

## 플라이 애시와 부순모래를 사용한 고강도 콘크리트의 특성

### Properties of High Strength Concrete Using Fly Ash and Crushed Sand

이 봉 학\* · 김 동 호\*\* · 전 인 구\*\*\*

Lee, Bong Hak · Kim, Dong Ho · Jun, In Ku

#### Abstract

The amount used of aggregates for concrete is increasing rapidly since the mid-1980s in Korea. The natural gravels from river are already displaced with crushed stone, and use of crushed sand as a substitute of natural river sands, also, is getting increased day by day.

This paper is presented for analysis on mechanical properties of high strength concrete using fly ash and crushed sand. The material functions in mixing design of concretes are various water-cement ratios(w/c) such as 0.25, 0.40, 0.55 and different replacement ratio of crushed sand to natural sands such as 0%, 20%, 40%, 60%.

As a results, it has been shown that compressive strengths of concretes with W/C lower than 0.40 and 0.25 are higher than 400 kgf/cm<sup>2</sup> and 600 kgf/cm<sup>2</sup> respectively. It is also concluded that the results of rapid chloride permeability tests of concrete are evaluated to negligible. The conclusions of this study is that it is possible to use fly ash and crushed sand for high strength concrete.

*Keywords : Fly ash, Crushed sand, Water/cement ratio, Workability, High strength concrete*

#### I. 서 론

1980년대 중반 이후 국내의 건설 경기는 급속한

성장과 더불어 주택 200만호 건설, 영종도 신공항 건설, 고속철도 건설, 고속도로 확장 및 신설 등 대형 건설프로젝트가 지속적으로 추진되고 있다. 이러한 건설공사규모의 급속한 신장은 관련 산업분야에 막대한 영향을 미치고 있으며, 건설공사에 소요되는 골재의 수요량도 급격히 증가되어 콘크리트용 골재로서 주종을 이루던 하천자갈과 하천모래는 점차 고갈상태에 이르게 되었고 골재의 품질도 극히 악화되어 있는 실정이다. 이러한 현실적인 문제가

\* 강원대학교 공과대학

\*\* 강원대학교 대학원

\*\*\* 농업기반공사

\* Corresponding author. Tel.: +82-33-250-6234

fax: +82-33-250-6230

E-mail address: bonghak@kangwon.ac.kr

대두됨으로써 국내의 골재 생산업체에서는 1992년  
도부터 부순모래의 생산 및 활용가능성에 대한 검  
토를 시작하여 현재는 많은 생산업체가 생겨나게  
되었으며, 국내 잔골재 수급의 어려움을 극복하기  
위해서는 보다 근본적이고 장기적인 대책수립이 필  
요한 실정이다.<sup>5)</sup>

또한, 화력발전소에서 발생하는 산업폐기물인 플  
라이 애시는 주로 매립용으로 사용되어 왔으나, 최  
근에는 콘크리트의 품질개선 및 시멘트로 대체할  
수 있는 혼화재료로서 경제성 및 산업부산물의 재  
활용이라는 측면에서 그 활용방안이 적극 연구되고  
있다. 시멘트 및 콘크리트 분야 외에서도 플라이  
애시의 활용이 점차 증가되어 산업 전반에 걸쳐 그  
적용범위가 넓혀지고 있는 추세이다.<sup>4)</sup>

따라서, 본 연구에서는 부순모래의 혼합비 0,  
20, 40, 60%와 물/시멘트 비 0.25, 0.40, 0.55로  
하여 부순모래의 혼합비와 물/시멘트 비의 변화에  
따른 콘크리트의 역학적 특성을 분석하고, 적정 부  
순모래 혼합비에 대해서 물/시멘트 비 0.25 및  
0.40과 플라이 애시의 혼입량을 10, 20%를 실험  
변수로 하여 고강도 콘크리트를 제조하고 콘크리트  
의 역학적 특성과 내구특성을 분석하여 관련 산업  
분야에 활용할 수 있는 기초 자료로 제시하고자 하  
였다.

## II. 국내의 잔골재 현황

현재 국내에서 생산되는 하천모래는 골재 채취원  
이 고갈상태에 이르렀고 입도분포가 지방규격에 맞  
지 않는 등 품질이 극히 악화되어 있는 실정이다.  
또한, 바닷모래는 염분에 의한 구조적 문제가 단일  
입도가 많으며, 육지모래도 유기불순물등 유해물질  
을 포함하여 이로 인한 구조적 문제가 발생할 수  
있다. 그러나, 부순모래는 국내에 풍부한 매장량이  
있으며, 골재수급의 안정화를 이룰 수 있는 장점이  
있다.<sup>5)</sup> Table 1은 연도별 골재수요 전망을 나타낸  
것으로, 건설교통부의 1999~2003년 골재수급기

Table 1 The future prospect of aggregate in korea  
(unit : 1,000 m<sup>3</sup>)

Classification		1999	2000	2001	2002	2003
Fine aggregate	Total	91,112	100,571	110,136	113,983	116,623
	Residence	35,802	37,760	41,087	43,565	46,707
	Non- residence	18,503	21,145	27,589	31,715	32,715
	Civil	36,807	38,666	41,460	38,704	37,202

본계획에 의하면 2001년도 골재수요량은 모래가  
110,136천m<sup>3</sup>으로 전망되며, 2002년과 2003년까  
지 지속적으로 증가될 것으로 전망하고 있다.

## III. 실험

### 1. 실험재료

시멘트는 국내 S사 1종 보통포틀랜드 제품으로  
분말도가 3,200 cm<sup>2</sup>/g이었고, 비중은 3.12로 나타  
났다. 시멘트의 화학적 성분은 Table 2와 같다. 굵  
은골재는 춘천에서 생산되는 최대치수 20 mm인  
레미콘용 쇄석을 사용하였으며, 잔골재는 하천모래  
와 레미콘제조용 부순모래를 사용하였다. 골재의  
물리적 특성은 KS 규정에 의한 실험을 통하여  
Table 3에 그 결과를 나타내었다.

Table 2 Chemical and physical properties of cement

Cement type	Chemical composition (%)					
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>
OPC	20.8	6.3	3.2	61.2	3.3	2.3

Table 3 Physical properties of aggregates

Type		Max. size(mm)	Specific gravity	Absorption (%)	F.M
Fine agg.	River sand	<5	2.60	1.74	2.8
	Crushed sand	<5	2.59	0.73	3.1
Coarse agg.		19	2.62	1.1	6.9

Table 4 Test results of fly ash

Division		Test method	Composition (%)
Element analysis (Dry base Wt %)	C	ASTM D5373-93	62.16
	H	ASTM D5373-93	0.85
	O	ASTM D5373-93	1.56
	N	ASTM D5373-93	0.41
	S	ASTM D5373-93	0.47
	CaO	ASTM D5142-90	34.55

플라이 애시는 영동화력발전소에서 생산되는 것을 사용하였으며, 원소분석에 대한 시험 결과를 Table 4에 나타내었다.

고강도 콘크리트는 낮은 물/시멘트 비와 최소의 단위수량으로 콘크리트의 배합이 결정되므로 고성능감수제 및 유동화제의 사용이 필수 요건중의 하나이다.

따라서, 본 연구에서는 국내 D사에서 생산되는 고성능감수제를 콘크리트용 혼화제로 사용하였다.

## 2. 콘크리트의 배합

부순모래의 혼합비(0, 20, 40, 60%)과 물/시멘트 비(0.25, 0.40, 0.55)를 실험변수로 하여 부순모래 콘크리트의 역학적 특성을 파악하고자 하였다. Table 5는 이에 대한 배합표를 나타낸 것이다.

## 3. 시험체 제작

압축강도 시험편은 10×20 cm의 원주형 공시체를 사용하여 각 재령별 3개의 시험체를 제작하여 실험을 수행하였다. 조깅인장강도 시험체와 휨강도

Table 5 Mix proportions of concretes

Specimens	Max. agg. (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight(kgf/m <sup>3</sup> )						
						W	C	S	C.S	G	F/a	S.P
C0-25	20	20±1	2±1	25	35	160	640	543	-	1,020	-	12.96
C0-40	20	18±1	3±1	40	40	170	425	681	-	1,036	-	2.76
C0-55	20	15±1	4±1	55	45	180	327	790	-	978	-	0.39
C2-25	20	20±1	2±1	25	35	160	640	434	109	1,020	-	12.96
C2-40	20	18±1	3±1	40	40	170	425	545	136	1,036	-	2.76
C2-55	20	15±1	4±1	55	45	180	327	632	158	978	-	0.39
C4-25	20	20±1	2±1	25	35	160	640	326	217	1,020	-	12.96
C4-40	20	18±1	3±1	40	40	170	425	409	272	1,036	-	2.76
C4-55	20	15±1	4±1	55	45	180	327	474	316	978	-	0.39
C6-25	20	20±1	2±1	25	35	160	640	217	326	1,020	-	12.96
C6-40	20	18±1	3±1	40	40	170	425	272	409	1,036	-	2.76
C6-55	20	15±1	4±1	55	45	180	327	316	474	978	-	0.39
C6-F1-25	20	20±1	2±1	25	35	160	576	217	326	1,020	64	11.52
C6-F1-40	20	18±1	3±1	40	40	170	383	272	409	1,036	43	2.49
C6-F2-25	20	20±1	2±1	25	35	160	512	217	326	1,020	128	11.52
C6-F2-40	20	18±1	3±1	40	40	170	340	272	409	1,036	85	2.21

\* C0,C2,C4,C6: Crushed sand replacement(0, 20, 40, 60%) F1,F2: Flyash substitution(10, 20%)  
25,40,55: Water/cement ratios(0.25, 0.40, 0.55)

시험체는 10×20 cm의 원주형 공시체와 10×10×46 cm 공시체를 이용하여 각각 3개의 시험체를 제작하여 실험을 수행하였다. 또한, 내구특성을 파악하기 위한 투수시험은 염소이온 투과시험법에 의한 직경 10 cm, 두께 5 cm인 시험편을 사용하여 투수 실험을 실시하였다.

#### 4. 실험방법

압축강도 실험은 재령 7, 14, 28일에서 KS F 2405의 규정에 따라 시험을 수행하였으며, 쪼갬인장강도 및 휨강도 실험은 재령 28일에서 KS F 2423와 KS F 2408의 규정에 따라 시험을 수행하였다.

또한, 플라이 애시와 부순모래를 사용한 고강도 콘크리트의 내구특성을 파악하기 위해 ASTM C 1202에 의한 염화이온 투과시험방법에 따른 투수 시험을 실시하였다. 양생된 직경 10 cm의 콘크리트 공시체를 길이가 5 cm가 되도록 절단한 다음 실험을 수행하기 전에 진공장치(Vacuum saturation)를 이용하여 시험편 내부를 완전히 포화시켰다. 진공장치란 시험체 내부의 공기를 진공펌프를 이용하여 완전히 제거한 후 전해질 용액으로 포화시키는 장치를 말한다. 이 때 사용되는 전해질 용액으로는 전류의 흐름을 방해하지 않는 중류수를 사용하였다. Fig. 1은 진공장치를 나타낸 사진이다.

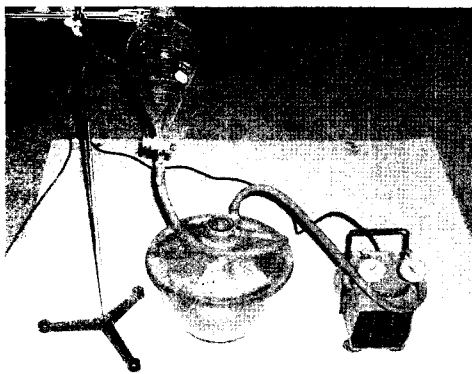


Fig. 1 Vacuum saturation apparatus

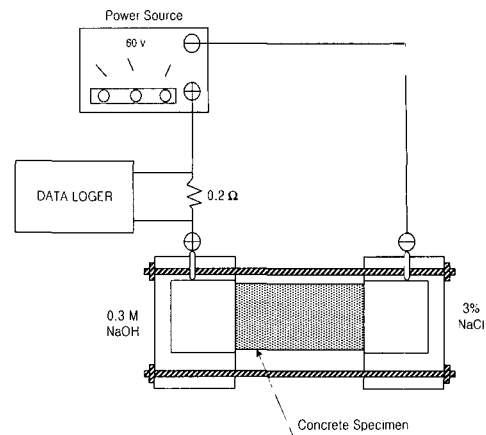


Fig. 2 Experimental arrangement of chloride ion permeability test

공시체는 양측에 위치한 전극용기에 고정시키고, 이들 용기에서 나온 전극을 단자로 하여 회로를 구성하였다. Fig. 2는 염화이온 투과실험 장치로 구성된 측정회로를 나타낸 것이며, 전원은 60±0.1 V의 안정적인 직류전압을 공급시켰다.

#### IV. 실험결과 및 고찰

##### 1. 부순모래 콘크리트의 역학적 특성

경화전 콘크리트의 특성으로 슬럼프는 19±2 cm 정도의 범위를 나타내어, 목표 슬럼프에 근접하게 나타났으며, 유동성 및 작업성이 양호하였다. 공기 함유량 측정결과는 물/시멘트 비가 낮을수록 공기 함유량이 작게 나타났으며, 대체로 3.0 이하의 범위로서 콘크리트 내부의 수밀성이 확보된 것으로 판단된다.

재령 7일, 14일, 28일에서의 압축강도와 28일에서의 인장강도 및 휨강도는 Table 6에 나타내었으며 재령 28일에서의 부순모래 혼합비 0%에 대한 압축강도발현 비율을 나타내었다.

물/시멘트 비가 0.25인 경우와 0.40의 경우 압축강도는 각각 602~629kgf/cm<sup>2</sup> 및 440kgf/cm<sup>2</sup>

Table 6 Strength of concrete with curing age(cseries)

Specimens	Slump (cm)	Air content (%)	Compressive strength(kgf/cm <sup>2</sup> )				Tensile strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Flexural strength (kgf/cm <sup>2</sup> )
			7 day	14 day	28 day	Comp. strength ratio(%)		
C0-25	21.0	1.3	475	541	629	100	46	140
C0-40	20.0	1.7	299	357	441	100	33	100
C0-55	16.5	2.3	220	281	321	100	33	81
C2-25	20.5	1.2	449	510	602	95.7	47	152
C2-40	18.0	1.9	277	302	388	88.0	37	124
C2-55	17.0	2.7	141	191	241	74.9	29	91
C4-25	18.5	1.5	479	523	613	97.5	48	164
C4-40	18.5	2.0	299	347	462	104.6	39	115
C4-55	16.0	2.5	131	187	238	74.1	32	98
C6-25	19.0	1.4	503	561	612	97.3	45	141
C6-40	17.0	2.1	333	377	469	106.3	40	98
C6-55	15.0	3.1	169	201	263	81.8	32	76

정도의 압축강도를 발현하여 고강도 콘크리트로서의 강도조건이 만족되는 것으로 나타났다. 그러나, 물/시멘트 비가 0.55의 배합에서는 부순모래를 사용하지 않은 배합에 비하여 작게 나타났다. 일반적으로 부순모래를 사용한 콘크리트의 성질은 표면이 거칠기 때문에 페이스트와 부착강도가 향상되어 압축강도의 증가를 가져오는 좋은 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 그러나, 부순모래를 하천모래의 대체재료인 혼합사로 사용하고 부순모래의 혼합비율이 60% 이내에서는 이러한 효과가 어느 정도 상쇄되는 것으로 판단되며, 물/시멘트 비가 낮을수록 동등한 강도를 발현되나 물/시멘트 비가 높아질수록 강도 증진 효과는 나타나지 않는 것으로 생각된다.

Fig. 3~Fig. 6은 부순모래의 혼합비에 따른 재령별 압축강도를 나타낸 것이다. 물/시멘트 비가 0.25의 경우 재령 7일 및 14일에서의 압축강도 발현은 부순모래 혼합비가 60%인 경우 가장 크게 나타났으나 재령 28일에서는 모두 600kgf/cm<sup>2</sup> 이상의 강도 발현을 나타내었다.

Fig. 7~Fig. 9는 물/시멘트 비에 따른 재령별 압축강도를 나타낸 것으로 물/시멘트 비가 0.25의

경우 재령 28일에 압축강도는 모두 600kgf/cm<sup>2</sup> 이상으로 나타났고, 물/시멘트 비가 0.40의 경우에서도 부순모래 혼합비 60%인 경우가 재령별 압축강도 발현이 가장 크게 나타났으며, 20%인 경우가 가장 낮은 강도발현을 보였다. 물/시멘트 비가 0.55인 경우는 부순모래 혼합비 0인 경우가 부순모래를 혼합한 배합에 비하여 현저히 높게 나타났으며, 부순모래 혼합비에 따라서는 그 차이가 미소한 것으로 나타났다. 부순모래를 혼합사로 사용한 경우 보통강도의 콘크리트는 단위수량 및 잔골재율의 영향에 따라 강도발현의 차이를 나타낸 것으로 판단된다.

따라서, 물/시멘트 비가 낮을수록 부순모래 혼합비에 대한 강도발현 차이가 미소한 것으로 나타나 고강도 콘크리트의 배합은 부순모래를 하천모래의 대체로서 60%를 사용하여도 양호할 것으로 나타났다.

인장강도는 물/시멘트 비가 0.25의 경우 45~48 kgf/cm<sup>2</sup> 범위를 나타내었으며, 이는 압축강도의 약 7~8%정도 수준인 것으로 나타났다. 물/시멘트 비에 따라서는 약 10kgf/cm<sup>2</sup> 전후의 차이를 나타냈

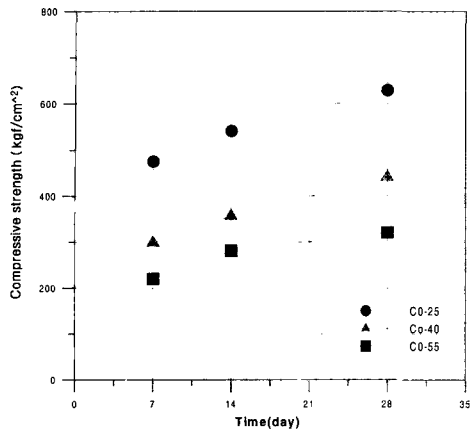


Fig. 3 Compressive strength of concrete by W/C ratios(C0)

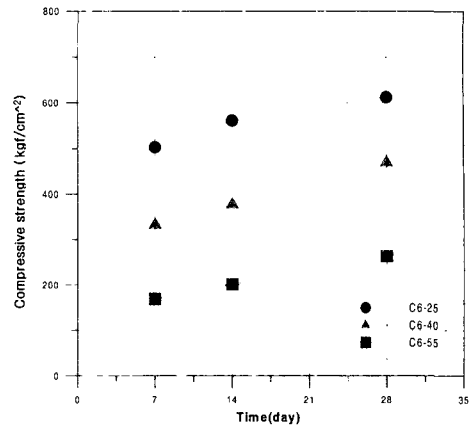


Fig. 6 Compressive strength of concrete by W/C ratios(C6)

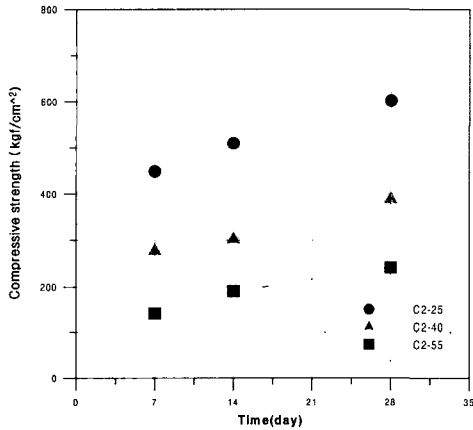


Fig. 4 Compressive strength of concrete by W/C ratios(C2)

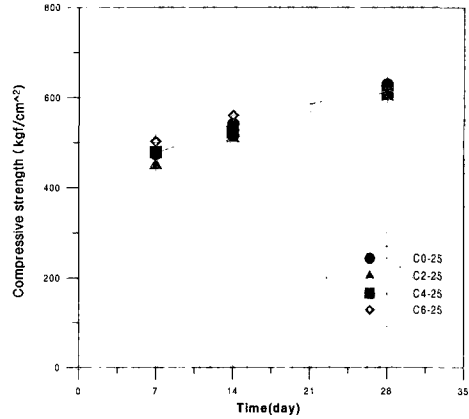


Fig. 7 Compressive strength of concrete by crushed sand replacement(W/C=0.25)

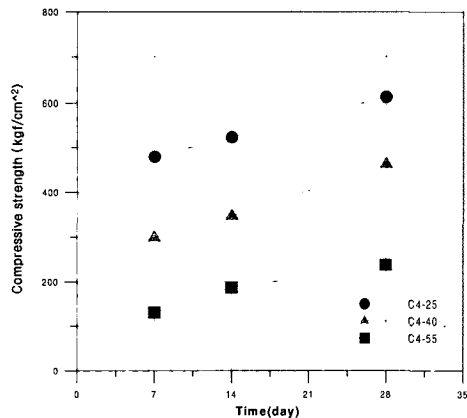


Fig. 5 Compressive strength of concrete by W/C ratios(C4)

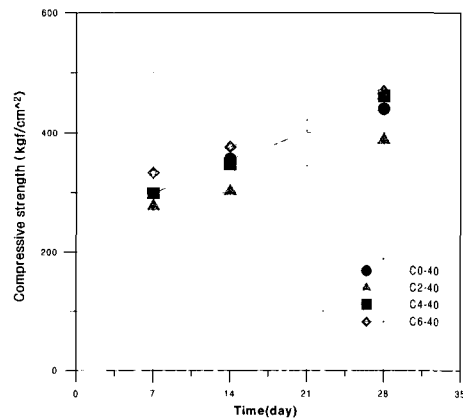


Fig. 8 Compressive strength of concrete by crushed sand replacement(W/C=0.40)

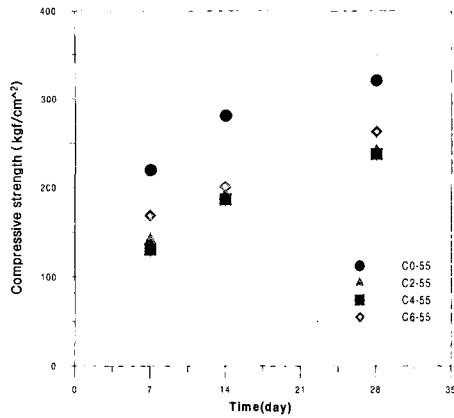


Fig. 9 Compressive strength of concrete by crushed sand replacement(W/C=0.55)

으며, 부순모래 혼합비에 따라서는 대체로 유사한 결과를 나타냈다. 인장강도는 압축강도의 9% 및 12% 정도를 나타내었으며, 휨강도 시험결과는 압축강도의 25% 정도의 발현을 나타내어 비교적 휨강도가 큰 것으로 나타났다. 부순모래 혼합비 40%의 경우 최고 164kgf/cm<sup>2</sup>까지 나타났으며, 물/시멘트 비가 0.40 및 0.55의 경우에서도 일반적으로 압축강도의 1/4 전후의 수준으로 비교적 높게 나타났다.

## 2. 플라이 애시를 사용한 고강도 콘크리트의 특성

부순모래 혼합비 60%를 사용하였을 때 혼합비에 따라 동등한 수준의 강도를 나타내어 부순모래의 혼합비를 60%로 고정하여, 물/시멘트 비 0.25

와 0.40에 대해 플라이 애시를 10%와 20%를 혼입한 고강도 부순모래 콘크리트를 제조하였다.

슬럼프 시험결과 물/시멘트 비가 0.25의 배합에서는 20~21 cm 정도의 범위로서 기본배합에서의 슬럼프와 유사하게 나타났으며, 물/시멘트 비가 0.40의 경우에서도 18~19 cm 범위로서 동등한 수준의 슬럼프를 보였다. 공기함유량 측정결과는 모든 배합에서 1.5±0.3 범위로서 기본배합의 공기량 보다는 약간 작게 나타났다.

재령 7, 14, 28일에서의 압축강도와 재령 28일에서의 쪼갬인장강도 및 휨강도 측정결과는 Table 7에 나타내었다. 또한, Fig. 10~Fig. 13은 플라이 애시 혼입률 및 물/시멘트 비에 따른 재령별 압축강도를 나타낸 것이다.

물/시멘트 비가 0.25의 경우 플라이 애시를

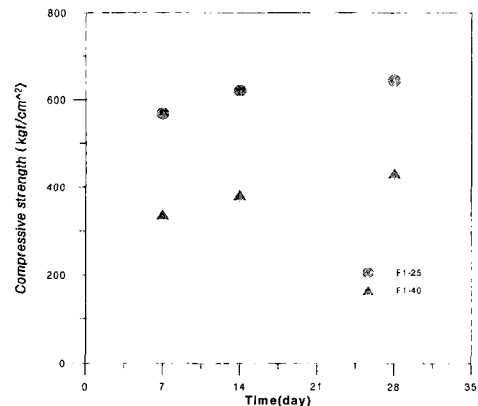


Fig. 10 Compressive strength of concrete by W/C ratios (F/a 10%)

Table 7 Strength of concrete with curing age (F series)

Specimens	Slump (cm)	Air content (%)	Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )				Tensile strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Flexural strength (kgf/cm <sup>2</sup> )
			7day	14day	28day	Comp. strength ratio (%)		
F1-25	20.5	1.4	568	621	644	100	41	113
F1-40	19.0	1.8	337	382	432	100	27	74
F2-25	21.0	1.1	521	586	624	96.9	32	91
F2-40	18.0	1.6	247	297	345	79.9	24	62

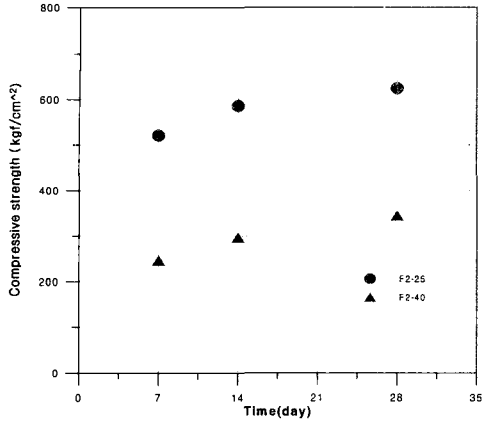


Fig. 11 Compressive strength of concrete by W/C ratios (F/a 20%)

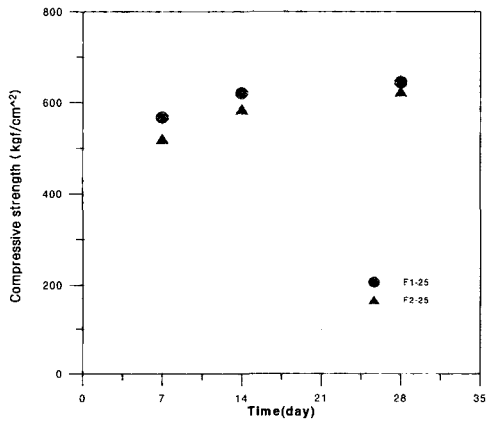


Fig. 12 Compressive strength of concrete by fly ash substitution (W/C=0.25)

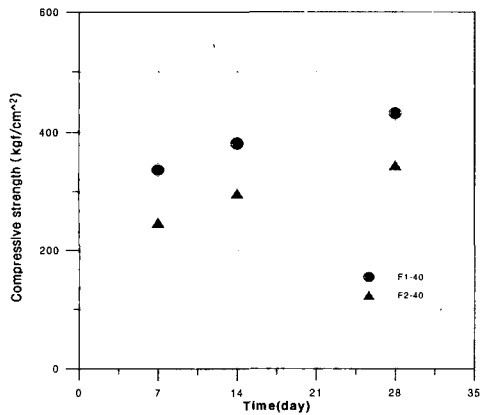


Fig. 13 Compressive strength of concrete by fly ash substitution (W/C=0.25)

10% 및 20% 혼입한 콘크리트가 재령에 따라 모두 강도발현이 높게 나타났으나, 물/시멘트 비가 0.40의 경우에는 10% 혼입한 콘크리트가 재령 7일과 14일에서 유사한 강도발현을 나타냈으나 28일에서는 낮게 나타났다. 플라이 애시를 20% 혼입한 경우에는 재령에 따라 강도발현이 낮게 나타났으며 재령 28일까지의 강도 증진 비율이 낮게 나타났다.

Fig. 14와 15는 재령 28일에서 측정된 인장강도와 휨강도의 결과를 나타낸 것이다. 인장강도는 압축강도의 5~7%의 수준으로 나타났으며, 물/시멘트 비가 0.25의 경우 플라이 애시를 사용한 콘크리트가 약 10% 작게 나타났고 플라이 애시 혼입률이 10%보다 20%에서 더욱 감소하는 것으로 나타났다. 물/시멘트 비가 0.40의 경우에서도 유사한 경향을 나타냈는데 플라이 애시의 혼입은 장기재령에 유리하지만 재령 28일까지는 작은 것으로 나타

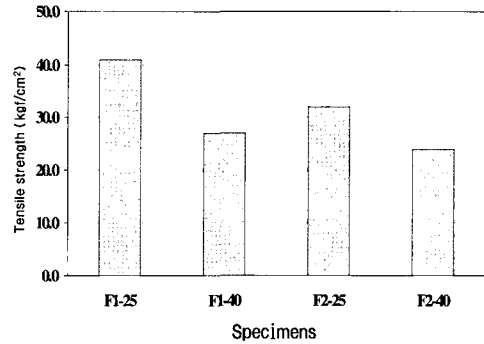


Fig. 14 Test results of splitting tensile strength

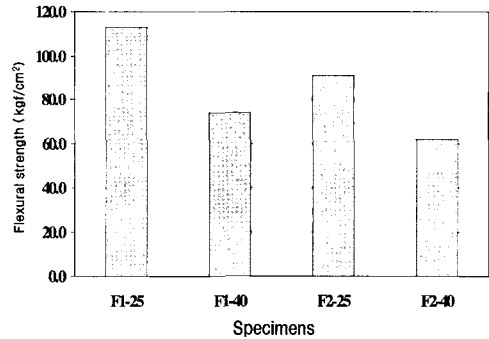


Fig. 15 Test results of flexural strength



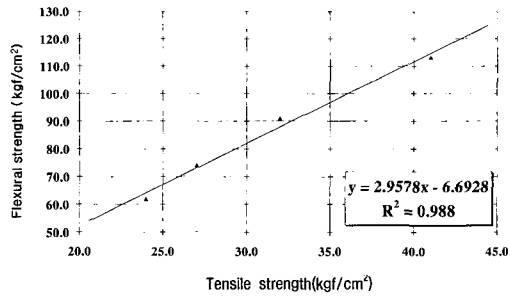


Fig. 16 Relationship between splitting tensile strength and flexural strength

났다. 휨강도 시험결과는 압축강도의 15~18% 정도의 발현을 나타내었으며, 물/시멘트 비와 플라이 애시 혼입률에 따라 감소되었다. Fig. 16은 인장강도와 휨강도와의 관계를 회귀분석하여 나타낸 것이다. 회귀분석결과  $y = 2.9578x - 6.6928$ 로 나타났으며, 상관성은 0.988로 높게 나타났다.

### 3. 염소이온 투과법에 의한 투수특성

투수시험은 6시간동안 30분마다 0.2Ω에 걸리는

전압을 데이터 로거로 측정하며, 측정된 전압을 전류로 환산하여 회로를 통과한 총 전하량을 계산하였다. 계산결과는 Table 8에 나타내었으며, 측정된 총 전하량은 ASTM에서 규정하는 100이하의 수치로 나타나 콘크리트의 투수성은 무시할 수 있을 정도의 결과를 나타내었다.

물/시멘트 비가 0.25인 경우 플라이 애시 혼입률 0%, 10%, 20%를 사용한 C0-25, F1-25 및 F2-25의 배합에서 전하량이 모두 0으로 나타났다. 이러한 결과는 물/시멘트 비가 낮은 고강도 콘크리트의 경우 공기량이 작고 내부조직이 치밀해진 결과로 판단되며, 산업폐기물인 플라이 애시를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우가 동일한 결과를 나타냄으로서 산업폐기물의 재활용 측면에서 적절히 사용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

또한, 물/시멘트 비가 0.40이고 플라이 애시 혼입률이 10%와 20%의 경우도 통과전하량은 각각 4와 1로 매우작은 수치를 나타내 물/시멘트 비 0.25의 경우와 마찬가지로 불투수성의 결과를 나타내었다.

Table 8 Test results of chloride ion permeability test

Time (min)	F1-25		F1-40		F2-25		F2-40		C0-25	
	mV	I(A)	mV	I(A)	mV	I(A)	mV	I(A)	mV	I(A)
0	0	0	0.041	$20.5 \times 10^{-5}$	0	0	0.01	$5 \times 10^{-5}$	0	0
30	0	0	0.041	$20.5 \times 10^{-5}$	0	0	0.01	$5 \times 10^{-5}$	0	0
60	0	0	0.041	$20.5 \times 10^{-5}$	0	0	0.01	$5 \times 10^{-5}$	0	0
90	0	0	0.041	$20.5 \times 10^{-5}$	0	0	0.01	$5 \times 10^{-5}$	0	0
120	0	0	0.041	$20.5 \times 10^{-5}$	0	0	0.01	$5 \times 10^{-5}$	0	0
150	0	0	0.041	$20.5 \times 10^{-5}$	0	0	0.01	$5 \times 10^{-5}$	0	0
180	0	0	0.041	$20.5 \times 10^{-5}$	0	0	0.01	$5 \times 10^{-5}$	0	0
210	0	0	0.041	$20.5 \times 10^{-5}$	0	0	0.01	$5 \times 10^{-5}$	0	0
240	0	0	0.041	$20.5 \times 10^{-5}$	0	0	0.01	$5 \times 10^{-5}$	0	0
270	0	0	0.041	$20.5 \times 10^{-5}$	0	0	0.01	$5 \times 10^{-5}$	0	0
300	0	0	0.041	$20.5 \times 10^{-5}$	0	0	0.01	$5 \times 10^{-5}$	0	0
330	0	0	0.041	$20.5 \times 10^{-5}$	0	0	0.01	$5 \times 10^{-5}$	0	0
360	0	0	0.041	$20.5 \times 10^{-5}$	0	0	0.01	$5 \times 10^{-5}$	0	0
Q	0		4		0		1		0	

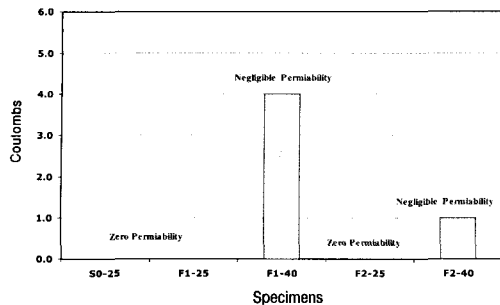


Fig. 17 Permeability of high strength concrete using fly ash and crushed sand

Fig. 17은 각 시험체의 통과전하량을 그림으로 나타낸 것이다.

### V. 결 론

플라이 애시와 부순모래를 사용한 슬럼프 15~20 cm, 공기량  $1.5 \pm 0.3\%$ 인 고강도 콘크리트의 특성에 관한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 부순모래 혼합비 60%의 경우 물/시멘트 비 40%와 25%에서 재령 28일의 압축강도는 각각  $469 \text{ kgf/cm}^2$ 와  $612 \text{ kgf/cm}^2$ 로 나타났다. 또한, 플라이 애시를 10% 사용한 경우에서도 슬럼프가 20 cm 이상 확보되고 압축강도가 각각  $644 \text{ kgf/cm}^2$ 와  $432 \text{ kgf/cm}^2$ 로 나타나 고강도 품질이 요구되는 구조물이나 작업성 및 유동성이 요구되는 고강도 구조물에 적용 가능할 것으로 판단된다.

2) 부순모래의 혼합비 60%일 때 플라이 애시의 혼입률을 각각 10%와 20%로 제조한 고강도 콘크리트에서 물/시멘트 비가 0.25인 경우 압축강도는 플라이 애시를 20% 혼입한 배합이 10% 혼입한 배합의 약 97%로서 유사하게 나타났으며, 물/시멘트 비 0.40의 경우 플라이 애시를 10% 혼입한 배합이 약 25%의 강도증진을 나타냈다.

3) 인장강도와 휨강도와의 관계를 회귀분석한 결과  $y = 2.9578x - 6.6928$ 로 나타났으며, 상관성은

0.988로 높게 나타났다.

4) 플라이 애시를 사용한 고강도 부순모래 콘크리트의 염소이온 투과시험에 의한 투수시험결과 물/시멘트 비가 0.25인 경우 통과전하량은 모두 0으로 나타났으며, 0.40인 경우에서도 매우 낮은 투수성을 나타내어 투수성은 무시할 수 있는 것으로 나타났다.

### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단지정 "강원대학교 부설 석재복합신소재제품연구센터"의 연구비 지원에 의하여 수행된 것으로 이에 감사 드립니다.

### References

- Ahmed, A.E., and EI-Kour, A.A. 1989. Properties of concrete incorporating natural and crushed stone very fine sand. *ACI Material Journal, Proceedings* 86(4): 417-424.
- Kim, J. K., and C. S. Lee. 1995. A study on the fracture characteristics of crushed sand concrete and river sand concrete. *Journal of the Korea Concrete Institute*, 7(4): 81-87. (in Korean)
- Nicholas, F. P. Jr. 1982. Manufactured sand and crushed stone in portland cement concrete. *Concrete International*, 56-63.
- Oh, B. H. 1997. Characteristics of concrete using fly ash and applications of fly ash in civil engineering. *International workshop on utilization of fly ash and fgd-gypsum, KEPCO*. 193-226.
- Proceedings. 1995. Characteristics and industrial utilization of aggregate resources. *1st International Symposium, Research Center for Advanced Mineral Aggregate Composite Products Kangwon National University*, 69-86.