

고유동 콘크리트를 사용한 R.C造 건물의 기둥 보강공사



임병훈*



임서형**



권지훈***

1. 서언

고성능 콘크리트가 국내에 소개된 후 이에 대한 연구개발은 산·학·연의 각 연구소를 중심으로 활발하게 진행되고 있다. 더구나 최근에는 고강도, 고내구성, 고유동성의 각 특성에 초점을 맞춰 다각적인 방향으로 실용화 노력이 이루어지고 있다.

當社에서도 1994년부터 고성능 콘크리트의 유동성, 시공성 및 경화 특성 등에 관한 연구에 착수하여 옥외축소모델 실험 등 실용화를 위한 자료 축적을 꾸준히 진행시켜 왔다. 즉, 1995년 11월에는 약 7평의 1층 가설구조물에 15m³의 고유동 콘크리트를 타설하여 제조에서 시공까지 그리고 2년 경과된 지금까지 비파괴시험 및 코어시험체를 통한 강도시험 등 고유동 콘크리트에 관한 전반적인 연구를 수행하고 있다.

또한, 1996년 6월에는 울산 소재의 SK(舊 유공) PE/PP 자동화 창고 1, 2층 슬래브에 설계기준강도 450kg/cm²인 고유동 콘크리트 1,500m³를 타설하여 고유동 콘크리트의 우수성 및 실용화 가능성을 다시 한번 입증할 수 있었다.

그러나, 국내의 여건상 레미콘의 제조설비, 재료관리 및 현장에서의 시공관리, 인식 재고 등 해결해야 할 문제가 많은 것도 사실이다. 또한, 고유동 콘크리트의 활용이 일반화 되기 위해서는 구조물의 요구조건, 다종다양한 원재료에 대응하는 고유동 콘크리트의 제조 및 활용 대상의 적극적인 확대도 이루어져야 할 것으로 판단된다.

이러한 취지하에 當社에서는 1997년 6월부터 8월까지 내력이 저하된 R.C造 건물의 기둥 보강공사에 고유동 콘크리트를 사용하였으며, 본 기고문에는 보

* SK건설(주) 연구소 수석연구원

** 정희원, SK건설(주) 연구소 선임연구원

*** SK건설(주) 연구소 주임연구원

강공사 및 고유동 콘크리트의 제조에서 시공까지의 제반사항 및 결과를 기술하기로 한다. 단, 본 기고문의 기술 범위에는 구조안전 진단 결과나 보강공사 후의 단면 내력검토는 제외하기로 한다.

2. 보강공사 개요

2.1 건물 현황

경기도 수원시 소재의 공장 용도인 본 건물은 1996년 3월 준공된 철근콘크리트 라멘조로서 지상 10층, 건축면적 406㎡, 연면적 3,072㎡이다. 본 건물은 1997년 3월 인접 건물의 화재 및 붕괴로 1~4층까지 부분적으로 손상을 받았으며, 구조 안전진단 결과 그 내력이 저하되어 각 부재에 대한 보강공사가 필요하게 되었다(사진 1 참조). 보강 건물의 각 층은 1층을 제외하고 제조설비의 이동이 불가능한 상태였으므로 각 공종별 공사진행에 어려움이 많았다. 건물의 평면도 및 단면도는 그림 1 과 같다.

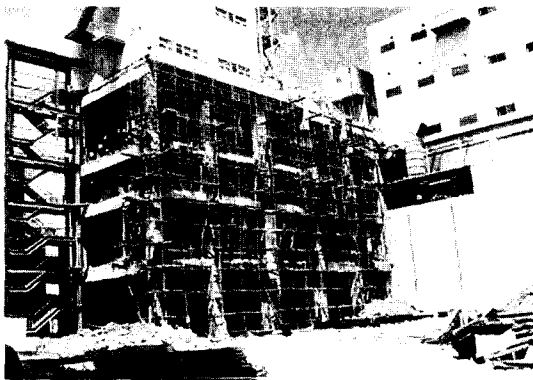


사진 1 보강대상 건물의 전경

2.2 보강공사 개요

철근 콘크리트 건물의 보강공법에는 콘크리트 단면 증설공법, 강판 보강공법, 탄소섬유 보강공법, 프리스트레스 도입공법 등이 있으며, 본 건물에 적용한 보강공법은 보의 경우 강판 보강공법과 탄소섬유 보강공법, 기둥의 경우 연직하중에 대한 내력을 증가시킬 목적으로 단면 증설공법을 각각 선정하였다. 물론, 보강공사를 실시하기 전에 각종 균열에 대한 보수·보강은 에폭시 수지 주입공법으로 시공이 완료된 상태였다.

시멘트계 재료를 사용하여 보강해야 할 기둥은 그림 1에서와 같이 1개층 12개로서 4층까지 총 48개이다. 48개의 기둥에서 3, 4층의 2개의 기둥은 그 손상 정도가 심하여 재시공해야 할 기둥이다. 단면 증설은 그림 2와 같이 기존 기둥단면 600×600mm에 각각 100mm씩 증가시켜 800×800mm으로 하였다. 보강공사의 진행과정은 일반 철근 콘크리트 공사와 동일하다.

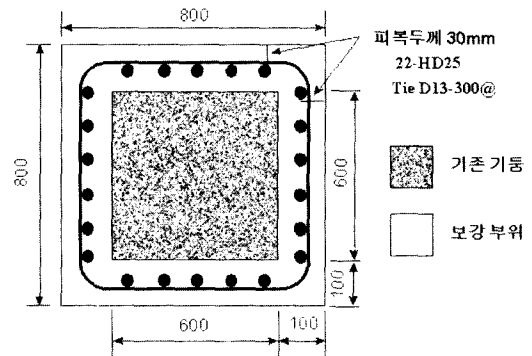
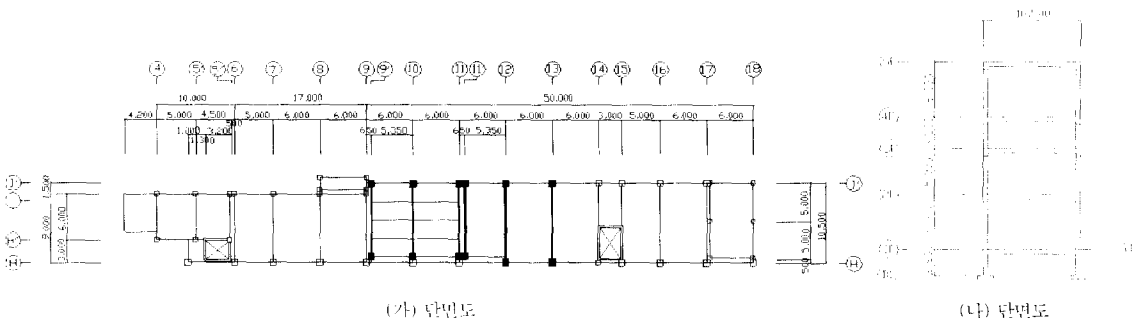


그림 2 보강기둥의 단면도



(가) 단면도

(나) 단면도

그림 1 보강 대상 건물의 평면도 및 단면도

2.3 보강 재료의 선정

보강 재료는 설계기준강도 350kg/cm^2 이상의 고강도이면서 좁은 단면에 쉽게 타설되고 충전되어야 하는 시공성과 충전성 그리고 기존 콘크리트와의 우수한 접착성 등이 요구된다. 이에 따라 사용재료는 최초 무수축 모르타르로 선정되었으나, 경제성 등을 고려하고 고유동 콘크리트의 활용 범위를 확대시킨다는 의미에서 최종적으로 고유동 콘크리트를 사용하기로 하였다.

3. 예비 실험

3.1 개요

기둥 단면의 증설 크기는 100mm 로 작고, 또한 이 작은 단면에 25mm 의 주근과 13mm 의 피근이 배근되어 실제 콘크리트가 타설될 수 있는 여유공간이 약 30mm 밖에 없으므로 굵은골재의 최대 치수를 25mm 로 할 경우 충전성능을 기대할 수 없다. 따라서, 굵은골재의 최대 치수가 13mm 인 부순자갈을 사용하여 고유동 콘크리트를 제조하기로 하였으며, 이에 따라 13mm 골재의 입수가 가능하고, 여유분의 골재 저장 bin이 갖춰져 고유동 콘크리트의 생산에 지장이 없으며, 현장과의 운반시간 등을 고려하여 경기도 남양 소재의 삼표레미콘 공장을 선정하였다.

3.2 사용재료 및 배합

시멘트, 잔골재 및 굵은골재는 실제 레미콘 공장에서 사용하는 재료로서 결합재는 혼화재를 사용하지 않고 보통포틀랜드 시멘트만을 사용하였다. 또한, 잔골재는 인근 남양산 부순모래와 하천사를 $50:50$ 의 비율로 섞은 혼합사를, 굵은골재 역시 남양산 부순자갈을 각각 사용하였다. 이들 골재의 물리적 성질은 표 1과 같다. 또한, 혼화제는 고성능 AE 감수제 지연형을 사용하였다.

고유동 콘크리트의 배합비는 레미콘 공장에서 실제 사용되는 구성재료의 물리적 시험, 실내에서의 예비실험 및 시험생산 등을 거쳐 굳지 않은 콘크리트의 품질관리 목표를 슬럼프 플로우 $65 \pm 5\text{cm}$, 공기량 $4.5 \pm 1.5\%$ 로 하여 결정하였다. 최종 결정된 배합비는 물시멘트비 36%, 단위시멘트량 486kg/m^3 , 혼화제 1.7% 등 표 2에 나타나 있으며 특히, 잔골재율은

부순모래의 조립율이 3.0으로 높고, 굵은골재의 최대 치수가 작으므로 유동성의 확보, 무다짐에 의한 타설, 제물 마감 등을 고려하여 높게 하였다.

4. 시 공

4.1 제조 및 품질관리

고유동 콘크리트를 제조할 레미콘 공장은 골재 저장 bin이 4개로서 최대치수 13mm 인 굵은골재와 강모래·부순모래의 혼합사를 사용하는데 문제가 없었으며, twin shaft 방식의 믹서가 2대 설치되어 있고, 자동 표면수 측정장치를 통해 표면수율을 매 배치마다 측정하는 등 제조설비 및 품질관리 시스템이 양호하였다. 고유동 콘크리트의 품질은 잔골재의 표면수율, 조립율 등의 물리적 성질에 따라 크게 변동되기 때문에 품질변화를 방지하기 위하여 골재의 일정 부분을 보강공사가 완료될 때까지 지붕이 설치된 저장소에 보관하여 표면수율 및 조립율 등이 변하지 않도록 관리하였다. 또한, 실제 고유동 콘크리트 제조시에는 배합 직전에 저장소에서 골재 저장 bin으로 잔골재를 이동시키고, 적외선 수분계로 표면수율을 측정하여 필요시 배합을 조정하였다. 비빔시간은 사용 혼화제가 충분히 섞이고 고유동 콘크리트의 유동성을 확보하기 위하여 재료가 모두 투입되고 믹서 전류계가 완전히 안정될 때 까지 약 60~70초로 하였다. 또한, 출하시 전 레미콘 차량에 대하여 슬럼프 플로우값을 측정하였으며, 경시변화에 따른 고유동 콘크리트

표 1 골재의 물리적 성질

항목	최대크기 (mm)	비중	흡수율 (%)	조립율	단위용적중량 (kg/m^3)	선휘율 (%)
강 모 래	5	2.59	1.0	2.83	1606	60.7
부순모래	5	2.60	1.0	3.00	1692	59.7
부순자갈	13	2.67	0.9	4.10	1385	62.0

표 2 고유동 콘크리트의 배합표

W/C (%)	S/a (%)	단위용적중량(kg/m^3)					SP제 ($^{\circ}\text{C} \times \%$)
		W	C	S	S'	G	
36	54	175	486	443	440	775	1.7

표 3 측정항목 및 목표값

측정 항목	목표값	측정시기
슬럼프 플로우값	60cm 이상	출하시 및 타설 직전
공 기 량	$4.5 \pm 1.5\%$	출하시 및 타설 직전
온 도	35 $^{\circ}\text{C}$ 이하	출하시 및 타설 직전
압 축 강 도	350kg/cm^2	레미콘 공장 및 현장 제작

의 가사시간 즉, 출하에서 운반·타설 완료까지의 시간은 유동성 및 충전성을 고려하여 슬럼프 플로우값 $65 \pm 5\text{cm}$ 를 확보할 수 있는 90분을 원칙으로 정하였다. 현장에는 슬럼프 플로우값이 60cm 이하로 지하될 것을 대비하여 후첨가용으로 고성능 AE 감수제를 준비하였으며, 슬럼프 플로우값 5cm 상승은 혼화제 0.1%(C×%) 첨가 및 레미콘 차량에서의 고속비빔 시간 3분을 통해 확보하는 것을 기준으로 하였다.

고유동 콘크리트의 품질시험 항목은 슬럼프 플로우, 공기량, 온도 그리고 압축강도이며, 시험항목별 목표치는 표 3과 같다.

4.2 예비 작업

가설 지주는 큰 보의 양 4 지점에 각각 1개씩 설치하여 각종 공사시 진동·충격 등으로 기존 부재가 손상을 받지 않도록 하였다. 시멘트 벽돌을 사용한 두께 0.5B의 외벽은 1층의 경우 모두 해체하였으며, 2~4층의 경우 기둥과 외벽과의 접합부를 약 300mm 정도 철거하였다. 보강 대상 기둥 및 신콘크리트와 접하게 되는 슬래브와 보의 콘크리트 표면은 깊이 5mm 정도로 거칠게 처리하였다. 이 때 발생한 비립분은 압축공기로 제거한 후 고압 살수하여 완전히 제거하였으며, 또한 콘크리트 표면에 자주 물을 뿌려 습윤상태로 하였다. 그러나, 에폭시 접착제 등을 도포하여 신·구 콘크리트의 접착강도를 높이기 위한 조치는 후속작업인 철근 작업과 거푸집 작업으로 가사시간을 벗어나 오히려 역효과가 우려되기 때문에

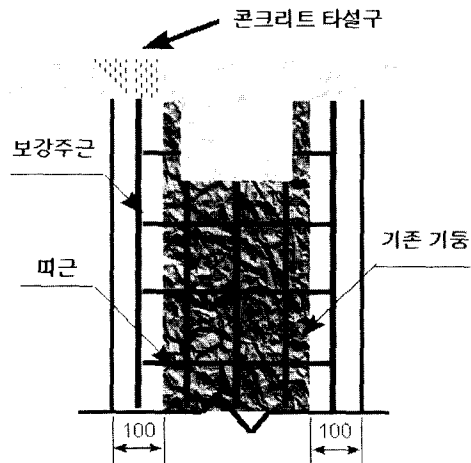


그림 3 콘크리트 타설구 및 배근현황

급변 공사에 적용하지 않았다.

콘크리트 타설은 외기와 접하는 기둥 외측면의 상층부에서 실시하려고 하였으나, 배근된 철근때문에 타설작업이 거의 불가능하므로 그림 3처럼 상층 슬래브 주각 주변의 콘크리트를 약 $100 \times 200\text{mm}$ 의 크기로 기둥 1개마다 1개소씩 깨어 내고 깔대기를 설치하여 콘크리트 주입구로서 이용하였다. 이때 슬래브의 철근은 구조체에 손상을 가능한 최소화시키기 위하여 절단하지 않았다.

4.3 철근 및 거푸집 공사

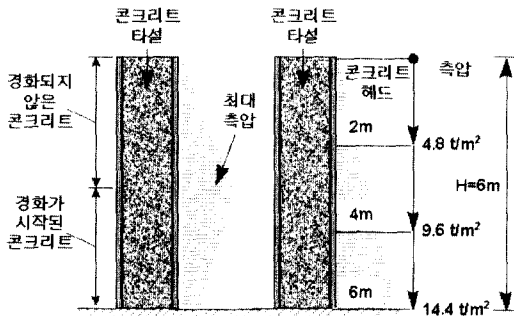
기존 기둥 외측에 주근 22-HD25, 띠근 D13@250(중앙)·150(단부)으로, 주근의 단부는 캐미컬 앵커를 이용하여 고정하였다(사진 2 참조).



사진 2 보강기둥의 배근전경

고유동 콘크리트는 보통 콘크리트에 비하여 내부마찰각이 작고, 액체압에 가깝게 작용하므로 그 측압은 그림 4와 같이 매우 커진다. 따라서 일반적인 콘크리트 공사의 거푸집 공사처럼 할 경우 콘크리트 측압을 견디지 못하므로 측압에 대한 정확한 산정 및 거푸집 설계를 통해 거푸집 공사를 하였다. 보강건물의 층고는 1층과 4층이 6m이므로, 타설속도를 10m/h 이하로 가정하였을 때 그 측압은 최대 14.4t/m^2 정도이다. 따라서, 거푸집은 두께 14mm인 합판과 75mm 각재의 장선을 250~300mm 간격으로 그리고 90mm 각재의 명예를 2개 사용하고, 그 외측에 column band를 200~300mm 간격으로 설치하여

고유동 콘크리트의 측압에 견디도록 하였다. 거푸집은 외기와 접하는 기둥 외측면만 개방시키고, 그 외 나머지는 슬래브와 보밀면에 밀착시켜 실리콘으로 코킹하여 콘크리트 타설시 시멘트 페이스트가 새어 나오지 않도록 하였다. 또한, 거푸집 상호 또는 바닥 슬래브와의 맞댄면도 코킹하여 완전 밀폐시켰다.



(a) 보통 콘크리트 (b) 고유동 콘크리트
그림 4 거푸집에 작용하는 콘크리트 측압

4.4 콘크리트 공사

4.4.1 운반 및 타설

레미콘 공장에서 현장까지의 운반 소요시간은 약 40분 정도였으며, 1회 타설량이 18~24m³에 불과하므로 타설속도를 고려하여 현장과 레미콘 공장과의 연락을 통해 일정 간격으로 출하시켰다. 따라서, 현장에서 대기하는 시간이 거의 없어 고유동 콘크리트의 유동성 저하를 방지할 수 있었으며 또한, 타설 불량으로 생기는 쿨드조인트도 예방할 수 있었다. 펌프 장비는 1회 타설량이 많지 않기 때문에 붐길이 30m, 관경 100mm의 붐 부착 펌프차를 사용하였다.

콘크리트는 기둥 주각부 주변에 만든 주입구를 이용하여 측압 증가를 최소화 하기 위해 최소한의 타설속도를 유지하면서 무다짐으로 타설하였다.

콘크리트의 충전은 타격음으로 판단하였으며, 특히 보 밑을 거쳐 타설 주입구의 반대편으로 콘크리트가 충전되어 올라 오거나 기둥의 각 모서리를 유동하여 반대편으로 충전되는 상황을 직접 육안으로 관찰한 결과(그림 5 참조) 고유동 콘크리트의 유동성과 충전성능이 매우 우수하다는 것을 다시 한번 확인할 수 있었다.

타설에 소요된 시간은 레미콘 1차량당 20~60분이었으며, 경우에 따라 타설시간이 많이 소요된 것은

펌프차를 타설 도중에 이동해야 되는 불가피한 현장 여건 때문이었다. 콘크리트 타설은 1층과 4층의 경우 측압을 고려하여 층고의 1/2씩 2회 그리고 2, 3층은 1회로 모두 6회 타설하였다. 타설 종료 후 양생은 콘크리트 타설 주입구를 양생포로 덮어 놓고, 2일 후에 거푸집을 제거하여 약 7일 동안 1일 수차례씩 살수하여 습윤양생을 하였다. 각 층별 콘크리트의 타설일자 및 타설량은 표 4와 같다.

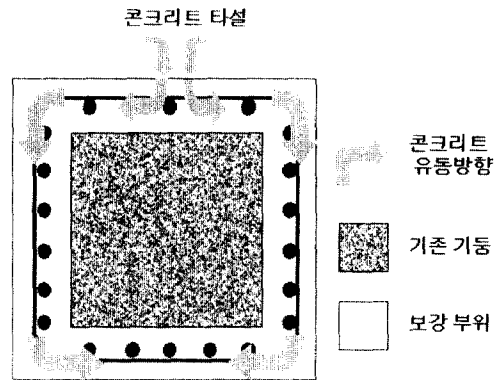


그림 5 고유동 콘크리트의 충전 현황

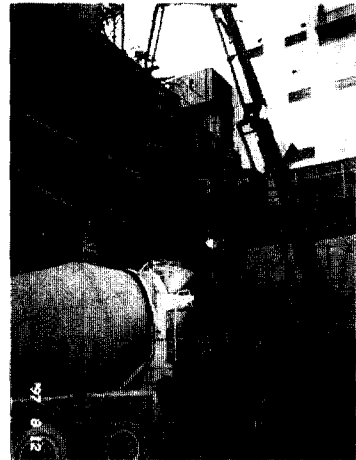


사진 3 고유동 콘크리트 타설 장면

표 4 콘크리트 타설 개요

No.	타설일자	타설 층 (층)	타설량 (m³)
1	97. 7. 10	1	18
2	7. 21	1	18
3	8. 6	2	24
4	8. 12	3	24
5	8. 19	4	21
6	8. 23	4	18

4.4.2 경화 후 충전성 및 표면마감 상태

콘크리트 타설 후 2일만에 거푸집을 제거하고 타설된 콘크리트 표면을 관찰한 결과 기둥의 각 모서리 부분까지 밀실하게 충전되었으며 또한 그 표면상태도 매우 양호하게 나타났다. 고유동 콘크리트는 시멘트 페이스트가 차지하는 용적이 많고 또한 기둥 외측면의 개방면이 자연스럽게 공기구멍 역할을 하였기 때문에 미세한 곰보자국 등이 전혀 생기지 않았다. 특히, 슬래브와 보 밑면과의 접합부는 들뜸현상이 생길 우려가 있었으나 치밀한 바탕처리 및 타설작업이 한 방향에서 원활히 수행되어 매우 우수한 집합상태를 나타내었다.

4.4.3 품질시험 결과

고유동 콘크리트의 각종 품질시험 결과는 <표 5>와 같다. 콘크리트의 온도는 출하시 27.9~29.5℃, 현장 도착시 32.0~33.4℃로 나타나 평균 4.2℃ 상승되었으나, 35℃를 넘지 않았다. 이와 같이 온도가 상승된 이유는 운반 도중에 수화반응으로 발생된 수화열로 인한 것과 외기의 영향때문인 것으로 판단된다.

슬럼프 플로우값은 출하시 61~68cm에서 약 5cm 정도 저하되었으나, 목표치인 60cm 이상을 확보할 수 있었다.((사진 4) 참조) 단, 4차 콘크리트는 전반적으로 슬럼프 플로우값이 60cm이하로 되어 고성능 AE감수제 0.1%를 후첨가시키고 약 3분동안 레미콘 트럭 교반기를 고속 회전시켜 유동성을 회복할 수 있었다. 또한, 공기량은 출하시 평균 5.3% 그리고 현장 도착시 4.6%로 나타나 0.7%정도 낮아졌다.

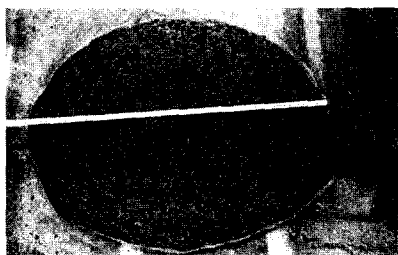


사진 4 슬럼프 플로우 측정 장면

콘크리트의 압축강도는 최저 401kg/cm², 최고 498kg/cm²으로 평균 459kg/cm²이며 설계기준강도 350kg/cm²를 모두 상회하였다. 또한, 표준편차가 31.3kg/cm², 변동계수가 6.8%로 나타나 고유동 콘크리트의 품질은 비교적 양호한 것으로 판단된다.

표 5 품질시험 결과

No.	슬럼프 플로우 (cm)		공기량(%)		콘크리트 온도(℃)		압축강도 (kg/cm ²)
	출하	도착	출하	도착	출하	도착	
1	67	63	4.9	4.1	-	-	444
2	65	62	5.4	4.5	-	-	498
3	68	64	6.0	5.2	28.5	32.7	431
4	61	56	5.0	4.4	28.1	32.8	487
5	63	60	5.9	5.2	29.5	33.4	421
6	66	60	4.8	4.0	27.9	32.0	471

5. 맺음말

최근 콘크리트 라멘조의 단면증설 공법에 의한 기둥 보강공사에 고유동 콘크리트를 사용한 것은 본 공사가 국내 최초로 보통 콘크리트처럼 범용화되지 못한 고유동 콘크리트의 활용 범위를 확대시켰다는 점과 또한, 구조물의 요구조건에 대응하여 소요 품질의 고유동 콘크리트를 제조·시공하여 양호한 결과를 얻었다는 점에서 의의가 있다고 판단된다. 그러나, 고유동 콘크리트를 대량생산하여 활용하기 위하여는 제조설비의 개선은 물론 콘크리트 타설시 거푸집에 대한 특수한 고려 등 시공상의 주의와 고유동 콘크리트에 대한 건설관계자들의 인식변화 등 향후 해결해야 할 사항이 많은 것으로 판단된다.

감사의 글

본 공사의 진행에 많은 도움을 주신 삼표레미콘 본사의 전용수 과장 그리고 남양 공장의 최길영 공장장, 민순홍 품질관리실장, 그리고 복구공사 현장의 윤석중 차장 등 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고 문헌

1. 선경건설(주) 연구소, "고강도 콘크리트의 유동성 향상을 위한 배합설계 기술개발", 1995. 12
2. 선경건설(주) 연구소, "보통강도 콘크리트의 유동성 향상을 위한 경제적 배합설계 기술개발", 1996. 12
3. 윤재환 외 3인, "고유동 콘크리트의 제조 및 현장적용을 위한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 논문집, 제8권 제2호, 1996. 4, pp.109~117
4. 日本建築學會, "高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針(案)・同解説", 1997