

컨테이너터미널의 온실가스 저감방안에 관한 연구

김선구* · 최용석**

A Study on the Reduction of Greenhouse Gas in Container Terminal

Seongu Kim · Yongseok Choi

Abstract : This paper proposes a fuzzy-based AHP model by which the greenhouse gas reduction for container terminal problem was systematically structured and then evaluated. The model was established by exploiting a fuzzy theory and AHP for capturing the inexactness and vagueness of information. In this study, measurement areas were selected for equipment aspect, operating aspect, and energy aspect. The greenhouse gas reduction is the number one priority in the equipment aspect, operating aspect, energy aspect in order. The analysis result of equipment aspect reveals that the most important element is electrical T/C. The most important element of operating and energy aspect were a container rehandling and a LED lighting. As for the whole priority which conversion weight was applied, the results were shown as follows: an electrical T/C(16.2%) as the first rank: a hybrid Y/T(14.4%) as the second rank: a AMP(10.6%) as the third rank. The result of this study suggests some guidelines for deciding priority of greenhouse gas reduction for container terminal.

Key Words : Fuzzy-AHP, Container Terminal, Greenhouse Gas, Reduction

▷ 논문접수: 2012.01.30 ▷ 심사완료: 2012.03.26 ▷ 게재확정: 2012.03.28

* 순천대학교 물류학과 박사과정, kingdma@hanmail.net, 010)5617-9717

** 순천대학교 물류학과 부교수, drasto@sunchon.ac.kr, 061)750-5115, 교신저자

I. 서론

국제교역의 지속적인 증대로 항만은 글로벌네트워크의 허브이자 지역 및 국가 경제 활동의 중심지로서 역할을 수행하고 있다. 반면 항만은 연안 도시권의 주요 환경오염원이라는 인식이 확대되고 있는데, 항만을 중심으로 운영되고 있는 선박, 트럭, 기차, 하역장비들이 배출하는 디젤 배기가스는 현장 근로자들뿐만 아니라 인근 지역민들의 건강 및 생활환경을 악화시키고 있다. 이처럼 선박 및 항만활동에서 발생하는 대기오염 문제가 심각해짐에 따라 세계 주요 항만들은 항만에서 기인하는 대기오염 문제 해결을 위해 다양한 노력을 경주하고 있다.

선박과 항만을 포함한 해운부문은 자동차, 주택, 농업, 산업에 이어 단일 분야로는 가장 많은 온실가스 배출원이다. 해운부문의 온실가스 배출량이 예상보다 크게 높은 수준이며 2020년에는 현재보다 약 30% 정도 증가할 것으로 예측되어 유엔의 기후변화에 관한 정부간 패널(IPCC)에서는 해운분야의 온실가스 규제를 더욱 강화할 계획이다.(신승식, 2010)

2010년 우리나라 항만에너지 사용량은 경유 4억6천리터, 전기 1조2천억Kw가 사용되었고, 사용된 항만에너지 중 컨테이너 항만이 전체 사용량의 37.1%를 차지하고 있다. 2020년에는 컨테이너 항만이 전체 항만 에너지 사용량 중 43.6%로 증가할 것으로 예측되어 컨테이너터미널에서의 온실가스 배출량은 지속적으로 늘어날 전망이다.(김우선, 2011)

이에 우리나라에서도 항만개발 및 운영 전반에 걸쳐 온실가스 저감 및 친환경 항만을 구축하기 위해 항만 내 탄소배출 절감, 하역시스템 동력장치 개선, 신재생에너지 도입, 화물의 철도 및 연안 해운이용 확대, 해양폐기물의 친환경 처리, 자원 순환형 항만 시스템 구축, 워터 프론트 조성 등의 내용을 담고 있는 그린포트 구축전략을 수립하고 실천하고 있다.(김우선 외, 2008)

그동안 항만의 장비, 동력, 에너지, 항만운영시스템, 법규 및 규제 등의 다양한 분야에서 온실가스 저감방안에 관한 연구가 지속적으로 이루어져 왔으나, 대부분의 연구가 선진항만의 환경오염 저감 방안에 대한 사례연구를 통해 국내 항만의 온실가스 저감 정책과 대안을 제시하는 방향으로 이루어져 왔다.

따라서 본 연구는 항만분야 중 환경오염의 많은 부분을 차지하는 컨테이너터미널에서의 온실가스 저감방안 연구를 위해 먼저 저감대안들을 추출하고 이에 대한 중요 우선순위를 결정하는 계층적 의사결정 모델을 제시하고 이를 실증분석 하였다. 본 연구에서는 컨테이너터미널의 온실가스 저감대안을 선정하는데 5가지 요소 기준을 적용하였고, 실무자와 전문가의 의견을 수렴하여 대안들을 추출하였다. 또한 선정된 온실가스

저감방안에 대한 평가영역과 요소들을 평가하는데 있어 언어척도의 애매모호하고 불확실한 상황을 고려하여 퍼지모형과 계층적분석방법(Analytic Hierarchy Process)을 결합한 Fuzzy-AHP을 적용하였다. 문제의 계층적 구조에서 컨테이너터미널의 온실가스 저감방안 평가영역을 장비영역, 운영영역, 에너지영역으로 구분하였고, 하위 평가요소로 11개 대안을 구성하였다. 대안들의 평가는 컨테이너터미널 전문가 집단을 대상으로 쌍대비교 설문을 통해 자료를 수집한 후, Fuzzy 개념을 적용하여 분석하였다.

II. 이론적 배경

1. 컨테이너터미널 온실가스 저감 운영기술

본 연구는 컨테이너터미널 안벽과 야드에서의 온실가스 저감에 관련된 장비와 운영 기술 대안에 대한 평가와 우선순위 선정을 목표로 하고 있다. 따라서 컨테이너터미널의 양·적하시스템과 야드운영시스템에서의 온실가스 저감 운영기술을 안벽시스템, 야드시스템, 이송시스템으로 구분하였고 선행연구(김우선외, 2008)에서 제시되었던 온실가스 저감 운영기술을 재구성하였다.

1) 안벽시스템

안벽시스템은 선박이 항내에 진입하여 하역작업을 수행하는 시발점이다. 안벽크레인 은 전기식 장비이기 때문에 직접적인 온실가스 저감 및 차단효과는 낮은 수준이나 간접적인 효과는 기대할 수 있다. 하역장비 성능향상을 통해 선박의 접안시간을 감소시키고 접안되어 있는 선박에 육상전력을 공급함으로써 온실가스를 저감할 수 있다.

<표 1> 안벽시스템 온실가스 저감대안

대안	내용	방안
장비성능 향상	장비성능 향상을 통해 생산성을 향상시켜 선박 대기시간을 단축시키고, 하역효율성을 높임으로서 온실가스를 저감	o C/C 성능향상 o MLS(Multiload spreader) o 신개념 C/C 개발
선박접안 시 전력공급	선박접안 시 육상에서 전력을 공급하여 선박의 온실가스 배출을 저감	o AMP(Alternative Maritime Power Supply)

2) 야드시스템

야드시스템에서의 온실가스 저감기술은 장비의 전기식동력 전환과 에너지절감 기술 및 대기오염 저감 장치를 통한 직접적인 방법이 있고, 야드내 컨테이너 운송 및 적재시스템의 효율적 운영을 통한 간접적인 온실가스 저감 방안이 있다.

<표 2> 야드시스템 온실가스 저감대안

대안	내용	방안
장비성능 향상	야드 장비성능을 향상시켜 생산성을 높임으로써 온실가스 저감	o T/C성능 향상 o 셔틀캐리어
전기식동력 전환	전기동력을 주동력 및 보조동력으로 이용함으로써 온실가스 저감	o 전기식 T/C o 하이브리드 엔진
에너지 절감 기술	발생된 에너지를 저장하여 재사용 또는 효율적 사용을 통한 온실가스 저감	o LED 조명 o 슈퍼 카파시터 o 플라이휠
대기오염저감 장치	디젤엔진에 보조 장치나 첨가물을 추가하여 온실가스 저감	o 저감기 o 촉매제
야드내 컨테이너 운송시스템	반입·반출트럭의 야드내 정차시간을 줄이고 야드 장비운영 생산성 향상을 통한 온실가스 저감	o 반출예약제 o 비피크인센티브 o RTLS(Real Time Location System)
야드내 컨테이너 적재시스템	컨테이너 야드 작업시스템 개선을 통한 장비효율성 향상으로 온실가스 저감	o 시설배치 재정립 o 컨테이너 재조작 감소 o T/C 작업동선 최소화 o RTLS

3) 이송시스템

컨테이너터미널 이송시스템에서의 온실가스 저감기술은 전기식동력 전환과 엔진 및 연료유 전환을 통한 직접적인 방법이 있고, 컨테이너의 운송거리 최소화, 작업시간 단축 등 이송시스템의 효율적인 운영을 통한 간접적인 저감방안이 있다.

<표 3> 이송시스템 온실가스 저감대안

대안	내용	방안
장비성능 향상	야드트랙터의 성능 향상으로 온실가스 저감	o 노후트럭 교체 o 2단적재차량
대체연료 개발	화석연료를 대체하는 친환경 연료를 이용하여 온실가스 저감	o 바이오디젤 o LNG / CNG o 수소연료전지
전기식동력 전환	전기동력을 주동력 및 보조동력으로 이용함으로써 온실가스 저감	o 전기식 YT o 하이브리드 엔진
이송운영시스템	야드트랙터의 컨테이너 이송과정에서 신속한 작업과 빈이동을 최소화 할 수 있는 시스템으로 배출가스 저감	o 시설배치 재정립 o RTLS

2. 항만분야 온실가스 저감방안 연구

항만분야의 온실가스 저감에 대한 연구내용은 친환경 장비, 동력, 에너지를 통한 온실가스 저감 방안을 찾는 하드웨어적인 방법과 항만에서 이루어지는 접안, 하역, 운송 등과 관련된 운영시스템의 효율성 향상을 통한 저감방안을 찾는 소프트웨어적인 방법 그리고 법규 및 규제를 통한 저감방안을 찾는 정책적인 방법으로 다양하게 이루어졌다. 연구사례를 살펴보면, NRDC & CCCA(2004)은 실태분석을 통해 미국 항만의 환경오염 저감을 위한 다양한 기술 방안 제시하였고, 김우선, 최종희, 최상희, 하태영(2008)는 문헌과 사례연구를 통해 컨테이너터미널의 에너지비용절감방안을 제시하였다. 임미순, 박종흠, 안승범(2009)은 AHP 방법을 통해 탄소저감정책 평가항목에 대한 우선순위 선정하였고, 박병주(2010)는 외국항만 환경오염저감방안 고찰을 통한 항만장비 및 시스템에서의 저감방안 제시하였다. 한철환(2011)은 문헌연구와 선진항만의 환경오염 저감방안분석을 통해 인천항 대기오염 저감방안 제시하였다. 기존의 연구는 대부분 선진항만과 항만분야 환경오염 저감정책에 대한 사례·실태조사를 통해 국내 항만에서의 온실가스 저감방안에 대한 방향과 시사점을 제시하고 있지만, 저감방안에 대한 실증분석은 미비한 실정이다. 이에 본 연구는 항만관련 전문가 및 컨테이너터미널 운영 실무자의 의견을 적극 수렴하고 이를 실증함으로써 컨테이너 온실가스 저감에 대한 현실적인 대안을 제시하였다.

Ⅲ. 연구방법론

Fuzzy-AHP는 정책적 대안의 선정, 사업분야 평가, 입지선정 우선순위, R&D기술 평가 및 분석, 경제성 분석 등 전략적 의사결정이 필요한 다양한 분야에서 AHP 보다 가치판단에 있어 정교함이 더해진 방법론으로 평가되고 있다. 항만·해운분야에서도 여러 가지 문제에 대한 평가와 대안들을 분석하는데 이용하고 있는데, 적용 사례를 살펴보면, 고현정(2010)은 Fuzzy-AHP를 활용한 인도 물류시장 진출사업 우선순위 결정에 관한 연구에서 인도물류시장에 유망한 물류사업을 선정하고 요소들의 가중치와 우선순위 제시하였고, 김영환, 박지영, 정경애, 문종룡, 여기태(2010)는 녹색 물류정책을 실시하고 있는 우리나라의 대형물류 기업들을 대상으로 설문조사를 실시하여 요인을 분석하고 Fuzzy-AHP 기법을 통해 평가항목의 우선순위를 선정하였으며, 가중치를 종합하여 녹색물류를 적극적으로 추진하는 기업의 순위도 평가하였다. 운동하, 최용석(2011)은 Fuzzy-AHP를 이용한 광양항과 중국항만간의 물류네트워크 분석연구에서 광양항과 중국항만간의 물류네트워크 구축에 영향을 미치는 요인들간의 가중치와 우선순위 제시하였다. Shih-Liang Chao, Yu-Jr Lin(2011)은 컨테이너터미널의 3가지 신기술 안벽크레인(C/C)중 카오슝항에 적합한 안벽크레인을 선정하는데 있어 Fuzzy-AHP 방법을 적용하여 대안을 선정하였고, Gi-Tae Yeo, Michael Roe and John Dinwoodie(2011)는 컨테이너 항만의 경쟁력 평가를 위한 모델을 제시하고 Northeast Asia의 7개 항만의 경쟁력을 평가기 위해 Fuzzy-AHP를 적용하였다. Turan Paksoy, Nimnet Yapici Pehlivan, Cengiz Kahraman(2011)은 터키의 석유화학업체의 유통채널 관리전략의 5가지 대안을 평가하는데 Fuzzy-AHP와 Fuzzy-TOPSIS를 적용하여 비교하였고, Kannan Govindan, P. Murugesan(2011)은 3자회수물류(3PRLP)업체 선정과 평가를 위한 구조적 모델 제안과 7개의 3PRLP에 대한 평가를 위해 Fuzzy-AHP 방법론을 적용하였다.

1. 삼각퍼지수

퍼지이론은 Zadeh(1965)를 통해 체계적으로 발전한 이론으로서 “0 또는 1”, “예 또는 아니오”로 확실하게 표현되는 이분법적 논리와 달리 “0에 가깝다”, “아마도 그럴 것이다”와 같은 애매모호한 대상을 표현하는데 활용된다. 현실적으로 대안을 평가하는 의사결정과 같은 문제에서 정확한 데이터를 도출하는 것은 매우 어렵고, 의사결정자는 선호도에 대해 느끼는 직감을 특정수치로 나타내기 보다는 언어적 방법으로 표현하는 것을 선호한다. Fuzzy 이론은 이러한 언어적 척도의 애매모호함이 내재되어 있는 의사결정

자의 선호도를 효과적으로 반영할 수 있다. 즉 인간의 언어나 사고와 같은 애매모호함을 표현하는 질적이고 정성적인 자료를 정량적인 수치로 변환시켜 평가 정보를 보다 효과적으로 평가하고 분석할 수 있다.(박찬국 외, 2007)

퍼지수(Fuzzy Number) M 은 변수 x 에 대응되는 퍼지 집합을 의미하며, 소속함수(Membership Function) $\mu_M(x) : R[0,1]$ 에 의해 정의된다. 소속함수는 x 가 M 에 속할 가능성의 정도를 나타내주는 것으로서, 함수의 형태는 여러 가지로 정의될 수 있으나, 본 연구에서는 개념적으로 접근하기 용이한 삼각퍼지수를 사용하기로 한다. 삼각퍼지수 $M = \{l, m, u\}$ 의 소속함수는 아래의 식으로 표현된다.

$$\mu_M(x) = \begin{cases} \frac{(x-l)}{(m-l)}, & l \leq x \leq m \\ \frac{(x-c)}{(b-c)}, & m \leq x \leq u \\ 0, & \text{others} \end{cases}$$

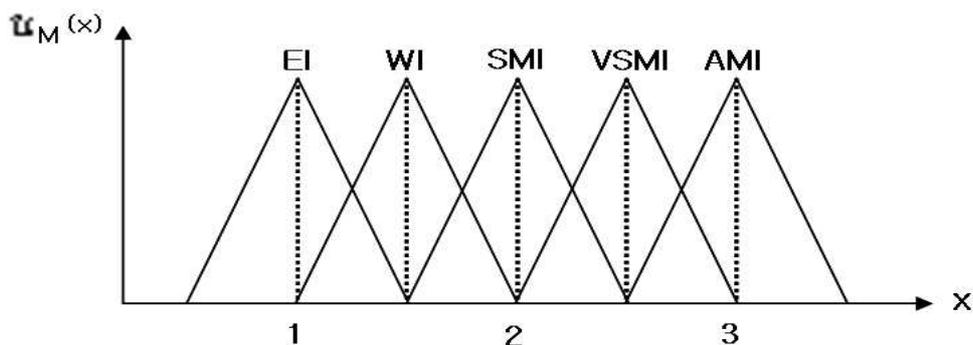
여기에서 $l \leq m \leq u$ 이며, l 과 u 는 각각 삼각퍼지수 M 의 하한값과 상한값을 의미하고 m 은 퍼지수의 평균값을 정의된다. 따라서 퍼지수 $M = \{l, m, u\}$ 는 l 과 u 사이에 존재하며 약 m 정도의 퍼지량(Fuzzy quantity)으로 설명된다. Fuzzy scale 값을 1-9까지의 범위 값을 활용하여 산정한 경우도 있으나, 본 연구에서는 <표 4>와 같이 언어적 척도에 대한 범위 값을 Chang의 방법론에 따라 1-4.5까지 반영하여 언어적 인지에 대한 범위 값을 줄여 신뢰성을 높이는 방법을 적용하였다.

<표 4> Triangular fuzzy conversion scale

Linguistic scale	Triangular fuzzy scale	Triangular reciprocal scale
Just equal	(1,1,1)	(1,1,1)
Equally important	(1/2,1,3/2)	(2/3,1,2)
Weakly important	(1,3/2,2)	(1/2,2/3,1)
Strongly more important	(3/2,2,5/2)	(2/5,1/2,2/3)
Very strongly more important	(2,5/2,3)	(1/3,2/5,1/2)
Absolutely more important	(5/2,3,7/2)	(2/7,1/3,2/5)

쌍대비교 언어척도 및 퍼지수를 도식화 하면 <그림 1>과 같다.

<그림 1> 상대비교 언어척도 및 퍼지수 도식화



* EI(Equally important), WI(Weakly important), SMI(Strongly more important), VSMI(Very strongly more important), AMI(Absolutely more important)

2. Fuzzy-AHP

Laarhoven & Pedrycz(1983)이 Fuzzy-AHP를 제안한 후 많은 다양한 분석법들이 제시 되었다. 특히 Buckley(1984)는 퍼지이론의 소속함수로써 사다리꼴퍼지수(Trapezoidal fuzzy number)를 이용하였고, Chang(1996)은 삼각퍼지수(Triangular fuzzy number)를 이용하였다. Fuzzy-AHP 응용연구로 Liou and Wang(1992)는 Integral Value를 이용하여 퍼지수의 순서를 결정하는 방법을 제안하였고, Cheng(1996)은 Entropy 개념을 이용하여 총가중치를 계산하였으며, 김승남 등(2001)은 응답의 확실성 확신도를 통해 효과적인 퍼지가중치를 계산하였다. 본 연구에서는 계산과정이 상대적으로 용이하고 엑셀에서 비교적 쉽게 구현할 수 있는 장점을 바탕으로 Chang의 확장 Fuzzy-AHP 분석법을 연구방법론으로 활용하였다.

Fuzzy-AHP 분석법 중 개요로서, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 을 목적(object) 집합, $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ 을 목표 집합이라 할 때, Chang(1996)의 연구에 따르면, 각 Object에 대한 m 확장 분석 값은 $M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, \dots, M_{g_i}^m, i = 1, 2, \dots, n$ 로 표현되고, Fuzzy-AHP 적용 절차는 다음과 같다.

- (1) i 번째 요소의 Fuzzy Synthetic Extent 값을 E_i 라 하면, E_i 는 다음과 같다.

$$E_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$$

- (2) 삼각퍼지수 $M_1(l_1, m_1, u_1), M_2(l_2, m_2, u_2)$ 에 대하여 $M_2 \geq M_1$ 일 확률의 정도는

다음과 같이 정의된다.

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1, & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{if } m_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

여기서 d 는 u_{M_1} 과 u_{M_2} 의 교차점의 x 좌표 값을 의미한다.

(3) 삼각퍼지수 M 이 다른 k 개의 퍼지수 $M_i (i = 1, 2, \dots, k)$ 보다 클 확률의 정도는 다음과 같이 정의된다.

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ and } (M \geq M_2) \text{ and } \dots \text{ and } (M \geq M_k)] \\ = \min V(M \geq M_i), i = 1, 2, 3, \dots, k.$$

(4) 특정요소 $i (i = 1, 2, \dots, n)$ 에 대하여, $w'_i = \min V(E_i \geq E_j), (j = 1, 2, \dots, n; i \neq j)$ 라고 가정하면, 각 요소들의 가중치 벡터는 다음과 같다.

$$W' = (w'_1, w'_2, \dots, w'_n)^T$$

그리고, 이를 정규화하면 다음과 같은 각 요소들의 정규화된 가중치 벡터 W 를 구할 수 있다.

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$$

IV. 실증분석 방법

1. 계층구조 개발

1) 평가영역 및 요소 선정

컨테이너터미널의 다양한 온실가스 저감방안 중 연구모형의 평가영역 및 대안을 추

출하기 위해 먼저 5개 요소의 기준을 설정하였다. 5개 요소는 온실가스 배출 비중, 저감 효과성, 정책추진의 용이성, 소요비용, 정책실현 가능성 등으로 구성하였다. 다음으로 선행연구와 컨테이너터미널 실무자들에 의해 온실가스 저감방안으로 제시된 C/C 성능제고, T/C 성능제고, Y/T 성능제고, C/C 작업대수 증대, 신개념 C/C 개발, MLS, 셔틀캐리어, 2단적재차량, 촉매제, 저감기, 에너지세이빙기술, 하이브리드엔진, 바이오디젤, CNG(Compressed Natural Gas), LNG(Liquefied Natural Gas), 수소연료전지, 태양열에너지, 전기식T/C, 전기식Y/T, AMP, 반출사전예약제, 비피크인센티브, T/C작업동선최소화, 컨테이너 재조작 감소, 풀링운영시스템, RTLS 등 26개 대안을 1차로 선정하였다. 추출된 대안들을 항만전문가들에게 제시하고 5개 요소의 기준과 컨테이너터미널 환경을 고려하여 온실가스 저감방안대안을 최종 선정하였다. 전문가에 의해 추출된 온실가스 저감대안은 11개로 Y/T하이브리드 개조, 전기 T/C개조, MLS, AMP, 컨테이너 재조작 감소, 풀링운영 시스템, 듀얼사이클, RTLS 시스템, LED조명 교체, 태양광 발전, 바이오디젤 등이다. 추출된 저감대안에 대한 평가영역 구분은 장비개선과 도입을 통한 저감방안은 장비영역, 컨테이너터미널 운영시스템에 관련된 저감방안은 운영영역, 그리고 동력대체 및 교체를 통한 저감방안은 에너지영역으로 구분하였다. 선정된 온실가스 저감방안의 평가영역과 요소의 주요내용은 <표 5>와 같다.

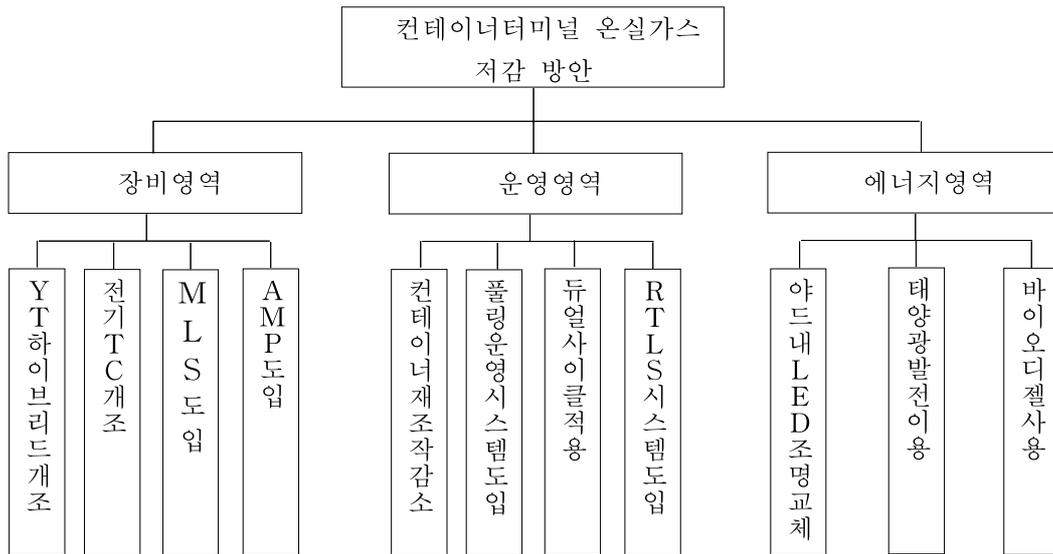
<표 5> 평가영역 및 요소

측정목표	평가영역	평가요소	주요내용
컨테이너터미널의 온실가스 배출저감 방안	장비영역	Y/T하이브리드 개조	안벽, 야드, 이송장비의 동력 변경 및 장비 개선을 통한 온실가스 배출 저감 방안
		전기 T/C개조	
		MLS 도입	
		AMP 도입	
	운영영역	컨테이너 재조작 감소	안벽, 야드, 이송장비 운용에 있어 컨테이너 상·하차 생산성을 높여 에너지 효율성을 달성함으로써 온실가스 배출을 저감하는 방안
		풀링운영 시스템 도입	
		듀얼사이클 적용	
		RTLS 시스템 도입	
	에너지영역	야드내 LED조명 교체	컨테이너터미널 운영시설과 장비에 사용되는 동력을 친환경에너지로 변경하여 온실가스 배출을 저감하는 방안
		태양광 발전 이용	
바이오디젤 사용			

2) 계층구조 설정

선정된 온실가스 저감방안 평가영역 및 요소를 기초로 하여 의사결정 구조도를 <그림 2>와 같이 구성하였다. 최상위 계층에는 의사결정 문제의 목표인 '컨테이너터미널 온실가스 저감 방안'이 위치하고 2계층에는 세 가지 평가영역인 장비영역, 운영영역, 에너지영역을 구성하였다. 그리고 3계층에는 평가요소들을 각 평가영역별로 배치하였다.

<그림 2> 컨테이너터미널 온실가스 저감방안 우선순위 결정을 위한 계층구조



2. 평가영역 및 요소에 대한 상대적 중요도 산정

측정영역 및 요소의 상대적 중요도 산정을 위해 광양항 컨테이너터미널의 3개 운영사 전문가를 대상으로 면담 및 설문을 실시하였다. 자료수집은 항목들간 쌍대비교 설문을 통해 수행되었다. 운영사를 대상으로 2011. 11. 7 - 11. 9(3일간)동안 27부를 배부하여 전체를 회수하였으며, 일관성 검증 확인 결과 최종 19부를 분석에 사용하였다. 응답의 질을 높이고자 각 기업의 운영팀의 전문가를 대상으로 설문하였고, Fuzzy 이론을 적용하여 설문자의 평가 정보에 대한 불확실성을 완화시켰다.

1) 측정영역 간 가중치 산정

컨테이너터미널 온실가스 저감방안에 대한 평가영역의 상대적 중요도는 장비영역이 44.9%로 가장 높고, 운영영역이 28.9%, 에너지영역이 26.3%로 나타났다. 컨테이너터미널에서 운영되고 있는 대형장비들이 소비하는 동력에서 대부분의 온실가스가 배출되기 때문

에 장비영역에서의 개선을 통한 온실가스 저감방안이 가장 높게 나온 것으로 해석된다.

<표 6> 측정영역의 퍼지수 및 가중치

평가영역	장비영역	운영영역	에너지영역	가중치
장비영역	(1, 1, 1)	(1.13, 1.53, 1.95)	(0.91, 1.27, 1.68)	0.449
운영영역	(0.51, 0.65, 0.88)	(1, 1, 1)	(0.80, 1.15, 1.60)	0.289
에너지영역	(0.59, 0.79, 1.10)	(0.64, 0.88, 1.23)	(1, 1, 1)	0.262

2) 측정요소 간 가중치 산정

평가영역별 측정요소의 상대적 중요도를 살펴보면, 장비영역에서는 전기T/C가 31.7%로 가장 높았고, Y/T하이브리드가 28.1%, AMP 도입이 20.8%, MLS 도입이 19.4% 순으로 나타났다. 하역·운송장비의 동력을 전기에너지로 전환하는 것이 장비영역에서 온실가스 저감방안으로 가장 중요하게 판단되는 것으로 나타났다. 최근 선진항만 및 국내에서도 전기/TC 또는 친환경T/C로 전환하여 운영되는 터미널이 지속적으로 늘어나고 있고, 이에 대한 에너지 절감과 온실가스 저감효과도 높은 것으로 분석되고 있다.

<표 7> 장비영역 측정요소의 퍼지수 및 가중치

장비영역	Y/T 하이브리드	전기T/C	MLS도입	AMP	가중치
Y/T 하이브리드	(1, 1, 1)	(0.62, 0.88, 1.28)	(0.94, 1.39, 1.88)	(0.87, 1.21, 1.54)	0.281
전기T/C	(0.78, 1.13, 1.61)	(1, 1, 1)	(1.00, 1.51, 2.08)	(0.93, 1.39, 1.89)	0.317
MLS 도입	(0.53, 0.72, 1.06)	(0.48, 0.66, 1.00)	(1, 1, 1)	(0.79, 1.00, 1.24)	0.194
AMP 도입	(0.65, 0.82, 1.15)	(0.53, 0.72, 1.07)	(0.81, 1.00, 1.27)	(1, 1, 1)	0.208

운영영역에서의 컨테이너터미널 온실가스 저감대안들의 상대적 중요도를 살펴보면, 컨테이너재조작 감소가 27.1%로 가장 높았고, 다음으로 RTLS 운영이 25.9%, 폴링운영 시스템 도입이 24.3%, 듀얼사이클 적용이 22.8% 순으로 나타났다. 운영영역에서의 상대적 중요도는 다른 영역에 비해 대안들 간 가중치 값의 편차가 많지 않다. 이는 운영영역이 온실가스 저감의 간접적인 대안으로 저감 성과 및 효과에 대한 평가가 쉽지 않기 때문인 것으로 보인다.

<표 8> 운영영역 측정요소의 퍼지수 및 가중치

운영영역	재조작	폴링운영	듀얼사이클	RTLS	가중치
재조작 감소	(1, 1, 1)	(0.82, 1.22, 1.69)	(0.75, 1.13, 1.56)	(0.69, 1.01, 1.41)	0.271
폴링운영	(0.59, 0.82, 1.22)	(1, 1, 1)	(0.89, 1.14, 1.35)	(0.67, 0.93, 1.50)	0.243
듀얼사이클	(0.64, 0.88, 1.33)	(0.74, 0.87, 1.12)	(1, 1, 1)	(0.66, 0.91, 1.37)	0.228
RTLS	(0.71, 0.99, 1.45)	(0.67, 1.07, 1.49)	(0.73, 1.10, 1.50)	(1, 1, 1)	0.259

에너지영역에서의 컨테이너터미널 온실가스 저감대안들의 상대적 중요도를 살펴보면, 야드내 LED 설치가 38.0%로 가장 높았고, 다음으로 태양광발전 이용이 36.4%, 바이오디젤 사용이 25.6% 순으로 나타났다. 야드내 조명을 LED조명으로 교체하는 대안은 다른 대안에 비해 온실가스 저감방안의 비용과 현실적 적용성 측면에서 중요도가 높다고 판단하고 있는 것으로 보인다.

<표 9> 에너지영역 측정요소의 퍼지수 및 가중치

에너지영역	야드내LED	태양광발전	바이오디젤	가중치
야드내LED	(1, 1, 1)	(0.76, 1.02, 1.36)	(0.94, 1.31, 1.75)	0.380
태양광발전	(0.74, 0.98, 1.32)	(1, 1, 1)	(0.92, 1.25, 1.57)	0.364
바이오디젤	(0.57, 0.76, 1.07)	(0.64, 0.80, 1.09)	(1, 1, 1)	0.256

3) 전체 항목 중요도 분석

컨테이너터미널의 온실가스 저감방안에 대한 평가영역과 요소들의 상대적 중요도 가중치를 산정하였고, 이러한 결과를 종합하여 각 평가요소인 저감대안들의 중요도 가중치를 <표 10>과 같이 정리하였다. 전체 온실가스 저감대안들에 대한 가중치를 살펴보면, 장비영역의 전기T/C 개조가 16.2%로 중요도가 상대적으로 가장 우선순위인 것으로 나타났고, 다음으로 Y/T하이브리드 개조가 14.4%, AMP 도입이 10.6%, MLS 도입이 9.9%, 야드내 LED 조명교체가 8.8% 순으로 나타났고, 운영영역의 듀얼사이클 적용이 5.9%로 상대적으로 우선순위가 가장 낮은 것으로 분석되었다.

<표 10> 전체 온실가스 저감대안 우선순위 분석 결과

구분			전체	
측정영역 (가중치)	측정요소	가중치	환산가중치	순위
장비영역 (0.449)	Y/T하이브리드 개조	0.281	0.144	2
	전기T/C 개조	0.317	0.162	1
	MLS 도입	0.194	0.099	4
	AMP 도입	0.208	0.106	3
운영영역 (0.289)	컨테이너 재조작 감소	0.271	0.070	7
	풀링운영시스템 도입	0.243	0.063	9
	듀얼사이클 적용	0.228	0.059	11
	RTLS 도입	0.258	0.067	8
에너지영역 (0.262)	야드내 LED조명 교체	0.380	0.088	5
	태양광발전 이용	0.364	0.084	6
	바이오디젤 사용	0.256	0.059	10

V. 결론

본 연구는 컨테이너터미널의 온실가스 저감방안에 대한 대안을 선정하고, 저감방안의 평가영역과 저감대안들에 대한 우선순위를 분석하기 위해 다속성의사결정 문제에 적합한 AHP와 애매모호함이 내재되어 있는 현실문제에서의 의사결정자의 언어적 선호도를 효과적으로 반영할 수 있는 퍼지이론을 결합한 Fuzzy-AHP를 적용하였다.

컨테이너터미널의 온실가스 저감방안 우선순위 선정을 위한 평가영역은 장비영역, 운영영역, 에너지영역으로 구분하였고, 장비영역으로 Y/T하이브리드 개조, 전기T/C 개조, MLS 도입, 운영영역으로 컨테이너 재조작 감소, 풀링운영시스템 도입, 듀얼사이클 적용, RTLS 도입, 에너지영역으로 야드내 LED조명 교체, 태양광발전 이용, 바이오디젤 사용을 선정하였다. 설문은 자료의 신뢰성을 확보하기 위하여 컨테이너터미널 운영사의 장비·운영팀 전문가만을 대상으로 진행하였다.

컨테이너터미널 온실가스 저감방안의 측정영역에 대한 중요도 평가는 장비영역이 44.9%로 가장 높았고, 다음으로 운영영역과 에너지영역 순으로 나타났다. 저감방안의 장

비영역이 다른 영역에 비해 상대적으로 높은 중요도로 인식되고 있었는데, 이는 대부분의 온실가스가 컨테이너터미널의 대형장비를 통해 배출되고 있어 장비영역에서의 저감대안의 중요성이 크게 인지되는 것으로 볼 수 있다. 현재 대부분의 선진항만 뿐만 아니라 국내항만에서도 장비의 교체 및 개선을 통하여 전기동력을 직·간접적으로 사용하고 있으며, 전기동력 장비가 온실가스 저감 및 에너지 절감효과에 성과가 있는 것으로 보고되고 있다. 따라서 직접적이고 효과적인 온실가스 저감방안이 될 수 있는 전기동력 장비의 적용 범위를 넓히고, 전기동력을 효과적으로 사용할 수 있는 운영시스템을 구축해야 할 것이다. 또한 운영영역이 상대적으로 장비영역에 비해 중요도 평가가 낮은 편이지만, 온실가스 저감에 있어 간접적인 방법이라는 점을 감안하면 위에 제시된 대안들의 전략적인 운영이 온실가스 저감에 중요한 대안이 될 것으로 보인다.

온실가스 저감대안들의 전체 우선순위를 보면 장비영역의 4가지 대안이 다른 영역의 대안들보다 우선순위가 높은 것으로 나타났고, 그중 전기T/C(16.2%) 도입의 우선순위가 가장 높은 것으로 분석되었다. 다음으로 Y/T하이브리드 개조(14.4%), AMP도입(10.6%), MLS 도입(9.9%) 순으로 나타났고, 장비영역을 제외한 대안들 중에는 야드내 LED조명 교체 대안이 8.8%로 우선순위가 높은 것으로 분석되었다.

본 연구는 컨테이너터미널내의 온실가스 저감방안에 대한 연구로 설문 표본의 지역적 제약성은 있으나, 현재 실행 가능한 저감방안에 대하여 실무자 및 전문가들을 대상으로 실증 분석하였고, 설문자들이 제공하는 평가정보의 불완전성을 완화시키고, 애매모호한 정보를 정량적으로 반영하여 의사결정의 정확성을 높였다는데 의미를 부여할 수 있다.

참고문헌

- 고현정, “Fuzzy-AHP를 활용한 인도 물류시장 진출사업 우선순위 결정에 관한 연구”, 『한국항만경제학회지』, 제26집 제2호, 2010, 1-16.
- 김성태, “퍼지계층분석법을 이용한 부산지역 수리조선업의 경쟁력 제고방안에 관한 연구”, 부산대학교, 2009.
- 김승남, 김철홍, 정영배, 김연수, “사용자 요구품질 추출과 분류방법의 개선에 관한 연구”, 『산업경영시스템학회지』, 24권, 2001, 77-82.
- 김영환 · 박지영, 정경애, 문종룡, 여기태, “우리나라 대형물류 기업의 녹색 물류 평가에 관한 연구”, 『한국항만경제학회지』, 제26집 제4호, 2010, 1-18.
- 김우선, “항만 하역산업의 에너지비용 절감 방안 연구”, 『한국물류비즈니스학회 논문집』, 2011, 56-68.
- 김우선 · 최종희 · 최상희 · 하태영, “친환경 항만운영기술 적용 및 실행방안 연구”, 한국해양수산개발원, 2008.
- 박병주, “그린항만 정책동향”, 경남발전연구원, 2010.
- 박찬국 · 남지희 · 이영건 · 김관현 · 최기련, “Fuzzy AHP 적용에 있어서 평가자 신뢰도와 위험인식 성향의 반영”, 『Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering』, 제30권 제1호, 2007, 89-95.
- 신승식, “해운과 경영”, 한국해양수산개발원, 제20호, 2010, 2-5.
- 오세웅 · 박종민 · 양영훈 · 서기열 · 이철영 · 서상현, “순위가중치평균법에 의한 의사전략 결함 및 다기준의사결정 문제로의 적용”, 『한국항해항만학회지』, 제31권 제6호, 2007, 537-543.
- 윤동하 · 최용석, “Fuzzy-AHP를 이용한 광양항과 중국항만간의 물류네트워크 분석”, 『한국항만경제학회지』, 제27집 제2호, 2011, 91-107.
- 임미순 · 박종흠 · 안승범, “녹색물류를 위한 탄소저감정책 평가항목 우선순위에 관한 연구”, 『한국항만경제학회지』, 제25권 제4호, 2009, 1-20.
- 한철환, “대기오염 저감을 통한 인천항의 Green Port 전략”, 『한국항만경제학회지』, 제27권 제1호, 2011, 281-304.
- Buckley, J. J, “Fuzzy Hierarchical Analysis,” *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.17, 1985, 233-247.
- Chang, D. Y., “Application of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP,” *European Journal of Operational Research*, Vol.96, 1996, 649-665.
- Cheng, C. H., “Evaluating Naval Tactical Missile Systems by Fuzzy AHP based on the Grade Value of Membership Function,” *European Journal of Operational Research*, Vol.96, 1996, 343-350.
- F. Tunc Bozbura, Ahmet Beskese and Cengiz Kahraman, “Prioritization of Human

- Capital Measurement Indicators Using Fuzzy AHP,” *Expert Systems with Applications*, Vol.32, 2007, 1100-1112.
- Gi-Tae Yeo, Michael Roe and John Dinwoodie, “Measuring the Competitiveness of Container Port: Logisticians Perspectives,” *European Journal of Marketing*, Vol.45, No.3, 2011, 455-470.
- Kannan Govindan, “Fuzzy Approach for the Selection of Third-party Reverse Logistics Provider,” *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, Vol.21, 2009, 397-416
- Laarhoven, P. J. M., & Pedrycz, W. “A Fuzzy Extension of Satty’s Priority,” *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.11, 1983, 229-241.
- Liou, Tian-shy and Wang, Mao-Jiun J., “Ranking Fuzzy Numbers with Integral Value,” *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.50, 1992, 247-255.
- Satty, Tomas. L., “The Analytic Hierarchy Process,” New York, McGraw-Hill, 1980.
- Sheu J.B., “A Hybrid Fuzzy-based Approach for Identifying Global Logistics Strategies,” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol.40, 2004, 39-61.
- Shih-Liang Chao, Yu-Jr Lin, “Evaluating Advanced Quay Cranes in Container Terminals,” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol.47, 2011, 432-445.
- Turan Paksoy, Nimnet Yapici Pehlivan and Cengiz Kahraman, “Organizational Strategy Development in Distribution Channel Management using Fuzzy AHP and Hierarchical Fuzzy TOPSIS,” *Expert Systems with Applications*, Vol.39, 2012, 2822-2841.
- Zadch, L. A., “Fuzzy Sets,” *Information and Control*, 1965.

국문요약

컨테이너터미널의 온실가스 저감 방안 에 관한 연구

김선구 · 최용석

항만에서 운용되는 선박, 트럭, 기차, 하역장비들이 배출하는 온실가스는 현장 근로자들뿐만 아니라 인근 지역민들의 건강 및 생활환경을 악화시키고 있다. 세계 주요항만 대기오염 문제 해결을 위해 다양한 노력을 하고 있다.

본 연구는 항만 중 온실가스 배출량 비중이 가장 높은 컨테이너터미널을 대상으로 온실가스 저감방안에 대한 연구를 하였다. 연구를 위해 먼저 저감대안들을 추출하였고 이에 대한 중요 우선순위를 결정하는 계층적 의사결정 모델 제시와 실증분석을 실시하였다. 컨테이너터미널 온실가스 저감대안을 선정 하는데 있어 5가지 요소 기준을 적용하였고, 실무자와 전문가의 의견을 수렴하여 대안들을 추출하였다. 또한 선정된 온실가스 저감방안에 대한 평가영역과 요소들을 평가 하는데 있어 언어적도의 애매모호하고 불확실한 상황을 고려하여 퍼지모형과 계층적분석방법 (Analytic Hierarchy Process)을 결합한 Fuzzy-AHP을 적용하였다.

연구결과 컨테이너터미널 온실가스 저감방안의 측정영역에 대한 중요도 평가는 장비영역이 가장 높았고, 다음으로 운영영역과 에너지영역 순으로 나타났다. 온실가스 저감대안들의 전체 우선순위를 보면 전기T/C 도입이 우선순위가 가장 높은 것으로 분석되었다. 다음으로 Y/T하이브리드 개조, AMP도입, MLS 도입 순으로 나타났다.

핵심 주제어: Fuzzy-AHP, 컨테이너터미널, 온실가스, 저감방안