

고유동콘크리트의 각종 유동특성에 미치는 세골재의 영향에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Fluidity of High Flowing Concrete Affected by Fine Aggregate Types

김규용*
Kim. Gyu Yong

신흥철*
Shin. Hong Chol

최세진*
Choi. Se Jin

강희관*
Kang. Hee Kwan

조성현*
Cho. Sung Hyun

김무한**
Kim. Moo Han

Abstract

High flowing concrete has flowability, passability, pumpability, segregation resistance and so on, and there are so many influence factor to affect to fluidity of high flowing concrete, therefore it is so difficult to evaluate exactly the properties in fresh state

This study is to analyze and evaluate the fluidity of high flowing concrete affected by fine aggregate with test method such as, slump-flow test, V-lot test, L-flow test, Box filling test

1. 서 론

고유동콘크리트는 다짐이 필요없이 복잡한 거푸집내에 밀실하게 타설되는 고유동 특성을 보유하고 있어 현대 산업사회에서 건설구조재료로서 수요가 더욱 크게 증가될 것으로 예상되고 있다. 그러나 이러한 고유동콘크리트의 우수한 고유동 특성을 개발하기 위하여는 각종 품질 영향요인등에 대한 철저한 품질관리가 요구되며, 그중 골재의 종류 따른 고유동콘크리트의 고유동 특성에 대한 영향은 매우 크다고 사료된다.

본 연구는 세골재의 조립율, 입형, 표면거칠기 등과 같이 기초물성이 다른 세골재를 각각 강모래, 깐

* 충남대학교 건축공학과 대학원

** 충남대학교 건축공학과 교수

표 1 실험요인 및 수준

실험요인	수 준
물결합재비	0.35
세골재	<ul style="list-style-type: none"> 강모래 (River Sand) 깻자갈 (Crushed Sand) 바닷모래 (Sea Sand)
FA대체율 (%)	15, 30, 45, 60
아직근지않은 콘크리트의 시험항목	<ul style="list-style-type: none"> 슬럼프 플로우 (cm), 50cm슬럼프 플로우 도달시간 (sec) L플로우(cm), L플로우 속도 (cm/sec), V 루트(sec), 박스 충전성(cm), 충전시간(sec), 조골재의 질량측정

30, 45, 60%로 적용하였으며, 아직근지않은 고유동콘크리트의 고유동 특성을 고유동성, 간극통과성, 충전성, 분리저항성 등 다각적인 측면에서 파악하여 세골재의 종류에 따른 고유동콘크리트의 특성을 분석하기 위한 실험을 행하였다.

표 2 콘크리트의 조합

세골재의 종류	물결합재비	FA 대체율 (%)	목표 슬럼프 플로우 (cm)	S/A (%)	단위중량 (kg/m ³)				
					단위 수량	시멘트	FA	세골재	조골재
강모래 깻모래 바닷모래	0.35	15	65±5	52	175	425	75	864	800
		30				350	150	849	784
		45				275	225	833	771
		60				200	300	820	756

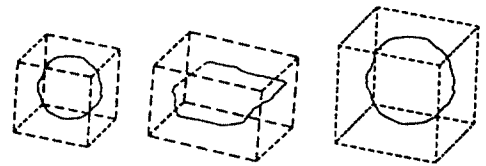


그림 2 세골재의 입형

표 3 사용재료의 물리적 성질

시멘트	보통 포틀랜드 시멘트 비중 : 3.15, 비표면적 : 3,200cm ² /g	
세골재	강모래	입경 : 2.5mm, 비중 : 2.57, 조립율 : 2.64, 실적율 : 62.1%
	깻모래	입경 : 5mm, 비중 : 2.58, 조립율 : 2.87, 실적율 : 64.1%
	바닷모래	입경 : 5mm, 비중 : 2.57, 조립율 : 3.38, 실적율 : 64.7%
조골재	깻자갈	입경 : 20mm, 비중 : 2.58, 조립율 : 6.54, 실적율 : 58.0%
혼화재	플라이애쉬(FA) 비중 : 2.1, 비표면적 : 4,050cm ² /g	
혼화재	고성능AE감수제 (SP) : 나프탈렌계, 비중1.10, 액상.	

2.2 콘크리트의 조합 및 사용재료

콘크리트의 조합은 표 2에 나타난 바와 같이 물결합재비 0.35에서 각각의 세골재 종류별로 플라이애쉬의 대체율을 15, 30, 45, 60%, 콘크리트의 목표 슬럼프플로우는 65±5cm, 목표 공기량은 4.5±1.5%로 고성능 AE감수제의 첨가량을 결정하여 고유동콘크리트를 제조하였다.

본 실험에서 사용한 각종 재료의 기초물리적 성질은 표 3과 그림 1에 나타난 바와 같다. 먼저 세골재는 최대입경과 조립율등의 기초물성이 각각 다른 강모래, 깻모래,

표 4 고유동콘크리트의 시험항목 및 방법

시험항목	시험 방법
슬럼프플로우	슬럼프 시험후 콘크리트의 퍼지는 성상을 측정
슬럼프플로우속도	슬럼프 플로우50cm, 최종도달거리까지의 도달 시간 측정
V 로트	V로트 유하시간(sec) 측정 시험방법:초유동콘크리트의 연구위원회 보고서
L 플로우	각구간별 도달시간 및 속도측정 시험방법:초유동콘크리트의 연구위원회 보고서
박스 충전고	충진높이 측정 시험방법:초유동 콘크리트 연구위원회 보고서
재료분리 저항성	박스 충전고 측정 후 박스 투입구와 배출구의 콘크리트를 채취한 조골재량을 측정한다.

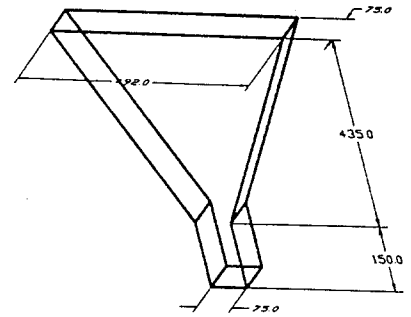


표 3 V로트 시험기

바닷모래를 사용하였으며, 그의 입형은 그림 2에 나타낸 바와같이 강모래의 경우 입경이 작고 구형이며, 깎모래의 경우 입경이 비교적 크고 거칠며 편평한 입형이고, 바닷모래의 경우 입형은 구형이지만 입경이 크고 세립분이 다소 적었다. 조골재는 최대입경 20mm인 쇠석골재를 사용하였고, 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트, 혼화제로서 플라이애쉬, 혼화제로서 나프탈렌계의 고성능AE감수제를 사용하였다.

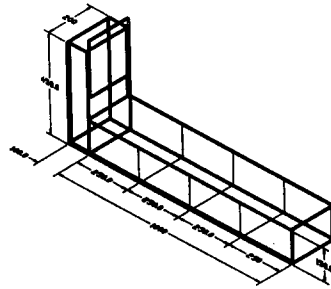


그림 4 L플로우 시험기

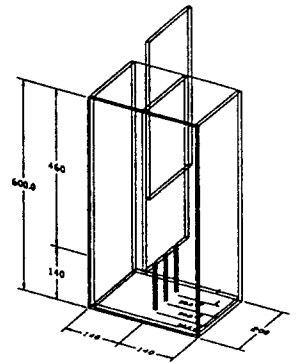


그림 5 박스 충전 시험기

콘크리트의 제조는 강제식 팬타입 믹서(용량 100 l)를 사용하였으며, 투입순서는 건 모르터(시멘트 + 세골재)→유동화 모르터(물 + 고성능AE감수제)→유동화 콘크리트(조골재)의 단계별로 구성재료를 분할투입하는 방법을 채용하였으며, 총 비빔시간은 210~270초가 소요되었다.

2.3 시험항목 및 방법

세골재의 종류에 따른 고유동콘크리트의 고유동성, 간극통과성, 충전성, 재료분리 저항성 등을 종합적으로 평가·분석하기 위하여 『일본 초유동콘크리트 연구위원회 보고서』 등의 문헌을 참조하여 그림 3의 V로트 시험기, 그림 4의 L 플로우 시험기, 그림 5의 박스 충전시험기를 제작하였으며, 아직까지 않은 콘크리트의 시험항목을 표 4와 같이 설정하여 각 기준2)에 따라 시험을 행하였다.

재료분리 저항성을 측정하기 위한 시험방법으로서는 박스 충전시험기의 투입구와 배출구의 콘크리트를 시료로 채취하여 5mm체를 통과한 조골재를 분리한 후 각각의 중량비를 구하고 다음과 같이 조골재의 중량비차를 구하였다.

$$\text{조골재중량비차(\%)} = \text{투입구의 조골재비(\%)} - \text{배출구의 조골재비(\%)}$$

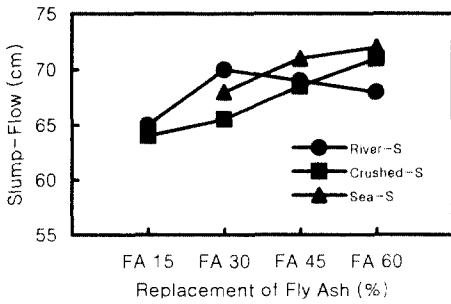


그림 6 세겔재 및 플라이애쉬 대체율에 따른 슬럼프플로우의 변화

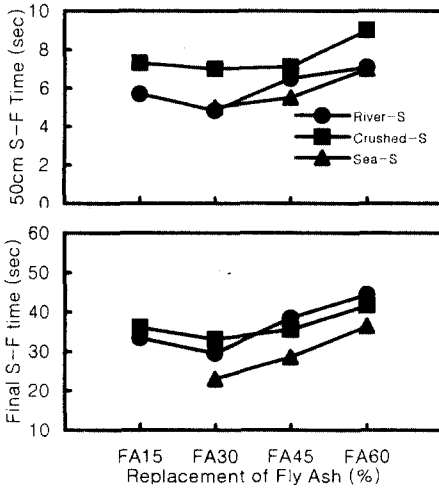


그림 7 최종 및 50cm 슬럼프플로우정지 시간의 변화

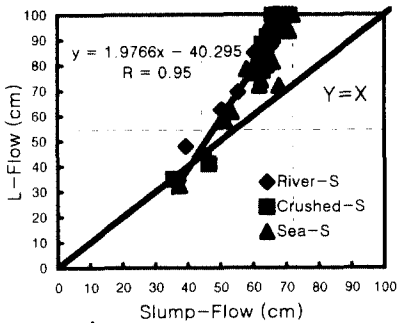


그림 10 슬럼프플로우와 L플로우의 관계

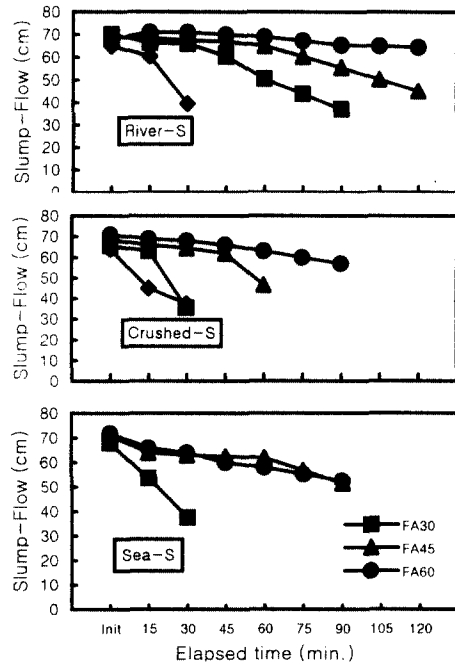


그림 8 슬럼프플로우의 경시변화

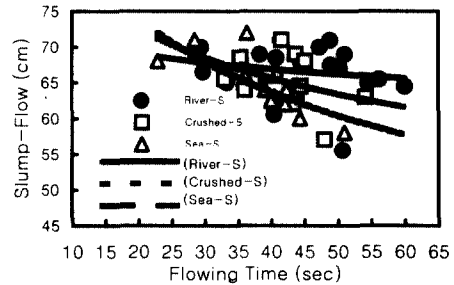


그림 9 슬럼프플로우와 슬럼프플로우 정지시간 관계

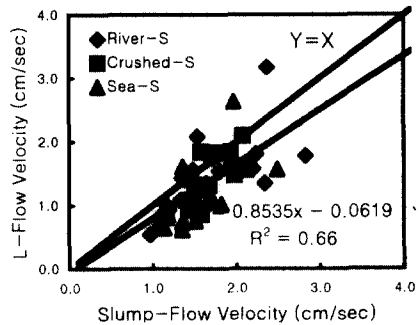


그림 11 슬럼프플로우 속도와 L플로우 속도의 관계

3. 시험결과의 분석 및 검토

3.1 유동특성에 관한 분석 및 검토

그림 6은 세골재의 종류 및 플라이애쉬 대체율에 따른 슬럼프플로우의 변화를 나타낸 것으로 전반적으로 플라이애쉬 대체율이 증가하면서 조립율이 각각 2.87, 3.38로 비교적 큰 깬모래와 바닷모래의 경우 슬럼프플로우치가 증가하는 경향을 보이고 있는 반면, 조립율이 2.64로 상대적으로 작은 강모래의 경우 플라이애쉬 대체율 30%이후부터 감소하는 현상을 보이고 있다. 이는 세골재의 입경이 작고 세립분이 많은 강모래의 경우 플라이애쉬 대체율이 증가되면서 콘크리트의 점성을 증가시켰기 때문으로 사료된다.

그림 7은 최종 및 50cm 슬럼프플로우의 정지시간에 대한 변화를 나타낸 것으로 50cm 슬럼프플로우에서 유동정지 시간의 경향은 최종 슬럼프플로우정지시간의 경향과 유사한 형태를 보이고 있으며 전반적으로 플라이애쉬 대체율이 15%에서 30%사이에서는 슬럼프플로우의 정지시간이 감소하다가 플라이애쉬 대체율 30%이상 증가되면서 슬럼프플로우의 정지시간이 길어지는 현상을 보이고 있는데 이는 플라이애쉬 대체율이 증가되면서 콘크리트에 점성이 증가하였기 때문인 것으로 사료된다. 또한 세골재의 종류에 대하여는 입경 및 조립율이 큰 바닷모래가 상대적으로 유동시간이 빠르게 나타나고 있다.

그림 8은 슬럼프플로우의 경시변화를 나타낸 것으로서 전반적으로 플라이애쉬 대체율이 증가되면서 고유동성의 유지시간이 길게 나타나고 있으며, 세골재의 종류에 따라서는 조립율이 작은 순서인 강모래, 깬모래, 바닷모래의 순으로 고유동성 유지시간이 길게 나타났다. 따라서 고유동콘크리트의 유동성 유지시간 확보에 있어서 골재의 종류에 따라 적절한 플라이애쉬 대체율의 적용이 필요할 것으로 사료된다.

또한 그림 9의 슬럼프 플로우와 슬럼프플로우 정지시간과의 관계에서 나타난 바와 같이 유동시간이 30초를 초과하는 범위에서는 그림 8의 슬럼프플로우 유지시간의 순서와 유사한 경향으로 동일한 유동시간에 조립율이 낮은 순서인 강모래, 깬모래, 바닷모래의 순서로 슬럼프플로우가 상대적으로 크게 확보되는 경향을 보이고 있어 고유동콘크리트의 유동성 측면에

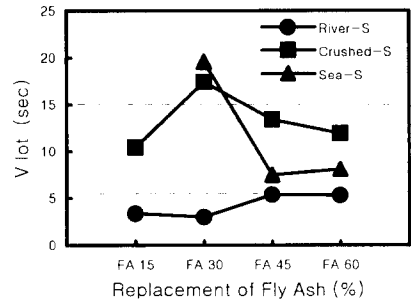


그림 12 세골재 및 플라이애쉬 대체율에 따른 V로트의 변화

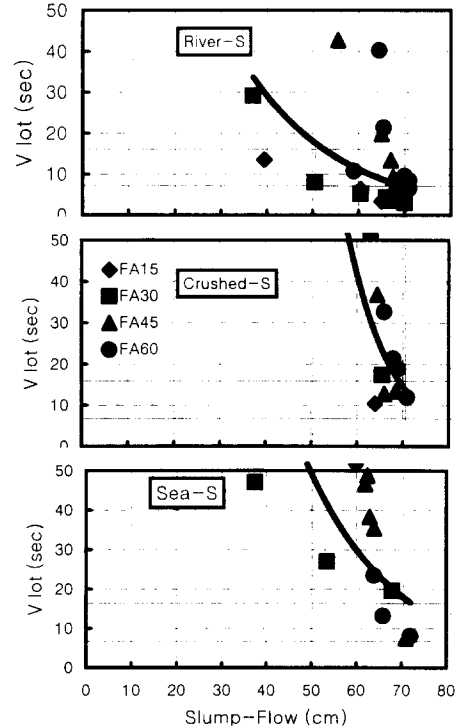


그림 13 슬럼프플로우와 V로트의 관계

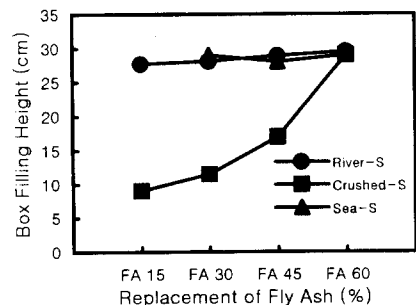


그림 14 세골재의 종류 및 플라이애쉬 대체율에 따른 박스충전고

서는 조립율이 비교적 작은 강모래가 유리한 것으로 나타나고 있다.

그림 10은 슬럼프플로우와 L플로우의 관계를 나타낸 것으로 슬럼프플로우 40~70cm의 범위에서 방사형으로 유동되는 슬럼프플로우보다 일변방향으로 유동되는 L플로우의 값이 다소 크게 확보되는 경향을 보이고 있으나, 그림 11의 슬럼프플로우 속도와 L플로우 속도의 관계에서는 슬럼프플로우 속도가 L플로우 속도보다 다소 크게 나타나고 있어 콘크리트의 유동방향 및 유동형태에 따라서 고유동콘크리트의 유동시간 및 유동속도가 다소 달라질 수 있다는 것을 의미하고 있다.

3.2 간극통과성에 관한 분석 및 검토

그림 12는 콘크리트의 슬럼프플로우치가 65 ± 5 cm의 범위에서 세골재의 종류 및 플라이애쉬 대체율에 따른 V로트 유하시간의 변화를 나타낸 것이다. 조립율이 낮은 강모래의 경우 V로트 유하시간이 5초내외로 가장 빠른 수준을 보이고 있으며, 그외에 깎모래와 바닷모래는 강모래와 비교하여 V로트 유하시간이 상대적으로 길게 나타났다. 또한 슬럼프플로우와 V로트 유하시간과의 관계를 나타낸 그림 13에서 보는 바와 같이 강모래의 경우 슬럼프플로우의 고유동 영역과 V로트의 간극통과 영역에 분포되는 빈도가 비교적 높게 형성되어 있으나, 깎모래와 바닷모래의 경우 고유동성의 영역을 확보하여도 간극통과성이 불량한 영역에 분포되는 빈도가 높게 나타나고 있다. 이는 V로트의 유하시에 조립율이 크고 입형이 거칠은 골재의 경우 골재상호간의 충돌 및 마찰현상 때문인 것으로 사료되어 고유동콘크리트의 제조시 단순히 높은 슬럼프 플로우의 확보보다 골재의 입형 및 조·세립도의 분포에 따른 간극통과성의 확보에 대한 세심한 주의가 필요하다고 하겠다.

3.3 충전성 및 분리저항성에 관한 검토

그림 14는 세골재의 종류 및 플라이애쉬 대체율에 따른 박스충전고의 변화를 나타낸 것으로 입형이 다소 편평하고 조립율이 다소 높은 깎모래의 경우 박스충전고가 매우 낮았으나 플라이애쉬 대체율이 증가할수록 충전고가 향상되었다. 이는 입형이 불량한 깎모래가 골재끼리 상호마찰 및 충돌현상이 플라이애쉬의 대체이 증가되면서 골재상호간의 분산거리가 크게되어 충전성이 개선되었기 때문으로 사료된다.

그림 15는 세골재의 종류 및 플라이애쉬 대체율에 따른 조골재의 중량비차를 나타낸 것으로 박스충전장치에 의해 충전고를 측정한 후 박스의 투입구와 배출구에 콘크리트를 시료로 채취하고 5mm체를 사용해 조골재의 중량을 측정하여 투입구의 조골재중량비와 배출구의 조골재 중량비의 차이를 환산한 것이다. 전반적으로 플라이애쉬 대체율이 낮으면 조골재중량비 차가 크고 플라이애쉬 대체율이 증가하면 조골재중량비차가 작게 나타나고 있다. 특히 깎모래의 경우 플라이애쉬 대체율 15, 30%에서 조골재 중량비차가 8% 이상으로 나타나 골재분리의 가능성이 상대적으로 높은 것으로 나타났다.

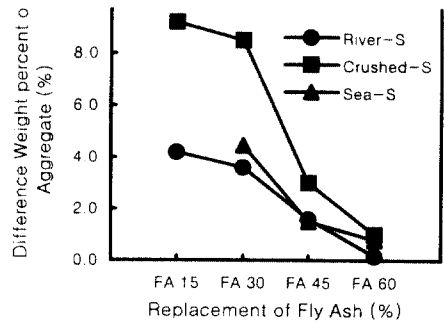


그림 15 세골재의 종류 및 플라이애쉬 대체율에 따른 조골재 중량비차

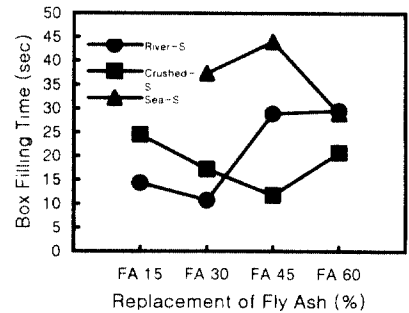


그림 16 세골재의 종류 및 플라이애쉬 대체율에 따른 충전시간

그림 16은 세골재의 종류 및 플라이애쉬 대체율에 따른 박스충전시간을 나타낸 것으로 충전시간은 강모래의 경우 10~30초, 깬모래의 경우 15~35초, 바닷모래의 경우 30~45초로 각각 소요되었으며, 플라이애쉬 대체율에 따른 유의할 만한 현상은 보이지 않고 있다.

4. 결 론

고유동콘크리트의 각종 유동특성에 미치는 세골재의 영향요인을 실험·실증적으로 고찰하기 위하여 기초물성이 다른 세골재를 선정하고, 플라이애쉬 대체율을 각각의 수준별로 적용하여 고유동성, 간극통과성, 분리저항성 등에 대하여 상호 비교·분석·평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 고유동콘크리트의 유동성 유지시간 확보에 있어서 조립율이 작은 순서인 강모래, 깬모래, 바닷모래의 순으로 고유동성 유지시간이 길게 나타나, 세골재 종류에 따른 적절한 플라이애쉬 대체율의 적용이 조합설계시 고려되어야 할 것으로 사료된다.
- 2) 고유동콘크리트의 슬럼프플로우가 높게 확보되어도 V로트의 유하시에 조립율이 크고 입형이 거칠은 골재의 경우 골재 상호간의 충돌과 마찰현상 때문에 간극통과성 및 충전성이 불량해질 가능성이 크므로 골재의 입형 및 조·세립도의 분포에 따른 간극통과성 및 충전성의 확보에 세심한 주의가 필요할 것으로 나타났다.
- 3) 고유동콘크리트의 각종 유동특성을 비롯한 충전성 및 재료분리 저항성은 골재의 조립율이 작고 입형이 양호한 강모래를 사용한 경우가 입형이 다소 편평하고 조립율이 비교적 높은 깬모래 및 바닷모래의 경우보다 양호한 성상을 보이고 있다.

참 고 문 헌

1. 岡村 甫 外：ハイパフォーマンスコンクリート，1992.
2. 日本コンクリート工學協會：超流動コンクリート研究委員會報告書(1)，1993. 5, pp. 73-126
- 3) 顔蘇 榮治 外：細骨材の粗立率が高流動コンクリートのフレッシュ時の性状におよぼす影響，コンクリート工學年次論文集, Vol.18, No.1, 1996 pp. 125-128
4. 岩井 信彰 外：高流動コンクリートのフレッシュ性状に及ぼす骨材の形状・寸法の影響，コンクリート工學年次論文集, Vol.18, No.1, 1996 pp. 117-122