

건설업의 추락사고 예방 시스템 구축을 위한 실증적 연구 -G 건설사를 중심으로-

조 재 환*

*GS건설 안전환경팀

An Empirical study on the Prevention of Crash Accident in Construction Fields

- Focused on G Construction Company -

Jae-Hwan Jo*

*GS Construction Safety Management Team

Abstract

Construction companies with the highest proportion in death crash has been devoting much effort to prevent the crash accidents. In general, a crash-proof worker has been wearing a seatbelt. However, the G construction company had happened in industrial settings when workers fail to abide by the rules. The Carabiner, one of the composing of Safety Belt, must endure the Allowable Load,

In this study, the Industrial accidents and cause of the crash analysis in G Construction company is performed by empirical research. And we have been studied the empirical research to setting up of the allowable limit for Carabiner.

Keywords : Construction Safety, Cause Analysis, Crash Accidents, Carabiner

1. 서 론

1.1 연구의 개요

국내 시장의 경기둔화로 인해 건설업종에서도 매우 어려운 경영상황에 직면해 있으나, 최근 대형 해외 프로젝트의 수주 등으로 위기를 돌파하고 있다. 이러한 건설업종은 대형 중대사고가 빈번히 발생하고 있고 사고원인 분석결과 추락이 이러한 사고를 유발하는 가장 중요한 원인 중 하나로 지적되고 있다. 2011년 전체 산업재해 사망자 2,114명 중 건설업 종사자가 621명으로 가장 많고 이 중 추락으로 인한 사망자가 건설업 사망

자의 절반인 311명을 차지할 정도로 추락 사망사고의 심각성이 높고, 일반재해는 6개월 미만인 근로자가 94%를 차지하고 사망 등 중대재해는 경력 10년 이상 근로자가 62%를 차지하고 있어 오랜 근로로 인한 타성, 안전의식 둔화, 안전 불감증 등이 중대재해와 연관이 있는 것으로 분석되었다. 그리고 공사장 추락사고 가운데 3m 미만에서 추락 시 일반재해율은 69%지만, 3m 이상에서는 추락 사망률은 88%로 매우 높은 실정이다. 하지만 현재 규정에는 안전방망 설치간격이 높이 10m 이내인 탓에 대부분 지상 7~10m에 첫 번째 방망이 설치되고 있는 실정이다. 이를 보완하기 위해 3m 위치에도 안전방망 설치의 의무화가 필요하다는 주장이 제기되고 있다.

† 교신저자: 조재환, 경기도 안산시 상록구 성포동 선경APT 14동 702호

M-P: 019-336-1118, E-mail: jhjo@gsconst.co.kr

2012년 7월 20일 접수; 2012년 9월 8일 수정본 접수; 2012년 9월 12일 게재확정

사고원인 분석을 통해 정부와 건설업체에서는 추락 사고 예방을 위해 효율적 안전관리 정책의 일환으로 안전관리 프로그램, 관행, 정책을 개선하는 연구에 초점을 두었으나, 지금까지 그 효과는 미비한 실정이다 [3]. 일반적으로 고소작업자는 추락방지용 안전벨트를 착용하고 있으나, G건설사에서는 안전벨트의 구성 품종 카라비너(카라비너(Karabiner) : 산업현장 등 고소작업 시에 하켄이나 볼트와 자일을 연결하는 금속제의 고리로 스프링이 달린 개폐구가 있으며, O형, D형 등이 있다.)가 종사자의 몸무게를 지탱하지 못해 추락사고로 이어지는 사고가 빈번히 발생하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 G건설사의 추락재해 발생현황 및 원인분석과 더불어 추락사고 발생 시 작업자의 추락사고 예방을 위한 카라비너의 허용한계 설정을 위한 실증적 연구실험을 수행하였다.

1.2 연구 범위

본 연구의 시간적 범위는 2011년에 발생한 사고를 대상으로 하며, 공간적 범위는 국내 대표적 건설사 중 하나인 G건설사를 대상으로 한다.

1.3 연구의 절차



<Figure 1> Study Procedure of this papers

1.4 사전연구

1.4.1 추락재해 예방 장비의 효용성 실험

김주현의 논문에서는 추락 사고를 방지하기 위해 복합형 센서를 이용해 추락사고 지점에 작업자가 접근했을 경우 자동으로 경고음과 경고등이 켜지도록 하는 장비(타입 1~3)의 성능을 검증하기 위한 실험연구를 수행하였다[4]. 그 결과 Type1에 비해 Type2, 3은 안전관리 장비의 설치 방법 및 장비의 휴대성, 관리의 효율성, 장비의 전용성 측면에서 높은 평가를 받았다. 이

는 안전 관리자가 다양한 건설현장 조건에서도 프로토타입을 손쉽게 설치할 수 있으며 설치 이후에도 쉽게 장비의 정비 및 관리를 할 수 있음을 의미한다. 즉 이러한 Type2~3의 장비를 활용하여 추락 위험이 있는 지점에서 작업자에게 Beep, 경광등, 음성을 전해줌으로써 사고예방이 가능하다.

<Table 1> The Characters of equipments

	Type 1	Type 2	Type 3
감지방법	적외선	적외선, 초음파	적외선, 초음파
감지범위	110° 직경 7m	130° 3m	130° 3m
설치위치	2.4m이내 천장	지면에서 1~1.5m	지면에서 1~1.5m
전원	DC 6V	DC 12V	DC 12V
경고방법	Beep, 경광등	Beep, 음성	Beep, 음성, 경광등
경고해제	무선리모콘	자동해제	자동해제

1.4.2 건설재해 유형분석을 통한 안전사고 저감 연구

김진원의 논문에서는 국내 건설업계에서는 각 공종에 대한 건설재해를 저감시키기 위해 노력하고 있지만, 공사의 규모가 대형화·복잡화됨에 따라 건설 산업의 안전관리 수준은 아직 낮은 실정임을 지적하고, 건설재해의 유형분석을 통한 안전사고 최소화 방안을 모색하였다[5]. 분석결과 건설부문의 사망재해 유형은 추락, 진도, 충돌, 낙하·비래, 붕괴·도괴, 협착, 감정 등이 발생하였고, '01~08'년도의 사망사고 분석결과 추락으로 인한 사망사고의 비율이 약 64.7%로 월등히 높은 것으로 분석되었다. 이에 따라 추락에 대한 안전조치 마련이 최우선적으로 고려되어야 함을 주장하고 있다. 이를 위해 건설현장 관리자는 안전시설에 대한 철저한 점검과 작업자의 안전의식 함양을 대안으로 제시하였고, 추가로 매월 4일의 안전관리점검의 날과 같은 일률적인 재해예방 정책보다도 공사의 종류 및 공종에 따라서 안전교육을 실시할 것을 제시하였다.

2. G건설사의 사고발생특성 분석

2.1 건설사고 유형분류

G건설사는 국내·외 대형 건설 사업에 참여하여 건설산업발전에 일익을 담당하고 있으며, 특히 2010년에는 “중대재해 Zero”를 전사적 목표로 선정하여 추진하고 있다.

특히 사망사고의 개연성이 매우 높은 Cardinal Rules 준수를 위해 사업본부 차원의 특별관심과 관리활동을

하고 있으며, 장비작업 주변 근로자의 안전확보를 위한 현장 자체활동을 강화하고 있다. Cardinal Rules란 G건설사에서 고소작업 안전확보와 개구부 추락위험 방지 등을 골자로 한 것으로 현장 안전사고의 경향을 분석하여 작업 시 꼭 지켜야 할 6가지 기본수칙으로 정한 것이다.

(ALWAYS)	2m 이상 고소작업 시에는 반드시 안전대를 착용한 상태에서 작업하여야 한다
(ALWAYS)	모든 개구부에는 반드시 추락방지 시설을 설치하여야 한다
(ALWAYS)	달비계, 곤돌라 작업 시에는 반드시 보조로프를 사용하여야 한다
(ALWAYS)	건설장비 반입 및 사용 전에는 반드시 체크리스트를 활용하여 점검을 실시하여야 한다
(NEVER)	건설장비 작업반경 내에는 근로자를 출입시켜서는 안 된다
(ALWAYS)	관로 등 터파기 공사 시에는 반드시 붕괴방지 조치를 하여야 한다

<Figure 2> Cardinal Rules

특히 G건설사에서는 기술안전과 장비결함에 의한 사고보다는 장비운영 및 관리감독 미흡으로 인한 사고가 다수 발생하고 있다. 전사적으로 추락재해 발생률이 높게 나타나고 있으나, 사업본부별 재해발생형태가 상이하여 차별화된 본부별 안전 활동이 요구된 것으로 나타났다. 재해발생형태를 보면 추락사고의 경우 건축분야에서는 40%, 토목에서는 32%를 차지하고 있고, 주택사업에서는 낙하/비레가 40%, 플랜트는 협착이 64% 등 재래형 재해의 발생비율이 높은 편이다.

2.1.1 Cardinal Rules(기본수칙) 위반현황

Cardinal Rules 위반 사고발생 특성을 분석한 결과 전체사고 중 토목분야에서 발생한 재해발생이 31건이었으나 Cardinal Rules 위반건수는 11건으로 35%의 위반율을 나타내어 매우 높은 비중을 차지하였다. 특히 중대재해 사고의 경우 토목분야에서 7건의 재해발생 중 Cardinal Rules 위반건수는 6건으로 86%의 위반율을 나타내어 Cardinal Rules 위반사고 발생 시 사망사고의 개연성이 매우 높으므로 이에 대한 특별관리가 요구되고 이를 준수할 수 있는 안전 환경 조성이 필요한 것으로 분석되었다,

<Table 2> Violation of Cardinal Rules

구분	건축	주택	토목	플랜트	발전환경	전사
전체 재해건수 (C.R 위반)	20 (4)	10 (1)	31 (11)	11 (1)	15 (2)	87 (19)
위반율	20%	10%	35%	9%	13%	22%
중대 재해건수 (C.R 위반)	0	0	7 (6)	0	1 (1)	8 (7)
위반율	0%	0%	86%	0%	100%	88%

2.1.2 발생형태별 사고현황

G건설사에서 발생한 '11년도 발생한 사고형태별 분석결과 추락사고가 전체 87건 중 24%의 21건으로 비중이 가장 높은 것으로 나타났다. 중대재해의 경우 총 8건 중 추락이 3건으로 37%로 가장 높았고, 충돌 2건 (24%), 그 외 붕괴, 낙하, 협착 등이 1건씩 발생하여 13%를 나타내고 있다.

<Table 3> Accident patten

구분	건축	주택	토목	플랜트	발전환경	전사	
추락	건수	8	1	10	1	1	21
	비율	40%	10%	32%	9%	7%	24%
협착	건수	4	1	8	7	0	20
	비율	20%	10%	26%	64%	0%	23%
전도	건수	3	2	4	1	3	13
	비율	15%	20%	13%	9%	20%	15%
낙하 비레	건수	2	4	2	0	4	12
	비율	10%	40%	6%	0%	27%	14%
절삭	건수	0	0	0	0	3	3
	비율	0%	0%	0%	0%	20%	3%
기타	건수	3	2	7	2	4	19
	비율	15%	20%	23%	18%	26%	21%
계		20	10	31	11	15	87

<Table 4> Patten of serious accidents

	추락	충돌	붕괴	낙하	협착	계
중대 재해	3	2	1	1	1	8
	비율	37%	24%	13%	13%	100%

2.1.3 중대재해 원인별 사고현황

중대재해 원인별 사고발생 현황을 분석해 보면 8건의 사망사고 중 7건이 Cardinal Rules 위반사고로 Cardinal Rules 미 준수에 의한 사고가 높은 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 8건에 대한 근원적 원인으로 보호구 미사용 2건(24%), 기준 미준수 및 안전시설 미흡, 신호미흡 등이 각 1건으로 나타났고, 3건은 충돌, 낙하, 협착 등으로 나타났으나 근원적 원인을 위한 통계 분석이 어려웠다. 이 현황분석에 따라 장비작업 관련해 통제구역의 설정과 통제원 배치 등 작업자의 임의행동을 통제할 수 있는 현장 활동이 필요하며, 보호구(안전벨트, 구멍의 등) 착용에 대한 지속적 교육의 시행이 필요한 것으로 나타났다.

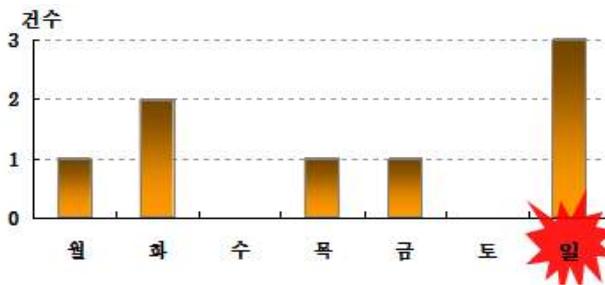
2.1.4 기타

발주형태별 사고특성은 단독 현장보다는 공동도급 현장에서 사고발생율이 61%로 매우 높게 나타났는데, 이는 토목부문에서는 90%, 발전환경은 87%에 이른다. 발전환경사업의 경우 타 사업본부에 비해 공동도급 비율은 낮지만 사고 발생률이 높은 것으로 나타났다.

<Table 5> Accidents by order patten

구분	건축	주택	토목	플랜트	발/환	전사
단독	건수 10	10	3	9	2	34
시공	비율 50%	100%	10%	82%	13%	39%
공동	건수 10	-	28	2	13	53
도급	비율 50%	-	90%	18%	87%	61%
계	건수 20	10	31	11	15	87

그 외에 휴무조 운영으로 관리감독이 취약한 휴일작업 시 중대재해가 집중 발생되어 휴일작업에 대한 특별 관리가 필요한 것으로 분석되었다.



<Figure 3> day types of serious accident

3. 카라비나 인장파괴 실험

3.1 실험개요

G건설사에서는 2011년에 Cantilever Bracket과 Canopy의 접합부 Bolt 해체 중 분리가 되어 설치된 Canopy와 작업자가 추락하여 사망하는 사고가 발생하였다. 이 때 작업자는 인가된 안전벨트를 착용했음에도 안전벨트를 구성하는 카라비나가 파괴되어 추락한 것이다. 추락자는 안전인증기준에 만족하는 카라비나를 착용하고 있었음에도 체결높이가 너무 높아 한계 하중 이상이 걸리게 되어 파괴된 것이다. ‘보호구 의무안전인증기준’에서는 완성품 및 부품의 정하중 시험성능기준 중 후, 보조후 및 카라비나의 시험하중을 15kN 즉, 1,530kgf로 정의하고 있다.

	No	주요 구성요소	안전인증 기준 (규정하중)
	1	대구경 (Hook)	1,530 Kgf
	2	침줄	2,245 Kgf
	3	카라비나	1,530 Kgf

<Figure 4> Certification criteria by component of safety belt

<식-1>과 같이 사고의 추락하중을 계산해보면 당사자는 몸무게 90kg으로 추락 높이가 3.8m(안전벨트침줄 길이 :1.8m, 캐노피 추락높이 : 최소 2m)로 추락하중을 계산해보면 3,351kg으로 카라비나의 규정하중인 1,530kg 보다 2배 이상의 하중이 걸린 것으로 분석되었다.

$$\begin{aligned} \text{추락하중} &= \text{몸무게} \times \text{중력가속도} \times \text{추락높이} \\ &= 90\text{kg} \times 9.8\text{m/s}^2 \times 3.8\text{m} = 3,351\text{kg} \end{aligned} \text{ <식-1>}$$

이 사고에서 도출할 수 있는 시사점을 요약하면 추락하중의 크기는 추락 높이가 가장 큰 요인으로서 안전벨트 체결높이를 명확히 고려해야 하며, 이에 따르면 실험에서는 다음의 3가지 실험을 설계하여 분석하고자 한다.

<Table 6> Experiment design

구분	실험내용
실험1	카라비나 체결방향에 따른 파괴하중 실험 - 종방향, 안전장치 미체결, 횡방향 인장실험
실험2	추락 높이에 따른 파괴하중 실험
실험3	체결 방법에 따른 파괴하중 실험

3.2 실험결과

3.2.1 체결방향에 따른 파괴하중

체결 방향별 인장실험에서는 제대로 된 체결방식은 종방향 인장의 경우 규격이상(1,530kgf)에서 1차 파괴가 발생하였고, 계속된 인장결과 650kgf에서 2차 파괴가 발생하였다. 안전장치 미체결 시에는 660kgf에서 파괴되어 종방향의 2차 파괴와 유사한 파괴하중을 나타내었다. 횡방향 체결에서는 규격이하인 912kgf에서 1차 파괴가 발생하는 것으로 나타났다.

<Table 7> the result of experiment 1

구분	Test1	Test2	Test3
방향	종방향	미체결	횡방향
파괴 하중	1,592kgf	660kgf	912kgf
파괴 단면			

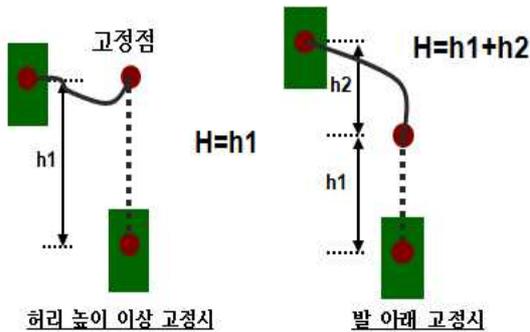
3.2.2 추락높이에 따른 파괴하중

추락자의 추락높이를 달리하여 카라비나의 파괴하중을 비교 실험하였다. 추락하중은 일반인의 몸무게에 안전벨트, 안전화, 동의복 등 착용 후 무게를 감안하여 최대 100kg로 가정하고, Test1은 높이를 1.6m(안전 고리를 허리 이상 높이에 설치), Test2는 3.4m(짐줄 1.8m+설치위치 1.6m)로 구분하였다.

실험결과 Test1에서는 카라비나 파괴는 일어나지 않았지만, 안전벨트 충격흡수대가 파손되면서 안전벨트의 총 길이가 2.4m로 늘어났다. Test2에서는 3,332kgf에서 사고당시의 파단과 유사하게 파괴되었고, 안전벨트 고리의 고정점에 의해 추락높이가 안전하게 유지되어야 함(2m 이내)을 알 수 있었다.

<Table 8> The result of experiment 2

구 분	안전벨트 고리 위치	파괴 하중	추락 높이	TEST 결과	
				카라비나	충격흡수대
Test1	허리높이에 고정	1,568kgf	1.6 m	상태유지	작동
Test2	바닥 아래 1.6m에 위치	3,332kgf	3.4 m	파손	작동



<Figure 5> Fall height by fixed point of safety belt



<Figure 6> Destruction shape of carabiner by experiment 2

3.2.3 체결방법에 따른 파괴하중

쌍줄걸이 안전벨트 사용 시 안전벨트 D링과 카라비나 체결방법에 따라 안전장치의 파괴하중을 실험하였다. Test1은 D링과 2개의 카라비나를 사용했을 때의 파괴하중과, Test2는 D링과 1개의 카라비나를 사용하고 2개의 짐줄을 연결했을 경우에 파괴하중을 실험하였다.

그 결과 Test1은 1,592kgf에서 파괴되어 허용 기준을 만족하였으나, Test2에서는 912kgf에서 파괴되어 충격하중을 견디지 못한 것으로 분석되었다. 따라서 본 실험에서는 쌍줄걸이벨트 사용 시에는 각각의 카라비나를 D링에 체결하여 사용하는 것이 더 많은 하중을 견딜 수 있음을 알 수 있다.

<Table 9> The result of experiment 3

	Test1	Test2
현장 착용		
인장 실험 결과		

3.3 소결론

추락에 따른 하중은 추락높이에 의해 결정된다. <식-1>의 공식에 따르면, 80kg 이상의 작업자는 고정점의 높이를 2m이하에서 체결한 후 작업을 수행하도록 한다.

<Table 10> Weight by fall height

작업자 몸무게 (Kg)	추락시 하중				비 고 (구성요소별 인증기준)
	추락높이	하중	추락높이	하중	
60	2	1,176	2.5	1,470	• 대구경 (HOOK) : 1,530 Kgf • 짐줄 : 2,245 Kgf • 카라비나 : 1,530 Kgf
70	2	1,372	2.5	1,715	
80	2	1,568	2.5	1,960	
90	2	1,764	2.5	2,205	
100	2	1,960	2.5	2,450	
	추락높이	하중	추락높이	하중	
60	3	1,764	3.5	2,058	
70	3	2,058	3.5	2,401	
80	3	2,352	3.5	2,744	
90	3	2,646	3.5	3,087	
100	3	2,940	3.5	3,430	
	추락높이	하중			
60	4	2,352			
70	4	2,744			
80	4	3,136			
90	4	3,528			
100	4	3,920			

4. 결 론

본 논문은 건설업에서 사고 발생 형태 중 가장 비율이 높은 추락 사고를 예방하기 위해 G건설사의 사고현황 분석과 자체적으로 선정한 Cardinal Rules 위반 사고를 집중적으로 예방하기 위한 대안 마련 실험을 시행하였다.

추락사고 발생 시 작업자의 생명을 보호하는 안전벨트 구성요소 중 파괴의 위험이 가장 높은 카라비나를 대상으로 다양한 실험기준을 적용하였다.

먼저 카라비나 체결방향에 따른 파괴하중은 종방향 체결 시 가장 높은 1,592kgf로 안전한 것으로 나타났으나 안전장치 미체결 및 횡방향 체결 시에는 안전인증 기준 이하에서 파괴가 일어났다. 두 번째 실험에서는 안전벨트 고리의 위치를 조절하여 추락 높이를 다르게 하였다. 이 경우 추락자를 100kg으로 가정했을 때 1.6m에서는 카라비나의 상태가 정상상태였으나 3.4m에서는 카라비나의 파손이 일어나 정상 역할을 하기 어려운 것으로 나타났다. 세 번째 실험은 안전벨트 D링과 카라비나 체결 방법에 따른 것으로 D링과 2개의 카라비나를 사용하고 줍줄을 사용했을 때 1,592kgf의 인장강도를 기록하여 1개의 카라비나 사용과 2개의 줍줄을 연결했을 때 보다 안전한 것으로 나타났다.

이 논문의 결론을 살펴보면 건설업의 경우 고소작업이 많기 때문에 추락 사고로 인한 사망사고가 다수 발생하고 있으며, 이와 같은 추락사고를 예방하기 위해 안전벨트를 착용하고 있다. 하지만 잘못된 고정점의 선정으로 허용하중 이상의 하중으로 안전벨트 구성품의 파괴가 발생하기 때문에 고소작업 종사자들에게 2m 이내의 고정점 선정을 통한 안전벨트 사용의 교육이 필요함을 주장한다. 아울러 카라비나의 오류를 보정하기 위해 안전망을 3m 이내에 설치함으로써 카라비나의 오류로 인한 사고를 원천적으로 보완할 수도 있을 것이다.

5. 참 고 문 헌

- [1] 김주현, 복합형 센서를 이용한 추락재해 예방 장비의 효용성 실험, 대한건축학회 학술발표대회 논문집 제27권 제1호(통권 제51집), (2007) : 753~756
- [2] 김주현, 이웅근, 조훈희, 강경인, 복합형 센서를 이용한 추락재해 예방 장비의 효용성 실험, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제27권 제1호(통권 제51집), (2007) : 753~754
- [3] 김진원, 김요한, 김주형, 김재준, 건설재해의 유형분

석을 통한 안전사고 저감방안에 관한 연구, 한국건축시공학회 2010년 추계학술발표대회 논문집, 제10권 2호, 통권 제19집, (2010) : 137~138

- [4] 최돈홍, 건설추락재해 감소를 위한 작업발판 사용 실태 조사연구, 한국안전보건공단, 2011
- [5] Huang X. and Hinze J., "Analysis of Construction Worker Fail Accidents". J of Construction Engineering and Management, Vol. 129, No. 3, (2003) : 262~271

저 자 소 개

조 재 환



동국대학교 안전공학과를 졸업하고, 경희대학교 경영대학원에서 산업안전관리학 석사, 동국대학교 안전환경에너지시스템공학과에서 안전공학 박사학위를 취득하였다. 현재 GS건설 안전팀에서 재직 중이며, 건설안전 실무자로서 건설 관련 업무에 안전을 접목하기 위한 연구를 수행하고 있다.

주소 : 경기도 안산시 상록구 성포동 선경APT 14동 702호