

신재 표층용 가열 아스팔트 콘크리트와 재생 표층용 가열 아스팔트 콘크리트의 LCCO₂ 비교분석

황윤영, 김명화, 김익, *채창우
스마트에코 주식회사, *한국건설기술연구원

Comparative LCCO₂ Assessment of asphalt concrete surface course and recycled asphalt concrete surface course

Yoon-young Hwang, Myeong-hwa Kim, Ik Kim, *Chang-U Chae
Product Environmental Assessment Team, SMaRT ECO Ltd., Seoul 135-943, Korea
* Korea Institute of Construction Technology, Goyang 411-712, Korea

Abstract

Asphalt concrete is a composite material commonly used to surface roads, parking lots, and airports. Currently recycled asphalt concrete is used increasingly for global environmental protection in our society. So, this study is intended to measure and compare life cycle CO₂(LCCO₂) on both virgin asphalt concrete and recycled one in accordance with ISO 14044:2006. As a result, LCCO₂ emissions generated by recycle asphalt concrete is 67.7% higher than virgin asphalt concrete because a lot of energy consumption is needed in the drying process of recycled aggregate production.

1. 서론

아스팔트 콘크리트 (Asphalt Concrete)는 줄여서 아스팔트(Asphalt) 혹은 아스콘이라고 하며, 아스팔트 혼합물, 포장용 가열 아스팔트 혼합물(KS F 2349규격), HMA(Hot Mix Asphalt) 등으로도 불린다. 일반적으로 아스콘은 아스팔트와 굵은골재, 잔골재 또는 포장용 채움재를 가열하거나 상온에서 혼합한 것으로 도로포장이나 주차장 등에 쓰이는 건설자재이다.

그 중 재생 아스콘은 재생 아스팔트 혼합물(KS F 4005규격)로 불리며, 도로의 기층 및 표층(중간층)에 사용했던 아스콘을 파쇄한 아스팔트 콘크리트 혼합물용 순환골재를 25%이상 사용한 것이다.

아스콘을 포장층에 따라 구분하면 표층, 중간층, 기층, 보조기층, 동상방지층, 차단층 및 노상으로 분류할 수 있으며, 일반적으로 표층, 중간층 및 기층에 아스콘 포장이 타설된다. 표층(Surface Course 또는 Wearing Course)은 교통 하중에 접하는 최상부의 층으로 교통 하중을 하층에 분산시키거나, 빗물의 침투를 막고 타이어에 마찰력을 제공하는 역할을 한다.

도로의 확포장과 유지보수의 증가로 인해 폐아스팔트 콘크리트가 발생하는데, 이는 100%

재생이 가능한 고급 자원이며, 품질이 안정적인 재생 아스팔트 혼합물은 환경적으로 여러 가지 이점을 제공할 수 있다.

환경부 통계에 따르면, 국내에서 발생하는 폐아스팔트 콘크리트는 2010년 기준 1,187만 톤이 발생하였고, 이중 대부분이 재생된다. 재생 아스팔트 콘크리트 혼합물 생산에 대한 재생 아스팔트 콘크리트 협회의 통계 자료에 의하면 2010~2011년 260만 톤 정도가 생산된 것으로 집계되어 있다. 또한, 『건설폐기물 재활용촉진에 관한 법률』에 따르면 재생 아스콘의 의무 사용량을 2016년까지 40%로 확대할 계획으로 향후 재생 아스콘의 수요는 점차 증가할 것으로 전망된다.

현재 신재 표층용 가열 아스팔트 콘크리트와 재생 표층용 가열 아스팔트 콘크리트를 생산하는 공정은 투입되는 원료와 사용되는 용도에 따라 공정이 다르게 적용된다. 본 연구는 표층용 가열 아스팔트 콘크리트를 투입 원료에 따라 신재 표층용 가열 아스팔트 콘크리트와 재생 표층용 가열 아스팔트 콘크리트로 구분하고, 사용되는 용도에 따라 일반도로용과 산업도로용으로 구분하여 각각의 대상 생산공정에 대한 지구온난화 영향을 평가하고 비교함으로써, 대상별 환경성을 파악하고 나아가 재생 표층용 가열 아스팔트 콘크리트의 지구온난화 영향을 개선할 수 있는 방향을 도출하기 위해 수행되었다.

2. 전과정평가 수행

2.1 목적 정의

본 연구는 신재 아스콘과 재생 아스콘에 대한 LCCO₂에 대한 비교평가를 수행하는 것을 목적으로 하고 있다. 또한 연구결과는 향후 아스콘 사용으로 인한 온실가스 배출량을 줄일 수 있는 방안을 수립하는데 근거자료로 활용하고자 한다. 한편, 본 연구결과는 해당 아스콘에 대한 환경성 비교주장에 활용하는 것을 목적으로 하고 있지는 않다.

2.2 범위 정의

2.2.1 기능 및 기능단위 설정

2.2.1.1 제품 특성

아스콘은 도로면을 평활하게 만들기 쉽고 포장 시공이 용이하고 잘 파손되지 않는 편이며 타이어와 마찰계수가 이상적이어서 고속주행이 가능하다는 장점이 있다.

표층용 아스콘은 교통 하중을 기층으로 전달하는 역할을 할 뿐만 아니라 노면 상태에 따라 타이어와 마찰로 인한 소음 발생과 주행 용이성에 밀접한 관련이 있기 때문에 기층부에 비하여 입도가 밀실해야 하고 타설 지역의 요구사항을 만족시킬 수 있어야 한다.

신재 아스콘과 재생재 아스콘은 생산공정의 차이가 있을 뿐 같은 면적을 도포시에 동일한 양이 사용된다.

KS F 2349에 따르면 표층용 아스콘 종류는 골재의 크기에 따라 WC¹⁾-1부터 WC-6까지 모두 여섯 종류로 구분되는데, 이 중 재생 원료 사용 여부와 사용용도에 따라 WC-2, WC-4, WC-5를 전과정평가 도출 대상으로 선정하였다.

1) WC는 Wearing Course의 약자임 (KS F 2349)

Table 1 표층용 아스콘의 규격별 특성

규격	굵은골재	포장층	주요특성	비고
WC-1	13	표층	내구성	
WC-2	13F	중교통량 이하 내마모용 표층	내마모성 및 저항성 우수 (필러 첨가)	대상 선정 (표층용 대표규격)
WC-3	20	표층	내유동성 포장면이 다소 거침	
WC-4	20F	중교통량 이하 내마모용 표층	내마모성 우수 (필러 첨가)	대상 선정
WC-5	20R	대형차 교통량이 많은 표층	내유동성 표층용	대상 선정
WC-6	13R	대형차 교통량이 많은 표층	내유동성 표층용	

2.2.1.2 제품의 기능, 기능단위 및 기준흐름

연구대상 제품의 기능 및 기능단위, 기준흐름은 표2와 같이 설정하였다.

Table 2 표층용 아스콘의 기능, 기능단위 및 기준흐름

구분	표층용 가열 아스콘		표층용 재생 가열 아스콘	
	WC-2	WC-5	WC-2	WC-4
기능	도로나 주차장 건설 시 표층부 포장			
기능단위	아스팔트 콘크리트 1kg 생산			
기준흐름	아스팔트 콘크리트 1kg			

2.2.2 시스템 경계

표층용 아스콘은 건설재료로써 중간재에 속하므로 원료물질의 채취 및 가공에서부터 제조 공정까지를 고려하였다.



Figure 1 표층용 아스콘의 시스템 경계

2.2.3 가정 및 제한 사항

- 원료물질에 대한 상위흐름 자료에 대해서 최근 5년 이내에 개발된 데이터베이스가 없을 경우, 『LCI 데이터베이스 표준지침서』의 산업별 LCI 데이터베이스 구축 사례에서

적용된 바와 같이 시간적 경계를 확장시켜 상·하위흐름에 대한 데이터베이스를 적용하였다.

- 데이터베이스의 선택 시 ①동일한 공정의 국가 LCI 데이터베이스, ②동일한 공정의 해외 LCI 데이터베이스, ③유사한 공정의 국가 LCI 데이터베이스, ④유사한 공정의 해외 LCI 데이터베이스 순으로 우선순위를 적용하였다.
- 연료 연소에 의해 발생하는 대기배출물은 업체에서 관리되고 있는 실측치를 우선 적용하였으며, 관리되지 않아 실측치 수집이 어려운 대기배출물의 경우에는 『IPCC 가이드라인(2006)』과 국립환경과학원의 『국가 대기오염물질 배출량 산정방법편람(Ⅲ)』의 배출계수를 적용하여 배출량을 산정하였다.
- 대상공정까지의 원료물질 수송을 고려하기 위하여, 출발지와 도착지에 대한 정보를 수집하였으며, 정확한 출발 위치 파악이 어려운 경우 시·군 단위의 위치를 파악하여, 해당 시·군의 기준점으로부터의 거리를 활용하였다.

2.2.4 할당

표층용 아스콘 생산 시 부산물이 발생되지 않으므로 부산물 발생에 따른 할당을 수행하지 않았다.

2.3 전과정 목록분석

2.3.1 공정흐름도

신재 아스콘 WC-2,5의 공정은 동일하며 재생 아스콘 WC-2,4의 공정은 거의 유사하다. 재생 아스콘 투입물의 경우 재생 아스콘에 순환골재가 추가로 투입되며, 재생 아스콘 WC-4에는 잔골재가 투입되었다.

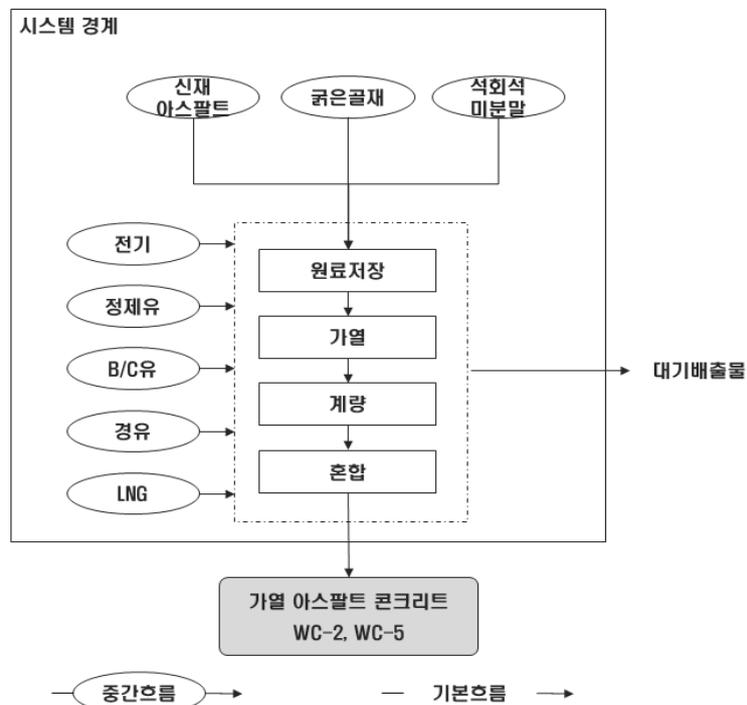


Figure 2 가열 아스콘 WC-2, WC-5의 공정흐름도

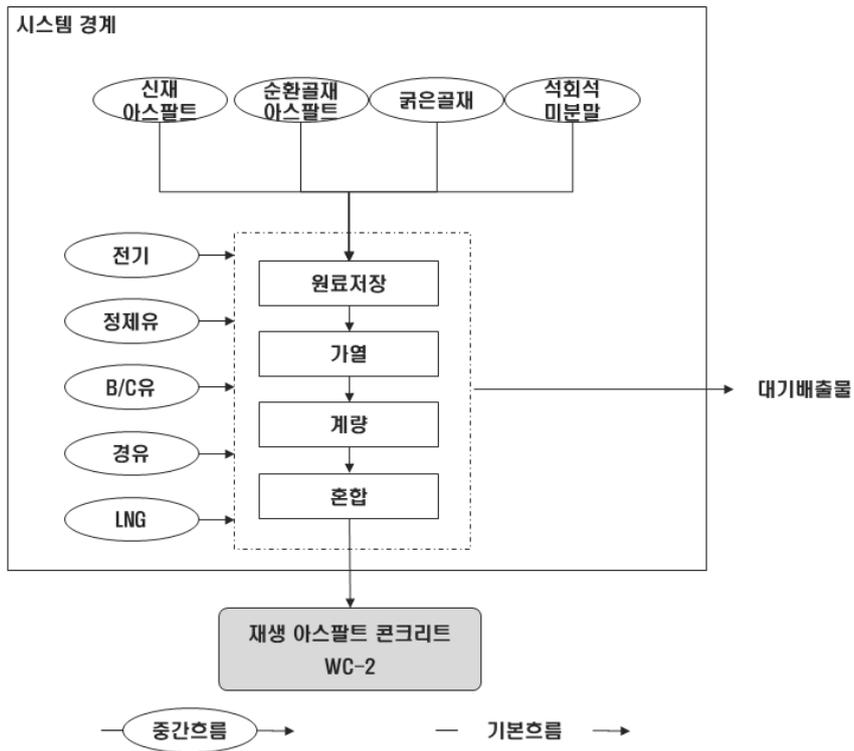


Figure 3 재생 아스콘 WC-2의 공정흐름도

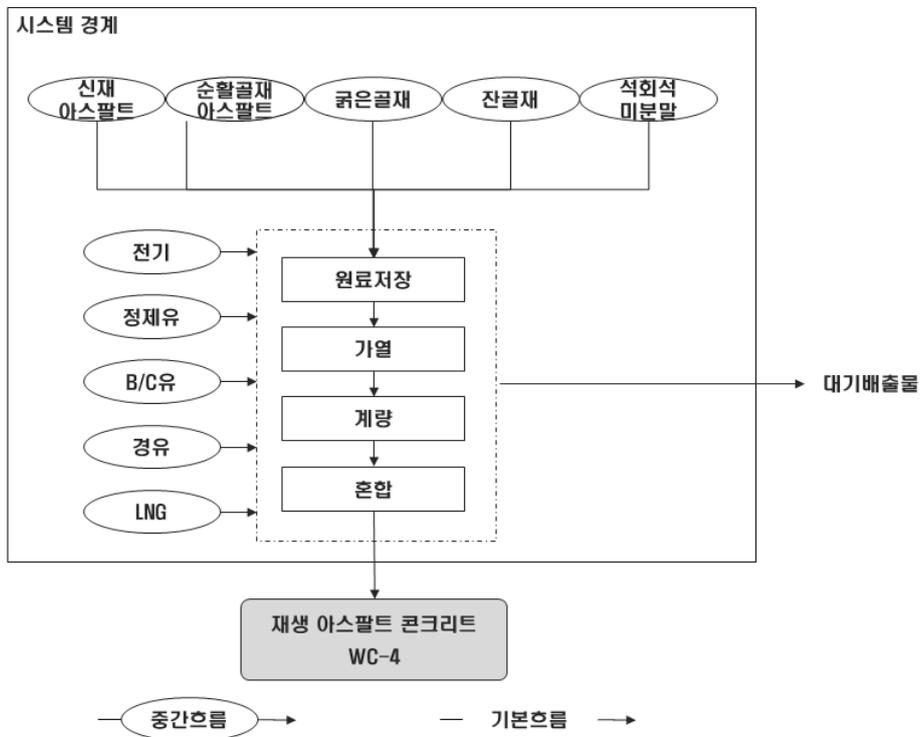


Figure 4 재생 아스콘 WC-4의 공정흐름도

신재 및 재생 가열 아스콘은 ①원료 저장, ②골재 가열, ③계량, ④혼합 공정을 거쳐 제조되며, 세부 공정에 대한 설명은 아래와 같다.

① 원료 저장

아스팔트 콘크리트의 주원료인 스트레이트 아스팔트, 부순골재 및 채움재를 저장한다. 이때 크기가 다른 골재들은 분리·저장하며, 골재가 혼합되거나 오염되지 않도록 적당한 저장장소를 만들어 관리한다. 스트레이트 아스팔트의 경우, 혼합 과정에서 균일하게 살포될 수 있도록 저장할 때부터 믹서에 들어갈 때까지 규정된 온도 이상이 유지가 되도록 한다.

② 골재 가열

스트레이트 아스팔트와 혼합하기 전에 골재를 가열하여 온도를 높이고 표면에 있는 수분을 건조시킴. 이 공정을 통하여 골재는 아스팔트 재료에 따라 규정된 온도범위 내에 들도록 적당히 건조되고 가열됨으로써 혼합이 용이하도록 준비된다.

③ 계량

생산 규격용 배합표에 따라 각 원료의 투입량이 정확하게 계량된다.

④ 혼합

계량된 원료들을 플랜트에 투입하고 아스팔트를 균등하게 살포하여 혼합시킨다. 플랜트의 종류에 따라 5~10초 간 마른 비빔 후 아스팔트를 살포하고 25~50초간 혼합하는 경우와 25~60초 간 연속해서 혼합하는 경우가 있다.

2.3.2 데이터 수집 및 계산

2.3.2.1 데이터 범주

본 연구에서 고려하는 데이터 범주는 국가 LCI 데이터베이스 작성 일반원칙에 따라 투입물(원료물질, 보조물질, 에너지)과 산출물(제품, 대기배출물, 수계배출물, 고형폐기물)로 구분하였으며 표3과 같다.

Table 3 표층용 아스콘의 데이터 범주

구분		표층용 가열 아스콘		표층용 가열 재생 아스콘	
		WC-2	WC-5	WC-2	WC-4
투입물	원료물질	-		아스콘용 순환골재 (AP 포함)	아스콘용 순환골재 (AP 포함), 잔골재
	에너지	골재, 석회석미분말, 아스팔트			
산출물	제품	표층용 가열 아스콘 WC-2	표층용 가열 아스콘 WC-5	표층용 재생 가열 아스콘 WC-2	표층용 재생 가열 아스콘 WC-4
	대기배출물	H ₂ O, CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, CO, NO _x , SO _x , TSP, PM10, VOC, NH ₃			
	고형폐기물	폐아스콘, 폐윤활유(액상)		-	

2.3.2.2 데이터 수집

데이터 수집은 국내 아스콘 제조업체의 현장데이터를 우선 적용하였으며, 설문지를 통하여 제조공정의 투입·산출물에 대한 현장데이터를 수집한다. 현장데이터는 신재 아스콘의 경우 2013년 1월 1일부터 12월 31일까지 수집된 데이터를, 재생 아스콘의 경우 2014년 1월 1일부터 12월 31일까지 수집된 데이터를 활용하였다. 수집이 어려운 데이터는 논리적인 계산 및 문헌 데이터를 활용하였다.

또한 중간흐름을 기본으로 전환시키기 위한 활용한 LCI 데이터베이스는 환경부와 산업통상자원부에서 개발한 국가 LCI 데이터베이스를 사용하는 것을 원칙으로 하였으며, 여의치 않는 경우에는 스위스 Eco-invent DB 중에서 데이터 품질요건을 고려하여 적절한 DB를 선정하였다.

2.3.2.3 데이터 검증 및 계산

수집된 데이터에 대하여 질량보존의 법칙에 의거하여 물질수지에 대한 데이터 검증을 수행하였으며, 대상 제조공정의 내부흐름에 대해서는 물질별로 경로를 파악하여 산출물 기준으로 보충량만을 고려하였다. 물질수지 검증이 끝난 데이터는 기능단위별 환산과정을 통해 Gate to gate(GtG) 데이터를 작성하였다. 마지막으로 LCA 소프트웨어(TOTAL)를 활용하여 GtG 데이터와 해당 물질별 LCI DB를 연결하여 전과정 목록표를 산출하였다.

2.4 전과정 영향평가

전과정 영향평가는 특성화 단계에 의한 지구온난화에 대한 잠재적 환경영향을 산출하였다. 이를 위한 지구온난화 지수(GWP)는 UNFCCC, 1996 IPCC 가이드라인 2차보고서의 온실가스별 지구온난화지수를 적용하였다.

3. 지구온난화 영향 비교

3.1 신재 아스콘(WC-2, 5) 비교

신재 아스콘인 WC-2와 WC-5의 전과정 온실가스 배출량은 각각 $3.98\text{kgCO}_2\text{e/kg}$ 과 $4.00\text{kgCO}_2\text{e/kg}$ 으로 WC-5가 WC-2에 비해 0.5% 많이 배출한 것으로 나타났다. 한편, 전체 온실가스 배출량에 대한 기여도 중에서 골재가 차지하는 비중은 98% 이상인 것으로 나타났고 나머지는 연료 사용에 기인하였다.

연료 사용의 측면에서는 WC-2가 WC-5보다 생산공정에서 많은 정제연료유를 사용하였다. 연료사용량은 제품 입자 굵기에 영향을 받는데, WC-2는 일반도로에 사용되며 WC-5보다 골재 입자가 작아 생산공정 중 건조공정에서 사용되는 연료량이 많다. 입자가 작을수록 함수율이 높고, 표면적이 크기 때문에 건조 에너지가 다량 투입된다. 하지만 정제연료유 사용량 차이에 따른 지구온난화 영향은 미미하여 전체 지구온난화영향에는 큰 영향을 미치지 않는다. 반면에 산업도로에 주로 사용되는 WC-5는 WC-2보다 골재의 사용량이 많아, 골재 투입량 차이로 인해 지구온난화영향이 더 높게 나타나는 것을 알 수 있었다.

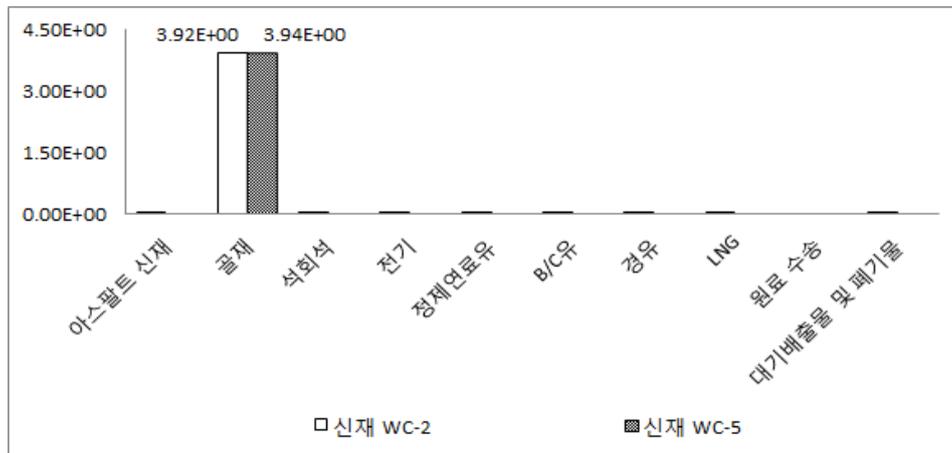


Figure 5 신재 아스콘간의 지구온난화영향 비교(kgCO₂/kg)

3.2 재생 아스콘(WC-2, 4) 비교

재생 아스콘인 WC-2와 WC-4의 전과정 온실가스 배출량은 각각 5.09E+00kgCO₂e/kg과 3.71E+00kgCO₂e/kg으로 WC-2가 WC-4에 비해 37.4% 많이 배출한 것으로 나타났다. 한편, 전체 온실가스 배출량에 대한 기여도 중에서 골재가 92~94%를 차지하고 대기배출물이 4~6%를 차지하는 것으로 분석되었다. 즉 전체 온실가스 배출량에 미치는 기여도는 골재 사용량에 기인하는 것으로 나타났으며, 재생 아스콘을 제조하는 과정에서 사용되는 골재 투입량의 차이가 37.4%라는 온실가스 배출량 차이의 원인인 것을 알 수 있었다.

실제로, WC-2는 WC-4에 비해 입자가 굵은 골재의 함유율이 높으며 잔골재를 사용하지 않으나, WC-4는 굵은골재의 함유율이 WC-2보다 적고 잔골재를 사용한다. 그런데, 굵은골재의 생산에 대한 탄소배출계수가 잔골재보다 높아서 WC-2의 온실가스 배출량이 높은 것으로 풀이된다.

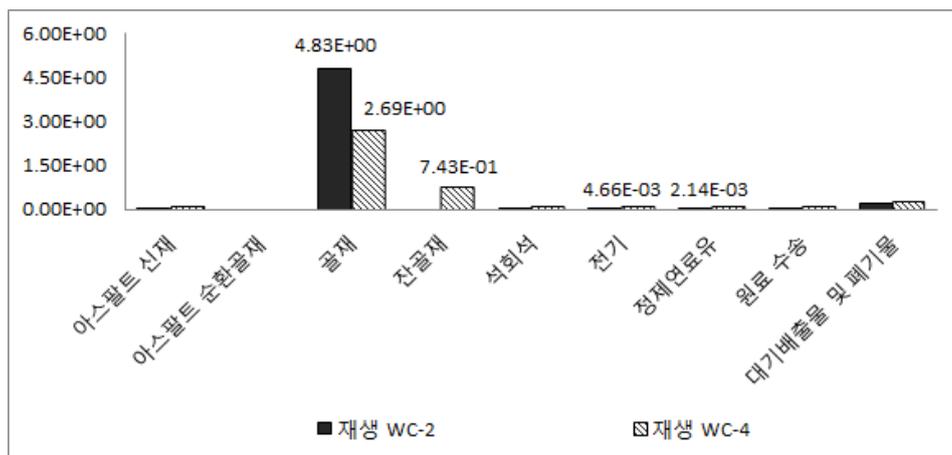


Figure 6 재생 아스콘간의 지구온난화영향 비교(kg CO₂/kg)

3.3 신재 아스콘(WC-2)과 재생 아스콘(WC-2) 비교

동일한 WC-2를 기준으로 신재 아스콘과 재생 아스콘의 LCCO₂ 배출량을 비교하였다. 그 결과, 온실가스 배출량의 측면에서 재생 아스콘이 신재 아스콘보다 28.1% 높게 나타났다.

다.

재생 아스콘은 원료로 사용 후 폐기되는 아스팔트 콘크리트 혼합물용 순환골재를 25% 이상 사용하는 제품이다. 재생 아스콘은 신재 아스콘에 비해 아스팔트 신재 투입량이 적는데, 이에 대한 탄소배출계수가 골재에 비해 낮아서 전체 온실가스 배출량에 미치는 영향이 상대적으로 크지 못한 것으로 보인다.

반면에 재생 아스콘은 원료로 투입되는 순환골재의 가열공정이 추가로 있기 때문에 이로 인해 신재 아스콘보다 생산 시 투입 전력량과 정제연료유 양이 많은데, 이로 인한 온실가스 배출량이 커진 것이 주요 원인 중의 하나로 보인다.

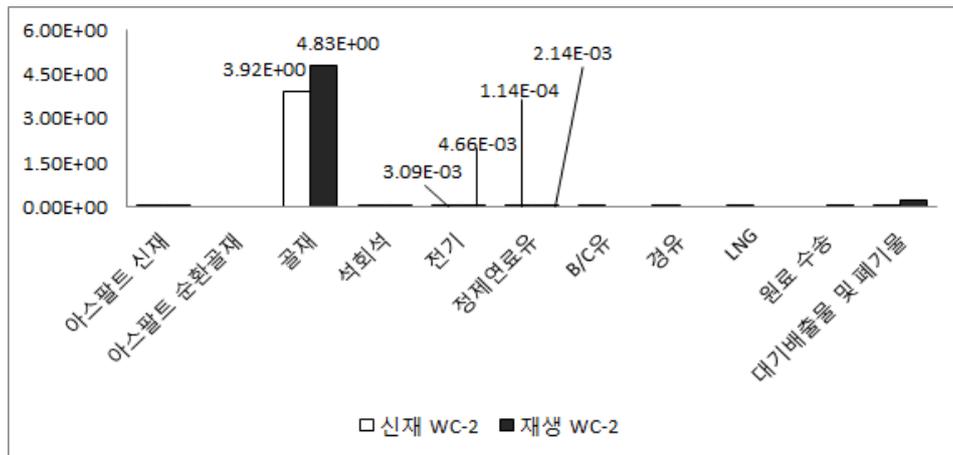


Figure 7 신재와 재생 아스콘간의 지구온난화영향 비교(kgCO₂/kg)

4. 결론

신재 표층용 가열 아스콘과 재생 표층용 가열 아스콘의 지구온난화 환경영향을 비교한 결과, 재생 표층용 가열 아스콘 WC-2 기준으로 같은 재생 아스콘 WC-4는 88.32%, 신재 WC-2는 33.47%, 신재 WC-5는 33.65%로 나타났다.

재생 아스콘은 신재 아스콘보다 적은 양의 아스팔트 신재가 투입되고 아스팔트 순환골재가 투입된다. 아스팔트 순환골재는 일련의 가열공정을 거쳐 아스콘의 원료로 투입되기 때문에 재생 아스콘 생산공정에서 신재 아스콘 생산공정보다 많은 에너지가 투입되어, 이로 인해 재생 아스콘이 더 많은 지구온난화영향을 배출한다.

또한 WC-2는 원료 골재의 입자의 크기가 최대 13mm로 WC-4와 WC-5보다 입자의 크기가 작고 함수율이 높아, 생산공정 중 건조공정에서 WC-4와 WC-5보다 더 많은 에너지가 필요하며, 화석연료 사용으로 인해 배출되는 대기배출물 또한 다량 발생한다. 이로 인해 WC-2는 WC-4와 WC-5보다 지구온난화영향이 크게 나타난다.

『건설폐기물 재활용촉진에 관한 법률』에 따라 재생 아스콘의 의무사용량을 2016년까지 40%, 2020년까지 50%로 확대할 계획이나, 지구온난화영향을 비교분석 한 결과, 재생 아스콘의 영향이 신재 아스콘의 영향보다 크게 나타난다. 그 중 대표적으로 사용되는 표층용 가열 아스콘 WC-2 제품의 지구온난화영향이 가장 큰 것으로 나타난다.

본 연구의 결과를 고려해보면 재생 아스콘 원료인 아스팔트 순환골재 가열공정과 입자가

작은 골재 원료의 건조공정을 개선하여 지구온난화영향을 저감시킬 수 있는 연구가 필요한 것으로 판단된다. 재생 아스콘 공정, 원료입자가 작은 아스콘 공정의 전기 사용 효율성 제고를 통해 재생 아스콘 생산공정 지구온난화영향의 개선을 기대할 수 있다.

5. 사사

본 연구는 한국건설교통기술평가원의 건설교통기술연구개발사업의 지원을 받아 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

6. 참고문헌

1. 허탁 외 2명, 환경 전과정평가(LCA)의 이론과 지침, 한국품질환경인증협회(KAB). 1998
2. ISO 14040: Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines, ISO; 2006.
3. ISO 14044: Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines; 2006.
4. 건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률 (법률 제9769호, 2009.6.9.)
5. 순환골재의무사용건설공사의 순환골재사용용도 및 의무사용량 등에 관한 고시 (2010.6.21.)