

# 거푸집공사의 재해 위험성 평가에 관한 연구

오준호 · 고성석

부경대학교 안전공학과

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 필요성

건설공사의 공종 중 거푸집공사는 전체공사기간의 대략 25%를 차지하고 있으며 공사비 비율은 일반적으로 전체공사비의 10~15%, 철근콘크리트공사비의 20~30%를 차지하고 있어 구조물의 안전성, 경제성 및 작업성과 품질관리에 중요한 역할을 한다. 또한 거푸집은 콘크리트가 양생되면 곧 해체되는 가설구조물로서 작업상에서 많은 위험요소를 포함하고 있으며 특히, 아파트공사의 경우 전체 재해발생의 17%로 가장 높은 비율을 차지하고 있다. 이와 같이 거푸집공사는 가장 우선적으로 관리하여야 할 위험공종이며 전체공기를 좌우하는 주공정으로서 이를 재해발생의 측면에서 제어하는 것이 안전관리에 있어서 가장 효율적이며 큰 효과를 나타낼 수 있는 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 거푸집공종을 대상으로 안전관리 및 재해사례 분석시 공법적 반영의 타당성을 통계적 검증을 통하여 알아보고 작업단계별에 따른 각각의 재해발생의 특성과 위험작업형태를 분석하여 위험지수를 산출함으로써 효율적인 안전관리를 위한 기초자료 및 대책을 제시하고자 한다.

### 1.2 연구방법

본 연구에서는 위험성의 평가를 아파트공사의 거푸집공종을 대상으로 한국산업안전공단에서 조사한 중대재해 중 1992년 1월부터 2001년 12월까지 발생한 재해로써 총 2800여건 중 137건을 통계적 방법을 통하여 재해발생특성을 조사·분석하고 이에 중대재해발생 확률의 정량적, 위험의 정성적 구분을 통한 작업형태별 단위작업에 대하여 지수를 나타내었으며 연구방법은 다음과 같다.

- 1) 아파트공사의 거푸집공정에서 발생한 건설중대재해의 실제사례를 공법별로 분류하여 분석하고 통계처리 방법을 통해 재해발생특성 및 차이를 검증한다.
- 2) 단위작업별 실제 재해사례분석과 설문조사를 통하여 위험성지수를 산정한다.
- 3) 효율적인 관리를 위해 관리의 우선순위 및 개선이 필요한 부분을 도출한다.

## 2. 거푸집공사의 중대재해발생 특성

### 2.1 작업특성

거푸집공사의 작업적 특성으로서 작업형태에 따른 중대재해사례분석 결과는 Fig.1과

같으며 해체작업이 38.7%로 가장 높게 나타났다. 공법별로는 인력위주의 연속적인 작업형태인 유로폼 및 합판의 경우는 해체작업 26.3%, 인양기의 사용이 빈번한 대형거푸집의 경우는 운반작업이 14.6%로 가장 높은 재해발생율을 나타내었으며 공법과 작업형태의 통계학적 교차분석 결과 p값이 0.001로 0.05보다 작은 것으로 나타나 본 분석이 충분히 관련성이 있다고 할 수 있다.

건설공사의 작업부위에 따른 분석으로는 Fig.2에서 나타난 바와 같이 벽체공사에서 33.6%로 가장 높은 발생비율을 나타내었으며 공법별로는 유로폼 및 합판의 경우 슬래브부위에서 16.1%로 가장 높은 발생비율을 나타내어 이에 대한 무지주 공법이나 텍크플레이트나 합성 슬래브 시스템 사용의 활성화와 구체공사 전체의 System화가 필요하다. 대형거푸집의 경우는 벽체부위에서 19.7%로 가장 재해발생비율이 높은 부위로 나타났다으며 이는 대형거푸집의 적용부위 자체가 벽체 부위에 집중되어 있기 때문인 것으로 판단된다. 공법과 작업부위의 통계학적 교차분석 결과는 p값이 0.000으로 0.05보다 작은 것으로 나타나 본 분석이 충분히 관련성이 있다고 할 수 있다.

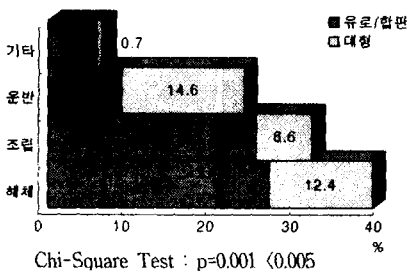


Fig.1 작업형태

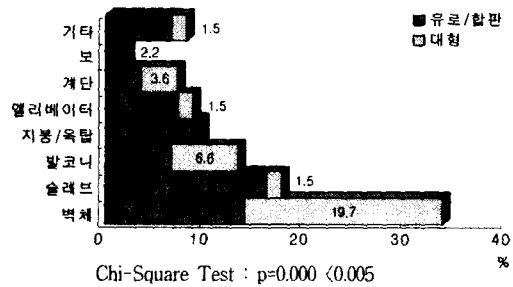


Fig.2 작업부위

## 2.2 재해특성

거푸집공사의 재해특성으로서 기인물에 따른 분석으로는 Fig.3과 같이 형틀 및 부속 자재가 27.7%로 가장 높으며 공법별로는 외부비계의 작업이 필요한 유로폼 및 합판거푸집의 경우 비계 및 작업합판이 19.7%, 인양기의 사용빈도가 높은 대형거푸집은 인양기 및 줄걸이용구가 16.1%로 가장 높은 발생비율을 나타내었다.

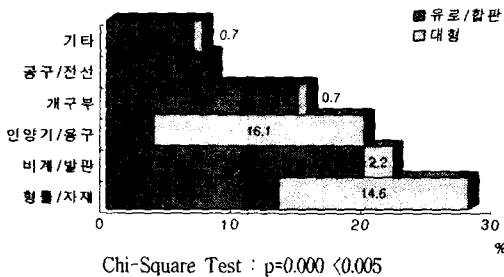


Fig.3 기인물

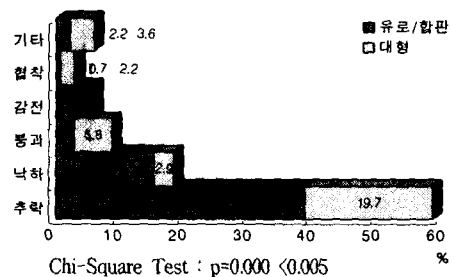


Fig.4 재해형태

공법과 기인물의 통계학적 교차분석 결과 p값이 0.000으로 0.05보다 작은 것으로 나타나 본 분석이 충분히 관련성이 있다고 할 수 있다.

거푸집공사의 재해발생형태로는 Fig.4와 같으며 추락이 58.4%로 가장 높은 발생비율을 나타내었으며 유로폼 및 합판의 경우는 추락, 낙하, 감전, 붕괴, 협착의 순으로 나타났다. 특히 감전은 주로 지하층에서 가설조명등 및 핸드드릴 등의 사용으로 인한 것으로 유로폼 및 합판을 사용한 공사에서만 발생되었다. 대형거푸집은 추락, 붕괴, 낙하, 협착 순으로 대형부재로 인한 인양기의 붕괴 또는 전도가 유로폼 및 합판에 비하여 높게 발생되었다. 공법과 재해형태의 통계학적 교차분석 결과 p값이 0.000으로 0.05보다 작은 것으로 나타나 본 분석이 충분히 관련성을 나타내고 있다고 할 수 있다.

거푸집공사의 재해발생원인인으로는 물적원인은 Fig.5와 같이 안전시설 및 설비미비가 주원인으로 나타났으며 인적원인으로는 Fig.6과 같이 개인보호구 착용불량이 주원인이며 유로폼 및 합판의 경우 개인보호구 착용불량이 23.8%, 대형거푸집의 경우는 작업방법 불량이 17.2%로 주원인으로 나타났다. 공법과 물적원인, 인적원인 각각의 통계학적 교차분석 결과는 0.021, 0.000으로 0.05 보다 작은 것으로 나타나 본 분석이 충분히 관련성이 있다고 할 수 있다.

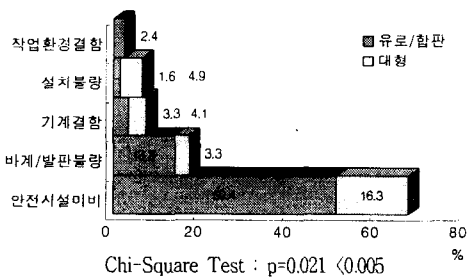


Fig.5 물적원인

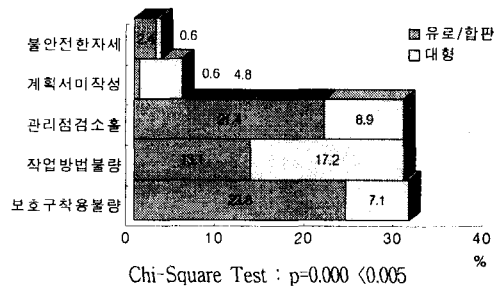


Fig.6 인적원인

### 3. 거푸집공사의 위험성 평가

#### 3.1 평가방법

본 연구에서는 공법별 중대재해발생의 특성이 다름을 검증하였으므로 위험성의 평가 및 위험작업형태를 도출하기 위해 공법에 따라 가장 위험의 강도가 가장 큰 중대재해 사례를 Table 7과 같이 정량적인 확률구분을 하고 이를 통하여 위험성의 정도를 나타낼 수 있도록 보정하기 위하여 위험의 정성적인 구분에 의한 위험확률을 나타내었다. 위험성지수의 산정은 가장 세부적인 집중관리작업을 선정하기 위하여 거푸집공사의 전 공정을 소단위로 분류하고 중대재해가 발생한 단위공정에 대하여 중대재해발생 빈도별로 나누어 중대위험확률을 나타내었다. Table 7은 중대재해 발생의 정량적인 확률구분을 나타낸 것으로서 중대재해가 거의 발생하지 않을 확률을 1% 미만으로 보고 이에 따라 등급별로 발생형태별 분포도에 의거 비중을 두어 지수를 산출하였다. 위험의 정성

적 확률구분은 미공군 시스템 안전프로그램인 MIL-STD-882A를 바탕으로 6단계의 등급 중 본 연구에서는 재해가 발생된 요소작업만을 산정하는 것이기에 발생확률이 0에 가까운 E등급(아마 위험을 경험하지는 않을 것으로 가정 할 수 있음)과 물리적으로 발생이 불가능한 F등급을 제외한 D등급까지만 적용하여 Table 8과 같이 나타내었다.

Table 7 중대재해 발생의 정량적 확률구분

등급	발생상황	확률지수
I	중대재해 발생가능성이 대단히 높음, 재해의 10%이상 점유	4
II	중대재해 발생가능성이 비교적 높음, 재해의 5~10% 점유	3
III	중대재해 발생가능성이 보통 수준, 재해의 1~5% 점유	2
IV	중대재해 발생가능성이 낮은 수준, 재해의 1% 미만 점유	1

Table 8 위험의 정성적 확률구분

등급	발생상황	확률지수
A	연속적으로 경험 (frequent)	4
B	때때로 일어남 (reasonably probable)	3
C	수회 일어남 (extremely improbable)	2
D	일어날 것 같지 않으나 가능성은 존재함 (remote)	1

그리고 거꾸집공사의 위험성지수를 나타내기 위해 중대재해 발생에 따른 정량적 확률구분과 위험의 정성적 확률구분에 의한 두 지수를 Table 9와 같이 Matrix화하여 위험성 지수를 산출하는 것으로 하였다.

Table 9 위험성지수

정량적 \ 정성적	D	C	B	A
IV	1	2	3	4
III	2	4	6	8
II	3	6	9	12
I	4	8	12	16

Table 10 위험성 구분

위험성지수	위험등급	위험범주
8이상	H1	파탄 (Catastrophic)
4이상	H2	위험 (Critical)
2이상	H3	한계 (Marginal)
1이상	H4	무시 (Negligible)

Table 10은 각각의 세부작업에 대하여 산출된 위험성지수를 MIL-STD-882A에서 위험강도로서 제안된 “파국, 위험, 한계, 무시”의 4가지의 범주로 분류한 것으로 이에 따라 위험성지수를 적용하여 보면 중대재해발생의 정량적 확률구분과 위험의 정성적 확률구분에서 각각 가장 높은 등급의 조합을 완전파탄(위험성지수 16)의 범주로 볼 수 있고 반면에 완전무시(위험성지수 0)는 사고발생 가능성이 전혀 없는 것이라 할 수 있다. 그러므로 Table 9에서 나타난 바와 같이 두 확률구분의 조합 중 파탄의 범주로서는 “중대재해 발생가능성이 대단히 높음(I)-위험을 연속적으로 경험(A), 중대재해 발생가능성이 대단히 높음(I)-위험이 때때로 일어남(B), 중대재해 발생가능성이 대단히 높음(I)-위험이 수회 일어남(C), 중대재해 발생가능성이 비교적 높음(II)-위험을 연속적으로 경험(A), 중대재해 발생가능성이 비교적 높음(II)-위험이 때때로 일어남(B), 중대재해 발생가능성이 보통 수준(III)-위험을 연속적으로 경험(A)”를 가장 위험성이 높은 등급으로서 둘 수 있으며 무시의 범주로서는 가장 낮은 등급의 “중대재해 발생가능성이 낮은 수준(IV)-일어날 것 같지 않으나 가능성은 존재함(D)” 조합 이상이 된다. 즉, 위험성 지수 8이상을 H1(Hazard 1)으로 둘 수 있고 1이상을 H4(Hazard 4)로 설정할 수 있다. 또한 “중대재해 발생가능성이 보통(III)”이며 “위험이 수회 발생(C)”한다고

할 수 있는 조합 이상을 위험의 범주인 3이상으로 설정할 수 있으며 이에 따라 위험한 계는 위험성이 비교적 낮은 수준이라고 할 수 있는 "중대재해 발생가능성이 보통(Ⅲ)과 일어날 것 같지 않으나 가능성은 있음(D)"의 조합이상으로서 2이상을 설정하였다.

### 3.2 위험성 평가

중대재해발생의 정량적 확률구분에 의한 지수의 산정을 위해 나타난 거푸집공사의 요소작업별 중대재해건수는 Table 11에서 나타난 바와 같이 유로폼 및 합판거푸집에서 해체 중 폼 탈형작업이 20건으로 가장 많이 발생하였다.

Table 11 위험성 평가

공법	작업	세부작업	중대재해건수	정량적 구분	정성적 구분	위험성지수	위험성평가
				확률지수	확률지수		
유로폼 및 합판	조립	합판절단	1	1	1.9	1.9	H4
		거푸집 고정	5	2	1.9	3.8	H2
		거푸집 설치	10	3	2.3	6.9	H2
		거푸집 친공	1	1	2.0	2.0	H3
		동바리 설치	4	2	2.7	5.4	H2
		멀에 설치	1	1	2.6	2.6	H3
		장선 설치	2	2	2.7	5.4	H2
		정리	2	2	1.6	3.2	H2
		합판 깔기	1	1	2.1	2.1	H3
		작업이동	7	3	2.2	6.6	H2
	작업외(휴식)	1	1	1.3	1.3	H4	
	운반	자재운반	5	2	2.0	4.0	H2
		자재인양	9	3	3.1	9.3	H1
		자제적재	1	1	2.0	2.0	H3
		작업이동	2	2	1.9	3.8	H2
		폼 탈형	20	4	3.0	12.0	H1
	해체	동바리 해체	7	3	3.0	9.0	H1
		정리	1	1	2.1	2.1	H3
		발판 해체	5	2	3.3	6.6	H2
		작업이동	5	2	2.7	5.4	H2
거푸집 고정		2	2	2.5	5.0	H2	
대형거푸집	조립	거푸집 설치	3	2	2.9	5.8	H2
		작업이동	3	2	2.1	4.2	H2
		자재인양	16	4	3.1	12.4	H1
	운반	인양기 설치	3	2	2.5	5.0	H2
		작업이동	1	1	2.4	2.4	H3
		작업점검	2	2	2.1	4.2	H2
		폼 탈형	3	2	2.8	5.6	H2
	해체	폼타이 제거	13	3	2.1	6.3	H2

이와 같이 요소작업별 중대재해건수에 대한 위험확률을 Table 7에 따라 4단계로 분류하면 전체재해건수의 10%이상을 차지함으로 하여 "중대재해 발생가능성이 가장 높다."고 할 수 있는 작업형태가 유로폼 및 합판거푸집의 해체작업 중 폼 탈형과 대형거푸집의 운반작업 중 자재인양으로 나타났다. 또한, 위험의 정성적 확률구분에 의한 지수를 산정하기 위해서 근무경력 5년 이상의 감리원, 안전관리자, 공사과장을 대상으로 각 5명씩 모두 15명의 의견을 분석하였으며 실제작업자인 목공의 경우는 설문분석 결과 대부분이 위험성을 인식하지 못한 채 작업하는 것으로 나타나 제외시켰다. 분석구조로는 Table 8에서 분류한 바와 같이 설문의 모든 응답치의 비중에 따른 지수를 더한

후 응답수 15를 나누어 지수를 산출하였다.

분석결과 Table 11에서 나타난 바와 같이 유로폼 및 합판과 대형거푸집 모두 운반작업에서 자재인양이 정성적 위험확률구분에 의한 지수 3.1로서 가장 높게 나타났다.

이에 따라 거푸집공사의 위험성지수를 산출한 분석결과는 Table 11에 나타난 바와 같이 가장 위험성이 높은 H1등급으로 유로폼 및 합판의 운반작업에서 자재인양과 해체작업 중 폼 탈형과 동바리 해체, 대형거푸집의 운반작업 중 자재인양으로 나타났다. 특히 대형거푸집의 운반시 자재인양 작업에서 위험성지수가 12.4로 가장 높게 나타나 가장 우선적인 대책 및 개선이 필요한 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

거푸집공사의 위험성을 평가하기 위해 재해사례 분석시 공법적 반영의 타당성을 통계적으로 검증하고 이에 따른 요소작업 각각의 재해발생의 확률과 위험성지수를 산출한 결과는 다음과 같다.

- (1) 거푸집공사의 중대재해분석요소와 공법간의 교차분석 결과 유의수준이 모두 5% 이내로 통계분석한 인자들간의 상호연관성이 본 연구 결과의 검증이 될 수 있다고 할 수 있다.
- (2) 합판 및 유로폼에서 가장 발생확률이 높은 중대재해 특성으로는 작업형태는 해체, 부위로서는 슬래브, 기인물은 비계 및 작업발판, 발생형태는 추락이며 주원인으로는 물적원인 중 안전시설 및 설비미비, 인적원인 중 개인보호구 착용불량으로 나타났다.
- (3) 대형거푸집에서 가장 발생확률이 높은 중대재해 특성으로는 작업형태는 운반작업, 부위로서는 벽체, 기인물은 인양기 및 줄걸이용구, 발생형태는 추락이며 주원인으로는 물적원인 중 안전시설 및 설비미비이며 인적원인 중 작업방법 불량으로 나타났다.
- (4) 중대재해 발생의 정량적 구분에 따른 확률로는 유로폼 및 합판거푸집에서 해체 중 폼 탈형작업과 대형거푸집의 운반 중 자재인양이 지수 4로 가장 높게 나타났다.
- (5) 위험의 정성적 구분에 따른 확률로는 유로폼 및 합판과 대형거푸집 모두 운반작업에서 자재인양이 지수 3.1로 가장 높게 나타났다.
- (6) 중대재해발생의 정량적 확률구분과 위험의 정성적 확률구분의 조합에 의하여 가장 위험성이 높은 것으로 평가된 작업으로는 유로폼 및 합판거푸집의 자재인양, 폼탈형, 동바리 해체와 대형거푸집의 자재인양이 가장 높게 나타나 재해예방 측면에서 우선적인 대책 및 개선이 필요한 것으로 나타났다.

#### 참고문헌

1. 산업안전공단, 건설중대재해 사례와 대책, 1992~2001년.
2. 안용선, 작업분석에 의한 철근콘크리트조 거푸집 공사의 관리방안에 관한 연구, 1993.
3. 이교선, 구재동, 박환표, 원승원, 건설정보분류체계 표준화 연구, 한국건설기술연구원, 1955.
4. 이승우, PLANT 건설공사 단위작업공정의 위험성 평가, 1997. 8