

**건설공사 노동재해의 피해강도 및 규모특성에 관한 통계분석**  
**Statistical analyses on the damage consequences of occupational accidents in construction work**

최 기 봉\*

Gi-Bong Choi

(1997년 12월 11일 접수, 1998년 2월 27일 채택)

**ABSTRACT**

Statistical analyses of occupational accidents associated with construction work were carried out to explore the basic statistical characteristics of their damage consequences.

Emphasis was placed upon the probabilistic and statistical analyses to clarify, in particular, the relationship between frequency of labour accidents and their damage consequences. Damage consequences were classified into two categories such as the number of workdays lost due to accidents and the number of injured workers involved in one accident. Two types of accident data were collected for the analyses.

From the analyses, it was found that the relation between damage due to accidents and their frequencies can be represented by a simple power function which indicates a log-log linear relation. By making use of this relationship, various probabilistic evaluations such as the estimation of the mean time periods between accidents, expected damage consequences, and expected damage ratio between different mean time period of accidents were conducted.

**1. 서론**

건설공사시 재해발생의 척도는 재해의 손해 정도를 평가하는 강도율과 노동시간당 재해발생 건수를 측정하는 도수율로 대별할 수 있다.

노동재해에 관한 각종의 통계조사 및 분석에 있어서도 재해발생 빈도에 관한 분석연구는 광범위하게 행해지고 있지만 발생한 노동재해에 의한 재해의 강도율에 대해서는 거의 통계조사가 이루어지고 있지 않다.

\* 충청전문대학 산업안전과

그래서 본 연구에서는 노동재해에 의해 노동자가 받는 재해강도와 노동재해 규모를 중심으로 각각 그특성에 대해 실제로 발생한 건설공사 노동재해를 사례로 들어 다음과 같은 내용을 분석하였다.

- 1) 노동자가 받은 피해 정도와 발생빈도에 대한 분석
- 2) 노동재해 발생시 공종별 재해규모 분석
- 3) 재해규모의 확률분포 분석
- 4) 재해종류별 재해발생 빈도 분석

## 2. 건설재해에 의한 피해와 재해자료

노동재해에 의한 피해에는 재해에 의해 작업원이 사망하거나 상해를 당하는 인적인 피해와 물적손실 형태의 피해가 존재한다. 따라서 피해의 크기를 명확히 규명하기 위해서 노동재해에 의한 재해강도와 재해규모 등 2종류의 인적피해에 대해서 분석고찰을 하는 것이 필요하다.

노동재해에 의한 상해의 정도는 노동피해에 의해 작업원이 사망하거나 어느 기간 휴업을 해야만 하는 노동불능에 의한 노동손실일수에 의해 평가할 수 있다. 그래서 이 노동손실일수는 사망에서부터 1~14급까지의 노동손실일수가 정해져 있고 신체장해를 수반하지 않는 재해에 대해서는 휴업일수를 기본으로 노동손실일수를 산정한다<sup>1,3)</sup>.

이 노동손실일수에 관한 data에 신체장해를 수반하는 재해 및 신체장해를 수반하지 않는 재해에 대해서는 노동부에서 집계발표한 자료를 이용하였다.(노동부 집계자료)<sup>2)</sup>

분석에 이용한 재해자료는 건설재해 발생시 사업소로부터 노동부에 보고된 “노동자사상보고”이고, 동자료에는 휴업 1일 이상의 노동재해가 보고되어 있다. 건설재해의 자료건수는 작업종별로 구분하여 정리하였으며 이들 자료로부터 강도를, 도수율, 천인율을 구하여 그 결과를 분석하였다.

하나의 건설재해에 의한 부상자수에서 나타난 재해규모를 분석하기 위한 재해자료에는 일반건설공사(갑), 일반건설공사(을), 중건설공사, 철도 또는 궤도건설공사시 발생하는 중대재해에

관한 자료를 이용했으며, 중대재해는 재해발생 후에 노동부에 보고된 자료로 분석했다. 본 연구에서 조사·분석한 중대재해는 1986년부터 1995년까지의 10년간 한국국내에서 발생한 자료를 이용했다.

## 3. 노동재해에 의한 피해강도·규모의 이론적 고찰

노동재해의 통계적 규칙성하에서 발생한 재해사건을 Briscoe<sup>4)</sup> 및 中村<sup>5)</sup>는 함수로 나타내고 있다. 특히 中村은 재해규모를 함수로 나타냈을 때 피해규모-발생빈도의 관계가 대수지상의 직선으로 표현할 수 있고 그 경향이 대규모 재해발생의 잠재적 위험성을 나타내는 지표로서 사용할 수 있음을 서술하고 있다.

노동재해에 의한 재해강도·규모분포에 대해서 그 분포형을 상정하는 일반적인 기준은 없기 때문에 여기서 제시한 연구와 마찬가지로 재해강도·규모와 그 빈도와의 관계를 다음 함수로 가정했다.

$$K = h^n p \dots\dots\dots (1)$$

여기서, h는 피해정도의 크기, p는 h~h+dh 간의 재해발생 빈도의 밀도관계를 나타내고 n과 K는 constant이다. 그러면 피해의 크기가 h<sub>1</sub>~h<sub>2</sub> 사이에서의 노동재해의 발생빈도를 P(h<sub>1</sub><h<h<sub>2</sub>)로 쓰면 식(2)가 되고

$$P(h_1 < h < h_2) = \int_{h_1}^{h_2} Pdh \dots\dots\dots (2)$$

n≠1인 경우는 식(3)이 된다.

$$P(h_1 < h < h_2) = \frac{K}{1-n} (h_2^{1-n} - h_1^{1-n}) \dots\dots (3)$$

또 n=1인 경우는 식(4)가 된다.

$$P(h_1 < h < h_2) = K \cdot \log_e \left( \frac{h_2}{h_1} \right) \dots\dots\dots (4)$$

마찬가지로 h<sub>1</sub>~h<sub>2</sub>사이에서 재해에 의한 피해의 누적치를 G(h<sub>1</sub><h<h<sub>2</sub>)로 쓰면 식(5)가 되고,

$$G(h_1 < h < h_2) = \int_{h_1}^{h_2} phdh \dots\dots\dots (5)$$

n≠2 경우는 식(6)이 된다.

$$G(h_1 < h < h_2) = \frac{K}{(2-n)} \cdot (h_2^{2-n} - h_1^{2-n})$$

..... (6)

또 n=2인 경우는 식(7)이 된다.

$$G(h_1 < h < h_2) = K \cdot \log_e \left( \frac{h_2}{h_1} \right) \dots\dots\dots (7)$$

따라서, 재해 1건당의 평균적인 피해의 크기는 n≠1, 2인 경우 식(8)이 된다.

$$E(h_1 < h < h_2) = G(h_1 < h < h_2) / P(h_1 < h < h_2) \\ = \frac{(n-1) \cdot (h_2^{\frac{2-n}{2}} - h_1^{\frac{2-n}{2}})}{(n-2) \cdot (h_2^{\frac{1-n}{2}} - h_1^{\frac{1-n}{2}})} \dots\dots\dots (8)$$

또 n>2인 경우는 구간(h~∞), 즉 일정 크기의 피해 h이상의 영역에서 누적재해 발생빈도 P(h)와 누적피해값 G(h)는 식(9), (10)으로 구해진다.

$$P(h) = \int_h^\infty p dh = \frac{K}{n-1} \cdot h^{1-n} \dots\dots\dots (9)$$

$$G(h) = \int_h^\infty p h dh = \frac{K}{n-2} \cdot h^{2-n} \dots\dots\dots (10)$$

또 이때의 평균피해치 E(h)는 식(11)과 같이 표현된다.

$$E(h) = \frac{(n-1)}{(n-2)} \cdot h \dots\dots\dots (11)$$

이상으로부터 피해의 크기와 그 발생빈도의 관계가 식(1)로 표현할 수 있으면 피해정도와 그 누적발생빈도와 누적발생값과의 관계는 대수 지상에 직선으로 표현할 수 있음을 알 수 있다. 특히 주목해야 하는 것은 승수함수의 계수 n은 대수지상에 직선의 경향을 나타내고 또, 이 값이 n>1(혹은 n>2)이면, 피해정도가 ∞까지의 영역을 포함한 재해의 발생빈도와 누적피해값을 구할 수 있다는 것, 결국 대규모인 재해가 있을 경우 발생빈도와 피해의 누적값이 유한값으로 얻을 수 있다는 것이다.

이상은 中村<sup>5)</sup>의 함수에 의한 고찰이지만 어느 특정 피해값이 전체에서 어떤 형태로 영향을 미칠지를 확률값으로 평가하거나 또는 특정 규모재해의 평균 발생기간을 간단히 산술평균값으로 구하는 것이 아니라 확률적 의미를 갖는 통계적 기대값으로 구하기 위해서는 피해규모에 대해서 확률분포를 구하는 것이 필요하다. 피해값을 확률값으로 평가하기 위해서는 실제수치를 확률변수로 새로이 변환할 필요가 있다.

이를 위해 우선 재해규모의 하한값을 h<sub>c</sub>로 하

면 식(9)로부터 P(h<sub>c</sub>)=1이 되는 조건에서 K는 식(12)와 같이 된다.

$$K = (n-1) \cdot h_c^{n-1} \dots\dots\dots (12)$$

식(12)의 K를 같은 식에 대입하면 피해 크기의 확률분포함수 F(h)를 얻을 수 있고, 따라서 확률분포함수 F(h)도 이하의 수식으로 구할 수 있다.

$$P(h) = \left( \frac{h}{h_c} \right)^{1-n} \dots\dots\dots (13)$$

$$F(h) = 1 - \left( \frac{h}{h_c} \right)^{1-n} \dots\dots\dots (14)$$

같은 식에서 h의 확률밀도함수 p(h)는 식(15)가 된다.

$$p(h) = \frac{dF(h)}{dh} = \left( \frac{n-1}{h_c} \right) \cdot \left( \frac{h}{h_c} \right)^{-n} \dots\dots (15)$$

또, 분포의 기대치 E(H), 분산 V(H)는 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$E(H) = \frac{(n-1)}{(n-2)} \cdot h_c \quad (n>2) \dots\dots\dots (16)$$

$$V(H) = \frac{(n-1) h_c^2}{(n-2)^2 (n-3)} \quad (n>3) \dots\dots\dots (17)$$

본절에서 고찰한 재해에 의한 피해의 크기와 그 발생빈도와의 관계에 대해 다음장에서는 실제로 발생한 재해를 이용해 검증해 보이기로 한다.

#### 4. 피해정도(severity)에 대한 통계분석

본절에서는 노동재해에 의한 피해 중 노동자가 받은 부상의 정도를 노동손실일수에 기준을 두고 분석했다.

Fig. 1에는 1995년도에 발생한 신체장해를 수반한 재해에 대해 장해등급으로 구분하고 노동손실일수와 그 발생빈도와의 관계를 산업별로 구분해 식(9)에 의해 초과빈도 누적분포의 형식으로 나타낸 것이다. Fig. 1에서 장해정도와 발생빈도의 관계는 대체로 대수지상에 직선으로 표현가능함을 알 수 있다.

또 건설공사에서 발생한 신체장해에 따른 노동재해에 대해서 천인율, 도수율, 강도율의 관계를 1986~1995년도까지 년별로 조사한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에서 천인율, 도수율, 강도율은 89년까지 감소하였고, 92년에 다소 증

가한 후 95년까지 꾸준히 감소하는 경향을 나타내고 있다.

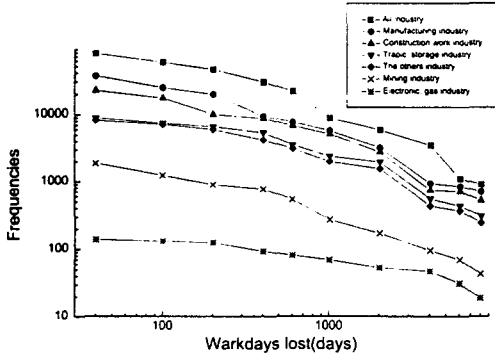


Fig. 1 Relationship between frequency of labour accidents and their damage consequences

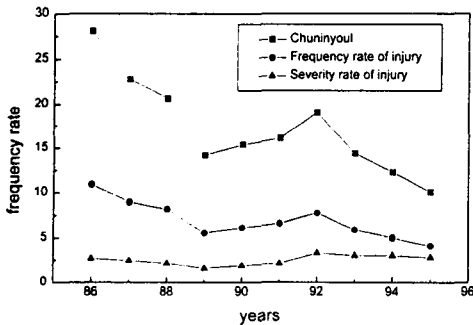


Fig. 2 Construction work (Chuninyoul-Frequency rate injury-Severity rate of injury)

한편 노동재해에 의한 휴업일수에 대해서 분석을 한 사례로서 Fig. 3에는 일반건설공사(갑) 노동재해에 대해서 휴업일수와 그 초과빈도분포의 관계를 보였다.

Fig. 3에서  $h=54$ 일을 경계로 2개의 영역으로 나누었지만 모두 대수지상에서 직선이 되었다. 양 영역에 대한 직선방정식을 구해보면(영역1  $h < 54$ 일), (영역2  $h > 54$ 일)로 식(18)과 같이 나타난다.

$$\begin{aligned} \textcircled{1} P_1 &= 1.0 h^{-0.06157}, K=0.061, n=1.148 \\ \textcircled{2} P_2 &= 13.24 h^{-1.274}, K=15.24, n=2.438 \dots \dots (18) \end{aligned}$$

특히 피해정도가 큰 2영역에서는  $n > 2$ 이기 때문에  $h = \infty$ 까지의 피해정도를 고려하면 기대휴업일수는 유한값으로 얻을 수 있다. 구체적으

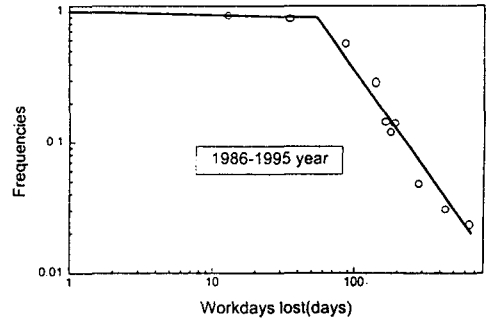


Fig. 3 General construction work(A)

로는 1과 2영역에서의 휴업일수를 구해 이것들을 합계하면 전영역에 대한 기대휴업일수를 유한값으로 얻을 수 있다. 1영역에서의 기대휴업일수를  $G_1$ , 2영역에서의 기대휴업일수를  $G_2$ 로 하면 일반건설공사(갑)에 관해서는  $G_1=0.63$ ,  $G_2=94.24$ ,  $G=G_1+G_2=94.87$ 과 같이 1건당의 평균휴업일수는 약 95일이 있음을 알 수 있다.

마찬가지로 Fig. 4는 일반건설공사(을) 노동재해에 의한 휴업일수를 분석한 결과이다. 이 그림에서 일반건설공사(갑) 재해와 같이  $h=67$ 을 경계로 2개의 영역으로 나누었지만 모두 대수지상에서 직선이 되고 있다. 각각의 영역에 대한 직선방정식은 다음식으로 나타난다.

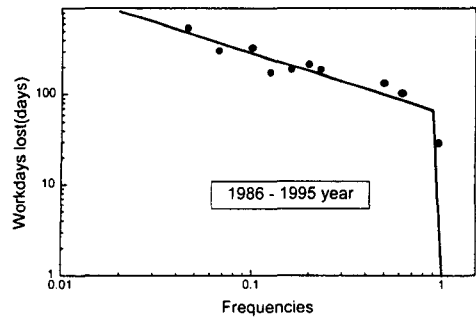


Fig. 4 General construction work(B)

(영역 1  $h < 67$ 일), (영역 2  $h > 67$ 일)

$$\begin{aligned} \textcircled{1} P_1 &= 1.0 h^{-0.073}, K=0.073, n=1.108 \\ \textcircled{2} P_2 &= 16.19 - 1.164, K=18.17, n=2.374 \dots \dots (19) \end{aligned}$$

또 일반건설공사(갑) 공사재해와 같이 2영역에서  $n > 2$ 이기 때문에  $h = \infty$ 까지의 상해정도를 고찰해도 기대휴업일수는 유한값으로 얻어지며,

1과 2영역에서의 휴업일수 또한 유한값으로 얻어진다. 1과 2의 영역에서의 휴업일수를 구해 그것을 통계처리해 전영역에서의 기대휴업일수를 구하면 일반건설공사(을) 공사재해에 대해서는  $G_1=0.61$ ,  $G_2=84.3$ ,  $G=G_1+G_2=84.94$ 이 되고 1건당의 평균휴업일수는 약 84일이며 건설공사(갑)과 큰차이가 없음을 알 수 있다.

이상의 분석결과에서 신체장해를 수반한 노동재해의 노동손실일수에 대해서도 일반건설공사(갑) 건설공사에서의 노동재해의 휴업일수에 대해서도 그 크기와 발생빈도와의 관계는 대수지에 직선으로 나타낼 수 있다는 것과 신체장해를 수반한 노동재해의 노동손실일수의 매년의 분포형상에는 변화가 없다는 것 또는 일반건설공사(갑)과 (을) 건설공사에서의 재해에 따른 휴업일수는 거의 같다는 것을 확인할 수 있었다.

**5. 노동재해의 재해규모의 통계 분석<sup>6)</sup>**

한건의 노동재해로 재해근로자의 수는 한명 일수도 있지만 복수의 노동자가 재해를 당하는 경우도 있다. 하나의 재해로 부상하는 노동자의 수를 재해규모로 정의하고 이 피해특성값에 관한 분석과 고찰을 시험했다.

전절에서 분석한 일반건설공사(갑) 건설공사에서는 565건, 일반건설공사(을) 건설공사 재해에서는 53건의 중대재해가 각각 발생했다.

Fig. 5는 일반건설공사(갑)과 일반건설공사(을) 건설공사에 대한 노동재해에 대해서 그 재해규모의 발생분포를 대수정규확률지상에 도시한 것이다.

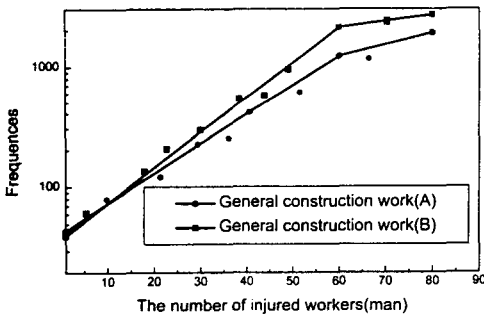


Fig. 5 The relationship between general construction work(A) and (B)

일반건설공사(을) 공사재해에 비해 일반건설공사(갑) 건설공사재해의 경사가 급하다는 것을 알 수 있다. 결국 한번에 많은 부상자를 수반하는 대규모의 재해는 일반건설공사(갑) 공사쪽이 일반건설공사(을) 공사에 비해 발생하기 쉽다는 것을 알 수 있다. 또 일반건설공사(갑) 건설공사에서는 한번에 18인 이상 40인 미만의 노동자가 부상하는 재해가 발생했지만 이 재해가 같은 건설공사에서 발생할 확률은 극히 작은 값이며, 결코 일반적으로 발생할 수 있는 재해가 아님을 알 수 있다.

그런데 일반건설공사(갑)은 12개월의 시공기간중 20,000건의 노동재해가 발생했다. 한편 재해가 40인 이상의 규모가될 확률은 Fig. 6에서 약 0.043로 얻어지므로 40인 피해해규모의 평균 발생기간을 계산하면  $1 / (0.0043 \times 0.178) = 130$ 개월 = 10.9년이되고 약 11년에 1번의 규모의 재해가 발생함을 알 수 있다. 다른 재해규모의 평균 발생기간도 같은 순서로 구할 수 있다.

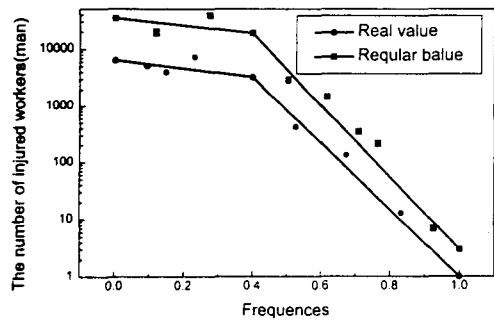


Fig. 6 The relationship between frequency of labour accidents and their damage consequences (Manufacturing industry)

다음으로 한번에 3인 이상의 부상자를 수반하는 중대재해에 대해서 그 부상자수인 재해규모의 분포를 분석한 결과를 Fig. 6~Fig. 9에 보이고 있다. 이 그림들은 1986~1995년의 10년간에 발생한 중대재해의 규모분포를 제조업, 건설업 및 건설공사에서의 추락, 협착재해에 대해서 분석한 결과이다. 같은 그림에서는 신체의 재해규모분포를 원형 ●으로 표시하고 또 실적값을 중대재해의 하한값  $h_c=3$ 으로 규준화한 값의 분포를 ■로 나타내며 또한 최소자승법에 의한 재

해규모-발생빈도곡선의 경사  $n$ 값을 구해 이 값을 이용해 구한 재해규모 확률분포의 근사값을 나타내었다.

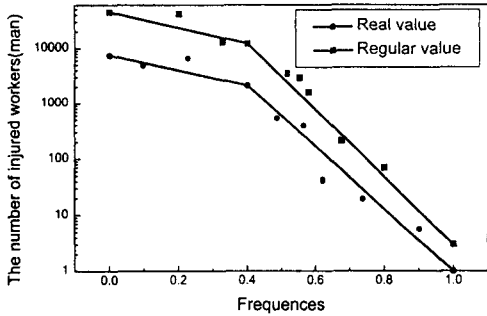


Fig. 7 The relationship between frequency of labour accidents and their damage consequences (Construction work)

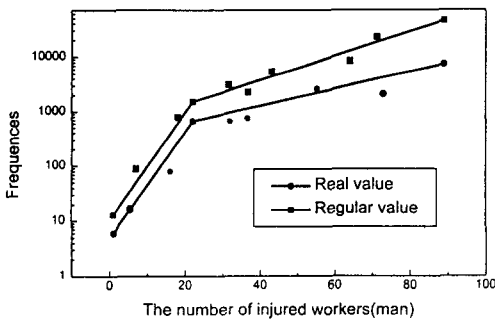


Fig. 8 The relationship between frequency of labour accidents and their damage consequences (Crash disaster)

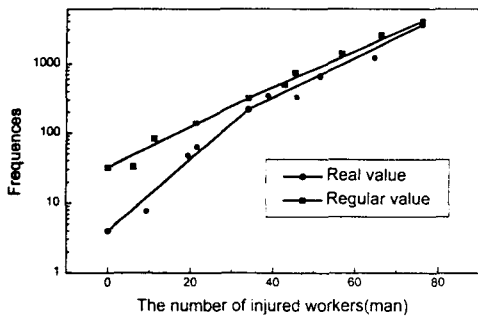


Fig. 9 The relationship between frequency of labour accidents and their damage consequences (Narrowness disaster)

이 그림들에 나타나 있듯이 어느 구간의 노동재해도 그 재해규모와 발생빈도의 관계는 양대수지상의 직선으로 근사할 수 있음을 알 수 있다. 또 같은 분석을 다른 업종별과 재해종류별로 분류했을 때 거의 같은 결과를 얻을 수 있었다.

中村도 서술했듯이 재해규모분포의 파라메타인 멱함수의 계수  $n$ 은 재해규모·누적발생빈도곡선의 경사를 나타내고 피해규모의 큰 영역에 재해가 분포할 비율이 높기 때문에 대규모재해가 일어나기 쉽다는 것을 그림들을 통해 확인할 수 있다.

이런 분석결과를 정리해서 Table 1~Table 2에는 중대재해를 산업별 및 재해종류별로 분류해 재해발생수가 많은 순으로 그 규모분포에 관한 특성치로서 멱함수의 계수  $n$ , 분포의 기대치  $E(H)$  및 분산  $V(H)$ 를 나타낸다.

Table 1과 Table 2에서 산업별의 분석에서 분포의 파라메타  $n$ 값은 산업에 따라 다르나 제조업과 건설공사의  $n$ 값이 가장 크고 운수창고통신업, 기타산업, 광업, 전기가수도업의 순으로 나타났다. 각 산업 모두  $n > 2$ 이기 때문에 피해규모  $\infty$ 까지의 재해를 고려한 재해와 한건당의 평균피해수(기대치)를 구할 수 있다.

한편 Table 2의 재해종류별(건설공사재해)의 분석에서는 재해의 종류마다  $n$ 값에 차이가 있고 추락에 의한 재해의  $n$ 값이 가장 크고 협착, 감전, 낙하비래, 전도, 붕괴도피, 충돌의 순으로 되어 있다.

이상 재해규모에 관한 분석에도 피해의 크기와 그 발생빈도와의 관계는 지금까지 같은 형태의 멱함수에 의해 기술할 수 있고 또 산업별, 재해종류별로 재해를 구분해 그것들의 확률분포의 파라메타를 구하므로써 각각 피해규모의 기대치와 분산을 구할 수 있음을 보이고 있다.

## 6. 결론

본 연구는 건설재해에 의한 피해 크기의 통계적 특성을 명확히 하는 것을 목적으로 건설재해에 의한 재해강도와 재해규모의 특성에 대해서 실제 발생한 노동재해사례를 가지고 분석과

Table 1 The relationship between damage due to accidents and their frequencies  
(Each industrial : n-value, Expectation value, Dispersion)

Characteristic value	All industry	Manufacturing	Construction	Traffic · Storage	The others industry	Mining industry	Electronic · Gas
n value	3.735	3.517	3.438	3.396	3.153	2.983	2.584
E(H)	6.723	6.513	6.378	6.034	5.824	5.479	5.083
V(H)	197.274	173.369	159.484	107.876	92.874	73.195	53.298

Table 2 The relationship between damage due to accidents and their frequencies  
(Each disaster : n-value, Expectation value, Dispersion)

Characteristic value	Crash	Narrowness	Electric	Falling	Inversion	Collapse	Collision
n value	8.973	6.237	5.691	5.021	3.624	2.635	2.376
E(H)	9.932	6.598	5.011	4.993	3.847	2.724	2.583
V(H)	88.033	28.380	12.268	11.962	8.350	6.921	5.842

고찰을 했다. 이상의 검토결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 신체장해를 수반한 노동재해의 노동손실일수에 대해서도 일반건설공사(갑) 건설공사에서의 노동재해의 휴업일수에 대해서도 그 크기와 발생빈도와의 관계는 대수지에 직선으로 나타낼 수 있다.
- 2) 노동재해에 의한 노동손실일수의 분포형상은 변화가 없으며, 일반건설공사(갑)과 일반건설공사(을)에서의 재해에 따른 휴업일수는 거의 같다는 것을 확인할 수 있다. 이와같이 건설공사의 휴업일수는 그 종류에 따른 차이가 없으므로 결론으로 모든 건설공사는 경중을 가릴 것 없이 근본적인 안전대책을 마련해야 한다.
- 3) 산업별의 분석에서 파라메타 n값은 산업에 따라 다르나 제조업과 건설공사의 n값이 가장 크고 운수·창고·통신업, 기타산업, 광업, 전기·가스·수도업의 순임을 확인할 수 있다. 그래서 결론으로는 n값이 큰 건설업과 제조업등에 대해 정부차원의 적극적 안전정책을 수립하여 시행함으로써 재해자를 크게 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.
- 4) 건설공사재해의 분석에서는 추락에 의한 재해의 n값이 가장 크고 협착, 감전, 낙하·비래, 전도, 붕괴도피, 충돌의 순으로 나타났으

며 결론으로 건설공사에서 추락, 협착, 감전 등에 관한 안전대책을 철저히 마련함으로써 건설재해의 발생정도를 크게 감소시킬 수 있다.

- 5) 피해규모-발생빈도의 관계가 멱함수로 표현 가능하므로 이것을 발전시켜 피해강도·규모의 확률분포를 도출했고, 등분포의 파라메타 n값을 알아냄으로써 피해의 기대치와 분산을 구할 수 있다.

### 참 고 문 헌

- 1) H.W. Heinrich, "Industrial accident prevention", 5th ed., McGraw-Hill, pp.197~249, 1980.
- 2) 산업안전 통계조사 보고서, pp.7~47, 노동부, 1997.
- 3) Jr. F.E. Bird, G.L. Germain, "Practical loss control leadership", Industrial Accident Prevention Association, Ontario, pp.17~49, 1986.
- 4) G.J. Briscoe, "Risk management guide SSDC-11", Energy research and development administration, pp.76~451, 1977.
- 5) 中村林二郎, "安全性—考察(I)(危險性)", 安全工學, Vol. 20, No. 3, pp.120~126, 1981.

- 6) 花安敏郎, “大規模労働災害の發生特性に関する研究”, 第2回 構造物の安全性・信賴性に関する國內シンポジウム (JCOSSAR 91)講演論文集, pp. 183~190, 1990.
-