

고유동 콘크리트를 사용한 22 m 콘크리트 충전 각형강관기둥의 시공성능실험

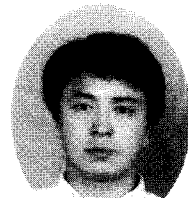
- Mock-Up Test for the Concrete Filled Rectangular Steel Tube Columns
of 22 m height with Flowable Concrete -



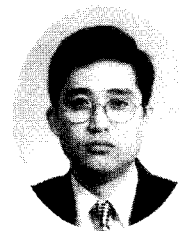
안종문*



신성우**



전상우***



김진호****

1. 일반사항

1.1 배경

최근 국내에 60층을 초과하는 초고층 구조물들이 많이 건설되고 있으며, 콘크리트 품질의 향상 특히 콘크리트의 고강도화에 힘입어 이를 이용한 철근 콘크리트 고층 구조물들이 증가하고 있다. 이에 따라 이들 초고층, 초대형 구조물을 지지할 수 있는 고축력, 고연성의 기둥에 대한 설계 및 시공이 요구되고 있으며, 이에 가장 적합한 구조요소라 할 수 있는 콘크리트 충전 강관기둥(Concrete Filled Steel Tube Columns : CFT Columns)의 설계 및 시공에 관심이 높아지고 있다. 이러한 콘크리트 충전 강관기둥은 콘크리트가 강관에 의해 둘러싸여지기 때문에 축하중 저항 능력이 증가되는 장점과 동일한 단면으로 H형강을 사용한 순수 철골조 H형강 기둥의 강축(strong axis)과 약축(weak axis) 문제해결과 동시에 강성(stiffness)을 증가시킬 수 있으며, 내화 성능이 향상되고 거푸집 대체 재료로 사용되는 등 여러 가지 장점을 지니고 있다. 한편 충전 강관기둥에 작용하는 축하중은 대부분 콘크리트가 부담하게 되는데 이러한 충전강관 기둥의 장점을 극대화하기 위해서는 보통강도 콘크리트보다는 압축강도 및 탄성계수가 큰 고강도 콘크리트의 사용은 불가피하게 된다.

이러한 충전 강관기둥을 시공하기 위해서 지금까지는 강관 내

부에 콘크리트를 타설하기 위하여 상부에서 트레미관을 이용하여 콘크리트를 타설하는 방법을 사용하여 왔으나 낙하시 재료 분리, 다이어프램 하부 콘크리트 미충전 등의 문제가 있어 하부에서 압입에 의한 충전 방법이 많이 추천되고 있다. 그러나 이러한 하부 압입 방법을 사용하게 될 경우 상당한 높이까지 재료분리 없는 압송이 필요하여 콘크리트는 유동성이 확보된 고품질의 콘크리트여야 하며 또한 축력 부담의 장점을 극대화하고, 국내 레미콘 운송 시간에 따른 슬럼프손실(slump-loss)의 문제점을 해결하기 위해서 고강도-유동화 콘크리트의 도입이 필요하게 된다.

1.2 시험목적

기존의 일반 콘크리트를 아파트 11층 바닥에 압송할 경우 펌프압은 약 100 bar 정도가 작용하게 되며, 500 kgf/cm²의 고강도 콘크리트의 경우 점성의 증가로 인해 보통 강도 콘크리트보다 약 1.5배 높은 150 ~ 200 bar의 펌프압이 작용하는 것으로 보고된 바 있다.¹⁾ 이러한 펌프압을 고려할 때 강관 내부에 고강도 콘크리트를 압입할 경우 펌프압은 크게 작용하게 되며, 또한 충전 정도에 대한 문제점이 발생할 수 있다. 그리고 구조물에 충전 강관기둥을 사용할 경우 기둥과 보(철골 보 또는 철근 콘크리트 보)가 교차하는 접합부에는 일반적으로 다이어프램(diaphragm)을 사용하게 되므로 다이어프램 하부에 대한 콘크리트의 밀실한 충전은 반드시 확보되어야 한다. 그러나 유동성이 확보되지 못한 기존의 일반 콘크리트의 경우에는 다이어프램이 설치된 부분에서 다이어프램으로 인한 타설 장애, 그리고 다이어프램 하면에서의 콘크리트 침하 등에 따라 밀실한 충전을 기대할 수 없는 상황이다.

* 정회원, 한양대학교 STRESS 연구조교수

** 정회원, 한양대학교 건축학부 교수

*** 정회원, 포항산업과학연구원 강구조연구소(RIST), 선임연구원

**** 포항산업과학연구원 강구조연구소(RIST), 책임연구원

따라서 본 시험 시공에서는 콘크리트 압축 강도 270, 500 kgf/cm²의 고강도-유동화(무다짐) 콘크리트를 사용하여 이러한 문제점을 해결하고, 기본적인 충전 상황 및 충전 높이에 따른 펌프 압송능력을 정량적으로 평가하기 위해 4개의 각형강관 기둥을 제작하여 다이어프램의 유·무에 따른 펌프압의 변화 및 다이어프램 부분의 콘크리트 충전성 확보, 침하량 변화 등을 평가하여 고강도-유동화 콘크리트의 시공 성능을 종합 평가함으로써 최근에 그 필요성이 절실한 콘크리트 충전각형강관 기둥의 실용화를 주목적으로 한다.

2. 시험 시공(Mock up Test)

2.1 실험체 계획

본 시험 시공을 위한 실험 기둥은 단면이 700 × 700 mm인 정방형의 각형강관으로 15 m 높이를 가지는 기둥 3개와 22 m 높이를 가지는 기둥 1개를 계획하였으며, SS400 재질의 두께 22 mm 강판을 절단하여 각형으로 용접하였다. 22 m 높이의 실험기둥은 현재 시공 중인 타워팰리스 III(Tower Palace III)에 적용예정인 500 kgf/cm² 무다짐 콘크리트의 하부압입에 의한 시공성능을 사전평가하기 위한 목적으로 제작되었다. 실험 기둥은 실제 구조물의 시공조건을 고려하여 콘크리트를 하부에서 압입하는 경우와 상부에서 자유낙하시켜 타설하는 방법 등을 비교하여 하부 압입되는 콘크리트는 유동화의 개념을 적용하였으며, 상부 타설인 경우는 일반 콘크리트로서 적용하였다. 즉 압축강도가 각각 270, 500 kgf/cm²으로 슬럼프 플로우(slump flow)가 65 cm 이상 되는 유동화 콘크리트와 슬럼프(slump)가 18 ~ 20 cm 정도 되는 일반 콘크리트 2가지로 시공하도록 계획하였다. 그리고 실험체에 적용한 다이어프램은 두께 22 mm의 내다이어프램으로 충전되는 콘크리트의 원활한 시공을 위하여 다이어프램의 중앙에 직경 350 mm의 원형 구멍을 뚫어 20%의 개구율을 가지도록 하였으며, 다이어프램의 하부에 콘크리트가 충전되면서 갇힌 내부 공기를 배출하기 위하여 다이어프램의 각 모서리에 직경 30 mm의 공기 구멍을 설치하였다. 또한 22 m 높이의 기둥에는 다이어프램 형상에 따른 시공성능비교를 위하여 십자형의 내다이어프램을 적용하였다. 그리고 콘크리트의 충전 상황을 확인하기 위하여 실험 기둥의 한 면에는 일정간격으로 직경 10

mm의 충전 확인 구멍을 설치하였다. 또한 각형강관 기둥에 콘크리트가 타설된 이후 다이어프램 하부에서의 콘크리트 충전상황을 평가하기 위하여 다이어프램 하부에 충전확인센서를 부착하여 계측하도록 하였다. 그리고 실험후 실험체의 영구 보존을 위하여 각형강관 기둥의 하부에 1200 × 1200 × 300 mm의 기초를 시공한 후 L형 앵커볼트를 설치하고 각형강관을 세우도록 하였다. 이상과 같이 본 실험에서 적용한 주요 변수는 다음과 같다.

- 1) 단면형태 정방형(700 × 700 mm) 각형강관
- 2) 크기 및 수량 높이 15 m - 3개, 높이 22 m - 1개
- 3) 다이어프램 : 내다이어프램(Φ 350 mm, 개구율 20%), 십자형 내다이어프램(22 m 기둥 적용)
- 4) 콘크리트 강도 : 270, 500 kgf/cm²
- 5) 콘크리트 종류 : 일반, 고유동(무다짐)
- 6) 콘크리트 타설방법 : 상부낙하타설, 하부압입

이러한 계획에 따라 제작, 설치된 실험기둥의 전경이 다음 <사진 1>에 나타나 있다.

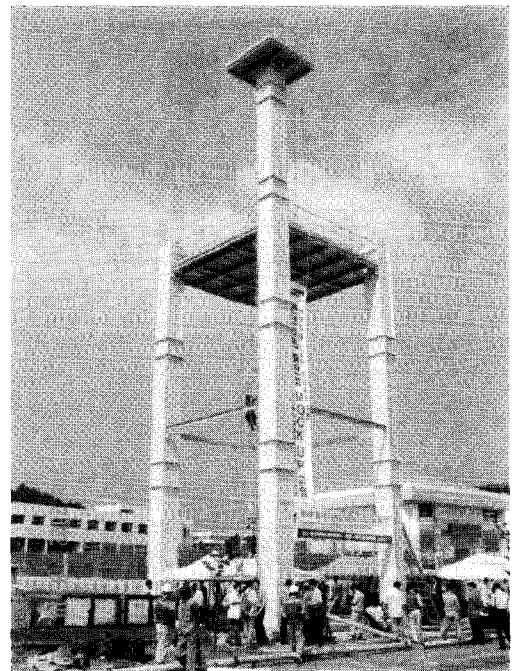
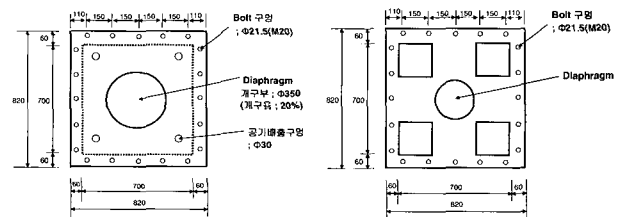


사진 1. CFT Mock up 실험체 전경

표 1 실험체 계획

No.	단면크기(mm)	높이(m)	f _{ck} (kgf/cm ²)	타설방법
1	700 × 700	15	270	상부타설
2		15	270	하부압입
3		15	500	상부타설
4		22	500	하부압입



(a) 원형(15m, 22m 적용)

(b) 십자형(22m 적용)

그림 1. 내다이어프램형상

2.2 콘크리트 제조

콘크리트 제조는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 고강도 콘크리트 제조시 시멘트량의 증가로 인한 높은 수화 온도를 저감시키기 위하여 플라이 애쉬(fly ash)를 사용하였다. 굵은골재는 270 kgf/cm²에는 최대크기 25 mm 화강암 쇄석을, 500 kgf/cm²에는 20 mm 쇄석을 사용하였으며, 잔골재는 세척사를 사용하였다.

본 실험에 사용된 콘크리트의 생산은 선일공업(주) 안양공장 배치 플랜트를 이용하였으며 이 때 적용한 배합비는 소요 압축강도와 작업성을 확보하기 위하여 실내 실험 배합 이후 레미콘 트럭을 대상으로 현장 모형 실험(mock up test)을 실시한 후 최종으로 다음 <표 2>와 같은 배합비를 적용하였다. 본 실험이 이루어지는 현장은 한양대학교 안산캠퍼스 내에 위치하고 있고 레미콘 공장은 안양에 위치하고 있어 콘크리트 타설 당일의 교통량을 고려할 때 레미콘 운반 시간이 1시간 이상 소요될 것으로 판단되어 장시간의 경과에도 콘크리트 슬럼프의 손실을 방지하고 양호한 작업성을 확보하기 위하여 지연 효과와 점증 효과를 동시에 가지고 있는 고성능 AE감수제를 레미콘 배치 플랜트에서 콘크리트 제조시 첨가하였다.

표 2 콘크리트 배합비

규격	W/B (%)	S/a (%)	재료물량(kg/m ³)					
			C	F/A	W	S	G	A.D.
25-270-18	45.2	46.5	366	41	184	787	916	2.04*
25-270-23	41	48	326	81	167	827	906	5.29**
20-500-21	29.5	41	493	87	171	642	934	9.86
20-500-65	31	49.5	459	115	178	764	789	12.63

* AE감수제, ** 고성능 AE감수제

2.3 콘크리트 타설

콘크리트 타설은 각형강관 기둥의 하부로부터 약 900 mm 높이에 콘크리트 주입구(사진 2)를 설치한 후 Portable Pump를 사용하여 콘크리트를 압입하여 기둥 하부로부터 상부로 채워 올라가는 역타설 방법을 사용하였다. 콘크리트 압송용 배관은 직경 140 mm의 파이프를 연결하였으며 배관 길이는 곡관을 포함하여 약 40 m 정도 되었다.

하부압입시 각 기둥의 상부에서 콘크리트의 충전이 완료된 것을 확인한 후 유압작기를 이용하여 주입구에 설치한 콘크리트 차단장을 닫아 기둥으로부터 콘크리트의 누출을 방지하였다.

콘크리트의 상부타설은 펌프카를 이용하였으며 타설 길이가 15 m 정도 되므로 펌프파이프 선단에 플렉시블 호스(flexible hose)를 연결하여 기둥 내부에 삽입하여 바닥으로부터 약 1 m 높이에서 자유낙하 되도록 하였다. 이상과 같은 방법에 의한 콘크리트 타설 광경이 다음 <사진 3>에 나타나 있다.

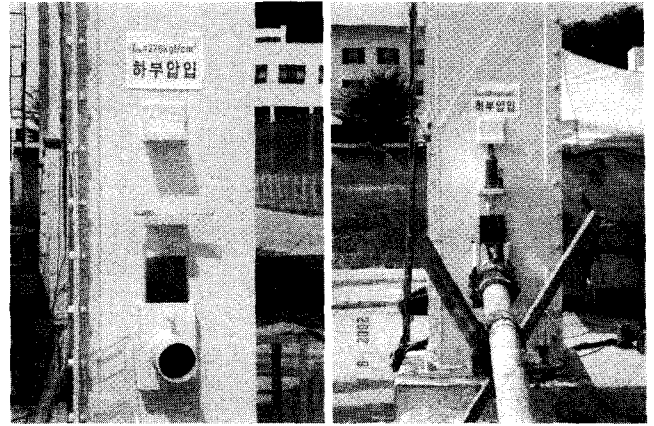


사진 2 하부압입 주입구(충전차단장) 형상



(a) 상부타설시공

(b) 하부압입시공

사진 3 콘크리트 타설광경

2.4 콘크리트 물성 시험

본 실험에 적용한 콘크리트의 물성을 평가하기 위하여 레미콘의 현장 도착 직후 펌프 압송전, 그리고 기둥에 콘크리트 충전 완료후 콘크리트 시료를 채취하여 슬럼프(slump), 슬럼프 플로우(slump flow), L-플로우(flow), U형 충전성, 공기량, 그리고 콘크리트 종류별 수화 온도, 충전완료 후 콘크리트 침하량을 측정하였다. L-플로우 및 U형 충전시험은 500 kgf/cm² 무다짐 콘크리트에만 적용하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 물성실험 결과

콘크리트의 물성 시험 결과가 다음 <표 3>에 나타나 있다.

1) 슬럼프 및 슬럼프 플로우

콘크리트의 생산에서부터 타설에 이르기까지의 슬럼프 및 슬럼프 플로우 변화는 현장 도착 직후 타설전에는 500 kgf/cm² 일반인 경우 슬럼프가 21.5 cm, 슬럼프 플로우가 33 cm이고, 펌프카에 의한 상부낙하 타설완료 후에는 21 cm, 33 cm로 각각 측정되어 레미콘 공장으로부터의 콘크리트 운반 및 펌프카에 의한 타설후에도 별다른 물성의 변화 없이 양호한 상태를 나타내었다. 또한 22 m 기둥에 적용한 500 kgf/cm² 무다짐 콘크리

표 3. 콘크리트 물성 시험 결과

콘크리트 시험내용	압송 전								압송 후							
	270 일반		270 유동화		500 일반		500 무다짐		270 일반		270 유동화		500 일반		500 무다짐	
Slump(cm)	21		22		21.5		-		21.5		20		21		-	
Flow(cm)	34	40	40	41	33	33	71	72	34	37	44	43	34	32	60	70
L-Flow(cm)	-		-		-		70		-		-		-		68	
U-박스(cm)	-		-		-		32		-		-		-		30	
공기량(%)	3.6		0.9		1.4		1.4		2.3		1.3		1.8		1.0	

트의 경우 슬럼프의 개념을 없애고 플로우의 개념을 적용하여 콘크리트 현장도착 직후 측정된 플로우가 71.5 cm, 하부 압입에 의한 타설 종료후 22 m 높이에서 채취한 콘크리트가 65 cm로 측정되어 타설전보다 약 6.5 cm 감소하였으나, 일반적으로 고려하는 고유동 콘크리트의 슬럼프 플로우 기준치인 60 + 5 cm를 만족하여 양호한 품질 및 시공성능을 가지는 것으로 나타났다. 콘크리트에 대한 슬럼프 플로우 시험광경이 <사진 4>에 나타나 있다.

2) L-플로우

500 kgf/cm² 무다짐 콘크리트에 대하여 압송전 측정된 결과는 70 cm, 압송후에는 68 cm로 일반적으로 적용하는 기준치인 40 ~ 75 cm를 만족하였다. 또한 L-슬럼프는 압송전에 32 cm, 압송후에 29 cm로 일반적인 품질기준인 20 ~ 36 cm를 만족하는 것으로 나타났다. L-플로우 시험광경이 <사진 5>에 나타나 있다.

3) U형 충전시험

U형 충전시험은 폭 20 cm의 U형 Box 하단에 5 cm 간격으로 13 mm 직경의 이형철근(D13)을 배치하여 콘크리트의 간극통과성을 평가하는 비교적 간편한 시험방법으로, 500 kgf/cm² 무다짐 콘크리트를 압송전 측정된 결과 32 cm, 압송 후에는 30 cm로 일반적인 품질기준인 20 ~ 35 cm를 만족하는 것으로 나타났다. U형 충전시험광경이 다음 <사진 6>에 나

타나 있다.

이상과 같이 굳지 않은 콘크리트의 압송전과 압송후에 측정된 슬럼프, 슬럼프 플로우, L-플로우, U형 충전성 등의 물성 변화는 거의 없는 것으로 나타나 700 × 700 mm 크기의 높이 15, 혹은 22 m의 각형강관기둥에 대한 시공성은 충분히 확보되는 것으로 판단된다.

3.2 콘크리트 펌프 압력

본 시험시공에서는 콘크리트의 압입 방법을 상부에서 하부로가 아닌 하부에서 상부로 콘크리트를 채워 가는 방법을 택하였기 때문에 강관기둥의 최상부인 높이 22 m까지 콘크리트가 완전히 충전되기 위해서는 상당히 큰 펌프 압력이 소요될 것으로 예상하였으며 이를 측정하기 위하여 Portable Concrete Pump에 부착되어 있는 압력 게이지의 Bar값 및 배관파이프에 2개의 압력게이지를 설치하여 콘크리트 타설에 소요되는 펌프압력을 측정하였다. Bar값의 측정은 콘크리트가 기둥의 하부로부터 10 m 충전되었을 때와 20 m 충전되었을 때를 기준으로 하였으며 측정 결과가 다음 <표 4>에 나타나 있다.

표 4. 22m 기둥 압입 시공시 콘크리트 펌프의 Bar값 측정 결과

타설높이	3 m	10 m	20 m
압 력	30 bar	100 bar	130 bar

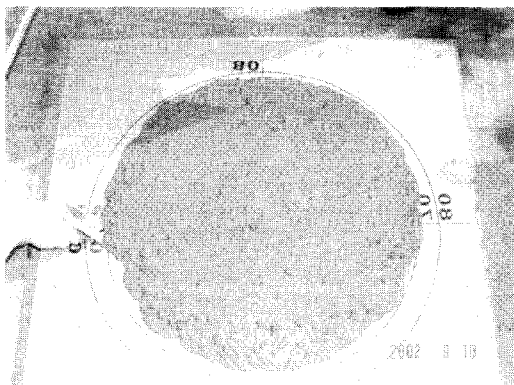


사진 4. 슬럼프 플로우 시험 광경

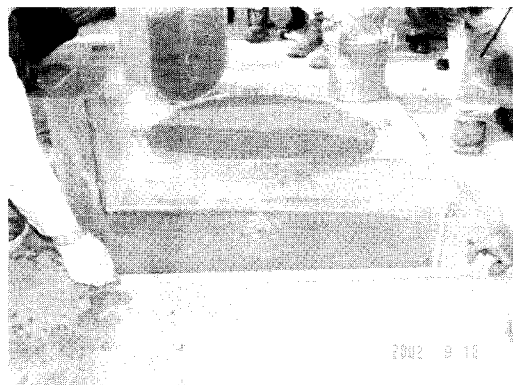


사진 5. L-flow 시험 광경



사진 6. U형 충전시험 광경

압력을 측정한 결과 콘크리트 타설속도를 2 m/min으로 하였을 경우 타설높이가 높아질 수록 펌프의 압력은 증가하여 압입초기에는 약 30 bar 정도의 압력이 소요되었으나, 10 m 높이에서는 100 bar로 증가하였고, 20 m 높이에서는 약 130 bar 정도의 압력이 소요되었다.

이러한 결과로부터 고강도-고유동 콘크리트의 압송을 위한 압력은 굳지 않은 콘크리트의 적절한 품질기준(슬럼프 플로우, L-플로우, U형 충전성 등)이 만족된다면 현재 국내에서 사용되고 있는 펌프를 이용한 콘크리트 압송에는 문제가 없을 것으로 판단된다. 펌프 압력측정을 위하여 배관파이프에 설치한 펌프압력계 이지의 예가 다음 <사진 7>에 나타나 있다.

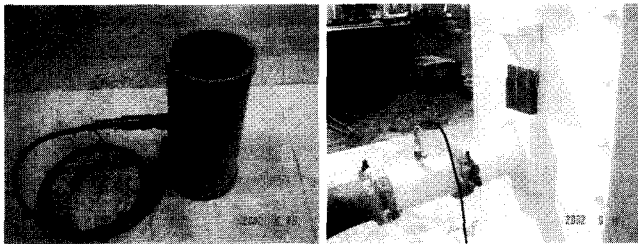


사진 7. 펌프압력 측정용 압력계 설치 광경

3.3 콘크리트 충전성 평가

콘크리트 충전 강관기둥(CFT)의 시공시 내다이어프램의 하부에 갇힌 공기를 배출하기 위하여 공기구멍을 설치한다 할 지라도 골재의 크기 및 콘크리트의 유동성 등에 따라 공기가 배출되지 못하여 내부에 공극이 발생하므로 다이어프램 하부에 콘크리트가 완전히 충전되지 못할 수 있으며, 타설이 완료된 이후에는 콘크리트 자중에 의한 침하 및 건조수축 등으로 다이어프램 하부 콘크리트가 침하하여 공극이 발생하여 콘크리트 충전상태가 불량할 수 있다. 따라서 본 실험에서는 다음 <그림 2> 및 <사진 8>과 같이 콘크리트 충전확인센서를 부착하여 시간의 경과에 따른 콘크리트 충전상태를 평가하였다. 시

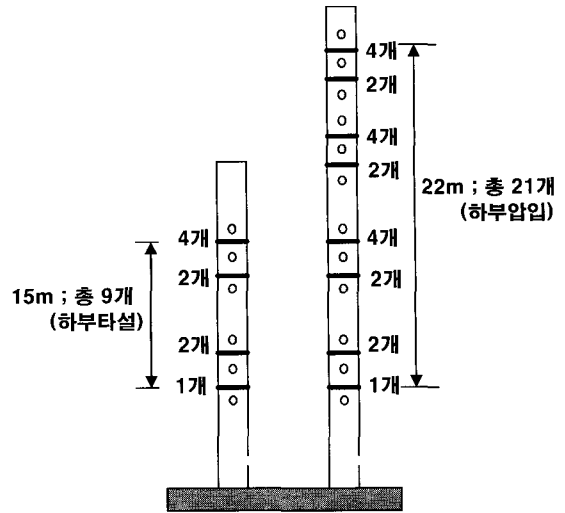


그림 2. 충전센서 부착개념

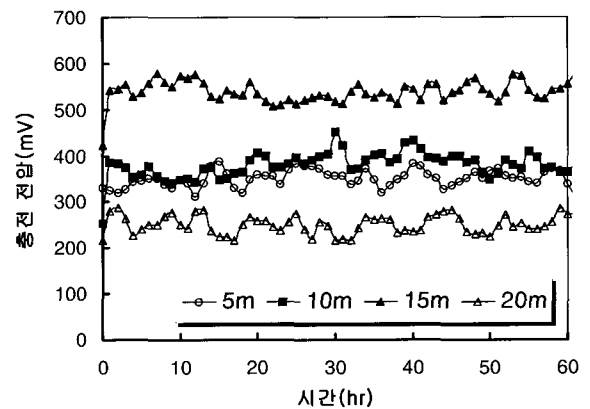


그림 3. 각 기둥시험체별 충전센서의 반응량

간의 경과에 따른 콘크리트의 충전 정도가 다음 <그림 3>에 나타나 있다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 콘크리트의 충전이 시작된 시점부터 시작한 센서의 반응이 시간이 경과하여 콘크리트의 경화가 어느 정도 완료된 이후까지 일정한 범위내에서 반응을 유지하고 있어, 상부타설 및 하부압입시공에 의한 콘크리트의 충전성은 양호한 것으로 판단된다.

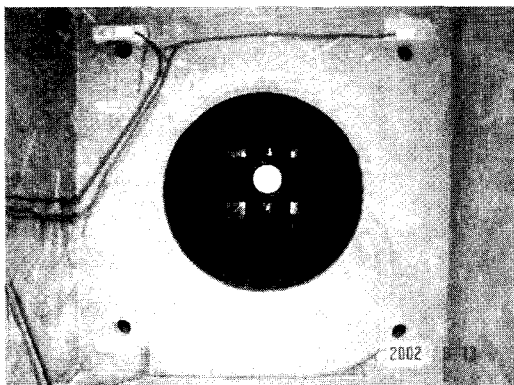


사진 8. 충전센서 부착 다이어프램

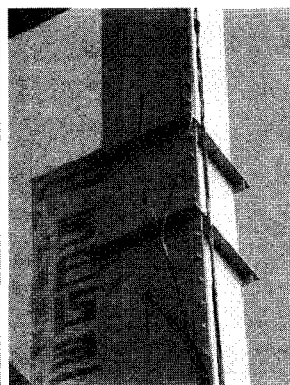


사진 9. 콘크리트 충전확인구멍



사진 10. 콘크리트 충전 상태

3.4 콘크리트 침하량

무다짐(고유동) 콘크리트는 타설시 진동기(vibrator)를 이용한 별도의 다짐을 필요로 하지 않기 때문에 콘크리트의 타설이 완료된 이후에는 콘크리트의 자중으로 인한 수직 수축 변위가 발생할 수 있어 이러한 콘크리트를 사용한 실제 구조물에서 콘크리트 타설 중 발생할 수 있는 기둥의 수축을 고려하지 않을 경우 구조물의 구조적인 안전성에 심각한 위험을 초래할 수 있다. 따라서 본 시험에서는 콘크리트의 충전이 완료된 시점을 기준으로 1시간 정도 경과한 후에 기둥 상부면에서 콘크리트의 수직 침하량을 측정함으로써(사진 11) 향후 실제 구조물에 고강도-고유동 콘크리트를 적용하였을 경우에 대비한 기초 자료를 삼고자 하였다. 다음 <표 5>에 각 기둥의 콘크리트 침하량이 나타나 있다.

표 5. 콘크리트 침하량 측정

콘크리트	270 일반	270 유동화	500 일반	500 무다짐
침하량(mm)	2.82	-	9.96	30.97

위의 표에서 알 수 있는 것처럼 콘크리트의 충전 완료 1시간 경과 후 침하량을 측정한 결과 500 kgf/cm² 일반인 경우가 270 kgf/cm² 일반인 경우보다 침하량이 약 7 cm 많은 것으로 측정되었으며, 500 kgf/cm² 무다짐 콘크리트의 경우가 500 kgf/cm² 일반인 경우보다 21 mm 크게 침하하여 강도가 증가할 수록 그리고 유동성이 증가할 수록 침하량도 증가하여 한 것으로 판단된다.

3.5 수화 온도

고강도 콘크리트의 경우 낮은 물-시멘트비와 단위체적당 시멘

트량의 증가로 콘크리트 내부의 수화 온도가 상당히 증가하게 된다. 이때 콘크리트 내부의 온도와 콘크리트 표면, 그리고 외기 온도의 차가 커지면 콘크리트 경화 초기에 온도 균열이 발생하는 등 구조물의 안전에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 본 실험에서는 각형강관 내에 콘크리트를 충전하여 별도의 보양 조치를 하지 않을 경우 콘크리트 내에 발생하는 수화 온도 측정을 위하여 기둥 단면의 중앙부(외부로부터 350 mm 거리)와 외부에서 10 mm 떨어진 부분에 온도 측정용 게이지를 콘크리트 타설전에 매립하여 수화 온도를 측정하였다. 또한 외부 온도의 변화에 따른 콘크리트 수화 온도 변화를 비교하기 위하여 대기 중에 온도 측정용 게이지를 설치하였다. 수화 온도 측정용 게이지의 매립 위치가 다음 <그림 4>에 나타나 있으며, 온도 측정 광경과 게이지 매립 상황이 다음 <사진 12>과 <사진 13>에 나타나 있다.

이러한 과정으로 측정된 각 실험 기둥의 수화 온도 최고치가 다음 <표 6>과 <그림 5>에 나타나 있다.

<표 6>에서 알 수 있는 것처럼 실험 기둥의 중앙부에서 측정한 콘크리트의 최고 온도는 500 kgf/cm² 일반인 경우 67.3 °C

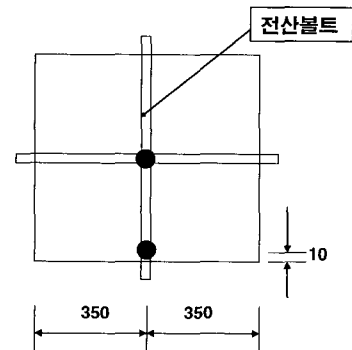


그림 4. 수화 온도 게이지 매립 위치

표 6. 수화 온도 측정 결과

구 분	f _{ck} = 270 kgf/cm ² (일반)		f _{ck} = 270 kgf/cm ² (유동화)		f _{ck} = 500 kgf/cm ² (일반)		f _{ck} = 500 kgf/cm ² (무다짐)	
	중앙부	표 면	중앙부	표 면	중앙부	표 면	중앙부	표 면
최고 온도 (°C)	51.3	30.5	48.1	35.5	67.3	22.7	53.6	32.2
외기 온도 (°C)	17	17	22	22	17	17	23	23
경과 시간 (hour)	9.5	9.5	12.5	12.5	12	12	20.5	20.5

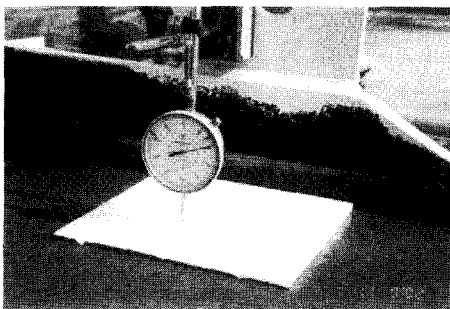


사진 11. 콘크리트 침하량 측정광경

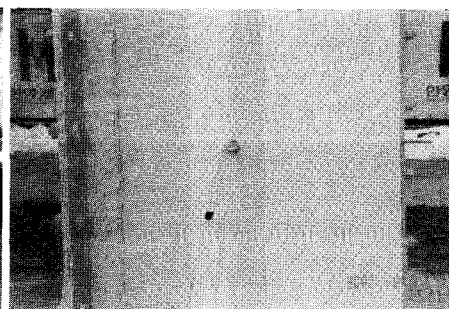


사진 12. 수화 온도 게이지 매립 광경

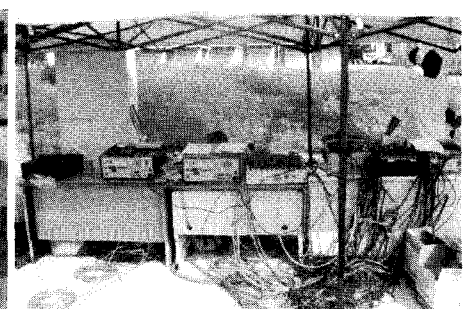


사진 13. 수화 온도 측정용 Data Logger

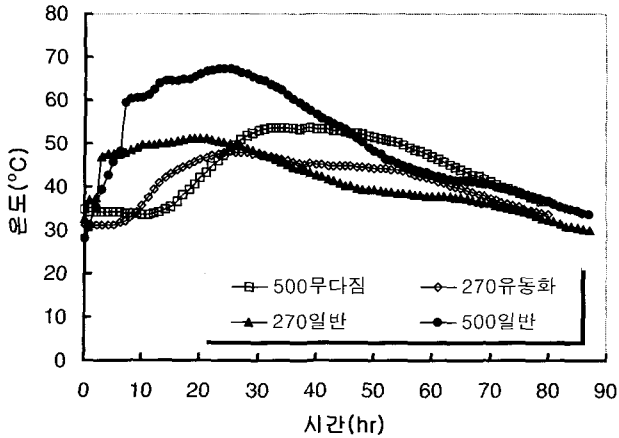


그림 5. 수화 온도 측정 결과

를 나타내었고, 500 kgf/cm² 무다짐의 경우에는 53.6°C를 나타내어 유동화 개념을 적용하지 않은 경우가 13.7°C 정도 크게 나타났다. 또한 270 kgf/cm² 일반인 경우 51.3°C를 나타내어 500 kgf/cm² 일반인 경우보다 16°C 정도 적게 나타났다. 이로 부터 콘크리트의 강도가 고강도화될 경우 콘크리트의 시공성 및 수화온도 발현특성을 고려할 때 유동화 콘크리트의 개념을 적용하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

3.6 콘크리트 압축강도

콘크리트를 타설하면서 상당한 펌프압력을 받은 콘크리트의 압축강도 시험을 위하여 콘크리트 타설전 콘크리트와 타설이 완료된 후 시험기둥의 최상부에서 콘크리트를 채취하여, 각 단계에서 $\Phi 10 \times 20$ cm의 실린더 공시체를 제작하여 재령 7일 및 28일 압축강도를 측정하였으며, 비교시험으로 재 28일에서의 활렬인장강도를 측정하여 다음 <표 7>과 같은 결과를 얻었다. 표에서 알 수 있는 것처럼 콘크리트 압송전보다 압송후의 압축강도가 증가하는 것으로 나타났으며, 이것은 콘크리트가 압력을 받으면서 콘크리트 내부의 공극이 감소하여 콘크리트 구성재료간의 조적이 치밀해져 좀 더 높은 강도를 발현하는 것으로 판단된다.

표 7. 콘크리트 압축강도 시험결과

콘크리트 구분	강도	압축강도(kgf/cm ²)		활렬인장강도(kgf/cm ²)
		7일	28일	
270 일반	압송전	165	241	37
	압송후	-	-	-
270 고유동	압송전	239	324	42
	압송후	224	351	45
500 일반	압송전	371	461	64
	압송후	414	513	63
500 무다짐	압송전	425	557	59
	압송후	439	561	69

3.7 강관변형도

콘크리트 충전 강관기둥의 각형기둥은 원형기둥과 달리 콘크리트 축압으로 인하여 강관에 작용하는 횡압력분포가 달라 기둥단면의 배부름 현상이 발생할 가능성이 있다. 이러한 현상은 일반 콘크리트에 비해 점성이 큰 고강도 혹은 유동화 콘크리트를 적용할 경우 발생 가능성이 더 증가하므로 강관기둥의 형상 및 단면 크기에 따라, 그리고 시공높이에 따라 적용가능한 강관두께를 산정하도록 하고 있다. 본 시험에서는 서로 다른 종류의 콘크리트와 시공높이가 다른 각 실험기둥에 대하여 강관기둥 하부로부터 2.5m 위치에 전기저항식 스트레인지이지(strain gauge)를 부착하여 콘크리트 타설에 따른 강관의 변형도를 측정하였다. 각 실험기둥에 스트레인지지를 부착한 상황이 다음 <사진 14>에 나타나 있다.

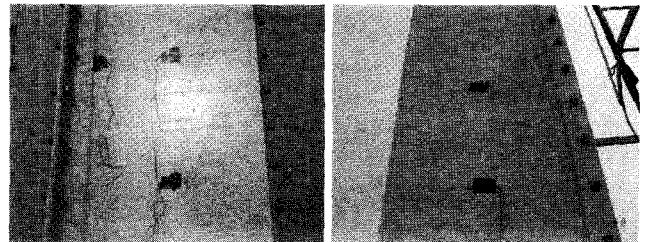


사진 14. 스트레인 게이지 부착상황

실험결과 500 kgf/cm²의 무다짐 콘크리트를 하부압입한 기둥(C1)의 단면 중앙부에서의 변형률이 다른 기둥보다 크게 나타났으며, 동일한 기둥실험체에서도 단면 중앙부의 변형률이 측면에서의 변형률보다 약 2배 정도 큰 것으로 나타났다. 이로부터 일반 콘크리트에 비해 축압이 크게 작용하는 고강도-고유동 콘크리트를 사용할 경우에는 일반 콘크리트를 사용할 때보다 강관의 두께를 증가시키는 등의 설계상의 고려가 있어야 할 것으로 판단된다. 각 기둥별 변형률 측정결과가 다음 <그림 6>에 나타나 있다.

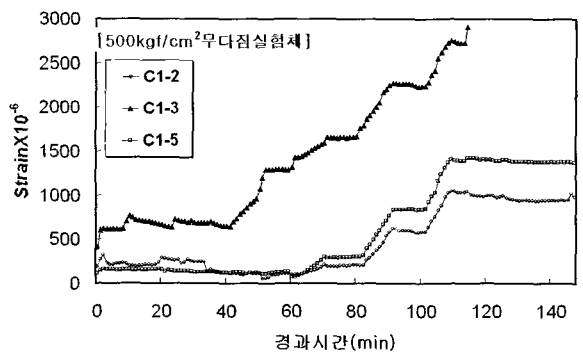



그림 6. 강관의 횡변형률 측정 결과

4. 결 론

압축강도 270 kgf/cm²와 500 kgf/cm²인 일반 및 고유동(무다짐) 콘크리트의 시공 성능 평가를 위하여 700 × 700 × 22,000(15,000) mm 크기의 각형강관에 콘크리트 압입 충전 실험을 실시한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

- 1) 콘크리트의 압송 전·후에 시험한 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프, 슬럼프 플로우, L-flow, U형 충전성 등은 품질기준을 만족하여 양호한 품질상태를 나타내었다.
- 2) 700 × 700 × 22,000 mm 크기의 각형강관 기둥에 압축강도 500 kgf/cm², 플로우 65 ± 5 cm의 성능을 가지는 고강도-고유동(무다짐) 콘크리트를 하부압입에 의하여 시공할 경우 최고 130 bar 정도의 압력이 소요되는 것으로 나타났다.
- 3) 동일한 압축강도 500 kgf/cm²을 가지는 무다짐 콘크리트와 일반 콘크리트의 침하량은 무다짐의 경우가 일반보다 21 mm 크게 측정되어 유동성이 큰 콘크리트를 시공할 경우 일반 콘크리트보다 침하량이 증가할 것으로 예상하여 이를 고려한 시공이 필요한 것으로 판단된다.
- 4) 실험 기둥의 중앙부에서 측정된 콘크리트의 최고 온도는 500 kgf/cm² 일반인 경우 67.3°C를 나타내었고, 500 kgf/cm² 무다짐의 경우에는 53.6°C를 나타내어 유동화 개념을 적용하지 않은 경우가 13.7°C 정도 크게 나타났다. 또한 270 kgf/cm² 일반인 경우 51.3°C를 나타내어 500 kgf/cm² 일반인 경우보다 16°C 정도 적게 나타났다. 이로부터 콘크리트의 강도가 고강도화될 경우 콘크리트의 시공성 및 수화온도 발현특성을 고려할 때 유동화 콘크리트의 개념을 적용하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 5) 콘크리트 압송전·후의 압축강도는 압송후가 다소 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 고압력을 받은 콘크리트의 내부공극이 감소하여 콘크리트 구성재료간의 조적이 치밀해져 좀 더 높은 강도를 발현하는 것으로 판단된다.
- 6) 500 kgf/cm²의 무다짐 콘크리트를 하부압입한 기둥의 단

면 중앙부에서의 변형률이 다른 기둥보다 크게 나타났으며, 동일한 기둥 실험체에서도 단면 중앙부의 변형률이 측면에서의 변형률보다 약 2배 정도 큰 것으로 나타났다. 이로부터 일반 콘크리트에 비해 측압이 크게 작용하는 고강도-고유동 콘크리트를 사용할 경우에는 일반 콘크리트를 사용할 때보다 강관의 두께를 증가시키는 등의 설계상의 고려가 있어야 할 것으로 판단된다.

- 7) 콘크리트 압축 강도 500 kgf/cm²의 고강도-유동화 콘크리트가 배합 기준으로 정한 각종 물성치를 만족하는 양호한 품질 관리가 이루어질 경우 실제 구조물의 충전 강관기둥에 충분히 적용이 가능한 것으로 판단된다. 

참고문헌

1. 신성우 외, "산본 삼성고층 APT에 플라이 애쉬를 혼입한 500 kgf/cm² 이상의 고강도 콘크리트의 최적배합, 시공 및 구조적 연구", 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 1991. 11, p.162.
2. 米澤 敏男의 5인, "シリカフェームを用いた超高強度コンクリートの鋼管壓入施工", 日本コンクリート工學, Vol.31, No.12, 1993. 12, pp.22~33.
3. 윤영수 외 3인, "합성강관 충전용 고강도-초유동 콘크리트의 현장적용을 위한 실험적 연구", 한국콘크리트학회지, 제8권 2호, 1996. 4, pp.151~161.
4. 이덕찬 외 5인, "콘크리트 충전 강관기둥의 시공에 관한 연구", 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 제8권 1호, 1996. 5, pp.382~387.
5. 立山創一 외 3인, 充模型鋼管コンクリート柱への高流動ノンフリーシンクコンクリートの壓入, 日本コンクリート工學年次論文報告集, Vol.15, No.1, 1993, pp.215~220.
6. 신성우, 안종문, "충전각형강관 유동화 고강도 콘크리트 시공사례", 한국콘크리트학회지, 제 13권 3호, 2001. 5, pp.61~68.
7. 김진호 외, "일본 CFT 구조의 개발과 현장적용사례", 한국강구조학회지, 제 10권 4호, 1998. 12, pp.97~109.
8. 김옥중 외, "고유동 콘크리트를 이용한 콘크리트 충전강관 기둥의 성능평가를 위한 실험대 시공실험(I)", 대림기술정보, 2001, pp.36~49.