

잔골재의 조립을 및 표면수가 단위용적중량에 미치는 영향

吳 東 洙

〈東亞建設産業(株) 미사리레미콘사업소 과장〉

1. 서 론

1.1 연구목적

잔골재(모래)는 콘크리트의 구성성분중 30% (무게비)를 차지하는 원재료로서 잔골재가 레디 믹스 콘크리트(Ready Mixed concrete)의 품질에 미치는 영향은 상당한 것이다.

잔골재는 배합설계시 부터 현장에 타설되기 까지 강도와 작업성(Workability), 반죽질기(Consistency), 성형성(Plasticity), 마무리 용이성(Finishability), 펌프 압송성(Pumpability), 레미콘의 용적변화, 수밀성 등 수많은 품질요인에 영향을 미치고 있으며 레미콘 제조시 경제성에도 큰 영향을 주고 있다.

이러한 잔골재의 품질특성요인은 우선 조립율(입도)을 들수 있으며, 잔골재 표면수량(함수량), 잔골재의 석질, 입형, 미립자, 기타 등을 거론 할 수 있다.

본 연구에서는 수많은 잔골재 품질요인중에서 조립율과 표면수량, No 4체 이상 10mm체미만 골재 함유량이 잔골재의 단위용적 중량 변화에 미치는 영향을 조사분석하여, 레미콘배합설계시 또는 사용시 잔골재의 조건에 따른 중량(重量)과 용적(容積)간의 관계를 연구하므로써 레미콘의 용적변화, 기타레미콘의 품질관리에 기여하고자 한다.

1.2 연구방향 및 방법

레미콘을 제조하는 공장에서 잔골재를 반입할 때 그 양에 대한 단위는 부피(M³)로 하지만 그러한 잔골재를 레미콘제조에 사용하는 경

우에는 무게(kg)로 계량하기 때문에 반입되는 잔골재의 상태에 따라 부피와 무게간에 상당한 차이를 나타내고 있다.

따라서 본연구에서는 잔골재의 특성 변화에 따른 단위용적중량 시험을 행한 바, 잔골재가 표면수를 함유하였을 경우 단위용적중량의 변화, 잔골재 조립율이 단위용적중량에 미치는 영향에 대하여 시험분석하였으며, No 4체 이상 10mm체미만골재를 포함했을 때 단위용적중량에 대하여 분석하였고 이상의 요인을 적용한 잔골재에 대하여 분석하였다.

본 시험에 대한 분석은 요인별 개별분석으로 단위용적중량에 미치는 영향을 조사 분석하였으며, 잔골재의 특성요인별 단위용적량과 실 잔골재량간의 차이를 직선회귀, 대수함수회귀, 곡선회귀, 대수함수와 곡선을 혼합한 행렬(Matrix)과 컴퓨터를 이용하여 분석하였다.

2. 레미콘 제조용 잔골재의 일반적인 특성

레미콘에 사용되는 잔골재는 석질이 단순하고 내마모성 및 강도가 우수하여 흡수성과 체적변화가 적어야 양호하다고 할 수 있다. 또한 적당한 입도분포를 가지면서 품질변동이 적은 것이어야 한다. 이러한 잔골재는 물리화학적으로 안정되며 유해물을 함유해서는 안된다.

잔골재의 품질 특성에는 여러가지 요인이 있지만 본 연구에서는 하고자 하는 조립율, 표면수량, No 4체이상 10mm체미만의 골재 조건에 따라 미치는 영향은 다음 표 1과 같이 정리 할 수 있다.

〈표 1〉 잔골재 품질이 레미콘에 미치는 영향

구분	종류	내용	영향
조립율 (粒度)	세사 (細砂)		1) 콘크리트강도를 약화시킬 수 있다. 2) 배합시 증수효과(역감수효과)가 있다. 3) 공기량이 증가한다. 4) 펌프압송의 문제가 발생 할 수 있다. 5) 배합시 S/a를 적은방향에서 조정해야 한다.
	조사 (粗砂)		1) 배합시 S/a를 크게 조정해야 한다. 2) 굳지 않은 상태의 콘크리트의 품질을 거칠게 한다. 3) 레미콘속에 불필요한 큰기포(Entraft Air)의 함유량이 상대적으로 많아진다. 4) 배합시 단위수량이 적어진다. 5) 콘크리트 타설후 표면마무리가 불량할 수 있다. 6) 수밀성이 불량 할 수 있다.
	세사, 조사공통사항		1) 잔골재의 무게량과 부피량간에 차이를 나타낼 수 있다. 2) 배합시 레미콘 부피량조절이 어렵다.
표면수량			1) 슬럼프 관리에 어려움이 있다. 2) 채고관리를 어렵게 한다. 3) 레미콘 생산시 계량의 부정확을 초래할 수 있다.
No 4체이상 10mm 체미만의 골재			1) 현장배합시 S/a의 조정을 필요로 한다. 2) 잔골재 채고관리가 어렵다. 3) 계량기의 부정확을 초래할 수 있다. 4) 과량, 과소 함유시 펌프압송, 작업성, 성형성 등에 나쁜영향을 줄 수 있다.

3. 재료 및 시험방법

3.1 재료

본 연구에서 사용된 잔골재(모래)는 경기도 지역 한강 종합개발지구 제 1 공구부터 제 5 공구사이에 분포되어 있는 세사(細砂), 중사(中砂), 조사(粗砂)를 조립율별로 채취하여 시험하였다.

세사는 조립율(Fineness Modulus, 또는 F·

M으로 약기)을 기준으로 F·M 2.2이하 모래, 중사는 F·M 2.4~2.6, 조사는 F·M 2.8이상 모래를 선정하고 각 시료별 조립율폭은 약 0.2의 간격을 두었다.

잔골재에 포함되어 있는 굵은 골재(No 4체 이상 10mm 체미만 골재)의 함유량(含有量)은 시료의 8%를 기준으로 하였으며 별도로 No 4체 이상 10mm 체 미만골재 함유량별 단위용적 중량 시험을 행하였다.

사용된 잔골재는 전량 자연사로서 조립율의

구분을 세사는 F·M 1.976~2.248, 중사는 F·M 2.317~2.615, 조사는 F·M 2.803이상으로 구분하였으며 이상의 조립율은 No 4체이상 10mm체미만 골재를 제외시킨 조립율을 말한다.

KS의 잔골재에 대한 정의(KS F 2523)는 1) : 10mm체를 전부통과하고 No 4체를 거의 다 통과하며 No 200체에 거의 다 남는 골재,

2) : No 4체를 다 통과하고 No 200체에 다 남는 골재로서 정의 1)은 자연상태 또는 가공 후의 모든 골재에 적용하고, 정의 2)는 시방배합을 정할 때 적용되는 것이다.

본 시험에서는 정의 2)를 기준으로 하고 정의 1)은 조건별로 시험을 행하였다.

중 건조상태에서 부터 수량(水量)을 증가시켰으며 3%, 6%, 9%, 12%, 15%등으로 구분하여 시험하였다.

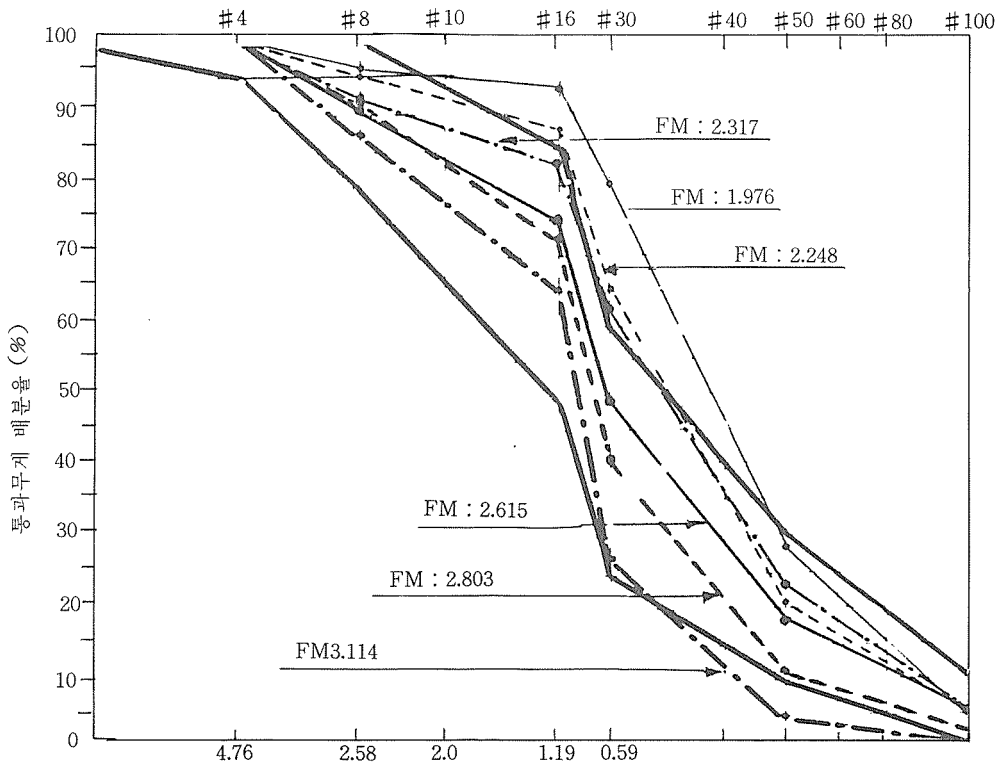
시험법은 봉다짐 방법과 지깅방법을 동시에 사용하였고 표면수함량에 따라 단위용적중량을 행하는 경우에는 지깅방법을 사용하였다(봉다짐 방법은 다짐시 봉자국이 남기 때문에 표면수량 함유시는 봉다짐 방법 제외).

시험에 사용된 저울은 50kg-5g, 20kg-1g의 부등비 접시 저울을 사용하고 단위용적시험은 10ℓ용기를 사용하였다. 전 시험은 시험사 3인이 실내에서 수행하였으며 대기온도 평균은 최고 16°C, 최저 13°C이며, 습도는 최고 85%, 최저 50%였다.

잔골재의 조립은 1.976, 2.248, 2.317, 2.615, 2.803, 3.114를 사용하고 그 입도 분포는 그림 1과 같다.

3·2 시험 및 분석 방법

본 시험에 사용된 잔골재의 표면수량은 공기



(그림 1) 입도 분포

〈표 2〉 잔골재별 비중 및 흡수율 시험 결과

구 분	종 류	조립율					
		1.976	2.248	2.317	2.615	2.803	3.114
No 4체이상잔골재가 제거된 모래	비 중	2.633	2.635	2.624	2.632	2.633	2.629
	흡수율	1.092	1.096	1.023	1.021	1.071	1.031
No 4체이상 잔골재 8% 포함한 모래	비 중	2.632	2.630	2.629	2.630	2.635	2.625
	흡수율	1.031	1.051	1.031	1.035	1.095	1.071

본 시험에 사용된 잔골재의 비중 및 흡수율 시험 결과는 표 2와 같다.

4. 시험결과 분석 및 고찰

4.1 조립율별 단위용적중량 분석

일정 용기에 적재되는 잔골재의량은 크게 구분하여 잔골재의 조립율(組粒率)에 따라 변화되며, 적재되는 용기의 크기, 적재방법, No 4 체 이상 10mm체 미만골재의 함유량, 잔골재 표면수량등에 따라 잔골재 실적재량에 큰차를 나타내고 있다. 따라서 잔골재의 조립율과 시험방법(적재방법)간에 단위용적 중량의 변화를 조사한 바, 다음의 표 3과 같다.

그림 4 에 나타나듯이 잔골재의 단위용적중량 시험방법 간에 약 71kg/M³의 차이가 있으며, 잔골재중의 굵은 골재(No. 4 체 이상 10mm

체 미만 골재)함유량에 따라서 단위용적 중량차가 약 43kg/M³정도 나타나고 있다.

이러한 결과는 잔골재의 조립율이 단위용적 중량에 많은 영향을 주고 있으며 특히 잔골재를 덤프트럭(Dump Truck)에 적재하여 일정거리를 운반했을 때의 잔골재의 량(지깅시험 방법과 일치하는 것으로 가정 할때)에 조립율별 중량차가 있을 것으로 사료된다.

따라서 상기 분석된 데이터를 근거로 하여 잔골재 1M³당 중량차를 조립율 2.615인 잔골재의 단위용적 중량을 기준으로 하여 차감량을 산출한 결과 표 5와 같다.

중사의 단위용적 중량차에 대한 분석결과 세사와는 약 150kg/M³정도 가벼운 단위용적 중량을 나타내고 조사와는 65~70kg/M³정도 가볍게 나타난다.

따라서 잔골재의 취급방법에 있어 모래의 조

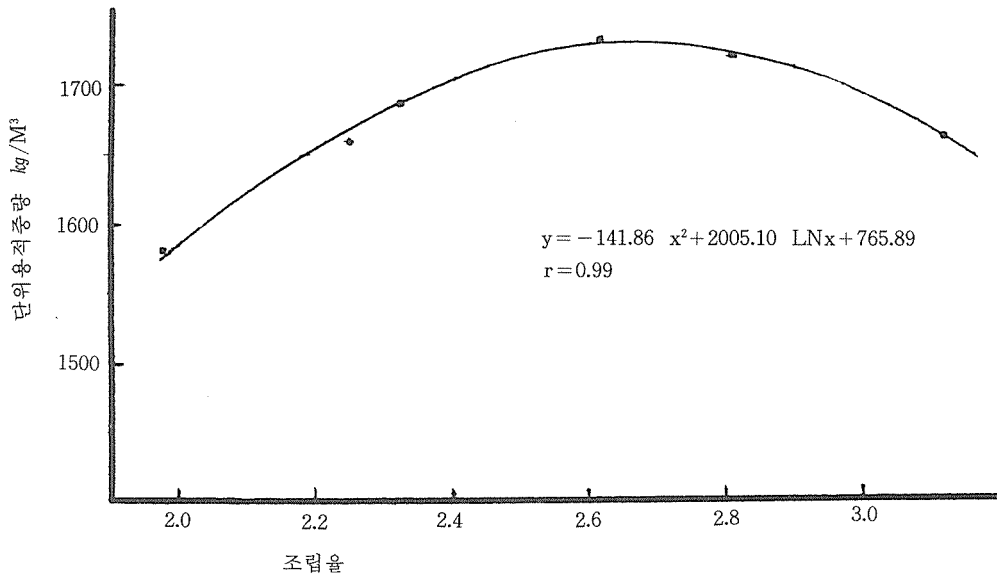
〈표 3〉 잔골재조립율 및 시험방법별 단위용적중량 결과

(단위 : kg/cm³)

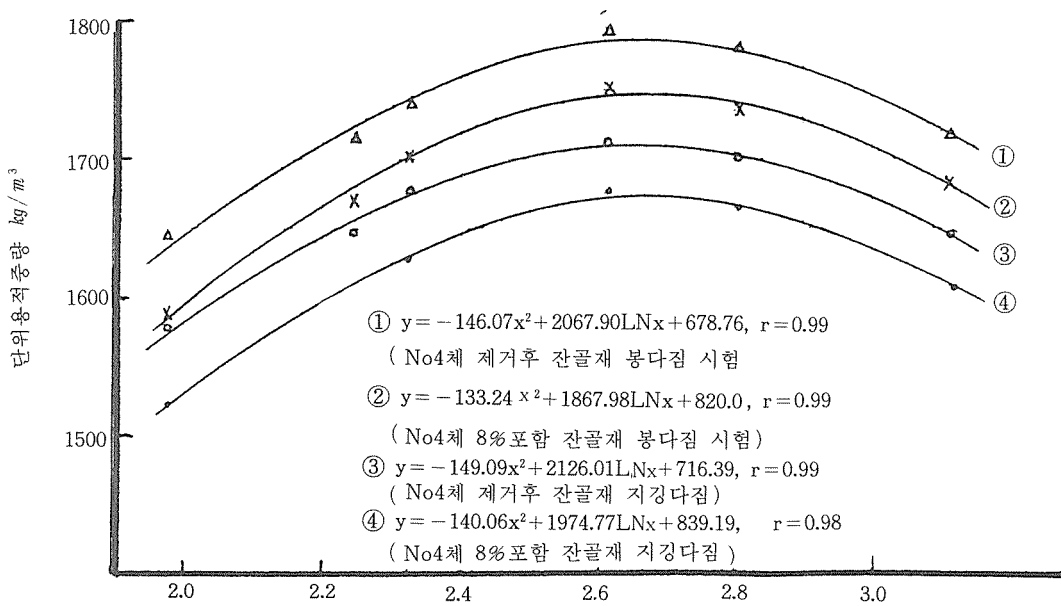
組粒率 試驗方法	자갈함량	No 4체 이상 굵은 골재 제거후		No 4체 이상 굵은골재 포함(8%)	
		봉 다짐	지 깅	봉 다짐	지 깅
1.976		1,522	1,588	1,578	1,646
2.248		1,608	1,670	1,645	1,717
2.317		1,629	1,704	1,676	1,739
2.615		1,676	1,751	1,711	1,792
2.803		1,665	1,736	1,703	1,781
3.114		1,608	1,683	1,646	1,718

참고 * 각 시험 데이터는 2회 평균치임(오차범위 1%이내)

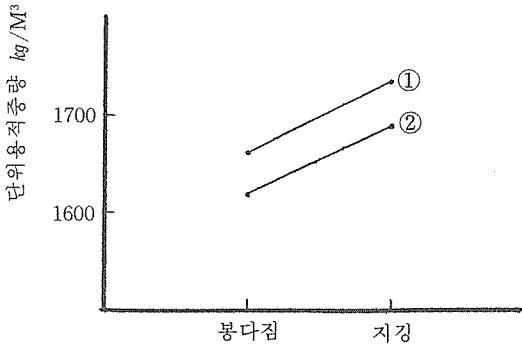
* 공기중 건조상태의 모래임



(그림 2) 조립율과 단위용적중량 관계



(그림 3) 시험방법에 따른 단위용적중량 관계



시험방법

(그림 4) 시험방법과 단위용적중량관계

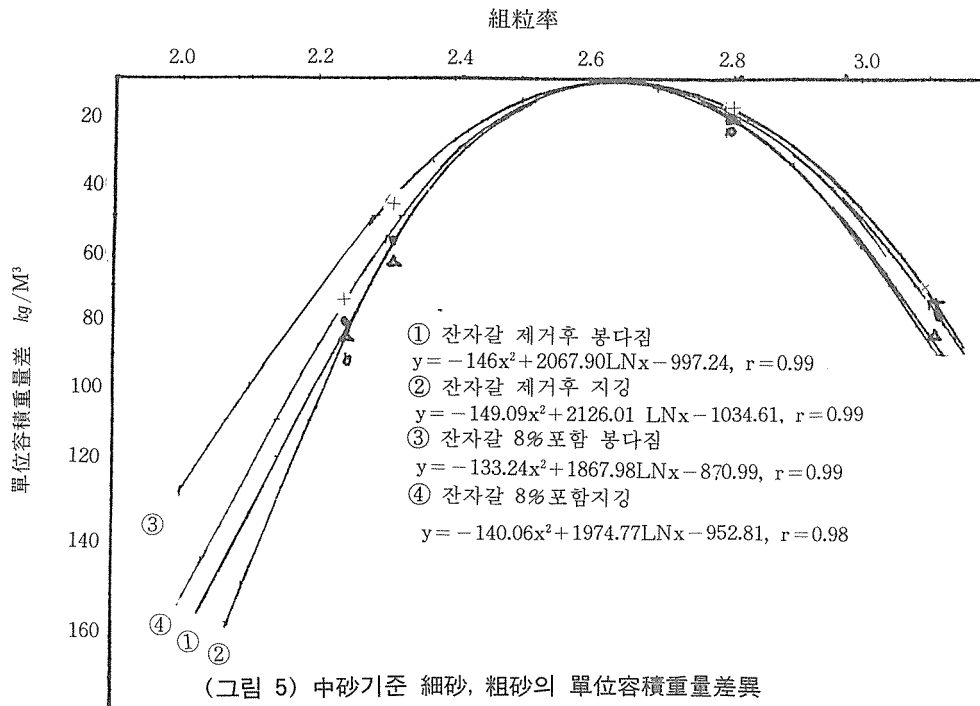
- * ① No4체 이상 10mm체미만굵은골재 8% 포함된 잔골재
- ② No4체 이상 10mm체미만굵은 골재 제거된 잔골재

립율이 부피(M³)와 무게(kg)간에 상당한 차이가 있으며 또한 No. 4 체 이상 10mm체 미만 골재(굵은 골재 : 일명 공자갈)의 함유량의 정도에는 단위용적 중량차를 나타내고 있고 이에 대한 분석은 다음 절에서 분석하고 조립율에 대한 단위용적중량차에 대한 도표화는 다음 그림5와 같이 회귀곡선을 나타낸다.

4.2 잔골재 표면수량이 단위용적중량에 미치는 영향

본 시험은 잔골재 조립율과 표면수량(含水量)이 단위 용적중량과 어떤 관계를 갖고 있는가 하는 것을 알아보기 위해 시험분석하였다.

잔골재를 취급하는 골재현장이나 사용하는 현장에서 잔골재의 표면수량을 일정하게 취급



〈표 5〉 단위부피당 잔골재의 증량치의 분석

(단위 : kg/m³)

조립율 시험방법	굵은 골재 유무	공자갈 제거후		공자갈 포함(8%)	
		봉 다짐	지 기	봉 다짐	지 기
1.976		-154	-163	-133	-146
2.248		-70	-81	-66	-75
2.317		-47	-47	-35	-53
2.615		0	0	0	0
2.803		-11	-15	-8	-11
3.114		-68	-68	-65	-74

* 공자갈 이란 No. 4체 이상 10mm체 미만의 굵은 골재를 말함.

〈표 6〉 표면수량별 단위용적중량 시험 결과

(단위 : kg/M³)

組粒率 含水率	공기중 건조 상 태	3%	6%	9%	12%	15%
		1.976	1,646	1,490	1,493	1,521
2.248	1,717	1,537	1,551	1,590	1,669	1,743
2.317	1,739	1,578	1,589	1,644	1,708	1,802
2.615	1,792	1,602	1,634	1,1701	1,779	1,909
2.803	1,781	1,637	1,653	1,709	1,798	1,928
3.114	1,718	1,602	1,638	1,686	1,752	1,854

참고 *상기 데이터는 기강시험에 의함

*자갈함량 8% 기준임

*2회 시험 평균 데이터임(오차 1%이내)

하기에는 거의 불가능한 실정이다.

이는 대부분의 잔골재가 채취현장에 야적되어 있고 채취시에도 물에서 건져낸상태 그대로 잔골재를 야적하기 때문이다. 이러한 상태에서 취급되는잔골재는 단위용적중량에 차이를 나타낼 것으로 사료되며 그 차이에 대한 시험은 표 6과 같다.

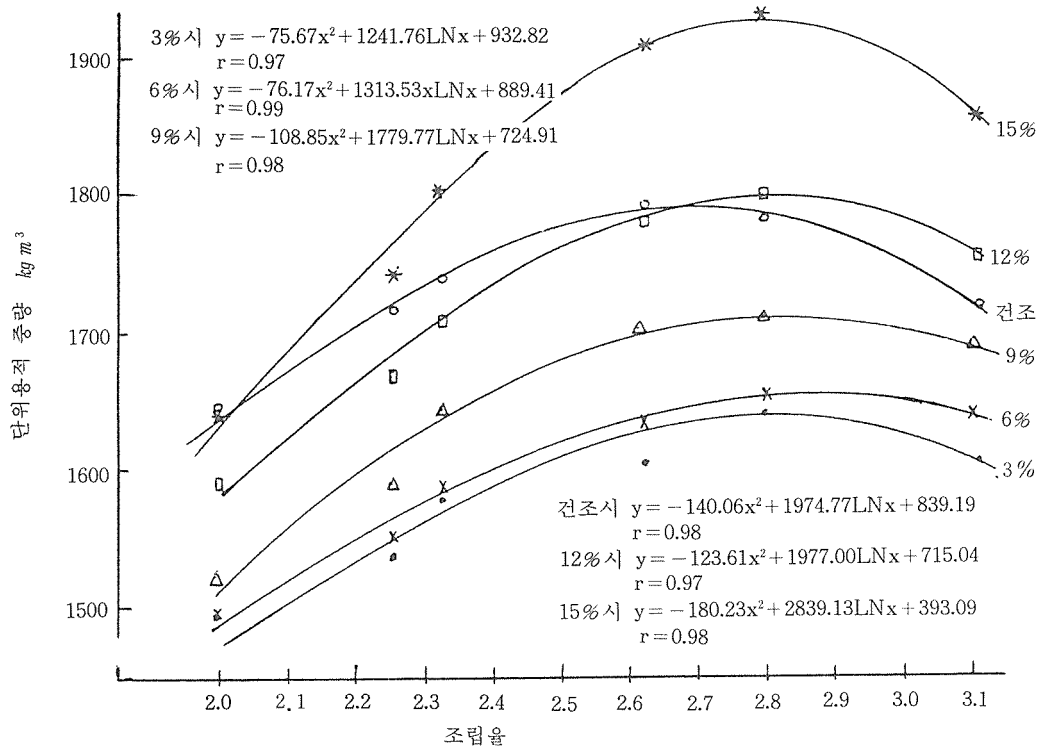
상기 그림 6에서 나타나듯이 조립율이 크고 표면수량(含水量)이 높으면 단위용적중량은 증가하지만 조사(組砂)로 치우치면 단위용적중량은 떨어진다.

그림 7의 표면수량별 단위용적중량에 대한 분포는 조립율에 관계없이 단위용적중량이 증

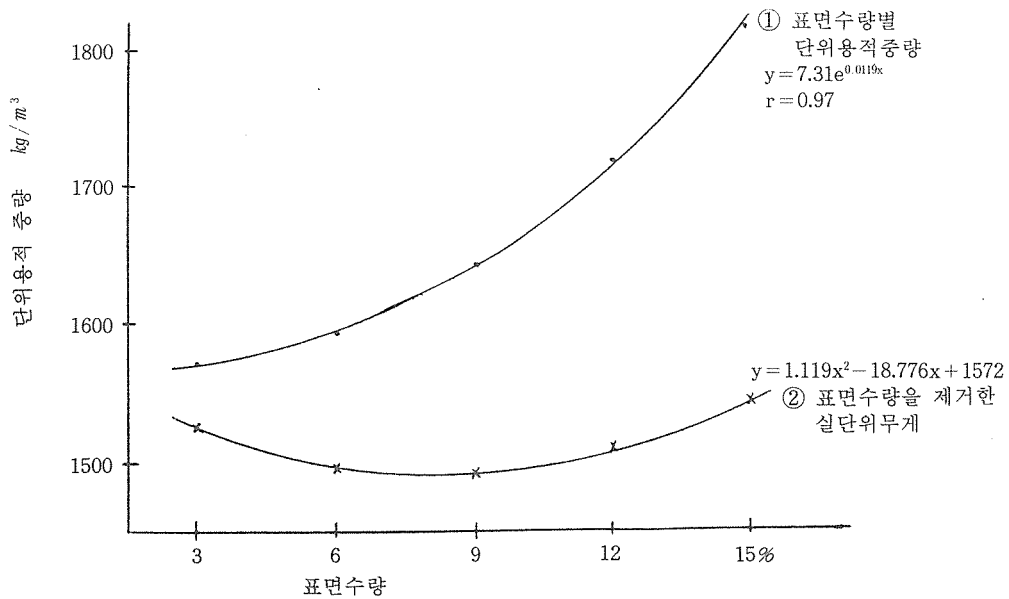
가하는 상태를 나타내고 있으며 이때 표면수량을 제거한 잔골재만의 실 단위무게를 산출하면 그림 7의 ②분포와 같이 된다.

이러한 동일한 용기에 적재되는 잔골재의 량은 조립율과 표면수량에 따라 상당한 차이를 나타내고 있는 바, 공기중 건조상태의 잔골재를 기준으로 했을 때 M³당 최대 270kg의 잔골재의 실량이 적어질 수도 있음을 나타내고 있다.

따라서 동일한 용기내에 적재되는 잔골재의 량을 표면수량을 제거했을 경우로 환산하면 다음 표 7과 같은 차이를 나타낸다.



(그림 6) 조립율과 표면수량간의 단위용적 중량



(그림 7) 표면수량에 대한 단위용적 중량

〈표 7〉 표면수량 제거시 잔골재 실단위무게 환산표

(단위 : kg/M³)

組粗率	區分	含水率	공기중	3%	6%	9%	12%	15%
			건 조					
1,976	實單位重量		1,646	1,445	1,403	1,386	1,400	1,397
	差 異			-201	-243	-260	-246	-249
2,248	實單位重量		1,717	1,491	1,458	1,447	1,469	1,482
	差 異			-226	-259	-270	-248	-235
2,317	實單位重量		1,739	1,531	1,494	1,496	1,503	1,532
	差 異			-208	-245	-243	-236	-207
2,615	實單位重量		1,792	1,554	1,536	1,548	1,566	1,623
	差 異			-238	-256	-244	-226	-169
2,803	實單位重量		1,781	1,588	1,554	1,555	1,582	1,639
	差 異			-193	-227	-228	-199	-142
3,114	實單位重量		1,718	1,554	1,540	1,534	1,542	1,576
	差 異			-164	-178	-184	-176	-142

4.3 잔골재중에 포함되어 있는 No 4 체이상 10mm체 미만 골재가 단위용적용량에 미치는 영향

콘크리트 배합설계시 시방배합을 현장배합으로 수정하는 경우 잔골재(굵은 골재 : 일명 콩자갈)에 대한 보정을 한다.

이때 잔골재중에 포함되어 있는 자갈량을 굵은 골재로 계산하게 되며 따라서 잔골재 중에 No 4 체 이상 10mm체 미만 골재량이 많아지면 모래의 투입량은 상대적으로 증가하게 된다.

그러므로 잔골재의 소비량은 상대적으로 증가하게 되며 결국 No 4체 이상 10mm체 미만골재 함유량 만큼 잔골재의 소비량이 많아지게 된다.

따라서 본 시험에서는 No 4체이상 10mm체 미만 골재 함유량에 따른 단위용적중량시험을 다음 표 8과 같이 실시하였다.

상기 그림 8에서 보듯이 중사에서 가장 무거운 단위무게를 나타내고 있으며 세사 또는 조사와의 차는 약 30kg/M³정도 무겁게 나타낸다.

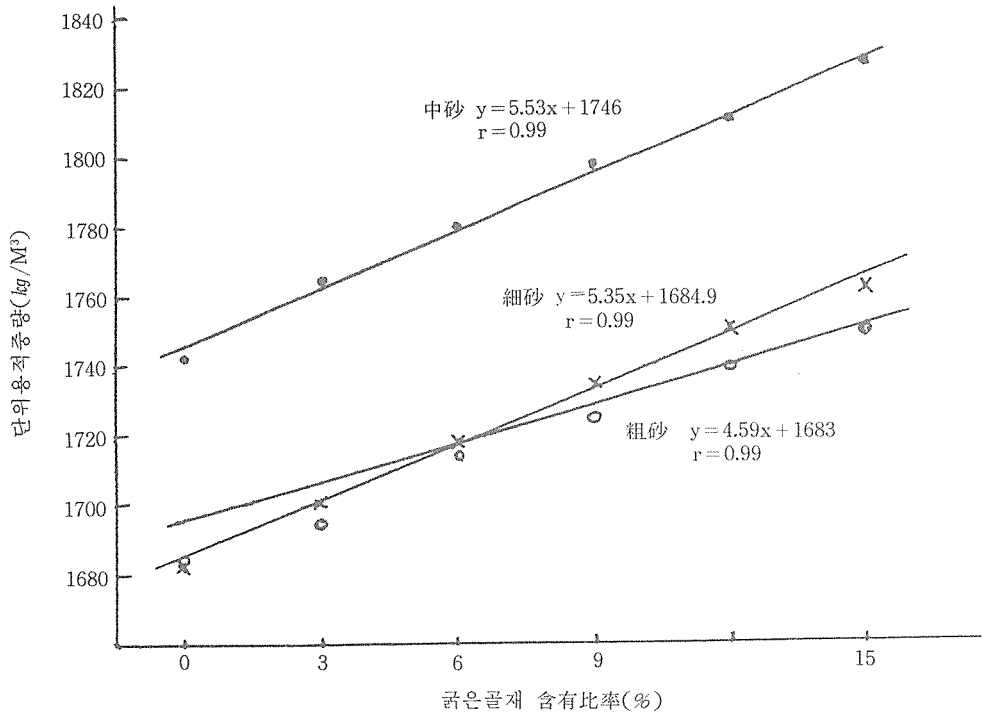
또한 굵은골재(No 4체이상 10mm체 미만골재)의 함유량이 증가함에 따라 단위용적중량은 증가하는 바, 중사에서는 굵은골재 1% 증가에 단위무게가 5.53kg씩 증가하고 조사는 4.59kg, 세사는 5.35kg으로 증가하는 것으로 나타났다.

4.4 덤프트럭(Dump Truck)에 적재된 잔골재량에 대한 분석

〈표 8〉 잔골재중 굵은골재 함유량에 따른 단위용적중량변화 시험결과

(단위 : kg/M³)

組粗率	골재含有率	0%	3%	6%	9%	12%	15%
2.248		1,683	1,701	1,718	1,735	1,751	1,762
2.615		1,742	1,765	1,780	1,798	1,811	1,827
3.114		1,684	1,693	1,714	1,725	1,740	1,750



(그림 8) 굵은골재 함유량에 따른 단위용적중량 변화

국내에서 잔골재 운반용 트럭으로는 15톤덤프트럭이 주종을 이루며 기타 8톤, 25톤 덤프트럭이 있다.

본 조사에서는 덤프트럭의 적재함 크기를 기준으로 하여 조사하였는 바, 조사과정에서 덤프트럭의 적재함 크기를 실측하였으며 적재함의 개조(적재함 난간대보 강등의 차량은 제외)로 인하여 트럭 출고시 크기를 변경시킨 차량은 제외시켰다.

덤프트럭 적재함의 크기는 메이커별로 약간의 차이가 있었으며 조사 결과는 다음 표 9와 같다.

15톤 덤프트럭에 적재되는 잔골재의 양(부피)에 대한 기준설정은 건설부 훈령 제203호 제11조 3항(시행일자 87. 6 26)에 의하여 적재량 10.14M³/대로 정하고 있다.

그러나 본 연구에서는 15톤 덤프트럭의 적재함 부피를 10M³로 했을 때 잔골재 종류별 적재량(무게)과 이를 역으로 부피량(M³)을 환산하면 다음 표 10과 같다.

상기 표10과 같이 잔골재중에 No4체 이상 10mm체 미만골재가 증가하면 단위용적중량도 이에 비례하여 증가하며, 그 증가량에 대한 회귀식은 $y=0.03x+0.042(r=0.99)$ 를 갖는다.

그러나 조립율과 표면수량에 대한 단위용적중량은 세사(細砂)와 조사(粗砂)로 갈 수록 중량이 적어지며 그 폭은 세사(細砂)에서 더욱 커진다.

이러한 현상은 중사(中砂)에서 단위당 무게가 가장 무겁고 그에 대한 조립율은 2.6~2.7사이에서 그림 9와 같이 나타난다.

잔골재에 함유되어 있는 표면수량은 7%정도

<표 9> 덤프트럭(15톤) 적재함 크기 조사표

(단위 : M³)

차 종	현대(후소형)	현 대	SMC	미스비시	대 우	아 세 아
크 기	9.8	9.96	7.3	9.98	11.03	10.0

〈표 10〉 잔골재 조건별 단위 부피량 역산표

1) 조립율에 대한 역산(조립율 2.615의 단위용적중량 기준)

No 구분 \ 조립율	1.976	2.248	2.317	2.615	2.803	3.114
① 측정단위용적 중량 kg/M^3	1,646	1,717	1,739	1,792	1,781	1,718
② 중사FM 2.615기준 단위 중량차액 kg/M^3	-146	-75	-53	0	-11	-74
③ ②에 대한 M^3 환산(중사기준) M^3/M^3	-0.081	-0.042	-0.030		-0.006	-0.041
④ $10M^3(15\text{톤덤프})$ 기준 M^3 환산(③ $\times 10M^3$) $M^3/10M^3$	-0.81	-0.42	-0.30		-0.06	-0.41

*본 데이터는 지강시험 기준임, 자갈 함량 8%, 공기중 건조상태임

2) 표면수량에 대한 역산(공기중건조상태 단위용적중량 기준)

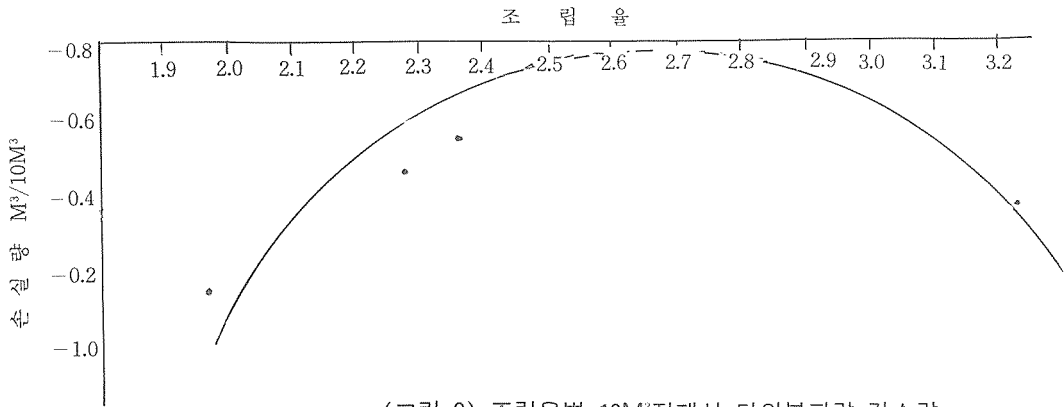
No 구분 \ 표면수량	공기중건조	3%	6%	9%	12%	15%
① 측정단위용적 중량 kg/M^3	1,792	1,602	1,634	1,701	1,779	1,909
② ①에 대한 표면수량 제거시 단위무게 kg/M^3	1,792	1,554	1,536	1,548	1,566	1,623
③ 공기중건조상태 기준 단위 무게차액 kg/M^3		-238	-256	-244	-226	-169
④ ③에 대한 M^3 수환산(공기중건조상태 기준)		-0.133	-0.143	-0.136	-0.126	-0.094
⑤ $10M^3(15\text{톤덤프트럭})$ 기준 M^3 환산(④ $\times 10M^3$)		1.33	1.43	1.36	1.26	0.94

*본 데이터는 지강시험, 자갈함량 8%, 조립율 2.615 기준임

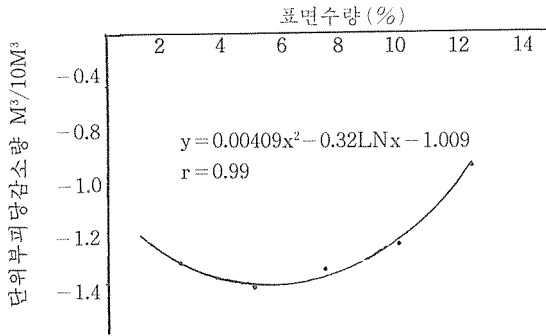
3) 자갈 함유량에 대한 역산(자갈함량 0%단위용적중량 기준)

No 구분 \ 잔자갈함량	0%	3%	6%	9%	12%	15%
① 측정단위용적 중량 kg/M^3	1,742	1,765	1,780	1,798	1,811	1,827
② 잔자갈 0%기준 단위무게 차액 kg/M^3		+23	+38	+56	+69	+85
③ ②에 대한 M^3 환산(잔자갈 0%기준)		0.013	0.022	0.032	0.040	0.049
④ $10M^3(15\text{톤덤프트럭})$ 기준 M^3 환산(③ $\times 10M^3$)		0.13	0.22	0.32	0.40	0.49

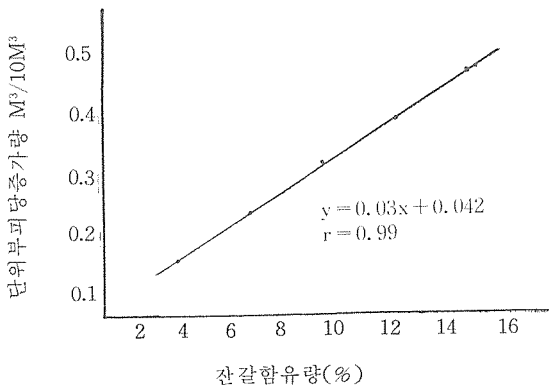
*본 데이터는 지강시험, 공기중건조상태, 조립율 2.615기준임



(그림 9) 조립율별 10M³적재시 단위부피량 감소량



(그림 10) 표면수량별 10M³적재시 단위부피감소



(그림 11) 잔갈함유량별 단위부피량 증가

에서 가장 가벼운 단위용적중량을 나타내고 이를 10M³덤프트럭에 적재시는 단위용적중량이 가벼운량 만큼 M³(부피)로 환산하면 1.4M³정도가 공기중 건조시 잔골재보다 가볍게 적재된다.

4.5 시험결과에 대한 종합분석 및 고찰

- 1) 세사(細砂)(FM : 1.976~2.248)에서는 잔골재 조건(시험방법, 전자갈함유량)에 관계없이 약 1,620kg/M³정도의 단위용적중량을 나타낸다.
- 2) 중사(中砂)(FM : 2.317~2.615)에서는 “1)항” 조건에서 약 1,710kg/M³ 정도의 단위용적중량을 나타낸다.
- 3) 조사(粗砂)(FM : 2.803~3.114)에서는 “1)항” 조건하에 약 1,690kg/M³정도의 단위용적중량을 나타낸다.
- 4) 잔골재 시험시 다짐방법간 중량차는 지강시험이 약 71kg/M³정도(봉다짐 : 약 1,639kg/M³, 지강 : 약 1,710kg/M³)무겁게 나타난다.
- 5) 잔골재를 적재한 덤프트럭이 일정거리를 운반하였을 경우의 다짐조건은 지강시험조건과 유사한 조건으로 할 수 있다.
- 6) 잔골재의 표면수량(함수량)이 증가 할 수록 단위용적 중량은 점점증가(증가함수 $y = 7.31e^{0.019x}$)하지만, 이러한 조건에서 표면수량만을 제거한 잔골재만의 실 단위용적중량은 $y = 1.119x^2 - 18.776x + 1572$ 의 곡선회귀식을 나타내며 이 회귀식을 미분한 결과 8.4%표면수량을 함유하고 있을 때 잔골재만이 실 단위용적중량이 최저가 된다.

- 7) 표면수량을 함유한 상태와 이를 같은 조건에서 표면수량을 제거했을 때의 증량차이는 세사(細砂)에서 244 kg/M^3 , 중사(中砂)에서 227 kg/M^3 , 조사(粗砂)에서 183 kg/M^3 의 증량차이를 나타내며 공기중건조상태의 모래보다 동일한 조립율에서 항상 낮은 무게를 나타낸다.
- 8) 잔골재중에 잔자갈 (No 4체 이상 10mm 체 미만골재)를 함유하는 경우 단위용적증량은 중사에서(본시험에서는 중사를 조립율 2.615로 함) 가장 무겁게 나타나며 잔자갈 함유량이 증가하면 단위용적증량도 $y=5.53x+1,764$ 로 증가한다.
또한 세사(細砂)와 조사(粗砂)는 잔자갈 함유량에 따라 증가하지만 중사(中砂)와는 약 65 kg/M^3 정도 가벼운 상태에서 $y=5.35x+1,685$ (세사), $y=4.59x+1,683$ (粗砂)의 회귀식을 나타낸다.
- 9) 이상의 잔골재를 15톤 덤프트럭(10M^3 적재 기준)에 적재하였을 경우 中砂를 기준한 단위용적증량차를 M^3 로 환산하면 細砂에서 $0.81\text{M}^3/10\text{M}^3$, 粗砂에서 $0.41\text{M}^3/10\text{M}^3$ 차이를 나타내며 $y=-0.773x^2+10.909\text{LN } x-5.273$ 의 회귀식을 갖는다.
- 10) “9)항”의 조건에서 표면수량이 단위용적증량에 미치는 영향은 공기중 건조상태의 잔골재를 기준으로 하였을 경우 표면수 6%때 가장 차이가 큰 $1.43\% \text{M}^3/10\text{M}^3$ 의 차이를 나타내고 15%일때 $0.94\text{M}^3/10\text{M}^3$ 를 나타내며 $y=0.00409x^2-0.321\text{LN}x-1.009$ 의 회귀식을 나타낸다.
- 11) 잔골재중에 잔자갈 함유량에 따라 단위용적증량은 점점 증가하며 그 회귀식은 $y=0.03x+0.042$ 를 나타낸다.

5. 결 론

본 연구는 구조재료의 하나인 콘크리트 제조

용 원재료인 잔골재(모래)의 단위용적증량에 대한 다각적이 분석을 실시하여 잔골재의 단위부피와 단위무게간에 갖고 있는 여러 특성에 대하여 연구하였다.

따라서 잔골재의 특성요인을 첫째 조립율, 둘째 잔골재 표면수량(함수량), 셋째 잔자갈 함유량(No 4체 이상 10mm 체 미만), 넷째 단위용적증량시험 방법으로 하고 이들요인별 잔골재(모래)의 단위용적증량을 측정하였을 때 단위용적 무게(kg)와 단위용적부피(M^3)간에 순수한 잔골재만의 차이분석, 잔골재 특성요인별 차이 분석을 실시하였는 바,

- 1) 단위용적증량 시험방법(봉다짐, 지깅)간에는 약 71 kg/M^3 의 증량차를 나타내고(공기중 건조상태)있으며 잔자갈 함유량, 표면수량, 조립율별로 차이를 나타내고 있다.
- 2) 조립율별 단위용적 증량차는 중사(FM 2.615)를 기준으로 했을 때 세사는 -150 kg/M^3 , 조사는 $65-70\text{ kg/M}^3$ 의 차이를 나타내고 있다.
- 3) 표면수량별 단위용적 증량차는 공기중 건조상태를 기준으로 할 때 최대 -270 kg/M^3 의 증량차를 나타내고 있다.
- 4) 잔자갈 함유량별로는 중사를 기준으로 했을 때 세사와 조사 모두 약 -30 kg/M^3 의 증량차를 나타낸다.
- 5) 잔골재의 양을 10M^3 로 하였을 경우 조립율별 용적차는 세사에서 $-0.8\text{M}^3/10\text{M}^3$, 조사에서 $-0.41\text{M}^3/10\text{M}^3$ (중사기준)로 나타나며 이에 대한 회귀식은 $y=-0.773x^2+10.91\text{LN } x-5.27(r=0.98)$ 로 나타낸다.
- 6) 잔골재의 양을 10M^3 로 할 경우 표면수량별 용적차는 표면수량 6%에서 $-1.43\text{M}^3/10\text{M}^3$ 의 차를 나타내며 $y=0.00409x^2-0.321\text{LN}x-1.009(r=0.99)$ 로 변화한다.
- 7) 잔자갈이 함유하는 경우에는 15%포함시 + $0.49\text{M}^3/10\text{M}^3$ 로 되며 (잔자갈 0%기준) $y=0.03x+0.042(r=0.99)$ 로 증가한다.