

부산신항 타부두 환적의 효율적인 처리방안 연구

오석문^{1*}, 전형모², 박형준³

¹한국철도기술연구원, ²한국해양수산개발원, ³서울시립대학교 교통공학과

A Study for Efficient Inter-Terminal Transportation in the Busan New Port

Suk-Mun Oh^{1*}, Hyong-Mo Jeon² and Hyeonjun Park³

¹Korea Railroad Research Institute, ²Korea Maritime Institute,

³Department of Transportation Engineering, the University of Seoul

요약 한국 정부는 부산신항을 세계 2위의 환적중심 항만으로 육성하기 위한 정책 목표를 수립하고 있다. 본 논문은 이와 같은 정책 목표 달성의 한 가지 방법으로 타부두 환적의 효율적인 처리방안 제시를 목적으로 한다. 본 논문에서는 먼저 부산신항의 타부두 환적 물동량에 대한 장기 예측결과를 제시한다. 다음 부산신항의 타부두 환적을 처리할 수 있는 시스템적 대안으로 Double stack Multiple Trailer System(DMTS)와 궤도식 시스템 대안을 제시한다. 각 시스템 대안의 부산신항에 적용방법을 소개하고, 예측된 타부두 환적 물동량을 처리하기 위한 대안별 시스템 소요량 및 도입비용을 산출한다. 특히, DMTS의 경제성 분석결과 B/C = 3.7을 확보할 것으로 예상되고, 재무성 분석결과 현행 톤-km 당 요금을 현행 대비 67%까지 인하할 수 있어 부산신항 타부두 환적을 효율적으로 처리할 수 있는 유력한 대안으로 판단된다.

Abstract The Korean government establishes a strategy to develop the Busan New Port as a world ranking two transit-oriented port. This paper aims at presenting an efficient inter-terminal transport (ITT) system in the Busan New Port as a method of achieving the government strategy. First, it presents results of long term forecast for the inter-terminal transportation volume in the port. Second, it proposes two systems to treat ITT in the port; Double stack Multiple Trailer System (DMTS) and Rail-based transportation system. The implementation methods in the port are introduced in detail for the both systems, and the required number of the systems and costs are calculated for implementation of both the systems. B/C for DMTS is analyzed to 3.7, moreover unit-fare per [ton-km] can be lowered to 67% against current fare. DMTS is shown to highly potential for efficient ITT in the port.

Key Words : Busan New Port, Container, Inter-Terminal Transport (ITT)

1. 서론

해상 컨테이너 운송에서 동아시아 지역은 유럽과 미주를 연결하는 위치상의 장점을 가진 지역으로, 전 세계 컨테이너 수송량의 1위 ~ 5위 항만들이 모두 이 지역에 위치해 있다[1]. 이 가운데 상하이항은 최근 컨테이너 처리 물량 1위를 기록하고 있는 항만이다. 그러나 이와 같은

기록은 중국 본토의 수출입 물량 증가에 따른 것[2]으로 상하이항이 갖고 있는 물류시설과 서비스의 품질이 전 세계 항만의 1위를 의미한다고 보기는 어렵다.

항만 자체가 가진 물류시설과 서비스 품질은 해당 항만의 환적 물동량을 기준으로 판단해 볼 수 있다. 환적 수송량의 확보는 자국의 수출입 물량과 상관없이 해당 항만이 가진 시설과 서비스의 경쟁력에 의해서 결정되기

본 논문은 한국해양과학기술진흥원 및 한국철도기술연구원 연구과제로 수행되었음.

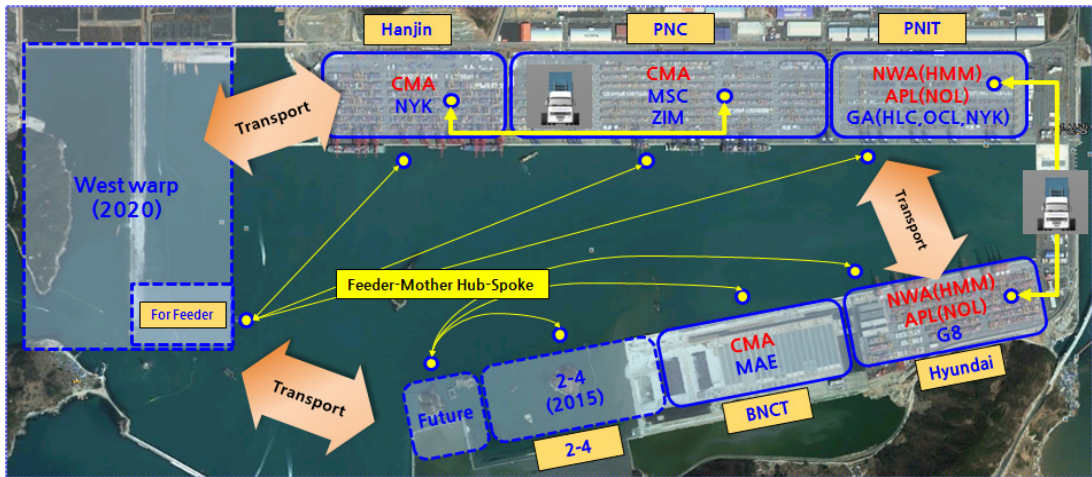
*Corresponding Author : Suk-Mun Oh(Korea Railroad Research Institute)

Tel: +82-31-460-5484 email: smoh@krri.re.kr

Received October 2, 2013

Revised (1st November 29, 2013, 2nd December 3, 2013)

Accepted March 6, 2014



[Fig. 1] An example of ITT in Busan New port

때문이다.

싱가포르 항만 (Port of Singapore Authority, PSA)의 경우 최근 컨테이너 수송량은 2위이지만 환적수송량은 1위를 차지하고 있다[1]. PSA와 말레이시아의 Pelabuhan Tanjung Pelepas (PTP) 항만은 컨테이너 총 수송량 중 각 85%와 95%가 환적 수송량에 해당한다[3].

현재 부산항의 환적 수송량은 세계 3위 규모로 총 수송량 중 약 45%에 해당한다. 정부에서는 부산항을 세계 2위의 환적중심 항만으로 육성하기 위한 정책적 목표를 수립하고 있다[4]. 이와 같은 정책목표를 달성하기 위한 유력한 방법 중의 하나로 타부두 환적 효율성 개선을 고려해 볼 수 있다.

타부두 환적은 입항시의 터미널과 출항시의 터미널이 서로 다른 환적의 경우로서, 자부두 환적과 대비되는 개념의 환적이다. 자부두 환적의 경우 동일한 터미널에서 입출항 선박간 환적이 발생하는 경우로서 비교적 효율적으로 환적을 처리할 수 있는 반면 타부두 환적은 육상에서의 이적(Movement)이 추가로 발생하는 환적이다.

현실의 항만 터미널에서는 타부두 환적을 최소화하고 자부두 환적 중심의 환적체계를 추구하고 있으나, 다양한 현실적인 이유 때문에 타부두 환적의 발생은 불가피하다. Fig. 1은 부산신항에서 발생하는 타부두 환적의 3가지 유형을 나타내고 있다. 각각의 유형을 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

Fig. 1에서 제시하는 예시와 같이 CMA는 한진 (Hanjin) 터미널과 PNC 터미널에 모두 취항한다. PNC에 기항 예정인 선박이 부두에 접근하는 시점에서 PNC 터미널의 안벽이 다른 선박들에 의해 모두 점유되어 있어 당장 정박하기 어려운 경우 CMA는 해당 선박을 옆 터미

널인 한진 터미널에 정박하여 PNC에 하역 예정 컨테이너를 한진 터미널에 하역할 수 있다. 그렇지 않고 해당 선박이 PNC의 안벽에 여유가 생길 때까지 대기하는 경우 선박의 지체에 따른 비용 발생과 터미널의 서비스 품질 저하에 직면하게 된다.

한진 터미널에 하역한 컨테이너는 육상운송을 통해 PNC로 다시 이적된다. 이와 같은 환적절차가 타부두 환적의 첫 번째 유형으로 현장에서는 이와 같은 경우를 ‘전배’라는 용어로 부른다.

두 번째 유형은, 북측 부두의 PNC에 취항하는 CMA 선박들은 주로 유럽 노선을 운항하고, 남측 부두의 BNCT에 취항하는 CMA 선박들은 주로 미주 노선을 운항한다고 가정할 때, PNC에 취항하는 유럽 노선의 선박에는 미주행 컨테이너가 일부 실려 있을 수 있고, 반대로 BNCT에 취항하는 선박에는 유럽행 컨테이너가 일부 실려 있을 수 있다. 이와 같은 경우 유럽행 ~ 미주행간 컨테이너들이 PNC와 BNCT 사이에서 육상을 통해 타부두 환적 된다.

마지막으로 피더 전용부두가 운영될 때, 피더선은 국내 연안 항만과 인근 동아시아 지역의 항만으로부터 원양 운송되는 컨테이너들을 집하하여 각 터미널의 원양해운으로 운송되는 선박에 이적된다. 이 경우 피더 전용부두와 개별 터미널들은 ‘Hub-Spoke’의 관계를 가진다.

이와 같이 다양한 유형의 타부두 환적이 불가피하게 발생하는 상황에서 환적의 효율성을 향상하는 것이 해당 부두의 경쟁력을 향상하는 중요한 요소 중의 하나이다. 항만 컨테이너 터미널에서 발생하는 환적의 효율적인 처리방안과 관련하여 다양한 연구사례가 존재하나, 타부두 환적과 관련된 사례들을 선별하면 다음과 같다.

Vis와 Koster[5]는 컨테이너 터미널에서 발생하는 한적 프로세스를 전반적인 시각에서 폭넓게 소개하고 있다. 선박에서 바지선, 트럭 및 열차 등 복합적 교통수단으로 환적(Multi-modal transshipment)되는 체계에 대해 세부적인 설명을 제시하고 있다. 특히 대형 선박의 부두 접안시간 최소화를 위한 터미널 내부 환적연계체계 개선 요소들의 고찰 결과를 제시하고 있다.

Lee, Jin와 Chen[6]은 싱가포르 PSA의 기존 터미널인 Brani, Keppel, Tanjong Pagar와 같이 복수의 터미널들이 운영되는 항만에서 발생하는 타부두 환적의 운영비 절감 방안을 제시하였다. 그들은 환적 대상이 되는 2대의 선박들이 가급적 동일한 터미널에 접안하여 타부두 환적 수송량을 최소화하는 할당방안을 제안하였다. 그들은 이 문제를 선박-터미널 사이의 할당과 컨테이너-야드(Yard) 할당의 2단계 절차법(Two Stages Model) 모형으로 구성하고, 이 모형에 대한 해법으로 2단계 휴리스틱 알고리즘을 개발하였다. 개발된 모형과 알고리즘은 기존 방법에 비해 타부두 환적 처리비용의 20% 절감이 가능하다고 주장한다.

Hendricks, Armbruster, Laumanns, Lefeber와 Udding[7]은 엔트워프 항(벨기에)에서 PSA Antwerp가 운영하는 복수 터미널들의 타부두 환적 효율성을 개선하기 위해 혼합 정수계획 (Mixed Integer Programming) 모형과 해법을 제시하였다. 그들의 모형은 터미널내 안벽 크레인의 작업을 평준화하고 타부두 환적 발생 최소화를 목적으로 하고 있다. 그들은 안벽 크레인의 작업분담 효과를 25% 향상하고 비용 효율성을 3% 개선한다고 주장한다.

Goussiatiner[8]는 선박-야드블럭(Yard Block) 사이의 컨테이너 이송에서 기존 YT와 MTS의 이송거리별 운영비를 비교하여 제시하였다. 이송거리가 500m인 경우 트레일러 2대가 편성된 MTS의 운영비가 가장 저렴하고, 1200m인 경우 트레일러 3대가 편성된 MTS의 운영비가 가장 저렴한 것으로 제시하였다. 이는 이송거리가 긴 경우 대용량 이송장치가 유리함을 의미한다.

본 논문은 타부두 환적의 효율적 처리하는 방안 제시를 목적으로 한다. 특히 부산신항과 같이 복수 터미널 운영사들이 입주해 있는 상황은 Lee, Jin와 Chen[6]의 PSA 사례와 유사하지만, PSA는 개별 터미널에 입항하는 선박들을 통합적 차원에서 유기적으로 할당하여 타부두 환적의 효율성 개선이 가능하나, 부산신항의 경우 각 터미널들은 상호 경쟁관계의 기업들로서 PSA와 같은 통합적인 해결방법의 도입은 어려운 실정이다.

반면 Goussiatiner[8]는 컨테이너 대용량 이송장치의 도입을 통한 개별 터미널의 효율성을 개선의 가능성을 제시하는 연구로서, 국내 타부두 환적 효율성 향상방안에

참고할만한 연구로 사료된다. 다만, 부산신항의 경우 이미 입주해 있는 기존 터미널 운영사의 불편을 최소화하면서 항만내 타부두 환적을 유연하게 처리할 수 있는 방안이 도출되어야 할 것이다.

본 논문에서는 이와 같은 선행연구 및 국내 현실의 제약요소들을 고려하여 국내 항만의 컨테이너 타부두 환적 효율성 향상을 위한 방안을 제시한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 제2절 부산신항 타부두 환적 물동량 예측, 제3절 시스템 대안설정 및 소요량 산정, 제4절 경제적 및 재무적 타당성 분석, 마지막으로 결론으로 구성된다.

2. 부산신항 타부두환적 물동량 예측

부산항 컨테이너 물동량은 매년 지속적인 성장을 기록하고 있으며 2011년에는 1,619만 TEU (Twenty-foot Equivalent Unit)를 처리하여 세계 5위의 위치를 차지하였다. 특히 2011년에는 부산신항 내부에서 4개의 터미널(한진, PNC, 현대, BNCT)들이 본격적으로 운영되면서 2010년 대비 13.7% 증가하여 상위 5대 항만 중 가장 높은 성장률을 보였다[9,10].

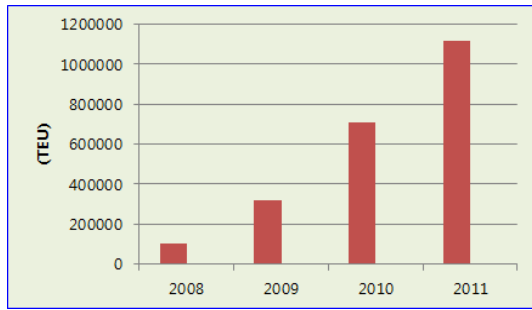
[Table 1] Forecast of container volume in Busan Port [4]

Years		2010	2020	2030
Total volume	(×1000RT)	262,072	416,721	629,382
Container volume	(×1000RT)	236,636	376,954	584,628
	(×1000TEU)	14,194 (100%)	22,354 (157%)	34,630 (244%)

기존의 부산 북항과 별도로 2006년 부산신항 개장 당시 부산항 컨테이너 물동량 점유율은 2%였다. 이후 신항의 점유율은 급속히 증가하여 2011년 47.9%에 달했으며, 2012년에는 최초로 50%를 넘어서 북항보다 많은 물량을 처리하게 되었다.

부산신항의 터미널은 현재 2-4단계 까지 완공되었고, 장래 서쪽 컨테이너 부두(서-컨)와 3단계까지 개장하여 지속적인 처리능력의 증가가 전망된다. 뿐만 아니라, 북항 재개발에 따른 선사들의 이전 등으로 신항의 컨테이너 물동량 처리 비중의 증가는 더욱 가속화될 것으로 판단된다.

부산항에서 신항의 비중이 높아짐에 따라 신항 내부 각 터미널들 간의 타부두 환적 물동량도 빠른 속도로 증가하고 있다. Fig. 2는 최근 신항 내부 타부두 환적 물동량의 증가 추세를 보여주고 있다[9-12].



[Fig. 2] ITT volume in Busan New Port

이 절에서는 이와 같은 증가 추세를 바탕으로 장래 2020년과 2030년 부산신항 내부 컨테이너 물동량 증가를 예측한다. 부산신항의 장래 물동량을 예측하는 적절한 방법으로 시계열(Time series) 예측방법을 고려할 수 있겠으나, 부산신항의 운영이 2006년부터 시작되었으며, 타부두 환적 물동량을 주고받는 4개 터미널이 모두 본격적으로 운영된 것은 2011년부터 이므로 단순한 시계열 분석 방법을 적용하기에는 데이터가 불충분하다고 판단된다.

따라서 2011년 4개 터미널의 타부두 환적 물동량 자료와 각 터미널 운영사의 담당자 인터뷰를 통해 터미널 간 타부두 환적 물동량 비율을 추정하는 방법론을 적용한다 [13].

Table 2는 부산신항과 북항의 장래 물동량 분담 비율에 대한 예측결과이다[14]. 부산 북항과 신항 사이의 물동량 분담 비율은 다음과 같은 3 가지 분석 방법들을 통하여 예측되었다.

[Table 2] Forecast of container volumes shared by the Busan North and New Ports [14]

Methods		2011 (1000TEU)	2020 (1000TEU)	2030 (1000TEU)
M1	North Port	8,434	5,893	9,130
	New Port	7,751	16,461	25,500
	Total	16,185	22,354	34,630
M2	North Port	8,434	8,137	12,605
	New Port	7,751	14,217	22,025
	Total	16,185	22,354	34,630
M3	North Port	8,434	5,811	4,222
	New Port	7,751	16,543	30,408
	Total	16,185	22,354	34,630

·Method-1 (M1) : 각 항만의 터미널 하역능력을 기준으로 판단한다. 북항의 하역 능력은 2020년 이후 감소할 것으로 전망된다.

·Method-2 (M2) : 각 항만의 이용자 선호를 기준으로 판단한다. 부산항을 이용하는 선사, 화주, 포워더를 대상으로 설문조사를 실시한다.

·Method-3 (M3) : 부산항을 이용하는 선사의 이동현황 기준으로 판단한다.

본 논문에서는 Table 2의 3가지 분석 방법들 중 M3가 가장 현실에 가까운 방법이라고 판단하며, 이 방법의 의한 분담 비율을 적용하여 장래 신항의 타부두 환적 물동량을 예측한다.

Table 3는 Table 2에서 예측된 부산신항의 분담 물동량에 대해, 신항의 기존 타부두 환적 물동량 분석과 선사 및 터미널 운영사 인터뷰 결과를 토대로 타부두 환적 물동량의 비율을 보수적, 중립적, 낙관적 시나리오로 구분하여 부산신항의 타부두 환적 물동량을 예측한 결과이다.

먼저, 보수적 시나리오에서는 북항 컨테이너 물동량의 상당 부분이 신항으로 이동함에 따라 북항과 신항간 타부두 환적 물동량은 대폭 줄어들고 현재 신항 내에서 발생하는 타부두 환적 물동량 비율은 기존 비율(3.3~4%)에서 소폭 증가할 것으로 가정한다. 즉, 전체 부산신항 컨테이너 물동량의 4%를 타부두 환적 물동량으로 간주한다.

[Table 3] Forecast of ITT container volumes in the Busan New Port

Scenarios		2011 (1000TEU)	2020 (1000TEU)	2030 (1000TEU)
Pessimistic (4%)	M1	214	658	1,020
	M2	214	569	881
	M3	214	662	1,216
Neutral (9.5%)	M1	214	1,564	2,423
	M2	214	1,351	2,092
	M3	214	1,572	2,889
Optimistic (15%)	M1	214	2,469	3,825
	M2	214	2,133	3,304
	M3	214	2,481	4,561

다음, 낙관적 시나리오에서는 북항 컨테이너 물동량의 상당 부분이 신항으로 이동함에 따라 북항과 신항간 타부두 환적 물동량은 대폭 줄어드는 반면, 신항의 컨테이너 물동량 및 기항 선사, 터미널의 증가로 인해 신항 내 타부두 환적 물동량이 현재보다 대폭 증가할 것으로 가정한다. 현재 부산신항 타부두 환적 물동량 비율(17.1%)과 운영사 및 선사와의 인터뷰(10~15%)를 기반으로 전체 부산신항 컨테이너 물동량의 15%를 타부두 환적 물

동량으로 간주한다.

마지막으로 중립적 시나리오에서는 낙관적 시나리오와 보수적 시나리오의 평균값을 부산신항의 타부두 환적 물동량 비율로 가정한다. 따라서 부산신항 컨테이너 물동량의 9.5%를 타부두 환적 물동량으로 간주한다. 이와 같은 3 가지 시나리오에 따라 부산신항의 타부두 환적 물동량을 예측한 결과는 Table 3에 나타난 바와 같다.


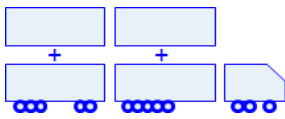

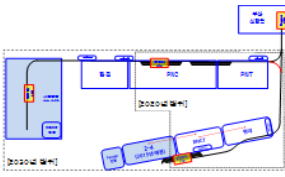
본 논문에서는 중립적 시나리오에 따라 M3 분석 방법을 통해서 예측된 물동량을 중심으로 부산신항 타부두 환적의 효율적인 처리방안을 제시한다. 다음 절에서는 타부두 환적의 효율적인 처리를 위한 시스템 대안 설정과 각 대안별 시스템 소요량 산정결과를 제시한다.

3. 시스템 대안 및 소요량 산정

3.1 시스템 분석대안 설정

부산신항에서 발생하는 타부두 환적 물동량의 효율적인 처리를 위해 Table 4와 같이 시스템적 대안들을 제시해 볼 수 있다.

[Table 4] System alternatives for ITT in the Busan New Port

Alternatives		Conceptual design
Single Truck		
DMTS		
Rail-Based System	2020 (Single)	
	2030 (Double)	

첫 번째 시스템 대안은 기존에 사용하는 컨테이너 운송용 트랙터와 트레일러 (Single Truck)를 사용하는 방법이다. 이 대안은 항만내에서 발생하는 타부두 환적 물동량 처리를 위해 추가적인 시스템 개발을 하지 않고 기존

의 방법대로 터미널 운영사의 ‘YT (Yard Truck)’ 및 운송사의 ‘RT (Road Truck)’을 활용하여 처리하는 방법이다. 시스템 소요량 산정을 위한 시스템의 평균속도와 공차율은 현행 컨테이너 터미널에서 운영 중인 조건을 고려하여 각각 20km/h 및 25%로 가정한다.

DMTS는 40FT 컨테이너를 2층으로 적재하여 2대까지 연결하여 4박스를 동시에 이송할 수 있는 새로운 육상식 트레일러 시스템을 이용하여 처리하는 방법이다. 시스템 소요량 산정을 위한 시스템의 평균속도와 공차율은 현재 사용 중인 ‘Single Truck’ 시스템의 성능에 준하는 조건을 고려하여 각각 20km/h 및 25%로 가정한다. DMTS가 현행 ‘Single Truck’ 시스템에 준하는 운행성능을 나타내기 위해서는 운행 및 제어 부분의 기술개발이 일부 병행되어야 할 필요성이 있다.

궤도식 시스템 대안(Rail-based System)은 부산신항에 이미 설치되어있는 항만 인입철도의 인프라를 사용하는 방법으로 컨테이너 화차 3량과 전용 기관차로 고정 편성된 철도차량이 관제센터와 무선통신을 통해 터미널과 터미널 사이를 자동으로 셔틀 운행하는 시스템을 고려한 것이다.

궤도식 시스템 대안은 타부두 환적 물동량의 증가 추세에 따라 2020년 대안과 2030년 대안으로 구분한다. 2020년 대안은 현재 영업 중인 북측(한진, PNC 및 PNIT)과 남측(현대, BNCT 및 2-4) 터미널을 대상으로 기존 단선 노선을 그대로 활용하고, 북측과 남측을 연결하는 3각 선만을 추가로 부설하는 대안이다. 반면 2030년 대안은 2020년까지 개장 예정인 서측 및 Feeder 전용 부두를 포함하여 고려하고, 타부두 환적 물동량의 증가에 따라 기존 항만 인입철도의 복선화를 고려한다.

궤도식 시스템은 터미널과 터미널 사이를 자동으로 운행하므로 운영비를 절감할 수 있을 뿐만 아니라 40FT 컨테이너를 6박스까지 적재하여 빠른 속도로 이송할 수 있는 장점을 가지고 있다. 반면 장래 복선화를 위해서 터미널 내부 부지를 점유해야하고, 궤도식 시스템이 정차하는 정거장과 터미널의 야드 블럭간 추가적인 이적이 발생하는 단점을 동시에 가지고 있다.

2020년과 2030년 대안들에 대해 공통적으로 궤도식 시스템의 정거장과 인근 터미널 야드 블럭간 구내이적 부분은 기존의 YT를 활용하여 처리하는 것으로 가정한다.

3.2 시스템 소요량 및 비용 산정

각 시스템 대안 소요량 및 비용 산정을 위해 컨테이너량당 적하시간 = 1.5분 (각각), 다중/2단 적재에 따른 적하 준비시간(Setup Time) 절감 = 20%를 적용하고, 1일

작업시간 = 20시간으로 가정한다. DMTS의 가격은 기존에 적용되는 MTS의 운행조건을 적용하여 산정한다.

[Table 5] The required numbers of systems and costs for Single Truck and DMTS

Alternatives	Price/set (100M ₩)	Numbers of systems		Costs (100M ₩)	
		2020	2030	2020	2030
Single Truck	1.5	18	36	27	54
DMTS	5.06	7	14	35.42	70.84

Table 5는 기존 육상식 시스템과 DMTS의 소요량 및 도입비 산정결과를 나타내고 있다. 궤도식 시스템 소요량 산정. 소요량 산정 전제조건. 궤도기반 자동화 셔틀 장치 최고 운행속도 = 60km/h, 가속도 = 0.5km/h/sec, 감속도 = 1.0km/h/sec RT/YT 평균 운행속도 = 20km/h. 컨테이너 량당 적하시간 = 1.5분 (각각). 1일 작업시간 = 20시간

궤도식 시스템 소요량 산정을 위한 전제조건으로 최고 속도 = 60km/h, 가속도 = 0.5km/h/sec 및 감속도 = 1.0km/h/sec로 가정한다. 이는 도시철도에서 일반적으로 적용하는 운행성능에 비해 싼 값으로 현재 국내 기술로 구현하는데 큰 문제가 없는 시스템 사양이다. 궤도식 시스템의 공차율은 수요에 따라서 운행하는 체계(On call)를 감안하여 설정하지 않는다. 또한 RT와 YT의 구내 평균 운행속도 = 20km/h, 컨테이너 량당 적하시간 = 1.5분 (각각) 및 1일 작업시간 = 20시간으로 가정한다.

Table 6과 Table 7은 각각 2020년과 2030년의 궤도식 시스템을 구성하는 구성품의 소요량과 이에 따른 도입비를 나타낸다.

Table 6과 Table 7에 제시된 궤도식 시스템의 도입비는 Table 5에서 제시된 기존 육상식 시스템 및 DMTS에 비해 매우 높은 수준으로 산정된다. 이와 같은 비용요소의 원인은 남측과 북측 부두에서 설치된 궤도를 연결하는 삼각선 설치를 위한 비용이 높고, 특히 2030년 대안의 경우 노선 전반에 걸친 복선화 비용이 매우 크기 때문이다.

4. 경제적 및 재무적 타당성 분석

4.1 편익 분석

앞 절에서 소개된 시스템 대안들의 적용에 따른 경제적 및 재무적 타당성을 분석하기 위해 한국개발연구원(2008)의 도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 연구(제5판)(이하 지침)[15]을 연도별 소비자 물가지수를 고려하여 적용한다.

[Table 6] The required numbers of the rail-based system and costs for 2020

Components of Rail-Based System		Number of systems	Costs (100M ₩)
Track	Triangular track	1건	271.23
	Double track	8~13 Km	271.23
Vehicle	Rail-based shuttle systems	3 sets (9 cars)	84.9
	RT (for neighborhood terminals)	6 cars	8.88
	YT (for stop-block)	4 cars	5.92
	Reach stacker	2 cars	5.94
Electricity	Catenary	8Km	42.67
	Rectifier	2 sets	10
Control	Transponder	320 ea.	0.16
	Wireless antenna	42 ea.	0.84
	CTC	1 set	25
	Onboard control device	5 set	20
	RBC(Radio Block Center)	3 sets	15
Miscellaneous	Earthing, Cable, Optical, Duct, etc	1 set	2
Total			472.54

[Table 7] The required numbers of the rail-based system and costs for 2030

Components of Rail-Based System		Number of systems	Costs (100M ₩)
Track	Triangular track	1 set	1,557.75
	Double track	8~13 Km	271.23
Vehicle	Rail-based shuttle systems	6 sets (18 cars)	169.8
	RT (for neighborhood terminals)	8 cars	11.84
	YT (for stop-block)	8 cars	11.84
	Reach stacker	3 cars	8.92
Electricity	Catenary	12.89 Km	68.75
	Rectifier	2 sets	10
Control	Transponder	516 ea.	0.25
	Wireless antenna	65 ea.	1.29
	CTC	1 set	25
	Onboard control device	7 set	35
	RBC(Radio Block Center)	4 sets	16
Miscellaneous	Earthing, Cable, Optical, Duct, etc	1 set	3
Total			2,190.67

분석기간은 지침에서 정하는 바와 같이 개통 후 40년으로 하고, 분석을 위한 기준년도는 해당 연구를 실행한 2011년으로 설정한다.

편익의 산정은 교통사업의 경제성 평가에 대한 지침에서 제시하고 있는 수확식을 이용하여 차량운행비용 절감, 통행시간비용 절감(화물자동차, 화물), 환경비용 절감에 대해 편익을 개략적인 방법으로 산출한다. 각 편익 항목의 산정방법은 다음과 같다.

차량운행비용 절감편익은 분석대상 사업의 직·간접 영향권 내 링크를 대상으로 주행속도 및 교통량과 차량운행비용 원단위를 적용하여 산정한다. 차량운행비용 원단위는 지침에서 제시한 차종별·속도별 차량운행비용에서 소비자 물가지수를 반영하여 2011년 기준으로 적용한다.

화물자동차 통행시간 절감편익은 화물자동차 운전자의 통행시간 절감에 따른 편익으로 링크의 통행시간과 차종별 교통량을 이용하여 산정한다. 화물자동차 통행시간 절감편익의 산정 시 평균통행시간은 항만내 타부두간 통행거리와 수단별 평균속도를 이용하여 산출한다.

화물자동차 시간가치는 한국교통연구원(2007)의 전국 지역간 여객 기종점통행량 자료의 전수화의 평균 시간 가치를 편익보정지수로 보정하였다[16]. 본 논문에서 적용한 화물자동차 1대당 평균 통행시간가치(2011년 기준)는 19,090원/대·시이다.

화물의 통행시간 절감에 따른 편익은 링크의 통행시간과 차종별 교통량을 이용하여 산정한다. 화물의 통행시간 절감편익의 산정 시 평균통행시간은 화물자동차 통행시간과 유사하게 항만내 타부두간 통행거리와 수단별 평균속도를 이용하여 산출한다.

환경비용 절감편익은 분석대상 사업의 영향권 내 링크를 대상으로 교통량과 주행속도에 따른 대기오염비용 원단위를 적용하여 산정한다. 환경비용절감 원단위는 지침에 제시되어 있는 차종별·속도별 대기오염비용에서 화물자동차 평균 원단위를 적용하여 산정한다.

DMTS의 경우 개발 후 곧바로 적용할 수 있으므로 사업기간은 2013년 ~ 2015년으로 설정하고 최초 편익 발생하는 년도는 2016년으로 본다. 반면 궤도식 시스템의 경우 철도 궤도의 보완 및 차량시스템 개발 등의 소요기간을 고려하여 사업기간은 2013년 ~ 2019년으로 설정하고 최초 편익 발생하는 년도는 경우 2020년으로 본다.

Table 8은 기존의 육상식 시스템 (Single Truck)에 대한 대안으로 제시된 DMTS와 궤도식 시스템에 대한 편익 산정결과를 제시한다. 궤도식 시스템은 자동화 서틀운행에 따른 차량운영비용 및 환경비용 절감 측면에서 좋은 특성을 갖고 있어 전체적인 편익에서 DMTS 보다 높게 산정된다.

[Table 8] Results of benefit calculation for the alternative systems, (unit: 100M₩)

Alternatives	Operating cost reduction	Travel time reduction		Environment cost reduction	Total benefit
		Freight cars	Freight		
DMTS	2016	1.2	2.7	0.0	5.3
	2020	4.4	9.9	0.0	17.9
	2030	10.0	22.5	0.0	40.7
RAIL-Based System	2020	6.6	0.4	0.6	13.0
	2030	17.7	26.5	3.0	61.7

4.2 경제적 타당성 분석

경제적 타당성 분석을 위한 사회적 할인율은 지침에서 정한 바와 같이 개통 후 30년까지는 5.5%, 31년~40년까지는 4.5%를 적용하고, 분석 최종년도인 2036년 이후의 편익은 2036년과 동일한 것으로 가정한다.

Table 9는 DMTS와 궤도식 시스템의 경제적 타당성 분석 결과를 제시한다. Table 9에서 제시하는 바와 같이 DMTS의 B/C 산출 결과가 궤도식 시스템에 비해 높게 나타난다. 이는 비록 궤도식 시스템의 편익이 DMTS에 비해 높게 산정되나, 궤도식 시스템의 도입에 소요되는 비용이 매우 높게 산정되기 때문이다.

[Table 9] Results of economy analysis for the alternative systems, (unit: 100M₩)

Alternatives		DMTS	RAIL-Based System	
Total cost		283	2,826	
Total discounted cost (C)		112	1,500	
Total benefit	Operating cost reduction	339	647	
	Travel time reduction	Freight cars	762	917
		Freight	0	108
	Environment cost reduction	278	527	
Total discounted benefit (B)		417	692	
B/C		3.70	0.46	
NPV		304	-808	
IRR		27.50	-2.07	

4.3 재무적 타당성 분석

재무성 평가를 위한 사업기간 및 기준년도의 전제조건

은 모두 경제적 타당성 분석을 위한 조건과 동일하게 설정한다.

재무성 평가는 경제성 분석과 달리 개별 사업주체의 입장에서 계산이 진행되므로 단순 시장가격을 적용하여 산정한다. 또한 비용 산출의 경우 시스템 비용에 더하여 세금, 이자 비용 등과 같은 항목들이 포함되어야 하며, 이자율은 시장 이자율 등 재무적 할인율을 적용하여 산정한다.

본 논문에서는 DMTS 및 궤도식 시스템 도입에 따른 적정 운임을 산정하는 방향으로 재무성을 분석한다. 이와 같은 분석을 통해 타부두 환적 시스템 대안 도입에 따른 운임절감 효과를 검토할 수 있다.

현행 부산신항에서 기존 시스템(Single Truck)을 이용한 타부두 환적 관련된 운임 및 운영비 자료를 활용하여 사업대안의 미시행시 수익률(R/C = 6.58)을 산정하였다. Table 10은 R/C = 6.58을 달성하는데 따른 적정 운임수준과 재무적 순현재가치의 산정 결과를 제시한다.

Table 10에서 제시하는 바와 같이 DMTS 대안을 적용할 경우 현행과 같은 수익률 확보 조건에서 TEU-Km 당 운임을 1,204원까지 인하할 수 있는 것으로 분석된다. 반면 궤도식 시스템의 경우 당초 시스템 도입비 수준이 높아 이를 변제하기 위한 운임 상승이 불가피한 것으로 분석된다.

[Table 10] Results of financial analysis for the alternative systems

Alternatives	R/C	FNPV (100M₩)	Fares (₩/TEU-km)
Conventional	6.58	1,907	3,656
DMTS	6.58	628	1,204
RAIL-Based System	6.58	8,367	12,983

5. 결론

본 논문에서는 부산신항의 경쟁력 향상 방안의 일환으로 타부두 환적을 효율적으로 처리하는 방안을 제시하였다. 부산신항의 타부두 환적을 효율적으로 처리하기 위해 DMTS와 궤도식 시스템을 제안하였다. 부산신항의 장래 타부두 환적 물동량을 정량적으로 예측하였으며, 예측된 물동량을 적용하여 각 시스템의 적용에 따른 경제적 효과를 판단하였다.

경제적 타당성 분석결과 DMTS는 기존의 육상식 시스템에 비해 적용 효과가 있으나(B/C = 3.7), 궤도식 시스템은 적용 효과가 없다. 이는 궤도식 시스템의 도입비용이 상대적으로 높기 때문으로 판단된다.

DMTS의 경우 재무성 측면에서도 기존의 수익률을 유지하는 조건에서 현행의 운임을 67%까지 절감할 수 있는 것으로 분석된다. 제안된 DMTS는 향후 국가연구개발 사업을 통해 현장에 실용화할 수 있는 연구개발이 뒤따라야 할 것이다.

궤도식 시스템의 경우 부산신항의 기반 시설계획이 이미 마무리되어 운영 중인 단계에서 추가 시설을 설치하는 것에 대해 입주 중인 터미널 기업의 영업에 지장을 초래할 우려가 있다. 따라서 장래 부산신항 3단계 사업 추진이 설계 단계에서부터 철도와 항만 터미널의 긴밀한 연계 수송체계의 개념을 도입하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

References

- [1] Wikipedia, List of World's Busiest Container Ports, Available From: http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_world's_busiest_container_ports, (accessed Nov. 28, 2013).
- [2] J. B. LI, Y. S. OH, "A Research on Competition and Cooperation Between Shanghai Port and Ningbo-Zhoushan Port", *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, Vol. 26, No. 1, pp. 67-92, 2010. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S2092-5212\(10\)80012-4](http://dx.doi.org/10.1016/S2092-5212(10)80012-4)
- [3] J. Leong, M. J. Chen, "Battle of the Asian Transshipment Hubs: PSA vs PTP", Working Paper, Darden Case No. UVA-S-0110, 2008.
- [4] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, *The Third, Basic Plan for National Ports (2011-2020)*, p.48, 2011.
- [5] I. F. A. Vis, R. de Koster, "Transshipment of containers at a container terminal: An overview", *European Journal of Operational Research*, Vol 147, pp. 1-16, 2003. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00293-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00293-X)
- [6] D. H. Lee, J. G. Jin, J. H. Chen, "Terminal and Yard Allocation Problem for a Container Transshipment Hub with Multiple Terminals", *Transportation Research Part E*, Vol. 48, pp. 516-528, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2011.09.004>
- [7] M. P. M. Hendriks, D. Armbruster, M. Laumanns, E. Lefeber, J. T. Udding, "Strategic Allocation of

Cyclically Calling Vessels for Multi-terminal Container Operators”, *Flexible Services and Manufacturing Journal*, Vol. 24, pp. 248-273, 2012.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10696-011-9120-5>

- [8] A. Goussiater, “Efficiency of Multi-trailer Systems for Ship to Stacks Container Transportation”, *Port Technology International*, pp. 78-82, 2011.
- [9] Busan Port Authority, *2011 Port of Busan Container Statistics*, 2011.
- [10] Busan Port Authority, *2012 Port of Busan Container Statistics*, 2012.
- [11] Busan Port Authority, *2009 Port of Busan Container Statistics*, 2019.
- [12] Busan Port Authority, *2010 Port of Busan Container Statistics*, 2010.
- [13] S. M. Oh, S. H. Choi, K. L. Ahn, *The Final Report of a Feasibility Study for Development of Technologies in Inter Terminals Transportation*, pp. 78~98, 2012.
- [14] Korea Maritime Institute, *Pusan North Port - New Port Container Traffic Forecast and Allocation*, 2011.
- [15] K. S. Kim, *The Report for Revision of Standard Manual for Preliminary Feasibility Study on Road and Rail Projects(5 Edition)*, 2008.
- [16] S. M. Lee, *Popularization of National Passenger Traffic of Origin and Destination Survey*, 2007.

오 석 문(Suk-Mun Oh)

[정회원]



- 1986년 2월 : 전북대학교 전기공학 (공학석사)
- 2010년 2월 : 고려대학교 산업공학 (공학박사)
- 1995년 12월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

철도운영, 수리계획법

전 형 모(Hyong-Mo Jeon)

[정회원]



- 2008년 8월 : Lehigh Univ. Industrial Eng. (공학박사)
- 2008년 8월 ~ 2009년 7월 : 고려대학교 연구교수
- 2009년 7월 ~ 현재 : 한국해양수산개발원 전문연구원

<관심분야>

대중교통계획, 대중교통운영

박 형 준(Hyeongjun Park)

[정회원]



- 2010년 2월 : 서울시립대학교 교통공학과 (교통공학석사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 서울시립대학교 교통공학과 (박사수료)

<관심분야>

철도계획, 화물교통