



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](#)

物流學碩士 學位論文

컨테이너 터미널에서 효율적인 실시간
선적계획 수립 알고리즘

Efficient Real-time ship scheduling algorithm in Container
Terminal



指導教授 申宰榮

2012年 2月

韓國海洋大學校 大學院

物流시스템學科

朴 龍

목 차

ABSTRACT

제 1 장 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 관련 문헌 연구	3
1.3 논문의 구성	5
제 2 장 양 · 적하 계획의 한계	6
2.1 컨테이너 터미널의 양 · 적하 계획	6
2.1.1 Q/C 배정 계획	6
2.1.2 양 · 적하 계획	7
2.2 컨테이너 터미널의 양 · 적하 계획의 한계	8
2.2.1 사전 계획의 한계성	8
2.2.2 실시간 작업계획의 필요성	8
제 3 장 문제의 정의 및 해법 연구	11
3.1 문제의 설정	11
3.1.1 실시간 감시 알고리즘	14
3.1.2 조치 알고리즘 1 : 선행 작업 Q/C 우선 지연 해법	15
3.1.3 조치 알고리즘 2 : 작업 지연 및 교환 해법	16
3.1.4 조치 알고리즘 3 : 세부 작업 지연 및 교환 해법	19

제 4 장 수치 예제 및 실험	20
4.1 수치 예제	20
4.1.1 조치 알고리즘 1 : 선행 작업 Q/C 지연 해법의 검증	20
4.1.2 조치 알고리즘 2 : 작업 지연 및 교환 해법의 검증	23
4.1.3 조치 알고리즘 3 : 세부 작업 지연 및 교환 해법의 검증 ...	28
4.2 실험	32
4.2.1 실험	28
제 5 장 결 론	35
참고 문헌	37



표 목 차

<표 2-1> Q/C 배정 계획 수립 규칙	7
<표 2-2> 사전계획 지연의 이유	9
<표 3-1> 수립된 Q/C 계획의 정보	12
<표 3-2> Q/C별 우선순위	17
<표 4-1 > Hatch 별 잔여 작업 물량	20
<표 4-2> 간섭 작업의 정보	22
<표 4-3> Q/C별 작업시간	24
<표 4-4> 작업 세분화표시의 예	28
<표 4-5> 투입 크레인 5대 작업유형별 작업시간	32

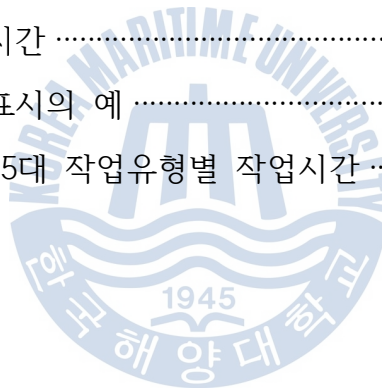


그림 목 차

[그림 2-1] Dual cycle 의 개념	8
[그림 3-1] Q/C 계획의 작업 Bay 유형	13
[그림 4-1] 잔여 작업 예상 흐름도	21
[그림 4-2] 첫 간섭을 해결한 작업 흐름도	23
[그림 4-3] 같은 Bay별로 작업이동	24
[그림 4-4] 기준 Q/C의 작업 배치	25
[그림 4-5] 조치 알고리즘 2 : 작업 지연 및 교환 해법의 해	27
[그림 4-6] 잔여 작업의 세분화 흐름도	29
[그림 4-7] 간섭 발생	30
[그림 4-8] Q/C간 작업이동 후의 흐름도	31
[그림 4-9] 투입 크레인 5대 작업유형별 작업시간	33
[그림 4-10] 투입 크레인 5대 작업유형별 작업시간 감소량 백분율	34

Efficient Real-time ship scheduling algorithm in Container Terminal

Yong Park

Department of Logistics

Graduate School of Korea Maritime University



Abstract

Maritime transportation which takes charge most of international trade is getting bigger and larger. Also container terminals are increasing gantry crane competitiveness and developing integrated operation technologies to meet shippers' needs. These kinds of loading and discharging plans are controlled by pre-planning before anchoring of ships and methods of working. But in a field work, there can be delays and differences from pre-planning. It is difficult to gain efficiency of loading and discharging because labors are occasionally trying to solve the problems of gaps by

their own intuition.

So this paper presents the method to adjust gaps between actual field work and pre-planning in real-time so that terminals can reflect every changes of work environment. By using computer programming, experiments are presented with short time to obtain solution.



제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

현재 대부분의 기업들은 이미 국가의 경계가 무색 할 정도로 전 세계를 무대로 경쟁하고 있다. 기업들뿐만 아니라 세계의 주요 국가들 역시 서로의 무역장벽을 허물고 있는 추세이다. 가장 대표적으로 북미 자유무역협정(North American Free Trade Agreement : NAFTA), 유럽연합(European Union : EU) 등이 있으며 여러 국가들이 서로간의 경제 협력을 위해 서로 자유무역협정(Free Trade Agreement : FTA)을 맺었고 지금도 많은 나라들이 추진 중이다. 이런 추세에 발맞추어 우리나라 또한 한 - 칠레 자유무역협정, 한 - 싱가포르 자유무역협정 등 과 여러 국가들과 자유무역협정을 맺었으며 현재도 미국을 비롯한 여러 국가들과 추진 중에 있다.

또한 국제무역의 수요와 중요성이 날로 증가하고 있다. 이러한 국제 무역의 대부분을 담당하고 있는 해상운송은 계속되는 조선 기술의 발전을 발판삼아, 수송비의 절감을 위해서 고속화, 자동화 그리고 대형화 되어 가고 있다. 또한 선사로서는 선박의 항구접안시간을 단축하여 운항 효율을 극대화하려 하며 이러한 변화에 발맞추기 위해 컨테이너 터미널에서는 안벽 크레인 당 생산성 증가와 통합운영 기술을 발전시켜 선사의 니즈(Needs)를 충족시켜 경쟁력을 키우고 있다. 다시 말하면 터미널 운영업체는 대형선박의 접안이 가능하도록 설비를 갖추고 생산성 향상을 위해 탠덤 크레인 등을 도입하여 생산성을 향상시키고 더블 사이클 및 듀얼 사이클 등의 기술을 도입하여 운영방법 개선과 운영 시스템 변경 및 효과적인 운영을 위해 노력한다.

이렇듯, 컨테이너 터미널은 고객사인 선사의 요구를 만족 시키고 타 경쟁업체보다 우위에 서기 위해서 많은 노력을 기울이고 있다. 그중에서도 컨테이너 터미널의 생산성을 좌우하는 것은 양 · 적하 작업의 효율성이다. 이는 선박이 터미널에

입항하여 수출 및 수입 화물의 처리를 완료하여 출항하기까지의 프로세스를 말한다. 이러한 양·적하 작업 계획은 선박이 터미널에 정박하기 전에 미리 수립하는 사전 계획과 작업자들의 작업 방식에 의해 생산성이 좌우된다. 사전 계획이라 하면 본선의 안벽 크레인(Quay Crane : Q/C ; 이하 Q/C라 한다) 배정계획 및 양·적하 계획(Discharging Plan · Loading Plan)을 의미한다. 이렇듯 선박의 접안 전에 작성하는 사전 계획은 계획의 수립시점에 터미널의 야드 상황 및 선석 상황, 작업 배정 가능 Q/C 등 터미널의 작업 상황에 맞게 예측하여 작성한다. 하지만 실제로 작업 시에는 운영 계획과 다르게 작업의 지연이 발생하게 된다. 예를 들면, 사전 계획 이후 변경된 야드 상황, 실시간으로 발생하는 문제점, 본선 작업자들에 의해 임의로 순서가 변경되고 작업자의 직관에 의해 처리되기 때문에 효율적인 양·적하 작업을 하기 어려울 때가 많다. 작업의 계획이 바뀌면 그 이후 시점부터는 작업자의 상황에 따라 작업이 진행 된다. 그렇기 때문에 계획을 다시 효과적으로 세워줄 필요가 있다.

실제로 본선의 양·적하 작업은 컨테이너 터미널의 주된 업무라 할 수 있으며, 그렇기 때문에 가장 활발히 연구되고 있는 영역이다. 사전 계획에 관한 연구는 본선 작업시 기본이 되는 운영 계획을 작성하는데 주안점을 두며 실제 양·적하 작업도 사전 계획을 따른다. 따라서 효과적인 사전 계획의 수립은 컨테이너 터미널의 생산성을 높이는데 큰 기여를 할 것이다. 하지만 아무리 효과적인 사전 계획을 수립 하였다 할지라도, 계획 수립 시점의 상황과 실제 작업의 상황이 다르다면 훌륭한 사전 계획이 수포로 돌아가게 된다. 상황이 변하였기 때문에 작업자들의 그들의 상황 판단에 따라 작업을 진행해나가기 때문에 비효율적이다. 또한 작업 환경이 변화되어 작업 가능 Q/C가 늘어나거나 여유 야드 트럭(Yard Truck : YT) 의 대수가 늘어나는 등 생산성 향상을 가져 올 수 있는 요소가 증가 될 때도 작업에 반영하지 못하는 상황이 일어나기도 한다.

따라서, 본 연구에서는 컨테이너 터미널에서 실시간으로 변하는 상황에 맞추어 실시간으로 작업 환경의 변화가 발생할 때마다 작업에 반영 할 수 있도록 제시하고자 한다. 작업 환경이 바뀌어 작업자가 혼란을 겪지 않고 터미널 전체의 관점

에서도 언제나 효율적으로 작업을 진행 할 수 있게 도와줄 것으로 생각된다. 본 연구는 컨테이너 터미널의 주 업무인 안벽 작업에 초점을 맞추고 진행을 할 것이며, 이는 컨테이너 적·양하 작업 및 전체 컨테이너 터미널의 생산성 향상에 기여 할 것으로 생각된다.

1.2 관련 문헌 연구

컨테이너 터미널에 관한 연구들은 주로 3가지 측면으로 살펴 볼 수 있다. 최첨단 설비들을 투자하여 생산성증대를 살펴보는 연구들과 컨테이너 터미널의 성능을 평가하는 연구가 대부분을 차지한다고 볼 수 있다. 마지막으로 컨테이너 터미널의 운영에 관한 연구로 나뉘 볼 수 있지만 앞선 두 가지 측면에 비해서 연구가 부족한 실정이다.

컨테이너 터미널의 운영 측면에서 접근한 연구는 터미널의 업무에 따라 컨테이너의 양·적하 계획의 수립과 안벽 운영에 관한 연구, Q/C의 운영에 관한 연구, 야드 운영에 관한 연구, 야드 트럭 할당에 관한 연구 등으로 나뉘볼 수 있다. 본 연구는 그중에서도 컨테이너의 양·적하 계획과 Q/C의 운영에 관한 연구에 초점을 두고 연구하였다.

본 단락에서는 양·적하 계획과 Q/C의 운영에 관한 연구들을 살펴보고자 한다.

신재영, 남기찬, (1998)은 '컨테이너 선박의 자동 적재 계획을 위한 지능형 의사결정지원시스템'에서 선박의 복원성과 적재 화물의 재배치 횟수를 줄여 비용을 최소화 하는 수리적 해법을 제시하고 실제 프로그램으로 구현하였다. 신재영, 광규석, 남기찬, (1999)은 '효율적인 컨테이너 터미널 선적 계획을 위한 의사결정지원시스템'에서 컨테이너 터미널의 선적 계획 시스템을 설계, 구현하였다. 이 연구는 실제 업무 담당자들의 지식을 근간으로 계획 규칙을 만들었으며 이론적인 연

구를 벗어나 실제 상용화할 수 있는 단계까지 개발을 완료하였으며 실제 터미널의 검증을 거쳐 컨테이너 터미널 운영 시스템의 연구 영역을 발전 시켰다. 강진수, 이용환, 김갑환, 류광렬, 박영만, (2000)은 ‘컨테이너 터미널의 적하계획을 위한 탐색방법들의 비교 연구’에서 컨테이너 터미널의 적하계획을 터미널 장치장의 컨테이너 적재상황과 선박의 야드장비 운영계획을 고려한 적하위치에 일정하게 적하하는 계획을 연구하였다. 서경무(2006)은 ‘컨테이너 터미널에서 실시간 선적계획을 위한 의사결정 지원 모델에 관한 연구’에서 컨테이너 터미널의 사전계획과 실제 운영이 차이가 있는 것에 중점을 두고 투입된 Q/C들의 계획 내에서 지속적인 계획의 수정을 통하여 작업을 결정짓는 것에 대한 연구를 하였다. 김갑환, 이훈, (2009)은 ‘컨테이너 터미널 실시간 운영 문제 해결을 위한 의사결정 지원 시스템 설계’에서 사용자가 직면한 문제를 과거의 자료를 통해 발생한 문제와의 인과관계를 고려하여 발생한 정확하게 처리 할 수 있는 의사결정 전문가 시스템에 대한 모델을 제시하였다. Bish(2001) 은 ‘A multiple-crane-constrained scheduling problem in a container terminal’에서 선박의 적재창의 상황과 야드의 상황을 파악하여 휴리스틱 방법을 통해 접근하였다. Lee, Wang, Miao, (2006)은 ‘ Quay crane scheduling with non-interference constraints in port container terminal’에서 Q/C의 간섭 문제를 수리적 모형으로 접근하여 유전 알고리즘으로 간섭을 해결하였다.

상기에서 살펴본 바와 같이 컨테이너 터미널의 양 · 적하계획에 관한 연구들은 새로운 설비를 추가하는 것을 제외하더라도 대부분이 사전계획을 효율적으로 수립하는데 중점을 두고 있다. 그렇기 때문에 작업 중에 발생하는 상황에 대해서는 효과적으로 대처 할 수 없는 실정이며, 이러한 실시간 작업 변화에 대처하는 연구가 시작 되었지만 김갑환, 이훈(2009)와 같이 과거의 상황을 기억해 두었다가 인과관계에 맞추어 진행하는 정도에 그쳤다. 그보다 앞서 서경무(2006)이 실시간으로 사전계획과 실제 운영에 관해 연구하였으나 배정된 Q/C안에서의 작업의 재배치가 이루어지기 때문에 그 영역이 좁다. 따라서 본 연구에서는 실제 컨테이너 터미널에서 발생할 수 있는 작업 지연의 원인 및 시점을 실시간으로 파악하고,

해결하여 날로 경쟁이 심해지는 컨테이너 터미널의 경쟁력을 키울 수 있는 실시간 모니터링을 통한 선적계획의 재수립을 연구하고자 한다.

1.3 논문의 구성

본 연구는 총 5장으로 구성되어있다. 제 1장에서 연구를 진행하게 된 배경과 연구의 필요성 및 방향, 연구의 목적을 제시하고 기존 연구내용들을 살펴보았다. 제 2장에서는 컨테이너 터미널의 양·적하 작업에 대해 알아보고 그 수립 절차 및 문제점을 살펴본다. 제 3장에서는 본 연구에서 다루는 실시간 모니터링 및 선적계획의 재수립에 관해 모형을 수립하고 알고리즘을 제시한다. 제 4장에서는 제 3장에서 수립한 알고리즘의 타당성 및 효율을 검증하기위해 그 결과를 산출하고 비교한다. 마지막으로 제 5장에서는 본 연구의 성과 및 보완점, 그리고 향후 연구의 방향을 제시하도록 하겠다.



제 2 장 양 · 적하 계획의 한계

2.1 컨테이너 터미널의 양 · 적하 계획

컨테이너 터미널은 고객사인 선사로부터 선박의 도착 정보와 양 · 적하 관련 서류를 접수받으며 업무가 시작 된다. 접수를 받은 컨테이너 터미널의 플래너는 작업이 예정된 선박 접안 시간의 선석 상황에 따라 선석 계획을 수립하고 대상 선박의 크기 및 작업량에 따라 투입할 Q/C의 수와 작업 위치 등을 해당 선박에 배치한다. 그리고 세부적으로 양 · 적하 계획을 수립하게 된다.

본 연구는 기본적으로 수립된 컨테이너의 양 · 적하 계획을 바탕으로 하여 실시간 선적계획수립 알고리즘을 연구하였다. 컨테이너의 양 · 적하 계획을 수립하기 전에 수행되는 컨테이너 터미널의 일정을 간략히 살펴보도록 하자.

2.1.1 Q/C 배정 계획

Q/C는 컨테이너 터미널에서 가장 중요한 양 · 적하 작업을 수행하는 장비이다. 안벽 작업은 Q/C의 투입으로 시작되어 투입된 Q/C의 마지막 작업이 끝난 시점에 선박이 작업을 끝내고 터미널을 떠날 수 있게 해준다.

Q/C 배정 계획은 각 Q/C의 Hatch별 작업 순서를 결정하는 것을 말하는 것으로, 이후에 시행되는 양하 작업 및 적하 작업의 기본이 된다. Q/C의 배정은 먼저 대상 선박이 접안하는 예상 시간에 대상 선박에 투입 가능한 Q/C들 선별하고, 각 Q/C들에 균등한 작업을 할당하며 다음 <표2-1>과 같은 규칙을 따른다.

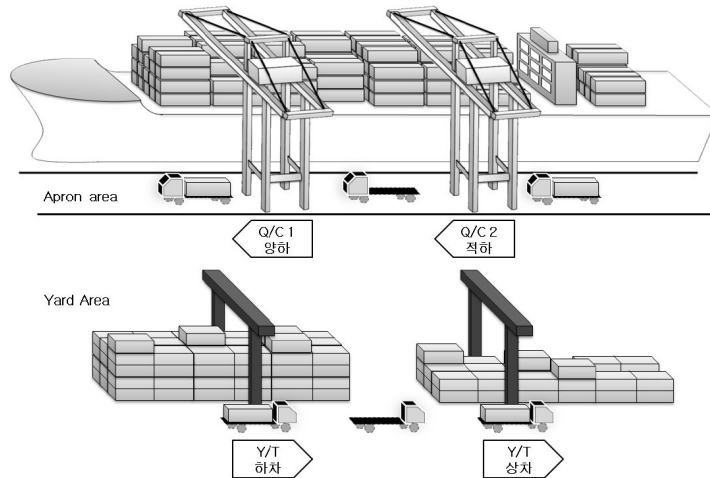
<표 2-1> Q/C 배정 계획 수립 규칙

출처 : 서경무(2006)

구 분	고려사항	내 용
기본 규칙	작업 물량	- 크레인별 작업량 균등화 (양하량 + 적하량)
	작업 배정	- 선박을 Hold, Deck로 나누어 각 Hatch 단위로 배정
	Q/C 특성	- 크레인 간 최소 작업 간격 유지 - 일반적 작업 간격 1 Hatch 이상 유지 - 크레인 간 작업 교차 불허
작업 방향	양하	- 선미에서 선수방향으로
	적하	- 선수에서 선미방향으로
기타 규칙	기타	- 선사의 특정 작업 우선 또는 지연 요청 - 특정 Bay수리, 긴급화물 등 요구

2.1.2 양 · 적하 계획

일반적으로 컨테이너 터미널의 양 · 적하 계획은 양하 계획을 먼저 수립하고 후에 적하 계획을 수립한다. 하지만 선사와 선박이 대형화 되어 하나의 선박에 작업 대상이 예전과 비교 할 수 없을 정도로 증가하여 양 · 적하작업을 따로 수행하게 되면 이동이 잦아지고 또한 이동 거리 또한 커지기 때문에 예전처럼 따로 수행하게 되면 작업능률의 손실이 크다. 또한 Q/C등 하역 장비의 선진화로 인해 탠덤 및 트윈 작업을 가능하며 또한 [그림2-1]의 작업과 같이 한 대의 Y/T로 두 대의 Q/C로 양 · 적하 작업을 동시에 수행하는 듀얼 사이클 작업과 양 · 적하 작업을 한 대의 Y/T 와 Q/C로 수행하는 더블 사이클 작업 등 새로운 작업 방법의 등장으로 양하 작업과 적하 작업으로 명확히 구분하지 않고 작업의 효율성을 위해서 양 · 적하계획을 혼합하여 수립하기도 하는 추세에 있다.



[그림 2-1] Dual cycle 의 개념 < 정창윤, 신재영(2009) >

특히, 적하계획은 대상 선박에 위치하는 컨테이너의 정확한 위치 또는 속성이 같은 컨테이너 그룹의 위치가 정해져 있다. 또한 따져보아야 할 것이, 컨테이너의 목적지, 무게로 인한 선박의 안정성, 크기, 종류 등을 따져 계획 하여야 하기 때문에 계획에 훨씬 많은 시간과 정확성이 요구되기 때문에 양하 계획에 비해 훨씬 중요하고 계획수립에 걸리는 시간도 길다.

2.2 컨테이너 터미널의 양 · 적하 계획의 한계

2.2.1 사전 계획의 한계성

앞서 언급했듯이 컨테이너 터미널은 효율적이고 빠른 양 · 적하작업 수행을 위해 작업선박이 정박하기 전에 미리 양 · 적하 계획을 수립하여 놓는다. 하지만 그 계획의 수립은 어디까지나 미래의 안벽 상황 및 Q/C 상황, 야드 상황, Y/T 상황 등 컨테이너 터미널의 장비상황을 예상하여 수립하여 놓는다. 하지만 컨테

이너 터미널은 끊임없이 작업하기 때문에 어느 한순간이라도 계획이 무너지면 이후의 계획 또한 전부 쓸모없어지고 만다.

이렇게 작업이 계획대로 진행되지 않으면 수립한 사전계획의 수정이 필요한 부분이 발생하게 되고, 현장의 컨트롤 타워 및 언더맨(Under-man) 등의 작업자가 직관적으로 작업을 수정하여 진행하게 된다. 컨트롤 타워에서 계획을 수정하더라도 짧은 시간에 모든 수정이 이루어져야 하기 때문에 컨테이너 터미널 운영 전체를 고려하여 수정하는 것이 아니라 문제가 발생한 당시의 상황만을 대상으로 수정하게 되면 이후 작업의 효율성을 장담할 수 없는 상황이 된다. 특정 작업의 지연 발생으로 인해 사전 계획의 수정이 요구되는데 그 원인은 <표 2-2>에서 보는 바와 같다.

<표 2-2> 사전계획 지연의 이유

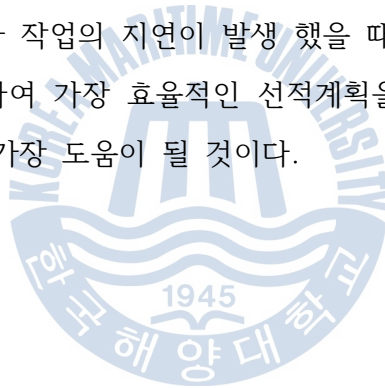
지연 발생 원인	문제의 상황
선사의 요청	<ul style="list-style-type: none"> - 특정 컨테이너의 적재위치 지정 - 특정 컨테이너의 우선순위 변경
사전계획의 오류	<ul style="list-style-type: none"> - 컨테이너의 특성과 다른 적재위치 - 적재 불가능한 위치에 지정된 계획
작업 장비의 고장	<ul style="list-style-type: none"> - 하역장비의 고장 - 하역장비의 수리 - 컨테이너의 수리
작업 여건 변경	<ul style="list-style-type: none"> - 야드 및 게이트의 과부하 - 컨테이너 도착 지연 - 컨테이너 반출 지연

2.2.2 실시간 작업계획의 필요성

컨테이너 터미널의 모든 업무는 사전에 수립된 계획대로 진행되며 또한 매우 연

속적인 작업이다. 끊임없이 작업이 진행되고 또 작업이 진행되는 동안에 다음 작업들이 예약되고 계획된다. 이처럼 끊임없이 연속된 계획 중에서 어느 한 부분이 어긋나면 그 뒤의 계획들은 물거품이 된다. 앞서도 설명했듯이 현재는 계획이 어긋나면 작업자들의 임의 적인 상황 판단으로 직관적으로 발생한 문제를 처리하게 된다. 물론 능숙한 작업자가 터미널 전체의 상황을 판단 할 수도 있지만, 반대로 능숙하지 못한 작업자의 판단으로 이후 터미널 운영의 모든 계획들이 비효율 적이고 혼란을 가져 올 가능성이 훨씬 크다.

또한, 최근 컨테이너 선박이 대형화됨에 따라 양 · 적하 작업시 고려하여야 할 것들이 더 많아지기 때문에 지연이 발생한 일부의 상황만을 놓고 작업자가 임의로 수정하게 되면 비효율적으로 수정이 될 가능성이 높다. 그렇기 때문에 컨테이너 터미널의 모든 정보를 관리하고 작업이 계획대로 진행되고 있는 지를 실시간으로 감지하는 알고리즘과 작업의 지연이 발생 했을 때, 전체 컨테이너 터미널의 모든 구성요소들을 판단하여 가장 효율적인 선적계획을 수립하는 것이 컨테이너 터미널의 생산성 향상에 가장 도움이 될 것이다.



제 3 장 문제의 정의 및 해법 연구

3.1 문제의 설정

컨테이너 터미널의 작업은 미리 수립된 선적계획은 안벽에 선박이 접안하고 예정된 Q/C가 투입되면서 작업이 시작된다. Q/C의 배정 및 작업 순서가 미리 정해져 있기 때문에 Q/C 작업자는 정해진 작업 오더에 따라 작업을 수행한다. 하지만 2장에서 언급한대로 실시간으로 변하는 터미널의 사정에 따라 사전계획대로 작업을 진행 할 수 없고 지연이 발생하게 된다. 지연이 발생하면 현재는 임의로 작업자들이 작업을 수정하여 진행하지만 효율적이고 체계적인 선적작업을 위해서는 터미널 전체적인 시각과 객관적인 작업이 필요하다. 그렇기 때문에 먼저 작업이 지연되는 시점을 찾아야 하며, 작업이 지연된 것이 포착되면 효율적인 알고리즘에 의해 문제를 해결하여 최적의 작업계획으로 수정하여야만 한다.

일반적으로 양·적하 작업은 선박의 Hatch단위로 진행되며 Hold와 Deck로 나뉜 하나의 Hatch작업을 기준으로 옮기며 작업을 진행한다. 터미널 내 장비의 고장 등의 사고가 아니라면 사전계획이 지연되는 원인은 투입된 Q/C간의 간섭이 가장 큰 원인으로 손꼽힌다. 그렇기 때문에 본 연구에서는 이 Q/C의 간섭을 해결하는 것을 목적으로 하였다. 또한 이 알고리즘을 통하여 투입된 Q/C의 전체 최후의 작업시간의 단축을 목적으로 실시간으로 발생하는 Q/C간의 지연문제를 해결하는 알고리즘을 연구하도록 하겠다.

문제의 해법을 도출하기에 앞서 Q/C의 작업 순서 결정 및 재 계획의 기본적인 제약조건은 기본적으로 사전계획의 규칙과 동일하며 다음과 같다.

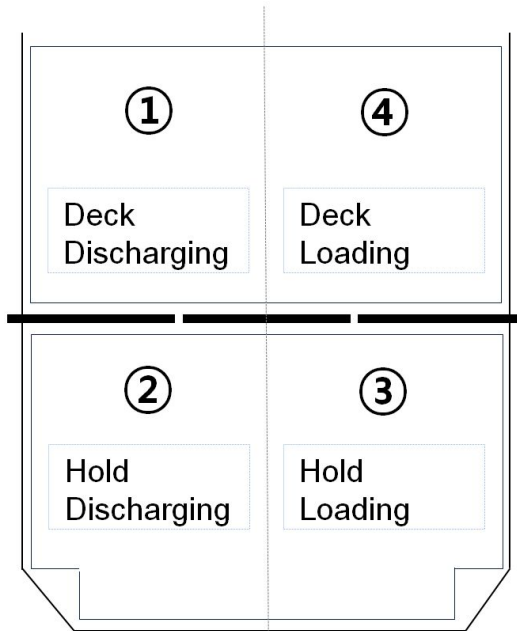
- Q/C의 사전계획에 의해 작업의 배정과 순서가 결정되어 있다.
- Q/C간의 간섭을 고려하여 최소작업거리 이상을 유지한다.

- Q/C간 서로 교차 할 수 없다.
- Q/C의 본선 작업 투입시간은 상이할 수 있으며, 종료시간에 관한 제약은 없는 것으로 한다.
- 하나의 Hatch 작업에 대하여 동일한 작업이 아니면 서로 상이한 Q/C가 담당할 수 있다.
- 양하는 선미에서 선수방향으로 진행하고, 적하는 선수에서 선미방향으로 진행한다.
- Q/C의 작업은 적하와 양하 작업 모두를 고려한다.
- 각 Hatch의 작업순서는 Deck 양하, Hold 양하, Hold 적하, Deck 적하 순으로 우선순위를 갖는다.

또한, 본 논문에 제시된 해법은 본선에 작업 중인 실시간 상황을 가정한 것으로, 이에 따라 이미 완료된 작업에 대해서는 작업의 범위에서 제외하며 앞으로 실행 할 작업을 대상으로만 한다. 앞서 제약조건에 제시한대로 Q/C의 사전계획은 수립되어 있으며 다음 <표3-1>과 같이 표현한다.

<표 3-1> 수립된 Q/C 계획의 정보

정 보	내 용
Q/C 번호	배정 받은 Q/C 번호
작업 배열 번호	배정 받은 Q/C내의 작업 순서
선수 쪽 작업 Bay 번호	작업 Bay의 선수 쪽 번호
선미 쪽 작업 Bay 번호	작업 Bay의 선미 쪽 번호
작업 유형	작업 Bay의 유형([그림 3-1] 참고)
예 시	qc103_2_13_15_3



[그림 3-1] Q/C 계획의 작업 Bay 유형

본 연구에서 제시한 해법에 사용되는 기호는 다음과 같다.

N = 작업 대상 개수

C = 작업 Q/C 대수

m_{ij} = i Q/C의 j 번째 Q/C의 이동시간 ($j = 1$ to C)

w_{ij} = i Q/C의 j 작업에 투입된 Q/C의 작업시간

d_{ij} = i Q/C의 j 작업의 지연시간 (단, d_i 는 항상 양수이며, 계산 결과가 음수가 되면 d_i 값을 0 으로 한다.)

s_{ij} = i Q/C의 j 작업의 시작 시간

e_{ij} = i Q/C의 j 작업의 종료 시간

E_{ij} = i Q/C의 최종 종료시간

본 알고리즘의 목적은 작업의 완료시간을 최소화 하는 것으로 다음과 같이 목적함수 설정한다.

$$\text{Min}Z = \text{Max} \left\{ \sum_{j=0}^{N_1} (w_{1j} + d_{1j} + m_{1j}), \sum_{j=0}^{N_2} (w_{2j} + d_{2j} + m_{2j}), \dots, \sum_{j=0}^{N_c} (w_{cj} + d_{cj} + m_{cj}) \right\}$$

3.1.1 실시간 감시 알고리즘

단계 1 : 간섭 가능성이 있는 Bay 필터링

- (1) 각 Q/C에 배정된 Bay들의 선수 및 선미 쪽 번호 중, 가장 선수 쪽 또는 선미 쪽 Bay를 선별
- (2) 각 Q/C 별로 좌, 우측의 Q/C들과 간섭의 가능성이 있는 작업 선별
- (3) 위의 단계에서 선별된 작업들이 시작 될 때 [단계 2]로 이동

단계 2 : 현재 시작되는 작업들의 간섭 여부 판단

- (1) 각각의 작업들을 다음과 같은 작업시작시간(s_i)과 작업종료시간(e_i)을 계산

$$\diamond s_i : \left(\sum_{i=0}^{\text{현재작업 seq}-1} w_i + \sum_{i=0}^{\text{현재작업 seq}-1} m_i \right) + m_i$$

$$\diamond e_i : s_i + w_i$$

- (2) 계산된 s_i 와 e_i 를 사용하여 간섭 여부를 판단하고 d_i 를 계산
 - $\diamond d_i = \text{latest start time}(Q/C_{n-1} \text{의 } s_i : Q/C_n \text{의 } s_i) - \text{earliest end time}(Q/C_{n-1} \text{의 } e_i : Q/C_n \text{의 } e_i)$
- (3) 계산된 d_i 를 바탕으로 간섭 여부를 판단
 - $\diamond \text{If } d_i < 0 \text{ then 간섭 발생, } d_i = |d_i| \text{ else 간섭 없음, } d_i = 0$

(4) 간섭이 발생하면 [단계 3] 으로 이동, 간섭이 발생하지 않으면 [단계1 - (3)] 으로 이동

단계 3 : 조치 알고리즘의 시행

- (1) 조치 알고리즘 1을 수행
- (2) 종료

3.1.2 조치 알고리즘 1 : 선행 작업 Q/C 우선 지연 해법

단계 1 : 초기화 단계

- (1) 결정 되어있는 Hatch간의 작업 순서를 각각의 Q/C별로 현재 시점 이후로 표현
- (2) 지연이 발생한 Q/C별로 간섭 발생 지점까지의 총 작업 지연시간 D_i 를 계산한다. (첫 지연 발생일 경우 $D_i = 0$)
- (3) [단계 2]로 이동

단계 2 : 간섭 해결 단계

- (1) 간섭이 발생한 Q/C_{n-1} 의 s_i 와 Q/C_n 의 s_i 중 작업이 s_i 의 값 탐색
- (2) 두 s_i 중 더 이른 시작시간을 가진 작업을 작업계획을 변경하지 않는 기준 Q/C로 지정하고, 나머지를 작업계획을 변경할 지연 Q/C로 지정
- (3) 지연 Q/C의 작업의 s_i 에 지연된 시간인 d_i 를 더하여 지연 Q/C의 작업의 s_i 를 기준 Q/C의 e_i 에 맞춤
- (4) 지연된 시간 d_i 를 총 지연시간 D_i 에 합산
- (5) 지연이 발생한 Q/C의 현재작업 이후로 모든 작업의 시작시간과 종료시간에 D_i 만큼 더해준다.

(6) [단계 3]으로 이동

단계 3 : 작업 재 배정 및 최종 완료시간 계산

- (1) 변화된 시간 정보를 각 작업정보에 입력
- (2) 이후 변화된 작업 중, 간섭이 발생하면 [단계 2]를 반복, 간섭이 발생하지 않으면 (3)으로
- (3) 간섭이 발생하지 않고 모든 작업이 종료되면 각 Q/C별 최종 작업 완료시간 E_i 를 계산, T_1 로 결정한다.
- (4) 조치 알고리즘 2로 진행
- (5) 종료

3.1.3 조치 알고리즘 2 : 작업 지연 및 교환 해법

알고리즘 2 해법을 진행하기에 앞서 보다 정확한 해법을 위해 다음과 같은 전제 조건을 지켜야 한다.

전제 1 : 작업단위의 이동은 가능하지만, 같은 Bay의 작업들이 존재 할 경우에는 적하작업 이후 양하 작업을 시행하는 것을 방지하기 위해 <표 3-1>과 같이 '작업유형'의 번호 지정하고 번호를 내림차순이 되도록 해야 한다.

전제 2 : 작업 Q/C 중, 작업 시간의 합이 가장 큰 것을 작업을 변경하지 않은 '기준 Q/C'라 하고 작은 것을 계획을 변경하는 '계획 Q/C'라고 지칭한다. 세부 우선순위는 <표 3-2>를 따른다.

<표 3-2> Q/C별 우선순위

순 위	내 용
1	작업량이 가장 많은 Q/C
2	작업 Q/C중 외곽이 아닌 Q/C
3	번호가 빠른 Q/C

전제 3 : T_1 을 초과하지 않는 범위에서 Q/C간 작업의 이동은 허용한다.

단계 1 : 초기화 단계

- (1) 결정 되어있는 Hatch간의 작업 순서를 각각의 Q/C별로 현지 시점 이후로 표현
- (2) 지연이 발생한 Q/C별로 간섭 발생 지점까지의 총 작업 지연시간 D_i 를 계산한다. (첫 지연 발생일 경우 $D_i = 0$)
- (3) [단계 2]로 이동

단계 2 : 간섭 작업의 판단 및 기준 Q/C 결정

- (1) 같은 Bay의 작업들을 작업유형에 따라 모음
- (2) 재계획 Q/C의 작업 목록 중, 작업 시간이 가장 긴 Q/C를 기준 Q/C로 지정하고 작업을 작업 순서를 조정
 - ◆ 기준 Q/C 기준 선수 쪽 Q/C는 계획 Q/C의 선미 쪽 작업 Bay 번호와 기준 Q/C의 선수 작업 Bay번호의 간섭 유무를 따지고 반대경우는 반대로 간섭 유무를 따짐
- (3) 한 작업 단위씩 뒤로 미루며 앞에 설명한 간섭 판별식을 통해 간섭을 판단
- (4) [단계 3]으로 이동

단계 3 : 작업 Q/C내의 재 배치

- (1) 같은 Bay의 작업이 있으면 Bay별로 묶어 작업 유형별로 배치하고 같은 Bay의 작업이 없으면 이동을 줄이기 위해 간섭이 발생하지 않는 첫 위치로 이동
- (2) 간섭이 해결 되지 않으면 기준 Q/C의 작업이 끝날 때까지 계획 Q/C의 작업을 미룬다.
- (3) 각 Q/C의 종료시간 E_i 를 계산하고 가장 늦은 E_i 를 조지 알고리즘 2의 종료시간(T_2)로 정리
- (4) 간섭이 발생하지 않으면 T_2 를 선택하고 알고리즘을 종료하고, 간섭이 발생하면 [단계 4]로 이동

단계 4 : Q/C간 작업 이동을 이용한 재 배치

- (1) 계획 Q/C에 배치된 작업들 중 각 Bay별로 우선순위가 가장 늦는 작업을 선별, 존재하면 (3)으로 존재하지 않으면 (2)로 이동
- (2) 기준 Q/C에 배치된 작업들 중 각 Bay별로 우선순위가 가장 늦는 작업을 선별, 존재하면 (3)으로 존재하지 않으면 [단계 4]를 취소함
- (3) (1)또는 (2)에서 진행된 이동 가능한 작업과 현재 간섭이 발생한 작업과 교환 또는 기준Q/C의 작업을 이동시켜도 기준Q/C의 작업시간 보다 작업시간이 더 길어지지 않으면 작업을 이동시킴
- (4) (3)단계가 수행되면 [단계 3-1]로 이동
- (5) [단계 5]로 이동

단계 5 : 최종 완료시간 계산 및 판단

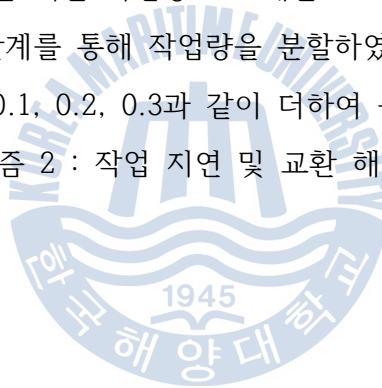
- (1) [단계 3]과 [단계 4]의 Max E 값을 비교
- (2) Max E 값을 T_2 라 지정하고 작업순서를 변경함
- (3) T_1 과 T_2 를 비교하여 그 감소량이 θ 미만이면 알고리즘 1을 선택하고, 알고리즘 3을 실행

(4) 종료

3.1.4 조치 알고리즘 3 : 세부 작업 지연 및 교환 해법

단계 1 : 초기화 단계

- (1) 결정 되어있는 Hatch간의 작업 순서를 각각의 Q/C별로 현지 시점 이후로 표현
- (2) Deck 작업량을 확인하여 작업량이 ω 이상이면 3등분 하고 미만이면 현재 작업량을 기준 작업량으로 계산
- (3) Hold 작업량을 확인하여 작업량이 ω 이상이면 3등분 하고 미만이면 현재 작업량을 기준 작업량으로 계산
- (4) (2), (3)의 단계를 통해 작업량을 분할하였으면 작업 정보의 작업 유형에 소수점을 0.1, 0.2, 0.3과 같이 더하여 줌
- (5) 조치 알고리즘 2 : 작업 지연 및 교환 해법의 [단계 2]부터 진행



제 4 장 수치 예제 및 실험

4.1 수치 예제

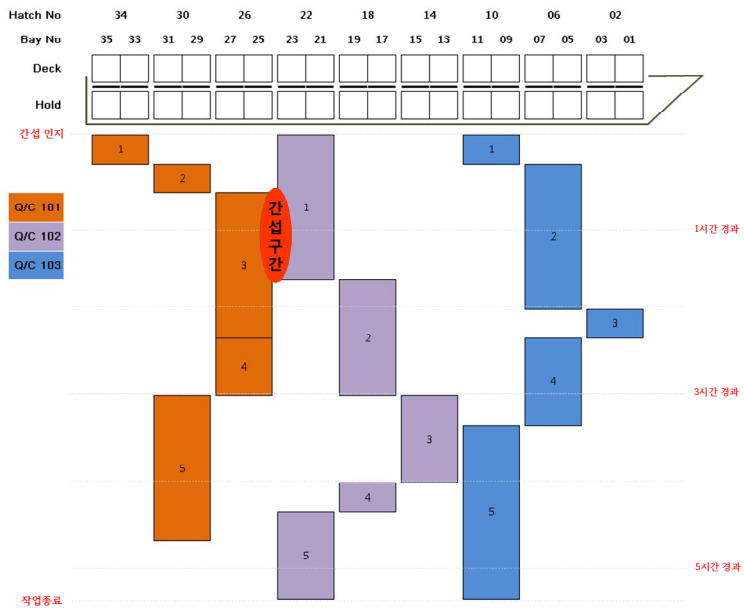
4.1.1 조치 알고리즘 1 : 선행 작업 Q/C 우선 지연 해법의 검증

본 연구에서 수립한 알고리즘의 타당성을 검증하기 위해서 <표 4-1>과 같은 사전 계획을 수립하였다. 이 사전계획은 실제 컨테이너 터미널에서 수립된 사전계획을 바탕으로 간략하게 알고리즘의 진행을 알아볼 수 있도록 가공하였다.

<표 4-1 > Hatch 별 잔여 작업 물량

Bay no		35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	09	07	05	03	01	
양 하	D									12	6	7	8						2	1
	H	7	8	7		16	13	27	23						19	9				
적 하	D									3	4			8						
	H			39		8	13	13	11	5	5			19	12	11	2			

위의 작업을 시간에 따른 예상 작업 흐름도로 작성하면 다음 [그림 4-1]과 같다.



[그림 4-1] 잔여 작업 예상 흐름도

[그림 4-1]은 간섭을 인지한 시점부터 잔여작업들의 작업순서를 흐름도로 작성하여 놓은 것이다. [그림 4-1]을 통해서 2부분의 간섭을 확인할 수 있으며 시간이 빠른 간섭 작업부터 해결 할 것이며 [그림 4-1]에 ‘간섭구간’이라 강조하여 놓은 부분이다. 그림의 간섭구간을 살펴보면 Q/C 102호의 1번 작업과 Q/C 101호의 3번 작업이 서로 간섭을 발생시킨 것을 인지하였다.

간섭이 발생하여 ‘조치 알고리즘 1 : 선행 작업 Q/C 우선 지연 해법’ 을 수행시켜 단계별로 간섭이 해결해보고자 한다.

단계 1 : 초기화 단계

단계 1-1 : [그림 4-1]에 표현된 것 과 같은 작업 순서를 표현

(계산 편의상 간섭이 발생한 시각을 0라 한다)

단계 1-2 : 작업 qc101_3_25_27_1과 작업 qc102_1_21_23_2 작업 간 간섭발생 (<표 4-1> 간섭이 발생한 작업의 정보)

<표 4-2> 간섭 작업의 정보

간섭 작업 정보	qc101_3_25_27_1	qc102_1_21_23_2
시작 시간(s_i)	0:40	0:00
종료 시간(e_i)	2:20	1:40
간섭 시간(d_i)	40분	

단계 1-3 : 단계 2로 이동

단계 2 : 간섭 해결 단계

단계 2-1 : 간섭을 일으킨 두 작업의 시작시간을 탐색 (<표 4-1> 참고)

단계 2-2 : 작업 qc102_1_21_23_2의 Q/C102호를 기준 Q/C로 지정,

Q/C101호를 지연 Q/C로 지정

단계 2-3 : 지연 Q/C101의 작업 qc101_3_25_27_1의 시작시간을 1:40으로 변경

단계 2-4 : 지연시간 $D_i = 40$ 분

단계 2-5 : 지연 Q/C101호의 이후 작업에 D_i 만큼 더함

단계 2-6 : 단계 3으로 이동

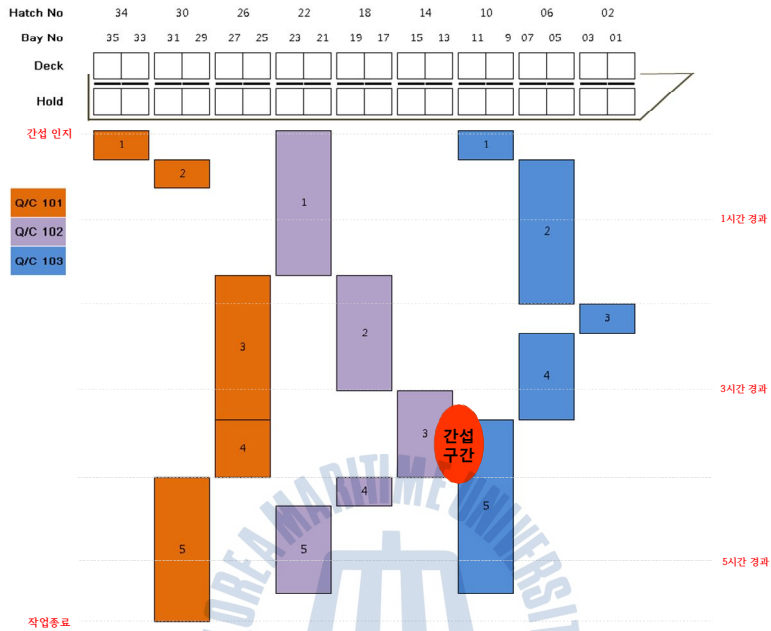
단계 3 : 작업 재 배정 및 최종 완료시간 확인

단계 3-1 : 단계 2-5에서 변경된 시간 정보를 각 작업 정보에 입력

단계 3-2 : 간섭확인 알고리즘을 돌려 간섭을 찾고, 간섭이 발생하면 단계 2-1로 되돌림, 간섭이 발생하지 않으면 단계 3-3으로 이동

([그림 4-2]에서 간섭이 아직 완전히 해결되지 않았음을 확인할 수

있다.)



[그림 4-2] 첫 간섭을 해결한 작업 흐름도

단계 3-3 : 각 Q/C별로 작업 완료시간 E_i 를 체크, 가장 늦은 E_i 를 T_1 으로 결정

단계 3-4 : 조치 알고리즘2로 진행

단계 3-5 : 종료

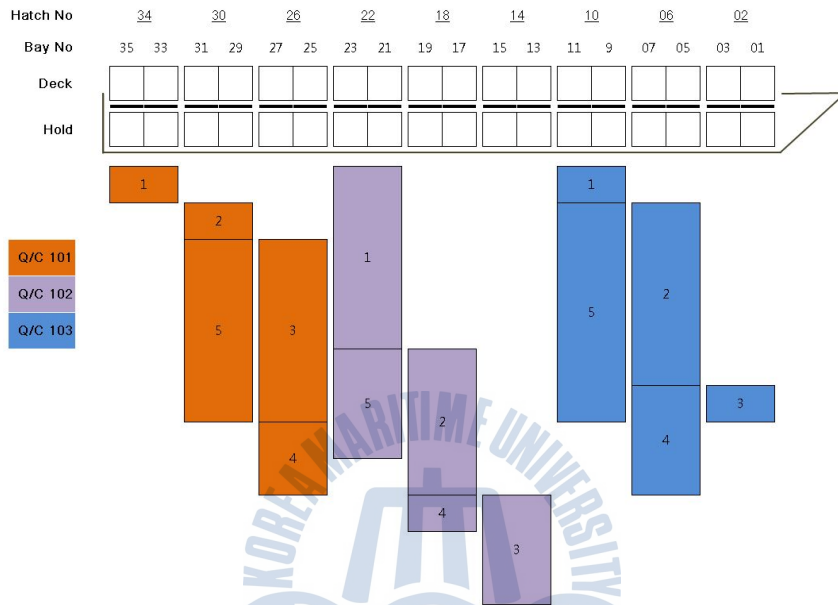
4.1.2 조치 알고리즘 2 : 작업 지연 및 교환 해법의 검증

단계 1 : 초기화 단계

단계 1은 '조치 알고리즘 1'의 단계 1과 같은 방법으로 수행

단계 2 : 간접 작업의 판단 및 기준 Q/C결정

단계 2-1 : 작업들을 [그림 4-3]과 같이 같은 Bay별로 모음(단, 작업의 유형에 따라 우선순위에 맞춤)

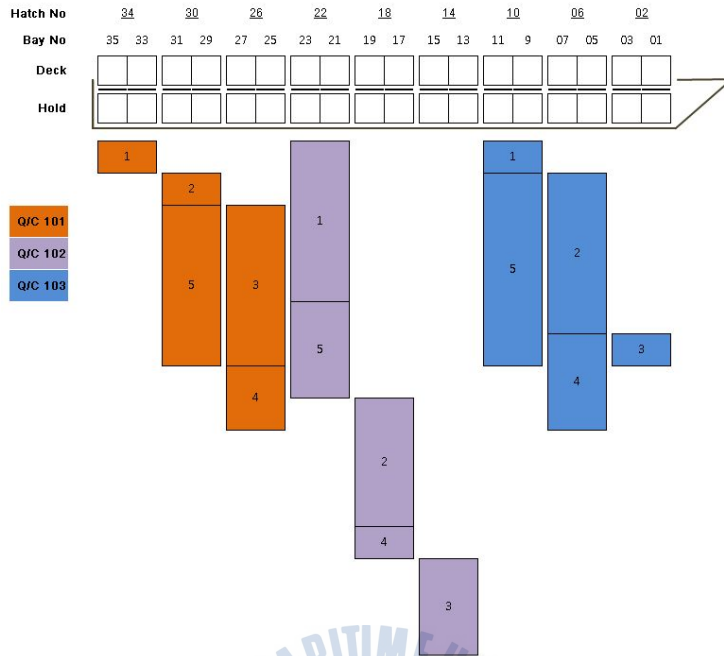


[그림 4-3] 같은 Bay별로 작업이동

단계 2-2 : <표 4-1>의 Q/C별 작업시간을 참고하여, 작업의 양이 가장 많은 Q/C를 기준 Q/C로 지정, 배정된 작업 순서를 조정.

<표 4-3> Q/C별 작업시간

Q/C 번호	작업 시간
Q/C101호	4시간 40분
Q/C102호	5시간 20분
Q/C103호	5시간 20분



[그림 4-4] 기준 Q/C의 작업 배치

단계 2-3 : 기준Q/C를 제외한 Q/C들의 작업들을 순서에 따라 배치하며 간섭여부를 판단

단계 2-4 : 단계 3으로 이동

단계 3 : 작업 Q/C내의 재 배치

단계 3-1 : 계획 Q/C의 작업들을 Bay별로 배치, 간섭이 발생하면 계획Q/C의 범위 내에서 위치를 바꾸어 간섭이 발생하지 않는 위치로 이동

단계 3-2 : 단계 3-1에서 간섭이 해결되지 않으면 가장 나중으로 미룸

단계 3-3 : 각 Q/C별로 작업 완료시간 E_1 를 체크, 가장 늦은 E_1 를 T_2 으로 결정

단계 3-4 : 간섭이 해결되면 T_2 를 선택하고 종료, 해결되지 않으면 지연 방법을 이용하고, 단계 4로 이동

단계 4 : Q/C간 작업 이동을 이용한 재배치

단계 4-1 : 계획 Q/C의 작업들 중, 기준 Q/C의 작업과 간섭 가능성이 없는 작업이 있으면 단계 4-3으로 이동, 없으면 단계 4-2로 이동

단계 4-2 : 기준 Q/C의 작업들 중, 계획 Q/C의 작업과 간섭 가능성이 없는 작업이 있으면 단계 4-3으로 이동, 없으면 단계 4를 취소

단계 4-3 : 작업을 이동, 이동하였을 시 작업의 종료시간이 기준 Q/C의 종료시간보다 길면 이동을 취소하고 단계 4를 취소

단계 4-4 : 단계 4-3이 수행되면 단계 3-1로 이동

단계 4-5 : 단계 5로 이동

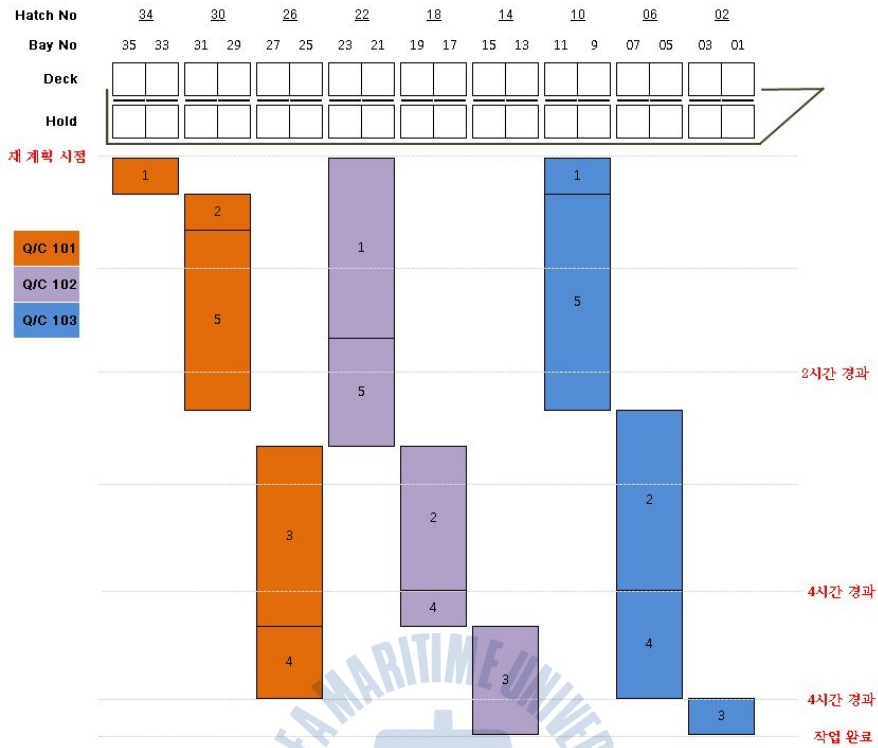
단계 5 : 최종 완료시간 계산 및 판단

단계 5-1 : 단계 3과 단계 4의 종료시간 E_i 들을 비교

단계 5-2 : $\text{Max } E_i$ 값을 T_2 로 지정하고 작업들의 작업순서를 조정. 최종적으로 완료된 계획이 [그림 4-5]와 같다.

단계 5-3 : T_1 과 T_2 를 비교하여 그 감소량이 θ 미만이면 알고리즘 1을 선택하고, 알고리즘 3을 실행

단계 5-4 : 종료



[그림 4-5] 조치 알고리즘 2 : 작업 지연 및 교환 해법의 해

[그림 4-5]처럼 ‘조치 알고리즘 2’가 완료되고 더 이상의 간섭이 발생하지 않고 작업이 종료되므로 알고리즘이 종료되고, T_2 는 5시간 20분이 된다. 즉, 완료시간이 5시간 20분으로 T_1 (6시간)보다 40분 일찍 작업을 마칠 수 있다.

단계 4 는 간섭의 발생이 없어 단계 4-2에 의해 취소되고 단계5로 넘어간다. 단계 5에서 앞에서 계산한 T_2 값을 지정하고 T_1 과 비교하여 그 감소량이 θ 미만이면 T_1 을 선택한다. θ 값은 알고리즘 시행 전에 터미널의 크기 및 투입된 선박의 크기에 따라 미리 정하고 그 값에 따른다. 본 연구는 가장 작은 작업단위의 작업시간, 즉 20분을 θ 값으로 지정하였다. 감소분(40분)이 θ (20분)보다 크므로 T_2 를 선택하고 알고리즘 3으로 진행하도록 한다. T_2 가 선택 되었으므로 ‘조치 알고리즘 3 : 세부 작업 Q/C 지연 및 교환 해법’으로 진행하도록 하겠다.

4.1.3 조치 알고리즘 3 : 세부 작업 지연 및 교환 해법의 검증

단계 1 : 초기화 단계

단계 1-1 : 조치 알고리즘 단계 1-1과 같은 작업 순서를 가져옴

단계 1-2 : Deck의 작업량을 확인하여 작업량을 기준으로 나눔

단계 1-3 : Hold의 작업량을 확인하여 작업량을 기준으로 나눔

<표 4-2>와 같이 작업을 세분화하여 표시

단계 1-4 : 단계 1-2와 단계 1-3에서 나눈 작업량을 정확하게 정보에 입력

단계 1-5 : ‘조치알고리즘 2 : 작업 지연 및 교환 해법’의 단계 2부터 시행

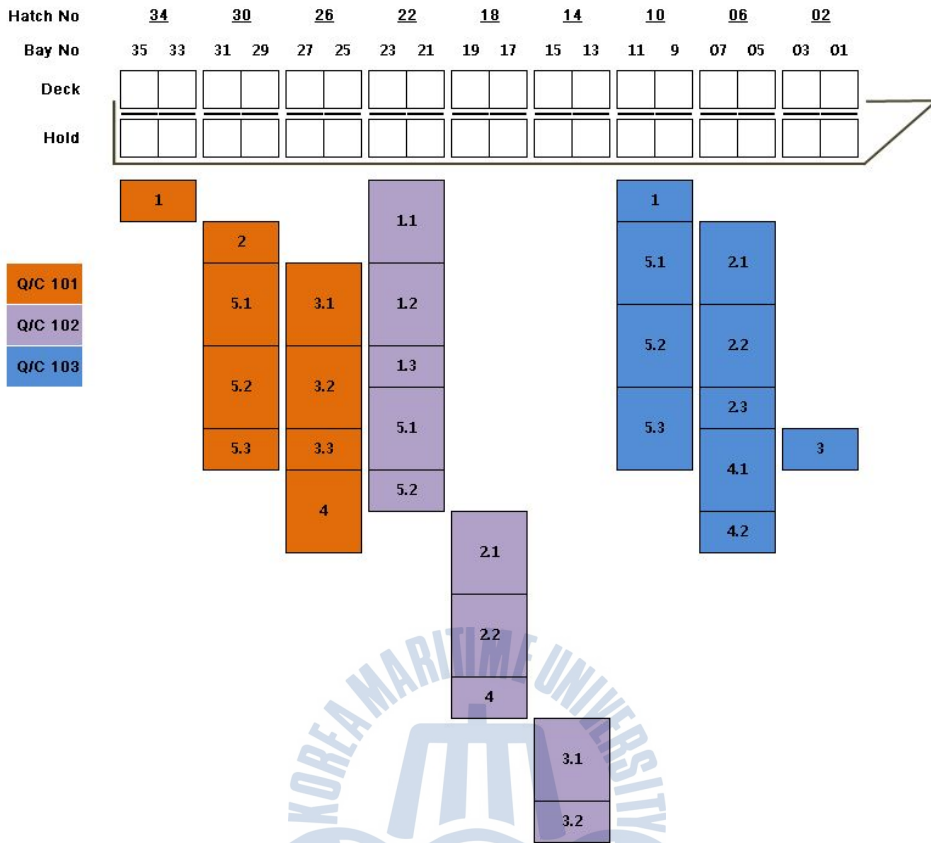
단계 1-6 : 종료

<표 4-4> 작업 세분화표시의 예

	변경 전	변경 후
간접 작업 정보 예시	qc101_3_25_27_1	qc102_1_21_23_1.1 qc102_1_21_23_1.2

단계 2 : 간접작업의 판단 및 기준 Q/C 결정

단계 2를 마치면 [그림 4-6]과 같이 작업이 나타남



[그림 4-6] 잔여 작업의 세분화 흐름도

단계 3 : 작업 Q/C내의 재 배치

단계 3-1 : 이동을 하여도 [그림 4-7]과 같이 간섭이 해결이 안됨

단계 3-2 : 작업을 맨 마지막으로 보냄

단계 3-3 : 작업 종료시간을 계산

단계 3-4 : 단계 4로 이동



[그림 4-7] 간섭 발생

단계 4 : Q/C간 작업 이동을 이용한 재배치

단계 4-1 : Q/C102호의 5.2 작업은 작업 우선순위가 가장 늦음

단계 4-2 : 우선순위가 가장 늦는 작업이 존재하니, 단계 4-3으로 이동

단계 4-3 : Q/C103호의 작업시간이 가장 길고 Q/C101호에 qc102_5.2작업을 넘겨도 Q/C103의 작업시간이 가장 많으므로 작업을 Q/C101호로 이동. [그림 4-8]에서 확인할 수 있음

단계 4-4 : 단계 3-1로 이동하여 알고리즘을 수행, 순서에 따라 단계 5로 이동

단계 5 : 최종 완료시간 계산 및 판단

단계 5-1 : qc102_5.2를 qc101_5.1로 변경

단계 5-2 : Q/C 103호의 종료시간을 T_3 지정

단계 5-3 : T_1 , T_2 , T_3 을 비교하여 사전에 정한 감소량을 충족시키는 알고리즘을 선택

단계 5-4 : 종료



[그림 4-8] Q/C간 작업이동 후의 흐름도

본 연구의 알고리즘의 결과 값은 $T_1 \geq T_2 \geq T_3$ 이다. 그렇기 때문에 각 터미널의 상황에 따라 θ 값의 차이가 발생하고 그에 따라 선택되는 알고리즘을 진행하거나 멈추게 되고, 그때의 재 계획 방법을 선택할 수 있다.

4.2 실험

4.2.1 실험

제시된 해법을 이용하여 실제 부산신항만의 컨테이너 터미널인 H사의 운영 데이터에 적용시켜 보았다. Q/C의 투입대수가 3-4대인 경우는 작업량이 적기 때문에 작업지연이 거의 발생하지 않아 실험에서 배제하고, 크레인이 5대 투입되는 선박의 다섯 항차를 실험 자료로 생성하여 사용하였다.

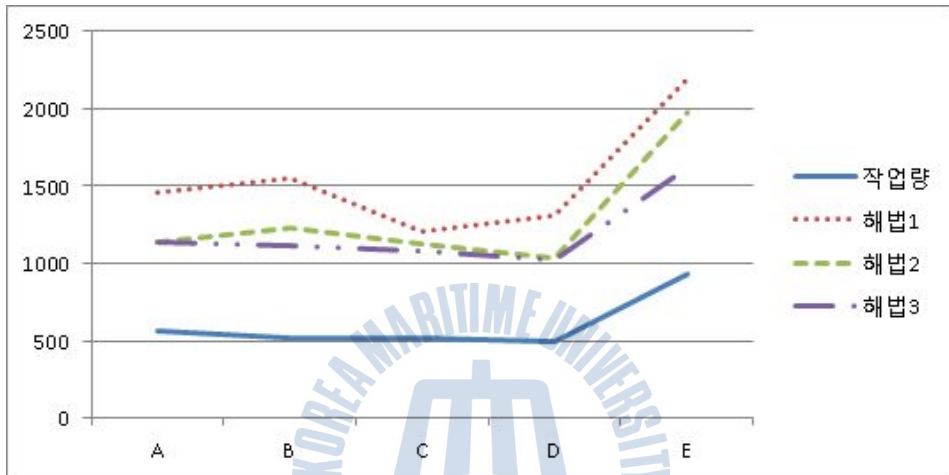
알고리즘의 채택을 결정하는 θ 을 기본작업시간(T_1)의 5%로 정하고, 5%이상 작업시간이 감소하면 채택하고 그 미만이면 탈락 시킨다.

<표 4-5> 투입 크레인 5대 작업유형별 작업시간

(단위 : 개, min, ms)

유형		A	B	C	D	E
최대 작업개수		568	522	522	492	927
해법1	작업시간	1456	1546	1204	1314	2188
	계산시간	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05
해법2	작업시간	1136	1228	1128	1036	1980
	계산시간	0.11	0.10	0.10	0.10	0.11
해법3	작업시간	탈락	1150	탈락	탈락	1616
	계산시간	0.12	0.11	0.11	0.11	0.12
채택		1136	1150	1128	1036	1616
		T_2	T_3	T_2	T_2	T_3

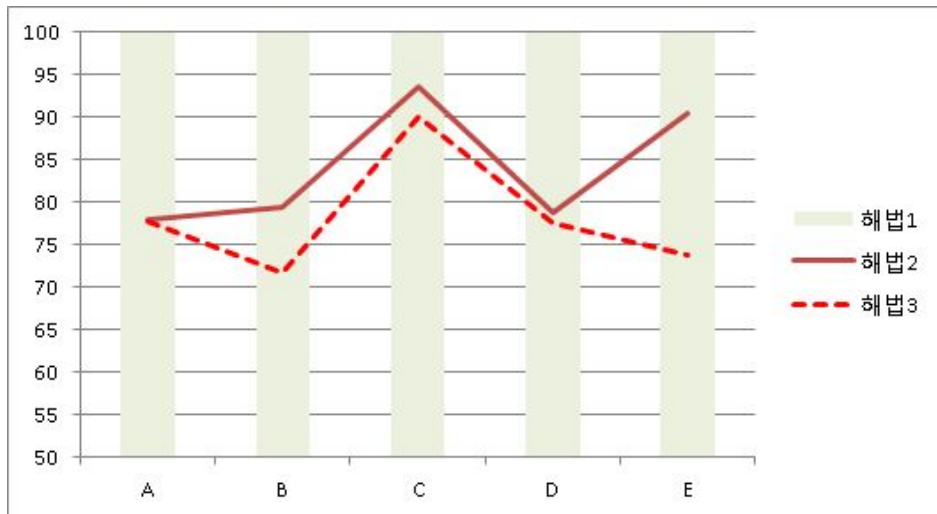
<표 4-3>은 투입 크레인 5대인 다섯 항차를 3가지 해법을 사용하여 최종 완료 시간을 살펴본 것이다. 실제 터미널에의 완료시간은 지연이 발생할 때마다 임의로 작업자들에 의해 변경되기 때문에 실제 완료시간과 비교가 불가하기 때문에 유형별 비교를 하였다. [그림 4-9]는 <표 4-3>을 도식화 한 것으로 알고리즘을 진행 시킬수록 최종 작업 완료시간이 줄어드는 것을 확인 할 수 있다.



[그림 4-9] 투입 크레인 5대 작업유형별 작업시간

[그림 4-9]를 통해 ‘조치 알고리즘1(해법1)’에서 ‘조치 알고리즘2(해법2)’로 진행 하면서 작업 감소량을 뚜렷하게 확인할 수 있으나, ‘조치 알고리즘2(해법2)’와 ‘조치 알고리즘3(해법3)’ 사이에는 작업의 유형별로 감소량의 편차가 있음을 확인할 수 있으며, 작업량이 많을수록 ‘조치 알고리즘3(해법3)’의 효율성이 증가함을 확인할 수 있다.

[그림 4-10]은 해법 1을 100%로 보고 단축 시간을 살펴보면, 해법을 진행 시킬 수록 최종 작업 완료시간을 단축 할 수 있음을 확인할 수 있다.



[그림 4-10] 투입 크레인 5대 작업유형별 작업시간 감소량 백분율

또한, 해법의 실행시간 측면에서도, 지연이 발생하면 재 계획을 수행하는 작업자의 능력에 상관없이 0.15ms 이내의 빠른 속도로 해법을 도출 했다. 투입 Q/C의 수가 적거나 또는 작업량이 적을 경우 작업자가 판단하여 선적계획을 수정한 것과 크게 다르지 않지만 대형선박의 경우 투입 Q/C의 대수가 5-6대에 이르고 작업량이 대량이기 때문에 작업자가 임의로 수정하기에는 무리가 따른다. 선박이 대형화되고 작업량이 많아질수록 해법을 적용하는 것이 유용할 것으로 판단된다. 또한 투입 Q/C가 많아지고 작업량이 증가할수록 '조치 알고리즘2(해법2)'와 '조치 알고리즘 3(해법2)'의 효율성이 증가 할 것으로 판단된다.

제 5 장 결 론

날로 늘어가는 국제교역량과 효율성을 위해 컨테이너 선박의 크기가 계속 커지고 있다. 이에 따라 선박의 컨테이너를 처리하는 컨테이너 터미널의 시설 또한 대형화되고 자동화되는 등 나날이 발전하고 있다. 대형 선박들이 접안 할 수 있도록 접안시설과 수심을 갖추고, 대형 선박의 컨테이너들을 처리 할 수 있는 대형 크레인과 보다 빠르게 처리 할 수 있도록 탠덤크레인을 도입하는 등 컨테이너 터미널의 효율성을 위한 설비 투자가 활발히 증가하였다. 또한 설비된 장비들을 사용하여 보다 효율적인 운영을 위한 운영시스템의 개선 측면에도 관심이 크게 증가하여 많은 연구들이 진행되었으며 현재도 진행 중에 있다. 하지만 운영시스템의 연구는 주로 사전 계획의 효율성을 연구하는 쪽에 치우쳐져 있어 실제 운영 중에 발생하는 여러 가지 변수에 대응하여 계획을 수정하는데 한계성을 보여, 이를 보완하여 생산성 향상에 도움을 줄 수 있는 연구는 아직 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 컨테이너 터미널에서 실시간으로 변하는 상황에 맞추어 작업 환경의 변화가 발생할 때마다 작업에 반영 할 수 있도록 제시하고자 한다. 작업 환경이 바뀌어 작업자가 혼란을 겪지 않고 객관적인 관점에서도 언제나 효율적으로 작업을 진행 할 수 있게 도와줄 것으로 생각되며 또한 작업 Bay를 선석 전체로 확장이 가능하다.

본 연구에서 사전계획의 한계성을 극복하고 지연이 발생할 때마다 상황에 맞추어 실시간 선적계획을 수립 해법을 제시하였다. 그리고 컴퓨터 프로그램을 통한 실험을 통하여 매우 짧은 시간에 해법을 제시하였다. 실험을 통해 소형 선박보다는 작업량과 투입 Q/C의 대수가 많은 대형 선박에서의 보다 효율적인 것을 살펴 보았다. 하지만 본 연구는 대상 선박을 하나일 때만을 대상으로 하였다. 동 시간대 컨테이너 터미널의 다른 부분에서 발생하는 작업에 대해서는 고려하지 못한 한계점이 존재하며 컨테이너 터미널에서 발생하는 변수를 Q/C의 간섭현상에 초점을 두고 연구를 진행하였다.

본 연구는 지연이 발생하였을 때만 해법을 제시하는 다소 소극적인 해법이다. 하지만 터미널의 변하는 상황에 맞추어 미리 수립하여 놓은 사전계획과 비교하여 보다 효율적인 방법이 존재 한다면 지연이 발생하지 않더라도 새로운 해법을 제시 하는 능동적인 해법으로 발전시켜야 할 필요성이 있으며, 다소 일반적인 선적 계획만을 대상으로 연구하였기 때문에 터미널의 다른 부분과 연계가 필요하다. 또한, 차후 연구에서는 본 연구를 바탕으로 추가적으로 여러 제약들을 추가하여 현실문제에 적용하고, 듀얼 사이클 및 더블 사이클을 적용한 효율적인 선적 계획 기법들을 적용시킨 연구도 필요할 것으로 판단된다.



참고 문헌

신재영, 남기찬, “컨테이너 선박의 자동적재 계획을 위한 지능형 의사결정지원시스템”, 한국항해항만학회지, 제16권, 2호(1998), 29-37

신재영, 광규석, 남기찬, “효율적인 컨테이너 터미널 선적 계획을 위한 의사 결정 지원시스템”, 한국항해항만학회지, 제2권, 13호(1999), 1-12

강진수, 이용환, 김갑환, 류광렬, 박영만, “Meta-heuristic 기법을 이용한 2단계 컨테이너 적하계획 알고리즘” 한국경영과학회 2000년 학술대회논문집, 제1권, 9-12

강진수, 이용환, 김갑환, 류광렬, 박영만, “컨테이너 터미널의 적하계획을 위한 탐색방법들의 비교 연구”, 한국경영과학회 2000년 학술대회논문집, 제2권, 177

신재영, 이채민, “효율적인 컨테이너 터미널 운영 계획 작성을 위한 통합 시스템 개발, 지능정보연구, 제8권, 제2호, 2002, 71-89

서경무, “ 컨테이너 터미널에서 실시간 선적계획을 위한 의사결정지원 모델에 관한 연구, 2006, 한국해양대학교 석사학위논문

W.C. Ng, “Crane scheduling in container yards with inter-crane interference”, European Journal of Operational Research, Volume 164, 2005, 64-78

Der-Horng Lee, Hui Qiu Wang, Lixin Miao, “Quay crane scheduling with non-interference constraints in port container terminals”, Science Direct, 2008, 124-135

Bish, “A multiple-crane-constrained scheduling problem in a container terminal”, European Journal of Operational Research, Volume 144, 2003, 83-107

이훈, 김갑환, “컨테이너 터미널 실시간 운영 문제 해결을 위한 의사결정 지원 시스템 설계”, 대한산업공학회 춘계공동학술대회, 2009

류광렬, “자동화 장치장 크레인의 실시간 작업 계획 최적화”, 한국지능정보시스템학회 2006년 추계학술논문대회 논문집, 2006, 336-344

