

해양사고 예보 시스템 개발 (II): 해양사고 예측 모델

임정빈* · 공길영** · 구자영*** · 김창경****

*목포해양대학교 해상운송시스템학부, **한국해양대학교 운항시스템공학부, ***해양경찰청 정보화계, ****목포해양대학교 대학원 박사과정

Development of Marine Casualty Forecasting System (II): Marine Casualty Prediction Model

Jeong-Bin Yim · Gil-Young Kong** · Ja-Yeong KU***, Chang-Kyung Kim*****

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

***College of Maritime Science, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea*

****Intelligence Division, National Maritime Police Agency of Korea, Incheon, Korea*

*****Graduate School of Mokpo Maritime University, Mokpo 530-729, Korea*

ABSTRACT : The paper describes on the implementation of marine casualty prediction model that is one of the main part of Marine Casualty Forecasting System (MCFS). In this work, Cell Distributed Linear-In-the-Parameter (CD-LIP) model is developed and compared with Baltic model using regression analysis of variance. As comparing results, it is known that the proposed CD-LIP model has less residual than the Baltic model and, it gives best performance to the marine casualty numeric D/B of target area.

KEY WORDS : Marine Casualty Forecasting System (MCFS), prediction model, CD-LIP model, Baltic model, residual analysis

요 약 : 이 논문에서는 해양사고 예보 시스템 (MCFS)의 주요 부분 중 하나인 해양사고 예측 모델 개발에 관해서 기술했다. 셀분할 선형 파라미터 모델(CD-LIP)을 개발하여 Baltic 모델과 회귀 분산분석기법으로 비교하였다. 그 결과, CD-LIP 모델이 Baltic 모델과 비교하여 잔차가 작았으며, 연구대상지역의 해양사고 수량화 D/B에 최적 성능을 나타냈다.

핵심용어 : 해양사고 예보 시스템, 예측 모델, 셀분할 선형 파라미터 모델, 발틱 모델, 잔차 분석

1. 서론

이 연구는 해양사고 예보 시스템 개발을 위한 두 번째 연구로서, 선행 연구로 수행한 '해양사고 예보 시스템 개발 (I): 해양사고 수량화 D/B 구축'에서 개발한 수량화 D/B와 분석 결과를 토대로 해양사고 예측 모델을 개발하였다(임, 2003).

국내의 경우 수량화 D/B를 이용한 예측 연구는 주로 육상 교통수요 예측이나 관광수요 예측 등에서 활발하게 연구되고

있으나, 해양사고 예측에 관해서는 연구실적이 전무한 실정이다. 윤(2001)은 '교통수요분석'에서 육상교통의 수요예측기법과 분석기법을 소개하고 있으며, 차 등(2001)은 관광학 사례를 중심으로 관광수요를 분석하고 예측하기 위한 다변량기법의 적용 방법과 예를 들고 있다. 홍 등(2001)은 생활속에서 발생하는 범죄, 도박 등에 관해서 통계적 기법을 적용하여 해설하고 있다. 그 외 대부분의 통계관련 연구는 사회과학 분야에서의 의사결정(강, 2000)이나 SAS/SPSS 등의 통계도구 활용을 위한 수법 개발(오, 1998) 등이 대부분이다.

해외의 경우, 1990년말 미국 와싱턴주 인근의 프린스 윌리엄 수로(Prince William Sound)에서 여객선의 해양사고가 급증함에 따라, 위기관리를 행하고자 John R. Harrauld *et al* (1997)이

* 종신회원, jbyim@mmu.ac.kr 061)240-7051

** 정회원, gykong@hhu.ac.kr 051)410-4273

*** 정회원, kgy1136@nmpa.go.kr 011)9889-0556

**** 정회원, chang_kyung_kim@hotmail.com 017)684-4261

여객선 위기관리 도구로서 시뮬레이터를 개발하여 위험수준을 가시화하고, 해도에 여객선의 통항가능 해역을 표시한 바 있다. P. Tuovinen *et al* (1984)은 발틱해(Baltic Sea)에서 선박의 해양사고를 통계학에 적용하여 분석한 바 있는데, 발틱해를 운행하는 다국적 선박의 통항 데이터를 수집 분석한 결과, 발틱해에서는 해양사고가 지수함수적으로 감소한다는 특징으로부터 발틱 모델을 제안하였다. 그 후, John D. Lee *et al* (1998)은 미국 온타리오 수로의 사고분석에 안전경영 평가기법을 도입한 바 있고, 선급인 Det Norske Veritas(DNV, 1998)에서는 원양 부유체들에 대한 안전평가기법을 개발한 바 있다. Keith Michel *et al* (1999)은 탱커의 기름 유출에 관한 이론식과 모델을 개발하여 원유 유출시의 피해감소를 위한 방법론을 개발한 바 있으며, Bilal M. Ayyub *et al* (1999)은 원양의 대형 구조물에서의 안전평가기법을 보고한 바 있고, 미운수성 연안경비대(USCG, 1999)은 해상위기관리에 대한 정의와 해상위기 평가기법 등의 지침을 마련한 바 있다. 이러한 지침은 미 연안경비대의 행동지침으로 하달되어 해양사고 예방에 큰 역할을 하고 있다. 영국의 환경, 수송, 지역국(Dept. of the Environment, Transport and the Regional, 1999)은 해상위험에 대한 정의를 내리면서, 해양사고에 대한 분류와 평가기법을 소개한 바 있다. Martha Grabowski *et al* (2000)은 거대 수송시스템에 대한 위기분산 모델을 개발하여 IEEE에 발표한 바 있고, DNV 소속의 Havard J. *et al* (2001)은 노르웨이의 오슬로해협(Oslofjord)에서의 해상수송 위기 평가방법을 개발하여 구체적인 수치로 제시하였다. 그리고, 스웨덴의 룬드 대학(Lund University) 화재안전공학부(Department of Fire Safety Engineering, 2002)에서는 각종 사고 데이터들의 통계결과에서 발생하는 불확실성에 대한 위기분석을 개발하여 정확한 통계분석에 기여하였다. 또한, ABS 소속의 Torgeir Moan *et al* (2002)은 선박사고 충돌에 대한 위기관리 평가기법을 개발한 바 있는데, 선박의 구조를 고려한 위기평가를 위하여 이론식 개발과 계산 방법을 제시하고 있다.

이와 같이 미국, 영국, 노르웨이, 스웨덴 등 선진국을 중심으로 해양사고에 대한 예측과 분석 및 가시화 기술이 방대하게 연구되고 있는 실정이다. 그러나, 국내 해양사고에 적합한 모델은 개발된 바 없어 해양선진국 진입을 위한 연구 개발이 시급한 실정이다.

2. 해양사고 예측 모델 개발

2.1 비교 모델 선정

이 연구에서는 해양사고 예측을 위하여 해양사고 예측 모델을 개발한 후, P. Tuovinen 등이 제안한 Baltic 모델과 비교하여 연구적용지역의 해양사고 특징에 적합한 모델을 선정하였다. Baltic 모델은 발틱해에서 다국적 선박의 해양사고 통계분석에 적용한 모델로서, 근본적으로 해양사고의 하루당 사고건수가 포아슨(Poisson) 분포를 갖는다는 전제하에 구축된 모델이다. 이 연구적용 지역의 경우에도 선행연구 결과 해양사고가

1996년부터 2000년까지 지수함수적으로 감소하는 추세를 보였기 때문에 비교 평가를 위한 예측 모델로서 다음 식(1)의 Baltic 모델을 선정하였다. 일평균 사고건수를 m 이라 하면, 하루에 k 개의 사고가 발생할 확률 $P(N=k)$ 는

$$P(N=k) = \frac{m^k e^{-m}}{k!} \quad (1)$$

이 된다. 그리고, 해당년도에서 k 개의 사건이 발생할 기대일수는 $365 \times P(N=k)$ 로 계산되고, 예측결과에 대한 검증은 χ^2 테스트로 검증하고 있다.

2.2 LIP 모델 개발

선형과라미터 모델(Linear-In-the-Parameter: LIP)의 경우는 종속변수 y 가 k 개의 독립변수 x_i ($i=1, 2, \dots, k$)에 관련되어 있는 다음 식(2)와 같은 다중선형회귀모델(Multiple Linear Regression)로부터 유도할 수 있다(김, 1993; 임 등 2002).

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \epsilon \quad (2)$$

여기서,

$$\beta_j = \text{회귀계수(regression coefficient)} \quad (j=0, 1, \dots, k),$$

$$\epsilon = \text{오차(error)}.$$

$k=1$ 의 독립변수 x_1 만을 고려하는 경우, 위의 식(2)는 다음 식(3)과 같은 다항회귀모델(Polynomial Regression)로 대표할 수 있다.

$$y_{PR} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_1^2 + \dots + \beta_k x_1^k + \epsilon \quad (3)$$

이러한 모델에 다음 식(4)와 같이 지수함수를 도입한 것이 LIP 모델이다.

$$y_{LIP} = \beta_0 + \beta_1 e^{-x_1} + \beta_2 x_1 e^{-x_1} + \dots + \beta_k x_1^{k-1} e^{-x_1} + \epsilon \quad (4)$$

그리고, $x_1 = e^{-x_1}$, $x_2 = x_1 e^{-x_1}$, ..., $x_k = x_1^{k-1} e^{-x_1}$ 등으로 나타내면, 위의 식(4)는 위의 식(2)와 동일한 형태로 나타낼 수 있고, $n > k$ 인 관측치를 얻을 수 있다고 가정하고, x_{ij} 를 변수 x_j 의 i 번째 관측치라 하면, 다음 식(5)가 된다.

$$y_{LIPi} = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \epsilon_i \\ = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij} + \epsilon_i, \quad (i=0, 1, \dots, n) \quad (5)$$

위의 식(5)를 행렬로 나타내면 다음 식(6)이 된다.

$$Y = X\beta + e \tag{6}$$

여기서,

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nk} \end{bmatrix}, \beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix}, e = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

위의 식(6)을 풀면(임 등, 2002), β 의 최소제곱 추정량은 다음 식(7)으로 나타낸다.

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'Y \tag{7}$$

따라서, 추정된 회귀모형은 다음 식(8)이 되고,

$$\hat{Y} = X\hat{\beta} \tag{8}$$

관측치 Y 와 추정치 \hat{Y} 사이의 잔차(residuals)는 다음 식(9)이 된다.

$$\epsilon = Y - \hat{Y} \tag{9}$$

이 연구에서는, 선행연구에서 개발한 해양사고 수량화 D/B를 이용하여 위의 식(9)가 최소가 되는 제 n차의 LIP 모델식을 구한 후, 회귀계수 β 를 구하여 LIP 모델을 개발하였다.

2.3 CD-LIP 모델 개발

셀분할 LIP 모델(Cell Distributed LIP: CD-LIP)은 LIP 모델의 적용방법을 달리한 것이다. LIP 모델은 해당 연도나 월별, 일별 등에 대한 전체 데이터를 대상으로 회귀모델을 적용하는 것인데 반하여, CD-LIP 모델은 각 셀별로 분할된 지역 데이터에 대해서 회귀모델을 각각 적용하여 지역의 특징을 보다 정확하게 대표하기 위한 것이다. 그러나, 데이터 수가 제한된 경우, 잔차가 크게 발생할 수 있는 문제점도 발생할 수 있다. 각 지역 분할 셀에 LIP 모델을 적용하면 다음 식(10)이 된다.

$$y_{CD-LIP(i,j)} = \beta_0 + \beta_1 e^{-x_{i,j}} + \beta_2 x_{i,j} e^{-x_{i,j}} + \cdots + \beta_k x_{i,j}^{k-1} e^{-x_{i,j}} + \epsilon \tag{10}$$

여기서,

$x_{(i,j)} = i, j$ 셀에 대한 연도별 해양사고 데이터,

$i = 1, 2, \dots, 9$ 등의 셀구분 위도번호,

$j = 1, 2, \dots, 12$ 등의 셀구분 경도번호.

2.4 오차분석 방법

위의 예측 모델들에 대한 평가에는 회귀의 분산분석기법(최 등, 1992)을 도입하였다. 1996년부터 2000년까지 5년간의 해양사고 데이터를 $N_{Year(i)}$ ($i = 1, 2, \dots, 5$)로 두고, $N_{Year(i)}$ 와 평균값 $\overline{N_{Year(i)}}$ 사이의 차를 총편차(total deviation)로 두면, 다음 식(12)으로 나타낼 수 있다.

$$N_{Year(i)} - \overline{N_{Year(i)}} = (\widehat{N_{Year(i)}} - \overline{N_{Year(i)}}) + (N_{Year(i)} - \widehat{N_{Year(i)}}) \tag{12}$$

여기서, $(\widehat{N_{Year(i)}} - \overline{N_{Year(i)}})$ 항은 회귀에 의해 설명되는 편차(deviation)로서 간단히 SR로 나타내고, $(N_{Year(i)} - \widehat{N_{Year(i)}})$ 항은 잔차(residual)로서 SE로 나타낸다.

위의 식(12)의 양변을 제곱하여 합의 기호를 사용하여 전개하면 다음 식(13)이 된다.

$$\sum(N_{Year(i)} - \overline{N_{Year(i)}})^2 = \sum(\widehat{N_{Year(i)}} - \overline{N_{Year(i)}})^2 + \sum(N_{Year(i)} - \widehat{N_{Year(i)}})^2 \tag{13}$$

식(13)의 좌변항을 총제곱합(Total Sum of Squares: SST)이라 하며, 우변의 첫번째 항을 회귀제곱합(Regression Sum of Squares: SSR)이라 하고, 두 번째 항은 잔차제곱합으로서 SSE로 나타낸다. 따라서, 총변동 SSR은 다음 식(14)으로 나타낼 수 있다.

$$SST = SSR + SSE \tag{14}$$

3. 예측모델 적용결과

3.1 해양사고 예측결과

Baltic 모델과 LIP 모델 및 CD-LIP 모델을 1996년부터 2000년까지의 5년간 해양사고 수량화 D/B에 적용한 후, 대표적으로 2003년도 해양사고 발생건수 예측결과를 지역분할 콘토-맵 방식으로 가시화하여 Fig.1에 나타냈다.

Fig.1(a)는 Baltic 모델을 적용한 결과로서, 1996년부터 2000년까지의 실측 데이터에 대한 평균을 포아송 분포에 근거한 지수함수로 예측한 것이다. Fig.1(b)는 LIP 모델을 적용한 결과이고, Fig.1(c)는 CD-LIP 모델을 적용한 결과이다.

Baltic 모델은 적용기간 데이터의 평균을 기초로 위의 식(1)과 같이 지수함수적으로 예측하기 때문에 전반적으로 두드러진 특징만을 예측하는 특징이 있다. 따라서, 해양사고 발생 빈도가 낮은 지역은 예측 건수가 영(0)에 수렴하게 되는 오류를 범하고, 전반적인 예측결과는 단순한 형태를 나타낸다.

Fig.1(b)의 LIP 모델 역시 적용기간 데이터 전체를 대상으로 예측하기 때문에 Baltic 모델과 정밀도는 유사하다. 그러나,

Baltic 모델과는 달리, 각 연도별 데이터로부터 근사하기 때문에 과도한 지수함수적 감쇄현상은 발생하지 않는다. 따라서 해양사고 발생빈도가 낮은 지역이라도 예측건수가 영으로 수렴하지 않는다.

Fig.1(c) CD-LIP 모델의 경우는, 각 셀별 데이터에 대해서 회귀근사를 시행하기 때문에 위의 Baltic 모델이나, LIP 모델 보다는 각 지역의 특징을 잘 나타낼 수 있다.

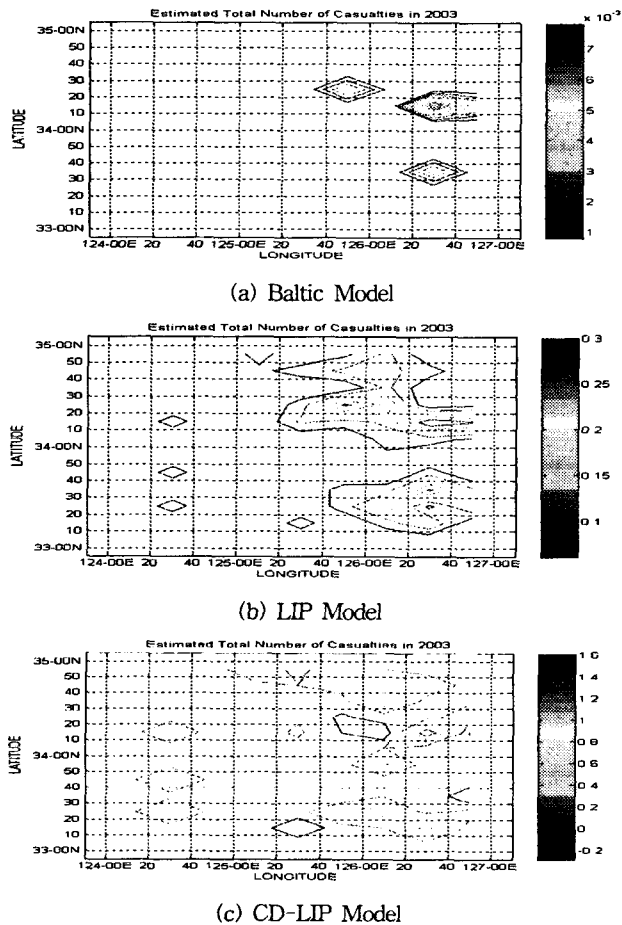


Fig.1 Prediction results in case of 2003

3.2 잔차분석

Fig.2는 1997, 1998, 1999, 2000년 등에 대한 해양사고 건수를 Baltic 모델, LIP 모델, CD-LIP 모델 등 3가지 모델을 적용하여 위의 식(12)의 SE 항을 계산한 결과이다. 적색 원점은 Baltic 모델의 SE를 나타내고, 청색 사각점은 LIP 모델의 SE를 나타내며, 검은색 작은 점은 CD-LIP 모델의 SE를 각각 나타낸다.

Fig.2를 보면, 연도 증가에 따라서 모든 모델들의 SE 값이 점차 감소하고 있는데, 이것은 근본적으로 연도 증가에 따라 해양사고 건수가 감소하기 때문인 것으로 보인다. 중요한 것은 3가지 모델 사이의 SE 값인데, LIP 모델은 정(+)의 SE 값으로 편중되어 있고, Baltic 모델은 부(-)의 SE 값으로 편중되어 있

으며, CD-LIP 모델은 영(0) 값 근처에 형성되고 있다. 따라서 CD-LIP 모델이 다른 모델과 비교하여 잔차가 작게 나타남을 알 수 있다.

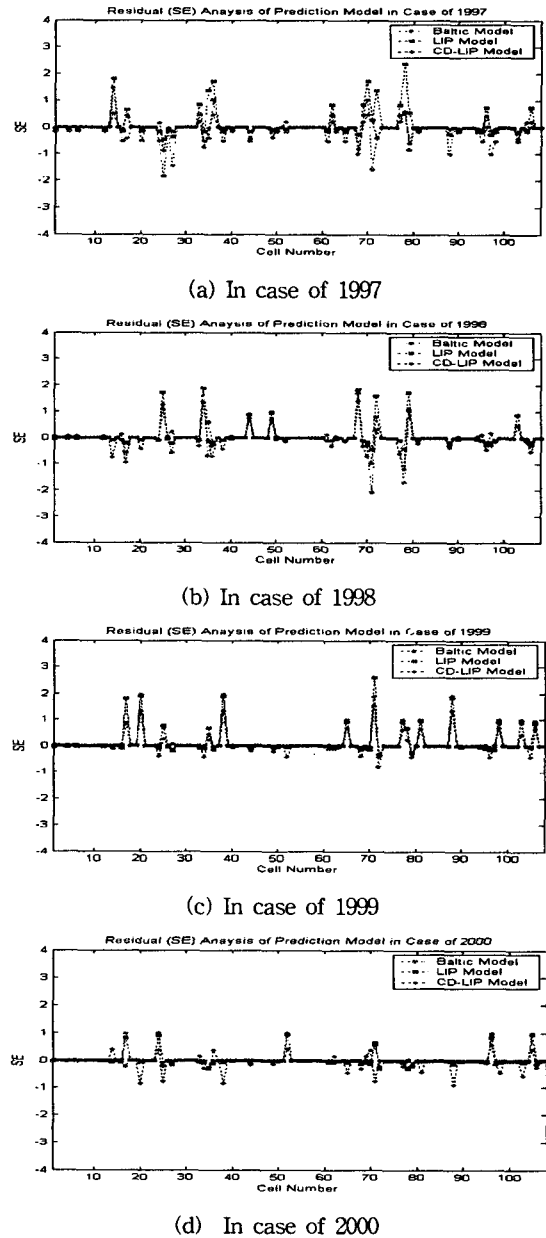


Fig.2 SE calculation results of the prediction models

3.3 SSE, SSR, SST 분석

Fig.3에 SSE, SSR, SST의 계산결과를 나타냈다. 우선, Fig.3(a)의 SSE를 보면, Baltic 모델 및 LIP 모델과 비교하여 CD-LIP 모델이 SSE가 작게 나타남을 알 수 있다. 여기서, Baltic 모델과 LIP 모델의 경우는 해양사고 건수의 평균에 기초한 예측이기 때문에 1996년부터 2000년까지의 중간 연도인

1998년도의 SSE 값이 작게 나타나고 있다. CD-LIP 모델은 데이터 적용개시 연도인 1996년을 기점으로 각 연도별 데이터를 이용하여 예측하기 때문에 1996년도의 SSE가 가장 작으면서도 전체적으로 다른 2가지 모델과 비교하여 SSE가 작다.

Fig.3(b)의 SSR을 보면, LIP 모델의 SSR이 가장 작게 나타나고, Baltic 모델과 CD-LIP 모델이 비슷한 양상을 보이고 있다. LIP 모델의 경우 전체 데이터 평균에 예측 회귀식을 적용한 것이기 때문에 회귀식에 의한 변동이 작게 나타나는 것으로 분석할 수 있다. 이러한 경우, Fig.2에 나타낸 SE는 오히려 증가하고 있다. 또한, Baltic 모델과 LIP 모델의 경우는 2000년에 SSR이 영(0) 근처로 수렴하는 특징을 보이는데, 이러한 부분은 과도한 예측결과로 사료된다.

Fig.3(c)의 SST를 보면, 점차 년수가 증가함에 따라 총 변동 폭이 작아지는데, 이것은 년수 증가에 따라 해양사고 건수가 지수함수적으로 작아지기 때문이다. CD-LIP 모델의 경우 완전한 지수함수적인 SST의 감소특성을 나타내는데 반하여 Baltic 모델과 LIP 모델의 경우는 1998년과 1999년의 경우 요철현상을 나타내고 있다.

따라서, 전반적으로 CD-LIP 모델이 다른 모델과 비교하여 총 잔차 변동이 작게 나타나고 있음을 알 수 있다.

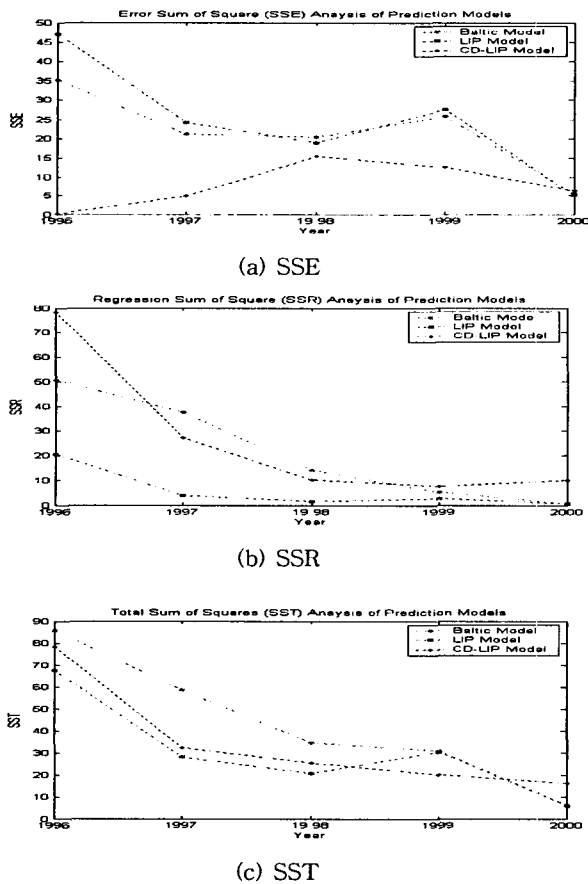


Fig.3 SSE, SST and SSR for the prediction models

3.4 예측모델 선정

해양사고 수량화 D/B에 예측 모델을 적용하여 오차를 분석한 결과, CD-LIP 모델이 총 잔차 변동이 가장 작게 나타났다. 여기서, CD-LIP 모델의 경우는 각 지역별로 분할하여 회귀모형을 적용하는 것이기 때문에 당연히 예측결과의 정밀도가 높을 것으로 생각할 수 있다.

또한, 회귀모형 적용시 적용기간과 데이터의 특징 등을 이미 선행 논문에서 충분히 검토하였기 때문에 CD-LIP 모델이 다른 모델과 비교하여 최적 특성을 나타냈다고 보여진다. 만약, 적용기간과 적용지역의 해양사고 특징을 고려하지 않았다면, 3가지 모델에 대한 평가결과는 다르게 나타날 수도 있다. 따라서, 해양사고 예측기법 개발에는 적용 데이터와 적용지역 및 적용기간 선정 등에 대한 타당성을 우선 검토하는 것이 무엇보다 중요함을 알 수 있다.

향후, 우리나라 전 지역에 대한 해양사고 예측기법을 적용하는 경우에는 이러한 사전 평가기법들이 유용하게 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

후 기

이 논문은 2002년도 해양수산부 해양한국발전 프로그램에 의하여 지원되었음. (MOMAF-2002-100-00000)

4. 결 론

이 연구에서는, 선행연구에서 개발한 해양사고 수량화 D/B를 이용하여 해양사고 예측 모델을 개발하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 서남해역의 해양사고 발생 유형에 적합한 해양사고 예측 모델을 개발하였다.
- (2) Baltic 모델과 LIP 모델, CD-LIP 모델 등을 SSE, SST, SSR 등으로 평가한 결과, CD-LIP 모델이 이 연구지역에 최적 모델임을 나타냈다.
- (3) 해양사고 예측 모델 개발시 연구대상지역의 해양사고 유형과 적용기간 등의 사전 분석과 선정이 중요함을 알았다.

이 연구에서 개발한 CD-LIP 모델을 이용하여 사용자가 쉽게 예측결과를 알 수 있는 해양사고 예보 시스템을 개발할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] 강병서(2000), *의사결정을 위한 현대통계학*, 무역경영사
- [2] 김영휘, 이영해(1998), *최신 공업수학*, 청문각, pp.374~407
- [3] 임정빈, 정중식, 박성현, 김봉석(2002), "2-체널 링-코어 프릭스-게이트 콤파스의 성능평가 시스템 개발, 한국항해항

- 만학회지, 제26권(제5호), pp.529-535
- [4] 임정빈(2003), *가상현실 모델링 기법을 적용한 해양안전사고 예보 시스템 개발*, 2003년도 해양한국발전프로그램(KSGP) 연구개발사업 연구보고서
- [5] 오택섭(1998), *사회과학데이터 분석법-SAS SPSS-*, 나남출판사
- [6] 윤대식(2001), *교통수요분석-이론과 모형-*, 전영사
- [7] 차석빈 등 4인(2001), *다변량 분석의 이론과 실제*, 학현사
- [8] 최덕희, 한한수, 조승엽 공저(1992), *새로운 통계학*, 청문각, pp.242-368
- [9] 홍종선, 박옥희(2001), *생활과학과 통계*, 자유 아카데미
- [10] Bilal M. Ayyub and William J. Bender(1999), *Assessment of the Construction Feasibility of the Mobile Offshore* Technical Report No.CTSM-98-RBA-MOB-1
- [11] Department of Fire Safety Engineering(2002), Lund University, Sweden, *Uncertainty in Quantitative Risk Analysis - Characterisation and Methods of Treatment*, Report 1024
- [12] Det Norske Veritas (1998), *Statement of Capability Safety Assessments for Offshore Facilities 'Base-Part I -Risk Informed Assessment Methodology*
- [13] Department of the Environment, Transport and the Regions(1999), *Identification of Marine Environmental High Risk Areas (MEHRA's) in the UK*, Doc.No.: ST-8639-MI-1 Rev 01
- [14] Havard J. Thevik, Eirik Sorgard, and Tim Fowler(2001), *A Method for Assessing the Risk of Sea Transportation: Numerical Examples for the Oslofjord*, Det Norske Veritas
- [15] John R. Harrald, Thomas A. Mazzuchi, Jason Merrick, John Spahn, and Rene Van Dorp(1997), "System Simulation : A Risk Management Tool for Prince William Sound," 1997 International Oil Spill Conference, pp.545-550
- [16] John D. Lee and Kim J. Vicente(1998), *Safety Concerns at Ontario Hydro: The Need for Safety Management Through Incident Analysis and Safety Assessment*, HESSD 1998, pp.17-26
- [17] Keith Michel and Thomas S. Winslow(1999), "Cargo Ship Bunker Tankers: Designing to Mitigate Oil Spillage," SNAME Joint California Sections Meeting, pp.1-11
- [18] Martha Grabowski, Jason Merrick, John R. Harrald, Tom Mazzuchi, and Rene Van Dorp(2000), "Risk Modeling in Distibuted, Large-Scale Systems," Revised for IEEE Systems, Man & Cybernetics:A
- [19] P. Tuovinen, V. Kostilainen and Hamalainen(1984), *Studies on the Ship Casualties in the Baltic Sea 1979-1981*, Baltic Sea Environment Processing, No.11
- [20] Torgeir Moan, Jorgen Amdahl, Xiaozhi Wang, and Jack Spencer(2002), *Risk Assessment of FPSOs, with Emphasis on Collision*, American Bureau of Shipping
- [21] U.S. Department of Transportation, United States Coast Guard(1999), *OPERATIONAL RISK MANAGEMENT*, COMDTINST 3500.3

원고접수일 : 2003년 월 일

원고채택일 : 2003년 월 일