

특 집

콘크리트 공사현장의 건설안전

거푸집공사에서의 붕괴재해 원인 분석과 예방대책 Preventive Measures and Causes Analysis on The Accident of Collapse in Form Works



최순주*

1. 서론

거푸집은 생 콘크리트가 구조체로서 충분한 강도가 발현되어 소정의 형상으로 성형되는 과정까지의 가설구조물이며, 철근콘크리트 공사의 공정 중 인력의존도가 높으며 공기와 비용에도 크게 영향을 미친다. 특히 건설 생산품의 최종 품질의 성패를 좌우하고 시공과정에서 근로자의 안전작업 수행에 걸림돌이 되는 유해위험 요인이 산재하여 많은 주의가 요구된다. 따라서 양질의 품질을 확보하고 안전 작업의 수행을 위한 기초작업은 구조검토에 의한 거푸집 설계와 시공과정에서 돌출 가능한 모든 유해위험 요인의 사전 제거를 목적으로 하는 치밀한 유해위험 방지계획의 수립과 철저한 안전수칙을 준수하는 작업의 이행이

필요하다.

그러나, 현행 거푸집 공사의 대부분은 구조계산에 의한 조립도가 없는 상태에서 공사가 수행되는 물론 근로자의 안전 도모를 위하여 수립된 유해위험방지계획의 내용이 실질적 공사 수행 주체인 협력업체에 전달이 단절되는 등의 이유로 협력업체 근로자의 관행과 경험에 의존한 비과학적 방법에 의한 공사 수행이 국내 건설현장의 현실이다. 이러한 경험시공은 부적절한 재료사용, 과도한 부재의 배치, 과소 단면 부재의 사용, 콘크리트 타설 순서의 위반 등을 야기되어 시공과정에서 붕괴재해를 유발시키고 양질의 건설 생산품 창출 목적에 반하는 경향이 있다. 시공과정에서 발생하는 거푸집 붕괴재해는 전체 건설재해에 비해 재해건수는 적으나 인적손실과 경제적 손실

* 정회원, 산업안전보건연구원 책임연구원

등 여타 건설재해에 비해 재해강도가 매우 크다.

따라서, 기 발생된 재해분석을 재해 발생 원인과 거푸집 작업에서의 문제점을 도출하여 근로자 생명을 보호하고 경제적 손실의 최소화에 기여할 수 있는 예방대책의 수립이 필요하다.

2. 붕괴재해 사례와 피해

2.1 재해사례

거푸집 동바리 붕괴재해 사례는 한국산업안전공단에서 '93년부터 '97년까지 국내 건설현장에서

표 1 거푸집 동바리 붕괴재해 사례

연번	발생일	현장명	재해자		재해작업
			사망/부상		
1	'93.01.12	○근린생활시설	2/		콘크리트타설
2	'93.04.01	○교회	/5		콘크리트타설
3	'93.04.09	○우회도로	/4		콘크리트타설
4	'93.04.16	○아파트	/2		콘크리트타설
5	'93.05.23	○공장	1/3		콘크리트타설
6	'93.06.25	○배수펌프장	2/1		콘크리트타설
7	'93.11.04	○간 도로	3/2		콘크리트타설
8	'93.11.15	○연수원	1/1		콘크리트타설
9	'93.12.04	○빌딩	1/1		콘크리트양생
10	'93.12.26	○빌딩	3/		동바리 보수
11	'94.02.07	(주)○식품	1/3		콘크리트타설
12	'94.02.25	○천사회관	1/		콘크리트타설
13	'94.03.08	○빛물펌프장	2/8		콘크리트타설
14	'94.06.14	○상고	1/2		콘크리트타설
15	'94.11.03	○시설	3/4		콘크리트타설
16	'95.05.04	○정보통신센터	1/5		콘크리트타설
17	'95.06.24	○전통혼례식장	1/4		콘크리트타설
18	'96.04.13	○배수장	2/6		콘크리트타설
19	'96.06.05	○일보 사옥	1/		콘크리트타설
20	'96.09.05	○메스코아	1/		콘크리트타설
21	'96.09.25	○시설공사	1/9		콘크리트타설
22	'96.10.08	○상수도	1/1		콘크리트타설
23	'96.10.11	○관광호텔증축	1/4		콘크리트타설
24	'96.11.15	○근린생활시설	1/5		콘크리트타설
25	'96.12.27	○아파트	1/4		콘크리트타설
26	'97.02.24	○운전 상가	1/		동바리 점검
27	'97.05.22	○시 공원장	/8		콘크리트타설
28	'97.08.07	○위생처리장	1/3		콘크리트타설
29	'97.09.12	○화력발전소	2/		콘크리트타설
30	'97.10.16	○지하철	1/3		콘크리트타설
31	'97.04.04	○아파트	1/7		콘크리트타설
32	'97.10.30	○시설공사	1/4		콘크리트타설
33	'97.11.07	○변전소	1/7		콘크리트타설
34	'97.11.19	○대학교	2/		동바리 점검
총 재해자 수			42/106		

서 발생한 2,230여건의 중대재해 조사보고서에서 34건의 재해사례(표1)를 발굴하였다.

2.2 재해의 심각성

거푸집 동바리 붕괴재해는 공단에서 조사한 중대재해사례 2,231건의 1.5%로 재해의 발생빈도는 낮으나 그림 1에서 보는 바와 같이 재해로 인한 손실은 매우 크다. 재해 발생 범위의 정도에 따라 차이는 있으나 재해잔해의 철거비용과 새로운 재료의 구입 등 막대한 경제적 손실과 재시공에 따른 공기의 지연, 비용으로 환산이 곤란한 회사의 신인도 평가절하에 따른 그 피해가 매우 심각하다.



그림 1 붕괴재해 현장

2.2 인적손실

건설 중대재해 2,230건에서 2,770명의 인적 손실이 발생하였으며 그중 2,314명의 근로자는 사망하였다. 그러나 재해가 발생하면 재해 당사자인 부상자 모두가 사망에 이를 수 있는 개연성을 가지고 있다. 건설중대재해 1건에서 발생하는 인적손실은 평균 1.24명의 재해자가 발생하였으나 콘크리트 공사중 거푸집 동바리 붕괴재해로 인한 인적손실은 표 2에서 보는 바와 같이 재해 1건에서 4.35명의 재해자가 발생하였다.

표 2 동바리 붕괴재해의 인적 손실

연도	조사 중 대 재 해				붕 괴 재 해			
	재해 건수	재해자수			재해 건수	재해자수		
		계	사망	부상		계	사망	부상
'93	361	480	369	111	10	32	13	19
'94	418	546	452	94	5	25	8	17
'95	396	489	425	64	2	11	2	9
'96	510	632	523	109	8	38	9	29
'97	545	623	545	78	9	42	10	32
계	2,230	2,770	2,314	456	34	148	42	106
비고	재해자수/재해건수							
	1.24				4.35			

3. 재해 분석과 원인

3.1 재해 현황

기 발생된 붕괴재해 현장의 조사보고서를 근거하여 동바리 사용 재료와 조립높이, 연결 조립 단수, 그리고 붕괴재해요인으로 추정되는 계획단계에서의 조립도 비치 여부와 시공과정에서 붕괴재해에 영향을 미친 것으로 사료되는 동바리 조립 실태 및 콘크리트 타설 등 작업과정에서 붕괴재해에 영향을 끼친 것으로 추정되는 요인을 재해발생 현장 각각에 대하여 정리하면 표 3과 같다.

표 3 거푸집 붕괴재해 실태

연번	재 료	높이 (M)	단수	계획	주 요 붕 괴 추 정 요 인	
					조 립	작 업
1	P-S	3.5	1	조립도 미작성	- 수평연결재 설치 불량 - 바닥판 고정 및 활동방지조치 불량 - 이질재료 혼용 조립 - 전도방지 조치 불량	- 부리한(변형발생후) 작업 강행 - 상·하동시작업
2	P-S	10.07	3	조립도 미작성	- 동바리 수직연결 불량 - 받이판과 바닥판 고정 불량	-
3	P-S	5.4	2	조립도 미작성	- 동바리 수직연결 불량 - 지반의 다짐 불량 - 수평연결재 설치 불량	- 콘크리트 타설(1방향 집중)
4	P-S	4.7	1	조립도 미작성	- 수평연결재 미설치 - 장선 및 멍에 재료 불량 - 받이판과 바닥판 고정불량	- 콘크리트 타설(1방향 집중)
5	P-S	5	2	조립도 미작성	- 사용재료 불량(부식·변형) - 침하방지조치 불량 - 동바리 연결(철선)불량 - 수평연결재 설치불량	- 콘크리트 타설(1방향 집중) - 상·하동시작업
6	각재	6.2~8.0	3	조립도 미작성	- 수평연결재 미설치 - 고정불량 · 갈목 + 동바리 · 동바리 + 멍에 · 멍에 + 장선	-
7	P-S	8	2	조립도 미작성	- 동바리 연결 불량 - 수평연결재 설치불량	- 콘크리트 타설
8	강 재 트러스	-	-	안전성평가미 실시	-	- 안전표지 부착위반(출입제한)
9	P-S	4.8 ~ 6.9	2		- 동바리 수지도 불량 - 받이판, 바닥판 고정 불량 - 장선, 멍에재료 혼용 사용	-
10	B/T P-S	6	3	조립도 미작성	- 수평연결재 설치불량	- 작업방법불량
11	P-S	8.5	2	조립도 미작성	- 동바리 수지도 불량 - 동바리 연결 불량 - 수평연결재 설치불량	- 콘크리트 집중 타설
12	P-S	2.2	6	-	- 동바리 구조 불량	-
13	S-P P-S	10.3	3	조립도 미작성	- 수평연결재 설치불량 - 바닥판 및 받이판 고정 불량 - 재료불량(단판와이프 등)	- 콘크리트 집중 타설
14	S-P P-S	7.0	2	조립도 미작성	- 수평연결재 설치불량 - 바닥판 및 받이판 고정 불량 - 재료불량(단판와이프)	- 콘크리트 타설 방법 불량(동시타설)
15	S-P P-S	6.0	2	조립도 미작성	- 수평연결재 설치불량 - 수평연결재 상부에 동바리 조립	-

표 3 거푸짐 붕괴재해 실태 (계속)

연번	재 료	높이 (M)	단수	계 하	주 요 붕 괴 추 정 요 인	
					조 립	작 업
16	SP PS	9.0	3		- 재료불량 (단관파이프) - 동바리 수직연결 불량	-
17	SP PS	10.0	2	조립도 미작성	- 비계강선(각재)에 동바리 설치 - 수평연결재 미설치	
18	PS	6.5	2	조립도 미작성	- 동바리 연결 불량 - 수평연결재 설치불량	
19	PS	3.5	1	조립도 미작성	- 받이관, 마뎅관 고정불량 - 수평연결재 설치불량	
20	B/T PS		2	조립도 미작성	- 동바리 연결 불량(강선재 상부 중앙) - 수평연결재 설치불량	
21	SP	16	1	조립도 미작성	- 사용재료 불량(부식편형) - 침하방지조치 불량 - 동바리 연결(철선) 불량 - 수평연결재 설치불량	
22	SP PS	15.5	5	조립도 미작성	- 재료불량 (단관비계) - 동바리구조 불량(5단) - 수평연결재 설치불량	
23	SP PS	7.7	2	조립도 미작성	- 재료불량(단관파이프) - 수평연결재 미설치	
24	PS	7.65	2		- 동바리 설치간격과다 - 동바리 수직연결불량 - 수평연결재 설치불량	
25	PS	6.25~ 7.05	2		- 동바리 설치간격과다 - 동바리 수직연결불량 - 수평연결재 미설치	
26	PS	7.2	2	조립도 미작성	- 동바리 설치간격과다 - 동바리 수직연결 불량 - 수평연결재 설치불량	
27	PS	7.5	2	-	- 동바리 수직연결불량 - 수평연결재 미설치	- 콘크리트 타설방법 불량 (기둥·보·바닥동시)
28	각재 PS	4.8	2	조립도 미작성	- 재료불량 - 동바리 수직연결불량 - 수평연결재 설치불량	
29	시스템	21	-	조립도 미작성	- 가새 미설치 - 수평연결재 미설치	- 콘크리트 집중 타설
30	SP	11.7	2	조립도 미작성	- 재료불량(단관파이프) - 동바리 수직연결불량(외경 용접) - 수평연결재 설치불량	- 콘크리트 집중타설
31	SP PS	5.6	2	조립도 미작성	- 재료불량 (단관파이프) - 동바리 수직연결불량 - 수평연결재 설치불량	- 콘크리트 타설방법 불량 (기둥·보·바닥동시)
32	B/T PS	8	2	-	- B/T와 PS인강 불량	- 돌봄시 작업 강행
33	SP PS	8	2	조립도 미작성	- 재료불량(단관파이프) - 수직연결 불량	- 콘크리트 집중 타설
34	PS	6	2	조립도 미작성	- 동바리 설치간격과다 - 동바리 고정 및 연결불량 - 수평연결재 설치불량	- 콘크리트 집중 타설

주) SP: 비계용 단관파이프, PS: 파이프 제프드, B/T: 강관용 비계

3.2 재해분석

3.2.1 동바리 재료

건설현장에서 사용하는 거푸짐 동바리 재료는

일반적으로 합판(널)과 각재(장선과 명에), 강관 받침기둥(동바리)을 주로 사용한다. 그러나 동바리는 강관 받침기둥, 비계용 단관파이프, 강관 틀비계, 시스템, 목재인 각재 등을 이용한 단일 또는 2가지 이상의 재료를 혼용하여 사용하는 경우

가 많다. 또한 동바리는 1회만 사용하는 소모품이 아니라 반복 사용함으로써 노후, 변형(휨과 패임 및 녹슬음에 의한 단면감소) 등에 의하여 강도가 저하된 재료를 사용하는 경우도 흔히 있다.

붕괴재해발생 현장에서 사용한 동바리는 표 4와 같이 단일 재료를 사용한 현장은 21개로 61.7%이었으며, 2가지 이상의 재료를 혼용 사용한 현장은 13개로 38.3%이었다.

표 4 동바리 재료별 재해현황

구분	사용 재료	현장수	구성비
단 품	파이프써포트	16	47.1
	시스템동바리	1	2.9
	단관파이프	2	5.9
	각재	1	2.9
	트러스(기존구조물)	1	2.9
	소계	21	61.7
혼 합	틀비계 + 파이프써포트	3	8.8
	단관파이프 + 파이프써포트	9	26.5
	각재 + 파이프써포트	1	2.9
	소계	13	38.2
총 계		34	99.9

그림 2에서 보는 바와 같이 붕괴재해 현장의 재료를 보면 불량재료, 과다 반복 사용, 재료의 성능에 차이가 있는 2가지 이상의 재료 사용에 문제가 있다. 따라서, 재료측면에서의 동바리 붕괴재해의 예방을 위하여 적정 강도를 확보하고 있는 단일 재료의 사용이 요구되며 조립도에 의한 안전기준의 준수 여부에 달려있다.



그림 2 붕괴 현장의 거푸집 재료

3.2.2 조립 높이

건설현장에서 가장 많이 사용하는 동바리는 파이프 받침 동바리이며, 파이프 받침 동바리로 조립하는 경우 노동부 고시인 가설기자재 성능검정규격 대상 파이프받침 동바리의 높이는 4m 이하이다. 그리고 산업안전기준에 관한 규칙에서는 동바리 2분까지 연결과 보조지주의 사용을 허용하고 있다. 그러나 재해현장의 대부분이 상기 기준을 위반하고 있으며, 재해현장의 높이별 재해현황은 표 5에서 보는 바와 같이 높이가 4.2m를 넘게 설치하는 경우에 32개 현장에서 재해가 발생하여 94.22%를 차지하고 있다. 이는 동바리 구조가 파이프 받침과 보조지주, 2분의 파이프 받침, 강관틀 비계와 파이프 받침을 조합한 2단 이상의 정상적 연결구조라기 보다는 연결부의 구조적 취약점과 잘못된 연결 방법, 안전기준의 위반 등으로 재해가 발생하고 있다.

표 5 동바리 높이별 재해현황

구분	계	동바리 높이(m)			
		$H \leq 4.2$	$4.2 < H \leq 6$	$6 < H \leq 8.4$	$8.4 < H$
현장수	34	2	9	12	11
구성비	100	5.88	26.47	35.29	32.35

3.2.3 동바리 연결

연결정도별 재해현황은 표 6과 같이 91.12%가 2단 이상의 연결구조에서 재해가 발생하였다. 재해현장은 2단 이상의 동바리 연결구조에서 안전기준과 안전작업 수칙의 위반이 재해를 유발시키고 있음을 단적으로 보여주고 있다.

동바리의 높이가 4.2m 이상이면 2분 이상의 재료를 연결하여 설치할 수 있다. 표 5에서 보는 바와 같이 2단 이상의 연결구조에서 90% 이상의 재해가 발생하였다는 사실은 파이프받침 동바리 연결의 기본이 되는 연결방법(4개 이상의 볼트, 전용철물 체결)의 위반과, 법을 위반한 3단 이상의 부적절한 연결에 문제가 있으며, 또한 콘크리트 타설시 타설 순서의 위반과 집중타설 등에 문제가 있는 것으로 사료된다.

표 6 동바리 연결 현황

구분	계	연결구조(단수)						
		1	2	3	4	5	6	기타
현장수	34	3	21	4	1	1	1	3
구성비	100	8.8	61.8	11.8	2.9	2.9	2.9	8.82

3.3 거푸집 작업의 문제점

3.3.1 조립도

거푸집 동바리 작업은 산업안전보건법 안전기준에 관한 규칙에서 조립도 작성과 조립도에 의한 거푸집 동바리 조립을 규정하고 있으나, 실제 건설현장에서는 동 규정을 무시하고 있는 실정이다. 조립도 작성 규정의 취지는 구조검토의 선행에 있으며, 구조검토 과정에서 당해 구조물에 적합한 동바리 구조의 사용재료의 선정, 부재의 단면과 배치 간격 등이 검토되어 조립도가 작성된다. 그러나, 표 7에서 보는 바와 같이 34개 재해 발생 현장중 조립도에 관한 언급이 없는 7개 현장을 제외한 27개 현장이 조립도를 작성하지 않은 것으로 조사되었다. 결국 언급이 없는 7개 건설현장이 조립도를 작성하고 그에 따라 조립하였다고 가정하더라도 79.4%인 27개 재해현장이 조립도 작성 의무 법규를 위반하였다. 이는 공사 시작부터 재해발생의 개연성을 안고 공사가 진행되었다는 사실은 우리 건설현장의 심각한 문제라 할 수 있다.

결국, 조립도가 없는 약 80%의 현장에서 발생한 재해원인은 경험 및 적당 조립을 조장시킨 것으로 볼 수 있으며, 이는 부적절한 재료의 사용, 경험에 의한 부재 배치와 연결, 구성부재의 결합(수직도)과 결손(수평 연결재) 등 많은 동바리 구조의 총체적 결함이 시공단계에서 붕괴재해를 유발시키는 근본적인 중대한 재해원인이 된다.

표 6 재해현장의 조립도 작성현황

구분	계	조립도		미 확인
		작성	미 작성	
재해건수	34		27	7
구성비	100		79.4	20.6

3.3.2 조립

지반 : 동바리를 지지하는 지반이 성토 또는 연약지반의 경우 부동침하는 붕괴재해의 원인이 되므로 다짐 또는 바닥 콘크리트 타설 등 지반의 보강이 필요하다.

갈판 : 연약 또는 성토 지반의 경우 부동침하, 국부적인 침하를 방지하고 상부하중의 분산을 목적으로 설치하나 미설치로 인한 하중의 집중이 재해원이 되기도 한다.

바닥판과 받이판 : 바닥판과 받이판의 미고정은 수평하중이 작용하는 경우 동바리 구조 전체의 안전성에 문제가 발생하여 붕괴재해 발생이 우려되나, 바닥판은 갈판 또는 콘크리트 바닥에 그리고 받이판은 거푸집 널과 장선을 지지하는 명에 고정을 하지 않아 수평력에 의한 지지점의 활동으로 붕괴하는 경우가 있다.



그림 3 받이판의 미고정 사례

동바리: 동바리는 안전성이 확인된 성능검정 규격에 합당한 동바리라 하더라도 반복사용으로 녹슬음, 취급 부주의에 의한 휨과 패임 등의 변형이 발생한 동바리는 강도가 저하된다. 따라서 강도가 저하된 동바리, 안전성이 검증되지 않은 미검정 동바리, 성능의 확인이 곤란한 규격외 동바리 사용 등은 붕괴재해 발생의 직접원인이 된다. 또한 시공과정에서의 시공의 정밀도와 기능공의 숙련 정도에 따라 동바리 내력 감소요인으로 작용하여 붕괴재해를 유발시키는 주요 원인이 되는 경우가 있다.

연결핀: 동바리의 외관과 내관을 연결하는 연결핀은 사용과정에서 분실하는 경우 D10의 이형철근을 연결핀으로 대체하여 사용하는 경우가 많다. 이때 상부하중에 의해 연결핀을 대체한 철근이 변형(치짐)이 먼저 발생하여, 동바리의 극한내력이 약 50%정도 감소되어 붕괴 재해 발생의 우려가 높으나 이를 방지하는 경우가 흔히 발생한다.



그림 4 철근으로 대체한 연결핀 설치 사례

수평연결재와 가새: 동바리 구조의 구성부재에서 수평연결재와 가새는 수평하중 작용에 대응하기 위한 주요 부재로서, 콘크리트의 한 방향 집중 타설 등에 의하여 발생하는 수평하중에 의한 붕괴재해 발생의 우려가 높다. 또한 부적절한 재료의 사용과 사용 동바리의 종류에 따른 설치 높이의 위반, 부적당한 체결철물의 사용과 미설치등이 원인이 되어 좌굴하중에 의한 재해가 발생하기도 한다.

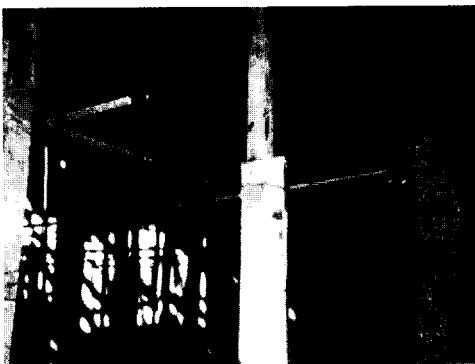


그림 5 부적절한 수평연결재 설치 사례

연결구조: 동바리의 설치 높이가 4.2m 이상이면 파이프 받침과 보조지주, 파이프 받침과 파이프 받침, 강관틀 비계와 파이프 받침 등으로 2단 이상의 구조로 연결하며, 전용 연결철물의 미사용 및 연결하는 2부재 사이의 각재의 결함과 연결부의 구조적인 결함 요인이 재해를 유발시키며, 재해사례중 2단 이상의 연결구조 동바리에서 주로 재해가 발생하고 있다는 사실이 이를 입증하고 있다.

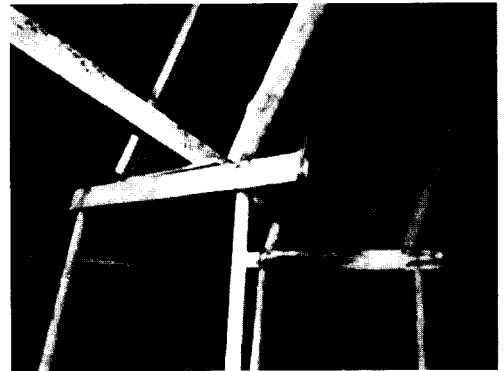


그림 6 동바리 연결 구조적 결함 사례

콘크리트 타설작업: 콘크리트는 타설계획을 수립하여 타설순서(기둥 → 보 → 바닥)에 따르는 것이 일반적이나 간혹 이를 무시한 기둥,보 등이 동시에 타설이 행하여지는 경우가 있다. 콘크리트의 집중 타설하는 경우 동바리에 작용하는 하중의 불균형으로 붕괴재해 발생의 우려가 높으나 이를 소홀히 하는 문제가 있다.

3.4 재해원인

앞에서 언급한 바와 같이 동바리 붕괴재해는 어느 한가지 원인에 의해 발생한다고 단언하기에는 매우 곤란하다. 그러나, 계획단계 및 시공단계, 그리고 부적절한 재료의 사용과 작업방법 등의 다양한 원인들의 복합 작용으로 재해가 발생한다고 할 수 있다. 재해사례를 통해본 재해원인과 시공과정에서의 문제점을 정리하여 붕괴재해의 흐름도를 작성하면 그림 7과 같이 표현이 가능하다.

붕괴재해는 계획단계에서 구조검토와 조립도를 작성하지 않은 현장은 시공단계에서 경험에 의존한 공사를 수행하게 되고, 경험시공은 거푸집 동바리의 구조를 불안정한 구조로 조립함으로써 붕괴재해를 발생시킨다. 또한 작업에 투입되는 근로자 역시 자신의 생명과 직결되는 개인보호구의 미착용은 물론 콘크리트 타설순서를 무시한 임의 및 편중 타설 역시 재해발생의 원인으로 지적되

4. 붕괴재해 예방대책

재해분석에서 도출된 붕괴재해의 원인은 매우 다양하며 이러한 개개의 원인들이 복합적 작용으로 붕괴재해는 발생한다. 결국 붕괴재해는 계획단계, 조립단계, 콘크리트 타설작업 등 총체적 부실이 재해를 발생시키고 있다.

따라서, 재해원인을 작업 단계로 구분하여 재

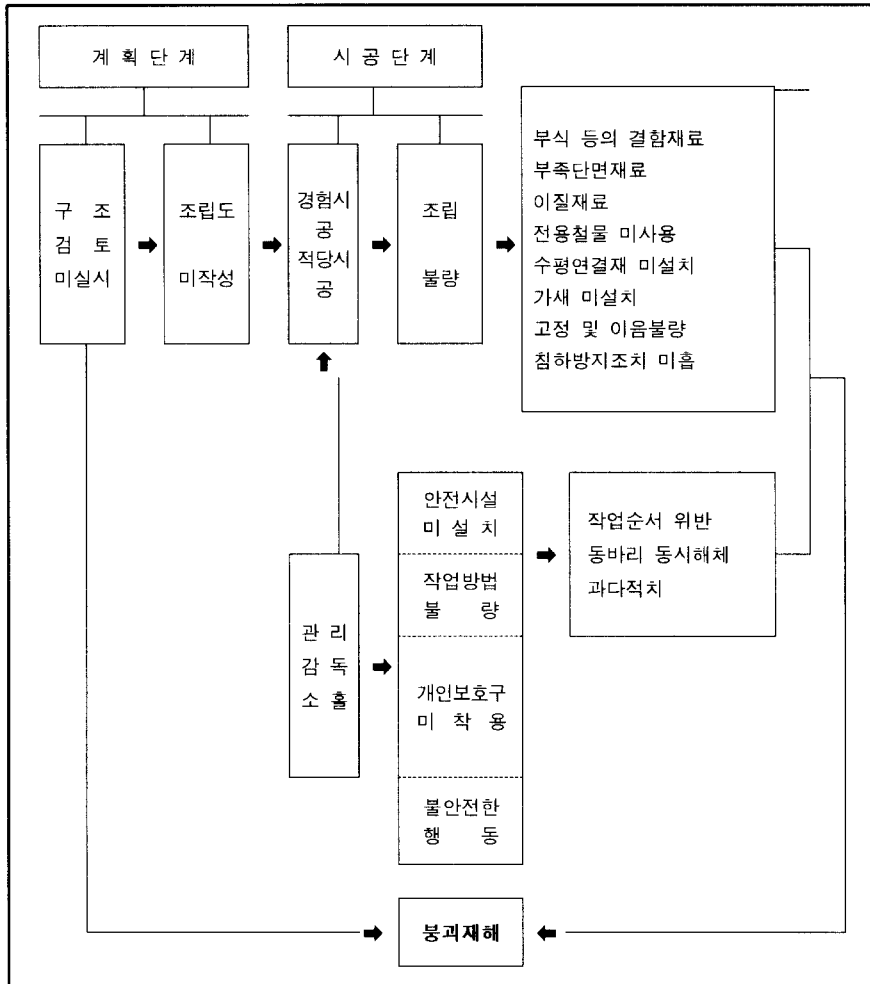


그림 7 일반적인 붕괴재해의 흐름도

고 있다. 결국 이러한 재해원인들은 대부분 산업 안전에 관한 기준 규칙의 위반과 작업방법 등에 기인함을 알 수 있다.

해원인에 따른 예방대책의 주요내용을 정리하면 표 8과 같고, 각 작업단계에서의 안전작업을 위한 세부내용은 다음과 같다.

표 8 공사 단계별 재해원인과 예방대책

구분	재 해 원 인	예 방 대 책
계 획	조립도 미작성	구조검토에 의한 조립도 작성
	안전성 평가 미실시	전문기관의 안전성 평가 실시
시 공	불량재료 사용	성능검정 규격품 사용 재사용 기준 준수
	이질재료 사용	혼용사용 금지
	침하방지 조치 불량	다짐철저, 깔판 깔복 사용
	고정 불량	못 등으로 고정
	동바리 연결 불량	전용철볼 또는 4개 이상의 볼트로 연결 P.S의 경우 2단까지만 연결
	동바리 설치 불량	수직도 유지
	수평연결재 미설치 및 설치 불량	2개 방향 수평연결재 설치 철근, 가새 사용금지
	가새 미설치	테두리 주변은 반드시 설치
작 업	콘크리트 타설방법 불량	집중타설 금지 타설순서 준수 상하 동시작업 금지. 출입제한 악천후시 작업금지

4.1 계획단계

계획단계에서는 설계도서를 검토하여 구조물의 단면 치수와 높이와 시공재료 등을 이해하고, 거푸집 공사에 사용할 적정한 재료의 선정(널, 장선과 멩에, 동바리, 수평연결재, 체결철물, 못, 깔판 또는 깔복 등)과 필요한 수량의 산출 및 안전 계획을 수립한다. 이때 작업현장과 주변의 상황 등 다음 사항을 확인한다.

- 동바리를 설치할 지반의 상태
- 현장과 주변 부지의 상황
 - 현장내 적치장소 및 타 자재의 적치장소
 - 재료의 반입과 반출에 필요한 출입구의 위치와 넓이
- 담장, 수목 등의 장애물 유무
- 가스, 수도, 전기 등의 배관 및 배선계통의 위치와 폐쇄 상태와 매립 상태
 - 인집건축물, 담장 등의 상황
 - 가공선로의 방호상황
 - 주변도로의 주·정차금지, 일방통행 등 각종 교통 규제 상황
- 교통량, 도로의 폭, 통학로, 인도의 상황

- 구조계산은 설계도서를 바탕으로 다음 사항을 확인하며 실시한다.
 - 선정된 재료의 성능을 확인하고 구조계산을 통해 조립도를 작성한다.
 - 널의 두께, 장선과 멩에의 재질과 단면규격, 동바리의 종류와 조립간격 등
- 구조계산은 많은 가정보고 강도 저하요인 즉, 재료적 문제, 재사용과 습윤상태에서의 사용, 시공오차 등을 감안하여 충분한 안전율을 고려하고, 구조해석 프로그램에 의한 정확성의 추구보다는 실용적인 구조해석 방법이 효과적인 수 있다.
- 거푸집의 구조계산은 가설구조물에 작용하는 하중에 대하여 허용응력도 설계법에 기초한 하중산정, 응력과 변형계산 단면산정 하여 조립도를 작성한다

4.2 조립단계

4.2.1 조립전

- 작업의 계획과 내용 등을 충분히 검토하고 조립도를 바탕으로 다음 사항을 확인한다.
 - 동바리의 재료와 수량.
 - 구조물의 상황과 동바리의 높이.
 - 작업의 계획과 내용에 적합성 여부
- 재료 반입방법과 시기, 적치장소를 확인한다.
- 크레인 등의 운전자, 목공, 철근, 도장 등 관련 직종과 협의를 충분히 한다.
- 강풍, 홍수, 대설 등의 우려가 있을 경우 작업을 중지한다
 - 악천후 전의 주요점검으로 강풍이 불 때에는 거푸집 널 등을 보강하고, 운반작업은 피하며, 동바리의 침하, 활동의 유·무 확인과 고정, 배수처리를 한다. 또한 동바리와 수평연결재, 교차가새 등의 이음과 체결부분의 설치상태를 확인하여, 불안정한 곳은 재조임을 실시한다.
 - 악천후 다음 주요점검으로 거푸집 상부에 물건이 넘어지거나 넘어질 우려가 있는지

전선 등이 걸려있지 않은가 확인한다. 그리고 동바리의 수직도와 고정상태, 수평연결재, 교차가새 등의 상태를 확인한다.

4.2.2 재료의 준비와 점검

- 조립에 필요한 동바리의 체결 및 이음철물, 고정형 Base 철물, 깔판, 수평연결재, 못 등 조립에 필요한 부재와 수량의 반입 여부를 확인한다.
- 불량품의 반입여부를 확인한다
 - 성능검정규격 이상의 제품 여부, 동바리의 녹슬음, 휘, 패임의 발생정도를 확인하여 사용여부 확인한다.
 - 성능검정 규격 외의 동바리는 신뢰할 수 있는 시험기관의 성적서와 제조회사의 사양에 따른다.
 - 깔판, 장선 멩에 등 목재는 강도에 영향을 미치는 용이 등의 결합여부 확인한다.
- 재사용 부재는 한국산업안전공단의 「가설기 자재 재사용 기준」을 참고하여 점검 및 보수를 실시한다.

4.2.3 조립

- 동바리가 침하하지 않도록 되베우기 등 연약지반은 다짐 또는 자갈과 콘크리트 등으로 충분히 보강하여 다짐하고 깔판 또는 깔목을 평탄하게 설치한다.
- 베이스철물(고정형)은 깔판과 깔목의 중심에 설치하고 그 간격은 조립도에 따라 동바리 간격과 동일하게 설치한다. 또한 바닥판은 이동하지 않도록 깔판에 못으로 2개소 이상 고정한다.
- 동바리의 설치간격은 조립도에 따라 설치하고, 재료는 이질적 재료의 사용을 금지하고 동일한 재질의 재료를 사용한다.
- 상·하 단면의 차가 있는 동바리는 하부에 큰 단면이 위치하도록 설치한다. 즉 파이프 받침은 외관을 통나무 동바리는 마구리 지름이 큰 부분이 하부에 오도록 설치한다.

- 동바리는 수직으로 설치하고 가능한 가로와 세로방향으로 나란하게 설치하여 수평연결재 설치를 용이하게 한다.
- 동바리의 연결 사용은 재질에 따라 이음하며, 가급적 연결 사용은 금지한다.
 - 목재 동바리는 맞댄이음 또는 장부이음하고 마주보는 2면 이상에 덧댐 목을 설치하여 철선으로 4개소 이상 견고하게 묶고 상부에 장선이나 멩에를 못으로 고정할 것.
 - 강관 동바리는 상·하단에 강재 단판을 강관의 전둘레 용접하여 4개 이상의 볼트 또는 전용철물로 이음하여 단판 상부에 장선이나 멩에를 못으로 고정할 것.
 - 파이프 받침 동바리는 2분까지만 이음하되 받이판과 바닥판 사이에 각재를 끼운 이음을 금지하고, 4개 이상의 볼트 또는 전용철물로 이음하여, 받이판 상부에 장선이나 멩에를 못으로 고정할 것.
- 연결하는 동바리 재료는 동일 재질을 사용한다.
- 수평연결재는 동바리와 동일 재질을 사용하여 2방향에 설치하고, 설치높이는 안전기준에 관한 규칙을 준수한다.
 - 목재: 높이 2m 이내마다
 - 강관: 높이 2m 이내마다
 - 파이프 받침: 동바리 높이가 3.5m를 초과하는 경우 높이 2m 이내마다
 - 강관틀: 최상층 및 5개층 이내마다 동바리의 측면과 틀면 방향 및 교차가새 방향에서 5개틀 이내마다
 - 조립강주: 동바리 높이가 4m를 초과하는 경우 높이 4m 이내마다
- 동바리와 수평연결 부재의 재질에 따라 다음의 철물 등으로 체결한다.
 - 목재와 목재: 못, 철선
 - 강관과 강관: 크래프트
 - 기타: 볼트, 용접 등

4.3 콘크리트 타설

- 콘크리트 타설계획을 수립하고 타설은 콘크리트 공사 표준시방서에 따라 타설한다.
- 소요인력의 배치 및 타설 그리고 타설장비의 배치와 성능을 확인할 것.
- 콘크리트를 타설하기 직전, 거푸집 동바리를 변위 유·무를 검사한다.
- 거푸집 동바리의 변위상태 감시자를 배치하여 콘크리트 타설하는 동안 감시자는 거푸집 동바리의 변위 상태를 감시하고, 하부 작업은 중지시키고 작업반경내 접근 근로자를 차단하고, 누출 콘크리트 발생 유·무를 감시한다.

4.4 해체단계

- 거푸집 동바리 조립의 역순으로 해체한다.
- 거푸집 존치기간 및 소요 강도를 확인한다.
- 감시자를 배치하여 작업 관계자 외 작업반경내 접근을 금지시키고, 접근 금지를 위한 방호울을 설치한다.
- 약천후시 작업을 중지하는 등 주의하여 해체한다.

5. 결론

콘크리트공사에서 거푸집 공사는 투입 인력과 비용이 크고 품질에 영향을 미치며, 위험 작업으로 많은 인적·물적 손실을 초래한다. 또한 거푸집 동바리는 공사가 완료되면 소멸되는 가설구조물이라는 이유로 아직도 재래 방식에 의한 공사 수행으로 많은 재해가 발생하고 있다. 따라서 재해예방을 목적으로 기 발생한 재해현장에 대한 분석과 거푸집 공사에서의 문제 해결을 위하여 붕괴재해의 원인을 제시하고, 재해예방 방안의 하나로 공사 단계별 예방대책을 제시하였다. 콘크리트 공사에서 조잡한 거푸집 동바리 구조는 공사과정에서의 재해발생 원인을 부추기고, 최종 건설생산품의 품질을 저하시키는 원인이 된다.

그러나, 보다 근본적인 안전작업과 양질의 품질 생산 구현을 위한 연구와 투자가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 사료되며, 보다 구체적인 거푸집 동바리와 비계 등과 같은 가설구조물의 구성 부재인 가설기자재 역시 안전하고 경제적이며 시공성이 좋은 부재의 개발과 아울러 많은 실험 등의 연구를 토대로 가설기자재의 종류와 용도에 따라 가설구조물 설계에 적용을 위한 가설기자재 각각의 안전을 제안을 위한 활발한 연구를 기대해 본다. 