

# 기존 문헌 분석을 통한 원전 콘크리트 해체 폐기물 재활용 가능성에 대한 연구

## Feasibility Study on Recycling of Concrete Waste from NPP Decommissioning Through Literature Review

천주현<sup>1</sup> · 이성철<sup>2</sup> · 김창락<sup>3</sup> · 박흥기<sup>4\*</sup>

Ju-Hyun Cheon<sup>1</sup> · Seong-Cheol Lee<sup>2</sup> · Chang-Lak Kim<sup>3</sup> · Hong-Gi Park<sup>4\*</sup>

(Received May 15, 2018 / Revised June 20, 2018 / Accepted June 22, 2018)

In this paper, the feasibility of recycling concrete waste as a method to reduce final disposal amount of wastes generated through decommissioning of nuclear power plant has been analyzed based on experimental results of existing literature. When recycled concrete waste was used as recycled aggregate, it was investigated through literature that the concrete strength decreased by 30~40% depending on the mixing ratio. It was also investigated that concrete with recycled aggregate can be used as a structural material when the quality of recycled aggregate is well managed since no significant problem was found. When recycled cement produced from concrete waste was used, the strength of concrete or mortar decreased considerably as the recycled cement content increased. Therefore, it can be concluded that concrete or mortar with recycled cement can be used as a filling material for final disposal of large radioactive waste rather than for structural use. This paper is expected to be useful for reduction on disposal volume and decommissioning cost for nuclear power plants such as Kori 1.

**키워드 :** 콘크리트 재활용, 원전 해체, 순환 골재, 재생 시멘트

**Keywords :** Concrete recycling, NPP decommissioning, Recycled aggregate, Recycled cement

## 1. 서론

원전 해체 시에는 다량의 방사성 폐기물이 발생하게 되며, 원자력발전소 내 원자로를 둘러싸고 있는 1차 방호벽(primary shielding wall)이 일반적으로 철근 콘크리트 구조로 되어 있어 다량의 콘크리트 방사성 폐기물이 발생할 것으로 예상된다. 일반적으로 원전 해체로 인해 발생하는 콘크리트 방사성 폐기물은 대부분 극저준위로 분류되지만, 원전 해체로 인해 발생하는 방사성 폐기물 중 70~80% 이상이 콘크리트 방사성 폐기물일 것으로 추정될 정도로 콘크리트 방사성 폐기물량은 클 것으로 예상된다. 방사성 폐기물 처분 시 우리나라는 비교적 작은 국토로 인해 부피 또는 무게당 방사성 폐기물 처분 비용이 미국 등 외국보다 상당히 높은 편이다 (MOTIE 2017). 따라서 원전 해체로 인해 발생하는 방사성 폐기물

중 상당량을 차지하는 콘크리트 방사성 폐기물을 재활용함으로써 실제 최종 처분되는 방사성 폐기물량을 줄이는 것은 원전 해체 비용 절감 등에 굉장히 중요한 요소라 할 수 있다.

일반적으로 콘크리트 폐기물을 재활용하기 위한 방안으로 콘크리트 폐기물로부터 생산되는 순환 골재와 재생 시멘트를 활용하는 방법을 들 수 있다. 기존의 철근 콘크리트 구조물 해체 시 다량의 콘크리트 폐기물 덩어리가 발생되며, 대표적으로 이들 콘크리트 폐기물을 재활용하기 위해 1차 파쇄 및 분리를 통해 분류된 골재를 순환 골재로 재활용하는 방안이 있다. 여기서, 파쇄 및 분리 시 발생하는 골재의 크기에 따라 5mm 체가름 기준으로 굵은 것을 순환 굵은 골재로, 작은 것을 순환 잔골재로 활용하는 것이 일반적이다. 이와는 별도로, 순환 골재 생산 과정 중 발생하는 시멘트 페이스트 경화체와 잔골재의 미분으로 이루어진 분체들을 대상으

\* Corresponding author E-mail: hgpark@gachon.ac.kr

<sup>1</sup>한국건설생활환경시험연구원·건설기술연구센터 (Construction Technology Research Center, Korea Conformity Laboratories, Seoul, 08503, Korea)

<sup>2</sup>경북대학교 토목공학과 (Department of Civil Engineering, Kyungpook University, Daegu, 41566, Korea)

<sup>3</sup>한국전력 국제원자력대학원대학교 (Department of Nuclear Engineering, Kepco International Nuclear Graduate School, Ulsan, 45014, Korea)

<sup>4</sup>가천대학교 토목환경공학과 (Department of Civil Environment Engineering, Gachon University, Kyonggi-do, 13120, Korea)

로 2차 이상의 파쇄 및 소성 화학 처리를 통한 재생 시멘트로서 활용하는 방안이 있다.

한편, 콘크리트 폐기물로부터 생산되는 순환 골재는 일반적으로 사용되는 천연 골재에 비해 높은 흡수율을 보이는 등 재료 자체의 성질에서 어느 정도 차이를 나타낸다. 또한, 재생 시멘트 역시 석회석으로부터 생산되는 시멘트와 비교해 수화 반응이 달라 재생 시멘트를 활용한 콘크리트 또는 모르타르의 역학적 특성은 일반 콘크리트 및 모르타르와 다를 수 있다.

이에, 순환 골재 및 재생 시멘트를 활용하기 위해서는 별도의 실험 등을 통해 충분한 성능 검증이 필요하다.

본 연구에서는 원전 해체 시 다량으로 발생하는 콘크리트를 재활용하기 위해 일반적으로 발생하는 콘크리트 폐기물의 재활용 방안 등에 대한 기존의 관련 문헌들에 대한 조사와 분석을 통해 원전 해체 시 발생하는 콘크리트 폐기물의 재활용 가능성에 대한 검토를 수행하고자 한다.

## 2. 원전 콘크리트 폐기물 재활용 현황

### 2.1 원전 콘크리트 폐기물 재활용 방안 개념

대부분의 원자력발전소 구조물들은 그 특성상 대단면의 철근 콘크리트 구조로 이루어져 있어, 원전 해체 시 상당량의 콘크리트 및 철근 폐기물이 발생하게 된다. 원전 해체로 인해 발생하는 건설 폐자재 중 방사화된 폐철근들의 경우 제염 과정 등을 거쳐 철근으로 재가공함으로써 향후, 원전 또는 원전 관련 시설 구조물 건설 등에 재활용될 수 있다. 또한, 콘크리트 폐기물은 파쇄와 분쇄를 통해 순환 굵은 골재 및 순환 잔골재로 재생산될 수 있으며, 또 다른 일부인 시멘트 페이스트 경화체 및 잔골재 미분들은 소성 가공 등을 통해 미분말 시멘트 치환제로서 재생산될 수 있다. 여기

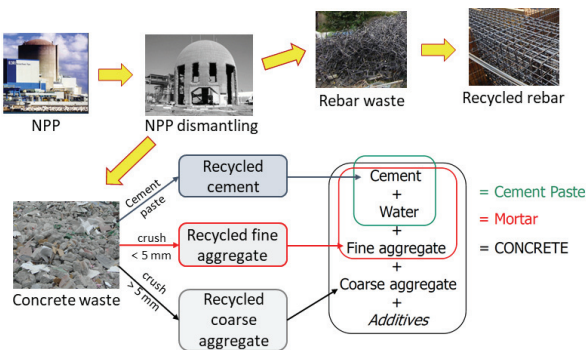


Fig. 1. The concept of recycling of concrete waste generated through decommissioning of nuclear power plant

서, 재생산된 미분말인 재생 시멘트와 물을 혼합하여 사용할 경우 시멘트 페이스트로서 재활용할 수 있으며, 재생산된 미분말 및 순환 잔골재를 몰과 혼합하여 사용할 경우 시멘트 모르타르로서 재활용할 수 있다. 순환 굵은 골재까지 사용할 경우 콘크리트로서 재활용할 수 있다. 일반적으로 시멘트 페이스트 및 시멘트 모르타르는 구조용 재료보다는 충전제로서 널리 활용할 수 있을 것으로 예상되며, 순환 굵은 골재를 포함하는 콘크리트는 충분한 성능 검증 후 구조용 재료로도 활용할 수 있을 것으로 예상된다. 원전 해체로 인해 발생하는 콘크리트 폐기물의 일반적인 재활용 방안은 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다.

### 2.2 재활용 시 방사성 폐기물량 저감 효과

국내에서는 방사성 폐기물 처분 비용이 2017년 기준 200L 포장물당 약 15백만 원 등 미국 등에 비해 상당히 높으므로 인해 원자력 발전소 해체 시 방사성 폐기물 처분량을 절감하는 것이 매우 중요하다. 특히, 최근 산업통상자원부 지원하에 수행된 원전 해체 선원량 평가 기술개발 보고서(KEPCO E&C 2016)에 의하면, Table 1에서 보는 바와 같이 고리 1호기 즉시해체 시 예상 해체 폐기물량 평가 결과 200L 포장물 기준으로 콘크리트 총 폐기물량은 737,645EA인 것으로 나타났다. 이들 중 적절한 제염 및 절단 해체 작업 등을 통해 방사화된 콘크리트를 잘 분리할 경우 방사화된 콘크리트의 처분 물량은 저준위 1,677EA, 극저준위 1,769EA인 것으로 나타났으며(KEPCO E&C 2016), 실제 해체 시 샘플 조사 등을 통해 자체처분 폐기물이 발생 가능할 것으로 판단된다.

한편, 원전 해체 시 발생하는 콘크리트 폐기물을 재활용할 경우 처분량 감소 등을 통해 상당한 경제적 효과 발생을 예상할 수 있다. 고리 1호기의 경우, 즉시 해체 시 발생하는 콘크리트 방사성 폐기물 중 재활용이 가능한 조각성 콘크리트 방사성 폐기물이 저준위 229m<sup>3</sup>, 극저준위 187m<sup>3</sup> 등 총 416m<sup>3</sup> 발생할 것으로 예상된다 (Ganiron Jr 2015). 이 중 콘크리트 내 40%를 차지하고 있는 굵은 골재를 순환 골재로 재활용할 경우 콘크리트 방사성 폐기물 167m<sup>3</sup>을 절감할 수 있으며, 이는 200L 포장물 기준 1,000EA가 넘는

Table 1. Radioactive waste amount from decommissioning of Kore unit 1 NPP(unit in no. of 200L drum)

Material	ILW	LLW	VLLW	Self disposal	Non-radioactive	Total
Total	139	4,255	6,184	51,015	906,187	967,780
Concrete	0	1,677	1,769	-	734,199	737,645
Metal	54	2,005	4,384	50,554	167,877	224,874

것으로서 처리 비용을 제외한 처분 비용만 65억의 절감 효과가 있을 것으로 예상되고 있다.

### 3. 순환 골재를 사용한 콘크리트 특성

콘크리트 폐기물로부터 생산된 순환 골재를 콘크리트에 활용 시 일반적으로 순환 굵은 골재 또는 순환 잔골재의 함유량에 따라 콘크리트의 역학적 성질이 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 또한, 콘크리트의 역학적 성질은 콘크리트 배합 시 사용되는 재료의 지역적인 특성에 영향을 크게 받을 수 있다. 본 연구에서는 국내 콘크리트 관련 특성을 고려하기 위해 순환 굵은 골재 및 순환 잔골재 활용과 관련하여 기존의 국내 연구 결과를 조사 및 분석함으로써, 순환 굵은 골재 및 순환 잔골재 함유량에 따른 재활용 콘크리트의 역학적 특성을 분석하고자 한다.

#### 3.1 순환 굵은 골재만 활용한 경우

순환 굵은 골재는 일반 천연 골재와 달리 대체적으로 함수율이 높으며, 순환 굵은 골재 생산 과정에서 마모 등에 의해 형상이 일반 천연 골재와 다를 수 있다. 이로 인해 순환 굵은 골재 함유량에 따라 재활용 콘크리트의 역학적 특성이 큰 영향을 받을 수 있다.

순환 굵은 골재 함유량에 따른 콘크리트의 역학적 특성에 대한 기존 연구는 국내에서 비교적 많이 수행된 바 있다. 순환 굵은 골재 함유량에 따른 영향과 관련된 실험을 수행한 기존의 연구 총 7건 (Ha et al, 2013; Nam et al, 2007; Jang et al, 2010; Kim et al, 2013; Jeon et al, 2008; Jang et al, 2009; Shin et al, 2001)에 제시된 총 10가지의 콘크리트 배합에 대해 순환 굵은 골재 치환율에 따른 콘크리트 압축강도 및 인장강도의 변화를 Figs. 2 및 3에 각각 정리하여 나타내었다. 참고로 기존의 문헌에서 순환 굵은 골재를 활용하여 배합된 콘크리트의 배합강도가 모두 상이함에 따라 본 연구에서는 순환 굵은 골재가 사용되지 않은 일반 콘크리트의 압축강도 또는 인장강도를 기준으로 측정된 강도를 일반화(normalization)함으로써 상호 비교 및 분석하였다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이 실험그룹별 순환 굵은 골재 치환율에 따른 콘크리트 압축강도의 변화가 서로 큰 편차를 보이기는 하나, 전반적으로 순환 굵은 골재 치환율이 클수록 콘크리트 압축강도가 다소 감소하는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 하지만 순환 굵은 골재 치환에 의해 콘크리트 압축강도의 감소량이 크지는 않은 것을 볼 수 있으며, 실험에서 측정된 감소량은 순환 굵은 골재 품질 관리에 따라 제어가 가능한 것으로 판단된다. 또한, Fig. 3에서 보듯이

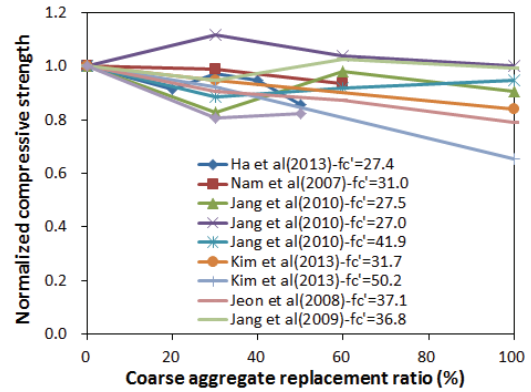


Fig. 2. Effect of recycled coarse aggregate on concrete compressive strength

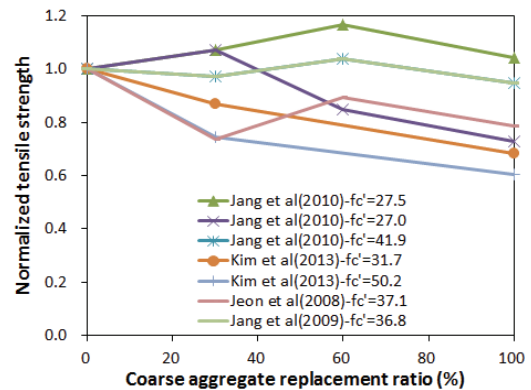


Fig. 3. Effect of recycled coarse aggregate on concrete tensile strength

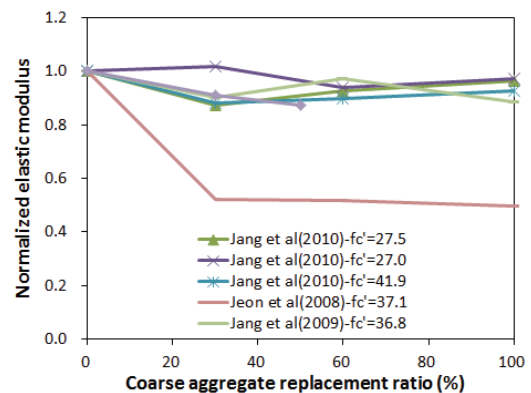


Fig. 4. Effect of recycled coarse aggregate on concrete elastic modulus

인장강도에서의 순환 굵은 골재의 영향이 압축강도 실험 결과의 경향과 비슷한 것으로 나타났다. 따라서 콘크리트 압축강도 측면에서 보았을 경우 순환 굵은 골재 품질에 대한 관리가 양호할 경우 다량의 순환 굵은 골재 사용은 충분히 가능할 것으로 예상된다.

Fig. 4는 순환 굵은 골재 치환율에 따른 콘크리트 탄성계수의 변화를 상호 비교 및 분석하여 나타내었다. 참고로 본 비교 및 분석

에서 인용된 참고문헌은 총 4건(Jang et al. 2010; Jeon et al. 2008; Jang et al. 2009; Shin et al. 2001)이며, 실험 그룹은 콘크리트 배합에 따라 총 6가지로 분류된다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 Jeon et al.(2008)를 제외한 나머지 실험군의 실험 결과에서는 순환 굵은 골재 치환율에 관계없이 콘크리트 탄성계수가 비교적 일정한 것으로 나타났다. 따라서 순환 굵은 골재를 콘크리트 구조 부재에 적용 시 구조물 강성과 관련하여 기존의 일반 콘크리트 설계 기준을 적용하는 것이 가능할 것으로 판단된다. 다만, 순환 굵은 골재 활용 시 콘크리트 탄성계수가 감소할 수 있으므로, 이에 대한 추후 연구가 필요한 것으로 판단된다.

### 3.2 순환 굵은 골재 및 순환 잔골재 동시 활용

순환 굵은 골재와 순환 잔골재를 동시에 적용한 재활용 콘크리트의 역학적 특성에 대해 총 2건(Sim et al. 2005; Lee et al. 2005)의 참고문헌을 통해 콘크리트 배합 및 양생 조건에 따라 총 5가지의 실험그룹으로 분류된 실험 결과들을 Fig. 5 및 6에 정리하였다.

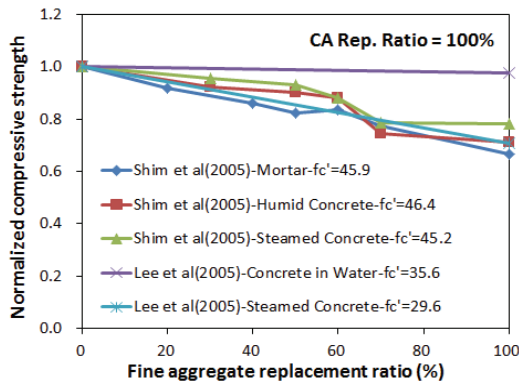


Fig. 5. Effect of recycled fine aggregate on concrete compressive strength with recycled coarse aggregate

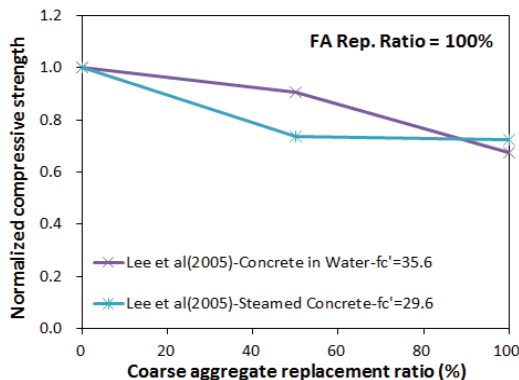


Fig. 6. Effect of recycled coarse aggregate on concrete compressive strength with recycled fine aggregate

참고로 Fig. 5는 순환 굵은 골재 100% 치환되었을 때의 순환 잔골재 치환율에 따른 콘크리트 압축강도의 변화를 나타낸 것이며, Fig. 6은 순환 잔골재로 100% 치환되었을 때의 순환 굵은 골재 치환율에 따른 콘크리트의 압축강도의 변화를 나타낸 것이다. 순환 굵은 골재 100% 치환되었을 때 순환 잔골재 치환율이 증가할수록 콘크리트의 압축강도가 점점 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 순환 잔골재로 100% 치환되었을 때 순환 굵은 골재 치환율이 증가할수록 콘크리트의 압축강도가 점점 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 순환 굵은 골재와 순환 잔골재가 동시에 재활용 콘크리트에 적용되었을 경우, 재활용 콘크리트를 구조용 부재로 활용하기 위해서는 순환 굵은 골재 및 순환 잔골재 치환율에 대한 제한이 필요한 것으로 판단된다. 다만, Lee et al.(2005)의 수중 양생 시험체에서는 순환 굵은 골재가 100% 치환되었을 때 압축강도가 일반 콘크리트 대비 68%로 측정되었으며, 순환 잔골재로 추가 치환하더라도 일반 콘크리트 대비 66%로서 추가의 강도 저하 현상이 나타나지 않았다.

## 4. 재생 시멘트를 사용한 콘크리트 특성

콘크리트 폐기물로부터 발생하는 시멘트 페이스트 경화체 및 잔골재의 미분말로 이루어진 분체들을 소성 가공하여 생산된 재생 시멘트는 일반적으로 사용되는 시멘트의 수화 반응성 등과 같은 성능에서 차이가 날 수 있다. 따라서 재생 시멘트를 활용할 경우 재생 시멘트를 활용한 콘크리트 또는 모르타르의 역학적 특성에 대한 조사 및 분석은 반드시 필요하다. 본 연구에서는 콘크리트 폐기물로부터 생산된 재생 시멘트 함유량에 따른 콘크리트 및 모르타르의 강도 및 작업성에 관해 기존 관련 문헌들을 통해 조사 및 분석하고자 한다.

### 4.1 재생 시멘트 활용 콘크리트

일반 시멘트를 재생 시멘트로 일부 또는 전체를 치환하여 배합된 콘크리트의 역학적 특성에 대한 연구가 일부 연구자들에 의해 수행된 바 있다. 본 연구에서는 국내에서 수행된 관련 연구 중 Lee et al.(2008) 및 Park and Kang(2005) 등 총 2건의 참고문헌을 바탕으로 콘크리트 배합비와 재생 시멘트 제조를 위한 소성 가공 시의 온도에 따라 총 9가지로 분류한 후, 재생 시멘트 치환율에 따른 콘크리트 압축강도의 변화를 Fig. 7에 상호 비교 및 분석하여 나타내었다. 참고로 Lee et al.(2008)에서 CP는 골재와 물, 혼화제를 고정값으로 두고 시멘트를 재생미분말로 치환한 경우를, WCP

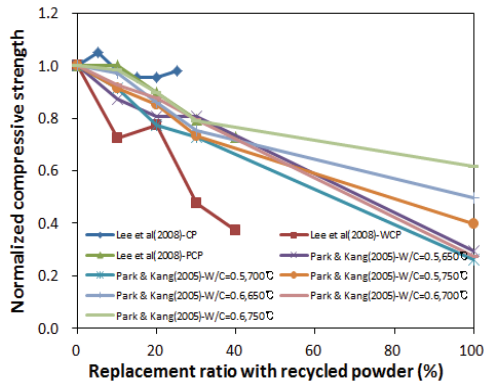


Fig. 7. Effect of recycled powder on concrete compressive strength

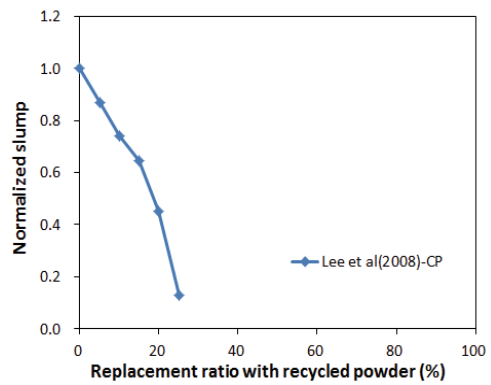


Fig. 9. Effect of recycled powder on concrete slump

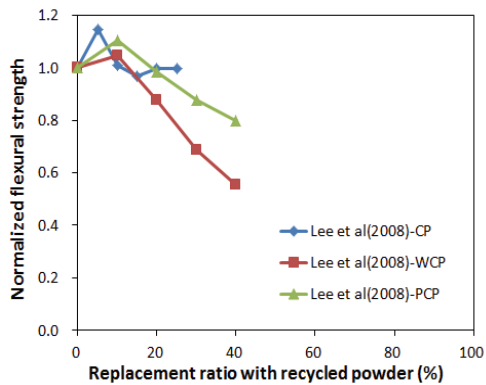


Fig. 8. Effect of recycled powder on flexural strength

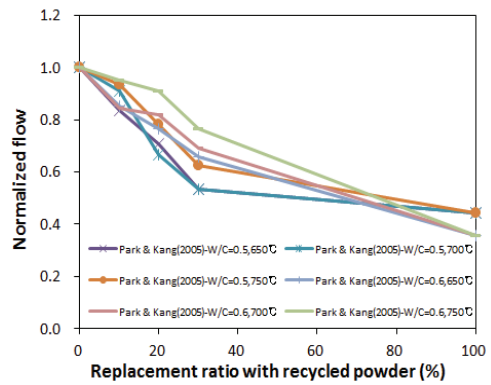


Fig. 10. Effect of recycled powder on concrete flow

는 워커빌리티에 중점을 두고 물/바인딩 비율을 CP 대비 증가함과 동시에 재생미분말을 혼입한 경우, 그리고 PCP는 물/바인딩 물/바인딩 비율은 CP와 동일하되 폴리카본산계 고성능 혼화제를 혼입한 경우를 의미한다.

Fig. 7에서 보는 바와 같이, 앞 절에서 살펴본 순환 골재의 치환에 따라 콘크리트 압축강도 감소율이 작았던 것에 반해, 재생 시멘트 치환율이 증가할수록 콘크리트 압축강도가 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다. 특히, 시멘트 치환율이 20% 내에서는 콘크리트 압축강도 감소 효과가 비교적 작은 데 반해 시멘트 치환율이 20% 이상인 경우 콘크리트 압축강도가 매우 작아지는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 8은 재생 시멘트 치환율에 따른 콘크리트 휨강도의 변화를 나타낸 것이다. 본 연구에서 조사한 국내 문헌에서는 재생 시멘트 치환율에 따른 콘크리트 휨강도의 변화와 관련하여 실험 연구가 수행된 것은 Lee et al.(2008)가 유일하였다. Fig. 8에서 보듯이 재생 시멘트 치환율이 20% 이하일 경우 콘크리트 휨강도의 변화가 뚜렷하지 않은 것으로 나타났으나, 재생 시멘트 치환율이 20% 이상일 경우 재생 시멘트 치환율이 증가할수록 콘크리트 휨강도가

일반적으로 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다.

재생 시멘트 치환율에 따른 콘크리트 압축강도 및 휨강도의 변화 양상을 볼 때, 강도에 비교적 민감한 구조용 재료로 재생 시멘트를 적용한 콘크리트 활용 시에는 재생 시멘트 치환율이 20% 이하로 제한하는 것이 필요한 것으로 판단된다.

재생 시멘트 치환율에 따른 콘크리트 작업성예의 영향을 분석하기 위해 Lee et al.(2008) 및 Park and Kang(2005)으로부터 재생 시멘트 치환율에 따른 콘크리트 슬럼프 및 플로우의 변화를 Fig. 9 및 10에 실험 결과들을 상호 비교 및 분석하여 나타내었다. 참고로 콘크리트 슬럼프 및 플로우가 감소할수록 콘크리트의 유동성이 감소하는 것을 의미하며, 콘크리트 유동성이 감소할 경우 현장 작업성이 크게 떨어질 수 있으므로 요구되는 콘크리트 슬럼프 및 플로우를 만족하는 것이 실제 재활용 콘크리트 활용에 있어 매우 중요하다.

Fig. 9, 10에서 보는 바와 같이 재생 시멘트 치환율이 증가할수록 슬럼프 및 플로우가 감소하는 것을 볼 수 있다. 특히, 재생 시멘트 치환율이 20% 이상에서, 치환율이 증가할수록 플로우가 급격히 감소하다가 치환율이 40% 이상인 경우 치환율에 따른 플로우

감소율이 완만하게 줄어드는 것으로 나타났다. 따라서 현장 작업 성 등을 고려 시 재생 시멘트 치환율은 20% 이하로 제한하는 것이 필요한 것으로 판단된다.

#### 4.2 재생 시멘트 활용 모르타르

재생 시멘트를 활용한 모르타르의 경우 재생 시멘트를 활용한 콘크리트와 달리 굵은 골재가 포함되지 않는 특징이 있으며, 이에 따라 활용 시 모르타르의 역학적 특성에 관련된 연구가 별도로 수행되어야 한다.

Baek et al.(2013) 및 Jung et al.(2016a; 2016b)의 실험 결과로부터 재생 시멘트 치환율에 따른 모르타르의 압축강도 및 휨 인장강도의 변화를 Fig. 11 및 12에 각각 정리하여 나타내었다. 결과에서 보는 바와 같이 재생 시멘트 치환율이 증가할수록 모르타르의 압축강도 및 휨 인장강도가 비교적 급격히 감소하는 것으로 나타났다.

이는 재생 시멘트가 일반적으로 사용되는 시멘트에 비해 물과의 결합 반응성, 즉 수화 반응성이 크게 떨어지는 것을 의미한다.

따라서 과도한 재생 시멘트 활용 시 모르타르의 강도 저하가 크게 발생할 수 있으며, 강도에 민감한 구조용 재료로서 모르타르를 활용 시 일반 시멘트를 재생 시멘트로 높은 비율로 치환하기에는 어려울 것으로 판단된다.

Fig. 13 및 14는 재생 시멘트 치환율에 따른 모르타르의 작업성, 즉 플로우와 슬럼프의 변화를 나타낸 것이다. 결과에서와 같이 재생 시멘트 치환율이 증가할수록 플로우 및 슬럼프가 증가하는 것으로 나타나 작업성이 향상될 수 있는 것으로 나타났다. 하지만 과도한 재생 시멘트 활용 시 유동성이 필요 이상으로 과다하게 되므로 인해 요구되는 성능을 충분히 발휘하지 못할 우려가 있는 것으로 판단된다.

앞에서 살펴본 재생 시멘트 치환율에 따른 강도 및 작업성에의 영향으로부터 재생 시멘트 치환율이 적정 수준일 경우 재생 시멘트를 활용한 모르타르의 강도는 감소하나 유동성은 일반적으로 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 재생 시멘트를 활용한 모르타르의 경우 구조용 재료보다는 충전용 재료로서 활용하는 것이 적합한 것으로 판단된다.

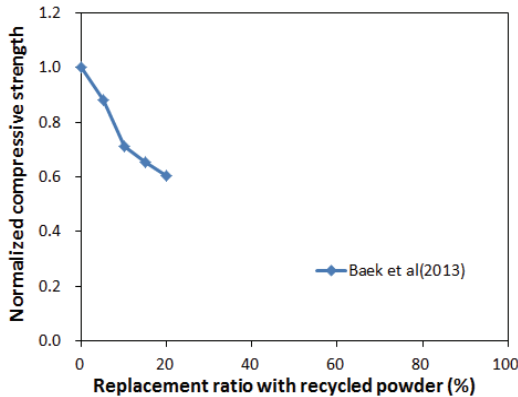


Fig. 11. Effect of recycled powder on mortar compressive strength

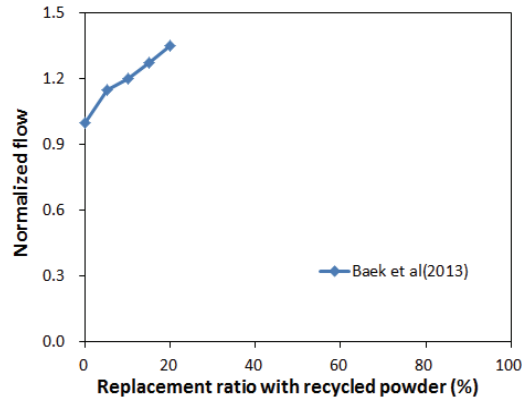


Fig. 13. Effect of recycled powder on mortar flow

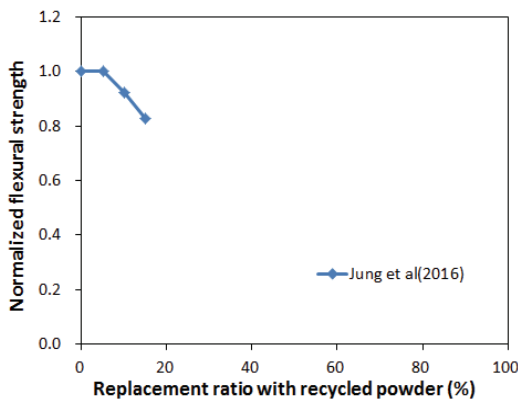


Fig. 12. Effect of recycled powder on mortar flexural strength

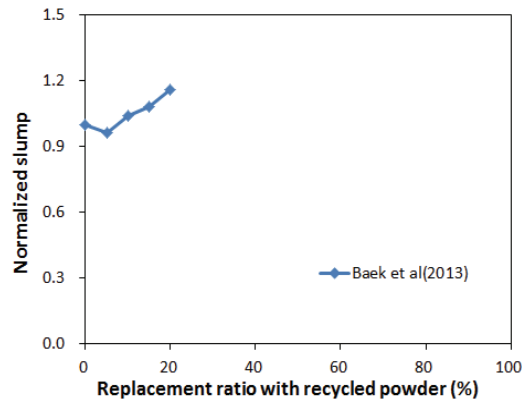


Fig. 14. Effect of recycled powder on mortar flow slump

## 5. 결론

본 연구에서는 원자력발전소 해체 시 발생하는 폐기물에 대한 최종 처분량을 줄이기 위한 방안으로 콘크리트 폐기물을 재활용하기 위한 토대를 마련하기 위해 콘크리트 재활용과 관련된 국내의 기존 문헌들에 대한 조사 및 분석을 수행하였다. 이를 바탕으로, 콘크리트 폐기물로부터 생산된 순환 골재 및 재생 시멘트 함유량에 따른 콘크리트와 모르타르의 재료 특성에 대한 비교 및 분석 연구를 수행하였다.

본 연구의 주요 내용 및 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 원전 해체 시 상당량의 콘크리트 폐기물이 발생할 것으로 예상되는 것으로 조사됨에 따라, 국내의 높은 방사성 폐기물 처분 비용 환경을 고려할 때, 콘크리트 폐기물로부터 생산되는 순환 골재 및 재생 시멘트를 재활용할 경우 해체 폐기물 처분량 감소 등을 통해 상당한 해체 비용 절감 효과를 기대할 수 있는 것으로 나타났다.
2. 분석 결과, 천연 골재에 비해 비교적 높은 함수율을 띠는 순환 굵은 골재 특성으로 인해 해당 골재의 치환율이 증가할수록 재활용 콘크리트의 압축강도가 평균 15% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 순환 굵은 골재 및 순환 잔골재를 동시에 활용한 재활용 콘크리트에서도 순환 골재의 치환율이 증가할수록 재활용 콘크리트의 압축강도가 30~40% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 순환 골재를 재활용 콘크리트에 활용할 경우 순환 굵은 골재의 최대 치환율에 대한 제한이 필요한 것으로 나타났으며, 순환 골재의 품질 관리가 양호할 경우 재활용 콘크리트를 구조용 재료로서 사용하는 데 큰 문제가 없는 것으로 판단된다.
3. 순환 골재와 달리 재생 시멘트의 치환율이 증가할수록 재생 시멘트를 활용한 재활용 콘크리트 및 재활용 모르타르의 압축강도가 급격히 감소하는 것으로 나타났으며, 재생 시멘트를 20%로 치환했을 경우 압축강도가 약 40% 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 재생 시멘트를 재활용 콘크리트 또는 재활용 모르타르로 활용할 경우 구조용으로는 부적합할 것으로 판단되지만, 대형 방사성 폐기물 최종 처분 시 충전용으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구 수행을 통해 도출된 결과들은 향후, 고리 1호기 등 원자력발전소 해체 시 해체 비용 절감 등을 위한 방안 마련에 유용할 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다(No.2016510300420).

## References

- Baek, G.J., Choi, S.K., Kim, S.C., Yang, I.S. (2013). "Mechanical properties of mortar using waste concrete powder instead of cement," Proceedings of KCI 2013 Spring Conference, 729-730 [in Korean].
- Ganiron Jr., T.U. (2015). Recycling concrete debris from construction and demolition waste, *International Journal of Advanced Science and Technology*, **77**, 7-24.
- Ha, G.J., Yi, D.R., Ha, J.H. (2013). Evaluation of structural performance of RC beams retrofitted steel fiber consequential replacement of recycled coarse aggregate and ground granulated blast furnace slag, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **25(5)**, 1-10 [in Korean].
- Jang, G.S., Kim, S.W., You, Y.C., Kim, K.H., Yun, H.D. (2009). Compressive behavior of reinforced recycled coarse aggregate concrete columns, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **21(2)**, 227-234 [in Korean].
- Jang, Y.H., Choi, K.S., You, Y.C., Kim, K.H., Yun, H.D. (2010). Effect of recycled coarse aggregate (RCA) replacement level on the bond behaviour between RCA concrete and deformed rebars, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **22(1)**, 123-130 [in Korean].
- Jeon, S.M., Yun, H.D., Choi, K.S., You, Y.C., Kim, K.H. (2008). The bond characteristics of deformed bars in recycled coarse aggregates concrete (RCAC), *Journal of the Korea Concrete Institute*, **20(2)**, 165-173 [in Korean].
- Jung, U.I., Kim, B.J., Kwak, E.G. (2016a). "An experimental study on classification technology of waste concrete powder," Proceedings of KCI 2016 Spring Conference, 653-654 [in Korean].
- Jung, U.I., Kim, B.J., Kwak, E.G. (2016b). "A study on concrete secondary manufactures using waste concrete powder," Proceedings of KCI 2016 Spring Conference, 655-656 [in Korean].
- KEPCO E&C. (2016). Report on Evaluation of Source Term and Waste Amount from Decommissioning of Light-Water and Heavy-Water Type Nuclear Power Plants (Final Report) [in Korean].
- Kim, K.H., Shin, M.S., Kong, Y.S., Cha, S.W. (2013). Effect of fly ash on rheology and strength of recycled aggregate concrete, *Journal*

- of the Korea Concrete Institute, **25(2)**, 241–250 [in Korean].
- Lee, M.K., Kim, K.S., Lee, K.H., Jung, S.H. (2005). Strength of recycled concrete with furnace slag cement under steam curing condition, Journal of the Korea Concrete Institute, **17(4)**, 613–620 [in Korean].
- Lee, S.H., Jung, D.J., Choi, I.C. (2008). “Mechanical properties of recycled powder mixing concrete,” Proceedings of KCI 2008 Spring Conference, 769–772 [in Korean].
- Ministry of Trade, Industry and Energy. (2017). Regulation on Calculation Criteria for Radioactive Waste Management Costs and Spent Fuel Management Fees, Notice from Ministry of Trade, Industry and Energy 2017–195 [in Korean].
- Nam, J.W., Kim, H.J., Kim, S.B., Kim, J.H.J., Byun, K.J. (2007). Evaluations of structural performance of recycled aggregate concrete according to replacement ratios, Journal of the Korean Recycled Construction Resource Institute, **3(1)**, 54–64 [in Korean].
- Park, C.W., Kang, B.H. (2005). Recycling technology of cementitious powder for completely recycling of concrete waste, Journal of the Korea Institute of Building Construction, **5(3)**, 109–116 [in Korean].
- Shin, J.I., Ryu, T.E., Yang, S.K., Koo, B.K. (2001). Durability of recycled aggregate concrete incorporating fly ash, Journal of the Korea Concrete Institute, **13(1)**, 23–29 [in Korean].
- Sim, J., Park, C., Moon, I.W., Lee, H.C. (2005). Fundamental performance evaluation of recycled aggregate concrete with varying amount of fly ash and recycled fine aggregate, Journal of the Korea Concrete Institute, **17(5)**, 793–801 [in Korean].

#### 기존 문헌 분석을 통한 원전 콘크리트 해체 폐기물 재활용 가능성에 대한 연구

본 논문에서는 원자력발전소 해체 시 다량으로 발생하는 폐기물에 대한 최종 처분량을 줄이기 위한 방안으로 콘크리트 폐기물을 재활용하는 방안에 대해 기존 문헌의 실험 결과를 토대로 비교 및 분석을 수행하였다. 콘크리트 폐기물을 재활용하는 방안 중 순환 골재로 활용할 경우, 혼입률에 따라 콘크리트 강도가 최대 30~40% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 다만, 순환 골재의 품질 관리가 양호할 경우 재활용 콘크리트를 구조용 재료로서 사용하는 데 큰 문제가 없는 것으로 판단된다. 재생 시멘트로 활용할 경우, 재생 시멘트의 혼입률이 증가할수록 콘크리트 또는 모르타르의 강도가 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 재생 시멘트로 활용할 경우 구조용보다 대형 방사성 폐기물 최종 처분 시 충전용으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 본 논문은 향후, 고리 1호기 등 원자력발전소 해체 시 처분 물량 및 해체 비용 절감 등을 위한 방안 마련에 유용할 것으로 기대된다.