

고강도 콘크리트의 배합설계 시스템 개발에 관한 연구

A Study on the Development of the Mix Design System for High-Strength Concrete

오 호 진* 장 판 기** 박 훈 규*** 장 일 영****
 Oh, HoJin* Jang, PanKi** Park, HoonGyu*** Jang, IlYoung****

Abstract

It is proposed in this paper to develop the rational mix design system of High-strength concrete which is adjusted in the domestic circumstances.

1) Collect a lots of data in order to introduce the optimum mix design which has relation among material variables which compose High-strength concrete and run by using SAS(Statistical analysis system) which is one of multivariate statistical analysis method.

2) Select the important material variables for mix design of High-strength concrete by major component analysis and propose the standard range of each material variable along the target strengths.

From the results of this study, it was proposed the range of proper material variables in domestic circumstance, which are W/C, S/A, air and admixture amounts, etc., at the target strengths for concrete kind. Also it was developed the optimum mix design program of High-strength concrete according to target strength and size of aggregate and made mix design ease in domestic construction site.

1. 서론

국내의 경우 고강도 콘크리트에 대한 배합설계 자료가 충분하지 않고 강도범위(400~700kg/cm²)가 넓어 시공자의 경험에 의존하거나 ACI-363¹⁾, New-RC Project²⁾, CEB-FIB³⁾에서 제시한 국외의 배합설계 지침을 이용하고 있다. 이는 국내에서 생산되고 있는 시멘트, 골재, 혼화재와 외국의 제품이 다소 품질 차이가 있어 목표강도를 발현하는데 문제가 발생될 소지가 있으므로 국내 실정에 적합한 배합설계 규준을 마련하는 것이 시급하다고 하겠다.

또한, 국내 문헌에서 제시하고 있는 고강도 콘크리트의 최적배합설계에 대한 배합사례는 체계적이지 못하고 단일변수를 이용한 실험결과이기 때문에 변수의 변동에 따른 최적의 배합조건을 찾을 필요가 있다고 하겠다. 특히, 콘크리트시방서⁴⁾에서도 300kg/cm² 이하의 보통 강도에만 적용이 가능하므로 고강도 뿐 아니라 초고강도 콘크리트의 실용화 측면에서도 고강도 콘크리트의 배합설계에 대한 개발은 깊이 연구되어야 할 시급한 과제라고 하겠다.

따라서 본 연구에서는 국내 실정에 맞는 배합설계를 제안하기 위해 실험을 통하여 최적 배합비를 도출하고, 본 논문의 실험결과와 국내에서 발표된 학위논문, 학회지, 보고서 등에서 수집한 데이터를 가지고 확률을 도입하여 각 변수를 고려한 최적 배합시스템 구축의 기초적 자료를 제시하고자 한다.

2.1 자료수집 및 배합변수의 범위

수집된 국내의 배합실험자료(한국콘크리트 학회지, 대한건축학회 논문집, 국내대학 및 연구소에서 발표된 자료)의 실험변수 및 범위는 총 13개의 항목으로 Table 1과 같다.

Table 1 Data standard and range of High-strength concrete

Item	standard and range	Item	standard and range
Mold (mm)	∅ 100×200	C.A specific	2.55~2.75
Day	28	F.A specific	2.54~2.69
Curing	Water	Cement	Ordinary portland
Com. strength	300~800kg/cm ²	Admixture	Flyash, Slica furne

* 정희원 · 금오공과대학교 토목공학과 석사과정
 ** 정희원 · 동명기술공단 구조부
 *** 정희원 · 금오공과대학교 토목공학과 박사과정
 **** 정희원 · 금오공과대학교 토목공학과 교수

Table 2 Criteria range of each material variability in Plain Concrete.

F _{TS} (kg/cm ²)	G _{max} (mm)	W/C (%)	S/A (%)	Air (%)	Unit Weight ³ (kg/cm ³)		Slu mp (cm)	Data (507)
					Water	S.P		
					400	13		
	19	44.1 (4.6)	38.0 (3.0)	3.8 (1.3)	186.5 (28.4)	3.43 (2.2)	15.2 (7.0)	28
	25	43.8 (3.5)	37.0 (3.4)	3.9 (1.6)	183.3 (15.5)	4.48 (2.5)	16.6 (4.0)	64
500	13	38.4 (2.4)	36.0 (4.4)	3.6 (1.3)	182 (27.1)	6.63 (2.4)	18.0 (5.1)	75
	19	37.5 (2.4)	40.3 (2.1)	3.0 (1.2)	179.4 (15.2)	6.05 (1.6)	21.2 (5.6)	14
	25	36.6 (2.7)	35.7 (3.5)	3.4 (2.4)	179.5 (22.4)	5.67 (2.2)	15.5 (4.6)	63
600	13	30.7 (2.6)	37.5 (6.4)	3.3 (1.1)	174.2 (19.4)	9.7 (5.1)	17.7 (5.3)	59
	19	30.0 (3.5)	40.4 (2.5)	2.9 (1.2)	174.5 (18.5)	7.46 (3.4)	20.7 (4.0)	28
	25	29.3 (2.8)	36.9 (3.3)	2.8 (1.5)	174 (20.2)	7.42 (2.8)	18.5 (5.0)	45
700	13	25.4 (1.9)	37.8 (3.0)	2.7 (1.3)	168 (15.3)	14.05 (4.9)	17.5 (5.9)	39
	19	25.3 (1.8)	38.2 (3.7)	3.1 (1.8)	166.0 (16.3)	15.06 (3.8)	18.2 (7.4)	26
	25	25.2 (2.1)	37.6 (3.1)	2.9 (1.9)	162.0 (17.2)	12.92 (5.6)	19.5 (5.5)	37

Table 3 Criteria range of each material variability in Flyash concrete.

F _{TS} (kg/cm ²)	G _{max} (mm)	W/B (%)	S/A (%)	Air (%)	Unit Weight (kg/cm ³)			Slu mp (cm)	Data (297)
					Water	Flyash	S.P		
					400	13	50.0 (6.5)		
	19	48.9 (5.8)	40 (1.9)	3.36 (1.5)	184.2 (13.9)	58.5 (27.8)	4.85 (1.9)	21.00 (1.6)	24
	25	47.8 (4.6)	39.6 (2.5)	3.49 (0.6)	184.1 (17.5)	64.5 (34.8)	4.74 (1.7)	21.18 (1.8)	31
500	13	37.4 (3.8)	38.2 (5.3)	3.4 (2.3)	178.3 (12.6)	65.0 (16.3)	4.85 (2.9)	19.42 (3.8)	17
	19	36.6 (2.1)	38.6 (2.4)	3.0 (1.5)	177.8 (13.6)	64.7 (17.2)	6.65 (8.3)	19.02 (4.3)	33
	25	35.8 (1.9)	39.8 (2.1)	2.4 (0.8)	177 (16.0)	68.8 (35.3)	5.14 (1.2)	19.88 (3.2)	21
600	13	30.0 (4.6)	37.0 (2.2)	2.45 (1.0)	170.4 (9.7)	87.1 (33.9)	9.12 (3.9)	19.90 (4.9)	19
	19	30.9 (3.6)	38.6 (2.3)	2.61 (1.1)	170 (21.7)	79.9 (26.9)	9.81 (8.0)	16.71 (6.2)	36
	25	31.8 (2.5)	36.8 (3.5)	2.3 (0.7)	165 (11.2)	86.2 (22.1)	9.10 (4.5)	18.10 (3.6)	19
700	13	25.0 (1.6)	36 (1.4)	2.24 (1.0)	159 (15.0)	103.0 (25.6)	10.81 (2.6)	20.62 (2.7)	14
	19	25.5 (2.6)	38.1 (2.3)	2.44 (1.8)	160 (17.9)	93.8 (29.9)	10.64 (4.9)	18.41 (6.3)	48
	25	26.0 (3.3)	37.2 (3.4)	2.5 (1.8)	156 (24.5)	94.2 (38.4)	12.29 (4.9)	21.00 (1.8)	14

총 694개의 배합자료를 수집 하였으며 혼화재를 첨가하지 않은 Plain concrete(총 507개)와 플라이 애쉬가 첨가된 Flyash concrete(총 287개)로 구분하여 자료분석을 수행하였다.

Plain concrete와 Flyash concrete의 배합자료를 강도와 굵은 골재의 크기(13,19,25mm) 별로 재분류하여 평균(\bar{x})과 표준편차(σ)를 구하였으며 Table 2와 Table 3에 나타내었다.

본 연구에서는 기존배합자료에 대한 합리적인 정량적평가를 수행하기 위하여 범용적인 통계해석 프로그램 SAS를 이용하여 다변량분석 방법 중 하나인 주성분 분석을 수행하였으며 이를 바탕으로 각 구성재료에 대한 회귀식을 개발하였다.

Table 4 Correlation coeff. of each variables in Plain con.

	GMA -X	SLU -MP	AE	W/C	S/A	WAT -ER	CEM -ENT	F.A	C.A	S.P	Fc
GMAX	1	-0.03	-0.02	0.08	-0.02	-0.04	-0.08	0.07	0.12	-0.16	-0.13
SLUMP		1	-0.05	-0.09	0.11	0.10	0.18	-0.02	-0.11	0.19	0.17
AE			1	0.09	0.17	0.01	-0.08	0.13	-0.14	-0.02	-0.04
W/C				1	0.06	0.33	-0.79	0.24	0.10	-0.65	-0.90
S/A					1	-0.19	-0.15	0.82	-0.36	0.02	0.08
WATER						1	0.29	-0.49	-0.25	-0.34	-0.35
CEMENT							1	-0.53	-0.27	0.48	0.70
F.A								1	-0.05	-0.08	-0.10
C.A									1	-0.10	-0.15
S.P										1	0.70
Fc											1

2.2.1 상관계수에 의한 분석

Plain concrete와 Flyash concrete에 대해 각각 11개, 13개의 배합변수를 선정하여 통계해석을 수행하였으며, 각 배합변수들간의 상관계수는 Table 4 및 Table 5와 같다.

Table 4 와 Table 5에서 Guilford의 분류에 의한 배합변수들간의 상호상관관계에서 압축강도는 물-시멘트비(W/C 또는 W/B), 시멘트량(Cement) 및 고성능감수제(SP)와의 상관계수(R)가 0.7이상으로 비교적 높은 상관도를 보임을 알 수 있다.

Table 5 Correlation coeff. of each variables in Flyash con.

	GM A-X	Slu -mp	AE	W/C	W/B	S/A	Water	Cement	F.A	C.A	Fly-ash	S.P	Fc
GMAX	1	0.13	-0.01	0.02	0.02	0.06	0.07	0.03	0.08	0.09	-0.08	-0.02	-0.15
Slump		1	-0.02	0.08	0.10	0.14	0.18	-0.05	0.05	-0.08	-0.03	-0.17	-0.07
AE			1	-0.23	-0.23	0.00	-0.21	0.15	-0.15	-0.23	0.02	0.04	0.23
W/C				1	0.90	0.44	0.43	-0.84	0.47	-0.07	0.01	-0.45	-0.82
W/B					1	0.45	0.48	-0.76	0.54	-0.01	-0.39	-0.46	-0.84
S/A						1	0.24	-0.36	0.64	-0.43	-0.12	-0.25	-0.38
Water							1	0.06	0.01	-0.40	-0.11	-0.20	-0.48
Cement								1	-0.58	-0.17	0.03	0.40	0.70
F.A									1	0.15	-0.29	-0.21	-0.43
C.A										1	-0.23	0.02	0.04
Flyash											1	0.08	0.23
S.P												1	0.73
Fc													1

2.2.2 인자부하량과 기여도에 의한 분석

각 주성분과 콘크리트를 구성하는 재료변수 사이의 상관을 설명하는 인자부하량을 이용하여 구한 Plain concrete와 Flyash concrete는 각각 제 1~4주 성분, 제 1~5주 성분까지 기여도가 나타났다. 기여도를 구한 결과는 Table 6,7과 같다. Table 6 과 7에서 인자부하량이 0.4이상이면 매우높은 적재량이라할 수 있으므로, Plain concrete와 Flyash concrete 배합변수들의 인자부하량과 기여도를 살펴보면 제1주 성분의 경우에는 압축강도에 영향을 주는 인자들로서 물-시멘트비(W/C 또는 W/B), 시멘트량(Cement), 고성능감수제(SP)로 공통변량을 형성하고 있음을 알 수 있다. 제2, ..., 제5주 성분의 경우에는 주로 콘크리트의 시공성에 영향을 줄 수 있는 단위수량(Water), 잔골재율(S/A), 잔골재(F.A)와 굵은 골재(C.A)량 및 혼화재량(Flyash)등으로 공통변량을 형성하고 있다. 따라서 공통변량으로 형성된 변수를 이용하여 회귀분석을 수행할 경우 적합한 배합변수에 대한 모델식을 도출할 수 있을 것으로 보인다.

2.3 배합강도의 결정

본 논문에서는 다소 안전측인 것으로 사료되는 ACI-363위원회에서 제안한 배합강도식(식(1))을 이용하였다⁶⁾.

$$\textcircled{1} F_{TS} \geq f_c + 1.34 \cdot \sigma \quad (1)$$

$$\textcircled{2} F_{TS} \geq f_c + 2.33 \cdot \sigma - 100$$

Table 6 Factor loadings and communality in Plain con.

Items	Factor loadings				Communality
	PC-1	PC-2	PC-3	PC-4	1st-4th
Gmax	-0.1567	0.0590	-0.1091	-0.4577	0.2494
Slump	0.1898	0.1421	0.5243	-0.5386	0.6211
AE	-0.0868	0.1820	0.0810	0.6782	0.5072
W/C	-0.9500	0.1170	0.0165	-0.0176	0.9207
S/A	0.0136	0.8797	0.3040	0.1017	0.8768
Water	-0.3925	-0.5339	0.6676	0.0496	0.8873
Cement	0.7268	-0.4271	0.4261	0.0288	0.8930
F.A	-0.1514	0.9553	-0.1237	-0.0039	0.9508
C.A	-0.1230	-0.1967	-0.7380	-0.3205	0.7011
S.P	0.8237	0.0647	-0.2330	0.0160	0.7372
Fc	0.9514	0.0469	0.0488	0.0195	0.9101

Table 7 Factor loadings and communality in Flyash con.

Items	Eigen vector					communality
	PC-1	PC-2	PC-3	PC-4	PC-5	1st-5th
Gmax	-0.0353	-0.0606	-0.1491	-0.0385	0.7447	0.1692
Slump	0.1124	0.1348	0.1076	0.0731	0.7320	0.6833
AE	-0.2511	-0.1645	0.0977	0.6185	0.0186	0.6959
W/C	0.9425	0.1975	0.0364	-0.0461	-0.0341	0.9654
W/B	0.8738	0.2409	-0.3265	-0.0730	-0.022	0.9666
S/A	0.4961	0.1839	-0.2606	0.6765	0.0774	0.9008
Water	0.2519	0.8969	-0.1201	-0.1083	0.1135	0.9523
Cement	-0.9226	0.2894	-0.0266	-0.0015	0.0421	0.9682
F.A	0.6259	-0.2640	-0.4724	0.3005	0.0150	0.8880
C.A	0.0446	-0.6523	-0.2592	-0.6203	0.0614	0.8087
Flyash	-0.0384	-0.0533	0.9186	0.0801	-0.0395	0.9253
S.P	-0.5806	-0.1050	-0.0927	-0.0009	-0.1832	0.6247
Fc	-0.8270	-0.2815	0.1784	0.1240	-0.0559	0.9019

F_{TS} : 배합강도, σ : 표준편차. f_c : 설계기준강도이다.

2.4 단위수량의 결정

단위수량은 소요 작업성 내에서 가능한 한 작게 사용하여야 하며, 혼화재(Flyash) 치환율이 25%정도인 콘크리트의 경우 7%정도 감수가 된다고 보고하고 있다⁷⁾. 본 연구에서는 Plain concrete에 비해 Flyash concrete에서는 압축강도 400kg/cm^2 에서 1%정도의 감수효과가 있었으며, 압축강도가 증가할수록 감수효과도 점점 증가하여 압축강도 700kg/cm^2 에서는 5%정도 감수효과가 있는 것으로 나타났다.

실험자료를 이용하여 굵은 골재최대치수에 따른 단위수량의 변화를 Table 8과 같이 나타내었다.

Table 8 Relation of Unit water and compressive strength

Gmax	Type	Regression equation	R ²
13	Plain	Water = $-0.0648F_{TS} + 213.44$	0.99
	Flyash	Water = $-0.0808F_{TS} + 217.19$	0.97
19	Plain	Water = $-0.0664F_{TS} + 213.12$	0.99
	Flyash	Water = $-0.0804F_{TS} + 217.22$	0.99
25	Plain	Water = $-0.0694F_{TS} + 212.87$	0.93
	Flyash	Water = $-0.0963F_{TS} + 223.49$	0.99

2.5 목표강도 추정

유의성이 높은 변수의 선정은 다단계 선택법(Stepwise selection method)을 적용시켜 목표강도에 따른 회귀모델식은 굵은골재의 치수(13, 19, 25mm)를 기본 변수로 정하여 모든 변수에 기준 F값과 유의수준($\alpha=0.05$)에 미치지 못한 변수를 제외시킨 결과 압축강도 추정식은 각각 Plain concrete와 Flyash concrete로 나누어 구하였으며, 회귀식과 결정계수는 Table 9 및 Table 10과 같다.

Fig. 1~6은 국내의 실험자료를 이용하여 제안한 고강도 콘크리트 강도 추정식과 기존의 콘크리트 배합강도 추정식을 비교한 것으로서 콘크리트 표준시방서⁴⁾에서 제안하고 있는 식 (2)는 목표강도 500kg/cm^2 이하에서는 과소 평가 하고 있으며, 미국콘크리트 시방서에서 제안하고 있는 식 (3)은 최대 70%이상 과소평가 되고 있음을 보여주고 있다.

Anderson⁵⁾이 제안하고 있는 식 (4)는 ACI-363에서 권장하고 있는 압축강도 추정식으로 본 논문에서 수집한 배합데이터의 평균치와 비교적 근사적이지만 과대 평가되고 있다. 이와같이 대부분의 배합강도 규준식이 고강도 콘크리트에 있어서 물-시멘트비의 변화에 따른 압축강도의 변화를 적절히 평가하지 못하는 것으로 보이며 국내에서 압축강도 추정식의 사용가능성에 대한 많은 실험적 검토가 있어야 할 것으로 사료된다.

Table 9 Relation of F_{TS} and W/C in Plain concrete

F_{TS} (kg/cm^2)	Regression equation	R ²	data
400	$F_{TS} = -0.80G_{max} - 15.18(W/C \times 100) + 1084.31$	0.92	104
500	$F_{TS} = -2.18G_{max} - 14.57(W/C \times 100) + 1088.17$	0.86	67
600	$F_{TS} = -1.80G_{max} - 15.13(W/C \times 100) + 1088.01$	0.83	119
700	$F_{TS} = -0.35G_{max} - 15.15(W/C \times 100) + 1089.95$	0.84	90

Table 10 Relation F_{TS} and W/B in Flyash concrete

F_{TS} (kg/cm^2)	Regression equation	R ²	Data
400	$F_{TS} = -2.46G_{max} - 13.61(W/B \times 100) + 1112.2$	0.85	77
500	$F_{TS} = -2.15G_{max} - 16.42(W/B \times 100) + 1141.4$	0.82	47
600	$F_{TS} = 2.21G_{max} - 13.70(W/B \times 100) + 980.97$	0.91	58
700	$F_{TS} = 1.20G_{max} - 14.02(W/B \times 100) + 1034.6$	0.85	81

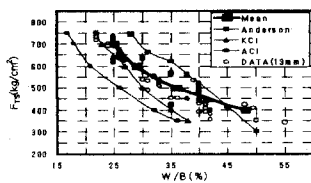


Fig. 1 Relation of F_{TS} and W/B in Flyash concrete (Gmax 13mm)

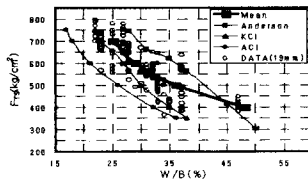


Fig. 3 Relation of F_{TS} and W/B in Flyash concrete (Gmax 19mm)

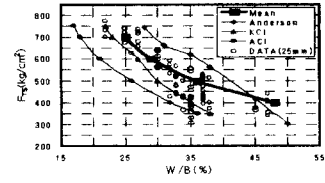


Fig. 2 Relation of F_{TS} and W/B in Flyash concrete (Gmax 25mm)

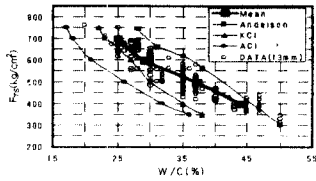


Fig. 4 Relation of F_{TS} and W/C in Plain concrete (Gmax 13mm)

$$\sigma_{28} = -210 + 215 \cdot C/W \quad (2)$$

$$\sigma_{28} = -18 + 134 \cdot C/W \quad (3)$$

$$\sigma_{28} = -18400 + -27850 \cdot C/W \text{ (psi)} \quad (4)$$

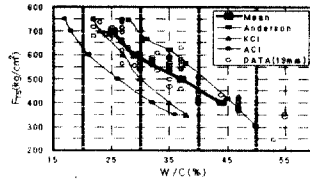


Fig. 5 Relation of F_{TS} and W/C in Plain concrete (Gmax 19mm)

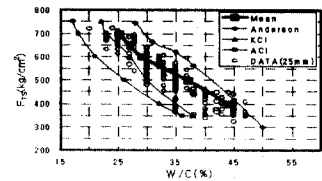


Fig. 6 Relation of F_{TS} and W/C in Plain concrete (Gmax 25mm)

2.6 혼화제량

압축강도가 고강도화 될수록 콘크리트는 목표 슬럼프($20 \pm 2\text{cm}$)의 발현 및 시공성을 확보하기 위하여 고성능감수제(S.P)의 사용이 필수적이다. 일본³⁾에서는 고성능감수제의 치환율에 대해 0.5~2.0%로 사용하고 있다. 그러나 고성능감수제의 경우 국내의 제품의 품질차이가 크고, 그제품의 균일성등이 상당히 문제시 되고 있는 실정을 감안한다면 하나의 식으로 그 투입량을 결정하기에는 많은 어려움이 있다.

본 연구에서는 목표슬럼프 15~20cm 사이를 만족하는 실험자료에 대해, 굵은 골재치수, 혼화제의 유무 및 물-시멘트비 또는 물-결합재비에 따라 비교적 적정량을 추정할 수 있는 Table 11의 회귀식을 배합설계 시스템의 자료로 사용하였다.

Flyash concrete와 Plain concrete의 단위수량에 따른 회귀식에 의한 결과는 Fig. 7과 같이 고성능감수제의 치환율 2.0%로 범위에 들어 있으며, 원하는 강도와 슬럼프를 얻을 수 있을 것으로 보인다.

2.7 단위골재량 및 공기량

본 연구에서 수집한 Table 2, 와 3의 배합설계자료에서 볼 수 있듯이 대부분의 배합설계에서 잔골재율은 36~40.3%범위내에 있으며, 굵은 골재최대치수와 잔골재율의 관계는 Table 12와 같이 모델화 하였다. 또한 잔골재의 조립율에 따른 잔골재율의 보정을 콘크리트 표준시방서에 의거하여 식(5)와 같이 수식화하였다.

$$SA' = SA + (F.M - 2.8) \times \frac{0.5}{0.1} \quad (5)$$

F.M : 잔골재의 조립율

공기량은 보통강도 콘크리트에서는 보통 $4.5 \pm 1.0\%$ 로 허용오차를 두고 있지만 고강도 콘크리트의 경우에는 공기량이 증가하면 압축강도가 매우 크게 감소하므로 세심한 주의가 따른다.

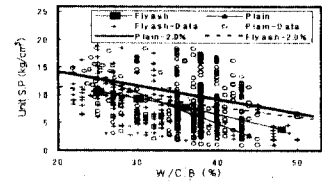


Fig. 7 Relation of unit S.P and W/C,B

Table 11 Relation for W/C(B) and S.P

Gmax	Type	Regression equation	R ²
13	Plain	S.P = -0.4753(W/C × 100) + 25.281	0.96
	Flyash	S.P = -0.2950(W/B × 100) + 17.606	0.88
19	Plain	S.P = -0.5442(W/C × 100) + 26.613	0.52
	Flyash	S.P = -0.2597(W/B × 100) + 17.202	0.93
25	Plain	S.P = -0.4036(W/C × 100) + 21.234	0.79
	Flyash	S.P = -0.3365(W/B × 100) + 19.714	0.76

Table 12 Relation of Gmax and S/A in Exp.

F_{TS} (kg/cm ²)	Regression equation	R ²
400	SA = 0.0917 Gmax + 41.925	0.99
500	SA = 0.2083 Gmax + 37.708	0.94
600	SA = 0.1000 Gmax + 38.633	0.99
700	SA = 0.1000 Gmax + 37.533	0.99

본연구에서 조사한 Table 2와 Table 3의 공기량은 강도 증가에 따라 큰 변동이 없지만, 표준적인 범위를 제안하고자 Table 13과 같이 강도에 따른 회귀식을 개발하였다.

Table 13 Relation equation for Air and Gmax

Type	Regression equation	R ²
Plain con.	$Air = \frac{109.68}{F_{TS}^{0.56}}$	0.87
Flyash con.	$Air = \frac{315.17}{F_{TS}^{0.75}}$	0.86

2.8 혼화재량

본연구에서 조사한 Flyash의 함유량은 강도가 증가함에 따라 플라이애쉬의 양은 증가하고 있으며, 시멘트량의 15~20%를 함유하고 있다. Flyash 함유량에 관한 회귀식은 식(6)과 같다.

$$Flyash = 0.1264 F_{TS}' + 7.58 \quad (6)$$

잔골재량과 굵은 골재량은 식 (7), 식 (8)과 같다.

$$FA_1 = [1000 - W + (\frac{Cement}{C_G} + \frac{Flyash}{F_G} + Air \times 10)] \times \frac{SA'}{100} \times F_{AG} \quad (7)$$

$$CA_1 = [1000 - W + (\frac{Cement}{C_G} + \frac{Flyash}{F_G} + Air \times 10)] \times \frac{SA'}{100} \times C_{AG} \quad (8)$$

- | | |
|---------------------------------|----------------------------|
| FA ₁ : 시방배합에서의 잔골재량 | C _{AG} : 굵은골재의 비중 |
| GA ₁ : 시방배합에서의 굵은골재량 | F _{AG} : 잔골재의 비중 |
| C _G : 시멘트의 비중 | Cement : 단위시멘트량 |
| F _G : Flyash 비중 | W : 단위수량 |

4. 결론

본 연구에서는 국내 실정에 적합한 고강도 콘크리트의 배합설계를 제안하기 위해 국내에서 발표된 배합비를 수집하여 다변량분석을 통하여 목표강도(F_{TS})와 골재의 종류에 따라서 평균적인 범위를 제시하였으며 최근 광범위한 인기를 얻고 있는 고강도 콘크리트의 현장실용화를 위한 배합설계기준 마련의 기초적 자료 및 최신 정보제공과 고강도 콘크리트의 배합설계시스템개발에 대한 기초적 토대가 될 수 있을 것으로 판단된다.

한편, 배합설계에 있어서 가장 기초가 되는 고강도 콘크리트의 목표강도는 유의수준 5%에서 분석한 결과, Table 10과 같이 Gmax와 W/C,B의 함수로서 표현되어져야할것으로 보인다.

참 고 문 헌

- 1) ACI Committee 363, *State-of-Art Report on High-Strength Concrete (ACI-363R-84)*, ACI, Detroit, 1984.
- 2) (財)國土開發技術センター : *New-RC研究開發概要報告集*, 1988.
- 3) CEB-FIP, Bulletin D'Information No.197, *High-Strength Concrete State of Art Report*, Aug. 1990.
- 4) 건설부 콘크리트 표준 시방서, 국립건설기술연구소, 1996.
- 5) F. David Anderson, "Statistical controls for High-Strength Concrete", American Concrete Institute, Detroit Michigan 48219., 1985. pp.70-82.
- 6) 장판기, *고강도 콘크리트의 배합설계 시스템 개발에 관한 연구*, 금오공과대학교 토목공학과 석사논문, 1997. 11.
- 7) 대한건축학회, *고강도-고성능 콘크리트 제조·시공 및 설계*, 1996.4.