

DMT용 수평 이송장치 설계

Design of The Horizontal Transfer System for DMT

*하경민¹, 한동섭², #한근조³

*J. M. Ha¹, D. S. Han², #G.J. Han(gjhan@dau.ac.kr)³

¹ 동아대학교 대학원 기계공학과, ²동아대학교 BK21총괄사업단, ³동아대학교 기계공학과

Key words : Dual Mode Trailer, Transfer System, Container, Cargo Handling, Structural Analysis

1. 서론

국내에서 화물의 수송은 철도와 공로수송으로 대변되는 육로 수송과 피더선을 활용한 연안수송으로 나뉘며, 2006년도 기준으로 공로수송의 비율은 전체의 88%(9,040 천TEU)를 차지하고 있으며, 철도와 연안수송은 각각 10%(1,069 천TEU)와 2%(168 천TEU)를 보이고 있다. 이러한 현실은 물류의 접근성에 기인한 것으로 철도수송에 비해 공로를 이용한 수송이 문전서비스(door-to-door service)나 적기도착(just in time) 등 접근성이 용이하므로 활성화되어 있으나 이미 공로수송은 포화상태에 있으며, 교통체증 및 교통사고 유발 등 도로혼잡비용이 증가할 뿐만 아니라 CO2배출을 통한 환경오염을 야기 시키고 있다. 따라서 이러한 환경오염 및 혼잡비용을 줄이고 물류비용을 절감하기 위해 철도를 통한 물류수송 비중이 증가되어야 한다. 이를 위해서는 기존의 복잡한 물류체계를 효율화 하는 것과 철도와 공로를 손쉽게 연계할 수 있는 복합수송시스템 개발이 동시에 이뤄져야 한다.

공로에서 컨테이너를 수송하는데 사용되는 트레일러와 철도에서 컨테이너 이송에 사용되는 화차 사이에 컨테이너의 이적재를 위해 기존에는 T/C(transfer crane) 또는 리치스태커(reach stacker)를 사용하고 있으나 이러한 이송시스템이 갖춰지지 않은 장소에서는 철도와 공로의 연계가 어려웠다. 이를 해결하기 위하여 유럽, 일본 등 선진국에서는 피기백(piggy back), 모달로어(modalohr), 카고 비머(cargo beamer), 카고 도미노(cargo domino) 등 다양한 형태의 복합수송시스템이 제안되어 적용되고 있다. 최근 국내에서는 화차 또는 트레일러에 컨테이너의 하부를 들어서 이송하는 수평이송장치(horizontal transfer system, HTS)를 장착하여 공로와 철도사이에 컨테이너를 손쉽게 이적재할 수 있는 한국형 DMT(dual mode trailer) 수송시스템이 제안되었다. 본 연구에서는 이러한 DMT 수송시스템에 사용되는 컨테이너 수평이송장치 설계에 대해 다루고자 한다. 연구절차는 수평이송장치의 설계조건과 구동조건을 나열하고 이러한 조건을 만족할 수 있는 구조부와 구동장치를 각각 설계하였다.

2. 수평이송장치 개념 설계

컨테이너를 트레일러에서 화차로 또는 화차에서 트레일러로 이적재하기 위한 수평이송장치는 컨테이너를 고정하는 콘(cone)과 분리하기 위하여 컨테이너를 들어 올리는 수직구동 동작과 들어 올린 컨테이너를 이송하는 수평주행 동작이 요구된다. 컨테이너는 20ft와 40ft를 모두 이적재 할 수 있어야 하므로 컨테이너 자중은 40ft 기준인 30.5ton을 적용해야 하지만 구조적 안전성을 확보하기 위하여 화차에 최대 적재할 수 있는 40ton을 작용하중으로 설정하였다. 컨테이너의 하부를 들어서 이송하는 수평이송장치는 컨테이너 하나 당 2기가 사용되므로 하나의 이송장치에 작용하는 하중은 20ton을 적용하였다. 본 연구에서 제안한 수평이송장치는 컨테이너의 하부를 들어 화차에서 트레일러로 이적재하기 때문에 높이제한이 있으며, 높이가 2.9m에 이르는 하이큐빅(high-cubic) 컨테이너의 경우 수평이송장치가 화차의 윗면과 컨테이너 하부 사이에 들어갈 수 있는 공간은 최대 330mm 이므로 수평이송장치의 높이는 300mm를 넘지 않도록 설계되어야 한다. 또한 화차와 트레일러 사이에는 300mm의 간격이 존재하므로 이러한 공간을 넘을 수 있도록 설계되어야 하며, 컨테이너를

화차에서 트레일러로 이적재 하는데 총 3분의 작업시간을 초과해서는 않된다. 이러한 조건을 만족할 수 있는 수평이송장치의 구동조건을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Design conditions for the horizontal transfer system

Stage	Design Conditions
Driving part	<ul style="list-style-type: none"> Capacity : 24ton Distance : 2,800mm Speed : 0.1m/sec
Lifting part	<ul style="list-style-type: none"> Capacity : 24ton Distance : 100mm Speed : 0.01m/sec

300mm라는 높이제한과 중량물 수평 이송이라는 조건을 만족하기 위해서는 전기모터를 사용할 수 없기 때문에 유압모터를 사용하여 구동해야 하며, 화차와 트레일러 사이의 300mm 간격을 넘어가기 위해서는 여러 개의 구동휠이 필요하다. 그리고 중량물의 수직구동을 위해서는 스크류를 사용하여 구동하는 방식과 유압실린더를 사용하여 구동하는 방식을 모두 적용할 수 있으나 24ton의 하중을 들어올리기 위해서 유압실린더를 사용할 경우 실린더의 외경이 커지므로 장착공간을 확보하기 어렵기 때문에 두 개의 스크류 잭을 채택하고 각각의 잭은 유압모터를 사용하여 구동하도록 설계하였다. 따라서 이러한 조건을 적용한 수평이송장치는 컨테이너를 지지하는 버킷(bucket), 컨테이너를 수평이송하는 주행부(driving part), 컨테이너를 들어올리는 수직구동부(lifting part)로 구성되며 Fig. 1에 개략도를 나타내었다.

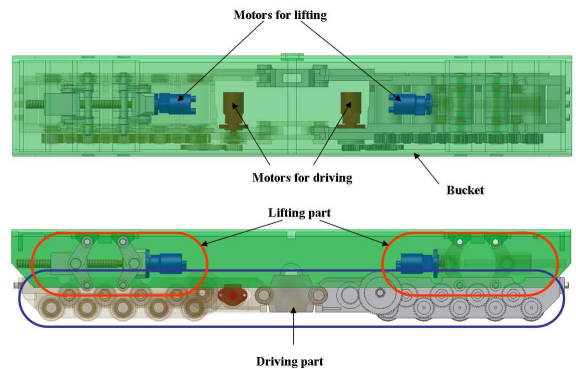


Fig. 1 Schematic of the horizontal transfer system

3. 구동장치 설계

3.1 주행장치 설계

Fig. 2에서 주행부에서 좌우프레임에 각각 2개의 휠, 즉 총 4개의 휠이 바닥과 접지하여 구동을 하게 될 때 각각의 휠에 부과되는 수직하중(N_w)은 컨테이너의 자중(W_C)과 이송장치의 자중(W_{TS})의 합으로서 아래와 같이 나타낼 수 있다.

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

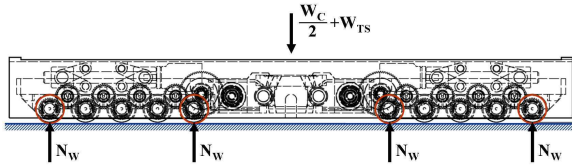


Fig. 2 Degree of freedom for the horizontal transfer system

휠에 작용하는 하중상태를 Fig. 3에 나타내었다.

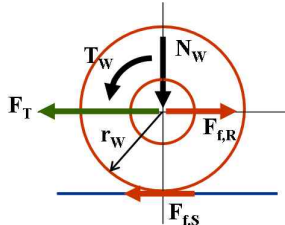


Fig. 3 Loads applied on a wheel

이송장치를 수평이로 이송하는데 필요한 힘(F_T)은 휠의 토크(T_W)에 의해서 만들어지며 휠이 구동하기 위해서는 휠의 추진력이 구름마찰저항력($F_{f,R}$)보다 커야 한다. 따라서 휠을 구동시키는데 필요한 토크(T_W)는 다음과 같은 식에 의해서 구할 수 있다.

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

3.2 수직구동장치 설계

Fig. 4에서와 같이 수직구동장치는 잭 형태의 링크장치를 유압모터를 사용하여 구동하는 구조로 되어있다.

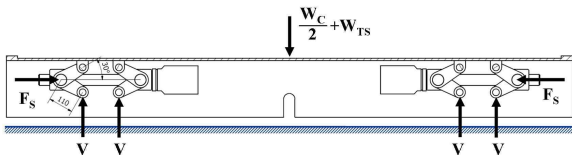


Fig. 4 Degree of freedom for the horizontal transfer system

이 때 링크의 위/아래 핀에 작용하는 수직하중(V)은 식(1)과 같은 값이 되며, 이로 인해 스크류에 작용하는 인장하중(F_S)은 수직하중(V)의 cotangent 값이 된다.

리드 스크류(사각나사)를 회전시켜 스크류에 작용하는 하중(F_S)을 밀어내기 위한 요구 토크(T_M)은 회전방향 하중(P)과 스크류 유효직경(D_S)의 조합에 의해서 정의된다.

$$T_M \geq P \times \frac{D_S}{2} \quad (3)$$

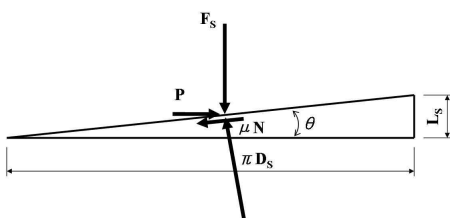


Fig. 5 Degree of freedom for the screw

여기서 스크류를 회전시켜 블록을 밀어내기 위한 회전방향

하중(P)은 아래 식과 같이 스크류에 작용하는 하중(F_S)과 스크류의 경사각(θ) 및 스크류의 마찰계수(μ)로서 정의된다.

$$P = F_S \times \frac{(\sin \theta + \mu \cos \theta)}{(\cos \theta - \mu \sin \theta)} \quad (4)$$

따라서 스크류 유효 직경(D_S), 스크류의 피치(L_S), 스크류의 유효마찰계수(μ)에 대한 모터의 요구토크(T_M)는 아래와 같은 식에 의해 계산된다.

$$T_M \geq \frac{F_S D_S (\sin \theta + \mu \cos \theta)}{2 (\cos \theta - \mu \sin \theta)} \quad (5)$$

4. 결론

철도와 공로를 연계하기 위한 복합시스템으로 제안된 DMT 수송시스템에 적용되는 수평이송장치 설계를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 40ton 용량의 컨테이너를 수평이로 이송하기 위해서는 협소한 공간 때문에 동력원으로 유압모터를 사용하여 구동하여야 한다.
- 2) 협소한 공간으로 인해 수직구동은 유압실린더를 사용할 수 없으므로 잭 스크류를 이용하여 유압모터로 구동하여야 한다.
- 3) 유럽, 일본 등 선진국에서는 육상용 경량 컨테이너 이송장치만을 개발하여 사용하고 있으나 본 연구에서는 중량의 해상용 컨테이너를 이적채할 수 있는 장치를 개발하였다.
- 4) 본 설계는 초기 단계이며 본 연구를 바탕으로 향후 좀 더 발전적이고 효과적인 제품개발을 지속적으로 개발해 나가자 한다.

후기

본 연구는 건설교통기술평가원의 교통체계효율화사업의 연구지원(07교통체계-물류05)에 의해 수행되었음.

참고문헌

1. 건설교통부, “물류시설 통합조정방안 연구,” 2001.
2. 동아대학교, “철도물류 활성화를 위한 Dual Mode Trailer (DMT) 수송시스템 개발 기획,” 건교평 기술보고서, 2007.
3. 교통개발연구원, “21세기 국가물류정책의 비전과 전략,” 2000.
4. 이영진, 이진우, 조현철, 한동섭, 이권순, 한근조, “DMT(dual mode trailer) 시스템 개발을 위한 기술동향 및 기술성 분석,” 한국항공해상학회지, 32, 3, 31-36, 2008.
5. 김영진, 김태우, 김현수, 이건설, 최재봉 공역, “기계설계,” McGraw-Hill Korea, 2006.