

북한 해주산 세척사 특성

Properties of Haeju Sea Sand in North Korea

김정빈* 홍지훈* 박세종*** 이성연** 조재우****
Kim, Jung Bin Hong, Ji Hoon Park, Se Jong Lee, Seong Youn Cho, Jae Woo

ABSTRACT

This paper is examined the properties of Haeju sea sand for concrete. As result, the water absorbtion ratio and the contents of shell and microfines of Haeju sea sand was high. We would expected to utilize the results of this study as a basic data for quality control of Ready Mixed Concrete.

1. 서론

도시화에 따른 콘크리트 사용량 증가에 따른 급격한 골재 수요 증가로 인한 수도권 지역의 잔골재 수급 불균형은 콘크리트용 잔골재로 단독 사용하기에는 부적합한(그림 1) 배타적 경제수역 바다모래의 공급과 품질 검증이 완료되지 않은 북한 해주산 바다모래 수입을 초래하였다.

이에 본보는 콘크리트 품질관리에 활용하고자 수급 불균형 해소 대책으로 수입되고 있는 북한 해주산 세척사와 해주산 세척사를 사용한 콘크리트의 기초적인 특성을 검토하였다.

2. 해주산 세척사 품질

북한 해주산 세척사의 품질 변화(그림 2와 표 1)를 보면 0.08mm 통과율(이후 미분량이라 함)이 다소 높은 것이 몇몇 있다는 것을 제외하고 조립률과 염화물 측면에서 볼 때 전반적으로 양호하다고 볼 수 있다. 그러나 콘크리트의 내구성 저하를 초래할 수 있는 비중이 낮은 조개껍질을 다량 포함하고 있는 해주산 세척사의 경우는 5mm체 잔류율이 다소 문제가 될 것으로 예상된다.

3. 실험 방법

3.1. 조개껍질 함량 및 비중, 흡수율 시험

칼슘화합물이 염산에 용해되는 성질을 이용하여 용진군산과 해주산 원사, 5mm체 통과 전, 후의 해주산 세척사에 대하여 조개껍질 함량 시험과 KS F 2504에 따라 비중과 흡수율 실험을 실시하였다. 세척사의 흡수율 측정 오차를 확인하기 위하여 Gas Pycnometer (Micromeritics 사 AccuPyc1330)를 이용하여 겉보기 비중을 측정하였다.

*정회원, (주)삼표 기술연구소
**정회원, (주)삼표 기술연구소 전무
***정회원, (주)삼표 골재본부 부장
****정회원, (주)삼표 골재본부 전무

3.2. 사용 재료

콘크리트 특성 실험에 사용된 재료의 물성을 표 2에 나타내었다. S사의 1종 보통포틀랜드 시멘트와 당진산 플라이애쉬, 화성군 비봉산 부순자갈을 사용하였고, 잔골재는 비교를 위하여 웅진군산 세척사와 화성군 비봉산 부순모래를 해주산 세척사와 함께 사용하였다. 조개 껍질 영향을 검토하기 위하여 5mm체 통과 전후로 해주산 세척사를 구분하여 사용하였다. 혼화제는 중간 성능 나프탈렌계 감수제와 라울린계 AE제를 사용하였다.

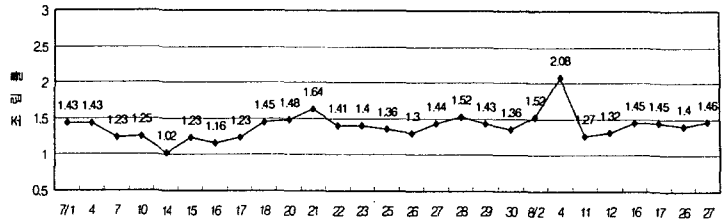


그림 3 배타적 경제수역 채취 세척사 조립률

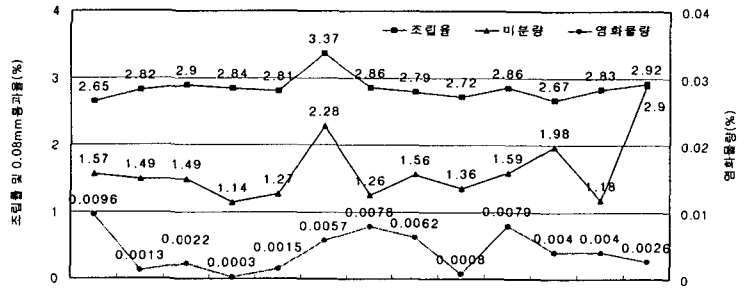


그림 4 북한 해주산 세척사 조립률과 0.08mm 통과율, 염화물량

3.3. 콘크리트 및 모르타르 실험

웅진군산 세척사를 사용한 배합(표 3)을 기준으로 콘크리트의 특성을 동일 배합비 조건과 동일 결합재량-동일 작업성 조건에서 실험하였다.

해주산 세척사의 내열 특성을 검토하기 위하여 동일 작업성 조건으로 제조한 콘크리트에서 모르타르를 채취하여 제작한 공시체를 온도 20℃ 습도 60%인 대기 중에서 28일 양생하여 300, 600, 900℃까지 KS F 2257-1의 표준가열 온도 조건에 의거하여 승온 후 1시간동안 유지한 다음 공기 중에서 냉각시켜 그때의 강도 변화를 측정하였다.

표 3 사용 재료 물성

구분	물성		
시멘트	OPC (비중 3.15, 분말도 3,700cm ² /g)		
플라이애쉬	비중 2.22, LOS 2.3%, 분말도 3,810cm ² /g		
굵은골재	25mm (비중 2.62, 흡수율 0.72%)		
잔골재	웅진군산	조립률 2.85, 비중 2.59, 흡수율 0.79%, 입형 59%	
	부순모래	조립률 3.05, 비중 2.61, 흡수율 0.74%, 입형 53%	
	해주산	5mm 통과전	비중 2.54, 흡수율 1.44% 입형 53%
		5mm 통과후	
혼화제	나프탈렌계 감수제, 라울린계 AE제		

표 1 채취사별 북한 해주산 세척사 품질

No.	항목	채취사				기타
		A	B	C	D	
1	조립률	3.13	-	3.17	3.15	3.19
	미분량 (%)	2.46	-	2.68	0.94	1.78
	5mm체 잔류율 (%)	1.6	-	1.1	1.0	1.1
2	조립률	2.65	2.70	3.13	3.11	3.00
	미분량 (%)	1.57	2.61	3.42	3.03	4.32
	5mm체 잔류율 (%)	0.5	0.2	3.9	3.2	3.0
3	조립률	2.82	2.99	3.0	3.13	3.14
	미분량 (%)	1.49	2.53	2.42	3.57	2.67
	5mm체 잔류율 (%)	0.7	2.8	3.0	3.6	3.5
4	조립률	3.37	3.36	3.33	3.35	3.33
	미분량 (%)	1.93	2.15	1.95	2.01	1.82
	5mm체 잔류율 (%)	4.4	4.2	4.5	4.4	4.0
5	조립률	2.58	2.43	2.44	2.35	2.47
	미분량 (%)	2.03	2.23	2.29	2.46	2.3
	5mm체 잔류율 (%)	2.1	2.2	2.6	2.3	2.5
6	조립률	2.39	2.48	2.88	2.95	-
	미분량 (%)	4.08	3.95	2.25	2.13	-
	5mm체 잔류율 (%)	1.6	2.1	3.0	3.2	-

표 2 콘크리트 시험 기준 배합

W/B (%)	S/a (%)	FA 치환율 (%)	단위용적증량(Kg/m ³)					AE제 (%B)	감수제 (%B)
			단위수량	시멘트	FA	잔골재	굵은골재		
50	47	15	170	289	51	835	949	0.01	0.5

4. 실험 결과 및 고찰

표 4 세척사 및 함유 조개껍질 물성

구 분	절건 비중 (실측A)	흡수율 (%)	겉보기 중 (기기 측정B)	산출* 절건 비중	절건 중 차 (B-A)	미분량 (%)	조 개 겉질량 (%)
웅진산	2.59	0.79	2.65	2.60	0.01	0.92	1.27
해 주 산	5mm 통과 전	-	-	-	-	2.46	7.00
	5mm 통과 후	2.54	1.44	2.66	2.56	0.02	2.48
	원 사	-	-	-	-	-	6.30
	조개껍질 제거	2.55	1.35	2.64	2.55	0.00	-
조개껍질	2.41	4.33	2.70	2.42	0.01	-	-

* 겉보기 비중과 흡수율의 관계로부터 산출

4.1. 해주산 세척사 특성

표 4의 세척사 물성을 보면 해주산 세척사 비중이 다소 낮았고, 흡수율과 미분량이 다소 높았다.

Gas Pycnometer를 이용하여 조개껍질과 미분에 의해 발생할 수 있는 흡수율 측정 오차 발생 여부를

실험한 결과 웅진산과 조개껍질을 제거한 해주산 세척사에 비하여 5mm 통과 후의 해주산 세척사의 흡수율 측정 오차가 소폭 증가하였다. 이러한 흡수율 오차는 표면수 관리 오류를 발생시켜 콘크리트 제조 시 설계배합비와 현장 배합비 간의 오차를 증가시킬 수 있음을 시사한다.

4.2. 콘크리트에 미치는 영향

4.2.1. 동일 배합 조건에서의 콘크리트 특성 변화

비중 차에 의한 잔골재량 변화를 제외하고 웅진군산 세척사를 사용한 배합을 기준으로 5mm체 잔류 잔골재에 대한 입도 보정을 하여 동일 배합 조건으로 콘크리트를 제조하였을 때 표 5에 나타난 것과 같이 HS는 공기량이 증가하였고, 슬럼프 저하도 미미하게 일어났다. 반면에 H5U는 공기량 저하 없이 슬럼프가 Plain과 HS에 비하여 10cm이상 저하하였다. 좀 더 세밀한 검토가 이루어져야겠으나, HS의 슬럼프가 유지될 수 있었던 것은 상대적으로 큰 5mm 이상의 반구형 조개껍질이 굵은골재 면간에서 윤활작용을 하기 때문으로 생각된다. 공기량의 증가는 조개껍질의 오목한 면과 조개껍질 표면의 작은 공극의 영향으로 갇힌 공기량이 증가하기 때문인 것으로 생각된다. H5U의 슬럼프 저하는 작고 편평한 조개껍질이 입형을 저하시키는 원인으로 작용하였기 때문인 것으로 생각되며, 공기량이 유지될 수 있었던 것은 미분의 AE제 흡착으로 인한 연행공기량 감소분과 조개껍질에 의한 갇힌 공기량 증가가 서로 상쇄된 것으로 추론을 해본다.

강도적 측면에서는 HS와 H5U, CS의 초기강도 증가는 미분에 의한 것으로 판단되며, H5U의 28일 강도 증가는 표 4에서 보는바와 같이 흡수율 측정 오차에 의한 물 결합재비 저하가 원인인 것으로 생각된다. CS의 강도 증가는 부순모래와 결합재간의 부착강도 증진 때문인 것으로 판단된다.

표 5 동일 배합 조건에서의 콘크리트 시험 결과

구분	잔골재 종류	단위용적증량(Kg/m ³)					AE제 (%B)	감수제 (%B)	슬럼프	공기량	압축강도(MPa)				
		W	Cement	FA	S	G					3일	7일	28일		
Plain	웅진 세척사	170	289	51	835	949	0.01	0.5	18.5	4.6	14.3	23.9	35.7		
HS	해 주 5mm 통과전				825						17.5	7.8	17.1	24.7	33.0
H5U	해 주 5mm 통과후				825						7.0	4.4	19.0	27.7	38.0
CS	부순모래				841						10.5	3.7	15.5	26.0	41.5

4.2.2. 동일 결합재량, 동일 작업성 조건에서의 콘크리트 특성

표 6는 동일 작업성 조건의 콘크리트 제조에 필요한 단위수량이 증가함을 나타내고 있다. 4.2.1에서는 Plain의 작업성과 유사한 작업성을 가졌던 HS를 동일작업성 조건으로(HSW) 하였을 때 단위수량이 증가한 것은 AE제 사용량 감소에 의한 연행공기량 감소 때문인 것으로 생각된다. 따라서 동결융해 저항성 등의 내구성이 요구되는 콘크리트에 해주산 세척사를 사용할 경우는 양질의 혼화제 또는 양질의 타 잔골재와 혼합 사용하는 등의 관리가 필요할 것으로 생각된다.

표 6 동일 결합재량, 동일 작업성 조건에서의 콘크리트 시험 결과

구분	잔골재 종류	단위용적증량(Kg/m ³)					AE제 (%B)	감수제 (%B)	슬럼프	공기량	압축강도(MPa)			
		W	Cement	FA	S	G					3일	7일	28일	
Plain	웅진 세척사	170	289	51	835	949	0.010	0.5	18.5	4.6	14.3	23.9	35.7	
HSW	해주 5mm 통과전	192			799	918	0.008		18.0	5.4	14.3	18.0	29.6	
H5UW		5mm 통과후			190	801	921		0.011	18.5	5.8	13.0	19.7	28.9
CSW					부순모래	180	829		935	0.012	18.0	4.5	14.2	21.9

4.3. 내열 특성

표 7에 해주산 세척사의 내열 특성 결과를 나타낸 것과 같이 300℃에서는 강도 변화가 미미하였고, 600℃에서는 초기 강도의 50% 수준 정도로, 900℃에서는 30% 미만으로 강도가 크게 저하하였다. 이러한 강도 저하는 내부 수분 방출과 함께 온도 상승에 따라 잔골재 중의 α-Quartz가 573℃에서 β-Quartz로 이 β-Quartz가 다시 870℃ 영역에서 β₂-Tridymite로의 상전이 과정에서 발생하는 부피팽창에 의한 것으로 생각된다. 부순모래를 사용한 경우의 강도 저하율이 세척사에 비하여 작은 것은 부순모래 중의 Quartz 함량이 세척사에 비하여 적어 상전이에 의한 부피 팽창이 작았기 때문일 것이다.

표 7 골재 종류별 모르타르의 내열 특성 변화

잔골재	구분	28일 양생		300℃, 1hr		600℃, 1hr		900℃, 1hr	
		압축강도 (MPa)	발현율 (%)	압축강도 (MPa)	발현율 (%)	압축강도 (MPa)	발현율 (%)	압축강도 (MPa)	발현율 (%)
웅진세척사		24.6	100	24.7	100.4	13.9	56.4	6.2	25.3
해주세척사		21.5		20.9	97.2	11.3	52.4	5.7	26.3
부순모래		23.7		23.1	97.5	14.6	61.6	6.7	28.3

5. 결론

해주산 세척사 특성과 콘크리트 사용 시의 특성을 검토한 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 해주산 세척사 흡수를 측정 시 조개껍질과 미분에 의한 오차 발생에 주의가 필요하였다.
- 2) 기준 공기량 범위 내로 콘크리트 제조를 할 경우 5mm 이상 크기의 조개껍질의 영향으로 연행공기량이 감소할 수 있고, 이는 동결융해 저항성을 저하시킬 위험이 있으므로 가능한 한 5mm 이하로 세척사를 생산할 필요가 있다.
- 3) 내구성을 요하는 콘크리트에 해주산 세척사를 사용할 경우는 고성능 혼화제를 사용하거나, 다른 양질의 잔골재와 혼합하여 사용하는 등의 단위수량 저감을 위한 노력이 필요하다.

참고 문헌

1. 한국도로공사, 기술보고집 제12집, 1991. 9, pp. 439~467
2. 대한주택공사, "잔골재중의 염화물 함유량에 관한 조사연구", 1985. 1, pp. 5~18
3. 이종근, "요업원료학", 반도출판사, 1983. 9, pp. 52~69