

선박운항 시뮬레이터 실험조건 축소화 연구

권세혁* · 오현승**†

*한남대학교 경상대학 비즈니스통계학과

**한남대학교 공과대학 산업경영공학과

Reduction of Simulation Number for Ship Handling Safety Assessment

S. H. Kwon* · H. S. Oh**†

*Department of Statistics, Hannam University

**Division of Industrial & Management Engineering, Hannam University

Ship handling simulator is a virtual ship navigating system with three dimensional screen system and simulation programs. FTS simulation can produce theoretically infinite experiment tests without time constraint, but which results in collecting deterministic observations. RTS simulation can collect statistical observations but has disadvantage of spending at least 30 minutes for a single experiment. The previous studies suggested that the number of experiment conditions to be tested could be reduced to obtain random data with RTS simulation by focusing on highly difficult experiment condition for ship handling. It has the limitation of not estimating the distribution of ship handling difficulty for the route. In this paper, similarity and clustering analysis are suggested for reduction methodology of experiment conditions. Similarity of experiment conditions are measured as follows: euclidean distance of ship handling difficulty index and correlation matrix of distance differences from the designed route. Clustering analysis and multi-dimensional scaling are applied to classify experiment conditions with measured similarity into reducing the number of RTS simulation conditions. An empirical result on Dangin harbor is shown and discussed.

Keywords : Simulator, Ship Handling Difficulty, Cluster Analysis, Multi-dimensional Scaling

1. 서론

항만을 건설하기 위해서는 사전에 선박 운항 위험도를 예측할 필요가 있어 구현된 것이 선박 운항 시뮬레이터이다. 실제 선박 조종실을 그대로 재현한 모의 조종실 주위에 대형 스크린을 설치하고 컴퓨터로 재현된 선박 주위의 3차원 영상을 연속적으로 투사하여 운항자가 실제와 동일한 상황에서 선박을 운항하는 효과를 낼 수 있도록

하는 가상선박 운항 장치이다. 대상 항로를 스크린에 재현하고 선박운항에 영향을 주는 요인인 풍속, 풍향, 조류, 파랑과 같은 기후 환경과 선박 특성을 확률 모형화하여 운항자의 모의실험을 통하여 실제 항만에서의 운항 데이터와 동일한 데이터 수집이 가능하도록 하였다. 해상교통 시뮬레이션 방법은 모든 실험 데이터를 컴퓨터 프로그램에 의해 얻는 배속 시뮬레이션과 운항자가 모의 실험실에서 운항 실험을 통하여 운항 데이터를 수집하는

논문접수일 : 2012년 01월 09일 게재확정일 : 2012년 01월 30일

† 교신저자 hsoh@hnu.kr

※ 이 논문은 2011년도 한남대학교 교비학술연구 조성비 지원에 의하여 연구되었음.

실시간 시뮬레이션으로 나뉜다. 배속 시뮬레이션에서는 실시간 데이터 수집이 가능하여 이론적으로 수많은 실험 조건에서 시뮬레이션 데이터 수집이 가능하나 동일 실험 조건에서는 동일 측정치를 얻게 된다. 즉, 결정 관측값을 얻으므로 확률적인 항해 위험도 산정은 불가능하여 현실적인 지표를 얻을 수 없는 한계를 지닌다. 실시간 시뮬레이션은 운항사가 실험단위이고 항해 실험조건이 관찰단위로 한 확률실험이지만 실험에 소요되는 시간이 최소 30분 소요되어 실험횟수의 제한으로 인하여 일부 실험조건에서만 시뮬레이션 데이터를 얻을 수 있다.

대상 항만의 항해 위험도 예측을 위해서는 실시간 시뮬레이션이 적절하나 비용이나 시간상의 제약으로 모든 실험조건 하에서 실험은 불가능하다. 그리하여 항만 건설 시에는 항해 위험도가 높은 실험 환경만 선택하여 실시간 시뮬레이션으로 얻은 항해 데이터를 분석하여 선박의 항해 이탈 가능성이 없다고 판단되면 대상 항만은 선박 운항의 안정성이 확보되었다고 결론 내리게 된다. 항해 위험도가 높은 실험조건을 선택하는 방법에 대한 기존 연구를 보면 다음과 같다. 항해 위험도 관련 전문가의 주관적 판단에 의해 항해 위험도 정도가 극심할 것이라 판단되는 실험 조건을 선택하는 방법이 제안되었다[4, 6]. 객관성을 지닌 접근방법으로는 확률분포함수 개념을 활용한 방법을 공인영[1] 등이 제안하였다. 가능한 실험조건 모두를 배속 시뮬레이션 하여 항만의 항해 위험도 분포함수를 추정하고 항해 위험도 높은 실험조건만을 선택하여 배속 시뮬레이션을 실시하는 방법이다. 분포함수 방법은 횡단 데이터를 활용하여 항만의 항해 위험도를 진단하는 한계를 지니고 있어 중단적 항해 위험도 진단과 실제 위험이 발생하는 지점 판단이 가능한 주성분분석에 의한 이상치 진단 방법이 제안되었다[3].

시뮬레이션 실험조건을 축소화하는 기존 연구들은 항해 위험도가 높은 실험조건만 선택하여 시뮬레이션을 하게 되어 항로 항해 위험도 분포를 추정할 수 없다. 본 연구에서는 항해 위험도가 유사한 실험조건을 군집화 하여 실험 횟수를 줄이는 방법을 제안하고 활용방법을 보이기 위하여 실증분석을 제시하였다. 제 2장에서는 실험조건 의 유사성 계산 방법과 유사성에 의한 군집화 방법을 기술하였고 제 3장에서는 당진 항만 시뮬레이션 데이터를 활용한 실증분석 결과를 기존 방법과 비교 제시하였다. 연구결과 요약과 향후 연구 방향은 제 4장에 기술하였다.

2. 실험조건 군집화

2.1 개요

선박운항 시뮬레이터의 시뮬레이션 데이터 수집과정

을 정리하면 다음과 같다. 3차원 스크린에 항로와 지리 환경을 재현하고 운항에 영향을 미치는 기후 환경과 선박 특성을 컴퓨터 프로그램을 통하여 운항자가 실제 항로를 운항하는 경험을 하도록 하여 필요한 데이터를 얻는다. 시뮬레이션은 각 실험조건 하에서 실시되며 일정 시각에서의 선박 위치, 항해 위험도에 관련된 항목들이 측정되고 자동 저장된다. <그림 1>의 검은 가는 실선은 설정된 항로이고 점선은 시뮬레이션 결과 얻어지는 항로들을 예시한 것으로 설정된 항로에서 많이 벗어날수록(파란 점선으로 표시) 항해 위험도는 높다. 시뮬레이션 결과 중 항해 위험도 지표로 활용하는 측정 항목은 타 사용량, 여유 제어량, 그리고 표류량 지수 등이다. 이 지표들을 종합화 하여 단일 항해 위험도 지수 산정 방법에 대한 기존 연구로는 주관적인 가중치에 의한 가중평균 방법[1]과 항해 위험도 지표들의 주성분분석 결과로 얻은 제1 주성분점수를 단일 지표로 활용하는 방법[2] 제안되어 사용되고 있다.



<그림 1> 시뮬레이션 항로 예제

항해에 영향을 미치는 기후환경 및 선박 특성 요인의 수준에 설정될 수 있는 실험조건 수는 너무 많아 모든 실험조건에 대하여 실시간 시뮬레이션은 불가능하여 실험조건을 줄이는 방법들을 제안되었다. 기존 연구들은 실험조건을 축소화 하는 기본 방향으로 항해 위험도가 높은 실험조건을 선택하는 방법을 제안하였다. 주관적인 방법[4, 6]과, 확률분포함수 개념을 활용한 방법[2], 그리고 주성분분석을 적용한 이상치 진단 방법[3] 등이 제안되었다. 기존 제안 연구들은 항해도 높은 실험조건만을 선택하여 대상 항만의 항해 위험도 분포함수를 측정하는 것은 가능하지 않다.

본 연구에서는 대상 항만의 항해 위험도 분포함수 추

정이 가능한 실험조건 축소화 방안을 제안하고자 한다. 배속 시뮬레이션에서 고려 가능한 모든 실험조건을 실행하여 데이터를 얻고, 이를 이용하여 실험조건들의 유사성을 측정하고 군집분석과 다차원 분석을 적용하여 실험조건을 축소화 하는 방법이다.

2.2 실험조건 유사성 계산

선박운항에서의 실험조건을 축소화 하려면 실험조건들의 유사성을 계산해야 하는데 이를 위해서는 선박운항 항해 난이도를 측정하는 변수가 필요하다. 선박운항 시뮬레이터로부터 수집 가능한 데이터는 항해 난이도를 측정하는 지표로는 타 사용량, 표류량, 여유 제어량 지수 등과 같이 운항 시뮬레이션 후 얻어지는 데이터[7]와 일정 시각 반복적으로 측정되는 시계열 데이터인 설정된 항로로부터의 유격거리[3] 등이 있다. 타 사용량, 표류량, 여유 제어량 등과 같이 측정변수에 의한 실험단위의 유사성 계산은 유클리디안 거리나 측정변수들의 군집내 공분산 행렬을 고려하는 피어슨 거리 등을 이용할 수 있다[8]. 일정 시각마다 설정된 항로로부터 유격거리를 이용하여 실험조건들의 유사성을 계산하는 통계량으로는 상관계수를 이용하였다.

2.3 실험조건 군집화

항해 위험도를 타 사용량, 표류량, 여유 제어량 등으로 측정하여 유사성을 계산하였을 때, 이 유사성 크기에 의해 개체(실험조건)를 묶어가는 다변량 분석기법이 군집분석이다. 군집분석은 항해 난이도 유사성이 높은 순으로 실험조건을 묶어가는 계층적 방법과 일정수준의 유사성을 기준이나 사전 결정된 군집의 개수에 의해 개체를 분류하는 비계층적 방법이 있다. 계층적 군집분석 방법의 경우 개체 간 유사성 계산 뿐 아니라 개체와 군집, 군집 간 유사성 계산해야 하는데 이를 연결 방법이라 한다. 두 군집의 개체 거리 중 가장 가까운 것을 사용하는 단일연결, 가장 먼 거리를 사용하는 완전연결, 군집간 개체들의 거리 평균(중위수)을 이용하는 평균(중위수)연결, 군집 내 개체의 중심간 거리를 사용하는 중심연결, 그리고 군집화 과정에서 발생하는 정보 희생을 최소화하는 방법으로 제안된 Ward 분산최소화연결 방법이 있다[8].

연결방법의 선택에 따라 개체의 군집결과가 달라지므로 적절한 연결방법의 선택에 활용되는 통계량은 개체간의 원거리와 군집 거리의 Cophenetic 상관계수[9]와 군집 내 변동과 군집 간 변동의 차이를 나타내는 Wilk 통계량의 크기 등이다. 군집화 과정을 시각화 한 덴드로그램을 이용하여 군집연결방법을 주관적으로 결정할 수 있다.

군집의 개수를 결정하는 통계량으로 CCC(Cubic Clustering Criterion)와 Hotelling T^2 통계량 등이[7] 활용되고 있고 덴드로그램을 군집 개수 결정에도 활용 가능하다.

실험조건들의 항해 난이도 유사성을 설정 항로로부터의 유격거리를 이용하여 실험조건들의 상관계수로 측정할 경우에는 실험조건을 군집화 하는 방법으로는 다차원 분석을 활용할 수 있다. 다차원 분석은 개체 간 유사성의 상대적 거리를 저차원 공간에 표현하는 방법으로 저차원 공간 좌표를 이용하여 개체의 유사성을 계산하여 군집분석을 적용할 수 있다.

3. 실증분석

3.1 실험조건 및 기존연구 결과

실증분석의 대상 항로는 당진 화력 부두 접근 항로이며 만재상태로 입항하는 15만 DWT급 석탄운반선의 운항 안전성을 평가하기 위한 배속 시뮬레이션 실험조건을 <표 1>에 정리하였다. 실험조건은 3종류 풍속과 16개 풍향의 결합 48개 결합조건과 바람이 전혀 없는 조건을 포함하여 실험조건은 49개이다.

<표 1> 실험조건

풍속(knots)	풍향
5, 15, 25	S, SSW, SW, WSW, W, WNW, NW, NNW, N, NNE, NE, ENE, E, ESE, SE, SSE

당진 항만의 항해 난이도 측정을 위한 실시간 시뮬레이션 데이터 수집 방법은 다음과 같다. 대상 항로를 8개 지점으로 나누어 설정하고 선박이 설정 지점으로 운항하도록 자동 운항 설정한다. 시작점부터 설정된 지점을 거쳐 종단점까지 배를 자동 운항하게 하면서 각 실험조건이 선박 운항에 지속적으로 영향을 미치도록 프로그램 하였다. 선박 운항 시뮬레이터는 매 10초마다 선박의 위치를 저장하고 시뮬레이션이 종료되면 선박 운항 중 사용하였던 타 사용량, 표류량, 여유 제어량을 저장한다.

공인영[2] 등은 타 사용량, 표류량, 여유 제어량 지수를 축약하여 얻은 제1 주성분 점수를 항해 난이도 지표로 제안하고 항해 난이도의 확률분포함수를 추정하였다. 추정된 분포함수의 상위 20%인 실험조건을 항해 위험도 높은 실험조건으로 제시하였다(<표 2> 참고). 권세혁[3]은 8개 구간별로 나누어 이상 실험조건을 선택하였다. 분석 데이터는 행은 10초 단위 시각이고 열은 49개 실험조건인 데이터 행렬의 관측치는 설정항로로부터의 유격

거리이다. 구간별로 주성분 분석을 시행하여 이상 실험 조건을 판별하였다. 주요 주성분 점수(고유치가 1 이상인 주성분)에 의한 이상치 진단을 실시하여 5개 실험 조건을 이상 실험조건으로 판단하였다(<표 2> 참고).

<표 2> 기존 연구방법 선택 실험조건

공인영[7]	권세혁[3]	
	제일 주성분	제이 주성분
WSW 25Knots SW 25Knots SSW 25Knots S 25Knots	NNE 25Knots SSW 25Knots SW 25Knots	WSW 25Knots NE 25Knots

3.2 실험조건 군집화

항해 위험도의 지표인 타 사용량, 표류량과 여유 제어량 지수를 이용하여 유클리디안 거리로 49개 실험조건의 유사성을 계산하고 Ward 최소 분산 연결방법(덴드로그램을 활용한 시각적 판단결과 최적 연결방법으로 판단함)으로 계층적 군집분석을 실시하였다. 군집의 개수는 CCC 통계량 3, Cophenetic 상관계수 0.95인 9개가 적절하다고 판단하였다. 기존 연구와 같이 군집의 개수를 5개로 줄인다면 CCC 통계량은 -1.6, Cophenetic 상관계수 0.86수준으로 낮아진다. 항해 위험도 유사성에 의한 실험조건 군집분석 결과는 <표 3>에 정리하였다. 진하게 표시된 실험조건 5개는 기존연구 결과[3] 항해 위험도가 높은 실험조건

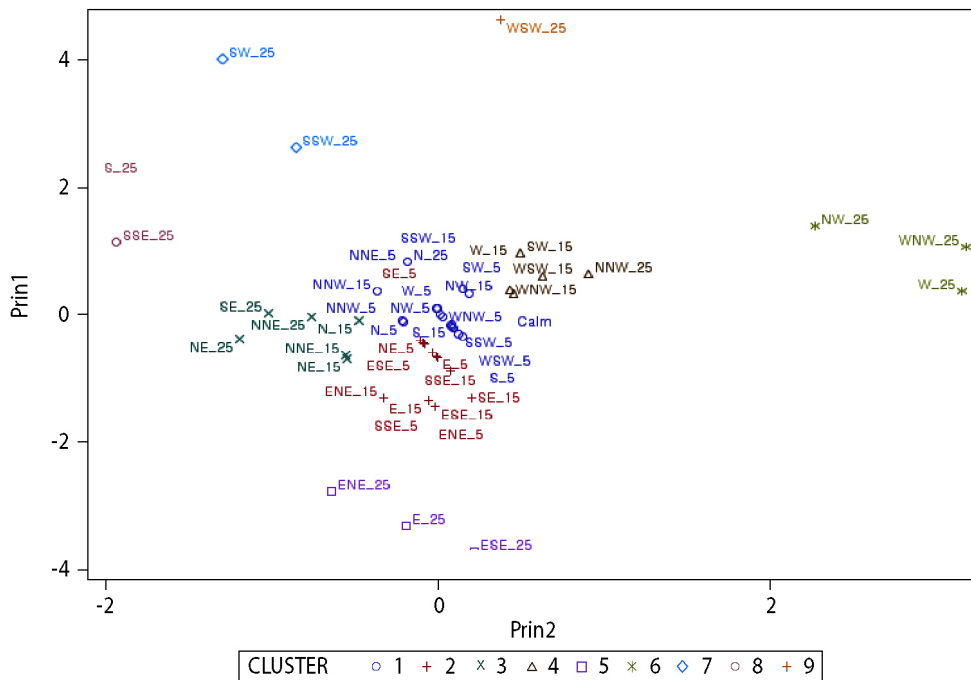
<표 3> Ward 최소분산 군집분석 실험조건(항해 난이도 지표)

실험조건	군집	실험조건	군집	실험조건	군집	실험조건	군집
W_5	1	E_5	2	NNE_15	3	W_25	6
NNW_5		ESE_5		NE_15		WNW_25	
WSW_5		SE_5		N_15		NW_25	
Calm		SSE_5		NNE_25	7	SSW_25	
NW_5		NE_5		NE_25		SW_25	
N_5		ENE_5		SE_25	8	S_25	
NNE_5		E_15		W_15		SSE_25	
SW_5		ESE_15		WNW_15	9	WSW_25	
N_25		SE_15		WSW_15		4	
S_5		SSE_15		SW_15			
SSW_5	ENE_15	NNW_25					
WNW_5		E_25	5				
S_15		ESE_25					
SSW_15		ENE_25					
NW_15							
NNW_15							

으로 제안된 것이다.

그러므로 항해 위험도 유사성 측면에서 보면 서로 다른 실험조건 3개만을 배속 시뮬레이션 실험을 시행하게 되는 결과를 얻는다.

군집분석 결과를 그래프로 표현하기 위하여 타 사용량, 표류량, 여유 제어량 지수 주성분 분석(제일 주



<그림 2> 주성분 점수 산점도

성분 고유치 2.09, 변동 기여율 69.7%, 제1 주성분 고유치 0.88, 변동 기여율 29.5%)을 실시하여 <그림 2>에 표현하였다.

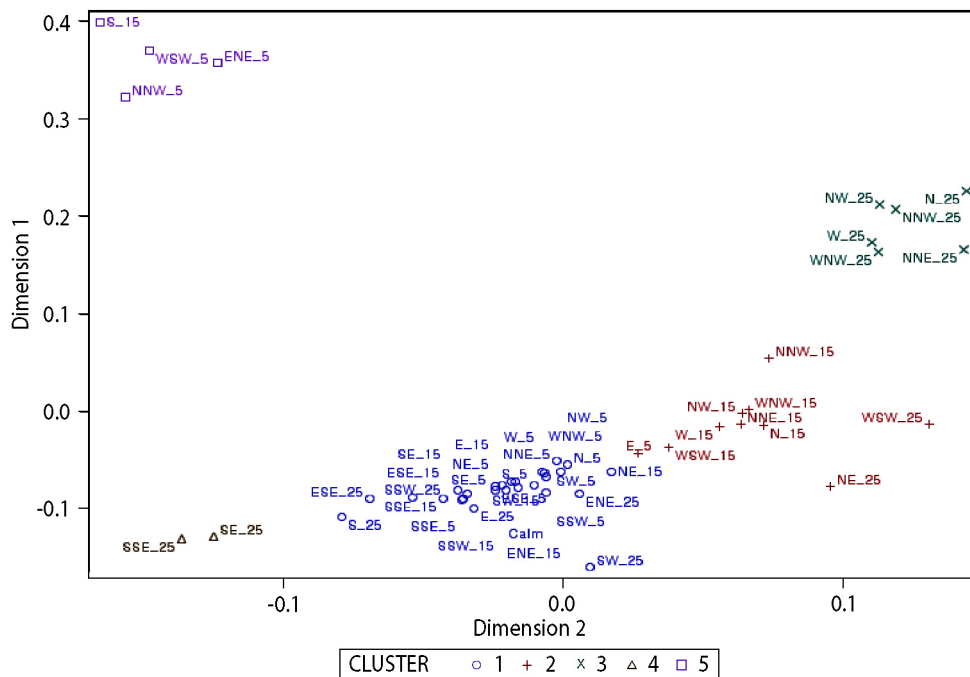
제1 주성분 점수에는 타사용량(부하값 0.66)과 여유 제어량(부하값 0.68)이, 제2 주성분 점수에는 표류량 지수 (부하값 0.95)이 영향도가 높았다. 군집 6의 3개 실험조건(W 25Knots, WNW 25knots, NW 25knots)은 표류량 지수 관점에서 다른 실험조건과 상이함을 알 수 있다. 군집 내에서 대표하는 실험조건은 군집 원의 중심에 위치하는 실험조건을 선택하면 된다. 설정된 항로와 운항 항로의 유격거리를 매 10초마다 측정하여(n = 290, 운항이 불안정한 종료 시점 일부 데이터를 제외한 전 구간 데이터) 49개 실험조건의 상관계수 행렬을 구하고 다차원 척도법을 적용하여 2차원 공간 좌표를 구하였다. 실험조건의 공간 좌표를 이용하여 실험조건의 유사성인 유클리디안 거리를 계산하여 Ward 최소분산 연결방법에 의한 군집분석을 실시하였다. 군집 개수를 5개로 설정하였을 때 CCC 통계량은 10.4, Cophenetic 상관계수 0.96이어서 적절하다고 판단하였다. <표 4>는 군집 개수 5개로 하였을 때 실험조건들의 군집화 결과를 정리한 것이며 <그림 3>은 군집분석 결과를 다차원 척도법 공간에 표현한 것이다. 항해 난이도 지표들의 유클리디안 거리에 의한 군집분석 결과 <표 3>와 달리 설정 항로로부터 유격거리의 상관계수에 의한 군집분석 결과는 풍향에 의해 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

<표 4> Ward 최소분산 군집분석 실험조건(상관계수 활용)

실험조건	실험조건	군집	실험조건	군집	실험조건	군집
SE_5	NNE_5	1	WNW_15	2	NW_25	3
SSE_5	SSW_5		NW_15		NNW_25	
S_5	ENE_15		W_15		W_25	
NE_5	NW_5		NNE_15		WNW_25	
SW_5	SSE_15		WSW_15		NNE_25	
WNW_5	SW_15		E_5		N_25	
E_15	ENE_25		N_15		SE_25	4
Calm	SSW_25		WSW_25		SSE_25	
SSW_15	ESE_25		NE_25		WSW_5	5
ESE_5	E_25		NNW_15		ENE_5	
W_5	NE_15			NNW_5		
ESE_15	S_25			S_15		
SE_15	SW_25					
N_5						

4. 결 론

선박 운항 시뮬레이터에 의해 대상 항만의 항해 위험도를 측정하기 위하여 선박 운항자를 실험자로 하여 배속 시뮬레이션을 실시한다. 배속 시뮬레이션은 실험 시간만 30분 소요되어 다양한 실험조건에서 시뮬레이션은 불가능하다. 기존 연구에서는 항해 위험도가 높은 실험



<그림 3> 다차원 척도법에 의한 군집분석 결과

조건을 주관적인 판단으로 선택하거나, 실시간 시물레이션 데이터를 활용하여 분포함수 추정 혹은 주성분분석에 의한 이상치 진단 방법으로 선택하여 일부 실험하였다. 기존 연구방법의 한계인 운항 항해도 높은 실험조건만 선택하는 대신 대상 항로의 항해 위험도 분포함수 추정이 가능한 연구 방법을 제안하였다.

항해 난이도의 유사성에 의해 실험조건의 수를 축소화 하는 방안으로 항해 난이도의 지표인 타 사용량, 표류량, 여유 제어량 지수를 활용하여 유클리디안 거리로 유사성을 측정하고 Ward 최소분산 연결방법 군집분석을 제안하였다. 항해 난이도를 실제 항로로부터의 유격거리를 일정 시각마다 측정된 시계열 데이터인 경우 상관계수를 이용하여 실험조건 유사성을 구하고 다차원 척도법을 활용한 군집분석 방법을 제안하였다. 실증분석으로 당진 항만의 항해 위험도 산정을 위한 실험조건 축소화 결과를 기존 연구와 비교 제시하였다. 항해 난이도 지표들에 의한 실험조건 군집 특성은 항해 난이도에 따른 분류 결과였다면 유격거리의 상관계수 행렬에 의한 군집 결과는 풍향의 특성에 의존하고 있었다.

본 연구에서는 대상 항로의 전 구간에서 하나의 상관계수를 구하여 항해 난이도 유사성을 측정하였는데 구간별로 상관계수 행렬을 구하였을 때는 구간별 실험조건을 군집화 하기보다는 구간별 상관계수 행렬들을 단일화하여 다차원분석법을 적용하는 것이 적절하다. 구간별로 군집화 결과가 달라지는 경우 대상 항로 전체의 항해 위험도 분포함수를 추정하는 실험조건 선택이 추가로 필요하기 때문이다. 여러 상관계수 행렬을 단일화 할 때는 대응 상관계수 값들의 가중평균을 구하여 활용하는 것이

적절하다.

참고문헌

- [1] 공인영, 김선영; “선박자동운항 알고리즘을 이용한 항로 안전성 평가기법 개발”, 해양환경공학회 춘계학술 발표회, 1998.
- [2] 공인영, 권세혁, 김선영; “선박 운항 안정성 평가를 위한 시물레이션 조건 도출 연구”, 한국항해항만학회지, 32 : 207-213, 2008.
- [3] 권세혁; 시물레이션 실험조건 이상 진단 연구, 한국데이터정보과학회지, 21 : 853-861, 2010.
- [4] 이윤석, 정민, 송재욱, 박진수, 박영수, 권익순; “부산항 제1항로 진입 해역의 통항 개선에 관한 연구”, 한국항해항만학회지, 31 : 345-351, 2007.
- [5] 정재용, 김철승, 정충식; “여수해만 특정해역의 해상교통시스템 설정에 관한 연구”, 한국항해항만학회지, 29 : 653-660, 2005.
- [6] 정태권, 이동섭; “선박조종시물레이션의 근접도 평가에서 연속 분석과 목표선 분석에 관한 비교 연구”, 한국항해항만학회지, 31 : 1-6, 2007.
- [7] Gong, I. Y.; Assessment of ship-handling difficulty for an approach channel of a harbor. Proceedings of Coasts and Ports, 2007.
- [8] Johnson, R. A. and Wichern, D. W.; Applied multivariate statistical analysis, Prentice Hall, 2007.
- [9] Sokal, R. R. and Rohlf, F. J.; “The comparison of endograms by objective methods,” *Taxon*, 11 : 33-40, 1962.