

건설기계작업 사망사고 예방을 위한 위험관리

양승수* · 백신원**†

Risk Management for Preventing Workers' Deaths in Construction Machinery Work

Seungsoo Yang* · Shinwon Paik**†

†Corresponding Author

Shinwon Paik

Tel : +82-31-670-5281

E-mail : paiksw@hknu.ac.kr

Received : March 12, 2020

Revised : April 8, 2020

Accepted : June 1, 2020

Abstract : The use of construction machinery has been increasing every year due to the large scale, high-rise and lack of workers in construction work. On the other hand, deaths are on the rise every year due to inadequate risk management for construction machinery work. In addition, the number of deaths caused by the lack of signals or insufficient signals during construction machinery work is increasing rapidly, and it is deemed necessary to analyze the actual conditions and take countermeasures. Therefore this study has developed the Strength Risk Index (SRI) based on the Frequency Risk Index (FRI) and the 5W1H by analyzing in-depth deaths caused by construction machinery over the past five years. The risk index (RI) was assessed using the frequency and strength risk index derived to determine whether it is acceptable (acceptable risk $< 0.25 \leq$ unacceptable risk) and the risk assessment method for reducing risk was proposed by applying 3E (Engineering, Education, Enforcement) measures for each level of risk for unacceptable risk. It also proposed measures to improve the system, such as requirements for signal numbers, mandatory placement standards, and mandatory installation of side and rear monitoring cameras, as measures for accidents caused by failure to deploy signals or insufficient signals, which account for the highest proportion of deaths among construction machinery operators and workers.

Copyright©2020 by The Korean Society of Safety All right reserved.

Key Words : construction machinery, risk assessment, risk index, 3E(Engineering, Education, Enforcement) safety measures

1. 서론

건설공사의 대형화, 고층화, 지하화 및 건설 근로 인력 부족에 따라 건설공사 현장에서 건설기계 사용은 매년 증가하고 있으며 미래에는 더욱 가속화될 것이다.

건설현장에서 인력수급의 어려움과 인건비 상승에 따른 원가 부담을 줄이기 위하여 인력작업을 기계화 작업으로 전환하고 있으며, 이러한 추세에 맞추어 새로운 건설기계, 장비, 도구가 지속적으로 개발되고 있다.

또한, 건설현장의 다양한 수요에 부응하고 작업의 편리성을 추구하기 위하여 건설기계의 구조 변경 또는 부속물 교체, 변형, 추가 등의 방법으로 여러 가지 용

도로 활용됨에 따라 사용범위 확대 및 용도 다양화로 이에 따른 관련 재해도 증가하고 있다.

건설기계 사용빈도가 증가하면서 발생되고 있는 위험관리가 적절하게 이루어지지 못함에 따라 건설기계 사용 중 사망사고는 매년 증가 추세에 있다.

또한, 건설기계 작업 중 주변 근로자의 안전을 확보하기 위하여 배치한 신호수의 사망사고가 급증하고 있어 이에 대한 정확한 실태분석과 대책이 필요한 것으로 판단된다.

그동안 건설기계 작업 중 발생하는 위험요인에 대한 안전관리는 다른 작업과 유사하게 사고사례를 통한 위험요인 파악, 이에 대한 안전대책 적용수준에서 관리

*한경대학교 토목안전환경공학과 박사과정 (Department of Civil, Safety and Environmental Engineering, Hankyong National University)

**한경대학교 사회안전시스템공학부 교수 (Department of Social Safety Engineering, Hankyong National University)

Table 1. Accident analysis of construction equipment types

Construction machinery	Year						
	Total	2018	2017	2016	2015	2014	
Total	403	85	96	88	72	62	
Bulldozer	3	2	1	0	0	0	
Excavator	119	22	28	24	24	21	
Loader	2	1	0	1	0	0	
Forklift	24	6	4	9	5	0	
Dump truck	30	12	5	6	6	1	
Movable crane	104	15	25	24	19	21	
Motorgrade	1	0	0	0	0	1	
Roller	19	4	5	4	3	3	
Concrete mixer truck	9	1	1	4	2	1	
Concrete pump car	24	7	5	1	5	6	
Crushed stone machine	2	1	0	0	0	1	
Air compressor	1	0	0	0	1	0	
Boring machine	6	0	1	4	0	1	
Driving and triggering machine	15	5	7	2	1	0	
Special construction machine	1	0	1	0	0	0	
Tower crane	43	9	13	9	6	6	

Table 2. Accident analysis by accident cause

Cause	Year						
	Total	2018	2017	2016	2015	2014	
Total	403	85	96	88	72	82	
Mechanical and accessory defects	23	3	5	5	3	7	
Bad installation and mounting	49	8	13	12	8	8	
Bad material used	54	5	17	16	7	9	
Bad work method	88	17	21	18	21	11	
Bad operation	49	14	10	8	9	8	
Poor signal and no signers	122	35	24	28	18	17	
Poor stop, repair and safety measures	18	3	6	1	6	2	

되어 온 것이 사실이다. 이는 새로운 건설기계, 작업형태, 환경변화에 대응하지 못하고 있다¹⁾.

이에, 한국산업안전보건공단의 과거 5년간 건설기계로 인해 발생한 사망재해를 Table 1, Table 2와 같이 심층 분석하여²⁾, 건설기계 위험관리 방안을 제시하고 신호수와 관련된 사고실태 및 원인을 분석하여 이에 대한 제도개선 방안을 제시하고자 한다.

2. 연구범위 및 방법

건설공사에 사용되는 건설기계 27종은 건설기계관리법 제3조에 의해 등록하여야 하며, 동법 제13조에 의

Table 3. Registration status of construction machinery

Construction machinery	Year						
	2018	2017	2016	2015	2014	Mean	
Total	501,646	487,318	465,296	445,722	430,094	464,551	
Bulldozer	3,667	3,727	3,769	3,880	3,972	3,803	
Excavator	150,573	145,509	139,562	136,244	133,388	141,055	
Loader	25,775	24,359	22,979	21,979	20,624	23,143	
Forklift	189,593	181,677	172,284	164,983	156,612	173,030	
Dump truck	59,998	60,696	58,798	55,023	54,395	57,782	
Movable crane	10,657	10,663	10,162	9,758	9,410	10,130	
Motorgrade	659	718	736	753	768	727	
Roller	6,650	6,499	6,437	6,417	6,397	6,480	
Concrete mixer truck	26,737	26,492	25,442	23,785	23,179	25,127	
Concrete pump car	6,970	6,974	6,676	6,370	5,816	6,561	
Crushed stone machine	399	409	413	421	426	414	
Air compressor	4,485	4,531	4,496	4,546	4,433	4,498	
Boring machine	5,981	5,785	5,133	5,013	4,820	5,346	
Driving and triggering machine	978	949	870	808	770	875	
Special construction machine	679	651	638	620	592	636	
Tower crane	6,283	6,162	5,432	3,673	3,171	4,944	

해 신규등록검사 및 정기검사 등 사후 관리를 받도록 하고 있으며, 2018년 기준 등록된 건설기계는 Table 3 과 같이 501,646대에 이르고 있다³⁾.

이에 본 연구에서는 한국산업안전보건공단의 최근 5년간 건설기계 사망사고 중 건설기계관리법 시행령 별표 1에 해당하는 건설기계와 관련된 사망재해를 분석하여 사망사고 예방을 위한 안전관리 방안을 제안하고자 한다.

첫째로 최근 5년간(2014~2018) 건설기계와 연관된 사망사고를 다양한 관점에서 분석한다.

둘째로 건설기계별 사망자수와 건설기계 등록대수 등을 고려하여 건설기계별로 빈도위험지수(Frequency risk index)와 육하원칙(5WIH) 영향인자별로 개별 강도 위험지수(Strength risk index)를 도출한다.

셋째로 빈도위험지수와 강도위험지수를 활용하여 예상되는 작업에 대한 위험지수를 추정하고 3E 안전대책을 적용하여 위험성을 해소할 수 있는 방법론을 제안한다.

넷째로 신호문제로 발생하는 사망사고를 분석하고 제도적 문제점을 파악하여 이에 대한 제도 개선방안을 제시한다.

3. 선행연구 고찰

건설기계 인접 작업 근로자의 재해예방을 위하여

굴삭기 작업영역의 전 방위 장애물 탐지기술 개발에서 자동화 굴삭기에 적용하기 위한 안전관리 시스템 개발의 기초연구로서, 토공현장에 적용 가능한 전방장애물 탐지 기술개발에 대한 연구를 수행한 경우도 있었다⁴⁾.

건설기계로 인한 재해특성 분석을 통한 예방방안에서 2009년부터 2013년까지 최근 5년간 건설현장에서 건설기계관리법에 의한 등록대상 건설기계와 등록대상은 아니나 건설공사용으로 사용하는 건설기계·장비 사용 작업 중 발생한 사고성 재해 현황과 특성을 파악하여 사용비율이 높은 건설기계(굴삭기, 트럭류, 이동식크레인, 고정식크레인, 고소작업차(대))를 중심으로 재해를 예방하기 위하여 방안을 제시하였는데⁵⁾, 사후관리(정기검사)가 미흡한 이동식크레인, 고소작업차, 지주식 고소 작업대 등에 대한 체계적인 안전관리 제도 도입이 시급하며 재해발생 비율이 가장 높은 트럭류와 굴삭기에 대해 운전원의 예방기능 강화를 위하여 후방감시 카메라 및 모니터와 같은 사각지대 해소용 장비를 설치하여 운전원이 직접 인지할 수 있는 방향으로 적극적인 개선이 필요 하다고 하였고, 또한, 신호수(유도자)가 해당 작업을 동시에 수행하는 경우가 많아 신호수(유도자)의 전담 운영과 같은 안전관리 강화가 필요하다고 하였다.

철도건설현장 건설기계 재해사례 및 실태분석에 관한 연구에서 철도건설현장 건설기계 안전사고 실태를 분석(04~13년)한 결과, 노반공사 중 운반 장비의 충돌 및 전도 위험을 중점 관리하여야 한다고 주장하였고, 건설기계 운전원에 대한 안전교육체계 개선 및 위험인식도 관리가 강화되어야 한다고 주장 하였다⁶⁾.

건설장비 안전사고 저감을 위한 위험성 평가 연구에서 사고사례 분석 및 전문가 면담을 통해 50개의 건설장비 사고유형을 선정하여 65명의 건설공사 실무자들에게 설문조사로 가능성과 심각성을 도출하여 위험성 평가를 실시하고 위험작업을 선정하였다⁷⁾.

산업안전보건기준에 관한 규칙 현행화 연구에서는 건설기계, 장비관련 사고사망을 예방하기 위해서는 후방감시장치 및 아웃트리거 등 하드웨어의 적극적 도입과 조종자격 및 면허제도의 강화가 요구되며 이를 위해서는 법규개정에 의한 지원이 불가피하다고 보았다⁸⁾.

앞에서 살펴본 바와 같이 많은 선행연구에서는 건설기계로 인한 위험성 및 사고의 심각성, 이에 대한 단편적인 대책을 제시하고 있으나, 건설기계 작업으로 발생하는 위험성에 대한 근본적인 위험관리 방법 제시에 대해서는 선행연구가 미흡한 것으로 나타났다.

4. 위험관리 방법

4.1 위험관리 방법 및 문제점

건설기계 작업의 위험관리는 고용노동부 고시 “사업장의 위험성평가에 관한 지침”에 근거하여 Fig. 1과 같이 사업장별로 위험요인을 파악하여 부상이나 질병 발생 가능성과 중대성을 추정·결정하고 허용 불가능한 위험성을 합리적으로 가능한 한 낮은 수준으로 감소시키도록 대책을 수립하고 실행하도록 하고 있다.

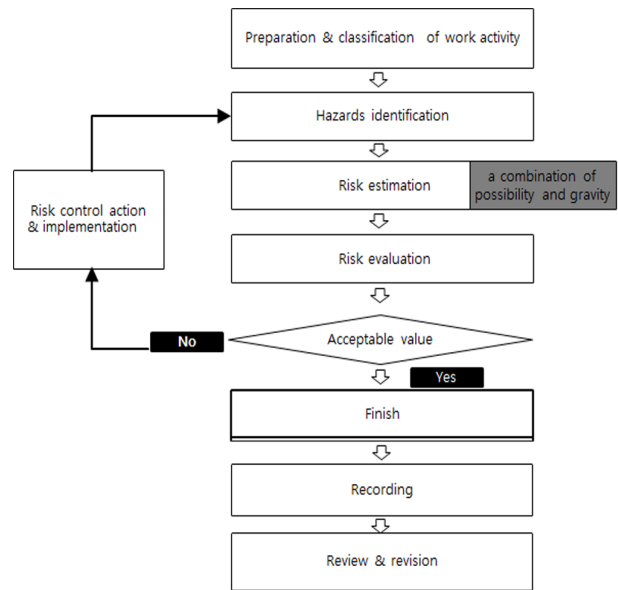


Fig. 1. Flow of risk assessment system.

그러나 이는 동일한 집단(회사)에서 건설기계 작업과 관련된 사고의 가능성과 중대성을 추정할 수 있는 Data가 지수화되었을 때 활용이 가능하다.

그런데 현실적으로는 그렇지 못하여 가능성과 중대성에 대하여 평가자의 정성적인 경험치에 의존하여 평가되고 있어 객관성이 떨어진다.

따라서 본 연구에서 제안하고자 하는 위험관리 방안은 육하원칙(5W1H)을 모델로 어떠한 건설기계가, 언제, 어디서, 어떤 작업을, 어떻게, 왜, 하는지에 따라 강도 위험도를 평가할 수 있도록 하였다.

4.2 위험지수 도출

최근 5년간(2014~2018년) 건설기계 사용작업 중 발생한 사망자수를 기초로 건설기계별로 빈도위험지수(Frequency risk index, FRI)와 육하원칙에 근거한 강도 위험지수(Strength risk index, SRI)를 Table 4 기준으로 하여 도출하였다.

Table 5의 빈도(%)는 건설기계별 발생 사망자수를 건설기계 등록 대수로 나누고 100을 곱한 백분율이고, 점유율(%)은 개별 백분율을 건설기계 백분율 총합에 대한 비율을 의미한다. 또한 환산빈도(Freq)는 점유율을 10으로 나눈 환산값을 의미한다.

Table 6의 강도위험지수(Strength risk index, SRI)는 누가, 언제, 어디서, 어떤 작업을, 왜, 어떻게 하는가에 따라 변화하므로 육하원칙(5W1H) 따라 점유율(%)과 환산강도(Strength)를 도출하였다.

여기서, Table 5의 환산빈도와 Table 6의 환산강도를 그대로 적용할 경우 복잡성에 비해 실용성이 떨어지므로 위험지수를 간략화하고 적용성을 높이기 위해 Table 4와 같이 환산계수인 10까지의 범위를 균등하게 배분해서 고위험 3, 중위험 2, 저위험 1로 하고 가장 낮은 구간의 경우 0.5로 하여 수용가능 위험으로 하였다.

Table 4. Risk index criteria

Frequency and strength	Risk index	Risk level
0.00~1.00	0.5	
1.01~3.33	1	Low risk
3.34~6.66	2	Middle risk
6.67~10.0	3	High risk

Table 5. Frequency risk index of construction machinery

Construction machinery	Reg. status	Num. of deaths	Percent age (%)	Ratio (%)	Freq.	FRI
Total	464,551	403	5.46	100	10	
Bulldozer	3,803	3	0.08	1.44	0.14	0.5
Excavator	141,055	119	0.08	1.55	0.15	0.5
Loader	23,143	2	0.01	0.16	0.02	0.5
Forklift	173,030	24	0.01	0.25	0.03	0.5
Dump truck	57,782	30	0.05	0.95	0.10	0.5
Movable crane	10,130	104	1.03	18.80	1.88	1
Motorgrade	727	1	0.14	2.52	0.25	0.5
Roller	6,480	19	0.29	5.37	0.54	0.5
Concrete mixer truck	25,127	9	0.04	0.66	0.07	0.5
Concrete pump car	6,561	24	0.37	6.70	0.67	0.5
Crushed stone machine	414	2	0.48	8.85	0.88	0.5
Air compressor	4,498	1	0.02	0.41	0.04	0.5
Boring machine	5,346	6	0.11	2.06	0.21	0.5
Driving and triggering machine	875	15	1.71	31.40	3.14	1
Special construction machine	636	1	0.16	2.88	0.29	0.5
Tower crane	4,944	43	0.87	15.93	1.59	1

Table 6. Strength risk index of construction machinery

5W1H	Num. of deaths	Ratio (%)	Strength	SRI
Who/total	403	100	10	
Bulldozer	3	0.74	0.07	0.5
Excavator	119	29.53	2.95	1
Loader	2	0.50	0.05	0.5
Forklift	24	5.96	0.60	0.5
Dump truck	30	7.44	0.74	0.5
Movable crane	104	25.81	2.58	1
Motorgrade	1	0.25	0.03	0.5
Roller	19	4.71	0.47	0.5
Concrete mixer truck	9	2.23	0.22	0.5
Concrete pump car	24	5.96	0.60	0.5
Crushed stone machine	2	0.50	0.05	0.5
Air compressor	1	0.25	0.03	0.5
Boring machine	6	1.49	0.15	0.5
Driving and triggering machine	15	3.72	0.37	0.5
Special construction machine	1	0.25	0.03	0.5
Tower crane	43	10.67	1.07	1
When/total	403	100	10	
06:00~09:00	105	26.1	2.61	1
09:00~12:00	104	25.8	2.58	1
12:00~15:00	92	22.8	2.28	1
15:00~18:00	91	22.6	2.26	1
18:00~06:00	0.77	2.7	0.27	0.5
Where/total	10	100	10	
Less than 2 billion	6.12	41.2	4.12	2
2 to 12 billion	3.5	25.0	2.50	1
12 billion to 50 billion	2.04	10.4	1.04	1
50 billion to 100 billion	1.27	7.7	0.77	0.5
More than 100 billion	2.57	15.7	1.57	1
What/total	10	100	10	
Unloading and conveying work	260	64.5	6.45	2
Excavation and Compaction Operations	56	13.9	1.39	1
Installation and Dismantling Tasks	2.12	11.2	1.12	1
Drilling and driving work	0.97	4.7	0.47	0.5
Concrete pouring work	1.07	5.7	0.57	0.5
Why/total	10	100	10	
Single purpose operation	91	22.6	2.26	1
Multipurpose work	192	47.6	4.76	2
Off-site work	3.04	20.4	2.04	1
Emergency repair, inspection	33	8.2	0.82	0.5
Bad construction machinery	5	1.2	0.12	0.5
How/total	10	100	10	
Machine work	3.9	29.0	2.90	1
Direct simultaneous work (Machine + machine)	1	0.3	0.03	0.5
Indirect concurrent work (Machine + machine)	4	1.0	0.10	0.5
Direct simultaneous work (Machine + person)	95	23.5	2.35	1
Indirect concurrent work (Machine + person)	186	46.2	4.62	2

4.3 위험관리 방법(육하원칙(5W1H) 적용)

위험수준을 나타내는 위험지수(Risk index, RI)는 고용노동부 고시 『사업장의 위험성평가에 관한 지침』에서 권장하고 있는 방법의 한가지인 빈도위험지수(FRI)와 강도위험지수(SRI)의 곱으로 구하였다. 이때 강도위험지수는 개별 강도 위험지수의 평균치($\Sigma SRI/6$)를 사용하였다. 위험수준을 나타내는 위험도를 상기의 방법으로 평가한 결과, 위험지수(RI)는 Table 7과 같이 0.25에서 9까지의 분포를 보인다.

Table 7. Risk index assessment (How to multiply)

Frequency \ Strength	0.5	1	2	3
0.5	0.25	0.5	1	1.5
1	0.5	1	2	3
2	1	2	4	6
3	1.5	3	6	9

※ **수용가능위험** : 위험지수 (RI < 0.25)

따라서, 빈도와 강도의 조합으로 얻어진 위험지수에 대한 관리방법으로 본 연구에서는 위험지수 0.25미만을 수용가능 위험으로 정하였다. 이는 Table 4의 수용가능한 위험지수와 연계하고 사망재해를 기초로 했기 때문에 아무리 낮은 위험이라도 하나 이상의 안전대책을 적용하기 위함이다. 즉 위험지수가 아무리 낮아도 0.25로서 안전대책을 적용한 후 재평가를 통해 수용가능위험 범위로 들어올 수 있다, 또한 수용가능 위험이라도 아무런 안전조치를 하지 않아도 된다는 의미가 아니라, 안전교육, 안전점검, 보호구 착용, 안전장치 구비 등 일상적인 안전활동으로 안전을 확보할 수 있는 수준을 말한다.

반면에 위험지수 0.25이상을 수용불가능 위험으로 규정하고 다음 식 [1]과 같이 위험지수를 3E 안전대책을 적용하여 재평가 위험지수(RRI)가 수용가능 위험 수준으로 낮추어지도록 하였다.

$$RRI = RI/SI \quad [1]$$

여기서, RRI : Revaluation risk index
 RI : Risk index(FRI×SRI)
 SI : Safety measures index(안전대책별 2)

식 [1]에서 3E 안전대책별 안전지수 2을 사용한 것은 Table 7의 위험지수 최대값을 고려할때 이를 수용가능 위험수준 0.25 미만으로 감소시키기 위한 것이다. 3E 안전대책을 모두 적용했을 때 위험지수 최대값은 1.67(빈도(1)×강도(1.67))로서 재평가 위험지수는 0.21(1.67/8)으

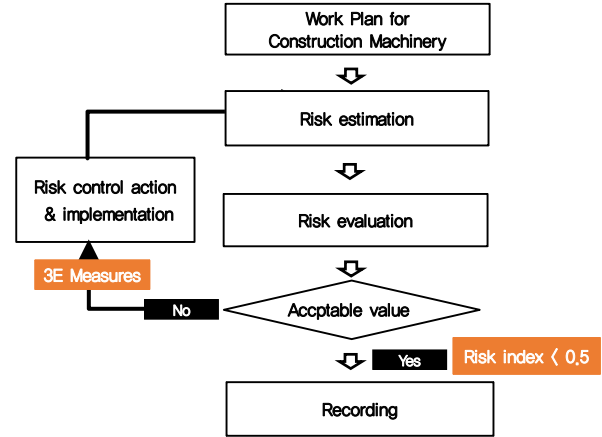


Fig. 2. Flow of revised risk assessment system.

로 수용가능한 위험수준이 될 수 있기 때문이다. 즉 재평가 위험지수(RRI)를 수용가능 위험수준 0.25미만으로 낮추기 위해서는 3E(기술적, 교육적, 관리적) 안전대책을 적절하게 적용하여야 한다는 의미이다. 3E안전대책을 적용한 것은 위험요인을 해소하기 위해서는 특정분야의 안전대책에 국한되지 말고 기술적, 교육적, 관리적 측면 등 다양한 프레임(Frame)에서의 접근이 바람직하다고 판단하였다. 다만, 어떠한 안전대책을 적용하는지의 여부는 3E 분야별로 가장 합리적이고 실천 가능한 안전대책을 가정하였다.

결론적으로 건설기계를 사용하여 작업을 할 경우 작업전에 Fig. 2의 절차에 따라⁹⁾ 앞에서 기술한 위험관리 방법을 적용하여 위험지수를 추정하고 위험지수 수준에 따라 적절한 안전대책을 수립하여 실행하면 재해예방에 도움이 될 것으로 판단된다.

4.4 적용 사례

본 연구에서 제안한 위험관리 방안은 건설기계를 이

Table 8. Safety management for excavation work

Division	SRI	FRI	RI	Safety measures index	RRI
Excavator	1	0.5	0.67	2 measures applied	0.17 (Acceptble Risk)
07:00~12:00	1				
2 to 12 billion	1				
Excavation and Compaction Operations	1				
Multipurpose work	2				
Indirect concurrent work (Machine + person)	2				
Average SRI	1.33			0.67/(2×2)	

※ 대상작업 : 0.8w 굴삭기를 이용하여 도심지 공사금액 70억 건축현장(토류 판 흙막이 + 버팀보)에서 터파기 작업과 토사 소운반 작업을 위해 오전 7시부터 오후 6시까지 작업 진행예정
 ※ 위험관리 : 3E 중 2개 이상의 안전대책 적용
 ① 기술적 대책 : 소운반 경로 파악 및 통행로 안전조치
 ② 관리적 대책 : 전담신호수 배치

Table 9. Safety management of lifting work

Division	SRI	FRI	RI	Safety measures index	RRI
Movable crane	1	1	1.5	① Technical measures ② Administrative measures ③ Educational measures 3 measures applied 1.5/(2×2)	0.19 (Acceptable Risk)
13:00~15:00	1				
More than 100 billion	1				
Unloading and conveying work	2				
Multipurpose work	2				
Indirect concurrent work (Machine + person)	2				
Average SRI	1.5				

※ 대상작업 : 25Ton 이동식 크레인을 이용하여 공사금액 1,200억원 지하철 건설현장에서 H형강, 복공판 등 철구조물 양중 및 소운반 작업을 오후 1시부터 5시까지 진행예정

※ 위험관리 : 3E 중 3개 안전대책 적용

① 기술적 대책 : 이동식 크레인 설치장소 안전성 검토

② 교육적 대책 : 특별안전교육

③ 관리적 대책 : 전담신호수 배치

Table 10. Safety management of concrete installation work

Division	SRI	FRI	RI	Safety measures index	RRI
Concrete pump car	0.5	0.5	0.42	① Technical measures ② Administrative measures ③ Educational measures 0 measures applied 0.42/2	0.21 (Acceptable Risk)
18:00~06:00	0.5				
50 billion to 100 billion	0.5				
Concrete pouring work	0.5				
Single purpose operation	1				
Direct simultaneous work (Machine + person)	2				
Average SRI	0.83				

※ 콘크리트 타설작업 : 콘크리트 펌프카를 사용하여 공사금액이 700억원 건설현장에서 오후 18시부터 20시까지 구조물 슬래브 콘크리트 타설작업을 진행할 예정

※ 위험관리 : 3E 중 1개 안전대책 적용

① 기술적 대책 : 콘크리트 펌프카 전도방지조치

용한 굴착작업, 양중작업, 콘크리트 타설작업을 대상으로 위험도 평가를 실시하고 안전대책(3E)을 적용해 본 결과, 본 연구에서 추구하였던 건설기계 작업별 위험도가 차별화되어 정량화되었고 안전대책 적용수준도 합리적으로 판단되었다.

4.5 적용 의견

실제 건설기계 작업상황을 가정하여 적용해 본 결과, 정량적인 위험관리가 가능하였고, 위험 수준별로 3E(기술적, 교육적, 관리적) 측면의 안전대책을 적용하여 위험도를 0.25미만으로 낮추어 안전성을 확보할 수 있었다.

이는 현재 산업안전보건법 산업안전보건기준에 관한 규칙 제39조(사전조사 및 작업계획서의 작성 등) 및 동 규칙 별표4에 해당하는 작업(타워크레인 설치·조립·해체하는 작업, 차량계 건설기계를 사용하는 작업, 중량물의 취급 작업 등)에 대해서는 사전조사를 하고 작업계획서를 작성하여 작업계획서에 따라 작업을 하

도록 하고 있으나, 위험요인에 대한 위험도 평가 없이 안전수칙을 제시하는 수준에서 실행되고 있는 것이 현실이다.

이에 대해 본 방안을 이용한 위험도 평가를 하게 되면 위험수준에 따라 안전대책을 강구할 수 있다고 판단된다. 다만, 3E(기술적, 교육적, 관리적) 안전대책을 적용함에 있어 안전대책의 적정성 및 실효성 수준은 해당 관리자의 역량에 따라 달라질 수 있으며, 건설기계의 노후정도, 운전원의 안전의식 수준 등 여러 가지 변수가 추가적으로 위험도를 변화시킬 수 있으므로 주의가 요구된다.

5. 건설기계 신호 관련사고 예방

5.1 사고발생 현황 분석

최근 5년간 건설기계 관련 사망재해를 분석한 결과, Table 2에서 나타난 바와 같이 신호수 미배치 또는 신호미흡 문제로 인하여 발생한 사망사고가 건설기계 관련 전체 사망자수 403명중 122명인 30.3%를 점유하여 가장 높은 비중을 차지하고 있다.

건설기계별로는 Table 11과 같이 굴삭기, 덤프, 기중기, 롤러, 지게차 순으로 발생하였다.

건설공사 작업중에 건설기계와 근로자간 신호문제로 인해 발생하는 사고는 Fig. 3과 같이 건설기계가 후진이나 회전상태에서 전체의 83%가 발생하였다. 이는 건설기계 운전원이 운전중에 시야의 사각지대에 위치한 근로자를 미처 보지 못해 발생하는 것으로 전담 신

Table 11. Accident status by construction machine due to signal problem

Construction machinery	Year					
	Total	2018	2017	2016	2015	2014
Total	122	35	24	28	18	17
Bulldozer	2	2	0	0	0	0
Excavator	45	11	9	9	7	9
Loader	1	1	0	0	0	0
Forklift	9	2	2	4	1	0
Dump truck	21	8	4	5	3	1
Movable crane	17	3	6	5	1	2
Motorgrade	1	0	0	0	0	1
Roller	12	3	3	1	3	2
Concrete mixer truck	4	0	0	3	1	0
Concrete pump car	3	0	0	0	2	1
Crushed stone machine	1	0	0	0	0	1
Air compressor	2	1	0	1	0	0
Boring machine	4	4	0	0	0	0

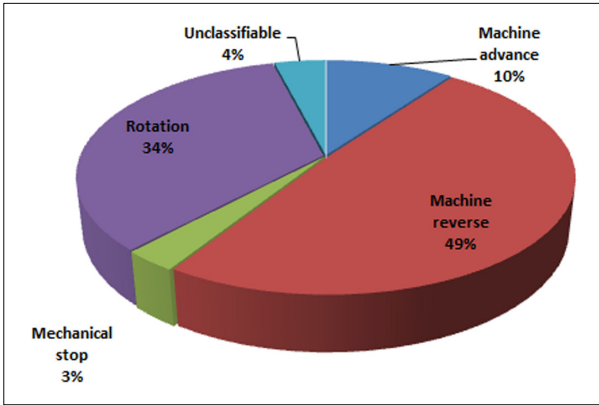


Fig. 3. Operational status of construction machinery.

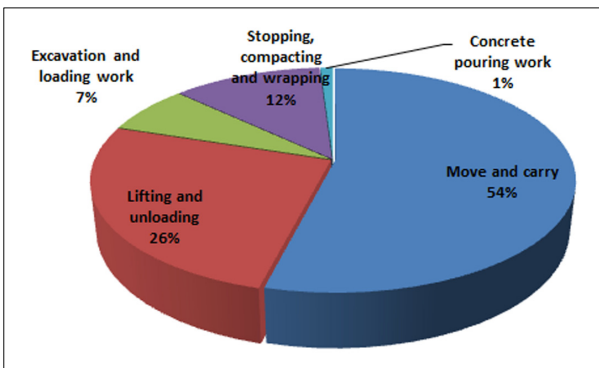


Fig. 4. Construction machinery work situation.

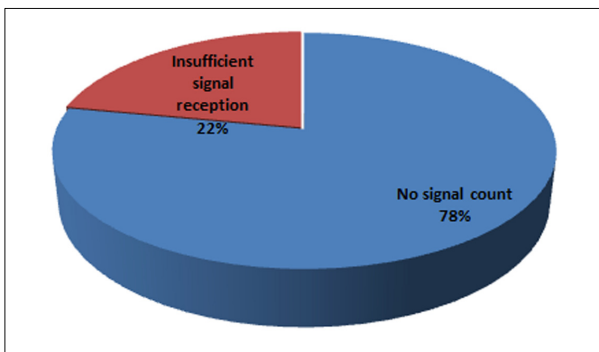


Fig. 5. Signal status when an accident occurs.

호수 배치나 운전원이 기계장치를 사용하여 주변을 모니터링 할 수 있는 방안이 요구된다.

사고가 발생하는 순간 건설기계의 작업상태는 Fig. 4와 같이 이동운반 작업, 양중하역 작업에서 전체의 80%가 발생하고 있다. 이는 이동운반 또는 양중 하역 작업에는 신호수 의무 배치가 필요한 것으로 판단된다.

또한, Fig. 5에서 보는 바와 같이 신호수를 배치하였으나 신호 수신불량 등으로 인하여 신호수가 사망한 경우가 27명으로 22.1%에 이르고 있다. 사고 발생 당시 현장확인 또는 심층조사를 하지 않아 세부원인을

알 수는 없으나, 경험적으로 볼 때 신호수로 지정되었으나 다른 작업을 병행하다가 사고를 당했거나 사고 발생 이후에 처벌을 피하려고 피재자를 신호수로 둔갑시키는 경우로 보인다. 따라서 이에 대해서는 심도 있는 고찰과 대책 수립이 시급히 필요하다.

5.2 현행 규정 문제점 및 제도개선방안

건설기계를 사용하여 작업하는 경우 사고예방을 위하여 산업안전보건기준에 관한 규칙 제40조(신호)에서 여러가지 작업에 대하여 일정한 신호방법을 정하여 신호하도록 하여야 하며 운전자는 그 신호에 따라야 한다고 의무화 하고 있다.

신호수의 역할은 작업에 관련된 건설기계, 제3의 근로자, 신호수인 자신의 안전을 지키는 중요한 업무이다. 그러나 타워크레인 작업을 제외한 신호수에 대한 최소한 요건(자격) 및 신호수 배치의무 작업이 현행 규정상 불명확하다.

따라서 건설현장에서는 신호수 필요시 불특정 근로자를 형식적으로 신호수로 지정하여 운영하거나, 지정하였더라도 신호수 업무 이외에 다른 작업을 부가하여 운영되고 있는 실정이다.

타워크레인 작업의 경우에는 산업안전보건기준에 관한 규칙 제146조에서 신호업무를 담당하는 사람을 두도록 하고 있고, 산업안전보건법 시행규칙 별표 8에서 특별안전교육 8시간 이수를 의무화하고 있다.

이에 본 연구에서는 건설기계 작업 중 신호문제에 의한 사고예방을 위하여 건설기계작업 위험도 평가를 통한 위험관리방안과 연계하여 다음과 같이 제도개선 방안을 제안하고자 한다.

첫째, 건설기계관리법 시행령 별표 2에서 정하는 건설기계를 사용하여 작업하는 경우, 건설기계 작동범위 내(예:5 m)에 작업하는 근로자가 있거나 건설기계 작업 범위 내에 다른 건설기계 또는 작업자 이외에 다른 사람이 접근할 우려가 있는 경우에는 반드시 신호를 전담하는 신호수를 배치하도록 한다.

둘째, 신호를 전담하는 신호수는 신호체계, 신호방법 등에 대하여 일정시간 이상(예:8시간) 교육을 받은 자로 의무화 한다.

셋째, 건설기계 후진 또는 선회작업 과정에서 운전자의 사각지대를 해소하기 위하여 측·후방감시카메라 설치를 의무화하도록 제안한다.

6. 결론 및 고찰

건설공사 현장으로의 젊은 신규인력 진입 기피에 따

른 인력 부족 및 건설공사의 고층화, 대형화 등으로 인해 건설공사의 기계화 시공으로의 대체는 빠르게 진행되고 있다. 이에 따른 건설기계 관련 사고도 계속 증가할 것으로 예상된다.

그럼에도 불구하고 기존 시스템만으로는 건설기계 관련 사고를 예방하는 것이 쉽지 않다. 왜냐하면, 건설 현장에서 사용되는 건설기계 대부분이 건설회사가 보유하고 관리되기보다는 건설기계 회사로부터 임대하여 사용하는 구조가 주를 이루고 있어 건설기계 자체의 안전성 확보 및 운전원에 대한 기능도 및 안전의식 관리가 지속적이지 못하고 사업주 관리영역 밖에 있기 때문이다.

따라서, 본 연구에서는 건설기계 사용 중 발생할 수 있는 사고 예방을 위하여, 건설기계와 관련하여 발생한 최근 5년간 사망사고를 분석하여 건설기계별 빈도 위험지수(FRI)와 발생한 사고를 육하원칙(5W1H)에 근거하여 강도위험지수(SRI)를 도출하였다.

지수화 된 빈도와 강도 위험지수를 이용하여 위험지수(RI)를 평가하여 수용가능여부(수용가능위험 < 0.25 ≤ 수용불가위험)를 판단하고 수용불가위험에 대해서는 위험수준별로 3E(기술적, 교육적, 관리적) 대책을 적용하여 위험도를 경감하는 위험관리 방법을 제안하였다.

이를 실제 건설기계 작업 상황에 적용해 본 결과, 정량적인 위험도 평가가 가능하고 위험수준별로 3E 안전 대책을 위험요소에 맞게 적절하게 적용해본 결과, 위험도를 수용가능한 범위로 낮추어 안전을 확보할 수 있었다.

또한, 최근 5년간 건설기계 관련 사망사고 발생원인 중 가장 높은 비중을 차지하고 있는 건설기계 운전원과 근로자 사이의 소통 즉, 신호수 미배치 또는 신호 미흡으로 인한 사고 발생 건수가 증가하고 있어 이에 대한 적극적인 대책으로 신호수의 요건, 의무 배치기준, 측·후방감시카메라 설치 의무화 등 제도개선 방안을 제안하였다.

본 연구에서 최초로 접근해본 건설기계 작업별 위험 지수를 활용한 위험관리 방법은 최근 5년간 사망사고를 분석하여 제안했기 때문에 향후, 보다 많은 Data를 기반으로 연구가 계속 이루어진다면 현장에서의 활용도를 더욱 높일 수 있을 것으로 판단된다.

References

- 1) J. K. Ho, "Mobile Crane", Goomi Books Inc., pp. 4-20, 2014.
- 2) Korea Occupational Safety and Health Agency, "Annual Report on Analysis of Industrial Accidents", 2014-2018.
- 3) Ministry of Land, Infrastructure and Transport's Construction Industry, "Construction Machinery Status Statistics", 2019.
- 4) J. Y. Soh, J. B. Lee and C. H. Han, "Development of Omnidirectional Object Detecting Technology for a Safer Excavator", Journal of the Korea Institute of Building Construction, Vol. 10, No. 4, pp. 105-112, 2010.
- 5) Y. K. Park, "The Study for Accidents Prevention through the Analysis of Construction Machinery-related Accidents", Journal of Korea Safety Management and Science, Vol. 16, No. 3, pp. 71-79, 2014.
- 6) D. H. Son, D. H. Song and S. S. Go, "A Study on the Accident Case and Analysis on the Actual Condition of Construction Machinery in Railroad Construction Sites", J. Korean Soc. Saf., Vol. 30, No. 5, pp. 20-28, 2015.
- 7) H. W. Jeon, I. S. Jung and C. S. Lee, "Risk Assessment for Reducing Safety Accidents caused by Construction Machinery", J. Korean Soc. Saf., Vol. 28, No. 6, pp. 64-72, October 2013.
- 8) Korea Occupational Safety and Health Agency, "Counterplan for Reducing Accidental Deaths caused by 5 Major Construction Machines and Equipments", 2019.
- 9) S. K. Jung and S. R. Chang, "A Study on the Risk Assessment System for Human Factors", J. Korean Soc. Saf., Vol. 29, No. 3, pp. 79-84, 2014.