

초유동 콘크리트용 모르타의 최적배합설계

Optimum Mix Design on the Mortar of the Super Flowing Concrete



박철림*

Park, Chil-Lim



안재현**

Ahn, Jae-Hyen



권영호***

Kwon, Yeong-Ho



이상수****

Lee, Sang-Soo

ABSTRACT

This research investigates experimentally the relationships between the relative flowing ratio(Γ_m) and the funneling velocity ratio(R_m) on the mortar of the super flowing concrete depended on the water binder ratio(W/B) and the amount of the superplasticizer(S_p).

From the confined water ratio(β_f) tests, it is found that the β_f of class C flyash is higher than that of the class F and limestone, therefore class F flyash and limestone are effective to improve the fluidity. Furthermore, from the mortar tests, when S_p is constant, Γ_m - R_m show a linear relationship which passes the zero point depend on the change of W/B, but when W/B is constant, Γ_m - R_m show a nonlinear relationship which passes the zero point depend on the change of S_p .

Hence $R_m = A \cdot \Gamma_m^{0.4}$ is adequate for numerical model. The optimum mix condition ($\Gamma_m \cdot R_m$) = (5 · 1) is satisfied when the replacement ratio is 30% and W/B is 83% for the case of class F flyash. It is also satisfied when the replacement ratio is 30% and W/B is 77% for

* 정회원, (주)대우건설기술연구소 소장

** 정회원, (주)대우건설기술연구소 책임연구원

*** 정회원, (주)대우건설기술연구소 선임연구원

**** 정회원, (주)대우건설기술연구소 주임연구원

• 본 논문에 대한 토의를 1998년 10월 30일까지 학회로 보내주
시면 1998년 12월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

the case of the limestone.

Keyword : β_p , I_m , R_m , Mortar, Optimum mix condition, W/B, S_p , Flyash, Limestone

1. 서론

다짐이 필요없는 자기충진성을 콘크리트에 부여하기 위해서는 높은 유동성과 재료분리 저항성을 동시에 가져야 한다.⁽¹⁾ 지금까지 국내에서도 이러한 초유동 콘크리트의 연구가 활발히 진행되어 왔으나, 재료 선정과 배합설계의 접근방법은 아직도 일반 콘크리트와 유사한 방법을 사용하고 있기 때문에 초유동 콘크리트의 요구성능에 직접적으로 대응할 수 있는 합리적인 단계별 배합설계법이 필요한 실정이다.

특히, 콘크리트 상태에서 슬럼프 플로우, 간극통과성 및 깔대기 유하시간 등으로 초유동성을 평가하는 연구사례^(2, 3, 4)는 많았지만, 모르터 상태에서 사용재료의 특성평가 및 배합조건의 조정으로 초유동 콘크리트의 최적 배합조건에 접근하는 연구는 거의 없었다.

따라서, 본 연구에서는 기존에 발표된 초유동 콘크리트의 배합설계법⁽⁵⁾에 근거하여 초유동 콘크리트를 굵은골재와 모르터의 매트릭스로 구분하고, 모르터 상태에서 플로우 및 깔대기 시험을 통해 목표로 하는 상대면적비-속도비를 만족하는 최적 배합조건의 도출방안을 제시하고자 한다.

2. 초유동 콘크리트의 배합설계 단계

2.1 기본개념

일반 콘크리트의 배합설계는 각국의 규정에 따라 약간의 차이가 있지만, 주로 물/시멘트비(W/C), 슬럼프, 잔골재율(S/a), 굵은골재 최대크기(G_{max})와 같은 배합요인에 따라 단계별로 요구되는 성능을 만족하는 범위에서 배합재료량을 산정한다.

그러나, 초유동 콘크리트의 기본개념은 流動性 · 充填性 · 材料分離 抵抗性 등을 콘크리트의 기본 요구성능으로 하기 때문에, 이에 적합한 배합설계 개념을 도입하여 배합수, 시멘트, 잔골재, 굵은골재, 공기

량 및 高性能 減水劑와 AE劑의 사용량을 합리적으로 산정하는 방안이 필요하다.

이러한 기본개념을 만족하기 위해서는 콘크리트를 페이스트, 모르터 및 콘크리트 상태로 구분하여 상호관계를 정량적으로 규명하는 연구가 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 페이스트 및 모르터 상태의 단계적 연구를 통해 초유동성의 기본개념을 정량화시키고, 이를 통해 보다 쉽게 예측할 수 있는 배합설계 방안을 도출하고자 한다.

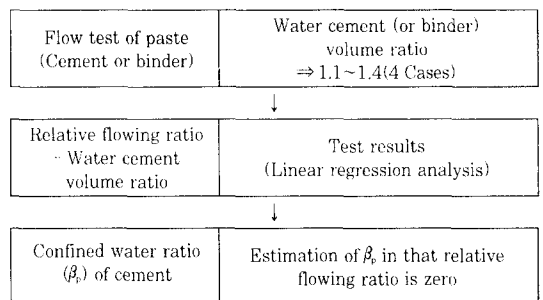
2.2 페이스트 시험

일반적으로 초유동 콘크리트는 플라이애쉬, 고로슬래그 미분말, 석회석분 등과 같은 결합재를 사용하는 분체계와 증점제를 사용하는 증점계, 그리고 이를 함께 사용하는 병용계로 구분된다. 따라서, 사전에 사용할 재료의 특성을 정확히 파악함으로써 콘크리트 상태에서의 배합오차를 가능한 줄이도록 해야한다.

특히, 분체계를 사용할 경우에는 분체의 특성에 따라 流動에 기여하지 못하는 單位水量(拘束水量)을 먼저 산정하고 이에 따른 粉體系의 拘束水比(β_c)를 결정된 후, 이를 배합설계에 반영시킬 수 있는 방안이 필요하다.

분체계의 구속수비 산정방법은 Fig. 1과 같고, 상대플로우 면적비는 (식1)로 산정한다.

Fig. 1 Estimation method of β_c



$$\Gamma_p = \frac{\pi(F_p/2)^2 - \pi(F_0/2)^2}{\pi(F_0/2)^2} = (F_p/F_0)^2 - 1 \quad (1)$$

여기서, F_p 는 페이스트의 플로우값(mm), F_0 는 플로우-콘의 단면직경(100mm)을 나타낸 것이다.

플로우 시험에서 물/시멘트 용적비를 변화시키면, 상대플로우 면적비와 물/시멘트 용적비는 매우 밀접한 상관성을 갖게 되는데 이를 線形關係로 直線回歸하여 상대플로우 면적비가 0이 되는 물/시멘트 용적비가 사용할 시멘트의 구속수비이다. 즉, Fig. 2에서 직선식의 切片값이 拘束水比(β_p)를 의미한다.

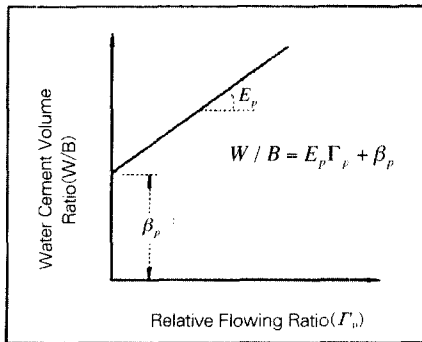


Fig. 2 Linear regression analysis of β_p

여기서, E_p 는 변형계수를 의미하며, 이성분계 초유동 콘크리트의 경우에는 분체의 치환율에 따른 결합재(시멘트+분체)를 대상으로 물/결합재 용적비를 1.1, 1.2, 1.3 및 1.4로 정하고, 동일한 시험방법으로 구속수비를 결정한다.

구속수비는 콘크리트의 물/결합재비 및 단위재료량 산정에 필요하기 때문에, 사전에 실험으로 정확한 값을 산정해야 한다.

2.3 모르터 시험

모르터의 물/시멘트 용적비 또는 물/결합재 용적비는 시멘트의 拘束水比에 일정상수인 水比係數(K_p)를 곱한 (식2)로부터 산정하며, 잔골재 용적비(S_r)는 (식3)과 같다.

$$W/C(W/B) = K_p \times \beta_p \quad (2)$$

$$S_r = \frac{S/M}{1-S_m} \quad (3)$$

여기서, S 는 잔골재 용적, M 은 모르터 용적, 그리고 S_m 은 입경이 0.06mm 이하인 잔골재의 비율을 의미한다. 모르터 시험은 먼저 잔골재 용적비를 정한 후, 물/결합재비와 高性能 減水劑 첨가율을 변화시키면서 플로우 및 깔대기 시험을 통해 최적 배합조건을 도출한다.

모르터 시험의 상대플로우 면적비(이하, Γ_m)는 (식1)과 동일하며, 깔대기 속도비(이하, R_m)는 Fig. 3과 같은 규격의 시험장치로 유하시간(T_r)을 측정한다 다음에 (식4)로부터 산정한다.

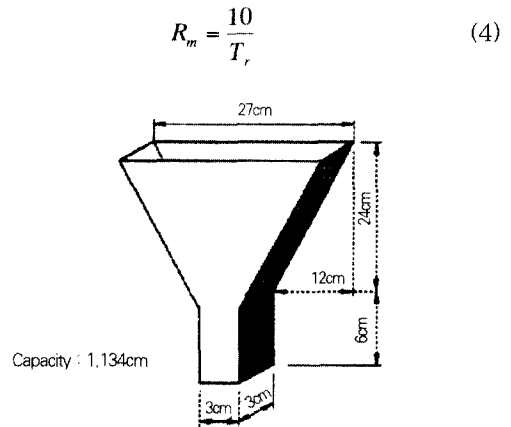


Fig. 3 Funneling test apparatus in mortar

본 실험의 잔골재 용적비는 기존의 연구¹⁴에서 제시한 40%를 대상으로 하였으며, Γ_m 와 R_m 의 관계에서 점성 및 변형성 평가를 통해 최적상태를 도출하고자 한다. 이때, 주변수는 결합재의 치환율, 물/결합재 용적비와 고성능 감수제 첨가율이며, 모르터의 배합방법은 Fig. 4와 같다.

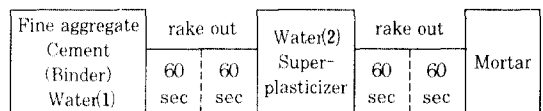


Fig. 4 Mixing method of mortar

3. 실험개요

3.1 사용재료

초유동 콘크리트용 모르터의 점성과 변형성을 평가하기 위한 실험에는 T사의 보통 포틀랜드 시멘트(1종)와 남양만의 세척사(바닷모래)가 사용되었다. 또한, 플라이애쉬는 울산 열병합발전소(C급) 및 보령 화력발전소(F급)에서 생산되는 것이며, 석회석분은 G사에서 생산된 것으로 품질시험 결과는 Table 1과 같다.

Table 1 Test results of Binders

Properties	Gravity	CaO (%)	Moisture contents (%)	Loss on Ignition (%)	Specific surface (cm ² /g)
Limestone	3.02	52.0	0.04	16.2	3.430
Class C Fly ash	2.69	27.8	0.10	4.67	2.470
Class F Fly ash	2.21	2.50	0.19	3.57	3.158

3.2 모르터의 배합설계 순서

초유동 콘크리트용 모르터의 배합설계 순서는 Fig. 5와 같다.

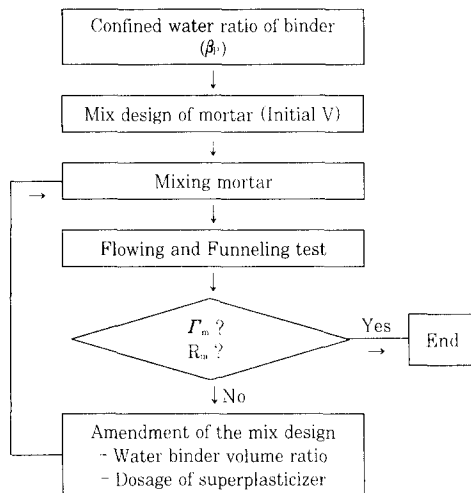


Fig. 5 Mix design method of mortar

여기서, 결합재의 구속수비는 치환율에 따라 각각 실시하며, 이를 모르터의 배합설계에 반영하도록 하였다.

3.3 배합조건 및 범위

초유동 콘크리트용 모르터의 배합조건 및 범위는 Table 2와 같다.

Table 2 Mix condition & range of mortar test

K_p (%)	W/B (%:Vol)	S. (%)	Replacement ratio of Binders (%)	Dosage of Superplasticizer (B×%)
0.80~1.00 (5 Cases)	76~102	40	10, 30, 50	0.9~2.1

여기서, 水比係數(K_p)는 분체의 치환율별로 산정된 구속수비에 대해 5단계로 구분하여 물/결합재 용적비를 산정하도록 하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 구속수비 실험결과

Fig. 6은 석회석분(LS)의 치환율에 따른 결합재의 구속수비 실험결과를 나타낸 것이다.

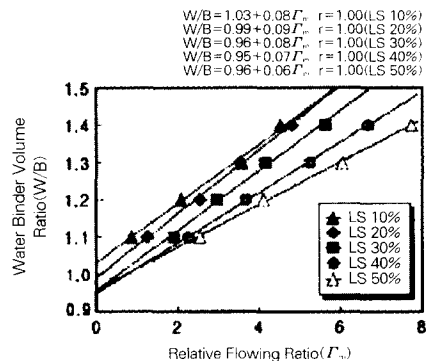


Fig. 6 Test results of confined water ratio(LS)

석회석분의 치환율이 증가할수록 구속수비는 감소하나 치환율이 30%이상인 경우에는 일정한 값(0.96)에 수렴하며, 직선의 기울기인 변형계수(E_p)도 치환율의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다.

또한, 결합재 종류에 따른 유동성 개선효과를 비교하기 위해, C급(CFA) 및 F급(FFA) 플라이애쉬, 석회석분(LS)을 각각 30%씩 치환한 결합재의 구속수비 결정실험을 실시하였으며, 결과는 Fig. 7과 같다.

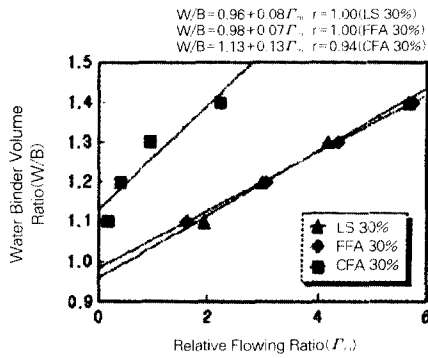


Fig. 7 Confined water ratio according to binders

결합재별 구속수비는 C급 플라이애쉬(1.13)>F급 플라이애쉬(0.98)≥석회석분(0.96)의 순으로 나타났다.

특히, F급 플라이애쉬 및 석회석분은 입자표면에 흡수되는 구속수량이 적기 때문에, 유동성 개선 및 품질관리에 효과가 큰 것으로 나타났다.

4.2 석회석분의 유동성 및 점성평가

초유동 콘크리트용 모르타의 유동성은 Γ_m 로, 점성은 R_m 으로 평가한다.¹⁶⁾ 여기서는 석회석분의 치환율 별 물/결합재 용적비와 고성능 감수제 첨가율에 따른 $\Gamma_m - R_m$ 관계 및 유동성과 점성평가 방안을 강구하고자 한다.

4.2.1 물/결합재비와 고성능 감수제 첨가율

Fig. 8은 석회석분 치환율이 10%일 때, 물/결합재비(W/B)와 고성능 감수제 첨가율(SP)에 따른 $\Gamma_m - R_m$ 의 관계를 나타낸 것이다.

여기서, 점선은 물/결합재비가 동일할 때 고성능 감수제 첨가율의 변화에 따른 $\Gamma_m - R_m$ 의 상관관계이며, 실선은 고성능 감수제 첨가율이 동일할 때 물/결합재비의 변화에 따른 $\Gamma_m - R_m$ 의 상관관계를 나타낸 것이다.

실험결과, 고성능 감수제 첨가율이 일정할 때 물/결합재비가 증가할수록 $\Gamma_m - R_m$ 은 원점을 통과하는 직선관계로 비례하여 증가하는 것으로 나타났다. 이는 물/결합재비의 증가가 유동성뿐만 아니라 점성에도 영향을 미치기 때문이다.

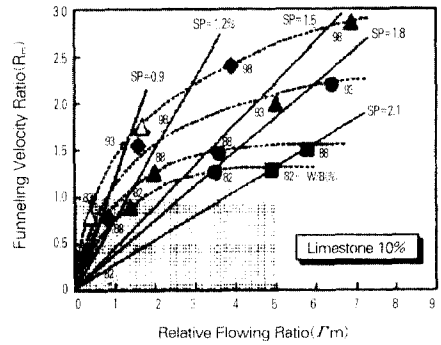


Fig. 8 Correlation R_m with Γ_m (LS 10%)

그러나, 물/결합재비가 일정할 때, 고성능 감수제 첨가율을 증대시키면 $\Gamma_m - R_m$ 은 곡선을 띄며 곡률이 감소한다. 이러한 경향은 물/결합재비가 낮은 범위일 수록 뚜렷하게 나타났는데, 이는 고성능 감수제에 의한 분산성 증대와 함께 단위수량의 감소로 인하여 유동성 및 점성이 증대하기 때문으로 사료된다.

Fig. 9 및 Fig. 10은 석회석분 치환율이 30% 및 50%인 모르타의 $\Gamma_m - R_m$ 관계이다.

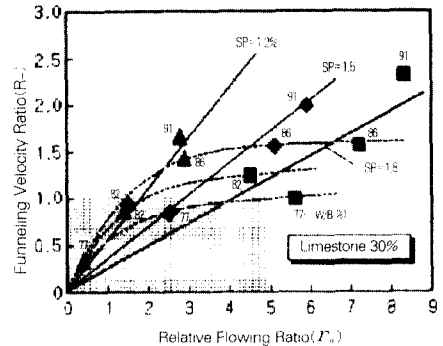


Fig. 9 Correlation R_m with Γ_m (LS 30%)

기존의 연구는 유동성 측면에서 Γ_m 가 5.0 ± 0.5 , 점성 측면에서 R_m 가 1.0 ± 0.1 범위일 때 가장 우수한 성능을 갖는 것으로 제안하였다.¹¹⁾

따라서, 석회석분을 사용한 모르타는 석회석분 치환율 30%, 물/결합재 용적비 77~82%, 고성능 감수제 첨가율 1.8%범위에서 유동성 및 점성이 가장 우수한 것으로 평가된다.

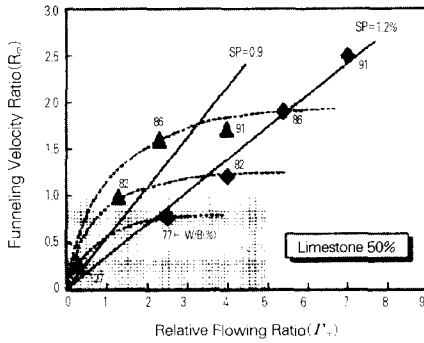


Fig. 10 Correlation R_m with Γ_m (LS 50%)

4.2.2 석회석분 치환율

Fig. 11은 고성능 감수제 첨가율이 일정할 때, 석회석분 치환율에 따른 $\Gamma_m - R_m$ 의 상관관계를 나타낸 것이다.

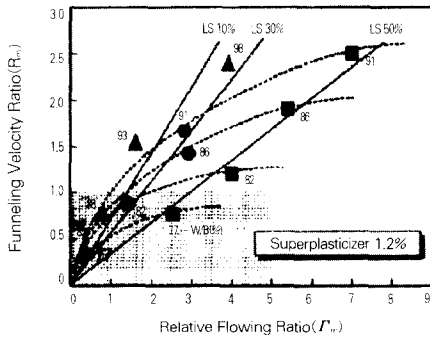


Fig. 11 $\Gamma_m - R_m$ according to LS replacement

실험결과, 동일한 물/결합재비(점선)에서 석회석분 치환율이 증가할수록 유동성 개선효과가 증대되는 것으로 나타났다. 이는 석회석분 치환율이 증대할수록 구속수비가 감소되어 유동에 기여하는 잉여수가 증대되기 때문이다.

또한, 석회석분 치환율이 증대할수록 $\Gamma_m - R_m$ 의 기울기가 감소하기 때문에 점성유지에도 어느정도 기여하는 것으로 평가된다.

4.3 플라이애쉬의 유동성 및 점성평가

플라이애쉬를 사용한 초유동 콘크리트용 모르타의 물/결합재 용적비와 고성능 감수제 첨가율에 따른 $\Gamma_m - R_m$ 의 상관성 및 치환율에 따른 유동성과 점성을 평가하면 다음과 같다.

4.3.1 물/결합재비와 고성능 감수제 첨가율

Fig. 12는 F급 플라이애쉬(FFA)의 치환율이 10%일 때, 물/결합재 용적비와 고성능 감수제 첨가율에 따른 $\Gamma_m - R_m$ 관계를 나타낸 것이다.

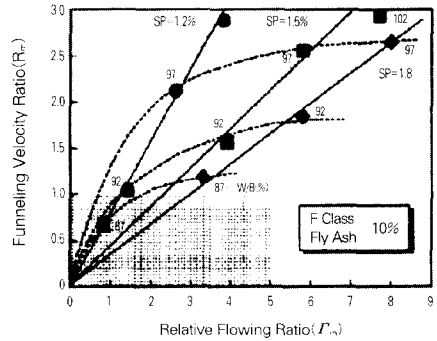


Fig. 12 Correlation R_m with Γ_m (FFA 10%)

실험결과, 일반적인 경향은 석회석분과 마찬가지로 고성능 감수제 첨가율이 일정할 때 물/결합재비가 증가할수록 $\Gamma_m - R_m$ 은 직선관계로 비례하여 증가하는 것으로 나타났다. 그러나, $\Gamma_m - R_m$ 직선의 기울기를 고려하면, 석회석분보다 점성개선에 효과적인 것

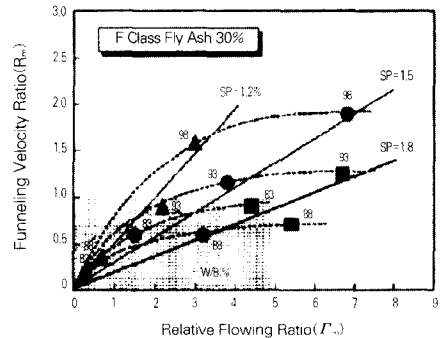


Fig. 13 Correlation R_m with Γ_m (FFA 30%)

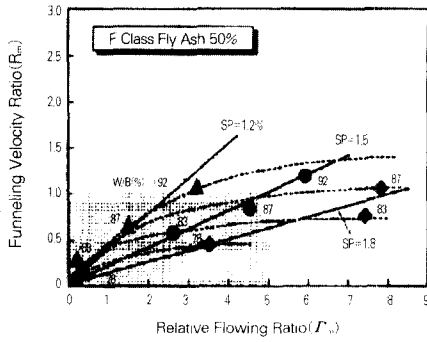


Fig. 14 Correlation R_m with Γ_m (FFA 50%)

으로 나타났다.

Fig. 13과 Fig. 14는 플라이애쉬 치환율이 각각 30%, 50%에서 $\Gamma_m - R_m$ 관계를 나타내었다.

플라이애쉬 치환율이 30%일 때, 고성능 감수제 첨가율 1.8%, 물/결합재 용적비 83~88%범위에서 유동성 및 점성이 우수하였으며, 플라이애쉬 치환율이 50%일 때는 고성능 감수제 치환율 1.5%, 물/결합재 용적비 87%에서 가장 성능이 양호한 경향을 나타내었다.

4.3.2 플라이애쉬 치환율

Fig. 15는 고성능 감수제 첨가율이 일정할 때, 플라이애쉬 치환율에 따른 $\Gamma_m - R_m$ 의 상관관계를 나타낸 것이다.

실험결과, 동일한 물/결합재 용적비에서 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 유동성 및 점성이 증대되는 경향을 보였으며, 초유동 콘크리트용 모르타의 성능

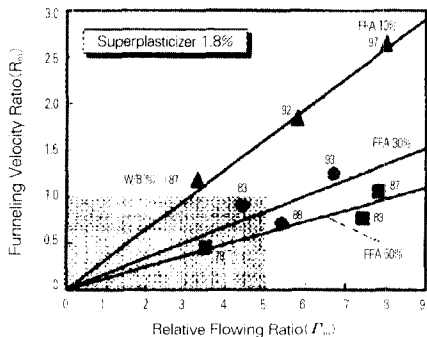


Fig. 15 $\Gamma_m - R_m$ according to FFA replacement

을 확보하기 위해서는 치환율 30%정도가 가장 적합한 것으로 나타났다.

4.4 수식화 개념모델

기존에 제안된 고성능 감수제 첨가율 및 물/결합재 용적비에 따른 $\Gamma_m - R_m$ 의 수식화 모델은 Fig. 16 및 (식5)와 같다.⁶⁾

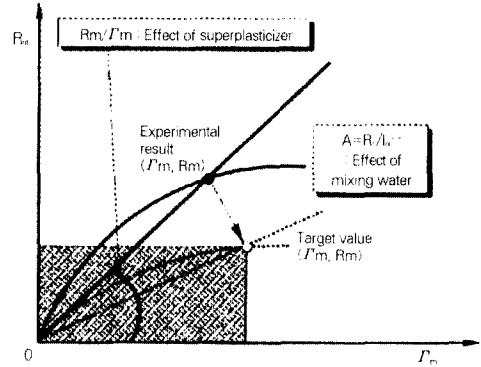


Fig. 16 Numerical Eq. concept of $\Gamma_m - R_m$

$$R_m = A \cdot (\Gamma_m)^{0.4} \quad (5)$$

여기서, A는 물/결합재 용적비(W/B)에 대한 함수이며, 0.4는 수식화 가능범위를 의미한다.

따라서, $(\Gamma_m \cdot R_m) = (5 \cdot 1)$ 을 만족하는 최적조건은 $A=0.5$ 일 때의 배합조건을 산정하면 된다. 실험결과, 석회석분의 최적배합조건은 치환율 30%, 물/결합재비 77%이며, 플라이애쉬는 치환율 30%, 물/결합재비 83%에서 점성 및 유동성을 만족하는 것으로 나타났다.

수식화 가능범위에서 물/결합재비는 쉽게 산정할 수 있지만, 실험오차를 최소화시키기 위해서는 $A = A(W/B, S_p)$ 로 두고 고성능 감수제 첨가율(S_p)을 합리적으로 산정할 수 있는 연구가 필요하다.

따라서, 결합재에 따른 구속수비(β_c) 및 고성능 감수제의 특성을 반영할 수 있는 방안이 제시되어야 할 것이다.

5. 결론

초유동 콘크리트용 모르타의 최적배합설계의 수식

화 개념을 도입하기 위한 실험결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 결합재별 구속수비는 C급 플라이애쉬>F급 플라이애쉬>석회석분 순으로 나타났다.
- 2) 고성능 감수제 첨가율이 일정할 때, 물/결합재비에 따른 f_m-R_m 의 상관성은 원점을 지나는 직선관계이며, 물/결합재비가 일정할 때, 고성능 감수제 첨가율에 따른 f_m-R_m 의 상관성은 원점을 지나는 곡선관계로 나타났다. 즉, 물/결합재비는 유동성에 기여한 반면에 고성능 감수제 첨가율은 유동성·점성에 기여한다.
- 3) 석회석분은 유동성 개선에 유효하며, 플라이애쉬는 점성·유동성 개선에 효과적이다.
- 4) 수식화 모델에서 점성과 유동성을 만족하는 범위($(f_m \cdot R_m) = (5 \cdot 1)$)는 $A=0.5$ 이며, 이를 합리적으로 산정하기 위한 $A=A(W/B, S_p)$ 관계를 규명할 수 있는 연구가 필요하다.

참고 문헌

- (1) 岡村甫, 前川宏一, 小澤一雅, "ハイパフォーマンス コンクリート", 技報堂出版, 1993.
- (2) 金和中 外., "超流動 콘크리트의 開發에 관한 基礎的 研究", 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 제7권1호, 1995.5, pp.42~53.
- (3) 金武漢, 金非庸 外., "高流動 콘크리트의 流動特性 評價方法에 관한 연구", 대한건축학회 춘계 학술발표대회 논문집, 제17권1호, 1997.4, pp. 707~710.
- (4) 韓丁求, 崔應奎 外., "增粘劑를 利用한 다짐불요 콘크리트의 實用化에 관한 연구", 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집, 제17권1호, 1997. 4, pp.691~694.
- (5) 박칠림, 안재현, 권영호, 이상수, "超流動 콘크리트의 配合設計에 關한 研究", 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집 제8권2호, 1996.11, pp.283~289.
- (6) 大內雅博, 日比野誠, 小澤一雅, 岡村甫, "自己充填 콘크리트用モルタルの配合設計法", 日本 コンクリート工學年次論文報告集, Vol.19, No.1, 1997, pp.19~24.

요 약

본 연구는 초유동 콘크리트용 모르타르의 물/결합재비 및 고성능 감수제 첨가율에 따른 상대플로우 면적비와 상대깎대기 속도비의 상관관계를 실험으로 검토한 것이다. 구속수비 실험결과, C급 플라이애쉬 > F급 플라이애쉬 > 석회석분 순으로 나타났기 때문에 F급 플라이애쉬 및 석회석분은 유동성 개선에 효과적인 것으로 나타났다. 또한 모르타르 실험결과, 상대플로우 면적비와 상대깎대기 속도비는 고성능 감수제 첨가율이 일정할 경우 물/결합재비의 변화에 따라 원점을 지나는 직선관계로 나타났지만, 물/결합재비가 일정할 경우에는 고성능 감수제 첨가율의 변화에 따라 원점을 지나는 곡선관계로 나타났다.

따라서, 수식화 모델은 $R_m = A \cdot f_m^{0.4}$ 가 합리적이며, 최적값인 $(f_m \cdot R_m) = (5 \cdot 1)$ 을 만족하는 배합조건은 플라이애쉬의 경우 치환율 30%, 물/결합재비 83%이며, 석회석분의 경우 치환율 30%, 물/결합재비 77%로 판명되었다.

(접수일자 : 1998. 3. 2)