

경제·사회지표의 다변량 통계 분석을 활용한 국가 간 산업재해 사고사망 상대수준 비교

김경훈* · 이수동**†

Comparison of National Occupational Accident Fatality Rates using Statistical Analysis on Economic and Social Indicators

Kyunghun Kim* · Sudong Lee**†

†Corresponding Author

Sudong Lee

Tel : +82-52-259-2174

E-mail : sudonglee@ulsan.ac.kr

Received : August 22, 2022

Revised : October 18, 2022

Accepted : November 15, 2022

Abstract : The comparative evaluation of occupational accident fatality rates (OAFRs) of different countries is complicated owing to the differences in their level of socio-economic development. However, such evaluation is necessary to assess the national occupational safety and health system of a country. This study proposes a statistical method to compare the OAFRs of countries taking into consideration the difference in their level of socio-economic development. We first collected data on the socio-economic indicators and OAFRs of 11 countries over a 30-year period. Next, based on literature survey and statistical correlation analysis, we selected the significant independent variables and built multiple linear regression models to predict OAFR. We also determined the groups of countries having heterogeneous relationships between the independent variables and OAFRs, which are represented by the regression models. The proposed method is demonstrated by comparing the OAFR of Korea with the OAFRs of 10 other developed countries.

Key Words : occupational safety and health, occupational accident fatality rate, multivariate correlation analysis, multiple linear regression

Copyright©2022 by The Korean Society of Safety All right reserved.

1. 서론

산업재해 통계는 산업현장에서 발생하는 업무상 사고와 질병의 발생 추이 및 양상을 파악하고, 이를 활용한 효과적인 예방정책의 수립과 시행 효과 분석의 기초자료로서 그 효용 가치가 매우 높다. 우리나라는 산업재해보상보험법상의 보상 승인 건수를 기준으로 매년 산업현장의 사고와 질병으로 인한 사망자 및 재해자 통계를 작성하여 발표하고 있다. 대한민국의 산재 발생률과 사망률은 1970~2000년도의 고도 압축 성장기에 부족한 예방 인프라와 낮은 안전보건 의식 수준으로 매우 높은 수준이었으나, 산업안전보건 법령체계의 정비, 예방 기술과 관련 산업의 발달, 소득수준 향상과 함께 환경과 안전·보건의 중요성에 대한 국민 의식이

높아짐에 따라 지속적으로 감소하고 있다.

2021년 공인 통계상 우리나라 산재 사고 사망자 수는 828명(건설업 417, 제조업 184, 기타 227)으로 산재 통계 작성 이래 가장 낮은 산재사고사망만인율(0.43)을 기록하였다. 그러나, 산재 예방 선진국들과 비교하여 여전히 높은 수준으로 일본의 약 2.5배, 북유럽 선진국들의 약 10배 이상으로 OECD 가입국 중 가장 높은 수준이다. 이러한 인식을 기반으로 산업현장에서 인명 손실을 줄이기 위한 사회적 공감대 확산과 여러 주체가 참여한 논의의 결과로 중대재해 처벌 등에 관한 법률이 제정·시행되기에 이르렀다(2022.1.27.).

하지만, 국가별로 상이한 산업구조, 인구 구조적 특성, 소득수준 및 기타 경제·사회적 발전수준 차이를 무시하고 산재사고사망률의 절대 수치를 단순 비교하

*울산대학교 산업안전보건전문학과 박사과정 (Department of Occupational Safety and Health, University of Ulsan)

**울산대학교 산업경영공학부 교수 (Department of Industrial Engineering, University of Ulsan)

여 우리나라의 산재사고사망률이 다른 나라들보다 몇 배 높은 수준이라 결론 내리는 것이 옳은지에 대한 의문점이 남는다. 적절한 비교·평가를 위해서는 국가 간의 산업구조나 경제·사회적 발전수준을 보정하는 방안에 대한 고려가 선행하여야 할 것이며, 이런 고려가 있고 난 뒤에야 비로소 유의미하고 적절한 산재 발생수준 비교가 이뤄질 수 있을 것이다.

본 연구의 목적은 국가의 경제·사회적 발전수준을 고려한 산업재해 사고사망 수준 비교 수단을 제공하는 것이다. 첫째로, 실제 데이터와 통계를 기반으로 산재 발생과 높은 상관관계를 가지는 국가의 경제·사회적 지표를 도출한다. 이를 통해, 여러 국가가 공통으로 가지는 경제·사회적 발전수준과 산업재해 수준 간의 관계를 이해할 수 있다. 둘째로, 도출된 요인들을 독립변수로 산재발생 사고사망률을 예측하는 통계적 모형을 학습한다. 비교 대상 국가의 데이터로 학습된 예측모형의 예측 결과와 실제 통계 사이의 차이가 큰 국가의 경우, 비교 대상 국가와는 다른 경제·사회적 지표와 산업재해 간 상관관계를 가진다는 것을 파악할 수 있다. 이를 통해 한 국가가 해당 경제·사회적 발전수준에 걸맞은 산업안전보건 수준을 확보하고 있는지 평가할 수 있으며, 나아가 제시된 지표 이외에 해당 국가의 특이 산재 패턴에 영향을 미치는 요인에 대한 분석의 기초자료를 제공할 수도 있다는 점에서 본 연구의 의의가 있다고 할 수 있다.

2. 문헌연구

산재 발생과 산재발생률에 영향을 미치는 요인들에 대한 다양한 선행연구들이 있었다. Byungyoung Jeong¹⁾은 제조업 사업장의 산재 발생 여부를 결정짓는 요인을 제시하려 하였고, Jungsun Park 등²⁾과 Jungyeon Hong 등³⁾은 고령화에 따른 산재 발생의 양태 변화를 연구하였다. 그 외, Seonung Lee 등⁴⁾은 이주노동자 숫자 증가, Dongkoo Kim 등⁵⁾은 경기순환 사이클과 산재 발생의 상관성을 각각 연구하였다.

국가 간 산재 발생률에 대한 상대비교를 시도한 선행연구들도 있다. Jaemin Jeong 등⁶⁾은 국가별로 건설업 산재사망률 산정기준 차이를 상대 비교하였으며, Seonyeong Park⁷⁾은 일본, 독일, 미국, 영국 선진 4개국의 산재통계 산출제도와 각 국가별 1인당 GDP, 건설업 비중, 취업자 중 남성 비율, 65세 이상 근로자 비율 등의 경제·사회지표와 산재 발생과의 상관성에 관해 연구하였다.

국가별 산재 사고 발생 데이터를 분석하여 Developing Concentration Index를 제시한 Sanghoon Lee 등⁸⁾의 연구와 비교 지표를 제시한 Seongsil Lim⁹⁾의 연구 등 국가 간 산재발생률의 비교에 관심을 두는 연구들도 있었다.

단일 국가 차원의 산재율 예측과 이를 활용한 예방 전략을 제시한 사례로는 시계열 분석 등을 활용하여 산재발생률을 예측하는 Y.S. Kang 등¹⁰⁾, Eunsuk Choi 등¹¹⁾의 시도도 있었으며, 머신러닝 기법을 건설업 사고사망자수 예측에 적용한 Jongko Choi 등¹²⁾의 연구가 있다.

본 연구는 4개 국가 간 산업재해를 차이를 결정하는 요인분석·비교에 주로 관심을 가졌던 기존 Seonyeong Park⁷⁾의 연구에서 착안하여 기존 연구에서 의미 있는 것으로 확인된 지표 외에 추가로 확보 가능한 국가별 산업구조 및 경제·사회적 지표 데이터를 확장 적용하여 분석을 시도하였다. 머신러닝 기반의 다중회귀 분석 모델링으로 국가별 산재 발생수준의 상대적 비교·평가 수단을 제시하고자 한다는 점에서도 차이가 있다.

3. 데이터 분석

3.1 데이터 출처

이 연구는 World Bank (<https://data.worldbank.org>)에서 제공하는 국가별 데이터를 기초로 하였다. 데이터가 상대적으로 잘 수집된 선진 10개국과 우리나라의 30년간(1991~2020) 산재사고사망률을 대상 11개 국가의 19개 경제·사회적 특성을 나타내는 데이터 중, 결측값을 제외한 5,878건의 데이터 분석하였다. 핵심변수인 산재사고사망률은 세계보건기구(WHO)의 자료를 주로 사용하였으며 기존 연구에서 사용한 국제노동기구(ILO) 데이터 등을 제한적으로 인용하였다. 산재사고사망률 데이터 출처는 Table 1과 같다.

Table 1. Data source of occupational accident fatality rate¹⁰⁾
(11 countries, 1991~2020)

Country	Data source
Europe*	WHO European Health Information
Korea	(Before 1998) KOSHA (After 1998) e-나라지표
U.S.A	U.S. BUREAU OF LABOR STATISTICS (BLS) Center for Disease Control and Prevention (CDC)
Singapore	ILOSTAT

* Europe : Denmark, Finland, France, Germany, Norway, Spain, Sweden, United Kingdom (8 countries in total).

Table 2. The results of correlation analysis

No.	Factors	Features	Abbreviation	Pearson Correlation Coefficient	Pearson P-value	Spearman Correlation Coefficient	Spearman P-value
1	Growth	Population growth (annual %)	Pgp	0.364083	< 0.001	0.35543	< 0.001
2		Urban population growth (annual %)	Upg	0.371865	< 0.001	0.277861	< 0.001
3		GDP growth (annual %)	Ggap	0.465617	< 0.001	0.363191	< 0.001
4		GDP per Capita growth, Nominal (annual %)	Gpag	0.404122	< 0.001	0.319324	< 0.001
5		Growth fixed capital formation (annual % growth)	Gfp	0.187436	< 0.001	0.163906	3.43E-03
6	Social development	Life expectancy at birth, total(years)	Leb	-0.48982	< 0.001	-0.43692	< 0.001
7		Mortality rate, under-5 (per 1,000 live births)	Mor	0.502651	< 0.001	0.405624	< 0.001
8		Fertility rate, total (birth per woman)	Fer	-0.17918	1.36E-03	-0.28329	< 0.001
9	Income level	GDP per capita, Nominal	Gpc	-0.43487	< 0.001	-0.51613	< 0.001
10		GDP per Capita, PPP	Gpp	-0.35746	< 0.001	-0.18155	1.17E-03
11		GNI per capita, PPP (current international \$)	Gnp	-0.26722	< 0.001	-0.26865	< 0.001
12	Employment	Industry Employment % (including construction)	Iep	0.431904	< 0.001	0.445942	< 0.001
13		Service Employment %	Sep	-0.53124	< 0.001	-0.45525	< 0.001
14		Vulnerable Employment %	Vep	0.677166	< 0.001	0.129819	2.08E-02
15		Unemployment %	Unp	-0.28817	< 0.001	-0.23167	< 0.001
16	International commerce	Export good and service (% of GDP)	Exp	0.171696	2.16E-03	-0.13577	1.56E-02
17		Imports of goods and services (% of GDP)	Imp	0.191636	< 0.001	-0.15408	5.98E-03
18	Energy consumption	Electric power consumption (kWh per capita)	Epc	-0.34083	< 0.001	-0.28288	< 0.001
19		Energy use (kg of oil equivalent per capita)	Euo	-0.26227	< 0.001	-0.06576	1.99E-01

* While other correlation analysis were carried out based on 1991~2020 data from 11 countries which were mentioned at Table 1, analysis on the Epc & Euo be done by using 1980~2014 data from Korea, Singapore, U.S.A, Denmark, Finland, France, Israel, Norway, Spain, Sweden, United Kingdom.

** Pink color means negative correlation and grey color means non-existence of significant correlation.

3.2 상관관계 분석

본 연구에서는 국가별 산재사고사망률을 종속변수로, World Bank에서 제공하는 국가별 데이터 중 종속변수와 상관관계가 있을 것으로 추정되는 성장, 사회발전, 소득수준, 산업구조 및 고용, 국제통상, 에너지사용량 등 6개 지표 그룹에 속한 여러 입력변수를 독립변수로 설정하고 상관관계 분석을 수행하였다. 각 독립변수가 국가의 산업재해 발생에 영향을 미치지 않는다는 귀무가설과 영향을 미친다는 대립가설을 유의수준 0.05 수준에서 Pearson과 Spearman 상관관계로 검정한 결과는 Table 2와 같다.

3.2.1. 성장 지표

한 국가의 연간 인구 증가율, 도시인구 증가율, GDP 성장률, 1인당 명목 GDP 성장률, 고정자산 투자 성장률 5가지 성장지표 모두 산재사고사망률과 양의 상관관계를 보였다. 일반적으로 개발도상국이 선진국에 비해 위 5가지 성장지표의 증가율이 모두 높았는데 착안하였는데 예상에 부합하는 결과를 확인하였다.

3.2.2. 사회발전 지표

국가 보건 의료 수준은 산재사고사망률과 상관성

이 높을 것이라고 가정하였다. 국가의 보건 의료 수준을 나타내는 영유아 사망률과 출생 시 기대수명은 산재사고사망률과 각각 강한 양과 음의 상관관계를 보였다. 선진국일수록 여성 1인당의 출생아 수가 적다는데 착안한 지표도 유의미한 음의 상관관계를 가지는 것으로 확인하였다.

3.2.3. 소득수준

이전 연구들에서도 일부 확인되었던 바와 같이 1인당 명목 GDP, 구매력평가 환산 GDP 및 GNI 3개 지표 모두 음의 상관관계가 확인되어, 한 국가의 소득수준이 증가할수록 산재사고 사망이 감소하는 경향을 보이는 것을 확인하였다. 추가로, 각 지표와 종속변수 간 상관관계수고 -0.43, -0.35, -0.26으로 차이를 보이는 것으로 나타났다. 일반적으로 선진국일수록 US dollar로 표시되는 1인당 명목소득과 물가수준은 높은 반면, 산재율은 낮은 경향을 보이기 때문일 것으로 추정한다.

3.2.4. 산업구조 및 고용

국가 산업구조와 산업별 종사자 비율은 산재사망률과 상관성이 높은 핵심적인 분석대상 지표이다. 국가의 제조·건설업 취업비율, 고용 취약계층 근로자

비율은 산재사고사망률과 강한 양의 상관관계를 보였고, 서비스 종사자 수 비율은 강한 음의 상관관계를 보였다. 업무특성과 산재 발생의 연관성은 기존 연구들의 결과와 부합함을 재확인할 수 있었다. 실업률은 산재사고사망률과 강한 음의 상관성을 보였는데, 고용률이 높아져 신규인력이 산업현장에 참여하는 비율이 높아질 때 산재 사고 발생과 그에 따른 사망률이 높아지는 것으로 해석할 수 있다.

3.2.5. 국제통상

Dongkoo Kim 등⁵⁾의 경기사이클과 산재발생률과의 상관성 연구에 착안해 경기가 좋을수록 산업생산과 이에 따른 상품 교역 규모가 커지고 그 결과로 산재사고 사망률이 높아질 것이라는 가설을 수립하였다. 이를 검증하기 위해 국가별로 수출입 규모와 산업재해율의 상관분석을 수행하였다. 그 결과, Pearson 상관분석에서는 선행연구와 부합하게 양의 상관성을 보이는 데 반해, Spearman 상관분석에서는 음의 상관성을 보였는데, 상대적으로 상관계수가 작고 일관성도 보이지 않아 직접적인 상관관계 해석은 어려웠다.

3.2.6. 에너지 사용량

역시 Dongkoo Kim 등⁵⁾의 경기사이클과 산재발생률과의 상관성 연구에 기초해 경기가 좋을수록 생산활동에 사용되는 에너지 사용량이 많아지고 이에 따라 산재사고사망률이 높아질 것으로 가설을 수립하였다. 상관관계 분석결과 두 하위지표에서 상이하게 나타나는데, 1인당 전기사용량은 예상과는 반대로 유의미한 음의 상관관계가 있는 것으로 확인된 반면, 1인당 Oil 사용량은 Spearman 상관관계 유의수준(0.05)을 충족하지 못하는 것으로 나타났다.

에너지 사용량 분석에는 World Bank가 제공하고 있는 원천 데이터의 다수의 결측값 문제로 다른 분석과 상이한 수집 기간(1980~2014)과 국가목록(싱가포르 제외, 이스라엘 추가)을 적용하였다. 이에 따라 에너지 사용량 데이터는 이후의 모델링에 적용하지 않았다.

4. 분산분석

4.1 분산 분석(ANOVA)

경제·사회지표를 반영한 산재사고사망률의 국가별 상대 비교에 앞서, 국가별로 산재사고사망률에 유의한 차이가 있는지 검정하기 위해 ANOVA 분석을 수행하였다. 그 결과, 국가에 따른 산재사고사망률 평균에 유의미한 차이가 있음을 확인할 수 있다. 대한민국의

Table 3. Result of ANOVA analysis among countries with their occupational accident fatalities ($\alpha=0.05$)

	d.f.	Sum Sq.	Mean Sq.	F	Pr(>F)
Country	10	5305.704	530.5704	47.98496	7.33E-57
Residual	306	3383.446	11.05701	NaN	NaN

경우 영국 등 산재 예방 선진국들과 비교하여 산재사고사망률이 10배 이상 차이가 나는 것으로 나타났다.

4.2 사후검정(Post-hoc analysis)

국가별로 타 국가 대비 산재사고사망률 평균의 차이를 비교하여 데이터의 유의미한 유사성 또는 차이를 확인하고자 Tukey's HSD Test¹³⁾ 사후검정을 실시한 결과는 Table 4와 같다. 국가별로 'Reject 1'과 'Reject 2'는 산재사고사망률 평균이 유의수준 0.05에서 낮거나 높아 비교 대상 국가 간에 차이가 있음을 의미한다.

분석결과, 유럽 국가들 사이에는 상대적으로 산재사고사망률에 유의한 차이가 없는 것으로 확인되나, 대한민국과 싱가포르의 경우는 각각 다른 10개국 모두와

Table 4. Summary of the Tukey's HSD test result ($\alpha=0.05$)

Country	Reject 1	Reject 2	Total Sum.
Korea	6	4	10
Singapore	4	6	10
USA	1	8	9
Denmark	3	0	3
Finland	3	0	3
France	3	0	3
Germany	3	0	3
Norway	2	1	3
Sweden	1	2	3
United Kingdom	0	3	3
Spain	0	2	2

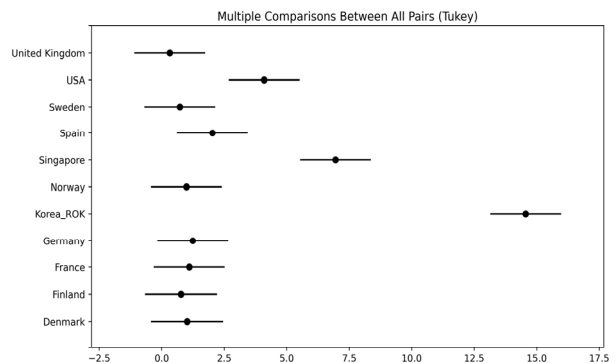


Fig. 1. Multiple comparison of occupational accident fatality means by Tukey ($\alpha=0.05$).

유의한 차이가 있었다. 미국은 스페인을 제외한 9개국과 유의한 차이가 있음을 확인하였다. 이를 통해 특정 국가 그룹별로 산재사고사망률에 차이가 있음을 확인하였으며, 이 결과를 활용하여 유사성을 보인 국가들의 데이터를 함께 묶는 방식으로 이후 모델 수립에 반영하였다.

5. 회귀분석 모델링

5.1 다중회귀분석

3장에서 선정한 성장, 사회발전, 소득수준, 산업구조 및 고용, 국제통상의 5개 그룹에 속하는 17개의 독립변수와 종속변수인 산재사고사망률에 대한 다중선형회귀분석을 수행하였다. 모델 학습은 Python 기반 머신러닝 라이브러리인 scikit-learn (version 1.0.2.)을 활용하여 수행하였다. 국가 그룹별 예측모형의 차이를 확인하기 위해 「① 전체 11개국, ② Europe 8개국, ③ 미국+싱가포르+한국, ④ 싱가포르+한국」의 4개 모델을 학습하였으며, 결과는 Fig. 2와 같다.

5.2 모델 성능평가

학습된 회귀모형의 성능을 평가하기 위해 전체 데이터를 무작위로 8:2 비율로 나누어 각각 학습 데이터와 테스트 데이터로 실험을 수행한 결과는 Table 5와 같다. 각 그룹의 모델 성능을 비교·평가한 결과, 유사한 수준의 산재사망률을 가지는 국가를 군집화한 경우

Table 5. Evaluation of multiple linear regression modeling result (K: Korea, S: Singapore, U: USA)

Group	Comparison	MSE	RMSE	MAE	R ²
All	Train	4.008	2.002	1.489	0.844
	Test	3.546	1.883	1.278	0.896
EU	Train	0.047	0.216	0.158	0.880
	Test	0.076	0.275	0.216	0.803
KSU	Train	2.159	1.469	1.085	0.957
	Test	5.18	2.276	1.465	0.937
KS	Train	3.606	1.899	1.471	0.952
	Test	3.399	1.844	1.406	0.944

전체 국가를 대상으로 학습했을 때 보다 예측모델의 설명력이 높은 것을 확인할 수 있었다.

5.3 대한민국의 상대적 산재사고사망률 평가

대한민국의 산재 사고사망 발생수준을 타 국가와 상대적으로 비교하기 위해, 한국을 제외한 10개국의 데이터로 다중회귀모형을 학습한 후, 대한민국의 데이터로 예측을 수행하였다. Fig. 3는 학습 및 테스트 데이터에 대하여 실제 종속변수 값을 가로축으로, 회귀모형에 의해 예측된 값을 세로축으로 예측 결과를 나타낸 그래프이다. 빨간색 실선은 모든 데이터가 오차 없이 정확히 예측된 경우를 나타내는 기준선이다.

대한민국을 제외한 10개 국가의 경우, 예측값이 기준선 주변에 분포하며 낮은 값의 예측 오차(MAE 0.973)를 확인할 수 있다. 반면, 대한민국의 경우 10개

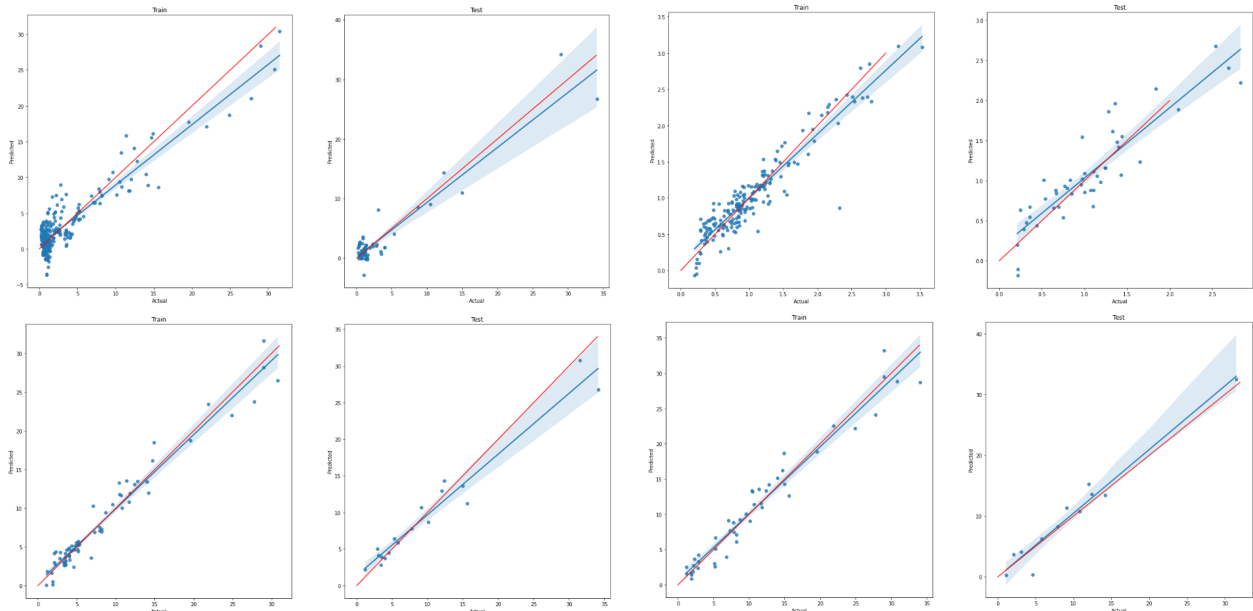


Fig. 2. Multiple linear regression modeling results (top left to bottom right, ① all 11 countries, ② 8 European countries, ③ Korea, Singapore, and USA, ④ Korea and Singapore).

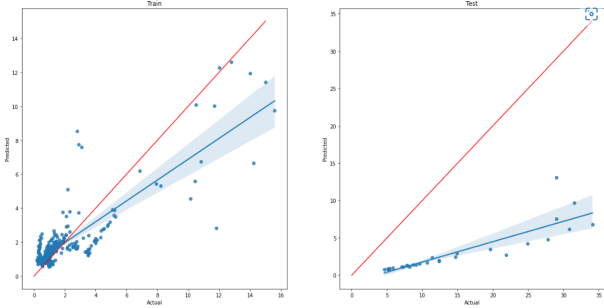


Fig. 3. Multiple linear regression modeling results (left to right, ① All other countries except Korea, ② Korea).

국의 데이터로 학습된 모델로 예측된 산업재해사망률의 예측값 대비 실제값이 약 4~5배 더 큰 값을 나타냄을 확인할 수 있다. 이 결과는 대한민국의 산재사고사망률이 타 10개국과 비교하였을 때, 동일한 경제·사회적 지표 수준에서 4~5배 높다는 것을 의미한다. 따라서, 본 연구의 다중회귀모형에 반영된 독립변수 외에, 산재사고사망률의 증가에 기여하는 다른 요인이 있다고 해석할 수 있다.

6. 결론

6.1 연구결과 요약

본 연구에서는 국가별 경제·사회적 발전단계를 고려하여 산재사고사망률을 상대 비교하기 위한 다변량 통계 분석 방법론을 제안하였다. 문헌연구를 통해 국가의 산업재해 사망 발생에 영향을 미치는 성장, 사회발전, 소득수준, 고용, 국제통상, 에너지 사용량 등과 관련된 다양한 경제·사회 지표를 선정하였다. 선정된 지표들과 산재사고사망률의 상관분석을 통해 유의한 독립변수를 발굴하고, 다중선형회귀모형을 학습하였다. 그 결과, 경제·사회지표와 산재사고사망률 간 관계의 유의한 차이를 보이는 국가의 그룹을 발견하였다. 이를 활용하여, 동일한 수준의 경제·사회적 발전 시점에서 대한민국의 산재사고사망률이 10개 선진국 대비 4~5배 높다는 사실을 확인하였다.

6.2 기여사항 및 시사점

국가 그룹별 다변량 통계 분석을 통해, 경제·사회적 국가 발전수준에 따른 산재사고사망률 패턴은 산업구조, 지리적·문화적 유사성 등에 따라 국가 그룹별로 차이를 보임을 확인하였다. 이 결과는 국제노동기구(ILO)의 전 세계 산재 사고 사망자 수 추정의 근거가 되었던 1998년 Takala¹⁴⁾의 연구에서 각 대륙·지역별 대표국가의 산재 데이터 확보 후, 동일 지역 내의 산재

통계를 작성하지 않는 타 국가의 산재 발생 건수를 추정하는 방식을 사용한 사례와도 부합한다.

우리나라의 산재 사고사망 발생률은 Fig. 3에서 알 수 있듯이, 붉은 선으로 표시되는 비교 대상 10개국의 경제·사회적 발전단계에서의 산재사고발생률과 상당한 차이를 보인다. 이 결과는 우리나라의 산재사고사망률이 유럽 8개국, 미국, 싱가포르 등 비교 대상 10개국의 소득수준 등 동등수준의 경제·사회적 지표를 가졌던 시기에 비해 우리나라의 산재사고사망률이 여전히 상대적으로 높다는 것을 의미한다. 그러나, 단순 수치 비교 시 대한민국의 산재사고사망률이 해당 국가보다 10배 이상 크다는 점을 고려했을 때, 제안한 회귀모형의 보정 효과에 의해 절반 이하 수준으로 그 폭이 감소한 점은 주목할 만하다.

본 연구는 경제·사회적 발전단계가 상이하여 단순 비교가 어려운 국가 간 산재사고사망률을 다양한 지표를 통해 보정하여, 동등 발전수준에서의 상대비교가 가능하도록 하는 방법론을 제안했다는 데 의의가 있다. 이 방법론은 국가 간 산재통계 작성 차이를 보정하는 수단과 조합하여 적용할 경우, 한 국가의 경제·사회적 발전수준에 따른 국가의 산재사고사망률의 적정수준을 정성적으로 평가·비교하는 준거 틀을 개발하는데 도움이 될 수 있을 것으로 기대한다. 또한, 이 방법론은 동등한 경제·사회적 지표 수준에서 한 국가의 산재 예방정책의 적절한 집행 여부를 평가·비교하는 수단으로써도 적용 가능할 것이다.

6.3 한계점 및 향후 연구 방향

데이터 수집의 제약과 국가별 산재통계 작성기준 상의 차이로 인해 본 연구의 결과를 확장하는 데에는 한계가 있다. 대부분의 개발도상국에는 신뢰할 수 있을 만한 산재통계가 존재하지 않으며, World Bank 등 국제기구 웹사이트를 통해 수집·활용 가능한 데이터에도 제약사항이 많아 30년간 데이터를 확보 가능한 11개 국가의 17개 특성지표만을 분석대상으로 하였다는 점과 국가별 산재사고사망률 산정기준이 상이하다는 점은 비교 수단으로서의 정확성에 한계점으로 작용한다.

또한, 이 논문의 데이터 분석 시에는 각 국가의 산재통계 작성기준의 차이를 반영하지 않았는데 이는 분석의 정확성을 낮추는 중요 제약요인 중 하나이다. 김진현¹⁵⁾ 등은 국가 간 통계 작성기준 상의 차이로 사고사망십만인률을 단순 비교하기 어려움을 기술하였다. 업무수행 중 타살에 의한 사망자를 산재통계에 포함하는지 여부, 사고 발생 후 실제 사망 시기를 어떻게 규정하는지, 출퇴근 재해·체육행사 중 사고·사업장 외

교통사고 등을 산재로 반영하는지 등에 국가별로 차이가 있다. 일부 국가는 사망자 통계를 통계적 추정으로 작성하기도 한다. 그런데 대부분 국가는 정보보호 사유로 산재 원천 데이터를 공개하지 않는데, 이는 국가별 산재사고사망률 등 산재 발생 현황의 정량적 비교를 현실적으로 불가능하게 만든다.

그러나, 이런 산재통계작성 기준의 상이함은 전체 산재사망률 차이의 일부밖에 설명하지 못하는 것으로 추정한다. 2020년 영국의 산재사고사망십만인률 0.17은 같은 해 우리나라 4.6 대비 1/27에 불과한데 이는 산재통계 작성기준 외에 산업구조, 법령체제와 집행강도, 안전보건 예방 인프라 수준, 안전문화, 기타 여러 경제적·사회적 요인들이 이러한 차이를 만들었다고 추론함이 더욱 타당할 것이다. 부가하여, 2020년도 미국 타살(homicide)에 의한 산재 사망자 329명은 그해 미국 전체 산재사고사망자 4,764의 6.91% 수준이었다.

한편, 국가의 산재사고사망률에는 본 연구의 분석대상 지표 외에도 더 많은 변인이 작용할 것이다. 데이터 수집상의 한계로 분석하지 못했으나, 한 국가의 외국인 노동자 비율 증감¹⁶⁾, 55세 이상 고령 노동자 취업률, 기타 산업과 노동 인력 구조에 대한 추가적인 세부 데이터 등을 반영하면 보다 정교한 모델을 학습할 수 있을 것이다. 안전보건 법령체제와 처벌 수준, 안전보건 인프라, 안전문화 등도 산재발생률과 상관성이 클 것이라 보이는데, 이를 반영할 수 있는 지표를 발굴하여 모델에 반영하는 것도 흥미로운 연구주제가 될 수 있을 것이다.

대상 국가 측면에서도 대한민국과 동일 문화권에 있으며 산업구조, 소득수준, 산재율 측면에서 좋은 비교대상이 될 수 있는 일본, 대만의 데이터를 포함한 모델을 연구하는 것도 의미가 있을 것이다.

또한, 모델의 고도화를 위해서는 각 변수의 산재 사고사망에 영향을 미치는 기여도에 대한 비교·평가를 시도해 보는 것도 의미 있을 것이며, 다양한 인공지능 모델링 기법을 적용하여 보다 정확도가 높은 모델링 방법을 도출해 내는 것도 흥미로운 추가 연구주제가 될 수 있을 것이다.

향후, 더 많은 국가의 다양한 경제·사회적 변수 데이터를 수집·분석한 연구가 이루어져, 본 연구에서 제안한 방법론이 국가 간 산재사고사망률을 비교·평가하는데 유용한 수단이 되기를 희망한다.

References

1) B. Jeong, "Comparisons of Variables between Fatal and

Nonfatal Accidents in Manufacturing Industry", *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 23, Issues 5-6, pp. 565-572, 1999.

2) J. Park, S. G. Kim, J. Park, B.Han, K. B. Kim and Y. Kim, "Hazards and Health Problems in Occupations Dominated by Aged Workers in South Korea", *Annals of Occupational and Environmental Medicine*, pp. 1-10, 2017.

3) J. Hong and K. Lee, "The Aging Work Force in Korea", *International Archives of Occupational and Environmental Health*, pp. 253-260, 2012.

4) S. W. Lee, K. S. Kim and T. W. Kim, "The Status and Characteristics of Industrial Accidents for Migrant Workers in Korea Compared with Native Workers", *Korean Journal of Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 20, No. 4, pp. 351-361, 2008.

5) D. K. Kim and S. Park, "Business Cycle and Occupational Accidents in Korea", *Safety and health at Work*, Vol. 11, Issue 3, pp. 314-321, 2020.

6) J. M. Jeong, C. H. Lee, Y. K. Sim, J. W. Jeong and J. H. Lee, "Comparison of Difference in the Investigation of Fatality Rate in Construction among Various Countries", *J. Korean Soc. Saf.*, Vol. 36, No. 4, pp. 47-53, 2021.

7) S. Park, "Comparative Analysis of Change Trend on Occupational Accident Rate among Major Countries", *Korea Occupational Safety and Health Research Institute*, 2020.

8) S. Lee, S. R. Chang and Y. Suh, "Developing Concentration Index of Industrial and Occupational Accidents: The Case of European Countries", *Safety and Health at Work Volume 11*, Issue 3, pp. 266-274, 2020.

9) S. S. Lim, "Global Trends in Occupational Injury Indices and Their Relation to National Indicators", *Yonsei University*, 2020,

10) Y. S. Kang, T. G. Kim, K. H. Ahn, D. L. Choi, U. N. Jung, S. H. Lee, M. A. Park, S. Lee and S. H. Kim, "The Study on Strategy for Industrial Accident Prevention by the Industrial Accident Rate Forecasting in Korea", *Korea Safety Management and Science*, pp. 177-183, 2011.

11) E. Choi, G. S. Jeon, W. K. Lee and Y. S. Kim, "The Prediction of Industrial Accident Rate in Korea: A Time Series Analysis", *Korean J. Occup. Health Nurs.*, Vol. 25, Issue 1, pp. 65-74, 2016.

12) J. Choi, B. Gu, S. Chin and J. S. Lee, "Machine Learning Predictive Model based on National Data for Fatal Accidents of Construction Workers", *Automation in*

- Construction Vol. 110, 2020.
- 13) J. W. Tukey, “Comparing Individual Means in the Analysis of Variance”, *Biometrics*, Vol. 5, No. 2, pp. 99-114, 1949.
- 14) J. Takala, “Global Estimates of Fatal Occupational Accidents”, *Epidemiology*, Vol. 10, No. 5, pp. 640-646, 1999.
- 15) J. H. Kim, D. H. Seo, S. Y. Kang, B. Baek and G. W. Bae, “Consideration of Limitations related to the International Comparison of Statistics on Fatal Occupational Injuries per 100,000 Workers”, *J. Korean Soc. Saf.*, Vol. 36, No. 4, pp. 99-107, 2021.
- 16) K. H. Yi, H. H. Cho and G. H. You, “The Comparative Study on the Occupational Injury Rate and Mortality Rate of the Total Workers and Foreign Workers”, *J. Korean Soc. Saf.*, Vol. 27, No. 1, pp. 96-104, 2012.