

불순물에 의한 순환골재 콘크리트 리스크 평가

Risk Evaluation on Recycled Aggregate Concrete considering Hazardous Impurities of Demolished Concrete Waste



박원준*
Won-jun Park

1. 서언

최근 건설폐기물의 처리문제는 국가적 차원에서 그 중요성이 날로 증가하고 있다. 특히, 주된 건설폐기물의 67% 정도를 차지하는 폐콘크리트의 경우, 이를 건설순환자원의 관점에서 순환골재로 생산 및 재사용하기 위한 노력이 다방면에서 진행되어 왔다. 일본의 경우 1980년대부터 국가 정책차원에서 연구가 활발히 진행되어, 순환형 사회 형성 추진기본법, 폐기물처리법, 자원유효이용촉진법, 건설 리사이클법과 같은 제도적 장치가 마련되었다. 국내의 경우도 건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률 및 순환골재 품질인증 규칙과 같은 제도적 기반이 마련되어 있다. 한편, 순환골재는 KS규격화로 그 활용에 대한 접근이 구체화되었지만, 생산된 대부분의 순환골재는 콘크리트용 재료보다 노반재로의 활용이 주된 추세이고, 현행 순환골재 콘크리트 관련 연구는 대부분 콘크리트용 재료로 사용했을 경우의 콘크리트의 성능평가, 재료설계 등에 초점을 두고 있다.

순환골재는 생산과정의 특성상 원골재 정보 또는 폐콘크리트의 정보에 대한 접근에 소홀할 수밖에 없으며, 생산 프로세스에 따라 물리적 특성도 다를 뿐만 아니라 다양한 불순물이 함유될 가능성은 매우 높다. 물론, 이 부분에 관

해서 KS에 순환골재 이물질 함유량 기준 및 시험법이 마련되어 있으나, 해체공법 및 공정의 다양성과 해체구조물의 특성(규모, 용도 등)으로 인하여 해체공사에서 수거되는 폐콘크리트의 특성 또한 다양하기 때문에 이를 이용하여 순환골재를 생산할 경우, 다양한 생산방식에 따라 발생 및 회수되는 불순물에는 큰 차이가 있다고 사료된다. 순환골재를 활용한 콘크리트의 연구에서는 흡수율과 밀도를 비롯한 골재 요구 수준에 대한 연구와 함께 원골재 및 부착 모르타르(폐콘크리트 정보)에 대한 연구 또한 중요하지만, 순환골재를 사용하는 콘크리트에는 골재특성과 함께 불순물의 혼입에 의한 영향도 함께 반영할 필요가 있다.

본고에서는 순환골재의 불순물이 콘크리트 성능발현에 미치는 영향을 리스크 개념으로 가정하여 콘크리트 배합설계 전(前) 순환골재의 생산과정(해체공사, 생산프로세스)에서 발생하는 불순물의 유입을 고려하고, 이를 배합설계 후(後) 콘크리트 성능평가에 반영할 수 있는 모델로서 Risk-map을 소개하고자 한다.

2. 순환골재 및 불순물 잔류량

순환골재 내 불순물의 유입에 의한 콘크리트의 성능저하 가능성(리스크)을 예측하기 위해, 불순물이 혼입될 가능성에 대한 평가가 먼저 필요하다. 이를 위해서는 ①해체공사 시나리오의 가정, ② 발생 폐콘크리트 예측, ③ 폐콘

* 한양대학교 친환경건축연구센터 연구조교수
Research assistance professor, Hanyang University,
Sustainable Building Research Centre(SUSB)
E-mail : jooney1010@hanyang.ac.kr

크리트의 내의 불순물량 예측, ④ 순환골재생산 공정상의 불순물 회수가능성, ⑤ 생산된 순환골재 내 최종적으로 잔류하는 불순물량의 예측에 대한 검토가 필요하다. 이들 검토를 바탕으로 최종적으로 본고에서는 ISO/IEC Guide 51에서 제시하는 Risk-map을 기반으로 구성된 리스크 평가 모델을 소개하고자 한다.

2.1 해체 공사에 따른 발생 폐콘크리트량 예측

순환골재에 불순물이 혼입될 가능성을 평가하기 위하여 표 1과 같이 5단계의 해체시나리오를 가정한 후, 발생 폐기물을 아래 식을 통하여 예측하였다.

<표 1> 해체공사 시나리오

Scenario 1	4대 폐기물 분리해체, 내장재, 설비재, 구체중심
Scenario 2	4대 폐기물 분리해체, 내장재, 구체중심
Scenario 3	4대 폐기물 분리해체, 구체중심
Scenario 4	4대 폐기물
Scenario 5	Scenario 1 + Scenario 4

여기서, 4대 폐기물은 (아스팔트)콘크리트, 목재, 금속

$$W_{Total} = \alpha \times \beta_i \times \gamma_{ij} \times \delta_{ik} \times X_2$$

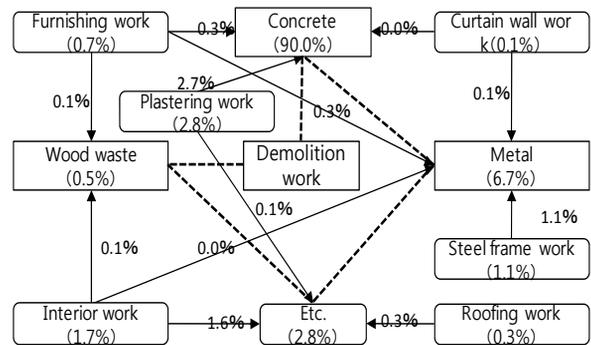
$$W_{Each} = W_{Total} \times \epsilon_{il}$$

			α (t/m ²)	β_i	δ_{ik}		
					최소	표준	최대
					k		
					1	2	3
SRC	i	1	1.42	1.60	0.80	1.00	-
RC		2				-	-

			γ_{ij}				
			House, Store Multipurpose building	Warehouse, Office, Hospital	Factory School	ect.	
			j				
			1	2	3	4	5
SRC	i	1	0.90	1.00	1.05	1.10	1.15
RC		2					

			ϵ_{il}					
			Concrete	Foundation concrete	Metal	Wood	Finishing materials, etc.	Facilities
			l					
			1	2	3	4	5	6
SRC	i	1	0.63	0.26	0.07	0.01	0.03	0.05
RC		2	0.65	0.26	0.05			

여기서, WTotal은 구조물 전체중량, α 와 X2는 바닥면적과 전체면적, β_i , γ_{ij} , δ_{jk} 는 각각 구조요소, 구조물 용도 및 보정계수를 나타낸다. 예로서, 시나리오 4의 경우를 기준으로, 폐기물 발생은 그림 1과 같이 고려될 수 있다. 이를 기준으로 각 시나리오별 폐기물 발생량 예측이 표 2와 같이 가능하다.



[그림 1] 폐기물 발생비율(시나리오 4)

<표 2> 해체공사 시나리오별 발생 폐기물 비율 예측

	총량	콘크리트	금속	목재	기타
Scenario 1	0.9	98	1.8	0.16	0.04
Scenario 2	0.93	97.7	1.86	0.16	0.31
Scenario 3	0.97	92.8	3.8	0.5	2.9
Scenario 4	1.0	90	6.7	0.5	2.8
Scenario 5	0.95	90.9	3.7	0.49	4.91

2.2 폐콘크리트 혼입 불순물량

한편, 발생폐기물 중 폐콘크리트를 이용하여 다양한 방법으로 골재를 생산할 경우, 단위 폐콘크리트당 골재회수율(표 3)을 적용함으로써 불순물 혼입량에 대한 추정이 가능하다.

<표 3> 각 순환골재 생산방식에 의한 골재 회수율(일본 기준, *는 가정치)

JIS 순환골재 품질구분	설명	명칭	원료 폐콘 (t)	회수율 (t)		부산물 노반재 (t)	폐기물 미분말 (t)
				(t)	(t)		
H class	Heated Scrubbing	HS	1	0.35	0.3	0	0.35
H class	Mechanical Scrubbing	MS	1	0.3	-	0.69	0.01
H, M class	Gravity Classification	GC	1	0.27	0.46	0.27	-
H class	Wet Scrubbing	WS	1	0.27	0.46	0.27	-
M, L class	Crush Scrubbing	CS	1	0.25*	0.35*	0.4*	-
M class	Multi-crush Scrubbing	MCS	1	0.25*	0.40*	0.35*	-
M, L class	Mechanical Crushing	MC4	1	0.2	0.2	0.6	-
M, L class	Mechanical Crushing	MC3	1	0.25	0.23	0.52	-
L class	Mechanical Crushing	MC2	1	0.5	0.3	0.2	-

주) H, M, L은 일본 순환골재 품질에 의한 구분이며 생산방식은 일본내 조사자료에 의함.

2.3 순환골재생산 공정상의 불순물 회수가능성

끝으로, 각 공정에서의 불순물 회수율을 표 4와 같이 고려하면, 최종 잔류량 예측이 가능하다. 이를 각 해체 시나리오 단계별로 적용하면, 해체공정, 구조체 정보, 순환골재 생산기술(참고문헌 2에 근거) 등에 따른 순환골재 내 불순물 잔류량이 예측가능하다.

<표 4> 순환골재 생산방식에 의한 불순물 선별가능성

JIS	명칭	JIS에서의 불순물 구분								
		A	B	C	D	E	F	G1	G2	
H class	HS	○	○	◎	◎	◎	◎	×	◎	
H class	MS	○	○	△	△	△	△	×	○	
H, M class	GC	○	○	○	○	◎	◎	×	○	
H class	WS	○	○	○	○	◎	◎	×	○	
M, L class	CS	○	○	△	△	△	△	×	△	
M class	MCS	○	○	○	○	△	△	×	△	
M, L class	MC4	○	○	○	○	△	△	×	×	
M, L class	MC3	△	△	△	△	△	△	×	×	
L class	MC2	△	△	△	△	△	△	×	×	

주1) ◎: 거의 선별 가능, ○: 상당 부분 선별가능, △: 일부 선별 가능, ×: 선별 불가 또는 불확실

주2) A~G의 불순물 항목은 JIS A 5021에 의한 분류임.

3. 불순물에 의한 리스크 예측

순환골재 콘크리트의 성능에 불순물이 미치는 영향에

대해서 문헌조사를 실시하였고, 표 5와 같이 정리한다. 국내의 경우 불순물의 영향에 대한 연구가 부족하고 제한적이기 때문에 표 5는 일본의 연구문헌을 토대로 정리하였다. 불순물의 제한량(골재에 대한 중량비) 및 종류는 JIS A 5021에 준하였으며 2011년에 개정된 비철금속(G1)과 철(G2)을 추가적으로 고려하였다.

<표 5> 콘크리트 성능에 미치는 각종 불순물의 영향

불순물 종류 (제한량)	강도/탄성 계수	단위 용적 질량	슬럼프	응결	중성화	영화 이온 침투	동결 용해
A(2.0%)	○	×	×	△	×	×	×
B(0.5%)	○*	×	×	△	×	×	×
C(0.1%)	○	△	○	◎	×	◎	○
D(0.5%)	○*	×	×	△	×	×	×
E(0.5%)	○	△	×	△	×	×	×
F(0.1%)	○	△	◎	◎	×	◎	◎
G1	◎	×	×	×	◎	×	×
G2	○*	△	×	×	×	△	×

여기서, ◎: 매우 큰 성능저하, ○: 성능저하, △: 약간의 성능저하, ×: 영향이 없거나 불확실함, *: 약간의 성능향상

불순물의 예상 잔류량을 표 5의 결과를 이용하며 대조하면 시나리오별, 생산별, 골재별 불순물에 대한 예측과 그에 따른 순환골재 콘크리트에 대한 영향이 표 6과 같이 Risk-Map으로서 평가될 수 있다.

<표 6> 해체공사, 순환골재 생산방식 및 잔존 불순물에 의한 Risk-map

불순물종류 (일본 JIS A 5021)	불순물량 증량비(%)	골재 생산방식 (참고문헌 2의 JCI보고서에 근거)							리스크 범위
		HS	GC, WS	MS	CS	MCS	MC4	MC2 MC3	
A, B, C, D, E, F, G1, G2	more than 3	-	S-5	S-3,4,5	S-5	S-5	S-3,4,5	S-3,4,5	◎
		(B,C,D,E,F,G1)			(A,B,C,D,E,F,G1,G2)				
A, B, C, D, E, F, G1, G2	1~3.0	S-3,5 (G1)	S-4 (B,C, G1)	-	S-3,4	S-3,4	-	S-3	○
		(B,C,D,E,F,G1)							
A, B, C, D G1, G2	0.1~1.0	S-4	S-3 (B,C, G1)	S-2 (G1)	S-2 (F)	S-2 (F)	S-2 (F,G1)	S-2 (F,G1)	△
A, B, C, D, G1	0.05~0.1	S-2	S-2	-	-	-	-	-	
A, B, G1	Less than 0.05	S-1	S-1	S-1	S-1	S-1	S-1	S-1	×
S: 해체공사 시나리오 (표 1)		×		△		○		◎	
		없음		경미		위험		치명적임	
		순환골재를 사용한 콘크리트에 미치는 영향							

4. 결론

본고에서는 순환골재의 불순물에 대한 영향을 콘크리트 성능발현에 대한 리스크로 가정하고 해체공사, 폐콘크리트 발생, 순환골재생산방식, 순환골재 잔류 불순물, 잔류불순물의 영향을 콘크리트의 성능평가에 적용할 수 있는 모델로써 Risk-map을 제안하였다. 향후 국내 해체공사 및 골재생산 방식에 따른 조사/연구가 필요하고 그에 따른 국내 적용가능한 평가모델의 제안이 필요하다고 판단된다.

참고문헌

1. W. J. Park, Influence of aluminum impurity for recycled concrete and inspection method, Journal of AIJ, 75, pp. 1765-1772, 2010
2. JCI: JCI-TC081A Committee Report, 2010
3. Y. Yamaguchi, M. Kikuchi, K. Aoyama and K. Akio: Estimation of the weight of construction material waste discharged from demolition work. Journal of structural and construction engineering. AIJ (610). pp. 49-56, 2006
4. ISO/IEC Guide 51, 1999