

# 레미콘 공장에서 적용 가능한 고강도 콘크리트 및 시공성에 관한 연구

## The Application of High Strength Concrete in Batch Plant and its Workability

김정식<sup>1)</sup>      김봉현<sup>2)</sup>      정진<sup>3)</sup>      이재삼<sup>4)</sup>      강훈<sup>4)</sup>  
Kim, jeong sik    Kim, bong hyun    Jung, jin    Lee, jae sam    Kang, hoon

---

### ABSTRACT

Concrete has a many problems to apply high rise building of its low strength to weight and low ductility, compared to steel products. Therefore, it is necessary to make high strength concrete for applying to high rise building.

In the experiment, the high strength concrete was made in variable of unit weight of binder, water to binder ratio(W/B), and sand to aggregate ratio(S/a) using batcher plant.

As a result, it was possible to make high strength concrete using only materials for ordinary concrete without admixtures such like silica fume in batcher plant.

---

### 1. 서    론

최근 들어 토목, 건축분야에서 가장 널리 사용되고 있는 콘크리트는 철골재료에 비해 재료단가 면에서 매우 경제적이거나 무게에 비하여 낮은 강도와 약한 연성 등 실제구조물에 적용하는데 많은 문제점을 내포하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 고성능AE감수제의 개발과 콘크리트의 고강도화가 진행되어 왔으며 국내현장에서도 많은 적용사례가 있을 정도로 현재 실용화 단계에 있다. 그러나 국내 고강도콘크리트의 관련 연구를 분야별로 고찰하여 보면 재료특성, 역학적 성질, 구조적 성질 등에 관해서는 비교적 많은 연구가 진행되어 왔으나 레미콘 공장에서의 대량생산체제 구축 및 실용화 타설에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 고강도콘크리트의 실용화를 위해서는 많은 연구와 개선에 대한 노력이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 경제성 및 실용성을 고려하여 수입자재인 실리카흄을 배제하고 순수 국내산의 일반적인 레미콘의 원재료를 사용하여 레미콘공장에서 생산 가능하도록 최적배합비의 도출을 통한 고강도 콘크리트의 개발 및 실구조물의 실용화를 위해 요구되는 품질을 확보하는데 연구의 목적을 둔다.

- 
- 1) \* 정회원, 고려산업개발 기술연구부 과장
  - 2) \*\* 고려산업개발 기술연구부 연구원
  - 3) \*\*\* 고려산업개발 기술연구부 대리
  - 4)\*\*\*\* 정회원, 고려산업개발 기술연구부 차장

## 2. 사용재료 및 시험방법

### 2.1 사용재료

본 실험에 사용한 재료는 레미콘공장에서 보통콘크리트 제조에 사용되고 있는 보통포틀랜드시멘트, 25mm 쇠석골재, 세척사를 사용하였으며 고성능AE감수제는 J사의 제품을 사용하였고 혼화재료는 플라이애쉬를 사용하였다.

### 2.2 배합계획

본 실험의 배합변수 선정은 소요의 압축강도와 작업성을 확보하기 위하여 단위결합재량, 물-결합재비, 잔골재용 및 기타 혼화재료의 사용량을 조절하면서 비교가 될 수 있도록 선정하여 배합실험을 실시하였다.

### 2.3 시험방법

실험은 중량배합으로 실시되었으며 재료의 투입방법은 두 가지로 분류하여, 첫 번째 방법은 믹서기에 원재료를 정량 투입하여 20초간 건비빔 → 단위수량 투입후 60초간 혼합 → Base상태에서 소요의 S.P(Super Plasticizer)제를 투입하고 혼합하는 방법이고, 두 번째 방법은 믹서기에 원재료를 전량 투입하고 20초간 건비빔 → 단위수량과 소요의 S.P제를 동시에 투입하여 혼합하는 방법으로 본 연구에서는 Batcher Plant의 생산과 동일한 조건을 만들어 주기 위하여 두 번째 방법을 적용하였으며, 완전한 비빔상태를 만든 후 Slump를 측정하여 시공성 확보를 위한 Slump상태가 될 때까지 S.P제를 조절하는 방법으로 콘크리트 실내 혼합실험을 수행하였다.

공시체의 제작은 KS F 2403에 따라 실시하였으며  $\phi 100 \times 200$ mm 크기로 3일, 7일, 28일, 56일 강도로 각 재령별 3개씩 제작하였고, 제작된 공시체는  $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 수조에서 수중양생후 압축강도 측정 직전에 가압면에 균일한 힘을 받도록 상부의 거친면을 캡핑대신에 연마하여 공시체 서로간의 편차를 최대한 줄여서 실험을 실시하였다. 시간경과에 따른 슬럼프의 손실율을 측정하기 위하여 실내실험에서 정해진 최적배합비를 사용하여 Batcher Plant에서 생산후 레미콘 드럼을 공회전시키면서 30분 간격으로 90분까지의 경시변화를 측정하였다.

또한, 현장 실용화 적용에 대한 콘크리트 물성변화를 측정하기 위하여 펌프카 타설 전후의 압축강도 비교와 펌프압송상태를 확인하였으며, 구조물과 동일한 조건하에서의 Mock-Up 시험체를 제작하여 코아공시체의 압축강도시험을 실시하였고, 콘크리트의 고강도화에 따른 수화온도측정을 위하여 기둥, 벽체 및 보의 3곳에 수화온도 게이지를 설치하여 실구조물에서의 콘크리트 중앙부와 표면의 온도차이를 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 일반사항

고강도콘크리트의 제조를 위해 최적배합비를 도출하고 레미콘 생산설비로 대량생산이 가능하며, 현장에서 실용화가 가능한 최상의 품질을 확보하기 위해 실험실에서 배합실험을 실시하였으며 그 결과는 표 1과 같다.

표 1 배합계획 및 실험결과

NO	Binder	W/B	S/a	F.A	S.P	Slump	Slump-Flow	Air	압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )				비 고
									3일	7일	28일	56일	
H-1	530	32	44	10	1.7	23.0	45/47	4.3	315	440	516	573	
H-2				20	1.7	22.0	43/42	4.1	323	453	521	575	
H-3			46	10	1.6	21.5	43/45	4.4	321	465	506	554	
H-4				20	1.7	22.5	46/47	4.1	322	450	516	571	
H-5		34	44	10	1.8	23.0	49/47	4.5	311	424	512	560	
H-6				20	1.7	23.0	45/44	4.3	321	431	508	567	
H-7			46	10	1.5	21.5	42/43	4.1	317	397	496	539	
H-8				20	1.6	21.0	39/40	3.8	319	407	511	558	
H-9	560	32	44	10	1.8	22.5	43/44	4.5	327	423	542	590	
H-10				20	1.8	22.0	44/44	4.1	312	425	536	583	
H-11			46	10	1.7	21.5	43/42	4.1	341	430	548	595	
H-12				20	1.8	22.5	45/47	4.0	327	421	542	603	
H-13		34	44	10	1.6	23.0	46/46	4.6	342	425	544	586	
H-14				20	1.6	23.0	49/46	4.3	331	438	550	579	
H-15			46	10	1.7	22.0	45/43	4.6	322	430	531	579	
H-16				20	1.6	21.5	45/43	4.4	327	453	532	573	
H-17	590	32	44	10	1.7	21.0	48/47	4.3	354	479	585	635	
H-18				20	1.8	21.5	45/46	3.9	374	487	588	640	
H-19			46	10	1.5	23.0	51/50	4.1	339	489	572	633	
H-20				20	1.5	22.5	47/45	4.0	358	451	587	646	
H-21		34	44	10	1.5	22.5	43/43	4.5	315	439	571	625	
H-22				20	1.5	21.0	41/42	4.0	327	448	565	625	
H-23			46	10	1.7	22.5	45/43	4.1	354	453	556	599	
H-24				20	1.6	21.5	44/44	3.5	344	426	560	611	

3.2 굳지 않은 고강도콘크리트의 특성

3.2.1 반죽질기

본 실험에서는 목표슬럼프를 21±3cm로, Slump Flow를 45±5cm로 하여 실험을 실시한 결과 21~23 cm 범위의 슬럼프값을 얻을 수 있었으며, 또한 Slump Flow는 39~51cm범위로 나타나 실제구조물에 적용하기에 충분한 반죽질기를 얻었다.

3.2.2 경시변화

경시변화 실험에는 H-11의 배합을 사용하여 레미콘공장에서 고강도콘크리트를 생산하여 90분까지 레미콘 트럭의 드럼을 공회전시키면서 30분 간격으로 콘크리트의 경시변화 실험을 실시하였으며, 그 결과 표 2에서와 같이 90분 경과후 슬럼프 및 Slump Flow가 각각 21.0cm, 43/41cm로 나타나 통상의 레미콘 운반시간에 대하여 만족한 결과를 얻었다.

표 2 굳지 않은 콘크리트의 경시변화 실험

경과시간	0분	30분	60분	90분
Slump	23.5	23.5	22.0	21.0
Slump-Flow	48/51	47/48	45/46	43/41

### 3.2.3 공기량

본 실험에서 공기량은 3.5~4.6% 범위로 나타났다. 그러나 F.A 치환율이 20%일때가 10%일 때 보다 낮게 측정되었으며, 이는 플라이애쉬의 영향에 따른 공기량의 손실로 나타나 고성능AE감수제의 공기량 보정을 통하여 고강도콘크리트에서도 적절한 공기량을 유지할 수 있는 것으로 나타났다.

### 3.3 압축강도

#### 3.3.1 단위결합재량의 영향

단위결합재량의 증가에 비례하여 압축강도는 증가한다. 그림 1에서 보는바와 같이 실험결과는 단위결합재량이 530kg/m<sup>3</sup>에서 560kg/m<sup>3</sup>로 증가함에 따라 압축강도는 평균 25kg/cm<sup>2</sup>가 증가하였으며, 또한 590kg/m<sup>3</sup>으로 증가하였을 때는 65kg/cm<sup>2</sup>이 증가한 것으로 나타났다.

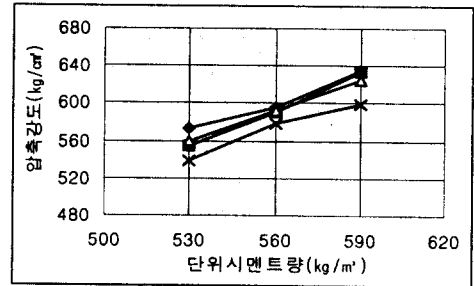


그림 1 결합재량과 압축강도

#### 3.3.2 물-결합재비의 영향

그림 2는 물-결합재비 감소에 따라 압축강도가 증가하고 있음을 나타낸 것으로써, 물-결합재비를 32%에서 34%로 2%증가 시켰을 때 압축강도는 결합재량 530kg/m<sup>3</sup>에서 15kg/cm<sup>2</sup>, 560kg/m<sup>3</sup>에서 16kg/cm<sup>2</sup>, 590kg/m<sup>3</sup>에서 34kg/cm<sup>2</sup>가 감소하였다.

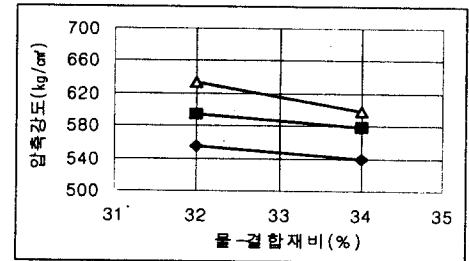


그림 2 물-결합재와 압축강도

#### 3.3.3 양생재령에 따른 강도발현

그림 3은 양생재령에 따른 강도발현 추이를 나타낸 것인데 3일강도에서는 평균 327kg/cm<sup>2</sup>을 나타내어 28일강도의 평균 541kg/cm<sup>2</sup>의 약 60%의 발현을 보였으며, 7일강도에서는 평균 441kg/cm<sup>2</sup>으로 약 82%, 56일강도에서는 평균 592kg/cm<sup>2</sup>으로 약 109%의 압축강도 발현을 나타냈다.

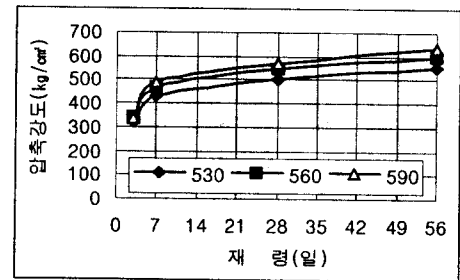


그림 3 재령에 따른 압축강도

## 4. 고강도콘크리트의 실용화 타설

### 4.1 일반사항

본 연구에서는 앞서 수행된 실내 배합실험을 통해 선정된 표 3의 고강도콘크리트의 최적배합비를 이용하여 레미콘공장에서 대량생산을 통한 현장적용에 대한 평가를 수행하기 위하여 M건설의 서초동

Y현장의 벽체 및 2층 슬래브에 현장타설을 실시하였으며, 현장타설시에 실내 배합실험에서와 같이 배합강도가 발현되는가와 현장작업시 시공성에 중점을 두어 현장타설을 실시하였다.

표 3. 고강도콘크리트의 배합비

W/B (%)	S/a (%)	단 위 재 료 량(kg/cm <sup>3</sup> )						비 고
		W	C	F.A	S	G	S.P	
32	46	180	504	56	717	846	6.72	

#### 4.2 콘크리트 물성 및 압축강도

현장타설 고강도콘크리트의 압축강도 시험은 펌핑을 전후로 하여 수중양생시료와 현장기건양생시료로 구분하였으며, 코아채취 실험을 위하여 별도의 구조체를 제작하여 구조물과 같은 조건하에서 양생하고 재령에 따라 코아를 채취하여 강도실험을 실시한 결과 표 4에 나타난 것과 같이 매우 양호한 결과를 보였다. 현장타설시 슬럼프는 레미콘공장에서 생산시를 기준으로 하여 90분후까지 슬럼프 21cm 및 Slump Flow 43/41cm를 유지하여 시공성 향상을 도모할 수 있었다.

표 4. 압축강도 실험결과

구 분	압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )								비 고
	3일 강도		7일 강도		28일 강도		56일 강도		
	강 도	발현율	강 도	발현율	강 도	발현율	강 도	발현율	
펌핑전 수중양생	421	84	503	101	621	124	660	132	
펌핑전 기건양생	336	67	394	79	522	104	590	118	
펌핑후 수중양생	397	79	472	94	560	112	597	119	
펌핑후 기건양생	344	69	416	83	511	102	603	121	
코 아 공 시 체	366	73	384	77	487	97	534	107	

#### 4.3 수화온도

고강도콘크리트의 수화온도를 측정하기 위하여 기둥, 벽체, 보 각 부위에 수화온도 게이지를 설치하여 콘크리트 중앙부와 표면에서 각각 수화온도를 측정하여 비교하였다. 최고온도 도달시의 온도와 경과시간이 표 5에 나타나 있는 것처럼 최고온도는 기둥, 벽체, 보에서 13시간 경과후에 나타났으며 이때 중앙부와 표면의 온도차는 각각 7.0, 6.0, 6.0℃로 나타났다.

표 5. 최고온도 도달시의 온도와 경과시간

구 분	경과시간	중앙부	표 면	온도차	대기온도
기 둥	13:00	47.0	40.0	7.0	11.0
벽 체	13:00	40.0	34.0	6.0	11.0
보	13:00	48.0	42.0	6.0	11.0

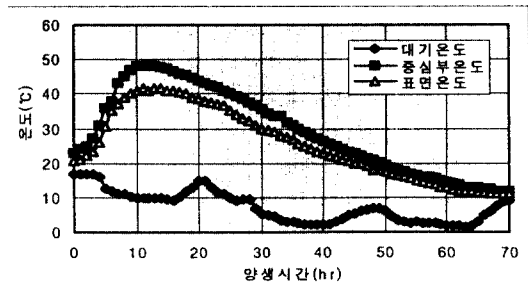


그림 4 콘크리트 수화온도 그래프(보)

## 5. 결 론

경제성 및 실용성을 동시에 고려하여 수입자재인 실리카흙을 배제하고 순수 국내산인 일반적인 재료를 사용하여 레미콘 공장에서 생산 가능한 고강도콘크리트의 개발 및 실구조물에 실용화시키기 위한 실내 배합실험과 현장타설에 이르는 종합적인 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 실내 배합실험을 통하여 일반적인 콘크리트용 재료를 사용하여 얻을 수 있는 강도는  $600\text{kg}/\text{cm}^2$ 까지도 가능하였으나 현장 구조물에 직접 적용하기에는  $500\text{kg}/\text{cm}^2$ 이 적당할 것으로 판단되었다.
- 2) 현장 적용실험을 통하여 레미콘 운반시간에 따른 경시변화를 측정한 결과는 최적배합비로써 적절한 고성능AE감수제를 사용할 경우 생산후 90분 경과시까지도 적절한 작업성 확보가 가능하였다.
- 3) 고강도콘크리트의 생산을 위하여 필요한 물-결합재비는 30~34%가 적절하였으며, 잔골재율은 44~48% 정도로 나타났으나, 생산시의 잔골재의 조립율을 감안하여 결정하는 것이 적절할 것으로 판단되었다.
- 4) 플라이애쉬의 치환율은 결합재량의 10~20% 정도가 적당할 것으로 나타났으며, 10%에 비하여 20%가 초기강도에는 약간 떨어지는 경향을 보였으나 장기강도는 동일한 경향을 보였으며, 공기량에서도 목표공기량의 관리가 가능하였다.
- 5) 구조물 각 부위(기둥, 벽체, 보)의 수화온도는 타설후 13시간이 경과한 후에 최고온도에 도달하였으며, 이때 중심부와 표면의 온도차가  $6\sim 7^\circ\text{C}$ 로 나타났으며, 약3일 경과후에는 온도차이를 보이지 않았다.
- 6) 현장타설 압축강도의 측정결과는 수중양생 및 기건양생과 코아공시체 모두 목표했던 강도보다 107~132%의 발현율을 보여 압축강도 실험결과는 실내 배합실험 보다 오히려 높은 강도 발현율을 나타내었다.

## 참 고 문 헌

- 1) 강 훈, "고강도콘크리트 연구보고서(설계압축강도  $500\sim 700\text{kg}/\text{cm}^2$ )", 고려산업개발, 1997.
- 2) 신성우, "고강도 콘크리트의 개발현황과 방향", 한국레미콘공업협회지, 제40호, 1994. 7, pp. 18-26.
- 3) 대한건축학회, "고강도-고성능콘크리트 제조, 시공 및 설계", 대한건축학회, 1996.
- 4) 이재삼 외5인, "고강도-경량콘크리트의 실용화를 위한 기초적 실험연구", 한국콘크리트학회 가을학술발표 논문집, 1997. pp.393~400.