

流動化콘크리트의 施工性向上 및 強度特性에 관한 基礎的 研究(II)

(제 2 보, 경화콘크리트의 강도 특성을 중심으로)

A Fundamental Study on the Workability Improvement and Strength Properties of Superplasticized Concrete (II)

(Part 2, In the case of Strength Properties of Hardened concrete)

金 武 漢* ○ 權 寧 瓏**

Kim, Moo Han Kwon, Young Jin

ABSTRACT

The effect of superplasticizing agents on the mechanical properties in hardened concrete have been analyzed and investigated under various mix proportions of water cement ratio of 0.40, 0.50, 0.60 and 0.70, Superplasticizing agents of NL-4000, and Rheobuild-716, and addition rate of sp. agents of 0.0, 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 in the practical range.

It is the aim of this study to provide the fundamental data on the compressive strength, dynamic and static modulus of elasticity, stress and strain curve of hardened concrete comparing with base concrete and conventional concrete for the practical use and research data accumulation of superplasticized concrete in the side of development of concrete construction technology and management.

1. 序 論

제 1 보의 고성능감수제를 사용한 유동화콘크리트의 아직 굳지 않은 콘크리트의 유동화성능의 비교·분석에 이어 본 보고는 콘크리트의 경화상태에 있어서 압축강도 성상을 중심으로한 역학적 특성을 각 실험요인 및 수준별로 비교·분석한 것이다.

2. 實驗概要 및 方法

본 연구는 제 1 보 표 1의 실험계획에 나타난 바와 같이 물시멘트비 40%, 50%, 60%, 70%의 4수준, 고성능감수제 NL-4000과 Rheobuild-716의 2종류, SP제 첨가율 0.0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%의 유동화 콘크리트를 제작하였다. 그리고 각 요인 및 수준별로 경화콘크리트의 압축강도, 동탄성계수, 정탄성계수 등을 7일, 28일, 60일의 소정의 재령까지 양생한 후 측정하는 것으로 사용재료, 콘크리트의 조합과 비빔, 공시체의 제작 및 시험방법은 제 1 보와 동일하다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1 물시멘트비·SP제종류 및 첨가율에 따른 재령별 압축강도의 변화

경화콘크리트의 시험결과는 표 1과 같고 그림 1은 물시멘트비·SP제종류 및 첨가율에 따른 재령별 압축강도의 변화를 나타낸 것이다.

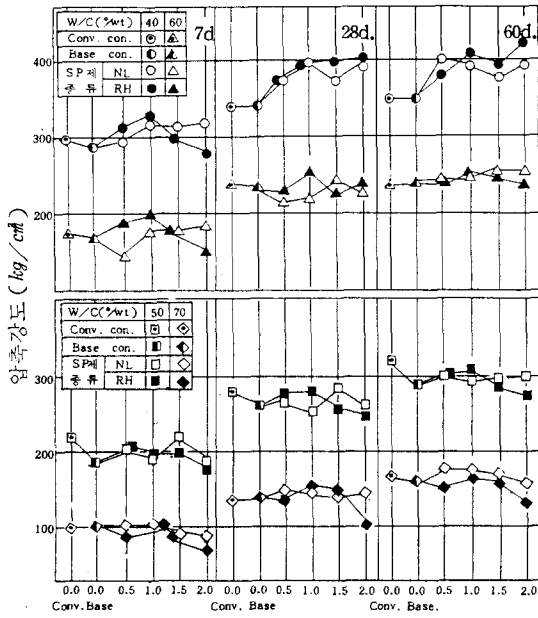
그림 1에서 보는바와 같이 재령 7일에 있어서 물시멘트비 70%의 경우를 제외하면 일반적으로 콘벤셔널 콘크리트가 베이스콘크리트보다 약간 높은 강도를 나타내고 있고 고성능감수제 NL의 물시멘트비 40% 및

50%의 경우 일반적으로 유동화콘크리트가 베이스콘크리트보다 더욱 높은 강도를 발현하고 있으나 60%의 0.5%, 70%의 1.5% 및 2.0%에서는 베이스콘크리트보다 낮은 강도를 보이고 있다. 반면 고성능감수제 RH의 경우, 물시멘트비 70%의 경우를 제외하면 첨가율 1.0%까지는 베이스콘크리트보다 높은 강도발현을 보였고, 특히 40%, 60%의 1.0% 및 50%의 0.5%에서 상대적으로 높은 초기강도를 나타내 주고 있으나 각물시멘트비에서의 첨가율 1.5% 및 2.0%에서 강도저하현상을 보여주고 있어 고성능감수제의 과다첨가에 의한 골재분리 및 응결지연현상이 콘크리트의 초기강도발현에 불리한 것으로 나타나고 있다.

재령 28일의 경우에는 물시멘트비 50%, 60% 및 70%의 경우, 유동화콘크리트가 콘벤셔널 및 베이스콘크리트와 동일수준으로 고성능감수제 종류 및 첨가율별 압축강도차이는 아주 적게 나타나고 있으나 물시멘트비 40%의 경우, 유동화콘크리트가 베이스 및 콘벤셔널콘크리트보다 강도발현이 높게 나타나고 특히 RH의 경우 첨가율 1.5% 및 2.0%에서 강도회복이 현저하게 나타나고 있음을 보여주고 있으며 재령 60일의 경우에 있어서도 이와 비슷한 경향을 보여주고 있다.

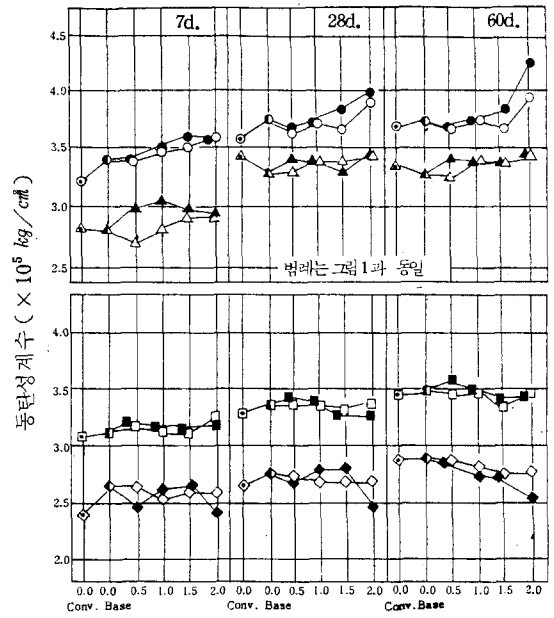
이상의 강도성상과 제 1 보의 유동화성상을 종합적으로 고찰하면 물시멘트비 40%에서는 일반적으로 고성능감수제 NL, RH 모두 분산성능 및 베이스콘크리트에 비해 모두 높은 강도를 나타내고 있으나 물시멘트비가 증대함에 따라 상대적으로 미약한 분산성능 및 베이스콘크리트 수준의 강도발현이 있었고 특히 물시멘트비가 증대할수록 그 정도가 심화되고 있다는 점에

* 정회원 · 충남대 건축공학과 교수 · 공탁 ** 충남대 건축공학과 · 박사과정



고성능감수제 첨가율 (%)

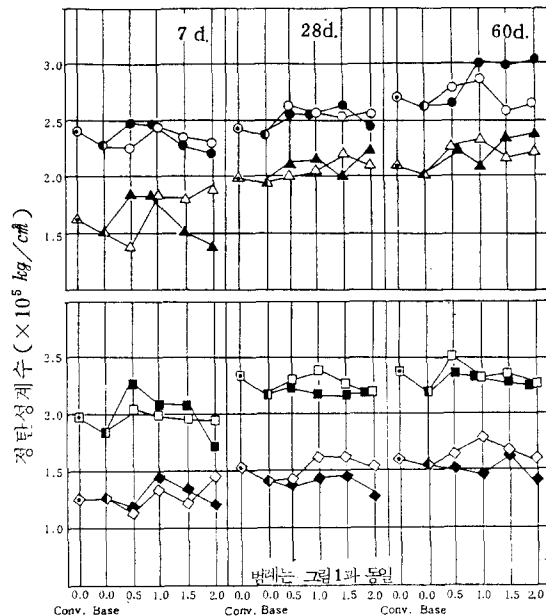
그림 1. 물시멘트비·SP제종류 및 첨가율에 따른 재령별 압축강도의 변화



고성능감수제 첨가율 (%)

그림 2. 물시멘트비·SP제종류 및 첨가율에 따른 재령별 동탄성계수의 변화

표 1. 경화콘크리트의 시험결과



고성능감수제 첨가율 (%)

그림 3. 물시멘트비·SP제종류 및 첨가율에 따른 재령별 동탄성계수의 변화

W/C (%)	Slump (cm)	SP 劑 添加率 (%)	SP 劑 種類	單位容積重量 (kg / l)	壓縮強度 (kg / cm²)	動彈性係數 (×10 ⁵ kg/cm²)	靜彈性係數 (×10 ⁵ kg/cm²)	彈性係數比 (Ed/Es)												
40	18	0.0	Conv.	2.37	2.38	2.36	298	344	351	3.22	3.57	3.68	4.02	4.27	1.34	1.43	1.36			
			Base	2.36	2.39	2.39	299	344	355	3.39	3.74	3.76	2.24	2.34	2.64	1.50	1.60	1.42		
		0.5	NL	2.36	2.37	2.38	296	379	408	3.38	3.62	3.69	2.24	2.64	2.80	1.51	1.37	1.32		
			RH	2.38	2.39	2.38	315	375	386	3.38	3.69	3.69	2.72	2.56	2.65	1.37	1.44	1.39		
		1.0	NL	2.37	2.38	2.37	316	401	398	3.45	3.72	3.77	2.45	2.59	2.87	1.41	1.44	1.31		
			RH	2.37	2.40	2.38	330	398	411	3.48	3.71	3.76	2.45	2.56	3.02	1.42	1.45	1.25		
		1.5	NL	2.38	2.39	2.38	315	377	382	3.47	3.66	3.69	2.34	2.53	2.60	1.48	1.45	1.42		
			RH	2.40	2.45	2.44	299	402	404	3.59	3.84	3.82	2.22	2.66	3.00	1.57	1.44	1.29		
		2.0	NL	2.39	2.40	2.41	322	398	396	3.59	3.91	3.99	2.30	2.55	2.68	1.56	1.53	1.49		
			RH	2.41	2.42	2.42	277	407	429	3.57	4.00	4.12	2.12	2.44	3.06	1.62	1.64	1.41		
		50	18	0.0	Conv.	2.36	2.37	2.37	216	280	318	3.07	3.29	3.45	1.96	2.34	2.38	1.57	1.41	1.45
					Base	2.34	2.35	2.36	183	260	282	3.11	3.35	3.49	1.84	2.19	2.20	1.69	1.53	1.59
	0.5		NL	2.38	2.37	2.38	204	264	299	3.14	3.35	3.45	2.01	2.31	2.45	1.56	1.45	1.41		
			RH	2.37	2.37	2.38	206	272	300	3.18	3.40	3.52	2.12	2.24	2.39	1.40	1.52	1.49		
	1.0		NL	2.36	2.37	2.38	190	246	295	3.12	3.35	3.49	1.96	2.35	2.35	1.59	1.43	1.49		
			RH	2.34	2.33	2.33	194	280	309	3.14	3.38	3.51	2.08	2.19	2.35	1.51	1.54	1.49		
	1.5		NL	2.35	2.35	2.35	218	284	293	3.11	3.33	3.36	1.94	2.23	2.36	1.60	1.49	1.42		
			RH	2.36	2.37	2.35	199	253	283	3.13	3.31	3.41	2.06	2.18	2.26	1.52	1.52	1.52		
	2.0		NL	2.35	2.36	2.36	186	255	286	3.22	3.37	3.49	1.94	2.20	2.26	1.69	1.53	1.54		
			RH	2.38	2.38	2.38	175	243	275	3.20	3.30	3.43	1.72	2.21	2.24	1.66	1.49	1.53		
	60		18	0.0	Conv.	2.31	2.31	2.29	178	240	241	2.81	3.41	3.25	1.62	1.99	2.10	1.73	1.71	1.55
					Base	2.34	2.32	2.31	168	233	243	2.79	3.30	3.29	1.52	1.96	2.09	1.64	1.62	1.62
		0.5	NL	2.30	2.31	2.31	141	212	245	2.68	3.08	3.27	1.38	2.00	2.29	1.84	1.52	1.43		
			RH	2.33	2.37	2.36	188	229	242	3.00	3.39	3.41	1.83	2.12	2.23	1.64	1.59	1.53		
1.0		NL	2.31	2.35	2.34	175	221	247	2.81	3.38	3.39	1.83	2.04	2.23	1.54	1.66	1.45			
		RH	2.33	2.33	2.33	196	252	255	3.07	3.38	3.37	1.83	2.17	2.09	1.68	1.56	1.51			
1.5		NL	2.36	2.36	2.33	180	241	256	2.91	3.38	3.39	1.80	2.20	2.18	1.62	1.54	1.56			
		RH	2.32	2.34	2.40	176	230	249	2.99	3.32	3.39	1.52	2.00	2.35	1.74	1.66	1.54			
2.0		NL	2.33	2.36	2.36	181	230	255	2.91	3.42	3.44	1.90	2.12	2.31	1.53	1.63	1.54			
		RH	2.36	2.37	2.36	150	225	233	2.96	3.44	3.46	1.38	2.25	2.40	1.91	1.51	1.44			
70		18	0.0	Conv.	2.28	2.30	2.31	97	134	162	2.40	2.67	2.28	1.53	1.53	1.92	1.75	1.78		
				Base	2.31	2.32	2.34	103	140	155	2.54	2.75	2.90	1.29	1.41	1.55	1.98	1.95	1.78	
	0.5	NL	2.31	2.32	2.35	106	145	177	2.65	2.72	2.89	1.13	1.44	1.65	1.51	1.89	1.75			
		RH	2.29	2.31	2.34	86	134	159	2.46	2.68	2.86	1.19	1.41	1.51	1.67	1.90	1.91			
	1.0	NL	2.29	2.30	2.33	102	142	174	2.52	2.68	2.82	1.35	1.65	1.79	1.87	1.82	1.58			
		RH	2.30	2.31	2.34	104	152	163	2.69	2.76	2.75	1.36	1.42	1.49	1.91	1.94	1.86			
	1.5	NL	2.29	2.32	2.32	87	137	163	2.57	2.69	2.75	1.20	1.62	1.70	1.48	1.66	1.62			
		RH	2.29	2.30	2.36	86	144	158	2.63	2.78	2.74	1.38	1.47	1.61	1.85	1.89	1.66			
	2.0	NL	2.31	2.31	2.30	86	145	152	2.60	2.70	2.76	1.41	1.55	1.60	1.78	1.74	1.74			
		RH	2.27	2.29	2.36	64	100	126	2.38	2.46	2.55	1.20	1.23	1.33	1.88	2.01	1.92			

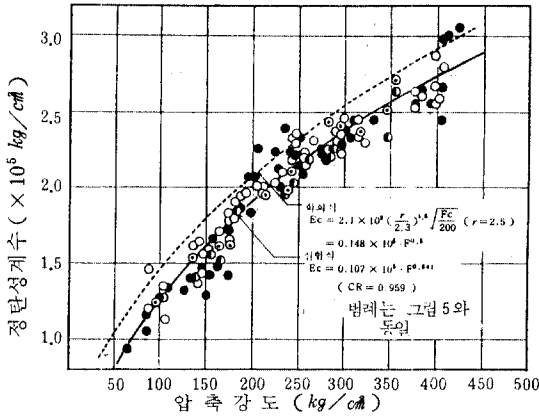


그림 4. 압축강도와 정탄성계수의 관계

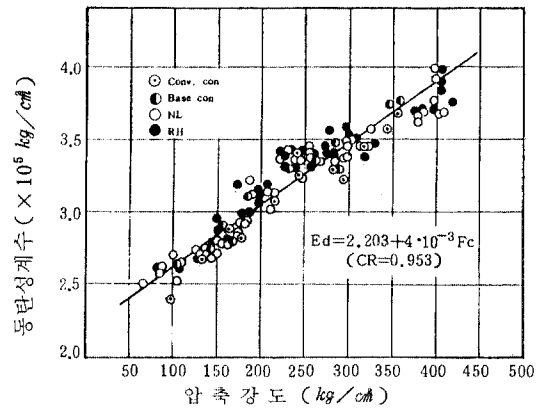


그림 5. 압축강도와 동탄성계수의 관계

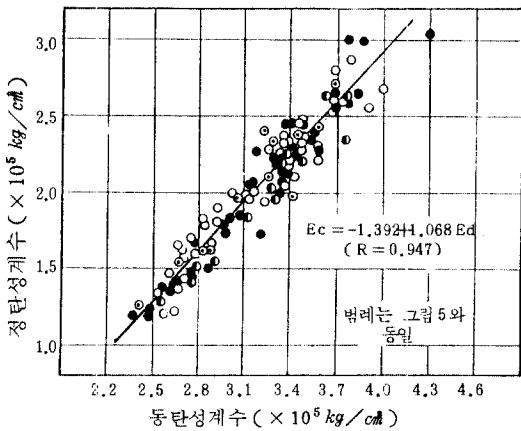


그림 6. 동탄성계수와 정탄성계수의 관계

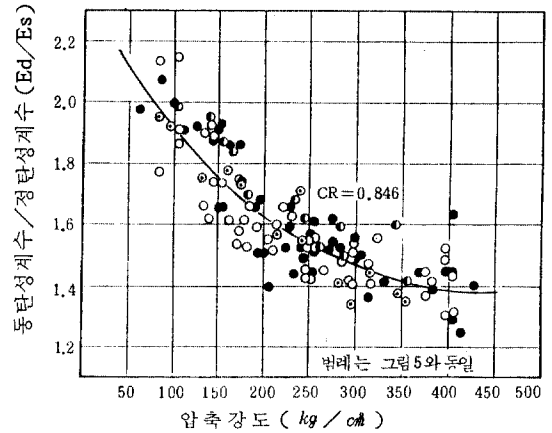


그림 7. 압축강도와 동탄성계수/정탄성계수의 관계

주목하면 고성능감수제에 의해 높은 분산효과를 발휘하게 된 콘크리트는 콘시스턴스가 대폭 증대되고 시멘트의 수화효과가 높아 강도가 증진되나 베이스콘크리트의 단위시멘트량이 300 kg/m³ 이하인 콘크리트의 경우, 전술한 바와 같이 콘시스턴스 및 워커빌리티가 저하하여 강도발현이 미약하고 더욱 콘크리트의 수밀성 및 내구성 등에 악영향을 미칠 것이 예상됨에 따라 유동화콘크리트 작제시 베이스콘크리트의 조합조건 특히 단위시멘트량 설정에 관한 다각적인 연구검토가 진행되어야 할 필요가 있음을 시사하여 주고 있다.^{1) 2) 6)}

3.2 물시멘트비·고성능감수제의 종류 및 첨가율에 따른 재령별 동탄성계수, 정탄성계수 및 응력-변형곡선의 검토

표 1 및 그림 2와 그림 3은 물시멘트비·고성능감수제의 종류 및 첨가율에 따른 재령별 동탄성계수 및 정탄성계수의 변화를 나타낸 것으로 고성능감수제 첨가율에 따른 유의할만한 큰 영향은 없는 것으로 보이며 그림 4는 정탄성계수와 압축강도의 관계를 나타내 주는 것으로 학회식과 비교하여 대체적으로 그 하단에 위치

하는 것을 알 수 있다. 또한 그림 5, 6은 각각 동탄성계수와 압축강도, 정탄성계수와 동탄성계수의 관계를 나타내 주는 것으로 모두 상관성이 우수한 것으로 나타나고 있다. 그림 7은 동탄성계수 (E_d)/정탄성계수 (E_s)와 압축강도의 관계를 도시한 것으로 E_d/E_s 의 값은 재령이 증가할수록, 물시멘트비가 적을수록 높은 강도일수록 그 값이 적게 되는 경향이 있다. 즉 물시멘트비 40%, 50%, 60%, 70%의 재령 7일, 28일, 60일의 E_d/E_s 치와 압축강도의 관계를 보면 재령 28일의 경우 물시멘트비 40% (1.37~1.64), 50% (1.41~1.51), 60% (1.52~1.71), 70% (1.62~2.00)이다. 더욱 베이스 및 콘벤셔널콘크리트와 유동화콘크리트의 E_d/E_s 와 압축강도의 관계는 같은 수준으로 유동화콘크리트의 탄성계수는 콘벤셔널콘크리트와 동등하게 취급해도 큰 문제가 없다고 생각된다.^{3) 4) 5)} 또한 그림 8은 재령 28일에 있어서 각 물시멘트비·SP제 종류 및 첨가율별 콘크리트의 응력-변형곡선 (σ - ϵ 곡선)으로 베이스 및 콘벤셔널콘크리트와 유동화콘크리트 사이에는 유의할만한 큰 차이가 없음을 시사하고 있다.^{6) 7) 8)}

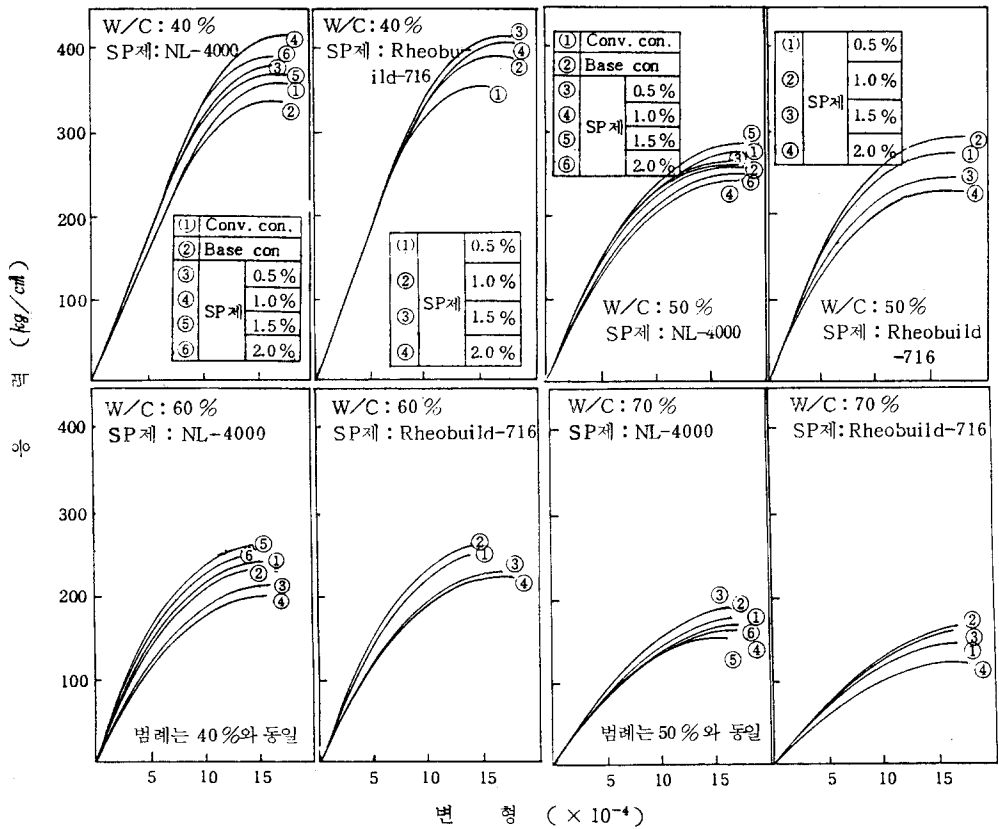


그림 8. 유동화콘크리트의 응력-변형곡선

4. 結 論

고성능감수제를 사용한 유동화콘크리트의 시공성 향상 및 강도특성에 관한 실험적 연구의 일환으로 각 실험요인 및 수준을 설정하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 고성능감수제의 종류에 관계없이 강도성상에 있어서 첨가율에 따른 일정한 경향을 보이지 않고 있으나 일반적으로 과다첨가에 의한 골재분리 및 응결 지연현상이 콘크리트의 조기강도발현에 불리한 것으로 나타나고 있다.

2) 고성능감수제를 사용한 유동화콘크리트의 강도발현은 일반적으로 고성능감수제의 분산성능과 밀접한 관련이 있을 것으로 생각되나, 유동화콘크리트의 강도발현기구는 SP제의 종류, 첨가율뿐만 아니라 콘크리트의 조합조건등 미시적인 관점에서 구명해야 할 필요성을 시사하고 있다.

3) 베이스 및 콘벤셔널콘크리트와 유동화콘크리트의 압축강도와 동탄성계수, 압축강도와 정탄성계수 및 동탄성계수와 정탄성계수의 상호상관성은 우수한 것으로 나타나고 있으며 유동화콘크리트의 탄성계수와 응력-변형곡선은 콘벤셔널콘크리트와 동등하게 취급해도 큰 문제가 없을 것으로 사료된다.

參 考 文 獻

1. 服部健一, 特殊減水劑の物性と高強度發現機構, 콘크리트工學, Vol.14, No.3, March, 1976, pp.14~16.
2. M. R. Rixom, Chemical Admixtures for Concrete, Halsted Press, 1978, pp. 33~89.
3. P.C.Hewlett, The Concept of Superplasticized Concrete, ACI SP-62, 1979, pp.1~20.
4. V.M.Malhotra, et.al, Developments in the use of Superplasticizers, ACI Special Publication sp-68, 1981.
5. V. S. Ramachandran, R.F. Feldman, J.J. Beaudoin, Concrete Science, Heyden, 1971, pp. 145~168.
6. 日本建築學會, 流動化콘크리트施工指針案・同解説, 1983, pp.180~189.
7. 金武漢ほか, 高性能減水劑を使用した콘크리트の流動性と強度特性に關する實驗的研究, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 昭62.10, pp. 55~56.
8. 南宰鉉, 高性能減水劑를 사용한 콘크리트의 流動化性能 및 強度特性에 관한 實驗的 研究, 忠南大博士學位論文, 1987.8.