

컨테이너터미널 에너지비용 절감방안 연구

2007. 12

김우선 · 최상희 · 하태영

□ 보고서 집필 내역

◆ 연구책임자

- 김 우 선 : 제1장, 제3장, 제4장, 제5장, 제7장, 제8장

◆ 연구진

- 최 상 희 : 제2장, 제6장
- 하 태 영 : 제4장

◆ 외부 집필진

- 임 형 배 (HKCT 운영팀 팀장) : 제3장
- 최 용 석 (순천대학교 교수) : 제5장

□ 산·학·연·정 연구자문위원회

◆ 정 한 욱 ((주)하나티앤이 대표이사)

◆ 김 종 래 (해양수산부 항만국 기술안전과 사무관)

* 연구자문위원회는 산·학·연·정 순임

머 리 말

2007년 10월 현재 국제유가가 배럴당 90달러를 넘어서고 있다. 이에 따라, 2006년 상반기 주요 항만하역사들의 영업이익률이 고유가 등으로 인해 전년 동기 2~3% 포인트 감소한 것으로 나타났다. 한편, 부산신항 및 광양항을 비롯한 지방 무역항(마산신항, 영일신항 등)의 새로운 컨테이너터미널의 개장이 예정되어 있어 유류를 사용하는 하역장비의 보유대수가 지속적으로 증가할 전망이다.

국내 컨테이너터미널의 경우 부산항 및 광양항에서 유류를 사용하는 장비의 연간 사용량 및 사용액을 계산하면 RTGC 14,072천리터, 야드트럭 8,504천리터, 기타 하역장비 6,937천리터로 연간 총유류사용량은 29,513천리터에 이르며, 그 비용은 경유 가격을 리터당 1,200원으로 가정하여 사용액을 계산하면, RTGC 약 168억 9천만원, 야드트럭 약 102억원, 기타 하역장비 83억 2천만원으로 총합계 약 354억 2천만원에 이르고 있다. 하역장비에 공급되는 경유의 경우 화물차들과 달리 유가 보조금을 받지 못하고 있어 항만 하역사들은 고유가에 따른 장비운영비 부담이 날로 커지고 있는 상황이다.

따라서, 향후 국내 항만이 동북아 물류중심국가로 나아가고 주위 경쟁항만과의 경쟁에서 우위를 점하기 위해서는 항만의 비용구조를 개선하여 하역비용을 낮춤으로써 지속적으로 환적물량을 유치해야 한다.

따라서, 이 보고서는 고유가에 대비하여 컨테이너터미널의 비용절감을 통해 운영효율성을 향상시키는 데 그 목적이 있다. 또한 국내 항만의 경쟁력 강화를 위해 에너지비용 절감 모델을 개발하고 모델별 대안을 제시하고 있다. 구체적인 연구의 내용으로는 컨테이너터미널의 운영현황을 파악하고, 이를 바탕으로 가능한 대안을 수집, 분석하고, 특히 하역시스템 측면에서 전 세계적으로 에너지 비용 절감을 위한 새로운 기술을 수집, 분석하였다. 이를 토대로 적용가능한 대안을 선정하여

적용효과를 분석하며, 에너지비용 절감 모델을 수립하고, 적용우선순위를 분석하여, 이를 이용한 구체적인 적용방안을 수립하여 정책대안을 제시하였다.

이 보고서는 한국해양수산개발원 항만연구본부의 김우선 책임연구원이 책임을 맡고, 최상희 부연구위원, 그리고 하태영 책임연구원이 공동으로 집필하였다. 외부 집필을 통해 도움을 주신 임형배 HKCT 팀장님, 최용석 순천대학교 교수님 그리고 좋은 지적과 조언을 해 주신 김종래 해양수산부 사무관님, 정한욱 (주)하나티앤이 사장님, 김우호 부연구위원 및 김종덕 박사님께 깊은 사의를 표하며, 자료정리 및 원고수정에 도움을 아끼지 않은 원승환 연구원 및 서진원 행정원에게도 필자를 대신하여 이 지면을 빌어 감사드리고자 한다.

2007년 12월

한국해양수산개발원
원 장 이 정 환

목 차

ABSTRACT	i
요 약	iii
제 1 장 서 론	1
1. 연구의 필요성 및 목적	1
2. 주요 연구내용 및 연구의 방법	4
제 2 장 세계 물류환경 및 항만여건 변화	5
1. 초대형선 시대의 진입	5
1) 컨테이너 물동량의 증가 / 5	
2) 초대형 컨테이너선의 급증 / 5	
3) 초대형 컨테이너선의 등장에 따른 하역원가의 상승 / 8	
2. 고유가 시대의 도래	9
1) 세계 석유생산 및 소비 현황 / 9	
2) 세계 유가의 변화 / 11	
3) 항만의 운영여건 악화 / 14	
제 3 장 컨테이너터미널의 하역비용구조 분석	17
1. 컨테이너터미널 하역비용	17
1) 항만의 항만시설사용료 / 17	
2) 항만하역료 / 21	

제 4 장 국내외 에너지비용 절감 사례 및 대안별 효과분석 28

1. 국내외 에너지비용 절감 사례 28
 - 1) ECO-RTG / 28
 - 2) 하이브리드 야드 트랙터 / 29
 - 3) 바이오 디젤 연료 / 31
 - 4) 야드 크레인 전기구동 / 32
 - 5) 국내외 에너지비용 절감 사례 요약 / 33
2. 에너지비용 절감 대안 및 효과분석 34
 - 1) 운영(Operation) / 34
 - 2) 장치(Device) / 56
 - 3) 신기술(New Technology) / 69

제 5 장 하역체계 분석을 통한 에너지비용 절감 모델 수립 85

1. 하역체계의 에너지 소비패턴 85
 - 1) 하역시스템의 상호관계 정의 / 85
 - 2) 하역시스템의 에너지 소비패턴 / 86
 - 3) 하역장비별 에너지 소비량 결정 / 88
2. 에너지비용 분류 및 비용절감 89
 - 1) 에너지비용 분류 / 89
 - 2) 에너지비용 절감대안 구분 / 91
 - 3) 하역장비간 에너지비용 절감 / 92
3. 에너지비용 절감 모델 92
 - 1) 에너지비용 절감 모델의 가정 / 92
 - 2) 에너지비용 절감 모델 수립 / 94
 - 3) 하역상태별 적용기술 / 95
4. 요약 96

제 6 장 컨테이너터미널 에너지비용 절감 적용 타당성 및 우선순위 분석 97

1. 컨테이너터미널 적용 타당성 분석 97

1) 절감방안의 용이성 / 97	
2) 비용절감 효과성 / 102	
3) 기술적 적용성 / 105	
2. 대안별 우선순위 분석	107
제 7 장 컨테이너터미널 에너지비용 절감 적용방향, 적용절차 및 추진전략	108
1. 에너지비용 절감방안의 적용방향	108
2. 컨테이너터미널 에너지비용 절감방안 적용절차	109
1) 일반적인 절차 / 109	
2) 컨테이너터미널 에너지비용 절감방안 적용절차 / 110	
3. 에너지비용 절감방안의 추진전략	112
1) 정책적 추진전략 / 112	
2) 컨테이너터미널 에너지비용 절감기술 확보전략 / 113	
3) 자체 기술개발 전략 / 114	
4) 컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술개발 및 사업 추진체계 / 115	
제 8 장 결론 및 정책건의	117
1. 결론	117
1) 세계 물류현황 및 항만여건 변화 / 118	
2) 국내 컨테이너터미널의 하역비용 구조분석 / 118	
3) 국내외 에너지비용 절감 사례 및 대안별 효과분석 / 119	
4) 하역체계 분석을 통한 에너지비용 절감 모델 수립 / 120	
5) 적용 우선순위 및 타당성 분석 / 120	
6) 컨테이너터미널의 에너지비용 절감 대안 추진방안 / 121	
2. 정책건의	122
1) 정부의 역할 / 122	
2) 항만공사의 역할 / 124	
3) 운영사의 역할 / 125	
참고문헌	127

표 목 차

<표 1-1>	하역장비의 연간 사용량 및 사용액	2
<표 2-1>	세계 컨테이너 처리물동량 실적 및 예측	5
<표 2-2>	컨테이너선의 세대별 발전현황	6
<표 2-3>	국내 조선사 수주현황의 변화(2003~2007)	7
<표 2-4>	국내 주요 컨테이너터미널 하역시스템	8
<표 2-5>	세계 석유 생산 및 소비 현황	10
<표 2-6>	국제 원유가 변동추이	11
<표 2-7>	국제유가 월별가격(2006~2007)	13
<표 2-8>	야드크레인 유형별 시장점유 변화 분포	15
<표 2-9>	부산항의 디젤 사용 하역장비 현황	15
<표 2-10>	부산신항의 전기/디젤 사용 하역장비 현황(C/C 제외)	16
<표 3-1>	광양항과 부산항의 항만시설사용료 세부항목	17
<표 3-2>	전세계 주요항만의 항만시설사용료 항목	18
<표 3-3>	전세계 주요항만의 항만시설사용료 비교	19
<표 3-4>	부산항 컨테이너 처리실적(2007.7)	20
<표 3-5>	부산항 P터미널의 하역비용	21
<표 3-6>	광양항 A터미널의 전력량 및 금액	22
<표 3-7>	광양 A터미널의 처리물량, 작업시간 및 생산성	23
<표 3-8>	광양 A터미널의 안벽크레인 고장시간, 장비가동률 및 전력사용량 ..	23
<표 3-9>	냉동 및 기타(야간조명) 전력비용	24
<표 3-10>	광양항 A터미널의 단위 전력소비량	25
<표 3-11>	야드크레인 유류비용	25
<표 3-12>	야드트럭의 유류비용	26
<표 3-13>	리치스태커의 유류비용	27
<표 3-14>	광양항 A터미널의 유류사용량/TEU	27
<표 4-1>	ECO-RTG의 연료소비 성능 데이터(2007. 2. 20 ~ 2007. 2. 28)	29
<표 4-2>	국내외 에너지비용 절감 사례 요약	33

<표 4-3> 동적할당유형	36
<표 4-4> 야드트럭 폴링에 따른 유류비(공회전) 절감효과	39
<표 4-5> 야드트럭 폴링에 따른 터미널 유류비(공회전) 절감효과	39
<표 4-6> 야드크레인 유형별 이동형태	42
<표 4-7> 단일계획법에 의한 TC 이동거리 산출과정	44
<표 4-8> 단일계획법을 적용한 재일정계획법의 TC 이동거리 산출	45
<표 4-9> 단일계획법 vs 재일정계획법의 TC 총 이동거리 비교	45
<표 4-10> 한계대기시간을 적용한 재일정계획법의 TC 이동거리 산출	47
<표 4-11> 선입선출 vs 재일정계획법 적용시 크레인 이동거리 비교	47
<표 4-12> 야드크레인 이동거리 단축에 따른 비용절감효과	48
<표 4-13> 야드크레인 동선단축에 따른 터미널 유류비 절감효과	48
<표 4-14> YT와 DSV의 주행거리 비교예	51
<표 4-15> DSV 도입에 따른 터미널 유류비(주행비용) 절감효과	51
<표 4-16> YT와 DSV의 하역생산성 비교예	53
<표 4-17> DSV 도입에 따른 터미널 유류비(공회전) 절감효과	53
<표 4-18> DSV 도입에 따른 터미널 유류비(주행거리+공회전) 절감효과	54
<표 4-19> 터미널 야드에서의 하역작업 횟수	55
<표 4-20> 컨테이너 재조작 감소에 따른 터미널 유류비 절감효과	55
<표 4-21> 개선에 소요되는 공사비	59
<표 4-22> 개선 전후 유비보수비용(연간) 비교	59
<표 4-23> 엔진제네레이터 연료소비량 비교	63
<표 4-24> 연료비 절감효과 분석	64
<표 4-25> 오염물질 감소효과 및 연료 절감효과	66
<표 4-26> Variable Speed 엔진의 비용 vs. 절감액	68
<표 4-27> 미국의 바이오에너지 관련 주요 개발정책	71
<표 4-28> 화석연료와 바이오에너지의 가격 비교(2005년 기준)	72
<표 4-29> 바이오 연료의 연료비 추정	73
<표 4-30> 수소연료전지의 연료비 추정	79
<표 4-31> 도요타 하이브리드 모델의 연비	80
<표 4-32> 혼다 하이브리드 모델의 연비	81

<표 4-33> 하이브리드 차와 휘발유 차의 가격 및 연비 비교 ①	82
<표 4-34> 하이브리드 차와 휘발유 차의 가격 및 연비 비교 ②	83
<표 4-35> 하이브리드 엔진의 연료비 추정	83
<표 4-36> 신기술 요약정리	84
<표 5-1> 하역작업에서 에너지 소비패턴(양하작업과정)	87
<표 5-2> 에너지비용 절감 사례별 적용시기	89
<표 5-3> 에너지비용 절감대안별 적용단계	90
<표 5-4> 에너지비용 절감대안 분류	91
<표 5-5> 에너지 소비 패턴 구분	93
<표 6-1> 운영효율화를 통한 절감특성 및 투입비용	98
<표 6-2> 기존 장치 적용을 통한 절감특성	100
<표 6-3> 신기술 개발을 통한 절감특성	101
<표 6-4> 운영효율화를 통한 절감비용 비교분석	102
<표 6-5> 기 개발장치 적용을 통한 절감비용 비교분석	103
<표 6-6> 신기술 적용시 소요연료비 비교분석	104
<표 6-7> 신기술 개발/적용을 통한 절감비용 비교분석	104
<표 6-8> 운영효율화를 통한 적용용이성	105
<표 6-9> 기존 장치를 통한 적용용이성	106
<표 6-10> 신기술 개발을 통한 적용용이성	106
<표 6-11> 절감방안 대안별 우선순위 분석	107
<표 7-1> 일반적인 에너지비용 절감방안 적용절차	109
<표 7-2> 운영대안의 에너지비용 절감방안 적용절차	110
<표 7-3> 장치대안의 에너지비용 절감방안 적용절차	111
<표 7-4> 신기술대안의 에너지비용 절감방안 적용절차	111

그 립 목 차

<그림 2-1>	연도별 세계 석유 생산 및 소비 현황	10
<그림 2-2>	국제 원유가 변동추이	12
<그림 2-3>	월별 국제유가 변동 추세(2006~2007)	14
<그림 4-1>	스페인 알제시라스항의 ECO-RTG	28
<그림 4-2>	미국 LA/LB항의 하이브리드 야드 트랙터	30
<그림 4-3>	미국 타코마항의 스트래들 캐리어(디젤 산화 촉매장치 장착)	31
<그림 4-4>	부산항에서 운영 중인 야드 크레인	32
<그림 4-5>	이송장비 고정할당방식 개념도	34
<그림 4-6>	고정할당방식과 이송장비 운영비용 관계	35
<그림 4-7>	이송장비 동적할당방식 개념도(폴링)	35
<그림 4-8>	동적할당방식과 이송장비 운영비용 관계	35
<그림 4-9>	할당방식에 따른 이송장비 작업시간 절감효과	36
<그림 4-10>	이송장비 폴링시 할당시점	37
<그림 4-11>	이송장비 시뮬레이션 모델 개념도	38
<그림 4-12>	야드트럭 폴링에 따른 터미널 유류비(공회전) 절감효과	40
<그림 4-13>	터미널 야드크레인 하역작업시간	40
<그림 4-14>	야드크레인 동선최소화에 따른 비용절감효과	41
<그림 4-15>	터미널 야드크레인 유형(RTGC vs RMGC)	41
<그림 4-16>	터미널 야드크레인의 이동형태	42
<그림 4-17>	터미널 야드크레인 운영방안	42
<그림 4-18>	단일계획법 할당규칙	43
<그림 4-19>	재일정계획법 할당규칙	44
<그림 4-20>	한계대기시간을 고려한 재일정계획법 할당규칙	46
<그림 4-21>	야드크레인 동선단축에 따른 터미널 유류비 절감효과	48
<그림 4-22>	2단적재차량 기능	49
<그림 4-23>	2단적재차량 적용시 운행거리 및 하역시간 절감효과	50
<그림 4-24>	YT와 DSV의 주행거리 상대비교	51

<그림 4-25> DSV 적용시 터미널 유류비(주행비용) 절감효과	52
<그림 4-26> DSV 적용시 터미널 유류비(공회전) 절감효과	53
<그림 4-27> 컨테이너 재조작 감소(0.1point)시 유류비 절감효과	56
<그림 4-28> 트랜스퍼 크레인(RTG) 적용도(Cable Trench + Panzerbelt 방식, Cable Guide + Panzerbelt 방식)	57
<그림 4-29> 트랜스퍼 크레인(RTG) 적용시 이동장비 주행로	58
<그림 4-30> Bus Bar 방식의 E-RTG	58
<그림 4-31> 전통적인 RTG 운영 사이클	60
<그림 4-32> 전통적 방식과 에너지세이빙 방식의 운영사이클 비교	61
<그림 4-33> 기존 방식과 슈퍼 카파시터를 이용한 전기배선도	61
<그림 4-34> 슈퍼 카파시터의 작동원리	62
<그림 4-35> 플라이휠 방식	65
<그림 4-36> Variable Speed 디젤엔진	67
<그림 4-37> Variable Speed 디젤엔진의 적용효과	68
<그림 4-38> 세계 주요 에너지의 공급 비율 추세(1971~2004년, 단위: Mtoe) ..	69
<그림 4-39> 바이오에너지기술의 개념도	70
<그림 4-40> 바이오 연료의 에너지 효율	73
<그림 4-41> 연료전지와 내연기관의 CO ₂ 배출 비교	74
<그림 4-42> 전지의 에너지 밀도와 충전시간	75
<그림 4-43> 미국의 연료전지 상업화 로드맵	76
<그림 4-44> 일본의 연료전지 상업화 추진 체계	76
<그림 4-45> 일본의 연료전지 확산 시나리오	77
<그림 4-46> 가정용 연료전지 사용시 에너지 절감	78
<그림 4-47> 하이브리드차 연료전지의 종합효율	79
<그림 4-48> 도요타의 하이브리드 모델	81
<그림 4-49> 혼다의 하이브리드 모델	81
<그림 5-1> 하역체계 상호관계 정의도	85
<그림 5-2> 하역장비별 에너지 단위소비량	88
<그림 5-3> 하역시스템에서 에너지비용의 발생 상황	93
<그림 5-4> 하역상태별 적용기술	96
<그림 7-1> 에너지비용 절감방안의 적용방향	108
<그림 7-2> 컨테이너터미널 에너지비용 절감기술 추진전략	116

ABSTRACT

A Study on an Energy Cost-Saving Plan for Container Terminals

The merger of the mega-carriers following the increasing trend toward globalization with the increase of worldwide container cargo, the increase of the fuel-cost component in shipping expenses and falling fares are all factors inducing the enlargement of container vessels, from a feeder scale of 700 TEU of the past first generation to very large container ship-scales of 11,000 TEU of an eighth generation that are being operated currently. In the future, the turnaround time of vessels needs to be reduced within 24 hours. The enlargement of vessels is acting as the main factor in the increase of port costs, such as equipment facilities and equipment operating costs.

Port costs almost doubled compared with three years ago, the year of 2006 when the international crude oil prices started soaring. The future crude petroleum price is determined by showing the rising trend of the present and the increasing global demand. This trend has a direct influence on the port. In particular, the port costs and operating costs in most container terminals using diesel engines such as the YT-RTGC system are rising and there is a big possibility that the cost diminishes a port's power .

The international crude petroleum price surpassed US\$90 per barrel in October 2007. According to the results of an analysis of the business profit rate of main terminal operators for the first half of 2006, it was revealed that business profits were reduced 2%-3% due to the high oil costs. And with new container terminals opening of trade ports, including Busan New Port and Gwangyang Port, we expect that container handling equipment on hand will increase continuously.

The domestic and foreign container terminals are making many efforts to reduce

energy utilities and energy costs. To realize this, the plan to address the operating costs involves reorganizing the yard cranes to use diesel engines for the electricity. This is being implemented by Busan Port Authority (BPA), and terminal operators reduce the idling of the container handling equipment or are promoting the use of alternative electricity for some equipment. Due to the switch of the electricity for the container handling equipment, applied from April 1, 2003 in the ports to an industry electricity, it is up to 1.5 times cheaper compared with general electricity. In cases where gasoline is used for power instead of electricity for the container handling equipment cost reductions are substantial due to the size.

Hence, for domestic ports to make Korea progress into becoming a logistics hub nation in Northeast Asia and to occupy predominance in competition with surrounding competing ports, we must improve the charge structure of the ports and lower the port charges. Following this strategy, we can strengthen competitive power and we must continuously lead the way in transshipment cargos. Based on the above research background and objectives, the performed research results are as follows.

제1장 서론

1. 연구의 필요성 및 목적

- 국내 컨테이너터미널의 경우 상해, Ningbo항만 등 인근항만과 치열한 경쟁
 - 상해항의 경우 국내 환적화물 50%, 국제환적화물 추가 20% 할인
 - Ningbo항도 유사한 상황임
 - 주물량원도 중국이고, 환적화물 하역비도 저렴하여 어려운 실정임
- 우리나라 항만이 경쟁력을 확보하기 위한 방안으로 하역원가의 절감이 필수
 - 하역원가 절감을 위해 고정비용 및 변동비용을 최소화해야 함
 - 고정비용의 경우 장비 및 시설로 하역생산성과 연관되어 줄일 수 없음
 - 따라서, 변동비용을 최소화하여 운영비용을 절감해야 하며, 이를 위한 선택가능한 대안으로 컨테이너터미널의 에너지비용 즉 유류비용을 최소화하는 것임
- 국제유가급등에 따른 영업이익률 급감
 - 2007년 10월 현재 국제유가가 배럴당 90달러를 넘어섰음
 - 고유가로 인하여 2006년 상반기 항만하역사들의 영업이익률이 전년동기 2~3% 급감하였음
 - 2005년 기준으로 부산항 및 광양항 컨테이너터미널의 유류사용액은 354억원에 이름
- 고유가시대에 대응하여 국내외적으로 다양한 노력
 - 국내의 경우 자성대터미널의 디젤식 야드크레인을 전기식으로 교체
 - 스페인 알제시라스항의 경우 슈퍼 카파시터를 이용하여 유류비 30~50% 절감 등

- 본 연구에서는 고유가에 대비하여 컨테이너터미널의 비용절감을 통해서 운영효율성을 향상시키고, 국내 항만의 경쟁력 강화를 위해서 항만의 유류비용절감을 위한 에너지비용 절감 모델을 개발하고 모델별 대안을 제시하는 것을 목적으로 하며, 이의 효율적인 추진을 위한 방향, 적용절차 및 추진전략을 기술

2. 주요 연구내용 및 연구방법

- 제2장 “세계 물류현황 및 항만여건 변화”
 - 초대형선의 출현
 - 항만운영여건 악화
 - 고유가시대 도래
- 제3장 “컨테이너터미널의 하역비용구조 분석”
 - 컨테이너터미널 하역비용 분석
 - 에너지비용 구조분석
 - 에너지비용 원단위 분석
- 제4장 “국내외 에너지비용 절감 사례 및 대안별 효과분석”
 - 국내외 에너지비용 절감사례 조사
 - 에너지비용 절감 대안 및 효과분석(운영, 장치, 신기술)
- 제5장 “하역체계 분석을 통한 에너지비용 절감 모델 수립”
 - 하역체계의 에너지소비 패턴 분류
 - 비용절감에 대한 대안의 구분
 - 에너지비용 절감 모델 수립
- 제6장 “컨테이너터미널 에너지비용 절감 적용 타당성 및 우선순위 분석”
 - 컨테이너터미널 적용 타당성 분석
 - 대안별 우선순위 분석
- 제7장 “컨테이너터미널 에너지비용 절감 적용방향, 적용절차 및 추진전략”
 - 에너지비용 절감방안의 적용방향
 - 컨테이너터미널 에너지비용 절감방안 적용절차
 - 에너지비용 절감방안의 추진전략

- 제8장에서는 결론 및 정책건의를 기술
- 연구방법은 컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술대안 선정 및 분석을 위해 현지 출장조사, 관련 논문 및 기존 연구보고서 등 이론적 연구뿐만 아니라 터미널 운영실무자·전문가, 장비제작 전문가 및 관련 전문가들에 대한 조사를 통한 자료 수집 및 분석업무를 수행하였음

제2장 세계 물류환경 및 항만여건 변화

1. 초대형선 시대의 진입

- 컨테이너 물동량의 증가
 - 세계 교역규모의 증대에 따라 컨테이너 처리량은 1980년 3천 8백만 TEU에서 2006년까지 4억 4천만TEU로 약 11.6배 증가하여 연평균 9~12%의 높은 성장
 - DSC(2007) 자료에 따르면 2011년 세계 컨테이너 예측 물동량은 6억 8천만TEU로서 연평균 9%의 증가를 보일 것으로 예측
- 초대형 컨테이너선의 급증
 - 선사에서 규모의 경제를 추구하기 위한 전략으로 컨테이너선의 대형화 유도
 - 1세대 700TEU급에서 8세대 13,000TEU급의 선박으로 변환되고 있음
 - 현재, 전세계적으로 10,000TEU급 이상의 선박이 140여척 발주되어 있음
- 초대형 컨테이너선의 등장에 따른 하역원가의 상승
 - 선박의 대형화에 따라 투입 하역장비의 대수 증가(C/C : 2~3->4, YT : 3~4->5대 이상, RTGC : 3->4대 이상)
 - 투입 하역장비의 대수 증가에 따른 장비운영비용 증가

2. 고유가 시대의 도래

- 세계 석유생산 및 소비 현황
 - 1992년 31억 8천만톤에서 2005년 38억 9천만톤으로 14년 동안 22.3% 생산 증가
 - 1992년 31억 7천만톤에서 38억 3천만톤으로 약 20.8% 소비 증가
- 세계 유가의 변화
 - 세계의 유가는 1973~1974년, 1978~1980년 2차례에 걸친 국제석유 가격의 상승으로 인해 석유를 소비하는 국가들을 비롯한 세계적 혼란을 야기시킨 1, 2차 석유파동이 있었음
 - 2004년 33.77\$/bbl, 2005년 49.37\$/bbl, 2006년 61.50\$/bbl로서 전년에 비해 각각 26%, 46%, 24% 등 급격한 증가세를 보이고 있으며 2006년의 원유가는 3년전에 비해 약 2배 이상 급등한 가격을 보이고 있음
 - 2007년 10월 현재 국제 원유가격(두바이 기준)은 77\$대로서 2006년 10월 동기대비 36% 급등한 것으로 나타나 있으며 향후 배럴당 100달러의 돌파는 시간적 문제로 대두되고 있음
- 항만의 운영여건 악화
 - 현재 전세계적으로 머스크라인을 비롯한 글로벌 선사들은 중국으로 기항지를 이동하고 있으며, 중국에 자사 컨테이너터미널 보유도 늘리고 있는 추세
 - 중국에서의 급증하는 물동량, 저렴한 항만시설사용료, 수출입기업의 중국이전, 글로벌 선사의 이탈 등 불리한 요건에 따라 국내 환적화물 및 수출입 물동량이 정체 또는 증가율 감소추세를 보이고 있어 향후 국내 항만의 입지가 매우 불안한 상황
 - 국내의 경우 부산북항의 대부분을 차지하고 있는 RTGC 하역시스템은 유가가 증가할수록 유류비와 같은 직접운영비가 급격히 증가하는 하역장비 운영구조

제3장 컨테이너터미널의 하역비용구조 분석

1. 컨테이너터미널 하역비용

○ 항만의 항만시설사용료

- 부산항 및 광양항의 경우 선박입출량료, 접안료등 부산항은 12가지, 광양항은 11가지 항목의 항만시설사용료를 징수하고 있음
- 전세계 주요항만의 경우 톤세, 선박입출항료, 접안료, 화물입출항료, 항만건설비, 도선료, 예선사용료, 하역료, 상하차료, 검수료, 해치개폐료, 라싱료, 라인핸들링료, 선박대리점료, 선박검역, 세관수수료, 경비료, MWF(Maritime Welfare Fee), 쓰레기수거료 등의 19가지 항목 중에서 6~13가지의 항목으로 항만시설사용료를 징수하고 있음
- 부산항의 항만시설사용료를 100이라고 할 때 상해항은 143, 동경항은 250, 가오슝항은 141, 싱가포르항은 190, 홍콩항은 324, 로테르담항은 158이며, 광양항은 70 정도 수준으로 현재, 부산항이 상당한 비용 경쟁력을 확보하여 전년대비 2007년 7월 현재 26.4%의 환적화물이 증가하였음

○ 항만하역료

- 부산항의 경우 항만하역료의 구성은 인건비, 복리후생비, 동력비, 장비유지비, 수선유지비, 동산보험료, 경비료, 기타직접비, 감가상각비, 시설임차료, 판매관리비 등의 11가지 항목으로 구성되며, 동력비의 경우 하역원가의 6%를 차지하고 있으며, 에너지 비용의 증가에 따라 지속적으로 비율이 높아지고 있음
- 컨테이너터미널에서 사용되는 동력비는 크게 전력비용과 유류비용으로 구분할 수 있다. 전력비용은 일반적으로 안벽크레인, 냉동컨테이너, 기타(조명) 등에 소요되는 비용이며, 유류비용은 야드크레인(RTGC:Rubber Tyred Gantry Crane), 야드트럭(YT:Yard Truck), 리치스태커 등에 사용되는 비용이며, 사용 원단위는 다음과 같음
 - 전력비용 : 안벽크레인의 TEU당 평균 전력사용량은 2.87KWH
 - 유류비용 : 야드크레인은 TEU당 평균 1.01Lt, 야드트럭은 TEU당 평균 0.63Lt, 리치스태커의 유류비용은 TEU당 0.61Lt를 사용

제4장 국내외 에너지비용 절감 사례 및 대안별 효과분석

1. 국내외 에너지비용 절감 사례

○ ECO-RTG

- 일종의 에너지저장용 배터리인 슈퍼 카파시터를 사용하는 방식으로 기존의 동력낭비를 최소화하여 에너지효율을 높이는 방식임
- 스페인의 알제시라스터미널에서 1시간 45분 동안 30개의 컨테이너를 처리한 결과 기존 크레인 28.1Lt 소비, ECO-RTG는 14.2Lt를 소비하여 약 50%의 유류비용 절감
- 20대의 ECO-RTG를 인도하였으며, 9일 동안의 모니터링 결과 ECO-RTG는 시간당 평균 9.1Lt를 소비하였으며, 기존 RTGC는 16~25Lt를 소비하였음

○ 하이브리드 야드 트랙터

- 하이브리드 장치는 청정 디젤엔진 기술과 전기모터를 결합하여 사용하는 방식
- 미국 LA/LB(Los Angeles/Long Beach)항에서는 하이브리드 에너지 기술을 적용한 야드 트랙터를 시험 운영하고 있음. 하이브리드 장비를 사용함으로써 대기 오염이 93% 가량 감소
- 하이브리드 기술은 차량의 제동을 위한 에너지를 줄여주기 때문에, 자주 멎었다 가는 방식으로 운행되는 야드 트랙터에 적합한 기술로 평가됨

○ 바이오 디젤 연료

- 바이오에탄올과 함께 가장 널리 사용되는 바이오연료(bio-fuel)임. 콩기름·유채기름·폐식물기름·해조유 따위의 식물성 기름을 원료로 해서 만든 무공해 연료를 통틀어 일컬으며, 경유를 사용하는 디젤자동차의 경유 첨가제로 사용되거나 그 자체가 차량 연료로 사용되기도 함
- 미국 타코마항의 허스키 터미널에서는 공해 배출을 줄이고 청정 환경에서 엔진을 구동하기 위하여 컨테이너 취급장비와 이송장비에 바이오 디젤 연료 사용을 시작
- 엔진의 성능 향상에 도움을 주며, 기계에 대한 마모를 줄이고 장치에 대한 수명을 연장시켜서 엔진의 성능을 향상시키며, 기존 디젤 연료에

바이오 연료가 추가되면 매끄러움이 향상되어 바이오 디젤의 비율이 1%대로 낮더라도 증류 연료의 매끄러움을 65%까지 향상시킴

○ 야드크레인 전기구동

- RTG의 에너지 공급 체계를 유류에서 전기로 전환하는 방안을 추진
- 자성대 터미널의 경우 2008년부터 RTG 34대 가운데 15대에 대해서 에너지 공급 체계를 전환할 예정이며, 신감만 터미널은 17대 중 12대, 우암 터미널은 13대 중 8대를 전환할 예정임. 감만, 신선대 터미널도 에너지 전환 방안을 검토
- 부산항만공사는 2007년 8월, 자성대 터미널에 RTG 2대에 대한 에너지 공급을 전기로 전환하여 에너지 절감 정도를 측정한 결과 전력비용은 유류비용의 10% 수준임

2. 에너지비용 절감 대안 및 효과분석

○ 운영

- 야드트럭 풀링운영제

- 컨테이너터미널에서 안벽과 야드간의 컨테이너 운반작업에 있어 이송장비에 대해 작업조를 편성하지 않고 운행상황이나 C/C의 작업상황에 따라 선별적으로 C/C작업을 지원하는 방식
- 선박의 양·적하작업시 C/C의 작업상황에 따라 이송장비의 배차를 동적으로 할당하기 때문에 안벽작업의 지원에 융통성을 발휘할 수 있어 작업시 이송장비의 대기시간을 줄일 수 있으므로 총작업시간의 단축
- 야드트럭의 동적할당유형은 4가지 방식이 가능하며, 이러한 방식에 따라 컨테이너 1천개를 기준으로 야드트럭 풀링을 적용할 경우를 가정해보면 연료비 39,168원의 절감이 가능한 것으로 계산되며, 연간 100TEU를 처리하는 터미널의 경우 2,448만원의 야드트럭 유류비를 절감할 수 있으며, 부산항 전체를 대상으로 하여 1,200만TEU에 대한 유류비 절감효과를 고려하면 연간 약 3억원이 절감됨

- 야드크레인 작업동선 최소화

- 터미널 하역작업에 있어 이송장비 다음으로 가장 작업동선비율이 큰 것이 야드크레인(Transfer Crane, TC)의 하역작업으로 TC의 경우

작업에 소요되는 시간은 『이동시간+컨테이너 처리시간』으로 구분할 수 있는데, 이 경우 컨테이너 처리시간은 모든 TC에 대해 동일한 소요시간이 발생하지만, 목표지점까지의 블록이동, 베이이동은 각 TC의 현위치에 따라 달라지게 됨

- 따라서, 가급적 목표지점까지 이동하는데 소요시간이 최소가 되는 위치에 있는 TC에 작업을 배정함으로써 야드크레인의 동선을 최소화하고 이동에 따른 연료비용을 절감할 수 있는 방안을 모색할 필요
- 야드크레인의 작업동선을 최소화하는 방법으로는 단일계획법, 재일정계획법, 한계대기시간을 고려한 재일정 계획법의 3가지가 있음
- 야드크레인의 작업스케줄링에 대한 상위 2가지 방식에 대해 반출입 트럭 10,000대를 대상으로 시뮬레이션 분석한 결과 재일정계획법의 경우 선입선출에 비해 컨테이너 1개를 처리하는데 있어 평균이동거리는 54.5% 수준에 불과한 것으로 산출되었으며, 따라서, 평균이동거리 단축에 따른 유류비 절감액을 연간처리물량으로 계산하면 100만TEU를 처리하는 터미널의 경우 연간 1,689만원의 비용을 절감할 수 있으며, 부산항 전체를 대상으로 하여 1,200만TEU에 대한 유류비 절감효과를 고려하면 연간 약 2억원이 절감

- 2단적재차량 도입

- 일반 야드트럭에 비해 적재용량이 2배가 되며, 야드트럭의 경우에는 한번에, 20피트 2개 또는 40피트 1개를 운반할 수 있으나, 2단적재차량은 이의 2배인 20피트 4개 또는 40피트 2개를 동시에 운반
- 산술적인 측면에서 보면, 2단적재차량이 일반 야드트럭에 비해 동일한 물량의 컨테이너를 안벽에서 야드로 운반하는데 1/2 수준의 운반거리를 가지기 때문에 연료비에 있어서도 50%의 비용을 절감할 수 있음. 다만, 중량에 따른 연료소비량을 고려하면 실제 절감비용은 50%보다 낮을 수 있으나, 2단적재차량을 이용함으로써 동일한 작업물량을 처리하는데 드는 상당부분의 차량동력비를 절감할 수 있다는 측면에서 에너지 절감효과가 높은 대안임
- DSV의 주행거리 감소에 따른 유류비 절감효과를 고려하면 연간 100만TEU를 처리하는 터미널의 경우 6,250만원의 차량 연료비가 절감될 수 있으며, 이를 부산항의 연간처리물량인 12억(2006년)으로 산정하면 연간 총 7.5억원의 차량 연료비를 절감

- DSV의 작업시간 단축에 따른 유류비 절감효과를 고려하면 연간 100만TEU를 처리하는 터미널의 경우 6,816만원의 비용을 절감할 수 있으며, 이를 부산항의 연간처리물량인 12억(2006년)으로 산정하면 연간 총 8.2억원의 차량 연료비를 절감
- 컨테이너 재조작 감소
 - 컨테이너터미널에서 처리되는 모든 컨테이너는 야드에서 최소한 2번의 하역작업을 받게 되며, 보통의 경우는 수입, 수출, 환적에 대해 최소 2회의 하역작업이 필요하며, 경우에 따라서는 재조작등의 추가작업이 발생하여 그 횟수는 터미널 환경에 따라 다름
 - 수출과 환적의 경우에는 적하순서에 맞게 컨테이너를 재정렬하거나, 사전에 장치순서를 결정하여 적재하는 경우가 대부분이므로, 이와 관련하여 TC의 작업횟수를 최대한 줄일 수 있는 작업계획을 수립하는 것이 불필요한 재조작 작업에 따른 취급비용을 절감할 수 있는 방안
 - 컨테이너의 평균 재조작 횟수를 0.1포인트 감소시킬 경우 연간 100만TEU를 처리하는 터미널의 경우 6,120만원의 비용을 매년 절감할 수 있고, 이를 부산항 전체로 보면 연간 73,400만원의 컨테이너 재조작에 따른 연료비를 절감
- 장치(Device)
 - 외부전원 공급방식(E-RTG)
 - Electronic-RTG의 약어로 기존의 디젤방식의 RTG를 전기방식으로 변환하는 것을 말하며, 최근의 고유가 및 환경오염문제가 대두됨에 따라 국내의 경우 자성대터미널에서 기존의 디젤엔진식 RTG를 전기식 RTG로 2대 변경하여 사용
 - E-RTG의 적용방식은 크게 케이블 릴 방식과 Bus-Bar 방식으로 나눌 수 있으며, 케이블 릴 방식은 케이블 트렌치 방식과 케이블 가이드 방식으로 나눌 수 있음
 - 디젤식 RTG를 전기식 E-RTG로 변환하기 위해서는 전기와 관련된 기존터미널의 변전실 보강공사, 지중관로 및 픽업 맨홀공사 및 케이블 포설공사를 실시해야 하며, 또한 기존 RTG의 개조를 위해서는 고압반 및 케이블릴 설치에 따른 비용이 추가되며, 토목 및 기타 케이블 트렌치 및 판저벨트 설치에 따른 비용이 필요

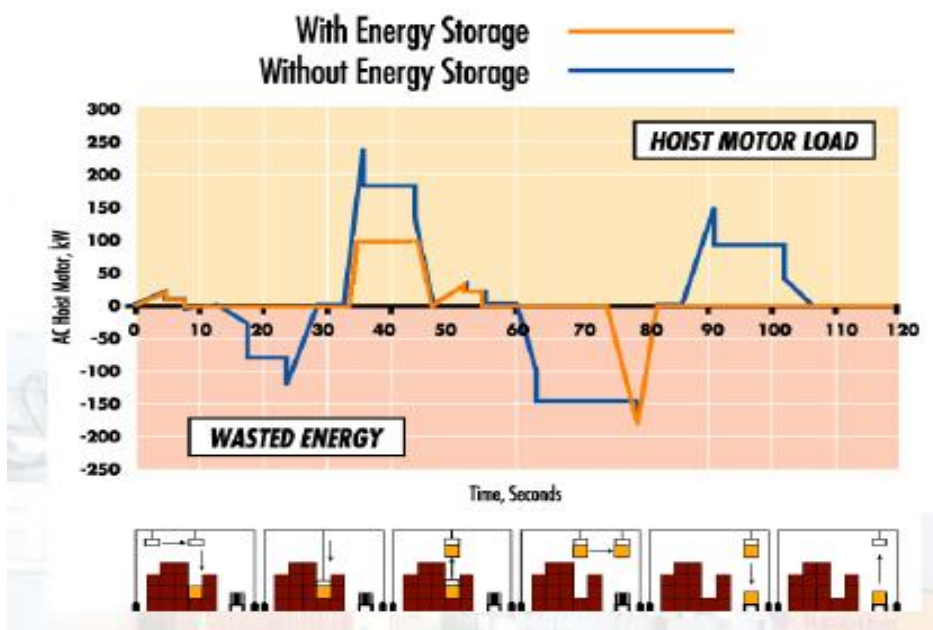
- RTG 20대의 개선 전후의 유지비용을 비교하기 위해서 유류(전기)비용과 엔진(발전기)유지비로 나누어서 구분하여 분석하면 연간 2,112,081천원이 절감되는 것으로 나타났으며, 유지보수 비용은 연간 약 86% 절감효과가 있어서 투입된 비용의 회수기간은 3년 6개월인 것으로 분석
- 에너지세이빙 기술
 - 에너지 세이빙 기술은 기존의 동력방식을 디젤엔진에서 전기동력으로 변환하는 E-RTG와는 달리 디젤엔진의 연소효율을 향상시키거나 발생한 에너지를 저장하여 재사용하거나, 회생전력¹⁾과 같이 역으로 발생한 전류를 이용하는 방식을 사용하며, 전통적인 RTG의 운영 상황과 비교해서 보면 스프레다의 하강 시 및 호이스트의 좌우 이동 시 에너지의 낭비가 발생하는 것을 최소화하는 기술로 슈퍼 카파시터, 플라이휠 배터리, Variable Speed 방식이 있음
 - 슈퍼 카파시터 전기화학 이중층형 카파시터의 다른 명칭으로 다공성 전극 재질을 사용하여 일반 카파시터보다 많은 전하를 저장할 수 있도록 제작되었으며, 충전속도를 높이고, 방전속도를 느리게 하며, 반복 사용수명을 연장하였음
 - 슈퍼 카파시터의 적용효과는 350Kw의 엔진제네레이터를 200Kw의 엔진제네레이터로 대체할 수 있으며, 이의 적용을 통해서 연간 1억 3천 4백만원의 유류절감효과가 있음
 - 플라이휠 에너지 저장 시스템은 입력되는 전기에너지를 플라이휠의 회전 운동에너지로 변환하여 저장하고 필요시 전기에너지로 재출력하는 장치로서 최근 재료, 자기 베어링, 전력 전자학 등 관련 기술의 발전에 힘입어 미국, 일본, 독일 등의 선진국에서 이 장치의 활발한 연구가 진행
 - 플라이휠 배터리의 적용효과는 크게 환경오염물질 감소효과와 경제적효과로 구분할 수 있음. 환경오염물질은 질소산화물(NOx)의 경우 25.88%, 메탄의 경우 23.08%, 디젤분진(PM)의 경우 66.67%의 감소효과가 있으며, 경제적 효과의 경우 15톤 컨테이너의 작업사이클을 비교하였으며, 4단적 66% 아이들타임을 포함하여 2시간 동안 시

1) 크레인의 스프레다 하강시, 브레이킹 시 발생하는 역전류.

험한 결과 20~25%의 연료절감효과가 발생하여 대당 연간 1천 8백 만원을 절감

- Variable Speed는 양하 및 적하작업에 따라 동력이 많이 필요한 상황과 동력이 적게 필요한 상황에 발생함. 이러한 상황에 따라 엔진의 출력을 변환하여 동력의 낭비를 막고자 하는 방식
- Variable Speed 엔진의 구입을 위한 구입비용 및 부가비용은 US\$110,500이 소요되며, 연료절감비 30%를 고려한 금액 US\$ 32,000을 고려하면 대략 손익분기점 기간이 3.5년으로 환산

<그림 요약-1> 전통적 방식과 에너지세이빙 방식의 운영사이클 비교



– 신기술(New Technology)

- 신기술은 바이오에너지, 수소연료전지 및 하이브리드 엔진을 말함
- 바이오에너지는 유기성 폐기물, 농임산 부산물과 에너지 작물 등에서 장기 저장이 가능한 연료 형태로 생산 가능하며 열, 전기, 수송용 대체연료 등의 형태로 활용이 가능하여 일부는 상용화되어 사용 중

- 국내의 경우 2002년 바이오 디젤 시범보급사업을 전개하면서 개발 및 상용화에 적극 나서고 있으며, 이후 2004년 10월에 석유 및 석유 대체연료 사업법을 개정해 상용화의 발판을 마련했음. 정부는 2011년까지 바이오 디젤을 연간 55만㎥ 생산한다는 중장기적 목표를 설정했으며 이 목표량은 국내 경유소비량의 2.4% 수준임
- RTG에 적용했을 때 바이오 에탄올의 경우 \$0.48/TEU, 바이오 디젤의 경우 \$1.09/TEU이었으며 야드트럭에 적용했을 때는 바이오 에탄올의 경우 \$0.29/TEU, 바이오 디젤의 경우 \$0.67/TEU로 추정. 바이오 디젤의 연료비가 바이오 에탄올에 비해 2배 정도 높게 나타났으며, 기존 하역장비의 연료소비량과 비교하면 TEU당 소요되는 유류의 양은 많으나 1\$를 1,000원, 1㏊당 가격을 1,200원으로 계산하여 적용하면 상대적으로 낮은 가격으로 사용이 가능하며, 바이오에탄올의 경우 TEU당 RTG는 624원, 야드트럭은 408원이 절감되며, 바이오디젤의 경우 TEU당 RTG는 110원, 야드트럭은 86원이 절감 가능하여 100만TEU를 처리하는 터미널의 경우 RTG에서 연간 6억 2천 4백만원, 야드트럭에서 4억 8백만원 절감 가능
- 수소에너지는 궁극적으로 인류가 당면하고 있는 에너지와 환경 문제를 동시에 해결할 수 있는 유일한 에너지원으로 평가되고 있으며, 연료전지는 기존의 전지나 동력기관에 비해 다양한 장점을 보유하고 있음. 연료전지의 가장 큰 특징은 친환경성에 있으며, 소음이 거의 없고 물 이외의 부산물도 거의 없음
- 연료전지는 2차전지의 용량 한계를 극복할 수 있는 기술로서, 현재 니켈수소 2차전지, 리튬이온 2차전지 등은 3시간 정도 충전시간이 필요한 반면 연료전지는 연료주입에 수초면 충분하고 kg당 에너지밀도도 1,000Wh로 리튬폴리머 전지의 3배 이상
- 연료전지는 효율이 높아 에너지 절감효과가 큼. 연료전지의 발전효율은 현재 30~50%로 내연기관보다 우수하며, 열로 회수되는 에너지를 활용하면 전체 효율이 80%에 이룸. 수소연료전지를 컨테이너 터미널에 적용했을 때 예상되는 연료비용을 산출해 보았음. 야드 트럭터에 적용했을 때 비용은 \$0.14/TEU, RTG에 적용했을 때 비용은 \$0.24\$/TEU로 추정되어 100만TEU를 처리하는 터미널의 경우 RTG에서 연간 9억 1천 2백만원, 야드트럭에서 7억 4천만원 절감 가능

- 하이브리드 엔진은 전기장치와 내연기관을 결합하여 출발시 전기장치를 이용하여 연비를 높이고, 가속 및 등판시 내연기관과 전기장치의 결합으로 최고출력을 감당하고, 통상주행시에는 내연기관으로만 운행하게 하여 차량엔진에 걸리는 평균부하를 증가시켜 에너지 이용 효율을 높여서 고연비를 유지하도록 하는 엔진임
- 하이브리드 자동차는 세계적으로 1997년 200대가 생산된 이후 2004년에는 16만대로 늘었으며, 매년 평균 62%씩 하이브리드 자동차 수가 늘고 있음
- 하이브리드 엔진을 컨테이너 터미널에 적용했을 때 예상되는 연료비용을 산출해 본 결과 야드 트랙터에 적용했을 때 비용은 ₩378/TEU, RTG에 적용했을 때 비용은 ₩600/TEU로 추정되어 100만TEU를 처리하는 터미널의 경우 RTG에서 연간 6억원, 야드트럭에서 3억 7천 8백만원 절감 가능

제5장 하역체계 분석을 통한 에너지비용 절감 모델 수립

1. 하역체계의 에너지 소비패턴

- 하역시스템의 상호관계 정의
 - 하역작업의 상호작용상 컨테이너 1단위의 하역은 2회 크레인 작업과 1회 이송작업이 수반된 작업을 수행하게 되므로 장비의 작업은 반드시 연계되어 1회의 하역작업은 이에 따른 일련의 에너지 소비를 유발
 - 컨테이너 1TEU에 대한 에너지 소비를 비용으로 환산하여 모델을 정의할 수 있으며, 하역시스템의 흐름 과정이 안벽-이송-야드 간에 소비가 많이 발생하는 지점을 찾아 우선적으로 소비를 감소시키도록 방안을 적용하는 것이 필요
- 하역체계의 에너지 소비패턴
 - 소비패턴 1 : 크레인 사이클에 대한 에너지 소비(C/C의 하역시 발생하는 전기 에너지 소비, TC의 하역시 발생하는 유류에너지 소비)

- 소비패턴 2 : YT의 목적지 도착 후 대기 에너지 소비(YT의 에이프런 대기 유류 에너지 소비, YT의 야드 대기 유류 에너지 소비)
- 소비패턴 3 : 크레인 작업위치 대기 에너지 소비
- 소비패턴 4 : YT 주행에너지 소비
- 하역장비별 에너지 소비량 결정
 - C/C : 2.87KWH/TEU, TC : 1.01리터/TEU, YT : 0.63리터/TEU, RS : 0.61리터/TEU이며 최소 기준에너지량이 됨

2. 에너지비용 분류 및 비용절감

- 에너지비용의 적용단계별 분류
 - 운영 영역에서 YT 폴링 대안은 YT의 운영비인 유류비용을 절감하는 효과를 가지면서 단기적으로 적용이 가능한 반면, TC 운영비 절감효과가 있는 TC 작업동선 최소화 및 컨테이너 재조작 감소는 운영시스템의 기술적 지원으로 단기적으로 적용이 가능한 기술이며, 운영 영역의 에너지비용 절감대안은 하역장비 중 TC 및 YT의 유류비 절감을 위한 효과적인 대안을 제시할 수 있음
 - 장치 영역에서는 유류비의 절감에 효과적인 것으로 특정한 장치를 개발해서 적용하는 것으로 개발 및 검증에 일정 기간이 소요되는 대안들임
 - 신기술 영역은 장기적으로 신기술의 개발이 진행중인 것들로 항만 장비에 적용하기에는 기술개발에 많은 시일이 소요되는 것들로 장기적인 투자가 필요한 분야임
- 에너지비용 절감대안 구분
 - 영역별 에너지비용 절감대안은 대안기술의 적용시기에 따라 구분하면, 바로 현장적용이 가능한 YT 폴링, 2단적재 차량, TC 동선 최소화 등의 대안은 단기대안으로 분류
 - 중기대안은 핵심기술의 개발 또는 현장에서의 검증이 필요한 대안들이며, 장기대안은 기술개발을 통해 항만에 적용 가능하도록 검증이 필요한 대안들임

- 하역장비간 에너지비용 절감
 - 에너지비용에서 고정비용은 컨테이너 1단위 작업을 위해 반드시 발생하는 비용이며, 변동비용은 이동거리와 대기시간에 따라 증가하고 운영비용은 운영효율에 따라 가변적
 - 하역시스템에서 하역장비인 C/C, YT, TC를 사용할 경우 양하 및 적하 작업을 수행할 경우 발생하는 에너지비용을 발생 상황에 따라 표현
 - 거리에 따른 에너지비용은 변동비용(V)이 발생하며, C/C 이동, YT 이동, TC 이동 등이 해당되며, 거리에 대한 변동비용은 거리가 증가함에 따라 비용이 증가하는 것으로 $YT > TC > C/C$ 의 순으로 이동거리가 많음
 - 시간에 따른 에너지비용은 고정비용(F)과 변동비용이 함께 발생하며, 고정비용의 경우 C/C 하역, TC 하역에서 발생하며, 변동비용은 C/C 대기, YT 대기, TC 대기 등이 발생하며, 대기에 대한 변동비용은 장비간의 상호작용에서 발생하는 빈도가 높음
 - 양하작업시 하역장비에서 발생하는 고정비용과 변동비용은 양하작업

$$= \{Ft1+Ft2\} + \{(Vd1+Vt1)+(Vd2+Vt2)+(Vd3+Vt3)\}$$
 - 적하작업시 하역장비에서 발생하는 고정비용과 변동비용은 적하작업

$$= \{Ft2+Ft1\} + \{(Vd3+Vt3)+(Vd2+Vt2)+(Vd1+Vt1)\}$$
- 에너지비용 절감 모델 수립
 - 저비용 에너지 전환 모델
 - 고정비용 절감 모델(에너지 저소비 모델, 이송량의 증가 모델)
 - 변동비용 절감 모델(이송거리 감소 모델, 대기시간 감소 모델)
- 하역상태별 적용기술
 - 하역시스템을 구성하는 장비를 C/C, YT, TC로 하여 각 장비별 하역상태를 C/C(이동, 대기, 하역), YT(이동, 대기), TC(이동, 대기, 하역)로 구분하여 해당되는 상태별 에너지비용 절감기술의 적용가능한 기술을 분류
 - C/C의 경우 하역상태에서 슈퍼 카파시터가 적용 가능하며, YT의 경우 이동상태에서 YT 풀링 및 2단적재 차량이 적용 가능하며, TC의 경우 이동상태에서 TC 동선 최소화, 하역상태에서 ECO-RTG가 적용 가능

하며, 그리고 공통적으로 YT와 TC에는 슈퍼 카파시터, 플라이휠, 변동 스피드 등이 적용 가능하며, 바이오에너지 및 수소연료전지는 공통적으로 YT 및 TC에 적용 가능

제6장 컨테이너터미널 에너지비용 절감 적용 타당성 및 우선순위 분석

1. 컨테이너터미널 적용 타당성 분석

○ 절감방안의 용이성

- 운영대안의 투입비용을 비교해 보았을 경우 TT풀링, YC 동선 및 재조작의 경우 기존의 운영시스템 수정·보완을 통해 가능하므로 그 개선비용은 3가지 시스템을 모두 개선할 경우 총 2억원 내외에서 소요되는 것으로 조사되었으며, TT 2단적의 경우 차량 전체를 교체해야 하므로 1선석 16대의 YT가 운영된다고 가정하였을 경우 약 16억원 내외의 교체비용이 발생되며 2단적 이송장비를 운영할 경우 터미널 운영시스템의 수정도 동시에 이루어져야 하므로 4가지 안중 투입비용측면에서는 가장 불리한 안임
- 장치대안의 투입비용을 비교해 보면 E-RTG가 1대당 3억 7천만원이 소요되어 가장 많은 투입비용을 보였으며 가변출력엔진, 플라이휠 배터리 순으로 나타났으며 플라이휠 배터리가 4천만원으로 가장 적은 비용이 투입
- 신기술대안의 절감효과를 비교해보면 수소연료전지의 경우 절감효과는 가장 클 것으로 판단되나 오랜 개발기간으로 인하여 그 효용성은 가장 떨어질 것으로 판단되며 바이오에너지 또한 16% 정도(세금제외)의 에너지비용 절감으로 인해 보다 더 저렴한 바이오에너지 기술개발이 필요한 실정임. 따라서 현재 상용화되어 사용되고 있는 하이브리드 엔진이 단기간내 적용가능한 가장 좋은 대안으로 판단됨

○ 비용절감 효과성

- 운영대안의 절감비용은 TT의 경우 풀링시스템을 적용할 경우 연간 24.48원/TEU의 비용이 절감되는 것으로 나타났으며 2단적시스템을

적용할 경우 주행절감비용은 연간 62.50원/TEU과 공회전비용은 56.80원/TEU이 절감되며 이를 합하면 연간 총 119.30원/TEU가 절감되는 것으로 산출되었음. YC의 경우 동선이동거리 최소화를 위한 운영시스템 개선시 16.90원/TEU, 리핸들링 작업 최소화를 위한 운영시스템 개선시 61.20원/TEU가 절감되어 TT 2단적의 절감비용 효과와 가장 큼

- E-RTG의 절감비용은 YC 1대당 사용시 1억 5백만원이 절감되므로 이를 TEU로 환산하면 211원/TEU로 산출되었으며, 슈퍼카파시터 적용시 TT의 1대당 연간 절감액은 1억3천4백만원이므로 이를 TEU로 환산하면 268원/TEU로 산출됨. YC 1대당 기존 동력비용은 1,704원/TEU로서 플라이휠의 경우 기존대비 20%, 가변출력엔진의 경우 기존대비 30%의 연료절감이 발생하기 때문에 각각 연간절감액은 206.4원/TEU, 309.6원/TEU로 산출되며, 따라서 단위당 절감비용은 가변출력엔진이 가장 우수한 것으로 나타났음
- 신기술 개발 및 적용을 통한 절감비용을 산출한 결과 수소연료전지의 절감비용이 YC의 경우 960원/TEU, TT의 경우 616원/TEU로 가장 우수한 것으로 나타났으며 바이오에너지의 경우 YC 218원/TEU, TT 163원/TEU, 하이브리드 엔진의 경우 YC 72원/TEU, TT 72원/TEU의 비용이 절감되는 것으로 나타났음

○ 기술적 적용성

- 운영 대안의 경우 항만의 운영시스템 개선을 통해 모든 대안의 단기적 적용이 가능하였다. 또한 상호간의 동시적용이 가능한 시스템으로 그 효율성은 매우 높을 것으로 판단되나, TT 2단적의 경우 전반적인 이송차량의 교체와 더불어 이를 효율적으로 운영하기 위한 운영시스템의 개선도 동시에 이루어져야 하므로 4가지 대안 중 가장 복잡한 적용성을 가지고 있음
- 장치 대안의 경우 E-RTG가 단기적으로 가장 우수하며 적용장비로서는 플라이휠 배터리가 모든 하역장비에 적용가능하기 때문에 적용성이 매우 뛰어나며, 모든 장비들은 기존의 장치들을 하역장비에 적용가능도록 개선하여 적용할 수 있어 그 적용성은 용이한 편으로 판단

- 수소연료전지는 20~30년 이상의 개발기간이 필요할 것으로 판단되어 적용시키는 장기적 적용으로 검토되었으며 바이오에너지, 하이브리드 엔진 또한 기존에 비해 많은 보완/개선 기술이 개발되어야 적용이 가능할 것으로 판단됨. 바이오 에너지의 경우 친환경적 에너지로서 국가 산업적, 환경적 연료라는 장점을 고려하여 제도적으로 세제적용에 있어 타 유류와 구분하여 적용하는 것이 비용절감의 극대화를 위한 최적의 방안이나 항만에 적용하기 위해서는 상당한 개발비용과 개발기간이 소요됨으로써 그 적용성은 매우 떨어짐

2. 대안별 우선순위 분석

- 운영대안에서는 초기 투입비용이 가장 많이 소요되는 TT 2단적이 가장 불리한 것으로 나타났으며 일부 운영시스템의 개선을 통한 비용절감 효과가 가장 높은 YC 재조작 최소화를 통한 절감대안이 가장 우선순위가 높은 것으로 나타났음
- 장치대안에서는 투입비용 측면, 비용절감 효과성, 기술의 적용성에서 모두 우수한 플라이휠 배터리가 가장 우선순위가 앞서며, 가변출력엔진, 슈퍼카파시터, E-RTG 순으로 나타났음
- 신기술대안에서는 향후 항만에 적용하기 위해서는 장기간의 개발과 개선이 필요한 수소연료전지 대안이 가장 불리한 것으로 나타났고 초기 투입비용이 없고 단기간 내 적용이 가능한 바이오 에너지 절감대안이 가장 유리한 것으로 나타났음

제7장 컨테이너터미널 에너지비용 절감 적용방향, 적용절차 및 추진 전략

1. 컨테이너터미널의 에너지비용 절감방안의 적용방향

- 기술의 적용은 대상 영역에 대한 목표설정, 목표달성을 위한 기술대안 선정, 효과의 달성 등이 조화를 이루어야 하며, 비용과 이익의 상호유기

적인 연동하에 개별 컨테이너터미널의 현재 시스템과 결합하여 최적의 효과를 나타낼 수 있도록 설정되어야 함

2. 컨테이너터미널의 에너지비용 절감방안 적용절차

- 일반화된 절차에서는 현황분석단계에서 먼저 운영 및 현황분석을 수행하고, 에너지비용 소비형태를 분석하며, 이를 바탕으로 목표설정, 대안분석, 효과분석, 적용방안 수립 등의 단계를 거쳐야 하며, 5단계의 절차를 거쳐서 효과적인 대안을 선정하고 적용방안을 수립
- 운영대안의 절차에서는 현황분석단계에서 운영계획방법, 야드크레인 수, 차량 수, 주행거리, 작업방식, 에너지소비현황을 분석하며, 이를 바탕으로 목표설정, 대안분석, 효과분석, 적용방안 수립 등의 단계를 거쳐야 하며, 5단계의 절차를 거쳐서 효과적인 대안을 선정하고 적용방안을 수립
- 장치대안의 절차에서는 현황분석단계에서 에너지소비 방식, 개별 에너지소요 단가, 주행거리, 작업방식, 에너지소비현황을 분석하며, 이를 바탕으로 목표설정, 대안분석, 효과분석, 적용방안 수립 등의 단계를 거쳐야 하며, 5단계의 절차를 거쳐서 효과적인 대안을 선정하고 적용방안을 수립
- 신기술대안의 절차에서는 현황분석단계에서 신기술 적용대상, 기술수준, 야드크레인 수, 차량 수, 주행거리, 작업방식, 에너지소비현황을 분석하며, 이를 바탕으로 목표설정, 대안분석, 효과분석, 적용방안 수립 등의 단계를 거쳐야 하며, 5단계의 절차를 거쳐서 효과적인 대안을 선정하고 적용방안을 수립

3. 컨테이너터미널의 에너지비용 절감방안의 추진전략

- 정책적 추진전략
 - 컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술적용을 위한 전략적인 목표설정과 효율적인 투자를 위한 기술개발 추진

- 첨단 컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술의 연구개발을 위한 국내 전문기술인력의 확보 및 지속적인 연구개발의 활성화
- 동북아 물류중심기지로의 발전을 위한 국가적 위상제고를 위한 첨단 컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술확보
- 컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술 확보전략
 - 산·학·연 공동연구체제 구축에 의한 자체 기술개발 방안
 - 컨테이너터미널 관련 기관의 협조를 통한 기술개발 방안
- 자체 기술개발 전략
 - 정부 : 컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술개발 및 적용을 위한 정책수립, 컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술개발을 위한 컨소시엄 구성, 개발기술의 기존 컨테이너터미널 적용 및 신규 컨테이너터미널 계획 시 반영을 위한 지원

<그림 요약-2> 컨테이너터미널 에너지비용 절감기술 추진전략



- 산업계 : 컨테이너터미널의 에너지비용 절감 관련 개발기술 확보, 업체 간 기술공유를 통한 기술의 통합 개발

- 연구소 : 컨테이너터미널의 에너지비용 절감의 개념 및 적용기술 개발, 연구방향의 설정 및 조정
- 학계 : 기초과학 및 핵심요소기술의 확보, 기술/연구인력의 양성
- 컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술개발 및 사업 추진체계

제8장 결론 및 정책건의

1. 결론

- 세계 물류현황 및 항만여건 변화
 - 초대형선의 출현
 - 항만운영여건 악화
 - 고유가시대 도래
- 국내 컨테이너터미널의 하역비용 구조분석
 - 컨테이너터미널 하역비용 분석
 - 에너지비용 구조분석
 - 에너지비용 원단위분석
- 국내외 에너지비용 절감 사례 및 대안별 효과분석
 - 국내외 에너지비용 절감사례 조사
 - 에너지비용 절감 대안 및 효과분석(운영, 장치, 신기술)
- 하역체계 분석을 통한 에너지비용 절감 모델 수립
 - 하역체계의 에너지소비 패턴 분류
 - 비용절감에 대한 대안의 구분
 - 에너지비용 절감 모델 수립
- 적용 우선순위 및 타당성 분석
 - 컨테이너터미널 적용 타당성 분석
 - 대안별 우선순위 분석

- 컨테이너터미널의 에너지비용 절감 대안 추진방안
 - 에너지비용 절감방안의 적용방향
 - 컨테이너터미널 에너지비용 절감방안 적용절차
 - 에너지비용 절감방안의 추진전략

2. 정책건의

- 정부의 역할
 - 기존 컨테이너터미널에 대한 에너지비용 절감계획 반영 필요
 - 항만재개발촉진법에 컨테이너터미널의 에너지비용 절감 반영필요
 - 해양수산부 연구개발 핵심과제에 컨테이너터미널 에너지 절감기술 포함 필요
 - 컨테이너터미널의 에너지비용 절감을 위한 효과적인 추진체계 및 추진 방안 필요
- 항만공사의 역할
 - 컨테이너터미널의 에너지비용 절감을 위한 중재자의 역할 수행
 - 전대차 계약시 에너지비용 절감 반영
 - 정부 정책건의에 활용
- 운영사의 역할
 - 개별 운영사 조직의 에너지비용 절감 의지 강화
 - 정부의 항만정책 수립에 기여

제 1 장 서 론

1. 연구의 필요성 및 목적

우리나라에서는 동북아 물류중심국가를 목표로 정부, 학계 및 산업체가 긴밀한 협조관계를 유지하면서 최선의 노력을 다하고 있으며, 부산신항만의 건설 및 광양항의 지속적인 건설로 하역능력을 향상시켜 인근항만과 경쟁하여 왔다. 그러나 국내 항만의 경우 상해, Ningbo항과 같이 강력한 흡입력을 갖는 중국항만과 경쟁을 해야 하기 때문에 가격 및 서비스측면에서 어려운 점이 많다. 그 예로, 상해항의 경우 국내 환적화물 및 국제 환적화물에 대해 할인해 주고 있으며, Ningbo항도 사정은 이와 비슷하다.

이러한 이유 때문에 부산항의 경우 환적화물의 유치를 위해 경쟁해야 하는 중국항만과 비교하면 하역요금 경쟁력이 훨씬 떨어지고 있는 실정이다. 이러한 상황에서 부산항에 기항하고 있는 외국적선사의 말을 종합해보면 주물량원도 중국이고 환적화물의 경우 하역비도 부산항보다 저렴하기 때문에 중국항만이 주도권을 행사하고 있고 선사들도 대부분 중국에 의존하고 있는 실정이다. 이렇게 어려운 상황에서 우리나라 항만이 경쟁력을 확보할 수 있는 방법은 하역원가의 절감밖에 없으며, 하역원가절감을 위해서는 고정비용을 줄이거나 변동비용을 최소화해야 하나, 고정비용은 하역생산성 측면에서 시설 또는 장비를 줄일 수 없으므로, 변동비용을 최소화하는 방법이 선택가능한 대안이다. 이의 한 가지 대안은 고유가로 인한 추가비용 발생으로 수익성이 악화되고 있는 컨테이너터미널의 에너지비용(유류비용)을 최소화하는 것이다.

2007년 10월 현재 국제유가가 배럴당 90달러를 넘어서고 있으며, 이에 따라, 2006년 상반기 주요 항만하역사들의 영업이익률을 분석한 결과에 의하면 고유가 등으로 인해 전년 동기 2~3% 포인트 감소한 것으로 나타났다. 또한, 부산신항 및 광양항을 비롯한 지방 무역항(마산신항, 영일신항 등)의 새로운 컨테이너터미널이 향후 개장이 예정되어 있어 유류를 사용하는 하역장비의 보유대수가 지속적으로 증가할 전망이다.

국내 컨테이너터미널의 경우 부산항 및 광양항에서 유류를 사용하는 장비의 연간 사용량 및 사용액을 계산하면 RTGC 14,072천리터, 야드트럭 8,504천리터, 기타 하역장비 6,937천리터로 총연간유류사용량은 29,513천리터에 이르며, 경유 가격을 리터당 1,200원으로 가정하여 사용액을 계산하면 RTGC 약 168억 9천만원, 야드트럭 약 102억원, 기타 하역장비 83억 2천만원으로 총합계 약 354억 2천만원에 이르며, 하역장비에 공급되는 경유의 경우 화물차들과 달리 유가보조금을 받지 못하고 있어 항만 하역사들은 고유가에 따른 장비운영비 부담이 날로 커지고 있는 상황이다.

<표 1-1> 하역장비의 연간 사용량 및 사용액

구분	대수	단위당 유류소비량 ²⁾	유가(원) ³⁾	처리물량 (천TEU)	연간유류 사용량(L)	합계
RTGC	182	1.42 리터/TEU	1,200	9,910	14,072,000	168억 9천
야드트럭	388	4.17 리터/Hr	1,200	9,910	8,503,997	102억
기타 하역장비	95	0.7 리터/TEU	1,200	9,910	6,937,000	83억 2천
합 계					29,512,997	354억 2천

- 주 : 1) 장비대수는 항만을 제외한 철송장 등에서의 대수는 제외한 것임
 2) 처리물량은 부산항 중 일반부두 물량을 빼고 광양항 물량을 더한 값
 3) 야드트럭 운영률은 60% 가정

급등하는 유가속에서 국내외의 컨테이너터미널에서는 에너지사용 및 비용절감을 위해서 많은 노력을 기울이고 있으며, 이를 위한 한 방편으로 BPA(Busan Port Authority)에서는 디젤엔진을 사용하는 야드크레인을 전기식으로 개조하여 운영비용을 절감하는 방안을 시행중이며, 터미널운영사에서는 하역장비의 공회전을 줄이거나, 몇몇 장비의 전기식으로의 대체를 추진하고 있다. 항만에서 하역장비의 전기식으로의 전환은 2003년 4월 1일부터 산업용 전기로 적용돼 일반용 전기에 비해 최대 1.5배 저렴하여, 경유를 이용하는 하역장비보다 전기를 이용할 경우 비용절감폭이 상당히 크기 때문이다.

- 2) A터미널의 내부자료.
 3) 현재 유가 고려.

또한, 최근에 부각된 개념으로 외국의 경우에는 에너지의 사용을 최소화하기 위해서 슈퍼 카파시터(Super-Capacitor)⁴⁾를 이용한 에너지 세이빙 기술에 초점을 맞추고 있으며, 이 외에도 엔진의 회전체에 질량이 높은 물체를 달아서 폭발에너지를 관성에너지로 변환하여 사용하는 플라이 휠 방식이나, 엔진 RPM을 변환하여 에너지 사용을 최소화하는 Variable Speed 방식에 대해서 연구하고 있다.

이 중에 에너지 세이빙 기술은 컨테이너의 하역작업시 또는 브레이킹(Braking)시 발생하는 회생전력을 카파시터에 저장하였다가 다시 재사용하는 방식으로, 현재 상가포르의 STA사, 독일의 지멘스사 등에서 연구 개발하고 있다.

지멘스사의 경우 스페인의 알제시라스(Algeciras) 터미널에서 운영되고 있는 17대의 RTGC에 자사의 슈퍼 카파시터를 설치하고 있으며, 프로토타입을 제작하여 1시간 45분간 테스트해 본 결과 자사의 슈퍼 카파시터를 설치하는 경우 30~50%⁵⁾까지 유류 사용이 절감되는 것으로 나타났다.

향후 국내 항만이 동북아 물류중심국가로 나아가고 주위 경쟁항만과의 경쟁에서 우위를 점하기 위해서는 항만의 비용구조를 개선해서 하역비용을 낮추어야 하며, 이를 통해서 경쟁력을 강화하고 지속적으로 환적물량을 유치해야 한다.

따라서, 본 연구에서는 고유가에 대비하여 컨테이너터미널의 비용절감을 통해서 운영효율성을 향상시키는 데 그 목적을 두고 있으며, 또한 국내 항만의 경쟁력 강화를 위해 에너지비용 절감 모델을 개발하고 모델별 대안을 제시하고 있다. 구체적인 연구의 내용에 있어서는 컨테이너터미널의 운영현황을 파악하고, 이를 바탕으로 가능한 대안을 수집, 분석하고, 특히 하역시스템 측면에서 전 세계적으로 에너지 비용 절감을 위한 새로운 기술을 수집, 분석하였다. 이를 토대로 적용가능한 대안을 선정하여 적용효과를 분석하며, 에너지비용 절감 모델을 수립하고, 적용 우선순위를 분석하여, 이를 이용한 구체적인 적용방안을 수립하여 정책대안을 제시하였다.

4) 일종의 충전식 배터리로 필요전력을 저장했다가 사용 후 회생전력을 이용해서 재충전하는 장치.

5) SEOHO&SIMENS, "Rubber Tyred Gantry Crane Innovation", 2005 Crane Technology Seminar Korea.

2. 주요 연구내용 및 연구의 방법

본 연구에서는 컨테이너터미널의 에너지비용 절감 방안을 연구하기 위해서 국내 컨테이너터미널의 하역비용구조 분석, 국내외 에너지비용 절감 사례 및 대안별 효과분석, 하역체계 분석을 통한 에너지비용 절감 모델 수립, 적용 우선순위 및 타당성 분석 등 컨테이너터미널 에너지절감 추진방안을 도출하는 데 초점을 둔다.

제1장 서론에 이어 제2장 ‘세계 물류현황 및 항만여건 변화’에서는 초대형선의 출현, 고유가 시대 도래 및 항만운영 여건 악화에 따른 우리나라 항만이 처한 상황을 파악한다.

제3장 ‘컨테이너터미널의 하역비용구조 분석’에서는 기본적인 컨테이너터미널에서의 하역비용을 분석하며 하역비용 중에 컨테이너터미널의 에너지비용이 차지하는 비율 및 개별 하역장비의 에너지비용을 조사한다.

제4장 ‘국내외 에너지비용 절감 사례 및 대안별 효과분석’에서는 국내외 에너지비용 절감사례를 조사하며, 에너지비용 절감 대안 및 효과분석을 운영, 장치, 신기술로 나누어서 수행한다.

제5장 ‘하역체계 분석을 통한 에너지비용 절감 모델 수립’에서는 수집된 에너지비용절감을 위한 대안을 이용한 에너지비용 절감 모델을 수립한다.

제6장 ‘적용 우선순위 및 타당성 분석’에서는 컨테이너터미널의 에너지비용 절감을 위한 적용 우선순위 분석 및 적용 우선순위별 도입타당성을 분석한다.

제7장 ‘컨테이너터미널의 에너지절감 대안 추진방안’에서는 추진방향, 적용절차 및 추진전략을 기술한다.

제8장 ‘결론 및 정책건의’에서는 본 연구의 결론 및 수행된 연구결과물의 이용에 관한 정책건의를 기술한다.

제 2 장 세계 물류환경 및 항만여건 변화

1. 초대형선 시대의 진입

1) 컨테이너 물동량의 증가

세계 교역규모의 증대에 따라 컨테이너 처리량은 1980년 3천 8백만TEU에서 2006년까지 4억 4천만TEU로 약 11.6배 증가하여 연평균 9~12%의 높은 성장률을 보였다. 또한 DSC(2007) 자료에 따르면 2011년 세계 컨테이너 예측 물동량은 6억 8천만TEU로서 연평균 9%의 증가를 보일 것으로 예측되고 있다. 이러한 지속적인 컨테이너 물동량의 성장세는 과거 미주, 유럽, 아시아, 아프리카 순으로 이어지는 경제발전의 순환에 그 원인이 있으며, 특히 극동아시아, 남아시아, 중동 등 아시아의 급속한 경제발전에 힘입은 바가 크다.

세계 컨테이너 처리물동량 실적 및 예측

<표 2-1>

(단위:천TEU)

구분	1980	1990	2001	2006	2011
물동량	38,821	88,049	248,143	441,889	680,962
연평균 증가율	-	9	10	12	9

자료 : Drewry Shipping Consultant Ltd, The Drewry Annual Container Market Review and Forecast 2006/07, 2007

2) 초대형 컨테이너선의 급증

세계적 컨테이너 물동량의 증가와 더불어 대형선사의 합병 및 글로벌화, 운항연료비의 증가와 운임가격의 하락은 컨테이너 운송에 있어 규모의 경제를 추구하기 위한 선사전략의 일환으로 컨테이너선의 대형화를 유도하고 있다. <표 2-2>에서 보듯이 컨테이너선은 과거 1세대의 700TEU급의 피터선 규모에서 현재 8세대급인 1만 1천TEU급의 초대형선 규모가 운항되고 있다.

<표 2-2>

컨테이너선의 세대별 발전현황

구 분	I 세대	II세대	III세대	IV세대	V 세대	VI세대	VII세대	VIII세대
발전방향		대형/고속화	에너지 절약화	거대화		초거대화		
명 칭	피더형	핸디형	준파나막스	파나막스	포스트 파나막스	슈퍼포스트 파나막스		울트라 막스
시 기	60년대 후반	70년대	70년대 말	80년대 후반	90년대 전반	90년대 후반	90년대 말	21세기 초
선형 (TEU)	700~1,500	1,800~2,300	2,000~2,500	2,500~4,400	4,300~5,400	6,000~6,670	7,000~8,700	10,000~13,000

자료 : 해외해사정보(일)

1990년 4천 4백TEU급 선박의 발주가 시작되었고 약 13년 뒤인 2003년부터 8천 TEU급 선박의 발주가 증가되면서 초대형 컨테이너선의 운항경쟁이 가속화되기 시작하였다. 이로부터 불과 3년 뒤인 2006년에 세계1위 선사인 머스크라인의 1만 1천TEU급 초대형선이 운항되기 시작하였으며 동 선박은 극동아시아-유럽간의 정기항로에 투입되어 운항되고 있다. 최근 들어 글로벌 선사들의 선박 대형화 경쟁이 가속화되고 있는데 스위스선사 MSC(세계2위)와 프랑스선사 CMA CGM(세계3위)이 국내 조선에 발주한 선박의 설계변경을 통해 1만 1,300TEU급 규모의 선박을 대량 발주하였으며, 삼성중공업은 2007년 1만 2,600TEU급 초대형 컨테이너선 8척, 2007년 8월 STX 조선은 1만 2천 4백TEU급 컨테이너선 9척을 수주하였다. 이러한 선박의 발주현황을 살펴보면 불과 2~3년 만에 그 규모가 50% 증가된 컨테이너선의 초대형화가 가속화되고 있는 상황임을 알 수 있으며 향후 기술개발 정도에 따라 수년내에 1만 5천TEU급 선박의 등장도 예상된다.

<표 2-3>

국내 조선사 수주현황의 변화(2003~2007)

조선사	TEU	수량(옵션)	수주/인도	비고
현대중공업	8,200	5	2006. 3,5,6,7,9월	Costamare Shipping(그리스)
	8,200	4(4)	2006. 3,4,5,6월	CMA-CGM (프랑스)
	8,500	1	2005	현대상선(한국)
	8,000	3	2005, 2006	하팍로이드
	8,600	4	2005년 수주	현대상선(한국)
	10,000	4	2005년 수주	COS주O
	10,000	9	2006.7 수주	Zim(이스라엘)외
	12,500	8	2007.7 수주	유럽선주
현대삼호중공업	8,200	4	2006. 10	CMA-CGM사 (프랑스)
	8,000이상	5	2006.8	유럽선주사 5곳
삼성중공업	8,100	4	2005	CP Offen(독일), MSC(스위스)
	8,100	5	2004~2005	Seaspan Container Lines(캐나다)
	8,063	2	2006	OOCL
	8,063 ⁶⁾	2	2003.4, 2003.6	OOCL
	8,000	6	2004~2006	OOCL
	9,600	4(4)	2006	Seaspan Container Lines(캐나다)
	12,600	8	2007.5 수주	피터 돌레(독일)
대우조선	8,400	2(3)	2005~2006	A-NRG, N-NRG
	8,400	4	2006. 1 수주	Mediterranean Shipping Co(MSC)
한진중공업	8,000	5	2006	CP Offen(독일), MSC(스위스)
	8,100	4	2006	KZOSG(독일)
STX 조선	12,400	9	2007.8 수주	니키그룹(그리스)

자료 : 1. 국내 중공업회사 내부자료

2. BRS-Alphaliner

6) OOCL Shenzhen호, OOCL Long Beach 호.

3) 초대형 컨테이너선의 등장에 따른 하역원가의 상승

일반적으로 컨테이너터미널의 하역시스템은 안벽장비, 야드장비, 이송장비 등 3가지 장비로 구성된다. 이 중 안벽장비는 컨테이너크레인(C/C:Container Crane), 야드장비로는 RTGC(Rubber Tired Gantry Crane) 또는 RMGC(Rail Mounted Gantry Crane), 이송장비로는 YT(Yard Truck)이 주로 사용된다. 국내 컨테이너터미널의 하역시스템은 사용되는 야드장비의 종류에 따라 RTGC시스템과 RMGC시스템 2가지 종류로 나누어진다. RTGC시스템은 디젤을 사용하는 4단6열~5단6열 규모의 소규모 야드장비로서 과거 국내 대부분의 컨테이너터미널들이 동 시스템을 적용하여 운영하고 있다.

<표 2-4> **국내 주요 컨테이너터미널 하역시스템**

구분	터미널	하역시스템	비고
부산항	자성대터미널	C/C-YT-RTGC	
	신선대터미널	C/C-YT-RTGC	
	감만터미널	C/C-YT-RTGC	
	신감만터미널	C/C-YT-RTGC	
	우암터미널	C/C-YT-RTGC	
	감천터미널	C/C-YT-RTGC	
	부산신항만 (북항 2개터미널)	C/C-YT-RMGC	
	부산신항만 (남항 3개터미널)	C/C-SHC(AGV)-RMGC	계획중(3개 터미널)
광양항	광양항 1단계	C/C-YT-RTGC	
	광양항 2단계	C/C-YT-RTGC	
	광양항 3단계 1차	C/C-YT-RTGC	
	광양항 3단계 2차	C/C-AGV-ATC	계획중

자료 : 최상희, □□시뮬레이션을 이용한 컨테이너터미널 설계의 중요성과 정책적 추진방안□□, 「월간해양수산」, 2003.10.

이에 반해 최근에는 컨테이너선의 대형화와 더불어 대형항만에서는 부지이용의 효율화, 장비의 자동화 등을 위해 RMGC시스템을 채용하여 운영하고 있는 추세에 있다. 이러한 하역시스템의 조합 및 구성장비의 소요대수는 기항하는 선박의 크기, 리프트 수량 등 하역생산성에 많은 영향을 미치게 된다. 즉 선박의 크기가 소형이고 작업 컨테이너 수량이 적다면 투입되는 안벽, 이송, 야드장비의 수는 적은 대수로도 충분한 서비스가 가능하게 된다. 그러나 반대로 대형선이거나 작업 컨테이너 수량이 많을 경우 충분한 하역장비가 투입되지 않는다면 컨테이너터미널의 생산성은 저하되고 고객인 선박에 대한 서비스수준은 저하될 수밖에 없으므로 컨테이너터미널의 경쟁력은 현저히 떨어지게 된다.

따라서, 과거 주력선종이 5천TEU급 컨테이너선에서 현재 8천TEU급 선종으로 변화하고 있고, 기항선박의 최대 선형 또한 1만 1천TEU급에서 1만 3천TEU급으로의 변화가 예상되는바 항만이 경쟁력을 갖기 위해서는 투입되는 장비의 수량을 증가시키거나 장비의 성능을 개선시킬 수밖에 없다. 과거 5천TEU급 선박에 대해 C/C 2~3대, YT 3~4대, RTGC 3대 정도의 장비를 투입하여 36시간 이내 처리가 가능했던 부분들이 8천TEU급 선박에 대해 서비스하기 위해서는 C/C 4대 이상, YT 5대 이상, RTGC 4대 이상의 소요대수가 필요하게 된다.

향후 주력선종이 1만TEU급 이상으로 증가되거나 선사에서 선박작업시간의 단축(24시간 이내)을 요구하게 된다면 더욱 많은 장비의 투입이 필요하게 된다. 이러한 여건들이 항만의 입장에서 대고객을 위한 서비스 수준을 증가시키는 요인이긴 하나 선박의 대형화가 장비시설비의 증가, 장비운영비의 증가 등 하역원가를 증가시키는 주요요인으로 작용하고 있다.

2. 고유가 시대의 도래

1) 세계 석유생산 및 소비 현황

세계 석유의 생산 및 소비현황은 살펴보면 생산은 1992년 31억 8천만톤에서 2005년 38억 9천만톤으로 14년 동안 약 22.3% 증가하였다. 또한, 소비도 1992년 31억 7천만톤에서 38억 3천만톤으로 약 20.8% 증가하는 데 그쳤으며 생산 및 소비의 연평균 증가율은 1.5% 내외로 나타나고 있다.

세계 석유 생산 및 소비 현황

<표 2-5>

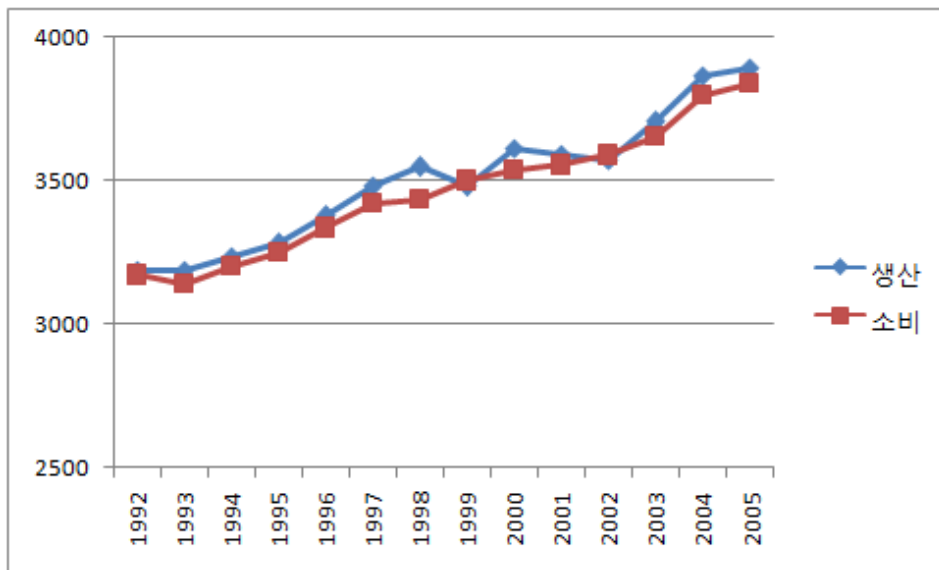
(단위 : 백만톤)

연도	생산	소비
1992	3186.8	3170.4
1993	3187.0	3139.3
1994	3237.1	3204.4
1995	3280.9	3252.4
1996	3375.9	3335.4
1997	3480.9	3420.7
1998	3547.6	3436.9
1999	3479.3	3499.3
2000	3613.8	3537.2
2001	3593.7	3554.9
2002	3572.0	3589.0
2003	3705.8	3655.6
2004	3865.3	3798.6
2005	3895.0	3836.8

자료 : 산업자원부 홈페이지

<그림 2-1>

연도별 세계 석유 생산 및 소비 현황



향후에도 과거 14년간의 석유생산 및 소비량을 살펴보았을 때, 절대적 생산 및 소비량의 변화는 미미할 것으로 판단된다. 이는 대체연료의 개발, 매장량의 한계, 생산량의 조절 및 각국의 에너지 정책 등으로 그 증가량의 급속한 변화는 없을 것으로 판단된다.

2) 세계 유가의 변화

세계의 유가는 1973~1974년, 1978~1980년 2차례에 걸친 국제석유가격의 상승으로 인해 석유를 소비하는 국가들을 비롯한 세계적 혼란을 야기시킨 1, 2차 석유파동이 있었다. 제1, 2차 석유파동을 겪으면서 세계 각국의 경제성장률은 크게 감소될 정도로 유가가 각국 산업에 미치는 영향은 매우 지대하다.

아래 <표 2-6>을 살펴보면 1994년부터 2003년 사이에 원유가의 변동폭이 컸던 시기도 있었으나 10여년간 절대적인 유가는 25달러 내외로 안정세를 보이고 있었다.

그러나 2004년의 33.77\$/bbl, 2005년 49.37\$/bbl, 2006년 61.50\$/bbl로서 전년에 비해 각각 26%, 46%, 24% 등 급격한 증가세를 보이고 있으며 2006년의 원유가는 3년 전에 비해 약 2배 이상 급등한 가격을 보이고 있다.

<표 2-6> 국제 원유가 변동추이

년도	가격(\$/bbl)	증감률(%)
1984	27.52	-11.5
1985	26.51	-6.0
1986	13.10	-52.4
1987	16.93	29.2
1988	13.19	-22.1
1989	15.68	18.9
1990	20.50	30.7
1991	16.56	-19.2
1992	17.21	3.9
1993	14.9	-13.4
1994	14.76	-0.9
1995	16.09	9.0

<표 2-6>

국제 원유가 변동추이 <계속>

년도	가격(\$/bbl)	증감률(%)
1996	18.56	15.4
1997	18.13	-2.3
1998	12.16	-32.9
1999	17.24	41.8
2000	26.12	51.5
2001	22.84	-12.6
2002	23.88	4.6
2003	26.80	17.3
2004	33.77	26.0
2005	49.37	46.2
2006	61.50	24.6

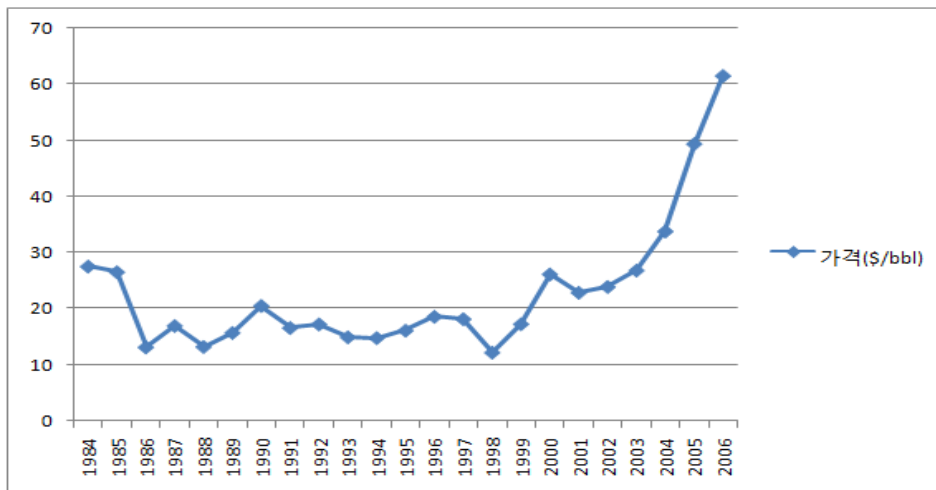
자료 : 대한석유회 홈페이지

주 : 가격은 및 증감률은 두바이유 기준

향후의 원유가격은 중국, 인도, 러시아 등 급성장하는 국가들의 수요 및 글로벌 수요의 증가와 일부 산유국의 정정불안, 투자부족으로 인한 원유생산시설의 부족 등으로 인해 당분간 상승추세를 보일 것으로 판단된다.

<그림 2-2>

국제 원유가 변동추이



이러한 징후는 <표 2-7> 및 <그림 2-3>에 잘 나타나 있다. 2007년 10월 현재 국제 원유가격(두바이 기준)은 77\$대로서 2006년 10월 동기대비 36% 급등한 것으로 나타나 있으며, 최근 원유값의 징후는 미 원유재고의 감소, 달러화의 약세 등 공급 부족의 움직임이나 수요가 증가될 만한 징후만 보여도 급등하는 추세를 보이고 있어 향후 배럴당 100달러의 돌파는 시간적 문제로 대두되고 있다. 전문가들도 이러한 상승추세는 장기적으로도 지속될 것으로 예견하고 있다.

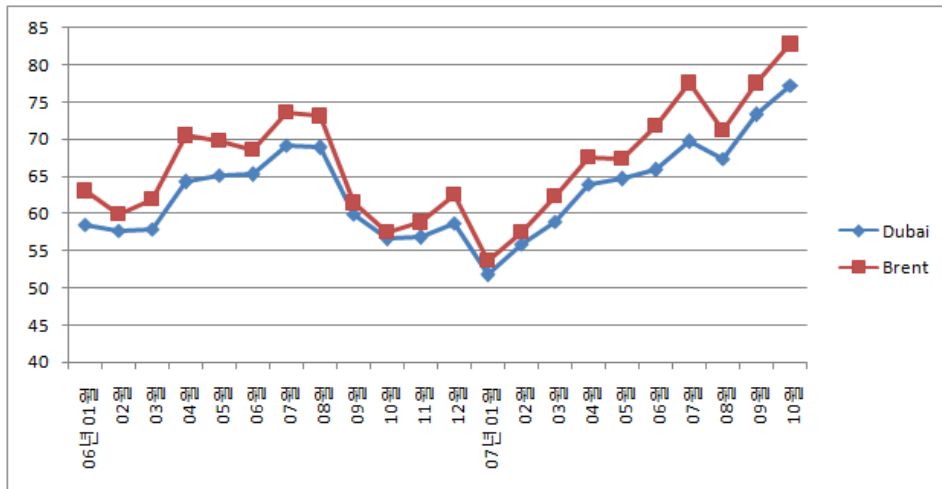
국제유가 월별가격(2006~2007)

<표 2-7>

(단위 : \$/배럴)

월	Dubai	Brent
06년 01월	58.45	63.01
02월	57.69	59.92
03월	57.89	61.96
04월	64.22	70.51
05월	65.2	69.78
06월	65.24	68.53
07월	69.16	73.65
08월	68.85	73.08
09월	59.93	61.42
10월	56.58	57.51
11월	56.77	58.83
12월	58.66	62.55
07년 01월	51.75	53.62
02월	55.89	57.45
03월	58.92	62.28
04월	63.98	67.55
05월	64.65	67.4
06월	65.85	71.78
07월	69.68	77.51
08월	67.4	71.18
09월	73.32	77.51
10월	77.23	82.8

<그림 2-3> 월별 국제유가 변동 추세(2006~2007)



이러한 원유가격의 변화추세는 다수의 하역장비를 운영하는 항만에 직접적인 영향을 미치게 된다. 특히 디젤을 사용하는 YT- RTGC시스템을 가진 국내 대부분의 컨테이너터미널들은 하역원가의 상승 및 운영비의 증가 등 항만경쟁력 저하요인으로 작용할 가능성이 매우 크다.

3) 항만의 운영여건 악화

현재 세계적으로 머스크라인을 비롯한 글로벌 선사들은 중국으로 기항지를 이동하고 있으며 중국에 자사 컨테이너터미널 보유도 늘리고 있는 추세에 있다. 아시아의 허브항만으로 급부상하고 있는 중국에서의 급증하는 물동량, 저렴한 항만 시설사용료, 수출입기업의 중국 이전, 글로벌 선사의 이탈 등 불리한 요건에 따라 국내 환적화물 및 수출입 물동량이 정체 또는 증가율 감소추세를 보이고 있어 향후 국내 항만의 입지가 매우 불안한 상황에 놓여 있다. 따라서, 현 국내 항만의 입지는 항만물동량 유치, 항만서비스 수준 향상, 항만운영비용 절감 등 다양한 각도에서 국내 항만의 경쟁력을 키워야 하는 과제를 안고 있는 상황이다. 현재 전 세계적으로 대형항만의 야드하역장비의 발주현황을 살펴보면 디젤을 사용하는 RTGC의 비율이 점점 축소되고 있는 실정이며 상대적으로 전기를 사용하는 RMGC의 비중이 높아지고 있는 추세에 있다.

<표 2-8> 야드크레인 유형별 시장점유 변화 분포

구분	2001		2002		2003		2004		2005+	
	수량 (대)	비율 (%)	수량 (대)	비율 (%)	수량 (대)	비율 (%)	수량 (대)	비율 (%)	수량 (대)	비율 (%)
RTGC	241	80.3	254	81.2	143	87.7	395	79.5	755	78.1
RMG C	59	19.7	59	18.8	20	12.3	102	20.5	212	21.9
합계	300	100	313	100	163	100	497	100	967	100

주 : 1) 2003년의 경우 전체 284기가 발주되었으나 ZPMC에서 발주받은 121기는 정확한 사양이 발표되지 않아 제외

2) 2005년 이후의 수량은 2006년도 4월까지의 발주물량 포함

자료 : Cargo Systems, 각년호

이는 RMGC가 자동화 및 대형화의 이점도 있지만 전기를 사용함으로써 고유가 시대의 연료비 절감과 그에 따른 유지보수비의 절감을 통해 항만운영여건이 향상되는 매우 많은 장점을 가지고 있기 때문이다. 국내의 경우 부산북항의 대부분을 차지하고 있는 RTGC 하역시스템은 유가가 증가할수록 유류비와 같은 직접운영비가 급격히 증가하는 하역장비 운영구조를 가지고 있다.

<표 2-9> 부산항의 디젤 사용 하역장비 현황

구분	자성대	신선대	감만	신감만	우암	감천
RTGC	35	32	39	17	13	12
YT	68	79	81	36	20	23
RS	4	9	9	4	2	1
FL	13	10	6	4	-	-

주 : RS : Reach Stacker, FL : Folk Lift

자료 : BPA, 부산항 컨테이너화물 처리 및 수송통계, 2006

이에 반해 신규로 운영되거나 건설되는 부산신항 1-1, 2단계, 2-1~2-4단계의 컨테이너터미널은 모두 야드장비를 RMGC시스템으로 운영·계획함으로써 고유가시대에 항만운영측면에서의 경쟁력을 보유할 것으로 판단된다.

<표 2-10> 부산신항의 전기/디젤 사용 하역장비 현황(C/C 제외)

구분	1-1단계	1-2단계	2-3단계	2-4단계
RMGC	18	31	38	40
YT	60	55	13	13
SHC	-		30	27
RS/TH	13		4	2

주 : 1) 부산신항만 2-3단계 이후는 민간투자사/운영사 내부자료를 참조하였으며 계획중인 자료로서 향후 변경 가능

2) SHC : SHuttle Carrier, TH : Top Handler

자료 : 부산신항만 홈페이지

2007년 11월 현재 유가는 배럴당 \$77 내외(두바이유 기준)를 상회하고 있으나 전문가들은 향후 \$100까지도 급등할 것으로 예견하고 있어 유류를 사용하는 하역장비를 보유한 항만의 경쟁력이 점점 더 악화될 것으로 판단된다.

제 3 장 컨테이너터미널의 하역비용구조 분석

1. 컨테이너터미널 하역비용

1) 항만의 항만시설사용료

(1) 부산항 및 광양항

대표적인 컨테이너 항만인 부산항과 광양항의 항만시설사용료를 살펴보면 부산항의 경우 선박입출항료, 접안료, 화물입출항료, 도선료, 예선사용료, 하역료, 검수료, 해치개폐료, 라싱료, 라인핸들링료, 선박대리점료, 쓰레기수수료 등의 12가지 항목을 항만시설사용료로 징수하고 있으며, 광양항의 경우 선박입출항료, 접안료, 도선료, 예선사용료, 하역료, 검수료, 해치개폐료, 라싱료, 라인핸들링료, 선박대리점료, 쓰레기수수료 등 11가지 항목의 항만시설사용료를 징수하고 있다.

<표 3-1> 광양항과 부산항의 항만시설사용료 세부항목

항 만	항 목
부산항	선박입출항료, 접안료, 화물입출항료, 도선료, 예선사용료, 하역료, 검수료, 해치개폐료, 라싱료, 라인핸들링료, 선박대리점료, 쓰레기수수료
광양항	선박입출항료, 접안료, 도선료, 예선사용료, 하역료, 검수료, 해치개폐료, 라싱료, 라인핸들링료, 선박대리점료, 쓰레기수수료

(2) 전세계 주요 항만

전세계의 항만 중 물동량 점유율 상위의 항만인 상해, 동경, 가오슝, 싱가포르, 홍콩, 로테르담항의 항만시설사용료를 살펴보면 톤세, 선박입출항료, 접안료, 화물입출항료, 항만건설비, 도선료, 예선사용료, 하역료, 상하차료, 검수료, 해치개폐료, 라싱료, 라인핸들링료, 선박대리점료, 선박검역, 세관수수료, 경비료, MWF (Maritime Welfare Fee), 쓰레기수거료 등의 19가지 항목으로 구성되어 있다. 상해항의 경우 톤세, 선박입출항료, 접안료, 화물입출항료, 항만건설비, 도선료, 예선사용료, 하역료, 라인핸들링료, 선박대리점료, 쓰레기수거료 등의 11가지 항목을 징

수하고 있으며, 동경항은 톤세, 선박입출항료, 접안료, 도선료, 예선사용료, 하역료, 라인핸들링료, 선박대리점료, 선박검역, 세관수수료, 경비료, MWF(Maritime Welfare Fee), 쓰레기수거료 등의 13가지 항목을 징수하고 있다. 가오슝항은 톤세, 선박입출항료, 접안료, 화물입출항료, 도선료, 예선사용료, 하역료, 검수료, 라인핸들링료, 선박대리점료, 쓰레기수거료 등의 11가지 항목을 징수하고 있고, 싱가포르항은 톤세, 선박입출항료, 접안료, 도선료, 예선사용료, 하역료, 상하차료, 검수료, 라싱료, 라인핸들링료, 선박대리점료, MWF, 쓰레기수거료 등의 13가지 항목을 징수하고 있다. 홍콩항은 선박입출항료, 접안료, 도선료, 예선사용료, 하역료, 라인핸들링료, 선박대리점료, 세관수수료, 경비료 등의 9가지 항목을 징수하고 있으며, 로테르담항은 선박입출항료, 도선료, 예선사용료, 하역료, 라인핸들링료, 선박대리점료 등의 6가지 항목을 징수하고 있다.

<표 3-2>

전세계 주요항만의 항만시설사용료 항목

항 만	항 목
상해	톤세, 선박입출항료, 접안료, 화물입출항료, 항만건설비, 도선료, 예선사용료, 하역료, 라인핸들링료, 선박대리점료, 쓰레기수거료
동경	톤세, 선박입출항료, 접안료, 도선료, 예선사용료, 하역료, 라인핸들링료, 선박대리점료, 선박검역, 세관수수료, 경비료, MWF, 쓰레기수거료
가오슝	톤세, 선박입출항료, 접안료, 화물입출항료, 도선료, 예선사용료, 하역료, 검수료, 라인핸들링료, 선박대리점료, 쓰레기수거료
싱가포르	톤세, 선박입출항료, 접안료, 도선료, 예선사용료, 하역료, 상하차료, 검수료, 라싱료, 라인핸들링료, 선박대리점료, MWF, 쓰레기수거료
홍콩	선박입출항료, 접안료, 도선료, 예선사용료, 하역료, 라인핸들링료, 선박대리점료, 세관수수료, 경비료
로테르담	선박입출항료, 도선료, 예선사용료, 하역료, 라인핸들링료, 선박대리점료

(3) 전세계 주요 항만과 국내 항만의 항만시설사용료 비교

부산항 및 광양항을 비롯한 전세계 주요 항만의 항만시설사용료를 동일선상에서 비교하기 위해서 항만시설사용료 체계 개편방안에 관한 연구에서 요율산정의 기본 가정으로 삼고 있는 선박규모 5,300TEU급 컨테이너선, 하역물량 2,000TEU (양하 : 300TEU, 350FEU, 적하 : 300TEU, 350FEU), 시간당 안벽크레인 생산성 30Box (40TEU)를 기준으로 비교 분석하면 다음과 같다.

전세계 주요항만의 항만시설사용료 비교

<표 3-3>

(단위 : 천원)

항목	부산	상해	동경	가오슝	상가포르	홍콩	로테르담	광양
톤세	-	11,630	4,393	1,281	554	-	-	-
선박입출항료	8,532	5,198	1,350	1,165	3,847	2,087	26,130	1,706
접안료	2,266	842	6,690	3,313	7,067	2,108	-	605
화물입출항료	8,400	9,000	-	38,290	-	-	-	-
항만건설비	-	10,980	-	-	-	-	-	-
도선료	1,962	5,711	13,467	3,304	503	2,350	9,120	3,001
예선사용료	2,471	6,330	6,509	2,030	1,496	2,160	3,840	1,794
하역료	85,250	105,317	283,000	123,550	163,540	406,500	156,000	63,000
상하차료	-	-	-	-	61,710	-	-	-
검수료	6,800	5,400	-	6,143	231	-	-	6,800
해치개폐료	486	113	-	-	-	-	-	486
라싱료	8,996	-	-	-	2,652	-	-	9,620
라인핸들링료	250	64	3,185	285	408	172	3,000	379
선박대리점료	3,341	23,557	2,000	1,785	1,741	1,740	5,520	3,341
선박검역	-	338	-	-	-	-	-	-
세관수수료	-	-	-	-	-	15	-	-
경비료	-	-	-	-	-	110	-	-
MWF	-	-	-	-	119	-	-	-
컨테이너세	40,000	-	-	-	-	-	-	-
쓰레기수거료	104	225	1,000	19	612	-	-	104
합 계	168,858 (128,858)	184,704	321,593	181,165	244,480	417,240	203,610	90,836
비 교	100 (100)	109 (143)	190 (250)	107 (141)	145 (190)	247 (324)	121 (158)	54 (70)

※ MWF : Maritime Welfare Fee

※ 자 료 : 항만시설사용료 체계 개편방안에 관한 연구(' 04. 9/한국해양수산개발원)

※ 요율산정 기본 가정

- 선박규모 : 5,300 TEU급 컨테이너선(66,654GT, 24,405NT, 67,115DWT)
- 하역물량 : 2,000TEU(양하 : 300TEU · 350FEU, 적하: 300TEU · 350FEU)
- 시간당 GC 생산성 : 30BOX (40TEU)
- () 컨테이너세 폐지시 금액 및 비율

부산항의 항만시설사용료를 100이라고 할 때, 상해항은 109, 동경항은 190, 가오슝항은 107, 싱가포르항은 145, 홍콩항은 247, 로테르담항은 121이며, 광양항은 54 정도 수준이다. 이러한 비율은 2007년 1월 1일부로 폐지된 컨테이너세를 고려할 경우 상해항은 143, 동경항은 250, 가오슝항은 141, 싱가포르항은 190, 홍콩항은 324, 로테르담항은 158이며, 광양항은 70정도 수준으로 현재, 부산항이 상당한 비용경쟁력을 확보하게 되어 부산항의 경우 7월 한달간 116만 7천TEU를 처리해 3개월만에 월간 최대 컨테이너 처리량 기록을 경신하고 있다. 이러한 부산항 컨테이너 처리량의 증가는 컨테이너세의 폐지에 따른 것으로 분석되며, 앞에서 살펴본 바와 같이 부산항의 지리적인 위치와 가격경쟁력을 가지고 지속적으로 발전할 수 있다는 것을 의미한다.

<표 3-4>

부산항 컨테이너 처리실적(2007.7)

(단위 : TEU)

구분	' 06년 7월	' 07년 7월	전년대비 (%)	' 06년 1~7월	' 07년 1~7월
수입	281,328	298,549	6.1	1,972,154	2,154,392
수출	282,647	314,909	11.4	1,944,312	2,120,145
수출입 합계	563,975	613,458	8.8	3,916,466	4,274,537
환적	437,883	553,510	26.4	3,029,876	3,458,389
연안	559	600	7.3	24,725	3,793
총계	1,002,417	1,167,568	16.5	6,971,067	7,736,719

2) 항만하역료

(1) 항만하역료의 구성

항만에서 컨테이너를 적양하하는데 관련되는 모든 직접비용을 정리하면 인건비, 복리후생비, 동력비, 장비유지비, 보험료, 경비료, 전대사용료, 장비리스표, 노임보상금, 제세공과금, 교육훈련비 등의 11가지 항목으로 구성된다. 2005년도 부산항 P터미널의 하역수입 및 그에 따른 하역료의 비용지출 구성을 살펴보면 동력비, 즉 유류비와 전기사용료를 합한 금액의 비율이 전체 하역원가의 6%를 차지하고 있다. 이러한 6%의 비율이 요즘과 같이 지속적으로 유류비용이 증가한다면 7%, 8%로 증가하여 컨테이너터미널 운영비용의 증가를 가져올 것이다.

부산항 P터미널의 하역비용

<표 3-5>

(단위 : 백만원)

항목	금액	비율	항목	금액	비율
인건비	26,511	29%	경비료	689	1%
복리후생비	4,679	5%	기타직접비	9,413	10%
동력비	5,158	6%	감가상각비	4,981	6%
장비유지비	3,539	4%	시설임차료	31,572	35%
수선유지비	683	1%	판매관리비	2,377	3%
동산보험료	815	1%	비용계	90,417	100%

자료 : 부산 P터미널 내부자료

(2) 동력비의 구성

컨테이너터미널에서 사용되는 동력비는 크게 전력비용과 유류비용으로 구분할 수 있다. 전력비용은 일반적으로 안벽크레인, 냉동컨테이너, 기타(조명) 등에 소요되는 비용이며, 유류비용은 야드크레인, 야드트럭, 리치스태커 등에 사용되는 비용이다.

① 전력비용

전력비용은 안벽크레인의 전력비용과 냉동블록에서 사용되는 전력비용, 기타 (조명) 전력비용으로 나눌 수 있다.

가. 안벽크레인 전력비용

광양 A터미널에서 지난 2006년도의 실적자료를 토대로 안벽크레인의 전력비용을 분석해 보면 안벽크레인 2기의 전체 전력사용은 131호기의 경우 연간 190,300KW를 사용했고, 132호기의 경우 연간 194,526KW를 사용했다. 이를 월 평균으로 산출하면 131호기의 경우 15,858KW가 되며, 132호기의 경우 16,210KW가 된다. 전체 수요의 패턴을 보면, 날씨가 추워지는 10월부터 다음해 봄이 시작되는 3월까지 전력수요량이 평균 이하의 수치를 보이며, 날씨가 따뜻해지는 4월부터 9월까지의 전력수요량이 평균 이상의 수치를 나타내고 있다.

광양항 A터미널의 전력량 및 금액

<표 3-6>

(단위 : KWH, 천원)

구 분	G/C			
	131호		132호	
	전력량	금액	전력량	금액
1월	9,280	530	9,630	551
2월	13,960	798	12,320	704
3월	12,790	731	13,910	795
4월	22,050	1,109	22,280	1,121
5월	20,290	1,021	19,960	1,005
6월	21,970	1,106	24,440	1,230
7월	16,170	1,201	15,910	1,182
8월	16,880	1,254	16,700	1,241
9월	18,900	951	17,260	869
10월	14,980	856	13,506	772
11월	9,040	517	15,730	899
12월	13,990	800	12,880	736
합계	190,300	10,876	194,526	11,106
평균	15,858.33	906	16,210.5	925

자료 : 광양항 A 터미널 내부자료

전력량에 따라서 KW당 약 57.17원을 지불하여 안벽크레인의 사용에 따른 연간 전력 사용비용은 131호기의 경우 10,876천원을 지불하였으며, 132호기의 경우 11,105천원을 지불하였다.

광양항 A터미널의 연간처리물량, 작업시간 및 생산성을 안벽크레인별로 분석하면 131호기의 경우 43,930Van을 처리하였으며, 총작업시간 1,328시간, 순작업시간 1,138시간, 시간당 총생산성 33.07Van, 순생산성 38.60Van이며, 132호기의 경우 42,229Van을 처리하였으며, 총작업시간 1,278시간, 순작업시간 1,137시간, 시간당 총생산성 33.05Van, 순생산성 37.14Van이다.

<표 3-7> 광양 A터미널의 처리물량, 작업시간 및 생산성

구분	처리물량			작업시간				생산성(Van/Hr)	
	Van		TEU	총작업시간		순작업시간		총생산성	순생산성
	합계	비율 (%)	합계	합계	비율 (%)	합계	비율 (%)	평균	평균
131	43,930	50.99	69,229	1,328	50.96	1,138	50.02	33.07	38.60
132	42,229	49.01	65,084	1,278	49.04	1,137	49.98	33.05	37.14
합계	86,159	100	134,313	2,605	100	2,276	100	33.07	37.85

<표 3-8> 광양 A터미널의 안벽크레인 고장시간, 장비가동률 및 전력사용량

구분	고장시간 및 장비가동률(%)			전력 사용량(KWH)		
	고장시간		장비가동률 (%)	전력사용량 (KWH)		TEU당 전력소비량 (KWH)
	합계	고장률	평균	합계	비율	합계
131	13.14	0.99%	18.29%	190,300	49	2.75
132	2.88	0.23%	17.60%	194,526	51	2.99
합계	16.02	0.61%	17.94%	384,826	100	2.87

광양항 A터미널의 안벽크레인 고장시간, 장비가동률, 전력사용량을 살펴보면 2006년도 기준으로 131호기의 고장시간은 13.14시간, 장비가동률은 18.29%, 전력 사용량은 190,300KWH로 TEU당 2.75KWH를 사용했으며, 132호기의 경우 고장시

간은 2.88시간, 장비가동률은 17.60%, 전력사용량은 194,526KWH로 TEU당 2.99KWH를 사용하였다. 이를 평균하면 안벽크레인의 TEU당 평균 전력사용량은 2.87KWH로 나타났다.

나. 냉동 및 기타(야간조명) 전력비용

광양항 A터미널은 342개의 냉동플러그를 운영하고 있으며 냉동블럭 및 기타 운영을 위한 야간조명에 사용되는 전력비용은 4월부터 증가하여 8월까지 더워진 날씨에 따라 많은 전력이 소비되며, 이후 기온이 낮아짐에 따라 전력소비량이 줄어든다. 운영을 위한 기타 야간조명들은 월 전력소비량이 비슷한 양상을 띈다.

<표 3-9> 냉동 및 기타(야간조명) 전력비용

구 분	냉동		기타(야간조명)	
	전력량(KWH)	금액(원)	전력량(KWH)	금액(원)
1월	5,904	545,349	11,852	1,094
2월	5,976	565,760	10,957	1,037
3월	5,352	480,779	11,547	1,037
4월	21,384	1,762,904	13,874	1,143
5월	40,128	3,372,881	14,862	1,249
6월	13,128	1,230,929	13,854	1,299
7월	12,264	1,337,424	14,527	1,584
8월	14,616	1,575,189	15,831	1,706
9월	8,208	749,332	12,961	1,183
10월	7,704	801,484	11,854	1,233
11월	4,800	521,472	10,624	1,154
12월	5,784	534,444	11,627	1,074
합계	145,248	13,477,947	154,370	14,796
평균	12,104	1,123,162	12,864	1,233

다. 전력비용 종합

광양항 A터미널의 전력비용을 종합하여 개별 전력소비량으로 표시하면 안벽크레인의 경우 TEU당 평균 2.87KWH를 사용하였으며, 냉동컨테이너 전력장치의 경우 월 12,104KWH, 야간조명의 경우 월 12,864KWH를 소비하였다.

<표 3-10> 광양항 A터미널의 단위 전력소비량

	안벽크레인 (KWH/TEU)	냉동 (KWH/월)	야간조명 (KWH/월)
전력소비량	2.87	12,104	12,864

② 유류비용

컨테이너터미널의 유류비용은 야드크레인, 야드트럭, 리치스태커로 구분하여 분석한다.

가. 야드크레인 유류비용

광양항 A터미널은 2006년 현재 총 10대 중 물량의 부족으로 3대의 야드크레인을 운영하고 있으며, 항만에서 연간처리한 물량은 134,313TEU였으나, 야드크레인이 처리한 물량은 220,614TEU로 야드크레인의 작업량이 처리물량의 1.64배 높게 나타났다.

가동시간은 총합계 연간 9,019시간이며, 가동률 평균은 41%, 유류사용량은 223,370리터이며, 일일평균 가동시간은 8.28시간, TEU당 유류사용량은 평균 1.01리터이며, 시간당 평균 24.80리터의 유류를 사용하는 것으로 나타났다.

<표 3-11> 야드크레인 유류비용

구분 번호	처리물량 (TEU)	가동시간	가동률	유류 사용량 (Lt)	일일평균 가동시간	TEU당 유류 사용량	시간당 유류 소비량
201	69,377	2,837	39.08%	74,120	7.82	1.07	26.13
205	74,722	3,071	42.30%	70,970	8.46	0.95	23.11
206	76,515	3,111	42.85%	78,280	8.57	1.02	25.16
합계	220,614	9,019	41.41%*	223,370	8.28*	1.01*	24.80*

주: *는 평균

나. 야드트럭 유류비용

2006년 현재 광양항 A터미널의 경우 15대의 야드트럭을 운행하였으며, 연간 가동시간은 13,070시간이며, 평균가동시간은 871시간이다. 평균 유류사용량은 5,595리터이며, 시간당 평균 6.42리터를 소비했다.

<표 3-12>

야드트럭의 유류비용

구분	가동시간 및 장비가동률		유류사용량	
	가동시간(HR)	가동률(%)	유류사용량(Lt)	시간당 소비량(Lt/HR)
	합계	평균	합계	평균
501	616	8.48	3,888	6.31
502	605	8.33	3,415	5.64
503	709	9.77	4,845	6.83
504	540	7.44	3,595	6.66
505	1,105	15.22	6,950	6.29
506	967	13.32	6,220	6.43
507	1,121	15.44	7,245	6.46
508	1,058	14.57	6,815	6.44
509	1,021	14.06	6,458	6.33
510	848	11.68	5,511	6.50
511	825	11.36	5,480	6.64
512	878	12.09	5,680	6.47
513	974	13.42	6,272	6.44
514	998	13.75	6,315	6.33
515	805	11.09	5,240	6.51
합계	13,070	12.00*	83,929	6.42*

* : 평균

다. 리치스태커 유류비용

광양항 A터미널의 리치스태커는 2대이며, 대부분의 공컨테이너를 처리하는 데 사용된다. 연간 처리물량은 126,067TEU이며, 연간가동시간은 4,575시간으로 평균 2,288시간에 가동률은 평균 31.51%이다. 연간 유류사용량은 76,910리터로 일일 평균 6.30시간을 가동하였으며, TEU당 유류소비량은 0.61리터로 시간당 평균 16.81리터를 소비했다.

〈표 3-13〉 리치스태커의 유류비용

구분 번호	처리물량 (TEU)	가동시간	가동률	유류 사용량 (리터)	일일평균 가동시간	TEU당 유류 사용량 (리터)	시간당 유류 소비량 (리터)
301	80,248	2,765	38.09%	46,280	7.62	0.58	16.73
302	45,819	1,810	24.93%	30,630	4.99	0.67	16.92
합계	126,067	4,575	31.51%*	76,910	6.30*	0.61*	16.81*

* : 평균

라. 유류비용 종합

광양항 A터미널의 유류비용을 종합하여 개별 유류사용량으로 표시하면 야드크레인의 경우 TEU당 평균 1.01리터를 사용하였으며, 야드트럭의 경우 TEU당 0.63리터, 리치스태커의 경우 TEU당 0.58리터를 소비하였다. 이러한 TEU당 단위소비량을 바탕으로 추후 표준터미널의 유류소비량과 개선된 대안의 적용시 유류소비량을 비교할 수 있다.

광양항 A터미널의 유류사용량/TEU

<표 3-14>

단위: 리터

	야드크레인	야드트럭	리치스태커
유류사용량	1.01	0.63	0.58

제 4 장 국내외 에너지비용 절감 사례 및 대안별 효과분석

1. 국내외 에너지비용 절감 사례

1) ECO-RTG

Siemens Cranes과 APM 터미널은 새로운 RTG 드라이브 시스템을 공동 개발했다. ECO-RTG 시스템은 에너지 효율이 매우 높아서 터미널 운영에 필요한 연료 소비를 줄이게 되고, 이로 인해 오염물 배출 및 운영비가 줄어들게 된다.

스페인 알제시라스항의 APM 터미널에서 ECO-RTG 시제품을 현장 테스트 해본 결과, 연료소비가 50% 이상 감소하였다. 또한 소음감소, 오염물 배출 감소, 유지보수 감소, 연료보충 횟수 감소 등의 효과를 나타냈다.

<그림 4-1> 스페인 알제시라스항의 ECO-RTG



자료 : Kuilboer, R., Evaluating the ECO-RTG concept, Port Technology International, Issue 33, pp. 75-76, 2007

APM 터미널에서는 기존 RTG와 ECO-RTG의 성능을 비교하는 실험이 실시되었다. 1시간 45분 동안 미리 정의된 순서대로 30개의 컨테이너를 처리하였다. 기존 RTG는 총 28.1리터의 연료(시간당 16.1리터)를, ECO-RTG는 14.2리터(시간당 8.1리터)를 소비하였다. 이 실험을 기초로 터미널은 ECO-RTG 드라이브 시스템이 장착된 20대의 RTG를 발주했고 2006년 말에 첫 번째 크레인이 인도되었다.

현재 운영중인 ECO-RTG의 실제 성능 데이터는 다음의 표와 같다. ECO-RTG가 연속된 9일 동안 모니터링되었다. 이 기간 동안 ECO-RTG는 시간당 평균 9.2리터의 연료를 소비하였다. 기존 RTG는 운영시간당 16~25리터를 소비한다.

<표 4-1> ECO-RTG의 연료소비 성능 데이터(2007. 2. 20 ~ 2007. 2. 28)

RTG No.	Total 리터s	Total Hours	Total Moves	리터s/Hour	리터s/Move
56	1,252	171	959	7.32	1.31
57	1,342	136	1,067	9.87	1.26
58	1,551	178	1,249	8.71	1.24
59	1,984	181	1,636	10.96	1.21
60	1,620	188	1,500	8.62	1.08
61	1,915	183	1,217	10.46	1.57
62	1,347	171	1,207	7.88	1.12
63	1,290	165	876	7.82	1.47
64	1,683	177	923	9.51	1.82
65	1,887	178	1,327	10.60	1.42
합계	15,871	1,728	11,961	91.75	13.5
평균	1,587.1	172.8	1,196.1	9.175	1.35

자료 : Kuilboer, R., Evaluating the ECO-RTG concept, Port Technology International, Issue 33, pp. 75-76, 2007

2) 하이브리드 야드 트랙터

미국 LA/LB(Los Angeles/Long Beach)항에서는 하이브리드 에너지 기술을 적용한 야드 트랙터를 시험 운영하고 있다. 하이브리드 장비를 사용함으로써 대기 오염을 93% 가량 감소시킬 것으로 예상되며, 이는 산화질소 19톤에 해당되는 양이

다. 하이브리드 장치는 청정 디젤엔진 기술과 전기 모터를 융합하는 하이브리드 전기 시스템, 혹은 청정 디젤엔진 기술과 유압 유체 압축기술(에너지 저장에 사용)을 융합하는 하이브리드 유압 시스템을 적용한다.

신기술 적용을 통하여 연료 소비, 공해, 유지보수 등을 줄일 수 있으며, 미국에서는 연료비가 상대적으로 저렴한 편이지만 향후 연료비는 계속 상승할 것이므로 대체 연료에 대한 요구와 긴급성은 증가하고 있다. 또한, 하이브리드 기술은 트랙터의 유휴 기간동안 발생하는 공해를 대폭 절감할 것으로 예상된다. 야드 트랙터의 유휴 시간은 전체 작업시간의 50% 이상을 차지한다. 특히, 하이브리드 기술은 차량의 제동을 위한 에너지를 줄여주기 때문에 자주 멎었다 가는 방식으로 운행되는 야드 트랙터에 적합한 기술로 평가된다. 하이브리드 기술의 또 다른 장점은 기존의 운영방식과 기반시설을 그대로 사용할 수 있도록 유지한다는 것이다. 시스템이 디젤 엔진으로 운영되므로 새로운 유형의 연료 보급소가 필요 없다.

<그림 4-2>

미국 LA/LB항의 하이브리드 야드 트랙터



자료 : Kalmar Industries, A hybrid terminal truck for US West coast ports, Kalmar around the World, No. 1, pp. 16-17, 2007

3) 바이오 디젤 연료

미국 타코마항의 허스키 터미널은 공해 배출을 줄이고 청정 환경에서 엔진을 구동하기 위하여 컨테이너 취급장비와 이송장비에 바이오 디젤 연료 사용을 시작했다. 2006년 4월에 바이오 디젤을 20% 혼합해서 사용했는데 당시 산업계의 일반적인 수준은 2~5%였다. 그 후 혼합 비율은 단계적으로 확대되어 50%까지 증가하였다.

허스키 터미널은 2006년에 18만TEU를 처리 가능하도록 93에이커로 새롭게 확장되었다. 터미널 장비는 터미널 트랙터 31대, 야드 크레인 6대, 탑핸들러 9대, 포크리프트 3대로 구성되고, 이들 장비 모두가 바이오 디젤 연료로 전환되었다. 바이오 연료의 사용은 엔진의 성능 향상에 도움을 준다. 초저유황 디젤, 야채 기름, 콩 등으로부터 만들어지는 바이오 디젤은 기계에 대한 마모를 줄이고 장치에 대한 수명을 연장시켜서 엔진의 성능을 향상시킨다. 또한 기존 디젤 연료에 바이오 연료가 추가되면 매끄러움이 향상된다. 바이오 디젤의 비율이 1%대로 낮더라도 증류 연료의 매끄러움을 65%까지 향상시킨다.

Puget Sound Clean Air Agency는 순수 바이오 디젤 연료 및 혼합 바이오 디젤 연료를 사용하는 차량이 보통의 디젤보다 대기오염 방출이 낮다고 발표했다. 순수 바이오 디젤과 혼합 바이오 디젤 모두 지구 온난화를 야기하는 디젤 입자상 물질, 탄화수소, 이산화탄소의 방출 비율을 10~50%만큼 줄여준다.

<그림 4-3> 미국 타코마항의 스트래들 캐리어(디젤 산화 촉매장치 장착)



자료 : Kalmar Industries, Biodiesel meets its match in terminal equipment, Kalmar around the World, No. 2, pp. 16-17, 2007

바이오 디젤의 운영비용은 혼합 비율에 따라 달라진다. 운영비용은 0.6~7가 소요되지만 1갤런을 넘으면 추가비용이 발생하지 않는다. 현재 바이오 연료의 판매자는 정부로부터 보조금을 받고 있고 이로 인해 최종 사용자는 가격 면에서 혜택을 보고 있다. 바이오 디젤의 사용으로 인해 추가적으로 발생하는 비용은 기계의 수명 증가로 인해 타당성을 얻게 된다.

4) 야드 크레인 전기구동

부산의 신감만, 자성대, 신선대, 감만 등의 컨테이너터미널에서는 야드에 설치된 RTGC의 에너지 공급 체계를 유류에서 전기로 전환하는 방안을 추진 중이다. 자성대 터미널의 경우 2008년부터 RTGC 34대 가운데 15대에 대해서 에너지 공급 체계를 전환할 예정이며, 신감만 터미널은 17대 중 12대, 우암 터미널은 13대 중 8대를 전환할 예정이다. 감만, 신선대 터미널도 에너지 전환 방안을 검토 중이다. 부산항만공사는 2007년 8월, 자성대 터미널에 RTGC 2대에 대한 에너지 공급을 전기로 전환하여 에너지 절감 정도를 측정하였다. 비용은 유류비의 10% 선에 그친 것으로 밝혔다. 부산항만공사는 케이블 설치작업 등을 위해 대당 약 3억 6천만원의 비용이 소요되지만 대당 약 1억 3천만원의 에너지 절감 효과를 거둘 수 있으므로 3년 후면 투자비를 회수할 것으로 예상했다.

<그림 4-4>

부산항에서 운영 중인 야드 크레인



자료 : 부산일보, “부산항 야드크레인 연료 유류서 전기로 앞다퉈 전환”, 2007.9.3

5) 국내외 에너지비용 절감 사례 요약

국내외의 항만에서 에너지비용을 절감하기 위한 많은 노력들이 있어 왔으며 이러한 노력의 결과, 에너지비용 절감을 위한 많은 기술의 발전이 있었다. 외국의 경우 지멘스사에서 ECO-RTG를 개발하여 스페인의 알제시라스항에 적용한 사례가 있으며, 미국 LA/LB항의 경우 컨테이너터미널의 이송장비에 하이브리드 전기 시스템/유압시스템을 시험 운영 중에 있다. 또한, 미국 타코마항의 허스키 터미널에서는 바이오디젤 연료를 허스키항에서 사용하여 연료비를 절감하고 있으며, 국내의 경우 자성대터미널에서 기존의 디젤엔진 RTGC를 전기식 RTGC로 변환하여 운영 중에 있다.

<표 4-2> 국내외 에너지비용 절감 사례 요약

사례	ECO-RTG	하이브리드 야드 트랙터	바이오 디젤 연료	야드크레인 전기구동
대상	· 컨테이너 터미널 야드장비	· 컨테이너 터미널 이송장비	· 컨테이너 터미널 하역장비, 이송장비	· 컨테이너 터미널 야드장비
지역	· 스페인 알제시 라스항	· 미국 LA/LB항	· 미국 타코마항	· 부산항
특징	· 새로운 RTG 드라이브 시스템 개발 · APM 터미널에 서 시제품 테스트 완료 후 사용 중	· 하이브리드 전 기시스템/유압 시스템 적용 · 시험 운영 중	· 바이오 디젤을 혼합하여 사용 · 허스키 터미널 에서 사용 중	· RTG 에너지 공급을 유류에 서 전기로 전환 · 자성대 터미널 에서 에너지 절 감 정도 측정 · 자성대, 신감 만, 우암 터미 널 등에서 적용 검토 중
효과	· 연료 소비 감소 · 소음, 오염물 배출 유지보수, 연료 보충횟수 감소	· 연료 소비 감소 · 대기 오염, 유지보수 감소	· 엔진 성능 향상 · 기계 수명 증가 · 대기 오염 감소	· 연료 소비 감소

2. 에너지비용 절감 대안 및 효과분석

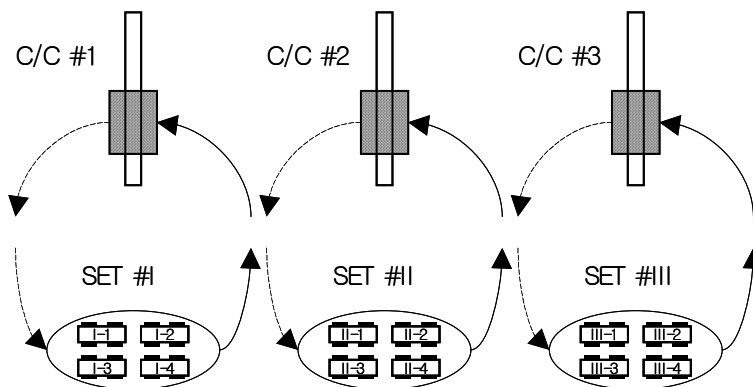
1) 운영(Operation)

(1) 야드트럭 폴링운영제

① 개요

일반적으로 컨테이너터미널에서 안벽과 야드간의 컨테이너 운반작업에 있어 이송장비에 대해 고정할당방식(Static Assignment Method, SA)을 채택하고 있다. 이는 다수의 이송장비를 하나의 작업조로 편성하여 특정 C/C에 대해 전담 지원하는 방식이다.

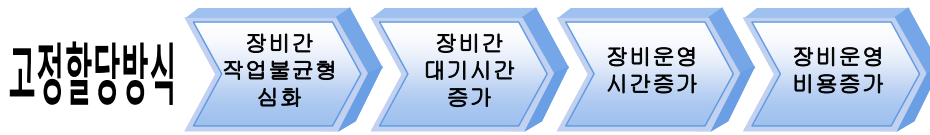
<그림 4-5> 이송장비 고정할당방식 개념도



이러한 방식하에서는 특정한 이송장비는 하나의 안벽장비에 대해서만 지원작업을 하기 때문에 작업융통성이 떨어질 뿐만 아니라 장비상호간의 작업사이클의 불균형이 심화되는 현상을 초래한다. 장비상호간의 작업사이클의 불균형은 곧 장비간의 대기시간을 증가시키는 요인으로 작용하며, 이는 결국 동일한 작업량을 처리하는 데 있어 이송장비의 운영시간을 증가시켜 이에 필요한 각종 운영비(연료비)의 부담이 증가하는 현상을 발생시킨다.

<그림 4-6>

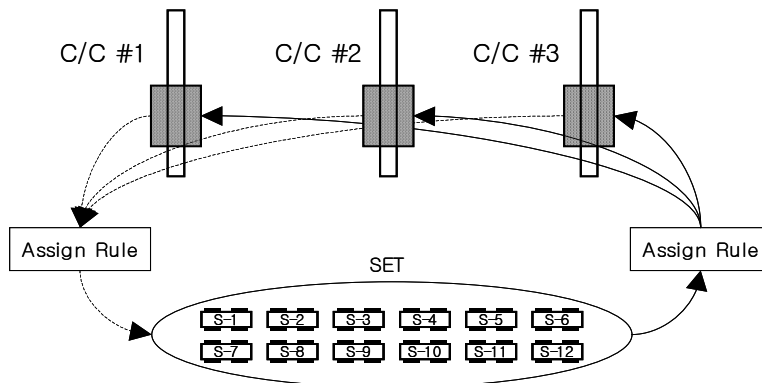
고정할당방식과 이송장비 운영비용 관계



이러한 단점을 보완하기 위해 이송장비의 할당방식으로 동적(Dynamic Assignment Method, DA)으로 할당하는 풀링운영제(Pooling System)를 들 수 있다. 풀링방식은 이송장비에 대해 작업조를 편성하지 않는 방식으로 운행상황이나 C/C의 작업상황에 따라 선별적으로 C/C 작업을 지원하는 방식이다.

<그림 4-7>

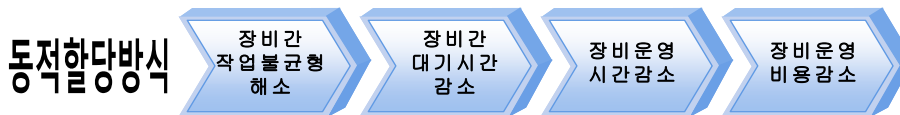
이송장비 동적할당방식 개념도(풀링)



특히, 선박의 양·적하작업시 C/C의 작업상황에 따라 이송장비의 배차를 동적으로 할당하기 때문에 안벽작업의 지원에 융통성을 발휘할 수 있어 작업시 이송장비의 대기시간을 줄일 수 있으므로 총작업시간의 단축을 기대할 수 있다. 따라서, 작업시간 단축으로 인한 이송장비의 운영비용을 상당부분 절감할 수 있는 효과를 가지게 된다.

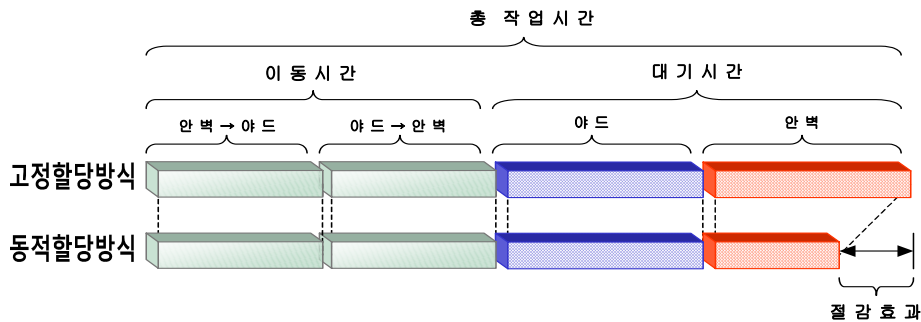
<그림 4-8>

동적할당방식과 이송장비 운영비용 관계



이송장비의 작업에 대해 각 작업단계별 시간구성을 보면, 안벽과 야드간의 운행 횟수와 운행거리는 총작업물량과 야드작업지점이 동일할 경우에는 2가지 할당방식 모두 동일한 이동시간을 가지게 된다. 그러나 안벽과 야드에서의 대기시간은 안벽처리능력과 야드처리능력에 따라 달라질 수 있다.

<그림 4-9> 할당방식에 따른 이송장비 작업시간 절감효과



특히 안벽에서의 대기시간은 안벽작업상황을 고려한 동적할당이 기존의 고정 할당에 비해 상당부분 유리한 방식이기 때문에 대기시간 절감효과를 기대할 수 있다. 따라서 이송장비의 총 작업시간이 단축되며, 이로 인해 이송장비의 운영비용을 절감할 수 있다.⁷⁾

다음으로, 이러한 이송장비의 동적할당에는 여러 가지 방법이 있을 수 있다. 이에 대해 본 연구에서는 다음과 같이 4가지 할당전략을 대안으로 제시하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

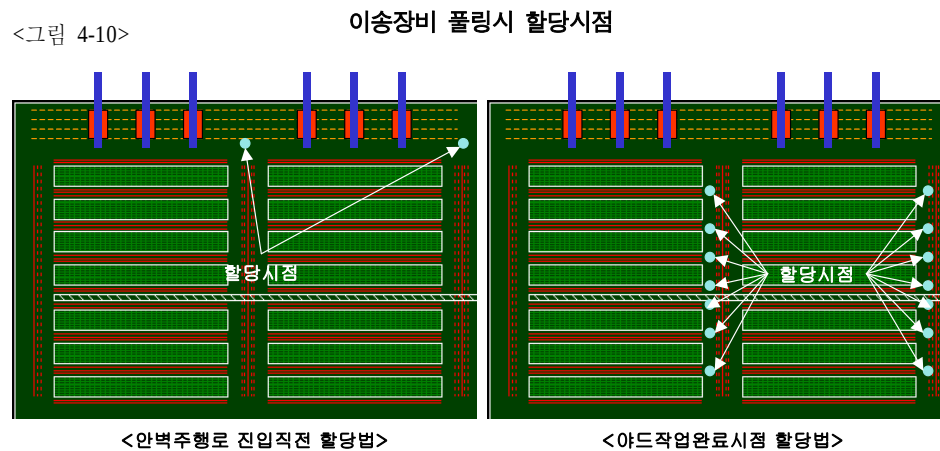
<표 4-3> 동적할당유형

유형	내용
대안 I	할당시점에 C/C의 번호에 따라 순차적으로 이송장비를 할당하는 방식
대안 II	할당시점에서 C/C의 이송장비대기시간이 가장 큰 C/C에 이송장비를 할당하는 방식
대안 III	할당시점에 C/C의 이송장비대기시간(최대)과 이송장비할당대수(최소)를 고려하여 할당하는 방식
대안 IV	할당시점에 C/C생산성이 가장 낮은 C/C에 이송장비를 할당하는 방식

7) 야드의 처리능력이 안벽의 처리능력보다 클 경우에는 2가지 할당방식에서 야드대기시간은 동일하다고 할 수 있음.

4가지 할당전략에서 대안 I의 경우는 할당시점에 기준값으로 C/C의 번호만을 참조하여 할당하는 전략으로 가장 적용하기가 쉽고 신속한 할당이 이루어질 수 있는 장점을 가진다. 그러나 나머지 할당전략의 경우에는 C/C의 현재 작업상태에 대한 실시간 상세정보가 필요하기 때문에 이를 지원하는 시스템이 터미널의 운영 시스템에 갖춰질 필요가 있다.⁸⁾

한편, 할당시점에 있어서는 2가지 방법이 있을 수 있다. 하나는 이송장비가 야드작업을 완료한 시점이며, 또 다른 하나는 야드작업을 완료한 이후 안벽으로 회차하여 안벽주행로에 진입하기 직전의 시점이다. 이 중 야드작업을 완료한 시점보다는 안벽주행로에 진입하기 직전을 할당시점으로 정의하는 것이 좀 더 원활한 배차방식이라 할 수 있겠다.⁹⁾



이상의 고정할당과 동적할당전략 간의 운영비용을 상호 비교 분석하기 위해서는 이송장비의 안벽대기시간을 산출해야 한다. 이러한 대기시간을 산출하기 위해서는 터미널 하역시스템의 특징을 반영한 실험적 분석이 필요하며, 이에는 시물레

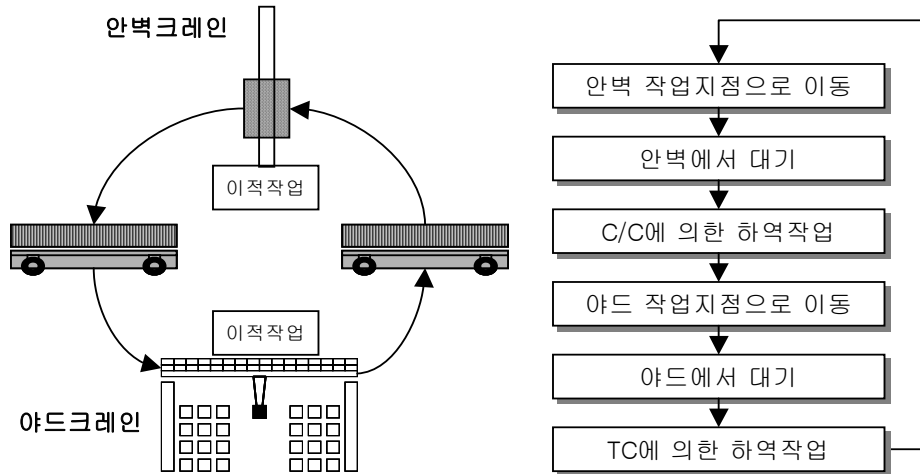
8) 대안 I의 경우에는 순차적으로 C/C번호를 참조하면 되기 때문에 특별한 지원시스템을 필요로 하지 않지만, 나머지 대안Ⅱ~Ⅳ의 경우 현재 작업중인 C/C에 대한 실시간 작업정보가 제공되어야만 할당을 할 수 있음.

9) 이송장비들의 야드작업지점은 매번 달라지는 특징이 있으며, 이는 안벽으로 최종 복귀하는 시간이 야드작업지점에 따라 달라짐을 의미함. 따라서, 정확한 배차를 위해서는 야드작업 완료시각보다는 안벽 진입로에 도착하는 시각으로 할당시점을 정의하는 것이 타당할 것으로 판단됨.

이전방법이 매우 유용하게 적용될 수 있다.

그리고 시뮬레이션 수행을 위한 모델을 설계하는 데 있어서는 이송장비의 하역 작업시 안벽과 야드에서의 컨테이너 장비간 컨테이너 이적작업 상황과 각 대기상황을 모두 묘사할 수 있는 방법이 강구되어야 할 것이다.

<그림 4-11> 이송장비 시뮬레이션 모델 개념도



마지막으로 실험에 의해 안벽과 야드의 대기시간을 산출하고 이를 비용으로 환산하여 2가지 할당전략간의 운영비를 상호 비교함으로써 이송장비 폴링 도입에 따른 터미널 비용절감효과를 산출해 낼 수 있다.

② 야드트럭 폴링운영제 적용 효과

야드트럭 폴링운영제를 적용할 경우 기대할 수 있는 에너지 비용절감효과는 C/C의 작업생산성 향상으로 인한 야드트럭의 유류비이며, 추가로 야드트럭의 투입대수를 절감할 수 있는 효과가 있다고 하겠다.

에너지 비용절감 측면에서 보면, 폴링운영제를 적용함으로써 C/C 작업생산성이 향상되고 선박하역작업시간이 단축될 수 있다. 보통 야드트럭 운영에 폴링을 적용할 경우 15% 내외의 C/C 작업생산성 향상을 기대할 수 있으며,¹⁰⁾ 선박하역시간

10) 신선대터미널의 경우 기존의 C/C당 4~5대의 YT 조별투입에 비해 폴링을 적용하였을 경우 YT 1~2대의 대수절감효과가 있는 것으로 나타났음. 이를 토대로 C/C의 순작업생산성은 간접적으로 평균 15% 내외의 향상효과가 있는 것으로 조사됨.

단축으로 인해 야드트럭의 연료비(공회전비)를 절감할 수 있다.

컨테이너 1천개 작업을 기준으로 야드트럭 풀링을 적용할 경우를 가정해 보면 연료비(공회전비)에 있어 39,168원의 비용절감효과가 있는 것으로 계산된다. 또한, 이를 기준으로 터미널의 연간처리물량으로 연료비 절감액을 산정하면, 연간 100만TEU를 처리하는 터미널의 경우 2,448만원의 야드트럭 유류비를 절감할 수 있다.

<표 4-4> 야드트럭 풀링에 따른 유류비(공회전) 절감효과

구분		YT	DSV
시뮬레이션 분석조건		- 안벽길이 350m, - C/C대수: 4대, - YT대수: C/C당 4대(총 16대)	- 야드길이: 600m - TC대수: 8대
총처리물량		1,000개	
C/C순작업생산성 ¹¹⁾		32.0개/시간	36.8개/시간(15% △)
총작업소요시간		7.81시간	6.79시간
상대비교		-	1.02시간 ▼
절감 효과	산정식	절감시간×총차량대수×시간당유류비×시간당사용량	
	절감	$= 1.02 \times 16 \times 1,200 \text{원} \times 2 \ell$ $= 39,168 \text{원}$	

* 공회전소모량(대형차 기준): 2 ℓ/hr, 연료비 1,200원/ℓ

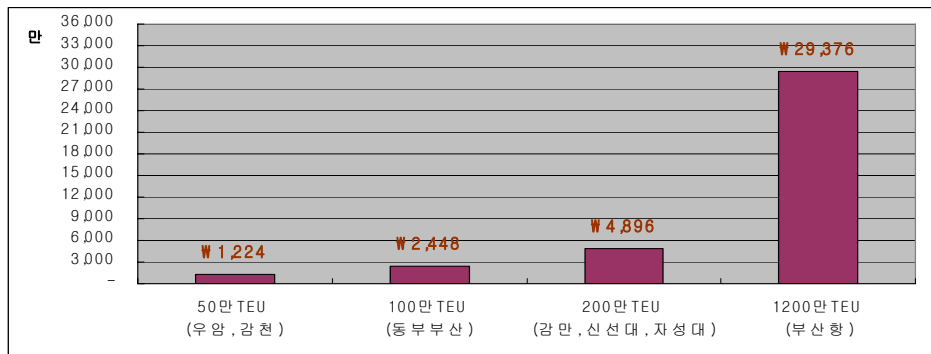
<표 4-5> 야드트럭 풀링에 따른 터미널 유류비(공회전) 절감효과

구분	연간처리물량	연간절감액	비고
Case 1	50만 TEU	1,224만원	우암, 감천
Case 2	100만 TEU	2,448만원	동부부산
Case 3	200만 TEU	4,896만원	감만, 신선대, 자성대
Case 4	1,200만 TEU	29,376만원	부산항(2006)

* TEU/Box 비율: 1.6, 공회전소모량: 2 ℓ/hr, 연료비 1,200원/ℓ

11) 신선대 터미널 운영실적에 기준하여 적용한 값임.

<그림 4-12> 야드트럭 풀링에 따른 터미널 유류비(공회전) 절감효과



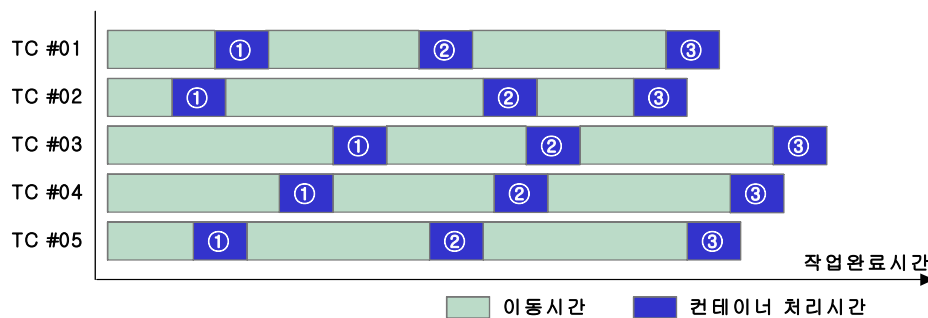
한편, 야드트럭 풀링은 동일한 수준의 C/C 작업생산성을 달성하는 데 있어 기존에 비해 선석당 1~2대의 야드트럭의 연료비를 절감할 수 있는 효과를 가지기 때문에 이에 따른 유지·보수비용의 일부를 줄일 수 있다.

(2) 야드크레인 작업동선최소화

① 개요

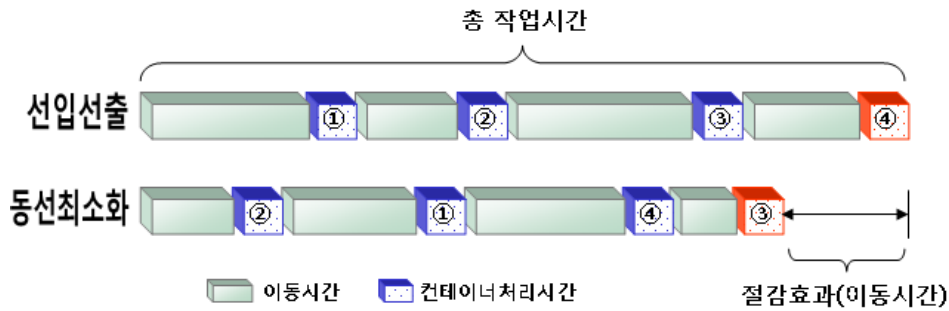
터미널 하역작업에 있어 이송장비 다음으로 가장 작업동선비율이 큰 것이 야드크레인(Transfer Crane, TC)의 하역작업이다. TC의 경우 작업에 소요되는 시간은 □□이동시간+컨테이너 처리시간□□으로 구분할 수 있는데, 이 경우 컨테이너 처리 시간은 모든 TC에 대해 동일한 소요시간이 발생하지만, 목표지점까지의 블록이동, 베이이동은 각 TC의 현위치에 따라 달라지게 된다.

<그림 4-13> 터미널 야드크레인 하역작업시간



<그림 4-14>

야드크레인 동선최소화에 따른 비용절감효과

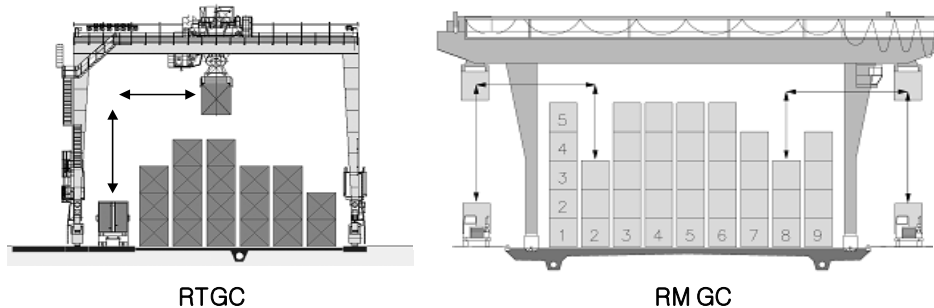


따라서, 가급적 목표지점까지 이동하는 데 소요되는 시간이 최소가 되는 위치에 있는 TC에 작업을 배정함으로써 야드크레인의 동선을 최소화하고 이동에 따른 연료비용을 절감할 수 있는 방안을 모색할 필요가 있다.

일반적으로 터미널의 TC는 크게 2가지 종류가 사용되고 있는데, RTGC의 경우에는 작업지점에 따라 수평 및 수직이동이 가능하지만 수직이동시에는 상당히 많은 시간과 비용이 발생하기 때문에 가급적 수직이동이 배제된 작업할당이 이루어질 때 이동에 따른 연료비용을 절감할 수 있다. 이에 반해, RMGC의 경우는 수평이동만 가능하므로 이에 맞는 작업할당이 이루어져야 한다.

<그림 4-15>

터미널 야드크레인 유형(RTGC vs RMGC)

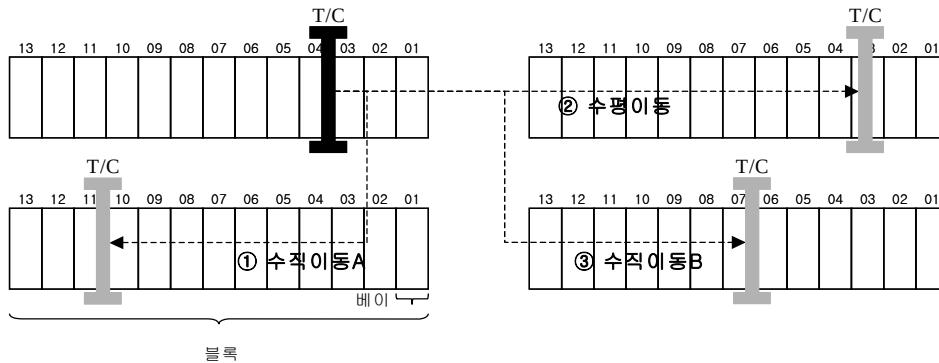


따라서, 동일한 작업을 처리하는 데 있어서 TC의 이동거리를 최소화하도록 야드에 배치된 다수의 T/C에 대한 위치정보를 참조하여 효율적인 작업배정을 함으로써 전체 T/C의 총이동거리를 단축시킬 수 있고, 이에 따른 비용을 절감할 수 있게 된다.

<표 4-6> 야드크레인 유형별 이동형태

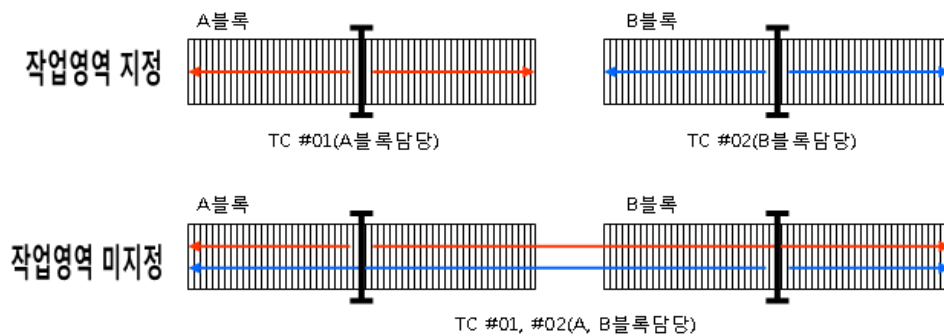
구분	장비유형		비고
	RTGC	RMGC	
수평이동	가능	가능	안벽을 기준으로 수평으로 주행
수직이동	가능	불가	안벽을 기준으로 수직으로 주행

<그림 4-16> 터미널 야드크레인의 이동형태



일반적으로 터미널에서 야드작업을 운영하는 방안에는 각 TC마다 작업영역을 사전에 지정하는 방안과 작업영역을 특별히 지정하지 않는 방안 2가지를 들 수 있다. 작업영역을 지정하지 않는 경우에는 신규작업이 발생할 때마다 가장 효과적으로 해당 작업을 처리할 수 있는 TC에 작업을 배정하게 된다.

<그림 4-17> 터미널 야드크레인 운영방안



이러한 2가지 야드운영방안에 따라 세부적으로 신규작업이 발생할 때 작업을 어느 TC에 할당할 것인가와 그 작업순서를 어떻게 결정할 것인가 하는 방법에 단일계획법과 재일정계획법 2가지 방법을 적용해 볼 수 있다. 이때, 야드크레인의 하역작업대상은 본선하역작업보다는 비본선작업에 대해서만 적용한다.¹²⁾ 이는 일반적으로 선박을 대상으로 하는 양·적하작업인 본선작업은 터미널에서 우선적으로 처리해야 할 하역작업이기 때문에 야드크레인의 이동거리 최소화보다는 야드작업생산성을 우선시하는 작업할당이 이루어져야 하기 때문이다.

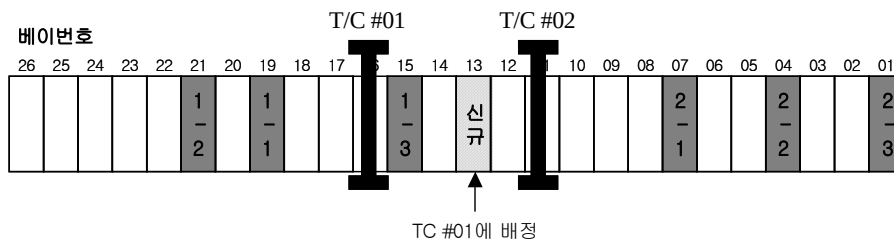
가. 단일 계획법

단일 계획법은 이미 TC 할당된 작업에 대해서는 작업순서를 그대로 유지하고 신규작업에 대해서 가장 최단거리에 위치한 T/C에 작업을 할당하는 방법이다. 이때, 최단거리의 기준은 각 TC의 마지막 작업이 완료된 위치와 신규작업 위치간의 TC이동소요시간이며, 이 이동시간이 가장 짧은 TC에 해당 신규작업을 할당하는 것이다.

이 방법은 각 TC별로 마지막 작업위치만을 참조하여 이동시간을 산정하기 때문에 최소한의 정보를 토대로 신속한 할당이 이루어질 수 있다. 또한, 선입선출(FCFS, First Come, First Service)의 작업순서를 유지하기 때문에 일반적인 서비스 정책에도 위배되지 않아 현 실무에 적용하기에도 큰 무리가 없는 방안이라 할 수 있겠다.

<그림 4-18>

단일계획법 할당규칙



12) 일반적으로 야드크레인은 본선작업(양하, 적하)과 비본선작업(반입, 반출, 구내이적)을 모두 수행하나, 본선작업의 경우 기본적으로 우선 처리대상이므로 TC의 동선거리 최소화를 적용하기에는 무리가 있음. 따라서, TC의 동선거리 최소화는 비본선작업을 대상으로 하는 것이 타당하다고 판단됨.

단일계획법에 의한 TC 이동거리 산출과정

<표 4-7>

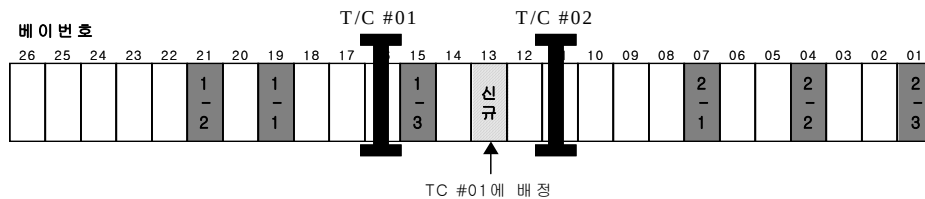
구분		TC #01	TC #02
1번째 작업위치		19번 베이	07번 베이
2번째 작업위치		21번 베이	04번 베이
3번째 작업위치		15번 베이	01번 베이
신규작업	이동거리	2개 베이 이동	11개 베이 이동
	할당여부	할당	-
TC별 이동거리		15개 베이 이동	10개 베이 이동
총 이동거리		25개 베이이동	

나. 재일정 계획법

재일정계획법은 앞서 설명한 단일계획법과 달리 기존의 작업순서에 대해서도 변경을 허용하면서 최단거리의 이동으로 할당된 모든 작업을 처리할 수 있는 순서를 결정하는 방법이다. 따라서, 신규로 발생한 작업의 위치에 따라 기존에 결정된 작업순서가 바뀔 수 있게 되나 실제 모든 작업을 처리하기 위해 최소한의 이동거리를 매번 재계획하기 때문에 가장 좋은 작업순서를 결정할 수 있다.

<그림 4-19>

재일정계획법 할당규칙



이러한 재일정 계획법은 세부적용에 있어서는 2가지 형태로 나눌 수 있는데, 우선 신규작업을 단일계획법에 의해 특정 TC에 배정한 후 배정된 TC를 대상으로 재일정계획을 수립하는 것과, 모든 TC에 대해 신규작업을 각각 적용하여 재일정계획을 수립한 후 이 중 TC의 이동거리가 가장 최소가 되는 할당방법을 선택하는 것이다. 전자의 경우 해를 구하는 시간이 상당히 빠른 반면, 후자의 경우는 모든 TC에 대해 재일정계획을 수립해 보아야 하므로 상당한 계획시간을 요구하게 된다. 따라서, 현장의 실시간 적용을 위해서는 계획수립시간의 정도를 충분히 고려해야 할 것이다.

<표 4-8> 단일계획법을 적용한 재일정계획법의 TC 이동거리 산출

구분	TC #01	TC #02
재일정계획수립	신규작업할당	-
	15⇒13⇒19⇒21	07⇒04⇒01
1번째 작업위치	15번 베이	07번 베이
2번째 작업위치	13번 베이	04번 베이
3번째 작업위치	19번 베이	01번 베이
4번째 작업위치	21번 베이	11개 베이이동
TC별 이동거리	11개 베이이동	10개 베이 이동
총 이동거리	21개 베이이동	

단일계획법과 재일정계획법을 상호 비교하면 앞의 예제에서 TC의 총 이동거리의 합은 단일계획의 경우 25베이, 재일정계획의 경우 21베이가 되어 작업에 투입된 TC의 총 이동거리면에서 재일정계획이 4베이간 이동이 절감되어 이 경우 재일정계획법에 의한 할당전략이 TC의 이동거리측면에서 약 26% 정도의 절감효과가 있다고 할 수 있다.

<표 4-9> 단일계획법 vs 재일정계획법의 TC 총 이동거리 비교

구분	단일계획법	재일정계획법
TC 총이동거리	25개 베이	21개 베이
상대비교	100	84

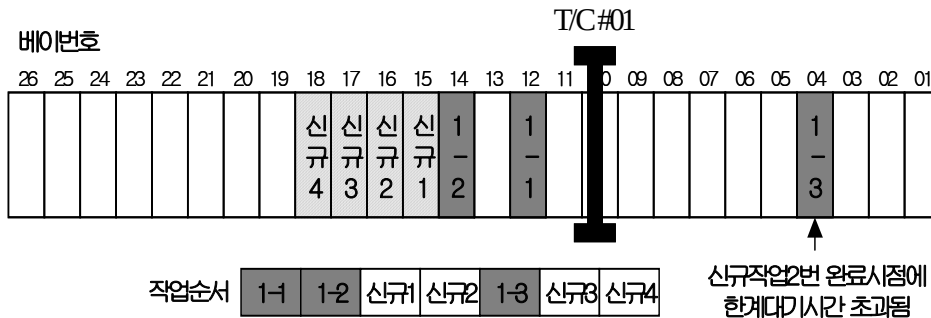
앞서 설명한 바와 같이 신규작업이 발생할 때마다 계획을 다시 수립해야 하는 재일정계획법은 모든 TC에 대한 작업 정보를 참조해야 하는 부담이 있으며, 재계획 수립을 위한 시간도 많아지게 되는 단점을 가지고 있다. 또한, 일반적인 서비스 정책인 선입선출의 규칙이 무시될 수도 있을 뿐 아니라 상황에 따라서는 무한대기 되는 작업대상이 발생할 수 있기 때문에 현장 적용시 이점을 충분히 고려해야 할 필요가 있다.¹³⁾

13) 재일정 계획법을 실제 현장에 적용하더라도 무한대기 되는 작업이 발생할 경우는 거의 없

다. 한계대기시간을 고려한 재일정 계획법

한계 대기시간 재일정 계획법은 앞서 설명한 재일정 계획법의 단점을 보완한 방법으로 무한대기하는 작업이 발생하지 않도록 일정시간 대기시간이 초과되면 선입선출의 규칙을 적용하는 방안이다.

<그림 4-20> 한계대기시간을 고려한 재일정계획법 할당규칙



다시 말해, 사전에 한계대기시간을 설정하고 대기중인 작업목록 중에 대기시간이 이 한계대기시간을 초과하게 되면 해당 작업에 대해서는 재일정계획과는 무관하게 선입선출의 원칙을 부여하여 작업순서를 최우선으로 배정한다. 이렇게 함으로써 대기중인 작업대상 중 무한대기를 하는 경우를 방지할 수 있으며, 터미널의 입장에서도 한계대기시간이 허용하는 범위내에서 TC의 이동을 최소화하면서 야드작업을 할 수 있다.¹⁴⁾ 보통, 한계대기시간을 적용할 경우에는 TC의 이동거리가 한계대기시간을 적용하지 않은 경우보다 길어지게 된다. 그러나 한계대기시간을 어느 정도 설정하는 것이 유리한가에 대해서는 터미널마다 반출입서비스 수준을 어느 정도 책정할 것인가에 따라 달라질 수 있다.

을 것으로 판단되지만 작업물량이 폭주할 경우 상당부분 특정 작업에 대해서는 대기시간이 매우 길어질 가능성이 있을 수 있음.

- 14) 한계대기시간의 설정값에 따라 TC의 작업계획이 단일계획법이나 재일정계획법을 적용한 것과 같아질 수 있음. 예를 들어 한계대기시간이 0이면 단일계획법이, 무한대(∞)이면 재일정계획법과 동일한 효과를 가짐.

<표 4-10> 한계대기시간을 적용한 재일정계획법의 TC 이동거리 산출

구분	작업내용	한계대기시간 초과 작업여부
1번째 작업	12번 베이	없음
2번째 작업	14번 베이	없음
3번째 작업	15번 베이(신규 1)	없음
4번째 작업	16번 베이(신규 2)	없음
5번째 작업	04베이	1-3작업
6번째 작업	17번 베이	-
7번째 작업	18번 베이	-
총 이동거리	한계대기시간 미적용	22개 베이 이동
	한계대기시간 적용	32개 베이 이동

② 야드크레인 작업동선최소화 적용효과

야드크레인의 경우 컨테이너의 조작 및 이동에 연료를 소비한다. 통상적으로 컨테이너의 장치 및 추출의 컨테이너 조작작업은 기본적인 작업이므로 연료절감이 용이하지 않으나, 작업을 위한 이동하는 거리는 터미널의 장치계획이나 크레인의 작업스케줄에 따라 상당부분 절감할 수 있다.

야드크레인의 하역작업 중 반출입작업의 경우 선입선출의 작업스케줄로 운영되는 것이 일반적이지만 이 방식은 크레인의 이동거리가 높다는 단점을 가진다. 이에 비해 재일정계획법은 야드크레인의 평균 이동거리를 단축시키는 효과가 있기 때문에, 이동거리 단축에 따른 유류비 절감효과를 거둘 수 있다.

<표 4-11> 선입선출 vs 재일정계획법 적용시 크레인 이동거리 비교

구분	선입선출	재일정계획법
대상블록	45개 베이	
평균이동거리	15.4베이	8.4베이
상대비교	100%	54.5%

야드크레인의 작업스케줄링에 대한 상위 2가지 방식에 대해 반출입트럭 10,000대를 대상으로 시뮬레이션 분석한 결과 재일정계획법의 경우 선입선출에 비해 컨테이너

1개를 처리하는 데 있어 평균이동거리는 54.5%수준에 불과한 것으로 산출되었다. 따라서, 평균이동거리 단축에 따른 유류비 절감액을 연간처리물량으로 계산하면 100만TEU를 처리하는 터미널의 경우 연간 1,689만원의 비용을 절감할 수 있다.

<표 4-12> 야드크레인 이동거리 단축에 따른 비용절감효과

구분		산출값
연간처리물량		100만TEU(수입:수출:환적=25%:25%:50%)
연간트럭대수		468,750대
야드크레인 총이동거리	선입선출	7,235,410베이(46,582km, 31,055 ℓ)
	재일정법	3,954,443베이(25,459km, 16,973 ℓ)
유류비용	선입선출	₩ 37,265,600
	재일정법	₩ 20,367,200(▼₩ 16,898,400)

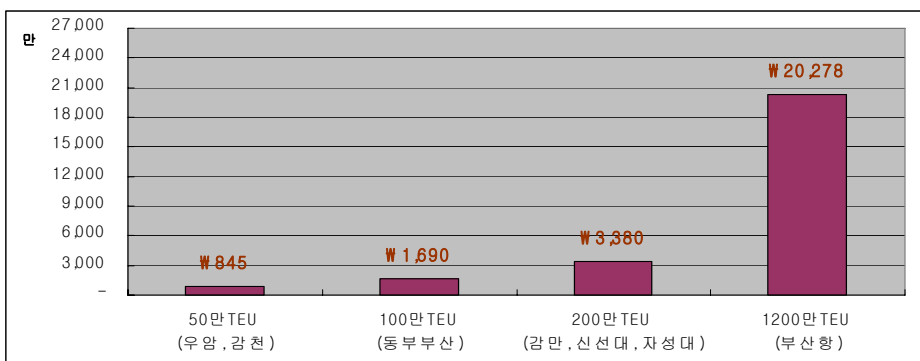
* TEU/Box 비율: 1.6, 연비: 1.5km/ℓ, 연료비 1,200원/ℓ, 베이길이: 6.438m

<표 4-13> 야드크레인 동선단축에 따른 터미널 유류비 절감효과

구분	연간처리물량	연간절감액	비고
Case 1	50만 TEU	845만원	우암, 감천
Case 2	100만 TEU	1,690만원	동부부산
Case 3	200만 TEU	3,380만원	감만, 신선대, 자성대
Case 4	1,200만 TEU	20,278만원	부산항(2006)

* TEU/Box 비율: 1.6, 공회전소모량: 2ℓ/hr, 연료비 1,200원/ℓ

<그림 4-21> 야드크레인 동선단축에 따른 터미널 유류비 절감효과



(3) 2단적재차량 도입

① 개요

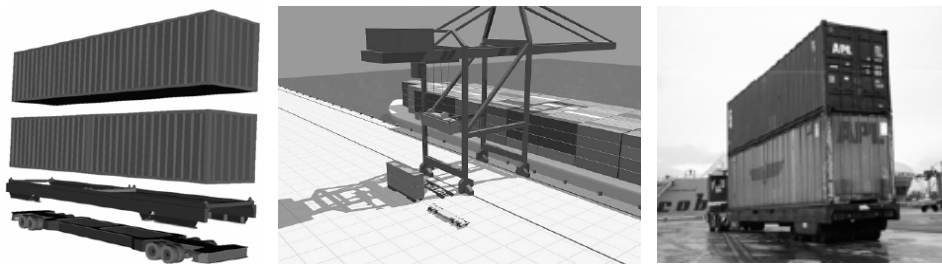
2단적재차량(Double Stack Vehicle, DSV)은 일반 야드트럭에 비해 적재용량이 2배가 된다. 야드트럭의 경우에는 한번에, 20피트 2개 또는 40피트 1개를 운반할 수 있으나, 2단적재차량은 이의 2배인 20피트 4개 또는 40피트 2개를 동시에 운반할 수 있다.

산술적인 측면에서 보면, 2단적재차량이 일반 야드트럭에 비해 동일한 물량의 컨테이너를 안벽에서 야드로 운반하는 데 1/2 수준의 운반거리를 가지기 때문에 연료비에 있어서도 50%의 비용을 절감할 수 있다. 다만, 중량에 따른 연료소비량을 고려하면 실제 절감비용은 50%보다 낮을 수 있으나, 2단적재차량을 이용함으로써 동일한 작업물량을 처리하는 데 드는 상당부분의 차량동력비를 절감할 수 있다는 측면에서 에너지 절감효과가 높은 대안이라고 할 수 있겠다.

또한, 2단적재차량을 사용함으로써 하역시간을 일부 단축시킬 수 있는 효과가 있을 수 있으며, 이송장비의 전체 작업시간 중 운행시간비율이 높을수록 그 효과가 증가하는 특징을 가지고 있다.¹⁵⁾ 물론, 적정운행대수 수준에서 대수절감효과도 추가로 기대할 수 있다.

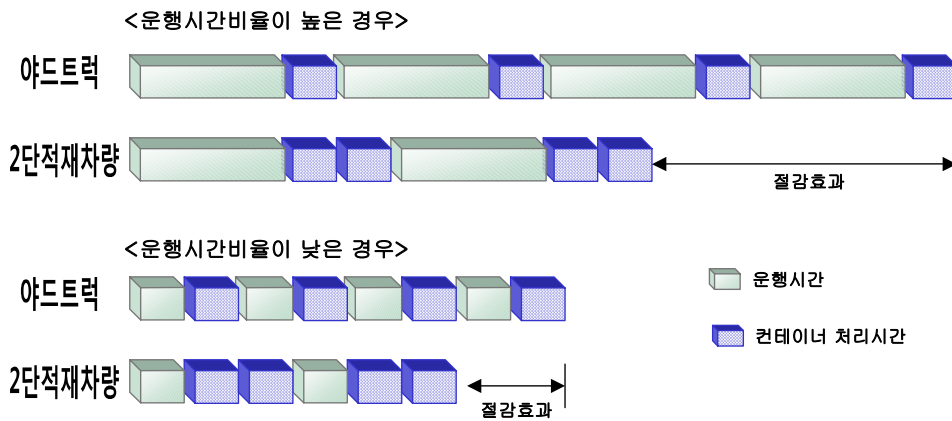
<그림 4-22>

2단적재차량 기능



15) 하역시간을 단축하면 이송장비를 작업에 투입하는 데 드는 관련 제비용을 줄일 수 있기 때문임. 이는 작업에 투입된 이송장비는 작업투입시간 동안 엔진을 구동시킨 상태에 있으므로 이에 따른 연료소비가 발생함.

<그림 4-23> 2단적재차량 적용시 운행거리 및 하역시간 절감효과



이상의 내용에서 실제 터미널 하역작업시 2단적재차량을 활용함으로써 기대되는 이송장비의 운행거리와 하역시간 단축효과는 산술적인 방법과 시뮬레이션 방법을 활용해 볼 수 있으나, 좀더 유효한 값을 산출하고자 할 경우에는 시뮬레이션 방법이 유용할 것으로 판단된다. 이러한 방법을 통해 산출된 운영거리와 하역시간을 기준으로 2단적재차량 활용시 이송장비의 동력비 절감액 수준을 산정해 낼 수 있다.

② 2단적재차량 도입 효과

가. 운행거리 단축에 따른 에너지 절감

적재용량면에서 DSV는 기존 YT에 비해 2배의 용량을 가지므로 주행거리에 따른 연료사용을 1/2로 줄일 수 있다.

이송차량의 반복 주행구간은 안벽의 C/C와 야드 TC의 2지점으로, 1개 선석(350m), 수평배치형 터미널일 경우를 기준으로 하면, 1회 평균운행거리가 약 1,000m 정도가 되며, DSV는 그 절반 수준인 500m 정도의 주행거리로 계산될 수 있다.

다음 표의 예에서 보듯이, 처리해야 할 선박의 양적하 컨테이너 물량이 1,000개 일 경우에 기존 YT는 1,000km의 주행거리가 필요하다. 그러나 DSV는 500km만 소요되므로 선박의 양적하 작업에서 50% 정도의 차량 연료비를 절감할 수 있으므로 이를 단위당 비용인 1,200원으로 환산하면 1개 컨테이너 처리마다 600원의 연료비를 절감하는 효과가 있게 된다.

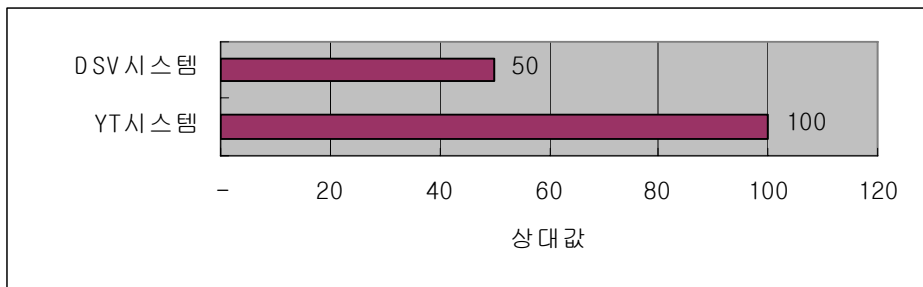
<표 4-14> YT와 DSV의 주행거리 비교예

구분	YT	DSV	비고
단위주행거리	≒1,000m	≒1,000m	C/C⇔TC 왕복거리
1회 운반량	1개	2개	40피트 기준
처리물량	1,000개	1,000개	양적하물량
운행횟수	1,000회	500회	왕복횟수
총주행거리	1,000km	500km	
비용 절감효과	100,000원 연료비절감		

* 차량 연료비: 1,200원/ℓ, 주행연비: 3.00km/ℓ

* 주) DSV의 경우 적재용량증가로 연비가 50% 증가되는 것으로 간주하였음

<그림 4-24> YT와 DSV의 주행거리 상대비교



다음 표는 DSV 도입시 비용 절감효과를 나타낸 것으로 연간 100만 TEU를 처리하는 터미널의 경우 6,250만원의 차량 연료비가 절감될 수 있는 것으로 계산된다. 이를 부산항의 연간처리물량인 1,200만(2006년)으로 산정하면 연간 총 7.5억원의 차량 연료비를 절감할 수 있게 된다.

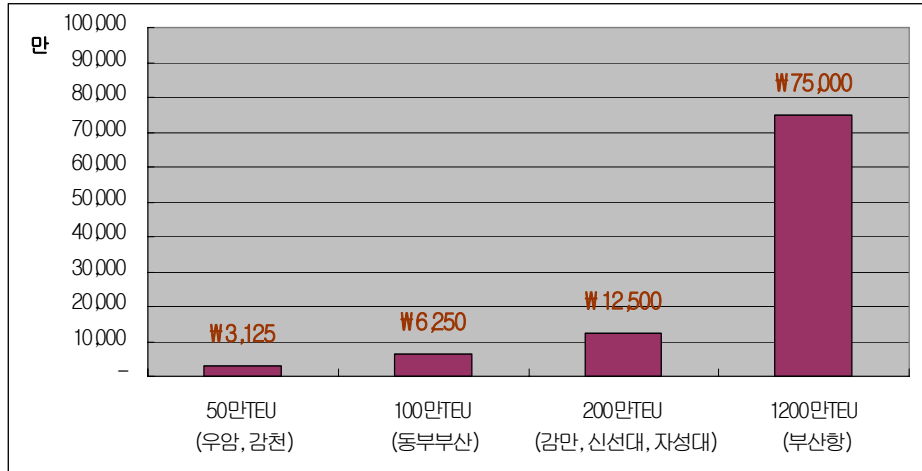
<표 4-15> DSV 도입에 따른 터미널 유류비(주행비용) 절감효과

구분	연간처리물량	연간절감액	비고
Case 1	50만 TEU	3,125만원	우암, 감천
Case 2	100만 TEU	6,250만원	동부부산
Case 3	200만 TEU	12,500만원	감만, 신선대, 자성대
Case 4	1,200만 TEU	75,000만원	부산항(2006)

* TEU/Box 비율: 1.6, 차량 연료비: 1,200원/ℓ, 주행연비: 3.00km/ℓ

이 외에도 빈번하게 발생하는 구내 이적작업 등에도 DSV를 활용할 수 있어 기존 YT에 비해 연료비를 절감할 수 있는 대안이라 할 수 있다.

<그림 4-25> DSV 적용시 터미널 유류비(주행비용) 절감효과



나. 작업시간 단축에 따른 에너지 절감

주행거리 단축과 동시에 DSV는 C/C의 작업생산성면에서 YT에 비해 유리하다고 할 수 있다. DSV를 적용하여 시뮬레이션을 한 결과를 정리해 보면, 기존 YT에 비해 C/C 순작업생산성이 28.9% 높으며 총작업시간이 단축되는 효과가 있다. 이것은 이송차량의 작업에 투입되는 가동시간이 절감되는 것으로 가동시간 절감에 따른 운영비의 절감효과를 기대할 수 있는 것이라 하겠다.¹⁶⁾

기존 YT의 경우에는 분석결과에서 C/C당 순작업생산성이 32.0개로 총물량 1,000개를 처리하는 데 4대의 C/C가 투입될 경우 7.81시간이 소요되는 것으로 나타났다. 그러나 DSV를 적용한 경우에는 4.97시간이 소요되어 약 2.84시간의 작업시간 단축 효과가 있었다. 이를 차량의 정차중 엔진가동으로 인해 발생하는 비용으로 환산하면 약 109,056원의 비용을 절감할 수 있다.

마찬가지로 이를 연간처리물량으로 환산하면 100만TEU를 처리하는 터미널의 경우 연간 6,816만원의 비용을 절감할 수 있다.

16) 차량의 경우 주행에도 연료가 소모되나 정차중에도 공회전으로 인한 연료 소모가 발생함. 따라서, 전체작업시간이 단축되면 이러한 연료소모비를 추가로 절감할 수 있음.

<표 4-16> YT와 DSV의 하역생산성 비교예

구분		YT	DSV
시뮬레이션 분석조건		- 안벽길이 350m, - C/C대수: 4대, - YT대수: C/C당 4대(총 16대)	- 야드길이 600m - TC대수: 8대
총처리물량		1,000개	
C/C순작업생산성 ¹⁷⁾		32.0개/시간	50.3개/시간
총작업소요시간		7.81시간	4.97시간
상대비교		-	2.84시간▼
절감 효과	산정식	절감시간×총차량대수×시간당유류비×시간당사용량	
	절감	$= 2.84 \times 16 \times 1,200\text{원}/\ell \times 2\ell$ $= \text{₩ } 109,056\text{원}$	

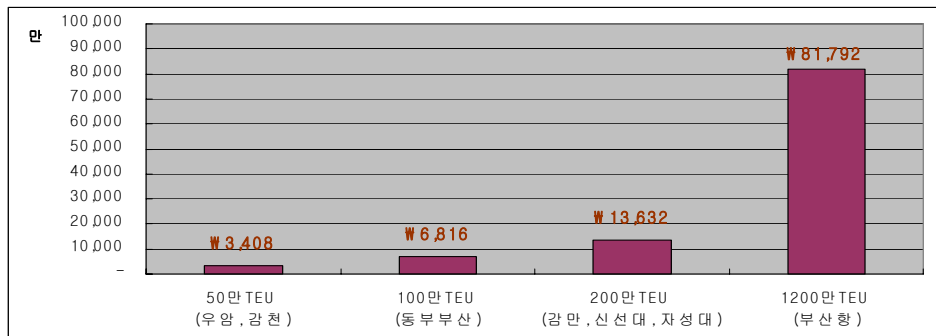
* 공회전소모량(대형차 기준): 2ℓ/hr, 연료비 1,200원/ℓ

<표 4-17> DSV 도입에 따른 터미널 유류비(공회전) 절감효과

구분	연간처리물량	연간절감액	비고
Case 1	50만 TEU	3,408만원	우암, 감천
Case 2	100만 TEU	6,816만원	동부부산
Case 3	200만 TEU	13,632만원	감만, 신선대, 자성대
Case 4	1200만 TEU	81,792만원	부산항(2006)

* TEU/Box 비율: 1.6, 공회전소모량: 2ℓ/hr, 연료비 1,200원/ℓ

<그림 4-26> DSV 적용시 터미널 유류비(공회전) 절감효과



17) 설계조건을 기준으로 시뮬레이션을 수행한 결과값임.

이상의 내용에서 기존의 야드트럭을 대체하여 2단적재차량을 이송시스템으로 도입할 경우에 주행거리와 하역시간단축에 따른 비용절감효과가 발생하며, 이는 연간 100만TEU를 처리하는 터미널의 경우 13,066만원의 비용을 절감할 수 있음을 의미한다.

<표 4-18> DSV 도입에 따른 터미널 유류비(주행거리+공회전) 절감효과

구분	연간처리물량	연간절감액	비고
Case 1	50만 TEU	6,533만원	우암, 감천
Case 2	100만 TEU	13,066만원	동부부산
Case 3	200만 TEU	26,132만원	감만, 신선대, 자성대
Case 4	1200만 TEU	156,792만원	부산항(2006)
실비율 반영 연간절감액		62,716만원	

* TEU/Box 비율: 1.6, 공회전소모량: 2ℓ/hr, 연료비 1,200원/ℓ DSV의 엔진동력 증가에 따른 에너지 소비계수 1.6 고려

(4) 컨테이너 재조작 감소

① 개요

컨테이너터미널에서 처리되는 모든 컨테이너는 야드에서 최소한 2번의 하역작업을 받게 된다.¹⁸⁾ 보통의 경우는 수입, 수출, 환적에 대해 최소 2회의 하역작업이 필요하며, 경우에 따라서는 재조작 등의 추가작업이 발생하며 그 횟수는 터미널 환경에 따라 다르게 나타난다.

수입컨테이너의 경우 양하, 반출시 2번의 TC작업이 발생하며, 수출컨테이너의 경우 그 반대인 반입, 적하작업, 환적컨테이너의 경우 양하, 적하 2회가 기본적으로 진행된다. 여기에 수입의 경우에는 해당 컨테이너의 반출을 위해 불가피하게 상단에 적재된 컨테이너를 재조작해야 할 경우가 발생하기 때문에 재조작 작업을 터미널 입장에서 통제하기란 매우 힘든 점이 많다.¹⁹⁾

18) 직반입 또는 직반출일 경우에는 터미널 내에서의 하역작업은 C/C에 의해서만 1회 발생하며, 야드에서의 하역작업은 없음.

19) 수입컨테이너의 경우 반출될 순서를 사전에 알 수 없으므로, 블록에 임의적으로 적재할 수밖에 없음. 따라서, 특별한 장치계획이나 적재순서가 무의미함.

<표 4-19>

터미널 야드에서의 하역작업 횟수

구분	기본작업횟수	추가작업횟수	총 작업횟수	처리물량
수입컨테이너	2회 (양하, 반출)	0.48 (재조작)	2.48	1TEU
수출컨테이너	2회 (반입, 적하)	0.08 (마샬링)	2.08	1TEU
환적컨테이너	2회 (양하, 적하)	0.86 (마샬링)	2.86	2TEU
평균			1.997회	

그러나 수출과 환적의 경우에는 적하순서에 맞게 컨테이너를 재정렬하거나, 사전에 장치순서를 결정하여 적재하는 경우가 대부분이므로, 이와 관련하여 TC의 작업횟수를 최대한 줄일 수 있는 작업계획을 수립하는 것이 불필요한 재조작작업에 따른 취급비용을 절감할 수 있는 방안이라 할 수 있다. 이에는 수리적 분석모델이 유용하게 적용될 수 있으며, 선박적부계획을 사전에 미리 확보할 수 있는 지원체제가 갖춰져 있어야 한다.

② 컨테이너 재조작 감소 효과

야드에서 발생하는 컨테이너 재조작의 경우에 소요되는 비용은 앞서 조사된 TEU당 연료소비량과 평균조작 횟수를 기준으로 산출할 수 있다. 국내 터미널의 경우 야드크레인의 TEU당 연료소비량은 약 1.01리터였으며, TEU당 1.997회의 조작이 이루어진 것을 감안하면, 1회 조작시 0.51리터의 연료를 소비하였다고 볼 수 있다.

<표 4-20>

컨테이너 재조작 감소에 따른 터미널 유류비 절감효과

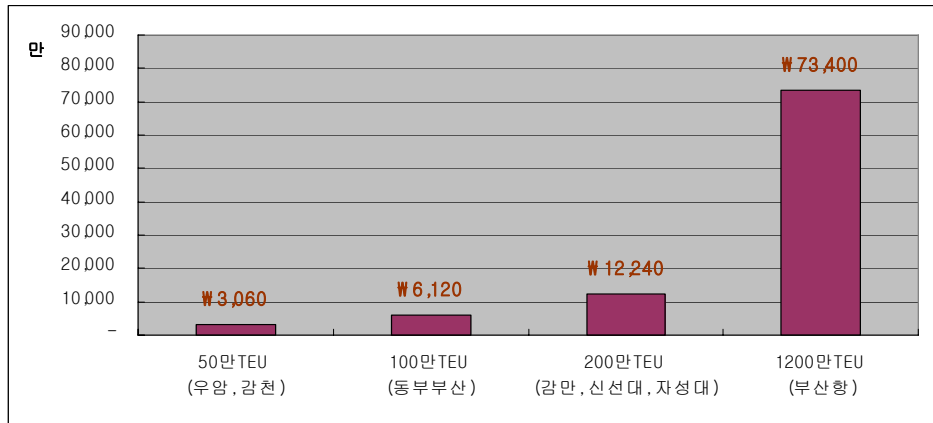
구분	연간처리물량	연간절감액	비고
Case 1	50만 TEU	3,060만원	우암, 감천
Case 2	100만 TEU	6,120만원	동부부산
Case 3	200만 TEU	12,240만원	감만, 신선대, 자성대
Case 4	1200만 TEU	73,400만원	부산항(2006)

* 재조작 횟수 0.1point 감소시 절감효과임

* 연료비: 1,200원/1회, 연료사용량: 0.51ℓ/TEU

이를 기준으로 하면 컨테이너의 평균 재조작 횟수를 0.1포인트 감소시킬 경우 연간 100만TEU를 처리하는 터미널의 경우 6,120만원의 비용을 매년 절감할 수 있고, 이를 부산항 전체로 보면 연간 73,400만원의 컨테이너 재조작에 따른 연료비를 절감할 수 있는 규모가 된다.

<그림 4-27> 컨테이너 재조작 감소(0.1point)시 유류비 절감효과



2) 장치(Device)

장치부분에서는 야드크레인(RTGC)의 에너지비용 절감을 위한 E-RTG와 에너지 세이빙 기술에 대해서 설명한다. E-RTG는 Electronic-RTG의 약자로 기존의 디젤엔진을 사용하여 동력을 발생시키는 방식을 전기 컨버터를 이용해서 동력을 전달하는 방식으로 개조하는 것을 말한다. 또한 에너지 세이빙 기술은 슈퍼 카파시터를 이용하는 방식, 플라이휠(Fly Wheel) 방식 및 변동 스피드(Variable Speed) 방식을 말한다.

(1) 외부전원 공급방식(E-RTG)

Electronic-RTG의 약어로 기존의 디젤방식의 RTG를 전기방식으로 변환하는 것을 말한다. 기존의 RTG는 야드운영시 유연성이 양호하고 장비가격이 상대적으로 저렴하여 초기 컨테이너터미널 개발 시 및 작업의 유연성이 필요한 경우 주로 사용되어 왔다. 그러나 최근의 고유가 및 환경오염문제가 대두됨에 따라 국내의 경

우 자성대터미널에서 기존의 디젤엔진식 RTG를 전기식 RTG로 2대 변경하여 사용하고 있다.

① 적용방식

E-RTG의 적용방식은 크게 케이블 릴 방식과 Bus-Bar 방식으로 나눌 수 있으며, 케이블 릴 방식은 케이블 트렌치 방식과 케이블 가이드 방식으로 나눌 수 있다.

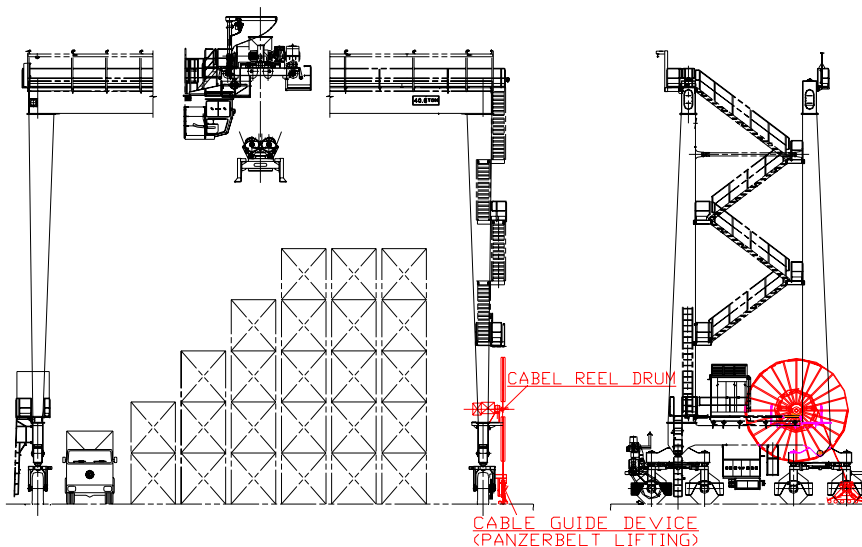
가. Cable Trench + Panzerbelt 방식

크레인 주행로와 차량의 통행로 전구간에 케이블 트렌치 및 판저벨트를 설치하는 방식으로 전구간에 판저벨트를 설치하므로 케이블 파워 보호 및 차량 이동이 용이하다. 또한 변전실에서 야드 전구간에 지중관로를 통한 파워케이블을 포설한다.

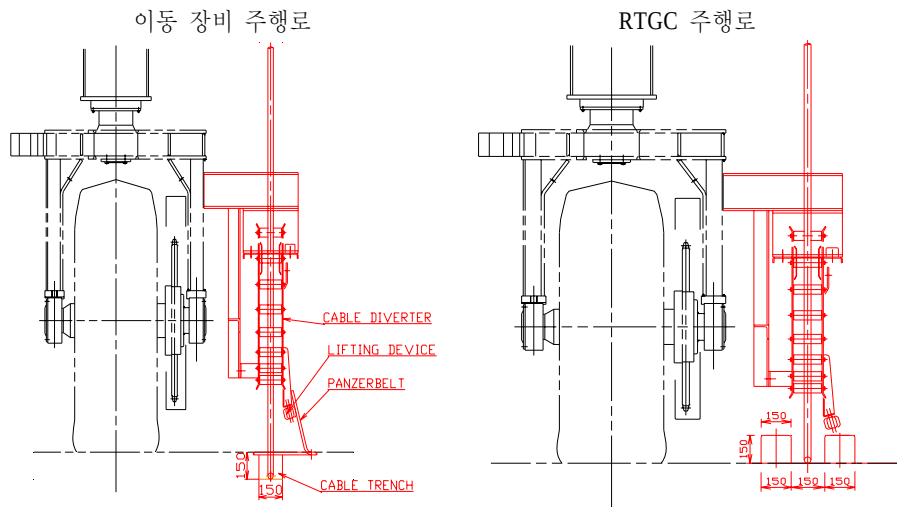
나. Cable Guide + Panzerbelt 방식

크레인 주행로에 케이블가이드를 설치하고 차량 통행로 구간에는 케이블 트렌치 및 판저벨트를 설치한다. 크레인 케이블 릴 장치쪽에는 차량이동이 없어 케이블 보호가 가능하고 차량통행로는 판저벨트 설치로 케이블 파워 보호 및 차량이동을 용이하게 한다. 또한 변전실에서 야드 전구간에 걸쳐 지중관로를 통한 파워 케이블을 포설한다.

트랜스퍼 크레인(RTG) 적용도(Cable Trench + Panzerbelt 방식,
Cable Guide + Panzerbelt 방식)
<그림 4-28>



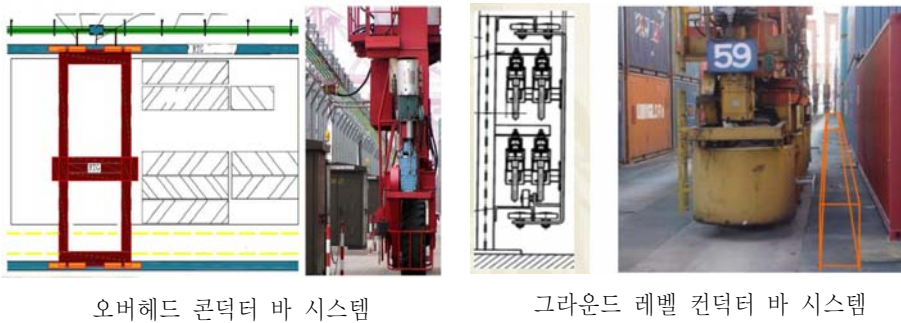
<그림 4-29> 트랜스퍼 크레인(RTG) 적용시 이동장비 주행로



다. Bus Bar 방식

야드에 가공으로 파워 송전용 철구조물과 Bus-Bar를 설치하는 방식으로 크레인 상부구조물에 사람키 높이보다 높거나 낮은 안전위치에 Bus-Bar를 설치한다. 야드 장비와 간섭이 우려되며 고압전류에 따른 위험성이 상존하며 변전실에서 레인과 워포인트마다 지중관로를 통한 파워케이블을 포설한다.

<그림 4-30> Bus Bar 방식의 E-RTG



오버헤드 콘덕터 바 시스템

그라운드 레벨 콘덕터 바 시스템

② 적용효과

기존에 사용하던 디젤식 RTGC를 전기식 E-RTGC로 변환하기 위해서는 전기와 관련된 기존터미널의 변전실 보강공사, 지중관로 및 픽업 맨홀공사 및 케이블 포설공사를 실시해야 한다. 또한 기존 RTGC의 개조를 위해서는 고압반 및 케이블릴 설치에 따른 비용이 추가되며, 토목 및 기타 케이블 트렌치 및 판저벨트 설치에 따른 비용이 필요하다. 이를 고려해서 개선 전·후의 유지보수비용(연간)과 비교하면 다음과 같다.

개선에 소요되는 공사비

<표 4-21>

단위 : 천원

구 분	개선내용	개선비용
전기	- 변전실 보강공사 - 지중관로 및 픽업 맨홀공사 - 케이블 포설공사 1식	2,694,500
RTGC개조 (20대)	- 고압반 및 케이블릴 설치 등 1식	3,600,000
토목및기타	- 케이블트렌치 및 판저벨트 설치등 1식	1,085,340
총비용	7,379,840	

자료 : BPA 내부자료

개선 전후 유비보수비용(연간) 비교

<표 4-22>

단위 : 천원

구분	전체유지비용	유지비용(연간)		절감액	비고
		개선전 (엔진)	개선후 (엔진)		
RTGC 수량	32	20	20	-	
유류(전기) 비용	3,692,152 (3,609,142Lt)	2,307,595 (2,255,714Lt)	346,139	1,961,456	예상
엔진(발전기) 유지비	241,000	150,625	-	150,625	
합계	3,933,152	2,458,220	346,139	2,112,081	

주 : 1) 유류(전기)비용은 유류금액 대비 전기사용금액을 15% 예상(4부두의 경우 유류대비 전기요금의 약 11% 예상)

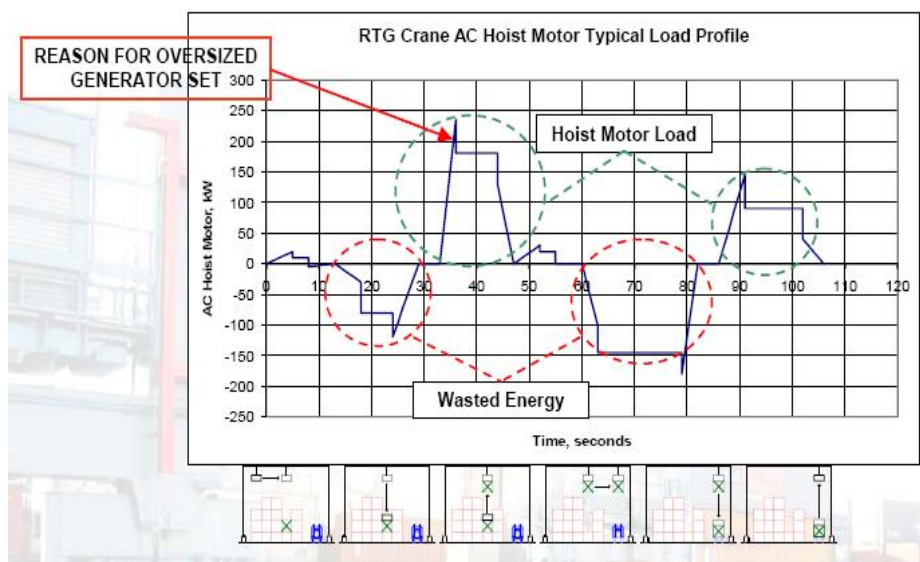
2) 유류사용량 및 엔진(발전기) 유지비는 2005년 RTGC 기준

RTGC 20대의 개선 전후의 유지비용을 비교하기 위해서 유류(전기)비용과 엔진(발전기) 유지비로 나누어서 구분하여 분석하면 연간 2,112,081천원이 절감되는 것으로 나타났으며, 유지보수 비용은 연간 약 86% 절감효과가 있어서 투입된 비용의 회수기간은 3년 6개월인 것으로 분석된다.

(2) 에너지 세이빙 기술

에너지 세이빙 기술은 기존의 동력방식을 디젤엔진에서 전기동력으로 변환하는 E-RTG와는 달리 디젤엔진의 연소효율을 향상시키거나 발생된 에너지를 저장하여 재사용하거나, 회생전력²⁰⁾과 같이 역으로 발생된 전류를 이용하는 방식과 엔진의 RPM을 효율적으로 제어하는 방식을 사용한다. 전통적인 RTG의 운영상황과 비교해서 보면 스프레다의 하강시 및 호이스트의 좌우 이동시 에너지의 낭비가 발생하는 것을 최소화하는 기술이다.

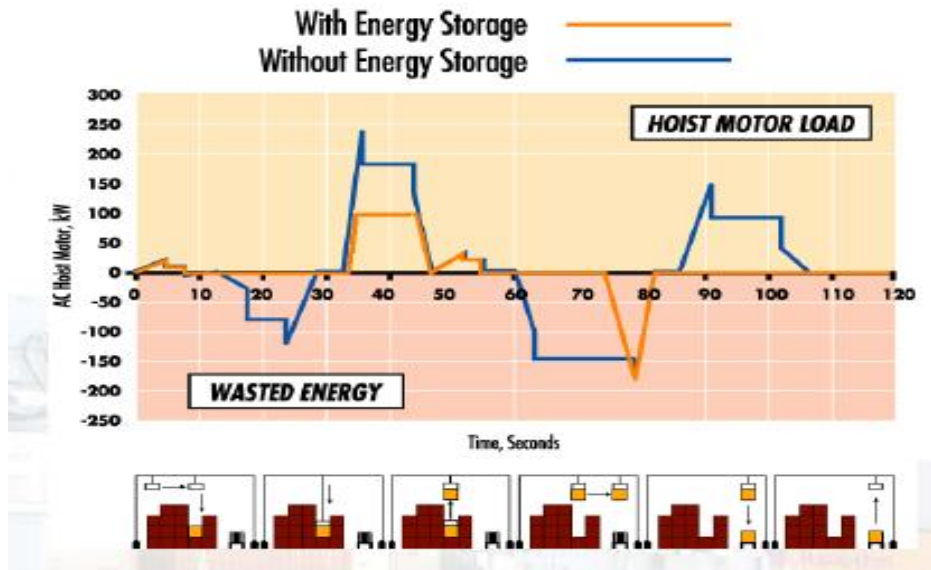
<그림 4-31> 전통적인 RTG 운영 사이클



자료 : Octavio solis, "The Role of Energy Storage to Reduce Fuel Consumption and Emissions", TOC Americas 2006

20) 크레인의 스프레다 하강시, 브레이킹 시 발생하는 역전류.

<그림 4-32> 전통적 방식과 에너지세이빙 방식의 운영사이클 비교

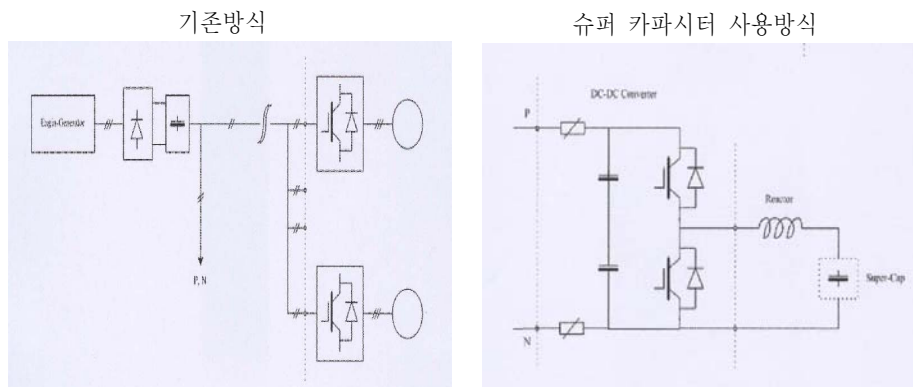


자료 : 상계서

① Super Capacitor

가. 개요

<그림 4-33> 기존 방식과 슈퍼 카파시터를 이용한 전기배선도



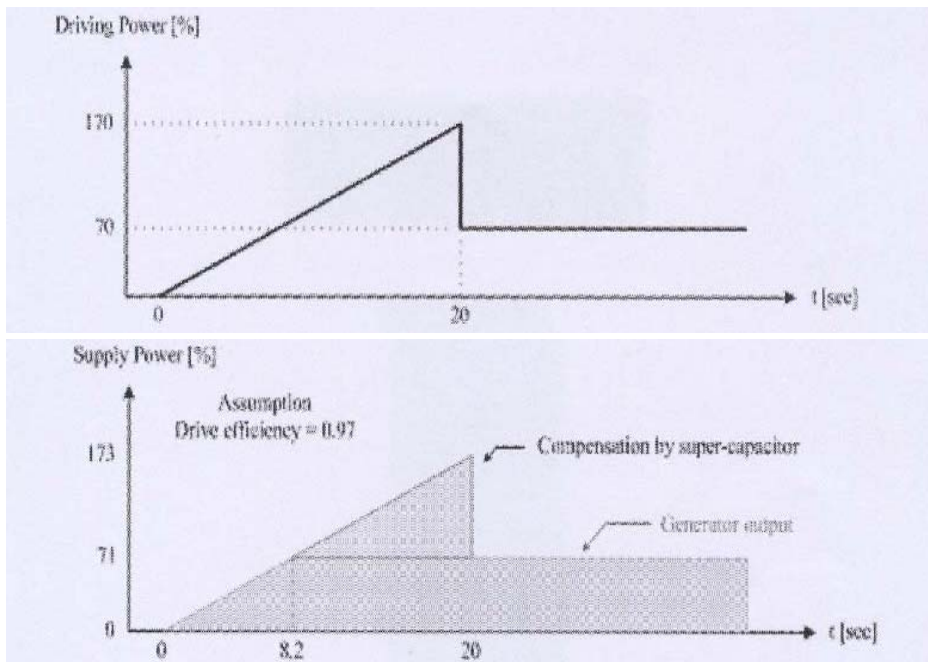
자료 : 김우선, “컨테이너 하역장비의 에너지 세이빙 기술 적용효과 분석”, 「월간 해양수산」, 통권 제262호, 2006. 7

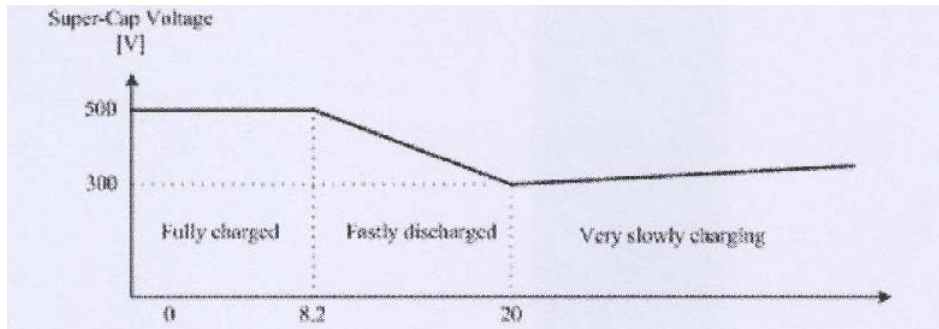
나. 슈퍼 카파시터 작동원리

기본적으로 하역장비가 움직이는 단계는 가속단계, 정속 또는 등속단계, 감속단계의 세 가지로 구분할 수 있다. 가속단계에서는 최대속도까지 도달하기 위해서 지속적인 동력의 증가가 필요하며, 일정속도에 도달하게 되어 정속단계에 도달하면 최대파워의 50% 이하의 동력으로 정속단계를 유지할 수 있게 된다. 따라서, 기존 방식에서는 엔진 제네레이터가 최대속도까지 도달할 수 있는 드라이빙 파워를 가지고 있어야 한다. 그러나 슈퍼 카파시터를 이용하는 방식에서는 등속에 필요한 드라이빙 파워를 초과하는 동력은 카파시터에 저장했다가 재사용하는 방식을 사용한다. 예를 들면, 최대속도에 도달하기 위해서 드라이빙 파워가 170%가 필요하다고 가정할 경우, 등속단계의 유지를 위해서는 70%의 드라이빙 파워가 필요하다. 이 때, 가속단계에서 필요한 170%와 등속단계에서 필요한 70%의 차이인 100%의 동력을 슈퍼 카파시터에서 제공하는 방식이다. 슈퍼 카파시터는 완전 충전된 500볼트의 전원이 빠르게 300볼트로 방전되고 감속시나 적양하시 발생하는 회생전력을 이용해서 느리게 충전된다.

<그림 4-33>

슈퍼 카파시터의 작동원리





자료 : 상계서

다. 적용효과

슈퍼 카파시터 기술의 연료절감효과를 분석하기 위해서 슈퍼 카파시터 기술을 미적용한 350Kw의 엔진 제네레이터와 슈퍼 카파시터 기술을 적용한 200Kw 엔진 제네레이터를 대상으로 비교 분석한 결과는 다음과 같다.

○ 연료절감효과

에너지 세이빙 기술의 연료절감효과를 분석하기 위해서 먼저 주행에 따른 연료 소비량을 조사하고, 운영시의 주행구간에 따른 운행모드를 분석하여, 각 운행상태 별 연료절감량을 산정한 결과는 다음과 같다.

- 연료소비

<표 4-23>

엔진제네레이터 연료소비량 비교

350Kw Fuel Consumption(리터/Hour)			200Kw Fuel Consumption(리터/Hour)		
Load	350Kw	비고	Load	200Kw	비고
100%	102.2	가속시	100%	60.7	가속시 정속시
75%	81	정속시	75%	44.3	-
50%	55.3	-	50%	30.1	-
25%	29.5	감속시	25%	17	감속시

350Kw 엔진 제네레이터의 시간당 연료소비량은 100% 가속시 시간당 102.2리터이며, 75% 정속시 시간당 81리터, 50% 주행시 시간당 55.3리터, 25% 감속시 시간

당 29.5리터이다. 200Kw 엔진 제네레이터의 경우 시간당 연료소비량은 100% 가속 시 시간당 60.7리터이며, 75% 정속시 시간당 43.3리터, 50% 주행시 시간당 30.1리터, 25% 감속시 시간당 17리터이다.

- 연간 운행시 연료절감효과

적하시 사이클당 절감량 1.7리터와 양하시 사이클당 절감량 1.62리터를 평균하면 1.66리터이며, 사이클당 평균시간을 도출하면 234.75초로 시간당 15Box 납짓의 생산성을 나타낸다. 여기에 하루 15시간을 운행시간으로 간주하고, 일년 중 휴일 및 근무불가능 일수를 고려하여 300일을 가동가능한 일수로 하여 1년간의 유류절감량을 산출하면 112,050리터에 이르며, 이를 리터당 1,200원으로 환산하여 계산하면 연간 1억 3천 4백만원 이상의 절감효과가 있다.

<표 4-24>

연료비 절감효과 분석

연료비 절감효과(대당)			
시간(cycle 당)		234.75	sec
절약량(cycle 당)		1.66	리터
운행 시간	15cycles / 시간	-	-
	15시간 / 일 ²¹⁾	225	cycles/day
	300일 가동	67,500	cycles/year
절약량	(1년 기준)	112,050	리터
	1리터 = 1,200원/ℓ	134,460,000	원

② 플라이 휠(Fly Wheel)

가. 개요

일반적으로 전력의 가장 큰 단점은 저장하기가 어렵다는 것이다. 일례로 400파운드 무게의 자동차 배터리는 겨우 1파운드 가솔린에 함유된 정도의 에너지만을 저장할 수 있으며, 손쉽게 저장할 수 있는 석탄, 석유 등과는 달리 전기는 필요시점에 필요한 곳에서 생산돼야 한다. 하지만 이러한 상황은 플라이휠 배터리 덕

21) 일일 평균 운행시간의 비율을 62.5%로 가정.

분에 수요가 많은 시간에 사용할 수 있도록 훨씬 더 많은 에너지를 더 작은 공간에 저장하는 방향으로 변하고 있다.

플라이휠 에너지 저장 시스템은 입력되는 전기에너지를 플라이휠의 회전 운동 에너지로 변환하여 저장하고 필요시 전기에너지로 재출력하는 장치이다. 최근 재료, 자기 베어링, 전력 전자학 등 관련 기술의 발전에 힘입어 미국, 일본, 독일 등의 선진국에서 이 장치의 활발한 연구가 진행되고 있다. 이 장치는 무정전 전원 공급 장치, 기차 및 버스와 같은 대형 수송 차량에서의 제동 에너지 회생장치 등과 같은 여러 제품에서 이미 실용화가 진행 또는 완료되어 있다. 다른 에너지 저장 분야에 비해 잉여 에너지의 저장을 통한 에너지 절약효과, 높은 전력밀도, 높은 에너지밀도, 짧은 충전시간, 반영구적 수명, 환경친화성 등과 같이 뛰어난 장점을 가진 플라이휠 시스템은 고속회전을 위한 복합재 플라이휠 설계/제작기술, 초고속 전동기/발전기 설계/제작 기술, 손실 최소화를 위한 자기 베어링 설계/제작 기술, 고주파 전력변환 기술 등 선진국으로부터 기술이전이 어려운 첨단기술의 집합체로 관련 기술의 대외 종속 탈피를 위한 국내 개발이 절실하다.

<그림 4-35>

플라이휠 방식



자료 : Octavio solis, "The Role of Energy Storage to Reduce Fuel Consumption and Emissions", TOC Americas 2006

나. Fly Wheel의 적용

플라이휠 배터리는 에너지를 저장해 주 전력 공급이 부족해지는 경우나 변압기가 벼락 등의 사고에 의해 순간적인 정전이 발생한 경우 전력을 보충해줌으로써 전력의 질(energy quality)을 향상시킬 수 있다. 이러한 배터리는 비상용 발전기가 가동되기까지의 시간 동안 전력을 제공할 수 있으며, 결과적으로 정전 없는 전력의 공급이 가능해져, 갑작스런 전력 부족에 의한 컴퓨터의 다운 현상 등을 막을 수 있다.

플라이휠 배터리는 고속 열차 및 버스 등을 포함해 다수의 하이브리드 차량 개념과도 잘 어울린다. 현재 이 장치들은 승용차용으로는 부적합하다. 승용차용은 현재 경제적으로 제조할 수 있는 크기보다 작은 크기의 플라이휠을 필요로 한다. 일반 상업용 차량과 같이 군사용 운송 장치들도 점차 전기로 움직이기 시작한다. 이러한 차량들은 전기추진방식을 채택하고 있을 뿐만 아니라 군사용 운송기의 경우, 전자 시스템 및 전자무기 시스템에 상당히 의존하고 있다. 이러한 전기 시스템 중 몇 가지는 짧은 시간 동안 엄청난 에너지를 사용하며, 이러한 에너지 소모는 기존의 배터리를 파손시키지만, 플라이휠 배터리는 이러한 형태의 임무에 적합하다. 플라이휠 배터리는 궤도 비행중인 우주선이 수집한 태양빛을 저장하기 위해 사용된다. 플라이휠 배터리는 기존의 배터리보다 훨씬 효율적으로 에너지를 저장할 수 있으며, 또 다른 독특한 장점으로 서 회전 로터가 우주선의 안정화를 위한 자이로스코프의 역할을 한다는 점이다.

다. 적용효과

<표 4-25>

오염물질 감소효과 및 연료 절감효과

Emissions	Test Run #1	Test Run #2	Percent Reduction(lb/hr)
DSCFM	484	503	-
O ₂ %	15.94	15.92	-
CO ₂ %	2.36	2.50	-
NOx	241.59	171.36	25.88%
PPM(drift corr.)	287.47	203.02	
PPM@15%O ₂	0.85	0.63	
lb/hr			
THC(as methane)	102.66	77.31	23.08%
PPM(drift corr.)	122.11	91.59	
PPM@15%O ₂	0.13	0.10	
lb/hr			

<표 4-25> **오염물질 감소효과 및 연료 절감효과 <계속>**

Emissions	Test Run #1	Test Run #2	Percent Reduction(lb/hr)
PM mg gr/dscf lb/hr	127.60 0.0219 0.09	43.90 0.0075 0.03	66.67%
경제적 효과	o 20~25% 연료절감효과 -15톤 컨테이너의 사이클비교 -4단적, 66% 아이들타임 포함 -2시간 시험 -대당 1천 8백만원 절감		

자료 : 상계서

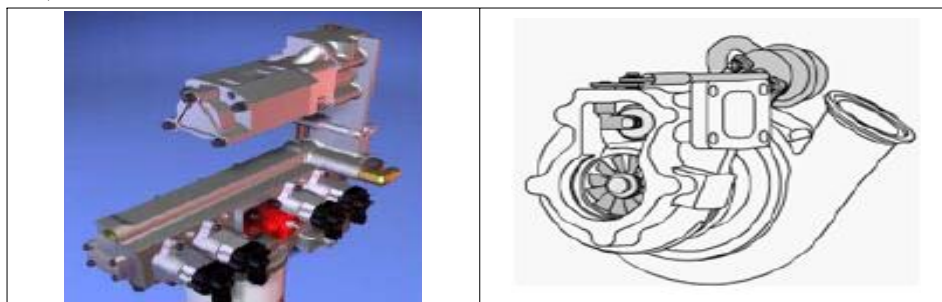
플라이휠 배터리의 적용효과는 크게 환경오염물질 감소효과와 경제적효과로 구분할 수 있다. 환경오염물질은 플라이휠 방식을 적용하지 않는 테스트 1번과 플라이휠 방식을 사용하는 테스트 2번을 비교하면 질소산화물(NOx)의 경우 25.88%의 절감효과가 있으며, 메탄의 감소효과의 경우 23.08%, 디젤분진(PM)의 경우 66.67%의 감소효과가 있다. 경제적 효과의 경우 15톤 컨테이너의 작업사이클을 비교하였으며, 4단적 66% 아이들타임을 포함하여 2시간 동안 시험한 결과 20~25%의 연료절감효과가 발생하였다.

③ Variable Speed

가. 개요

RTGC를 이용해서 하역작업을 수행하게 되면 양하 및 적하작업에 따라 동력이 많이 필요한 상황과 동력이 적게 필요한 상황이 발생한다. 이러한 상황에 따라 엔진의 출력을 변환하여 동력의 낭비를 막고자 하는 방식이다.

<그림 4-36> **Variable Speed 디젤엔진**



자료 : 허치슨터미널 내부자료

나. Variable Speed의 적용

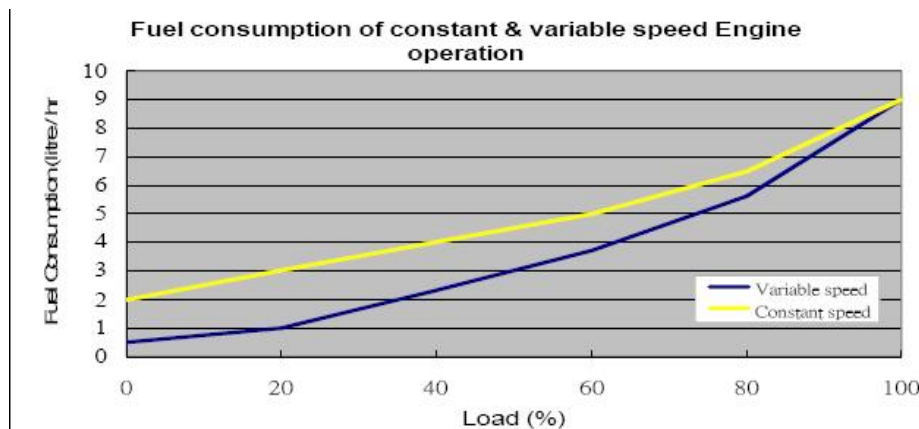
Variable Speed 방식의 적용은 이송장비와 야드장비 모두에 사용이 가능하며, 이송장비와 야드장비의 아이들 시간 동안에 RPM을 낮춰서 연료비를 절감하고 이송장비의 가속시 또는 야드장비의 로딩 및 언로딩시 추가동력이 필요한 경우 RPM을 높이게 되며, 반대로 이송장비의 감속시 또는 야드장비의 빈 작업시 RPM을 낮추게 된다. 이러한 방식으로 엔진의 RPM을 변화시켜서 연료소비량을 줄일 수 있으며, 시스템 구입비용 및 추가적인 엔진의 부가비용 등을 고려하면 대략 US\$110,000 수준의 비용이 추가된다.

다. 적용효과

<표 4-26> Variable Speed 엔진의 비용 vs. 절감액

소요비용	
시스템구입비용	US\$ 97,500
엔진 부가비용	US\$ 13,000
합계	US\$110,500
절감액	
연료절감비 30%	US\$ 32,000
손익분기점 기간	3.5년

<그림 4-37> Variable Speed 디젤엔진의 적용효과



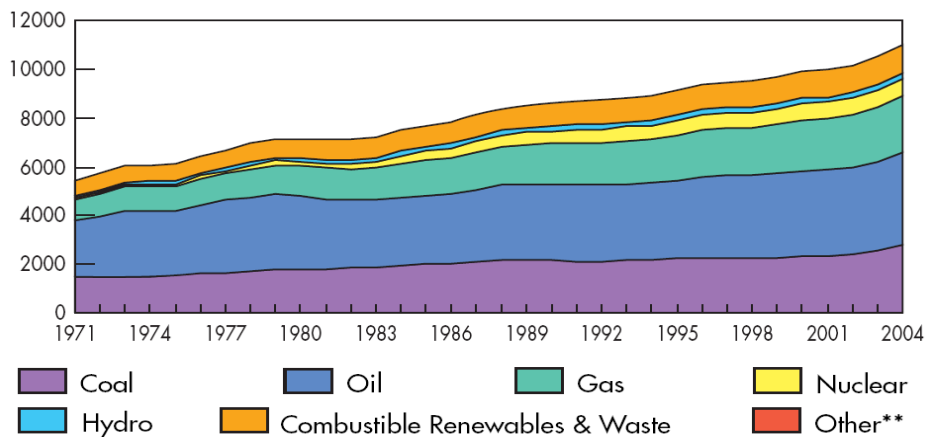
자료 : Simon Wong, "Energy Saving Initiatives", HIT

Variable Speed 방식의 엔진은 기존 이송장비 및 하역장비의 엔진을 교체하여 사용하여야 한다. 따라서, 개별적인 하역장비에 적용하다는 융통성이 있으며, 이러한 융통성을 바탕으로 고정비용 및 착수비용을 최소화할 수 있는 장점이 있다. 현재 Variable Speed 엔진의 구입을 위한 구입비용 및 부가비용은 US\$110,500이 소요되며, 연료절감비 30%를 고려한 금액 US\$ 32,000을 고려하면 대략 손익분기점 기간이 3.5년으로 환산된다.

3) 신기술(New Technology)

석탄, 석유, 가스, 원자력, 수력 등 세계 주요 에너지의 공급비율 추세는 다음과 같다. 기존의 에너지를 대체할 수 있는 바이오에너지, 수소연료 등 신기술의 비중이 현재까지는 높지 않지만 점점 확대될 것으로 예상된다.

<그림 4-38> 세계 주요 에너지의 공급 비율 추세(1971~2004년, 단위: Mtoe)



자료 : International Energy Agency, Key world energy statistics, 2006

(1) 바이오에너지

① 기술 개요

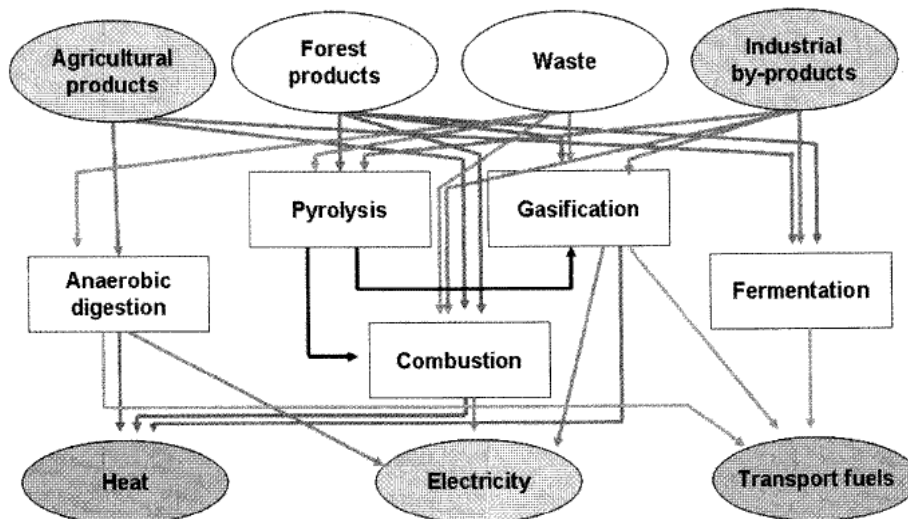
바이오에너지는 열 또는 전기를 생산하는 여타의 신재생 에너지자원과는 달리 에너지의 장기저장이 가능한 연료의 형태로 생산 가능하다는 장점이 있다. 바이오

에너지 생산에 사용되는 원료인 바이오매스에는 유기성 폐기물, 농임산 부산물과 에너지 작물 등이 있으며 이들로부터 에너지를 생산하는 데 적용되는 기술도 열화학적 기술과 생물학적 전환 기술이 있다. 적용된 기술에 따라 생산된 바이오에너지는 열, 전기뿐만 아니라 수송용 대체연료 등의 형태로 활용된다. 이러한 바이오에너지 기술 중 일부는 상용화되어 실제 보급 중에 있으며 다른 기술들은 보다 미래 기술로 개발 중이다.

대표적인 바이오매스의 종류와 각 원료별로 적용되는 바이오에너지 생산 기술은 다음 그림과 같다. 동일한 원료에 대해서도 각각 다른 전환 기술을 적용하면 다른 형태의 에너지를 생산하게 된다. 특히 바이오에너지 기술에서는 다른 신재생에너지원이 생산하지 못하는 수송용 연료를 생산할 수 있어 다른 재생에너지원과 보완 관계를 갖는다.

<그림 4-39>

바이오에너지기술의 개념도



자료 : 이진석, 박태현, □□바이오에너지 기술의 현황과 전망□□, 「신재생에너지」, Vol. 2, No. 1, pp. 14-20, 2006

상용화된 바이오에너지 기술로는 유기성 폐기물의 혐기소화, 섬유소계 바이오매스의 열화학적 이용 기술, 수송용 바이오연료 관련 기술 등이 있으며 미래의 바이오에너지 기술로는 목질계 바이오매스로부터 바이오에탄올 생산, 바이오매스로부터 수소 생산 등이 있다.

② 국외의 개발 현황

미국은 2000년 ‘바이오매스 R&D법’ 제정을 계기로 바이오에너지 개발을 본격화하였고 현재 바이오매스 관련 R&D에만 연간 1억 5천만 달러 이상을 투자하고 있다. 또한, 바이오에너지 기술개발 및 보급 활성화를 위한 다양한 지원정책을 시행하고 있다.

<표 4-27>

미국의 바이오에너지 관련 주요 개발정책

법·정책(실행시기)	주요 내용	특징
Biomass R&D Act (2000)	· 에너지성 및 농업성에 국가 바이오매스 전략의 실행의무	· 바이오매스의 국가비전 및 기술로드맵 수립
National Biomass Initiative(2001)	· 미국의 바이오매스 관련 R&D 및 자원관리를 총괄하는 정책	· 산하에 Biomass R&D Initiative를 운영
Federal Procurement of Biobased Products (2002)	· 연방정부가 만 달러 이상의 구매활동 시, 바이오성분이 다량 함유된 제품의 구매를 우선하도록 의무화	· 농업성이 바이오성분 함량·품질을 측정하여 우선구매목록인 Biobased Product Lists를 작성
Renewable Energy Systems & Energy Efficiency Improvements (2003)	· 농가나 지역 소기업의 재생에너지 생산 또는 에너지시설개선에 대한 보조금 또는 저리의 차관을 지급	· 2005년도는 22.8백만 달러를 배정
Biorefinery Development Grants(2002)	· 바이오매스에서 각종 연료 및 화학 소재를 생산하는 공정개발 및 건설 비용의 일부를 지원	· 바이오정유공정 개발 및 건설비용의 30%까지 지원
Continuation of Bioenergy Program (2003)	· 연간 바이오에너지 생산량이 증가한 생산자에게 증산비용의 일정액을 연간 150백만 달러 한도에서 2006년까지 지원	· 연간 65백만 갤런 이하 생산자는 증가량 2.5유닛당 1유닛, 65백만 갤런 이상은 3.5유닛당 1유닛의 비용을 보조
E85 Tax Credit (2002)	· 수송용 대체연료(E85)에 대해 갤런당 총 0.7985달러의 세금을 공제	· E85 판매용 시설투자를 한 소매사업자도 연간 3만 달러의 소득세를 공제. 2007년 기한
Renewable Fuels Standard(RFS) (2005)	· 2012년까지 바이오연료 등 재생가능연료(RFS)의 사용량을 연간 50억 갤런까지 확대 · 2012년까지 정유회사는 일정기준 이상의 RFS를 생산하거나, 다른 정유사로부터 RFS 사용권을 구입해야 함	· 환경청(EPA)이 공급상황에 따라 목표수치를 증(감)량 할 수 있도록 규정 · 일정규모 이하의 소형 정유사업자는 RFS 사용량 또는 사용권 구매 의무를 2007년 말까지 유예
Tax Incentives for Biodiesel(2004)	· 100% 천연식물오일로 제조한 바이오디젤은 갤런당 1달러, 재활용 오일로 만든 바이오디젤은 갤런당 0.5달러 세금공제	· 미국시장에서 바이오디젤이 석유계 디젤 대비 생산비가 갤런당 1달러 비싼 수준

자료 : 삼성경제연구소, □□미국의 바이오에너지 개발현황과 시사점□□, 「SERI 경제 포커스」, 80호, pp. 1-12, 2006

③ 국내의 개발 현황

국내에서는 2006년 7월부터 바이오 디젤이 상용화되는 등 대체에너지 상용화에 박차를 가하고 있다. 우리나라는 수송용 에너지 비율이 높기 때문에 바이오에너지의 활용은 많은 도움이 될 것이며 바이오 연료를 국내에서 활용할 경우 농가소득에도 도움이 될 전망이다. 국내에서 수송용 에너지의 사용 비율은 전체 에너지 사용량의 23.5%를 차지한다. 특히 대형차량 등 에너지 다소비 차량의 증가가 눈에 띈다.

지난 2002년 바이오 디젤 시범보급사업을 전개하면서 개발 및 상용화에 적극 나서고 있다. 2002년 정부는 경유에 바이오 디젤 20%를 첨가한 제품을 수도권 및 지방 일부 지역에서 판매를 허용하면서 시범 보급하기 시작했다. 이후 2004년 10월에 석유 및 석유대체연료 사업법을 개정해 상용화의 발판을 마련했다. 정부는 2011년까지 바이오 디젤을 연간 55만kl 생산한다는 중장기적 목표를 설정했다. 이 목표량은 국내 경유소비량의 2.4% 수준이다.

④ 효과분석

바이오 에탄올은 휘발유보다 낮은 가격에 수입하는 것이 가능하므로 에너지비용 절감을 기대할 수 있지만, 바이오 디젤은 생산단가가 높아 시장가격을 기준으로 했을 때 에너지비용 절감을 기대할 수 없다.

<표 4-28> 화석연료와 바이오에너지의 가격 비교(2005년 기준)

	휘발유 (국제가)	바이오 에탄올* (브라질)	경유 (국제가)	바이오 디젤 (EU)
가격	0.38	0.30~0.38	0.44	0.65~0.75

주 : 해외 운송비, 관세, 세금이 포함되지 않은 가격

* : 바이오 에탄올의 가격은 휘발유 환산비용이 고려된 것. 휘발유 환산비용이란 바이오 에탄올이 휘발유에 비해 약 48% 정도 열효율이 낮은 것을 감안하여 휘발유와 같은 연비로 추정했을 때 드는 비용으로 계산된 수치

자료 : 삼성경제연구소, □□한국형 바이오 연료의 가능성 평가 및 시사점□□, Issue Paper, 2007

바이오 에탄올은 휘발유보다 낮은 가격에 수입이 가능하다. 2005년 브라질 현지 에탄올 세전 현물가격은 국제 휘발유²²⁾보다 다소 낮은 상태이다.

22) 싱가포르 현물시장 본선인도(FOB) 가격 기준.

바이오 디젤은 생산단가가 높아 시장가격을 기준으로 한 경제성은 낮다. 2005년 독일 현지 바이오 디젤 세전 현물가격은 국제 경유 가격에 비해 리터당 20센트 이상 높은 상황이다.²³⁾

미국의 에너지성에 따르면 바이오 에탄올 1단위의 에너지량은 생산에 투입된 총 에너지 대비 약 134%로 에너지효율 측면에서는 경제성이 있다고 판단된다. 독일의 슈피겔지는 차량의 연비를 통해 바이오 연료의 에너지 효율을 제시하였는데, 일반 차량 기준 연비를 20km/ℓ로 봤을 때 바이오 디젤의 연비는 18.2km/ℓ, 바이오 에탄올의 연비는 13.2km/ℓ로 나타났다.

<그림 4-40>

바이오 연료의 에너지 효율



자료 : 조선일보, 떠오르는 '신재생에너지', 2월 1일 기사, 2007

<표 4-29>

바이오 연료의 연료비 추정

구분 \ 연료	바이오 에탄올*		바이오 디젤**	
	RTG	야드 트럭	RTG	야드 트럭
연료 소모량	1.42 ℓ/TEU	0.86 ℓ/TEU	1.56 ℓ/TEU	0.95 ℓ/TEU
연료 가격	\$0.34/ℓ		\$0.7/ℓ	
연료비	\$0.48/TEU	\$0.29/TEU	\$1.09/TEU	\$0.67/TEU

* : 바이오 에탄올의 가격이 휘발유 환산비용이므로 바이오 에탄올의 연료 소모량은 국내 컨테이너 터미널의 장비별 평균 유류 소모량을 사용하였음

** : 바이오 디젤의 연료 소모량은 국내 컨테이너 터미널의 장비별 평균 유류 소모량과 휘발유 대비 바이오 디젤의 연비 비율(91%)을 사용하여 추정하였음

23) 바이오 에탄올은 브라질이 수출하고 있으나, 바이오 디젤은 아직 국제거래가 이루어지지 않고 있어 현재 가장 보급이 활발한 EU의 가격을 기준으로 비교.

(2) 수소연료전지

① 기술 개요

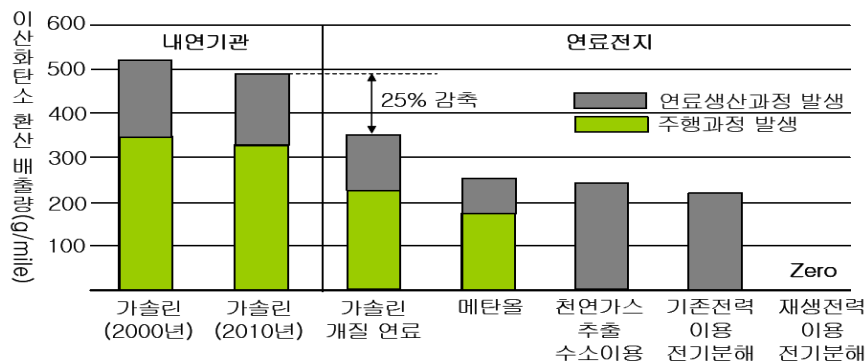
수소에너지는 궁극적으로 인류가 당면하고 있는 에너지와 환경 문제를 동시에 해결할 수 있는 유일한 에너지원으로 평가된다. 향후 30~40년 뒤에 예상되는 수소 에너지 시대, 즉 수소경제의 비전이 달성될 때 수소이용 기술인 연료전지 기술이 보편화돼 새로 건설되는 발전소는 연료전지 발전소가 대부분일 것이며, 가정과 상업용 건물에도 연료전지가 설치될 것이다. 또한 운행되는 상당 부분의 승용차와 버스가 연료전지 차량이며, 이에 상응해 주유소의 절반 정도는 연료전지 차량에 수소를 공급하는 수소 주유소로 대체될 것이다. 그러나 이러한 꿈을 이루기 위해서는 수소에너지 체계의 핵심인 연료전지 기술의 상용화는 물론 풍력, 태양 등을 이용한 대체에너지원으로부터의 수소생산기술, 수소저장, 운송에 이르는 수송 인프라스트럭처 구축 등 해결해야 할 과제가 적지 않다.

연료전지는 기존의 전지나 동력기관에 비해 다양한 장점을 보유하고 있다. 연료전지의 가장 큰 특징은 친환경성이다. 연료전지는 소음이 거의 없고 물 이외의 부산물도 거의 없다.

연료전지는 2차전지의 용량 한계를 극복할 수 있는 기술로서, 현재 니켈수소 2차전지, 리튬이온 2차전지 등이 3시간 정도 충전시간이 필요한 반면 연료전지는 연료주입에 수초(數秒)면 충분하고 kg당 에너지밀도도 1,000Wh로 리튬폴리머 전지의 3배 이상이다.

<그림 4-41>

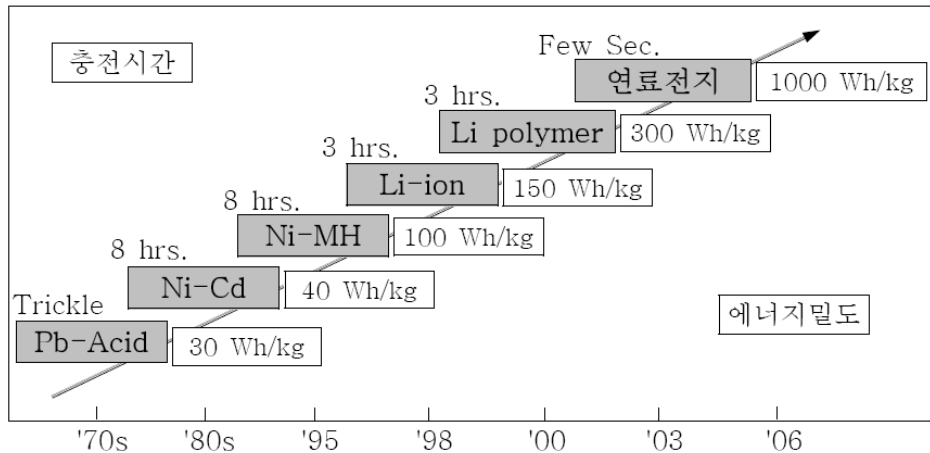
연료전지와 내연기관의 CO₂ 배출 비교



자료 : 삼성경제연구소, 에너지 혁명 : 연료전지 사업의 현황과 발전전망, Issue Paper, 2004

<그림 4-42>

전지의 에너지 밀도와 충전시간



자료 : 상계서

연료전지는 셀의 개수를 늘리면 출력을 높일 수 있기 때문에 연료전지 형태에 따라 수_w~수십_w의 전력 생산이 가능하다. 따라서 휴대용, 주택용, 자동차용, 우주선용 등 현재 석유, 가스, 전력 등 에너지를 사용하는 거의 모든 분야에 응용이 가능하다.

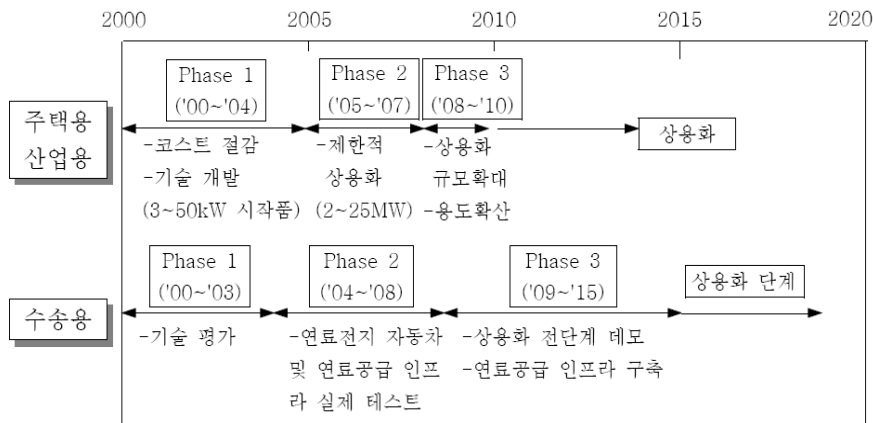
② 국외의 개발 현황

미국은 자동차용 개발에 주력하고 있다. 1960년대 우주 및 군사용으로 연료전지 연구를 시작한 이후 점차 상업화 연구로 발전했다. 미국정부는 에너지 대외의존 완화와 자동차산업 경쟁력 강화 측면에서 연료전지 육성책을 추진했다. 이와 더불어 민간과의 파트너십을 통해 상업화 장애를 극복하고 있다. 18개주 이상의 주에서도 주정부 차원의 연료전지 프로젝트를 추진 중이다.

일본은 연료전지의 산업화를 추구하고 있다. 1980년대부터 연료전지 개발 및 상용화를 정부차원에서 지원했다. 정부는 지속적으로 연료전지에 대한 비전과 의지를 표명하고 있다. 정부 내 추진 주체는 경제산업성을 중심으로 국토교통성, 환경성 등이 협력하고 있고 특히 자동차산업 경쟁력 확보를 위해 연료전지 지원을 강화하고 있다. 현재는 연료전지 확산 시나리오상 ‘연구 및 기술데모’ 단계로 일본 전역을 연료전지 시험무대화하고 있다.

<그림 4-43>

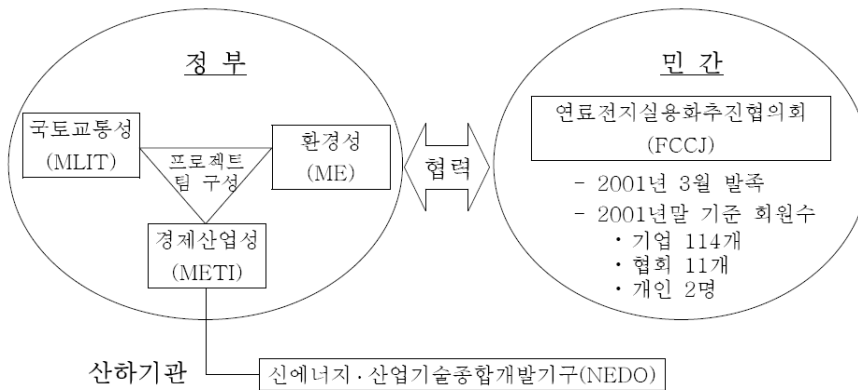
미국의 연료전지 상업화 로드맵



자료 : 상계서

<그림 4-44>

일본의 연료전지 상업화 추진 체계



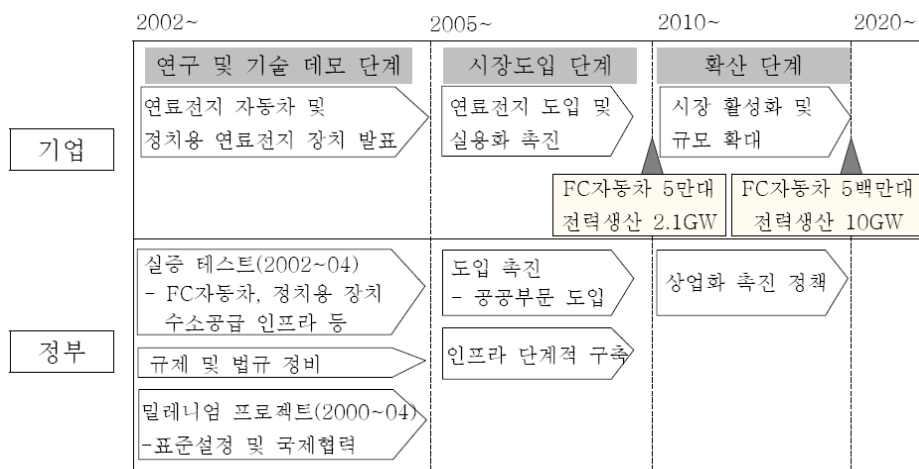
자료 : 상계서

유럽은 환경문제 해결 대안으로 연구를 강화하고 있다. EU 전체의 연구비 총액은 미국, 일본에 뒤처지는 수준이지만 연료전지에 대한 관심이 확대되고 있다. 유럽위원회(EC)는 R&D Framework Program(FP)의 일환으로 연료전지 R&D를 지원하고 있지만 주로 자동차용 연료전지 개발에 주력하고 있으며 연료전지 자동차(버스)의 시범운행 프로그램을 강화하고 있다. 개별국가차원의 연료전지 투자는 2000년 기준으로 프랑스, 독일, 네덜란드 순이지만 전반적으로 미국, 일본처럼 국가적 지원은 크지

않다.

<그림 4-45>

일본의 연료전지 확산 시나리오



자료 : 상계서

아이슬란드는 풍부한 자연에너지원을 활용해 수소강국을 지향하고 있다. 1999년 세계 최초로 수소경제 국가로의 전환계획을 발표했다. 수소경제로의 이행을 위해 1999년 ‘아이슬란드 신에너지사(INE, Iceland New Energy)’를 설립했다.

캐나다는 Ballard Power Systems라는 세계적 연료전지 기업을 보유하는 등 연료전지 산업에 있어 경쟁력을 인정받고 있다. 최근 캐나다정부는 고용창출, 지식기반 제조경쟁력 강화를 위해 연료전지 지원을 강화하고 있다.

③ 국내의 개발 현황

수입에너지 의존도가 높아 그 어느 나라보다 대체에너지 개발이 필수적임에도 불구하고 연구수준은 선진국에 비해 크게 뒤처지는 편이다. 국내 연료전지 연구는 대체에너지 관점보다는 제품경쟁력 강화 측면에서 이루어지고 있으므로 연구개발도 자동차용과 휴대기기용에 집중되어 있다. 주로 대기업에서 연구개발이 진행되고 있으며, 최근 벤처기업들이 가세하였다. 정부는 국내 연료전지 기술이 선진국과 약 5년의 격차가 있다고 분석하고 있다.

연료전지 관련 국내 업체의 동향을 살펴보면 자동차용은 현대자동차가 2002년 미국 연료전지 업체인 UTC Fuel Cells과 전략적 제휴를 맺고 연료전지 자동차를

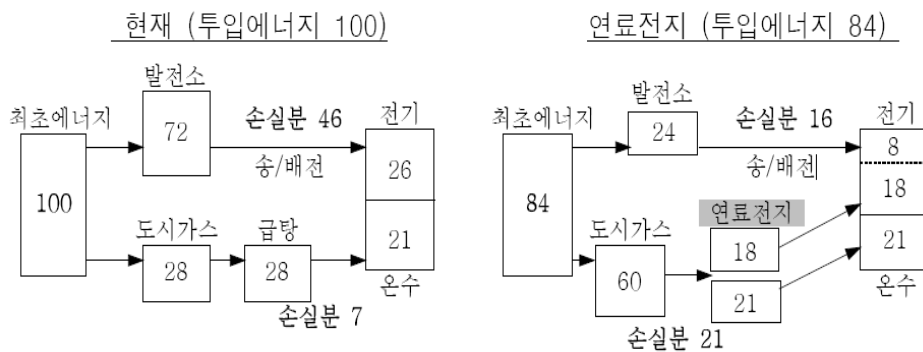
개발 중이다. 현대자동차는 기존 연료전지연구팀을 센터로 확장하여 연료전지 연구를 강화하고 있다. 현대용은 삼성중합기술원, LG화학, (주)세티 등이 현대용 연료전지에 대한 연구를 본격화하고 있고, 거치용은 전력연구원이 발전용 개질시스템, 가정용 고체고분자형 연료전지(PEMFC) 등의 기술을 개발 중이다.

④ 효과분석

연료전지는 효율이 높아 에너지 절감효과가 크다. 연료전지의 발전효율은 현재 30~50%로 내연기관보다 우수하며, 열로 회수되는 에너지를 활용하면 전체 효율이 80%에 육박할 수 있다. 전력과 보일러를 사용하는 가정이 연료전지를 도입해 급탕과 전력 일부를 충당할 경우 필요한 투입 에너지량은 현행보다 16% 절감이 가능하다.

<그림 4-46>

가정용 연료전지 사용시 에너지 절감



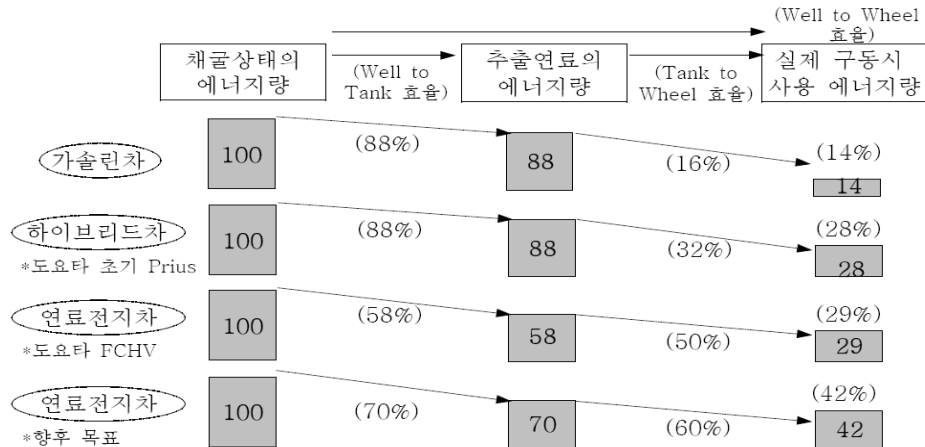
자료 : 상계서

또한 연료전지 자동차는 가솔린차량에 비해 약 3배 이상의 고효율을 나타낸다. 화석연료에서 수소를 추출해 연료전지 자동차를 구동할 경우 연료생산 효율은 낮지만 차량효율은 높아지게 된다.

조사된 자료를 기반으로 수소연료전지를 컨테이너 터미널에 적용했을 때 예상되는 연료비용을 산출해 보았다. 야드 트랙터에 적용했을 때 비용은 US\$0.14/TEU, RTGC에 적용했을 때 비용은 US\$0.24\$/TEU로 추정되었다. 단 수소 연료의 충전 비용은 제외하였다.

<그림 4-47>

하이브리드차 연료전지의 종합효율



자료 : 상계서

<표 4-30>

수소연료전지의 연료비 추정

구분 \ 연료	수소연료전지	
적용 분야	야드 트랙터	RTG
연료 소모량	1.20kW/TEU*	1.98kW/TEU**
연료 가격	\$0.12/kW***	
연료비	\$0.14/TEU	\$0.24/TEU

* : 야드 트랙터의 연료 소모량은 국내 컨테이너 터미널의 야드 트랙터 평균 유류 소모량(0.86ℓ/TEU), 야드 트랙터의 유류 연비(3.5km/ℓ), 수소연료전지 차량의 연비(10km/kW), 일반 차량 연비 대비 야드 트랙터의 연비 비율(25%)을 사용하여 추정하였음

** : RTGC의 연료 소모량은 추정된 야드 트랙터의 연료 소모량(1.20kW/TEU), 국내 컨테이너 터미널의 야드 트랙터 대비 RTG의 연료 소비 비율(1.65배)을 사용하여 추정하였음

*** : 연료 가격은 Ballard Power Systems의 연료전지 가격(\$73/kW), 수소연료전지 차량의 연비(10km/kW), 자동차용 연료전지의 총 주행거리(40,000km)를 사용하여 추정하였음. 단, 수소연료의 충전비용은 제외하였음

주: 1) 야드 트랙터의 연료전지 용량을 200kW라고 가정하고 Ballard Power Systems의 연료전지 가격(\$73/kW)을 적용하면, 야드 트랙터 연료전지의 가격은 \$14,600로 추정됨

2) 야드 트랙터의 1사이클 평균운행거리(1km), 터미널의 연간 처리물량(312,500box), 야드 트랙터의 수(20), 야드 트랙터 연료전지의 예상 총 주행거리(40,000km)를 적용하면, 야드 트랙터 연료전지의 수명은 2.5년으로 추정됨

3) RTGC의 연료전지 용량을 300kW라고 가정하고 Ballard Power Systems의 연료전지 가격(\$73/kW)을 적용하면, RTG 연료전지의 가격은 \$21,900로 추정됨

4) RTGC의 1사이클 평균 이동 베이의 수(15.4), 베이간의 간격(6.438m), 터미널의 연간 처리물량(312,500box), RTG의 수(8), RTG 연료전지의 예상 총 주행거리(24,000km)를 적용하면, RTG 연료전지의 수명은 6년으로 추정됨

(3) 하이브리드 엔진

① 기술 개요

휘발유나 디젤차는 엔진과 변속기(트랜스미션)로 구성된 동력전달장치(파워 트레인)가 차를 움직인다. 이 경우 엔진의 효율은 차의 주행 상태에 따라 많이 변한다. 저속으로 주행할 때는 효율이 낮고, 대기 중이나 차가 막혀 서있을 때는 효율이 거의 0이다. 차는 정지하고 있어도 엔진은 계속 돌아 연료를 그냥 버리는 것이나 마찬가지기 때문이다. 일반적으로 연료에서 나오는 에너지의 18~23%만 실제로 자동차를 움직이는 데 사용되고 나머지는 버린다고 보면 된다.

이런 단점을 보완하기 위해 하이브리드 전기자동차는 모터와 엔진을 동시에 구동해 동력을 얻는다. 엔진의 모든 동력을 전기에너지로 바꿔 이를 다시 모터로 변환해 동력을 얻거나(직렬형), 엔진과 모터를 상황에 따라 적절히 작동하도록 조절해 동력을 얻을 수도 있다(병렬형). 그리고 두 가지 방식을 섞은 복합형도 있다.

예를 들어 엔진이 움직이면 자동차를 구동시켰던 배터리가 충전되고, 속도를 줄일 때는 운동에너지가 전기에너지로 바뀌어 배터리에 저장된다. 또 차가 정지하면 엔진이 저절로 꺼졌다 가속 페달을 밟으면 엔진이 켜진다. 즉 하이브리드 자동차는 엔진 이외에 동력을 생산하는 전기모터를 사용한다는 점을 최대한 활용해 연료 손실을 최소로 줄인다.

하이브리드 자동차는 세계적으로 1997년 200대가 생산된 이후 2004년에는 16만 대로 늘었으며, 매년 평균 62%씩 하이브리드 자동차 수가 늘고 있다.

② 국외의 개발 현황

세계에서 하이브리드 자동차 기술이 가장 앞선 나라는 일본이다.

<표 4-31>

도요타 하이브리드 모델의 연비

모델	연비	발매년도
프리우스(신형 프리우스)	31km/ℓ (36km/ℓ)	1997(2003)
에스티마 하이브리드	18km/ℓ	2001
클라운 마일드 하이브리드	13km/ℓ	2001
클라운 세단 마일드 하이브리드	13km/ℓ	2002

자료: 삼성경제연구소, □□환경친화형 자동차의 개발동향과 향후 대응전략 □□, Issue Paper, 2003

<그림 4-48>

도요타의 하이브리드 모델



(a) 신형 프리우스



(b) 에스티마 하이브리드

자료: 상계서

일본의 도요타는 1997년 세계 최초의 하이브리드 자동차인 ‘프리우스(Prius)’를 개발하였다. 시속 50km 이하의 저속에서는 배터리를 이용한 모터로, 시속 50km 이상에서는 휘발유 엔진으로 움직인다.

도요타는 ‘프리우스’ 이후 2004년 동급 차량과 비교해 74% 가까이 연비가 뛰어난 ‘프리우스 II’를 출시했다. 혼다는 1999년 ‘인사이트(Insight)’를 시작으로 ‘시빅(Civic)’ 하이브리드, ‘아코드(Acord)’ 하이브리드 자동차를 출시하며 도요타에 이어 2위 자리를 지키고 있다.

<표 4-32>

혼다 하이브리드 모델의 연비

모델	연비	발매년도
인사이트(Insight)	35km/ℓ	1999
시빅(Civic) 하이브리드	29km/ℓ	2001

자료 : 상계서

<그림 4-49>

혼다의 하이브리드 모델



(a) 인사이트



(b) 시빅 하이브리드

자료: 상계서

③ 국내의 개발 현황

국내에서는 현대자동차가 최초로 ‘클릭(Click)’ 하이브리드 자동차를 개발해 2004년 10월 환경부에 50대를 공급했다. 당시 ‘프리우스’의 누적 판매량이 30만대를 돌파했다는 점에 견줘 보면 늦은 감이 있지만 우리나라도 드디어 하이브리드 자동차 생산국의 대열에 합류했다는 점에서 의미가 크다. 현재 ‘클릭’ 하이브리드 자동차는 경찰청 업무용 차량으로 운행되고 있다.

현대자동차는 ‘클릭’에 이어 2005년에 ‘베르나(Verna)’ 하이브리드 자동차를 출시하였다. ‘베르나’ 하이브리드는 2005년 환경단체가 국내에서 판매되는 117종의 승용차를 대상으로 실시한 환경등급 평가에서 1위를 차지하며 대표적인 친환경차량으로 자리 잡았다.

④ 효과분석

하이브리드 엔진을 장착한 자동차의 경우, 구입비용은 휘발유 차량보다 높지만 연비는 약 50% 이상 향상된다. 따라서 운영 측면만 봤을 때는 즉시 에너지비용 절감 효과를 얻을 수 있고, 투자 후 몇 년 이내에 투자비용 회수가 가능하다. 하이브리드 차량이 대중화되고 가격이 더 떨어진다면 보다 큰 에너지비용 절감 효과를 기대할 수 있을 것이다.

국내에 수입된 하이브리드 차량을 기준으로 하여 구입가격과 연비를 비교해 보았다.

국내에서 처음으로 판매를 시작한 하이브리드차인 렉서스 RX400h의 연비는 12.9km/ℓ 로 휘발유 모델인 RX350(연비 8.9km/ℓ)에 비해 45% 가량 높다. 반면 가격은 8,000만원으로 6,970만원인 RX350에 비해 15% 가량 비싸다.

<표 4-33> 하이브리드 차와 휘발유 차의 가격 및 연비 비교 ①

차종	RX400h	RX350
가격	80,000,000원	69,700,000원
연비	12.9km/ℓ	8.9km/ℓ
비고	하이브리드 모델	휘발유 모델

자료 : 카리뷰, 수입 하이브리드 차, “몇년 타야 본전 뽑나?”, 2007년 3월 6일 기사

국내에서 두 번째로 선보인 혼다 ‘시빅’의 차량가격은 3,390만원이고 경쟁차종 중의 하나인 아반떼 1.6(최고급형)의 차량가격은 1,615만 원으로, ‘시빅’은 2배 가량 비싸다. 그러나 ‘시빅’의 연비는 23.2km/ℓ 로 아반떼(12.3km/ℓ)에 비해서 2배 가량 높다.

<표 4-34> 하이브리드 차와 휘발유 차의 가격 및 연비 비교 ②

차종	시빅	아반떼 1.6(최고급형)
가격	33,900,000원	16,150,000원
연비	23.2km/ℓ	12.3km/ℓ
비고	하이브리드 모델	휘발유 모델

자료 : 상계서

<표 4-35> 하이브리드 엔진의 연료비 추정

구분 \ 연료	하이브리드 엔진	
적용 분야	야드 트랙터	RTG
연료 소모량	0.315 ℓ/TEU*	0.5 ℓ/TEU**
연료 가격	₩1,200/ℓ	
연료비	₩378/TEU	₩600/TEU

* : 야드 트랙터의 연료 소모량은 국내 컨테이너 터미널의 야드 트랙터 평균 유류 소모량과 휘발유 차량 대비 하이브리드 엔진 차량의 연비 비율(150%)을 사용하여 추정하였음

** : RTG의 연료 소모량은 추정된 야드 트랙터의 연료 소모량(0.315 ℓ/TEU), 국내 컨테이너 터미널의 야드 트랙터 대비 RTG의 연료 소비 비율(1.65배)을 사용하여 추정하였음

주 : 휘발유 모델 자동차와 하이브리드 모델 자동차의 가격을 비교했을 때, 하이브리드 엔진의 가격은 일반 디젤 엔진의 1.5배 정도로 추정됨

조사된 자료를 기반으로 하이브리드 엔진을 컨테이너 터미널에 적용했을 때 예상되는 연료비용을 산출해 보았다. 야드 트랙터에 적용했을 때 비용은 378/TEU, RTG에 적용했을 때 비용은 600/TEU로 추정되었다.

<표 4-36>

신기술 요약정리

기술		바이오에너지	수소연료전지	하이브리드 엔진
특징		- 에너지원인 바이오매스는 유기성 폐기물, 농임산 부산물과 에너지 작물 등 - 열, 전기, 수송용 대체연료 등의 형태로 활용 - 에너지의 장기 저장이 가능한 연료 형태로 생산 가능 - 일부는 상용화되어 보급 중	- 소음이 거의 없고 물 이외의 부산물이 거의 없음 - 연료전지의 셀 개수를 늘리면 출력을 높일 수 있기 때문에 연료전지 형태에 따라 수W~수십MW의 전력 생산 가능 - 휴대용, 주택용, 자동차용, 우주선용 등에 응용 가능	- 모터와 엔진을 동시에 구동하여 동력을 얻음 - 엔진이 움직이면 자동차를 구동시켰던 배터리가 충전되고 속도를 줄일 때는 운동에너지가 전기에너지로 바뀌어 배터리에 저장 - 엔진 이외에 동력을 생산하는 전기모터를 사용하여 연료 손실을 최소화
현황	국외	- 미국은 2000년 ‘바이오매스 R&D법’ 제정을 계기로 바이오에너지 개발을 본격화 - 미국은 바이오매스 관련 R&D에 연간 1억 5천만 달러 이상을 투자 - 미국은 바이오에너지 기술개발 및 보급 활성화를 위한 다양한 지원정책을 시행	- 미국은 자동차용 개발에 주력 - 일본은 연료전지의 산업화를 추구 - 유럽은 환경문제 해결 대안으로 연구를 강화 - 아이슬란드는 풍부한 자연에너지원을 활용해 수소강국을 지향 - 캐나다는 연료전지 산업에서 경쟁력 보유	- 일본의 도요타는 1997년에 세계 최초의 하이브리드 자동차를 개발했고, 성능이 향상된 후속 모델을 출시 - 일본의 혼다는 1999년부터 하이브리드 자동차를 출시
	국내	2002년 정부는 경유에 바이오 디젤 20%를 첨가한 제품을 수도권 및 지방 일부 지역에서 판매 허용 2004년 10월에 석유 및 석유대체연료 사업법을 개정해 상용화의 발판 마련 - 정부는 2011년까지 바이오 디젤을 연간 55만㎥ 생산한다는 중장기적 목표 설정 2006년 7월부터 바이오 디젤 상용화	- 선진국에 비해 연구수준이 크게 뒤처지는 편 - 국내 연구는 대체에너지 관점보다는 제품경쟁력 강화 측면에서 이루어지고 있으며, 자동차용과 휴대기기용 연구개발에 집중 - 주로 대기업에서 연구개발이 진행되고 있으며, 최근 벤처기업들이 가세	- 현대자동차는 2004년에 국내 최초의 하이브리드 자동차를 출시 - 최초로 출시된 하이브리드 차량은 경찰청 업무용 차량으로 운행 - 현대자동차는 2005년에 후속모델을 출시 - 후속모델은 2005년 환경등급 평가에서 1위를 차지하여 대표적인 친환경차량으로 자리 잡음
효과		- 바이오 에탄올은 휘발유보다 낮은 가격에 수입 가능 - 바이오 디젤은 휘발유보다 가격이 높음 - 바이오 에탄올 1단위의 에너지량은 생산 투입 대비 약 134% - 일반 차량 기준 바이오 디젤의 연비는 91%, 바이오 에탄올의 연비는 66% 수준	- 발전효율이 30~50%로 내연기관보다 우수하며 열로 회수되는 에너지를 활용하면 전체 효율이 80%에 육박 - 가정에서 전력과 보일러에 연료전지를 도입할 경우, 에너지량 16% 절감 가능 - 연료전지 자동차는 가솔린차량에 비해 약 3배 이상의 고효율	- 하이브리드 엔진 장착 자동차의 구입비용은 휘발유 차량보다 높지만 연비는 50% 이상 향상 - 운영 측면에서는 즉시 에너지비용 절감이 가능하고 투자 후 몇 년 이내에 투자비용 회수 가능
연료비 추정		- 바이오 에탄올 - RTG : \$0.48/TEU - YT : \$0.29/TEU - 바이오 디젤 - RTG : \$1.09/TEU - YT : \$0.67/TEU	- 수소연료전지 - YT : \$0.14/TEU - RTG : \$0.24/TEU	- 하이브리드 엔진 - YT : ₩378/TEU - RTG : ₩600/TEU

제 5 장 하역체계 분석을 통한 에너지비용 절감 모델 수립

1. 하역체계의 에너지 소비패턴

1) 하역시스템의 상호관계 정의

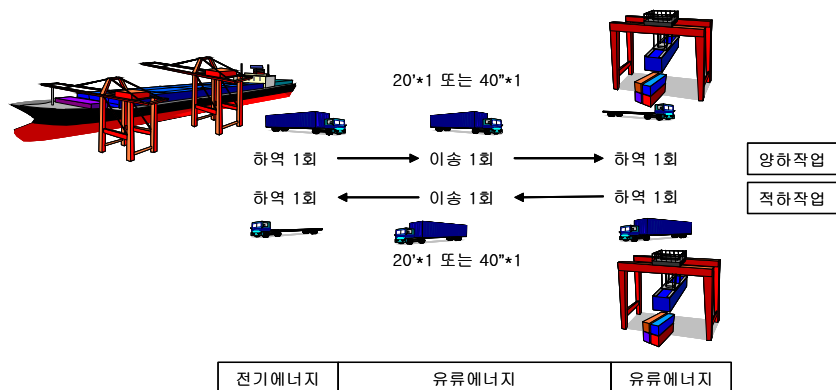
컨테이너터미널에서 유류 및 전기 에너지를 주로 소모하는 하역시스템은 하역작업의 특성상 컨테이너의 흐름에 기인하여 작업량에 따른 에너지 소비를 하게 된다.

일반적으로 C/C의 1회 양하작업시 20피트 컨테이너 1개 또는 40피트 컨테이너 1개를 처리할 경우 이는 YT의 이송작업 1회를 야기시키며, 또한 야드에서 TC의 하역작업 1회를 유발하게 된다. 반대로 C/C의 1회 적하작업은 YT의 1회 이송작업과 TC 1회 하역작업이 선행되어야 한다.

따라서, 하역작업의 상호작용상 컨테이너 1단위의 하역은 2회 크레인 작업과 1회 이송작업이 수반된 작업을 수행하게 되므로 장비의 작업은 반드시 연계되어야 하므로 1회의 하역작업은 이에 따른 일련의 에너지 소비를 유발하게 된다. 현재의 컨테이너터미널에서 양적하작업과정에서 하역시스템 상호간에 발생하는 에너지 소비 작업을 구분하면 다음 <그림 5-1>과 같다.

<그림 5-1>

하역체계 상호관계 정의도



그러므로 컨테이너터미널에서 처리한 물동량에는 이러한 에너지 소비 패턴이 잠재적으로 포함되어 있으며, 컨테이너 1TEU에 대한 에너지 소비를 비용으로 환산하여 모델을 정의할 수 있다. 또한 이러한 에너지 소비는 하역시스템의 흐름 과정이 안벽-이송-야드 간에 소비가 많이 발생하는 지점을 찾아 우선적으로 소비를 감소시키도록 방안을 적용하는 것이 필요하다.

2) 하역시스템의 에너지 소비패턴

하역작업을 수행하는 동안 하역장비의 에너지소비에 대한 패턴을 분석해 보면, 다음의 세 가지 유형으로 구분할 수 있다.

(1) 소비패턴 1 : 크레인 사이클에 대한 에너지 소비

소비패턴 1의 경우 크레인(C/C 또는 TC)이 컨테이너 취급작업 중에 발생하는 것으로 고정적인 에너지 소비가 발생하는 부분으로 고정비용 개념으로 적용되는 것이며, 동력장치의 변화가 없을 경우 반드시 발생한다. 소비패턴 1에 속하는 경우는 다음과 같다.

① C/C의 하역시 발생하는 전기 에너지 소비

C/C가 양하 및 적하시 컨테이너 1단위(20피트 또는 40피트) 취급시에 소모되는 에너지 소비량으로 고정적으로 발생하지만 절감요인은 Twin lift 스프레더 또는 Tandem lift 스프레더를 사용하여 1회 취급량을 늘리면 단위(TEU) 당 소모되는 에너지 소비는 절감될 수 있다.

② TC의 하역시 발생하는 유류 에너지 소비

TC가 야드에서 장치장 작업을 위해 컨테이너 1단위(20피트 또는 40피트)를 취급할 때 사용되는 에너지 소비량으로 고정위치에서 작업을 할 경우 고정적으로 발생하는 비용이며, Twin lift 스프레더를 사용하여 단위(TEU) 당 소모되는 에너지 소비는 절감될 수 있다.

(2) 소비패턴 2 : YT의 목적지 도착 후 대기 에너지 소비

소비패턴 2는 YT가 C/C 또는 TC와의 연계작업을 위해 작업위치에 도착한 후 대기하는 동안에 소모되는 에너지를 의미하며, 대기현상에 따라 변동적으로 발생한다. 이 유형에는 다음의 2가지 경우가 발생한다.

① YT의 에이프런 대기 유류 에너지 소비

YT가 안벽의 에이프런에 도착한 후 C/C가 작업진행 상태일 경우 대기상태에서 YT가 유류 에너지를 소비하거나 대기행렬에 따른 대기시간에 따라 비례적으로 증가하는 변동비용이다.

② YT의 야드 대기 유류 에너지 소비

YT가 야드의 블록내 작업 베이에 TC보다 먼저 도착하여 대기하는 경우에 발생하는 대기상태 에너지 소비로 대기시간에 따라 비례적으로 증가하는 변동비용이다.

(3) 소비패턴 3 : 크레인 작업위치 대기 에너지 소비

소비패턴 3은 에너지소비의 변동성이 발생하는 부분이 YT의 이송 후 도착시간의 불확실성에 따른 C/C 및 TC의 대기시간 동안의 에너지 소비를 의미하며, C/C의 경우 전기에너지이며, TC의 경우 유류에너지의 소비가 발생한다. 이러한 3가지 유형의 소비패턴을 하역과정으로 표현하면, 아래의 표와 같은 에너지 소비패턴으로 분류할 수 있다.

<표 5-1> 하역작업에서 에너지 소비패턴(양하작업과정)

하역장비	작업내용	에너지소비	소비패턴
C/C	선박 적재 컨테이너를 집어서 이송차량에 내려 놓기	컨테이너 1단위 하역을 위한 전기 에너지 소비	시간에 비례
YT	컨테이너 적재를 위해 C/C 아래에서 대기	대기시간 동안 유류 소비	대기시간 비례
YT	안벽에서 야드로 이동	컨테이너 단위의 이동거리에 따라 유류 소비	이동거리에 비례
YT	TC 작업위치에서 대기	대기시간 동안 유류 소비	대기시간 비례
TC	컨테이너 장치를 위해 작업위치인 YT 대기위치로 이동	이동거리에 따라 유류 소비	이동거리에 비례
TC	YT 적재 컨테이너를 집어서 장치장에 내려 놓기	컨테이너 1단위 장치를 위한 유류 소비	시간에 비례

위의 표에서 에너지 소비패턴 중 YT의 경우 이동거리와 대기시간에 따라 변동적인 에너지 소비패턴을 가지므로 변동비용 발생가능성이 가장 높다. TC의 경우도 장치장 내부 이동과 대기시간에 따른 변동비용이 발생할 가능성이 높다. 두 가지 경우는 주로 유류 에너지를 소비하면서 대기중에도 엔진이 가동중이므로 유류를 소모하는 특성을 가지고 있다.

(4) 소비패턴 4 : YT 주행에너지 소비

소비패턴 4는 에너지 소비의 변동성이 YT의 운행거리에 따라 비례적으로 발생하는 부분으로 YT의 이송작업 동안 지속적으로 에너지가 소비된다. YT의 주행에너지에는 주행중의 대기시간과 순수 주행시간 동안 에너지 소비가 포함되어 있다.

3) 하역장비별 에너지 소비량 결정

3장에서 하역장비별로 분석된 에너지 소모량에 대해서 분류하면 다음과 같다.



따라서 1TEU의 컨테이너를 하역하기 위해 사용되는 에너지 비용은 2.87KWH와 1.64리터(1.01리터+0.63리터)가 소비되는 것으로 추정된다.

1단위(TEU) 컨테이너 하역작업시 사용되는 에너지 소비량을 결정하면, 이를 기준으로 에너지 소비를 절감시킬 수 있는 비교 대안들을 수립할 수 있다. 따라서, 위에서 추정한 2.87KWH와 1.64리터는 에너지 절감방안을 수립하기 위한 기준이 되는 값이다.

C/C의 경우 1TEU 하역시 2.87KWH보다 적은 에너지 소비량을 가지도록 하는 대안을 수립하여야 한다. TC의 경우 1.01리터보다 적은 유류소비량을 가지는 운영 방안을 마련하거나 TEU당 에너지 소비단가가 더 낮은 에너지 유형의 전기동력원

으로 전환하는 방안이 제시되어야 한다.

YT의 경우 1TEU 이송시 소모되는 0.63리터보다 낮은 에너지소모량을 가지는 운영방안을 모색하거나 효율적인 동력원의 변경이 고려되어야 한다. 이러한 에너지 절감방안이 종합적으로 적용될 경우 1TEU의 컨테이너 처리시 에너지 비용이 절감되는 기준을 설정하고 에너지 절감 방안들이 적용되어야 한다.

그러나 하역장비별 에너지소비는 하역 및 이송작업을 위해 반드시 소비되어야 할 에너지인 고정비용 측면의 에너지와 추가적으로 발생하는 변동비용 측면의 에너지가 함께 발생한다. 그러므로 에너지 소비량 결정에서는 고정비용과 변동비용이 함께 포함되어 있다. 고정비용과 변동비용을 명확히 구분하고 절감가능한 영역을 찾는 것이 필요하다.

2. 에너지비용 분류 및 비용절감

1) 에너지비용 분류

에너지비용은 4장의 국내외 에너지비용 절감 사례를 분석하여 다음과 같이 분류할 수 있다.

<표 5-2>

에너지비용 절감 사례별 적용시기

사례	적용장비	적용 효과	적용 단계
ECO-RTG	TC	유류비 50% 절감	단기
하이브리드 YT	YT	대기오염 93% 감소	중기
바이오 디젤 연료	TC, YT, TH, FL	에너지 대체 효과	단기
디젤 전기식 AGV	AGV	연료비 25% 절감	중기
연료비 절감장치	부분 장치	유류비 10-15% 절감	장기
야드크레인 전기구동	TC	유류비 10% 절감	단기
환경친화형 자동차	동력장치	에너지 대체 효과	장기

위의 분류와 같이 TC에 적용되는 기술들은 단기적 적용이 가능하므로 바로 현장에 적용하여 에너지비용의 절감이 가능한 방안들이다. 그러나 이송차량에 대한 사례인 하이브리드 YT 및 디젤 전기식 AGV는 국내 현실에 맞도록 기술화하여 중기적인 적용을 하여야 한다. 또한 연료비 절감장치 및 환경친화형 자동차는 장기적인 측면에서 기술의 개발 및 검증단계를 거쳐서 현장에 적용되어야 한다.

에너지 절감효과 측면에서 유류비 절감이 가능한 ECO-RTG, 연료비 절감장치, 야드크레인 전기구동 등은 유가상승에 대응하는 전략이면서 빠른 시간 내에 현장에서 적용이 가능한 기술인 것으로 파악되므로 기술적용을 위한 계획의 수립이 필요하다.

제4장에서 제시된 에너지비용 절감 대안들은 다음과 같이 분류하여 중장기적으로 적용시기를 구분할 수 있다.

<표 5-3> 에너지비용 절감대안별 적용단계

대안 영역	세부대안	절감 유형	적용단계	비고
운영 (운영시스템)	YT 폴링(동적할당)	YT 운영비 절감	단기	적용가능
	TC 작업동선 최소화	TC 운영비 절감		
	2단적재차량	차량 유류비 절감		
	컨테이너 재조작 감소	TC 운영비 절감		
장치 (전기전자)	ECO-RTG	유류(전기)비, 엔진유지비 절감	중기	장치개발
	슈퍼 카파시터	TC 유류비 절감		
	Fly Wheel	연료절감		
	Variable Speed	-		
신기술	바이오에너지	-	장기	신기술개발
	수소연료전지	-		

운영 영역에서 YT 폴링 대안은 YT의 운영비인 유류비용을 절감하는 효과를 가지면서 단기적으로 적용이 가능한 반면, TC 운영비 절감효과가 있는 TC 작업동선 최소화 및 컨테이너 재조작 감소는 운영시스템의 기술적 지원으로 단기적으로 적용이 가능한 기술이며, 운영 영역의 에너지비용 절감대안은 하역장비 중 TC 및 YT의 유류비 절감을 위한 효과적인 대안을 제시할 수 있다.

장치 영역에서는 유류비의 절감에 효과적인 것으로 특정한 장치를 개발해서 적용하는 것으로 개발 및 검증에 일정 기간이 소요되는 대안들이다.

신기술 영역은 장기적으로 신기술의 개발이 진행중인 것들로 항만 장비에 적용하기에는 기술개발에 많은 시일이 소요되는 것들로 장기적인 투자가 필요한 분야이다.

2) 에너지비용 절감대안 구분

에너지비용을 사례별로 살펴본 결과 에너지비용은 대안 영역별로 구분이 가능하며, 이를 컨테이너터미널의 하역시스템에 따라 안벽, 이송, 야드 등으로 구분하여 절감대안을 분류할 수 있다.

영역별 에너지비용 절감대안을 대안기술의 적용시기에 따라 구분하면, 바로 현장적용이 가능한 YT 폴링, 2단적재차량, TC 동선 최소화 등의 대안은 단기대안으로 분류된다.

중기대안은 핵심기술의 개발 또는 현장에서의 검증이 필요한 대안들이며, 장기대안은 기술개발을 통해 항만에 적용가능하도록 검증이 필요한 대안들이다.

<표 5-4>

에너지비용 절감대안 분류

구분	안벽	이송	야드
단기	-	-YT 폴링 -2단적재 차량	-TC동선 최소화
중기	-슈퍼 카파시터	-슈퍼 카파시터 -플라이휠 -변동스피드	-E-RTG -슈퍼 카파시터 -플라이휠 -변동스피드
장기	-	-바이오에너지 -수소연료전지	-바이오에너지 -수소연료전지

3) 하역장비간 에너지비용 절감

컨테이너터미널의 하역작업에서 에너지비용이 고정적으로 소모되는 반면, 변동적으로 소모되는 부분에 대한 절감이 필요하다. 고정적인 에너지비용은 동력원의 변경에 따른 절감이 가능하다.

변동적인 에너지비용은 일부 장치의 추가 및 변경이 가능하면서, 장비간의 인터페이스에서 발생하는 대기시간을 줄여주는 것이 에너지비용을 절감하는 방안이 될 수 있으며, 이동시간을 줄여 에너지비용을 절감하는 것도 방안이 될 수 있다. 이를 상호관계 측면에서 살펴보면, 장비 단독으로 에너지비용 절감이 가능한 경우는 이동거리를 감소시키는 것이며, 장비 상호간의 에너지비용을 절감하는 것은 대기시간을 줄여주는 것이다.

또한, 컨테이너 1단위 하역작업시 장비간의 상호작용이 C/C-YT, YT-TC 간에 2번 발생하므로 상호작용시 대기시간에 따른 에너지비용 소모는 반드시 수반되며, 하역장비간의 상호작용시 대기시간을 최소화하는 것이 에너지비용 절감을 위한 효과적인 수단이 될 수 있다.

3. 에너지비용 절감 모델

1) 에너지비용 절감 모델의 가정

하역장비의 에너지비용 절감 모델을 수립하기 위한 가정은 다음과 같다.

먼저, 하역시스템의 에너지비용은 고정비용, 변동비용, 운영비용 등으로 구성된다. 이러한 가정에 따라 에너지의 고정 소비와 변동 소비를 구분하면 아래 표와 같이 정리된다.

에너지비용에서 고정비용은 컨테이너 1단위 작업을 위해 반드시 발생하는 비용이며, 변동비용은 이동거리와 대기시간에 따라 증가하고 운영비용은 운영효율에 따라 가변적이다.

하역시스템에서 하역장비인 C/C, YT, TC를 사용할 경우 양하 및 적하작업을 수행할 경우 발생하는 에너지비용을 발생 상황에 따라 표현하면 아래 그림과 같이 거리와 시간에 따라 구분된다. 거리에 따른 에너지비용은 변동비용(V)이 발생하

며, C/C 이동, YT 이동, TC 이동 등이 해당된다. 거리에 대한 변동비용은 거리가 증가함에 따라 비용이 증가하는 것으로 $YT > TC > C/C$ 의 순으로 이동거리가 길다.

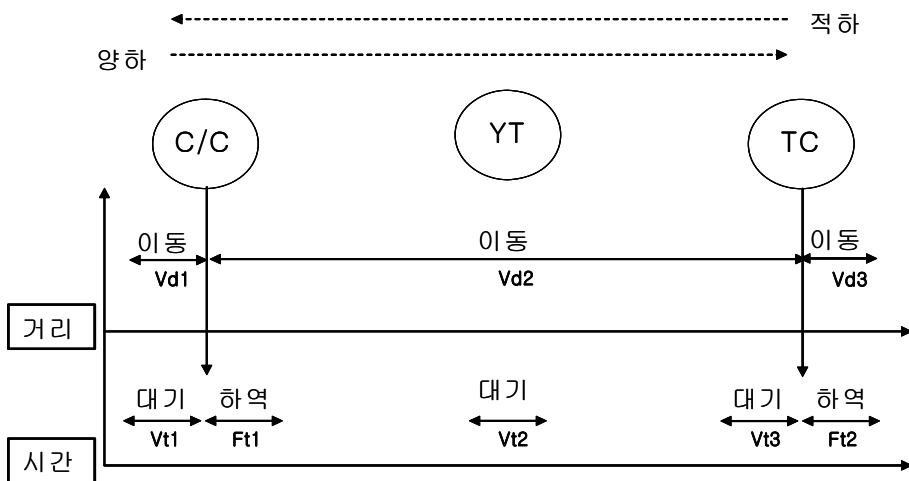
<표 5-5>

에너지 소비 패턴 구분

구분	C/C	YT	TC
에너지 소비 유형	전기	유류(경유)	유류(경유)
에너지 소비 패턴			
고정 소비	하역	이송	하역
변동 소비	대기시간 증가	이송거리 증가 대기시간 증가	이동거리 증가 대기시간 증가

<그림 5-3>

하역시스템에서 에너지비용의 발생 상황



시간에 따른 에너지비용은 고정비용(F)과 변동비용이 함께 발생하며, 고정비용의 경우 C/C 하역, TC 하역에서 발생하며, 변동비용은 C/C 대기, YT 대기, TC 대기 등이 발생하며, 대기에 대한 변동비용은 장비간의 상호작용에서 발생하는 빈도가 높다. 이러한 에너지비용의 발생상황을 양하작업과 적하작업에 따라 구분하면 다음과 같다.

① 양하작업 에너지비용

양하작업시 하역장비에서 발생하는 고정비용과 변동비용은 다음과 같다.

$$\text{양하작업} = \{Ft1+Ft2\} + \{(Vd1+Vt1)+(Vd2+Vt2)+(Vd3+Vt3)\} \quad (1)$$

② 적하작업 에너지비용

적하작업시 하역장비에서 발생하는 고정비용과 변동비용은 다음과 같다.

$$\text{적하작업} = \{Ft2+Ft1\} + \{(Vd3+Vt3)+(Vd2+Vt2)+(Vd1+Vt1)\} \quad (2)$$

위의 두 가지 작업유형에 대한 에너지비용식을 사용할 수 있으므로 1단위의 컨테이너 작업 시 기대비용은 동일한 것으로 가정할 수 있다.

2) 에너지비용 절감 모델 수립

에너지비용 절감 모델은 에너지 소비 패턴을 어떻게 절감하는지 방법에 따라 모형을 구분할 수 있다.

모델 1) 저비용 에너지 전환 모델

단위 하역작업당 에너지 소모가 적은 에너지 유형으로 전환하는 것으로 유류 소비를 전기 소비로 전환하는 방안이 해당된다. 적용가능한 대안은 바이오디젤 연료 등의 에너지 전환 방안이다.

모델 2) 고정비용 절감 모델

에너지소비가 고정적으로 발생하는 하역작업에서 에너지비용을 절감하도록 하는 방안이다. 고정적인 에너지소비량을 절감할 수 있도록 하는 것은 에너지 저소비형 동력장치를 사용하거나 동일한 에너지소비량을 가지면서 이송량을 늘리는 방안이다.

모델 2-1) 에너지 저소비 모델

ECO-RTG를 적용할 경우 고정비용인 하역에너지와 변동비용인 대기에너지 및 이동에너지 등을 포함해서 유류비 50% 절감이 가능하다.

모델 2-2) 이송량의 증가 모델

동일한 사이클작업 중에 복수개의 컨테이너를 처리하는 것으로 단위당 에너지비용을 절감하는 방안이다. C/C의 경우 Dual-cycle Operation을 적용하여 동일한 고

정비용을 소비하면서 2단위의 컨테이너를 하역하는 방안이며, YT의 경우 한번의 선회주기 동안 2단위의 컨테이너를 이송하는 Dual-cycle Operation이 방안이 될 수 있다.

모델 3) 변동비용 절감 모델

변동비용은 장비의 대기시간, 장비간 대기시간 및 이동시간으로 구분되므로 대기시간 감소 또는 이동시간 감소로 에너지 소모량을 줄여 변동비용을 절감하는 방안이다. 변동소비를 절감할 수 있도록 하는 것은 장비운행을 효율적으로 하는 운영시스템 측면이 고려되는 방안들이다.

모델 3-1) 이송거리 감소 모델

변동비용 중 가장 빈번하게 발생하는 것이 YT의 이동비용으로 이를 감소시키는 모델에는 YT의 Twin 이송작업과 Pooling 적용 등이다.

모델 3-2) 대기시간 감소 모델

변동비용 중 대기시간에 따른 에너지비용을 절감하는 모델이며, 장비의 대기 또는 장비간의 대기를 감소시켜 대기로 인한 에너지비용을 절감하기 위하여 실시간 장비위치 파악(RTLS) 적용, TC의 Role Change 적용 등이다.

3) 하역상태별 적용기술

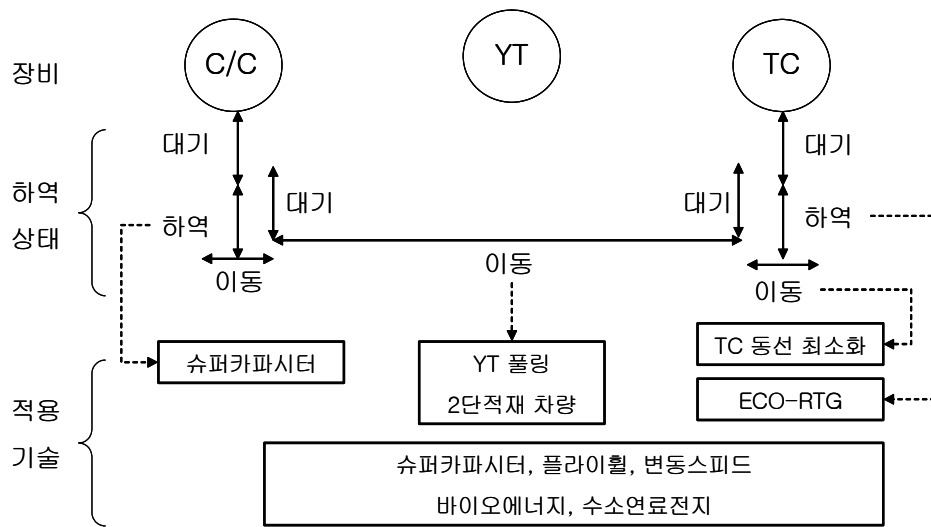
하역시스템을 구성하는 장비를 C/C, YT, TC로 하여 각 장비별 하역상태를 C/C(이동, 대기, 하역), YT(이동, 대기), TC(이동, 대기, 하역)로 구분하여 해당되는 상태별 에너지비용 절감기술의 적용가능한 기술을 분류하면 다음 <그림 5-3>과 같다.

C/C의 경우 하역상태에서 슈퍼 카파시터가 적용 가능하며, YT의 경우 이동상태에서 YT 풀링 및 2단적재차량이 적용 가능하며, TC의 경우 이동상태에서 TC 동선 최소화, 하역상태에서 ECO-RTG 적용이 가능하다.

그리고 공통적으로 YT와 TC에는 슈퍼 카파시터, 플라이휠, 변동스피드 등이 적용 가능하며, 바이오에너지 및 수소연료전지는 공통적으로 YT 및 TC에 적용 가능하다고 할 수 있으며 장기적인 기술개발을 통해 그 적용가능성은 더 넓어질 것이다.

<그림 5-4>

하역상태별 적용기술



4. 요약

하역체계 분석을 통한 에너지비용 절감 모델의 수립을 위해 하역체계의 에너지 소비패턴을 분류하고 에너지비용 분류 및 비용절감에 대한 대안의 구분을 한 후 에너지비용 절감 모델을 수립하였다.

먼저 하역체계의 에너지 소비패턴은 하역시스템의 상호관계 정의에 따라 소비패턴을 4가지 유형으로 구분하였으며, 제3장에서 분석된 하역장비별 에너지 소모량에 따라 하역장비별 에너지 소비량을 결정하였다.

에너지비용 분류는 국내외 에너지비용 절감 사례에 대한 분석결과를 이용하였고 에너지비용 절감대안별 적용단계를 분류하여 기술대안의 유형을 분류하였다.

에너지비용 절감 모델은 하역시스템의 에너지비용이 고정비용과 변동비용으로 구성되며, 에너지비용의 발생상황을 거리와 시간에 따라 분류됨을 가정하였다. 이를 바탕으로 에너지비용 절감 모델을 저비용 에너지 전환 모델, 고정비용 절감 모델, 변동비용 절감 모델 등의 3가지 유형으로 수립하였다.

제 6 장 컨테이너터미널 에너지비용 절감 적용 타당성 및 우선순위 분석

1. 컨테이너터미널 적용 타당성 분석

1) 절감방안의 용이성

절감방안의 용이성에서는 각 대안별 절감특성을 살펴보고 그에 따른 새로운 시스템이나 장치 도입시 투입되어야 할 비용적 측면에서 살펴본다.

① 운영의 효율화

컨테이너터미널에서 운영의 효율화를 통한 에너지 비용절감방안은 크게 4가지로 구분된다.

본 운영비용을 통한 절감은 터미널 내 이송장비인 TT(Terminal Truck)와 YC(Yard Crane) 등에서 절감요소가 발생한다. TT의 경우 일반 컨테이너터미널에서 사용되는 YT, SC(Straddle Carrier), SHC(Shuttle Carrier)와 자동화터미널에서 사용되는 AGV(Automated Guided Vehicle) 등 디젤엔진을 사용하는 장비가 이에 해당된다.

또한 YC의 경우 RTGC나 RMGC 등 디젤 및 전기식 야드장비가 이에 해당되며 운영적 효율화를 통한 터미널 전체적인 장비의 에너지 소요비용을 절감할 수 있는 특성을 가지고 있다.

운영효율화를 통한 에너지 절감은 크게 4가지로 나누어지며 TT 폴링시스템은 이송장비의 할당을 동적으로 운영함으로써 이송장비의 대기시간을 줄이는 데 목적이 있다. 따라서 이송장비의 대기시간 감소로 인한 장비 동력비용을 절감할 수 있다. 그러나 이를 위해서는 보다 정밀한 이송장비 운영/계획시스템에서 보완이 이루어져야 한다. TT 2단적시스템의 경우 TT가 작업을 위해 1사이클당 컨테이너 1개를 이송하는 데 반해 1사이클당 컨테이너를 2단 적재하여 운반함으로써 이동시간을 절감하는 데 목적이 있으며 이를 위해 기존의 샷시를 2단적을 위한 샷시 플랫폼과 그에 적합한 엔진출력을 가진 YT로 교체하여야 한다. 따라서 2단적 YT의 경우 전체 YT를 교체하기 위해서는 1대당 약 1억원 내외의 비용이 발생할 것으

로 예측되어 4가지 대안 중 가장 많은 비용이 발생될 것으로 추정된다.

YC의 경우 YC의 작업동선을 최소화할 수 있는 효율적 작업배정을 수행함으로써 YC의 갠트리 이동거리를 최소화하여 동력비용을 절감하는 데 있다. 이는 터미널 장비 작업계획과 적재계획이 효과적으로 실시간 연동되어야 하기 때문에 터미널 장비운영 및 계획시스템의 보완이 필요하다. YC 재조작의 경우 수출입 및 환적 컨테이너에 대한 효율적인 적재계획을 수립, 시행함으로써 컨테이너 재조작 회수를 최소화시켜 동력비용을 절감시킨다. 이는 야드적재계획시스템과 야드장비운영 및 계획시스템의 효율성이 강화되어야 한다.

<표 6-1>

운영효율화를 통한 절감특성 및 투입비용

구분		특성	투입비용적 측면
운영	TT 폴링	- 이송장비의 할당을 동적으로 운영 - 이송장비 대기시간 감소로 인한 장비동력비용 절감	기존 운영시스템 개선으로 투입비용 저감
	TT 2단적	- TT에 2단적의 컨테이너를 적재운반 - 이송장비 이동시간 감소(1/2)로 장비동력비용 절감	신규차량 대체로 인한 투입비용 고가
	YC 동선	- YC에 대한 효율적인 작업배정 - YC 이동거리 최소화로 인한 장비동력비용 절감	기존 운영시스템 개선으로 투입비용 저감
	YC 재조작	- 효율적인 YC 작업계획 수립 - 컨테이너 재조작 작업의 최소화를 통한 장비동력비용 절감	기존 운영시스템 개선으로 투입비용 저감

운영효율화를 통한 일반적 특성을 살펴보았을 때 4가지 시스템 모두 동시에 적용이 가능하다. 이는 전반적으로 터미널 운영시스템을 일부 수정 보완하고 일부 장치를 개조할 경우 적은 비용으로 많은 효과를 가져올 수 있는 대안들로 판단된다. 전체적으로 투입비용을 비교해 보았을 경우 TT 폴링, YC 동선 및 재조작의 경우 기존의 운영시스템 수정·보완을 통해 가능하므로 그 개선비용은 3가지 시스템을 모두 개선할 경우 총 2억원 내외가 소요되는 것으로 조사되었다.

그러나 TT 2단적의 경우 차량 전체를 교체해야 하므로 1선석 16대의 YT가 운영된다고 가정하였을 경우 약 16억원 내외의 교체비용이 발생되며 2단적 이송장비를 운영할 경우 터미널 운영시스템의 수정도 동시에 이루어져야 하므로 4가지 안 중 투입비용측면에서는 가장 불리한 안이라 할 수 있다.

② 기개발된 장치의 적용

기개발된 장치의 적용을 통한 에너지 비용절감방안은 전기장치로의 전환과 에너지 세이빙장치 적용 등 크게 2가지로 구분되며 에너지세이빙 장치의 종류별 3가지로 세분화된다.

본 기개발 장치적용을 통한 절감은 기존의 디젤을 이용한 동력원을 대체, 디젤의 사용량 감소와 더불어 전기의 사용량 증가, 기존 전기장비의 전력절감 등으로 나타난다.

이에 따라 컨테이너터미널에서의 해당 하역장비에 새로운 장치의 교체나 장치를 설치함으로써 동력비용 절감이 가능하며 이는 안벽장비인 C/C, 이송장비인 TT(terminal truck)와 YC(Yard Crane) 등에 해당된다.

기개발된 장치의 적용을 통한 에너지 절감은 세부적으로 4가지로 구성되며 E-RTG의 경우 YC에 해당되는 장치로서 기존의 디젤을 이용한 동력장치를 전기동력원으로 교체하여 절감효과를 볼 수 있고, 현재 국내 일부 항만에서 실제 운영중에 있다. 따라서 본 절감방안은 실제 항만에 입증된 기술로서 적용하기가 매우 용이하다.

에너지세이빙 장치 중 Super Capacitor 장치는 대용량/고밀도 전력저장장치로서 급속충전 및 완속방전의 특성을 가지고 있으며 여유분의 전력을 저장후 이용하는 방식으로 YC 및 TT에 장착할 경우 여유전력을 이용한 동력비용 절감이 가능하다. Fly Wheel 배터리의 경우 대용량 전력저장이 가능한 배터리를 적용함으로써 전력을 사용하는 C/C, 그리고 YC와 TT에 Fly Wheel 배터리를 설치함으로써 동력비용을 절감할 수 있다. 가변출력엔진의 경우 작업상황에 따라 그에 적합한 엔진의 출력을 변화시킴으로써 동력비용을 절감할 수 있는 장치이다.

위 4가지 대안들은 기존에 개발되어 사용되고 있는 대안들이긴 하나 플라이휠 및 가변출력엔진의 경우 플라이휠 배터리를 항만하역장비에 적용하기 위해서는 별도의 개선 및 그에 적합한 연구개발, 적용시험 등이 필요하며 가변출력엔진의 경우에는 비용뿐만 아니라 별도의 엔진을 개발해야 하는 어려움이 있다.

대당 투입비용적 측면을 살펴보았을 때 E-RTG가 1대당 3억 7천만원이 소요되어 가장 많은 투입비용을 보였으며 가변출력엔진, Fly Wheel 배터리 순으로 나타났으며 Fly Wheel 배터리가 4천만원으로 가장 적은 비용이 투입되는 것으로 나타났다.

<표 6-2>

기존 장치 적용을 통한 절감특성

구분		특징	투입비용적 측면
장 치	E-RTG • 전기동력 공급을 위한 설비추가 • YC의 동력장치 교체 • 기존의 디젤동력원을 전기동력원으로 변환하여 동력비용 절감		3억 7천만원 /대
	에 너 지 세 이 빙	Super Capacitor • 대용량/고밀도 전력저장장치 적용 • 여유분의 전력을 이용하여 YC 및 TT의 동력비용 절감	5천만원/대 (RTGC)
		Fly Wheel 배터리 • 대용량 전력저장이 가능한 배터리를 적용 • 기존의 동력을 사용하는 C/C, YC, TT 등에 대해 저장전력을 이용함으로써 동력비용 절감	4천만원/대 (RTGC)
		가변출력 엔진 • 작업상황에 따라 엔진의 출력변화가 가능한 장치적용 • 동력사용의 강약에 따라 엔진출력의 변화를 유도하여 동력비용 절감	1억 1천만원 /대 (RTGC)

③ 신기술 개발

신기술 개발을 통한 에너지 비용절감방안은 바이오에너지, 수소연료전지, 하이브리드 엔진 등 3가지 신기술의 개발 및 적용을 통해 에너지 비용을 절감할 수 있다.

신기술 개발을 통한 에너지비용 절감방안은 현재 일부 산업계에 적용되고 있는 기술도 있으나 안정성, 경제성이 충분히 검증되지 않았으며 지속적으로 연구 개발되고 있는 방법이다. 그러나 향후 상품성, 검증성, 경제성을 확보하게 된다면 그 어느 기술보다도 그 파급력은 클 것으로 판단된다.

바이오에너지를 이용한 에너지비용 절감기술은 100% 디젤을 사용하고 있는 TT, YC에서 디젤과 바이오연료를 혼합함으로써 기존 연료비용의 절감을 꾀하는 방안이다. 이는 새로이 개발된 바이오 연료의 가격이 기존 디젤에 비해 저렴하여 야만 적용가능한 방안이며 바이오 디젤의 경우 기존 경유에 비해서도 높은 가격을 유지하고 있으나 바이오 에탄올의 경우 기존 경우에 비해 약 16% 가량 저렴한 것으로 나타나고 있다. 이러한 상황을 보았을 때 향후에는 보다 경제적인 바이오에너지의 개발이 요구된다고 할 수 있다.

수소연료전지의 경우 고밀도/고속충전이 가능한 꿈의 연료전지로서 상용화를 위한 개발기간이 30~40년 소요될 것으로 예상된다. 이를 적용할 경우 기존의 TT, YC 등 디젤을 사용하는 장비를 수소전지를 동력원으로 하는 장비로 교체함으로써 획기적 에너지 비용절감이 가능한 대안이다.

하이브리드 엔진 개발의 경우 화석연료와 전기를 동시에 사용하여 연료효율을 높이는 기술로서 현재 자동차에 일부 적용되어 운영되고 있는 에너지 절감기술이다. 이는 충전시간 및 저장능력에 한계를 보이고 있으나 상당한 기술개발 수준에 올라와 있다. 따라서 하이브리드 엔진을 하역장비에 적용한다면 그 경제성은 매우 충분하다 할 수 있으며 고속충전/대용량 하이브리드 엔진/전지기술 개발이 관건이라 할 수 있다.

<표 6-3>

신기술 개발을 통한 절감특성

구분		특징	투입비용적 측면
신기술	바이오 에너지	• TT, YC의 디젤사용비중 감소와 바이오에너지 혼용으로 인한 동력비용 감소	• 에너지원의 교체이므로 별도의 초기투입비용이 없음
	수소연료 전지	• 고밀도/고속충전이 가능한 꿈의 연료전지 • 기존의 TT, YC 등 디젤을 사용하는 장비를 수소전지를 동력원으로 하는 장비로 교체	• 수소연료전지는 소모품으로 2.5년(TT), 6년(YC) 수명을 가짐 - TT : 1천 4백만원/1대 - YC : 2천 2백만원/1대
	하이브리드 엔진	• 디젤과 전기를 동시에 사용가능한 장비로서 기존에 비해 1/2의 동력비 소요	• 하이브리드 엔진의 경우 1대당 1천 5백만원 내외로 될 것으로 예측

주 : 수소연료전지 및 하이브리드 엔진 가격은 현재 개발되어 시험중인 버스 및 자동차를 기준으로 산출

위 3가지 신기술 중 수소연료전지의 경우 절감효과는 가장 클 것으로 판단되나 오랜 개발기간으로 인하여 그 효용성은 가장 떨어질 것으로 판단되며 바이오에너지 또한 16% 정도(세금제외)의 에너지비용 절감으로 인해 보다 더 저렴한 바이오에너지 기술개발이 필요한 실정이다. 따라서 현재 상용화되어 사용되고 있는 하이브리드 엔진이 단기간 내 적용가능한 가장 좋은 대안이라 할 수 있으며 현재 미국 롱비치항에 적용되어 있다.

결과적으로 바이오에너지 적용이 초기 투입비용이 가장 적으며 수소연료전지의 경우 소모품적인 장치로서 일정기간 후 교체가 필요하기 때문에 가장 많은 투입비용이 요구된다.

2) 비용절감 효과성

각 대안별 비용절감 효과는 2장에서 컨테이너 총 처리물량 50만TEU, 안벽길이 350m, 야드깊이 600m, YC대수 8대, TT대수 16대를 적용할 경우 가정하여 산출한 값들을 비교한 것이다.

① 운영의 효율화를 통한 절감비용

제2장에서 분석된 효과를 바탕으로 운영의 효율화를 통한 절감비용을 산출한 결과 TT의 경우 폴링시스템을 적용할 경우 연간 24.48원/TEU의 비용이 절감되는 것으로 나타났으며 2단적시스템을 적용할 경우 주행절감비용은 연간 62.50원/TEU과 공회전비용은 56.80원/TEU이 절감되며 이를 합하면 연간 총 119.30원/TEU이 절감되는 것으로 산출되었다.

YC의 경우 동선이동거리 최소화를 위한 운영시스템 개선시 16.90원/TEU, 리헨들링 작업 최소화를 위한 운영시스템 개선시 61.20원/TEU으로 나타났다.

<표 6-4> 운영효율화를 통한 절감비용 비교분석

구분		절감비용	적용장비
운영	TT 폴링	24.48원/TEU · 년	TT
	TT 2단적	119.30원/TEU · 년	TT
	YC 동선	16.90원/TEU · 년	YC
	YC 재조작	61.20원/TEU · 년	YC

결과적으로 운영의 효율화를 통한 절감비용 중 TT 2단적의 감소비용이 절대적으로 우위에 있는 것으로 산출되었다.

② 기 개발된 장치의 적용을 통한 절감비용

본 연구에서 가정한 50만TEU의 물동량 처리시 YC 8대, TT 16대가 필요한 것으

로 나타났다. 따라서, 제2장에서 조사된 E-RTG의 절감비용은 YC 1대당 사용시 1억 5백만원이 절감되므로 이를 TEU로 환산하면 211원/TEU·년으로 산출되었다.

<표 6-5> 기 개발장치 적용을 통한 절감비용 비교분석

구분		절감비용	적용장비
장 치	E-RTG	211.0원/TEU · 년	YC
	Super Capacitor	268.0원/TEU · 년	TT
	Fly Wheel 배터리	340.8원/TEU · 년	YC
	가변출력 엔진	511.2원/TEU · 년	YC

Super Capacitor 적용시 TT의 1대당 연간 절감액은 1억 3천 4백만원이므로 이를 TEU로 환산하면 268원/TEU로 산출된다. YC 1대당 기존 동력비용은 1,704원/TEU로서 플라이휠의 경우 기존대비 20%, 가변출력엔진의 경우 기존대비 30%의 연료 절감이 발생하기 때문에 각각 연간절감액은 206.4원/TEU, 309.6원/TEU로 산출된다. 따라서 단위당 절감비용은 가변출력엔진이 가장 우수한 것으로 나타났다.

③ 신기술 개발을 통한 절감비용

제2장에서 신기술 개발을 통해 제시된 각 장비당 소요연료비용을 국내 세금(2007. 7월 현재 국내 경유의 세금비중 51.1%)²⁴⁾을 적용하였을 경우 다음과 같이 연료비가 소요되는 것으로 분석되었다.

바이오에너지 중 가장 저렴한 바이오에탄올의 경우 YC 982원/TEU, TT 593원/TEU이 소요되는 것으로 나타났으며, 수소연료전지를 사용할 경우 YC 240원/TEU, TT 140원/TEU, 하이브리드 엔진을 적용할 경우 YC 1,128원/TEU, TT 684원/TEU의 동력비용이 발생하는 것으로 나타났다.

24) <http://www.petroleum.or.kr/> 참조

<표 6-6> 신기술 적용시 소요연료비 비교분석

구분		소요연료비 (세금 미적용)	소요연료비 (세금 적용)	비고
신 기 술	바이오 에너지	YC : ₩480/TEU	YC : ₩982/TEU	세금 51% 적용(바이오에탄올)
		TT : ₩290/TEU	TT : ₩593/TEU	
	수소연료 전지	-	YC : ₩240/TEU	전기
		-	TT : ₩140/TEU	
	하이브리드 엔진	-	YC : ₩1,128/TEU	세금반영 금액
		-	TT : ₩684/TEU	

주 : 1) 1\$당 1,000원으로 환산

2) 수소연료전지는 소모품으로서 연료비에 포함되었으며 수소충전비용은 매우 저렴할 것으로 예상되어 2장에서 고려를 하지 않았음

이를 바탕으로 신기술 개발 및 적용을 통한 절감비용을 산출한 결과 수소연료전지의 절감비용이 YC의 경우 960원/TEU, TT의 경우 616원/TEU로 가장 우수한 것으로 나타났으며, 바이오에너지의 경우 YC 218원/TEU, TT 163원/TEU, 하이브리드 엔진의 경우 YC 72원/TEU, TT 72원/TEU의 비용이 절감되는 것으로 나타났다.

<표 6-7> 신기술 개발/적용을 통한 절감비용 비교분석

구분		절감비용			적용장비
		기존 동력비용 (원/TEU)	신기술 동력비용 (원/TEU)	절감비용 (원/TEU)	
신 기 술	바이오 에너지	1,200	982	218	YC
		756	593	163	TT
	수소연료 전지	1,200	240	960	YC
		756	140	616	TT
	하이브리드 엔진	1,200	1,128	72	YC
		756	684	72	TT

3) 기술적 적용성

기술적 적용성은 제시된 에너지비용 절감기술들이 현 컨테이너터미널에 적용하기에 기술적으로 용이한 대안들인지를 검토해 보도록 한다. 기술의 적용성은 각 대안들의 적용시기, 적용장비, 개선 또는 개발여부를 검토하였으며 적용시기가 빠를수록, 적용장비가 많을수록, 개발보다는 개선에 가까울수록 대안의 적용성이 좋다고 판단한다.

① 운영의 효율성

운영의 효율화를 통한 적용용이성을 검토한 결과 항만의 운영시스템 개선을 통해 모든 대안의 단기적 적용이 가능하였다. 또한 상호간의 동시적용이 가능한 시스템으로 그 효율성은 매우 높을 것으로 판단된다.

그러나 TT 2단적의 경우 전반적인 이송차량의 교체와 더불어 이를 효율적으로 운영하기 위한 운영시스템의 개선도 동시에 이루어져야 하므로 4가지 대안 중 가장 복잡한 적용성을 가지고 있다.

<표 6-8> 운영효율화를 통한 적용용이성

구분		적용시기	적용장비	개선 또는 개발여부
운영	TT 풀링	단기	TT	• 이송장비운영/계획시스템 개선
	TT 2단적	단기	TT	• 2단적 샤시플랫폼 개선
	YC 동선	단기	YC	• 터미널 장비운영/계획시스템 개선
	YC 재조작	단기	YC	• 야드 적재계획시스템 개선 • 야드장비운영/계획시스템 개선

② 기 개발된 장치의 적용

기 개발된 장치를 적용할 경우 적용용이성은 적용시기적 측면에서 현재 부산항에서 실제 운영하고 있는 E-RTG가 단기적으로 가장 우수하며 적용장비로서는 플라이휠 배터리가 모든 하역장비에 적용가능하기 때문에 적용성이 매우 뛰어나다.

또한 모든 장비들은 기존의 장치들을 하역장비에 적용가능토록 개선하여 적용할 수 있어 그 적용성은 용이한 편으로 판단된다.

<표 6-9> 기존 장치를 통한 적용용이성

구분		적용시기	적용장비	개선 또는 개발여부	
장 치	E-RTG		단기	YC	• 기존 YC 동력공급설비의 교체(개선)
	에너지 세이빙	Super Capacitor	중단기	YC, TT	• 하역장비에 적합한 전력 저장장치로 개선
		Fly Wheel 배터리	중단기	C/C, YC, TT	• 하역장비에 적합한 대용량 배터리로 개선
		가변출력 엔진	중단기	YC, TT	• 출력변환이 가능한 엔진을 하역장비에 적합토록 개선

③ 신기술 개발

신기술 개발을 통한 적용용이성을 살펴보면 적용시기적 측면에서는 수소연료 전지가 20~30년 이상의 개발기간이 필요할 것으로 판단되어 장기적 적용으로 검토되었으며 바이오에너지, 하이브리드 엔진 또한 기존에 비해 많은 보완/개선 기술이 개발되어야 적용이 가능할 것으로 판단된다. 바이오 에너지의 경우 친환경적 에너지로서 국가산업적, 환경적 연료라는 장점을 고려하여 제도적으로 세계적용에 있어 타 유류와 구분하여 적용하는 것이 비용절감의 극대화를 위한 최적의 방안이다.

<표 6-10> 신기술 개발을 통한 적용용이성

구분		적용시기	적용장비	개선 또는 개발여부
신 기 술	바이오에너지	단기	YC, TT	• 저렴한 바이오에너지 개발
	수소연료전지	장기	YC, TT	• 고속충전/대용량 수소전지 개발
	하이브리드 엔진	중기	YC, TT	• 고속충전/대용량 하이브리드 엔진/전지기술 개발

그러나 동 기술들은 신기술로서 항만에 적용하기 위해서는 상당한 개발비용과 개발기간이 소요됨으로써 그 적용성은 매우 떨어진다고 할 수 있다.

2. 대안별 우선순위 분석

대안별 우선순위는 운영효율화 분야, 기개발 장치적용분야, 신기술 개발적용분야 등 3가지로 나누어 우선순위를 분석하였으며 절감방안의 용이성(특성 및 초기 투입비용), 비용절감의 효과성, 기술의 적용성 등을 기준으로 하였다.

운영효율화 분야에서는 초기 투입비용이 가장 많이 소요되는 TT 2단적이 가장 불리한 것으로 나타났으며 일부 운영시스템의 개선을 통한 비용절감 효과가 가장 높은 YC 재조작 최소화를 통한 절감대안이 가장 우선순위가 높은 것으로 나타났다. 기개발 장치적용 분야에서는 투입비용 측면, 비용절감 효과성, 기술의 적용성에서 모두 우수한 플라이휠 배터리가 가장 우선순위가 앞서며, 가변출력엔진, Super Capacitor, E-RTG 순으로 나타났다.

<표 6-11>

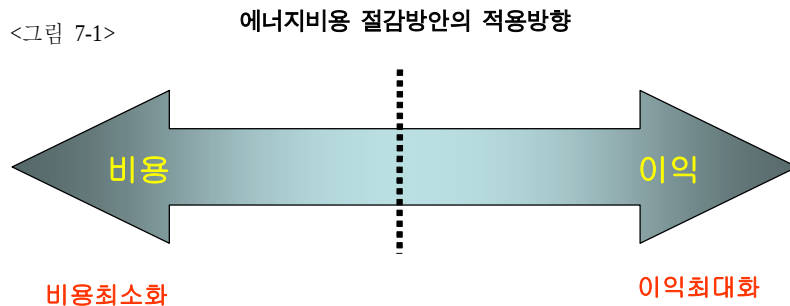
절감방안 대안별 우선순위 분석

구분	운영효율화				기개발 장치 적용				신기술 개발적용		
	TT 플링	TT 2단적	YC 동선	YC 재조작	E-R TG	에너지세이빙			바이오에너지	수소연료전지	하이브리드엔진
						Super Capacitor	플라이휠배터리	가변출력엔진			
절감방안 용이성 (투입비용)	◎	△	◎	◎	x	◎	◎	△	◎	△	○
비용절감 효과성	x	△	x	○	△	△	○	◎	○	◎	○
기술의 적용성	◎	○	◎	◎	◎	○	◎	○	○	x	○
분야별 우선순위	2	4	2	1	4	3	1	2	1	3	2

제 7 장 컨테이너터미널 에너지비용 절감 적응방향, 적응절차 및 추진전략

1. 에너지비용 절감방안의 적응방향

컨테이너터미널의 에너지비용 절감방안 기술의 적용은 대상 영역에 대한 목표 설정, 목표달성을 위한 기술대안 선정, 효과의 달성 등이 조화를 이루어야 한다. 먼저, 컨테이너터미널의 에너지비용을 절감하기 위해서 현재 운영되고 있는 하역 시스템의 에너지 소비행태를 분석하고, 이의 개선을 위한 목표를 설정하는 것이 중요하다. 이렇게 설정된 목표를 바탕으로 적용가능한 또는 목표달성 가능한 기술대안을 분석하고 이를 적용대상 항만하역시스템에 접목이 가능하도록 실행대안을 설정하는 것이다. 이렇게 목표설정 및 대안의 설정이 완료되면 이를 실행했을 때 지불해야 하는 비용과 이익을 고려해서 최종적으로 실행가능한지를 결정해야 한다. 이렇게 최종결정을 내리기 위해서 비용과 이익은 트레이드 오프(trade-off) 관계에 있으며, 비용지향적이냐 이익지향적이냐에 따라 에너지비용 절감을 위한 적용방향이 결정된다.



이러한 컨테이너터미널 에너지비용 절감방안의 적응방향은 비용과 이익의 상호유기적인 연동하에 개별 컨테이너터미널의 현재시스템과 결합하여 최적의 효과를 나타낼 수 있도록 설정되어야 한다.

2. 컨테이너터미널 에너지비용 절감방안 적용절차

컨테이너터미널의 에너지비용 절감을 위한 적용절차는 일반적인 절차와 적용기간별 절차로 구분한다.

1) 일반적인 절차

컨테이너터미널의 에너지비용 절감을 위한 적용절차는 컨테이너터미널 전체를 대상으로 할 경우와 컨테이너터미널의 하역체계에서 특정 영역을 대상으로 할 경우 다르게 진행하여야 한다. 전체를 대상으로 할 경우는 에너지비용 절감 적용방향 선정에서 결정된 사항을 고려하여 일반화된 절차를 따라야 하며, 특정 영역을 대상으로 할 경우는 각 영역별 시스템의 절차에 따라 우선순위를 선정하여 진행하는 것이 타당하다. 에너지비용 절감을 위한 일반화된 절차에서는 현황분석단계에서 먼저 운영 및 현황분석을 수행하고, 에너지비용 소비형태를 분석하며, 이를 바탕으로 목표설정, 대안분석, 효과분석, 적용방안 수립 등의 단계를 거쳐야 한다. 따라서, 5단계의 에너지비용 절감을 위한 절차를 거쳐서 효과적인 대안을 선정하고 적용방안을 수립해야 한다.

<표 7-1> 일반적인 에너지비용 절감방안 적용절차

단 계	항 목	내 용
1단계	현황 분석	현재 운영현황 및 시설현황을 분석하고 적용성 측면에서의 적정성을 파악
2단계	시스템 목표 설정	하역시스템 체계내에서 에너지비용 과다공정 및 타 영역으로의 영향인자 파악
3단계	에너지비용 절감대안 분석	시스템의 목표를 달성하면서 하역시스템 전체의 적용성 및 효율성의 향상이 가능한 대안
4단계	개선효과 분석	비용 및 이익 트레이드 오프분석 및 브레이크이븐 포인트(손익분기점) 기간분석
5단계	적용방안 수립	에너지비용 절감대안 도입을 위한 전제 조건 확인, 중장기 계획 수립, 기술적 타당성 및 경제성 검토

2) 컨테이너터미널 에너지비용 절감방안 적용절차

컨테이너터미널의 에너지비용의 절감을 위한 방안의 적용절차는 본 연구에서 구분한 대로 운영, 장치, 신기술로 구분하여 적용절차를 수립한다.

(1) 운영

일반화된 컨테이너터미널 에너지비용 절감절차에서 운영대안의 특성을 반영하여 에너지비용 절감절차를 5단계로 수립하면 다음과 같다.

<표 7-2> 운영대안의 에너지비용 절감방안 적용절차

단 계	항 목	내 용
1단계	현황 분석	-운영계획방법 -운영아드크레인 수, 운영차량 수 -주행거리, 작업방식 -에너지현황
2단계	시스템 목표 설정	-운영에너지비용 절감
3단계	에너지비용 절감대안 분석	-대안별로 기대효과, 경제성, 적용성을 분석
4단계	개선효과 분석	-대안 적용시의 개선효과는 정량적 분석 및 비용 및 이익 트레이드 오프분석 및 브레이크이븐 포인트(손익분기점) 기간분석
5단계	적용방안 수립	-에너지비용절감 대안 적용에 따른 도입 전제조건 확인 -중장기 계획 수립, 기술적 타당성 및 경제성 검토

(2) 장치

일반화된 컨테이너터미널 에너지비용 절감절차에서 장치대안의 특성을 반영하여 에너지비용 절감절차를 5단계로 수립하면 다음과 같다.

<표 7-3>

장치대안의 에너지비용 절감방안 적용절차

단 계	항 목	내 용
1단계	현황 분석	-에너지소비 방식 -개별 에너지소요 단가 -주행거리, 작업방식 -에너지현황
2단계	시스템 목표 설정	-장치대안의 에너지비용 절감
3단계	에너지비용 절감대안 분석	-대안별로 기대효과, 경제성, 적용성을 분석
4단계	개선효과 분석	-대안 적용시의 개선효과는 정량적 분석 및 비용, 이익 트레이드 오프분석 및 브레이크이븐 포인트(손익분기점) 기간분석
5단계	적용방안 수립	-에너지비용 절감대안 적용에 따른 도입 전제조건 확인 -중장기 계획 수립, 기술적 타당성 및 경제성 검토

(3) 신기술

일반화된 컨테이너터미널 에너지비용 절감절차에서 신기술대안의 특성을 반영하여 에너지비용 절감절차를 5단계로 수립하면 다음과 같다.

<표 7-4>

신기술대안의 에너지비용 절감방안 적용절차

단 계	항 목	내 용
1단계	현황 분석	-신기술 적용대상, 기술수준 -운영야드크레인 수, 운영차량 수 -주행거리, 작업방식 -에너지현황
2단계	시스템 목표 설정	-신기술 적용에 따른 에너지비용 절감
3단계	에너지비용 절감대안 분석	-대안별로 기대효과, 경제성, 적용성을 분석
4단계	개선효과 분석	-대안 적용시의 개선효과는 정량적 분석 및 비용, 이익 트레이드 오프분석 및 브레이크이븐 포인트(손익분기점) 기간분석
5단계	적용방안 수립	-에너지비용 절감대안 적용에 따른 도입 전제조건 확인 -중장기 계획 수립, 기술적 타당성 및 경제성 검토

3. 에너지비용 절감방안의 추진전략

컨테이너터미널의 에너지비용 절감방안의 추진전략은 크게 정책적 추진전략, 기술확보전략, 자체개발전략의 3가지로 구분하였다. 각각의 전략에 대하여 세부방안, 기술개발 추진체계, 기술개발 실천방안을 수립하고 개발기술의 활용방안을 제시한다.

1) 정책적 추진전략

정책적 추진전략은 컨테이너터미널 에너지비용 절감기술개발 및 적용을 통한 컨테이너터미널의 운영비용 절감으로 대외 경쟁력을 확보하여 동북아의 물류중심 기지로 발전하기 위해서 중장기적 투자, 기술인력 확보 및 연구개발의 활성화, 개발기술의 국제화 및 선도화 등 다양한 방면으로 정책적인 추진전략을 세워 리모델링 기술개발 및 적용의 당위성을 나타내고자 한다.

컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술 적용을 위한 정책적 추진 전략은 다음과 같다.

(1) 컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술적용을 위한 전략적인 목표설정과 효율적인 투자를 위한 기술개발 추진

- 컨테이너터미널 운영비용 절감을 위한 컨테이너터미널의 에너지비용 절감에 대한 전략적인 목표를 제시하고, 급변하는 국제물류의 흐름을 선도해 나갈 수 있도록 전략적인 목표를 설정하고, 효율적으로 추진할 수 있는 투자가 이루어지는 중점적 컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술개발 사업 추진
- 현실적인 문제에 가장 합리적이면서 타당한 대안을 도출하기 위하여 한정된 자원과 경쟁항만과의 기술 수준 격차 등을 고려하여 경쟁우위를 확보할 수 있는 현실적인 투자대안 선택

(2) 첨단 컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술의 연구개발을 위한 국내 전문기술개발인력의 확보 및 지속적인 연구개발의 활성화

- 국내 컨테이너터미널의 운영비용 절감 및 경쟁력 확보를 위해서 기존 컨테이너터미널이나 신규 컨테이너터미널에 대하여 장래의 상황을 고려하여 효율적인 컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술 개발 및 연계계획 수립

- 물류체계 개선효과 및 경제적 투자효과의 극대화를 유발하는 컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술 개발사업 선정

(3) 동북아 물류중심기지로의 발전을 위한 국가적 위상제고를 위한 첨단 컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술 확보

- 국내 컨테이너터미널 환경에 적합한 컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술 적용을 통한 한국형 컨테이너터미널의 에너지비용 절감 프로그램 보유
- 개별적 컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술의 정보공유 및 전문인력·기반공유를 통한 컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술 적용의 효율성 증대와 더불어 컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술의 정보화 추진
- 기 개발된 타 산업분야의 첨단기술을 응용하여 컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술 적용 가능방안 수립

2) 컨테이너터미널 에너지비용 절감기술 확보전략

컨테이너터미널의 에너지비용 절감 적용시 각 컨테이너터미널별 여건이 다르고 컨테이너터미널의 에너지비용 절감 추진 시 대상 범위와 절차에 차이가 있으므로 다음의 선행분석을 통해서 방법론을 수립한 후 기술 확보전략을 수립하여야 한다.

- 컨테이너터미널의 경쟁력 분석
- 컨테이너터미널 에너지 비용의 애로공정 분석
- 애로공정 컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술대안 선정
- 컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술대안 적용효과 분석
- 컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술의 적용 계획

이상과 같은 선행분석이 이루어지면 컨테이너터미널의 에너지비용 절감을 위한 구체적 실행단계에서는 컨테이너터미널의 에너지비용 절감을 위한 적용기술에 대한 기초기술 확보 전략을 수립하며, 기술 확보전략은 기존 국내의 관련기술을 수집하여 개선하는 방안, 새로운 기술을 개발하는 방안, 외국 선진국의 기술을 수입하여 개선하는 방안, 장비제작업체에서 자체 개발하는 방안, 여러 관련 기관의

공동개발방안 등 여러 가지가 고려된다.

컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술 확보전략에 대한 방안을 검토해 보면 다음과 같다.

(1) 산·학·연 공동연구체제 구축에 의한 자체 기술개발 방안

- 컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술 개발을 위한 정·산·학·연 공동 연구 컨소시엄 구성
- 컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술의 모듈별, 특성별 연구체제 활성화 기반 체제 구축

(2) 컨테이너터미널 관련 기관의 협조를 통한 기술개발 방안

- 컨테이너터미널의 에너지비용 절감 선진국의 개발 기술 정보 습득
- 컨테이너터미널의 에너지비용 절감 선진국과의 국제 공동 연구 협력체제 구축
- 컨테이너터미널 운영주체에 의한 컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술의 현장 적용, 항만공사 주도의 컨테이너터미널 에너지비용 절감 사업 추진, 정부 주도의 중장기계획 관련 기관의 유기적 협조

3) 자체 기술개발 전략

기술 확보전략 중 국내 실정에 가장 적절한 방안은 자체적 기술개발 전략이지만, 외국의 최신 기술개발 Know-How 습득이나 공동연구전략 또한 효과적인 방법이 될 것이다. 그러나 장래를 위한 기술개발 전략은 외국의 기술 등에 종속되지 않는 한국 실정에 적합한 자체적인 기술개발이다. 따라서 정부, 산업계, 학계, 연구소 등 각 분야별로 역할분담과 유기적인 공조 등으로 항만 리모델링 기술적용의 효율성을 높이기 위해서 다음과 같은 분야로 나누어서 기술개발 전략을 추진하여야 할 것이다.

- 정부 : 컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술개발 및 적용을 위한 정책수립, 컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술개발을 위한 컨소시엄 구성, 개발기술의 기존 컨테이너터미널 적용 및 신규 컨테이너터미널 계획 시 반영을 위한 지원
- 산업계 : 컨테이너터미널의 에너지비용 절감 관련 개발기술 확보, 업체간 기술공유를 통한 기술의 통합 개발

- 연구소 : 컨테이너터미널의 에너지비용 절감의 개념 및 적용기술 개발, 연구방향의 설정 및 조정
- 학계 : 기초과학 및 핵심요소기술의 확보, 기술/연구인력의 양성

4) 컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술개발 및 사업 추진체계

컨테이너터미널의 에너지비용 절감을 위한 추진체계는 항만에 적용되는 특성을 고려하여 해양수산부를 주관부처로 한다. 이에 따라 컨테이너터미널의 에너지비용 절감 추진계획을 수립하고 기술정책을 시행하며 적용기술 개발의 투자재원을 확보한다. 그리고, 컨테이너터미널을 대상으로 컨테이너터미널의 에너지비용 절감사업을 추진하고 관리, 감독하는 역할을 담당하는 항만공사가 사업주관을 한다.

주관기관은 한국해양수산개발원이 역할을 맡아서 컨테이너터미널의 에너지비용 절감 기반여건, 컨테이너터미널의 에너지비용 절감 추진정책 및 핵심기술의 개념연구와 더불어 개발 기술의 관리, 타당성 분석, 경제성 분석을 위한 적용기법 연구 및 연구성과 보급, 산학연 공동 개발기술의 조율 등을 담당한다. 이 과정에서 컨테이너터미널의 에너지비용 절감 적용기술의 컨테이너터미널 현장 적용성을 높이기 위한 방안을 제시하는 역할을 가진다.

이러한 주관부처의 정책과 주관기관의 업무성격에 따라 대학 및 부설연구기관은 기초 및 응용기술의 연구, 현장적용의 자문과 기타 다른 산업체, 연구기관과의 공동연구를 수행토록 한다.

컨테이너터미널의 에너지비용 절감기술 적용을 위한 가장 상용화된 개발을 담당하는 산업체는 컨테이너터미널을 대상으로 하는 개발기술의 응용 및 실용화, 응용화 및 실용화된 기술의 공동연구 및 제품제작 등의 업무를 수행하게 된다. 협회 및 관련단체는 기술지원 및 자문, 기술감리를 수행하게 된다.

컨테이너터미널의 에너지비용 절감을 위한 적용기술 분야가 매우 넓고 광범위하여 정부로부터 관련단체에 이르기까지 각계의 전문적 기관들이 유기적인 조직으로 구성되어 기술개발 및 적용을 수행하여야 하며 국내 항만의 장기적인 비전을 갖고 빠른 시일 내에 과제의 선정이나 연구, 정부의 정책결정, 지원 등이 이루어져야 할 것이다.

<그림 7-2>

컨테이너터미널 에너지비용 절감기술 추진전략

컨테이너터미널의 에너지비용 절감 기술개발					
공공기관		학계및연구소		민간기업	
해양수산부	-컨테이너터미널 에너지비용 절감계획수립 -기술정책수립 및 시행 -기술개발투자재원 확보	한국해양수산개발원	-컨테이너터미널 에너지비용 절감 기반여건, 정책 핵심기술 개념 연구 -개발기술관리 및 타당성분석 -성과확산 및 공동 기술개발	산업체	-개발기술 응용 및 실용화 -응용 및 실용화 공동연구 및 제작
항만공사	-컨테이너터미널 에너지비용 절감 사업추진 -컨테이너터미널 관리 감독	대학교	-기초, 응용연구 -현장적용자문 및 공동연구	협회 및 관련단체	-기술지원 및 자문 -기술강좌

제 8 장 결론 및 정책건의

1. 결론

2007년 10월 현재 국제유가가 배럴당 90달러를 넘어서고 있으며, 이에 따라, 2006년 상반기 주요 항만하역사들의 영업이익률을 분석한 결과, 한편, 고유가 등으로 인해 전년 동기 영업이익률이 2~3% 포인트 감소한 것으로 나타났다. 또한, 부산신항 및 광양항을 비롯한 지방 무역항(마산신항, 영일신항 등)의 새로운 컨테이너터미널이 향후 개장이 예정되어 있어 유류를 사용하는 하역장비의 보유대수가 지속적으로 증가할 전망이다.

급등하는 유가속에서 국내외의 컨테이너터미널에서는 에너지사용 및 비용절감을 위해서 많은 노력을 기울이고 있으며, 이를 위한 한 방편으로 BPA(Busan Port Authority)에서는 디젤엔진을 사용하는 야드크레인을 전기식으로 개조하여 운영비용을 절감하는 방안을 시행중이며, 터미널운영사에서는 하역장비의 공회전을 줄이거나, 몇몇 장비의 전기식으로의 대체를 추진하고 있다. 항만에서 하역장비의 전기식으로의 전환은 2003년 4월 1일부터 산업용 전기로 적용돼 일반용 전기에 비해 최대 1.5배 저렴하여, 경유를 이용하는 하역장비보다 전기를 이용할 경우 비용절감폭이 상당히 크기 때문이다.

또한, 최근에 부각되는 개념으로 외국의 경우에는 에너지의 사용을 최소화하기 위해서 슈퍼 카파시터(Super-Capacitor)를 이용한 에너지 세이빙 기술에 초점을 맞추고 맞추고 있으며, 이외에도 엔진의 회전체에 질량이 높은 물체를 달아서 폭발 에너지를 관성에너지로 변환하여 사용하는 플라이휠 방식 엔진이나, 여분의 에너지를 저장하는 배터리, 엔진 RPM을 변환하여 에너지사용을 최소화하는 Variable Speed 방식에 대해서 연구하고 있다.

향후 국내 항만이 동북아 물류중심국가로 나아가고 주위 경쟁항만과의 경쟁에서 우위를 점하기 위해서는 항만의 비용구조를 개선해서 하역비용을 낮추어야 하며, 이를 통해서 경쟁력을 강화하여 지속적으로 환적물량을 유인해야 한다. 이와 같은 연구배경과 목적에 따라 수행한 주요 연구결과는 다음과 같다.

1) 세계 물류현황 및 항만여건 변화

전세계의 컨테이너 처리량은 1980년 3천 8백만TEU에서 2006년까지 4억 4천만 TEU로 약 11.6배 증가하였으며, DSC(2007) 자료에 따르면 2011년 세계 컨테이너 예측 물동량은 6억 8천만TEU로 예측되고 있다. 이러한, 세계적 컨테이너 물동량의 증가와 더불어 대형선사의 합병 및 글로벌화, 운항연료비의 증가와 운임가격의 하락은 컨테이너 운송에 있어 규모의 경제를 추구하기 위한 선사전략의 일환으로 컨테이너선의 대형화를 유도하고 있으며 컨테이너선은 과거 1세대의 700TEU급의 피더선 규모에서 현재 8세대급인 1만 1천TEU급의 초대형선 규모가 운항되고 있으며, 향후 기술개발정도에 따라 수 년내에 1만 5천TEU급 선박의 등장도 예상된다. 향후 주력선종이 1만TEU급 이상으로 증가되거나 선사에서 선박작업시간의 단축(24시간 이내)을 요구하게 된다면 더욱 많은 장비의 투입이 필요하게 된다. 이러한 여건들이 항만의 입장에서는 대고객을 위한 서비스 수준을 증가시키는 요인이긴 하나 선박의 대형화가 장비시설비의 증가, 장비운영비의 증가 등 하역원가를 증가시키는 주요요인으로 작용하고 있다.

세계의 유가는 2004년 33.77달러/bbl, 2005년 49.37달러/bbl, 2006년 61.50달러/bbl로서 전년에 비해 각각 26%, 46%, 24% 등 급격한 증가세를 보이고 있으며 2006년의 원유가는 3년 전에 비해 약 2배 이상의 급등한 가격을 보이고 있다. 향후의 원유가격은 중국, 인도, 러시아 등 급성장하는 국가들의 수요 및 글로벌 수요의 증가와 일부 산유국의 정정불안, 투자부족으로 인한 원유생산시설의 부족 등으로 인해 당분간 상승추세를 보일 것으로 판단된다. 이러한 원유가격의 변화추세는 다수의 하역장비를 운영하는 항만에 직접적인 영향을 미치게 된다. 특히 디젤을 사용하는 YT- RTGC시스템을 가진 국내 대부분의 컨테이너터미널들은 하역원가의 상승 및 운영비의 증가 등 항만경쟁력 저하요인으로 작용할 가능성이 매우 크다. 2007년 11월 현재 유가는 배럴당 77달러 내외(두바이유 기준)를 상회하고 있으나 전문가들은 향후 100달러까지도 급등할 것으로 예견되고 있어 유류를 사용하는 하역장비를 보유한 항만의 경쟁력은 점점 더 악화될 것으로 판단된다.

2) 국내 컨테이너터미널의 하역비용 구조분석

항만에서 컨테이너를 적양하하는데 관련되는 모든 직접비용을 정리하면 인건비, 복리후생비, 동력비, 장비유지비, 보험료, 경비료, 전대사용료, 장비리스표, 노

임보상금, 제세공과금, 교육훈련비 등의 11가지 항목으로 구성된다. 2005년도 부산항 P터미널의 하역수입 및 그에 따른 하역료의 비용지출 구성을 살펴보면 동력비, 즉 유류비와 전기사용료를 합한 금액의 비율이 전체 하역원가의 6%를 차지하고 있다. 이러한 6%의 비율이 요즘과 같이 지속적으로 유류비용이 증가한다면 7%, 8%로 증가하여 컨테이너터미널 운영비용의 증가를 가져올 것이다.

광양항 A터미널을 대상으로 실제 컨테이너터미널의 전력비용 및 유류비용의 원단위를 분석하면 안벽크레인의 경우 TEU당 평균 2.87KWH를 사용하였으며, 냉동컨테이너 전력장치의 경우 월 12,104KWH, 야간조명의 경우 월 12,864KWH를 소비하였으며, 유류비용의 경우 개별 유류사용량으로 표시하면 야드크레인의 경우 TEU당 평균 1.01리터를 사용하였으며, 야드트럭의 경우 TEU당 0.63리터, 리치스태커의 경우 TEU당 0.58리터를 소비하였다.

3) 국내의 에너지비용 절감 사례 및 대안별 효과분석

국내외의 항만에서 에너지비용을 절감하기 위한 많은 노력들이 있어 왔으며 이러한 노력의 결과 에너지비용 절감을 위한 많은 기술의 발전이 있었다. 외국의 경우 지멘스사에서 ECO-RTG를 개발하여 스페인의 알제시라스항에 적용한 사례가 있으며, 미국 LA/LB항의 경우 컨테이너터미널의 이송장비에 하이브리드 전기시스템/유압시스템을 시험운영중에 있다. 또한, 미국의 타코마항에서는 바이오디젤 연료를 허스키항에서 사용하여 연료비절감을 하고 있으며, 국내의 경우 자성대터미널에서 기존의 디젤엔진의 RTGC를 전기식 RTGC로 변환하여 운영중에 있다.

컨테이너터미널의 에너지비용 절감 대안 및 효과를 운영(Operation), 장치(Device), 신기술(New Technology)로 나누어서 분석해 보면 운영의 경우 대안 및 연간 1,200만TEU를 기준으로 적용효과를 분석하면 야드트럭 풀링운영제의 경우 약 3억원, 야드크레인의 작업동선최소화의 경우 약 2억원, 2단적재차량 도입의 경우 6억 3천만원, 컨테이너 재조작 감소의 경우 29억원의 절감효과가 있는 것으로 분석되었다. 장치의 경우 대안 및 적용효과를 분석하면 E-RTG의 경우 20대를 개조하는 경우 대당 연평균 1억원, 에너지세이빙 기술 중 슈퍼 카파시터의 경우 350Kw의 엔진을 200Kw의 엔진으로 적용할 경우 연간 약 1억 3천만원, 플라이휠 방식의 경우 20~25%의 연료절감으로 야드크레인 대당 연간 74,457리터를 사용한다고 가정하면 20% 연료절감이 이루어지는 경우 대당 연간 약 1천 8백만원,

Variable Speed 방식의 경우 대당 연간 3천만원의 연료비 절감효과가 있다. 신기술의 경우 대안 및 연간 1,200만TEU를 처리한다고 가정하고 적용효과를 분석하면 바이오에너지의 경우 야드크레인에 적용시 약 26억원이 절감되며, 야드트럭에 적용 시 약 20억원이 절감, 수소연료전지의 경우 야드크레인에 적용 시 약 115억원, 야드트럭에 적용 시 74억원이 절감, 하이브리드 엔진의 경우 야드크레인에 적용 시 약 9억원, 야드트럭에 적용 시 약 9억원이 절감된다.

4) 하역체계 분석을 통한 에너지비용 절감 모델 수립

하역체계 분석을 통한 에너지비용 절감 모델의 수립을 위해 하역체계의 에너지 소비패턴을 분류하고 에너지비용 분류 및 비용절감에 대한 대안의 구분을 한 후 에너지비용 절감 모델을 수립하였다. 먼저 하역체계의 에너지 소비패턴은 하역시스템의 상호관계 정의에 따라 소비패턴을 4가지 유형으로 구분하였으며, 제3장에서 분석된 하역장비별 에너지 소모량에 따라 하역장비별 에너지 소비량을 결정하였다.

에너지비용 분류는 국내외 에너지비용 절감 사례에 대한 분석결과를 이용하여 분류하였고 에너지비용 절감대안별 적용단계를 분류하여 기술대안의 유형을 분류하였다. 에너지비용 절감 모델은 하역시스템의 에너지비용이 고정비용과 변동비용으로 구성되며, 에너지비용의 발생상황을 거리와 시간에 따라 분류됨을 가정하였다. 이를 바탕으로 에너지비용 절감 모델을 저비용 에너지 전환 모델, 고정비용 절감 모델, 변동비용 절감 모델 등의 3가지 유형으로 수립하였다.

5) 적용 우선순위 및 타당성 분석

컨테이너터미널의 에너지비용 절감을 위한 적용타당성을 분석하기 위해서 운영의 효율성, 기 개발된 장치의 적용, 신기술개발의 측면에서 분석하면 운영의 효율화를 통한 적용용이성을 검토한 결과 항만의 운영시스템 개선을 통해 모든 대안의 단기적 적용이 가능하였다. 또한 상호간의 동시적용이 가능한 시스템으로 그 효율성은 매우 높을 것으로 판단된다. 그러나 TT 2단적의 경우 전반적인 이송차량의 교체와 더불어 이를 효율적으로 운영하기 위한 운영시스템의 개선도 동시에 이루어져야 하므로 4가지 대안 중 가장 복잡한 적용성을 가지고 있다. 기 개발된 장치를 적용할 경우 적용용이성은 적용시기적 측면에서 현재 부산항에서 실제 운영하고 있는 E-RTG가 단기적으로 가장 우수하며 적용장비로서는 플라이휠 배터

리가 모든 하역장비에 적용가능하기 때문에 적용성이 매우 뛰어나다. 또한 모든 장비들은 기존의 장치들을 하역장비에 적용가능토록 개선하여 적용할 수 있어 그 적용성은 용이한 편으로 판단된다. 신기술 개발을 통한 적용용이성을 살펴보면 적용시기적 측면에서는 수소연료전지가 20~30년 이상의 개발기간이 필요할 것으로 판단되어 적용시기는 장기적 적용으로 검토되었으며 바이오에너지, 하이브리드 엔진 또한 기존에 비해 많은 보완/개선 기술이 개발되어야 적용이 가능할 것으로 판단된다. 바이오 에너지의 경우 친환경적 에너지로서 국가산업적, 환경적 연료라는 장점을 고려하여 제도적으로 세계적용에 있어 타 유류와 구분하여 적용하는 것이 비용절감의 극대화를 위한 최적의 방안으로 검토된다.

대안별 우선순위는 운영효율화 분야, 기개발 장치적용분야, 신기술 개발적용분야 등 3가지로 나누어 우선순위를 분석하였으며 절감방안의 용이성(특성 및 초기 투입비용), 비용절감의 효과성, 기술의 적용성 등을 기준으로 하였다. 운영효율화 분야에서는 초기 투입비용이 가장 많이 소요되는 TT 2단적이 가장 불리한 것으로 나타났으며 일부 운영시스템의 개선을 통한 비용절감 효과가 가장 높은 YC 재조작 최소화를 통한 절감대안이 가장 우선순위가 높은 것으로 나타났다. 기개발 장치적용 분야에서는 투입비용 측면, 비용절감 효과성, 기술의 적용성에서 모두 우수한 플라이휠 배터리가 가장 우선순위가 앞서며, 가변출력엔진, Super Capacitor, E-RTG 순으로 나타났다. 신기술 개발적용 분야에서는 향후 향만에 적용하기 위해서 장기간의 개발과 개선이 필요한 수소연료전지 대안이 가장 불리한 것으로 나타났고 초기 투입비용이 없고 단기간 내 적용이 가능한 바이오 에너지 절감대안이 가장 유리한 것으로 나타났다.

6) 컨테이너터미널의 에너지비용 절감 대안 추진방안

컨테이너터미널의 에너지비용 절감 대안 추진방안에서는 컨테이너터미널 에너지비용 절감 적용방향, 적용절차 및 추진전략에 대해서 기술하였다. 적용방향은 설정된 목표를 바탕으로 적용가능한 또는 목표달성이 가능한 기술대안을 분석하고 이를 적용대상 항만하역시스템에 접목이 가능하도록 실행대안을 설정하고 최종결정을 내리기 위해서 비용과 이익의 트레이드 오프(trade-off) 관계를 고려하여 비용지향적이나 이익지향적이나에 따라 에너지비용 절감을 위한 적용방향이 결정된다.

에너지비용 절감을 위한 일반화된 절차에서는 현황분석단계에서 먼저 운영 및 현황분석을 수행하고, 에너지비용 소비형태를 분석하며, 이를 바탕으로 목표설정, 대안분석, 효과분석, 적용방안 수립 등의 단계를 거쳐야 한다. 따라서, 5단계의 에너지비용 절감을 위한 절차를 거쳐서 효과적인 대안을 선정하고 적용방안을 수립해야 한다. 또한, 전체를 대상으로 할 경우는 에너지비용 절감 적용방향 선정에서 결정된 사항을 고려하여 일반화된 절차를 따라야 하며, 특정 영역을 대상으로 할 경우는 각 영역별 시스템의 절차에 따라 우선순위를 선정하여 진행하는 것이 타당하다. 이를 위한 운영, 장치, 신기술의 에너지비용 절감방안 적용절차를 기술하였다.

컨테이너터미널의 에너지비용 절감방안의 추진전략은 크게 정책적 추진전략, 기술확보전략, 자체개발전략의 3가지로 구분하였다. 각각의 전략에 대하여 세부방안, 기술개발 추진체계, 기술개발 실천방안을 수립하고 개발기술의 활용방안을 제시하였다.

2. 정책건의

지속적으로 상승하고 있는 국제유가 속에서 국내의 컨테이너터미널들은 많은 운영상의 어려움을 겪고 있으며, 대중국항만들과 치열한 환적화물 유치전쟁을 치르고 있다. 이러한 어려움 속에서 향후 국내 항만이 지속적으로 성장하고 국가경쟁력 향상을 이루기 위해서는 항만마케팅의 강화 및 컨테이너터미널의 체질개선을 통한 대내외적 경쟁력 강화만이 살 길이다. 이를 위해서 본 연구에서는 컨테이너터미널의 에너지비용 절감을 위한 기술대안을 제시하고 추진방안을 제시하였으며, 향후 체계적이고 효과적인 컨테이너터미널 에너지비용 절감을 위해서 정부, 항만공사, 컨테이너터미널 운영사의 역할이 필요하며, 이의 효율적인 추진을 위한 방안을 제시한다.

1) 정부의 역할

(1) 기존 컨테이너터미널에 대한 에너지비용 절감계획 반영 필요

국내의 경우 기존의 컨테이너터미널에 대한 정부정책은 증가되는 물동량을 시

설의 확충으로 해결하기 위한 방안과 이의 해결을 위한 컨테이너터미널 건설을 수행하였으나 이는 결국 컨테이너터미널이 가지는 국내외적인 서비스 경쟁의 심화를 반영하지 않아 지속적인 관리에 차질을 빚고 있다. 부산항 컨테이너터미널은 신규로 건설되는 중국의 대규모 양산항과 최신 설비의 부산신항만과의 서비스 경쟁에서 고객인 선사들의 요구를 만족시킬 수 있는 생산성 수준을 확보하는 것이 시급한 정책적 과제이며, 또한, 대내적으로는 운영비용의 절감을 통한 영업이익률을 극대화시키는 것이 필요하다. 따라서, 이를 위한 해결방안으로 효과적인 컨테이너터미널의 에너지비용 절감을 위한 추진방안을 실행하기 위한 정책적 지원이 항만 개발계획에 반영되어야 한다.

(2) 친환경물류기본계획 수립에 컨테이너터미널의 에너지비용 절감 반영필요

최근의 고유가상향과 교토협약 및 발리협약 등과 같은 환경협약 체결이 증가하고 있는 물류환경 급변에 대처하기 위해 항만 및 육상물류를 포함하는 친환경물류기본계획이 해양수산부에 의해서 추진되고 있다. 이러한 친환경물류기본계획은 항만 및 내륙물류활동에서 발생하는 대기오염물질의 배출을 통제하여 교토협약 또는 발리협약에서 제시하고 있는 기준에 적합하도록 단기, 중기, 장기의 계획을 수립하여야 한다. 항만의 주요 부가가치 창출원인 컨테이너터미널은 서비스수준 및 생산성 향상에 따라 지속적인 부가가치의 창출이 가능한 곳이다. 이를 위해 기존 시설물 및 장비에 대한 리모델링 측면에서 컨테이너터미널의 에너지비용 절감에 대한 사업추진을 위한 친환경물류기본계획이 필요하다.

(3) 해양수산부 연구개발 핵심과제에 컨테이너터미널 에너지 절감기술 포함 필요

해양수산부에서 새로운 국가연구개발사업으로 추진중인 MT(Marine Technology) 연구에 컨테이너터미널의 에너지비용 절감을 위한 기술개발 연구가 포함되어야 한다. 이러한 연구는 제반 인문 사회적 및 공학적 기반연구를 수행하는 것으로 컨테이너터미널 운영비용을 절감하여 경쟁력을 강화시킬 수 있고, 항만운영 효율성을 제고하고 대기오염물질 감소 및 매연감소에 따른 항만도시 쾌적성 제고의 효과를 기대할 수 있다. 이러한 연구에 컨테이너터미널의 에너지비용 절감을 위한 구체적인 실제적인 연구가 포함되어야 한다.

(4) 컨테이너터미널의 에너지비용 절감을 위한 효과적인 추진체계 및 추진 방안 필요

컨테이너터미널의 효과적인 에너지비용 절감대안의 추진을 위해서 에너지비용 절감에 대한 개념을 확립하고 컨테이너터미널의 하역시스템 및 물류시스템에 따라 에너지비용 절감 목표를 설정하고 국내 컨테이너터미널의 현황자료 조사 및 분석 등을 추진하여 리모델링 기술대안의 기술적 검토 및 도입타당성 분석을 위한 추진체계와 추진방안이 수립되어야 한다. 따라서, 추진방안을 위해서 컨테이너터미널의 에너지비용 절감을 위한 적용방향, 적용절차, 추진체계가 수립되어야 하며, 대안의 효율적인 적용을 위한 우선순위가 선정되어야 한다. 이러한 추진방안은 지속적이고 강력하게 추진되어야 한다.

2) 항만공사의 역할

(1) 컨테이너터미널의 에너지비용 절감을 위한 중재자의 역할 수행

항만공사는 정산법(정부산하기관법)에 의해서 설립된 단체로 항만의 개발, 운영, 관리, 항만하역사업, 예선업과 그 부대사업의 시행, 컨테이너터미널의 전대권 및 기타 컨테이너터미널 개발을 위한 채권의 발행 등에 대한 권한을 보유하고 있다. 그러나 컨테이너터미널의 운영은 임대계약을 통해서 운영사가 자율적으로 운영하고 임대료를 받아 이를 컨테이너터미널 개발에 투입할 수 있도록 하고 있다. 따라서, 항만공사는 기존에 정부가 컨테이너부두공단이나 정부가 담당하던 업무를 맡아 정부의 역할을 대행하면서, 한편으로는 컨테이너터미널의 운영 및 부대사업의 주체로서 민간의 역할도 수행하는 일종의 제3섹터 또는 제4섹터의 역할을 수행한다. 이러한 항만공사의 역할에 따라 컨테이너터미널의 운영 및 관리 개발에 관하여 정부와 민간의 논리를 이해하고 조정할 수 있는 역할을 수행하여야 한다. 정부가 컨테이너터미널의 운영상황에 대해서 터미널 운영사의 애로사항이나 문제점 등을 파악할 수 있는 주체는 항만공사이다. 그러므로 생산성 향상과 같은 부분과 에너지비용의 절감과 같은 트레이드 오프 관계의 실행을 위한 정부측의 정책 및 예산지원들을 쌍방향적으로 의사소통할 수 있는 기구로서 중재자의 역할을 수행해야 한다.

(2) 전대차 계약시 에너지비용 절감 반영

항만공사는 컨테이너터미널의 에너지비용 절감을 위한 노력을 통해서 항만의 경쟁력을 강화시키고 운영비용 절감을 통한 영업이익률 상승을 통해서 혁신경영을 수행하는 컨테이너터미널을 적극 지원해야 한다. 항만공사는 운영사의 공평한 대의 명목상, 일률적으로 동일한 조건하에서 전대계약을 체결하는 경향이 있다.

그러나 구체적으로 터미널별로 객관적 조건을 반영하지 못하여 불만의 대상이 되고 있다. 따라서 이러한 불만을 해결하기 위해서 계약 후 터미널 운영기간 중에 어려움이 있는 컨테이너터미널에 대해서 계약의 부담을 경감시킬 수 있도록 운영시설 및 장비와 관련된 시설투자비용 등을 제공하여 공평한 계약이 이루어지도록 해야 한다. 추후 평가를 통해서 터미널의 장단점, 운영상 불합리한 점 등을 고려하여 전대차 계약에 적용하고 타 터미널보다 에너지비용측면에서 열위에 있는 운영사에 대해 지원을 한다면 운영사의 불만을 감소시키고 터미널간 운영효율성 향상을 위한 동기를 유발할 수 있을 것이다.

(3) 정부 정책건의에 활용

컨테이너터미널에서 운영상의 문제점, 애로점 및 운영비용 증가요인 등을 분석하고 의견을 수렴하여 정부에 정책건의를 위한 기초자료로 활용할 수 있다. 지속적으로 운영상황을 파악하여 터미널의 운영개선을 위해서 정부정책의 문제점이나 각종 규제, 해택 등의 건의를 한다면 운영사 등 항만관련자들이 합리적인 요구를 하게 될 것이며, 이에 따라 정부에 대한 정책 건의자료로서 실효성이 있을 것이다.

3) 운영사의 역할

(1) 개별 운영사 조직의 에너지비용 절감 의지 강화

컨테이너터미널의 에너지비용 절감을 위한 객관적인 터미널은 물류시스템 및 하역시스템의 평가를 통해서 컨테이너터미널 운영사들의 운영상의 에너지비용 지출 문제를 객관적으로 인식하고, 불합리한 사항을 정확히 파악할 수 있는 기회를 제공할 수 있다. 그 동안 운영사들은 항만운영에 따른 문제점을 감각적으로 인식하고 있었을 뿐, 정확한 자료에 기초하여 인식하지 못하고 있었다. 따라서, 조직운영에 혼선을 빚고, 문제점에 대한 객관적 자료를 확보할 수 없어 운영상 어려움이

있었으며, 터미널의 운영효율성을 고객 또는 관리기관에 적절하게 설명할 수 없었으며, 각자의 문제점을 자신의 시각에서 일방적으로 설파하는 수준에 머물고 있었다. 그러나 운영상의 문제, 영업이익률 하락 등의 근본적 원인을 파악함으로써 이러한 문제점을 어느 정도 해결해 줄 것으로 판단된다. 컨테이너터미널 운영사는 분석결과에 따라 기존 운영상황을 재점검하고 생산성 향상에 도움이 될 수 있도록 조직을 재설계하고, 터미널을 재구조화해야 한다. 이를 통해서 컨테이너터미널을 합리적으로 운영함으로써 비용절감 및 항만마케팅을 강화할 수 있다. 또한 분석결과를 그 자체로서 관련자간에 합의를 거쳐 지표에 의하여 분석된 것이므로 객관적 자료로서 인정을 받을 수 있으며, 조직내 관련자들을 설득하는 데 유용한 자료가 될 수 있을 것이다. 이러한 노력은 컨테이너터미널 운영에 도움을 주면서 동시에 자사의 혁신의지를 강화하여 지속적인 이익증대에 기여할 것이다.

(2) 합리적인 자료의 제공으로 정부의 항만정책 수립에 기여

컨테이너터미널 운영사들은 개별적인 터미널들의 에너지비용 절감을 위해서 최선을 다해야 한다. 일반적으로 터미널의 생산성이나 효율성과 관련해서 개별적인 장비의 에너지비용이 상이하게 나타날 수 있다. 이러한 상이성은 통일적이고 합리적인 정부의 항만정책을 수립하는 데 어려움을 초래할 수 있으며, 이러한 문제를 해결하기 위해서 개별 컨테이너터미널 운영사는 분석결과가 생각과 다르게 나올 경우 분석지표의 객관성, 공정성, 지표적용상 문제점 등에 대해서 자세히 검토하여야 한다. 모든 분석지표가 모든 분석대상에 균등하게 적용될 수는 없다. 따라서 평가를 통하여 운영사는 기존 지표를 재검토하고 지표의 반영과 지표간 조정 등 발생할 수 있는 문제점을 보다 정확하게 파악할 수 있다. 이러한 과정을 통하여 운영사는 분석지표의 문제점을 직시하고 합리적인 지표의 개발, 수정 및 보완을 적극적으로 반영하여 다음 평가에 있어 실질적인 비용절감 효과를 추구하여야 한다. 개별 컨테이너터미널의 에너지비용 절감을 위한 노력들은 정부가 정확한 현실 인식하에 항만정책을 수립하고 집행할 수 있도록 하며, 평가지표의 개선, 공정성, 객관성 확보에 기여할 수 있도록 한다.

참 고 문 헌

- 김우선, “컨테이너 하역장비의 에너지 세이빙 기술 적용효과 분석”, 「월간 해양수산」, 통권 제262호, 2006. 7.
- 민경덕, “거침없이 하이브리드”, 「과학동아」, 3월호, 2007.
- 부산일보, “부산항 야드크레인 연료 유류서 전기로 앞다퉈 전환”, 9월 3일 기사, 2007.
- 삼성경제연구소, “환경친화형 자동차의 개발동향과 향후 대응전략”, 「Issue Paper」, 2003.
- _____, “에너지 혁명 : 연료전지 사업의 현황과 발전전망”, 「Issue Paper」, 2004.
- _____, “미국의 바이오에너지 개발현황과 시사점”, 「SERI 경제 포커스」, 80호, 2006.
- _____, “한국형 바이오 연료의 가능성 평가 및 시사점”, 「Issue Paper」, 2007.
- 이진석·박태현, “바이오에너지 기술의 현황과 전망”, 「신재생에너지」, 2권 1호, 2006.
- 조선일보, “떠오르는 ‘신재생에너지’”, 2월 1일 기사, 2007.
- 최상희, “시뮬레이션을 이용한 컨테이너터미널 설계의 중요성과 정책적 추진방안”, 「월간 해양수산」, 2003.
- 카리뷰, “수입 하이브리드 차, 몇년 타야 본전 뽑나?”, 3월 6일 기사, 2007.
- 한국해양수산개발원, 「항만시설사용료 체계 개편방안에 관한 연구」, 2004.
- 홍성안, “수소·연료전지 기술현황 및 전망”, 「신재생에너지」, 1권 1호, 2005.
- BPA, 「부산항 컨테이너화물 처리 및 수송통계」, 2006.
- EBN화학정보, “에너지와 화학산업 ③ - 4: 바이오에너지”, 3월 9일 기사, 2007.
- Government of Canada, Fuel Cells Canada, and Pricewaterhouse Coopers, *Canadian Fuel Cell Commercialization Roadmap*, 2003.
- International Energy Agency, *Key World Energy Statistics*, 2006.
- _____, *Renewable Energy: R&D Priorities*, 2006.

Kalmar Industries, "A Hybrid terminal truck for US West Coast Ports", *Kalmar around the World*, No. 1, 2007.

_____, "Biodiesel Meets Its Match in Terminal Equipment", *Kalmar around the World*, No. 2, 2007.

Kuilboer, R., "Evaluating the ECO-RTG Concept", *Port Technology International*, Issue 33, 2007.

Octavio solis, "The Role of Energy Storage to Reduce Fuel Consumption and Emissions", *TOC Americas*, 2006

Pirhonen, J., "Environmentally Friendly and Highly Productive Terminals: A Realistic Vision?", *TOC Americas*, 2006.

Simon Wong, "Energy Saving Initiatives", HIT

U. S. Department of Energy, *Fuel Cell Report to Congress*, 2003.

국내 중공업회사 내부자료

대한석유협회 홈페이지

부산신항만 홈페이지

산업자원부 홈페이지

해외해사정보(일)

BRS-Alphaliner

Cargo Systems, 각년호.

컨테이너터미널 에너지비용 절감방안 연구

2007年 12月 27日 印刷

2007年 12月 31日 發行

編輯兼
發行人 李 正 煥

發行處 韓國海洋水產開發院
서울특별시 서초구 방배3동 1027-4

전 화 2105-2700 FAX : 2105-2800

등 록 1984년 8월 6일 제16-80호

組版・印刷/정인I & D 3486-6791 정가 15,000원

판매 및 보급 : 정부간행물판매센터 Tel: 394-0337