

工學博士 學位論文

컨테이너 터미널의 차세대 하역시스템 성능평가

Performance Evaluation of Next Generation Stevedoring System
at Container Terminal

指導教授 申 宰 榮

2007 年 2 月

韓國海洋大學校 大學院

物流시스템工學科

河 泰 瑩

목 차

ABSTRACT

제 1 장 서 론	1
1.1 연구의 필요성	1
1.2 관련 문헌 고찰	4
1.3 연구수행방법 및 논문의 구성	7
제 2 장 컨테이너 터미널 하역시스템	8
2.1 터미널 하역시설 및 운영	10
1) 선석	11
2) 장치장	12
3) 게이트	12
2.2 터미널 하역장비	13
1) 안벽하역장비	13
2) 야드하역장비	15
3) 이송하역장비	17
2.3 하역시스템 설계 현황	18
1) 국내 터미널	18
2) 해외 터미널	20
3) 국내와 해외 터미널 하역시스템 비교	24
제 3 장 차세대 하역시스템 기술	26

3.1 안벽시스템 기술	26
1) 기존시스템	26
2) 차세대시스템	27
3) 시스템간 성능비교	30
3.2 이송시스템 기술	35
1) 기존시스템	35
2) 차세대시스템	37
3) 시스템간 성능비교	39
3.3 야드시스템 기술	40
1) 야드장비	41
2) 야드레이아웃	42
3.4 종합	47
제 4 장 성능 분석 모형	49
4.1 안벽장비모델	50
1) 상태 전환 기준	50
2) 안벽장비 상태정의	52
3) 안벽장비 상태전이모델	58
4.2 이송장비모델	59
1) 이송장비 상태전이	59
2) 이송장비 상태전이모델	63
4.3 야드장비모델	65
4.4 외부트럭모델	66
4.5 게이트 모델	68
4.6 상태전이모델간 결합관계도	69

1) 안벽모델과 이송모델간 결합관계도	69
2) 이송, 야드, 외부트럭모델간 결합관계도	70
3) 외부트럭과 게이트모델간 결합관계도	70
제 5 장 차세대 하역시스템 성능 분석	73
5.1 입력자료 분석	73
1) 안벽장비규모	74
2) 이송장비규모 및 운영규칙	75
3) 야드장비규모	79
4) 게이트 시설 규모 및 서비스 시간	80
5) 외부트럭 일일 도착대수 및 도착분포	82
5.2 분석 시나리오 구성	85
5.3 분석 관점	86
5.4 단위성능 분석	87
1) 안벽장비성능 분석	88
2) 이송장비성능 분석	96
5.5 통합성능 분석	102
1) DT-C와 DSV/SHC/ALV 하역시스템 성능	102
2) DD-C와 DSV/SHC/ALV 하역시스템 성능	107
3) SS-C와 DSV/SHC/ALV 하역시스템 성능	111
4) 반출입시스템 서비스 능력	115
5.6 하역시스템 성능 분석 종합	118
5.7 차세대 하역시스템 개발 방안	125
제 6 장 결 론	128

참 고 문 헌 125

표 목 차

<표 2-1> 컨테이너 크레인의 설계 규모	14
<표 2-2> 컨테이너 크레인의 기계적 성능	14
<표 2-3> 야드하역장비 적재용량	16
<표 2-4> 국내 터미널 하역시스템 설계 현황	19
<표 2-5> 국내 주요 터미널별 하역장비유형	20
<표 2-6> 국내외 터미널 하역시스템 비교	24
<표 3-1> C/C별 하역생산성	31
<표 3-2> C/C 설계제원	32
<표 3-3> C/C별 Cycle Path와 Critical Path	33
<표 3-4> 국내 터미널(부산항)의 연도별 C/C 생산성	34
<표 3-5> YT/AGV의 주요 특징	36
<표 3-6> DSV, SHC, ALV의 주요 특징	37
<표 3-7> 기존시스템과 차세대시스템의 성능비교	39
<표 3-8> 이송장비 능력에 영향을 미치는 터미널 환경	40
<표 3-9> RTGC vs RMGC 성능 비교	42
<표 3-10> 야드 설계안 비교	43
<표 3-11> 수평배치 vs 수직배치 장단점 비교	45
<표 3-12> 블록배열형태의 장단점 비교	46
<표 3-13> 차세대 하역시스템 작업영역별 기술	47
<표 4-1> C/C별 작업상태수	51
<표 4-2> 싱글트롤리형 C/C 상태정의	53
<표 4-3> 듀얼트롤리형 C/C 상태정의	55
<표 4-4> 더블트롤리형 C/C 상태정의	56

<표 4-5> 슈퍼테이너형 C/C 상태정의	57
<표 4-6> 이송장비의 운행상태정의	62
<표 4-7> 이송장비의 하역상태정의	62
<표 4-8> 이송장비 하역상태 전이	63
<표 4-9> 야드장비의 상태정의	65
<표 4-10> 외부트럭의 상태정의	67
<표 4-11> 게이트 상태정의	68
<표 5-1> 국내 대형 터미널별 C/C 보유대수	74
<표 5-2> 하역시스템 성능분석을 위한 선석당 C/C 투입대수	74
<표 5-3> 하역시스템 성능분석을 위한 C/C당 이송장비 투입대수	76
<표 5-4> 야드배치 형태별 이송장비 버퍼설정	78
<표 5-5> 야드배치 형태별 이송장비 주행방식	78
<표 5-6> 하역시스템 성능분석을 위한 Run당 RMGC 투입대수	80
<표 5-7> RMGC 장치 작업 순서 규칙	80
<표 5-8> 국내 터미널 게이트 입·출구 라인수 운영규모	81
<표 5-9> 게이트 입·출구 라인수 시나리오 구성	81
<표 5-10> 게이트 입·출구 통과 소요시간	82
<표 5-11> 국내 터미널 설계시 일일 외부트럭 도착대수 산정	83
<표 5-12> 선석당 일일 외부트럭 도착대수	83
<표 5-13> 일일 외부트럭 도착분포	84
<표 5-14> 분석 시나리오 구성	85
<표 5-15> 하역시스템 평가 기준	87
<표 5-16> 하역시스템 구성 식별자	87
<표 5-17> 시뮬레이션 결과- I (C/C 생산성)	89
<표 5-18> 시뮬레이션 결과- I (RMGC 생산성)	90

<표 5-19> 시뮬레이션 결과- I (YT 야드대기율)	91
<표 5-20> 시뮬레이션 결과- II (C/C 생산성)	93
<표 5-21> 시뮬레이션 결과- II (C/C 생산성 향상율)	94
<표 5-22> YT/AGV 이송시스템 기반의 터미널 하역시스템 설계 방향	95
<표 5-23> 시뮬레이션 결과-III(C/C 생산성)	97
<표 5-24> 차세대 이송장비의 투입대수 절감효과(수평배치)	99
<표 5-25> 시뮬레이션 결과-IV(C/C 생산성)	100
<표 5-26> 차세대 이송장비의 투입대수 절감효과(수직배치)	101
<표 5-27> ST-C 기반의 터미널 하역시스템 설계 방향	102
<표 5-28> 시뮬레이션 결과- V (C/C 생산성)	105
<표 5-29> 시뮬레이션 결과-VI(C/C 생산성)	106
<표 5-30> DT-C 기반의 터미널 하역시스템 설계 방향	107
<표 5-31> 시뮬레이션 결과-VII(C/C 생산성)	109
<표 5-32> 시뮬레이션 결과-VIII(C/C 생산성)	110
<표 5-33> DD-C 기반의 터미널 하역시스템 설계 방향	111
<표 5-34> 시뮬레이션 결과-IX(C/C 생산성)	113
<표 5-35> 시뮬레이션 결과- X (C/C 생산성)	114
<표 5-36> SS-C 기반의 터미널 하역시스템 설계 방향	115
<표 5-37> 이송장비유형별 외부트럭 평균체류시간	117
<표 5-38> 외부트럭 평균체류시간	118
<표 5-39> YT/AGV 기반의 터미널 하역시스템 설계방안	120
<표 5-40> ST-C 기반의 터미널 하역시스템 설계방안	121
<표 5-41> DT-C 기반의 터미널 하역시스템 설계방안	122
<표 5-42> DD-C 기반의 터미널 하역시스템 설계방안	123
<표 5-43> SS-C 기반의 터미널 하역시스템 설계방안	124

<표 5-44> 차세대 하역시스템 개발 단계	126
<표 5-45> 차세대 하역시스템 설계를 위한 장비기술 개발 방안	127

그 립 목 차

<그림 2-1> 컨테이너 터미널 하역시스템 개념도	8
<그림 2-2> 컨테이너 터미널 하역시스템 성능 개념도	9
<그림 2-3> 컨테이너 터미널 배치도	10
<그림 2-4> 컨테이너 터미널 하역시설 및 구성	11
<그림 2-5> 터미널 장치장 레이아웃 구성	12
<그림 2-6> 컨테이너 크레인(C/C)	13
<그림 2-7> 야드하역장비 유형	15
<그림 2-8> 야드하역장비 적용 추세	16
<그림 2-9> 야드트럭(YT), 무인이송장비(AGV) 및 멀티트레일러(MTS)	17
<그림 2-10> 국내 터미널 하역시스템 변화	18
<그림 2-11> 국내 터미널 야드배치 설계 형태	20
<그림 2-12> 고성능 안벽장비기술 개념도	21
<그림 2-13> 고성능 이송장비 유형	21
<그림 2-14> 야드하역장비 유형 및 운영개념도	22
<그림 2-15> 양현하역시스템(굴입식, 부유식)	23
<그림 2-16> 해외 터미널 야드배치 설계 형태	23
<그림 3-1> 싱글트롤리형 C/C 작업형태	27
<그림 3-2> 듀얼트롤리형 C/C 작업형태	29
<그림 3-3> 더블트롤리형 C/C 작업형태	29
<그림 3-4> 슈퍼테이너형 C/C 작업형태	30
<그림 3-5> C/C 작업경로	31
<그림 3-6> C/C 유형별 MP 성능 비교	33
<그림 3-7> YT/AGV의 주요 특징	36

<그림 3-8> 기존 이송시스템 운영개념도	37
<그림 3-9> DSV, SHC, ALV 이송장비	38
<그림 3-10> SHC/ALV 이송시스템 운영개념도	38
<그림 3-11> RTGC vs RMGC 작업 형태 비교	41
<그림 3-12> 터미널 야드 블록구조	42
<그림 3-13> 야드 설계안(블록크기)	43
<그림 3-14> 야드 설계안(배치방향)	44
<그림 3-15> 균등배열형 vs 인접배열형	46
<그림 3-16> 배열형태에 따른 운영비교	46
<그림 4-1> 시뮬레이션 모형 개념도	49
<그림 4-2> 트롤리의 동작 구조	50
<그림 4-3> 안벽장비 상태전이모델(예: 싱글트롤리형 C/C)	58
<그림 4-4> Closed loop 운행방식(수평배치)	60
<그림 4-5> Closed loop 운행방식(수직배치)	60
<그림 4-6> Cross lane 운행방식(수직배치)	61
<그림 4-7> 이송장비의 운행구조	61
<그림 4-8> 이송장비 상태전이모델(예: 수직배치형)	64
<그림 4-9> 야드장비 상태전이모델(RMGC)	65
<그림 4-10> 외부트럭 운행 구조와 터미널 게이트 위치	66
<그림 4-11> 게이트 상태전이모델	68
<그림 4-12> 안벽⇔이송모델간 상태결합도	69
<그림 4-13> 이송⇔야드⇔외부트럭모델간 상태결합도	70
<그림 4-14> 외부트럭⇔게이트모델간 상태결합도	71
<그림 4-15> 터미널 하역시스템 상태전이모델	71
<그림 5-1> 하역시스템 성능분석 입력자료 구성	73

<그림 5-2> YT 적정소요대수	75
<그림 5-3> YT 투입대수에 따른 C/C 생산성	76
<그림 5-4> 배치안별 블록 버퍼공간(SHC, ALV)	77
<그림 5-5> Run당 RMGC 투입대수에 따른 C/C 생산성 변화	79
<그림 5-6> 일일 외부트럭 시간대별 도착분포	84
<그림 5-7> 하역시스템 성능분석 관점	86
<그림 5-8> 시뮬레이션 결과-I (C/C 생산성)	89
<그림 5-9> 시뮬레이션 결과-II (C/C 생산성)	93
<그림 5-10> 적정운행대수&야드배치형태에 따른 C/C 생산성 효과	96
<그림 5-11> 시뮬레이션 결과-III (C/C 생산성)	97
<그림 5-12> 시뮬레이션 결과-IV (C/C 생산성)	100
<그림 5-13> 시뮬레이션 결과-V: 이송장비대수별 C/C 생산성 향상율	104
<그림 5-14> 시뮬레이션 결과-VI: 이송장비대수별 C/C 생산성 향상율	104
<그림 5-15> 시뮬레이션 결과-V (C/C 생산성)	105
<그림 5-16> 시뮬레이션 결과-VI (C/C 생산성)	106
<그림 5-17> 시뮬레이션 결과-VIII: 이송장비대수별 C/C 생산성 향상율	108
<그림 5-18> 시뮬레이션 결과-VII (C/C 생산성)	109
<그림 5-19> 시뮬레이션 결과-VIII (C/C 생산성)	110
<그림 5-20> 시뮬레이션 결과-X: 이송장비대수별 C/C 생산성 향상율	112
<그림 5-21> 시뮬레이션 결과-IX (C/C 생산성)	113
<그림 5-22> 시뮬레이션 결과-X (C/C 생산성)	114
<그림 5-23> 안벽장비유형별 외부트럭 체류시간	116
<그림 5-24> 이송장비유형별 외부트럭 평균체류시간	117
<그림 5-25> 외부트럭 평균체류시간	118
<그림 5-26> YT/AGV 기반의 하역시스템 성능	120

<그림 5-27> ST-C 기반의 하역시스템 성능	121
<그림 5-28> DT-C 기반의 하역시스템 성능	122
<그림 5-29> DD-C 기반의 하역시스템 성능	123
<그림 5-30> SS-C 기반의 하역시스템 성능	124
<그림 5-31> 기존 터미널 하역시스템 구성예	127
<그림 5-32> 차세대 터미널 하역시스템 구성예	127

Performance Evaluation of Next Generation Stevedoring System at Container Terminal

Tae-Young Ha

Department of Logistics Engineering
Graduate School of Korea Maritime University

ABSTRACT

This study aims at newly constructing and evaluating performance of the stevedoring equipment systems in container terminals. The stevedoring equipments used in conventional terminals are insufficient in flexibility in their functions or design structure, and most of the stevedoring systems based on such equipments have conventional design, therefore, limited in improving the productivity of terminals both in performance and functionality. The transportation volume in terminals has been increasing continuously in accordance with the trend of larger vessels, accordingly, the performance of the stevedoring equipment systems in terminals have been

improved. However, while such improvements have been mainly focused on the operational features of terminals, which is limited in the improvement of the overall performance. This means that, it is time to devise an alternative methodology for the improvement of the stevedoring equipment systems in facilities and equipments, in addition to the operational features. Accordingly, some advanced terminals are developing high efficiency equipments and diverse stevedoring systems on the basis of the new equipment systems.

The stevedoring equipment systems in terminals, in general, can be subdivided into 4 subsystems of quay, transportation, yard, and gate system, which carry out loading and unloading works with proper facilities and equipments. In this study, a design of next generation stevedoring equipment system comprised of various stevedoring equipments which have superior performance and functionalities to the conventional equipments was proposed, and its performance was evaluated. Regarding the major contents of this study, by subsystem, 3 alternative equipments of dual trolley, double trolley, and supertainer type C/C were proposed to replace the conventional single type for the quay area, and 3 alternative equipments of two-stack vehicles, shuttle carriers, and automated lifting vehicles were proposed to replace the YT which is a conventional, simple transportation equipment for the transportation. In the yard area, RMGC(Rail Mounted Gantry Crane) is proposed to replace RTGC(Rubber Tired Gantry Crane) in order to reduce the equipment installation area. For the yard layout, both horizontal and vertical layout types were evaluated to propose appropriate equipment layout.

For the performance evaluation of the stevedoring equipment system,

productivity was calculated using a simulation technique. State transition models were established for each equipment for simulation analyses. The state transition models represent each steps of stevedoring process in order to reflect the differences in the performance and function of each equipment on the analysis correctly. for the performance evaluation of the alternative system, the interconnected performance of the integrated system was analyzed as well as the unit performance of the subsystems.

For the unit performance analyses, a portion of the conventional stevedoring system was replaced with the next generation system to measure its performance. For the integrated performance analysis, the performance of the stevedoring system comprised of next generation alternatives was calculated. For the calculation of the integrated performance, scenarios were designed by combining the alternative equipments of subsystems. Each scenario was applied to horizontal and vertical yard layout plan to conduct simulation analysis.

With the simulation results, unit and integrated performances were calculated on the basis of the productivity per hour and waiting time of each equipment. Summarizing the analyses results, the proposed next generation equipments showed superior work performances to those of the conventional equipments. Number of equipments could be reduced. For the integrated performance, the stevedoring system comprised of quay, transportation, and yard was evaluated. However, these stevedoring equipment systems have merits and demerits in the performance and operation, therefore, sufficient review on design considering the working conditions of terminal is required for the design of next generation system.

The terminals in Korea have been operated without any significant change in stevedoring hardware for the last 20 years. In order to improve stevedoring productivity of terminals, the facilities and equipments should be improved and design of stevedoring system suitable for the working environment and performance analyses are required.

The simulation model and stevedoring system design are expected to be useful for the development of the next generation stevedoring system which has improved productivity and performance.

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 필요성

컨테이너를 이용한 복합화물운송의 효율성이 부각되면서 1960년대 1천TEU급 미만의 컨테이너 선박(제1세대)이 취향을 시작하였고, 현재에는 8천TEU급의 선박 발주가 보편화되고 있다. 이미 30여척의 7천~8천TEU급 선박이 운항되고 있으며, 향후에는 1만 TEU급 이상의 초대형 컨테이너선의 출현도 예상되고 있다. 이러한 초대형선박의 운항이 늘어남에 따라, 터미널에서 처리해야 할 선박당 컨테이너 물량도 크게 증가하였을 뿐만 아니라 선사의 입장에서는 초대형 컨테이너선의 취향에 따른 비용부담을 줄이기 위해 기항지를 축소하여 선박의 회전율을 높이려고 하는 추세에 있다. 이러한 이유로 각국의 터미널에서도 선박유치 경쟁력을 확보하기 위해 기존의 선박하역시간을 단축할 수 있는 고생산성의 컨테이너 하역시스템의 개발을 가속화 하고 있다.

이러한, 컨테이너 터미널의 경쟁력은 컨테이너의 신속한 처리능력으로 이것은 터미널 하역시스템의 생산성을 의미한다고 할 수 있다. 터미널의 하역시스템은 컨테이너를 취급하는 각종 하역장비들로 구성된 유기적인 컨테이너 처리 시스템이다. 따라서, 터미널의 생산성을 향상시키기 위해서는 하역시스템을 구성하고 있는 이들 장비의 개별적인 작업능력이 기존보다 향상되어야 할 뿐만 아니라 하역장비들 간의 유기적인 연계성이 원활히 이루어져야만 전체 생산성이 향상되어질 수 있다.

터미널 하역시스템을 구성하는 하역장비에는 하역성격에 따라 선박과 안벽간에 컨테이너 양하·적하 작업을 담당하는 안벽장비, 터미널 내부에서 컨테이너를 운반하는 이송장비, 터미널 내부에서 컨테이너를 보관·장치하는 야드장비로 크게 3가지로 구분된다. 이들 하역장비 가운데 안벽장비는 선박의 재항시간에 가

장 큰 영향을 미치기 때문에 터미널의 대표적인 하역장비로 인식되고 있으며 또한, 기존의 컨테이너 터미널에서도 하역생산성을 높이기 위해 안벽하역작업에 투입되는 컨테이너 크레인(Container Crane, C/C)의 작업생산성을 증가시키는데 많은 시간과 비용을 집중하여 왔다.

그러나, 터미널의 하역생산성은 하역시스템의 측면에서 볼 때, 안벽작업과 운반 및 장치작업이 접목된 연계시스템이므로 안벽장비와 같은 특정 장비의 작업생산성 향상에만 의존하여서는 전체 하역생산성을 향상시키는데 어느 정도 한계가 있다고 할 수 있다. 특히, 안벽장비가 원활히 하역작업을 수행하기 위해서는 이송장비의 충분한 지원이 있어야 하며 이와 병행하여, 이송장비와 연계작업을 하는 야드장비의 작업생산성도 증가될 때, 터미널의 전체 하역시스템이 효율적으로 운영되어 터미널의 하역생산성을 높일 수 있게 된다.

현재, 터미널의 하역생산성을 높이기 위해 운영 및 기술개발이 추진되고 있다. 안벽하역부문에서는 기존의 싱글트롤리형(Single Trolley Type) 크레인의 성능을 보다 개선한 듀얼트롤리형(Dual Trolley Type), 더블트롤리형(Double Trolley Type), 슈퍼테이너형(Supertainer Type) 크레인이 개발되고 있다. 이송작업부문에서는 기존의 야드트럭(Yard Truck, YT)을 대체할 장비로 무인이송차량(Automated Guided Vehicle, AGV), 2단적재차량(Double Stack Vehicle, DSV), 셔틀캐리어(Shuttle Carrier, SHC), 자가하역차량(Automated Lifting Vehicle, ALV) 등의 다기능 차량이 개발되고 있으며, 리니어모터시스템(Linear Motor System, LMS), 다중적재열차(Multi Stack Train, MST)와 같은 특수목적의 이송시스템도 일부 적용되고 있는 실정이다. 야드작업부문에서는 기존의 RTGC(Rubber Tired Gantry Crane)의 성능을 개선한 RMGC(Rail Mounted Gantry Crane)과 브릿지 형태의 크레인(Over Head Bridge Crane, OHBC) 등이 점차 기존시스템을 대체하고 있으며, 더 나아가 장치공간 효율을 극대화 시킨 고단적재시스템(High Stacking System, HSS)의 개념도 등장하고 있다.

이들 하역장비들은 현재 사용되고 있는 기존의 터미널 하역장비에 비해 성능 면에서 더욱 개선된 것으로 장비의 개별적인 작업생산성은 매우 높은 것으로 인식되고 있으나 각 장비가 상호 연동된 터미널 하역시스템 구성 측면(안벽⇔이송⇔야드)에서 그 도입사례와 성능검증에 있어서는 다소 미흡한 상황이다.

현재, 일부 자동화 컨테이너 터미널에서 고성능의 하역장비를 적용한 사례를 찾아볼 수 있는데, 네덜란드의 ECT(European Combined Terminal, 1991)와 가장 최근에 개장한 독일의 CTA(Container Terminal Altenwerder, 2002) 2곳에서는 기존의 싱글형 C/C 대신 듀얼형 C/C를 안벽장비를 전면 도입하였으며, 이송과 야드장비에 각각 AGV와 무인야드크레인(Automated Transfer Crane, ATC)을 적용한 하역시스템을 운영중에 있다. 이들은 모두 수직배치형태의 장치장 레이아웃(Layout)을 적용하고 있고 특히, CTA는 AGV의 주행방식 및 ATC의 운영전략에서 Closs lane방식과 DRMGC(Doppel RMGC)형을 도입하여 ECT에 비해 한 단계 높은 하역시스템으로 평가받고 있다. 그러나, 국내의 경우에는 아직까지 이러한 고성능 하역시스템을 갖추고 있는 터미널은 운영되고 있지 않지만, CTA와 같은 자동화 터미널의 개발을 추진한바 있다.

그러나, 이상의 내용에서 가장 주안점이 되는 것은 고성능의 하역장비로 구성된 하역시스템의 효율성 평가이다. 하역시스템 측면에서 앞서 설명한 바와 같이, 개별장비의 고성능화가 하역시스템 전체의 고성능화를 의미하지는 않는다. 이것은 CTA가 자동화 터미널의 개발 추진 이전 단계부터 ECT 운영방식의 취약점과 하역시스템에 대한 다양한 선행평가 작업을 수행하였다는 측면에서 고성능의 하역장비가 투입된 하역시스템의 개발을 위해서는 설계이전 단계부터 하역시스템에 대한 다양한 성능평가가 이루어져야 할 필요가 있는 것이다.

따라서, 본 연구에서는 상위에 언급된 고성능의 하역장비로 구성된 컨테이너 터미널의 하역시스템을 효율적으로 평가할 수 있는 분석 모델을 수립하고 이를 토대로 컨테이너 터미널의 하역성능을 분석하였다. 하역시스템의 평가는 장비

의 자체의 성능외에 장비의 투입대수 및 기술개발수준을 고려하여 고성능 하역 장비 도입에 따른 차세대 하역시스템의 설계 방안을 제시하였다.

1.2 관련 문헌 고찰

컨테이너 터미널의 하역시스템을 평가하는데 있어서는 주로 수리적인 기법과 시뮬레이션 분석기법이 병행되어 연구되어왔다. 특히 장비의 작업순서나 터미널 현재 상황에서 주어진 조건을 만족하는 최적의 작업계획을 수립해야 하는 경우에는 최적해를 구하는 수리적인 모형이, 터미널 하역시스템의 전체상황을 고려하여 하역능력 및 장비 운영전략, 장비 및 시설의 적정규모 등을 산출하는데 있어서는 시뮬레이션 분석방법이 널리 적용되어 왔다. 본 연구는 하역시스템의 구성에 따른 성능을 평가하여 하역시스템 개발 방안을 제시하는 것으로 기존의 수리적 분석에 의한 최적해 도출보다는 하역장비 및 시설 규모에 따른 시뮬레이션 분석이 유용한 방법이라고 할 수 있겠다.

시뮬레이션 방법을 이용한 터미널 하역시스템의 분석에 관한 기존 연구들을 살펴보면, 국내의 경우 컨테이너 터미널과 관련하여 다양한 시뮬레이션 연구가 수행되었다. 조덕운(1985)은 컨테이너 터미널의 운용전략을 평가하기 위해 GASP-IV를 이용한 전산모의실험을 수행하였으며, 임진수·박병인(1991)은 안벽, 장치장, 게이트 능력의 3가지 구성형태로 하역시스템을 구분하고 각각에 대해 시뮬레이션 모델을 통하는 방법을 사용하였다. 장성용·박진우(1997)는 터미널의 운영시스템과 시설배치 및 하역장비의 최적조합을 산출하기 위한 전략적 시뮬레이션 분석을 수행하였다. 김현(1998)은 터미널의 하역시스템을 선박입출항, 이송, 보관, 내륙연계형태의 흐름으로 보고 각 하부흐름의 능력을 평가하기 위해 시뮬레이션 기법을 사용하였다. 또한, 윤원영(1998)은 터미널 운영계획분석을 위한 시뮬레이션 시스템을 제시하였으며, 이경도·김갑환(1998)은 터미널의 블

록에 불규칙하게 도착하는 반출·입트럭을 대상으로 시뮬레이션 방법을 이용하여 야드장비의 운영전략에 대한 평가를 하였다. 장성용과 용운중(1998)은 자동화 컨테이너터미널의 구성과 운영방식을 소개하고 가상의 터미널을 대상으로한 시뮬레이션 모형을 제시하고 자동화 컨테이너터미널 시뮬레이터의 구상안을 제시하였다. 김우선·남기찬(1998)은 일반 컨테이너 터미널의 운영대안을 분석하기 위한 시뮬레이션 시스템을 설계하였으며, 윤원영·최용석(1999)은 하역시스템 장비운영 대안을 분석하기 위한 객체지향 모델을 개발한바 있다. 배종욱(2000)은 수평배치의 장치장 형태의 터미널에서 버퍼 장치장의 장비 규모를 결정하기 위해 반응표면방법론을 적용한 시뮬레이션 연구를 수행하였으며 이외에, 김갑환(2001)의 자동화 컨테이너터미널의 레이아웃 평가방안에 대한 연구, 왕승진(2001)의 자동화 컨테이너터미널의 운용전략에 대한 연구, 장성용(2001)의 자동화 컨테이너터미널의 안벽능력 분석을 위한 시뮬레이션 연구, 김갑환(2002)의 자동화 컨테이너터미널의 장치장 운영 시뮬레이션 연구 등 자동화 컨테이너터미널의 시뮬레이션 모델을 개발하기 위한 연구가 지속적으로 진행되어 왔다. AGV의 운용과 관련하여 수행된 연구로 민경환(2002)는 자동화 컨테이너 터미널을 대상으로 AGV 운영방식에 대해 이동경로 및 적정 운영대수를 산출하기 위한 시뮬레이터를 개발하였다. 이용환(2003)는 그리드 단위의 제어에 기반하여 효율적인 AGV 운영방안을 제시하였으나 이들 두 연구는 모두 Cross Lane 방식의 AGV 운영패턴을 기반으로 하여 연구가 수행되었다. 터미널의 장비와 관련된 장비투입 및 운영에 관련하여 야드트럭의 적정운행대수를 시뮬레이션 분석을 통해 산출한 최용석(2004)연구, 자동화 터미널의 AGV 운영방식에 따른 이송능력을 평가한 하태영(2004) 등이 수행되었다.

그러나, 이들 연구는 주로 안벽과 장치장 등의 시설물의 능력 분석과 터미널 전체의 설계에 주안점을 두고 시뮬레이션 연구가 이루어져 왔으며, 컨테이너터미널의 생산성에 영향을 미치는 안벽과 안벽의 이송장비의 설계 및 성능에 대

한 평가에는는 다소 미흡한 것으로 판단된다.

터미널의 하역시스템 분석에 관한 국외 연구로는 트랜스퍼크레인(Transfer Crane)의 하역성능을 시뮬레이션으로 분석한 Chung(1987)의 연구, 자동화 컨테이너 터미널을 대상으로 AGV의 운행전략을 평가한 Koppers(1993)의 시뮬레이션 연구등이 있었으며, C, Davis(2001)은 현재의 선박대형화에 싱글형 크레인의 한계점 및 취약점을 분석함과 동시에 고성능의 장비개발의 필요성을 제기하였다. Micahael A, Jordan(1997, 2002)은 3가지 유형의 안벽장비에 대한 기계적 성능을 분석하고 선박의 재항시간을 단축하기 위한 다양한 작업방식의 장비개발 방향을 소개하였다. 이와는 달리 컨테이너 터미널을 대상으로 하역시스템의 설계 능력을 평가하는 전문기관에서는 독일 ISL(Institute of Shipping and Logistics)사의 SCUSY, 미국 JWD(Jordan Woodman Dobson)의 GMTS(General Marine Terminal Simulation), ECT의 CTS(Container Terminal Simulation)등이 있는데, 이들 기관에서는 터미널의 전용분석도구를 사용하여 하역시스템의 능력을 전문적으로 산정하여 설계안을 제시하고 있다. 특히, 이들 기관중 JWD에서는 국내의 부산신항만 북측 터미널과 북항의 감천터미널을 시뮬레이션 분석을 통하여 설계한 사례가 있다. 대부분 이들 시뮬레이션 도구들은 대상시스템을 효과적으로 분석하기 위해 특정부문의 성능을 위한 단위모듈들의 집합체로 구성되어 있으며, 분석대상에 따라 모듈을 다양하게 선별적으로 사용하여 적용범위를 넓게 가져가는 것이 일반적이다. 그러나, 앞서 제시한 고성능의 안벽장비나 이송장비등의 하역시스템을 대상으로한 사례분석은 현재 없는 실정이다.

이러한 터미널의 하역시스템을 대상으로한 시뮬레이션 연구들은 대부분 기존의 하역시스템 구성형태의 틀을 크게 벗어나지 않는 연구로써 안벽, 이송, 야드 각각에 대해 부분적인 신규시스템 도입과 이에 따른 효율적인 운영전략 및 도입효과를 분석하는 연구들이라 할 수 있다. 따라서, 안벽, 이송, 야드시스템에 다양한 대안을 적용하여 하역시스템의 성능을 분석한 연구는 다루어지지 않았

다고 할 수 있으며 또한, 이들 연구의 대부분이 기존의 하역장비와 배치형태에 국한되어 연구가 진행되었다고 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 기존 하역시스템의 설계형태를 확장하여 다양한 고성능의 하역장비로 구성된 하역시스템을 설계하고 그 성능을 평가함으로써 차세대 하역시스템의 개발 방안을 수립하도록 한다.

1.3 연구수행방법 및 논문의 구성

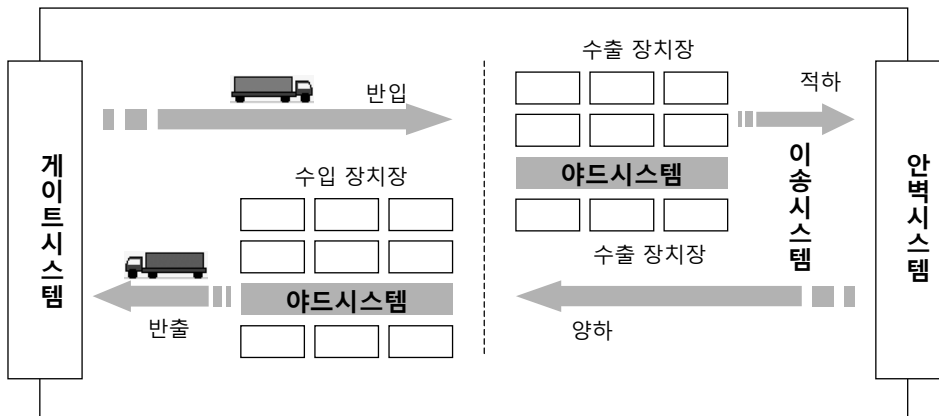
본 논문에서는 터미널 하역시스템의 하위시스템인 안벽, 이송, 야드시스템 각각에 대해 다수의 장비와 설계방법을 이용하여 하역시스템을 구성하고, 하역시스템의 특징이 반영될 수 있는 시뮬레이션 분석모델을 수립한다. 또한, 시뮬레이션 분석을 통하여 하역시스템의 하역성능을 평가하여하고, 그 결과를 토대로 차세대 하역시스템 개발 방안을 수립하도록 한다.

논문의 구성은 총 6장으로 구성되며 각 장의 주요 내용을 언급하면 다음과 같다. 제1장에서는 본 연구의 필요성과 터미널의 하역시스템에 관련한 기존 연구들을 살펴보았다. 제2장에서는 본 연구의 대상이 되는 터미널의 하역시스템에 대한 그 설계형태와 특징을 살펴본다. 제3장에서는 기존 하역시스템의 성능을 향상시킬 수 있는 고성능의 하역장비 및 하역시스템 설계를 제시하고, 제4장에서 터미널의 하역시스템 성능을 분석하기 위한 분석모델수립인 하역장비 상태전이모델을 수립한다. 제5장에서는 시뮬레이션 분석을 위한 입력자료의 구성과 이를 토대로한 하역시스템의 성능결과를 도출하고, 그 결과를 상호 비교 분석하여 고성능의 하역장비로 구성된 차세대 터미널 하역시스템의 개발 방안을 수립하도록 한다. 마지막으로 제6장에서는 본 연구의 내용을 요약 정리하도록 한다.

제 2 장 컨테이너 터미널 하역시스템

컨테이너 터미널에서는 컨테이너 물류처리와 관련한 다양한 하역작업이 복합적으로 일어난다. 터미널의 주요 하역작업으로는 수입 컨테이너 처리와 관련한 양하, 반출작업과 수출 컨테이너 처리와 관련한 반입, 적하작업으로 크게 구분할 수 있다. 이 외에 컨테이너의 일시보관과 관련한 이적작업과 재조작 작업들을 추가로 들 수 있는데, 이러한 컨테이너 하역작업을 처리하는 총체적인 물류시스템을 터미널의 하역시스템이라 부른다.

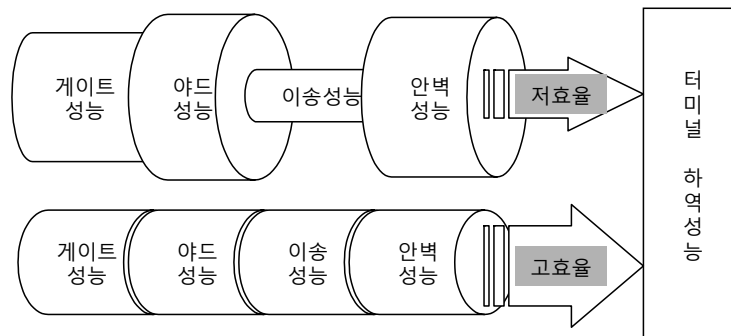
터미널 하역시스템은 터미널의 시설배치 및 작업영역에 따라 크게 4가지 하위시스템으로 구분할 수 있으며, 이들 각각을 안벽시스템, 이송시스템, 야드시스템, 게이트시스템으로 구분하여 지칭한다.



<그림 2-1> 컨테이너 터미널 하역시스템 개념도

각 하위시스템은 해당 영역에서 신속한 하역작업을 위해 고성능의 하역장비와 시설을 구비하고 선박의 하역시간을 단축시키려 하고 있다. 특히, 선박이 대형화되고 이에 따라 재항시간의 단축 필요성 제기되면서 터미널 하역시스템의 성능개선은 매우 중요한 핵심 과제로 인식되고 있다.

각 하위시스템간의 연관관계를 살펴보면, 안벽시스템은 터미널의 하역시스템을 구성하는 하위시스템 중 가장 중요한 처리시스템으로, 터미널의 하역생산성을 결정하는 대표적인 시스템이라 할 수 있다. 안벽시스템에서는 터미널에 입항하는 선박에 대한 수출입 컨테이너 양적하작업이 이루어지는데, 양적하작업에 소요되는 하역시간을 단축시킴으로써 터미널의 선박서비스 수준을 높일 수 있게 된다. 따라서, 선박의 하역시간을 단축시키기 위해서는 하역작업을 수행하는 안벽장비의 성능을 향상시키는 것이 관건이라 하겠다. 이송시스템은 안벽시스템과 야드시스템을 연결시켜주는 보조역할을 담당하는 터미널 하위시스템으로, 안벽에서 양적하 작업이 원활히 이루어지기 위해서는 이를 충분히 지원할 수 보조시스템이 갖추어질 필요가 있기 때문에, 이송시스템 또한 중요하게 다루어져야 할 필요가 있다. 야드시스템은 이송시스템의 양적하 작업지원 뿐만 아니라 장치장내의 컨테이너 이적작업 및 외부트럭의 반출입 작업등을 지원해야 하고, 컨테이너의 일시 보관에 요구되는 장치공간을 충분히 확보해야한다는 측면에서 매우 효율적인 설계 및 운영이 요구되는 시스템이라 할 수 있다.



<그림 2-2> 컨테이너 터미널 하역시스템 성능 개념도

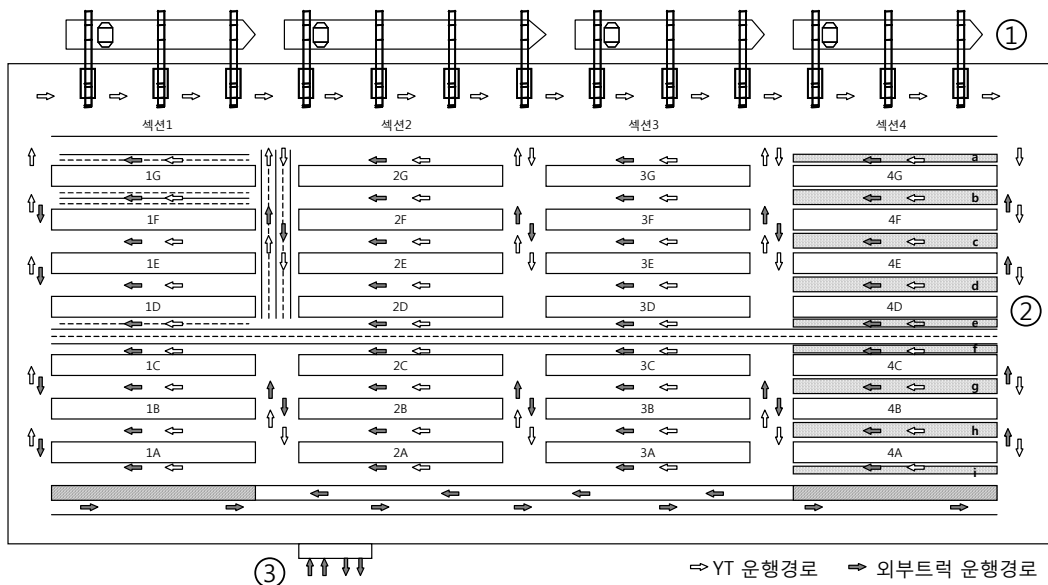
이러한 하위시스템간의 연관관계는 하위시스템간의 성능 불균형이 발생하게 되면 이로 인해 병목현상으로 야기되어 결국 터미널 하역시스템의 생산성이 전반적으로 저하될 수 있다는 것을 의미한다. 따라서, 터미널의 하역생산성을 향

상시키기 위해서는 안벽시스템의 성능 개선 뿐만아니라 이를 지원하는 이송 및 야드시스템의 성능 또한 동시에 확보하는 방안을 구상해야 하며, 상호 시스템 간에 균형있는 설계(개별 성능, 배치설계, 적정규모 등)가 무엇보다도 중요하게 다루어져야 할 필요가 있는 것이다.

다음으로 터미널의 하역시스템을 구성하는 하역시설 및 장비 구성에 대해 알아보고 국내 및 해외 터미널의 하역시스템 설계사례를 살펴보도록 한다.

2.1 터미널 하역시설 및 운영

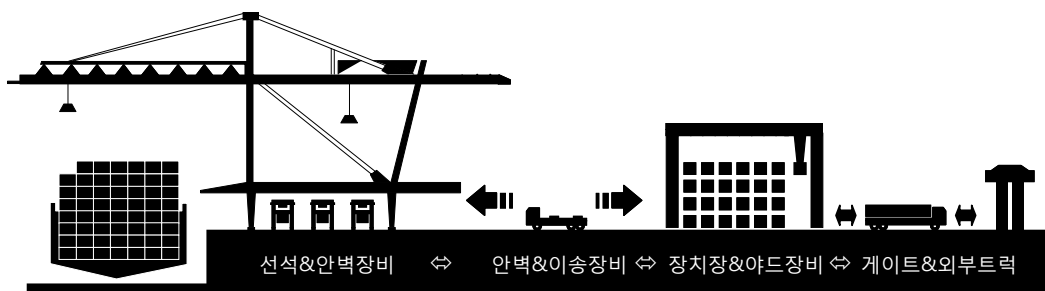
컨테이너 터미널의 시설을 하역시스템 관점에서 살펴보면 선석(Berth), 장치장(Yard), 게이트(Gate)로 구분할 수 있다.



<그림 2-3> 컨테이너 터미널 배치도

선석(①)은 선박이 접안하는 시설로 해측방향의 일자형 접안시설을 말한다. 장치장(②)은 컨테이너의 일시보관 장소인 터미널 내부의 시설에 해당하는 공

간이다. 컨테이너의 보관은 장치장내에 구획(block)으로 구분된 영역으로 장치장 운영에 따라 그 설계형태가 달라진다. 게이트③)는 외부트럭이 반출입을 위해 출입하는 장소로 터미널의 처리물량에 기준하여 그 통행량이 달라지며 보통 1개의 시설물에 여러개의 입구와 출구를 가지는 형태로 설계되며, 전반적으로 터미널의 하역시스템은 <그림 2-4>와 같은 구성형태를 가지고 있다.



<그림 2-4> 컨테이너 터미널 하역시설 및 구성

터미널의 하역시설에 대한 세부적인 내용을 차례로 살펴보면 다음과 같다.

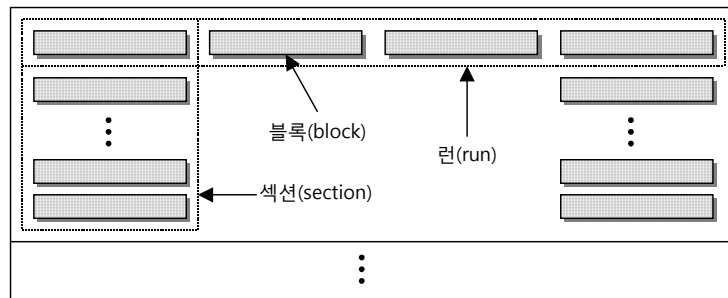
1) 선석

선박의 접안시설인 선석은 1개 선박이 접안할 수 있는 안벽거리로, 보통 터미널 마다 처리물량에 따라 여러 개의 선석을 가지고 있고, 선석단위로 선박을 할당하는 운영방식을 취하고 있다. 선석은 입항하는 도착선박들의 운항스케줄과 해당 선박의 작업물량이 장치된 터미널내 야드의 위치를 고려해 적절하게 배정된다. 선박이 선석에 접안하면 하역작업이 이루어지는데 이때, 선박하역작업을 위해 각 선석에는 일정 대수의 하역장비인 C/C가 배치되어 있다. 선박하역작업시에는 1대 또는 다수의 C/C가 배치되어 하역작업을 수행하며 보통, 2~4대의 C/C가 동시에 하역작업을 하는 것이 일반적이다. C/C의 하역작업시 이송장비인 YT은 C/C와 장치장간을 운행하며 양적하 작업을 지원한다. 통상적으로 한대의 C/C마다 여러 대의 YT가 고정 배치되어 일괄작업을 하는 조별운영방식

을 취하고 있다. 선석에서의 하역작업은 선박 접안시에만 이루어지기 때문에 안벽장비의 양·적하작업 비율은 그다지 높지 않은 실적을 보이고 있다¹⁾.

2) 장치장

장치장은 터미널의 내부공간으로 여러 구획으로 나뉘어져 있다. 통상 장치장의 세로구획과 가로구획으로 구분되는데, 각각 섹션(section), 런(run)으로 통칭한다. <그림 2-3>는 4개 섹션에 8개 런으로 구성된 장치장 배치형태를 가지고 있는 터미널 장치장 레이아웃(layout) 구성형태이다. 섹션과 런간에는 차량의 통행을 위한 주행레인이 설계되어 있고, 각 블록에는 야드장비인 TC(Transfer Crane)가 배치되어 YT와 외부트럭의 컨테이너 하역작업을 지원한다. 장치장에서 하역작업은 YT와 외부트럭 지원외에도 블록내 이적작업 등으로 24시간 운영을 기본 원칙으로 하고 있다.



<그림 2-5> 터미널 장치장 레이아웃 구성

3) 게이트

게이트는 외부트럭의 통행이 이루어지는 시설로, 입구와 출구 2곳으로 운영된다. 입구에서는 외부트럭이 일정한 분포로 도착하며 대기 및 서비스 과정을 거친후 터미널 내부로 진입한다. 진입한 차량은 지정된 블록에서 TC의 반출입

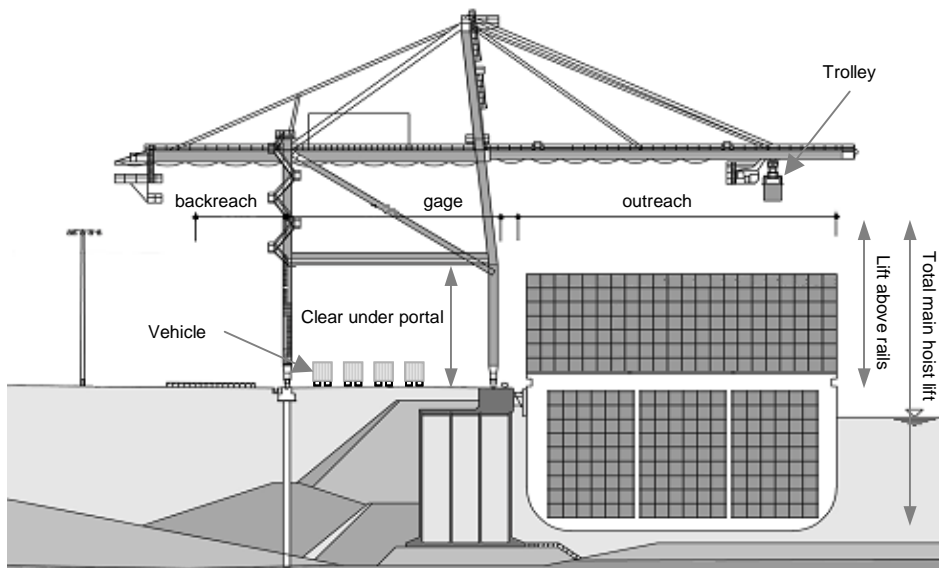
1) 국내 터미널의 경우에 2005년 58.3%, 2004년 60.8%, 2003년 60.7%로 매년 평균 50~60%의 보통 선석점유율을 보이고 있음.

작업 후 출구를 통해 터미널을 빠져나가며 보통, 입구에서의 서비스 소요시간은 컨테이너의 정보 확인 등의 작업으로 터미널마다 출구보다 입구의 운영라인수를 더 많이 가져가고 있는 것이 일반적이다. 게이트 또한 반출입 서비스를 위해 24시간 운영되고 있다.

2.2 터미널 하역장비

1) 안벽하역장비

안벽시스템에서 사용되는 하역장비는 컨테이너 크레인(Container Crane, C/C)이다²⁾. C/C는 선박에 대한 양하작업과 적하작업을 담당하는 터미널 주요하역장비에 해당한다.



<그림 2-6> 컨테이너 크레인(C/C)

2) 안벽장비를 C/C(Container Crane), Q/C(Quay Crane), G/C(Gantry Crane)의 다양한 명칭으로 사용되고 있음. 최초의 컨테이너 크레인은 1958년 Maston에 설치된 것으로 Paceco사에서 개발하였는데, 당시 크레인의 하역능력은 24피트 컨테이너를 시간당 12~15개 처리할 수 있는 능력에 불과한 수준이었음.

하역작업은 다수의 C/C가 할당되어 선박에 적재되어 있는 컨테이너를 안벽에 위치한 차량으로 운반하거나, 차량에 실려온 컨테이너를 선박에 적재하는 일련의 하역작업을 수행한다. 보통, 양하와 적하작업에 대해 시간당 처리개수(lift/hour)를 터미널의 하역생산성 지표로 삼고 있다. 따라서, 하역작업시 C/C의 작업속도는 터미널의 하역생산성을 결정짓는 중요한 요소에 해당한다고 할 수 있다.

C/C의 외형구조는 <표 2-1>와 같이 해측방향의 아웃리치(outreach), 인양높이, 육측방향의 백리치(backreach), 레일게이지(gage)로 크게 구분된다³⁾.

<표 2-1> 컨테이너 크레인의 설계 규모

(단위: m)

구분	16열	18열	20열	22열
Gantry rail gage	30.5	30.5	30.5	30.5
Lift above rails	34	34	36	36+
Total main hoist lift	50	52	54	60+
Clear under portal	12	12~15	15	12~18
Outreach	45~47	50~52	56	60~65

<표 2-2> 컨테이너 크레인의 기계적 성능

구분	호이스트 속도 (ft/min)	호이스트 동력 (마력)	트롤리 속도 (ft/min)	트롤리 동력 (마력)	시간당 처리개수
제1세대	100	250	400	40	12~15
제2세대	130	400	500	100	15~20
제3세대	150	500	550	175	39.3
제4세대	175	650	600	200	35~40
제5세대	245	1000	800	250	40~45

보통 이러한 구조의 C/C는 선박이 대형화 될수록 더 큰 규모의 설계를 요구하게 되므로 이에 따라, 트롤리의 작업거리가 멀어지게 된다. 대부분의 터미널

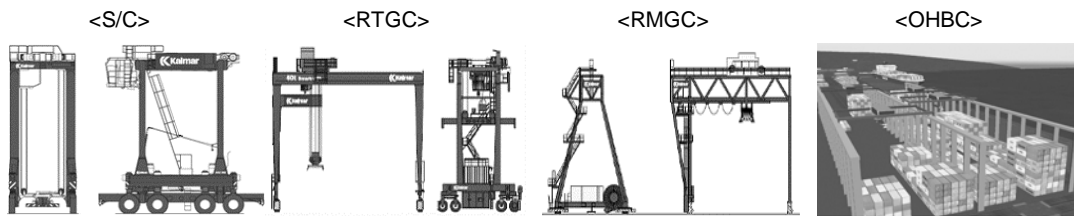
3) Catherine A. Morris, SE & Patrick E. McCarthy, The Impact of Jumbo Cranes on Wharves, Liftech Consultants Inc., 2001.

에서는 <그림 2-6>와 같이 1개의 트롤리를 사용하는 싱글트롤리형(SHST, Single Hoist Single Trolley) C/C를 사용하고 있는데, 이러한 유형의 C/C는 선박의 규모가 대형화됨에 따라 생산성이 감소하게 된다.

현재의 파나마급(Panamax)급 선박의 작업에 대한 크레인의 생산성은 <표 2-2>에서 보는 것과 같이 제5세대 C/C 성능을 기준으로 할때 시간당 40~46개의 수준에 머물고 있다⁴⁾. 이러한 취약점을 보완하기 위해 일부 선진화된 터미널에서는 작업방식이 좀더 개선된 안벽장비에 대한 연구를 수행하고 있다.

2) 야드하역장비

야드시스템의 하역장비로는 크게 S/C(Straddle Carrier), RTGC(Rubber Tyred Gantry Crane), RMGC(Rail Mounted Gantry Crane), OHBC(Over Head Bridge Crane)의 4가지가 주로 사용되고 있으며, 터미널 여건에 맞추어 변모해 왔다.



<그림 2-7> 야드하역장비 유형

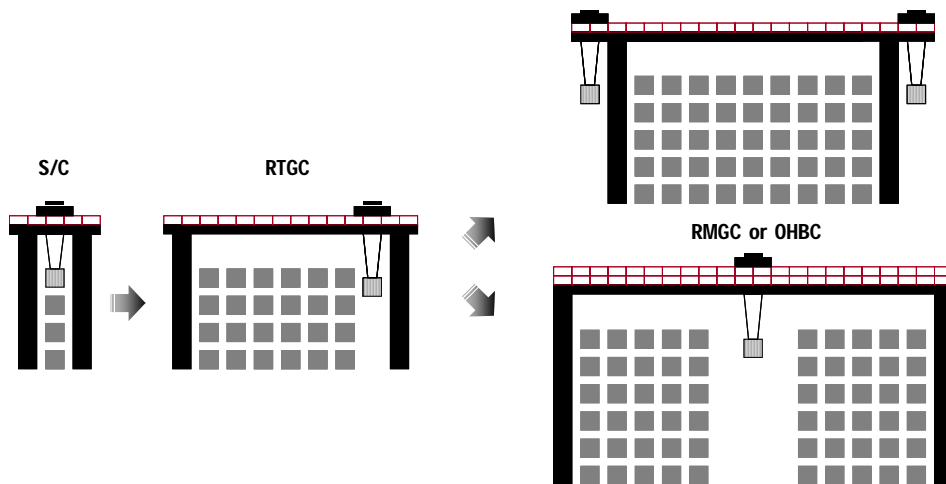
각 장비의 특징을 살펴보면, S/C는 기동성에 있어 매우 우수한 야드하역장비이다. 도입 초기에 여러 터미널에서 사용되었던 장비였으나, 단위면적당 적재용량이 낮다는 단점으로 선호도가 낮아지고 있는 편이다. 또한, 작업을 위해 블록 사이를 주행해야 하므로 주행에 따른 사고의 위험도 높아 점차 그 비율이 감소되고 있는 추세에 있다.

4) 향후 1만TEU급 선박에 대해 고려해 볼 때, 제5세대 C/C의 성능을 적용하면 시간당 39.8개 정도 도입. C. DavisRudolf III, "Container-crane Productivity: Can it Keep up with Container Ship Size Increase?", Port Technology International, 14th Edition, 2001.

이러한 S/C의 단점을 보완하고 장치용량을 높인 야드장비 기술이 RTGC 하역 장비이다. RTGC는 S/C에 비해 기동성은 떨어지지만 동일면적에 많은 양의 컨테이너를 장치할 수 있다는 점에서 현재, 가장 많은 터미널에 도입된 유형이다. 국내 터미널에서도 이 유형의 야드장비를 대부분 사용하고 있으며, 해외에서도 가장 보편화된 것이라 할 수 있다. 다만, 고무바퀴 형식으로 블록을 주행한다는 점에서 S/C와 동일하게 주행의 안전에 취약점이 있다.

<표 2-3> 야드하역장비 적재용량

구분	S/C	RTGC	RMGC	OHBC
열수	1열	6열	9열	10열
단적수	1 over 3	1 over 4-5	1 over 5-6	1 over 6-7



<그림 2-8> 야드하역장비 적용 추세

RTGC를 좀더 개선한 것이 RMGC 장비이다. RMGC의 경우에는 고정된 레일 위를 주행하는 안정된 시스템으로 최근 도입이 늘고 있는 추세이다. RTGC에 비해 장치량을 높일 수 있고 하역성능에 있어서도 우수한 편으로 특히, 야드 자동화에도 유리하여 신규터미널 건설에 많이 도입되고 있다. RMGC와 유사한 형태의 야드장비로 OHBC가 있는데, 이 장비는 장치장의 바닥에 레일 구조가

아닌 고정된 구조물 세우고 상단을 주행하는 브릿지를 설치하여 하역작업을 하는 형태이다. RMGC에 비해 주행능력이 우수한 편이지만 설치비용이 많이 든다는 단점을 가지고 있다.

이상의 야드하역장비는 터미널의 하역여건에 따라 선호하는 유형이 상호 다르며 2가지 이상의 유형을 혼합하여 사용하는 경우도 있다. 그러나, 대체로 장치량을 높이고 하역성능이 우수한 장비의 도입이 가속화 되고 있는 추세이다.

3) 이송하역장비

이송시스템에 사용되고 있는 장비는 거의 대부분의 터미널에서 야드트럭(Yard Truck, YT)이 보편적으로 사용되고 있다. 기동성에 있어 매우 유리하며 운영에 있어서도 융통성이 많은 하역장비라 할 수 있다. 최근에 와서는 자동화 터미널을 위주로 무인이송장비(Automated Guided Vehicle)가 개발되고 있으나, 적용빈도는 매우 낮은 편이라 할 수 있다.



<그림 2-9> 야드트럭(YT), 무인이송장비(AGV) 및 멀티트레일러(MTS)

최근 들어 YT/AGV와 같은 단순 이송장비와는 달리 자체하역기능을 갖춘 셔틀캐리어(Shuttle Carrier)가 개발되고 있는데 이 장비는 기존의 YT가 수행하지 못한 컨테이너 하역기능을 갖추고 있기 때문에 이송능력에 있어 매우 우수할 것으로 기대되나, 현재까지 그 도입사례 많지 않은 상황이다.

이 외 이송장비로 다량의 컨테이너를 일시에 운반할 수 있는 멀티트레일러 시스템(Multi-trailer system)이 있으나 이 장비는 특정 터미널 여건에 맞추어 운

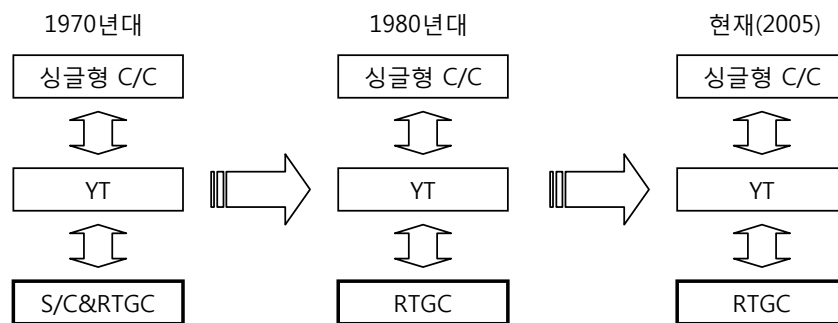
영되는 장비로 보편적인 이송시스템으로 보기에 는 무리가 따 른다.

2.3 하역시스템 설계 현황

컨테이너 터미널의 하역시스템은 터미널의 여건에 맞추어 다양한 설계형태가 도입되어 있는 상황이다. 또한, 그 성능 높이기 위해 기존의 장비를 개선된 장비유형으로 교체하거나 신규건설에 새로운 하역시스템을 도입하고 있다. 국내 및 해외 주요터미널을 대상으로 하역장비구성과 야드설계안 위주로 하역시스템을 살펴보면 다음과 같다.

1) 국내 터미널

국내 컨테이너 전용 터미널의 안벽시설은 모두 일자형 구조로 설계되어 있으며 하역시스템은 대부분 C/C⇔YT⇔RTGC 체제로 구성되어 있다. 한때, 야드시스템 운영체제를 S/C와 RTGC 겸용으로 운영한 적도 있었으나, 추후 터미널 장치장 부족해결과 S/C의 낮은 하역성능으로 인해 전면 RTGC시스템으로 교체한 바 있다⁵⁾.



<그림 2-10> 국내 터미널 하역시스템 변화

5) 1978년에 개장한 부산항 자성대 터미널(현재 허치슨부산터미널)의 경우 개장 초기에 S/C와 TC를 겸용으로 운영하다 장치공간 확충을 이유로 이후 모두 TC시스템으로 전환하였음.

국내의 경우 최초 개장한 하역시스템 구성은 현재에 이르기까지 그 형태가 거의 변경없이 진행되어져 왔다고 할 수 있는데, 최근에 와서는 이러한 시스템 구성을 C/C⇔YT⇔RMGC의 형태로 개선이 이루어지고 있다. 그러나, 이 형태의 시스템은 아직까지 국내에서는 일반화 되지 못한 시스템이다.

〈표 2-4〉 국내 터미널 하역시스템 설계 현황

구분		안벽장비	이송장비	야드장비	야드배치
주력장비유형		싱글형 C/C	YT	RTGC&RMGC	수평배치형
개선 사례	H/W	없음	AGV 개발 및 적용안됨	ATC 개발 및 일부적용	없음
	S/W	운영대수 증대	운영대수 증대	운영대수 증대	수직배치형 설계안 연구

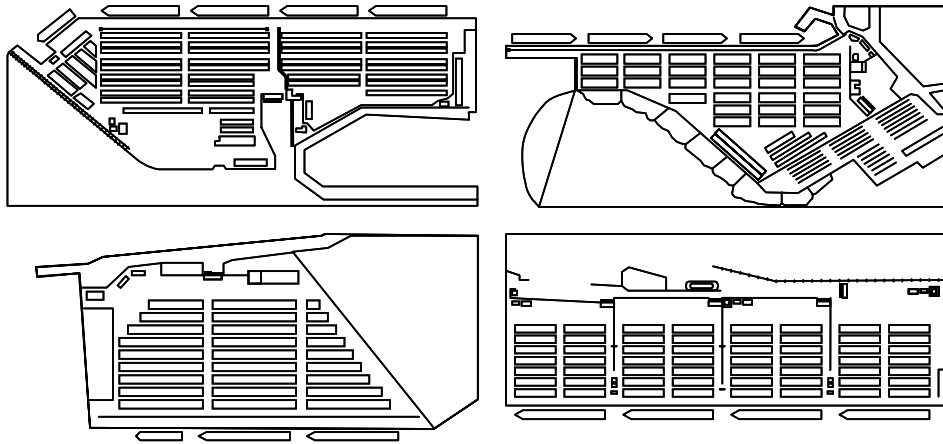
하역장비의 유형을 보면 안벽장비에 사용되는 싱글트롤리형 C/C는 1970년대 최초 도입시부터 현재까지 그 유형에 전혀 변화가 없었으며, 이송장비에 있어서도 YT가 현재까지 사용되고 있다. 야드장비 역시 RTGC 1가지 유형이 대부분 주력장비로 사용되고 있는 실정이다. 한때, 자동화 터미널의 개발 일환으로 무인으로 운영이 가능한 이송장비인 AGV(Automated Guided Vehicle)와 ATC (Automated Transfer Crane)가 개발되기도 하였으나 크게 적용되지는 못하였다⁶⁾. 결론적으로 보면, 하역장비면에서는 국내의 경우 그 개선 사례가 매우 미약하다고 할 수 있으며, 그 간 국내 터미널의 하역시스템 성능 향상은 운영적 인 측면에 상당부분 국한되어 왔음을 알 수 있다.

야드배치면에서 보면, 모든 터미널이 수평배치형 블록설계로 장치장이 운영되고 있다. 장치장의 블록구성은 블록길이 20베이 수준의 소규모 형태가 많으며, RTGC 야드장비 사용으로 6열 4단의 블록구조가 일반화되어 있다. 따라서, 장치공간 효율성이 낮아 물량증가에 따른 부족현상을 나타내고 있는 편이다⁷⁾.

6) 광양항 3-2단계 자동화 터미널의 개발의 일환으로 2003년 무인이송장비(AGV)와 무인야드장비(ATC)를 개발하였으나 ATC만 신선대 터미널(2006년 1개 선석, 5대)에 도입되었을 뿐 그 사례는 매우 미약한 실정임.

<표 2-5> 국내 주요 터미널별 하역장비유형

구분	안벽장비	이송장비	야드장비	야드배치	
				방향	규모
자성대	싱글형 C/C	YT	RTGC	수평배치	4단 6열
신선대	싱글형 C/C	YT	RTGC	수평배치	4단 6열
감만	싱글형 C/C	YT	RTGC	수평배치	4단 6열
신감만	싱글형 C/C	YT	RTGC	수평배치	4단 6열
우암	싱글형 C/C	YT	RTGC	수평배치	4단 6열
감천	싱글형 C/C	YT	RTGC	수평배치	4단 6열
부산신항	싱글형 C/C	YT	RMGC	수평배치	5단 9열



<그림 2-11> 국내 터미널 야드배치 설계 형태

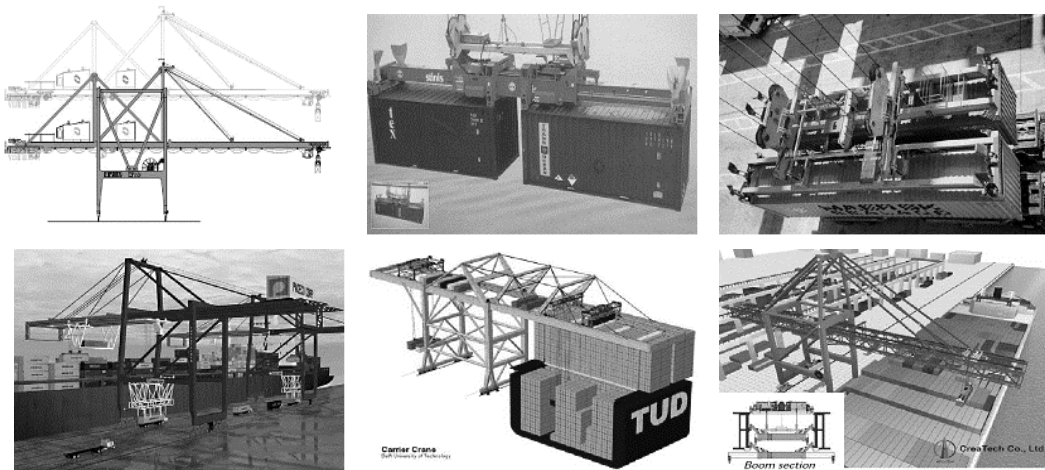
2) 해외 터미널

해외 터미널의 사례를 보면 국내 하역시스템에 적용되지 않은 하역장비와 야드설계형태를 가진 다양한 터미널이 운영중에 있다.

안벽장비에서는 국내에 도입되지 않은 듀얼트롤리형 C/C가 일부 사용되고 있으며, 이 장비는 2개의 트롤리를 사용하여 하역작업속도를 개선한 형태이다. 이외에도 안벽장비의 하역성능을 향상시키기 위한 다양한 개념의 유형들이 연구.

7) 항만 전문 설계 업체인 미국의 JWD(Jordan Woodman Dobson)에서 설계한 부산 감천터미널의 경우에는 40베이의 큰 블록으로 설계 되어있음.

개발되고 있다. 이송장비에는 AGV외에 적재량을 높인 2단 적재차량(Double Stack Vehicle)과 기존 S/C에 기동성을 더욱 향상시킨 이송장비로 셔틀캐리어 (Shuttle Carrier, SHC)가 사용되고 있다.



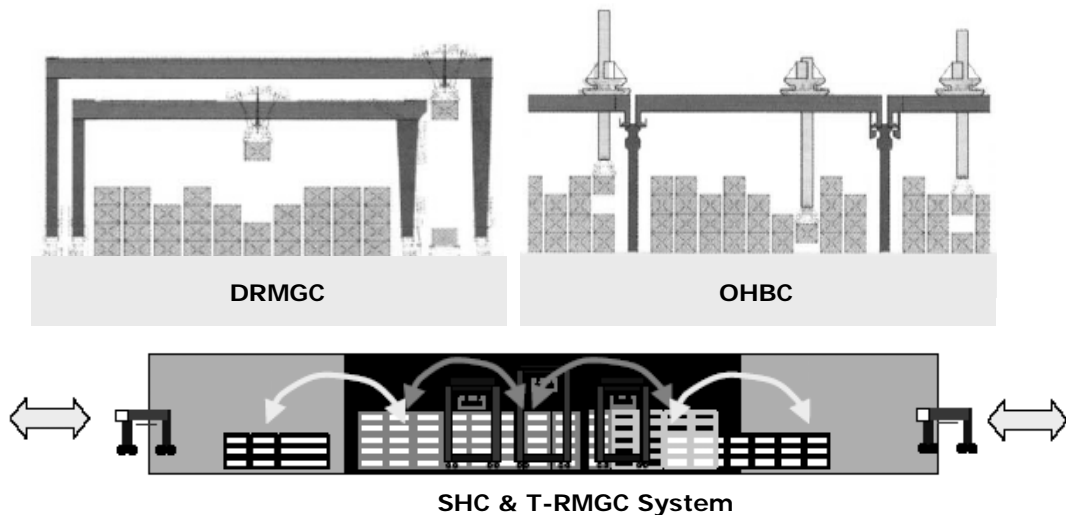
<그림 2-12> 고성능 안벽장비기술

일부, 터미널에서는 대량의 컨테이너를 일시에 운송할 수 있는 멀티트레일러 시스템을 도입한 사례도 있다. 이외에, SHC의 하역기능을 더욱 개선한 자가하역차량(Automated Lifting Vehicle, ALV)의 개념도 연구되고 있어 향후 이송장비의 하역능력은 더욱 높아질 것으로 예상된다.



<그림 2-13> 고성능 이송장비기술

야드장비에서도 RMGC를 적용한 터미널이 상당수이며, 블록별로 운영형태가 다양하다. 2대 이상의 교행가능한 DRMGC(Doppel RMGC), 3대가 동시에 투입되는 T-RMGC(Trippl RMGC) 등의 야드운영을 도입하고 있다. CTA의 경우 1개 블록에 2개의 교행가능한 DRMGC를 적용하고 있으며, 새로 개장될 CTB의 경우는 10열 이상의 수직배치형 블록설계와 각 블록에 3개의 TRMGC(Triple RMGC)을 적용한 야드 운영방안을 구상중에 있다. 야드의 또다른 장비유형에 OHBC(Over Head Bridge Crane)가 있다. 이 장비는 기본적으로 RMGC와 거의 유사한 형태이나, RMGC에 비해 하역작업생산성을 높이고 장치효율을 더 높일 수 있다는 장점을 추가로 가지고 있다.

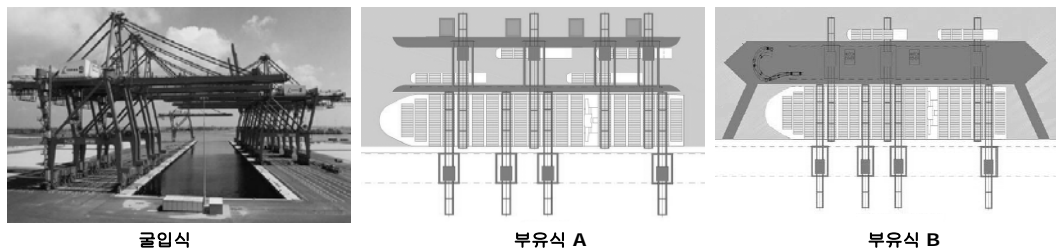


<그림 2-14> 야드하역장비 유형 및 운영개념도

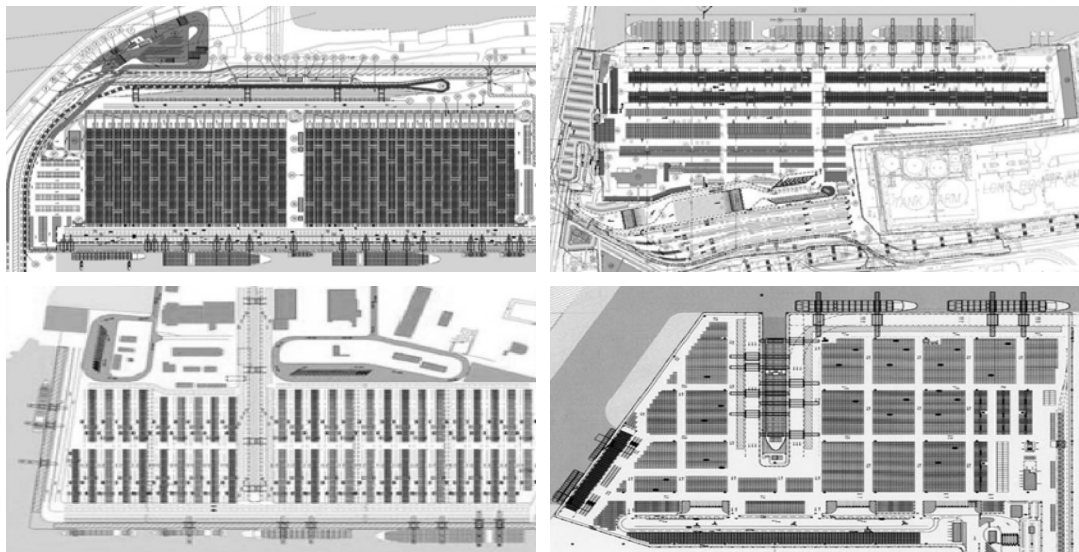
하역시스템의 시설적인 측면에서는 선박의 양적하 작업생산성을 높이기 위해 양현하역이 가능한 안벽시설을 구비한 터미널이 개발되어 있다. 양현하역은 선박의 양측면에서 동시에 여러대의 안벽장비가 작업가능하도록 안벽의 설계형태를 확장한 것이다. 크게 굴입식과 부유식의 2가지 형태의 개념이 구상되었으나 기술적으로 안정성이 높은 굴입식 형태가 개발되어 최근 개장하였다. 굴입식

안벽은 기존의 일자(一)형태를 확장하여 ‘ㄷ’ 자형으로 매립한 형태이다⁸⁾.

부유식의 경우는 현재까지 개발되지는 않았으나, 이 안벽시스템은 선박과 선박간의 직접 컨테이너 이적이 가능한 Ship-to-ship 운영으로 터미널의 생산성을 향상시킬 수 있는 좋은 대안으로 대두되고 있다.



<그림 2-15> 양현하역시스템(굴입식, 부유식)



<그림 2-16> 해외 터미널 야드배치 설계 형태

하역시스템의 야드배치부문에 있어서는 국내에서는 수평배치형이 전부이나

8) 네덜란드의 암스텔담에 위치한 Ceres Paragon 터미널의 경우 굴입식 안벽형태의 선석을 운영하고 있으며, 양적하작업시 최대 9대의 C/C가 동시에 작업가능함. 부유식의 경우는 현재 개념 개발 단계로 적용된 터미널은 없음.

해외 터미널은 안벽을 기준으로 수평 및 수직형태의 야드설계형태를 쉽게 찾아볼 수 있으며, 2가지 형태가 복합된 곳도 있다.

블록의 규모에 있어서도 선석단위 이상의 대규모 설계가 된 경우가 많아 국내의 소규모 블록과는 매우 대조적인 차이를 보이고 있다. 수평배치에 비해 수직배치형태의 야드설계가 가지는 가장 큰 특징은 이송장비의 작업경로를 서로 분리할 수 있다는 점을 들 수 있다. 따라서, 내부 이송장비의 자동화 운영에 매우 유리하기 때문에 이송과 야드를 모두 자동으로 운영하는 일부 자동화 터미널에서는 모두 수직배치형태의 야드설계가 이루어져 있다. 또한, 양현과 ‘ㄱ’ 자형 안벽시설에 수평과 수직이 혼합되는 구조를 채택한 터미널도 일부 찾아볼 수 있다.

3) 국내외 해외 터미널 하역시스템 비교

이상의 국내외 터미널의 하역시스템을 상호 비교해 보면 하역장비에서나 시설면에서 국내 터미널은 매우 단편적으로 시스템이 구성되어 있는 편이다.

〈표 2-6〉 국내외 터미널 하역시스템 비교

터미널	안벽장비	이송장비	야드장비	야드배치
국내	싱글형 C/C	YT	RTGC	수평배치
HIT	싱글형 C/C	YT	RTGC, RMGC	수평·수직배치
CTA	듀얼형 C/C	AGV	DRMGC	수직배치
ECT	싱글형 C/C	AGV	ASC	수직배치
TMP	싱글형 C/C	YT	RMGC	수평배치
PPT	싱글형 C/C	YT, DSV	OHBC, RMGC	수평배치
CTB	듀얼형 C/C	SHC	T-RMGC	수평·수직배치

물론, 해외 터미널도 국내 터미널과 유사한 하역시스템 구성을 가지고는 있는 곳이 대부분이나, 하역시스템의 성능을 개선하여 터미널의 생산성을 향상시킨다는 측면에서 국내 터미널에서도 다양한 하역장비와 시설의 하역시스템 대

안을 모색할 필요가 있다.

다음으로 제3장에서는 국내외 터미널에 적용되고 있거나 연구개발중인 하역 장비 및 시설을 토대로 하역시스템의 성능을 개선할 수 있는 차세대 하역시스템 기술들을 살펴보도록 한다.

제 3 장 차세대 하역시스템 기술

제3장에서는 기존 터미널 하역시스템의 취약성을 보완하고 하역생산성을 더욱 향상시킬 수 있는 차세대 터미널 하역시스템 기술들에 대해 살펴본다. 이들 기술은 기존 시스템에 비해 하역장비측면에서 기능이 매우 강화된 장비기술로 하역작업시 유연성이 높다는 장점을 가지고 있다.

차세대 하역시스템 기술을 안벽, 이송, 야드의 3가지 터미널 하역작업영역으로 구분하여 살펴보면 다음과 같다.

3.1 안벽시스템 기술

차세대 안벽시스템 기술은 크게 3가지 장비유형인 듀얼트롤리(Dual Trolley)형, 더블트롤리(Double Trolley)형, 슈퍼테이너(Supertainer)형의 C/C를 들 수 있다. 이들 장비들은 기존 싱글트롤리형에 적용되는 단순 선형작업방식을 상당부분 개선한 것으로 하역작업의 유연성이 높기 때문에 기존보다 C/C의 생산성 향상을 높일 수 있는 차세대 기술이라 할 수 있다.

기존시스템과 차세대시스템간의 주요 특징을 살펴보면 다음과 같다.

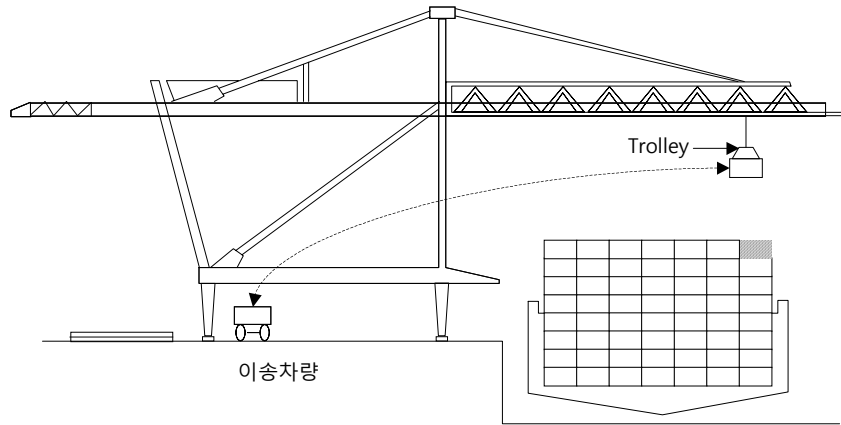
1) 기존시스템

현재, 가장 많이 사용되고 있는 C/C 유형은 국내의 경우 모두 싱글트롤리형이며, 해외 선진 터미널에서도 대부분 이 유형의 장비기술이 적용되고 있다. 싱글트롤리형 C/C는 1개의 트롤리가 선박과 안벽의 이송차량 대기 지점간을 반복적으로 선회하는 방식이며 평균 시간당 50개의 컨테이너를 하역할 수 있다⁹⁾. 그러나, 실제 터미널 운영에서는 작업 유연성이 낮기 때문에 그다지 높지 않은

9) 아웃리치(outreach) 65m인 C/C에 대해 운전경험치를 고려하면 이론적으로 시간당 52개의 생산성을 가짐.

C/C 생산성을 보이고 있다¹⁰⁾.

싱글트롤리형 C/C의 작업방식을 도식화하면 <그림 3-1>과 같다. 선박과 이송차량의 두 작업지점간의 먼 거리를 1개의 트롤리가 단독으로 선회하는 형태이다. 이러한 작업형태는 작업거리가 증가하면 자연스럽게 생산성이 비례적으로 저하되는 구조를 가지로 있다. 따라서, 선박의 대형화에 상당히 취약하다고 볼 수 있다. 이 외에도 육측작업시 이송장비와의 작업싸이클 편차가 심하게 발생할 수 있다. 이러한 작업싸이클 편차로 인해 두 장비간 대기현상이 증가하고 이는 결국 안벽에서의 C/C 생산성을 저하시키게 된다.



<그림 3-1> 싱글트롤리형 C/C 작업형태

2) 차세대시스템

안벽시스템의 C/C 생산성을 향상시키기 위해서는 기존 싱글트롤리형 C/C가 가지는 작업거리 증가로 인한 생산성 저하 문제를 해결해야 한다. 여기에는 장비자체의 기계적인 성능 개선도 포함될 수 있겠으나, 선박이 대형화되면 작업거리 또한 비례적으로 증가하기 때문에 근본적인 해결책이 되지 못한다. 또한, 성능개선에 비해 생산성 달성효과도 상대적으로 낮을 것으로 예상된다. 따라서,

10) 2004년 터미널별 내부자료에 의하면 순작업생산성과 총작업생산성이 국내 터미널의 경우 각각 27.9개/시간, 23.6개/시간으로 집계되었으며, 이는 기계적생산성(45~50개/시간)에 비해 현저하게 낮은 수치라 할 수 있음.

장비의 작업방식을 구조적으로 개선하는 것이 근본적인 해결방안으로 볼 수 있으며, 여기에는 트롤리의 선회작업거리를 2~3단계로 분담하는 장비기술들이 효과적인 방법이 될 수 있다. C/C 작업거리를 분할하여 구조적으로 개선한 장비 유형을 살펴보면 다음과 같다.

- 1) 듀얼트롤리형(Dual Trolley Type)
- 2) 더블트롤리형(Double Trolley Type)
- 3) 슈퍼테이너형(Supertainer Type)

상위의 3가지 개선된 장비유형은 예전부터 그 개념이 소개되었으나 적용된 사례가 매우 적었다. 그러나, 선박의 대형화가 급속히 진행되면서 최근들어 연구개발이 가속화 되고 있다. 듀얼트롤리형 장비기술의 경우에는 현재 일부 터미널에 설치·운영중에 있어 상당부분 검증된 기술이라 할 수 있다¹¹⁾.

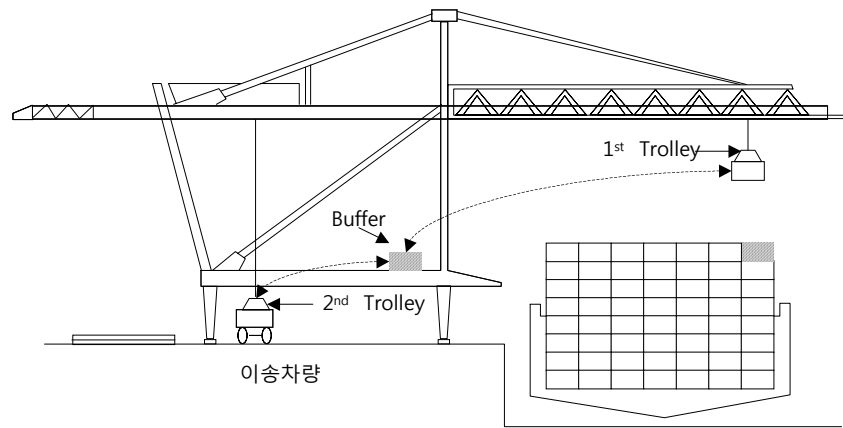
듀얼트롤리형 C/C는 본체 중앙부에 일정크기의 임시 공간(buffer platform)을 두고 해측(1번) 및 육측(2번)의 2개 트롤리가 전체 작업거리를 분담하는 형식이며, 각 트롤리의 작업거리를 단축시킴으로써 생산성을 높일 수 있는 장비기술이라 할 수 있다. 그러나, 각 트롤리의 버퍼하역작업이 추가되며, 버퍼지역에서의 트롤리간 작업간섭이 발생하게 된다. 이러한 이유로 이 유형의 장비기술은 C/C생산성측면에서 기존보다 그다지 높지 않은 것으로 평가되고 있다¹²⁾.

더블트롤리형 C/C는 2개의 트롤리가 상호 독립적으로 하역작업을 하는 수행하는 구조로 싱글트롤리형과 거의 동일한 설계구조를 가진다. 그러나, 이 C/C는 해측과 육측을 오가는 트롤리의 주행로인 붐 섹션(Boom section)을 2층 구조로 설계하여 2개의 트롤리가 상호 순환(Rotate)이 가능하도록 했다는 점이 기존 싱

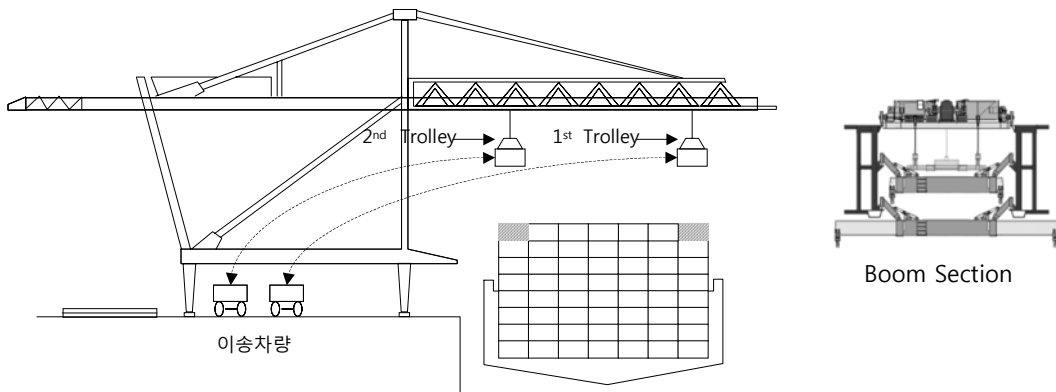
11) 네덜란드(1991) ECT, 독일(2002) CTA 자동화 터미널에 설치·운영중에 있으며 ETC의 경우 레일스팬사이에, CTA의 경우 백리치쪽에 이송차량의 주행레인이 설계되어 있음.

12) Noell사(독일), ZPMC(중국)에서 개발된 이 C/C는 이론적으로 시간당 60개 수준의 기계적생산성을 가지며 기존 싱글형 C/C(50개/시간)에 비해 10%정도 우수한 것으로 판단됨.

글트롤리형과 차이점이다¹³⁾. 이론적으로 계산하면, 이 유형은 싱글트롤리형의 2배인 시간당 90회 이상의 반복선회를 할 수 있기 때문에 기존보다 높은 C/C 생산성이 기대된다. 그러나, 터미널 하역시스템의 도입효과에 대해서는 사전 검증이 필요한 장비기술이라 할 수 있다¹⁴⁾.



<그림 3-2> 듀얼트롤리형 C/C 작업형태

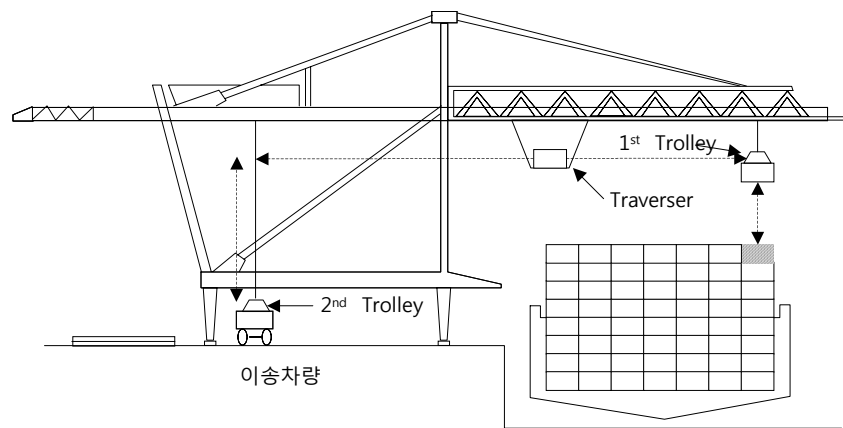


<그림 3-3> 더블트롤리형 C/C 작업형태

13) 이 C/C는 (주)크리아텍(CreaTech)에서 테크노테이너(Technotainer)라는 이름으로 그 개념이 소개되었으나 실제 제작·운영은 되지 않았으며 기술적 검토 단계만 이루어진 상태임.

14) 해측(선박)과 육측(이송차량)지점에서 2개의 트롤리간 간섭비율을 분석할 필요가 있으며, 이송차량과의 연동작업도 고려해야 하기 때문임

슈퍼테이너형은 2개의 트롤리와 1개의 트래버서(Traverser)가 장착되어 작업을 분담하는 형식이다. 2개 트롤리는 해측의 선박과 육측의 이송장비간에 컨테이너의 수직 운반을 전담하고, 트래버서가 두 지점간 수평운반을 하는 형태이다. 결국, 전체 이동거리가 2개 트롤리와 1개 트래버서에 의해 3단계로 분리되기 때문에 1회 작업소요시간이 대폭 줄어들며 기존 싱글트롤리형보다 생산성이 매우 높다고 할 수 있다. 이 유형 역시 이론적으로 시간당 80~90개의 컨테이너 처리가 가능하지만 검증이 필요한 장비에 해당 한다고 볼 수 있다¹⁵⁾.



<그림 3-4> 슈퍼테이너형 C/C 작업형태

3) 시스템간 성능비교

제시된 3가지 장비기술에 대해 3가지 평가 기준에서 기존 싱글트롤리형과 하역성능면에서 상호 비교해 볼 수 있다.

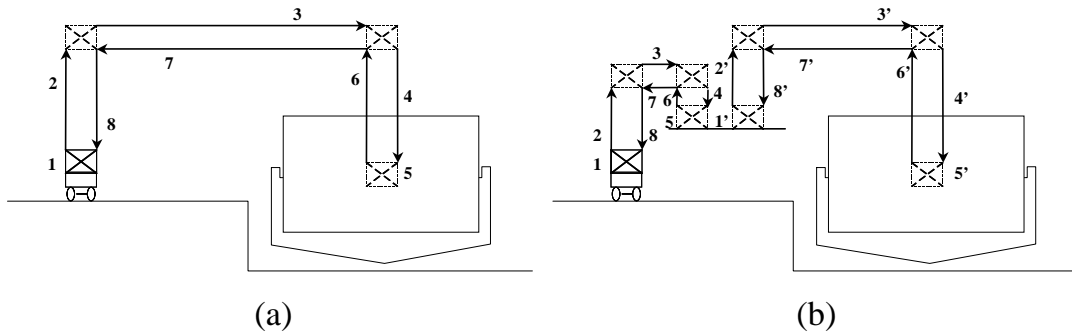
첫 번째는 기계적생산성(Machine Productivity, MP)으로 장비의 하드웨어에 기준한 이론적인 산정값이다. 이 값은 C/C의 트롤리 속도, 이동거리, 이적시간등의 기준치를 가지고 쉽게 산술적으로 측정할 수 있다. MP를 산출하기 위해서는 C/C 설계제원과 트롤리 작업경로가 필요하다. 작업경로(Cycle Path)의 경우

15) 미국의 Paceco사에서 슈퍼테이너(Supertainer)라는 제품으로 처음 소개되었으며, 이 장비 역시 현재 설치·운영중인 터미널은 없고 다만 제작가능한 설계가 이루어진 상태에 있음. 기계적생산성은 시간당 80~90개 수준임.

4가지 C/C 유형이 상이한 작업형태를 가지지만 MP 산출에는 크게 2개의 패턴이 공통적으로 적용된다고 할 수 있다.

<표 3-1> C/C별 하역생산성

구분	산출기준
기계적생산성 (Machine Productivity, MP)	<ul style="list-style-type: none"> 장비의 기계적 제원에 기준한 성능값 호이스트, 트롤리 등의 승강 및 이동속도와 작업거리를 토대로 산출함
순작업생산성 (Net Productivity, NP)	<ul style="list-style-type: none"> 터미널의 하역시스템상(안벽⇔이송⇔야드 연동성)에 기준한 성능값 하역작업시 장비간대기시간, 간섭등을 고려하여 산출함
총작업생산성 (Gross Productivity, GP)	<ul style="list-style-type: none"> 하역시스템 및 작업환경등을 총체적으로 고려한 성능값 장비의 고장, 교대, 식사시간, break bulk 작업등을 고려하여 산출함
생산성 대소 관계	총작업생산성 << 순작업생산성 << 기계적생산성



<그림 3-5> C/C 작업경로

싱글트롤리형, 더블트롤리형, 슈퍼테이너형의 경우는 <그림 3-5>의 (a)와 같은 작업경로를 가지며, 듀얼형의 경우는 (b)와 같은 트롤리 동작구조에서 컨테이너가 하역되게 된다. 싱글과 더블트롤리형 C/C는 1→2→3→4→5→6→7→8→1의 순으로 트롤리가 반복작업을 진행하며, 슈퍼테이너형 C/C는 1번 트롤리(1→2→8→1), 2번 트롤리(4→5→6→4), 트레이서(3→7→3)가 각 과정을 분담하는 작업 경로를 가진다. 듀얼트롤리형은 1번 트롤리(1→2→3→4→5→6→7→8→1), 2번

트롤리(1'→2'→3'→4'→5'→6'→7'→8'→1') 형태로 작업을 분담하면서 컨테이너를 처리한다.

여기서, MP 산출에 기준이 되는 것은 주작업경로(Critical Path)의 소요시간이라 할 수 있다. 싱글과 더블트롤리형은 트롤리의 Cycle Path 자체가 바로 주작업경로가 된다. 따라서, Cycle Path에 소요되는 시간을 산정하면 MP를 쉽게 구할 수 있다. 이 경우 더블트롤리형은 2개의 트롤리가 독립적으로 작용하며, 해측과 육측에서 상호 간섭이 발생하지 않는다고 가정하면 반복선회 횟수는 싱글트롤리형의 2배 된다¹⁶⁾. 듀얼 및 슈퍼테이너형의 경우는 비교적 작업소요시간이 많이 소요되는 작업경로가 주작업경로에 해당된다. 듀얼트롤리형은 1번 트롤리의 Cycle Path가 주작업경로이며, 슈퍼테이너형은 중앙 트래버서의 Cycle Path가 각각 주작업 경로라 할 수 있다.

〈표 3-2〉 C/C 설계제원

구분	부하시	무부하시
수직이동속도	90m/min	180m/min
수평이동속도	180m/min	240m/min
이적소요시간	4sec.	4sec.
수평이동거리	(a): 49.52m (b) 34.9m	
수직이동거리	해측	13.50m
	육측	(a) 17.05m (b) 13.40m

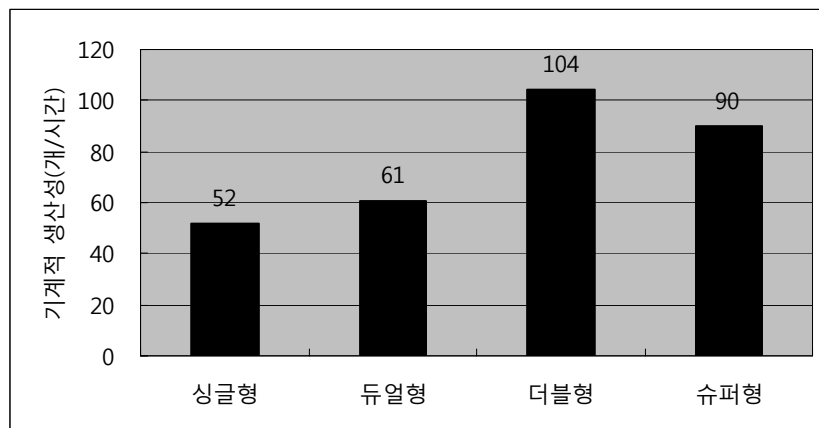
〈표 3-2〉는 C/C의 설계제원으로 하역작업시 트롤리의 이동거리와 속도를 나타낸 것이다. 이를 토대로 각 C/C의 MP를 계산하면, 기존 싱글트롤리형 C/C에 비해 듀얼트롤리형은 1.17배, 더블트롤리형은 2.00배, 슈퍼테이너형은 약 1.73배의 생산성 수치를 가진다고 할 수 있다. 이것은 장비의 설계사양을 기준할 때 차세대 장비기술인 3가지 유형의 장비가 성능면에서 우수하다고 할 수 있다.

16) 더블트롤리형 C/C의 경우 2개의 트롤리가 서로 해측 및 육측에서 상호 대기·간섭없이 등간격으로 작업할 경우를 가정하여 산출값으로, 실제 하역작업시에는 육측에서의 이송장비대기현상이 발생하기 때문에 2개의 트롤리의 등간격 작업이 유효하지 않아 순작업생산성은 낮아질 것으로 예상된다.

그러나, 앞서 언급한 바와 같이 MP는 이론적인 산정값으로 터미널 하역시스템 여건에서의 실질적인 성능을 의미하지는 않는다.

<표 3-3> C/C별 Cycle Path와 Critical Path

구분	작업경로	주작업경로	MP	상대비교
싱글형	1→2→3→4→5→6→7→8→1	1→2→3→4→5→6→7→8→1	≒ 52	1.00
듀얼형	1st: 1'→2'→3'→4'→5'→6'→7'→8'→1' 2nd: 1→2→3→4→5→6→7→8→1	1'→2'→3'→4'→5'→6'→7'→8'→1'	≒ 61	1.17
더블형	1st: 1→2→3→4→5→6→7→8→1 2nd: 1→2→3→4→5→6→7→8→1	1→2→3→4→5→6→7→8→1	≒ 104	2.00
슈퍼형	1st: 1→2→8→1 2st: 3→7→3, 3rd: 4→5→6→4	3→7→3	≒ 90	1.73



<그림 3-6> C/C 유형별 MP 성능 비교

두 번째 C/C의 생산성 기준은 순작업생산성(Net Productivity, NP)으로 터미널 하역작업시 이송장비와의 연동작업에서 일정시간 유효하게 달성할 수 있는 지속적인 기대 성능값이다. 이 값은 C/C 유형간에 실제적인 터미널 하역성능을 비교하는데 적합한 기준이라 할 수 있다. 하지만, 이 값은 장비간 연동작업 형태와 작업시 빈번하게 발생할 수 있는 상호대기시간 등을 충분히 고려해야 한다는 점에서 산술적으로 계산할 수 없다. 따라서, NP를 산출하기 위해서는 장

비간 작업연동관계가 반영된 전용분석모형이 필요하다고 할 수 있다.

마지막으로, 세 번째는 총작업생산성(Gross Productivity, GP)으로 터미널의 총체적인 작업환경여건을 고려하여 산출된 값이다. 비교적 장기간의 걸쳐 달성되는 평균 작업생산성으로, 이 값은 NP에 비해 더 많은 불확정적인 요인들을 고려해야 한다는 점에서 실제, 터미널 운영경험에서만 유효한 값을 얻을 수 있다고 볼 수 있다¹⁷⁾.

다음 <표 3-4>는 기존시스템인 싱글트롤리형 C/C에 대한 국내 터미널의 운영 실적치를 연도별로 정리한 것이다. 표의 내용에서 C/C의 MP값에 비해 NP값이 매우 현격한 차이가 발생하며, NP와 GP와의 관계도 상당부분 비례적인 관계를 가지고 있지 않다.

<표 3-4> 국내 터미널(부산항)의 연도별 C/C 생산성

(단위: VAN, %)

년도	MP ¹⁸⁾	NP	GP	NP ÷ MP	GP ÷ NP
2000	45	27.0	21.5	60.1	79.6
2001	45	28.4	23.4	63.0	82.4
2002	45	28.6	23.4	63.5	82.0
2003	45	27.6	22.5	61.3	81.5
2004	45	27.5	22.7	61.1	82.5
2005	45	28.2	24.6	62.7	87.1

자료: “컨테이너화물 유통추이 및 분석” 각년도

이렇게 C/C 생산성 기준간에 상당한 차이가 발생하는 이유는 터미널마다 작업환경과 하역시스템의 여건이 다르기 때문이라 할 수 있다. 따라서, C/C의 하역성능우위를 객관적으로 비교하기 위해서는 동일한 작업환경과 하역시스템 여

17) 총작업생산성은 순작업생산성에서 고려하지 않은 근무자 교대시간, 장비고장율, break bulk 작업, 식사시간 등의 터미널 환경적인 요소들이 대폭 포함된 시간당 생산성으로 보통, (연간 C/C 실작업시간 ÷ 연간 C/C 작업가능시간)의 통계값으로 산출됨.

18) 현재, 국내 터미널에 설치된 C/C의 MP는 보통 45 ~ 50개 정도이며 이들 C/C의 평균을 45개로 가정하여 상대적인 값을 산출한 것임.

건을 대상으로 할 필요가 있으며 또한, C/C의 성능기준에 있어서도 단순한 기계적 제원에 기준한 MP보다는 지속적인 기대성능인 NP가 적절한 평가척도라고 할 수 있다.

본 연구에서는 제4장의 시뮬레이션 분석을 통해 각 장비기술에 대한 NP값을 산출하고 그 결과값을 토대로 차세대 장비기술간의 하역성능을 비교분석 한다.

3.2 이송시스템 기술

차세대 이송시스템 기술은 기존의 YT/AGV를 대체할 수 있는 장비유형으로 그 내용은 다음과 같다.

- 1) 2단 적재 차량(Double Stack Vehicle, DSV)
- 2) 셔틀캐리어(Shuttle Carrier, SHC)
- 3) 자가하역차량(Automated Lifting Vehicle, ALV)

이들 3가지 이송장비는 기존시스템에 비해 추가된 기능(하역, 용량)을 구비하고 있기 때문에 안벽과 야드간의 이송능력이 기존 YT/AGV보다 높을 것으로 예상된다. 기존시스템과 차세대시스템간의 주요 특징을 살펴보면 다음과 같다.

1) 기존시스템

기존 터미널의 대부분은 안벽과 장치장간의 컨테이너를 운반하는데 주로 야드트럭(Yard Truck, YT)을 사용하고 있으며, 일부 자동화 터미널에서는 AGV(Automated Guided Vehicle)을 주력 이송장비로 적용하고 있다¹⁹⁾. 기존 이송시스템인 YT/AGV는 20피트 컨테이너 2개 또는 40피트 컨테이너 1개의 적재용량

19) 현재 무인이송장인 AGV(Automated Guided Vehicle)는 네덜란드 ECT(1991)와 독일 CTA(2002) 터미널에 운영되고 있음

을 가지며, 자체 하역기능이 없는 단순 운반차량이다. 따라서, 안벽과 야드간의 이송작업에서 수동적인 처리로 인한 낮은 효율을 보이는 편이다. 또한, 안벽 및 장치장 하역장비 작업을 원활히 지원하기 위해서도 일정대수 이상의 차량이 요구되기 때문에 하역작업시 차량의 혼잡 및 각종 비용(인건비, 운영비, 구입비 등)의 부담이 증가한다고 할 수 있다.

기존 이송장비인 YT와 AGV의 주요 특징을 정리하면 <표 3-5>와 같다.

<표 3-5> YT/AGV의 주요 특징

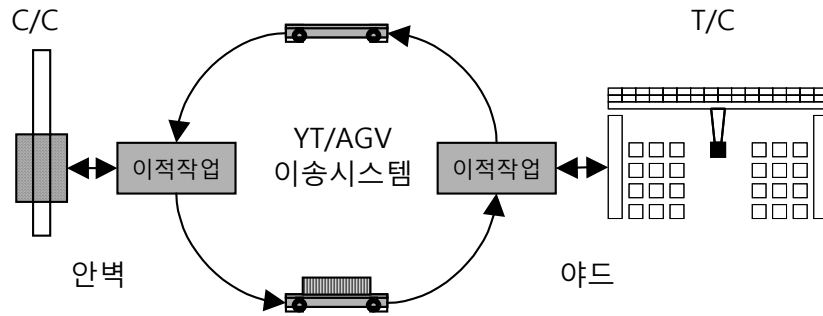
구분	특징
YT	<ul style="list-style-type: none"> 가장 전통적인 형태로 한대의 트랙터에 20, 40, 45피트 컨테이너를 적재할 수 있는 한 개의 새시를 견인하여 이송하는 형태 유인으로 운전되며, 빠른 속도로 목적 베이까지 이동이 가능 인력이 많이 소요되나, 작업유연성과 생산성이 높음
AGV	<ul style="list-style-type: none"> 무인자동 이송장비로 트랜스폰더 또는 GPS에 의해서 위치통제를 받음 무인으로 운전되며, 빠른 속도로 목적 블록까지 이동이 가능하며, 수직배치 터미널에서 사용 양방향으로 주행 가능하여 키오스크에 진출입 용이 자동화된 통제방식으로 잘 계획된 트래픽 및 경로제어 로직이 필수



<그림 3-7> YT 및 AGV 이송장비

이러한 YT/AGV는 자체하역기능이 없기 때문에 안벽장비와 야드장비에 의한 수동적인 이적작업을 받아야 한다. 따라서, 안벽과 야드의 TP(Transfer Point)지점에서 장비간 대기현상이 빈번하게 발생하며 이러한 대기현상은 안벽과 야드

의 하역능력을 저하시키는 원인으로 작용하게 된다.



<그림 3-8> 기존 이송시스템 운영 개념도

2) 차세대시스템

이에 비해 3가지 차세대 기술은 적재용량과 하역기능에서 기존 YT/AGV의 취약점을 보완한 장비기술이라 할 수 있다. DSV의 경우 컨테이너를 2단으로 적재할 수 있기 때문에 기존 주행레인을 동일하게 사용할 수 있고, 동일한 작업을 처리하는데 있어서도 운행대수와 운행횟수도 절감할 수 있기 때문에 작업효율이 높다고 평가할 수 있다²⁰⁾.

<표 3-6> DSV, SHC, ALV의 주요 특징

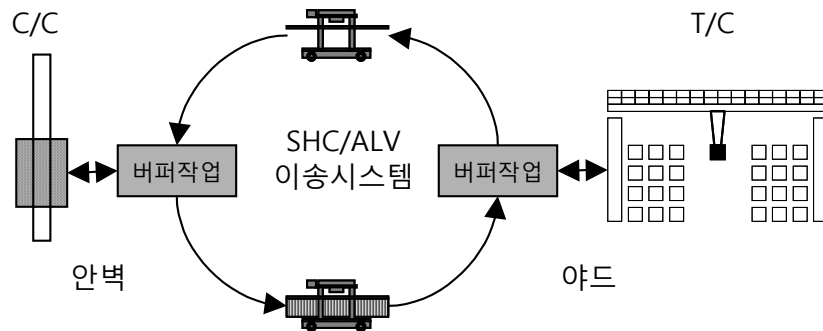
구분	특징
DSV	<ul style="list-style-type: none"> • PSA에서 최초로 개발하였으며 적재능력이 YT의 2배임 • 2개의 40/45ft 컨테이너 또는 4개의 20ft 컨테이너를 적재할 수 있는 세미트 레일러로 구성
SHC	<ul style="list-style-type: none"> • 스스로 컨테이너를 loading/unloading 할 수 있음 • 자동화측면에서 DGPS를 사용하여 자동화가 가능 • 수직배치 및 수평배치 모두에서 사용가능
ALV	<ul style="list-style-type: none"> • SHC의 컨테이너 처리기능 모두 구비 및 추가 기능 탑재 • C/C가 컨테이너를 ALV에 직접 내려놓을 수 있는 기능 추가 • 컨테이너가 loaded 된 상태에서 놓기 기능 추가

20) 대표적인 예로, 싱가포르의 PSA(Port of Singapore Authority) 터미널에서 일부 사용중이며, 주로 본선작업보다는 장치장내 이적작업에 활용하고 있음.

특히, SHC나 ALV의 경우에는 자체하역기능을 보유하고 있어 안벽과 야드에 서 장비간 버퍼작업이 가능하게 된다. 따라서, 장비간 대기현상이 상당부분 해소될 수 있기 때문에 하역성능을 높일 수 있는 이송기술이라 할 수 있다. 또한, ALV는 C/C나 TC(Transfer Crane)에 의해 직접 컨테이너를 내려받아 버퍼에 장치할 수 있기 때문에 SHC에 비해 더 높은 이송능력을 가질 것으로 기대된다²¹⁾. DSV, SHC, ALV 이송장비의 주요특징과 운영방식을 도식화하면 다음과 같다.



<그림 3-9> DSV, SHC, ALV 이송장비



<그림 3-10> SHC/ALV 이송시스템 운영개념도

<그림 3-10>에 나타난 바와 같이 SHC/ALV는 안벽과 야드의 TP지점에서 장

21) SHC는 Kalmar사에서 설계 및 제작된 장비로 기존의 스트래들캐리어(Straddle Carrier)보다 기동성이 뛰어나며 1 over 1의 적재기능을 가지고 있으며, 본 연구에서 제시한 ALV 설계형태는 현재 개념설계가 이루어진 상태임.

비간 이적작업이 아닌 버퍼작업형태로 하역을 할 수 있기 때문에 장비간 대기 현상을 상당부분 해소할 수 있는 장점을 가지고 있다.

3) 시스템간 성능비교

이송장비는 2가지 측면에서 성능비교가 가능하다. 하나는 C/C와 마찬가지로 장비자체의 기계적 성능으로 이에선 주행속도가 기준이 된다. 또 다른 하나는 주행속도외에 장비가 가진 추가기능으로 이에선 적재용량이나 자가하역기능의 구비 여부이다.

<표 3-7> 기존시스템과 차세대시스템의 성능비교

장비종류 장비성능		YT	AGV	DSV	SHC	ALV
		하역 기능	받기	가능	가능	가능
	집기+놓기	불가	불가	불가	가능	가능
	내리기	불가	불가	불가	불가	가능
최대적재용량		2TEU	2TEU	4TEU	2TEU	2TEU
주행 속도	무부하시	-	390 M/Min	-	500 M/Min	500 M/Min
	부하시	-	360 M/Min	-	300 M/Min	500 M/Min

그러나, 기계적 성능인 주행속도에 있어서는 큰 차이가 없는 것이 이송장비의 특징이다. 이는 <표 3-7>에서 보는 바와 같이 이송장비는 주행능력에 있어서는 큰 차이가 없으며, 실제 터미널의 하역작업시 주행능력(최대속도)은 큰 의미를 가지지 못하기 때문이라 할 수 있다²²⁾.

장비간의 성능 차이는 각 이송장비가 가진 적재용량 또는 자체하역기능에 의해 안벽과 야드간의 컨테이너 운반능력에서 발생한다. DSV의 경우는 2배의 적재용량을, SHC/ALV는 자체하역기능을 구비한 점이 기존 YT/AGV에 비해 성능면에서 우수한 기능이라 할 수 있다.

22) YT/DSV는 일반 차량의 주행속도와 동일하며, 터미널에서는 일반적으로 안전을 위해 20km/h로 주행속도를 제한하고 있기 때문에 각 차량간의 주행속도비교는 큰 의미가 없음.

〈표 3-8〉 이송장비 능력에 영향을 미치는 터미널 환경

터미널 환경	이송능력에 영향을 미치는 이유
안벽 및 야드장비 유형	• 안벽/야드 장비간 작업사이클 편차 증·감소
야드배치형태	• 안벽과 야드간 주행거리에 영향
운행대수	• 이송장비 자체의 작업사이클 증가·감소
운행방식	• 작업의 융통성에 영향(조별 또는 Pooling 운행)

따라서, 이송장비의 성능비교는 장비의 기능성에 초점을 두고 터미널 하역시스템상의 여건을 고려한 분석이 요구된다. 이러한 분석은 안벽 및 야드장비 유형이나 야드배치형태, 운행대수, 운행방식 등에 따라 안벽의 생산성이 다르게 나타나기 때문에 이송장비의 능력을 실질적으로 상호 비교에는 전용분석모형이 필요하다²³⁾.

3.3 야드시스템 기술

터미널의 하역시스템은 야드하역장비의 성능 뿐만 아니라 야드 레이아웃(layout)에도 많은 영향을 받는다고 볼 수 있다. 야드 레이아웃은 블록의 크기와 배치방향을 의미하며 이는 야드장비 뿐만아니라 이송장비의 주행거리에도 많은 영향을 미치기 때문에 중요하게 다루어질 부분이다²⁴⁾. 그러나, 야드 레이아웃 설계안 자체로는 그 효율성을 가늠하기엔 다소 무리가 따른다. 그 이유는 하역시스템 구성에 따라 적합한 야드설계안이 달라질 수 있기 때문이다.

본 절에서는 야드하역장비로 기존의 RTGC(Rubber Tyred Gantry Crane)이 비해 기능성에서 뛰어난 RMGC(Rail Mounted Gantry Crane)를 차세대 야드하역시스템 장비기술로 제안하고, 야드 레이아웃에 있어서는 3가지 설계형태를 토대

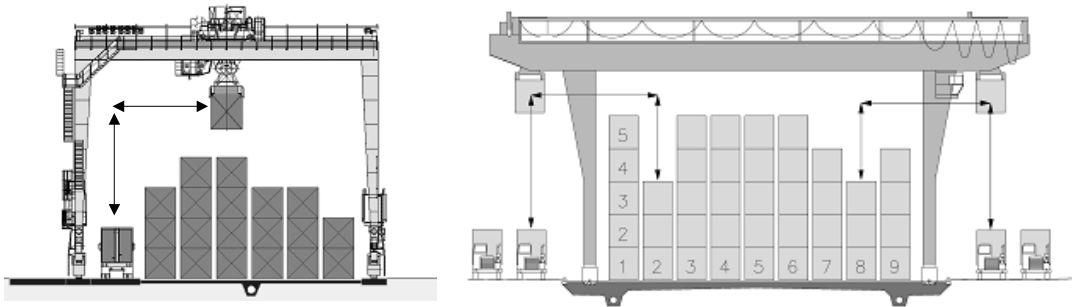
23) 이송장비는 안벽과 야드간의 지원작업에 해당하므로 상위 요소들에 따라 이송능력에 영향을 받게 된다. 특히, 야드배치형태(수평 또는 수직)에 따라 작업시 이동거리가 달라지며, 운행방식(조별 또는 풀링)에 따라서도 적정운행대수 등이 달라지게 됨.

24) 블록크기(열수, 베이수, 단적수)가 증가할수록 밀집도가 높아져 더 많은 장치공간의 확보가 가능하며, 블록의 배치형태에 따라 이송장비의 주행경로가 결정됨.

로 제5장 시뮬레이션 분석에서 그 성능을 비교분석한다.

1) 야드장비

기존 터미널에서는 주로 고무바퀴가 장착된 RTGC 장비를 야드하역장비로 사용하고 있다. RTGC는 블록간 자유주행이 가능하나 비교적 작업속도와 주행능력이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 반면, RMGC는 작업속도와 주행능력에 있어 RTGC보다 우수하여 최근에 터미널에 도입되는 사례가 많아지고 있는 장비 유형이다²⁵⁾.



<그림 3-11> RTGC vs RMGC 작업 형태 비교

RMGC는 광폭의 블록 설계·운영이 가능하기 때문에 동일한 바닥면적에 RTGC보다 장치공간을 많이 확보할 수 있고 주행에 있어서도 더욱 안정적인 장점을 가지고 있다²⁶⁾. 기존 RTGC에 비해 Hoist와 Trolley 속도에서도 높은 성능을 발휘하기 때문에 하역성능을 높일 수 있는 차세대 장비기술이라 할 수 있다. 또한, 자동화 운영에도 유리하기 때문에, RMGC는 전반적인 터미널 야드 운영의 활용성을 높이는 대안으로 평가될 수 있다²⁷⁾.

25) 국내터미널의 경우 신선대(1개 선석)를 제외하고는 모두 야드하역에 RTGC 장비를 사용하고 있으며 작업생산성은 시간당 15개 수준임.

26) RMGC는 고정된 레일상에서 주행이 가능하므로 블록의 폭을 크게 하여도 주행에 무리가 없으나 기존 RTGC는 6열 이상의 폭을 가질 경우 주행시 안전 및 속도에 문제가 있음.

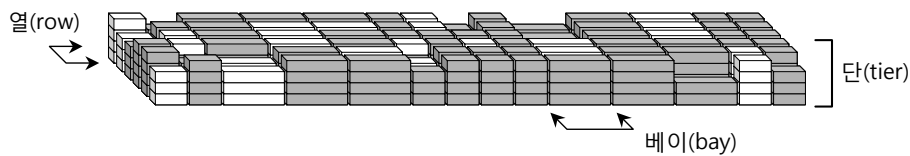
27) 국내 신선대터미널의 경우 RMGC형 야드장비를 1개 선석(5대) 운영 자료에 따르면, 기존 대비 야드 운영 효율성이 전반적으로 50% 향상된 결과를 보이고 있음. 특히, 작업생산성이 중

〈표 3-9〉 RTGC vs RMGC 성능 비교

구분		RTGC	RMGC	성능비교
컨테이너 적재규모		4단 6열	5단 9열 이상	-
인양고도		15.2m	17.7m	-
레일스팬간격		23.5m	28.39m	-
속도	권상	34m/min	90m/min	165% ↑
	횡행	70m/min	150m/min	114% ↑
	주행	90m/min	130m/min	44% ↑
야드하역생산성		15개 미만	25~28개	67~87% ↑

2) 야드 레이아웃

야드 레이아웃을 블록크기와 배치방향을 기준으로 보면, 블록은 열(row), 베이(bay), 단(tier)의 3차원 공간의 구조를 가지며 이들 3가지 기준에 따라 입체적으로 그 크기가 결정된다.



〈그림 3-12〉 터미널 야드 블록구조

그러나, 이중 터미널 하역시스템에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 블록의 길이를 결정하는 베이로, 베이의 수에 따라 야드의 배치형상이 달라지게 된다. 베이의 경우 기존 터미널은 선석의 절반 수준인 150m 설계안²⁸⁾이 보편적으로 적용되었으나, 최근에는 선석단위의 크기로 블록이 설계되고 있는 추세이다²⁹⁾.

터미널의 안벽 양적하 작업이 선석단위로 이루어진다는 측면에서 이러한 선

전 15개 수준에서 25~28개로 매우 향상되었으며, 적재능력, 연료비(전기식), 인건비 절감(중전의 1/4수준) 등에서도 효과가 높은 것으로 나타났음.

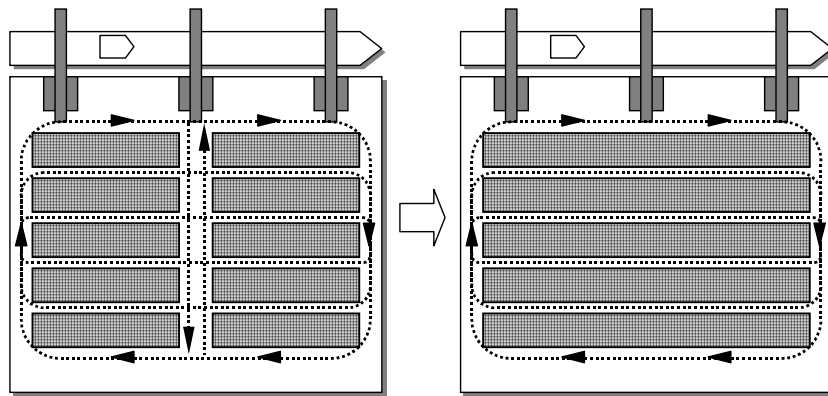
28) 기존 터미널의 경우는 RTGC의 블록의 런(run)간 이동 편의를 위해 선석단위로 2등분된 블록 적용을 하였음.

29) 최근에는 RTGC보다 성능이 뛰어난 RMGC가 야드 주력장비로 사용되고 있는 추세로 RMGC는 런단위의 장비대수를 투입하기 때문에 선석단위로 블록을 설계하고 있음.

선석단위의 블록설계는 동일 장치면적에 더 많은 공간을 확보할 수 있고, 이송장비의 작업에도 큰 지장을 주지 않는 개선된 형태이다.

〈표 3-10〉 야드 설계안 비교

구분	기존안	개선안	개선비율	
선석길이	350m	350m	-	
블록	블록수	2개	1개	
	베이수	22베이	46베이	
	열수	6열	9열	
	유효단적	3.5단	4.6단	
	장치면적	5,959㎡	8,939㎡	50% ↓
	장치용량	924TEU	1,904TEU	106% ↑



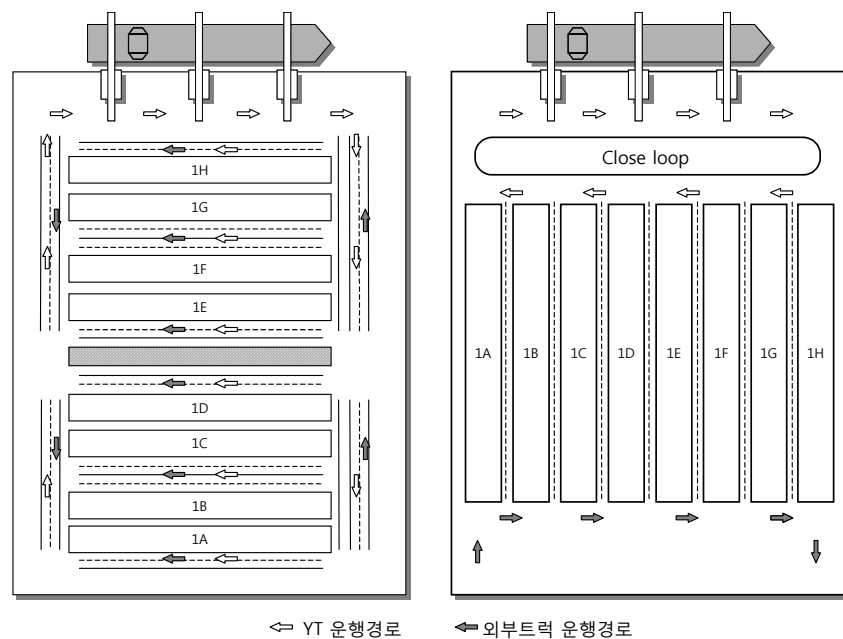
〈그림 3-13〉 야드 설계안(블록크기)

블록의 열수와 단적수는 일반적인 RMGC용 블록설계에 사용되는 9열과 5단의 2가지 설계안을 비교하면, 장치면적은 기존보다 50%더 필요하지만 장치용량에서는 추가로 106%를 더 확보할 수 있어 면적대비 용량확보율이 높기 때문에, 선석단위의 블록설계안이 기존 형태보다 유리하다고 할 수 있다.

다음으로, 선석단위 이상의 블록설계안의 경우도 생각해 볼 수 있으나, 터미널 하역작업이 선석단위로 이루어지는 측면에서 작업여건에 부합하지 않는 점이 많다. 또한, 이송장비(수평배치일 경우)나 야드장비(수직배치일 경우)의 동선

에도 상호 큰 불균형을 주는 요인으로 작용하기 때문에 선석단위의 설계안보다 다소 효율성이 낮다고 할 수 있다. 따라서, 야드설계시 블록의 크기는 선석단위의 설계안이 적합한 것으로 판단된다.

블록의 배치방향에 대해서는 터미널 안벽선을 기준으로 수평배치와 수직배치의 2가지 배치형태를 고려해 볼 수 있다.



〈그림 3-14〉 야드 설계안(배치방향)

기존 터미널의 대부분은 수평배치의 형태로 설계되어 있는 반면, 일부 자동화 터미널의 경우는 수직배치형의 블록설계가 일반화 되어 있다.

수평과 수직배치 형태는 이송장비 뿐만 아니라 야드장비의 동선에도 많은 영향을 미치는 요소이다. 수평배치형의 야드에서는 하역작업시 안벽과 야드간을 운행하는 이송장비와 게이트와 야드간을 운행하는 반출입 외부차량의 동선이 길어지게 된다. 반면, 야드장비는 이송장비와 외부차량보다 상대적으로 짧아지게 되는 것이 수평배치형태의 특징이다. 이와는 달리 수직배치의 경우 수평배

치형태와 반대 현상을 가지며, 이송장비와 외부차량의 동선이 완전 분리되는 특징을 가지고 있다. 야드장비의 작업효율이나 차량의 통행에 있어서도 2가지 배치안은 상호 대비되는 장단점을 가지고 있다. 이러한 블록의 배치형태는 터미널 하역시스템의 전반적인 생산성에 많은 영향을 주는 요인으로 작용하며 상호 장단점을 가지고 있기 때문에 배치안 자체로는 그 우월성을 비교하기가 매우 곤란한 점이 많다.

〈표 3-11〉 수평배치 vs 수직배치 장단점 비교

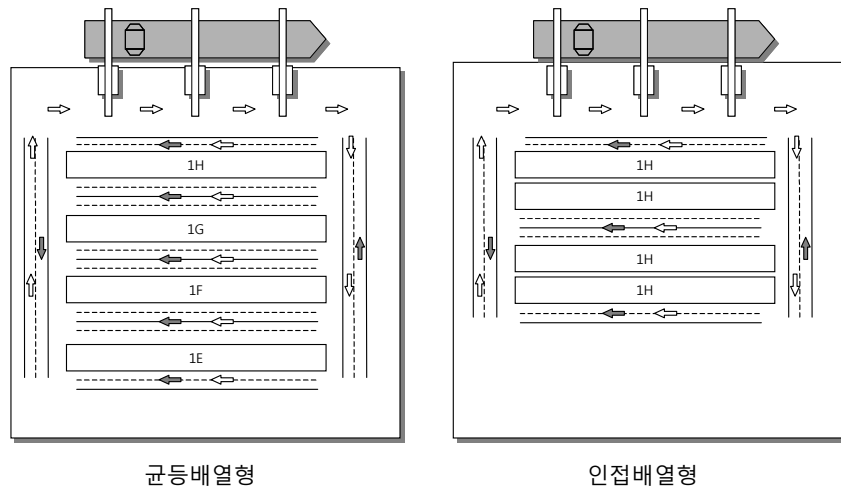
구분		수평배치	수직배치형
동선거리	차량	증가	감소
	야드장비	감소	증가
작업효율	차량	낮음	높음
	야드장비	높음	낮음
차량흐름		분산된 주행레인 설계로 주행속도 증가	집중된 주행레인 설계로 주행속도 저하

배치형태에 있어 또 다른 배열방법으로 수평배치의 경우에 블록을 등간격으로 배치하는 균등형 배치와 상호 인접하게 배치하는 인접형 배치 2가지를 고려해 볼 수 있다. 이 2가지 배치형의 주요 차이점은 차량 주행레인의 개수에 있다. 균등형 배치의 경우 블록의 양측에 각각 2차선을 두는 형태이며 반면, 인접형 배치는 블록의 한쪽 측면은 다른 블록과 이웃하게 배열하고 나머지 측면에만 2차선을 두는 형태의 배열방법이다.

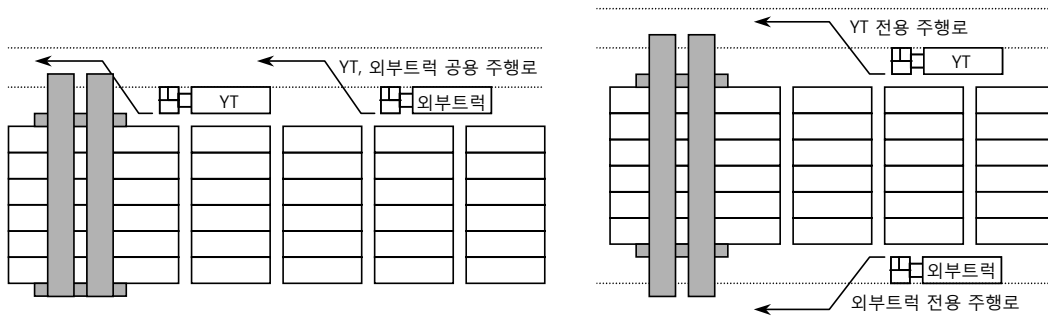
인접형 배치의 경우 블록의 수에 비해 주행공간이 줄어들기 때문에 터미널 장치면적을 절감하는 효과가 있다. 그러나, 상대적으로 주행로를 이송장비와 외부트럭이 공용으로 사용해야 하기 때문에, 두 차량간 작업혼선이 발생하며 원활한 통행에도 지장을 줄 수 있다. 반면에, 블록의 양측면에서 작업 가능한 균등형의 경우 이송장비와 외부트럭의 통행이 분산시킬 수 있으므로 터미널의 차량 흐름을 원활하게 통제하는데 다소 유리하다고 할 수 있다³⁰⁾.

<표 3-12> 블록배열형태의 장단점 비교

구분	균등배열형	인접배열형
차량운행	이송장비와 외부트럭이 공용으로 주행레인을 사용함	전용주행레인 사용으로 이송장비와 외부트럭 통행이 분산됨
야드장비 작업성	양적하 및 반출입 작업을 병행하여야 함으로 생산성이 낮음	일괄적인 양적하 및 반출입 작업이 가능하므로 장비생산성이 높음
소요면적	공용주행로를 사용하므로 소요면적이 절감됨	전용주행로를 별도로 두어야 하므로 소요면적이 많이 필요함



<그림 3-15> 균등배열형 vs 인접배열형



<그림 3-16> 배열형태에 따른 운영비교

30) 캔틸레버(Cantilever)형 설계로 양측과 단측 2가지 형태가 가능하며, 국내 터미널(신선대, 부산신항)의 경우 양측날개형을 도입하여 YT와 외부차량의 운영을 각각 분리하는 방식을 채택하고 있음.

3.4 종합

이상의 내용에서 차세대 하역시스템 기술들을 종합 정리하면 다음과 같다.

〈표 3-13〉 차세대 하역시스템 작업영역별 기술

구분	유형	대안의 장점
안벽시스템	듀얼형 C/C	기존 대비 15% 향상된 MP제원
	더블형 C/C	기존 대비 100% 향상된 MP제원
	슈퍼형 C/C	기존 대비 67% 향상 MP제원
이송시스템	DSV	기존 대비 2배의 적재용량
	SHC	자가하역기능(집기+농기)
	ALV	자가하역기능(받기+집기+농기+내리기)
야드시스템	블록크기	선석단위의 블록규모
	배치방향	수평배치안 vs 수직배치안
	배열형태	균등배열형 vs 인접배열형

안벽시스템 부문에서는 기존 싱글트롤리형 C/C의 대체안으로 듀얼트롤리형, 더블트롤리형, 슈퍼테이너형 C/C의 3가지 장비기술이 제시되었으며, 각각 MP측면에서 작업성능을 비교해 보았다. 작업성능 비교에서 2개의 독립형 트롤리 구조를 가진 더블트롤리형이 성능면에서 가장 우수하였으며 다음으로 슈퍼형, 듀얼형의 순으로 값이 산정되었다.

이송시스템 부문에서는 적재용량이 기존 대비 2배인 DSV와 자가하역기능을 갖춘 SHC, ALV를 기존의 YT와 AGV의 대체안으로 제안하였으며 장비의 기능성과 운영성 측면에서 장단점을 비교해 보았다.

야드시스템 부문에서는 크게 장비유형과 야드 레이아웃의 2가지 영역으로 나누어 대체 기술을 제시하였다. 장비유형에서는 기존 RTGC보다 작업성능과 장치공간 확보에서 유리한 RMGC를, 야드 레이아웃에서는 다양한 설계방법(블록크기, 수평배치 vs 수직배치, 균등배열 vs 인접배열)을 제시하였다.

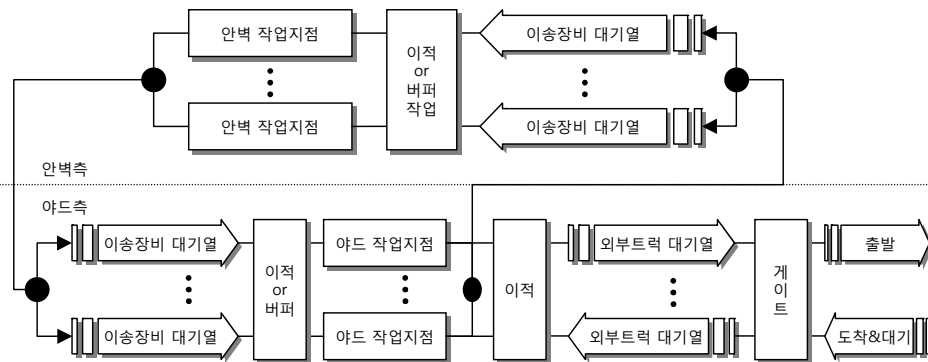
이상의 내용에서 터미널의 하역시스템 성능을 평가하기 위해서는 상위의 안

벽, 이송, 야드시스템 부문이 통합된 하역시스템을 대상으로 실질적인 하역작업의 성능값을 산출하여 비교해야 한다. 따라서, 본 연구에서는 이를 위해 각 부문의 기술을 조합한 하역시스템 시나리오 구성하고 시뮬레이션 평가기법을 통해 차세대 기술을 접목한 하역시스템의 성능을 측정하였다.

제 4 장 성능 분석 모형

본 장에서는 3장에서 제시한 장비기술 기반한 하역시스템의 성능을 분석하기 위해 시뮬레이션 모델을 수립하였다. 모델의 설계대상은 기존시스템의 장비기술을 포함하여 차세대 안벽기술 4개와 이송기술 4개, 여기에 야드설계기술 3개가 포함된다. 분석모델의 설계는 시간흐름에 따라 순차적으로 작업단계가 변화하는 이산형 시스템(discrete system)의 프로세스 방식(process method)으로 모델을 수립한다. 본장의 분석모형은 각 대안의 동작구조 및 기능성의 차이로 인한 생산성 격차를 분석하기 위한 각 장비별 상태전이모형을 수립하는 것이다.

시뮬레이션 모형을 수립하기 위한 안벽⇔이송⇔야드간 하역시스템의 기본 개념도는 <그림 4-1>와 같다.



<그림 4-1> 시뮬레이션 모형 개념도

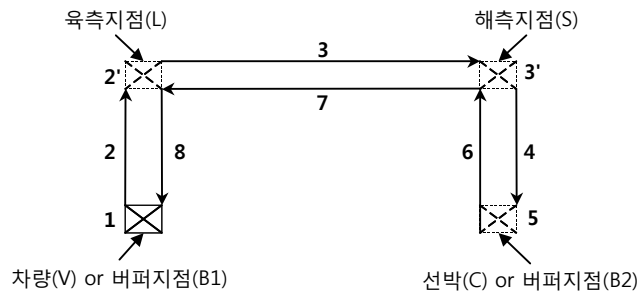
<그림 4-1>에서 안벽과 야드 각각에 하역이 이루어지는 작업지점 있고 이 지점에서 안벽장비와 야드장비가 하역작업을 담당하며 두 작업지점간의 연계작업은 이송장비가 수행한다. 안벽과 야드 작업지점에서는 이송장비의 유형에 따라 이적 또는 버퍼작업이 이루어진다. 외부트럭에 대해서는 이적작업만 수행되는 형태가 된다.

4.1 안벽장비모델

1) 상태 전환 기준

기존 및 차세대 기술로 제시된 4가지 안벽장비의 작업특성을 모델에 반영하기 위해서는 장비의 작업단계 구분시 일관성 있는 기준을 적용할 필요가 있다. 다시말해, 4가지 안벽장비에 공통으로 적용가능한 상태 전환 기준을 결정한 후 이를 토대로 각 장비의 특성을 반영한 작업상태를 정의해야 한다.

선박 하역작업시 4가지 안벽장비는 트롤리나 트래버서의 반복 동작에 의해 컨테이너를 하역하는데 이 반복 동작은 기본적으로 <그림 4-2>의 8가지 동작내에 모두 포함된다고 할 수 있다. 제3장에서 C/C의 MP를 산출하기 위한 작업경로에서 살펴보았듯이 싱글트롤리형의 경우 <그림 4-2>에서 1개 트롤리가 1~8단계의 동작을 모두 수행하는 형태이며, 슈퍼테이너형 C/C의 경우 2개 트롤리와 트래버서가 분담하는 형식을 취한다.



<그림 4-2> 트롤리의 동작 구조

이때, 상태전환은 크게 동작전환과 대기&하역전환 2가지로 나누어 볼 수 있다. 동작전환은 총 4가지로 육측지점(L), 해측지점(S), 차량지점(T), 선박/버퍼지점(B)이며, 이 지점은 트롤리나 트래버서의 이동방향이 바뀌는 기준점에 해당한다. 따라서, 동작전환 전후로 작업상태가 변경되어질 필요가 있다.

다음으로 4가지 동작전환 내부에서는 장비유형별로 대기과 하역을 위한 전환이 추가로 필요한데 그 내용을 세부적으로 살펴보면 다음과 같다.

우선, 차량지점(V)에서는 트롤리가 이송장비를 대기한 후 컨테이너를 하역하는 경우가 있을 수 있다. 따라서, 대기과 하역을 구분해줄 기준이 필요하며 이는 4가지 장비유형에 모두 적용되는 사항이다. 버퍼지점(B1, B2)의 경우 싱글/더블/슈퍼테이더형 C/C는 동작구조상 대기현상이 없으나 듀얼트롤리형의 경우에는 버퍼에서 2개의 트롤리간에 작업간섭이나 대기현상이 발생할 수 있다. 따라서, 이를 구분해줄 기준을 추가로 정의해야 한다.

<표 4-1> C/C별 작업상태수

작업구분	싱글형	듀얼형	더블형	슈퍼형	비고
s1	○	○	○	○	차량 or 버퍼작업
s2	○	○	○	○	V⇒L
s2'	-	-	-	○	육측지점(L)에서 이적작업
s2''	-	-	-	○	이적작업을 위한 육측지점(L) 대기
s3	○	○	○	○	L⇒S
s3'	-	-	-	○	해측지점(S)에서 이적작업
s3''	-	-	-	○	이적작업을 위한 해측지점(S) 대기
s4	○	○	○	○	S⇒C, B
s5	○	○	○	○	선박 or 버퍼작업
s6	○	○	○	○	C, B⇒S
s7	○	○	○	○	S⇒L
s8	○	○	○	○	L⇒V
sV'	○	○	○	○	차량대기
sV''	-	-	○	-	차량작업을 위한 육측지점(L) 대기
sS'	-	-	○	-	선박작업을 위한 해측지점(S) 대기
sB'		○	-	-	버퍼작업을 위한 육측·해측지점(S) 대기
합계	9개	10개	11개	13개	

마찬가지로, 슈퍼테이더형의 경우에도 육측지점(L)과 해측지점(S)에서 각각 트레버서와 트롤리간의 대기 및 하역이 발생하기 때문에 이를 구분해야 하며, 더

블트롤리형은 2개의 트롤리가 차량 또는 선박의 하역작업에 대해 간섭현상이 발생할 수 있고 이 경우 육측지점(L)과 해측지점(S)에서 대기해야 하므로 상태 전환이 필요하다.

상태 전환 기준에 의거하여 4가지 장비유형에 대한 작업상태 유형수를 산정하면 <표 4-1>과 같이 된다. <표 4-1>에서 각 장비유형에 대해 싱글트롤리형 9개, 듀얼트롤리형 10개, 더블트롤리형 11개, 슈퍼테이너형 13개의 작업상태가 정의되며 이때, 트롤리와 트래버서가 가지는 상태는 장비유형별로는 상이하다. 예를 들어, 듀얼트롤리형의 경우 2번 트롤리는 정의된 모든 상태를 가지지만 1번 트롤리에는 차량대기를 위한 sv'상태가 포함되지 않는다. 슈퍼테이너형의 경우에도 트래버서가 육측지점(L)과 해측지점(S)간의 작업상태인 s2', s2'', s3, s3', s3'', s7 만을 가지게 된다.

이상의 상태 전환 기준과 각 유형별 작업상태수를 토대로 4가지 장비유형에 대한 하역작업상태와 상태전이도로 구성된 시뮬레이션 모델을 수립한다.

2) 안벽장비 상태정의

(1) 싱글트롤리형 C/C 상태정의

싱글트롤리형 C/C는 1개의 트롤리의 동작이 설계대상이다. 총 9개의 작업상태로 정의되며, 여기에 유희상태(ST)를 추가하여 총 10개의 상태값을 가진다.

총 10개의 상태 중 ST는 작업이 할당되지 않은 유희상태로 작업이 할당되면 MS상태로 전환되고 작업이 종료되면 육측지점(L)에 위치해 ST상태가 되는 구조로 설계된다. 나머지 9개 상태(MS, SD, WS, SU, ML, QL, WL)는 하역작업시에 단계별로 전이되는 작업상태에 해당한다.

하역작업시의 상태들 대부분은 사전에 결정된 시간이 경과하면 자동적으로 다음 단계로 전이하는 형태를 가진다. 그러나, QL상태는 이송장비와의 작업연

계 여부에 따라 전이과정이 생략될 수 있으며 따라서, 전이도에서 LD→QL→WL와 LD→WL이 배타적으로 진행된다. 특히, LD→QL→WL 과정으로 전이되는 경우에는 전이과정에 소요시간도 매번 달라질 수 있기 때문에 실험을 통해서만 분석이 가능하다고 할 수 있다.

<표 4-2> 싱글트롤리형 C/C 상태정의

ID	상태값	작업내용
1	ST	작업이 없어 유힤중인 상태
2	MS	해측지점(S)으로 이동중인 상태
3	SD	선박지점(C)으로 하강중인 상태
4	WS	선박지점(C)에서 컨테이너를 Load/Unload 하는 상태
5	SU	해측지점(S)으로 상승중인 상태
6	ML	육측지점(L)으로 이동중인 상태
7	LD	차량지점(V)으로 하강중인 상태
8	QV	차량지점(V)에서 차량을 대기하는 상태
9	WL	육측지점(V)에서 컨테이너를 Load/Unload 하는 상태
10	LU	육측지점(V)으로 상승중인 상태

상태 전이도	
-----------	--

- $Set_M = \{MS, SD, WS, SU, ML, LD, WL\}$: MP를 구성하는 상태들
- $Set_w = \{MS, SD, WS, SU, ML, LD, QL, WL\}$: NP를 구성하는 상태들

ST와 QL을 제외한 Set_M 의 상태들은 장비의 MP를 구성하는 상태로 각각에 소요되는 시간은 장비의 기계적 성능과 선박 및 육측의 작업지점을 기준으로 산정된다. 또한, 시뮬레이션 수행시 입력값으로 처리되기 때문에 장비의 부분별 동작성능에 따른 생산성 민감도 분석에 이용할 수 있다. Set_w 의 상태들도 시물

레이션 시간동안 지속적인 누적값을 가지게 하여, 수행종료 후에 이 값을 통해 장비의 NP값을 산정해 낼 수 있는 것이다. 마찬가지로, 장비의 가동율을 산출하기 위해 ST의 누적값을 사용할 수 있는데, ST의 값은 장비의 NP에는 영향을 주지 않기 때문에, 순수하게 NP 산출만을 목적으로 한다면 모델에서 제외하거나 그 값을 수행중에 고려하지 않아도 무방하다.

(2) 듀얼/더블/슈퍼테이너형 C/C 상태정의

싱글트롤리형 C/C의 모델 수립 과정과 동일한 방식으로 듀얼/더블/슈퍼테이너형 C/C를 설계할 수 있다.

듀얼트롤리형 C/C는 2개의 트롤리의 동작이 설계대상이 된다. 하역작업시 상태로는 1번 트롤리는 버퍼와 선박간의 작업에 총 9개의 상태값을, 2번 트롤리는 버퍼와 차량간의 하역작업에 총 10개의 상태값을 가진다. 1번 트롤리의 경우 해측지점(S)에서의 대기현상이 없으므로 QV상태값은 가지지 않는다. <표 4-3>의 작업내용에서 설명하고 있는 해측지점(S)와 육측지점(L)은 각 트롤리마다 위치가 다른 지점이다. 1번 트롤리의 경우 해측지점(S)는 선박측 방향이며, 2번 트롤리의 경우는 버퍼측 방향을 의미한다. 마찬가지로 육측지점(L)은 1번 트롤리의 경우 버퍼측 방향을, 2번 트롤리의 경우 차량측 방향을 의미하게 된다. 따라서, 1번 트롤리의 육측지점(L)과 2번 트롤리의 해측지점(S)는 버퍼위치에 해당하며, 이 지점에서 두 트롤리의 작업간섭이 발생한다. 따라서, 이에 해당하는 상태값 QB를 설정한다. 상태전이에서 회색영역은 버퍼지역으로 이 전이 과정은 2개 트롤리가 배타적으로 상태값을 가지는 구간에 해당한다. 만약, 이 구간의 전이에 소요되는 시간이 증가하게 된다면 두 트롤리의 작업간섭이 많아져 하역작업이 원활하게 진행되지 못하는 것을 의미한다.

더블트롤리형 C/C는 싱글트롤리형과 큰 차이가 없이 거의 동일한 상태값으로 정의될 수 있다. 다만 2개의 트롤리가 선박지점(S)와 육측지점(L)에서 각각 작업

간섭이 발생하므로 이에 해당하는 상태값 QS, QB를 각 트롤리의 상태에 추가하면 트롤리의 상태값 개수는 총 12개로 정의된다.

〈표 4-3〉 듀얼트롤리형 C/C 상태정의

장치구분	ID	상태값	작업내용
#1	1	ST	작업이 없어 유힬중인 상태
	2	MS	해측지점(S)으로 이동중인 상태
	3	SD	선박지점(C)으로 하강중인 상태
	4	WS	선박지점(C)에서 컨테이너를 Load/Unload 하는 상태
	5	SU	해측지점(S)으로 이동중인 상태
	6	MB	육측지점(L)으로 이동중인 상태
	7	QB	육측지점(L)에서 대기중인 상태
	8	BD	버퍼지점(B1)으로 하강중인 상태
	9	WB	버퍼지점(B1)에서 컨테이너를 Load/Unload 하는 상태
	10	BU	육측지점(L)으로 상승중인 상태
#2	1	ST	작업이 없어 유힬중인 상태
	2	MB	해측지점(S)으로 이동중인 상태
	3	QB	해측지점(S)에서 대기중인 상태
	4	BD	버퍼지점(B2)으로 하강중인 상태
	5	WB	버퍼지점(B2)에서 컨테이너를 Load/Unload 하는 상태
	6	BU	해측지점(S)으로 상승중인 상태
	7	ML	육측지점(L)으로 이동중인 상태
	8	LD	차량지점(V)으로 하강중인 상태
	9	QV	차량지점(V)에서 차량을 대기하는 상태
	10	WL	차량지점(V)에서 컨테이너를 Load/Unload 하는 상태
	11	LU	육측지점(V)으로 상승중인 상태
상태 전이도			

더블트롤리형도 듀얼트롤리형과 마찬가지로, 상태전이의 회색영역은 해측지역과 육측지역에서는 트롤리 간섭이 발생하는 구간(QS→SD→WS→SU 와 QL→LD→QV→WL→LU)으로, 2개 트롤리가 동시에 하역작업을 할 수 없음을 의미한다. 따라서, 동일 시점에 2개의 트롤리가 이 구간에 해당하는 상태값을 동시에 가질 수는 없다.

<표 4-4> 더블트롤리형 C/C 상태정의

ID	상태값	작업내용
1	ST	작업이 없어 유힬중인 상태
2	MS	해측지점(S)으로 이동중인 상태
3	QS	해측지점(S)에서 대기중인 상태
4	SD	선박지점(C)으로 하강중인 상태
5	WS	선박지점(C)에서 컨테이너를 Load/Unload 하는 상태
6	SU	해측지점(S)으로 상승중인 상태
7	ML	육측지점(L)으로 이동중인 상태
8	QL	육측지점(L)에서 대기중인 상태
9	LD	차량지점(V)으로 하강중인 상태
10	QV	차량지점(V)에서 차량을 대기하는 상태
11	WL	육측지점(V)에서 컨테이너를 Load/Unload 하는 상태
12	LU	육측지점(V)으로 상승중인 상태

상태 전이도

슈퍼테이너형 C/C의 경우에는 전체 동작상태가 분할되는 구성이므로 2개 트롤리와 트래버서의 상태수는 적은 편에 해당한다. 해측지점(S)에 위치한 1번 트롤리가 5개, 육측지점(L)에 위치한 2번 트롤리가 6개, 해측지점(S)과 육측지점(L)을 오가는 트래버서가 6개의 상태값을 각각 가진다. 상태전이에서 작업간섭이 발생하는 구간은 없기 때문에 생산성 달성에 매우 유리하다고 볼 수 있다. 다

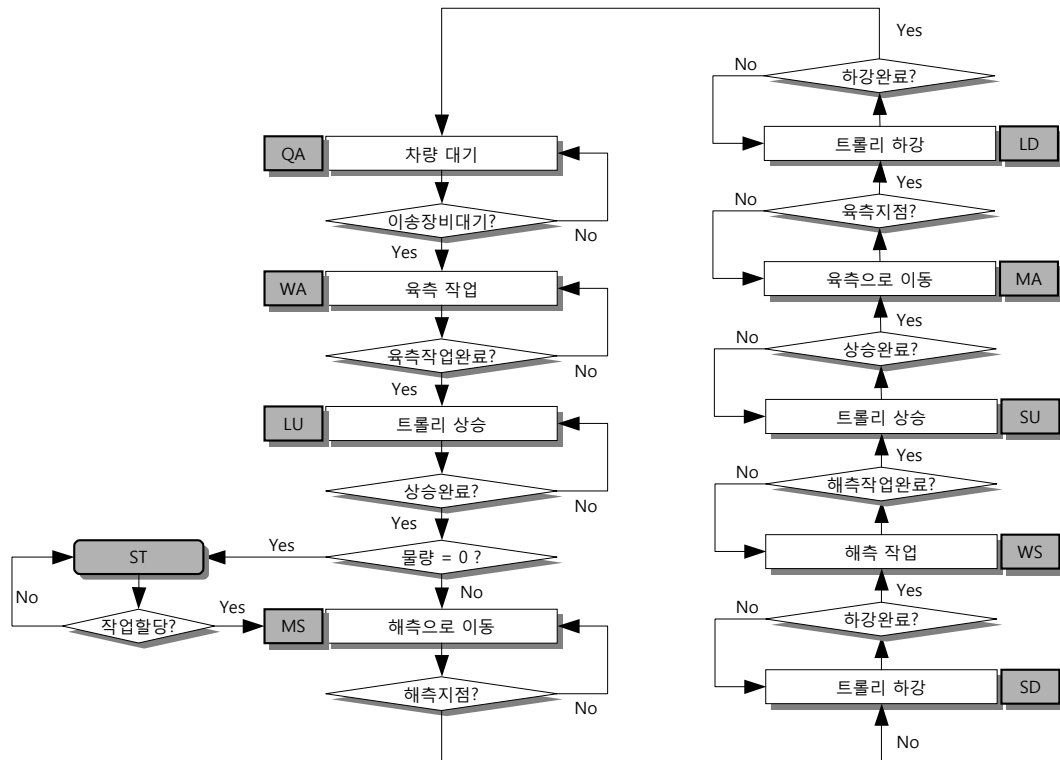
만, 트롤리와 트래버서간의 상호 컨테이너 전달작업을 위한 대기현상이 발생하는데 상태전이의 빗금친 영역이 이들 상태값에 해당한다.

<표 4-5> 슈퍼테이너형 C/C 상태정의

장치구분	ID	상태값	작업내용
#1	1	ST	작업이 없어 유티중인 상태
	2	SD	선박지점(C)으로 하강중인 상태
	3	WC	선박지점(C)에서 컨테이너를 Load/Unload 하는 상태
	4	SU	해측지점(S)으로 상승중인 상태
	5	QS	해측지점(S)에서 대기중인 상태
	6	WS	해측지점(S)에서 컨테이너를 이적중인 상태
트래버서	1	ST	작업이 없어 유티중인 상태
	2	MS	해측지점(S)으로 이동중인 상태
	3	QS	해측지점(S)에서 대기중인 상태
	4	WS	해측지점(S)에서 컨테이너를 이적중인 상태
	5	ML	육측지점(L)으로 이동중인 상태
	6	QL	육측지점(L)에서 대기중인 상태
	7	WL	육측지점(L)에서 컨테이너를 이적중인 상태
#2	1	ST	작업이 없어 유티중인 상태
	2	QL	육측지점(L)에서 대기중인 상태
	3	WS	육측지점(L)에서 컨테이너를 이적중인 상태
	4	LD	차량지점(V)으로 하강중인 상태
	5	QV	차량지점(V)에서 대기중인 상태
	6	WV	차량지점(V)에서 컨테이너를 Load/Unload 하는 상태
	7	LU	육측지점(L)으로 상승중인 상태
상태 전이도	<p>The diagram illustrates the state transitions for three components: 육측 트롤리 (Left), 트래버서 (Middle), and 해측 트롤리 (Right). States are represented by circles with letters. Shaded boxes indicate transition areas. Arrows show the direction of state changes.</p> <ul style="list-style-type: none"> 육측 트롤리 (Left): States include ST, LD, WV, LU, WL, and QL. Transitions occur between ST and LD, LD and WV, WV and LU, LU and WL, WL and QL, and QL and WL. 트래버서 (Middle): States include ST, MS, QS, WS, WL, and ML. Transitions occur between ST and MS, MS and QS, QS and WS, WS and WL, WL and ML, and ML and QL. 해측 트롤리 (Right): States include QS, WS, SD, ST, SU, and WC. Transitions occur between QS and WS, WS and SD, SD and ST, ST and SU, SU and WC, and WC and QS. 		

3) 안벽장비 상태전이모델

이상의 내용에서 안벽장비별로 정의된 상태와 상태전이도를 토대로 싱글트롤리형 C/C에 대한 상태전이모델을 작성하면 <그림 4-3>과 같은 블록다이아그램(Block Diagram, BD)으로 표시된다. 모델은 반복하여 상태가 변화되는 형식이며, 현재 상태에서 다음 상태로 전이하기 위한 조건인 판별식이 상태값 중간마다 표시되어 있다. 싱글트롤리형 C/C의 경우에는 상태값 10개에 상태전이를 위한 판별식 11개가 사용되어진다.



<그림 4-3> 안벽장비 상태전이모델(예: 싱글트롤리형 C/C)

마찬가지로, 나머지 유형에 대해서도 동일한 방식으로 BD를 작성할 수 있으나, 여기서는 이들 장비유형에 대해서는 생략하도록 한다. BD 작성을 위한 각

장비별 판별 조건은 싱글트롤리형 C/C에서와 같이 C/C의 할당물량, 트롤리의 지정된 위치도달, 이송장비의 대기여부 등의 조건과 작업간섭여부를 판별식으로 설정하여 시뮬레이션 모델을 수립할 수 있다.

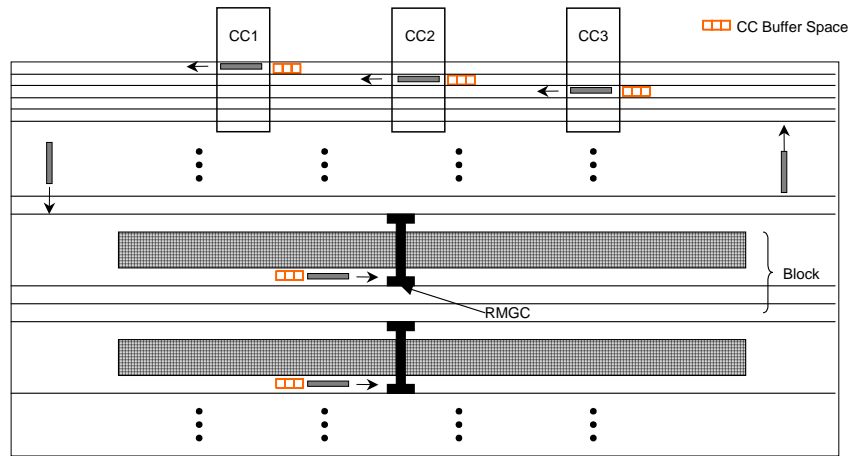
4.2 이송장비모델

이송장비의 모델 설계 대상은 기존 장비인 YT/AGV형식과 DSV, SHC, ALV의 4가지 타입이다. 이들 장비상태는 크게 운행과 하역의 2가지로 구분하여 정의한다. 운행에 관련해서는 각 장비유형들이 크게 차이가 나지 않지만, 수평배치형과 수직배치형의 2가지 야드설계안을 수용할 수 있어야 하므로 운행단계를 세분화하여 상태를 정의하여 공통으로 적용할 수 있도록 한다. 하역에 관련된 상태는 운행과정 중간에 발생하는데, 장비의 기능에 따라 달리 정의하여야 하지만 기본적으로 대기 및 작업의 형태는 동일한 상태로 정의하고, 모델 수립시 상태전이 판별식으로 차별화시켜 기능의 차이점을 구별하도록 한다.

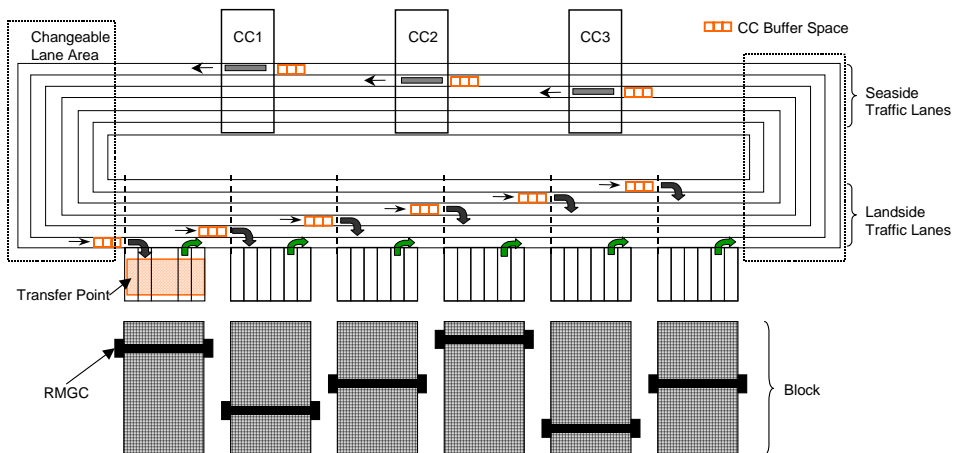
1) 이송장비 상태정의

이송장비는 수평 및 수직배치형 야드에서 2가지의 운행방식이 일반적으로 사용되고 있다.

하나는 안벽과 블록간을 타원형으로 운행하는 Closed loop 방식이며 또 하나는, 수직배치형에서 이동거리를 단축하기 위한 최단경로 운행방식인 Cross lane 방식이다. 이 2가지 운행방식에 공통적으로 적용할 수 있는 기본 구조는 <그림 4-7>와 같다. <그림 4-7>는 8곳의 변환점을 가지는 운행경로로 표시되어 있는데 수평배치형 야드 레이아웃일 경우에는 4, 5구간을 생략한 운행경로를 거치며, 수직배치형일 경우는 모든 구간을 운행하면 된다.

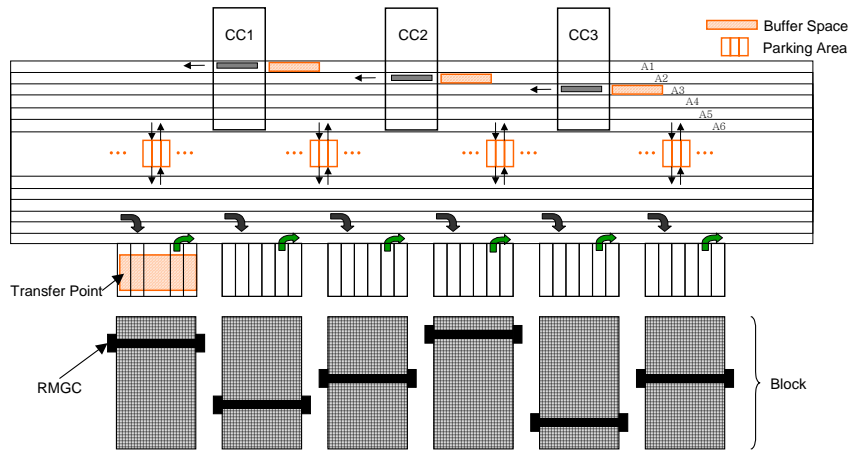


<그림 4-4> Closed loop 운행방식(수평배치)

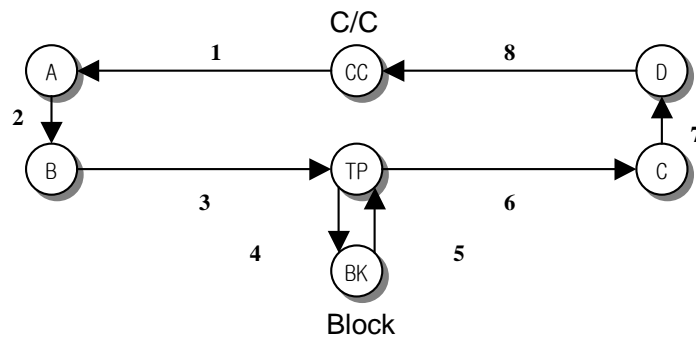


<그림 4-5> Closed loop 운행방식(수직배치)

각 구간의 운행거리는 안벽 C/C와 Block 위치에 따라 달라지게 되는데, 수평 배치형일 경우는 각 구간이 비교적 먼 거리의 직선 주행구간이 되지만, 수직배치형일 경우에는 Cross lane 운행방식이 상대적으로 단거리가 되므로 Closed loop 방식에 비해 효율적이다.



<그림 4-6> Cross lane 운행방식(수직배치)



<그림 4-7> 이송장비의 운행구조

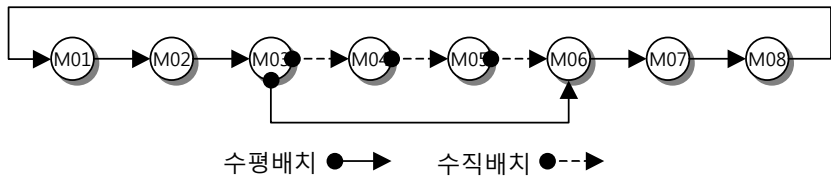
<그림 4-7>의 운행기준을 토대로 하면, 이송장비의 운행상태는 <표 4-6>와 같이 총 8개로 정의된다. 이중 M04, M05 상태는 수직배치형일 경우에만 적용된다. 운행상태가 전이되는 과정에서 하역상태를 가지는데 하역상태는 안벽과 야드의 작업지점에서 발생하며, 수평의 경우 M03, M08 상태 이후에, 수직의 경우 M04, M08 상태 이후에 하역과 관련한 상태를 가지게 된다.

하역상태와 관련한 이송장비의 상태를 정의하면 <표 4-7>와 같다.

<표 4-6> 이송장비의 운행상태정의

ID	상태값	작업내용	야드배치 적용
1	M01	CC지점에서 A지점으로 운행중	수평·수직
2	M02	A지점에서 B지점으로 운행중	수평·수직
3	M03	B지점에서 TP지점으로 운행중	수평·수직
4	M04	TP지점에서 BK지점으로 운행중	수직
5	M05	BK지점에서 TP지점으로 운행중	수직
6	M06	TP지점에서 C지점으로 운행중	수평·수직
7	M07	C지점에서 D지점으로 운행중	수평·수직
8	M08	D지점에서 CC지점으로 운행중	수평·수직

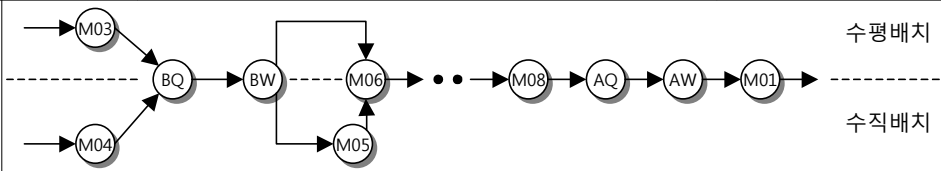
상태 전이도



<표 4-7> 이송장비의 하역상태정의

ID	상태값	작업내용	상태전이
1	BQ	BK지점에서 대기중인 상태	①→BQ→BW
2	BW	BK지점에서 하역중인 상태	BQ→BW→②
3	AQ	CC지점에서 대기중인 상태	M08→AQ→AW
4	AW	CC지점에서 하역중인 상태	AQ→AW→M01

상태 전이도



<표 4-7>의 상태전이항목에서 ①은 수평배치일 경우 각각 M03상태를 의미하며, 수직일 경우에는 M04상태를 말한다. ②의 경우에는 수평 및 수직배치 모두 M06상태를 말한다. 여기서 각 상태는 장비가 가진 하역기능에 따라 그 성격이 달라진다.

상태값 BQ는 해당 컨테이너의 하역작업이 준비되기까지 소요되는 대기시간을 의미한다. YT/AGV, DSV의 경우는 안벽장비나 야드장비에 의해 하역되기 때

문에 이들을 기다리는데 소요되는 시간이 매우 유동적일 수 있다. 하지만 SHC나 ALV와 같이 자가하역기능을 가진 장비는 대기시간을 상당히 단축할 수 있는 장점을 가지고 있다. 따라서, BQ상태에 머무르는 소요시간에서 장비별로 차이가 발생하므로 이송능력이 달라질 수 있다.

BW의 경우에도 각 장비유형별로 소요시간이 차이가 발생하는데 특히, DSV의 경우에 적재용량이 2배이므로 타 장비에 비해 많은 시간이 소요되며, 이 값은 C/C 장비의 자체성능에 의해 달라지게 된다.

2) 이송장비 상태전이모델

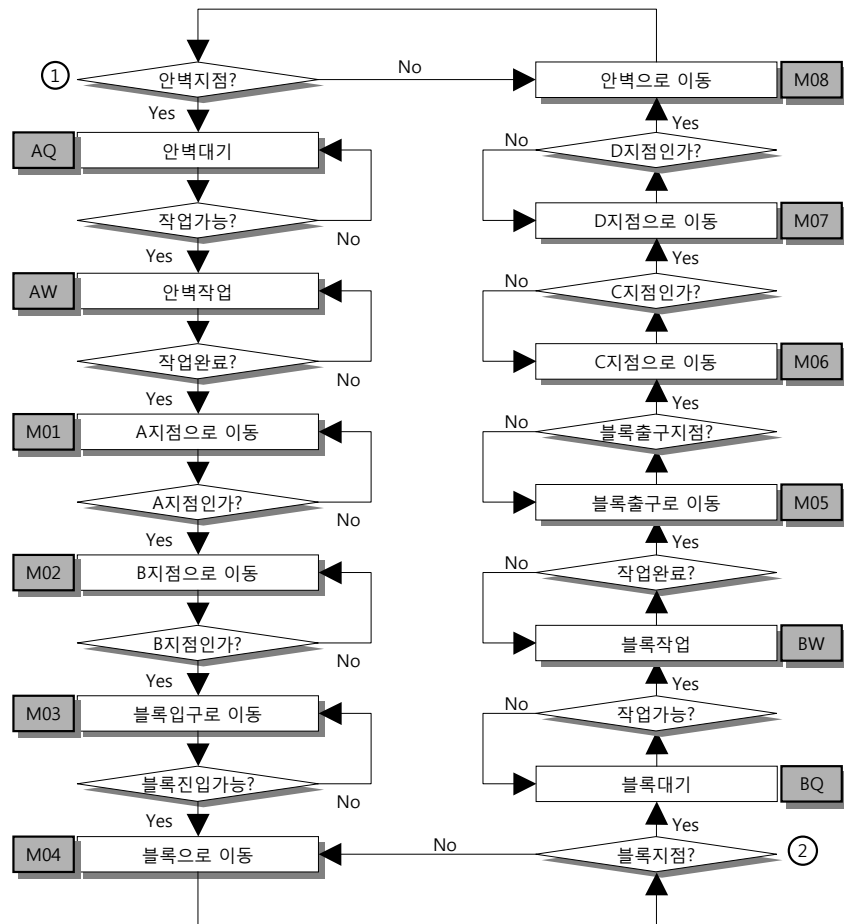
이송장비의 시뮬레이션 모델을 수립하는데 있어 차량의 위치, 안벽 및 야드장비의 작업상태, 자가하역가능 여부가 상태전이의 조건으로 사용된다. 수직배치형을 대상으로 모델을 BD로 작성한 것이 <그림 4-8>으로 수평배치형 모델을 수립할 경우에는 M03~M05과정을 모델에서 생략하면 된다.

<표 4-8> 이송장비 하역상태 전이

관별식	장비유형	이송장비 상태전이
①	YT/AGV	안벽장비가 QV일 때 이송장비가 AW로 전이됨
	DSV	안벽장비가 QV일 때 이송장비가 AW로 전이됨
	SHC	버퍼에 컨테이너가 있을 경우에 자체적으로 전이됨
	ALV	버퍼에 컨테이너가 있거나 안벽장비가 QV일 때 전이됨
②	YT/AGV	야드장비가 QV일 때 이송장비가 BW로 전이됨
	DSV	야드장비가 QV일 때 이송장비가 BW로 전이됨
	SHC	버퍼에 여유가 있을 때 BW로 전이됨
	ALV	버퍼에 여유가 있거나 야드장비가 QV일 때 전이됨

차량의 위치와 관련한 상태전이는 4개의 지점(A, B, C, D)을 기점으로 현재 상태에서 다음 상태로 자동 전이가 되는 구조이며 장비유형마다 동일하게 적용이된다. 안벽과 야드장비의 상태에 의한 전이는 YT/AGV와 DSV에 해당하며, 이

들 장비는 자가하역기능이 없으므로 안벽과 블록의 위치에서 안벽장비와 야드장비의 작업가능 여부를 판단(①, ②)하고 이에 맞게 상태전이가 이루어진다.



<그림 4-8> 이송장비 상태전이모델(예: 수직배치형)

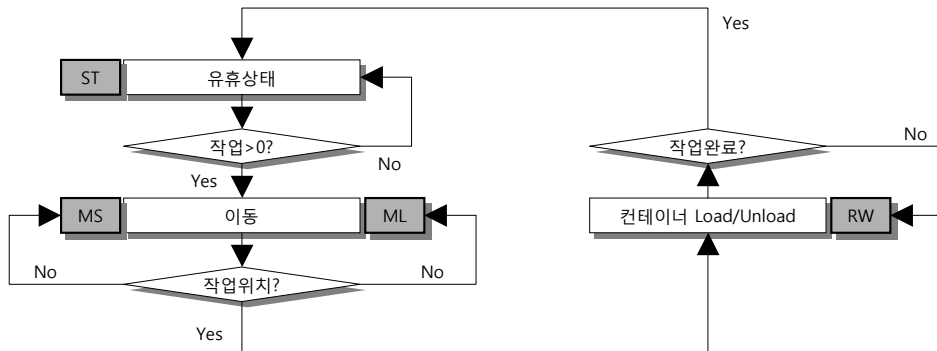
반면, 자가하역기능을 갖춘 SHC와 ALV의 경우에는 판별식 ①, ②에서 안벽장비와 야드장비의 상태와는 무관하게 버퍼상황만 고려하여 자체적인 상태전이가 가능하다. 양하작업일 경우를 예로 들면 판별식 ①, ②에서 장비유형별로 상태전이는 <표 4-8>와 같은 조건에서 다음 상태로 전이가 될 수 있다.

4.3 야드장비모델

야드장비의 작업형태는 TP작업지점과 블록내지점간의 컨테이너 운반 및 블록장치의 반복적인 작업이다. 작업지점만이 상이할 뿐이며 운영과정은 안벽장비의 트롤리 설계와 거의 동일한 형태라고 할 수 있다.

〈표 4-9〉 야드장비의 상태정의

ID	상태값	작업내용
1	ST	작업이 할당되지 않아 유휴중인 상태
2	MS	좌측 또는 후면방향으로 이동중인 상태
3	ML	우측 또는 전면방향으로 이동중인 상태
4	RW	컨테이너를 Load/Unoad 중인 상태



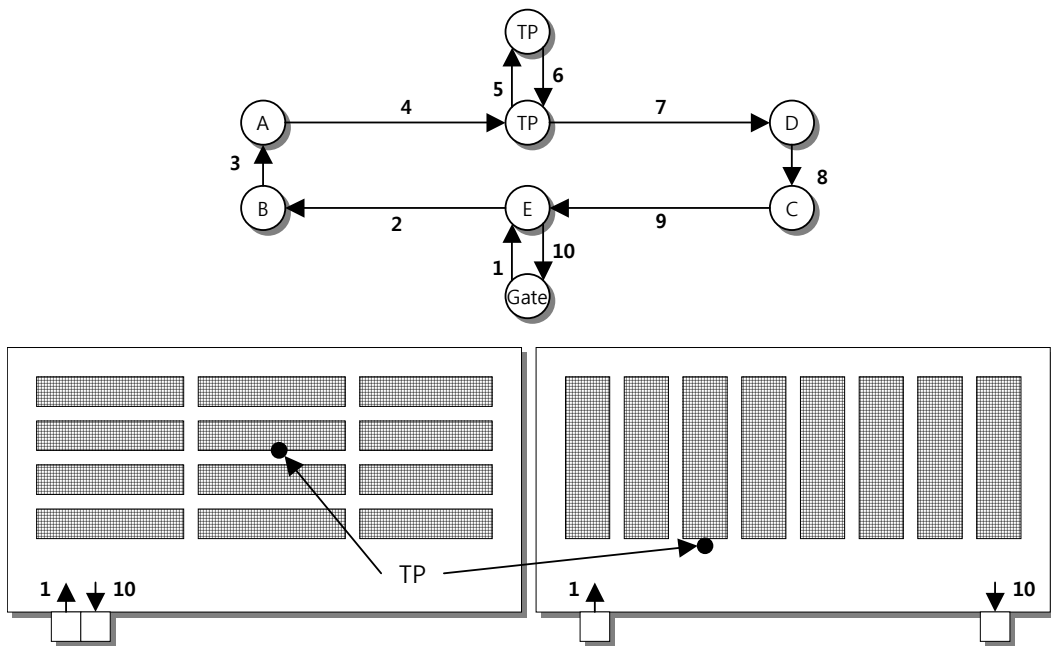
〈그림 4-9〉 야드장비 상태전이모델(RMGC)

설계 대상은 RMGC 유형 1가지이며 안벽장비에서와 같이 트롤리의 동작상황을 묘사하기 위한 세밀한 상태구분은 크게 필요로 하지 않는다. 또한, 이동과 하역만으로 야드장비의 모든 동작을 상태로 묘사할 수 있기 때문에 야드배치형태에 있어서도 크게 영향을 받지 않고 상태를 정의할 수 있다. 따라서, 야드장비의 시뮬레이션은 매우 단순하게 수립된다. 야드장비의 동작을 블록의 방향과 관련지어 볼 때, 좌/우측이동 또는 상/하이동과 컨테이너 하역작업의 3가지 상

태로만 정의할 수 있고 여기에 작업이 없는 유힬상태(ST)를 추가하면 전체적인 묘사가 가능하다. 유힬상태중에 이송장비나 외부트럭에 의해 작업 요청이 발생 하며, 작업위치에 따라 MS 또는 ML 상태로 전이되며, 이동 후 할당된 작업을 완료하면 다시 유힬상태로 전이하는 단순구조의 상태전이모델이라 할 수 있다.

4.4 외부트럭모델

외부트럭은 게이트 입구를 통과하여 블록에 접근하고, 블록의 작업 이후에 다시 게이트 출구를 통하여 터미널을 빠져나가게 된다. 기본적으로 이송장비의 운행경로와 동일한 기준으로 상태전이모델을 수립할 수 있다.



<그림 4-10> 외부트럭 운행 구조와 터미널 게이트 위치

운행상태와 하역상태로 구분하면, 운행상태는 이송장비와 동일한 형식을 적용하되 게이트의 위치와 야드배치형태를 감안하여 운행단계를 구분하여 정의할

필요가 있다. 하역상태는 안벽장비에 의한 작업은 없는 대신 게이트 입구와 출구에서의 서비스 작업을 고려해야 하므로 게이트 작업상태를 추가해야 한다.

야드배치가 수평일 경우는 8단계의 운행단계를 가지지만 수직일 경우는 10단계의 운행이 필요하며, 터미널의 게이트 입출구가 겸용인 경우(수평배치)와 분산된 경우(수직배치) 2가지를 고려해야 하므로 결국 2가지 배치안에 대해 공통으로 적용하기 위해서는 총 10단계의 운행상태를 사용할 필요가 있다.

하역상태는 게이트 입출구 각각에 대해서 대기와 서비스작업을 구분하여 2가지씩 상태를 두고, 이송장비와 마찬가지로 블록에서의 대기와 작업상태를 정의한다. 또, 한가지 상태정의로 외부트럭은 터미널에 항상 존재하는 개체가 아니다. 즉, 시뮬레이션 수행중에 생성되어 반출입이 완료되면 소멸되는 개체에 해당한다. 따라서, 생성과 소멸을 위한 상태값을 추가로 정의해야 한다.

〈표 4-10〉 외부트럭의 상태정의

ID	표시자	작업 내용
1~10	M01-M10	외부트럭 운행단계별 이동 상태
11	QI	입구게이트 레인에서 외부트럭이 대기하고 있는 상태
12	WI	입구게이트 레인에서 외부트럭이 서비스를 받고 있는 상태
13	QT	출구게이트 레인에서 외부트럭이 대기하고 있는 상태
14	WT	출구게이트 레인에서 외부트럭이 서비스를 받고 있는 상태
15	BQ	블록 TP지점에서 대기중인 상태
16	BW	블록 TP지점에서 야드장비에 의해 하역중인 상태
17	CR	외부트럭이 생성되어 게이트에 도착한 상태
18	TR	외부트럭이 반출입을 마친후 소멸된 상태

외부트럭의 생성시점의 CR상태는 일시적인 것으로 이 상태는 소요시간 없이 다음 상태인 QI로 자동 전이한다. 마찬가지로, 소멸시점의 TR도 반출입 작업이 완료되는 시점에만 일시적으로 가지는 상태값이다. 따라서, CR과 TR 2개의 상태값은 상태전이의 시작과 종료시점을 결정하는 값으로, 안벽, 이송, 야드와 같은 반복모델이 아닌 1회에 한하여 수행되는 모델에 해당한다고 할 수 있다.

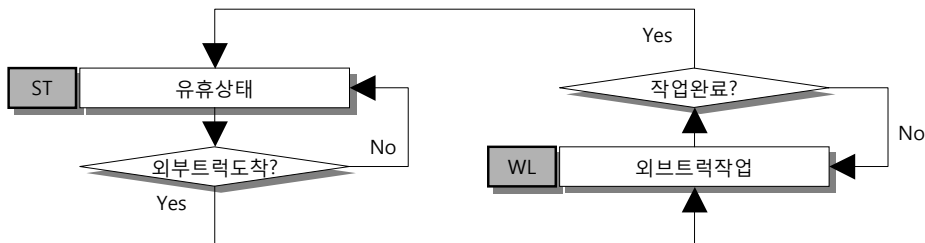
이상의 내용에서 외부트럭 상태전이모델도 이송장비에서와 동일한 방식으로 게이트 및 블록의 하역작업시 상태전이조건을 설정하여 수립하면 된다.

4.5 게이트 모델

게이트는 터미널 외부에서 발생한 차량의 서비스를 담당하는 시설로 입출구 레인에 대해 상태전이모델을 수립하면 된다. 이 게이트는 외부트럭이 도착하면 입구레인에서 작업서비스를 수행하고 작업이 완료되면 유힬상태가 된다. 마찬가지로 출구의 경우에도 동일한 구조를 가진다.

<표 4-11> 게이트 상태정의

ID	상태값	작업 내용
1	ST	해당레인에 외부트럭서비스 작업이 없는 상태
2	WL	해당레인에서 외부트럭서비스가 진행되고 있는 상태



<그림 4-11> 게이트 상태전이모델

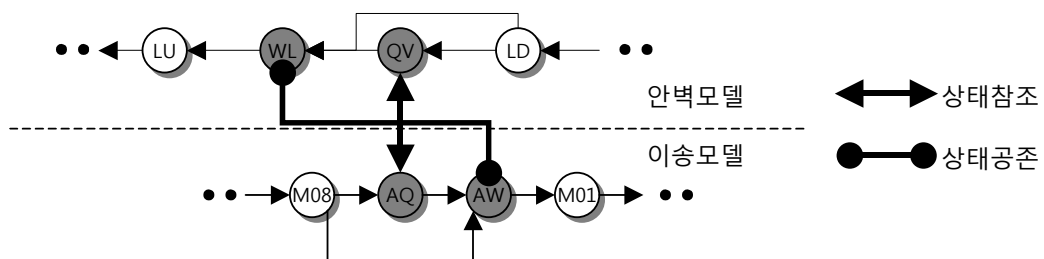
게이트에서 이루어지는 서비스 작업은 여러 가지가 있을 수 있으나 외부트럭을 터미널 내부 또는 외부로 통과시키는 측면에서는 2가지의 상태정의만으로 모델 수립이 가능하다. 상태전이 모델에서도 외부트럭의 도착여부를 판단하여 작업후 다시 유힬상태가 되는 과정을 반복적으로 수행하는 구성을 가진다. 상태전이모델은 입구 및 출구 각 레인별로 적용하면 된다.

4.6 상태전이모델간 결합관계도

상태전이모델간 결합관계도는 각 단위모델인 안벽, 이송, 야드, 외부트럭, 게이트간에 상호간 상태를 변화시키는 주체의 연관성을 나타낸 것이다. 하역작업시 각 단위모델의 특정한 상태전이단계는 다른 단위모델의 상태변화를 조건으로 상호 참조하고 있기 때문이다. 모델간 결합관계도를 살펴보면 다음과 같다.

1) 안벽모델과 이송모델간 결합관계도

안벽장비는 선박으로부터 양하 컨테이너를 이송장비로 하역하고 반대로 이송장비로부터 넘겨받은 적하컨테이너를 선박에 적재하게 된다. 이때, 안벽장비가 육측대기상태(QV)에 있을 때, 육측작업상태(WV)로 전이시켜주는 것은 이송장비의 안벽대기상태(AQ)이다. 마찬가지로, 이송장비가 안벽대기상태(AQ)에 있을 때 안벽작업상태(AW)로 전이시켜주는 것은 안벽장비의 육측대기상태(QV)가 된다.



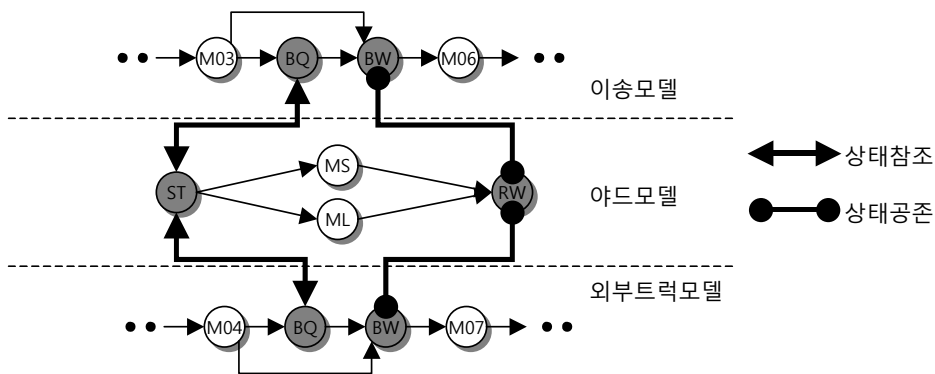
<그림 4-12> 안벽⇔이송모델간 상태결합도

이러한 상호간 상태값 참조를 통해 안벽장비와 이송장비는 시뮬레이션 수행 중 각각 WL상태와 AW상태가 공존하게 되고, 작업이 완료되면 안벽장비는 LU상태로, 이송장비는 M01상태로 각각 전이하여 자신의 상태전이를 자체적으로 계속 수행하게 된다.

2) 이송, 야드, 외부트럭모델간 결합관계도

이송, 야드, 외부트럭모델간의 상태결합은 야드모델의 ST와 RW상태값을 중심으로 이송과 외부트럭모델이 BQ, BW상태값이 각각 결합하는 형태이다.

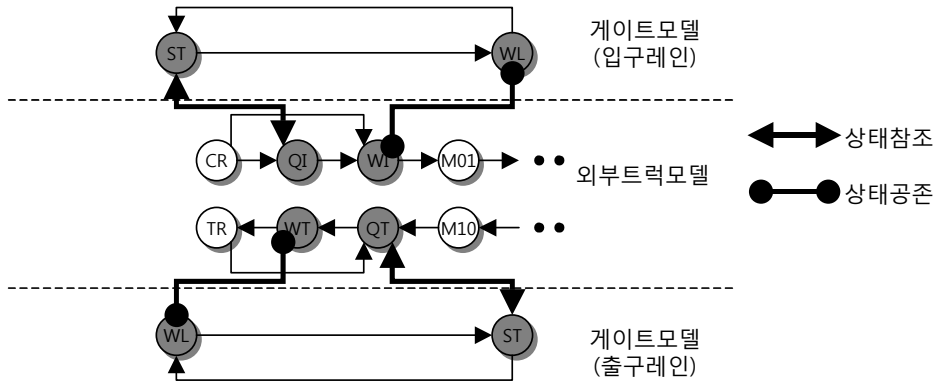
이송장비와 외부트럭이 야드의 블록에 도착하면 BQ상태로 전이한 후, 야드장비의 상태값을 참조하여 BW상태로 전이한다. 마찬가지로 야드장비 역시 ST상태에서 이송장비와 외부트럭의 상태를 참조하여 RW상태로의 전이를 결정하게 된다. 작업이 완료된 후에는 각각 다음 상태로 전이하여 자체적인 상태전이를 계속 수행한다.



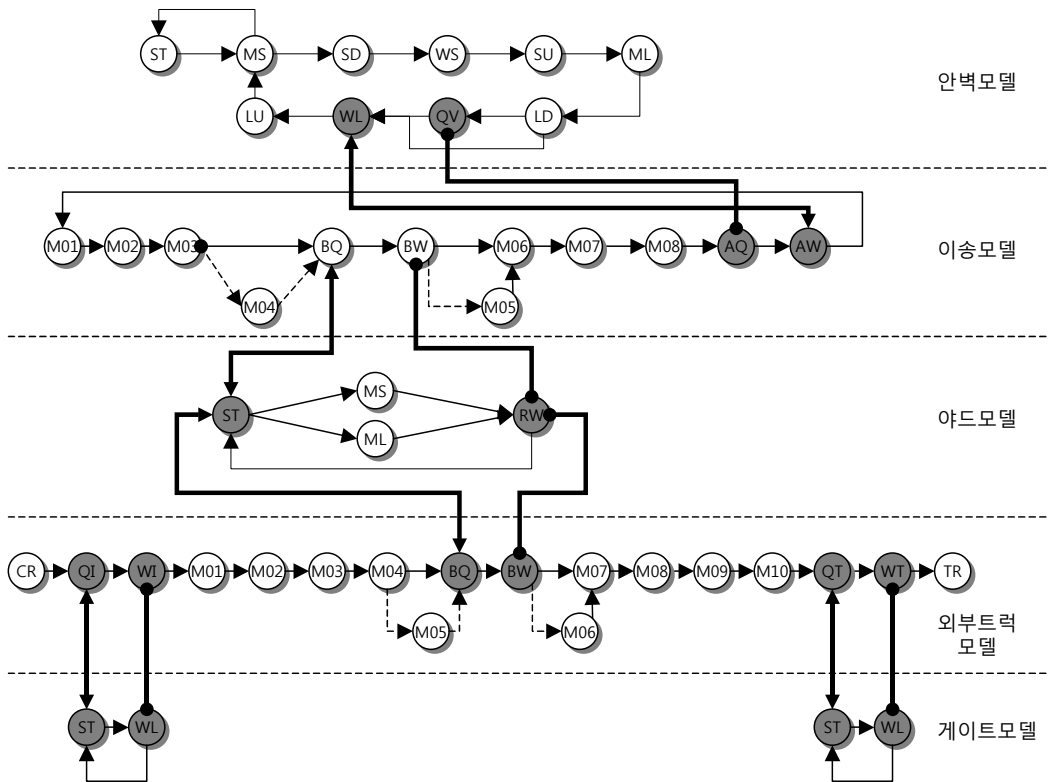
<그림 4-13> 이송⇔야드⇔외부트럭모델간 상태결합도

3) 외부트럭과 게이트모델간 결합관계도

외부트럭과 게이트간의 상태결합도는 입출구 라인별로 분리된다. 외부트럭이 게이트의 입구 또는 출구 도착하면 외부트럭은 입구라인대기(QI)상태가 되며 이때, 해당 라인의 작업상태를 유히상태(ST)에서 서비스상태(WL)로 전이시키고, 자신의 상태도 WI가 된다. 해당 라인에서 서비스 작업이 완료되면 해당 라인은 ST상태로, 외부트럭은 M01상태로 전이하게 된다. 마찬가지로 방법으로 출구라인에서도 동일한 상태전이가 이루어진다.



<그림 4-14> 외부트럭⇔게이트모델간 상태결합도



<그림 4-15> 터미널 하역시스템 상태전이모델

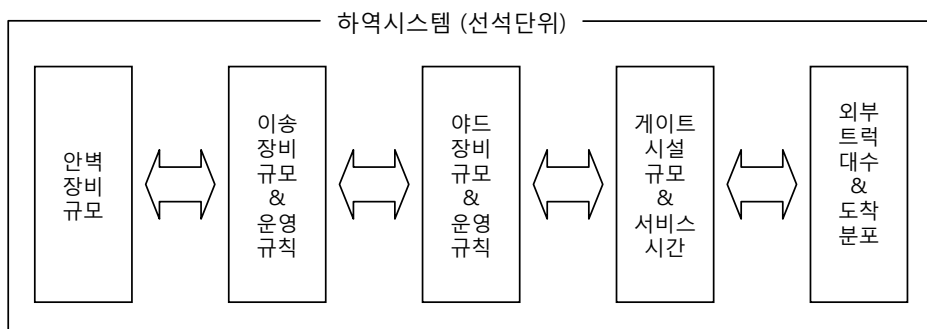
이상의 상태결합도를 종합하면, 안벽⇔이송⇔야드⇔외부트럭⇔게이트간의 상태결합도를 종합한 하역시스템 상태전이모델을 작성할 수 있게 된다. 본 연구의 시뮬레이션 분석에서 사용될 터미널 하역시스템 상태전이모델을 총괄적으로 작성하면 <그림 4-15>과 같이 된다. 상태전이모델을 토대로 제5장에서 차세대 하역시스템 대안에 대한 성능분석을 수행하도록 한다.

제 5 장 차세대 하역시스템 성능분석

본장에서는 3장에서 제시된 차세대 하역시스템 대안에 대한 평가를 실시한다. 평가절차는 평가에 사용될 입력자료에 대해 먼저 정의하고 안벽, 이송, 야드의 각 대안들을 조합하여 하역시스템 시나리오를 구성한다. 그리고, 각각의 시나리오에 대해 장비의 생산성을 산출하고 장단점을 비교분석한다. 생산성을 산출하는데에는 4장에서 수립된 상태전이모델에 기반한 전용 시뮬레이터를 구현하여 분석하였다.

5.1 입력자료 분석

시뮬레이션을 수행하기 위해서는 터미널의 다양한 입력자료가 필요하다. 여기에는 실제 터미널 운영경험에서 얻어지는 경험치와 각종 통계자료 등이 포함될 수 있다. 그러나, 본 연구의 하역시스템 성능평가는 기존의 하역시스템과 차세대 하역시스템간의 성능비교라는 측면에서 가급적 터미널의 환경변수값들을 동등한 조건으로 사용하도록 하였다. 시뮬레이션에서 사용될 입력자료는 1개 선석을 기준으로 하역장비와 시설 및 운영에 관련된 환경변수들이다.



<그림 5-1> 하역시스템 성능분석 입력자료 구성

1) 안벽장비규모

하역시스템 성능분석을 위해 1개 선석에 투입될 C/C의 대수를 산정하면, 1개 선석에는 일반적으로 국내의 경우 3대 정도의 C/C가 선박하역작업을 하는 것이 보통이다. 그러나, 근래에 와서 선석의 시간당 하역량을 높이기 위해 가급적 더 많은 대수를 투입하고 있다.

<표 5-1> 국내 대형 터미널별 C/C 보유대수

구분	안벽길이	선석수	C/C대수
신선대	1200m	4선석	15대
허치슨부산	1447m	4선석	14대
감만	1400m	4선석	15대
부산신항	1200m	3선석	9대
평균	349.8m	3.75선석	3.5대

자료: 2005년도 부산항 컨테이너화물 처리 및 수송통계

국내 주요 대형터미널의 경우 평균 선석길이 349.8m에 3.5대의 C/C를 보유하고 있으며, 선석당 하역량을 더욱 높이기 위해 가급적 많은 수의 C/C를 투입하고 있다³¹⁾. 이러한 증가추세는 선박이 대형화되면서 기항지에서 하역량이 증가한 데 기인한 것이다. 따라서, 차세대 하역시스템 성능을 분석하기 위해서도 선석당 C/C의 투입대수는 3.5대 이상으로 고려할 필요가 있고, 이에 350m 1개 선석에 4대의 C/C를 투입하는 것이 적정한 것으로 판단된다³²⁾.

<표 5-2> 하역시스템 성능분석을 위한 선석당 C/C 투입대수

선석수	선석길이	C/C투입대수
1개	350m	4대

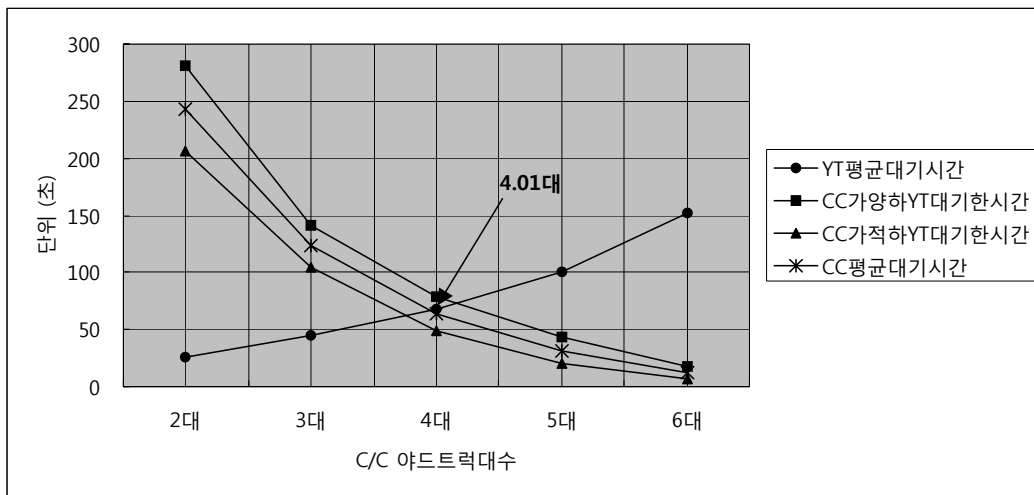
31) 부산항 신선대 터미널의 경우 6000TEU급 선박에 최대 6대의 C/C를 한 선박에 투입한 실적이 있으며, 허치슨부산터미널에서도 5대의 C/C를 투입한 바 있음.

32) C/C의 선석당 투입대수는 이송과 야드시스템의 작업부하를 결정하는 인자이다. 따라서, C/C 대수를 증가시킴으로써 이송과 야드시스템의 성능을 측정하는데 유리하므로 C/C의 투입대수를 평균치보다 가급적 증가시키는 시나리오를 구성하였음.

2) 이송장비규모 및 운영규칙

(1) 이송장비 규모

C/C와 연계작업을 하는 이송장비는 C/C의 이송장비 대기시간이 가급적 발생시키지 않는 범위에서 일정대수가 투입되어야 한다. 보통, 기존의 YT/AGV의 경우 수평배치형을 가지는 야드안에서는 주행속도와 거리를 고려할 때 C/C당 평균 4대를 투입하는 것이 효율적인 것으로 연구되고 있다³³⁾.



<그림 5-2> YT 적정소요대수

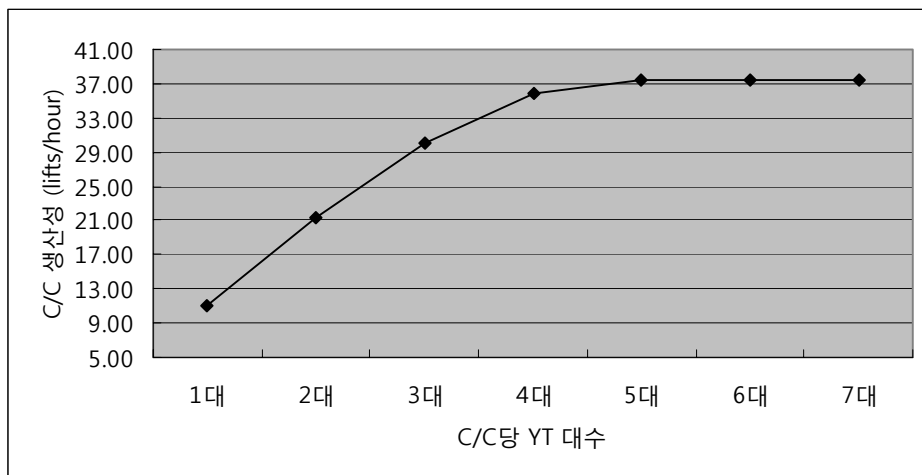
그러나, 하역시스템의 성능평가측면에서는 이송장비의 작업지원이 가급적 C/C의 작업에 지장을 주지 않는 범위내에서 운행대수가 결정되어야 할 필요가 있다. 차세대 기술인 SHC, ALV는 자체 하역기능을 가지고 있으므로 기존의 YT/AGV에 비해 운행 Cycle Time이 짧아 이송능력에 있어 YT/AGV보다 우수할 수 있으므로, YT/AGV의 적정운행대수 4대보다 많은 운행대수의 분석은 필요가

33) 최용석, 김우선, 하태영, “컨테이너터미널의 야드 트랙터 소요대수 추정”, 한국항해항만학회지, 제28권 제6호, pp. 549-555, 2004.

없을 것으로 판단된다. 이는 C/C당 4대의 이송장비를 투입하더라도 이송장비의 부족현상으로 C/C의 대안간 하역성능 차이가 상쇄될 우려가 없음을 의미한다고 하겠다. 그러나, DSV의 경우는 기존 YT/AGV에 비해 운행 Cycle Time이 길기 때문에 4대 이상의 운행대수를 요구할 수도 있다. 따라서, 이송장비의 투입대수는 YT/AGV의 적정투입대수를 기준으로 DSV, SHC, ALV를 고려하여 몇 가지 시나리오로 구성할 필요가 있겠다.

〈표 5-3〉 하역시스템 성능분석을 위한 C/C당 이송장비 투입대수

C/C대수	이송장비 할당방식	C/C당 이송장비 투입대수
1대	C/C와 조별작업	3~5대



〈그림 5-3〉 YT 투입대수에 따른 C/C 생산성

〈표 5-3〉에서 이송장비는 C/C와 조별작업을 원칙으로 하며, C/C당 투입되는 이송장비의 운행대수를 각 유형별 장점을 고려하여 3~5대로 구성된 시나리오로 설정하였다.

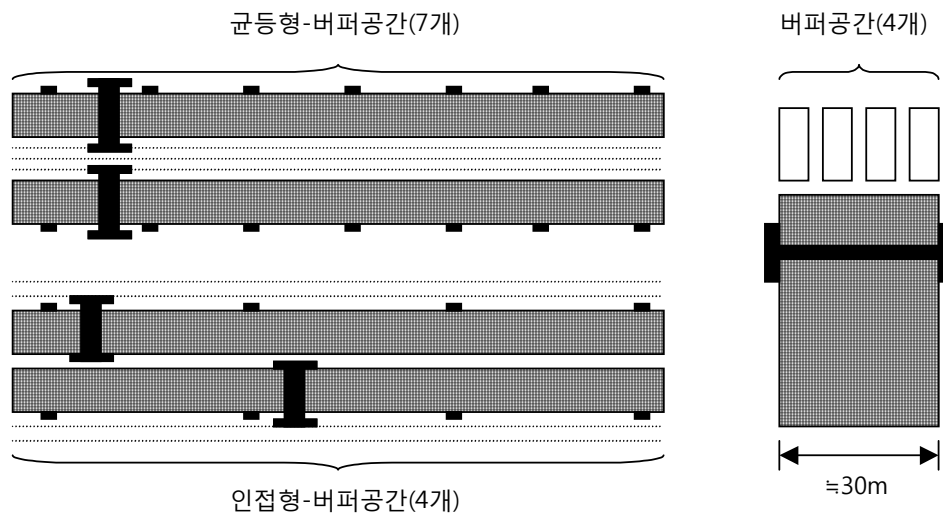
운행대수를 6대 이하로 제한한 것은 일반적으로 수평배치형 야드구조에 RMGC를 적용한 터미널을 설계할 경우에 이송장비 적정보유대수에 대한 시물

레이션 분석 결과는 <그림 5-3>과 같은 형태를 가진다³⁴⁾.

이 결과에서 보면 보통 5대까지 투입할 경우 C/C의 순작업생산성이 최대에 이르는 현상을 보이는 것이 일반적이다. 따라서, 6대 이상의 이송장비 투입은 C/C의 작업에 크게 영향을 주지 않기 때문에 시나리오에서 제외하였다.

(2) 이송장비 운영규칙

이송장비에 대한 운행대수와 운영방식을 결정하는데 이어, 이송장비의 대안 중 SHC, ALV는 자가하역기능을 갖추고 있기 때문에 안벽과 야드에서의 버퍼공간을 사용한다. 따라서, 이 버퍼의 공간의 규모를 정의할 필요가 있다. 안벽에서의 버퍼공간은 C/C의 작업을 위해 1개로 제한하는 것이 적합하다. 그러나, 야드에서의 버퍼공간은 각 배치안에 따라 달리 설정되어야 한다. 수평배치형과 수직배치형에서 적용되는 블록별 버퍼공간의 수가 다를 뿐아니라 수평배치형의 경우에도 2가지 배치안인 균등형과 인접형은 서로 다른 버퍼공간을 적용할 필요가 있다.



<그림 5-4> 배치안별 블록 버퍼공간(SHC, ALV)

34) “부산신항 남컨테이너부두 2-4단계 하역시스템 및 평면배치계획” 최종보고서.

우선 수직배치형의 경우 블록에 설정가능한 버퍼지역은 <그림 5-4>에서와 같이 각 블록의 폭넓이에 해당하는 지역을 사용하게 된다. 따라서, 블록당 버퍼의 공간은 이송장비의 작업을 위한 여유공간을 최대한 반영할 경우 블록마다 4개의 버퍼공간을 둘 수 있게 된다.

수평배치형의 경우 균등형과 인접형은 이송장비와 외부트럭의 주행레인이 사용방법에서 차이가 나기 때문에 버퍼공간이 서로 달라야 한다. 즉, 균등형의 경우 블록의 양측면으로 이송장비와 외부트럭의 주행이 분리되므로 한쪽 블록전면을 이송장비의 버퍼공간으로 사용할 수 있다. 그러나, 인접형의 경우는 이송장비와 외부트럭이 블록측면의 주행로를 공유함으로 버퍼공간에서 일부 제한을 시킬 필요가 있게 된다.

균등형 야드배치안의 경우 전체 블록측면 길이가 45베이 정도 이지만 차량의 진입 및 진출을 위한 여유공간과 컨테이너의 크기 등을 고려하면 버퍼공간으로 사용할 수는 크기는 45베이 블록에 최대 7개 정도로 계산될 수 있고, 인접형의 경우는 외부트럭의 작업베이를 고려하여 균등형의 절반 수준인 3~4개의 버퍼공간을 설정할 수 있다.

<표 5-4> 야드배치 형태별 이송장비 버퍼설정

구분	수평배치형		수직배치형
	균등형	인접형	
블록별 버퍼크기	7개	4개	4개

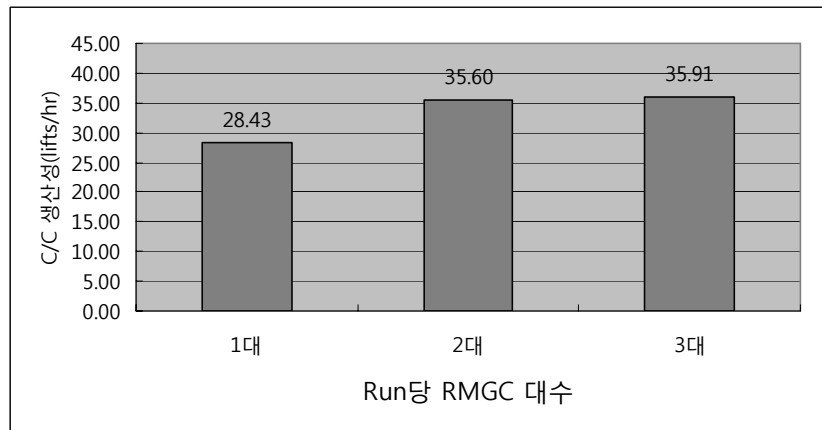
그 외, 이송장비의 주행방식은 수평배치의 경우 선석단위의 주행경로를 적용하며, 수직배치의 경우에는 운행효율이 좋은 Cross lane방식을 적용한다.

<표 5-5> 야드배치 형태별 이송장비 주행방식

구분	수평배치형	수직배치형
주행방식	Closed loop 운행	Cross lane 운행

3) 야드장비규모

야드장비인 RMGC는 기본적으로 배정된 Run단위에서만 작업이 가능하므로 야드설계시 블록의 개수 단위로 장비가 투입되어야 한다. 보통 1개 선석에 수평·수직배치를 기준으로 8개의 블록을 설계할 수 있으므로, 최소 8대의 RMGC 장비대수가 투입되어야 하며, 추가로 장비를 투입할 경우에도 블록별로 8대씩 추가된다. RMGC의 장비 투입대수에 있어서도 이송장비와 마찬가지로 안벽⇄이송의 연계작업 구조를 감안하면 이송장비의 작업에 지장을 주지 않아야 하므로 이를 위해서 일정대수 이상을 투입하는 것을 고려해야 한다.



<그림 5-5> Run당 RMGC 투입대수에 따른 C/C 생산성 변화

<그림 5-5>는 수평배치형 터미널을 대상으로 Run당 RMGC 투입대수에 따른 C/C의 작업생산성 결과로, Run당 2대의 RMGC를 투입하는 것이 적정한 것으로 나타나고 있다³⁵⁾. C/C 생산성 분석표에서 RMGC의 Run 당 투입대수가 증가할수록 C/C의 순작업생산성이 증가하는 것을 알 수 있으며, Run당 3대의 투입시에는 C/C 생산성의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 이는 C/C의 작업지원을 최대로 하기 위한 투입대수가 1개 선석에 Run당 2대임을 의미한다고 할 수 있

35) “부산신항 남컨테이너부두 2-4단계 하역시스템 및 평면배치계획” 최종보고서.

다. 따라서, 하역시스템 성능분석을 위한 야드장비이 RMGC의 Run당 투입대수는 1~2대의 시나리오로 구성한다.

<표 5-6> 하역시스템 성능분석을 위한 Run당 RMGC 투입대수

Run당 RMGC 대수	선석당 블록수	선석당 총 RMGC 대수
1대	8개	8대
2대	8개	16대

야드시스템의 경우 블록에서 이송장비와 외부트럭을 동시에 서비스해야하므로 작업우선순서와 작업지점에 대한 정의가 필요하다. 보통, 터미널의 운영에서는 이송장비와 외부트럭의 우선순위를 해당 시점에 작업여건에 따라 적절히 조절하는 방법을 적용하고 있고, 터미널 마다 장치공간의 여유에 따라 컨테이너 장치지점이 매우 유동적이므로 이를 정확히 반영하기는 곤란하다.

따라서, 본 연구의 하역시스템 성능분석에서는 기본적으로 이송장비와 외부트럭의 작업우선순위를 선입선출(FCFS)로 결정하고 컨테이너 장치지점은 모든 블록과 베이를 대상으로 균등하게 할당하는 방법을 사용한다.

<표 5-7> RMGC 장치 작업 순서 규칙

작업블록할당	RMGC 작업순서	작업대상
블록-베이별 균등배분	선입선출	이송장비 & 외부트럭

4) 게이트 시설 규모 및 서비스 시간

국내 터미널의 경우 <표 5-8>과 같이 터미널의 처리물량에 따라 다양한 게이트 시설을 운영하고 있는데, 설계된 모든 시설을 전부 개방하고 있지는 않으며, 보통 일일 외부트럭의 도착규모와 대기현상 등을 고려하여 적절히 조절하고 있는 것을 알 수 있다.

게이트 시설 또한 터미널의 연간 처리물량과 관련하여 적정규모로 산출될 필요가 있다. 신규 터미널 건설시 게이트 규모 설계에 있어서는 입·출구 소요라인

수는 터미널의 수출입 물동량의 1일 피크시 최대 반출입 트럭수와 게이트 통과 시간, 차량의 대기길이(Queue Length)의 자료를 기초로 산정하고 있다.

〈표 5-8〉 국내 터미널 게이트 입·출구 라인수 운영규모

구분	안벽길이	선석수	총라인수	운영라인수
신선대	1,200m	4	12개	8개
허치슨부산	1,447m	4	6개	5개
허치슨감만	350m	1	4개	3개
동부신감만	826m	3	8개	5개
한진감만	350m	1	6개	4개
한진감천	600m	2	6개	4개

주: 각 터미널마다 반입라인 중 1개를 특수화물용 및 회차로로 사용중임.

시뮬레이션 분석에서도 적정규모의 게이트를 산정할 필요가 있는데, 기존의 국내 터미널에서 운영중인 자료를 토대로 적정수의 게이트 입·출구 라인수를 입력자료로 사용하도록 한다.

〈표 5-8〉에서 보듯이 터미널 마다 설계시점에서와 실제 운영되고 있는 라인수의 규모가 상당한 차이가 있다. 그러나, 가장 최근에 개장한 터미널중 1개 선석(350m)으로 운영중인 2개 터미널의 경우 게이트 시설규모는 평균 3.5개 규모로 운영되고 있어 이 값을 기준으로 입력 시나리오를 구성하면 〈표 5-9〉와 같다.

〈표 5-9〉 게이트 입·출구 라인수 시나리오 구성

총라인수	입구라인수	출구라인수
3개	2개	1개
4개	2개	2개
5개*	3개	2개

보통 입구에서의 소요시간이 많으므로 입구라인수를 출구보다 많이 설정하는 것이 일반적이라 할 수 있고, 실적 자료에서 보듯이 입·출구 총 라인수는 실제

1개 선석 운영을 기준으로 할 때 5개레인을 넘지 않고 있어 본 연구에서도 입구 3개, 출구 2개로 구성된 게이트 규모를 적절한 입력값으로 적용하도록 한다.

게이트 서비스 소요시간은 실제 터미널의 운영경험치에서 산출된 통계자료를 사용하는 것이 가장 적절하며 국내 터미널의 운영실적자료를 토대로 게이트 입·출구에서 소요되는 시간을 하역시스템 성능분석에 적용하면 된다.

〈표 5-10〉 게이트 입·출구 통과 소요시간

구분	소요시간	비고
입구	110초	차량번호, 컨테이너, Seal 번호, 외장파손 유무 등
출구	20초	차량번호, 컨테이너 확인 등

주: 부산항 컨테이너 터미널 실적자료(2004) 기준으로 평균값 산출

5) 외부트럭 일일 도착대수 및 도착분포

터미널의 외부트럭 일일도착대수는 시뮬레이션 분석시 야드작업에 부하를 주는 요소로 작용하므로 그 값을 결정할 필요가 있다. 일일 외부트럭 도착대수는 터미널의 선석규모와 화물처리량에 준하여 그 양이 결정되며, 도착비율이 시간대별로 큰 차이가 나타나는 것이 일반적이다.

보통 터미널의 일일도착 외부트럭 대수 산정은 2가지 방법을 사용할 수 있다. 적정처리능력에 기준하여 대수를 산정하는 방법과 적정처리능력이 아닌 실제 운영 경험에서 얻어진 값을 사용하는 것이다. 하역시스템의 성능평가라는 측면에서 보면 적정처리능력에 기준한 일일 차량수를 산정이 적절한 것으로 판단된다. 그 이유는 실제 운영 경험치는 터미널 마다 편차가 클 뿐만 아니라 터미널의 환경적인 요소에 영향을 많이 받으며 또한, 실제 처리능력이 지나치게 높을 경우 많은 수의 차량 발생함으로 이로 인해 하역시스템의 성능을 왜곡시킬 수 있기 때문이다. 적정처리능력에 기준하여 일일도착트럭 대수를 정리하면 다음 〈표 5-11〉과 같이 된다.

〈표 5-11〉은 국내 터미널 설계시 선석당 적정처리물량 37.5만TEU에 준하는

터미널 설계에 기반하여 산정한 것이다. 도착트럭대수는 터미널의 각종 화물구성비율(수출, 수입, 환적등)을 반영한 실험값으로 연간 138.8만TEU의 처리에 3.75개의 선석에서 일일 2,628대의 차량이 도착하는 것으로 산정된 것이다.

〈표 5-11〉 국내 터미널 설계시 일일 외부트럭 도착대수 산정

구분	터미널 능력	선석수	일일도착트럭대수
터미널 A	112.5만TEU	3	2,090
터미널 B	150.0만TEU	4	2,756
터미널 C	180.0만TEU	5	3,461
터미널 D	112.5만TEU	3	2,208
평균	138.8만TEU	3.75	2,628.75

주: 선석길이 350m 기준

이를 1개 선석으로 환산하면 〈표 5-12〉와 같이 선석당 약 700여대의 물량이 계산된다. 그러나, 최근에 와서 터미널의 적정처리수준을 선석당 40만TEU로 상향조정하고 있는 추세이고 이를 감안하면 일일 도착트럭대수도 비례적으로 증가시켜 적용할 필요가 있다³⁶⁾.

〈표 5-12〉 선석당 일일 외부트럭 도착대수

선석당 적정처리량	일일도착트럭대수
37.5만TEU	≒701
40.0만TEU*	≒748

주: 선석길이 350m 기준

한편, 하역시스템에 적용할 외부트럭의 입력자료는 도착대수외에 이들 차량의 도착분포이다. 일일 외부트럭이 터미널에 도착하는 분포는 실제 운영에서 얻은 통계자료를 사용하는 것이 가장 적절하다고 판단되며, 국내 대형터미널의

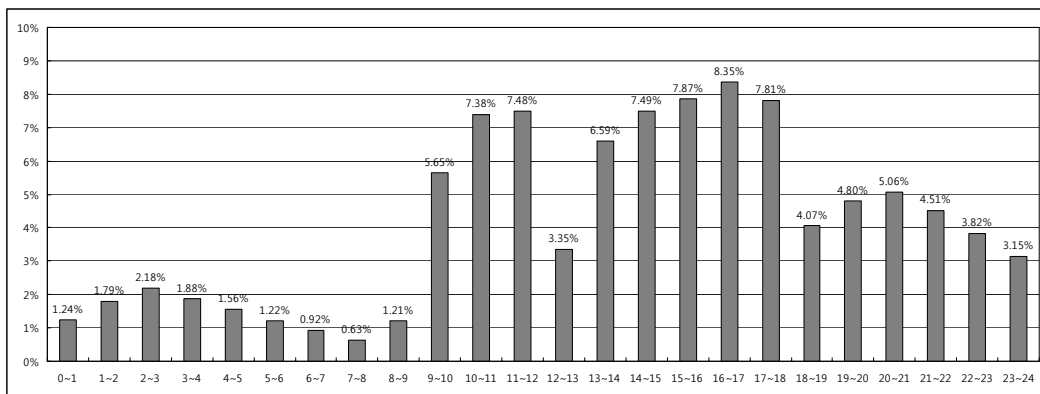
36) 2006년 해양수산부에서 실시한 “컨테이너항만 적정 하역능력 산정” 결과에 따르면 가장 최근에 개장한 부산신항의 경우 선석당 41만TEU를 적정처리능력으로 산정하고 있음.

실적 자료를 사용하도록 한다. 트럭의 도착분포는 일반적으로 대부분 터미널별로 큰 차이를 보이지는 않는다. 그 이유는 외부트럭은 터미널의 내부환경요소에 해당하지 않는 외부환경요소이기 때문이라 할 수 있겠다³⁷⁾.

〈표 5-13〉 일일 외부트럭 도착분포

시 간	도착비율(%)	시 간	도착비율(%)
~ 01:00	1.24	~ 13:00	3.35
~ 02:00	1.79	~ 14:00	6.50
~ 03:00	2.18	~ 15:00	7.49
~ 04:00	1.88	~ 16:00	7.87
~ 05:00	1.56	~ 17:00	8.35
~ 06:00	1.22	~ 18:00	7.81
~ 07:00	0.92	~ 19:00	4.07
~ 08:00	0.63	~ 20:00	4.80
~ 09:00	1.21	~ 21:00	5.06
~ 10:00	5.65	~ 22:00	4.51
~ 11:00	7.38	~ 23:00	3.82
~ 12:00	7.48	~ 24:00	3.15

자료: 허치슨 부산 컨테이너터미널 2005년 운영 실적 자료



〈그림 5-6〉 일일 외부트럭 시간대별 도착분포

37) 터미널별로 게이트의 운영시간에 따라 도착비율에 차이가 발생하지만 그 차이는 미미한 수준임, 특히, 도착분포가 하역시스템에 영향을 주는 것은 피크시간대의 도착비율로 국내의 경우 피크시 8-9%의 비율을 보이고 있음.

5.2 분석 시나리오 구성

대안별 하역시스템 성능은 각 장비대안과 야드설계안을 모두 조합으로 구성하여 종합적으로 분석하는 것으로 본 연구에서는 크게 단위성능과 통합성능으로 구분하여 분석하도록 한다.

단위성능은 기존 하역시스템에 차세대 기술을 각각 적용하였을 경우에 생산성 효과와 장단점을 분석하는 것으로, 안벽시스템의 경우 기존 이송장비인 YT/AGV를 기반으로 안벽대안(듀얼형, 더블형, 슈퍼형)의 성능을 평가하는 것이다. 마찬가지로 이송시스템의 경우에는 기존 싱글형 C/C를 기반으로 이송대안(DSV, SHC, ALV)의 성능을 평가하는 것이 된다. 통합성능은 차세대 기술만으로 구성된 하역시스템을 대상으로 성능을 수행하는 것으로 기존 안벽과 이송대안을 제외한 차세대 대안들로 하역시스템을 구성하고 그 성능을 평가한다.

단위성능과 통합성능 분석에는 RMGC장비와 야드배치 3가지안이 공통으로 적용되며 장비투입대수도 시나리오에 포함된다. 하역시스템 성능 분석을 위한 시나리오 구성은 다음 <표 5-14>와 같다.

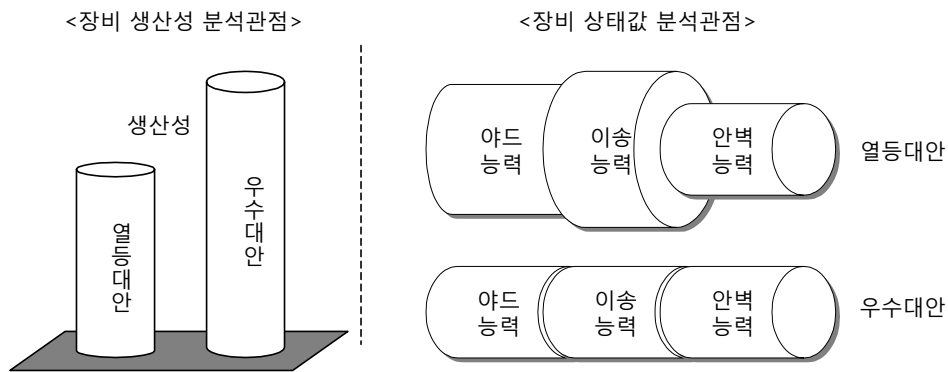
<표 5-14> 분석 시나리오 구성

대안의 개수		안벽시스템	이송시스템	야드시스템
유형		4개 장비안	4개 장비안	3개 배치안
장비대수	기본안	4대	4대	1대
	확장안	-	3-6대	2대

분석시나리오는 우선 동등한 조건에서 각 하역장비의 투입대수를 안벽 4대, 이송 4대, 야드 1대의 최소 설계사양으로 한 기본안과 이송과 야드에 장비대수를 추가로 투입하는 확장안 2가지로 분류하였다. 시뮬레이션 수행시에는 먼저 기본안을 적용하여 결과물을 산출하고, 그 결과를 토대로 확장안을 적용하여 장비구성에 따른 하역시스템 성능을 세부적으로 분석하였다.

5.3 분석 관점

하역시스템의 대안별 평가와 관련한 시뮬레이션 분석결과를 크게 2가지 관점에서 분석하도록 한다. 하나는 결과에서 산출된 장비 생산성관점으로 안벽, 이송, 야드 및 게이트의 생산성이다. 다른 한 가지는 장비 상태값관점이다. 이 값은 본 연구의 시뮬레이션 모델을 기반으로 할 때 하역작업과정에서 발생한 각 세부작업단계별 수행시간까지 얻을 수 있다.



<그림 5-7> 하역시스템 성능분석 관점

장비 생산성 분석관점은 각 장비의 시간당 처리량인 생산성값이 클수록 우수한 하역시스템 대안으로 평가할 수 있다는 측면이다. 그러나, 장비의 생산성값이 거의 동일한 수준이거나 큰 차이를 보이지 않을 경우 하역시스템의 평가는 장비별 작업상태값 측면에서 분석될 수 있다는 것이다. 장비별 작업상태값 분석관점은 하역시스템에 잠재해 있는 성능을 파악하는 것으로, 장비간의 균형있는 조합을 가지는 경우 우수한 하역시스템 대안으로 평가될 수 있다. 그러나, 이러한 장비조합의 불균형이 심한 경우 상대적으로 열등한 대안으로 평가할 수 있다. 장비간 균형 있는 조합을 판별하는 방법은 하역장비의 대기시간비율을 참조하면 된다. 즉, 동일한 수준의 생산성을 달성할 경우에 장비간 대기시간이 서로 작을수록 상호 균형있는 조합을 구성하고 있기 때문에 우수한 하역시스템

으로 평가될 수 있다. 하역시스템을 평가하기 위한 구체적인 항목은 여러 가지가 있을 수 있겠으나 본 연구에서는 <표 5-15>에서와 같이 안벽능력, 장비조합균형을 기준으로 하역시스템을 평가하도록 한다.

<표 5-15> 하역시스템 평가 기준

평가순위	평가내용	판별기준
1	안벽능력	투입대수 대비 생산성 효과
2	장비조합균형	장비 대기시간, 동선거리 등

대부분 하역시스템 평가는 안벽능력에 가장 비중을 두고 순위를 평가할 수 있으나, 장비조합균형도 충분히 고려해야 한다. 안벽능력을 좀더 향상시키기 위해 이송과 야드장비의 투입대수를 일정대수 이상 과다하게 투입하는 것은 좋은 대안이라 할 수 없기 때문이다. 따라서, 1번과 2번항목을 상호 참조하여 대안을 평가하여야 하며, 이는 이송장비와 야드장비 투입대수를 가지고 안벽장비의 생산성 민감도 분석을 해야 함을 의미한다.

본 시뮬레이션 분석에서는 단위성과와 통합성능분석을 수행하고 그 결과를 기초로 각 하역시스템 대안별 장비조합을 산출해 보았다.

추가로 하역시스템을 구성하는 장비의 표기를 다음과 같이 하도록 한다.

<표 5-16> 하역시스템 구성 식별자

구분	식별자	구분	식별자
싱글형 C/C	ST-C	YT/AGV	YT/AGV
듀얼형 C/C	DT-C	2단적재차량	DSV
더블형 C/C	DD-C	셔틀캐리어	SHC
슈퍼형 C/C	SS-C	자가하역차량	ALC

5.4 단위성능 분석

단위성능은 안벽장비성능과 이송장비성능으로 나누어 분석한다. 안벽장비성

능은 이송장비로 YT/AGV를 적용하며, 이송장비 성능은 기존의 싱글트롤리형 C/C를 적용한 하역시스템을 대상으로 한다. 두 가지 성능분석에는 수평 2가지와 수직 1가지 야드배치안을 모두 적용한다.

1) 안벽장비성능 분석

기존의 이송시스템 YT/AGV에 기반한 4가지 안벽장비에 대한 생산성을 분석하는 것으로, 안벽장비성능 분석의 목적은 기존의 이송시스템을 그대로 유지하면서 효과적인 하역시스템을 구성하기 위한 안벽장비유형과 야드배치설계안을 도출하는데 목적이 있다. 안벽장비기술에 기반한 하역시스템 성능을 C/C당 투입되는 이송장비의 대수와 Run당 RMGC 투입대수 기준으로 나누어 시뮬레이션 분석결과를 산출하면 다음과 같다.

(1) 시뮬레이션 결과- I

시뮬레이션 결과- I 은 Run당 RMGC를 1대로 하였을 경우에 각 C/C유형별 생산성을 산출한 값으로 안벽장비 4가지 유형에 대해 대부분 YT 투입대수별로 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. YT의 운행대수를 C/C당 3대에서 6대까지 투입했을 경우 YT의 운행대수가 많아질수록 C/C의 생산성은 계속 향상되는 현상을 보이기는 하였으나, YT의 운행대수와는 무관하게 4가지 유형의 C/C 모두가 거의 동일한 생산성 값을 나타내었다.

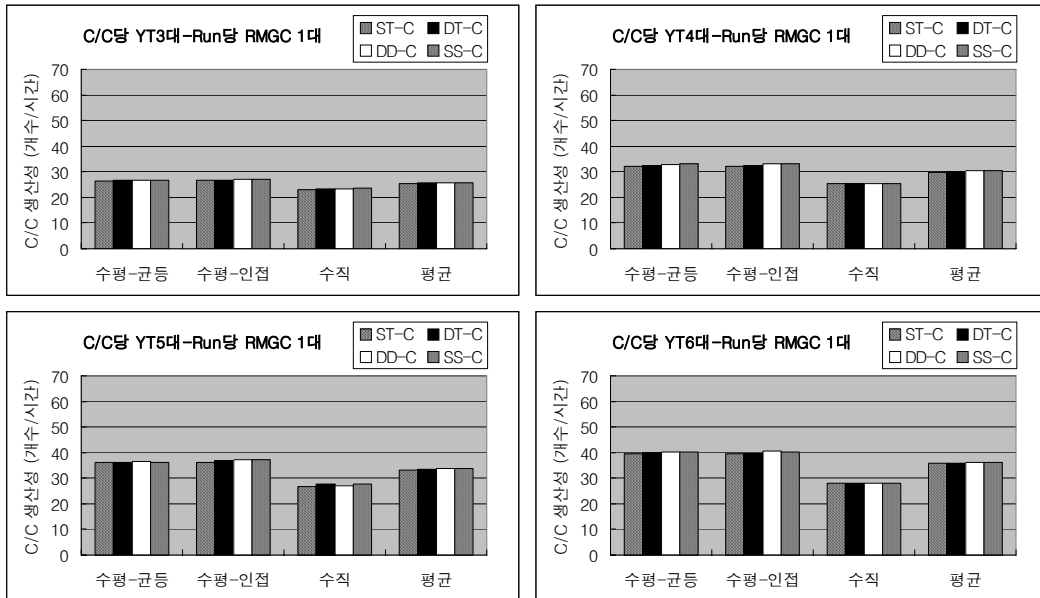
이같이, C/C의 MP값에서 서로 차이가 있는 4가지 안벽장비가 YT의 운행대수에 무관하게 생산성이 서로 비슷하게 나타나는 것은 결국 야드장비인 RMGC의 지원능력이 매우 떨어졌기 때문인 것으로 판단할 수 있다³⁸⁾.

38) 야드가 병목현상을 가지는 상태에서는 이송장비 역시 연쇄적으로 병목이 발생하기 때문에 원활한 C/C 지원이 가능하지 않게 되며 또한, 이송장비 투입대수 증가에 따른 C/C 생산성 향상효과도 정확히 판별하기 어려움.

<표 5-17> 시뮬레이션 결과- I (C/C 생산성)

(단위: 개/시간)

시나리오 구분		야드배치안				생산성 순위
		수평-균등	수평-인접	수직	평균	
I -1 (YT3대)	ST-C	26.3	26.7	23.2	25.4	4
	DT-C	26.7	26.7	23.3	25.6	3
	DD-C	26.9	27.1	23.4	25.8	2
	SS-C	26.8	27.0	23.8	25.9	1
I -2 (YT4대)	ST-C	32.0	32.1	25.4	29.8	4
	DT-C	32.5	32.6	25.2	30.1	3
	DD-C	32.9	33.0	25.5	30.4	2
	SS-C	33.2	33.0	25.5	30.6	1
I -3 (YT5대)	ST-C	36.1	36.2	26.7	33.0	4
	DT-C	36.2	36.9	27.7	33.6	3
	DD-C	36.5	37.4	27.2	33.7	2
	SS-C	36.3	37.3	27.6	33.7	1
I -4 (YT6대)	ST-C	39.5	39.6	28.1	35.7	4
	DT-C	39.8	39.4	28.0	35.7	3
	DD-C	40.1	40.7	28.0	36.3	2
	SS-C	40.4	40.2	28.1	36.2	1
대안 구성		C/C 4대 ⇔ C/C별 YT 3~6대 ⇔ Run별 RMGC 1대				



<그림 5-8> 시뮬레이션 결과- I (C/C 생산성)

다시말해, 하역시스템의 병목현상이 야드에서 발생하여 C/C의 생산성이 일정한 값 이내로 제한을 받았다고 할 수 있다. 이러한 결과는 수직배치형보다는 수평배치형 야드에서 다소 높은 C/C생산성을 보인 것을 보면 알 수 있다. 이는 수직배치형태에서는 RMGC의 동선거리가 수평배치에 비해 증가하기 때문에 야드생산성이 더 낮아지기 때문이다. 따라서, 수평보다는 수직배치형에서 야드의 병목현상이 심하게 나타나 연속적으로 YT와 C/C의 작업에 영향을 주었다고 할 수 있다.

<표 5-18> 시뮬레이션 결과- I (RMGC 생산성)

(단위: 개수/시간)

시나리오 구분		야드배치안				C/C 평균생산성
		수평-균등	수평-인접	수직	평균	
I-1 (YT3대)	ST-C	30.4	30.9	24.6	28.7	25.4
	DT-C	30.4	30.7	24.5	28.5	25.6
	DD-C	30.7	30.6	24.8	28.7	25.8
	SS-C	30.6	30.7	24.7	28.7	25.9
I-2 (YT4대)	ST-C	30.7	30.6	24.6	28.6	29.8
	DT-C	30.8	30.4	24.7	28.7	30.1
	DD-C	30.6	30.2	24.6	28.5	30.4
	SS-C	30.7	30.6	24.5	28.6	30.6
I-3 (YT5대)	ST-C	30.3	30.5	24.5	28.4	33.0
	DT-C	30.7	30.5	24.5	28.6	33.6
	DD-C	30.8	30.8	24.7	28.8	33.7
	SS-C	30.5	30.6	24.8	28.6	33.7
I-4 (YT6대)	ST-C	30.4	30.5	24.6	28.5	35.7
	DT-C	30.3	30.6	24.7	28.5	35.7
	DD-C	30.8	30.6	24.6	28.7	36.3
	SS-C	30.8	30.6	24.7	28.7	36.2
대안 구성		C/C 4대 ⇔ C/C별 YT 3~6대 ⇔ Run별 RMGC 1대				

각 대안별로 RMGC의 생산성을 정리한 <표 5-18>을 보면, RMGC 평균생산성은 시간당 28~29개로 산출되고 있다. 이를 총 투입대수 8대로 환산하면 야드에서의 시간당 처리능력은 약 224~232개가 된다. 만약, RMGC가 C/C의 지원작업

만을 전담하였다고 가정하면 C/C 각각에 대해 최대 시간당 56~58개의 작업지원이 가능한 것으로 계산된다. 따라서, DT, DD, SS의 경우 C/C 생산성이 56~58에 근접하는 수치까지 도달할 수 있어야 한다³⁹⁾.

그러나, RMGC는 C/C의 작업뿐만 아니라 외부트럭의 작업도 병행해야 하기 때문에, C/C에 지원되는 능력은 상당부분 떨어질 수 밖에 없고, 이러한 이유로 시뮬레이션 결과- I 에서 시간당 58개보다 낮은 최고 36.3개(I-4 DD-C)의 값으로 산출되었다. 산술적으로 계산하면 시간당 21.9개의 처리능력은 반출입을 위한 외부트럭작업에 소요되었다고 할 수 있으며, 이는 이송장비의 야드대기상태가 많았음을 의미한다.

<표 5-19>는 시뮬레이션 결과- I 에서 산출된 이송장비의 야드대기비율을 나타낸 것이다. 이송장비의 야드대기비율은 수직배치형에서 상당히 높게 나타나고 있는데 이는 야드에서의 RMGC의 처리능력이 낮아 YT의 하역작업이 원활하게 이루어지지 않았음을 의미한다. 따라서, YT의 C/C지원작업도 지연되었으며, 이러한 현상을 인해 결국 C/C의 생산성이 낮게 산출되었음을 말해주고 있다⁴⁰⁾.

<표 5-19> 시뮬레이션 결과- I (YT 야드대기율)

(단위: %, 개/시간)

시나리오 구분	야드배치안				C/C 생산성
	수평-균등	수평-인접	수직	평균	
I-1 (YT3대)	25.9	25.9	66.0	39.3	25.6
I-1 (YT4대)	31.2	31.9	72.0	45.0	30.2
I-1 (YT5대)	38.1	37.7	75.7	50.5	33.5
I-1 (YT6대)	42.5	43.1	79.0	54.9	36.0
대안 구성	C/C 4대 ⇔ C/C별 YT 3~6대 ⇔ Run별 RMGC 1대				

39) DT-C, DD-C, SS-C의 경우는 MP값이 모두 60이상이므로 이송 및 야드장비의 최대지원능력이 시간당 56~58개 수준이라면 C/C 생산성 또한 이 값에 근접하게 산출되어야 함.

40) YT의 야드대기율은 각 차량이 야드에서 대기한 비율을 의미하기 때문에 대기율로 C/C의 지원작업능력을 판별할 수는 없음. 즉, YT 3대와 YT 4대를 투입한 경우 대기율이 동일하다고 C/C 생산성이 같은 것은 아니며 이 경우 YT 4대를 투입한 C/C의 생산성이 더 높아지게 됨.

이상의 내용에서 시뮬레이션 결과-I 은 야드의 병목현상으로 C/C의 유형별 생산성 차이가 거의 없기 때문에 기존 YT/AGV를 이송시스템으로 적용하고 Run당 RMGC 1대를 투입하는 경우의 하역시스템에서는 차세대 안벽장비인 3가지 대안이 큰 적용효과를 거둘 수 없다고 할 수 있겠다.

(2) 시뮬레이션 결과-II

시뮬레이션 결과-II에서는 야드의 병목현상을 상당부분 해소하여 C/C의 적용효과를 분석해 보았다. 이를 위해 Run당 2대의 RMGC를 투입하였다⁴¹⁾.

시뮬레이션 결과-II는 야드의 병목현상이 해소된 상황으로 각 C/C 유형별로 YT 투입대수에 따라 다소 생산성 격차가 결과-I에 비해 증가한 것으로 산출되었으나, ST-C를 제외한 나머지 유형인 DT-S, DD-S, SS-S간에는 여전히 큰 격차없이 거의 비슷한 수준의 생산성을 가지는 것으로 나타났다.

그런데, 야드배치형에 있어서는 결과-I과 다른 상황을 보였다. 결과-I에서는 수평배치형 2가지안이 수직배치형에 비해 비교적 높은 C/C 생산성 값을 가졌으나, 결과-II에서는 수직배치형에서 오히려 높은 C/C 생산성을 가지는 경우가 많아진 것으로 나타났다.

시뮬레이션 결과-II의 시나리오 II-1, 2, 3을 보면 수직배치형에서 C/C 생산성이 더 높게 나타난 것을 알 수 있다. 이러한 결과가 산출된 이유로는 이전의 결과-I에서는 수직배치형이 가지는 이송장비의 짧은 운행거리가 야드병목 현상의 심화로 큰 효과를 보지 못한 것으로 판단할 수 있다.

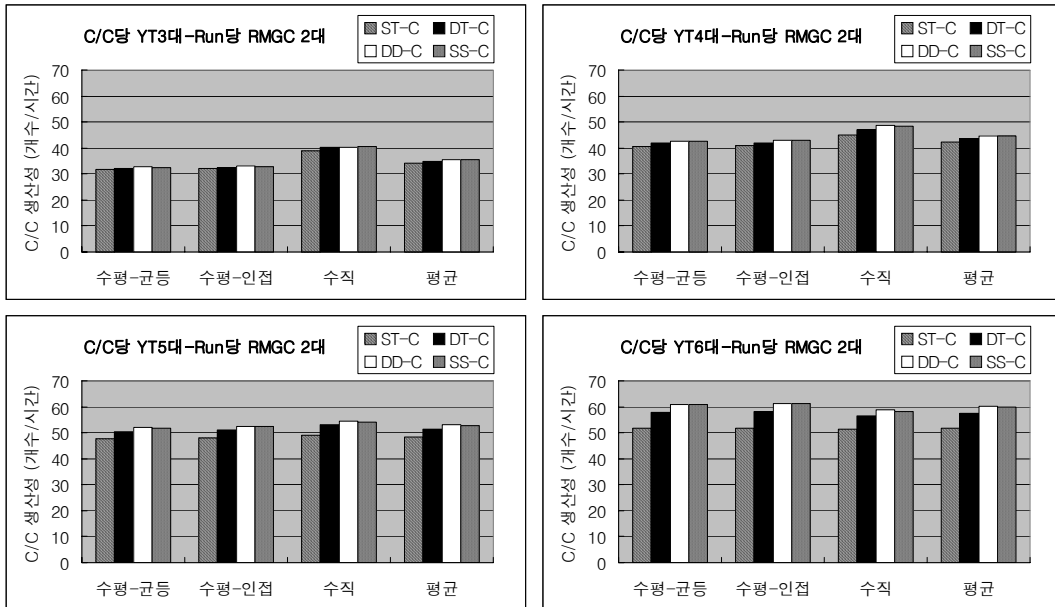
한편, 가장 큰 C/C 생산성 격차를 보인 경우는 <표 5-21>에서와 같이 C/C당 YT 대수를 3대에서 4대로 증가시킨 경우로 전체평균 8.9개의 향상치를 보이는 것으로 나타났다. 그 이후로는 점진적으로 향상치가 체감하는 현상을 보였다.

41) Run당 2대의 RMGC를 투입하여도 야드병목현상이 완전히 해소되는 것은 아님. 그러나, 실제 운영가능한 적정대수는 2대를 넘을 수 없다고 판단되며, 따라서, 본 연구에서는 Run당 2대를 야드시스템의 최대지원능력으로 간주하였음.

<표 5-20> 시뮬레이션 결과-II (C/C 생산성)

(단위: 개/시간)

시나리오 구분	야드배치안				생산성 순위	
	수평-균등	수평-인접	수직	평균		
II -1 (YT3대)	ST-C	31.6	32.0	38.7	34.1	4
	DT-C	32.1	32.6	40.1	34.9	3
	DD-C	32.6	33.0	40.4	35.3	2
	SS-C	32.6	33.0	40.6	35.4	1
II -2 (YT4대)	ST-C	40.5	40.8	45.0	42.1	4
	DT-C	41.8	42.1	47.1	43.7	3
	DD-C	42.7	43.1	48.7	44.8	2
	SS-C	42.6	42.8	48.5	44.6	1
II -3 (YT5대)	ST-C	47.6	48.1	49.2	48.3	4
	DT-C	50.4	50.9	53.1	51.5	3
	DD-C	52.1	52.5	54.4	53.0	1
	SS-C	51.7	52.3	54.2	52.7	2
II -4 (YT6대)	ST-C	51.7	51.8	51.3	51.6	4
	DT-C	57.9	58.2	56.3	57.5	3
	DD-C	60.9	61.2	58.8	60.3	1
	SS-C	60.8	61.2	58.0	60.0	2
대안 구성		C/C 4대 ⇔ C/C별 YT 3~6대 ⇔ Run별 RMGC 2대				



<그림 5-9> 시뮬레이션 결과-II (C/C 생산성)

<표 5-21> 시뮬레이션 결과-II (C/C 생산성 향상율)

(단위: 개/시간)

시나리오 구분		야드매치안				향상치
		수평-균등	수평-인접	수직	평균	
YT 3대 ↓ YT 4대	ST-C	8.81	8.82	6.29	7.97	△8.9
	DT-C	9.69	9.53	6.98	8.73	
	DD-C	10.01	10.10	8.28	9.46	
	SS-C	9.96	9.89	7.92	9.26	
YT 4대 ↓ YT 5대	ST-C	7.15	7.28	4.12	6.18	△7.6
	DT-C	8.58	8.83	6.01	7.81	
	DD-C	9.43	9.43	5.78	8.21	
	SS-C	9.16	9.41	5.72	8.10	
YT 5대 ↓ YT 6대	ST-C	4.06	3.64	2.15	3.28	△6.0
	DT-C	7.51	7.24	3.22	5.99	
	DD-C	8.84	8.68	4.32	7.28	
	SS-C	9.01	8.90	3.84	7.25	
대안 구성		C/C 4대 ⇔ C/C별 YT 3~6대 ⇔ Run별 RMGC 2대				

이는 YT의 C/C당 투입대수가 3대일 경우는 이송장비의 병목현상이 가장 심하다는 것을 의미하며 YT 대수를 증가시킴으로써 병목현상이 점차 해소되고 있는 것이라 할 수 있다. 또한, YT 투입대수대비 C/C 생산성 향상효과 측면에서 C/C당 4대의 YT를 투입하는 것이 하역시스템 설계시 가장 좋은 장비조합구성임을 의미한다고도 볼 수 있다.

한편, 운행가능 최대 대수인 YT 6대를 투입한 경우를 보면, C/C의 생산성은 ST-C의 경우에 최대치인 MP값에 도달하였으며, DT-C의 경우는 MP의 90%이상을 기록하였다. 그 외 DD-C와 SS-C는 시간당 60개 정도의 생산성을 보이는 것으로 나타났다.

시뮬레이션 결과-II의 내용을 정리하면 결과적으로 이송장비를 C/C당 최대로 투입하더라도 C/C의 지원능력이 최대 시간당 60개 이내 수준에 머무는 것을 의미한다. 이를 터미널의 하역시스템 설계 관점에서 보면 YT/AGV를 이송장비로 적용하는 터미널의 하역시스템은 C/C의 생산성도 결국 시간당 60개를 넘을 수

없다는 것을 의미한다고 하겠다. 따라서, DD-C나 SS-C와 같은 시간당 60개 이상의 MP값을 가지는 고성능 장비를 굳이 안벽시스템의 하역장비로 도입할 필요가 없음을 의미한다. 추가로, C/C의 생산성을 시간당 최고 60개 수준으로 하고 RMGC를 Run당 2대를 투입한다고 가정하여 하역시스템을 설계한다면, 수평 배치형보다는 수직배치형의 야드설계가 유리한 것을 알 수 있다.

(3) 시뮬레이션 결과 종합(I, II)

이상의 시뮬레이션 결과-I, II의 내용을 토대로 YT/AGV 유형의 이송장비를 사용하는 터미널 하역시스템의 설계 방향을 수립하면 다음 <표 5-22>와 같다.

<표 5-22> YT/AGV 이송시스템 기반의 터미널 하역시스템 설계 방향

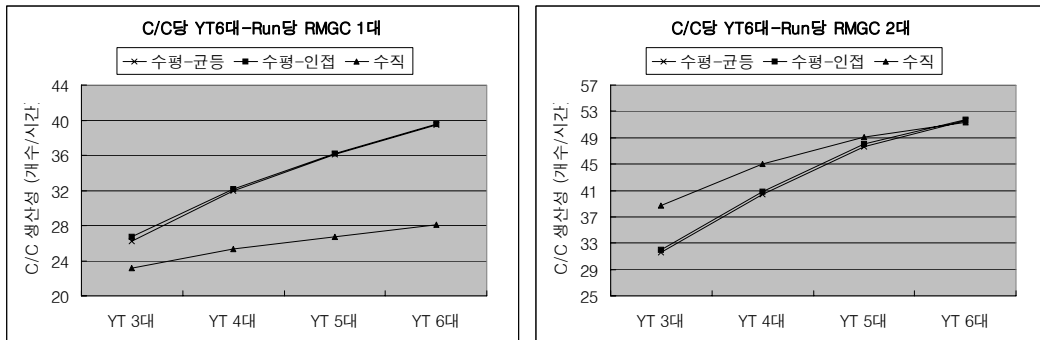
야드장비(Run당)	이송장비대수(C/C당)	안벽장비 유형	배치형태
RMGC 1대	4대	ST-S	수평-인접배치
RMGC 2대	4대	DT-S	수직배치

시뮬레이션 결과-I를 토대로 할 때 터미널의 하역시스템은 이송장비로 YT/AGV를 사용하고, Run당 RMGC 1대를 투입할 경우라면 기존의 ST-C 안벽장비를 그대로 하역시스템에 적용하는 것이 상대적으로 유리한 하역시스템 설계형태라 할 수 있다. 이는 C/C의 유형을 달리하여도 생산성에 차이가 거의 없으므로 기능적으로 단순하고 운영에 유리한 ST-C형의 안벽장비를 사용하는 것이 적합하다는 것이다⁴²⁾. 또한, C/C당 투입되는 YT의 운행대수에 있어서도 투입대비 생산성 효과가 가장 큰 4대가 적절할 것으로 판단된다. 야드배치형태의 경우는 Run당 1대의 RMGC를 사용함으로써 장비의 동선거리를 줄여 야드병목현상을 감소시킬 수 있는 수평-인접형 배치가 유리한 대안으로 판단된다.

마찬가지로, 시뮬레이션 결과-II를 토대로 할 경우에는 RMGC가 Run당 2대씩 투입됨에 따라 야드의 병목현상이 일부 해소되기 때문에 C/C 생산성 달성에

42) 각 C/C의 MP대비 생산성 효과측면에 기준하여 C/C 유형을 선정하였음.

서 ST-C보다 높은 DT-C 안벽장비를 사용하는 것이 유리하다. 또한, 야드배치 형태에서도 이송장비의 운행거리가 짧아지는 수직배치형이 가장 효과적인 하역 시스템 설계안이라 할 수 있겠다.



<그림 5-10> 적정운행대수&야드배치형태에 따른 C/C 생산성 효과

이상으로 YT/AGV 이송시스템에 기반한 안벽장비대안의 성능분석을 수행하였다. 다음으로 기존 ST-C 안벽시스템에 기반한 이송장비대안의 성능분석을 수행하여 하역시스템 설계 방향을 가늠해 보도록 한다.

2) 이송장비성능 분석

이송장비성능 분석은 기존의 안벽시스템에서 사용되고 있는 ST-C 유형의 안벽장비를 기준으로 4가지 이송장비인 YT/AGV, DSV, SHC, ALV를 적용한 하역시스템 성능을 평가하는 것이다. YT/AGV에 대한 성능은 앞서 분석된 결과를 사용하며, 나머지 3가지 대안에 대해 추가로 분석하고 그 결과를 서로 비교하면 다음과 같다.

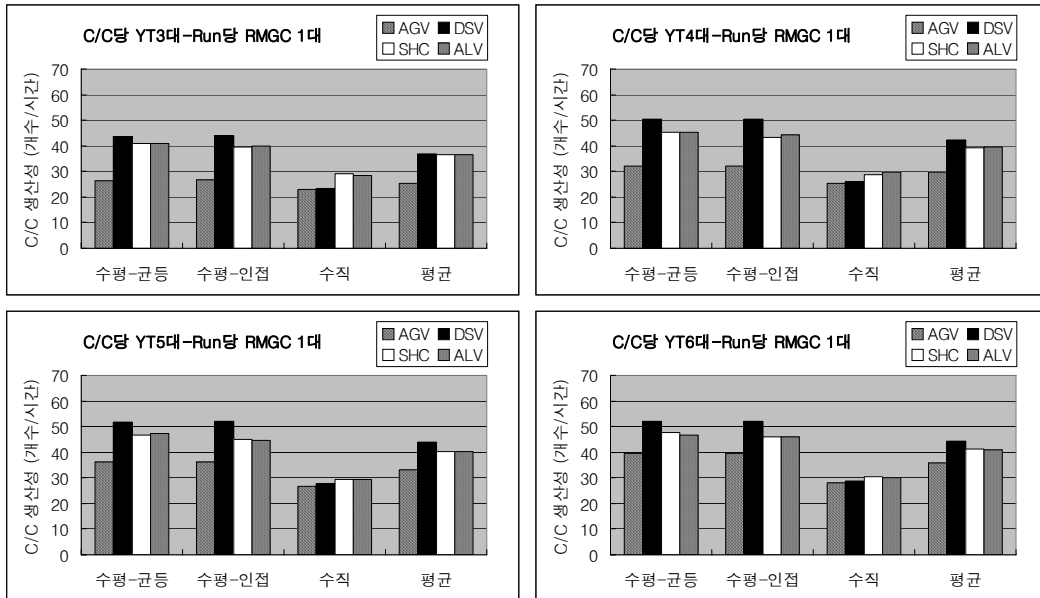
(1) 시뮬레이션 결과-III

시뮬레이션 결과-III은 야드장비인 RMGC를 Run당 1대를 투입한 하역시스템을 대상을 하고 있으며, 그 결과는 <표 5-23>와 같다.

<표 5-23> 시뮬레이션 결과-III(C/C 생산성)

(단위: 개/시간)

시나리오 구분		야드배치안				생산성 순위
		수평-균등	수평-인접	수직	평균	
III-1 (3대)	YT/AGV	26.3	26.7	23.2	25.4	4
	DSV	43.7	43.9	23.3	37.0	1
	SHC	40.8	39.5	29.0	36.4	3
	ALV	41.1	40.0	28.3	36.5	2
III-2 (4대)	YT/AGV	32.0	32.1	25.4	29.8	4
	DSV	50.3	50.4	26.1	42.3	1
	SHC	45.3	43.1	28.8	39.1	3
	ALV	45.3	44.3	29.6	39.7	2
III-3 (5대)	YT/AGV	36.1	36.2	26.7	33.0	4
	DSV	51.9	52.0	27.7	43.9	1
	SHC	46.8	45.0	29.4	40.4	3
	ALV	47.3	44.6	29.3	40.4	2
III-4 (6대)	YT/AGV	39.5	39.6	28.1	35.7	4
	DSV	52.2	52.2	28.6	44.3	1
	SHC	47.7	46.0	30.3	41.4	2
	ALV	46.7	45.9	30.0	40.9	3
대안 구성		ST-C 4대 ⇔ C/C별 이송장비 3-6대 ⇔ Run별 RMGC 1대				



<그림 5-11> 시뮬레이션 결과-III(C/C 생산성)

산출된 결과에서 YT/AGV를 제외한 3가지 이송장비대안인 DSV, SHC, ALV를 적용한 하역시스템의 C/C 생산성은 전반적으로, 기존의 YT/AGV보다 높은 C/C 생산성을 가지는 것으로 나타났다. 산출된 결과를 야드배치형태별로 구분해서 살펴본다.

우선, 수평배치형 2가지안을 대상으로한 하역시스템의 경우에 C/C당 투입되는 이송장비대수 각각의 시나리오에서 모두 기존보다 월등히 좋은 C/C 생산성 값을 가졌다. C/C 생산성 향상율을 살펴보면, 시뮬레이션 결과-III에서도 장비 유형에 관계없이 C/C당 투입되는 이송장비대수가 3대에서 4대로 될 때 모든 이송장비들의 C/C 생산성 향상율이 가장 높은 것으로 나타났다. 반면, 4대 이상의 투입시부터는 향상율이 점차 둔화되는 현상을 보이는 것으로 나타났다. 따라서, 이송장비의 적정투입대수도 투입대수 증가에 따른 C/C 생산성 향상율 기준에서 시뮬레이션 결과- I, II 와 동일하게 4대가 된다고 할 수 있겠다.

각 장비유형별로 보면 동일한 대수에서 가장 우수한 C/C 생산성을 나타낸 이송장비는 DSV이며, C/C당 4대를 투입했을 경우에 ST-C의 MP값에 근접하는 높은 생산성을 보였다. 이에 반해 기존의 YT/AGV는 4대 투입시 MP값의 61%, 최대투입대수 6대에서도 약 76% 정도에 머무는 낮은 C/C 생산성을 보여 DSV와는 상당히 대조적인 현상을 보였다. 한편, SHC와 ALV의 경우는 DSV에는 못 미치지만 C/C당 5대 투입시에 MP값에 거의 도달하는 높은 C/C 생산성을 보여 차세대 장비인 3가지 이송장비 유형이 모두 기존의 YT/AGV보다는 우수한 대안으로 평가될 수 있다.

이와는 달리 수직배치형을 가지는 하역시스템의 경우에는 이송장비 투입대수 기준에서 볼 때 생산성 격차가 YT/AGV와 비교해서 수평배치형에 비해 큰 차이를 보이지 않는 것으로 분석되었다. C/C의 생산성 격차가 배치형태별로 차이가 나는 이유는 앞서 시뮬레이션 결과- I 에서도 살펴보았듯이 Run당 RMGC를 1대 투입한 경우 야드시스템의 병목현상에 의한 것이라 할 수 있겠다. 따라서,

야드병목현상으로 인해 이송장비 유형간의 기능적 효과 발휘되지 못하여 C/C의 생산성 차이를 확인하기 어려운 점이 많은 것으로 판단된다.

(2) 시뮬레이션 결과-Ⅳ

시뮬레이션 결과-Ⅱ와 동일한 방법으로 Run당 RMGC를 2대로 설정하여 시뮬레이션 결과를 산출해보았다. 시뮬레이션 결과-Ⅳ에서는 결과-Ⅲ에서와는 다소 다른 패턴의 결과가 산출되었는데, 가장 두드러진 현상은 SHC와 ALV의 기능적 장점이 반영되어 C/C의 생산성이 높아진 점을 들 수 있다.

시뮬레이션 결과-Ⅲ에서는 전반적으로 DSV가 수평배치안에서 가장 우수한 이송장비로 평가되었으나, 시뮬레이션 결과-Ⅳ에서는 SHC와 ALV가 수평배치안에서 DSV 못지 않은 C/C 생산성을 가지는 것으로 나타났다. 또한, 시뮬레이션 결과-Ⅲ에서는 수직배치안에 대해서는 이송장비 유형에 따라 C/C의 생산성에 큰 차이가 없었으나, 시뮬레이션 결과-Ⅳ에서는 SHC와 ALV가 YT/AGV와 DSV보다 상당히 우수한 능력을 보이는 것으로 나타났다.

C/C당 투입되는 이송장비의 대수면에서 서로 비교해 보면, 수평배치안의 경우 ST-C의 MP값에 근접하는 생산성을 달성하기 위해서 C/C당 YT/AGV는 6대, DSV는 3대, SHC와 ALV는 4대 정도가 된다. 이는 기존 이송시스템의 장비유형을 DSV, SHC, ALV로 대체하면 투입대수를 절감할 수 있음을 의미하며 특히, DSV는 YT/AGV의 절반수준의 대수로도 기존 이송시스템의 역할을 충분히 수행할 수 있을 것으로 분석되었다.

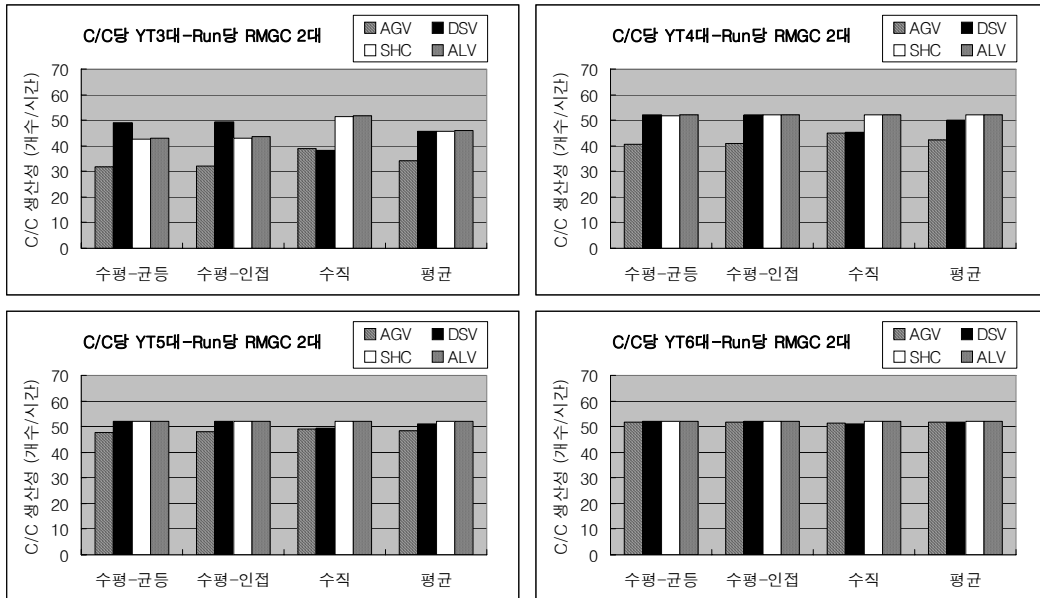
<표 5-24> 차세대 이송장비의 투입대수 절감효과(수평배치)

구분	YT/AGV	DSV	SHC	ALV
목표생산성	ST-C MP(시간당 약 52개)			
야드시스템	수평배치(균등, 인접형), Run당 RMGC 2대			
요구대수	6대	3대	4대	4대
절감효과	-	▼50%	▼33%	▼33%

<표 5-25> 시뮬레이션 결과-Ⅳ(C/C 생산성)

(단위: 개/시간)

시나리오 구분		야드배치안				생산성 순위
		수평-균등	수평-인접	수직	평균	
Ⅳ-1 (3대)	YT/AGV	31.6	32.0	38.7	34.1	4
	DSV	49.1	49.5	38.3	45.6	2
	SHC	42.5	43.0	51.4	45.6	2
	ALV	42.9	43.5	51.6	46.0	1
Ⅳ-2 (4대)	YT/AGV	40.5	40.8	45.0	42.1	4
	DSV	52.2	52.2	45.5	49.9	3
	SHC	51.8	52.0	52.1	52.0	2
	ALV	52.1	52.1	52.0	52.1	1
Ⅳ-3 (5대)	YT/AGV	47.6	48.1	49.2	48.3	4
	DSV	52.2	52.2	49.3	51.2	3
	SHC	52.2	52.2	52.1	52.1	2
	ALV	52.2	52.2	52.1	52.2	1
Ⅳ-4 (6대)	YT/AGV	51.7	51.8	51.3	51.6	4
	DSV	52.2	52.2	51.2	51.9	3
	SHC	52.2	52.2	52.2	52.2	1
	ALV	52.2	52.2	52.1	52.2	1
대안 구성		ST-C 4대 ⇔ C/C별 이송장비 3-6대 ⇔ Run별 RMGC 2대				



<그림 5-12> 시뮬레이션 결과-Ⅳ(C/C 생산성)

한편, 수직배치형에서는 SHC와 ALV가 이송장비 투입대수와 C/C 생산성 달성 측면에서 YT/AGV와 DSV보다 더 우수한 것으로 나타났다. 특히, DSV의 경우는 수평배치형에서와는 달리 수직배치형에서 기존 YT/AGV와 큰 차이가 없는 C/C 생산성을 나타내고 있어 수직배치형에서는 이 장비유형이 많은 취약점을 가지는 것으로 판단된다⁴³⁾.

<표 5-26> 차세대 이송장비의 투입대수 절감효과(수직배치)

구분	YT/AGV	DSV	SHC	ALV
목표생산성	ST-C MP(시간당 약 52개)			
야드시스템	수직배치, Run당 RMGC 2대			
요구대수	6대	6대	3대	3대
절감효과	-	0%	▼50%	▼50%

(3) 시뮬레이션 결과종합(Ⅲ,Ⅳ)

이상의 시뮬레이션 결과-Ⅲ, Ⅳ의 내용을 정리하면 안벽장비로 기존의 ST-C를 사용하고 Run당 RMGC 1대를 투입하는 하역시스템에서는 수평배치형 설계가 수직배치형 설계안 보다 대체로 좋은 것으로 나타났으며, 이송장비유형으로는 기존의 YT/AGV를 대신한 DSV 장비유형을 적용하는 것이 C/C의 생산성 측면에서 가장 우수한 것으로 분석되었다. 그러나, SHC와 ALV도 DSV 못지 않은 우수한 능력을 가졌다는 점에서 기존 YT/AGV의 대체안으로 평가될 수 있다. 야드배치형태에서는 DSV의 경우 동선거리가 짧은 수평-인접형 야드설계안이 유리하며, SHC와 ALV는 야드블록에서 버퍼 사용공간이 많은 수평-균등형 배치안이 유리한 대안으로 평가되었다⁴⁴⁾.

반대로, Run당 RMGC 2대를 투입하는 경우에는 수평배치형보다는 수직배치

43) YT/AGV와 DSV는 RMGC의 성능에서 SHC와 ALV보다 민감하게 반응하기 때문임. 특히, DSV의 경우 수직배치형에서 1회 주행시 2회에 걸친 RMGC의 하역작업을 받아야 하기 때문에 야드에서 RMGC 작업을 위한 대기시간이 매우 길어지는 단점이 있음.

44) SHC와 ALV의 경우 야드에서의 버퍼공간은 블록별로 수평-균등형의 경우 7개, 수평-인접형의 경우 4개를 사용할 수 있음.

형 야드설계안에서 보다 좋은 이송장비 유형이 선정되었으며, 안벽장비인 ST-C의 MP값을 목표생산성으로 할 때, SHC와 ALV의 경우 기존의 YT/AGV에 비해 50%정도의 장비대수를 절감할 수 있는 것으로 분석되었다. 그 다음으로 DSV가 수평배치형에 있어 투입대수를 기존보다 50% 절감할 수 있는 효과를 보였다.

이상의 내용을 정리하여 ST-C를 안벽시스템으로 사용하는 터미널 하역시스템의 이송장비유형과 야드설계 방향을 수립하면 <표 5-27>과 같이 된다.

<표 5-27> ST-C 기반의 터미널 하역시스템 설계 방향

야드장비(Run당)	이송장비 대수(C/C당)	이송장비 유형	배치형태	적용순위
RMGC 1대	4대	DSV	수평-인접배치	1
	4대	SHC, ALV	수평-균등배치	2
RMGC 2대	3대	SHC, ALV	수직배치	1
	3대	DSV	수평-인접배치	2

5.5 통합성능 분석

단위성능분석에 이어 통합성능 분석은 기존의 안벽 및 이송시스템 외에 차세대 장비유형만을 적용한 하역시스템의 성능을 분석하는 것이다. 통합성능 분석의 대상이 되는 장비유형은 안벽장비유형 3가지(DT-C, DD-C, SS-C)와 이송장비유형 3가지(DSV, SHC, ALV)가 되며, 앞서 단위성능분석에서 사용한 방법으로 야드장비는 Run당 RMGC 1대와 2대로 나누어 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 종합분석하여 하역시스템 설계 방향을 수립하였다.

1) DT-C와 DSV/SHC/AGV 하역시스템 성능

안벽장비 DT-C와 3가지 이송장비를 대상으로 Run당 RMGC 1대와 2대를 적용한 하역시스템의 성능결과는 다음과 같다.

(1) 시뮬레이션 결과-V

Run당 RMGC 1대를 기반으로 하는 시뮬레이션 결과-V에서 가장 우수한 C/C 생산성은 수평-인접형 야드배치에 DSV를 이송장비로 투입하는 하역시스템에서 산출되었다. 이때, 사용된 C/C당 투입된 이송장비대수는 DT-C의 MP값 61개/시간을 기준으로 3대(76%), 4대(91%), 5대(98%), 6대(100%)의 투입대수를 가지는 것으로 나타나 이송장비 투입대수에 따른 C/C 생산성 달성율과 향상율을 동시에 고려하면 적정운행대수는 C/C당 4대가 효율적인 것으로 분석되었다⁴⁵⁾.

이에 비해 SHC와 ALV는 최대 투입대수 6대에서도 MP값의 78% 수준에 머물러 상대적으로 적용효율이 낮은 것으로 분석되었다.

야드배치형태별로 보면 야드병목현상으로 인해 여전히 수평배치안에서 우수한 C/C 생산성이 산출되었으며 수평배치안에서도 인접형의 배치가 균등형 배치안보다 산출값에서 조금 높았다. 그러나, 아주 미미한 값 차이로 거의 동일한 수준의 성능을 발휘하는 것으로 분석되었다.

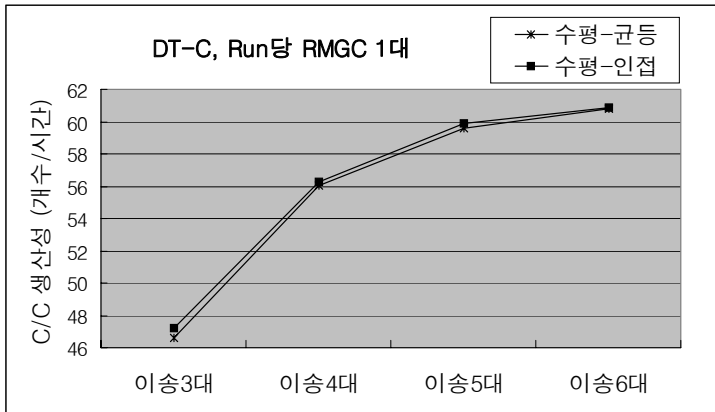
(2) 시뮬레이션 결과-VI

시뮬레이션 결과-VI는 RMGC를 Run당 2대씩 투입한 경우로 수직배치안에서 우수한 C/C 생산성이 산출되었다. 이송장비에 있어서도 SHC와 ALV가 좋은 성능을 보이는 것으로 나타났다. 이때, 사용된 C/C당 투입된 이송장비대수는 DT-C의 MP값 61개/시간을 기준으로 SHC의 경우 3대(93%), 4대(96%), 5대(98%), 6대(100%)였으며, ALV의 경우 3대(93%), 4대(97%), 5대(98%), 6대(100%)로 나타나 2가지 장비가 거의 동일한 수준의 성능을 발휘하는 것으로 분석되었다.

마찬가지로 이송장비 투입대수에 따른 C/C 생산성 달성율과 향상율을 고려하면 SHC와 ALV 모두 C/C당 3대가 적정운행대수인 것으로 분석될 수 있다. 그러나, DSV의 경우에도 수평배치안에서는 SHC와 ALV 못지 않은 생산성을 보여

⁴⁵⁾ 본 연구에서 적정운행대수는 C/C의 MP값 달성율(90%이상)과 향상율을 함께 고려하여 산정한 것임.

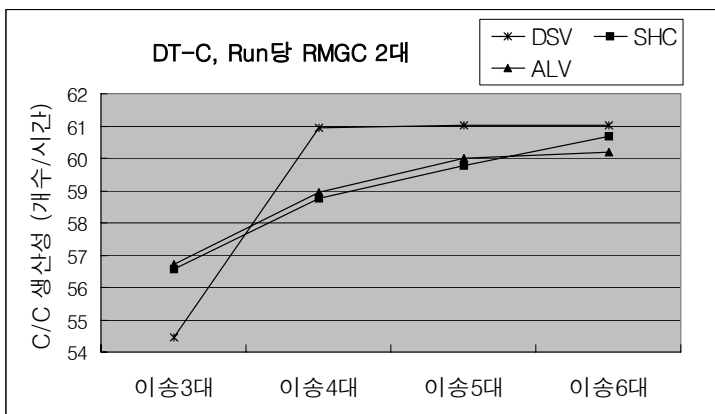
좋은 대안으로 판단되었으며, C/C당 3~4대(MP의 89~100%)가 적절한행대수인 것으로 분석되었다.



(단위: 개)

대수	향상치
3대⇒4대	9.1
4대⇒5대	3.6
5대⇒6대	1.0

<그림 5-13> 시뮬레이션 결과-V: 이송장비대수별 C/C 생산성 향상율



(단위: 개)

SHC	향상치
3대⇒4대	2.2
4대⇒5대	1.1
5대⇒6대	0.9
ALV	향상치
3대⇒4대	2.2
4대⇒5대	1.0
5대⇒6대	0.2
DSV	향상치
3대⇒4대	6.5
4대⇒5대	0.1
5대⇒6대	0.0

<그림 5-14> 시뮬레이션 결과-VI: 이송장비대수별 C/C 생산성 향상율

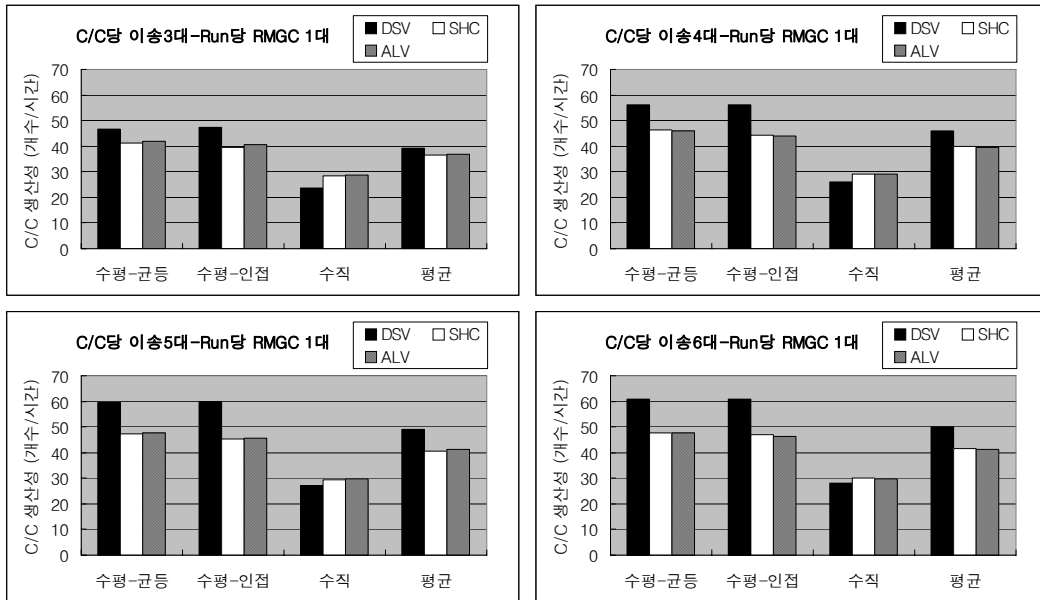
(3) 시뮬레이션 결과종합(V, VI)

시뮬레이션 결과-V, VI 을 종합하면 안벽장비로 DT-C를 사용하는 경우에는 Run당 RMGC를 1대 투입하는 하역시스템 설계에서는 수평-인접형 야드설계에 DSV를 이송장비로 사용하는 것이 C/C 생산성 측면에서 유리하다고 할 수 있으

<표 5-28> 시뮬레이션 결과-V (C/C 생산성)

(단위: 개/시간)

시나리오 구분		야드배치안				생산성 순위
		수평-균등	수평-인접	수직	평균	
V-1 (3대)	DSV	46.6	47.2	23.7	39.2	1
	SHC	41.2	39.7	28.3	36.4	3
	ALV	41.8	40.5	28.8	37.0	2
V-2 (4대)	DSV	56.1	56.3	26.1	46.1	1
	SHC	46.3	44.2	29.2	39.9	2
	ALV	46.1	44.1	28.9	39.7	3
V-3 (5대)	DSV	59.6	59.9	27.2	48.9	1
	SHC	47.4	45.2	29.5	40.7	3
	ALV	47.8	45.6	29.8	41.1	2
V-4 (6대)	DSV	60.8	60.8	28.2	50.0	1
	SHC	47.8	47.1	30.0	41.6	2
	ALV	47.8	46.5	29.8	41.3	3
대안 구성		DT-C 4대 ⇔ C/C별 이송장비 3~6대 ⇔ Run별 RMGC 1대				

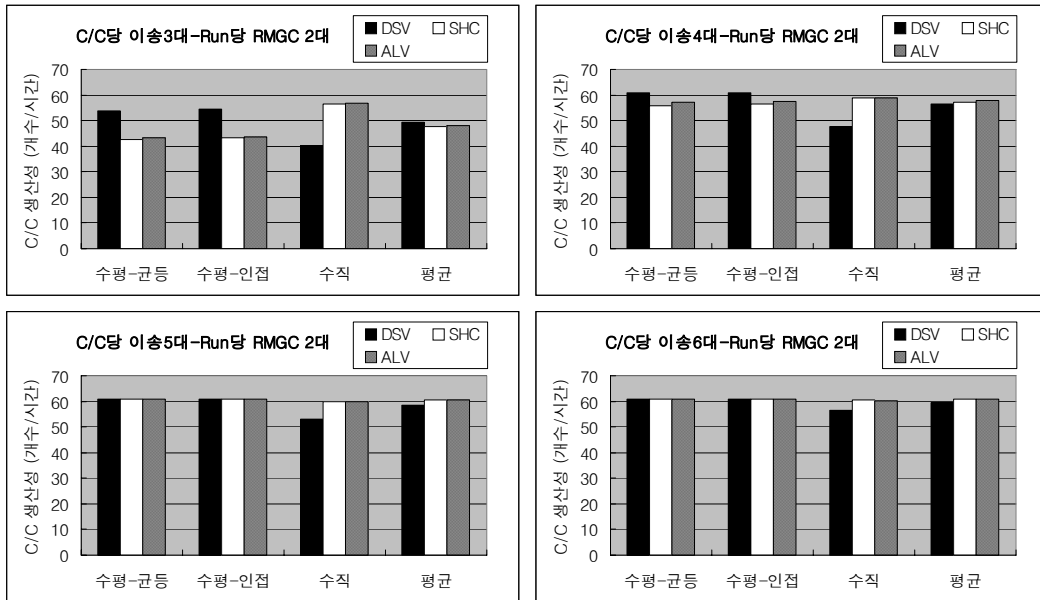


<그림 5-15> 시뮬레이션 결과-V (C/C 생산성)

<표 5-29> 시뮬레이션 결과-VI(C/C 생산성)

(단위: 개/시간)

시나리오 구분		야드배치안				생산성 순위
		수평-균등	수평-인접	수직	평균	
VI-1 (3대)	DSV	53.7	54.4	40.2	49.5	1
	SHC	42.7	43.4	56.6	47.6	3
	ALV	43.1	43.7	56.7	47.9	2
VI-2 (4대)	DSV	60.9	61.0	47.8	56.6	3
	SHC	55.8	56.5	58.8	57.0	2
	ALV	57.1	57.6	58.9	57.9	1
VI-3 (5대)	DSV	61.0	61.0	53.0	58.4	3
	SHC	61.0	61.0	59.8	60.6	2
	ALV	61.0	61.0	60.0	60.7	1
VI-4 (6대)	DSV	61.0	61.0	56.4	59.5	3
	SHC	61.0	61.0	60.7	60.9	1
	ALV	61.0	61.0	60.2	60.7	2
대안 구성		DT-C 4대 ⇔ C/C별 이송장비 3~6대 ⇔ Run별 RMGC 2대				



<그림 5-16> 시뮬레이션 결과-VI(C/C 생산성)

며, RMGC 2대를 야드장비로 투입하는 경우에는 SHC와 ALV를 이송장비로 사용하고 수직배치형으로 야드를 설계하는 것이 C/C 생산성 측면에서 가장 우수한 것으로 분석되었다. 또한, DSV의 경우에도 수평-균등형 야드배치에서 우수한 C/C 생산성을 보였다.

이상의 내용을 정리하여 DT-C를 안벽시스템으로 사용하는 터미널 하역시스템의 이송장비유형과 야드설계 방향을 수립하면 <표 5-28>과 같이 된다.

<표 5-30> DT-C 기반의 터미널 하역시스템 설계 방향

야드장비(Run당)	이송장비대수(C/C당)	이송장비 유형	배치형태	적용순위
RMGC 1대	4대	DSV	수평-인접배치	1
RMGC 2대	3대	SHC, ALV	수직배치	1
	3~4대	DSV	수평-인접배치	2

2) DD-C와 DSV/SHC/AGV 하역시스템 성능

안벽장비 DD-C와 3가지 이송장비 대안을 대상으로 Run당 RMGC 1대와 2대를 적용한 하역시스템의 성능결과는 다음과 같다.

(1) 시뮬레이션 결과-VII

시뮬레이션 결과-VII는 Run당 RMGC 1대를 투입하는 경우로 가장 우수한 C/C 생산성은 결과-V와 동일하게 수평-인접형 야드배치에 DSV를 이송장비로 투입하는 하역시스템에서 산출되었다. 그러나, 사용된 C/C당 투입된 이송장비대수를 최대로 가동하여도 MP값의 90%에 못미치는 생산성을 보이는 것으로 나타났다. 이송장비 투입대수별로 C/C 생산성을 보면 DD-C의 MP값 104를 기준으로 3대(49%), 4대(60%), 5대(68%), 6대(75%)의 값을 가져 모두 생산성 달성에 현저하게 떨어지는 것으로 나타났다. 따라서, DD-C의 생산성을 최대로 높이기 위한 적합한 이송장비대안을 선정하기에 매우 곤란한 점이 있는 것으로 분석되었다.

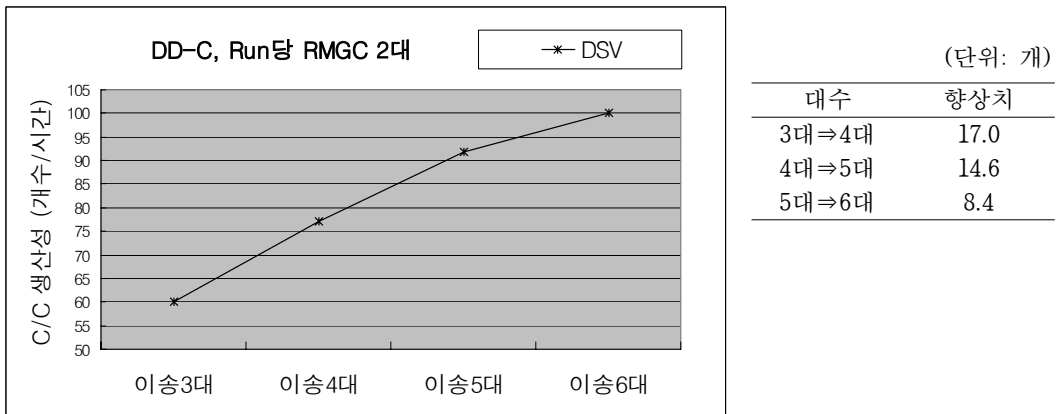
그러나, 상대적으로 DSV가 SHC와 ALV에 비해서는 수평배치안에서 상대적으로

로 높은 C/C 생산성을 보이는 것으로 나타났다.

(2) 시뮬레이션 결과-VIII

결과-VII와 달리 시뮬레이션 결과-VIII에서는 DD-C의 MP값에 근접하는 C/C 생산성 산출에 DSV를 적용한 수평-인접형 야드배치안의 하역시스템이 선정되었다. 이때, 이송장비 투입대수별로 C/C 생산성을 보면 3대(58%), 4대(74%), 5대(88%), 6대(96%)로 나타나 이송장비의 C/C당 투입대수가 5~6대인 것으로 분석되며 C/C 생산성 달성과 향상율을 고려할 때, 5대를 적정투입대수로 선정하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

이에 비해 SHC, ALV는 수평 및 수직배치안 모두에서 DSV에 비해 현저히 낮은 C/C 생산성을 보여 DD-C와 같은 고성능의 안벽장비를 지원하는 이송장비로는 어느 정도 한계가 있는 것으로 판단된다.



<그림 5-17> 시뮬레이션 결과-VIII: 이송장비대수별 C/C 생산성 향상율

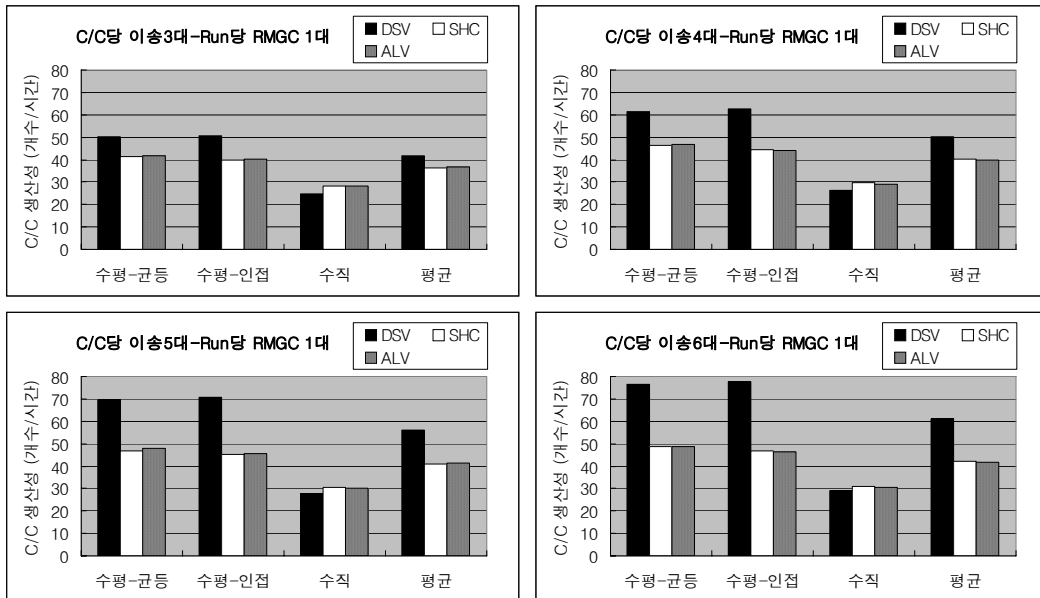
(3) 시뮬레이션 결과종합(VII,VIII)

시뮬레이션 결과-VII,VIII을 종합하면 안벽장비로 DD-C를 사용하는 경우에는 Run당 RMGC 1대를 투입하는 하역시스템에서는 DD-C 유형의 안벽장비를 충분

<표 5-31> 시뮬레이션 결과-VII(C/C 생산성)

(단위: 개/시간)

시나리오 구분		야드매치안				생산성 순위
		수평-균등	수평-인접	수직	평균	
VII-1 (3대)	DSV	50.4	50.8	24.6	41.9	1
	SHC	41.4	39.6	28.2	36.4	3
	ALV	41.7	40.0	28.1	36.6	2
VII-2 (4대)	DSV	61.6	62.5	26.4	50.2	1
	SHC	46.2	44.5	29.7	40.1	2
	ALV	46.7	44.2	29.2	40.0	3
VII-3 (5대)	DSV	69.5	70.6	27.9	56.0	1
	SHC	46.9	45.4	30.6	40.9	3
	ALV	48.1	45.5	30.2	41.3	2
VII-4 (6대)	DSV	76.6	77.6	29.1	61.1	1
	SHC	48.6	46.8	30.8	42.1	2
	ALV	48.8	46.4	30.4	41.9	3
대안 구성		DD-C 4대 ⇔ C/C별 이송장비 3-6대 ⇔ Run별 RMGC 1대				

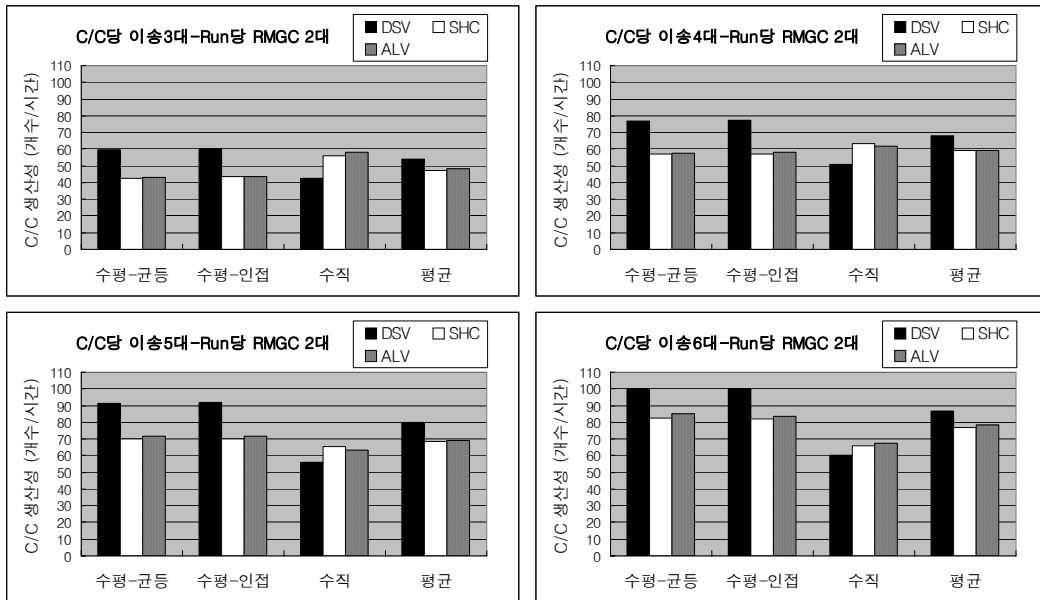


<그림 5-18> 시뮬레이션 결과-VII(C/C 생산성)

<표 5-32> 시뮬레이션 결과-VIII(C/C 생산성)

(단위: 개/시간)

시나리오 구분		야드배치안				생산성 순위
		수평-균등	수평-인접	수직	평균	
VIII-1 (3대)	DSV	59.5	60.2	42.5	54.0	1
	SHC	42.7	43.5	56.0	47.4	3
	ALV	43.2	43.7	58.0	48.3	2
VIII-2 (4대)	DSV	76.5	77.2	50.9	68.2	1
	SHC	56.9	57.3	63.3	59.2	2
	ALV	57.6	58.2	61.5	59.1	3
VIII-3 (5대)	DSV	91.3	91.7	56.2	79.7	1
	SHC	70.2	70.2	65.4	68.6	3
	ALV	71.7	71.6	63.4	68.9	2
VIII-4 (6대)	DSV	100.1	100.2	60.4	86.9	1
	SHC	82.7	81.8	66.0	76.9	3
	ALV	84.8	83.3	67.2	78.4	2
대안 구성		DD-C 4대 ⇔ C/C별 이송장비 3~6대 ⇔ Run별 RMGC 2대				



<그림 5-19> 시뮬레이션 결과-VIII(C/C 생산성)

히 지원할 수 있는 이송 및 야드시스템 대안은 없는 것으로 분석되었다. 다만, Run당 2대를 투입하는 경우에는 수평배치형의 야드설계안에 대해서만 DSV 이송장비가 DD-C의 MP값에 90%이상의 생산성 달성이 가능하였다. 이 경우에도 운행가능한 최대대수를 투입해야 하는 것으로 나타났다. 따라서, DD-C와 같은 고성능의 안벽장비를 하역시스템에 적용하여 효과적인 생산성 향상을 달성하기 위해서는 이에 적합한 고성능의 이송장비 개발이 선행되어야 할 것으로 판단된다. 이상의 내용을 정리하여 DD-C를 안벽시스템으로 사용하는 터미널 하역시스템의 이송장비유형과 야드설계 방향을 수립하면 <표 5-31>과 같이 된다.

<표 5-33> DD-C 기반의 터미널 하역시스템 설계 방향

야드장비 (Run당)	이송장비 대수 (C/C당)	이송장비 유형	배치형태	적용순위
RMGC 1대	DD-C의 MP값 달성(90%)을 위한 고성능 이송장비 개발 필요			
RMGC 2대	5~6대	DSV	수평-인접배치	1

3) SS-C와 DSV/SHC/AGV 하역시스템 성능

안벽장비 SS-C와 3가지 이송장비 대안을 대상으로 Run당 RMGC 1대와 2대를 적용한 하역시스템의 성능결과는 다음과 같다.

(1) 시뮬레이션 결과-IX

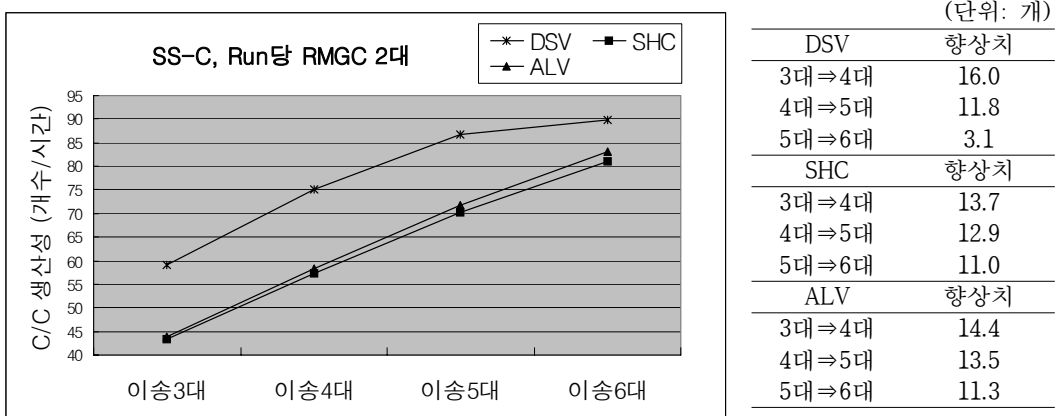
시뮬레이션 결과-IX는 DD-C와 비슷한 수준의 MP값을 가지는 SS-C의 안벽장비를 적용한 것으로 결과에서도 거의 유사한 현상을 보였다. Run당 RMGC 1대를 투입한 경우에는 SS-C의 성능을 지원할 수 있는 이송장비 및 야드대안은 없었으며, C/C 생산성 역시 DD-C의 경우와 마찬가지로 최고성능을 보인 DSV의 수평-인접형 야드배치의 경우 C/C별 이송장비 투입대수별로 각각 3대(55%), 4대(68%), 5대(78%), 6(84%)의 생산성을 보여 SS-C의 MP값 90개/시간에 최대 84%의 수준에만 머무는 것으로 나타났다. 마찬가지로 야드배치에서는 수평배치

형이 수직에 비해 C/C 생산성 측면에서 유리한 것으로 분석되었다.

따라서, Run당 RMGC 1대를 투입하는 하역시스템 설계형태에서는 SS-C의 고 성능을 충분히 지원할 수 있는 이송장비대안은 없는 것으로 판단되었다.

(2) 시뮬레이션 결과-X

Run당 RMGC를 2대로 투입하여 야드성능을 높인 경우에는 DSV와 SHC, ALV 이송장비 각각이 SS-C의 MP 성능을 충분히 지원할 수 있는 하역시스템 구성안이 도출되었으며, 이들 장비들은 모두 수평배치형에서 DSV의 경우 C/C 당 5대, SHC와 ALV는 6대에서 MP값의 90%이상의 성능을 지원할 수 있는 것으로 나타났다. 이송장비유형별로 보면 DSV는 수평-인접형 배치에서 3대(66%), 4대(83%), 5대(96%), 6대(100%)의 C/C 생산성을 보였으며, 수평-균등형에서도 비슷한 값을 가져 C/C당 6대의 투입대수가 적정한 것으로 분석되었다. SHC의 경우 수평-균등형에서 3대(48%), 4대(63%), 5대(78%), 6대(91%)의 값을, ALV의 경우에도 수평-균등형에서 3대(48%), 4대(64%), 5대(80%), 6대(93%)의 값을 가졌으며, 전반적으로 ALV가 SHC보다 근사한 차이로 C/C 생산성이 높은 것으로 나타났다.

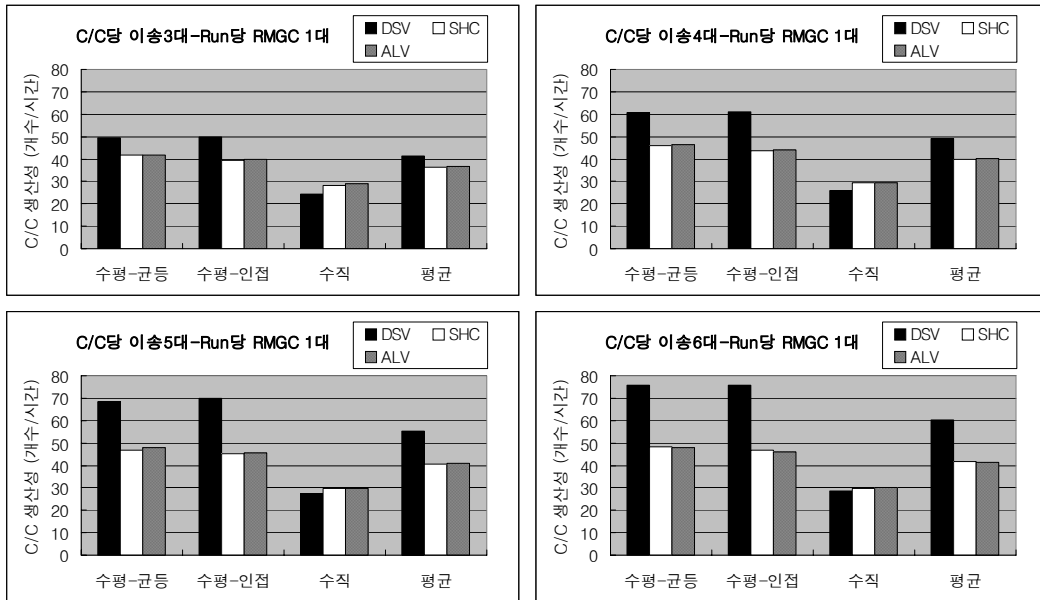


<그림 5-20> 시뮬레이션 결과-X : 이송장비대수별 C/C 생산성 향상율

<표 5-34> 시뮬레이션 결과-IX(C/C 생산성)

(단위: 개/시간)

시나리오 구분		야드매치안				생산성 순위
		수평-균등	수평-인접	수직	평균	
IX-1 (3대)	DSV	49.5	49.9	24.5	41.3	1
	SHC	41.6	39.5	28.1	36.4	3
	ALV	41.7	40.0	29.0	36.9	2
IX-2 (4대)	DSV	60.8	61.1	25.9	49.3	1
	SHC	46.1	43.8	29.3	39.7	3
	ALV	46.4	44.2	29.5	40.1	2
IX-3 (5대)	DSV	68.5	69.8	27.5	55.2	1
	SHC	46.8	45.1	29.9	40.6	3
	ALV	48.0	45.5	29.7	41.0	2
IX-4 (6대)	DSV	75.8	75.8	28.8	60.1	1
	SHC	48.4	46.8	29.6	41.6	2
	ALV	47.8	46.1	30.1	41.3	3
대안 구성		SS-C 4대 ⇔ C/C별 이송장비 3-6대 ⇔ Run별 RMGC 1대				

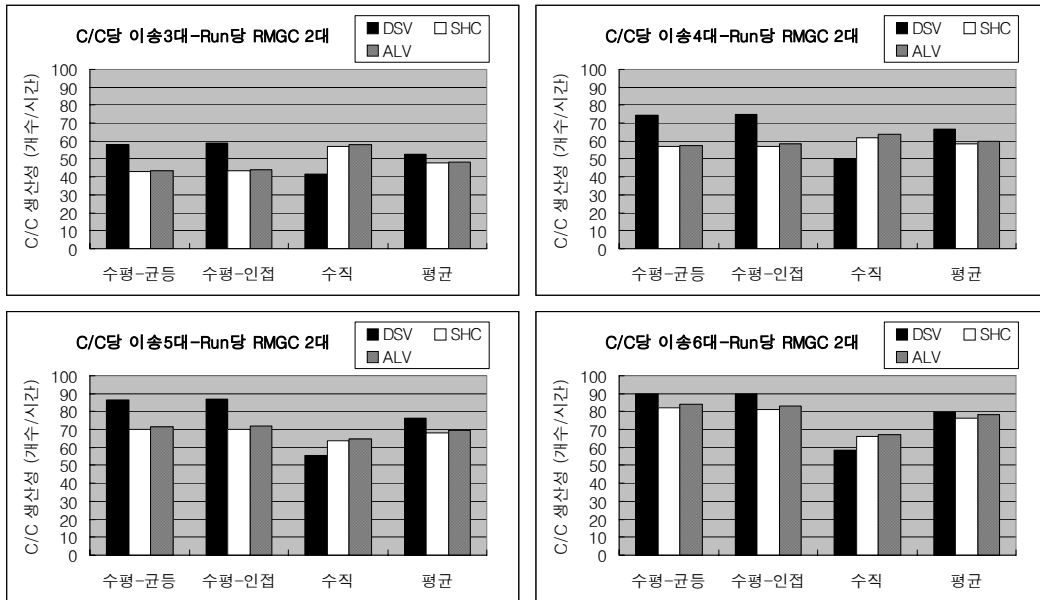


<그림 5-21> 시뮬레이션 결과-IX(C/C 생산성)

<표 5-35> 시뮬레이션 결과- X (C/C 생산성)

(단위: 개/시간)

시나리오 구분		야드배치안				생산성 순위
		수평-균등	수평-인접	수직	평균	
X -1 (3대)	DSV	58.1	59.0	41.5	52.9	1
	SHC	42.9	43.5	57.0	47.8	3
	ALV	43.3	43.8	57.8	48.3	2
X -2 (4대)	DSV	74.2	75.0	50.2	66.5	1
	SHC	56.8	57.2	62.0	58.6	3
	ALV	57.5	58.2	63.6	59.8	2
X -3 (5대)	DSV	86.5	86.8	55.6	76.3	1
	SHC	70.1	70.1	63.9	68.0	3
	ALV	71.6	71.7	64.9	69.4	2
X -4 (6대)	DSV	89.9	89.9	58.7	79.5	1
	SHC	82.0	81.1	66.4	76.5	3
	ALV	84.1	83.1	67.1	78.1	2
대안 구성		SS-C 4대 ⇔ C/C별 이송장비 3-6대 ⇔ Run별 RMGC 2대				



<그림 5-22> 시뮬레이션 결과- X (C/C 생산성)

(3) 시뮬레이션 결과종합(IX, X)

이상의 내용을 종합하여 SS-C를 안벽시스템으로 사용하는 터미널 하역시스템의 이송장비유형과 야드설계 방향을 수립하면 Run당 RMGC 1대에서는 SS-C의 성능을 지원할 수 있는 이송대안이 없어 고성능의 이송시스템 개발이 필요한 것으로 분석되었다. Run당 RMGC 2대에서는 차세대 이송대안 3가지 모두에서 하역시스템 설계안을 도출할 수 있었으며, 그 내용을 정리하면 <표 5-34>와 같다.

<표 5-36> SS-C 기반의 터미널 하역시스템 설계 방향

야드장비 (Run당)	이송장비 대수 (C/C당)	이송장비 유형	배치형태	적용순위
RMGC 1대	SS-C의 MP값 달성(90%)을 위한 고성능 이송장비 개발 필요			
RMGC 2대	5대	DSV	수평-인접배치	1
	6대	ALV	수평-균등배치	2
	6대	SHC	수평-균등배치	3

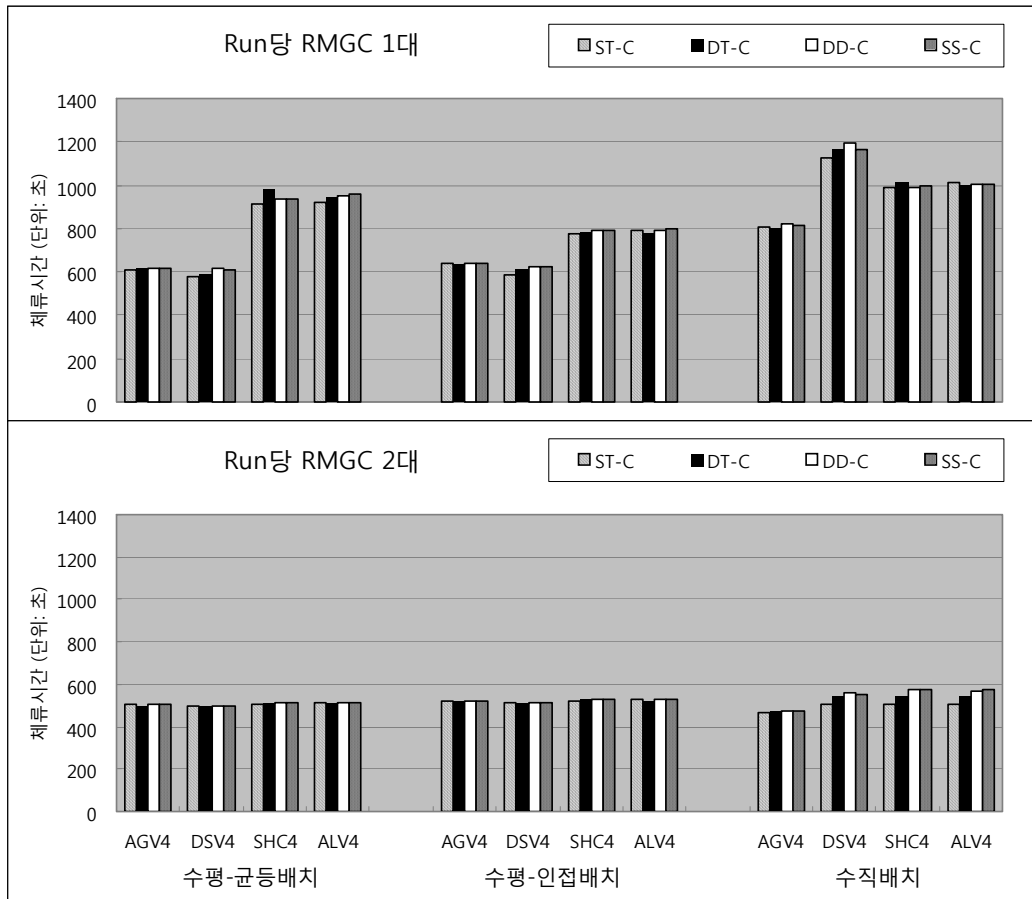
4) 반출입시스템 서비스 능력

하역시스템의 성능평가에서 산출된 외부트럭의 터미널 체류시간(Turnaround time)을 C/C당 이송장비 적정대수인 4대의 경우를 대상으로, 3가지 분석관점인 안벽장비유형, 이송장비유형, 야드배치형태에 따라 정리하면 다음과 같다.

첫 번째, 안벽장비의 유형에 따른 외부트럭의 체류시간은 큰 차이가 없이 거의 동일한 결과를 보이는 것으로 나타났다. 이는 나머지 3가지 기준인 이송장비유형, RMGC 투입대수 및 야드배치형태에 있어서도 동일한 현상을 보였다. 결론적으로 안벽장비유형은 외부트럭의 체류시간에 큰 영향을 주지 않고 이들 관계는 상호 무관하다고 할 수 있다.

두 번째, 이송장비유형에 따른 체류시간 차이는 Run당 투입되는 RMGC의 규모에 따라 격차를 보이는 것으로 나타났다. RMGC 투입대수를 1대로 하였을 경

우에 체류시간이 이송장비유형에 따라 상당한 격차를 보인 반면, 2대로 하였을 경우에는 거의 동일한 수준의 값을 가졌다. 이때, 상대적으로 DSV를 이송장비로 사용하는 경우에 외부트럭의 평균체류시간이 가장 높은 것으로 나타났다.



<그림 5-23> 안벽장비유형별 외부트럭 체류시간

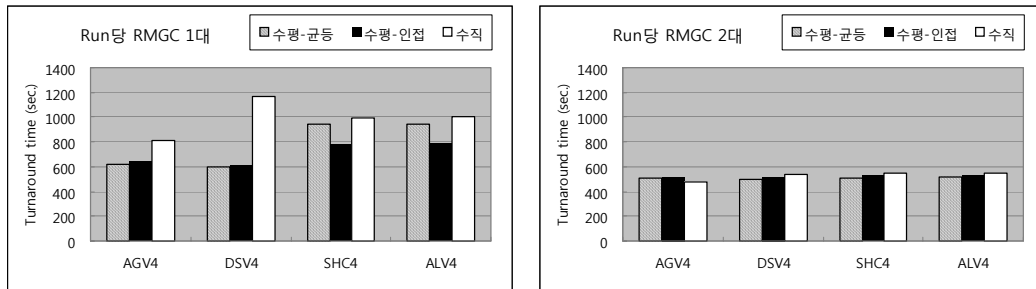
세 번째, 야드배치형태에 따른 체류시간 역시 RMGC의 투입대수를 기준으로 볼 때, 1대의 경우 상대적으로 수평배치에 비해 수직배치형태에서 높게 산출되었다. 이는 하역시스템 성능에서도 보았듯이 수평배치형에서 보다 수직배치형에서 RMGC의 평균하역생산성이 낮기 때문에 반출입 외부트럭에 대한 야드 서

비스 시간이 길어져 전체적으로 체류시간이 높아진 것이라 할 수 있다. 그러나, RMGC 2대를 투입한 경우에는 RMGC의 평균하역생산성이 낮으나, 투입대수가 전체적으로 증가하였기 때문에 수직배치에서도 수평배치와 동일한 외부트럭 체류시간이 산출되었다.

〈표 5-37〉 이송장비유형별 외부트럭 평균체류시간

(단위: 초)

구분	RMGC 1대/run				RMGC 2대/run			
	AGV	DSV	SHC	ALV	AGV	DSV	SHC	ALV
수평-균등배치	615	597	941	945	503	498	512	513
수평-인접배치	636	609	786	790	520	514	528	528
수직배치	811	1,162	998	1005	473	540	551	549
시스템 구성	C/C당 이송장비 4대 투입							

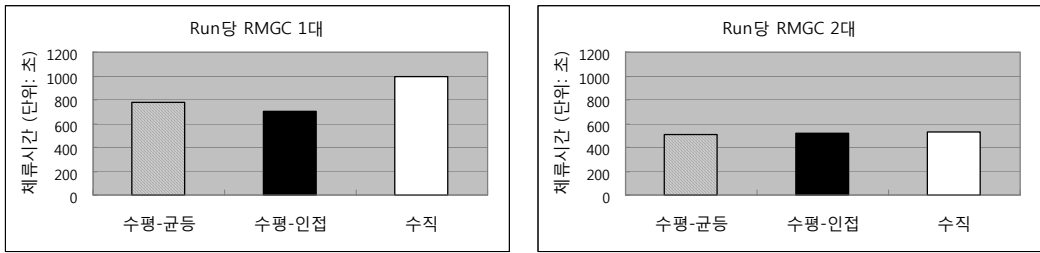


〈그림 5-24〉 이송장비유형별 외부트럭 평균체류시간

이상의 내용을 종합하면 결국, 외부트럭의 터미널내 체류시간은 Run당 투입되는 RMGC의 대수에 1차적으로 영향을 받으며, 안벽장비유형에는 거의 영향을 받지 않는다고 할 수 있다. 만약, RMGC를 Run당 1대를 투입하는 경우라면 이송장비유형이나 야드배치형태에 따라서도 체류시간에서 큰 차이가 발생하게 되지만 2대를 투입한다면 결론적으로 외부트럭의 체류시간은 하역시스템의 구성형태와는 무관한 값을 가진다고 할 수 있다.

<표 5-38> 외부트럭 평균체류시간

구분	수평-균등배치	수평-인접배치	수직배치
RMGC 1대	775초	705초	994초
RMGC 2대	507초	522초	528초



<그림 5-25> 외부트럭 평균체류시간

5.6 하역시스템 성능 분석 종합

앞서 수행된 단위성능과 통합성능의 결과를 요약하면, 단위성능분석 I, II는 4가지 안벽장비와 YT/AGV 이송장비로 구성된 하역시스템의 성능평가로, 분석결과에서 3가지 유형인 DT-C, DD-C, ST-C가 기존 ST-C에 비해 큰 효과가 없는 것으로 나타났다. 반대로, 단위성능분석 III, IV는 안벽장비로 ST-C를 사용하고 4가지 이송장비인 YT/AGV, DSV, SHC, ALV를 이송시스템을 적용한 경우의 하역시스템 성능평가로 DSV, SHC, ALV가 기본 YT/AGV에 비해 C/C의 생산성 달성면에도 매우 우수한 결과를 보였다. 단위성능분석 결과를 종합하면, YT/AGV를 기반으로 하는 하역시스템 설계시에는 DD-C나 SS-C와 같은 고성능의 유형보다는 ST-C나 DT-C 수준의 장비유형을 차세대 안벽장비기술로 사용하는 것이 성능대비 효과면에서 우수하며 반대로, ST-C를 안벽시스템으로 사용하는 경우에는 기존 YT/AGV보다는 DSV, SHC, ALV와 같은 신기술을 하역시스템으로 적용하는 것이 성능을 향상시키는데 유리한 방안이라고 할 수 있다. 또한, 야드

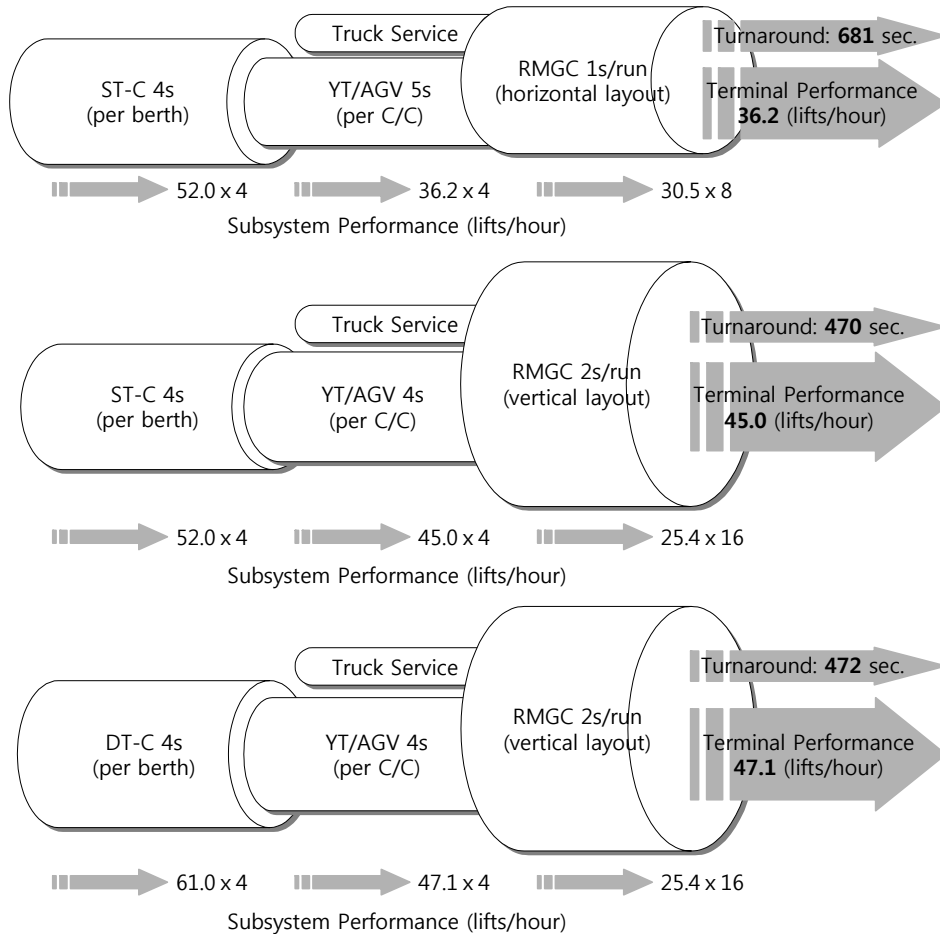
배치형태에 있어서도 블록당 투입되는 RMGC 대수에 따라 수평배치와 수직배치 형태에 있어 각각 장단점이 있으므로 이를 선별적으로 적용할 필요가 있는 것으로 분석되었다.

통합성능분석에서는 기존 시스템을 제외한 신기술의 안벽 및 이송장비로 구성된 하역시스템 성능평가 V~X를 수행하였다. 분석결과에서 안벽장비부문에서는 기계적 성능이 우수한 더블트롤리형, 슈퍼테이너형, 듀얼트롤리형 순으로 하역성능이 높게 산출되었으며, 이송장비부문에서는 적재용량이 기존의 2배인 DSV가 SHC나 ALV에 비해 대체로 성능이 우수하게 나타났으나, 운행대수와 배치형태를 기준으로 할 때, SHC와 ALV가 DSV보다 우수한 성능을 보이는 하역시스템 구성형태도 일부 있었다.

이상의 단위성능과 통합성능 분석결과를 토대로 차세대 기술을 적용한 터미널의 하역시스템 설계방안을 수립할 수 있다. 터미널의 설계는 선석단위의 안벽, 이송, 장치시스템 구성방법으로 현재, 보편화된 ST-C⇔YT/AGV⇔수평배치⇔RMGC 1대/블록의 하역시스템 구성형태와 이송장비의 적정운영대수(C/C당 4대)를 기준으로 할 때, 차세대 기술을 반영한 하역시스템 설계안이 C/C의 생산성 측면에서 기존보다 우수함을 확인할 수 있다.

<표 5-39> YT/AGV 기반의 터미널 하역시스템 설계방안

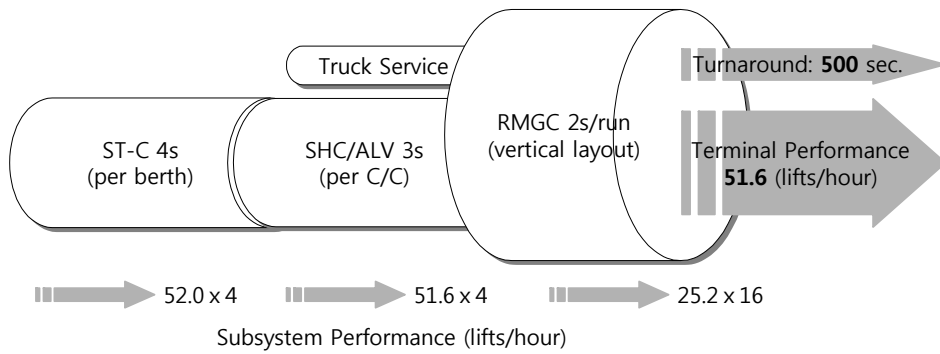
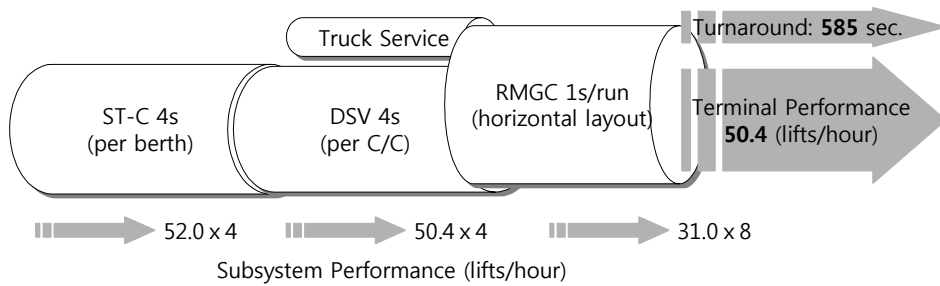
설계 구분		RMGC 1대/run	RMGC 2대/run	
안벽시스템		싱글형 C/C	싱글형 C/C	듀얼형 C/C
이송시스템(C/C당 대수)		YT/AGV 5대	YT/AGV 4대	YT/AGV 4대
야드시스템		수평-인접배치	수직배치	수직배치
터미널 설계 (1개 선석)	C/C	4대	4대	4대
	YT	20대	16대	16대
	RMGC	8대	16대	16대
C/C 생산성		36.2개/시간	45.0개/시간	47.1개/시간
기존대비 향상효과		-	▲24.3%p	▲30.1%p



<그림 5-26> YT/AGV 기반의 하역시스템 성능

<표 5-40> ST-C 기반의 터미널 하역시스템 설계방안

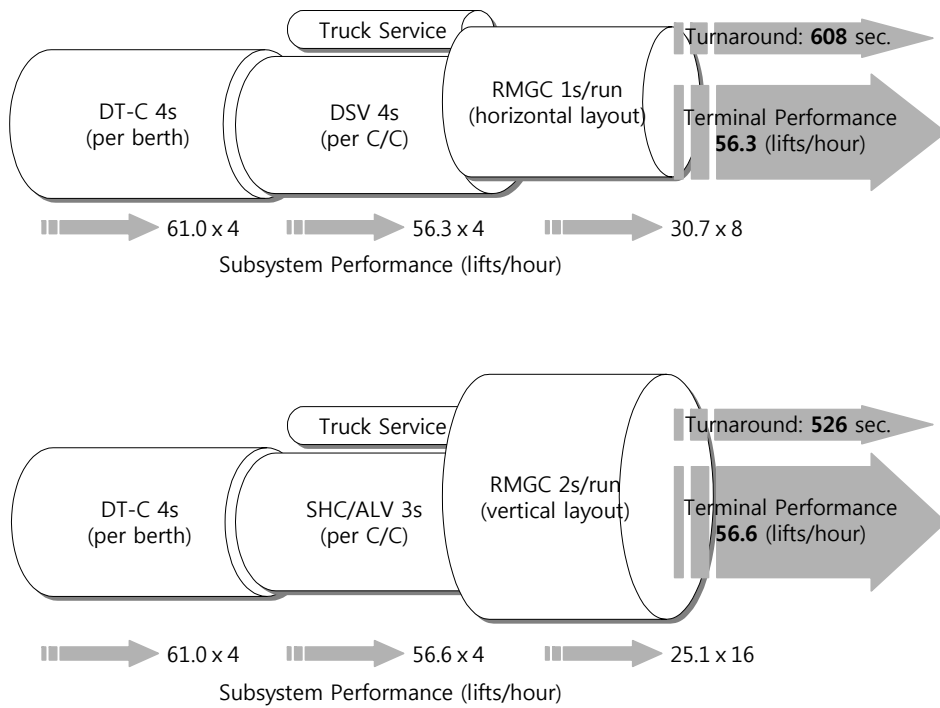
설계 구분		RMGC 1대/run	RMGC 2대/run
안벽시스템		싱글형 C/C	싱글형 C/C
이송시스템 (C/C당 대수)		DSV 4대	SHC/ALV 3대
야드시스템		수평-인접배치	수직배치
터미널 설계 (1개 선석)	C/C	4대	4대
	YT	16대	12대
	RMGC	8대	16대
C/C 생산성		50.4개/시간	51.6개/시간
기존대비 향상효과		▲39.2%p	▲42.5%p



<그림 5-27> ST-C 기반의 하역시스템 성능

<표 5-41> DT-C 기반의 터미널 하역시스템 설계방안

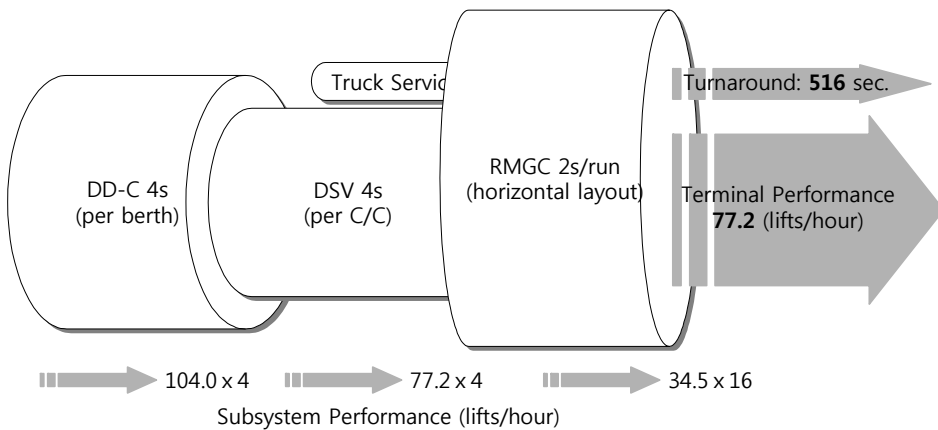
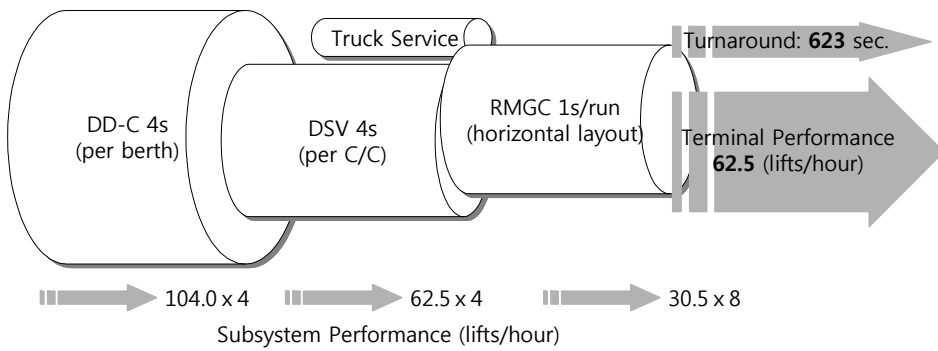
설계 구분		RMGC 1대/run	RMGC 2대/run
안벽시스템		듀얼트롤리형 C/C	듀얼트롤리형 C/C
이송시스템 (C/C당 대수)		DSV 4대	SHC/ALV 3대
야드시스템		수평-인접배치	수직배치
터미널 설계 (1개 선석)	C/C	4대	4대
	YT	16대	12대
	RMGC	8대	16대
C/C 생산성		56.3개/시간	56.6개/시간
기존대비 향상효과		▲55.5%p	▲56.4%p



<그림 5-28> DT-C 기반의 하역시스템 성능

<표 5-42> DD-C 기반의 터미널 하역시스템 설계방안

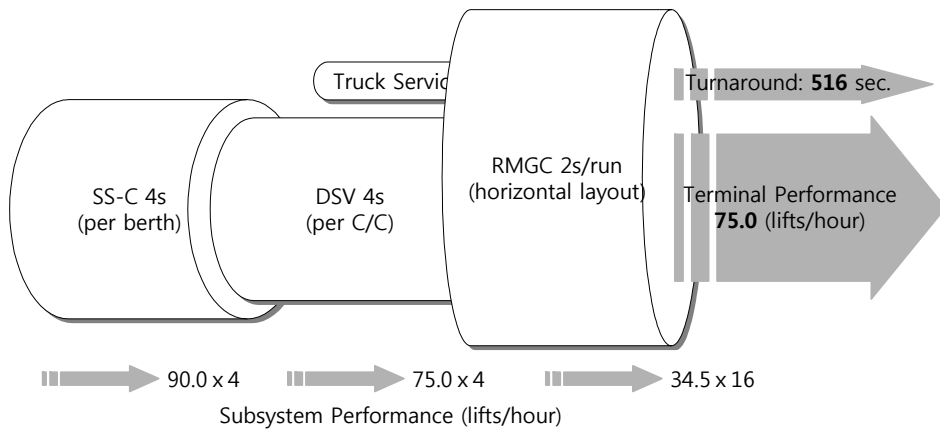
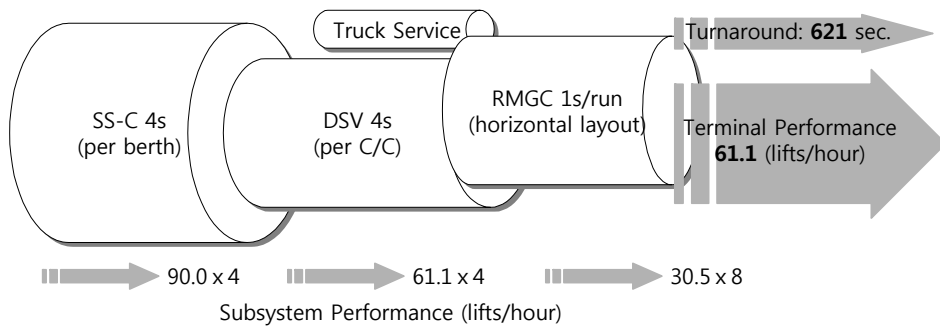
설계 구분		RMGC 1대/run	RMGC 2대/run
안벽시스템		더블트롤리형 C/C	더블트롤리형 C/C
이송시스템 (C/C당 대수)		DSV 4대	DSV 4대
야드시스템		수평-인접배치	수평-인접배치
터미널 설계 (1개 선석)	C/C	4대	4대
	YT	16대	16대
	RMGC	8대	16대
C/C 생산성		62.5개/시간	77.2개/시간
기존대비 향상효과		▲72.7%p	▲113.3%p



<그림 5-29> DD-C 기반의 하역시스템 성능

<표 5-43> SS-C 기반의 터미널 하역시스템 설계방안

설계 구분		RMGC 1대/run	RMGC 2대/run
안벽시스템		슈퍼테이너형 C/C	슈퍼테이너형 C/C
이송시스템 (C/C당 대수)		DSV 4대	DSV 4대
야드시스템		수평-인접배치	수평-인접배치
터미널 설계 (1개 선석)	C/C	4대	4대
	YT	16대	16대
	RMGC	8대	16대
C/C 생산성		61.1개/시간	75.0개/시간
기존대비 향상효과		▲68.8%p	▲107.2%p



<그림 5-30> SS-C 기반의 하역시스템 성능

5.7 차세대 하역시스템 개발 방안

차세대 기술들을 컨테이너 터미널의 하역시스템에 도입하기 위한 설계방안을 종합적으로 정리하면 다음과 같다.

첫째, 고성능의 안벽장비를 개발하는 경우에 이송 및 야드시스템의 성능을 필히 고려할 필요가 있다. 시뮬레이션 결과에서도 나타났듯이 DD-C나 SS-C와 같은 고성능 안벽장비를 뒷받침하기 위해서는 이송 및 야드장비의 투입대수가 과다하게 필요하거나 운영가능한 최대대수에서도 충분한 지원이 이루어지지 못하는 경우가 있었다. 이는 이송 및 야드시스템의 성능 한계를 충분히 인지하고 이에 맞는 적정 유형의 안벽장비를 개발·도입해야 함을 의미한다고 하겠다.

둘째, 기존에 안벽장비로 사용되고 있는 ST-C는 그 기계적 제원을 토대로 할 때 시간당 52개의 자체하역성능을 가지고 있다. 그러나, 기존 YT/AGV 이송시스템의 성능으로는 C/C의 성능을 충분히 뒷받침하기 위해서 많은 수의 이송장비와 야드장비를 투입해야 하는 한계를 지니고 있다. 분석결과에서도 C/C당 이송장비 5대 이상을 투입해야만 ST-C의 MP값에 이르는 성능을 달성할 수 있었다. 이는 이송장비의 투입대수를 절감하고 안벽의 지원능력을 높이기 위한 차세대 이송장비인 DSV, SHC, ALV를 개발해야 할 필요성을 의미한다고 하겠다.

마지막으로 이러한 차세대 기술 개발은 하역시스템의 연계성을 고려하면 상호 보완적인 개발추진이 이루어져야 한다. 이는 안벽, 이송, 야드시스템 각각의 기술수준이 상호 균형을 이루어 개발이 진행되어야만 효율적인 하역시스템 설계가 가능함을 의미한다. 이러한 측면에서 하역시스템의 성능을 높이기 위한 단계별 개발방안을 수립하면 다음과 같다.

<표 5-42>는 차세대 하역시스템 기술 개발 추진방안을 단계별로 나타낸 것으로 안벽 및 이송장비의 기술개발 난이도와 야드장비의 투입대수를 기준으로 C/C의 생산성 향상효과가 우수한 설계형태 순으로 정리한 것이다.

〈표 5-44〉 차세대 하역시스템 개발 단계

구분	안벽 시스템	이송시스템		야드시스템		C/C 생산성	
		유형	대수	RMGC	배치	개/시간	향상율
현재	ST-C	YT/AGV	4대	1대/run	수평	36.2	-
↓							
단계 1	ST-C	DSV	4대	1대/run	수평	50.4	39.2%p
단계 2	ST-C	SHC/ALV	3대	2대/run	수직	51.6	42.5%p
:	:	:	:	:	:	:	:
단계 3	DT-C	DSV	4대	1대/run	수평	56.3	55.5%p
단계 4	DT-C	SHC/ALV	3대	2대/run	수직	56.6	56.4%p
:	:	:	:	:	:	:	:
단계 5	SS-C	DSV	4대	1대/run	수평	61.1	68.8%p
단계 6	SS-C	DSV	4대	2대/run	수평	75.0	107.2%p
:	:	:	:	:	:	:	:
단계 7	DD-C	DSV	4대	1대/run	수평	62.5	72.7%p
단계 8	DD-C	DSV	4대	2대/run	수평	77.2	113.3%p
:	:	:	:	:	:	:	:

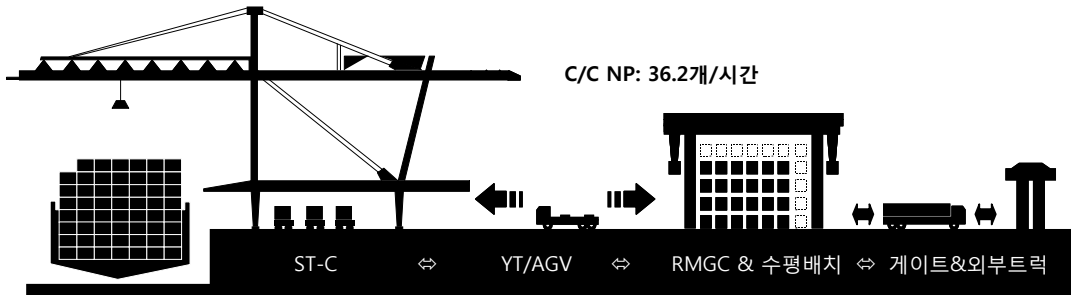
현재의 하역시스템은 ST-C⇔YT/AGV⇔수평배치⇔RMGC 1대/run의 구성형태를 가지고 있으며, C/C의 생산성은 시간당 36.2개 수준이라 할 수 있다. 이에 차세대 기술을 접목할 경우 단계적으로 C/C의 생산성을 향상시킬 수 있다. 예를 들어 단계 1의 경우 차세대 이송시스템 기술인 DSV를 이송장비로 투입한 하역시스템을 도입하면 기존 대비 39.2%p의 C/C 생산성 효과를 거둘 수 있다. 마찬가지로 단계 2에서와 같이 야드 레이아웃을 수직배치형태로 설계하고 SHC를 이송장비로 사용하면 42.5%p의 C/C 생산성 향상효과가 있게 된다. 다만, 이 경우에는 Run당 RMGC를 2대 투입해야 하므로 장비의 투자부담을 동시에 고려하여 도입여부를 판단할 필요가 있다고 하겠다.

차세대 하역시스템 설계를 위한 장비기술 개발에 있어서도 하역시스템의 생산성 효과와 기술개발의 시간적·비용적 노력을 감안할 때 이송장비 기술 개발을 우선 선행한 후 안벽장비 기술 개발이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

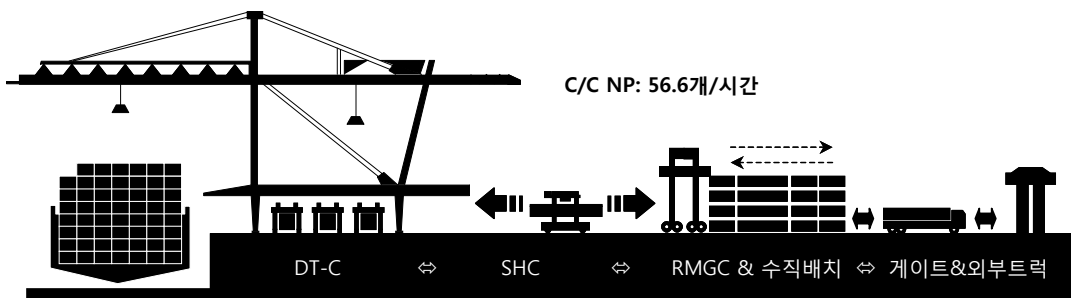
〈표 5-45〉 차세대 하역시스템 설계를 위한 장비기술 개발 방안

구분	단계 1	단계 2	단계 3	단계 4	단계 5	단계 6
장비유형	DSV	SHC	ALV	DT-C	SS-C	DD-C
기술개발	도입	도입	개발	도입	개발	개발

마지막으로 현재 기술개발이 완료된 차세대 장비기술로 터미널의 하역시스템을 구성한다면m 안벽에 DT-C, 이송에 SHC를 접목한 하역시스템이 국내 터미널의 차세대 하역시스템 설계형태라 할 수 있으며, C/C 생산성에서 기존 대비 56.4%p 향상효과를 거둘 수 있다고 할 수 있겠다.



〈그림 5-31〉 기존 터미널 하역시스템 구성예



〈그림 5-32〉 차세대 하역시스템 구성예

제 6 장 결 론

본 연구는 컨테이너 터미널의 하역시스템을 새롭게 구성하고 그 성능을 평가하는데 목적을 두고 있다. 기존 터미널에서 사용되고 있는 하역장비는 기능이나 설계구조 측면에서 유연성이 부족하며, 이를 기반으로 한 하역시스템 구성은 상당부분 이전에 설계된 형태로 성능과 기능면에서 터미널의 생산성을 향상시키는데 한계가 있다고 할 수 있다. 선박이 대형화 되면서 터미널에서 처리해야 하는 컨테이너 처리량도 꾸준히 증가하였으며, 터미널에서도 이러한 추세에 맞추어 하역시스템의 성능개선을 지속적으로 추진해 왔다. 그러나, 이러한 하역시스템 성능개선은 운영적(소프트웨어) 측면에 상당부분 집중되었기 때문에 운영개선을 통한 생산성 향상에 어느 정도 한계에 다다랐다고 할 수 있다. 이는 결국, 하역시스템을 개선함에 있어 운영적 측면외에 시설과 장비(하드웨어) 측면에서도 그 대안을 구상할 시기가 도래했음을 의미한다고 볼 수 있다. 이러한 일환으로 일부 선진 터미널에서는 고효율의 시설 및 장비를 개발하고 이를 토대로 다양한 하역시스템 개발을 추진하고 있다.

일반적으로, 컨테이너 터미널의 하역시스템은 크게 안벽시스템, 이송시스템, 야드시스템, 게이트시스템의 4가지 하위시스템으로 구분될 수 있으며, 이들 각 하위시스템은 적합한 시설과 장비를 사용하여 터미널의 하역서비스를 수행하고 있다. 이에, 본 연구에서는 기존보다 우수한 성능 및 기능을 갖춘 여러 장비를 토대로 다양한 시설배치에 적용한 차세대 하역시스템 설계안으로 제시하고, 그 성능을 평가해 보았다. 연구의 주요내용은 각 하위시스템별로 안벽시스템 부문에 기존 싱글트롤리형 장비외의 3가지 장비기술인 듀얼트롤리형, 더블트롤리형, 슈퍼테이너형 C/C를, 이송시스템 부문에 3가지 장비기술인 2단적재차량, 셔틀캐리어, 자가하역차량을 기존의 단순 이송장비인 YT, AGV의 대체 수단으로 제시하였다. 야드시스템 부문에서는 장치면적을 절감할 수 있는 RMGC 장비를 기

존 RTGC의 대체안으로 제시하고 야드배치에서도 수평배치형과 수직배치형을 평가하여 이에 적합한 하역장비 구성방안을 작성하였다.

하역시스템의 성능평가에서는 분석방법으로 시뮬레이션 기법을 사용하여 하역시스템의 생산성을 산출하였다. 시뮬레이션 분석을 위해 장비 각각에 대한 상태전이모델을 수립하였는데, 이 상태전이모델은 하역장비의 작업과정을 단계별로 세분화한 모델로 각 장비의 성능과 기능의 차이점을 정확하게 분석결과에 반영할 수 있도록 한 것이다. 성능평가에서는 하위시스템의 단위성능 뿐만 아니라 이들 개별시스템이 상호 연동된 통합하역시스템의 성능을 산출하였다.

단위성능분석은 기존 하역시스템의 일부를 제시한 차세대 장비로 대체하여 그 성능을 측정하는 것이며, 통합성능분석은 차세대 대안들로만 구성된 하역시스템을 대상으로 그 성능을 산출한 것이다. 통합성능을 산출하기 위해서 각 하위시스템의 장비대안을 상호 조합하여 다양한 시나리오를 구성하였다. 그리고, 이들 각각을 수평 및 수직 야드배치안에 적용하여 최종적으로 시뮬레이션 결과값을 얻었다.

시뮬레이션 결과에서는 각 장비의 시간당 생산성과 대기시간을 토대로 단위성능과 통합성능을 각각 산출하였으며 분석 결과를 정리하면, 앞서 제시된 차세대 장비기술들은 기존의 하역장비에 비해 운영대수에 있어서도 절감효과가 있었으며 전체 하역생산성 측면에서도 우수한 작업성능을 보이는 것으로 나타났다. 통합성능에서는 차세대 장비기술을 적용하여 안벽, 이송, 야드시스템이 상호 연동된 하역시스템의 성능을 평가하였다. 그러나, 이들 하역시스템 기술들은 그 성능과 운영면에서 상호 장단점을 가지고 있는 것으로 나타나 차세대 하역시스템을 개발하는데 있어서 터미널의 작업여건을 충분히 고려한 개발 방안 수립이 검토되어야 할 것으로 판단되었다.

현재, 국내 터미널의 경우 지난 20여년간 하역시스템은 하드웨어측면에서는 큰 변화없이 운영되어 왔다. 그러나, 터미널의 하역생산성을 지속적으로 향상시

키기 위해서는 터미널의 하역시설 및 하역장비의 고성능화가 달성되어야 할 것이며, 터미널의 작업환경에 맞는 하역시스템 설계방법과 성능분석이 병행되어야 할 것으로 본다. 이에 본 연구에서 수행된 컨테이너 터미널의 시뮬레이션 분석모델과 하역시스템 설계안은 향후 고생산성의 하역성능을 가진 차세대 컨테이너 터미널을 개발하는데 유용하게 활용될 것으로 기대한다.

참고 문헌

- Bae JW (2001) Operational methods for yard equipment in automated container terminals, Ph.D. Thesis, Pusan National University, Korea
- Bish EK (1999) Theoretical analysis and practical algorithm for operational problems in container terminals, Ph.D. Thesis, Northwestern University
- Chang Ho Yang, Yong Seok Choi, Tae Young Ha, “Simulation-based performance evaluation of transport vehicles at automated container terminals“, OR Spectrum Volume 26 Issue 2, pp. 149-170. 2004.
- C. Davis Rudolft III, Container-crane Productivity : Can it Keep up with Container Ship Size Increase?, Port Technology International 14th Edition, 2001.
- Catherine A. Morris, SE & Patrick E. Mc -Carthy, The Impact of Jumbo Cranes on Wharves, Liftech Consultants Inc., 2001.
- Clarkson Research Studies, The Clarkson Shipping Review & Outlook, Spring 2003.
- C. Davis Rudolft III, “Container-crane Productivity : Can it Keep up with Container Ship Size Increase?“, Port Technology International 14th Edition, 2001.
- Catherine A. Morris, SE & Patrick W. McCarthy, The Impact of Jumbo Cranes on Wharves, Liftech Consultants Inc., 2001.
- Choi YS, Ha TY, “Simulation System for Port Container Terminal Using An Object-Oriented Approach“, International Journal of Navigation and Port Research, Vol.28, No.9 pp. 791~798, 2004.
- C. I. Liu, H. Jula, P. A. Ioannou, “Design, Simulation, and Evaluation of

- Automated Container Terminals“, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.3, No.1, March 2002.
- C. I. Liu, H. Jula, K. Vukadinovic, P. Ioannou, “Automated guided vehicle system for two container yard layouts“, Transportation Research Part C12, pp.349~368, 2004.
- Duinkerken MB, Ottjes JA, Evers JJM, Kurstjens, STGL, Dekker RN, Dellaert P (1996) Simulation studies on inter terminal transport at the Maasvlakte, TRAIL Research School
- Duinkerken MB, Evers JJM, Ottjes JA, “A simulation model for integrating quay transport and stacking policies on automated container terminals“, Proceeding of the 15th European Simulation Multiconference, 2001
- Duinkerken MB, Evers JJM, Ottjes, JA, “Improving quay transport on automated container terminals“, Proceedings of the IASTED International Conference Applied Simulation and Modeling, June 2002.
- Evers JJM, Koppers SAJ (1996) Automated guided vehicle traffic control at automated container terminal. Transportation Research Part A 30-1 : 21-34
- Informa Maritime & Transport, Cargo Systems, March 2003.
- Joseph JME, Stijn AJK (1996) Automated guided vehicle traffic control at a container terminal. Transportation Research Part A 30-1 : 21-34
- Kim KH, Bae JW (1999) A dispatching method for automated guided vehicles to minimize delays of containership operations. International Journal of Management Science 15-1 : 1-26
- LM Gambardella, AE Rizzoli, M Zaffalon, “Simulation and Planning of an

- Intermodal Container Terminal“, Special Issue SIMULATION on Harbour and Maritime Simulation, 1998.
- Michael A. Jordan, S.E., “Quay Crane Productivity“, presented at TOC Americas, Miami, November, 2002.
- Michael A. Jordan, SE., “Super Productive Cranes“, presented at TOC Europe, Marcelona, June 3-5, 1997.
- Ottjes JA, Veeke HPM, “Simulation of a new port-ship interface concept for inter modal transport“, Proceedings of the 11th European Simulation Symposium, 1999.
- Ottjes JA, Veeke HPM, Duinkerken MB, “Simulation studies of robotized multi terminal systems“, Proceedings International Congress on Freight Transport Automated and Multimodality, Delft University, May 2002.
- Sgouridis SP, Angelides DC, “Simulation-based analysis of handling inbound containers in a terminal“, Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, 2002.
- Yang CH, Kim YH, Choi SH, Bae JW, Lee JE (2000) A study on the system design and operations of the automated container terminal. Korea Maritime Institute
- Van der Meer R (2000), Operational control of internal transport, Ph.D. Thesis, Erasmus University, Rotterdam
- Vis IFA, de Koster R, Roodbergen KJ (1999) Determination of the number of AGVs in a semi-automated container terminal. Management Report, No.32-1999 of Erasmus University
- Vis IFA, “Survey of research in the design and control of automated guided vehicle system“, European Journal of Operation Research 170,

pp677~709, 2006.

Zeng L, Wang HPB, Jin S (1991) Conflict detection of automated guided vehicles: A petri net approach“, International Journal of Production Research 29 : 865-879

김갑환, 원승환, 김영훈, 배종욱, 양창호, “시뮬레이션을 사용한 자동화 컨테이너 터미널 레이아웃의 평가”, 한국경영과학회/대한산업공학회 공동학술대회 논문집, 2001.

김갑환, 왕승진, 박영만, 양창호, 김영훈, “자동화 컨테이너 터미널에서의 장치장 운영 시뮬레이션 연구”, 한국경영과학회/대한산업공학회 공동학술대회 논문집, 2002.

김우선, “체계적배치계획을 이용한 컨테이너 터미널 시설물배치 연구”, 「해양정책연구」, 제20권, 제1호, 2005.

김창곤, 양창호, 윤동한, 최종희, 배종욱, “시뮬레이션 모델을 이용한 컨테이너 터미널 안벽능력 분석“, 한국시뮬레이션학회, 2001년 춘계 학술대회 논문집, pp.43-48, 2001.

민상규, 정귀훈, 하승진, 김형식, 변성태, 이영석, “첨단 자동화 컨테이너 터미널의 AGV 이동경로 평가 및 적정 운영 대수 산정을 위한 시뮬레이터 개발”, 대한산업공학회/한국경영과학회 2002 춘계공동학술대회, 2002.

박경택, “자동화 컨테이너 터미널”, 대한조선학회지, Vol.34, No.1, pp.50~58, 1997.

박중배, 이윤한, 홍성대, “자동화 컨테이너 터미널 운영의 새로운 추세”, 대한토목학회지, 제51권, 제5호, pp.4~15, 2003.

배종욱, 양창호, 김갑환, 윤원영, 김영훈, “컨테이너 터미널 계획을 위한 시뮬

- 레이션 통합관리시스템의 설계”, 「한국시물레이션 학회 2001춘계학술발표대회 논문집」, pp.49-53, 2001
- 배종욱, “컨테이너터미널에서 버퍼 야드에 관한 시물레이션 연구”, Journal of the Korean Institute of Plant Engineering, Vol.8, No.4, DEC 2003.
- 부산항만공사, “2004년도 부산항 컨테이너화물 처리 및 수송 통계”, 2005.
- 양창호, 최용석, 하태영, “자동화 컨테이너터미널의 이송장비 시물레이션 모델”, 한국경영과학회/대한산업공학회 2003 춘계공동학술대회, pp. 1165 ~ 1170, 2003.
- 양창호, 김창곤, 배종욱, “컨테이너터미널 선석처리능력 추정방안에 관한 연구”, 기본연구 2001-01, 한국해양수산개발원, 2001.
- 양창호, 최용석, 최상희, 최종희, “결합생산성 분석방법을 통한 항만시스템 취급능력 향상방안”, 한국해양수산개발원, 2004. 12.
- 양창호 외, 「초대형 컨테이너선 운항에 대비한 차세대 항만하역시스템 기술 개발전략 연구」, 한국해양수산개발원, 2002.
- 왕승진, 김갑환, 박영만, 양창호, 김영훈, “컨테이너 터미널에서의 자동화 야드크레인 운영 시물레이션 연구”, 대한산업공학회 학술대회논문집, 2001.
- 윤원영, 안창근, 최용석, 김갑환, “시물레이션을 이용한 컨테이너 터미널의 운영계획 평가”, 「한국시물레이션학회 논문지」, 제7권, 제2호, pp.91-104, 2001.
- 윤원영, 최용석, 송진영, 양창호, “컨테이너터미널에서 컨테이너 크레인의 하역능력 추정에 관한 시물레이션 연구”, IE Interface, 14(1), 67-78, 2001
- 이용환, 박은경, 박태진, 류광렬, 김갑환, “그리드 단위의 제어에 기반한 자동화 터미널의 AGV 운영 방안”, 한국항해항만학회 제27권 제2호, pp.

223 ~ 231, 2003.

장성용, 용운중, “자동화컨테이너터미널의 설계 및 운용 최적화를 위한 시뮬레이션 기법의 적용“, 한국시뮬레이션학회, 1998년 추계학술대회논문집, pp.25-35, 1998.

장성용, 용운중, “시뮬레이션기법을 이용한 자동화 컨테이너터미널의 운용전략에 관한 연구”, 한국시뮬레이션학회 학술대회논문집, 2001.

전수민, 김갑환, 류광렬, “시뮬레이션을 이용한 수평배치 컨테이너 터미널의 레이아웃 설계”, 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회, pp.44~51, 2005.

최용석, 김우선, 하태영(2004), “컨테이너터미널의 야드 트랙터 소요대수 추정”, 한국항해항만학회지 제28권 제6호, pp. 549 ~ 555

최용석, 하태영, “지식기반 시뮬레이션에 의한 컨테이너터미널 설계 방안”, 「해양정책연구」, 제20권, 제1호, 2005.

하태영, 신재영, 최용석, “이송장비의 Pooling 운행방식에 따른 터미널 하역생산성 효과”, 한국항해항만학회지, 제29권 제1호 춘계학술대회논문집, pp. 372~382, 2005.

하태영, 최용석, 김우선, “시뮬레이션을 이용한 컨테이너 터미널의 장치장 설계”, 한국 시뮬레이션학회 2003 추계학술대회 논문집, pp.35-40, 2003.

하태영, 최용석, 김우선, “시뮬레이션을 이용한 자동화 컨테이너 터미널의 AGV 운영평가”, 「한국항해항만학회지」, 제28권 제10호, pp.891-897, 2004

하태영, 최용석, “시뮬레이션을 이용한 자동화 컨테이너터미널의 결합생산성 분석”, 대한산업공학회/한국경영과학회 2004 춘계 학술대회, pp. SB4-21-SB4-24, 2004.

- 하태영, 최용석, “2단 적재 차량의 컨테이너 이송능력 분석”, 한국항해항만학회 2005 추계학술대회 논문집, 제29권 제2호, pp. 255~261, 2005
- 하태영, 최용석, “고성능 안벽크레인의 터미널 하역 생산성 비교분석”, 「한국항해항만학회지」, 제29권 제6호., pp.547~553, 2005
- 하태영, 최용석, “자동화 컨테이너 터미널의 Shuttle Carrier 이송능력 분석”, 「한국시뮬레이션학회지」, 제14권 제3호, pp. 109~118, 2005.
- 하태영, 최용석, 김우선, “자동화 컨테이너 터미널의 이송장비 운영평가를 위한 시뮬레이션 모델”, 한국항해항만학회 2004년 춘계학술대회 논문집, pp. 443-449, 2004.
- 하태영, “컨테이너 크레인 생산성 향상과제”, 「월간해양수산」, 한국해양수산개발원, 2003. 12.
- 하태영, “차세대 컨테이너 크레인 생산성 비교분석”, 「월간해양수산」, 한국해양수산개발원, 2004. 12.
- 한국컨테이너부두공단, 「우리나라 컨테이너부두 생산성 향상방안 연구」, 2002.
- 한국컨테이너부두공단, 「컨테이너화물 유통추이 및 분석」 각년도.

<http://www.bromma.com/>

<http://www.crea-tech.net/>

<http://www.liftech.net/>

<http://www.jwdgroup.com/>

<http://www.porttechnology.org/>

<http://www.kalmarind.com/>

<http://www.zpmc.com/>

- 부 록 -

□ 시뮬레이션 설정값

구분		설정값	비고
터미널	안벽길이	350m	1선석
	야드깊이	600m	-
C/C 작업대수		4대	-
C/C 아웃리치		65m	-
트롤리 & 트래버서	수평이동속도	부하시: 180m/min, 무부하시: 240m/min	최대값
	수직이동속도	부하시: 90m/min, 무부하시: 180m/min	최대값
컨테이너 이적소요시간		4sec.	-
RMGC 주행속도		150m/min	최대값
RMGC 작업속도(수평배치)		78.7sec.	1 cycle
RMGC 작업속도(수직배치)		25.95sec.	1/2 cycle
차량주행속도(수평배치)		5.0m/sec.	평균값
차량주행속도(수직배치)		3.8m/sec.	평균값
SHC 작업속도		17sec.	설계값
ALV 작업속도		17sec.	설계값
게이트입구통과시간		110sec.	-
게이트출구통과시간		20sec.	-
입구레인수		3lanes	-
출구레인수		2lanes	-
게이트 위치		중앙 & 입출구 공용	-
일일 외부트럭 도착대수		738대	1선석
일일 외부트럭 도착분포		시간대별 분포값	2005년 허치슨 통계
블록열수		9rows	수평·수직 동일
블록베이수		45bays	수평·수직 동일
열길이		2.838m	20ft 기준
베이길이		6.458m	20ft 기준
차량주행레인폭		4m	-
TP 진입거리		25m	수직배치
차량주행방식(수평배치)		Closed loop	-
차량주행방식(수직배치)		Cross lane	-
차량할당방식		C/C 조별작업	-
RMGC 작업방식		FCFS	-

□ Single Trolley Type Container Crane-based performance

(단위: 개/시간)

이송	야드	RMGC 1대			RMGC 2대			RMGC 3대		
		수평1	수평2	수직	수평1	수평2	수직	수평1	수평2	수직
3대	AGV	26.3	26.7	23.2	31.6	32.0	38.7	32.8	33.2	42.8
	DSV	43.7	43.9	23.3	49.1	49.5	38.3	50.1	50.6	42.3
	SHC	40.8	39.5	28.4	42.5	43.0	51.4	42.3	43.1	52.2
	ALV	41.1	40.0	28.3	42.9	43.5	51.6	43.0	43.5	52.2
4대	AGV	32.0	32.1	25.4	40.5	40.8	45.0	42.2	42.7	50.2
	DSV	50.3	50.4	26.1	52.2	52.2	45.5	52.2	52.2	50.2
	SHC	45.3	43.1	29.5	51.8	52.0	52.1	51.8	52.1	52.2
	ALV	45.3	44.3	29.6	52.1	52.1	52.0	52.1	52.1	52.2
5대	AGV	36.1	36.2	27.0	47.6	48.1	49.2	49.7	50.2	52.1
	DSV	51.9	52.0	27.7	52.2	52.2	49.3	52.2	52.2	52.1
	SHC	46.8	45.0	30.4	52.2	52.2	52.1	52.2	52.2	52.2
	ALV	47.3	45.3	30.8	52.2	52.2	52.1	52.2	52.2	52.2
6대	AGV	39.5	39.6	28.1	51.7	51.8	51.3	52.1	52.2	52.2
	DSV	52.2	52.2	28.6	52.2	52.2	51.2	52.2	52.2	52.2
	SHC	47.7	46.0	30.6	52.2	52.2	52.2	52.2	52.2	52.2
	ALV	47.4	45.9	30.9	52.2	52.2	52.1	52.2	52.2	52.2

□ Dual Trolley Type Container Crane-based performance

(단위: 개/시간)

이송	야드	RMGC 1대			RMGC 2대			RMGC 3대		
		수평1	수평2	수직	수평1	수평2	수직	수평1	수평2	수직
3대	AGV	26.7	26.7	23.3	32.1	32.6	40.1	33.4	33.7	44.6
	DSV	46.6	47.2	23.7	53.7	54.4	40.2	55.2	55.9	45.2
	SHC	41.2	39.7	28.3	42.7	43.4	56.6	42.7	43.2	60.9
	ALV	41.8	40.5	28.8	43.1	43.7	56.7	43.1	43.7	61.0
4대	AGV	32.5	32.6	25.2	41.8	42.1	47.1	43.7	44.2	55.5
	DSV	56.1	56.3	26.1	60.9	61.0	47.8	61.0	61.0	55.8
	SHC	46.3	44.2	29.2	55.8	56.5	58.8	55.9	56.7	61.0
	ALV	46.1	44.1	28.9	57.1	57.6	58.9	57.0	57.5	61.0
5대	AGV	36.2	36.9	27.7	50.4	50.9	53.1	53.2	53.8	60.4
	DSV	59.6	59.9	27.2	61.0	61.0	53.0	61.0	61.0	60.3
	SHC	47.4	45.2	29.5	61.0	61.0	59.8	61.0	61.0	61.0
	ALV	47.8	45.6	29.8	61.0	61.0	60.0	61.0	61.0	61.0
6대	AGV	39.8	39.4	28.0	57.9	58.2	56.3	60.3	60.6	61.0
	DSV	60.8	60.8	28.2	61.0	61.0	56.4	61.0	61.0	60.9
	SHC	47.8	47.1	30.0	61.0	61.0	60.7	61.0	61.0	61.0
	ALV	47.8	46.5	29.8	61.0	61.0	60.2	61.0	61.0	61.0

□ Double Trolley Type Container Crane-based performance

(단위: 개/시간)

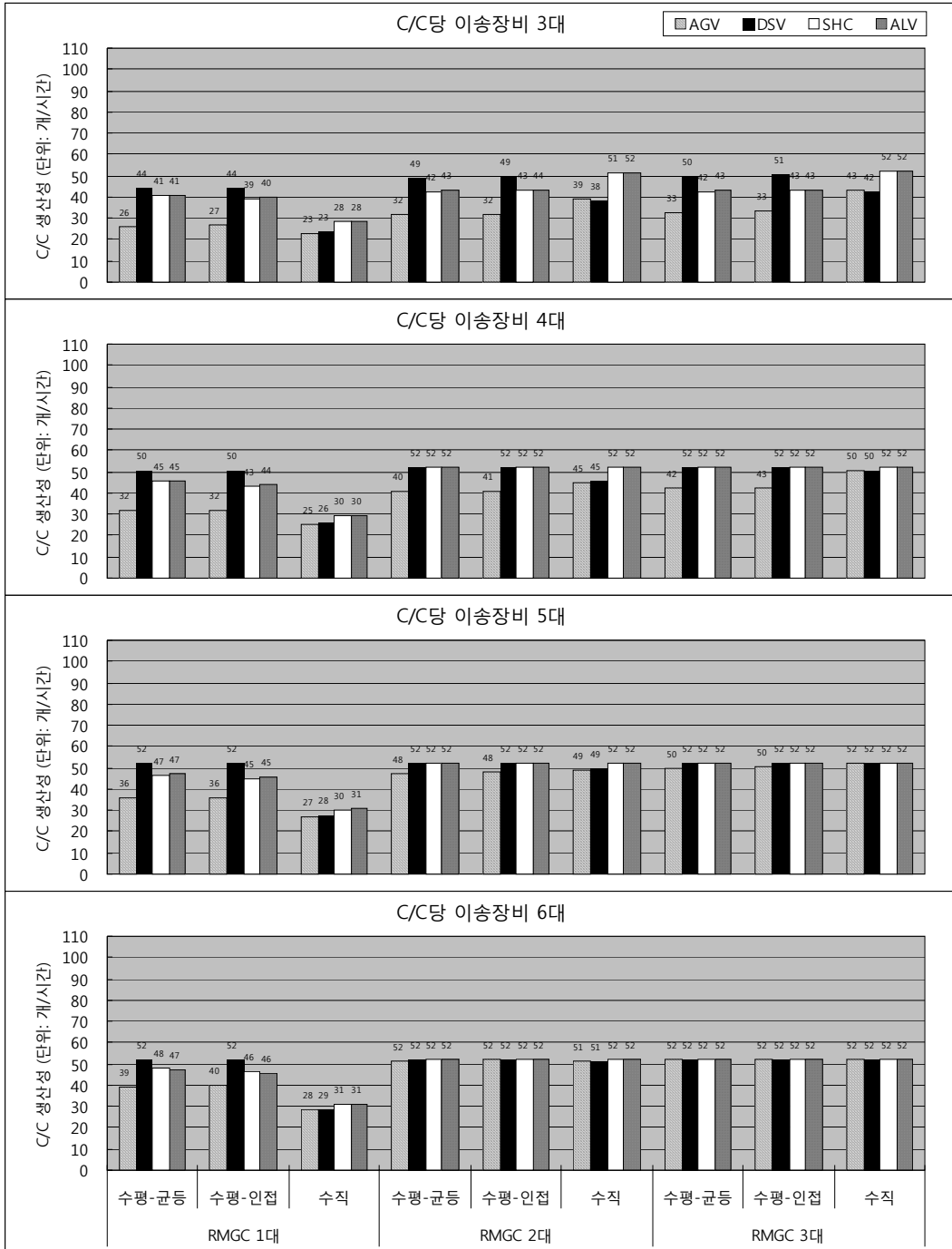
이송	야드	RMGC 1대			RMGC 2대			RMGC 3대		
		수평1	수평2	수직	수평1	수평2	수직	수평1	수평2	수직
3대	AGV	26.9	27.1	23.4	32.6	33.0	40.4	34.0	34.5	46.1
	DSV	50.4	50.8	24.6	59.5	60.2	42.5	61.6	62.4	49.1
	SHC	41.4	39.6	28.2	42.7	43.5	56.0	42.8	43.4	66.1
	ALV	41.7	40.0	28.1	43.2	43.7	58.0	43.2	43.7	67.6
4대	AGV	32.9	33.0	25.5	42.7	43.1	48.7	44.9	45.3	58.3
	DSV	61.6	62.5	26.4	76.5	77.2	50.9	79.5	80.5	61.7
	SHC	46.2	44.5	29.7	56.9	57.3	63.3	56.8	57.5	82.0
	ALV	46.7	44.2	29.2	57.6	58.2	61.5	57.8	58.5	84.2
5대	AGV	36.5	37.4	27.2	52.1	52.5	54.4	55.3	56.0	68.3
	DSV	69.5	70.6	27.9	91.3	91.7	56.2	94.6	95.6	71.8
	SHC	46.9	45.4	30.6	70.2	70.2	65.4	70.2	71.1	91.1
	ALV	48.1	45.5	30.2	71.7	71.6	63.4	71.7	72.5	92.9
6대	AGV	40.1	40.7	28.0	60.9	61.2	58.8	65.5	66.2	76.6
	DSV	76.6	77.6	29.1	100.1	100.2	60.4	101.3	101.3	79.4
	SHC	48.6	46.8	30.8	82.7	81.8	66.0	83.1	84.0	94.0
	ALV	48.8	46.4	30.4	84.8	83.3	67.2	85.2	86.2	96.4

□ Supertainer Type Container Crane-based performance

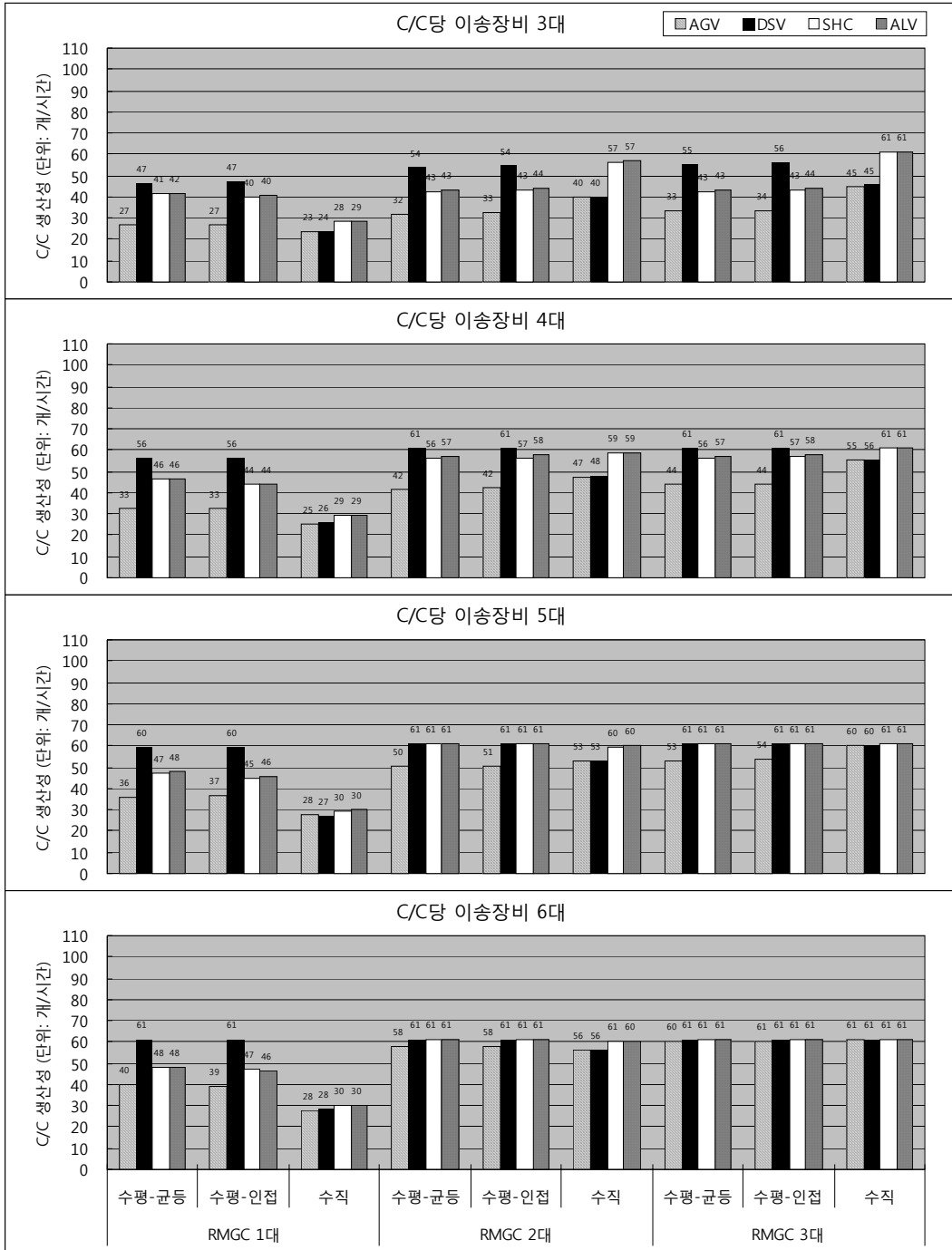
(단위: 개/시간)

이송	야드	RMGC 1대			RMGC 2대			RMGC 3대		
		수평1	수평2	수직	수평1	수평2	수직	수평1	수평2	수직
3대	AGV	26.8	27.0	23.8	32.6	33.0	40.6	33.9	34.4	46.0
	DSV	49.5	49.9	24.5	58.1	59.0	41.5	60.3	60.9	47.9
	SHC	41.6	39.5	28.1	42.9	43.5	57.0	42.7	43.5	65.9
	ALV	41.7	40.0	29.0	43.3	43.8	57.8	43.2	43.8	67.4
4대	AGV	33.2	33.0	25.5	42.6	42.8	48.5	44.8	45.3	58.1
	DSV	60.8	61.1	25.9	74.2	75.0	50.2	76.9	77.7	60.2
	SHC	46.1	43.8	29.3	56.8	57.2	62.0	56.6	57.5	81.5
	ALV	46.4	44.2	29.5	57.5	58.2	63.6	57.6	58.2	82.8
5대	AGV	36.3	37.3	27.6	51.7	52.3	54.2	55.1	55.7	68.6
	DSV	68.5	69.8	27.5	86.5	86.8	55.6	88.6	89.2	70.0
	SHC	46.8	45.1	29.9	70.1	70.1	63.9	70.1	70.9	87.7
	ALV	48.0	45.5	29.7	71.6	71.7	64.9	71.7	72.5	88.6
6대	AGV	40.4	40.2	28.1	60.8	61.2	58.0	65.1	65.7	75.7
	DSV	75.8	75.8	28.8	89.9	89.9	58.7	90.0	90.0	77.4
	SHC	48.4	46.8	29.6	82.0	81.1	66.4	82.3	83.3	88.6
	ALV	47.8	46.1	30.1	84.1	83.1	67.1	84.6	85.6	89.7

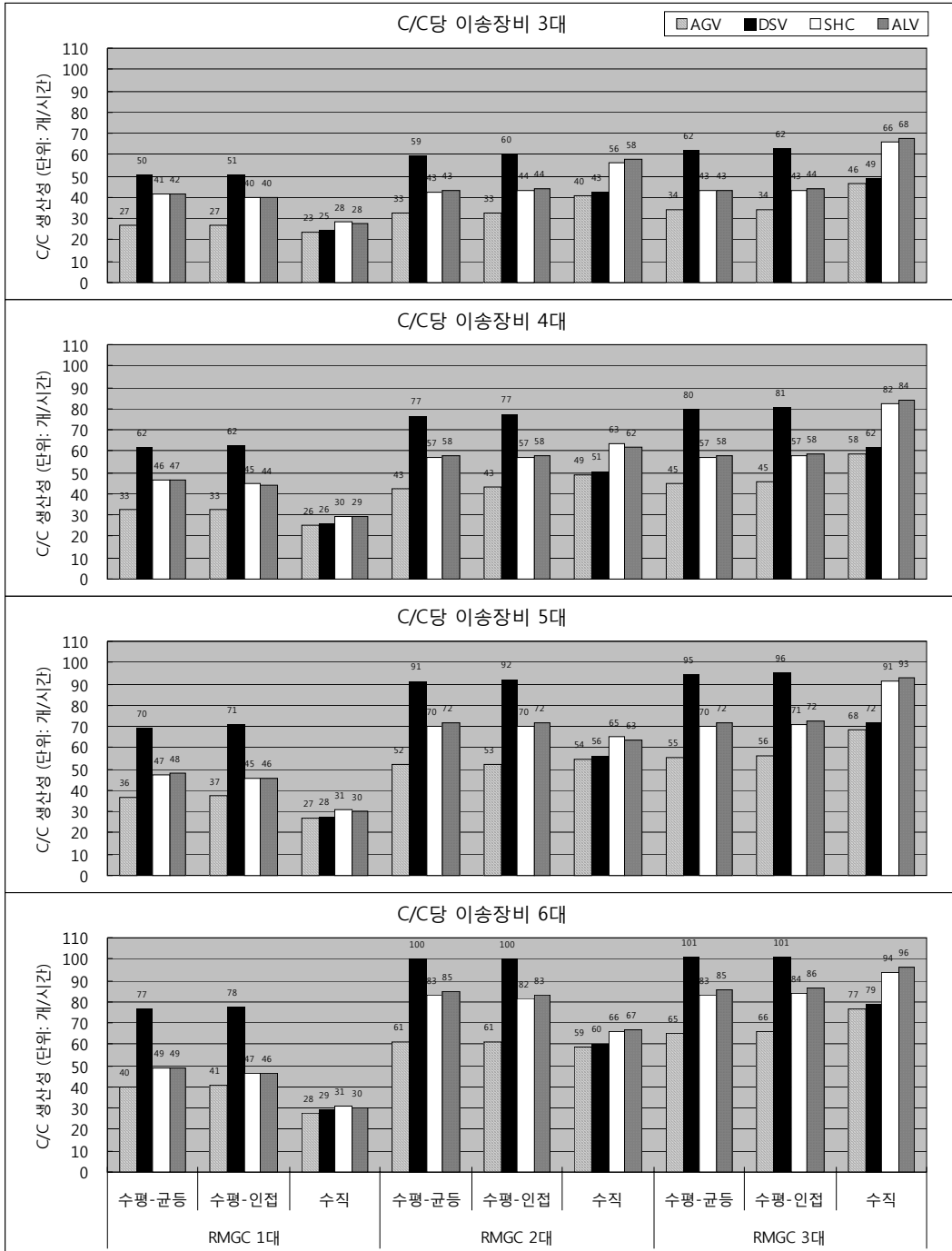
<Single Trolley Type Container Crane-based performance>



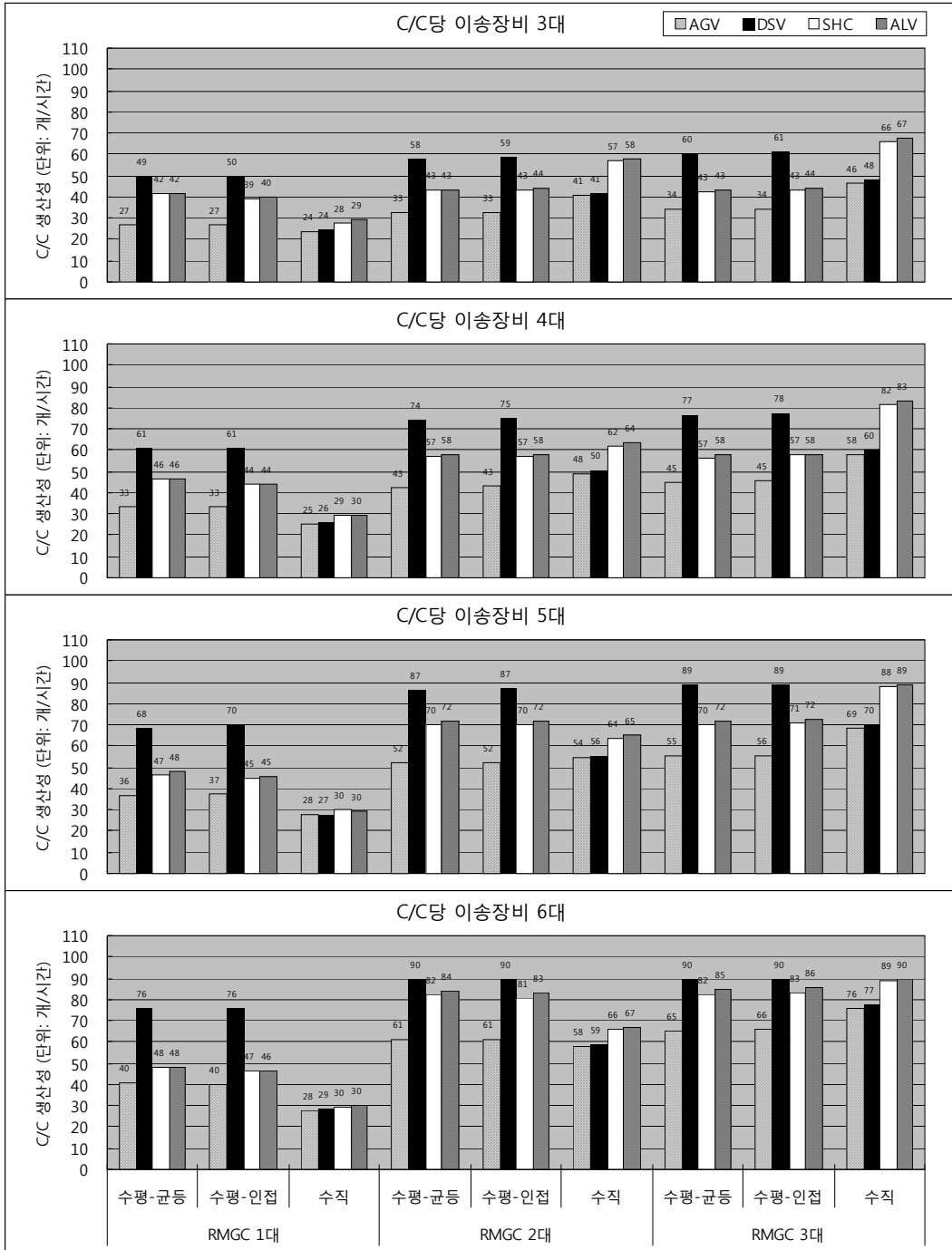
<Dual Trolley Type Container Crane-based performance>



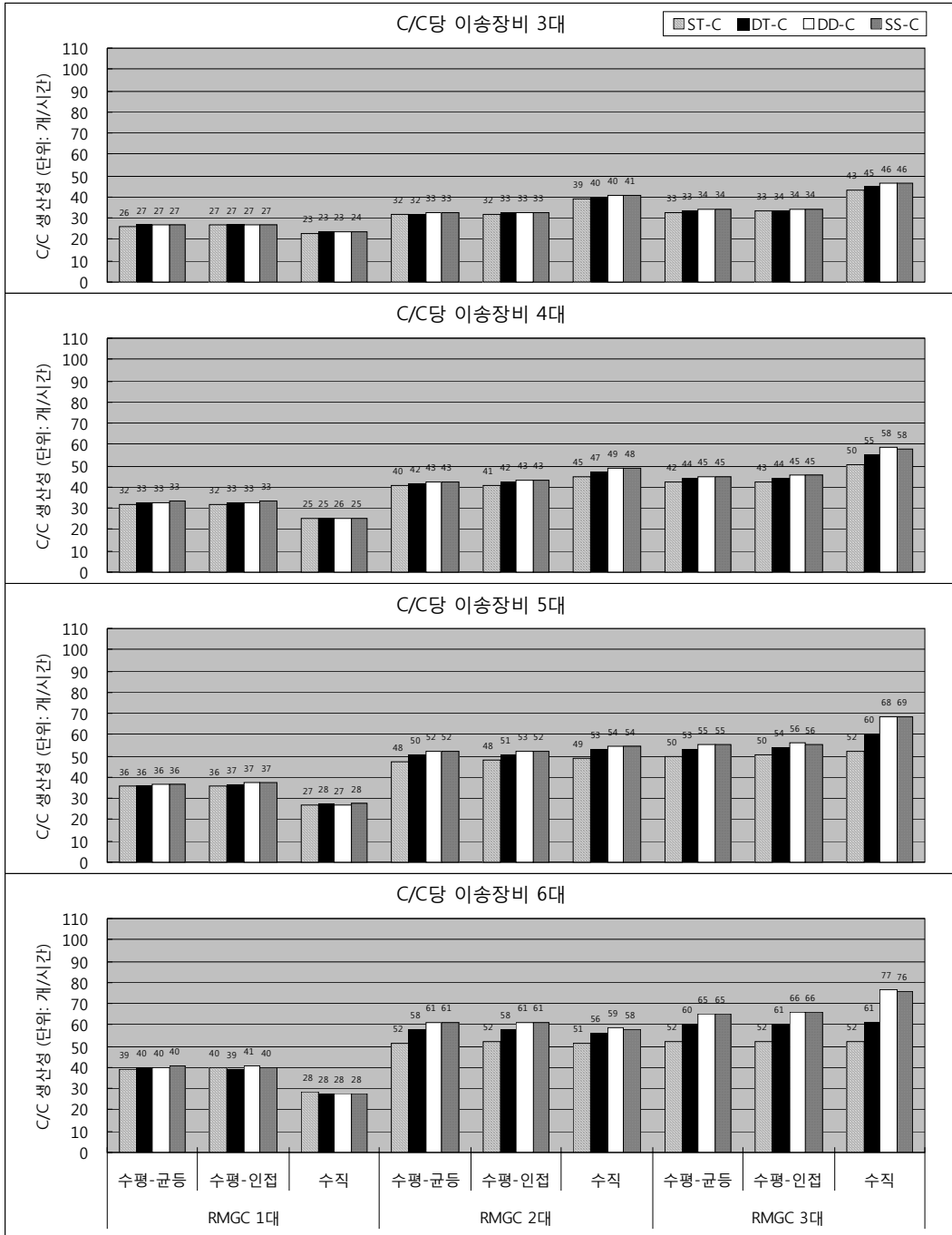
<Double Trolley Type Container Crane-based performance>



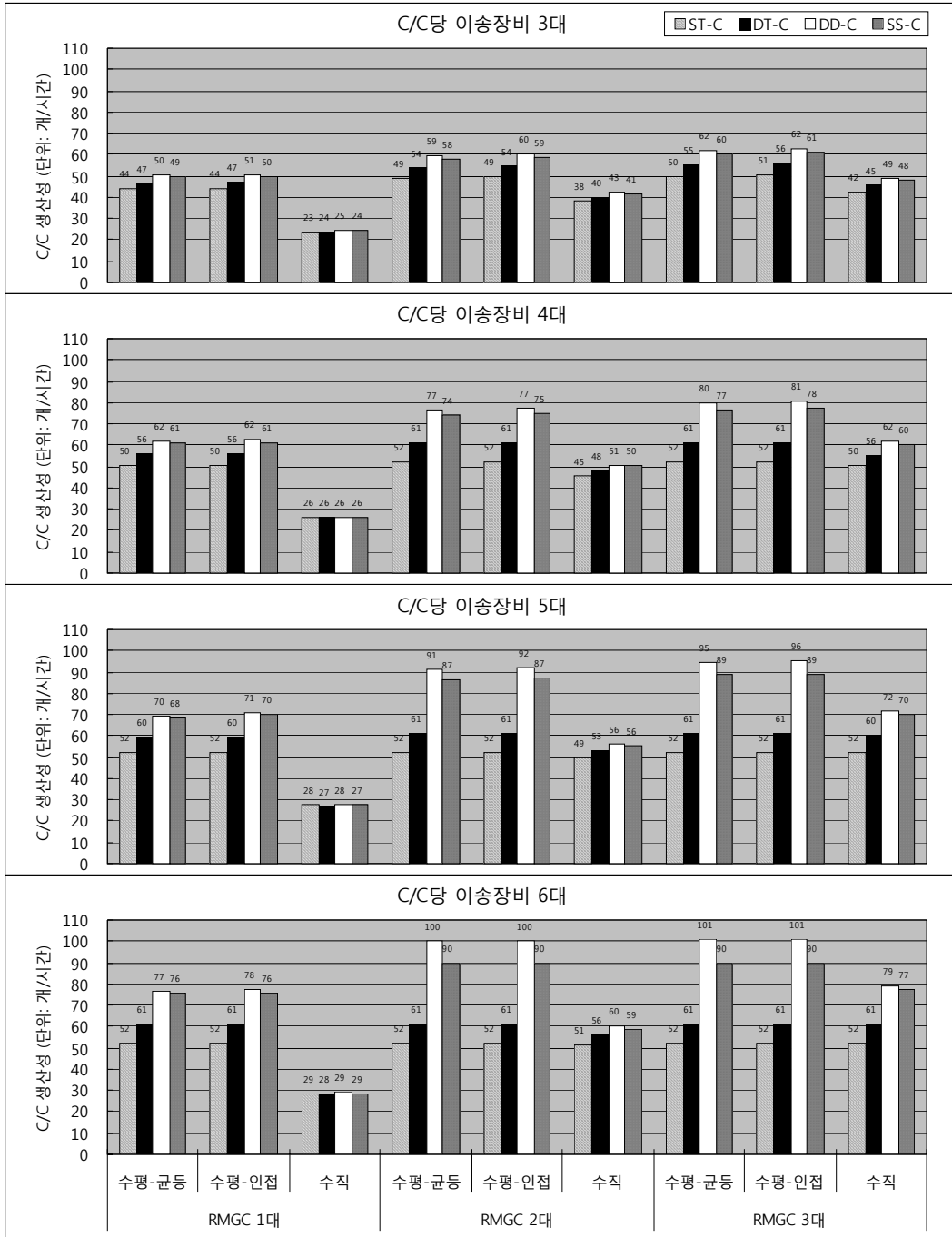
<Supertainer Type Container Crane-based performance>



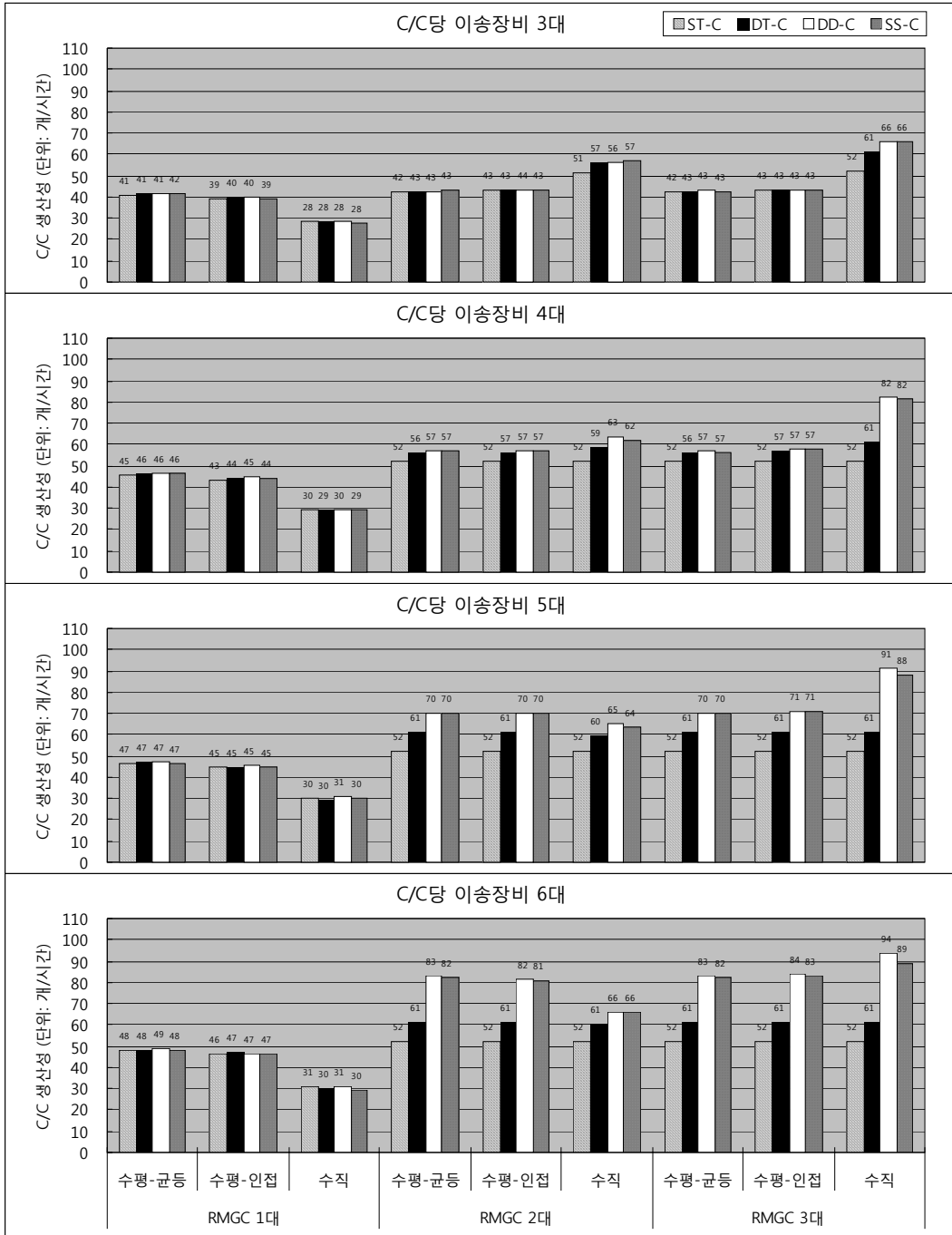
<Yard Truck or Automated Guided Vehicle-based performance>



<Double Stack Vehicle-based performance>



<Shuttle Carrier-based performance>



<Automated Lifting Vehicle-based performance>

