

초유동 콘크리트의 개발에 관한 기초적 연구 - 제 2보 : Fresh 콘크리트의 성능평가 -

A Fundamental Study on development of Ultra-Flow Concrete
- part 2. The preformance estimation of Fresh concrete -

김 화 중* 김 제 훈** 박 정 민*** 최 신 호**** 이 승 조**** 김 태 곤****
W.J.Kim J.H.Kim J.M.Park S.H.Choi S.J.Lee T.G.Kim

Abstract

Recently, work of construction industry is not enough to do in tamping because of a lack of expert, advanced-age of worker, increase of structure of high-density arrangement and machanization of concrete pumping method. Accordingly it is required for high-quality concrete with excellent flowability, Self-placeability and segregation resistance. In this point of view, this study is investigated for required properties of ultra-flow concrete using domestic material as for development of Ultra-Flow concrete in the side of material.

1. 서론

콘크리트에 요구되는 성능은 프레쉬상태로부터 장기 내구성에 이르기 까지 다양하며, 건축물의 다양화, 시공법의 발전에 따라 고성능의 콘크리트가 요구되고 있다. 그러나 건축물의 고층화·대형화로 인한 고밀도 배근과 펌프시공에 의한 콘크리트의 대량 타설에 의한 다짐이 어려운 점은 구조물의 내구성 저하의 원인이 되고 있다. 따라서 다짐작업등의 작업정도에 영향을 받지 않고 구조물의 내구성을 확보할 수 있는 고품질의 콘크리트와 시공 방법이 요구되고 있으나 국내에서는 이에 대한 연구가 부족한 실정이다.

따라서 본 실험은 구조물의 신뢰성 확보를 목적으로 시공정도에 영향을 받지 않는 초유동 콘크리트를 개발하기 위하여 혼화제로서 제올라이트를 사용한 초유동 콘크리트 개발을 위한

기초단계의 연구로서 사용재료 및 콘크리트의 성능 평가 방법에 대한 타당성을 검토하고자 한다.

2. 초유동 콘크리트의 성능평가 방안의 설정 및 검토

초유동 콘크리트의 요구성능을 정량적으로 명확히 판정할 수 있는 표준 시험법은 아직까지 확립되어 있지 않다. 그러나 근래 콘크리트의 변형성과 분리 저항성 양자의 성질을 슬럼프값으로 나타내어, 초유동 콘크리트의 요구성능을 평가하고 있다.

따라서 본 연구는 초유동 콘크리트의 요구성능을 크게 유동성, 재료 분리 저항성, 간극 통과성 등의 3가지 항목을 중심으로 고찰하기로 한다.

2.1. 시험 항목

본 연구에서 초유동 콘크리트의 요구성능에 대한 시험방법과 측정항목은 표-1과 같다.

* 경북대학교 건축공학과 부교수
** 경민전문대학교 건축공학과 전임강사
*** 경북대학교 건축공학과 박사과정
**** 경북대학교 건축공학과 석사과정

<표 1. 시험 방법과 측정항목>

평가 성상	시험 방법	측정 항목
유동성	Slump Flow 시험	슬럼프플로우치(S_f) 플로우 50cm시간(S_{50}) 플로우 종료시간(S_t)
	L Flow 시험	L 플로우치(L_f) L 플로우속도 (L_{V5-10} , L_{V5-20} , L_{V5-30}) L 플로우 시간(L_{t30} , L_t)
간극 통과성	V로트유하 시험	유하 시간(V_t)
분리 저항성	조골재 씻기 시험	중심부 조골재비(A_1) 주변부 조골재비(A_2)

3. 실험계획

3.1. 실험인자 및 수준

본 연구의 실험인자 및 수준은 표-2와 같다.

<표 2. 실험 인자 및 수준>

인자	수준	수준數
혼화재 치환율	0, 5, 10%	3
고성능감수제	2, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0%	5
증점제 사용량	0, 0.5, 1.0, 1.25, 1.5, 1.8, 2.0%	7
단위수량	170, 175	2
물 결합재비	35%	1

3.2. 실험방법

실험배합은 표-3과 같고 비빔은 60ℓ 강제식 믹서기를 사용하여 건비빔 1분, 습비빔 4분으로 전체 5분 비빔으로 하였다. 공시체의 제작은 콘크리트 비빔후 60분후에 압축강도 시험용으로 $\varnothing 10 \times h 20\text{cm}$ 의 공시체를 제작하여 24시간후에 탈형하여 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 수중상태에서 3, 7, 28일의

<표 4. 골재의 물리적 성질>

종류 (mm)	표건비중	최대크기 (mm)	단위용적 중량 (kg/m^3)	흡수율 (%)	공기량 (%)	신적용 (%)	마모율 (%)	조립율
잔골재	2.58	4.76	1682	1.63	34.8	65.2	-	2.71
굵은 골재	2.76	25	1480	1.26	47	53	23.8	6.74

재령까지 양생시켰다

3.3. 사용재료

본 연구의 사용재료는 전 1보와 동일하나 잔골재는 조립율이 2.71인 경북 옥성산 강모래이며, 굵은 골재의 경우 경북산 쇠석 골재를 사용하였다. 골재의 물리적 성질은 표-4와 같다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1. Fresh상태에서의 초유동 콘크리트의 성능 평가

4.1.1. 유동성에 관한 고찰

그림-1은 슬럼프 플로우 거리에 대한 슬럼프 플로우 속도(S_{V20-50})를 표시한 것으로써 슬럼프 플로우치(SLF)가 500~700mm 일때 플로우의 속도가 10~60mm/sec를 대체적으로 만족하고 있다. 5Z10-3.5-2.0의 경우는 단위수량이 많은 관계로 처음 30cm까지는 높은 속도를 가지나 소성점도의 부족으로 골재의 막힘에 의해 슬럼프 속도가 떨어졌다.

그림-2에서 슬럼프 플로우치에 대한 경시변화를 보면 경시변화가 거의 없는 것으로 사료된다.

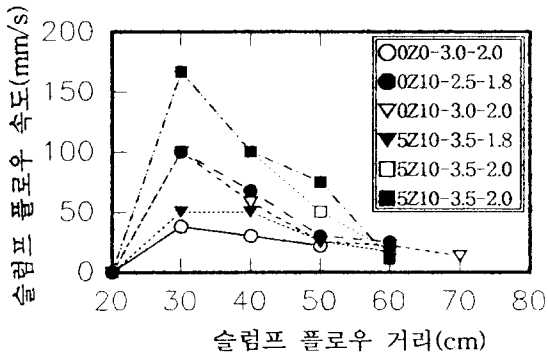
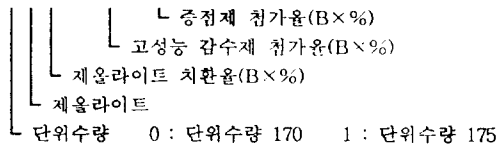
그림-3에서 L Flow거리에 따른 속도의 변화관계를 나타내었는데 L Flow치가 400~750mm범위일때 L Flow속도(L_{f30})가 표준치 50~250mm/sec를 대체적으로 만족하고 있다.

그림-4에서 L Flow치의 경시변화는 유동성이 좋은 5Z10-3.5-2.0의 경우를 시간별로 측정된 결과 시간의 경과에 따른 L Flow 속도에 약간의 저하가 있다.

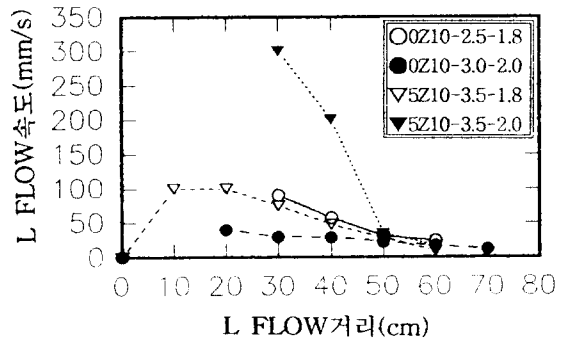
<표 3. 실험 배합>

배합 조건	단위수량	굵은골재 최대치수 (mm)	문건합재비 (W/B비) (%)	조골재율 (m ³ /m ³)	단위중량 (kg/m ³)					고성능 AE감수제 (B×%)	증점제 (B×%)		
					단위결합재량(kg/m ³)			모래	자갈				
					치환율	시멘트	혼화재						
0Z0-2.5-0.5	170	25	35	0.3	0 %	485.71	-	814.78	822.0	2.5	0.5		
0Z0-3.0-2.0												3.0	2.0
0Z5-2.5-0.5					5 %	461.43	24.29	807.10	822.0	2.5	0.5		
0Z5-3.0-1.0										3.0	1.0		
0Z10-2.0-0.0					10 %	437.14	48.57	876.75	822.0	2.0	0.0		
0Z10-2.5-1.8										2.5	1.8		
0Z10-3.0-2.0										3.0	2.0		
5Z10-2.5-1.0	175	25	35	0.3						2.5	1.0		
5Z10-2.5-1.25											2.5	1.25	
5Z10-2.5-1.5										2.5	1.5		
5Z10-3.5-1.8					10 %	450.00	50.00	774.30	822.0	3.5	1.8		
5Z10-3.5-2.0										3.5	2.0		
5Z10-4.0-2.0										4.0	2.0		

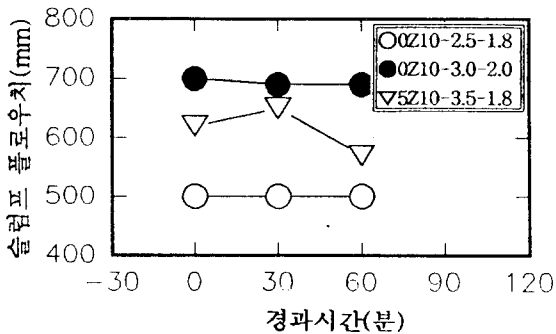
배합조건 : 0 Z 0 - 2.5 - 0.5



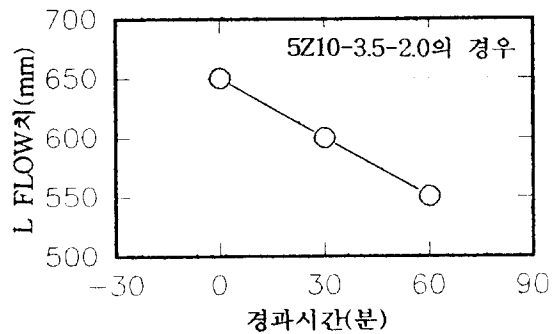
<그림 1. 슬러프 플로우거리-속도 관계>



<그림 3. L Flow거리-속도 관계>



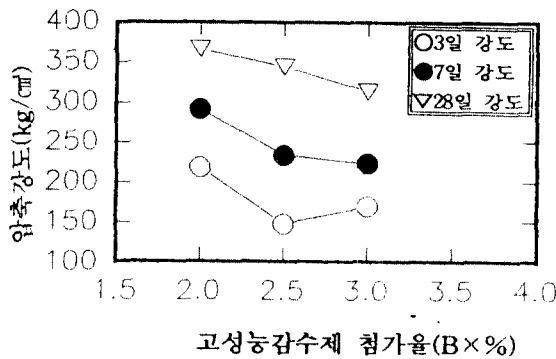
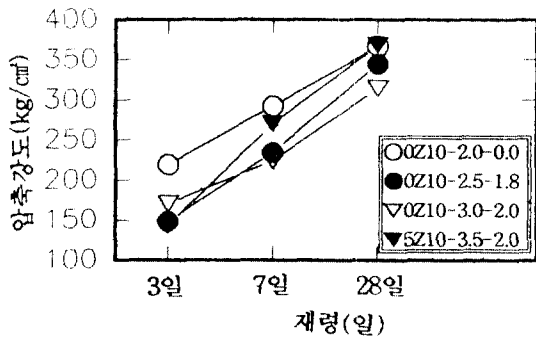
<그림 2. 슬러프 플로우치의 경시변화>



<그림 4. L Flow치의 경시변화>

<표 7. 콘크리트 압축강도 시험 결과>

구 분	압 축 강 도 (kg/cm ²)											
	3일 강도				7일 강도				28일 강도			
	①	②	③	평균	①	②	③	평균	①	②	③	평균
OZ10-2.0-0.0	213	222	223	219	277	293	305	292	381	347	370	366
OZ10-2.5-1.8	153	157	135	148	216	235	250	234	354	356	323	344
OZ10-3.0-2.0	179	162	169	170	223	233	216	224	331	308	303	314
5Z10-3.5-2.0	113	165	150	143	279	267	265	270	376	413	315	368



<그림 7. 압축강도에 미치는 영향인자>

되는 것으로 나타났다. 이로 보아 추후 온도 변화에 따른 고성능감수제의 영향이 검토되어야 할 것이다.

4.2.2. 탄성계수

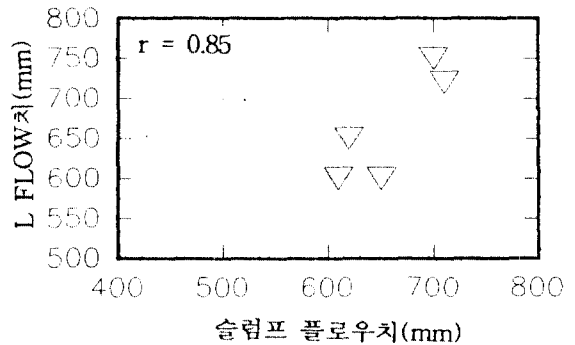
본 실험은 OZ10-2.5-1.8과 OZ10-3.0-2.0의 공시체를 이용하여 탄성계수를 구한 결과 각각 1.3×10^5 , 1.44×10^5 kg/cm²로서 같은 강도를 갖는 보통 콘크리트의 값과 비슷한 수준을 나타내었다.

4.3. 각 성능 평가의 상관관계 고찰

그림-8에서 L Flow치(Lf)와 슬럼프 플로우치(Sf)의 상관관계를 고찰하면 상관계수가 0.85로 상관성이 높으며 본 시험의 결과로 양호한 Sf치 600~750mm범위에 대한 Lf치는 600~750cm의 범위이다.

그림-9는 L Flow속도(Lv)와 슬럼프 플로우 50cm에서 구한 슬럼프 플로우 속도(Sv50)의 상관관계를 표시하였는데 상관계수가 0.91로 높게 나타났다.

그림 10은 단위수량에 따른 슬럼프 플로우치와 슬럼프 플로우 속도와의 관계로 단위수량 175일 경우 슬럼프 플로우치에 따른 슬럼프 플로우 속도는 단위수량 170일 경우보다 크다. 이는 단위수량의 증가로 Fresh콘크리트의 소성점도가 저하된데 기인하는 것으로 보여진다.



<그림 8. 슬럼프 플로우치와 L Flow치의 상관 관계>

4.1.2. 간극통과성에 관한 고찰

표-5에서는 유동성이 500~700mm범위에 있는 콘크리트를 가지고 V로트 유하시간을 측정 한 결과 표준치 5~15초를 만족하는 값으로 나타났다.

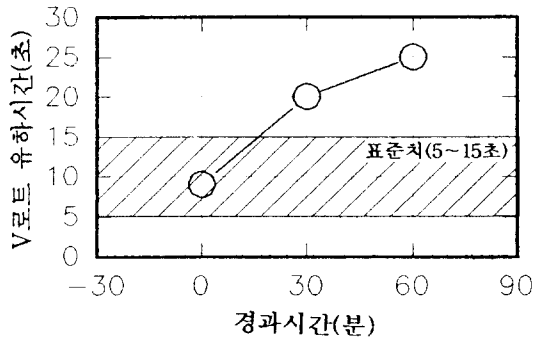
그림-5은 경시변화에 따른 V로트 유하시간으로 비비지후 30분사이에 유하시간의 급격한 증가로 간극통과성에 문제가 있는 것으로 나타났다.

<표 5. V로트 시험 결과>

구 분	V로트 상대유하속도 (1/s)	V로트 유하 시간
표준치	0.5 - 1.5	5 - 15 sec
0Z10-2.5-1.8	0.55	9sec14
0Z10-3.0-2.0	0.53	9sec50
5Z10-3.5-2.0	0.55	9sec

$$\text{상대 유하속도} = \frac{5}{tv}$$

tv : 유하 시간 (초)



<그림 5. V로트 유하시간의 경시변화>

4.1.3. 재료분리저항성에 관한 고찰

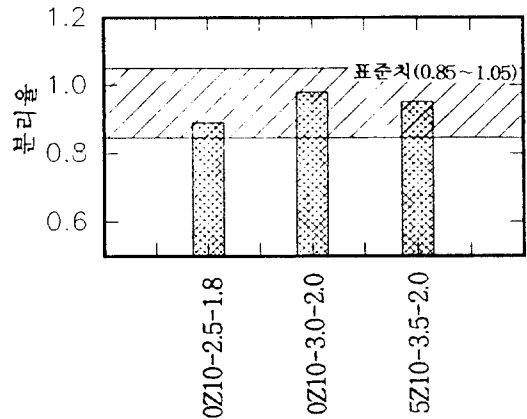
분리 저항성에 관해서는 슬럼프 플로우 시험에서 500~700mm범위의 콘크리트를 대상으로 분리율을 평가하였다.

그림-6에서 재료분리율의 실험치와 표준치를 비교하여 볼 때 분리율의 표준치 0.85~1.05를 만족하고 있다.

추후 재료분리 저항성에 관한 평가는 시험방법의 정립과 아울러 육안관찰에 의해서도 판정할 수 있는 적절한 시험법의 개발이 필요하다고 사료된다.

<표 6. 분리 저항성 시험 결과>

구 분	(단위:g/cm ²)		분리율 (A ₀ / A ₁)
	주변부 단위 조골재량 (A ₀)	중심부 단위 조골재량 (A ₁)	
표준치	-	-	0.85 - 1.05
0Z10-2.5-1.8	2.31	2.59	0.89
0Z10-3.0-2.0	2.47	2.52	0.98
5Z10-3.5-2.0	1.80	1.90	0.95



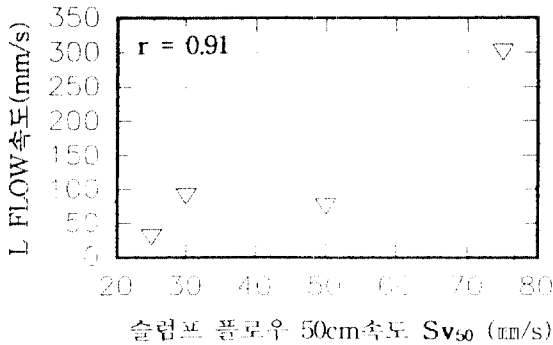
<그림 6. 재료분리율의 실험치와 표준치>

4.2. 경화상태에서 초유동 콘크리트의 역학적 성질

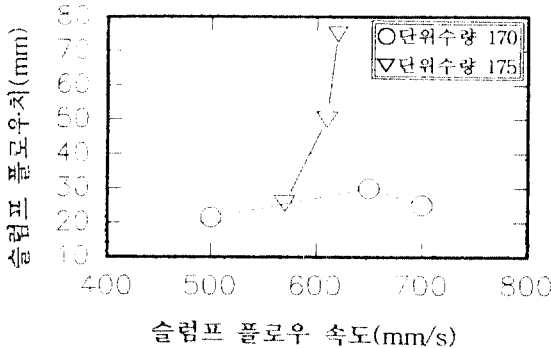
4.2.1. 압축강도

그림-7은 재령에 따른 압축강도 발현율과 고성능감수제 및 증점제량에 따른 압축강도 성상을 나타낸 것으로 초기 재령에서 약간 낮은 값을 나타내지만 재령이 증가할수록 강도발현율은 증가하여 거의 plain콘크리트의 수준에 도달한다. 한편 초기 재령에서 강도발현 수준에 미달되는 것은 재료분리를 막기 위해 증점제 사용과 고성능 감수제를 사용으로 인한 콘크리트의 응결 지연에 기인한 것으로 사료되므로 초기 재령에서의 강도발현을 위해서는 적절한 배합에 의한 첨가율을 도출하여야 될 것이다.

그림-7에서 압축강도에 있어서 고성능 감수제의 영향을 보면 고성능 감수제 2%이상의 범위에서 목표 슬럼프 플로우치를 얻기 위해 고성능 감수제량을 증가시킬 경우 압축강도가 지하



<그림 9. 슬럼프 플로우속도와 L Flow속도의 상관관계>



<그림 10. 슬럼프 플로우속도와 슬럼프 플로우치의 상관관계>

5. 결론

1. 슬럼프 플로우치가 500~700mm가 되는 콘크리트의 경우 슬럼프 플로우 속도가 대체적으로 표준치 10~60mm/s를 만족하며 경시변화는 거의 없는 것으로 생각 되어지고 간극 통과성의 표준치(0.5~1.5초)와 재료분리저항성의 분리율 표준치(0.85~1.05)도 만족하였다.
2. 압축강도면에서는 고성능감수체의 과다 사용으로 초기재령에서 약간 낮은 값을 나타냈으나 재령 28일에서 거의 plain콘크리트 수준에 도달하였고 0210-2.5-1.8, 0210-3.0-2.0의 공시체를 이용하여 탄성계수를 구한 결과, 각각

1.3×10^5 , 1.44×10^5 kg/cm²로서 초유동 콘크리트가 동일강도를 갖는 보통 콘크리트와 비슷한 수준으로 나타났다.

3. L Flow치(Lf)와 슬럼프 플로우치(Sf)의 상관관계는 상관계수가 0.85로 상관성이 있으며 본 시험의 결과로 양호한 Sf치 600~750mm범위에 대한 Lf치는 600~750cm으로 나타났다.
4. L Flow속도(Lv)와 슬럼프 플로우 속도(Sv50)의 상관관계는 상관계수가 0.91로 높게 나타났다.

<참고문헌>

- 1 강석화, "초유동 콘크리트의 개발", 대우건설 기술지, 1993.7, pp.74-87
- 2 장인영, 박 회민 "하이퍼포먼스 콘크리트의 가능성", 한국콘크리트학회지, 제4권, 2호 1992.6, pp 45-51
- 3 정재동, 노재호, "고성능 콘크리트의 개발과 전망", pp 64-74
4. 岡村 甫, 坂田昇, "締固め不要コンクリートの充填性評価のためのロート試験", 超流動コンクリートに関するシンポジウム論文集, 日本コンクリート工學協會, 1993.5, pp 17-22
5. 松岡 康訓, 新藤 竹文, "超流動コンクリートの開發と實用, 施工", No.302, 1990.12, pp48-53
6. 岡村 甫, "締固め不要への挑戦", セメントコンクリート, No.539, 1992.1, pp 2-9
7. 岡村 甫, 小澤 一雅, "締固め不要コンクリートの可能性と課題", 콘크리트工學, Vol.26, No. 1, 1988.1, pp 1-3
8. 岡村 甫, 小澤 一雅, "HPC콘크리트의開發", 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.11, No. 1, 1989.6, pp 69-74
9. 谷川 恭雄, "超流動コンクリートにおける粗骨材運行性に関するレオロジ的考察", 超流動コンクリートに関するシンポジウム論文集, 日本コンクリート工學協會, 1993.5, pp 79-84
10. 松田 敦夫 外 2人, "超流動コンクリートの各種コンシステンシ評價試験方法に関する研究(その3:Lフロ-試験)", 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1994.9, PP 483-484
11. 梅本 宗雄 外 2人, "超流動コンクリートの各種コンシステンシ-評價試験方法に関する研究(その4:V로트試驗)", 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1994.9, PP 485-486