

초유동 콘크리트의 유동 성능에 미치는 배합요인의 영향

Effect of mix proportion on the flowing characteristics of super-flowing concrete

노 재 호* 한 정 호* 백 명 종** 이 보 근*** 박 기 청****
Noh, Jae-Ho Han, Chung-Ho Baeg, Myung-Jong Lee, Bo-Guen Park, Ki-Cheong

Abstract

Recently super-flowing concrete has been developed and used in many construction sites in Japan. It is believed that super-flowing concrete will change the construction method and contribute to the durability of concrete structures.

In this study the effect of mix proportion on the flowing characteristics of super-flowing concrete was investigated to establish the mix design method.

From the result we have found that self-compactability of super-flowing concrete was greatly affected by the unit gravel volume and paste/gravel volume ratio. Therefore the two parameters can be used in mix design of super flowing concrete.

1. 서론

콘크리트 현장 타설시 바이브레이터 등을 이용한 진동다짐이 전혀 필요 없는 충전능력이 우수한 초유동(고유동) 콘크리트에 관한 연구와 시공이 일본에서 활발하게 이루어지고 있다. 초유동 콘크리트는 향후 건설 공사에 대폭적인 혁신을 일으킬 것으로 예상되며 구조물의 내구성 향상에도 크게 기여할 것으로 기대되고 있다.

필자들은 시멘트, 슬래그 미분말, 플라이애쉬를 결합재로 사용한 3성분계 초유동 콘크리트를 개발한 이후⁽¹⁾, 재료 입수가 보다 용이한 플라이애쉬를 사용한 2성분계 초유동 콘크리트의 개발을 진행해 왔다.

본 논문은 초유동 콘크리트의 배합설계법 확립을 위한 기초자료를 얻기 위하여 플라이애쉬를 사용한 2성분계 초유동 콘크리트의 제조에 있어서 각종 배합요인이 유동성능에 미치는 영향에 관한 연구 결과를 정리한 것이다.

* 동양중앙연구소 주임연구원
** 내우건설기술연구소 연구원
*** 내우건설기술연구소 선임연구원
**** 동양중앙연구소 수석연구원

2. 실험계획

2.1 실험재료

실험에 사용한 재료를 표 1에 나타내었다. 플라이애쉬는 보령 화력발전소산을 사용하였고, 고성능감수제는 국내 시판중인 나프탈렌계 표준형을 사용하였다.

표 1. 사용재료의 물성

사용재료	기 초 물 성
시멘트	보통 포틀랜드 시멘트 비중 3.15 블레인 3315cm ² /g 28일 압축강도 406kgf/cm ²
플라이 애쉬	보령 화력발전소산 비중 2.21 블레인 4201cm ² /g 강열감량 5.49%
간결재	헤사(세척사) 비중 2.58 조립율 2.73 실적율 60.5%
굵은골재	쇄석, 최대치수 19mm 비중 2.61, 조립율 6.82, 실적율 57.8%
고성능 감수제	나프탈렌계, 표준형

2.2 실험 개요

배합요인이 초유동 콘크리트의 유동성능에 미치는 영향을 파악하기 위하여 단위수량, 잔골재율, 고성능감수제 첨가율을 조정한 경우의 유동특성 변화를 측정하였다.

예비실험을 통하여 물결합재비 및 플라이애쉬 첨가율은 각각 $W/(C+FA) = 35\%$, $C:FA=7:3(\text{wt})$ 으로 고정하였다. 고성능감수제는 슬럼프 플로우가 $65\pm 5\text{cm}$ 가 되도록 첨가율을 조정하였다. 배합요인별 조정범위는 표 2에 간략히 나타내었다.

유동특성의 평가를 위하여 슬럼프 플로우, 박스 충전성 시험(좌우 높이차), O형 깔대기 시험(시료 낙하시간)을 실시하였고, 아울러 철근 과밀 배근을 모사한 L형 충전성 시험장치를 사용하여 각 배합의 충전성을 종합적으로 판단하였다.(그림 1 참조)

L형 충전성 시험에 의한 충전성능의 판단은 충전속도 및 최종 충전상태를 기준으로 육안관찰에 의해 우수(excellent), 양호(good), 불량(bad)의 3수준으로 구분하였다.

재료는 1회 40 리터를 비빔량으로 하여 강제식 팬 믹서(용량 100 리터)를 사용하여 그림 2와 같은 순서로 혼합하고 배출 즉시 각 평가시험을 실시하였다.

표 2. 배합요인별 조정 범위

배합 요인	조정범위	고정 배합 요인
단위수량(kg/m^3)	170-195	$W/(C+FA)=35\%$
잔골재율 (%)	43-53	$C:FA=7:3(\text{wt.})$
고성능감수제 [[$(C+FA)\times\%$]]	0.8-1.5	slump flow = $65\pm 5\text{ cm}$

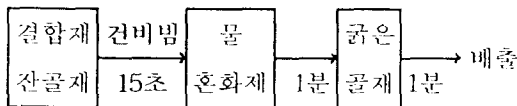
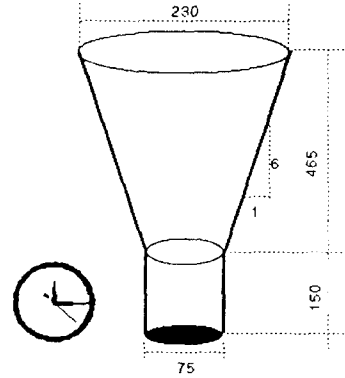
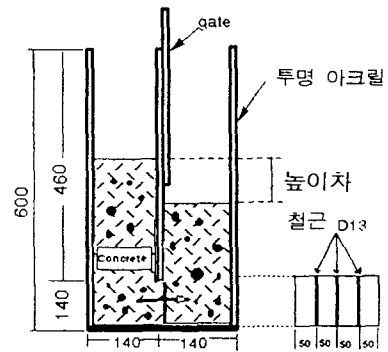


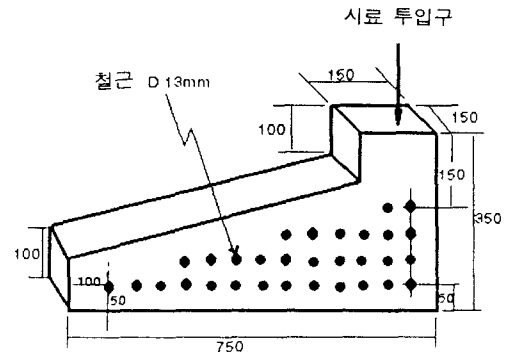
그림 2. 콘크리트 비빔 방법



(a) O형 깔대기 시험



(b) 박스 충전성 시험



(c) L형 충전성 시험

그림 1. 유동특성 평가 시험장치

3. 실험결과 및 고찰

3.1 단위 조골재량의 영향

그림 3에 단위 조골재 용적 변화에 따른 박스 충전성 시험결과를 나타내었다. 박스 충전성 시험에 의한 좌우 높이차(단차)는 조골재 절대량의 영향을 크게 받고 있음을 알 수 있다. 특히 단위 조골재 용적이 늘어날 수록 충전성이 급격히 저하하는 한계점이(한계 조골재 용적 V_{glim} 315리터 부근) 존재하였다.

또한 한계 조골재 용적(V_{glim}) 이하에서 박스 시험 결과가 5cm 이하인 값을 나타내는 배합들 중에서도 L형 충전성 시험(이하 L-test)에서는 조골재량이 적을 수록 보다 우수한 충전능력을 나타내었다.

따라서 철근이 과밀 배근되어 있는 부재나 복잡한 형상의 거푸집에 콘크리트가 다설되는 경우에 양호한 충전능력을 발휘하기 위해서는 콘크리트중의 조골재 용적을 일정 한도 이하로 줄임으로써 콘크리트의 유동 과정에서 발생하는 조골재간 응집이나 맞물림 현상을 저감시킬 수 있을 것으로 예상된다.

그림 4에 조골재량 변화에 대한 O형 깔대기 시험결과를 나타내었다. 박스 시험의 V_{glim} 이상에서 결과의 편차가 심하게 나타나고 있는데 이와 같은 결과는 O형 깔대기에 의한 낙하시간이 조골재량뿐만 아니라 몰탈의 레올로지 변화와도 관련이 있기 때문인 것으로 판단된다.⁽²⁾

이러한 몰탈의 레올로지 변화는 박스시험에 의한 최종 높이차만으로는 평가하기 힘들고 깔대기 시험이나 L-test 의한 비교를 통하여 배합간의 상대적인 평가가 가능할 것으로 사료된다.

본 실험에 사용한 L-test는 박스 시험에 비하여 상대적으로 정성적인 평가방법임에도 불구하고 철근배근 조건은 더 가혹한 조건이기 때문에 조골재량 및 몰탈의 레올로지 차이에 의한 충전성능의 우열이 더 잘 나타나는 것으로 판단된다.

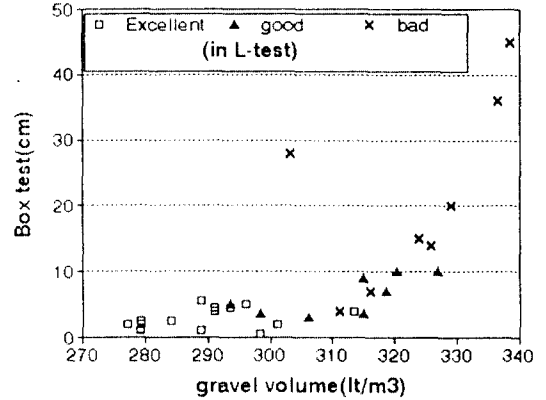


그림 3. 조골재량 변화에 따르는 충전성능

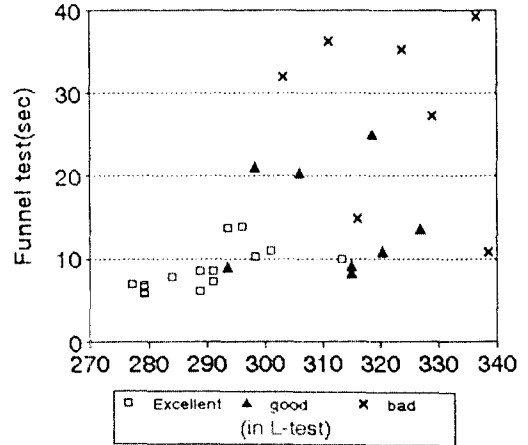


그림 4. 조골재량 변화에 따르는 낙하시간

3.2 페이스트/조골재 용적비의 영향

그림 5에 나타낸 바와 같이 O형 깔대기 시험에 의한 시료의 소요 낙하시간은 조골재에 대한 페이스트 용적비(이하 V_p/V_g)와 큰 상관성을 갖고 있음을 알 수 있다. 단위 조골재량이 많은 배합일지라도 상대적으로 페이스트량이 많은 배합은 유하시간이 짧게 나타났다.

즉 잔골재율(S/A)을 줄여서 조골재량이 늘어난 배합의 경우 몰탈중의 상대 페이스트 용적

을 증가시킴으로써 낙하시간을 줄일 수 있다. (그림 6 참조)

이와 같은 결과는 조골재 사이에 존재하는 모탈의 레올로지 차이에 의한 영향으로 판단되며⁽³⁾, 모탈의 레올로지 성질(항복치, 소성점도)에 따라 양호한 충전성을 나타내는 한계 조골재량(Vg)이나 Vp/Vg 값은 달라질 것으로 예상된다. 따라서 페이스트, 모탈의 레올로지와 조골재 체적농도와와의 관계를 정량적으로 파악하기 위해서는 보다 물리적인 의미를 가진 레올로지 정수를 도입하여 고찰할 필요가 있을 것으로 판단되며 향후 이에 대한 자세한 검토가 필요하다.

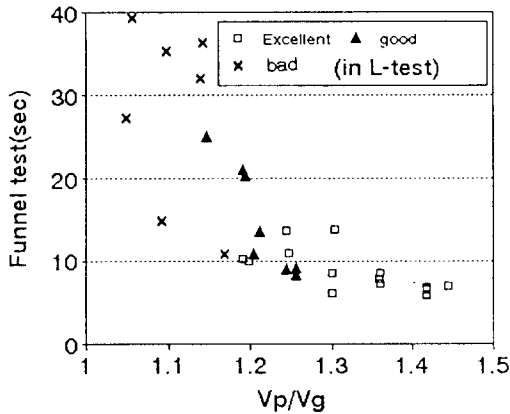


그림 5. 페이스트/조골재 용적비와 낙하시간과의 관계

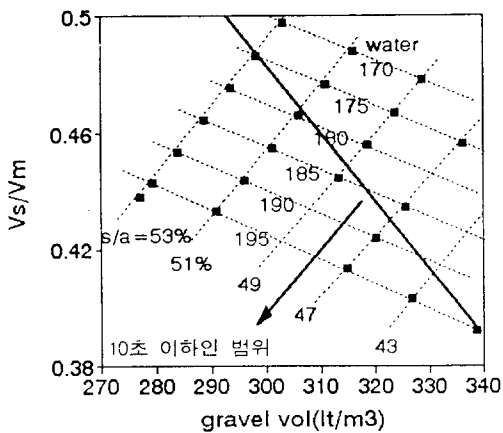


그림 6. 배합요인과 낙하시간

O형 깔대기에 의한 유동특성의 평가는 조골재 절대량 뿐만 아니라 모탈의 레올로지에 의한 영향까지도 상대적으로 평가할 수 있는 시험법으로 이용할 수 있다고 판단된다.

L-test에 의해 양호한 충전성을 나타내는 배합은 Vp/Vg가 1.2 이상에서 유하시간이 15초 미만인 배합에서 나타났다.

3.3 유동성 평가법과 배합요인

그림 7과 8에 실험 과정에서 슬럼프 플로우가 65±5cm 범위를 벗어나는 배합을 포함한 전체 시험배합의 결과를 나타내었다.

양호한 충전능력을 나타내는 초유동 콘크리트는 O형 깔대기 시험과 박스 시험 결과가 각각 15초 이내와 단차 5cm 이내인 배합에서 나타났다. 특히 슬럼프 플로우가 60cm 미만인 배합의 경우 Vg와 Vp/Vg가 적정 범위에 들어도 유동성 부족에 의해 충전성이 저하하는 현상이 관찰되었다.

또한 슬럼프 플로우 65±5cm를 얻기 위한 각 배합에서의 고성능 감수제 첨가율은 새골재 율과는 상관없이 단위수량(결합재량) 증가에 따라 약간 줄어드는 경향을 나타내었다.(그림7 참조)

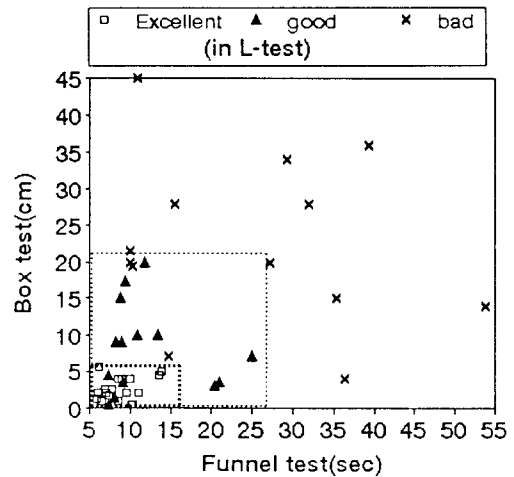


그림 7. 초유동 콘크리트의 유동특성 평가결과

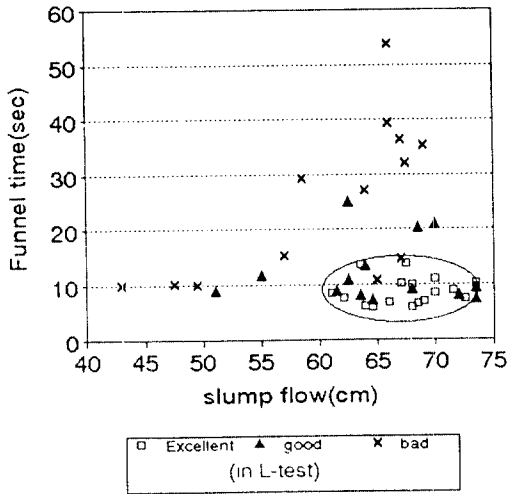


그림 8. 초유동 콘크리트의 유동특성 평가결과

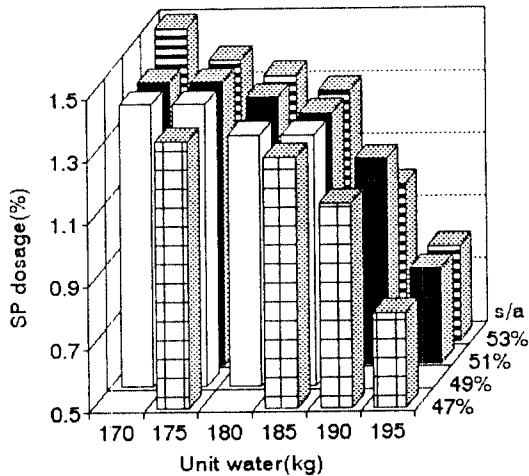


그림 9. 단위수량과 고성능감수제 첨가율

3.4 초유동 콘크리트의 배합설계

충진성이 양호한 초유동 콘크리트를 제조하기 위해서는 목표하는 물성을 나타내는 최적의 배합설계가 요구된다.

본 실험의 조건에서 양호한 충진성을 나타내는 초유동 콘크리트를 제조하기 위해서는 막스 시험에 의해 한계 조골재량(V_{glim})을 결정하고

깔대기 시험에 의해 V_p/V_g 를 결정함으로써 최적배합을 결정할 수 있을 것으로 판단된다.

그림 10은 본 실험의 조건에 의해 결정된 한계 조골재량과 V_p/V_g 값을 배합요인과 관련하여 나타낸 것으로서 그림의 좌상한이 초유동 콘크리트를 제조할 수 있는 최적 배합의 범위로 판단된다.

본 연구에서는 물결합제비와 플라이애쉬 첨가율을 고정시킨 조건하에서 나머지 배합요인을 검토하였으나 향후 페이스트 특성에 의한 영향도 함께 검토할 예정이며 각 재료별 특성 과도 연결시켜 초유동 콘크리트의 배합설계법을 확립해 나갈 계획에 있다.

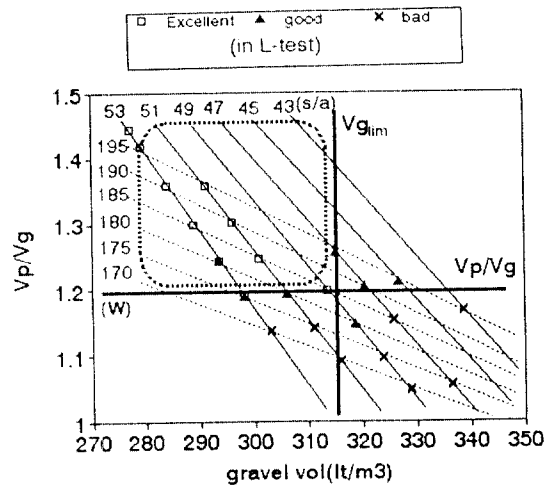


그림 10. 초유동 콘크리트의 최적 배합 범위

4. 결 론

(1) 충진능력은 단위 조골재량에 직접적인 영향을 받고, 양호한 충진성을 나타내는 조골재량의 최대치(V_{glim})가 존재한다.

(2) 깔대기 시험은 페이스트/조골재 용적비 (V_p/V_g)에 따라 변동하며 빠른 낙하시간을 나타내기 위해서는 V_p/V_g 가 커야 한다.

(3) 양호한 충진성을 나타내는 한계조골재량과 페이스트/조골재 용적비는 물탈의 레올로지와 관련시켜 고찰할 필요가 있다.

(4) 충전성이 양호한 초유동 콘크리트의 최적배합은 V_{glim} 와, V_p/V_g 의 한계를 이용하여 그 범위를 구할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 건설부 국책과제 ‘초유동 콘크리트 개발 및 실용화’ 연구의 일부로서 이루어졌음을 밝히고 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

- (1) 조일호 외 3인, “고성능 콘크리트 개발에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트 학회 논문집, 제 5권, 2호, pp.51-56, 1993
- (2) 松尾茂美, 小澤一雅, “自己充填コンクリートの充填性に及ぼす粗骨材特性の影響”, 콘크리트工学年次論文報告集, Vol. 16, No. 1, pp.165-168, 1994
- (3) 名和豊春 外 3人, “高流動コンクリートの配合と流動性に関する一考察”, 콘크리트工学年次論文報告集, Vol. 14, No.1, pp.369-374, 1992