

산업용 기계 및 기구 관련 재해강도 지표의 평가

최기흥*

Evaluation of Severity Measures of Accidents Associated with Industrial Machines and Devices

Gi Heung Choi*†

†Corresponding Author

Gi Heung Choi

Tel : +82-2-760-4322

E-mail : gihchoi@hansung.ac.kr

Received : December 5, 2018

Revised : April 23, 2019

Accepted : April 25, 2019

Abstract : This study focuses on the evaluation of severity measures used for accidents associated with industrial machines and devices. In particular, duration of medical treatment, duration of work loss, number of deaths in an individual accident associated with industrial machines and devices are evaluated in various ways to assess the severity of the accident. The number of accidents with work loss of longer than 1 year as the severity measure and the number of accidents as the frequency measure appeared to be the most discriminating information and allow risk assessment based on these frequency and severity measures for grouping of industrial machines and devices. Results of such risk assessment further confirmed the re-classification of industrial machines and devices that are currently subject to safety certification (SC) and self-declaration of conformity (SDC) or selection of those machines and devices that are newly subject to SC and SDC.

Key Words : frequency of accident, industrial machines, risk assessment, safety certification, self-declaration of conformity, severity of accident

Copyright©2019 by The Korean Society of Safety All right reserved.

1. 서론

산업 현장에서 쓰이는 산업용 기계 및 기구에 의한 재해는 매년 전체 산업재해의 30% 전후를 차지하며 재해의 강도가 높은 편이다^{1,2)}. 이러한 이유로 현재 위험도가 높은 산업용 기계 및 기구의 안전성 확보를 위한 안전인증, 자율안전확인과 안전검사 제도가 실시되고 있다. 즉, 안전한 산업용 기계 및 기구의 보급 및 사용을 위해서는 Fig. 1과 같이 위험의 생산단계와 소비 단계에서 각각의 주체 (즉, 제조자와 사용자)에게 독립된 안전성확보 제도를 적용하고 사고를 예방하기 위한 노력을 차별화해야 한다^{3,4,5)}.

이러한 규제의 실효성을 높이기 위해서는 안전한 산업용 기계 및 기구의 제조 및 사용을 위한 적절한 규제 강도를 유지하는 것이 필요하다. 이를 위하여 객관적 재해분석 결과에 기초하여 기존 안전인증 등 대상 품목의 적정성을 검증하고 높은 위험성을 내포하고 있음

에도 불구하고 안전인증 등에서 제외된 다양한 비대상 품목에 대한 신규적용을 고려해야 한다.

본 연구에서는 산업용 기계 및 기구의 보다 근원적인 안전성 확보를 위해 위험성 평가를 위한 재해강도

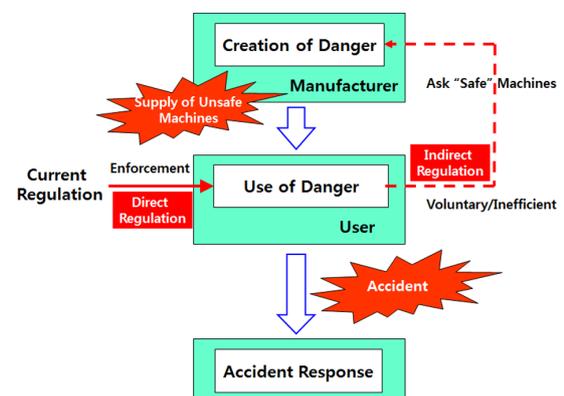


Fig. 1. Model of direct regulations applied on both users and manufacturers¹⁾.

*한성대학교 기계시스템공학과 교수 (Department of Mechanical Systems Engineering, Hansung University)

지표를 평가하고 선택된 지표를 실제 제조자 대상의 규제인 안전인증과 자율안전확인 대상 품목의 분류에 적용하여 실효성을 검증하였다.

2. 위험성평가 및 재해강도 지표

2.1 산업용 기계 및 기구의 위험성평가

일반적으로 산업용 기계 및 기구 관련 위험성(Risk)은 Eq.(1)과 같이 사고의 가능성(Frequency)과 사고의 중대성(Severity)에 근거하여 평가할 수 있다.

$$\text{위험성(Risk)} = \text{사고 가능성(Frequency)} \times \text{중대성(Severity)} \quad (1)$$

사고 가능성은 위험이 사고로 발전될 확률로 폭로빈도와 시간을 의미하며 중대성은 부상 및 건강장애의 정도 또는 재산손실의 크기를 의미한다. 안전인증 또는 자율안전확인 대상 산업용 기계 및 기구의 위험성은 다음과 같은 절차에 의해 평가된다. 즉, 파악된 대상 품목의 위험요인에 대하여 그 위험요인이 사고로 발전할 수 있는 가능성(재해빈도)과 사고발생시 사고의 중대성(재해강도)을 단계별로 수준(Level)을 정하고 양자를 조합하여 위험성을 계산한다.

2.2 재해강도 지표의 선정

앞에서 언급한 바와 같이 산업용 기계 및 기구의 위험성을 추정하기 위해서는 관련 재해의 빈도로 사고의 가능성을 표현하고 재해강도로 사고의 중대성을 나타낼 수 있다. 재해빈도는 곧 관련 재해건수를 의미한다. 반면에 재해강도는 명확하게 정의되지 않으나 일반적으로 재해와 연관된 사망자 수 또는 부상의 정도를 재해강도로 활용할 수 있다.

본 연구에서는 다음과 같은 보다 정량적이며 객관적인 재해강도 지표(Severity Measure)를 고려하였다. 즉, 산업안전보건공단이 매년 작성하는 산업재해 조사표에 따르면 본 연구를 위해 활용할 수 있는 정량적인 재해강도 지표는 재해빈도 지표(Frequency Measure)로 활용되는 재해건수를 제외하면 각 재해별 사망자 발생여부, 요양일수, 근로손실일수 뿐이다. 이러한 재해강도 지표 중에서 본 연구의 목적에 부합하는 즉 안전인증과 자율안전확인 대상 품목과 비 대상 품목간 차별화되는 지표를 찾아야 한다⁶⁾.

Fig. 2는 품목분류를 위한 지표를 평면상에 도시한 것이다. 그림에서 왼쪽의 경우와 같이 그룹(Class) 사이에 가장 크게 차별화 (Maximum Discrimination, 그룹

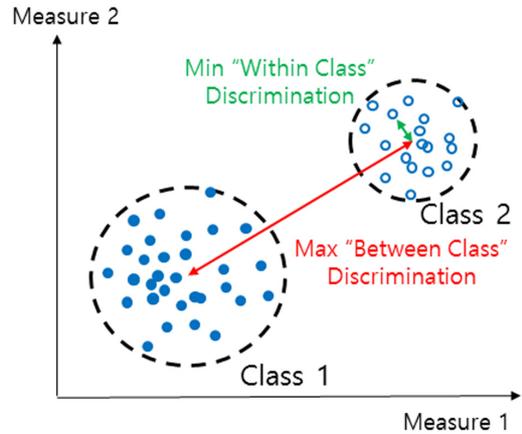


Fig. 2. Selection of measures for grouping/classification where classes are clearly discriminated.

중심간 최대거리) 되고 동시에 그룹 안에서는 가장 적게 차별화(Minimum Discrimination, 그룹내 최소반경)되는 지표를 찾아 품목분류에 활용하는 것이 본 연구의 목표에 부합한다. 이와는 반대로 그룹 사이에 차별화가 어렵지만 그룹 안에서는 크게 차별화되는 지표 즉, 그룹 중심간 거리보다 그룹 내 반경이 큰 지표는 본 연구의 목표에 부합하지 않는 지표이다.

2.3 사망재해 강도 - 사망자 수

산업용 기계 및 기구 품목별 2012년부터 2017년까지 최근 6년간 재해건수를 재해빈도 지표로, 그리고 사망자수를 재해강도 지표로 사용하는 경우 Fig. 3과 같이 안전인증 등 대상 품목과 비 대상 품목 간 데이터의 산재분포가 나타난다. 이는 사망자수에 따른 품목별 차별화가 가능하다는 의미이다. 다만, 자율안전확인 대상 품목의 예에서 보듯이 품목별 사망자가 제한적으로 발생하는 경우 품목별로 차별화된 재해강도의 추정이 불

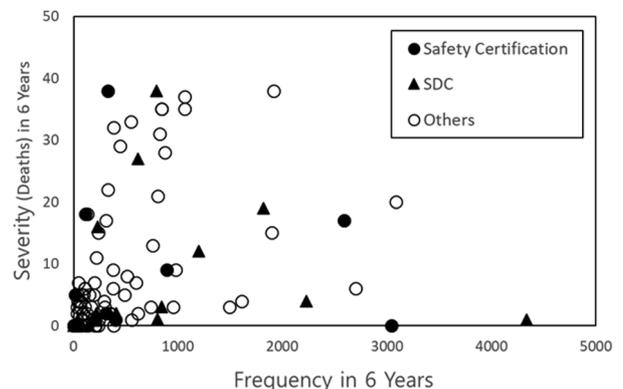


Fig. 3. Relationship between the frequency (number of accidents) and the severity (number of deaths) of the associated accidents in recent 6 years (2012~2017).

가능하다. 즉, 모든 산업용 위험 기계 및 기구와 관련된 산업재해에서 사망자가 발생하지는 않으므로 안전 인증 및 자율안전확인 대상 품목 조정을 목적으로 활용하는데 제한이 따른다.

2.4 부상재해 강도 - 요양일수

위에서 언급한 사망자 수를 재해강도 지표로 사용하는데 따른 문제점을 보완하기 위하여 부상재해 강도를 재해강도 지표로 활용할 수 있다. 예를 들면, 요양일수를 부상재해의 강도를 나타내는 지표로 활용 가능하다. 산업안전보건법에서는 부상의 정도를 구분하기 위해 경상과 중상을 따로 정의하지 않는다. 다만, 사망자가 발생하거나 3개월 이상 요양이 필요한 재해자가 동시에 2명 이상 발생 또는 직업성 질병자가 동시에 10명 이상 발생하는 경우 중대재해로 규정하고 있다. 따라서 산업용 위험 기계 및 기구 등과 연관된 중대재해 발생의 기준은 3개월 이상 요양이므로 이를 경상과 중상을 구분하는 기준으로 활용할 수 있다. 또한, 영구장애가 발생한 경우를 반영하기 어렵고 사망재해의 경우 요양일수가 1일로 제한되어 적절하게 반영되지 않는 단점도 있다.

요양기간을 부상의 정도 즉, 부상재해 강도를 객관적으로 증명하는 정량적 지표로 사용하는 경우 전체 재해건별 요양기간의 평균값과 특정 요양기간을 초과하는 경우 재해건수로 나누어 생각할 수 있다.

(1) 요양일수의 평균값

특정 산업용 위험 기계 및 기구 등과 연관된 재해건별 요양(급여)일수의 평균값을 부상의 정도를 객관적으로 증명하는 척도로 활용할 수 있다. 즉, 부상재해의 강도를 정량화하기 위하여 근로복지공단에서 제공하는 재해관련 요양일수를 근거로 안전보건공단의 Kosha Code에서 규정한 코드값(분류값)의 가중평균(Weighted Average)을 사용할 수 있다. 산업안전보건공단에서 규정한 산업용 기계 및 기구 관련 위험도 결정에 필요한 재해(피해)의 중대성(강도) 수준은 Table 1과 같다.

안전보건공단에서 제공하는 재해조사표의 내용에 따르면 요양기간이 불연속적으로 분포(입력)되어 정확한 평균값 산출이 어렵기 때문에 본 연구에서는 각 코드별 요양일수의 중간 값을 사용하였다. Table 1에 따르면 2008년도와 2009년도 산업용 기계 및 기구 관련 부상재해 강도의 가중평균값(재해정도 코드의 가중평균값, 사망 및 분류불능 제외)은 각각 4.75와 4.18로 나타나 평균요양일수는 각각 80일과 40일 내외가 됨을 알 수 있다.

Table 1. Severity of industrial accidents in 2008 and 2009⁷⁾

Severity	Contents	Decision Criteria	Code	Number (Ratio, %)	
				2008	2009
No Effect	No loss of labor	Medical treatment of less than 8 days	1	284 (1.12%)	262 (0.92%)
Light	Light injury	8~14 days	2	370 (1.45%)	774 (2.72%)
		15~28 days	3	1180 (4.64%)	3651 (12.84%)
Light-Severe	Between Light and Severe Injury	29~90 days	4	7556 (29.71%)	13878 (48.80%)
		91~180 days	5	10223 (40.18%)	7927 (27.87%)
		181 days~ 1 year	6	5009 (19.69%)	1570 (5.53%)
Severe	Fatal injury with loss of labor	1~5 years	7	408 (1.6%)	34 (0.11%)
		over 5 years	8	0	0
Severity of Injury (Weighted Average)				4.75	4.18
Death	Death	Death	9	410 (1.6%)	345 (1.21%)
NC	Not classified	NC	0	-	-

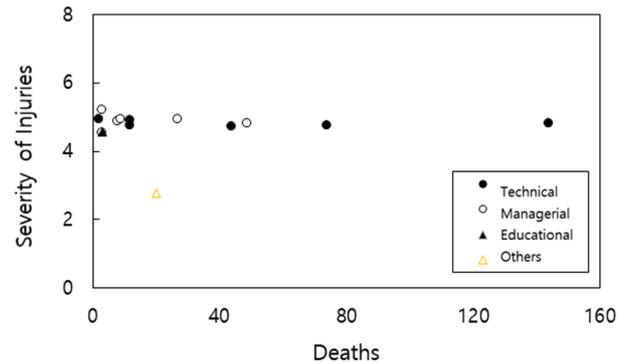


Fig. 4. Relationship between severity of injuries and deaths in 2009⁴⁾.

Fig. 4는 산업용 기계 및 기구 관련 부상재해 강도와 사망재해 건수와의 관계를 나타낸다⁷⁾. 그림에 따르면, 부상재해 강도와 사망재해 건수에 기초하여 각 재해원인별로 2차원의 차별적인 관계를 구하기는 어렵다. 즉, 각 재해원인별 사망재해 건수는 차별적이나 부상재해 강도는 차별화된 정보를 나타내고 있지 않다.

(2) 기준 요양일수 초과 재해건수

요양일수 3개월 초과건수를 재해강도로 사용하는 경우 Fig. 5에 나타난 바와 같이 요양일수와 재해빈도 사이에는 비례관계가 성립한다. 이는 요양일수 3개월 초과건수는 곧 재해빈도를 의미하므로 요양일수 3개월 초과건수에 기초한 중대재해의 개념은 곧 재해다발 사

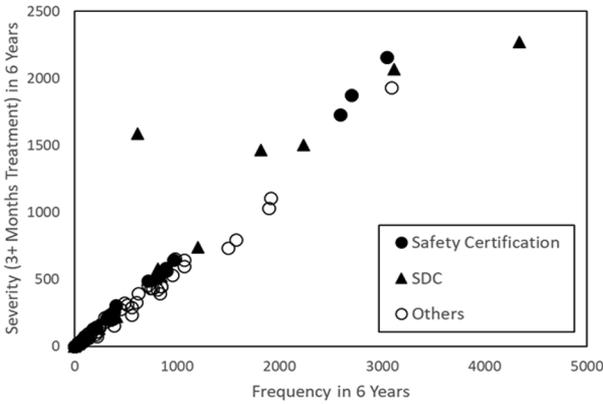


Fig. 5. Relationship between the frequency (number of accidents) and the severity (medical treatment of more than 3 months) of the accidents associated with industrial machines and devices in recent 6 years (2012~2017).

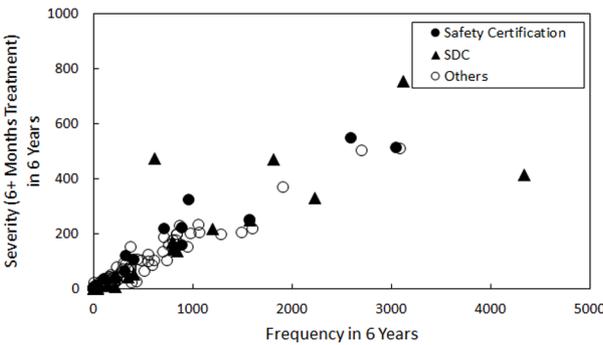


Fig. 6. Relationship between the frequency (number of accidents) and the severity (medical treatment of more than 6 months) of the accidents associated with industrial machines and devices in recent 6 years (2012~2017).

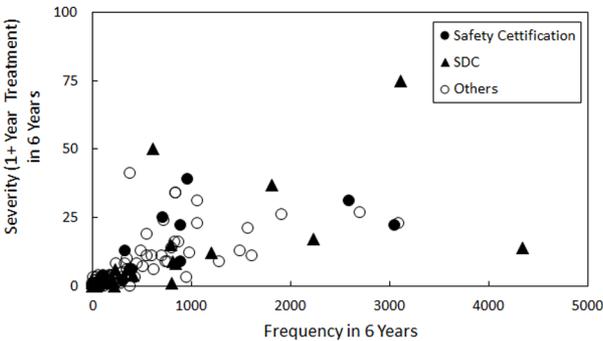


Fig. 7. Relationship between the frequency (number of accidents) and the severity (medical treatment of more than 1 year) of the accidents associated with industrial machines and devices in recent 6 years (2012~2017).

고를 중대재해로 간주함을 의미한다. 다만, 요양일수 3개월 초과건수를 재해강도 지표로 사용하면 품목별 차별화된 정보를 제공하지 못하므로 안전인증 등 품목분류 기준으로 사용하기에는 부적절하다.

반면에 요양일수 6개월 또는 1년 초과 재해건수를 재해강도로 사용하는 경우 Fig. 6 및 Fig. 7과 같이 분포가 나타난다. 그러나 이 경우에도 건수의 절대규모가 작기 때문에 의미 있는 차별화되는 정보를 보여주지 못하며 안전인증 등 품목 분류용 재해강도 지표로는 적절하지 않은 것으로 판단된다.

2.5 부상 및 사망재해 강도 - 근로손실일수

근로손실일수는 재해강도율을 계산하는데 기초적인 데이터로 품목별 위험도를 판단하는데 기초자료가 될 수 있다. 대부분의 경우, 근로손실일수는 요양기간 범위 내에서 결정된다. 반면에 재해의 종류에 따라 근로손실일수가 요양기간을 크게 초과하는 경우는 영구장애가 발생한 경우로 판단할 수 있다. 또한, 사망의 경우 근로손실일수를 일률적으로 7500일 (1년 300일 근무를 기준으로 약 25년) 반영하여 사망사고를 간접적으로 반영하는 효과도 있다.

근로손실일수를 부상의 정도를 객관적으로 증명하는 정량적 척도로 사용하는 경우 전체 재해건별 근로손실일수의 평균값과 기준 근로손실일수를 초과하는 경우 재해건수로 나누어 생각할 수 있다.

(1) 근로손실일수의 평균값

특정 산업용 위험 기계 및 기구 등과 연관된 재해건별 근로손실일수의 평균값을 부상의 정도를 객관적으로 증명하는 척도로 활용할 수 있다. 다만, 요양일수의 경우와 마찬가지로 각 품목별로 차별화된 정보를 제공하지는 못한다.

(2) 기준 근로손실일수 초과 재해건수

요양일수의 경우와 마찬가지로 특정 산업용 위험 기계 및 기구 등과 연관된 재해건별 근로손실일수 중 기준 근로손실일수 (예를 들면, 3개월)를 초과하는 재해건수를 재해강도 지표로 활용할 수 있다.

Fig. 8에 따르면 근로손실일수 3개월 초과건수를 재해강도로 사용하는 경우 요양일수 3개월 초과건수와 마찬가지로 재해빈도와와의 사이에 비례관계가 성립한다⁶⁾. 또한, Fig. 9에 따르면 근로손실일수 6개월 초과건수를 재해강도 지표로 사용하는 경우 품목별로 차별화된 재해강도 정보를 일부 제공하지만 안전인증 등 품목분류 기준으로 활용하는 데에는 부족한 것으로 판단된다.

근로손실일수 1년 초과건수를 재해강도로 사용하는 경우 Fig. 10에 나타난 바와 같이 품목별로 적절히 차별화된 재해강도 정보를 제공할 뿐만 아니라 재해빈도

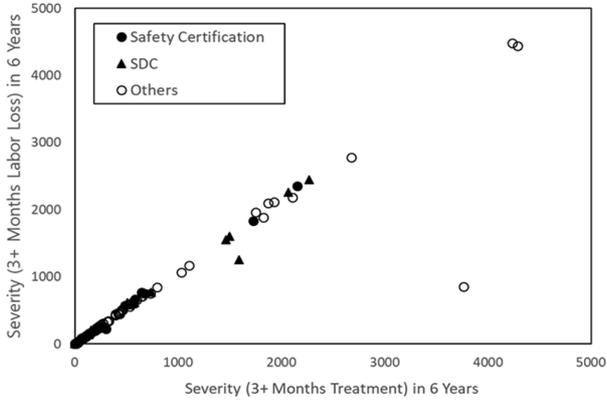


Fig. 8. Relationship between the severity (medical treatment of more than 3 months) and the severity (labor loss of more than 3 months) of the accidents associated with industrial machines and devices in recent 6 years (2012~2017).

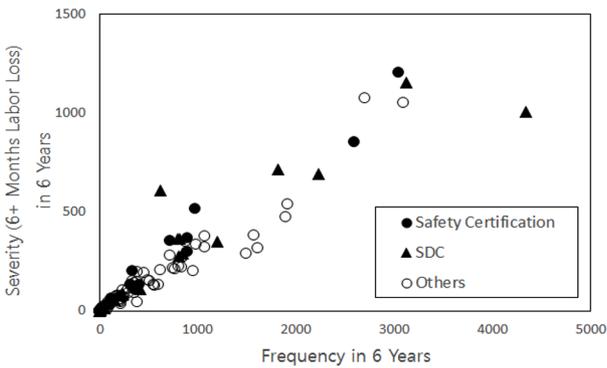


Fig. 9. Relationship between the frequency (number of accidents) and the severity (labor loss of more than 6 months) of the accidents associated with industrial machines and devices in recent 6 years (2012~2017).

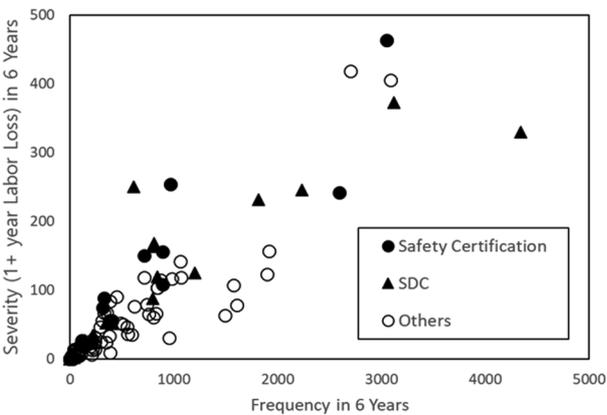


Fig. 10. Relationship between the frequency (number of accidents) and the severity (labor loss of more than 1 year) of the accidents associated with industrial machines and devices in recent 6 years (2012~2017).

가 낮은 경우에도 비교적 일관된 재해빈도-재해강도 관계가 존재함을 알 수 있다.

본 연구에서는 위 분석을 토대로 근로손실일수 1년 초과건수를 재해강도 지표로 선택하였다.

3. 적용 예

절대적 관점에서 재해강도 지표로 근로손실 1년 초과건수를 사용할 경우 재해다발 산업용 기계 및 기구가 대상품목으로 선정될 가능성이 높다. 즉 내재된 위험성의 정도와 무관하게 널리 보편적으로 많이 사용되는 기계 및 기구의 선정가능성이 높아진다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 Eq.(2)와 같이 상대적인 관점에서 재해빈도에 의해 정규화된 근로손실일수 1년 초과건수를 정규화 재해강도로 정의하고 재해강도 지표로 사용하였다.

$$\text{정규화 재해강도 (Normalized Severity)} = \frac{\text{근로손실일수 1년 초과건수 (Number of accidents with labor loss of more than 1 year)}}{\text{재해빈도 (Frequency, number of accidents)}} \quad (2)$$

품목분류에 적용되는 재해빈도와 재해강도의 경계값을 OR 또는 AND 형태로 적용함에 따라 2차원 영역의 경계가 각각 Fig. 11 및 Fig. 12와 같이 변한다. Fig. 11은 재해빈도와 정규화 재해강도의 경계값을 OR 형태로 품목분류에 적용한 개념도이다. 그림에서 대부분의 현행 안전인증 또는 자율안전확인 대상 품목이 기준을 만족하도록 경계값을 설정하면 재해빈도의 경계값은 400건/년/품목, 정규화 재해강도는 0.1이며 사선으로 빗금 친 영역이 안전인증 등 대상품목 영역이다.

Fig. 12는 Fig. 11과 동일한 재해빈도와 정규화 재해

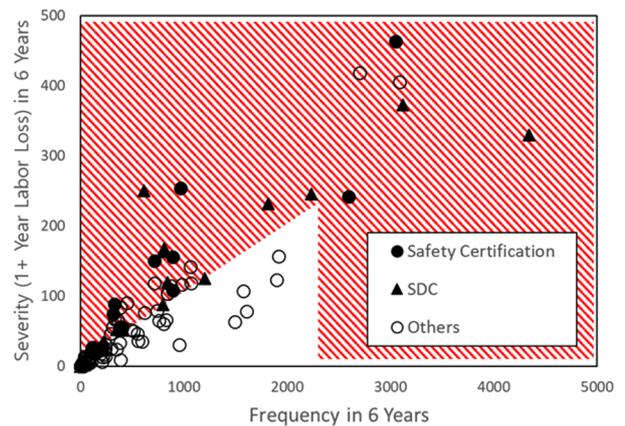


Fig. 11. Classification of items subject to either safety certification or SDC based on OR combination of the frequency and the severity (labor loss of more than 1 year) of the accidents associated with industrial machines and devices in recent 6 years.

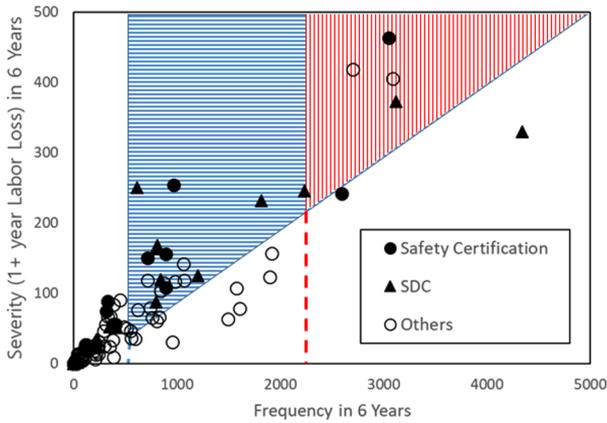


Fig. 12. Classification of items subject to either safety certification or SDC based on AND combination of the frequency and the severity (labor loss of more than 1 year) of the accidents associated with industrial machines and devices in recent 6 years (2012~2017).

강도의 경계값 즉, 재해빈도의 경계값 400건/년/품목과 정규화 재해강도는 0.1을 AND 형태로 품목분류에 적용한 경우로 수직으로 빗금 친 영역이 안전인증 등 대상품목 영역이 된다. 이 경우, 현행 안전인증 또는 자율안전확인 대상 품목 중 상당수의 품목이 기준을 만족시키지 못한다. 완화된 기준 즉, 재해빈도의 경계값으로 100건/년/품목, 정규화 재해강도로 0.1을 적용하면 그림에서 수직과 수평으로 빗금 친 영역 모두가 해당되며 대부분의 현행 대상 품목이 기준을 만족한다.

위 적용예에서 보듯이 각 그림에서 빗금 친 영역에 속한 제품의 안전인증 또는 자율안전확인 등이 정당화될 수 있으며 반대로 빗금에서 벗어난 영역에 속한 제품의 경우 안전인증 등에서 제외할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 산업용 기계의 보다 근원적인 안전성 확보를 위해 산업용 기계 및 기구의 위험성을 추정하기 위한 몇 가지 재해강도 지표를 평가하였다.

절대적 관점에서 재해강도를 결정하기 위하여 흔히 사용하는 지표로는 사망자수가 있다. 그러나 모든 산업용 위험 기계 및 기구와 관련된 산업재해에서 사망자가 발생하지는 않으므로 품목별로 차별화된 재해강도로 활용하는데 제한이 따른다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 근로손실일수 1년 초과건수를 재해강도 지표로 사용하는 경우 품목별로 차별화된 재해강도 정보를 제공할 뿐만 아니라 재해빈도가 낮은 경우에도 비교적 일관된 재해빈도-재해강도 관계가 존재한다.

본 연구에서는 선택된 지표 즉, 근로손실일수 1년 초과건수를 재해건수로 정규화 한 정규화 재해강도를 실제 제조자 대상의 규제인 안전인증과 자율안전확인 대상품의 분류에 적용하여 실효성을 검증하였다. 대부분의 현행 안전인증 또는 자율안전확인 대상 품목이 기준을 만족하는 재해빈도의 경계값은 재해빈도와 재해강도의 경계값을 OR 형태로 적용할 경우 품목당 400건/년이며 정규화 재해강도는 0.1이다. 반면에 재해빈도와 재해강도의 경계값을 AND 형태로 강화하여 적용할 경우 품목당 100건/년이며 정규화 재해강도는 0.1이다. 따라서 이 경계값을 기준으로 현행 대상 품목 중 제외할 품목과 일반품목 중 신규 대상 품목을 결정할 수 있다.

감사의 글: 본 연구는 한성대학교 교내연구비 지원에 의해 이루어졌습니다.

References

- 1) Gi H. Choi, "Enhancement of Safety Certification of Industrial Machines and Devices", J. Korean Soc. Saf., Vol. 28, No. 8, pp. 7-11, 2013.
- 2) Yearly Industrial Accident Analysis Report, KOSHA, 2008-2014.
- 3) G. H. Choi, "Balance and Effectiveness of Direct Regulations on Manufacturers and Users of Industrial Machines", J. Korean Soc. Saf., Vol. 30, No. 1, pp.1-7, 2015.
- 4) G. H. Choi, "Effectiveness of Direct Safety Regulations on Manufacturers and Users of Industrial Machines: Its Implications on Industrial Safety Policies in the Republic of Korea", SHAW, Vol. 8, No. 1, pp. 59-66, 2017.
- 5) G. H. Choi, "Effectiveness and Balance of Compulsory and Voluntary Safety Certification of Industrial Machines and Devices", J. Korean Soc. Saf., Vol. 31, No. 1, pp. 7-12, February 2016.
- 6) G. H. Choi and K.O. Lee, Adjustment of Industrial Machines and Devices Subject to Safety Certification, Self-Declaration of Conformity and Safety Inspection, Research Report, Occupational Safety and Health Certification Institute, 2018.
- 7) J. Y. Lee, Ju Chan Kim and G. H. Choi, A Study on Risk Assessment of Industrial Machines, Research Report, Occupational Safety and Health Research Institute, 2010.