

에트링가이트계 혼화재 및 실리카흄을 사용한 고강도콘크리트의 물성에 관한 연구

Study on Properties of High Strength Concrete using
Ettringite Based Additives and Silica fume

이 승 한

(계명대학교 공과대학 토목공학과 부교수)

1. 序 論

구조물에 高强度 콘크리트를 사용하면 부재의 단면을 감소시켜 자중의 감소로 구조물을 輕量化, 高層化, 장대화할 수 있는 등 그 효과는 대단히 크게되어 최근에 와서 高强度 콘크리트에 관한 연구개발^(1,2)이 활발하게 진행되고 있다. 이들 高强度化의 방법으로는 시멘트풀 및 골재의 强度改善과 이들의 附着强度 改善을 들 수 있고, 高强度化의 여러 방법을 조합하여 행하는 경우도 많다^(3,4). 이중 시멘트풀의 强度개선법으로 선진 외국에서는 이미 高性能減水劑 및 에트링가이트계 혼화재를 사용하여 壓縮强度 800-1000kg/cm²의 工場製品⁽⁵⁾뿐만 아니라 현장 타설 콘크리트에도 적용^(5,6,7)하고 있다.

그러나 우리 나라에서는 高性能減水劑를 사용하여 蒸氣養生으로 高强度를 얻는 말뚝, 흡관 및 프리스트레스트 콘크리트보와 현장타설에서 壓縮强度 400-500kg/cm²가 일부 사용되고 있으며 오토클레이브 양생을 실시 고강도 파일을 일부 생산하고 있으나 경제성면에서 高强度 콘크리트의 실용화에는 아직 미흡한 실정에 처해 있다.

이에 본 연구에서는 시멘트풀의 强度개선에 착안하여 에트링가이트계 혼화재, Silica Fume(이하 SF로 약칭) 및 高性能減水劑를 사

용하여 현재 콘크리트 제조공장에서 사용하고 있는 저품질의 골재를 대상으로 實用化 측면에서 증기양생만으로 콘크리트의 高强度化를 기하고자 한다.

2. 실험개요

2.1 실험재료

시멘트, 굵은골재와 모래는 現在 製造工場에서 사용하고 있는 材料를 사용하고 高性能減水劑, Silica Fume 및 에트링가이트계 혼화재를 사용하였으며 그 物理的 性質은 아래와 같다.

2.1.1 시멘트

본 연구에서 사용한 시멘트는 내수용 보통 포틀랜드 시멘트(Ordinary Portland Cement :이하 OPC로 약칭)로 A사와 B사 제품을 대상으로 이들 시멘트가 强度特性에 미치는 영향을 비교 검토하기 위하여 동일배합의 실험을 하였으며, 그 物理的 特性은 다음과 같다.

Table-1 Physical properties of Ordinary portland Cement

kinds	Sign	Specific gravity	Blaine (cm ² /g)
OPC(A)	A	3.13	3190
OPC(A)	B	3.13	3642

2.1.2 骨材

실험에 사용한 굵은골재는 경북 성주産 19mm 쇄석을, 잔골재는 김천産 모래를 사용하였으며 이들의 物理的 特性은 Table-2와 같다.

Table-2 Physical properties of aggregate

kinds	Max. Size	Specific gravity	Absorption (%)	Fineness
Fine Agg.	5	2.52	1.73	2.91
Coarse Agg	19	2.59	0.93	7.06

2.1.3 混和劑

高性能 減水劑는 나프탈렌 설폰산염 고함축물 계인 Mighty-150을 사용하였으며 이의 物理的 特性은 Table-3과 같다.

Table-3 Physical properties of chemical admixtures

Name	Appearance	Sign	Specific gravity	pH
Mighty-150	Dark brown	SP	1.2	8±1

2.1.4 혼화재

본 연구에 사용한 혼화재는 분말 Silica Fume과 에트린가이트계 혼화재인 DM 및 CP이며, 그 특성은 Table-4와 같다.

Table-4 Physical properties of Silica fume and admixtures for High-Strength Concrete

Kinds	Sign	Specific gravity	Blaine (cm ² /g)
Silica	SF	2.18	192400
Admixtures for High-Strength Concrete	MD	2.92	2700-3500
	CP	2.92	7500

2.2 配合 및 製造方法

2.2.1 콘크리트의 配合

高强度 콘크리트를 제조하기 위하여 물-결합재 비를 30, 35, 40% 단위결합재량을 460, 530, 600kg/m³ 각각 3종류로 하였다. 또한 에트린가이트계 혼화재는 2종류로 치환율을 10, 15 및 30%까지 변화시키었으며 여기에 실리카흙 10%와 이들을 병용치환하여 검토하였다. 高性能 減水劑의 添加量은 슬럼프값이 6±1cm가 되도록 사용 조절하였다.

2.2.2 믹싱 및 공시체 제작

믹서는 용량 50ℓ의 가경식 믹서를 사용하였으며, 공시체는 믹서에 시멘트, 잔골재 및 혼화재를 투입하고 1분간 Dry mixing을 한 후, 물과 高性能 減水劑를 넣고 1분간, 굵은골재 투입 후 2분간, 손비빔 1분간을 하여 소정의 슬럼프를 확인한 다음 제작하였다. 단 高性能 減水劑의 添加는 同時 添加形으로 하였다.

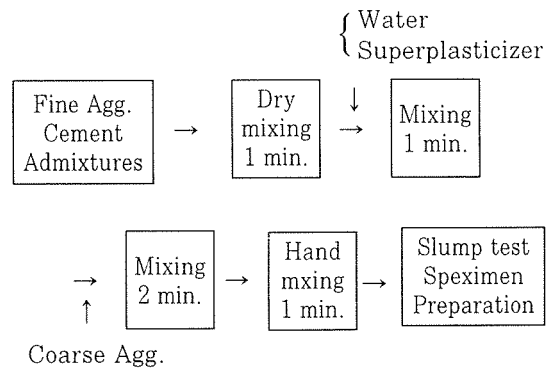


Fig.1 Mixing method

2.3 養生方法

본 연구의 養生方法은 工場製品를 대상으로 하여 蒸氣養生후 氣乾養生하는 것을 기준으로 하였고 蒸氣養生과 强度를 비교하기 위하여 水中養生도 병행하였다. 蒸氣養生方法은 前置과정, 昇

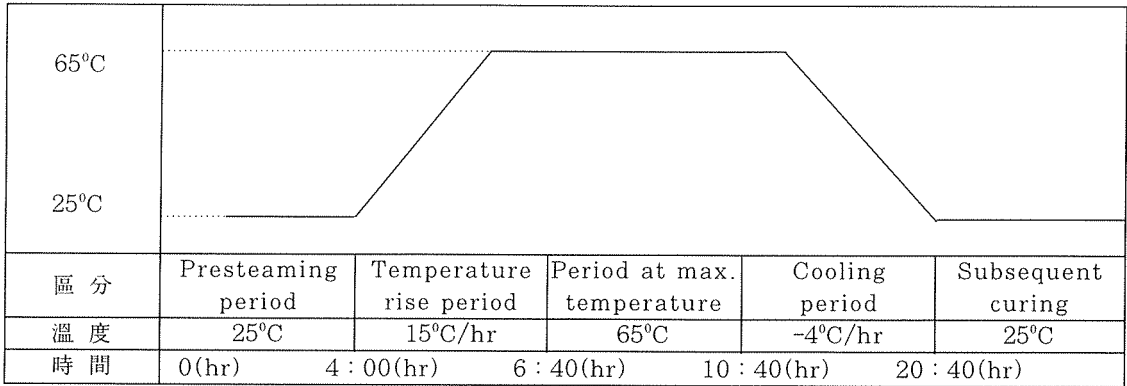


Fig.2 Typical sequence for steam curing

溫과정, 最高溫度 維持과정 및 冷却과정 등 4단계로 구분되며 각각의 溫度 및 時間은 重倉들의⁹⁾ 연구결과를 토대로 Fig.2와 같이 설정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

∅ 10×20cm의 공시체는 蒸氣養生과 水中養生을 각각 실시한 후 재령에 따라 유황캡핑을 하여 KS F 2405에 의해 壓縮強度 시험을 실시하였다. 또한 蒸氣養生한 재령 28일의 공시체에 한하여 KS F 2433에 의해 軸壓強度 시험을 실시하였다. 각 배합설계별 굳지않은 콘크리트의 성질, 재령별 壓縮 및 軸壓強度는 Table-5와 같다.

3.1 高性能減水劑의 添加量

콘크리트의 強度는 물-시멘트비에 의존한다고 알려져 있으나 본 연구에서는 혼화재를 치환한 관계로 시멘트와 혼화재를 結合材로 보고 물-結合材비의 개념을 사용하였다.

이 표는 동일 슬럼프를 유지하는데 물-결합재비가 작아질수록 高性能減水劑의 첨가량이 증가됨을 알 수 있다. 또한 高性能減水劑의 添加量은 혼화재의 種類에 따라 크게 차이를 보이고 있으며 이중 물-결합재비 30%에서의 SF를 10% 치

환한 경우는 OPC만을 사용한 경우보다 0.95%, DM를 10% 치환한 경우보다 1.2% 高性能減水劑의 添加量이 증가하고 있음을 나타내고 있다. 이는 SF 粒子의 비표면적이 매우 크기 때문에 물과 접하는 표면적의 증가로 시멘트 수화생성물인 수산화칼슘과 초기 단시간에 반응하여 Gel상의 물질을 생성하여 슬럼프의 발현성이 악화되기 때문이라는 논문^{9,10)}과도 일치된 결과이다.

한편 에트린가이트계 혼화재 10%사용은 OPC보다 동일 슬럼프(6 1cm)를 얻는데 고성능 감수제의 사용량이 줄어들어, 물-결합재비 35%에서 감수제 첨가 없이 동일 슬럼프를 얻었음을 보여주고 있다. 이는 Table-5에 나타나 있는 것과 같이 물-結合材비 40%의 경우 高性能減水劑를 첨가하지 않은 OPC의 슬럼프가 13cm인데 반해 DM를 10%로 치환한 경우 슬럼프가 17cm로 증가되어, 에트린가이트계 혼화재는 高性能減水劑의 감소 효과 및 流動性を 증가시키고 있음을 알 수 있다.

그러나 SF를 치환한 경우는 OPC만 사용했을 경우 보다 高性能減水劑의 添加量을 증가시켜야 함을 나타내고 있다.

또한, Fig.3은 단위 結合材量과 高性能減水劑의 添加量과의 관계를 나타낸 것이다. 이 그림은 단위 結合材量이 많을수록 高性能減水劑의 添加

Table-5 Test result of compressive strength, splitting-tensile strength and Quality of fresh concrete

B*	W B*	Replacement of Admixture	Kind of Cement	Strength(kgf/cm ²)					Quality of fresh concrete		
				Compressive				Splitting-tensile	SP (B×%)	Slump (cm)	
				Steam curing			Standard curing				Steam curing
				1 day	7 day	28 day		28 day			
460	30	0	A	286	293	374	471	33	3.20	5.5	
		SF10	A	202	261	308	303	36	3.50	5.3	
		DM10	A	225	278	425	255	34	2.70	5.0	
		SF10+DM10	A	264	275	336	348	42	4.80	5.5	
530	30	0	A	335	430	521	547	39	0.80	5.8	
			B	378	415	475	507	40	1.20	5.7	
		SF10	A	390	460	534	624	54	1.75	5.5	
		DM10	A	390	449	675	424	41	0.55	6.0	
			B	425	512	649	416	47	0.70	5.0	
		CP15	B	465	550	683	632	56	0.80	7.0	
		CP30	B	488	632	739	420	57	0.65	6.3	
		SF10+DM10	A	602	736	784	624	73	1.60	5.5	
	SF10+CP15	B	598	764	767	649	56	1.50	7.0		
	SF10+CP30	B	604	703	683	624	53	1.40	6.0		
	35	35	0	A	277	369	472	461	41	0.20	6.1
				B	318	353	421	525	41	1.00	5.0
			DM10	A	345	406	583	343	49	0.00	5.0
				B	368	438	577	321	38	0.00	5.5
	40	40	0	A	238	317	379	347	36	0.00	13.0
				B	283	355	397	452	42	0.20	5.0
DM10				A	236	359	489	201	49	0.00	17.0
600	30	0	A	345	462	474	537	42	0.70	5.0	
			B	316	409	469	436	41	0.50	7.0	
		SF10	A	432	471	565	600	45	1.50	5.38	
		DM10	A	427	528	637	319	59	0.40	6.3	
		CP15	B	469	573	716	643	52	0.55	5.2	
		CP30	B	521	616	722	446	64	0.45	5.1	
		SF10+DM10	A	480	550	680	504	66	0.90	5.3	
		SF10+CP15	B	503	637	700	588	55	1.00	6.3	
SF10+CP30	B	492	588	704	576	60	0.90	6.0			

량이 감소하는 경향이 혼화재의 종류에 관계없이 나타내고 있으며 단위 결합材量 530kg/m³를 경계로 高性能減水劑 添加量의 급격한 변화를 보이고 있다. 즉 단위 결합材量이 460kg/m³보다

530kg/m³가 1.75-3.2%로 급격한 감소를 나타내고 있으며 530kg/m³보다 600 kg/m³가 0.2-0.5%로 약간의 감소를 보여 高性能減水劑 添加量의 감소가 완화되고 있음을 보여주고 있다. 이

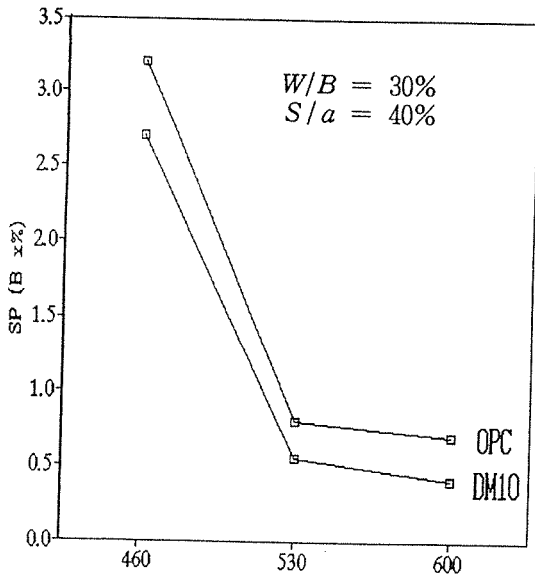


Fig.3 Variation of dosage of superplasticizer at constant slump

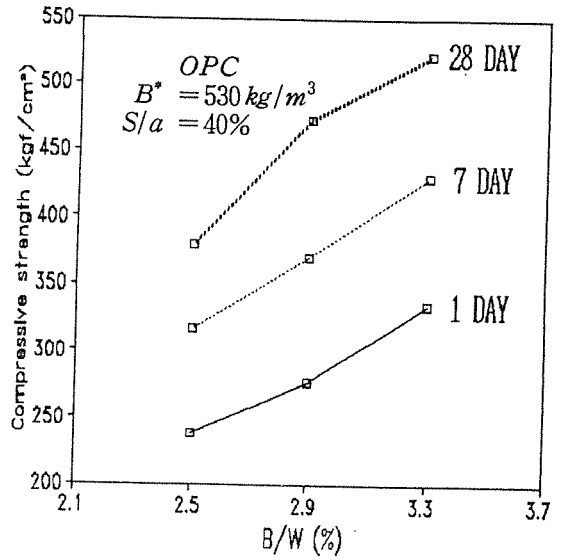


Fig.4 Relationships between Water Cement Ratio and Compressive Strength of Concrete

러한 高性能減水劑의 添加量의 감소현상은 에트린가이트계 혼화재를 사용한 경우가 더욱 현저함을 나타내고 있다.

따라서, 단위 결합재량이 530kg/m³가 高性能減水劑의 경제적인 사용범위라고 생각된다.

3.2 물-結合材比와 압축강도

Table-5로부터 強度특성은 물-結合材比가 작을수록 強度가 증가하고 있으며 30%에서 최대 強度를 나타내고, 30%보다 작은 경우 25%,28%에서 強度가 오히려 감소되는 현상을 알 수 있다. 이러한 결과는 혼화재의 종류에 관계없이 유사한 경향을 나타내고 있어, 高性能減水劑의 과잉첨가와 다짐의 불충분으로 기인된 것이라 생각된다.

단위 結合材量 530kg/m³일 때 재령 1일,7일,28일의 壓縮強度와 물-結合材比와의 관계를 OPC만 사용시는 Fig.4에, 에트린가이트계 혼화재인 DM 치환시는 Fig.5에 각각 나타내었다. 이들 그림은 콘크리트의 강도가 결합재-물비에

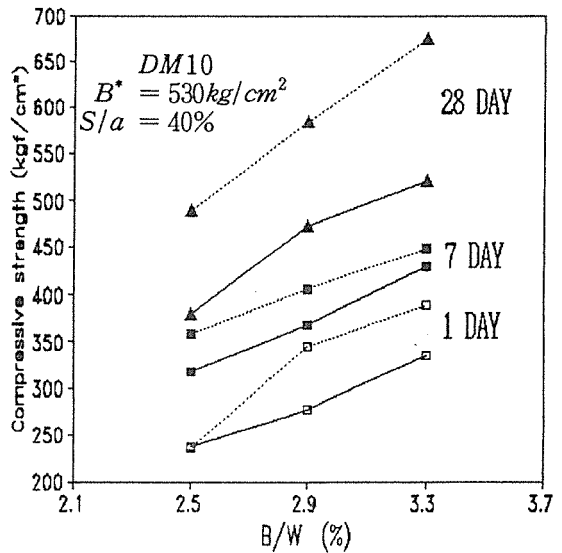


Fig.5 Compressive Strength Versus B*/W

비례함을 나타내고 있다. 이는 OPC의 경우 강도가. $B/W=2.5$ 에서 $347\text{kg}/\text{cm}^2$ 인 것이 $B/W=3.3$ 에서는 $475, 521\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 나타내고 있으며, 1일, 7일 강도도 같은 비율로 증가 하고 있다. 이와같은 경향을 Fig.5에서의 에트린가이트계 혼화재 DM치환시에도 동일함을 나타내고 있다.

3.3 혼화재에 따른 强度特性

Fig.6은 단위 結合材量 $530\text{kg}/\text{m}^3$ 와 $600\text{kg}/\text{m}^3$ 일 때 물-結合材比 30%에서 CP치환율과 재령에 따른 壓縮强度와의 관계를 나타내고 있다. Fig.6에서는 단위 結合材量이 $530\text{kg}/\text{m}^3$, $600\text{kg}/\text{m}^3$ 일 때 모두 CP이 치환율이 증가할수록 콘크리트의 壓縮强度가 증진되고 있음을 알 수 있다.

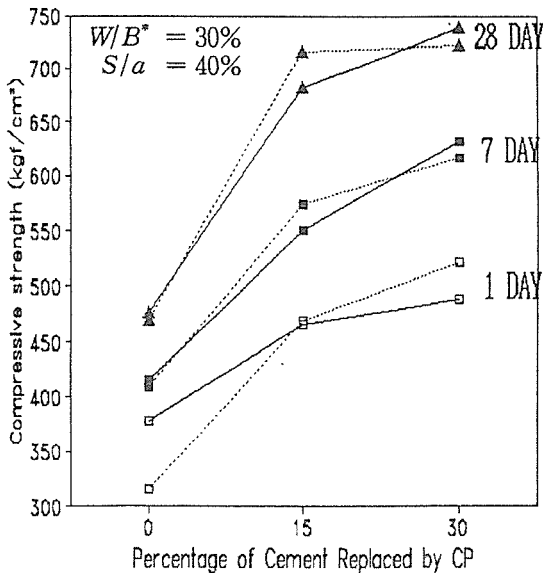


Fig.6 Variation of compressive strength at watercementitious Ratio of 0.3 and constant slump

또한 혼화재의 종류에 따른 콘크리트의 强度特性을 알기 위하여 물-結合材比 30%일 때 OPC만 사용한 콘크리트의 재령 1일, 7일, 28일의 壓縮强度를 100으로 하여 각 혼화재 치환시의 콘크리트의 强度比를 Table-6에 나타내었다.

Table-6 Properties of strength for Replacement Ratio of each Admixtures ($W/B^*=30\%$)

B^*	Age	Replacement Ratio of Admixtures(%)							
		0	SF10	DM10	CP15	CP30	SF10 + DM10	SF10 + CP15	SF10 + CP30
530	1 day	100	117	116, 113	123	129	180	158	160
	7 day	100	107	104, 123	133	152	171	184	169
	28 day	100	102	129, 137	144	156	150	161	144
600	1 day	100	125	124	148	165	139	159	156
	7 day	100	102	114	140	151	119	156	144
	28 day	100	119	134	153	154	144	149	150

Table-6에서도 알 수 있듯이 에트린가이트계 혼화재를 사용하여 强度比를 160정도로 증가시킬 수 있다. 또한 7일 壓縮强度는 SF 10%에 CP 15% 병용 치환한 경우 $764\text{kgf}/\text{cm}^2$ 을 DM 10% 첨가에서 $736\text{kgf}/\text{cm}^2$ 및 CP 30% 첨가시에 $703\text{kgf}/\text{cm}^2$ 의 壓縮强度를 얻어 强度比를 170-180까지 증가시킬 수 있음을 나타내고 있다. 그리고 28일 壓縮强度는 DM 10% 첨가에서 $785\text{kgf}/\text{cm}^2$ 을 CP 15% 첨가에서는 $767\text{kgf}/\text{cm}^2$ 를 CP 30% 첨가시에 $683\text{kgf}/\text{cm}^2$ 의 强度를 얻어 强度比를 145-160까지 증가시킬 수 있음을 나타내고 있다. 또한 SF 10% 치환한 경우 强度比 82-119, DM 10%의 경우 强度比 114-137의 强度증진을 보이고 있는 반면, CP 15%의 경우 144-153, CP 30%치환의 경우는 154-155의 强度증진을 보이고 있어 SF보다 에트린가이트계 혼화재가 우수한 强度증진 효과를 나타내고 있다. 또한 이들을 병용 치환한 경우는 强度比를 170-180까지 증가시킬 수 있어 强度증진에 더욱 효과적임을 알 수 있다. 이는 에트린가이트계 혼

화재가 蒸氣養生에 의하여 시멘트중의 칼슘 실리케이트의 수화를 촉진시켜 칼슘 알루미늄하이드록사이드와 반응하여 미세한 에트링가이드를 생성시켜 경화조직이 치밀하게 되어 高强度가 발현되기 때문¹⁾이라고 사료된다.

한편 단위 結合材量이 530kg/m³와 600kg/m³일 때 물-結合材比 30%에서 SF와 에트링가이드계 혼화재인 CP를 병용 치환한 경우의 혼화재 치환율과 壓縮强度와의 관계를 Fig.7에 나타내었다.

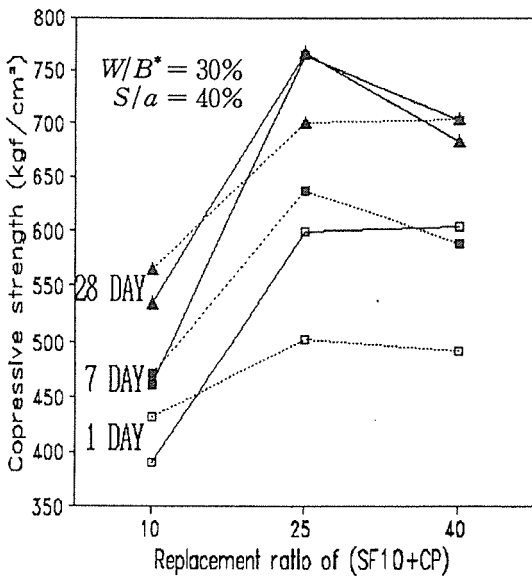


Fig.7 Compressive Strength Versus Replacement Ratio of (SF10+CP)

이 그림은 SF 10%에 에트링가이드계 혼화재인 CP를 15-30% 병용 치환함으로써 1일 壓縮强度를 600kgf/cm²를 7일, 28일 强度를 700kgf/cm²이상 얻을 수 있음을 보여주고 있다.

따라서 CP 단독 사용시는 15% 치환보다 30% 치환이 强度면에서 효과적이지만, CP와 SF 10%를 병용 치환시는 CP 30% 치환이 CP

15% 치환보다 强度가 감소하는 경향을 보이고 있어 CP는 15% 치환이 실용화에 적합하다고 생각된다.

3.4 養生방법에 따른 强度변화

Table-7은 재령 28일 蒸氣養生 壓縮强度를 100으로 하여 水中養生시의 强度比를 나타낸 것이다.

Table-7 Steam curing Compressive Strength per Standard curing Compressive Strength

B*	W/B*	Replacement Ratio of Admixtures(%)							
		0	SF10	DM10	CP15	CP30	SF10 + DM10	SF10 + CP15	SF10 + CP30
460	30	126	98	60	-	-	103	-	-
	30	105, 107	117	63, 64	93	57	80	85	91
530	35	98	125	59, 56	-	-	-	-	-
	40	91	114	41	-	-	-	-	-
600	30	113, 93	106	50	90	62	74	84	82

이 표에서 OPC만 사용한 경우는 91-126, SF 10%를 치환한 경우는 98-125로 蒸氣養生보다 水中養生이 强度증진을 보이고 있는 반면, DM 10% 치환의 경우는 50-86, CP 15% 치환한 경우에는 78-100, CP 30% 치환한 경우에는 52-61로 水中養生이 蒸氣養生보다 强度가 감소하는 경향을 보여 에트링가이드계 혼화재는 蒸氣養生시 효과적인 强度 발현을 나타내고 있다.

특히 Fig. 8에 나타나 있는 것과 같이 물-결합재비 30%에 대한 단위시멘트량 460, 530, 600Kg/m³의 증기양생과 표준양생과 강도는 水中養生시 DM 10%를 치환한 경우는 OPC만 사용한 경우에 비해 170-318kgf/cm²까지 强度가 감소하고 있음을 나타내고 있으며 증기양생에 비하여 표준양생의 경우 1/2-1/3정도의 강도에 불과하고 있다.

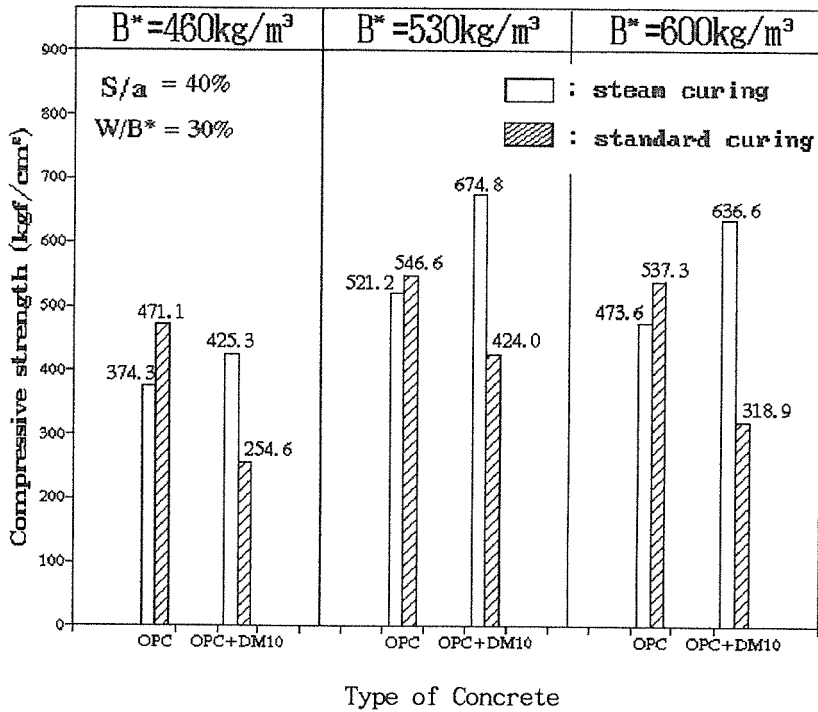


Fig 8 Effects of curing conditions on compressive strength

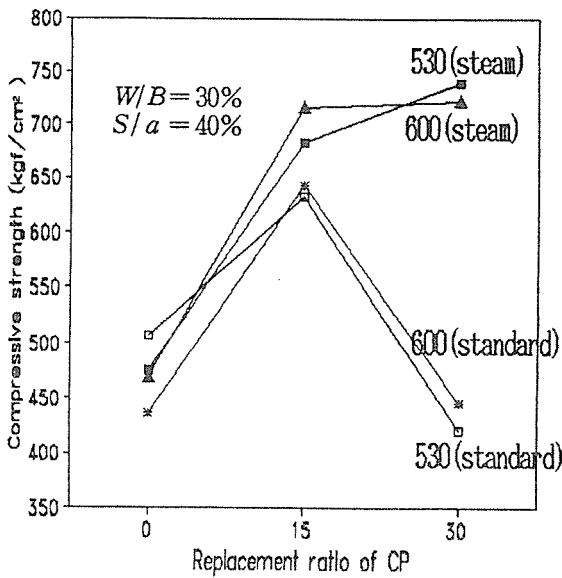


Fig.9 Compressive strength of concrete containing CP admixture under steam and standard curing

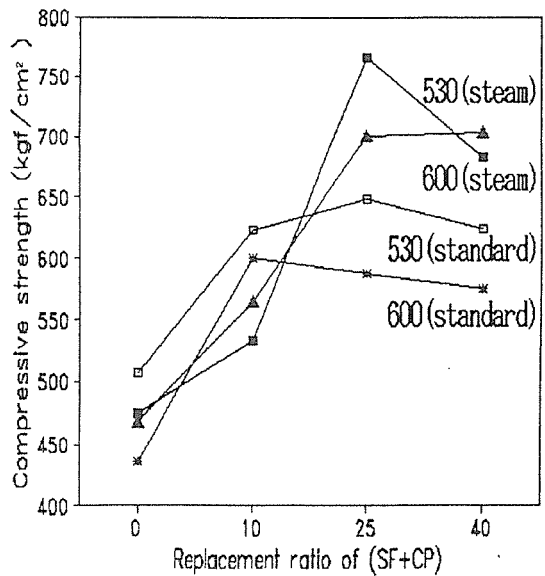


Fig.10 Compressive strength of concrete containing CP and SF under steam and standard curing

한편 Fig.9는 에트린가이트계 혼화재 CP의 치환율과 증기양생 및 수중양생시의 강도와와의 관계를 나타내고 있다. 이 그림에서 CP를 15% 치환한 경우는 단위結合材量 530kg/m³과 600kg/m³에서 OPC만 사용한 경우보다 수중양생시 각각 125kgf/cm², 206kgf/cm²로 强度가 높게 나타난 632, 643kgf/cm²로 증기양생뿐만 아니라 수중양생에서도 탁월한 강도 증진효과를 나타내고 있음을 보여주고 있다. 그러나 30%치환의 경우는 증기양생에 비하여 현저하게 강도가 저하하여 OPC보다 약한 강도를 나타내고 있어 표준양생시의 치환율은 15%가 적정 수준으로 사료된다.

또한 에트린가이트계 혼화재 CP와 SF10%를 병용 치환한 경우는 Fig.10에 나타나 있는 것과 같이 水中양생시에도 壓縮强度가 600kgf/cm² 이상으로 蒸氣양생보다는 감소하였지만 OPC만을 사용한 경우보다는 높아 水中양생으로도 高强度 콘크리트를 생산할 수 있음을 보여주고 있다.

따라서 에트린가이트계 혼화재 DM은 蒸氣양생에서만 강도증진을 나타내며 CP는 蒸氣양생뿐만 아니라 水中양생일 경우에도 탁월한 강도증진 효과를 나타내고 있다.

3.5 할열인장강도

Fig.11은 증기양생시의 압축강도에 대한 휨강도의 관계를 나타내었으며, 1차회귀분석 결과 28일 할열인장강도식은 $\sigma_{28} = 0.059c_{28} + 14.47$ 이며 상관 계수 0.81로 비교적 크게 나타나 에트린가이트계 혼화재를 사용하여 증기양생한 콘크리트의 할열인장강도의 추정에 사용할 수 있다고 사료된다.

또한 Table-8은 蒸氣양생시 재령 28일의 할열인장强度和 壓縮强度의 비를 나타내었다.

이 표에서는 할열인장强度/壓縮强度는 1/8-1/16의 분포를 나타내고 있으며 보통 콘크리트 1/10-1/13¹⁰⁾ 보다 그 분포 폭이 크다고 할 수 있다. 특히 DM를 10% 치환의 경우에는 할열인장强度/壓縮强度는 1/12-1/16로 할열인장强度가 적게 나타나 있어 壓縮强度의 증대에 비하여 할

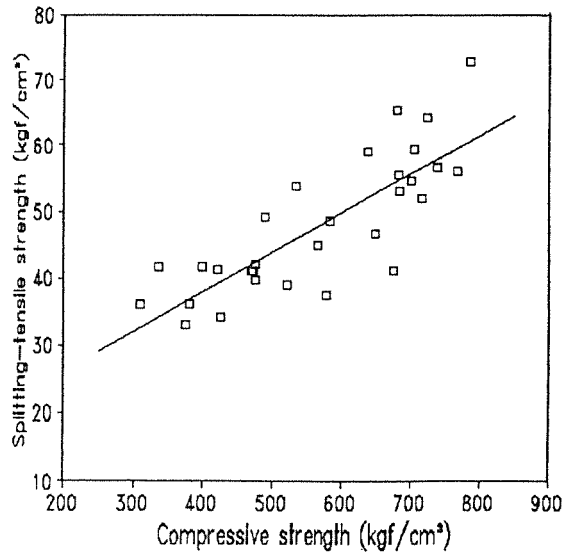


Fig.11 Relationship between compressive strength and splitting-tensile strength

Table-8 Compressive Strength per Splitting-tensile Strength (W/B*=30%)

B'	Replacement Ratio of Admixtures(%)							
	0	SF10	DM10	CP15	CP30	SF10 + DM10	SF10 + CP15	SF10 + CP30
460	1/11	1/9	1/12	-	-	1/8	-	-
530	1/13, 1/12	1/10	1/16, 1/14	1/12	1/13	1/11	1/14	1/13
600	1/11, 1/11	1/13	1/11	1/11	1/11	1/10	1/13	1/12

열인장强度가 같은 비율로 증대하지 않음을 나타내고 있다. 그러나 에트린가이트계 혼화재를 사용함으로써 할열인장强度를 OPC에 비하여 약 1.5-2배정도 증가시킬 수 있음을 Table-5에서 알 수 있다. 따라서 에트린가이트계 혼화재는 할열인장强度를 증가시키는 효과가 있다고 사료된다.

4. 結 論

본 연구는 공장제품을 대상으로 콘크리트를 高强度化하기 위한 연구로 본 연구의 범위내에서 얻

은 결론은 다음과 같다.

(1) 종래의 蒸氣養生만으로 불가능하였던 1일 壓縮強度 600kgf/cm² 이상, 7일 壓縮強度 700kgf/cm² 이상, 28일 壓縮強度 750kgf/cm² 이상의 高強度 콘크리트를 高性能減水劑, Silica Fume 및 에트린가이트계 혼화제를 사용함으로써 얻을 수 있다.

(2) Silica Fume 10%와 에트린가이트계 혼화제를 병용 치환시 DM 10%에서 784kgf/cm², CP는 15%에서 766kgf/cm², CP는 30%에서 683kgf/cm²를 얻어 DM은 10%, CP는 15%에서 치환율이 적정 수준인 것으로 생각된다.

(3) 슬럼프 6±1cm의 조건하에서 高性能減水劑의 添加量은 단위結合材量이 많아질수록 高性能減水劑의 添加量은 감소하며 에트린가이트계 혼화제는 유동성을 증가시켜 동일 슬럼프값을 얻기 위해서는 高性能 減水劑의 添加量을 줄일 수 있다.

(4) 壓縮強度 750kgf/cm²이상에서는 굵은골재의 熱裂과괴현상이 일어나고 있어, 이보다 높은 高強度 콘크리트를 얻기 위해서는 양질의 골재 선정이 필요하다.

(5) 에트린가이트계 혼화제인 CP 15%를 단독 치환함으로써 蒸氣養生시 700kgf/cm², 水中養生시에는 630kgf/cm²의 強度를 얻었다.

(6) 에트린가이트계 혼화제인 DM은 蒸氣養生시 強度증진에 효과적이며 水中養生시에는 OPC보다 強度가 오히려 감소한다.

(7) 에트린가이트계 혼화제는 콘크리트말뚝, 흙관 등에 蒸氣養生을 행하여 高強度를 필요로 하는 콘크리트제품에 이용할 수 있으며 제품의 조기 출하를 가능하게 한다.

(8) 혼화제를 사용한 高強度 콘크리트는 熱裂인장強度비가 1/8-1/16로 콘크리트의 熱裂인장強度를 증진에도 효과적이라 사료된다.

(9) 본 연구에서는 단위 結合材量 530kg/m³, 물-結合材比 30%일 때 SF 10%와 DM 10%를 병용 치환하여 蒸氣養生을 실시하므로써 재령 28일 壓縮強度 784kgf/cm², 熱裂인장強度 73kgf/cm²인 高強度 콘크리트를 얻었다.

참고문헌

- 1) 長瀧重義: 高強度콘크리트에關する研究と實用化, 第10回콘크리트工學年次論文報告集, Vol.10-1, 1988, pp.61-68.
- 2) 長瀧重義, 米倉亞州夫, 橫田弘: 高溫度養生した 콘크리트의力學的特性に及ぼす活性シリカの效果, セメント콘크리트年譜, No.387, 1979, pp.8-15.
- 3) 長瀧重義, 大賀, 坂井: 高溫度養生下におけるフライアッシュ콘크리트의力學特性, 日本土木學會論文集, No.390, Feb. 1988, pp.189-197
- 4) 文翰英, 金眞徹: SF을 혼합한 콘크리트의 高強度化에 關한 基礎的 研究, 大韓土木學會 論集, 제12권 4-1호 1992.12
- 5) 寺西浩司, 岸谷孝一, 江口清: 超高強度콘크리트의 調合に關する一考察, 日本콘크리트工學年次論文報告集, Vol.14, No.1, 1992, pp.465-468
- 6) 박칠림: 高強度 콘크리트의 實用化에 關한 國內外 研究 動向, 콘크리트 학회지 제2권3호, 1990.9, pp.27-36
- 7) 오병환, 정범석: 高強度 콘크리트의 施工特性과 利用, ACI 회장단 방한 학술 발표 기사, 콘크리트 학회지, 제2권4호, 1990.12, pp.31-35
- 8) 重倉祐光, 高橋和雄, 棚野博之: 高強度콘크리트用混和材料에關する研究, 日本콘크리트工學年次講演會講演論文集, Vol.4, 1982, pp.109-112
- 9) 유형태: 실리카흙 및 실리카흙 콘크리트의 특성과 이용, 콘크리트 학회지 제3권3호, 1991.9, pp.23-30
- 10) 權寧鎬, 朴呈國, 李補根, 박칠림: 混和材를 사용한 高強度 콘크리트의 品質改善에 關한 實驗的 研究, 콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 제5권1호 1993. pp79-88
- 11) 文翰英: 建設材料學, 東明社, 1989, pp.118-120
- 12) 유영찬, 민병렬, 이장화, 김궁환: 高強度 콘크리트의 실용성 향상을 위한 실험적 연구, 콘크리트 학회지, Vol.4 No.2 1992.6