



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

물류학석사 학위논문

컨테이너 터미널간 환적화물 운송을 위한 차량 스케줄링 모형

Vehicle Scheduling Model for Transshipment Container Cargo between
Container Terminals



지도교수 신재영

2017년 8월

한국해양대학교 대학원

물류시스템학과

박형준

본 논문을 박형준의 물류학석사 학위논문으로 인준함.

위원장 : 공학박사 신 창 훈 인

위 원 : 공학박사 남 기 찬 인

위 원 : 공학박사 신 재 영 인

2017 년 6 월 20 일

한국해양대학교 일반대학원

목 차

List of Tables	iii
List of Figures	iv
Abstract	v
1. 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 관련문헌 연구	3
1.2.1 ITT 시스템 관련 연구	4
1.2.2 수리 모형 관련 연구	4
1.2.3 반출입 예약제 관련 연구	5
1.3 연구 방법	5
2. ITT 시스템 및 작업체계	7
2.1 ITT 시스템	7
2.1.1 환적	7
2.1.2 자부두 환적과 타부두 환적	8
2.2 ITT 작업 체계	9
2.2.1 타부두 환적 프로세스	9
2.2.2 ITT 셔틀 Pooling 시스템	11
2.3 현행 ITT의 문제점	13
2.3.1 시설 문제	13
2.3.2 비용 문제	14
2.3.3 책임 문제	14
2.3.4 시스템 문제	14
2.3.5 운영상 문제	15
2.4 타임테이블 할당을 통한 문제 해결 방안	16

3. ITT 타임테이블 할당 문제 및 모형화	18
3.1 문제 설정 및 가정	18
3.2 모형의 수립	20
3.2.1 두 터미널에 대한 환적화물 반출반입 모형	20
3.2.2 다수 터미널에 대한 환적화물 반출반입 모형	23
4. ITT 타임테이블 할당 모형의 적용 및 분석	27
4.1 적용 데이터 산정	27
4.2 타임테이블 할당 및 분석	32
5. 결론	39
참고문헌	40



List of Tables

Table 1 부산항 컨테이너 물동량 추이	1
Table 2 세계 10대 컨테이너 항만 순위	2
Table 3 Inter-terminal trade volume	27
Table 4 터미널간 1일 평균 셔틀화물량의 가정	27
Table 5 Estimated processing time per Shuttle transportation one move	28
Table 6 터미널간 평균 이동에 소요되는 시간	28
Table 7 Fig.11의 패턴에 따른 터미널간 시간대별 반출량 패턴(Case1, Case2, Case3)	30
Table 8 Fig.11의 패턴에 따른 터미널간 시간대별 반출량 패턴(Case4, Case5)	30
Table 9 터미널간 시간대별 반출터미널에 들어오는 차량의 임의의 패턴 ·	31
Table 10 Case1 시간대별 가능한 작업량	33
Table 11 Case1 결과표	33
Table 12 Case2 시간대별 가능한 작업량	34
Table 13 Case2 결과표	34
Table 14 Case3 시간대별 가능한 작업량	35
Table 15 Case3 결과표	35
Table 16 Case4 시간대별 가능한 작업량	36
Table 17 Case4 결과표	36
Table 18 Case5 시간대별 가능한 작업량	37
Table 19 Case5 결과표	37
Table 20 5개 Case의 종합 결과표	38

List of Figures

Fig. 1 환적 물류 프로세스	9
Fig. 2 환적 물류의 운송 프로세스	10
Fig. 3 타부두 환적 화물 업무 프로세스	11
Fig. 4 A터미널에서 상차 B터미널에서 하차일 때 ITT 셔틀 Pooling 시스템의 프로세스	12
Fig. 5 B터미널에서 상차 A터미널에서 하차일 때 ITT 셔틀 Pooling 시스템의 프로세스	13
Fig. 6 P사의 터미널 시간대별 반출입 패턴	15
Fig. 7 P사의 터미널 요일별 반출입 패턴	16
Fig. 8 ITT 타임테이블 특징	19
Fig. 9 두 터미널에 대한 환적화물 반출반입 모형	20
Fig. 10 다수 터미널에 대한 환적화물 반출반입 모형	23
Fig. 11 ITT throughput by Time	29
Fig. 12 Base, VBS, ITT Opt 방식의 비교	32

Vehicle Scheduling Model for Transshipment Container Cargo between Container Terminals

Park, Hyoung Jun

Department of Logistics Engineering
Graduate School of Korea Maritime University

Abstract

ITT refers to the transshipment of cargo between container terminals in the port. In Busan New Port, the volume of transshipment cargo has increased significantly, accounting for 60%. Recently, Korean government is aware of the importance of ITT and it is preparing for ITT implementation. Therefore, this paper presents the current status and implementation problems of domestic ITT and suggests a model that can reduce the congestion of vehicles waiting time among the transshipment between container terminals. By comparison of the vehicle booking system which works for only one terminal, the model of this paper considers multiple inbound and outbound terminals. The experimental data set was created by the field data and the model was verified by comparing the existing field results and the model results.

KEY WORDS: transshipment, Busan New Port, waiting, congestion

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

2015년 국내 항만의 컨테이너 처리 물동량은 2,568만 TEU를 나타내었으며 이 중 부산항에서 약 1,946만 TEU를 처리하였다. 이는 세계 컨테이너항만 중 6위에 해당하는 규모이다. 부산항은 서부산에 위치한 부산 신항과 남동쪽에 위치한 북항으로 구분된다. 부산 신항의 경우 2006년 개장이후 물동량이 꾸준히 증가하고 있으며 그 중 환적화물이 50%로 큰 비중을 차지하고 있다.

환적화물은 운송 도중 목적지가 아닌 중간 항만에서 다른 선박으로 옮겨 실어야 하는 2번의 하역작업을 거치고 선적대기를 위한 보관료도 받을 수 있는 화물로 항만 측면에서는 일반적인 화물처리보다 두 배 이상의 경제적 가치가 있는 화물이다.

Table 1 부산항 컨테이너 물동량 추이

(단위: TEU)

연도	부산항 1945			부산 신항		
	전체	수출입	환적	전체	수출입	환적
2010년	14,194,240	7,836,289	6,276,409	5,485,133	2,771,252	2,676,183
2011년	16,184,599	8,707,996	7,352,487	7,750,758	3,712,537	3,957,064
2012년	17,046,177	8,808,136	8,147,546	9,442,691	4,368,210	5,000,047
2013년	17,686,099	8,933,444	8,748,453	10,963,367	4,862,389	6,097,156
2014년	18,683,283	9,253,926	9,429,355	11,966,395	5,152,659	6,813,737
2015년	19,468,725	9,363,396	10,105,318	12,877,847	5,307,502	7,570,355
평균증가율	6.5%	3.6%	9.9%	18.6%	13.8%	23.1%

자료: 부산항만 물류정보시스템(BPA-NET)

Table 2 세계 10대 컨테이너 항만 순위 : 2016년 처리량 기준

No.	Port Name	Country	16 TEU(M)	15 TEU(M)	Growth(%)
1	Shanghai	China	37.1	36.5	1.6%
2	Singapore	Singapore	30.9	30.9	-0.1
3	Shenzhen	China	24.0	24.2	-0.9%
4	Ningbo	China	21.6	20.6	4.6%
5	Hong Kong	China	19.8	20.1	-1.3%
6	Busan	S Korea	19.4	19.5	-0.2%
7	Guangzhou	China	18.8	17.6	6.8%
8	Qingdao	China	18.0	17.4	3.3%
9	LA/LB	US	15.6	15.4	1.8%
10	Dubai	UAE	14.8	15.6	-5.2%

자료: 알파라이너 Top 100 Container Ports : 2016 Throughput

2015년 전 세계 환적물동량은 약 1억9400만 TEU로 총물동량의 27.9%를 차지한다. 1980년대 11.3%에 불과했던 환적화물 점유율은 지속적으로 증가해, 2010년을 기점으로 비중이 27~28%로 안정화된 상태다.

싱가포르와 홍콩 다음으로 많은 환적화물을 처리하고 있는 우리나라의 경우, 2015년 환적물량은 약 1076만 TEU로 2014년 대비 8%나 증가했다. 부산항은 현재 전 세계 1000여개 항만과 정기서비스로 연결돼 있으며, 항만 네트워크도 지속적으로 확대되고 있다.

우리나라의 환적화물이 증가하는 가장 큰 요인은 지리적인 강점에 있다. 아시아-북미항로의 중심에 위치해, 직항로에 준하는 운송거리를 보유하고 있는 것이다. 텐진-부산-제3국 노선에서 가장 많은 환적화물이 발생하고 있으며, 특히 북미와의 교역이 38.6%에 달한다. 중국·미국·일본 이외 기타국가의 환적화물 비중도 지속적으로 상승 추세에 있다. 또한 동남아 지역 환적물량도 크게 증가하고 있어, 아시아 역내 환적 서비스의 중요성이 부각되고 있다. 북중국 항만이 고도성장하고 있는 것도 환적화물 증가 요인 중 하나다. 우리나라 대 중국 환적물량의 67.3%는 북중국의 텐진, 칭다오, 다롄 3개 항만에 집중돼 있

다. 3개 항만과 부산간 물동량은 수출입과 환적이 25% 대 75% 수준으로, 환적 교류는 앞으로 더욱 중요해질 전망이다.

이에 따라 정부는 5년 안에 부산항을 싱가포르에 이은 세계 2대 컨테이너 환적 허브로 육성한다는 계획이다. 이를 위해 부산 신항 2단계 사업을 2020년까지 마무리하고, 3단계 사업도 추진해 컨테이너 전용부두를 37선석까지 확충할 계획이다.

환적화물은 수요의 변동이 매우 탄력적이기 때문에 갑작스런 변화에 따라가지 못하면 좋은 기회를 놓치게 되거나 기존에 가지고 있던 기회를 상실할 수 있다. 실제로도 선사들의 환적항 선택요인은 대부분 비용측면이기 때문에 경쟁력을 상실하면 하루아침에 화물이 빠져나가고 빠져나간 화물은 다시 확보하기 힘들게 된다.

따라서 부산항이 세계적인 환적항만으로 입지를 다지고 경쟁력을 갖추기 위해서는 적극적인 터미널 개발과 함께 체계화된 운영방식 확립이 요구된다. 본 연구는 현재 부산항의 환적 화물 운송 체계의 조사 분석으로 현행 ITT 시스템의 문제점을 파악한 후 비효율적인 ITT 시스템으로 인해 발생하는 항만 내 교통 혼잡과 터미널 혼잡 문제를 해결하기 위해 수리적 모형을 이용한 터미널간 작업 통합 스케줄링 방법을 제시함으로써 향후 부산항이 세계적인 환적 허브항만으로서 경쟁력을 확보하는데 기여함을 목적으로 한다.

1.2 관련문헌 연구

환적화물 운송에 관한 연구는 다양한 방법으로 진행되어 왔다. 연구의 방향은 크게 시스템적 연구, 수리적 모형을 이용한 방법, 반출입 예약제에 관한 연구로 구분할 수 있는데 주로 환적화물 운송의 문제점이나 시스템에 관련한 보고서, ITT(Inter Terminal Transportation)의 도입을 위한 분석 목적으로 이루어지는 연구가 많았다. 국내에서는 환적화물 운송 동향 분석이나 새로운 시스템의 도입과 경제성 분석으로 이어지는 연구가 많았고, 국외에서는 국내보다 앞선 ITT 인프라를 바탕으로 ITT 최적화를 위한 수리적 모형 도출과 분석이 많

왔다.

1.2.1 ITT 시스템 관련 연구

한국철도기술연구원[2013]은 항만내 컨테이너 타부두 환적시스템 기술개발 기획연구 보고서에서 항만 내 타부두환적을 유연하게 처리할 수 있는 효율적 처리 시스템을 개발하였고, 항만 내 타부두 환적 컨테이너의 자동화 셔틀운송 시스템 개발의 타당성 및 세부 추진계획을 수립하였다.

오석문 외 2인[2014]은 정부 정책 목표에 맞춘 부산 신항의 타부두 환적 물동량에 대한 장기 예측결과를 제시하였다. 부산 신항의 타부두 환적을 처리할 수 있는 시스템적 대안으로 Double stack Multiple Trailer System(DMTS)와 퀘도식 시스템 대안을 제시하였다. 각 시스템 대안의 부산 신항에 적용방법을 소개하고, 예측된 타부두 환적 물동량을 처리하기 위한 대안별 시스템 소요량 및 도입비용을 산출하였다.

박남규, 이정훈[2017]은 부산 신항 환적화물 증가와 현행 셔틀 운송의 문제점 해결을 위한 방안으로 ITT플랫폼을 제안하였다. 또한 부산항의 터미널간 운송량 분석, ITT 운송 시간 분석, ITT 운송 능력 분석, ITT 요일 피크 분석 등을 통해 현행 ITT의 효율 정도를 분석하였고, ITT 플랫폼 구축에 따른 경제적 효과를 분석하였다.

1.2.2 수리 모형 관련 연구

Der-Horng Lee 외 2인[2012]은 다수 터미널로부터 모이는 컨테이너 환적 화물의 야드 할당 문제와 수리적 모델을 다루었다. 이 연구의 모델은 선박의 터미널 할당과 터미널간 뿐만 아니라 터미널 이내의 환적 컨테이너의 이동량에 따른 야드 할당이라는 두 가지 문제를 함께 다루었다. 환적으로 발생하는 터미널간 핸들링 비용을 최소화하고자 하였다. 문제를 풀기위해 2-level 휴리스틱 알고리즘을 개발하고 컴퓨터 실험결과를 통해 효과를 검증하였다.

Frans Nieuwkoop 외 3인[2013]은 최적 운송 형태를 위한 최소비용 흐름모델을 제안하고 로테르담 항만의 마스블락터의 3가지 수요 시나리오에 적용하였

다. 이 연구에서는 환적 작업을 수요로 하여 터미널간 혼잡도와 평균 수요를 기준으로 시나리오를 3가지로 구분하고 차량 타입에 따라 구분하였다. 대기에 따라 발생하는 비용을 최소화하는 수리모형을 통해 최적 운송 형태를 결정하였다.

Kevin Tierney 외 2인[2014]은 함부르크, 마스블락터의 ITT 시스템 분석을 위해 타임스페이스 그래프 기반의 혼잡도를 반영한 차량 흐름 모형을 소개하였다. 교통 혼잡, 컨테이너 배송 지연에 따른 패널티, 다양한 ITT운송 모드, 항만 인프라 수정과 같은 ITT의 실질적 측면을 모형에 다수 반영했다. 이 연구에서는 최초로 완전하게 모델링된 ITT의 수리적 모형으로 CPLEX로 계산하여 컨테이너 개수, 차량 종류, 차량 대수에 따른 평균 패널티와 실행 불가사례를 정리하고 조건을 달리하여 비교 분석하였다.

1.2.3 반출입 예약제 관련 연구

한국해양대학교[2015]는 컨테이너 화물의 반출입 예약제를 통한 부산의 터미널 부근 교통체증 완화와 인터넷을 이용한 EDI 중계로 물류비 절감, 중소형 운송 물류업체 정보화를 위한 클라우드 플랫폼 제공과 컨테이너 터미널 생산성 향상을 고려한 기술적 타당성을 검토하였다. 국내 및 글로벌 시장 규모와 시장경쟁력을 분석하고 기술개발 및 사업화 성공 가능성 등을 도출하였다.

Giuliano, G. and O' Brein, T.[2007]은 Los Angeles 와 Long Beach항만 주변 컨테이너 혼잡이나 대기오염 문제 해결을 위해 반출입을 예약하는 제도(California Assembly Bill 2650)를 도입 실시된 제도에 대해 데이터와 설문을 기반해 실태를 파악하고 효과를 분석하였다.

1.3 연구 방법

본 논문에서는 현재 부산항의 환적화물 운송 체계를 중심으로 하였다. 부산항의 ITT, 해외 ITT 도입 사례와 관련한 논문, 보고서 등 문헌 조사를 하였다.

터미널 운영사의 실무 담당자를 대상으로 한 자료조사, 데이터 수집을 하였

고 부산항 환적화물 운송의 문제점과 대응방안 등을 조사하였다.

현행 ITT시스템의 정의, ITT 작업 체계를 정리하고 프로세스를 구체적으로 정리하였다. 파악된 문제점들을 정리하였다.

조사한 데이터를 바탕으로 문제해결을 위한 문제설정을 하고 가정한다. 모형을 수립한다. 실제 데이터를 기반으로한 Data Set으로 케이스를 가정하고 모형에 적용하여 계산한다. 케이스별 결과값을 비교하여 효과를 분석한다.



제 2 장 ITT 시스템 및 작업체제

2.1 ITT 시스템

부산항은 지속적인 환적물동량 유치를 위한 글로벌 마케팅 추진 및 선사별 차별화된 유치 전략으로 매년 지속적인 환적물동량 증대의 효과를 가져왔으며 그 결과 이전년도 대비 2014년 7.8%, 2015년 7.1%로 증가했다. 2015년 부산항 전체 물동량의 51%는 환적이며 이 중 50%는 타부두 환적이다.

ITT는 Inter Terminal Transportation의 약자로 부산항의 터미널간 화물을 운송하는 타부두 환적을 의미한다. ITT는 단순히 타부두 환적만을 의미하는 것이 아니라 터미널간 환적의 최적화를 위해 부두 기능을 일원화하고 컨테이너 화물 운송의 주체들간 연계최적화를 추구하는 개념으로 확장시킬 수 있다.

ITT의 형태는 sea-to-sea나 land-to-sea/sea-to-land 운송으로 나뉜다. sea-to-sea 방식은 컨테이너가 선박을 통해 환적이 될 때, land-to-sea/sea-to-land 방식은 컨테이너가 기차나 차량 같은 다른 운송수단을 통해 해외에서 발생하여 내륙지로 혹은 내륙지에서 해외로 수송될 때를 말한다. 사실 같은 터미널에 도착하거나 같은 터미널에서 출발하는 환적화물을 실은 선박들을 스케줄링을 하거나 항만의 핵심 물류 요소들을 필요한 곳에 모두 배치시킴으로써 굳이 ITT는 필요가 없는 것처럼 보일 수 있다. 하지만 많은 항만과 터미널들의 규모가 크고 터미널간 거리가 멀기 때문에 시간적 비용적 측면에서 봤을 때 ITT가 반드시 필요하고 할 수 있다.

2.1.1 환적

환적(transshipment)은 한 수송수단에서 다른 수송수단으로 화물을 옮겨 실는 행위를 총칭한다. 따라서 환적을 넓은 의미로 보면, 선박에서 선박으로뿐만 아니라 선박·차량·철도·항공 등 모든 수송수단 상호간에 화물을 옮겨 실는 일체의 행위를 의미한다. 그러나 이 같은 개념에도 불구하고, 해운·항만 부문에서는 일반적으로 환적을 한

선박에서 다른 선박으로 화물을 옮겨 싣는 것으로 이해한다. 참고로 우리나라의 관세청고시에서는 환적에 대해 동일한 세관 관할구역에서 입항하는 운송수단에서 출항하는 운송수단으로 물품을 옮겨 싣는 것을 의미하는 것으로 규정하고 있다. 관세행정상 환적은 지역적 범위를 규정하고 있다는 점에서 해운업계에서 일반적으로 받아들이고 있는 환적과는 차이가 있음을 알 수 있다.¹⁾

2.1.2 자부두 환적과 타부두 환적²⁾

항만에서 일어나는 환적은 자부두 환적과 타부두 환적이 존재하는데 자부두 환적은 동일한 터미널에서 입출항 선박간 환적이 발생하는 경우이고 타부두 환적은 입항시 터미널과 출항시 터미널이 다른 환적을 말한다. 부산 신항에서 발생하는 타부두 환적은 3가지 유형으로 나타난다. 첫 번째는 ‘전배’로 A선사가 A터미널과 B터미널에 모두 취항한다고 가정했을 때, B터미널에 기항 예정인 선박이 부두에 접근하는 시점에서 B터미널의 안벽이 다른 선박들에 의해 모두 점유되어 있어 당장 정박하기 어려운 경우 A선사의 선박은 해당 선박을 옆 터미널인 A터미널에 정박하여 B터미널에 하역 예정인 컨테이너를 A터미널에 하역하는 경우이다. 두 번째 유형은, 북측 부두의 A터미널에 취항하는 A선사 선박들은 주로 유럽 노선을 운항하고, 남측 부두의 B터미널에 취항하는 A선사 선박들은 주로 미주 노선을 운항한다고 가정할 때, 북측 부두의 A터미널에 취항하는 유럽 노선의 선박에는 미주행 컨테이너가 일부 실려 있을 수 있고, 반대로 남측 부두의 B터미널에 취항하는 선박에는 유럽행 컨테이너가 일부 섞여 있을 경우, 유럽행과 미주행 컨테이너들이 A터미널과 B터미널 사이에서 육상을 통해 타부두에 환적 된다. 마지막으로 피더 전용부두가 운영될 때, 피더선은 국내 연안 항만과 인근 동아시아 지역의 항만으로부터 원양 운송되는 컨테이너들을 집하하여 각 터미널의 원양해운으로 운송되는 선박에 이적되며, 이 경우 피더 전용부두와 개별 터미널들은 Hub-Spoke의 관계를 가진다.

1) 관세청고시 제 2003-47호(2003. 12. 17), 환적화물 처리절차에 관한 특례 고시

2) 오석문외(2014) “부산 신항 타부두 환적의 효율적인 처리방안 연구” Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society Vol. 15, No. 3 pp. 1279-1287. 2014 의 내용을 인용하고 일부 수정함

2.2 ITT 작업 체계

2.2.1 타부두 환적 프로세스



Fig. 1 환적 물류 프로세스

일반적인 환적 물류 프로세스는 위와 같다. 우선 입항과 하역, 반입/반출, 출항이 순서대로 나타나는데 일단 수출국가의 출발항에서 화물을 적재한 선박이 출항하여 국내 양하항으로 입항할 때 국내 선사에게 선적지 정보를 전달한다. 국내 선사는 화물의 환적 여부를 판단하여 환적 화물인 경우 수입 국가의 도착항에 운송될 수 있도록 선박을 배정하고 이에 따라 자부두 또는 타부두 환적 여부를 결정한다. 선사는 배정한 선박과 컨테이너의 선적예정목록을 양하항 터미널과 적하항 터미널에 전송하여 화물 운송 및 반입반출에 대한 정보를 결정한다. 화물 운송을 위해 운송사에게 운송지시를 전달하고, 운송지시를 전달받은 운송사는 터미널과 연계하여 화물을 이동시킨다. 자부두 환적의 경우 터미널간의 화물 운송 업무가 발생하지 않으므로 입항 뒤 보세 운송 및 승인 절차가 불필요하며 해당 터미널에 반입·반출되었다가 바로 출항하는 절차를 통해 업무가 진행된다.

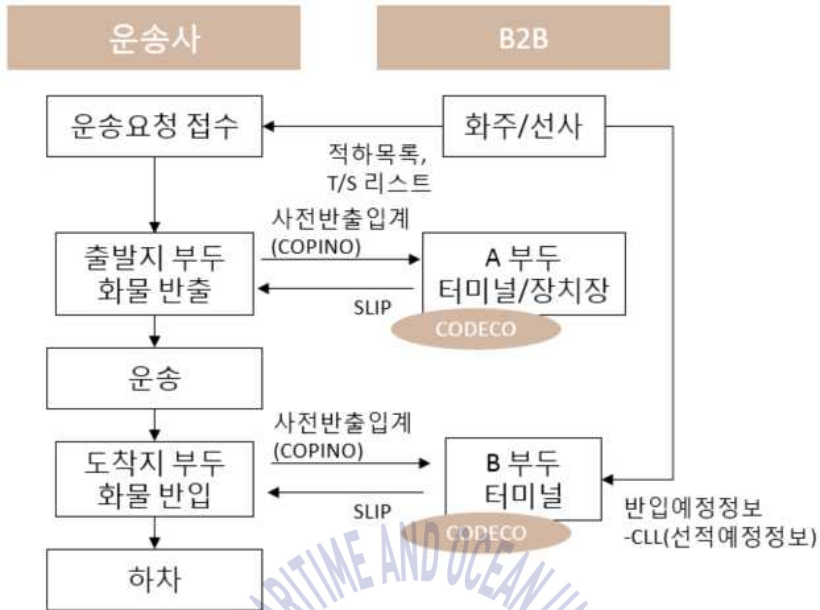


Fig. 2 환적 물류의 운송 프로세스

환적 물류 프로세스 중 운송 프로세스를 구체적으로 살펴보면, 선사로부터 적하목록과 T/S리스트를 받은 운송사는 운송요청을 접수하고 출발지부두에서 화물을 반출하기 위해 운송차가 출발한다. 선사는 반입터미널에 반입예정정보를 전달한다. 반출터미널에 COPINO(사전반출입계)를 제출한다. 반출 터미널에서는 SLIP(인수도증)를 발급하고 운송차는 컨테이너를 상차한다. 운송차는 반입터미널로 운송을 한다. 반입터미널에 COPINO를 제출한다. 반입터미널에서는 SLIP를 발급하고 운송차는 컨테이너를 하차한다. 컨테이너의 반입·반출이 완료된 후, 터미널은 CODECO(Container gate-in/gate-out report message)를 항만청과 선사에게 전송하여 해당 화물에 대한 정보를 제공한다. 반입터미널에 상차할 컨테이너가 존재한다면 위의 프로세스를 반복한다.

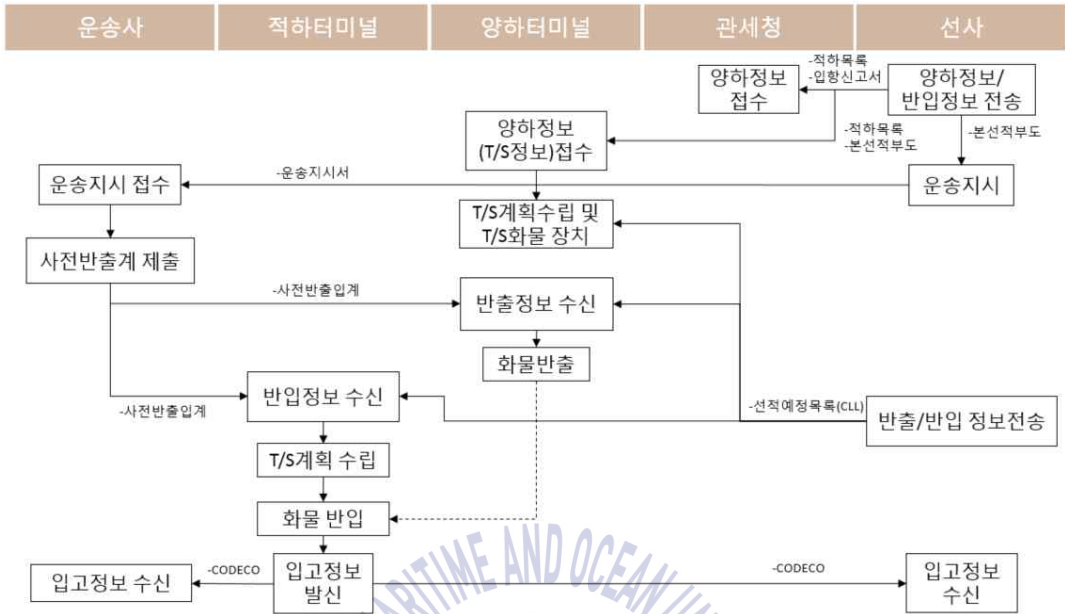


Fig. 3 타부두 환적 화물 업무 프로세스

타부두 환적 화물 업무의 전체 프로세스를 세부적으로 살펴보면, 운송사, 적하터미널, 양하터미널, 관세청, 선사가 주체가 된다. 먼저 선사가 관세청에 적하목록과 입항신고서를 제출하며 접수한다. 양하터미널에 양하정보와 반입정보를 전송하여 접수한다.(적하목록, 본선적부도) 선사가 운송지시서를 통해 운송사에 운송지시를 내린다. 양하터미널은 선적예정목록을 통해 T/S계획을 수립하고 화물반출을 준비한다. 운송사는 양하터미널에 사전반출계를 제출하고 화물을 반출하고 적하터미널로 화물을 운송한다. 적하터미널은 선사로부터 받은 선적예정목록과 운송사로부터 받은 사전반출입계를 통해 반입정보를 수신한다. T/S계획을 수립한다. 도착한 화물을 반입한다. 작업이 완료되면 운송사와 선사에게 CODECO를 전송하여 입고정보를 보낸다. 적하터미널에 반출할 컨테이너가 존재한다면 위의 프로세스를 반복한다.

2.2.2 ITT 셔틀 Pooling 시스템

ITT 셔틀 Pooling 시스템은 실제 부산 신항의 PNIT와 PNC간의 ITT 운송을 위해 PNIT에서 직접 개발하여 사용 중인 ITT 시스템이다. 기존 타부두 환적 화물 운송 프로세스가 선사, 운송사, 터미널 3개 주체들 간의 관계로 이루어졌

다면, ITT 셔틀 Pooling 시스템에서는 운송사의 역할을 시스템과 선사가 대신 하여 선사와 터미널의 관계로 통합시켜 절차를 간소화시켜 양방향 TS 작업을 효율적으로 이루어지도록 하였다. 전체적인 프로세스는 기존 타부두 환적 프로세스와 크게 차이가 없지만 작업 리스트와 차량을 Pool 시스템에 등록하여 시스템에서 작업을 매칭하여 할당해주는 점이 큰 차이라고 할 수 있다. 또 기존 배차계와 기사에게 알려주는 기능을 시스템이 대신해주고, COPINO의 발생이나 작업 완료시 상대방에게 알려주는 기능도 하게 된다. 하나의 컨테이너 작업이 완료되면 다음 컨테이너를 매칭한다. 또한 이 시스템에서는 내부차량을 사용하지 않고 외부차량만을 사용하기 때문에 선사와 비용정산이 필요없다.

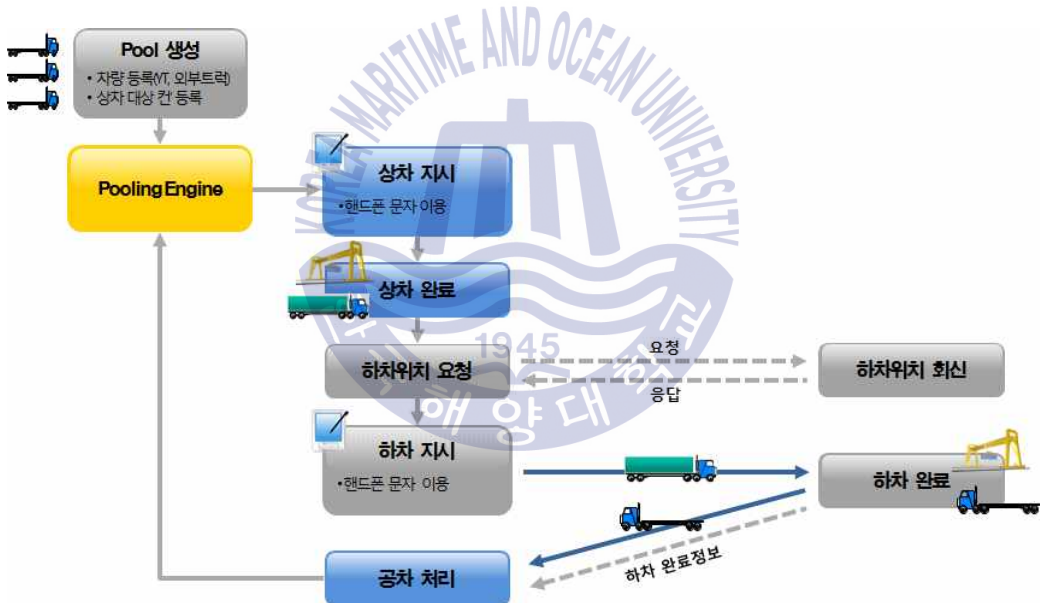


Fig. 4 A터미널에서 상차 B터미널에서 하차일 때 ITT 셔틀 Pooling 시스템의 프로세스

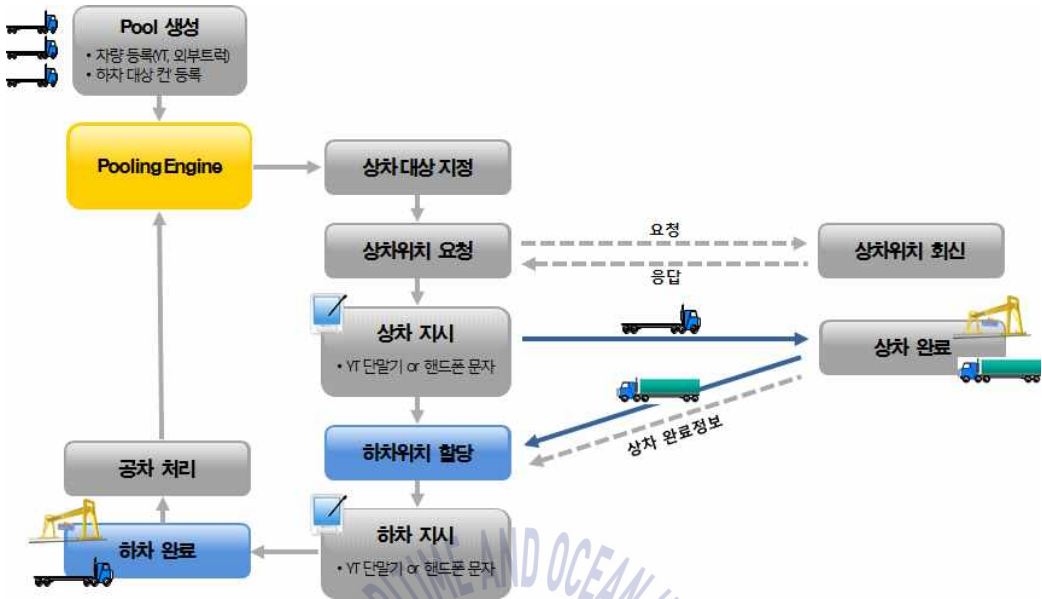


Fig. 5 B터미널에서 상차 A터미널에서 하차할 때 ITT 셔틀 Pooling 시스템의 프로세스

2.3 현행 ITT의 문제점

2.3.1 시설 문제

부산 신항의 현행 ITT에 있어서 가장 큰 시설 문제는 터미널간의 통로문제이다. 부산 신항에 있는 컨테이너 터미널 5곳과 다목적부두 1곳의 운영사가 모두 다르고 단절되어 있다. ITT 셔틀운송 효율향상을 위해 PNC-HJNC, HPNT-BNCT와 같은 인접 터미널 사이에 통로가 뚫리게 되었지만 아직까지는 통로가 웬스로 막혀 있어 사용하지 않는 상태다. 만약 부산 신항의 인접터미널간에 통로가 뚫려 있다면 내부차량, 외부차량을 가리지 않고 상황에 맞게 ITT 셔틀 운송에 활용할 수 있을 것이다.

부산 신항의 터미널간의 통로를 웬스가 막고 있기 때문에 통로를 왕래하는 차량에 대한 보안상 문제가 발생한다. 사실 인접한 PNIT와 PNC 사이에는 부산 신항 중 유일하게 웬스로 막혀있지 않은 통로가 존재하고 ITT 셔틀 운송에 활용되고 있다. 완전하게 뚫려 있는 통로이기에 외부차량 내부차량 보안상의

문제없이 왕래가 가능하다.

2.3.2 비용문제

부산 신항은 터미널마다 운영사가 다르고 통합된 체계가 갖추어져 있지 않기 때문에 터미널간 환적화물을 운송할 때 비용을 누가 언제 지불할 것인지 명확하게 정해진 것이 없다. 대체로 터미널간 수송비용은 선사들이 부담해야 한다. 하지만 신항을 이용하는 선사들은 싱가포르나 중국항만에서는 터미널간 수송비를 받지 않는다고 불만을 제기하고 일부 선사는 부산항 기항을 재고할 수 있다는 엄포성 발언까지 마다치 않는다고 한다. 부두 내 수송 시간을 단축할 수 있는 시스템을 도입한다 해도 비용 부담이 커진다면 누구도 반기지 않을 것이다. 결국 선사에 부담을 주지 않고 환적화물 이동 문제를 해결하려면 항만공사가 모든 비용을 떠안는 길밖에 없을 텐데 그렇게 되면 신항의 터미널간 이동하는 환적화물 수송비는 연간 180억 원 가량 들 것으로 추산된다.

2.3.3 책임 문제

현행 ITT 시스템은 계약관계가 분명하지 않다. 시스템에서는 단지 어떤 컨테이너를 어떤 차량이 운송하라는 지시만 내려질 뿐 정확히 언제부터 언제까지 운송해야 하는지, 누가 그 책임을 질 것인지 명확하게 정의내려져 있지 않다. 컨테이너를 반출할 때 그 순서가 무작위나 다름없기 때문에 발생하는 차량의 대기나 작업이 누락되는 상황에 대해서도 문제가 누구의 잘못인지 책임소재가 불분명하다. 또 외부차량에 운송을 맡겼지만 명확한 책임관계가 없기 때문에 안일한 생각으로 실수가 일어나 누락될 수도 있고 환적 화물 운송이 늦어져 전체 운송 일정이 밀릴 수도 있다.

2.3.4 시스템 문제

현재 부산 신항에서 실행 중인 ITT 시스템에는 큰 문제가 있다. 기본적으로 ITT 시스템에 있어서 주요 운송 주체는 선사, 운송사 그리고 반출과 반입 터미널인데 터미널은 컨테이너 환적 오더에 따라 작업하여 운송 차량에 전달하고 받는 터미널 내 작업만 관여할 뿐 해당 컨테이너가 어떤 터미널을 거쳐 어

면 최종 목적지로 운송되는지 구체적인 정보를 알지 못하는 경우가 많다. 아직까지는 체계적인 ITT 시스템이 확립되어 있지 않기 때문에 문제가 크게 부각되지는 않고 있지만 ITT의 중요성이 커짐에 따라 이런 정보 공유의 부재는 터미널은 물론 관련된 환적화물 운송 주체들 모두에게 문제를 안겨줄 것이고 세계 2대 컨테이너 환적 허브 항만으로의 도약을 꿈꾸는 부산 신항의 경쟁력에도 악영향을 미칠 수 있다.

2.3.5 운영상 문제

현재 부산 신항의 ITT 작업에 동원되는 차량은 모두 외부차량이다. ITT 셔틀 운송만을 목적으로 터미널 사이를 계속해서 왕래하는 차량도 다수 존재한다. 보안상의 측면이나 비용적인 측면에서도 여건이 된다면 내부차량을 이용하는 것이 좋다. 하지만 터미널 입장에서는 본선 작업이 게이트 작업보다 우선이기 때문에 본선작업에 주로 활용되는 내부차량을 다른 작업에 할당하는 것을 꺼려한다. 내부차량을 인접터미널로 셔틀운송을 보냈을 때 목적터미널의 작업이 밀려있다면 대기가 발생하게 되고 대기의 발생은 본선 작업에 차질을 발생시킨다.

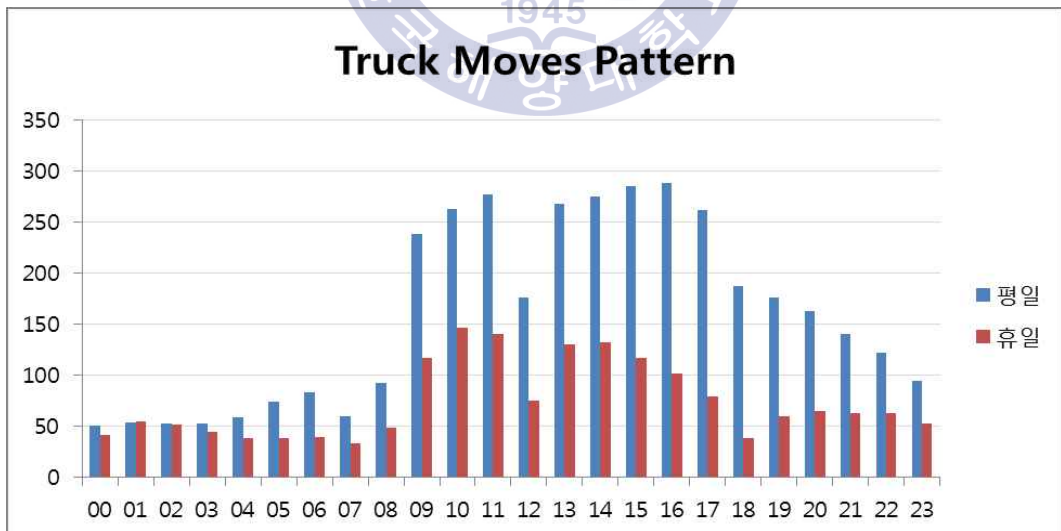


Fig. 6 P사의 터미널 시간대별 반출입 패턴

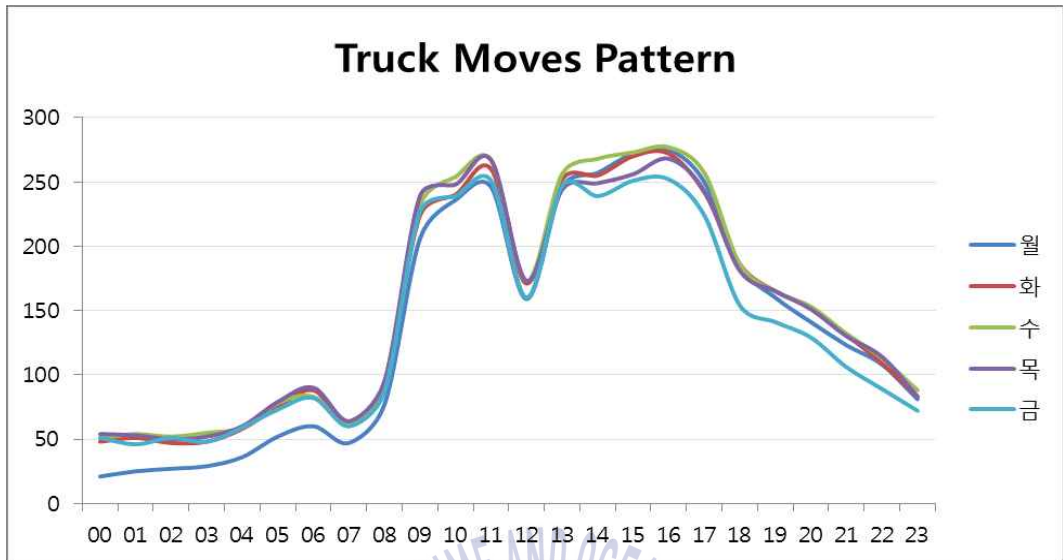


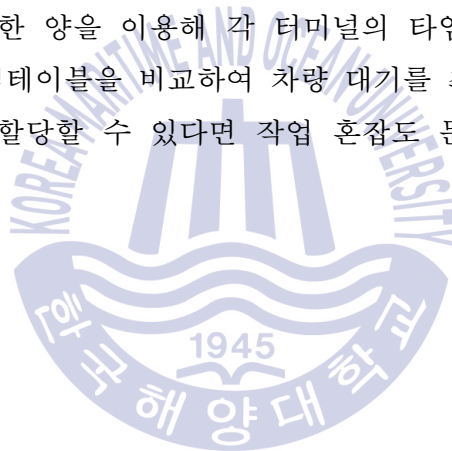
Fig. 7 P사의 터미널 요일별 반출입 패턴

현재 부산 신항 주변 도로는 만성적인 교통체증이 발생하고 있다. 부산항 전체 물동량의 60%가 환적화물이고 이 중 50%가 타부두 환적화물이라는 점에서 이러한 정체는 주요 원인 중 하나가 타부두 환적 차량의 반출입이 터미널의 혼잡도를 고려하지 않고 특정시간대에 몰리기 때문이라고 할 수 있다. Fig. 6 과 Fig. 7을 통해 시간대별 요일별 차량의 반출입 패턴이 차이가 있음을 알 수 있다. 패턴에서는 오전 9시부터 오후 6시까지 피크를 이루고 있으며 새벽과 야간에는 반출입 차량이 극감하는 패턴을 보인다. 몰린 작업으로 인해 터미널 주변 교통인프라 및 터미널의 서비스 처리용량을 일시 초과하여 정체가 발생하게 된다. 우리나라 컨테이너터미널이 24시간 서비스 정책을 취하고 야간에도 주간과 마찬가지로 자원이 배분되는 것을 고려하면 자원 활용의 심각한 불균형이 존재한다는 것을 알 수 있다.

2.4 타임테이블 할당을 통한 문제 해결 방안

현행 ITT의 운영적 시스템적 문제를 해결하기 위해서는 부산 신항의 터미널 간 환적화물과 운송 차량이 어떤 방식으로 할당되는지 구체적으로 파악할 필요가 있다. 우선 터미널간 환적화물 운송의 작업방식은 컨테이너리스트와 동

원 가능한 차량 리스트를 매칭하여 컨테이너를 오토픽업 방식에 따라 가장 재작업이 적은 순서대로 실행하는 것이다. 여기서 문제는 어떤 작업을 먼저 할지, 언제할지는 단지 운송사의 이전 작업경험을 바탕으로 반출터미널과 반입터미널의 혼잡도를 가늠하여 정한다는 것이다. 반출터미널의 작업 수용량만 확인하고 반입터미널의 작업 혼잡도를 고려하지 않기 때문에 반출작업은 무리없이 진행되지만 반입작업은 정체되어 혼잡이 일어난다. 실제 ITT 프로세스에 있어서 반출과 반입 터미널 어떤 곳에서라도 차량 정체는 운송사와 터미널 모두에게 교통혼잡과 작업 지연으로 시간적 비용적 손해를 발생시킨다. 따라서 양쪽 터미널의 작업 혼잡도를 모두 고려해서 차량을 배차하는 문제가 중요하다. 각 터미널의 처리해야할 총 작업목록과 시간대별로 반출 터미널과 반입터미널의 작업이 가능한 양을 이용해 각 터미널의 타임테이블을 구체화한다. 여기서 서로 간의 타임테이블을 비교하여 차량 대기를 최소화할 수 있도록 타임테이블을 적절하게 할당할 수 있다면 작업 혼잡도 문제를 해결할 수 있을 것으로 생각된다.



제 3 장 ITT 타임테이블 할당 문제 및 모형화

3.1 문제 설정 및 가정

부산 신항 내 모든 터미널의 컨테이너 리스트와 차량 리스트를 하나의 시스템에서 매칭하되 작업의 시간과 순서를 결정해준다면 언제부터 언제까지 운송해야 하는지 작업의 명확한 할당과 함께 책임의 경계도 나뉘질 수 있을 것으로 예상된다. 타부두 환적화물 작업의 각 터미널 혼잡도를 반영하고 대기시간과 작업시간이 명확해진다면 타부두 환적에 외부 차량만을 활용하는 현재상황이 내부 차량(Y/T)을 혼용하는 방향으로 바뀔 수 있을 것이다. 터미널 입장에서 정확한 작업 시간과 스케줄이 보여진다면 상황에 따라 타부두 환적작업에 내부차량을 동원하더라도 본선작업 지연에 대한 부담을 덜 수 있을 것이다. 각 터미널의 수용량을 설정하여 그 수용량을 넘어서면 차량이 대기하는 것으로 한다. 작업을 수행하는 데 반출터미널과 반입터미널의 작업 수용량이 모두 필요하다. 반출터미널과 반입터미널의 작업 수용량 목록을 랜덤하게 생성해서 차량 대기시간을 최소화할 수 있는 모형을 도출한다.

본 논문에서 적용되는 타부두 TS 타임테이블 할당 문제의 해법을 구하기 위해 다음과 같이 가정한다.

- 각 터미널은 시간대별로 컨테이너 작업 수용량을 가진다.(작업 수용량은 터미널의 총 작업능력이 10이라 했을 때 6만큼의 작업이 할당되어 있다면 나머지 4를 의미한다.)
- 각 터미널간의 거리는 t 이고 이동하는데 걸리는 시간도 t 이다.
- 시간단위인 타임슬롯의 범위와 단위는 1시간이다.
- 1대 차량이 운송하는 컨테이너는 1개이고 1개 작업과 같다.
- 타임슬롯1에서 출발한 차량은 t 만큼 시간이 걸려 반입 터미널에 도착하는데 그 시간은 t 이다. 단, 반입 터미널의 해당 타임슬롯의 작업 수용량을 넘어선다면 다음 타임슬롯까지 대기하게 되며, 도착시간은 t 이지만 작업

이 완료된 시간은 $t+$ 지연된시간이 된다.

- 차량은 필요할 때마다 동원 가능하다고 가정한다.(VBS가 완전하게 도입된 상황을 가정한다.)
- 반출터미널의 작업 수용량이 10이면 상차 작업은 10만큼만 가능하다.
- 반입터미널의 작업 수용량이 10이면 하차 작업은 10만큼만 가능하다.
- 두 터미널간 환적화물을 10만큼 운송하고자 할 때 반출터미널에서 10만큼 반출작업을 해야하고 반입터미널에서도 10만큼 반입작업을 해야한다.
- 모든 작업이 할당되면 종료한다.

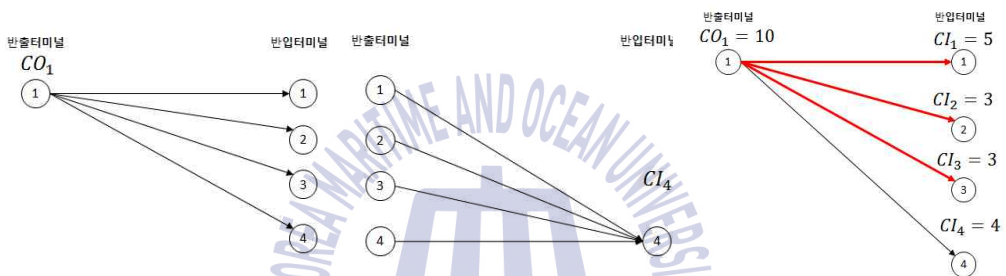


Fig. 8 ITT 타임테이블 특징

Fig. 8의 첫 번째 그림을 참고하면, CO 는 반출할 수 있는 작업량이다. 반출터미널에서 반입터미널로 보내는 작업량(CO)은 반입터미널로 보내는 모든 작업량의 합과 같다. CO 에 맞게 반입터미널의 1번 타임슬롯에 모두 보낼 수도 있고 1번과 2번에 나누거나 1번부터 4번까지 고르게 운송할 수도 있다.

Fig. 8의 두 번째 그림을 참고하면, CI 는 반입할 수 있는 반입작업량이다. 반입터미널에서 받는 반입작업량(CI)은 반출터미널에서 해당 반입터미널의 해당 노드로 보내는 모든 작업량의 합과 같다. CI 의 작업량만큼의 운송은 1번 노드에서만 보내는 것일 수도 있고 1번부터 4번까지 모든 노드에서 고르게 보낼 수도 있다.

Fig. 8의 세 번째 그림을 참고하면, CO 값만큼 차량을 10대 할당한다. $CI_1 = 5$ 이므로 타임슬롯1에는 5대만 작업이 가능하다. 나머지 5개의 작업은 다음 타임슬롯으로 지연된다. 순차적으로 $CI_2 = 3$, $CI_3 = 3$ 을 만족시키는 작업할당

을 한다. 반입터미널의 타임슬롯3에 2대가 할당되고 1만큼 반입작업의 여유가 발생한다. 타임슬롯2와 타임슬롯3에서 지연이 발생하였고, 각각 1,2 만큼 지연 되었으므로 총 3만큼 작업 대기가 발생한다.

3.2 모형의 수립

3.2.1 두 터미널에 대한 환적화물 반출반입 모형

문제 설정에 따라 두 터미널에 대한 반출입 모형을 작성한다. 반출 터미널의 노드는 반입 터미널로 화물을 운송하고 반입 터미널의 노드는 반입 터미널 노드로부터 화물을 받는다. 즉 터미널간에는 반출터미널이 출발지가 되고 반입 터미널이 도착지가 되는 수송요구를 가지게 된다. 출발지와 도착지의 타임슬롯거리가 멀어짐에 따라 환적의 효율이 떨어진다고 볼 수 있다. 따라서 본 모형은 요구되는 작업량을 모두 충족하되 출발 노드와 도착 노드 간 타임슬롯 거리를 최소화하여야 한다.

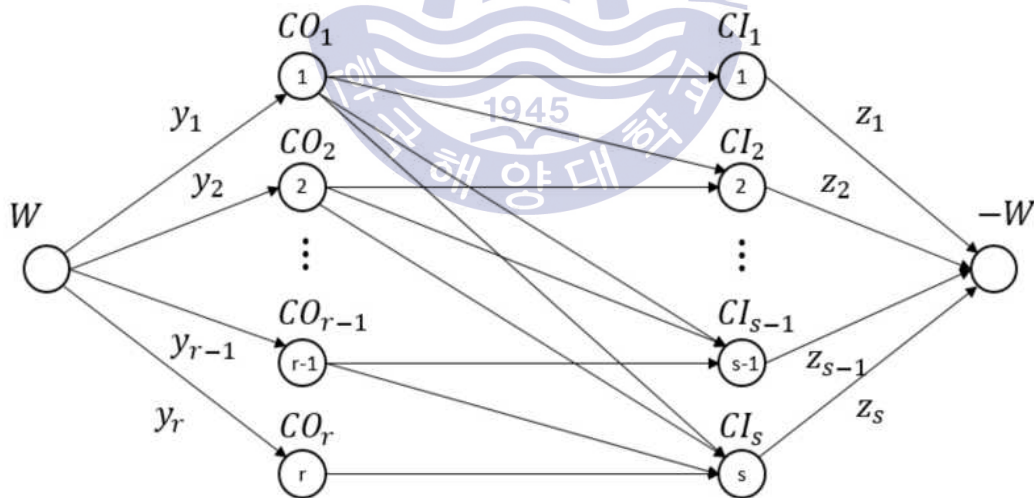


Fig. 9 두 터미널에 대한 환적화물 반출반입 모형

모형의 구체화와 특징 분석으로 Fig. 9과 같은 경유지가 있는 수송문제의 형태를 보인다는 것을 알 수 있다. 그림에서 CO로 표시된 노드들은 반출터미널의 타임슬롯들 CI로 표시된 노드들은 반입터미널의 타임슬롯들이라고 할 수

있다. W 와 $-W$ 는 각각 공급과 수요를 나타내며 반출터미널의 모든 작업량의 합이 공급량과 일치하고 반입터미널의 모든 작업량의 합이 수요량과 일치한다. y_r 은 r 노드에 반입되는 작업량 혹은 반출되는 작업들의 합과 같고, z_s 는 s 노드에서 반출되는 작업량 혹은 반입되는 작업들의 합과 같다.

모수와 변수를 정의하고 문제를 모형화한다.

Parameter

- i : 반출터미널 타임슬롯 index
- j : 반입터미널 타임슬롯 index
- r : 반출터미널의 타임슬롯 개수
- s : 반입터미널의 타임슬롯 개수
- $t_{ij} = j - i + t - d$: i 타임슬롯에서 j 타임슬롯까지 이동과 작업 완료까지 소요되는 시간(단, $d \leq j - i$)
- t : 터미널간 이동에 소요되는 시간
- d : $d \leq t$ 를 만족하는 가장 큰 정수
- W : 처리해야할 총 작업량
- CO_i : i 타임슬롯에서 가능한 반출 작업량
- CI_j : j 타임슬롯에서 가능한 반입 작업량
- $p_i \geq i$

Variables

- x_{ij} : i 타임슬롯에서 j 타임슬롯까지 운송하는 작업량
- y_i : i 타임슬롯의 반출 작업량

- z_j : j 타임슬롯의 반입 작업량

Mathematical Model

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^r \sum_{j=p_i}^s t_{ij} x_{ij}$$

subject to

$$\sum_{i=1}^r y_i = W \tag{1}$$

$$\sum_{j=p_i}^s x_{ij} = y_i \quad i = 1, \dots, r \tag{2}$$

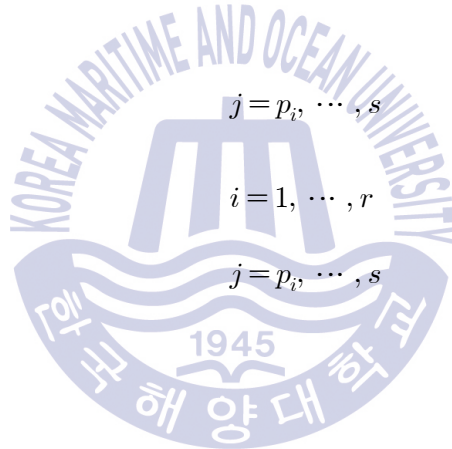
$$\sum_{i=1}^r x_{ij} = z_j \quad j = p_i, \dots, s \tag{3}$$

$$y_i \leq CO_i \quad i = 1, \dots, r \tag{4}$$

$$z_j \leq CI_j \quad j = p_i, \dots, s \tag{5}$$

$$\sum_{j=1}^s z_j = \sum_{i=1}^r y_i \tag{6}$$

$$x_{ij} \geq 0, y_i \geq 0, z_j \geq 0 \tag{7}$$



본 모형의 목적식은 출발지와 도착지간 수송요구의 작업량과 출발지와 도착지간 타임슬롯거리를 이용하여 작업량을 최대한 할당하되 타임슬롯거리를 최소화시키는 것으로 한다.

다음으로 제약식들을 살펴보면, (1)번 제약식은 반출 터미널의 모든 작업들의 합이 처리해야할 총 작업량과 동일하다는 제약식이다. (2)번 제약식은 각 반출터미널 타임슬롯으로 할당되는 작업량은 해당 타임슬롯에서 반출되는 모든 작업량의 합과 같다는 제약식이다. (3)번 제약식은 각 반입터미널 타임슬롯으로 할당되는 작업량은 해당 타임슬롯에 반입되는 모든 작업량의 합과 같다

는 제약식이다. (4)번 제약식은 반출터미널 타임슬롯의 작업량은 가능한 작업량을 넘지 않는다는 제약식이다. (5)번 제약식은 반입터미널 타임슬롯의 작업량은 가능한 작업량을 넘지 않는다는 제약식이다. (6)번 제약식은 반출터미널에 할당된 모든 작업량은 반입터미널에 할당된 모든 작업량과 같다는 제약식이다. (7)번 제약식은 비음조건이다.

3.2.2 다수 터미널에 대한 환적화물 반출반입 모형

실제 ITT는 두 개의 터미널이 아니라 다수의 터미널이 관계되어 있다. 따라서 다수 터미널에 대한 환적화물 반출반입 모형을 구현한다.

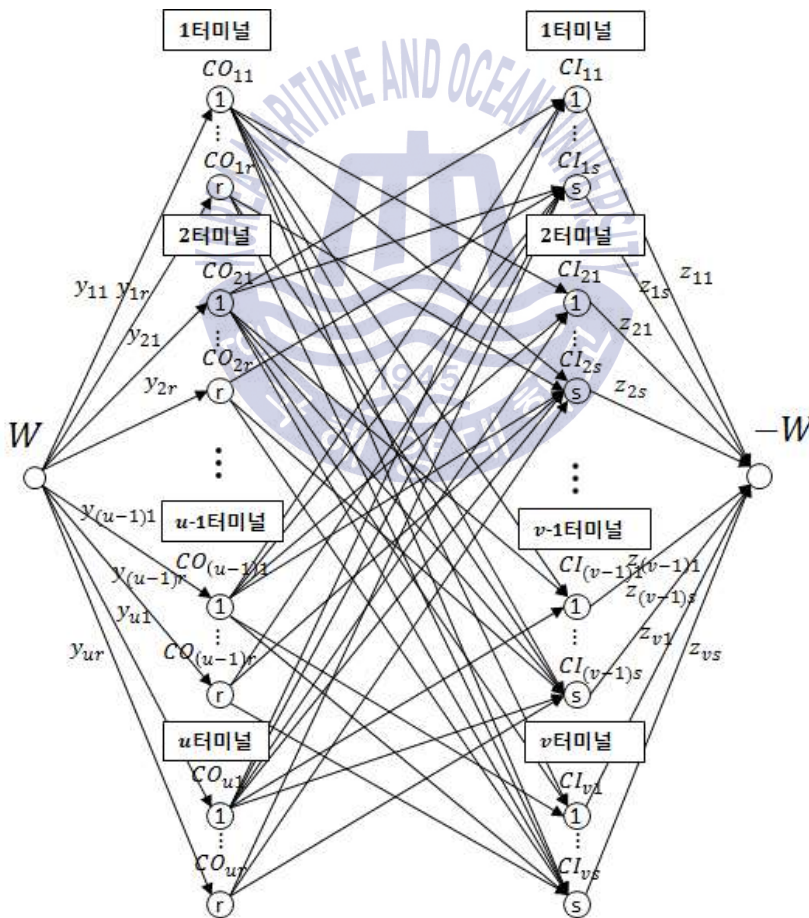


Fig. 10 다수 터미널에 대한 환적화물 반출반입 모형

Fig. 10은 두 개 터미널에 대한 모형을 여러개 겹친 형태라고 볼 수 있다. 같은 터미널로 운송은 되지 않고, 이전 타임슬롯으로 운송되지 않는다.

모수와 변수를 정의하고 모형화한다.

Parameter

- m : 반출터미널 index
- n : 반입터미널 index
- u : 반출터미널 개수
- v : 반입터미널 개수
- i : 반출터미널 타임슬롯 index
- j : 반입터미널 타임슬롯 index
- r : 반출터미널의 타임슬롯 개수
- s : 반입터미널의 타임슬롯 개수
- $t_{minj} = j - i + t_{mn} - d_{mn}$: i 시간에 m 터미널에서 반출하여 j 시간에 n 터미널에 반입이 완료될 때까지 소요되는 시간(단, $d_{mn} \leq j - i$)
- t_{mn} : m 터미널에서 n 터미널에 도착할 때까지 시간
- d_{mn} : $d_{mn} \leq t_{mn}$ 를 만족하는 가장 큰 정수
- W_{mn} : m 터미널에서 n 터미널로 처리해야할 작업량
- CO_{mi} : m 터미널이 i 타임슬롯에서 가능한 반출 작업량
- CI_{nj} : n 터미널이 j 타임슬롯에서 가능한 반입 작업량
- $p_i \geq i$

Variables

- x_{minj} : i 시간에 m 터미널에서 반출하여 j 시간에 n 터미널에 반입할 때 운

송량

- y_{mi} : m 터미널 i 타임슬롯의 반출 작업량
- z_{nj} : n 터미널 j 타임슬롯의 반입 작업량

Mathematical Model

$$\text{Minimize } Z = \sum_{m=1}^u \sum_{n=1}^v \sum_{i=1}^r \sum_{j=p_i}^s t_{minj} x_{minj}$$

subject to

$$\sum_{m=1}^u \sum_{i=1}^r y_{mi} = W \quad (1)$$

$$\sum_{m=1}^u \sum_{i=1}^r y_{mi} = \sum_{m=1}^u \sum_{n=1}^v W_{mn} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^r \sum_{j=p_i}^s x_{minj} = W_{mn} \quad m=1, \dots, u, n=1, \dots, v \quad (3)$$

$$\sum_{n=1}^v \sum_{j=p_i}^s x_{minj} = y_{mi} \quad m=1, \dots, u, i=1, \dots, r \quad (4)$$

$$\sum_{m=1}^u \sum_{i=1}^r x_{minj} = z_{nj} \quad n=1, \dots, v, j=p_i, \dots, s \quad (5)$$

$$y_{mi} \leq CO_{mi} \quad m=1, \dots, u, i=1, \dots, r \quad (6)$$

$$z_{nj} \leq CI_{nj} \quad n=1, \dots, v, j=p_i, \dots, s \quad (7)$$

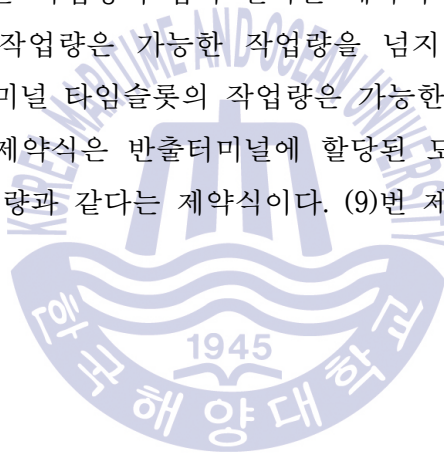
$$\sum_{m=1}^u \sum_{i=1}^r y_{mi} = \sum_{n=1}^v \sum_{j=p_i}^s z_{nj} \quad (8)$$

$$x_{minj} \geq 0, y_{mi} \geq 0, z_{nj} \geq 0 \quad (9)$$

본 모형의 목적식은 출발지와 도착지간 수송요구의 작업량과 출발지와 도착

시간 타임슬롯거리를 이용하여 작업량을 최대한 할당하되 타임슬롯거리를 최소화시키는 것으로 한다.

다음으로 제약식들을 살펴보면, (1)번 제약식은 반출 터미널에 할당된 작업들의 합이 처리해야할 총 작업량과 동일하다는 제약식이다. (2)번 제약식은 반출 터미널에 할당된 작업들의 합이 각 터미널간 작업량들의 합과 같다는 제약식이다. (3)번 제약식은 각 터미널간 모든 작업들의 합과 각 터미널간 총 작업량과 같다는 제약식이다. (4)번 제약식은 각 반출터미널 타임슬롯으로 할당되는 작업량은 해당 타임슬롯에서 반출되는 모든 작업량의 합과 같다는 제약식이다. (5)번 제약식은 각 반입터미널 타임슬롯으로 할당되는 작업량은 해당 타임슬롯에 반입되는 모든 작업량의 합과 같다는 제약식이다. (6)번 제약식은 반출터미널 타임슬롯의 작업량은 가능한 작업량을 넘지 않는다는 제약식이다. (7)번 제약식은 반입터미널 타임슬롯의 작업량은 가능한 작업량을 넘지 않는다는 제약식이다. (8)번 제약식은 반출터미널에 할당된 모든 작업량은 반입터미널에 할당된 모든 작업량과 같다는 제약식이다. (9)번 제약식은 비음조건이다.



제 4 장 ITT 타임테이블 할당 모형의 적용 및 분석

본 장에서는 실제 부산 신항의 터미널간 타부두 환적화물 반출입 데이터와 작업 차량의 시간대별 작업량의 평균치를 이용해 실제와 유사한 데이터를 가정한다.

4.1 적용 데이터 산정

Table 3 Inter-terminal trade volume (박남규, 2017)

(From\To)	P N I T	P N C	H J N C	H P N T	B N C T	Total	Average
P N I T	-	21,187	11,443	85,505	9,204	127,339	25,468
P N C	22,536	-	37,210	25,598	27,365	112,709	22,542
H J N C	15,691	50,086	-	34,318	16,754	116,849	23,370
H P N T	65,575	24,730	31,810	-	13,577	135,691	27,138
B N C T	5,009	58,918	12,869	8,522	-	85,318	17,064
Total	108,811	154,920	93,331	153,943	66,900	577,906	-
Average	21,762	30,984	18,666	30,789	13,380	-	-

2015년 부산항 신항 내 셔틀화물량은 577,906van이며, 1일 평균 약 1,650van이다. 두 수치의 비율을 2015년 각 터미널간 셔틀화물량에 적용하여 각 터미널간 1일 평균 셔틀화물량을 구한다. 5개 터미널을 모두 모형에 적용할 경우 지나치게 변수가 많아져 셔틀화물량이 가장 적은 BNCT를 제외한 4개 터미널을 적용한다.

$$W_{mn} = (\text{연간 } m \rightarrow n \text{ 셔틀화물량}) * \left(\frac{\text{신항 1일 평균 셔틀화물량}}{\text{신항 연간 셔틀화물량}} \right)$$

위 계산 공식에 따라 4개 터미널간 1일 평균 셔틀화물량은 다음과 같다.

Table 4 터미널간 1일 평균 셔틀화물량의 가정

(단위 : van)

	PNIT(1)	PNC(2)	HJNC(3)	HPNT(4)
PNIT(1)		60	32	244
PNC(2)	64		106	73
HJNC(3)	45	143		98
HPNT(4)	187	71	91	

Table 5 Estimated processing time per Shuttle transportation one move(박남규, 2017)

	Average Distance (km)	Transportation speed (km/h)	Terminal to terminal time (min)	Time required for traffic lights (min)	Gate passing time (min)	waiting time for load/unload (M)	Time required per move (min)
PNIT-PNC	1.9	40	2.85	0	0	30	33
PNIT-HJNC	7.57	40	11.35	8	1	30	50
PNIT-HPNT	3.28	40	4.92	4	1	30	40
PNIT-BNCT	7.57	40	11.3	8	1	30	41
PNC-HJNC	3.4	40	5.1	2	1	30	38
PNC-HPNT	7.17	40	10.75	10	1	30	52
PNC-BNCT	3.67	40	5.50	11	1	30	48
HJNC-HPNT	7.75	40	11.62	12	1	30	55
HJNC-BNCT	9.2	40	13.8	13	1	30	58
HPNT-BNCT	3	40	4.5	1	1	30	37

부산 신항의 터미널간 실제 거리(작업에 요구되는 시간)는 33분에서 58분 사이에 분포한다. 모형에서 타임슬롯이 1시간 단위로 가정하였기 때문에 1시간 기준으로 터미널간 거리 데이터를 산정한다.

$$t_{mn} = (m \rightarrow n \text{ 작업에 요구되는 시간}) * 60$$

위 계산 공식에 따라 4개 터미널간 평균 이동에 소요되는 시간은 다음과 같다.

Table 6 터미널간 평균 이동에 소요되는 시간

	PNIT(1)	PNC(2)	HJNC(3)	HPNT(4)
PNIT(1)		0.55	0.83	0.67
PNC(2)	0.55		0.63	0.87
HJNC(3)	0.83	0.63		0.92
HPNT(4)	0.67	0.87	0.92	

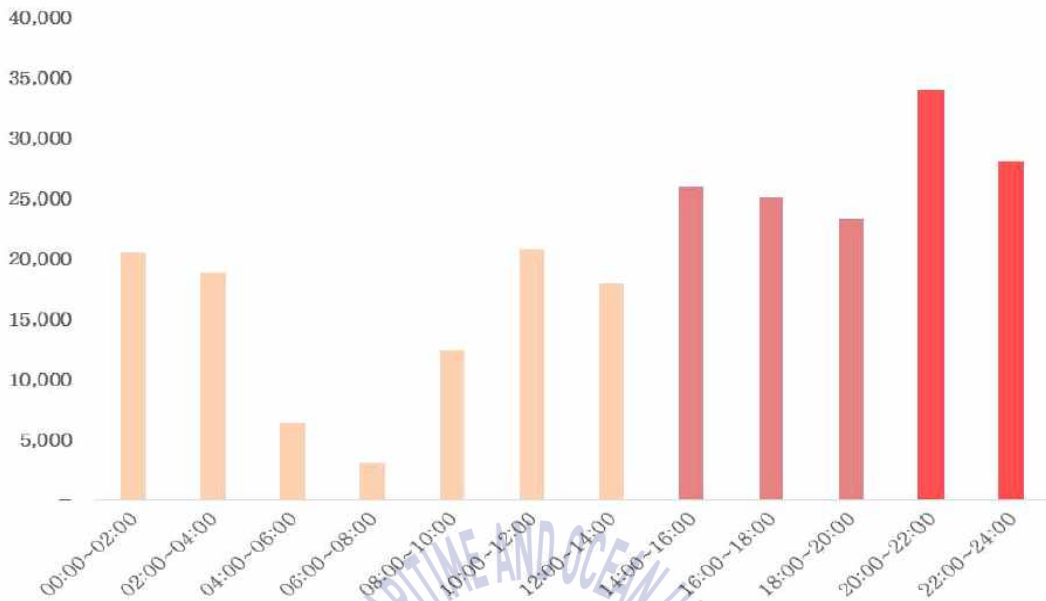


Fig. 11 ITT throughput by Time, Source: 박남규(2017)

부산 신항의 시간대별 운송량은 Fig. 11과 같은 패턴을 보인다. 현행 ITT의 운영방식으로 볼 때 운송차량은 터미널 혼잡도를 고려하지 않고 무작위로 작업이 투입되거나 운송사의 작업 경험을 바탕으로 반출터미널 혼잡도 패턴에 의존하여 작업을 수행한다. Fig. 11의 시간대별 운송량 패턴과 유사하게 운송차량이 터미널에 들어와 작업을 수행한다고 볼 수 있다. 각 터미널의 시간대별 가용량 또한 Fig. 11의 시간대별 패턴과 유사하다고 할 수 있다.

Table 7 Fig.11의 패턴에 따른 터미널간 시간대별 반출량 패턴(Case1, Case2, Case3)

(단위 : van)

터미널		시간 t																							total	
반출	반입	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		23
PNIT(1)	PNC(2)	3	2	2	2	1	1	1	1	2	1	2	3	2	2	3	4	3	3	3	3	4	5	4	3	60
PNIT(1)	HJNC(3)	2	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	2	2	1	2	2	1	1	1	2	2	3	2	1	32
PNIT(1)	HPNT(4)	10	11	9	9	4	3	2	2	6	8	10	11	9	9	13	14	12	14	12	12	17	18	15	14	244
PNC(2)	PNIT(1)	3	2	2	2	1	1	1	1	2	1	2	3	2	3	4	4	3	3	3	4	5	5	4	3	64
PNC(2)	HJNC(3)	5	4	4	3	2	1	1	1	2	3	4	5	4	4	6	7	6	5	5	6	7	8	7	6	106
PNC(2)	HPNT(4)	4	3	3	2	2	1	1	1	2	2	2	3	2	3	4	4	3	3	3	5	5	6	5	4	73
HJNC(3)	PNIT(1)	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	3	3	3	2	45
HJNC(3)	PNC(2)	6	6	5	5	4	2	2	3	4	4	5	6	6	6	7	8	7	7	6	8	9	10	9	8	143
HJNC(3)	HPNT(4)	4	4	3	3	2	1	1	1	2	3	4	5	4	4	5	6	5	4	5	6	6	7	7	6	98
HPNT(4)	PNIT(1)	8	7	7	7	6	4	4	5	6	6	7	8	8	7	9	9	9	8	8	10	11	12	11	10	187
HPNT(4)	PNC(2)	3	3	3	2	2	1	1	1	2	2	2	3	2	3	4	4	3	3	3	4	5	6	5	4	71
HPNT(4)	HJNC(3)	4	3	3	2	2	1	1	1	2	3	3	4	3	4	5	5	5	4	5	6	6	7	7	5	91

Table 8 Fig.11의 패턴에 따른 터미널간 시간대별 반출량 패턴(Case4, Case5)

(단위 : van)

터미널		시간 t																							total	
반출	반입	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		23
PNIT(1)	PNC(2)	4	1	2	2	1	1	1	1	2	1	2	3	2	2	3	4	2	4	3	3	4	5	4	3	60
PNIT(1)	HJNC(3)	2	1	1	1	2	1	0	1	1	1	1	1	3	1	2	2	1	1	1	2	1	2	2	1	32
PNIT(1)	HPNT(4)	10	11	9	9	4	3	2	2	6	8	10	11	9	9	13	14	12	14	12	12	17	18	15	14	244
PNC(2)	PNIT(1)	4	2	2	2	1	2	1	1	1	1	3	2	1	3	4	4	3	3	3	4	5	5	4	3	64
PNC(2)	HJNC(3)	5	5	5	3	2	1	1	1	2	4	4	5	4	4	6	6	6	5	5	6	6	7	7	6	106
PNC(2)	HPNT(4)	4	3	3	2	2	1	1	1	2	2	2	3	2	3	4	4	3	3	3	5	5	6	5	4	73
HJNC(3)	PNIT(1)	1	1	3	2	1	3	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	2	1	3	2	3	2	45
HJNC(3)	PNC(2)	6	6	5	5	4	2	2	3	4	4	5	6	6	6	7	8	7	7	6	8	9	10	9	8	143
HJNC(3)	HPNT(4)	4	4	3	3	2	1	1	1	2	3	4	5	4	4	5	6	5	4	5	6	6	7	7	6	98
HPNT(4)	PNIT(1)	9	7	7	7	6	3	3	5	4	6	7	7	8	7	8	11	9	8	10	10	11	12	11	11	187
HPNT(4)	PNC(2)	4	3	3	2	2	1	1	1	2	2	2	3	2	3	4	4	3	3	3	4	5	6	5	3	71
HPNT(4)	HJNC(3)	4	3	3	2	2	1	1	1	2	3	3	4	3	4	5	5	5	4	5	6	6	7	7	5	91

Table 9 터미널간 시간대별 반출터미널에 들어오는 차량의 임의의 패턴

(단위 : van)

터미널		시간 t																							total	
반출	반입	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		23
PNIT(1)	PNC(2)	1	1	0	2	0	0	1	1	4	6	8	3	2	5	6	5	3	3	3	3	2	1	0	0	60
PNIT(1)	HJNC(3)	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	2	2	4	5	2	6	1	1	2	2	0	1	0	32
PNIT(1)	HPNT(4)	1	2	9	9	4	3	2	2	6	9	10	12	15	20	16	14	14	17	12	12	17	18	15	5	244
PNC(2)	PNIT(1)	1	2	0	0	0	1	1	1	2	1	2	3	2	5	8	6	3	6	3	4	5	5	2	1	64
PNC(2)	HJNC(3)	0	2	0	3	0	1	1	1	2	4	6	10	8	7	7	8	7	7	6	5	7	4	6	4	106
PNC(2)	HPNT(4)	0	0	0	0	2	2	3	4	2	5	0	6	5	7	8	11	6	5	3	2	1	0	0	1	73
HJNC(3)	PNIT(1)	1	0	1	0	1	1	1	2	2	2	2	4	3	4	5	5	2	1	1	2	2	1	0	2	45
HJNC(3)	PNC(2)	1	1	2	1	3	2	2	3	5	6	8	10	10	12	14	12	11	7	6	8	9	5	3	2	143
HJNC(3)	HPNT(4)	2	3	3	3	1	1	1	1	2	3	4	5	6	4	8	12	10	4	5	5	6	3	4	2	98
HPNT(4)	PNIT(1)	5	3	2	5	2	5	4	5	7	6	10	14	16	19	14	16	12	10	10	6	5	4	3	4	187
HPNT(4)	PNC(2)	1	2	2	0	0	1	2	1	2	2	3	4	5	7	9	8	6	5	1	2	2	1	3	2	71
HPNT(4)	HJNC(3)	2	1	2	0	0	1	1	1	2	3	3	5	6	9	12	15	6	5	5	2	1	2	3	4	91

Table 7, Table 8는 Fig. 11의 패턴을 따라서 산정한 터미널간 시간대별 반출 작업량이다. Fig. 11의 패턴은 실제 차량이 특정 시간대에 얼마나 활동하는지를 의미하므로 반입작업량도 유사한 형태를 보일 것이다.

가정한 데이터를 이용하여 케이스를 나누고 케이스별로 실제 작업 투입 패턴에 따라 반출량과 반입량을 모두 고려하여 작업을 할당하는 경우, 반출량만을 고려하는 경우, 반출량과 반입량을 모두 고려하지 않는 경우를 비교하여 분석한다.

4.2 타임테이블 할당 및 분석



Fig. 12 Base, VBS, ITT Opt 방식의 비교

실제 데이터를 바탕으로 산정한 데이터를 이용하여 모형의 적용 효과를 분석하기 위해 반출량과 반입량을 고려하는 정도에 따라 3가지 방식을 정한다.

Base : 반출터미널과 반입터미널의 혼잡도를 모두 고려하지 않고 임의로 차량이 투입되는 방식이다. 현행 ITT의 작업 할당 방식과 유사하다. Table 9의 패턴에 따라 반출터미널에 차량이 들어온다.

VBS : 반입터미널의 혼잡도를 고려하지 않고 반출터미널의 혼잡도만을 고려하여 차량이 작업에 투입되는 방식이다. 시간대별 가능한 반출량 패턴(CO)과 차량이 투입되는 패턴이 실제 작업 패턴(Fig. 11)과 유사하다. 반출터미널의 작업 혼잡도를 고려하여 차량이 투입되는 반출입 예약제(VBS)가 구현된 방식과 유사하다. Case별로 Table 7, Table 8의 패턴에 따라 반출터미널에 차량이 들어온다.

ITT Opt : 반출터미널과 반입터미널의 혼잡도를 모두 고려하여 작업이 물리는 시간대에는 적게 할당하고 물리지 않는 시간대에 더 많은 작업을 할당하는 방식이다. 차량 반입패턴을 지정하지 않고 최적화한다.

동일한 케이스 내에서 세 가지 방식은 모두 동일한 CO와 CI를 적용한다. 5가지 케이스를 가정하고 Base, VBS, ITT Opt 3가지 방식에 대한 데이터와 각 케이스별 가능한 작업량 데이터를 모형에 적용하여 계산한다.

① Case1

시간대별 CO 는 Table 7의 패턴을 따르고 시간대별 CI 는 임의의 작업패턴을 모든 터미널에 동일하게 적용한다. Base는 Table 9의 패턴에 따라 임의의 패턴으로 반출터미널에 차량이 들어오고, VBS는 Table 7의 패턴에 따라 차량이 들어온다. Base, VBS, ITT Opt의 세 가지 방식을 비교한다.

Table 10 Case1 시간대별 가능한 작업량

(단위 : van)

가능한 작업량	시간 t																							total	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		23
CO_1	15	14	12	12	5	5	3	4	9	10	13	16	13	12	18	20	16	18	16	17	23	26	21	18	336
CO_2	12	9	9	7	5	3	3	3	6	6	8	11	8	10	14	15	12	11	11	15	17	19	16	13	243
CO_3	12	12	10	10	7	4	4	6	8	9	11	13	12	12	14	16	13	12	12	16	18	20	19	16	286
CO_4	15	13	13	11	10	6	6	7	10	11	12	15	13	14	18	18	17	15	16	20	22	25	23	19	349
CI_1	18	18	16	14	8	6	6	8	10	14	16	20	16	16	22	24	20	20	20	24	28	30	28	26	428
CI_2	18	18	16	14	8	6	6	8	10	14	16	20	16	16	22	24	20	20	20	24	28	30	28	26	428
CI_3	18	18	16	14	8	6	6	8	10	14	16	20	16	16	22	24	20	20	20	24	28	30	28	26	428
CI_4	18	18	16	14	8	6	6	8	10	14	16	20	16	16	22	24	20	20	20	24	28	30	28	26	428

Table 11 Case1 결과표

	Base	VBS	ITT Opt
Z	2011.91	879.91	876.91
대기 시간	283	3	0

Base의 Z값이 2011.91, 대기시간이 283, VBS의 Z값이 879.91, 대기시간이 3, ITT Opt의 Z값이 876.91, 대기시간이 0으로 ITT Opt의 Z값과 대기시간이 가장 적게 나타났다.

② Case2

시간대별 CO 는 Table 7의 패턴을 따르고 시간대별 CI 는 각 터미널마다 임의의 패턴이 적용된다. Base는 Table 9의 패턴에 따라 임의의 패턴으로 반출 터미널에 차량이 들어오고, VBS는 Table 7의 패턴에 따라 차량이 들어온다. Base, VBS, ITT Opt의 세 가지 방식을 비교한다.

Table 12 Case2 시간대별 가능한 작업량

(단위 : van)

가능한 작업량	시간 t																							total	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		23
CO_1	15	14	12	12	5	5	3	4	9	10	13	16	13	12	18	20	16	18	16	17	23	26	21	18	336
CO_2	12	9	9	7	5	3	3	3	6	6	8	11	8	10	14	15	12	11	11	15	17	19	16	13	243
CO_3	12	12	10	10	7	4	4	6	8	9	11	13	12	12	14	16	13	12	12	16	18	20	19	16	286
CO_4	15	13	13	11	10	6	6	7	10	11	12	15	13	14	18	18	17	15	16	20	22	25	23	19	349
CI_1	17	16	16	14	9	7	6	9	9	14	15	18	17	17	22	24	21	21	20	23	27	30	28	26	426
CI_2	19	18	16	14	9	6	6	8	10	14	16	19	16	16	22	24	20	20	20	24	28	30	28	26	429
CI_3	20	19	16	14	9	8	6	8	10	14	16	20	17	16	22	23	19	19	18	24	28	31	28	26	431
CI_4	16	16	16	14	9	8	8	9	11	14	16	20	16	16	22	24	21	21	22	24	28	28	28	26	433

Table 13 Case2 결과표

	Base	VBS	ITT Opt
Z	2207.91	896.91	876.91
대기 시간	295	11	0

Base의 Z값이 2207.91, 대기시간이 295, VBS의 Z값이 896.91, 대기시간이 11, ITT Opt의 Z값이 876.91, 대기시간이 0으로 ITT Opt의 Z값과 대기시간이 가장 적게 나타났다.

③ Case3

시간대별 CO 는 Table 7의 패턴을 따르고 시간대별 CI 는 각 터미널마다 임의의 패턴이 적용된다. Base는 Table 9의 패턴에 따라 임의의 패턴으로 반출 터미널에 차량이 들어오고, VBS는 Table 7의 패턴에 따라 차량이 들어온다. Base, VBS, ITT Opt의 세가지 방식을 비교한다.

Table 14 Case3 시간대별 가능한 작업량

(단위 : van)

가능한 작업량	시간 t																							total	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		23
CO_1	15	14	12	12	5	5	3	4	9	10	13	16	13	12	18	20	16	18	16	17	23	26	21	18	336
CO_2	12	9	9	7	5	3	3	3	6	6	8	11	8	10	14	15	12	11	11	15	17	19	16	13	243
CO_3	12	12	10	10	7	4	4	6	8	9	11	13	12	12	14	16	13	12	12	16	18	20	19	16	286
CO_4	15	13	13	11	10	6	6	7	10	11	12	15	13	14	18	18	17	15	16	20	22	25	23	19	349
CI_1	16	15	15	13	8	6	5	8	8	13	14	16	15	15	21	22	20	22	21	23	27	30	28	26	407
CI_2	19	17	17	15	10	7	7	9	11	15	17	20	17	17	23	25	21	21	21	26	27	29	27	25	443
CI_3	20	19	16	13	10	9	7	9	11	15	17	21	18	17	23	24	20	20	19	23	27	32	28	26	444
CI_4	16	15	15	13	10	8	8	10	12	15	17	20	16	15	21	22	22	20	22	24	27	27	28	27	430

Table 15 Case3 결과표

	Base	VBS	ITT Opt
Z	1733.91	926.91	876.91
대기 시간	229	37	0

Base의 Z값이 1733.91, 대기시간이 229, VBS의 Z값이 926.91, 대기시간이 37, ITT Opt의 Z값이 876.91, 대기시간이 0으로 ITT Opt의 Z값과 대기시간이 가장 적게 나타났다.

④ Case4

시간대별 CO 는 Table 8의 패턴을 따르고 시간대별 CI 는 Case2와 동일한 패턴이 적용된다. Base는 Table 9의 패턴에 따라 임의의 패턴으로 차량이 반입되고 VBS는 Table 8의 패턴에 따라 차량이 반입된다. Base, VBS, ITT Opt의 세가지 방식을 비교한다.

Table 16 Case4 시간대별 가능한 작업량

(단위 : van)

가능한 작업량	시간 t																							total	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		23
CO_1	16	13	12	12	7	5	3	4	9	10	13	15	14	12	18	20	15	19	16	17	22	25	21	18	336
CO_2	13	10	10	7	5	4	3	3	5	7	9	10	7	10	14	14	12	11	11	15	16	15	16	13	243
CO_3	11	11	11	10	7	6	5	6	8	9	10	12	12	12	14	16	13	13	13	15	18	19	19	16	286
CO_4	17	13	13	11	10	5	5	7	8	11	12	14	13	14	17	20	17	15	18	20	22	25	23	19	349
CI_1	17	16	16	14	9	7	6	9	9	14	15	18	17	17	22	24	21	21	20	23	27	30	28	26	426
CI_2	19	18	16	14	9	6	6	8	10	14	16	19	16	16	22	24	20	20	20	24	28	30	28	26	429
CI_3	20	19	16	14	9	8	6	8	10	14	16	20	17	16	22	23	19	19	18	24	28	31	28	26	431
CI_4	16	16	16	14	9	8	8	9	11	14	16	20	16	16	22	24	21	21	22	24	28	28	28	26	433

Table 17 Case4 결과표

	Base	VBS	ITT Opt
Z	2197.91	897.91	876.91
대기 시간	250	13	0

Base의 Z값이 2197.91, 대기시간이 250, VBS의 Z값이 897.91, 대기시간이 13, ITT Opt의 Z값이 876.91, 대기시간이 0으로 ITT Opt의 Z값과 대기시간이 가장 적게 나타났다.

⑤ Case5

시간대별 CO 는 Table 8의 패턴을 따르고 시간대별 CI 는 Case3과 동일한 패턴이 적용된다. Base는 Table 9의 패턴에 따라 임의의 패턴으로 차량이 반입되고 VBS는 Table 8의 패턴에 따라 차량이 반입된다. Base, VBS, ITT Opt의 세가지 방식을 비교한다.

Table 18 Case5 시간대별 가능한 작업량

(단위 : van)

가능한 작업량	시간 t																							total	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		23
CO_1	16	13	12	12	7	5	3	4	9	10	13	15	14	12	18	20	15	19	16	17	22	25	21	18	336
CO_2	13	10	10	7	5	4	3	3	5	7	9	10	7	10	14	14	12	11	11	15	16	18	16	13	243
CO_3	11	11	11	10	7	6	5	6	8	9	10	12	12	12	14	16	13	13	13	15	18	19	19	16	286
CO_4	17	13	13	11	10	5	5	7	8	11	12	14	13	14	17	20	17	15	18	20	22	25	23	19	349
CI_1	16	15	15	13	8	6	5	8	8	13	14	16	15	15	21	22	20	22	21	23	27	30	28	26	407
CI_2	19	17	17	15	10	7	7	9	11	15	17	20	17	17	23	25	21	21	21	26	27	29	27	25	443
CI_3	20	19	16	13	10	9	7	9	11	15	17	21	18	17	23	24	20	20	19	23	27	32	28	26	444
CI_4	16	15	15	13	10	8	8	10	12	15	17	20	16	15	21	22	22	20	22	24	27	27	28	27	430

Table 19 Case5 결과표

	Base	VBS	ITT Opt
Z	1554.91	931.91	876.91
대기 시간	140	39	0

Base의 Z값이 1733.91, 대기시간이 229, VBS의 Z값이 931.91, 대기시간이 39, ITT Opt의 Z값이 876.91, 대기시간이 0으로 ITT Opt의 Z값과 대기시간이 가장 적게 나타났다.

Table 20 5개 Case의 종합 결과표

		Base	VBS	ITT Opt
Case1	Z	2011.91	879.91	876.91
	대기시간	283	3	0
Case2	Z	2207.91	896.91	876.91
	대기시간	295	11	0
Case3	Z	1733.91	926.91	876.91
	대기시간	229	37	0
Case4	Z	2197.91	897.91	876.91
	대기시간	250	13	0
Case5	Z	1554.91	931.91	876.91
	대기시간	140	39	0

Table 20은 다섯 가지 케이스 별로 세 가지 방식을 적용한 결과표이다. 공통적으로 Base가 Z값과 대기시간이 가장 높게 나타났고, ITT Opt가 Z값이 가장 작고 대기시간이 0으로 나타났다. Base 방식과 같이 반출터미널과 반입터미널의 혼잡도를 고려하지 않으면, 그렇지 않은 경우에 비해 대기시간이 높게 나타나 비효율적인 방식이라고 할 수 있다. ITT Opt 방식과 같이 반출터미널과 반입터미널 혼잡도를 모두 고려한 방식은 VBS 방식과 같이 반출터미널 혼잡도만 고려한 방식보다 Z값과 대기시간이 모두 낮게 나타났다. 즉, 반출터미널과 반입터미널의 혼잡도를 모두 고려하는 방식이 가장 효율적인 작업 할당 방식이다.

제 5 장 결 론

부산 신항은 타부두 환적화물 운송 기능을 수행하고 있고 ITT 시스템이 개발되어 활용되고 있는 터미널도 있지만 일부 터미널들만 사용 중이다. ITT 시스템이 환적화물 운송 프로세스상의 효율성을 높여주었지만 차량 대기의 발생, 터미널간 혼잡도 반영 등의 운영상 효율화는 많이 이뤄지지 않았다. 기존 운송사의 경험과 판단에만 의존한 환적화물 운송의 작업 순서 결정을 명확히 하고자 하였다. 본 연구에서는 반출터미널과 반입터미널 각각의 시간대별 작업 수용량을 가정하여 차량대기시간을 최소화할 수 있는 모형을 구현하고자 하였다. 따라서 반출터미널과 반입터미널 각각의 시간대별 작업 수용량을 가정하여 차량대기 시간을 최소화할 수 있는 모형을 구현하였다. 시간대별 작업 수용량을 5가지 케이스로 가정하고 터미널 혼잡도 반영 여부에 따라 3가지 방식으로 세분화하여 결과를 비교 분석하였다. 분석 결과 반출터미널과 반입터미널의 혼잡도를 모두 고려하여 최적화하는 형태가 대기시간이 0에 가깝게 나타나고 다른 방법에 비교해 효율적이다. 도출한 터미널간 타임테이블 할당 모형이 터미널간 환적화물 작업 대기 시간을 절감하는 효과를 보였기 때문에 앞으로 추가적인 연구를 통해 보완이 된다면 현행 ITT의 작업 대기 문제 해결에 기여할 수 있을 것으로 보인다.

본 연구에서는 하나의 터미널에 대한 CO 와 CI 를 별도로 보았는데 실제 터미널에서는 상황에 따라 반출작업과 반입작업 장비를 구분 없이 사용하는 경우도 있기 때문에 향후 연구에서는 이를 동시에 고려하는 연구가 필요하다. 또한, 타부두 환적 작업을 완료한 차량이 다음으로 출발할 예정인 작업을 곧바로 할당받는다면 듀얼싸이클을 통해 차량 활용 효율을 높일 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

박남규, 이정훈(2017), “ITT Platform의 복화술 개선에 따른 효과 분석 - 부산항 신항을 대상으로 -”, 수산해양교육연구, 29(2), pp. 354-364.

서울시립대학교 · 한국철도기술연구원 · 한국해양수산개발원 · (주)케이엘넷 (2013), “항만내 컨테이너 타부두 환적시스템 기술개발 기획연구”, 국토해양부, 연구개발 최종보고서.

신은석(2005), “Y/T(Yard Tractor)를 이용한 환적화물 운송에 관한 연구”, 한국해양대학교 석사학위논문.

오석문, 전형모, 박형준(2014), “부산 신항 타부두 환적의 효율적인 처리방안 연구”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol 15, No. 3, pp. 1279-1287.

한국해양대학교 · 부산테크노파크(2015), “클라우드 기반의 컨테이너 체증개선 시스템 개발”, 국가핵심기술선도프로젝트 기획유치사업, 최종기획보고서

한국해양수산개발원(2006), “부산항 환적체계 개선방안 연구” .

Giuliano, G. and O’ Brein, T.(2007), “Reducing port-related truck emissions: The terminal gate appointment system at the Ports of Los Angeles and Long Beach”, Transport Research Part D, 12, pp 460-473.

Lee, D. H., et al(2012), “Terminal and yard allocation problem for a container transshipment hub with multiple terminals”, Transportation Research Part E, 48, pp 516-528.

Nieuwkoop, F., et al(2013), “Determining inter terminal transport configurations at the Maasvlakte by integer programming”

Tierney, K. et al(2014), “A mathematical model of inter-terminal transportation” , European Journal of Operational Research, 235, pp 448-460.

