



중동 및 북아프리카 지역의 사막모래 콘크리트 적용현황 및 품질특성

Application and Characteristics of Dune Sand Concrete in the Middle East and North Africa

이의배 Lee Eui Bae
(주)대우건설 기술연구원
건축연구팀 선임연구원

김영진 Kim Young Jin
(주)대우건설 기술연구원
부원장

1. 머리말

주문생산 및 지역생산이라는 특성을 갖는 건설 산업은 지역 환경조건의 영향을 크게 받는다. 특히, 국내 다수의 건설사들이 진출해 있는 중동 및 북아프리카 지역은 고온 건조한 사막기후대에 속하여 콘크리트 건조수축에 매우 불리한 조건을 갖고 있다. 또한 이 지역 대부분의 국가들은 콘크리트용 천연골재가 부족하기 때문에 일부 현장에서는 비교적 용이하게 공급할 수 있는 사막모래를 콘크리트용 골재로 일부 혼입하거나 전부 사용하고 있다. 사막모래의 특성은 지역마다 다소 차이는 있지만 일반적으로 보통 콘크리트용 잔골재에 비해 입자가 매우 작고 단일 입도 특성을 갖고 있기 때문에 콘크리트의 품질특성에 미치는 영향이 크다. 본고에서는 중동 및 북아프리카 지역의 현장에서 수집된 콘크리트 배합자료 및 사막모래 샘플 분석 결과를 기초로 사막모래가 콘크리트용 골재로 적용되고 있는 현황과 그 특성을 소개함으로써 사막모래 콘크리트의 품질특성에 대한 이해를 도모하고자 한다.

2. 사막모래 콘크리트의 적용현황

중동 및 북아프리카 지역에서 사막모래가 콘크리트용 잔골재로 사용된 유래에 관하여 정확한 기록은 찾기 어렵다. 관련 문헌¹⁾에 따르면 과거 중동지방 아라비아반도에서는 전역에 걸쳐 품질이 불량한 골재를 사용하여 콘크리트의 성능저하를 초래하는 경우가 빈번하였으며, 골재에 대한 전형적인 문제로는 불량입도, 연질, 높은 미립분량, 높은 흡수량 등이 있다고 한다. 하지만 1970~1980년대 이후로 골재 문제에 대한 인식과 더불어 관련 시방을 보완하여 품질이 불량한 골재의 사용을 줄여가고 있다.

〈표 1〉은 최근 중동 및 북아프리카 지역 현장에서 사용되었던 사막모래 콘크리트 배합 일례를 나타낸 것으로, 일부 현장에서는 여전히 사막모래를 콘크리트용 잔골재로 사용하고 있다. 사막모래 사용 비율에 있어서는 지역 및 현장별로 차이는 있지만 사우디아라비아 현장의 100% 사용을 제외하면 대부분 현장에서는 잔골재 중 10~40% 정도를 사막모래로 치환하여 적용하고 있다. 이와 같이 사막모래를 콘크리트용 잔골재로 사용하는 목적을 살펴보면, 크게 3가지로 구분할 수 있다.

첫째는 현장주변에 석산이 있어 부순 모래를 생산하지만 그 입도가 크기 때문에 입도를 보정하기 위해 미립한 사막모래를 혼합 사용하는 경우이다. 〈그림 1〉에 나타낸 바와 같이 UAE 현장의 경우 부순 모래의 입도가 매우 커서 표준 입도

표 1. 사막모래 콘크리트 배합 일례

지역	국가	현장	강도 (MPa)	W/B (%)	S/a	단위중량(kg/m ³)						
						물	결합재	잔골재		굵은 골재		
								Max. 5mm	사막 모래	Max. 20-25mm	Max. 10-15mm	
중동	오만	A	35	44	0.39	153	360	438	292	750	350	
		UAE	B	40	40	0.48	160	400	575	320	660	320
			C	40	34	0.46	150	440	590	243	590	400
			D	40	34	0.48	143	420	655	262	641	369
	사우디아라비아	E	35	38	0.45	151	370	-	795	545	445	
		F	40	39	0.37	165	420	-	660	724	406	
북아프리카	모로코	G	35	46	0.49	170	370	635	295	510	450	
		H	35	47	0.47	188	400	580	270	530	445	
	알제리	I	35	45	0.46	165	370	783	87	1035*		
		J	27	43	0.44	170	400	630	177	1041*		

*알제리 현장의 경우, 굵은 골재를 3~8mm, 8~15mm, 15~25mm 3 종류를 사용하고 있음

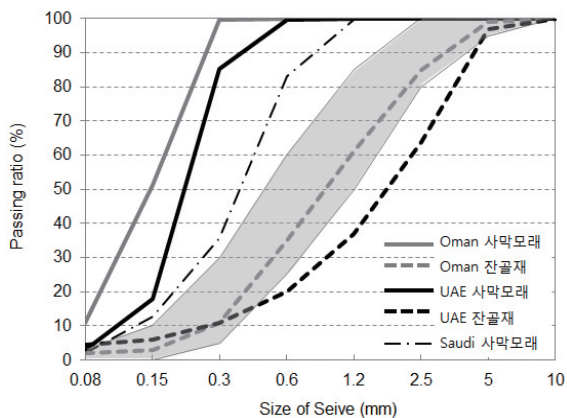


그림 1. 각 지역 잔골재와 사막모래 입도



(a) 부순 모래만 사용한 배합 (b) 부순 모래와 사막모래를 혼합사용한 배합

사진 1. 사막모래 혼합사용에 의한 콘크리트 시공성 개선 일례

분포를 만족하지 못하고 있으며, 단순히 부순 모래만으로 콘크리트를 제조할 시에는 시공성이 매우 저하한다. 반면 미립한 사막모래를 일부 사용하게 되면 혼합 잔골재가 표준입도를 완전히 만족하지는 못하지만 콘크리트의 시공성이 크게 향상되는데, <사진 1>은 그 일례를 보

여주고 있다.

둘째는 현장 주변에 부순 모래를 생산하는 곳이 없고 원거리 운송으로 인한 단가의 상승을 도저히 감당하기 힘든 경우 수급이 용이한 사막모래를 잔골재 100%로 사용하기도 하며, 사우디아라비아 현장의 경우가 바로 그러하다.

셋째는 콘크리트용 잔골재로 품질이 적합한 잔골재가 있음에도 불구하고 사막모래를 일정 비율로 사용하는 경우이다. 이 경우는 주변에서 수급이 용이한 사막모래를 사용함으로써 잔골재에 대한 자재비를 낮추어 콘크리트 생산단가를 절감하기 위함이 주목적이며, 오만 현장의 경우가 해당된다.

3. 관련 기준

콘크리트용 골재와 관련하여 일반적으로 적용되는 국내 및 해외 주요 기준을 살펴보면 국내는 KS F 2526 콘크리트용 골재²⁾, 국외는 ASTM C 33 Standard Specification for Concrete Aggregates³⁾와 BS EN 12620 Aggregates for concrete⁴⁾가 있다. 세 기준 모두 사막모래에 대한 별도의 품질기준을 제시하지 않고 있으며, 사막모래를 콘크리트용 잔골재로 적용하기 위해 검토되어야 할 가장 중요한 품질기준은 잔골재 입도와 미립분량이라고 판단된다.

KS F 2526의 경우 입도에 대한 기준은 <표 2>에 제시

표 2. 잔골재 입도(KS F 2526 및 ASTM C 33)

체의 호칭 치수 (mm)	체를 통과하는 질량백분율(%)	
	KS F 2526	ASTM C 33
10(9.5)	100	100
5(4.75)	95 ~ 100	95 ~ 100
2.5(2.36)	80 ~ 100	80 ~ 100
1.2(1.18)	50 ~ 85	50 ~ 85
0.6	25 ~ 60	25 ~ 60
0.3	10 ~ 30	5 ~ 30
0.15	2 ~ 10	0 ~ 10
0.075	-	0 ~ 3

한 바와 같다. 연속된 두 체 사이의 잔류량이 45% 이하이고 조립률은 2.3~3.1이어야 한다고 제시되어 있다. 그러나 체가름 및 조립률이 규정에 맞지 않는 골재라 하더라도 이 잔골재를 사용하여 만든 콘크리트가 규정에 맞는 잔골재를 사용한 경우와 동일하고 적합한 성질을 가졌다고 증명할 수 있는 경우에는 사용할 수 있다고 예외 조항을 두고 있다. 또한 KS F 2526에서는 미립분량(0.08mm 체 통과량)을 유해물질로 분류하여 마모를 받는 경우 최대 3%, 마모를 받지 않는 경우 최대 5%로 제한하고 있으며, 부순 골재는 최대 7%로 제한하고 있다.

ASTM C 33의 경우 KS F 2526과 유사한 체통과량을 제시하고 있으며, 연속된 두 체 사이의 잔류량이 45% 이하이고 조립률은 2.3~3.1이어야 한다고 제시되어 있다. 단, ASTM C 33에서는 KS F 2526와 달리 미립분량(0.075mm 통과량)을 입도상에서 제시하고 있으며, 경우에 따라 최대 7%까지 허용하고 있다. 또한 잔골재가 제시된 입도를 만족하지 않아도 이 잔골재를 사용하여 만든 콘크리트가 규정에 맞는 잔골재를 사용한 경우와 동일하고 적합한 성질을 가졌다고 증명할 수 있는 경우에는 사용할 수 있다고 예외 조항을 두고 있다.

KS F 2526과 ASTM C 33 모두 예외 조항을 두어 규정입도를 만족하지 않는 잔골재에 대해서도 콘크리트용 잔골재로 사용할 수 있도록 가능성을 두고 있다. 그러나 KS F 2526은 입도와 별도로 유해물질로 분류한 미립분량을 만족하지 못할 경우 그 잔골재는 사용할 수 없지만 ASTM C 33의 경우 미립분량이 입도상에 제시되어 있으며, 그 기준에 불만족하여도 콘크리트에 대한 동등성능만 확보하면 적용할 수 있다.

BS EN 12620의 경우 앞서 언급한 KS F 2526 또

표 3 잔골재 입도(BS EN 12620)

골재 크기	체를 통과하는 질량백분율(%)		
	2D	1,4D	D
D ≤ 4 mm and d = 0	100	95 ~ 100	85 ~ 99

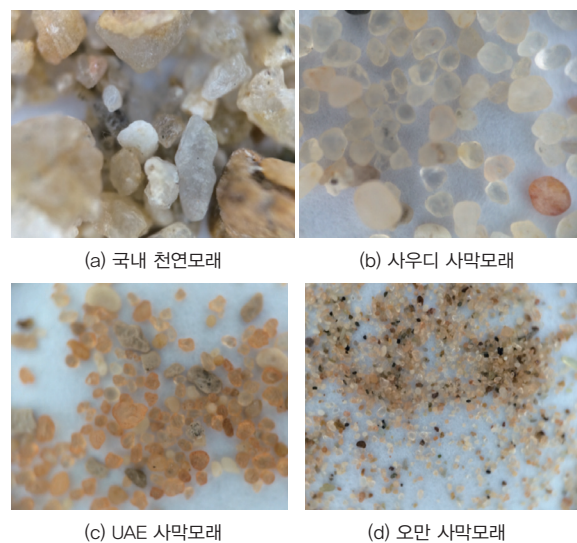
는 ASTM C 33과는 달리 콘크리트용 잔골재로서 적용이 비교적 용이하도록 품질 기준을 두고 있다. 잔골재 입도는 <표 3>과 같으며, 미립분량에 대해서는 일정 제한값을 제시하지 않고 미립분 함량에 따른 등급을 나누어 해당 구조물에 적합한 등급을 선택하도록 제안하고 있다. 또한 미세립분을 충전용 골재(filler aggregate)로 분류하여 콘크리트용 골재로서 적용이 가능하도록 하고 있다.

4. 사막모래 및 사막모래 콘크리트의 품질특성

4.1 사막모래의 특성

<사진 2>는 각 지역 사막모래 입자를 확대한 것이다. 지속적인 풍화(바람에 의한 마모작용)작용을 받아 온 사막모래는 국내 천연모래(강사)에 비해서도 입형이 매우 구형인 형태를 갖고 있다. 이는 콘크리트의 유동성에 있어서 유리할 수 있지만 입자가 매우 작기 때문에 점성을 증가시키는 특성 또한 갖고 있다.

<그림 2>는 각 지역 사막모래의 입도분포를 나타낸



(a) 국내 천연모래 (b) 사우디 사막모래 (c) UAE 사막모래 (d) 오만 사막모래

사진 2. 사막모래의 입형(8배 확대)

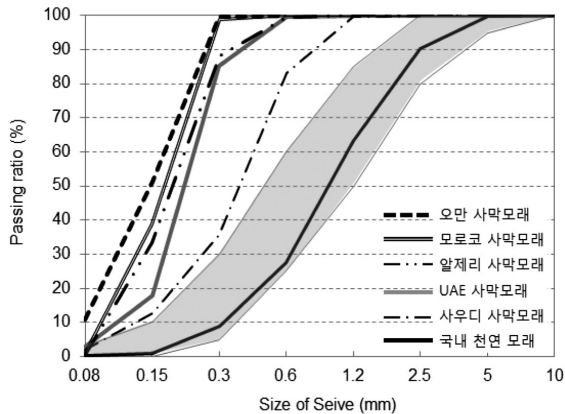


그림 2. 사막모래의 입도

것으로 모두 KS F 2526나 ASTM C 33에서 제시하고 있는 표준 입도분포를 만족하고 있지 않다. 또한 단일 입도 특성을 보이고 있어 비교적 입자가 큰 부순 모래와 일정비율 혼입하여도 표준입도를 만족하기는 쉽지 않다. 조립률은 0.3~1.6 범위로 나타나 KS F 2526나 ASTM C 33에서 제시하는 조립률 2.3~3.1을 만족하지 못하고 있다.

사막모래의 흡수율은 0.6~2% 범위를 보이고 있으며, 표준 밀도는 2.5~2.7g/cm³을 보이고 있어 물리적 성질에 있어서는 일반 잔골재와 큰 차이는 없으므로 판단된다.

4.2 사막모래 콘크리트의 품질특성

기존 문헌^{5~7)}을 검토해 보면 사막모래만을 사용한 경우보다 표준입도를 만족하는 천연모래 또는 표준입도를 만족하지 않는 부순 모래와 혼합사용한 모르타르 또는 콘크리트에 대한 연구가 주를 이루고 있다.

일반적으로 골재 중의 세립분, 특히 0.3mm 이하의 세립분은 콘크리트에 점성을 주고 성형성을 좋게 한다. 또한 세립분이 증가하면 콘크리트의 점성이 증가하여 재료분리를 감소시키고 블리딩 또한 적게 할 수 있다. 지역마다 다소 차이는 있지만 <그림 2>에 제시된 바와 같이 사막모래 입자 크기가 대부분 0.3mm 이하로 나타나기 때문에 사막모래의 혼입율이 증가할수록 상기의 특성은 뚜렷하며, 소요 유동성을 확보하기 위해서는 단위수량 또는 고성능 감수제 혼입양이 증가한다.

대부분의 연구에서는 부순 모래 및 강모래에 사막모래를 혼입할 경우 일정 혼입율까지는 슬럼프가 증가하다가 그 이후에는 급격히 저하하는 것으로 보고하고 있으며, 사용되는 잔골재들의 특성에 따라 유동성을 고려한 사막모래의 최적 혼입율은 10~70%까지 다양하게 제시되고 있다^{5~7)}.

강도특성에 대해서는 연구자에 따라 다소 차이가 있다. 일부 연구자는 사막모래 혼입율이 증가할수록 콘크리트 압축강도는 감소하나 탄성계수나 인장강도는 큰 차이가 없는 것으로 보고한 바 있다⁵⁾. 반면 일부 연구에서는 사막모래 일정 혼입율까지는 강도가 증가하지만 그 이후에는 감소하는 것으로 보고하고 있으며, 그 때의 최적 혼입율은 유동성 평가 시 최적 혼입율과 동일하다^{6~7)}. 또한 입형이 매우 구형이고 입경이 매우 작은 특성을 갖는 사막모래를 필러(filler) 개념으로 접근하여 사막모래를 사용한 고유동 또는 자기충전 콘크리트에 대한 연구도 진행된 바 있다⁷⁾.

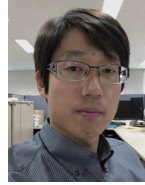
5. 맺음말

골재자원이 부족한 중동 및 북아프리카 지역에 있어 사막모래는 콘크리트용 잔골재로서 매우 유용한 자원이지만 사막모래 특성으로 인해 콘크리트의 품질은 크게 영향을 받는다. 그리고 고온 건조한 기후를 갖는 이 지역에서 건전한 콘크리트 품질을 확보하기에는 환경 및 시공조건 자체가 매우 열악하다. 특히, 이 지역 대부분의 건설현장은 일반적으로 계약 공기가 매우 짧기 때문에 만약 콘크리트 구조물에 품질하자가 발생하면 공사 지연, 하자보수비 증대, 대발주처 신뢰도 저하 및 지체보상금 등의 큰 문제점을 야기할 수 있다. 따라서 중동 및 북아프리카 지역의 건설현장, 특히 사막모래 콘크리트가 사용되는 현장에 있어서는 콘크리트 재료에 대한 특성 파악은 물론 철저한 배합설계를 통해 초기단계부터 콘크리트가 최적의 건전성을 확보할 수 있도록 주의해야 할 것으로 사료된다. □

담당 편집위원 : 강수민(충북대학교) kangsm@cbnu.ac.kr

참고문헌

1. Mike walker, Guide to the construction of reinforced concrete in the Arabian Peninsula, CIRIA, 2002, 45 pp.
2. KS F 2526 콘크리트용 골재
3. ASTM C 33 Standard Specification for Concrete Aggregates.
4. BS EN 12620 Aggregates for Concrete.
5. A.S. AlHarthy, M. Abdel Halim, R. Taha and K.S. Al-Jabri, The properties of concrete made with fine dune sand, Construction and Building Materials, Vol. 21, 2007, pp.1, 803~1,808.
6. El-sayed Sedek Abu Sief, Performance of cement mortar made with fine aggregate of dune sand, Kjaraga Oasis, Western Desert, Egypt: An experimental Study, Jordan Journal of Civil Engineering, Vol. 7, No. 3, 2013, pp. 270 ~ 284.
7. Abdelhamid Rmili, Mongi Ben Ouezdou, Mhamed Added and Elhem Ghorbel, Incorporation of crushed sands and tunisian desert sands in the composition of self compacting concrete, Part 2: SCC fresh and hardened states characteristics, International Journal of Concrete Structures and Materials, Vol. 3, No. 1, 2009, pp.11 ~ 14.



이의배 선임연구원은 충남대학교 건축공학과에서 고강도 매스콘크리트의 수화열과 자기수축 특성에 관한 연구로 박사학위를 취득한 후, 2010년부터 (주)대우건설 기술연구원에서 근무하고 있다. 현재 사막모래 콘크리트의 건조수축 특성에 관한 연구를 수행하고 있으며, 국내외 현장 콘크리트 기술 지원 업무도 병행하고 있다.
eui-bae.lee@daewooenc.com

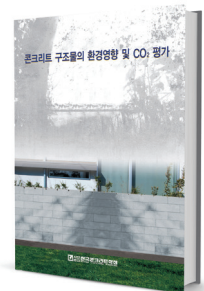


김영진 부원장은 연세대학교 토목공학과에서 반복하중을 받는 RC 휨부재의 비선형해석에 관한 연구로 박사학위를 취득한 후, 1992년부터 (주)대우건설 기술연구원에서 토목연구팀장을 거쳐 부원장으로 재직하고 있다. 주 관심 연구 분야는 프리캐스트 조립식 급속 시공 교량, 저탄소 시공시스템, 콘크리트 내구성 및 레올로지 분야 등이며, 한국건설순환자원학회 부회장과 우리학회 이사를 맡고 있다.
youngjin.kim@daewooenc.com



콘크리트 구조물의 환경영향 및 CO₂ 평가

- 저 자 : 한국콘크리트학회
- 출판사 : 기문당
- 발행일/Page : 2013-3-15 / 182(판형 B5변형)
- 정가(비회원가) : 15,000원
- 회원할인가 : **12,000원**
배송비 착불(3,000원)



도서 소개

미래의 핵심 주제를 다루고 있는 이 책은 「콘크리트와 환경」의 내용을 잇는 환경분야의 두 번째 학회 출판물이다. 총 6개의 장과 콘크리트 및 콘크리트구조물에서 CO₂ 평가 예를 포함하는 6개의 부록으로 구성되어 있으며, 본문에서 제시된 평가방법을 바탕으로 부록에서는 각 경우에 따른 콘크리트 및 콘크리트구조물에서의 CO₂ 평가 예를 상세히 보여주고 있다.