

## PF17) 콘크리트 재생미분말의 친환경적 활용방안에 관한 연구

장석원\*, 최익창, 한상국

목포해양대학교 해양시스템공학부

### 1. 서 론

우리나라는 1990년대 이후 건설폐기물의 발생량이 기하급수적으로 증가하게 되었으며(이승환, 2008), 건설폐기물의 발생량은 1996년 1천만톤에서 2003년에는 5천3백만톤으로 5배 이상 증가하였다. 이 가운데 폐콘크리트류는 3천3백8십만톤(2003년 발생량)으로 전체 건설폐기물 중 63.7%를 차지하는 것으로 나타났다. 한편, 건설폐기물의 처리방법 비율은 1997년에 매립 20.4%, 소각 3.0%, 재활용 76.5%에서 2003년에는 매립 9.4%, 소각 1.5%, 재활용 89.0%로 재활용의 비중이 급격히 증가되었다(환경백서, 2005). 재활용 되는 건설폐기물은 대부분 순환 골재로서 사용되고 있으며 이를 제조하는 분쇄과정에서 재생미분말이 공정 부산물로 발생되고, 고품질의 순환골재를 생산하기 위해서 처리횟수 증가시 부작물을 많이 제거 시키면 재생미분말도 더욱 증가하게 된다(박승범 등, 2008). 이와 같이 발생하는 재생미분말은 효과적인 활용방안에 대한 연구가 미진하여 재활용 되지 못하고 전량 매립처분 되고 있는 실정이다(장중호, 2002). 이처럼 매립 처분되는 재생미분말은 물리·화학적 조건 변화에 의해서 토양 및 지하수 등에 2차적 환경오염을 유발 시킬 가능성이 높다고 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 폐콘크리트에서 발생하는 재생미분말의 환경위해 가능성을 줄이기 위해서 건설폐기물의 재활용율을 더욱 높이고 재생미분말의 친환경적 활용방안을 모색하였다. 이러한 연구목적을 위해서 *in-vitro* bioassay를 이용하여 재생미분말 및 재생미분말 혼입 콘크리트류에 대한 독성평가를 통해 최적 조건을 탐색하고자 하였다.

### 2. 재료 및 실험 방법

본 연구의 모든 실험은 콘크리트의 원료인 포틀랜드시멘트를 비교대상으로 사용하였고, 재생미분말은 전남 무안에 위치한 건설폐기물 중간처리 업체인 N사에서 순환골재 생산과정중 부산물 습식공정에서 발생하는 폐콘크리트 미분말(0.15mm 이하 재생미분말)을 받아서 건조 분쇄하여 실험에 사용하였다.

시멘트와 재생미분말, 각각의 콘크리트 공시체(Table 1)의 시료는 곱게 분쇄한 후 dichloromethane으로 추출·농축하였으며, 최종 dimethylsulfoxide(DMSO) 1 ml로 용매 치환하여 실험에 사용하였다. 또한, 세포독성은 L929 cell line을 이용한 SRB(Sulforhodamine B) assay를 실시하였으며, 돌연변이원성은 *Salmonella typhimurium*의 변이주 중 구조이동형(frame shift type)의 돌연변이를 검출할 수 있는 TA98과 염기치환형(base-pair sub-

stitution type)의 돌연변이를 검출할 수 있는 TA100을 사용하여 Ames test를 실시하였다.

Table 1. Mix design of recycled powder concret

	W/B (%)	S/a (%)	kg/m <sup>3</sup>							Admix-ture
			W	C	r/P	S/P	S/F	S	G	
Plain	50.6	43	169	334	0	0	0	780	1038	1.336
CP10	50.6	43	169	300.6	33.4	0	0	780	1038	1.336
CP25	50.6	43	169	250.5	83.5	0	0	780	1038	1.336
WCP10	53.1	43	177.4	300.6	33.4	0	0	780	1038	1.336
PCP10	50.6	43	169	300.6	33.4	0	0	780	1038	2.338
HCP10	24.9	42.8	162	369	41	162	78	692	924	19.5
UCP10	12.8	33.6	142.2	680.1	75.6	222.2	133.3	404.7	799.7	44.5

Note) CP: cement-recycled powder, WCP: water cement-recycled powder, PCP: polycarboxylate cement-recycled powder, HCP: high strength cement-recycled powder, UCP: ultra streagth cement-recycled powder, W/B: water-binder ratio, S/a: fine total aggregate ratio, r/P: recycled powder, S/P: blast furnace slag, S/F: silica fume, W: water, C: cement, S: sand, G: gravel

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 재생미분말의 세포독성 및 돌연변이원성

Table 2.에 재생미분말의 세포독성 및 Ames test결과를 나타내었다. 재생미분말에서 SRB assay결과 용량의존적으로 세포독성이 증가하여 최고 주입용량인 0.01  $\mu\text{l}/\text{well}$ 에서는 75.5%의 높은 값을 나타내었다. 재생미분말 시료에서의 이러한 세포독성 값을 대표적 발암물질인 Benzo[a]pyrene의 L929 cell line에 의한 SRB assay의 세포독성과 비교하면 0.1 mg/l 에 해당하는 높은 독성발현이다(이문희, 2006; 박선영 외, 2005). 또한, *Samonella typhimurium*의 변이주인 TA98과 TA100을 이용한 Ames test결과 TA98균주의 모든 실험 용량에서는 MR값이 2 미만으로 돌연변이원성이 나타나지 않았으나 TA100균주의 1000 mg/plate에서 MR값이 4.7로 높은 돌연변이원성이 나타났다. 이는 재생미분말에 염기

Table 2. Cytotoxicity and Mutagenicity of recycled powder

Cytotoxicity		Mutagenicity		
$\mu\text{l}/\text{well}$	%	mg/plate	MR(mutation ratio)	
			TA98	TA100
1/100	75.5	1	1.1	1.1
1/250	28.3	10	1.5	1.0
1/500	17.2	100	1.6	1.0
1/1000	15.1	1000	1.6	4.7

치환형 변이원성 물질이 존재하는 것으로 판단되며, 구조이동형에 의한 변이원성의 영향은 없는 것으로 사료된다. 이와 같은 재생미분말에 대한 세포독성과 돌연변이원성 결과는 친환경적인 재생미분말의 활용을 위해 독성 및 발암성을 유발시키는 물질의 저감 방안이 연구 및 개발되어야 할 필요성을 제시하고 있다.

### 3.2. 재생미분말이 혼입된 콘크리트 공시체의 세포독성 및 돌연변이원성

재생미분말 혼입별 콘크리트 각 공시체의 세포독성 결과와 돌연변이원성 결과를 Table 3에 나타내었다. 각 공시체의 세포독성 결과를 재생미분말의 세포독성(75.5%)과 비교했을 때 모든 공시체에서 현저한 감소를 나타내었으며, 이는 각 공시체 제작 공정에서 재생미분말의 함량이 낮아짐에 따라 용량의존적으로 독성이 감소된 것으로 사료된다. 돌연변이원성의 경우 TA100균주를 이용한 실험에서 모든 공시체는 재생미분말에서 발현된 돌연변이원성을 현저히 저감시켰으나 TA98균주에서는 HCP10, WCP10에서 MR값이 각각 7.2, 3.7로 돌연변이원성이 발현되었다. 또한, Table 3의 결과로부터 세포독성과 돌연변이원성이 발현되지 않는 공시체는 CP10과 UCP10으로 나타났다.

Table 3. Cytotoxicity and Mutagenicity of each Concrete cylinders

Concrete cylinders	MR(mutation ratio)		Cytotoxicity(%)
	TA98	TA100	
Plain	1.7	0.9	6.8
CP10	1.9	1.0	14.3
CP25	2.4	1.1	3.6
WCP10	3.7	0.7	0
PCP10	2.3	1.2	15.0
HCP10	7.2	1.2	8.4
UCP10	2.0	1.0	19.7

### 3.3. 각 콘크리트 공시체의 휨강도, 인장강도의 비교

Fig. 1에 각 공시체의 휨강도(Flexural Strength)와 인장강도(Tensile Strength)에 대한 결과를 나타내었다. 휨강도의 경우 HCP10, UCP10가 각각 7MPa, 9.1MPa로 Plain에 의해 크게 변화하였다. 인장강도는 Plain의 MPa 2.4보다 HCP10, UCP10의 MPa가 각각 3.3, 5.2로 증가하는 경향을 나타내었다. 이와 같은 결과로부터 재생미분말의 첨가가 콘크리트의 강도에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단되며, HCP와 UCP에서의 강도증가는 제조공정의 특성에 의한 것으로 판단된다. 따라서 재생미분말이 함유된 콘크리트 공시체를 친환경적으로 실용화하기 위한 최적방안을 도출하기 위해서 향후 재생미분말의 함유량 변화에 따른 강도변화를 연구하여 재생미분말의 최적 함량비를 산출해야 할 것으로 사료된다.

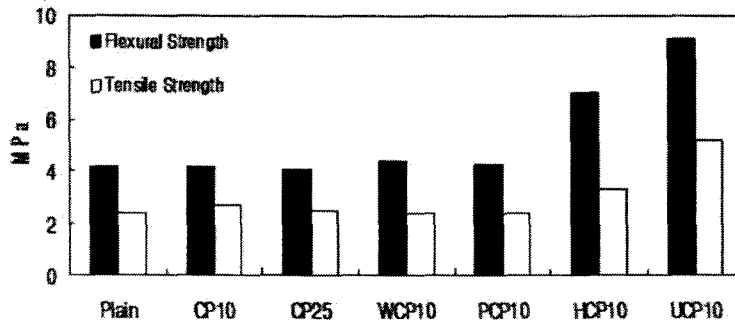


Fig. 1. Flexural strength and Tensile strength on each concrete cylinders with recycled powder. ※ 1MPa = 1,000KPa

#### 4. 결 론

지속적으로 증가하는 건설폐기물 중 폐콘크리트 처리 시 발생하는 재생미분말의 친환경적 활용방안에 관해 세포독성과 돌연변이원성을 통한 위해성에 대해 알아보았고 또한, 재생미분말이 일정 함량 첨가 되었을 때의 콘크리트 강도변화를 알아보았다. 재생미분말 자체에 대한 세포독성과 돌연변이원성은 높게 나타났으나 각 공시체의 세포독성은 재생미분말에 비해 현저한 감소를 나타냈으며, 돌연변이원성의 경우 일부 공시체(HCP10, WCP10)를 제외하고 감소하는 경향을 나타내었다. 또한, 공시체 강도변화의 경우 HCP10과 UCP10을 제외하고는 큰 변화가 없었으며, 본 연구로부터 친환경적으로 사용 가능성이 보인 것은 UCP10으로 나타났으며, 향후 환경 친화적인 재생미분말 혼입 콘크리트를 실용화하기 위해서 물리·화학적 최적조건 도출 연구가 필요하다.

#### 참 고 문 헌

- 이승환, 2008, 순환골재 생산과정에서 발생하는 미분말의 재활용 방안, 목포해양대학교 대학원 공학석사학위논문.
- 환경부, 2005, 환경백서, pp. 619-621.
- 박승범, 손성우, 이 준, 장영일, 이병재, 2008, 폐콘크리트 순환골재를 이용한 폴리머 혼입 포러스콘크리트의 다짐방법에 따른 공극 및 압축강도 특성, 한국폐기물학회지, Vol. 25, No. 2, pp. 110-117.
- 장중호, 2002, 폐콘크리트 미분말을 이용한 환경친화형 저온소성 재생시멘트의 개발에 관한 실험적 연구, 충남대학교 대학원 공학석사학위논문
- 이문희, 2006, 영산강 유역 처리 방류수의 유기오염물질 분포 특성 및 *in-vitro* bioassay를 이용한 세포독성평가, 목포해양대학교 대학원 공학석사학위논문.
- 박선영, 최진희, 2005, Cytotoxicity and genotoxic effects of Benzo[a]pyrene in HepG2 cells, 대한환경공학회 추계학술연구발표회 논문집, pp. 1569-1580.