

# 특 집

|| 최신 유동화 콘크리트 ||

## 충전각형강관 유동화 고강도 콘크리트 시공 사례 - Application of High Strength Flowing Concrete for the Rectangular Steel Tube Columns -



신성우\*



안중문\*\*

### 1. 일반 사항

#### 1.1 배경

최근 국내에 30층을 초과하는 초고층 구조물들이 많이 건설되고 있으며, 콘크리트 품질의 향상 특히 콘크리트의 고강도화에 힘입어 이를 이용한 철근 콘크리트 고층 구조물들이 증가하고 있다. 이 중에서 철근 콘크리트 기둥의 구속 효과 및 연성 증진 효과 등을 고려한 콘크리트 충전각형강관 기둥(Concrete Filled Steel Tube Columns ; CFST Columns)에 관심이 높아지고 있다. 이러한 콘크리트 충전각형강관 기둥은 콘크리트가 강관에 의해 둘러싸여지기 때문에 축하중 저항 능력이 증가되는 장점과 동일한 단면으로 H형강을 사용한 순철골조 H형강 기둥의 강축(strong axis)과 약축(weak axis) 문제 해결과 동시에 강성(stiffness)을 증가시킬 수 있으며, 내화 성능이 향상되고 거푸집 대체 재료로 사용되는 등 여러 가지 장점을 지니고 있다. 또한 충전강관 기둥에 작용하는 축 하중은 대부분 콘크리트가 부담하게 되는데 이러한 충전강관 기둥의 장점을 극대화하기 위해서는 보통 강도 콘크리트보다 압축 강도 및 탄성계수가 큰 고강도 콘크리트의 사용은 불가피하게 된다.

이러한 충전각형강관 기둥을 시공하기 위해서 지금까지는 강관

내부에 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 콘크리트는 유동성이 확보된 고품질의 콘크리트여야 하며 또한 축력 부담의 장점을 극대화하고, 국내 레미콘 운송 시간의 문제점을 해결하기 위해서 고강도-고유동화 콘크리트의 도입이 필요하게 된다. 현재까지 이에 관하여 국내에서 시도된 경우는 보통 강도나  $400 \sim 500 \text{ kgf/cm}^2$ 의 고강도를 대상으로 하고 있다. 그러나, 이 경우에도 1~2시간 이상이 소요되는 레미콘 운송 시간에 대한 적절한 대책이 부족하며, 향후 증대될  $700 \text{ kgf/cm}^2$  이상의 초고강도-유동화에 관한 실용적 자료가 시급한 실정이다.

#### 1.2 시험 시공 목적

기존의 일반 콘크리트를 아파트 11층 바닥에 압송할 경우 펌프압은 일반적으로 100 bar 정도가 작용하게 되며,  $500 \text{ kgf/cm}^2$ 의 고강도 콘크리트의 경우 점성의 증가로 인해 보통 강도 콘크리트보다 약 1.5배 높은  $150 \sim 200 \text{ bar}$ 의 펌프압이 작용하는 것으로 보고된 바 있다.<sup>1)</sup> 이러한 펌프압을 고려할 때 각형강관 내부에 고강도 콘크리트를 압입할 경우 펌프압은 크게 작용하게 되며, 또한 충전 정도에 대한 문제점이 발생할 수 있다. 그리고 구조물에 충전각형강관 기둥을 사용할 경우 기둥과 보(철

\* 정희원, 한양대학교 건축학부 교수

\*\* 정희원, 한양대학교 STRESS 연구조교수

골 보 또는 철근 콘크리트 보)가 교차하는 접합부에는 다이아프램(diaphragm)을 사용하게 되므로 이 부분에 대한 콘크리트의 밀실한 충전은 반드시 확보되어야 한다. 그러나 유동성이 확보되지 못한 기존의 일반 콘크리트의 경우에는 다이아프램이 설치된 부분에서 다이아프램으로 인한 타설 장애, 그리고 다이아프램 하면에 서의 콘크리트 침하 등에 따라 밀실한 충전을 기대할 수 없는 상황이다. 더욱이 상기에 관한 해결 방안은  $700 \text{ kgf/cm}^2 (10,000 \text{ psi})$  이상의 초고강도의 경우 국내외적으로 미흡한 상태여서<sup>2)~5)</sup> 이에 관한 대책이 절실하다.

따라서 본 시험 시공에서는 콘크리트 압축 강도  $500, 700 \text{ kgf/cm}^2$ 의 고강도-고유동화 콘크리트를 사용하여 이러한 문제점을 해결하고, 기본적인 충전 상황 및 충전 높이에 따른 펌프 압송 능력을 정량적으로 평가하기 위해 두 가지 형태의 실험체, 즉 다이아프램이 설치되지 않은 실험 기둥과 설치된 기둥을 제작하여 다이아프램의 유·무에 따른 펌프압의 변화 및 다이아프램 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

### 2.1 실험 기둥 계획

본 시험 시공을 위한 실험 기둥은 단면이  $600 \times 600 \text{ mm}$ 인 정방형의 각형강관으로 높이는 실제 시공 조건을 고려하여  $9,300 \text{ mm}$ 로 계획하였으며, 두께  $6 \text{ mm}$ 의 SS41 재질의 강관을 사용하였다. 실험 기둥은 고층 구조물의 이용에 증대될 고강도 콘크리트 중 압축 강도  $500 \text{ kgf/cm}^2$ 인 경우와  $700 \text{ kgf/cm}^2$ 인 경우에 대하여 다이아프램이 설치된 경우와 설치되지 않은 경우

를 구분하여 총 4개를 제작하였다. 실험체는 철골 구조의 1회 시공 단위인 3층 높이를 가정한 것으로 다이아프램이 설치된 실험체의 경우 각 층별로 보를 지지할 내부 다이아프램을 2개씩 총 4개 설치하였다. 다이아프램은 충전되는 콘크리트의 통과를 위하여 다이아프램의 중앙부에 직경  $300 \text{ mm}$ 의 원형 구멍을 뚫어 20%의 개구율을 가지도록 하였으며, 다이아프램의 하부에 콘크리트가 충전되면서 갇힌 내부 공기를 배출하기 위하여 다이아프램의 각 모서리에 직경  $30 \text{ mm}$ 의 공기 구멍을 설치하였다. 그리고 콘크리트의 충전 상황을 확인하기 위하여 실험 기둥의 한 면에는 하부로부터  $900 \text{ mm}$  간격으로 직경  $10 \text{ mm}$ 의 충전 확인 구멍을 설치하였다. 또한 각형강관 기둥에 콘크리트가 타설된 이후에는 내부 콘크리트의 충전 상태를 확인할 수 없기 때문에 콘크리트 양생 이후 강관의 해체가 가능하도록 각형강관을 수직으로 이등분하여 볼트로 체결하였다. 그리고 실험 후 실험체의 영구 보존을 위하여 각형강관 기둥의 하부에  $1200 \times 1200 \times 500 \text{ mm}$ 의 기초를 시공한 후 L형 앵커볼트를 설치하고 각형강관을 세우도록 하였다. 이상과 같은 실험 기둥 및 다이아프램의 형상이 다음 <그림 1>에 나타나 있으며, <사진 1>, <사진 2>에 실험체의 설치 상황과 콘크리트 충전 차단창의 상태가 나타나 있다.

### 2.2 콘크리트 제조

압축 강도  $500 \text{ kgf/cm}^2$ 와  $700 \text{ kgf/cm}^2$ 의 고강도-유동화 콘크리트 제조는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 유동성을 증진시키기 위하여 2종류의 고유동화제를 사용하였는데 이 중 B/P에서는 콘크리트 운반시 슬럼프 손실을 방지하는 지연형 고성능 유동화제를, 그리고 현장에서는 현장 첨가용 유동화제를 사용하였다. 또한 고강도 콘크리트 제조를 위한 시멘트량의 증가로 인한 높은 수화 온도를 저감시키기 위하여 플라이 애쉬(fly ash)를 사용하였

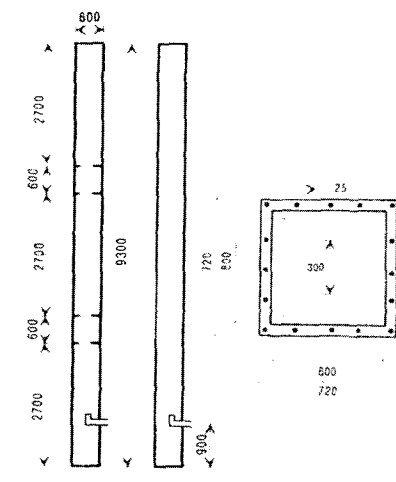


그림 1. 실험 기둥 및 다이아프램의 형상



사진 1. 실험 기둥의 설치 상황

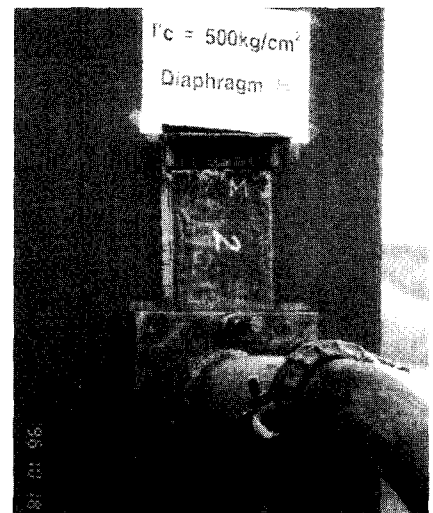


사진 2. 콘크리트 충전 차단창

으며 700 kgf/cm<sup>2</sup>의 고강도 콘크리트에는 실리카 폼(silica fume)을 사용하였다. 굵은골재는 최대 크기 25 mm 화강암 쇄석을, 잔골재는 세척사를 사용하였다.

본 실험에 사용된 콘크리트의 생산은 고려산업개발 관악공장 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 1>과 같은 배합비를 적용하였다. 본 실험이 이루어지는 현장은 한양대학교 안산캠퍼스 내에 위치하고 있고 레미콘 공장은 서울 사당동에 위치하고 있어 콘크리트 타설 당일의 교통량을 고려할 때 레미콘의 운반 시간이 1시간 이상 소요될 것으로 판단되어 장시간의 경과에도 콘크리트 슬럼프의 손실을 방지하고 양호한 작업성을 확보하기 위하여 지연 효과와 점증 효과를 동시에 가지고 있는 나프탈렌계 초유동 콘크리트 혼화제를 레미콘 배치 플랜트에서 콘크리트 제조시 첨가하였으며, 콘크리트의 현장 도착 직후 콘크리트의 상태를 확인한 후 운반 시간의 지연으로 콘크리트 타설에 어려움이 있다고 판단되는 경우 현장 첨가용 고유동제를 추가 투여하였다.

표 1. 고강도-유동화 콘크리트 배합비

구 분	500 kg/cm <sup>2</sup>	700 kg/cm <sup>2</sup>	배 합 기 준
배 합 요 인			
단위결합재량(B, kg/m <sup>3</sup> )	560	580	● 목표 기준 강도 : 배합 강도 이상
굵은골재 최대 크기(mm)	25	25	
물-결합재비(W/B, %)	30	28	● 슬럼프 : 26±1cm
잔골재율(S/a, %)	53	50	
고성능 감수제 첨가량 (B×%)	2.2	3.0	● 슬럼프 플로우 : 60±5cm
F.A. 대체율 (B×%)	10	4	
S.F 대체율 (B×%)	-	8	● 공기량 : 2.5±1.0 %

### 2.3 콘크리트 타설

콘크리트 타설은 각형강관 기둥의 하부로부터 약 900 mm되는 높이에 콘크리트 주입구를 설치한 후 Portable Pump를 사용하여 콘크리트를 압입하여 기둥 하부로부터 상부로 채워 올라가는 역타설 방법을 사용하였다. 콘크리트 타설에 사용된 Portable Concrete Pump는 슈빙(Schwing)사의 BP 3000 기종으로 최대 출력 280 bar였으며, 콘크리트의 타설을 위한 배관 상태가 다음 <사진 3>에 나타나 있다. 배관은 직경 150 mm의 파이프를 연결하였으며 배관 길이는 곡관을 포함하여 약 50 m 정도 되었다. 콘크리트의 타설은 500 kgf/cm<sup>2</sup>를 먼저 실시하였으며 타설이 완료된 후 관내에 남아 있는 콘크리트를 완전히 배출한 후 700 kgf/cm<sup>2</sup> 콘크리트를 타설하였다.

각 기둥의 상부에서 콘크리트의 충전이 완료된 것을 확인한 후

주입구에 설치한 콘크리트 차단창을 내려서 기둥에서 콘크리트의 배출을 방지한 후 주입구를 해체하여 다음 기둥에 주입구를 설치하고 콘크리트를 타설하였다.

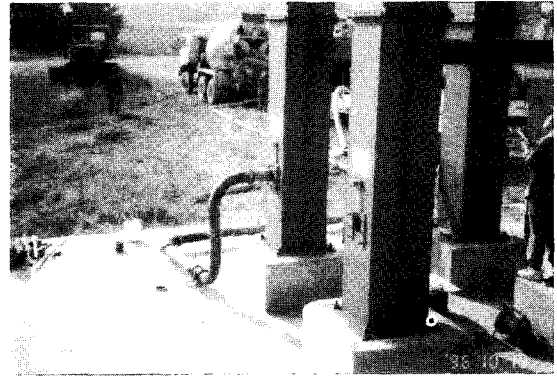
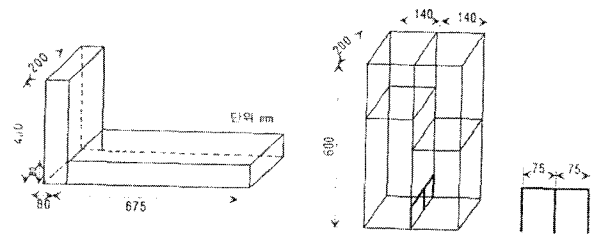


사진 3. 콘크리트 타설을 위한 배관 상태

### 2.4 콘크리트 물성 시험

압축 강도 500, 700kgf/cm<sup>2</sup>의 고강도-유동화 콘크리트의 물성을 평가하기 위하여 3단계, 즉 레미콘 공장에서 콘크리트를 생산한 직후, 현장 도착 직후 펌프 압송 전, 그리고 기둥에 콘크리트 충전 완료 후 콘크리트 시료를 채취하여 슬럼프(slump), 슬럼프 플로우(slump flow), L형 플로우, U형 박스단차(좌우 높이차), 공기량, 그리고 기둥 높이에 따른 콘크리트 충전 시간 및 콘크리트 내부의 수화 온도, 충전 완료 후 콘크리트 침하량을 측정하였다.

본 실험에서 콘크리트의 물성을 평가하기 위하여 사용된 L형 플로우 측정 장치와 U형 박스단차 실험 장치의 형상이 다음 <그림 2>에 나타나 있다.



(a) L-플로우 시험 장치 (b) U-박스단차 시험 장치

그림 2. 물성 시험 장치

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 물성 시험 결과

콘크리트의 물성 시험 결과가 다음 <표 2>에 나타나 있다.

표 2 콘크리트 물성 시험 결과

	$f_{ck} = 500\text{kgf/cm}^2$			$f_{ck} = 700\text{kgf/cm}^2$		
	생산 직후	압송 전	압송 후	생산 직후	압송 전	압송 후
Slump(cm)	26	27	20	25	26	22
Slump-Flow(cm)	60   58	64   62	33   34	60   61	55   54	46   46
L-Flow(cm)	-	69	36	-	71	53
U형 박스단차(cm)	-	2	43	-	25	58
공기량(%)	2.1	-	-	1.9	-	-

1) 슬럼프 및 슬럼프 플로우

콘크리트의 생산에서부터 타설에 이르기까지의 슬럼프 및 슬럼프 플로우 변화는 레미콘 공장에서 콘크리트를 생산한 직후에는 500 kgf/cm<sup>2</sup>인 경우 슬럼프가 26 cm, 슬럼프 플로우가 59 cm 이고, 700 kgf/cm<sup>2</sup>인 경우는 25 cm, 61 cm로 각각 측정되어 배합 기준을 만족하였다. 그리고 레미콘 공장으로부터 현장까지의 레미콘 운반 시간이 약 1시간 20분 정도 소요되어 현장 도착 직후 콘크리트의 슬럼프 손실이 있는 것으로 판단되어 현장 첨가용 고유동화제를 0.2% 추가 투여한 후 측정된 슬럼프 및 슬럼프 플로우치는 500 kgf/cm<sup>2</sup>인 경우는 27 cm, 63 cm이고, 700 kgf/cm<sup>2</sup>인 경우는 26 cm, 55 cm로 콘크리트 생산 직후보다 슬럼프치는 1 cm 증가하였고, 슬럼프 플로우치는 500 kgf/cm<sup>2</sup>인 경우는 4 cm 증가, 700 kgf/cm<sup>2</sup>인 경우는 6 cm 감소한 것으로 나타났지만 배합 기준으로 정하였던 기준치를 만족하는 것으로 나타나 콘크리트의 압송에는 무리가 없는 것으로 나타났다. 그러나 콘크리트의 압송 직후 기둥의 상부에서 채취한 콘크리트의 슬럼프 및 슬럼프 플로우치를 측정된 결과 500 kgf/cm<sup>2</sup>인 경우는 20 cm, 34 cm이고, 700 kgf/cm<sup>2</sup>인 경우는 22 cm, 46 cm로 급격한 감소를 나타내었다. 단계별 슬럼프 및 슬럼프 플로우치의 변화가 다음 <그림 3>에 나타나 있다.

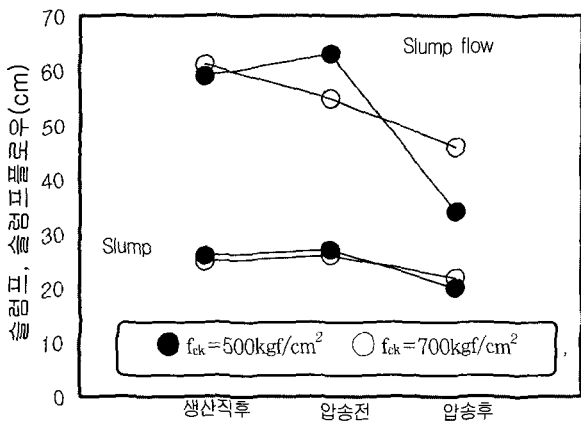


그림 3. 슬럼프 및 슬럼프 플로우 변화량

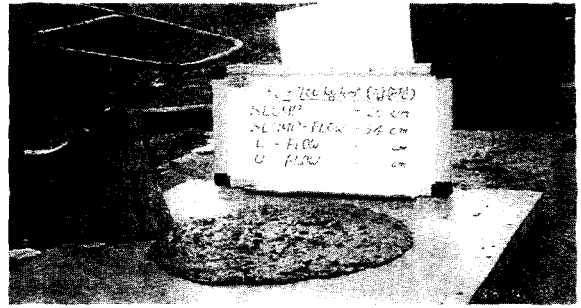


사진 4. 슬럼프 및 슬럼프 플로우 시험 광경

2) L-플로우

콘크리트의 현장 도착 직후 현장 첨가용 고유동화제를 추가 투여한 후 콘크리트 압송 전 측정된 결과 500 kgf/cm<sup>2</sup>인 경우는 69 cm, 700 kgf/cm<sup>2</sup>인 경우는 71 cm로 양호한 값을 나타내었으나 콘크리트의 압송이 완료된 후 측정하였을 때에는 500 kgf/cm<sup>2</sup>인 경우는 36 cm로 초기값보다 33 cm 감소하였으며, 700 kgf/cm<sup>2</sup>인 경우는 53 cm로 초기값보다 18 cm 정도 감소하였다. 단계별 L-플로우치의 변화가 다음 <그림 4>에 나타나 있다.

3) U형 박스단차

U형 박스단차는 콘크리트의 현장 도착 직후 현장 첨가용 고유동화제를 추가 투여한 후 콘크리트 압송 전 측정된 결과 500 kgf/cm<sup>2</sup>인 경우는 2 cm로 양호한 값을 나타내었으나 700 kgf/cm<sup>2</sup>인 경우는 25 cm로 매우 큰 값을 나타내었는데 이는 채취한 콘크리트 시료의 굵은골재가 최대 크기 25 mm 이상이 되는 골재가 함유되어 있어 서로 뒤엉키면서 U형 박스단차 실험 장치의 철근 사이를 통과하지 못하여 좌우편 콘크리트의 단차가 커진 때문으로 판단된다. 콘크리트의 압송이 완료된 후 U형 박스단차를 측정된 결과는 500 kgf/cm<sup>2</sup>인 경우는 43 cm로 초기값보다 41 cm 증가하였으며, 700 kgf/cm<sup>2</sup>인 경우는 58 cm로 초기값보다 33 cm 정도 증가하였다. 단계별 U형 박스단차의 변화가 다음 <그림 4>에 나타나 있다.

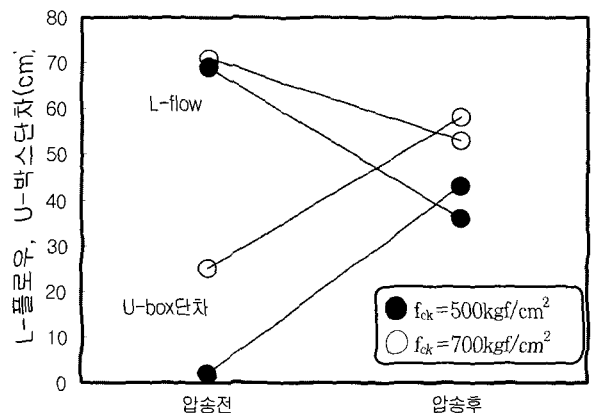


그림 4. L-flow 및 U-박스단차 변화량

이상과 같이 굳지 않은 콘크리트의 압송 전과 압송 후에 측정된 슬럼프, 슬럼프 플로우, L-플로우, U형 박스단차 등의 물성 변화가 큰 것은 보통 강도 콘크리트보다 점성이 큰 고강도-유동화 콘크리트를 고압 압송함으로써 콘크리트의 점성은 더 증가한 반면 콘크리트의 유동성은 상대적으로 감소하기 때문으로 판단된다.

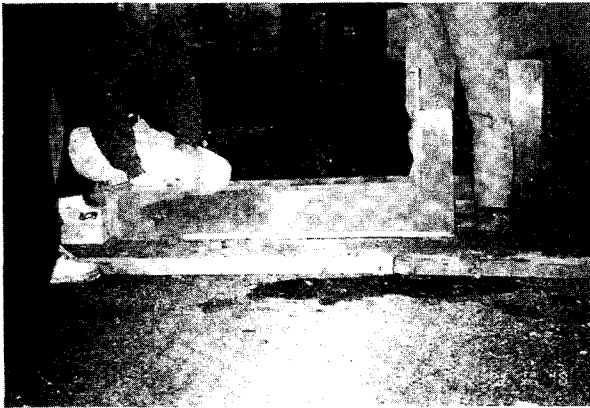


사진 5. L-flow 시험 광경

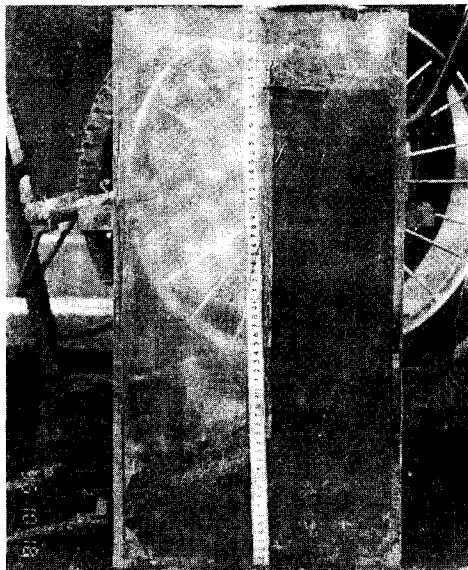


사진 6. U-박스단차 시험 광경

### 3.2 콘크리트 타설 소요 시간

각형강관의 하부로부터 상부까지 콘크리트의 충전 시간을 단계 별로 측정한 결과가 다음 <표 3>과 <표 4>에 나타나 있다. 타설 소요 시간의 측정은 콘크리트가 기둥의 하부로부터 채워져 올라 오면서 900 mm까지 충전이 완료되었을 때를 초기값으로 하고 상부로 충전되는 시간을 상대적으로 측정한 값이며 측정 기준은 강관 기둥의 측면에 뚫어 놓은 직경 10 mm의 콘크리트 충전 확인용 구멍으로 콘크리트가 흘러나오는 시점을 기준으로 하였다.

표 3. 콘크리트 타설 시간(다이아프램이 있는 경우)

높이(mm) 구분	180	270	340	420	500	645	740	900	총 시간
500kg/cm <sup>2</sup>	9	27	45	62	80	117	142	175	2분 55초
700kg/cm <sup>2</sup>	19	38	52	69	89	119	145	179	2분 59초

표 4. 콘크리트 타설 시간(다이아프램이 없는 경우)

높이(mm) 구분	180	270	360	450	630	720	900	총 시간
500kg/cm <sup>2</sup>	25	-	95	112	152	172	212	3분 32초
700kg/cm <sup>2</sup>	16	36	56	75	115	133	174	2분 54초

위의 표에서 알 수 있는 것처럼 콘크리트의 충전에 소요된 총 시간은 다이아프램이 있는 경우 500 kgf/cm<sup>2</sup>에서는 2분 55초, 700 kgf/cm<sup>2</sup>에서는 2분 59초가 소요되어 700 kgf/cm<sup>2</sup>인 경우가 약 4초 정도 더 소요되는 것으로 나타났다. 그리고 다이아프램이 없는 경우에는 500 kgf/cm<sup>2</sup>에서는 3분 32초, 700 kgf/cm<sup>2</sup>에서는 2분 54초가 소요되어 500 kgf/cm<sup>2</sup>인 경우가 약 38초 정도 더 소요되는 것으로 나타나 다이아프램이 있는 경우와는 반대의 결과를 나타내었다.

또한 같은 압축 강도인 500 kgf/cm<sup>2</sup>를 가지는 경우에는 다이아프램이 있는 경우는 2분 55초, 다이아프램이 없는 경우에는 3분 32초가 소요되어 다이아프램이 없는 경우가 있는 경우보다 37초 정도 더 소요되었으며, 700 kgf/cm<sup>2</sup>인 경우에는 다이아프램이 있는 경우는 2분 59초, 다이아프램이 없는 경우에는 2분 54초가 소요되어 다이아프램이 없는 경우가 있는 경우보다 5초 정도 빠른 충전 상태를 나타내었다. 이와 같은 결과를 미루어볼 때 각형강관을 충전하기 위한 고강도-유동화 콘크리트의 경우 배합 기준으로 정한 슬럼프 플로우 값과 L 플로우값, 그리고 U형 박스단차를 만족한다면 콘크리트의 압축 강도나 다이아프램의 유무는 콘크리트의 타설 속도에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

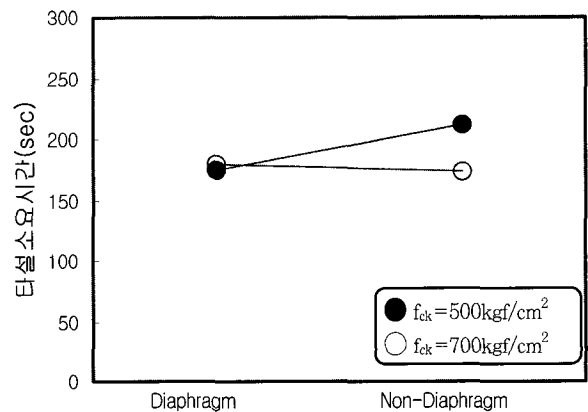


그림 5. 콘크리트 하부 압입 충전 소요 시간

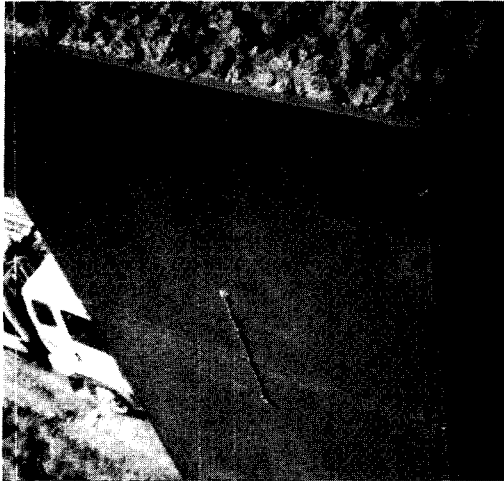


사진 7. 콘크리트 충전 상태

다음 <사진 7>에 충전 확인 구멍에 콘크리트가 흘러나오는 광경이 나타나 있으며, <그림 5>에 다이아프램의 유·무에 따른 콘크리트 압입 충전 소요 시간이 비교되어 있다.

### 3.3 콘크리트 펌프 압력

본 시험 시공에서는 고강도-고유동 콘크리트의 압입 방법을 상부에서 하부로가 아닌 하부에서 상부로 콘크리트를 채워가는 방법을 택하였기 때문에 강관 기둥의 최상부인 높이 9,300 mm 까지 콘크리트가 완전히 충전되기 위해서는 상당히 많은 양의 펌프 압력이 소요될 것으로 예상하였으며 이를 측정하기 위하여 Portable Concrete Pump에 부착되어 있는 압력 게이지의 Bar 값을 측정하여 고강도-유동화 콘크리트의 압입에 소요되는 압력과 적절한 Pump Car의 선택을 위한 자료를 삼고자 하였다. Bar값의 측정은 콘크리트가 기둥의 하부로부터 1,800 mm 충전되었을 때와 6,000 mm 충전되었을 때를 기준으로 하였으며 측정 결과가 다음 <표 5>에 나타나 있다.

표 5. Concrete Pump의 Bar값 측정 결과  
( )안의 값은 psi 단위

구 분 \ 높 이	h = 1.8 m	h = 6.0 m
$f_{ck} = 500 \text{ kgf/cm}^2$	55bar (800psi)	60bar (900psi)
$f_{ck} = 700 \text{ kgf/cm}^2$	55bar (800psi)	70bar(1000psi)

위의 표에서 알 수 있는 것처럼 압축 강도가  $500 \text{ kgf/cm}^2$ 인 경우나  $700 \text{ kgf/cm}^2$ 인 경우 모두 기둥의 높이가 1.8 m까지의 충전에 소요되는 압력은 55 bar로 동일하게 나타났으나, 높이가 6.0 m인 경우에는 충전에 소요되는 압력이  $500 \text{ kgf/cm}^2$ 가 60 bar이고  $700 \text{ kgf/cm}^2$ 이 70 bar로  $700 \text{ kgf/cm}^2$ 인 경우가  $500 \text{ kgf/cm}^2$ 인 경우보다 약 10 bar 정도 더 필요한 것으로 나타났다. 이러한 결과로 미루어볼 때 펌프카를 이용한 고강도-유동화

콘크리트의 압송에는 고유동이 아닌 일반 고강도 콘크리트에 소요되는 펌프 압력보다는 적은 압력이 소요되지만 콘크리트 강도가 증가할수록 소요되는 펌프 압력이 증가하므로 이를 고려한 적절한 펌프카의 선택이 필요한 것으로 판단된다.

### 3.4 콘크리트 침하량

고유동 콘크리트는 타설하면서 진동기(vibrator)를 이용한 별도의 다짐을 필요로 하지 않기 때문에 콘크리트의 타설이 완료된 이후에는 콘크리트의 자중으로 인한 수직 수축 변화가 발생할 수 있다. 고유동 콘크리트를 사용한 실제 구조물에서 기둥의 수축을 고려하지 않고 콘크리트를 타설하였을 경우에는 향후 구조물의 구조적인 안전성에 심각한 위협을 초래할 수도 있다. 따라서 본 시험 시공에서는 고강도-고유동 콘크리트의 강관 압입 충전이 완료된 시점을 기준으로 1시간 정도 경과한 후에 기둥 상부 면에서 콘크리트의 수직 침하량을 측정함으로써 향후 실제 구조물에 고강도-고유동 콘크리트를 적용하였을 경우에 대비한 기초 자료를 삼고자 하였다. 다음 <표 6>에 각 기둥의 콘크리트 침하량이 나타나 있다.

표 6. 콘크리트 침하량 측정 결과

	$f_{ck} = 500 \text{ kgf/cm}^2$	$f_{ck} = 700 \text{ kgf/cm}^2$
침하량 (mm)	20	60

위의 표에서 알 수 있는 것처럼 콘크리트의 충전 완료 1시간 경과 후 침하량을 측정한 결과  $700 \text{ kgf/cm}^2$ 인 경우가  $500 \text{ kgf/cm}^2$ 인 경우보다 침하량이 약 4 cm 많은 것으로 측정되었는데 이는  $700 \text{ kgf/cm}^2$ 인 경우가  $500 \text{ kgf/cm}^2$ 인 경우보다 유동성이 양호하여 자중으로 인한 침하량도 증가한 것으로 판단된다.

### 3.5 수화 온도

고강도 콘크리트의 경우 낮은 물-시멘트비와 단위체적당 시멘트량의 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 300 mm 거리)와 외부에서 10 mm 떨어진 부분에 온도 측정용 게이지를 콘크리트 타설 전에 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 6>에 나타나 있으며, 온도 측정 광경과 게이

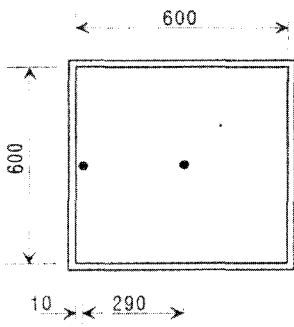


그림 6. 수화 온도 게이지 매립 위치

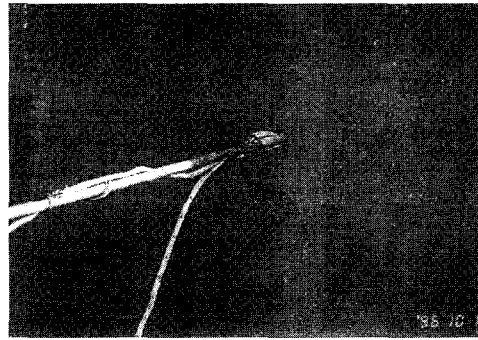


사진 8. 수화 온도 게이지 매립 광경

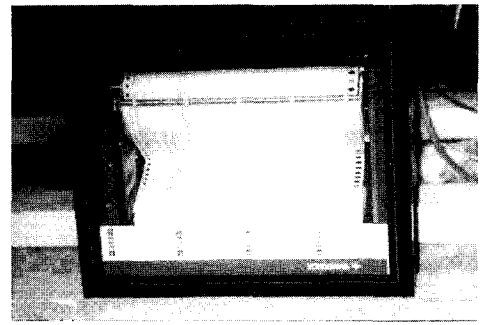


사진 9. 수화 온도 측정용 Data Logger

지 매립 상황이 다음 <사진 8>과 <사진 9>에 나타나 있다. 이러한 과정으로 각 실험 기둥의 수화 온도 최고치가 다음 <표 7>과 <그림 7>에 나타나 있다.

표 7. 수화 온도 측정 결과

구 분	$f_{ck} = 500\text{kgf/cm}^2$		$f_{ck} = 700\text{kgf/cm}^2$	
	중앙부	표 면	중앙부	표 면
최고 온도 (°C)	42	30	43	39
외기 온도 (°C)	17	17	18	22
경과 시간 (Hour)	33	33	28	21

위의 표에서 알 수 있는 것처럼 실험 기둥의 중앙부에서 측정 한 콘크리트의 최고 온도는  $500\text{kgf/cm}^2$ 인 경우  $42^\circ\text{C}$ 를 나타내었고,  $700\text{kgf/cm}^2$ 의 경우에는  $43^\circ\text{C}$ 를 나타내어 온도 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 실험 기둥의 표면에서 측정 한 콘크리트 최고 온도는  $500\text{kgf/cm}^2$ 인 경우  $30^\circ\text{C}$ 를 나타내었고,  $700\text{kgf/cm}^2$ 인 경우에는  $39^\circ\text{C}$ 를 나타내어  $700\text{kgf/cm}^2$ 의 경우가  $500\text{kgf/cm}^2$ 보다  $9^\circ\text{C}$  정도 높게 측정되었다. 이는  $700\text{kgf/cm}^2$ 의 경우는 최고 온도 발현 시점이 콘크리트 타설 완료 후 21시간이 경과한 오후 1시경이었고,  $500\text{kgf/cm}^2$ 의 경우는 33시간이 경과한 오후 10시경이 되어 외기의 영향을 크게 받았기 때문에 판단된다.

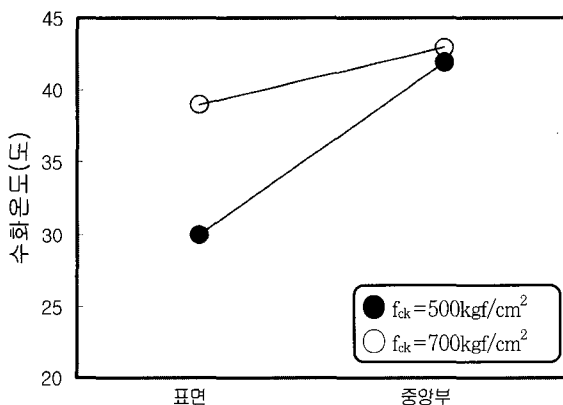


그림 7. 수화 온도 측정 결과

#### 4. 결 론

압축 강도  $500\text{kgf/cm}^2$ 와  $700\text{kgf/cm}^2$ 인 고강도-유동화 콘크리트의 시공 성능 평가를 위하여  $600 \times 600 \times 9300\text{mm}$  크기의 각형강관에 콘크리트 압입 충전 실험을 실시한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

1) 콘크리트의 생산에서부터 현장 도착 후 압송 전까지의 슬럼프 및 슬럼프 플로우는 배합 기준을 만족하는 양호한 상태를 나타내었으나, 압송 후에는 급격히 감소하였다. 그리고 현장 도착 직후 현장 첨가용 고유동화제를 추가 투여하였을 때 L 플로우는 양호하게 측정되었으나, 압송 후에는 급격히 감소하였다.

2) 콘크리트 압송 전후의 물성 변화가 큰 것은 고강도 콘크리트를 고압 압송함에 따라 콘크리트의 점성은 증가하는 반면 유동성은 감소하였기 때문에 판단된다.

3)  $600 \times 600 \times 9300\text{mm}$  크기의 각형강관에 고강도-유동화 콘크리트를 압입 충전하는 데는 약 3분 정도 소요되는 것으로 나타나 콘크리트의 각 물성치가 배합 기준을 만족한다면 압축 강도의 증가나 다이아프램의 유무는 콘크리트의 타설 속도에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 그리고, 펌프카를 이용한 고강도-유동화 콘크리트의 압송에는 고유동이 아닌 일반 고강도 콘크리트에 소요되는 펌프 압력보다는 적은 압력이 소요되지만 콘크리트 강도가 증가할수록 소요되는 펌프 압력이 증가하므로 이에 대한 정밀한 펌프 압력 계산과 함께 적절한 펌프의 선택이 필요한 것으로 판단된다.

4) 콘크리트의 침하량을 측정 한 결과  $700\text{kgf/cm}^2$ 인 경우가  $500\text{kgf/cm}^2$ 인 경우보다 침하량이 약 4cm 많은 것으로 측정되었는데 이는  $700\text{kgf/cm}^2$ 인 경우가  $500\text{kgf/cm}^2$ 인 경우보다 콘크리트 압송 후의 유동성이 양호하여 지중으로 인한 침하량도 증가한 것으로 판단된다.

5) 실험 기둥의 중앙부에서 측정 한 콘크리트의 최고 수화 온도는  $f_{ck} = 500\text{kgf/cm}^2$ 인 경우 타설 후 33시간에서  $42^\circ\text{C}$ 를 나타내었고,  $700\text{kgf/cm}^2$ 의 경우에는 28시간에서  $43^\circ\text{C}$ 를 나타내

어 온도 차이는 거의 없는 것으로 나타났으나, 거푸집을 사용한 일반 고강도 콘크리트가 12 ~ 15시간에 최고 수화 온도를 나타내는 것보다는 늦은 시간에 최고 온도를 나타내었다.

6) 콘크리트 압축 강도 500 kgf/cm<sup>2</sup> 이상의 고강도-유동화 콘크리트가 배합 기준으로 정한 각종 물성치를 만족하는 양호한 품질 관리가 이루어질 경우 실제 구조물의 충전강관용 부재에도 충분히 적용이 가능한 것으로 판단된다. 또한 고강도-유동화 콘크리트의 시공시 B/P에서는 지연형 고유동화제를 사용하고 현장 도착 후 현장 첨가용 고유동화제를 병행하여 사용하는 등 슬럼프 상실들을 방지하기 위한 혼화제의 적절한 사용이 필요한 것으로 판단된다. □

**참고문헌**

1. 신성우 외, "산본 삼성고층 APT에 플라이 애쉬를 혼입한 500kgf/cm<sup>2</sup>

이상의 고강도 콘크리트의 최적배합, 시공 및 구조적 연구", 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 1991. 11, p.162

2. 米澤 敏男 외 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, "充填型鋼管コンクリート柱への高流動ノンブリーシング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.

**경제 용어 해설**

● 동시호가(simultaneous bids and offers)

: 증권시장에서의 유가증권 매매거래 시 동시에 접수된 호가 및 시간의 선후가 분명하지 아니한 호가를 말하며 다음과 같은 경우가 여기에 해당된다. ① 매매시간(전장 또는 후장)의 최초가격 결정 시 호가접수 개시시점부터 장 개시 시점까지 접수된 호가, ② 시장의 임시정지 또는 매매거래가 중단되었다가 재개할 경우 시장 또는 매매거래의 재개부터 10 분간 접수된 호가, ③ 거래소가 따로 정한 종목의 종가결정시 장 종료 전 10 분전부터 장 종료 시까지 접수된 호가, ④ ① ②의 경우 위의 호가로 매매거래가 성립하지 아니한 경우에는 최초의 가격결정이 있을 때까지의 모든 호가를 동시호가로 본다.

● 핫 머니(hot money)

: 각 국간 단기금리의 차이, 환율의 차이에 의한 이익을 획득할 목적으로 국제금융시장을 이동하는 매우 불안정한 단기자금을 말한다. 1930년대 각 국이 금본위제를 이탈함에 따라 외환시장의 변동이 심하여지자 이러한 자본이동이 발생하였으며 1935년 미국의 루즈벨트대통령이 처음 사용하였다. 이러한 단기자금의 이동은 한 나라 경제의 균형을 파괴하는 방향으로 이동한다. 즉 어떤 나라에 정치, 경제상의 불안이 발생할 경우 당해 국에 있던 자금(거주자 및 비거주자의 자금)이 안정된 국가로 급격히 유출되어 자본 유출국에 대해서는 국제수지를 악화시키고 환율 절하압력이 커지고, 반대로 자본 유입국에서는 국내에 유동성을 증가시켜 인플레이션압력을 초래하고 통화가치 상승압력을 증대시킨다.