

# 폐콘크리트의 도로노반재 및 성토재 활용방안

## 1. 서론

건물 및 구조물의 계획, 설계, 시공, 유지관리, 재시공 등의 단계에서 발생하는 건설부산물의 유효활용을 위해서 발생에서 활용까지의 합리적인 활용 방안이 필요하다. 현재, 건설부산물은 각 기관 및 전문연구분야 등에서 건설폐기물, 건설폐재, 건축폐재 등으로 분류 정의되어지고 있으며, 그 활용 범위도 한정되어 있다. 건설교통부에서도 건설부산물의 활용방안 및 활용기준이 부분적으로 제정되어 활용률이 증가되고 있는 추세이다.

도로 성토재 또는 뒤풀재 등의 성토재료로써 폐콘크리트의 활용가능성을 확인하기 위해서는 활용대상 폐콘크리트의 입도, 비중, 투수성, 다짐성, 압축성 등 물리적, 역학적 특성에 대한 광범위한 적합성 평가가 필요하다. 본 고에서는 다량 발생하고 있는 폐콘크리트를 도로의 노반재, 보조기층재, 구조물 뒤풀재 등으로 활용하기 위하여 각종 물리적·역학적 실험을 수행하여 제반 기본특성들을 분석함으로써 다양한 용도의 폐콘크리트의 활용 가능성을 분석하였다.

## 2. 본론

### 가. 건물해체 작업 및 발생폐기물 선별

#### 1) 건물해체작업

기존 건물을 해체하여 발생하는 폐기물은 철거방법, 사전선별유무, 선별방법 등에 따라 다양하다. 특히 해체공사는 건축폐기물의 다량 발생원으로서 향후 불가피하게 진행될 도심재개발, 재건축을 감안할 때 해체계획, 해체공법, 해체폐기물에 대한 계획 등이 중요한 요소로 작용한다. 건설현장에서 발생하는 폐기물에 대한 원단위는 건물바닥면적당 건설폐기물의 발생량으로 계산되는데, 건축폐기물의 성상 및 수량 등을 산출할 수 있어 처리비용을 절감시킬 수 있을 뿐만 아니라 친환경적으로 폐기물을 처리할 수 있는 잇점 등이 있어 건축폐기물의 발생추이를 분석하는데 중요한 지표가 되기도 한다. 그러나, 일반폐기물과는 달리 발생량이 건설해체현장에 따라 차이가 나므로 표준화하기가 매우 까다롭다. 대부분의 건물들은 해체하기 전에 이미 건물 내에 버려진 폐기물들이 있으므로 우선 건축물 내의 폐기물을 선별하여 계근한다. 이후 건축물을 서서히 해체하면서 발생하는 폐기물을 종류별로 선별한 후 건축 해체폐기물의 실제 용량을 정확히 실측하여 해체 후 원단위를 산출한다. 이와 같은 절차를 거쳐 발생폐기물의 원단위를 정확하게 산정한다.

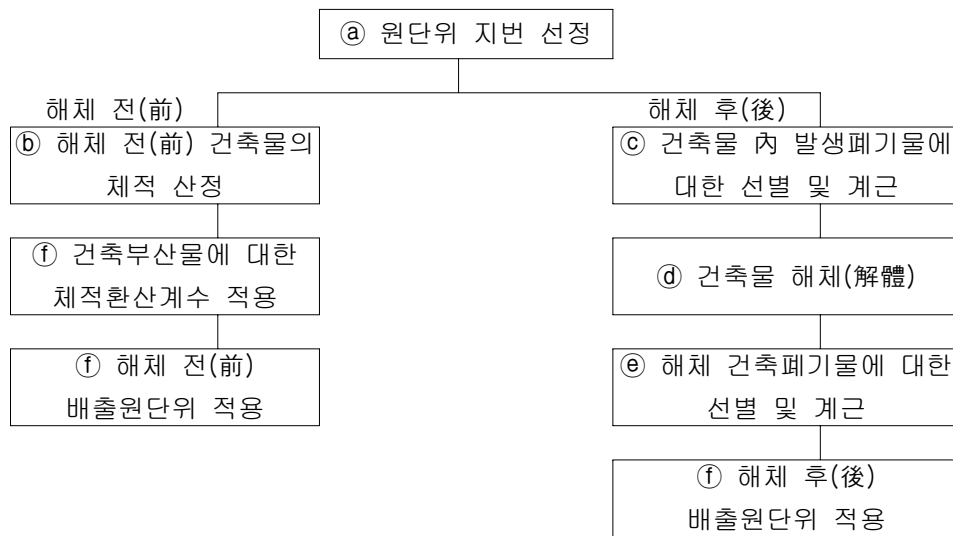


그림 1. 건물해체시 발생폐기물 원단위 산정절차

## 2) 발생폐기물 선별

해체폐기물의 성상현황은 콘크리트류에는 콘크리트, 벽돌, 블록, 몰탈, 타일 등이 있고, 금속 및 철재류에는 철근, 알루미늄, 함석 등이 있으며, 혼합폐기물에는 섬유, 슬레이트, 유리, 종이, 플라스틱, 목재, 석고보드, 기와, 스티로폼 등이 있다. 해체폐기물 처리는 철근, 알루미늄 등의 금속 및 철재류는 전량 외부 반출하고, 종이, 플라스틱, 목재, 섬유 등의 소각류는 종류에 따라 자체소각 및 위탁소각 하며, 일부 폐콘크리트는 재활용하는 것이 일반적이다. 해체폐기물 중 폐콘크리트의 발생량이 가장 많고 재활용 가능성이 가장 높은 것으로 평가되었다. 따라서 해체폐기물중 폐콘크리트를 대상으로 공학 및 환경특성을 파악하여 실제 현장에서의 재활용 가능성 유무를 판단하고 그에 따른 재활용 방안을 마련한다.

### 나. 폐콘크리트의 기본특성

#### 1) 폐콘크리트의 공학특성

본 연구에서 사용한 실험재료는 두가지 폐콘크리트를 사용하였는데, 먼저 1차적으로 건설폐기물 수집회사에서 1차 파쇄를 거쳐 골재화 된 것을 사용하였다. 다른 실험대상 폐콘크리트는 ○○지구 재개발사업지역에서 노후화된 건물, 주택, 공장 등의 해체과정에서 발생하는 폐콘크리트를 사용하였다. 이는 현장에서 1차 300mm 이상으로 파쇄한 폐콘크리트 덩어리를 활용 용도에 적합하게 파쇄기를 이용하여 2차 파쇄한 폐콘크리트이다.

#### - 입도분포특성

골재체가름시험(KS F 2502)에 의해 폐콘크리트의 입도시험을 40mm, 25mm, 9mm, 혼합비별로 실시하였다. 입도 분포는 조립토에 있어서 밀도, 투수성, 전단강도 등의 공학

적 성질을 좌우하는 중요한 요소이며, 세립토에 있어서는 입도분포와 공학적 성질과의 상관성이 적은 반면 컨시스턴시 특성이 영향을 미치게 된다. 폐콘크리트 KT는 최대입경이 40mm이하이며, 세부적으로 폐콘크리트를 40mm이하, 25mm이하, 9mm이하로 구분하였다. 폐콘크리트 B도 최대입경 40mm이하로, 세부적으로 40mm이하, 25mm이하, 19mm이하로 구분하였고, 폐콘크리트 C는 최대입경 70mm이하이다. 여러 문헌에 의하면, 폐콘크리트를 활용함에 있어서 대부분은 100mm이하로 하는 것이 여러 가지 용도로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 현재 국내 폐기물 관리법에서도 최대입경 100mm이하의 폐콘크리트를 사용하도록 규정하고 있다. 폐콘크리트 KT에 대한 입도조정 입도분포곡선은 그림 3.3에 나타내었다. 그림 4에서 입도조정 비율을 40mm : 9mm의 비율을 50:50, 60:40, 70:30, 80:20로 조정하였다. 그 결과 보조기층 재료에서 요구하는 표준입도를 만족하는 것으로 나타났다.

표 1. 입도분포

구분		최대입경 (mm)	D <sub>10</sub> (mm)	D <sub>30</sub> (mm)	D <sub>60</sub> (mm)	균등 계수 Cu	곡률 계수 Cg	200번체 통과율 (%)	비고
KT	KT-1	9	0.27	0.77	2.2	8.15	0.998	0.1	KICT
	KT-2	25	7.8	10.2	10.6	1.36	1.26	-	
	KT-3	40	10	15	19	1.9	1.18	-	
B	B-1	40	0.17	0.56	0.06	0.35	30.75	2.8	KICT
	B-2	25	0.17	0.65	0.16	0.94	15.53	5.2	
	B-3	19	0.34	0.53	2.0	5.88	0.41	0.7	
C	C	70	0.39	3.5	10.7	27.44	2.94	-	wahlstrom(2000)
화강토		70	0.39	3.50	10.7	27.44	2.94	-	KICT

- 다짐특성

폐콘크리트를 도로의 노반재, 성토재 등으로 활용하려면 적정의 기준값을 가져야 한다. 따라서 본 연구에서는 폐콘크리트 KT의 40mm에 화강토를 90%, 80%, 70%, 60%, 50%, 40%, 30%를 혼합한 재료에 대하여 E 다짐을 실시하였다. 또한, 폐콘크리트 KT에 대하여 40mm와 9mm의 폐콘크리트를 50:50, 40:60으로 혼합하여 E 다짐을 실시하였다. 폐콘크리트에 화강토를 혼합할수록 최대건조밀도가 감소하는 것으로 나타났다. 화강토의 최대건조밀도가 1.86t/m<sup>3</sup> 으로 폐콘크리트를 혼합함으로써 최대건조밀도가 화강토에 비하여 약 2~8% 증가하였으며 최적함수비도 감소하는 경향이 나타났다. 따라서 일반토사에 의한 도로의 노반재, 성토재를 축조하는 경우보다는 폐콘크리트 등을 혼합하여 사용하는 것이 바람직할 것이다.

표 2. 다짐

구분		최대건조밀도 ( $\gamma_d \max$ )	최적함수비 (%)	비고	
폐 콘 크 리 트 KT	폐콘크리트 (40mm:9mm)	50:50	1.95	8.5	E 다짐
		40:60	1.89	10.5	
	혼합토 (화강토: 폐콘크리트)	90:10	1.90	10	
		80:20	1.99	8.1	
		70:30	1.98	8.5	
		60:40	1.96	10.0	
		50:50	1.97	6.0	
		40:60	2.00	9.0	
		30:70	2.02	8.1	
	폐콘크리트 B	B-1	1.935	11.5	
B-2		1.761	14.3		
B-3		1.881	13.5		
화강토		1.881	13.5	D 다짐	

- 비중 및 흡수율

시험대상 폐콘크리트의 비중은 2.56~2.67사이로 이는 일반적인 골재 비중 2.50~2.70, 잔골재 비중 2.50~2.70의 범위에 있다. 골재의 비중은 골재의 함수량에 따라 달라질수 있으나 폐콘크리트의 경우는 골재표면에 붙어있는 시멘트 모르타르에 따라 차이를 발생하고 있다. 따라서 폐콘크리트의 비중은 시멘트 모르타르 양에 따라 차이를 발생하므로 이는 폐콘크리트를 콘크리트 구조물의 골재로 사용할 경우 품질에 영향을 미칠수 있으므로 이에대한 품질확보가 필요하다. 폐콘크리트의 흡수율은 3.6~4.08사이로, 일반적인 골재와 잔골재의 흡수율은 3.0%이하로 폐콘크리트의 흡수율은 일반골재에 비하여 다소 크게 나타났다. 이는 폐콘크리트에 붙어있는 모르타르에 의한 것으로 판단되며, 일본의 기준 7%이하, 국내의 건설교통부에서 정한 3, 5, 7%의 기준에 의하면 적합하지만 흡수율이 높은 경우 골재의 내부에 미세한 균열이 발달되어 사용 구조체에 영향을 미칠수 있다.

표 3. 비중 및 흡수율

구분	비중	흡수율	비고	
KT	KT-1	2.56	-	KICT
	KT-2	2.61	3.60	
	KT-3	2.59	4.08	
B	B-1	2.60	-	KICT
	B-2	2.61	-	
	B-3	2.67	-	

- 마모감량

실험대상 폐콘크리트 KT의 마모감량은 33.44 ~ 35.44%이고, 폐콘크리트 B의 마모감량은 47.21 ~ 52.3%로 나타났다. 마모시험결과, 시험대상 폐콘크리트의 경우 보조기층의 품질기준인 마모감량을 50%를 만족하는 것으로 나타났다.

표 4. 마모감량

구분		마모감량	비고
KT	KT-1	-	보조기층 품질기준 : 50% 이하
	KT-2	33.53	
	KT-3	35.44	
B	B-1	52.3	
	B-2		
	B-3		

- CBR 시험결과

CBR 시험결과 화강토와 폐콘크리트의 혼합토에 대한 CBR 시험치는 10.3 ~ 46.7로서 노상과 노체의 품질기준인 CBR 10이상, 2.5이상을 모두 상회하는 것으로 나타났으며, 혼합비율 40:60, 30:70인 경우 보조기층의 품질기준인 CBR 30이상을 만족시키는 것으로 나타났다. 또한, 화강토의 혼합비가 커질수록 CBR 수치가 커지는 것으로 나타났다. 이상의 시험결과를 살펴보면, 폐콘크리트 KT는 도로의 노반재, 보조기층재의 기준을 만족시키는 것으로 나타났다.

표 5. CBR

구분		CBR	비고	
폐콘크리트 KT	혼합토 (화강토: 폐콘크리트)	80 : 20	10.3	보조기층 품질기준 : CBR 30 이상
		70 : 30	13.8	
		60 : 40	15.4	
		50 : 50	23.5	일반노상 품질기준 : CBR 10 이상
		40 : 60	34.0	
		30 : 70	46.7	
	폐콘크리트 (40mm:9mm)	60 : 40	57.5	노체 품질기준 : CBR 2.5 이상
		50 : 50	88.0	
B	B-1	-		
	B-2	12.3		
	B-3	-		

## 2) 폐콘크리트의 환경특성

### - pH

폐콘크리트의 pH를 살펴보면, Con.1 지점에서 채취한 시료를 제외한 그 밖의 폐콘크리트의 pH는 거의 9.5~11.82의 범위를 보여 대체적으로 알칼리성분을 나타내고 있다. 이는 폐콘크리트 내에 알칼리 특성을 가지고 있는 시멘트 성분이 함유되어 있기 때문이다. 여기에서 Con.1과 단순선별 폐콘크리트의 pH가 일부 7.2 및 7.9로 나타났는데 이는 채취시료 내에 일부 토사 및 이물질이 다소 함유되어 pH가 낮게 나타난 것으로 판단된다.

### - 유기물 함량

폐콘크리트 내에 불순물의 하나인 유기물질 함유량을 알아보기 유기물함량시험을 실시하였다. 측정결과, 채취 폐콘크리트의 유기물함량은 1.38~4.84의 범위를 보여 유기물함량이 대체적으로 높지 않음을 알 수 있었다. 파쇄선별 폐콘크리트의 유기물함량은 1.13%로 낮게 나타났으나 단순선별 폐콘크리트의 유기물함량은 4.63~4.97로 다소 높게 나타났다. 이는 단순선별 폐콘크리트의 이물질 함유량이 약 5~6% 정도가 되어 이들이 유기물질로 측정되었기 때문으로 판단된다.

표 6. pH

구분	pH	구분	pH
Con.1 해체현장 폐콘크리트	7.72	Con.9 해체현장 폐콘크리트	9.81
Con.2 해체현장 폐콘크리트	9.53	Con.10 해체현장 폐콘크리트	11.77
Con.3 해체현장 폐콘크리트	11.01	Con.11 해체현장 폐콘크리트	10.99
Con.4 해체현장 폐콘크리트	9.98	Con.12 해체현장 폐콘크리트	11.82
Con.5 해체현장 폐콘크리트	10.01	Con.13 김포 폐콘크리트	11.75
Con.6 해체현장 폐콘크리트	9.51	단순선별 폐콘크리트 (25mm 이하)	7.9
Con.7 해체현장 폐콘크리트	11.68	단순선별 폐콘크리트 (25~40mm)	12.5
Con.8 해체현장 폐콘크리트	10.56	파쇄선별 폐콘크리트 (100mm 이하)	10.23

표 7. 유기물 함량

구분	유기물함량(%)	구분	유기물함량(%)
Con.1 해체현장 폐콘크리트	1.56	Con.9 해체현장 폐콘크리트	2.52
Con.2 해체현장 폐콘크리트	1.38	Con.10 해체현장 폐콘크리트	4.84
Con.3 해체현장 폐콘크리트	2.30	Con.11 해체현장 폐콘크리트	3.23
Con.4 해체현장 폐콘크리트	1.43	Con.12 해체현장 폐콘크리트	4.61
Con.5 해체현장 폐콘크리트	1.70	Con.13 김포폐콘크리트	6.95
Con.6 해체현장 폐콘크리트	1.40	단순선별 폐콘크리트(25mm 이하)	4.97
Con.7 해체현장 폐콘크리트	3.29	단순선별 폐콘크리트(25 ~ 40mm)	4.63
Con.8 해체현장 폐콘크리트	1.58	파쇄선별 폐콘크리트(100mm 이하)	1.13

- 화학농도

폐콘크리트에 대해 국내 용출시험으로 화학농도를 분석하였다. 해체현장 폐콘크리트 및 단순선별 폐콘크리트의 구리(Cu) 농도는 0.09 ~ 1.278 mg/L로 폐기물관리법 기준치인 3.0 mg/L 이내로 검출되었고, 카드뮴(Cd) 농도 역시 0.094 mg/L의 농도로 기준치 보다 약 30% 이내로 검출되었다. 납(Pb)의 경우에도 0.24 mg/L 이내의 낮은 농도를 보여 기준치 3.0 mg/L를 만족시켰다. 그 밖의 수은(Hg) 및 6가크롬(Cr<sup>6+</sup>), 테트라클로로에틸렌, 트리클로로에틸렌, 시안(CN<sup>-</sup>) 등은 검출되지 않았다. 따라서 시험대상 폐콘크리트의 화학농도는 폐기물관리법 기준치를 모두 만족하는 것으로 나타났다.

표 8. 화학농도분석(단위 : mg/L)

분석 항목	Con.1 해체현장 폐콘크리트	Con.2 해체현장 폐콘크리트	단순선별 폐콘크리트
구리(Cu)	1.278	0.09	0.52
카드뮴(Cd)	불검출	0.014	0.094
납(Pb)	0.245	0.03	불검출
수은(Hg)	불검출	불검출	불검출
6가크롬(Cr <sup>6+</sup> )	불검출	불검출	불검출
테트라클로로에틸렌	불검출	불검출	불검출
트리클로로에틸렌	불검출	불검출	불검출
시안(CN <sup>-</sup> )	불검출	불검출	불검출
비소(As)	불검출	불검출	0.151
유기인	불검출	불검출	불검출

- 성토층 용출특성

본 연구에서는 해체 폐콘크리트를 시료로 하여 간이식 용출실험을 실시하였다. 간이식으로 용출장치는 내경 8cm의 원통형 pet병을 사용하였으며 1단부터 5단까지 총 5개의 층으로 나누고 폐콘크리트 및 일반토사 그리고 혼합토(일반토사 : 폐콘크리트 = 6 : 4)의 부피비로 섞은 토양임)를 다양하게 층별 성토하여 용출시험을 실시하였다. 폐콘크리트만을 성토하였을때의 높은 pH 농도는 일반토를 적층하여 같이 성토할 경우 pH의 농도가 내려 가는 것을 알 수 있었다. 특히, 폐콘크리트를 아래쪽에 성토하는 경우보다 위쪽으로 성토하였을 때 pH의 농도가 더 낮게 내려 갔으며 폐콘크리트층이 2단 이하로 성토될 때 pH의 농도가 중성에 가까워졌다. 따라서, 폐콘크리트를 성토재로 재활용하는 경우 일반 토사와 일정비율로 혼합한 후 일반토사와 적층하여 성토하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

3. 결론

폐콘크리트 자체 및 일반토사와의 혼합재는 조건에 따라 도로의 노체, 노상, 동상방지층, 성토재 등의 재질기준치를 만족하여 이에 재활용할 수 있는 것으로 나타났다. 폐콘크리트를 재활용 할 시는 건설폐기물 재활용 기준인 최대입경 100mm 이하 및 이물질함유량을 부피기준 1% 이하를 준수하도록 한다. 폐콘크리트를 고급재료로 사용시에는 폐콘크리트의 모재가 오래된 지장물인 경우에는 내구성을 향상시키기 위하여 양질의 모래를 일정 혼합하여 사용하는 것으로 한다. 필요시 성토시에는 일반토사와 폐콘크리트의 혼합비율을 6:4로 하고 일반토사와 적층하여 성토하도록 하고 성토위치는 계획고에서 1.0m 하부에 적용하는 것을 원칙으로 한다. 폐콘크리트는 도로 노반재 및 성토용으로 사용할 경우 상부의 하중을 견딜 수 있는 충분한 강도와 지지력을 가지는 것으로 판단되며, 재



료의 변형량이 적고 골재사이의 간격이 커져서 우수 등이 침투해도 신속히 배수될 수 있어 투수성이 양호할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 한국건설기술연구원, 국내 콘크리트구조물의 내구성 평가를 위한 조사연구, 연구보고서, 1989
2. 한국건설기술연구원, 건설부산물 유효활용 기술, 연구보고서, 2000
3. 건설교통부, 건설폐기물의 재활용 및 처리기술개발, 1999
4. 한국자원재생공사, 폐콘크리트의 재활용기술 개발방안에 관한 연구, 1996
5. 김무한, 김종흡, 건설산업 폐기물의 리사이클링시스템 및 재활용 기술에 관한 연구, '94 건설교통부 연구개발사업 최종보고서, 1997
6. 김무한, 재생골재 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 재생골재 혼합조건의 영향에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제 5권 제 1호, pp. 16-25, 1993
7. Wahlström, M., Laine-Ylijoki, J., Määttänen, A., Luotojärvi, T.(2000), "Environmental quality assurance system for use of crushed mineral demolition wastes in road constructions," Waste Management 20, pp.225 ~ 232.
8. Barth, H.P., "Financial, Economical and Political Aspects of the Reuse of Construction and Demolition Waste", Proc. 3rd Int'l RILEM Symp, 1994
9. Buck, A. D., "Recycled Concrete", Highway Research Record 430, HRB, pp. 1-8, 197.
10. \_\_\_\_\_

출처: 제9회 폐기물처리 및 재활용심포지움, 한국건설기술연구원 정 하익