

# 운수창고 및 통신업에서의 재해율 예측과 무재해시간 추정에 관한 연구

강영식 · 김태구<sup>†\*</sup>

세명대학교 보건안전공학과 · \*인제대학교 대기환경정보연구센터

(2010. 9. 10. 접수 / 2010. 12. 7. 채택)

## A Study on the Accident Rate Forecasting and Estimated Zero Accident Time in the Transportation, Storage, and Telecommunication Divisions

Young-Sig Kang · Tae-Gu Kim<sup>†\*</sup>

Department of Occupational Health & Safety Engineering, Semyung University

\*AEI, Inje University

(Received September 10, 2010 / Accepted December 7, 2010)

**Abstract** : Many industrial accidents have occurred over the years in the manufacturing and construction industries in Korea. However, as the service industry has increased continuously, the share of the accident rate in the service industry was 39.07% in 2009, while the manufacturing industry share was 33.73%. The service industry share overtook the manufacturing industry share for the first time. Therefore, this research considers prevention of industrial accidents in the service industry as well as manufacturing and construction industries. This paper describes a procedure and a method to estimate efficient accident rate forecasting and estimated zero accident time in the service industry in order to prevent industrial accidents in the transportation, storage, and telecommunication divisions. This paper proposes a model using an analytical function for the sake of very efficient accident rate forecasting. Accordingly, this paper has developed a program for accident rate forecasting, zero accident time estimating, and calculation of achievement probability through MFC (Microsoft Foundation Class) software Visual Studio 2008 in the transportation, storage, and telecommunication divisions. In results of this paper, ARIMA (Auto Regressive Integrating Moving Average) is regarded as a very efficient forecasting model for the transportation, storage, and telecommunication division. In testing this model, value minimizing the Sum of Square Errors (SSE) was calculated as 0.2532. Finally the results of this paper are sure to help establish easy accident rate forecasting and strategy or method of zero accident time in the service industry for prevention of industrial accidents.

**Key Words** : industrial accidents, accident rate forecasting, estimated zero accident time, achievement probability, ARIMA model, sum of square errors(SSE)

### 1. 서론

1997년 IMF(국제통화기금) 외환위기 이후 우리나라의 산업분포는 기존의 제조업 및 건설업 중심에서 서비스업을 중심으로 하는 기타산업으로 그 비중이 급격히 변화되고 있다. 따라서 정부에서는 제조업과 건설업뿐만 아니라 서비스산업을 함께 고려하는 산업재해예방을 추진하고 있다.

노동부 산업재해통계를 장기적인 관점에서 분석해 보면, 1999년부터 2008년 동안 제조업은 점차 감소하고 있는 추세이며, 그 외 서비스산업을 제외

한 업종에서는 제조업과 동일하게 감소하거나 평균 재해로 유지되고 있다<sup>2,5)</sup>. 따라서 서비스산업의 재해점유율을 세부적으로 살펴보면 보면, 1999년도 전체 재해자수에 대한 서비스산업의 재해 점유율은 21.2%에서 2008년도에는 34.8%로 1.6배 상승하였으며, 연차적으로 계속해서 증가를 거듭하다 지난해 39.07%로 처음으로 제조업 점유율 33.73%를 추월한 것은 시사하는 바가 크다고 할 수 있다<sup>2,5)</sup>. 이러한 산업구조의 변화의 의미는 삶의 질뿐만 아니라 외환위기 이후 각 사업장에서 경쟁을 통해 살아남기 위해 전체 그룹, 사업장, 또는 부서별로 구조조정과 명예퇴직 등으로 많은 변화를 가져오면서 기존의 제조업 및 건설업 중심에서 서비스산

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
tgkim@inje.ac.kr

업으로 많은 근로자들의 이직을 하고 있다는 것이다. 따라서 산업재해예방을 위한 전략이나 방안을 수립하는 경우에 이러한 사회적·기술적인 사업환경의 변화를 반영해야만 체계적으로 산업재해를 최소화 할 수 있다. 또한, 우리나라는 산업재해율이 지속적으로 감소하다가 현재 11년 동안 0.7 수준에서 산업재해율의 추세가 정체상태를 보이고 있다.

그러므로 본 연구에서는 서비스산업 중에서 운수창고 및 통신업에서 사회적·기술적인 사업환경의 변화를 반영하여 향후 오차제곱합(sum of square errors: SSE)을 최소화하는 재해율 예측 및 추정된 무재해시간 및 달성확률을 체계적으로 측정하여 서비스산업의 산업재해예방에 필요한 전략이나 방안을 수립하는데 결정적인 정보를 제공하는 것이다.

## 2. 재해율 예측 모형

### 2.1. 이론적 배경

산업재해율의 예측에 관한 기존의 연구를 살펴보면, 무재해운동을 극대화하기 위해 재해율을 가지고 무재해 목표시간 및 무재해 달성확률을 산정하고자 하였으며<sup>4)</sup>, 시계열자료를 대상으로 여러 가지 시계열 모형을 비교·분석하여 오차제곱합을 가장 최소로 하는 모수 추정과 매우 이상적인 예측 모형을 발견하였다<sup>1)</sup>.

또한, 본 연구는 재해율을 가지고 SSE를 최소화 하는 예측 재해율을 통하여 가장 바람직한 무재해 시간을 추정하는 프로그램을 개발하였으며<sup>7,9)</sup>. 이 프로그램을 서비스 산업 중에서 창고업과 통신업에 적용하여 매우 효율적인 재해율 예측 및 예측 모형을 발견하였다<sup>3)</sup>.

### 2.2. 재해율 예측 모형

업종별 위험도를 나타내는 척도로는 재해율을 들 수 있다. 재해율은 사업장에 근무하는 근로자 중에서 몇 명이 재해를 입었는가에 대한 척도이다.

따라서 재해율 예측방법은 회귀분석, 지수평활법, 이중지수평활법, ARIMA(Autoregressive Integrated Moving Average) 모형 등이 있다. 특히 본 연구에서는 매우 이상적인 재해율 예측을 위해 고안된 해석합수법을 고안하였다.

#### 2.2.1. 회귀분석법Regression Analysis Method (RAM)

회귀분석은 관찰된 연속형 변수에 대해 독립변수

와 종속변수의 선형 식을 구한다. 그리고 그 식을 이용하여 독립변수가 주어졌을 때 종속변수를 예측하는 분석방법이다. 회귀분석 기법을 본 연구에 도입하게 되면, 과거의 재해율이 독립변수가 된다. 그러면 그에 따라 앞으로의 재해율이 종속변수가 되는 것이다. 이 회귀분석을 통하여 과거재해율과 미래재해율의 상관관계를 파악 할 수 있다. 회귀분석을 사용한 예측방정식과 기호정의는 다음과 같다<sup>7,9)</sup>.

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 x_t + \varepsilon_t \tag{1}$$

- $y_t$  = t 시간의 종속변수
- $\beta_0, \beta_1$  = 알려지지 않은 모수
- $x_t$  = t 시간에 재해율인 독립변수
- $\varepsilon_t$  = t 시간의 예측 오차

#### 2.2.2. 지수평활법(Exponential Smoothing Method: DESM)

지수평활법은 ‘과거의 자료보다 최근의 자료에 가중치를 두어 미래를 예측하는 방법’이다. 이 기법은 중·단기예측에 아주 유용하다. 특히, 추세와 계절성을 가지는 시계열에 매우 효율적인 기법이다<sup>6,9)</sup>.

$$Y_t = \alpha X_{t-1} + (1 - \alpha)x_t Y_{t-1} \tag{1}$$

- $Y_t$  = 예측 재해율
- $\alpha$  = 최적화하는 상수
- $X_{t-1}$  = t-1 시간의 재해율
- $Y_{t-1}$  = t-1 시간의 예측 재해율

이중지수평활법(Double Exponential Smoothing Method: DESM)이란 ‘정해진 기간 내에 상향이나 하향의 추세가 있는 자료에 지수평활을 두 번 적용하는 재해율 예측방법’이다<sup>6)</sup>.

#### 2.2.3. ARIMA(AutoRegressive Integrated Moving Average) Model

ARIMA 모형은 자동회귀와 누적 이동평균을 뜻한다. 이 모형은 과거의 패턴을 찾고 미래를 예측하기 위해 역사적 자료의 시차(lag)와 추이(shift)를 사용한다. ARIMA 모형을 결정짓는 것은 두 가지이다.

첫 번째는 다음 관측치를 예측하기 위해 과거의 시간은 어느 정도 사용되어야하는가(가중치의 길

이)이다.

두 번째는 가중치의 값을 결정하는 것이다.

ARIMA 모형은 회귀모형과 이동평균 모형을 더욱 더 세부적이고 정교하게 나타내어 주기 때문에 회귀모형, 단순평균, 단순이동평균, 가중이동평균 모형을 사용할 필요가 없다. ARIMA 모형에 의한 예측방정식은 자동회귀 모형(Autoregressive Model: AR(p))과 이동평균 모형(Moving Average model: MA(q))으로 구분된다.

AR(p) 모형은 그 시계열이 과거치의 선형결합으로 이루어진 시계열이며, 예측방정식과 기호정의는 다음과 같다<sup>7,9)</sup>.

$$X_t = \delta + \phi_1 X_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} + \dots + \phi_p X_{t-p} + A_t \quad (3)$$

$X_t$  = 시계열

$$\delta = (1 - \sum_{i=1}^p \phi_i) \mu \quad (4)$$

- $\phi_i$  = 모형의 모수( $i = 1, 2, \dots, p$ )
- $X_{t-i}$  = t-i의 시계열( $i = 1, 2, \dots, p$ )
- $\mu$  = 재해율의 평균
- $p$  = AR 모형의 차수
- $A_t$  = 화이트 노이즈

MA(q) 모형은 예측오차의 선형결합으로 이루어진 시계열이며, 예측방정식과 기호정의는 다음과 같다<sup>7,9)</sup>.

$$X_t = \mu + A_t - \theta_1 A_{t-1} - \theta_2 A_{t-2} - \dots - \theta_q A_{t-q} \quad (5)$$

- $X_t$  = 시계열
- $\mu$  = 재해율의 평균
- $\theta_i$  = 모형의 모수( $i = 1, 2, \dots, q$ )
- $q$  = MA 모형의 차수
- $A_{t-i}$  = 화이트 노이즈( $i = 1, 2, \dots, q$ )

그러므로 ARIMA 모형의 식과 기호정의는 다음과 같다<sup>6,8)</sup>.

$$X_t = \delta + \phi_1 X_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} + \dots + \phi_p X_{t-p} + A_t - \theta_1 A_{t-1} - \theta_2 A_{t-2} - \dots - \theta_q A_{t-q} \quad (6)$$

### 2.2.4. 고안한 해석함수법(Analytic Function Model)

우연적이고 규칙성이 없는 산업재해 발생과정은 이산상태의 연속시간 모형 중에서 포아송 프로세스에 해당된다. 따라서 만일 무재해 시간과 무재해 목표시간을 위한 달성확률은 포아송 프로세스에 따라 산출 할 수 있다.

그러므로 재해율을 산정하기 위해 해석함수를 사용한 실측 및 예측방정식은 다음과 같다.

$$Y_n = \mu + \alpha e^{-\beta(t_n - t_0)} + \gamma \sin(\omega(t_n - t_0) + \phi) + \delta_n \quad (7)$$

$$E_n = \mu + \alpha e^{-\beta(t_n - t_0)} + \gamma \sin(\omega(t_n - t_0) + \phi) \quad (8)$$

- $Y_n$  = n-th 연도의 재해율
- $\mu$  = 재해율의 평균
- $\alpha, \beta$  = 결정상수
- $t_n$  = n-th 연도의 임의의 시간
- $t_0$  = 관측 시작년도로 보통 0
- $\gamma$  = 진폭
- $\omega$  =  $2\pi f$
- $\phi$  = 계절진동을 위한 위상
- $\delta_n$  = 예측치와 실측치의 차이
- $E_n$  = n-th 연도의 예측 재해율

재해율을 예측하는 과정에서 기존 데이터의 특수성에 따라 예측값이 음수가 나올 수 있다. 이 경우에 예측값은 0으로 하였다. 그러나 예측값이 0으로 나오는 경우에는 재해율을 사용하는 대신에 재해율의 역수를 사용하여 예측한다. 그러면 이러한 문제는 쉽게 해결 할 수 있다.

그러므로 예측한 재해율을 가지고 매우 바람직한 무재해시간 추정 및 달성확률을 계산하기 위한 식과 기호정의는 다음과 같다<sup>9)</sup>.

$$R_0 = e^{-m(\tau)} \quad (9)$$

$$-\ln R_0 = m(\tau) = \int_0^\tau \lambda y(t) dt \quad (10)$$

- $R_0$  = 무재해 발생확률
- $m(\tau)$  = 특정기간  $\tau$  동안에 재해 발생 빈도수
- $\lambda y(t)$  = t 시간에 실제 재해의 확률함수

### 2.3. 재해율 예측 및 무재해시간 추정을 위한 추진절차

재해율은 서비스 업종에서 재해를 당한 근로자

수를 종사하고 있는 전체 근로자수로 나누어 백분율로 환산한 값을 의미한다. 그리고 재해율은 250년까지 산정 할 수 있으며, 재해율 예측에 가장 유용한 방법은 SSE가 가장 적게 산출되는 값을 찾아내는 것이다.

재해율 예측을 위한 프로그램의 추진절차는 다음과 같다.

1단계로 예측하고자하는 업종을 선택한다.

2단계로 선택된 업종의 과거 재해율을 .rat 파일로 변환하여 메모장에 저장한다.

3단계로 예측 재해율을 위해 개발한 Zero Accident 프로그램을 시작한 후에 선택된 업종의 저장 파일을 열고 상단의 재해율 예측 버튼을 클릭한다.

4단계로 재해율 예측 방법을 변경해 가면서 SSE 값이 가장 적게 산출되는 재해율 예측 기법을 결정한다.

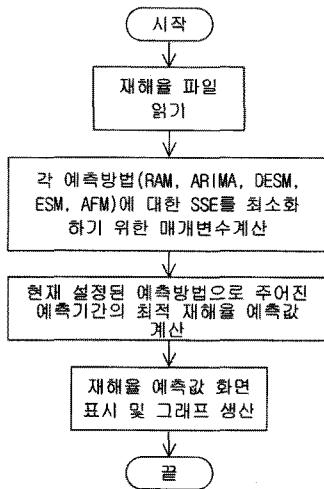


Fig. 1. Flow chart for open menu.

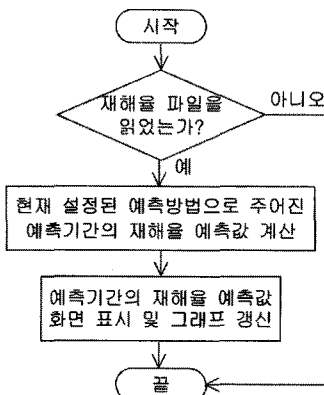


Fig. 2. Flow chart for predicted accident rate.

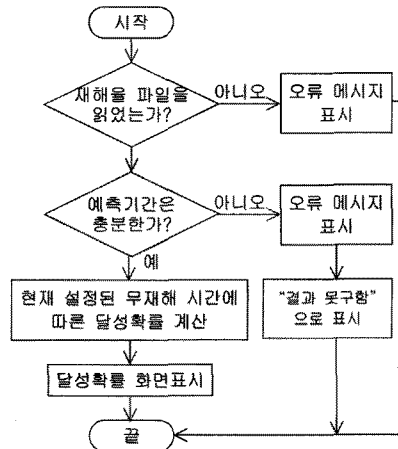


Fig. 3. Flow chart for calculation of achievement probability.

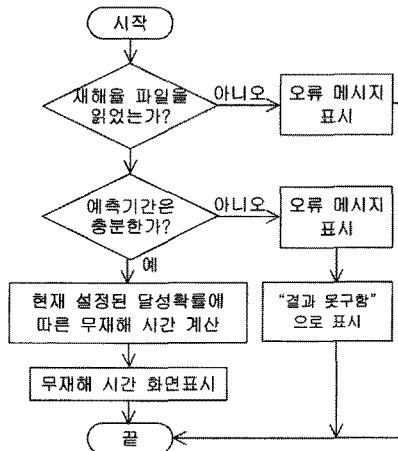


Fig. 4. Flow chart for calculation of zero accident time.

5단계로 재해율이 1보다 작은 경우에는 역재해율을 클릭하여 계산한다.

마지막으로 선택된 업종의 합리적이고 현실적인 재해율을 저장기능에 저장한다.

따라서 현실적이고 합리적인 예측 재해율을 산출하기 위한 흐름도는 Fig. 1과 2와 같다.

그러므로 이 예측 재해율을 바탕으로 매우 효율적인 달성확률 및 무재해시간 추정을 산출하기 위한 흐름도는 Fig. 3과 4와 같다.

### 3. 사례연구

1991년부터 2008년까지 18년간의 운수창고 및 통신업의 재해율은 Table 1과 같다. 재해율 예측은 서비스산업 중에서 운수창고 및 통신업을 대상으로 하였다.

Table 1. Accident rates of transportation, storage, and telecommunication divisions for 18 years

년도	운수사고 및 통신업 재해율	년도	운수사고 및 통신업 재해율
1991	1.87	2000	0.87
1992	1.71	2001	0.88
1993	1.54	2002	0.74
1994	1.43	2003	0.87
1995	1.25	2004	0.78
1996	1.28	2005	0.70
1997	1.21	2006	0.75
1998	0.79	2007	0.68
1999	0.79	2008	0.67

의 예측치 곡선은 맨 하단에 나타 나고 있다. 위의 5가지 기법에 대하여 최종적으로 분석한 결과는 다음과 같다. 운수사고 및 통신업에서 SSE를 최소화하는 값은 0.2532로 산출되었다. 따라서 운수사고 및 통신업에서는 ARIMA 모형을 적용하는 것이 매우 이상적이라 할 수 있다.

#### 4. 논의 및 결론

본 연구에서 개발한 재해율 예측 프로그램을 통하여 운수사고 및 통신업에서 기대되는 정보 및 활용효과는 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서 개발한 재해율 예측 프로그램은 과거 각 업종별 위험도 척도가 반영된 재해율 예측값을 산출 할 수 있다. 따라서 서비스 업종 중에서 각각의 세부 업종에 대해 보다 더 실효성 있는 결과치를 산출 할 수 있다.

둘째, 각 사업장별 재해율을 프로그램에 적용함으로써 세부적인 산업재해 예방에도 기여할 수 있다.

셋째, 운수사고 및 통신업에서 재해율 예측은 ARIMA 모형을 적용하는 것이 매우 이상적이라 할 수 있다.

넷째, 매우 효율적인 재해율 예측을 위해 고안된 해석함수법을 제안하였다.

마지막으로 더 나아가 재해율뿐만 아니라 설비나 부품의 고장률을 예측할 수 있다. 따라서 수명시간의 예측분야에서도 매우 효율적으로 활용 될 수 있을 것으로 사료된다.

추후의 연구과제로는 재해율을 예측하는 과정에서 오류를 더욱 더 최소화하고 더욱 더 민감하게 탐지할 수 있는 칼만 필터링 등의 동적 시계열 모형에 대한 연구가 요구된다.

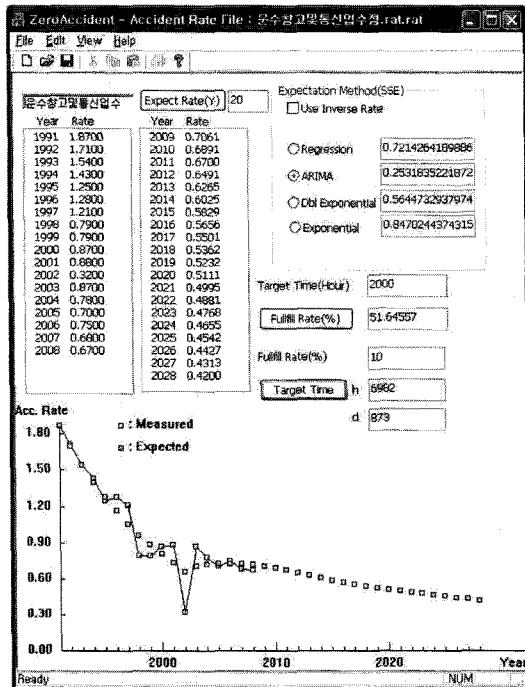


Fig. 5. The computation results of accident rates forecasting, achievement probability, and zero accident time for transportation, storage and telecommunication divisions.

운수사고 및 통신업의 재해율은 점진적으로 감소하는 추세를 보이고 있으며, 2007년과 2008년은 2008년의 산업재해율 0.71보다 약간 낮은 재해율의 변동을 보이고 있다.

Fig. 5는 Table 1의 재해율을 바탕으로 하여 향후 20년 동안 예측한 재해율을 보여주고 있다.

SSE는 우측 상단에 재해율 예측방법 내에 시계열기법의 오른쪽에 산출되어 나타나고 있다. 과거 재해율의 실적치와 SSE 값의 최소화에 의한 미래

#### 참고문헌

- 1) 강영식, “수요예측 모형의 비교분석과 적용”, 공업경영학회지, 제20권, 제44호, pp. 243~255, 1997.
- 2) 김태구, 갈원모, 최국렬, 이규진, 정혜선, 차상은, 허용, “기타산업에 대한 산재예방 서비스 전개방향에 관한 연구”, 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 연구보고서, 2007.
- 3) 김태구, 강영식, “서비스산업의 재해율 예측에 관한 연구-창고업과 통신업을 중심으로-”, 대한설비관리학회지, 제15권, 제2호, pp. 103~108, 2010.
- 4) 최승일, 임현교, “재해율 예측에 근거한 사업장별 무재해 목표시간의 설정”, 한국산업안전학회지,

제7권, 제2호, pp. 5~13, 1992.

- 5) 노동부, “산업재해현황분석”, 1991-2010.
- 6) Hunter, J. S., “The Exponentially Weighted Moving Average”, *Journal of Quality Technology*, 18, pp. 203~209, 1986.
- 7) Kang, Y. S., Kim, T. G., and Lee, H. W., “The Industrial Accident Rate Forecasting and Program Development of Estimated Zero Accident Time in Korea”, *Proceedings of Asia Pacific Symposium on Safety(APSS 2009)*, pp. 227~230, 2009.
- 8) Netwon, H. J., “TIMESLAB - A Time Series Analysis Laboratory”, Wadsworth & Brook/Cole Publishing Co., pp. 230~240, 1988.
- 9) Kim T. G., Kang, Y. S., and Lee, H. W., “A Study on Industrial Accident Rate Forecasting and Program Development of Estimated Zero Accident Time in Korea”, *Industrial Health*, 49(1), Advanced Publication, 2010.