

産業副産物인 煉炭재를 사용한 콘크리트의 基礎的 研究

Fundamental Study on the Utilization of Briquet Cinders for Concrete

文 翰 英*
Moon, Han Young

Abstract

It was investigated by experimental method whether fine powder and coarse particle obtained by briquet cinders crushing could be used in the place of cement and fine aggregate or coarse aggregate for concrete.

Except these experiments, further study, containing the fundamental physical properties of briquet cinders and the mechanical properties of concrete using briquet cinders, is needed for practical use, but these experimental results suggest the possibility for using briquet cinders as materials for mortar or concrete.

要 旨

연탄재를 분쇄하여 微粒재를 시멘트 대용으로 그리고 粗粒재는 잔골재 및 굵은골재용으로 각각 분류하여 콘크리트나 시멘트 2차제품용으로 사용할 수 있는지를 실험을 통하여 검토하였다.

본 실험 이외에도 연탄재의 基本物性 및 연탄재를 사용한 콘크리트의 몇몇 力學的性質에 관한 연구 검토가 필요하겠으나, 연탄재를 모르타르나 콘크리트용 재료로 사용할 수 있는 가능성을 시사한 실험결과로 생각된다.

1. 서 론

연탄은 우리들의 가정생활이나 산업분야에서 중요한 에너지 자원으로 이용되고 있으나, 타고 남은연탄재는 거의 쓸모없는 쓰레기에 지나지 않으며 주로 埋立用材料 등으로 이용되고 있다.

연탄재는 겨울철 도시 쓰레기 내용물중 상당한 비중을 차지 하며, 그양이 방대하므로 收去處理問題 및 都市美觀은 물론 環境公害의 要因이 되므로 우리 사회의 고민거리로 되고 있다⁽¹⁾.

이러한 연탄재의 處理 및 再活用方案에 관한 연구 성과가 발표 되고 있으며⁽²⁻⁷⁾, 연탄재 제품

의 규격도 발표 되고 있으나⁽⁸⁾ 연탄재를 사용한 콘크리트나 시멘트 2차제품에 관한 理論的인 뒷받침이된 연구는 많지 않은것 같다.

한편 주지하는 바와 같이 建設工事의 급격한 증대로 인하여 콘크리트용 천연골재가 부족하며, 河川維持管理, 橋梁保護 및 軍事保護地域 등의 이유로 골재채취를 제한 함으로써 골재난은 더욱 심각해 졌다. 그래서 서울시의 경우 골재需給 및 將來對策으로 수도권에서 원거리에 있는 市界上流地域의 하천골재와 石山開發에 중점을 둔 적이 있었으나 經濟性 및 골재의 물리적 성질 등이 문제점으로 되고 있다⁽⁹⁾. 이러한 골재난은 선진국에서도 오래전 부터 겪고 있으며, 콘크리트용 골재의 長期需給對策의 일환으로 高爐슬래그나

* 正會員 · 漢陽大學校 工科大學 土木工學科 副教授

표 1. 시멘트 및 연탄재의 화학성분

종류	성분(%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O, Na ₂ O
시멘트		22.0	5.0	3.2	63.3	1.7	—
연탄재		43~65	20~42	7~12	0.3~3.9	0.2~2.5	1.7~4.0

표 2. 골재 및 연탄재의 물리적 성질

종류	구분	항목	비중	흡수량 (%)	조립율 (F.M.)	단위용적중량 (kg/m ³)	공극율 (%)	유기불순물 (색)
잔골재	강모래		2.60	1.45	2.35	1,530	41.0	무색
	연탄재		2.15	25.0	3.63	890	41.0	"
굵은골재	강자갈		2.64	1.16	7.02	1,807	32.1	—
	연탄재		2.48	23.7	6.17	1,071	38.3	—

構造物을 解體 했을때 생기는 콘크리트 폐기물, 벽돌 블록및 석재 등과 같은 建設廢材, 産業副産物을 再活用하는 代替骨材開發에 관한 연구가 資源節約 및 保護라는 측면에서 활발히 검토되고 있다(10~17).

필자는 연탄재를 골재 부족현상을 해결하기 위한 한 수단과 産業副産物의 有効利用 이라는 두가지 면에서 콘크리트용 재료에 이용하는 문제에 着眼하게 되었다.

본 연구에서는 연탄재를 微粒재와 粗粒재로 분류하여 이를 모르타및 콘크리트의 시멘트나 골재의 代替材料로 이용하고자 했다. 연탄재를 시멘트, 잔골재및 굵은골재로 사용 하는데 따른 굳지않은 콘크리트의 물성및 경화한 콘크리트의 강도면에 중점을 두어 실험을 실시 하였으며, 모르타및 콘크리트의 워어커빌리티와 강도를 개선 할 목적으로 凝和劑를 사용한 실험에 대해서도 고찰 하였다.

2. 實驗概要

2-1. 사용재료

(1) 시멘트: 보통포틀랜드 시멘트로서 비중 3.15 이며, 시멘트의 화학성분은 표 1과 같다.

(2) 연탄재: 연탄재를 분쇄하여 KSA 5105 규정의 No. 100 의 표준체로 쳐서 이 체를 통과하는 연탄재를 微粒재라 하며, 남은 연탄재를 粗粒재라 하였으며, No.4 체로 쳐서 통과하는 것

은 잔골재용으로 남는 것은 굵은골재용으로 사용하였다.

이때 粗粒재를 분쇄한 그대로 사용한 경우와 prewetting 해서 표면건조포화상태로 사용하였다. 연탄재의 화학성분⁽³⁾ 과 물리적 성질은 표 1 및 표 2와 같다.

연탄재의 粒形을 조사하기 위하여 微粒재(BI-aine의 비표면적 2010cm²/g)를 편광현미경과 반사현미경으로 관찰한 것이 사진 1 및 사진 2이다.

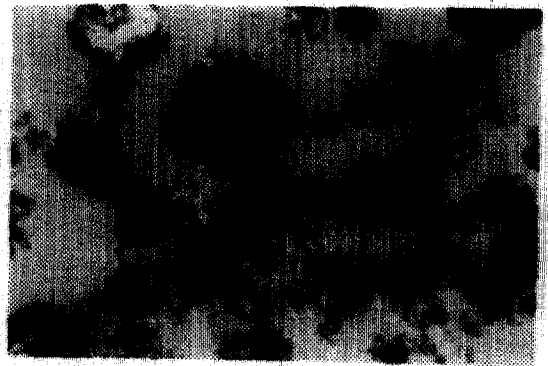


사진 1 편광현미경으로 관찰한 미립재(100×)

반사현미경으로 촬영한 사진 2의 검은 粒子는 연탄의 불완전 연소 부분이며, 흰부분은 연소된 재료로서 SiO₂가 析出 되었다. 편광현미경



사진 2. 반사현미경으로 관찰한 미립재(100×)

사진에는 미연소의 검은부분이 많이 있음을 알 수 있다. 한편 미립재의 粒子모양은 플라이 애쉬와 달리^(18,19) 부순돌과 같은 요철과 각이 많은 표면상태임을 쉽게 알 수 있다.

(3) 골재 : 잔골재와 굵은골재는 한강산으로 물리적성질은 표 2와 같다.

(4) 혼화제 : 리니닌설펜산 칼슘을 주성분으로 하는 포조리스 No. 5(이하 PO로 약함)와 高縮合 triazine 系化合物을 주성분으로하는 고성능 감수제 NL-4000(이하 NL로 약함)을 사용하였다.

2-2. 실험기구 및 방법

(1) 응결시험 : 시멘트+미립재 혼합물의 응결 시간을 Vicat 장치에 의하여 측정하였다.



사진 3. 편광현미경(Polarizing microscope)

(2) flow test : 모르터의 반죽질기는 흐름값이 110~115가 되도록 수량을 조절하였다.

(3) 강도시험 : 모르터및 콘크리트용 공시체를 5×5×5 cm 입방형몰드와 φ10×20 cm 몰드를 각각 성형하여 1일에 탈형하여 20°C 수중에서 양생하여 재령 7일과 28일에 강도시험을 실시하였다. 한편 탄성계수는 ASTM C 469 원주형공시체에 의한 정탄성계수 측정방법에 의하여 응력-변형률곡선의 할선계수로서 구하였다.

(4) 현미경 : 편광현미경과 반사현미경은 倍率이 50~1500 배까지 촬영 가능하며, 편광현미경은 자연광을 편광시켜 시료에 투사한후 통과되어 나오는 빛을 관찰 함으로서 확대관찰이 가능하며, 반사현미경은 빛을 대물렌즈를 통하여 시료의 표면에 투사한 후 그 표면에서 반사된 반사광을 이용하여 시료의 표면을 확대관찰하는 장치이다.

2-3. 모르터 및 콘크리트의 배합

모르터는 미립재를 시멘트에 7단계 $\frac{\text{재}}{\text{시멘트+재}}=0\sim60\%$ 로 混和 하였으며, 조립재는 잔골재 $\frac{\text{재}}{\text{모래+재}}=0\sim100\%$ 로 代替하였다. 한편 콘크리트는 조립재를 No. 4 체로 분류하여 잔골재와 굵은골재로 다음 조건의 46배합으로 조합하였다.

- (1) 단위시멘트량 350 kg, 500 kg
- (2) 잔골재를 조립재 6종류로 대체
- (3) 굵은골재를 조립재 4종류로 대체



사진 4. 반사현미경(Inverted microscope)

표 3. 미립제의 혼화율에 따른 모르터의 물성시험결과

재/C+재 (%)	W/C+재 (%)	Flow	Density (g/cm ³)	비강도 (kg/cm ³)	압축강도 (kg/cm ²)			
					7 일	14 일	28 일	91 일
0	44.1	110	2.14	105	163	173	226	267
10	46.6	110	2.12	92	131	166	196	261
20	52.9	111	2.05	79	96	112	159	218
30	58.8	113	2.03	54	77	93	111	177
40	66.2	113	1.99	34	53	66	67	119
50	73.4	115	1.95	17	23	32	35	70
60	78.4	116	1.93	14	16	24	27	50

(4) 슬럼프값 10±1 cm

(5) 혼화제의 종류 및 사용량의 변화

3. 實驗結果

3-1. 微粒재를 澆和材로 사용한 모르터 및 콘크리트의 실험결과

미립제를 시멘트에 섞어 사용할 수 있는지를 알아보기 위하여 미립제의 혼화율에 따른 모르터의 물성에 대한 실험결과가 표 3이다.

한편 미립제를 시멘트에 50% 까지 5 단계로 혼화한 콘크리트의 배합조건으로 단위시멘트량 320 kg, 잔골재율 38%, 굵은골재 최대치수 40 mm로 정하여 슬럼프값 9±1cm 범위에 해당하는 굳지 않은 콘크리트의 물시멘트비를 구하였다. 그 결과 그림 1에서와 같이 미립제를 50% 혼화하는데 따라 콘크리트의 물시멘트비가 약 30% 증가하며, 재령 28일 압축강도는 75% 정도 크게 감소하는 현상을 나타내었다.

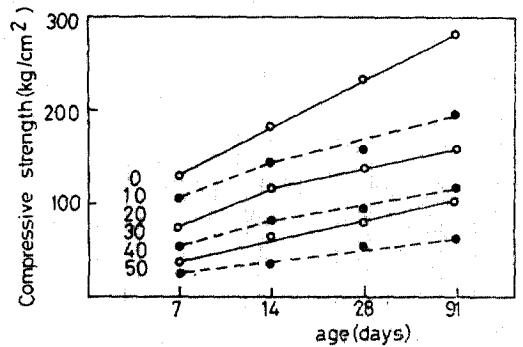


그림 1. 미립제의 혼화율에 따른 콘크리트의 압축강도

3-2. 잔골재를 粗粒재로 代替한 모르터의 실험결과
조립재를 모래에 섞어 시멘트블록, 벽돌 등과 같은 시멘트 2차제품이나 콘크리트용 재료로 사용했을때를 가정한 실험결과가 표 4이다.

이번에는 혼화제를 사용 함으로써 모르터의

표 4. 조립제의 대체율에 따른 모르터의 물성시험결과

재/S+재 (%)	W/C (%)	Flow	Density (g/cm ³)	비강도 (kg/cm ³)	압축강도 (kg/cm ²)			
					7 일	14 일	28 일	91 일
0	44.1	116	2.24	161	218	257	360	397
10	51.5	116	2.16	162	196	213	350	393
20	64.7	114	2.07	120	128	148	249	277
30	78.4	116	2.00	107	97	116	215	255
40	88.2	113	1.94	90	80	105	175	177
50	98.0	115	1.89	91	76	94	171	172
60	117.6	113	1.83	84	62	85	154	170
70	130.7	114	1.76	68	44	60	119	154
80	141.8	110	1.72	64	39	59	111	139
90	156.9	117	1.71	59	32	50	101	120
100	169.9	111	1.67	57	26	43	94	102

표 5. 혼화제의 사용량에 따른 모르타의 물성시험결과

재/S+재 (%)	W/C (%)	PO/C (%)	Flow	Density (g/cm ³)	압축강도 (kg/cm ²)		
					7 일	14 일	28 일
0	28	0	111	2.37	318	549	584
50	52	0	111	2.13	165	348	384
100	77	0	111	1.87	82	143	187
0	26	0.25	113	2.34	340	573	606
50	51	0.25	112	2.10	170	365	400
100	74	0.25	115	1.84	91	150	194
0	24	0.50	114	2.30	352	585	619
50	49	0.50	113	2.06	185	370	415
100	72	0.50	112	1.82	110	158	213
0	21	1.00	115	2.27	380	503	639
50	42	1.00	111	2.04	200	402	439
100	67	1.00	112	1.80	126	173	220

반죽질기 및 강도증진에 얼마나 유효 한지를 알아 보기 위하여 실시한 실험결과 표 5이다.

3-3. 잔골재를 粗粒재로 代替한 콘크리트의 실험 결과

잔골재를 조립재로 대체한 굳지 않은 콘크리트의 경우, 조립재의 代替率이 증가함에 따라 동일 슬럼프값을 유지하기 위해서 콘크리트의 물시멘트비가 약간 증가 되었다. 그러나 그림 2에 의하면 혼화제를 시멘트 중량에 200 cc와 400 cc 사용함에 따라 물시멘트비가 2% 감소되며 조립재의 대체율이 증가함에도 불구하고 슬럼프 값이 오히려 약간 향상 되었다.

한편 단위시멘트량 500 kg에 고성능감수제를

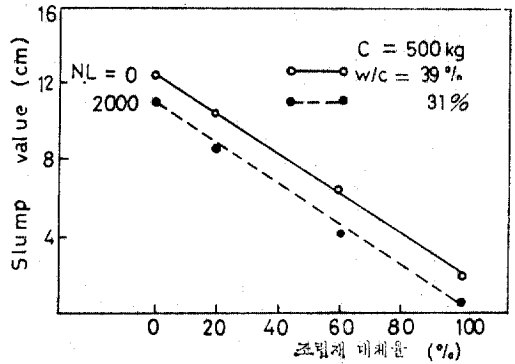


그림 3. 조립재의 대체율에 따른 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프값

사용한 굳지 않은 콘크리트는 동일슬럼프값을 유지하기 위해서 감수제를 사용하지 않은 경우보다 물시멘트비가 약 8% 감소 되었으며, 그림 3에 의하면 조립재의 대체율이 10%씩 증가 하는데 따라 슬럼프값 1.5 cm 정도 감소하는 결과를 나타내었다.

이번에는 잔골재를 조립재로 대체한 콘크리트의 강도 및 탄성계수를 정리 한 것이 그림 4~그림 8이다.

3-4. 굵은골재를 粗粒재로 代替한 콘크리트의 실험 결과

굵은골재를 조립재로 대체한 굳지않은 콘크리트의 위어커빌리티를 그림 9로 나타내었으며, 경

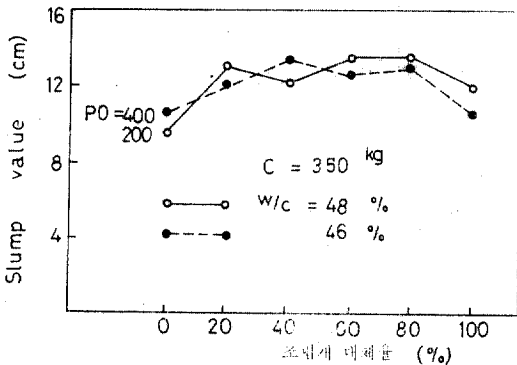


그림 2. 조립재의 대체율에 따른 굳지않은 콘크리트의 슬럼프값

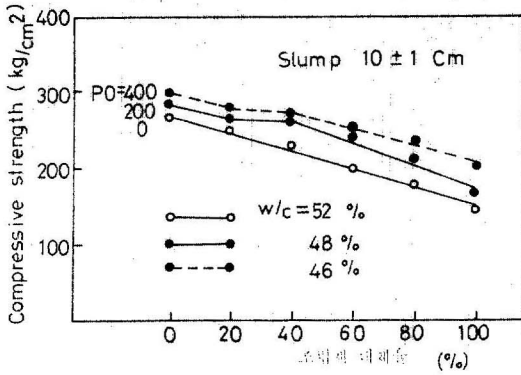


그림 4. 조립재의 대체율에 따른 콘크리트의 압축강도

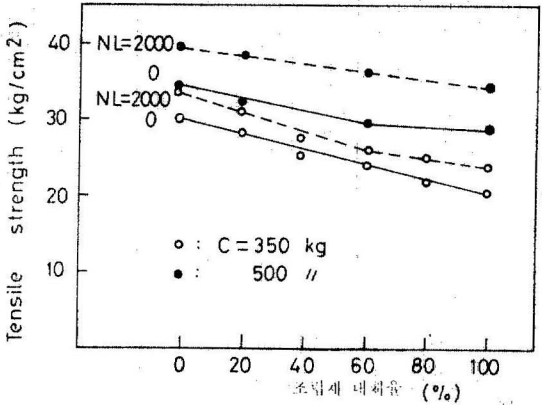


그림 7. 조립재의 대체율에 따른 콘크리트의 인장강도

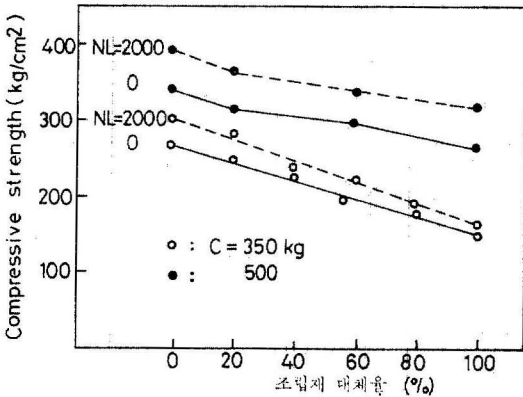


그림 5. 조립재의 대체율에 따른 콘크리트의 압축강도

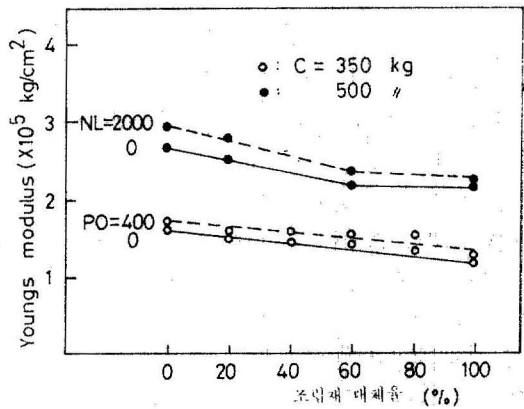


그림 8. 조립재의 대체율에 따른 콘크리트의 탄성계수

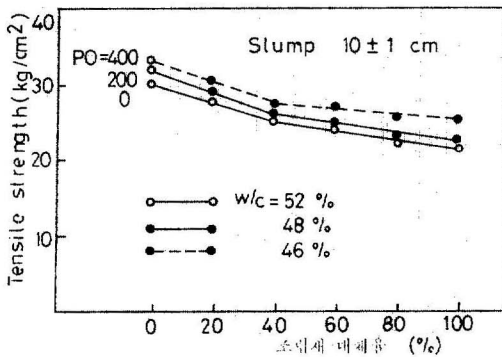


그림 6. 조립재의 대체율에 따른 콘크리트의 인장강도

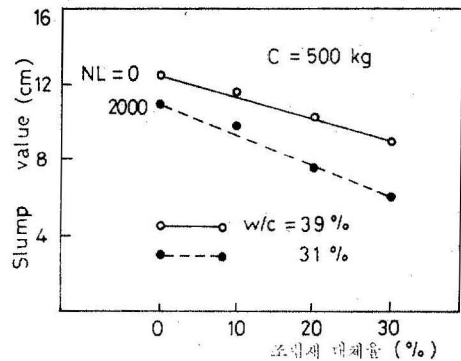


그림 9. 조립재의 대체율에 따른 굳지않은 콘크리트의 슬럼프값

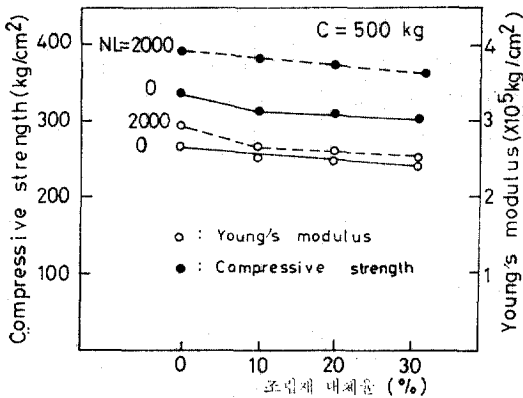


그림 10. 조립재의 대체율에 따른 콘크리트의 압축강도 및 탄성계수

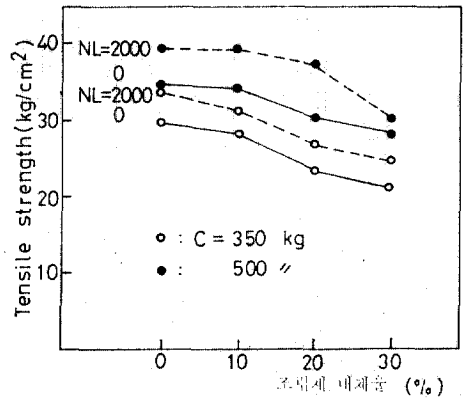


그림 11. 조립재의 대체율에 따른 콘크리트의 인장강도

화한 콘크리트의 강도 및 탄성계수를 정리한 것이 그림 10 과 그림 11 이다.

그림 9 에서 조립재의 대체율이 10% 씩 증가하는데 따라 슬럼프값이 약 2cm 감소하는 결과를 나타내었다. 한편 굵은 골재를 조립재로 대체한 경화한 콘크리트의 압축강도와 인장강도는 잔골재를 조립재로 대체한 그림 4~7의 결과와 비슷한 경향을 나타냄을 알 수 있다.

4. 實驗結果에 대한 考察

4-1. 微粒재를 混和한 모르터 및 콘크리트의 실험결과에 대한 고찰

미립재를 시멘트에 적당량 혼화하여 모르터나 콘크리트에 이용 하고자 하는 着想은 화력발전소의 플라이 애쉬를 시멘트의 混和材로 사용하는 것과^(20,21) 원리가 동일하다. 그러나 연탄재의 화학성분표에서 알 수 있듯이 水和作用에 도움을 주는 화학성분이 적으므로 미립재를 혼화하는데 따라 시멘트+연탄재 혼합물의 凝結, 硬化時間이 시멘트 만을 사용한 시멘트풀 보다 지연될 것으로 예상되므로 응결시간을 측정해 본 것이 표 6 이다. 이 표에서 미립재의 혼화율이 증가함에 따라 응결시간이 약간 지연됨을 알 수 있다. 그래서 미립재를 7 단계로 시멘트에 혼화한 모르터를 표준 반죽질기의 범위가 되도록 수량을 조절하여 물시멘트비와 압축강도와와의 관계로, 나타낸 것이 그림 12 이다.

표 6. 미립재를 혼화재로 사용한 혼합물의 응결 시간

재 (C+재) (%)	W (C+재) (%)	응결시간 (時:分)
0	25.4	3:40
10	28.8	3:55
20	34.1	4:30
30	40.6	4:40
40	49.8	4:50
50	61.2	5:00

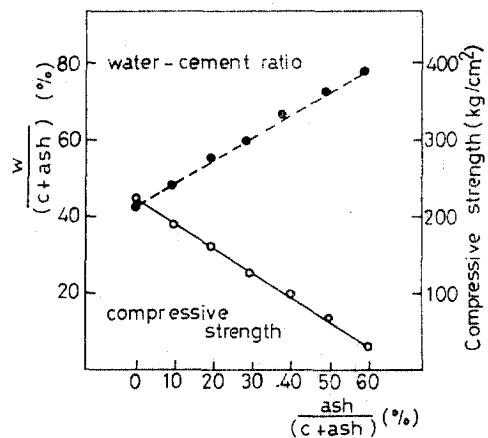


그림 12. 미립재를 혼화한 모르터의 혼화율과 물시멘트비 및 압축강도와와의 관계

이 그림에서 미립재의 혼화율이 10%씩 증가하는데 따라 물시멘트비가 약 6% 증가하는 반면 압축강도는 35 kg/cm² 정도 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 콘크리트에서도 마찬가지로 압축강도의 감소율이 거의 비슷한 경향을 나타냄을 그림 1로서 알 수 있으며, 재형에 따른 강도의 증가율도 시멘트만을 사용한 콘크리트보다 다소 둔화 됨을 알 수 있다. 미립재를 혼화 하는데 따라 물시멘트비가 크게 증가하는 이유는 미립재의 흡수율이 큰 점과 사진 1과 사진 2에서 알 수 있듯이 粒子들의 粒形이 플라이 애쉬와 다르기 때문에 워어커빌리티 개선에 유효 하기는 커녕 시멘트만을 사용한 경우보다 오히려 수분을 크게 요구한 것으로 생각된다.

미립재를 모르터나 콘크리트용 混和材料로 사용하기 위해서는 위의 실험 이외에도 모르터나 콘크리트의 몇몇 基本物性과 力學的性質에 대한 보다 많은 연구 검토가 요망된다. 아울러 연탄재를 분쇄하여 미립재로 사용하기 위해서는 분쇄공정, 입도조정 및 취급상의 문제점 등을 포함한 경제성에 대한 검토도 필요할 것 같다.

4-2. 粗粒재로 代替한 모르터의 실험과결에 대한 고찰

조립재를 잔골재의 일부 또는 전부로 대체하여 모르터에 사용 가능 한가를 알아보기 위하여 조립재의 대체율과 물시멘트비 및 압축강도와와의 관계로 정리한 것이 그림 13이다.

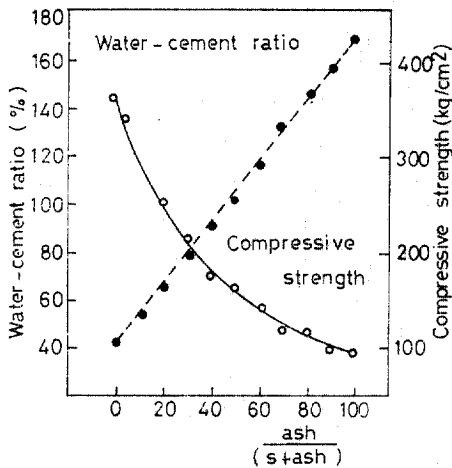


그림 13. 조립재로 대체한 모르터의 대체율과 물시멘트비 및 압축강도와와의 관계

이 그림에서도 그림 12에서와 마찬가지로 조립재의 대체율에 따라 물시멘트비가 거의 직선적으로 증가하며 대체율이 10%씩 증가 하는데 따라 모르터의 물시멘트비가 12% 정도 증가 하였으며, 반면에 모르터의 압축강도는 25kg/cm² 정도 감소하는 현상을 나타내었다.

물시멘트비가 크게 증가하는 현상은 조립재를 표면건조포화상태로 만들지 않고 그대로 사용했기 때문이며, 강모래와 마찬가지로 표면건조포화상태로 만들어 사용하게 되면 물시멘트비를 대폭 감소시킬 수 있으므로 조립재를 사용하기 전에 살수하여 표면건조포화상태로 보관, 사용함이 바람직 하다고 생각된다.

한편 조립재의 대체율에 따라 모르터의 밀도가 다소 작아짐을 표 4에서 알 수 있다. 이는 연탄재의 단위용적중량이 모래보다 작기 때문에 잔골재를 조립재로 대체 함으로써 모르터의 自重이 경감되기 때문이다.

그림 14는 모르터의 재령 28일 압축강도와 압축강도를 비중으로 나눈 비강도를 나타낸 것으로서 조립재의 대체율에 따라 압축강도와 비강도 사이의 강도폭이 얼마간 좁혀 짐을 알 수 있다.

그래서 조립재로 대체한 시멘트블록 및 벽돌 제조방법에 의하여 제조한 블록과 벽돌의 압축강도를 비교해 본 결과 대체율 10%일때 강도면에서는 큰 문제가 없음을 알 수 있었다. 한편 조

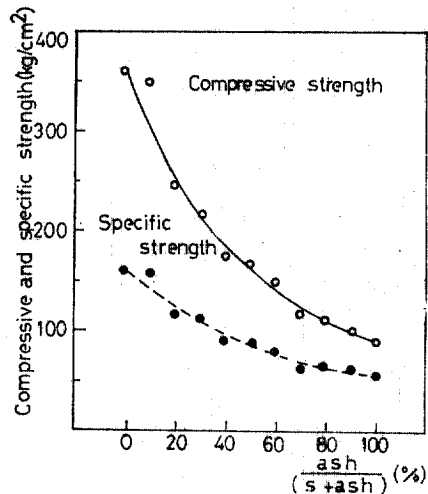


그림 14. 조립재로 대체한 모르터의 대체율과 압축강도 및 비강도와와의 관계

립재로 대체한 모르터에 혼화제를 사용 함으로써 물시멘트비를 7~10% 감소 시킬수 있었으며 압축강도도 50 kg/cm² 정도 증진되는 효과가 있음을 알았다.

이 실험결과로서 앞의 미립재를 시멘트에 혼화한 모르터의 물성과 동일 사용비율로써 비교한다면 조립재를 모르터용 잔골재로 사용함이 유리하다고 생각된다.

4-3. 粗粒재로 代替한 굳지않은 콘크리트의 워어커빌리티에 대한 고찰

굳지않은 콘크리트의 작업성과 재료분리의 상태를 나타내는 성질이 워어커빌리티로서 이를 측정하는 대표적인 시험방법으로 슬럼프 측정법을 들 수 있다.

본 실험에서는 잔, 굵은 골재 대신에 조립재로 대체하여 사용한 굳지않은 콘크리트의 워어커빌리티를 조사하기 위하여 조립재의 대체율과 슬럼프값과의 관계를 정리한 것이 그림 15이다.

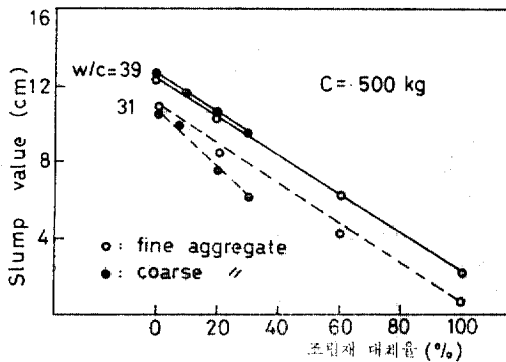


그림 15. 조립재로 대체한 굳지않은 콘크리트의 대체율과 슬럼프값과의 관계

이 그림에서 잔, 굵은 골재를 조립재로 대체했을때 물시멘트비가 동일함에도 불구하고 대체율이 증가 하는데 따라 슬럼프값이 크게 저하됨을 알 수 있다. 이 결과는 조립재도 부순돌과 마찬가지로 연탄재를 분쇄 했기 때문에 천연 모래, 자갈 보다 각이 많으며 표면의 요철이 많은 점 등으로 인하여 단위수량이 동일 할 경우 굳지않은 콘크리트의 워어커빌리티가 좋지 않음을 나타낸 결과이다. 그래서 조립재를 대체한 굳지않은 콘크리트의 워어커빌리티의 특성을 살펴보

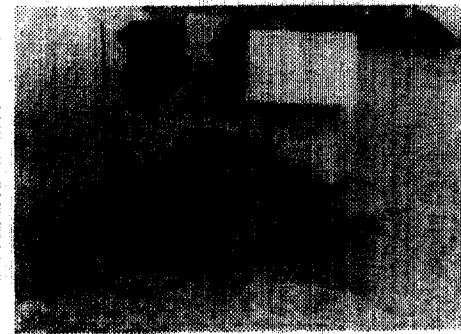
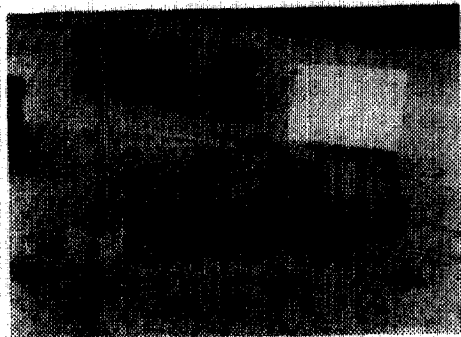


사진 5. 조립재를 대체한 굳지않은 콘크리트의 워어커빌리티

기 위하여 조립재의 대체율 0, 40%, 60%, 80% 일때 슬럼프를 측정 한 것이 사진 5이다.

사진 5에서 조립재를 대체하는데 따라 슬럼프 값이 거의 동일 한에도 불구하고 슬럼프의 상대가 다르며, 조립재의 대체율이 60%, 80%로 증가 함에 따라 材料分離를 일으키며, 굳지 않은 콘크리트가 매우 기질게 보이며, 작업성도 좋지 않았다. 그러나 조립재 사용 굳지 않은 콘크리트의 경우에도 혼화제의 종류에 따라 상이한 결과를 나타낼을 그림 2와 그림 15의 실험결과에서 알 수 있다. 그림 2에 의하면 그림 15의 실험결과와는 얼마간 상이 함을 나타내었으며, 혼화제의 선택이 굳지 않은 콘크리트의 위어커빌리티 향상에 미치는 영향이 큼을 의미하는 결과로 생각된다.

4-4. 粗粒재로 代替한 硬化한 콘크리트의 강도특성

경화한 콘크리트의 강도는 콘크리트의 품질및 제 성질을 평가 하기 위한 수단으로 흔히 사용된다. 본 실험에서도 조립재로 대체한 콘크리트의 압축, 인장강도 및 탄성계수로서 조립재 사용 콘크리트의 성질을 평가하는 자료로 삼고자 한다. 잔, 굵은골재를 조립재로 대체한 콘크리트의 강도 실험결과를 그림 4~8 그리고 그림 10, 11에서 이미 소개 하였으며, 이들 실험결과로서 천연 골재만을 사용한 보통 콘크리트의 강도와 비교해 볼때 그 차이점 내지 특성을 비교하는데 도움이 되었다. 그래서 잔, 굵은골재를 조립재로 대체한 콘크리트의 압축강도가 대체율

에 따라 어떤 특성을 가졌는지를 조사 하기 위하여 정리 한 것이 그림 16이며, 인장강도의 실험결과는 압축강도와 대동소이 함으로 생략하였다.

이 그림에서 굵은골재를 조립재로 30%까지 대체한 경우 본 실험 범위내에서는 잔골재를 대체한 경우와 비슷한 강도발현의 경향을 보여 줌을 알 수 있다. 이는 조립재를 콘크리트용 잔, 굵은골재에 적당량 사용 하여도 강도면에서 큰 약점이 되지 않는 결과로 생각된다.

그래서 이번에는 잔, 굵은골재를 조립재로 대체한 콘크리트의 인장강도와 압축강도와의 관계를 그림 4~7과 그림 10, 11로서 정리한 것이 각각 그림 17과 그림 18이다.

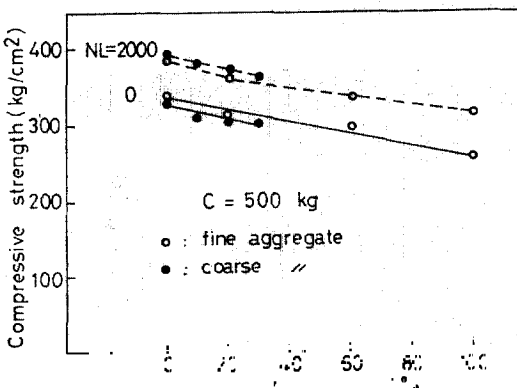


그림 16. 조립재로 대체한 콘크리트의 대체율과 압축강도와의 관계

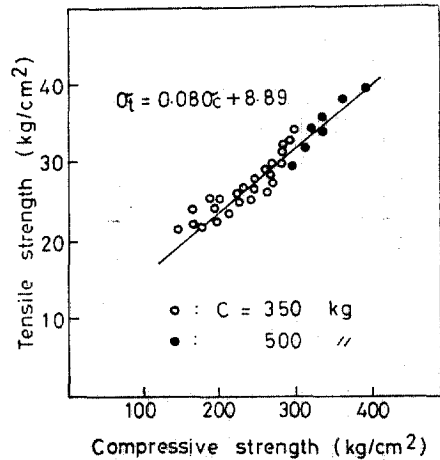


그림 17. 조립재로 대체한 콘크리트의 인장강도와 압축강도와의 관계

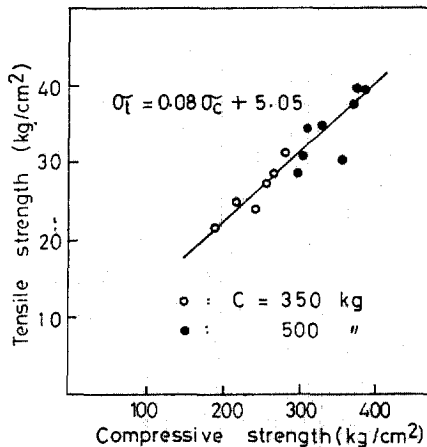


그림 18. 조립재로 대체한 콘크리트의 인장강도와 압축강도와의 관계

이들 그림에서 골재를 조립재로 대체하여 사용한 콘크리트의 압축강도와 인장강도 사이에는 보통 콘크리트와 마찬가지로 매우 좋은 상관관계가 성립함을 알 수 있었으며, 잔골재와 굵은 골재를 조립재로 대체한 경우에 각각 인장강도는 압축강도의 약 $\frac{1}{9} \sim \frac{1}{10}$ 정도의 범위에 있으며 보통 콘크리트 $\frac{1}{9} \sim \frac{1}{12}$ 범위내에 있음을 알 수 있다.

이들 상관관계는 최소자승법에 의하면 다음과 같은 실험식으로 나타낼 수 있다.

잔골재를 조립재로 대체한 콘크리트의 인장강도는 압축강도에 의하여 구할 수 있다.

$$\sigma_t = 0.08\sigma_c + 8.99 \dots \dots \dots (1)$$

굵은골재를 조립재로 대체한 콘크리트의 인장강도는 압축강도에 의하여 구할 수 있다.

$$\sigma_t = 0.08\sigma_c + 5.05 \dots \dots \dots (2)$$

이번에는 잔골재를 조립재로 대체한 콘크리트의 압축강도와 탄성계수와의 상관관계를 조사한 것이 그림 19이다.

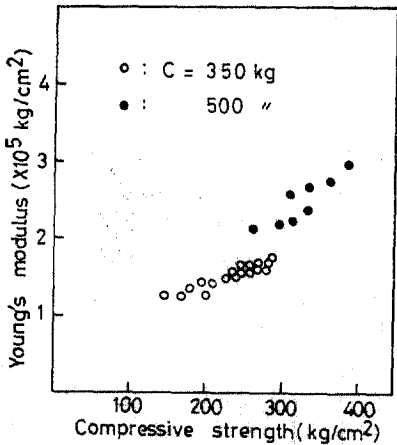


그림 19. 조립재로 대체한 콘크리트의 압축강도와 탄성계수와의 관계

조립재로 대체한 콘크리트의 탄성계수값이 보통 콘크리트와 비교해 볼때 약간 작은 값을 알 수 있으며, 압축강도와 인장강도와의 관계와는 달리 단위시멘트량 350 kg, 500 kg이 각각 약간 다르긴 하지만 비교적 좋은 상관관계가 성립함을 알 수 있다. 이러한 관계는 인장강도와 탄성계수와의 관계에서도 거의 비슷한 경향의 상

관성을 보여 주었다.

이상에서 고찰한 바와같이 골재를 조립재로 대체한 콘크리트의 강도는 천연골재만을 사용한 보통 콘크리트와 다른 특성을 찾아 볼 수 없었으나, 다만 조립재의 대체율에 따라 강도가 감소함을 피할수 없었다. 이러한 현상은 조립재가 모래, 자갈과 같은 천연골재 보다 물리적성질이나 품질면에서 열세한 점에서 기인되었다고 생각된다.

위의 결과들을 종합해 보면 조립재는 구조물의 용도에 따라 강도가 중요시 되지 않거나 또는 非構造用 콘크리트構造物 등에 천연골재와 대체하여 사용할 수 있는 가능성을 시사한 결과로 생각된다.

5. 결 론

본 연구 실험결과의 범위에서 다음과 같이 말할 수 있겠다.

(1) 微粒재를 플라이 애쉬와 같이 시멘트에 섞어 混和材로 사용 가능한지를 검토해 본 결과 시멘트+연탄재 혼합물의 凝結時間이 미립재의 混和率에 따라 지연되며, 미립재 입자의 표면상태가 포조란제와 상이하며 모르터나 콘크리트의 워어커빌리티나 강도개선에 아무런 도움을 주지 못하는 점과 아울러 미립재의 분쇄공정, 입도조정, 취급상의 문제점을 포함한 실용성에 대한 검토가 요망된다.

(2) 잔골재를 粗粒재로 代替하여 시멘트 2차 제품이나 모르터에 사용 가능 한지를 검토해 본 결과, 조립재의 代替率이 10%씩 증가하는데 따라 모르터의 강도는 25 kg 정도 감소 되었으나, 모르터의 밀도가 경감 되기 때문에 비강도 로써 비교하면 그 강도차는 다소 좁혀 질을 알 수 있다. 또한 조립재로 대체한 모르터에 혼화제를 사용 함으로써 물시멘트비를 7~10% 감소 시킬 수 있었으며, 강도증진에도 효과가 있었다.

(3) 골재를 粗粒재로 代替한 굳지않은 콘크리트의 워어커빌리티와 材料分離의 정도를 조사해 본 결과, 동일 배합조건에서 조립재의 代替率에 따라 슬럼프값이 크게 低下 되었으며, 作業性도 좋지 못한 결과를 나타내었다. 이는 粗粒재가 천연골재보다 粒子표면에 요철이 심하고 각이

많은점 등에 기인된 결과로 생각된다. 그러나 混和劑의 선택에 따라 굳지않은 콘크리트의 워커빌리티의 향상에 크게 기여함을 알았다.

(4) 골재를 粗粒재로 代替한 硬化한 콘크리트의 강도및 탄성계수는 조립재의 代替率에 따라 감소되는 현상은 어쩔수 없었으며, 이는 연탄재의 물리적성질 때문이나 混和劑의 사용이 강도증진에 유효하였다. 또한 조립재로 대체한 콘크리트의 강도를 보통 콘크리트와 비교해 볼때 특기 할만한 점은 없었으며, 보통 콘크리트와 마찬가지로 압축강도와 인장강도 그리고 압축강도 인장강도와 탄성계수 사이에는 좋은 상관관계가 성립 함을 알 수 있었다.

參 考 文 獻

1. 文翰英, 연탄재를 建設材料에 이용하기 위한 研究, 漢陽大學校 産業科學研究所研究報告 Vol. 7, 1976.
2. 煉炭재 再活用方案세미나 主題發表文, 主催 서울特別市, 1977. 8.
3. 李啓水, 丁炳璜, 國產無煉炭의 炭質에 관한 考察, 大韓化學會誌, Vol. 9, No. 1, 1965.
4. 崔漢石, 煉炭燃焼時의 副産物利用研究, 科學技術處 1968. 12.
5. 洪思天, 九孔炭灰를 再活用한 建築資材, 大韓建築學會誌, Vol. 21, No. 78, 1977.
6. 鄭文述, 嚴采永, 無煉炭灰를 使用한 人工輕量骨材의 特性, 東亞大學校工科大学附設 韓國資源開發研究所, 研究報告, 第1卷, 第1號, 1975.
7. 金成完, 콘크리트製品製造에 産業廢棄物과 연탄재의 利用에 관한 研究, 韓國農工學會誌, 第21卷, 第4號, 1979. 12.
8. 연탄재 제품(벽돌, 블록, 기와)의 규격 및 검정기준, 건설부고시 제81호, 1978. 4.
9. 丁奎榮, 首都圓骨材需給現況과 將來對策, 大韓土木學會誌, 第25卷, 第4號 1977. 12.

10. A.D. Buck, Recycled concrete as a source of aggregate, ACI Journal, May, 1977.
11. Gutt, W., Aggregates from waste materials, Chemistry and Industry, London, Vol. 49, No. 11, 1972.
12. Graf and Otto, Crushed-brick concrete, sand-stone concrete, and rubber concrete, U.S. Army engineer water ways experiment station, Jan., 1973.
13. Emery, J.J. and Change, S.K., Trends in the utilization of wastes for highway construction, Proceedings 4th Mineral waste utilization symposium, Illinois Institute of Technology, Chicago, 1974.
14. Malisch, W.R., Laboratory and field experience with asphaltic concretes containing glass aggregates, Symposium on utilization of waste glass in secondary products, 1973.
15. 特集, 産業廢棄物とコンクリート, 콘크리트工學, Vol. 14, No. 9, 1976.
16. 特集, 建設廢材의 處理と處分, 土木學會誌, Vol. 66, No. 10, 1981.
17. 笠井芳夫, 廢棄物의 處理と資源化, セメント. 콘크리트, No. 355, 1976, 9.
18. 後 英太郎, 新しいセメントとセメント技術, 誠文堂 新光社, 1970.
19. 國分正胤外, 各種フライアッシュ의 共通試驗, 土木學會論文集, No. 68, 1960.
20. W.H. Price, Concrete and concrete materials for Glen Canyon Dam, ACI Journal, Vol. 32, No. 6, 1960.
21. Bryant Mather, Use of concrete of low portland cement content in combination with pozzolans and other admixtures in construction of concrete dams, ACI Journal, Vol. 71, No. 12, 1974.

(接受 : 1933. 1. 31)