

낙동강 세사를 사용한 콘크리트의 배합특성 평가

배수호^{1*}, 김창덕¹, 이승한²

¹안동대학교 토목공학과, ²계명대학교 토목공학과

Evaluation on Mix Characteristics of Concrete Using Fine Sand of Nakdong-River

Su-Ho Bae^{1*}, Chang-Duk Kim¹ and Seung-Han Lee²

¹Department of Civil Engineering, Andong National University

²Department of Civil Engineering, Keimyung University

요 약 지속적인 경제성장에 따른 콘크리트 구조물의 급증으로 양질의 하천모래가 고갈됨에 따라 콘크리트용 대체 골재 개발이 필요한 실정이다. 따라서 이 연구의 목적은 낙동강 세사를 콘크리트용 대체골재로서 적극적으로 활용하기 위한 기초자료를 제시하는 것이다. 이를 위하여 세사 분포지역인 낙동강 본류의 중하류에서 세사 시료를 채취한 후, 이들의 밀도, 입도, 단위용적질량 및 0.08mm체 통과량 등의 물성 평가와 세사를 사용한 콘크리트의 배합특성으로 설계기준강도에 대한 단위수량 및 단위시멘트량을 평가하였다. 그 결과, 세사를 사용한 콘크리트의 설계기준강도에 대한 단위수량 및 단위시멘트량은 입도가 좋은 기준모래를 사용한 콘크리트의 경우보다 크게 증가하지 않는 것으로 나타나, 전자와 후자 사이의 배합특성은 별 차이가 없는 것으로 나타났다.

Abstract The purpose of this experimental research is to suggest a base data to utilize the fine sand of Nakdong-River actively as an alternative aggregate for concrete. For this purpose, after the typical fine sand samples were collected at the mid stream and down stream of main stream of Nakdong-River, the physical properties of them and the mix characteristics of concrete using those were estimated. As a result, it was observed from the test result that mix characteristics between concrete using fine sand and concrete using well-graded reference sand made little differences since unit water content and unit cement content of concrete using fine sand increased only a little than those of concrete using reference sand for specified compressive strength.

Key Words : Fine sand of Nakdong-River, Mix characteristics, Physical property, Unit cement content, Unit water content

1. 서론

국내의 건설공사의 규모는 1970년대 이후의 괄목할 만한 경제성장과 함께 급속도로 확대되고, 최근에는 고속 철도, 신공항 및 해상 장대교 등의 각종 대규모 건설공사의 시행으로 콘크리트의 사용량이 급속히 증가함에 따라 하천골재의 부족현상이 심각한 실정이다[1]. 2008년 국토

해양부에서 발표한 제 4차 골재수급기본계획에 따르면 연평균 골재 수요 증가율은 약 1.7% 수준이며, 2009년 2억 1600만 m³, 2010년 2억 2900만 m³, 2011년 2억 3600만 m³의 골재 수요량을 보였다. 또한, 2013년에 2억 4400만 m³의 골재가 필요하다고 추정하였다. 이에 따라 콘크리트용 대체골재로서 바다모래, 부순모래 및 순환골재 등의 사용이 증가하고 있다[2,3].

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비지원(과제번호 : 11CRTI-C059640-01)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Su-Ho Bae(Andong National Univ.)

Tel: +82-54-820-5896 email: shbae@andong.ac.kr

Received January 28, 2013

Revised (1st February 14, 2013, 2nd March, 4, 2013)

Accepted March 7, 2013

그러나 바다모래는 세척을 하지 않고 콘크리트에 사용할 경우 염화물이온의 존재로 인해 철근부식을 유발하여 콘크리트의 내구수명 저하가 발생되고, 부순모래는 하천 모래보다 입도조절이 어렵고 미립분에 의한 워커빌리티 저하 및 건조수축 등의 문제가 발생되고 있으며, 순환골재를 사용한 콘크리트는 천연골재를 사용한 콘크리트에 비해 작업성, 강도, 내구성 등 전반적으로 품질이 저하되는 것으로 나타나고 있다. 이 같이 골재 종류가 다양화됨에 따라 골재의 품질이 콘크리트의 강도 및 내구성에 크게 영향을 미치게 되므로 대체골재 사용 시 신중한 검토가 필요하다[4-6].

한편, 낙동강 중·하류에 대규모로 분포되어 있는 하천 세사는 입도 외에는 잔골재로서 품질이 우수한데, 4대강 살리기 사업 시행에 의해 낙동강 본류 하천의 준설에 따라 발생된 준설토는 양질의 하천모래 외에 이보다 조립률이 다소 작은 하천세사를 다량 함유하고 있다. 따라서 천연골재의 고갈에 따라 골재 수급문제를 지역 내에서 해결하고, 바다모래나 부순모래보다 잔골재로서의 특성이 우수한 대체골재 개발이 필요함에 따라 하천세사의 활용에 관한 연구가 시급히 요구되고 있다[7,8].

따라서 본 연구에서는 콘크리트용 대체골재로서 낙동강 세사를 활용하기 위한 기초자료를 제시하기 위하여 입도가 좋은 양질의 기준모래와 낙동강 세사를 각각 낙동강 본류의 대표위치별로 채취하여 이들의 물성을 평가한 후 물-시멘트비에 따라 기준모래 및 세사 각각을 사용한 콘크리트를 제작하였다[9]. 결국, 낙동강 세사를 사용한 콘크리트의 배합특성을 분석하기 위하여 낙동강 세사와 기준모래 각각을 사용한 콘크리트에 대해서 압축강도와 시멘트-물비의 상관식을 도출한 후, 세사를 사용한 콘크리트의 기준강도에 대한 물-시멘트비, 단위수량 및 단위시멘트량을 기준모래를 사용한 콘크리트의 경우와 비교·분석하였다.

2. 실험개요

2.1 대표위치 선정 및 시료채취

낙동강 본류 334km 구간을 답사한 결과, 세사는 낙동강 중·하류에 분포되어 있으므로 세사 시료는 Table 1과 같이 낙동강 본류의 종류 2개소, 하류 1개소에서 채취하였으며, 콘크리트용 잔골재로서 세사의 특성을 비교하기 위하여 낙동강 최상류에서 양질의 기준모래 시료를 채취하였다.

[Table 1] Sampling location

| Sample types | | Sampling location |
|--------------|---------------------------|--|
| Up stream | Andong (Reference) (1) | Ok-Dong, Andong-Si, GyeongSangBuk-Do |
| | Dalseong-Weir (2) | Ha-Ri, Nongong-Eup, Dalseong-Gun, Daegu |
| Mid stream | Gumi-Weir (3) | Wolgok-Ri, Haepyeong-Myeon, Gumi-Si, GyeongSangBuk-Do |
| | ChangnyeongHaman-Weir (4) | Jeungsan-Ri, Gilgok-Myeon, Changnyeong-Gun, GyeongSangNam-Do |

2.2 낙동강 세사의 물성 실험

2.2.1 밀도 및 흡수율

골재의 밀도 및 흡수율 시험은 KS F 2504[10]에 따라 절대건조 시료를 물속에 20시간이상 담근 후 시료를 기건상태로 자연건조시켜 표면건조상태로 시험을 수행하였으며, 절대건조상태의 밀도는 식 (1)에 의해 구하였다.

$$d_d = \frac{A}{B+m-C} \times \rho_w \quad (1)$$

여기서, d_d : 절대건조상태의 밀도(g/cm^3)

m : 표면건조포화상태 시료의 질량(g)

A : 절대건조상태 시료의 질량(g)

B : 검증된 용량을 나타낸 눈금까지 물을 채운 플라스크의 질량(g)

C : 시료와 물로 검증된 용량을 나타낸 눈금까지 채운 플라스크의 질량(g)

ρ_w : 시험 온도에서 물의 밀도(g/cm^3)

흡수율은 골재에 포함된 물의 질량을 절대건조상태의 질량에 대한 백분율로 나타낸 것으로 식 (2)에 의해 구하였다.

$$Q = \frac{m-A}{A} \times 100 \quad (2)$$

여기서, Q : 흡수율(질량 백분율)(%)

2.2.2 체가름

골재의 체가름 시험은 KS F 2502[11]에 따라 10mm, 5mm, 2.5mm, 1.2mm, 0.6mm, 0.3mm, 0.15mm의 표준망체를 사용하여 절대건조 상태의 시료로 시험을 수행하였다.

2.2.3 단위용적질량 및 실적률

골재의 단위용적질량 및 실적률 시험은 KS F

2505[12]에 따라 절건상태의 시료로 시험을 수행하였으며 단위용적질량은 식 (3)에 의해 구하였다.

$$T = \frac{m_1}{V} \quad (3)$$

여기서, T : 골재의 단위용적질량(kg/L)
 V : 용기의 용적(L)
 m_1 : 용기 안의 시료의 질량(kg)

골재의 실적률은 골재의 단위용적질량 시험시 용기에 가득채운 골재의 절대용적과 용기 용적과의 비율이고, 단위용적질량을 밀도로 나눈 값의 백분율로 식 (4)에 의해 구하였다.

$$G = \frac{T}{d_D} \times 100 \quad (4)$$

여기서, G : 골재의 실적률(%)
 d_D : 골재의 절건밀도(kg/L)

2.2.4 0.08mm체 통과량

골재의 0.08mm체 통과량 시험은 KS F 2511[13]에 따라 절건상태의 시료로 시험을 수행하였으며 식 (5)에 의해 구하였다.

$$A = \frac{B - C}{B} \times 100 \quad (5)$$

여기서, A : 0.08mm체를 통과하는 잔입자량의 백분율(%)
 B : 씻기 전의 건조 질량(g)
 C : 씻은 후의 건조 질량(g)

[Table 2] Physical properties of coarse aggregate

| Specimen | G _{max} (mm) | Density (g/cm ³) | Absorption (%) | Unit mass (kg/m ³) | F.M. |
|--------------|-----------------------|------------------------------|----------------|--------------------------------|------|
| Crushed rock | 25 | 2.65 | 1.22 | 1,648 | 7.27 |

[Table 3] Properties of chemical admixture

| Type | Specific gravity | pH | Solid content (%) | Quantity(%) (by mass of cement) | Main component |
|-------------------|------------------|----|-------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Super-plasticizer | 1.05 | 9 | 38 | 0.5~2.5 | Polycarbonin acid admixture |

2.3 낙동강 세사를 사용한 콘크리트의 배합 실험

2.3.1 사용재료

시멘트는 H사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 굵은 골재는 안동산 부순돌을 이용하였고 그 물리적 성질은 Table 2와 같다. 잔골재의 경우 대표 세사는 Table 1과 같이 낙동강 분류의 중류 2개소, 하류 1개소 시료를 사용하였으며, 기준모래는 낙동강 최상류에 위치한 양질의 하천모래를 사용하였다. 콘크리트의 유동성 개선을 위한 화학혼화제는 고강도 및 유동화 콘크리트용으로 사용되고 있는 S사의 폴리카르본산계의 고성능 AE 감수제를 사용하였으며 품질특성은 Table 3과 같다.

2.3.2 실험방법

1) 공시체 제작

낙동강 세사를 사용한 콘크리트의 배합 특성을 평가하기 위한 콘크리트 공시체를 제작하기 위하여 Table 4와 같이 배합비를 정하였다. 물-시멘트비는 35%, 45% 및

[Table 4] Mix proportions of concrete

| Specimen | G _{max} (mm) | Target slump (mm) | Target air content (%) | W/C (%) | S/a (%) | Unit mass(kg/m ³) | | | | SP (C × %) |
|---------------------------------|-----------------------|-------------------|------------------------|---------|---------|-------------------------------|-----|-----|-------|------------|
| | | | | | | W | C | S | G | |
| Reference sand (1) [*] | 25 | 210±30 | 5.0±1.5 | 34.0 | 43 | 160.7 | 470 | 625 | 972 | 1.6 |
| Fine sand (2) ^{**} | | | | 30.0 | 38 | 153.3 | 510 | 622 | 1,043 | |
| Fine sand (3) ^{***} | | | | 34.0 | 38 | 174.0 | 510 | 602 | 1,009 | |
| Fine sand (4) ^{****} | | | | 34.0 | 38 | 173.3 | 510 | 600 | 1,010 | |
| Reference sand (1) | 25 | 150±25 | 5.0±1.5 | 47.0 | 45 | 177.3 | 380 | 677 | 950 | 1.3 |
| Fine sand (2) | | | | 41.0 | 40 | 166.7 | 410 | 674 | 1,038 | |
| Fine sand (3) | | | | 42.5 | 40 | 173.3 | 410 | 667 | 1,028 | |
| Fine sand (4) | | | | 44.0 | 40 | 180.0 | 410 | 658 | 1,017 | |
| Reference sand (1) | 25 | 120±25 | 5.0±1.5 | 61.0 | 48 | 182.7 | 300 | 733 | 926 | 0.9 |
| Fine sand (2) | | | | 53.5 | 42 | 173.3 | 325 | 730 | 1,035 | |
| Fine sand (3) | | | | 57.5 | 42 | 187.3 | 325 | 712 | 1,014 | |
| Fine sand (4) | | | | 63.5 | 42 | 206.0 | 325 | 692 | 985 | |

* Andong
 ** Dalseong
 *** Gumi
 **** ChangnyeongHaman

60%로 설정하여 시료별로 단위수량을 계산한 후 배합시험을 수행하였으나, 콘크리트의 경제성을 고려하여 혼합재 첨가량을 일정하게 하였으므로 시료 특성에 따라 목표 슬럼프를 얻는데 필요한 단위수량이 다소 달라지므로, 시료별로 물-시멘트비가 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 목표 슬럼프는 물-시멘트비 수준에 따라 각각 210±30mm, 150±25mm 및 120±25mm로 설정하였으며, 공기량은 콘크리트의 압축강도에 큰 영향을 미치므로 이에 따른 영향을 배제하기 위하여 목표 공기량은 물-시멘트비에 관계없이 5.0±1.5%로 일정하게 설정하였다. KS F 2403[14]에 따라 원주형 공시체(Ø100×200mm)를 제작하였으며, 제작된 공시체는 성형 후 24시간 경과하여 물드를 제거한 후 강도시험 전까지 20±3℃의 온도로 습윤양생하였다.

2) 압축강도 시험

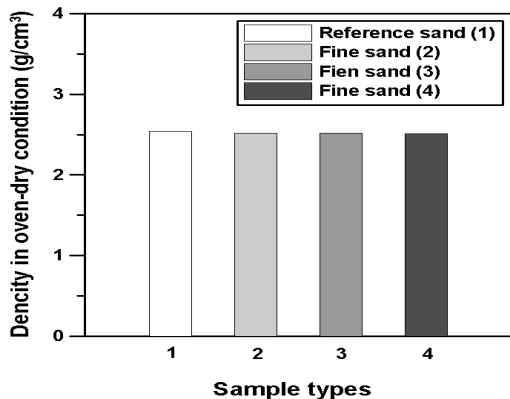
기준모래 및 대표세사 각각을 사용한 콘크리트의 강도 특성을 파악하여, 기준강도에 대한 단위수량 및 단위시멘트량을 산정하기 위하여 KS F 2405[15]에 따라 재령별(7일, 28일)로 압축강도 시험을 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

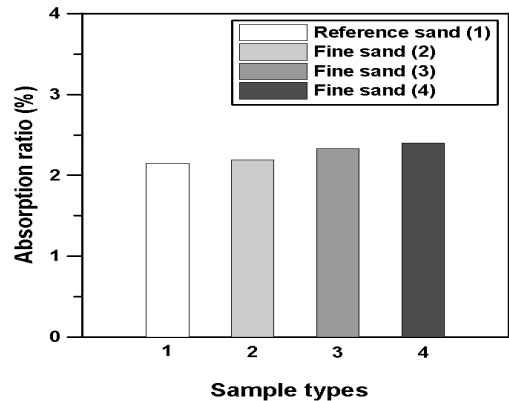
3.1 낙동강 세사의 물성

3.1.1 절건밀도

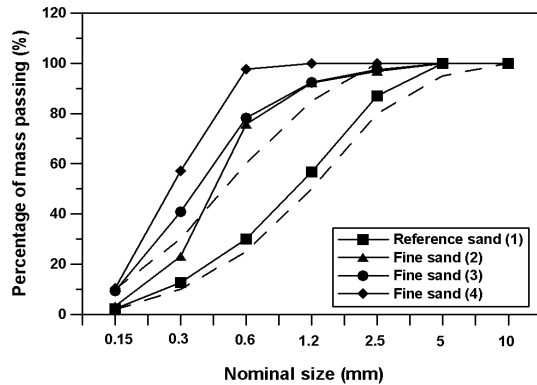
낙동강 세사의 절건밀도는 Fig. 1과 같이 2.51~2.54로 나타나, 콘크리트용 잔골재의 절건밀도 기준인 2.50이상을 모두 만족하고 있어, 낙동강 세사의 절건밀도는 양호한 것으로 나타났다.



[Fig. 1] Density in oven-dry condition of fine sand of Nakdong-River



[Fig. 2] Absorption ratio of fine sand of Nakdong-River



[Fig. 3] Grading curve of fine sand of Nakdong-River

3.1.2 흡수율

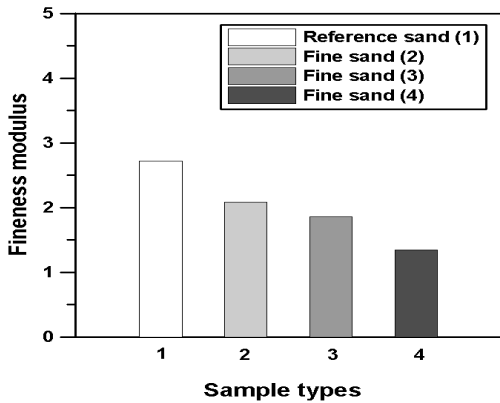
낙동강 세사의 흡수율은 Fig. 2와 같이 2.15~2.40으로 나타나, 콘크리트용 잔골재의 흡수율 기준인 3.0%이하를 모두 만족하고 있어, 낙동강 세사의 흡수율은 양호한 것으로 나타났다.

3.1.3 입도

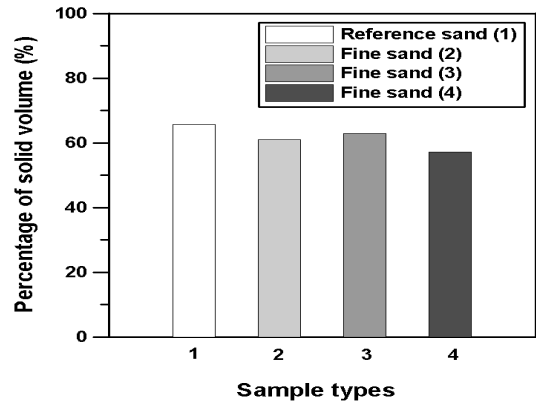
Fig. 3은 낙동강 세사의 입도분포곡선을 나타낸 것으로, 세사는 전 시료가 입도분포곡선 표준범위를 벗어나고 있으며, 낙동강 하류로 내려갈수록 입도분포곡선이 표준 입도 범위에서 왼쪽으로 올라가는 세립의 특성을 갖는 경향으로 나타났다.

3.1.4 조립률

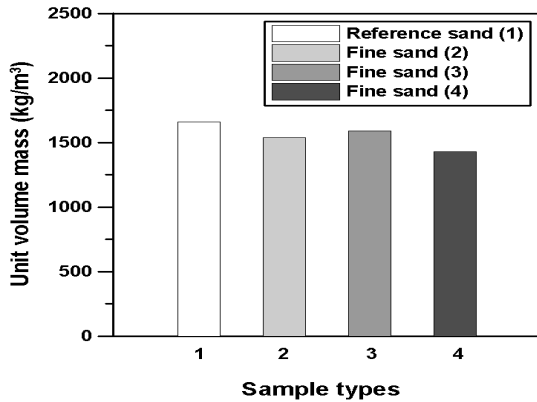
Fig. 4는 낙동강 세사의 조립률을 나타낸 것으로, 전 시료가 콘크리트용 잔골재의 조립률 범위(2.3~3.1)보다 작은 것으로 나타났으며, 세사의 조립률은 대체적으로 하류로 내려갈수록 작아지는 것으로 나타났다.



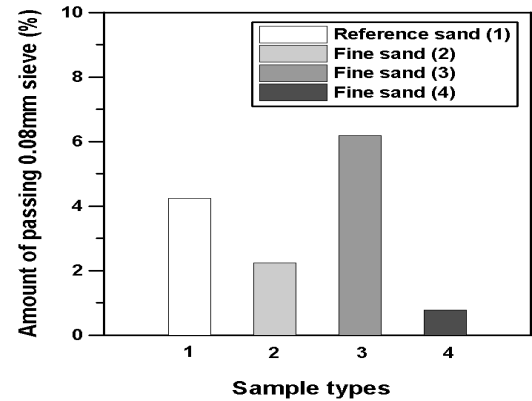
[Fig. 4] Fineness modulus of fine sand of Nakdong-River



[Fig. 6] Percentage of solid volume of fine sand of Nakdong-River



[Fig. 5] Unit volume mass of fine sand of Nakdong-River



[Fig. 7] Amount of passing 0.08mm sieve of fine sand of Nakdong-River

3.1.5 단위용적질량

Fig. 5는 낙동강 세사의 단위용적질량을 나타낸 것으로, 낙동강 하류 시료(4)를 제외하면, 전 시료가 콘크리트용 잔골재의 단위용적질량 범위인 1,500~1,850kg/m³을 만족하는 것으로 나타났다.

3.1.6 실적률

Fig. 6은 낙동강 세사의 실적률을 나타낸 것으로, 낙동강 세사는 모두 콘크리트용 잔골재 실적률 범위(53~73%)를 만족시킨 것으로 나타났다.

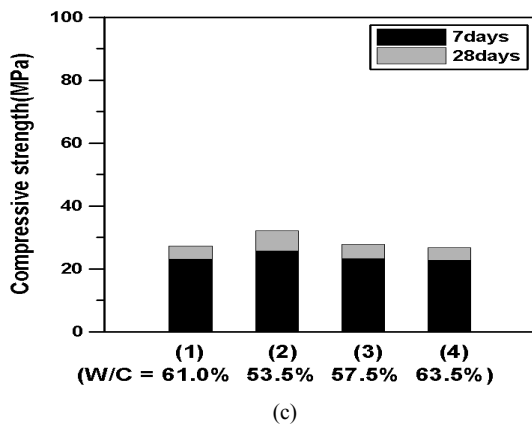
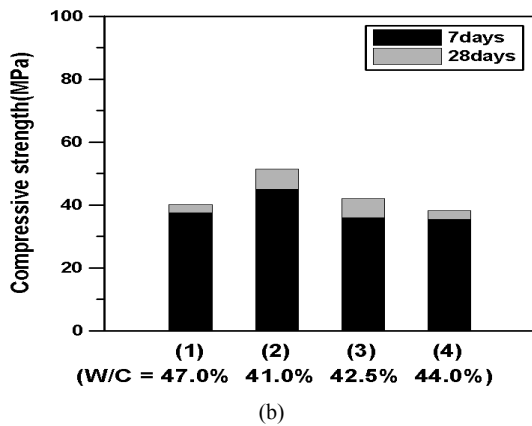
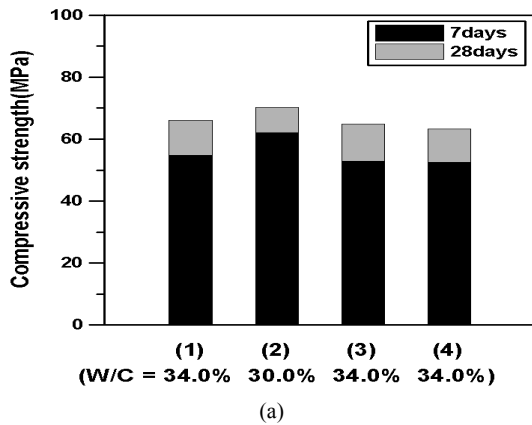
3.1.7 0.08mm체 통과량

Fig. 7은 낙동강 세사의 0.08mm체 통과량을 나타낸 것으로, 시료 (3)을 제외한 모든 시료가 콘크리트용 잔골재 범위(3~5%)를 만족하고 있으며, 조립률이 가장 작은 낙동강 최하류 시료(4)가 가장 작은 것으로 나타나, 0.08mm체 통과량과 잔골재 입경의 대소와는 무관한 것으로 나타났다.

3.2 낙동강 세사를 사용한 콘크리트의 배합 특성

3.2.1 압축강도

Fig. 8은 세사를 사용한 콘크리트의 물-시멘트비에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. Fig. 8에서 기준모래와 세사의 물-시멘트비가 다소 다른 것은 콘크리트의 배합설계시 경제성을 고려하기 위하여 혼화제 첨가량을 일정하게 하였으므로, 시료의 특성에 따라 소요 슬럼프를 얻는데 필요한 단위수량이 달라지기 때문이다. 따라서 기준강도에 대한 물-시멘트비를 파악하기 위해서는 시료별로 압축강도와 시멘트-물비의 상관식 도출이 요구되어, 다음 절에서 이들을 구하였다.



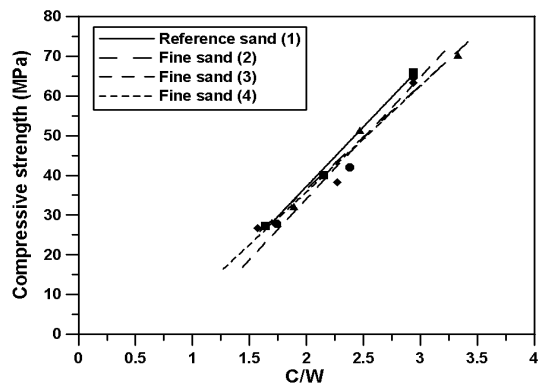
[Fig. 8] Compressive strength of concrete using fine sand (a) High strength concrete (b) Moderate strength concrete (c) Low strength concrete

3.2.2 압축강도와 시멘트-물비의 상관식 도출

세사를 사용한 콘크리트의 배합특성으로, 기준강도에 대한 단위수량 및 단위시멘트량을 평가하기 위하여 시멘트-물비를 독립변수로, 압축강도를 종속변수로 하여 회귀 분석을 수행한 결과는 Table 5 및 Fig. 9와 같다. 시멘트-물비는 물-시멘트비의 역수이므로, 기준강도에 대한 시멘트-물비가 작을수록 물-시멘트비가 커서, 단위시멘트량이 감소된다. 따라서 Fig. 9에서 위쪽에 위치할수록 기준강도에 대한 단위시멘트량이 감소되어 경제적인 배합으로 된다. 그러나 최하류 시료(4)를 제외하면, 기준모래와 세사와의 그 차이가 미미하므로, 세사를 사용한 콘크리트의 배합특성은 기준 콘크리트의 그것보다 그다지 불리하지 않는 것으로 나타났다.

[Table 5] Correlation formula between compressive strength and C/W ratio

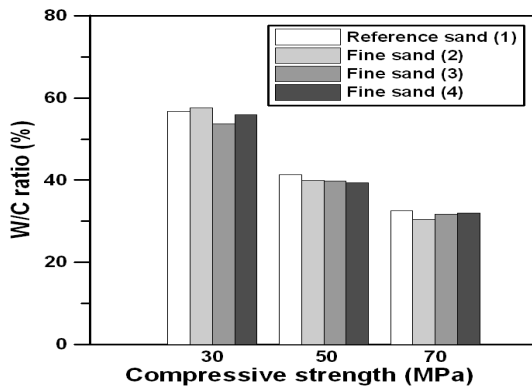
| Specimen | Correlation between compressive strength and C/W ratio |
|--------------------|--|
| Reference sand (1) | $f_c = 30.42 (C/W) - 23.59$ |
| Fine sand (2) | $f_c = 25.94 (C/W) - 15.02$ |
| Fine sand (3) | $f_c = 30.82 (C/W) - 27.40$ |
| Fine sand (4) | $f_c = 26.77 (C/W) - 17.90$ |



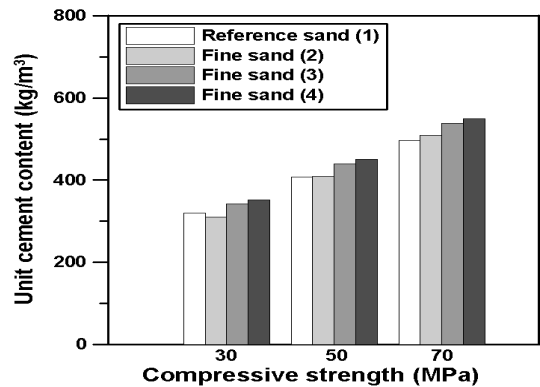
[Fig. 9] Correlation between compressive strength and C/W ratio

3.2.3 기준강도에 대한 물-시멘트비

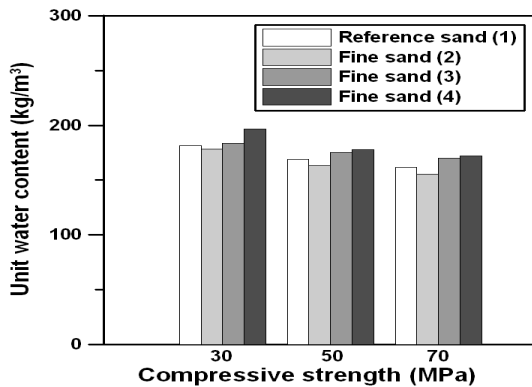
Fig. 10은 기준강도 30MPa, 50MPa 및 70MPa 각각에 대해서 세사 종류별로 물-시멘트비를 나타낸 것으로, 기준모래와 세사 시료 종류에 관계없이 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 세사를 사용한 콘크리트의 경우에도 콘크리트의 물-시멘트비 법칙이 성립하는 것으로 나타났다.



[Fig. 10] W/C ratio of concrete with type of fine sand



[Fig. 12] Unit cement content of concrete with type of fine sand



[Fig. 11] Unit water content of concrete with type of fine sand

3.2.4 기준강도에 대한 단위수량

Fig. 11은 세사를 사용한 콘크리트의 기준강도에 대한 단위수량을 나타낸 것으로, 세사를 사용한 콘크리트의 기준강도에 대한 단위수량은 기준모래를 사용한 콘크리트 경우보다 다소 증가하는 것으로 나타났다. 이는 세사의 특성상 양질의 하천모래보다 입도가 불량하고 입경이 작기 때문에 공극률이 많기 때문인 것으로 판단된다.

3.2.5 기준강도에 대한 단위시멘트량

Fig. 12는 세사를 사용한 콘크리트의 기준강도에 대한 단위시멘트량을 나타낸 것으로, 세사를 사용한 콘크리트의 기준강도에 대한 단위시멘트량은 기준모래를 사용한 콘크리트의 경우보다 다소 증가하는 것으로 나타났다. 이는 세사는 기준모래보다 공극이 다소 많아서 단위수량이 증가함에 따라서 단위시멘트량이 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

4. 결론

1. 낙동강 세사의 품질은 입도 및 조립률을 제외하면 콘크리트용 잔골재의 물성 기준에 거의 만족하고 있어, 콘크리트용 잔골재로서의 품질은 우수한 것으로 나타났다.
2. 콘크리트의 압축강도와 시멘트-물비의 상관식으로부터 기준강도에 대한 단위수량은 세사를 사용한 콘크리트가 기준모래를 사용한 콘크리트보다 다소 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 세사의 특성상 양질의 하천모래보다 입도가 불량하고 입경이 작아 공극률이 다소 많기 때문인 것으로 판단된다.
3. 세사를 사용한 콘크리트의 기준강도에 대한 단위시멘트량은 기준모래를 사용한 콘크리트의 경우보다 다소 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 시료 종류에 관계없이 기준강도에 대한 물-시멘트비는 거의 동일하므로, 이 때 단위수량이 증가한 경우가 단위시멘트량도 증가하기 때문인 것으로 판단된다.
4. 낙동강 세사의 물성은 입도 외에는 콘크리트용 잔골재로서의 품질이 우수하고, 세사를 사용한 콘크리트의 배합특성은 기준모래를 사용한 콘크리트의 경우와 거의 유사한 것으로 나타났다. 금후 세사를 콘크리트용 잔골재로서 적극적으로 활용하기 위해서는 세사를 사용한 콘크리트의 역학적 특성 및 내구성 규명이 필요할 것으로 사료된다.

References

- [1] Y. J. Oh, "The Influence of Fineness Modulus of Fine

Aggregate on the Quality Characteristics of Concrete According to Mixing Method", Dept. of Civil Engineering Graduate School of Industry Pusan National University, 2010.

[2] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, "The 4th Basic Plan for Supply and Demand of Aggregates", 2008.

[3] Korea Cement Association, "Main Contents of Solution of instability for Supply and Demand of Aggregates", 2005.

[4] Y. S. Chung, S. H. Bae, J. H. Park, "Experimental Study on Physical Properties of High-Strength Concrete Using Sea Sand", Journal of the Korea Concrete Institute, Vol. 8, No. 3, pp. 219-229, 1996.

[5] C. W. Baek, H. S. Kim, C. B. Park, J. Y. Jeun, C. S. Choi, D. H. Ryu, "Influence of Qualities of Crushed Sand on the Properties of Concrete using Fine Mixture Aggregate", Proceedings of the Korea Concrete Institute, Vol. 19, No. 1, pp. 621-624, 2007.

[6] S. H. Lee, J. W. Shim, "Enactment Provision of Recycled Aggregate Concrete", Magazine of the Korea Concrete Institute, Vol. 22 No. 1, pp. 33-35, 2010.

[7] K. C. Oh, J. Y. Kim, D. Y. Yang, J. Y. Lee, S. S. Hong, J. C. Kim, "A Study on the Physical Properties of Fine Aggregates of Bonghwang-cheon in the Geum River Basin, Korea", The Korea Journal of Quaternary Research, Vol. 21, No. 1, pp. 1-14, 2007.

[8] S. J. Choi, Y. Jeoung, C. S. Park, B. J. Oh, B.C. Yeu, M. H. Kim, "An Experimental Study on the Properties of Crushed Sand in Capital Region and Concrete according to the Replacement Ratio of Crushed Sand", Journal of the Korea institute of Building construction, Vol. 5, No. 1, pp. 63-68, 2005.

[9] J. I. Park, S. H. Bae, S. O. Kwon, C. D. Kim, S. H. Lee, "Aggregate Utilization Estimation of River Sand according to Typical Location of Main Stream of Nakdong-River", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 13, No. 8, pp. 3719-3725, 2012.

[10] KS F 2504, "Testing method for density and absorption of fine aggregate", Korean Standards Association, 2007.

[11] KS F 2502, "Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregate", Korean Standards Association, 2010.

[12] KS F 2505, "Testing method for bulk density of aggregate and solid content in aggregate", Korean Standards Association, 2002.

[13] KS F 2511, "Testing method for amount of material finer than 0.08mm sieve in aggregate", Korean Standards Association, 2007.

[14] KS F 2403, "Standard Test Method of Making and Curing Concrete Specimens", Korean Standards Association, 2010.

[15] KS F 2405, "Standard Test Method for Compressive Strength of Concrete", Korean Standards Association, 2010.

배 수 호(Su-Ho Bae)

[정회원]



- 1984년 2월 : 중앙대학교 토목공학과(공학사)
- 1986년 2월 : 중앙대학교 토목공학과(공학석사)
- 1987년 9월 ~ 1997년 2월 : 한국농어촌공사 농어촌연구원 책임연구원
- 1995년 8월 : 중앙대학교 토목공학과(공학박사)

• 1997년 3월 ~ 현재 : 안동대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

콘크리트 재료 개발 및 내구성

김 창 덕(Chang-Duk Kim)

[준회원]



- 2011년 2월 : 안동대학교 토목공학과(공학사)
- 2013년 2월 : 안동대학교 토목환경공학과 (공학석사)

<관심분야>

콘크리트 재료 개발 및 내구성

이 승 한(Seung-Han Lee)

[정회원]



- 1985년 2월 : 日本 Tokyo工業大學 토목공학과(공학석사)
- 1988년 2월 : 日本 Tokyo工業大學 토목공학과(공학박사)
- 2004년 12월 ~ 2012년 2월 : 계명대학교 첨단건설재료시험센터 센터장
- 1988년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

콘크리트, 친환경 건설재료