

압축강도 800kgf/cm² 고강도콘크리트의 현장적용 - 초기수축특성 -

김 화 중

〈경북대학교 건축공학과 교수〉

이 승 훈

〈삼성물산 건설부문 기술연구소, 선임연구원〉

손 상 현

〈타워팰리스 3차 JV현장 기술지원팀, 팀장〉

1. 서론

최근 콘크리트의 고성능화 및 고강도화에 따라 우수한 혼화재료의 사용으로 인해 낮은 물시멘트비의 콘크리트가 사용되어왔지만 물시멘트비가 적고, 단위 시멘트량이 많은 콘크리트에서는 이제까지 건조수축에 비해 상당히 낮은 값으로 인해 무시되어왔던 자기수축에 대한 관심이 대두되고 있다.

자기수축은 아주 낮은 물시멘트비의 경우를 제외하면 상대적으로 작으며, 실제적으로는 매스 콘크리트를 제외하고는 콘크리트의 건조수축과 분별할 필요가 없으며, 건조수축은 보통 자기 체적 변화에 의한 수축을 포함하기도 한다.

그러나, 콘크리트의 고성능감수제 및 고강도화에 따라서 낮은 물시멘트비의 콘크리트가 사용되고 있지만, 물시멘트비가 작고, 단위시멘트량이 많은 콘크리트에서는 지금까지 무시되었던 자기수축의 영향이 증대되고, 경우에 따라서는 자기수축만에 의해서도 균열이 발생하는 것이 지적되고 있기 때문에 자기수축 기구의 해명 및 그 예측 방법의 확립이 중요한 연구과제로 대두되어 현장 적용성에 대한 관심이 증대되고 있다.

이러한 자기수축현상에 대해 일본 콘크리트 공학협회에서는 시멘트 수화에 의해 초결 이후 거시적으로 생기는 체적 감소 현상으로서, 물질의 침입이나 이탈, 온도변화, 외력, 외부 구속 등에 기인하는 체적 변화는 포함하지 않

는 것으로 정의하고 있다. 이러한 현상은 예전부터 알려져 왔으나, 일반 콘크리트의 경우에는 건조수축에 비해 대략 1/10정도로 작기 때문에 그다지 중요한 고려의 대상이 아니었지만, 단위결합재의 함량이 높고, 물시멘트비가 낮은 고강도, 고유동, 고내구성의 고성능 콘크리트에서는 무시할 수 없을 만큼의 변형이 발생되며 경우에 따라서는 자기수축만에 의해서도 균열이 발생된다고 보고 되면서 1990년대 초부터 일본에서는 이미 본격적으로 시작되고 있으며 국내에서도 일부 진행되고 있는 실정이다.

그러나, 현재까지 자기수축에 영향을 미치는 주인자로서 제안되어온 시멘트, 혼화재료, 배합, 양생방법 등에 의한 영향에 대한 연구가 진행되어 왔지만 아직도 세부적이고 정량적인 연구가 완전히 수립되지 못한 상태이다.

따라서 삼성물산(주) 건설부문이 시공하는 도곡동 타워팰리스 3차 현장에 압축강도 800kgf/cm²의 고강도 콘크리트를 사용하기 위하여 1차적으로 고강도 콘크리트의 제조기술 확보를 위해 유동성 및 고강도를 발현하는 콘크리트의 배합을 개발하고 콘크리트 성능의 편차를 제어할 수 있는 품질관리시스템을 정립한 결과를 현장에 적용하고자 현장적용을

위해 계획된 배합에 따라 제조된 고강도 콘크리트의 제반특성 중에서 작업성, 강도발현 및 수축특성에 대한 일련의 실험 결과를 제시하고자 하였다.

2. 공사개요

강남구 도곡동에 위치한 타워팰리스 3차 현장은 주식회사 삼성생명이 시행사이며, 기본설계는 미국 SOM사에서, 실시설계는 삼우건축 설계사무소에 의해 각각 수행되었고, 현재 국내에서 가장 높은 초고층 건축물이며, 순수



[사진 1] 현장 전경

[표 1] 설계 및 구조 개요

지역지구	일반상업지구, 도시설계구역		
대지 면적	5,422평	검측면적	2,075평
건폐율	38.15%	용적율	796.52%
연면적	67,665평 (지상:43,260평 지하:24,405평)		
층 수	Tower(지하 6층, 지상 69층)/ 스포츠클럽(지하 1층, 지상 7층)		
구 조	철골 철근 콘크리트조		
콘크리트 강도	RC Core=300, 400, 500 kgf/cm ²		
	SRC Column=400, 600, 800 kgf/cm ²		
	기초부=300, 400 kgf/cm ²		
주차댓수	1,777대 (세대당 2.91대)		
승강댓수	승객용(17인승), 비상용 2대, 셔틀용 3대		

주거 건축물로서는 세계에서 가장 높은 건축물로 기록되어 지고 있다. 설계개요 및 구조개요는 [표 1]과 같으며 현장은 [그림 1]과 같다.

3. 시험계획

본 실험은 압축강도 800kgf/cm²의 고강도 콘크리트에 대한 작업성, 강도발현 및 초기 수축특성에 대한 고찰로서 배합사항에서는 시멘트 대체 혼화재로서 실리카흙과 플라이애시를 시멘트에 대해 일정 치환하여 그 특성을 검토하고자 하였다. 실내시험으로 굳지 않은 상태에서 시간경과에 따른 콘크리트의 공기량, 슬럼프·플로우에 대한 특성을 검토하고, 경화상태에서는 제작된 시험체에 대해 자기수축, 건조수축을 측정하면서 각 재령별로 압축강도를 측정하였다. 또한 현장에서 MOCK UP TEST를 실시하여 작업성 및 수화열을 측정하고자 하였으며, 그 측정장면은 [그림 1]과 같다. 본 기사에서는 실내시험에 따른 결과를 중심으로 제시하였다. 그 실험 인자 및 측정항목을 [표 1]에 배합사항을 [표 2]에 각각 나타

내었다. 또한 사용재료의 특성을 [표 3]에 나타내었다.

4. 시험결과

[표 4]는 각 배합조건에 따른 측정값을 나타내고 있다.

1) 슬럼프-플로우 특성

[그림 2]는 시험체의 시간에 따른 슬럼프-플로우의 변화를 나타내고 있다.

고성능 AE 감수제의 첨가량을 예비시험에 따라 가장 적절하다고 판단되는 첨가량인 2.4%(결합재에 대한 중량비)를 첨가하여 플로우값을 측정된 결과, 초기 플로우값은 43~44cm의 범위를 나타내고 있으며, 경과시간 30분에서 아주 완만한 약간씩 플로우의 감소를 나타내어 최종 60분에서 34.5~39cm 정도의 플로우 값을 유지하고 있다.

본 실험에서 플라이애쉬의 치환율을 3단계로 변화시킨 경우의 초기목표 플로우값

[표 2] 측정항목



	실험인자	실험수준	조건	측정항목
시험	단위수량	162(kg/m ³)	굳지않은 상태	슬럼프플로우(0, 15, 30, 45, 60min) 공기량(0, 15, 30, 45, 60min)
	단위결합재량	650(kg/m ³)		
	실리카흙치환율	8(%)	경화상태	압축강도(3, 7, 14, 28일)
	플라이애쉬치환율	10, 15, 20(%)		

[표 3] 배합사항

시험체명		조건		단위 재료량(kg/m ³)						
		W/B (%)	s/a (%)	물	결합재			잔골재	굵은골재	혼화재 (%)
					시멘트	실리카흙	플라이애쉬			
시험	F-10	24.9	41.9	162	533.5	52.1	65.1	638.0	894.9	2.4
	F-15		41.5		501.0		97.6	627.3	894.4	
	F-20		41.0		468.4		130.1	615.1	895.4	

(표 4) 사용재료의 성질

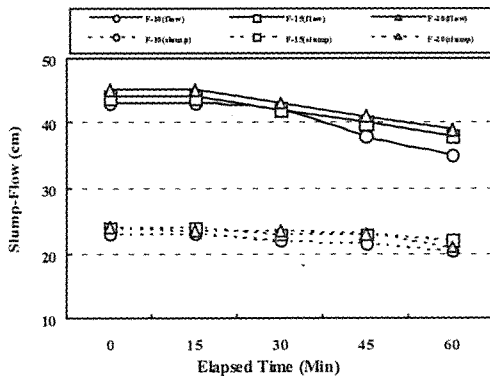
실험인자	종류·산지	물성
시멘트	보통 포틀랜드	비중 : 3.15, 분말도 : 3318(cm ² /g)
전골재	경기도 안양	표건비중 : 2.6 흡수율 : 1.17%, 조립율 : 2.80 단위용적중량 : 1,622kg/m ³
굵은골재	경기도 안양	표건비중 : 2.63 흡수율 : 0.62%, 조립율 : 6.90,
실리카흙	채코	비중 : 2.2
플라이애쉬	충남 보령산	비중 : 2.22, 분말도 : 3,850(cm ² /g)
고성능 AE 감수제	FLOWIMI×2000 H	나프탈렌계 고성능 AE 감수제, 감수율 : 23%

현장	Mock up test					
		전경		플로우 측정		
실내 실험	슬럼프 플로우 측정					
		0분-플로우	15분-플로우	30분-플로우		
						
		45분-플로우	60분-플로우	슬럼프		
	자기 수축 측정					
		10×10×40울드	테프론시트 및 플러그 매입	콘크리트 타설, 봉합 및 자기수축 측정		

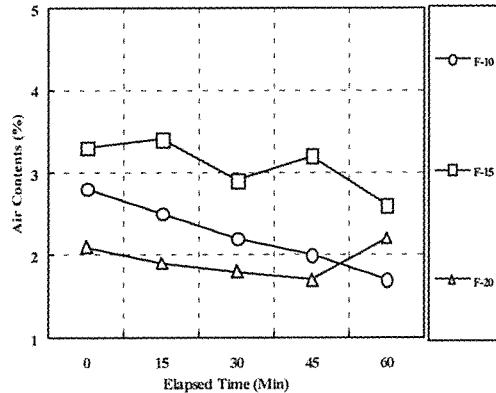
(그림 1) 시험장면

[표 5] 시험결과

시험 체명	배합조건			측정결과														
				굳지 않은 상태										경화상태				
	W/B (%)	S/A (%)	FLOW (cm)	플로우 / 슬럼프(cm)					공기량(%)					압축강도(kgf/cm ²)				
				경과시간(min)										재령(days)				
0	15	30	45	60	0	15	30	45	60	3	7	14	28	56				
F-10	24.9	41.9	40	43.5	43	40	38.5	34.5	2.8	2.5	2.2	2	2.3	467	570	651	814	-
				23	23	22	21.5	20.5										
F-15	24.9	41.5	40	44	44.5	42	41	39	3.6	3.4	2.8	2.8	2.6	445	566	690	828	-
				24	24	23	23	22										
F-20	24.9	41.0	40	44	43.5	42	40	38.5	2.2	1.9	1.8	1.8	1.4	450	573	704	786	-
				24	23.5	23.5	23	21										



[그림 2] 슬럼프-플로우 특성



[그림 3] 공기량 특성

(40cm)의 확보 및 경시변화특성에 있어서는 전반적으로 만족스러운 결과가 나타났으며, 플라이애쉬의 치환율의 차이에 따른 유동성에 있어서 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

2) 공기량 특성

[그림 3]은 각 시험체의 공기량의 분포를 각 측정시간에 따라 나타내고 있다. 콘크리트의 비빔직후의 공기량의 경우 2.1~3.3%의 공기량을 나타내었으며, 최종적으로는 1.4~2.6%의 분포를 보이며 시간에 따라서는 약간씩 감소하는 경향을 나타내었다.

또한 플라이애쉬의 치환율에 따른 공기량의 증감의 영향은 나타나지 않았는데, 이는 플라이애쉬의 치환율이 증가할수록 단위결합체의 부피가 증가함에 따른 점성의 증가와 플라이애쉬의 품질에 따른 콘크리트 내부의 공기량의 편차가 그 원인의 하나라고 사료된다.

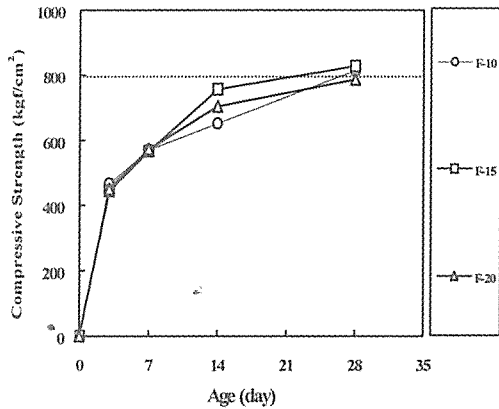
3) 압축강도

[그림 4]는 각 시험체의 압축강도를 재령에 따라서 나타내고 있다.

실리카흙을 결합재에 대해 8% 치환하고 플

플라이애쉬를 10, 15, 20% 치환하여 배합한 콘크리트의 3일 압축강도는 445~467 kgf/cm²로 나타났으며, 재령 28일의 경우 786~824kgf/cm²의 압축강도를 나타내었다.

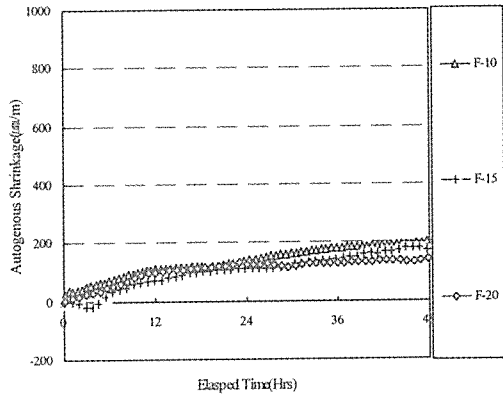
플라이애쉬의 치환율이 20%일때의 압축강도가 다소 낮은 값을 나타내었지만, 3, 7일의 초기강도의 발현율을 고려하면 플라이애쉬의 치환율에 따른 압축강도의 차이는 크지 않은 것으로 판단된다.



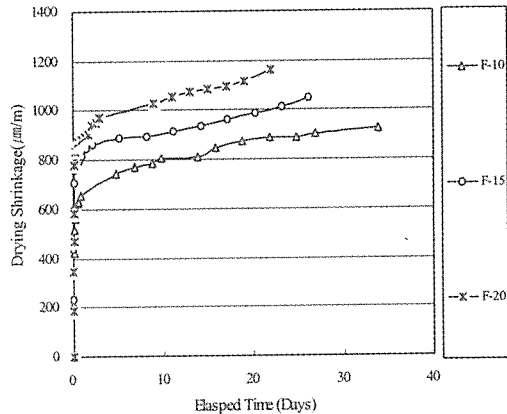
(그림 4) 압축강도 특성

4) 수축 특성

[그림 5]와 [그림 6]은 각각의 배합에 대한 자기수축 및 건조수축의 변화를 나타내고 있다. [그림 5]의 자기수축의 경우 측정시작직후 대체적으로 자기수축이 진행된 후 시험체마다 약간씩의 차이는 있지만, 측정 시작후 13시간 정도에서 자기수축의 변화가 다소 완만해지고 있으며, 측정시간 40시간 정도에서 건조수축의 값에 비해 대략 1/5 정도의 범위를 나타내었다. 또한 플라이애쉬의 치환율이 높은 시험체가 상대적으로 낮은 자기수축 값을 나타내어 기존의 보고와 일치하는 양상을 나타내어, 플라이애쉬의 치환율이 20%일 경우 가장 낮



(그림 5) 자기수축 특성



(그림 6) 건조수축 특성

은 자기수축량을 나타내었다.

그러나 [그림 6]의 건조수축의 경우 플라이애쉬의 치환율이 높은 15%, 20%로 갈수록 오히려 높은 건조수축의 값을 나타내어 플라이애쉬의 건조수축과 자기수축에 미치는 세부적인 실험을 행할 필요가 있는 것으로 판단된다.

5. 결론

플라이애쉬의 치환율을 변화시켜 제조한 고강도콘크리트의 유동성, 강도 및 수축에 관한 실험결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 초기목표 플로우값 (40cm)의 확보 및 경시변화특성에 있어서는 전반적으로 만족스러운 결과가 나타났으며, 플라이애쉬의 치환율의 차이에 따른 유동성에 있어서 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

2. 재령 28일의 경우 786~824kgf/cm²의 압축강도를 나타내었다.

플라이애쉬의 치환율이 20%일때의 압축강도가 다소 낮은 값을 나타내었지만, 3, 7일의 초기강도의 발현율을 고려하면 플라이애쉬의 치환율에 따른 압축강도의 차이는 크지 않는 것으로 판단된다.

3. 자기수축 및 건조수축에 대한 영향은 플라이애쉬의 치환율이 증가할수록 자기수축은 감소하고 건조수축은 증가하며, 건조수축에 대한 자기수축의 비율도 플라이애쉬의 치환율이 증가할수록 감소하는 값을 나타내어 추후 지속적인 연구를 통한 정량적인 데이터 정립이 필요한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. A.M Nevile "Properties of concrete" Wiley. Fourth Edition
2. 田澤宋一 外 1人 : セメント系材料の自己収縮に及ぼすセメントの化學組成の影響, コンクリート工學年次論文集, Vol18, No.1, 1996, pp699~704
3. 佐藤良一 外 2人 : 高强度コンクリートの自己収縮の豫測, コンクリート工學年次論文集, Vol19, No.1, 1997, pp757~762
4. 久保征則 外 3人 : 高爐セメントを用いたコンクリートの自己収縮に關する實驗的研究, Vol.19, No.1, 1997, pp763~756
5. 田佳寛 外 3人 : 高强度コンクリートの自己収縮特性に關する研究, コンクリート工學年次論文集, Vol.22 No.2, 1998, pp661~666
6. 今本 啓一 : 超高強度シクリート實大柱の自己収縮應力に及ぼす水和熱の影響, 日本建築學會構造系論文集, 第503, 1998年 1月, pp17~22
7. 宮澤伸吾 外 2人 : コンクリートの自己収縮に及ぼす骨材混入量の影響, コンクリート工學年次論文集, Vol.20, No.2, 1998, pp667~672
8. 田佳寛 外 3人 : 高强度コンクリートの自己収縮變形に及ぼすクリープ特性の解釋的研究, コンクリート工學年次論文集, Vol.21, No.2, 1999, pp703~708
9. 大野義照 外 2人 : コンクリートの自己収縮應力試験における拘束鐵筋と試験 長の検討, コンクリート工學年次論文集, Vol21, No.2, 1999, pp733~738
10. 大下英吉 外 3人 : 自己収縮に及ぼすクリープに關する實驗的研究, コンクリート工學年次論文集, Vol 21, No 2, 1999, pp739~744
11. 大沼博志 外 2人 : セメント系材料の自己収縮に關する實驗的研究, コンクリート工學年次論文集, Vol.22, No.2, 2000, pp595~600
12. 山田 和夫 外 2人 : 高强度コンクリートの自己収縮に及ぼす粗骨材およびシリカフュームの影響, コンクリート工學年次論文集, Vol.22, No.2, 2000, pp601~606.