A Development of Transfer Robot for Container Loading/unloading Horizontally

이 영 진* · 한 동 섭** · 조 현 철*** · 한 근 조§ · 구 경 완§§ · 이 권 순†
(Young-Jin Lee · Dong-Seop Han · Hyeun-Cheol Cho · Geun-Jo Han ·
Kyung-Wan Koo · Kwon-Soon Lee)

Abstract - Recently, intermodal transportation systems are significantly considered as enhanced technique or future railroad logistics. These are aimed for particularly reducing complicated job process in the railroad based transportation and relevant logistic cost in economic viewpoint. In this paper we suggest a horizontal transfer system using hydro-motor and hydro-cylinder for intermodal transportation system. This system can assist to transfer the containers horizontally for train logistics automations.

Key Words : Intermodal transportation, Transfer robot, Container box, Horizontal transfer, Hydraulic system

1. 서 론

현대사회의 국가 간의 교역 또는 지역 간의 화물의 운송으로 인해 해상물동량이 증가하고 있으며, 이와 같은 운송 또는 교역에 의해 컨테이너를 이용한 물류수송이 지속적으로 증가하고 있다. 일반적으로, 컨테이너를 수송하는 방식은 육상수송과 해상수송으로 대별되며, 육상수송은 공로(도로)를 통한 수송과 철도를 통한 수송으로 나뉘며, 전체 컨테이너수송 대비 공로는 약 88%(9,000천여TEU), 철도와 연안운송은 각각 10%, 2% 에 불과한 실정이다. 이와 같이 공로의 운송 분담률이 상대적으로 높은 반면 최근의 공로는 차량의 증가로 인하여 고속도로 등이 포화상태에 있으며, 트레일러의 장시간 운전으로 인한 사고발생 및 매연 등으로 인한 환경오염 증가 등으로 인해 철도를 통한 수송량 분담을 증가시키기 위한 노력과 연구가 활발히 진행되고 있다[1,2]. 한편, 철도를 통한 수송은 상대적으로 비용이 저렴하고 정시 배송 및 안정적인 수송이 가능한 반면 공로와의 연결지역이 제한되어 컨테이너를 고객에게 전달하기 위해서는 공로 수송을 부가적으로 이용해야한다는 단점을 가지고 있다. 때문에 컨테이너 수송을 위해서는 철도운송전후에 하역장 또는 장치장에 컨테이너를 보관하여 다시 공로 운송을 하여야 하기 때문에 직배송(DTD, Door-To-Door) 및 실시간 배송

(JIT, Just In Time)이 곤란하거나 불가능한 문제점이 철도수송 분담저하의 주요 원인이 되고 있다.

한편, 현재 철송장(컨테이너 하역장 또는 장치장)에서는 대부분 크레인을 사용하여 트레일러와 화차 사이에 컨테이너를 로딩/언로딩>Loading/unloading)하고 있으나, 크레인 운영비용 및 야적장 적재 공간부족 등 문제점이 지속적으로 대두되고 있다. 더욱이 과거 디젤기관으로 운영되던 기관차가 최근들어 90% 이상이 전기로 구동되는 차량으로 대체되고 있어 철송장 내에서는 기차상부에 설치된 공중가선(Catenary)으로 인하여 크레인의 사용이 제한되거나 불가능하게 되므로 별도의 공중가선이 없는 공간으로 이동해야하는 불필요한 작업공정이 추가되어 생산성을 저하시키는 요인이 되고 있다. 따라서, 수직 로딩/언로딩 방식이 아닌 수평이송과 같은 새로운 형태의 컨테이너 이송방식의 개발이 절실하게 요구되고 있는 실정이다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 크레인을 이용하지 않고 컨테이너를 트레일러와 화차 사이에 로딩/언로딩 시키는 컨테이너의 로딩/언로딩 가능한 연구가 미국의 Piggy back 시스템, 유럽의 Cargo Beamer, Cargo Domino를 비롯하여 프랑스의 Modalohr 시스템에 이르기까지 다양한 형태로 새로운 방식에 많은 연구들이 추진되고 있다[3-5]. 최근 국내에서도 이러한 일환으로서 2중 모드 트레일러가 국내에서 연구되고 있다[6-8]. 그러나 이들 연구는 각각의 하역장의 플랫폼에 캐리어 몸체를 회전시키기 위한 회동수단의 설치가 필수적이어서 유효 공간 및 작업공간을 과도하게 필요로 하여 국내실적에 다소 적합하지 못하고 설치 및 유지비용이 현저하게 증가되는 문제점이 있다. 뿐만 아니라 해당방식으로 로딩/언로딩 시킬 시에는 회전하는 시간이 길어 작업시간이 많이 소요되어 시스템 및 하역작업이 복잡해지는 문제점도 동시에 야기되고 있다. 따라서 본 논문에서는 하역장의 플랫폼에 별도의 구동수단을 구비하지 않고 화차에 수평이송장치를 구비하여 화차에 적

* 정 회 원 : 한국폴리텍 항공대학 항공전기과 교수
** 비 회 원 : 동아대학교 BK교수
*** 정 회 원 : 울산과학기술대 전기과 교수
§ 비 회 원 : 동아대학교 기계공학과 교수
§§ 정 회 원 : 호서대학교 국방과학기술학과 교수
† 교신저자, 시니어회원 : 동아대학교 전기공학과 교수
E-mail : kslee@dau.ac.kr
접수일자 : 2010년 9월 3일
최종완료 : 2010년 11월 25일

제된 컨테이너의 하부를 로딩>Loading>하여 화차와 트레일러 상호간 수평 이동 한 후 상기 로딩된 컨테이너를 트레일러에 언로딩>Unloading>할 수 있는 컨테이너의 로딩/언로딩이 가능한 로봇 시스템을 설계 개발하고자 한다. 제안한 시스템은 컨테이너 박스를 트레일러와 화차간에 수평적으로 이송함으로써 하역장에 별도의 시설물 설치가 필요 없어 공간 효율성을 높일 수 있고 직배송 등이 가능하게 되어 물류 운송비용을 절감하고 운송에 소요되는 시간을 절감할 수 있을 것으로 기대한다. 이하 논문에서 제안한 시스템의 구조 설계 및 제작에 대하여 기술하고 제어에 필요한 알고리즘도 기술하였다. 끝으로 실제 제작을 통한 실험을 구현함으로써 설계된 시스템의 성능을 검증하고자 하였다.

2. 컨테이너 운송시스템

2.1 종래의 컨테이너 양하역 방식

현재 국내의 철도를 이용한 컨테이너 박스 이송시 철도에서 공로 또는 공로에서 철도이송으로의 전환에 사용되는 장비는 그림 2에서 보는 바와 같이 크레인>Overhead crane>이나 리치스태커>Reach staker>가 그 주류를 이루고 있다[1, 3]. 그러나 이러한 방식으로 생산성을 향상시키기 위해서는 많은 장비와 넓은 작업공간이 필요할 뿐만 아니라 현재 기관차의 전기방식전환으로 상부에 설치된 전선의 간섭으로 작업에 어려움을 호소하고 있는 실정이다.

그림 1 크레인 및 리치 스택터를 이용한 컨테이너 양하역시스템(종래의 방식)

Fig. 1 Container loading/unloading system using overhead crane and reach staker

2.2 철도기반 복합수송시스템

복합수송시스템은 육로, 공로, 또는 철도등과 연계하는 운송시스템으로서 크게 piggyback형, Bimodal형, 화차회전형 그리고 평행이적재형으로 크게 구분할 수 있다. 시스템의 구동방식별로 구분해 볼 때 그림 2와 같이 화차회전형, 평행이적재형 등 다양한 형태로 개발 및 연구되고 있다. 화차회전형 방식은 화차를 직간접적으로 회전시켜 트레일러의 사시와 컨테이너박스 등을 동시에 적재하여 문전수송을 보다 효율적으로 구현할 수 있는 구조이며, 이러한 형태의 시스템 중 프랑스의 Lohr사에서 개발한 Modalohr 시스템이 그 대표적 사례이다. 평행 이적재 방식은 화차의 회전대신 평행이송이 가능한 구조로 설계되었으며, 트레일러의 사시를 신지 않는 구조와 신는 구조로 나누어 분류할 수 있다.

화차회전형 방식으로는 프랑스 Lohr사의 Modalohr 시스

템, Cargo speed, Flexi-wagon 등이 있으며, 수평이적재 방식으로는 독일의 Cargo Beamer, 헝가리의 Bosch Rexoth, 그리고 스위스의 Cargo Domino 및 NETHS 등이 그 대표적인 사례로 들 수 있다[3,4]. 문헌 [3]의 분석에 의하면 화차를 회전시키거나 piggyback과 같은 방법에 비해 카고도미노와 같은 수평 이적재 방식이 다른 방식에 비해 국내 적용성 및 운용 효율 면에서 좋다는 결과를 얻을 수 있었다. 본 논문에서는 이러한 장점을 가지고 있는 수평이적재 방식 형태를 갖는 수평이송로봇을 설계 개발하였으며, 화차 구동형 방식을 실제 제작하여 성능검증을 구현하였다.

그림 2 트레일러 기반 복합수송시스템

Fig. 2 Dual mode trailer system

2.3 제안한 시스템

앞 절에서 언급한바와 같이 수평이적재방식이 물류비용절감 등을 통한 물류경제성을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 전동기관차의 도입에 따른 전기 공급전인 공중가선과 컨테이너 수직 양하역시 예상되는 간섭문제도 함께 해결할 수 있을 거라 예상이 된다. 따라서, 본 논문에서는 그림 3과 같이 컨테이너박스를 수직이적재가 아닌 수평 이적재를 가능하게 하는 방식을 제안하고자 한다.

그림 3 제안한 수평이송로봇의 개념도

Fig. 3 The concept layout of proposed horizontal transfer robot

제안한 시스템의 작업공정은 그림 4와 같이 나타낼 수 있으며, 기본적인 메커니즘은 컨테이너 박스는 별도의 크레인이나 리치스태커 없이 수평이송로봇>HTR, Horizontal Transfer Robot>을 이용하여 수평으로 이송하는 것이다. 그

림 4의 절차를 간단히 설명하면 먼저 정렬과정인데 ①번 과정에서 트레일러가 화차의 옆면으로 진입을 하면 ②번과 같이 두 차량(트레일러와 화차)사의 간격과 틀어짐을 정렬하여 HTR의 작업을 원활하게 하여야한다. 이 정렬과정은 크게 화차상의 앞뒤간격을 300[mm] 이내로 허용오차범위인 25[mm]내에서 일정한 간격을 유지하는 것과 각 차량에 장착된 콘을 나란히 정렬하여 컨테이너박스 이송 후 체결이 원활하도록 하는 두 과정으로 구분될 수 있다. 이때, 두 차량의 정렬이 원활히 수행되지 않을 경우 HTR 이송시 방향 전환이 어렵거나 두 차량사이에서 전복되는 문제 등을 야기시킬 수도 있다. ②번 과정에서 적용된 차량정렬시스템은 초음파센서, 포토센서 등을 이용하여 구성되어 있으며 참고 문헌 [9]에 보다 상세하게 기술되어 있다. 이상의 과정을 통하여 두 차량의 정렬이 완료되면 ③번의 리프팅과정이다. 이 공정은 컨테이너 박스를 차량의 콘으로부터 분리하여 수평이송을 원활하게 해주는 역할을 한다. 다음으로 ④번 공정이 이송과정이다. 컨테이너 박스는 크게 20[ft]와 40[ft] 길이의 박스가 표준적으로 이용이 되며, 본 시스템은 두 박스를 모두 이송 가능한 구조로 설계가 되어 있다. 어느 경우이든 컨테이너 박스를 이송할 경우에는 HTR 두대를 이용하여 컨테이너박스를 트레일러에서 화차로 또는 화차에서 트레일러로 수평하게 이송하게 되는데 이때, 두 HTR의 동기화 제어가 필요하게 되며 이는 다음절에 보다 구체적으로 기술되어 있다. 그림 3의 ⑤번과 ⑥번은 각각 컨테이너가 반대편 차량에 도착시 콘체결 부위와 정렬을 하는 과정과 모든 과정이 완료된 후 HTR이 다시 복귀하는 과정을 나타낸다. 이때 본 논문에서 설계한 HTR의 기본 구성은 수평주행 장치, 유압리프팅 장치와 컨테이너 지지장치(Bucket)를 비롯하여 주행에 필요한 정보를 획득하는 각종 전자 검출장치 및 제어장치로 구성되어 있다.

그림 4 제안한 시스템의 동작 과정

Fig. 4 Working procedure of proposed system

3. HTR 시스템 설계

3.1 HTR의 기본 개념과 설계조건

HTR 시스템의 설계는 크게 컨테이너의 하중을 지지하며

수평으로 이송하는 수평주행장치와 컨테이너 박스를 체결장치로부터 분리하여 이송하는 동안 하중을 지지하는 수직리프팅장치로 나누어 설계가 이루어졌다. 제안한 시스템은 20[ft]와 40[ft] 컨테이너를 모두 적용될 수 있도록 설계가 되었으며, 최대 40[ton] 자중의 컨테이너를 이송할 수 있는 구조로 설계하였다. 이 조건은 HTR 설계를 위한 기본적인 부하조건으로 적용되었다. 컨테이너 이송시에는 두 대가 한 쌍을 이루어 동작을 하므로 한 대의 HTR은 20[ton]의 하중을 견디도록 설계가 되어야 한다. 동적하중요소를 1.2로 적용하면 컨테이너의 하중은 24[ton]으로 된다. HTR은 화차에 설치되어 철로를 이동하게 되므로 한국철도건설관련 규정에 의거 화차 상부에서 300[mm]이내에서 HTR을 설치할 수 있도록 설계되어야 하므로 HTR의 높이도 300[mm] 이내로 한정하여 설계하여야 한다. HTR과 리프팅 속도는 협소한 HTR 내부구조와 적용 가능한 시스템하드웨어 등을 감안하여 각각 표 1과 같이 0.1[m/s], 0.01[m/s]로 설정하였다. 뿐만 아니라 물류최적화를 위해서는 한 대의 컨테이너 이송에 필요한 시간을 적어도 3분 이내로 하여야하므로 이송속도를 더 높여야하나 상대적으로 커지는 HTR의 부피와 컨테이너 이송시 발생될 수 있는 전복 사고 등을 감안하여 이송속도를 제한하여 설계하였다.

표 1 수평이송로봇의 설계조건

Table 1 Design conditions of the HTR

구 성	설계조건
수평주행부	<ul style="list-style-type: none"> 하중 : 24[ton]/HTR 주행거리 : 2,800[mm] 주행속도 : 0.1[m/sec]
수직구동부	<ul style="list-style-type: none"> 하중 : 24[ton]/HTR 주행거리 : 120[mm] 주행속도 : 0.01[m/sec]
제어부	<ul style="list-style-type: none"> 주행 및 구동 속도제어 <ul style="list-style-type: none"> - 속도제어 분해능 : 0.001[m/sec] ~ 0.005[m/s] HTR의 위치제어 가능 원격제어가능 구조

3.2 HTR의 설계

3.2.1 수평 구동부

수평구동부의 구성은 그림 5와 같이 하부프레임, 4개의 구동 바퀴, 두 대의 유압모터로 구성되어 있다. 수평구동 모터는 유압에 의하여 구동되도록 설계가 되어 있으며, 비례제어 밸브를 장착하여 속도조절이 용이하도록 구성되었다. 모터에서 생성된 동력은 체인스프라켓(Chain-sprocket)을 통하여 4개의 구동바퀴로 각각 전달되도록 설계가 되었다. 구동바퀴가 원형 구름방식을 가지므로 구름마찰계수를 0.05로 하였을 때 요구되는 시스템의 수평주행 추진력은 최소 2[ton]으로 계산될 수 있으며, 이때 구동 바퀴의 직경은 최소 추진력과 HTR의 내부 공간 등을 감안할 때 최대 180[mm]로 설계가 되었다. 따라서 최대 이송속도가 0.1[m/s]이므로 바퀴의 회전수는 10.6[rpm]이 되며, 각 바퀴에 적용되는 노말포스(N_w)는 식 (1)과 같이 계산될 수 있다.

1 : Frame 2 : Driving wheels
3 : Hydraulic motors 4 : Chain & Sprocket

그림 5 수평이송로봇의 수평주행부

Fig. 5 Horizontal driving part of HTR system

$$N_w = \frac{\left(\frac{W_C}{2} + W_{TS}\right)}{4} \quad (1)$$

여기서, W_C 와 W_{TS} 는 각각 컨테이너와 수평이송로봇의 자중을 나타낸다.

그림 6 수평이송로봇의 하중분포도

Fig. 6 Forces applied to the HTR system

이송장치를 수평으로 이송하는데 필요한 힘(F_T)은 바퀴의 토크(T_W)에 의해서 만들어지며 바퀴가 구동하기 위해서는 바퀴의 추진력(F_T)이 구름마찰저항력($F_{f,R}$)보다 커야 한다. 따라서, 바퀴를 구동시키는데 필요한 토크(T_W)는 다음과 같다.

$$T_W \geq r_w(\mu_R N_w) = r_w \left[\frac{\mu_R}{4} \left(\frac{W_C}{2} + W_{TS} \right) \right] \quad (2)$$

여기서 r_w 는 바퀴의 반경, μ_R 은 베어링의 구름마찰계수이다. 수평주행을 위해 체인과 스프라켓을 사용하여 하나의 유압모터로 두 개의 바퀴를 구동시키므로, 유압모터의 최소 요구 토크(T_M)는 바퀴의 구동토크(T_W)의 2배가 된다.

그림 7 바퀴의 하중분포

Fig. 7 Forces applied to wheel

실제조건인 $r_w=90[\text{mm}]$, $\mu_R=0.05$, $W_C=40[\text{ton}]$, $W_{TS}=1[\text{ton}]$ 을 적용할 때 식(2)를 통해 요구되는 모터의 최소 구동 토크(T_M)를 계산하면 $47.25[\text{kg}\cdot\text{m}]$ 가 된다.

3.2.2 수직 구동부

컨테이너를 콘에서 안정적으로 분리하기 위하여 버킷은 수평을 유지하면서 $40[\text{ton}]$ 의 중량물을 들어 올려야 한다. 좁은 공간에서 큰 하중을 발휘하기 위해 유압실린더를 사용하였으며, 하나의 유압실린더를 사용하여 버킷을 수평으로 유지하면서 들어올리기 위해 링크구조는 'y>' 조합형 링크로 결정하였다.

그림 8 수평이송로봇의 리프팅부

Fig. 8 Lifting part of HTR system

컨테이너를 들어 올릴 때 실린더에 작용하는 하중(F_C)는 다음과 같다. 이는 작용 및 반작용으로 인해 링크 하나에 작용하는 수직방향하중(V)은 링크의 위, 아래 모두 작용하게 되어 링크 하나를 밀어내는 실린더의 요구하중은 $\frac{2V}{\tan \theta}$ 가 된다. 따라서 링크 두 개를 밀러내기 위한 실린더 하중(F_C)은 $\frac{4V}{\tan \theta}$ 가 된다[10].

$$F_C \geq \frac{4V}{\tan \theta} \quad (4)$$

그림 9 유압실린더의 하중분포

Fig. 9 Forces applied to the hydraulic cylinder

수평축에 대한 링크의 각도가 45° 일 때 최대 하중이 실린더에 작용하므로 컨테이너 자중(W_C)이 $40[\text{ton}]$, 버킷의 자중(W_B)이 $0.5[\text{ton}]$ 일 때 실린더 하중(F_C)은 식(4)를 사용하여 산출하면 식(5)에 의해 $20.5[\text{ton}]$ 이 된다. 즉 작동압력은 $280[\text{bar}]$ 일 때 요구되는 실린더 하중은 $20.5[\text{ton}]$ 이 된다.

$$F_C \geq \frac{4V}{\tan \theta} = \frac{4 \left(\frac{W_C}{2} + W_B \right)}{4 \times \tan 45^\circ} = \frac{4 \left(\frac{40}{2} + 0.5 \right)}{4 \times \tan 45^\circ} = 20.5 \quad (5)$$

3.2.3 HTR의 시스템 설계

조립된 HTR의 전체 시스템은 그림 10과 같이 수평 주행 장치, 수직구동장치 및 버킷으로 구성된다. 수직구동용 리프팅실린더는 0.01[m/s]의 속도로 40[ton]의 컨테이너 박스를 리프팅할 수 있으며, 버킷은 컨테이너의 하부를 안정적으로 지지할 수 있는 구조로 설계되었다. 수평 주행장치는 비례 제어밸브 컨트롤에 의하여 컨테이너 박스를 수평으로 0.1[m/s]로 이송할 수 있는 구조로 설계되었다.

그림 10 수평이송로봇의 전체 조립상태

Fig. 10 Assembled HTR system

조립된 HTR 시스템은 그림 11과 같이 화차에 장착된다.

그림 11 화차에 장착된 수평이송로봇

Fig. 11 Install position of HTR system

그림 12는 주행에 필요한 장치인 유압모터, 유압실린더, 밸브 등의 배치상태를 나타낸다.

그림 12 수평이송로봇에 장착된 각종 장치의 배치

Fig. 12 Arrangement of Hydro-motor and piping

그림 13은 주행에 필요한 리미트스위치, 엔코더, 광전센서 등의 배치를 나타내고 있다. 엔코더 센서는 두 대의 HTR의 속도를 동기화하기 위하여 이용되며, 리미트스위치는 버킷의

상승한계를 제한하는 용도이고 광전센서는 수평 주행시 주행장치의 위치를 검출하고 주행속도의 스케줄링을 위하여 가감속 시점을 결정하는 용도로 활용되었다.

그림 13 수평이송로봇의 제어용 센서배치

Fig. 13 Arrangement of control sensor device

그림 14는 본 HTR 전체 시스템 구성도를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 트레일러에 정위치 정렬을 위한 검출시스템이 마련되어 있으며, 화차 측에 수평주행을 돕기 위한 근접센서를 비롯하여 동기화제에 필요한 엔코더 센서가 장착되어 제어 시스템을 구성하였다. HTR의 구동은 유압모터로 이루어지므로 구동용 S/V 전용 컨트롤러를 이용하여 속도제어를 구현하였다.

그림 14 수평이송로봇의 제어 시스템

Fig. 14 Control block diagram of HTR system

그림 15는 화차상의 케이블 덕트가 설치된 것을 보여주는데 HTR의 제어에 필요한 전선, 유압케이블을 비롯한 각종 통신케이블은 이 덕트를 통하여 연결이 되도록 하였다. 덕트는 화차상부에 설치되어 컨테이너하부와 간섭이 없도록 300[mm]이내에서 설치되어야 하며 HTR을 양방향으로 이송할 수 있는 구조로 설계가 되었다.

그림 15 케이블 덕트 레이아웃
Fig. 15 Layout of cable ducts

3.2.4 HTR의 제어 알고리즘

HTR의 제어는 크게 화차에서 트레일러와 트레일러에서 화차로의 공정으로 구분된다. 그림 16은 그림 4에서 나타낸 기본 개념을 바탕으로 화차에서 트레일러로 컨테이너를 이송시 작업공정을 나타내고 있다. HTR 작업 전에 먼저 화차와 트레일러 간에 정위치 정렬이 선행되어야한다. 이후 컨테이너를 차량과 분리 후 이송하는 작업이 이루어진다. 이때, HTR의 동기화 제어는 그림 14에 도시된 엔코더 센서를 이용하여 두 대의 HTR중 한 대의 속도를 정하고 이를 트레킹하는 추적제어 알고리즘을 적용하였다. 트레일러에서 화차로의 공정은 그림 16 공정의 반대로 이루어진다.

그림 16 수평이송로봇의 제어계통(화차→트레일러 공정)
Fig. 16 Control flowchart of HTR system(wagon to trailer)

4. 실험결과

설계된 시스템의 성능검증을 위하여 실측크기의 HTR시스템을 실제 제작하여 30[ton] 자중의 컨테이너 박스를 직접 이송하는 실험을 실시하였다.

4.1 시스템 사양

본 논문에서 제작한 HTR 시제품의 사양은 표 2와 같이 설계 제작되었다. 제작된 HTR의 전체 무게는 약 1.5[ton]정

도이며, 최대 속도 0.1[m/s]로 제작되었다. 제어를 위한 시스템은 PLC 시스템을 적용하였으며, HTR과의 제어신호는 유무선 통신방식을 이용하여 이루어지도록 구성하였다.

표 2 수평이송로봇의 시제품 사양

Table 2 Specification of HTR pilot system

구성	사양
HTR	<ul style="list-style-type: none"> 수직 구동부 <ul style="list-style-type: none"> -유압모터: 58 [kg · m] -최대 토크: 47.25 [kg · m] -상승속도: 0.01[m/s] -상승거리: 120[mm] -유압제어밸브: proportional valve 수평 구동부 <ul style="list-style-type: none"> -유압모터: 58 [kg · m] -적재하중: 20.5[ton] -이송속도: 0.1[m/s] -바퀴직경: 180[mm] -위치센서: encoder(Sumtak IRS5) -유압제어밸브: proportional valve 자 중: 약 1.5[ton]
제어부	<ul style="list-style-type: none"> 주제어부 <ul style="list-style-type: none"> - CPU: Melsec-Q 7 series - 통신방식: RS485 and wireless RF - 제어주기: 20[msec]

4.2 시제품 제작 및 설치

시제품 제작은 그림 17과 같이 하부프레임, 버킷 등으로 구성되어 제작이 이루어졌다.

(a) 하부프레임

(b) 버킷

(c) 조립된 수평이송로봇

그림 17 수평이송로봇 제작

Fig. 17 Assembled HTR pilot system

그림 18은 HTR 제어시스템을 나타낸다. 제어시스템의 주요 구성은 메인컨트롤러인 PLC, 신호전송부인 RF부 등으로 구성된다.

그림 18 수평이송로봇의 제어 시스템
Fig. 18 HTR control system

제작된 시제품의 성능평가를 위하여 제작된 HTR은 그림 19와 같이 화차의 상단부에 설치되어 30[ton]의 컨테이너박스를 이송하는 실험을 구현하였다.

그림 19 화차에 설치된 수평이송로봇
Fig. 19 Installation of HTR systems on wagon

4.3 시스템 성능평가

HTR을 이용하여 컨테이너박스를 이송하는 성능평가를 그림 20과 같은 절차로 평가가 이루어졌다.

(a) 초기상태

(b) HTR이 트레일러로 이동 중인 과정

(c) 컨테이너 박스를 리프팅하는 과정

(d) 컨테이너 박스이송 중인 과정

(e) 컨테이너 박스 하강

(f) 작업 종료

그림 20 수평이송로봇을 이용한 컨테이너 박스 이송과정
Fig. 20 Experimental tests using HTR(Loading procedure)

이상과 같이 30[ton]의 컨테이너 박스를 사전에 설계된 속도와 제어알고리즘에 의하여 실험해본결과 만족된 결과를 얻을 수 있었다. 본 논문에서는 구체적으로 기술하지 않았지만, 참고문헌 [4]의 경제성 분석 결과에 따르면 총 30개의 컨테이너를 기준으로 가상 시뮬레이션 작업을 통하여 기존에 크레인을 이용하는 방식과 본 논문에서 개발한 방식을 비교해 본 결과 기존 방식은 약 78분이 소요되었으며, 제안한 HTR시스템을 이용할 경우 45분이 소요되어 약 33분을 단축하여 작업공정을 42% 개선하는 효과를 보이는 것을 알 수 있었다. 30개의 컨테이너는 한 대의 기관차가 일반적으로 연결하여 다니는 최소단위로 하루에 부산과 의왕사이에 하루 수십 차례의 물류이송이 있는 것을 감안할 경우 새로운 방식이 상당한 생산성 향상을 가져올 것으로 기대된다. 이외에도 HTR 시스템을 적용한 수평이송시스템은 시설 투자비에서도 상당한 절감효과를 가져올 수 있을 뿐만 아니라 고속도로 운송을 대체할 수 있어 최근 이슈화 되고 있는 CO₂ 저감효과도 상당할 것으로 기대된다.

5. 결 론

본 논문에서는 미래 지향적인 복합물류를 위한 컨테이너 수평이송에 이용될 수 있는 새로운 방식의 수평이송로봇을 설계 제안하였다. 설계된 시스템은 화차에 설치되어 유압구동장치와 리프팅장치를 이용하여 컨테이너 박스를 수평으로 이송할 수 있는 구조로 설계가 되었으며, 두 대의 HTR이 동기화되어 이송될 수 있도록 알고리즘도 설계하였다. 설계된 시스템 실제 크기의 시제품을 제작하여 성능평가를 구현하였으며, 구현결과 생산성 향상됨을 검증할 수 있었다. 제안한 시스템은 컨테이너 물류체계를 개선할 수 있을 것으로 평가되며 이를 통하여 CO₂ 저감 효과 등이 가능할 것으로 기대된다. 또한, 설계된 시스템은 화차뿐만 아니라 전용 트레일러와 같이 유사시스템에도 설치하여 응용되어 활용될 수 있으며, 선진 철도물류시스템의 효율 및 생산성 향상에 이바지 할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원의 교통체계효율화사업인 '철도물류 활성화'를 위한 DMT 수송 시스템 개발'의 지원으로 수행되었음을 밝힙니다.

참 고 문 헌

- [1] 이영진, 조현철, 한동섭, 한근조, 이권순, "철도물류 활성화를 위한 차세대 물류운송 시스템의 새로운 구동방식에 관한 연구," 한국동력기계공학회논문지, 제12권, 6호, pp. 56~63, 2008.
- [2] 김현웅, 문대섭, "고속철도시대의 철도화물 수송정책-고속철도 복합운송을 중심으로," 한국철도학회 춘계학술대회, Vol. 3, No. 1, pp 185-189, 2003.
- [3] Y. J. Lee, H. C. Cho, J. W. Lee, D. S. Han, G. J. Han, and K. S. Lee, "Technical Trends and Analysis of Development of Dual Mode Trailer Systems for Enhancing Railroad Logistics," 2009 IEEE International Conference on Automation and Logistics, 2009.
- [4] 범창종합기술 외, 철도물류활성화를 DMT 수송시스템 개발 3차년도 보고서, 국토해양부 산하 건설교통기술평가원, 2010.
- [5] M. Ruesch and App Trans AG, "Research Initiatives and Other Developments Related to Intermodal Terminals in Switzerland," UTP Steering Committee Meeting 9th March 2004.
- [6] 이권순, 한근조, 이영진, 한동섭, 범창종합기술, "컨테이너 수평 이송형 2중 모드 트레일러 수송시스템," 대한민국 특허출원, 출원번호-0109496, 2008.
- [7] 이권순, 한근조, 이영진, 한동섭, 범창종합기술, "2중 모드 트레일러 수송시스템용 컨테이너 수평이송장치," 대한민국 특허출원, 출원번호-0109501, 2008.
- [8] 이권순, 한근조, 이영진, 한동섭, 범창종합기술, "버킷회전형 2중 모드 트레일러 수송시스템," 대한민국 특허출원, 출원번호-0109491, 2008.
- [9] 이영진, 이현영, 김재길, 이태호, 박성원, 이권순, "철도물류 자동화를 위한 전자센서 기반 트레일러 정위치 자동 정렬시스템 개발," 대한전기학회 전기설비전문위원회 춘계학술대회 논문집, 2009.
- [10] A. Bedford and W. Fowler, Engineering Mechanics Statics, 4th Ed., Prentice-Hall, Inc., 2005.

저 자 소 개

이 영 진 (李 榮 珍)

1992년 동아대학교 전기공학과 졸업(학사), 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(Ph.D), 2006년 조지아텍 Post Doc 연구원. 2000년~현재 한국폴리텍 항공대학 항공전기와 부교수

Tel : 055-830-3482

Fax : 055-830-4314

E-mail : airlee@kopo.ac.kr

한 동 섭 (韓 東 燮)

2000년 동아대학교 기계공학과 졸업(학사), 2006년 동아대학교 대학원 기계공학과 졸업(Ph.D.), 2006년~2009년 BK21 계약교수, 2010년~현재 동아대학교 기계공학과 초빙교수.

Tel : 051-200-6989

Fax : 051-200-7656

E-mail : imdshan@gmail.com

조 현 철 (曹 賢 哲)

1997년 2월 부경대학교 제어계측공학과 졸업(학사). 1999년 2월 동아대학교 전기공학과 졸업(석사). 2006년 8월 미국 네바다 주립대학교 전기공학과 졸업(Ph.D.). 2006년 8월~2009년 2월 동아대학교 전기공학과 Post-Doc 연구원. 2009년 3월~현재 울산과학대학 전기전자학부 조교수

Tel : 052) 279-3166

Fax : 052) 277-1538

E-mail : hcjo@mail.uc.ac.kr

한 근 조 (韓 根 祚)

1979년 서울대학교 기계공학과 졸업(학사), 1981년 한국과학기술원 생산공학과 졸업(석사), 1990년 Univ. of IOWA 대학원 기계공학과 졸업(Ph.D.), 1982년~현재 동아대학교 기계공학과 교수.

Tel : 051-200-7650

Fax : 051-200-7656

E-mail : gjhan@dau.ac.kr

구 경 완 (丘 庚 完)

1983년 충남대학교 전자공학과 졸업(학사). 1992년 동 대학원 전자공학과 졸업(박사). 1987년 현대전자 반도체연구소 선임연구원. 1994년~2005년 영동대학교 전자·정보공학부 부교수. 2005년~현재 호서대학교 국방과학기술학과 교수.

Tel : 041-540-9541

Fax : 041-540-9548

E-mail : alarmkoo@hoseo.edu

이 권 순 (李 權 純)

1977년 충남대학교 공업교육과 졸업(학사). 1981년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 미국 오레곤 주립대학교 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(Ph.D.). 1982 ~ 현재 동아대학교 전기공학과 교수.

Tel : 051) 200-7739

Fax : 051) 200-7743

E-mail : kslee@dau.ac.kr