물류학석사 학위논문

컨테이너터미널에서의 **Double cycle** 하역기법의 최적 운영방안

A study for optimization of double cycle

in container terminal

지도교수 곽 규석

2007년 8월

한국해양대학교 대학원

항만물류학과

송 장 호

목　　차

Abstract 1

제1장 서론

1.1 연구의 목적 3

1.2 연구 방법 및 구성 4

1.3 선행 연구사례 분석 4

제2장 Double cycle의 이해

2.1 Double cycle의 개념 5

2.2 Double cycle의 필요조건 8

2.3 Double cycle 진행방향의 종류와 결정요소 10

제3장 모형별 Double cycle 최적화 분석 및 공식 도출

3.1 Hold 내에 20feet 전용 Slot이 없는 경우

3.1.1 적재단수가 동일하고 양하 및 선적화물이 만재인 경우 12

3.1.2 적재단수가 동일하고 양하화물은 만재이며 선적화물은 만재가 아닌 경우 15

3.1.3 적재단수가 상이하고 양하 및 선적화물이 만재인 경우 17

3.1.4 적재단수가 상이하고 양하화물은 만재이며 선적화물은 만재가 아닌 경우 20

3.2 Hold 일부분에 20 feet 전용 Slot이 있는 경우 22

3.3 Deck 위에서의 Double cycle 23

3.4 모든 경우의 “Double cycle 최적화 시작시점 공식”
3.4.1 작업방향이 좌현에서 우현일 경우 24
3.4.2 작업방향이 우현에서 좌현일 경우 26
3.4.3 작업방향이 지그재그 형태일 경우 27
3.5 Double cycle 최적화 시작시점 찾기를 위한 Simulator 28

제4장 Double cycle을 위한 야드운영 방안

4.1 양하/선적 장치장의 수평 분할 30
4.2 양하/선적 장치장의 수직 분할 33

제5장 생산성 비교분석

5.1 생산성의 정의
5.1.1 생산성의 개념 34
5.1.2 선박 및 크레인 관련 시간 개념 35
5.1.3 생산성의 종류 37
5.2 분석대상 및 분석방법 38
5.3 Single cycle과 Double cycle의 생산성 비교 39
5.4 Double cycle이 생산성에 미치는 영향 41

제6장 결론 45

참고문헌 47

A study for optimization of double cycle in container terminal

Song Jang Ho

Department of Port Logistics

Graduate School of Korea Maritime University

Abstract

The greatest concern in terminal operation is strengthening it's competitiveness with improvement in productivity. Through its improvement, the terminal offers to the shipping company port time reduction effect so it can secure more cargo volume.

To deduce improvement in productivity plan, we can approach with modernized and large-sized equipments, improvement in operation techniques, reducing suspended operation time and etc.

Specially, improvement in operation techniques, this research can improve productivity and efficiency with no reforming on equipments and facilities. So I predict this technique will be more active in the future.

In improvement in operation techniques point of view, double cycle has many advantages in productivity and efficiency, so on this thesis I analyzed deeply on double cycle.

The purpose of this thesis is to grasp the worth efficiency of double cycle and to operate it on the field to maximize its efficiency. So on chapter 5, I proofed the

superiority and rightfulness of double cycle with comparison analysis.

Double cycle clearly improves productivity as it discharges and loads at the same time. But it’s difficult to maximize the frequency of double cycle in irregular discharge and load stowage.

In Chapter 3, using common formula to find ideal start time of double cycle, we provides the way to find correct start time on various discharge and load stowage and maximize frequency of double cycle. Chapter 4 deals with ideal yard operation plan, and in chapter 5, we can expect as analyzed, the improved productivity effect. And in chapter 6, we can confirm that it will be easier to find start time with using simulator than doing hand job.

In this thesis, I’ regret that I couldn’t analyze double cycle’s economical effect. As in economic market also in terminal with least expense input, maximum efficiency creation is matter of primary concern.

Hereafter, we need more research on expense and efficiency analysis on operating equipments (QC, RMG, and Y/T) in double cycle.

제1장 서론

1.1 연구의 목적

급변하는 해운환경 속에서 세계 유수의 컨테이너 터미널들은 경쟁력 확보 및 영업력 강화를 위해 생산성 향상에 사활을 걸고 있으며 이를 실현하기 위한 연구와 노력에 박차를 가하고 있는 실정이다.

터미널 운영장비 및 시설의 현대화를 통해 생산성은 급진적인 발전을 이루고 있다. 특히 장비(Quay crane, Yard crane, Y/T 등)의 규모 및 성능 향상을 위해 많은 자본이 투자되고 있으며 실제로 그로 인해 생산성 향상이 실현되고 있다.

기존 장비나 Infrastructure에 대한 추가 투자 없이 생산성 향상을 실현할 수 있는 하역기법이 바로 Double cycle(dual cycle이라고도 함, 이하 Double cycle이라 칭함)이며 단지 운영인력에 대한 교육과 운영방식에 관한 연구만을 필요로 한다[1].

또한 Double cycle은 장비(Quay crane, Yard crane, Y/T 등)의 효율을 극대화할 수 있는 운영기법이므로 이에 대한 연구가 활성화된다면 비약적인 생산성의 향상을 이룰 수 있을 것이라 생각된다.

이에 부응하고자 본 논문은 Double cycle의 최적화 상황을 만들기 위한 작업여건 및 최적의 시작시점을 알아내기 위해 모든 경우에 적용 가능한 공통공식을 구하는 데 초점을 맞추고 추가적으로 최적의 Double cycle을 위한 효율적인 야드운영기법(RMG/RTG 및 Y/T)을 제시하고자 한다.

또한 Double cycle과 Single cycle의 생산성을 비교 분석하여 본 논문의 당위성을 증명하고자 한다.

1.2 연구의 구성

본 논문은 제1장에서 연구의 목적과 배경, 선행 연구사례 분석을, 제2장에서는 Double cycle의 이해를 돕기 위해 기본 개념과 필요조건 즉, 어떤 상황에서 실행될 수 있는지에 대해 알아 본다. 그리고 제3장에서 본선 Stowage 형태와 양적하 수량에 따른 모든 경우의 수를 가정하여 각 모형별 Double cycle의 최적화 시점을 분석하고 모든 경우에 적용 가능한 공통공식을 도출한 후 그 공식을 적용한 Simulator를 제시한다.

그리고 제4장에서는 본선에서의 최적의 Double cycle 작업을 위해 야드 운영 측면에서 어떤 Strategy가 필요한지, 즉 Double cycle에 가장 적합한 야드크레인, Y/T 운영방법 및 야드할당방식을 제시한다.

제5장에서는 Double cycle과 Single cycle의 생산성을 비교 분석하여 Double cycle의 효용가치에 대해 살펴본 후 마지막으로 제6장에서 본 논문의 결론을 내린다.

1.3 선행 연구사례 분석

현재 국내에 발표된 Double cycle 관련 연구사례는 거의 찾아보기 어렵다. 아마 국내의 터미널 운영 환경이 Double cycle 수행에 적합하지 않기 때문일 것이다. 즉 컨테이너 반입마감시간(Container Closing Time, CCT)이후 터미널에 반입되는 선적 물량이 많으며 Spreader의 형태가 Twin lift가 아닌 Single lift인 QC가 아직 다수 가동되고 있어 효용가치에 비해 실행 비율이 현저히 낮고 그에 관련된 연구도 거의 이루어지지 않고 있다.

외국의 학회지 등에 발표된 Double cycle관련 논문을 조사해 본 결과 미국 캘리포니아 대학의 Daganzo 교수와 워싱턴 대학의 Goodchild 교수의 연구를 접할 수 있었다[1,2,3].

이들의 논문을 분석해 보면 가장 큰 특징은 Double cycle의 효율성을 극대화하기

위해 Johnson' rule을 적용하여 Double cycle의 수행을 최대화하고 QC의 cycle 시간을 최소화하여 하역 작업시간을 최소화한다는 것이다.

하지만 이들이 제시한 Double cycle 시작시점을 구하는 공식이 최적화 기법이라서 Double cycle의 수행 횟수를 최대화할 수는 있지만 실제 현장에 적용하기는 어렵다는 단점이 있다.

왜냐하면 우선 공식을 계산하는 방식 및 과정이 복잡하고 작업 진행방향이 일정방향이 아니라 최적화를 위해 불규칙하게 지그재그 형태로 진행되기 때문에 현장요원들이 완전히 이해하기 힘들어 오히려 이로 인한 Delay가 발생할 가능성이 높기 때문이다.

따라서 본 논문은 실제 현장작업에 바로 적용할 수 있는 실무 중심의 간단하고 명확한 Double cycle 시작시점을 찾기 위한 공식(일정방향에 의해 진행됨)을 도출하고 최적의 Double cycle 수행을 위한 야드할당방식과 RMG 및 Y/T운용방식을 제시하려 한다.

그리고 도출된 공식을 이용하여 기존 논문에서는 다루지 않았던 부분인 Simulator를 만들어 더 편리하게 현실에 적용할 수 있도록 할 것이다.

제2장 Double cycle의 이해

2.1 Double cycle의 개념

Double cycle이란 Apron과 본선 사이에서 QC(Quay crane) Spreader의 한번의 왕복운동을 통해 양적하 작업을 동시에 수행하는 것을 말한다. 보통의 경우(Single cycle), 특정 Hatch(Bay)에서 전체 양하작업을 마무리한 후 선적작업을 시작한다. 이 때 QC는 아래 그림과 같이 Apron과 본선 사이에서 한번의 왕복운동을 통해 1개의 컨테이너를 하역한다.

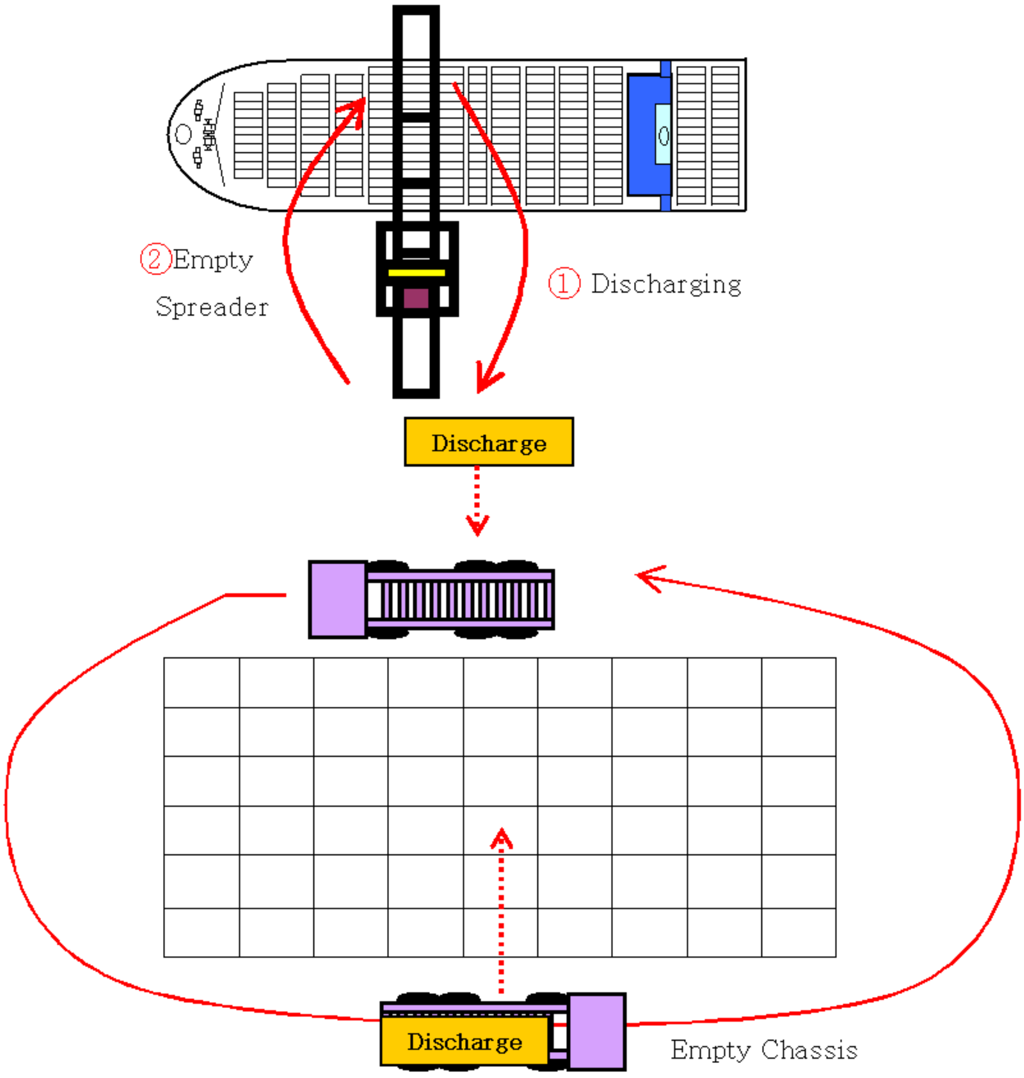


그림 2-1 Single cycle 조감도

하지만 아래 그림과 같이 Double cycle 방식으로 하역할 경우 QC의 한번의 왕복운동을 통해 양하 40 Feet 컨테이너 1개(Twin의 경우 20Feet 2개), 선적 40 Feet 컨테이너 1개(Twin의 경우 20 Feet 2개), 총 40 Feet 컨테이너 2개(Twin의 경우 20 Feet 4개)를 하역할 수 있으며 Y/T 또한 한번의 cycle 동안 양하/선적 각 1개씩, 총 40 Feet 2개(Twin의 경우 20 Feet 4개)를 운반할 수 있는 것이다.

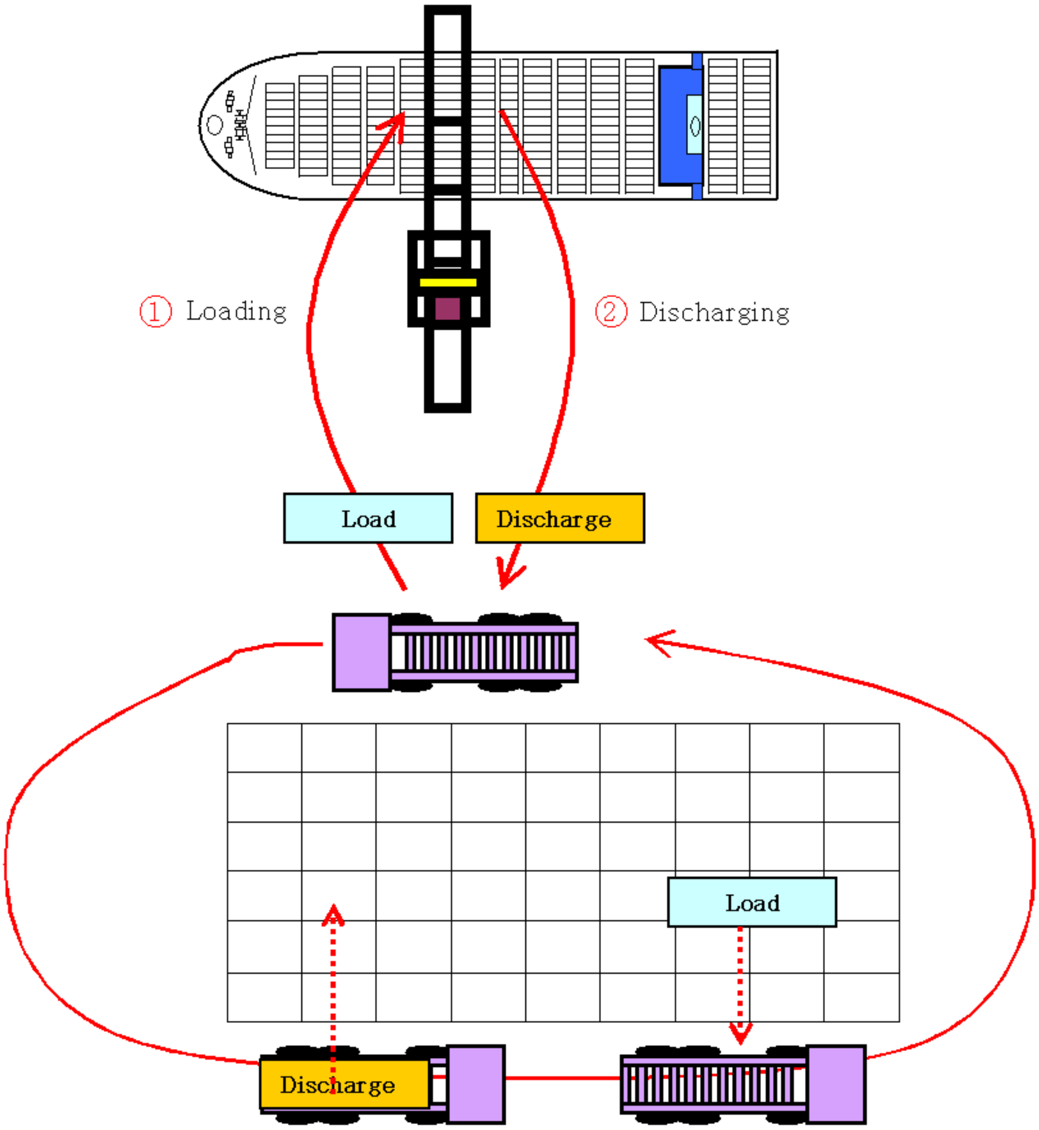


그림 2-2 Double cycle 조감도[2]

따라서 이론상으로는 Single cycle보다 생산성이 2배가 된다고 볼 수 있으나 실제 작업에서는 야드 상황 및 RMG, Y/T 등의 제약 조건 때문에 통상 1.2 ~ 1.4배 정도로 나타난다.

또한 Double cycle의 이점은 단순히 QC에서만 찾을 수 있는 것이 아니라 RMG 및 Y/T 운영 측면에서도 동일하게 찾아볼 수 있다.

먼저 Y/T의 경우를 가정해 보면 Single Cycle 작업일 때 Y/T는 Apron과 Yard 사이에 한번의 Cycle에서 양하 또는 선적 40 Feet 1개(Twin일 경우 20 Feet 2개)를 운반한다. 하지만 Double cycle일 경우 한번의 Cycle을 통해서 양하 및 선적 컨테이너 2개 이상을 운반할 수 있는 것이다. 장거리 운송 트럭이 편도운송을 지양하고 일정시간 대기하더라도 왕복운송을 통해 비용을 줄이고 수익을 늘리려는 것과 같은 이치라 할 수 있다. 즉 컨테이너 1개당 Apron 과 Yard 사이의 이동시간을 반으로 줄일 수 있다는 것이다.

QC와 마찬가지로 RMG 역시 Yard에서 Spreader의 한번의 Cycle 동안 양하, 선적 작업을 동시에 수행할 수 있다. 물론 RMG의 Double cycle을 위해서는 특별한 조건이 필요한데 2.2에서 다루기로 한다.

이렇게 Double cycle은 QC, RMG, Y/T 등 전 장비에 대해 동시에 작업시간 절감효과와 작업효율 향상효과를 제공하므로 Single cycle 작업보다 훨씬 높은 생산성을 창출하는 것은 당연한 현상이라 할 수 있다.

2.2 Double cycle의 필요조건

Double cycle은 모든 상황에서 실행할 수 있는 운영기법은 아니다. 즉 특정 조건하에서만 실행 가능한 것이며 Hold 間, Deck 間 및 Hold & Deck 間의 3가지 경우의 수가 존재한다.

무엇보다도 먼저 QC의 Spreader가 Twin lift 작업을 수행할 수 있어야 한다. 만약 Twin lift가 불가능할 경우 Hold 작업 시 20 Feet 전용 Bay, 혹은 40 Feet

전용 Bay에서만 Double cycle이 가능하다. 왜냐하면 20 Feet와 40 Feet 혼용 Bay의 Hold에서는 아래 쪽에 20 Feet 컨테이너가 Twin으로 적재되어 있고 그 위에 40 Feet 컨테이너가 적재되어 있으므로 QC Spreader가 셀가이드 중간에서 끼이는 사고가 유발될 가능성이 매우 크며 또한 QC의 과도한 Moving time을 초래하기 때문이다.

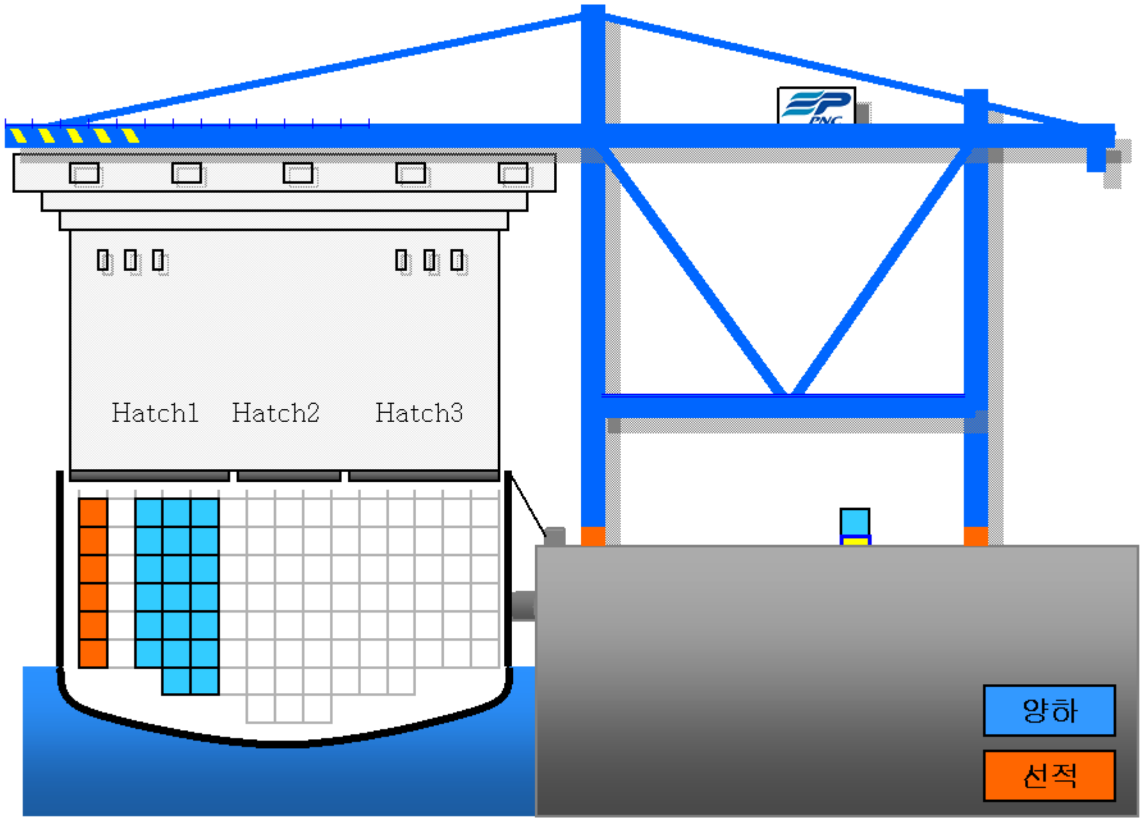


그림 2-3 Double cycle Simulation

Hold에서의 Double cycle을 위해서는 위 그림과 같이 Hatch 1의 바다쪽에서 첫 번째 셀 또는 바다쪽에서 다섯 번째 셀 중 어느 한 셀 전체가 먼저 양하되어야 한다. 예를 들어 바다쪽부터 양하할 경우 바다쪽 첫 번째 셀의 여섯 번째 컨테이너가 Apron에 양하되는 순간 QC는 바다쪽 첫 번째 셀의 선적 컨테이너를 선적한다.

그리고 바다 쪽 두 번째 셀의 최상단 컨테이너를 양하한다. 이때 QC는 본선과

Apron을 왕복하면서 양하와 선적을 동시에 수행하게 되어 Spreader의 공회전을 방지할 수 있는 것이다. 다시 말해서 Hold의 Double cycle 작업을 위해서는 최소 1개 Row 전체가 양하되거나 비어 있어야 한다.

Deck의 경우도 Hold와 마찬가지이나 동일 Hatch에서의 Double cycle은 QC Operator의 시야를 막을 가능성이 높기 때문에 실제 작업에서는 수행되기 힘들고 다른 Hatch 사이에서의 Double cycle은 Operator의 시야를 방해하지 않는 범위 내에서 가능하다. 하지만 실제로 현장에서 Deck 상의 Double cycle은 거의 일어나지 않는다고 해도 과언이 아니다. Operator의 시야확보와 편의성이 생산성에 영향을 그만큼 많이 미칠 수 있다.

Hold와 Deck간의 경우는 Deck간의 Double cycle과 동일 조건에서 수행가능하며 역시 Operator의 작업 편의성을 고려하여 수행여부를 결정하게 된다.

2.3 Double cycle 진행방향의 종류와 결정요소

Double cycle의 진행방향을 선택하는 데 있어 결정요소로는 Double cycle 실행횟수 최대화 관점, QC Operator 등 현장요원들의 편의성, Planning의 편의성 등이 있다.

위의 요소들과 가변적인 작업여건들을 비교하여 최선책을 찾아야 할 것이며 제3장에서 3가지 방향설정에 대한 각각의 Double cycle 최적화 시점을 찾기 위한 공통 공식을 제시할 것이다.

작업 진행방향은 "우현에서 좌현으로", "좌현에서 우현으로" 또는 "Double cycle 실행횟수 극대화를 위한 지그재그 방식" 등 3가지로 나눌 수 있으며 전체적인 작업흐름을 고려할 때 일정방향을 유지하는 것, 즉 "우현에서 좌현으로" 또는 "좌현에서 우현으로"의 두 가지 방법 중 택일하는 것이 작업흐름 및 생산성에 유익한 영향을 미친다고 생각된다. 그리고 세 번째 방식은 Double cycle 실행횟수는 극대화할 수 있으나 운영요원들의 작업흐름 파악에

지장을 초래할 가능성이 매우 크기 때문에 충분한 준비와 교육훈련 후 적용 가능하다고 판단되며 Simulation 관점에서 접근할 때 최적의 상황일 것이라 생각된다.

제3장 모형별 Double cycle 최적화 분석 및 공식 도출

3.1 Hold 내에 20 Feet 전용 Slot이 없는 경우

3.1.1 적재단수가 동일하고 양하 및 선적화물이 만재인 경우

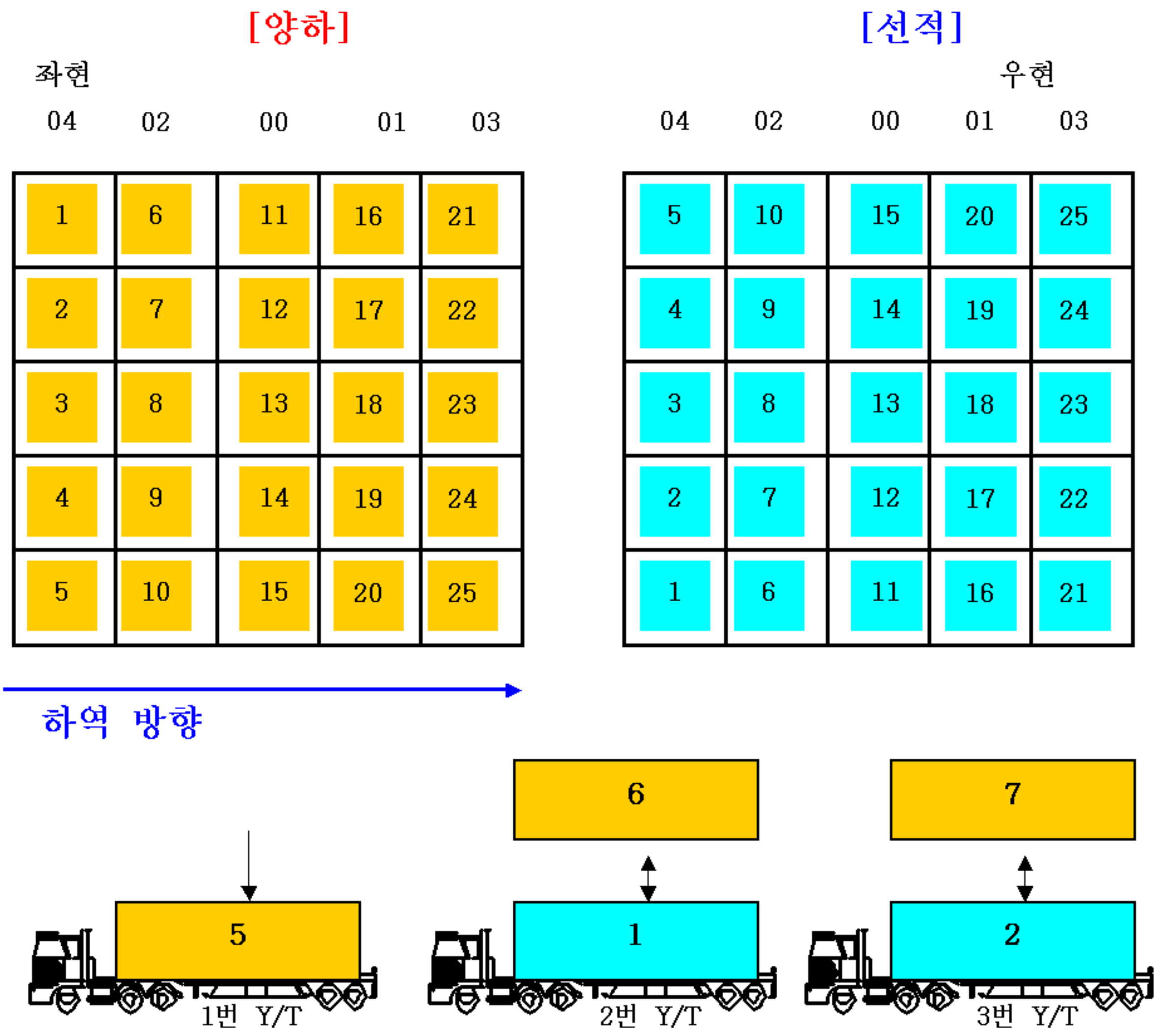


그림 3-1 모형별 Double cycle Simulation 1

이 경우는 Hold Double cycle의 가장 기본적인 형태라 할 수 있는 Hold의 Tier수와 양적하 개수가 일치하는 경우이다. 왼쪽이 양하 Stowage, 오른쪽이 선적 Stowage이며 04번 Row 또는 03번 Row 에서 양하 시작이 가능하며 본선이 좌현접안일 경우 04번 Row부터 양하작업을 시작하는 것이 QC Operator의

시야확보에 도움이 되며, 우현접안일 경우 03번 Row부터 양하작업을 시작하는 것이 QC Operator의 시야확보에 도움이 된다. 즉 양하작업을 기준으로 Double cycle을 진행하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다. 하지만 Planning의 편의성을 위해서는 선적작업을 기준으로 진행하는 것이 낫다고 볼 수 있다. 갑작스런 작업여건의 변화에 의해 Double cycle을 중단해야 할 경우 선적 Planning의 수정 없이 작업을 진행할 수 있기 때문이다.

위의 그림에서 04번 ROW부터 Double cycle을 가정할 경우 우선 Single cycle 작업으로 양하 5번 컨테이너까지 하역한 후 Double cycle이 시작된다. QC는 양하 5번 컨테이너를 Apron상의 1번 Y/T에 내려놓은 다음 곧바로 선적 1번 컨테이너를 상차한 상태로 대기중인 2번 Y/T로부터 선적 1번 컨테이너를 들어올려 선적한다. 그 다음 곧바로 양하 6번 컨테이너를 양하한 후 대기중인 2번 Y/T에 내려놓고 역시 Apron에 대기중인 3번 Y/T로부터 선적 2번 컨테이너를 들어올려 선적하고 동일 Y/T에 양하 7번 컨테이너를 내려놓는다. 이와 똑같은 방식으로 양하와 선적을 끝까지 반복하여 QC 및 Y/T의 공회전을 최소화함으로써 생산성 향상을 꾀할 수 있는 것이다.

만약 위의 경우와 똑 같은 상황하에서 양하 Stowage의 어느 한 Row가 비어진 상태로 본선이 접안하였다면 당연히 빈 Row부터 선적작업이 시작되면서 Double cycle이 시작될 수 있으므로 동일한 Stowage 하에서도 작업 방향에 있어 다양한 경우의 수가 존재한다고 볼 수 있다.

작업방향에 대해 더 많은 경우의 수를 가정해 본다. 앞에서 언급했듯이 왼쪽 셀부터, 오른쪽 셀부터 또는 중간부터 어디서부터 시작하든지 하나의 셀이 비워질 때 Double cycle은 가능하다. 하지만 현장요원들, QC Operator, 신호수, 언더맨 등의 혼란을 막고 작업의 편의성을 보장하기 위해 작업순서에 규칙성을 부여할 필요가 있다. 그래서 가급적이면 여러 셀을 옮겨다니기 보다는 왼쪽에서, 또는 오른쪽에서부터 일정한 방향으로 진행하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다.

현장요원들이 작업 중 혼란을 일으킨다면 생산성 저해 원인으로 직결될 수 있기 때문이다.

여기서 Double cycle의 최적의 시작시점을 찾아야 하는 이유에 대해 살펴 본다. 만약 양하 5번이 아닌 6번이나 7번에서부터 Double cycle이 시작된다면 Double cycle의 총 실행횟수가 줄어들 것이므로 QC의 효율을 그만큼 저하시키는 결과를 초래할 것이며 양하 5번 이전인 4번에서 Double cycle을 시작한다면 양하 5번 양하 이전에 Y/T가 선적 1번을 상차한 상태로 Apron에 대기하므로 선적 1번을 선적하기 위해서는 양하 5번을 Apron에 임시로 야적하거나 임의의 Empty 상태의 Y/T를 배정해야 하므로 Y/T운영(또는 Y/T Pooling)에 혼선을 초래하여 전체 작업에 지장을 줄 수 있기 때문에 모든 경우에 대한 최적의 Double cycle 시작시점을 찾고 실행해야 하는 것이다.

상기와 같은 모형에서 Double cycle의 시작시점을 찾기 위한 공식은 다음과 같다.

적재단수가 동일하고 양하 및 선적화물이 만재인 경우 = 한 ROW의 셀 전체가 비워지는 순간

(위의 경우 양하 5번 컨테이너부터 Double cycle 시작)

3.1.2 적재단수가 동일하고 양하화물은 만재이며 선적화물은 만재가 아닌 경우

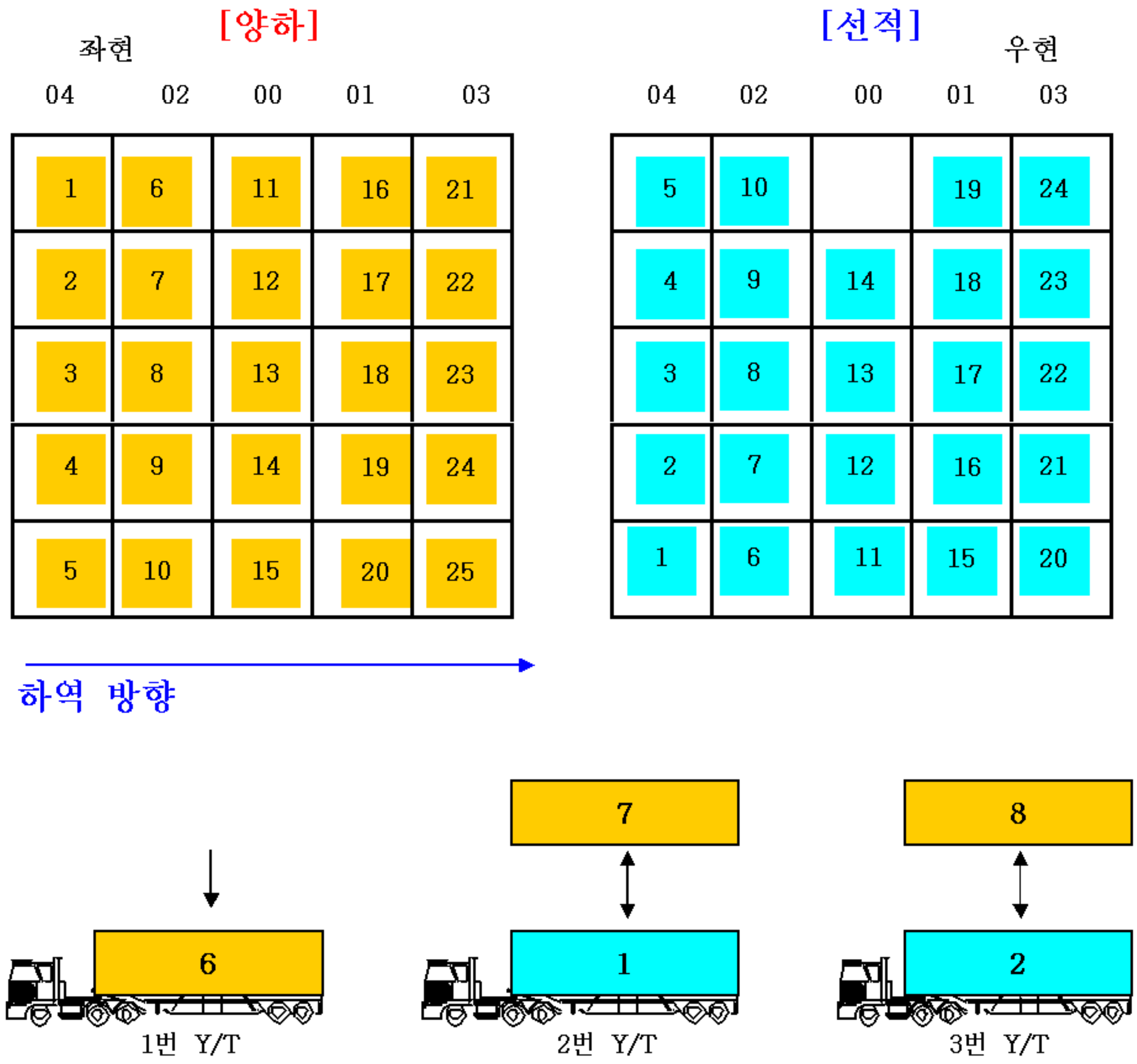


그림 3-2 모형별 Double cycle Simulation 2

위의 경우는 3.1.1과 비교해서 Tier 수는 동일하지만 양적하 개수가 일치하지 않는다. 이때 양하가 선적보다 적을 경우는 고려할 필요가 없다. 왜냐하면 양하가 선적보다 적을 경우에는 3.1.1과 동일한 조건을 적용할 수 있기 때문이다.

위의 그림을 볼 때 단순히 Tier 수만을 고려한 후 Double cycle을 양하 5번부터

시작한다면 01번 Row 1단 선적을 하려 할 때, 양하 20번이 양하되지 않은 상태이므로 선적 15번을 선적하기 이전에 양하 20번을 Apron상에 내려 놓든지 아니면 다른 빈 Y/T를 배정하여 양하 15번을 먼저 하역하여야 하므로 Double cycle이 깨어져 불필요한 작업시간이 발생될 수 있으며 Y/T Pooling에 혼선을 야기시켜 전체 작업흐름을 저해하고 생산성에도 지장을 초래할 수 있는 것이다. 따라서 Double cycle의 연속성이 깨어지지 않도록 하기 위해서는 양하 6번부터 Double cycle이 시작되어야 한다.

양하 6번이 1번 Y/T에 하역되는 순간 QC는 바로 2번 Y/T로부터 선적 1번을 들어올려 본선에 선적한다. 그리고 바로 양하 7번을 하역하여 상차 대기중인 2번 Y/T에 상차한 후 역시 대기 중인 3번 Y/T로부터 선적 2번을 착상하여 선적하고 양하 8번을 하역하여 그 위에 상차한다.

다시 말해서 위의 경우처럼 하역방향이 왼쪽에서 오른쪽일 경우 마지막 Row를 제외한 04, 02, 00, 01번 Row의 어느 곳이든 선적이 양하보다 적을 경우에는 똑같은 조건을 적용해서 시작시점을 찾아야 한다. 즉 마지막 Row를 제외한 나머지 Row들 중에서 선적하지 않고 비어있는 셀 개수만큼 양하를 더 수행한 후 Double cycle을 시작해야 한다는 것이다. 그래서 위의 경우에는 양하 6번부터 Double cycle이 시작되어야 실행횟수를 최대화할 수 있는 것이다.

그리고 하역방향의 맨 마지막 Row의 선적개수가 양하보다 적은 경우는 고려할 필요가 없다. 왜냐하면 어차피 마지막 Row는 Double cycle이 끝나고 Single cycle 선적 작업만 일어나기 때문이다.

위의 경우에는 작업방향을 우현부터 혹은 좌현부터 시작해도 무방하다. 왜냐하면 어느 방향에서 시작하더라도 Double cycle을 실행할 수 있는 컨테이너 개수는 동일하기 때문이다. 따라서 QC Operator의 편의성 또는 Planning의 편의성을 고려하여 작업방향을 결정하면 된다.

상기와 같은 모형에서 Double cycle의 시작시점을 찾기 위한 공식은 다음과 같다.

적재단수가 동일하고 양하화물은 만재이며 선적화물은 만재가 아닌 경우=

첫 번째 Row의 양하 개수 + 선적 마지막 Row를 제외한 나머지 Row의

선적하지 않는 Slot 개수

(위의 경우, 양하 5 + 선적 빈 Slot 1 = 양하 6번부터 Double Cycle 시작)

3.1.3 적재단수가 상이하고 양하 및 선적화물이 만재인 경우

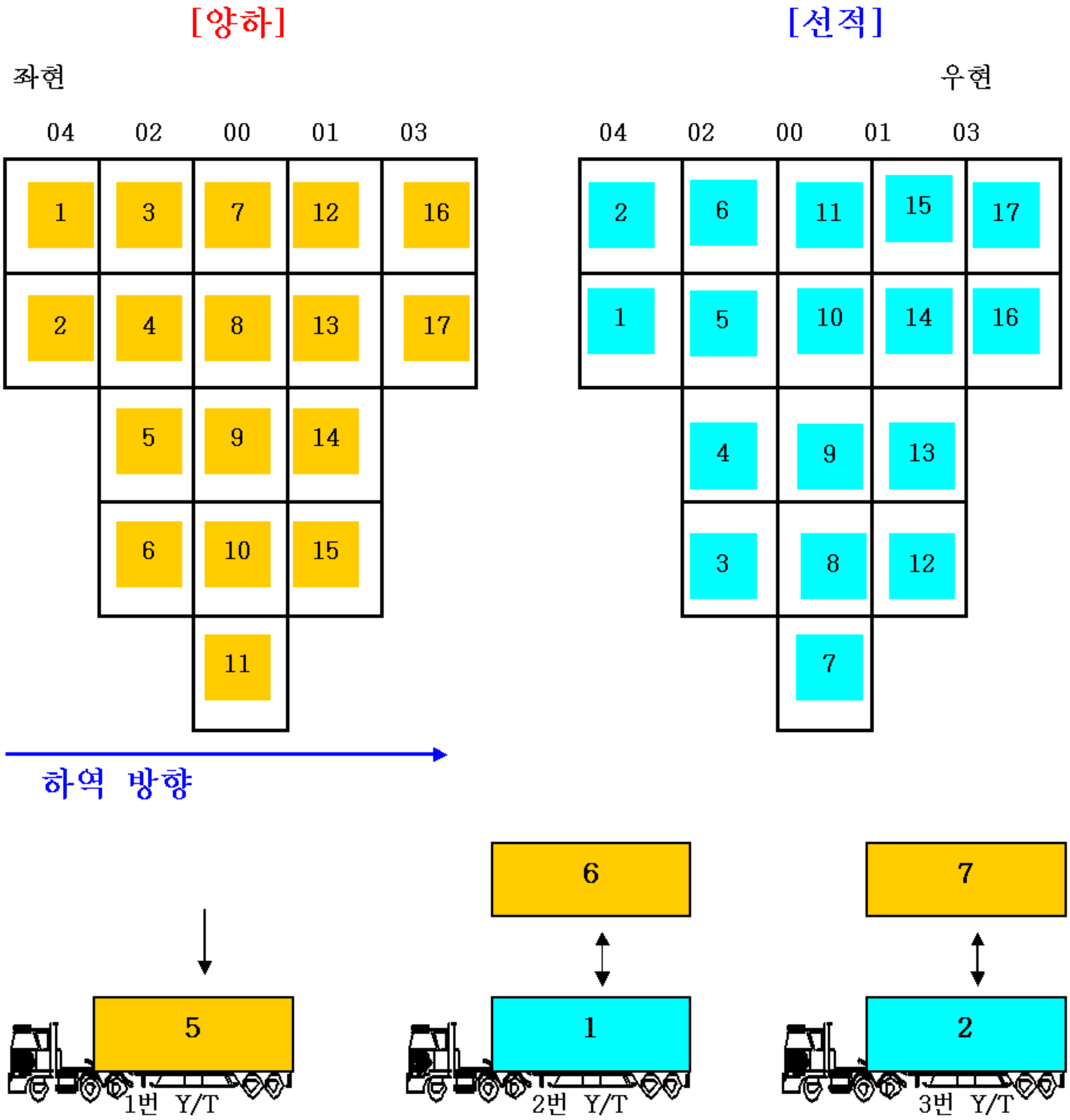


그림 3-3 모형별 Double cycle Simulation 3

상기와 같은 모형은 3.1.1 모형과 Tier수는 다르지만 작업조건은 동일하다고 볼 수 있으므로 양하 개수가 가장 많은 Row를 기준으로 작업을 진행하면 된다. 다시 말해서 위와 같이 하역방향이 왼쪽에서 오른쪽일 경우 00 Row 의 5단 양하를 고려하여 Double Cycle 시작시점을 찾아야 한다. 만약 첫 번째 Row가 비워지는 순간인 양하 2번부터 Double Cycle을 시작한다면 양하 4번 하역 후 선적할 Slot이 없어 Double cycle이 깨어지고 만다. 따라서 양하 개수가 최다인 00 Row의 양하 개수만큼 양하되는 순간 Double cycle이 시작되어야 하는 것이다.

00 Row의 양하 개수가 5개이므로 양하 5번 컨테이너가 하역되는 순간 선적작업이 시작될 수 있다. 위의 Y/T 흐름을 보면 알 수 있듯이 양하 5번을 1번 Y/T에 상차 후 QC는 2번 Y/T의 선적 1번을 인양하여 선적한 후 양하 6번을 하역하여 2번 Y/T에 상차한다. 그리고 3번 Y/T의 선적 2번을 본선에 선적하고 양하 7번을 3번 Y/T에 상차한다.

위와 같은 모형에 있어서 Double cycle의 하역방향에 대해 깊이 고민해 볼 필요가 있다. “①우현에서 좌현으로” 또는 “②좌현에서 우현으로” 또는 “③지그재그 방향으로” 등 총 세 가지의 방법이 있는데 Double cycle의 실행 횟수, 작업의 편의성 등을 고려하여 방향을 결정할 수 있다.

먼저 작업의 편의성 관점에서 볼 때 ①번, ②번 방식 중 하나를 선택하는 것이 낫고 Double Cycle 실행 횟수를 최대화하기 위해서는 ③번 방식을 선택하는 것이 낫다고 볼 수 있다. 하지만 ③번 방식으로 작업을 진행한다면 현장요원들(Foreman, 언더맨, 본선신호수 등)이 작업방향 및 순서에 대해 혼란을 일으킬 우려가 크다고 볼 수 있다. 왜냐하면 현장에서는 주로 양하/선적 Bay Plan만을 가지고 작업을 진행하기 때문에 지그재그 형태의 작업이 오히려 불필요한 작업중간시간을 야기시킬 수도 있기 때문이다. 따라서 ①번 또는 ②번 방식은 Double Cycle 실행횟수를 최대화하지는 못하더라도 현장요원들에게 작업의 편의성을 제공할 수 있으므로 실제 작업에 가장 적합한 형태라 할 수 있다.

예를 들어 위와 같은 모형에서 ③번 형태로 작업을 진행할 경우 센터에서 우현, 좌현으로 지그재그 형태로 작업순서가 이어지는데 이때 현장요원, 특히 본선신호수가 양하 및 적하 순서를 정확히 파악하고 작업을 유도하기란 쉽지 않을 것이다.

적재단수가 상이하고 양하 및 선적화물이 만재인 경우 = 양하개수 최다인 Row의 양하 개수(위의 경우, 양하 5번부터 Double cycle 시작)

3.1.4 적재단수가 상이하고 양하화물은 만재이며 선적화물은 만재가 아닌 경우

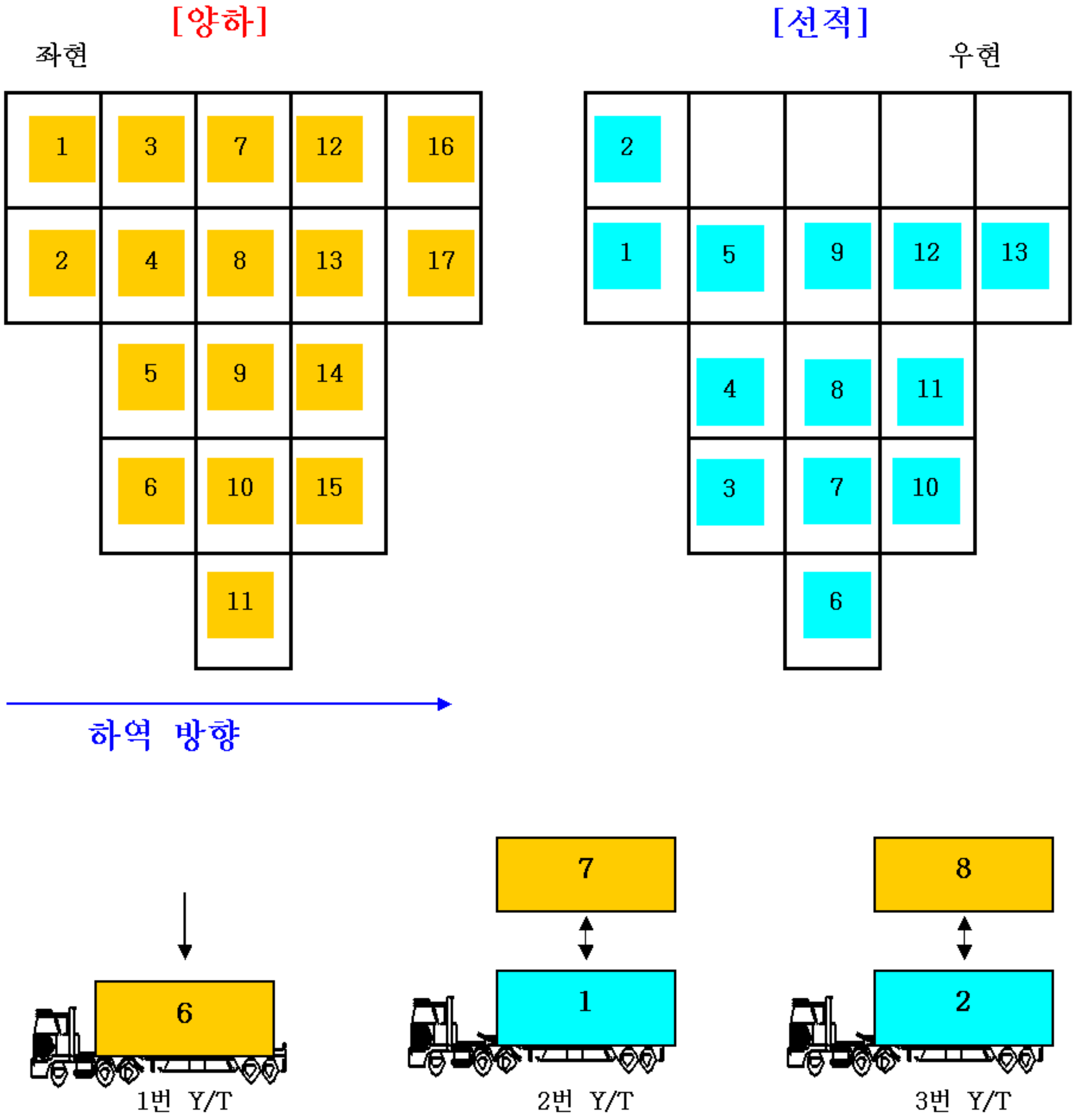


그림 3-4 모형별 Double cycle Simulation 4

위의 경우 하역방향은 "①좌현에서 우현으로", "②우현에서 좌현으로" 모두 적용 가능하며 Double Cycle 실행횟수는 ①번의 경우 11개, ②번의 경우 10개이다.

따라서 다른 조건은 고려하지 않고 Double cycle 실행횟수 최대화만을 고려한다면 ①번 방향으로 작업을 진행해야 하며 이를 위의 경우에 적용하여 Double cycle 최적화 시점을 찾아본다.

우선 3.1.3과 차이점을 찾는 것이 키 포인트라 할 수 있다. 차이점은 단 한가지, 양하 개수는 동일하고 선적 개수가 다르다는 사실이다. 따라서 선적개수가 미치는 영향을 파악해야 한다.

양하 Slot은 Full이지만 선적 Slot이 Full이 아닌 상황인 경우 선적 개수가 최다인 Row 이전까지 선적하지 않는 Slot 수만큼 더 양하한 후 Double cycle을 시작해야 한다.

선적하지 않은 빈 Slot 개수만큼 다음 Row의 양하를 덜 하게 되어 다음 Row의 Double cycle 여건을 악화시키게 되므로 선적의 빈 Slot 개수만큼 미리 양하작업을 더 수행한 후 Double cycle을 시작해야 작업 흐름이 끊어지지 않는 것이다.

위의 경우 "양하 개수 최다인 Row의 양하 개수 5" + "선적 개수 최다인 Row 이전까지 선적하지 않는 빈 Slot 개수 1" = 6, 즉 양하 6번부터 Double cycle이 시작되어야 한다.

먼저 양하 6번 컨테이너를 1번 Y/T에 상차한 후 Apron에 대기중인 2번 Y/T로부터 선적 1번을 들어올려 선적한다. 그리고 양하 7번을 2번 Y/T에 상차한 후 역시 대기중인 3번 Y/T로부터 선적 2번을 들어올려 선적하고 양하 8번을 3번 Y/T에 상차한다.

만약 하역방향을 우현에서 좌현으로 하고자 한다면 똑같은 원리로 양하 7번째 컨테이너부터 Double cycle을 시작하면 된다.

이와 같이 양하/선적 개수 및 Tier수가 복잡할 경우에는 모든 경우에 대해 공통으로 적용할 수 있는 3.4절의 공통 공식을 이용하는 것이 편리할 것이다.

3.2 Hold 일부분에 20 Feet 전용 Slot이 있는 경우

Hold 일부에 20 Feet 컨테이너 전용 Slot이 있는 경우에는 2가지 방식으로 Double cycle을 수행할 수 있다.

먼저 위에 언급한 3.1절의 경우와 동일한 방식으로 진행할 경우 고려해야 할 중요한 사항은 20 Feet 컨테이너와 40 Feet 컨테이너의 하역이 동시에 일어나므로 QC의 이동시간이 Single cycle에 비해 과다하게 발생한다는 점이다. 이런 경우에는 추가 발생되는 QC 이동시간과 Double cycle을 수행했을 때 생기는 이점을 비교하여 Double cycle 수행여부를 결정해야 할 것이다.

두 번째 방법은 20 Feet 전용 Slot이 있는 Row를 우선 양하하고 선적하는 순서로 Double cycle 수행의 우선순위를 부여하는 것인데 실제 작업에 적용할 경우 현장요원들의 작업순서 파악에 어려움이 따를 수 있다는 것이 단점이다.

따라서 위에 언급한 상황을 포함한 여러 가지 작업특성을 고려하여 가장 효율적인 방식을 선택하는 것이 현명할 것이다.

3.3 Deck 위에서의 Double cycle

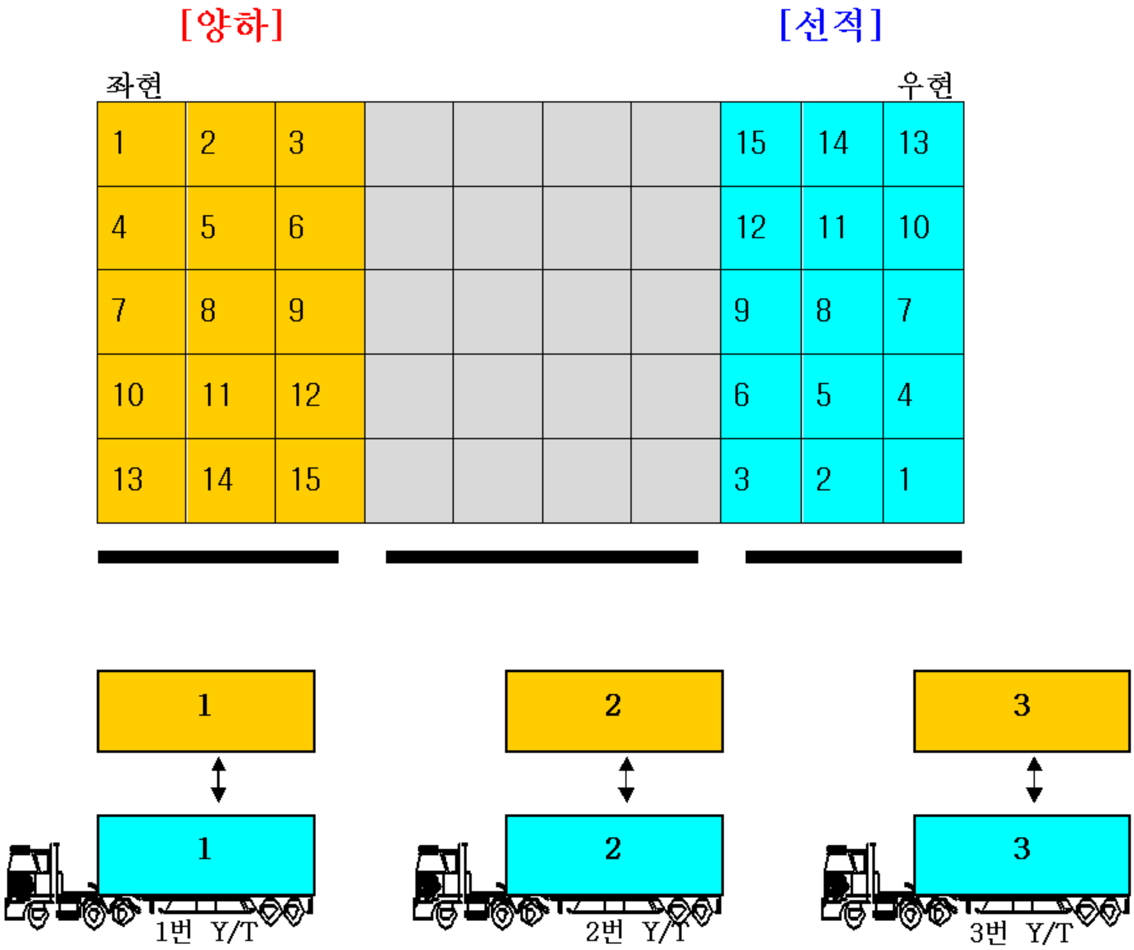


그림 3-5 모형별 Double cycle Simulation 5

Deck에서의 Double cycle은 아주 드물게 발생한다고 볼 수 있다. 왜냐하면 Double cycle은 항상 수직 후 수평 방향으로만 이루어져야 하는데 Deck에서의 양하, 선적 작업은 QC Operator의 편의성을 위해 주로 수평 후 수직으로 진행되기 때문이다.

그래서 Hold Double cycle과 같이 동일 hatch 내에서는 발생되기 힘들고 서로 다른 Hatch 사이에서 주로 이루어진다.

위의 그림과 같이 좌현의 양하 작업과 우현의 선적작업이 수행될 경우 Deck Double cycle이 가능하며 선적 1번 컨테이너부터 시작된다.

먼저 1번 Y/T에 상차되어 있는 선적 1번을 들어올려 우현 Deck에 선적한 후 바로 양하 1번을 1번 Y/T에 양하한다. 그리고 2번 Y/T로부터 선적 2번을 들어올려 선적하고 양하 2번을 2번 Y/T에 양하한다. 이런 순서로 전체 Deck 작업을 시작과 동시에 Double cycle로 수행할 수 있는 것이다.

만약 Deck의 동일 Hatch에서 양하, 선적 작업을 수직으로 수행한다면 QC Operator의 작업능률이 저하되어 오히려 Single cycle보다 생산성이 떨어질 것이다.

3.4 모든 경우의 "Double cycle 최적화 시작시점 공식"

3.4.1 작업방향이 좌현에서 우현일 경우

표 3-1 Double cycle 최적화 시작시점 공통공식 1

Row NO	06	04	02	00	01	03	05
양하개수(D)	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7
선적개수(L)	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7
D-L	D_2-L_1	D_3-L_2	D_4-L_3	D_5-L_4	D_6-L_5	D_7-L_6	
공식	$D_1+(D_2-L_1)+(D_3-L_2)+(D_4-L_3)+(D_5-L_4)+(D_6-L_5)+(D_7-L_6)=K$						
Double cycle 시작시점	양하 K번 컨테이너부터						
Double cycle 실행횟수	전체 양하개수(D) - (K-1)						

여기서 고려할 사항은 위 공식에서 D_1을 제외한 나머지 D_i-L_{i-1} 값들이 음수가 나올 경우이다. 예를 들어 D_2-L_1이 음수일 경우 양수가 될 때까지 다음 값들과 더한다. 이 때 양수가 되는 순간 D1과 더하고 만약 끝까지 더해도 음수가 될 경우 D_1과 더하지 않고 버린다. 왜냐하면 양하개수에서 선적개수를 뺀 값이 양수인 것은 양하가 선적보다 많은 상황으로 그 수만큼 양하를 더 진행한 후 Double cycle이

시작되어야 함을 의미하며 음수 값은 선적이 양하보다 많아 그만큼 빨리 Double cycle을 시작할 수 있음을 의미하기 때문이다.

즉 양수는 Double cycle에 좋지 않은 상황이므로 D_1과 계속 더해 가야하고 음수 값은 Double cycle에 좋은 상황을 의미하며 이전 작업에는 아무 영향을 미치지 않고 단지 다음 작업에만 영향을 미치는 것이다. 그래서 음수가 나오면 양수가 될 때까지 다음 값과 더한 후 양수가 나오면 D_1과 더하고 음수로 끝나면 그 음수 값은 그냥 버려야 한다.

이해를 돕기 위해 아래 표에서 예제로써 설명한다(방향: 좌현에서 우현으로).

표 3-2 공통공식 1에 대한 예제

Row 번호	06	04	02	00	01	03	05
양하개수(D)	8	7	5	8	7	5	4
선적개수(L)	5	7	7	5	6	6	6
D-L	7-5=2	5-7=-2	8-7=1	7-5=2	5-6=-1	4-6=-2	
공식	8 + 2 + {(-2) + 1 + 2} + {(-1) + (-2)} = 11						
Double cycle 시작시점	양하 11번 컨테이너부터						
Double cycle 실행횟수	44 - (11-1)= 34						

1)8 + 2 + (-2 + 1 + 2) + (-1 - 2) =11

2)8 + 2 + 1 - 3 = 11

3)8 + 2 + 1 = 11

위의 1)식에서 음수인 -2는 뒤에 존재하는 값들과 양수가 될 때까지 더해야 하므로 +1이 되었을 때 앞의 값 8+2와 더해진다.

그 후 다시 나타나는 음수, -1을 뒤로 계속 더해도 음수로 끝나므로 그 음수 값

-3은 그냥 버린다.

그래서 결국 식 3)과 같은 11이라는 결과가 산출되는 것이다.

3.4.2 작업방향이 우현에서 좌현일 경우

표 3-3 Double cycle 최적화 시작시점 공통공식 2

Row 번호	06	04	02	00	01	03	05
양하개수(D)	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7
선적개수(L)	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7
D-L		D_1-L_2	D_2-L_3	D_3-L_4	D_4-L_5	D_5-L_6	D_6-L_7
공식	$D_7+(D_6-L_7)+(D_5-L_6)+(D_4-L_5)+(D_3-L_4)+(D_2-L_3)+(D_1-L_2)=K$						
Double cycle 시작시점	양하 K번 컨테이너부터						
Double cycle 실행횟수	전체 양하개수(D) - (K-1)						

이 경우는 3.4.1과 작업방향만 다를 뿐 나머지 조건은 동일하므로 동일한 방식으로 작업 방향만 반대로 적용하면 된다.

이 때 D_i-L_{i+1} 값은 실제 작업방향대로 적용하여야 하므로 D_6-L_7, D_5-L_6 과 같이 표현되고 편의상 위 표의 공식부분처럼 (D_6-L_7) + (D_5-L_6) ~ 의 순으로 계산하는 것이다.

3.4.3 작업방향이 지그재그 형태일 경우(Double cycle 실행회수 최대화)

표 3-4 지그재그 형태일 경우의 예제

Row 번호	06	04	02	00	01	03	05
양하개수(D)	8	7	5	8	7	5	4
선적개수(L)	5	7	7	5	6	6	6
L-D	-3	0	2	-3	-1	1	2
우선순위 ("L-D" 값 최대)	6	4	1	6	5	3	1
Row 번호	02	05	03	04	01	06	00
양하개수(D)	5	4	5	7	7	8	8
선적개수(L)	7	6	6	7	6	5	5
D-L	4-7=-3	5-6=-1	7-6=1	7-7=0	8-6=2	8-5=3	
공식	5 + {(-3) + (-1) + 1 + 0 + 2 + 3} = 7						
Double cycle 시작시점	양하 7번 컨테이너부터						
Double Cycle 실행횟수	44 - (7-1) = 38						

이 방식은 일정한 형태의 작업방향, 즉 "좌현에서 우현" 또는 "우현에서 좌현"의 방식보다 더 많은 Double cycle 실행횟수를 추구할 때 적용될 수 있다.

우선 Row별 양하, 선적 개수를 파악하여 각 Row에 작업순서의 우선순위를 부여한 뒤 부여된 우선순위에 의해 Row들을 다시 정렬한다.

우선순위는 "선적개수 - 양하개수"의 값에 의해 결정되는데 이 때 그 값이 최대인 Row부터 상위의 우선순위가 부여된다. 왜냐하면 "선적개수 - 양하개수"의 값이 클수록, 즉 선적개수가 양하개수보다 많을수록 Double Cycle이 일찍 시작되어

Double cycle 실행횟수를 최대화할 수 있기 때문이다.

만약 동일한 우선순위의 Row들이 존재할 경우, 그 Row들에 대해서는 임의로 우선선위를 지정해도 무방하며 상기 표와 같이, 산출된 우선순위에 의해 작업순서대로 다시 Row와 양하/선적 개수를 배열한 후 “우현에서 좌현”, “좌현에서 우현”인 경우와 동일하게 공식을 적용하면 Double cycle 실행횟수를 최대화할 수 있는 시작시점을 찾을 수 있는 것이다.

하지만 이 방식을 실제 작업에 적용한다면 현장작업자들이 Bay plan에만 의존하여 작업순서를 정확히 파악하고 Double cycle 작업을 원활하게 수행하기가 쉽지 않을 것이다.

따라서 이에 대한 충분한 교육과 준비 없이 시행하였다가는 오히려 현장 작업에 혼선을 초래할 가능성이 크므로 적용여부에 대해서 사전에 신중히 고려해야 할 것이다.

반면에 학문적인 관점에서 접근할 때 이 방식은 언급된 3가지 방식들 중에서 가장 높은 가치를 지니고 있다고 생각된다.

3.5 Double cycle 최적화 시작시점 찾기를 위한 Simulator

위 3.4절에서 서술한 모든 경우에 대한 Double cycle 최적화 시작시점을 찾기 위한 공통공식을 적용하여 그림3-6과 같은 형태의 Simulator를 만들었으며 실제 본선작업에 적용한 결과 100%의 정확도를 검증할 수 있었다.

따라서 모든 컨테이너 터미널에서 아래의 Simulator를 현업에 적용한다면 편리성, 신속성 및 정확성의 효과를 얻을 수 있을 것이다.

본선의 각 Row별 양하/선적 개수만 입력하고 작업 진행방향만 선택하면 프로그램이 자동으로 Simulation을 보여 주면서 최적의 Double cycle 시작 시점을 찾아 준다.

Row No.	14	12	10	08	06	04	02	00	01	03	05	07	09	11	13
LOAD	0	0	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	0
DISCHARGE	0	0	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	0
Start Row	-	-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	-
Double Cycle															

LOAD Dbl QTY=76			6	13	20	27	34	41	48	55	62	69	76	82	
			5	12	19	26	33	40	47	54	61	68	75	81	
			4	11	18	25	32	39	46	53	60	67	74	80	
			3	10	17	24	31	38	45	52	59	66	73	79	
			2	9	16	23	30	37	44	51	58	65	72	78	
			1	8	15	22	29	36	43	50	57	64	71	77	
				7	14	21	28	35	42	49	56	63	70		

DISCHARGE Aft SEQ=18			1	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	
			2	9	17	25	33	41	49	57	65	73	81	89	
			3	10	18	26	34	42	50	58	66	74	82	90	
			4	11	19	27	35	43	51	59	67	75	83	91	
			5	12	20	28	36	44	52	60	68	76	84	92	
			6	13	21	29	37	45	53	61	69	77	85	93	
			7	14	22	30	38	46	54	62	70	78	86	94	
				15	23	31	39	47	55	63	71	79	87		

Search Start SEQ

그림 3-6 Double cycle simulator 화면

제4장 Double cycle을 위한 야드운영 방안

4.1 양하/선적 장치장의 수평 분할

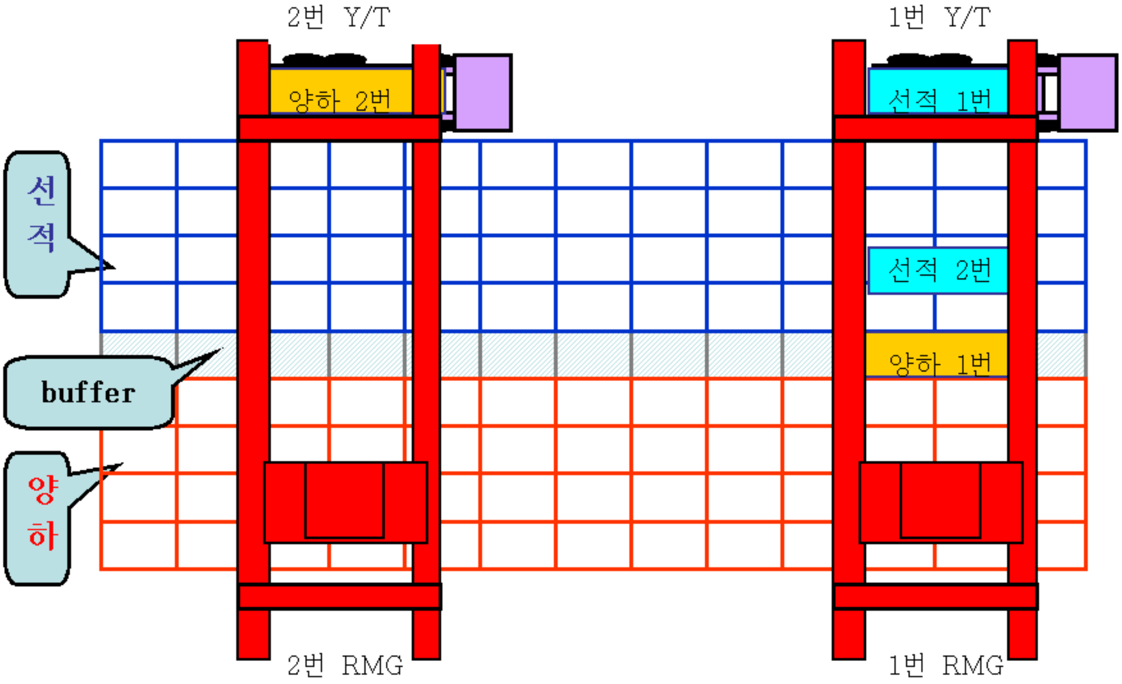


그림 4-1 야드 운영 모형 1

Double cycle을 최적화 하기 위한 야드 할당 방식에는 두 가지 종류가 있으며 먼저 상기 그림과 같이 동일 블록 내에 선적과 양하 컨테이너를 수평으로 분할하여 장치하는 형태에 대해 알아 본다.

우선 이 방식을 실행하기 위해서는 야드 블록의 디자인이 최소한 9열 이상이 되어야 하며 선적장치장 4열, 양하장치장 4열 그리고 Rehandling을 위한 1열로 구성된다.

만약 6열로 디자인된 야드 블록에 이 방식을 적용한다면 선적과 양하 컨테이너의 장치수량이 너무 적어 RMG/RTG의 이동 시간을 과다하게 발생시키고 작업 흐름에 지장을 초래하여 생산성을 저하시킬 가능성이 높아질 것이다.

또한 이 방식에 대해서 두 가지의 선적, 양하 컨테이너 장치위치 할당 방식을 적용할 수 있다.

위 그림의 1번 Y/T와 같이 양하와 선적 컨테이너를 동일 Bay 내에 장치할 수 있도록 선적 컨테이너가 장치되어 있는 Bay에 양하위치를 부여하는 방법과 2번 Y/T와 같이 양하와 선적 컨테이너가 동일블록 내의 다른 Bay에 장치될 수 있도록 양하위치를 부여하는 방법이 있다.

1번 Y/T는 1번 RMG가 위치한 곳에 양하 1번 컨테이너를 하차하고 동일 Bay에 장치되어 있던 선적 1번 컨테이너를 상차한다. 그리고 2번 Y/T는 2번 RMG가 위치한 곳에 양하 2번 컨테이너를 하차하고 선적 2번 컨테이너가 장치되어 있는 1번 RMG 아래로 이동하여 선적 2번 컨테이너를 상차하는 2가지 형태로 운영 가능한 것이다.

위의 두 가지 양하/선적 장치장 할당방식의 장단점 및 필요조건에 대해 아래 표에서 분석해 본다.

표 4-1 장치장 할당방식 비교

	동일 블록내 동일 Bay에 양하/선적 장치	동일 블록내 다른 Bay에 양하/선적 분리 장치
장점	▶RMG 소요 대수 최소화 ▶Y/T 동선 최소화 ▶RMG 및 Y/T의 Double cycle	▶RMG의 신속한 작업으로 Y/T 대기 시간 감소 ▶양하 장치장 할당의 유연성
단점	▶RMG 작업에 Overload 발생하여 Y/T 대기 시간 증가 ▶양하 장치장 할당의 한계성	▶RMG 소요 대수 증가 ▶Y/T 동선 확장 ▶반드시 Y/T 진행방향에 따라 양하 및 선적 장치장을 순차적으로 할당해야 함
필요 조건	▶bay 별 적절한 양하 장치율 유지를 위한 지속적인 관리 ▶동일 Y/T에 의해 이송될 선적 컨테이너와 동일한 bay에 양하 컨테이너의 장치장을 할당하는 것은 전산에 의해 이루어져야 효과적임	▶반드시 Y/T 진행방향에 따라 양하 및 선적 장치장을 순차적으로 할당해야 함(반대일 경우 Y/T 동선이 깨어짐)

이상과 같은 요소들을 분석하여 각 작업의 실제 작업상황에 가장 적합한 방법을 선택, 적용한다면 RMG 및 Y/T운영의 효율성을 극대화할 수 있을 것이다.

TOS(터미널 운영 시스템)의 지원 없이 언더맨 및 통제실요원이 직접 수작업으로 선적 컨테이너와 동일한 Bay에 양하 장치장을 할당한다는 것은 상당히 어려운 작업일 뿐만 아니라 운영에 큰 혼선을 야기시킬 것이라 판단되며 만약 TOS의 지원이 불가능하다면 이 방식은 지양되어야 할 것이라 생각된다.

4.2 양하/선적 장치장의 수직 분할

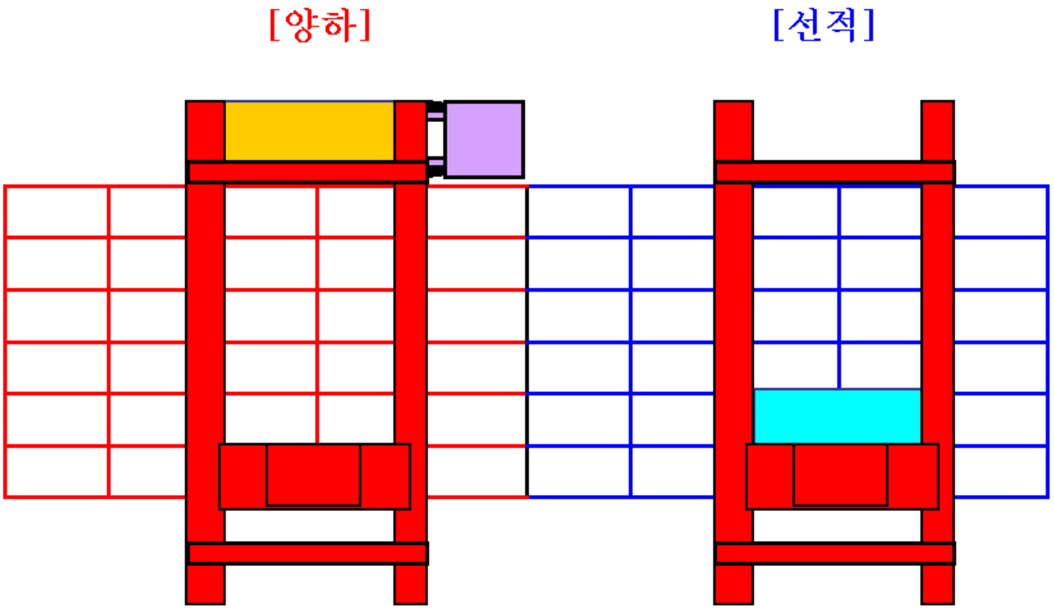


그림 4-2 야드 운영 모형 2

이 방식은 야드 블록의 Row 수가 적은 터미널에 적용되면 효과적일 것이다. Row 수가 적은 상황에서 한 Bay를 양하/선적으로 나눈다면 야적 가능 선적 개수가 적어 RMG의 이동시간을 과다하게 발생시키기 때문이다.

위 그림과 같이 양하 컨테이너를 Y/T 진행방향의 뒤쪽에 장치하고 이어서 Y/T는 진행방향대로 나아가 다른 RMG로부터 선적 컨테이너를 상차 받은 후 QC로 이동하는 과정을 반복한다.

이때 양하장치장과 선적장치장을 Y/T 진행방향에 따라 순서대로 할당하여야만 Y/T의 동선을 최소화할 수 있다. 만약 순서가 반대로 뒤바뀔 경우 Y/T가 역주행을 하는 상황을 야기시키거나 Single cycle보다 더 동선이 길어질 수도 있는 것이다.

이 방식의 단점은 RMG 소요대수를 증가시킨다는 것이며 장점은 RMG의 overload를 막아 Y/T 회전시간을 단축시켜 생산성 향상을 꾀할 수 있다는 것이다.

표 4-1의 “동일 블록 내 다른Bay에 양하/선적 분리장치” 방식과 유사한 형태라 할 수 있다.

제5장 생산성 비교분석

5.1 생산성의 정의

5.1.1 생산성의 개념

“당신의 Terminal에서는 시간당 몇 개의 Container를 하역하는가?”

이 물음은 항만/해운관련 회의에서 가장 많이 거론되는 주제 중의 하나이다.

항만의 생산성, 특히 본선작업 생산성은 항만/해운관련회의에서 최고의 안건이며 터미널의 경쟁력을 평가하는 지표로 널리 알려져 있다.

선박의 항만사용은 단지 항만비용뿐 아니라 정박시간 동안의 선박운영비 등을 발생시킨다. 결국 이런 제반비용은 Terminal의 본선작업 생산성과 깊은 연관을 가진다. 즉, Terminal의 높은 생산성은 선박접안시간을 단축시키며 선사의 제반비용을 절감시켜 줄 수 있는 것이다[5].

높은 생산성은 낮은 생산비용을 초래하며 더 낮은 Handling charge를 제공한다. 또한 본선작업 생산성은 해운업 및 사유화된 항만에서 여전히 중요한 요소로 남아있다.

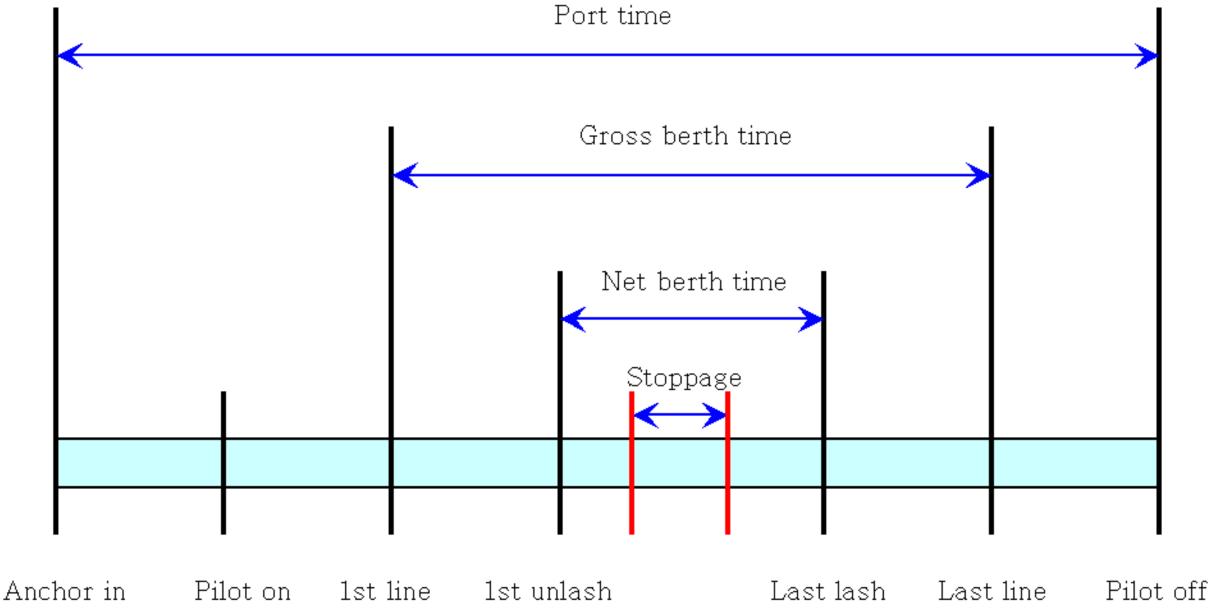
뿐만 아니라 가격결정은 낮은 생산성에 대한 할인, 높은 생산성에 대한 할증 등을 포함하며 이와 유사한 가격결정 시스템은 Bulk cargo handling에서도 일반적으로 통용되고 있다[6].

선사에서 요구하는 특정 수준의 생산성을 달성할 경우 터미널에 인센티브를 지급하는 경우가 있을 정도로 생산성은 터미널에 있어 최대 과제이며 영원한 화두라고 할 수 있다.

5.1.2 선박 및 크레인 관련 시간 개념

생산성을 산출하기 위해 적용되는 시간 개념에 대한 이해를 돕기 위해 아래와 같이 선박 및 크레인으로 구분하여 그림으로 기술하였다.

Ship time



Crane time

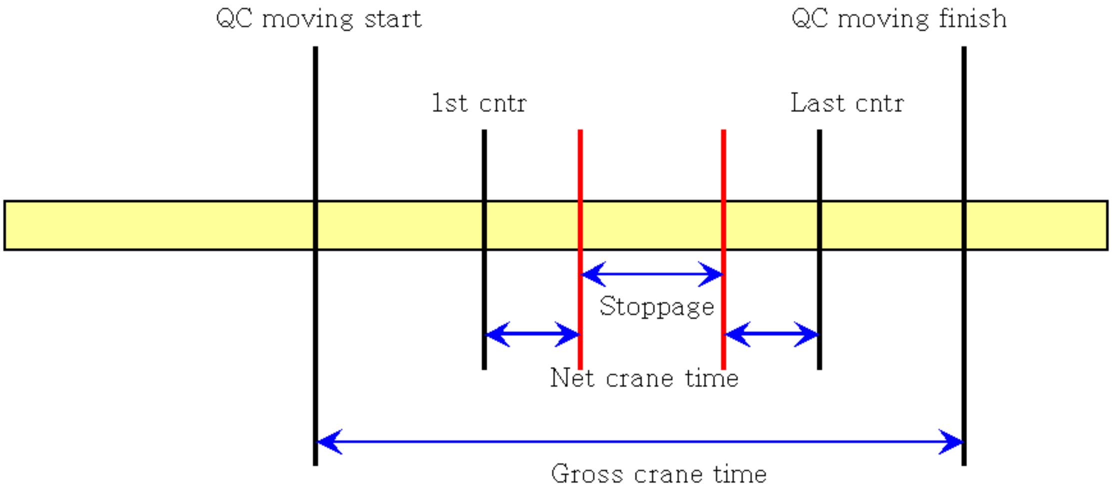


그림 5-1 생산성의 시간 개념

생산성을 산출하기 위한 시간의 종류와 개념에 대해 아래와 같이 기술하였다.

◇ PORT TIME - 외항 도착시간부터 외항 출발시간까지. 항만에서 선박이 소비하는 총 시간은 선석, 서류, Pilot, Tug, 악천후 등에 의한 대기시간을 포함한다.

◇ GROSS BERTH TIME - 접안 시 최초의 홋줄이 Bitt에 걸리는 시간부터 이안 시 마지막 홋줄이 Bitt에서 벗어나는 시간까지.
본선작업 준비시간을 포함한다(서류, Gang 작업전환 및 준비, Cargo handling, 장비고장, 악천후 등으로 인한 대기시간 포함)

◇ NET BERTH TIME - 선박에서 최초 Discharge Container의 Lash가 풀리는 순간부터 마지막 Load Container의 Lashing 완료순간까지, 선석에서의 본선 작업시간(양하역 시간, Lashing/Unlashing, Cone 탈착시간, Hatch cover Handling시간 등)에 Cargo문제, 장비고장 등으로 인한 작업 중단 시간도 포함된다

◇ GROSS CRANE(GANG) TIME - QC의 최초 Moving 순간부터 완료까지이며 본선작업 전후의 대기시간 및 작업중단 시간을 포함한다

◇ NET CRANE(GANG) TIME - 순수한 본선작업시간으로서 GROSS CRANE TIME 에서 모든 작업중단시간(Meal time, 크레인 고장시간 등)을 제외한다.

터미널의 모든 생산성은 작업수량(Moves)과 작업시간의 상관관계에 의해 도출되기 때문에 이상과 같이 본선 및 크레인의 시간 개념에 대한 이해가 선행되어야 한다[7].

또한 위에 설명한 시간에 대한 적용기준은 국가별로, 터미널별로 약간의 차이가 있을 수 있다. 예를 들어 서양의 일부 터미널들은 Meal time을 불가항력과 같은 상황으로 분류하여 Gross/Net crane time에서 제외시키지만 국내 대부분의 터미널에서는 Meal time을 Gross crane time에는 포함시키고 Net crane time에서는 제외시킨다.

어느 쪽이 더 합리적인가 하는 관점보다는 문화적 차이로 해석하는 것이 현명할 것이다. 즉 Meal time 동안 하역작업을 중단하는 경우와 별도의 Meal time 없이 작업이 지속적으로 이어지는 경우, 그리고 전자와 후자가 공존하는 경우 등 작업환경의 차이에서 비롯된 것이라 생각할 수 있다.

참고로 위에 설명한 자료는 국내 터미널에서 주로 적용하는 형태의 생산성 관련 시간 개념이다.

5.1.3 생산성의 종류

터미널간의 경재의 지표로 주로 사용되는 생산성의 종류와 개념에 대해 아래와 같이 기술하였다.

◇ PORT ACCESSIBILITY = PORT TIME - GROSS BERTH TIME

: 항만의 지형 및 도선사와 예인선, 본선, 선원, 화물을 감시하는 각 정부기관 등에 관한 효율성을 평가하는 기초가 된다.

◇ GROSS BERTH PRODUCTIVITY = MOVES / GROSS BERTH TIME

: 본선작업 구조 및 상황을 나타낸다.

◇ NET BERTH PRODUCTIVITY = MOVES / NET BERTH TIME

: 본선에 할당되는 CRANE(GANG)의 수 및 아래의 NET CRANE(GANG) PRODUCTIVITY를 반영한다.

◇ GROSS CRANE(GANG) PRODUCTIVITY = MOVES / GROSS CRANE TIME

: 작업시작시간 전후의 대기시간 및 조기 작업종료 등을 포함한 노동 계약의 기초가 된다.

◇ NET CRANE(GANG) PRODUCTIVITY = MOVES / NET CRANE TIME

: Moves에 관한 간접적인 작업시간 즉, Lashing, Cone탈착, Hatch cover 개폐, 장비 고장 및 간섭 등에 소요된 시간을 알 수 있다.

위와 같이 생산성과 관련된 시간의 기본 단위가 모두 Hour이므로 모든 생산성은 Moves / Hour로 표기 된다[6].

5.2 분석대상 및 분석방법

PNC(부산신항만주식회사)에서 2007년 2월 ~ 3월 사이에 실제 운영 후 산출된 10척의 본선 생산성 Data를 바탕으로 Single cycle과 Double cycle의 생산성을 비교 분석하여 Double cycle의 우수성 및 당위성을 증명하고 Double cycle 수량이 모선당 생산성에 미치는 영향의 정도를 회귀분석으로 파악하고자 한다.

또한 분석된 생산성 data의 상관관계를 이용하여 Single cycle과 Double cycle 생산성 비율(이하 Double cycle 생산성비율 이라 칭함, 수식: Double cycle 생산성 ÷ Single cycle 생산성)을 도출한 후 이를 실제 본선 작업에 적용한다면 생산성 예측 및 선박 입출항 스케줄 관리에 큰 도움이 될 것이라 생각된다.

5.1.3에서 언급했듯이 터미널의 생산성에는 여러 종류가 있는데 그 중에서 Net crane productivity(이하 N/P라 칭함) 수치를 이용하여 비교 분석하였다. 왜냐하면 작업중단시간이 Single cycle과 Double cycle에 불규칙하게 발생하므로 작업중단시간을 제외하는 N/P를 가장 객관적인 자료라 볼 수 있기 때문이다.

그리고 참고로 Single cycle, Double cycle, Total 물량에 대한 N/P 및 물량비율도 분석하였다.

5.3 Single cycle과 Double cycle의 생산성 비교

부산신항만주식회사(PNC)에서 실제로 하역한 총 10척의 선박에 대한 자료를 바탕으로 생산성 비교분석을 수행하였다.

표 5-1 생산성 비교(자료출처: 부산신항만주식회사)

	Single cycle			Double Cycle			Total				Double÷Single		Double÷Total	
	Move	Net Work Time	N/P	Move	Net Work Time	N/P	Move	Net Work Time	N/P	G/P	Move	N/P	Moves	N/P
MSMS	672	18.1	37.1	312	6.8	46.0	984	24.9	39.5	35.9	0.46	1.24	0.32	1.16
MSPH	301	8.4	35.8	201	4.1	49.3	502	12.5	40.2	38.0	0.67	1.38	0.40	1.23
ZZAD	1465	36.9	39.7	314	6.2	50.6	1779	43.1	41.3	37.0	0.21	1.27	0.18	1.23
ZNSE	1083	26.6	40.8	249	5.5	45.6	1332	32.0	41.6	34.6	0.23	1.12	0.19	1.10
MJEM	366	9.9	37.1	115	2.5	46.4	481	12.3	39.0	34.0	0.31	1.25	0.24	1.19
LISA	246	6.8	36.2	62	1.4	45.6	308	8.1	37.8	32.2	0.25	1.26	0.20	1.21
ZZJP	972	27.9	34.9	198	4.4	45.4	1170	32.2	36.3	33.2	0.20	1.30	0.17	1.25
MDEB	311	9.4	33.0	102	2.7	38.5	413	12.1	34.2	31.6	0.33	1.17	0.25	1.12
MSJY	520	13.4	38.8	142	3.0	48.0	662	16.4	40.4	37.2	0.27	1.24	0.21	1.19
ZZIL	1272	32.3	39.4	338	6.9	49.3	1610	39.2	41.1	36.1	0.27	1.25	0.21	1.20
Total	7208	189	38.0	2033	43.2	47.1	9241	233	39.7	34.3	0.28	1.24	0.22	1.19

표 5-1과 같이 총 10척의 Data를 분석한 결과 Double cycle 생산성비율은 평균 1.24, 최저 1.17에서 최고 1.38까지 분포하는 것으로 판명되었다. 다시 말해서

Single cycle 보다 Double cycle의 생산성이 평균 1.24배 높다는 뜻이다. 따라서 Double cycle 실행횟수를 최대화해야 하는 명분이 분명해진 것이다.

또한 총 작업 물량 중에 Double cycle 수량의 비율은 22%를 차지한다. 물론 이 비율은 위의 표본에 한정된 것이다. 왜냐하면 작업 여건상 Double cycle을 전혀 실행하지 못하는 선박도 다수이기 때문이다.

상기 표의 결과치를 바탕으로 생산성에 관련된 여러 가지 상황을 고려한다면 정확한 본선작업 종료시간 예측에 다소 도움이 될 것이라 생각된다.

상기 분석에서 부족한 부분이 있다면 Twin lift 생산성을 별도로 분석하지 못한 채 Single cycle과 Double cycle 양쪽에 Twin lift 작업이 골고루 분포되어 있다는 가정하에서 진행되었다는 점이다.

단순히 분석의 편의성을 위한 것은 아니며 Double cycle 작업 내에서 Single lift와 Twin lift 간의 생산성을 분리해서 측정하기 힘든 점 때문이었다. 왜냐하면 Row 단위로 하역작업이 진행되므로 40Feet Single 작업과 20Feet Twin 작업이 주로 동시에 일어나기 때문이다.

향후 Single lift-Single cycle, Twin lift-Single cycle, Single lift-Double cycle, Twin lift-Double cycle 등 모든 상황을 고려한 상세하고 정확한 분석이 필요하다.

5.4 Double cycle이 생산성에 미치는 영향

Single cycle과 Double cycle이 생산성에 영향을 미치는지를 알아보기 위하여 표 5-1의 데이터를 이용하여 다음과 같이 귀무가설과 대립가설을 수립하여 분산분석을 수행하였다[8].

H_0: M_1 - M_2 = 0

H_1: M_1 - $M_2 \neq$ 0

표 5-2 분산분석 통계량

요약표

인자의 수준	관측수	합	평균	분산
Column 1	10	372.7828	37.27828	5.762088
Column 2	10	464.5571	46.45571	11.2446

분산 분석

변동의 요인	제곱합	자유도	제곱 평균	F 비	P-값	F 기각치
처리	421.1261	1	421.1261	49.52478	1.45E-06	4.413873
잔차	153.0602	18	8.503342			
계	574.1863	19				

유의 수준 99%에서 표 5-2의 P-VALUE가 작기 때문에 귀무가설을 기각할 수 있으며, 그 의미는 Single cycle과 Double cycle의 평균 생산성이 차이가 있음을 알 수 있다. 즉, Double cycle이 생산성에 영향을 미친다는 것을 의미한다.

또한 Double cycle이 생산성에 얼마나 영향을 주는지 알아보기 위하여 회귀분석을 실시하였으며 표 5-1에서 Double cycle Moves와 총생산성의 영향을 분석할 수 있으나, 이 조건은 선박의 작업 조건에 따라 생산성이 영향을 받기 때문에 유의한 분석을 수행하기 힘들다. 그렇기 때문에 총생산성과 Single cycle 생산성의 차이와 Double cycle 물량의 총작업물량에 대한 비율을 가지고 분석을

실시하였다. 즉, 총생산성과 Single cycle 생산성의 차이가 Double cycle 물량비율이 총 생산성에 영향을 미친 부분이라고 생각할 수 있으며, 이 차이와 Double cycle 물량비율을 분석하여 Double cycle이 생산성에 미치는 영향을 규명하고자 한다.

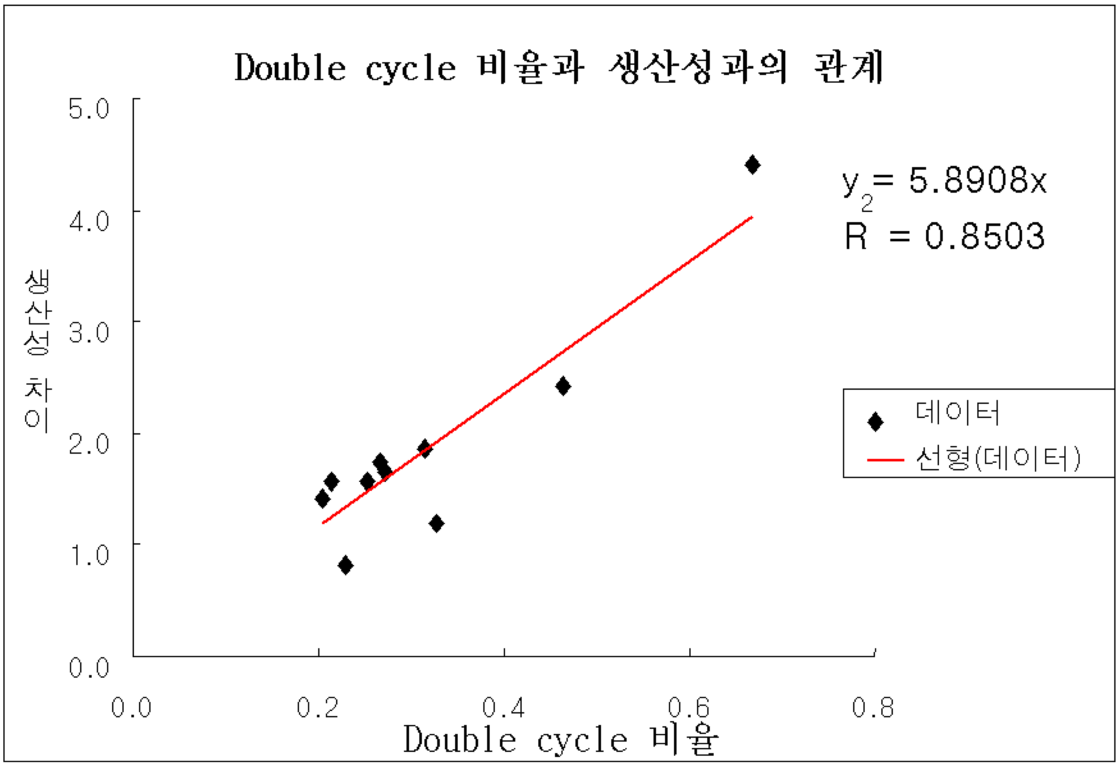


그림 5-2 추정회귀식 선형 그래프

표 5-3 회귀분석 통계량

회귀분석 통계량	
다중 상관계수	0.925028
결정계수	0.855676
조정된 결정계수	0.837636
표준 오차	0.396291
관측수	10

분산 분석

	자유도	제곱합	제곱 평균	F 비	유의한 F
회귀	1	7.448854	7.448854	47.43097	0.000126
잔차	8	1.25637	0.157046		
계	9	8.705224			

표 5-3의 F 검정값에 의하여 추정회귀식의 귀무가설을 기각하고 대립가설을 채택하게 된다. 즉, 회귀식의 선형계수가 유의수준 95%에서 유의함을 알 수 있다. 또한 추정회귀식에 대한 결정계수가 0.85로서 회귀식에 대한 적합도가 매우 높은 편임을 알 수 있다[9].

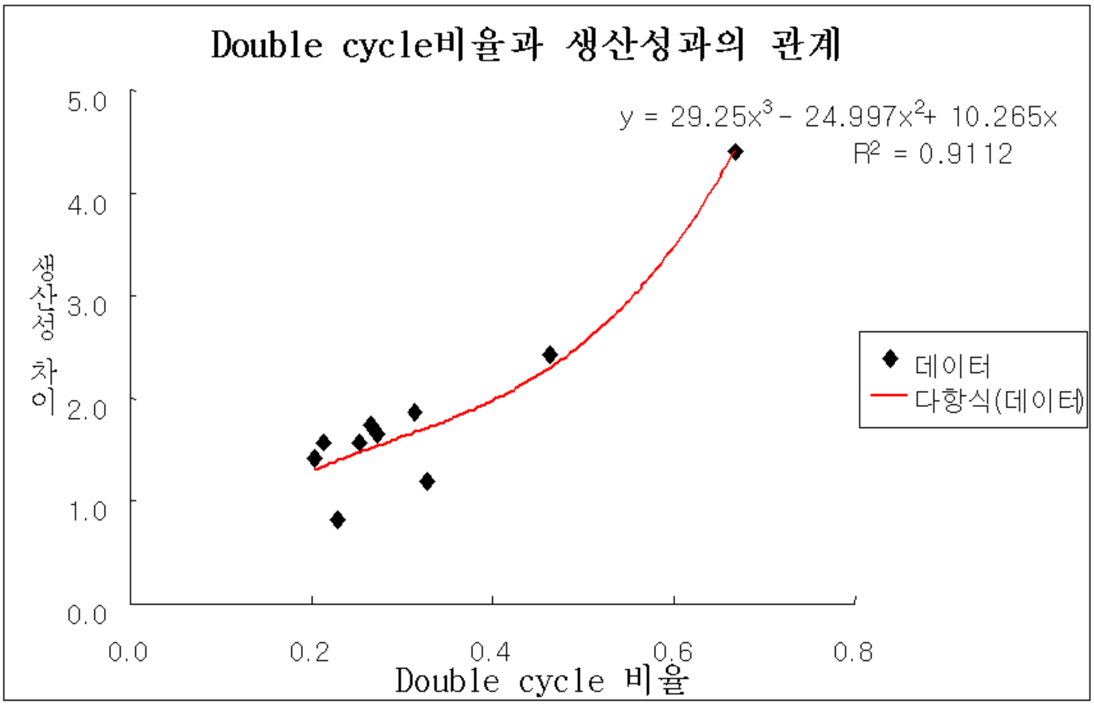


그림5-3 추정회귀식 3차 다항식 그래프

그리고 그림 5-2에서 선형 추정회귀식이 아닌 3차 다항식을 이용하여 추정회귀식을 구하게 되면 더 좋은 적합도를 가진다는 것을 알 수 있다. Double cycle 비율이 늘어날수록 총생산성에 영향을 더 미친다는 것을 보여준다. 즉, Double cycle의 개수가 생산성에 상당한 영향을 미친다는 것을 알 수 있으며 생산성 향상을 위해 Double cycle의 개수를 최대로 늘릴 필요가 있음을 의미한다.

결론적으로 제3장에서 연구한 Double cycle 실행횟수를 최대로 하기 위한 Double cycle의 시작시점을 찾는 것이 생산성 향상에 큰 영향을 미친다는 것을 증명하는 것이다.

제6장 결론

터미널 운영에 있어 “생산성 향상을 통한 경쟁력 제고”는 동서고금을 막론하고 최고의 관심사일 것이다. 생산성 향상을 통해 터미널 운영의 효율을 극대화시켜 선사에 대해 재항시간 절감효과를 제공함으로써 더 많은 물량을 확보할 수 있기 때문이다.

생산성 향상방안 도출을 위해서는 장비의 현대화 및 대형화, 운영기법 개선, 작업중단시간의 단축 등 여러 가지 관점에서 접근할 수 있다.

특히 운영기법 개선 측면에서의 연구는 기존 장비와 시설의 개량 없이도 생산성 향상 및 효율성 제고의 효과를 창출할 수 있으므로 향후 더욱 활발히 진행될 것이라 예상된다.

운영기법 관점에서의 개선방안 중에 Double cycle은 생산성과 비용 측면에서 상당한 이점을 창출한다고 볼 수 있으며 본 논문에서도 생산성 측면에서 심도 깊이 분석하였다.

이 논문에서 저자는 Double cycle의 효용가치를 제대로 파악하고 그 효용가치를 최대화하기 위해 실제 현장에서 최대한 Double cycle을 빈번히 실행해야 한다는 점을 강조하였고 제5장의 생산성 비교분석을 통해 Double cycle 수행의 당위성 및 우수성을 증명하였다.

Double cycle은 QC의 한번의 Cycle에서 양하와 선적을 동시에 수행하므로 분명히 생산성 향상에 큰 도움이 된다. 하지만 불규칙한 양적하 Stowage하에서 Double cycle 실행횟수를 최대화하기 위한 시작시점을 눈대중으로 파악하기는 쉽지 않다.

제3장에서 제시한 Double cycle 최적화 시작시점을 찾기 위한 공통공식을 이용하여 모든 불규칙한 양적하 Stowage에 대해 정확히 시작시점을 찾아 내어 Double cycle 실행횟수를 최대화하고 제4장에서 제시한 Double cycle 최적화를 위한 야드운영방안을 실행한다면 제5장에서 분석한 바와 같이 생산성 향상 효과를

기대할 수 있을 것이다.

그리고 제3장에서 제시한 Simulator를 이용한다면 수작업 계산보다 훨씬 더 편리하게 시작시점을 찾을 수 있다.

이 논문에서 생산성 측면 이외의 경우 즉, Double cycle에 대한 경제적 측면에서의 분석이 이루어지지 못한 것이 매우 아쉬운 점이다. 최소비용의 투입으로 최대효율을 창출하는 것은 시장경제의 논리에 부합되며 컨테이너 터미널도 예외가 아니기 때문이다.

향후 장비(QC, RMG, Y/T등)운영상의 비용 및 효율성 분석에 대한 활발한 Double cycle 관련 연구가 필요하다고 생각된다.

참고문헌

1. Anne V.Goodchild, Carlos F. Daganzo, “Double-cycling strategies for container ships and their effect on ship loading and unloading operations” , Transportation Science, Vol.40, No.4, November, 2006, pp473-483.
2. 4. Anne V.Goodchild, “Crane double cycling in container ports: algorithm, evaluation and planning” Ph.D.thesis, University of California at Berkeley, Department of Civil and Environmental Engineering, Berkeley, CA, 2005.
3. Daganzo, C. F, “The productivity of multipurpose seaport terminals” , Transportation Science, Vol.24, No.3, 1990, pp205-216.
4. Johnson, S.M, “Optimal two- and three-stage production schedules with setup times included” , 1954.
5. Alex Von Stempel, “The port productivity revised” , 1996.
6. Wijnand Visser, “Managing terminal capacity and productivity” , 2004.
7. 항만물류시스템, 이철영, 효성출판사, 1998.1.
8. 분산분석의 이해, 이영준, 석정, 2000.4.
9. 회귀분석의 이해, 강상진, 교육과학사, 2003.2.
10. 엑셀을 이용한 고급통계분석, 김태훈, 두남, 2002.8.