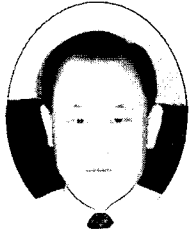
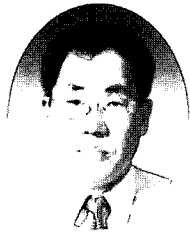


사용골재의 품질저하를 고려한 고강도 콘크리트의 현장적용 사례

- The Application of High Strength Concrete Considering
a Quality Drop of Using Aggregate -



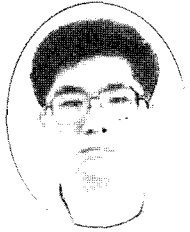
권용석*
Kwon, Yong Suck



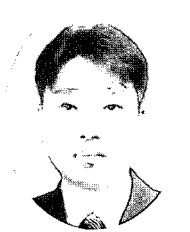
이도범**
Lee, Do Bum



박창희***
Park, Chang Hee



김효락****
Kim, Hyo Rak



최일호*****
Choi, Il Ho

1. 머리말

최근 인천 옹진군 바닷모래의 채취량이 규제됨에 따라 수도권 소재 레미콘 제조회사의 잔골재 수급에 큰 어려움이 발생하고 있다. 이로 인해 수도권에서 레미콘 제조에 사용되고 있는 바닷모래의 절대량을 태안지역의 모래가 차지하고 있는 실정이다. 한편, 최근 태안지역에서 채취되고 있는 바닷모래는 입도분포가 고르지 않고, 조립률이 매우 낮아 KS 기준을 만족하지 못하는 것으로 조사되었다. 이와 같이 원활하지 못한 잔골재 수급으로 인해 레미콘 제조에 사용되는 잔골재의 품질관리가 힘들어짐에 따라 콘크리트 경화 전·후의 품질에 악영향을 미칠 것으로 우려된다.

대림산업(주)가 평촌에서 시공하고 있는 아크로타워는 지하 5층, 지상 42층 규모의 초고층 건물로서 설계기준강도 30, 40 및 42 MPa의 고강도·고유동 콘크리트를 경기 안양지역에 위치하고 있는 레미콘 제조회사로부터 공급받아 사용하고 있

다. 한편, 당 현장에 사용되고 있는 콘크리트의 배합설계 시에는 고강도 콘크리트의 유동성 확보를 위해 양호한 품질의 바닷모래가 사용되었으나, 최근 레미콘 제조에는 KS 기준을 만족하지 못하는 바닷모래의 사용이 불가피할 것으로 예상되므로, 잔골재의 품질변동에 대한 대책수립이 시급한 실정이다. 이와 같이 최근 일부 바닷모래의 품질변동에 대한 대책 수립의 일환으로 잔골재의 종류별 품질시험과 이를 사용한 고강도 콘크리트의 배합실험을 실시한 후, 품질이 다른 두 종류의 모래를 혼합한 혼합사를 잔골재로 사용하여 배합수정한 사례와 현장에 적용한 사례를 중심으로 소개하고자 한다.

2. 현장 개요

평촌 아크로타워 현장의 개요는 다음과 같고, 조감도는 <그림 1>과 같다.

- 공사명 : 평촌 아크로타워 신축공사
- 발주처 : (주)국도개발

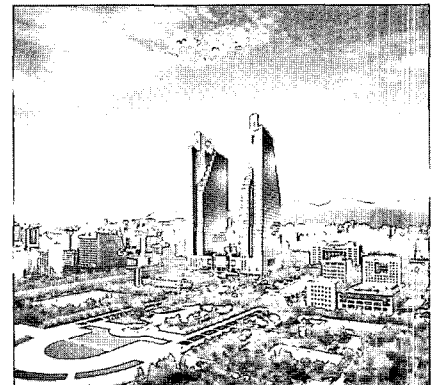


그림 1. 조감도

- 설계사 : (주)건축사사무소 뿌리건축
- 공사기간 : 2004. 1. ~ 2007. 2.
- 대지위치 : 경기도 안양시 동안구 관양동 1591번지
- 연면적 : 186,905 m²(56,539평)
- 구조 : 철근콘크리트구조
- 규모 : 지하 5층, 지상 42층, 2개동
- 콘크리트 압축강도
 - 타워형(7층 ~ 15층 수직부재) : 42 MPa
 - 타워형(16층 ~ 22층 수직부재) : 40 MPa
 - 타워형(23층 이상 수직부재) : 30 MPa

3. 잔골재 품질 검토

우선 레미콘 제조회사에서 수급이 가능한 잔골재의 입도를 검토하기 위해 종류별, 즉 초기 배합설계 시에 사용된 품질이 양호한 바닷모래(이후 S1이라 표기), KS 기준을 만족하지 못하는 태안지역의 바닷

* 대림산업(주) 평촌아크로타워현장 소장
 ** 정희원, 대림산업(주) 기술연구소 건축연구지원팀 부장
 *** 대림산업(주) 평촌아크로타워현장 차장
 **** 정희원, 대림산업(주) 기술연구소 건축연구지원팀 차장
 ***** 정희원, 대림산업(주) 기술연구소 건축연구지원팀 대리

표 1. 잔골재의 입도(KS 기준)

체크기(mm)	체를 통과하는 질량 백분율(%)
10	100
5	95 ~ 100
2.5	80 ~ 100
1.2	50 ~ 85
0.6	25 ~ 60
0.3	10 ~ 30
0.15	2 ~ 10

표 2. 잔골재 종류별 체가름 시험결과

체No.	체크기(mm)	통과율(%)				
		S1	S2	S3	혼합사(7:3)	혼합사(6:4)
No.4	5	98.0	99.8	91.7	96.9	97.4
No.8	2.5	89.2	97.4	65.0	87.4	84.7
No.16	1.2	71.3	87.9	43.7	75.5	70.4
No.30	0.6	42.6	63.0	26.0	63.2	57.3
No.50	0.3	5.9	22.4	12.1	12.0	12.4
No.100	0.15	1.3	3.1	2.9	3.1	2.9
조립률		2.85	2.26	3.37	2.59	2.72

표 3. 시멘트의 물리적 특성

비중	분말도 (cm/g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(kgf/cm ²)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,281	0.12	264	404	216	298	378

표 4. 플라이 애쉬의 물리적 특성

비중	분말도(cm/g)	단위수량비(%)	압축강도비(%)
2.25	3,720	100	82.4

표 5. 골재의 물리적 특성

종류	비중	흡수율(%)	단위용적중량(kg/m ³)	입형관정실적률(%)	0.08mm체 통과량(%)
잔골재	2.59	1.13	1,612	-	1.2
부순잔골재	2.60	1.23	1,669	53.8	1.2
굵은골재	2.62	0.68	1,541	57.1	0.3

모래(이후 S2라 표기) 및 경기 비봉 지역의 석산에서 생산되는 부순모래(이후 S3라 표기)의 입도분포를 「KS F 2502 골

재의 체가름 시험방법」에 의거하여 확인하였다. 또한, S2의 입도문제를 해결하기 위한 방안으로 혼합사의 사용 검토를 위해

S2와 S3를 일정 비율(S2 : S3 = 7 : 3 또는 S2 : S3 = 6 : 4)로 혼합한 혼합사에 대해서도 체가름 시험을 실시하여 입도분포를 확인하였다.

각각의 잔골재에 대한 체가름 시험결과는 <표 2> 및 <표 3>과 같고, KS 표준입도곡선과 시험결과를 도식화하면 <그림 2> 및 <그림 3>과 같다. 한편, 「KS F 2526 콘크리트용 골재」에 의하면 콘크리트제조에 사용가능한 잔골재는 <표 1>의 연속된 두 체 사이의 잔류량이 45% 이하이어야 하고, 조립률이 2.3 ~ 3.1인 것이어야 한다고 기술되어 있다. 그리고, 고강도·고유동 콘크리트의 유동성을 확보하기 위해서는 조립률 2.8 ± 0.2 수준의 양호한 품질의 바닷모래가 사용되어 온 것이 일반적이었다. 그러나, <표 2>와 같이 체가름 시험결과, S2는 0.6mm체 잔류량이 40% 이상으로 입도가 일부분에 치우쳐 있고, 조립률은 2.26으로 낮아 고강도·고유동 콘크리트 경화 전·후의 품질저하에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

S1, S2 및 S3의 체가름 시험결과를 도식화한 <그림 2>와 같이 S1은 입도가 고르게 분포하여 표준입도곡선 내에 들어오고, S2는 입도분포가 고르지 않고 일부분에 치우침에 따라 1.2mm 크기 이하의 입자가 약 90%로 KS 기준인 50 ~ 85%를 상회하여 표준입도곡선을 벗어났으며, S3는 2.5mm 크기 이상의 입자가 약 35%로 큰 입자가 많아 KS 기준인 0 ~ 20%를 상회하여 표준입도곡선을 벗어나는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같이, S2

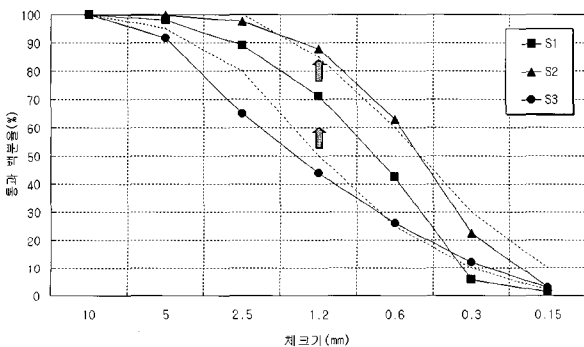


그림 2. 잔골재 체가름 시험결과(종류별)

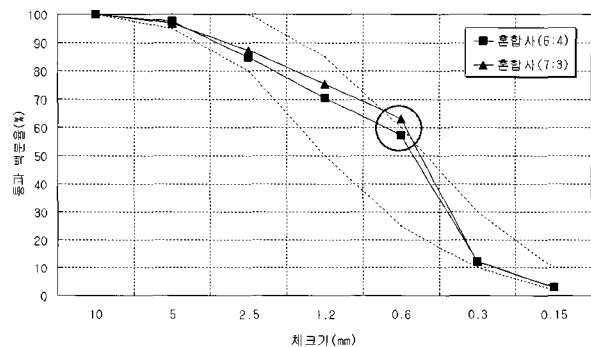


그림 3. 잔골재 체가름 시험결과(혼합비율별)

와 S3의 단독 사용은 입도분포에 있어 KS 기준을 만족하지 못함에 따라 고강도·고유동 콘크리트 경화 전·후의 품질을 저하시킬 것으로 예상된다.

KS 표준입도곡선을 만족하지 못하는 S2와 S3의 입도분포를 고르게 하기 위하여 S2와 S3를 일정비율(7:3 또는 6:4)로 혼합한 혼합사의 입도를 평균한 체가름 시험결과는 <그림 3>과 같다. 7:3 비율 및 6:4 비율로 혼합한 혼합사의 조립률은 각각 2.59 및 2.72로 KS 기준에 적합한 수준이었다. 그러나, 7:3 비율 혼합사는 <그림 3>과 같이 0.6mm 크기의 입자에서 표준입도곡선을 벗어나 KS 기준을 만족하지 못하였다. 즉, S2와 S3를 6:4의 비율로 혼합한 혼합사의 경우, S2 및 S3보다 입도가 더욱 고르게 분포하는 것을 알 수 있었다.

4. 콘크리트 배합실험

사용 잔골재의 종류에 따른 콘크리트 경화 전·후의 물리적 특성을 확인하기 위해 콘크리트 배합실험을 실시하였다. 시멘트에는 보통포틀랜드시멘트를 사용하였고, 잔골재는 인천 및 태안지역의 바닷모래와 경기 비봉 지역 석산에서 생산되는 부순모래를 사용하였다. 그리고, 혼화재료로 플라이 애쉬는 충남 태안산을 사용하였으며, 혼화제는 ECONEX COONA-L(폴리카보산계 고성능AE감수제)을 사용하였다. 사용재료의 물리적 특성은 <표 3>~<표 5>과 같다.

표 6. 콘크리트 배합표

사용 잔골재	W/C (%)	S/a (%)	단위중량(kg/m ³)							
			W	C	FA	S1**	S2**	S3**	G	AD
S1	34.3	46.0	160	373	93	766	0	0	910	5.13
S2	35.6	46.0	166	373	93	0	766	0	910	5.13
혼합사*	34.3	46.0	160	373	93	0	459	307	910	5.13

* 미사:부순모래=6:4

** S1:세척사, S2:미사, S3:부순모래

표 7. 실험결과

사용 잔골재	플로우(cm)		공기량(%)		압축강도(MPa)			
	0분	60분	0분	60분	3일	7일	14일	28일
S1	63/63	54/55	3.5	3.1	31.5	45.9	53.8	619
S2	63/64	55/56	4.3	3.8	28.5	43.0	48.5	547
혼합사	65/64	51/50	3.9	3.3	34.6	49.4	55.9	642

사용 잔골재의 종류별 콘크리트 배합표 및 실험결과는 <표 6> 및 <표 7>과 같다. <표 6>의 콘크리트 배합표의 품질관리기준으로 설계기준강도는 42 MPa이고, 슬럼프 플로우는 60분 경과후 45±7 cm이며, 공기량은 4.5±1.5%이다. 한편, 슬럼프 플로우 시험은 KS F 2402, 공기량 시험은 KS F 2421 및 압축강도 시험은 KS F 2405에 의거하여 실시하였다.

동일 수준의 슬럼프 플로우 확보를 위한 단위수량은 <표 6>과 같이 S1은 160 kg/m³이고, S2는 166 kg/m³이며, 6:4 비율의 혼합사는 160 kg으로 S2를 사용한 콘크리트가 S1 및 혼합사를 사용한 콘크리트보다 6 kg/m³ 증가되었다. 한편, 슬럼프 플로우 60분 경과 후의 경시변화에 있어서는 <그림 4>와 같이 S1 및 S2를 사용한 콘크리트는 8cm 감소한 반면, S3를 혼합한 혼합사를 사용한 콘크리트는 14cm 감소한 것으로 보아 S3의 입형 및

잔입자 함유량이 유동성의 경시변화에 영향을 미친 것으로 판단된다. 한편, <표 5> 골재의 물리적 특성에서와 같이 부순모래의 잔입자 함유량은 바닷모래와 유사한 수준이었지만, 입형판정실적률은 53.7%로 KS기준(53% 이상)을 간신히 만족하였으며 S1 및 S3의 입형판정실적률(보통 57~58%)보다 낮은 수준이었다. 이와 같이 S3의 잔입자 함유량보다는 모나고 거친 입형이 콘크리트의 유동성 저하에 직접적으로 영향을 미친 것으로 판단된다. 따라서 콘크리트 제조 시 잔골재에 S3를 혼합한 혼합사의 형태로 사용 시에는 S3의 품질(잔입자 함유량 및 입형)에 따라 콘크리트의 유동성을 검토하여 적정 혼합비율을 결정해야 할 것으로 판단된다. 평촌 아크로타워 현장의 납품 레미콘사는 5개 공장으로 각각의 공장에 대하여 배합실험을 실시하여 경화 전 실험결과를 검토한 결과, S3의 혼합비율을 3개 공장은 40%,

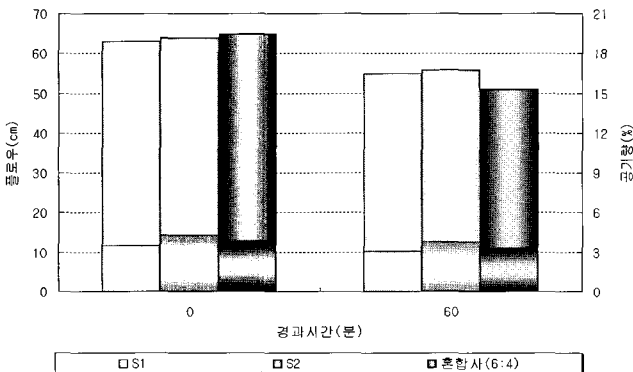


그림 4. 콘크리트 물성 실험결과

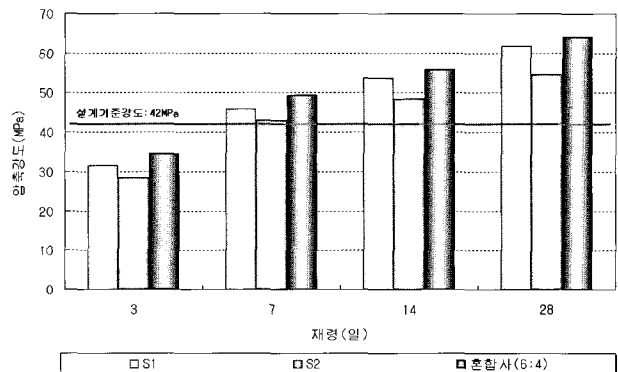


그림 5. 콘크리트 압축강도 실험결과

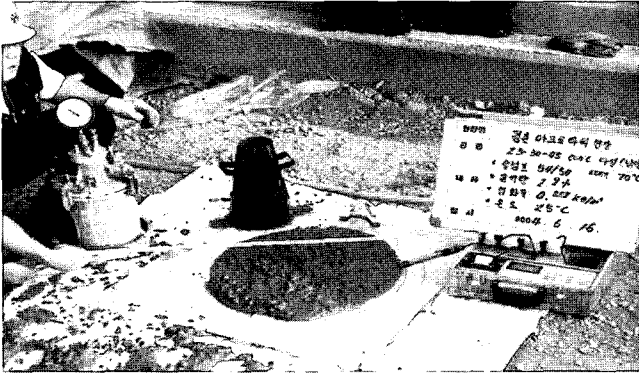


사진 1. 현장 콘크리트 품질시험

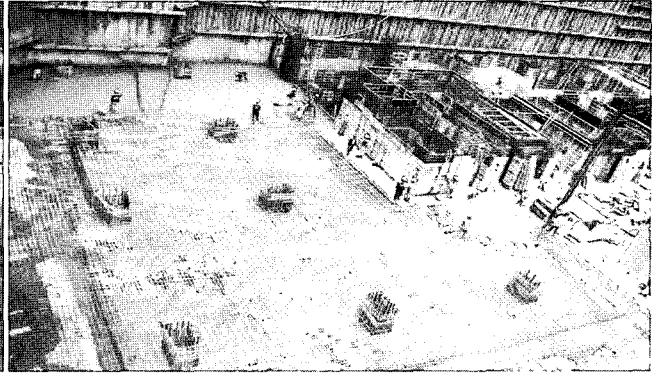


사진 2. 현장 콘크리트 타설전경

2개 공장은 30%로 결정하였다.

콘크리트의 공기량은 사용 혼화제의 AE제를 조정함으로써 <그림 4>와 같이 세 종류의 잔골재를 사용한 콘크리트 모두 $4.5 \pm 1.5\%$ 의 품질관리기준을 만족시킬 수 있었으며, 경시변화 또한 모두 비슷한 수준의 결과를 나타냈다.

압축강도는 3종류의 잔골재를 사용한 콘크리트 모두 재령 7일에 설계기준강도를 만족하였으며, 재령 28일에는 배합강도(설계기준강도의 120%)를 만족하였다. 그러나, 잔골재에 S2를 사용한 콘크리트의 경우 동일 작업성 확보를 위해 S1 또는 혼합사를 사용한 콘크리트에 비해 단위수량이 6 kg/m^3 증가됨에 따라 압축강도는 7 MPa 이상 저하되는 것을 확인할 수 있었다. 즉, S2는 입도분포가 고르지 않고, 조립률이 낮아 콘크리트의 경화 전 또는 경화 후의 품질저하가 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

5. 현장 적용

최근 다양한 문제로 천연골재가 부족하게 되면서 레미콘 제조에 사용되는 잔골재의 품질변동(낮은 조립률의 바닷모래 사용)이 발생하고 있다. 이러한 잔골재의 품질변동이 현장 반입 레미콘의 품질저하에 직접적인 영향을 미치게 되므로 사전에 사용 잔골재의 검토를 통한 배합실험을 실시하여 콘크리트 시방배합을 수정하였다. 이와 같이 사용 잔골재의 품질변동이 발생되는 경우, 시방배합의 조정 없이 현장배합

에서의 보정만을 하게 되면 콘크리트의 품질관리기준을 만족하기 위해 잔골재의 표면수 조정에 따라 단위수량이 증가하여 경화 후 콘크리트의 불안정한 압축강도 확보 및 건조수축균열의 증가가 예상된다. 이에 당 현장에서는 사전에 시방배합수정을 통해 적절하게 현장배합을 보정함으로써 정상적인 슬럼프 플로우와 압축강도 관리가 가능하였다. 현장에서의 콘크리트 품질시험과 타설 전경은 <사진 1> 및 <사진 2>와 같다.

6. 맺음말

현장에서의 안정적인 콘크리트 품질관리를 위해 콘크리트의 품질에 미치는 잔골재의 영향을 검토하였다. 잔골재의 종류별 입도분포와 조립률을 확인하기 위해 바닷모래(S1, S2), 부순모래(S3) 및 혼합사의 체가름시험을 실시한 결과, 바닷모래 S1과 혼합사(S1 : S3 = 6 : 4)만이 KS기준을 만족하였다. 그리고, 사용 잔골재를 달리하여 콘크리트의 배합실험을 실시한 결과, 바닷모래 S2를 사용한 콘크리트의 경우 동일 슬럼프 플로우 확보를 위해서 바닷모래 S1 또는 혼합사를 사용한 콘크리트에 비해 단위수량이 6 kg/m^3 증가됨에 따라 압축강도는 7 MPa 이상 저하되었다. 즉, 바닷모래의 품질변동(입도분포 및 조립률의 변동)이 콘크리트 경화 전 또는 경화 후의 품질저하에 악영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 한편, 잔골재에 부순모래 S3를 혼합한 혼합사를 사용한

콘크리트의 슬럼프 플로우 수준은 동일 단위수량에서 바닷모래 S1을 사용한 콘크리트와 유사한 수준이었지만, 60분 경과 후의 경시변화는 더욱 크게 나타났고 그 변화폭은 혼입되는 부순모래의 품질차이(잔입자 함유량 및 입형)에 영향을 받은 것으로 판단되었다. 따라서 부순모래를 혼입한 혼합사를 잔골재로 사용하기 위해서는 사전에 부순모래의 품질(0.08 mm체 통과량과 입형판정실적률)검토와 콘크리트의 배합실험을 통해 적정 혼입률을 결정해야 할 것이다. 당 현장에서는 이와 같이 바닷모래의 품질변동을 고려하여 잔골재에 혼합사를 사용함으로써 현장에서의 더욱 안정적인 콘크리트 품질관리가 가능하였다.

최근 콘크리트용 천연 잔골재 자원의 고갈과 바닷모래의 채취가 규제됨에 따라 천연골재의 부족현상이 심각한 실정이며, 이러한 천연골재의 부족은 콘크리트 제조에 사용되는 잔골재의 품질변동에 큰 영향을 미치게 되었다. 잔골재의 품질변동은 콘크리트의 품질저하에 직접적인 영향을 미치게 되었고, 향후 이러한 현상은 불가피한 현실일 것으로 판단된다. 따라서, 잔골재의 품질변동에 따른 콘크리트의 품질저하를 막기 위해서는 우선적으로 레미콘 제조회사에서 철저한 골재 입수검사를 통해 골재를 품질에 따라 구분 저장해야 할 것이며, 이러한 골재의 품질변동을 예측하여 사전에 시공사에 통보하고 콘크리트 시방배합을 수정할 수 있는 체계가 수립되어져야 할 것이다. □