

## 물결합재비에 따른 고유동콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구

김무한<sup>1)</sup> · 최세진<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>충남대학교 건축공학과

(2001년 1월 22일 원고접수, 2001년 6월 7일 심사완료)

### An Experimental Study on the Properties of High Flowing Concrete according to Water/Binder Ratio(W/B)

Moo-Han Kim<sup>1)</sup> and Se-Jin Choi<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup> Dept. of Architectural Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea

(Received on January 22, 2001, Revised on June 7, 2001)

#### ABSTRACT

Recently, in many laboratories and institutes it is being studied on the high flowing concrete widely, which has high fluidity, non-segregation ability and fillingability, and sometimes being applied to the construction field actually. And the fluidity properties of high flowing concrete are influenced according to the several factors ; binder content, water/binder ratio and water content etc.

This is an experimental study to compare and analyze the effect of water/binder ratio and water content on the properties of high flowing concrete. For this purpose, the mix proportion of high flowing concrete according to water/binder ratio(W/B : 0.30, 0.35, 0.40, 0.45) and water content (W : 155, 165, 175, 185 kg/m<sup>3</sup>) was selected. And then slump-flow, V-loot, L-passing test in fresh concrete, and compressive strength, freezing and thawing test in hardened concrete were performed.

According to test results, it was found that the viscosity of all those high flowing concrete with the water content 175 kg/m<sup>3</sup> was satisfied with 50 cm pass time of slump flow prescribed by Japanese Architectural Standard Specification (JASS 5) - from 3 to 8 seconds. And non-segregation ability of concrete with W/B 0.35 was better than the other mix proportions. Especially, the compressive strength after curing 24 hours(1 day) of all high flowing concrete was higher than that prescribed by JASS 5(50 kgf/cm<sup>2</sup>).

**Keywords : high-flowing concrete, water/binder ratio(W/B), water content, compactibility, non-segregation ability**

## 1. 서 론

고유동콘크리트는 종래의 보통 및 유동화콘크리트에 비하여 높은 유동성과 재료분리 저항성을 가지고 있어, 건설 생산현장에서 노동력의 절감효과와 고품질의 콘크리트를 제조할 수 있는 기술로 주목받고 있다<sup>1,2)</sup>. 이러한 고유동콘크리트는 소요의 반죽질기를 확보하기 위하여 적절한 단위수량, 단위결합재량, 고성능감수제의 사용량을 선정하여야 하며, 또한 소요의 시공성이 확보되는 물결합재비에 상응하는 압축강도를 확보하여야 하는 등 사용재료, 배합상의 특징이 있다.

최근, 국내·외적으로 이러한 고유동콘크리트에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며<sup>3,4,5,6,7,13,15)</sup>, 국내의 경우에도 실구조물예의 적용사례가 발표되고 있으나<sup>14)</sup>, 일본

등 선진국에 비하면 기술수준이 아직 미약한 수준이라고 할 수 있으며, 특히 고유동콘크리트의 배합과 관련된 물결합재비, 단위수량 등과 관련하여 충분한 검토 및 정립이 이루어지지 않은 실정이다.

따라서, 본 연구는 이러한 고유동콘크리트의 사용재료, 배합상에 중요하게 작용하는 물결합재비 및 단위수량과의 관계를 유동특성 및 강도특성에 의해 실험·실증적으로 검토·분석함으로써 분체형 고유동콘크리트의 배합설계용 기초자료를 제시하고자 하였다.

## 2. 실험계획 및 실험방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 물결합재비 및 단위수량에 따른 분체형 고유동콘크리트의 각종 유동특성을 비교·분석·검토하기 위한 것으로, 국내·외 논문 및 문헌자료를 참고

\* Corresponding author

Tel : 042-821-7731 Fax : 042-823-9467

E-mail : csj2378@hanmail.net

Table 1 Experimental plan and mix proportion

W/B	Rep. of FA (%)	Kinds of cement	s/a (%)	Water content (kg/m <sup>3</sup> )	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )				Test items	
					C	FA	S	G	Fresh concrete	Hardened concrete
0.30	20	Ordinary portland cement	50	155	412	103	799	821	• Air content Unit weight • Fluidity : Slump-Flow(cm) • Fillingability : V-lot(sec) L-passing(cm) • Non-segregation ability L-passing (ratio of coarse agg.)	• Comp. strength ( 1, 7, 28, 56days) • Freezing and thawing test(*)
				165	440	110	770	791		
				175*	467	117	742	763		
				185	493	123	715	734		
0.35				155	359	90	827	850		
				165	383	96	802	824		
				175*	406	101	776	797		
0.40				185	429	107	750	771		
				155	313	78	854	877		
				165	334	84	828	851		
				175	355	89	802	824		
0.45				185*	375	94	780	802		
				155	278	69	873	897		
				165	297	74	849	872		
				175	315	79	826	849		
						185	333	83		

\* mix proportion of freezing and thawing test

하여<sup>8,9,10,11,12</sup>) Table 1과 같이 물결합재비의 수준을 0.30, 0.35, 0.40, 0.45의 4수준, 단위수량을 155, 165, 175, 185 kg/m<sup>3</sup>의 4수준으로 설정하고 플라이애시의 단위시멘트량에 대한 대체율은 유동성 및 강도수준을 고려하여 예비시험을 거쳐 모든 배합에서 20%로 고정하였다.

또한, 고성능감수제 첨가율의 경우 재료분리가 발생하지 않으며 적당한 유동성을 확보할 수 있는 범위내에서 소정의 양을 투입하였다.

굳지않은 고유동콘크리트의 각종 유동특성을 비교·검토하기 위한 측정항목으로서 공기량, 단위용적중량, 슬럼프-플로우, V형깔때기 및 L형통과시험을 실시하였다.

또한, 경화콘크리트의 경우, 재령별 압축강도 특성과 함께 각 물결합재비별로 유동특성 및 간극통과성 등이 양호한 배합을 선정하여 공기연행제 첨가유무에 따른 동결융해시험을 실시하여 고유동콘크리트의 내동해성을 비교·검토하였다.

### 2.2 사용재료 및 비빔방법

본 연구에 사용된 각 재료의 특성은 Table 2와 같이 시멘트는 보통 포틀랜드시멘트, 잔골재는 금강산 강모래, 굵은골재는 대전산 20mm 갠자갈을 사용하였고, 혼화제로써 플라이애시를, 혼화제로써는 폴리카arbon산계 고성능감

수제를 사용하였다. 또한, 콘크리트의 비빔은 균질성을 확보하고 각 구성재료의 원활한 혼합을 위하여, Fig. 1과 같은 방식으로 강제식 팬타입 믹서(용량 100 l)를 사용하여 (시멘트+플라이애시+잔골재)→(물+고성능감수제)→(굵은골재)의 단계별로 균질하게 구성재료를 분할투입하는 방법을 채택하였고, 총 비빔시간은 210~270초 정도가 소요되었다.

### 3. 실험결과 및 분석

Table 2 Property of materials

Fine agg.	River sand, 2.5mm, F.M.: 2.60, S.G.: 2.55
Coarse agg.	Crushed stone, 20mm F.M.: 6.61, S.G.: 2.62
Cement	Ordinary portland cement Specific gravity(S.G.): 3.15, Brain: 3,200(cm <sup>3</sup> /g)
Fly ash	Specific gravity: 2.13 Brain: 3,228(cm <sup>3</sup> /g), IOL : 2.44%
Admixture	Superplasticizer Polycarbon-based, S.G: 1.04~1.06

Table 3 Experimental results

W/B	Water content (kg/m <sup>3</sup> )	Dosage of SP (%)	Air content (%)	Unit weight (kg/l)	Slump flow (cm)	SF50cm pass time (sec)	V-lot (sec)	L-passing test		Volume ratio (paste /agg.) (%)	Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )			
								Falling height (cm)	Ratio of coarse agg. (%)		1 day	1 week	4 weeks	8 weeks
0.30	155	1.3	1.7	2.349	69.5	17.01	41.41	10.0	7.2	53	264	478	680	873
	165	1.1	1.9	2.342	72.0	15.50	16.50	10.5	12	59	224	386	559	654
	175	0.9	1.9	2.317	72.0	3.24	9.97	19.0	6.4	65	272	404	710	794
	185	0.7	2.4	2.297	62.5	1.63	5.37	22.0	9.8	71	237	432	619	678
0.35	155	1.2	2.9	2.328	61.5	8.74	70.69	3.5	0.5	48	204	413	625	724
	165	0.9	2.2	2.338	63.0	6.34	49.62	11.5	0.7	53	198	379	567	711
	175	0.9	1.7	2.325	67.0	2.96	5.97	13.0	1.7	58	165	388	584	679
	185	0.8	1.8	2.318	64.0	2.12	4.78	16.0	1.7	63	160	411	517	659
0.40	155	1.1	1.6	2.366	54.5	15.30	55.30	-	-	43	169	369	504	646
	165	1.0	1.6	2.334	55.0	9.83	50.31	-	-	48	161	360	450	572
	175	0.7	2.3	2.320	55.5	4.20	19.97	-	-	52	150	357	473	561
	185	0.7	2.0	2.291	59.0	2.79	5.39	14.0	-	57	132	255	344	402
0.45	155	1.0	2.3	2.345	46.5	-	22.40	-	-	40	95	301	431	554
	165	0.9	2.4	2.300	49.5	-	31.02	-	-	44	87	299	415	485
	175	0.7	2.4	2.297	46.5	-	24.08	2.0	-	48	87	283	400	488
	185	0.7	1.5	2.302	60.0	2.12	8.05	4.0	-	52	82	201	341	350

Table 3은 플라이애시를 20% 사용한 분체형고유동콘크리트의 실험결과를 나타낸 것이다.

### 3.1 각종 유동특성 검토 및 분석

#### 3.1.1 유동성 평가시험에 대한 고찰

물결합재비 및 단위수량에 따른 고성능감수제 첨가율과 슬럼프-플로우의 변화를 나타낸 Fig. 2에서 보는 바와 같이 단위수량이 동일할 경우, 각 물결합재비 수준에서 고성능감수제의 첨가량은 0.1~0.3% 정도의 차이를 보이고 있으며, 동일한 물결합재비에서는 단위수량이 증가함에 따라

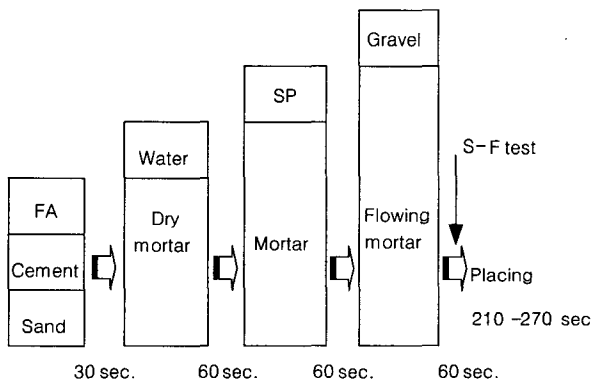


Fig. 1 Mixing method of concrete

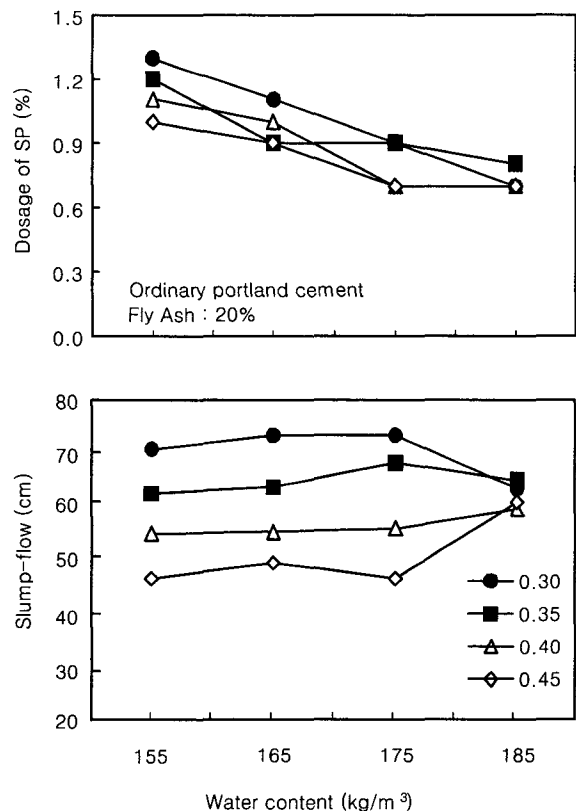


Fig. 2 Variation of SP and slump-flow according to W/B and water content

고성능감수제의 첨가량은 점차 감소하는 것을 알 수 있다.

또한, 물결합재비가 높을수록 대체적으로 슬럼프-플로우가 낮게 나타나고 있음을 알 수 있는데, 이는 물결합재비가 증가함에 따라 분체량이 감소하여 유동성을 만족시키기 위한 적정수준의 분체량보다 부족했기 때문으로 사료된다. 즉, 물결합재비 0.30 및 0.35와 같이 분체량이 상대적으로 많은 배합의 경우 모두 슬럼프-플로우 61~72 cm의 수준을 보이고 있는 반면, 물결합재비가 0.40과 0.45인 배합의 경우 슬럼프-플로우가 47~59 cm로서 상대적으로 낮은 수준을 보이고 있다.

따라서, 본 논문의 대상인 플라이애시를 사용한 분체형 고유동콘크리트의 경우, 슬럼프-플로우 60 cm 이상을 확보하기 위해서는 물결합재비는 0.35이하로 하는 것이 상대적으로 유리한 것으로 나타났다.

Fig. 3은 물결합재비 및 단위수량에 따른 슬럼프-플로우 50 cm 도달시간의 변화를 나타낸 것으로서, 단위수량 155 kg/m<sup>3</sup>의 경우 도달시간은 8~17초로 나타났으며, 단위수량 185 kg/m<sup>3</sup>에서는 2초 내외로 분포하고 있어 단위수량의 증가에 따라 슬럼프-플로우 50cm 도달시간이 빨라지는 것으로 나타났다. 특히, 단위수량 175 kg/m<sup>3</sup>인 경우 물결합재비 0.45를 제외하고 대부분의 배합에서 일본건축학회에서 규정하고 있는 슬럼프-플로우 50 cm 도달시간 3~8초의 범위를 만족시킴으로써 적절한 점성을 가지고 있는 것으로 나타났다.

또한, 물결합재비에 따른 변화를 살펴보면, 물결합재비 0.35에서 상대적으로 양호한 성상을 보이고 있다.

### 3.1.2 간극통과성 및 재료분리저항성 검토

Fig. 4는 V형깔때기 시험방법을 나타낸 것으로, 물결합재비 및 단위수량에 따른 V형깔때기 유하시간의 변화를 나타낸 Fig. 5에서 보는 바와 같이 전체적으로 단위수량이 증가할수록 V형깔때기 유하시간은 빨라지는 경향을 보이고 있다. 특히, 단위수량 175 kg/m<sup>3</sup>의 물결합재비 0.30, 0.35, 단위수량 185 kg/m<sup>3</sup>의 모든 배합에서 일본 콘크리트공학협회에서 규정하고 있는 V형깔때기 유하시간 범위인 5~15초의 범위를 만족하고 있다.

Fig. 7은 Fig. 6과 같은 방법으로 측정된 물결합재비 0.30, 0.35에서 단위수량에 따른 L형 통과시험의 낙하높이를 나타낸 것으로 단위수량 및 페이스트/골재 용적비가 증가할수록 L형 통과시험의 낙하높이도 증가하고 있음을 알 수 있는데, 이는 동일 물결합재비에서 단위수량이 증가할수록 골재용적이 상대적으로 감소했기 때문으로 판단된다. 물결합재비 0.40 및 0.45의 경우에는 거의 모든배합에서 일본 콘크리트공학협회의 L형 통과시험 기준을 만족시키지 못하여 본고에서는 이를 제외하였다.

또한, Fig. 8은 L형 통과시험을 이용하여 구한 전·후

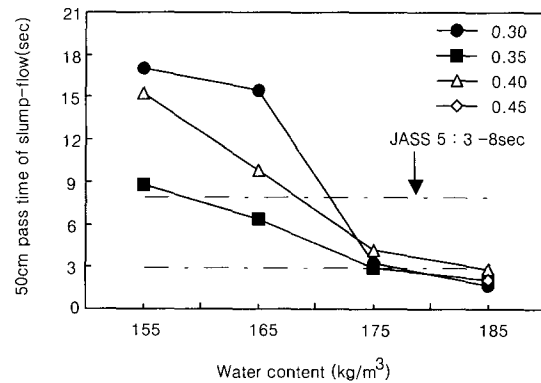


Fig. 3 Variation of 50cm pass time of slump-flow

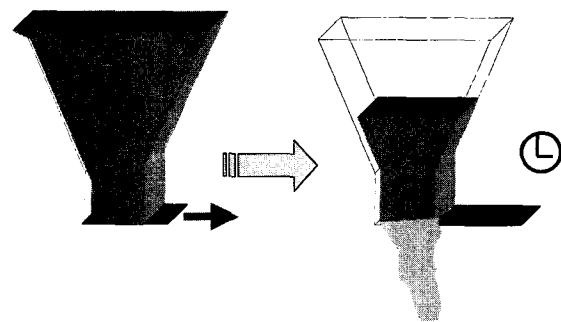


Fig. 4 Testing method of V-lot test

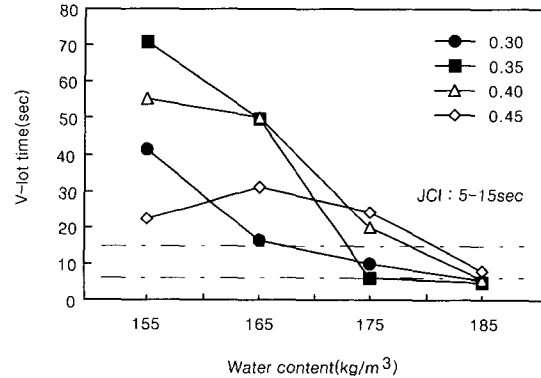


Fig. 5 Variation of V-lot time according to W/B and water content

실 굵은골재 중량비차의 변화를 나타낸 것으로, 시험 전·후실의 콘크리트중의 굵은골재량을 비교함으로써 콘크리트의 재료분리저항성을 검토하고자 하였다.

굵은골재 중량비차는 다음과 같은 식에 의하여 산출하였으며, 중량비차가 적을수록 균질한, 즉 재료분리저항성이 우수한 특성을 나타낸다.

$$\text{굵은골재 중량비차} = G_{\text{before}} - G_{\text{after}}$$

단,  $G_{\text{before}}$  : 전실 콘크리트중의 굵은골재 중량(%)

$G_{\text{after}}$  : 후실 콘크리트중의 굵은골재 중량(%)

그림에서 알 수 있듯이, 대체적으로 물결합재비 0.35인 경우가 0.30보다 굵은골재 중량비차가 작게 나타나고 있어, 재료분리저항성이 상대적으로 양호하게 나타났다.

### 3.2 압축강도 특성 검토

물결합재비별 단위수량에 따른 각 재령별 압축강도의 변화를 나타낸 Fig. 9에서 알 수 있는 바와 같이 물결합재비가 증가할수록 압축강도가 감소하는 일반적인 경향을 보이고 있다. 또한, 배합설계시 기준이 되는 재령 4주의 압축강도 발현특성을 보면 물결합재비 0.40 및 0.45의 단위수량 185 kg/m<sup>3</sup>를 제외하고 모든 배합에서 400 kgf/cm<sup>2</sup>

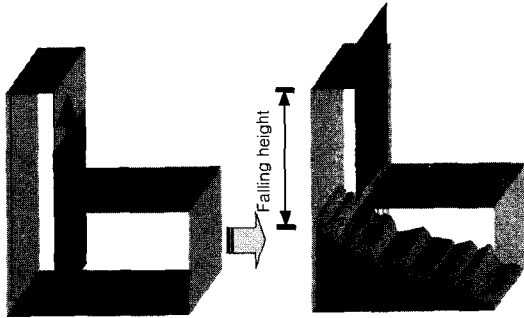


Fig. 6 Testing method of L-passing test

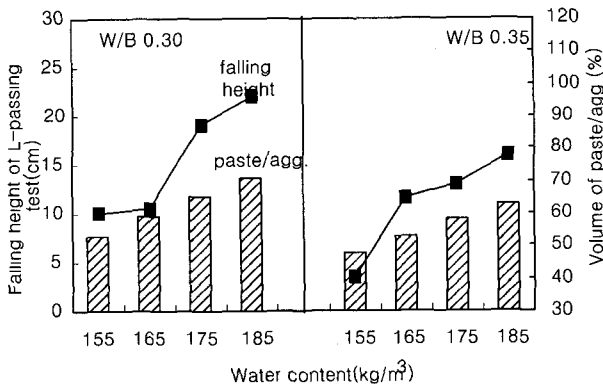


Fig. 7 Variation of falling height and paste/agg.

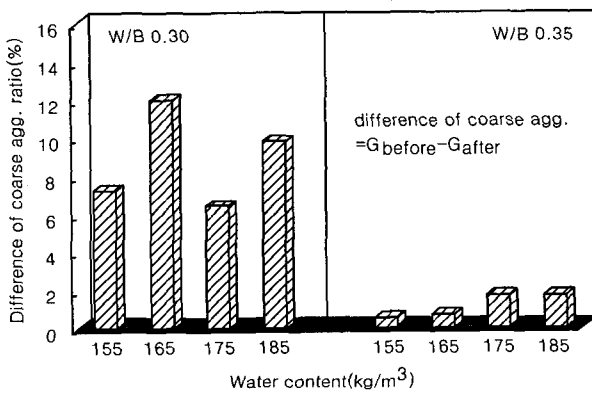


Fig. 8 Difference of coarse aggregate ratio

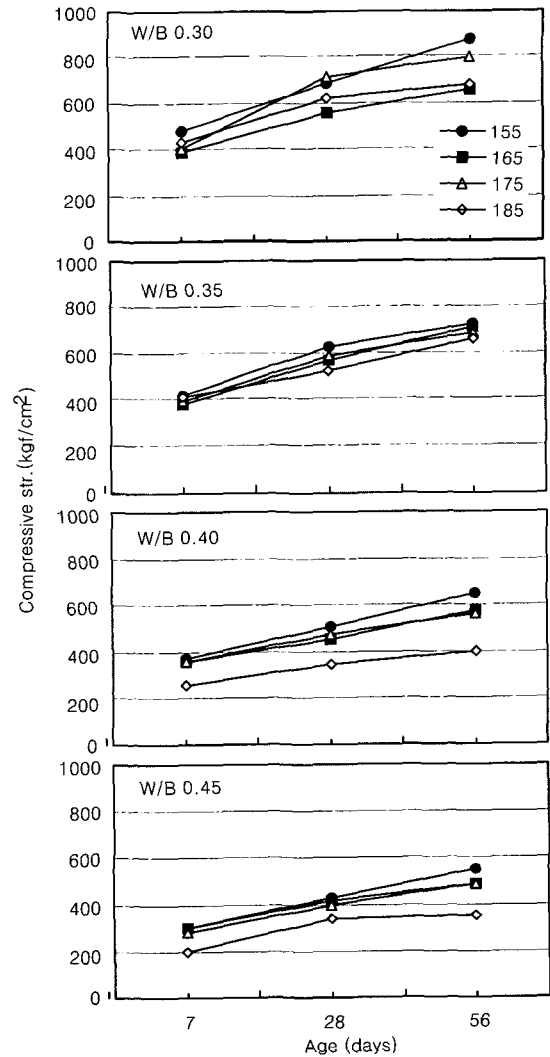


Fig. 9 Variation of compressive strength

이상의 압축강도 수준을 보이고 있다.

또한, 재령 24시간후의 압축강도를 나타낸 Fig. 10에서 보는 바와 같이 모든 배합에서 일본건축학회에서 고유동 콘크리트의 1일 압축강도로 제안하고 있는 50 kgf/cm<sup>2</sup>를 상회하는 90~250 kgf/cm<sup>2</sup>의 수준을 나타내고 있어, 건설 생산현장에서 거꾸집 탈형문제로 인한 공기지연 문제점은 없을 것으로 사료된다.

### 3.3 내동결융해성의 검토

Fig. 11은 플라이애시를 20% 사용한 분체형 고유동 콘크리트에서의 공기연행제의 첨가유무별 물결합재비에 따른 동결융해시험의 상대동탄성계수의 변화를 나타낸 것으로, 물결합재비 0.45의 경우에는 슬럼프-플로우 50 cm 도 달시간 등을 대부분 만족시키지 못하고, 제조사의 콘크리트 성상도 상대적으로 열악하여 검토대상에서 제외하였다.

그림에서 알 수 있듯이, 공기연행제를 첨가한 경우의

상대동탄성계수가 높게 나타났으며, 이러한 경향은 물결합재비 0.35와 0.40에서 현저하게 나타났다. 특히, 물결합재비 0.30의 경우 공기량 수준에 관계없이 동결융해 300사이클 후에도 상대동탄성계수가 80 %이상으로 양호하게 나타났다.

또한, Fig. 12는 물결합재비에 따른 내구성지수의 변화를 나타낸 것으로 역시 공기연행제를 첨가한 배합에서 내구성지수가 높게 나타나고 있다.

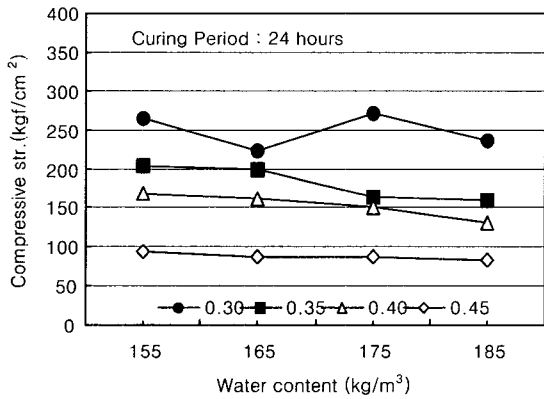


Fig. 10 Variation of compressive strength (1 day)

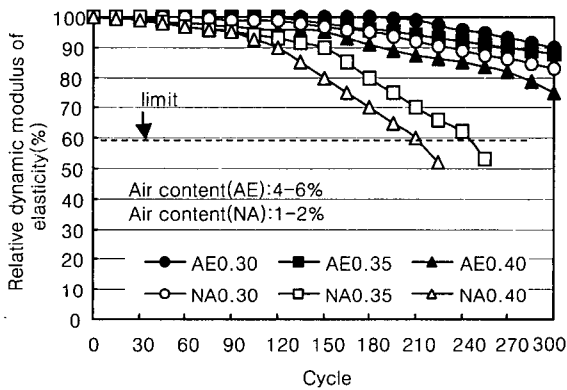


Fig. 11 Variation of relative dynamic modulus of elasticity

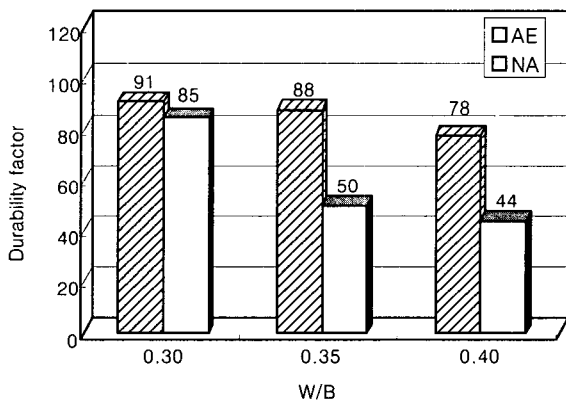


Fig. 12 Variation of durability factor

## 4. 결 론

물결합재비에 따른 고유동콘크리트의 각종 유동특성 및 압축강도특성을 비교·검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 단위수량이 동일할 경우 고성능감수제의 첨가율은 0.1~0.3 %정도의 차이를 나타냈으며, 동일한 물결합재비에서는 단위수량이 증가함에 따라 고성능감수제의 첨가율이 점차 감소하였다.

2) 본 논문 대상인 플라이애시를 20 % 사용한 분체형 고유동콘크리트의 경우, 슬럼프-플로우 60 cm 이상을 확보하기 위해서는 물결합재비는 0.35이하로 하는 것이 상대적으로 유리한 것으로 나타났다.

3) 모든 물결합재비의 단위수량 175 kg/m³에서 일본건축학회에서 제시하고 있는 슬럼프-플로우 50 cm 도달시간 3~8초의 범위를 만족시킴으로써 양호한 점성을 나타내었다.

4) 간극통과성의 경우, 단위수량 및 페이스트/골재 용적비가 증가할수록 양호하게 나타났으며, 재료분리저항성의 경우 물결합재비 0.35가 0.30보다 상대적으로 굵은골재 중량비차가 적게 나타나, 본 연구 대상의 경우 재료분리저항성이 가장 양호한 물결합재비는 0.35로 나타났다.

5) 재령 24시간 압축강도의 경우, 모든 배합에서 일본건축학회의 제안치인 50 kgf/cm²를 상회하는 90~250 kgf/cm²의 수준을 나타냈다.

6) 내동해성을 검토한 결과, 공기연행제를 첨가한 경우의 내구성지수가 높게 나타났으며, 이러한 경향은 물결합재비 0.35와 0.45에서 현저하게 나타났다.

## 참고문헌

1. 超流動コンクリート研究委員会, “コンクリートシンポジウム論文報告集,” 日本コンクリート工學協會, 1993.5.21.
2. 日本建築學會編, “高流動コンクリートの材料·調合·製造·施工指針(案),” 日本建築學會, 1997, 1.
3. 金武漢, “高流動콘크리트의 콘시스턴스 특성 및 各種影響要因에 關한 考察,” 레미콘지, 1996, 4.
4. 日本建築學會, “建築工事標準仕様書·同解説(JASS5 鐵筋コンクリート工事),” 1997, 3, pp.404~405.
5. 岩崎訓明, “コンクリート配合の原點,” セメントコンクリート, No.564, 1994, 4, pp.20~27.
6. 十河茂幸ほか3, “高流動コンクリートのフレッシュ性狀に及ぼす骨材粒度の影響,” 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.17, No.1, 1995, pp.11~16.
7. 佐藤正一ほか3, “細骨材の粒度の相違が高流動コンクリー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, pp.111~116.
8. 栴田佳寛ほか3, “準高流動コンクリートに關する實驗

- 的研究(その1~3),” 日本建築學會學術講演梗概集, 1997, pp.219~224.
9. 谷川恭雄ほか2, “超流動コンクリートにおける粗骨材連行性に關するレオロジ-的考察,” 超流動コンクリートに關するシンポジウム論文報告集, 1993, pp.79~83.
  10. 名和豊春ほか, “高ビーライト系セメントを用いた高流動・高强度コンクリートに關する研究,” 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.15, No.1, pp.143~148, 1993.
  11. 西本好克ほか3, “高流動コンクリートのフレッシュ性狀に關する基礎的研究,” 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.16, No.1, pp.119~124, 1994.
  12. 西林新藏ほか3, “フレッシュコンクリートの流動性評價に關する研究,” 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.14, No.1, pp.375~380, 1992.
  13. 김무한 외, “초유동콘크리트의 제조시스템 및 개발에 관한 실험적연구,” 대한건축학회논문집, 제13권 5호, 통권103호, pp.279~288, 1997.
  14. 이상수 외, “초유동콘크리트의 적용사례(인천지하철),” 한국콘크리트학회 가을학술발표논문집, 제10권 2호, 1998.11, pp.916~921.
  15. 건설교통부, “콘크리트표준시방서,” 1999. 한국콘크리트학회

## 요 약

최근 고유동콘크리트에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 건설현장에서의 시공사례도 발표되고 있다. 고유동콘크리트의 유동특성으로는 유동성, 충전성, 간극통과성, 재료분리저항성 등이 있으며, 이러한 고유동콘크리트의 유동특성은 물결합재비, 단위수량, 결합재량 등 여러 가지 요인에 의해 영향을 받는다.

본 연구는 고유동콘크리트의 특성에 미치는 물결합재비와 단위수량의 영향을 비교·분석하고자 하였다. 이를 위해 물결합재비(W/B : 0.30, 0.35, 0.40, 0.45) 및 단위수량(W : 155, 165, 175, 185 kg/m<sup>3</sup>)에 따른 고유동콘크리트의 배합을 선정하여, 굳지않은 콘크리트에서 슬럼프-플로우, V형깔때기, L형통과시험 등과 경화콘크리트에서 압축강도 및 동결융해시험 등을 실시하였다.

실험결과, 본 논문대상의 경우 모든 물결합재비의 단위수량 175 kg/m<sup>3</sup>에서 일본 건축학회에서 제안하고 있는 슬럼프-플로우 50 cm 통과시간 제안치인 3~8초를 만족시키는 적정한 점성을 나타냈으며, 물결합재비 0.35에서 가장 양호한 재료분리저항성을 나타내었다. 또한, 모든 배합에서 28일 양생후 340~710 kgf/cm<sup>3</sup> 수준의 높은 압축강도를 발현하였으며, 공기연행제를 첨가한 고유동콘크리트에서 양호한 내동결융해성을 보여주었다.

**핵심용어** : 고유동콘크리트, 물결합재비, 단위수량, 충전성, 재료분리저항성