

# 슬래그시멘트의 콘크리트 배합설계 연구

A study of Concrete Mix Proportioning Design for Blast-furnace Slag Cement

김진춘\*  
Kim, Jin Chun

공양식\*\*  
Kong, Yang Sik

김동석\*\*\*  
Kim, Dong Suk

## 요약

본 연구의 목적은 당사 콘크리트 배합설계 프로그램인 쌍용배합설계시스템 (Ssangyong Mix Proportioning Design System ; 이하 SMPD라 칭한다)을 기본으로해서 슬래그시멘트에 대한 콘크리트 배합설계(案)을 제안함으로써 콘크리트 현장에서 합리적으로 콘크리트를 제조할 수 있도록 하는데 있다.

연구 내용은 슬래그시멘트와 보통시멘트간의 콘크리트 물성차이를 실험실적으로 규명하기 위해서 슬래그 함유량 및 양생 온도별로 슬래그시멘트의 콘크리트 강도발현특성, 물시멘트비, 단위수량변화 및 응결특성 등을 검토하였으며 그 결과를 이용하여 슬래그시멘트의 콘크리트 배합설계를 시행, 표준배합과 현장배합표를 제시하였다.

## 1. 서론

일반적으로 슬래그혼합시멘트를 이용한 콘크리트는 보통포틀랜드시멘트를 이용한 콘크리트에 비해서 초기강도의 발현이 작지만 장기강도가 크며 화학저항성이 우수하다고 알려져 있다.

그러나, 우리나라에서는 슬래그시멘트에 대한 소비자들의 인식이 좋지 않고 각 업체들이 슬래그시멘트공장 신·증설 계획을 많이 갖고 있어 수급전망이 불투명한 상황이지만 산업부산물을 재활용함으로써 자원절약화와 환경보존 측면에서 유리할 뿐만 아니라 우리와 상황이 비슷한 이웃 일본의 슬래그혼합시멘트 사용비율이 20%에 이르고 있는 반면 우리나라는 아직도 5% 내외의 미미한 수준이므로 우리나라에서도 슬래그혼합

시멘트의 시장점유율이 더욱 확대될 것은 자명한 일이다.

본 연구에서는 합리적으로 콘크리트 배합을 실시할 수 있는 기왕의 쌍용배합설계시스템(SMPD)을 기본으로 하고 보통시멘트와 슬래그혼합시멘트간의 콘크리트 물성차이를 실험실적으로 규명하여서 슬래그시멘트에 대한 콘크리트의 표준배합설계와 현장배합설계를 실시할 수 있게 되었다.

따라서, 슬래그시멘트에 대한 사용경험이 적은 레미콘공장 및 건설현장의 기술자들에게 배합설계 지침서를 제공함으로써 슬래그시멘트에 대한 사용자의 불만을 사전에 예방하고 수요를 촉진하는데 기여할 것으로 기대된다.

\*정회원, 쌍용양회(주) 중앙연구소 선임연구원

\*\* " " 공양공장 품질관리실장

\*\*\* " " 중앙연구소 연구원

## 2. 쌍용배합설계시스템(SMPD) 개요

### 2.1 SMPD 체계

콘크리트 배합의 主因子인 물시멘트비, 단위수량 및 잔골재율과 재료특성에 의한 補正因子인 시멘트강도, 시멘트종류 및 골재종류·크기 등에 의해서 실내실험으로 결정한 표준배합과 시공특성인 계절변화, 슬럼프로스 및 골재품질을 반영해서 수정된 현장배합으로 구성되어 있다. 또한, 현장의 측정된 품질자료를 Feedback 시켜서 항상 경제적이고 합리적인 배합설계가 가능하도록 배합데이터베이스를 구축하였으며 전체적인 구성은 <그림1>과 같다.

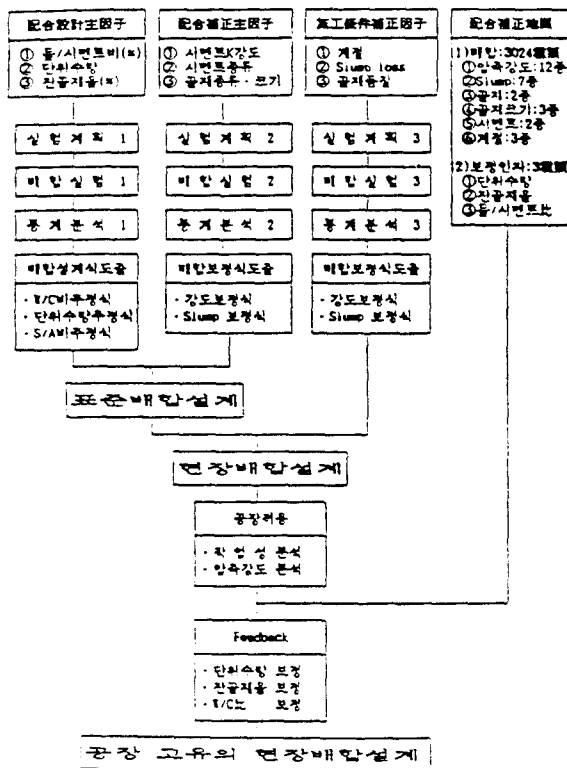


그림1 쌍용배합설계시스템(SMPD) 체계

### 2.2 SMPD 배합설계 근거

#### 1) 배합강도

$$\sigma_r = \frac{\sigma_{ok}}{1 - mV / (100 / \text{SQR}(3))}$$

여기서,  $\sigma_{ok}$  : 호칭강도 (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $m$  : 표준편차할증계수 (각 공장에서 결정)  
 $V$  : 변동계수 (% , 품질관리수준)

#### 2) W/C : 실험식

#### 3) S/A : 건축공사표준시방서 자료

건설부발행 건축공사표준시방서 <pp. 193~198, 1986>의 자료를 2차다항중회귀분석

#### 4) 단위수량 ; 실험식

#### 5) 각 재료량 ; 응적설계법 기준

#### 6) 골재종류, 크기별 배합보정 ; 실험식

#### 7) 표면수, 골재입도별 배합보정 ; 규정식

#### 8) 시공조건에 의한 배합보정 ; 실험식

#### 9) 현장시험에 의한 배합보정 ; Database

配合Database를 활용하여 각 공장별로 가장 경제적이고 합리적인 배합조건표 작성

(1) 잔골재율보정 ;  $\pm \delta$  (S/A)

(2) 단위수량보정 ;  $\pm \delta$  (W)

(3) 물시멘트비보정 ;  $\pm \delta$  (W/C)

## 3. 슬래그시멘트의 콘크리트 특성 검토

### 3.1 시료준비 및 분석

#### 1) 시멘트

슬래그분말과 보통포틀랜드시멘트를 혼합하여 시료를 만들었으며 슬래그 혼합비를 0, 5, 10, 20, 30, 40, 50% 하였을 때 각각 시료기호를 SoC100, S5C85, S10C80, S20C70, S30C60, S40C50, S50C50으로 하였으며 화학분석 결과와 물리성능분석결과는 <표1>과 같다.

표1 슬래그 함유량별 시멘트의 화학성분

시멘트종류	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	lg-ions
광양슬래그	24.3	9.3	2.2	55.1	4.2	0.17	0.72	2.3	1.6
SoC100	20.5	5.9	3.1	62.6	3.1	0.14	0.76	2.2	1.6
S5C85	21.0	6.4	3.0	61.4	3.3	0.15	0.75	2.3	1.5
S10C80	21.7	6.9	2.9	60.4	3.5	0.15	0.71	2.2	1.5
S20C70	22.6	7.7	2.6	58.3	3.9	0.15	0.71	2.4	1.4
S30C60	23.9	8.6	2.4	56.1	4.2	0.17	0.66	2.3	1.4
S40C50	25.0	9.6	2.1	54.1	4.5	0.17	0.65	2.1	1.4
S50C50	26.1	10.7	1.9	52.3	4.8	0.17	0.57	2.0	1.4

\* S. slag. Cement, 添數字: 混合比率

표2 슬래그 함유량별 시멘트의 물리성능

시멘트 종류	비중(Bulk)Flox cm <sup>3</sup> /g	비중(Bulk)Flox kg/m <sup>3</sup>	압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )*			용 결			
			1d/32S	7dS/28dS	W/C	크결 min	중결 in <sup>2</sup> -min		
광양슬래그	3.09	3730	1110.5	671166	238	375	27.1	230	7:10
SoC100	3.15	3250	1110.9	1111255	352	429	26.0	175	6:10
S5C85	3.14	3330	1107.5	1108247	340	422	26.3	180	6:25
S10C80	3.12	3550	1111.8	1106232	328	421	26.5	185	6:30
S20C70	3.10	3690	1113.3	901200	296	413	27.0	195	6:40
S30C60	3.09	3780	112.4	801177	261	388	27.6	215	7:00
S40C50	3.08	3800	113.0	581151	223	371	28.0	225	7:10
S50C50	3.06	3870	1111.9	471124	199	344	28.1	240	7:30

\* W/C=4E.5s

2) 골재

대전지역 쇄석, 강모래로 <표3>과 같다.

표3 골재특성

산지	최대크기 (mm)	비중	흡수율 (%)	크림율 (%)	씻기손실량 (%)
잔골재 미분천	5	2.56	1.16	2.7	1.53
굵은골재 탄화석산	25	2.69	0.58	6.7	-

3.2 슬래그함유량, 양생온도별 배합실험

1) 배합조건

본 실험에서는 가장 일반적인 배합조건에서 콘크리트의 물성변화를 파악하기 위해서 물시멘트비를 55%, 단위시멘트량을 185kg/m<sup>3</sup>, 잔골재율을 43%로 하였으며 혼화제 첨가량은 연행공기를 5±1%로 하기 위해서 적당량 증감하여 사용하였다.

2) 양생온도

제철변동에 의한 콘크리트 물성변화를 검토하여 배합보정을 실시하기 위해서 계절별 온도조건을 설정하였다. 동절기 온도는 후한기인 5℃와 온난기인 10℃로 나누었고, 춘·추절기는 20℃, 하절기는 30℃로 하여 Mixing과 기건양생을 실시하였다.

3) 실험결과

1)項과 같은 배합조건으로 슬래그함유량과 혼합·양생온도를 변화시키면서 물성변화를 측정 한 결과는 <표4>와 같았다.

표4 슬래그함유량, 양생온도별 콘크리트 특성치

시멘트 종류	Slump (cm)	용경(hr:min)		압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )				양생 온도 (°C)
		초경	후경	3as	7as	14as	28as	
ISO-C60	17.0	27:05	31:20	57	134	159	232	5
	14.6	17:30	17:30	82	193	214	245	10
	13.9	8:15	11:25	133	205	229	260	20
	11.0	6:10	9:00	139	217	234	266	30
Si-C60	17.0	23:10	33:10	53	133	166	237	5
	13.9	22:10	16:55	89	196	216	240	10
	12.1	7:50	10:50	130	203	227	256	20
	11.2	6:25	9:05	144	208	235	269	30
Si-C60	15.8	24:15	34:20	46	118	154	228	5
	14.5	13:00	17:40	75	175	214	251	10
	13.3	7:55	11:15	129	200	225	254	20
	11.0	7:25	10:25	148	209	232	269	30
Si-C60	16.4	25:25	34:20	40	103	143	215	5
	15.0	13:30	19:00	73	173	212	245	10
	13.5	8:20	11:30	125	181	233	257	20
	11.7	7:15	10:10	137	198	230	262	30
Si-C60	16.4	27:00	38:40	40	100	133	202	5
	14.7	13:25	19:10	71	153	199	235	10
	14.0	8:55	12:30	118	163	222	247	20
	9.5	7:05	9:40	114	168	212	249	30
Si-C60	15.4	27:35	41:10	31	79	117	182	5
	14.2	15:00	21:30	47	124	157	216	10
	11.5	9:05	12:00	98	141	186	235	20
	9.8	7:15	11:10	102	155	193	238	30
Si-C60	17.0	29:25	43:30	17	61	95	156	5
	15.0	16:45	24:10	42	107	145	201	10
	12.7	9:45	14:05	76	134	170	217	20
	11.0	8:05	11:50	89	136	182	225	30

3.3 콘크리트 특성치 분석

1) 압축강도 발현율

<표4>의 실험결과중 슬래그함유량 및 양생온도별로 압축강도 발현율을 분석하면 <표5>와 같다.

표5 압축강도 발현율 경향

시공계절	슬래그함 유량 (%)	강도발현율 (%)				
		3일	7일	14일	28일	
겨울	5℃	5	100	100	100	100
		10	85	95	95	95
		20	70	75	85	85
	10℃	5	105	100	100	100
		10	98	98	100	98
		20	85	95	95	95
춘추	20℃	5	100	100	100	100
		10	85	85	95	95
		20	75	70	80	85
	30℃	5	105	85	100	100
		10	85	85	90	95
		20	65	75	75	85
여름	30℃	5	105	85	100	100
		10	85	85	90	95
		20	65	75	75	85

\* 발현율 = (슬래그콘크리트/보통콘크리트) \* 100  
\* KSF 4009 4.1 (1)項 (a) ; 1회의 실험결과를 구입자가 지정한 호칭강도 값의 85% 이상일 것

<표5>로부터 슬래그함유량, 양생온도별로 콘크리트 강도보정율을 제안하면 <표6, 7>과 같다.

표6 28일재령의 강도보정율

함유율 (%)	20미만	20~30	30~50
겨울 후한	+5%	+10%	+25%
울 온난	-	-	+10%
춘·추	-	-	+10%
여름	-	-	+10%

표7 7일재령의 강도보정율

함유율 (%)	20미만	20~30	30~50
겨울 후한	+15%	+25%	+40%
울 온난	+10%	+15%	+35%
춘·추	+5%	+10%	+30%
여름	+5%	+10%	+25%

<표6>으로부터 28일재령의 강도발현율은 슬래그첨가량이 20%미만인 경우 큰 영향이 없지만 30~50% 첨가시 10%정도 강도보정이 필요하다.

또한, <표7>로부터 7일이내의 초기강도 발현율은 슬래그첨가량에 의해서 큰 영향을 받고 첨가량이 30%이상인 경우 강도발현율이 60~70%에 지나지 않으므로 초기강도가 요구되는 공사에서는 배합 및 양생시 충분한 검토가 요구된다.

## 2) Slump 변화

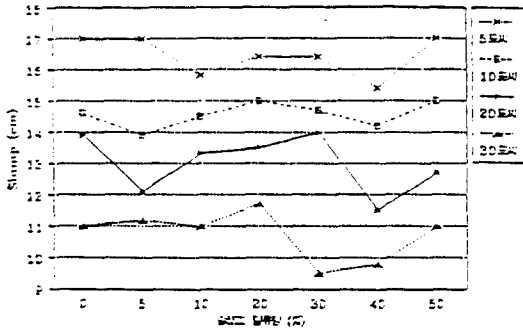


그림2 슬래그함유량, 양생온도별 Slump변화

〈표4〉, 〈그림2〉로부터 슬래그 함유량에 의한 콘크리트의 Slump차는 有意치 않음을 알 수 있다. 이것은 고분말 슬래그 첨가량이 증가할수록 혼합시멘트의 Blaine이 증가하기 때문에 슬래그로 치환함으로써 생길 수 있는 Slump 향상요인이 상쇄되는 것으로 판단된다. 따라서, 슬래그분말의 함유량에 의한 콘크리트의 단위수량 변화는 없다고 할 수 있다.

그러나, 양생온도별 Slump차는 매우 컸다. 일반적으로 Slump가 1cm증감되면 단위수량은 약  $2\text{kg}/\text{m}^3$  증감되므로 〈표4〉, 〈그림2〉로부터 시공계절별 단위수량 보정을 다음과 같이 제안한다.

표8. 단위수량 보정량

	평균Slump (cm)	단위수량변화 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
춘·추	13.0	기준
여름	10.7	+4.6
겨울	혹한	-3.2
	온난	-6.8

## 3) 응결특성

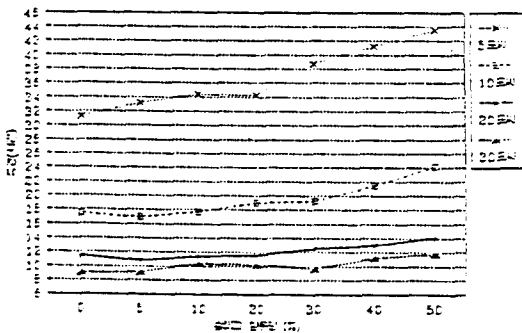


그림3 슬래그함유량, 양생온도별 응결변화

〈표4〉, 〈그림3〉으로부터 슬래그 함유량이 증가할수록 응결이 지연되는 특성이 있지만 춘·추절기 및 하절기에는 그 영향이 크지 않음을 알 수 있다. 그러나, 동절기  $5^\circ\text{C}$ 이하의 혹한기에는 슬래그 함유량이 30~50% 첨가시 무첨가에 비해서 10시간이상 응결이 지연되므로 이에 대한 대책을 세워 시공해야 할 것으로 판단된다.

## 3.4 물시멘트비(W/C) 산출식 도출

슬래그시멘트를 사용한 경우 시멘트K강도가 변함에 따라서 콘크리트 28일강도와 물시멘트비의 상관관계를 도출하기 위해서 다음과 같은 배합시험을 실시하였다.

### 1) 배합조건

콘크리트의 28일강도를 조절하기 위해서 물시멘트비를 40, 50, 60%등 3수준으로 하였으며 단위수량을  $185\text{kg}/\text{m}^3$ , 잔골재율을 43% 연행공기량  $5 \pm 1\%$ 로 하였다.

### 2) 사용재료

S社 보통시멘트 및 슬래그분말을 사용하였으며 슬래그시멘트의 K강도를 조절할 목적으로 혼합율을 20, 30, 40 및 50%로 하였다. 골재는 대전지역 채석과 강모래를 사용했다.

### 3) 양생방법

수중의  $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 표준양생을 실시했다.

### 4) 실험결과

물시멘트비 3수준과 슬래그혼합율 4수준에 대한 12배합으로 〈표9〉와 같았다.

표9 슬래그시멘트의 K강도와 W/C비 변화에 따른 28일재령의 압축강도 경향

실험 No.	W/C (X)	C/F (X)	K-강도 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	$F_{28}$ ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	$F_{28}/K$ (T)
1	40	2.5	393	409	1.041
2	50	2.0	393	352	0.896
3	60	1.667	393	269	0.684
4	40	2.5	368	403	1.095
5	50	2.0	368	347	0.943
6	60	1.667	368	257	0.698
7	40	2.5	351	393	1.120
8	50	2.0	351	335	0.954
9	60	1.667	351	246	0.701
10	40	2.5	324	388	1.198
11	50	2.0	324	305	0.941
12	60	1.667	324	235	0.725

<표9>의 결과를 분석하여 W/C比 식을 도출하였고, 圖解的 關係는 <그림4>와 같다.

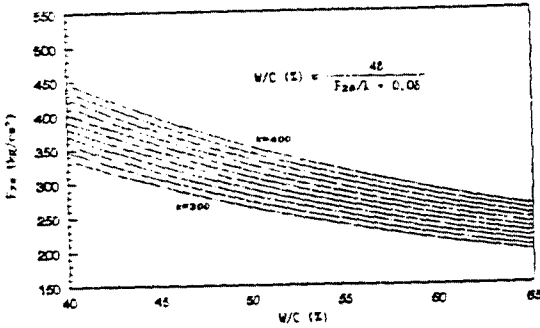


그림4 슬래그시멘트를 이용한 콘크리트의 W/C比와 28일 압축강도 관계

<그림4>의 관계를 SMPD에 반영하였으며 SMPD는 퍼보베이직으로 프로그래밍되었다.

#### 4. SMPD를 이용한 콘크리트 배합설계

##### 4.1 표준배합설계

###### 1) 설계조건 설정

표준배합에서 고려되어야 하는 설계조건은 시멘트와 골재등 원재료에 대한 기본특성과 콘크리트 품질의 기본조건이 반영되어야 한다.

원재료의 기본조건으로는 K강도 330kg/cm<sup>2</sup>, 비중 3.10인 슬래그시멘트와 최대크기 25mm, 비중 2.65, 실적을 58%인 쇄석골재 및 비중 2.60, 조립을 2.70인 강도대를 적용하였다.

한편, 콘크리트 품질의 기본조건으로는 연행 공기량 4%, 표준편차 3σ 및 변동계수 10%를 설계조건으로 설정하였으며 반영된 결과는 다음과 같았다.

표준배합설계조건	
1) 설계기준강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	설정하십시오.
2) 치수 (mm)	180, 180, 180, 195, 210, 225, 240, 255, 270, 300, 350, 400
3) 시멘트	종류 : OPC (슬래그시멘트) K강도 : 330 kg/cm <sup>2</sup> 비중 : 3.10
4) 골재	최대크기 : 20, 30, 40 비중 : 2.65 실적률 : 58.0 %
5) 강도대	비중 : 2.60 조립률 : 2.70
6) 공기량	연행 공기량 : 4 % 표준편차 : 3σ ASCE방법 : C X D, 1.15 kg/m <sup>3</sup> 표준편차 : 10 % 변동계수 : 10 %
7) 입력방법	ENTER, 취소 : ESC

#### 2) 표준배합표 출력결과(일부)

1)項의 조건으로 표준배합설계를 시행한 결과는 다음과 같다.

골재슬래그최대크기 : 25 mm		슬래그시멘트 K강도 : 330kg/cm <sup>2</sup>								
입력치 단위 : kg/cm <sup>3</sup>	비율 %	W/C	SLUMP S/A	단위체모양 (kg/m <sup>3</sup> )				단위 중량 kg/표		
				골	시멘트	프리	자갈		분쇄재	
150	191	76.5	5	47.5	182	238	857	975	0.257	2262
			8	45.3	184	240	823	1014	0.260	2260
			10	44.4	185	243	803	1027	0.264	2255
			12	43.8	188	246	788	1031	0.270	2254
			15	42.1	194	253	767	1033	0.250	2247
			18	44.8	208	272	775	971	0.408	2225
			21	48.0	226	296	796	880	0.443	2199
160	194	72.2	5	47.4	179	248	865	977	0.271	2268
			8	45.0	180	250	819	1018	0.275	2267
			10	44.1	183	253	797	1031	0.279	2264
			12	43.4	185	257	781	1037	0.285	2260
			15	42.6	191	264	756	1046	0.296	2253
			18	44.3	205	283	764	981	0.425	2232
			21	47.3	222	307	785	893	0.461	2207
180	212	65.1	5	46.9	174	267	852	986	0.401	2280
			8	44.3	176	270	803	1029	0.402	2278
			10	42.2	178	273	780	1044	0.410	2275
			12	42.5	181	278	762	1051	0.417	2271
			15	41.5	186	286	736	1057	0.428	2265
			18	42.9	199	306	739	1002	0.459	2248
			21	45.7	215	331	757	918	0.457	2222
195	231	60.6	5	46.3	173	282	829	994	0.424	2287
			8	43.6	175	286	787	1038	0.429	2285
			10	42.6	175	290	763	1053	0.435	2282
			12	41.7	178	295	744	1061	0.442	2276
			15	40.6	183	303	717	1069	0.454	2272
			18	41.8	196	324	718	1018	0.486	2254
			21	44.4	212	350	734	936	0.524	2231
210	254	56.6	5	45.6	168	298	824	1022	0.442	2292
			8	42.5	171	303	770	1046	0.454	2290
			10	41.7	174	307	745	1062	0.460	2288
			12	40.8	177	312	725	1071	0.468	2284
			15	39.6	182	321	696	1080	0.481	2278
			18	40.8	194	342	685	1030	0.512	2261
			21	43.2	209	369	711	951	0.552	2236
225	271	53.2	5	44.9	162	316	807	1005	0.472	2295
			8	42.1	170	320	751	1054	0.480	2295
			10	40.8	172	325	725	1070	0.487	2292
			12	39.9	175	330	704	1079	0.495	2289
			15	38.7	180	335	674	1085	0.505	2281
			18	39.7	191	361	672	1041	0.541	2267
			21	42.0	205	385	687	955	0.582	2242

##### 4.2 현장배합설계

###### 1) 설계조건 설정

표준배합 설계조건에다 현장에 입하되는 골재의 품질조건과 콘크리트시공조건을 반영하여 현장배합 설계조건을 설정해야 한다.

현장에 입하되는 골재의 품질관리 항목은 過大·過少粒度와 表面水로써 양호하게 관리되는 레미콘공장의 평균치로 굵은골재 과소입도 0.5%, 표면수 0.5%, 잔골재 과대입도 1%, 표면수 3%를 적용하기로 한다.

또한, 양호한 시공현장의 조건으로는 분·가를 계절에 레미콘 운반 및 타설시까지 30분정도 소요되는 통상적인 콘크리트로 가장한 현장배합설계조건은 다음과 같다.

현장배합설계조건 (본 배합)

- 1) 설계기준강도 (kg/cm<sup>2</sup>) : 실험배합시도 : 150, 160, 180, 195, 210, 225, 245, 255, 270, 300, 350, 400
- 2) 치수 Slump (cm) : 다음과 같음이다. : 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45
- 3) 단위수량 : 1 : DPC (단위수량) : 330 kg/m<sup>3</sup>
- 4) 단위수량 : 2 : DPC (단위수량) : 330 kg/m<sup>3</sup>
- 5) 단위수량 : 3 : DPC (단위수량) : 330 kg/m<sup>3</sup>
- 6) 단위수량 : 4 : DPC (단위수량) : 330 kg/m<sup>3</sup>
- 7) 단위수량 : 5 : DPC (단위수량) : 330 kg/m<sup>3</sup>
- 8) 단위수량 : 6 : DPC (단위수량) : 330 kg/m<sup>3</sup>
- 9) 단위수량 : 7 : DPC (단위수량) : 330 kg/m<sup>3</sup>
- 10) 단위수량 : 8 : DPC (단위수량) : 330 kg/m<sup>3</sup>
- 11) 단위수량 : 9 : DPC (단위수량) : 330 kg/m<sup>3</sup>

다용도표 : ENTER, 초기화면 (복수) : ESC

2) 현장배합표 출력결과 (일부)

1) 1項의 조건으로 현장배합설계를 시행한 결과는 다음과 같다.

표준 배합 번호	W/C	SLUMP	S/A	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )						단위수량 총합	산출식
				물	시멘트	모리	자갈	혼회재	kg/m <sup>3</sup>		
150 181 76.5	5	41.5	137	219	807	1127	0.328	2285	26781		
	8	42.4	152	237	820	1055	0.356	2264	27158		
	10	42.7	156	242	795	1061	0.364	2258	27287		
	12	42.6	162	250	788	1051	0.374	2251	27446		
	15	43.0	172	262	781	1023	0.385	2237	27713		
	18	45.3	186	280	755	951	0.421	2216	28088		
	21	47.5	199	298	812	885	0.448	2196	28453		
160 194 72.2	5	43.4	125	228	805	1125	0.342	2290	27188		
	8	43.1	149	247	815	1051	0.370	2270	27596		
	10	42.3	153	252	792	1058	0.379	2255	27739		
	12	42.1	159	260	780	1058	0.390	2257	27916		
	15	43.5	169	275	771	1031	0.405	2242	28208		
	18	44.8	183	292	785	960	0.438	2223	28614		
	21	46.9	191	311	801	895	0.466	2204	29012		
180 218 65.1	5	40.6	131	247	786	1157	0.370	2300	28004		
	8	41.1	144	267	785	1077	0.400	2281	28475		
	10	41.1	149	272	765	1084	0.410	2276	28541		
	12	41.0	153	281	757	1075	0.420	2265	28655		
	15	41.3	165	295	747	1045	0.445	2255	29197		
	18	43.5	178	316	753	978	0.474	2236	29657		
	21	45.8	181	334	775	914	0.505	2217	30125		
195 236 50.5	5	39.8	128	251	767	1156	0.380	2307	28528		
	8	41.2	140	255	770	1090	0.424	2285	29142		
	10	40.5	147	259	749	1097	0.434	2280	29238		
	12	40.1	152	298	736	1088	0.448	2275	29570		
	15	40.4	163	312	724	1061	0.470	2259	29545		
	18	42.8	174	325	742	991	0.503	2244	30464		
	21	44.5	185	356	754	927	0.534	2226	30969		
210 254 55.8	5	38.8	128	276	745	1162	0.415	2312	29260		
	8	40.3	141	299	752	1103	0.448	2294	29520		
	10	39.3	146	306	727	1109	0.460	2289	30038		
	12	39.1	152	316	714	1100	0.474	2281	30295		
	15	39.4	161	322	704	1072	0.485	2269	30709		
	18	41.5	174	355	720	1002	0.532	2251	31268		
	21	43.8	187	377	732	937	0.565	2233	31818		
225 272 51.2	5	37.8	128	282	721	1175	0.435	2316	29909		
	8	39.3	140	316	726	1116	0.473	2299	30510		
	10	38.4	146	324	704	1120	0.485	2294	30751		
	12	38.1	151	334	691	1110	0.501	2286	31032		
	15	38.4	161	351	681	1081	0.527	2274	31482		
	18	40.4	173	376	695	1011	0.562	2257	32083		
	21	42.8	186	395	710	946	0.597	2239	32675		

5. 결론

5.1 슬래그시멘트와 보통시멘트간의 콘크리트 物性差異

■ 압축강도 발현특성

봄·秋 여름, 겨울철은난기에는 28일재령의 강도특성이 슬래그함유량에 의해서 큰 영향을 받지 않지만 5℃ 이하의 寒氣에는 슬래그 함유량이 많으면 강도발현이 60~80%수준으로 배합 및 양생에 주의를 기울여야 한다.

특히, 7일이내의 초기강도는 슬래그함유량 및 계절적인 영향을 더욱 크게 받아 강도발현이 50~70% 수준으로 초기강도를 필요로하는 현장에서는 사전에 충분한 사용성 검토가 필요하다.

■ 단위수량

슬래그 분말이 비교적 高粉末이기 때문에 슬래그 첨가량이 증가할수록 슬래그 혼합시멘트의 Blaine이 증가하나 슬래그를 치환함으로써 작업성이 향상되는 것과 상쇄되어 단위수량 변화는 보통시멘트와 유사하였다. 그러나, 시공온도별 Slump차이는 매우 커서 동일한 Slump를 얻기 위한 단위수량 보정이 필요하였다.

■ 응결특성

슬래그 분말 함유량에 의한 응결지연 현상이 일어났지만 춘·추절기 및 하절기에는 그 영향이 크지 않았다. 그러나, 동절기에는 슬래그 함유량이 증가할수록 응결지연 현상이 심하게 일어나고 특히 5℃ 이하의 혹한기에는 슬래그 함량이 30~40%일 때 무침가에 비해서 10시간이상 응결지연이 일어나므로 시공상 주의를 요한다.

■ 물시멘트비(W/C) 산출식

슬래그시멘트에 대한 물시멘트비 산출식은 W/C(%) = 48/(F/K+0.08)로 도출되었다.

5.2 SMPD를 이용하여 슬래그시멘트에 대한 콘크리트 배합설계 실시

5.1項의 결과를 SMPD에 반영하여서 슬래그시멘트에 대한 표준배합설계와 현장배합설계(案)를 제시하였으며 SMPD의 특징은 현장의 다양한 자료가 feedback될 수 있으므로 경제적이고 합리적인 배합설계가 가능하다.

참고 문헌

1. 김진춘: 동해·영월시멘트의 콘크리트 배합설계 연구(I), (II), 淸州연구보고서, 1989-1990
2. F. O. Lydon: Concrete Mix Design, 2nd Ed., Applied Science Publishers, 1982