

플라이애쉬를 혼입한 콘크리트포장의 배합특성에 관한 실험적 연구

이 주 형* · 최 성 용** · 윤 경 구*** · 정 영 화****

An Experimental Study on the Mix Properties of Concrete Pavement Incorporating Fly-Ash

Lee, Joo-Hyung* · Choi, Seong-Yung** · Yun, Kyong-Ku*** · Jung, Young-Hwa****

ABSTRACT

As the weight of trucks increases, the need for concrete pavement also increases. Therefore, the addition of fly-ash may improve the properties of pavement concrete as well as recycle fly-ash.

A full factorial experiment was performed using the primary variables, such as water-cement ratio, fly-ash substitution ratio, and maximum size of coarse aggregate, as a preliminary study for optimum mixture design for pavement concrete.

The results of preliminary study indicates that the addition of fly-ash is the most important factor determining concrete strength, followed by the maximum size of coarse aggregate and water-cement ratio. It, also, shows the relative importance of fly-ash substitution ratio, compared to the water-cement ratio, and the interaction effects between the primary variables.

Optimum mixture designs for pavement concrete incorporating fly-ash, that satisfied the target responses, were proposed in terms of fly-ash substitution ratio, water cement ratio and maximum size of coarse aggregate.

1. 서 론

산업화 촉진과 경제성장으로 중차량 및 교통량 증가로 대부분의 고속도로는 물론 중요산업도로가 콘크리트로 포장되고 있다. 이는 콘크리트포장이 중차량에 대한 뛰어난 적용성과 장기간의 공용성을 지녔기 때문이며, 또한 국내의 비교적 풍부한 시멘트를 활용할수 있다는 장점을 지니고 있기 때문이다. 따라서, 콘크리트포장의 수요가 증가함에 따라 콘크리트포장의 성능향상 및 경제성을 높일수 있는 많은 연구가 대두되어야 하겠다.

또한, 석탄을 원료로 하는 화력발전소에서 석탄

을 연소한 후 미분말로 포집되는 플라이애쉬를 혼화재료로 하여 콘크리트재료중 시멘트를 일부 치환하게되면 보통 콘크리트에 비해 내구성 및 장기강도 증가, 매스콘크리트에서의 수화열 발생 억제, 워커빌리티 향상, 특히 시멘트 사용량 절감 및 부산물 재활용으로 자원 절약 및 환경보호등 많은 장점을 가진다고 연구보고 되고 있다.^{[6][10][13]} 한편, 플라이애쉬를 재활용한 사례를 보면, 토목분야에서는 아스팔트필러, 노반재, 노상재, 충전재, Grout공사, 댐공사 매립, 성토용 등으로 활용되었다.^{[8][9]} 그러나, 콘크리트포장에서는 플라이애쉬를 혼입한 사례가 많지 않다. 이에 플라이애쉬를 콘크리트포장에 적용함이 절실히 필요하다.

이 연구는 플라이애쉬로 시멘트를 일부 치환한 콘크리트포장의 강도특성을 실험적으로 분석 및 검토하여, 플라이애쉬를 콘크리트포장에 재활용하

* 강원대학교 토목공학과 박사과정

** 강원대학교 토목공학과 석사과정

*** 한국도로공사 책임연구원, 공학박사

**** 강원대학교 토목공학과 교수

고자 적정배합설계를 제시하는 것이 본연구의 목적이다. 위와 같은 연구의 목적을 수행하기 위하여 첫째, 플라이애쉬를 첨가한 콘크리트가 포장에 적용되었을 때 효과를 파악하고, 통계 프로그램인 Design Ease를 이용해 통계처리 분석하여 포장콘크리트 강도증진 및 역학적 특성에 영향을 미치는 배합인자들과 수준의 변화 그리고 인자사이의 상관관계에 대해 고찰하였다. 또한, 위의 분석결과를 바탕으로 통계 프로그램 Design Expert를 이용 통계처리하여 콘크리트의 적정배합을 제시하였다.

2. 실험재료

2.1 플라이애쉬 (Fly-Ash)

본 실험에 사용된 플라이애쉬는 강릉시 소재의 Y화력발전소에서 생산되는 것을 사용하였으며, 화학성분을 분석하였다. 사용된 플라이애쉬의 화학성질은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Chemical Properties of Fly Ash
(Unit : %)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	L.O.I
47.41	30.23	4.68	1.78	0.04	0.54	0.68	3.66	0.01	0.21	10.28

2.2 골재

굵은골재는 강원도 홍천 지역에서 생산되는 최대치수 20mm인 쇄석과 최대치수 30mm, 40mm인 강자갈을 사용하였고, 잔골재는 강원도 홍천강 유역에서 채취한 천연 강모래를 이용하였다.

골재의 물리적 성질은 Table 2에 나타나 있고, 체가름 시험결과는 Figure 1과 같다.

Table 2. Physical Properties of Aggregates

Classification	Coarse Agg.	Coarse Agg.	Coarse Agg.	Fine Agg.
	River Stone	River Stone	Crushed Stone	River Sand
Size(mm)	<40	<30	<20	<5
Specific Gravity	2.60	2.65	2.61	2.61
Absorption(%)	1.08	0.67	0.67	0.87
Fineness Modulus	7.41	7.18	6.60	2.52

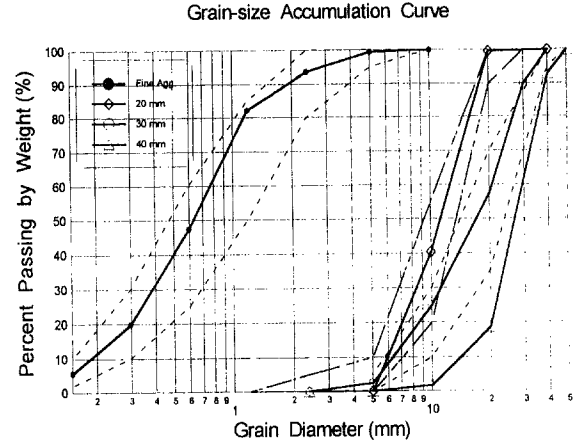


Figure 1. Graduation of Aggregates Used

2.3 시멘트 및 AE제

국내 H사 제품인 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 화학적 및 물리적 성질은 Table 3과 같다.

Table 3. Chemical and Physical Properties of Normal Portland Cement

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Specific Gravity	Fineness (cm ² /g)
20.8	6.3	3.2	61.2	3.3	2.3	3.15	3200

또한, 국내 S사 제품인 AE제를 사용하였으며, 비중은 1.025±0.005이고, 색상은 담갈색의 색상을 갖는 재료를 사용하였으며, 시멘트 중량의 0.03%를 사용하였다.

3. 예비 실험

3.1 실험방법 및 범위

본 실험에서는 산업폐기물인 플라이애쉬를 시멘트에 혼입한 콘크리트의 강도특성에 영향을 미치는 주요인자 및 요인들의 2차 상호작용을 파악하기 위한 목적으로 Full Factorial요인실험법을 사용하였다.

Full Factorial Experimental Design에 의한 실험조건을 Table 5에 나타내었다.

콘크리트의 기본특성은 압축강도로 나타 낼수 있고, 콘크리트포장의 품질관리는 휨강도로 관리되기 때문에 실험결과치를 이들 강도로 나타내었다.

Table 5. Full Factorial Experimental Design

FA / (FA+C)	10		50	
	40	50	40	50
W / C	20		40	
G _{max}	4	5	3	5
	40	2	8	3

※ FA/(FA+C) : 시멘트에 플라이애쉬 치환율(%)
W/C : 물-시멘트비, G_{max} : 굵은골재최대치수(mm)

요인실험법의 주요 변수는 플라이애쉬의 시멘트로의 혼입율, 물-시멘트비, 굵은골재의 최대치수로 하였다. 콘크리트의 배합설계는 Table 6과 같이 불규칙하게 하여 실험을 수행하였다.

Table 6. Mixing Design of Concrete
Unit (kg/m³)

Run order	A	B	C	Water	Cement	FlyAsh	Fine Agg.	Coarse Agg.
①	50	40	20	140	175	175	729	1117
②	10	40	40	115	259	29	607	1355
③	50	40	40	115	144	144	607	1355
④	10	40	20	140	315	35	729	1117
⑤	10	50	20	140	252	28	787	1117
⑥	50	50	20	140	140	140	787	1117
⑦	50	50	40	115	115	115	655	1355
⑧	10	50	40	115	207	23	655	1355

※ A : FlyAsh/(FlyAsh+Cement) (%), B : W/C (%),
C : Maximum Size of Coarse Aggregate (mm)

콘크리트 비빔은 가정식 믹서를 사용하여 굵은골재와 잔골재를 투입하고 30초간 건비빔을 실시한 후 시멘트와 플라이애쉬 그리고 혼합수(물+AE감수제)를 2/3정도 투입한 후 1분간 비빔을 하고나서, 마지막으로 나머지 혼합수(물+AE감수제)를 넣고 2분간 비빔을 실시하였다. 다짐은 탁상식 바이브레이터로 RPM 2000의 진동으로 30초간 2층 다짐을 실시하였다. 시험체는 콘크리트 휨강도시험을 위해 150×150×530mm 3개와 압축강도시험을 위해 φ 150×300mm 원형공시체 3개를 각 Order 별로 제작하였다. 제작된 시험체는 실온에서 24시간동안 양생한 후에 탈형하여 23±2℃ 온도를 유지하는 수조에서 28일 동안 수중양생을 실시하였다.

그리고, 재령 28일에서 강도 특성을 규명하기

위하여 KS F2408 및 KS F 2405의 규정된 시험방법에 의해 휨강도와 압축강도 실험을 실시하였다.

3.2 실험결과 및 고찰

플라이애쉬를 혼입한 콘크리트를 대상으로 Full Factorial Experimental Design에 따른 휨강도 실험과 압축강도 실험을 실시한 결과를 Table 7에 나타내었다.

위실험 결과를 바탕으로 실험변수들의 중요도와 상호관계를 분석하여 Table 8과 Figure 2~Figure 6에 나타내었다.

Table 8의 Anova Test의 결과로부터 각 변수들의 변화에 대한 휨강도와와의 관계를 살펴보면, 시멘트에 대한 플라이애쉬 치환율이 가장 큰 영향을 주는 인자임을 알 수 있고, 굵은골재 최대치수, 물-시멘트비 순으로 강도에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또, Figure 2 ~ Figure 4에서와 같이 플라이애쉬의 시멘트 치환율 뿐만아니라 굵은골재 최대치수, 물-시멘트비도 어느 정도 강도에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

또한, Figure 5 ~ Figure 6에서는 플라이애쉬의 시멘트 치환율에 대해 인자의 상호관계를 보여주고 있는데, 플라이애쉬의 시멘트 치환율에 대해 굵은골재최대치수가 가장 큰 영향을 그 다음으로 물-시멘트비로 나타내고 있다.

따라서, 본 실험결과로부터 플라이애쉬 치환율과 굵은골재최대치수, 물-시멘트비가 콘크리트 강도특성에 미치는 영향을 알 수 있다.

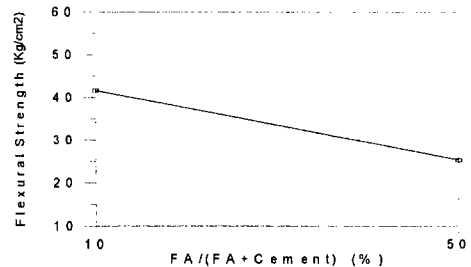


Figure 2. Effect of FA/(FA+Cement) to Flexural Strength

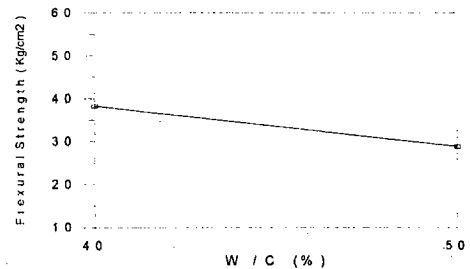


Figure 3. Effect of W/C to Flexural Strength

Table 7. Strength Test Result of Specimen

Run order	A	B	C	Flexural Strength (kg/cm ²)			Compressive Strength (kg/cm ²)		
				Mean (Std. Dev)			Mean (Std. Dev)		
1	+	-	-	33.30	42.30	34.20	176.98	206.26	146.42
				36.60(4.05)			176.55(24.43)		
2	-	-	+	36.39	38.41	38.84	202.59	111.48	119.40
				37.88(0.86)			144.49(41.21)		
3	+	-	+	24.53	17.79	24.12	110.92	135.82	100.73
				22.15(3.09)			115.82(14.74)		
4	-	-	-	56.25	61.20	51.75	243.19	217.72	198.63
				56.40(3.86)			219.85(18.25)		
5	-	+	-	50.40	43.65	41.40	225.36	178.25	225.36
				45.15(3.82)			209.66(22.21)		
6	+	+	-	26.10	23.40	27.00	105.68	82.76	85.31
				25.50(1.53)			91.25(10.26)		
7	+	+	+	16.76	17.38	17.38	69.61	78.09	70.17
				17.17(0.29)			72.62(3.87)		
8	-	+	+	27.60	30.66	23.51	95.07	113.18	162.98
				27.26(2.93)			123.74(28.71)		

※ A : FlyAsh/(FlyAsh+Cement), B : W/C, C : Maximum Size of Coarse Aggregat

※ - : LOW, + : HIGH

Table 8. Analysis of Variance of the Strength Test Result

	Source	Sum-of-squares	DF	Mean-Square	F-Ratio	P
Flexural Strength (kg/cm ²)	A*	532.521612	1	532.521612	4.879	0.0692
	B	180.025313	1	180.025313	1.072	0.3403
	C	437.932012	1	437.932012	3.506	0.1103
	A×B	4.190512	1	4.190512	0.021	0.8889
	A×C	23.222113	1	23.222113	0.120	0.7412
	B×C	5.695313	1	5.695313	0.029	0.8706
	Error	27158.13607	16	1697.383504		
Compressive Strength (kg/cm ²)	A	7290.281250	1	7290.281250	3.387	0.1153
	B	3177.639200	1	3177.639200	1.120	0.3307
	C	7238.451200	1	7238.451200	3.349	0.1170
	A×B	1189.744200	1	1189.744200	0.375	0.5626
	A×C	838.860800	1	838.860800	0.260	0.6284
	B×C	124.346450	1	124.346450	0.037	0.8535
	Error	12850.16327	16	803.135204		

* statistically significant at the 90% level of confidence

$F_{0.10, 1, 6} = 3.78 < F_0$

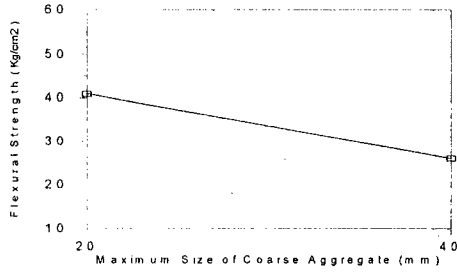


Figure 4. Effect of Maximum Size of Coarse Aggregat to Flexural Strength

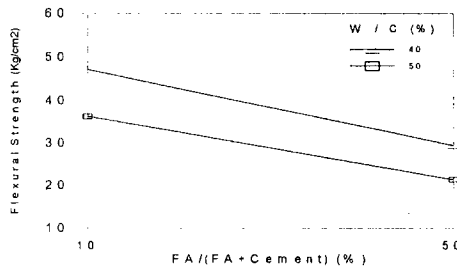


Figure 5. AB Interaction Plot

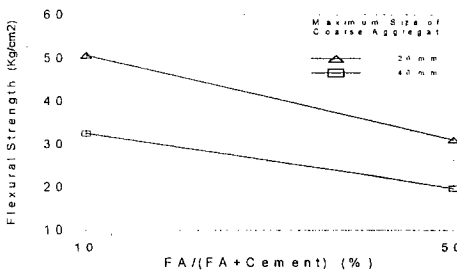


Figure 6. AC Interaction Plot

4. 최적배합실험

4.1 최적배합 실험법

예비실험에서 요인 실험에 의한 분석결과를 바탕으로, 최적배합 구간 제시를 위한 배합설계에 사용된 최적배합실험(Optimum Experimental Design)의 각 변수와 수준의 변화를 Table 9에 나타내었다.

예비실험을 바탕으로 하여 강도발현에 가장 큰 영향을 미치는 요인으로 판명된 플라이애쉬의 시멘트 치환율과 강도발현에 어느정도 영향을 미치는 굵은골재최대치수, 물-시멘트비의 변화를 변수로하여 최적배합실험을 실시하였다. 최적배합실험에서 결과치는 콘크리트의 휨강도와 압축강도로 하였다.

Table 9. Optimum Experimental Design

F / (F+C)	10			20			30		
	W / C			W / C			W / C		
G _{max}	40	45	50	40	45	50	40	45	50
	20	①		③				②	
30				⑨	⑩				
40	⑤		⑦				⑥		⑧

※ FA/(FA+C) : 시멘트에 플라이애쉬 치환율(%)
W/C : 물-시멘트비, G_{max} : 굵은골재최대치수(mm)

4.2 실험방법 및 범위

콘크리트의 배합설계는 Table 10과 같다. 콘크리트 배합에 사용된 시멘트와 시멘트에 치환된 플라이애쉬, 굵은골재, 잔골재 그리고 AE제의 종류와 특성은 예비실험의 재료와 같으며, 콘크리트 배합도 같은 순서와 동일한 방법으로 실시하였다

Table 10. Experimental Concrete Mix Design for Optimization

Run order	Unit(kg/m³)							
	A	B	C	Water	Cement	FlyAsh	Fine Agg.	Coarse Agg.
①	10	40	20	140	315	35	733	1117
②	30	40	20	140	245	105	733	1117
③	10	50	20	140	252	28	761	1117
④	30	50	20	140	196	84	761	1117
⑤	10	40	40	115	259	29	607	1355
⑥	30	40	40	115	201	86	607	1355
⑦	10	50	40	115	207	23	655	1355
⑧	30	50	40	115	161	69	655	1355
⑨	20	45	30	120	213	53	620	1372
⑩	20	45	30	120	213	53	620	1372
⑪	20	45	30	120	213	53	620	1372
⑫	20	45	30	120	213	53	620	1372

※ A : FlyAsh/(FlyAsh+Cement), B : W/C, C : Maximum Size of Coarse Aggregat

시험체는 150×150×530mm의 빔공시체와 φ150×300mm 원통형 공시체를 각 run order별로 3개씩 제작하였으며, 제작된 시험체는 실온에서 24시간 양생한 후 탈형하여 23±2°C 온도로 포졸란 반응을 고려하여 56일 동안 수중양생을 실시하였다.

또한, 강도시험은 예비실험과 같은 방법으로 실시하였다.

4.3 실험결과 및 고찰

최적배합 실험에 따른 콘크리트의 강도별 특성을 결과를 Table 11에 나타내었다.

(1) 플라이애쉬의 시멘트 치환율에 따른 휨강도와 압축강도

플라이애쉬의 시멘트 치환율을 10%, 20%, 30%의 비율로 증가시켰을 때 휨강도와 압축강도 변화를 Figure 7 ~ Figure 12에 각각 나타내었다.

플라이애쉬의 시멘트 치환율에 따른 물-시멘트비와 굵은골재최대치수의 관계를 Figure 7 ~ Figure 9에서 살펴보면, 굵은골재최대치수와 물-시멘트비가 모두 낮은 경우에 높은 휨강도발현이 나타났고, 동일한 강도발현에 대한 물-시멘트비와 굵

은골재최대치수의 조합은 반비례적임을 알 수 있다.

플라이애쉬의 시멘트 치환율이 10%에서 30%로 증가함에 따라 휨강도의 경우 동일한 강도를 발현하기 위해서는 물-시멘트비와 굵은골재최대치수의 범위가 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 동일한 휨강도를 얻기 위해서는 낮은 플라이애쉬의 혼입율일 때 더 넓은 범위에서 배합비의 선택이 가능하다는 것을 의미한다.

Figure 10~Figure 12에서 알 수 있듯이 플라이애쉬의 시멘트 치환율에 따른 압축강도의 관계를 살펴보면, 휨강도의 경우와 마찬가지로 치환율이 증가할수록 동일한 압축강도를 발현하기 위한 범위가 감소한다.

Table 11. Optimization Experimental Design and Test Results

Run order	A	B	C	Flexural Strength (kg/cm ²)			Compressive Strength (kg/cm ²)		
				Mean(Std. Dev)			Mean(Std. Dev)		
1	-	-	-	58.88	64.20	63.17	296.54	284.07	259.6
				62.08 (2.30)			280.07 (15.34)		
2	+	-	-	59.48	52.75	51.93	255.40	267.66	273.14
				54.72 (3.38)			265.40 (7.42)		
3	-	+	-	53.97	58.27	51.32	243.90	213.34	277.28
				54.52 (2.86)			244.84 (26.11)		
4	+	+	-	51.32	51.52	50.09	188.44	165.80	186.74
				50.98 (0.63)			180.33 (10.30)		
5	-	-	+	45.59	49.07	51.93	202.59	249.55	192.97
				48.86 (2.59)			215.04 (24.72)		
6	+	-	+	34.76	44.57	47.23	150.53	169.77	129.59
				42.19 (5.36)			149.96 (16.41)		
7	-	+	+	35.98	36.60	31.69	115.44	178.82	135.51
				34.76 (2.18)			143.26 (26.45)		
8	+	+	+	27.80	27.60	28.21	137.51	110.91	92.24
				27.87 (0.25)			113.55 (18.58)		
9	0	0	0	39.25	42.12	38.23	166.15	160.15	166.94
				39.87 (1.65)			164.68 (3.04)		
10	0	0	0	43.14	44.98	42.52	225.22	197.49	198.06
				43.55 (1.04)			206.92 (12.94)		
11	0	0	0	36.89	40.48	39.25	150.19	139.38	170.52
				38.87 (1.49)			153.36 (12.91)		
12	0	0	0	38.23	39.25	38.03	159.74	141.48	157.01
				38.50 (0.53)			152.74 (8.04)		

※ A : FlyAsh/(FlyAsh+Cement), B : W/C, C : Maximum Size of Coarse Aggregate

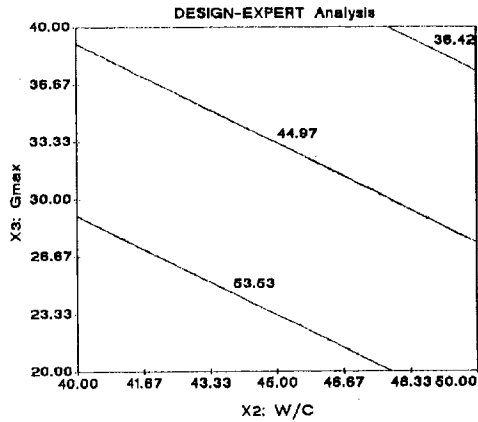


Figure 7. Response Surface Plot of Flexural Strength [FlyAsh / (FlyAsh+Cement) = 10 %]

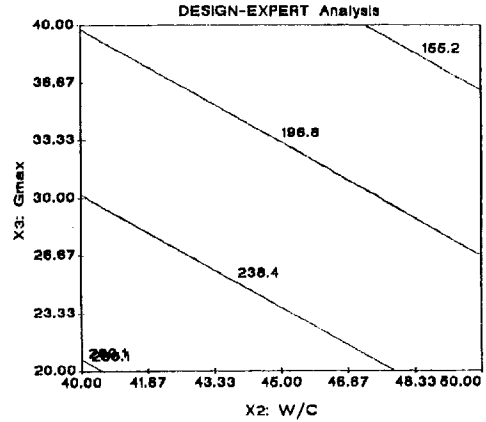


Figure 10. Response Surface Plot of Compressive Strength [FlyAsh / (FlyAsh+Cement) = 10 %]

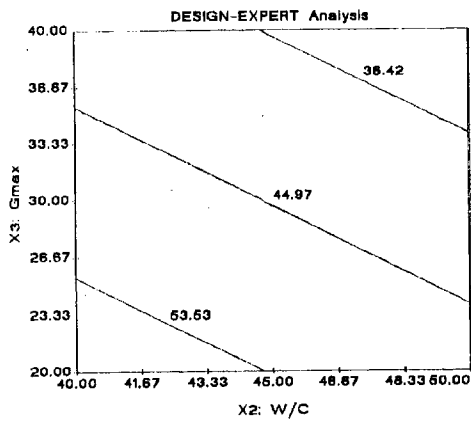


Figure 8. Response Surface Plot of Flexural Strength [FlyAsh / (FlyAsh+Cement) = 20 %]

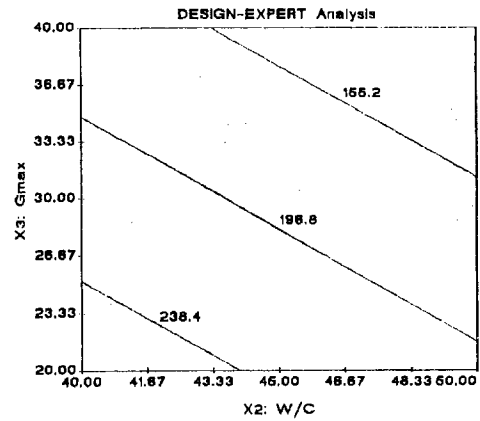


Figure 11. Response Surface Plot of Compressive Strength [FlyAsh / (FlyAsh+Cement) = 20 %]

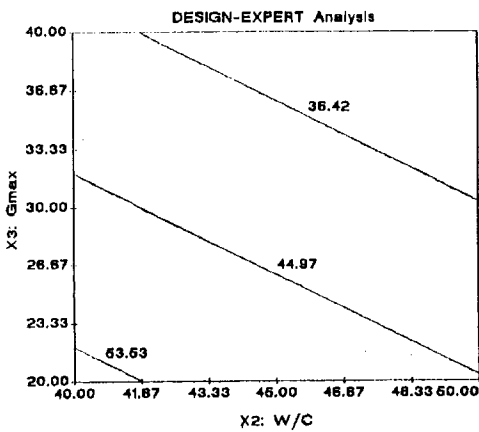


Figure 9. Response Surface Plot of Flexural Strength [FlyAsh / (FlyAsh+Cement) = 30 %]

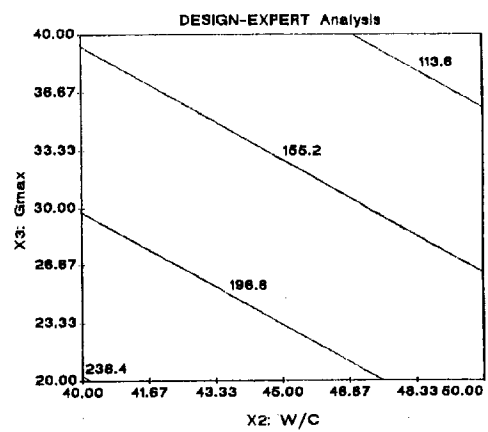


Figure 12. Response Surface Plot of Compressive Strength [FlyAsh / (FlyAsh+Cement) = 30 %]

(2) 목표휨강도에 대한 최적배합설계

본 연구는 보통 콘크리트포장의 설계기준인 휨강도 45kg/cm²와 공항포장의 설계기준이 휨강도 50kg/cm²를 목표휨강도로 정하였다. 또한, 일반콘크리트의 압축강도는 보통 휨강도의 4배~8배 범위이나, 플라이애쉬를 혼입한 콘크리트는 4배~5배의 범위로 나타났으므로 이 범위를 압축강도 범위로 택하였다.

Table 12는 목표 휨강도와 압축강도의 최적배합구간을 위한 범위를 나타낸다.

Table 12. Optimization Range of Target Responses

Flexural Strength (kg/cm ²)	Compressive Strength (kg/cm ²)
45 <	180 ~ 225
50 <	200 ~ 250

(3) 플라이애쉬의 시멘트 치환율이 10% 인 경우

플라이애쉬 치환율이 10%인 경우 각 휨강도별 최적배합 설계조건을 Figure 13~Figure 14에 각각 나타내었다. 그림에서, R1은 휨강도의 결과치를 R2는 압축강도의 결과치를 나타내고 있다.

Figure 13의 경우는 목표휨강도 45kg/cm² 이상이고 압축강도 180kg/cm²~225kg/cm²의 구간에서의 최적배합구간을 나타내는데, 휨강도 결과치 R1 Low값 밑부분과 압축강도 결과치 R2의 Low값과 High값 사이에 겹치는 흰 부분이 최적배합구간이다. Figure 14는 목표휨강도 50kg/cm² 이상, 압축강도의 범위는 200kg/cm²~250kg/cm²에서 최적배합구간이 설정되었는데, Figure 13보다는 굵은 골재 최대치수와 물-시멘트비 모두 더 낮은 범위에서 최적배합구간이 형성됨을 보이고 있다.

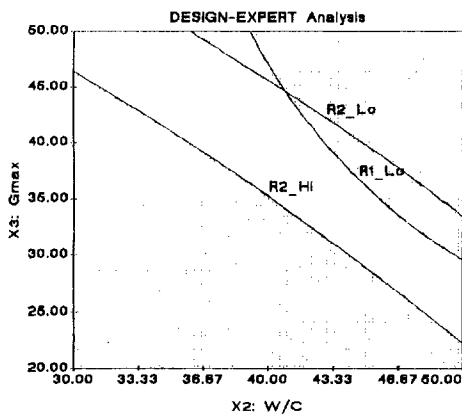


Figure 13. Optimization Plot of Target Flexural Strength [45kg/cm² , FlyAsh/(FlyAsh+Cement) = 10%]

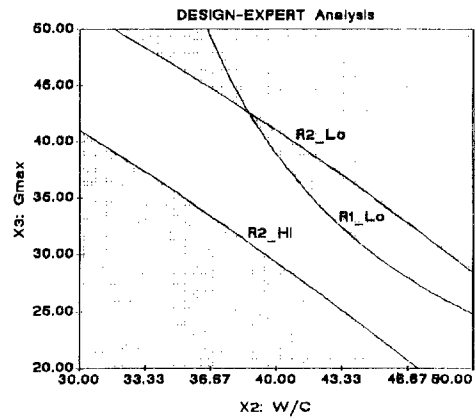


Figure 14. Optimization Plot of Target Flexural Strength [50kg/cm² , FlyAsh/(FlyAsh+Cement) = 10%]

(4) 플라이애쉬의 시멘트 치환율이 20% 인 경우

플라이애쉬의 치환율이 20%인 경우 각 강도별로 최적배합 설계조건을 Figure 15~Figure 16에 각각 나타내었다.

Figure 15은 목표휨강도가 45kg/cm² 이상이고 압축강도는 180kg/cm²~225kg/cm²일 때의 최적배합구간인데, 플라이애쉬 10% 치환한 경우보다 최적구간이 낮은 범위에서 형성되었다.

Figure 16과 같이 목표휨강도가 50kg/cm²이상 압축강도는 200kg/cm²~250kg/cm²의 범위일 때는, 최적배합구간이 물-시멘트비 43% 이하, 굵은 골재최대치수 42mm이하에서 형성되었으며 Figure 15보다 낮은 범위에서 형성되었다.

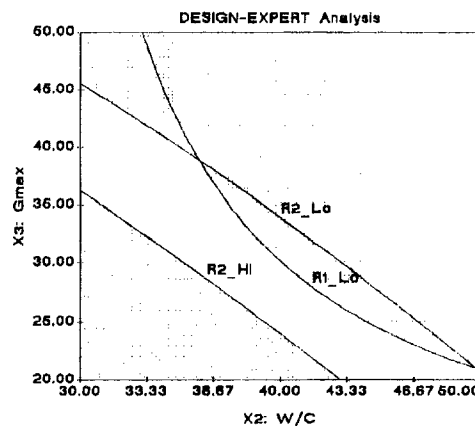


Figure 15. Optimization Plot of Target Flexural Strength [45kg/cm² , FlyAsh/(FlyAsh+Cement) = 20%]

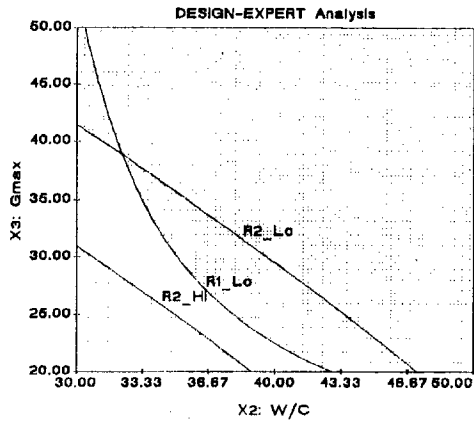


Figure 16. Optimization Plot of Target Flexural Strength [50kg/cm², FlyAsh/(FlyAsh+Cement) = 20%]

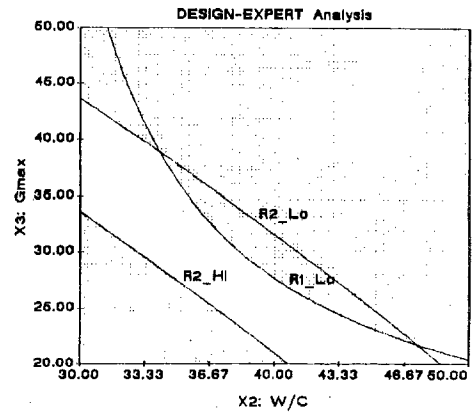


Figure 18. Optimization Plot of Target Flexural Strength (50kg/cm², FlyAsh/(FlyAsh+Cement) = 30%)

(5) 플라이애쉬의 시멘트 치환율이 30% 인 경우 플라이애쉬의 치환율이 30% 혼입했을 경우 목표압축강도에 따른 최적배합조건을 Figure 17~ Figure 18에 나타내었다.

Figure 17의 경우 목표휨강도 45kg/cm² 이상, 압축강도 180kg/cm²~225kg/cm²의 범위를 만족시키는 최적화 구간은 물-시멘트비는 50%이하 굵은골재최대치 40mm이하에서 형성되고 있다.

또한, Figure 18의 목표휨강도가 50kg/cm² 이상, 압축강도가 200kg/cm²~250kg/cm² 일 때, 최적구간을 나타내고 있다.

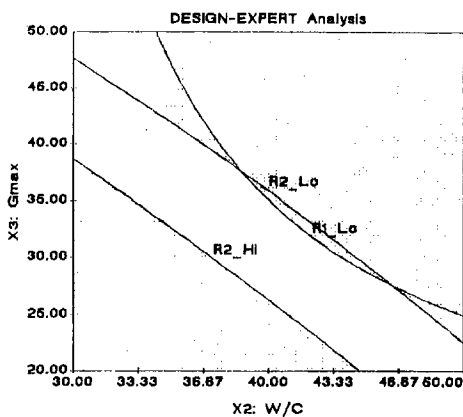


Figure 17. Optimization Plot of Target Flexural Strength [45kg/cm², FlyAsh/(FlyAsh+Cement) = 30%]

5. 결 론

본 연구는 콘크리트포장에 플라이애쉬를 10%, 50% 비율로 치환했을 때 콘크리트의 강도특성에 영향을 미치는 변수들을 선정하였고, 콘크리트포장의 품질관리 기준인 휨강도에 가장 큰 영향을 미치는 변수들을 실험통계적으로 판별하였다. 이때, 콘크리트포장의 휨강도가 기준치에 미치지 못하므로, 플라이애쉬 치환율을 10%, 20%, 30%로하여 콘크리트의 최적배합설계를 실시한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 휨강도에 영향을 미치는 인자는 플라이애쉬 치환율이 가장 큰 것으로 나타났고, 이는 플라이애쉬 치환율을 어느정도 제한해야 함을 보여주고 있다. 또한 굵은골재최대치수와 물-시멘트비는 플라이애쉬 치환율 보다는 적지만 어느정도는 휨강도에 영향을 미치고 있다. 즉 최적배합설계시 이 3가지 변수 모두를 적용할 수 있음을 나타내고 있다.

2. 플라이애쉬의 시멘트 치환율의 변화에 따른 변수들 간의 상관관계를 검토한 결과 플라이애쉬 치환율과 굵은골재최대치수의 관계가 가장 큰 것을 알 수 있었다.

3. 포장용 콘크리트의 목표 휨강도와 압축강도의 최적배합 구간을 찾아내기 위한 플라이애쉬의 시멘트 치환율, 굵은골재최대치수, 물-시멘트비의 최적배합설계를 제시하였다.

4. 앞으로의 향후과제는 콘크리트포장의 내구성 향상에 대한 검토로서 투수성, 동결융해 저항성, 화학 저항성 등을 파악하여 콘크리트포장에 플라이애쉬 적정 치환율의 지침을 마련해야 할 것으로 사료된다.

감 사

“본 연구는 강원대학교 석재복합신소재 제품연구센터의 연구비 지원에 의하여 수행되었음”

참 고 문 헌

- [1] Abasi, A. F., Munir, A., and Mohamad, W., “ Optimization of Concrete Mix Propotioning Using Reduced Factorial Experimental Technique ”, ACI Material Journal, January-February 1987, pp. 55~ 63.
- [2] 김광우, 박계선, 이봉학, 김진영., “재생 폐콘크리트의 성능향상에 관한 연구”, 콘크리트학회지, Vol. 7, 1995.
- [3] Celik Ozyildirim and Woodrow J. Halstead “Improved Concrete Quality with Combinations of Fly Ash and Silica Fume”, ACI Materials Journal , Title No. 91-M59, November-December 1994, pp. 587-594.
- [4] 박칠림외 3명., “실리카흙 및 플라이애쉬의 혼합방법에 따른 고강도 콘크리트의 실험적 연구”, 대한건축학회 논문집, 9권 2호, 1993, pp. 217-224.
- [5] Gopalan, M. K., and Haque, M. N., “Design of Flyash Concrete”, Cement and Concrete Research. Vol. 15, 1985, pp. 694-702.
- [6] 姜海作, “콘크리트 혼화재료”, 사단법인 한국콘크리트학회, 1997.
- [7] 허 번, 손원표., “도로설계”, (주)대한콘설탄트기술연구소, 1995.
- [8] 吳聖源, “石炭灰 處理 現況과 對策”, 석탄회 활용 국제워크숍, 한국전력공사·(재) 한국계면공학연구소, 1996년 8월
- [9] 오성원, “석탄회 및 탈황석고 배출 현황 및 대책”, 석탄회활용 국제워크숍, 한국전력공사·(재) 한국계면공학연구소, 1997년 5월
- [10] 오병환, “석탄회의 콘크리트 및 토목분야 이용 기술”, 석탄회활용 국제워크숍, 한국전력공사·(재) 한국계면공학연구소, 1997년 5월
- [11] Yang H. Huang, “Pavement Analysis and Design”, Prentice, 1993
- [12] A.F.Stock, “CONCRETE PAVEMENTS”, Elsevier Applied Science Publishers, 1988
- [13] ACI Committee 226.3R-87, “Use of Fly Ash in Concrete”, ACI Manual, Part 1, 1994