

고성능 콘크리트의 배합설계에 관한 연구

A Study on the Mix Proportion of High Performance Concrete

이 승 한

〈계명대학교 토목공학과 교수〉

한 형 섭

〈계명대학교 토목공학과 석사〉

I. 서론

II. 실험방법

2.1 사용재료 특성

2.2 실험계획

2.3 실험방법

III. 고성능콘크리트의 특성에 미치는 분체 및 골재의 영향

3.1 분체가 콘크리트의 특성에 미치는 영향

3.2 고성능 콘크리트의 충전특성에 따른 최적 잔골재율

3.3 고성능 콘크리트의 충전성에 따른 최소 단위 분체량

IV. 자기충전성 고성능 콘크리트의 배합설계와 충전성 평가방법

4.1 고성능 콘크리트의 충전성 평가

4.2 고성능 콘크리트의 흐름값 경시변화

4.3 고성능 콘크리트의 배합설계법

V. 결론

감사의글

I. 서론

최근 콘크리트는 구조물의 대형화, 고층화, 특수화 및 철근의 고밀도화로 다짐작업이 어려운 반면, 기계화에 의한 콘크리트의 대량타설과 건설현장 작업자의 고령화, 숙련공 부족 등 열악한 현장조건으로 인해 충분한 다짐이 이루어지지 못하고 있어, 콘크리트 구조물의 시공성 악화와 내구성 저하가 사회적 문제로 대두되고 있다.

따라서, 건설공사의 부실방지과 구조물의 품질향상을 위해 콘크리트 타설시 작업자의 숙련도와 구조물의 형상 및 배근상태에 영향

을 받지 않고 유동성 및 충전성과 재료분리 저항성을 가져 다짐이 필요없는 콘크리트의 개발이 절실히 요망되고 있다.

이러한 요구에 따라 고성능감수제의 첨가로 유동성을 확보하고, 재료분리저항성의 증진방안에 따라 증점제계, 분체계 및 병용계로 구분되는 자기충전성 콘크리트를 개발하기 위한 실험적,^{1)~4)} 해석적^{5),6)} 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나, 고성능 콘크리트의 유동성과 재료분리 저항성에 미치는 분체 및 골재의 영향에 대한 규명은 미흡한 실정이다. 이를 살펴보면 이들 연구 중 굵은골재의 분산정도를 요인으로 하는 모르타-굵은골재 2상계 배합이론을

도입한 실험적 연구는 잔골재의 영향이 고려되지 않고, 굵은골재의 단위용적이 일반 콘크리트에 비해 작게 평가되어 수화열과 건조수축이 증가하는 문제점을 가지고 있어 최적 배합비의 선정이라 할 수 없다.

한편, 해석적 연구는 콘크리트를 구성하는 많은 복합재료의 불확정 요소를 굳지 않은 콘크리트의 성질을 나타내는 유동모델 및 유동정수로 표현하는 것이 매우 어려워 실용화에 커다란 장해요인으로 남아있다.

이에 본 연구에서는 콘크리트의 유동성, 재

료분리 저항성을 페이스트상이 주로 부담하기 때문에 자기충전성 고성능 콘크리트를 페이스트와 골재의 2상계로 취급하여 분체종류, 분체비 및 잔골재율에 따른 콘크리트의 유동특성과 충전특성을 평가하여 합리적인 배합설계법의 제안과 유동해석에 기초자료를 제공하는 것을 연구의 목적으로 한다.

2. 실험방법

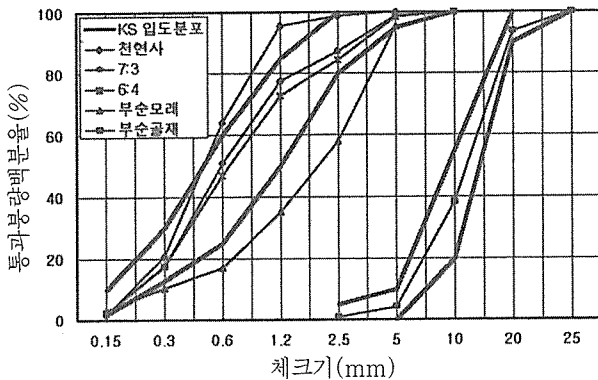
2.1 사용재료 특성

2.1.1 사용분체

실험에는 A사의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 치환분체로는 충남 보령산 정제 플라이애쉬와 고로슬래그 미분말을 사용하였다. 이들 분체의 물리·화학적 성질은 [표 1]과 같다.

2.1.2 골재

잔골재는 경북 고령 낙동강사를 사용하였으며 입도의 조절을 위해 부순모래



(그림 1) 골재의 입도분포 곡선

[표 1] 시멘트 및 혼화재의 물리·화학적 성질

구분	분말도 (cm ² /g)	비 중	강열감량 (Ig.loss)	화 학 성 분						
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	염기도
시멘트	3169	3.15	1.03	22.94	5.57	3.33	64.05	2.58	0.61	-
플라이애쉬	3024	2.67	4.36	58.5	23.4	-	-	-	-	-
고로슬래그	4500	2.9	0	35.08	14.92	0.38	42.26	6.41	0.11	1.81

[표 2] 골재의 물리적 성질

종 류	비중	흡수율 (%)	조립율	단위용적	실적율 (%)	씻기시험		
						0.15mm	0.08mm	
천 연 사	2.59	1.80	2.19	1527	59.1	2.07	0.92	
부순모래	2.64	2.07	3.82	1752	66.5	4.94	2.64	
천연사 :	7:3	-	-	2.67	1695	65.1	-	-
부순모래	6:4	-	-	2.78	1671	64.2	-	-
쇄 석	2.71	0.94	6.91	1640	60.6	-	-	

와 혼합하여 사용하였다. 또한 굵은골재는 경북 고령산 쇄석으로 유동성 증진을 위해 임팩트 크랏샤로 입형을 개선하여 사용하였다. 이들의 물리적 성질을 [표 2]에 나타내었다.

이 표에서 잔골재의 비중은 천연사 2.59, 부순모래 2.64로 KS F 2504의 규정을 만족하고 있으며, 천연사의 조립율은 2.19로 KS규정치 2.3~3.1보다 작아 조립율이 큰 부순모래와 7:3 및 6:4의 비율로 혼합하여 KS입도분포를 만족하도록 조립율을 상향 조정하여 사용하였다. 이들 골재의 조정 입도분포는 [그림 1]과 같다.

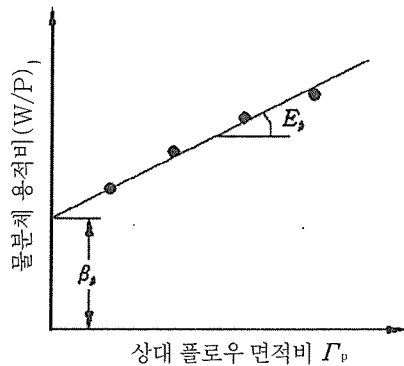
2.1.3 혼화제

고성능감수제는 M사의 멜라민계와 J사의 폴리칼본산계를 사용하였으며, 공기연행제는 K사, 증점제는 M사의 것을 사용하였다. 이들의 특성은 [표 3]과 같다.

2.2 실험계획

2.2.1 물구속비 산정

콘크리트를 페이스트와 골재 이상계로 볼 때 굳지 않은 콘크리트의 성질은 주로 페이스트에 의해 결정된다. 따라서, 본 연구에서는 플라이애쉬 및 고로슬래그를 사용하여 이들의 혼합비율에 따른 시멘트 페이스트의 물구



(그림 2) 물구속비 산정¹⁾

속비 변화를 파악하여, 자기충전성 고성능 콘크리트를 제조하기 위한 최적의 치환비율을 결정한다. 이를 위해 본 연구에서는 플라이애쉬를 시멘트에 대해 0, 10, 20, 30, 40%까지 치환하고, 이들 각 배합에 대하여 고로슬래그 미분말을 0, 15, 30, 45, 60%까지 치환 조합 사용한다. [그림 2] 물구속비 산정¹⁾ 각각의 배합에 대하여 [그림 2]와 같이 물분체 용적비(W/P)를 1.1, 1.2, 1.3 및 1.4로 변화시켜, 물분체용적비의 변화에 대한 흐름값을 측정하였다.

2.2.2 최적 잔골재율 산정

최적 잔골재율 산정 실험은 단위분체량 450, 550, 650kg/m³에 대하여 잔골재율 38, 41, 44 및 47%로 변화시켜 실시하였다.

(표 3) 혼화제의 특성

구 분	형 태	색 상	주 성 분	pH	비 중
멜라민계	액 상	담갈색	도리아진환계 고축합물염	11.5±1.5	1.22±0.02
나프탈렌계 + 폴리카르본산계	액 상	암갈색	나프탈렌계와 폴리카르본산계 Co-Polymer	8.5±1.5	1.25±0.05
공기연행제	액 상	담갈색	레 진	-	1.025±0.005
증 점 제	분 말	백 색	셀레로이스 에테르계	7±0.1 (1%수용액)	1.06±0.02

최적 잔골재를 산정시 사용분체는 단위분체량에 대해 물구속비가 가장 작은 플라이애쉬 20%에 고로슬래그 15%를 병용치환하였으며, 잔골재는 천연사와 부순모래를 7:3의 비율로 섞어 입도를 조정하여 사용하였다.

또한 물분체비(β_p)를 일정하게 고정시키고 멜라민계 고성능감수제를 사용하여 목표 슬럼프 플로우 65±5cm를 얻을 수 있도록 첨가량을 조절하였다.

2.2.3 최소 단위분체량 산정

고성능 콘크리트의 충전성을 만족시키는 범위에서 분체량을 최소로 사용할 수 있는 최소 단위분체량을 산출하기 위한 실험에서는 물분체비를 물구속비(β_p)로, 잔골재율(S/a)을 41%로 고정하고, 단위분체량을 450, 470, 500, 550, 650 kg/m³의 5종류로 변화시켜 골재와 페이스트의 상대량 변화에 따른 고성능 콘크리트의 유동성 및 충전성을 평가하였다. 이들의 실험계획을 [표 4]에 나타내었다.

[표.4] 최소 단위분체량 산정 실험계획(S/a=41%, W/P= β_p)

분체량 (kg/m ³)	고성능감수제 (C×wt.%)	증점제 (W×wt.%)
450	3.0	0.060
470	3.0	0.073
500	3.0	0.070
550	2.0	0.065
650	1.5	0.055

2.2.4 경화후 특성

본 연구에서는 단위분체량이 550kg/m³인 배합에서 플라이애쉬를 0~40%까지 치환하여 플라이애쉬의 치환율에 따른 강도발현 특성과 건조수축과의 관계를 알아보려고 한다. 이들의 실험계획은 [표 5]와 같다.

[표 5] 경화후 특성 실험계획

배합명	단위분체량 (kg/m ³)	W/P (%)	S/a (%)	고성능감수제 (P×wt.%)	증점제 (W×wt.%)
C100	550	β_p	41	1.0	0.06
FA10					
FA20					
FA30					
FA40					

2.3 실험방법

2.3.1 페이스트의 물구속비 산정방법

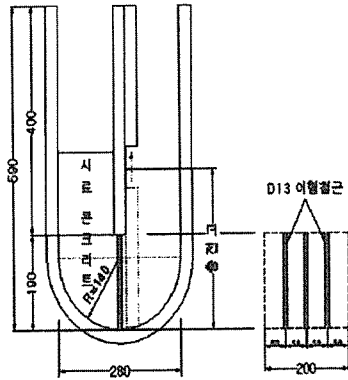
물구속비 산정을 위한 페이스트 배합은 시멘트 및 분체를 1차수와 함께 저속으로 60초간 믹싱하고, 20초간 정지하여 믹서에 부착된 페이스트를 긁어내린 후, 고속으로 60초간 믹싱한다. 이후, 2차수를 투입하고 저속 60초, 정지20초(믹서에 부착된 페이스트를 긁어 내린다), 저속 60초동안 믹싱한다.

2.3.2 콘크리트의 혼합 및 공시체 제작

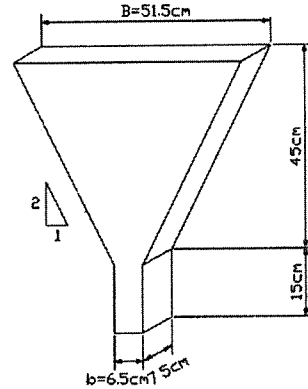
콘크리트의 배합은 50 l 강제식 믹서를 사용하여 시멘트, 플라이애쉬와 고로슬래그를 잔골재와 함께 60초간 건비빔을 한 후, 1차수를 투입하고 90초간 믹싱을 하였다. 그리고, 2차수와 혼화제 및 굵은골재를 투입하여 150초간 믹싱하여 배출하였다. 이때 배합수는 공기연행제를 0.5%회석한 것을 사용하였다.

배합된 콘크리트는 공기량을 비롯한 유동성과 충전성 시험을 한 후, 몰드에 타설하여 습기실에서 24시간 양생한 후에 탈형하였다. 압축강도용 공시체는 20±1℃로 유지되는 수조에서 수중양생을 실시하였다. 실험에 사용한 V로드와 U형충전성 시험기는 아래의 [그림 3], [그림 4]와 같다.

길이변화용 공시체는 76×101×412mm 크기의 공시체에 길이 방향으로 게이지플러그



(그림 3) U형충전성 시험기



(그림 4) V로드 시험기

를 매입하여 각 1개씩 제작하여, 습기실에서 1일 양생한 후에 탈형하여 Dial Indicator 0.01×10mm Comparator로 1회 측정을 행하였다. 이후 20±1℃로 유지되는 수조에서 양생하여 재령 7일째 2회 측정을 행하여 이 시점을 기준으로 하였다. 재령 7일 이후에는 온도 20±1℃, 상대습도 60±5%로 유지되는 항온항습조에 넣어 적치하고 소정의 기일별 길이변화를 측정하였다.

3. 고성능콘크리트의 특성에 미치는 분체 및 골재의 영향

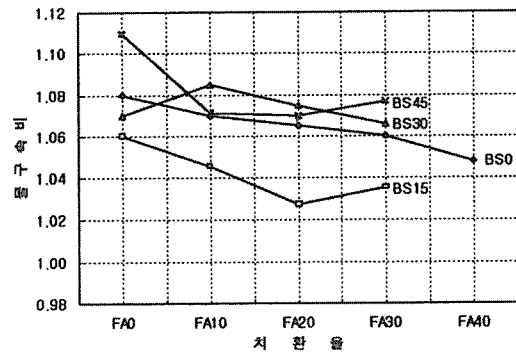
3.1 분체가 콘크리트의 특성에 미치는 영향

3.1.1 분체 치환량이 물구속비에 미치는 영향

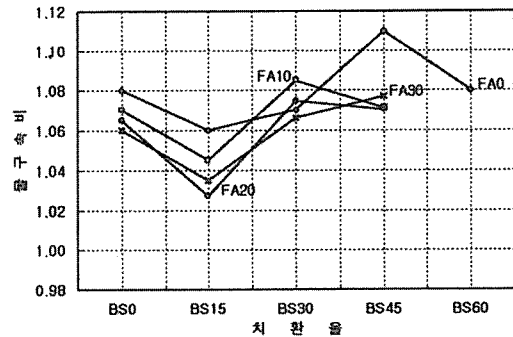
물구속비가 크다는 것은 유동성에 기여하지 못하고 결합재에 흡수되는 수량이 높다는 것을 의미하며, 이러한 단위수량을 구속수량이라 한다. 플라이애쉬 치환율에 따른 물구속비의 변화를 [그림 5]에 나타내었다. 이 그림에서는 플라이애쉬 치환율이 증가함에 따라 물구속비는 감소하는 경향을 나타내고 있고, 고로슬래그미분말 15%와 병용 사용시 가장 작은 물구속비를 나타내고 있다. 따라서 유동성 증진에는 고로슬래그 미분말15% 플라이애쉬

20% 병용 사용한 경우 가장 낮은 물구속비 1.03을 나타내어 효과적임을 알 수 있다.

이러한 결과는 기존의 연구⁸⁾들과 같이 플라이애쉬는 물구속비를 감소시키므로 플라이애쉬를 사용한 콘크리트는 유동성이 일반 콘크



(그림 5) 플라이애쉬 치환율별 물구속비 변화



(그림 6) 고로슬래그 치환율별 물구속비 변화

리트에 비해 증대된다는 것을 알 수 있다.

다음의 [그림 6]에 고로슬래그 치환율에 따른 물구속비의 변화를 나타내었다. 물구속비가 1.08인 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하여 분체를 치환한 경우 플라이애쉬의 치환율에 관계없이 고로슬래그는 15% 치환에서 가장 낮은 물구속비를 나타내었고, 그 이상의 치환율에서는 물구속비가 증가하는 경향을 [그림 6]에서 알 수 있다.

3.1.2 플라이애쉬 치환율에 따른 유동특성

플라이애쉬는 입형이 둥글어 콘크리트의 유동성을 개선시키기 때문에 고성능 콘크리트에 사용이 가능하다. [표 6]은 플라이애쉬를 치환한 고성능 콘크리트의 유동성 및 충전성 실험 결과를 나타낸 것이다.

플라이애쉬의 치환량이 증가할수록 물구속비가 감소하게 되므로 결과적으로 플라이애쉬

의 치환량이 증가하게 되면 물분체비가 감소하게 된다. 그러나 플라이애쉬가 유동성을 증대시키므로 [표 6]에 나타난 바와 같이 치환율에 관계없이 슬럼프 플로우는 거의 비슷하게 나타났다.

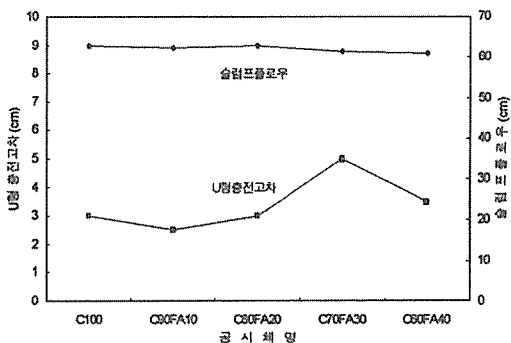
[그림 7]는 플라이애쉬 치환율에 따른 슬럼프 플로우와 충전고차를 나타내었다.

이 그림은 플라이애쉬의 치환율에 따른 충전성은 모든 치환율에서 5cm 이내의 범위를 만족하고 있고, 치환율 10%에서 2.5cm의 가장 낮은 충전고차를 보이고 있으며, 플라이애쉬 20%에서 3.0cm, 플라이애쉬 30%에서 가장 높은 충전고차 5.0cm를 나타내었다.

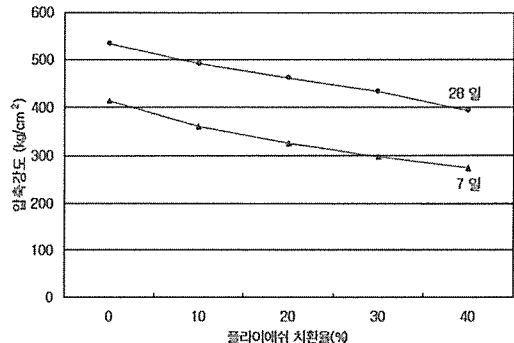
따라서, 플라이애쉬는 시멘트에 대해 치환율 20% 정도까지 사용하는 것이 자기충전성 고성능 콘크리트의 제조에 효과적이라고 사료된다.

[표 6] 플라이애쉬 치환시의 유동성 및 충전성 실험결과

공시체명	항 목	슬럼프플로우 (cm)	50cm도달속도 (cm ² /sec)	충전고차 (cm)	V로드 유하시간	공기량 (%)
C100		63	376	3	0.07	4.0
C90FA10		62.5	197	2.5	0.04	4.8
C80FA20		63	292	3	0.13	4.5
C70FA30		61.5	527	5	0.16	5
C60FA40		61	162	3.5	0.03	2.4



[그림 7] 플라이애쉬 치환율에 따른 슬럼프 플로우와 충전고차



[그림 8] 플라이애쉬 치환율에 따른 재령별 압축강도

3.1.3 분체 치환율에 따른 압축강도 변화

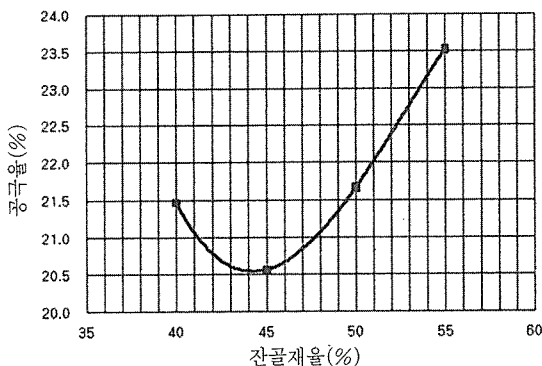
다음의 [그림 8]은 플라이애쉬 치환율에 따른 압축강도 변화를 보여주고 있다. 그림에서 알수 있듯이 시멘트에 대한 플라이애쉬의 치환율이 증가할수록 콘크리트의 압축강도는 감소하고 있다. 또한 재령 28일 압축강도도 7일과 마찬가지로 플라이애쉬 치환율의 증가와 함께 압축강도는 감소하고 있다. 이중 플라이애쉬 사용 콘크리트는 가장 작은 압축강도를 나타내는 40%치환의 경우에도 7일 압축강도 $270\text{kg}/\text{cm}^2$, 28일 압축강도 $390\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상을 나타내어 보통강도의 콘크리트 구조물への 적용에는 문제가 없을 것으로 사료된다.

3.2 고성능 콘크리트의 충전특성에 따른 최적 잔골재율

3.2.1 잔골재율에 따른 골재의 공극률의 변화

골재의 입도가 적당하면 공극이 적으므로 골재입자를 둘러싼 시멘트 페이스트량이 적게 들므로 단위시멘트량, 단위수량이 일정한 콘크리트에서는 위키빌리타가 좋아진다.

[그림 9]와 [그림 10]에 천연사와 부순모래를 7:3과 6:4의 비율로 혼합하여 잔골재율 변화에 따른 공극률을 각각 나타내었다.



[그림 9] 잔골재율에 따른 공극률의 변화
(천연사:부순모래=7:3)

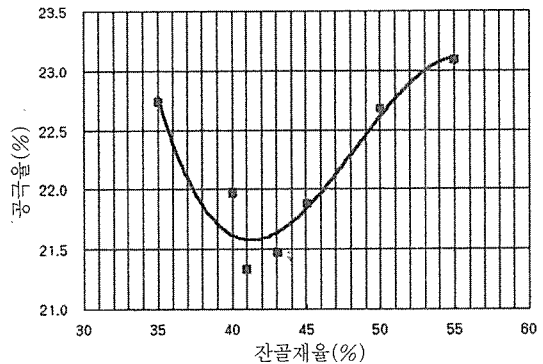
천연사와 부순모래를 7:3의 비율로 혼합한 잔골재를 사용한 경우에 공극률이 가장 작은 잔골재율은 41%로 나타났으며, 6:4의 비율로 혼합한 잔골재를 사용한 경우에는 잔골재율 45%에서 가장 작은 공극률을 나타내고 있다.

3.2.2 충전특성에 미치는 잔골재율의 영향

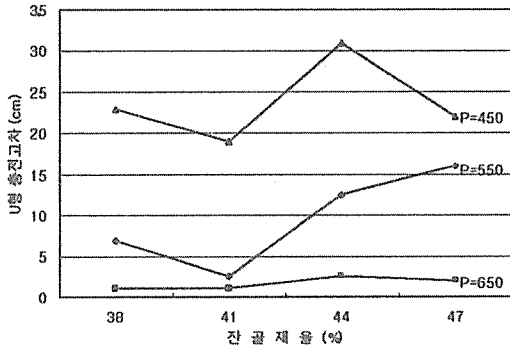
골재의 잔골재율과 공극률의 변화에 따른 콘크리트의 충전특성의 변화를 알아보기 위하여 단위분체량을 $450\text{kg}/\text{cm}^3$, $550\text{kg}/\text{cm}^3$, $650\text{kg}/\text{cm}^3$ 의 3종류에 대하여 잔골재율 38%, 41%, 44%, 47%로 변화시켜 유동 실험을 실시하고, 실험한 결과를 [그림 11]에 나타내었다.

단위분체량 $450\text{kg}/\text{cm}^3$ 을 사용할 때 잔골재율에 관계없이 모두 충전고차가 5cm이상의 값을 보이고 있으며, 골재의 공극율이 가장 작은 41%에서 충전고차가 가장 작은 19.0cm를 나타내었다. 분체량 $550\text{kg}/\text{cm}^3$ 의 경우 잔골재율 38%에서 충전고차가 7.0cm로 나타났으나, 잔골재율 41%에서는 2.5cm의 양호한 충전성을 보이고 있다. 그러나 잔골재율 44%와 47%에서는 충전고차가 12.5cm, 16.0cm로 나타나 충전고차를 만족시키지 못하고 있다.

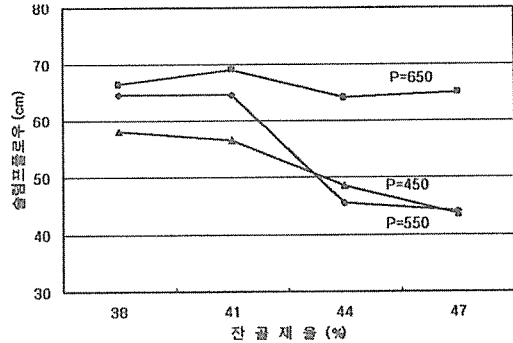
또한 분체량 $650\text{kg}/\text{cm}^3$ 의 경우에는 모든 잔골재율에서 충전고차가 2.5cm 이내로 충전



[그림 10] 잔골재율에 따른 공극률의 변화
(천연사:부순모래=6:4)



(그림 11) 분체량에 따른 잔골재율과 충전고차의 관계



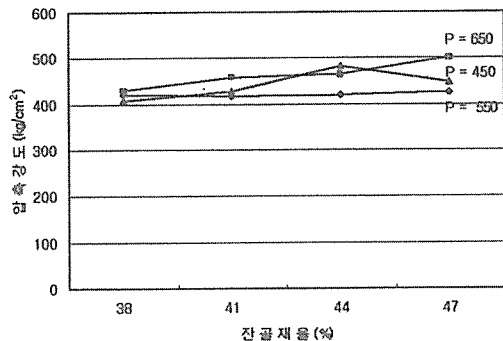
(그림 12) 분체량에 따른 잔골재율과 슬럼프 플로우의 관계

성을 만족하고 있다. 분체량이 증가할수록 충전고차는 작아지고 충전성을 만족하는 잔골재율의 범위가 증가하는 현상은 부배합 콘크리트일수록 상대적으로 골재량이 작아 콘크리트가 페이스트의 레올로지적 특성의 영향에 크게 의존하기 때문인 것으로 분석된다.

따라서, 굳지 않은 콘크리트의 충전성의 최적 잔골재율은 골재의 공극률과 밀접한 관계를 가지고 있으며, 공극률이 가장 작은 잔골재율이 최적 잔골재율이라 할 수 있다.

[그림 12]에서는 잔골재율에 따른 슬럼프 플로우의 변화를 나타내었다.

이 그림은 잔골재율 38%와 41%에서는 거의 비슷한 플로우 값을 보이고 있으나, 그 이상에서는 슬럼프 플로우가 감소하는 경향을 뚜렷하게 나타내고 있다.



(그림 13) 잔골재율 변화에 따른 압축강도

3.2.3 잔골재율에 따른 압축강도 특성

[그림 13]에 단위분체량과 잔골재율에 따른 압축강도의 변화를 나타내었다. 잔골재율과 분체량에 따른 압축강도는 뚜렷한 차이를 나타내지 않고 400~500kg/cm² 범위내에 분포되어 있으며, 잔골재율의 증가와 함께 압축강도가 조금 증가하는 것으로 분석되었다.

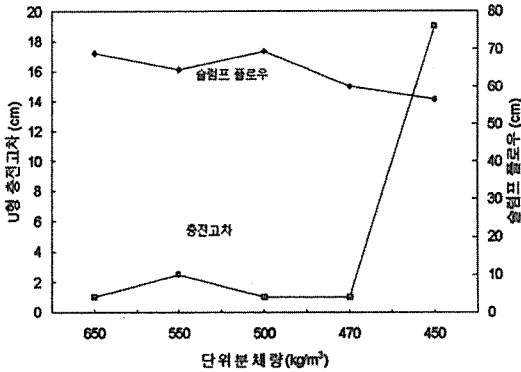
3.3 고성능 콘크리트의 충전성에 따른 최소 단위분체량

3.3.1 단위분체량 변화에 따른 충전성 평가

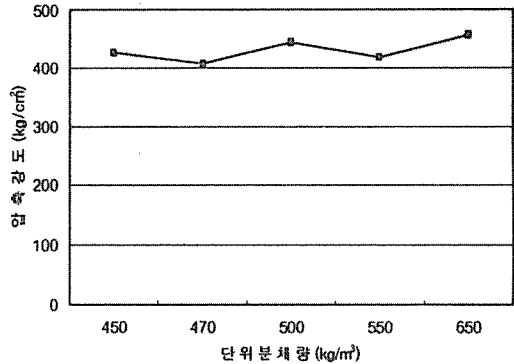
본 실험에서는 골재에 의한 폐쇄현상을 일으키는 한계골재량을 알아보기 위해 일정한 잔골재율에서 콘크리트의 단위분체량을 증가시켜 충전성을 만족하는 최소 분체량을 산정하였다.

[그림 14]에 단위분체량에 따른 슬럼프 플로우와 충전고차의 관계를 나타내었다.

먼저 슬럼프 플로우는 65±5cm를 만족하기 위한 고성능감수제의 사용량은 단위분체량의 증가에 반하여 감소하는 것으로 나타났으며, 골재 용적비가 0.657인 단위분체량 470kg/m³까지는 멜라민계 고성능감수제로 슬럼프 플로우를 만족시킬 수 있었으나, 단위분체량 450kg/m³에서는 최대 사용량인 3%



(그림 14) 단위분체량에 따른 충전고차 및 슬럼프 플로우의 관계



(그림 15) 단위분체량에 따른 압축강도 변화

를 치환하여도 슬럼프 플로우가 56.5cm를 나타내었다.

또한 충전성 시험에서도 단위분체량 450kg/m³에서 충전고차가 19.0cm로 증가하고 있는데 비하여 단위분체량 470kg/m³이상에서는 충전고차가 2.5cm 이내의 우수한 충전성을 나타내어, 물시멘트비가 일정한 조건에서 단위분체량을 증가시키면 단위페이스트량이 증가하여 골재간의 평균거리가 증대하여 골재의 마찰과 응집에 의한 콘크리트 유동폐쇄는 줄어들게 된 것으로 사료된다.

따라서 페이스트와 골재간의 상대량에 따른 폐쇄를 방지하기 위한 자기충전성 고성능 콘크리트의 배합설계에서는 단위분체량을 470kg/m³이상 사용하는 것이 바람직하다고 사료되며, 한계골재용적으로는 0.657m³/m³에 해당된다.

3.3.2 단위분체량에 따른 콘크리트의 강도 특성

다음의 [그림 15]에 단위분체량에 따른 압축강도변화를 나타내었다.

단위분체량에 따른 압축강도 변화는 뚜렷한 경향을 나타내지 않고 400~500kg/cm²사이에 분포되어 있다. 이것은 모든 배합이 단위분

체량 450kg/m³이상의 부배합으로 물분체비가 일정한 것에 기인하는 것으로 사료된다.

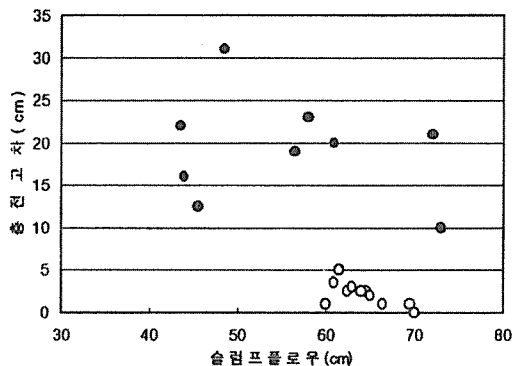
4. 자기충전성 고성능 콘크리트의 배합설계와 충전성 평가방법

4.1 고성능 콘크리트의 충전성 평가

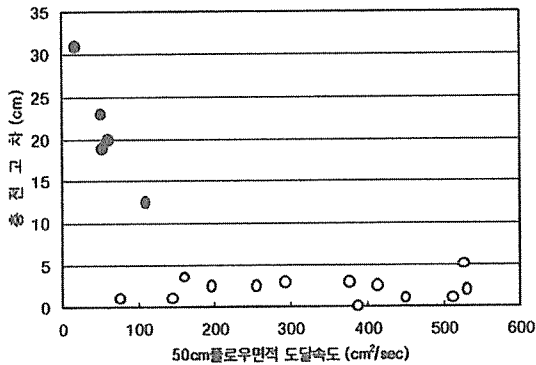
4.1.1 슬럼프 플로우와 충전특성

본 연구에서 얻은 슬럼프 플로우와 충전고차의 관계를 [그림 16]에 나타내었다.

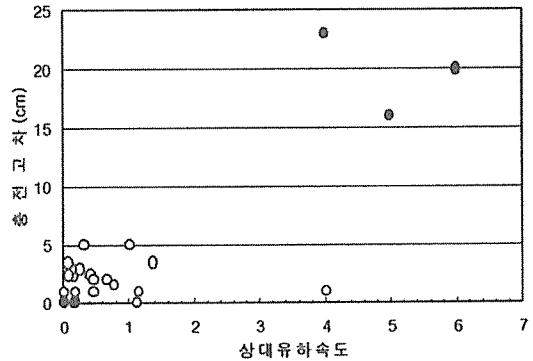
이 그림에서 충전고차 5cm를 만족하는 슬럼프 플로우의 분포는 슬럼프 플로우 60~70cm의 범위에 집중되어 있다. 슬럼프 플로



(그림 16) 슬럼프 플로우와 충전고차의 관계



(그림 17) 50cm플로우 면적 도달속도와 충전고차의 관계



(그림 18) 상대유하속도와 충전고차

우가 60cm이하에서는 콘크리트의 유동성 부족으로 충전고차 5cm이내를 만족할 수가 없었으며, 70cm를 넘어서는 경우 재료분리현상이 일어나 폐쇄현상 발생으로 충전고차가 크게 측정되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 자기충전성 고성능 콘크리트의 충전성을 만족시키기 위한 슬럼프 플로우의 범위를 65 ± 5 cm로 제한한다.

4.1.2 50cm플로우 면적 도달속도와 충전 특성

[그림 17]에 50cm플로우 면적 도달속도와 충전고차의 관계를 나타내었다.

이 그림에서 50cm플로우면적 도달속도가 $130 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 이하에서는 콘크리트의 유동성 부족으로 인한 폐쇄에 의해 충전고차가 큰 반면, 충전고차 5cm이내의 범위를 만족하는 50cm플로우면적 도달속도는 $130 \sim 530 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 의 범위에 분포하고 있다.

따라서 자기충전성 고성능 콘크리트의 충전성을 만족하는 50cm플로우면적 도달속도는 $130 \sim 530 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 의 범위가 적정 수준인 것으로 사료된다.

4.1.3 상대유하속도와 충전특성

[그림 18]에 V로드시험에서 구한 상대유하

속도와 충전고차의 관계를 나타내었다.

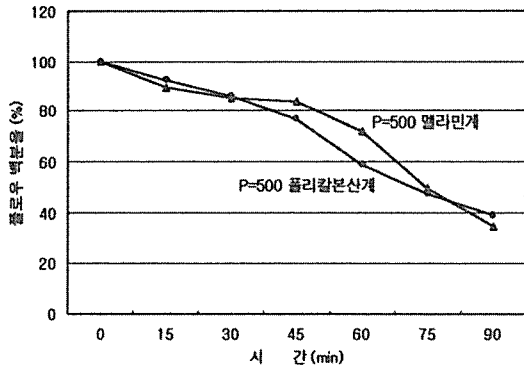
상대유하속도 0.4~1.2의 범위에서 충전고차 5cm이내를 만족하고 있으며, 상대유하속도 5이상에서는 콘크리트의 유동성부족과 점성증가로 인해 충전성이 나빠지게 되는 것을 알 수 있다.

따라서, 자기충전성 고성능 콘크리트의 충전성을 만족하기 위한 상대유하속도는 0.4~1.2의 수준이 적당할 것으로 사료된다.

4.2 고성능 콘크리트의 흐름값 경시변화

고성능 콘크리트의 슬럼프 플로우의 경시변화를 알아 보고자 멜라민계와 폴리카본산계(Naphthalene계와 Poly Carbon산계의 Co-Polymer) 고성능감수제를 사용하여 경시변화를 측정하였다. 실험에서 사용한 분체는 시멘트에 대해 플라이애쉬 20%와 고로슬래그 15%를 치환하여 사용하였으며, 멜라민계는 시멘트 사용량에 대해 3.0%치환하고, 폴리칼본산계는 2.4%를 치환하였다.

경시변화는 일반 레미콘 트럭과 같은 2rpm의 속도로 회전하는 중력식 믹서를 사용하여 비빔 직후부터 15분간격으로 90분까지 측정하여 [그림 19]에 초기 슬럼프 플로우 값을 100으로 하여 나타내었다.



(그림 19) 고성능감수제 종류에 따른 경시변화

나프탈렌계의 중축합물인 폴리칼본산계와 멜라민계 고성능감수제는 거의 동일한 슬럼프 플로우 유지성능을 나타내고 있다.

또한 경과시간 45분까지는 서서히 경시변화가 진행되어 플로우 백분율 80%를 나타내고 있는 반면, 이후 급격히 진행되어 측정 종료시점인 90분에는 40%의 플로우 백분율을 나타내고 있다.

4.3 고성능 콘크리트의 배합설계법

본 연구는 플라이애쉬와 고로슬래그 미분말을 사용하여 낮은 물구속비에서 유동성과 점성을 증가시키고 충전성을 만족하는 최소 공극률과 최적 잔골재율을 적용시켜 고성능 콘크리트를 제조하고자 하였다. 또한 이들 콘크리트의 충전성 평가 실험을 실시하여 평가실험방법과 만족범위를 제시하여 고성능 콘크리트의 합리적 배합설계를 가능하게 하였다.

고성능 콘크리트를 제조하기 위한 본 연구의 배합설계의 흐름은 [그림 20]과 같고, 배합설계의 흐름을 설명하면 다음과 같다.

- 1) 콘크리트의 배합설계를 하기 위한 재료를 선정한다.
- 2) 선정된 재료의 물구속수비를 측정하고,

강도를 기준으로 W/P를 결정한다.

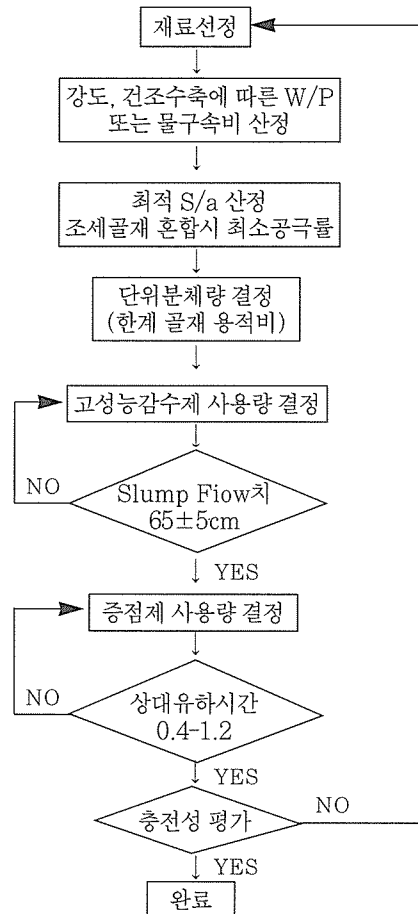
3) 콘크리트의 유동폐쇄가 발생하지 않는 최소 단위분체량 이상이 되도록 분체량을 정한다.

4) 굵은골재와 잔골재를 혼합하여 공극률이 최소가 되는 잔골재율을 산정한다.

5) 슬럼프 플로우 값이 $65 \pm 5\text{cm}$ 의 범위에 들도록 시행착오법에 의해 고성능감수제의 사용량을 결정한다.

6) V로드 상대유하시간 $0.4 \sim 1.2$ 를 만족하도록 증점제의 사용량을 결정한다.

7) 제조된 콘크리트는 U형 충전성 시험기를 사용하여 충전성 평가를 실시하여 충전성



(그림 20) 배합설계의 흐름도

을 검토하고, 만족할 수 없다면 재료의 선정을 다시 실시한다.

5. 결론

콘크리트를 페이스트와 골재의 이상계로 취급하고, 최적 물구속비, 최소 단위분체량 및 최적 잔골재율을 적용시켜 자기충전성 고성능 콘크리트의 배합설계법을 제안한 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 콘크리트를 페이스트와 골재의 이상계로 취급한 본 배합설계는 최소단위분체량 이상의 분체량과 최적 잔골재율을 사용함으로써 자기 충전성을 가진 고성능 콘크리트를 제조할 수 있는 합리적인 배합설계법이다.
2. 콘크리트의 충전성에는 굵은골재와 잔골재를 혼합하여 공극률이 가장 작은 영역에서 우수한 충전성을 나타낸다. 따라서 고성능 콘크리트 배합시 충전성을 만족시키는 최적 잔골재율은 최소 공극률을 가지는 잔골재율이다.
3. 자기 충전성 고성능 콘크리트에서 충전성을 만족시키기 위한 최소 단위분체량은 $470\text{kg}/\text{m}^3$ 이며, 최대 골재 용적으로는 $0.657\text{m}^3/\text{m}^3$ 이다
4. 플라이애쉬는 치환량이 증가할수록 유동성이 증가되어 물구속비를 감소시키고, 고로슬래그는 15%치환에서 가장 작은 물구속비를 나타낸다. 또한 고로슬래그와 플라이애쉬의 혼합치환에서는 고로슬래그 15%와 플라이애쉬 20%를 치환한 경우 가장 낮은 물구속비를 나타낸다.

5. 단위수량이 일정할 때 압축강도는 플라이애쉬의 치환량이 10%씩 증가할수록 재령 7일에서는 10%내외, 재령 28일에서는 8%내외의 감소를 보이고 있으며 고성능 콘크리트의 28일 압축강도는 물분체비 33%에서 $400\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상을 얻을 수 있다.

6. 자기충전성 고성능 콘크리트의 충전성을 만족하기 위한 슬럼프 플로우는 $65 \pm 5\text{cm}$, 50cm플로우면적 도달속도는 $130 \sim 530\text{cm}^2/\text{sec}$, V로드의 상대유속속도는 0.4~1.2의 범위인 것으로 판단된다.
7. 나프탈렌계와 중축합물인 폴리카본산계의 고성능감수제는 멜라민계의 고성능감수제와 거의 동일한 슬럼프 플로우 유지 성능을 나타내고 있으며, 슬럼프 플로우가 초기 슬럼프 플로우에 비해 45분에 80%, 90분에 40%로 떨어진다.

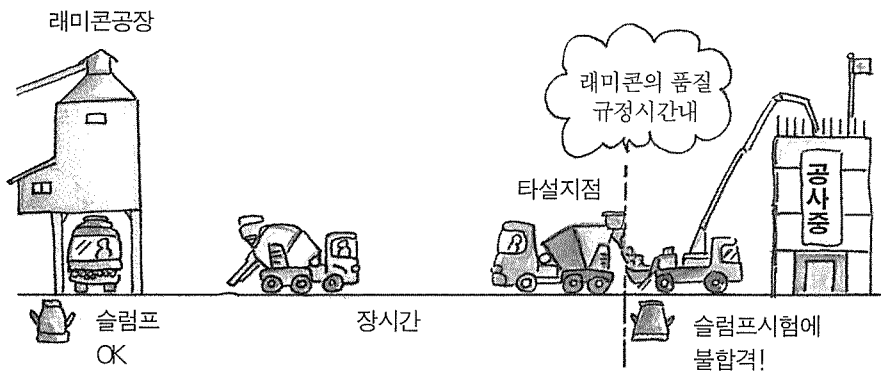
감사의 글

본 연구는 1997년도 대구지역 산·학·연 공동기술개발 컨소시엄 과제로 경북 고령군 소재 부광산업(주)와 공동 개발한 연구입니다. 이에 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 岡村甫, 前川宏一, 小澤一雅: 하이パフォーマンス 콘크리트, 技報堂出版, 1993.
2. 万木正弘, 坂田 昇, 岩井 稔, "特殊増粘劑を用いた締固め不要コンクリートに関する研究", 콘크리트工学年次論文報告集 Vol.14 No.1, 1992, pp. 51~56.

3. 박칠림, 권영호, “고성능 콘크리트의 개발 및 실용화 연구”, 콘크리트학회지 Vol.7 No.5, 1995. 10., pp. 4. 2~50.
4. 차태환 외 4인, “고유동콘크리트의 제조에 관한 실험적 연구”, 콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 제7권 2호, 1995. 11., pp.50~55.
5. 谷川恭雄, 森博嗣, 野田豊, 渡部哲己, “フレッシュコンクリートのポンプ圧送に関する解析的研究”, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.14 No.1, 1992, pp. 421~426.
6. 谷川恭雄, 森博嗣, 黒川善幸, 小高茂央, “動的粘塑性解析手法によるフレッシュコンクリートの流動シミュレーション”, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.14 No.1, 1992, pp. 409~414.
7. 村田二郎, 岩崎訓明, 兒玉和巳: 콘크리트의科學と技術, 山海堂, 1996.
8. 長瀧重義: 콘크리트의高性能化, 技報堂出版, 1997.



장시간 운반의 경우 혹은 여름철에는 공장에서의 품질이 양호하여도
타설지점에서 불합격하는 경우가 있으므로 주의