

## 컨테이너크레인의 개발 대안 선정을 위한 체계적인 절차

원승환\* · 최상희\*\*

한국해양수산개발원 항만연구본부

# A Systematic Procedure for Selecting the Development Alternatives of Container Cranes

Seung Hwan Won\* · Sang-Hei Choi\*\*

Port Research Department, Korea Maritime Institute, Seoul 137-851, South Korea

**요 약 :** 지속적인 컨테이너 물동량의 증가와 컨테이너선의 대형화에 따라서 항만간의 경쟁은 점점 치열해지고 있다. 주요 항만 하역장비 제작 업체들은 획기적인 생산성 향상을 제공할 수 있는 새로운 개념의 하역장비 개발에 많은 관심을 기울이고 있다. 본 연구에서는 항만의 대표적 하역 장비인 컨테이너 크레인에 대해서 다양한 개발 대안들이 존재할 때, 최적의 개발 대안을 선정하는 2단계 절차를 제시한다. 절차는 두 단계로 구성 되는데, 첫 번째 단계에서는 요구되는 필수사항들을 만족하지 못하는 대안을 제거하고 두 번째 단계에서는 AHP(Analytic Hierarchy Process)를 적용하여 최종적인 개발 대안을 선정한다. 마지막으로, 제시한 절차를 적용한 예제를 제시한다.

**핵심 용어 :** 컨테이너크레인, 대안 선정, AHP(Analytic Hierarchy Process), 컨테이너 터미널, 하역장비

**ABSTRACT :** Container terminals keenly compete with other ones because of the continuous increase of container flows and the appearance of large-sized vessels. Major port equipment manufacturers are interested in the development of new conceptual equipment to greatly increase the productivity. In this study, a two-phase procedure is suggested for selecting the optimal development alternatives, when there are various development alternatives for container cranes, typical equipment in ports. The first phase removes the alternatives that violate essential requirements and the second phase selects final alternatives by using AHP (Analytic Hierarchy Process). Finally, an example applying the procedure is provided.

**KEY WORDS :** container crane, selecting alternatives, AHP(Analytic Hierarchy Process), container terminal, cargo handling equipment

### 1. 서 론

해운사들이 물류비의 절감을 위해서 선박의 대형화를 요구하고 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 항만들 간의 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 항만들 간의 중심항만 경쟁이 치열해지면서, 항만들은 기존 장비의 효율적인 운영과 새로운 하역 시스템의 도입 등을 통한 하역 능력의 향상에 많은 관심을 쏟고 있다. 또한 주요 항만 장비 제조사들은 획기적인 생산성 향상을 제공할 수 있는 새로운 개념의 하역시스템을 설계하거나 개발 중에 있다.

컨테이너 터미널의 하역장비는 안벽장비, 이송장비, 야드장비

\*대표저자 : 원승환, shwon@kmi.re.kr 02)2105-2886

\*\*정회원, shchoi@kmi.re.kr 02)2105-2888

로 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 전체의 성능 향상으로 이어질 수 있을 것이다. 컨테이너 터미널의 안벽장비는 수십억 원의 고가이면서 20~30년의 수명을 가지므로, 장비 선정 문제는 다양한 고려 사항을 가지는 복잡한 의사결정문제가 된다. 본 연구는 대표적인 안벽장비인 컨테이너크레인의 선정을 위한 절차를 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 물류 장비 선정을 위한 전문가 시스템 EXCITE, ICMESE를 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 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 컨테이너터미널의 새로운 하역시스템을 소개하는 연구가 이루어졌다. 양 등(2002)은 새로운 개념의 안벽 하역장비, 통합 하역시스템을 소개하고 선정기준에 따른 평가를 수행하였다. 이·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.

본 연구는 컨테이너크레인의 개발자 입장에서 합리적인 대안

을 선정하기 위한 절차를 제시한다. 컨테이너크레인의 대안 선정은 정성적인 요인과 정량적인 요인이 혼합된 다기준 의사결정 문제이다. 이를 위해 다기준 의사결정 문제에 적합한 AHP 기법을 활용한다.

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

## 2. 컨테이너크레인의 개발동향과 요구사항

컨테이너크레인은 컨테이너터미널의 안벽에서 컨테이너선과 이송장비(예: 트럭, AGV 등) 간에 컨테이너를 운반하는 하역장비이다(Fig. 1). 컨테이너터미널의 성능은 컨테이너선이 항만에 머무르는 시간에 의해서 평가될 수 있으므로 신속하고 안정적인 작업을 수행하는 컨테이너크레인의 보유는 주요한 경쟁력이 될 수 있다.

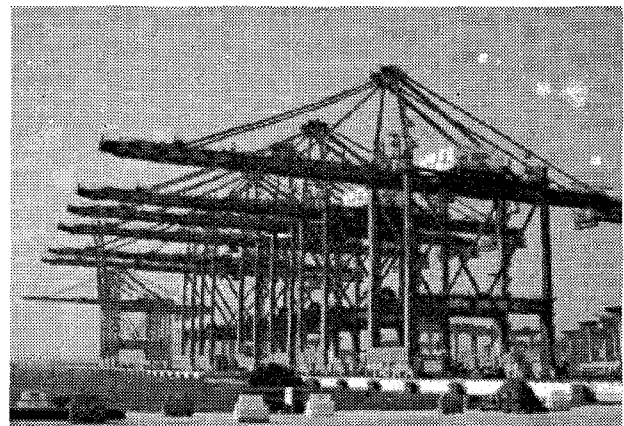


Fig. 1 The container cranes in Pusan Newport<sup>1)</sup>

1959년 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 개발되거나 사용되고 있다.

1) 부산신항만, <http://www.pncport.com>.

**Table 1** The specification of container cranes: past and future(이 · 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

향후 10년 이내에 15,000TEU를 넘는 초대형 컨테이너선의 출현이 예상됨에 따라서 고성능의 컨테이너크레인의 개발도 이루어져야 한다. 차세대 컨테이너크레인에 대한 주요 요구사항은 운영시스템과 상호 연계성, 고속의 하역 성능, 작업의 정확성 및 용이성, 경제성, 안정성 및 내구성 등이다. 특히 컨테이너선의 재항시간을 줄이기 위해 시간당 75~100개를 처리할 수 있는 하역능력이 필수적이다. Table 2는 향후 컨테이너크레인이 갖추어야 할 기술 및 성능을 현재 수준과 비교하였다. 컨테이너크레인이 대형화되면서 트롤리와 호이스트의 이동거리가 증가하고 흔들림 현상이 발생하므로 트롤리와 호이스트의 개수를 증가시켜서 이를 해결하고자 한다. 선진 항만에서는 이미 듀얼 호이스트 듀얼 트롤리 방식을 사용 중이며, 향후에는 듀얼 호이스트 트리플 트롤리 방식이 예상된다. 아웃리치<sup>2)</sup>는 컨테이너크레인의 해측 레일로부터 선박 방향으로 트롤리가 도달할 수 있는 최대 거리를 나타내는데, 컨테이너선의 선평이 70m에

2) 아웃리치는 다음과 같이 계산될 수 있다. 아웃리치 = (셋백) + (컨테이너와 선박 끝 사이의 간격) + {(컨테이너 폭) × (적재 열수)} - {0.5 × (컨테이너 폭)} + (오버런). 셋백(setback)은 컨테이너크레인의 해측 레일과 선박과의 간격이다.

이를 것으로 예상됨에 따라서 아웃리치도 75m 이상이 되어야 할 것이다. 컨테이너크레인의 생산성을 향상시키기 위해서는 하역 속도를 증가시켜야 하고 이를 위해서는 트롤리와 호이스트의 속도가 향상되어야 한다. 트롤리와 호이스트의 이동거리 증가를 감안한다면 트롤리는 350mpm, 호이스트는 250mpm의 속도가 필요하다.

**Table 2** The present and future of container cranes(이 · 흥, 2004; 정 등, 2005)

Specification	현재(2003)	10년 후(2014)
컨테이너 처리속도	30moves/hr 미만(평균, 부산항)	100moves/hr(최대), 75moves/hr(평균)
크레인 구동 메커니즘	Single trolley(부산항)	Dual-hoist and triple-trolley
크레인 제어방식	PLC	PC control
크레인 outreach	53m(6,400TEU급)	75m(18,000TEU급)
트롤리 구동방식	Rope-towed type	Machinery type
트롤리(호이스트) 최대주행속도	90mpm(72mpm)	350mpm(250mpm)
트롤리(호이스트) 위치 허용오차	±20mm(±50mm)	±10mm(±10mm)
선박접안 시 위치보정 유무	×	○

### 3. 컨테이너크레인의 선정방법

#### 3.1 Analytic Hierarchy Process

AHP는 문제의 정성적인 면과 정량적인 면이 통합될 필요가 있는 복잡한 다기준 문제에 대한 강력하고 유연한 의사결정 도구이다. AHP는 의사결정자가 문제의 중요한 부분을 계보와 같은 계층적인 구조로 구조화하도록 도와준다. AHP는 복잡한 문제를 일련의 단순한 비교와 순위로 축소시킨 후 결과를 종합함으로써, 의사결정자가 최선의 결정에 도달하도록 도와 줄뿐 아니라 의사결정자의 결정에 대한 이론적 근거를 제시한다. AHP는 사람이 실제로 생각하는 방식을 반영하여 약 30년 전에 개발되었고, 현재까지 의사결정 이론으로 광범위하게 사용되고 있다(Saaty, 1995).

AHP에서 요소의 우선순위를 설정하기 위해서 쌍대비교를 한다. 요소들이 계층화되어 있다면 상위계층에서부터 하위계층으로 비교를 행한다. 비교의 기준이 되는 속성에 따라 한 요소의 다른 요소에 대한 상대적 중요도를 나타내기 위해서 숫자를 사용한다. Table 3은 쌍대비교를 위한 AHP의 기본적인 척도를 설명하고 있다. 이 척도는 인접한 요소들을 비교하기 위하여 1에서 9까지의 값을 사용한다. 또한 한 요소가 다른 요소보다 덜 중요하다면 그 역수가 사용된다. 예를 들어 두개의 돌맹이를 비교한다고 할 때, 첫 번째 돌맹이가 두 번째 돌맹이보다 다섯 배

무겁다고 하면 첫 번째 돌맹이의 두 번째 돌맹이에 대한 상대적 중요도는 5이고 두 번째 돌맹이의 첫 번째 돌맹이에 대한 상대적 중요도는 1/5이 된다. 이러한 쌍대비교를 종합하여 각 요소에 대한 가중치가 결정된다.

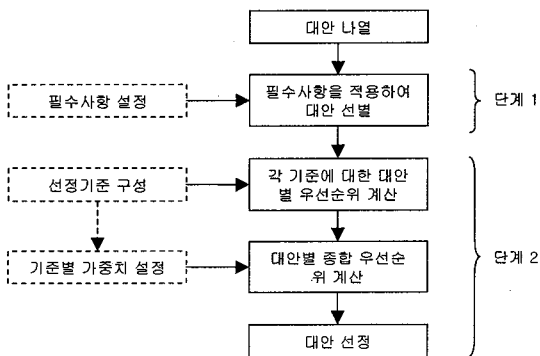
**Table 3** The measurements of pairwise comparisons(Saaty, 1995)

중요도	정의	설명
1	비슷함 (equal importance)	두 활동이 비슷한 중요도를 가진다고 판단됨
3	약간 중요함 (moderate importance)	한 활동이 다른 활동보다 약간 선호됨
5	중요함 (strong importance)	한 활동이 다른 활동보다 확실하게 선호됨
7	매우 중요함 (very strong importance)	한 활동이 다른 활동보다 강하게 선호됨
9	극히 중요함 (extreme importance)	한 활동이 다른 활동보다 극히 선호됨
2, 4, 6, 8	위 값들의 중간 값	비교 값이 위 값들의 중간에 해당한다고 판단될 경우에 사용함

주: 활동 *i*가 활동 *j*에 대하여 위의 한 값을 갖는다고 할 때, 활동 *j*는 활동 *i*에 대하여 그 값의 역수 값을 갖는다.

### 3.2 대안 선정절차

본 연구에서 제안하는 컨테이너크레인의 대안 선정절차는 2 단계로 구성된다. 첫 번째 단계에서는 컨테이너크레인을 운영하는 데 요구되는 필수사항들을 만족하지 못하는 대안들을 제거하는 선별작업을 하고, 두 번째 단계에서는 AHP를 적용하여 최선의 대안을 선정한다. Fig. 2는 컨테이너크레인을 선정하기 위한 전체 절차를 나타낸다. 그림에서 점선으로 표시된 부분은 대안 나열 전에 이루어져야 한다.

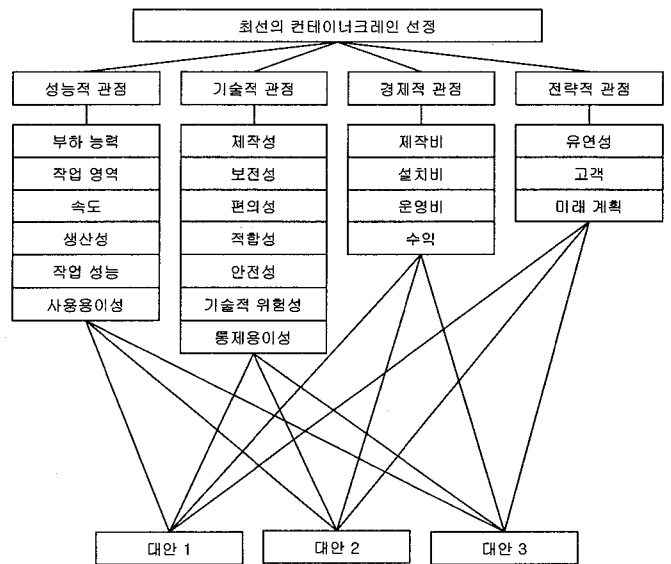


**Fig. 2** A procedure for selecting the container crane

단계 1에서 사용되는 필수사항으로는 부하 능력(load

capacity), 작업 영역(working area), 생산성(productivity) 등이 있다. 부하 능력에서는 정격 부하(rated load), 휠 부하(wheel load)가, 작업 영역에서는 도달 범위(아웃리치, 백리치), 리프팅 높이(lifting height)가, 생산성에서는 기계적 생산성(mechanical productivity)이 고려된다.

단계 2에서는 최선의 컨테이너크레인을 선정하기 위하여 선정 기준을 네 가지로 분류하였다. 의사결정자의 관점에 따라서 성능적 관점, 기술적 관점, 경제적 관점, 전략적 관점으로 나누었다. Fig. 3은 컨테이너크레인을 선정하기 위한 기준들의 계층을 나타낸다.



**Fig. 3** A hierarchy of the criteria for selecting the container crane

성능적 관점에서는 부하 능력, 작업 영역, 속도(speed), 생산성, 작업 성능, 사용용이성(ease of use) 등이 고려된다. 부하 능력에는 정격 부하와 휠 부하가 포함된다. 작업 영역에는 해측 도달 범위인 아웃리치와 육측 도달 범위인 백리치(backreach), 리프팅 높이(lifting height), 다리 간극(clearance between the legs), 공간 활용도가 포함된다. 다리 간극은 컨테이너의 길이와 관련된다. 속도에는 호이스트 속도, 트롤리 속도, 갠트리(gantry) 속도가 포함된다. 생산성에는 기계적 생산성 뿐만 아니라 순(net) 생산성, 총(gross) 생산성이 포함된다. 기계적 생산성은 물리적 요인에 의해서 결정되고 다른 장비와의 간섭은 고려하지 않으나, 순 생산성은 다른 장비와의 상호작용을 고려하고 총 생산성은 쉬는 시간, 고장 시간 등 작업 시작에서 종료 사이의 모든 것을 고려한다. 작업 성능에는 작업의 정확성(accuracy), 작업의 재연성, 컨테이너 손상 위험, 자연조건들(토지, 기후, 기온, 바람 등)의 영향이 포함된다. 사용용이성에는 사용자 중심의 용이성 확보와 훈련, 작업 조건이 포함된다.

기술적 관점에서는 제작성(manufacturability), 보전성

(maintenance), 편의성(convenience), 적합성(compatibility), 안전성(safety), 기술적 위험성(technological risk), 통제용이성(controllability) 등이 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 작동의 용이성, 자동화여부, 불필요한 기능 보유여부가 포함된다. 적합성에는 주변장비와의 연계성, 운영시스템과의 연계성, 장비종류의 표준화가 포함된다. 안전성에는 안전사고기록, 안전장치설계, 인간공학적 설계, 작업자 사기가 포함된다. 기술적 위험성에는 하드웨어 고장, 소프트웨어 고장, 통신 시설 고장에 관련된 사항이 포함된다. 통제용이성에는 공정의 통제 가능성, 제어방식, 정보수집가능성이 포함된다.

경제적 관점에서는 제작비(manufacturing cost), 설치비(installation cost), 운영비(operating cost), 수익 등이 고려된다. 제작비에는 장비의 제작비와 제작 기간이 포함된다. 설치비에는 장비의 설치비와 설치 기간이 포함된다. 운영비에는 인건비, 동력비, 수리비, 유지보수비, 작업자 훈련비, 장비의 수명이 포함된다. 수익에는 투자수익(ROI; return on investment), 자본회수기간(payback period)이 포함된다.

전략적 관점에서는 유연성(flexibility), 고객(customer), 미래 계획(future plan) 등이 고려된다. 유연성(flexibility)에는 컨테이너의 다양화에 따른 대응, 수송 경로 재설정 용이성, 특수부착물(예: 트윈 리프트, 탠덤 리프트, 버퍼 크레인 등)의 수용성, 재배치의 용이성, 확장성이 포함된다. 트윈 리프트는 20피트 컨테이너 두개를 길이 방향으로 집을 수 있는 특수한 스프레더이다. 또한 탠덤 리프트는 40피트 컨테이너 두개를 너비 방향으로 집을 수 있다. 버퍼 크레인은 컨테이너크레인의 포털 빔 아래에 설치되어 컨테이너크레인과의 이송장비 간의 컨테이너 이동에 대한 버퍼 역할을 한다. 고객에는 고객의 지명도, 고객의 신모델 도입 계획, 고객과의 관계가 포함된다. 미래 계획에는 하역능력의 조정 또는 수요의 변화에 따른 작업량 증감 전망, 자동화의 도입에 따른 작업방식의 변경계획이 포함된다.

**Table 4** A portion of the questions for comparing criteria

1. 성능적 관점이 기술적 관점에 비해 얼마나 중요한가?
2. 성능적 관점이 경제적 관점에 비해 얼마나 중요한가?
3. 성능적 관점이 전략적 관점에 비해 얼마나 중요한가?
4. 부하 능력이 작업 영역에 비해 얼마나 중요한가?
5. 제작성이 안전성에 비해 얼마나 중요한가?
6. 제작비가 설치비에 비해 얼마나 중요한가?
7. 고객이 미래 계획에 비해 얼마나 중요한가?

이러한 기준들 각각의 중요성을 평가하기 위해서 AHP의 쌍대비교를 시행한다. 즉, 동일한 수준에 있는 두 기준 사이의 상대적인 중요성이 비교된다. Table 4는 기준들의 쌍대비교에 사

용되는 질문의 일부를 나타낸 것이다. 질문 1, 2, 3과 같이 상위 수준의 기준들이 먼저 비교되고, 질문 4, 5, 6, 7과 같이 하위 수준의 기준들이 비교된다. 상위 수준의 기준들에 대한 가중치와 하위 수준의 기준들에 대한 가중치가 종합되어, 최종적으로 하위 수준의 기준 각각에 대한 가중치가 도출된다.

각 기준에 대한 가중치가 설정되고 나면, 각 대안에 대한 평가가 수행되어야 한다. 하위 수준의 기준별로 대안들의 쌍대비교가 수행된다. Table 5는 대안들의 쌍대비교에 사용되는 질문의 일부를 나타낸 것이다. 대안들이 각 기준에 대해서 평가되어 우선순위가 부여된다. 기준  $c$ 의 가중치를  $w_c$ , 기준  $c$ 에 대한 대안  $a$ 의 우선순위를  $p_{ca}$ 라고 할 때, 대안  $a$ 의 종합 우선순위  $T_a$ 는 다음과 같이 계산되고, 이 값이 가장 큰 대안이 최선의 대안으로 선정된다.

$$T_a = \sum_c (w_c \cdot p_{ca}). \quad (1)$$

**Table 5** A portion of the questions for comparing alternatives

1. 부하 능력 기준으로 대안 1이 대안 2에 비해 얼마나 우수한가?
2. 제작성 기준으로 대안 1이 대안 3에 비해 얼마나 우수한가?
3. 제작비 기준으로 대안 2가 대안 3에 비해 얼마나 경제적인가?

#### 4. 적용 예제

먼저 각 기준에 대한 가중치를 계산하는 예를 설명한다. Table 6은 상위 기준에 대한 비교행렬의 예이다. 1행 2열의 값 '3'은 성능적 관점이 기술적 관점보다 약간 중요함을 뜻한다. 괄호 안의 값은 각 요소의 값을 해당 열의 계로 나눈 것이다. 각 행에서 괄호 안의 값들을 평균하면 각 기준의 가중치가 된다.

**Table 6** A comparison matrix for upper criteria

	성능	기술	경제	전략	가중치
성능	1(0.561)	3(0.662)	4(0.48)	5(0.357)	0.515
기술	1/3(0.187)	1(0.221)	3(0.36)	5(0.357)	0.281
경제	1/4(0.14)	1/3(0.074)	1(0.12)	3(0.214)	0.137
전략	1/5(0.112)	1/5(0.044)	1/3(0.04)	1(0.071)	0.067
계	1.783	4.533	8.333	14	

하위 기준들에 대해서는, 동일한 소속 내에서 기준의 개수에 따라서(Fig. 3 참고) 크기가 6×6, 7×7, 4×4, 3×3인 비교행렬을 구성하고 상위 기준과 동일한 방식으로 가중치를 계산한다. 계산된 가중치에 자신이 속한 상위 기준의 가중치를 곱하면 하위 기준별 최종적인 가중치( $w_c$ )가 산출된다.

다음으로 대안에 대한 우선순위를 계산하는 예를 설명한다. Table 7은 성능적 관점의 부하 능력에 대한 대안들의 비교행렬의 예이다. 1행 2열의 값 '3'은 부하 능력을 기준으로 할 때 대안 1이 대안 2보다 약간 우수함을 뜻한다. 괄호 안의 값은 각 요소의 값을 해당 열의 계로 나눈 것이고, 각 행에서 괄호 안의 값들을 평균하면 각 대안의 우선순위가 산출된다. 이와 같은 방식으로 기준별로 대안을 평가하면 모든 대안의 우선순위( $p_{\alpha}$ )가 산출된다.

**Table 7** A comparison matrix of alternatives for criterion 'load capacity'

부하 능력	대안 1	대안 2	대안 3	우선순위
대안 1	1(0.545)	3(0.667)	2(0.4)	0.537
대안 2	1/3(0.182)	1(0.222)	2(0.4)	0.268
대안 3	1/2(0.5)	1/2(0.111)	1(0.2)	0.195
계	1.833	4.5	5	

지금까지 계산된 기준들의 가중치  $w_c$ 와 기준별 대안의 우선순위  $p_{\alpha}$ 를 식 (1)에 대입하여 각 대안의 종합 우선순위  $T_{\alpha}$ 를 구하고 가장 큰 값을 가지는 대안이 선택된다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 항만의 대표적인 하역장비인 컨테이너크레인의 개발 대안을 선정하기 위한 절차를 기술하였다. 먼저 컨테이너크레인의 개발동향과 AHP에 대해서 살펴본 후, 대안 선정 절차를 제시하였다. 대안 선정은 정성적인 부분과 정량적인 부분이 통합된 다기준 의사결정 문제이다. 따라서 본 연구에서는 문헌 조사 등을 통해 다양한 기준들을 수집하여 선정기준을 만들고, 이를 계량화하기 위해 AHP를 적용하였다. 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 얻어져야 하는 것들도 있다. 이러한 항목들을 정확히 얻는 데는 많은 시간이 소모된다. 따라서 대략의 성능이나 경제성을 신속하게 평가해주는 도구들이 본 연구에서 제시한 의사결정절차와 함께 통합된다면 보다 유용한 의사결정도구가 될 것이다.

## 참 고 문 헌

[1] 양창호, 김장곤, 최종희, 최상희, 최용석, 이주호(2002), 초대형 컨테이너선 운항에 대비한 차세대 항만 하역시스템 개발전략 연구, 한국해양수산개발원.  
 [2] 이숙재, 홍금식(2004), "초대형 선박용 차세대 컨테이너 크

레인의 설계기준", 한국해양공학회지, 18권, 6호, pp. 101-107.  
 [3] 장원호, 함효준, 이광수(1995), "AHP기법을 이용한 물류시스템의 경제성평가에 관한 연구", 공업경영학회지, 18권, 35집, pp. 139-155.  
 [4] 정현수, 이숙재, 홍금식(2005), "차세대 컨테이너크레인에 대한 고찰", 한국항해항만학회지, 29권, 3호, pp. 291-298.  
 [5] 최상희, 원승환(2006), "Tandem twin-lift 방식의 고효율 컨테이너크레인 등장", 해양수산동향, Vol. 1223, 한국해양수산개발원.  
 [6] 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.  
 [7] 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.  
 [8] 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.  
 [9] 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.  
 [10] 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.  
 [11] 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.  
 [12] Saaty, T. L.(1995), Decision Making for Leaders, RWS Publications.  
 [13] 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.