

하부압입공법에 의한 콘크리트 충전강관(CFT)기둥의 충전특성에 관한 실험적 연구

Experimental Study on the Infilling Characteristics of CFT Column Infilled by
Pumping-Up Below

김 명 모¹⁾ · 전 상 우²⁾
Kim, Myoung Mo Jeon, Sang Woo

요 약 : 콘크리트 충전강관(CFT) 기둥의 하부압입공법의 시공성을 평가하기 위해 6개의 실대규모 시험체에 대한 시험시공을 실시하였다. 시험체의 규모는 4개층 규모의 12.8m높이로 하여 콘크리트 압입 높이가 12m가 되도록 하였다. 사용된 콘크리트는 설계기준강도 450kgf/cm² 급의 고성능콘크리트이며 콘크리트 펌프는 국내에서 일반적인 시공시 사용하는 것을 채택하였다. 시공중 배관 및 펌프의 압력변화 특성, 콘크리트의 물성변화 등을 측정하여 시공성을 평가하였고 콘크리트가 굳은 후 기둥을 해체하여 콘크리트의 충전상태, 기둥높이에 따른 콘크리트 강도의 분포 등을 검사하여 콘크리트 품질을 확인하였다. 실험결과로부터 기본적인 압력특성 데이터를 제시하였으며 콘크리트의 충전성과 강도특성도 양호한 것을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT : To evaluate the applicability of the construction method involving infilling CFT columns by pumping-up, a trial construction was done using 6 actual size test samples. The 12.8m-high test samples were similar to a four-story building scale. The pumping-up level was controlled at 12m. The test used two types of high performance concrete with 450kgf/cm² standard design strength, and a concrete pump which is used domestically. The pressure changes in pipes or pump as well as the changes in concrete characteristics were measured during construction, in order to evaluate applicability. After the concrete hardened, the column was dismantled. The filled state of the concrete, concrete strength distribution according to column height, etc., were checked to evaluate the quality of the concrete. From the results, some basic data which characterize the pumping-up pressure were suggested. Also, the strength of hardened concrete as well as the filled state were proven to be acceptable ranges.

핵심용어 : 콘크리트 충전강관 기둥, 하부압입, 시험시공, 고성능콘크리트, 압력변화

KEYWORDS : CFT column, Pumping-up below, Trial construction, High performance concrete, Pressure change

1. 서론

콘크리트 충전강관(CFT) 기둥은 강관기둥에 콘크리트를 충전하는 방법에 따라 상부타설공법과 하부압입공법으로 구분할 수 있다. 상부타설공법은 콘크리트 펌프를 사용하여 기둥 상부의 트레미관 입구까지 콘크리트를 압송하면 무난하게 시공이 가능하나 기둥에 내부다이아프램이 있을 경우 다이아프램 하부에 콘크리트가 밀실하게 충전되지 않을 수가 있어 충

전성 측면에서 다소 불리한 것으로 알려져 있다. 하부압입공법은 콘크리트 펌프(카)를 사용하여 기둥 하부의 주입구로부터 콘크리트를 압입하는 방식이므로 다이아프램 하부는 콘크리트의 충전압에 의해 밀실하게 충전되고 다이아프램 상부는 콘크리트의 자중에 의해 충전성이 확보될 수 있어 품질면에서 우수한 것으로 평가되고 있다. 그러나 하부압입 시공 시에는 콘크리트의 유동성이 좋아야 하며 재료분리에 대한 저항성 등이 우수한 고유동콘크리트를 사용해야 한다. 또한 콘크리트

1) 정희원, 위덕대학교 건축시스템공학부 전임강사, 공학박사
2) 정희원, RIST강구조연구소 건축구조연구팀, 공학박사

본 논문에 대한 토의를 2002년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

펌프를 사용한 충전시공 기술의 확립이 선행되어야 한다. CFT기둥의 시공실적이 많은 일본에서는 주택, 사무실, 백화점 등의 다양한 고층건물에 CFT기둥의 하부압입공법을 적용한 예가 있다. 사용되는 콘크리트는 강도 240kgf/cm² ~ 600 kgf/cm² 범위가 일반적으로 쓰이고 있으며 건물의 고층화에 따라 고강도강과 600kgf/cm²이상의 고강도·고유동콘크리트가 점차 많이 쓰이는 추세이다. 충전시공 기술도 콘크리트의 1회 압입 높이를 40m이상까지 가능할 정도로 발달되어 있다^{(4),(5)}. 그러나 국내에서는 다양한 고강도·고유동 콘크리트가 개발되고 있지만 아직 CFT기둥에 대한 압입 시공실적은 3층 규모의 9m정도의 시험체에 대한 일부 시공실험과^{(6),(7)} 일부 재에의 부분적용 정도에 머물러 있는 수준이다. 본 연구에서는 국내에서 일반적으로 쓰이는 시공장비와 재료를 사용하여 압입높이가 12m 이상인 4개 층의 실대 규모의 CFT기둥시험체 6개에 대한 하부압입 시공실험을 수행하여 강관부와 배관부의 압송부하 특성을 분석하였고 경화전후의 콘크리트 물성을 계측하여 품질을 평가하였으며 향후 국내의 CFT 시공 지침 제·개정시 본 연구의 결과가 활용되기를 기대한다.

2. 충전시공실험

2.1 실험계획 및 방법

2.1.1 고강도·고유동콘크리트

국내에서 기 개발된 설계기준강도 450kgf/cm²급 이상의 고강도·고유동 콘크리트의 배합을 근거로 하여 목표품질을 얻을 때까지 배합의 각 부분을 조절하여 두 가지의 최종배합을 선정하여 각각 R배합과 SS배합으로 구분하였다. R배합에서

표 2.1 사용 콘크리트의 재료 구성

재료	기호	비고
시멘트	LHC	4종시멘트 ; 비중 3.22; Blaine 3,500cm ² /g
	BSC	슬래그시멘트; 비중 3.05; Blaine 3,850cm ² /g
잔골재	S	강사
굵은골재	G	19mm 쇄석
혼화제	SP	폴리카본산계 고성능 AE감수제
증점제	MC	메틸셀룰로오스계
석회석 미분말	LP	비중 2.7; Blaine 3,000cm ² /g

표 2.2 사용 콘크리트의 최종 배합비

Mix	Gmax (mm)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)						
				W	C	LP	S	G	MC	SP
R배합 (BSC)	19	30	46	165	550	-	794	944	-	11.00
SS배합 (LHC)	19	51	46	161	315	343	660	787	0.081	10.53

는 결합재로 고로슬래그 시멘트를 사용하였고 SS배합에서는 수화발열 특성이 우수한 4종(저열) 포틀랜드시멘트를 사용하였다. SS배합에서는 골재 및 혼화제는 동일한 것을 사용하였고 혼화제로 석회석미분말등을 사용하였으며 점성을 확보하기 위해 증점제를 사용하였다. 콘크리트의 구성 재료와 최종 배합비는 표 2.1과 표 2.2에 나타난 바와 같다. 굳지 않은 콘크리트의 품질의 변화는 운반 및 충전시간을 고려하여 2시간에 초기값 대비 10%이내가 되도록 하였으며 최종배합에 의해 생산된 콘크리트는 온도 18.5°C에서 표 2.3과 같은 특성을 보여 고유동 콘크리트로서의 품질을 만족하는 것으로 나타났다.

표 2.3 최종 배합에 대한 시험 결과

시험 항목	목표치	시험치					
		R배합			SS배합		
		0hr	1hr	2hr	0hr	1hr	2hr
Slump Flow(cm)	65±5	69.0	70.0	66.0	69.0	68.0	67.5
Air(%)	3±1	1.4	1.6	1.5	1.9	2.2	2.1
50cm Slump Flow 도달시간(초)	9±3	8.7	10.5	11.5	10.4	11.2	11.8
V _{6.5} -Lot유하시간(초)	25±5	27.4	27.9	29.5	28.5	29.0	29.4
U관 단차(cm)	≤5	1.0	3.0	5.0	0.5	2.5	4.5

2.1.2 강관기둥 시험체

충전강관 기둥 시험체의 높이는 철골조 고층아파트 모델⁽⁹⁾의 하부 4개 층 규모인 12.8m(3.5m+3×2.9m+0.6m)로 하였다. 실제 설계된 기둥과의 동일성을 위해 강관 내부를 398mm×398mm로 하였으며 Built-up 부재를 사용하였다. 기둥 시험체의 상세는 그림 2.1과 같으며 각각의 기둥은 8개의 앵커볼트가 설치된 콘크리트 기초에 지지되도록 하였다.

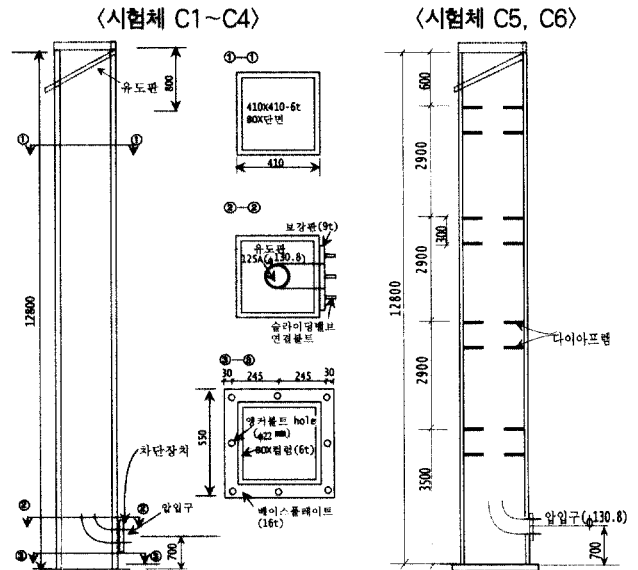


그림 2.1 기둥시험체 상세

기둥시험체의 개수는 콘크리트의 종류, 내부 다이아프램의 유·무, 타설속도 등의 변수를 고려하기 위해 표 2.4와 같이 총 6개로 결정하였다.

시험체 C5와 C6에는 30cm 간격의 내부 다이아프램을 4개 층에 총 8개를 설치하였으며 다이아프램 중앙에 직경 180mm의 콘크리트 통과구멍을 설치하였다. 콘크리트 통과구멍의 면적비가 작을수록 보-기둥 접합부의 내력특성이 좋게 되지만 시공성과 충전성은 불리하게 된다. 일본 건축학회의 건축공사 표준시방서 JASS6 철골공사에 따르면 CFT 구조의 다이아프램에서 원형의 콘크리트 통과구멍은 충전콘크리트 단면적의 15% 이상을 일반적으로 하며 직경이 100mm 이상이 되도록 하고 있다. 그러나 하부 압입의 경우 일부 실적 자료^{(2),(4),(5)}에 의하면 단면치수 600×600mm~900×900mm의 기둥에 직경 180mm~300mm 정도의 콘크리트 통과구멍을 두고 있으며 단면적 비가 6%이하인 경우도 있는 것으로 나타나고 있어 재료와 시공기술이 뒷받침 될 경우 기둥 단면의 크기를 고려하여 통과구멍의 단면적 비를 가급적 작게 하고 있는 것으로 판단된다. 본 연구에서는 일본의 실적 자료를 참고하고 국내 현실을 고려하여 콘크리트 통과구멍의 직경을 180mm(단면적비 16%)로 하여 비교적 시공성과 충

표 2.4 기둥시험체의 구분

구분	C1	C2	C3	C4	C5	C6
배합	R	SS	SS	SS	R	SS
다이아프램	무	무	무	무	유	유
기본 타설속도	25m ³ /hr	25m ³ /hr	50m ³ /hr	75m ³ /hr	25m ³ /hr	25m ³ /hr

그림 2.2 시험체 전경과 주입구 및 기둥상부 모습

전성 측면에서 불리하도록 콘크리트 통과구멍을 설정하였다. 다이아프램의 모서리에는 직경 30mm의 공기빠짐구멍 4개를 가공하였다. 콘크리트의 압입속도는 일본의 시공실적 자료를 참고하여 25m³/hr정도를 기본으로 하였고 그 이상의 타설속도에 대해서도 실험을 수행하고자 하였다.

충전작업을 용이하게 하기 위해 기둥의 70cm 높이에 압입구를 설치하였고 콘크리트 충전후 주입을 차단하기 위하여 슬라이드 밸브 형식의 차단장치를 부착하였으며 기둥상부에는 유도판을 설치하여 흘러넘치는 콘크리트를 받아 충전후의 시료를 채취할 수 있도록 하였다. 또한, 충전 속도 확인을 위하여 각 기둥에 직경 10mm의 충전확인공을 1.2m 간격으로 10개소에 설치하였다.

2.1.3 배관 및 콘크리트펌프

콘크리트 압송관은 일반적으로 널리 쓰이는 125A관을 사용하였고 배관의 총 길이는 현장의 부지여건을 고려하여 선단 호스를 포함하여 33~35m로 하였다. 기본적인 배관 계획은 그림 2.3과 같다. 그림에 표시되지 않은 C2, C4, C6은 각각 C1, C2, C5와 동일한 배관길이가 되도록 직선구간 21.5m 이후 구간이 대칭으로 설치되도록 하고 시공 시에는 시험체에 따라 단부 배관을 이설하도록 계획하였다. 그림에서 P1, P2, P5는 압력 계측 위치를 나타낸다.

일본 건축학회의 콘크리트 펌프공법 시공지침(1994)에 따르면 콘크리트 펌프에 가해지는 배관의 압송부하는 다음과 같은 식(1)에 의해 산정되며, 식(1)에 따라 계산된 압송부하(P)의 1.25배 이상의 최대 이론토출압력을 갖는 기종으로 선정되도록 하고 있다.

$$P = P_p + P_c$$

$$= K(L+3B+2T+2F)+0.1WH_p + \alpha \cdot 0.1WH_c \quad (1)$$

여기서,

P : 콘크리트 펌프에 가해지는 압송부하(kgf/cm²)

P_p : 배관부의 압송부하(kgf/cm²)

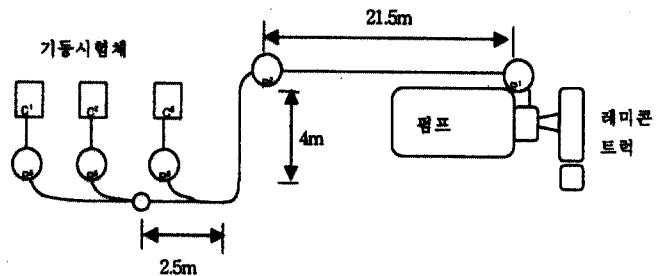


그림 2.3 기둥시험체 배치 및 배관계획

- P_C : 강관기둥부의 압송부하(kgf/cm²)
- K : 수평배관의 압력손실계수(kgf/cm²/m)
- L : 직선관의 길이(m)
- B : 곡선관의 길이(m)
- T : 테이퍼관의 길이(m)
- F : 플렉서블호스(도킹호스)의 길이(m)
- W : 굳지않은 콘크리트의 단위용적중량(t/m³)
- H_P : 압송 높이(m)
- H_C : 압입높이(m)
- α : 압입구에서의 압입압력 및 액체압과의 비율을 나타내는 계수

수평관내의 압력손실계수 K는 콘크리트의 물성, 펌프의 토출량, 배관직경 등에 직접 관련이 있으며 실험이나 신뢰성 있는 자료에 따라 정하도록 하고 있다. 또한 압입부하에 관한 계수 α 는 강관기둥의 단면치수, 다이아프램 개구부의 면적, 비율, 형상, 콘크리트의 점성, 압입속도에 의해서 정해지는 계수이고 그 값은 실험 또는 신뢰성 있는 자료에 따라 정하도록 하고 있다.

본 연구에서는 (1)식을 근거로 하여 토출량 75m³/hr까지도 시공할 수 있는 콘크리트 펌프를 사용하였다. 사용된 펌프의 주요 성능은 표 2.5와 같다.

2.2 실험 절차 및 방법

CFT기둥 시험체의 충전시공은 먼저 R배합의 콘크리트인 기둥 C1과 C5를 차례로 충전하였다. 기둥 C1은 내부다이아프램이 없는 기둥이며, 기둥 C5는 내부다이아프램이 8개 설치된 시험체이다. 기둥 C5를 충전한 후에 배관을 이동시키고 SS배합의 콘크리트를 사용하여 기둥 C2, C6, C3, C4의 순으로 충전하였다. 콘크리트의 배합을 R배합에서 SS배합으로 바꾼 후 처음 충전하게 되는 기둥 C2를 충전하기 전에 일정량의 콘크리트를 토출구를 통해 버린 후 기둥 시험체의 주입구에 연결하여 충전하였으며 나머지 기둥(C6, C3, C4)은 배관을 연속적으로 이설하며 충전하였다.

콘크리트의 충전속도와 실 토출량을 계산하기 위하여, 그리고 기둥의 충전속도와 실제의 타설량과의 관계를 파악하기

위해 기둥 시험체에 가공된 충전확인공을 통해 몰탈이 흘러나오는 것을 육안으로 관찰하여 시간을 기록하였다.

충전중의 배관의 압력 변화를 측정하기 위하여 그림 2.3과 같이 근원부(P1), 직선구간 21.5m 위치(P2), 그리고 주입구의 위치(P5)에 압력변환기(PGM 100KE, 정격용량 100 kgf/cm²)를 설치하여 배관내 압력이 계속되도록 하였다. 나사를 가공한 별도의 압력계측관을 제작하여 압력변환기를 접속시켜 압력의 변화를 계속하였다. 각 지점의 압력을 시간에 따라 변하는 관내 압력특성을 연속적으로 기록하기 위해 동적 측정장비를 사용하여 계속하였다. 주파수응답속도 5kHz인 DPM-712D (KYOWA)와 D-TAC200(DIFA Measuring Systems)을 사용하여 실시간에 따른 압력 변화를 계속하였다. 펌프의 유압은 매 충전공 관찰시각마다 유압계의 값을 기록하였다.

콘크리트의 물성변화를 관찰하기 위하여 압송전·후, 그리고 충전후의 시료를 채취하여 표 2.3의 항목에 대하여 굳지않은 콘크리트의 물성실험을 수행하였다. 압송전 콘크리트는 레미콘트럭의 콘크리트를 받아서 사용하였으며 압송후 콘크리트는 주입구에 연결되는 도킹호스를 통하여 토출되는 콘크리트를 사용하였다. 충전후의 물성실험을 기둥상부에 설치된 유도판을 통해 흘러 넘치는 콘크리트를 받아서 시행하였다. 또한 각 배합별로 단위용적 중량을 측정하였고 각 기둥 시험체에 대하여 상부면의 최종 침하량을 측정하였다.

다이아프램이 있는 기둥시험체 C5와 C6를 3주이상 경화시킨 후 철거하여 다이아프램 하부의 충전상태와 표면의 공극 발생상태를 관찰하였고 기둥의 하부, 중앙부, 상부에서 코어를 채취하여 28일 강도를 측정하였다.

3. 실험 결과 및 분석

실험도중 일시적으로 펌프가 중단되기도 하였고 충전공을 미처 확인하지 못하고 지나친 경우도 있었지만 압입중 관의 막힘현상 등 없이 실험은 전반적으로 원만히 진행되었다. 다만, SS배합의 콘크리트가 부족하여 기본타설속도를 75m³/hr로 설정한 시험체 C4에 대해서는 6m 높이까지 충전하고 실험을 종료하였다. 본 논문에서는 정상적으로 시공된 5개의 기둥에 대한 압력 측정결과에 대하여 분석을 수행하였다.

표 2.5 사용된 Portable Pump(BSF2112HX)의 주요 성능

최대 이론토출량	최대 실토출량 (이론치×0.90)	콘크리트 이론토출압	실린더 내경	실린더 길이(행정)	최대 스트로크	회피용량
115m ³ /hr	103.5m ³ /hr	141/95bar	200mm	2,100mm	29회/min	750 l

3.1 압송부하 특성

C4를 제외한 5개의 시험체에 대한 압력 계측결과를 정리하여 표 3.1에 나타내었다. 표에 기록된 시간은 충전이 시작되는 시점과 10개의 충전확인공(H-1~H-10)에서 몰탈의 유출이 관측되는 시점, 그리고 기둥 상부(12.8M 높이)에 콘크리트가 도달하는 시점에서의 계측결과이다. 관내압력은 근원부의 압력(P1), 근원부로부터 직선구간 21.5m 지점의 압력(P2), 그리고 강관기둥 주입구에서의 압력(P5)에 대한 동적 계측 결과로부터 해당 시점의 데이터를 추출하여 표에 정리하였다. 타설 초기에는 배관내에 남아있는 콘크리트의 영향, 주입구의 높이 등의 영향으로 압력 특성이 불안정하였으나 주입이 진행되어감에 따라서 안정적인 데이터를 얻을 수 있었다.

주입구의 위치(P5)에서 압력이 감지되기 시작한 시점을 충전이 시작된 시점으로 하여 각 기둥별 타설 시간을 계산한 결과를 표 3.2에 나타내었으며, 그림 3.1 ~ 그림 3.5는 각 시험체에 대하여 충전 높이에 따른 배관내 압력과 구간별 압력차를 그래프로 나타낸 것이다.

먼저 배관부의 압송부하와 압력손실계수의 경향을 직선구간의 압력차(P1-P2)와 전체 구간의 압력차(P1-P5)로 구분한 그림 3.1 ~ 그림 3.5의 결과를 보면 저압으로 운전된 경우인 C1의 경우 배관내 압송부하가 선형적으로 증가하고 있음을 알 수 있다. 충전 높이에 따른 압력차도 일정하게 유지되고 있으며 압력차이도 작게 되었고 압력손실계수도 작게 나타났다. 고압으로 운전된 경우에는 배관 내 압력도 컸으며 압력손실계수도 크게 나타났다. 이로 미루어볼 때 압력손실계수는 펌프의 운전방식에도 영향을 받는 것을 알 수 있다.

다이아프램이 있는 경우 압력의 변동성이 커졌고 구간별 압력차에도 변동성이 나타났는데 이는 다이아프램이 국부적으로 불연속적인 충전특성을 갖게 하여 강관 내부의 콘크리트에 진동이 발생하여 부하에 영향을 준 것으로 판단된다. 강관으로부터 먼 근원부쪽의 직선구간의 압력차의 변동은 이러한 영향을 더 적게 받게 되므로 전체 구간의 압력차의 특성보다 훨씬 균일한 압력차를 보이고 있다. 토출량을 더 많게 하여 충전 속도를 크게 하였을 경우(C3)에도 이러한 배관내의 압력차의 변동성이 나타났다. 다이아프램의 영향은 변동성 이외에도 압력특성에도 영향을 주는 것으로 나타났다. 동일한 토출량을 유지할 경우에도 C6의 경우가 C2의 경우보다 다이아프램으로 인해 압송부하가 커지는 경향이 나타났다.

표 3.2에서 C1과 C2는 2번째 충전공 도달시점부터 10번째 충전공 도달시점까지의 8개 데이터의 평균값이며, C3, C5, C6는 1번째 충전확인공 도달시점부터 9번째 충전확인공 도달시점까지의 평균값을 사용하였다. 표로부터 4개의 기둥

표 3.1 각 시험체에 대한 압력계측 결과

구분	높이 (m)	시간 (초)	압력(bar)						
			유압	P1	P2	P5	P1-P2	P1-P5	
C1	시작	0.0	0	-	-	-	-	-	-
	H-2	2.4	45.8	60	6.247	2.551	0.658	3.696	5.588
	H-3	3.6	71.8	63	6.591	2.935	0.912	3.656	5.679
	H-4	4.8	98.8	65	7.181	3.545	1.205	3.636	5.976
	H-5	6.0	127.8	65	7.648	3.959	1.569	3.690	6.079
	H-6	7.2	153.8	66	7.939	4.221	1.837	3.718	6.101
	H-7	8.4	181.8	66	8.219	4.583	2.123	3.636	6.096
	H-8	9.6	209.8	68	8.541	4.874	2.394	3.667	6.147
	H-9	10.8	237.8	72	8.688	5.052	2.668	3.637	6.021
	H-10	12.0	263.8	77	8.902	5.293	2.969	3.609	5.934
	TOP	12.8	281.8	78	9.121	5.471	3.089	3.650	6.032
C2	시작	0.0	0	99	16.500	6.425	0.018	10.076	16.482
	H-1	1.2	29.0	101	16.798	6.986	0.612	9.812	16.185
	H-2	2.4	54.0	101	17.261	8.111	0.952	9.151	16.308
	H-3	3.6	78.8	101	17.395	7.992	1.228	9.403	16.167
	H-5	6.0	134.0	104	18.360	8.660	1.814	9.670	16.546
	H-6	7.2	160.0	106	18.409	8.670	2.027	9.739	16.383
	H-7	8.4	188.0	108	18.325	8.857	2.280	9.468	16.045
	H-8	9.6	215.0	108	18.588	9.315	2.620	9.272	15.967
	H-9	10.8	243.0	109	18.974	9.379	2.933	9.595	16.041
	H-10	12.0	270.0	110	19.624	10.215	3.186	9.409	16.437
	TOP	12.8	291.2	110	19.904	10.352	3.364	9.552	16.540
C3	시작	0	0	-	28.069	19.774	0.021	8.295	28.048
	H-1	1.2	27.6	190	39.642	17.809	1.010	21.832	38.632
	H-2	2.4	45.4	193	43.698	22.032	1.901	21.666	41.797
	H-3	3.6	54.4	198	42.318	20.010	1.974	22.308	40.343
	H-4	4.8	68.3	198	43.934	21.692	2.129	22.242	41.804
	H-5	6.0	83.4	198	45.438	23.237	2.511	21.201	42.927
	H-6	7.2	100.8	198	45.468	23.802	2.850	21.665	42.618
	H-7	8.4	116.4	198	44.100	22.855	3.229	21.245	40.871
	H-8	9.6	131.4	198	43.889	22.569	3.414	21.320	40.475
	H-9	10.8	146.4	198	43.601	22.142	3.670	21.459	39.931
	TOP	12.8	190.5	198	42.827	21.233	4.102	21.594	38.724
C5	시작	0	0	-	15.082	8.607	0.039	6.475	15.044
	H-2	2.4	55.0	78	11.066	3.451	0.781	7.614	10.285
	H-3	3.6	83.0	86	14.152	6.296	1.727	7.856	12.424
	H-4	4.8	107.0	90	13.958	5.419	1.521	8.539	12.436
	H-5	6.0	133.0	96	15.249	6.533	1.808	8.715	13.441
	H-6	7.2	160.0	98	16.346	7.240	2.405	9.106	13.941
	H-7	8.4	189.0	102	17.163	7.900	2.663	9.263	14.500
	H-8	9.6	218.0	102	17.994	8.917	3.524	9.078	14.471
	H-9	10.8	245.0	104	17.994	8.917	3.524	9.078	14.471
	H-10	12.0	280.0	105	18.508	9.302	3.888	9.206	14.621
	TOP	12.8	298.0	105	18.200	9.044	4.080	9.156	14.119
C6	시작	0	0	-	11.265	3.894	0.044	7.371	11.221
	H-1	1.2	36.3	98	16.435	6.385	0.656	10.050	15.779
	H-2	2.4	60.6	99	17.319	6.555	1.040	10.763	16.279
	H-3	3.6	87.5	104	19.322	7.617	1.386	11.705	17.936
	H-4	4.8	113.5	118	20.700	9.507	1.823	11.194	18.878
	H-5	6.0	141.5	118	20.136	9.365	2.242	10.771	17.894
	H-6	7.2	166.5	116	19.031	8.517	2.375	10.514	16.656
	H-7	8.4	192.5	118	20.812	9.634	2.764	11.178	18.049
	H-8	9.6	220.6	118	21.457	10.379	3.198	11.077	18.259
	H-9	10.8	250.5	118	20.593	10.170	3.394	10.423	17.200
	H-10	12.0	282.5	118	20.549	10.423	3.888	10.126	16.661
TOP	12.8	291.8	117	20.061	10.002	3.895	10.059	16.165	

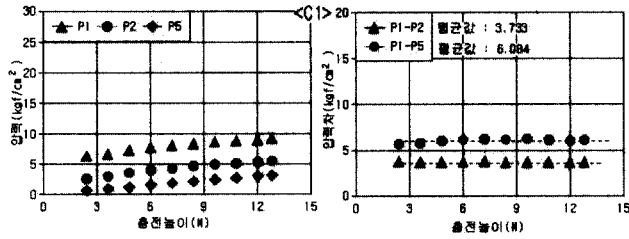


그림 3.1 C1시험체의 충전높이에 따른 배관내 압력 및 압력차

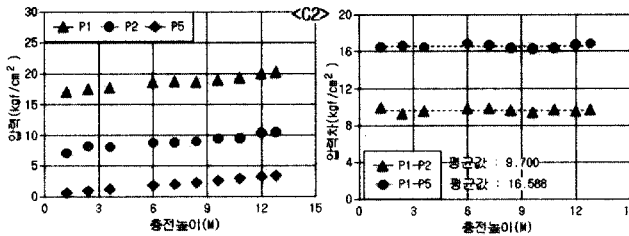


그림 3.2 C2시험체의 충전높이에 따른 배관내 압력 및 압력차

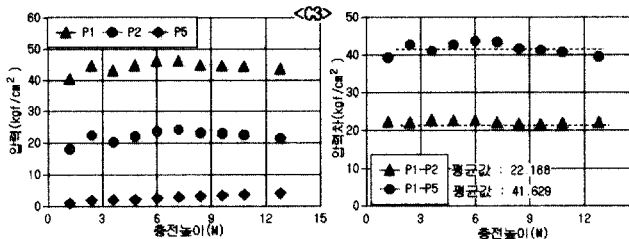


그림 3.3 C3시험체의 충전높이에 따른 배관내 압력 및 압력차

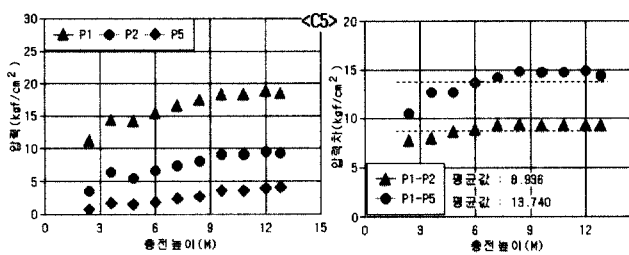


그림 3.4 C5시험체의 충전높이에 따른 배관내 압력 및 압력차

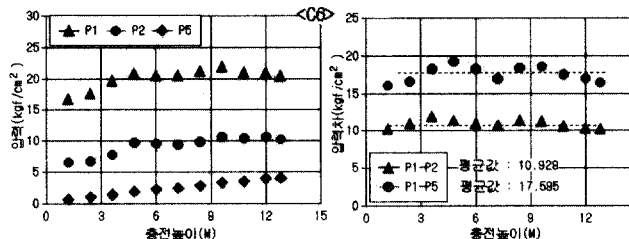


그림 3.5 C6시험체의 충전높이에 따른 배관내 압력 및 압력차

(C1, C2, C5, C6)은 기본적으로 설정했던 25m³/hr의 토출량과 비슷하게 시공되었으며 타설속도는 2.66m/min. 정도 였던 것을 알 수 있었다. 토출량을 50m³/hr로 설정했던 C3는 약 46m³/hr정도의 토출량으로 시공되었으며 타설속도는

표 3.2 콘크리트의 평균 충전속도, 평균토출량, 압력손실계수

구분	C1	C2	C3	C5	C6	
충전확인증 사이의 평균시간(초)	27.25	27.0	14.88	27.0	26.88	
타설속도(m/분)	2.64	2.67	4.84	2.67	2.68	
토출량(m ³ /hr)	25.11	25.34	45.99	25.34	25.46	
압력손실계수 (kgf/cm/m)	직선구간 (P1~P2)	0.174	0.451	1.032	0.404	0.508
	전체구간 (P1~P5)	0.153	0.417	1.020	0.362	0.465
	환산거리	39.8m	39.8m	40.8m	37.8m	37.8m

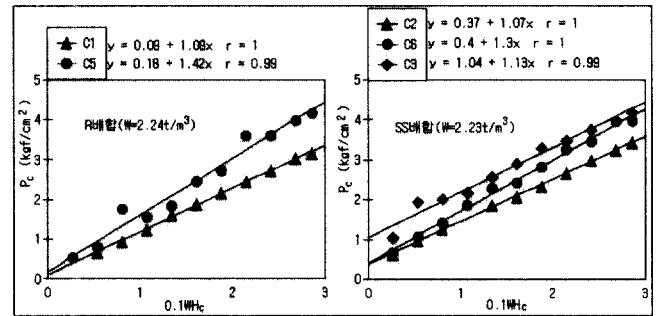


그림 3.6 충전높이와 주입구 압송부하와의 관계

4.84m/min. 정도인 것을 알 수 있다. 압력손실계수에 관해서는 압입속도가 빠를수록 압력손실계수가 커져서 압송부하도 커지는 것으로 나타났으며 수평배관의 압력손실계수의 증가는 타설속도의 비보다 약간 더 큰 정도로 증가하였다. 수평관내의 압력손실 계수는 직선구간에서보다 도킹호스를 포함한 곡선구간에서 더 작게 나타났는데 이는 도킹호스의 환산길이 계수 2가 실제보다 큰 값이기 때문인 것으로 판단된다.

타설고에 따른 강관 기둥부의 압송부하(P_c)의 특성을 알아보기 위하여 각 경우에 대한 주입구의 압력계측 결과(P5)와 계산식 (1)식을 비교하여 보았다. 압력계측 결과를 식(1)과 비교하기 위하여 계측된 결과를 사용하여 x축을 (1)식의 0.1WH로 하고 y축을 P_c로 하여 그림 3.6에 나타내었다. 그림의 그래프에서 기울기가 (1)식에서 압입구에서의 압입 압력과 액체압과의 비율을 나타내는 계수인 α 값이 된다. 콘크리트의 단위용적중량은 측정결과로부터 R배합의 경우 W=2.24 tf/m³, SS배합의 경우 2.23tf/m³를 사용하였다.

그림으로부터 주입구의 압송부하(P_c)는 사용된 콘크리트의 종류와 관계없이 다이어프램이 없는 경우에는 α 값이 약 1.1 정도로 나타났지만 다이어프램이 있는 경우에는 20~30% 증가된 1.3~1.4 정도의 값으로 평가되었다. 압입속도가 1.8배 정도 빠른 C3의 경우, C2의 경우보다 기울기가 약간 큰 경향은 있지만 압입속도 차가 큰 정도에 비하면 어떠한 경향으로까지 평가할 정도는 아니었다.

3.2 굳지않은 콘크리트의 물성변화 고찰

고유동콘크리트의 강관기둥 충전시 유동성, 분리저항성 및 충전성이 확보되어야 다이어프램 주변에 공극이 생기지 않고 채움이 잘 되며 압입시공도 원활하게 된다. 콘크리트의 물성변화를 B/P에서의 생산 단계에서부터 현장 충전 후의 단계까지의 물성변화 측정 결과를 압송조건이 동일한 2가지 배합, 4개 시험체에 대하여 정리하여 표 3.3과 표 3.4에 나타내었다.

슬럼프 플로우는 고유동화제의 영향으로 생산직후보다 현장에서의 값이 더 컸으며 C1의 경우를 제외하고는 충전시공 중에 슬럼프 플로우와 50cm 도달시간의 큰 변화는 없었다. C1의 경우에는 이러한 값들의 변화가 두드러졌는데 이는 예비 순환시험 과정에서 몰탈과 수분이 감소된 콘크리트가 배합에 남아있었던 영향으로 추측되었다. C1의 경우 재료분리에 대한 저항성을 평가할 수 있는 V-Lot 유하시험과 충전성을 평가할 수 있는 U관 단차 실험에서도 충전 후 시료의 막힘 현상이 나타나서 재료분리에 대한 저항성과 충전성이 떨어진 것으로 평가되었다. 그러나 C1의 경우 다이어프램이 없으므로 충전성은 의미가 떨어지는 항목이라고 할 수 있다. V-Lot 유하시간은 C5와 C2, C6의 경우를 비교해 보면 증점제를 투입한 SS배합의 경우(C2, C5)가 그렇지 않은 R배합의 경우(C5)보다 유하시간도 작았으며 충전 전후의 차도 더 작았다.

공기량의 변화는 압송 전·후에 공기량이 증가하였고 충전함에 따라서 공기량이 감소하였다. 일반적으로 공기량은 펌프

압송에 따라 다소 떨어지는 경향이 있는 것으로 알려져 있으나 실험 결과가 그와 다르게 나타난 것은 펌프의 호퍼에 공기가 유입되어 콘크리트와 함께 고압으로 압송됨에 따라서 공기량이 증가한 것으로 추측된다. C1의 경우를 제외하고는 전반적으로 굳지 않은 콘크리트의 물성 변화가 양호했던 것으로 평가되었으며 다이어프램의 존재가 굳지 않은 콘크리트의 물성 변화에는 영향을 주는 경향은 나타나지 않았다.

침하량은 다이어프램이 있는 경우에 다이어프램 하면에 공극 발생과 관계 있으므로 중요한 사항이 된다. 각 기둥의 침하량을 측정하여 표 3.5에 나타내었다. 침하량은 18시간 이후에 측정된 값으로 부재의 최종 침하량으로 볼 수 있다. C1과 C5의 경우 기둥 C1이 기둥 C5의 경우보다 3배의 침하가 발생하였다. 이는 C1의 경우 앞에서 언급했듯이 재료 분리에 대한 저항성의 차이와 다이어프램의 영향으로 인한 차이로 보였다. C2와 C3의 침하량을 비교해 보면 동일 배합의 고유동 콘크리트에서 압입속도가 빠른 C3의 경우 충전콘크리트가 더 높은 압력을 받은 상태에서 응결과 경화가 진행되어 침하량이 작게 나타난 것으로 여겨진다. 또한 R배합인 C1의 경우가 SS배합인 C2의 경우보다 동일한 시공조건에서도 침하량이 2배 가까이 컸던 것은 증점제를 투입하지 않은 R배합의 경우 주입차단판의 틈이나 관측공을 통한 몰탈 유출이 더 많았기 때문인 것으로 여겨진다. 다이어프램이 있는 C5, C6의 경우 최종 침하량이 작게 나타나 밀실하게 충전될 것으로 생각되었으며 경화 후 강관을 절개하여 관찰한 결과도 양호하였다.

표 3.3 생산후, 압송전후 및 충전후의 물성변화(R배합)

시험 항목	C1				C5			
	생산 후	압송 전	압송 후	충전 후	생산 후	압송 전	압송 후	충전 후
온도(°C)	17.0	19.0	15.5	15.0	16.5	12.0	12.0	12.5
Slump Flow(cm)	65.0	>70	50.0	51.5	60.0	>70	>70	>70
Air(%)	2.8	3.5	5.1	4.6	3.8	4.9	6.8	5.2
50cm Flow도달(초)	8.9	2.5	5.0	15.0	10.3	2.5	3.8	4.4
V _{6.5} -Lot(초)	-	-	8.5	막힘	-	19.0	19.0	49.0
U관 단차(cm)	-	-	11.0	막힘	-	1.0	1.0	-

표 3.4 생산후, 압송전후 및 충전후의 물성변화(SS배합)

시험 항목	C2				C6			
	생산 후	압송 전	압송 후	충전 후	생산 후	압송 전	압송 후	충전 후
온도(°C)	13.2	9.5	11.0	11.0	13.2	9.5	11.0	12.0
Slump Flow(cm)	65.0	>70	>70	>70	>65	>70	>70	>70
Air(%)	2.8	2.4	2.8	3.4	2.8	2.4	2.7	3.0
50cm Flow도달(초)	7.5	2.7	3.3	2.9	7.5	2.7	3.5	4.1
V _{6.5} -Lot(초)	-	14.2	14.4	40.0	-	14.2	14.4	41.0

3.3 굳은 콘크리트의 시험 및 관찰 결과

굳은콘크리트의 품질을 확인하기 위하여 다이어프램이 설치된 기둥시험체 C5와 C6을 해체하여 높이별로 코어를 채취하여 28일강도를 측정하였다. 1층 기둥의 중간위치, 3층 바닥위치에 있는 두 개의 다이어프램의 상·하 30cm위치, 그리고 5층 바닥에 해당하는 다이어프램 상·하 30cm 위치에서 각각 코어를 채취하여 강도를 측정하였으며 그 결과를 표 3.6과 그림 3.7에 나타내었다.

슬래그 시멘트를 사용한 기둥 C5의 경우 설계기준강도(28일)보다 크게 나왔음을 알 수 있다. 저발열시멘트를 사용한 기둥시험체 C6의 경우에는 28일 현재 333kgf/cm² ~ 384kgf/cm²의 강도분포를 보이므로 56일 경과시점에서는

표 3.5 침하량 측정결과

구 분	R배합		SS배합		
	C1	C5	C2	C3	C6
침하량(mm)	15	5	8	5	5

표 3.6 코아강도 측정결과

시편	높이(m)	강도	평균강도	시편	높이(m)	강도	평균강도
C5-1	1.75	676	676	C6-1	1.75	388	384
C5-2		-		C6-2		381	
C5-3	5.8	634	636	C6-3	5.8	363	365
C5-4		637		C6-4		367	
C5-5	6.7	548	595	C6-5	6.7	376	368
C5-6		642		C6-6		361	
C5-7	11.6	497	502	C6-7	11.6	340	335
C5-8		507		C6-8		329	
C5-9	12.5	503	527	C6-9	12.5	339	333
C5-10		550		C6-10		326	

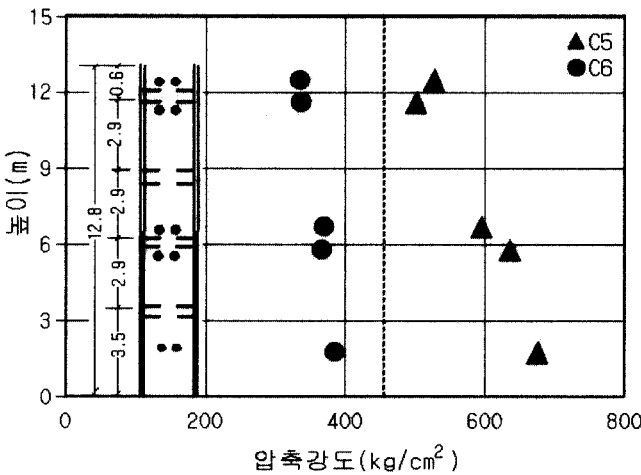


그림 3.7 코아 채취위치 및 평균압축강도

그림 3.8 다이아프램 하면의 충전상태

설계기준강도를 상회할 것으로 판단된다. 따라서 기둥의 강도 특성은 양호한 것으로 평가할 수 있다. 두 시험체 모두 기둥 높이에 따른 강도 감소현상이 나타났으며 최상층의 강도 저하는 증점제를 사용했던 SS배합의 경우에는 13%정도로 일본의 시공실적 자료를 참고할 때 양호한 수준이었지만 R배합의 경우에는 26%로 비교적 크게 나타났다. 더 안정적인 품질을 보인 SS배합에 있어서 예측된 결과였지만 특히 증점제의 영향도 컸던 것으로 생각되었다.

그림 3.8은 C5의 최상층 다이아프램 하면의 기둥 측면을 절개하여 촬영한 사진이다. 다이아프램 하면의 간극을 관찰한 결과 공극 없이 밀실하게 충전된 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

고강도·고유동 콘크리트를 사용하여 높이 12.8m(4층규모)의 실대 시험체에 대한 CFT 기둥의 하부압입 시공실험을 수행하여 압송부하 특성과 콘크리트의 물성변화 특성 등을 분석하여 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 압송부하와 관련하여 강관 기둥부의 압송부하(P.)는 강관 내부의 다이아프램의 존재에 영향을 받는 것으로 나타났다. 압입구에서 액체압에 대한 압입압력의 비율을 나타내는 계수 α 의 값은 다이아프램이 없는 경우 1.1로 평가되었으나 다이아프램이 있는 경우 1.3~1.42정도로 평가되었으며 다이아프램 개구부의 면적비가 작아질수록 α 값은 증가할 것으로 예상된다. 그러나 압입속도의 증가와는 무관하였다.
- (2) 압력손실계수에 관해서는 압입속도가 빠를수록 압력손실계수가 커져서 압송부하도 커지는 것으로 나타났으며 수평배관의 압력손실계수의 증가는 타설속도의 비보다 약간 더 큰 정도로 증가하였다. 압력손실계수의 경우 수평관 내의 압력손실 계수는 직선구간에서보다 도킹호스를 포함한 곡선구간에서 더 작게 나타났는데 이는 도킹호스의 환산길이 계수 2가 실제보다 큰 값이기 때문인 것으로 판단된다.
- (3) 콘크리트의 타설 속도는 2.5m/분±5m 정도로, 토출량의 경우 20 ~ 30m³/hr로 관리하면 안정적인 것으로 나타났으며 이 때의 압력손실계수는 0.4 ~ 0.5kgf/cm²/m로 가정하면 될 것이다. 토출량을 더 크게 할 경우 압력손실계수는 증가된 토출량의 비율보다 약간 더 크게 가정하는 것이 좋을 것이다.
- (4) 제시된 두 종류의 배합 모두 다이아프램 하면의 충전상태가 양호하였으며 경화콘크리트의 강도도 설계기준 강도를 상회하는 것으로 나타났다. 그러나 기둥높이에 따른 강도 감소현상이 나타났으며 최상층의 강도 저하는 증점제를 사용했던 SS배합의 경우에는 13%정도로 일본의 시공실적 자료를 참고할 때 양호한 수준이었지만 R배합의 경우에는 26%로 비교적 크게 나타났다. 따라서 콘크리트 물성변화 및 경화콘크리트의 품질 측면에서도 증점제의 사용효과가 있었던 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 大池武 外 3人, “スパンの大きい事務所ビルにおける鋼管柱へのコンクリート壓入”, 建築技術, pp.98-99. 1996. 4.
2. 早用光敬, “打込み高さ40mのSRC鋼管柱にコンクリートを充填”, 建築技術, pp.94-95. 1996. 4.
3. 秋山文生 外 2人, “2節分の鋼管柱に高流動コンクリートを壓入”, 建築技術, pp.100-101. 1996. 4.
4. 小島俊男 外3人, “鋼管コンクリート構造のコンクリート壓入工事”, 建築技術, pp.96-99. 1995. 10.
5. 早用光敬 外3人, “設計基準強度 600kgf/cm²の高流動コンクリートをを用いた高さ90mの鋼管柱充てん工事”, 콘크리트工學, Vol. 35, No. 9. pp.27-31. 1997. 9.
6. 철골조 초고층아파트 시스템 개발(II), 대한주택공사 주택연구소 연구보고서, 1996.5.
7. 신성우, 박정우, “각형강관을 위한 초고강도-유동화 콘크리트의 시공성능”, 1996 레미콘기술WORKSHOP, 한국레미콘공업협회, 1996.
8. 고강도콘크리트의 실용화연구, 포스코개발(주) 기술연구소 연구보고서, 1996. 7.
9. 철골조 고층아파트개발(I), RIST 연구보고서, 1998.12
10. 콘크리트 기계·시공, 건설연구소, 1985.5.
11. CFT 기술자료집, 포항산업과학연구원 건축구조연구팀.

(접수일자 : 2002년 1월 17일)