

선박운항 안전성 평가를 위한 시뮬레이션 조건 도출 연구

† 공인영 · 권세혁* · 김선영**

†, ** 한국해양연구원 책임연구원, * 한남대학교 정보통계학과 교수

Determination of Simulation Conditions for Ship-handling Safety Assessment

† Inyoung Gong · Sehyug Kwon* · Sunyoung Kim**

†, ** Korea Ocean Research and Development Institute, Daejeon 305-343, Korea

* Department of Statistics, Hannam University, Daejeon 306-791, Korea

요 약 : 항만이나 항로에서의 심층적인 선박운항 안전성 평가를 위한 목적으로 주로 선박운항 시뮬레이션 시스템이 사용되고 있다. 하지만, 실제 해상에서 선박이 조우할 수 있는 환경 조건은 매우 다양한 반면, 비용이나 시간적인 제약으로 인하여 실시간 선박운항 시뮬레이션은 극히 한정된 경우에 대해서만 수행되는 것이 일반적이다. 본 논문에서는, 이러한 실시간 시뮬레이션 실험 조건을 효과적이고 체계적으로 도출하기 위한 통계적 기법에 대하여 제안하고, 이 기법을 실제 선박 운항 안전성 평가를 위한 시뮬레이션 연구에 적용한 실증 분석 결과를 사례 연구로 기술하였다. 실증 분석에는 주성분을 이용한 종합 운항 난이도 산정 방법과 누적 확률분포 개념을 이용하여 선박 운항 난이도가 높은 실험 조건을 실시간 시뮬레이션 실험 조건으로 선택하는 기법을 제시하였다.

핵심용어 : 선박운항 안전성 평가, 시뮬레이션 실험 조건, 선박운항 난이도, 주성분 분석, 누적 확률분포 함수, 실시간 시뮬레이션, 배속 시뮬레이션

Abstract : Ship-handling simulation system has been used for maritime traffic safety assessment for harbor and fairway. There exist various environmental conditions under which ship may navigate along a fairway or in harbor. Due to the time and budget limitations, however, ship-handling simulations are usually carried out for very limited number of environmental conditions. In this paper, statistical method for effective and systematic determination of real time simulation conditions is suggested and applied to the maritime traffic safety assessment problems. In the empirical study, the principal component analysis method and the concept of empirical cumulative distribution function are suggested to estimate synthetic navigational difficulty and to select simulation conditions which would impose high difficulty on shiphandling.

Key words : Ship-handling Safety Assessment, Simulation Condition, Navigational Difficulty, Principal Component Analysis, Cumulative Distribution Function, Real Time Simulation, Fast Time Simulation

1. 서 론

항만이나 항로에서 선박의 운항 안전성에 영향을 미치는 요소는 매우 많다. 항로의 폭이나, 수심, 굴곡부 배치, 부두 평면 배치 등과 같은 지리적 특성 외에, 선박 운항 당시의 바람(풍속, 풍향), 조류(방향 및 세기), 파랑(파향, 파고, 파장) 등과 같은 자연 환경 조건이 선박 운항에 영향을 미칠 수 있다. 또한 선박의 선형이나 크기, 하중 상태, 조종성능, 선원의 능력, 주변에 존재하는 타선 분포 등과 같은 해상교통 여건 등에 따라서도 선박의 운항 안전성은 크게 달라질 수 있다.

이러한 여러 가지 상황에서의 선박운항 안전성을 사전에 종합적으로 검토하기 위한 목적으로 시뮬레이터 시스템을 이용한 선박운항 시뮬레이션 기법이 많이 사용되고 있다. 선박운항 시뮬레이션 결과로서, 타, 엔진, 예선, 쓰러스터 등과 같

은, 선박을 제어하기 위한 여러 가지 명령 값과 이로 인한 선박의 거동이 기록되며, 이를 분석함으로써 특정 해상/기상 조건 하에서의 선박운항 안전성에 대한 정량적, 정성적 분석이 가능하다.

이러한 시뮬레이션은 통상적으로 선박운항 전문가들에 의해 수행되는데, 이 경우, 시뮬레이션을 실시간(Real Time)으로 수행하는 것이 불가피하다. 최적의 항만이나 항로 설계안을 도출하기 위하여, 선박이 처할 수 있는 다양한 환경 하에서 선박운항 시뮬레이션을 모두 실시할 수 있으면 최선이겠지만, 실시간 시뮬레이션에 소요되는 비용이나 시간상의 제약으로 인하여, 극히 제한된 항행환경 조건에 대한 시뮬레이션 평가만 가능한 것이 현실이다. 따라서 대부분의 경우, 선박운항 난이도가 높을 것으로 예상되는 극한 항행 조건을 조합하여 시뮬레이션을 실시하는 것이 일반적이는데(이 외, 2007; 정 외,

† 교신저자 : 공인영(종신회원), iygong@moeri.re.kr 042)868-7261

* 정희원, wolfpack@hannam.ac.kr 042)629-7622,

** 정희원, sykim@moeri.re.kr 042)868-7113

2005; 정 외, 2007), 이는 선박이나 항로가 가지고 있는 문제점은, 이러한 극한 조건에서 가장 극명하게 평가될 수 있어 문제점 및 그 해결책 도출에 활용될 수 있을 뿐만 아니라, 만일 이러한 조건에서도 문제가 없을 경우, 이보다 유리한 조건에서는 선박운항의 안전성이 확보될 수 있다고 가정할 수 있기 때문이다.

하지만, 이러한 극한 항행 조건을 설정하는 체계적인 기법은 아직 정립된 것이 없으며, 현재는 선박 운항자의 경험 등에 주로 의존하고 있는 실정이다. 항로의 배치가 단순하지 않거나, 조류나 바람의 영향이 강한 해역일 경우, 선박 운항에 가장 어려운 조건을 직관적으로 파악하는 것은 쉽지 않은 문제이다. 선박운항 안전성 평가를 위한 실시간 시뮬레이션 조건을 어떻게 선택하느냐에 따라 안전성 평가 결과가 달라질 수 있음을 고려한다면, 이러한 시뮬레이션 조건을 체계적으로 결정할 수 있는 기법의 정립이 필요하다.

본 논문에서는, 단시간에 상대적으로 많은 조건에 대한 평가가 가능한 배속 시뮬레이션(Fast Time Simulation) 결과를 통계적으로 분석하여, 실시간 시뮬레이션(Real Time Simulation) 실험 조건을 도출하는 기법을 제안하고, 실제 사례에 대한 적용을 통해 그 적용 가능성을 평가하여 보았다. 본 기법을 이용하면, 그 횟수가 제한적일 수밖에 없는 실시간 시뮬레이션 실험 조건을 체계적으로 결정할 수 있을 것으로 판단된다.

본 논문에서 제시된 각종 통계분석은, Minitab사의 통계분석 SW인 Minitab Ver.14.0 프로그램을 활용하였다.

2. 실시간 시뮬레이션 실험 조건 선택

2.1 개요

실험시 고려해야 할 변수의 종류가 많아, 이들을 조합한 실험 조건의 수가 현실적으로 수행 가능한 실험 회수를 초과하는 경우, 실험 조건을 체계적으로 줄이는 기법으로서 Fractional Factorial Design(일부 요인 실험설계) 기법이나 Placket and Burman 실험설계 기법 등이 사용되고 있다(Montgomery, 2001). Placket and Burman 실험설계기법은 요인 수준 수가 2 개이고 유의한 요인을 탐색하는데 주로 사용되며, 일부 요인 설계 기법은 요인의 수가 많고 수준 수가 동일한 경우 실험 조건을 줄이는데 효과적이다. 하지만, 선박 운항 시뮬레이션의 경우에는, 풍향, 풍속, 조류 세기 및 방향 등과 같은 요인들의 수준 수가 일정하지 않아, 이러한 기법으로 실시간 선박운항 시뮬레이션의 실험 조건을 줄이는 것은 쉽지 않다.

이러한 문제점의 해결을 위해, 본 논문에서는 배속 시뮬레이션 결과를 통계적으로 분석하여 시뮬레이션 횟수를 선택함으로써, 실시간 시뮬레이션 실험 조건을 체계적으로 결정하는 방법을 제안하고자 한다.

배속 시뮬레이션은 실제 자연 현상이나 인간의 의사결정

행동 등에 포함된 확률적 분포 요인을 고려하지 않은, 비교적 단순화된 수학적(물리적) 의사결정 모형에 근거하여 시뮬레이션이 실시되므로(공, 1998), 시뮬레이션 입력 조건이 동일한 경우 출력 결과가 항상 동일하여, 어떤 환경 조건에서의 선박의 운항 안전성을 최종적으로 판단하기 위한 목적으로 사용하기에는 부적합한 단점이 있다. 하지만, 배속 시뮬레이션에서는 선박 운항에 대한 선원의 의사결정 과정을 모델링한 선박 자동운항 알고리즘을 이용하여 시뮬레이션이 실시되므로, 선박 운항 난이도에 영향을 미칠 수 있는 여러 가지 조건들을 체계적으로 변화시키면서 상대적으로 많은 조건에 대하여 고속으로 시뮬레이션을 수행하는 것이 가능하다. 따라서 배속 시뮬레이션의 이러한 장점을 활용하여, 선박운항 난이도가 일정 수준 이상으로 높게 나타나는 실험 조건을 고찰한다면, 실시간 시뮬레이션 조건에 대한 단서를 충분히 얻을 수 있다.

2.2 선박운항 난이도

배속 시뮬레이션 결과를 분석하면, 항행환경 조건 변화에 따른 선박운항 난이도 변화를 정성적, 정량적으로 파악할 수 있다. 만일 어떤 항행환경 조건에서 선박운항 난이도가 상대적으로 높게 나타난다면, 그 조건에서는 그만큼 선박의 안전 운항이 어렵다고 할 수 있으며, 따라서 이러한 조건은 실시간 선박운항 시뮬레이션의 실험 조건으로 선택될 수 있다.

문제의 성격에 따라 다양한 종류의 선박운항 난이도 지수를 정의하여 활용할 수 있겠지만, 본 논문에서는, 시뮬레이션 결과로부터 일반적으로 정량화할 수 있는 다음의 세 가지 지수를 선박운항 난이도 지수로 사용하기로 한다(Gong, 2007).

- 1) 타 사용량 지수 : 예정된 항로를 운항하는 동안 침로를 변경하거나 외력에 대항하여 침로를 유지하기 위하여 사용한 평균 타각.
- 2) 여유 제어량 지수: 선박의 침로를 변경하거나 혹은 외력에 대항하여 침로를 유지하는 과정에서 타나 엔진을 사용하는 데, 이러한 상황에서 장애물을 피하기 위하여 추가로 변침이나 보침을 위하여 사용할 수 있는 평균 여유 제어량
- 3) 표류량 지수: 타의 사용으로 인한 선회 중에, 혹은 바람이나 조류에 의한 선박의 압류에 대항하여 원래 침로를 유지하는 과정에서, 선박의 실제 진행 방향과 船首의 방향이 얼마나 차이가 있었는가를 종합적으로 정량화한 값

한편, 이러한 여러 가지 운항 난이도 지수의 측정 속성과 단위가 다르므로, 어떤 상황에서의 종합적인 운항 난이도를 산출하는 경우, 이러한 지수들의 산술 평균보다는 가중 평균이 적절하다. j 번째(예를 들면, $j=1$ (타 사용 지수), 2 (표류량 지수), 3 (여유 제어량 지수), ...) 운항 난이도 지수를 R_j 라 하면 종합 운항 난이도 지수 R 은 식 (1)과 같이 정의할 수 있다.

$$R = \sum_{j=1}^J a_j R_j \quad (1)$$

여기서 J 는 사용된 운항난이도 지수의 총 개수이다.

2.3 주성분 분석 및 선박운항 종합 난이도

식 (1)과 같은 가중평균값의 개념으로 종합 운항 난이도 지수를 계산하려면, 각 난이도 지수의 가중 계수(a_j)값이 추정되어야 한다. 가중 계수를 구하는 방법으로 AHP 방법, 다속성 효용이론, 구조방정식 모형과 같은 계량경영기법을 사용할 수 있으나, 이들은 각 항목이 정성적인 경우 주로 사용하는 방법 이어서, 정량적인 선박운항 난이도 산정을 위한 가중 계수를 구하는 방법으로는 적합하지 않다. 따라서 본 연구에서는 가중 계수를 구하는 방법으로 주성분 분석을 제안한다.

주성분 분석은 원 변수의 선형 결합인 주성분 변수를 이용하여 원 변수의 공분산 구조를 설명하는 방법이다. 원 변수의 공분산 구조를 설명한다는 것은, 원 변수의 변동 합과 주성분 변수의 변동 합은 동일하다는 것을 의미한다. 원 변수를 (x_1, x_2, \dots, x_p) 라 하면 i 번째 주성분 변수는 다음과 같이 정의된다.

$$z_i = \sum_{j=1}^p a_{ij}x_j \quad (2)$$

주성분 분석에서는, 원 변수의 공분산(상관) 행렬로부터 고유값을 구하고 그에 대응하는 고유 벡터를 선형 계수로 하여 주성분 변수를 구하게 되는데, 이 주성분 변수는 서로 독립이며, 원 변수의 공분산 구조에 대한 설명 능력은 제 1 주성분 z_1 , 제 2 주성분 z_2 , ... 순이다. 주성분 분석의 주목적은 원 변수의 차원을 축소하는 것인데, 이를 위해 원 변수 공분산 구조를 80% 이상 설명하는 주성분만을 선택하게 된다. 원 변수들의 상관관계가 높은 경우, 제 1 주성분 하나로 원 변수 공분산 구조의 80% 이상을 설명할 수 있다.

선박운항 난이도를 표시하는 지수들처럼, 원 변수의 개수가 많지 않고 측정 변수들 사이의 상관관계가 높은 경우에 대한 주성분 분석 결과는, 제 1 주성분(z_1)만으로 원 변수 변동의 80% 이상을 설명할 수 있을 가능성이 매우 높다. 그러므로 제 1 주성분을 선박운항 종합 난이도로 사용할 수 있으며, 이에 대응하는 선형 계수가 선박 운항 종합 난이도 추정을 위한 가중계수가 된다.

2.4 실시간 시뮬레이션 실험조건 선택

각 실험 조건에서 배속 시뮬레이션을 수행한 결과, k -번째 실험 조건에서 추정된 선박운항 종합 난이도를 R_k 라 하면, 선박운항 난이도 R_k 값의 크기를 참조하여, 단순히 난이도가 높은 실험조건 일부를 실시간 시뮬레이션 조건으로 선택할 수도 있으나, 이러한 방법은 실험 환경에 따라 R_k 의 확률 분포 특성이 달라질 수 있으므로 체계적인 방법이라 할 수 없다. 본 논문에서는, 배속 시뮬레이션 결과로부터 추정된 R_k 에 적합한 누적 확률분포 함수를 추정하고, 이를 이용하여 선박운항 난이도 상위 10%인 백분위 선박운항 난이도를 추정 후, 추정된 10% 백분위 값을 넘는 선박운항 난이도를 가진 실험 조

건을 실시간 시뮬레이션 조건으로 선택하는 방법을 사용한다. 이렇게 결정된 실험 조건은 통계적으로 출현 가능한 상위 10%의 난이도를 대표하는 실험 조건으로 간주할 수 있다. 여기서, 난이도의 상위 값으로 10%를 사용한 특별한 이유는 없으며, 이 값이 커지면 시뮬레이션 조건의 수가 늘어나고, 반대로 작아지면 시뮬레이션 조건의 수가 줄어들게 된다. 따라서, 난이도 상위 값의 구체적인 값은, 시뮬레이션 조건 설계자가 원하는 시뮬레이션 실험 횟수에 따라 조정이 가능하다.

3. 항로 안전성 평가 시뮬레이션에의 적용

3.1 배속 시뮬레이션 조건

제2장에서 기술한, 선박운항 시뮬레이션 조건 설정 기법을 실제 문제에 적용하였다. 대상 항로는 당진 및 태안 화력 부두 접근항로이며, 이 부두에 만재상태로 입항하는 15만 DWT급 석탄운반선의 운항 안전성을 평가하기 위한 실시간 시뮬레이션 조건을 각각 결정하는 문제에 본 기법을 적용하였다.

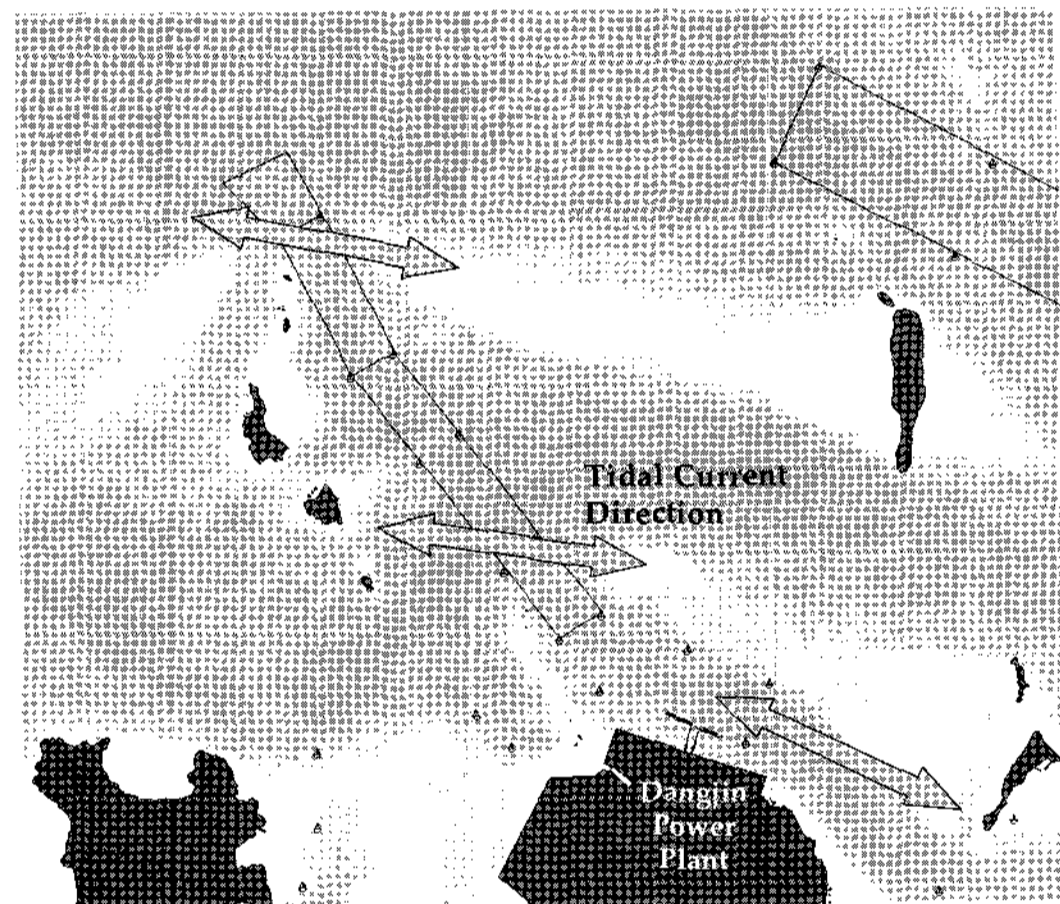


Fig. 1 Approach channel for Dangjin Power Plant and tidal current conditions

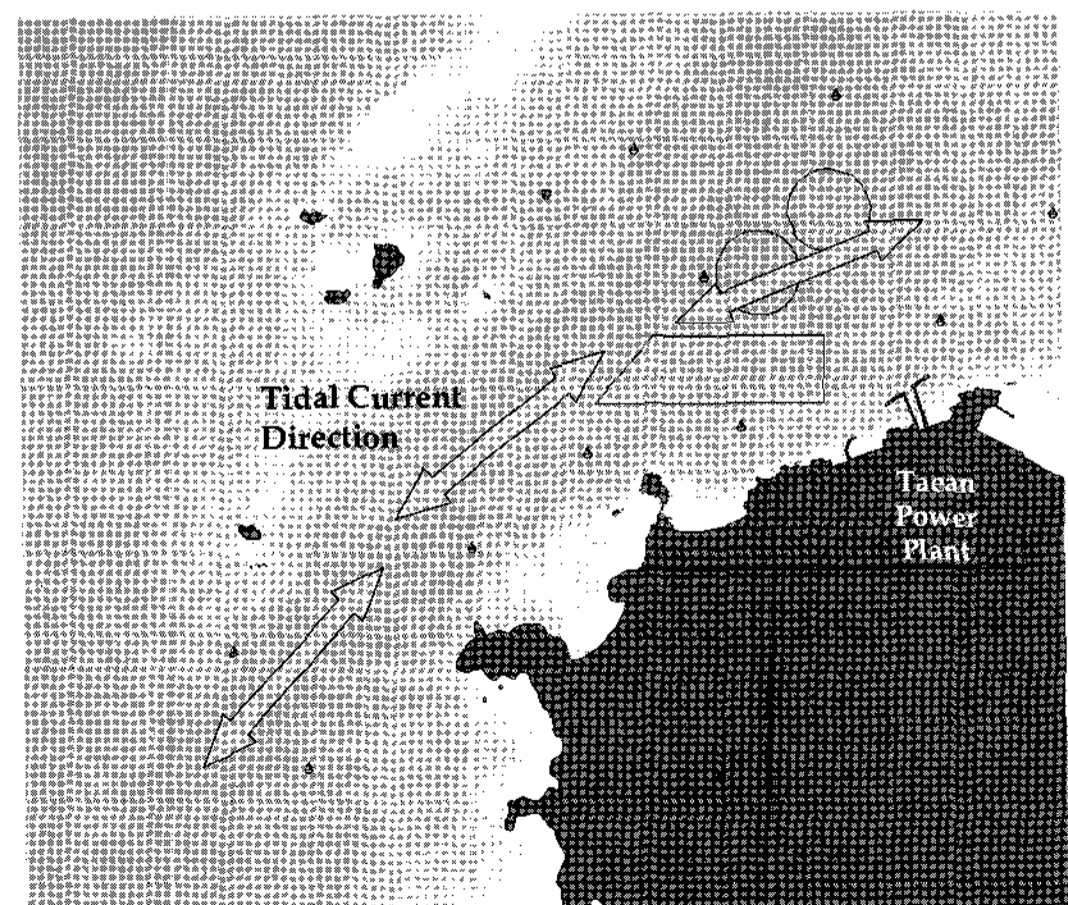


Fig. 2 Approach channel for Taean Power Plant and tidal current conditions

Fig. 1 및 Fig. 2는 당진화력 및 태안화력 부두와 그 접근 항로, 그리고 항로상에서의 주된 조류 방향을 각각 개략적으로 도시한 것이다.

각 접근항로에서의 배속 시뮬레이션 조건은 Table 1에 정리되어 있다. 대상 선박의 입항시 선박운항 안전성에 영향을 미칠 것으로 판단되는 주요 변수(풍속, 풍향, 조류)의 수준을 변화시키면서 배속 시뮬레이션을 실시하였다. 단, 조류의 경우, 실제 약낙조에서 저조정조 사이의 시간대에서만 입항 및 접안 작업이 이루어짐을 감안하여, 조류 조건은 고정시킨 상태에서, 풍속과 풍향만을 변화시키면서 49개의 실험조건을 설정하였다.

Table 2는 대상 해역(당진 및 태안항)에서의 풍향/풍속(평균풍속)별 출현율을 정리한 것이며, 각 풍속 구간의 최대값을 배속 시뮬레이션시 실험 조건으로 사용하였다.

Table 1 Fast time inbound simulation conditions

선박	풍속	풍향	조류
입항 15만 DWT급 석탄운반선 (만재상태)	0 5 15 25 (knots)	N~ NNW (22.5도 간격, 16풍향)	약낙조~ 저조정조

Table 1 Appearance frequency of wind conditions

Speed(m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
0.3-3.3	6.5	6.5	9.3	5.3	3.0	1.4	1.7	2.0	4.5
3.4 - 7.9	2.2	1.6	1.6	1.0	0.4	0.1	0.2	0.5	2.2
8.0 - 13.8	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
Speed(m/s)	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	CALM	
0.3 - 3.3	4.0	4.1	2.7	2.6	1.9	3.5	4.0	12.0	
3.4 - 7.9	2.6	2.3	1.5	1.1	1.6	2.5	2.1	0.0	
8.0 - 13.8	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0	

자료 : 기상연보, 1971년~2000년

3.2 주성분 분석 및 선박운항 종합 난이도 추정

Table 1에 설정한 조건들의 조합에 대하여, 각 접근항로에서 배속 시뮬레이션을 각각 실시하고, 그 결과를 분석하여 2.2절에서 언급한 선박운항 난이도 지수를 각각 추정하였다. 이로부터 각 운항 난이도 지수들의 상관관계 정도와 상관계수 부호를 고려한 선박 운항 종합 난이도를 얻기 위하여 주성분 분석을 실시한 결과가 Table 3에 정리되어 있다. Table 4는 이렇게 추정된 각 조건에서의 종합 운항 난이도를 정리한 것이다.

Table 3 Weights for each navigational difficulty index

운항 난이도 지수	당진화력 접근항로	태안화력 접근항로
타 사용량	0.66	0.64
표류량	0.32	-0.46
여유 제어량	-0.68	-0.62

Table 4 Assessment of synthetic navigation difficulty

No.	풍속 (Knots)	풍향	출현율 (A,%)	출현율 비고려		출현율 고려	
				당진(B)	태안(C)	당진(AxB)	태안(AxC)
1	5.0	S	4.5	3.36	4.76	0.151	0.214
2	15.0		2.2	3.55	3.45	0.078	0.076
3	25.0		0.1	5.90	1.88	0.006	0.002
4	5.0	SSW	4	3.41	4.67	0.136	0.187
5	15.0		2.6	4.11	2.98	0.107	0.078
6	25.0		0.3	6.32	0.69	0.019	0.002
7	5.0	SW	4.1	3.53	4.68	0.145	0.192
8	15.0		2.3	4.66	3.21	0.107	0.074
9	25.0		0.2	7.71	0.00	0.015	0.000
10	5.0	WSW	2.7	3.51	4.70	0.095	0.127
11	15.0		1.5	4.31	3.48	0.065	0.052
12	25.0		0.1	8.33	0.09	0.008	0.000
13	5.0	W	2.6	3.80	4.72	0.099	0.123
14	15.0		1.1	4.04	3.45	0.044	0.038
15	25.0		0.1	4.08	0.39	0.004	0.000
16	5.0	WNW	1.9	3.68	4.76	0.070	0.090
17	15.0		1.6	4.10	3.74	0.066	0.060
18	25.0		0.2	4.77	2.02	0.010	0.004
19	5.0	NW	3.5	3.81	4.75	0.133	0.166
20	15.0		2.5	4.03	4.37	0.101	0.109
21	25.0		0.2	5.09	3.72	0.010	0.007
22	5.0	NNW	4	3.71	4.86	0.149	0.194
23	15.0		2.1	4.07	5.06	0.086	0.106
24	25.0		0.1	4.34	5.07	0.004	0.005
25	5.0	N	6.5	3.59	4.98	0.233	0.324
26	15.0		2.2	3.61	5.11	0.079	0.112
27	25.0		0.1	4.53	4.93	0.005	0.005
28	5.0	NNE	6.5	3.62	5.08	0.235	0.330
29	15.0		1.6	3.08	5.25	0.049	0.084
30	25.0		0	3.68	5.52	0.000	0.000
31	5.0	NE	9.3	3.30	5.06	0.307	0.470
32	15.0		1.6	3.02	5.38	0.048	0.086
33	25.0		0.1	3.33	6.05	0.003	0.006
34	5.0	ENE	5.3	3.11	5.09	0.165	0.270
35	15.0		1	2.39	5.49	0.024	0.055
36	25.0		0	0.93	6.44	0.000	0.000
37	5.0	E	3	3.05	5.03	0.092	0.151
38	15.0		0.4	2.36	5.52	0.009	0.022
39	25.0		0	0.39	6.13	0.000	0.000
40	5.0	ESE	1.4	3.03	4.92	0.042	0.069
41	15.0		0.1	2.26	5.21	0.002	0.005
42	25.0		0	0.00	6.03	0.000	0.000
43	5.0	SE	1.7	3.27	4.86	0.056	0.083
44	15.0		0.2	2.41	4.92	0.005	0.010
45	25.0		0	3.72	5.27	0.000	0.000
46	5.0	SSE	2	3.25	4.81	0.065	0.096
47	15.0		0.5	2.81	4.40	0.014	0.022
48	25.0		0	4.84	3.55	0.000	0.000
49	0	Calm	12	3.50	4.90	0.419	0.589

Table 4에 표시한 출현율은 Table 2에 표시된 풍향 및 풍속별 출현율을 의미하며, 출현율을 고려한 난이도 값은, 출현율을 고려하지 않은 운항 난이도에 출현율 값을 곱하여 추정된 결과이다. 당진 및 태안 화력은 유사한 해역에 있어서, 동일한 풍향/풍속 출현율을 사용할 수 있다고 가정하였다.

Table 3에 보이는 (-) 부호는, 해당 지수가 전체 종합난이도와 음의 상관관계를 가지는 것으로 분석되었음을 의미한다. 즉, 여유제어량 지수의 경우, 그 값이 커질수록 종합 운항난이도는 감소함을 의미한다. Fig. 1에서 보듯이, 당진화력 진입항로의 경우 항로의 방향과 조류의 방향이 비교적 큰 각도를 이

루고 있어, 표류량 지수와 종합난이도 지수가 양의 상관관계를 가지는 것으로 분석되었다. 한편, Fig. 2에 보이는 태안화력 진입항로의 경우, 항로의 방향과 조류의 방향이 거의 일치하여, 표류량 지수값 자체가 그리 크지 않으며, 또한 표류량 지수와 종합 난이도 지수가 음의 상관관계를 가지는 것으로 분석되었다.

이로부터, 각 운항 난이도 지수를 종합하여 종합적인 운항 난이도 지수를 구할 경우, 상황에 따라 다른 가중 계수 값을 사용하여야 함을 알 수 있다.

3.3 확률분포 함수 추정

이상에서, 타 사용량, 표류량, 여유 제어량 지수의 상관관계수 행렬을 활용하여 제 1 주성분의 선형 계수 값을 얻고, 이를 가중계수로 하여 종합적인 선박운항 난이도를 계산한 후(Table 4), 이에 대한 실증 확률분포를 적합시켰다. 주성분 계수를 이용하여 구한 종합 난이도가 음수인 경우가 발생하면, 최소값이 0이 되도록 변환하여 확률분포 함수를 적합시켰다.

각 실험 조건에서의 종합 난이도를 분석한 후, 표본의 크기 49인 선박운항 종합 난이도 표본 데이터에 대한 기초통계량, 히스토그램 분석, 정규성 검정 등을 실시하였으며, 한 쪽으로 치우친 분포 경향과 산포가 넓은 선박운항 난이도 데이터 속 정상, 감마 분포, 와이블 분포, 정규 분포, 로그정규분포 위주로 적합시켜 가장 유의한 분포를 구하였다.

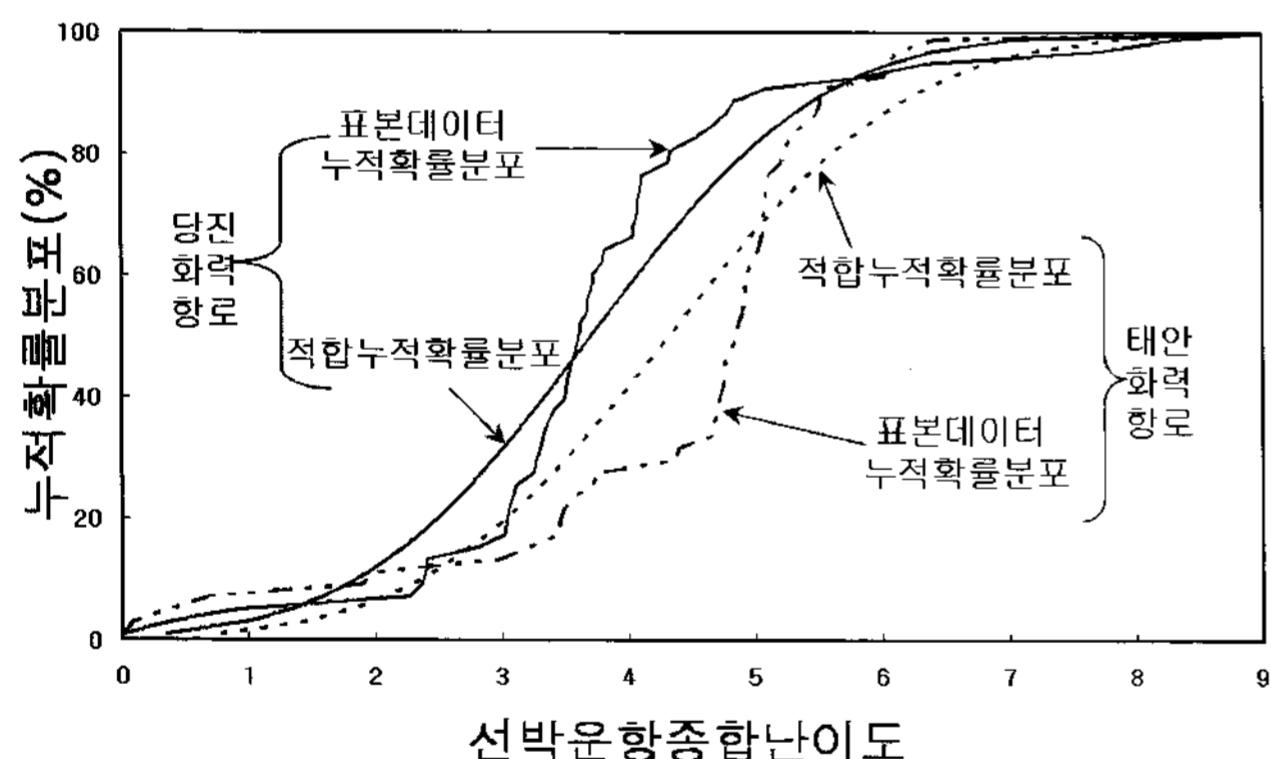


Fig. 3 Cumulative distribution function estimation for synthetic navigational difficulty of Dangjin and Taean approach channel

당진화력과 태안화력 종합 난이도 지수에 대한 확률분포함수를 적합시킨 결과, 출현율을 고려하지 않은 선박운항 난이도의 경우 정규분포가 가장 적합한 것으로 분석되었다.

Fig. 3은 당진 및 태안 화력 접근항로에서의 종합 운항 난이도 지수에 대한 적합 누적확률분포(정규분포)와 표본 데이터 누적확률분포함수(계단 형태의 선)를 각각 도시한 것이며, Table 5는 정규분포 적합 결과를 정리한 것이다.

Fig. 4는 Table 2의 항행 환경 조건 출현율을 고려한 종합 난이도 지수에 대한 적합 누적확률분포와 데이터 누적확률분

포함수를 나타낸 것이며, 이 경우에는 감마분포가 적합한 것으로 분석되었다. 선박운항 난이도에 대한 가중 평균이므로 출현 빈도가 없는 실험조건의 관측값은 제외하고 확률분포함수를 적합시켰다. Table 6은 감마분포 적합 결과를 정리한 것이다.

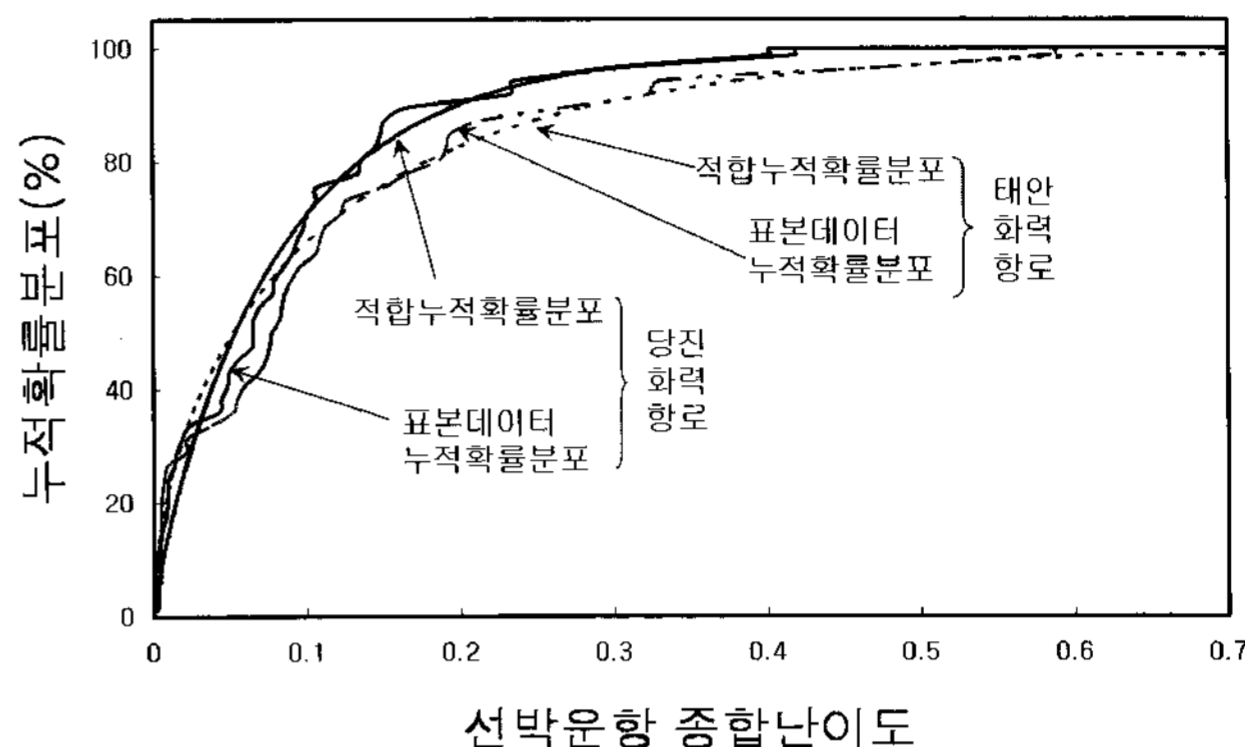


Fig. 4 Cumulative distribution function estimation for synthetic navigational difficulty of Dangjin and Taean approach channel (Appearance frequency considered)

Table 5 Estimated distribution function for synthetic navigational difficulty

난이도	항로	당진	태안
종합 운항 난이도		정규 $\mu = 3.7$ $\sigma = 1.45$	정규 $\mu = 4.32$ $\sigma = 1.53$

Table 6 Estimated distribution function for synthetic navigational difficulty((Appearance frequency considered)

난이도	항로	당진	태안
종합 운항 난이도		감마 $\alpha = 0.83$ $\beta = 9.87$	감마 $\alpha = 0.53$ $\beta = 20.6$

Table 2에서 보듯이, 가중 값으로 사용되는 풍향 및 풍속별 출현율의 분포가 한 쪽으로 치우친 경향이 있으며, 따라서 이러한 출현율을 고려한 선박운항 난이도 분포도 우로 치우친 경향을 보이고 있어 감마분포와 유사한 형태로 적합되고 있음을 알 수 있다.

분포함수는 다르나 Table 5와 Table 6(출현율 고려)의 분포 형태는 우로 치우친 형태로 유사하다. 난이도가 높은 실험 조건의 출현율은 낮고, 난이도가 낮은 실험 조건의 출현율은 높다. 또한 출현율의 영향이 매우 커서, 출현율을 고려할 경우 선박운항 난이도가 높은 실험 조건은 그 빈도가 낮은 쪽으로

분포된다. 또한, 출현율의 영향으로, 출현율을 고려한 운항 난이도의 분포 형태는 출현율의 분포와 유사하게 되어, 항로가 다르더라도 항행 환경 조건의 출현율이 같으면 운항 난이도 분포가 유사해짐을 알 수 있다.

3.4 실시간 시뮬레이션 조건 선택

Table 7은 선박운항 종합 난이도에 각각 적용된 누적확률 분포함수를 이용하여 추정된 선박운항 난이도 상위 5%, 10%, 그리고 20% 백분위 값을 각각 정리한 것이다.

Table 7 Cumulative percentile for navigational difficulty

난이도		항로	당진	태안
선박운항 종합 난이도	5%		6.08	7.39
	10%		5.55	6.61
	20%		4.91	5.67
선박운항 종합 난이도 (출현율 고려)	5%		0.26	0.41
	10%		0.20	0.29
	20%		0.14	0.18

Table 8 및 Table 9는, 49개 실험조건 중 선박운항 난이도 10% 및 20% 백분위 값 이상의 선박운항 난이도를 갖는 실험 조건의 개수를 각각 정리한 것이며, Table 10은 이렇게 결정된, 각 항로에서의 실시간 시뮬레이션 조건을 정리한 것이다. 이러한 조건은 Table 4에 음영으로 표시되어 있다.

출현율을 고려하는 경우 출현율의 영향이 커서 실험조건이 유사한 지역에서는 동일한 실험 조건이 선택되고 있음을 알 수 있다. 태안과 같이 선박운항 난이도 분포가 실제로 좌우 치우친 분포의 경우에는, 좌우 대칭인 정규분포에 의해서는, 운항 난이도 상위 10%인 실험 조건을 찾을 수 없었다. 이러한 경우에는 상위 20% 백분위 값을 이용하여 실험조건을 결정하였다.

Table 8 Number of simulation conditions for the 90th percentile

난이도		항로	당진	태안
선박운항 종합 난이도			4	0
선박운항 종합 난이도 (출현율 고려)			3	3

Table 9 Number of simulation conditions for the 80th percentile

난이도		항로	당진	태안
선박운항 종합 난이도			5	4
선박운항 종합 난이도 (출현율 고려)			8	8

Table 10 Selected simulation conditions for each approach channel

난이도		항로	당진	태안
선박운항 종합 난이도 상위 조건		S	25 Knots	NE 25 Knots
		SSW	25 Knots	ENE 25 Knots
		SW	25 Knots	E 25 Knots
		WSW	25 Knots	ESE 25 Knots
선박운항 종합 난이도 상위 조건 (출현율 고려)		N	5 Knots	N 5 Knots
		NE	5 Knots	NE 5 Knots
		NNE	5 Knots	NNE 5 Knots

이상으로부터, 대상 선박이 대상 항로를 운항하는 동안 조우할 수 있는, 가장 난이도가 높은 극한 항행환경 조건과 난이도는 상대적으로 다소 낮지만, 난이도와 출현빈도가 동시에 고려된 항행환경 조건이 잘 도출되고 있음을 알 수 있다.

여기에서 선박운항 종합 난이도 상위 조건으로, Table 4에 보듯이, 풍향/풍속 출현율이 0인 조건이 일부 도출되고 있음을 알 수 있다. 이러한 조건을 선박운항 시뮬레이션 조건으로 선택할 것인가는 선박운항 시뮬레이션 조건 설계자가 최종적으로 결정할 문제이다. 출현율 0의 의미가, 실제로는 매우 작은 값을 의미한다면, 확률상 나타날 수 있는 조건이므로, 최악의 운항 조건을 설정한다는 의미에서 조건으로 선택할 수 있으나, 만일 정말 이러한 풍향/풍속의 바람은 존재할 수 없다고 판단되면, 다음 난이도의 조건을 시뮬레이션 조건으로 선택하는 것이 바람직하다.

출현율을 고려한 선박운항 종합 난이도 상위 조건을 보면, 비교적 낮은 풍속의 조건이 선택되고 있음을 알 수 있다. 이러한 조건은, 출현율과 난이도를 동시에 고려하였을 경우, 그 곱이 최대가 되는 조건으로서 도출된 것이다. 선박운항 시뮬레이션시, 선박운항에 가장 불리한 극한 조건 외에, 통상적인 조건에서 시뮬레이션을 실시할 경우 선택할 수 있는 조건이라고 판단된다.

4. 결 론

항만이나 항로에서의 선박운항 안전성을 판단하기 위하여 사용되는 실시간 선박운항 시뮬레이션은, 비용이나 시간적인 제약으로 인하여 수행할 수 있는 시뮬레이션 조건이 극히 한정된다. 본 논문에서는, 이러한 시뮬레이션 조건을 체계적으로 결정하기 위하여, 배속 시뮬레이션 결과를 통계적으로 분석하는 기법을 제안하였다.

광범위한 선박운항 환경 조건에 대하여 배속 시뮬레이션을 실시한 후, 이로부터 문제의 성격에 맞는 선박운항 난이도를 정의하여 분석하고, 다시 주성분 분석 기법을 이용하여 각각의 난이도를 종합한 운항 종합 난이도를 정의하는 기법을 제시하였다. 또한, 운항 난이도에 적합한 확률분포함수(감마 분

포, 와이블 분포, 정규 분포, 로그정규분포)를 추정하고, 이를 이용하여 난이도가 높은 일부 실험조건을 선택하는 방안을 제시하였다.

실증분석에 사용된 데이터는 당진 및 태안 화력 부두 접근 항로에서의 배속 입항 시뮬레이션 실시 결과이다. 선박 운항 난이도로 타 사용량 지수, 표류량 지수, 여유 제어량 지수 등을 각각 정의하였으며, 주성분 분석 기법을 이용하여 이들 3개 운항 난이도를 종합화한 운항 종합 난이도 지수를 추정하였다.

또한, 각 환경 조건의 출현율을 고려하였을 경우의, 선박 운항 난이도에 대한 분석도 실시하였다. 종합 운항 난이도는 정규분포 혹은 감마분포로 적합되었으나, 출현율을 고려할 경우, 출현율의 영향이 커서 모든 운항 난이도에 대한 적합 확률분포는 감마분포가 되었다. 적합된 확률분포함수를 활용하여 운항 난이도가 높은 실험조건을 제시하였다.

종합 난이도 지수를 추정하기 위해, 어떤 지수를 이용할 것인가 하는 문제는, 추후 보다 심층적인 검토가 필요한 사안이다. 본 논문에서는 위의 3가지 지수를 이용하여, 종합적인 운항난이도를 추정하였으나, 엔진 사용량이나 근접도 등 문제의 성격에 따라 다른 지수를 이용할 수도 있을 것이다. 하지만, 어떤 지수를 사용하더라도, 본 기법의 적용은 가능하며, 또한 각 지수들 사이의 상관 관계는 주성분 분석 과정에서 자동적으로 고려된다는 장점이 있다.

본 기법을 이용하면, 그 횟수가 제한적일 수밖에 없는 실시간 선박운항 시뮬레이션 실험 조건을 보다 체계적으로 결정할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는, 한국해양연구원의 2007년도 기본연구사업인 “네트워크 기반 항만관제 및 항법체계기술 개발” 과제의 일부로서 수행되었다.

참 고 문 헌

- [1] 공인영, 김진환, 김연규(1998), “선박자동운항 알고리즘을 이용한 항로 안전성 평가기법 개발”, 해양환경공학회 춘계학술발표회.
- [2] 이윤석, 정민, 송재욱, 박진수, 박영수, 권익순(2007), “부산항 제1항로 진입 해역의 통항 개선에 관한 연구”, 한국항해항만학회지 제31권 제5호.
- [3] 정재용, 김철승, 정충식(2005), “여수해만 특정해역의 해상교통시스템 설정에 관한 연구”, 한국항해항만학회지 제29권 8호.
- [4] 정태권, 이동섭(2007), “선박조종시뮬레이션의 근접도 평가에서 연속 분석과 목표선 분석에 관한 비교 연구”, 한국항해항만학회지 제31권 제1호.
- [5] Gong, I. Y.(2007), “Assessment of Shiphandling Difficulty for an Approach Channel of a Harbor”, Proceedings of Coasts and Ports 2007 Conference.
- [6] Montgomery, D. G. (2001), “Design and Analysis of Experiment”, 5th edition, John Wiley and Sons Inc.
- [7] Johnson, D. E. (1998), “Applied Multivariate Methods for Data Analysis”, Design and Analysis of Experiment, Duxbury Press.

원고접수일 : 2008년 2월 4일

원고채택일 : 2008년 4월 24일