

컨테이너크레인 개발자를 위한 대안 선정 절차

원승환† · 최상희*

†, * 한국해양수산개발원 해양물류연구부

The Procedure for Selecting the Alternatives for Developers of Container Cranes

Seung-Hwan Won† · Sang-Hei Choi*

†, * Shipping, Port & Logistics Research Department, Korea Maritime Institute, Seoul 121-270, South Korea

요 약 : 지속적인 컨테이너 물동량의 증가와 컨테이너선의 대형화에 따라서 항만간의 경쟁은 점점 치열해지고 있다. 주요 항만 하역장비 제조사들은 획기적인 생산성 향상을 제공할 수 있는 새로운 개념의 하역장비 개발에 많은 관심을 기울이고 있다. 본 연구에서는 항만의 대표적 하역장비인 컨테이너 크레인에 대해서 다양한 개발 대안들이 존재할 때, 최적의 개발 대안을 선정하는 절차를 제시한다. 절차는 두 단계로 구성되는데, 첫 번째 단계에서는 요구되는 필수요소들을 만족하지 못하는 대안을 제거하고 두 번째 단계에서는 전문가의 평가와 선형 할당법을 적용하여 최종적인 개발 대안을 선정한다. 마지막으로, 제시한 절차를 적용한 사례를 제시한다.

핵심용어 : 컨테이너크레인, 대안 선정, 선형 할당법, 컨테이너 터미널, 하역장비

Abstract : Container terminals keenly compete with one another because of the continuous increase of container flows and the appearance of large-sized vessels. Major cargo handling equipment manufacturers are interested in the development of new conceptual equipment to greatly increase its productivity. In this study, a two-phase procedure is suggested for selecting the optimal development alternatives, when various development alternatives for container cranes are given. The first phase removes the alternatives that violate essential requirements and the second phase selects final alternatives by the evaluation of experts and the linear assignment method. Finally, a case applying the procedure is provided.

Key words : Container crane, Selecting alternatives, Linear assignment method, Container terminal, Cargo handling equipment

1. 서 론

해운사들이 물류비의 절감을 위해서 선박의 대형화를 요구 하고 조선사들도 기술적인 범위 내에서 이를 수용함에 따라서 컨테이너선은 점점 대형화되고 있다. 최근에는 10,000TEU급 이상의 선박에 대한 건조와 발주가 현실화됨에 따라서 컨테이너선은 초대형(超大型)화의 길로 접어들고 있다.

지속적인 컨테이너 물동량의 증가와 컨테이너선의 대형화에 따라서 컨테이너선을 유치하기 위한 세계 항만간의 경쟁도 보다 치열해지고 있다. 지리적인 입지, 대형선박을 입항시키기 위한 수용능력, 제반 인프라 등을 갖추면서 양질의 서비스를 제공하는 항만만이 중심항만의 경쟁에서 살아남을 수 있을 것이다.

이렇듯 선박의 대형화와 항만간의 중심항만 경쟁이 치열해지면서, 항만들은 기존 장비의 효율적인 운영과 새로운 하역시스템의 도입 등을 통한 하역 능력의 향상에 많은 관심을 쏟고 있다. 또한 항만 하역장비 제조사들은 획기적인 생산성 향상을 제공할 수 있는 새로운 개념의 하역시스템을 설계하거나

개발 중에 있다.

컨테이너 터미널의 하역장비는 안벽장비, 이송장비, 야드장비로 구성된다. 이 가운데 안벽장비는 선박으로부터 컨테이너를 내리거나 선박에 컨테이너를 싣는 기능을 담당한다. 이러한 기능은 컨테이너 터미널의 생산성을 결정짓는 1차적인 요인이 되므로 안벽장비의 성능 향상은 항만 전체 성능 향상의 기반이 된다. 컨테이너 터미널의 안벽장비는 60억~70억 내외의 고가이면서 15년¹⁾의 내용연수를 가지므로, 장비 선정 문제는 다양한 고려 사항을 가지는 중·장기적인 의사결정문제가 된다. 본 연구는 대표적인 안벽장비인 컨테이너크레인의 선정을 위한 절차에 대해서 논한다.

생산 및 물류 장비의 선정 문제는 생산 및 물류시스템의 설계 범주에 포함되며, 선정 절차 및 시스템 개발에 관한 여러 연구가 이루어져 왔다. Matson et al.(1992)과 Park(1996)은 물류장비 선정을 위한 전문가 시스템 EXCITE, ICMES을 각각 개발하였다. Chu et al.(1995)은 물류 장비의 선정을 위한 시스템 ADVISOR를 개발하였다. ADVISOR의 장비 선정 절차는 두 단계로 구성되는데, 첫 번째 단계에서는 사용자에

† 교신저자 : 원승환(정회원), shwon@kmi.re.kr 02)2105-2886

* 정회원, shchoi@kmi.re.kr 02)2105-2888

1) UNCTAD 권고안 기준.

의해 기술된 자재 취급 활동의 물리적 요구사항을 통해 잠재적인 장비 유형을 파악하고 장비의 순위를 매겨서 후보 리스트를 작성하고, 두 번째 단계에서는 각 장비유형에 대한 경제성분석을 실시한다. 장 등(1995)은 새로운 물류시스템의 도입을 위해서, 대안을 평가하는 AHP(Analytic Hierarchy Process) 모형, 장비 대수를 산정하기 위한 시뮬레이션 모형을 개발하고 최종적으로 경제성을 평가하였다. Chan and Abhary(1996)는 자동화된 셀형 제조 시스템의 설계와 평가를 위해 시뮬레이션 모형과 AHP 접근방법을 사용했다. AHP에 사용되는 평가기준 가운데 정량적인 것은 각 대안에 대한 시뮬레이션 결과로 평가된다. Tompkins et al.(1996)은 시설 계획에 대한 절차를 요구사항 정의, 대안 개발, 대안의 평가 및 선정 등으로 나누고 각 절차에 대한 다양한 자료와 접근법을 소개하였다. 그 가운데, 대안의 평가 단계에서는 장단점 목록 평가법, 순위법, 가중인자 비교법, 경제성 비교법 등이 제시되었다. Hanna and Lotfallah(1999)는 건설 프로젝트에서 크레인 유형을 선정하는 문제를 퍼지 이론으로 접근하였다. Chan et al.(2001)은 물류 장비의 선정을 지원하는 통합 시스템 MHESA를 개발하였다. MHESA는 장비 유형별 사양정보가 저장되는 데이터베이스, 물류 장비의 선정을 도와주는 지식 기반 전문가시스템, 가장 적합한 장비 유형을 결정하는 AHP 모형의 세 모듈로 구성된다.

최근 국내에서는 컨테이너 터미널의 새로운 하역시스템을 소개하는 연구가 이루어졌다. 양 등(2002)은 새로운 개념의 안벽 하역장비, 통합 하역시스템을 소개하고 선정기준에 따른 평가를 수행하였다. 이와 홍(2004)과 정 등(2005)은 초대형 선박에 대응하기 위한 차세대 컨테이너크레인의 요구사항을 제시하였다. 요구사항에는 컨테이너크레인의 구조, 트롤리와 호이스트의 메커니즘, 제어방식, 아웃리치(outreach), 백리치, 레일게이지, 하역능력, 속도, 안정성 및 내구성 등이 포함된다.

컨테이너크레인의 하역 생산성을 분석하기 위한 시뮬레이션 연구도 수행되었다(윤 등, 2001; 하와 최, 2005). 윤 등(2001)은 컨테이너크레인의 하역능력을 추정하기 위하여 시뮬레이션 모형을 사용했다. 모형은 컨테이너크레인의 고장을 반영했고 대기행렬 모형이 포함되어 있다. 실험을 통해 선박 및 야드 트랙터의 대기 시간, 컨테이너크레인의 활용도, 선석 점유율 등을 산출하여 분석하였다. 하와 최(2005)는 네 가지 유형의 컨테이너크레인에 대한 하역 생산성을 평가했다. 분석 대상이 된 유형은 싱글 트롤리, 듀얼 트롤리, 더블 트롤리, 수직 순환식이다. 각 유형에 대하여, 작업 메커니즘을 분석하고 기계적 생산성과 순 생산성을 산출했다. 순 생산성을 산출하기 위하여 시뮬레이션 모형이 사용되었다.

본 연구는 개발자 입장에서 컨테이너크레인의 합리적인 대안을 선정하기 위한 절차를 제시한다. 컨테이너크레인의 대안 선정은 정성적인 요인과 정량적인 요인이 혼합된 다요소 의사결정(Multi-Attribute Decision Making : MADM) 문제이다.

이러한 MADM 문제를 해결하기 위하여 전문가의 평가와 선형 할당법(linear assignment method)을 활용한다.

논문의 2장에서는 컨테이너크레인의 개발동향과 향후 컨테이너크레인이 갖춰야 할 요구사항들에 대해서 살펴본다. 3장에서는 컨테이너크레인에 대한 대안 선정절차를 제시한다. 4장에서는 대안 선정절차를 적용한 사례를 설명하고 5장에서 결론을 맺는다.

2. 컨테이너크레인의 개발동향과 요구사항

컨테이너크레인은 컨테이너 터미널의 안벽에서 컨테이너선과 이송장비(예: 트럭, AGV 등) 간에 컨테이너를 운반하는 하역장비이다(Fig. 1). 컨테이너 터미널의 성능은 선박이 항만에 접안했을 때의 신속하고 안정적인 하역작업에 의해서 평가될 수 있으므로 컨테이너크레인의 성능은 컨테이너 터미널 경쟁력의 기반이 된다.

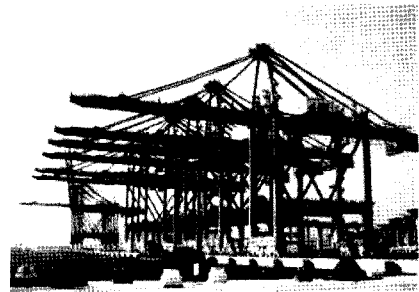


Fig. 1 The container cranes in Pusan Newport²⁾

컨테이너크레인의 개발과 관련된 대표적인 환경변화는 컨테이너선의 대형화에서 찾을 수 있다. 선박의 크기가 커짐에 따라서 대형 선박을 서비스할 수 있는 크레인의 크기도 커져야 하기 때문이다. Fig. 2는 1960년대부터 현재까지 컨테이너선의 발전 과정을 나타낸다. 최근의 컨테이너선은 40년 전에 비해 그 외형이 2배 정도 증가하였음을 알 수 있다. 하지만 컨테이너선의 외형 증가에도 불구하고 여전히 짧은 제한시간이 요구되고 있다.

Generation	Capacity (TEU)	Length (m)	Beam (m)	Draft (m)
1. (1968)	750	180	25	9.00
2. (1972)	1,500	225	29	11.50
3. (1980)	3,000	275	32	12.50
4. (1987)	4,500	275	39	11.00
5. (1998)	7,900	347	43	14.50
6. (2006)	11,000	397	56	15.5

Fig. 2 The evolution of container ships(Rudolf III, 2007)

2) 부산신항만, <http://www.pncport.com>.

터미널 운영자는 재항시간을 단축시키기 위해서 여러 가지 방안을 모색하고 있다. 첫 번째 방안은 보다 많은 크레인을 투입하는 것이다. 네덜란드의 Ceres Paragon 터미널에서는 보다 많은 크레인을 투입하기 위하여 컨테이너선의 양쪽에서 하역 작업을 하는 양현하역 방식을 채택하고 있다. 두 번째 방안은 트윈 리프트, 탠덤 리프트 등의 멀티 리프트 스프레더를 사용하는 것이다. 멀티 리프트 스프레더는 중국의 YICT(Yantian International Container Terminals), 이란의 Bandar Abbas, 스페인의 APM 터미널, 네덜란드의 Uniport, 벨기에의 Antwerp Gateway, UAE의 두바이항 등에서 사용되고 있다. 마지막으로 세 번째 방안은 컨테이너크레인의 사이클 타임을 줄이는 것이다. 사이클 타임을 줄이기 위하여 하역 메커니즘을 개선하거나 호이스트 및 트롤리 속도를 증가시킬 수 있다.

본 연구에서는 이러한 상황들에 대응할 수 있는 컨테이너크레인의 개발 대안을 선정하기 위한 절차에 대하여 논의하고자 한다. 이후에서는 컨테이너크레인의 발전 과정을 살펴보겠다.

1959년에 세계 최초의 컨테이너크레인이 개발된 이후, 규모와 성능 면에서 많은 발전이 이루어졌다. Table 1은 컨테이너크레인의 발전방향을 주요 사양별로 나타낸다. 1960~1980년에는 아웃리치가 39m, 중량이 450~850ton인 제1세대 컨테이너크레인이 사용되었고, 1984~1994년에는 포스트 파나막스급의 선박에 대응하는 제2세대 컨테이너크레인이 사용되었다. 1994~2003년에는 슈퍼 포스트 파나막스급의 선박에 대응하는 제3세대 컨테이너크레인이 사용되었으며, 현재는 아웃리치가 65m, 중량이 1,100~1,450ton에 달하는 컨테이너크레인이 개발되고 사용되고 있다.

이러한 컨테이너크레인의 외형적 성장 뿐 아니라 생산성을 향상시키기 위한 여러 가지 신개념 기술들이 개발되어져 왔다.

버퍼 크레인은 기존 크레인 아래에 설치되는 크레인으로서 컨테이너크레인에서 하역된 컨테이너를 임시 보관 및 이송하는 기능을 한다(Fig. 3). 즉, 버퍼 크레인은 컨테이너크레인의 아래에 위치하여 안벽과 이송장비를 서로 이어주는 역할을 하게 되며 버퍼 크레인에는 컨테이너와 야드 트럭의 적재 흐름을 조절하기 위한 버퍼가 갖추어져 있다.



Fig. 3 Buffer crane³⁾

DHST(Dual Hoist Second Trolley) 컨테이너크레인은 기존의 싱글 트롤리 싱글 호이스트 컨테이너크레인과는 달리 두 개의 트롤리와 호이스트 작업이 가능하다(Fig. 4). 즉, 해측 작업과 육측 작업이 동시에 독립적으로 이루어지고 두 작업이 연계되는 지점에 버퍼가 존재한다. 독일의 CTA(Container Terminal Altenwerder), 네덜란드의 ECT(Europe Container Terminals), 미국의 VIT(Virginia International Terminals) 등에서 사용되고 있다.

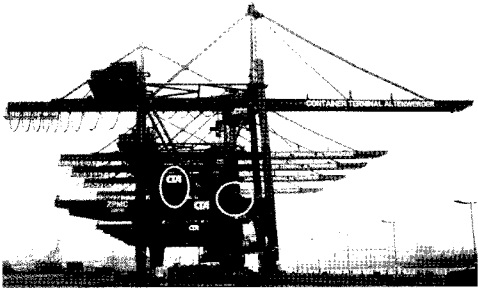


Fig. 4 DHST container crane(Bhimani and Sisson, 2002)

더블 트롤리 컨테이너크레인은 동일한 주행로를 두 개의 트롤리가 동시에 이동하는 시스템으로서, 두 개의 트롤리 작업에 따라 한번에 2개의 컨테이너를 동시에 취급할 수 있다(Fig. 5). 단, 하나의 트롤리가 이동할 때 다른 트롤리가 이동을 방해하는 경우가 있으므로 이를 해결하기 위해 각 트롤리에 정교한 적재 제어 시스템과 운영 시스템이 요구된다. 벨기에의 FCT(Flanders Container Terminal)에서 사용되고 있다.

Table 1 The specification of container cranes: past and future(이와 흥, 2004; 정 등, 2005)

	1st generation	2nd generation	3rd generation	4th generation	Future
Year	1960~1980	1984~1994	1994~2003	2004~2013	2014~
Ship size	Panamax	Post Panamax	Super Post Panamax	Maersk	-
Rated load (long ton)	35	Over 40.6	40.6~50.8	50~60	60~75
Outreach (m)	39	45~47	48~55	65	70~75
Span(m)	16~30	30	30	30.48	40
Lift(m)	21~28	32	34~36	40	50
Hoist speed (mpm)	36~45	55	60~75	90~180	200~300
Trolley speed (mpm)	120~150	180~210	180~210	240~300	300~400
Weight of crane (ton)	450~850	900~1,000	950~1,250	1,100~1,450	1,550~1,850

3) PACECO Corp., <http://www.pacecocorp.com>.

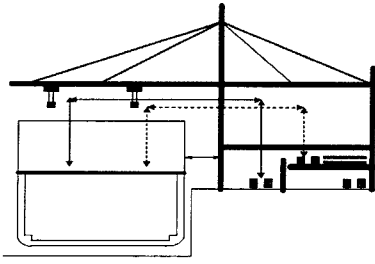


Fig. 5 Double trolley container crane(Payer, 1999)

엘리베이터 크레인은 통합된 차량 엘리베이터를 이용하여 안벽을 수직으로 이동하는 크레인이다(Fig. 6). 하역과정에서 빈 ACC(Automated Cross Car)가 크레인 아래의 빈 플랫폼에서 리프트로 이동하고 상부에서 컨테이너를 받은 후 적재 플랫폼을 경유하여 크레인 영역 외부로 이동하여 트롤리, 스프레더, 리프트의 이동이 완전 자동화된다. 선박 위에서 트롤리와 스프레더의 이동은 컴퓨터의 지원 아래 수동으로 조작되며, 운전석은 트롤리와는 별도로 분리되어 적재와 하역을 하는 동안 선박위에 위치하게 된다. 아직까지 적용된 사례는 없다.

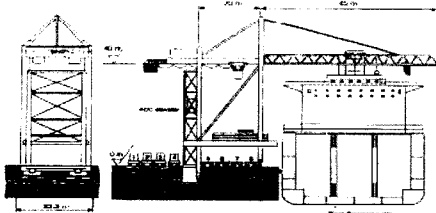


Fig. 6 Elevator container crane(Watanabe, 1996)

컨테이너크레인 2000은 상하 유동거더를 갖는 크레인으로서 18열 이상을 처리하는 아웃리치를 갖고 있으며 컨테이너선 뿐만 아니라 바지선을 포함한 여러 가지 형태의 컨테이너 수송 선박을 한대의 크레인으로 처리할 수 있다(Fig. 7). 즉 처리되는 선박이 요구하는 갠트리의 높이를 조정함으로써 선형 또는 선종과 무관하게 작업할 수 있어 불필요한 호이스팅을 피할 수 있으며, 시간과 동력을 줄일 수 있다. Fig. 6의 (a)는 봄의 위치를 높게 하였을 때를 나타내고, (b)는 낮게 하였을 때를 나타낸다. 아직까지 적용된 사례는 없다.

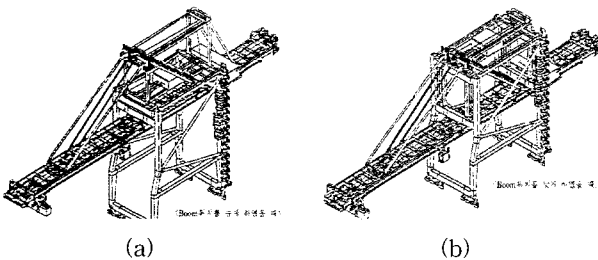


Fig. 7 Container crane 2000⁴⁾

4) VIT 내부자료, 1996.

5) PACECO Corp., <http://www.pacecocorp.com>.

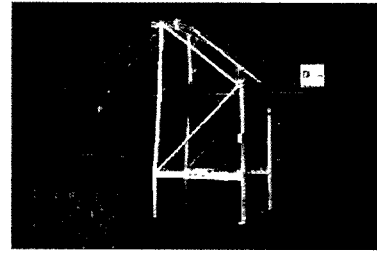


Fig. 8 Supertainer⁵⁾

슈퍼테이너는 두개의 트롤리가 수직운동만을 하며 트롤리 사이의 수평운동은 트래버서(traverser)에 의해 수행된다(Fig. 8). 트래버서는 트롤리가 내부로 올라왔을 때 거더(girder)의 바깥쪽 레일을 따라 운행되며 트롤리와 트래버서가 겹쳐졌을 때 장착된 컨테이너가 이송된다. 육측 및 해측에서 트롤리가 하강하며 위치를 잡을 때를 제외하고는 자동으로 운행된다. 아직까지 적용된 사례는 없다.

3. 컨테이너크레인의 선정방법

본 장에서는 컨테이너크레인 선정을 위한 선정 절차를 제시하는데, 국내 컨테이너 터미널의 설계에 적용되는 컨테이너 부두 설계 기준을 참고로 제시한다.

3.1 컨테이너부두 설계 기준

해양수산부(2005)는 컨테이너부두의 설계기준을 제시하였는데, 그 가운데 육상시설의 설계 부분에서 컨테이너크레인에 대한 내용을 발견할 수 있다. 설계기준에는 “컨테이너크레인 은 대상으로 하는 컨테이너선의 선형, 컨테이너의 크기 및 종류, 컨테이너의 취급량, 안벽구조, 야드의 하역방식, 야드 하역 시설과 기계의 종류 등을 고려하여 적절한 취급능력을 갖는 것으로 한다.”라고 명시되어 있다. 또한 컨테이너크레인의 설계에서 고려되어야 하는 조건으로 대상 컨테이너선의 선형 선정, 소요처리능력, 크레인의 정격하중, 내진(耐震)성을 제시하였다.

본 연구의 선정방법에서는 이러한 설계기준을 기본적으로 고려하고, 다른 관점의 사항들도 추가적으로 고려하였다.

3.2 대안 선정절차

본 연구에서 제안하는 컨테이너크레인의 대안 선정절차는 2 단계로 구성된다. 첫 번째 단계에서는 컨테이너크레인에 요구되는 필수요소를 만족하지 못하는 대안을 제거하는 선별작업을 하고, 두 번째 단계에서는 선정요소에 따라 대안을 평가하고 선형 할당법을 적용하여 최적의 대안을 선정한다. Fig. 9는 컨테이너크레인을 선정하기 위한 전체 절차를 나타낸다. 그림에서 점선으로 표시된 부분은 대안 도출 전에 이루어져야 한다.

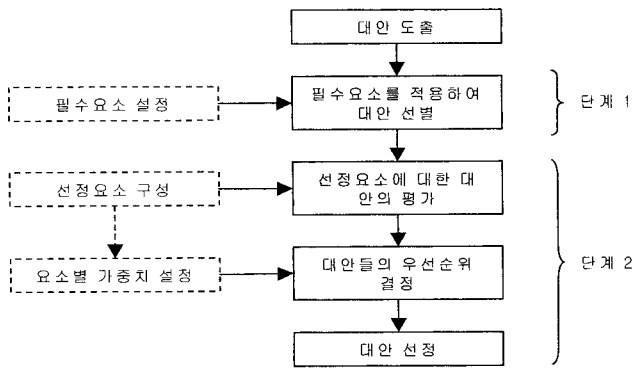


Fig. 9 A procedure for selecting the container crane

단계 1에서 사용되는 필수요소로는 작업성(workability)과 처리능력이 있다. 작업성에서는 대상 컨테이너선의 선형, 취급 컨테이너의 크기 및 종류, 안벽구조, 크레인의 정격하중 등에 따라서 크레인의 작업이 가능한지가 평가되고, 처리능력에서는 요구되는 처리능력을 해당 크레인의 생산성으로 대응 가능한지가 평가된다.

단계 2에서 최적의 컨테이너크레인을 평가하기 위해 사용되는 선정요소를 네 가지 범주로 분류하였다. 의사결정자의 관점에 따라서 성능적 관점, 기술적 관점, 경제적 관점, 전략적 관점으로 나누었다. Fig. 10은 컨테이너크레인을 선정하기 위한 요소들의 계층을 나타낸다.

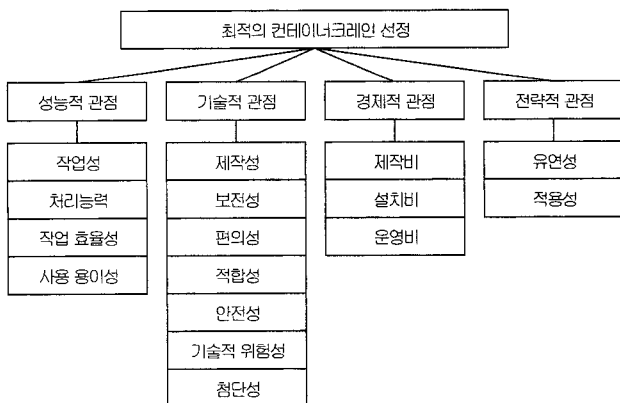


Fig. 10 A hierarchy of the criteria for selecting the container crane

성능적 관점에서는 작업성, 처리능력, 작업 효율성, 사용 용이성(ease of use)이 고려된다. 작업성과 처리능력은 필수사항에서 언급하였으므로 나머지 사항에 대해서만 설명한다. 작업 효율성에서는 작업의 정확성, 구조적 합리성, 작업 사이클의 우수성 등을 고려하고, 사용 용이성에서는 사용자의 작동 용이성, 훈련·작업 조건 등을 고려한다.

기술적 관점에서는 제작성(manufacturability), 보전성(maintenance), 편의성(convenience), 적합성(compatability),

안전성(safety), 기술적 위험성(technological risk), 침단성이 고려된다. 제작성은 제조사 입장에서 제작의 용이성을 뜻한다. 보전성에는 예방보전 및 수리의 용이성, 부품조달의 용이성, 모델생산의 지속여부, 다른 모델 부품과의 호환성, 내구성(durability)이 포함된다. 편의성에는 자동화 가능성, 기능의 단순성이 포함된다. 적합성에는 이송 및 야드장비와의 연계성, 운영시스템과의 연계성이 포함된다. 안전성에는 내진성, 안전장치설계, 인간공학적 설계가 포함된다. 기술적 위험성에는 하드웨어 고장, 소프트웨어 고장, 통신 시설 고장에 관련된 사항이 포함된다. 침단성에는 첨단기술의 활용성이 포함된다.

경제적 관점에서는 제작비(manufacturing cost), 설치비(installation cost), 운영비(operating cost)가 고려된다. 제작비에는 장비의 제작비와 제작 기간이 포함되고, 설치비에는 장비의 설치비와 설치 기간, 기계 및 전기 설치비가 포함된다. 운영비에는 인건비, 동력비, 수리비, 유지보수비, 작업자 훈련비, 장비의 수명이 포함된다.

전략적 관점에서는 유연성(flexibility), 적용성이 고려된다. 유연성에는 컨테이너의 크기와 하역방식의 다양화에 따른 대응, 부가장치의 수용성(예: 스프레더 교체, 버퍼 크레인⁶⁾ 설치 등)이 포함된다. 유연성은 크레인의 생산성에 영향을 주어 성능적 관점의 처리능력과도 관련이 있지만, 성능적 관점에서는 현재의 성능만을 고려하는 것으로 한정한다. 적용성에는 고객의 신모델 도입 가능성 및 적용가능성이 포함된다.

이렇듯 다양한 선정요소들을 대안의 평가에 반영하기 위하여 각 요소의 상대적 중요도를 가중치로 반영한다. 각 요소에 대한 가중치는 컨테이너크레인 분야의 전문가 설문을 통하여 Table 2와 같이 산출되었다⁷⁾.

Table 2 The weights of selection attributes

범주	요소	가중치	소계
성능적 관점	작업성	0.076	0.286
	처리능력	0.086	
	작업 효율성	0.064	
	사용 용이성	0.060	
기술적 관점	제작성	0.035	0.389
	보전성	0.043	
	편의성	0.073	
	적합성	0.063	
	안전성	0.067	
	기술적 위험성	0.053	
	침단성	0.055	
경제적 관점	제작비	0.058	0.191
	설치비	0.057	
	운영비	0.076	
전략적 관점	유연성	0.076	0.134
	적용성	0.058	
합계			1

6) 버퍼 크레인은 컨테이너크레인의 포털 범 아래에 설치되어 컨테이너크레인과의 이송장비 간의 컨테이너 이송에 대한 버퍼 역할을 함.

7) 전문가들에게 각 요소별 중요성을 매우 낮음, 낮음, 보통, 높음, 매우 높음 중의 하나로 평가하게 한 후, 척도로 정량화하여 계산함.

가중치 산출 결과 처리능력, 작업성, 운영비, 유연성, 편의성 등이 상대적으로 중요성이 높은 요소로 평가되었고 제작성, 보전성, 기술적 위험성 등은 상대적으로 중요성이 낮은 요소로 평가되었다.

대안의 우선순위를 결정하여 최종 대안을 선정하는 과정은 MADM에 해당된다. MADM은 유한개의 대안들 중에서 복수의 요소들을 복합적으로 고려하여 하나의 대안이나 몇 개의 대안을 선택하는 접근 방법이다. 본 연구에서는 컨테이너크레인에 대한 대안들 중에서 16개의 선정요소들을 복합적으로 고려하여 최적의 대안을 결정하게 된다.

MADM 문제에 대한 해법은 여러 가지가 알려져 있는데, 본 연구에서는 각 선정요소에 대한 대안의 우선순위와 선정요소의 가중치를 이용하여 선형 할당법을 적용하고자 한다. 이 방법은 각 선정요소별로 기술 대안들의 선호 순위만 필요하므로, 기술 대안에 대한 정성적 요소를 정량적으로 평가할 필요가 없다는 장점이 있다.

선형 할당법의 적용절차를 설명하기 위해 간단한 예를 들겠다. 대안 A_1, A_2, A_3 과 요소 X_1, X_2, X_3 을 갖는 문제에서 각 요소에 대한 대안들의 선호 순위가 Table 3과 같다고 하자.

Table 3 The rank of alternatives for attributes in the example of the linear assignment method

순위 \ 요소	X_1	X_2	X_3
1위	A_1, A_2	A_1	A_2
2위	-	A_3	A_1
3위	A_3	A_2	A_3

대안들의 순위 정보를 요약하기 위하여 3×3 행렬 Π 를 정의한다. 행렬 Π 의 i 행 k 열 원소 π_{ik} 는 대안 A_i 가 k 번째 순위를 갖는 횟수를 나타낸다. 단, X_1 처럼 둘 이상의 대안이 동일한 순위로 평가되는 경우, 해당 순위와 동률로 인해 비게 되는 순위에 대해서는 횟수를 균등하게 분배한다. 즉, X_1 에 대해서 A_1 과 A_2 가 1위로 평가된 횟수는 1이 아니라 각각 0.5가 되고, 동률로 인해 비게 되는 2위로 평가된 횟수도 마찬가지로 각각 0.5가 된다. 각 요소에 대한 중요성이 동일하다면 행렬 Π 는 다음과 같이 구성된다. 예를 들어 π_{11} 은 A_1 이 1위를 갖는 횟수를 나타내며 X_1 에 대한 0.5, X_2 에 대한 1을 합쳐 1.5가 된다.

$$\Pi = \begin{bmatrix} 1.5 & 1.5 & 0 \\ 1.5 & 0.5 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

만약, 각 요소에 대한 중요성이 동일하지 않아 각 요소에 대한 가중치가 존재한다면 가중치를 반영한 Π 를 구성 가능하다. 각 요소의 가중치를 나타내는 벡터를 W 로 정의하고, $W^T = (w_1, w_2, w_3) = (0.2, 0.3, 0.5)$ 라고 가정하면 Π 는 다음과 같이 변경된다. 즉, 각 대안이 해당 순위로 평가된 횟수를 바로 더하는 것

이 아니라, 각 대안이 해당 순위로 평가된 횟수에 요소별 가중치를 곱하여 더한다.

$$\Pi = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.6 & 0 \\ 0.6 & 0.1 & 0.3 \\ 0 & 0.3 & 0.7 \end{bmatrix}$$

여기서 π_{ik} 는 대안 A_i 의 최종적인 선호 순위가 k 번째가 되도록 기여하는 정도라고 생각할 수 있다. 즉, π_{ik} 가 클수록 A_i 의 최종적인 선호 순위가 k 번째가 될 가능성이 커지게 된다. 비교되는 대안이 m 개라고 하면, 대안들의 순위를 구하는 문제는 $\sum_{k=1}^m \pi_{ik}$ 를 최대화되도록 각 k 에 해당되는 대안 A_i 를 찾는 문제가 된다. p_{ik} 를 A_i 가 k 번째 순위로 할당되면 1, 그렇지 않으면 0의 값을 갖는 변수로 정의하면 대안들의 우선순위 결정 문제는 다음과 같은 선형 계획법 모형이 된다.

$$\max \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \pi_{ik} p_{ik} \quad (1)$$

$$s. t. \sum_{k=1}^m p_{ik} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m p_{ik} = 1, \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

목적함수인 식 (1)은 각 순위에 대해 기여되는 정도의 합이 최대가 됨을 나타낸다. 제약은 일반적인 할당문제에 대한 것으로 식 (2)는 하나의 대안이 하나의 순위에만 할당될 수 있다는 것을 나타내고, 식 (3)은 하나의 순위에는 하나의 대안만 할당될 수 있다는 것을 나타낸다. 대안들의 순위는 위의 모형을 최적화시키는 p_{ik} 를 통해 구해진다. p_{ik} 의 최적해로 구성된 행렬 P^* , 대안들의 벡터 $A = (A_1, A_2, \dots, A_m)$ 를 정의하면 대안들의 순위를 나타내는 벡터 A^* 는 다음과 같이 구해진다.

$$A^* = A \cdot P^* \quad (4)$$

4. 적용 사례

3장에서 제시한 대안선정 절차를 설명하기 위하여 컨테이너크레인 선정 적용 사례를 제시한다. 사례에서는 15,000TEU 급의 초대형선에 대응하는 컨테이너크레인 개발 대안 선정을 목표로 9개의 대안이 도출되었고 단계 1을 거쳐서 4개의 대안이 선별되었다. 본 논문에서는 단계 1까지의 내용은 생략하고 단계 2의 내용부터 설명하기로 한다.

선별된 4가지 대안은 Fig. 11과 같다. 대안 1은 듀얼 호이스트 듀얼 트롤리 메커니즘을 사용하고, 본체와 분리된 버퍼 플

랫폼을 보유하고 있다. 버퍼 플랫폼은 2단으로 구성되어 있으며 상단과 하단은 각각의 피딩(feeding) 방향을 가질 수 있다. 또한 메인 트롤리와 두 번째 트롤리에는 탠덤 리프트 스프레더가 각각 장착된다. 대안 2는 버퍼 플랫폼이 1단으로 구성되어 있어서 피딩이 단방향으로만 이루어지며 두 번째 트롤리에 트윈 리프트 스프레더가 장착된다는 점에서 대안 1과 구분된다. 대안 3은 버퍼 플랫폼에 피딩 기능이 없다는 점에서 대안 2와 구분된다. 대안 4는 트리플 호이스트 트리플 트롤리 메커니즘을 사용하고 버퍼 플랫폼은 대안 1과 같이 2단으로 구성되며 단별로 피딩 방향을 가질 수 있다. 메인 트롤리에는 탠덤 리프트 스프레더가, 두 번째 및 세 번째 트롤리에는 트윈 리프트 스프레더가 각각 장착된다.

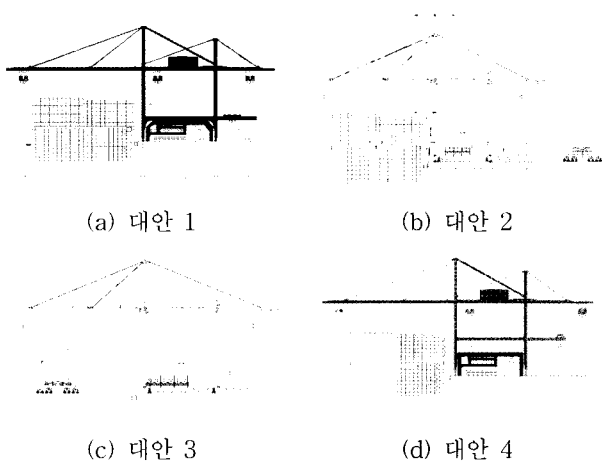


Fig. 11 Four alternatives for selecting a container crane

이러한 네 가지 대안들을 16가지 선정요소에 대해 평가하게 된다. 평가는 11명의 컨테이너크레인 전문가들에 의해 이루어졌는데, 평가자는 각 요소별로 대안의 순위를 매겼다. 집계된 평가 결과는 선형 계획법 모형의 입력 자료로 사용된다. 선정요소별 가중치는 Table 2의 값을 사용하였다. 대안들의 순위 정보를 요약한 4×4 행렬 Π 는 다음과 같다. 각 대안의 입장에서 보면, 대안 1은 2위(4.379)로 평가될 가능성이 가장 높았고, 대안 2는 1위(4.028)로 평가될 가능성이 가장 높았으며, 대안 3과 4는 4위(4.146, 5.102)로 평가될 가능성이 가장 낮았다.

$$\Pi = \begin{bmatrix} 2.290 & 4.379 & 3.309 & 1.022 \\ 4.028 & 3.045 & 3.198 & 0.730 \\ 1.881 & 2.081 & 2.892 & 4.146 \\ 2.802 & 1.495 & 1.061 & 5.102 \end{bmatrix}$$

선형 계획법 모형을 풀이한 결과, 최적해는 $p_{12}=p_{21}=p_{33}=p_{44}=1$ 로 결정되었다. 즉, 대안들의 최종 순위는 대안 2, 대안 1, 대안 3, 대안 4의 순이고 최적 대안으로는 대안 2가 선정되었다.

5. 결 론

본 논문에서는 항만의 대표적인 하역장비인 컨테이너크레인의 개발 대안을 선정하기 위한 절차를 기술하였다. 먼저 컨테이너크레인의 개발동향에 대해서 살펴본 후, 대안 선정절차를 제시하였다. 대안 선정은 정성적인 부분과 정량적인 부분이 복합된 다요소 의사결정 문제이다. 따라서 본 연구에서는 문헌 조사와 전문가 면담 등을 통해 다양한 기준들을 수집하여 선정요소를 만들고 각 요소의 중요도를 설정하였다. 또한 전문가의 평가와 이를 집계하여 최적의 대안을 선정하는 방법을 제시하였다. 이러한 대안 선정절차는 선정기준만 일부 수정된다면 컨테이너크레인 뿐 아니라 항만의 다른 하역장비의 선정에도 적용될 수 있을 것이다.

평가 기준 중에는 전문가의 견해나 경험에 의존하는 정성적인 것들도 있지만, 일부 정량적인 항목들은 시뮬레이션이나 경제성분석과 같은 방법을 통해서 얻어야 하는 것들도 있다. 이러한 항목들을 정확히 얻는 데는 많은 시간이 소모된다. 따라서 개략적인 성능이나 경제성을 신속하게 추정해주는 도구들이 본 연구에서 제시한 의사결정절차와 함께 통합된다면 보다 유용한 의사결정도구가 될 것이다.

후 기

본 연구는 국토해양부의 ‘지능형 항만물류시스템 기술개발’ 사업의 일환으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] 김성희, 정병호, 김재경(2006), “의사결정분석 및 응용, 영지문화사”.
- [2] 양창호, 김창근, 최중희, 최상희, 최용석, 이주호(2002), “초대형 컨테이너선 운항에 대비한 차세대 항만 하역시스템 개발전략 연구”, 한국해양수산개발원.
- [3] 윤원영, 최용석, 송진영, 양창호(2001), “컨테이너터미널에서 컨테이너 크레인의 하역능력 추정에 관한 시뮬레이션 연구”, IE Interfaces, 14권, 1호, pp. 67-78.
- [4] 이숙재, 홍금식(2004), “초대형 선박용 차세대 컨테이너 크레인의 설계기준”, 한국해양공학회지, 18권, 6호, pp. 101-107.
- [5] 장원호, 함효준, 이광수(1995), “AHP기법을 이용한 물류시스템의 경제성평가에 관한 연구”, 공업경영학회지, 18권, 35집, pp. 139-155.
- [6] 정현수, 이숙재, 홍금식(2005), “차세대 컨테이너크레인에 대한 고찰”, 한국항해항만학회지, 29권, 3호, pp. 291-298.
- [7] 최상희, 원승환(2006), “Tandem twin-lift 방식의 고효율 컨테이너크레인 등장”, 해양수산동향, Vol. 1223, 한국해양수산개발원.

- [8] 하태영, 최용석(2005), "고성능 안벽크레인의 터미널 하역 생산성 비교분석", 한국항해항만학회지, 29권, 6호, pp. 547-553.
- [9] 해양수산부(2005), "항만 및 어항 설계기준".
- [10] Bhimani, A. K. and Sisson, M.(2002), "Increasing quayside productivity", 2002 Pan Pacific Conference.
- [11] Chan, F. T. S. and Abhary K.(1996), "Design and evaluation of automated cellular manufacturing systems with simulation modeling and AHP approach: A case study", Integrated Manufacturing Systems, Vol. 7, No. 6, pp. 39-52.
- [12] Chan, F. T. S., Ip, R. W. L., and Lau, H.(2001), "Integration of expert system with analytic hierarchy process for the design of material handling equipment selection system", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 116, No. 2-3, pp. 137-145.
- [13] Chu, H.-K., Egbelu, P. J., and Wu, C.-T.(1995), "ADVISOR: A computer-aided material handling equipment selection system", International Journal of Production Research, Vol. 33, No. 12, pp. 3311-3329.
- [14] Hanna, A. S. and Lotfallah, W. B.(1999), "A fuzzy logic approach to the selection of cranes", Automation in Construction, Vol. 8, No. 5, pp. 597-608.
- [15] Matson, J. O., Mellichamp, J. M., and Swaminathan, S. R.(1992), "EXCITE: Expert consultant for in-plant transportation equipment", International Journal of Production Research, Vol. 30, No. 8, pp. 1969-1983.
- [16] Park, Y. B.(1996), "ICMESE: Intelligent consultant system for material handling equipment selection and evaluation", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 15, No. 5, pp. 325-333.
- [17] Payer, H. G.(1999), "Feasibility and practical implications of container ships of 8,000, 10,000 or even 15,000 TEU", TOC1999.
- [18] Rudolf III, C. D.(2007), "Ship-to-shore productivity: Can it keep up with mega-ship size increase? Part 1", Port Technology International, Issue 34, pp. 78-84.
- [19] Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., Frazelle, E. H., Tanchoco, J. M. A., and Trevino, J.(1996), Facilities Planning, 2nd ed., John Wiley & Sons.
- [20] Watanabe, I.(1996), "An Approach to the Automated Container Terminals".

원고접수일 : 2006년 12월 28일

심사완료일 : 2008년 10월 29일

원고채택일 : 2008년 10월 29일