

폐주물사와 플라이애쉬의 적정 사용량에 관한 연구

A Study on the Optimum Amount of Waste Foundry Sand and Flyash in Concrete

양 주 경*

문 영 호**

Yang, Joo-Kyoung*

Moon, Young-Ho**

Abstract

The most of waste foundry sands(WFS) have been discarded. It is very urgent for our country to make a study on recycling of WFS. The one of recycling method of WFS is using them as fine aggregate for concrete. This study provided the optimum amount of WFS and flyash when WFS and flyash were used together in concrete. The concrete made with 60% WFS fine aggregate replacement showed higher compressive strength, splitting tensile strength and modulus of elasticity than normal concrete. In the case that the flyash and WFS are replaced together, the compressive strength and splitting tensile strength were improved at flyash replacement ratio 10%~20% and WFS replacement ratio 40%~60%. The increase of WFS and flyash replacement led lower air content. While the increase of WFS replacement led lower slump, the increase of flyash replacement led higher slump.

키워드 : 폐주물사, 플라이애쉬, 압축강도, 쪼갬인장강도, 탄성계수

Keywords : waste foundry sands, flyash, compressive strength, splitting tensile strength, modulus of elasticity

1. 서 론

국민 생활수준의 급속한 향상과 경제성장으로 인하여 우리나라 폐기물의 배출량은 계속 증가하고 있다. 근래에 들어 폐기물의 효과적인 처리방법에 관심을 가지기 시작하였으나 대부분 폐기물을 매립하여 처리하고 있는 실정이다. 그러나 폐기물 처리를 위한 처리시설이 부족하고 더욱이 폐기물 매립을 위한 매립지 부족으로 인하여 많은 사회문제를 야기하고 있다.

폐기되는 폐주물사의 양은 사용하는 주형의 종류에 따라 차이는 있으나 생산하는 제품 1톤에 대하여 0.5~1.0톤이 발생하므로 주물공장에서 폐기되는 폐주물사 발생량은 연간 200만톤 이상이 된다. 후란 자경성 주형과 같이 화학 점결제를 사용하는 주형의 경우, 폐주물사를 일부 재생 처리하여 활용하고 있으나 대부분은 단순 매립 폐기하고 있다. 폐기물의 처리는 대부분 주물공장 자체에서 수행하지 않고 외부 전문처리업체에 의뢰하여 수행하고 있다.¹⁾ 그러나 일부 폐주물사 처리업체에서는 주물공장에서 회수해간 폐주물사를 폐기물관리법에 의해 처리하기보다는 불법으로 투기하거나 보관하고 있어 사회문제를 일으키기도 한다.

미국과 일본 등의 선진국에서는 폐주물사를 재활용하는 방법에 대해 다양하게 연구하고 있는데, 그 중에서도 가장 활발한 연구 분야는 콘크리트용 재료로의 활용 방법이다. 국내 실

정으로 미루어 보아 폐주물사의 가장 효율적인 재활용 방법 중의 하나는 폐주물사를 콘크리트용 재료로 재활용하는 것이며, 현재 국내에서는 기초적인 연구가 진행되고 있다.²⁻⁶⁾

본 연구는 폐주물사와 플라이애쉬를 사용했을 때 콘크리트의 굳기 전 물성인 공기량과 슬럼프의 변화를 파악하고, 굳은 후의 물성인 압축강도, 쪼갬인장강도, 탄성계수의 변화를 파악하여 폐주물사와 플라이애쉬의 실제적인 대체 사용량에 대한 기초 자료를 제시하는 것을 목적으로 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

콘크리트 배합 시, 물-결합재비는 모든 배합에 대하여 0.53을 사용하였다. 잔골재에 대한 폐주물사의 대체 비율은 0%, 20%, 40%, 60%, 시멘트에 대한 플라이애쉬의 대체 비율은 0%, 10%, 20%로 변화시켰다. 모든 경우의 배합에 대하여 공기량과 슬럼프를 측정하였다. 콘크리트가 굳은 후에는 플라이애쉬를 혼합하지 않은 모든 경우에 대해서는 압축강도, 쪼갬인장강도, 탄성계수를 측정하였고, 플라이애쉬를 혼합한 경우에는 압축강도와 탄성계수를 측정하였다.

* 청운대학교 교수

** 한국과학기술정보연구원 센터장

2.2 사용재료

2.2.1 골재

본 연구에서 사용한 굵은골재는 쇄석으로 최대골재크기가 25mm이고, 잔골재로는 강모래를 사용하였다. 골재의 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1. 골재의 물리적 특성

항목 종류	비중	흡수율 (%)	조립율 (%)	단위용 적중량 (kg/m ³)	실적율 (%)
잔골재	2.60	1.27	2.64	1537	59.3
굵은골재	2.65	0.64	7.08	1469	55.6

2.2.2 결합재

결합재로는 제1종포틀랜드시멘트와 플라이애쉬를 사용하였으며, 이들의 물리·화학적 특성은 표 2와 같다.

표 2. 결합재의 물리·화학적 특성

항목 분류	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	K ₂ O (%)
시멘트	20.63	5.39	2.91	61.58	3.67	2.17	1.04
F/A	57.19	23.07	5.04	4.08	1.19	0.24	0.89

항목 분류	Na ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	Mn ₂ O ₃ (%)	P ₂ O ₅ (%)	I.G. (%)	비중	비표면적 (cm ² /g)
시멘트	0.04	0.34	0.15	0.11	1.04	3.15	2967
F/A	0.73	1.87	0.11	0.48	4.30	2.21	3787

2.2.3 폐주물사

폐주물사의 표면건조 포화상태에서의 비중 및 절대건조 비중, 흡수율은 KS F 2504에서 규정하는 방법에 근거하여 시험을 수행하였다. 사용된 폐주물사의 물리적 특성은 표 3과 같고, 화학적 특성은 표 4와 같다. KS F 2558에 규정된 절대건조 비중 2.5 이상, 흡수율 3% 이하를 만족하므로 폐주물사를 콘크리트용 잔골재로 사용하는데 적합한 것으로 판단된다.

표 3. 폐주물사의 물리적 특성

비중	흡수율(%)	조립률(%)
2.42	2.62	1.93

표 4. 폐주물사의 화학적 특성

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	L.O.I (%)
90.10	4.82	0.44	0.01	0.34	0.39

2.2.4 배합비

폐주물사와 플라이애쉬를 사용한 모든 경우에 대한 배합은 표 5와 같다.

2.3 실험방법

콘크리트 공시체의 제작 및 양생은 KS F 2404에 따라 수행하였다. 압축강도, 쪼갬인장강도, 탄성계수를 구하기 위한 시험체로는 $\phi 10 \times 20$ cm 몰드를 제작하였고, 제작 후 24시간 후에 탈형하여 23±3℃의 온도에서 수증양생 하였다. 비빔에 사용된 믹서는 공칭용량 80리터의 강제식 믹서이며, 재료를 굵은골재, 잔골재, 결합재의 순서로 투입하여 1분간 건비빔한 후에 물을 투입하고 3분간 비벼 공시체를 제작하였다. 압축강도는 KS F 2405, 쪼갬인장강도는 KS F 2423 그리고 탄성계수는 KS F 2438에 의하여 측정하였다.

표 5. 배합표

폐주물사 대체율 (%)	F/A 대체율 (%)	W/B (%)	단위량(kg/m ³)					
			물	시멘트	F/A	잔골재		굵은골재
						일반	폐주물사	
0	0	53	185	350	0	824	0	947
	10	53	185	315	35	824	0	947
	20	53	185	280	70	824	0	947
20	0	53	185	350	0	659	165	947
	10	53	185	315	35	659	165	947
	20	53	185	280	70	659	165	947
40	0	53	185	350	0	494	329	947
	10	53	185	315	35	494	329	947
	20	53	185	280	70	494	329	947
60	0	53	185	350	0	329	494	947
	10	53	185	315	35	329	494	947
	20	53	185	280	70	329	494	947

3. 실험결과 및 고찰

3.1 폐주물사의 대체량에 따른 특성

폐주물사의 대체율에 따른 콘크리트의 슬럼프와 공기량의 변화는 그림 1과 같다. 폐주물사의 대체율이 높을수록 슬럼프와 공기량이 감소하는데, 이는 폐주물사에 함유된 미분의 영향 때문인 것으로 생각된다. 따라서, 폐주물사를 콘크리트용 잔골재로 대량 사용할 때에는 슬럼프 저하와 공기량 감소를 고려하여 배합을 결정하여야 한다.

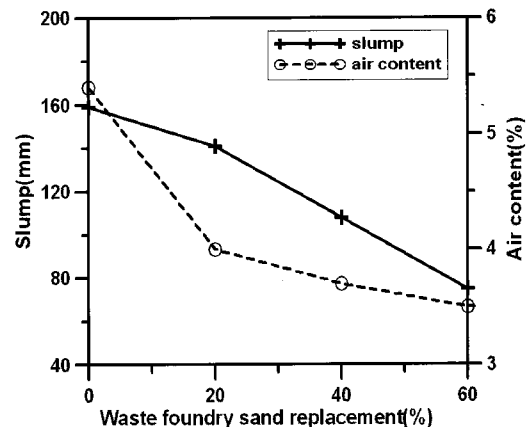


그림 1. 폐주물사 대체율에 따른 슬럼프 및 공기량

그림 2는 폐주물사의 혼합비에 따른 압축강도의 변화를 보여준다. 주물사를 60% 대체하여 사용하면 재령 3일에서는 기본배합 콘크리트의 강도보다 약간 작은 값을 보이나 재령 7일과 재령 28일에서는 기본배합 콘크리트의 강도보다 오히려 커지는 경향을 보이고 있다. 그러나, 주물사의 대체율이 20%와 40%에서는 모든 재령에서 기본배합 콘크리트의 강도보다 더 커짐을 알 수 있다. 주물사 대체율 40%에서의 강도 증가량은 재령이 커짐에 따라 점차 증가하여 재령 28일에서 최대가 되며, 그 증가 값은 기본배합 콘크리트 강도의 약 13%가 된다. 따라서 폐주물사를 잔골재에 대하여 40% 대체하여 사용하면 조기 재령뿐만 아니라 28일 재령에서의 압축강도 증진 측면에서 가장 효과적이라는 것을 알 수 있다.

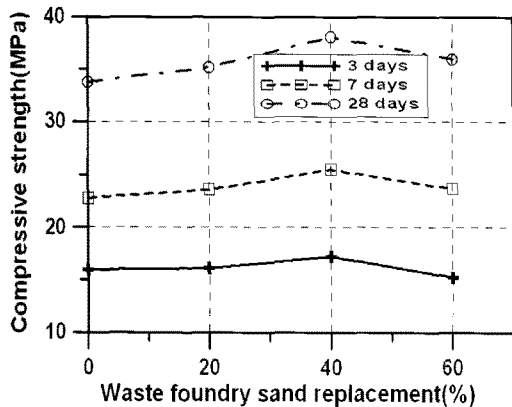


그림 2. 폐주물사 대체율에 따른 압축강도

폐주물사의 잔골재로서의 적합성을 따질 때 가장 중요한 것은 시멘트와의 반응상태를 확인하는 것이다. 폐주물사의 반응성을 확인하기 위해서는 28일 강도에 대한 상대강도비를 살펴봄으로써 알 수 있다.⁷⁾ 그림 3은 28일 압축강도에 대한 상대강도비를 보여준다. 재령 7일과 28일에서는 폐주물사의 대체율에 따라 상대강도비의 차이가 거의 없는 것을 알 수 있다. 그러나 재령 3일에서는 상대적으로 폐주물사의 혼합비율이 높을수록 상대강도비가 다소 떨어지는 경향을 보이고 있다. 이로 부터 폐주물사의 반응성은 사용된 폐주물사의 양에 관계없이 재령 7일 이후부터는 보통콘크리트와 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있다.

그림 4와 그림 5는 각각 쪼갬인장강도와 탄성계수의 변화를 보여준다. 쪼갬인장강도는 주물사 대체율이 60%일 때, 기본배합 콘크리트와 거의 같은 값을 보이고, 40%일 때 기본배합 콘크리트보다 감소된 결과를 보이고 있다. 주물사 대체율이 40%일 때 쪼갬인장강도가 급격하게 감소된 이유는 가압판을 정확한 위치에 설치하지 못한 상태에서 실험이 이루어졌기 때문이다. 쪼갬인장강도는 압축강도의 증가와 더불어 커지는 경향을 보이는 것이 일반적이고, 앞에서 설명한 압축강도의 변화

를 고려해 보면 쪼갬인장강도도 주물사 대체율이 40%일 때 최대가 될 것으로 예상된다. 그림 5에서 탄성계수는 주물사 대체율이 40%까지 증가하다가 60%에서는 감소하는 결과를 보이고 있는데, 이러한 변화 경향은 압축강도의 변화 경향과 유사하다. 따라서 폐주물사를 40%까지 대체하여 사용하면 쪼갬인장강도와 탄성계수도 기본배합 콘크리트보다 증가된다. 폐주물사의 대체에 따른 콘크리트의 압축강도, 쪼갬인장강도, 탄성계수는 폐주물사의 대체율이 40%까지는 계속해서 증가하는 경향을 나타낸다. 이는 Naik⁸⁾가 폐주물사를 35%까지 치환하여 사용할 수 있음을 보여준 결과와 유사한 경향을 보여주는 것이다.

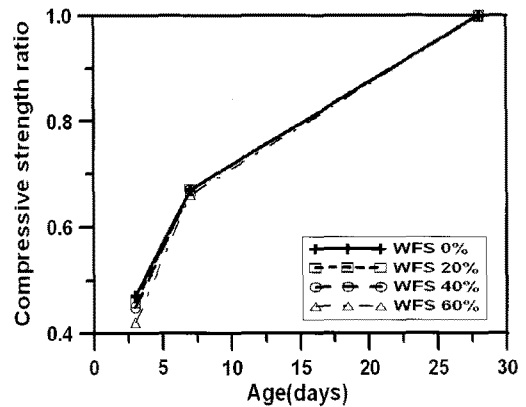


그림 3. 재령에 따른 상대강도비

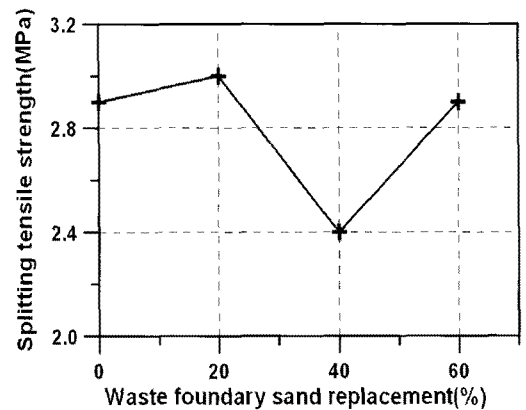


그림 4. 폐주물사 대체율에 따른 쪼갬인장강도

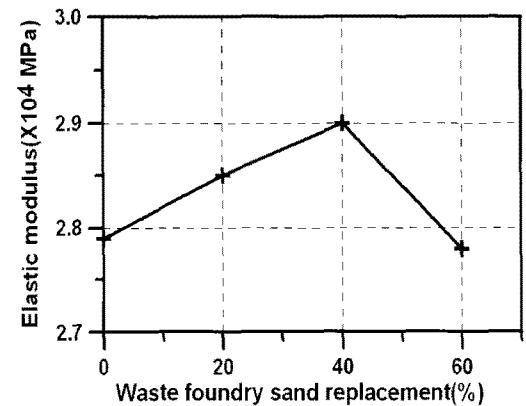


그림 5. 폐주물사 대체율에 따른 탄성계수

3.2 플라이애쉬 대체량에 따른 특성

그림 6과 그림 7은 각각 플라이애쉬 대체율에 따른 슬럼프와 공기량의 변화를 보여준다. 폐주물사의 대체율이 높을수록 슬럼프와 공기량은 감소하는 경향을 보인다. 그런데, 플라이애쉬의 대체율이 높을수록 슬럼프는 커지고 공기량은 감소하는 경향을 보이고 있다. 이러한 플라이애쉬 첨가에 따른 공기량의 감소는 플라이애쉬 내의 미연탄소분의 영향에 의하여 발생하는 것으로 판단된다.

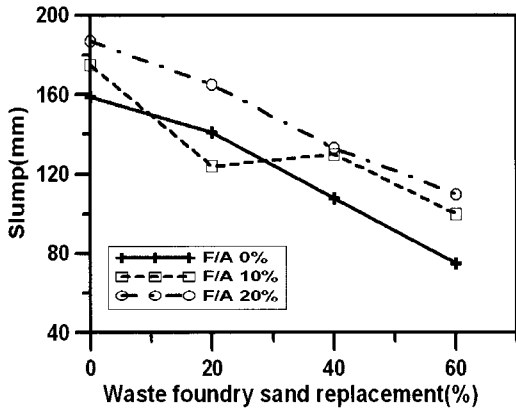


그림 6. 플라이애쉬 대체율에 따른 슬럼프

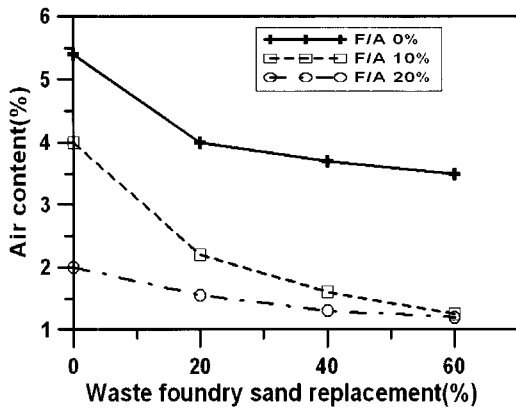


그림 7. 플라이애쉬 대체율에 따른 공기량

표 6는 압축강도 시험결과를 보여주며, 그림 8에서 그림 11은 플라이애쉬의 대체율에 따른 압축강도의 변화를 보여준다. 주물사 대체율이 0%일 때, 플라이애쉬의 함유량이 높아지면 초기 강도는 저하되지만 후기 강도는 높아지는 일반적인 경향이 나타나고 있다. 주물사 대체율이 40%일 경우, 28일 압축강도는 플라이애쉬 대체율이 20%일 때가 10%일 때보다 작지만 그 차이가 그다지 크지 않다. 또한 가장 경제적 배합인 주물사 60%, 플라이애쉬 20%를 사용한 콘크리트의 28일 압축강도가 기본 배합 콘크리트보다 높은 값을 보이고 있다. 따라서 폐주물사와 플라이애쉬를 함께 사용하는 경우, 플라이애쉬의 시멘트에 대한 대체율은 10~20%가 적당하고, 폐주물사의 잔골재에 대한 대체율은 40~60%가 적당하다고 할 수 있다.

표 6. 압축강도 시험결과

		(MPa)											
F/A 대체율 (%)		0				10				20			
재령 (일)	폐주물사 대체율 (%)	0	20	40	60	0	20	40	60	0	20	40	60
		3	15.9	16.1	17.2	15.2	13.0	13.9	15.1	15.9	12.6	12.7	12.9
7	22.8	23.6	25.5	23.7	21.6	23.6	24.6	25.2	21.5	21.9	21.8	22.2	
28	33.8	35.2	38.1	36.0	34.4	35.8	38.4	40.3	33.7	36.5	36.2	36.3	

그림 12는 플라이애쉬와 폐주물사의 대체율에 따른 탄성계수의 변화를 보여주고 있다. 탄성계수의 변화는 재령 28일 압축강도의 변화와 유사한 경향을 보이고 있다. 따라서 탄성계수의 변화 측면에서도 폐주물사를 40~60%, 플라이애쉬를 10~20% 대체하여 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

- 1) 폐주물사를 잔골재에 대하여 40% 대체하여 사용하였을 때의 압축강도가 모든 재령에서 가장 크게 나타났다. 또한, 폐주물사 대체율이 40%일 때 조깅인장강도, 탄성계수는 보통콘크리트에 비해서 낮은 값을 보이지 않았다. 폐주물사 대체율이 60%일 때도 압축강도, 조깅인장강도, 탄성계수는 보통콘크리트와 거의 비슷하였다.
- 2) 폐주물사와 플라이애쉬를 함께 사용한 콘크리트의 압축강도와 탄성계수의 변화를 검토한 결과, 플라이애쉬의 대체율은 10~20%가 적당하고, 폐주물사의 대체율은 40~60%가 적당하였다.
- 3) 폐주물사의 대체율이 높아질수록 슬럼프와 공기량은 감소하는 경향을 보였다. 그런데, 플라이애쉬의 대체율이 높아질수록 슬럼프 값은 증가하나 공기량은 감소하는 경향을 보였다.

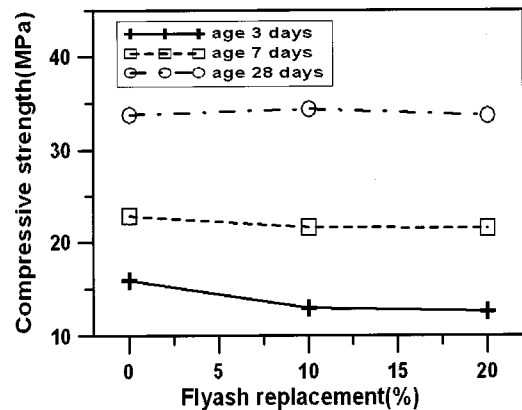


그림 8. 플라이애쉬 대체율에 따른 압축강도(폐주물사 0%)

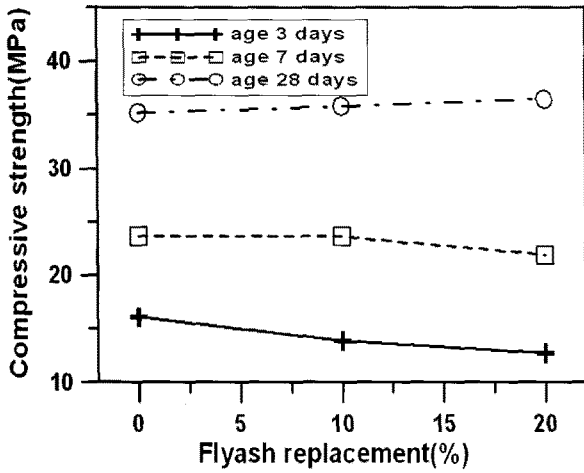


그림 9. 플라이애쉬 대체율에 따른 압축강도(폐주물사 20%)

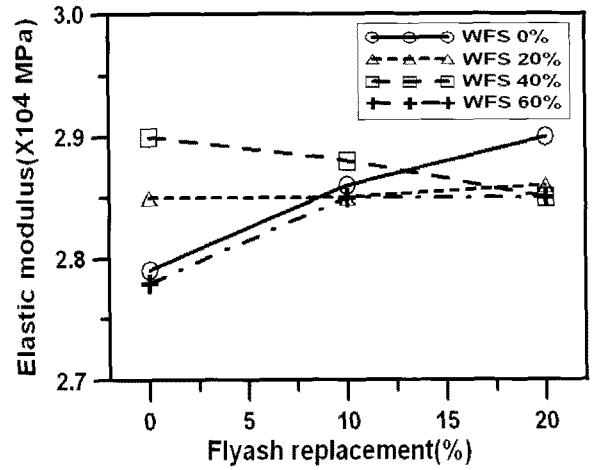


그림 12. 플라이애쉬 대체율에 따른 탄성계수

참 고 문 헌

1. 문한영 외 3인, 폐주물사를 콘크리트용 잔골재로 재활용하기 위한 기초 연구, 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, pp.281-286, 2001.
2. 박제선 외 3인, 폐주물사를 혼입한 콘크리트의 적정 배합설계, 한국콘크리트학회 논문집, pp.192-205, 1997.
3. 한국자원 리사이클링 학회, 리사이클링 백서, 문지사, pp.157-164, 1999.
4. 최연왕 외 4인, 폐주물사를 사용한 콘크리트의 물성에 관한 연구, 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, pp.52-57, 1999.
5. Carino N.J, Maturity Functions for Concrete, RILEM International Conference on Concrete at Early-Ages, pp.123-128, 1982.
6. Naik T. R., Foundry Industry By-Products Utilization, Report No. CBU-1989-01, Center for By-Product Utilization, 1989.
7. Paul T., et. al, Properties of Controlled Low Strength Material Containing Foundry Sand, ACI Materials Journal, pp.698-702, 2000.
8. Tarun R., et. al, Application of Foundry By Product Materials in Manufacture of Concrete and Masonry Products, ACI Materials Journal, pp.41-50, 1996.

(접수 2008. 9. 2, 심사 2008. 10. 2, 게재확정 2008. 12. 16)

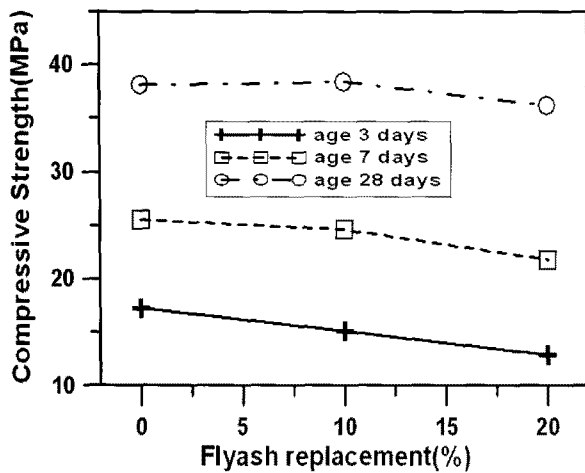


그림 10. 플라이애쉬 대체율에 따른 압축강도(폐주물사 40%)

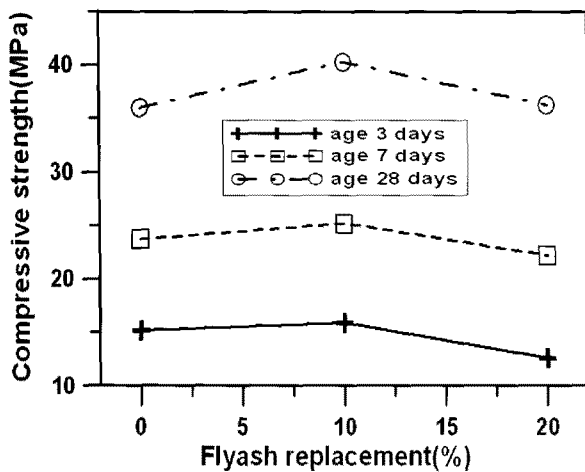


그림 11. 플라이애쉬 대체율에 따른 압축강도(폐주물사 60%)