

## 공항포장용 순환골재의 처리방법별 경제성 분석

### Cost Analysis of Recycled Aggregate Production on Airport Pavement

강승민	Kang, Seung Min	홍익대학교 건축공학부 박사후과정 (E-mail : goodsmkang@nate.com)
이활웅	Lee, Hwal Ung	정회원 · 홍익대학교 건축공학부 석사과정 (E-mail : histstructure@naver.com)
양성철	Yang, Sung Chul	정회원 · 홍익대학교 건축공학부 교수 · 교신저자 (E-mail : scyang@hongik.ac.kr)

#### ABSTRACT

**PURPOSES :** This study aimed to analyze economic effect of recycled aggregate production on job-site airport pavement.

**METHODS :** The validation of site recycling for waste concrete as economic efficiency is analyzed through the case study of site recycling at an O airport pavement construction. The break-even point for the cost of site recycling was estimated according to two different waste concrete processing methods such as job-site recycling and processing on commission (or plant).

**RESULTS :** Job-site recycling cost decreases as the use rate of job-site recycled concrete aggregate increases, or the amount of concrete waste increases, but transporting distance decreases. It was shown in an O airport case that as the use rate of job-site recycled concrete aggregate exceeds 61.4 %, the job-site recycling cost is cheaper than the processing cost on commission.

**CONCLUSIONS :** The results of this study can utilize basic data of feasibility for site recycling of waste concrete on airport pavement construction.

#### Keywords

construction waste, waste concrete, job-site recycling, processing on commission, cost analysis

Corresponding Author : Yang, Sung Chul, Professor  
School of Architectural Engineering, Hongik University,  
2639 Sejong-ro Jochiwon-eup, Sejong-si, 339-701, Korea  
Tel : +82.44.860.2561 Fax : +82.44.865.2796  
E-mail : scyang@hongik.ac.kr

International Journal of Highway Engineering

http://www.ksre.or.kr/

ISSN 1738-7159 (print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Jul. 8, 2014 Revised Jul. 17, 2014 Accepted Oct. 1, 2014

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

최근 들어 전 세계적으로 도로 및 공항의 건설과 관련하여 자원의 재활용, 환경보존, 에너지 소비절감 등 사회경제 및 환경적인 영향을 고려한 지속가능한 녹색 공법의 개발과 적용에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있으며, 이와 같은 녹색 공법의 일환으로 도로 및 공항 포장의 재시공 시 노후화된 기존 포장체를 현장에서 직접 재활용하는 등 보다 효과적인 현장 재활용을 위한 다양한 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근의 연구결과를 바탕

으로 미국연방항공청(FAA)에서는 현장에서 생산된 재생골재를 신설공항 포장의 입상기층(Aggregate Base), 시멘트 처리기층(Cement Treated Base), 린 콘크리트 기층 또는 표층 콘크리트 등에 사용하는 것을 허용하고 있으며, 각 사용목적에 따라 현장 재생골재의 생산과정과 요구되는 품질기준을 다르게 규정하고 있다. 국내에서도 순환골재의 용도에 따라서 도로 기층용, 도로보조 기층용, 콘크리트용, 콘크리트 제품제조용, 하수관거 설치용 모래대체 잔골재, 아스팔트 콘크리트용, 동상방지층 및 차단층용, 노상용, 노체용, 되메우기 및

뒷채움용, 성토용, 복토용, 매립시설의 복토용으로 총 13종으로 분류하여 각각의 적용범위 및 품질기준을 규정하고 있다(순환골재 품질기준, 2013).

기존에는 재생된 골재의 관련규정 미흡과 부정적 인식으로 인하여 순환골재의 90% 이상이 성토, 복토용 등 부가가치가 낮은 단순용도로 사용되어 왔으나, 현재는 제조사의 생산설비 및 제조기술의 향상으로 고품질의 순환골재 생산이 가능해진 상태로 (보조)기층의 도로공사나 콘크리트 제품을 만드는 고부가가치의 골재대체자원으로 생산 적용되고 있다. 또한, 정부에서도 순환골재 등 의무사용건설공사의 순환골재·순환골재 재활용제품 사용용도 및 의무사용량에 관한 고시[국토해양부고시 제 2012호-652호, 환경부고시 제 2012-198호, 2012.3.3. 일부 개정]를 통하여 일정규모 이상의 공공 시설공사에 2016년까지 40% 이상 의무사용하도록 규정하고 있으며, 기존의 도로공사 표준시방서 및 고속도로공사 전문시방서의 빈배합콘크리트기층의 골재흡수율을 8% 이내로 기준을 완화하는 등 적용범위를 점차 확대하고 있다.

건설폐기물 재활용촉진에 관한 법률에 따르면 건설폐기물을 중간처리업체뿐만 아니라 배출자가 건설폐기물을 건설공사현장에서 직접 재활용할 수 있도록 규정하여 순환골재의 사용을 촉진하고 있지만 대다수의 건설폐기물은 중간처리업체를 통하여 재활용되고 있으며 배출자에 의해 현장에서 직접 재활용되는 사례는 찾기 어려운 실정이다. 현행 법제도상 공공기관이 배출자가 된 경우 시·도지사의 승인을 얻은 후, 건설공사 현장에 건설폐기물 처리시설을 직접 설치·운영하여야 하나 현실적으로 공공기관인 발주청이 직접 건설폐기물의 처리시설을 설치 운영하는데 한계가 있어 현장재활용이 거의 불가능하다(정종석, 2007). 하지만, 공항포장 재시공이나 확장공사의 경우 특수한 경우에 해당되어 위의 일반적인 제약사항에서 벗어날 수 있으며 사회적으로 이슈가 되고 있는 폐콘크리트를 현장재활용함으로써 정부에서 추진하고 있는 순환골재 의무사용 용도 및 사용량의 시책에 부응하리라 사료된다. 또한, 국내 공항의 경우 포장 노후화 및 항공수요 증가에 따라 재포장과 확장공사가 현재 진행 중이거나 2020년까지 다수 계획되어 있어서 공항포장의 폐콘크리트 처리에 있어 현장재활용 여부를 판단하는 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

기존의 국내연구에서는 폐콘크리트의 현장재활용 비용계상방안에 대한 연구와 대규모 택지개발사업지구의

사례를 통한 경제적 효과측면에서 현장재활용의 타당성 여부에 관한 몇몇 연구들이 진행되어 왔고 공항포장에서 배출한 폐콘크리트의 경제성에 관한 연구는 전무하다(김창학, 2003; 정종석, 2007; 고은정, 2007). 따라서 본 연구에서는 공항포장 사례를 통해 폐콘크리트의 현장재활용 실태, 현장재활용 절차 및 과정 등을 조사하고 경제적 효과 측면에서 현장재활용 타당성 여부를 분석하고자 한다.

## 1.2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 A공항 주활주로 재포장사업의 자료를 근거하여 2013년 기준으로 단가를 산출하였으며 A공항(이하, 공항)의 노후화된 기존 포장 해체공사에서 발생하는 폐콘크리트를 대상으로 분석하였다. 본 연구의 진행과 방법은 다음과 같다.

- (1) 건설폐기물 관련법규 조사
- (2) 폐콘크리트의 처리방법 조사
- (3) 현장재활용 순환골재(이하, 현장순환골재) 생산시설 현황 조사
- (4) 현장재활용 생산시스템에 의해 생산된 현장순환골재는 도로 보조기층, 배수층, 차단층, 성토재, 구조물의 뒷채움재 등으로 사용되지만, 경제성 분석의 편의상 현장에서 생산된 순환골재는 배수층용으로 가정한다.
- (5) 일반적인 도로공사는 현장순환골재나 시중에서 판매되는 혼합골재를 사용하지만 공항포장에서는 대부분 현장순환골재를 사용하고 모자라는 부분은 현장의 인근야산에서 직접생산하는 천연골재를 사용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 현장순환골재 생산비용과 천연골재 생산비용을 일정비율로 합하여 현장재활용 비용을 산출하였고, 건설폐기물 처리비용에 토사반입비용을 더하여 중간처리 비용을 산출하였다.
- (6) 공항의 공사구간별 평균 폐콘크리트량을 산출하고 폐콘크리트의 처리방법에 따른 비용을 비교·분석하여 현장재활용비의 손익분기점을 추정한다.

## 2. 건설폐기물의 관련법규 및 재활용 현황분석

### 2.1. 건설폐기물 관련법규 및 분석

Table 1과 같이 건설폐기물의 재활용과 관련된 법령인 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률, 건설폐기물

Table 1. Regulations and Guidelines on Job-Site Recycling of Construction Waste

Related statute	Application standard of recycled concrete aggregate (for concrete)						
Regulation on promoting the use of construction waste recycling (Ordinance article 2, part 1, [appendix table 1], article 5, part 1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Waste materials over 5tons produced from construction work sites</li> <li>• Maximum size under 100mm, amount of foreign materials under 1%</li> <li>• Purpose of obligation use and the amounts for recycled concrete aggregate</li> </ul>						
Wastes control act (Ordinance: article 2, part 9)	Construction work for obligation use	Purpose of use	Application periods and amount of obligation use for the recycled concrete aggregate				
Notification of purpose of use and obligation use of recycled aggregate and its recycled products from construction works for the obligation use (Notification of Ministry of Environment No. 2012-198)			Until 2012.12.31	2013.1.1~ 2013.12.31	2014.1.1~ 2014.12.31	2015.1.1~ 2015.12.31	after 2016.1.1
	Over 1km newly and expanded construction section length over 1km	Subbase	Over 15% of required amount	Over 25% of required amount	Over 30% of required amount	Over 35% of required amount	Over 40% of required amount

재활용 촉진에 관한 법률, 폐기물관리법, 건설폐기물 처리기준 및 방법 등에 관한 업무지침에 따르면 건설현장에서 발생하는 5톤 이상의 폐기물을 건설폐기물이라 정의하며 건설공사 등으로 인하여 발생한 건설폐기물을 친환경적으로 적정처리하고 재활용을 촉진하여 국가자원의 효율적 이용은 물론 국민경제발전과 공공복리증진에 기여하도록 하고 있다.

건설폐기물 배출자는 직접처리 또는 위탁처리 하여야 하며, 직접처리할 경우 종류별 발생예상량을 조사하여 시·도지사 승인을 얻고 건설폐기물 처리시설을 적합하게 설치, 유지관리하고 폐기물수집운반 처리상황 등을 기록하며, 사용종료 또는 폐쇄할 경우 환경부장관에게 신고하여야 한다. 배출 최대직경은 100mm 이하, 이물질 함량은 1% 미만으로 배출하고, 전체골재량의 30%(2014

년), 40%(2016년 이후) 이상 의무사용하도록 규정하고 있다.

## 2.2. 폐콘크리트의 처리방법 조사

건설현장에서 발생된 건설폐기물인 폐콘크리트는 중간처리업체를 통한 위탁과 현장재활용으로 크게 두 가지로 구분이 된다. 첫 번째 방법은 Fig. 1과 같이 폐콘크리트를 수집/운반하여 중간처리업체에 반입 후, 중간처리업체의 적정처리시스템을 통하여 순환골재를 생산 재활용하는 것이고, 두 번째 방법은 Fig. 1과 같이 건설폐기물 중에서 일부 폐콘크리트에 한하여 현장에 설치된 적정처리시스템을 통하여 순환골재로 재생산하여 현장에 활용하고, 나머지 폐콘크리트는 중간처리업체의 적정처리를 통하여 다용도로 재활용하는 것이다(고은

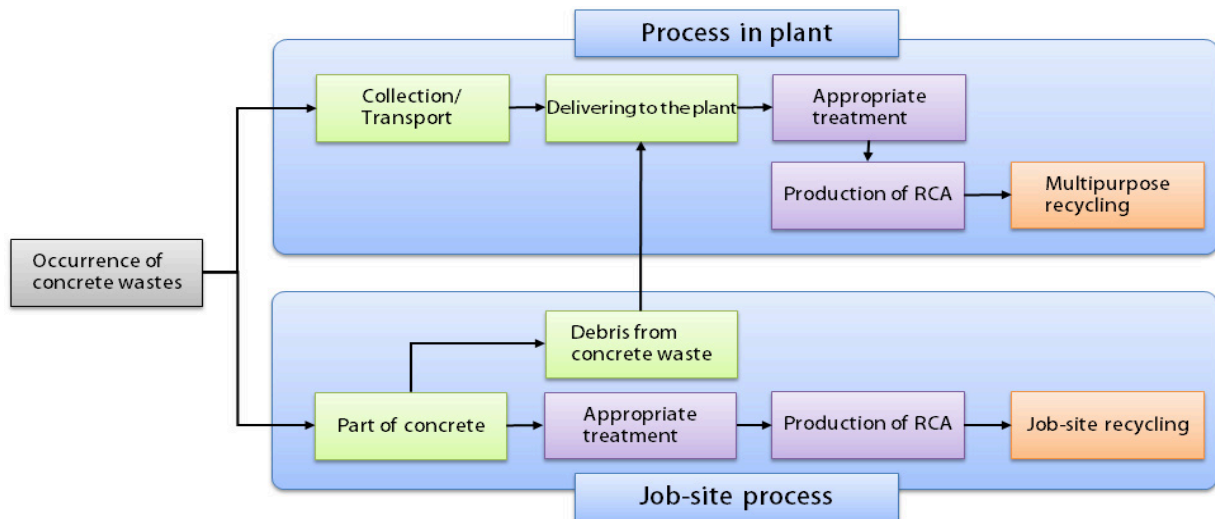


Fig. 1 Recycling Procedure for Concrete Waste

### 2.3. 현장순환골재 생산시설 현황

공항의 현장순환골재 생산과정은 Fig. 2에서 보듯이 수처리시설이 없는 것을 제외하면 중간처리업체의 순환골재 시스템과 큰 차이가 없기 때문에 친환경적인 적정 처리가 가능하다. 건설현장에서 발생한 폐콘크리트 덩이를 호퍼에 투입하면 조 크러셔를 통해 40mm 이하로 1차 파쇄하게 되며 1차 파쇄된 폐콘크리트 덩이는 컨베이어 벨트를 통해 골재표면의 모르타르를 제거할 수 있는 콘 크러셔로 2차 파쇄한 후 자력선별기를 통해 철재류가 선별된다. 이후 진동스크린을 통과하게 되고 이물질을 제거하기 위해 송풍기를 통과한 후 순환골재 야적장으로 배출된다. 진동스크린을 통과하지 못한 40mm 이상의 폐콘크리트 덩이는 다시 콘 크러셔로 3차 파쇄한 후 자력선별기, 진동스크린, 이물질 제거장치를 통과하게 된다. 이렇듯 일반적인 순환골재 생산공정은 중간처리업체에서 주로 사용하는 방식으로 1차 조 크러셔 공정과 2차에 걸친 콘 크러셔 공정 등 총 3차에 걸쳐 파쇄하여 순환골재를 생산한다. 3차 파쇄공정에 의해 생산된 현장순환골재는 품질시험결과 절대건조밀도는 22.61~23.99kN/m<sup>3</sup>, 흡수율 4.54~5.50%, 마모율 38.9~39.6%, 안정성 4.9~5.8%의 범위를 보여 현행 기준에 의해서는 콘크리트용으로는 부적합하나 빈배합 콘크리트기층용, 입도조정기층용, 보조기층용, 배수층용, 차단층용은 모두 품질기준을 만족하는 것을 알 수 있다.

## 3. 폐콘크리트 처리방법별 경제성 분석

### 3.1. 중간처리비용 분석

중간처리비용은 Eq. (1)과 같이 건설폐기물 처리단가와 수집운반비를 합한 값에 폐콘크리트 재활용량을 곱한 후 생산된 순환골재 양만큼의 토사(혼합골재)반입비용을 합하여 계산하였다(이정원, 2007). 건설폐기물 수집 운반비는 상차단가와 운반단가의 합으로 15톤 덤프 트럭 중간처리폐기물을 대상으로 편도거리 40km로 가정하여 17,658.49(원/m<sup>3</sup>)으로 산정하였다(한국건설자원협회, 2013). 상기금액은 매립지 반입료 및 부가가치세, 중간처리비를 포함하지 않은 금액이다. 폐콘크리트 부피당 처리단가는 폐콘크리트 건설폐기물 성상별 톤당 처리단가인 15,896.07(원/톤)에 환산비율 1.7톤/m<sup>3</sup>을 적용하여 부피로 환산한 금액인 27,023(원/m<sup>3</sup>)으로 계산하였다(한국건설자원협회, 2013; 김창학, 2003). 단, 부가가치세 및 운반비는 제외한 금액이다. 토사(혼합골재)반입비용은 대한건설협회 거래가격(2014. 4)에 기초한 도로공사용 순환골재(40mm 이하 혼합골재)를 기준으로 지역별 판매단가를 평균한 가격인 9,648(원/m<sup>3</sup>)으로 계산하였다. 단가는 상차도 기준이며, 운반비 및 부가가치세는 제외된 금액이다. 또한, 실제가격 적용 시에는 구매물량, 순환골재 품질수준, 지역별 천연골재 수급실태, 관련 품질인증 획득여부, 품질기준 적합여부 등에 따라 가격이 변동될 수 있다. 건설폐기물 처리단가 및 상차단가는 폐기물의 종류에 따른 고정비이므로 중간처리비용에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 운반단가이며 운반거리가 늘어남에 따라 중간처리비용

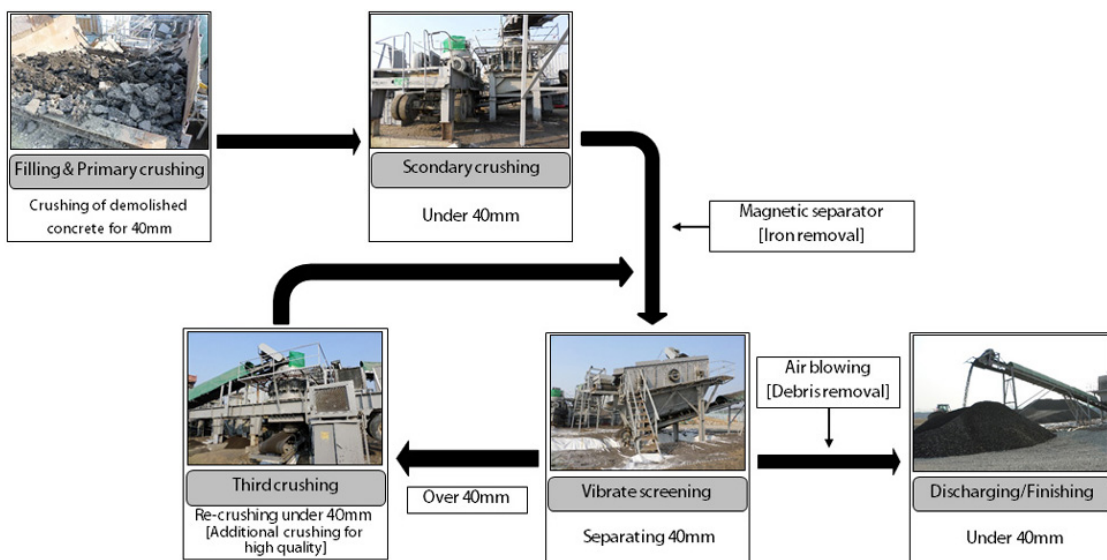


Fig. 2 Manufacturing Process for Job-Site Recycled Concrete Aggregates in the Airport

이 급격하게 증가하는 것으로 보고되고 있다(이정원, 2007).

### 중간처리비용

$$= (\text{건설폐기물 수집운반비} + \text{폐콘크리트부피당 처리단가}) \times \text{부피}(\text{m}^3) + \text{토사반입비용}(\text{혼합골재}) \quad (1)$$

## 3.2. 현장재활용 비용분석

공항포장에서는 현장순환골재를 성·복토용 차단층, 보조기층 등 다양한 용도로 사용하고 있어 배수층에 현장순환골재를 전량 사용하지 못하며, 현장순환골재를 사용하지 못하는 부분은 천연골재로 대체하고 있다. 일부 공항에 한해 활주로 각도변경 등을 이유로 인근 야산의 채굴권한이 주어지며 이곳에 현장파쇄시설을 설치하여 생산한 천연골재를 성토 및 복토, 차단층이나 보조기층용으로 일부 사용하고 있다. 골재별로 정확한 사용량을 알 수 없어 현장순환골재 사용량을 100%, 90%, 70%, 50%(각각 천연골재 사용량 0%, 10%, 30%, 50%)로 구분하여 사용률별로 현장순환골재 생산비용에 천연골재 생산비용을 합하여 현장재활용 비용을 Eq. (2)와 같이 산출하였다.

### 현장재활용 비용

$$= \text{현장순환골재 생산비용} + \text{천연골재 생산비용} \quad (2)$$

현장순환골재 생산비용 항목은 현장파쇄시설 설치 및 해체, 폐콘크리트 상차 및 운반, 파쇄시설 투입 전 소할파쇄, 폐콘리트 투입, 현장순환골재 생산 및 정리, 현장순환골재 상차 및 운반으로 이루어진다. 각 공정의 비용은 재료비, 노무비 및 경비로 산출되었으며 현장파쇄시설 설치 및 해체비는 고정비로 하고 그 밖의 비용은 변동비로 부피(m<sup>3</sup>)에 따라 변한다. 공정별 작업여건에 따라 변수가 달라지므로 버킷계수, 토량환산계수, 작업효율 등도 다르게 적용해야 한다(김창학, 2003). 본 연구에서는 ○공항의 자체 공사단가 견적당시 사용된 기초데이터를 이용하여 Eq. (3)과 같이 현장순환골재 생산비용을 책정하였다. 현장파쇄시설 설치/해체비는 쥬 크러셔 공정과 2차 콘 크러셔 공정을 합한 총 3차의 공정을 적용시킨 비용이며, 폐콘크리트 현장내 운반비는 현장내 공구별 운반거리를 1.8km로 하고 공차 및 적재속도를 17.5km/h로 하여 산출한 값이다. 현장재활용 구성비용은 다음 Table 2와 같다.

### 현장순환골재 생산비용

$$= (\text{현장파쇄시설 설치/해체비} + \text{부피당 처리비}(\text{변동비의 합}) \times \text{현장순환골재사용률}) \times \text{부피}(\text{m}^3) \quad (3)$$

Table 2. Cost Elements in Processing and Handling of Job-Site Recycling Aggregates

(unit price : won)

Processing items	Total	Material cost	Labor cost	Other expenses
Assembling/Disassembling crusher	162,500,000	122,600,000	25,900,000	14,000,000
Storage and hauling of concrete waste	8,237	4,650	2,795	792
Secondary breaking prior to fill into the crusher	13,820	3,523	5,562	4,735
Filling of concrete waster into crusher	1,227	409	445	373
Producing RCA	4,943	2,111	862	1,970
Screening and arranging	1,360	507	408	445
Storing and transporting	2,950	1,372	786	792

천연골재 생산비용은 Table 3에서와 같이 현장파쇄시설 설치 및 해체, 발파, 발파암 소할, 발파암 운반, 골재생산 및 운반으로 이루어진다. 현장파쇄시설이 콘크리트, 시멘트안정처리기층, 배수층, 차단층 등 여러 용도의 천연골재 생산에 다양하게 이용되므로 현장파쇄시

Table 3. Cost Elements in Manufacturing of Natural Aggregates

(unit price : won)

Processing items	Total	Material cost	Labor cost	Other expenses
Assembling/Disassembling crusher	162,500,000	122,600,000	25,900,000	14,000,000
Blasting	5,323	3,354	1,969	-
Secondary breaking of blasting stones	1,076	786	290	-
Hauling of blasting stones	5,626	2,519	1,486	1,621
Producing of crushed aggregates and transporting	11,508	4,061	3,371	4,076

설 설치 및 해체비용은 공항의 폐콘크리트 평균발생량을 천연골재 생산량으로 가정하여 산출하였다. 현장파쇄시설 설치 및 해체비는 고정비로 하고 그 밖의 비용은 변동비로 부피(m<sup>3</sup>)에 따라 변한다. 발파암 및 쇄석골재 운반비용은 비포장구간과 포장구간에 각각 타이어로더와 덤프트럭 작업구간을 구분하여 계산되었다. 또한 천연골재를 사용하는 만큼 현장에서 발생하는 폐콘크리트를 처리하여야 하므로 처리비용을 가산하였다.

### 천연골재 생산비용

$$= (\text{현장파쇄시설 설치/해체비} + (\text{부피당 처리비} + \text{폐콘크리트 운반/처리비})) \times (1 - \text{현장순환골재사용률}) \times \text{부피}(\text{m}^3) \quad (4)$$

### 3.3. 현장재활용 비용과 중간처리비용 비교

Table 4는 ○공항 주 활주로 재포장사업을 분석하여 각 공구별로 공사구간면적 및 폐콘크리트량을 산출한 것이다. 단계별 공사구간 면적을 계산하여 본 결과 36,779~144,679m<sup>2</sup>로 나타났으며 폐콘크리트량은 17,102~67,276m<sup>3</sup>로 나타났다. Table 5는 공사비용 산출에 사용된 평균공사면적, 평균폐콘크리트량, 현장내 이동거리를 나타낸다. 항공기를 우회시키기 위한 목적으로 공사구간이 나누어지지만 공사당 평균폐콘크리트 발생량을 산출하기 위해 공사구간별 평균면적을 사용하였고, 폐콘크리트의 현장내 공구별 운반거리는 ○공항에서 자체 공사단가 견적당시 사용한 거리인 1.8km를 사용하여 현장재활용 비용을 산정하였다.

중간처리비용 대비 현장재활용 비용을 비교한 결과, Table 6과 같이 폐콘크리트를 현장재활용하면, 50%의

경우 1.8억원 증가, 70%의 경우 0.8억원 절감, 90%의 경우 3.5억원, 100%인 경우 6.4억원이 절감되는 것으로 나타났고, 현장재활용 비용은 위탁처리비용에 비해 50%의 경우 108.2%, 70%의 경우 95.7%, 90%의 경우 79.1%, 100%인 경우 53.0% 수준으로 분석되었다. 위의 결과를 통해 공항 폐콘크리트는 현장순환골재를 일정비율 이상 사용하게 되면 위탁비용에 비해 현장재활용하는 경우가 경제성이 있다는 것을 알 수 있다. 현장순환골재를 100% 사용하는 경우에 한해 천연쇄석 생산에 사용되는 플랜트 설치 및 해체비용의 가격이 제외되므로 급격한 단가의 감소가 나타난다.

Table 4. Pavement Surface Area and Amount of Demolished Concrete in ○ Airport

Station No.	Area(m <sup>2</sup> )	Volume(m <sup>3</sup> )
Station 1	43,635	20,290
Station 2	42,901	19,949
Station 3	122,011	56,735
Station 4	84,975	39,513
Station 5	36,779	17,102
Station 6	144,679	67,276
Total	474,982	220,866
Average	79,164	36,811

Table 5. Estimation of the amount of Demolished Concrete Construction Area

Average construction area(m <sup>2</sup> )	Average volume of demolished concrete produced(m <sup>3</sup> )	Transport distance of demolished concrete in construction zone(km)
79,163	36,811	1.8

Table 6. Comparison of Manufacturing and Handling Process Cost of the Demolished Concrete for Two Different Treatment Methods

(unit price : won)

Demolished concrete amounts	Cost treated fully in plant					Cost processed on job-site						Saving cost	Saving rate
	Treated cost		Purchase cost for soil & sand		Total	Use rate of job-site RCA	Manufacturing cost of job-site RCA		Manufacturing cost of natural aggregate		Total		
	Unit price	Cost	Unit price	Cost			Unit price	Cost	Unit price	Cost			
36,811	44.7	1,644,773	9.6	355,153	1,999,927	50%	20.7	761,361	38.5	1,418,024	2,179,385	-179,458	-8.2 %
						70%	27.2	1,000,905	24.9	915,814	1,916,720	83,207	4.3 %
						90%	33.7	1,240,450	11.2	413,605	1,654,054	345,872	20.9 %
						100%	37.0	1,360,222	0	0	1,360,222	639,705	47.0 %



### 3.4. 폐콘크리트량에 따른 민감도 분석

#### 3.4.1. 현장 내 이동거리 및 폐콘크리트량을 일정하게 하는 경우의 민감도 분석

Fig. 3은 현장내 이동거리가 일정할 때 폐콘크리트량에 따른 현장순환골재 사용비율별 현장재활용 비용을 나타낸 그래프이다. 현장내 이동거리는 ○공항의 자체 공사단이 견적당시 사용한 거리인 1.8km를 사용하였다. 현장재생골재의 사용비율이 늘어남에 따라 현장재활용 비용이 감소함을 알 수 있으며 각 현장순환골재 사용비율별로 폐콘크리트량이 늘어날수록 현장재활용 비용이 감소함을 알 수 있다. 그래프 하단에 ○공항의 평균 폐콘크리트량을 표기해 두었으며 ○공항의 경우에는 현장순환골재 사용비율이 70% 이상일 때 위탁처리비용에 비해 현장재활용 단가가 낮음을 알 수 있다.

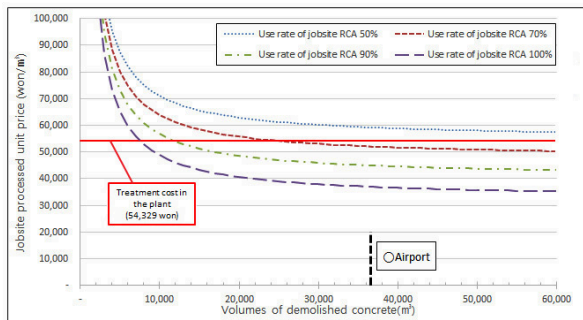


Fig. 3 Job-site Processed Cost in Terms of the Use Rate of Job-site RCA and Volumes of Demolished Concrete (Transport Distance 1.8km)

Fig. 4는 폐콘크리트량이 일정할 때 현장내 이동거리가 따른 현장순환골재 사용비율별 현장재활용 비용을 나타낸 그래프이다. 폐콘크리트량은 ○공항 공구별 평균 폐콘크리트량인 36,811m³을 사용하였다. 공항의 현장순환골재 사용비율이 70% 이상일 때 위탁처리비용보다 낮아짐을 알 수 있다.

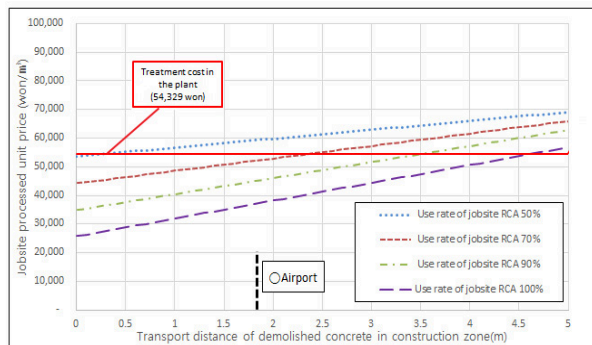


Fig. 4 Job-site Processed Cost in Terms of the Use Rate of Job-site RCA and Volumes and Transport Distance (Volumes of Demolished Concretes 36,811m³)

환골재사용률(50%, 70%, 90%, 100%)별 폐콘크리트 발생지에서 현장처리시설까지 운반거리가 각각 0.2km, 2.3km, 3.5km, 4.6km를 넘어서면 현장재활용 비용 단가가 중간처리비용을 초과하는 것을 알 수가 있다. 그래프 하단에 ○공항의 자체 공사단이 견적당시 사용한 현장내 이동거리인 1.8km를 표기해 두었다. ○공항의 경우 현장순환골재 사용비율이 70% 이상일 때 위탁처리비용에 비해 현장재활용 단가가 낮음을 알 수 있다.

Fig. 5는 현장내 이동거리와 폐콘크리트량이 일정할 때 현장순환골재 사용비율에 따른 현장재활용 비용을 나타낸 그래프 이다. 현장내 운반거리는 1.8km 폐콘크리트량은 36,811m³로 ○공항에 기준을 맞추어 운반거리와 폐콘크리트량을 산정하였다. 현장순환골재 사용비율이 증가함에 따라 현장재활용 비용 단가가 비례하여 낮아지는 모습을 나타낸다. 현장순환골재 사용비율이 0%인 경우와 100%인 경우는 3.3절에서 언급함과 같이 급격한 감소를 보이게 되는데, 이는 현장순환골재 생산에 사용되는 크러셔와 천연쇄석 생산에 사용되는 크러셔 중 한 대분의 가격이 감소하기 때문이다. ○공항의 경우 현장순환골재 사용비율이 61.4%를 초과하면 현장재활용 비용이 위탁처리비용보다 낮아짐을 알 수 있다.

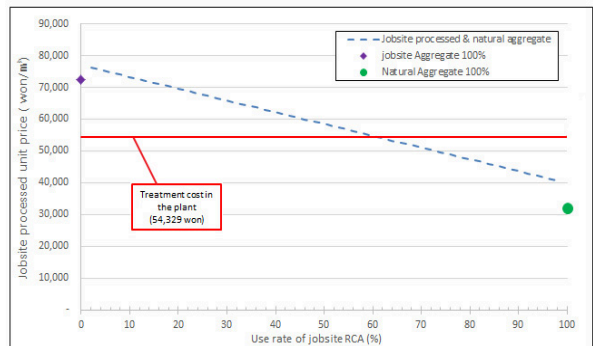


Fig. 5 Job-site Processed Cost in Terms of the Use Rate of Job-site RCA (Transport Distance 1.8km, Volumes of Demolished Concretes 36,811m³)

#### 3.4.2. 현장순환골재 사용비율을 일정하게 하는 경우의 민감도 분석

Fig. 6~9는 현장순환골재 사용비율이 각각 50%, 70%, 90%, 100%로 일정할 때 운반거리 별 폐콘크리트량에 따른 현장재활용 비용을 나타낸 그림이다.(공차 및 적재차량속도는 ○공사 자체공사비용 견적당시 사용한 17.5km/h를 적용) 폐콘크리트 재활용량이 늘어날수록 현장파쇄시설의 설치 및 해체비용이 낮아져 전체적으로 현장재활용 비용의 단가가 낮아지는 모습을 나타낸다.

Fig.6~Fig.9의 그래프 전체를 놓고 판단했을 경우 폐콘크리트량 16,000m<sup>3</sup> 이후에는 1,000m<sup>3</sup> 당 현장재활용 비용의 변동률이 1% 이내로 크지 않아 그래프가 수렴됨을 알 수가 있으며 이를 통해 폐콘크리트 재활용이 일정 수준을 넘어서면 현장재활용 비용이 수렴된다는 것을 알 수가 있다. 현장재활용 비용이 현장내 운반거리에 따라 크게 영향을 받으며, 운반거리가 감소할수록 현장재활용 비용을 크게 감소시키는 것을 알 수 있다. 또한, 운반차량의 속도가 증가할수록 현장재활용 비용이 크게 감소된다고 보고되고 있다.(정중석, 2007) 그래프 하단에 ○공항의 공구별 평균 폐콘크리트량인 36,811m<sup>3</sup>의 위치를 표기해 두었다. ○공항의 경우 현장순환골재 사용비율이 50%일 때는 현장내 이동거리가 1.0km이더라도 현장재활용 비용이 위탁처리비용에 비해 싸지 않으며, 현장순환골재 사용비율이 70%일 때는 현장내 이동거리가 2.0km 이하일 때 현장재활용 비용이 위탁처리비용에 비해 싸다. 현장순환골재 사용비율이 90%일 때는 현장 내 이동거리가 3.0km이더라도 현장재활용 비용이 위탁처리비용에 비해 싸다. 현장순환골재 사용비율이 100%일 때는 현장재활용 비용의 급격한 감소를 나타내며 이는 천연쇄석 사용비

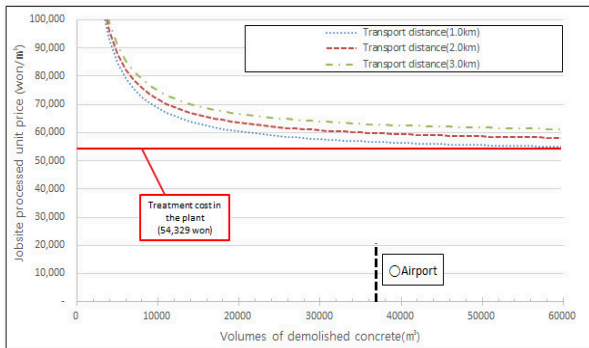


Fig. 6 Job-site Processed Cost in Terms of the Transport and Volumes of Demolished Concretes (Use Rate of Jobsite RCA : 50%)

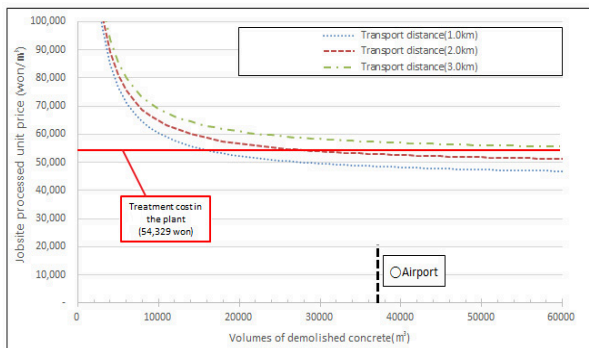


Fig. 7 Job-site Processed Cost in Terms of the Transport and Volumes of Demolished Concretes (Use Rate of Jobsite RCA : 70%)

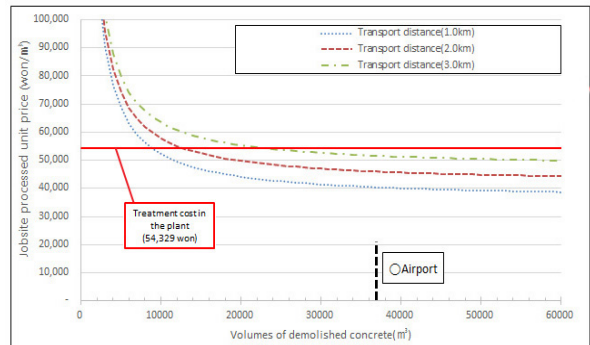


Fig. 8 Job-site Processed Cost in Terms of the Transport and Volumes of Demolished Concretes (Use Rate of Jobsite RCA : 90%)

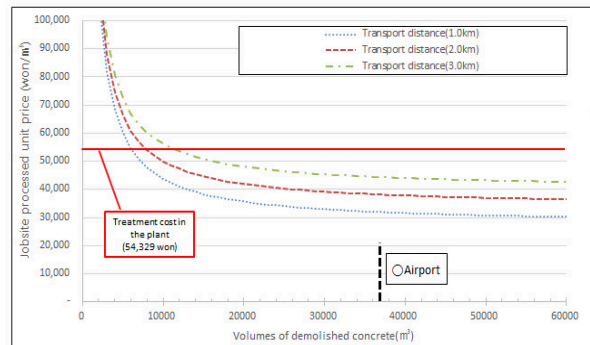


Fig. 9 Job-site Processed Cost in Terms of the Transport and Volumes of Demolished Concretes (Use Rate of Jobsite RCA : 100%)

율이 0%가 되므로 천연쇄석생산에 사용되는 크러셔의 설치 및 해체비용을 제외하였기 때문이다.

### 3.4.3. 폐콘크리트량의 손익분기점 계산

운반거리 및 폐콘리트량에 따른 현재재활용 비용이 중간처리비용에 비해 경제적으로 타당성을 가지기 위한 폐콘크리트량의 손익분기점은 아래의 Table 7과 같다. 현장순환골재 사용비율이 50%일 때 현장내 운반거리가

Table 7. Break-even Point of Job-site Processed Volumes in Terms of Transport Distance and Use Rate of Job-site RCA

Transport distance (km)	Break-even point of job-site processed volumes(m <sup>3</sup> )			
	Use rate of job-site RCA: 50%	Use rate of job-site RCA: 70%	Use rate of job-site RCA: 90%	Use rate of job-site RCA: 100%
0.1	33,699	11,549	6,968	5,022
1.0	80,235	16,002	8,887	6,071
2.0	-	27,995	12,804	7,908
3.0	-	111,745	22,893	11,336



2.0km 이상인 경우 폐콘크리트량의 손익분기점이 수렴하지 않는 것으로 나타났다. 중간처리비용은 지역 및 운반거리에 따라 차이가 나므로 본 연구결과를 이용할 때는 실제 중간처리단가 견적을 적용하여 현장재활용 비용의 손익분기점을 찾아야 할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 건설폐기물 중 폐콘크리트에 대한 관련 법규 및 처리방법과 비용을 조사·분석하였고, 공항포장 사례를 통해 평균 폐콘크리트량을 산출하고 처리방법별 순환골재 생산비용을 비교하여 폐콘크리트의 현장재활용에 대한 경제성을 분석하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 현장내 이동거리 및 폐콘크리트량을 고정변수로 하여 민감도 분석을 실시한 결과 현장재활용골재의 사용 비율이 늘어남에 따라 현장재활용 비용이 감소함을 알 수 있으며 각 현장순환골재 사용비율별로 폐콘크리트량이 늘어날수록 현장재활용 비용이 감소함을 알 수 있다. 공항의 현장순환골재 사용률별 폐콘크리트 발생지에서 현장처리시설까지 운반거리가 일정거리이내에 해당하는 경우 현장재활용 비용이 중간처리 비용에 비해 경제적인 것을 알 수 있다. ○공항의 경우 현장순환골재 사용비율이 61.4%를 초과하면 현장재활용 비용이 위탁처리비용보다 낮아짐을 알 수 있다.
2. 현장순환골재 사용비율을 고정변수로 하여 민감도 분석을 실시한 결과 폐콘크리트량이 일정수준을 넘어서면 현장재활용 비용이 수렴된다는 것을 알 수 있다. 현장재활용 비용이 현장내 운반거리에 따라 크게 영향을 받으며, 운반거리가 감소할수록 현장재활용 비용을 크게 감소시키는 것을 알 수 있다. 또한, 운반차량의 속도가 증가할수록 현장재활용 비용이 크게 감소된다고 보고되고 있다.
3. ○공항의 자체 공사단가 견적당시 사용한 자료를 바탕으로 폐콘크리트량의 손익분기점을 계산한 결과 현장순환골재 사용비율이 50%일 때 현장내 운반거리가 2.0km 이상인 경우 폐콘크리트량의 손익분기점이 수렴하지 않는 것으로 나타났다. 중간처리 비용은 지역 및 운반거리에 따라 차이가 나므로 본 연구결과를 이용할 때는 실제 중간처리단가 견적을 적용하여 현장재활용 비용의 손익분기점을 찾아야 할 것으로 판단된다.

본 연구결과는 공항포장의 폐콘크리트 처리에 있어

현장재활용 여부를 판단하는 기초자료로 활용될 수 있을 것이다. 다양한 여건을 갖는 모든 공항에 적용하는데 한계가 있을 수 있어 향후 다양한 규모와 여건에 따른 현장재활용 비용이 분석되어야 하며 이와 동시에 현장재활용의 활성화를 저해하는 장애요인 분석과 대안수립을 위한 연구들이 진행되어야 할 것이다. 또한, 흡수율 3% 이하의 콘크리트용 고급순환골재는 생산설비 및 제반조건으로 인해 현재 수준에서는 중간처리업체에서만 생산이 가능하여 추후 콘크리트용 및 표층용 고급현장순환골재에 관한 연구도 진행되어야 할 것이다.

#### 감사의 글

본 논문은 국토해양부와 국토교통과학기술진흥원의 국토해양기술 연구개발사업인 "저탄소 녹색공항 포장 시공 및 유지관리기법 개발"의 연구지원으로 중앙대학교 녹색공항포장 연구단 산하에서 수행되었기에 관계자분들께 감사드립니다.

#### References

- Go, EunJeong, 2006. An Economic Analysis of Recycling for Waste Concrete; A Case study at Hosing Development District, Korea Institute of Construction Management Conference, Page 198-203.
- Jeong, JongSeok, 2007, The Development of Economical Index for Site Recycling of Waste Concrete, Korea Institute of Construction Engineering and Management Volume 8, Issue 2, Page 149.
- Kim, ChangHak, 2003, Economic Analysis of the Field Reuse of Waste Concrete (1),(2). Proceedings of the Society of Civil Engineers, Page 2857.
- Korea construction waste financial cooperative, "construction waste collection & transport charge", <[http://www.conwas.com/etc/cwMM72\\_transcost.jsp](http://www.conwas.com/etc/cwMM72_transcost.jsp)>
- Korea construction waste financial cooperative, "treatment charge of construction waste with various morphology per 1 ton", <[http://www.conwas.com/etc/cwMM71\\_unitcost.jsp](http://www.conwas.com/etc/cwMM71_unitcost.jsp)>
- Lee, JungWon, 2007. An Economic Analysis of Disposing Waste Concrete, Korea Institute of Construction Management Conference, Page 408.
- Ministry of Environment, "4th national statistics survey on waste materials"
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Quality standard on Recycled concrete aggregate", Notice No. 2013-92
- Sim, JongWoo, 2004, A Study on the Properties of Recycled Coarse Aggregate with the Production Method, Proceedings of the Architectural Institute. No. 24, Volume 1, Page 195-198.
- Yang, Sung Chul, 2014. Cost Analysis of Recycled Aggregate Production on Job-Site Airport Pavement, Association Spring Conference, Korea Highway, Page 41-45.