

해사를 이용한 고강도 콘크리트의 물성실험 연구

An Experimental Study on Physical Properties of High-Strength Concrete Using Sea Sand

박 종협¹⁾ 정 영수²⁾
Park, Jong Heob Chung, Young Soo

ABSTRACT

The purpose of this experimental research is to not only develop the high-strength concrete using sea and river sand, but also investigate mechanical properties of the high-strength concrete, such as the elastic modulus, the compressive strength of concrete cylinder, and etc.

Also, rational analytical formula for elastic modulus has been proposed together with those for the splitting tensile strength and the flexural strength to be predicted from compressive strength of concrete cylinder.

1. 서론

국내 건설성기의 비약적인 신장으로 인한 하천사의 고갈로 그 공급량이 대량 부족함에 따라 콘크리트용 대체 골재로서 해사의 사용이 매년 급증하고 있는 추세이며 한 때 신도시 아파트 공사에서 시방서 조건을 만족시키지 않는 해사의 사용으로 사회적인 문제까지 일으킨 바 있기 때문에 이에 관한 연구가 시급한 실정이다. 따라서 본 연구는 콘크리트용 잔골재로서 하천사 대신에 해사를 이용한 고강도 콘크리트를 개발하기 위한 실험적 연구로서 양질의 하천사를 이용한 고강도 콘크리트와 해사를 이용한 고강도 콘크리트의 물리적 특성을 서로 비교, 분석하여 해사를 이용한 고강도 콘크리트를 실제의 콘크리트 공사에 적극적으로 활용키 위한 연구이다.

2. 실험내용 및 방법

2.1 실험내용

해사와 하천사에 대해 각 단위 결합재량에 따른 실리카흙 혼입률과 고성능 감수제 첨가율을 달리하여 실험을 행하였으며 고강도 콘크리트의 물성 실험으로 7일, 28일 활렬인장강도 및 휨인장강도 시험, 그리고 탄성계수 실험을 행하였다. 본 연구를 통하여 실리카흙을 사용치 않고 고성능감수제 사용만으로 최대 압축강도를 발현시키는 한계치를 결정하고 정탄성 계수 실험으로, 현행 시방서 탄성계수 식을 사용한 값과 실험에 의한 탄성계수 값을 비교 검토하고, 최대 압축, 휨인장, 활렬강도를 발현시키는 W/결합재비, 및 단위 결합재량을 도출해 보았다.

2.2 사용재료

본 실험에서 사용된 시멘트, 골재, 실리카흙 고성능감수제의 물리적 성질은 다음과 같다.

(1) 시멘트

가. 보통 포틀랜드 시멘트(A사 제품)

비중	분말도 (cm^2/g)	응결 시간		압축강도 (kg/cm^2)			
		초결	종결	1일	3일	7일	28일
3.15	3200	250	360	90	210	290	370
		분	분				

나. 초조강 시멘트(S사 제품)

비중	분말도 (cm^2/g)	응결 시간		압축강도 (kg/cm^2)			
		초결	종결	1일	3일	7일	28일
3.11	6200	210	360	215	400	465	535
		분	분				

(2) 골재

가. 잔골재

해사(충남 당진 해사)			하천사(경기 여주 하천사)		
입경	조립률	비중	입경	조립률	비중
2.0mm	2.76	2.60	2.5mm	2.73	2.59

* 본 연구에서 사용된 충남 당진해사의 조개 걸질량량은 5mm미만이 1.2%이고 5~10mm가 0.6%로 나타났다.

나. 굵은골재는 비중2.71, 조립률7.31, 굵은골재 최대 크기 19mm, 13mm인 경기 안성산 골재를 사용하였다.

- 1) 중앙대학교 대학원 석사과정
2) 중앙대학교 건설대학 토목공학과 교수

(3) 실리카흙(S사 제품)

비중	감열 감량	비표면적	입경
2.20	2-4%	20 m ² /g	0.00015mm

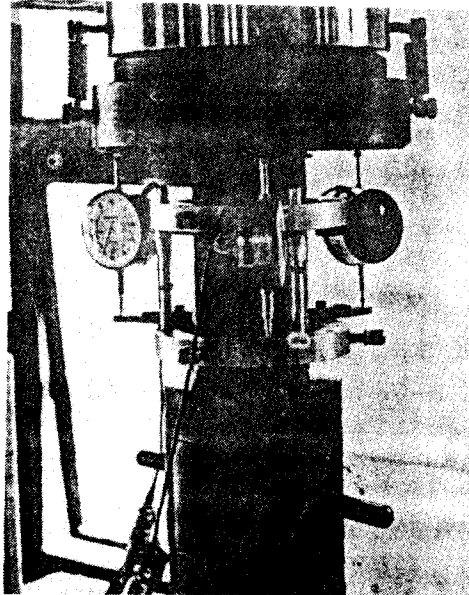
(4) 고성능 감수제(S사 제품)

비중	PH	고형분(%)	표준사용량(%) (시멘트 중량비)	주성분	비고
1.21	8	41	0.2-2.0	Naphthalene Sulpho. 산염	액상

2.3 실험 방법

공시체의 제작은 KSF 2403에 의거 압축 강도용 φ10*20 : 9개, 인장강도용 φ10*20 : 2개, 휨강도용 15*15*53 : 1개를 강제식 혼합기를 사용하여 제작하였고 다짐은 봉다짐과 손다짐을 병행하여 실시하였다.

또한 새로 구입한 최신행 300Ton 용량의 U.T.M으로 압축,휨인장, 및 활렬인장강도 실험을 행하였고 TDS-301을 이용하여 아래 사진 <1.1>에 보인 바와 같이 특수 제작한 탄성계수 실험 장치를 이용하여 탄성계수 실험을 행하였다.



<사진 1.1>

새로 고안한 탄성계수 실험 장치

Concrete 혼합은 강제식 믹서에 시멘트, 실리카흙, 잔골재를 투입하여 30초 건비빔을 한후 물+S.P를 2/3투입하여 1분 30초 혼합한후 최종적으로 굵은골재를 투입하고 나머지 물+S.P를 투입하여 Slump를 조정하면서 혼합하였으며 양생은 Concrete공시체 제작후 20±1℃인 수중에서 표준 양생을 실시하였음.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 해사 및 하천사 콘크리트의 물성실험 결과

<표 1.1> 해사 콘크리트의 물성실험 결과 (고성능감수제는 5%로 동일하였음)

공시체명	압축강도 (kg/cm ²)			휨인장강도 (kg/cm ²)		탄성계수 (kg/cm ²)				
	제형 7일 (σ _c)	제형 28일 (σ _c)	제형 60일 (σ _c)	(σ _t)	(σ _t)	실험 결과값(A)	사행시 계산값(B)	(B)/A		
C7-SF0	52	57	514	33	1/9	96	1/1	1.0000	34119	1.13
C7-SF10	370	388	667	41	1/10	92	1/1	2710.27	357839	1.17
C7-SF20	493	509	677	28	1/18	67	1/8	322.91	355394	1.18
C7-SF30	366	377	643	40	1/9	84	1/4	2321.80	285223	1.11
C8-SF0	341	303	479	44	1/9	76	1/5	2703.10	310332	1.14
C8-SF10	370	421	643	39	1/11	87	1/5	3025.42	363338	1.28
C8-SF20	470	534	684	37	1/14	77	1/7	3188.95	394425	1.13
C8-SF30	437	510	678	29	1/18	74	1/5	3111.79	414257	1.11
C9-SF0	336	339	538	43	1/10	68	1/4	3171.4	316489	1.01
C9-SF10	359	373	597	50	1/7	93	1/4	3133.69	318111	1.01
C9-SF20	437	479	666	47	1/10	66	1/5	3054.22	322155	1.06
C9-SF30	387	387	583	21	1/11	97	1/4	3000.18	319785	1.05
C10-SF0	384	437	441	45	1/8	83	1/5	3070.99	311863	1.01
C10-SF10	451	564	616	47	1/14	81	1/5	3011.33	316148	1.05
C10-SF20	435	505	667	39	1/15	85	1/6	3311.51	376405	1.14
C10-SF30	423	615	671	35	1/17	81	1/5	3114.85	374499	1.21

* σ_t = 제형 28일 강도값

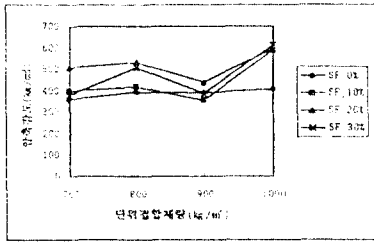
<표 1.2> 하천사 콘크리트(경기 여수선)의 물성 실험 결과

공시체명	압축강도 (kg/cm ²)			휨인장강도 (kg/cm ²)		탄성계수 (kg/cm ²)			
	제형 7일 (σ _c)	제형 28일 (σ _c)	제형 60일 (σ _c)	(σ _t)	(σ _t)	실험 결과값(A)	사행시 계산값(B)	(B)/A	
C5-SF3-SF0	437	567	52	1/11	119	1/5	3482855	378038	1.08
C5-SF5-SF0	567	583	51	1/11	124	1/5	338666	357713	1.14
C5-SF3-SF15	381	594	44	1/14	100	1/6	348367	349334	1.11
C5-SF5-SF15	451	659	53	1/12	103	1/6	348367	416106	1.17
C6-SF3-SF0	562	674	55	1/12	94	1/7	388361	414747	1.07
C6-SF5-SF0	433	630	43	1/12	93	1/7	339250	396317	1.16
C6-SF3-SF15	597	723	37	1/19	102	1/7	377813	413617	1.09
C6-SF5-SF15	447	567	33	1/17	102	1/5	291719	338312	1.15
C7-SF3-SF0	504	557	49	1/11	115	1/5	339429	352221	1.03
C7-SF5-SF0	545	691	46	1/13	106	1/6	302380	380276	1.29
C7-SF3-SF15	570	621	41	1/15	91	1/7	343788	388246	1.12
C7-SF5-SF15	414	489	38	1/13	93	1/5	291255	348882	1.19
C8-SF3-SF0	422	640	44	1/15	96	1/7	333356	394130	1.18
C8-SF5-SF0	455	606	46	1/14	92	1/6	330529	371445	1.09
C8-SF3-SF15	480	670	41	1/16	107	1/6	303384	390656	1.29
C8-SF5-SF15	502	705	43	1/16	93	1/6	397249	411377	1.04
C9-SF3-SF0	463	548	52	1/11	112	1/5	339528	337801	1.05
C9-SF5-SF0	467	471	38	1/12	97	1/5	304347	329688	1.08
C9-SF3-SF15	594	706	37	1/19	87	1/8	305679	403519	1.32
C9-SF5-SF15	551	719	40	1/18	87	1/8	327870	417748	1.27
C10-SF3-SF0	499	458	40	1/11	89	1/5	325048	331305	1.01
C10-SF5-SF0	597	629	38	1/17	82	1/8	318862	388258	1.21
C10-SF3-SF15	525	567	42	1/14	90	1/6	266933	360286	1.37
C10-SF5-SF15	563	592	42	1/14	79	1/7	360318	376666	1.04
C11-SF3-SF0	439	550	41	1/13	82	1/8	332302	360753	1.08
C11-SF5-SF0	448	647	36	1/18	83	1/8	334662	38791	1.12
C11-SF3-SF15	617	688	35	1/20	75	1/9	377285	406443	1.08
C11-SF5-SF15	465	616	34	1/18	82	1/8	300676	384225	1.25

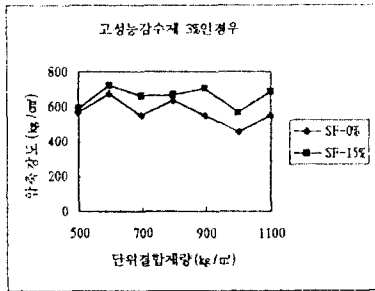
* 본 연구에서 공시체 표기시, C11은 단위 결합재량 1100(kg/m³), SF5는 고성능감수제 첨가율 5x, SF15는 실리카흙 혼합율이 15x라는 것을 나타냄

위의 <표 1.1> 및 <표 1.2>로 부터 해사를 이용한 고강도 콘크리트의 활렬인장강도는 압축강도의 1/9~1/14배, 휨인장강도는 1/4~1/7배 정도를 나타내며, 하천사 콘크리트의 휨인장강도는 해사와 비슷한 값을 나타내지만 활렬인장강도는 1/11~1/18배 정도로 약간 작은값을 나타내는 것으로 나타났다. 또한 현행 시방서 개선식에 의한 탄성계수값이 고강도 영역에서는 1.05~1.20까지의 폭도한 값을 나타내는 것으로 나타났다.

3.2 최적의 실리카흙 혼입량 도출



<그림 1.1> 해사 콘크리트의 S.F 혼입율에 따른 압축강도 비교



<그림 1.2> 하천사 콘크리트의 S.F 혼입율에 따른 압축강도 비교

위의 <그림 1.1>로 부터 해사 콘크리트의 최적의 실리카흙 혼입율은 단위 결합재량에 따라 약간의 차이는 있으나 본 연구에서는 실리카흙 혼입을 20%에서 최대 압축강도를 발현시키는 것으로 나타났다. 또한 위의 <그림 1.1> 및 <그림 1.2>로 부터 해사에 대해서는 실리카흙을 혼입한 콘크리트가 실리카흙을 혼입하지 않는 Concrete보다 약 20~30%의 강도 증진 효과가 있었고 하천사에 대해서는 약 6~20% 정도의 강도 증진 효과가 있었다.

3.3 고강도 콘크리트의 탄성계수 제안식

본 연구의 실험 결과값으로부터 탄성계수식을 구하기 위해, 단위중량 및 압축강도를 독립변수로 하고 탄성계수를 종속변수로 하여 회귀분석을 수행한 결과 압축강

도 360~630 kg/cm^2 인 고강도 영역에서의 탄성계수와 압축강도 및 단위중량과의 상관식은 아래 식(1)과 같이 나타났다.

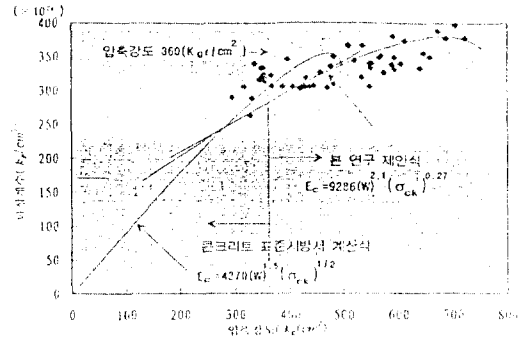
$$E_c = W_c^{2.1} \times 9286 (\sigma_{ck})^{0.27} (kg/cm^2) \quad (1)$$

여기서,

W_c : 콘크리트의 단위중량 (t/m^3)

σ_{ck} : 콘크리트 표준공시체의 재령

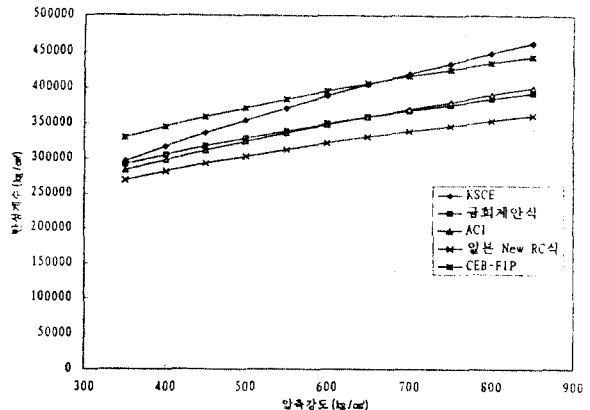
28일에서의 압축강도 (kg/cm^2)



<그림 2.1> 압축강도와 탄성계수와의 관계

3.4 각국의 고강도 콘크리트의 탄성계수 값의 비교

아래 <그림 2.2>는 각국의 고강도 콘크리트에 대한 탄성계수 제안식을 나타낸 것으로 본 연구의 제안식을 이들식과 비교하면 탄성계수값이 약간 크게 평가되는데 이것은 본 제안식을 얻기위한 회귀분석시 고강도 콘크리트의 압축강도 영역이 350~800 kg/cm^2 로서 ACI식(420~1000 kg/cm^2)이나 일본의 New RC식(360~1400 kg/cm^2)보다 작기 때문에 탄성계수 제안식이 약간 크게 나온 것으로 해석된다.



<그림 2.2> 각국의 고강도 콘크리트 값의 비교

3.5 압축강도와 활렬인장강도와의 관계
 본 연구에서는 KS F 2423에 의거하여 활렬인장강도 실험을 행하였으며, 압축강도와 활렬인장강도와의 상관식을 구하기 위해서, 압축강도 350~720 (kg/cm^2) 인 고강도 콘크리트에 대하여 독립변수를 압축강도로, 종속변수를 활렬인장강도로 하는 단순회귀분석을 수행하여 아래의 식(2)을 얻었다.

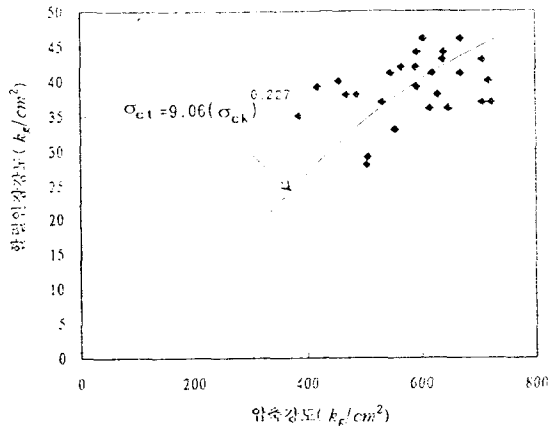
$$\sigma_{ct} = 9.06 \times (\sigma_{ck})^{0.227} \text{-----}(2)$$

여기서,

σ_{ct} : 콘크리트의 활렬인장강도 (kg/cm^2)

σ_{ck} : 콘크리트 표준공시체의 재령

28일에서의 압축강도 (kg/cm^2)



<그림 2.3> 압축강도와 활렬인장강도와의 관계

3.6 압축강도와 휨인장강도와의 관계

본 연구에서는 KS F 2407에 의거하여 휨인장강도 시험을 행하였으며, 압축강도와 휨인장강도와의 상관식을 구하기 위해서, 압축강도 350~720 (kg/cm^2) 인 고강도 콘크리트에 대하여 독립변수를 압축강도로, 종속변수를 휨인장강도로 하는 단순회귀분석을 수행하여 아래의 식(3)을 얻었다.

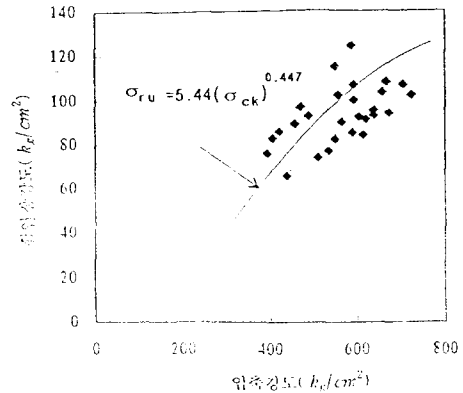
$$\sigma_{ru} = 5.44 \times (\sigma_{ck})^{0.447} \text{-----}(3)$$

여기서,

σ_{ru} : 콘크리트의 휨인장강도 (kg/cm^2)

σ_{ck} : 콘크리트 표준공시체의 재령

28일에서의 압축강도 (kg/cm^2)



<그림 2.4> 압축강도와 휨인장강도와의 관계

4. 결론

본 연구의 실험 결과치로부터

- 1) 재령 7일 압축강도와 재령 28일 압축강도를 기준으로 하였을때 최적의 실리카흙 혼입율은 단위 결합재량에 따라 약간의 차이는 있으나 실리카흙 혼입율 20%에서 최대 압축강도를 발현시키는 것으로 나타났다. 해사 콘크리트의 28일 최대 압축강도는 단위 결합재량 $800 kg/m^3$, S.P첨가율 5%, S.F혼입율 30%, W/C+S.F=0.30에서 잔골재로서 하천사 대신에 해사를 사용했음에도 불구하고 $615 kg/cm^2$ 의 아주 높은 강도값을 얻었다.
- 2) 재령 28일 강도를 기준으로 하였을때 실리카흙을 혼입한 콘크리트가 실리카흙을 혼입하지 않는 콘크리트보다 약 20~30% 정도의 강도 증진 효과가 있는 것으로 나타났다. 혼화재(S.F)를 사용하지 않고 고성능감수제 사용만으로 해사 콘크리트의 최대 압축강도는 단위 시멘트량 $1000 kg/m^3$, S.P첨가율 5%, W/C=0.19에서 $446 kg/cm^2$ 의 값을 얻었다. 하천사 콘크리트에서는 C7-SP5-SF0에서 $669 kg/cm^2$ 을 얻었다.
- 3) 최대 휨인장강도는 해사 콘크리트에서 단위 결합재량 $1000 kg/m^3$, S.P첨가율 5%, S.F혼입율 20%에서 $106 kg/cm^2$ 의 값을 얻었으며, 하천사 콘크리트에서는 C5-SP5-SF0에서 $124 kg/cm^2$ 의 값을 얻었으며, 최대 활렬강도는 해사 콘크리트에서 단위 결합재량 $900 kg/m^3$, S.P첨가율 5%, S.F혼입율

10%에서 51 kg/cm^2 의 값을 도출하였다. 하천사 콘크리트에서는 C6-SP3-SF0에서 55 kg/cm^2 의 값을 얻었다.

- 4) 탄성계수 실험을 통하여 현행 시방서로 계산한 탄성계수값이 고강도 영역에서는 1.05~1.20까지의 과도한 값을 나타내는 것으로 나타났다.

콘크리트의 압축강도 $360 \sim 630 \text{ kg/cm}^2$ 인 고강도 영역에서의 탄성계수식을 본 연구에서는 다음과 같이 얻었다.

$$E_c = W_c^{2.1} \times 9286 (\sigma_{ck})^{0.27} (\text{kg/cm}^2)$$

- 5) 할렬인장강도 실험을 통하여 콘크리트의 압축강도가 $350 \sim 720 (\text{kg/cm}^2)$ 인 고강도 영역에서의 압축강도와 할렬인장강도와의 상관식을 본 연구에서는 다음과 같이 얻었다.

$$\sigma_{cl} = 9.06 \times (\sigma_{ck})^{0.227}$$

- 6) 뒀인장강도 실험을 통하여 콘크리트의 압축강도가 $350 \sim 720 (\text{kg/cm}^2)$ 인 고강도 영역에서의 압축강도와 뒀인장강도와의 상관식을 본 연구에서는 다음과 같이 얻었다.

$$\sigma_{rt} = 5.44 \times (\sigma_{ck})^{0.447}$$

※ 이 논문은 1994년도 한국 학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음※

-참 고 문 헌-

1. 신현목, "콘크리트용 잔골재로서의 海砂의 利用", 大韓土木學會論文集, 제26권, 제2호, 1978.6, pp. 85~92
2. 배수호, 윤상대, 박광수, 신의균, "실리카흄을 混入한 高品質 콘크리트의 特性에 관한 研究", 韓國콘크리트學會 봄 學術發表會 論文集, 제7권 1호, 1995.5, pp. 88~93
3. 건설부편, "콘크리트 표준시방서", 1988.12
4. Weston T. Hester, "High-Strength Concrete" (Second International Symposium), ACI, 1990
5. Walid Baalbaki, Pierre-Claude Aitcin, and Gerard Ballivy, "On Predicting Modulus of Elasticity in High-Strength Concrete", ACI Materials journal, Vol.89, No. 5, Sept.-Oct. 1992, pp.517~520

6. 飛坂基夫, "高性能(AE)減水劑を用いた高強度・高品質コンクリートの諸性質", セメント・コンクリート, No.549, pp. 9~18, 1992.10.