

# 부순모래의 품질특성이 콘크리트의 배합인자 및 압축강도에 미치는 영향

## The Influence of the Properties of Crushed Stone Sand on the Mixing Factor and Compressive Strength of Concrete

홍지훈\*

염준환\*

최진만\*\*

정용\*\*\*

이성연\*\*\*\*

여병철\*\*\*\*

Hong, Ji Hoon Yum, Jun Haun Choi, Jin Man Jeong, Yong Lee, Seong Yeun Yeo, Byung Chul

### ABSTRACT

This study is aimed for investigating the influence of the properties of crushed stone sand on the mixing factor and compressive strength of concrete. The results of this study are as follows;

The influence of Particle Shape and Very Fine Sand(VFS) of crushed stone sand on the mixing factor was higher than Fineness Modulus.

The demand water of concrete with crushed stone sand was decreased about 12~18kg/m<sup>3</sup> with increasing 4% of Particle Shape and increased 8~15kg/m<sup>3</sup> with increasing 3% of ratio of Very Fine Sand(VFS).

### 1. 서론

현재 국내 골재자원은 부존량의 지속적인 감소와 함께 환경영향 평가 및 채취총량제 등의 규제가 강화되면서 양질의 천연골재의 안정적인 수급이 확보되지 못하고 있고 그 대체방안으로 부순모래의 사용이 급증하고 있는 실정이다. 그러나 콘크리트용 골재로서 부순모래의 사용을 위해서는 콘크리트의 배합인자 및 제반특성에 미치는 부순모래의 특성이 충분히 고려될 필요가 있다.

콘크리트 배합설계시 양질의 콘크리트를 얻기 위해서는 소요의 워커빌리티가 얻어지는 범위내에서 단위수량을 가능한한 작게하는 것이 기본이나 부순모래콘크리트는 배합설계시 부순모래의 잔입자함유량이 많고 입형이 거칠수록 단위수량이 증가되는 것으로 확인되고 있다.<sup>1)</sup> 이러한 결과들은 암종, 산지 및 제조방식에 따라 조립율, 입형, 잔입자함유량 등의 품질차이가 큰 부순모래의 특성에 기인한 것으로 콘크리트의 안정적인 품질확보와 경제적인 배합설계를 위해서는 초기 배합설계부터 부순모래의 품질변동에 따른 특성을 고려한 적절한 배합보정 방법이 확립되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 부순모래의 조립율, 입형판정실적율, 잔입자함유량의 수준값을 각각 3수준으로 설정하고 상호 교차시켜 제조한 총 27수준의 품질등급별 부순모래를 동일한 콘크리트 배합을 대상으로 사용하여 목표 슬럼프 및 공기량을 확보하기 위한 콘크리트의 단위수량 변화와 압축강도에 미치는 영향을 파악하였다. 또한 부순모래의 각 품질등급별로 결정된 콘크리트 최적배합중 잔골재를 변화에 따른 단위수량 변화와 압축강도와의 관계를 분석하여 향후 부순모래를 사용한 콘크리트의 배합보정 방법 마련을 위한 기초자료를 제시하였다.

\* 정희원, (주)삼표 기술연구소 연구원

\*\* 정희원, (주)삼표 기술연구소 선임연구원

\*\*\* 정희원, (주)삼표 기술연구소 책임연구원

\*\*\*\* 정희원, (주)삼표 전무, 공박

## 2. 실험

### 2.1 실험개요

실험에 사용된 부순모래 품질의 수준(총 27수준)은 표 1과 같다. 콘크리트의 요구성능 및 배합은 표 2에서와 같이 설계기준강도 24MPa를 목표로 물결합재비는 0.52로 설정하였고 슬럼프 18±0.5cm, 공기량 5.5±0.5%를 만족하도록 단위수량 및 공기연행제 사용량을 결정하였다. 또한, 사용된 부순모래의 품질별로 잔골재율을 47, 49, 51%의 3수준으로 변화시켜 잔골재율 변화에 따른 단위수량 변화의 검토와 함께 모든 배합별(81개 배합)로 Ø10×20cm의 압축강도 공시체를 제작하여 소요 재령까지 20±3℃의 수중에서 양생시킨 후 3, 7, 28일 재령별로 압축강도를 비교 검토하였다.

표 1 부순모래의 품질등급

| 물성항목       | 품질등급          | 수준수 |
|------------|---------------|-----|
| 조립율        | 2.7, 3.0, 3.3 | 3   |
| 잔입자 함유량(%) | 2.0, 3.5, 5.0 | 3   |
| 입형판정실적율(%) | 53, 55, 57    | 3   |

총 27수준

표 2 콘크리트의 요구성능 및 배합변수

| 항목          | 목표값     | 배합변수                                  |
|-------------|---------|---------------------------------------|
| 설계기준강도(MPa) | 24      | 물결합재비(W/B):0.52<br>잔골재율(%):47, 49, 51 |
| 슬럼프(cm)     | 18±0.5  |                                       |
| 공기량(%)      | 5.5±0.5 |                                       |

### 2.2 콘크리트 사용재료 및 혼합방법

실험에 사용된 결합재는 KS L 5201에 규정된 S사의 보통포틀랜드시멘트(비중 3.14)에 충남 당진산의 플라이애쉬(비중 2.30)를 15%로 치환하여 사용하였다. 한편, 굵은골재는 표건비중 2.63, 흡수율 0.77%, 조립율 6.98의 남양산 화강암 부순돌(최대크기 25mm)을 사용하였고, 잔골재는 표건비중 2.62, 흡수율 0.93%의 남양산 석분을 그림 1과 같은 부순모래 생산설비(Impact Crusher)에 투입, 분쇄하여 27수준의 품질등급별로 제조하여 사용하였다. 사용된 부순모래의 입형판정실적율, 조립율, 잔입자함유량의 측정결과는 표 3과 같다. 혼합제로는 나프탈렌계 감수제를 결합재에 대하여 0.5%로 고정시켜 사용하였고 공기연행제는 5.5±0.5%의 공기량을 확보하기 위한 최적사용량을 결정하여 사용하였다. 콘크리트 혼합방법은 잔골재와 결합재를 우선 투입하여

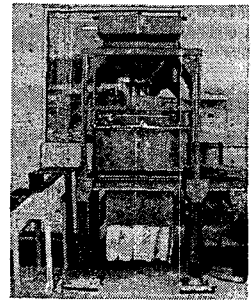


그림 3 Impact Crusher 건비빔하고 굵은 골재를 투입하여 추가 건비빔한 후, 혼합제를 물에 섞어 투입하는 방법으로 하였다.

표 3 사용된 부순모래의 품질시험 결과

| 항목                  | 입형판정 실적율 (%) | 조립율  | 잔입자 함유량 (%) | 항목                  | 입형판정 실적율 (%) | 조립율  | 잔입자 함유량 (%) | 항목                  | 입형판정 실적율 (%) | 조립율  | 잔입자 함유량 (%) |
|---------------------|--------------|------|-------------|---------------------|--------------|------|-------------|---------------------|--------------|------|-------------|
| SI <sup>*)</sup> 53 | 53.2         | 2.73 | 1.92        | SI <sup>*)</sup> 55 | 54.9         | 2.75 | 1.98        | SI <sup>*)</sup> 57 | 57.0         | 2.68 | 1.96        |
|                     | 53.2         | 2.77 | 3.56        |                     | 54.9         | 2.75 | 3.48        |                     | 57.0         | 2.76 | 3.58        |
|                     | 53.2         | 2.76 | 5.35        |                     | 54.9         | 2.77 | 5.13        |                     | 57.0         | 2.75 | 5.19        |
|                     | 53.4         | 2.94 | 1.89        |                     | 55.0         | 2.96 | 2.09        |                     | 57.0         | 3.06 | 2.13        |
|                     | 53.4         | 3.05 | 3.58        |                     | 55.0         | 3.05 | 3.58        |                     | 57.0         | 3.02 | 3.48        |
|                     | 53.4         | 2.98 | 5.14        |                     | 55.0         | 3.02 | 5.03        |                     | 57.0         | 3.00 | 5.22        |
|                     | 53.3         | 3.27 | 2.19        |                     | 55.0         | 3.38 | 2.09        |                     | 57.0         | 3.31 | 2.03        |
|                     | 53.3         | 3.31 | 3.53        |                     | 55.0         | 3.36 | 3.58        |                     | 57.0         | 3.29 | 3.61        |
| 53.3                | 3.33         | 5.32 | 55.0        | 3.34                | 5.29         | 57.0 | 3.37        | 5.45                |              |      |             |

주) SI<sup>\*)</sup>로 표시된 값은 골재 품질등급 수준을 구분하기 위하여 입형판정실적율(Shape Index)을 기준으로 구분하여 나타낸 것임.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 입형판정실적율과 단위수량

그림 2는 입형판정실적율 변화에 따른 단위수량 변화를 나타낸 것이다. 전반적으로 입형판정실적율

이 53%에서 57%로 증가함에 따라 12~18kg/m<sup>3</sup>정도의 단위수량이 감소됨을 알 수 있다. 그 감소율은 입형판정실적율이 2%씩 증가함에 따라 약 4.2%정도 감소되는 선형비례적인 결과를 나타내고 있으며 입형판정실적율 53%의 경우, 건축공사표준시방서에 규정된 단위수량 최대값인 185kg/m<sup>3</sup>을 대부분 상회한 반면 입형판정실적율 55%이상에서는 185kg/m<sup>3</sup>이하의 결과를 보였다. 따라서 콘크리트의 내구성 및 품질 확보를 위해서는 입형판정실적율이 53%보다 높게 확보되어야 할 것으로 판단된다.

### 3.2 조립율과 단위수량

그림 3은 부순모래의 조립율을 2.7에서 3.0, 3.3으로 0.6의 변화에 따라 슬럼프 18±0.5cm, 공기량 5.5±0.5%의 프레쉬 물성을 만족시키기 위한 단위수량 변화를 나타낸 것이다. 전체적으로 조립율이 증가됨에 따라 2~4kg/m<sup>3</sup>의 단위수량 감소를 나타내었으나 입형판정실적율의 영향보다는 적은 폭의 단위수량 변화를 보였다. 그러나 본 실험의 결과는 조립율 설정범위를 2.7에서 3.0, 3.3로 하여 검토한 결과로서 현재 콘크리트 표준시방서에 제안되어 있는 2.3~3.1의 범위에서 검토된다면 단위수량의 변화폭은 다소 커질 것으로는 예상되어지나 현격한 증감은 나타나지 않을 것으로 판단된다.

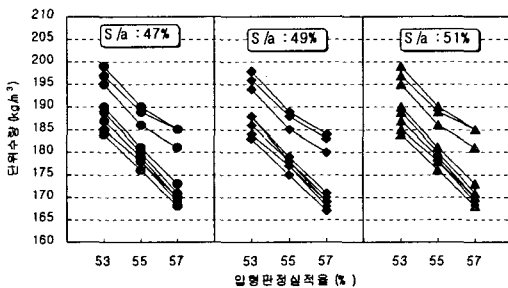


그림 4 입형판정실적율과 단위수량과의 관계

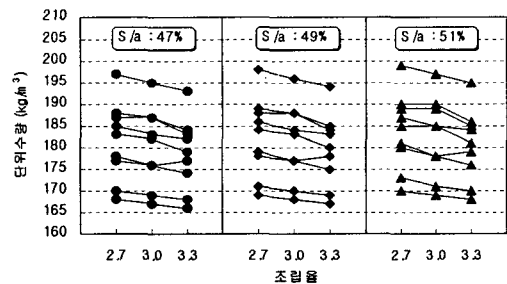


그림 5 조립율과 단위수량과의 관계

### 3.3 잔입자함유량과 단위수량

그림 4는 잔입자함유율의 변화에 따른 단위수량 변화를 나타낸 것으로 전반적으로 잔입자함유율이 2.0%에서 5.0%로 3%증가함에 따라 8~15kg/m<sup>3</sup>정도 증가하는 결과를 보이고 있으며 그 경향은 잔입자함유율이 2.0%에서 3.5%로 1.5%증가한 경우에는 2~4kg/m<sup>3</sup>의 증가를 보인 반면 3.5%에서 5.0%로 증가한 경우에는 8~13kg/m<sup>3</sup>의 약 4배 정도의 급격한 단위수량 증가를 보였다. 이는 잔입자함유량이 많아짐에 따라 골재 전체의 비표면적이 커지고 골재표면에서의 흡착수량이 증대되어 유동성 확보를 위한 단위수량이 상대적으로 증가된 결과로 판단되어지고 특히, 잔입자함유율이 3.5%에서 5.0%로 증가한 경우에는 잔입자끼리의 응집으로 인해 콘크리트의 유동성이 현저히 떨어진 것으로 판단된다. 한편 그림 4에서 원으로 나타낸 부분은 입형판정실적율 55%의 부순모래를 사용한 결과들중 잔입자함유율이 2.0%에서 3.5%로 증가한 경우에 오히려 단위수량이 감소되는 결과를 나타낸 것으로 이는 매트릭스상의 잔입자가 골재간의 불베어링 역할을 원활하게 함에 따라 유동성이 개선된 것에 의한 것으로 판단된다. 따라서 입형판정실적율 및 잔입자함유량과 콘크리트의 프레쉬 물성간에는 최적비의 관계가 존재하는 것으로 판단되고 고유동콘크리트와 같은 높은 유동성 및 점성이 요구되는 경우에는 보다 민감한 영향인자로 작용될 것으로 생각된다.

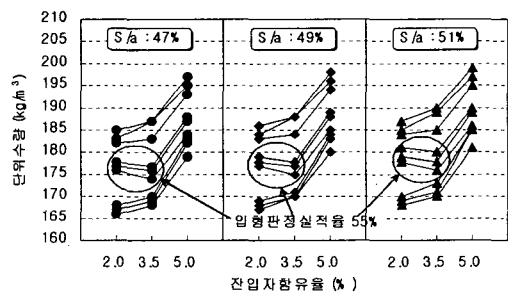


그림 6 잔입자함유율과 단위수량과의 관계

### 3.4 잔골재율 변화에 따른 단위수량

부순모래의 품질특성별(입형판정실적율, 잔입자함유량, 조립율)로 잔골재율을 47, 49, 51%로 변화시켜 결정된 단위수량 변화를 그림 2, 3 및 4에 나타내었으며 잔골재율 2% 증가에 따라 프레스시 물성을 만족시키기 위한 단위수량도 1~2kg/m<sup>3</sup>의 증가를 보이고 있어 잔골재율 변화에 따른 단위수량의 증감율은 크지 않음을 알 수 있다.

### 3.5 강도 특성

그림 5는 부순모래의 27수준의 품질등급에 따라 결정된 콘크리트 배합을 대상으로 재령 28일 압축강도를 측정한 결과이다. 본 실험에서의 콘크리트 배합은 동일 물결합재비(0.52)에서 단위수량의 변화에 따라 단위시멘트량도 변화되어 결정된 배합들로서 각 수준별로 강도차이가 나타나고 있으나 전반적으로 설계기준강도 24MPa를 상회하는 결과를 확인할 수 있다. 그러나 강도보정을 고려할 때 일부 미달되는 결과들도 나타나고 있어 이 경우에는 배합상의 보정이 필요한 것으로 판단된다. 한편 잔골재율 변화에 따른 강도는 잔골재율을 증가에 따라 강도가 다소 낮아지는 경향을 보이고 있다. 이는 골재 전체의 비표면적이 증대됨에 따라 골재간 공극조직의 증가와 골재계면의 부착성 저하에 의한 것으로 판단되며 이에 대한 보다 세밀한 연구검토의 필요성이 있는 것으로 생각된다.

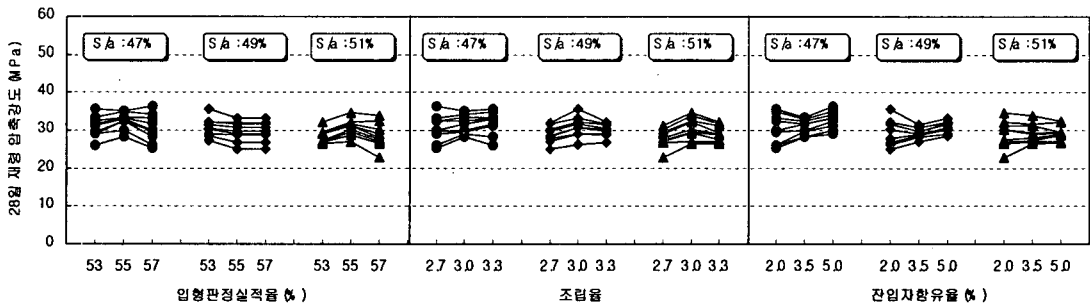


그림 7 28일 재령에서의 압축강도

## 4. 결론

부순모래의 품질차이가 콘크리트의 배합인자 및 압축강도에 미치는 영향을 검토한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 콘크리트의 배합설계시 단위수량에 미치는 부순모래 품질의 영향은 입형판정실적율, 잔입자함유량의 영향이 가장 큰 것으로 나타났으며 조립율의 영향은 다소 작은 것을 확인하였다.
- 2) 입형판정실적율과 단위수량과의 관계는 53%에서 57%로 증가함에 따라 12~18kg/m<sup>3</sup>정도 감소되었으며 잔입자함유율은 2.0%에서 5.0%로 3%증가함에 따라 8~15kg/m<sup>3</sup>정도의 단위수량이 증가하는 것으로 나타나 이 2가지 물성이 콘크리트의 배합에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있었다.
- 3) 입형판정실적율과 잔입자함유율과의 관계는 콘크리트 배합특성에 따라 최적 존재비가 다르게 존재하는 것으로 판단되고 그 조합비에 따라 적절히 활용함으로써 콘크리트의 다양화에 부합하는 효율적인 배합설계를 이룰수 있는 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. Ahmed, A. E., and El-Kor\urd, A.A., "Properties of Concrete Incorporating Natural and Crushed Stone Very Fine Sand", ACI Materials Journal, Proceedings Vol. 86, No.4, July-August 1989, pp.417-424.