

# 고유동콘크리트의 제조 및 현장적용을 위한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Manufacturing and Application of High-Workable Concrete

윤재환\*

차태환\*\*

홍순조\*\*\*

권지훈\*\*\*\*

Yoon, Jai Hwan Cha, Tae Hwan Hong, Soon Jo Kwon, Gi Hoon

### 요 약

최근 일본에서는 콘크리트의 성능을 향상시킨 고유동콘크리트에 대한 연구가 활발히 진행되어 일부 실용화 단계에 와있다. 그러나 국내에서는 이러한 고품질의 고유동콘크리트에 대한 연구가 극히 미진한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 콘크리트의 유동성에 영향을 미치는 배합인자들의 특성을 파악하여 경제적이고 합리적인 배합방법으로 기존의 재료와 생산설비로서 고유동콘크리트 제조를 목표로 하였으며 아울러 실기시험(實機實驗) 및 현장적용실험을 통해 고유동콘크리트의 현장적용 가능성을 평가하고자 한다.

연구결과 배합설계를 통해 기존의 재료와 생산설비로서 우수한 품질을 확보하면서 시공성면에서도 양호한 고유동콘크리트를 제조할 수 있음을 확인하였다.

### Abstract

Recently, High-Workable Concrete has been developed and began to be used to a great extent in foreign countries, but it is not familiar with and fully introduced in Korea yet.

Therefore the aim of this paper is to suggest a reference data for the development of High-Workable Concrete according to the comparative analysis which were done on the effects of mix proportion(water-binder ratio, sand-aggregate ratio, unit water, a kind of superplasticizer) on the flowing characteristics. And also this paper aims to examine the compactability and segregation resistance of High-Workable Concrete in a mock-up test and in a field test.

From the result, we concluded that it is possible to produce and to use the High-Workable Concrete at the construction site.

Keywords : High-Workable Concrete, compactability, segregation resistance

\* 정회원, 수원대 건축·도시공학부 교수, 공학박사

\*\* 정회원, 한국건설안전기술원, 공학석사

\*\*\* 정회원, 선경건설 연구소 연구소장, 공학박사

\*\*\*\* 선경건설 연구소 연구원, 공학석사

• 본 논문에 대한 토의를 1996년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 1996년 8월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

# 1. 서 론

최근 세계적으로 고강도, 고유동, 고내구성의 특징을 갖는 고성능콘크리트에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이 중에서도 특히 콘크리트의 유동성 측면에서 인력에 의한 진동다짐작업 없이 자기충진성을 갖는 고유동콘크리트의 개발은 시공이 난이한 장소의 타설을 가능하게 하고 또한 시공불량에 의한 구조물의 결함발생을 억제시켜 내구성 향상에도 크게 기여할 것으로 기대된다.<sup>1)</sup>

이러한 고유동콘크리트는 높은 유동성과 재료 분리저항성, 간극통과성 및 충전성을 갖춘 콘크리트로 정의되는데 이 중에서 유동성과 재료분리저항성은 서로 상반되는 성질로서 기존의 기본적인 콘크리트 구성재료만으로는 요구되는 다양한 기능들을 만족시킬 수가 없게 되었다. 따라서 각종 혼화제 및 혼화제 등이 사용되고 그로인해 콘크리트의 단가상승, 추가설비요구 등의 문제점이 발견되어 아직까지 실험실연구로서 머무르고 있는 것이 현재의 실정이다. 따라서 본 연구에서는 콘크리트의 유동성에 영향을 미치는 배합인자들(불결합재비, 잔골재율, 단위수량)의 특성을 파악하여 경제적이고 합리적인 배합방법을 제시하고자 하였으며 아울러 실기실험 및 현장적용실험을 통해 고유동콘크리트의 현장적용 가능성을 평가<sup>2),3)</sup>하고자 한다.

## 2. 실험개요

본 연구는 결합재로서 보통포틀랜드시멘트(OPC)와 고로시멘트(BC)의 2종류를 사용하여 물결합재비를 34~50%까지 5수준으로 변화<sup>4)</sup>시켰다. 각 불결합재비 별로 단위수량, 잔골재율을 조정하고 결합재와 혼화제의 종류를 변화시켜 콘크리트의 유동성능을 비교함으로써 최적배합을 결정하였다. 이 중 불결합재비 36%에 대해서는 결합재로서 보통포틀랜드시멘트만을 사용한 배합으로 실기실험(實機實驗) 및 현장적용실험을 실시하였다. 본 연구의 흐름은 그림 1과 같으며 사용재료의 물성은 표 1에 나타내었다.

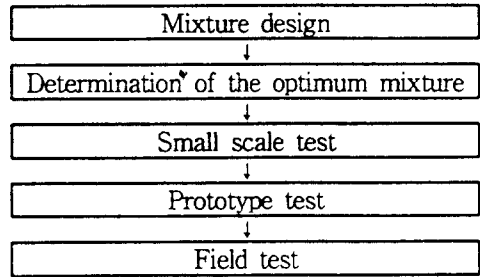


Fig. 1 Flow-Chart of test

Table 1 Properties of materials

Material	Properties
Ordinary Portland Cement	Specific gravity: 3.14, Blaine: 3226cm <sup>2</sup> / g, 28day compressive strength: 380kgf / cm <sup>2</sup>
Blast furnace slag Cement	Specific gravity: 3.01, Blaine: 3820cm <sup>2</sup> / g, 28day compressive strength: 245kgf / cm <sup>2</sup>
Sand	lab. test River-sand, Specific gravity: 2.56, F.M.: 2.44
	Prototype test River-sand+washed-sand, Specific gravity: 2.59, F.M.: 3.0
	field test River sand+washed sand, Specific gravity: 2.59, F.M.: 2.89
Aggregate	lab. test Crushed stone, Specific gravity: 2.61, M.: 6.86, G <sub>max</sub> : 25mm
	Prototype test Crushed stone, Specific gravity: 2.61, M.: 7.2, G <sub>max</sub> : 25mm
	field test Crushed stone, Specific gravity: 2.65, M.: 6.98, G <sub>max</sub> : 25mm
High range water reducing AE agent	Main composition: naphthalene Specific gravity: 1.2±0.01, pH: 8~10

## 3. 실험방법

### 3.1 고유동콘크리트의 배합설계 방법

각 불결합재비별로 최적배합을 결정하기 위해 표 2에서는 단위수량을 변화시키고 표 3에서는 잔골재율을 변화시켜 최적단위수량과 최적잔골재율을 결정하였다.

표 4는 혼화제의 종류에 따른 고유동콘크리트의 유동특성을 비교하기 위해 혼화제 종류를 3가지로 하여 실험을 하였으며, 결합재의 종류에 따른 유동특성을 비교하기 위해 표 5에서와 같이 2가지종

류(보통포틀랜드시멘트, 고르시멘트)의 결합재를 사용하여 실험을 하였다.

시험종류 및 측정항목은 표 6과 같으며 콘크리트의 간극통과성 및 점성을 간접적으로 측정하기 위해 L플로우시험기 및 V로트 시험기를 사용하였다.

Table 2 Variation of unit water weight

Type	W/B (%)	s/a (%)	B (kg/m <sup>3</sup> )	W (kg/m <sup>3</sup> )	s.p* (B×%)
BC J 34**	34	48	500	170	2.3
			506	172	
			515	175	
BC J 36	36	48	444	160	2.0
			458	165	1.9
			472	170	1.7
			486	175	1.7
			500	180	1.5
BC J 42	42	48	365	175	1.7
			429	180	
			441	185	
			452	190	
BC J 44	44	50	421	185	1.75
			427	188	
			432	190	
BC J 50	50	53	394	197	1.5+1.0
					1.7+1.0
					1.9+1.0

\* s.p : superplasticizer

\*\* BC J 34 ← W/B      1.5+1.0 ← viscosity agent

↑ s.p type      ↑ s.p content  
 ↳ Binder type

Table 3 Variation of sand-aggregate ratio

Type	W/B (%)	s/a (%)	B (kg/m <sup>3</sup> )	W (kg/m <sup>3</sup> )	G (kg/m <sup>3</sup> )	s,p (B×%)
BC J 34	34	46	506	172	873.7	2.3
		47			857.6	
		48			841.3	
BC J 36	36	44	486	175	911.3	1.7
		46			878.8	
		48			846.2	
		50			813.7	
BC J 42	42	52	441	185	781.1	1.7
		48			853.0	
		50			820.4	
BC J 44	44	52	427	188	787.4	1.75
		50			822.3	
		51			805.8	
		52			789.4	

Table 4 Variation of superplasticizer

Type	W/B (%)	s/a (%)	B (kg/m <sup>3</sup> )	W (kg/m <sup>3</sup> )	s.p (B×%)
BC J 36	36	48	486	175	1.6, 1.7, 1.8
BC En 36	36	48	486	175	0.9, 1.0, 1.1
BC Er 36	36	48	486	175	1.1, 1.2, 1.3

Table 5 Variation of water-binder ratio

Type	W/B (%)	s/a (%)	B (kg/m <sup>3</sup> )	W (kg/m <sup>3</sup> )	s.p (B×%)
BC Er 34	34	47	506	172	2.3
BC Er 36	36	48	486	175	1.2
BC Er 42	42	50	441	185	1.6
BC Er 44	44	51	427	188	1.5
BC Er 50	50	53	394	197	1.8+1.0
OPC Er 34	34	47	506	172	2.8
OPC Er 36	36	48	486	175	1.8
OPC Er 42	42	50	441	185	2.1
OPC Er 44	44	51	427	188	1.8
OPC Er 50	50	53	394	197	2.1+1.0

Table 6 Experimental factors and levels

Factor	Level
Slump-Flow test	65±5cm
L-shape test (L-slump, L flow)	Slump (≥ 20cm) Flow (≥ 40cm)
V-Funnel test (dropping time)	10±5sec
Slump-loss test	-
Air Content	4.5±1.5%

## 3.2 고유동콘크리트의 실기실험(實機實驗) 방법<sup>5),6)</sup>

### 3.2.1 예비실험

고유동콘크리트의 충전성을 간접적으로 알아보기 위하여 결합재로서 보통포틀랜드시멘트를 사용한 물결합재비 36%의 배합(이하 OPC 36이라 칭함)으로 그림 2와 같은 시험부재에 콘크리트를 타설하여 충전상황을 관찰하였다.

### 3.2.2 실기실험(實機實驗)

실험실에서 개발된 OPC 36의 배합으로 고유동콘크리트를 레미콘으로 제조하여 그림 3과 같은 보 및 벽체모델에 타설하여 표 7에 나타낸 사항을 측정하였다. 또한 고유동콘크리트와 일반콘크리트와의 유동성 비교를 위해 슬럼프 15cm, 강도 210kg/cm<sup>2</sup>인 일반레미콘을 동일모델에 타설하였다.

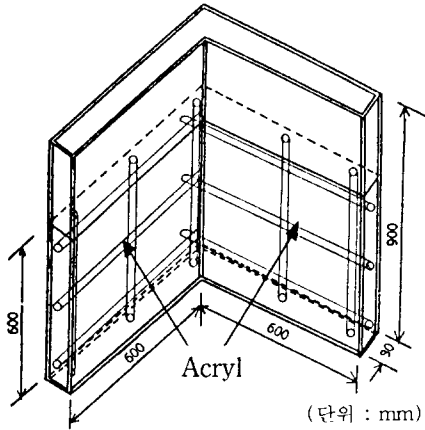


Fig. 2 Small wall-mold model

### 3.3 고유동콘크리트의 현장적용실험 방법

실험실에서 개발되고, 실기실험을 통해 불성이

Table 7 Experimental factors and levels

	Factor	Level
Fresh Concrete	Slump-Flow	65±5cm
	Air content temperature	4.5±1.5%
	V-Funnel(dropping time)	10±5sec
	U-type test (difference of level)	≤10cm
	L-type test	L flow: ≥40cm L-slump: ≥20cm
	Compactability	
Hardened Concrete	Finishing state, Distribution of aggregate, Compressive strength	

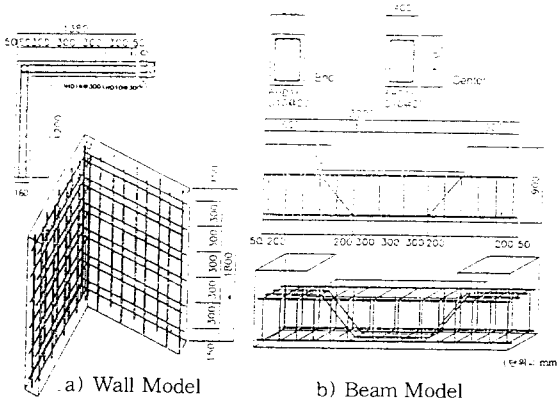


Fig. 3 Detail of beam-model and wall-model

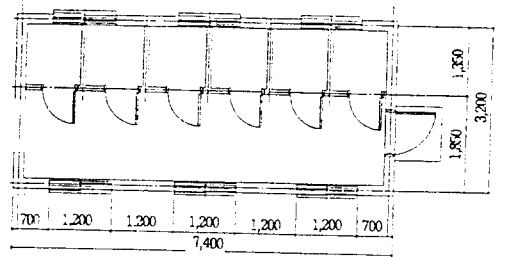
확인된 고유동콘크리트를 레미콘으로 제조하여 표 8과 그림 4와 같은 구조체에 타설하여 충전되는 상황을 관찰하였으며 측정항목은 표 7과 같다.

## 4. 결과 및 고찰

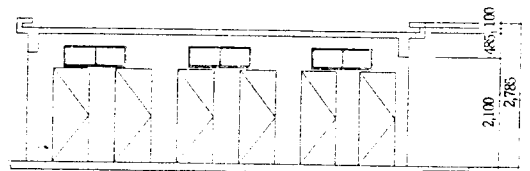
### 4.1 고유동콘크리트의 배합설계 결과

#### 4.1.1 배합요인에 의한 유동특성 고찰

그림 5, 그림 6에서 알 수 있듯이 단위수량, 단위결합재량 및 잔골재율은 물결합재비 34%에서는 172(kg/m<sup>3</sup>), 506(kg/m<sup>3</sup>), s/a 47%, 36%에서는 175(kg/m<sup>3</sup>), 486(kg/m<sup>3</sup>), s/a 48%, 42%에서는 185(kg/m<sup>3</sup>), 441(kg/m<sup>3</sup>), s/a 50%, 44%에서는 188(kg/m<sup>3</sup>), 427(kg/m<sup>3</sup>), s/a 51% 에서 유동성 및 간극통과성이 가장 우수한 것을 볼 수 있었다(단, W/B 50%는 혼화제첨가량만 변화).



a) Floor Plan



b) Section

Fig. 4 Floor Plan and Section

Table 8 Presentation of Structures

	Slab	Wall
Thickness	120mm	200mm
Steel	Long span D10@300 (Top&Bot.)	Horizontal-steel D10@200 (Int.&Ext.)
	Short span D10@300 (Top&Bot.)	Vertical-steel D10@300 (Int.&Ext.)
Amount of Concrete	3.65m <sup>3</sup>	8.66m <sup>3</sup>

위의 결과를 종합하여 볼때 그림 7과 같이 물결합재비가 증가함에 따라 최적의 유동성(L-flow, L-slump)을 얻기 위해서는 비례적으로 단위수량과 잔골재율이 증가하는 경향을 볼 수 있다. 즉, 단위수량과 잔골재율이 증가되면 콘크리트중의 페이스트와 모르타의 양이 늘어나 재료분리 현상을 방지할 수 있었던 것으로 판단된다.

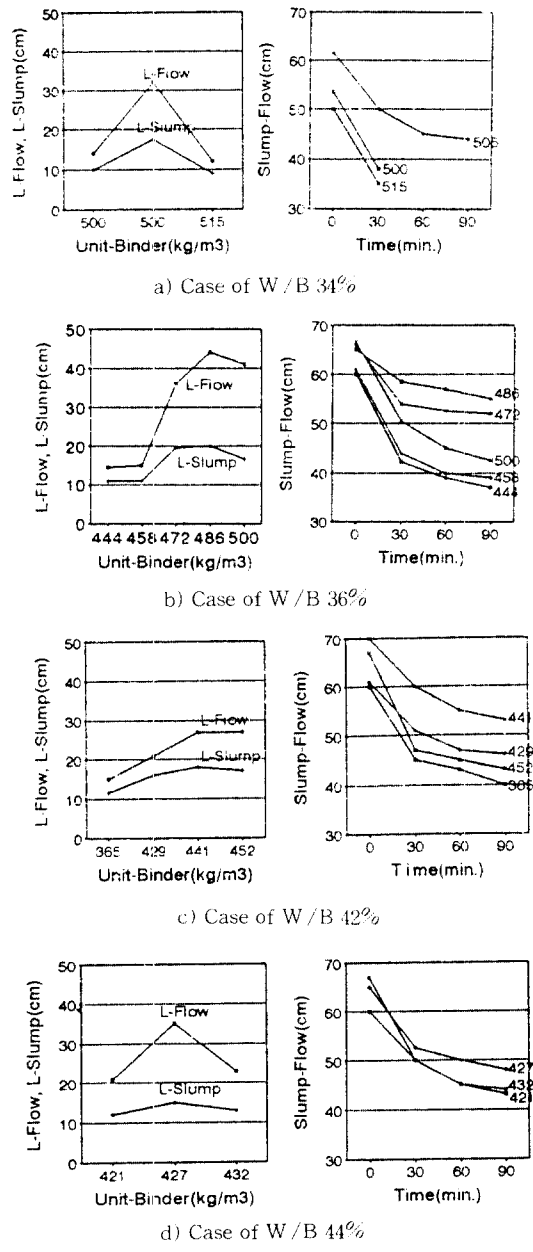


Fig. 5 Effect of unit water weight

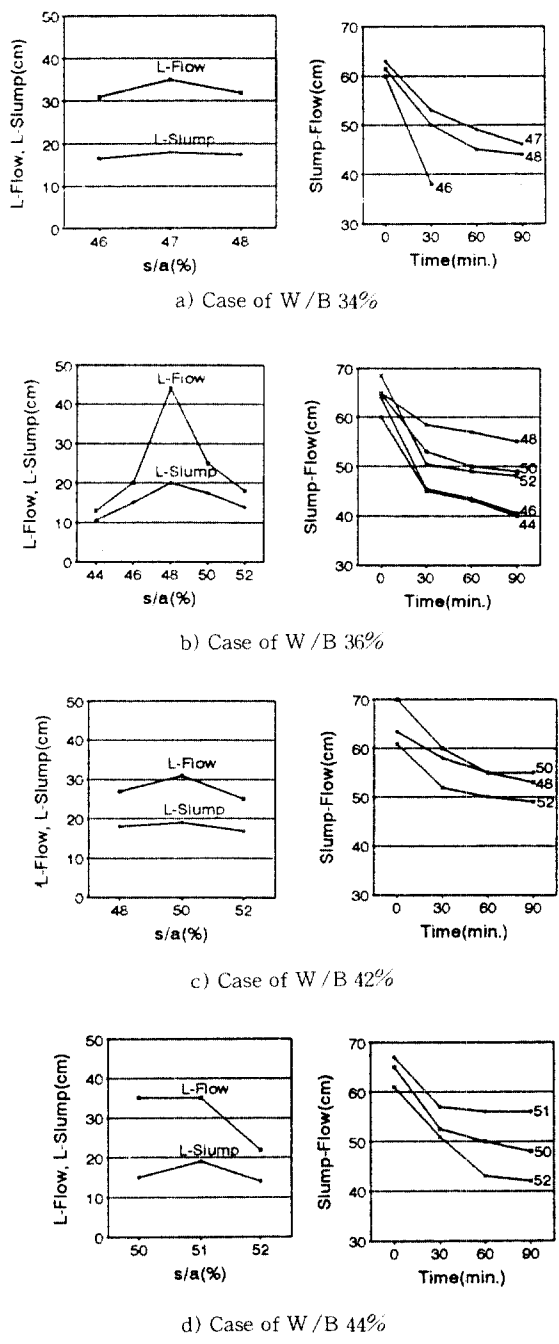


Fig. 6 Effect of sand-aggregate ratio

이와같은 결과는 굵은골재 사이에 존재하는 모르타의 레오로지 차이에 의한 영향으로 판단되며, 모르타의 레오로지 성질(항복치, 소성점도)에 따

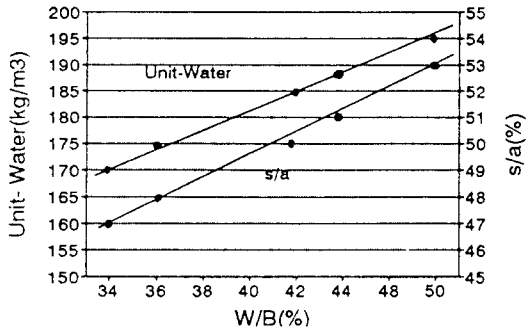


Fig. 7 Optimum unit water and Optimum sand-aggregate ratio

라 양호한 유동특성을 나타내는 한계 굵은골재량 ( $V_g$ )이나 굵은골재에 대한 페이스트 용적비 ( $V_p/V_g$ ) 값은 물결합재비 별로 서로 다르게 나타나는 것을 알 수 있었다.

그림 8에서 보면 물결합재비가 증가함에 따라 최적의 단위 굵은골재용적은 줄어들고 최적의 굵은골재에 대한 페이스트용적비 값은 늘어나는 경향을 볼 수 있다. 그러나 고유동콘크리트의 레오로지특성을 좀더 정확히 파악하기 위해서는 굵은골재량이 페이스트의 항분치 및 점도에 미치는 영향을 파악할 필요가 있을 것으로 판단된다.

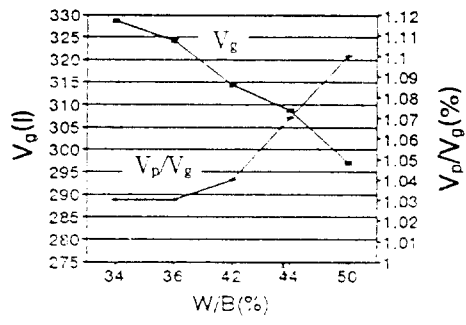
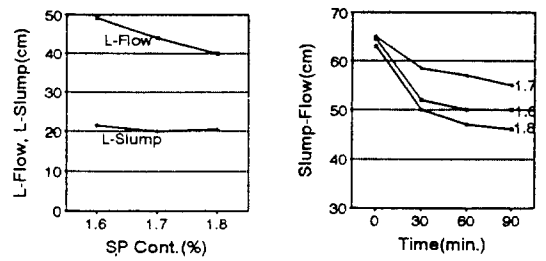


Fig. 8  $V_g$  and  $V_p/V_g$  vs. W/B

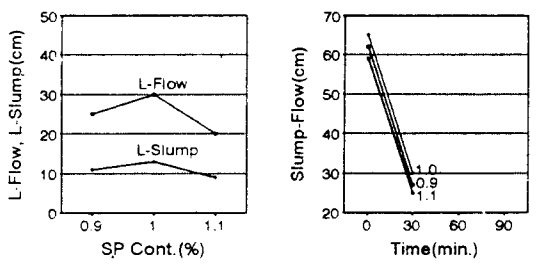
4.1.2 혼화제에 의한 유동특성 고찰

고로시멘트를 사용한 물결합재비 36%에 대하여 혼화제(국내산 고성능 AE감수제; 혼화제 특성은 표1 참조)종류를 3가지로 변화(J, En, Er)시켜 그 특성을 비교한 결과를 그림 9, 그림 10에 나타내었다. 여기서 혼화제 J는 철근통과성이 우수한

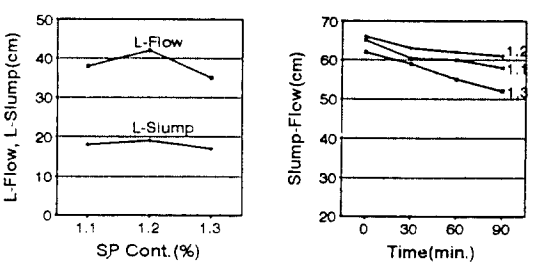
반면 슬럼프로스가 조금 있었고, En은 철근통과성 및 슬럼프로스가 매우 불량한 결과를 나타내었으며, Er은 슬럼프로스가 거의 없는 우수한 결과를 보이고 있다.



a) Case of BC J 36



b) Case of BC En 36



c) Case of BC Er 36

Fig. 9 Effect of superplasticizer-types

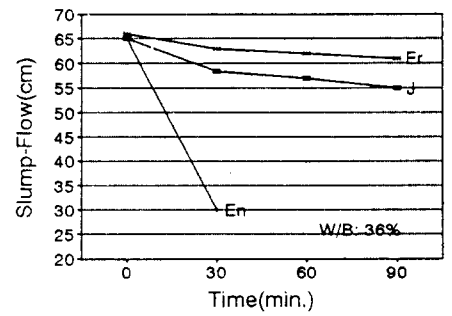
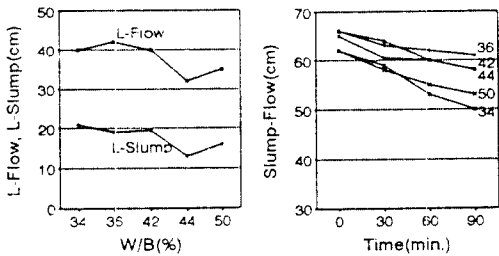


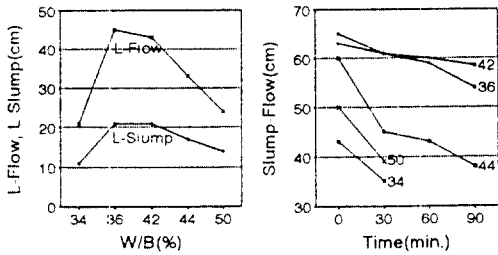
Fig. 10 Effect of superplasticizer-types

### 4.1.3 결합재에 의한 유동 특성

그림 11에서 보듯이 결합재로서 보통포틀랜드시멘트를 사용하는 경우 물결합재비 36%와 42%에서는 양호한 결과를 얻을 수 있었으나 나머지 배합에서는 유동성의 한계를 나타내었다. 이는 고로슬래그 입자의 분말도가 포틀랜드시멘트 입자의 분말도 보다 높고, 입도분포가 고르며, 입자의 입형이 둥글어서 콘크리트의 유동성을 증진시키기 때문이라 생각된다. 표 9는 각 물결합재비별 공기량과 V로트 유하시간을 나타낸 것으로서 결합재로서 BC를 사용한 경우 높은 분말도로 인한 점성증진으로 인해 유하시간이 다소 느리게 나타났음을 볼 수 있다.



a) The use of BC



b) The use of OPC

Fig. 11 Effect of binder-types

Table 9 Air content and V-funnel dropping time

Type	air (%)	V-funnel (sec.)
BC Er 34	4.3	45
BC Er 36	3.2	24
BC Er 42	3.5	60
BC Er 44	3.4	48
BC Er 50	3.5	7
OPC Er 36	3.8	6
OPC Er 42	4.5	7

## 4.2 고유동콘크리트의 실기실험 결과

### 4.2.1 예비실험 결과

그림 12에서 보듯이 한쪽면에서만 타설한 콘크리트가 다짐작업없이 자중에 의하여 타설 반대측으로 충전되는 모습을 볼 수 있었다.

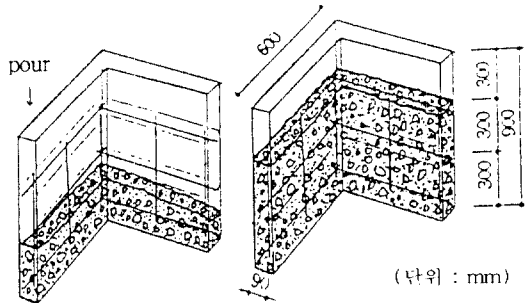


Fig. 12 Compactability of high-workable concrete

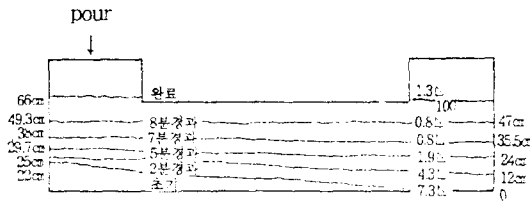
### 4.2.2 실기실험결과

표 10에서 출하시의 슬럼프플로우가 작은 이유는 배치플랜트에서 충분한 믹싱이 이루어지지 않은 결과라 생각되며, 레미콘트럭의 지속적인 믹싱에 의해 슬럼프프로스는 출하 후 2시간까지 거의 생기지 않는 것을 볼 수 있었다. 보와 벽모델 부재에서는 그림 13과같이 한쪽끝에서 콘크리트를 타설하여 수평에 가까운 완만한 경사를 이루며 반대측까지 철근을 통과하여 충전되는 양호한 유동성을 보였다. 그러나 급속타설로 인해 타설도중 콘크리트측압이 증가하여 배불림 현상이 발견되었다. 경화후 표면마감상태를 관찰한 결과 기포나 균열의 흔적을 볼 수 없었다. 또한 보 및 벽체모델의 타설측과 반대측에서 코어를 채취하여 단면을 관찰한 결과 굵은골재의 분포에 있어서 큰 차이를 볼 수 없어 재료분리가 일어나지 않았음을 알 수 있었으며 재령 28일에서의 압축강도는  $548\text{kg/cm}^2$ 이었다.

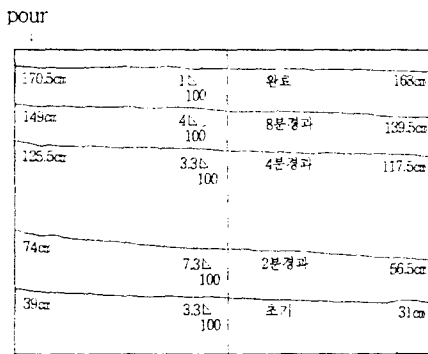
일반레미콘을 이용한 비교실험결과 진동다짐을 했음에도 불구하고 보모델의 중앙부상단이 채워지지 않았으며 유동구배도 매우심한 것을 관찰할 수 있었다.

Table 10 The results of test

Types of test	Plant	Site	After placement
Slump Flow test	55cm	65cm	64cm
Air content (%)	-	-	4.1
Temperature (°C)	20.5	21	21
V-funnel (sec)	5.3	5.06	-
U type test (cm)	0	0	-
L-type test (slump)	-	21.3cm	-
(flow)	-	53cm	-



a) Beam Model



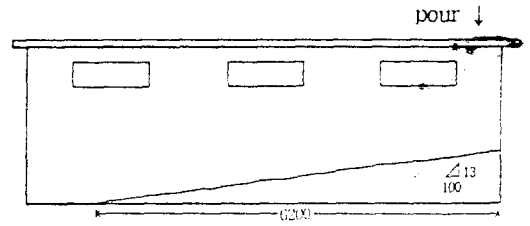
b) Wall Model

Fig. 13 Compactability of high-workable concrete

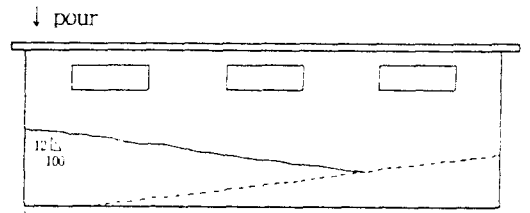
#### 4.2.3 고유동콘크리트의 현장적용실험 결과

현장적용실험의 측정결과를 표 11과 그림 14에 나타내었다. 출하해서 도착했을 때까지(약 45분 경과)는 초기의 유동성을 지니고 있었으나 펌프압송 후(1시간 45분 경과)에는 유동성이 저하하는 경향을 볼 수 있었다. 이는 펌프압송이 콘크리트의 유동성능에 영향을 미친 것으로 생각된다.

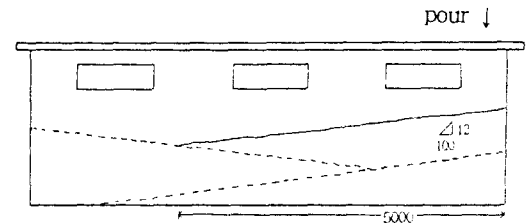
콘크리트의 충전상태를 조사한 결과 그림 14에서 보듯이 다짐이 없이도 완만한 경사를 이루며 수평으로 6m이상을 유동하는 것을 볼 수 있었으며 또한 개구부의 충전상태에 있어서도 종래의 콘크리트로는 채워지지 않는 하부까지 밀실히 충전되는 우수한 충전성능을 볼 수 있었다.



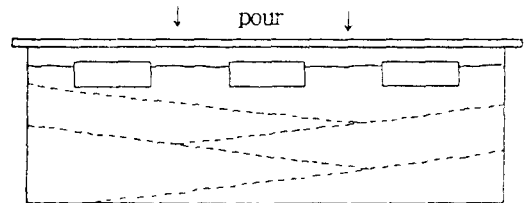
↓ 2분 경과



↓ 7분 경과



↓ 2분 경과



(단위 : mm)

Fig. 14 Compactability of high-workable concrete

## 5. 결 론

본 연구는 콘크리트의 각종 배합요인(물결합재비, 단위수량, 잔골재율, 혼화제 종류 및 결합재 종류)이 굳지않은상태의 콘크리트 유동성능에 미치는 영향을 비교 분석하고 또한 실험실에서 개발된 고유동콘크리트로 실기실험과 현장적용실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.



Table 11 The results of test

Types of test	Plant (0 min. from mixing)	Site	
		pre- pumping (45 min. from mixing)	post- pumping (105 min. from mixing)
Slump-Flow test	64cm	65cm	45cm
Air content(%)	4.2	3.5	2.8
Temperature(℃)	14	14	14
Temperature of concrete(℃)	18.5	18.5	19
V-funnel(sec)	-	7	5.06
U-type test(cm)	-	2.9	5.5
L-type test(slump) (flow)	-	24.4cm	25.8 47cm

① 배합설계 결과 각 물결합재비별로 최적 단위 수량과 최적잔골재율이 존재함을 알 수 있었고, 물결합재비가 증가 함에따라 최적단위수량과 최적잔골재율도 증가하는 경향을 볼 수 있었다.

② 혼화제로서 국내산 AE감수제 지연형인 Er 을 첨가한 경우 슬럼프로스가 거의 생기지 않고 굳지않은상태의 유동성상도 양호한 것을 알 수 있었다.

③ 고유동콘크리트를 이용한 실기실험 및 현장 적용실험 결과 우수한 유동성 및 재료분리저항성, 철근통과성을 보여 다짐없이 충전이 가능하였다.

④ 레미콘을 이용한 실기실험 결과 출하 후 2시간 까지 우수한 유동성을 유지하고 있었으며 경화 후 표면마감상태 및 코아채취에 의한 굵은골재 분포 상황을 조사한 결과 타설불량이나 재료분리현상이 없는 우수한 품질을 확인할 수 있었고 재령 28일에서의 압축강도는 548kg/cm<sup>2</sup>이었다.

⑤ 현장적용실험 결과 굳지않은 상태에서의 콘크리트 품질은 일정하였으며 대부분이 품질관리 목표를 만족하는 것을 알 수 있었다.

⑥ 본 연구에 사용된 고유동콘크리트는 높은 분체량을 특징으로 하기때문에 콘크리트의 단가가 상승하며 경화발열로 인해 콘크리트의 온도가 상승하는 문제점을 지니고 있어 차후 이점에 대한 연구가 요구된다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때 배합설계를 통해 국내에서 시판되는 재료로서 기존의 배처플랜트의 기본시스템에서 벗어나지 않고 소요의 품질을 확보하면서 시공성면에서도 양호한 고유동콘크리트를 제조할 수 있음을 확인할 수 있었다.

### 감사의 말씀

본 연구에 적극 협조해주신 동양중앙연구소의 박연동 박사, 한정호 연구원 및 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

### 참 고 문 헌

1. 윤재환 외 4인, “고유동콘크리트의 제조에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회 1993년도 가을 학술발표회 논문집 제5권2호, 1993.11, pp.39-44.
2. 윤재환 외 5인, “고유동콘크리트의 제조 및 현장 적용을 위한 실험적 연구(제 1, 2보)”, 대한건축학회 창립50주년 학술발표대회 기념논문집 제15권2호, 1995.10, pp.781-788.
3. 윤재환 외 5인, “고유동콘크리트의 제조에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회 1995년도 가을 학술발표회 논문집 제7권2호, 1995.11, pp.50-55.
4. 윤재환 외 4인, “고로시멘트를 사용한 고유동 콘크리트의 제조에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회 1994년도 가을 학술발표회 논문집 제6권2호, 1994.11, pp.65-70.
5. 中村亮太 外3人, “細骨材の粒度の相違が高流動コンクリトの性狀に及ぼす影響について”, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.17, No.1, 1995.6, pp.111-116.
6. 蓮尾孝一 外2名, “高流動コンクリトの實大施工實驗”, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol. 17, No.1, 1995.6, pp.239-242.

(접수일자 : 1996. 1. 13)