

미분의 효과적인 이용에 관한 연구

Effective Use of Micro Fines

백 신 원

Paik, Shin Won

ABSTRACT

Portland cement concrete is made with coarse aggregate, fine aggregate, portland cement, water and, in some cases, selected chemical admixtures such as air-entraining agents, water reducer, superplasticizer, and so on, and mineral admixtures such as fly ash, silica fume, slags, etc. Typically, in the concrete, the coarse aggregate and fine aggregate will occupy approximately 80 percent of the total volume of the final mix. Therefore, the coarse and fine aggregates affect to the properties of the portland cement concrete.

As the natural sands are drained, it is necessary and economical to utilize crushed sands(manufactured fine aggregate). It is reported that crushed sands differ from natural sands in gradation, particle shape and texture, and the micro fines in the crushed sands affect to the quality of the portland cement concrete. Therefore, the purpose of this paper is to investigate the characteristics of fresh and hardened concrete with high content of micro fines. This study provides firm data for the use of crushed sands with higher micro fines.

1. 서론

국내의 건설공사규모는 1970년대 이후에 괄목할 만한 경제성장과 함께 급속도로 확대되어 왔고, 특히 최근에는 서해안 고속도로 건설, 영종도 신공항 건설, 경부고속철도 건설 등의 일련의 대형공사가 진행되고 있어 주요 구조재료인 콘크리트의 사용량은 급속히 증가하고 있다. 특히 이러한 건설공사에 사용되는 콘크리트는 굵은골재(Coarse aggregate), 잔골재(Fine aggregate), 시멘트(Cement), 물(Water)과 플라이애쉬(Fly ash), 실리카흄(Silica fume), 슬래그(Slag) 등과 같은 혼화제(Mineral admixture) 및 감수제(Water reducer), AE제(Air-entraining agent), 지연제(Retarder) 등과 같은 혼화제(Chemical admixture) 등으로 구성되는데, 그 중에서도 골재(Aggregate)는 콘크리트 용적의 70~80%를 차지하므로 골재의 사용량은 점점 증가하고 있다.^{5,7)} 그러나 한강, 낙동강, 영산강 등 전국의 하천에서 채취되는 하천골재(River aggregate)는 거의 고갈상태에 이르게 되어, 굵은골재는 거의 전량 부순돌(Crushed stone, 쇄석)을 사용하고 있고, 잔골재는 바다에서 채취한 해사(Sea sand)를 주로 사

정희원, 한경대학교 안전공학과 조교수

용하고 있으나, 해사는 다량의 염분을 함유하고 있어, 충분히 세척하지 않고 콘크리트용 잔골재로 사용할 경우, 콘크리트 내부의 철근을 부식시켜 각종 구조물의 내구성에 큰 영향을 미치고 있으며, 해사에 함유되어 있는 염분을 충분히 세척하기 위해서는 막대한 시설을 투자해야 하고, 많은 양의 세척용수가 필요한 것 등의 사용상 많은 제약이 따르고 있어 국내의 잔골재 부족현상은 이미 심각한 상황에 직면해 있다.

국내의 현실을 고려해 본다면 강모래를 대신하여 해사의 사용량을 증가시키지 않을 수 없는 형편이나, 해사 또한 고갈될 수 있어 기존의 강모래를 근본적으로 대체할 수 있는 콘크리트용 잔골재의 개발이 어느 때보다도 절실하게 요구되고 있는데, 부순모래(Crushed sand)가 가장 현실적이고 장기적이며 우선적인 대책으로 사료된다. 왜냐하면 전국에는 채취가능한 암석이 풍부하게 부존되어 있고, 굵은골재(쇄석) 생산시 발생하는 산업부산물을 재가공하여 생산할 수 있으며, 부순모래를 공장에서 생산시 품질을 일정하게 유지할 수 있기 때문이다. 그러나 부순모래는 천연모래와는 달리 그릿셔(Crusher) 등으로 파쇄하여 인공적으로 골재를 만들기 때문에 다량의 석분(Aggregate fines or Micro fines, 미분)을 포함하고 있어 콘크리트의 품질을 좌우하는 이러한 미분의 양이 부순모래의 품질을 결정짓는 중요한 요소가 되고 있다.⁷⁾

따라서, 본 연구에서는 미분의 양이 콘크리트의 강도(Strength) 및 건조수축(Drying shrinkage)에 미치는 영향을 알아 보고, C형, F형 플라이애쉬 및 실리카흄과 같은 혼화제와 고유동화제(Superplasticizer), 감수제(Water reducer), AE제(Air entraining agent)와 같은 혼화제가 미분의 양에 따라 콘크리트의 강도 및 건조수축에 어떠한 영향을 미치는 지를 알아 보는데 그 목적이 있으며, 이러한 연구결과를 통해 부순모래 생산시 발생하는 미분을 콘크리트에 효과적으로 사용할 수 있는 방안을 찾고자 하는데 최종적인 목적이 있다.

2. 실험변수 및 배합

본 연구에서는 실험을 두 부분으로 나누어 진행하였는데, Case I에서는 감수제(Water reducer)와 고유동화제(Superplasticizer)와 같은 혼화제(Chemical admixture)가 석분의 양에 따라 강도 및 건조수축에 어떠한 영향을 알아 보기 위해, 단위시멘트량을 350kgf/m^3 , 물-시멘트비(W/C)를 0.5, 잔골재율(s/a) 0.47로 일정하게 하고, 미분의 양을 5%, 10%, 15%로 변화시키면서, 감수제(Water reducer)와 고유동화제(Superplasticizer)로 목표 슬럼프를 12.7~15.2cm(5.0~6.0in)가 되도록 배합하여 실험하였으며, Case II에서는 C형, F형 플라이애쉬(Fly ash) 및 실리카흄(Silica fume)과 같은 혼화제(Mineral admixture)가 미분의 양에 따라 강도 및 건조수축에 어떠한 영향을 알아 보기 위해, 단위시멘트량을 350kgf/m^3 , 물-시멘트비(W/C)를 0.53, 잔골재율(s/a) 0.47로 일정하게 하고, 미분의 양을 5%, 10%, 15%로 변화시키면서, C형, F형 플라이애쉬를 20% 및 실리카흄을 10% 시멘트 대체하고, Case I에서 사용된 고유동화제로 목표 슬럼프를 12.7~15.2cm(5.0~6.0in)가 되도록 배합하여 실험을 수행하였다.

특히 Case I에서는 AE제(Air entraining agent)도 하나의 변수로 하여 실험을 수행하였으나 AE제로는 목표하는 슬럼프치를 얻을 수 없었기 때문에 AE제 변수는 제외하였다. 이때 Table 2a와 Table 2b는 Case I과 Case II의 배합표이다.

Table 1a. Mixing proportioning(Case I, kgf/m³)

Sand type	Cement	Water	Coarse aggregate (dry)	Fine aggregate (dry)
Natural	350	175	802.2	930.4
Crushed	350	175	975.8	781.3

Table 1b. Mixing proportioning(Case II, kgf/m³)

Sand type	Cement	Water	Coarse aggregate (dry)	Fine aggregate (dry)
Natural	350	185.5	802.2	930.4
Crushed	350	185.5	960.8	780.6

3. 건조수축 특성결과

본 실험에서는 7.5×7.5×27.5cm(3×3×11in) 크기의 빔 시편을 제작하여 ASTM C 157-93(Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete)에 따라 28일 동안 석회수(Lime saturated water)에 양생을 시킨 후 시편을 온도 23.0±1.7℃(73.4±3°F), 습도 50±4%, 400ml 글리핀 비커(Griffin low-form beaker)의 증발율(Rate of evaporation)이 13±5ml/24h인 건조실에서 건조시킨 후 4일, 7일, 14일, 24일 건조수축을 측정하였고, 이에 대한 Case I의 건조수축 결과는 Fig. 1a와 Fig. 1b이며, Case II의 건조수축 결과는 Fig. 2a, Fig. 2b, Fig. 2c, Fig. 2d이다.

Case I의 건조수축 결과를 분석하여 보면, Fig. 1a와 Fig. 1b에서 보는 바와 같이 천연모래를 사용한 것보다는 부순모래를 사용한 것이 더 큰 건조수축 결과를 보였으며, 미분의 양이 증가함에 따라 건조수축이 점점 증가함을 보여, 미분의 양이 건조수축에 매우 큰 영향을 미침을 알 수 있었으며, 혼화제로 감수제를 사용하는 것보다는 고유동화제를 사용한 것이 건조수축이 더 적은 결과를 보여, 미분을 함유하고 있는 부순모래를 사용할 경우에는 혼화제로서 감수제보다는 고유동화제를 사용하는 것이 건조수축에 더 이로움을 알 수 있었다. Case II의 건조수축 결과를 분석하여 보면, Fig. 2a, Fig. 2b, Fig. 2c와 Fig. 2d에서 보는 바와 같이 천연모래를 사용한 것보다는 부순모래를 사용한 것이 더 큰 건조수축 결과를 보였고, 미분의 양이 증가함에 따라 건조수축이 점점 증가하는 Case I과 마찬가지로 결과를 보였으며, 혼화제로 F형 플라이애쉬, 실리카흄을 시멘트 대체한 경우에는 대체하지 않은 경우와 거의 비슷한 결과를 보여 이와같은 혼화제로 시멘트를 대체하여 사용하여도 건조수축을 줄여 줄 수 없다는 것을 알 수 있었다. 또한 혼화제로 C형 플라이애쉬를 시멘트 대체하여 사용한 경우에는 혼화제를 대체하지 않은 경우와 다른 F형 플라이애쉬, 실리카흄을 시멘트 대체하여 사용한 경우보다 더 큰 건조수축 결과를 보여, 오히려 C형 플라이애쉬를 시멘트 대체하여 사용하는 경우에는 건조수축에 좋지 않은 결과를 주기 때문에, 미분을 다량 포함하고 있는 부순모래에 C형 플라이애쉬를 시멘트 대체하여 사용하는 경우에는 건조수축에 세심한 주의를 기울여야 할 것으로 사료된다.

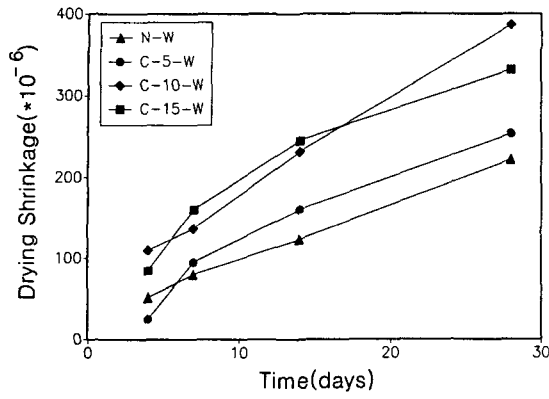


Fig. 1a. Drying shrinkage of concrete using water reducer

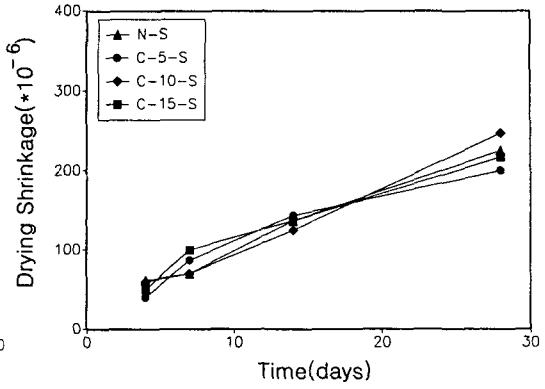


Fig. 1a. Drying shrinkage of concrete using superplasticizer

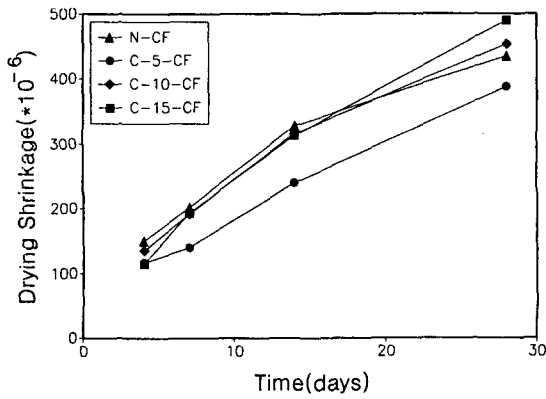


Fig. 2a. Drying shrinkage of concrete without mineral admixture

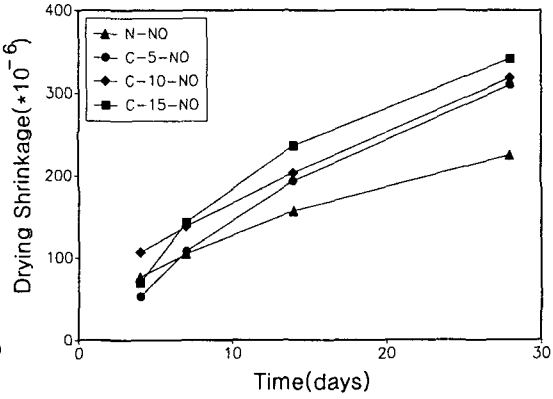


Fig. 2b. Drying shrinkage of concrete with 20% C fly ash

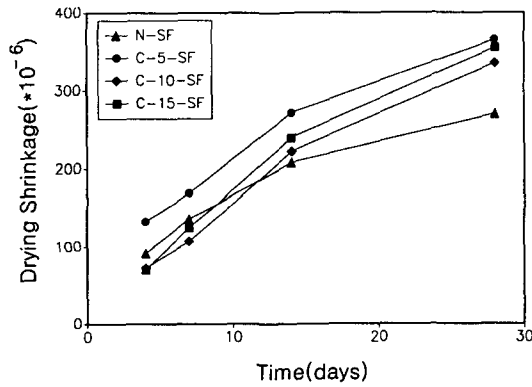


Fig. 2c. Drying shrinkage of concrete with 20% F fly ash

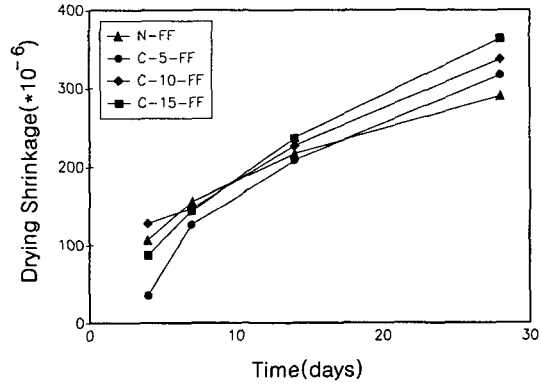


Fig. 2d. Drying shrinkage of concrete with 10% C fly ash

4. 결론

천연골재의 고갈로 인해 국내의 골재 부족현상은 심각한 상황에 직면해 있어, 천연골재를 대체할 수 있는 골재를 확보하는 것이 무엇보다 중요한데, 이러한 대안으로 해사를 사용할 수도 있으나, 해사는 염분을 함유하고 있어 철근콘크리트속의 철근을 부식시키고, 해사 또한 언젠가는 고갈될 수 있다는 한계가 있기 때문에 전국에서 채취 가능하고, 일정한 품질의 골재를 얻을 수 있다는 점을 고려한다면, 부순모래가 그 근본적인 대안이라 여겨진다. 그러나 양질의 콘크리트 품질을 확보하기 위해서는 먼저 부순모래에 대한 광범위한 연구가 이루어져야 하고, 특히 부순모래 생산시 10~20% 정도 차지하는 미분이 콘크리트에 어떠한 영향을 미치는 지에 대한 연구가 이루어져야 하나, 현재 국내에서는 이에 대한 연구가 미미한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 감수제 및 고유동화제와 같은 혼화제와 C형, F형 플라이애쉬와 실리카흄이 미분을 포함하고 있는 부순모래에 어떠한 영향을 미치는 지를 알아 보기 위해 두 부분으로 나누어 실험을 수행하였는데, 이에 대한 결론은 다음과 같다.

- ① 미분의 양이 5%, 10, 15% 증가할 수록 함수율은 점점 감소하는 경향을 보였는데, 이는 미분의 양이 증가할 수록 미분사이의 응집력이 커져 더 건조되어야 콘이 흘러내리는 표면건조포화상태가 되기 때문인 것으로 사료된다.
- ② 부순모래를 사용하는 경우에 미분의 양이 5%, 10%, 15% 증가함에 따라 압축강도는 점점 감소하는 경향을 보였고, 천연골재를 사용한 경우에 비해 약간 낮은 결과를 보여 다량의 미분을 포함한 부순모래를 사용할 경우에는 압축강도에 세심한 주의를 기울여야 할 것으로 사료된다.
- ③ 휨강도는 미분의 양이 5%, 10%, 15% 증가함에 따라 점점 증가하는 결과를 보였고, 천연골재를 사용한 경우보다 더 높은 결과를 보여, 부순모래의 미분은 휨강도 증진에 더 이롭게 작용하는 것으로 나타났다.
- ④ 부순모래에서 미분의 양이 점점 증가할 수록 건조수축은 점점 증가하는 경향을 보였고, 천연골재를 사용한 경우에 비해 더 큰 건조수축 결과를 보였기 때문에 다량의 미분을 포함한 부순모래를 사용할 경우에도 압축강도와 더불어 세심한 주의를 기울여야 할 것으로 사료된다. 또한 혼화제로서 감수제보다는 고유동화제를 사용한 경우가 더 적은 건조수축을 보였고, 혼화제로서 C형 플라이애쉬를 사용한 경우는 F형 플라이애쉬나 실리카흄을 사용한 경우보다 오히려 더 큰 건조수축 결과를 보여, 건조수축을 고려한다면 부순모래 사용시에는 혼화제로서 감수제보다는 고유동화제를, 혼화제로서 C형 플라이애쉬보다는 F형 플라이애쉬와 실리카흄을 사용해야 할 것으로 사료된다.

위와 같은 부순모래의 미분 양에 따른 압축강도, 휨강도, 건조수축 결과들은 앞으로 부순모래를 널리 사용하는데 있어 중요한 자료가 될 것으로 기대되나, 현재 외국에서는 부순모래 생산시 체가름을 하지 않고, 전체 골재를 한꺼번에 사용할 수 있는 방안을 연구하고 있어 우리도 이에 대한 연구가 시급히 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Nichols, F.P.Jr., "Manufactured Sand and Crushed Stone in Portland Cement Concrete," Concrete International, August 1982.
2. Bonavetti, V.L., and Irassar, E.F., "The Effect of Stone Dust Content in Sand," Cement and Concrete Research, Vol.24, No.3, pp.580~590, 1994.
3. Celik, T., and Marar, K., "Effects of Crushed Stone Dust on Some Properties of Concrete,"

- Cement and Concrete Research, Vol.26, No.7, pp.1121~1130, 1994
4. Fowler, D.W., and Constantino, C., "International Research on Fines in Concrete," International Center for Aggregates Research, 5th Annual Symposium, C2-4-1, 1997
 5. Ahn, N.S., "An Experimental Study on the Guidelines for Using Higher Contents of Aggregate Micro Fines in Portland Cement Concrete," Ph.D. Dissertation, The University of Texas at Austin, 2000
 6. 이도현, "부순모래의 제조와 부순모래 콘크리트의 특성," 한국레미콘공업협회, 제9회 레미콘기술세미나, pp.185~208, 1995
 7. 이도현, "콘크리트용 부순모래의 실용화방안 연구," 대한주택공사 주택연구소 보고서, 1996