技術論叢

콘크리트의 強度에 미치는 粗骨材의 種類 및 크기의 影響에 關한 實驗的 硏究

다음은 한국레미콘工業協會가 87. 9. 26 개최한 제 3 회 레미콘技術세미나에서 忠南大 建築工學科 金武漢 敎授·南宰鉉 講師가 발표한 內容을 轉載했다.〈편집자 註〉

ABSTRACT

This experimental study is to analyze and to investigate the engineering properties of superplasticized concrete with the different kinds and size of coarse aggregates.

The results of this experimental study are as the following :

1) By the dosage of 0−4% of superplasticizing agents, the plain concretes with the range of water cement ratio 30−40% were able to be reduced to 27% without a falling of consistency of basical plain concrete.

2) The high comporessive strength of 500−700kg/cm^2 at the age of 28days was gotten by water reduction without a falling of consistency of basical plain concrete. The compresssive strength of concrete was improved considerably by using crushed rock and this tendency was more great with 10mm than in concrete with 20mm in the size of coarse aggregate.

3) In the case of concrete with crushed rock, the unit water content and the unit cement content of concrete were reduced by 18−67kg/m^3 and 63−246kg/m^3, respectively, at 0−4 dosage of superplasticizing agents, and in the case of con-crete with river gravel, the unit water content and the unit cement content of concrete were reduced by 17−68kg/m^3 and 60−240kg/m^3, respectively, without a falling of consistency.

4) The relaltion between the compressive strength and the tensile strength of concrete was Fc=12. Ft at the range of compressive strength of 300−700kg/cm^2.

1. 서론

콘크리트의 약 70%이상을 점유하는 기본재료인 골재는 한국에 있어서 70년대 이후로 최근 10~15년 사이에 경제의 고도성장에 의한 급격한 수요의 증대와 더불어 대량의 수요를 만족시키기 위한 무분별한 천연골재의 채취로 양질골재자원의 고갈현상과 산업부산물로 인한 저품질골재가 상당히 출현하였고, 또한 지역에 따른 골재품질의 차가 격심하여 이제는 골재를 중심으로 한 연구1),2),3), 에 눈을 돌려 콘크리트가 粗惡化하고 있는 큰 원인 중의 하나인 골재가 콘크리트에 미치는 영향 4),5), 을 구명함과 동시에 강모래, 강자갈에 대한 대체골재 개발에 치중해야 할 때다.

한편으로는 콘크리트건물의 경량화, 장대화, 고층화의 실현과 시공시 거푸집전용효율 증진 및 사용재료 절약에 의한 경제적인 콘크리트 구조물을 얻을 수 있다는 것에 주목하여 콘크리트의 고강도화와 고강도콘크리트에 관한 연구 6),7),8),9) 가 절실히 요구되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구는 굵은골재로서 강자갈과 쇄석을 사용하여 굵은골재 최대크기를 각각 달리하고 고성능감수제를 이용하여 물시멘트비를 대폭 저하시키면서 아직 굳지 않은 콘크리트의 유동성을 저하시키지 않고 종래의 일반콘크리트 제조에 실시해오던 비빔, 타설및 양생방법으로 콘크리트의 고강도화를 실시하여 굵은골재의 종류및 그 크기에 따른 강도특성을 실증적으로 비교분석하기 위한 것이다.

2. 실험계획및 실험방법

2. 1. 실험방법

실험계획은 표1과 같다. 표1에서와 같이 강자갈및 쇄석의 크기를 각각 10㎜, 20㎜로 하고, 고성능감수제의 감수효과를 이용하여 콘크리트의 물시멘트비를 현저히 낮춤으로써 D.A Abrams 의 물시멘트비 설10)에 입각하여 고강도 콘크리트를 얻고 고강도영역에서의 각종 역학적인 특성을 비교 검토11) 12)하기 위하여 베이스콘크리트의 물시멘트비는 40%, 35%, 30%및 27%로 하고 고성능감수제를 첨가하여 그 유동성을 감소시키지 않고 물시멘트비를 27%로 줄여 골재의 종류및 크기별 골재·시멘트비를 달리한 콘크리트를 제조한 후 아직 굳지 않은 콘크리트및 경화콘크리트에 대한 각종 시험을 행한다.

Table 1. Arrangement of experiment

Series	Aggregate	Max. agg. sizes (㎜)	Mix	W/C (o/wt)	SP. dosage (o/wt)	Slump (cm)	A/C (o/wt)	Fresh concrete			Hardened concrete				
								Slump (cm)	Air (o/vl)	Unit weight (kg/ℓ)	Compressive strength, Tensile strength, Ed, Es, Rebound, Unit weight				
											1W	2W	4W	8W	26W
Ⅰ	River sand, River gravel	10, 20	40P	40	0.0	5	4.1	0	0	0	0	0	0	0	0
			35P	35			3.3								
			30P	30			2.4								
			27P	27			2.1								
Ⅱ	River sand, Crushed rock		40S	27	0.0 ~ 3.0		4.1								
			35S				3.3								
			30S				2.4								
			27S				2.8								

Table 2. Physical properties of used cement. ent.

Kind of cement	Specific gravity	Blain (cm^2/g)	Setting time (hrs-mins)		soundness	Compressive strength (kg/cm^2)		
			Initial set	Final set		3 d	7 d	28 d
Ordinary Portland Cement	3.15	3,240	5−0	7−20	good	170	240	295

Table 3. Physical properties of aggregate. gate.

Aggregate	Aggregate sizes (cm)	Finess modulus	Specific gravity	Water absorption. (%)	Absolute volumg (%)	Unit weight (kg/ℓ)	Production areas
River sand	2.5	2.65	2.58	1.80	66.8	1.54	Simchun
River gravel	20	6.99	2.60	1.96	59.8	1.70	Simchun
Crushed rock	20	6.58	2.73	1.90	58.9	1.65	Gongju

2. 2 실험방법

2. 2. 1 사용재료

(1) 시멘트

시멘트는 국내 S사 제품으로 보통 포틀랜드 시멘트 KSL 5201 규격품을 사용하였으며 그 물성은 표2와 같다.

(2) 골재

잔골재는 충북 옥천군 이원면 금강산(錦江産) 강모래, 굵은골재는 이원면 강자갈과 충남 공주군 반포면産 쇄석을 사용하였으며 그 물성은 표3과 같다.

(3) 혼화제

고성능감수제는 Hinol−F1 을 사용하였으며 그 물성은 표4와 같다.

2. 2. 2 콘크리트의 조합및 제조방법

Table 4. Physical properties of used superplasticizer.

Type	Appearance	Main Component	Virulence	Specific gravity	P.H
Liquid	Dark brown	Formaline of β-naphtalene	None	1.20± 0.02	7-10

콘크리트의 조합은 단위시멘트량을 430~710 kg/m^3의 범위로 하고, 골재시멘트비는 4.5 ~ 2.0의 범위로 정하여 잔골재는 10mm 및 20mm강자갈 및 쇄석을 사용하여 슬럼프치를 5cm로 고정시켜 수차의 시험비빔에 의해 표 5.2와 같이 결정하였다.

콘크리트비빔은 프레인콘크리트는 3분비빔(1분비빔−1분휴지−2분비빔)을 채용하고, 고강도용 콘크리트는 물시멘트비 27%의 프레인콘크리트를 제조 후 고성능감수제를 후첨가하여 2분간 재비빔을 하였다.

2. 2. 3 콘크리트의 각종 시험방법14)

(1) 아직 굳지 않은 콘크리트의 시험방법

콘크리트의 비벼내기와 치기에 관해서는 JIS A 1132(콘크리트의 강도시험용 공시체 제작방법)에 의해 행하였고, 비벼내기는 강제비빔믹서(공칭용량 100ℓ)를 사용하였다.

슬럼프시험은 JIS A 1101(콘크리트의 슬럼프 시험방법), 공기량은 JIS A 1128(아직 굳지 않은 콘크리트의 공기량의 압력에 의한 시험방법) 단위중량은 JIS A 1116(콘크리트의 단위용중중량 시험방법)에 따라 측정하였고, 비빔온도는 봉상(棒狀) 알콜온도계를 사용하여 측정하였다.

(2) 경화콘크리트의 시험방법

압축 및 인장강도 시험용 공시체는 10ϕ×20 cm의 실린더형 강제몰드에 콘크리트를 친 후 비닐로 봉함하여 20±3℃ 실내에서 12시간 경과 후 콘크리트 상면의 레이턴스를 제거하고 면포로 습하게 한 후 1시간전에 몰탈믹서로 혼합한 시멘트페이스트를 채우고 유리판으로 압력을 가하여 캡핑을 행하였다. 압축강도시험은 JIS A 1108(콘크리트 압축강도 시험방법), 인장강도 시험은 JIS A 1113(콘크리트 인장강도 시험방법)에 준하여 실시하고 Shimadzu형 200 ton 만능 시험기를 사용하였다.

정탄성계수 시험은 압축강도 시험과 동시에 X-Y Recorder를 이용하여 $\sigma-\varepsilon$곡선을 구한후 극한강도의 1/3점을 잡아 $Ec=\sigma/\varepsilon$에 의해 산정하였으며, 동탄성계수 측정은 JIS A 1127(공명진동에 의한 콘크리트의 동탄성계수, 동전단탄성계수 및 동포아슨비 시험방법)에 따라 행하였다.

3. 실험결과및 고찰.

3.1 아직 굳지 않은 콘크리트의 물성

아직 굳지 않은 콘크리트의 물성은 표5.1, 표5.2와 같다.

3.1.1 공기량

골재의 종류에 따른 공기량은 쇄석을 사용한 콘크리트가 강자갈을 사용한 콘크리트보다 약간 크게 나타났으며, 골재의 크기별로는 최대 골재크기가 적은 10mm골재에서 약간 높게 나타

Table 5.1. Mix proportions and physical properties of fresh concrete. (In the case of river gravel)

Mix design-ation	W/C (o/wt)	Absolute volume (ℓ/m³) W	C	S	G	s/a (o/vl)	A/C (o/wt)	SP dosage (o/wt)	Max aggregate size 10 mm Slump (cm)	10 mm Air (%)	20 mm Slump (cm)	20 mm Air (%)	Temp. (℃)	Rema-rks
40P	40	173	137	267	413	39.5	4.1	0.0	4.5	2.0	5.9	1.9	24	S 2.58
35P	35	180	163	189	458	29.2	3.3	0.0	5.8	1.8	6.5	1.6	24	G 2.58
30P	30	192	204	131	463	22.0	2.4	0.0	5.3	1.5	6.2	1.2	25	C 3.15
27P	27	192	225	96	477	20.0	2.1	0.0	5.0	1.9	5.8	1.7	26	
40S	27	124	146	283	437	39.3	4.1	3.0	5.4	1.8	6.0	1.4	25	
35S	27	145	170	197	478	29.2	3.3	2.0	5.0	1.7	5.5	1.4	24	
30S	27	175	206	134	475	22.0	2.4	0.8	5.9	1.5	6.5	1.2	25	
27S	27	162	190	165	473	25.5	2.8	1.0	5.0	1.9	5.8	1.7	26	

Table 5.2. Mix proportions and physical properties of fresh concrete. (In the case of cuushed rock)

Mix design-ation	W/C (o/wt)	용적 (ℓ/m³) W	C	S	G	s/a (o/vl)	A/C (o/wt)	SP. dosage (o/wt)	Max. aggregate size 10 mm Slump (cm)	10 mm Air (%)	20 mm Slump (cm)	20 mm Air (%)	Temp. (℃)	Rema-rks
40P	40	180	143	262	405	39.3	4.0	0.0	4.0	2.1	4.9	1.9	22	S:2.58
35P	35	185	168	186	450	29.2	3.2	0.0	5.2	2.2	6.0	1.7	22	G:2.72
30P	30	195	206	130	459	22.0	2.4	0.0	5.1	1.9	5.5	1.7	22	C:3.15
27P	27	196	230	94	470	20.0	2.1	0.0	4.5	2.3	5.5	2.2	24	
40S	27	129	152	280	433	39.3	4.0	4.0	5.0	2.1	5.2	1.8	23	
35S	27	149	175	195	472	29.2	3.2	2.0	5.8	2.0	6.0	1.9	22	
30S	27	178	210	133	470	22.0	2.4	1.0	5.5	2.1	6.5	1.9	22	
27S	27	167	197	160	466	25.5	2.7	1.5	6.0	2.1	7.0	2.0	24	

났으나 그 차는 0.1~0.2% 정도로 유의적인 차는 아닌 것으로 생각되며, 고성능감수제가 첨가된 콘크리트와 프레인콘크리트와의 차이는 보이지 않고 있어 고성능감수제의 공기연행효과는 없을 것으로 판단된다.

3. 1. 2 슬럼프

슬럼프는 동일배합인 경우 쇄석을 사용한 콘크리트가 강자갈을 사용한 콘크리트보다 저하하며, 골재의 크기 별로는 쇄석과 강자갈을 사용한 콘크리트 모두에 있어서 최대골재크기가 적은10

Table 6. i. Mechanical properties of hardened concrete. (In the case river gravel)

Mix designation	W/C (%)	Age (W)	Compressive strength (kg/cm²)		Tensile strength (kg/cm²)		Static modulus of elasticity (×10⁶ kg/cm²)		Dynamic modulus of elasticity (×10⁵ kg/cm²)		Unit weight (kg/ea)	
			10 mm	20 mm	10 mm	20 mm	10 mm	20 mm	10 mm	20 mm	10 mm	20mm
40 P	40	1	289	238	27	24	2.14	1.79	3.32	3.30	3.637	3.711
		2	335	274	28	26	2.39	2.09	3.41	3.55	3.651	3.742
		4	381	304	29	31	2.50	2.24	3.70	3.57	3.643	3.718
		8	387	350	29	31	2.56	2.28	3.74	3.70	3.651	3.725
		26	432	375	30	32	2.64	2.34	3.76	3.75	3.669	3.725
35 P	35	1	305	292	33	26	2.20	2.09	3.37	3.48	3.696	3.780
		2	353	361	36	29	2.30	2.26	3.52	3.71	3.711	3.784
		4	400	387	37	34	2.30	2.27	3.69	3.88	3.724	3.787
		8	425		37	34	2.42	2.56	3.70	3.90	3.705	3.799
		26	469	451	38	35	2.59	2.69	3.81	3.91	3.706	3.796
30 P	30	1	361	328	33	30	2.24	2.16	3.42	3.56	3.721	3.782
		2	397	374	35	34	2.51	2.48	3.54	3.71	3.798	3.786
		4	445	439	39	34	2.59	2.49	3.57	3.71	3.725	3.789
		8	457	444	39	37	2.59	2.54	3.70	3.82	3.737	3.802
		26	573	497	40	38	2.67	2.68	3.74	3.82	3.737	3.808
27 P	27	1	390	360	35	29	2.50	2.33	3.52	3.64	3.743	3.783
		2	430	420	36	34	2.51	2.59	3.75	3.73	3.756	3.789
		4	443	433	36	34	2.54	2.62	3.80	3.85	3.760	3.884
		8	460	460	38	40	2.60	2.76	3.88	4.29	3.766	3.901
		26	554	520	40	43	2.70	2.90	3.90	4.70	3.769	3.906
40 S	27	1	404	376	31	32	2.52	2.36	3.71	3.84	3.665	3.769
		2	471	416	35	35	2.55	2.63	3.78	3.94	3.680	3.781
		4	482	451	37	37	2.66	2.70	3.98	4.06	3.695	3.782
		8	531	491	38	40	2.71	2.74	3.97	4.10	3.680	3.785
		26	619	543	41	43	2.98	2.80	3.96	4.19	3.686	3.788
35 S	27	1	418	376	33	27	2.69	2.43	3.68	3.77	3.717	3.793
		2	456	405	35	32	2.77	2.50	3.81	3.84	3.732	3.799
		4	503	435	42	40	2.75	2.50	3.88	4.01	3.722	3.803
		8	528	477	42	42	2.77	2.75	3.94	4.02	3.729	3.811
		26	629	576	43	43	3.01	2.90	3.66	4.04	3.730	3.815
30 S	27	1	444	365	37	34	2.44	2.34	3.48	3.61	3.740	3.763
		2	450	416	37	34	2.59	2.72	3.53	3.72	3.756	3.767
		4	558	439	39	34	2.68	2.57	3.80	3.83	3.744	3.772
		8	584	445	40	35	2.70	2.90	3.83	3.92	3.752	3.779
		26	639	578	44	45	3.04	3.01	3.86	4.06	3.753	3.788
27 S	27	1	435	379	37	32	2.43	2.26	3.66	3.75	3.740	3.785
		2	461	428	38	34	2.51	2.57	3.77	3.81	3.753	3.788
		4	537	467	44	40	2.57	2.59	3.83	3.96	3.746	3.793
		8	544	474	45	40	2.75	2.74	3.88	4.99	3.751	3.800
		26	584	535	46	44	2.82	2.88	3.98	5.03	3.755	3.809

mm골재를 사용한 콘크리트에서 낮은 경향을 보여 주고 있다. 또한 단위시멘트량이 많을수록 고성능감수제에 의한 유동화 효과는 커지며 단위시멘트량이 적을수록 동일 슬럼프를 유지하기위한 고성능감수제의 첨가량은 급격히 증가하는 경향을 보이고 있어 고성능감수제의 적정사용이라는측면에서 어느 정도 이상의 단위시멘트량이 요구되고 있음을 시사해 주고 있다.

3. 2 경화콘크리트의 물성.

경화콘크리트의 물성은 표6.1, 표6.2와같다.

그림1과 표7.1, 표7.2는 재령별 압축강도 증진성향과 10mm골재와 20mm골재를 사용한 콘크리트의 압축강도비를 나타낸 것으로 쇄석콘크

TTable 6.2. Mechanical properties of hardened concrete. (In the case of crushed rock)

Mix design-nation	W/C (%)	Age (W)	Compressive strength (kg/cm²)		Tensile strength (kg/cm²)		Static modulus of elasticity (×10⁵kg/cm²)		Dynamic modulus of elasticity (×10⁵ kg/cm²)		Unit weight (kg/ea)	
			10 mm	20 mm	10 mm	20 mm	10 mm	20 mm	10 mm	20 mm	10 mm	20 mm
40 P	40	1	359	308	26	29	2.50	2.64	4.25	4.29	3.889	3.843
		2	409	349	29	35	2.67	3.06	4.50	4.44	3.890	3.844
		4	442	413	38	35	2.94	3.30	4.63	4.59	3.892	3.849
		8	491	428	41	39	2.96	3.26	4.81	4.70	3.896	3.837
		26	535	484	42	40	3.05	3.38	4.92	4.77	3.898	3.842
35 P	35	1	413	328	33	33	2.57	2.95	4.41	4.35	3.920	3.852
		2	463	383	34	40	2.66	3.15	4.60	4.53	3.923	3.855
		4	497	426	30	40	2.85	3.19	4.69	4.63	3.919	3.854
		8	558	426	45	40	3.06	3.20	4.80	4.70	3.920	3.866
		26	621	512	46	41	3.27	3.22	4.94	4.88	3.921	3.920
30 P	30	1	437	425	37	39	2.90	3.33	4.45	4.50	3.941	3.881
		2	462	456	40	42	2.93	3.41	4.62	4.60	3.943	3.884
		4	512	479	41	42	3.01	3.47	4.68	4.73	3.936	3.884
		8	579	512	42	43	3.14	3.76	4.77	4.82	3.953	3.886
		26	645	578	43	44	3.28	3.95	4.92	4.99	3.963	3.904
27 P	27	1	520	490	39	43	2.99	3.18	4.53	4.54	3.968	3.924
		2	550	540	44	44	3.30	3.45	4.79	4.59	3.970	3.940
		4	585	565	46	46	3.36	3.74	4.92	4.70	3.985	3.951
		8	600	580	49	47	3.43	3.86	4.95	4.73	3.990	3.937
		26	746	605	49	48	3.42	3.90	4.97	4.93	3.994	3.962
40 S	27	1	536	491	42	43	3.21	3.19	4.85	4.70	3.931	3.879
		2	540	540	43	43	3.24	3.48	5.00	4.81	3.934	3.882
		4	617	550	44	45	3.25	3.56	5.07	4.96	3.934	3.885
		8	666	575	46	47	3.37	3.99	5.19	5.04	3.936	3.883
		26	746	694	55	52	3.41	4.07	5.28	5.12	3.938	3.887
35 S	27	1	550	483	45	42	3.03	3.47	4.78	4.71	3.976	3.922
		2	587	502	47	43	3.11	3.67	4.94	4.84	3.981	3.925
		4	671	567	49	43	3.13	3.83	5.09	4 95	3.980	3.930
		8	679	572	52	59	3.17	3.89	5.13	4.95	3.984	3.931
		26	760	627	55	50	3.20	3.95	5.21	5.25	3.986	3.933
30 S	27	1	533	478	40	43	3.04	3.38	4.62	4.56	3.948	3.991
		2	535	559	45	44	3.20	3.38	4.70	4.66	3.952	3.994
		4	537	572	49	45	3.24	3.65	4.80	4.77	3.950	3.994
		8	573	572	49	46	3.40	3.72	4.90	4.72	3.944	3.999
		26	696	624	50	46	3.48	3.97	5.01	4.99	3.960	3.901
27 S	27	1	507	517	40	44	3.72	3.26	4.64	4.70	3.956	3.913
		2	531	554	42	46	3.87	3.55	4.81	4.84	3.959	3.920
		4	595	555	46	50	3.26	3.83	4.97	4.92	3.959	3.919
		8	623	614	47	55	3.30	3.92	4.98	5.04	3.959	3.923
		26	673	655	49	58	3.37	4.04	5.07	5 15	3.966	3.927

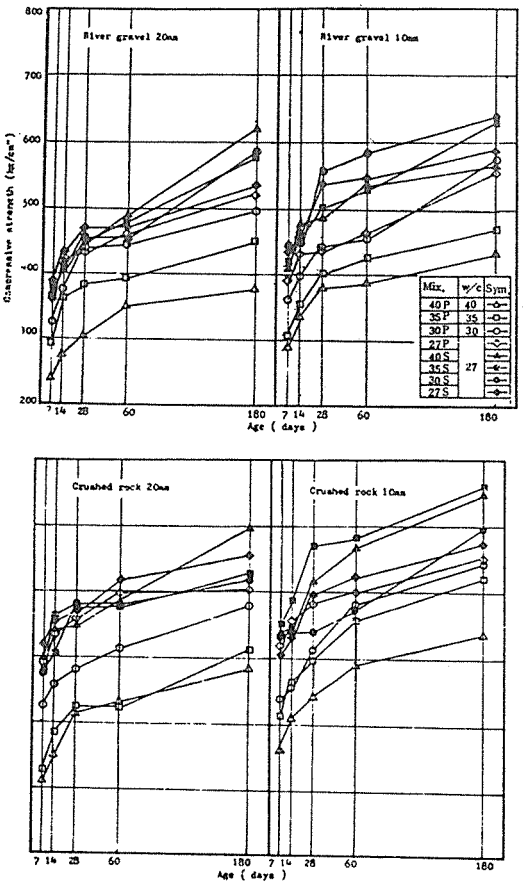


Fig. 1. Development of the compressive strength of concrete with ages.

리트와 강자갈콘크리트 모두에 있어서 재령 7일에서 28일 강도의 75~80% 이상의 조기강도 발현성향과 더불어 60일 이후 180일 재령에서도 적지 않은 강도증진현상을 볼 수 있다. 이것은 단위시멘트량의 증가로 후기재령에서도 계속적인 수분공급에 의해 시멘트의 수화작용이 지속되고 있다는 것을 시사하고 있다.

사용골재의 최대크기에 따른 콘크리트 강도비는 쇄석콘크리트와 강자갈콘크리트 모두에 있어서 굵은 골재크기가 적은 10mm를 사용한 콘크리트의 압축강도가 20mm를 사용한 콘크리트의 압축강도보다 10% 내외의 큰 경향을 보여주고 있는데 이것은 골재와 시멘트매트릭스는 탄성계수가 다르기 때문에 골재주변에서의 응력집중이, 작은골재의 사용으로 분산 약화되고, 골재부착면적이 증대함과 동시에 균열파괴길이가 길어지기 때문인 것으로 생각된다.

표 8은 쇄석콘크리트와 강자갈콘크리트 와의 압축강도비를 재령별로 나타낸 것으로 그 강도차는 각 배합조건에 따라 차이를 보이고 있으나 쇄석콘크리트 압축강도가 강자갈콘크리트 압축강도보다 개략 20%내의 큰 경향을 보이고 있다.

물·시멘트비별 압축강도는 D.A. Abrams의 물·시멘트비 설과 잘 부합되어 물·시멘트비가 낮을수록 높은 강도발현현상을 보이며, 강자갈콘크리트의 경우 물·시멘트비 27%, 단위시멘트량 630kg/m³, 에서 재령 28일 강도 558 kg/㎠, 재령 60일강도 639/kg/㎠, 쇄석콘크리트의 경우 물·시멘트비 27%, 단위시멘트량 5

Table 7.1. Compressive strength ratios with age by 28 days strength, and compressive strength ratio of concrete with 10mm gravel by that with 20mm gravel.

Age (days)	40P			35P			30P			27P		
	Strength ratios by 28 days		10㎜/20㎜ Strength ratio	Strength ratios by 28days		10㎜/20㎜ Strength ratio	Strength ratios by 28days		10㎜/20㎜ Strength ratio	Strength ratios by 28days		10㎜/20㎜ Strength ratio
	10 ㎜	20 ㎜		10 ㎜	20 ㎜		10 ㎜	20 ㎜		10 ㎜	20 ㎜	
7	81	75	117	83	77	126	85	89	103	89	81	106
14	93	85	117	93	90	121	90	95	101	94	96	101
28	100	100	107	100	100	117	100	100	107	100	100	104
60	111	104	115	112	100	131	113	107	113	103	103	105
180	121	117	111	125	120	121	125	121	112	111	107	107

Age (days)	40S			35S			30S			27S		
	Strength ratios by 28 days		10mm/20mm Strength ratio	Strength ratios by 28 days		10mm/20mm Strength ratio	Strength ratios by 28 days		10mm/20mm Strength ratio	Strength ratios by 28 days		10mm/20mm Strength ratio
	10 mm	20 mm		10 mm	20 mm		10 mm	20 mm		10 mm	20 mm	
7	87	89	109	82	85	114	99	83	112	85	93	98
14	88	98	100	87	88	107	99	98	96	89	100	96
28	100	100	102	100	100	118	100	100	94	100	100	107
60	108	105	116	101	101	119	107	100	100	105	111	101
180	121	126	107	113	110	121	129	109	112	113	118	103

Table 7.2. Compressive strength ratios with age by 28 days strength, and compressive strength ratio of concrete with 10mm gravel by that with 20mm gravel in the case of concrete using crushed rock. (%)

Age (days)	40P			35P			30P			27P			40S			35S			30S			27S		
	Strength ratios by 28 days		10mm/20mm Strength ratio	Strength ratios by 28 days		10mm/20mm Strength ratio	Strength ratios by 28 days		10mm/20mm Strength ratio	Strength ratios by 28 days		10mm/20mm Strength ratio	Strength ratios by 28 days		10mm/20mm Strength ratio	Strength ratios by 28 days		10mm/20mm Strength ratio	Strength ratios by 28 days		10mm/20mm Strength ratio	Strength ratios by 28 days		10mm/20mm Strength ratio
	10 mm	20 mm		10 mm	20 mm		10 mm	20 mm		10 mm	20 mm		10 mm	20 mm		10 mm	20 mm		10 mm	20 mm		10 mm	20 mm	
7	76	78	121	76	76	104	81	75	110	88	83	108	83	84	101	83	86	111	80	83	122	81	81	115
14	88	90	122	86	94	98	89	85	106	97	97	102	92	98	113	91	93	113	81	95	108	86	92	108
28	100	100	125	100	100	104	100	100	101	100	100	102	100	100	107	100	100	116	100	100	127	100	100	115
60	102	115	111	105	101	110	101	103	101	104	106	100	109	110	111	105	110	111	105	101	131	101	101	115
180	113	123	125	117	118	104	129	113	115	125	120	107	137	112	114	125	132	109	115	132	111	109	115	109

Table 8. Compressive strength ratin pf concrete with crushed rock by concrete with river gravel.(%)

Age (days)	A/B Compressive strength ratio A : crushed rock B : river gravel															
	40P		35P		30P		27P		40S		35S		30S		27S	
	10 mm	20 mm	10 mm	20 mm	10 mm	20 mm	10 mm	20 mm	10 mm	20 mm	10 mm	20 mm	10 mm	20 mm	10 mm	20 mm
7	124	129	135	112	121	130	133	136	133	131	132	128	120	131	117	136
14	122	127	131	106	116	127	128	129	115	130	129	124	119	134	115	129
28	116	136	124	111	115	109	132	130	128	122	133	130	96	130	111	119
60	127	122	131	110	127	115	130	126	125	117	129	120	98	129	115	130
180	124	129	132	113	113	116	117	116	121	128	121	109	109	108	115	122

51kg/㎟에서 재령 28일 강도 671kg/㎟, 재령 180일 강도가 760kg/㎟로 재령 28에서 강자갈콘크리트는 500kg/㎟ 이상, 쇄석콘크리트는 600kg/㎟ 이상 고강도콘크리트 획득의 가능성을 시사해 주고 있다.

그림 2.1, 그림2.2는 재령별 콘크리트인장강도 발현성상을 나타내는 것으로 인장강도는 압축강도의 경우와는 달리 재령 28일 이후에는 강도증진이 아주 둔화되는 경향을 보이고 있어 인장강도는 압축강도에 비례하여 증가하지 않고 압축강도 증진에 대한 인장강도 증진에는 한계성이 있음을 시사해 주고 있다. 사용골재의 종류에 따른 인장강도 차는 쇄석콘크리트 인장강도가 5~10kg/㎠정도 큰 경향을 보이며, 골재크기별 강도는 유의적인 차는 없는 것으로 보이며 본실험 범위에서의 인장강도의 한계는 강자갈콘크리트의 경우 45kg/㎠, 쇄석콘크리트의 경우 55kg/㎠ 정도로 나타났다.

그림3.1, 그림3.2는 강자갈콘크리트와 쇄석콘크리트의 압축강도와 인장강도의 상관관계를

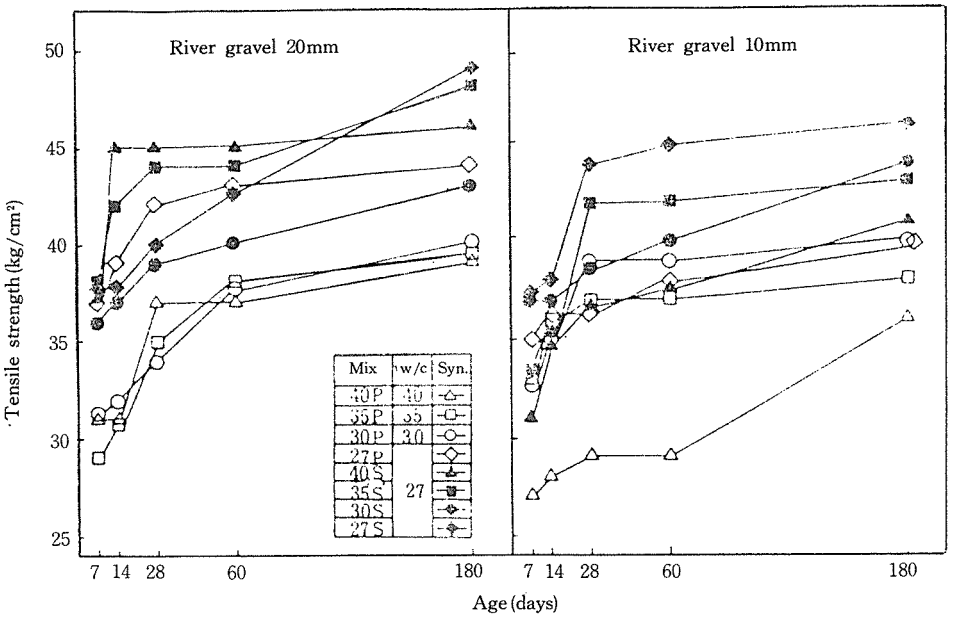


Fig. 2.1. Development of the tensile strength of concrete with age. (River gravel)

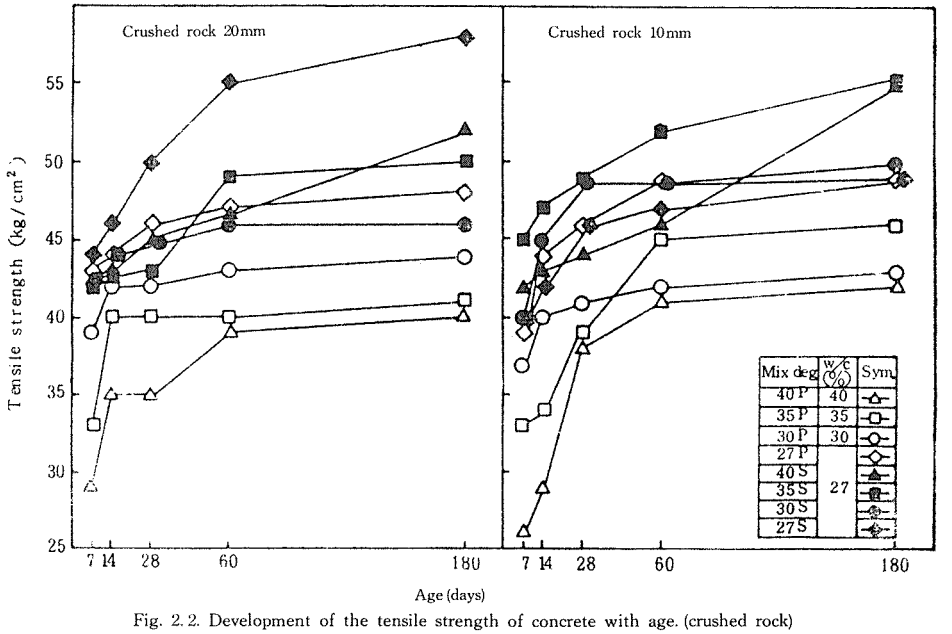


Fig. 2.2. Development of the tensile strength of concrete with age. (crushed rock)

보여 주는 것으로 강자갈콘크리트의 경우 압축강도 250~600kg/㎠의 범위에서 Fc=(12~13) Ft, 쇄석콘크리트의 경우 압축강도 300~700kg/㎠의 범위에서 Fc=12Ft 의 관계가 개략적으로 성립한다는 것을 보여주고 있다.

그림4.1, 그림 4.2는 고성능감수제를 사용한

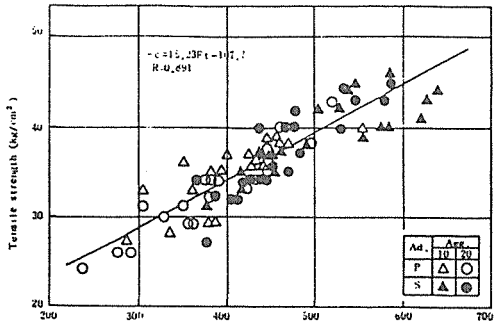


Fig. 3.1. Relation between the tensile strength and the compressive strength of concrete. (In the case of river gravel)

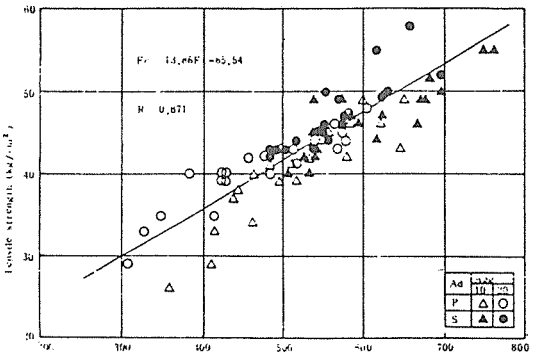
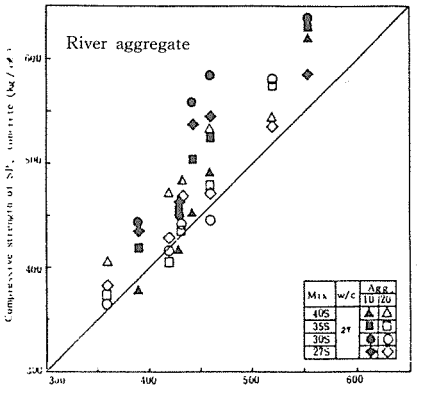


Fig. 3.2. Relation between the tensile strength and the compressive strength of concrete. (In the case of crushed rock)



Compressive strength (kg/cm²)

Fig. 4.1. Relation between the compressive strength of superplasticized concrete and of plain concrete. (In the case of River gravel)

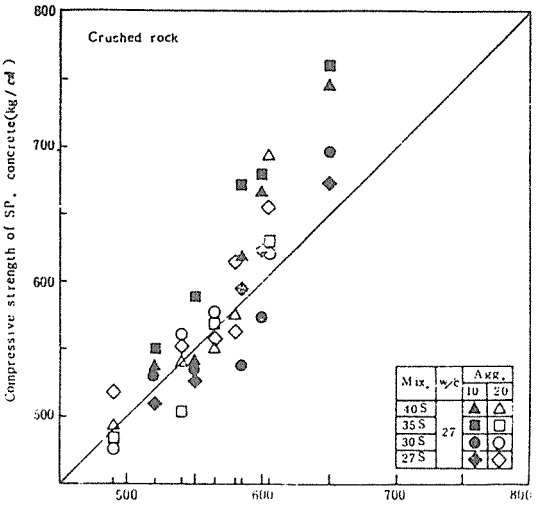


Fig. 4.2. Relation between the compressive strength of strength of superlasticized concrete and of plain concrete. (In the case off crushed rock)

콘크리트의 압축강도와 프레인콘크리트의 압축강도와의 관계를 보여주는 것으로 강자갈콘크리트는 450kg/㎠ 이상, 쇄석콘크리트는 600kg/㎠ 이상의 비교적 고강도 영역에서 고성능감수제를 첨가한 콘크리트의 압축강도가 프레인콘크리트의 압축강도보다 큰 경향을 나타내고 있어 고성능감수제가 콘크리트의 압축강도 개선에 효과가 있는 것으로 판단된다. 이것은 고성능감수제의 직접적인 영향이라기보다는 고성능감수제를 적량 사용함으로써 콘크리트의 유동성을 유지하면서 단위시멘트량을 현저히 줄일 수 있기 때문으로 생각된다.

3. 2. 2 골재시멘트비가 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향

그림5.1, 그림 5.2는 콘크리트의 압축강도와 골재시멘트비와의 관계를 나타내는 것이다. 강자갈콘크리트에서 강도발현은 동일 물시멘트비(27%)에서 10mm 강자갈을 사용했을 경우 재령 60일까지는 골재시멘트비 4.2(단위시멘트량 473kg/㎥)에서 가장 높고, 압축강도가 가장 낮은 골재시멘트비 2.4(단위시멘트량 709kg/㎥)를 제외하고는 골재시멘트비가 커질수록, 즉 단위시멘트량이 적어질수록 압축강도가 저하하는 경

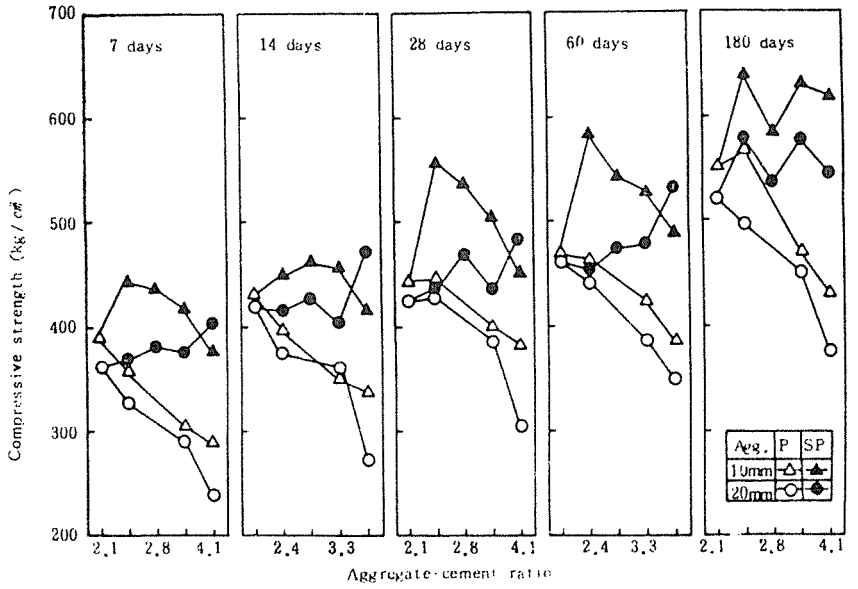


Fig. 5.1. Effect of aggregate cement ratio on the compressive strength of concrete.
(In the case of river gravel)

향을 보이나 재령 180일에서는 골재시멘트 2.1을 제외하고 거의 비슷한 강도발현 현상을 보이고 있다.

20㎜ 강자갈을 사용했을 경우는 재령 180일까지 골재시멘트비가 낮을수록, 즉 단위시멘트량이 많아질수록 큰 강도발현이 있었다.

쇄석콘크리트에서는 굵은골재로 10㎜를 사용한 콘크리트의 경우 골재시멘트비 3.3(단위시멘

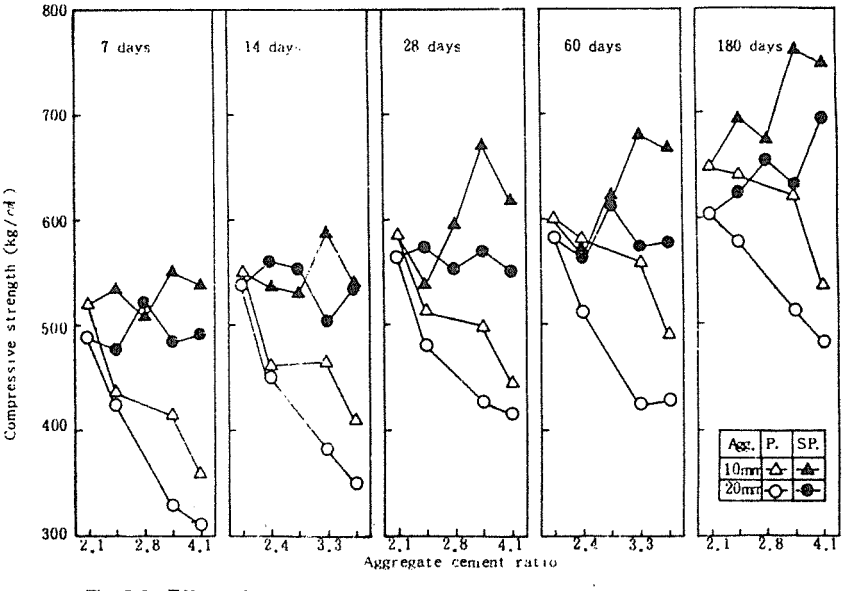


Fig. 5.2. Effect of aggregate cement ratio on the compressive strength of concrete.
(In the case of crushed rock)

트량 549kg/㎥)과 4.1(단위시멘트량 510kg/㎥)에서 가장 높은 강도발현 성향을 보이고 있다. 20㎜골재를 사용한 콘크리트의 경우 재령 60일까지는 거의 비슷한 강도발현을 보이고 있으며, 재령 180일에서는 골재시멘트비가 큰, 즉 단위시멘트량이 적은 경우에 큰 강도발현 성향을 나타내고 있다.

따라서 단위시멘트량이 과다하면 오히려 압축강도에 불이익을 줄 수 있다는 것을 시사하고 있으며, 굵은 골재의 종류·크기에 따라 압축강도 발현성상이 크게 달라질 수 있다는 것을 시사해 주고 있다.

3.2.3 물시멘트비가 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향

그림6.1, 그림 6.2는 콘크리트의 압축강도와 물시멘트비와의 관계를 보여주는 것이다. D.A. Abrams 에 의한 물시멘트비설에 입각하여 모든 재령에 있어서 물시멘트비가 낮을수록 강도가 커지는 현상을 보여 주고 있다.

골재크기별 강도차는 강자갈콘크리트의 경우 모든 재령에서 물시멘트비가 가장 큰 40%와 가장 낮은 27%에서 큰 현상을 보이며, 물시멘트비 30%와 35%에서는 골재크기에 따른 강도차는 오히려 적어지는 경향을 보여 주고 있다. 쇄석콘크리트의 경우 이러한 경향은 현저하지는 않지만 강자갈콘크리트와 유사한 현상을 나타내고 있다.

각 재령별에 있어서 굵은골재 크기별 강도차는 재령이 많아질수록 커지는 경향으로 이것은 쇄석콘크리트에서 현저히 나타나고 있다.

3.2.4 콘크리트의 탄성계수특성

그림7.1, 그림7.2는 재령별 정탄성계수 증진성향을 보여 주는 것이다. 강자갈콘크리트와쇄석콘크리트 공히 20㎜를 사용한 콘크리트에 있어서 재령 60일까지 탄성계수 증진이 계속되는 반면 10㎜골재의 콘크리트에서는 재령 14일 이후 탄성계수 증진이 아주 둔화되는 현상을 보이고 있으며, 골재크기별탄성계수는 10㎜ 골재를 사용한 콘크리트보다 20㎜골재를 사용한 콘크리트의 탄성계수가 큰 경향을 보여 주고 있어 골재크기별 압축강도 발현성향과는 아주 다른 경향을 보여 주고 있다.

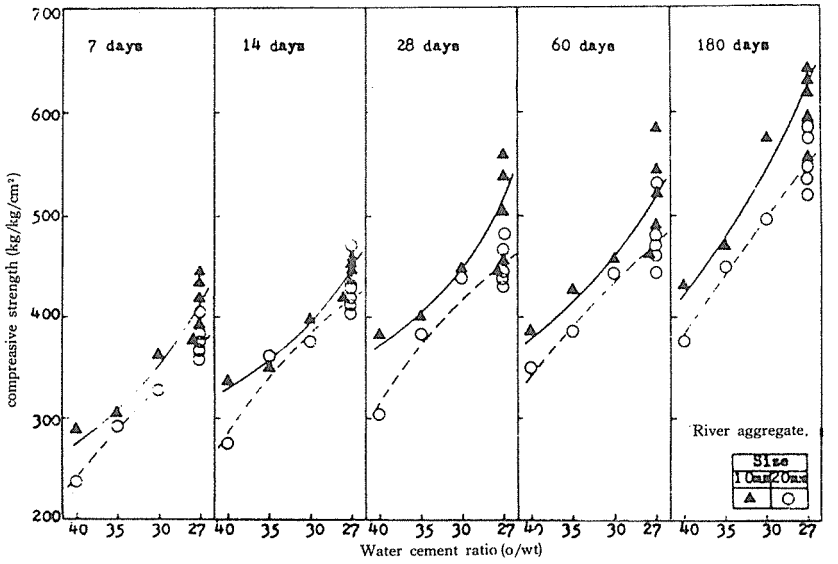


Fig. 6.1. Effect of water cement ratio on the compressive strength of cocrete. (In the case of River gravel)

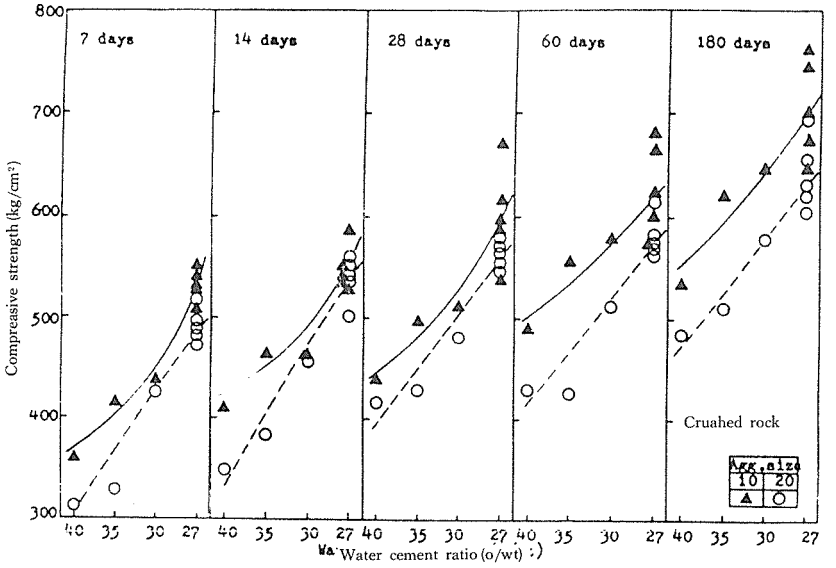


Fig. 6.2 Effect of water cement ratio on the compressive strength of c ncrete.
(In the case of crushed rock)

골재종류별 탄성계수는 쇄석콘크리트의 탄성계수가 강자갈콘크리트의 탄성계수보다 큰 경향을 보여 주고 있다.

그림8.1, 그림8.2는 응력-변형 곡선으로 강도가 높아질수록 탄성영역이 크게됨과 동시에 소성변형이 적어져 급격한 파괴가 일어날수 있다는 것을 시사해 주고 있다.

4. 결론

굵은골재 최대크기가 다른 강자갈및 쇄석을

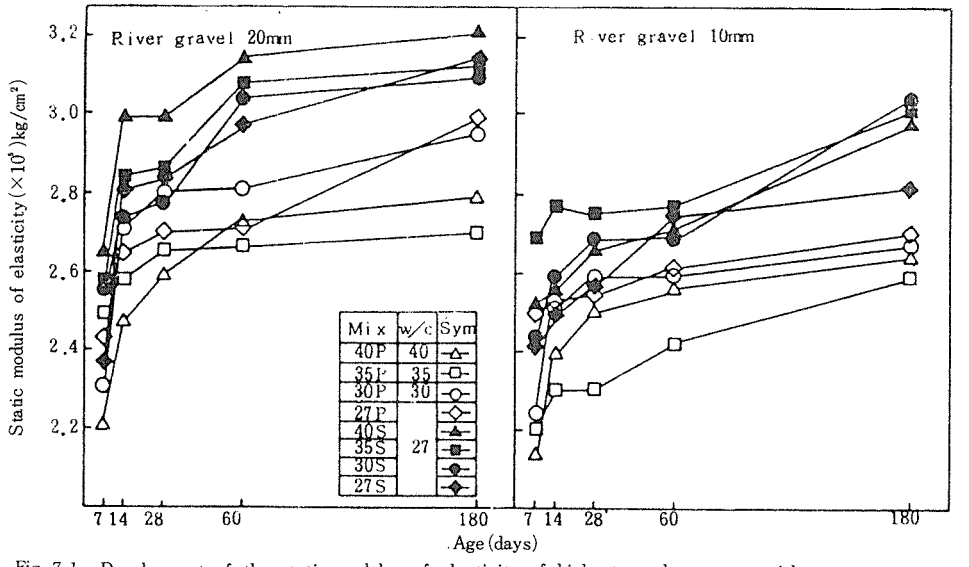


Fig. 7.1. Development of the static modulus of elasticity of high strength concrete with age.
(In the case of river gravel)

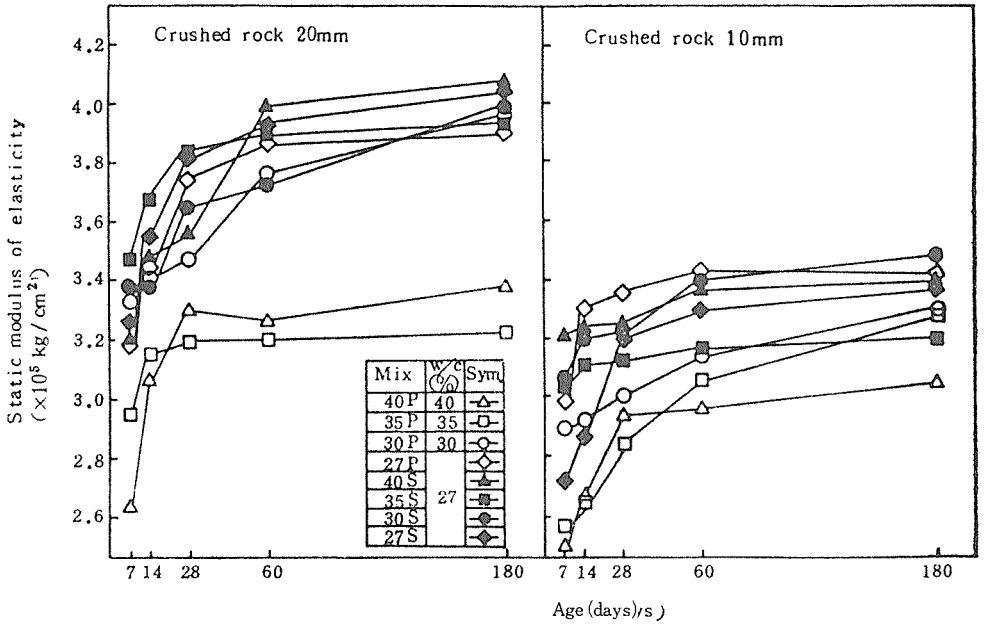


Fig. 7. 2. Development of static modulus of elasticity of concrete with age.
(In the case of crushed rock)

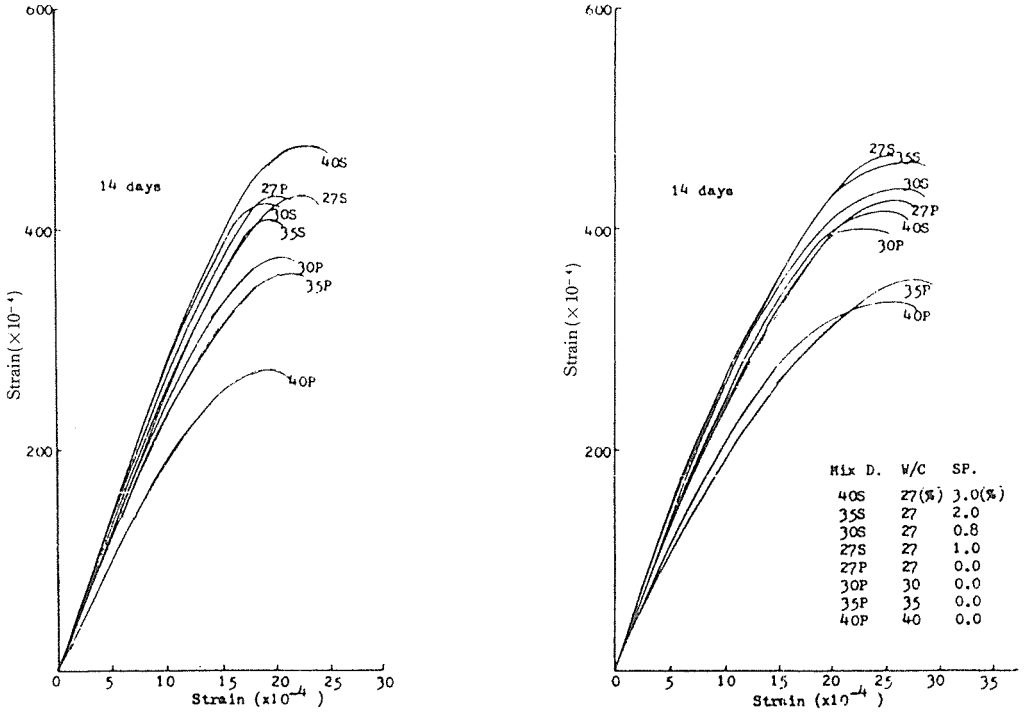


Fig. 8. 1. Stress-strain curves of concrete. (In the case of river gravel)

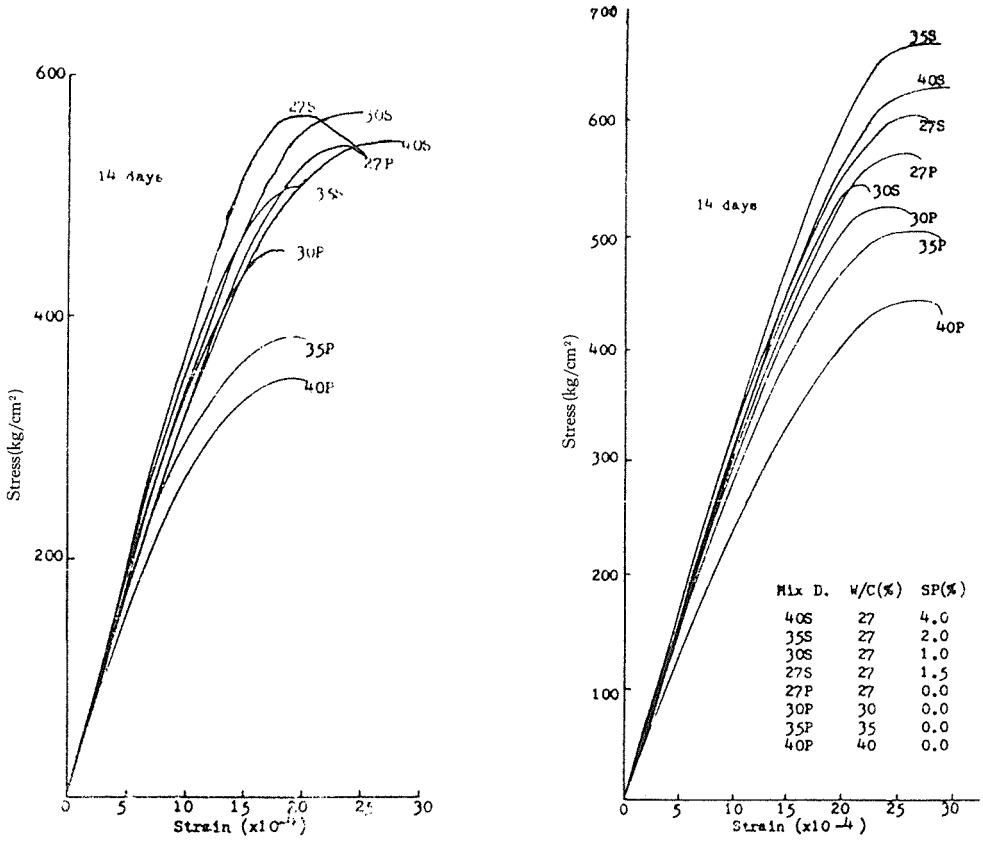


Fig. 8.2. Stress-strain curves of concrete. (In the case of crushed rock)

사용한 콘크리트의 강도특성을 실증적으로 검토한 결과는 다음과 같다.

1) 슬럼프치는 쇄석을 사용한 콘크리트가 강자갈을 사용한 콘크리트보다 저하하며, 골재크기별로는 굵은골재 크기가 작은 10mm 골재를 사용한 콘크리트가 20mm 골재를 사용한 콘크리트보다 저하한다.

공기량은 쇄석을 사용한 콘크리트가 강자갈을 사용한 콘크리트보다 약간 큰 경향이고, 20mm 골재를 사용한 경우보다 10mm 골재를 사용한 경우가 약간 증가하나 유의적인 차는 아닌 것으로 판단되며 고성능감수제에 의한 공기연행 효과는 없는 것으로 나타났다.

2) 쇄석을 사용함으로써 20%내외의 압축강도가 증진되었고, 굵은골재 크기가 적은 10mm 골재를 사용함으로써 10%정도 압축강도가 증진하여 골재크기및 종류를 선별 사용함으로써 압축강도를 크게 개선시킬 수 있을 것으로 판단되며, 강차갈 10mm 골재를 사용한 경우 재령 7일에서 444kg/cm², 재령 28일에서 558kg/cm, 쇄석 10mm 골재를 사용한 경우 재령 7일에서 550kg/cm², 재령 28일에서 671kg/cm²의 강도발현을 나타내고 있어 조강성향과 더불어 고강도콘크리트의 가능성을 시사해 주고 있다.

3) 골재시멘트비별 압축강도 발현성상은 골재시멘트비가 큰 범위, 즉 단위시멘트량이 비교적 적은 범위(400~550kg/m³)에서 큰 강도발현 성상을 보이고 있어 과다한 단위시멘트량의 사용은 콘크리트의 압축강도에 오히려 불리한 영향을 끼칠 수 있다는 것을 시사해 주고 있다.

인장강도는 강자갈콘크리트의 경우 재령 28일까지, 쇄석콘크리트의 경우 재령 60일까지 지속적인 강도증진을 보이나 그 이후 재령에서의 강도증진은 아주 둔화되는 경향을 보이며, 본 연구 범위에서 압축강도와 인장강도와의 관계는 강자갈콘크리트는 압축강도 250~600kg/㎠ 범위에서 Fc=(12~13)Ft, 쇄석콘크리트는 압축강도 300~700kg/㎠ 범위에서 Fc=12Ft 로 나타났다.

4) 본 실험 범위에서는 고성능감수제를 0~4% 사용함으로써 프레인콘크리트의 유동성을 유지하면서 굵은골재로서 강자갈을 사용하는 경우 단위수량 17~68kg/㎥, 단위시멘트량 60~249kg/㎥, 쇄석을 사용하는 경우 단위수량 18~67kg/㎥, 단위시멘트량 63~246kg/㎥를 저감시킬 수 있는 것으로 나타나 고성능감수제를 사용함으로써 단위수량및 단위시멘트량의 대폭적인 감소에 기인한 강도개선 효과가 있었다.

5) 고강도일수록 탄성영역이 넓어지고 소성변형이 적어지는 경향을 보여 고강도 콘크리트의 파괴가 급격히 일어날 수 있음을 시사해 주고 있고, 탄성계수는 압축강도가 높은 10㎜ 골재를 사용한 콘크리트가 20㎜ 골재를 사용한 콘크리트보다 적어지는 경향을 보여 주고 있어 콘크리트의 탄성계수와 골재크기와의 관계를 미시적으로 심도있게 구명해 볼 필요성을 시사해 주고 있다. *

〈참고문헌〉

1. B. P. Hugh ; The Optimum Coarse aggregate Content of Concrete, Magazine of Concrete Research, Vol.18, No.54, 1966. 3.
2. 鈴木 ; 流動ユンワリートの施工實驗, ユンワリート No.361, 1977. 3.
3. A. Williams ; Mix Design Using Crushed granite aggregate, Concrete, Vol.4, No.11, 1970. 11.
4. D. N. Nwokoye ; Influence of binary aggregate proportions upon Some Concrete proportions, Magazine of Concrete Research, Vol.27, No.93, 1975. 12.
5. D. W. Hobbs ; Influence of aggregate Volume Concentration Upon the Work ability of Concrete and Some Predictions From Viscosity analogy, Magazine of Concrete research, Vol.28, No.97, 1976. 12.
6. 金武漢 ; 高性能減水劑의 應用에 관한 硏究(제1보), 대한건축학회 논문보집, Vol.126, No.107, 1982. pp.64~69.
7. 小柳冶 ; ユンクリートの高強度化 その限界, ユンクリート工學, Vol.14, No.3, March 1979, pp. 3~8.
8. Skrastins, J : Toward High Strength Concrete, Modern Concrete, Vol.34, No.1, May. 1970. pp.44~47.
9. Peter Hewlett & Roger Rixom ; Superplasticized Concrete, ACI Journal, Vol.74, No.5, May. 1977, pp.N6~N11.
10. Abrams, D. A ; Design of Concrete Mixtutes, Bulletin No.1, Structure of Materials Research raboratory, lewis Institute, Chicago(1918). Reprinted in Publcation SP-52, A Selection of Historic American Papers on Concrete, 1876~1926, Ed. H. Newlon Jr, Americam Concrete Institute, Detroit, 309~330(1976).