

쇄사콘크리트의 현황 및 물성

이 도 헌

(대한주택공사 주택연구소 생산기술연구부 선임연구원 · 工學博士)

이 성 복

(대한주택공사 주택연구소 생산기술연구부 연구원)

1. 개 요

콘크리트는 압축강도 등의 물성이 우수하고 구성재료의 입수가 용이하며 미관이 뛰어난 구조물을 만들 수 있는 등의 커다란 장점이 있으므로 현재 수많은 건설재료중에서 가장 많이 사용되고 있는 재료이며, 콘크리트를 구성하고 있는 재료중에서 골재는 일반적으로 콘크리트 용적의 70% 이상을 차지하므로 골재의 품질이 콘크리트의 품질에 미치는 영향은 지대하다.

그동안 국내에서는 한강, 낙동강 등에서 생산되는 양질의 골재를 사용하여 왔으나 급속한 경제성장과 함께 200만호 주택건설 등의 대형 건설프로젝트가 계속됨에 따라 80년대 말부터는 골재자원공급이 심각한 상태에 이르게 되었다. 굵은골재는 강자갈 대신에 각지에서 쇄석이 생산되어 수급에 큰 문제는 없는 편이다. 그러나 잔골재(모래)의 경우에는 강모래가 고갈되어 감에 따라 강모래의 품질이 악화되는 현상이 초래되고, 강모래의 부족분을 충당하기 위하여 대량으로 해사를 사용하여 왔으나 간혹

해사를 충분히 세척하지 않고 사용하는 사례가 발생하여 사회적인 물의를 일으키기도 하였다.

현재로서는 강모래를 대신하여 해사를 사용하지 않을 수 없는 형편이지만, 앞에서 말한 해사의 미세적으로 인한 콘크리트의 내구성문제와 운반거리에 따른 수송 및 경제성문제, 해사세척으로 인한 환경오염문제 및 해사의 부존량문제 등 여러가지 문제점을 내포하고 있으므로 새로운 대체골재자원을 확보하기 위한 대책 수립이 요구되어 왔다. 해사이외의 대체골재는 陸砂, 山砂, 碎砂(부순모래 또는 바순모래라고도 함), 고로슬래그 세골재, 인공모래 등 여러 가지 있으나 이중에서도 과거에 하천이나 바다였던 곳에서 채취되는 육사나 산사 또는 암석을 잘게 파쇄하여 만드는 쇄사가 가장 현실적이고 우선적으로 생각될 수 있는 것이다.

이러한 현실적 상황에 발맞추어 국내의 골재 생산업체에서는 1992년도부터 쇄사의 활용 가능성에 대한 검토를 시작하여 현재에는 이미 쇄사를 생산하여 콘크리트용으로 사용하고 있는 업체도 생겨나게 되었다. 따라서 여기에서는 국내외에서의 연구자료를 토대로 국내에서

의 쇄사의 생산실태 및 제조방법, 쇄사의 물성, 쇄사콘크리트의 성질 등에 대하여 기술코자 한다.

2. 쇄사의 생산 및 사용실태

2. 1 관련기준 및 연구현황

콘크리트용 쇄사에 관한 연구는 외국에서 매우 오래전부터 수행되어 미국, 유럽, 일본은 물론 홍콩등과 같이 모래수급에 어려움이 있는 나라에서는 이미 콘크리트용 쇄사가 많이 사용되고 있으며 이에 관한 규정도 제정되어 있다. 미국에서는 NCSA (미국쇄석협회 : National Crushed Stone Association)를 중심으로 콘크리트용 쇄사에 대한 연구를 계속하여 왔으나 쇄사 자체의 품질에 대한 규정을 별도로 정하

지 않고 강모래의 품질규준에 포함시키고 있다. 그러나 부분적으로는 강모래와 품질규격을 달리하고 있는데, 예를들어 ASTM 33-90에서는 잔입자(No 200체 이하의 미분) 손실량을 7%이하, BS 882에서는 10%이하로 규정하고 있다. 국내의 KS F 2558에서는 일본의 JIS A 5004-87을 기초로 하여 콘크리트용 쇄사의 품질에 대한 규격을 정해놓고 있는데, 최근 일본에서는 JIS A 5008(레디믹스트 콘크리트)에서도 쇄사가 지정품목으로 인정됨에 따라 쇄석과 쇄사의 통합적인 품질관리를 위하여 1993년 3월에 JIS A 5004(콘크리트용 쇄사)와 JIS A 5005(콘크리트용 쇄석)를 JIS A 5005-93(콘크리트용 쇄석 및 쇄사)로 일체화시키고 내용도 일부 개정하였다. 표-1은 KS F 2558에 규정되어 있는 콘크리트용 쇄사의 품질규격이다.

표-1 쇄사의 품질규격(KS F 2558)

원 석	현무암, 안산암, 사암, 석회암 또는 이에 준하는 석질을 가진 것.							
품 질	절 건 비 중	흡 수 율		안 정 성		미 분 량		실 적 율
	2.5 이상	3% 이하		10% 이하		7% 이하		53% 이상
입 도	체 번 호	8mm	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100
	통과율(%)	100	90-100	80-100	50-90	25-65	10-35	2-15

* 인접하는 체에 남는 량과의 차이 : 45% 이하

국내에서는 최근까지 건설용 잔골재를 강모래로 충당할 수 있었으므로 쇄사콘크리트에 관한 연구는 학계에서 간헐적으로 검토되었을 뿐 극히 미비한 실정이다. 그러나 모래수급 사정이 심각해진 '92년경부터는 여러 골재업체에서 본격적인 생산을 위한 자체검토가 수행되기에 이르렀으며, 때맞추어 주택공사 주택연구소에서 “부순모래의 실용화방안 연구”를 한국콘크리트학회와 공동으로 수행하였다. 이처럼 국내에서도 국내의 골재사정이 갈수록 심각해질 것으로 판단됨에 따라 쇄사를 콘크리트용으로 사용하기 위한 검토가 각처에서 행해지고 있지만, 쇄사의 물성이 일반 잔골재와는 다르기 때문에 국내에서도 체계적인 연구를 통하여 각

의 용도에 맞는 품질기준 및 사용지침 등을 정립할 필요가 있다.

2. 2 골재의 생산 및 수급실태

국내의 골재수급은 80년대 중반까지는 다소 원활하였으나 그 이후에는 건설공사량의 급격한 증가로 인하여 한강상류 미사리 지역과 같은 주요골재 채취원의 골재가 고갈되어가고 있으므로 현재는 많은 어려움을 겪고 있다. 골재 유형별 공급추이를 보면 수도권외의 경우 하천골재의 비중이 '80년대초에는 90% 이상이었으나 '92년에는 38.2%까지 격감한 반면에 '86년에서 '92년 사이에 쇄석골재는 8.5%에서 37.1%, 해사는 11.9%에서 24.7%로 급증하였다. 또

한 향후 5년간 전국의 골재종류별 수요예측량에 관한 건설부의 자료(표-2 참조)를 보면 강골재는 감소하는 반면 육골재, 쇠석, 해사는 증가될 전망이다. 건설부의 골재수급기본계획(안)에 의하면 전국 골재의 이용가능량은 약 40억m³로 추정되므로 '94년 예상 수요량 1억 8천만m³에서 연평균 수요증가율을 5%('94~'98년동안의 건설부 예상치는 7%)로 가정하더라도 15년후에는 전국의 골재가 고갈된다는 계산이 되지만, 실제채취 가능량은 민원, 토지이용계약, 다른 권리의 설정 및 사방사업·하천정비사업등에 의하여 매년 급격한 감소추세를 보이고 있다.

한편 굵은골재에 대해서는 천연자갈의 부족

분을 쇠석으로 충당할 수 있을 것으로 판단되지만, 잔골재에 대해서는 강모래를 대체할 수 있도록 해사, 육사, 산사, 쇠사 등으로 다양화시킬 필요가 있다. 따라서 건설부에서도 해사의 공급확대를 유도하며 내륙지역이면서 하천골재원이 없는 지역에서는 쇠사를 적극적으로 활용하는 방안을 강구하고 있다. 한편, 일본에서도 오래전부터 골재수급에 어려움을 겪어오면서 골재원의 다양화를 꾸준히 추진하여 왔다. 표-3은 한국레미콘공업협회와 일본생콘크리트협회에서 각각 한국과 일본의 레미콘용 골재소비량의 추이를 조사한 자료를 비교한 것이다.

표-2 골재의 종류별 수요예측량

(단위: 백만m³)

구 분	1994년		1996년		1998년	
	수요량	(%)	수요량	(%)	수요량	(%)
강 골 재	68.0	37.7	65.5	30.7	55.8	24.1
육 골 재	8.1	4.5	13.3	6.2	18.5	8.0
쇠 석	68.8	38.1	85.2	40.0	96.2	41.5
해 사	35.6	19.7	49.2	23.1	61.1	26.4

표-3 한국과 일본의 레미콘용 골재소비현황

(단위: %)

골재의 종류		한 국			일 본		
		'89년	'90년	'91년	'81년	'87년	'92년
굵은골재	강 골 재	27.58	18.35	12.52	38.3	30.8	21.7
	쇠 석	69.55	79.92	85.97	48.8	51.0	58.0
	육 골 재	2.82	1.73	1.50	12.9	16.6	21.7
	기 타	-	-	0.01	-	1.6	0.7
잔골재	강 사	80.96	76.05	75.20	39.0	31.8	23.0
	육 사	7.65	6.54	6.92	17.5	18.9	25.9
	산 사	0.81	0.58	0.09	12.4	14.8	14.4
	해 사	8.86	15.91	16.60	25.7	24.0	22.3
	쇠 사	1.71	0.92	0.95	5.4	9.5	13.6
	기 타	-	-	0.24	-	1.0	0.7

표-4 국내 쇄사의 생산 현황 (1993. 5월 현재)

업체명	생산지	파쇄방식	사용재료		생산방식		생산량 (t/h)	비고
			원석	석분	건식	습식		
쌍용양회	경기양주	충격식 (IMPACT)		●		●	160	• 석분발생량(25~30%) • 실용화단계
명진산업	경북영천	로드밀 (ROD MILL)	●	●	●	●	60(습) 90(건)	• 건·습식공용 • 일부적용실적 있음
한창건설	충남금산	로드밀 (ROD MILL)		●		●	150	• 석분발생량(약 30%) • '93. 6월 적용예정
강원탄광	경기화성	충격식 (IMPACT)		●		●	100	• 석분발생량(25~30%) • '93. 5월 적용
진성기업	경남울산	충격식 (IMPACT)		●		●	100	• '93년 5월 본격생산
용원석산	경남진해	로드밀 (ROD MILL)	●	●		●	300	• '93. 3월부터 본격생산 및 활용실적
봉재석산	경기양주	로드밀 (ROD MILL)		●		●	100	• '93년 6월 생산예정 • 시험생산중
금곡골재	경남밀양	충격식 (IMPACT)		●		●	150	• '93년내 생산예정
원창기업	강원삼척	충격식 (IMPACT)		●		●	100	• 시험생산중

* 상기업체 이외에도 조사되지 않은 업체가 있을 수 있음.

여기에서 굵은골재의 경우, 강자갈은 감소추세이고 상대적으로 쇄석은 증가추세이며, 특히 한국보다 일본이 육자갈의 사용량이 많은 것을 알 수 있다. 또한 잔골재의 경우, 국내에서는 강모래가 75%내외로 여전히 주종을 이루고 있고 해사의 사용비율은 16.6%까지 증가된 현상을 볼 수 있으며 육사는 7%정도를 계속 유지하고 있다. 그러나 일본의 경우에는 골재원의 다양화를 도모하여 '81년도에는 이미 강모래의 사용량이 40%미만으로 떨어지고 현재는 강모래, 육사, 산사, 해사, 쇄사의 점유율이 거의 비슷한 수준에 달하고 있다.

쇄사는 쇄석을 좀 더 잘게 파쇄한 것으로서 쇄사생산을 위한 국내의 조건은 쇄석의 생산량이 상대적으로 많으며 전국적으로 쇄석골재원이 풍부하므로 매우 좋은 편이다. 이러한 국내

의 골재수급추이와 조건으로 인하여 '92년도에는 쌍용양회, 삼표골재, 명진산업 등에서 본격생산을 위한 자체검토가 행해지고 '93년에 들어서에는 레미콘용으로 일부 사용되기예까지 이르렀으며, 다른 골재업체에도 파급되고 있다. 표-4는 '93년 5월 현재 국내 쇄사의 생산업체현황을 나타낸다.

2. 3 쇄사의 제조방법

쇄사는 암석을 크러셔 등으로 파쇄하여 인공적으로 만든 잔골재이며, 통상 쇄석생산시에 발생하는 부산물(보통 전체생산량의 25~30% 발생)이나 원석을 파쇄한 쇄석을 원재료로 한다. 전자는 종래 석분으로 취급되던 입경이 8mm이하의 것으로서 폐기물로 처리되거나 벽돌제조 또는 도로의 노반재등으로 쓰이던 것을

유효이용하기 위한 것이며, 후자는 애초부터 모래를 제조할 목적으로 원석을 파쇄하여 제조하는 것이다. 그러나 전자의 방법이 쇄석생산시의 석분을 폐기처리하기 위한 비용절감은 물론 오히려 귀중한 수입원으로 될 수 있기 때문에 표-4와 같이 국내에서는 아직 전자의 목적으로 쇄사를 생산하려는 측면이 강하다.

한편 쇄사는 인위적으로 파쇄하여 만들기 때문에 입형이 거칠고 모나기 마련이다. 따라서 비교적 둥근형태의 강모래와 비교하면 콘크리트에 미치는 영향이 크게 다르다. 쇄사를 제조하는데 있어서는 파쇄기의 종류(로드밀, 임팩트크러셔, 콘크러셔 등 다수), 분급방법(일반적으로 습식방법과 건식방법으로 구분됨), 원석의 품질(파쇄기 부품의 마모율, 파쇄효율, 쇄사의 품질등에 큰 영향을 미침), 미립분(No. 200체 이하) 또는 슬러지의 처리방법등 기술적으로 고려해야 할 여러가지 중요한 사항들이 있다.

쇄사의 제조시스템은 그림-1과 같이 크게 분쇄기와 분급기로 구성되어 있으며 분급방법에 따라서 습식시스템과 건식시스템으로 분류한다. 물론 어느 시스템을 채용하여 어떻게 운용하느냐에 따라서 입도, 입형, 미분량등 쇄사의 품질이 좌우된다. 현재 국내에서 사용되고 있는 파쇄기는 대부분 일본, 독일, 뉴질랜드 등 외국의 장비가 대부분이지만 국내에서도 삼표상사, 삼성중공업, 동성기계, 신생플랜트등에서 생산이 가능하다. 또한 습식과 건식의 분급시스템은 일반적으로 표-5와 같은 각각의 특성을 갖고 있으나 국내에서는 쇄사의 입형이나 입도가 좋을 뿐 아니라 건식보다 대량생산이 가능하므로 대부분 습식시스템을 적용하고 있다. 일본에서도 초기에는 습식시스템으로 출발하였으나 폐수처리문제로 막대한 비용이 소요되고 파쇄·분급기술이 발달하여 건식시스템으로도 어느정도 쇄사의 품질 및 대량생산도 가능해졌으므로 폐수처리에 고민하지 않아도 되는 건식시스템을 채택하는 업체가 늘어나고 있는 실정이다. 이렇게 제조된 쇄사의 경제성

은 건설경기, 출하시기, 운반거리등에 따라 달라질 수 있지만 현재의 국내여건하에서도 다소 경제성이 있는 것으로 추정되며, 향후에는 골재수급사정이 심화될 것으로 판단되므로 쇄사의 대량생산이 더욱 요구되며 경제성도 나아질 것으로 전망된다.

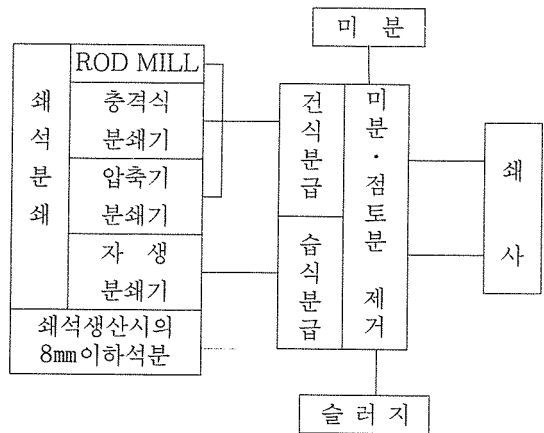


그림-1 쇄사 제조시스템의 기본형태

표-5 습식시스템과 건식시스템의 특성 비교

구분	건식시스템	습식시스템
설비비 운전비	• 습식보다 낮음	• 건식보다 비쌌 • 폐수처리시설 고가
효 과	• 좁은 입자 재분쇄 • 미분제거효과 낮음 • 함수율 > 2% 이면 분급효과 저하	• 입형, 입도 좋음 • 미분제거효과 큼 • 건식보다 대량생산 용이
후처리	• 石質에 따라 미분의 유효이용 가능	• 폐수처리 필요 • 통상 슬러지도 폐기

3. 쇄사의 물성 및 품질시험

3. 1 쇄사의 물리적 성질

쇄사콘크리트에 대한 연구는 아직 진행중이라고 할 수 있으므로 그 성질에 대해 명확하게

밝힌 자료는 드물지만 쇄사의 물리적 특성에 따라서 달라지는 것은 당연하다. 쇄사의 물리적 특성(비중, 흡수율, 입도, 조립율, 미분량, 실적율등)은 파쇄기의 종류, 원석의 종류, 파쇄 및 분급방법등에 따라서 크게 달라지므로 이들에 대한 적절한 선택이 요구된다. 쇄사콘크리트의 특성에 영향을 미치는 요인은 미분의 함유량, 입형 및 원석의 종류, 단위시멘트량, 잔골재율, 물시멘트비, 혼화재료, 다른 모래와 혼합해서 사용할 경우의 혼합비등이 있지만, 무엇보다도 입형이 나쁘고 미분량이 많이 함유될 경우에는 굳지않은 콘크리트의 특성, 경화 콘크리트의 역학적 특성 및 내구성등에 미치는 영향이 크다.

일반적으로 쇄사의 비중은 강모래에 비해서 거의 같거나 약간 높은 편이다. 그러나 원석의 종류가 같다고 하더라도 생산지에 따라서 비중이 다를 수 있으며, 미분함유량에 의한 차이는 거의 없다. 흡수율은 강모래에 비해서 거의 같거나 작은 편이지만 미분량에 따라서 크게 달라지므로 쇄사의 표건상태를 정확히 판정할 필요가 있다.

실적율은 쇄사의 입형이 모나고 거칠어서 일반적으로 강모래보다 낮으므로 공극을 채우기 위한 모르타량이 증가하게 된다. 이것은 단위시멘트량이나 단위수량의 증가를 의미하므로 콘크리트의 품질 저하를 초래하며 경제적으로도 불리하다. 그러나 쇄사의 입형은 원석의 종류, 생산지, 미분량등에 의해 크게 달라지며 또한 미분량이 많을수록 실적율은 높아지는 경향이 있다.

강모래나 특히 육사, 산사등에 포함된 미분(대부분 점토성분)은 콘크리트에 악영향을 미치지만 쇄사에 포함되어 있는 미분은 점토성분과 다르므로 그다지 악영향을 미치지 않는다. 그러나 너무 많으면 단위수량 증대, 응결축진, 건조수축 증대 등 좋지않은 영향을 초래하게 되므로 KS, JIS, ASTM, BS등에서는 쇄사의 미분량을 7% 이하 또는 10% 이하로 제한하고 있다.

3. 2 쇄사의 품질시험

위에서 말한 바와 같이 쇄사는 입형 또는 미분량의 문제로 인하여 강모래와는 물성이 다르므로 쇄사의 품질을 올바르게 판정하기 위한 적절한 시험방법이 필요하다. 쇄사의 품질시험은 강모래와 동일한 시험방법으로 하면 되지만 표건상태, 입형, 내구성등의 판정은 달리해야 할 필요가 있다. 쇄사의 표건상태를 맞추는 것은 결코 쉽지않은 문제이다. 이는 쇄사에 포함된 미분이 보수성을 가지고 있으며 쇄사의 형상이 모가 나 있기 때문이며, 함유율이 같다고 하더라도 플로우콘으로 시험할 시 강모래에 비해서 잘 무너지지않는 경향을 나타낸다. 따라서 일반적으로는 강모래의 표건상태 시험방법과 동일하게 하면 되지만 미분이 많아서 표건상태를 만들기 어려울 경우에는 KS F 2511에 의해 No 200체로 씻어낸 쇄사를 시료로 사용하는 것도 바람직하다. 이 때의 표건상태란 강모래의 표건상태 시험시와는 달리 플로우콘을 들어올렸을 때 약간 무너지면서도上面의 일부가 그대로 형상을 유지하고 있는 상태를 말한다.

한편 실적율이란 입도에 의해서도 좌우되지만 입형이 좋을수록 높아진다. 그러나 실적율은 입형이 같더라도 미분량이 많을수록 실적율이 높아진다. 그러므로 쇄사의 입형판정을 위한 실적율시험은 No 8체를 통과하고 No 16에 남는 것만 채취하여 절대건조상태로 만들어 KS F 2505(골재의 단위중량 시험방법)에 의거하여 시험해야 한다. 또한 KS F 2526에 규정된 쇄사의 입도범위는 강모래의 입도분포에서 No 100체 이하의 양만 보정한 것으로서 실용상 무리가 없는 것으로 판단되며, 콘크리트용 쇄사의 입도범위를 전체적으로 넓혀거나 한다면 콘크리트의 품질에 큰 영향을 미칠 우려도 있으므로 보다 실용적인 입도분포를 설정하기 위해서는 향후 충분한 검토가 선행되어야 할 것이다.

쇄사의 내구성에 대해서 중점적으로 논의되

어야 할 사항은 내화성과 알칼리골재반응성일 것이다. 그러나 알칼리골재반응성에 관하여는 한 국내에서는 반응성골재가 많지 않고 확실한 피해사례도 보고되지 않고 있으므로 현재로서는 그다지 염려하지 않아도 되겠지만, 굵은골재보다 잔골재의 표면적이 크기 때문에 만일 반응성의 골재를 사용했다면 피해의 우려는 증대할 것이므로 이러한 측면에서 보면 아직 피해사례가 없다고는 하더라도 주의깊게 관찰할 필요가 있다.

또한 내화성에 대해서 국내에서 염려되는 사항은 국내에서 가장 많이 분포되어 있는 암종이 화강암이라는 사실이다. 화강암은 석영성분을 많이 함유하고 있으며 석영은 573°C에서 팽창하게 되어 피해가 발생할 수 있으므로 내화구조물에는 사용을 피해야 한다. 그러나 일반의 콘크리트구조물에도 사용을 금하는 것은 국내의 암석분포 상황을 볼 때 골재수급에 문제를 일으키게 되므로 반드시 바람직한 처방이라고 할 수도 없으며, 국내는 물론 미국이나 유럽에서도 화강암을 쇠석 또는 쇠사로 사용한 실적도 많이 있다.

3. 3 혼합사

여기서 쇠사의 활용방법에 대해서 살펴보면 일본의 경우 쇠사는 단독으로 사용할 수도 있지만 강모래 및 해사와 혼합하여 사용하는 경우가 더욱 많다. 국내에서도 일본과 마찬가지로 강모래의 채취량이 감소하고 입자도 작아져서 KS 규정의 입도분포에 적합하지 않는 경우가 많게 되었다. 따라서 입도조정을 하기 위하여 통상 입자가 가는 강모래와 입자가 굵은 쇠사를 혼합하여 사용하는 경우가 증대하고 있으며, 해사의 염분함유량을 줄이거나 입도조정을 위하여 쇠사를 해사와 혼합하여 사용하는 경우도 존재한다. 이러한 방법을 취함으로써 골재를 유효하게 이용할 수 있을 뿐 아니라 좋은 품질의 콘크리트를 확보할 수 있다. 단, No 100체 이하의 입자나 혹은 No 50~No 100

체의 입자가 부족하여 재료분리가 일어나지 않도록 입도조정시에 주의를 기울여야 한다.

4. 쇠사콘크리트의 성질

4. 1 콘크리트의 배합

쇠사콘크리트의 성질은 쇠사의 입형이나 미분량에 의하여 크게 달라지기 때문에 이에 따라서 배합조건을 적절히 설정해야 한다. 골재의 표면이 거칠고 모가 난 것일수록 표면적이 증대되고 골재간의 맞물림현상이 심해지므로 동일한 슬럼프를 얻기 위해서는 더 많은 량의 단위수량이 필요하게 된다.

그림-2는 이러한 골재의 입형과 단위수량과의 관계를 나타낸 것으로서 강모래를 사용한 경우보다 쇠사를 사용한 경우의 단위수량이 약 5~12% 정도 증가되며 쇠석과 쇠사를 사용하면 더욱 단위수량이 증가됨을 알 수 있다. 따라서 쇠사를 사용할 경우에는 AE감수제나 유동화제를 사용하는 것이 바람직하다.

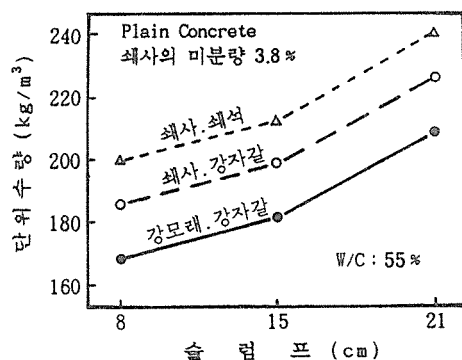


그림-2 입형과 단위수량의 관계

한편, 잔골재에 미분이 많을 경우에도 표면적이 증가하므로 단위수량의 증가를 초래하게 되지만, 미분이 전혀 포함되지 않으면 오히려

재료분리가 발생되는 경향이 있으므로 어느정도(3~4% 정도)의 미분이 쇄사에 포함되어 있는 편이 오히려 골재간의 맞물림현상을 억제하게 되어 위커블한 콘크리트가 된다. 그러나 미분량이 너무 많으면 콘크리트의 점성이 높아져서 슬럼프값이 낮아지고 이를 단위수량만으로 조정하려 하면 단위수량이 크게 증가하게 된다. 이와 같이 쇄사의 미분량이 일정량 이상일 경우에는 동일한 슬럼프를 얻기 위하여 콘크리트의 배합을 보정할 필요가 있으며, 이를 위해서는 단위용적당 굵은 골재의 용적을 증가시킬 필요가 있다(그림-3 참조).

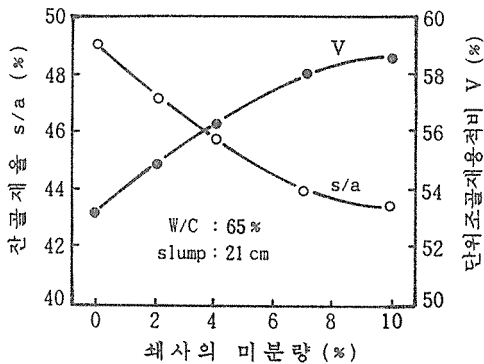


그림-3 미분량과 잔골재율 및 단위조골재량의 관계

그러므로 잔골재율은 그와 반대로 미분량 1%에 대하여 잔골재율은 0.7% 정도의 비율로 감소하게 되며, 미분량이 약 10% 이하의 범위 내에 있으면 이와 같이 보정을 하여 단위수량의 증가를 방지할 수 있다.

참고로 강모래와 쇄사의 미분량이 단위수량에 미치는 영향을 살펴보면, 그림-4에서와 같이 쇄사의 경우에는 미분량 5% 정도까지도 동일한 슬럼프를 얻기 위한 단위수량이 크게 증가되지 않지만, 강모래를 사용한 경우에는 미

분량에 민감한 영향을 받아서 쇄사의 경우보다 유동성이 급격히 저하됨을 알 수 있다.

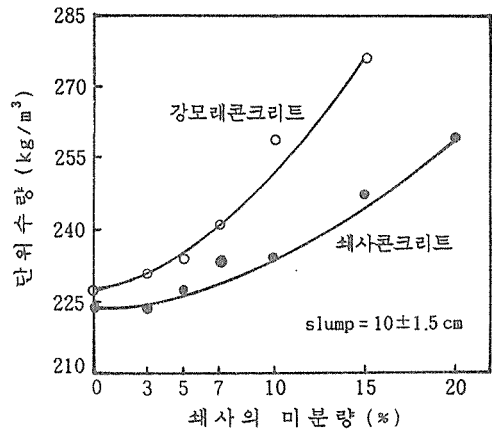


그림-4 미분량과 단위수량의 관계

4. 2 굳지않은 콘크리트의 성질

콘크리트용 쇄사는 제조시에 발생하는 미분을 일정량 이하까지 제거하여 사용해야 한다. 지금까지의 연구결과에 의하면 쇄사의 입형이 나쁘고 미분량이 많을수록 단위수량이 증가하게 되는데, 물시멘트비와 단위수량을 일정하게 하면 그림-5와 같이 미분량이 증가할수록 슬럼프값이 감소되는 경향을 보인다. 이와 같이 쇄사사용에 따른 불리한 점을 개선하기 위하여 쇄사를 해사등의 다른 잔골재와 혼합하여 사용하면 단위수량이 증가되는 것을 크게 억제할 수 있으며 이 때의 쇄사의 혼합율은 일반적으로 30~50% 정도가 좋다고 알려져 있다. 그러나 제조방법에 따라서는 강모래보다도 실적을 등의 물성이 좋은 양질의 쇄사를 얻을 수 있으며 이러한 경우에는 쇄사를 사용하는 것이 슬럼프나 강도등에도 좋은 영향을 미치게 되므로 고강도, 고품질콘크리트의 제조에 유리할 수도 있다. 또한 콘크리트의 공기량은 미분량이 많을수록 공극이 채워지게 되므로 공기량이 감소하게 되며 슬럼프가 큰 콘크리트일수록 그 경향은 더욱 뚜렷해진다. 따라서 앞에서 말한 바와 같이 쇄사를 사용할 경우에는 AE제나 AE

감수제등의 혼화제를 사용하는 것이 바람직하다.

그림-6은 췌사콘크리트의 미분량과 블리딩량의 관계를 나타내는데, 콘크리트의 블리딩량은 미분량이 많을수록 적어지는 경향이 있다. 일반적으로 단위시멘트량이 증가하면 블리딩이 감소하는데 이것은 시멘트입자가 수분을 가지

것은 미립분이 시멘트와 유사한 역할을 하기 때문으로 생각된다. 그러나 일반적으로 블리딩이 적으면 굳지않은 콘크리트에는 좋은 현상이지만 미분량이 10% 이상이 되면 블리딩량이 너무 적어져서 표면마감처리가 곤란해진다는 점도 유념해야 한다. 이것과 관련된 사항으로서 췌사콘크리트의 응결시간은 미분량이 많을수록 빨라지지만, 미분량이 2~7%의 범위에서는 거의 동일하다고 생각된다. 그러나 미분량이 10% 이상이면 미분이 없는 경우보다 초결 및 종결시간이 약 1시간정도씩 빨라지므로 특히 서중콘크리트와 같은 경우에는 레미콘의 수송시간, 콘크리트의 다짐방법, 표면마감시기 등에 대해서 고려할 필요가 있다.

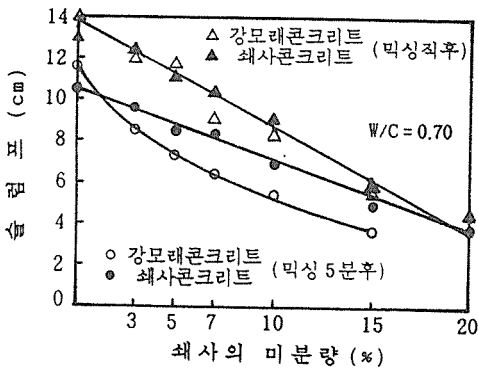


그림-5 미분량과 슬럼프의 관계

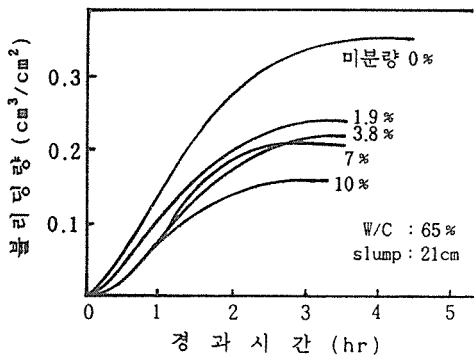


그림-6 미분량과 블리딩량의 관계

고 있으려는 보수성에 의해 콘크리트중의 수분이 입자표면에 흡착되기 때문이다. 췌사콘크리트의 미립분이 많을수록 블리딩량이 감소하는

4. 3 경화콘크리트의 성질

골재의 입형이 모나 있고 표면이 거칠면 골재와 페이스트사이의 계면부착력이 증대하고 골재 상호간의 맞물림현상이 일어나기 때문에 등근 골재보다 강도에 유리한 영향을 미친다. 반대로 소요단위수량이 증대하므로 강도에 불리한 영향을 미치기도 하지만, 입형이 나빠서 골재의 하부에 블리딩이 생기는 경우에는 계면부착력이 감소되어 강도감소를 초래할 수도 있으며, 이러한 현상은 빈배합일수록 심하다. 그러나 췌사를 사용하더라도 입형이 좋으면 시멘트량을 증가시키지 않고도 그다지 슬럼프에 영향을 미치지 않고 강도를 증가시킬 수도 있다. 그림-7과 같이 동일한 슬럼프를 목표로 하여 물시멘트비를 조정하는 경우에 미분량이 많을수록 소요단위수량이 증가되므로 강도가 저하되는데 강모래를 사용한 콘크리트에 비하면 췌사콘크리트의 강도저하현상이 경미하다. 그러나 물시멘트비와 단위수량이 일정할 경우, 미분량의 증가에 따라 슬럼프는 저하되더라도 미분량이 10% 이내의 범위라면 강도저하를 초래하지 않고 오히려 강도증가를 나타내기도 하며, 췌사콘크리트의 강도발현이 강모래를 사용한 콘크리트보다 저하되지는 않는다. 인장강도, 부착강도 및 탄성계수등도 압축강도와 마

찬가지로 미분량의 영향이 거의 없으며, 미분량이 10% 이내라면 일반콘크리트와 똑같이 취급해도 문제되지 않는다.

한편, 콘크리트의 건조수축은 수화에 필요한 량 이외의 잉여수분이 증발하기 때문에 발생되며 단위수량이 증가할수록 잉여수분이 많아지고 건조수축도 커진다.

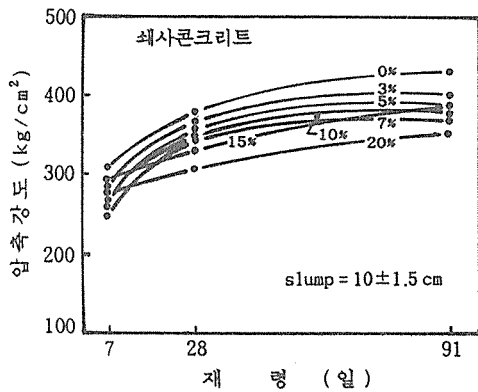
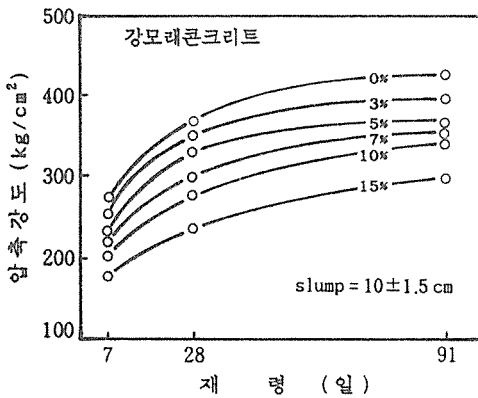


그림 -7 미분량에 의한 압축강도의 경시변화

그림-8에서와 같이 쇄사콘크리트의 건조수축도 미분량이 많을수록 증대하지만 강모래를 사용한 콘크리트보다는 그 영향이 적은 것으로 알려져 있다. 또한 입형이 나뉠수록 소요단위

수량이 증가하므로 건조수축에 미치는 영향이 다소 있을 것으로 생각되므로 원석의 종류 및 파쇄방법의 종류에 따라서 크게 좌우될 수 있으나 화강암의 경우에는 그다지 염려를 하지 않아도 될 것으로 판단된다.

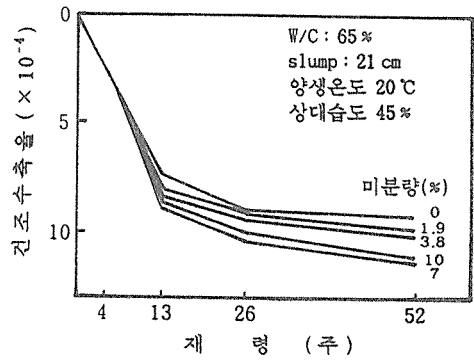


그림 -8 쇄사의 미분량과 건조수축의 관계

5. 맺음말

이상과 같이 쇄사는 골재수급대책의 일환으로서 유효하게 이용될 수 있으며, 앞으로는 물론 현재도 천연골재의 품질저하문제가 심각해지고 있는 상황에서 양질의 쇄사가 생산, 보급되고 적절한 품질관리가 행해진다면 쇄사가 고급잔골재로서 평가받을 수 있을 것으로 생각된다. 현재는 KS에 콘크리트용 쇄사의 품질규격이 정해져 있으므로 잔골재를 쇄사만으로도 사용할 수 있도록 되어 있지만 입도조정, 단위수량 감소등의 콘크리트의 품질개선, 해사의 염분함량 조절 등의 효과를 얻을 수 있도록 쇄사를 강모래, 육사, 산사 또는 해사와 일정한 비율로 혼합하여 콘크리트용 잔골재로 사용하는 방법이 현재로서는 유망하다고 할 수 있다.

그러나 지금까지 국내의료부터 콘크리트용 쇄사에 대하여 연구되어 왔지만 아직 여러가지

로 검토되어야 할 사항이 많으므로 쇄사의 물성, 제조방법, 콘크리트의 품질에 미치는 영향 등을 충분히 검토한 후에 사용하지 않으면 각종 문제를 초래할 소지가 있다. 따라서 콘크리트용 쇄사의 품질기준 및 배합, 운반·타설, 펌핑, 마감등을 포함한 사용지침을 조속히 확립할 필요가 있으며, 레미콘용 이외에도 콘크리트 2차제품이나 도로포장, 블럭제조등의 용도로 사용할 수 있는 대책을 마련하는 것도 필요한 사안이다.

결론적으로 KS의 품질기준을 만족하는 쇄사는 콘크리트용 골재로서 손색이 없고 또한 국내 천연모래의 품질저하 및 골재수급전망을 보더라도 앞으로 쇄사콘크리트가 대폭 활성화 될 것으로 기대되며 이를 위한 다각적인 연구 검토가 요구된다.

[參 考 文 獻]

1. 건설부, “골재수급기본계획(안)”, 레미콘산업정보, Vol.4, No.3, pp.14-30, 1993.
2. 과학기술처, “해사활용기술연구(Ⅰ)”, 204pp, 1991.
3. 윤재환, “전국의 콘크리트용 골재에 관한 실태조사결과”, 레미콘지, 통권 제12호, .56-70, 1987.
4. 최민수, 김지철, 박영호, “골재의 수급현황과 전망”, 콘크리트학회지, Vol.3, No.2, pp. 22-30, 1991.
5. 대한주력공사, “부순모래의 실용화방안에 관한 연구(Ⅰ)”, 135pp, 1993.
6. Ahmed, A.E. and El-Kour, A.A., “Properties of Concrete Incorporating Natural and Crushed Stone Very Fine Sand”, ACI Materials Journal, pp.417-424, 1989.7-8.
7. Nichols, F.P.Jr., “Manufactured Sand and Crushed Stone in Portland Cement Concrete”, Concrete International, pp.56-63, 1982.8.
8. 松藤泰典, 重藤和之, “未分級碎砂のコンクリート用細骨材としての有効利用に關する實驗的研究”, セメント・コンクリート, No.447, pp.30-37, 1984.
9. 福士 勳, “コンクリート用細骨材としての碎砂の利用”, セメント・コンクリート, No.357, pp.9-17, 1976.
10. 日本建築學會, “コンクリート用骨材に關する全國調査結果”, セメント・コンクリート, No.529, pp.20-33, 1991.
11. 遠山信彦, “骨材”, 콘크리트工學, Vol.31, No.3, pp.23-26, 1993.
12. 武山信, “JIS A 5008改正の背景と概要”, 月刊生コンクリート, Vol.12, No.3, pp.9-25, 1993.
13. 中井裕, 新版碎石”, 技術書院, 317pp, 1988.
14. 日本碎石協會, “骨材問題研究會中間報告書”, 34pp, 1992.
15. 塚原重美, “製砂機の現狀と今後”, 骨材資源, 通卷 No.80, pp.186-195, 1989.
16. 内藤壯介, “碎砂について(その1)”, 骨材資源, 通卷 No.81, pp.18-22, 1989.
17. 内藤壯介, “碎砂について(その2)”, 骨材資源, 通卷 No.82, pp.101-103, 1989.