

콘크리트구조물의 품질향상을 위해서(I)

— 시공불량은 왜 일어나는가 —

翻譯：崔 容 銀

<雙龍洋會 中央研究所技術情報室 主任研究員>

1장 콘크리트의 시공불량 발생 상황에 관한 실태조사

1. 연구 목적

콘크리트구조물의 내용년수는 물리적, 사회적, 의장적인 것이 있다. 그중에 물리적 내용년수는 일반적으로 기둥이나 교량 등의 구조부재의 내구성에 좌우된다.

내구성에 기인하는 시공불량은 콘크리트구조물 시공시에 발생되고 있으며 건축물 수명의 관점으로도 큰 영향을 미치고 있다. 시공불량의 원인은 ① 콘크리트 재료의 선택 ② 콘크리트 배합설계에 따라 품질이 저하되는 등이 있다. 또한 시공시의 원인으로는 ① 다짐부족 ② 콘크리트 펌프의 배관 작업시간이 오래 경과한 곳 ③ 철근의 배근이 한쪽으로 모여져 있는 곳 ④ 거푸집의 정도가 불량한 곳 ⑤ 타설 높이가 높은 곳 ⑥ 콘크리트 타설과 운반 소요시간이 오래 경과한 곳을 들 수 있다.

이들에 의해 발생하는 곰보, 공동(空洞), 흔적(모래자국), 콜드조인트 등의 현상은 건축물의 기능 저하를 초래하며 또한 철근이 부식되어 철근 콘크리트구조물의 내구성이 저하되어 건축물의 미관을 손상시키는 등의 문제가 생긴다. 그래서 본 연구의 목적은 용도별 4개

의 건물을 대상으로 ① 콘크리트시공불량의 발생상황, 종류, 발생장소 등을 분석하고, ② 적당한 보수재료나 공법을 검토하기 위한 기초자료를 얻기 위해 실시하였다.

2. 조사대상 건물의 개요

조사는 용도 및 구조형식이 다른 건물을 대상으로 하였다. 표 1에 조사대상 건물의 개요를 표 2에 조사 대상건물에 사용한 콘크리트 품질과 그의 시공조건을 나타내었다.

3. 조사항목과 조사내용

표 3에 조사항목, 조사내용 및 범위를 나타내었다.

3. 1 조사항목과 측정방법

콘크리트 시공불량의 발생상황은 체크시트로 스케치 하였다. 표 4에 조사항목과 시공불량의 발생위치, 크기, 면적 등 측정방법을 나타내었다. 또한 각 현상에 대해서는 다음과 같은 점에 유의해서 조사하였다.

① 곰보(honey comb), 공동

곰보, 구멍을 스케치하여 면적계산이 용이하도록 시공불량의 모양을 단순한 도형(○, □, △ 등)으로 조합시켜 표시하여 각

< 표 1 > 조사 건물의 개요

용도 \ 항목	소재지	구 조	층 수	조사 층
사무실 (Y빌딩)	浜谷區	SRC	9	1-3
사무실 (T빌딩)	江戸川區	RC	4	2-4
아파트 (O 빌딩)	世田谷區	RC	3	1-2
아파트 (S 빌딩)	世田谷區	SRC RC	9	7

< 표 2 > 調査建物の 콘크리트 品質, 施工條件

項目 用途構造	콘크리트의 品質										打設概要			다짐사람수				
	設計基準強度 (kgf/cm ²)	시멘트	骨材	W/C比	單位水量	混和劑	流動化劑	슬럼프 (cm)	Flow (cm)	空氣量 (%)	타설량 (m ³)	거푸집面積 (m ²)	打設時間 (時-分)	樑形振動機	거푸집	두들김	봉다짐	
사무실(빌딩) SRC 造	1F	210	普通	碎石川砂	50	176	빈출	-	19	29	4.1	330	2274	6:58	3	2	6	-
	2F								18	31	3.3	205	1129	7:29	3	2	6	-
	3F								20	33	3.9	210	1099	7:26	3	2	6	-
사무실(빌딩)	4F	210	포틀랜드	同上	52	178	포틀랜드 70	流動化	21	34	3.7	200	1640	8:45	2	2	4	-
아파트(O) RC 造	1F	210		同上	50	180	빈출	-	18	30	3.8	71.5	627	5:57	2	-	4	2
	2F								20	35	4.8	70	643	4:37	2	-	2	1
아파트(S)	7F	210	同上	51	178	빈출	-	21	-	4	159.5	1254	6:46	1	-	3	2	

치수를 기입하였다. 시공불량의 깊이는 가느다란 철사, 못 등을 불량부의 공극에 삽입시켜 측정하고 그 최대치를 기록하였다(사진/곰보의 예).

② 흔적(모래 자국)

흔적(모래 자국)은 콘크리트 표면 30×30cm의 범위에 직경 1cm, 2cm, 3cm 이상의 흔적이 몇개인가를 측정하였다. 면적은 원의 면적(직경 1, 2, 3cm)갯수로 하였다. 또한 콘크리트 표면 30×30cm 중에 직경 1~2cm 인 것이 5개 이하인 경우는 건전하다고 간주하여 측정하지 않았다. (사진 2/

모래자국의 예)

③ 균열

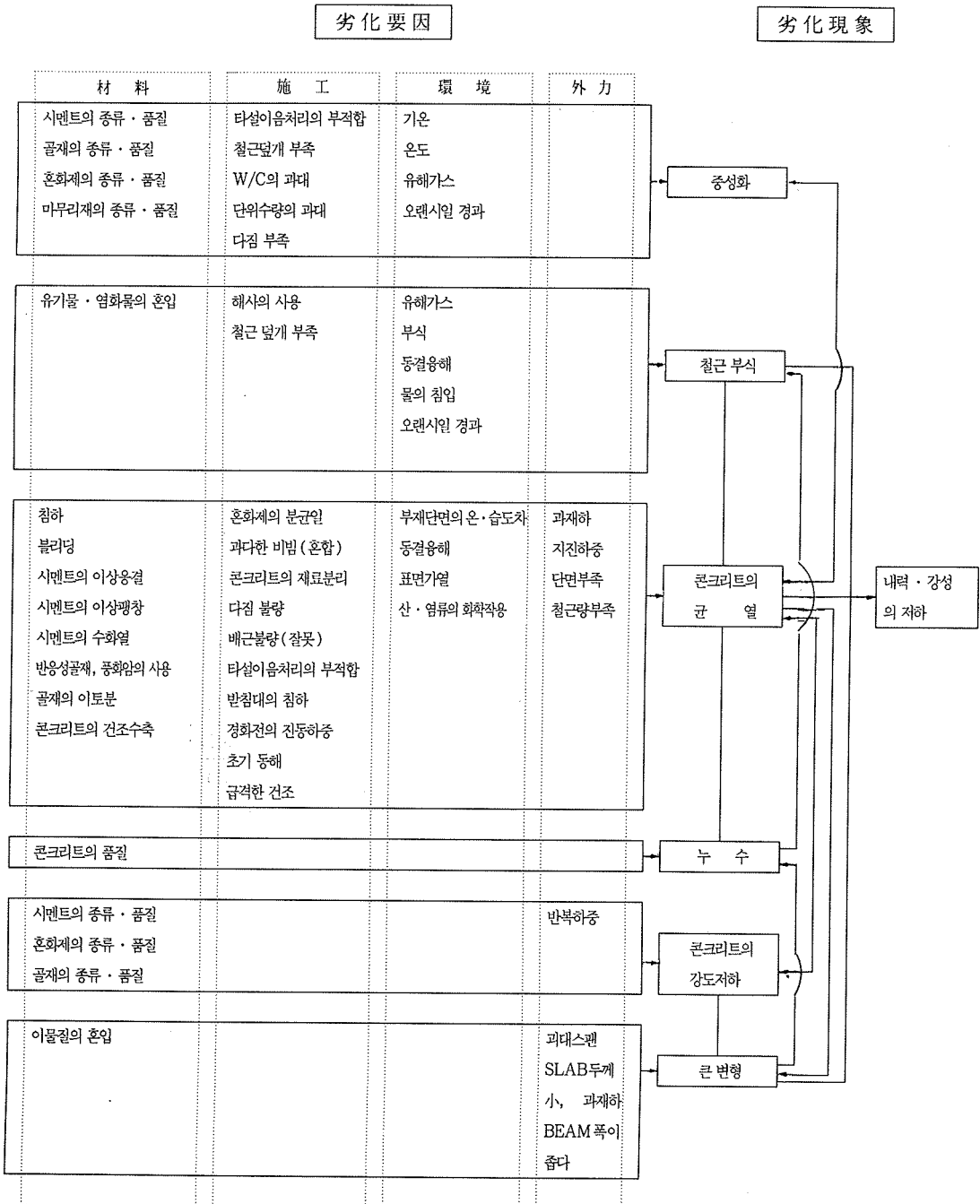
균열폭은 Crack gauge를 이용해서 3~4개 장소를 측정하여 평균치로 나타내었다. 길이는 직선으로 한 것을 가정하여 측정하였다. 면적은 길이×폭으로 하였다.

④ 콜드조인트(Cold Joint)

콜드조인트의 폭은 Scale로 3~4개 장소를 측정하여 평균치로 나타내었다. 길이, 면적의 산정은 균열과 같은 방법으로 하였다. 콜드조인트의 깊이는 모두 부재를 관통하였다고 간주하였다. (사진 3/콜드조인트의 예)

시공불량의 종류는 조사층 평면도의 기둥, Beam(梁)에 따라 기호(1, 2, 3, ..., A, B, C,

...)를 붙여 각 부재의 체크시-트와 평면도를 기입하였다.



<그림 1> 劣化要因과 劣化現象의 關連

<표 3> 조사항목과 조사내용

항 목	조 사 내 용	조 사 범 위
타설 상황	타설순서, 타설시간 이음부시간간격, 다짐인원 등	기둥, Beam, 벽, 바닥
시공불량	곰보, 흔적, 공동, 콜 드조인트, 균열	-기둥, Beam, 외벽, 내벽, 바닥 -시공불량건수, 체적 면적, 깊이 등 -부위(발생 장소)

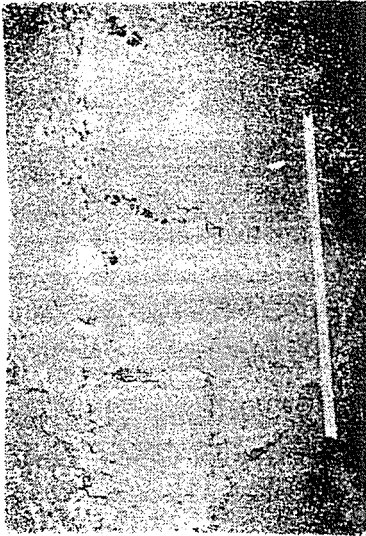
<표 4> 조사항목과 측정방법

측정항목	조 사 항 목					측 정 방 법
	곰 보	공 동	흔 적	균 열	콜 드 조 인 트	
발생 위치	0	0	0	0	0	가장 가까운 기둥까지의 거리(수평방향)및 바닥에서의 거리(수직방향)을 측정한다
치 수 (cm)	0	0	0	-	-	면적계산이 용이하도록 스케치에 맞추어 기입한다
길 이 (cm)	-	-	-	0	0	균열, 콜드조인트의 길이는 직선으로 늘인 것으로 가정해서 측정한다
폭 (cm)	-	-	-	0	0	균열 스케치, scale로 3~4개곳을 측정하여 그 평균치를 폭으로 하였다
깊 이 (cm)	0	0	-	-	-	가느다란 침, 철사, 못을 공극에 들어가는 것을 측정하여 그 최대값을 깊이로 한다. 콜드조인트의 깊이는 부재를 관통한 것으로 보았다.
면 적 (cm)	0	0	0	0	0	간단한 것은 조사시에 조사, 계산하여 기입한다 (복잡한 것은 스케치를 보아 계산한다).

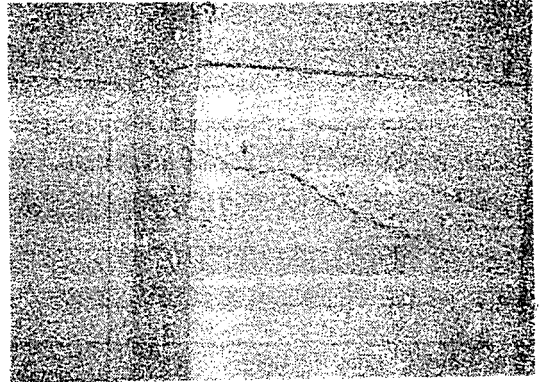
3. 2 타설이음 시간에 따른 시공 불량 발생 건수비의 산정

여기에서는 시공불량의 발생장소 증가에 따라 증가되는 불량 건수만을 문제로 되는것이

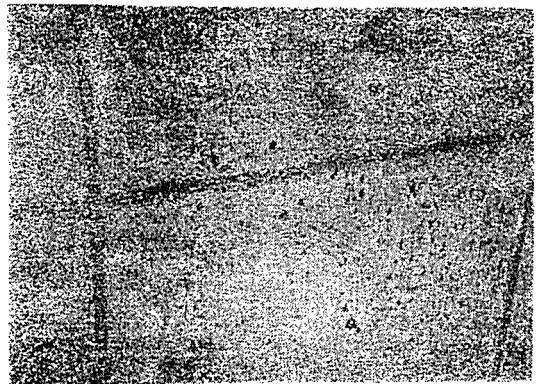
아니라, 어느 타설이음 시간에 있어서 불량부분 1개 장소에 몇건의 불량이 발생되었는가를 파악하기 위해서 “J 방식”을 도입 하였다. J 방식의 계산식을 (1)에 나타내었다.



<寫眞 1> 곰보의 例



<寫眞 2> 흔적의 例



<寫眞 3> 콜드조인트의 例

$$J(\text{건/장소}) = \frac{\text{시공불량 건수}}{\text{시공불량 장소수}} \dots\dots (1)$$

여기서

시공불량 건수 : 동일 타설이음 시간에서의 불량건수(건)

시공불량 장소수 : 동일 타설이음 시간에서의 불량발생 장소수(개소)

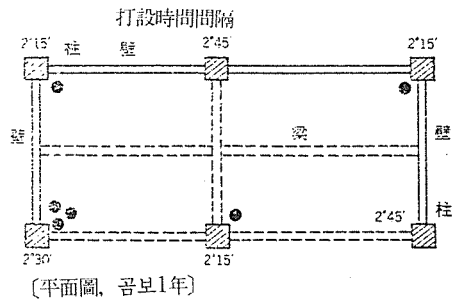
그림 2, 표 5에 조사예와 집계 방법을 나타내었다. 여기서 콘크리트 타설이음시간 2시간 15분(이하 2'15"라 약기)에서 발생한 장소는 3군데 이고, 시공불량이 발생한 건수는 3건이었다. 다음에 타설이음시간 2'30"장소는 1곳이었지만, 불량이 발생한 건수는 3건 이었다. 또한 타설이음 시간이 2'45"장소는 2개곳이지만 불량은 발생하지 않았다. 이것을 표 5에 조사 건물의 콘크리트 타설이음 시간과 시공불량의 발생상황 집계방법을 나타내었다.

[J방식의 산정방법]

J값은 식 (1)과 표 5와 같다.

타설이음 시간 2'00"~19"구간에서는 $J=3/3=1.0(\text{건/장소})$

타설이음시간 2'20"~39"에서는 $J=3/1=3.0(\text{건/장소})$



<그림 2> 곰보의 發生狀況과 打設時間의 間隔

이 결과 타설이음시간 2'00"~19"구간에서는 시공불량 1개 장소당 1.0(건/장소)발생하였고, 또 타설이음시간 2'20"~39"구간에서는

<표 5> 곰보의 發生狀況과 J值의 표시방법

타설 時間間隔		欠陥 項目	곰 보			합 계		
			件數	장소수	J 值	件數	장소수	J 值
2	00' ~ 19'		3	3	1	3	3	1
	20' ~ 39'		3	1	3	3	1	3
	40' ~ 59'		0	2	—	0	2	—
합 계			6	6	4	6	6	4

1개 장소당 3.0의 불량률이 발생하여, 타설이음 시간이 길어짐에 따라 불량건수가 증가됨을 알 수 있다.

3. 3 시공불량 구성비 산출법

시공불량 구성비의 계산법을 나타내었다.

$$a. \text{단위 건수} = \frac{\text{불량 건수(건)}}{\text{조사 총수(총수)}}$$

$$b. \text{단위 면적} = \frac{\text{불량 면적(m}^2\text{)}}{\text{조사 총수(총수)}}$$

$$c. \text{단위 체적} = \frac{\text{불량 건수(m}^3\text{)}}{\text{조사 총수(총수)}}$$

$$d. \text{거푸집 단위건수} = \frac{\text{불량 건수(건)}}{\text{거푸집 면적(m}^2\text{)}}$$

$$e. \text{전 불량 단위면적} = \frac{\text{불량 건수(건)}}{\text{전 불량면적(m}^2\text{)}}$$

$$f. \text{거푸집 단위면적} = \frac{\text{단위 면적(m}^2\text{)}}{\text{거푸집 면적(m}^2\text{)}} \\ = \frac{\text{전 불량면적(m}^2\text{)}}{\text{거푸집 면적(m}^2\text{)}}$$

g. 전 불량 단위체적

$$= \frac{\text{전 불량 건수(건)}}{\text{전 불량 체적(m}^3\text{)}}$$

$$h. \text{불량 체적} = \frac{\text{전 불량 체적(m}^3\text{)}}{\text{전 콘크리트량(m}^3\text{)}}$$

4. 조사결과와 고찰

4. 1 타설 상황

표 6에 조사 대상 건물의 타설상황을 나타내었다. 이에 의하면 콘크리트 타설량은 펌프차 1대당 약 200m³이고, 그이상 일때에는 2대를 사용하였다. 다짐 사람수는 타설량 70~330m³당 5~20인으로 펌프카 대수가 복수로 되어도 비례해서 증가하지 않는다. 타설량의 증가는 타설시간의 연장이나 유동화 콘크리트로 조정하였다.

단위 타설량은 타설량 70~330m³당 9~27m³/인으로 되고, 타설량이 많을수록 크게되는 경향이다. 단위시간당 타설량은 12~28m³/h로 되어 단위 타설량과 함께 타설량이 많을수록 크게되어 RC조, SRC조 건축물의 相異에 따른 차이는 없다.

4. 2 콘크리트 타설이음 시간별 발생되는 시공불량 상황

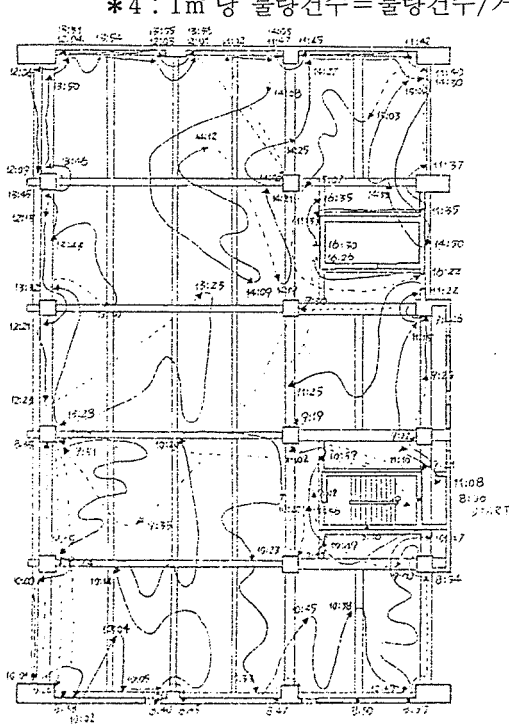
표 7, 8, 그림 3-10에 조사건물의 콘크리트 타설이음 시간과 시공불량의 발생상황, 발생장소, 종류를 나타내었다.

그림 11-15에 각종 시공불량의 발생건수와 타설 이음시간과의 관계를 나타내었다. 타설이음시간 구간 0'00"-0'19"에 발생한 시공불량은 타설이음시간에 의한것이 아니라, 다짐부족이 원인이라고 생각되므로 여기에서는 이구간 시공불량의 발생건수를 무시해서 고려하였다.

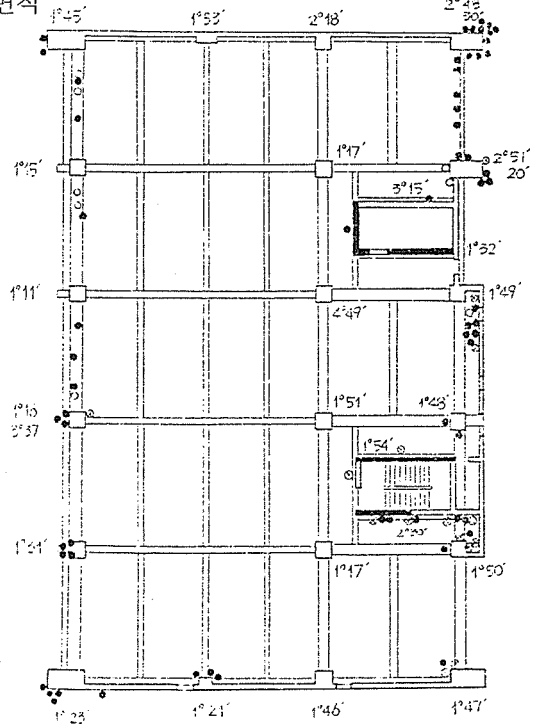
<표 6> 조사건물의 타설상황

용도	항 목	타설량	타설	다짐	거푸집	평균타	시공불	단위타	단위시간	m³당불량	m²당불	비 고
		(m³)	시간 (시:분)	인원 (명)	면적 (㎡)	설이음 시간	량건수 (건)	설량*1 (m³/인)	타설량*2 (m³/hr)	건수*3 (건/m³)	량건수*4 (건/m²)	
사무실(Y빌 당 SRC조)	1층	330	6:58	20 (11)	2274	2:51	95	16.2 (30)	47.4 (23.1)	0.29	0.04	펌프차 2대 (1대분)
	2층	205	7:29	11	1129	1:54	90	18.6	27.4	0.44	0.08	기준층
	3층	210	7:26	11	1099	1:39	46	19.1	28.3	0.21	0.04	상등
사무실(T빌 당 RC조)	4층	200	8:45	8	1640	4:11	68	25	22.9	0.34	0.04	유동화 콘크리트
아파트(O빌 당 RC 조)	1층	71.5	5:57	8	629	2:32	70	8.9	12	0.98	0.11	-
	2층	70	4:37	5	643	2:37	60	14	15.2	0.86	0.09	-
아파트(S빌 당 SRC조)	7층	159.5	6:46	6	1254	0:58	81	26.6	23.6	0.51	0.06	1번에 타설

注) *1: 1인당 타설량 = 콘크리트 타설량/다짐사람수
 *2: 1시간당 타설량 = 콘크리트 타설량/타설시간
 *3: 1m³당 불량건수 = 불량건수/콘크리트 타설량
 *4: 1㎡ 당 불량건수 = 불량건수/거푸집 면적



<그림 3> 콘크리트의 타설순서와 타설이음시간
과의 관계(Y빌딩 사무실 2층)



<그림 4> 콘크리트의 타설이음시간과 施工
不良의 發生 장소와의 關係(左同)

<표 7> 콘크리트의 타설이음 시간간隔과 施工不良의 發生狀況

타설이음시간 項目		欠 陷			공 보			空 洞			혼 적			콜드조인트			합 계		
		件數	장소수	J 值	件數	장소수	J 值	件數	장소수	J 值	件數	장소수	J 值	件數	장소수	J 值	件數	장소수	J 值
0°	00'~19"	55	7	7.9	8	5	1.6	1	1	1.0	2	2	1.0	66	15	11.5			
	20'~39"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	40'~59"	1	1	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1.0			
1°	00'~19"	25	6	4.2	2	2	1.0	5	2	2.5	3	3	1.0	35	13	8.7			
	20'~39"	25	6	4.2	1	1	1.0	1	1	1.0	1	1	1.0	28	9	7.2			
	40'~59"	32	9	3.6	9	3	3.0	11	6	1.8	6	6	1.0	58	24	9.4			
2°	00'~19"	33	4	8.3	5	3	1.7	4	1	4.0	1	1	1.0	43	9	15.0			
	20'~39"	38	6	6.3	13	5	2.6	13	4	3.3	6	6	1.0	70	21	13.2			
	40'~59"	69	13	5.3	14	6	2.3	2	2	1.0	2	2	1.0	87	23	9.6			
3°	00'~19"	14	4	3.5	9	2	4.5	-	-	-	2	2	1.0	25	8	9.0			
	20'~39"	29	5	5.8	5	2	2.5	1	1	1.0	5	5	1.0	40	13	10.3			
	40'~59"	17	2	8.5	-	-	-	-	-	-	1	1	1.0	18	3	9.5			
4°	00'~19"	4	1	4.0	-	-	-	-	-	-	1	1	1.0	5	2	5.0			
	20'~39"	13	2	6.5	4	1	4.0	-	-	-	1	1	1.0	18	4	11.5			
	40'~59"	8	4	2.0	-	-	-	-	-	-	2	2	1.0	10	6	3.0			
5°	00'~19"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	20'~39"	1	1	1.0	2	1	2.0	-	-	-	-	-	-	3	2	3.0			
	40'~59"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
6°	00'~19"	1	1	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1.0			
	20'~39"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	40'~59"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
합 계		364	72	73.1	72	31	26.2	38	18	15.6	33	33	13.0	507	154	127.9			

<표 8> 시공불량의 종류와 기호

기호/종류	시공불량의 종류
●	공보(● 1건, ● 5건, ● 10건)
○	空洞
■	콜드조인트
⊗	혼적
△	균열
0'00"	타설이음 시간(0'시간 00"분)

4. 2. 1 곰보

곰보의 시공불량은 타설이음 시간이 2'40" ~ 59"일 때 69건으로 가장 많이 발생하여 1'00" ~ 4'59"구간에서 거의 정규 분포하고 있다. 다음은 각 구간의 시공불량의 건수비율(J값)은 타설이음 시간이 2'00"~19"와 3'40"~59"일 때 약 8건/장소로 가장 크다. 이 구간에서는 시공불량 1개군데당 건수가 거의 같게 되었다.

곰보발생은 건물의 벽, 기둥에 많이 발생하였다. 이는 콘크리트 봉형진동기, 두드림에 의한 다짐이 불충분하고, 배근이 치밀해서 콘크리트가 잘 충전되지 않은 것으로 생각된다. 이러한 것으로 보아 곰보의 발생건수는 타설이음 시간에 관계가 있다고 생각된다.

4. 2. 2 공동, 흔적

이 2개의 시공불량 건수의 분포는 곰보와 유사하여 타설 이음시간이 공동은 1'40"~3'19", 흔적은 1'40"~2'39"일 때 많이 발생하였다. 또한 각 구획에 있어서 공동, 흔적의 건수비율(J값)은 타설 이음시간 각 1'40"~3'19", 1'00"~2'39"일때 가장 많이 발생하고 있다. 공동 흔적의 발생은 시공불량의 약 22%로 특히 벽, 계단주위, 기둥에 많이 발생하고 있다. 이것은 콘크리트의 다짐속도에 비해 쌓아 올리는 속도가 너무 빠르기 때문이라고 생각된다. 또한, 시공불량건수의 정규분포는 1'40"~3'20"구간이다.

4. 2. 3 콜드조인트

콜드조인트의 발생은 타설이음 시간이 1'40"~3'39" 구간 일 때 22건으로 많은 경향을 나타내지만 데이터수가 너무 적어 정확한 경향으로 볼 수 없다. 또, 시공불량의 건수비율(J값)은 모든 구간에서 1건/장소(군데)이었다.

이 결과로 콜드조인트는 모든 불량의 6%로 특히 계단주위의 벽, beam에 많이 발생하고, 이것이 전불량의 약 4%를 차지하고 있다. 타설이음시간 간격은 약 2'30"을 넘지 않도록 한

다. 따라서 콜드조인트의 발생은 타설이음시간 간격 뿐만 아니라, 콘크리트 타설방법 및 다짐방법과 밀접한 관계가 있다고 생각된다.

4. 2. 4 모든 불량에 대해서

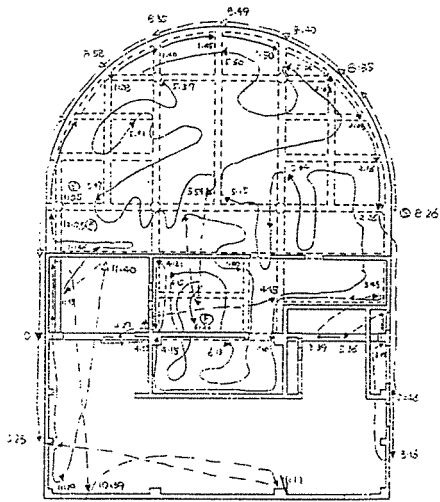
시공불량건수는 타설이음시간 1'00"~4'59" 구간에서 정규분포하고 있다. 또, 시공불량건수 비율(J값)은 상기구간에서 3~15(건/장소)로 큰값을 나타내고 있다. 특히 J값이 가장 큰 타설 이음시간은 2'00"~2'39"구간이다. 이것으로 보아 시공불량의 발생건수는 타설이음시간이 짧음에 따라 감소된다고 볼 수 없으며 시공불량이 가장 많이 발생한 때는 타설이음시간이 2'40"~2'59"일 때이다.

따라서 시공불량의 발생은 타설이음시간 뿐만 아니라 타설방법, 다짐방법 및 외기온도 등의 요인에 영향을 받는다고 생각된다.

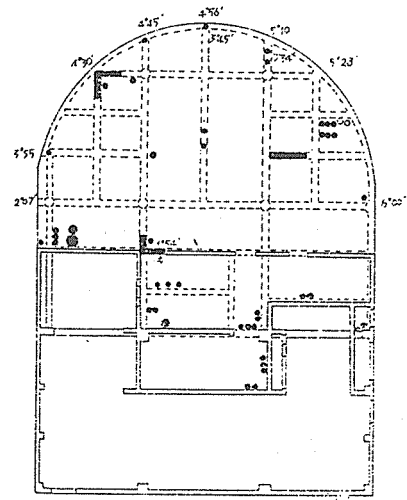
4. 3 시공불량 종류에 따른 건수

4. 3. 1 건물용도, 구조형식이 시공불량에 미치는 영향

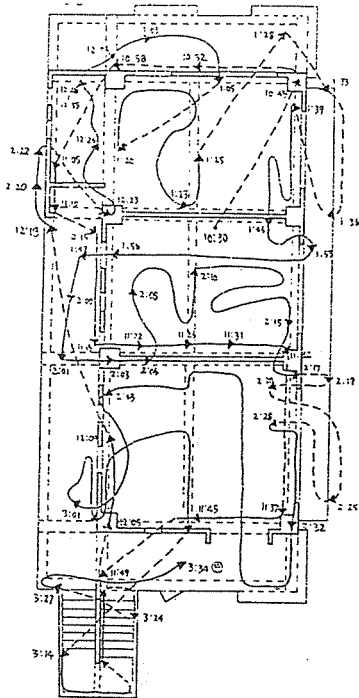
그림 16, 17에 파레토도가 그려진 표에 건물용도, 구조형식과 시공불량의 종류에 따른 단위건수 및 구성비율을 나타내었다. 이표로 요인과 특성과의 결과 해석을 할 수 있으므로 편리하다. 이것으로 건물용도의 시공불량 건수는 아파트가 146건, 구성비율로 약 52%로 되고 사무실 빌딩이 133건으로 약 47% 보다 약간 많은 경향이나, 또 구조형식별 시공불량 건수는 SRC造가 158건, 구성비율로 약 57%이고, RC造는 121건으로 약 43%로 많음을 알 수 있다. 시공불량의 종류로는 곰보가 가장 많이 발생되어 전체의 약 70%를 차지하고 있으며 다음으로 많은 불량은 공동으로 (약 17%)로 흔적(약 8%), 콜드조인트(약 5%), 균열(1%)순이다. 한 시공불량건수를 총별로 보면 곰보는 층수에 영향이 없으며, 공동, 콜드조인트, 흔적은 1층에 많고 윗층일수록 적어지는 경향이다. 층별 발생건수는 앞에서 기술한 비율과 유사하다.



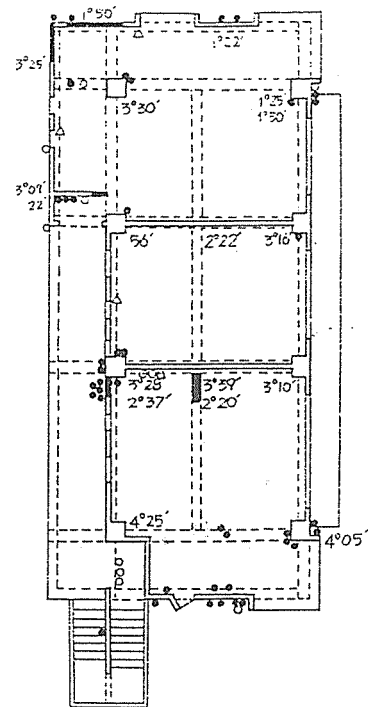
<그림 5> 콘크리트의 타설순서와 타설이음시간과의 관계(T 빌딩, 사무실 4층)



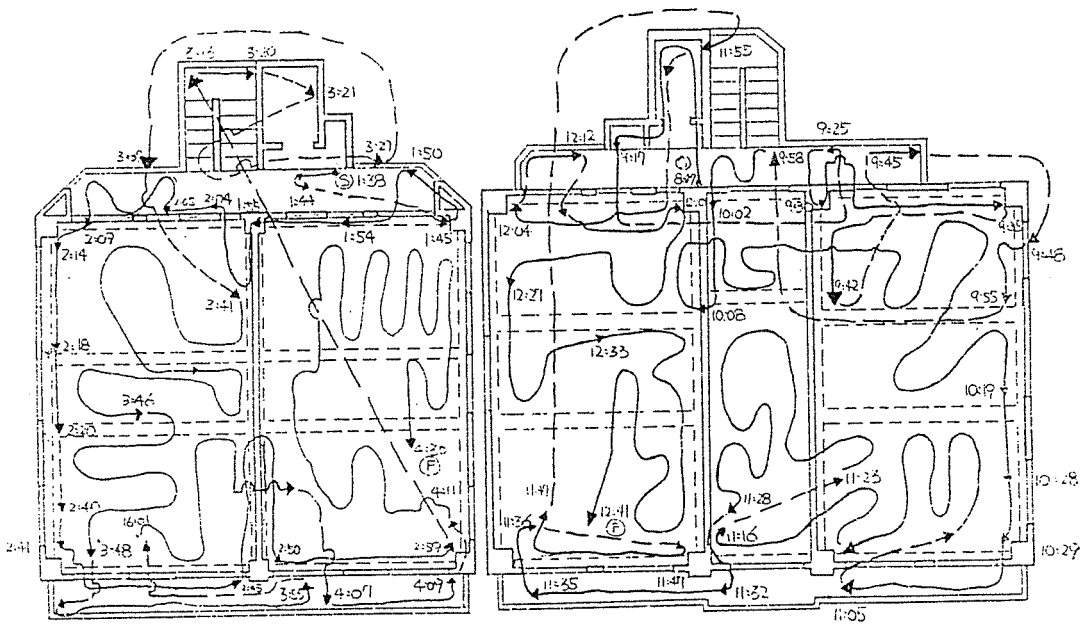
<그림 6> 콘크리트 타설이음시간과 施工不良 發生 장소와의 關係(左同)



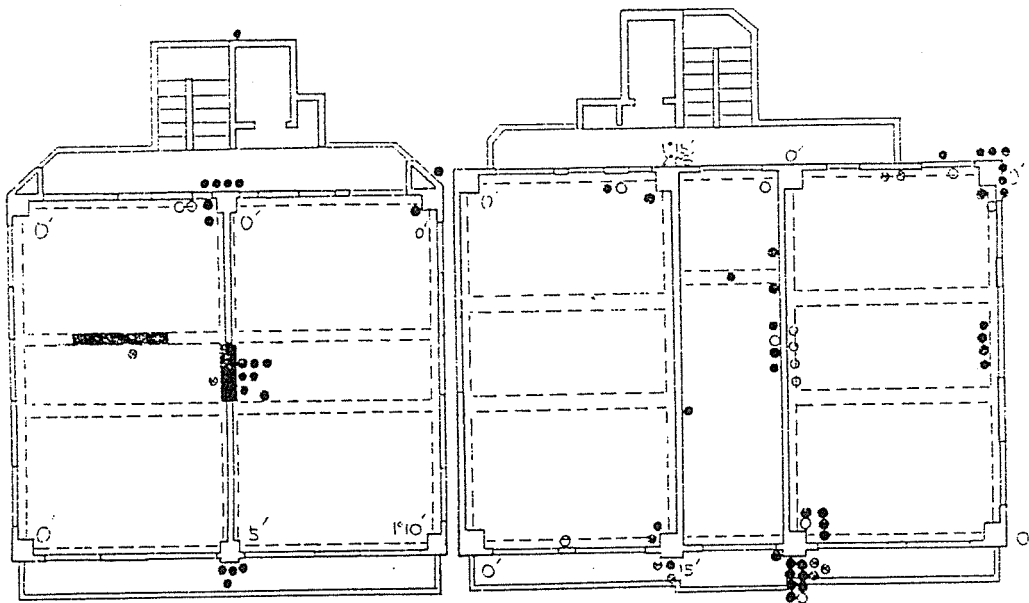
<그림 7> 콘크리트의 타설순서와 타설이음시간과의 관계(O 빌딩, 아파트, 2층)



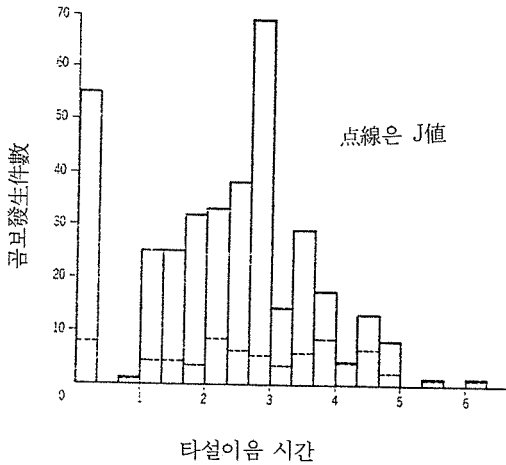
<그림 8> 콘크리트의 타설이음시간과 施工不良 發生 장소와의 關係(左同)



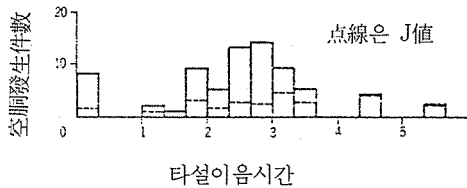
<그림 9> 콘크리트의 타설순서와 타설이음시간과의 關係(S빌딩, 아파트 7층)



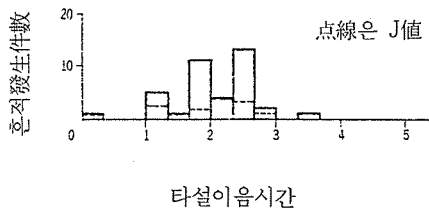
<그림 10> 콘크리트의 타설이음시간과 施工不良 發生장소와의 關係(上同)



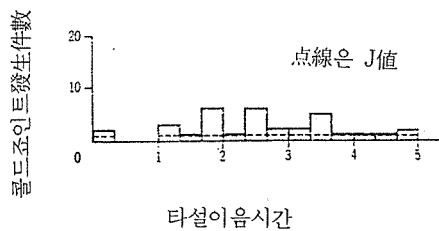
<그림 11> 공보 발생件數와 타설이음시간과의 관계



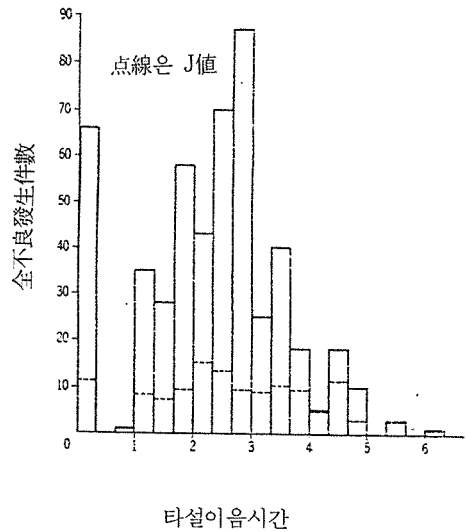
<그림 12> 空洞 발생件數와 타설이음시간과의 관계



<그림 13> 혼적 발생件數와 타설이음시간과의 관계



<그림 14> 콜드조인트 발생件數와 타설이음시간과의 관계



<그림 15> 不良發生件數와 타설이음시간과의 관계

單位件數	不良 建物	공 보	空 洞	혼 적	콜드 조인트	균 열	合 計 (件)	百 分 率 (%)
81	S 아파트	57	15	7	2	0	81	29
77	Y 빌딩	54.7	6.7	9.6	6	0	77	27.6
563	O 아파트	41.5	16.5	0.5	5	1.5	65	23.3
	T 빌딩	41	9	4.3	2	0	56.3	20.1
構成比率(%)		合計 (件)	194.2	47.2	21.4	15	1.5	279.3
		百分率 (%)	69.7	16.9	7.7	5.4	0.5	

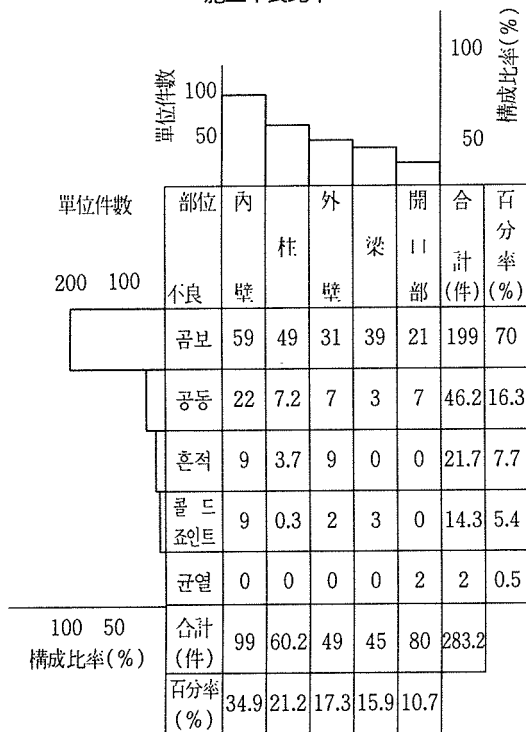
<그림 16> 建物用途, 構造形式과 施工不良 單位件數와의 關係에 대한 二元表

用途	施工不良의 件數比率(%) ¹⁾		거꾸집單位面 ²⁾ 積當件數 (件/㎡)
	C	100	
S 아파트	M 70.4	K18.5 A8.6	0.66 (1件/16.7㎡)
O 아파트	M 63.8	K 25.4 C 7.7	H2.3 A0.8 0.1 (1件/10㎡)
Y 빌딩	M 71	K8.7 C7.8	0.05 (1件/20㎡)
T 빌딩	M 72.8	K16 A7.7	0.03 (1件/33.3㎡)
		C 3.5	

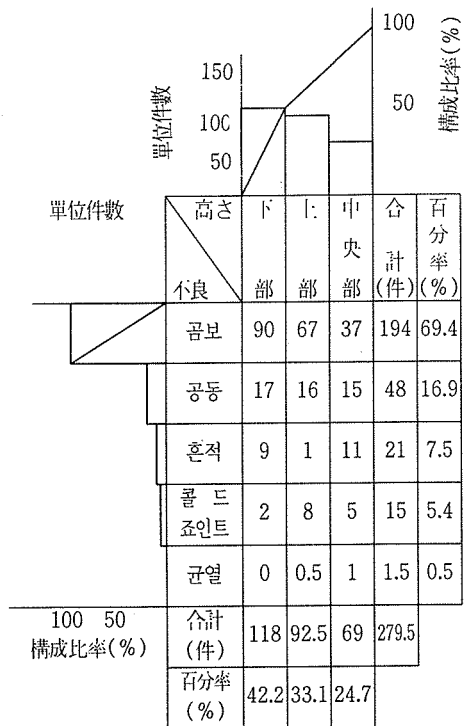
(凡例 M : 곰보, K : 空胴, C : 콜드조인트
A : 흔적, H : 균열)

注) * 모든 시공불량건수에 대한 단위건수
* 거꾸집 단위면적에 대한 건수

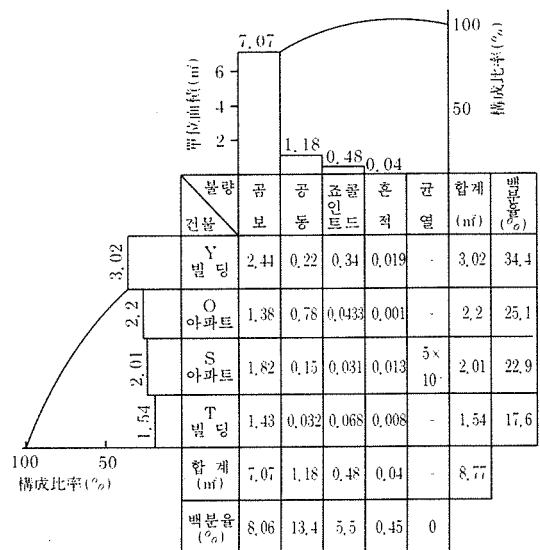
<그림 17> 建物用途別·거꾸집單位面積당
施工不良比率



<그림 18> 建物部位와 施工不良單位件數와의
關係에 대한 二元表



<그림 19> 部材높이 位置와 施工不良單位件數와의
關係에 대한 二元表



<그림 20> 建物用途, 構造形式과 施工不良單位面積
과의 關係에 대한 二元表

<표 9> 거푸집 면적에 대한 불량건수

용도 \ 항목	불량 건수 (A, 건)	거푸집 면적 (B, m ²)	거푸집 단위건수 (A/B, 건/m ²)	거푸집 단위면적 (B/A, m ² /건)
Y 빌딩(SRC조)	231	4,502	0.05	19.5
T 빌딩(RC조)	169	5,360	0.03	31.5
O 아파트(RC조)	130	1,272	0.10	9.8
S 아파트(SRC조)	81	1,254	0.06	15.5

<표 10> 施工不良種類에 따른 單位面積當 單位件數

項目 \ 不良	施 工 不 良				
	豆 板	空 洞	흔 적	콜드조인트	균 열
不良單位件數 (D, 件)	199 (427)	46 (95)	22 (50)	15 (36)	2 (3)
不良單位面積 (E, m ²)	7.07 (16.2)	1.18 (2.46)	0.04 (0.098)	0.48 (1.34)	- -
單位面積當 單位件數 (D/E, 件/m ²)	28.1 (26.4)	38.9 (38.6)	550 (510.2)	31.3 (26.9)	
單位件數當 單位面積 (E/D, m ² /件)	0.04 (0.04)	0.02 (0.02)	0.002 (0.002)	0.03 (0.04)	

注：()內的 値은 施工不良種類에 따른 不良全體件數 및 不良全面積과의 比率

<표 11> 거푸집面積에 대한 不良全面積比率

항목 \ 用途	不良全面積 (C, m ²)	거푸집 面積 (B, m ²)	거푸집 平均不良 面積比率(C/B, %)
Y 빌딩 (SRC造)	9.07 (3.02)	4,502 (1,500)	0.2 (0.2)
T 빌딩 (RC造)	4.63 (1.54)	5,362 (1,787)	0.09 (0.09)
O 아파트 (RC造)	4.41 (2.20)	1,272 (636)	0.35 (0.34)
S 아파트 (SRC造)	2.02 (-)	1,254 (-)	0.16 (-)

注：()內的 値은 各建物の 不良單位面積 및 거푸집 單位面積과의 比率

한편, 시공불량을 건물용도별로 보면 고풍의 단위건수는 사무실 빌딩쪽이 71~73%로 아파트 64~70%보다 약간 크다. 그러나, 공동의 경우에는 역으로 아파트쪽이 19~25%로 사무실빌딩의 9~16%보다 크게되는 경향을 나타내었다.

곰보의 발생원인을 타설상황으로 정량분석 할 수는 없지만, 콘크리트의 봉형진동기, 두들김, 다짐의 불충분과, 철근의 배근상황에 의해 콘크리트의 채움정도가 나쁘기도 하고 층수가 높아 콘크리트가 분리되었기 때문이라 생각된다. 이 결과에서 곰보발생은 건물의 용도, 구조형식, 규모에 큰 영향을 받는것을 알 수 있다.

표 9에 거꾸집 면적에 대한 불량건수를 나타내었다. 여기서 아파트(O, S빌딩)의 불량건수 비율을 0.06~0.1건/m²으로 사무실(Y, T빌딩, 0.03~0.05건/m²)보다도 큰 값을 나타내었다. 그러나 구조별로는 차이가 없었다. 이와같이 아파트에 시공불량이 많은 곳은 ① 벽면적이 넓은 곳 ② 부재단면이 작은 곳 ③ 배근이 치밀하여 다짐이 불충분한 장소가 있기 때문이다. 사무실 빌딩은 구조형식이 달라도 단위건수는 유사한 경향이다.

4. 3. 2 건물부위가 시공불량에 미치는 영향

그림 18에 건물부위와 시공불량 종류에 따른 단위건수 및 구성비율을 나타내었다. 여기서 건물부위에 따른 시공불량은 내벽에 가장 많아 전체의 약 35%를 차지하고, 다음으로 기둥(약 21%), 외벽(약 17%), beam(약 16%), 개구부(약 11%)순이다. 수직부재에 발생한 시공불량의 구성비율은 벽이 약 52%, 기둥이 약 21%로 전자가 후자의 2배 이상이다. 벽에 시공불량이 많은 것은 ① 벽 면적이 기둥보다 클때, ② 벽두께가 기둥보다 얇기 때문에 콘크리트의 충전이 나쁘게 되거나 ③ 콘크리트를 경사지게 타설한 경우나 ④ 콘크리트가 철근부

위에서 재료분리된 경우 등이 주요 원인이라고 생각된다.

또한, 수평부재에 발생한 벽체 중 특히, 외벽의 시공불량이 내벽보다도 적은 것은 콘크리트 다짐작업시 내면보다도 주의해서 시공하였기 때문이다. 수평부재에 발생한 beam의 시공불량은 고풍이 약 87%이고 공동, 콜드조인트가 6% 발생하였다. 빔의 시공불량은 기둥과 빔 접합부의 배근이 치밀한 장소 또는 빔 하부 철근이 치밀한 곳 등에 많이 발생된다. 이곳들은 봉형진동기가 들어가기 어렵고 다짐작업이 곤란한 것이 원인이라고 생각된다.

시공불량의 종류로는 각 부위에서 고풍이 가장 많아 전체의 약 70%를 차지하고 있다. 이 중에서도 내벽의 고풍 단위건수가 59건으로 가장 많고, 이어서 기둥(49건), 빔(39건), 외벽, 개구부 순이다.

이 결과에 의하면 고풍의 시공불량 발생 위치는 외벽, 개구부와 같이 미관에 영향을 주는 곳에서는 작은 경향이다.

4. 4. 3 부재높이가 시공불량에 미치는 영향

그림 19에 부재높이(층 높이)별 시공불량 종류에 따른 단위발생건수 및 구성비율을 나타내었다. 분석검토는 부재높이위치(바닥 slab에서 다음층 바닥 slab밑까지의 층높이)를 상부, 중부, 하부로 구분하여 실시하였다. 빔의 시공불량 건수는 상부에 포함시켰다.

층높이에 따른 시공불량의 구성비율은 하부가 가장 많아 전체의 약 42%를 차지하고 상부가 33%, 중앙부가 25%순이다. 하부위치에서 시공불량이 많은 것은 다짐용 진동기가 부재의 하단까지 넣을 수 없는 요인과 거꾸집 진동기, 두들김 등 다짐작업이 불충분한 곳 및 콘크리트 타설높이가 높아 콘크리트가 분리하는 등의 이유 때문이다.

또한, 상부의 시공불량은 기둥과 빔, 기둥과 벽의 접합부다짐의 곤란도, 및 배근이

치밀해서 콘크리트가 철근에 screening되어 분리되었기 때문이다.

4. 4 시공불량 종류에 따른 면적

4. 4. 1 건물용도, 구조형식이 시공불량에 미치는 영향

그림 20에 건물용도, 구조형식과 시공불량의 단위면적 및 구성비율을 나타내었다. 여기서 건물용도별 시공불량의 단위면적은 사무실빌딩이 4.5㎡로, 구성비율로는 사무실빌딩이 4.5㎡로, 구성비율로는 52%이고, 아파트의 약 48%보다 약간 큰 경향이다. 또한, 구조형식별 시공불량의 단위면적은 SRC조가 50.3㎡로 구성비율이 57.3%되어, RC조의 약 43.74㎡로, 구성비율 42.7%보다 크다.

한편, 시공불량 종류에 따른 단위면적비율은 곰보가 약 81%(약 7㎡)로 가장 크고, 이어서 구멍(약 13%), 콜드조인트, 흔적 순이다. 또 시공불량의 종류를 건물용도별로 보면(그림 21참조) 곰보의 단위면적비율은 사무실빌딩이 81~93%로 아파트의 63~90%보다 크다.

구멍의 경우는 역으로 아파트쪽이 8~35%로 사무실 빌딩 2~7%보다 큰 경향을 나타내었다. 특히, 아파트 O빌딩은 구멍면적이 약 35% 차지하고, 다른 건물과 다른 경향을 나타내고 있다. 이것은 1층 외벽에 약 1㎡ 구멍이 발생하였기 때문이다. 또 아파트 O빌딩은 평균 타설이음시간이 약 2시간 30분으로 다른 건물보다 약간 길어져 다짐이 지연되거나 콘크리트의 단위타설량이 적고 콘크리트 운반량이 적게 되어 슬럼프가 소정의 값보다 작게되어 콘크리트 충진이 불충분하였기 때문이다.

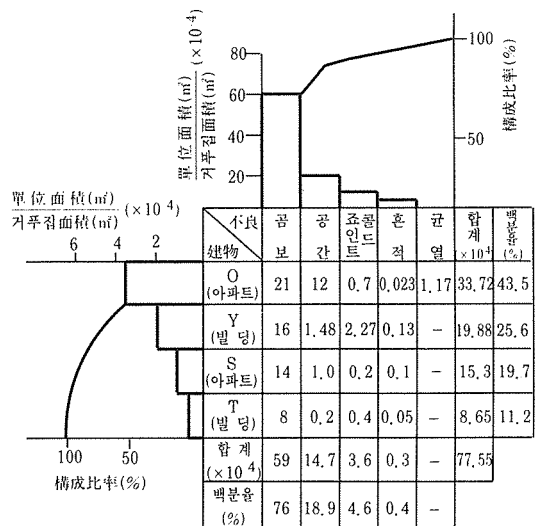
표 10에 시공불량의 단위면적에 대한 비율을 나타내었다. 이 결과 곰보의 면적은 약 28㎡에 1건이고, 이어서 콜드조인트(약 38㎡), 흔적(약 550㎡)이 되었다. 또한 시공불량인 단위면적 비율의 발생빈도는 단위

건수빈도와 다르게 나타내었다.

比率 用途	施工不良の面積比率(%)		不良總面積(㎡) 거푸집面積(㎡)
	50	100	
T 빌딩 (RC造)	M 33	K2.1 C4.4	A0.5% 8.6 × 10 ⁴
Y 빌딩 (SRC造)	M80.7	K7.3 C11.3	A0.5 20 × 10 ⁴
S 아파트 (SRC造)	M90.1	K7.7	C1.5 A0.7 16 × 10 ⁴
O 아파트 (RC造)	M62.7	K35.3	C2 A0.07 34 × 10 ⁴

(凡例/M: 곰보, K:空洞, C: 콜드조인트,
A: 흔적 H: 균열)

<그림 21> 建物用途別 不良總面積에 대한 各種 不良面積 比率 및 거푸집面積에 대한 不良總面積과의 比率



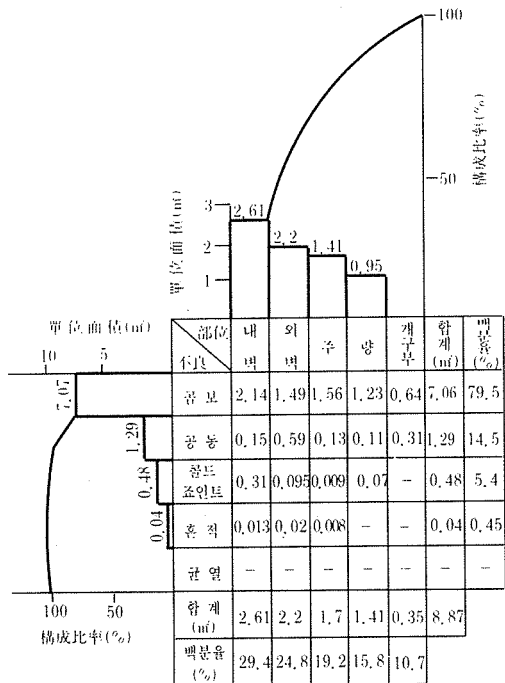
<그림 22> 建物用途, 構造形式과 單位面積/거푸
집面積과의 關係에 대한 二元表

표 11, 그림 22에 거푸집면적에 대한 시공불량의 면적비율을 나타내었다. 여기서 시공불량 종류에 의한 면적비율은 곰보가

<표 12> 部位別 不良單位面積에 대한 不良單位件數

項目	部位	部 位				
		內 壁	柱	外 壁	梁	開口部
不良單位件數 (F, 件)		99 (217)	60 (124)	49 (104)	45 (108)	30 (58)
不良單位面積 (G, m ²)		2.61 (6.14)	1.7 (3.99)	2.2 (4.46)	1.4 (3.55)	0.9 (1.99)
單位面積當 單位件數 (F/G, 件/m ²)		37.9 (35.3)	35.3 (31.1)	22.3 (23.3)	32.1 (30.4)	33.3 (29.1)
單位件數當 單位面積 (G/F, m ² /件)		0.03 (0.03)	0.03 (0.03)	0.04 (0.04)	0.03 (0.03)	0.03 (0.03)

注 ()內的 値은 部位別 全不良件數 및 全不良面積과의 比率



<그림 23> 建物部位와 施工不良單位面積과의 關係에 대한 二元表

약 0.59%로 구성비율로는 76%로 가장 크

고, 이어서 구멍(약 0.15%), 콘크리트, 혼적 순으로 나타내었다. 이는 단위 면적과 같은 경향을 나타내었다.

한편, 건물용도별 면적비율은 아파트가 0.49%, 구성비율로 약 63%이고, 사무실 빌딩의 0.28%(구성비율 약 37%)보다 큰 경향을 보이며, 구조형식에 따른 면적비율은 RC조 쪽이 SRC조 보다 큼을 알았다. 이 결과로 보면 시공불량의 면적비율은 거주면적의 크기 뿐만아니라 건물용도에 의한 영향도 크게 받는다.

4. 4. 2 건물부위가 시공불량에 미치는 영향

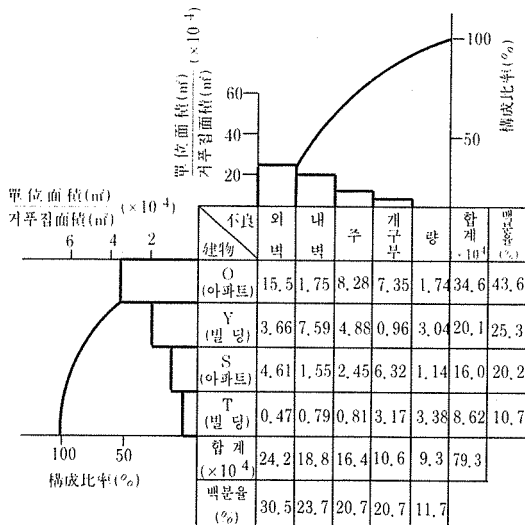
그림 23에 건물부위와 시공불량의 단위 면적 및 구성비를 나타내었다. 여기서 시공 불량의 단위면적은 내벽이 약 2.6m², 구성비로는 30%로 가장 크고, 이어서 외벽 2.2m² (25%), 기둥 약 1.7m² (19%), beam, 개구부 순으로 적다.

단위면적은 수직부재중 얇은 벽쪽이 기둥보다 약 2.8배이다. 이것은 콘크리트의 타설난이도와 배근의 치밀도에 의한 영향이라고 생각된다. 시공불량 종류에 따른 단위면

적은 곱보가 7㎡, 구성비가 약 80%로 가장 크며, 이는 모든 부위에서도 가장 많고, 다음으로 구멍(약 1.3㎡), 콜드조인트, 혼적순이다.

<표 12>은 시공불량의 단위면적에 대한 단위건수비율로 외벽에 발생한 단위면적은 약 22㎡으로 1건 확인되었고, 이어서 빔, 개구부(약 32㎡), 기둥(약 36㎡), 내벽(38㎡)로 되어 외벽일수록 적어졌다.

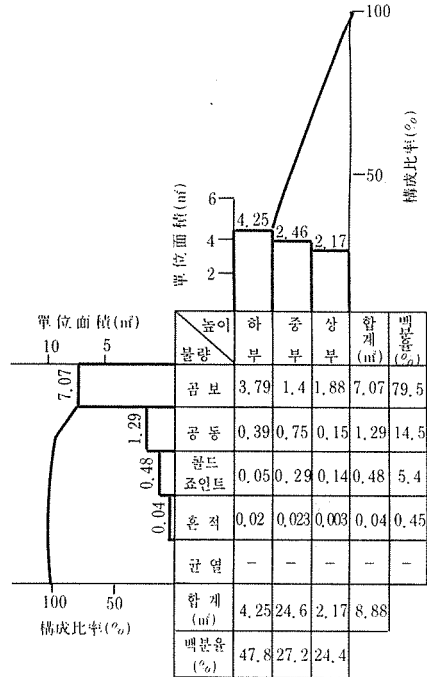
<그림 24>는 거푸집면적에 대한 시공불량 면적비율을 나타낸 것으로 부위에 따른 시공불량 면적비율은 외벽이 약 0.24%(구성30%) > 내벽(0.19%) > 기둥(0.16%) > 개구부 > 빔 순이었다.



<그림 24> 建物用途構造形式과 單位面積/거푸집면적과의 關係에 대한 二元表

또한 외벽, 내벽의 면적비율은 전체의 약 54%를 차지하고 있다.

건물용도별 면적비율은 아파트가 0.51%, 구성비율로 약 64%로 되어 사무실 빌딩의 약 0.29%(구성비율 약 36%)보다 크게 되는 경향을 나타내었다.



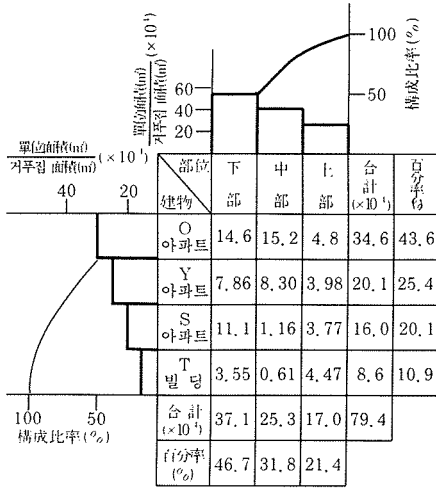
<그림 25> 部材높이와 單位面積과의 關係에 대한 二元表

구조형식별 면적비율은 RC조(약 0.43%) 쪽이 SRC(0.36%)보다 큰 것을 알았다. 이 경향은 4-4-1항의 「건물용도, 구조형식이 시공불량에 미치는 영향」의 경향과 같다.

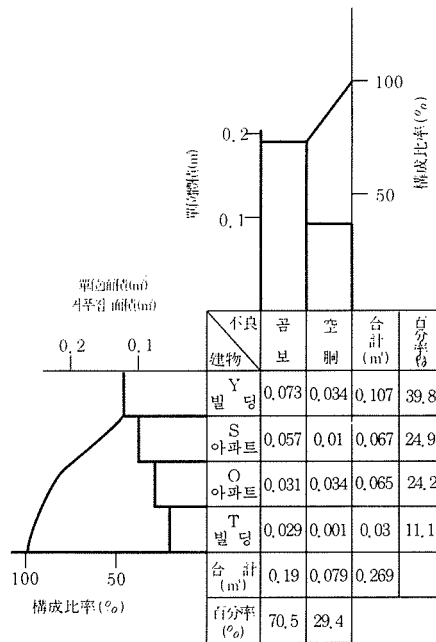
4. 4. 3 부재높이 위치가 시공불량에 미치는 영향

<그림 25>에 부재높이(층 높이)의 위치와 시공불량의 단위면적 및 구성비율을 나타내었다. 여기서 부재높이의 단위면적은 하부가 약 4.3㎡으로 가장 크고 구성비율로 약 48%차지하고 이어서 중부(약 2.5㎡) 상부(약 5.2㎡) 순으로 작다.

하부에서 시공불량의 단위면적이 큰 것은 타설시에 콘크리트의 분리와 다짐작업이 곤란한 것 때문이라고 생각된다. 특히 ① 콘크리트 봉형 진동기가 부재의 하부까지 삽입될 수 없는 층높이로 되어 있는 곳 ② 거



<그림 26> 建物用途, 構造形式과 單位面積/거푸집 면積과의 關係에 대한 二元表



<그림 27> 建物用途, 構造形式과 單位體積과의 關係에 대한 二元表

割合	施工不良의 體積比率(%) ¹⁾		1m ³ 당 ²⁾ 不良體積
建物	0	100	
Y 빌딩 (SRC造)	공보 68.4	空胴 31.6	42×10 ⁴
T 빌딩 (RC造)	공보 95.9	空胴 4.1	13×10 ⁴
O 아파트 (RC造)	공보 47.6	空胴 52.4	92×10 ⁴
S 아파트 (SRC造)	공보 85.1	空胴 14.9	42×10 ⁴

<그림 28> 建物用途別 不良總體積에 대한 各種不良體積의 比率

注 * 1. 施工不良總體積에 대한 各 不良體積과의 比率

* 2. 總콘크리트에 대한 施工不良總體積과의 比率

푸집 진동기 사용의 불충분 ③ 콘크리트의 재료분리 등이 원인이다. 또한 곰보의 단위면적은 약 7m²으로 어느 위치보다 가장 큰 전체의 약 80%차지하고 있고 이어서 공동(약 1.3m³)골드조인트(약 5m³)혼적 순으로 되어 있다. 곰보의 단위면적은 부재 상·하부의 끝부분에 높은 비율로 발생하고 있다.

<표 13>에 시공불량의 단위면적에 대한 부재높이의 단위건수와와의 비율을 나타내었다. 이 결과 하부, 중부의 불량은 약 28m²로 1건 발생되어 상부(약 43m²에 1건)의 약 2배이다.

이 경향은 불량 총면적에 대한 비율과 같다. <그림 26>에 거푸집 면적에 대한 부재높이 위치에 따른 시공불량의 면적과의 비율을 나타내었다. 여기서 거푸집 면적의 단위면적 비율은 하부가 0.37%, 구성비율이 약 47%로 가장 크고 이어서 중부가 약 0.25%, 상부가 0.17%이었다.

이 경향은 부재높이의 위치에 의한 시공불량의 건수와 같다.

4. 5 시공불량 종류에 따른 체적

<표 13> 部材位置別 單位面積에 대한 單位件數

項 目	部 材 位 置		
	下 部	上 部	中 部
不良單位件數 (H, 件)	119 (239)	94 (209)	70 (165)
不良單位面積 (I, m ²)	4.25 (8.71)	2.17 (5.27)	2.46 (6.15)
單位面積當 單位件數 (H/I, 件/m ²)	28 (27.4)	43.3 (39.7)	28.4 (26.8)
單位件數當 單位面積 (I/H, m ² /件)	0.04 (0.04)	0.02 (0.03)	0.04 (0.04)

[注] ()內的 값은 部材높이에 따른 全不良件數 및 全不良面積과의 比率

<표 14> 不良單位(全)體積에 대한 不良單位(全)件數

用途	項 目	不良單位 件數(件)	不良單位 體積(m ³)	平均單位體 積比(件/m ³)	平均單位體 積件數(cm ³ /件)
Y 빌딩 (SRC造)		77 (231)	0.32 (1.06)	241 (218)	4,155 (4,588)
T 빌딩 (RC造)		57 (169)	0.03 (0.09)	1,900 (1,878)	526 (532)
O 아파트 (RC造)		65 (130)	0.06 (0.13)	1,083 (1,000)	923 (1,000)
S 아파트 (SRC造)		81	0.07	1,157	864

[注] ()內的 값은 各建物の 不良全件數 및 不良全體積과의 比率

<표 15> 타설콘크리트량에 대한 不良體積

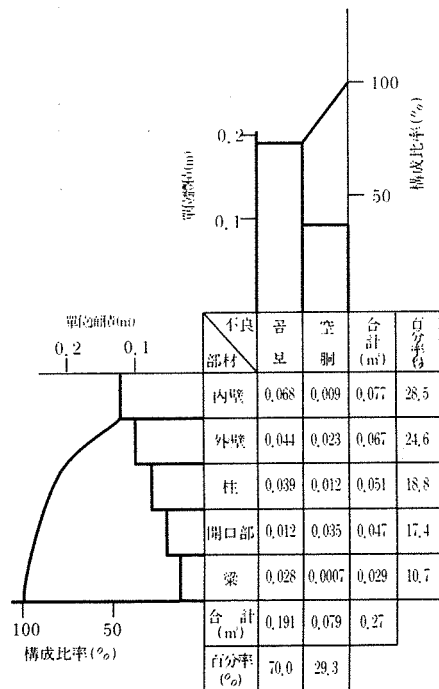
用 途	項 目	不良單位體積 (A, m ³)	콘크리트單位量 (B, m ³)	콘크리트 單位體積比率 (B, m ³)
Y 빌딩 (SRC造)		0.32 (1.06)	248 (745)	0.13 0.04 (0.14)
T 빌딩 (RC造)		0.03 (0.09)	236 (710)	0.01 (0.01)
O 아파트 (RC造)		0.06 (0.13)	71 (141)	0.08 (0.09)
S 아파트 (SRC造)		0.07	159	0.04

[注] ()內的 값은 各 建物の 不良全體積 및 콘크리트體積과의 比率

4. 5. 1 건물용도, 구조형식이 시공 불량에 미치는 영향

그림 27, 28에 건물용도, 구조형식과 시공불량 종류에 따른 단위체적 및 구성비율을 나타내었다. 여기서 건물용도별 시공불량의 단위체적은 사무실 빌딩이 약 0.14m³ (구성비율로 약 51%)로 되어, 아파트 단위체적과 거의 같은 값을 나타내었다. 구조형식에 의한 단위체적은 SRC조가 약 0.17m³(구성비율 약 65%)로 되어 RC조의 약 0.09m³보다 약 47%를 알았다.

또한 시공불량의 종류로는 곰보의 체적이 약 0.2m³으로 가장 많아 전체의 약 71% 차지하고 이어서 공동이 약 0.08m³(약 29%)로 되었다. 표 14에 건물용도, 구조별 시공불량의 단위체적 비율을 나타내었다. 이것으로 사무실 빌딩의 단위체적 비율은 약



<그림 29> 建物部位와 施工不良 單位體積과의 關係에 대한 二元表

2340cm³/건으로 아파트의 약 893cm³/건에 비해서 약간 큰 값을 나타내었다.

집합주택은 벽면적이 커서 평면구성이 복잡하고 부재두께가 얇은 곳에서부터 시공불량의 체적도 크게 되는 것이라고 생각되지만 실제로는 사무실 빌딩의 단위체적쪽이 아파트보다 약 60%크게 되었다. 이것은 조사건물의 규모가 작아 콘크리트의 타설량이 적은 것도 원인중의 하나이다.

한편, 구조별 단위체적비는 SRC조가 약 2509cm³/건으로 RC조의 약 724cm³/건보다 약 71%크다. 이것은 부재내에 H형강등 철골이 존재하여 배근이 치밀하였기 때문에 콘크리트의 충전성이 나빠 부재의 구석까지 충전되지 않은 것 등을 원인으로 들 수 있다. 한편 Y빌딩에서는 깊이 약 30cm의 구멍이 발생하였다.

<표 15>는 콘크리트타설량에 대한 시공불량의 단위체적 비율을 나타낸 것으로 이 표에 의하면 아파트의 단위체적 비율은 0.04~0.08% (평균 0.06%)이고 특히 아파트 O 빌딩의 단위체적 비율은 0.08%로, S빌딩의 약 2배이다. 사무실 빌딩의 단위체적 비율은 0.13~0.01%로 아파트의 일부보다도 적었다. O 빌딩의 단위체적비율이 큰 것은 건물규모가 작음에도 불구하고 단위건수가 65건, 단위체적비율이 약 1080건/m³, 단위체적 건수가 약 923m³/건으로 모두 많은 것은 당연한 결과이다.

또한, 표 15를 구조별로 보면 SRC조의 단위체적 비율은 0.09%로 RC조의 0.03%보다 65%크다. 이러한 경향은 표 14, 그림 27의 건물용도, 구조별 발생량과 같게 나타내었다.

4. 5. 2 건물부위가 시공불량에 미치는 영향

그림 29에서 건물부위와 시공불량 종류에 따른 단위체적 및 구성비율을 나타내었다. 여기서 시공불량의 단위체적은 내벽이

약 0.08m³(구성비율로 약 28.5%)로 가장 크고, 다음에 외벽이 약 0.07m³(약 25%), 기둥, 개구부가 약 0.05m³(약 18%) beam 순으로 작은 값을 나타내었다. 또, 곰보의 단위체적은 약 0.19m³(구성비율로 약 71%)로 단위면적과 같은 경향으로 벽, 기둥의 수직부재에 많이 발생하고 있다.

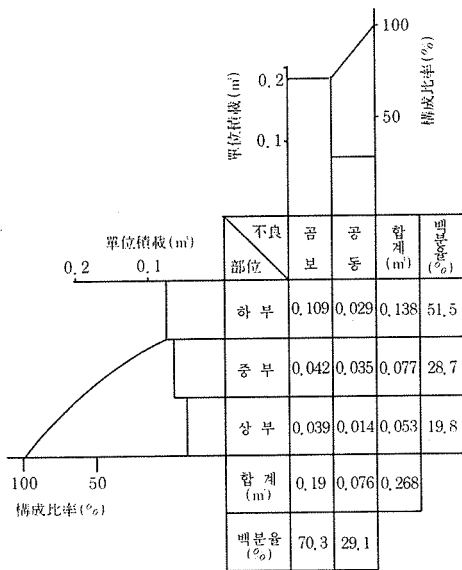
한편, 개구부 공동의 단위체적은 0.035m³으로 곰보보다 약 4배로 다른 부재와 다른 비율을 나타내었다. 개구부의 벽은 일반벽보다 배근이 치밀하게 되어있어 벽의 상부에서 콘크리트를 타설하므로 개구부 하부에서 콘크리트의 채움이 나쁘게 되어 구멍이 발생한 것이라고 생각된다.

4. 5. 3 부재높이 위치가 시공불량에 미치는 영향

그림 30에 부재높이(층높이)위치와 시공 불량 종류에 따라 단위체적 및 구성비율을 나타내었다. 여기서 단위체적은 하부에서 약 0.14m³으로 전체의 약 52%를 차지하고 있고 다음으로 중부(약 0.08m³), 상부(약 0.05m³)순으로 작아지고 있다.

또한, 곰보의 단위체적은 약 0.2m³으로 전체의 약 71%를 차지하고 있고, 공동이 약 0.08m³이었다. 그러나 중부의 벽에서는 공동의 단위체적이 가장 큰 값을 나타내었다. 또한 부재단부(상·하부)에 발생한 단위체적은 전체의 약 71% 차지하고 있다.

(다음호에 계속, Citation : 세멘트·콘크리트 No.510, pp. 32~47)



<그림 30> 부재높이 위치와 施工不良 單位體積과의 關係에 대한 二元表