

# 경제성을 고려한 80MPa급 초고강도 콘크리트의 결합재 조합에 대한 검토 A Study on Economically-Efficient Binder Combination of 80MPa Ultra High Strength Concrete

박천진<sup>1\*</sup> · 고경택<sup>2</sup> · 류금성<sup>2</sup> · 안기홍<sup>2</sup> · 안상구<sup>3</sup>  
Chun-Jin Park<sup>1\*</sup> · Kyung-Teak Koh<sup>2</sup> · Gum-Sung Ryu<sup>2</sup> · Gi-Hong Ahn<sup>2</sup> · Sang-Ku Ahn<sup>3</sup>

(Received March 13, 2015 / Revised March 24, 2015 / Accepted March 25, 2015)

Silica fume is generally adopted as admixture for Ultra High Strength Concrete (UHSC) owing to its remarkable contribution to the strength and durability but increases significantly the fabrication cost of UHSC. Accordingly, this study investigates the replacement of silica fume by blast furnace slag (BS) and fly ash (FA) in order to lower the fabrication cost of 80MPa-UHSC. To that goal, experiment is conducted on the mix proportions of mortar in terms of its binder combination, water-to-binder ratio (W/B) and unit binder content. Based on the experimental data, a mix design of concrete is derived and its properties are verified. The results reveal that a W/B of 21% and unit binder content of 720kg/m<sup>3</sup> are appropriate to achieve 80MPa-UHSC using a binder composed of 60% of OPC, 30% of BS and 10% of FA. The properties of the corresponding UHSC are seen to be satisfactory with a slump flow of 715mm and compressive strength of 97MPa at 28days. The application of the binder combination derived in this study is analyzed to reduce the cost by 50% of binder compared to the mix using silica fume while realizing equivalent performance.

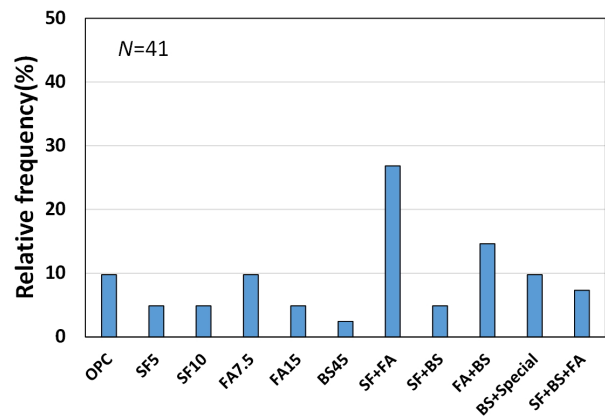
**키워드** : 고로슬래그 미분말, 플라이 애쉬, 초고강도 콘크리트, 결합재 조합

**Keywords** : Blast furnace slag, Fly ash, Ultra high strength concrete, Binder combination

## 1. 서론

최근 건설 구조물이 고성능화, 장수명화 됨에 따라 초고강도 콘크리트의 사용이 꾸준히 증가하고 있는 추세이다. 초고강도 콘크리트의 요구 성능을 만족시키기 위해 필연적으로 물-결합재비를 작게 하고, 단위 결합재와 화학 혼화제를 대량으로 사용해야 한다. 이로 인해 수화열 및 자기수축 등이 크게 증가하는 성능 측면에서의 문제와 제조비용 상승으로 건설현장에서 적용하는 것을 꺼리고 있는 실정이다(Koh et al. 2004).

Fig. 1은 국내의 80MPa급 초고강도 콘크리트의 제조 시 결합재 종류와 조합비를 분석한 결과이다(Koh et al. 2014). 이 때 조사된 배합은 41건이다. 사용된 결합재 종류로서 보통 포틀랜드 시멘트



Ex) SF5: Silica fume 5%  
FA7.5: Fly ash 7.5%  
BS45: Blast furnace slag 45%

Fig. 1. Relative frequency with mineral admixture

\* Corresponding author E-mail: cjpark@kict.re.kr

<sup>1</sup>청주대학교 건축공학과, 한국건설기술연구원 구조융합연구소 (Department of Architectural Engineering, Cheongju University, Chungbuk, 360-764, Korea, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Kyonggi-do, 411-712, Korea)

<sup>2</sup>한국건설기술연구원 구조융합연구소(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Kyonggi-do, 411-712, Korea)

<sup>3</sup>포스코건설 (Posco E&C, Incheon, 406-840, Korea)

(이하 OPC)만을 사용한 배합이 약 10%로 조사되었고(Kim et al, 2013; Kim et al, 2009; Lee et al, 2007) 나머지 90% 가량은 OPC 이외에 고로슬래그 미분말(이하 BS)(Park et al, 2010), 플라이 애쉬(이하 FA)(Lee et al, 2012; Lim 2005) 및 실리카 폼(이하 SF)(Lee et al, 2014; Yang et al, 2011; Kim et al, 2010; Lee et al, 2009; Yang et al, 2009; Kwon et al, 2006)을 사용한 2성분계 배합이 27%, 3성분계 배합이 56% 정도로 조사되었다(Oh et al, 2014; Choi et al, 2014; Yoo et al, 2013; Choi et al, 2013; Lee et al, 2012; Yoon et al, 2012; Keum et al, 2012; Lee et al, 2012; Choi et al, 2011; Moon et al, 2011). 특히 SF를 사용한 배합이 전체의 약 69%로 SF의 사용이 상당히 많은 것으로 나타났다. SF는 분말도 200,000cm<sup>2</sup>/g 정도의 초미립자 물질로서 콘크리트 내부의 미세 공극을 채워줌과 동시에 포졸란 반응을 하여 콘크리트의 강도 증진에 효과가 있다. 그러나 국내에서 유통되는 SF는 95% 이상이 수입에 의존하고 있으며 이에 따라 BS 및 FA 등의 광물질 혼화재에 비하여 재료단가가 상당히 높게 형성되어있고, 이는 초고강도 콘크리트의 제조단가 상승 요인으로 작용하고 있다.

한편 국내 화력발전소에서 FA를 포함한 석탄회(coal ash)의 양은 연간 900만 톤 이상 배출하고 있다. 그리고 제철소에서 발생하는 고로슬래그는 연간 1,100만 톤 이상으로 알려져 있다(Korean Recycled Construction Resource Institute 2014). 이런 산업부산물들은 혼합시멘트 및 콘크리트의 혼화재로 많이 사용하고 있다. 또한 고강도 콘크리트 등 고성능 콘크리트에도 FA 및 BS의 산업부산물들은 혼화재로 유효한 재료로 알려져 있다.

따라서 본 연구에서는 80MPa급 초고강도 콘크리트의 제조원가를 낮추기 위하여 SF 대신에 BS와 FA의 사용에 대해 검토하였

다. 실험은 모르타르 배합으로 결합재 조합, 물-결합재비 및 단위 결합재량에 대해 검토하였고, 그 결과를 토대로 콘크리트 배합설계를 통하여 물성에 대하여 검증하였다.

## 2. 실험개요

본 연구에서는 80MPa급 초고강도 콘크리트의 결합재 조합을 보다 다양하게 검토하고자 하였다. 이에 따라 모르타르 배합 수준에서 10개의 결합재 조합에 대하여 압축강도 및 경제성을 검토한 후 성능과 경제성을 고려하여 결합재 조합을 도출하고, 이를 W/B와 단위 결합재량에 따라 유동성과 강도발현을 검토하였다. 최종적으로 도출된 결합재 조합, W/B 및 단위 결합재량을 반영한 콘크리트 배합을 통하여 시공성과 강도발현에 대하여 검증하였다.

### 2.1 사용재료 및 배합

Table 1은 본 연구에서 사용한 모르타르 배합을 나타낸 것이다. 모르타르 배합은 KS L 5105에 의거하였으며 W/B를 48.5%로 고정하고 결합재와 표준사의 비율은 1:2.45의 비율로 배합설계 하였다.

기준 결합재는 Fig. 1에 나타난 80MPa급 콘크리트의 결합재 중에서 사용 빈도가 가장 많은 OPC, FA, SF로 구성된 3성분계이고, 그 구성비는 OPC:FA:SF=8.4:0.8:0.8이다. SF를 사용한 80MPa급 콘크리트 대비 제조비용을 절감하기 위해 본 연구에서는 결합재를 OPC에 BS와 FA를 일정 비율 치환하였고, 총 결합재량에서 OPC를 제외한 혼화재의 비율을 50%, 40%, 30%의 3가지로 실험 계획하였다.

Table 2는 W/B 및 단위 결합재량에 따른 모르타르 배합을 나타

Table 1. Mixture proportions ratio of mortar according to ratio of binder

Item	W/B (%)	Ratio of binder				Sand
		OPC	BS	FA	SF	
O8.4F0.8S0.8	48.5	8.4	-	0.8	0.8	24.5
O5B4F1*		5	4	1	-	
O5B3.5F1.5			35	15	-	
O5B3F2			3	2	-	
O6B4F0			6	4	0	
O6B3F1		3		1	-	
O6B2F2		2		2	-	
O7B3F0		7		3	0	
O7B2F1			2	1	-	
O7B1F2			1	2	-	

\*O5B4F1: OPC:BS:FA=5:4:1

Table 2. Mixture proportions of mortar with W/B and binder content

Item	W/B (%)	weight (kg)			SP/B (%)
		W	B	S	
21-60*	21	126	600	855.6	1.1
21-66		138.8	660	769.6	1
21-72		151.2	720	683.6	0.9
24-60	24	144	600	808.8	1
24-66		158.4	660	718.0	0.9
24-72		172.8	720	627.2	0.8
27-60	27	162	600	762.0	0.55
27-66		178.4	660	666.4	0.5
27-72		194.4	720	571.2	0.5
30-60	30	180	600	715.2	0.4
30-66		198	660	615.2	0.4
30-72		216	720	515.2	0.35

\*21-60: W/B 21%, Unit binder content 600 kg

Table 3. Mixture proportions of concrete

W/B (%)	W (kg)	S/a (%)	SP/B (%)	Mixture (kg/m <sup>3</sup> )					
				W	OPC	BS	FA	Sand	Agg
21	151	42	0.77	151	432	216	72	622	866

Table 4. Physical properties and chemical compositions of cementitious materials

Type	Item	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Surface area (cm <sup>2</sup> /g)	L.O.I*	Chemical composition (%)				
					SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO
OPC		3.15	3,512	3.3	23.5	5.22	3.1	64.8	3.5
BS		2.91	4,453	0.1	39.9	20.5	0.4	38.5	4.2
FA		2.20	3,345	3.8	51.7	24.0	7.4	5.4	1.6

OPC: Ordinary Portland Cement, FA: Fly Ash, BS: Blast Furnace Slag

\*L.O.I: Loss on Ignition

Table 5. Physical properties of aggregate

Item	Density (g/cm <sup>3</sup> )	F.M.	absorption (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	Passed 0.08 mm sieve (%)
Fine aggregate	2.58	2.21	0.46	1518	0.30
Coarse aggregate	2.62	6.48	0.58	1564	0.40

낸 것이다. W/B는 21%, 24%, 27%, 30%의 4 수준으로 계획하였고, 각 W/B에 대하여 결합재량을 600kg, 660kg, 720kg의 3수준으로 배합을 실시하였다. 각 배합은 결합재 및 W/B 수준에 따라 페이스 트의 용적이 변동하지만 전체 모르타르 용적을 동일하게 제작하기 위해 잔골재량을 조절하였고 플로우 실험 결과에 의하여 일정 수준 이상의 유동성을 확보하도록 고성능 감수제를 사용하여 각 배

합별로 배합설계 하였다.

Table 3은 본 연구에서 사용한 콘크리트의 배합을 나타낸 것이다. 배합사항으로서 모르타르 수준에서 도출된 결과를 참고하여 콘크리트 수준에서의 결합재 조합, W/B 및 단위 결합재량에 대한 타당성을 검토하고자 하였다.

사용재료로서 OPC, BS 및 FA의 물리·화학적 특성을 Table 4에 나타내었다. OPC는 국내 A사 제품을 사용하였고, BS는 전남 광양의 P사 제품을, FA는 보령화력의 S사 제품을 사용하였다.

콘크리트용 골재의 경우 굵은골재 및 잔골재는 경기 김포산을 사용하였으며 그 물리적 성질을 Table 5에 나타내었다. 고성능 감수제는 폴리칼본산계의 고성능 감수제(밀도 1.01g/cm<sup>3</sup>, 암갈색)를 사용하였다.

## 2.2 실험 방법

실험방법으로 모르타르의 경우 유동성은 KS L 5105에 의거하여 측정하였고, 플로우 180±40mm 범위를 만족하는 경우 시험체를 제작하였다. 압축강도는 50×50×50mm의 Куб릭 몰드를 이용하여 재령 1일, 3일, 7일, 28일에 측정하였다.

굳지 않은 콘크리트는 KS F 2594의 슬럼프 플로우 시험으로 유동성을 평가하였으며, 플로우의 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균값을 슬럼프 플로우 값으로 하였다.

경화 콘크리트의 압축거동 시험은 Ø100×200mm의 원주 공시체를 제작한 후 KS F 2405에 의거하여 계획된 재령에 따라 최대용량 2,000KN의 UTM을 사용하여 수행하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 결합재 조합에 따른 모르타르 특성

#### 3.1.1 압축강도

Fig. 2는 결합재 조합에 따른 모르타르의 압축강도를 나타낸 것이다. 먼저 기준 결합재 조합인 O8.4F0.8S0.8의 경우 재령 1일~7일 사이에 여타 배합에 비해 압축강도가 최대 46% 이상 높게 나타났다. 이는 O8.4F0.8S0.8 배합의 경우 SF의 사용으로 인하여 초기 결합재의 반응성이 우수하고 OPC의 사용량이 많아 재령 7일까지의 초기강도 발현이 양호한 것으로 판단된다. 재령 28일 이후에는 BS 및 FA의 사용량이 많은 배합이 O8.4F0.8S0.8에 비하여 동등 이상의 압축강도를 나타내었는데, 이는 광물질 혼화재의 사용으로 인한 장기강도 증진에 의한 것으로 분석된다.

Fig. 3은 O8.4F0.8S0.8 모르타르 대비 각 결합재 조합 변화에 따른 모르타르의 압축강도 발현율을 나타낸 것이다. 전반적으로 결합재 조합에서 차지하는 OPC의 비율에 따라 강도발현이 다르게 나타나는 경향이었는데, OPC 사용량 50%의 경우 재령 1일에서 7일까지의 강도 발현율이 O8.4F0.8S0.8 대비 50~56% 수준이고 OPC 사용량이 60%인 경우 59~68%, OPC 사용량이 70%인 경우 78~88% 수준으로 나타났다. 이는 양생온도와 배합조건이 동일한 경우 OPC 사용량이 많을수록 초기강도 발현율이 높은 것으로 분석된다. 재령 28일의 강도 발현율은 OPC 사용량과는 관계없이 FA를 20% 이상 치환한 O5B3F2, O6B2F2 및 O7B1F2 결합재 조합을 제외한 모든 배합에서 O8.4F0.8S0.8의 압축강도 이상의 강도 발현율을 나타내었다. FA를 20% 이상 치환하면 초기강도 발현이 상대적으로 늦어지고, O8.4F0.8S0.8에 비해 낮은 압축강도를 나타내서 FA의 치환율은 20% 이하로 결합재 조합을 도출하는 것이

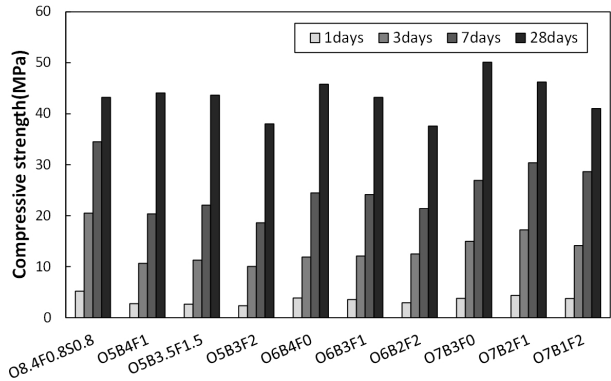


Fig. 2. Compressive strength with binder combination

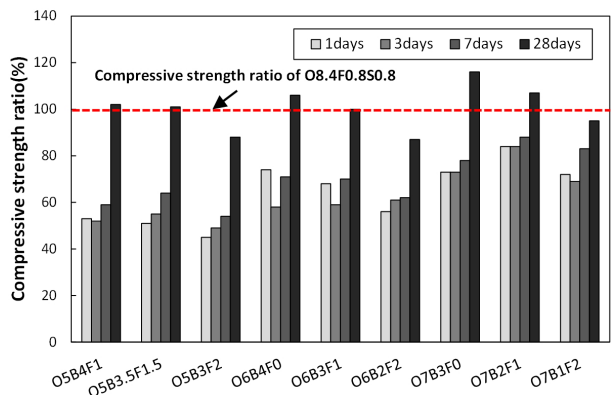


Fig. 3. Compressive strength ratio with binder combination

바람직하다고 판단된다.

#### 3.1.2 결합재 조합에 따른 경제성

Fig. 4는 결합재 조합 변화에 따른 재료단가를 산출하여 나타낸 것이다. 재료단가는 재료비를 기준으로 산정하였으며, 기타 가공비 및 운반비는 고려하지 않았다. 여기서 각 원재료 단가는 OPC 73,600원/ton, BS 48,000원/ton, FA 27,000원/ton, SF 736,000원/ton을 적용하였다. 기준 결합재인 O8.4F0.8S0.8의 재료비용은 1ton당 74,384원으로 나타났고, 본 시험에 적용한 결합재 중에 가장 높게 나타났다. 반면에 SF를 사용하지 않은 배합에 대해서는 전반적으로 O8.4F0.8S0.8에 비하여 약 48~54% 수준의 재료비용이 산정되었다.

앞에서 결합재 조합에 따른 강도발현과 제조원가를 분석한 결과, 기존의 80MPa급 초고강도 콘크리트 배합에서 많이 사용되는 O8.4F0.8S0.8에 비해 O6B3F1의 결합재 조합이 28일 압축강도 뿐 아니라, 경제성 및 재령 1~7일의 압축강도의 종합적인 측면에서 양호한 성능을 나타내었다.

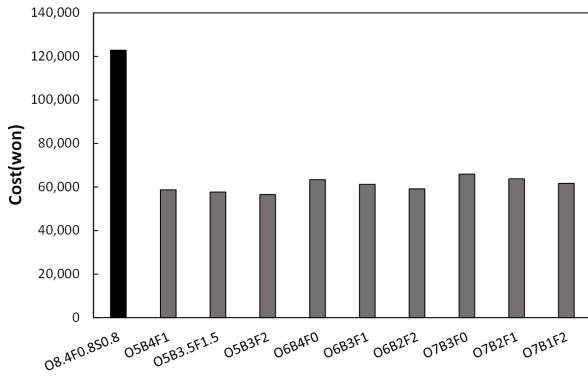


Fig. 4. Cost analysis according to binder combination

### 3.2 W/B 및 단위 결합재량에 따른 모르타르 특성

경제성을 고려한 80MPa급 콘크리트의 결합재 조합에 대해 검토한 결과 OPC 60%, BS 30%, FA 10%를 사용한 결합재의 조합이 강도성능 및 경제성 확보 측면에서 전반적으로 우수한 경향을 나타내었다. 따라서 상기 도출된 결합재를 사용하여 W/B 및 단위 결합재량의 변화가 유동성 및 압축강도에 미치는 영향을 분석하였다.

#### 3.2.1 유동성

Fig. 5는 W/B 및 단위 결합재량 변화에 따른 모르타르의 플로우값을 나타낸 결과이다. W/B가 24% 이상인 경우 혼화제 사용량이 1% 이하인 경우에도 200mm 이상의 모르타르 플로우가 안정적으로 나타나지만 W/B가 21% 이하인 경우 고성능 감수제 사용량이 증가함에도 단위 결합재량이 저하함에 따라 모르타르 플로우가 감소하는 경향을 나타내었다.

#### 3.2.2 압축강도 특성

Fig. 6은 W/B 및 단위 결합재량 변화에 따른 모르타르의 압축강

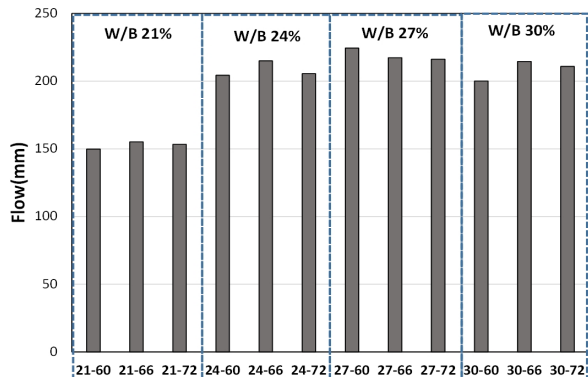
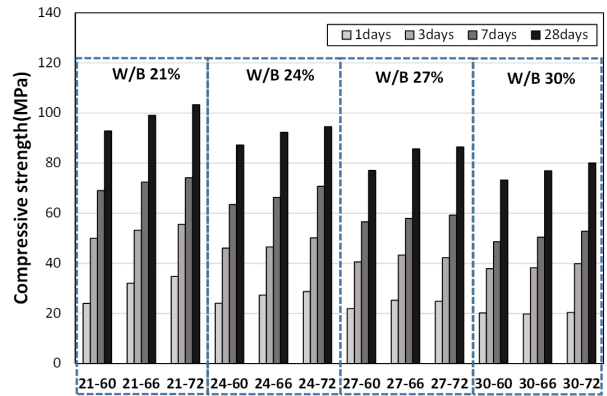
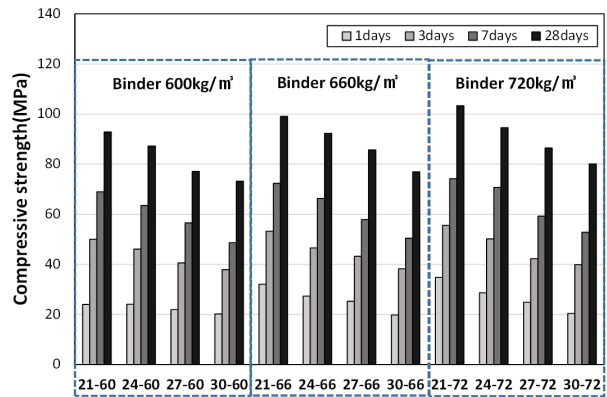


Fig. 5. Flow of mortar according to binder content and W/B



(a) Compressive strength with binder content



(b) Compressive strength with W/B

Fig. 6. Compressive strength of mortar according to binder content and W/B

도를 나타낸 것이다. 전반적으로 W/B가 감소할수록, 단위 결합재량이 증가할수록 압축강도는 증가하는 경향을 나타내었다. 특히 W/B 21%의 경우 단위 결합재량에 관계없이 28일 압축강도가 90MPa 이상으로 높게 나타났으며, 특히 단위 결합재량이 720kg일 때 103.3MPa로 가장 높았다. W/B 30%에서 단위 결합재량이 600kg인 경우 28일 압축강도가 73MPa로 가장 낮게 나타났다.

Fig. 7은 단위 결합재량별 B/W와 28일 압축강도의 상관관계를 나타낸 것이다. 전반적으로 B/W 및 단위 결합재량이 증가할수록 28일 압축강도는 증가하는 것으로 나타났다. W/B와 단위 결합재량이 모르타르의 강도에 미치는 영향을 정량적으로 분석하기 위하여 각 단위 결합재량별 모르타르의 28일 압축강도를 B/W에 대하여 식 (1)과 같은 1차 함수로 회귀분석하였고, 강도발현에 관한 계수(a, B)를 산출하였다.

$$f_{ct} = a(B/W) + B \tag{1}$$

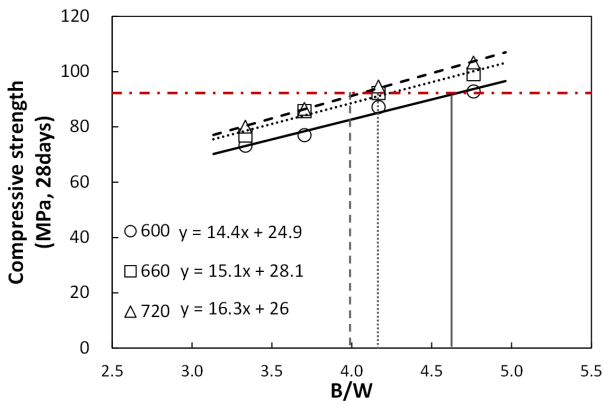


Fig. 7. Relationship between B/W and compressive strength at age 28days

Table 6. Coefficient of influence and W/B reaching 92MPa

Binder content (kg)	a	B	R <sup>2</sup>	W/B (%)
600	14.4	24.9	0.971	21.5
660	15.1	28.1	0.972	23.6
720	16.3	26.0	0.998	24.7

여기서,  $f_{ck}$ = 압축강도

$a$ = B/W에 대한 영향계수

$B$ =단위 결합재량에 대한 영향계수

Table 6은 단위 결합재량별 회귀분석 결과에 대한 영향계수 및 배합강도 92MPa에 도달할 수 있는 W/B를 나타낸 것이다. 본 연구에서의 80MPa는 설계기준강도를 의미하므로 배합강도는 15%의 안전율을 고려하여 92MPa를 목표로 하였고, 각 결합재별로 92MPa에 도달하기 위한 W/B를 산출하였다. 단위결합재량에 관계없이 모든 배합에서 상관계수 0.97이상으로 높은 상관성을 나타내었다. 단위 결합재량에 따른 재령 28일 압축강도의 영향계수를 비교해 보면, 영향계수  $a$ 값은 14.4~16.3으로 단위 결합재량이 증가함에 따라 증가하는 경향이었으나 그 차이는 미비한 수준이었다. 영향계수  $B$ 값은 단위 결합재량이 증가함에 따른 일정한 경향은 나타나지 않았다. 압축강도 92MPa를 도달하기 위한 W/B는 결합재량 600kg에서 21.5%, 660kg에서 23.6%, 720kg에서 24.7%로 산출되었다. 이와 같은 결과는 콘크리트 배합설계시 단위 결합재량과 W/B와의 관계에 대한 참고자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다. 단, 콘크리트 수준에서는 잔골재율, 굵은골재 최대치수 및 굵은골재 품질 등에 대한 영향이 콘크리트 품질에 미치는 영향이 상당히 크기 때문에 제반 사항을 충분히 고려하여 배합설계를 해야 할 것으로 사료된다.

### 3.3 80MPa급 초고강도 콘크리트의 특성

Table 7 및 Table 8은 80MPa급 초고강도 콘크리트의 굳지 않은 상태 및 경화상태의 실험 결과를 나타낸 것이다. 콘크리트의 배합은 모르타르 수준에서 검토한 결합재 조합(O6B3F1)을 사용하였고 W/B 및 단위결합재량은 모르타르 실험에서 압축강도가 가장 높게 나온 배합인 21%, 720kg/m<sup>3</sup>을 각각 적용하였다.

굳지 않은 콘크리트 특성으로 슬럼프 플로우는 715mm로 양호하게 나타났으나, 500mm 도달시간은 24.9초로 측정되어 콘크리트의 점성이 다소 과다하게 나타나는 것으로 분석되었다. 이는 BS의 사용으로 인한 점성 증가에 기인한 것으로, 특히 고성능 감수제 및 잔골재율 등의 영향을 고려하여 세부적인 배합 조절이 필요한 것으로 판단된다. 이외에 공기량 및 단위용적질량은 목표범위를 만족하는 것으로 나타났다.

경화 콘크리트의 압축강도 특성으로 초기 재령 3일에서 74.8MPa의 높은 강도를 발현하였고, 재령 28일에서는 96.9MPa의 강도를 발현하였다. 동일 조건에서 모르타르의 28일 압축강도와 비교하면 6.1MPa 정도 저하하였는데, 이는 모르타르 시험체와 콘크리트 시험체의 형상 및 크기 차이에 의한 것으로 판단된다.

Table 7. Test result of fresh concrete

	Slump flow (mm)	500 mm reached time (sec)	Air contents (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )
Target	700±50	<15	2.0±1.5	2,400±200
Result	715	24.9	1.5	2,522

Table 8. Test result of compressive strength

3days	7days	28days
74.8 MPa	87.5 MPa	96.9 MPa

## 4. 결론

본 연구에서는 80MPa급 초고강도 콘크리트의 제조원가를 낮추기 위하여 실리카 폼 대신에 고로슬래그 미분말과 플라이애시의 사용에 대해 검토하였다. 실험은 모르타르 배합으로 결합재 조합, 물-결합재비 및 단위 결합재량에 대해 검토하였고, 그 결과를 토대로 콘크리트 배합설계를 통하여 물성에 대하여 검증하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 결합재 조합에 따른 모르타르 배합에서 압축강도 및 경제성을 검토한 결과, 보통 포틀랜드 시멘트 60%, 고로슬래그 미분말

30%, 플라이애시 10% (O6B3F1)로 구성된 결합재는 기존 80MPa 급 초고강도 콘크리트에 많이 사용되는 보통 포틀랜드 시멘트, 실리카 폼, 플라이애시로 구성된 3성분계 결합재에 비해 재령 28일 압축강도는 우수하고 재료원가는 50% 정도 저감시킬 수 있으며, 재령 1~7일의 압축강도도 비교적 양호한 것으로 나타났다.

2. 결합재 O6B3F1를 사용하고, W/B 및 단위 결합재량 변화에 따른 모르타르의 배합에서, 유동성은 W/B 24% 이상에서 모든 배합이 양호하게 나타났고, W/B 21%, 단위 결합재량 720kg의 모르타르 배합에서 최대 103MPa를 나타내었다.
3. 단위 결합재량을 고려하여 B/W와 28일 압축강도의 관계를 분석한 결과, 안전율을 고려한 배합강도 92MPa를 만족할 수 있는 W/B는 단위 결합재량 600kg, 660kg, 720kg 별로 각각 21.5%, 23.6%, 24.7%로 산정되었다.
4. O6B3F1의 결합재 조합으로 W/B 21%, 단위 결합재량 720kg/m<sup>3</sup>을 적용한 콘크리트의 실험 결과, 슬럼프 플로는 715mm, 28일 압축강도는 약 97MPa로 본 연구의 결합재 조합, W/B 및 단위 결합재량이 적절한 것으로 분석되었다. 단, 고로슬래그 미분말을 사용함으로써 콘크리트의 점성이 증가하는 것으로 나타났다.

이상의 결과를 종합하면, 본 연구에서 도출한 산업부산물 결합재 조합을 사용하는 경우 실리카 폼을 사용한 결합재에 비하여 압축강도의 저하 없이 약 50%의 결합재 비용을 절감할 수 있는 것으로 판단되며, 향후 80MPa급 초고강도 콘크리트의 배합설계 시 참고자료로 활용이 가능할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 건설기술연구사업의 연구비지원(13건설연구A02)에 의해 수행되었습니다.

## References

- Choi, K.C., Kim, K.Y., Kim H.S., Yoon, M.H., Lee, J., Kim, M.H. (2014). A Study on the Degradation of Compressive Strength and Stiffness of Normal and High Strength Concrete with Heating, Proceeding of the Korea Concrete Institute, **26(1)**, 535-536.
- Choi, K.C., Yoon, M.H., Lee, T.K., Lee, S.H., Kim, K.Y. (2013). Evaluation of Properties of 80, 130, 180MPa High Strength Concrete at High Temperature with Heating and Loading, Journal of the Korea Concrete Institute, **25(6)**, 613-620.
- Choi, S., Kim, K.M., Song, Y.S., Kang, S.H., Song, Y.C., Kim, Y.R. (2011). Mock-up Test for Shrinkage Evaluation on Ultra High Performance Concrete Added Admixture for Reducing the Autogenous Shrinkage, Proceeding of the Korea Concrete Institute, **23(1)**, 505-506.
- Keum, K.H., Kang, C.W., Lee, W.J., Seo, S.H., Park, K.Y., Kim, K.Y. (2012). A Study on Practical Use of High Strength Concrete Using High Early-Strength Type Cement, Proceeding of the Korea Concrete Institute, **24(2)**, 461-462.
- Kim, C.Y., Jung, S.J., Kim, S.D., Lim, N.G., Kim, K.J., Son, I.S. (2012). Hydration Temperature Characteristics of Ultra-High Strength Concrete for Concrete Filled Steel Tube(CFT), Proceeding of the Korea Concrete Institute, **24(1)**, 155-156.
- Kim, S.D., Lee, B.S., Bae, K.S., Kim, S.Y., Park, S.H. (2009). Flowability and Strength Properties of 80MPa High Strength Concrete with Fiber, Proceeding of the Korea Concrete Institute, **21(2)**, 409-410.
- Koh, K.T., Park, J.J., Kim, S.W., Lee, J.H. (2004). A experimental study on the reduction of shrinkage of high performance concrete, Journal of KSCE **24(3)**, 501-508.
- Korean Recycled Construction Resource Institut. (2014). Technology for Present & Future of Recycled Construction Resource.
- Kwon, I.P., Kim, Y.R., Wee, D.S., Park, C.H., Joo, D.C., Kim, J.H. (2006). A Study on Ultra High Strength Concrete with the Domestic Materials, Proceeding of the Korea Concrete Institute, **18(2)**, 433-436.
- Lee, B.S., Kim, S.D., Jeon, M.D., Park, S.S., Park, S.H., Jeong, S.J. (2012). The Effect of Blast-furnace slag and Fly ash of 80MPa High Strength Concrete with Ternary Cement, Proceeding of the Korea Concrete Institute, **24(1)**, 343-344.
- Lee, J.H., Moon, H.J., Kim, J.J. (2012). An Experimental Study on Pumpability Characteristics of High Strength Concrete Mixed Polymix, Journal of the Korea Concrete Institute, **24(5)**, 509-516.
- Lee, J.H., Yang, J.M., Lee, S.H., Yoon, Y.S., (2007). Improved Transmission of UHSC Column Loads by Puddling of Fiber Reinforced UHSC, Journal of the Korea Concrete Institute

- 19(2)**, 209–216.
- Lee, S.Y., Song, J.J., Lee, Y.H. (2012). An Experimental Study on the Lap Splice Length of Steel Reinforcing Bars Applied to the Ultra High Strength Concrete, Proceeding of the Korea Concrete Institute, **24(2)**, 473–474.
- Lee, Y.W., Lim, K.Y., Choi, K.C., Lee, B.K., Miyauchi, H. (2014). Evaluation on Properties of Creep of Ultra High Strength Concrete Considering High Temperature, Proceeding of the Korea Concrete Institute, **26(1)**, 291–292.
- Lim, D.H. (2005). Mechanical Behavior of Plain and Steel Fiber Reinforced High Strength Concrete under Biaxial Compression, Journal of the Korea Concrete Institute, **17(5)**, 803–809.
- Moon, H.J., Kim, K.Y., Koo, K.M., Kim, H.S., Kim, Y.H., Lee, J.S. (2011). Modulus of Elasticity for Range from 80 to 100MPa in High-Strength Concrete, Proceeding of the Korea Concrete Institute, **23(1)**, 545–506.
- Oh, H.S., Kim, M.W., Lee, S.T., Oh, K.J., Kang, C. (2014). Compressive Strength Estimation of High-Strength Concrete by Ultrasonic Pulse Velocity Test, Proceeding of the Korea Concrete Institute, **26(1)**, 285–286.
- Park, J.J., Ahn, K.H., Ryu, G.S., Kang, S.T., Kim, S.W., Lee, J.H. (2010). The Experimental Study on the Durability of the 70, 100MPa Grade High Strength Concrete with the Land Sand, Proceeding of the Korea Concrete Institute, **22(1)**, 201–202.
- Yang, J.M., Shin, H.O., Min, K.H., Yoon, Y.S., (2011). Flexural Behavior of FRP Bar Reinforced HSC Beams with Different Types of Reinforcing Bar and Fiber, Journal of the Korea Concrete Institute, **23(3)**, 273–280.
- Yoo, W.H., Park, S.H., Lee, W.J., Jeong, Y.S. (2013). Study of the Applicability of Factory Product of 100MPa Class High Strength Concrete Using Type III Cement Base Binder, Proceeding of the Korea Concrete Institute, **25(2)**, 103–104.
- Yoon, J.H., Jeon, J.K., Jo, S.H., Han, H.S., Kim, J.B., Lee, D.G. (2012). Evaluation on the Properties of UHSC for Modular Bridge Connection, Proceeding of the Korea Concrete Institute, **24(1)**, 867–868.

### 경제성을 고려한 80MPa급 초고강도 콘크리트의 결합재 조합에 대한 검토

초고강도 콘크리트의 혼화재로는 일반적으로 실리카퐁(SF)을 사용한다. 실리카퐁은 강도, 내구성 측면에서 유리하나 제조원가를 상승시키는 원인이 된다. 따라서 본 연구에서는 80MPa급 초고강도 콘크리트의 제조원가를 낮추기 위하여 실리카퐁 대신에 고로슬래그(BS)와 플라이애시(FA)에 대해 검토하였다. 실험은 모르타르 배합으로 결합재 조합, 물-결합재비 및 단위결합재량에 대해 검토하였고, 그 결과를 토대로 콘크리트 배합설계를 통하여 물성에 대하여 검증하였다. 그 결과 압축강도 80MPa를 달성하기 위한 결합재는 OPC 60% BS 30%, FA10%로 구성하고, 물-결합재비는 21%, 단위 결합재량은 720kg/m<sup>3</sup>이 적절한 것으로 분석되었다. 상기 도출된 결합재 조합, W/B 및 단위 결합재량을 반영한 콘크리트 배합에서 슬럼프 플로우는 715mm, 28일 압축강도는 97MPa로 양호하게 나타났다. 본 연구에서 도출한 결합재 조합을 사용하는 경우 실리카퐁을 사용한 결합재에 비하여 동등한 성능을 발휘하면서 약 50%의 결합재 비용을 절감할 수 있는 것으로 분석되었다.