

# 제지에쉬를 혼입한 모르터의 특성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Properties of Mortar Mixing Paper Ash

이 시 우\*

Lee, Si-Woo

### Abstract

The purpose of this study is investigating characteristics of paper-ash mortar according to partial replacement of fine aggregate by paper-ash. For this purpose, selected test variables were mixing ratio with two levels of mortar(1:2, 1:3), and 3 types of paper-ash(A, B, C), and paper-ash content with four levels(5%, 10%, 15%, 20%)

As a result of this study, in all mixes with partial replacement of fine aggregate by paper-ash generally produced paper-ash mortar with decreased compressive strength at all age as compared to ordinary mixes. The mixing rate 1:2 was the higher increasing rate of strength than the mixing rate 1:3. The flow value and unit weight of paper-ash mortar were decreased with increasing of the paper-ash content. And the thermal conductivity of the thermal conductivity of the paper-ash mortar was lower than normal mixing without paper-ash.

키워드 : 제지에쉬, 부분대체, 잔골재, 제지에쉬 모르터,

Keywords : paper-ash, partial replacement, fine aggregate, paper-ash mortar

## 1. 서 론

산업의 급속한 성장은 인간의 생활을 윤택하고 여유롭게 했으나, 이로 인한 발생되는 여러 산업폐기물은 공해발생 등 환경파괴의 주 요인으로 그 처리방법과 비용 등이 사회문제로 대두되고 있다.

그러므로 향후의 건축생산에 있어서 건설자재의 부족현상 및 산업화에 따른 환경악화의 대처방안으로 산업폐기물의 재활용은 점차 확산될 것이며, 이러한 산업폐기물의 자원화는 매우 중요히 다루어져야 할 문제라 사료된다.

제지 에쉬는 제지 공정과정에서 발생하는 펄프 슬러지를 소각 처리한 폐기물로 국내 제지산업에서 발생하는 제지에쉬는 연간 15만톤 수준으로 집계되고 있으며, 제지산업이 발달한 일본 등에서는 이에 대한 재활용 방안에 대한 연구가 많이 이루어져 시멘트 중량제, 특수 시멘트 원료, 아스팔트 포장용 재료, 경량골재, 요업공업, 토질안정제등 다양한 용도로 이용되고 있다. 그러나 우리나라에서는 이러한 연구가 아직은 미흡한 실정으로 현재 이들 제지 에쉬의 90%가 매립되고 있으며, 매립시 발생하는 분진과 매립지의 부족에 따른 어려움 등이 큰 문제점으로 지적되고 있다.

따라서 본 연구에서는 산업폐기물의 하나인 제지 에쉬를 입경에 따라 3종류로 분류하고 각 입경별 제지에쉬를잔골재의 중량비로 부분 대체하여 제지 에쉬를 혼입한 모르터의 각종 특성을 실험을 통하여 규명함으로써 제지 에쉬의 유효활용을 위한 자료를 제공하고자 한다.

본 연구는 2000학년도 충청대학 학술연구비 지원에 의한 결과임.

## 2. 실 험

### 2.1 사용재료

#### 1) 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 KS L 5201(포틀랜드 시멘트)에 규정된 S사의 보통 포틀랜드시멘트로 비중은 3.15, 분말도는 3,150g/cm<sup>3</sup>이다.

#### 2) 골재

본 실험에 사용한 잔골재의 특성은 표 1과 같으며, 표준입도 범위 내에 들어가는 것을 사용하였다.

표 1. 잔골재의 특성

구 분	비 중	흡수율 (%)	공극율 (%)	실적율 (%)	단위용적중량 (kg/m <sup>3</sup> )	조립율
강모래	2.5	1.93	61.7	38.3	1,566	3.28

\* 정희원, 충청대학 건축학부 부교수, 공학박사

### 3) 제지애쉬

본 실험에 사용된 제지애쉬는 충북 청원군에 소재한 D필프 청주공장에서 채취한 것을 사용하였으며, 제지애쉬의 특성은 표 2와 같고 입경에 따른 특성을 파악하기 위하여 다음과 같이 3종류로 분류하여 사용하였다.

- ① Type A - No. 50체를 통과하고 No. 100체에 잔류하는 것
- ② Type B - No. 100체를 통과하고 No. 200체에 잔류하는 것
- ③ Type C - No. 200체를 통과하는 것

표 2. 제지애쉬의 특성

구분	비중	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	Zn	ig.loss
제지애쉬	2.22	49.8	24.5	8.2	7.5	1.1	0.5	0.24	6.5

### 2.2 배합계획

본 실험은 제지애쉬를 혼입한 모르터의 재령, 제지애쉬의 혼입율 및 제지애쉬의 입경에 따른 특성을 규명하기 위하여 아래와 같은 영향인자를 요인으로 하여 배합계획을 수립하였다.

모르터 제조에 사용된 배합은 용적 배합비 1:2, 1:3의 2종류로 하고, 물시멘트 비는 45%로 고정하였으며, 제지애쉬는 입경에 따라 Type A(No. 50체를 통과하고 No. 100체에 잔류하는 것), Type B(No. 100체를 통과하고 No. 200체에 잔류하는 것), Type C(No. 200체를 통과하는 것)의 3가지 타입으로 분류하여, 이를 0%~20%의 범위에서 5%씩 증대시키며 잔골재 중량비 대체 혼입하여 실험을 진행하였다. 이에 따른 실험인자와 수준은 표 3과 같으며, 배합계획표는 표 4와 같다.

표 3. 실험인자 및 수준

요인	배합비	제지애쉬의 종류	제지애쉬 혼입율(%)
인자	1:2, 1:3	A(No. 50 ~ No. 100) B(No.100 ~ No. 200) C(No. 200이하)	0, 5, 10, 15, 20
수준	2	3	5

### 2.3 실험방법

모르터의 제조는 KS L 5109의 수경성 시멘트 반죽 및 모르터의 기계적 혼합방법에 따랐으며, 모르터의 반죽질기는 KS L 5111에 준해 플로우 값을 측정하였다. 배합된 모르터의 압축강도용 공시체 제조는 KS L 5105(시멘트 모르터의 압축강도 시험방법)에 의해 50.8×50.8×50.8mm의 입방체 몰드를 사용하였으며, 제작된 모르터 공시체는 양생실에서 24시간 양생 후 탈형과 동시에 항온수조에서 23±2℃로 3일, 7일, 28일, 91일의 소요재령까지 양생하였다.

소요재령까지 양생된 모르터 공시체의 압축강도 시험은 각 재령별로 3개씩의 공시체를 제작하여 만능재료시험기를 사용

하여 실험하였으며, 인장강도 및 열전도율 시험은 재령 28일에 한하여 실시하였다. 열전도율 시험용 시편의 크기는 15cm×15cm×(1.0±0.2)cm로 제작하였으며, KS F 2463(가열관에 의한 재료의 열전도율 시험방법)에 따라 정상열류법 시험기를 사용하여 5회 반복 측정 후, 그 평균값을 최종 열전도율 값으로 하였다.

표 4. 배합계획표

공시체	W*1/ (C*2+P.A) (%)	배합비	P.A*3의 종류	P.A 혼입율 (%)	중량배합 (kg/m <sup>3</sup> )			
					시멘트	P.A	잔골재	물
A-a-0	45	1:2	A	0	706	0	1120	318
A-a-1				5	706	56	1057	343
A-a-2				10	706	112	994	368
A-a-3				15	706	168	931	393
A-a-4			20	706	224	868	419	
A-b-1			B	5	706	56	1057	343
A-b-2				10	706	112	994	368
A-b-3				15	706	168	931	393
A-b-4				20	706	224	868	419
A-c-1			C	5	706	56	1057	343
A-c-2				10	706	112	994	368
A-c-3				15	706	168	931	393
A-c-4		20		706	224	868	419	
B-a-0		1:3	A	0	576	0	1373	259
B-a-1				5	576	69	1295	290
B-a-2				10	576	137	1218	321
B-a-3	15			576	206	1141	352	
B-a-4	20		576	275	1063	383		
B-b-1	B		5	576	69	1295	290	
B-b-2			10	576	137	1218	321	
B-b-3			15	576	206	1141	352	
B-b-4			20	576	275	1063	383	
B-c-1	C		5	576	69	1295	290	
B-c-2			10	576	137	1218	321	
B-c-3			15	576	206	1141	352	
B-c-4		20	576	275	1063	383		

W\*1 : Water, C\*2 : Cement, P.A\*3 : Paper Ash

### 3. 실험결과 및 고찰

배합계획 및 실험방법에 따른 결과는 표 5와 같고, 이에 따른 결과분석은 다음과 같다.

#### 3.1 플로우 값

##### 1) 배합비와 플로우값

그림 1은 배합비에 따른 플로우값의 변화를 나타낸 것이다. 배합비 1:2의 경우 제지애쉬 혼입율 10%일때 플로우값은 제지애쉬를 혼입하지 않았을 때의 88~90%정도를 나타냈으

며, 혼입율 20%에서는 무혼입의 61~87%정도의 플로우값을 나타냈다. 배합비 1:3의 경우에서는 혼입율 10%일때 무혼입의 67~75%, 혼입율 20%일때는 무혼입의 47~68%의 플로우값을 나타냈다. 이상과 같이 모든 배합에서 제지애쉬의 혼입율이 증가할수록 플로우값은 감소하는 것으로 나타났으며, 배합비 1:3의 경우가 배합비 1:2에 비하여 제지애쉬의 혼입율이 증가할수록 플로우값의 감소율이 더욱 큰 것으로 나타났다.

경우, 혼입율 변화에 따른 플로우값의 변화를 나타낸 것이다. 배합비 1:2인 (a)의 경우 Type A, B는 혼입율이 증가할수록 플로우값이 완만히 감소하는 경향을 보였으며, Type C의 경우 혼입율 10%이후부터 플로우값이 급격히 감소하여 혼입율 15%에서는 무혼입보다 33%정도, 20%에서 39%정도의 플로우 감소를 나타냈다. 배합비 1:3인 (b)의 경우는 제지애쉬의 입경별 종류에 상관없이 혼입율이 증가할수록 플로우값이 점차

표 5. 실험결과표

공시체	W/C(%)	배합비	P.A의 종류	P.A 대체율 (%)	플로우 (mm)	단위용적 중량 (kg/m³)	압축강도(kgf/cm²)				인장강도 (kgf/cm²)	열전도율 (kcal/mh°C)
							3일	7일	28일	91일		
A-a-0	45	1:2	A	0	230	2173	222	358	516	663	49	0.334
A-a-1				5	215	2141	215	339	359	574	43	0.326
A-a-2				10	207	2099	168	297	334	499	42	0.274
A-a-3				15	205	2078	168	289	350	455	39	0.266
A-a-4				20	200	2096	151	251	287	423	30	0.251
A-b-1			B	5	218	2145	213	343	371	541	44	0.335
A-b-2				10	205	2123	168	278	330	530	38	0.257
A-b-3				15	190	2048	167	296	383	439	34	0.287
A-b-4				20	182	1994	156	255	343	428	33	0.276
A-c-1			C	5	211	2133	218	357	376	571	45	0.355
A-c-2				10	203	2206	190	338	385	579	40	0.287
A-c-3				15	153	2088	195	282	341	498	33	0.248
A-c-4		20		140	2049	161	236	286	390	34	0.264	
B-a-0		1:3	A	0	213	2175	192	288	423	586	38	0.331
B-a-1				5	188	2159	146	239	372	453	33	0.256
B-a-2				10	160	2074	127	203	305	382	32	0.302
B-a-3				15	138	2055	108	170	287	335	27	0.229
B-a-4				20	144	1995	92	138	237	273	39	0.270
B-b-1			B	5	178	2143	166	217	417	466	42	0.335
B-b-2				10	143	2075	126	173	303	385	40	0.330
B-b-3	15			126	2046	96	158	276	319	40	0.323	
B-b-4	20			111	1986	82	149	222	278	39	0.226	
B-c-1	C		5	173	2167	140	227	350	466	42	0.277	
B-c-2			10	142	2092	126	201	305	392	41	0.265	
B-c-3			15	111	2084	114	172	248	321	41	0.284	
B-c-4		20	100	1957	75	115	153	227	38	0.252		

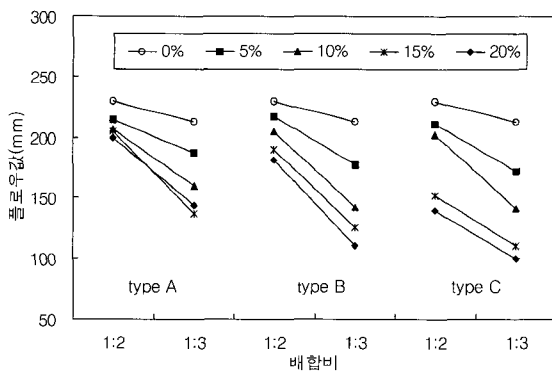
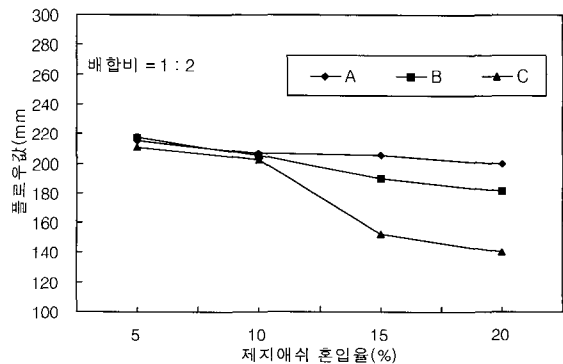


그림 1. 배합비와 플로우 값

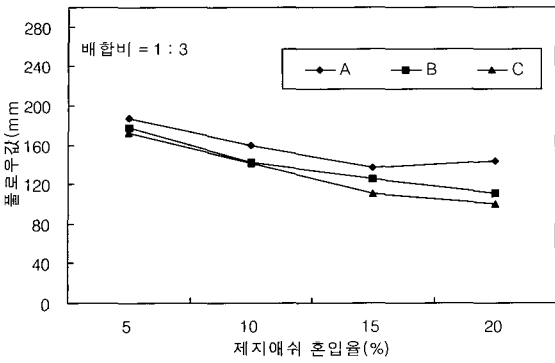
감소하는 경향을 보였으나, 배합비 1:2에서와 같이 급격한 플로우 감소현상은 나타나지 않았다.



(a) 배합비 1:2의 경우

2) 제지애쉬의 혼입율과 플로우값

그림 2는 잔골재 중량에 대하여 제지애쉬를 대체 혼입할

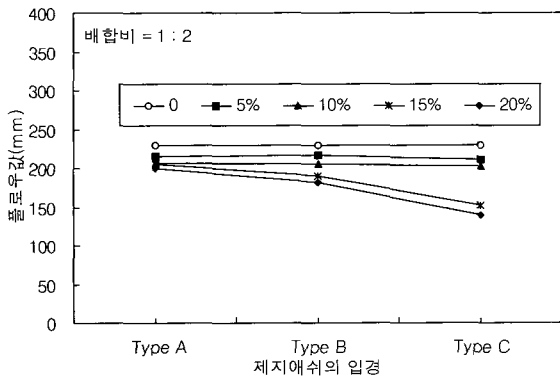


(b) 배합비 1:3의 경우  
그림 2. 제지애쉬의 혼입율과 플로우 값

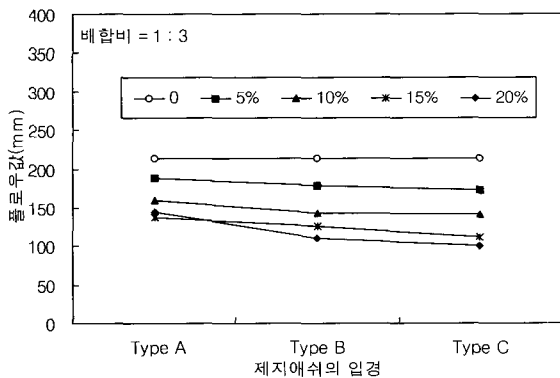
### 3) 제지애쉬의 입경별 플로우값

그림 3은 제지애쉬의 입경에 따른 플로우 값의 변화를 나타낸 것이다.

배합비 1:2의 경우 혼입율 증가에 따른 플로우 값의 감소율은 Type A는 13%, Type B는 21%, Type C는 39%로 나타나 입경에 따른 플로우 값의 감소율 차이가 큰 것으로 나타났다. 배합비 1:3인 경우는 Type A는 46%, Type B는 48%, Type C는 53%로 나타나 입경에 따른 플로우 값의 감소율 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.



(a) 배합비 1:2



(b) 배합비 1:3

그림 3. 제지애쉬의 입경과 플로우값

### 3.2 단위용적중량

제지애쉬를 혼입한 모르터의 단위용적중량은 제지애쉬의 입경에 따른 종류에 관계없이 제지애쉬의 비중이 잔골재보다 작으므로 제지애쉬의 혼입율이 증가할수록 감소하는 경향을 나타냈다.

배합비 1:2의 경우 제지애쉬를 혼입하지 않은 경우에 비하여 제지애쉬를 혼입한 경우 최고 8%정도의 단위용적중량이 감소하였으며, 배합비 1:3인 경우는 최고 10%정도의 감소를 나타냈다.

### 3.3 열전도율

본 실험에서 제지애쉬를 혼입한 모르터의 열전도율은 모든 배합에서 감소하는 경향을 보이고 있다.

배합비 1:2의 경우 Type A는 0.251 ~ 0.326 kcal/mh°C, Type B는 0.257 ~ 0.335 kcal/mh°C, Type C는 0.248 ~ 0.355 kcal/mh°C 범위로 측정되어 무혼입의 0.334 kcal/mh°C비하여 최고 26%정도 열전도율값이 저하된 것으로 나타났으며, 배합비 1:3의 경우 Type A는 0.229 ~ 0.302 kcal/mh°C, Type B는 0.226 ~ 0.335 kcal/mh°C, Type C는 0.252 ~ 0.284 kcal/mh°C 범위로 측정되어 무혼입의 0.331 kcal/mh°C비하여 최고 32%정도의 열전도율값이 저하되는 것으로 나타나 제지애쉬의 혼입은 모르터의 단열성능 개선에 유용할 것으로 판단된다.

### 3.4 압축강도

#### 1) 재령과 압축강도

그림 4는 제지애쉬를 혼입하지 않은 모르터에 대한 제지애쉬를 혼입한 모르터의 재령에 따른 압축강도 백분율을 나타낸 것이다.

배합비 1:2의 경우 재령 28일에서 압축강도 백분율이 가장 높은 것은 Type C의 제지애쉬 혼입율 10%일 때 압축강도 백분율 75%였으며, 배합비 1:3일 때는 Type B의 제지애쉬 혼입율 5%일 때 압축강도 백분율이 99%로 가장 높게 나타나 무혼입의 경우와 비슷한 강도백분율을 나타냈다.

한편, 본 실험에서 제지애쉬를 혼입하지 않은 모르터의 재령 28일을 기준으로 한 압축강도 발현율은 배합비 1:2에서 재령 3일의 경우 43%, 재령 7일의 경우 69%, 재령 91일의 경우 129%로 나타났으며, 배합비 1:3인 경우 재령 3일에 45%, 재령 7일에 68%, 재령 91일에 139%로 나타났다.

그리고 제지애쉬를 혼입한 배합에서의 재령에 따른 압축강도 발현율은 배합비 1:2에서 재령 3일의 경우 재령 28일 강도의 44 ~ 60%, 재령 7일의 경우 74 ~ 94%, 재령 91일의 경우 115 ~ 160%로 나타났으며, 배합비 1:3인 경우는 재령 3일에 35 ~ 49%, 재령 7일에 52 ~ 75%, 재령 91일에 112 ~ 149%로 나타나 배합비 1:2의 경우가 배합비 1:3의 경우보다 재령 28일을 기준으로 한 압축강도 발현율이 높은 것으로 나타났다.

#### 2) 혼입율과 압축강도

그림 5는 제지애쉬의 혼입율에 따른 압축강도의 변화를 나타낸 것으로 제지애쉬를 혼입할 경우 혼입율에 관계없이 모든 배합에서 제지애쉬를 혼입하지 않은 모르터보다 낮은 압축강도를 나타냈다.

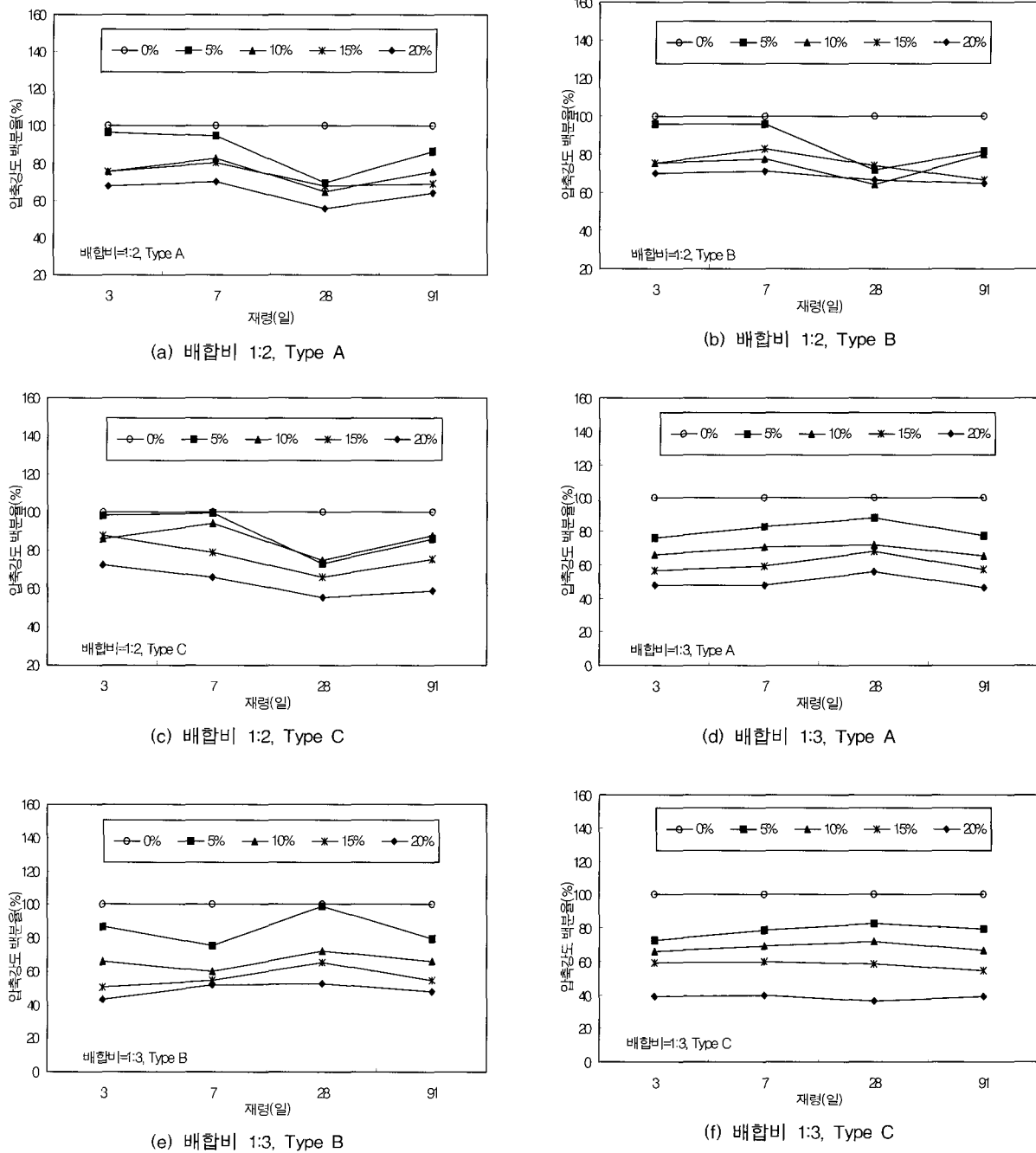


그림 4. 재령에 따른 압축강도비

재령 28일에서 제지애쉬를 혼입한 모르타 중 가장 높은 압축강도를 나타낸 것은 배합비 1:2인 경우 Type A는 혼입율 5%, Type B는 혼입율 15%, Type C는 혼입율 10%로 나타났으며, 배합비 1:3인 경우는 Type A, B, C 모두 혼입율 5%로 나타났다.

또한 재령 91일에서 배합비 1:2인 경우 Type A는 혼입율 5%, Type B는 혼입율 5%, Type C는 혼입율 10%로 나타났으며, 배합비 1:3인 경우는 Type A, B, C 모두 혼입율 5%로 나타났다.

한편, 잔골재 중량비 대체혼입에 의한 압축강도 발현을 위

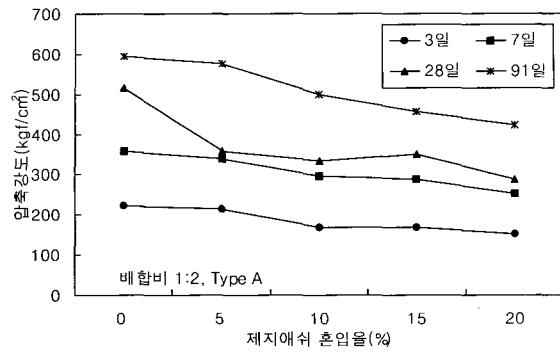
한 적정 혼입율은 배합비 1:2의 경우 10%, 배합비 1:3의 경우는 5%가 적정할 것으로 판단된다.

### 3) 제지애쉬 입경과 압축강도

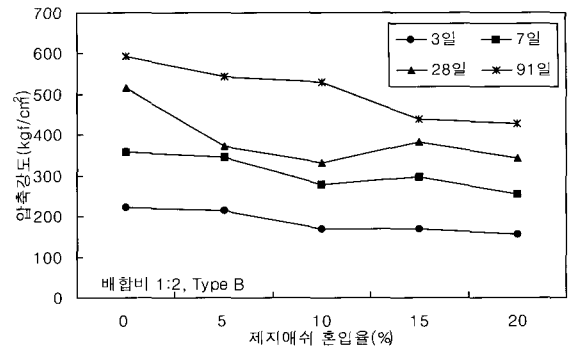
그림 6은 제지애쉬의 입경에 따른 압축강도의 변화를 나타낸 것이다.

배합비 1:2의 경우 혼입율 15%일 때 Type B는 Type A와 Type C보다 약 10%정도 압축강도가 높게 나타났으며, 혼입율 20%일 때는 약 17%정도 높은 압축강도를 나타냈다.

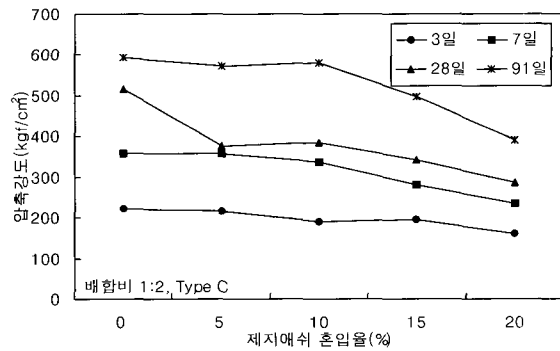
배합비 1:3의 경우 제지애쉬의 혼입율이 10%일 때는 제지에



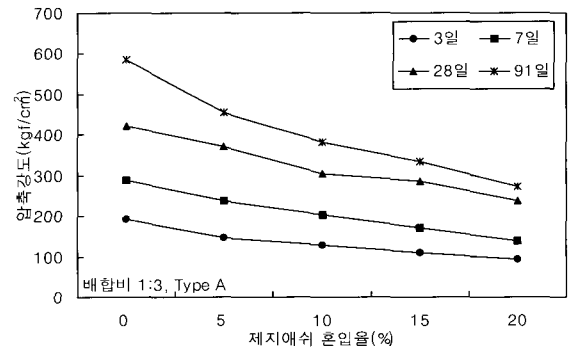
(a) 배합비 1:2, Type A



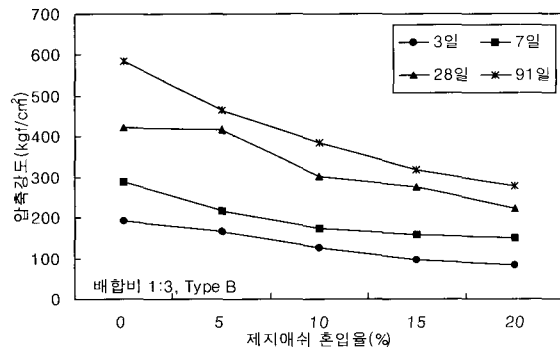
(b) 배합비 1:2, Type B



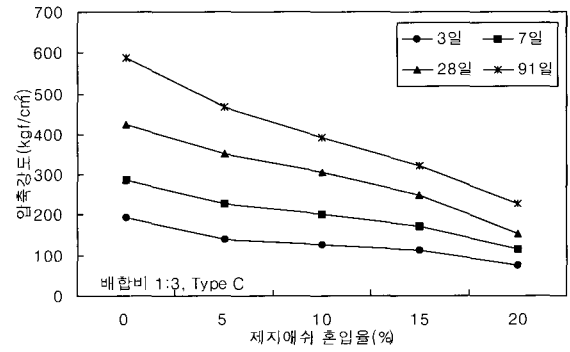
(c) 배합비 1:2, Type C



(d) 배합비 1:3, Type A

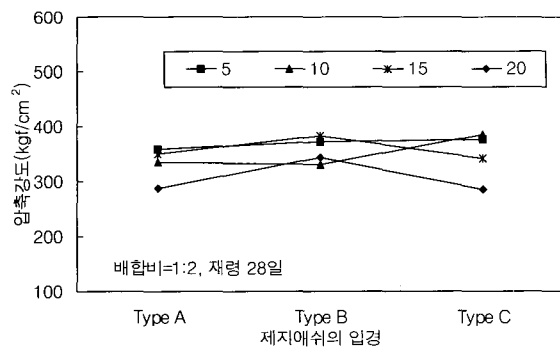


(e) 배합비 1:3, Type B

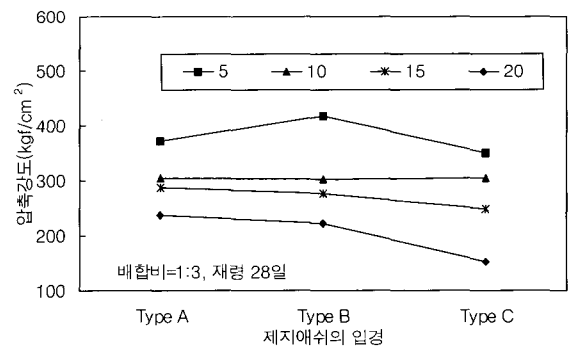


(f) 배합비 1:3, Type C

그림 5. 혼입율과 압축강도



(a) 배합비 1:2, 재령 28일



(b) 배합비 1:3, 재령 28일

그림 6. 제지애쉬 입경별 압축강도

쉬의 입경과 관계없이 강도차이가 나타나지 않았으며, 혼입율 5%, 15%, 20%의 경우는 Type C가 Type A와 Type B보다 낮은 압축강도를 나타냈다. 특히 혼입율 5%의 경우는 Type B가 Type A, Type C보다 11~16%정도 높은 압축강도를 나타냈다.

#### 4. 결론

본 실험에서는 잔골재 중량에 대하여 제지에쉬를 혼입한 모르터의 특성에 대해 알아보기 위하여 배합비, 제지에쉬의 혼입율, 제지에쉬의 입경에 따른 종류 등을 변화시켜 압축강도, 플로우값, 단위용적중량, 열전도율 등에 대한 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 플로우값은 제지에쉬의 혼입율이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났으며, 배합비 1:3의 경우가 배합비 1:2에 비하여 제지에쉬의 혼입율이 증가할수록 플로우값의 감소율이 더욱 큰 것으로 나타났다.
2. 단위용적중량은 제지에쉬의 혼입율이 증가할수록 감소하였으며, 배합비 1:2의 경우 약 8%, 배합비 1:3의 경우는 약 10%의 단위용적중량이 감소하였다.
3. 제지에쉬를 혼입한 모르터의 열전도율은 모든 배합에서 감소하는 경향을 보이고 있으며, 배합비 1:2의 경우 최저 열전도율은 0.248 kcal/mh<sup>°C</sup>로 무혼입의 0.334 kcal/mh<sup>°C</sup>비하여 약 26%, 배합비 1:3의 경우 최저 열전도율은 0.226 kcal/mh<sup>°C</sup>로 무혼입의 0.334 kcal/mh<sup>°C</sup>에 비하여 약 32%정도의 열전도율값이 저하되는 것으로 나타나 제지에쉬의 혼입은 모르터의 단열성능 개선에 유용할 것으로 판단된다.

4. 배합비 1:2의 경우가 배합비 1:3의 경우보다 재령 28일을 기준으로 한 압축강도 발현율이 높은 것으로 나타났으며, 잔골재 중량비 대체혼입에 의한 압축강도 발현을 위한 적정 혼입율은 배합비 1:2의 경우 10%, 배합비 1:3의 경우는 5%가 적정할 것으로 사료된다.

#### 참고 문헌

1. 서치호, “플라이애쉬 입도차이에 따른 경량모르터의 특성에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 논문집 14권 8호, 1998. 8.
2. 문종욱, 지석원, 서치호, “미연탄소분 함량의 차이로 인한 플라이애쉬 모르터의 특성 변화에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 논문집 17권 5호, 2001. 5.
3. 문경주, 백명중, 소양섭, “제지 슬러지 소각회를 이용한 비소성 인공골재의 제조 및 적용”, 대한건축학회 논문집 16권 8호, 2000. 8.
4. 김기형, “콘크리트용 재료로서 각종 산업 폐기물의 재활용”, 콘크리트 학회지 VOL.13 NO.4, p118, 2001. 7.
5. 浦野登志雄, 下田誠也, “製紙スラッジ焼却灰のコンクリート混和材料としての有効利用に関する研究”, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 2001. 9.