

# 컨테이너터미널의 하역 데이터베이스 분석에 의한 하역시물레이션 모델 구축에 관한 연구

- 일본의 HICCT를 중심으로 -

† 김화영\*

\* 한국해양수산개발원 항만연구본부

## Study on Construction of Simulation Model based on Analysis of Container Handling Database

- A case of HICCT in Japan -

† *Hwa-Young Kim\**

*\*Port Research Department, Korea Maritime Institute*

**요 약 :** 최근의 컨테이너 수송환경은 컨테이너 선시간 인수합병, 동맹화, 컨테이너선의 대형화와 하주의 요구에 대응하기 위한 복합수송체계 등 급속하게 변화하고 있다. 이에 컨테이너터미널에 요구되어지는 서비스로서 항만의 대수심화, 하역의 신속화, 이용료의 저가격화 등을 예로 들 수 있고, 이러한 서비스가 제공되지 않을 경우 컨테이너 선시는 컨테이너터미널의 기항을 기피하게 된다. 따라서, 본 연구에서는 컨테이너터미널에 있어서 하역의 효율화와 기능성 평가를 위해 실제 컨테이너터미널의 하역 데이터 분석을 통하여 하역기기, 야드샤시 및 외부트럭의 관리에 대한 프로세스 정보를 추출하여 하역 효율화에 저해가 되는 하역기기 운전원의 스킬과 트러블 등의 요인을 분석하였다. 또한, 추출한 프로세스 정보를 활용하여 페트리 넷을 이용해 컨테이너 하역시물레이션 모델을 구축하고 하역기기의 컨테이너 하역작업을 시물레이션하여 그 유효성을 확인하였다.

**핵심용어 :** 컨테이너터미널, 하역 데이터 분석, 프로세스 정보, 하역시물레이션 모델, 페트리 네트워크 모델, 시물레이션

**Abstract :** In recent years, the transportation sector has been undergoing very rapid and multifarious changes due to the M&A, alliances between shipping companies, introduction of larger container ship as a cost reduction measure and the application of integrated logistics to satisfy the needs of customers. Therefore, container terminal is required adequate terminal facilities, sufficient channel depth, efficient handling and low cost of port fees and dues. The purpose of this paper is for functional assessment of efficient container terminal. Firstly, the container operating process information about yard equipment and chassis is extracted through the analysis of practical daily work report of container terminal. Also, the formulae of skill factor and troubles of operator on transfer crane are defined. Lastly, container handling simulation model which consideration of skill factor and trouble of operator is proposed by Petri network model.

**Key words :** Container terminal, Container handling database, Container simulation model, Petri network model

## 1. 서 론

컨테이너터미널의 기능성평가에는 컨테이너 처리능력, 해운 회사의 터미널 이용의 편리성, 양질의 하역서비스, 저렴한 터미널 이용요금 등을 예로 들 수 있다. 이들 요소 가운데 외부트럭의 컨테이너터미널 게이트 앞에서의 정체와 야드내 대기시간의 증가는 배후지로의 컨테이너 물류의 장애뿐만 아니라 컨테이너터미널에 있어서도 터미널 이용자의 서비스 및 야드내 컨테이너 처리량에도 큰 영향을 준다. 또한, 컨테이너크레인(Container Crane : C/C)의 하역능률에 직접적인 영향을 미치는 변수로는 컨테이너 양적하 작업에 투입되는 야드 크레인

과 야드 트랙터이다. 특히, 야드 크레인의 작업지연은 결국 본선 작업의 지연으로 이어지게 되어 컨테이너터미널의 가장 큰 고객인 선박에 대한 재항시간에 영향을 주게 된다(Choi, 2004). 이와같이, 컨테이너터미널의 경쟁력을 향상시키기 위해서는 컨테이너터미널 내부의 생산성을 향상시키는 일이 중요하다(Kim, 2003). 이와같이, 컨테이너터미널의 효율성 측정에 대한 중요성이 증대되고 있고, 현재의 효율성 수준을 정확히 파악하여 이를 개선시킬 수 있는 방안을 제시하는 연구의 필요성이 대두되고 있다(Park, 2007).

컨테이너터미널의 평가를 위해서 주로 시물레이션 기술이 많이 이용되고 있다. 국내에서도 컨테이너터미널 연구와 관련

† 교신저자 : 김화영(정회원), hykim@kmi.re.kr, 02)2615-5004

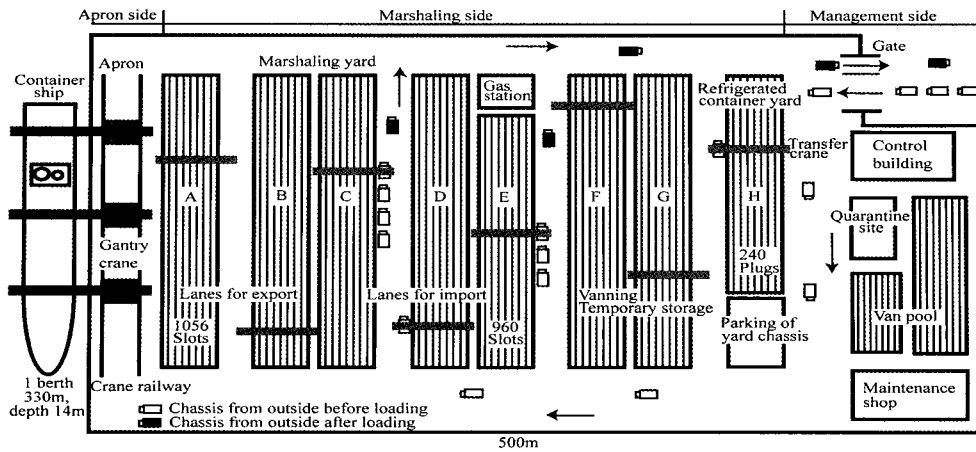


Fig. 1 The arrangement of Hakata Island City Container Terminal(HICCT) of Fukuoka in Japan

하역 다양한 시물레이션 연구가 수행되었다. 배 외(2000)는 수평배치의 장치장 형태의 터미널에서 버퍼 장치장의 장비 규모 산정을 위한 시물레이션 연구를 수행하였고, 김 외(2001)는 자동화 컨테이너터미널의 레이아웃 평가방안에 대한 연구, 김 외(2002)의 자동화 컨테이너터미널의 장치장 운영시물레이션 연구, 하 외(2004)는 수직블록배치형태를 가지는 자동화 컨테이너터미널의 이송장비에 대한 시물레이션 연구(Ha, 2007) 등 지속적으로 시물레이션 모델을 개발하기 위한 연구가 진행되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 실제 컨테이너터미널의 야드내 하역기기의 하역데이터 처리를 통해 컨테이너 크레인, 야드 크레인 등의 하역기기, 야드사시 및 외부트럭의 관리에 대한 프로세스 정보를 추출하여 컨테이너 처리량 향상에 저해가 되는 요인을 분석하고, 추출한 프로세스 정보를 활용하고 이산시물레이션(Discrete Simulation) 모델인 페트리 네트워킹 모델(Petri network model)을 적용하여 컨테이너 하역시물레이션 모델을 구축하고, 구축된 시물레이션 모델의 적용례로서 야드내 하역기기인 트랜스퍼 크레인(Transfer Crane : T/C)에 의한 컨테이너 하역작업 처리에 대하여 검토하였다.

## 2. 하역 데이터 분석

### 2.1 야드내 하역기기의 작업분석

Fig. 1은 하카타 아일랜드 시티 컨테이너터미널(Hakata Island City Container Terminal : HICCT)의 시설배치를 나타내고있다. HICCT의 컨테이너 하역방식은 일본 국내 최초로 컨테이너 8열이 대응 가능한 T/C 9기가 도입되어 야드내 하역작업을 처리하고 있다(博多, 2005). 또한, HICCT는 T/C의 하역작업을 엑셀형식으로 기록하여 하역 작업일지를 IT시스템으로 관리하고 있다. Fig. 2는 T/C의 하역 작업일지의 일부를 나타내고 있다. 그림에서 나타낸 것과 같이 하역 작업일지에는 컨테이너의 반출, 반입 등의 T/C의 하역형식, 컨테이너 번호, 장치장의 주소, 작업의 접수 및 완료시간 등의 항목이 기록된다.

본 연구에서는 야드내 하역기기인 T/C의 하역 작업일지로부터 T/C의 작업, 컨테이너의 장치, 야드사시와 외부트럭 등의 관계를 분석하기 위해, 이 하역 작업일지를 이용하여 하역 데이터베이스를 작성하고, 이 데이터베이스로부터 T/C의 프로세스 정보, 장치상황 등을 분석하고 야드내 컨테이너 처리를 향상시키기 위한 방안을 검토하였다.

Daily work report of Hakata Island City Container Terminal

[Transfer crane No.7]							[ Completed work data on 19:07, 13 / July / 2004 (Tue.) ]					
No.	Operation	G/C	Container No.	Size	From	To	Stock address	Acceptance work time	Completed work time	Wait time	Comments	Flag
37	Ship to Stock	13	TRLU6698051	40	CY013	C115-4-4	C115-2-3	8:57	9:11	14	Reserved	Ordinaty completed
38	Receipt		UGMU8050570	40	C121-1-2	C121-4-2		9:06	9:13	7	Reserved	O/C
39	Rehandling		EISU1316020	40	C121-1-1	TM004		9:06	9:14	8		O/C
40	Delivery		NYKU6057208	40	C113-5-2	C113-4-2		9:09	9:16	7		O/C
41	Delivery		TCKU9410917	40	C113-5-1	IW005		9:09	9:24	15	Reserved	O/C
42	Delivery		EMCU9190948	40	C121-3-2	KM009	C119-7-3	9:16	9:28	12	Reserved	O/C
43	Receipt		DJLU5201770	40	C119-6-2	C119-5-1		9:14	9:29	15		O/C
44	Spacing		UGMU8991246	40	C119-6-1	IT001		9:14	9:31	17		O/C
45	Rehandling		NYKU6112239	40	C127-1-3	MI001		9:26	9:34	8		O/C
46	Rehandling		TGHU2538224	20	C130-8-3	C130-7-1		9:16	9:35	19		O/C
47	Delivery		FSCU3157245	20	C130-8-2	HE001		9:16	9:37	21	Reserved	O/C
48	Rehandling		CLHU3190903	20	C102-1-2	C102-2-2	C125-2-2	9:18	9:41	23	Reserved	O/C
49	Delivery		CLHU3190903	20	C102-1-1	TK036		9:18	9:43	25		O/C
50	Shift-In		CLHU3190903	40	CY013	C125-4-2		9:19	9:45	26		O/C
51	Shift-In		CLHU3190903	40	CY007	C125-2-1		9:20	9:46	26		O/C

Remark ; The abbreviation of O/C means Ordinaty completed.

Fig. 2 An example of daily work report of container handling by T/C

Table 1 List of work code of transfer crane

코드	작업명칭	작업의 정의	반송기기
1	반입	외부트럭으로부터의 반입 작업	외부트럭
2	반출	외부트럭으로의 반출 작업	외부트럭
3	양하	본선으로부터의 반입 작업	야드샤시
4	적하	본선으로의 반출 작업	야드샤시
5	이적시 반입	레인(블럭)간 이적시 반입 작업	야드샤시
6	이적시 반출	레인(블럭)간 이적시 반출 작업	야드샤시
7	리핸들링	컨테이너 반출시 장애가 되는 컨테이너를 동일 베이내로 이동 작업	None
8	베이내 이적	베이내 장치공간 확보를 위하여 동일 베이내 컨테이너 이동 작업	None
9	이동	T/C의 베이내 이동	None
10	대기	T/C의 작업 대기	None
11	임시 양하	본선으로부터의 임시적 반입 작업	야드샤시
12	임시 적하	임시 장치된 컨테이너의 반출 작업	야드샤시

주) T/C: Transfer Crane의 약자임

T/C의 하역형식은 하역작업의 종류를 나타내고 있으며, 크게 나누어 Bay간 이동, 야드샤시 및 외부트럭으로의 반출 및 반입 작업, 컨테이너 반출을 위한 리핸들링작업과 다음 작업을 위한 T/C의 대기상태로 나눌 수 있고, 본 연구에서는 T/C의 각 하역작업을 코드화하여 Table 1에 나타내었다. 표에서 나타낸 것과 같이, 각각의 하역작업과 하역작업의 정의, 작업의 종류에 따른 야드샤시 또는 외부트럭의 작업 대응 방식을 나타내고 있다.

T/C의 하역작업을 시간의 흐름에 따라 주로 수입 컨테이너가 장치되고 있는 C Lane에 있어서 앞서 정의한 작업코드에 의해 분석해보면, 외부트럭에 의한 터미널 외부로의 반출작업, 본선으로부터 양하된 컨테이너가 야드샤시에 의해 반송되어 야드에 장치되는 적치작업, 본선으로부터 양하된 컨테이너의 신속한 장치를 위하여 장치장내 공간확보를 위한 리핸들링작업과 야드샤시에 의해 Lane간 컨테이너를 이동하는 이적작업 등이 T/C의 하역작업이다. 이 가운데 외부트럭으로의 반출작업에 있어서 HICCT에서는 1개 Lane당 33개의 Bay로 구성되어 있고, T/C간 간섭을 피하기 위하여 1개 Lane별 T/C 1기가

대응하는 것이 일반적이다. 또한, 컨테이너터미널의 게이트 작업개시 후 게이트 앞에서의 외부트럭의 혼잡은 야드내에서의 외부트럭의 정체를 일으키는 원인이 되고 있다. 본선으로부터 양하된 컨테이너 처리에 있어서 안벽부 C/C의 대기를 줄이기 위하여, 야드내 T/C을 2기 배치하는 경우도 있으나, 이 경우에는 안벽측 하역의 신속성과 작업의 안전을 고려하여 야드샤시와 외부트럭의 동선이 서로 간섭하지 않도록 외부트럭으로의 반출작업을 일시적으로 중단시키게 되어 외부트럭의 대기시간이 발생하고 있다.

T/C의 하역 작업일지와 정의한 작업코드를 이용하여 작성한 하역 데이터베이스를 분석한 결과에 의해 T/C 운전원별로 작업시간을 정리하면, 운전원마다 하역기기를 다루는 숙련도의 차가 존재하는 것을 알수 있었다. 다음절에서는 T/C 운전원의 스킬(숙련도)에 대하여 서술한다.

### 3. 하역 프로세스와 운전원의 스킬팩터

#### 3.1 T/C의 하역 프로세스 정의와 표준작업시간

야드내 하역기기인 T/C의 하역작업을 분석하기 위하여 T/C의 하역작업을 프로세스별로 나누어 정의하였고, Fig. 3에는 반출작업에 있어서 T/C의 하역작업을 5단계의 프로세스로 정의하였다. 프로세스 1은 T/C이 반출할 컨테이너가 장치되어 있는 Bay로 이동하고, 프로세스 2는 T/C의 스프레더가 Bay내 반출할 컨테이너의 상부로 이동하는 작업을 의미하며, 프로세스 3은 반출할 컨테이너 위에 다른 컨테이너가 장치되어 있을 경우 방해가 되는 컨테이너를 동일 Bay내로 이동시키는 작업이다. 프로세스 4는 반출 컨테이너를 T/C의 스프레더에 의해 Bay 내부로부터 야드샤시 또는 외부트럭에 적재하는 작업이고, 프로세스 5는 T/C의 스프레더를 작업 시작전의 위치로 이동시키는 작업으로 정의하였다. 또한, 정의한 프로세스에 있어서 상세한 작업의 타이밍과 프로세스 요소에 대하여는 Fig. 3에 나타낸 것과 같이 스텝으로 정의하였다.

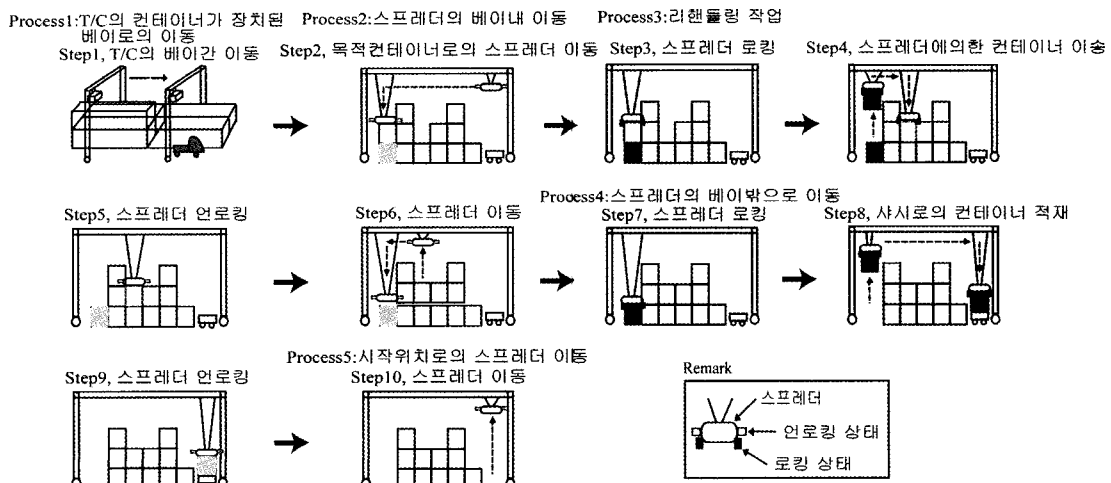


Fig. 3 A definition of process of transfer crane on stock-out container handling

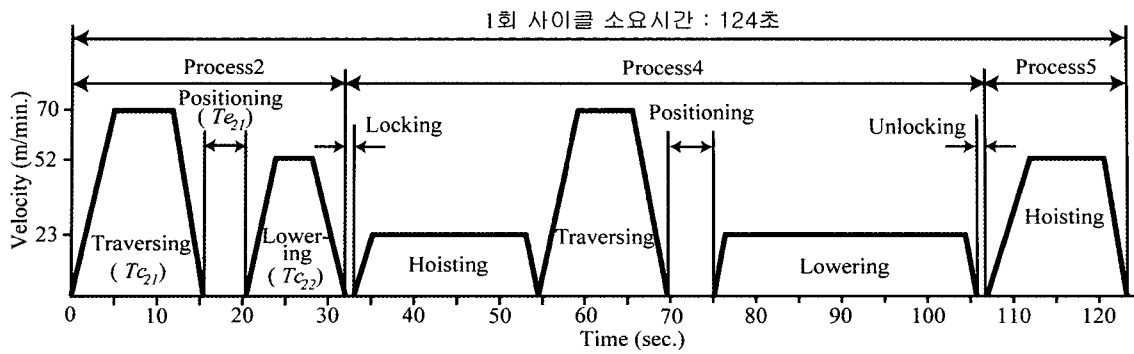


Fig. 4 A process diagram of transfer crane on stock-out operation by shop test

이와같이, T/C의 하역작업 프로세스  $i$ 에 있어서 표준작업 시간  $Ts_i$ 를 다음과 같이 정의하였다.

$$Ts_i = Tc_{ik}(a_k, d_k) + Te_{ik} \quad (1)$$

여기에서,  $Tc_{ik}$ 는 T/C의 하역작업 프로세스  $i$ 에 있어서 스프레더가 현재위치에서 목적 컨테이너의 위치  $k$ 까지 이동하는 거리이고, 각 하역작업의 프로세스에서 스프레더의 횡이동, 미세위치조정(Positioning), 권상속도, 권하속도 등을 의미하고, 거리  $d_k$  및 스프레더의 가속도  $a_k$ 에 의해 나타낼 수 있다. 또한,  $Te_{ik}$ 는 T/C의 스프레더와 컨테이너간의 정위치를 조정하기 위한 Positioning 시간을 의미한다.

여기서  $Ts_i$ 에 있어서는 야드 하역기기의 카탈로그(Catalog)치와 성능시험 데이터, HICCT에서의 워크 샘플링을 통해 T/C의 속도와 가속도를 계측하여 결정하였다. Fig. 4에는 HICCT에서 야드 하역작업에 사용하고 있는 T/C의 성능시험 결과로, Bay내 중앙부분인 사시의 주행로로부터 4열, 3단의 높이에서 컨테이너를 반출할 경우, 위에서 정의한 하역작업 프로세스별로 그 결과를 나타낸 것이다. 리핸들링작업이 없을 경우, 프로세스 2부터 프로세스 5까지의 표준작업시간으로 124초가 소요된다.

또한, 상태추이도에 기초하여 하역 데이터베이스를 분석한 결과 T/C의 하역작업의 프로세스 시간을 산정할 경우, 반출작업에 있어 프로세스별 시간은 평균적으로 Bay간 이동시간이 66초, 스프레더의 횡이동 시간이 23초, 수직이동시간이 13초, 스프레더의 Lock와 Unlock시간이 각각 5초, 방해 컨테이너의 리핸들링작업 시간이 81초, 야드사시 및 외부트럭으로의 적재 시간이 103초로 추정되었고, 이 결과를 실제 HICCT의 3일간의 계측을 통하여 구한 결과와 거의 일치하고 있음을 확인하였다.

### 3.2 T/C 운전원의 스킵팩터

T/C의 하역 작업일지를 이용하여 작성한 하역 데이터베이스와 상태추이도 분석으로부터 T/C의 하역 작업 프로세스  $i$ 의 작업시간  $Tp_i$ 을 다음과 같이 정의하였다.

$$Tp_i = Fs_i \times Ts_i + Tt_i \quad (2)$$

여기에서,  $Fs_i$ 는 T/C 운전원의 하역기기에 대한 숙련도를 의미하는 것으로 본 연구에서는 T/C의 스킵팩터로 정의하였다. T/C의 운전원의 기량에 관련한 계수는 1을 표준으로 설정하였다.

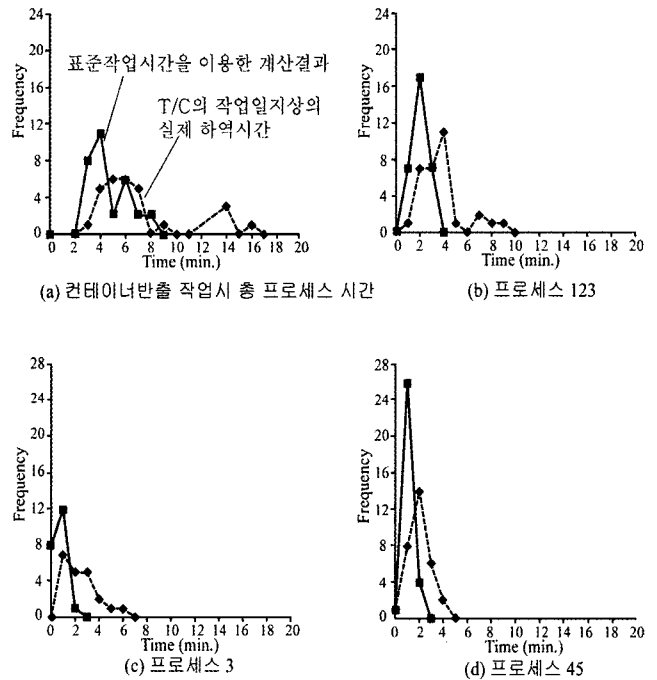


Fig. 5 Comparison of calculated operation time and actual operation time of T/C no.2 on 5th July, 2004

Fig. 5에는 T/C의 하역 작업일지를 이용해 만들어진 작업 데이터베이스로부터 구한 결과중, 7월 한달 동안의 평균작업 시간에 가장 가까운 7월 13일의 T/C no.7의 결과를 프로세스별로 나누어 식(1)에 정의한 표준작업시간과 실제 하역 작업일지의 하역 데이터를 비교한 것이다. Fig. 5(b)에서 두 결과의 패턴은 거의 일치하고 있으나, 표준작업시간으로 계산한 결과 보다 실제 작업시간이 더 길고 있음을 알 수 있고, 7분, 8분, 9분이 걸린 경우가 각각 1회씩 발생하고 있다. 이와같

은 시간차이의 원인으로는 Bay간 이동거리에 의해 발생하는 T/C 운전원의 Bay간 운전 속련도에 기인한다고 생각할 수 있다. 시간차이의 발생은 Bay간 이동거리가 길수록 더욱 명확히 차이가난다. 그리고, Fig. 5(c)와 (d)에서는 리헌들링작업시 발생하는 스프레더의 Positioning과 야드샤시 및 외부트럭 위에 컨테이너를 적재할 때, T/C의 스프레더를 조정하는데 걸리는 시간으로 인하여 차이가 발생하고 있음을 알 수 있다. 또한, Fig. 5(d)에서는 샤시에 컨테이너 적재시, T/C운전원의 트러블 발생없이 능숙하게 작업을 수행하고 있으나, 다른 결과분석 결과에서는 이 부분의 트러블 발생이 많이 발생하고 있었다. 실제로 HICCT에서 워크샘플링을 통하여 T/C의 하역작업시 스프레더의 Positioning의 실패, 스프레더의 Switch lock pin의 회전불량 등과 같은 트러블로 확인되었으며, 본 연구에서도 T/C의 속련도로 보기에 긴 시간은 트러블 시간으로 간주하였다. 따라서, T/C의 트러블 시간은 식(2)에서와 같이  $T_t$  로 정의할 수 있다. 그 결과, Fig. 5의(a)에서 나타낸 것처럼 총 프로세스 시간에 있어서도 작업일지 상의 하역시간이 더 걸리는 것을 알 수 있다.

Fig. 5의 (a)에서 나타낸 것과 같이, 31회의 작업에 있어 총 프로세스를 식(2)를 이용하여 각각의 값을 구하면, 운전원의 속련도에 해당하는 스킬팩터  $F_s$  는 1.03이고, 표준작업시간  $T_s$  는 144분, T/C 운전원의 트러블 시간  $T_t$  는 총 5회 발생하였고, 시간은 82분이 소요되었다. 즉, 이 T/C 운전원의 스킬(속련도)는 능숙하다 말할 수 있겠으나, 작업중 트러블이 5회 발생하고 트러블시간이 82분이나 소요되는 것을 통하여, 이 운전원의 경우 작업중 트러블 발생을 줄이는 노력이 필요하다 하겠다.

#### 4. 시뮬레이션 분석

##### 4.1 T/C의 하역 시뮬레이션 모델

T/C의 하역작업 시뮬레이션에는 하역 프로세스의 계산에 적합한 페트리 네트워크 모델(Petri network model)을 이용하였다(篠田, 1999 &2002). Fig. 6에 페트리 네트워크 모델의

구성요소를 나타내었다. 페트리 네트워크 모델은 시스템내에 서어면 작업의 상태를 나타내는 플레이스(Place), 작업의 동작을 의미하는 트랜지션(Transition), 작업의 흐름을 표시하는 아크(Arc)와 현재의 상황을 나타내는 토큰(Token)으로 구성된다(椎塚, 1992).

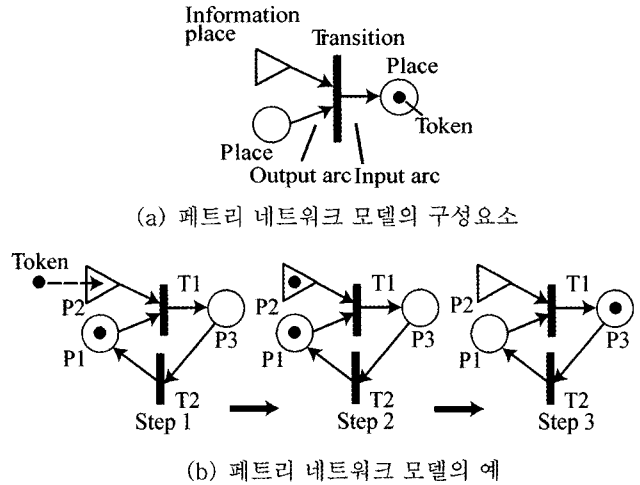


Fig. 6 Petri network model

페트리 네트워크 모델에서 시스템 설계시, 주의해야 할 점으로 플레이스의 경합이 있는데, 플레이스 경합(Place Conflict)이란, 각각의 트랜지션에 있어서 어떤 한 플레이스가 공유되고 각각의 트랜지션에 있어서 발화조건이 만족할 경우에 어느쪽 트랜지션이 먼저 발화할 것인지 결정하는데 있어서 문제가 되는 것을 의미한다.

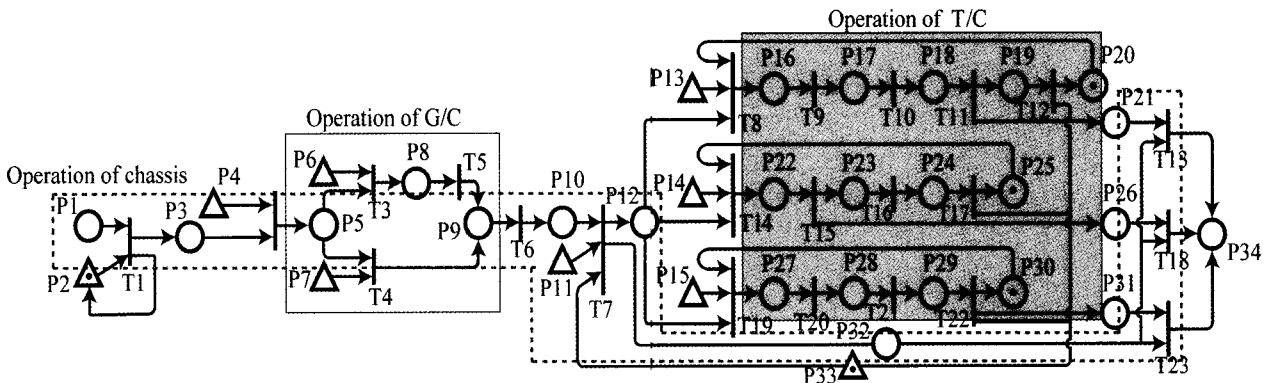


Fig. 7 A Petri network model for simulation of container handling for yard operation

Table 2 Definition of place and transition of constructed Petri network model

Place No.	사시의 상태	Trans. No.	사시의 동작
P1	사시의 유무	T1	사시의 접수
P3	게이트 수속후 사시의 대기	T2	목적 레인(블럭)의 확인
P5	야드내 사시의 대기	T3	G/C작업 수행
P8	G/C앞에서의 사시의 대기	T4	G/C작업 수행없음
P9	G/C로부터의 작업 완료	T6	목적 레인(블럭)으로 이동
P10	게이트에서의 사시의 대기	T7	목적 배이로의 이동
P12,P32	서비스를 위한 사시의 대기 완료		
Place No.	반출작업시 T/C 상태	Trans. No.	반출시 T/C 동작
P16	반출작업을 위한 목적 배이로 이동 완료	T8	목적 배이로의 이동
P17	목적 컨테이너로의 스프레드 이동 완료	T9	목적 컨테이너로의 스프레드 이동
P18	리핸들링 작업 완료	T10	리핸들링 작업 수행
P19	사시로 스프레드 하강 완료	T11	사시로 스프레드 하강
P20	사시로부터 스프레드 상승 완료	T12	스프레드 상승
P21	사시에 컨테이너 적재 완료	T13	작업 완료
Place No.	반입작업시 T/C 상태	Trans. No.	반입시 T/C 동작
P22	반입작업을 위한 목적 배이로 이동 완료	T14	목적 배이로의 이동
P23	사시의 컨테이너로의 스프레드 이동 완료	T15	사시의 컨테이너 검출
P24	베이내 컨테이너 적치 완료	T16	베이내 컨테이너 적치
P25	베이에서 스프레드 원위치 이동 완료	T17	스프레드의 원래위치 이동
P26	사시로부터 컨테이너 양하 완료	T18	작업 완료
Place No.	공간확보 작업시 T/C 상태	Trans. No.	공간확보시 T/C 동작
P27	공간확보를 위한 배이로의 이동 완료	T19	목적 배이로의 이동
P28	베이내 스프레드 이동 완료	T20	베이내 목적컨테이너로의 이동
P29	동일 베이내 컨테이너 이적 완료	T21	동일 베이내 컨테이너 이적
P30	베이로부터 스프레드 원래 위치 이동 완료	T22	스프레드의 원래 위치 이동
P31	공간확보 작업 완료	T23	작업 완료
Place No.	작업정보		
P2	사시의 도착	P11	앞의 사시 작업 완료
P4	목적 레인(블럭)	P13	T/C의 반출 작업
P6	G/C의 작업	P14	T/C의 반입 작업
P7	G/C의 작업 없음	P15	T/C의 공간확보 작업
		P33	사시로의 서비스 우선순위

본 연구에서는 이 경합의 문제를 해결하고 정보에 따른 프로세스의 조건을 판단하여 시스템내 작업의 흐름을 명확하게 하기 위하여 Fig. 6의(a)에 나타낸 것과 같이 삼각형의 정보

플레이스를 고안하였다. 예를들면, Fig. 6의(b)에 페트리 넷트 워크 모델을 설명하기 위해 간단한 작업 프로세스 흐름을 나타내었다. Step1에 표시한 것과 같이 이 프로세스에 무엇인가 지시가 있고 정보 플레이스 P2에 토큰이 들어오면, Step2와 같이 트랜지션 T1의 발화조건이 성립되고, Step3에 나타낸 것과 같이 P3으로 토큰이 이동한다. 이와같이, 정보 플레이스 (Information Place)를 도입함으로써 작업의 지시 구분을 명확히 함으로써 트랜지션의 발화에 있어 경합의 문제를 해결하고, 분명하게 프로세스 흐름을 제어할 수 있다. 또한, 작업 프로세스에서 상태시간추이에 있어 시간설정은 발화 후의 트랜지션 시간에 포함시켜 시물레이션 계산을 행하였다.

Fig. 7은 페트리 넷트 워크 모델을 이용하여 HICCT를 모델링 한 것이다. HICCT의 전체 Lane에 있어서 컨테이너의 임시 장치장 역할을 하는 F, G Lane을 제외한 일반 컨테이너 장치장을 위한 A-E Lane과 냉동 컨테이너가 장치되는 H Lane, 총 6개 Lane을 모델화 하였으며 C/C측의 작업, T/C의 반출 및 반입 작업, Bay내 공간확보를 위한 리핸들링 작업과 야드 사시와 외부트럭의 작업 프로세스를 모두 모델링하였다. 또한, 정보 플레이스를 포함한 각각의 플레이스와 트랜지션의 정의는 Table 2에 나타내었다.

4.2 시물레이션의 계산결과

페트리 넷트 워크 모델에 의한 T/C의 하역작업 모델에 실제 작업시간을 입력하여 시물레이션 계산을 행하고, T/C 하역 작업일지로부터 얻어진 실제 하역작업과 비교하였다. 계산으로

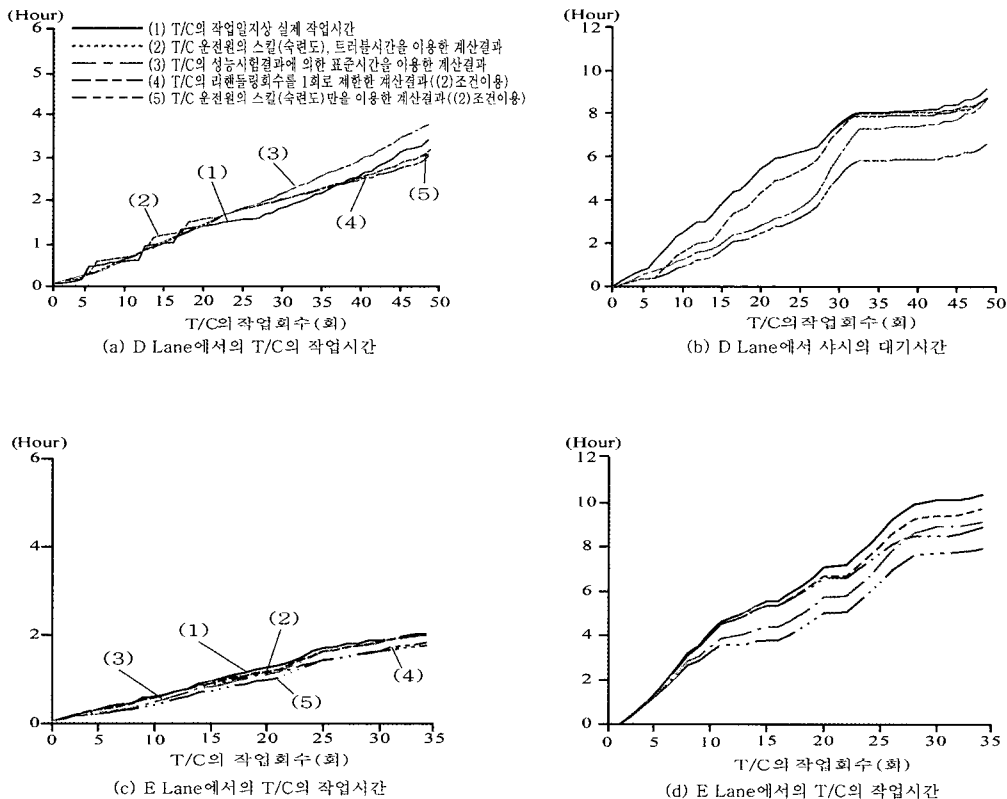


Fig. 8 Result of simulation of container handling at yard on 9th May in 2006

는 실제 HICCT에서 워크샘플링을 실시한 2005년 5월 9일의 데이터와 T/C 운전원의 스킬팩터와 트러블 시간을 입력하여 얻어진 시뮬레이션 결과를 비교하여 Fig. 8의 (a)와 (c)에 각각 나타내었고, 이로 인한 야시의 Lane내에서의 대기시간을 Fig. 8의 (b)와 (d)에 표시하였다.

HICCT에서 수입컨테이너가 주로 장치되는 D, E Lane에 있어서 T/C 운전원의 누적 하역 작업시간(실선)을 이용하였으며, (1)식의 표준작업시간만을 고려한 계산 결과(일점쇄선)는 실제 작업시간과 다소 차이를 보이고 있다. 그러나, (2)식의 T/C 운전원의 스킬팩터와 트러블 시간을 고려한 경우의 시뮬레이션 결과(점선)와는 거의 일치하고 있다. 또한, Fig. 8의 (a)와 (c)에 나타난 것과 같이 T/C 운전원의 트러블 시간을 제외하고 스킬팩터만을 고려한 시뮬레이션 결과(3점쇄선)는 실제 하역 작업시간보다 D Lane은 15%, E Lane은 10%의 작업시간이 감소되었고, 리 핸들링작업 회수를 1회로 한정하여 시뮬레이션한 결과(2점쇄선)에 있어서도 D, E Lane에서 각각 10%의 작업시간 감소 효과가 있었다. 작업시간이 감소하므로 Lane내 야시의 대기시간도 감소하여, Fig. 8의 (b), (d)에 나타난 것과 같이 T/C 운전원의 트러블 시간을 제외하고 스킬팩터만을 고려한 경우에는 D Lane 27%, E Lane 20%의 야시 대기시간이 감소하여, T/C 운전원의 하역작업 수행시 발생하는 트러블의 영향이 야드작업의 효율성에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

야시의 야드내 대기시간은 T/C의 하역 작업일지로부터 추정된 것만으로도 외부트럭의 터미널내에서의 총 대기시간의 합은 1일 평균 8시간 정도 소요되는 것을 알 수 있었고, 이 대기시간은 시간손실, 야시의 배기가스 배출에 의한 환경오염과 더불어 컨테이너터미널의 서비스 효율을 저하시키게 된다.

따라서, T/C 운전원의 트러블 감소는 외부트럭의 대기시간 감소에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 또한, 야드내 야시의 대기시간은 야드내에 이미 도착하여 대기하고 있는 야시의 수에 의해서도 영향을 받아 야드내에서 대기하고 있는 야시의 수가 많을수록 대기시간도 급속하게 증가한다. 즉, 외부트럭의 도착대수가 증가할 경우 야시의 야드내 대기시간도 급속하게 증가한다. 그러므로, T/C 운전원의 작업시 트러블을 배제한 서비스 시간을 표준화하는 것 뿐만 아니라 외부트럭의 도착순위의 평가 및 관리도 필요하다.

## 5. 결 론

T/C의 하역 작업일지로부터 컨테이너 하역 데이터베이스를 구축하였다. 구축한 하역 데이터베이스로에서 T/C의 작업순서를 분석하여 하역작업의 프로세스 데이터를 구하였다. 또한, T/C의 성능시험 결과로부터 표준작업시간을 정의하고, 실제 T/C의 하역 작업일지 데이터와 비교하여 T/C 운전원의 스킬팩터와 트러블 시간을 산정하였다.

동적시뮬레이션에 유용한 페트리 네트워크 모델을 이용하여 컨테이너 하역시뮬레이션 모델을 정의하고, T/C의 작업 프로세스별 시간요소와 앞서 구한 T/C 운전원의 스킬팩터와 트러블 시간을 고려한 시뮬레이션을 수행하여, 실제 T/C 운전원의 하역작업을 나타내는 일이 가능함을 확인하였다. 이러한 결과로부터 야드내 작업중 T/C에 의한 컨테이너 하역작업을 처리하는데 있어서 작업효율성을 저해하는 요인을 파악하고, 하역작업의 개선방법과 개선효과의 추정이 가능한 하역시뮬레이션 모델의 구축이 가능하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김우선, 최용석, 하태영(2003), “컨테이너 반출예약제 기대 효과의 계량적분석”, 한국항해항만학회, 27(4)
- [2] 최용석, 김우선, 하태영(2004), “컨테이너터미널의 야드 트랙터 소요대수 추정”, 한국항해항만학회, 28(6)
- [3] 하태영, 최용석, 김우선(2004), “시뮬레이션을 이용한 자동화 컨테이너 터미널의 AGV 운영평가”, 한국항해항만학회, 28(10)
- [4] 박병근, 최민승, 송재영, 류동근(2007), “우리나라 컨테이너 터미널 효율성 분석에 관한 연구”, 한국항해항만학회, 31(1)
- [5] 博多コンテナターミナル(2005),www.port-of-hakata.or.jp
- [6] 篠田岳思、福地信義(2002)、浮体型コンテナターミナルの荷役機器システム設計とFeasibility Study, 西部造船學會報
- [7] 篠田岳思、福地信義(1999)、コンテナターミナルにおける荷役の効率化と機能性評価に関する研究(その2)、日本造船學會論文集
- [8] Kim, H. Y., and Shinoda, T.(2006), “Study on improvement for container terminal handling”, Pro. of ISOPE

원고접수일 : 2007년 4월 6일

원고채택일 : 2007년 10월 31일