

점토소성 폐기물을 이용한 콘크리트용 순환골재로써 활용가능성에 관한 기초적 연구

A Fundamental Study on Use Possibility as Recycled Aggregate that Use Waste of Plastic Clay

조 명 근* 류 현 기**
Cho, Myeong-Ken Ryu, Hyun-Gi

Abstract

Waste of Plastic that is waste tile and waste interlocking block result, waste tile and waste interlocking block that execute an experiment to foretell practical use possibility availability as recycled aggregate for concrete giving change in the principal parts rate for coarse aggregate recycled aggregate appeared in the world by available thing to coarse aggregate to rate 10% but necessity that present amount used establishing material application standard that is crushed than uniform application standard to receive entropy of re-fresh concrete quality is judged to be.

키워드 : 점토소성폐기물, 대체율, 순환골재

Keywords : Waste of Plastic Clay, Rate of Substitution, Recycled Aggregate

1. 서 론

우리나라는 경제적인 급성장과 더불어 많은 콘크리트 구조물이 건설되었으며, 구조물의 수명 한계와 삶의 질 개선에 대한 욕구로 인하여 재건축 및 재개발이 확대되고 있다. 현재 국내에서 발생하는 건설폐기물은 2001년을 기준으로 약 4,000만 톤으로 보고 되어 있으며 2010년에는 1억톤 정도가 발생할 것이라 추정된다.¹⁾ 이에 필연적으로, 건설폐기물의 발생이 초래되고 있으며, 천연골재의 생산량 감소에 따라 콘크리트 제조에 어려움이 가중되고 있다. 특히 강자갈이나 강모래는 이미 그 부존량의 한계를 나타내고 있고 바다모래, 부순돌, 부순모래 등의 사용 비중은 증가되고 있으나, 이러한 골재자원도 제도적인 채취 제한과 부존량의 한계를 나타내고 있다. 또한 이러한 골재 수급의 불안정성과 더불어 천연골재의 가격상승 또한 커다란 문제로 나타나고 있어 순환골재 사용의 중요성과 필요성은 점점 강조되고 있는 실정이다. 최소 재생골재를 사용한 재생콘크리트는 일반 콘크리트에 비해 단위수량이 증가하여 내구성을 나타내는 동결융해 저항성, 건조수축, 화학저항성 등이 저하하는 것으로 보고되어 콘크리트용 순환 골재로서 많이 사용되지 못하고, 매립되거나 야적되는 현실이며 불법투기도 많이 발생하고 있다. 생산된 재생골재 내에는 원골재에 부착되어 있는 시멘트페이스트의 양에 따라 시멘트가 거의 묻지 않은 재생골재와 시멘트페이스트 만으로 이루어진 골재가 있으며 폐

타일, 페인터로킹 블럭 등이 혼합된 상태로 되어있다. 따라서 본 연구에서는 건설폐기물 중에서 시멘트 페이스트가 묻지 않은 점토소성품인 페타일과 페인터로킹 블럭 만을 선별하여 조 크랏샤로 분쇄한 후 양질의 굵은 골재에 대한 대체율에 변화를 주어 콘크리트용 순환골재로써의 활용가능성 여부를 판단하고자 함이 본 연구의 목적이다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다. 먼저 W/C는 40%와 60%의 2개의 수준으로 하고 순환골재 대체율 0%에 대한 목표 슬럼프치는 $180 \pm 10\text{mm}$ 목표공기량은 $4.5 \pm 1.5\%$ 로 정하여 각 배합에 적용토록 한다.

실험사항으로 점토소성폐기물 즉 페타일(Waste Tile:이하 W.T라 칭함) 및 페인터로킹블럭(Waste Interlocking Brock:이하 W.I.B라 칭함)의 대체율을 배합사항의 굵은골재 용적에 대한 10,20,30%로 굵은골재 대응으로 치환한 후 굳지않은 상태 및 경화상태에서 각각 콘크리트의 특성을 파악토록 정한다.

* 충주대학교 건축공학과 석사과정

** 충주대학교 건축공학과 교수, 공학박사

1) 강현찬, 공경록 “가을 학술발표회 논문집” 2004. pp. 173~176

표 1. 실험 요인 및 수준

실험요인		수준	
배합 사항	W/C(%)	2	40, 60
	목표슬럼프 (mm)	1	180±10
	목표 공기량(%)	1	4.5±1.5
	잔토소성 폐기물 대체율 (%)	부순굵은골 재, W.I.B, W.T, W.I.B + W.T	4
실험 사항	굳지않은 콘크리트	4	· 슬럼프 · 단위용적질량 · 공기량 · 블리딩
	경화 콘크리트	4	· 압축강도 (재령 7, 28일) · 인장강도 (재령 7, 28일) · 흡수 및 투수 시험 (재령 7, 28일) · 건조수축 길이 변화율 (재령 7, 14, 21, 28일)

표 2. 배합사항

W/C (%)	단위 수량 (kg/m ³)	S/a (%)	AE 감수 제 (%)	잔토소성 폐기물 대체율 (%)	질량배합(kg/m ³)									
					C	S	W.I.B	W.T	G					
40	198	40	0.4	부순굵은 골재	495	600	0	0	968					
					W.T	10	495	600	0	79	871			
						20	495	600	0	158	775			
						30	495	600	0	238	678			
					W.I.B	10	495	600	82	0	871			
						20	495	600	163	0	775			
						30	495	600	245	0	678			
					W.I.B + W.T	10	495	600	41	40	871			
						20	495	600	82	79	775			
						30	495	600	126	119	678			
					60	182	40	0.6	부순굵은 골재	303	677	0	0	1,092
										W.T	10	303	677	0
20	303	677	0	179							874			
30	303	677	0	268							765			
W.I.B	10	303	677	92						0	983			
	20	303	677	184						0	874			
	30	303	677	277						0	765			
W.I.B + W.T	10	303	677	46						45	983			
	20	303	677	92						89	874			
	30	303	677	138						134	765			

2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로써 시멘트는 국내산 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하고, 잔골재는 충주산 강모래를, 굵은골재는 충주산 부순돌을 사용토록 하는데 이때 입도곡선은 그림 1과 같다. 순환골재로는 W.I.B 및 W.T의 입도곡선은 그림 2와 같으며, 각 재료의 물리적 및 화학적 성질은 표 3~5와 같다.

표 3. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (g/cm ³)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,480	0.06	250	438	22.6	31.3	39.8

표 4. 골재의 물리적 성질

골재 종류	밀도 (g/cm ³)	조립률 (F.M)	흡수율 (%)	단위용적 질량 (kg/m ³)	입형편정 실적률 (%)	골재의 마모율 (%)
강모래	2.50	2.80	3.61	1,863	61.0	-
W.T	2.20	6.68	6.46	1,219	58.9	10.8
W.I.B	2.27	6.85	7.56	1,194	56.6	27.32
굵은 골재	2.69	6.90	0.74	1,834	-	-

표 5. W.I.B 및 W.T의 화학성분

구분	화학성분(%)						
	CaCO ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	FeS ₂	Fe	CaSiO ₃
W.I.B	17.75	53.90	4.06	2.17	0.50	0.58	12.03
	CaCO ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Ti	Fe	CaSiO ₃
W.T	7.12	72.18	11.14	6.39	0.29	0.62	12.26

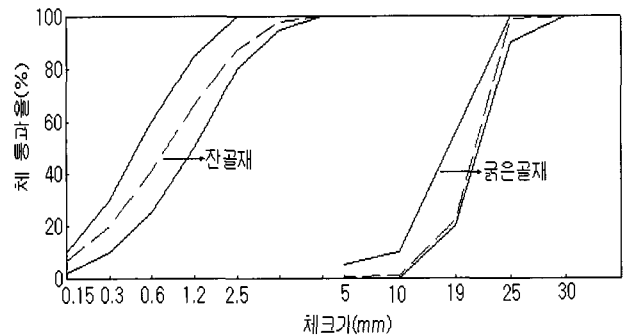


그림 1. 골재 종류에 따른 입도곡선

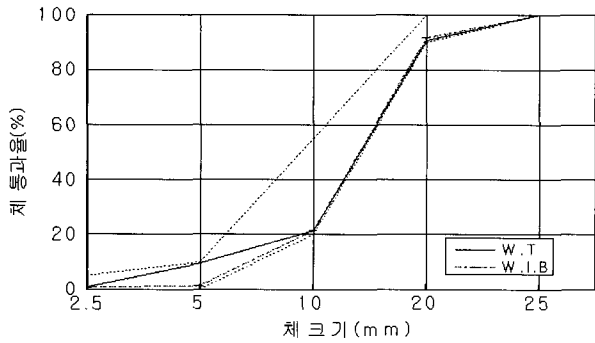


그림 2. 점토소성폐기물 종류에 따른 입도곡선

2.3 실험 방법

굳지 않은 콘크리트의 슬럼프, 공기량, 단위용적질량은 KS F2402와 KS F2409의 규정에 따라 실시하고, 블리딩은 KS F2414규정에 의거 블리딩 수를 채취하여 블리딩량으로 평가토록 한다.

경화 콘크리트의 특성으로 압축강도 및 인장강도는 $\phi 10 \times 20$ (cm)공시체를 KS F 2403 규정에 따라 제작하여 계획된 재령에서 KS F 2405 및 2423 규정에 의거 측정토록 한다. 건조 수축에 의한 길이변화율은 KS F2424의 다이얼게이지법으로 계획된 재령에서 측정한다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지 않은 콘크리트 특성

3.1.1 슬럼프

그림 3은 점토소성폐기물 대체율 변화에 따른 슬럼프치를 나타낸 그래프이다.

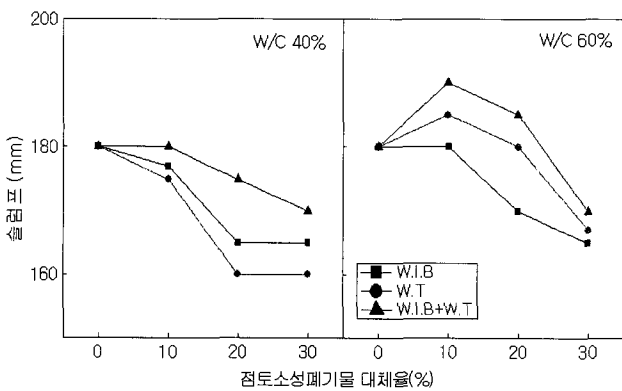


그림 3. 점토소성 폐기물 대체율에 따른 슬럼프

W/C 40%의 경우 전반적으로 점토소성폐기물 대체율이 증가할수록 Plain에 비하여 감소하는 경향으로 나타났는데 W.I.B와 W.T의 골재에서는 10,20%대체율에서 다소 급하게 저하하였고, 30%대체율에서는 20%대체율과 유사하거나 약간 증가하는 경향을 나타내었다. W/C 60%의 경우는 Plain보다 W.T와 W.I.B+W.T의 점토소성 폐기물에서 대체율 10,20%까지 높은 유동성을 나타내었고, W.I.B는 10%만이 Plain과 거의 유사한

유동성을 나타내었으며, 점토소성 폐기물 대체율 30%에서는 Plain보다 모든 점토소성 폐기물에서 슬럼프치는 적게 나타났고, W.T과 W.I.B의 경우 대체율 10,20%에서만 Plain 보다 유동성은 높게 나타내고 있다. 이는 W.T 및 W.I.B의 골재 형상에 따른 입형이 양호하지 못함에 따라 나타난 결과로 사료된다

3.1.2 공기량

그림 4는 점토소성 폐기물 대체율 변화에 따른 공기량의 변화를 나타낸 그래프로써 점토소성 폐기물 대체율이 증가함에 따라 공기량이 감소하는 경향으로 나타났다. 먼저 W/C 40%에서는 W.T 대체율 10%에서만 Plain보다 0.5%증가하였고, 점토소성 폐기물의 대체율이 증가할수록 Plain보다 감소하는 경향으로 나타났으나, 감소현상 폭은 다소 작은 것으로 나타났다.

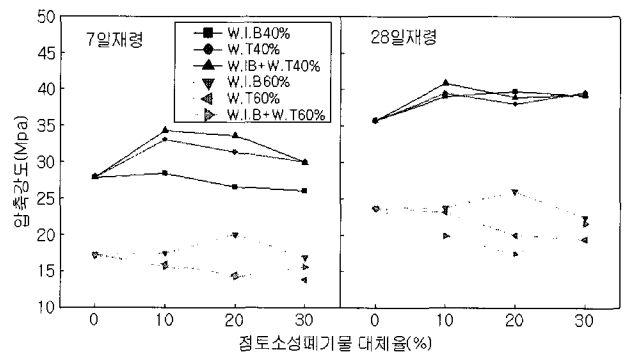


그림 4. 점토소성 폐기물 대체율에 따른 공기량

W/C 60%에서는 점토소성 폐기물 대체율 증가에 따라 전반적으로 감소하는 경향을 나타내었는데 W.T과 W.I.B+W.T의 점토소성 폐기물 대체율 10,20%에서만 다소 완만한 공기량의 감소경향을 나타내었다. 이와 같은 현상은 골재의 형상에 따른 입형판정 실적율의 저하에 기인된 경향으로 판단된다.

3.1.3 단위용적질량

그림 5는 점토소성 폐기물 대체율 변화에 따른 단위용적 질량을 나타낸 그래프이다.

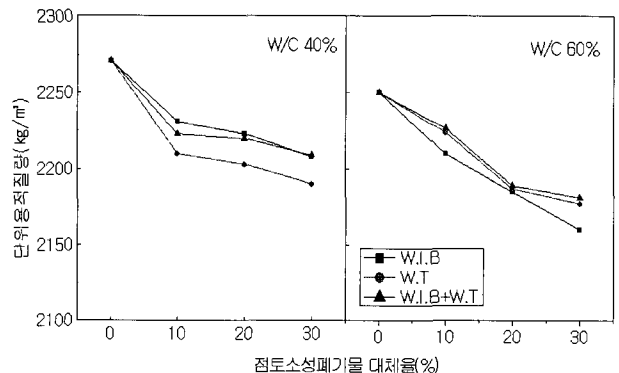


그림 5. 점토소성 폐기물 대체율에 따른 단위용적질량

점토소성 폐기물별 대체율에 대한 단위용적질량은 점토소성 폐기물 대체율이 증가함에 따라 감소하는 경향이 나타나고 있으며 W/C별 차이는 W/C 40%가 60%에 비해 전반적으로 약 30~50 (kg/m³)정도 크게 나타났다.

3.1.4 블리딩량

그림 6은 점토소성 폐기물 대체율 변화에 따른 블리딩량을 나타낸 그래프이다.

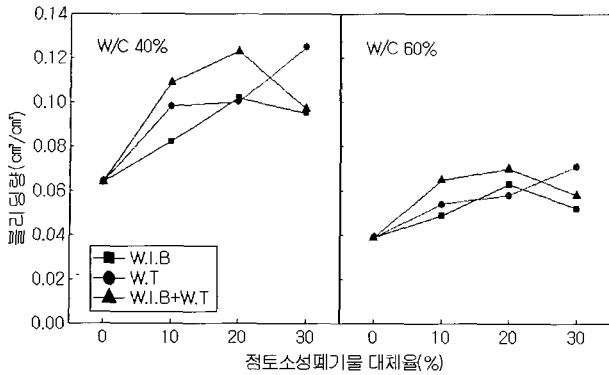


그림 6. 점토소성 폐기물 대체율에 따른 블리딩량

먼저 W/C40%와 60%에서 Plain보다 공히 블리딩량이 크게 나타났는데 W.I.B+W.T와 W.I.B의 점토소성 폐기물에서는 20%의 대체율까지 계속 증가하는 경향으로 나타났다가 30%대체율에서는 저하하는 경향으로 나타났다. 또한 W.T의 점토소성 폐기물에서는 30%의 대체율에서 제일 많은 블리딩량을 나타내었다. 전반적으로 W.I.B의 점토소성 폐기물에서 제일 작은 블리딩량을 나타내었는데 이는 골재 표면의 공극이 존재하여 흡수율이 커서 나타나 결과로 분석되어진다.

3.2 경화 콘크리트 특성

3.2.1 압축 및 인장강도

1) 압축강도

그림 7은 점토소성 폐기물 대체율 변화에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이다.

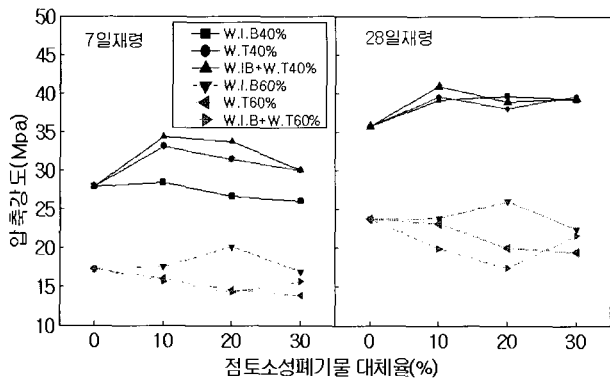


그림 7. 점토소성 폐기물 대체율 변화에 따른 압축강도

먼저 점토소성 폐기물 대체율 변화에 따른 압축강도는 초기 재령인 7일에서는 W/C 40%의 경우 Plain보다 W.I.B대체율 20,30%를 제외하고 전반적으로 높은 압축강도를 나타내고 있는데 W.I.B+W.T, W.T의 점토소성 폐기물 대체율 10%까지는 증가경향을 나타내고 그이후는 다소 저하하는 강도발현을 나타내고 있는데 특히 W.I.B+W.T의 대체율 10%에서 35MPa정도로써 제일 높은 강도 발현을 나타내고 있다. W/C 60% 경우는 W.I.B의 점토소성 폐기물에서 Plain보다 다소 높은 강도 발현을 하고 있고, 그 외의 점토소성 폐기물에서는 Plain보다 작은

강도 발현을 나타내었다. 표준재령인 28일의 경우 W/C 40%에서는 모든 점토소성 폐기물에서 Plain보다 1~3MPa 정도 높게 나타났고, W/C 60%에서는 W.I.B에서만 1~2MPa정도 강도가 증진되는 경향을 나타내었고, 다른 점토소성 폐기물은 Plain보다 작은 강도 발현을 나타내었다.

2) 인장강도

그림 8은 점토소성 폐기물 대체율 변화에 따른 인장강도를 나타낸 그래프이다.

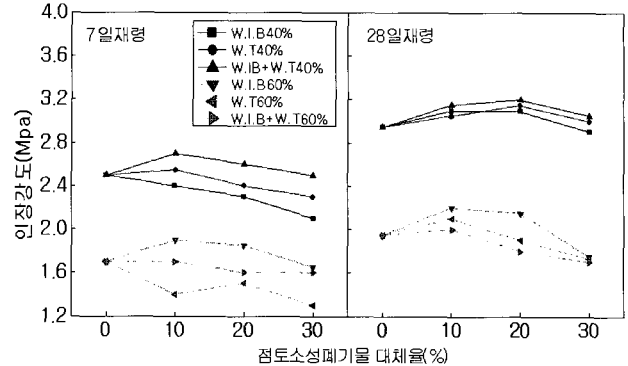


그림 8. 점토소성 폐기물 대체율 변화에 따른 인장강도

재령 7일과 28일의 표준재령에서 전반적으로 압축강도와 유사한 경향으로 나타났는데 점토소성 폐기물 대체율이 증가할수록 인장강도 발현을 저하하는 경향으로 나타내었다.

W/C 40%에서는 W.I.B의 점토소성 폐기물에서 제일 작은 강도 발현을 나타내었고 W/C 60%에서는 7일의 초기재령에서는 W.T의 점토소성 폐기물에서 제일 작은 인장강도를 나타내었고, 28일의 표준재령에서는 W.I.B+W.T의 점토소성 폐기물에서 제일 작은 강도 발현 경향을 나타내었다.

3.2.2 흡수 및 투수

1) 흡수량

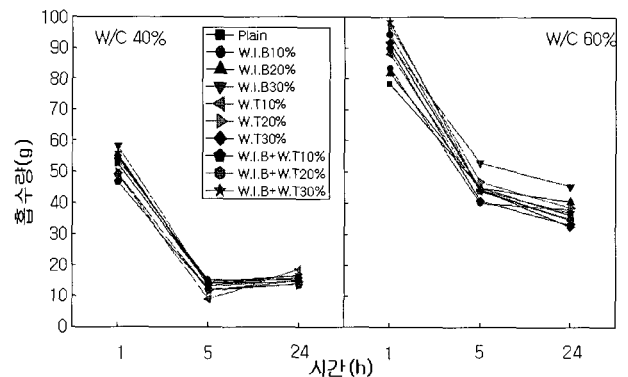


그림 9. 시간경과에 따른 흡수량 (재령7일)

그림 9는 시간경과에 따른 흡수량 변화를 재령 7일에서 점토소성 폐기물 대체율별로 나타낸 그래프이다. 전반적으로 시간이 경과함에 따라 흡수량이 감소하는 경향을 나타내고 있다. 먼저 W/C 40%의 경우 1시간 경과에 따른 흡수량이 5시간 24시간의 흡수량의 3배가량 차이를 나타내었다. W/C 60%의 경우도 시간경과에 따라 1시간경과의 흡수량이 5시간 24시간의

흡수량의 2배정도의 차이를 나타내었다. W/C 40%의 흡수량보다 W/C 60% 흡수량이 40g정도 높은 경향을 나타내었다.

그림 10은 시간경과에 따른 흡수량 변화를 재령 28일에서 점토소성 폐기물 대체율별로 나타낸 그래프이다.

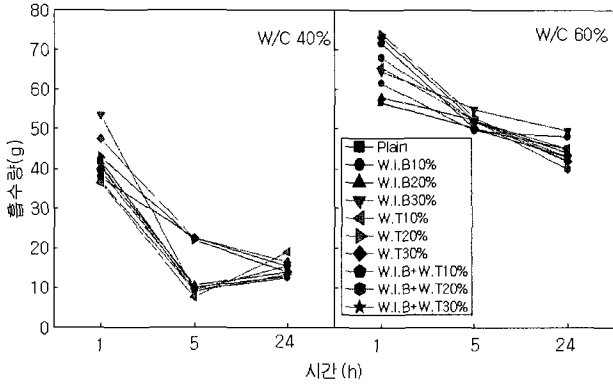


그림 10. 시간경과에 따른 흡수량 (재령 28일)

전반적으로 시간경과에 따라 감소하는 경향을 나타내 고있다. 먼저 W/C 40%의 경우 흡수량이 1시간경과에 따라 5시간에는 감소했다가 24시간 경과했을 때에는 다소 증가하는 경향이 나타났고, W/C 60%의 경우 흡수량이 시간이 경과함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다.

전체적인 흡수량은 시간경과에 따라 감소하는 경향을 나타내었으며 전반적으로 대체율 10%에서 가장 작은 흡수량을 나타내어 흡수량이 양호한 것으로 판단되어지며 대체율 30%에서는 흡수량이 증가하여 흡수특성이 양호하지 못한 것으로 판단되어진다.

2) 투수량

그림 11은 시간경과에 따른 투수량 변화를 재령 7일에서 점토소성 폐기물 대체율별로 나타낸 그래프이다. 전반적으로 시간이 경과함에 따라 투수량이 증가하는 경향을 나타내고 있다. 먼저 W/C 40%의 경우 1시간경과에서는 미미한 투수량 차이를 나타내는데 5시간 24시간이 경과함에 2배가량의 투수량을 나타내었다. W/C 60%의 경우는 1시간 경과함에 따라서는 미세한 차이를 보이고 있다가 5시간 24시간이 경과함에 따라 2~4배 가량의 투수량 차이를 나타내고 있다.

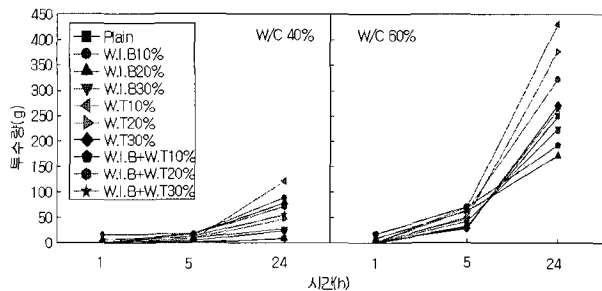


그림 11. 시간경과에 따른 투수량 (재령7일)

그림 12는 시간경과에 따른 투수량 변화를 재령 28일에서 점토소성 폐기물 대체율별로 나타낸 그래프이다.

전반적으로 시간이 경과함에 따라 투수량이 증가하는 경향을 나타내고 있다. 먼저 W/C 40%의 W.I.B 대체율10%가 시간

이 경과함에 따라 Plain보다 5g정도 투수량이 증가했고 모든 점토소성 폐기물은 Plain보다 적은 투수량을 나타내었다. W/C 60%의 점토소성 폐기물은 Plain보다 적은 투수량을 나타내었다.

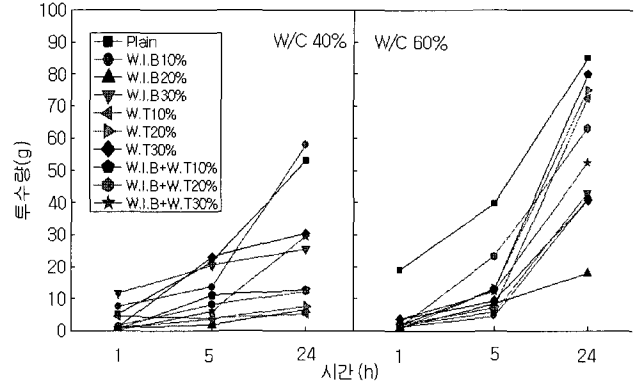


그림 12. 시간경과에 따른 흡수량 투수량 (재령 28일)

3.2.3 건조수축 길이 변화율

그림 13은 재령 일에 따른 길이변화율을 점토소성 폐기물 대체율별로 나타낸 그래프이다.

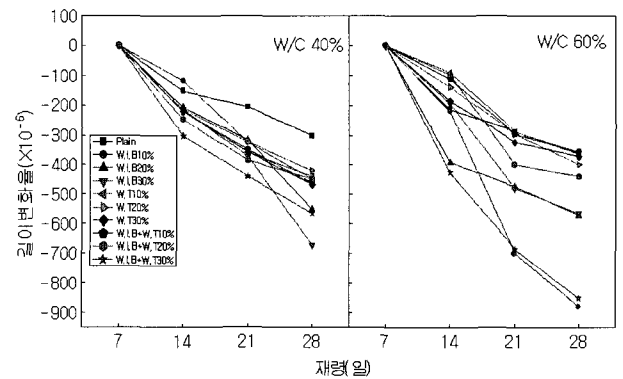


그림 13. 재령(일)에 따른 건조수축 길이 변화율

먼저 W/C 40%의 경우 Plain보다 모든 점토소성 폐기물의 길이변화율이 감소하는 경향을 나타내었다. W/C 60%에서는 W.I.B의 모든 대체율과 W.I.B+W.T이 Plain보다 감소하는 경향을 나타내었고 다른 점토소성 폐기물은 Plain보다 증가하거나 비슷한 정도로 나타나는 경향을 보였다.

4. 결 론

본 연구에서는 점토소성 폐기물(W.I.B, W.T)을 콘크리트용 굵은 골재로 활용 가능성을 판단하기 위한 실험으로 아래와 같은 결론을 얻었다

- 1) 굳지 않은 콘크리트의 특성으로 먼저 슬럼프는 W/C 40%에서 전반적으로 Plain에 비하여 감소하는 경향으로 나타났고, W/C 60%에서는 점토소성 폐기물 대체율 10,20%까지는 Plain보다 같거나 증가하거나는 경향을 나타내다 30%에서는 급격히 감소하는 경향을 나타냈다.

- 2) 단위용적질량은 모두 점토소성 폐기물 대체율이 증가할수록 Plain보다 감소하는 경향을 나타냈다.
- 3) 공기량은 W/C 40%의 점토소성 폐기물 대체율 10%의 W.T만이 Plain보다 증가하였고 모든 점토소성 폐기물 대체율이 증가할수록 Plain보다 감소하는 현상을 나타내었다.
- 4) 블리딩량은 전반적으로 W.I.B의 점토소성 폐기물에서 제일 작은 블리딩량을 나타내었는데 이는 골재 표면의 공극이 존재하여 흡수율이 가장 큼으로 인한 결과로 분석되어진다.
- 5) 경화 콘크리트의 특성으로 압축강도는 W/C 40%에서 점토소성 폐기물 대체율 10%까지는 모든 재령에서 Plain보다 증진되다가 감소하는 경향을 나타냈고 W/C 60%에서는 W.I.B만이 대체율 20%까지 증진되었고 나머지 점토소성 폐기물은 감소하는 것으로 나타났다. 인장강도 특성은 압축강도와 유사한 경향으로 나타났다.
- 6) 수밀특성으로 흡수율은 전반적으로 점토소성 폐기물 대체율 10%에서 가장 적은 흡수량을 나타내었고 30%에서 가장 높게 나타났으며 W/C 40%보다 60%가 더 높게 나타났다.
- 7) 길이변화의 특성은 W/C 40%에서 Plain보다 모두 길이변화율이 감소하였고 W/C 60%에서는 W.I.B, W.I.B+W.T이 Plain 보다 감소하는 경향을 나타냈고 다른 점토소성 폐기물은 유사한 경향을 나타냈다.

본 실험을 통하여 W.T과 W.I.B이 점토소성 폐기물 대체율 10%까지 굵은 골재로 사용가능한 것으로 나타났지만 재생콘크리트 품질의 균질성을 얻기 위해서는 일률적인 적용 기준보다 파쇄된 재료별 적용기준을 설정하여 사용량을 제시할 필요성이 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2006년도 지역혁신인력양성사업 과제인 “폐자원을 활용한 구조용 순환콘크리트의 개발 및 실용화” 수용과제를 일부임을 밝혀드리며, 산업자원부와 한국산업기술재단 관계자 여러분께 깊은 감사드립니다.

참고 문헌

1. 강헌찬, 공경록, 가을 학술발표회 논문집, pp. 173~176, 2004.
2. 개정 콘크리트 표준시방서 해설집, 한국콘크리트 학회편. pp.95~122, 2003.
3. 김무한, 신한식, 김문한, 건축재료학, 문운당, 2000.1.
4. 대한건축학회, 건축공사표준시방서, pp. 107~118, 1999.
5. 문대중 외, 재생골재의 품질평가 및 재생골재 콘크리트의 강도 특성, 한국토목학회 논문집 제22권 제1-A, pp. 141~150, 2002.1.
6. 이철호, 폐기물 재활용현황 및 관련제도, 공주대학교자원재활용연구소재연구센터, 2001.
7. 정일영, 한천구, 정상진, 건축재료실험, 형설출판사, 1995.
8. 정현수 외4명, 건축재료학, 세진사, pp. 53~69, 2002.
9. 한국산업표준협회, KS규격집, 1995.
10. 한국콘크리트학회, 최신콘크리트공학, 기문당, 1997.
11. 한천구, 콘크리트 특성과 배합설계, 기문당, 1998.
12. 한천구, 황인성 잔골재 및 혼화재료 요인이 콘크리트의 블리딩에 미치는 영향, 대한건축학회논문집, 제18권 6호, 2002.6.
13. American Foundrymen's Society. Final Report on Alternate Utilization of Foundry Waste Sand, 1990.
14. Choi, et al., A Study on the Influence of the Number of Refining with regard to the Physical Properties of Recycled Coarse Aggregates, 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 1995. 5.
15. Tarun R. Naik. Shiw S. sin호. Mathew P. Tharaniyil, and Robert B. Wendorf, Application of Foundry By-Product Materials in Manufacture of concrete and Masonry Product. ACI Materials Journal. January-February, pp. 44~51, 1996.