

## 고품질 순환골재 활용에 따른 건설 산업의 경제적 효과 및 순환골재 생산 산업의 비용 편익 분석

# Analysis of the Economic Effect of the Construction Industry and the Cost-benefit Analysis of the Recycled Aggregate Production Industry According to the Use of High-quality Recycled Aggregate

최원영<sup>1\*</sup> · 전찬수<sup>2</sup> · 김상현<sup>3</sup> · 김태형<sup>3</sup> · 전덕우<sup>4</sup>

Won-Young Choi<sup>1\*</sup> · Chan-Soo Jeon<sup>2</sup> · Sang-Heon Kim<sup>3</sup> · Tae-Hyoung Kim<sup>3</sup> · Duk-Woo Jeon<sup>4</sup>

(Received October 15, 2021 / Revised November 5, 2021 / Accepted November 5, 2021)

The purpose of this study is to analyze the economic effect of the use of recycled aggregate on the construction industry and the effect of increasing the value of the recycled aggregate production industry on the premise of supporting quality assurance technology to promote the high-quality use of recycled aggregate. Accordingly, the production cost of ready-mixed concrete that can be obtained through the use of high-quality recycled aggregate is analyzed according to the recycled aggregate application rate recommended in the recycled aggregate quality standard. The economic effect of general ready-mixed concrete and recycled aggregate-applied ready-mixed concrete industry was analyzed by identifying the domestic ready-mixed concrete industry scale and the rate of satisfaction of recycled aggregate volume, and a cost-benefit analysis method was used to examine the benefits of high-quality recycled aggregate production and sales. As a result, the production cost of ready-mixed concrete is reduced by 2.3~16.2% depending on the application rate, the economic effect of the use of recycled aggregate on the construction industry is about 106.8~142.6 billion KRW, and the effect of increasing the value of the recycled aggregate production industry generated about 1.22 times the benefit.

**키워드** : 순환골재, 레미콘, 건설산업, 경제적효과, 비용편익분석

**Keywords** : Recycled aggregate, Ready mixed concrete, Construction industry, Economic effect, Benefit-cost analysis

## 1. 서론

국내 도시의 노후화 및 주택의 내구연한이 도래함에 따른 재건축·재개발 사업의 증가로 건설폐기물은 지속적으로 발생하고 있으며 그 발생량 또한 무시할 수 없는 수준에 이르러 있다. 급변하는 환경 변화에 따른 자원의 재활용은 필수 요소가 되었고 2005년 “건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률”의 시행 이후 지난 15여년이 넘도록 건설폐기물의 재활용을 통한 순환골재의 사용 및 이와 관련한 연구는 지속적으로 확대되어 왔다(Ministry of Environment 2021).

또한, 재건축·재개발 사업에 의한 건설 산업의 골재 수요는 앞으로도 지속될 것으로 예상되며, 천연골재 채취에 따른 환경·사회적 문제가 커져감에 따라 천연골재를 대체하는 순환골재의 적극적인 활용은 더욱 중요한 사안이다.

순환골재의 효율적인 재활용은 단순히 자원의 재사용만을 의미하는 것이 아니라 천연골재의 대체를 통한 자원 사용의 절감 및 환경 훼손을 줄이는 중요한 수단이므로 꾸준한 확대가 필요한 상황이다. 이에 따라 순환골재 사용에 따른 건축물 및 제품의 품질저하와 오염된 골재나 이물질 유입에 의한 품질 문제를 개선하기 위한 기술적 연구(Gajda 2001; Lee et al. 2017) 또는 순환골재를

\* Corresponding author E-mail: wonyoungchoi@kict.re.kr

<sup>1</sup>한국건설기술연구원 건설시험인증본부 전임연구원 (Korea Institute of Civil engineering and Building Technology, Gyeonggi-do, 10223, Korea)

<sup>2</sup>한국건설기술연구원 건설시험인증본부 수석연구원 (Korea Institute of Civil engineering and Building Technology, Gyeonggi-do, 10223, Korea)

<sup>3</sup>한국건설기술연구원 건축연구본부 수석연구원 (Korea Institute of Civil engineering and Building Technology, Gyeonggi-do, 10223, Korea)

<sup>4</sup>강원대학교 대학원 지역건설공학과 연구원 (Kangwon National University, Kangwon-do, 24341, Korea)

활용함에 따른 환경적인 개선을 평가하는 연구(Choi et al. 2018) 등 다양한 연구가 이루어지고 있으나 사업장 단위에서 부터 국가 단위에 이르는 건설산업의 전반적인 경제적 효과를 분석한 연구는 전무하다.

따라서, 본 연구는 순환골재의 고품질 사용 활성화를 제고하기 위한 과정의 일환으로, 품질 확보 기술력이 뒷받침될 것을 전제로 하여 순환골재의 활용에 따른 건설 산업의 국가/사업장 단위의 경제적 효과 및 순환골재 생산 산업의 가치 증대 영향을 분석을 목적으로, 국토교통부의 순환골재 품질기준에서 권고한 콘크리트 제조 시 순환골재 적용 비율을 활용하여 순환골재의 적용 비율에 따른 레미콘 생산비용을 산출하였고, 국내 레미콘 출하량 등의 산업규모와 적용 비율별 순환골재 물량 총족률을 파악하여 일반레미콘과 순환골재 적용 비율별 레미콘의 생산비용을 종합하여 건설 산업에서의 경제적 효과를 분석하였다. 또한, 비용 편익 분석법을 활용하여 고품질의 순환골재 생산 및 판매에 따른 편익을 검토하였다.

## 2. 순환골재 활용에 따른 레미콘 생산비용

### 2.1 현황 분석

본 장에서는 건설현장에서 많이 사용되는 레미콘 25-24-150 규격의 생산을 가정하고, 국토교통부에서 고시한 ‘순환골재 품질 기준’에 의거하여 적용하는 순환골재의 규격은 굵은골재 25mm 및 잔골재로 가정하였다. 또한 일반적으로 국내에서 레미콘 제조에 사용되고, 순환골재로 대체 가능한 골재의 규격 등을 고려하여 천연 굵은골재는 규격 25mm(#57), 천연 잔골재는 중사(#4~#100)를 고려하였다.

천연골재 시중단가는 경기 북부, 남부, 부산에 위치한 3개 업체에 문의 조사 후 그 중 가장 낮은 값이 순환골재와의 비용 격차가 가장 적을 것으로 판단하여 적용하였다. 현재 순환골재의 단가 또한 규정된 것이 없고 금액도 상이하여 3개의 순환골재 판매업체의 실거래 가격 평균값을 적용하여 비교한 것을 Table 1과 같이 나타내었다. 순환골재의 가격은 천연골재 대비 굵은골재는 39.2%, 잔

Table 1. Price comparison of aggregates

(Unit : KRW/m<sup>3</sup>)

Division	Standard	Natural aggregate (A)	Recycled aggregate (B)	Ratio (B/A)
Coarse aggregate	25mm (#57)	12,741	5,000	39.2%
Fine aggregate	Sand (#4~#100)	15,857	8,000	50.5%
Transport cost		8,000	8,000	100.0%

골재는 50.5% 수준이므로, 동일한 품질을 가정한다면 천연골재를 대체하여 순환골재를 사용하는 것이 경제적 이익을 가져다 줄 것으로 예상할 수 있다.

### 2.2 순환골재 적용 비율에 따른 레미콘 생산 비용

순환골재를 콘크리트에 적용할 때에는 천연골재와 다소 특성 차이가 있어, 임의 사용하는 것이 아닌 법령(순환골재 품질기준)에 의해 적용하고 있다. 최대 설계기준강도는 27MPa 이하, 굵은골재만 사용할 경우 굵은골재 용적의 60% 이하, 잔골재만 사용할 경우 잔골재 용적의 30% 이하로 치환하고, 굵은골재와 잔골재를 동시에 사용할 경우에는 총 골재 용적의 30% 이내로 권장하며, 사용 가능한 굵은골재의 최대치수는 25mm로 제한하고 있다(MOLIT, 2017). 이를 반영하여 천연골재만 사용한 경우부터 순환골재를 100% 치환한 경우까지 Table 2와 같이 순환골재 사용비율을 7가지 Case로 가정하여 각 경우의 콘크리트 1m<sup>3</sup> 제조원가를 산출하였다. 골재 단위용적중량은 법령에 의해 1.7ton/m<sup>3</sup>로 적용하였다.

Table 2. Application rate of recycled aggregate for concrete

Division	Coarse aggregate		Fine aggregate	
	Natural aggregate	Recycled aggregate	Natural aggregate	Recycled aggregate
Case 1	100%		100%	
Case 2	40%	60%	100%	
Case 3	100%		70%	30%
Case 4	70%	30%	70%	30%
Case 5		100%	100%	
Case 6	100%			100%
Case 7		100%		100%

재료비 중 직접재료비는 소요량에 단가를 곱하여 산출하는데 수량 및 배합비는 레미콘 종류와 업체에 따라 상이하지만 주로 유사한 형태를 지니며 일반적으로 레미콘 업체가 사용하는 25-24-150 규격 배합비율을 Table 3과 같이, 재료단가는 한국물가정보에서 공시한 자료를 적용하였다(KPI, 2021).

Table 3. Mixture ratio of ready-mixed concrete

(Unit : kg)

Name	Water	Cement	Coarse aggregate	Fine aggregate	Fly ash	Blast furnace slag	Admixture
Quantity	168	262	928	811	38	75	3

레미콘 1m<sup>3</sup>의 재료비는 시멘트 19,231원으로 전체의 약 40%를 차지하며, 굵은골재와 잔골재가 각각 6,960원, 7,542원으로 약 30%를 차지하였다. 골재비가 재료비의 적지 않은 부분을 차지하지만 절감비율이 전체 원가 절감에 절대적인 것은 아님을 알 수 있다. 간접재료비는 제조의 보조적인 소비 가치를 말하며, 건설공사 표준품셈을 준용하여 소모공구의 공구손료로서 직접노무비의 3%를 적용하였다(KICT, 2021).

노무비는 직접노무비와 간접노무비로 구분한다. 직접노무비는 현장에서 레미콘 제조를 위해 직접 작업에 종사하는 종업원 및 노무자에 의하여 제공되는 노동력의 대가로 노무공수에 임금을 곱하여 산출하였다. 노무공수는 레미콘을 제조하는 업체의 일반적인 공정을 기초로 골재 투입 및 레미콘 배합, 믹서트럭 상차 등의 공정을 기준으로 하였으며, 임금은 “중소제조업 직종별 임금조사 보고서”의 단가를 기본급으로 하고 기획재정부의 “예정가격 작성 기준”에 의거하여 산출하였다(KBIZ, 2021; MOEF, 2021).

간접노무비는 보조작업 노무자, 종업원과 현장 감독자 등의 급여로, 일반적인 사업장 간접노무비율을 반영하여 직접노무비의 25%를 적용하였다. 천연골재만을 사용할 경우와 순환골재를 활용하는 경우 제조 공정에 큰 차이가 발생하거나 추가적인 인력 투입 요소가 발생하지 않으므로 순환골재의 적용 비율에 따른 노무비 차이는 발생하지 않는다.

경비는 레미콘 제조를 위해 소비된 원가 중 재료비와 노무비를 제외한 모든 원가를 말하는데, 전력비, 수도광열비, 감가상각비 등이 포함된다. 본 분석에서는 한국은행 발간 기업경역분석 “C233, 시멘트, 석회, 플라스터 및 그 제품”에 기초로 하였다(BOK, 2019).

이에 산출된 순환골재 적용 비율별 레미콘 1m<sup>3</sup>의 제조원가는 Fig. 1과 같다. 천연골재만을 사용했을 때의 레미콘 생산비용은 81,398원이며, 현행 규정 내(Case 2~4)에서 최대치를 사용한다고 가정했을 때 굵은골재의 60%를 순환골재로 대체하는 것이

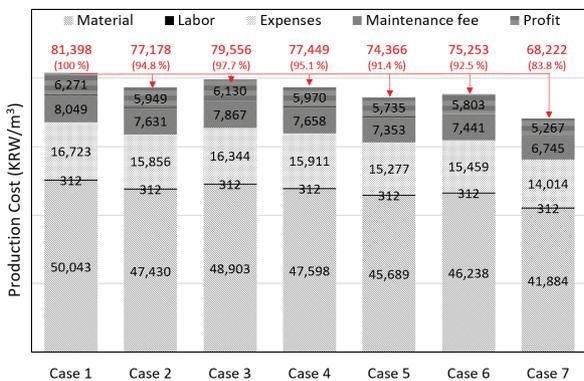


Fig. 1. Ready-mixed concrete production cost by case

77,178원(천연골재 100% 대비 94.8% 수준)으로 비용이 가장 크게 절감되는 것으로 나타났다. 이는 굵은골재의 치환가능 비율이 더 높은 것이 원인이라 할 수 있다. 현행 규정외적으로는 100%의 순환골재 사용이 가장 높은 경제적 효과를 가지는데, 천연골재 100% 사용 대비 약 16.2% 정도 절감되는 것으로 검토되었다.

### 3. 순환골재 활용에 따른 건설 산업 경제적 효과

레미콘은 건설 산업에서 매우 큰 비중을 차지하고 있는 재료로, 레미콘의 단가의 절감은 건설 산업 전체에 상당한 경제적 편익을 발생시킬 수 있다는 것을 예상 할 수 있다.

어떤 산업의 경제적 편익 계산을 위해서는 먼저 해당 산업규모를 파악할 필요가 있다. 본 분석에서는 현행 건설 산업 내의 연간 레미콘 산업규모를 한국레미콘공업협회(KRMCIA, 2020) 자료를 통해 파악하고, 이를 토대로 고품질 순환골재의 활용비율에 따른 순환골재의 필요량을 산출하였으며, 산출된 결과를 건설폐기물 발생량을 기초로 산출한 고품질 순환골재의 생산 가능량과 비교하여 순환골재 적용비율별로 근 5년(2015~2019년)간 경제적 편익을 산출하였다. 최근 산업의 추세를 반영하기 위해 5년의 평균값을 적용하고자 하였다.

#### 3.1 순환골재 적용비율에 따른 골재 수요량 추정

레미콘 산업의 규모는 연간 레미콘 출하량을 통해 파악할 수 있다. 한국레미콘공업협회 연도별 레미콘산업추이 통계에 따르면 근 5년 간의 레미콘 출하실적은 Table 4와 같다.

Table 4. Ready-mixed concrete industry growth trend by year

Year	Shipments
2015	152,154,068m <sup>3</sup>
2016	171,518,764m <sup>3</sup>
2017	174,291,322m <sup>3</sup>
2018	155,725,514m <sup>3</sup>
2019	147,153,888m <sup>3</sup>
Average	160,168,711m <sup>3</sup>

근 5년 간의 평균 레미콘 출하실적은 160,168,711m<sup>3</sup>로 나타났다. 매년 레미콘 수요는 건설 산업의 확대·축소 등의 관련 산업의 영향에 의하여 계속 변동되고 있으나 절대적인 출하량은 무시 못할 수준에 이르러 있다.

순환골재 적용비율에 따른 골재 수요량은 Table 5와 같다. 레미콘 1m<sup>3</sup>당 골재 필요량에 순환골재 적용비율을 곱하여 순환골재 적용비율 Case별 천연골재 및 순환골재 사용량을 산출하고, 산출된 값에 레미콘 평균 출하실적을 곱한 후 골재의 단위용적중량(1.7 ton/m<sup>3</sup>)으로 나누어 전체 레미콘 생산에 소요되는 천연골재와 순환골재의 사용량을 산출하였다. 순환골재의 적용비율은 Table 2를 활용하였으며 레미콘 m<sup>3</sup>당 골재 필요량은 일반적인 레미콘 생산에 필요한 것으로 굵은골재 0.928ton/m<sup>3</sup>, 잔골재 0.811ton/m<sup>3</sup>을 적용하였다.

Table 5. Demand by recycled aggregate application ratio

Division	Coarse aggregate(m <sup>3</sup> )		Fine aggregate(m <sup>3</sup> )	
	Natural aggregate	Recycled aggregate	Natural aggregate	Recycled aggregate
Case 1	87,433,273	0	76,409,897	0
Case 2	34,973,309	52,459,964	76,409,897	0
Case 3	87,433,273	0	53,486,928	22,922,969
Case 4	61,203,291	26,229,982	53,486,928	22,922,969
Case 5	0	87,433,273	76,409,897	0
Case 6	87,433,273	0	0	76,409,897
Case 7	0	87,433,273	0	76,409,897

### 3.2 순환골재 생산 가능량 추정

순환골재는 건설폐기물을 재활용하는 것으로, 일반적으로 파쇄 및 선별 등의 처리 작업 후에 순환골재 생산 공정을 통해 생산된다. 따라서, 건설폐기물의 발생량과 성상에 따라 고품질 순환골재의 생산 가능량이 결정되며, 레미콘 제조에 활용할 수 있는 고품질 순환골재의 생산에 모든 폐기물을 활용할 수는 없다. 이렇듯 제한적인 고품질 순환골재의 생산성으로 인해 레미콘 생산량 전체에 고품질 순환골재를 적용할 수는 없으며, 순환골재 생산의 원재료가 되는 건설폐기물의 발생량이 경제성 분석의 중요한 요소라 할 수 있다. 구체적인 고품질 순환골재 생산 가능량 추정을 위해 먼저 고품질 순환골재 생산에 사용할 수 있는 건설폐기물의 발생량을 산출하였다. 관련 통계자료인 전국 폐기물 처리현황은 Table 7과 같다.

다양한 건설폐기물 성상으로부터 레미콘에 사용가능한 고품질 순환골재로 전환하기 위해서는 골재의 함량 및 이물질 제거 등이 중요한 요소이며 일반적으로 폐콘크리트가 그 원재료가 된다. 이에 근 5년간 발생한 평균 건설폐기물량 가운데 폐콘크리트의 물량인 27,681,858m<sup>3</sup>를 고품질 순환골재로 생산 가능한 대상 물량으로 가정하였다.

한편, 일반적으로 폐콘크리트로부터 전환되는 순환골재의 양은 약 60% 정도로 알려져 있으며 고품질 순환골재 생산 과정에는 많은 양이 분리되므로 폐콘크리트가 순환골재로 전환되는 비율(전환율)은 일반적인 전환율 60%보다 낮다. 이에 관한 정확한 통계는 없는 실정이며, 상황에 따라 다양하게 나타나는 전환율을 일반화할 수 없으므로 중간처리업체 문의를 통해 통상적인 전환율 굵은골재 40%, 잔골재 30%로 적용하였다. Table 6과 같이 굵은골재와 잔골재를 생산하기 위해 투입되는 폐콘크리트의 비율을 5:5로 가정하여 산출한 고품질 순환골재 총 생산 가능량은 9,688,651m<sup>3</sup>로 나타났다.

Table 6. Able to produce high-quality recycled aggregate

Type	Waste concrete	Production rate	Target quantity	Conversion rate	Capacity
Coarse aggregate	27,681,858m <sup>3</sup>	50%	13,840,929m <sup>3</sup>	40%	5,536,372m <sup>3</sup>
Fine aggregate		50%	13,840,929m <sup>3</sup>	30%	4,152,279m <sup>3</sup>
Total	-	-	-	-	9,688,651m <sup>3</sup>

### 3.3 순환골재 적용비율별 예상절감액 산출

Table 4와 5의 결과를 비교하여 실제 순환골재 사용가능량을 산출하고, 순환골재 필요량과 비교하여 물량 충족률을 산출하였다. 이때 앞서 적용한 7가지 Case를 적용하였다.

폐콘크리트를 순환골재로 전환할 시 손실 발생으로 굵은골재와 잔골재 전환율이 다르며 같은 양의 폐콘크리트로 각 골재를 생산하는 비율에 따라 전체 골재생산량이 결정된다. 따라서, 순환골재 필요량을 최대로 충족하는 종류별 골재생산 비율을 결정하고, 현재 생산 가능한 순환골재의 레미콘 물량 충족률 비율을 산출해야 한다. 한 종류의 골재에 대하여 적용할 경우 모든 폐콘크리트를 해당 골재로 전환하는 것이 가장 경제적이므로, Case 2와 5는 굵은골재를 100% 생산, Case 3과 6은 잔골재를 100% 생산으로 가정하는 한편, Case 4와 7은 두 골재가 같은 비율이므로 각 골재를 동일한 비율로 충족할 수 있도록 하는 것이 최적으로 볼 수 있다. 이 골재 생산비율은 레미콘 1m<sup>3</sup>에 투입하는 각 골재 비율 및 전환율에 의해 결정된다. 레미콘 m<sup>3</sup>당 골재 종류별 사용비율과 굵은골재의 전환율 40%, 잔골재의 전환율 30%를 적용하여 골재 종류별 생산비율을 산출하는 방법은 다음 식과 같다.

$$p = \frac{3a}{3a+4b}, q = \frac{4b}{3a+4b} \tag{1}$$

Table 7. Construction waste in Korea

Waste type		2015	2016	2017	2018	2019	Average	
Total(m <sup>3</sup> /year)		42,567,545	42,821,800	42,138,520	44,433,576	47,471,879	43,886,664	
Flammable (m <sup>3</sup> /year)	Waste wood	198,088	173,096	171,743	172,795	185,270	180,198	
	Waste synthetic resin	355,209	304,925	387,072	392,139	344,989	356,867	
	Lung fibers	2,340	2,426	2,147	2,405	2,426	2,349	
	Waste wallpaper	64	21	150	2,126	558	584	
Non flammable (m <sup>3</sup> /year)	Construction waste materials	Waste concrete	26,720,276	27,501,977	26,462,092	28,135,059	29,589,884	<b>27,681,858</b>
		Waste earth	1,644,368	1,390,822	1,605,635	1,524,734	1,800,352	1,593,182
		Roofing tile	7,772	9,104	5,003	3,908	4,852	6,128
		Waste block	233,729	190,573	184,368	146,129	447,469	240,453
		Waste brick	451,956	489,465	461,210	613,629	717,204	546,693
		Asphalt concrete	7,624,077	7,555,929	7,699,632	8,107,079	8,838,003	7,964,944
	Construction sludge	213,654	412,729	391,194	268,468	241,995	305,608	
	Waste metals	43	0	21	129	43	47	
	Waste glass	1,052	12,131	558	1,009	945	3,139	
	Waste tiles & ceramics	7,686	7,171	9,855	9,383	7,257	8,270	
Mix (m <sup>3</sup> /year)	Waste board	31,497	48,159	35,104	35,104	44,272	38,827	
	Waste panel	666	880	1,610	1,954	1,911	1,404	
	Mixed construction waste	5,042,346	4,705,644	4,706,310	5,009,754	5,231,652	4,939,141	
Others(m <sup>3</sup> /year)		32,721	16,747	14,815	7,644	12,796	16,945	

※ The data on the national waste generation and treatment status were converted into unit volume weight of 1.7ton/m<sup>3</sup>

여기서,  $p$ 는 폐콘크리트의 순환골재 생산비율(%)이며,  $q$ 는 폐콘크리트의 순환골재 생산비율(%),  $a$  순환골재 필요량(m<sup>3</sup>),  $b$ 는 순환골재 필요량(m<sup>3</sup>)이다.

상기에 따라 Case 4와 7의 생산비율은 골재 46.18%, 잔골재 53.82%이며, 이를 반영하여 고품질 순환골재 생산량을 산출하고 이를 Table 4의 순환골재 활용 비율별 필요량을 충족하는 비율을 산출한 결과는 Table 8과 같다.

산출된 물량총족률은 전체 레미콘 출하량 중 고품질의 순환골재를 적용할 수 있는 물량이 얼마나 되는지를 알려준다. 따라서,

물량총족률을 통해 레미콘 출하량을 일반 레미콘 생산 물량과 순환골재 적용가능 물량으로 구분할 수 있다.

평균 연간 레미콘 출하량 160,168,711m<sup>3</sup>에 순환골재 물량총족률을 적용하여 일반레미콘과 순환골재 활용 레미콘량을 구분하고 이에 Fig. 1에서 산출된 m<sup>3</sup>당 레미콘 생산비용을 적용하여 산출한 레미콘 생산비용은 Table 9와 같다.

레미콘의 생산비용을 기존 천연골재 100%사용에 대비하여 예상감액을 산출한 값은 Table 10, Fig. 2와 같다.

현행 법령 기준 내에서는 Case 2가 천연골재를 100% 활용하는

Table 8. Capacity of recycled aggregate & quantity satisfaction

Division	Annual amount of waste concrete	Production rate(%)		High quality recycled aggregate production(m <sup>3</sup> )		Quantity satisfaction rate
		Coarse aggregate	Fine aggregate	Coarse aggregate	Fine aggregate	
Case 1	27,681,858m <sup>3</sup>	-	-	-	-	0.00%
Case 2		100%	-	11,072,743	-	21.11%
Case 3		-	100%	-	8,304,557	36.23%
Case 4		46.18%	53.82%	5,113,888	4,469,141	19.50%
Case 5		100%	-	11,072,743	-	12.66%
Case 6		-	100%	-	8,304,557	10.87%
Case 7		46.18%	53.82%	5,113,888	4,469,141	5.85%

Table 9. Ready-mixed concrete production cost

Division	General ready mixed concrete(million m <sup>3</sup> )	Cost per m <sup>3</sup> (KRW)	Cost of ready mixed concrete(billion KRW)	Recycled aggregateconcrete (million m <sup>3</sup> )	Cost per m <sup>3</sup> (KRW)	Cost of recycled aggregate concrete(billion KRW)
Case 1	160	81,398	13,037	0	81,398	0
Case 2	126		10,285	33	77,178	2,609
Case 3	102		8,314	58	79,556	4,616
Case 4	128		10,495	31	77,449	2,418
Case 5	139		11,386	20	74,366	1,508
Case 6	142		11,620	17	75,253	1,309
Case 7	150		12,274	9	68,222	639

Table 10. Estimated savings by recycled aggregate application

Division	Cost of ready mixed concrete (billion KRW)	Cost of recycled aggregate concrete(billion KRW)	Total cost (billion KRW)	Estimated savings (compared to case 1)
Case 1	13,037	-	13,037	-
Case 2	10,285	2,609	12,894	-143 billion
Case 3	8,314	4,616	12,930	-107 billion
Case 4	10,495	2,418	12,914	-124 billion
Case 5	11,386	1,508	12,894	-143 billion
Case 6	11,620	1,309	12,930	-107 billion
Case 7	12,274	639	12,913	-124 billion

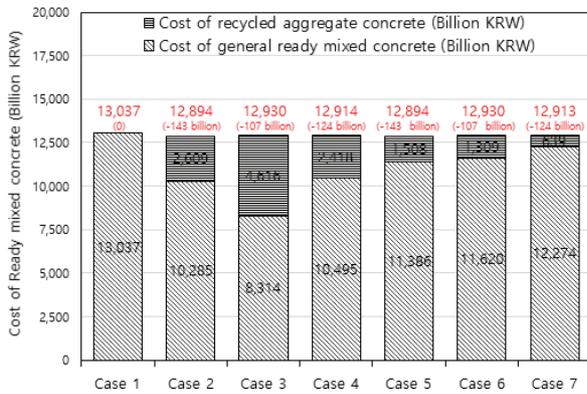


Fig. 2. Estimated savings by recycling aggregate application

Case1p 대비 142,664,997,940원 절감되어 절감액이 가장 컸으며, 이어서 Case 4가 123,315,605,382원, Case 3이 106,884,056,894 원이 절감되는 것으로 나타났다.

한편, 현행 법령이 기준하는 범위 내에서 순환골재를 활용하는 안과 비율상 100% 순환골재를 활용하는 안 사이는 큰 차이가 없는데, 이는 생산 가능한 순환골재의 양이 한정되어 있어 대체 가능한 레미콘 물량이 한정되기 때문이다. 즉, 순환골재를 많이 혼합할수록 적용 가능한 레미콘 물량이 감소하며, 이로 인해 전체적인 편익은 비슷한 수준에 머물게 된다.

종합적으로, 순환골재의 생산 가능성이 제한적인 현 상황에서는 잔골재에 비해 상대적으로 가격이 저렴하며 더 많은 양을 사용할 수 있는 순환골재를 많이 활용하는 것이 가장 경제적 편익이 큰 방법이며, 생산된 순환골재를 모두 소비한다면 고품질 순환 잔골재를 레미콘 1m<sup>3</sup>에 활용하는 비율은 경제적 편익에 큰 영향을 끼치지 않는다고 할 수 있다.

#### 4. 순환골재 생산 산업의 가치증대 영향 분석

본 분석에서는 고품질 순환골재를 생산하는데 필요한 비용 및 판매에 따른 편익을 검토하여, 순환골재 생산 산업의 가치 증대 영향을 분석하였다.

##### 4.1 현행 순환골재 사용현황 분석

레미콘에 사용되는 고품질의 순환골재는 기존 매립용·도로용 순환골재에 비해 더 높은 가격에 판매할 수 있다. 이에 고품질 순환골재의 생산 및 판매는 경제적 이익을 가져다 줄 것으로 예상되나 현재 제한적으로 생산되고 있는 실정이다.

현행 순환골재 사용현황 분석을 위해 순환골재 재활용 용도별 생산 통계를 자료를 확인한 결과는 Table 11로 순환골재 생산의 대부

**Table 11. Production according to use of recycled aggregate**

Type of use	Amount(m <sup>3</sup> )	Rates
Road base	6,745,178	12.23%
Road sub-base	6,128,401	15.18%
Sand substitute fine aggregate for sewage pipe	423,309	1.18%
Recycled asphalt concrete	2,887,038	4.04%
Concrete products(bricks, etc.)	572,938	1.05%
Concrete	523,577	1.64%
Manufacturing concrete products	1,069,908	3.27%
Asphalt concrete	1,115,973	3.28%
Frost protection layer & barrier layer	581,410	0.80%
Road use	185,941	0.48%
Road subsoil	83,718	0.54%
Backfill	5,874,995	13.77%
Filling & covering	16,111,037	41.77%
Cover of landfill facilities	77,845	0.79%
Total	42,381,268	100.00%

분은 성토용 및 복토용에 집중되어 있으며, 고품질 순환골재 사용에 해당하는 콘크리트제품, 콘크리트용, 콘크리트제품 제조용 등의 비중은 총 2,166,423m<sup>3</sup>으로 전체 물량의 약 6% 수준에 그치고 있다(K-ECO, 2017).

앞서 산출된 고품질 순환골재 생산 가능량에 따르면 발생하는 건설폐기물의 수량을 기초로 산출한 생산 가능한 고품질 순환골재의 수량은 9,668,651m<sup>3</sup>이므로 현재 생산하고 있는 고품질 순환골재는 생산 가능량의 22.4% 수준에 머물고 있으며, 이는 고품질 순환골재로 전환될 수 있는 상당량의 건설폐기물이 비교적 저품질로 사용되고 있음을 의미한다.

#### 4.2 고품질 순환골재 생산 및 판매에 따른 편익

순환골재의 고품질 재활용에 편익은 현재 활용되고 있는 순환골재의 품질을 향상시켜 레미콘에 재활용 할 경우 얻게 되는 경제성에 대한 것으로, 순환골재를 고품질로 재생산하기 위한 비용과 순환골재 사용에 따른 천연골재 대체 비용효과를 비교하여 확인할 수 있다. 이처럼 투입되는 비용과 회수 이익을 산출하는데 적합한 방법인 편익/비용 비율 산출방법으로 순환골재의 고품질 활용에 따른 편익을 분석하였다.

본 분석의 주요 예상 비용요소는 폐콘크리트를 고품질 순환골재로 생산하기 위해 소요되는 비용이며, 편익요소는 생산된 고품질 순환골재를 통해서 얻는 경제적 이익이다.

고품질 순환골재의 생산에는 건설폐기물 상태인 폐콘크리트

를 처리하는 과정이 필요하나 폐콘크리트의 처리비는 폐기물 처리비용으로 충당되므로 해당 비용은 고려하지 않는 것이 타당할 것으로 판단하여 일반적인 순환골재를 고품질의 순환골재로 전환하는 추가 처리비용으로 가정하여 기존 연구에서 제시한 잔골재 438원/m<sup>3</sup>, 굵은골재 218원/m<sup>3</sup>(잔골재의 50%)로 적용하였다(KICT, 2017). 고품질 순환골재로 생산 가능한 폐콘크리트는 27,681,858m<sup>3</sup>이며, 굵은골재와 잔골재 생산에 동일한 폐콘크리트 물량을 투입한다고 가정할 시 전체 추가처리비용은 Table 12와 같다.

**Table 12. Additional cost for high-quality recycled aggregate**

Type	Waste concrete (m <sup>3</sup> /year)	Additional cost (KRW/m <sup>3</sup> )	Annual additional cost(KRW)
Coarse aggregate	13,840,929	219	3,031 million
Fine aggregate	13,840,929	438	6,062 million
Total	27,681,858		9,093 million

본 분석에서의 편익은 고품질 순환골재를 판매하여 발생하는 매출액에 추가처리를 거치지 않은 일반 순환골재를 판매할 때 발생하는 매출액을 차감한 금액으로 기준할 수 있다.

먼저, 기존 순환골재 판매액 산출을 위해 성복토용, 도로공사용 등으로 사용되는 일반 순환골재의 예상매출액을 일반 순환골재의 생산 가능량에 판매단가를 적용하여 산출하였다. 일반 순환골재에 대한 전환율은 통상적인 수치인 60%를 적용하고, 도로공사용과 성복토용 골재 생산 비율을 5:5로 가정하면 순환골재의 생산 가능량은 각각 8,304,557m<sup>3</sup>이다.

한편, 고품질의 순환 굵은골재와 잔골재의 생산 가능량을 기초로 예상매출액을 산출하면 Table 13과 같이 나타난다. 이에 예상되는 추가 편익은 약 11,072백만원이다.

**Table 13. Expected sales of recycled aggregate**

Type	Production capacity(m <sup>3</sup> )	Selling price (KRW/m <sup>3</sup> )	Expected sales (KRW)
Road construction	8,304,557	5,000	41,522 million
Filling & covering	8,304,557	1,000	8,305 million
<b>Total</b>	<b>16,609,115</b>	<b>-</b>	<b>49,827 million</b>
Coarse aggregate	5,536,372	5,000	27,682 million
Fine aggregate	4,152,279	8,000	33,218 million
<b>Total</b>	<b>9,688,651</b>	<b>-</b>	<b>60,900 million</b>

순환골재를 활용하는데 소요되는 비용은 추가처리비용만이 신규 발생비용이며, 얻을 수 있는 편익은 생산된 고품질 순환골재를 판매하여 얻게 되는 매출액으로 결정된다. 산출된 고품질 순환골재 생산 및 판매에 따른 비용-편익은 Table 14와 같이 나타난다.

고품질 순환골재의 생산 및 판매에 따라 산출된 비용-편익 금액을 통해 나타나는 비용-편익 비율은 약 1.2177이다. 비용-편익 분석에서 비용-편익 비율이 1보다 높을 경우에는 경제성이 있는 것으로 볼 수 있으며 본 분석에서 산출된 비율 약 1.2177은 1보다 큰 값으로, 고품질 순환골재 생산 및 판매에 따른 경제적 편익이 발생하는 것으로 판단할 수 있다.

Table 14. Cost-benefit of recycled aggregate production industry

Division	Cost
Additional processing cost	9,093million(KRW)
Expected benefit	11,072million(KRW)
<b>Cost-benefit ratio</b>	<b>1.2177</b>

## 5. 결론

본 연구에서 목표로 하는 순환골재 활용에 따른 경제적 효과 분석을 위해 순환골재 활용에 따른 레미콘 생산비용 분석, 건설 산업에서의 예상절감액 산출, 비용편익 분석을 적용하여 고품질 순환골재 생산 및 판매에 따른 산업의 가치 증대 영향 분석을 실시한 결과는 다음과 같다.

1. 순환골재의 활용비율에 따른 레미콘 1m<sup>3</sup>당 생산비용 결과는 현행 국토교통부 기준 하에 굵은골재 60% 대체 시 77,178원(천연골재 100% 사용대비 94.8%수준)으로 가장 경제적이며, 잔골재 30% 대체 시 79,556원, 굵은골재 30% 및 잔골재 30% 대체 시 77,449원 등 천연골재 100% 활용 시의 81,398원에 비해 모두 낮은 것을 확인하였다.
2. 순환골재 활용에 따른 건설 산업에서의 예상절감액 산출 결과는 현행 국토교통부 기준 하에 굵은골재 60% 대체 시 약 1,426억원 이상 절감되어 가장 예상절감액이 큰 것으로 나타났으며, 굵은골재와 잔골재 모두 30%씩 대체 시 약 1,233억원, 잔골재만을 30% 대체할 때 약 1,068억원이 절감되는 것으로 나타났다.
3. 고품질 순환골재 활용에 따른 가치증대 효과에 대한 비용-편익 비율은 약 1.2177로 고품질 순환골재 생산 및 판매에 따른 경제적 편익이 발생하는 것으로 나타났다.

상기 결과를 통해 나타난 순환골재의 활용에 따른 건설 산업에서의 경제적 효과 및 고품질 순환골재 생산 및 판매에 따른 산업 가치 증대 영향을 분석한 결과 경제적인 효과가 분명하여 순환골재 활용의 필요성에 대한 근거로 충분히 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구 자료가 순환골재 활용에 대한 경제성 효과 분석에 절대적인 자료라고 할 수는 없을 것이나 앞으로의 순환골재 사용 활성화에 대한 근거자료 및 관련 연구에 참고 할 수 있는 자료로 활용되기를 기대한다.

## Conflicts of interest

None.

## 감사의 글

본 연구는 2021년도 한국건설기술연구원 주요사업(중소·중견 기업지원사업)의 일환으로 수행된 연구임(NO. 20210087-001).

## References

- BOK. (2019). 2019 Business Management Analysis, Bank of Korea [in Korean].
- Choi, W.Y., Lee, S.H., Jeon, C.S., Kim, T.H. (2018). A study on the strength properties and life cycle assessment of high strength concrete using recycled coarse aggregate, Journal of Korean Recycled Construction Resources Institute, **6(1)**, 8-15 [in Korean].
- Choi, W.Y., Lee, S.H., Kim, S.H. (2017). A comparative study on the quality of recycled aggregate for concrete by crushing method, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, **5(2)**, 121-129 [in Korean].
- Gajda, J. (2001). Absorption of Atmospheric Carbon Dioxide by Portland Cement, PCA, R&D, Chicago, USA.
- KBIZ. (2021). Industry Wage Survey Report by Small and Medium Manufacturing Occupation, Korea Federation of Small and Medium Business [in Korean].
- K-ECO. (2017). Production Status According to Recycled Aggregate Recycling Use in Korea, [in Korean].
- KICT. (2017). Cost Calculation Report of Recycled Aggregate Quality Improvement Technology by Rotational Impact of Speed Control

Rotor and Enclosed Multistage Wind Pressure Treatment [in Korean].

KICT. (2021). Construction Work Standard Product Calculation, Ministry of Land Infrastructure and Transport, Korea [in Korean].

KPI. (2021). Comprehensive Price Information Magazine, Korea Price Information [in Korean].

KRMCIA. (2020). Ready-Mixed Concrete Industry Growth Trend by Year, Korea Ready Mixed Concrete Industry Association [in Korean].

ME. (2020). National Waste Generation and Treatment Status, Ministry of Environment, Korea [in Korean].

ME. (2021). Act on Promotion of Recycling of Construction Waste, Ministry of Environment, Korea [in Korean].

MOEF. (2021). Estimated Price Preparation Standards, Ministry of Economy and Finance, Korea [In Korean].

MOLIT. (2017). Recycled Aggregate Quality Standard, Ministry of Land Infrastructure and Transport, Korea [in Korean].

**고품질 순환골재 활용에 따른 건설 산업의 경제적 효과 및 순환골재 생산 산업의 비용 편익 분석**

본 연구는 순환골재의 고품질 사용 활성화를 위해 품질확보 기술의 뒷받침을 전제로 하여 순환골재의 활용에 따른 건설 산업의 경제적 효과 및 순환골재 생산 산업의 가치 증대 영향을 분석을 목적으로 한다. 이에 고품질 순환골재 활용을 통해 얻을 수 있는 레미콘 생산비용을 순환골재 품질기준에서 권고한 순환골재 적용 비율에 따라 분석하고, 국내 레미콘 산업규모와 순환골재 물량 충족률을 파악하여 일반레미콘과 순환골재 적용 레미콘 산업의 경제적 효과를 분석하였으며, 비용 편익 분석법을 활용하여 고품질의 순환골재 생산 및 판매에 따른 편익을 검토하였다. 그 결과 레미콘 생산비용은 적용 비율에 따라 2.3~16.2%의 절감효과를, 순환골재 활용에 따른 건설 산업의 경제적 효과는 약 1,068~1,426억 수준을, 순환골재 생산 산업의 가치 증대 영향은 약 1.22배 편익을 발생시켰다.