

## 산업재해 발생의 상대위험도 분석 및 순환분포 모형 추정

김학열\* · 허태영\*\*

### An Analysis of Relative Injury Risk by Industry and Estimation of a Circular Distribution Model for Industrial Injury

Hag-Yeol Kim\* · Tae-Young Heo\*\*

**요약** : 본 연구는 재해발생의 패턴을 다양한 유형(산업별, 재해유형별, 발생시간별, 입사근속기간별 등)으로 구분하여 비교분석하고, 시간대별 발생건수를 이용하여 산업재해 발생에 관한 통계적 순환모형을 개발하는 것을 목적으로 한다. 2002~2008년까지 산업별 재해자 발생 및 상대위험도 계산 결과, 광업은 재해자와 사망자의 절대적 수치는 작지만, 가장 높은 상대위험도를 보였다. 반면, 건설업의 재해자 수와 사망자 수는 상대적으로 많으나 상대위험도는 그다지 높지 않은 것으로 나타났다. 입사근속기간별 상대위험도를 살펴보면, 입사근속이 아주 짧거나 긴 근로자가 고위험군에 속하는 것으로 분석되었다. 재해발생시간별 상대위험도 분석 결과는, 저녁시간보다는 새벽 및 아침시간대에서 상대적으로 높은 위험도가 나타난 반면, 10~12시와 14~16시의 시간대가 가장 낮은 위험도를 나타내는 시간대로 분석되었다. 두 개의 von Mises 분포의 혼합으로 순환분포 모형을 적합시킨 결과 재해, 부상 및 사망사고가 빈번하게 발생하는 평균시간대는 오전 9시 44분부터 10시 23분 사이, 오후 2시 59분부터 3시 44분 사이인 것으로 분석되었다. 이러한 순환분포 모형의 도입·추정 결과는 지방자치단체와 기업체의 산업재해 예방 및 저감 정책 수립 시에 중요한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

**주제어** : 순환분포 모형, 산업재해, 상대위험

**ABSTRACT** : The main purpose of this study is as follows: (1) calculating relative injury and death risks depending on industry, length of service, as well as time of day; and (2) estimating probability density function based on a circular normal distribution, which is known to be the best fit for patterns in incidents by time of day. Despite small absolute number of injuries and deaths, mining industry in Korea remains the most hazardous one from 2002 to 2008 in terms of relative injury and death risk. Meanwhile, construction industry is identified not to have higher risk in injuries in spite of showing a higher figure in death incidents. Employees who have been in extremely long or short length of their service are likely to have higher risk than others. With regard to incidents by time of day, the injury risk early before dawn and in the morning is higher than that in the evening. Meanwhile, the time period with the lower risk is identified to be from 10 a.m. to noon. and 14 to 16. A circular model developed on two 'von Mises' distributions, circular normal distribution, shows that industrial injuries and deaths are most likely to happen from 9:44 to 10:23 a.m. as well as from 2:59 to 3:44 p.m. on average. The results could be used as useful information for policy making and risk mitigation strategies regarding industrial injuries.

\* 서경대학교 도시공학과 조교수(Assistant Professor, Department of Urban Planning and Engineering, Seokyeong University)

\*\* 한국해양대학교 데이터정보학과 조교수(Assistant Professor, Department of Data Information, Korea Maritime University),  
교신저자(E-mail: heoty@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4373)

**Key Words** : Circular Distribution Model, Industrial Injuries, Relative Risk

## I. 서론

산업현장에서 재해는 주로 노동자 당사자의 피로, 과로나 작업현장에서의 기기 결함·훼손 등 완벽하지 못한 상태로 인해 발생하지만 때때로 완벽한 환경에서도 노동자의 부주의나 여러 기기의 복합적인 오작동으로 인해 발생하기도 한다. 즉, 산업재해의 발생은 근로자 개인적 요소(인적요소), 사용하는 기계기구 요소(물적 요소), 노동조건·기업환경(환경적 요소) 등의 복합적인 원인에 기인하고 있다.

우리나라는 1970년대 이후 성장 위주의 경제성장 전략을 선택하면서 근로현장에서 발생하는 산업재해를 산업발전에 부가하여 어쩔 수 없이 발생하는 것으로 인식해왔다. 더욱이 사회와 기업이 산업재해가 단순히 근로자 개인의 부주의에 기인한다는 점만을 강조함에 따라 산업재해 발생의 본질을 왜곡하여 산업재해의 문제해결을 더욱 더 어렵게 만들어왔다(주재현, 1997).

산업재해와 관련된 선행연구는, 과거에는 1975년 이후 조사해오던 『산업재해조사』의 조사보고서와 유사한 개략적이고 기술적인 연구(연도별·산업별 산업재해의 현황, 발생추이, 경향 연구 등)이거나 작업습관, 피로정도 등 근로자의 개인적 산업재해 원인에 대한 연구가 주를 이루었다. 반면, 최근 들어서는 산업재해 보상내용, 보상범위 등 법제도 정비에 관한 내용(김희성, 2008; 박지순, 2006), 자동차 관련업, 병원, 제조업, 건설업 등의 특정 직업군의 재해특성을 분석한 연구(김수근, 1998; 이창진 외, 2002; 이정철 외, 2007; 이경수

· 정병용, 2008; 박현진·정병용, 2007), 특정사업장의 특성과 재해발생 간의 연관성에 관한 연구(이건세 외, 2006), 특정집단의 집단적 혹은 개인적 차원의 재해원인 및 관련 예방대책(이선웅 외, 2008; 김현호 외, 2009) 등 다각적인 측면을 다루고 있는 것이 특징이다. 그러나 이상에서 언급된 선행연구의 대부분에서는 제조업 및 비제조업을 포함한 산업 전체적인 부문에 대하여 분석이 수행된 사례가 드물고, 단순히 전체 근로자 수에 대한 재해자 수(재해율), 재해율의 연도별 증감(%), 특정업종의 산업재해비중 등과 같은 간단한 통계량 산출과 분석에 중점을 두고 있다. 이에 산업부문 간 재해발생 특성을 상호 비교분석한 사례 역시 상당히 드물다. 더욱이 재해발생에 관한 수리적 모델이 개발된 연구사례는 극히 찾아보기가 힘들고, 단지 시계열 모형 개발을 통하여 산업재해 발생건수를 예측할 수 있는 모형을 연구한 사례(이관형 외, 2000)가 있는 정도이다.

따라서 본 연구에서는 최근 7년간(2002~2008) 산업재해 발생현황을 이용하여, 국내 전체산업에 걸쳐 여러 재해유형별로 산업재해발생의 상대적 위험도를 비교분석하고 재해발생에 관한 수리적 모델을 추정하는 것에 목적을 둔다. 세부적으로는, 재해발생의 패턴을 다양한 유형(산업별, 재해유형별, 발생시간별, 입사근속기간별 등)으로 구분하여 상대위험도를 계산하고 이를 비교분석하며, 특히 시간대별 발생건수를 이용하여 산업재해 발생에 관한 확률분포 모형을 개발하고자 한다.

## II. 상대위험도 분석

### 1. 재해자 발생의 상대위험도

본 연구에서는 근로자 중 재해자 수에 대하여 기대재해자 수(Expected number of Injuries)를 계산하여 상대재해위험도를 계산하였다. 기대재해자 수, 초과재해자 수, 상대재해위험도의 식을 다음과 같이 정의하였다.

$$EI_j^k = w_j^k \times (N^k / W^k) \quad (1)$$

$$RIR_j^k = n_j^k / EI_j^k \quad (2)$$

여기서,

$EI_j^k$  = 시기  $k$ 에 특정 산업부문  $j$ 의 기대재해자 수,

$RIR_j^k$  = 시기  $k$ 에 산업부문  $j$ 의 상대재해위험도,

$w_j^k$  = 시기  $k$ 에 산업부문  $j$ 의 종사자 수,

$n_j^k$  = 시기  $k$ 에 산업부문  $j$ 의 재해자 수,

$N^k = \sum_j n_j^k$  = 시기  $k$ 에 총 재해자 수,

$W^k = \sum_j w_j^k$  = 시기  $k$ 에 총종사자 수

위에서 제시한 상대재해위험도  $RIR_j^k$ 이 만약 1

보다 크면 관측된 재해자 수가 기대재해자 수보다 많은 것을 나타내기 때문에 상대적 재해위험도가 크다고 할 수 있으며, 만약 그 값이 1보다 작으면 실제재해자 수가 기대치보다 작은 것이기 때문에 위험도가 상대적으로 낮다고 할 수 있다. 즉, 1을 기준으로 한  $RIR_j^k$ 의 크기로 상대적 위험도를 판단할 수 있다.

2002~2008년까지의 산업별 총근로자 수에 대하여, 산업재해에 대한 기대재해자 수와 그에 대한 상대재해위험도를 살펴보면 다음과 같다.

광업의 경우 재해자 수가 적고 이에 따라 기대재해자 수의 절대량은 적지만 상대적으로 가장 높은 재해 위험도를 가지고 있는 것으로 나타났다. 단, 기타 산업의 하부 부문 중 어업의 경우는 광업을 초과하는 상대재해위험도를 나타내는 연도도 있는데, 이는 당해 연도의 태풍 및 해상기상 등 자연적 조업여건의 영향에 따라 재해의 변동성이 컸기 때문인 것으로 분석되었다.

제조업의 경우 상대재해위험도가 항상 1 이상을 유지하여 고위험도를 나타내고 있으나, 건설업과 운수·창고·통신업 부문은 1 정도 수준에서

〈표 1〉 산업별 근로자 중 기대재해자와 상대재해위험도

산업	2002		2003		2004		2005		2006		2007		2008	
	$EI_j^{02}$	$RIR_j^{02}$	$EI_j^{03}$	$RIR_j^{03}$	$EI_j^{04}$	$RIR_j^{04}$	$EI_j^{05}$	$RIR_j^{05}$	$EI_j^{06}$	$RIR_j^{06}$	$EI_j^{07}$	$RIR_j^{07}$	$EI_j^{08}$	$RIR_j^{08}$
①	134	9.4	149	11.7	137	16.7	113	19.9	120	15.5	116	13.7	108	12.2
②	22142	1.6	25431	1.6	24859	1.5	21609	1.7	23327	1.5	22272	1.5	22044	1.6
③	382	0.4	442	0.3	429	0.3	374	0.3	414	0.3	388	0.3	387	0.3
④	21459	0.9	23583	1.0	17054	1.1	22205	0.7	19597	0.9	20777	0.9	23071	0.9
⑤	5120	1.0	5869	1.0	5556	0.9	4735	1.0	5205	1.0	5021	0.9	4994	0.9
⑥	32674	0.6	39450	0.6	40838	0.6	36375	0.7	41246	0.7	41573	0.7	45201	0.7
⑥-1	732	1.0	769	1.1	620	1.5	580	1.8	564	2.0	521	2.6	471	3.6
⑥-2	14	13.8	17	10.4	3	11.6	2	3.3	3	21.8	20	3.3	38	1.8
⑥-3	241	1.3	254	1.4	264	1.4	232	1.7	244	2.0	248	1.8	268	2.0
⑥-4	2605	0.2	3123	0.2	3105	0.2	2679	0.2	3074	0.2	2906	0.2	4050	0.1
⑥-5	29082	0.7	35288	0.6	36846	0.6	32882	0.7	37360	0.7	37878	0.7	40374	0.8

주: ① 광업, ② 제조업, ③ 전기/가스/수도, ④ 건설업, ⑤ 운수/창고/통신, ⑥ 기타 산업 합계, ⑥-1: 임업, ⑥-2: 어업, ⑥-3: 농업, ⑥-4: 금융보험, ⑥-5: 기타

유지되어 고위험도 산업은 아닌 것으로 분석된다. 한편, 위험도가 낮은 부문으로는 금융보험업과 전기·가스·수도업 부문으로 나타났다.

## 2. 사망자 발생의 상대위험도

재해자 발생에 대한 분석과 마찬가지로, 재해자 중 중대사고인 사망자 수에 대하여 기대사망자 수(Expected number of Death)를 계산하여 상대위험도를 계산하였다. 기대사망자 수, 사망 상대위험도의 식을 다음과 같이 정의하였다.

$$ED_j^k = w_j^k \times (D^k / W^k) \quad (3)$$

$$RR_j^k = d_j^k / ED_j^k \quad (4)$$

여기서,

$ED_j^k$  = 시기  $k$ 에 산업부문  $j$ 의 기대 사망자 수,

$RR_j^k$  = 시기  $k$ 에 산업부문  $j$ 의 사망 상대위험도,

$w_j^k$  = 시기  $k$ 에 산업부문  $j$ 의 재해자 수,

$d_j^k$  = 시기  $k$ 에 산업부문  $j$ 의 사망자 수,

$D^k = \sum_j d_j^k$  = 시기  $k$ 에 총사망자 수,

$W^k = \sum_j w_j^k$  = 시기  $k$ 에 총재해자 수

2002~2008년까지의 총재해자 수에 대하여, 산업별 기대사망자 수와 그에 대한 사망 상대위험도를 분석하면 다음과 같다(〈표 2〉 참조).

광업의 경우 기대사망자 수의 절대치는 타 산업보다 많지 않으나 상대적으로 가장 높은 사망위험도를 나타냈다. 2005년까지 높은 위험도를 나타내던 어업은 그 이후에 그 위험도가 급격히 감소하여 타 산업과 큰 차이가 없었다.

이 밖에 사망 상대위험도가 항상 1 이상을 나타내고 있는 산업은 전기·가스·수도업, 건설업, 운수·창고·통신, 금융보험업 등으로 나타났다.

특이한 점은 제조업의 경우, 재해위험도에서 항상 1 이상을 유지하였으나 사망위험도에서는 1 이하의 위험도를 나타냄으로써, 오히려 타 산업에

〈표 2〉 산업별 기대사망자와 사망 상대위험도

산업	2002		2003		2004		2005		2006		2007		2008	
	$ED_j^{02}$	$RR_j^{02}$	$ED_j^{03}$	$RR_j^{03}$	$ED_j^{04}$	$RR_j^{04}$	$ED_j^{05}$	$RR_j^{05}$	$ED_j^{06}$	$RR_j^{06}$	$ED_j^{07}$	$RR_j^{07}$	$ED_j^{08}$	$RR_j^{08}$
①	40.3	9.8	53.7	8.6	72.8	6.0	65.9	6.4	51.0	9.5	42.5	10.3	33.5	12.5
②	1110.5	0.6	1237.9	0.6	1194.5	0.6	1050.7	0.6	979.8	0.6	910.6	0.7	905.5	0.7
③	4.5	3.8	4.3	3.3	4.1	2.0	3.7	1.9	3.3	3.3	3.2	1.9	2.5	2.8
④	633.7	1.1	698.4	1.1	600.6	1.3	464.6	1.3	489.9	1.3	508.4	1.2	517.6	1.3
⑤	156.4	1.3	176.0	1.2	162.1	1.3	137.2	1.3	137.8	1.1	126.4	1.3	119.8	1.5
⑥	659.6	1.0	752.7	1.0	790.9	0.9	770.9	0.8	791.2	0.7	814.8	0.7	843.1	0.6
⑥-1	22.5	0.8	25.4	0.7	29.2	0.6	30.6	0.5	31.5	0.6	35.7	0.6	42.2	0.4
⑥-2	6.3	4.0	5.4	3.4	1.1	5.4	0.2	4.9	1.6	0.6	1.8	1.1	1.8	1.7
⑥-3	10.2	1.0	10.9	1.1	11.9	1.8	11.7	1.1	13.2	0.6	11.9	0.7	13.3	0.9
⑥-4	19.2	2.6	19.5	2.2	18.2	1.7	16.0	1.4	16.7	1.4	14.5	1.9	14.2	1.6
⑥-5	601.4	1.0	691.6	0.9	730.5	0.9	712.3	0.8	728.3	0.7	751.0	0.7	771.6	0.6

주: ① 광업, ② 제조업, ③ 전기/가스/수도, ④ 건설업, ⑤ 운수/창고/통신, ⑥ 기타 산업 합계,

⑥-1: 임업, ⑥-2: 어업, ⑥-3: 농업, ⑥-4: 금융보험, ⑥-5: 기타

비해 상대적으로 낮은 위험도를 보여주고 있다. 이는 제조업에서는 부상자 혹은 이환자<sup>1)</sup>는 다수 발생되나 사망자가 적은 산업특성을 보여주는 것이라고 분석된다.

이와 반대로 금융보험업의 경우는 일단 환자가 발생되게 되면 사망에 이를 위험이 타 산업에 비해 매우 큰 것으로 나타났다. 한편, 위험도가 낮은 부문은 임업, 제조업, 농업 등의 순으로 나타났다.

### 3. 입사근속기간에 따른 상대위험도

재해자 중 입사근속기간  $i$ 에 따른 기대사망자수와 상대위험도를 기간별로 구하면 <표 3>과 같다. 계산방식은 전술된 상대위험도의 계산방식과 유사하다.

입사근속기간이 6개월 미만의 경우는 2003~2008년 동안 줄곧 높은 상대위험도를 보였다. 이는 입사근속이 매우 짧아 업무에 대한 미숙련에 의한 사고로 예상된다. 반면, 최근 들어서는 10년 이상 근속기간자의 사망사고가 의외로 높게 나타나고 있다. 이는 입사근속이 매우 긴 경우, 숙련에 따른 안전의식 저하, 중/고령의 나이에 의한 집중

력 저하 등이 사고원인으로 작용하였을 것으로 예상된다. 향후 이러한 원인의 정확한 판단은 추가적인 조사와 분석이 필요할 것으로 판단된다.

입사근속기간이 2~4년 사이의 근로자 그룹은 드물게 고위험군으로 진입되는 경우가 발생되기도 하지만, 대체적으로 6개월~10년 사이의 근로자의 상대위험도는 낮은 것으로 나타났다.

따라서 일반적으로 입사근속이 아주 짧거나 아주 긴 근로자에 대한 안전교육 강화가 더욱더 필요한 것으로 분석되었다.

### 4. 재해발생시간에 따른 상대위험도

총재해자 수는 02시 이후부터 지속적으로 증가하다 출근시간대인 오전 8시 이후부터 급격히 증가하고 10~12시 사이에 정점을 이루는 것으로 나타났다. 한편, 점심시간대를 포함한 12~14시에 잠시 감소하다가 16시까지 다시 증가하는 경향을 보이면서 퇴근시간대와 맞물리는 18시 이후에 급격히 감소하는 경향을 보인다. 이러한 현상은 종사자들의 업무집중도, 출퇴근 시간과 강한 연관성이 있는 것으로 판단된다. 사망자 수의 발생시간

<표 3> 입사근속기간별 재해자 중 기대사망자와 사망 상대위험도

연도 기간	2003		2004		2005		2006		2007		2008	
	$ED_i^{02}$	$RR_i^{02}$	$ED_i^{03}$	$RR_i^{03}$	$ED_i^{04}$	$RR_i^{04}$	$ED_i^{05}$	$RR_i^{05}$	$ED_i^{06}$	$RR_i^{06}$	$ED_i^{07}$	$RR_i^{07}$
총계	1533	-	1537	-	1399	-	1332	-	1383	-	1448	-
6월 미만	809	1.13	780	1.18	700	1.10	705	1.12	748	1.03	795	1.09
6월~1년	166	0.89	166	0.84	148	0.96	145	0.78	148	0.89	154	0.77
1~2년	158	0.92	170	0.74	155	0.82	136	0.91	143	0.91	148	0.92
2~3년	89	0.77	92	0.92	95	0.79	76	0.86	74	1.12	82	0.93
3~4년	60	0.84	62	0.92	58	1.03	54	0.71	48	0.72	47	1.02
4~5년	36	0.62	45	0.77	41	0.76	38	0.95	38	0.94	37	0.79
5~10년	113	0.77	111	0.69	103	0.99	91	0.88	89	0.93	96	0.83
10년 이상	103	0.94	111	0.89	100	0.95	89	0.97	95	1.21	89	1.08

1) 병에 걸린 사람

〈표 4〉 시간대별 재해자 수 및 사망자 수

구분	2003		2004		2005		2006		2007		2008	
	재해자	사망	재해자	사망	재해자	사망	재해자	사망	재해자	사망	재해자	사망
총계	85702	1533	79691	1537	77916	1398	79675	1332	78675	1383	86072	1448
0~2시	1249	46	1043	34	1075	38	1142	35	1139	35	1271	27
2~4시	1117	29	1040	23	1031	31	1121	24	1074	28	1142	35
4~6시	1216	41	1109	40	1197	52	1115	33	1150	28	1128	36
6~8시	2388	90	2296	70	2349	74	2315	65	2315	66	2506	84
8~10시	10611	230	9676	207	9695	221	10150	186	10003	201	11143	200
10~12시	21438	294	19637	305	18542	242	18011	246	17768	241	19458	306
12~14시	7969	154	7246	158	7162	133	7762	169	7636	160	8184	142
14~16시	17810	273	15816	239	15333	231	15484	220	15354	252	16904	250
16~18시	13112	233	12155	243	11948	191	12254	216	12232	214	13115	197
18~20시	4378	57	4108	61	4190	75	4405	68	4387	75	4627	77
20~22시	2757	47	2619	50	2616	48	2741	36	2914	51	3153	47
22~24시	1657	39	1599	43	1611	43	1788	34	1674	32	2007	47
분류 불능	0	0	1347	64	1167	19	1387	0	1029	0	1434	0

은 재해자 수의 발생시간대와 유사한 패턴을 나타내고 있다(〈표 4〉 참조).

재해발생 시간대별 기대사망자 수와 상대위험도를 살펴보면(〈표 5〉 참조) 재해는 08시부터 20시 전까지 매우 많이 발생하지만 중대사고인 사망사고의 상대위험도는 22시 이후인 저녁시간대부터 새벽 시간대를 거쳐 오전 10시까지가 높게 나타났다.

특징적인 것은, 전체적으로 저녁시간 때보다는

새벽과 아침시간 때의 상대위험도가 높으며, 특히 00~02시, 06~08시의 상대위험도가 가장 높은 시간대로 분석되었다. 반면, 10~12시와 14~16시가지 사망사고 상대위험도가 가장 낮은 시간대로 나타났다.

이는 일반적으로 사망사고 상대위험도는 출퇴근이 08~18시 정도인 직업군보다는 밤샘 작업이나 새벽시간에 근무하는 직업군에서 훨씬 더 높다

〈표 5〉 재해발생시간대별 재해자 중 기대사망자와 사망 상대위험도

시간	2003		2004		2005		2006		2007		2008	
	$ED_i^{02}$	$RR_i^{02}$	$ED_i^{03}$	$RR_i^{03}$	$ED_i^{04}$	$RR_i^{04}$	$ED_i^{05}$	$RR_i^{05}$	$ED_i^{06}$	$RR_i^{06}$	$ED_i^{07}$	$RR_i^{07}$
총계	1533	1.00	1537	1.00	1398	1.00	1332	1.00	1383	1.00	1448	1.00
0~2시	22	2.06	20	1.69	19	1.97	19	1.83	20	1.75	21	1.26
2~4시	20	1.45	20	1.15	18	1.68	19	1.28	19	1.48	19	1.82
4~6시	22	1.88	21	1.87	21	2.42	19	1.77	20	1.39	19	1.90
6~8시	43	2.11	44	1.58	42	1.76	39	1.68	41	1.62	42	1.99
8~10시	190	1.21	187	1.11	174	1.27	170	1.10	176	1.14	187	1.07
10~12시	383	0.77	379	0.81	333	0.73	301	0.82	312	0.77	327	0.93
12~14시	143	1.08	140	1.13	129	1.03	130	1.30	134	1.19	138	1.03
14~16시	319	0.86	305	0.78	275	0.84	259	0.85	270	0.93	284	0.88
16~18시	235	0.99	234	1.04	214	0.89	205	1.05	215	1.00	221	0.89
18~20시	78	0.73	79	0.77	75	1.00	74	0.92	77	0.97	78	0.99
20~22시	49	0.95	51	0.99	47	1.02	46	0.79	51	1.00	53	0.89
22~24시	30	1.32	31	1.39	29	1.49	30	1.14	29	1.09	34	1.39
분류 불능	0	-	26	2.46	21	0.91	23	0.00	18	0.00	24	0.00

는 것을 보여주고 있다.

### III. 재해발생시간대별 순환모형

#### 1. 순환모형의 개요 및 추정방법

일반적으로 순환자료는 여러 분야에서 다양한 방법으로 관측된다. 바람의 방향이나 새가 이주한 방향 등과 같이 순환성을 내포하고 있는  $0 \sim 2\pi$  (또는  $0^\circ \sim 360^\circ$ ) 범위의 각으로 직접 측정된 자료일 수도 있고, 본 연구의 시간대별 재해자 발생자료와 같이 일정한 주기를 가진 측도를 각으로 전환하여 생성된 자료일 수도 있다. 시간대별 자료와 같은 순환자료는 호도법(弧度法)을 이용하여 단위원(circle)상에 표현할 수도 있다.

이렇게 단위원상에서 표현된 순환분포를 라디안을 이용하면, 히스토그램(histogram)과 확률분포곡선을 선형분석에서와 같이 직선상에 표현할 수 있으며, 직접 각도값( $0 \sim 360^\circ$ ) 또는 라디안값을 이용하여 표현할 수도 있다.

재해시간대별로 총재해자, 부상자, 사망자 모두 비슷한 패턴을 보이지만 어느 시간대에 재해가 가장 빈번하게 발생하는지에 대한 판단을 하기에는 히스토그램과 같은 시각적 표현법으로 정확하게 표현되지 않는 경우가 많다. 특히 시간대의 폭이 넓은(2시간) 본 자료의 경우는 더욱더 그러하다. 따라서 순환자료를 통계적으로 모형화할 수 있는 순환분포 모형을 이용하여 재해자, 부상자, 사망자에 대해 재해발생 시간대별로 통계적 추론을 실시하였다.

본 연구에서는 순환자료를 모형화하기 위하여 von Mises 분포를 이용하였다. von Mises 분포는 다양한 순환분포 중 가장 보편적으로 사용되는 분포로서 순환분포 가운데 선형모형에서의 정규분

포와 같은 역할을 수행하여 보통 순환정규분포라고도 한다.

von Mises 분포의 밀도 함수는 다음과 같이 주어지며,  $vM(\mu, \kappa)$  또는  $N_\theta(\mu, \kappa)$ 으로 표기하기로 한다.

$$f(\theta; \mu, \kappa) = \frac{1}{2\pi I_0(\kappa)} e^{\kappa \cos(\theta - \mu)}$$

위 식에서  $\mu$ 와  $\kappa$ 는  $0 \leq \mu < 2\pi$ ,  $\kappa \geq 0$ 을 만족하며, 각각 평균방향과 집중도를 나타내는 모수이다. 여기서 평균방향은 순환자료들이 발생한 평균 시간대를 의미하여, 집중도는 순환자료들이 평균 방향을 중심으로 얼마나 집중되어 있는지를 알아보는 측도이다.

〈표 4〉를 활용하여 사망자 수의 히스토그램을 작성하면 사고건수에 대하여 봉우리가 두 개인 형태를 가지고 있음을 알 수 있다. 따라서 봉우리가 하나인 단봉형 von Mises 분포보다는 두 개의 von Mises 분포를 이용한 혼합 von Mises 분포를 통하여 모형 적합이 타당함을 알 수 있다. 이에 혼합 von Mises 모형의 확률분포함수는 다음과 같이  $l \in 1, \dots, k$ 에 대하여 모수가  $\theta_l = (\mu_l, \kappa_l)$ 인 von Mises 분포의 선형결합으로 정의할 수 있다.

$$f(\phi|\Theta) = \sum_{l=1}^k \alpha_l \left\{ \frac{1}{2\pi I_0(\kappa_l)} e^{\kappa_l \cos(\phi - \mu_l)} \right\}$$

단,  $\Theta = \{\alpha_1, \dots, \alpha_k, \theta_1, \dots, \theta_k\}$ ,  $\alpha_l \geq 0$ ,  $\sum_{l=1}^k \alpha_l = 1$ 이다.

본 연구에서는  $k=2$ 인 경우로 2개의 von Mises 분포의 혼합으로 시간대별 산업재해 자료를 적합시킬 수 있다.

## 2. 모형추정결과

2003년부터 2008년까지의 재해자료를 이용하여 혼합 von Mises 분포를 적합시킨 모형의 모수 값은 <표 6>과 같다.

두 개의 von Mises 분포의 혼합으로 모형을 적합시켰기에 혼합의 수  $h=2$ 이며, 각각의 혼합률은  $\hat{a}_1$ 과  $\hat{a}_2$ 로 나타내었다. 여기서 혼합률은 순환자료 적합 시 두 개의 von Mises 분포가 차지하는 각각의 가중치이다. 또한 평균방향은 가장 빈번하게 사고가 발생하는 시간대를 라디안으로 표시한 것이며, 집중도는 사고발생의 평균방향에 대한 집중도를 의미한다. 2003년부터 2008년까지 모두 혼합률에서 두 번째 von Mises의 가중치가 높은 것으로 나타나 오전시간대보다는 오후시간대에 사고가 빈번한 것을 알 수 있다.

혼합 von Mises 분포로 적합 시의 평균방향은 거의 비슷하며, 첫 번째 분포의 평균방향, 즉 사고가 발생하는 평균시간대는 약 2.55라디안( $146.10^\circ$ )부터 2.72라디안( $155.84^\circ$ )으로 오전 9시 44분부터 10시 23분 사이에 재해, 부상, 사망사고가 빈번하게 발생함을 알 수 있으며, 두 번째 분포의 평균방향은 약 3.89라디안( $224.88^\circ$ )부터 4.12라디안( $236.06^\circ$ )으로 오후 2시 59분부터 3시 44분 사이에 재해, 부상, 사망사고가 빈번하게 발생함을 알 수 있다.

부상사고의 시간적 발생 패턴은 오전에 집중되어 있으나, 사망사고의 경우 오전의 발생 패턴이 부상사고처럼 강한 집중을 보여주고 있지는 않는 것으로 나타났다. 따라서 재해의 발생 중 부상사고의 경우 상대적으로 오전시간대에 매우 주의를 기울여야 하며, 사망의 경우 오전과 오후 모두 주의를 기울여야 하는 것으로 분석되었다.

<표 6> 혼합 von Mises 모형의 모수 추정값

연도	변수	혼합률		평균방향		집중도	
		$\hat{a}_1$	$\hat{a}_2$	$\hat{\mu}_1$	$\hat{\mu}_2$	$\hat{\kappa}_1$	$\hat{\kappa}_2$
2003	총재해자	0.25	0.75	2.72	3.89	14.13	1.38
	부상자	0.26	0.74	2.72	3.90	14.18	1.39
	사망자	0.39	0.61	2.59	4.05	2.67	1.29
2004	총재해자	0.25	0.75	2.72	3.90	14.20	1.36
	부상자	0.26	0.74	2.72	3.90	14.24	1.37
	사망자	0.38	0.62	2.65	4.09	2.84	1.33
2005	총재해자	0.24	0.76	2.71	3.90	13.55	1.33
	부상자	0.25	0.75	2.71	3.90	13.64	1.34
	사망자	0.39	0.61	2.55	4.12	2.55	1.18
2006	총재해자	0.24	0.76	2.69	3.92	12.49	1.33
	부상자	0.24	0.76	2.69	3.92	12.55	1.34
	사망자	0.37	0.63	2.65	4.07	2.64	1.37
2007	총재해자	0.24	0.76	2.69	3.92	12.47	1.33
	부상자	0.24	0.76	2.69	3.92	12.55	1.34
	사망자	0.37	0.63	2.64	4.10	2.67	1.39
2008	총재해자	0.25	0.75	2.69	3.93	12.31	1.34
	부상자	0.25	0.75	2.68	3.93	12.33	1.35
	사망자	0.39	0.61	2.62	4.08	2.74	1.25

## 3. 모형의 적합도 검정

연도별 혼합 von Mises 모형에 대한 통계적 적합도 검정(goodness of fit)을 실시하였다. 적합도 검정은 단일 표본에서 한 변수의 범주값에 따라 기대빈도와 관측 빈도 간에 통계적으로 유의한 차이가 있는지를 알아보는 검정으로, 카이제곱검정과 Kolmogorov-Smirnov 검정 등이 있다. 본 연구에서는 카이제곱( $\chi^2$ )검정을 통해 혼합 von Mises 모형의 적합도를 판정하였다. 적합도 검정에 사용되는 카이제곱 통계량의 정의는 다음과 같다.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

여기서,  $O_i$ 와  $E_i$ 는 각각  $i$ 번째 범주에 대한 관측빈도와 기대빈도이고, 범주의 수는  $k$ 개이다.



기대빈도는 귀무가설로 각 범주에 속할 확률을 미리 가정하거나 확률분포를 가정하여 얻어진다. 귀무가설이 옳은 경우에 검정통계량은 자유도가  $(k-1)$ 인 카이제곱분포를 따르므로, 만약  $\chi^2 > \chi^2((k-1); \alpha)$ 이면 유의수준  $\alpha$ 에서 귀무가설을 기각하게 된다.

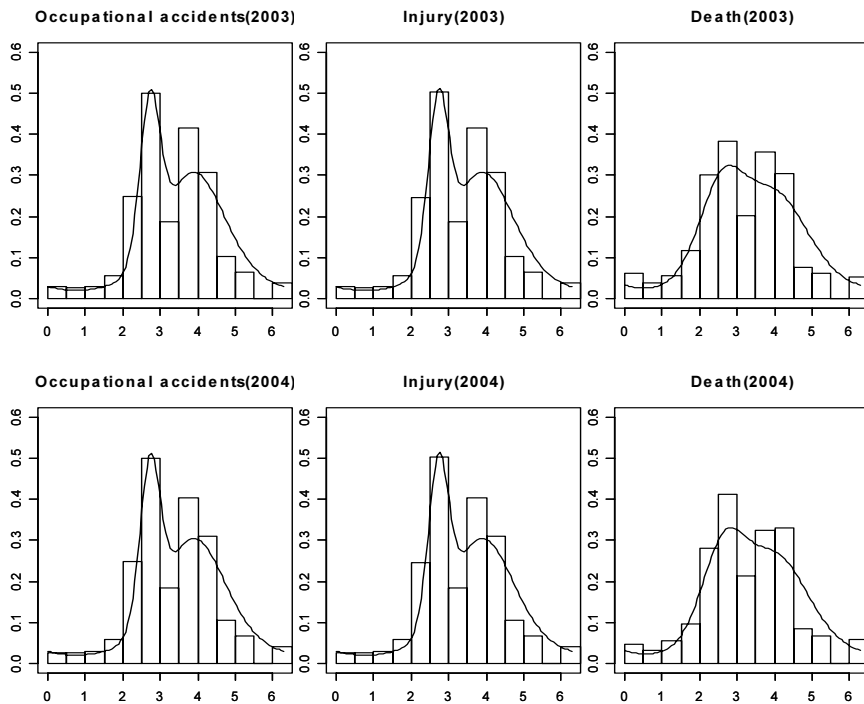
따라서 연도별 자료를 기반으로 개발한 혼합 von-Mises 모형이 얼마나 관측 자료를 잘 반영하고 있는지  $\chi^2$  적합도 검정을 통해 확인하였다.

〈표 7〉은 연도별·시간대별 산업재해 자료를 기반으로 구축한 혼합 von Mises 모형에 대한 적합도 검정 결과를 나타낸 것이다. 결과를 살펴보면 모든 연도에서 확률분포의 적합에 대한  $\chi^2$  검정통계량의 유의 확률을 나타내는 p-value를 도출한 결과, 모두 1에 가까운 것으로 나타났다. 이는 연도별 산업재해 자료를 기반으로 구축한 혼합

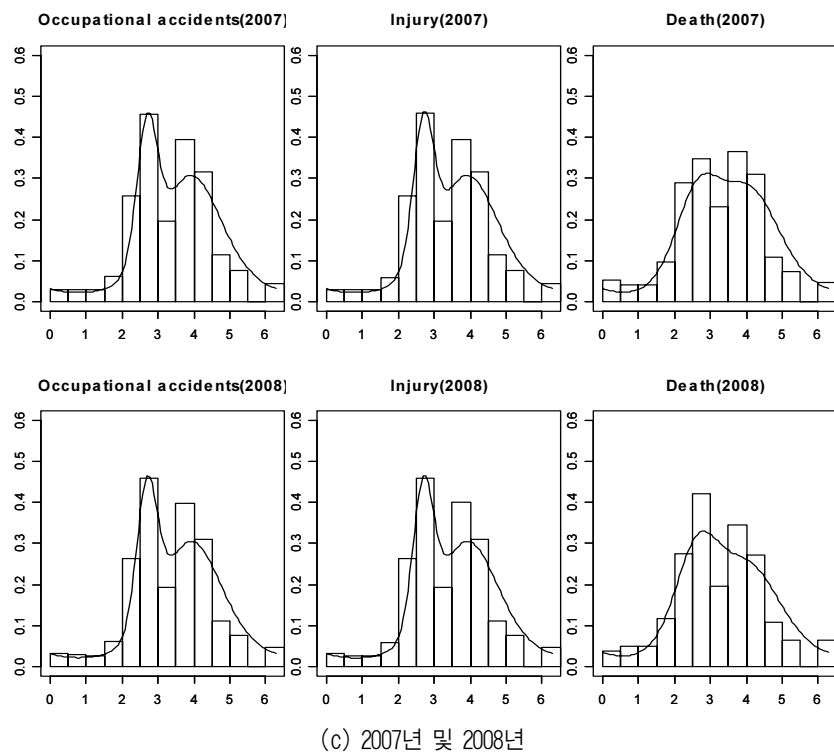
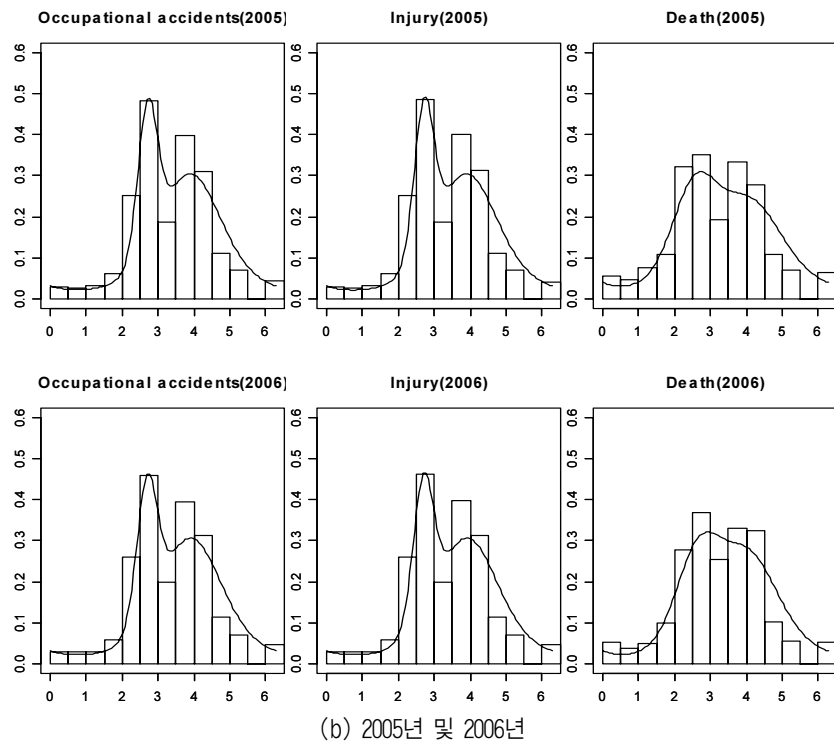
〈표 7〉 혼합 von Mises 모형의 적합도 검정 결과

연도	총재해자		부상자		사망자	
	$\chi^2$	p-value	$\chi^2$	p-value	$\chi^2$	p-value
2003년	0.735	0.999	0.425	0.999	0.466	0.999
2004년	0.462	0.999	0.671	0.999	0.547	0.999
2005년	0.396	0.999	0.389	0.999	0.349	0.999
2006년	0.301	0.999	0.682	0.999	0.619	0.999
2007년	0.397	0.999	0.627	0.999	0.259	0.999
2008년	0.320	0.999	0.279	0.999	0.447	0.999

von Mises 모형이 시간대별로 관측된 산업재해자료의 특성을 통계적으로 잘 반영하고 있다는 것을 의미한다. 또한 〈그림 1〉에서와 같이 혼합 von Mises 모형을 통해 추정된 모형을 2003~2008년까지 총재해자, 부상자, 사망자에 대해 적합시킨 결과, 연도별 혼합 von Mises 분포가 시간대별 산업재해자료 모형 구축에 적합함을 보여주고 있다.



(a) 2003년 및 2004년



〈그림 1〉 히스토그램과 혼합 von Mises 모형의 적합

## VI. 결론

본 연구에서는 산업재해의 실태에 대한 단순한 기술통계 분석(빈도분석, 발생률 계산 등) 정도에 머무르고 있는 선행연구의 부족한 점을 보완하고자 산업부문별 상대위험도를 계산하여 전체 산업 대비 산업부문별 재해위험도를 분석하였다. 또한 재해발생에 대한 확률분포 모형을 추정함으로써 특정 시간대별로 재해발생 확률을 예측할 수 있도록 하였다. 이를 위해 2002~2008년 동안의 산업재해 발생건수를 다양한 유형(산업별, 재해유형별, 발생시간별, 입사근속기간별 등)으로 구분하여 분석하고, 시간대별 재해발생건수를 이용하여 순환분포 모형을 추정하였다.

산업별 재해자발생에 관한 상대위험도 계산 결과, 건설업의 상대위험도는 높지 않은 것으로 나타났다. 광업은 가장 높은 위험도를 보였고, 제조업 역시 고위험도의 산업부문으로 확인되었다.

사망자발생에 대한 상대위험도에서는, 광업을 선두로 전기·가스·수도업, 건설업, 운수·창고·통신업, 금융보험업 등이 위험도가 높은 산업부문으로 분류되었다. 그러나 제조업의 경우는 상대적으로 낮은 사망 상대위험도를 나타냄으로써 타 산업과 구별되는 산업재해의 특성을 보여주었다. 한편 건설업은 이와 반대되는 양상을 나타내었다.

입사근속기간별 상대위험도에서는 입사근속이 아주 짧거나 긴 근로자가 고위험군에 속하는 것으로 분석되었다. 재해발생시간별 상대위험도 분석 결과로는, 저녁시간대보다는 새벽 및 아침시간대에서 상대적으로 높은 위험도가 나타났으며, 10~12시와 14~16시의 위험도가 가장 낮은 시간대로 분석되었다.

두 개의 von Mises 분포의 혼합으로 순환분포

모형을 적합시킨 결과 재해, 부상 및 사망사고가 빈번하게 발생하는 평균시간대는 오전 9시 44분부터 10시 23분 사이, 오후 2시 59분부터 3시 44분 사이인 것으로 분석되었다.

이상과 같이 본 분석에서 개발된 상대위험도가 근무현장에 산출·적용된다면, 재해유형별로 각 산업부문의 상대적 위험정도를 통해 고·저위험 산업 특성이 손쉽게 파악되고, 입사근속연수 그룹별, 재해발생시간대별 산업재해의 발생양상에 관한 기초정보가 수집될 수 있다. 또한, 산업재해발생에 관한 순환분포 모형의 도입·추정이 이루어진다면 지방자치단체와 기업체의 산업재해 예방 및 저감 정책을 수립하는 데 실질적인 기여가 가능할 것으로 판단된다. 특히, 일정 기간의 산업재해사고 발생확률, 산업재해사고의 최고빈도 발생 시간 등을 정확히 계산함으로써, 근로자의 휴식 시간대 및 근무교대시간대 등을 조정하는 데 활용할 수 있으며, 산업재해보험요율의 적용을 근무시간별로 차등 적용하는 것에도 활용할 수 있을 것으로 사료된다. 만약 산업부문별로 재해발생시간 자료가 수집되어 부문별 재해유형별로 재해발생이 빈번한 시간대를 추정할 수 있다면, 특별히 사고가 많거나 위험도가 높은 산업부문에서 유용하게 활용할 수 있을 것으로 예상된다.

## 참고문헌

- 김수근, 1998, “한 자동차 관련 사업장에서 발생한 산업재해실태”, 『대한산업의학회지』, 10(4): 562~570.
- 김현호·박현진·박기혁·김욱·유찬영·김증호·박정선, 2009, “산업재해 중 근골격계질환 요인 특성 분석”, 『대한인간공학회지』, 28(3): 17~25.
- 김희성, 2008, “산업재해보상보험과 자동차보험의관계에

- 관한 연구”, 『노동법학』, 26: 303~325.
- 박지순, 2006, “동료근로자의 가해행위로 인한 업무상 재해와 산업재해보상보험법상의 구상권”, 『노동법학』, 22: 363~386.
- 박현진 · 정병용, 2007, “병원의 산업재해특성에 관한 연구”, 『2007 대한인간공학회 추계학술대회논문집』, 492~495.
- 오영남, 2005, “방향자료에 대한 분석과 모형화”, 충북대학교 석사학위논문.
- 이건세 · 김형수 · 장성훈 · 정최경희 · 오원기 · 최재욱 · 이관형 · 오지영, 2006, “소규모 제조업에서 재해발생과 사업장 특성간의 관련성 분석”, 『대한산업의학회지』, 18(2): 73~86.
- 이경수 · 정병용, 2008, “소규모 섬유업종의 산업재해 분석”, 2008년 대한인간공학회 춘계학술대회논문집, 252~255.
- 이관형 · 정호근 · 박정선, 2000, “데이터 마이닝을 이용한 산업재해 예측모델에 관한 연구”, 『대한산업의학회지』, 12(4): 515~523.
- 이선웅 · 김규상 · 김태우, 2008, “이주노동자와 국내 한 국인노동자의 산업재해현황 및 특성 비교”, 『대한 산업의학회지』, 20(4): 351~361.
- 이정철 · 신승우 · 이찬식, 2007, “중 · 고령 건설근로자의 재해 분석”, 『2007년 대한건축학회 학술발표대회 논문집(구조계)』, 27(1): 797~800.
- 이창진 · 전용웅 · 최윤희 · 조암, 2002, “자동차 조립 근로자들의 요통산업재해의 원인과 예방대책”, 『2002 대한인간공학회 추계학술대회논문집』, 119~123.
- 주재현, 1997, “한국 산업재해의 구조와 결정요인에 관한 연구”, 경성대학교 박사학위논문.
- Batschelet, E., 1981, *Circular Statistics in Biology*, London: Academic Press.
- Jammalamadaka, S. R. and SenGupta, A., 2001, *Topics in Circular Statistics*, World Scientific.
- Mardia, K. V., 1972, *Statistics of Directional Data*, New York: Academic Press.
- Mardia, K. V. and Sutton, T. W., 1975, “On the Modes of a Mixture of Two von Mises Distributions”, *Biometrika*, 62: 699~701.
- 원 고 접 수 일 : 2009년 12월 1일  
1차심사완료일 : 2010년 2월 2일  
최종원고채택일 : 2010년 2월 23일