

超流動 콘크리트의 配合設計에 關한 研究

The Study on the Mix Design of the Super Flowing Concrete

권영호* 이상수** 안재현*** 박철림****
Kwon, Yeong Ho Lee, Sang Soo Ahn, Jae Hyun Park, Chil Lim

Abstract

In this paper, the mix design of the super flowing concrete is described with respect to basic concept, confined water ratio(β_c), volume ratio of water-binder(w/b), volume ratio of fine aggregates(S) and coarse aggregates(G). The primary purposes of this study are to evaluate the effects of cementitious materials(fly ash, slag cement, portland cement), mixing factors(β_c , w/b, S, G), and to propose the mix design method of the super flowing concrete.

As results of this study, confined water ratio(β_c) of cementitious materials is very high (0.99~1.1), and then the ranges of the optimum mixing factors to be satisfied with the super flowing concrete are S: 47±2%, G: 52±1%.

1. 序 論

1.1 연구배경

초유동 콘크리트는 1980년대 후반에 일본의 동경대 岡村교수가 다짐 불필요의 고내구성 콘크리트 로 "High Performance Concrete"의 개념을 발표⁽¹⁾한 이래, 많은 발전을 거듭해 왔으며 국내에서도 건설교통부 국책과제로 1994년 "超流動 콘크리트의 開發 및 實用化 研究"가 시작되어 연구성과⁽²⁾⁽³⁾가 일부 발표되기도 하였다.

초유동 콘크리트의 개발배경은 콘크리트 품질결합의 誘發要因을 인력에 의한 타설 및 다짐작업으로 간주하여, 이를 개선하면 콘크리트의 품질이 확보된다는 것이며 또한, 이를 통해 인력절감, 산업부산물 的 再活用을 달성할 수 있고, 향후 사용성이 높기 때문에 學界 및 建設業界, 材料業界 등의 관심이

* 정회원, (주)대우건설기술연구소 선임연구원

** 정회원, (주)대우건설기술연구소 주임연구원

*** 정회원, (주)대우건설기술연구소 건축연구실장

**** 정회원, (주)대우건설기술연구소 소장·공박

집중되고 있는 실정이다.

이러한 연구동향을 분석해 보면, 일본의 경우 1995년 후반까지 28개 건설회사가 각종 초유동 콘크리트의 개발에 착수하였으며, 국내에서도 '94년 건설교통부의 국책과제를 수행하고 있는 (주)大宇 建設技術研究所, 東洋中央研究所 및 韓國科學技術院 등에서 실용화 연구의 일환으로 현장에 적용한 사례가 있으며, 또한 수원대, 충남대, 청주대, 경북대 및 건설업체 등에서 개발연구를 시작하고 있다. 이처럼 초유동 콘크리트가 주목을 받는 배경은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- ① 건설공사의 不實防止 및 구조물의 品質向上
- ② 콘크리트의 高流動·高強度·高耐久化
- ③ 건설현장 작업자의 고령화·숙련공의 부족(3D 현상) 및 인력절감
- ④ 구조물의 大型化·高層化·特殊化 및 다짐작업이 어려운 구조물의 증대

그러나, 초유동 콘크리트는 일반 콘크리트에 비해 매우 특수한 콘크리트이기 때문에, 배합·제조·품질선정·현장시공 등에 있어서 매우 엄격한 품질관리 및 기술력이 필요하다. 따라서, 초유동 콘크리트를 汎用化시키기 위해서는 초유동 콘크리트의 사용재료, 기본적인 성능범위 및 배합설계법 등에 관한 새로운 접근이 필요하며, 이에 대한 규명이 요구되고 있는 실정이다.

1.2 연구목적

국내의 초유동 콘크리트 개발경향은 재료 및 배합설계의 평가없이 일반 콘크리트와 동일한 방법으로 요구되는 기본성능을 확보하기 위한 단계에 머물러 있다. 초유동 콘크리트가 일반 콘크리트와 전혀 다른 接近方法이 필요하다는 것을 대부분 認知하고 있으면서도 일반 콘크리트의 材料評價 및 配合設計法을 사용하는 것은 모순이며, 이에 대한 기본적인 연구가 필요한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 초유동 콘크리트에 사용되는 재료평가 및 배합설계 단계를 제시하고 이에 따른 실험결과를 연관지어 이론화하는 방안을 연구목적으로 한다.

2. 초유동 콘크리트의 배합설계

2.1 配合設計의 기본개념

본 연구의 초유동 콘크리트는 분체형 2성분계에 국한시켜 증점제 및 3성분계는 제외하였으며, 분체의 경우 플라이애쉬를 주대상으로 하였다. 配合設計의 기본개념은 콘크리트의 流動性·充填性·材料分離 抵抗性を 만족시키기 위한 것으로 배합수, 시멘트, 잔골재, 굵은골재, 공기량의 比率 및 필요한 高性能 減水劑와 AE劑의 사용량을 산정하는 것이다. 따라서, 시멘트와 잔·굵은골재 및 고성능 감수제가 要求性能을 만족한다면 자동적으로 소요의 耐久性을 만족하는 것으로 간주한다. 초유동 콘크리트의 배합설계 개념도는 그림 1과 같다.

2.2 잔골재 容積比

잔골재에는 시멘트와 같이 분체의 거동을 나타내는 미립자가 함유될 수 있기 때문에 이러한 영향을 고려하여 배합설계를 해야 한다. 따라서, 입경이 0.06mm以下인 微粒 잔골재는 분체로 간주하며 그 이상의 입경은 일반 잔골재로 분류한다. 잔골재의 容積은 초유동 콘크리트의 充填性能에 큰 영향을 미치기 때문에 이를 적절히 선정하는 것이 중요하다. 잔골재 용적비는 전체 모르타르에서 잔골재가 차지

하는 容積比로 다음식에 의해 산정한다.

$$\text{잔골재 용적비}(S) = (S/M)/(1-S_m) \dots\dots\dots(\text{식 } 1)$$

여기서, S : 잔골재 용적, M : 모르타르 용적, S_m : 잔골재에서 0.06mm미만인 입자의 비율.

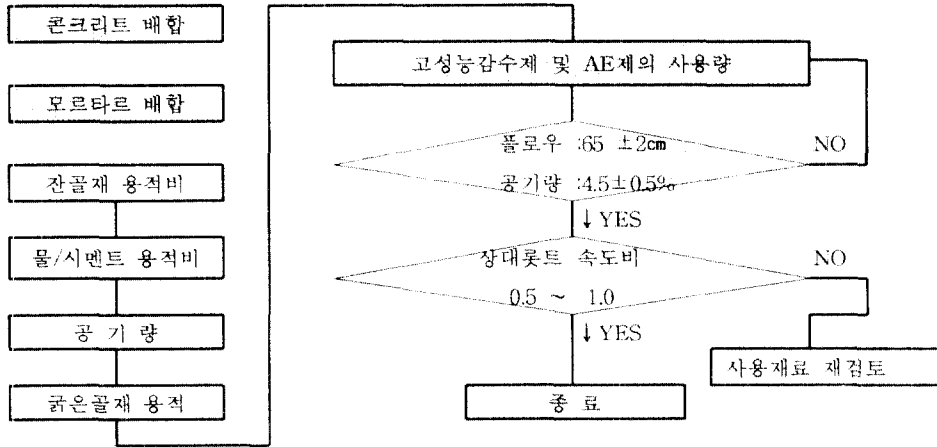


그림 1 초유동 콘크리트의 배합설계 순서

2.3 물/시멘트 容積比

초유동 콘크리트에 필요한 단위수량은 시멘트 또는 분체입자가 구속하는 단위수량, 즉 유동에 기여하지 못하는 水量을 먼저 산정해야 한다. 이러한 단위수량을 拘束水量이라 하며 분체입자가 구속하는 수량의 비, 즉 拘束水比는 표 1의 방법으로 산정한다.

표 1 시멘트(또는 분체)의 拘束水比 산정방법

페이스트의 플로우시험	물/시멘트 용적비 1.1~1.4(4종)인 페이스트의 플로우 시험
↓	
相對 플로우 면적비와 물/시멘트 용적비의 관계	시험결과, 相對 플로우 면적비-물/시멘트 용적비 (直線回歸)
↓	
시멘트(분체)의 拘束水比	相對 플로우 면적비가 0인 물/시멘트 용적비(拘束水比)

2.3.1 페이스트의 플로우시험

각각의 물/시멘트(또는 물/결합재) 용적비를 대상으로 그림 2와 같이 1 / 의 페이스트를 만들어 플로우시험을 실시한다. 플로우시험은 KS R 5201에 준용하며, 낙하운동을 加하지 않고 플로우 콘을 제거한 후, 페이스트의 變形이 종료된 時點에서 2방향의 직경을 측정한다.

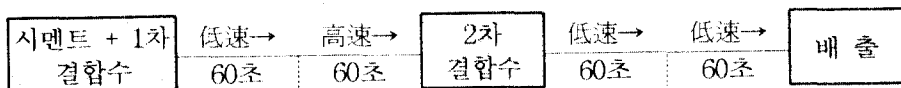


그림 2 페이스트의 배합방법

2.3.2 拘束水比 산정

연속 2회 실시한 플로우시험 결과로부터 다음식에 의해 상대 플로우 面積比를 산정한다.

$$\text{상대플로우 면적비}(\Gamma_p) = \frac{\pi(F_p/2)^2 - \pi(F_0/2)^2}{\pi(F_0/2)^2} = (F_p/F_0)^2 - 1 \dots\dots\dots(\text{식 2})$$

여기서, F_p : 페이스트의 플로우 값(mm), F_0 : 플로우-콘의 단면직경(100mm)

상대플로우 면적비와 물/시멘트 용적비는 線形關係로 이를 直線回歸하여 상대플로우 면적비가 0이 되는 물/시멘트 용적비, 즉 직선의 切片값을 拘束水比(β_p)라 하며 다음식으로 나타낸다.

$$\text{물/시멘트 용적비}(W/P) = F_p \cdot \Gamma_p + \beta_p \dots\dots\dots(\text{식 3})$$

2.3.3 물/시멘트 용적비 선정

물/시멘트 용적비는 시멘트의 拘束水比에 적당한 상수(K_p)를 곱하여 선정하며, (식 1)에서 구한 잔골재 용적비(S_r)로부터 高性能 減水劑의 첨가량을 변화시켜 플로우시험 및 깔대기 시험을 실시한다. 여기서 구한 물/시멘트 용적비와 잔골재 용적비로부터 모르타르 배합을 계산한다.

모르타르 시험은 페이스트 시험에 준해서 실시하며, 상대 깔대기 속도비는 다음식에서 산정한다. 여기서, T_r 은 V형 깔대기의 流下時間을 나타낸다.

$$\text{상대 깔대기 속도비}(R_m) = 10/T_r \dots\dots\dots(\text{식 4})$$

모르타르 시험에서 상대 플로우 면적비가 5일 때의 상대 깔대기 속도비를 산정한다. 이때, 이 값이 0.9~1.1의 범위를 만족하면 設定한 물/시멘트 용적비로 결정한다.

2.4 굵은골재 용적의 산정

굵은골재는 초유동 콘크리트의 充填性を 좌우하며 골재의 최대크기, 입도분포, 입형 등에 따라 다르다. 특히, 골재의 실적율에 따른 영향은 매우 크다. 굵은골재의 용적비(G_v)는 充填性試驗에 의해 평가하며, 일반적으로 공기를 제외한 콘크리트 용적의 %로 나타낸다.

2.5 콘크리트 배합계산

앞에서 선정한 잔골재 용적비(S_r), 물/시멘트 용적비, 굵은골재 용적비(G_v), 공기량 및 굵은골재의 실적율(G_a)에 따라 콘크리트 1m³의 재료용적을 산정하며, 이러한 관계를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\text{공기량 용적}(A) = \text{목표공기량}(Air) \dots\dots\dots(\text{식 5})$$

$$\text{굵은골재 용적}(G) = G_v \times G_a \times (1-A) \dots\dots\dots(\text{식 6})$$

$$\text{잔골재 용적}(S) = S_r \times (1-A-G) \dots\dots\dots(\text{식 7})$$

$$\text{배합수 용적}(W) = (1-A-G) \sim \times (1-S_r) \times \frac{K_p \cdot \beta_p}{K_p + \beta_p} \dots\dots\dots(\text{식 8})$$

$$\text{시멘트 용적}(W) = (1-A-G) \sim \times (1-S_r) \times \frac{1}{K_p + \beta_p} \dots\dots\dots(\text{식 9})$$

여기서, 산정한 값은 容積이기 때문에 각각의 比重을 곱하면 필요한 重量을 구할 수 있다.

2.6 고성능 감수제 및 AE제 사용량

고성능 감수제 및 AE제의 사용량은 시험에 의해 결정한다. 空氣量은 目標範圍內에서, 슬럼프 플로우는 $65 \pm 2\text{cm}$ 범위에서 각각의 사용량을 구하며, 모르타르와 마찬가지로 콘크리트의 V형 깔대기 시험을 실시한다. 이때, 상대깔대기 속도비가 0.5~1.0 범위에 있으면 充填性을 만족하는 것으로 한다.

3. 배합설계에 따른 실험적 고찰

3.1 拘束水比 시험결과

국내에서 시판되는 시멘트 및 초유동 콘크리트에 사용할 혼화제에 대한 拘束水比 시험을 (식 2)에 따라 실시하였으며, 결과는 그림 3과 같다.

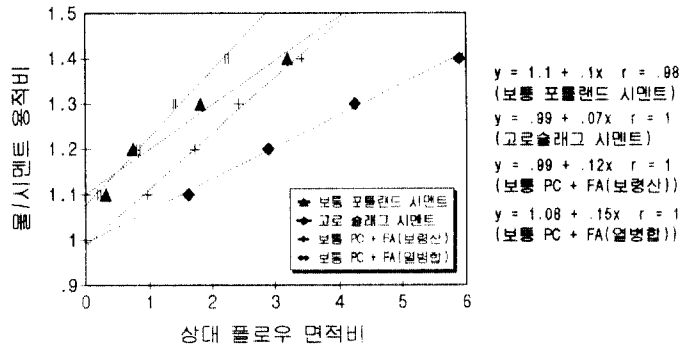


그림 3 결합제에 따른 구속수비 시험결과

拘束水比 시험에서 포틀랜드 시멘트(1종) 및 고로슬래그 시멘트는 S사의 제품을 사용하였고, 플라이애쉬는 30%로 치환한 혼합시멘트를 사용하였다. 실험결과, 구속수비는 보통 포틀랜드 시멘트>열병합발전소 플라이애쉬>고로슬래그 시멘트 ≥ 화력발전소 플라이애쉬 순으로 나타났으며, 변형계수는 열병합발전소 플라이애쉬>화력발전소 플라이애쉬>보통 포틀랜드 시멘트>고로슬래그 시멘트 순으로 나타났다. 여기서, 구속수비가 크다는 것은 流動性에 기여하지 못하고 결합제에 흡수되는 拘束水량이 높다는 것을 의미하며, 變形係數가 크다는 것은 동일한 범위의 플로우를 증가시키는데 필요한 단위수량이 크다는 것을 의미한다. 구속수비는 물/결합재 용적비를 결정하는데 중요하기 때문에 명확한 특성을 시험하여 반영하는 것도 필요하지만 시멘트계 재료의 구속수비를 저감시키는 재료적인 研究開發도 필요한 실정이다.

3.2 물/결합재 용적비 시험결과

초유동 콘크리트의 물/결합재 용적비는 拘束水比에 일정한 상수(水比係數)의 곱으로 다음식에 의해 산정하며, 이에 따른 시험결과는 <그림 4>와 같다.

동일한 조건(S_r, G_r)에서 물/결합재비가 증가할 수록 流動性은 증대하나, 充填性 및 材料分離 抵抗性은 감소하므로, 구속수비 조건을 고려하여 粘性을 부여할 수 있는 37%를 선정하였다.

$$\text{물/결합재 용적비}(W/B) = K_s \times \beta \dots\dots\dots(\text{식 } 10)$$

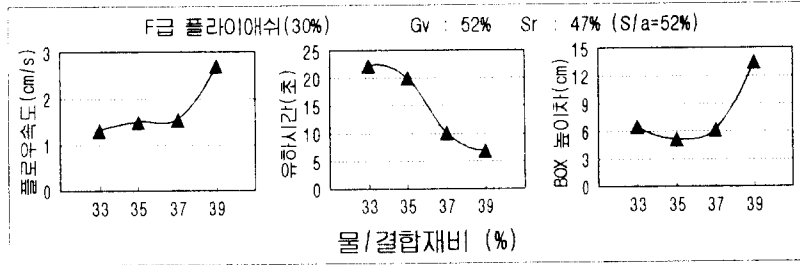


그림 4 물/결합재비에 따른 유동특성

3.3 잔골재 용적비에 따른 시험결과

잔골재 용적비는 페이스트의 점성을 좌우하기 때문에 유동성 및 충전성을 만족해야 하며, <그림 5>의 결과를 고려하여 $47 \pm 2\%$ 범위에서 결정하도록 하였다.

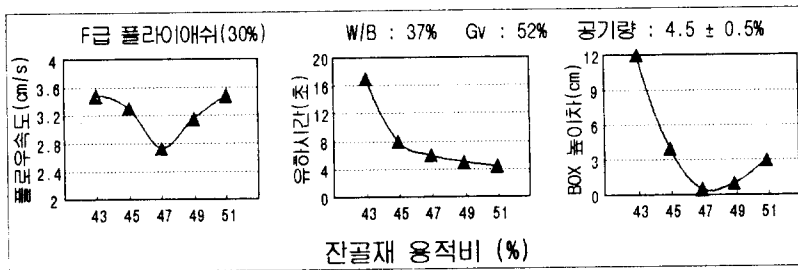


그림 5 잔골재 용적비(S)에 따른 유동특성

3.4 굵은골재 용적비에 따른 시험결과

굵은골재 용적비는 50% 범위가 효과적인 것으로 제안되었으나, 본 시험결과 <그림 6>에 나타난 바와 같이 $52 \pm 1\%$ 범위가 충전性能에 최적인 것으로 나타났다.

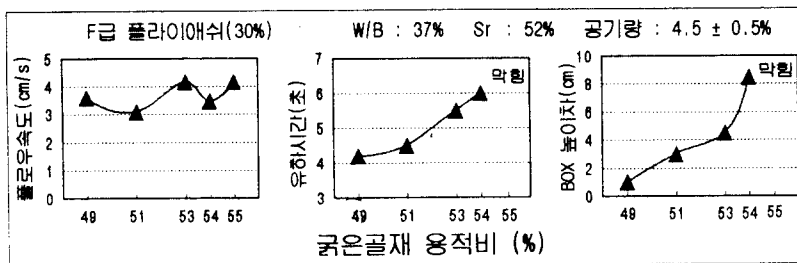


그림 6 굵은골재 용적비(Gv)에 따른 유동특성

4. 결 론

본 연구는 초유동 콘크리트의 配合設計 단계를 새로운 방법으로 접근한 것이며, 수행결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- ① 국내의 시멘트계 결합재의 拘束水比는 매우 높은 범위(0.99~1.1)에 있기 때문에, 유동특성에

미치는 영향이 크므로 배합설계시 水比係數로 조절하여 流動性을 확보해야 한다.

- ② 잔골재의 용적비는 $47 \pm 2\%$, 굵은골재의 용적비는 $52 \pm 1\%$ 의 범위가 가장 우수하다.
- ③ 공기량은 $4.5 \pm 0.5\%$, 압축강도는 $330 \pm 10 \text{kg/cm}^2$ 범위를 만족하였으며, 강도의 범용화를 위한 混和材料의 사용 및 3성분계에 관한 연구가 필요하다.
- ④ 초유동 콘크리트의 配合設計는 제안한 식에 따라 실시하며, 결합재를 사용할 경우에는 시멘트 및 혼화재의 치환식을 사용하면 변수에 따라 재료의 再分配가 이루어 질 수 있다.
- ⑤ 품질성능은 슬럼프 플로우 $65 \pm 2 \text{cm}$, 유하시간 $10 \pm 5 \text{초}$, Box 높이차 5cm 이하로 한다.

● 참고문헌 ●

1. 岡村 甫, “新しいコンクリート材料への期待”, セメント・コンクリート, No.475, 1986.9
2. 朴七林, 權寧鎬, 李相洙, “超流動 콘크리트의 現場適用 및 實用化 研究”, 대한건축학회, 논문집 제12권 3호, 1996.3, pp.127~134
3. 朴七林, 權寧鎬, “高性能 콘크리트 開發 및 實用化 研究”, 한국콘크리트학회, 논문집 제 7권 5호, 1995.10. pp.42~50.