

# 시뮬레이션 실험조건 이상 진단 연구<sup>†</sup>

권세혁<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한남대학교 비즈니스통계학과

접수 2010년 6월 19일, 수정 2010년 8월 16일, 게재확정 2010년 8월 28일

## 요약

선박운항 안정성 평가를 위한 시뮬레이션 설계 시 선박운항에 영향을 미치는 요인들을 고려하여 실험조건을 설정한다. 배속 시뮬레이션에서는 이론적으로 수많은 실험조건도 수행 가능하나, 동일 실험조건 하에서는 동일 항해위험 관련 측정치를 얻으므로 확률모형이 아니다. 실시간 시뮬레이션은 실험에 참여하는 선박운항 전문가로 인한 변동이 발생하여 확률모형 분석이 가능하나 소요되는 실험시간으로 인하여 실험회수의 제한이 있다. 그리하여 배속 시뮬레이션을 활용하여 항해 위험도가 높은 실험조건을 선택하고, 선택된 실험조건에서만 실시간 시뮬레이션을 실시하여 항만 항해 위험도를 산정하고 있다. 이전 연구에서는 전문가의 주관적 판단이나 확률분포함수 개념을 활용하여 항해 위험도가 높은 실험조건을 선택하는 방법이 제안되었다. 그러나 이 방법들은 최종 횡단 데이터를 활용하여 시뮬레이션 과정에서 발생하게 되는 위험도를 측정하는 방법으로는 적절하지 못하다. 본 연구에서는 시뮬레이션의 항적 데이터로부터 얻는 주성분 점수를 활용하여 이상 실험조건을 진단하고 항해 위험도 높은 지점을 판단하는 방법을 제안하고 실증분석 결과도 제시하였다.

주요용어: 시뮬레이션, 실험조건, 안전성평가, 이상 실험조건, 주성분 분석, 항로 이탈.

## 1. 서론

항해 난이도에 영향을 주는 요인으로는 항로의 지리적 특성, 풍속, 풍향, 조류, 파랑과 같은 기후 환경 뿐 아니라 항해사, 선박 특성, 해상교통 여건 등을 고려할 수 있다. 이처럼 항해 위험도를 산정 시 고려해야 할 요인 수가 너무 많고 공간적, 시간적 제약으로 인하여 필드에서 측정하는 것은 불가능하므로 시뮬레이션 시스템을 이용하게 된다. 항해 위험도 산정을 위한 시뮬레이션은 배속 시뮬레이션과 실시간 시뮬레이션으로 나뉜다. 배속 (fast time) 시뮬레이션에서는 실시간 데이터 수집이 가능하여 이론적으로는 수많은 실험조건이 시뮬레이션이 가능하나, 실험조건이 동일하면 동일한 시뮬레이션 결과를 얻게 된다. 즉, 확정적 측정치를 얻게 되는 한계를 지니고 있어 확률적 모형이 아닌 수학적 모형에 의해 얻은 데이터를 이용하여 항해 위험도를 산정하게 되므로 현실적인 지표를 얻을 수 없다. 실시간 (real time) 시뮬레이션은 항해사를 실험 단위, 실험조건을 관찰 단위로 하게 되므로 항해 위험도에 대한 확률적 측정치를 얻을 수 있다. 그러나 실험에 소요되는 시간적 제약으로 인하여 일부 실험조건에서만 시뮬레이션이 가능하다.

시뮬레이션 데이터 중 항해 위험도 지표로 활용하는 측정 항목은 타 사용량, 여유 제어량, 그리고 표류량 지수이다. 이 지표들을 종합화 하여 단일 항해 위험도 지수 산정 방법에 대한 기존 연구로는 주관

<sup>†</sup> 본 논문은 2010년도 한남대학교 교비 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

<sup>1</sup> (306-791) 대전시 대덕구 오정동 133번지, 한남대학교 비즈니스통계학과, 교수.  
E-mail: wolfpack@hnu.ac.kr

적인 가중치에 의한 가중평균 방법 (공인영 등, 1998; 공인영, 2007)과 항해 위험도 지표 간 상관관계를 이용하여 단일 지표를 산정하는 주성분 분석 방법 (공인영 등, 2008) 등이 있다.

실시간 시뮬레이션에서는 소요되는 비용이나 시간상의 제약으로 다양한 환경 하에서 시뮬레이션은 불가능하므로 항해 위험도가 높은 실험조건 일부만 선택하여 시뮬레이션을 실시하는 것이 일반적이다. 항해 위험도가 높은 실험조건을 찾는 이전 연구는 항해 관련 전문가의 주관적 판단에 의한 방법 (이윤석 등, 2007; 정재용 등, 2005; 정태권 등, 2007)과 확률밀도함수 개념을 이용한 방법 (공인영 등, 2008)이 있다. 항해 전문가의 주관적 판단에 의해 항해 위험도 정도가 극심할 것이라 판단되는 실험 조건에서 시뮬레이션을 실시하여 선박의 항해 이탈 가능성 혹은 위험도가 없다고 판단되면 대상 항로나 항만은 선박 운항의 안정성이 확보되었다고 결론 내리게 된다. 이런 주관적인 실험조건 선택은 산정된 항해 위험도의 객관성을 보장하지 못할 뿐 아니라, 항만별 항해 위험도 비교 시에는 항만의 지리적 특수성을 고려하여 실험조건을 상이하게 선택하게 되므로 비교 객관성은 더욱 저하된다.

항해 위험도가 높은 실험조건 선택에 있어서 보다 객관성을 지닌 접근방법으로 확률분포함수 (CDF) 개념을 활용한 방법이 제안되었다 (공인영 등, 2008). 배속 시뮬레이션 데이터로부터 실험조건별 항해 위험도를 산정하고 산정된 항해 위험도 데이터로부터 확률분포함수를 추정한다. 추정된 확률분포함수의 일정 수준의 백분위수 (예를 들면, 상위20백분위수)를 얻고 이 값보다 항해 위험도가 높은 실험 조건만을 선택하여 배속 시뮬레이션을 실시하는 방법이다. 그러나 실증적 확률분포함수를 얻기 위하여 활용되는 항해 위험도 데이터는 각 실험조건별 시뮬레이션이 종료된 후 얻어지는 횡단 측정치이므로 항해도 중 발생하는 항해 위험도를 반영할 수 없는 구조적 한계를 지니고 있다.

본 논문에서는 실시간 시뮬레이션 시 설정된 항적으로부터 벗어난 이탈 거리를 항해 위험도로 산정하고 이에 대한 시계열 데이터 분석을 통하여 항해 위험도가 높은 실험조건과 어느 시점에서 항해 위험도가 높았는지 진단할 수 있을 방법을 제안하였다. 그리고 당진 항만 배속 시뮬레이션 데이터를 이용한 실증분석을 통하여 이전 연구 방법과 비교하였다. 2장에서는 설정 항로로부터 이탈 거리를 이용하여 항해 위험도가 높은 실험조건을 선택하는 방법으로 주성분 점수를 활용한 이상 (anomaly) 진단 방법을 기술하였다. 3장에서는 당진 항만 입항 시뮬레이션 데이터를 활용한 실증분석 결과를 제시하였으며, 4장에는 연구 결론과 토론을 기술하였다.

## 2. 이상 실험조건

### 2.1. 개요

항해 난이도에 영향을 미치는 요인들의 수준 결합에 의해 얻어지는 실험조건이  $k$ 개, 시뮬레이션 시 출력 결과를 수집하는 측정 시각이  $t$ 개이라 하자. 항해 위험도를 측정할 수 있는 지표 변수를  $x$ 라 하면 항해 위험도 데이터 행렬의  $x_{ij}$ 는  $j$ 번째 실험조건인  $i$ 시각에서의 항해 위험도 측정치이다.  $j$ 번째 실험조건인 항해 위험도  $y_j$ 의 관측치를 얻는 과정은 다음과 같다.  $k$ 번째 실험조건 하에서 시뮬레이션을 실시하여 시각별  $t$ 개 시계열 측정치 ( $x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{tj}$ )를 얻는다. 이를 이용하여 항해 위험도의 지표인 타 사용량, 여유제어량, 표류량 지수 등을 계산하면 이것이  $y_j$  관측치이다. 개별 항해 위험도 지표를 종합화하여 얻은 단일 항해 위험도 지표인 가중평균이나 주성분 점수도  $y_j$ 로 활용될 수 있다 (공인영 등, 1998; 공인영 등, 2008). 항만의 항해 위험도 측정을 위한 배속 시뮬레이션은 대상 해역, 대상 선박, 그리고 항해 환경에 대한 모델링을 기반으로 실행된다. 즉, 모델링된 대상 해역을 시뮬레이터에 실현한 후 대상 선박과 항해에 영향을 미치는 요인들에 의해 실험조건들이 설정된다. 그림 2.1은 당진 부두 (공인영 등, 2008)의 입항 시 해역을 모델링한 것이다. 굵은 점선은 시뮬레이션 실시 시 설정한 항적이고 가는 실선과 가는 점선은 실험조건인 항적을 예시화 한 것이다.

시뮬레이션은 각 실험조건 하에서 실시되며 일정 시각 (예: 10초 단위)에 선박의 위치, 항해 위험도에

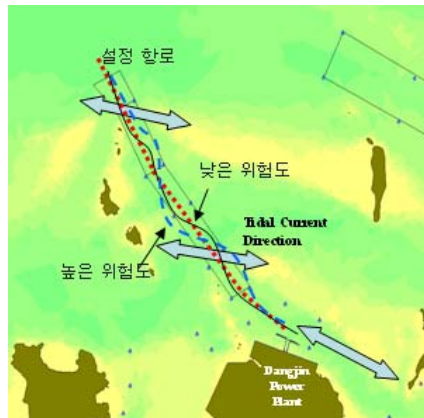


그림 2.1 FTS 시뮬레이션 예제

관련된 항목들이 측정되고 자동 저장된다. 출력 데이터 중 항해 위험도를 산정하는데 활용되는 지표는 타 사용량, 여유 제어량, 표류량 지수 등이다. 항로 이탈 정도가 항해 위험도에 대한 실질적이고 객관적인 지표임에도 불구하고 장애물과의 충돌 위험도에 대한 연구 정도만 있을 뿐 설정된 항로로부터의 이탈 정도를 항해 위험도의 지표로 정량화 하고, 이를 활용하여 항해 위험도 높은 이상 실험조건 선택하는 연구는 전무하다.

## 2.2. 이상 실험조건 진단

항해 위험도가 높은 실험조건 선택 방법으로 제안된 확률분포함수 활용 방법 (공인영 등, 2008)은 다음과 같다. 실험조건별 항해 위험도 관측치  $(y_1, y_2, \dots, y_k)$ 를 이용하여 항해 난이도 실증적 확률분포함수를 추정한다. 추정된 확률분포함수의 일정 백분위수를 기준으로 그 값보다 큰 항해 위험도를 갖는 실험조건을 선택하는 방법이 제안되었다. 확률분포함수 개념을 이용하여 선택의 객관성은 유지할 수 있으나, 사용된 항해 위험도 측정치는 항해 시뮬레이션의 시계열 데이터를 통합한 측정치이므로 항로 중 발생하는 항해 위험도를 반영하지 못한다. 이처럼 이전 연구에 의해 제안된 방법은 시뮬레이션 후 통합화된 횡단 데이터를 이용하고 있어 항해 위험도가 높다고 판단된 실험 조건이 어느 시점에서 항해 위험도가 높았는지를 알 수 없고, 항해 중 발생하는 항해 위험 정도를 고려하여 항해 위험도 높은 실험조건을 선택할 수 없다. 이전 연구에서 항해 위험도로 사용되던 타 사용량, 여유제어량, 표류량 지수 등도 횡단적 항해 위험도 측정치이므로 항해 도중 발생하는 설정 항로 이탈로 인한 항해 위험도를 고려할 수 없다.

본 연구에서는 시뮬레이션에서 대상 선박이 설정된 항로로부터 이탈된 정도를 항해 위험도 산정 지표로 하여 항해 위험도 높은 실험조건을 선택하는 방법을 제안하였다. 설정된 항로로부터 이탈 정도를 매 시간 측정하고 주성분 변수를 이용하여 실험조건 전체를 대표하는 이탈 정도를 산출하고, 대표 이탈에서 벗어난 정도가 유의한 실험조건을 항해 위험도가 높은 실험조건으로 진단하였다. 그리고 주성분 부하 값을 이용하여 어느 시점에서 항로를 이탈하였는지 판단하는 방법을 제시하였다.

주성분 분석은 원 변수들의 선형함수를 이용하여 그 변수들의 공분산 구조를 설명하는 방법이다. 개체 수가  $n$ , 측정변수가  $p$ 개인 데이터 행렬  $X_{n \times p}$ 로부터의 공분산 행렬을  $S_{p \times p}$ 라 하자. 공분산 행렬로부터 구한 고유치를  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p$ 라 하고 이에 대응하는 고유벡터를  $(e_1, e_2, \dots, e_p)$ 라 하자.  $e_j$ 의 전치를  $j$ 행으로 하여 만들어진 선형계수 행렬  $L$ 을 이용하여 원 변수의 선형 변환에 의해 만들어진 변수

를 주성분 변수 ( $Y = LX$ )라 한다. 주성분 변수는 원 변수의 선형결합에 의해 얻어지므로 선형계수 (이를 부하 값이라고도 함)의 크기에 의해 주성분 변수의 성질이 결정된다.

주성분 분석을 이용하여 개체의 이상 진단하는 방법은 주요 주성분들을 이용하여 원 변수들의 공통 개념 하에서의 이상 개체를 진단하거나 주요 주성분을 제외한 잔차 주성분을 이용하는 방법으로 나뉜다. 잔차 주성분 접근 방법은 데이터의 전체 변동에서 주요 공통 개념 변동을 제외한 잔차 변동에서 특이 값을 갖는 개체를 발견하게 된다 (Johnson과 Wichern, 2007). 제1 주성분이 원 변수들의 변동에 대해 가장 많은 부분을 설명하고, 제2 주성분 변수는 서로 독립인 성질에 의해 제1 주성분 변수가 설명하고 남은 부분 중 원 변수들의 변동을 가장 많이 설명한다. 그러므로 처음  $m$ 개의 주성분이 원 변수들의 변동의 대부분 (일반적으로 고유치가 1 이상인 주성분 변수만 선택)을 설명하게 된다. 개체들의 원 변수들의 변동을 대부분 갖고 있는 데이터 개체 (실험조건)의 측정치 (이탈 정도)에 변동을 대부분 설명하므로 두 주성분 변수 관점에서 이상치는 이탈 정도가 다른 실험조건들과는 다르다고 진단할 수 있다. 대표본 이론에 의해 식 (2.1)으로 이루어진 타원은 95% 신뢰영역이므로 이 영역 밖에 놓이는 개체를 이상점으로 진단할 수 있다.

$$\frac{y_1^2}{\lambda_1} + \frac{y_2^2}{\lambda_2} + \dots + \frac{y_m^2}{\lambda_m} \leq \chi_\alpha^2(m) \quad (2.1)$$

원 변수들의 변동의 대부분을 처음  $m$ 개 주성분이 설명하므로 나머지 주성분 (잔차 주성분)들의 값을 이용하여 개체의 이상을 진단할 수 있다. 잔차 주성분에서 다른 개체에 비해 큰 값을 갖는 개체는 다른 개체들과 상이하다고 할 수 있으므로 이 개념을 이용하여 이상 개체를 진단한다. 대표본 이론에 의해 잔차 주성분에 대하여 다음이 성립한다.

$$T^2 = \frac{y_{m+1}^2}{\lambda_{m+1}} + \frac{y_{m+2}^2}{\lambda_{m+2}} + \dots + \frac{y_k^2}{\lambda_k} \sim \chi_\alpha^2(k - m) \quad (2.2)$$

항해 난이도 데이터 행렬을  $D = \{d_{ij}\}_{k \times t}$ 라 하자. 실험조건에 대한 항해 난이도를 측정된  $d_{ij}$ 는  $j$ 번째 실험조건 하에서  $i$ 시각에서 항해 선박이 설정된 항로로부터의 이탈된 거리이다. 항해 난이도는 설정 항로의 이탈 거리로 측정하였다. 주성분을 이용한 이상 실험조건 진단을 위해서는 개체가 실험조건이고 측정변수는 각 측정 시점, 관측치는 일정시점에서의 이탈 정도이다. 그러므로 항로이탈 행렬  $D$ 을 전치한 전치 (transpose) 행렬  $D'$ 으로부터 주성분 변수를 구하고 식 (2.1)와 식 (2.2)을 이용하여 항로 이탈 정도가 다른 실험조건에 비해 큰 실험조건을 찾으면 이 실험조건이 항해 위험도 높은 실험조건이다. 측정 시점의 선형 결합에 의해 주성분 변수 (항로 이탈 대표 개념)가 얻어지므로 부하의 크기를 이용하여 항해 위험도가 높은 실험조건인 경우 어느 시점에서 항로 이탈 정도가 유의적으로 높았는지 진단할 수 있다.

### 3. 실증분석

#### 3.1. 실험조건

본 연구에서 제시한 이상 실험조건 진단 방법과 공인영 등 (2008)이 제시한 확률분포함수의 백분위수를 이용 방법을 비교하기 위하여 실증분석을 실시하였다. 대상 항로는 당진 화력 부두 접근항로이며 이 부두에 만재상태로 입항하는 15만 DWT급 석탄운반선의 운항 안전성을 평가하기 위한 실시간 시물레이션 조건을 각각 결정하는 문제에 본 기법을 적용하였다. 풍속 3조건, 풍향 16 조건의 결합 조건과 바람이 전혀 없는 조건을 포함하여 실험된 조건은 49개이다 (표 2.1 참고).

항해 난이도는 타 사용량, 표류량, 여유 제어량 지수 등으로 측정할 수 있는데 공인영 등 (2008)은 주성분 분석을 이용하여 얻은 제1 주성분 점수를 종합 항해 난이도 지표로 제안하였다. 그리고 종합 항해

표 3.1 실험조건

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

난이도의 확률분포함수를 추정하고 백분위수를 이용하여 항해 난이도 높은 실험 조건을 제시하였다. 표 2.2는 추정된 확률분포 추정 결과와 항해 난이도 상위 20%인 실험조건을 정리한 것이다. 항해 난이도가 높은 실험조건 순서대로 정리하였다. 즉 풍향 WSW, 풍속 25 노트인 실험조건이 당진 항만에서 항해 난이도가 가장 높았다 (공인영 등, 2008).

표 3.2 추정확률분포함수와 이상 실험조건

추정된 확률분포함수	정규분포 ( $\mu=3.7$ $\sigma=1.45$ )
항해 난이도	WSW 25 Knots
상위 20%	SW 25 Knots
실험 조건	SSW 25 Knots S 25 Knots

### 3.2. 이상 실험조건

당진 입항 항로에 대한 배속 시뮬레이션 시 설정된 항로는 8개 지점 (시작점 및 중단점 포함)이며 각 실험조건에서 시각별 항적 데이터가 수집되었다. 설정된 항로로부터 많이 이탈된 실험조건이 항해 난이도가 높은 실험조건이 된다. 시각별 항로 이탈 거리를 수집하였으므로 항로 전체 데이터를 이용하면 변수의 개수가 많아져 주성분 분석을 이용한 이상 조건 진단의 활용성이 낮아지므로 구간별로 항해 위험도가 높은 이상 실험조건을 진단하였다. 또한 구간별로 이상 실험조건을 진단하면 수평이나 수직 항로가 아닌 경우에는 풍향과 풍속에 의해 설정된 실험조건이 구간별로 달라질 수 있어 이를 진단할 수 있고 항해 위험도가 높은 실험조건이 실제 어느 시점에서 항해 위험도가 높았는지 진단할 수 있다. 그림 2.2는 당진 항만 FTS 시뮬레이션 시 (공인영 등, 2008) 설정된 항로 (8개 점은 설정지점, 굵은 실선은 설정된 항로)와 49개 실험 조건 중 항해 위험도가 가장 낮은 실험조건 (ESE, 0 노트)의 항적 (점선)과 가장 높은 실험조건인 (WSW, 25 노트)의 항적 (실선)을 나타낸 것이다.

그림 2.2에서 볼 수 있듯이 실험이 끝나는 시점에서는 실험조건별 항로가 다소 불안정하여 마지막 구간은 분석에서 제외하였다. 식 (2.2)의 잔차 주성분 변수에 의한 이상 실험조건 진단은 잔차 주성분의 개수가 너무 많아 본 연구에서는 적용하지 않았다. 표 2.3은 식 (2.2)의 진단 방법을 적용하여 얻은 결과인 주요 주성분 개수와 이상 (anomaly) 실험조건을 정리한 것이다. 구간 아래 괄호 안의 숫자는 각 구간 내 측정된 데이터 개수이다. 공인영 등 (2008)의 연구 결과에서와 같이 모든 구간에서 풍속이 25 노트인 실험조건이 항로 이탈 정도 면에서 이상 실험조건으로 진단되었기 때문에 표 2.3에는 풍향 조건만 정리하였다. 항로 이탈 정도가 높은 순서대로 실험조건을 정리하였고 실험조건 위 괄호 안 숫자는 공인영 등 (2008)의 논문에서 제시된 항해 난이도 순위이다.

이상 실험조건 진단하는 임계치와 이상 실험조건 통계량 값도 제시하였다. 표 2.3에서 알 수 있듯이 항해 위험도가 높은 실험조건들이 구간별로 달라지고 있다. 이는 설정된 항로에 따라 각 실험조건 영향 정도가 달라지기 때문이다. 그러므로 본 연구에서 제안된 방법은 항로 전 과정 상에서 항해 위험도를 고려한 실험조건을 선택하는 방법을 제시하고 있어 시계열 이상 실험조건 진단이 가능하다.

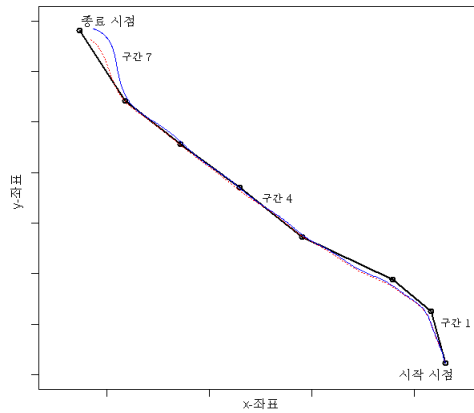


그림 3.1 설정 항로 및 시뮬레이션 궤적

각 실험조건의 항해 중 어느 시점에서 항로 이탈이 발생하였는지 판단은 주성분 선형계수 (부하 값) 크기에 의해 가능하다. 표 2.4는 제 6구간 항로이탈 데이터에 대한 주성분 분석 결과 얻은 제1 주성분과 제2 주성분의 부하 값을 정리한 것이다. 제1 주성분은 시점 4~15의 항로 이탈 정도를 대표하고, 제2 주성분은 시점 1~4, 14~20, 23~24을 대표한다. 그러므로 제1 주성분은 시뮬레이션의 중간 시점의 항로 이탈 정도를 대표하고, 제2 주성분은 시작과 끝나는 시점의 항로 이탈을 대표하게 된다. 그러므로 WSW25 실험조건은 시작이나 끝나는 시점에서 다른 실험조건에 비해 이탈 정도가 유의적으로 높은 것으로 판단된다.

그림 2.3은 제6 구간에서 각 실험조건의 제1 주성분과 제2 주성분 점수의 산점도이다. 알파벳은 풍향, 숫자는 풍속을 의미한다. 실험조건 (NNE25, SSW25, SW25)은 제1 주성분 점수, 실험조건 (NE25, WSW25)은 제2 주성분 점수에 의해 이상 실험조건으로 진단되었다. 표 2.4의 결과로부터 (NNE25, SSW25, SW25)는 중간 시점, (NE25, WSW25) 시작과 종료 시점에서 이상 실험조건으로 판단할 수 있다.

#### 4. 결론

실시간 시뮬레이션은 이론적으로 무한정 실험이 가능하나 수학적 모형이 아니어서 동일한 실험조건 하에서는 동일한 시뮬레이션 결과를 얻게 된다. 배속 시뮬레이션은 보다 현실적 결과를 얻을 수 있으나 실험회수에 제한이 있다. 그러므로 실시간 시뮬레이션에 의해 실험조건 일부를 선택하고 선택된 실험조건에서만 배속 시뮬레이션을 실시하는 접근 방법이 연구되어 연구자의 주관적 판단이나 확률분포함수 방법이 이전 연구들에서 제안되었다. 확률분포함수 방법은 다소 객관적이기는 하나 시계열 데이터를 통합화 한 횡단적 데이터를 사용하여 항해 위험도 높은 실험조건을 선택하게 되어 어느 시점에서 문제가 발생하였는지 판단할 수 없다. 본 연구에서는 항해 위험도에 대한 보다 적절한 지표인 항로 이탈 정도를 활용하여 항해 위험도가 높은 실험조건을 선택하는 방법으로 이상 접근 방법을 제안하였다.

개체를 실험조건으로 측정변수를 각 시점에서의 설정된 항로부터의 이탈 거리로 하여 주성분 분석을 실시하여 주성분 변수를 얻는다. 이렇게 얻은 주성분 변수는 시뮬레이션 실험조건들의 항로 이탈 거리를 대표하게 된다. 주성분 점수 값이 다른 실험조건에 비해 유의적으로 큰 실험조건을 이상 실험조건으로 판별하는 방법을 제안하였다. 그리고 주성분 변수의 부하 값 개념을 이상 실험조건이 어느 시점에서

표 3.3 이상 실험조건

구간	주요 주성분 개수	임계치	실험조건	통계량
1 (65)	2	5.99	SW (2)	7.49
			N	7.32
			NNW	6.43
			WNW	6.39
			SSW (3)	5.99
2 (32)	1	3.84	SSW (3)	5.76
			SW (2)	5.24
			NNE	4.87
			S (4)	4.40
			N	4.03
3 (42)	1	3.84	NE	6.33
			NNE	5.31
			WSW (1)	4.98
			ENE	4.61
			SW (2)	4.55
4 (42)	2	5.99	NNE	9.94
			NE	7.99
			SW (2)	7.79
			ESE	6.95
			WSW (1)	6.52
5 (46)	2	5.99	NNE	10.36
			N	9.73
			NE	8.17
			NNW	7.55
			WSW (1)	15.16
6 (24)	2	5.99	SW (2)	10.25
			NNE	9.08
			NE	9.04
			SSW (3)	7.56

표 3.4 주성분 부하 값

시각	제일 주성분	제이 주성분	시각	제일 주성분	제이 주성분
1	0.13	-0.21	13	0.26	0.19
2	0.16	-0.23	14	0.24	0.21
3	0.17	-0.23	15	0.20	0.25
4	0.23	-0.21	16	0.11	0.29
5	0.24	-0.17	17	0.09	0.33
6	0.26	-0.13	18	0.02	0.34
7	0.28	-0.09	19	-0.06	0.31
8	0.29	-0.03	20	-0.14	0.22
9	0.29	0.02	21	-0.17	0.05
10	0.29	0.07	22	-0.11	-0.12
11	0.29	0.12	23	0.01	-0.25
12	0.28	0.16	24	0.09	-0.21

항로 이탈 정도가 높았는지 진단할 수 있는 방법도 설명하였다.

실증분석을 통하여 제안된 연구 방법론을 설명하였다. 실증분석 데이터는 당진 항만에서의 배속 입항 시뮬레이션 결과이다. 실험조건은 49개, 설정 지점은 8개였다. 시뮬레이션의 종료되는 시점들의 마지막 제 7구간을 제외하고 6개 구간별로 항해 위험도가 높은 실험조건을 진단하였다. 선택된 실험조건들





## Anomaly detection on simulation conditions for ship-handling safety assessment<sup>†</sup>

Sehyug Kwon<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Statistics, Hannam University

Received 19 June 2010, revised 16 August 2010, accepted 28 August 2010

### Abstract

Experimental conditions are set with environmental factors which can affect ship navigation. In FTS simulation, infinite simulation can be theoretically tested with no time constraint but the simulated result with the same experimental condition is repeated due to mathematical model. RTS simulation can give more reasonable results but costs at least 30 minutes for only experimental time. The mixture of two simulation methods using probability density function has been proposed: some of experimental conditions in which ship-handling is most difficult are selected with FTS and are tested in RTS. It has drawback that it does not consider the navigation route but aggregated track index. In this paper, anomaly detection approach is suggested to select some experimental conditions of FTS simulation which are most difficult in ship-handling during the navigation route. An empirical result has been shown.

*Keywords:* Anomaly, experimental condition, principal component analysis, ship-handling safety assessment, simulation.

---

<sup>†</sup> This work is supported by Hannam University Research Fund of 2010.

<sup>1</sup> Professor, Department of Statistics, Hannam University, Daejeon 306-791, Korea.  
Email: wolfpack@hnu.ac.kr