

# 다량의 플라이 애시를 사용한 고유동 충전재의 최적배합설계

## Optimization of Flowable Fill with High Volume Fly Ash Content

원            종            필\* · 신            유            길\*\*  
Won,        Jong        Pil · Shin,        You        Gil

### Abstract

The purpose of this study is to examine the uses of fly ash as a type of construction material. This paper presents the results of research performed to identify optimum mix proportions for production of flowable fill with high volume fly ash content. The fly ash used in this study met the requirements of KS L 5405 and ASTM C 618 for Class F material. The flowable fill with high volume fly ash content was investigated for strength and flowability characteristics. Tests were carried out on flowable fill designed to have 10~15kgf/cm<sup>2</sup> compressive strength at 28 days with fly ash contents of approximately 260kgf/m<sup>3</sup>. Slump was held at 25±1cm for all mixtures produced to range from 5kgf/cm<sup>2</sup> to 14kgf/cm<sup>2</sup> compressive strengths at 28 days. To produce flowable fill with high volume fly ash, first the influential variables were identified in an experimental study based on factorial design. Among the proportioning variables investigated, cement, fly ash, and sand contents were found to have statistically significant effect on strength and slump of flowable fill. Subsequently, response surface analysis techniques were used to devise an experimental program that helped determine the optimum combinations of the selected influential variables based on material properties and cost. The optimized flowable fill were then technically evaluated. It is shown that flowable fill has acceptable compressive strength, slump flow, hardening time, and permeability.

### I. 서      론

국내산업의 지속적인 성장으로 인하여 산업부산물  
물은 기하급수적으로 늘어나고 있으며, 대부분의  
부산물들이 매립되고 있어 환경보호와 자원 재활  
용의 차원에서 커다란 문제로 대두되고 있는 실정

이다. 그 중 화력발전소 석탄의 연소과정에서 발  
생하는 플라이 애시는 산업폐기물로서 막대한 처  
리비용과 함께 매립장의 부족 등 여러 가지 문제  
점을 야기시키고 있어, 플라이 애시의 환경적 문  
제를 해결하고, 폐기되고 있는 플라이 애시의 재  
활용을 위한 노력이 세계적으로 많이 진행되고

\* 건국대학교 농업생명과학대학

\*\* 건국대학교 대학원

키워드 : 강도, 고유동 충전재, 유동성, 최적화, 플라이  
애시

있다. 국내의 경우도 플라이 애시의 재활용률이 약 10~15% 정도에 그치며 나머지는 폐기되고 있어 사회적으로 문제화되고 있는 실정이다. 특히, 자원절약과 재활용 촉진에 관한 법률(제30조)에 의하면 산업부산물인 플라이 애시를 연도별 재활용 계획에 따라 '98년부터 발생량의 35% 이상을 재활용하도록 규정<sup>1)</sup>하였다. 근래에는 농공 및 공업단지 등에 증기 및 전기를 안정적으로 공급하기 위해 열병합발전소가 단계적으로 건설되고 있어 플라이 애시의 양이 증가될 전망이어서 이를 재활용하려는 노력이 더욱더 절실히 요구되어지고 있다.

플라이 애시의 입자는 구형이고 천연 포졸란(Pozzolan)과 같은 특성을 가지고 있기 때문에 콘크리트의 혼화재료나 시멘트 2차제품의 부재료로 사용할 경우, 작업성 및 내구성 향상에 많은 기여를 하는 재료로 알려져 있으며, 시멘트에 비해 낮은 비중으로 전자재의 경량화에도 기여할 수 있다.<sup>2)</sup> 시멘트에 플라이 애시를 혼합하여 건설현장에 적용할 때 문제가 되는 것은 원탄의 종류, 보일러의 연소조건, 집진기의 종류에 따라 플라이 애시의 품질변동이 심하다는 점이다. 이로 인해 플라이 애시가 적용된 구조적인 부재의 물성변동에 따른 안정성 문제가 제기된다.

고유동 충전재는 주로 압밀이 필요한 충전재를 대신해 사용하는 자가다짐성의 재료이며, 구조용 충전재와 달리 일반적으로 비구조용 충전재에 요구되는 뛰어난 물리적인 특성과 경제성을 가지고 있다. 재래의 충전재들에 비해 본 연구에서 개발된 고유동 충전재가 가지는 두 가지 주된 이점은 용이한 타설과 간편한 해체이다. 그러므로 다짐이 어려운 지역이나 시공이 문제인 지역에서 고려될 수 있다. 아울러 포틀랜드시멘트 사용비율에 따라 강도를 7~14kgf/cm<sup>2</sup>로 조절할 수 있는데, 발휘되는 강도는 자연상태의 흙의 강도를 능가하는 것으로 충전을 통해 주변재료 보다 높은 강도를 만들어 줄 수 있다. 이는 굴착으로 인한 주변시설물의 안전을 고려한 지하시설물의 충전, 파이프 하부충전, 지하수의 오염을 방지하기 위한 폐공의

충전, 그리고 지반침하 및 환경오염원인 폐공 등의 충전에 효과적으로 사용할 수 있다. 한편, 고유동 충전재의 강도가 주변재료 보다 큼에도 불구하고 장래에 필요할 때면 재래적인 방법(백회 등)으로 언제나 굴착이 가능하다.

본 연구의 목적은 화력발전소에서 생산되는 플라이 애시를 이용하여 고유동 충전재를 개발, 건설분야에서의 재활용방안을 확보하는 것이다. 콘크리트의 품질저하는 재료적인 문제로 발생하는 것도 있으나 시공상의 문제에서 더욱더 많이 발생하고 있으며, 이러한 측면에서 본 연구에서는 시공상의 문제점으로 인한 품질저하를 최소화 할 수 있는 고유동 충전재를 개발하여 저장도의 비구조적인 충전분야에 적용하기 위한 실험을 실시하였다. 이를 통해서 자원재활용은 물론 환경보전, 경제성 향상, 신재료의 개발측면에서 보다 유용한 결과를 얻을 수 있을 것으로 본다. 이에 국내에서 생산되는 플라이 애시를 대상으로 배합조건 및 치환율을 다르게 하였을 때의 유동성, 경시변화 및 강도발현 성상을 비롯한 체계학적 특성을 비교, 분석하여 그 결과를 여기에 보고한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 사용재료

#### 가. 시멘트

본 연구에 사용된 시멘트는 S사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트로 품질시험 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical and physical properties of cement

Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	Specific gravity	Stability (%)	Compressive strength(kgf/cm <sup>2</sup> )		
			3 days	7 days	28 days
3,488	3.15	0.08	224	308	404
Initial setting time			231min		
Final setting time			6h 47min		

나. 골재

잔골재는 강모래를 사용하였으며, 품질시험 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Properties of fine aggregate

Specific gravity			Fineness modulus	Absorption (%)	Unit weight (kgf/m <sup>3</sup> )
Bulk	Bulk (SSD)	Apparent			
2.587	2.604	2.63	2.99	0.67	1,624

다. 플라이 애시

일반적으로 플라이 애시의 물리적 특성이 주로 굳지 않은 콘크리트의 거동과 관계가 있는 반면, 화학적 특성은 경화된 콘크리트의 성질에 미치는 영향이 크다.<sup>3)</sup> 본 연구에서 사용된 플라이 애시에 대한 물리·화학적 특성은 Table 3과 같다.

Table 3. Physical and chemical properties of fly ash

Specific gravity	Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	Water content (%)	L.O.I. (%)			
2.34	3,700	0.13	3.07			
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 (%)	SO <sub>3</sub> (%)
52.0	27.01	3.93	7.85	1.92	0.58	0.13

Table 3에서 보는 바와 같이 본 연구에서 사용된 플라이 애시는 시멘트에 비해 분말도가 높았는데, 이는 충전재의 유동성을 향상시키고 공기량은 감소시킬 것으로 기대된다. 아울러 시멘트에 비해 낮은 플라이 애시의 비중은 재료의 단위중량 감소에 영향을 미칠 수 있다.<sup>3,4)</sup> Table 3의 플라이 애시는 KS 규정에서 제시한 SiO<sub>2</sub> 45% 이상, SiO<sub>2</sub>+ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 70% 이상을 만족했다. 시멘트의 자경성을 제공하는 주성분인 CaO는 일반적인 F급 플라이 애시가 5% 미만인데 비해 7.85%로 비교적 높았는데, 이는 시멘트와 유사한 수경성을 나타내는 동시에 포졸란반응을 제공할 수 있다. 산화마그네슘(MgO), 무수황산(SO<sub>3</sub>), 알

칼리(Na<sub>2</sub>O) 등은 콘크리트 내에서 팽창을 일으켜 콘크리트의 균열을 야기하므로 KS에서는 각각 5.0%, 5.0%, 1.5% 이하로 제한하고 있으며, 본 연구에 사용된 플라이 애시는 이를 모두 만족하였다.<sup>5,6)</sup>

2. 예비실험

가. 고유등 충전재의 제조 및 유의인자 선정 시험

배합설계에서 플라이 애시 치환방법은 예비실험의 경우 통계기법 중 요인배치법을 사용하였으며, 예비실험의 결과를 분석한 후 최적화를 위해 반응표면분석법을 적용하였다. 한편, 설계목표강도는 충전재의 장래 굴착성을 고려하여 10~15 kgf/cm<sup>2</sup>, W/C+F는 0.9~1.1, 목표 슬럼프는 충전성을 고려하여 25±1cm로 결정하였다. 충전재의 배합방법은 선-페이스트 방법을 택하였고, 배합시간은 전체 2분으로 하였다. 한편, 유동성 충전재의 특성을 알기 위해 압축강도(KS L 5105), 슬럼프(KS F 2402), 공기량(KS F 2421) 및 단위중량(KS F 2409) 실험이 실시되었다.

기초실험을 바탕으로 한 다량의 플라이 애시를 사용한 고유등 충전재의 예비실험계획은 Table 4와 같다.

Table 4. Factorial mix design of pretest

		(unit : kgf/m <sup>3</sup> )	
Variable	Level	Low	High
Cement		40	50
Fly Ash		200	240
Sand		1,400	1,600
Water		319	

나. 실험결과 고찰

다량의 플라이 애시를 사용한 고유등 충전재의 예비실험결과는 Table 5와 같다. 실험결과는 각 배합을 2회 반복하여 실험을 실시한 평균치로 나타내었으며, 압축강도는 5×5×5cm의 공시체로

Table 5. Pretest results

No.	Cement (kgf/m <sup>3</sup> )	Fly ash (kgf/m <sup>3</sup> )	Sand (kgf/m <sup>3</sup> )	Water (kgf/m <sup>3</sup> )	Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Slump (cm)	Air content (%)	Unit weight (kgf/m <sup>3</sup> )
1	40	240	1,400	319	3.78	24.6	1	1,915
2	50	200	1,600		7.75	17	2.6	1,922
3	50	240	1,600		6.24	20.4	1.65	1,945
4	50	200	1,400		7.84	20.3	1.05	1,967
5	40	200	1,400		4.05	21.2	0.75	1,945
6	40	240	1,600		4.93	22.5	2.1	1,945
7	50	240	1,400		9.40	25.7	0.65	1,932
8	40	200	1,600		3.78	17.7	1.6	1,947

Table 6. ANOVA for pretest results

Test results	Source	Sum of square	DF	Mean square	F-Ratio	P-value
Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	A	26.975	1	26.975	21.246	.010*
	B	.108	1	.108	.085	.785
	C	.702	1	.702	.553	.498
	Error	5.097	4	1.270		
	Total	32.863	7	4.695		
Slump (cm)	A	.551	1	.551	1.033	.367
	B	34.031	1	34.031	63.759	.001*
	C	27.011	1	27.011	50.607	.002*
	Error	2.135	4	.534		
	Total	63.729	7	9.104		
Air Content (%)	A	3.125E-02	1	3.125E-02	.182	.692
	B	4.500E-02	1	4.500E-02	.262	.636
	C	2.531	1	2.531	14.727	.018*
	Error	.688	4	.172		
	Total	3.295	7	.471		
Unit weight (kgf/m <sup>3</sup> )	A	2.450E-05	1	2.450E-05	.218	.722
	B	2.420E-04	1	2.420E-04	2.151	.381
	C	.000	1	.000	.000	1.000
	Error	1.599E-03	4	3.998E-04		
	Total	1.866E-03	7	2.665E-04		

A : Cement, B : Fly ash, C : Sand

\*Statistically significant at the 95% level of confidence.

각 배합마다 3개의 공시체를 제작하여 측정된 값의 평균치로 나타내었다. 표에서 압축강도와 슬럼프가 대부분 설계값에 못미쳤는데, 이는 본 실험

에서 각 인자의 범위를 조절할 필요가 있음을 보여주었다.

실험결과에 영향을 미치는 인자들의 종류와 유

의수준을 파악하기 위해 Table 6의 자료를 분산 분석 하였으며, 그 결과는 다음과 같다. 압축강도는 시멘트, 슬럼프는 플라이 애시 및 모래, 공기량은 모래에 의한 영향이 컸으며, 이러한 인자들은 각 결과치에 통계적으로 95% 정도의 유의적인 영향을 미쳤다. 그리고 단위중량의 경우 특별

히 영향을 미치는 인자는 없었다.

한편, 고유동 충전재의 압축강도, 슬럼프, 공기량에 대한 세 가지 인자들의 영향을 분석한 결과는 Fig. 1과 같다. 이상의 분석결과를 바탕으로 재료의 특성에 특히 영향이 큰 시멘트 및 플라이 애시의 교호작용에 대한 분석이 Fig. 2에서 실시되었다. 그림에서 공기량의 경우에는 시멘트와 플라이 애시의 교호작용에 의해 인자들에 의한 공기량의 예측이 어려운 것으로 나타났다.

### 3. 본 실험

#### 가. 고유동 충전재의 제조 및 최적배합비 선정 시험

예비실험의 결과를 바탕으로 설계목표강도와 목표 슬럼프를 얻기 위하여 본 실험이 이루어졌는데, 물과 모래인자를 고정시키고 실험결과에 많은 영향을 미친 시멘트와 플라이 애시의 양을 조정하여 최적화를 시도하였다. 최적화를 위한 방법은 통계학의 반응표면분석법을 이용하였다. 반응표면분석법을 이용한 배합설계는 Table 7과 같으며 실험결과는 Table 8과 같다.

Table 7. Mix design for optimization

(unit : kgf/m <sup>3</sup> )			
Variable \ Level	Low	High	
Cement	50	70	
Fly Ash	240	280	
Sand	1,400		
Water	319		

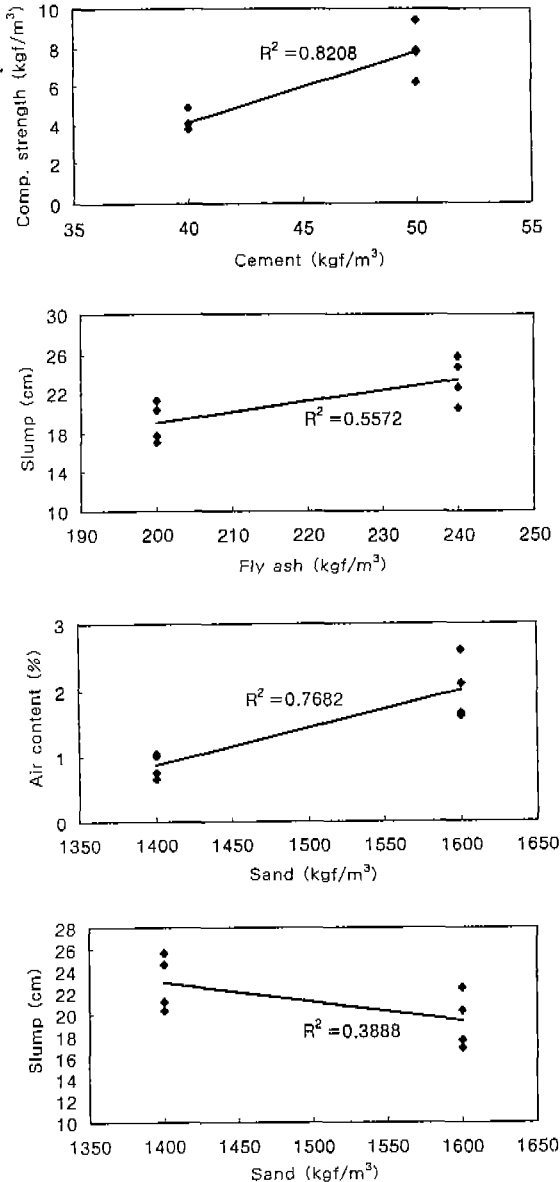


Fig. 1. Trends in pretest results

#### 나. 최적배합비 선정

Table 8에서 배합번호 1, 7, 10, 11, 12가 설계 목표강도와 목표 슬럼프 값을 만족하였다. 전체적으로 공기량은 분말도가 높은 다량의 플라이 애시 사용으로 상당히 낮았으며, 아울러 플라이 애시가 단위중량을 다소 감소시켰다. 또한 시멘트의 첨가량에 따른 압축강도에 대한 영향이 매우 큰 것으로 나타났다.

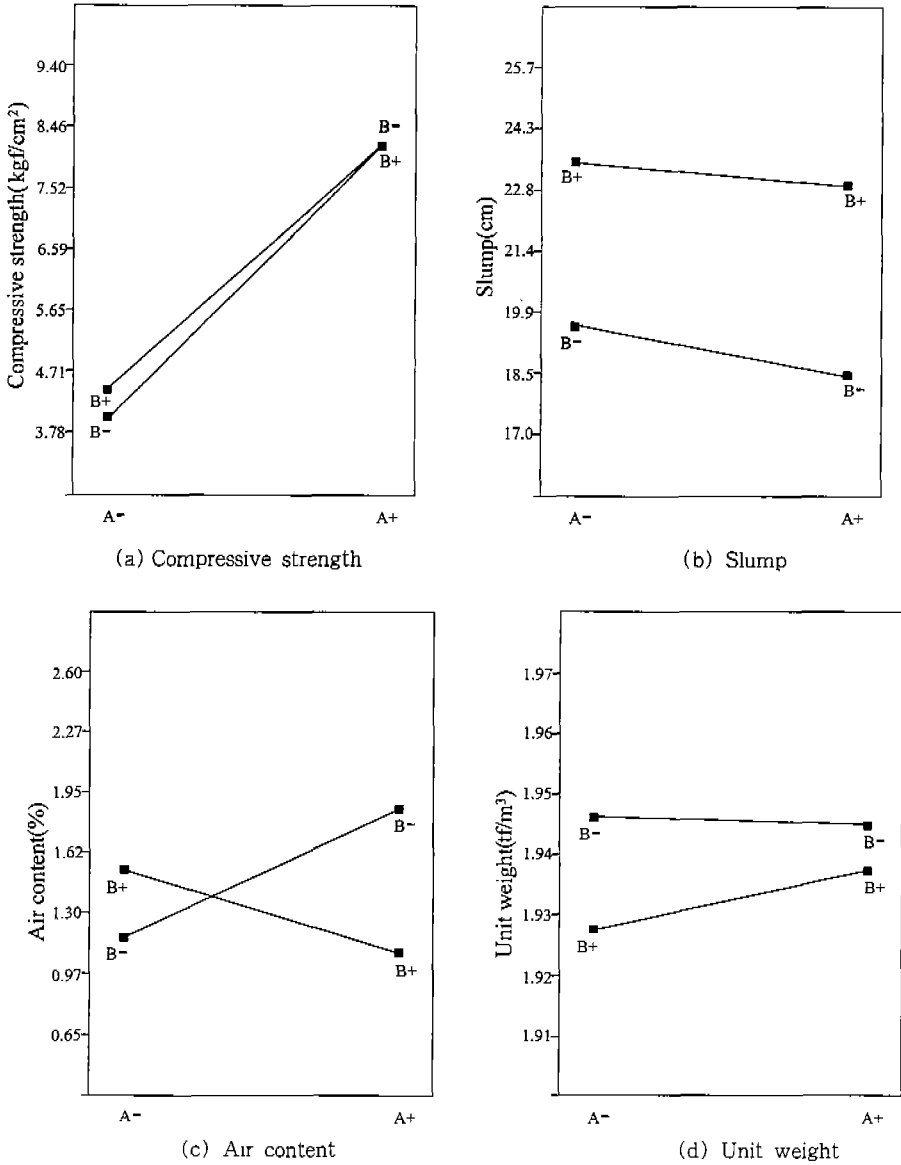


Fig. 2. Interaction of cement and fly ash (A: Cement, B: Fly ash)

Fig. 3은 상관관계가 높은 인자와 특성치의 경향을 나타낸 것이다. 이상의 결과를 바탕으로 Fig. 4에서는 반응표면분석법에 의한 최적화 과정을 보여주고 있는데, 그림에서 설계목표강도 10~15kgf/cm<sup>2</sup>, 목표 슬럼프 25cm 이상을 만족하는 부분은 빗금친 부분이다. 시멘트와 플라이 애시의 배합은 경제성을 고려하여 시멘트에 비해 상대적으로 많은

플라이 애시 양을 사용할 수 있도록 시멘트 60kgf/m<sup>3</sup>, 플라이 애시 280kgf/m<sup>3</sup>의 배합비가 선정되었다.

이와 같은 고유동 충전재의 설계목표강도 10~15kgf/cm<sup>2</sup>은 장래에 재래적인 방법으로 언제든지 굴착이 가능하며, 슬럼프 25±1cm 정도는 다짐이 어려운 시공지역에서 용이하게 적용할 수 있는

Table 8. Primary test results

No.	Cement (kgf/m <sup>3</sup> )	Fly ash (kgf/m <sup>3</sup> )	Sand (kgf/m <sup>3</sup> )	Water (kgf/m <sup>3</sup> )	Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Slump (cm)	Air contents (%)	Unit weight (kgf/m <sup>3</sup> )
1	60	288.3	1,400	319	12.8	26	0.35	2,110
2	50	240			6.44	24	0.34	2,120
3	50	280			5.24	25.5	0.3	2,095
4	60	260			6.95	24.2	0.39	2,100
5	60	260			7.96	24.7	0.4	2,097
6	60	260			7.91	25	0.35	2,119
7	70	240			10.56	25.3	0.4	2,118
8	60	231.7			7.43	24.2	0.45	2,093
9	45.86	260			5.03	25	0.4	2,092
10	60	260			10.47	25.1	0.37	2,098
11	74.14	260			13.27	25.8	0.35	2,120
12	70	280			13.69	26.2	0.2	2,090
13	60	260			8.79	25	0.35	2,095

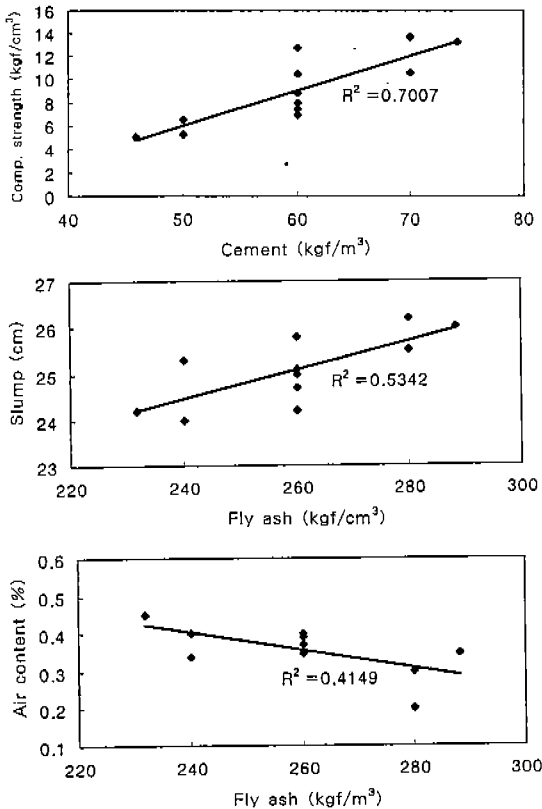


Fig. 3. Trends in primary test results

값이라 할 수 있겠다

#### 4. 최적배합 실험

##### 가. 실험방법

최적배합(시멘트:60kgf/m<sup>3</sup>, 플라이 애시 :280 kgf/m<sup>3</sup>)으로 제조된 고유동 충전재에 대하여 각 재령마다 2번 배합하여 얻어진 총 6개(배합당 3개)의 공시체를 제작하여 압축강도시험을 실시하였다. 경화 시간 측정은 KS F 2436에 따라 이루어졌으며, 슬럼프 플로우 값은 보통의 슬럼프 콘을 수직으로 들어올려 35±5초 동안 방치한 후, 가장 큰 지름과 이에 직각인 지름의 평균으로 나타내었다. 투수성시험은  $\phi 36 \times 72$ mm 공시체를 사용하여 재령 28, 56, 91일에서 삼축압축시험기를 이용한 연성벽 투수시험법으로 실시되었으며, 측정장치는 Fig. 5와 같다. 주로 지하의 비구조 부재에 타설되는 점을 감안한 고유동 충전재의 3축압축강도는 KS F 2346에 따라  $\phi 36 \times 72$ mm 공시체를 사용하여 재령 7, 14, 28, 56, 91일에서 비압밀비배수시험(unconsolidated undrained test) 조건으로 실험을 실시하였다.

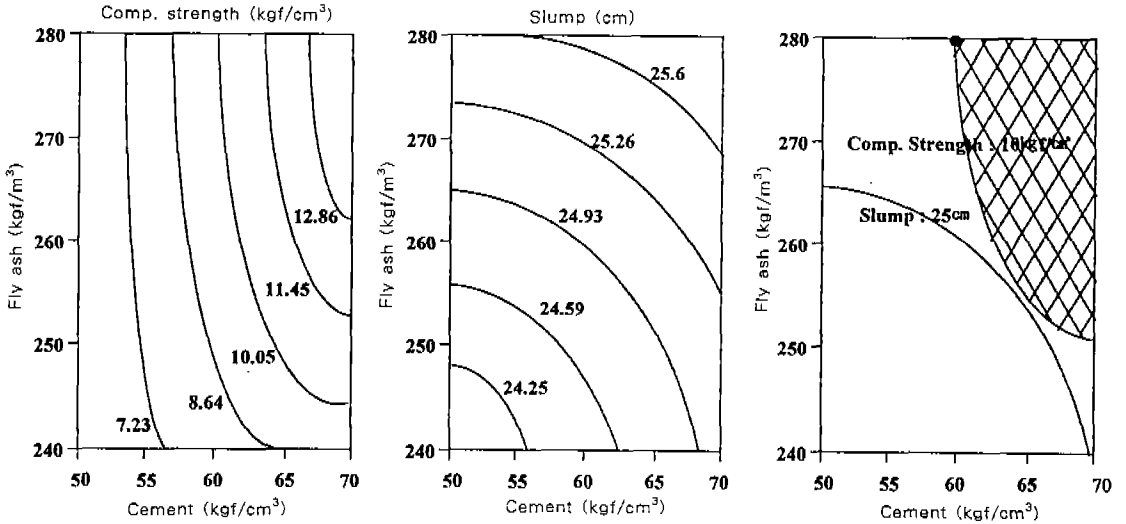


Fig. 4. Response surface analysis for optimization

Table 9. Uniaxial compressive strength

(unit : kgf/cm<sup>2</sup>)

At demolding (48h)	3 days	7 days	14 days	28 days	56 days	91 days	180 days
2.77	4.11	6.36	9.63	11.36	18.8	19.13	22.57

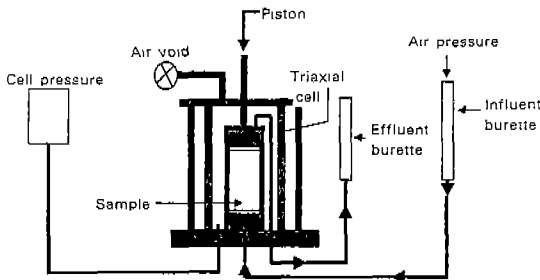


Fig. 5. Flexible wall type of permeameter

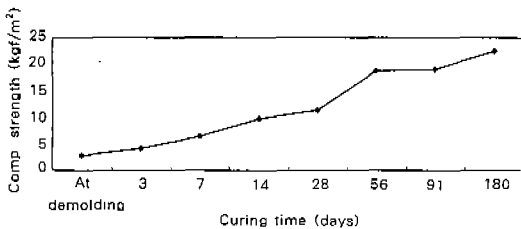


Fig. 6. Uniaxial compressive strength

나. 실험결과 고찰

압축강도 실험결과는 Table 9 및 Fig. 6과 같다. Fig. 6에서 보듯이 28일 압축강도가 설계목표강도 10~15kgf/cm<sup>2</sup>의 범위에 속했으며, 특히 재령 28일과 56일 사이의 강도발현이 비교적 컸다. 이러한 28일 압축강도는 자연상태 하에서 압밀된 흙의 강도를 증가하는 것으로 주로 지하에 적용되는 비구조 부재에 효과적으로 사용이 가능할 것으로 사료된다.

고유동 충전재의 여러 재료특성은 Table 10과 같으며, 투수성은 Table 11 및 Fig. 7과 같다. 위

Table 10. Properties of flowable fill

Setting time(h)		Air content (%)	Unit weight (kgf/m <sup>3</sup> )	Slump (cm)	Slump flow (cm)
Initial	Final				
18	45	1	2,100	25	55



Table 11. Permeability of flowable fill

(unit : cm/s)

28 days	56 days	91 days	180 days
$1.1 \times 10^{-8}$	$9.5 \times 10^{-9}$	$5.69 \times 10^{-9}$	$5.17 \times 10^{-9}$

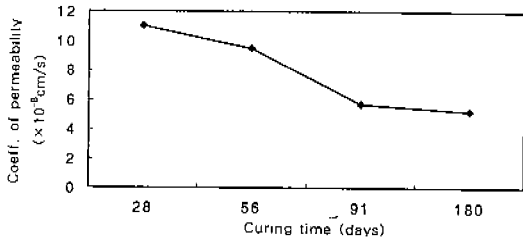


Fig. 7. Permeability of flowable fill

Table 12. Triaxial compressive strength

(unit : kgf/cm<sup>2</sup>)

7 days	14 days	28 days	56 days	91 days	180 days
8.4	9.89	12.28	16.18	17.84	18.62

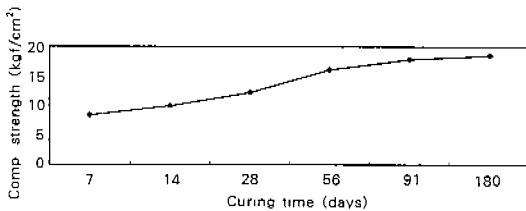


Fig. 8. Triaxial compressive strength

의 Table 10에서, 각 실험결과들은 모두 다량의 플라이 애시 사용으로 인하여 경화시간의 증가, 공기량의 감소, 단위중량의 감소, 슬럼프 및 슬럼프 플로우의 증가함을 알 수 있다. 한편, Table 11에서 투수계수는 W/C비 0.7 정도인 시멘트 페이스트의 투수계수  $10^{-11}$ cm/s 보다는 높았지만, 보통 토질에서 불투수성으로 분류되는  $10^{-7}$ cm/s 이하의 범위에 속했다.

고유동 충전재의 3축압축시험결과는 Table 12 및 Fig. 8과 같다. 3축압축강도는 동일 공시체 ( $\phi 36 \times 72$ mm)로 측정된 재령 28일의 압축강도  $6.5$ kgf/cm<sup>2</sup> 보다 2배 정도 높았으며, 위의 압축강도와 마찬가지로 재령 28일과 56일 사이의 강도발현이 특히

높았다.

연구결과에서 보듯이 다량의 플라이 애시를 포함한 고유동 충전재는 비구조 부재에 적용가능한 강도로 설정된 압축강도  $10 \sim 15$ kgf/cm<sup>2</sup> 범위에 포함되었으며, 플라이 애시의 영향으로 경화시간은 지연되었지만 단위중량의 감소, 유동성의 향상을 가져왔다. 그리고 플라이 애시의 높은 분말도 및 자체의 특성으로 인해 공기량이 감소되었으며, 투수계수는 불투수성으로 분류되는  $10^{-7}$ cm/s 이하였다.

### III. 결 론

본 연구는 다량의 플라이 애시를 사용한 고유동 충전재의 최적배합 도출을 실험적으로 구명한 것으로 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. 일반적으로 W/C 비가 낮고, 플라이 애시와 모래의 양이 감소할수록 압축강도는 증가하였으며, 시멘트 성분은 사용된 플라이 애시가 자체에 매우 낮은 자경성을 가지고 있어 배합에 중요한 영향을 미쳤다.

2. 다량의 플라이 애시를 포함한 저강도의 고유동 충전재는 현재 시판되고 있는 F급 플라이 애시로 생산이 가능하였으며, 비구조적 충전재로 사용 가능한 높은 슬럼프 및  $10$ kgf/cm<sup>2</sup> 정도의 재령 28일 압축강도를 발현하였다.

3. 반응표면분석 기법을 이용한 최적화 결과에서 장래의 굴착성을 고려한 설계목표강도  $10 \sim 15$ kgf/cm<sup>2</sup>, 목표 슬럼프  $25 \pm 1$ cm를 만족하는 시멘트와 플라이 애시 양은 각각  $63 \sim 70$ kgf/m<sup>3</sup>,  $260 \sim 280$ kgf/m<sup>3</sup> 인데, 그 중에서도 전체 고유동 충전재의 제조비용을 최소로 할 수 있는 가장 경제적인 배합은 시멘트  $60$ kgf/m<sup>3</sup>, 플라이 애시  $280$ kgf/m<sup>3</sup>, 모래  $1,400$ kgf/m<sup>3</sup>, 물  $319$ kgf/m<sup>3</sup> 이었다.

4. 최적배합에 의한 고유동 충전재의 재료특성 실험결과 압축강도와 슬럼프 모두 원하는 기준을 만족하였으며, 비구조 부재에 적용 가능한 거동을 보였다.

5. 본 연구에서 다른 고유동 충전재는 다량의

플라이 애시를 사용함으로써 자원재활용 문제 및 환경적 문제를 해결가능하고, 아울러 충전재로써 요구되는 경제성을 가지고 있음을 알 수 있었다.

### 참 고 문 헌

1. 이상수 외 1명, 열병합발전소 플라이 애시의 품질 및 콘크리트의 역학적 특성, 한국콘크리트학회 가을학술발표회논문집, 제7권 2호, pp. 69~74 (1995).
2. 김영근 외 1명, 플라이 애시의 전자재 활용화 방안, 전자재 가을호, 통권 11호, pp. 255~269 (1997).
3. 문한영, 서정우, 콘크리트 혼화재료, 한국콘크리트학회편, pp. 186~216 (1997).
4. Reported by ACI Committee 226, Use of fly ash in concrete, ACI Materials Journal, pp. 381~409, September-October (1987).
5. KS L 5405, 한국공업규격 (1988).
6. ASTM C 618, Standard specification for fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in portland cement concrete.
7. R. Junardhanam, F. Burns, R.D. Peindl, Mix design for flowable fly-ash backfill material, Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 4, No. 3, pp. 252~263 August (1992).
8. Tarun R. Naik, Bruce W. Ramme, and Henry J. Kolbeck, Filling abandoned underground facilities with CLSM fly ash slurry, Concrete International, pp. 19~25, July (1990).
9. Report by ACI Committee 229, Controlled low strength materials, Concrete International, pp. 55~64, July (1994).
10. M. E. Ayers, S. Z. Wong, and W. Zaman, Optimization of flowable mix proportions, SP 150-2, pp. 15~37, American Concrete Institute, Detroit (1994).
11. W. E. Brewer, Durability factors affecting CLSM, SP 150-3, pp. 39~51, American Concrete Institute, Detroit (1994).
12. B. W. Ramme, T. R. Naik and H. J. Kolbeck, Construction experience with CLSM fly ash slurry for underground facilities, SP 153-23, pp. 403~415, American Concrete Institute, Milwaukee, Wisconsin (1994).
13. Ronald L. Larsen, Sound uses of CLSMs in the environment, Concrete International, pp. 26~29, July (1990).
14. A. K. Howard, Soil-cement slurry pipe embedment, SP 150-6, pp. 97~110, American Concrete Institute, Detroit (1994).
15. Douglas C. Montgomery, Design and analysis of experiments, Forth Edition, pp. 290~341, 575~596, John Wiley & Sons, Inc (1997).