

선박운항자의 조종부하경감을 위한 일방통항형 항만에 관한 연구

김종수* · 양원재**

* 목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수, ** 목포해양대학교 해상운송시스템학부 강사

One-way Through Port from the Viewpoint of Reduction of Ship's Maneuvering Stress

Jong-Soo Keum* · Won-Jae Yang**

*,** Division of Maritime Transportation System, Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

요 약 : 일반적으로 거의 모든 항만들은 출입구가 하나뿐인 폐쇄형태로 설계되어 있다. 선박이 대형화됨에 따라서 선박의 조종곤란성, 선회수역의 크기, 추가적인 예선사용료 등의 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 폐쇄형태의 항만에서 선박의 출입구가 각각 존재하는 일방통항형 항만형태로의 발상을 전환할 필요가 있다. 따라서 이와 같은 일방통항형 항만의 장점을 선박운항자의 조종부하경감 관점에서 검토하기 위해서는 정량적이고 시스템적인 분석절차가 필요하다. 본 연구에서는 각각 다른 세가지 출항방식에 대한 조선자의 선호도를 퍼지적분 모델을 이용하여 평가하였다.

핵심용어 : 조종부하, 선회수역, 예선, 평가, 퍼지측도, 퍼지적분, 일방통항형항만, 출항선호도,

Abstract : Ports are usually designed as a dead end port. With an increasing tendency of ship size, the problems such as maneuvering difficulty, turning basin, tugboat fee, etc. are getting to be pointed out. For solving such problem, the conversion of the idea from dead end port to one-way through port is encouraged. To examine the advantage of one-way through port, a quantitative and systematic analyzing procedure is needed. For this, this paper evaluated the preference on the three way of departure using the fuzzy measure and integral model.

Key words : Ship's Maneuvering Stress, Turning Basin, Tugboat, Evaluation, Fuzzy Measure, Fuzzy Integral, One-way Through Port, Preference way of Departure

1. 서 론

오늘날 국가간의 교역이 활발해지고 해상물동량이 많아짐에 따라 선박교통량이 증가되었고 이러한 현실은 새로운 항만의 신설 및 기존 항만시설의 재정비문제에 관심을 갖도록 한다.

일반적으로 항만의 형태는 선박이 하나의 출입구를 통하여 입항과 출항을 하는 폐쇄적인 항만으로 설계되어 있으며, 지금까지는 자연지형을 이용하여 항만이 입지하는 것이 당연한 상식으로 되어있다. 그러나 이와 같은 구조의 항만형태는 우선 선박조종측면에서 선박운항자에게 출항을 고려하여 입항 자세를 결정하여야 하는 조종부하문제와, 수역시설의 설계측면에서 선박접이안의 안전을 위한 여유 있는 선회수역(turning basin)확보를 고려해야하는 문제, 그리고 조종실부측면에서 빈번한 예선사용료 등의 문제를 발생시키게 된다.

최근에 조선기술의 발달과 물동량의 증가로 선박이 대형화됨에 따라서 항만관리자는 항만수역시설 설계시에 선박의 안

전하고 효율적인 접이안을 위하여 충분한 선회수역을 확보하여야 한다. 또한, 선박의 대형화추세는 선박의 접이안을 용이하게 하기 위한 보다 많은 척수의 예선사용과 조종기술을 요구하게 되고 결과적으로 예선사용료를 증가시켜 경제적인 부담을 주게된다.

이러한 문제점들을 고려한 새로운 항만설계의 경우 자연지형에 좌우되어 항만을 설계하는 관점에서 선박조종의 용이성을 고려하여 지형을 인공적으로 변형하는 항만을 설계하고 개발하는 쪽으로 발상을 전환할 필요가 있다. 그러므로 기존의 일반적인 부두 배치형태와 같이 출입구가 하나만 존재하는 폐쇄적인 항만형태에서 선박의 입구와 출구를 별도로 두어 접이시의 선박자세를 변경하지 않고 그대로 출항할 수 있는 형태의 일방통항형 항만(One-way Through Port)의 설계도 고려해볼 수 있다(井上欣三, 1999). 결국 이러한 형태의 항만배치는 선박의 출항자세를 고려하여 입항조선시 선박운항자의 조종부하 경감뿐만 아니라 예선사용료를 절감하는 등의 경제적인 효과를 높일 수 있다.

* 대표저자 : 김종수(중신회원), jskeum@mail.mmu.ac.kr 061)240 7075

** 정회원, wjyang@mail.mmu.ac.kr 061)240-7069

한편 이와 같이 항만의 배치 및 출항방식을 고려한 일방통행형 항만의 장점을 검토하기 위해서는 선박의 접이안시 조종부하를 선박운항자의 관점에서 정량적이고 시스템적인 분석절차가 필요하다. 하지만 국내의 경우 이러한 관점에서 선박운항자의 조종부하를 평가하고 분석한 시도는 아직 없는 실정이고, 井上欣三 외(2002)의 연구에서 선박운항자의 조종부하에 영향을 미치는 평가요소를 예선사용, 주기조작, 조타, 소요시간과 같은 4개의 평가항목으로 선정하여 계층분석법(AHP)에 의해 출항방식선호도를 평가하였다.

그러나 AHP평가기법은 각 평가항목의 중요도를 가법성이 성립하는 확률측도로 구성하고 단순가중법에 의하여 중요도를 통합하는 방법을 취하고 있어 가법성이 성립하지 않는 대상을 평가할 때에는 그 적용에 한계가 있다. 이러한 경우에 퍼지측도를 이용한 비가법적인 평가방법으로서 평가요소가 독립적인 요소와 종속적인 요소가 혼재되어 있어도 사용할 수 있는 퍼지적분모델이 유효한 것으로 알려져 있다(本多中二 외, 1989). 퍼지적분에 의한 평가법은 가법성을 가지지 않는 평가기준의 중요도를 가법성을 만족하지 않는 주관적인 척도를 취급하는 퍼지측도로 하고, 퍼지적분에 의하여 종합 평가한다. 그리고 퍼지적분은 가법적인 경우도 특별한 경우로서 포함하고 있기 때문에 AHP평가기법을 포함하고 있다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 井上欣三 외(2002)의 연구에서 사용된 4개의 평가항목을 전문가집단에 의하여 검토하여 AHP평가기법 적용에 대한 문제점을 지적하고, 일방통행형출항, 전후진반복출항, 회두출항의 3가지 출항방식에 대해서 선박운항자가 느끼는 조종부하에 따른 출항방식선호도를 퍼지측도 및 퍼지적분을 이용하여 정량적이고 시스템적으로 평가하였다.

2. 평가기법

2.1 퍼지측도

퍼지측도(fuzzy measure)는 애매한 대상을 주관적으로 계량할 때의 척도이며, 전체집합 X 의 임의의 부분집합 A, B 를 구간 $[0, 1]$ 의 실수치에 대응시키는 집합함수 g 가 다음 조건을 만족하면 g 를 퍼지측도라고 정의한다(本多中二·大塚有生, 1989).

조건1 : $g(\emptyset) = 0, g(X) = 1$ (유계성)

조건2 : $A \subset B$ 이면, $g(A) \leq g(B)$ (단조성)

조건3 : $A_1 \subset A_2 \subset \dots$ 또는 $A_1 \supset A_2 \supset \dots$ 이면
 $\lim_{n \rightarrow \infty} g(A_n) = g(\lim_{n \rightarrow \infty} A_n)$ (연속성)

조건 3의 경우 선박운항자의 조종부하경감을 위한 출항방식 선호도 평가문제와 같이 평가항목 X 가 유한집합인 경우에는 명백히 성립하므로 불필요하게 된다. 퍼지측도로서는 λ -퍼지측도, Bel 측도, Pl 측도, 가능성 측도(possibility

measure), 필연성 측도(necessity measure) 등이 있으며, 이 중에서 스게노가 제안한 λ -퍼지측도(g_λ)가 주관적 척도의 모델로서 많이 이용되고 있다. 일반적으로 퍼지적분을 하기 위해서는 n 개의 평가항목에 대하여 $2^n - 1$ 개의 관측자료로부터 중요도를 추출하게 되며, 이 경우 상호작용계수를 나타내는 파라미터 λ 는 외생적으로 주어지게 된다. λ -퍼지측도(g_λ)는 식(1)과 같이 퍼지측도에 매개변수(λ)를 도입한 형태이다. 단, 여기서 λ -퍼지측도 g_λ 는 단조성을 갖는다.

$$g_\lambda(A \cup B) = g_\lambda(A) + g_\lambda(B) + \lambda g_\lambda(A)g_\lambda(B) \quad (1)$$

단, $A, B \in X, A \cap B = \emptyset, -1 < \lambda < \infty$

식(1)의 λ 는 + 또는 - 값을 가짐으로서 각각 상승작용 또는 상쇄작용을 나타내며, λ 가 0 값을 취할 때 λ -퍼지측도(g_λ)는 확률측도가 되어 가법성을 만족시키게 된다. 식(1)을 이용하여 서로 소(素)인 부분집합 열 $\{A_1, A_2, A_3, \dots, A_n\}$ 에 대하여 식(2)와 같은 일반식을 유도할 수 있다.

$$g_\lambda(\bigcup_{i=1}^n A_i) = \frac{1}{\lambda} (\prod_{i=1}^n (1 + \lambda g_\lambda(A_i)) - 1) \quad (2)$$

단, $A_i \cap A_j = \emptyset, i \neq j$

본 연구에서는 선박운항자의 조종부하경감을 위한 출항방식 선호도 평가요소 i 및 j 간의 상호작용계수(λ_{ij})를 언어적인 표현방법을 사용하여 요소간에 상호작용이 있느냐 없느냐를 먼저 질문하고, 다음으로 상승작용이나 상쇄작용 중 어느 하나에 대하여 0 및 (-1, 0)과 (0, 1)로 응답을 구하였다. 평가요소간의 상호작용계수를 구하는 방법은 식(3)과 같다.

$$\mu_i = \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} / (n-1) \quad (i \neq j) \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{\mu_i}{n}$$

한편, 평가문제에 있어서 Tskamoto가 제안한 λ -퍼지측도가 널리 사용되고 있으며, 본 연구에서도 이 측도를 사용한다. Tskamoto가 제안한 λ -퍼지측도($f_\lambda(u)$)는 식(4)와 같다.

$$f_\lambda(u) = \begin{cases} ((1 + \lambda)^u - 1) / \lambda & \text{if } \lambda \neq 0 \\ u & \text{if } \lambda = 0 \end{cases} \quad (4)$$

여기서 u 는 계층분석법에서 구한 중요도 $w(\cdot)$ 와 같은 의미를 가지고 있으며, $f_\lambda(u)$ 는 퍼지측도 $w(\cdot)$ 이다.

따라서 상호작용계수(λ)를 도입함으로써 계층평가의 일관성을 유지하면서, 상호작용 효과를 중요도에 반영할 수 있으므로 동일 계층의 평가항목 사이에 반드시 독립성이 보장되지 않더라도 취급할 수 있게 된다.

2.2 퍼지적분

퍼지적분은 몇 개의 속성을 가진 평가대상을 퍼지측도를 이용하여 종합적으로 평가하기 위한 방법으로 적분을 통해서 종합치를 구해야 한다. 그러나 퍼지측도를 사용한 경우에는 비가법성이 존재하므로 일반 르베그(Lebesgue) 적분을 사용하여 그 합을 구할 수 없다. 이를 위해서 퍼지측도에 관한 많은 적분이 제안되어 사용되고 있다.

퍼지측도에 의한 퍼지적분은 전체집합 X 의 부분집합 A 상에 정의된 함수 $h : A \rightarrow [0, 1]$ 에 대하여 퍼지측도 공간 $(X, 2^X)$ 에서 A 의 퍼지적분은 다음과 같이 정의된다(大西眞 · 今井英幸 · 河口至商, 1997).

$$\int_A h(x) \circ g(\cdot) = \sup_{F \in 2^X} [\inf_{x \in F} h(x) \wedge g(A \cap F)] \tag{5}$$

단, g 는 퍼지측도 공간 $(X, 2^X)$ 의 퍼지측도

여기서 기호 \int 는 퍼지적분 기호이며, \circ 는 퍼지집합 이론에서 사용되는 Max·Min 연산기호이다. 그리고 \sup 와 \inf 는 상한(Supremum)과 하한(Infimum)을 뜻한다. 상한은 X 의 어느 요소보다 큰 것 가운데 최소의 것을, 하한은 X 의 어느 요소보다 작은 것 가운데 최대의 것을 의미한다.

식(5)의 퍼지적분 정의로부터 다음의 성질을 얻는다.

$$\int_A h(x) \circ g(\cdot) = \sup_{\alpha \in [0, 1]} [\alpha \wedge g(A \cap F_\alpha)] \tag{6}$$

단, $F_\alpha = \{x \mid h(x) \geq \alpha\}$

A 는 적분영역으로서 $A=X$ 일 때에는 생략한다. F_α 에서는 α 가 클수록 집합이 작아지며, 또한, 퍼지측도 g 는 단조성을 갖기 때문에 $g(A \cap F_\alpha)$ 의 측도치는 α 가 클수록 감소한다.

또한, 퍼지적분은 다음과 같은 성질을 갖는다.

$$0 \leq h(x) \circ g(\cdot) \leq 1 \tag{7}$$

$$h_1 \leq h_2 \text{ 이면 } \int h_1(x) \circ g(\cdot) \leq \int h_2(x) \circ g(\cdot) \tag{8}$$

$$A \subset B \text{ 이면 } \int_A h(x) \circ g(\cdot) \leq \int_B h(x) \circ g(\cdot) \tag{9}$$

식(7)은 퍼지적분 값의 범위를 나타내며, 식(8)은 중요도가 같은 경우에는 능력의 크기에 의해 값의 크기가 정해지는 퍼지적분치의 순서성을 보이며, 식(9)는 전체 집합의 평가치는 부분집합의 평가치를 포함한다는 것을 나타내고 있다. 퍼지적분의 기본적인 성질은 퍼지측도의 성질을 반영한 단조성에 있다.

집합 X 가 유한집합인 경우, 함수 h 를 다음과 같이 $h(x_1) \geq h(x_2) \geq h(x_3) \dots \geq h(x_n)$ 크기 순으로 나열하면 퍼지적분은 아래 식(10)과 같이 표현된다.

$$\int_A h(x) \circ g(\cdot) = \bigvee_{i=1, n} [h(x_i) \wedge g(F_i)] \tag{10}$$

단, $F_i = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_i\}$

3. 평가항목의 특성

3.1 조종부하 및 출항방식

선박이 일정 수역을 항행할 때 선박운항자에게 부과되는 조종곤란성은 항행환경이 선박운항자에 부여한 곤란성과 선박조종에 기인하는 곤란성이다(井上欣三 외, 2002). 선박운항자의 조종부하요소는 Fig. 1에 도시한 바와 같이 다양한 조선 상황에서 선박조종의 번잡성과 조타, 주기, 예선에 의한 선박조종의 질, 선박조종의 양의 요소로 구성된다.

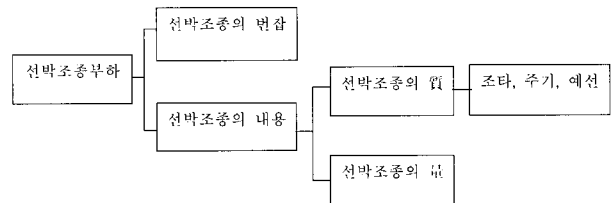


Fig. 1 Components of ship's maneuvering stress

한편, 동일한 조선의 목표를 달성하기 위해서도 조종에 임하는 선박운항자에 따라서 다양한 조선방법이 존재한다. 따라서, 이와 같이 다양한 선박운항자의 조종부하를 정량화하기 위해서는 조선방법과 조종내용의 개인차를 고려한 조종부하를 통일적으로 평가하는 지표를 개발하는 것이 필요하다. 지금까지 선박운항자의 조종부하를 정량화하기 위한 연구(日富 외, 1994), (小林他, 1994)가 있으나, 본 연구에서는 Fig. 2와 같이 출선계류에서 그대로 이안하여 출항하는 일방통행형 출항방식(A)과 Fig. 3에 도시한 바와 같이 입항상태에서 이안하여 기관후진상태에서 넓은 수역으로 나아간 후에 회두하여 출항하는 전후진반복 출항방식(B), 그리고 Fig. 4와 같이 입항상태에서 이안하여 회두한 후에 출항하는 회두출항방식(C)의 세 종류의 출항조선방식에 대한 선박운항자의 선호도를 정량적으로 비교 평가하고자 하였다.

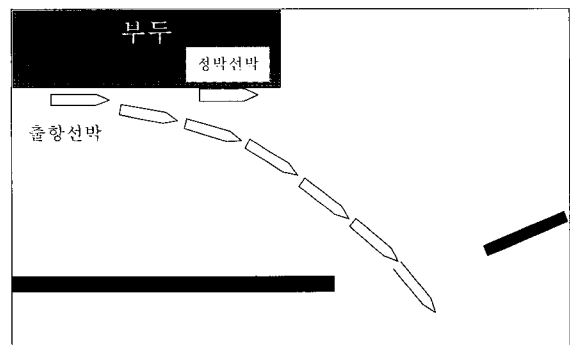


Fig. 2 One-way departure model(A)

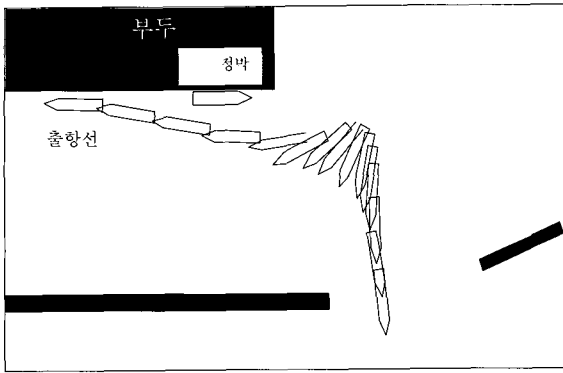


Fig. 3 Ahead and astern departure model(B)

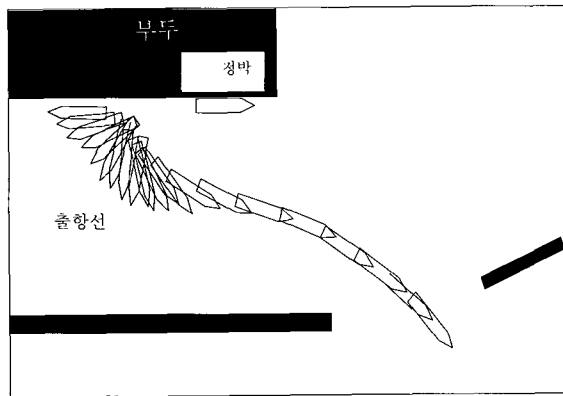


Fig. 4 Turning departure model(C)

3.2 평가항목 선정

선박운항자의 조종부하경감 관점의 출항방식 선호도를 평가하기 위하여 먼저 평가항목을 선정할 필요가 있다. 본 연구에서는 井上欣三 외(2002)에서 계층분석법에 의한 출항방식 선호도 평가에 사용된 다음 4개의 평가항목(井上欣三 외, 2002)이 선박운항자의 조종부하경감 측면에서 조종부하를 평가하는데 유효함을 도선사, 선장 등 전문가집단을 대상으로 브레인스토밍법에 의해 검토한 후 이 평가항목으로 선박운항자의 조종부하경감을 위한 출항방식 선호도를 퍼지적분 모델을 이용하여 평가하고자 한다.

- 1) 예선사용(x_1)
- 2) 주기조작(x_2)
- 3) 조타(x_3)
- 4) 소요시간(x_4)

하지만 이상 4개의 평가항목들은 서로 상호작용하여 영향을 미치고 각 평가항목이 독립적으로 작용한다고 할 수 없는 성질을 지니고 있다.

따라서 인간의 주관성이 개입된 자료와 평가요소 간 상호 중복성이 있는 경우에도 평가할 수 있는 퍼지측도 및 퍼지적분을 이용하여 평가한다(금 외, 2001), (A.Lipnickas, 2001).

Fig. 5는 선박운항자의 조종부하경감을 위한 출항방식 선호도를 평가하는 계층구조를 나타낸 것으로, 각 평가항목이 출항

방식 선호도에 어느 정도 영향을 미치고 결국 세가지 평가대상 중에서 가장 선호하는 출항방식을 결정하는 것이 평가의 목표이다.

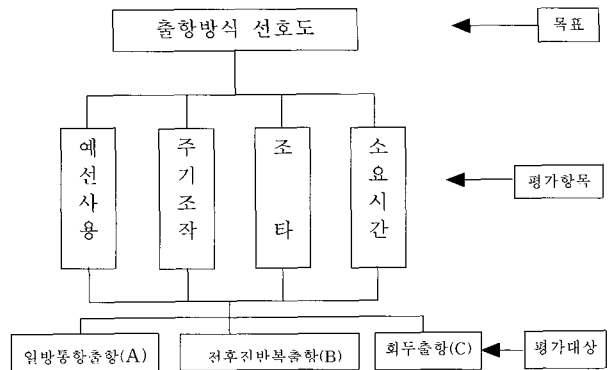


Fig. 5 Hierarchy of the preference way of departure

3.3 출항방식에 따른 평가항목데이터

본 연구에서는 Table 1에 정리한 대상선박, 선박운항자, 주변환경, 예선 등과 같은 실험조건을 토대로 선박조종시뮬레이터를 이용하여 구한 Table 2의 각 출항방식에 대한 평가항목 실험데이터(井上欣三 외, 2002)값을 근거로 퍼지측도에 의한 퍼지적분 모델 평가기법에 의해 선박운항자의 조종부하경감 관점의 출항방식 선호도를 평가하였다.

Table 1 Experimental condition

구분	내용
대상선박	3,700TEU 컨테이너선, 42,000G/T, 전장 : 247M, 선폭 : 32.2M, 흘수 : 12.48M
실험수역	고베항六甲아이랜드 남측안면과 방파제 접속수역
조 선 자	선장 1명, 도선사 5명에 의한 11회 실험
주변환경	바람, 파도, 조류, 시정, 타선통행 등의 외력요소 없음
예 선	3,350마력의 예선 2척을 선수와 선미에 각각배치

Table 2 Experimental data

출항방식 \ 항목	예선사용 시간(sec)	주기조작 회수	조타 회수	소요시간 (sec)
일방통행출항	511.5	0.0	0.3	305.9
전후진반복출항	2408.8	6.0	2.6	1445.3
회주출항	2090.1	5.0	2.1	1144.9

Table 3 Results of AHP (井上欣三 외, 2002)

출항방식 \ 항목	예선사용	주기조작	조타	소요시간	선호도
일방통행출항	0.769	0.683	0.637	0.744	0.729
전후진반복출항	0.084	0.121	0.258	0.140	0.115
회주출항	0.147	0.196	0.105	0.116	0.155

Table 3은 예선사용, 주기조작, 조타, 소요시간 등의 4개 평가항목에 대한 Table 2의 실험데이터를 근거로 AHP평가기법을 이용한 출항방식 선호도 평가결과를 나타내고 있다.

하지만, 여기에서 사용된 AHP평가기법은 평가항목들이 각각 독립되어 있어서 상호간에 영향을 미치지 않는다는 전제조건이 만족되어야 한다. 즉 가법성이 성립되어야 하며 그렇지 않는 경우에는 그 적용에 한계가 있다(本多中 : 외, 1989).

일반적으로 선박접이안시 선박조종은 Table 3의 평가항목인 예선사용, 주기조작, 조타 등의 빈번함과 크기 및 양에 의해서 평가항목간에 긴밀하게 상호작용을 하고 서로 영향을 미치게 되며 또한, 소요되는 시간도 다르게 된다고 할 수 있다.

따라서 이와 같이 평가항목이 서로 독립되어 있지 않고 서로 영향을 미치는 중복성이 있는 경우에 선정된 각 평가항목간의 상호작용관계에 따른 중복성 여부가 어느 정도인지를 파악하고, 계층평가의 일관성을 유지하면서 상호작용효과를 중요도에 반영하여 평가항목을 취급할 수 있는 퍼지측도 및 퍼지적분 평가기법이 유효한 것으로 알려져 있다(本多中 : 외, 1989; 금 외, 2001), (A.Lipnickas, 2001).

4. 출항방식 선호도 평가

4.1 퍼지측도 및 퍼지적분법 알고리즘

출항방식 선호도를 평가하기 위한 퍼지측도 및 퍼지적분에 의한 평가는 다음 4단계에 의해 수행된다.

Step 1 : 설문자료들을 토대로 의사결정자는 AHP에서 이용하는 일대비교(pairwise comparison) 자료에 의한 평가항목의 상대적 중요도(w) 및 평가항목간의 상호작용계수(λ)를 조사한다.

Step 2 : 조사된 평가항목간의 상대적 중요도(w)와 평가속성간 상호작용계수(λ)로 식(4)를 이용하여 퍼지측도치($g(\cdot)$)를 구한다.

Step 3 : 자료 또는 기존의 평가기준에 의해 출항방식에 대한 평가항목별 퍼지 평가치 $h(\cdot)$ 를 구한다. $h(\cdot)$ 값은 대표평가요소에 대한 출항방식별 평가치를 구하여 이들 중 가장 큰 값을 1.00으로 하여 상대적인 비율을 취함으로써 구할 수 있다.

Step 4 : 출항방식 선호도 평가의 평가속성을 통합 평가한 퍼지적분을 수행하여 종합결과를 산출한다.

4.2 퍼지측도치 $g(\cdot)$ 및 퍼지 평가치 $h(\cdot)$ 산출

출항방식의 선호도를 평가하기 위하여 앞서 추출한 4개의 평가요소에 대해 계층분석법의 일대비교에 의한 임의의 두 항목간의 상대적 중요도와 상호작용계수를 산출하기 위해서 본 연구에서는 도선사, 선장 등 전문가집단 12명을 대상으로 면접 및 설문조사를 실시하였다. 각 평가요소별 설문 응답자의 수에 따라 기하평균한 일대비교 자료 및 계층분석법에 의해 구한 평가항목의 중요도 $w(\cdot)$ 는 Table 4와 같다. 여기서 각

행렬의 대표치는 표본의 기하평균을 정수화한 값이다.

최대고유치 $\lambda_{max} = 4.100$ 로서 중요도의 정합도(C.I.) 및 정합비(C.R.)는 각각 0.033과 0.037으로 통상 계층분석법에서 인정되는 0.1이하의 값으로 그 유효성이 인정된다(木下榮藏, 1997), (T.L. Satty, 1985).

Table 4 Pairwise comparison matrix and weight of evaluation factors by AHP

항목	x_1	x_2	x_3	x_4	w
x_1	1	3.56	5.6	7.23	0.591
x_2	0.28	1	2.72	4.65	0.238
x_3	0.18	0.37	1	2.50	0.112
x_4	0.14	0.22	0.40	1	0.059
$\lambda_{max}=4.100, C.I.=0.033, C.R.=0.037$					

그리고 일대비교에 의한 상호작용의 계수 $\lambda(\cdot)$ 는 설문에 의한 자료를 바탕으로 두 평가항목간의 상호작용을 묻고 각각 상승 또는 상쇄작용을 질문하여 (-1, 1)의 공간에 위치하도록 하였으며, 상호작용정도에 대한 값은 약간 적다는 ± 0.1 , 보통이다 ± 0.2 , 약간 많다 ± 0.3 , 크다 ± 0.4 로 평가하여 동일 항목에 대한 각 개인의 값을 평균한 결과 Table 5와 같이 λ 값은 -0.30이 된다.

Table 5 Interaction value of evaluation factors

항목	x_1	x_2	x_3	x_4
x_1	0	-0.32	-0.35	-0.38
x_2		0	-0.14	-0.33
x_3			0	-0.27
x_4				0
$\lambda = -0.30$				

따라서 AHP에서 구한 중요도의 μ 값과 상호작용 계수 λ 를 구하였으므로 $g(x_1)$ 부터 $g(x_4)$ 까지의 평가항목에 대한 퍼지측도치 $g(\cdot)$ 의 합계는 1.105이다. 그러나 퍼지측도치를 퍼지측도 공간에 적용하기 위해서는 퍼지측도치의 합계가 1.000이 되는 표준화가 필요하다. Table 6은 각 평가요소의 퍼지측도치와 표준화한 결과이다.

Table 6 The value of fuzzy measure $g(\cdot)$

$g(\cdot)$	퍼지측도치	표준화
$g(x_1)$	0.634	0.574
$g(x_2)$	0.271	0.245
$g(x_3)$	0.131	0.119
$g(x_4)$	0.069	0.062
합계	1.105	1.000

한편 각 출항방식 선호도 평가를 위한 평가항목에 대한 퍼지 평가치 $h(\cdot)$ 를 살펴보면, 예선사용, 주기조작, 조타, 소요시간의 모든 평가항목에서 전후진반복 출항방식이 타 출항방식에 비해서 상대적으로 선박운항자에게 조종부하를 가장 높게 미치는 것으로 나타나고 있다. 출항방식별 각 평가항목에 대한 구체적인 퍼지 평가치는 Table 7과 같다.

Table 7 Overall evaluation value $h(\cdot)$

구분	$h(x_1)$	$h(x_2)$	$h(x_3)$	$h(x_4)$
A	0.212	0.000	0.115	0.212
B	1.000	1.000	1.000	1.000
C	0.868	0.833	0.808	0.792

4.3 출항방식 선호도 종합평가

출항방식 선호도를 평가하기 위하여 이상의 절차에 의해 퍼지측도치 $g(\cdot)$ 와 퍼지 평가치 $h(\cdot)$ 가 구한 후 퍼지적분을 이용하여 통합평가를 실시하였다. 각 평가항목의 종합평가 결과는 Table 8에 보이는 바와 같이 3개 평가대상 즉, 출항방식중에서 전후진반복출항방식(B)에 대한 평가점수가 1.000으로 가장 높게 나타난 것은 선박운항자가 느끼는 조종부하가 가장 크다는 것을 것을 의미한다. 따라서 선박운항자는 평가점수가 가장 적은 일방통행형출항방식(A)을 가장 선호하며 그 다음으로 회두출항방식(C)을 선호하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 출항방식에 따라 예선, 주기, 조타 등의 빈번한 사용과 전체 소요시간이 많으면 선박운항자가 조종부하를 크게 느끼게 되고 그러한 출항방식에 대해서는 조종부하경감 방안이 필요함을 알 수 있다.

Table 8 Evaluation results of each way of departure by fuzzy integral

구분	평가항목	평가절차				평가점수
		1	4	3	2	
A	평가항목	1	4	3	2	0.212
	퍼지평가치	0.212	0.212	0.115	0.000	
	퍼지측도치	0.574	0.636	0.775	1.000	
B	평가항목	1	2	3	4	1.000
	퍼지평가치	1.000	1.000	1.000	1.000	
	퍼지측도치	0.574	0.819	0.938	1.000	
C	평가항목	1	2	3	4	0.819
	퍼지평가치	0.868	0.833	0.808	0.792	
	퍼지측도치	0.574	0.819	0.938	1.000	

5. 결 론

본 연구는 선박운항자의 조종부하경감관점에서 3가지 출항방식에 대한 선호도를 퍼지적분모델을 이용하여 평가하였다.

이상의 평가결과에서 선박운항자는 입구와 출구가 별개로 마련된 형태의 항만에서 일방통행 출항방식을 가장 선호하는

것으로 파악되었고, 예선, 주기, 조타의 빈번한 사용과 소요시간이 가장 많은 전후진반복 출항방식에 대해서는 가장 높은 조종부하를 느끼는 것으로 평가되었다. 또한, 부두에서 이안 후 장회두하여 출항하는 방식에 대해서는 어느 정도 높은 조종부하를 갖는 것을 알 수 있었다.

따라서 이와 같은 평가결과를 바탕으로 선박의 입출항조선시에 선박운항자의 조종곤란성에 기인하는 조종부하를 경감하고 안전운항을 확보하기 위한 관점에서 출항방식에 대해 검토할 필요성이 있다고 사료된다.

본 연구의 차후 연구로는 목포신외항과 같은 항만수역에 실제 접안이 가능한 대상선박을 선정하고 실험조건에 조류, 파도, 바람 등 외력의 영향을 고려하여 선박조종시뮬레이터를 이용한 시뮬레이션 실험실시와 그 결과를 근거로 한 출항용이성을 고려한 선박의 일방통행형 집안자세를 검증하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] 금중수·윤명오·장운재(2001), 퍼지적분 모델을 이용한 연안해역의 항행 안전성 평가에 관한 연구, 한국항해학회지, Vol.25, No. 4, pp. 381~391.
- [2] 本多中ニ·大里有生(1989), ファジィ工學入門, 海文堂.
- [3] 木下榮藏(1997), わかりやすい 數學モデルによる 多変量解析入門, 近代科學社, pp. 189~201.
- [4] 大西眞一·今井英幸·河口至商(1997), ファジィAHPにおける感度分析を用いた重要度の安全性の評価, 日本ファジィ學會誌, VOL.9, NO.1.
- [5] 井上欣三(1999), 港灣における航行安全と危機管理-水先制度の規制緩和論争から一, 日本航海學會誌, 第141号.
- [6] 井上欣三·胡志武(2002), 操縦負荷軽減の観点からみた一方通航型港灣の検討, 日本航海學會論文集, 第107号.
- [7] 日富·小瀬(1994), 閉塞された水路の航行危険度の評價尺度に関する研究, 日本航海學會論文集, 第91号.
- [8] 小林他(1994), 2nd'ry taskによる人間の作業負擔評價について, 日本航海學會論文集, 第91号.
- [9] A.Lipnickas(2001), Classifiers fusion with data dependent aggregation schemes, 7th International Conference on information Networks, System and Technologies.
- [10] T.L. Satty & K.P. Kearns(1985), *Analytical Planning*, Pergamon press.
- [11] T.L. Satty(1980), A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structure, *Journal of Mathematical psychology* Vol.15, No.3.
- [12] W. Yoram & T.L. Satty, Marketing application of AHP, *Management Science* Vol.26, No.27, 1980.