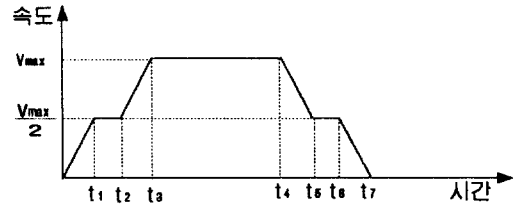


그림 7. 속도 Profile

Fig. 7. Velocity Profile

$$t_1 = 0.5 \times \text{최대가속도} \times \left(\frac{\text{최고속도}}{\text{최대가속도}} \right)^2 \quad (2)$$

$$t_2 = t_1 + 0.5 \times \text{최고속도} \times \left(\frac{T}{2} - 0.5 - \frac{\text{최고속도}}{\text{최대가속도}} \right) \quad (3)$$

$$t_3 = t_2 + 3 \times t_1 \quad (4)$$

$$t_4 = \text{이동거리} - (\text{temp7} + \text{temp6} + \text{temp5}) \quad (5)$$

$$t_6 = t_4 + \text{temp5} \quad (6)$$

$$t_8 = t_6 + \text{temp6} \quad (7)$$

$$t_7 = \text{이동거리} \quad (8)$$

여기서

$$\text{temp7} = 0.5 \times \text{최대감속도} \times \left(\frac{\text{최고속도}}{\text{최대감속도}} \right)^2$$

$$\text{temp6} = 0.5 \times \text{최고속도} \times \left(\frac{T}{2} - 0.5 - \frac{\text{최고속도}}{\text{최대감속도}} \right)$$

$$\text{temp5} = \text{temp7} \times 3$$

아래 그림 8은 기상국의 주요 구성을 보여 주고 있다.

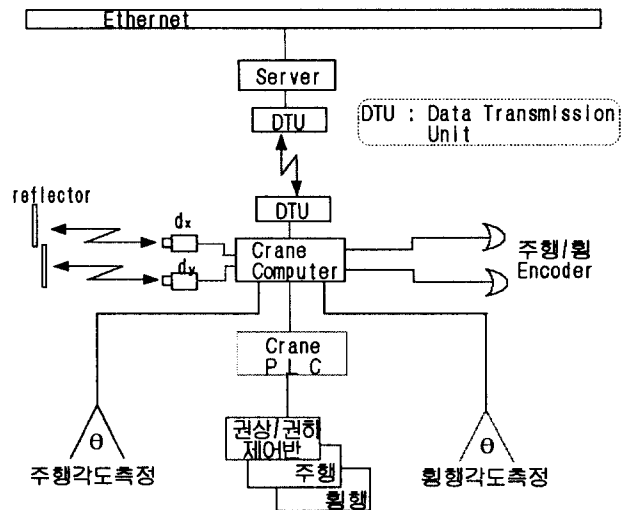


그림 8. Crane Computer 구성도

Fig. 8. Configuration of Crane Computer

그리고 기상국 System에는 Fuzzy Logic 제어가 적용되어 있으며, 이 제어기는 Fuzzification Interface, Fuzzy Interface Engine, Defuzzification Interface로 구성되어 있다. 퍼지화 인터페이스 장치는 Crisp 한 입력값을 측정하여 퍼지한 값으로 변환하는 장치로써 각도와 각도 변화량 값을 각각 72개로 양자화시킨다. 퍼지 추론 기관은 퍼지 규칙을 이용하여 퍼지 입력에 대한 퍼지 출력을 추론해 내는 장치이다. 비퍼지화 인터페이스는 퍼지 추론에 의한 퍼지한 제어 출력값을 실제 제어하기 위한 Crisp 한 제어 출력 값으로 변환하는 장치로서 무게중심법을 사용하였다.

3.4 Vision System

제품의 임항창고 내로의 입고/출고 작업시에는 Pallet 차량을 이용하게 되며, 이때 입고시에는 차량위 Coil 좌표, 출고시에는 차량 위치 좌표가 Crane 무인 운전시에 필수적으로 필요하게 된다. 임항창고 자동화에서는 차량위 Coil 좌표 및 차량 좌표 인식을 위하여 CCD Camera 를 이용한 Image Processing 기법을 적용하였다.

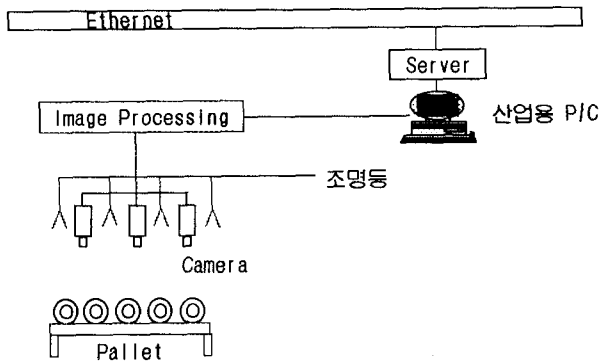


그림 9. 화상처리 시스템 구성

Fig. 9. Vision System

- 영상전처리 : Camera 를 통하여 입력된 영상에서 Noise를 제거하고 원하는 영상을 추출하기 위해 Threshold Value를 설정하여 영상이 입력될때 실시간으로 T/V 값 이상,이하의 화소값을 가지는 모든 화소를 추출한다.
- 영상인식 및 영역화 : 전처리된 영상 Data 에서 원하는 Coil 또는 차량의 영상을 영역화 한다.(입고: Coil, 출고: 차량)
- 좌표계산 : Coil 부분이 영역화 되면 각각의 Coil 에 대하여 중심좌표를 계산하여 Yard 내의 기준점을 중심으로 절대좌표를 인식하고, 차량의 정/역방향 및 정지 상태등도 판단한다.
- Data 송신 : 차량에 적재된 각 Coil 의 중심좌표, 외경, 수량 및 차량의 위치 좌표등을 기상국과 Data 전송을 한다.

4. 결론

금번, 임항창고의 자동화를 성공적으로 수행함으로써

- 무인 Crane에 의한 작업 인원의 절감.
- 효율적인 Yard 관리로 창고 저장 능력의 극대화
- 납기 단축에 따른 대수요가 만족도 향상
- 최신 제어 및 Sensor 응용 기술의 확보로 Engineering 기술력 확대등을 실현하였다

향후, 단속적으로 이루어 지고 있는 권상/하 및 이동 작업등 Crane 운전 Pattern을 인공지능등을 이용하여 각각의 작업을 동시에 할 수 있도록 하는 기술 개발을 계획하고 있다.

참고문헌

- [1]배인택,심규돈, "천정 크레인의 자동 제어 시스템에 관한 연구" 대우 엔지니어링 기술보, 제 9권, pp,162-174