



지속가능한 고속도로 건설을 위한 첫 발걸음: 한국형 포장 및 교량 공종 전과정평가(LCA) 논리 및 분석 플랫폼 개발

- 전과정 평가(LCA)의 기본 이론 및 고속도로 적용 필요성(2부) -

문기훈 | 한국도로공사 도로교통연구원 수석연구원

1. 서론

현재 지구 온난화 및 각종 환경문제에 대한 시각차는 분명 국가별로 존재한다. 다만 이대로 가면 지구는 큰 문제에 직면할 것이라는 점에는 전국가적으로 공감할 수 있는 추세이며, 이와 관련된 구체적 활동(Action)이 선진국을 중심으로 진행되고 있는 것이 실정이다. 지난 1부(“순환 경제의 건설 분야에 미치는 영향력 및 관련 국제 동향”)에서는 지구의 지속가능성(Sustainability) 확보를 위한 선진국 중심의 새로운 경제, 환경적 정의(Justice: Eco-design, Construction Product Regulations, Green procurement etc.)의 재규정(Re-definition) 및 이와 관련된 구체적 움직임과 우리의 대응 자세를 언급 하였다. 여기서 간단히 언급 된 것이 전과정평가(LCA: Life Cycle Assessment)

기법의 개발, 도입의 필요성을 언급 하였다. 이번 장에서는 전과정평가(이하 LCA)의 기본 이론 및 해당 논리, 평가 기법의 고속도로분야 적용 필요성에 대해 간단히 언급하고자 한다.



2. 전과정 평가(LCA: Life Cycle Assessment)의 기본 개념

우선 LCA의 정의를 명확히 할 필요가 있다. LCA의 정의는, “한 제품의 전과정(생산, 서비스, 폐기)에 미치는 환경 영향을 정량적으로 평가하는 일련의 과정(LCA is a procedure for quantifying the total environment impact of a product or service across its entire lifetime)”을 의미 한다. LCA 기법의 주요 구성은 ISO 14040/14044 기준을 준용하여 사용하고 있으며, 이의 구성은 아래와 같다([표 1] 참조).

표 1 : LCA 기본 개념

번호	항 목	세부내용
1	목표 범위 및 정의	구체적 평가의 목적과 범위 기능 단위를 설정한다
2	인벤토리 분석(LCI)	투입 에너지자원 및 배출되는 오염물질 데이터를 수집한다
3	영향평가(LCA)	수집된 데이터를 바탕으로 환경 영향을 계산한다
4	결과해석 (Interpretation)	결과분석 후 대응방안 및 전략 (안)을 도출한다

※ LCI : Life Cycle Inventory

주요 선진국은 LCA 기법 적용을 통해 친환경 개선, 탄소 발자국관리 및 환경영향 정량화를 실현, 규정하고 있으며 그 적용분야를 자동차 산업, 건축물의 환경 부하 평가, 각종 제품의 탄소 발자국 인증 및 일회용/재사용 시스템 비교를 통한 환경 정책 수립에 적극 활용하고 있다. 추가로 무분별하게 낮은 값으로 수입되는 신흥국 공산 제품의 규제(관세, 환경장벽 설치 등)를 통한 자국 사업의 보호에도 그들만의 정의로 LCA 기법을 적용하고 있는 것이 현실이다. 여기서 우리가 짚고 넘어가야 하는 점이 “그렇다면 과연 LCA 기법에서 고려되는 각 인자의 범위는 어떻게 되

는 것인가?”에 대한 답을 명확히 하고 진행해야 한다는 점이며, 이를 LCA 기법에서는 Scope라 한다. 다음장에서는 이에 대해 보다 자세히 언급하도록 한다.

3. LCA 기법 고려 사항에 대한 이해 (From Scope 1 to 3)

LCA 기법에서는 다양한 환경인자가 단계별, 공정별로 계산이 되는데 이중 공통적으로 가장 많이 고려되는 항목이 온실가스(탄소:CO₂)이다. Scope는 바로 이 온실가스 배출량을 산정하는 영역, 즉 범위를 의미하는 LCA기법에서 기업의 탄소 발자국을 측정하는 국제적 분류체계이다. Scope는 온실가스 프로토콜(GHG: Green House Gas)에 따라 크게 세 가지로 아래와 같이 구분이 된다 ([표2] 참조).

표 2 : LCA 기법내 Scope 1~3의 정의 (일반적 개념)

구분	항 목	세부내용
Scope 1	직접배출	기업이 소유하고 통제하는 배출원에서 직접 발생하는 온실가스 예) 화석연료 난방용 가스, 공장 굴뚝 배출, 회사차 주유 등
Scope 2	간접배출	기업이 외부로부터 구매하여 소비한 에너지를 생산하는 과정에서 발생하는 온실가스 배출량 예) 한전에서 사오는 전기, 외부 공급 받는 스팀/온수 등
Scope 3	가치사슬 배출	기업의 직접적인 통제를 벗어나는 가치사슬(Value Chain) 전체에서 발생하는 모든 간접배출을 의미. 계산이 다소 복잡하지만, 제품의 실질적 환경영향을 파악하는 LCA의 핵심영역 예) 협력사의 부품생산, 소비자 제품사용 및 배송 서비스 등

위의 표2를 보면, LCA, Scope에 대해서 어느 정도 이해는 하지만, 우리 도로인들은 하나의 추가 궁금증을 가질 것이라 생각한다.

“그런데, 이를 도로분야에서는 어떻게 규정을 한단 말인가?” 이에 대한 답은 [표 3], [그림 1]에 언급이 되어있다.

참고로 아스팔트 및 콘크리트 포장 종류별 Scope의 정의 및 산정 기준은 상이하다는 점이 흥미롭다. 아스팔트 포장은 Scope 1에 콘크리트 포장은 Scope 3에 LCA 분석의 Key를 쥐고 있다는 점이 같은 포장 카테고리안에 들지만, 재료 및 특성이 다르기에 환경학적 영향 단계는 다를 수 있다. 예를 들면 아스팔트 포장의 주요 탄소 배출량 단계는 아스팔트 혼합물 생산 단계의 연료 연소(Scope 1)이라면, 콘크리트 포장은 원자재 시멘트 생산(Scope 3)이 주요 탄소 배출량 산정의 단계라는 점이다.

이를 통해서 우리 도로인들이 알 수 있는 점은, 포장 종류별 주요 환경인자 영향 단계를 정확히 인지하고 이와 관련된 맞춤형 연구, 전략 및 관련 정책을 수립할 필요가 있다는 점을 언급하고 싶다.

표 3: LCA 기법내 Scope 1~3의 정의 (도로·포장분야)

구분	아스팔트 포장	콘크리트 포장
Scope 1 (직접배출)	플랜트 가열 : 아스팔트 혼합물 생산시 골재, 바인더를 가열하기위한 연료 소모(LNG, 가솔린 등) 현장 장비 : 아스팔트 피니셔, 롤러(마카담, 탄댐, 타이어)등의 디젤 연소량	현장 정비 : 콘크리트 펌퍼, 진동기 등 대형 장비 가동에 소요되는 연료 양생 관리 : 동절기 효과적 양생을 위한 보일러 가동 등 (필요시 발생)
Scope 2 (간접배출)	아스팔트 플랜트 설비(믹서, 컨베이어) 구동을 위한 전력	배치 플랜트 운영 소요 전력
Scope 3 (가치사슬)	원재료 : 원유 정제과정에서 발생하는 아스팔트 바인더 생산 탄소량 물 : 온도 유지가 생명인 아스팔트 혼합물을 현장으로 운반하는 덤프 트럭 탄소 배출량 폐기 : 기존 아스팔트 포장의 폐기 및 이와 관련 된 일련의 처리과정	원자재 : 시멘트 생산시 발생하는 탄소발생량 (석회석 열분해 과정 등) 물 : 레미콘 차량 대기, 운반의 과정에서 발생하는 배출 유지보수 : 아스팔트 대비 내구성은 양호하나, 보수시 발생하는 절단 및 파쇄에 따른 탄소 배출량

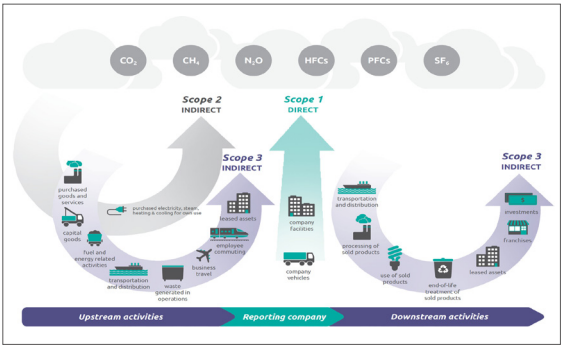


그림 1: Overview of Scope 1,2,3 (조정식 외 3인, 2025)

이를 통해 알 수 있는 부분은 LCA 기법의 적용은 미시적으로는 우수 도로·포장공법의 설계, 선정을 하기 위해서 거시적으로는 다른 기반시설(철도, 항만, 항공 등)과의 비교 우위에 대한 정량적 환경영향적 평가 기준을 효과적으로 제시하여 고속도로의 안정적 지속가능성(Sustainability) 확보를 위해 반드시 필요하다고 할 수 있다.

4. 전과정 평가의 도로·포장분야 계산기법 (선진국 사례 중심)

그렇다면, 이 LCA 기법이 도로·포장분야에서 어떻게 산정, 계산, 적용되는지 보다 자세히 알아볼 필요가 있다. 우선 LCA 산정 단계별 구분이 수반되어야 한다. 이는 유럽 및 미국에 이미 기준(EN 15804:2022-03)이 정립되어 있다 (그림 2 참조).

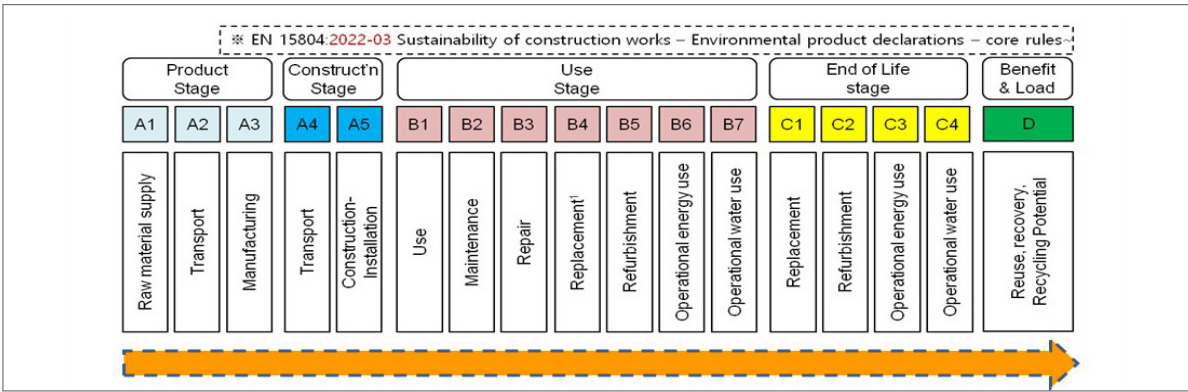


그림 2: LCA evaluation of road pavement in life cycle

위의 그림과 같이 도로포장 분야에서는 5개 단계 및 17세부 공종으로 구분이 된다. 즉 지금까지 우리 도로인들이 A1~A5 단계내에서만 재료, 공법 및 기타 기술개발에 주력을 하였다면, 이제 보다 세계적 트렌드에 대응을 하기 위해서는 B1~D 단계까지도 고려를 해야 한다는 점이다. 이러한 트렌드에 맞추어 한국도로공사 도로교통연구원(이하 도교원)에서는 아스팔트, 콘크리트 포장분야의 LCA산정에 있어서 A1~D단계까지 통합, 세분화 하여 계산 및 분석을 할 수 있는 플랫폼을 개발하였다(보다 자세한 내용은 다음 회차에 소개를 하도록 한다).

그림 2에 대한 자세한 항목별 설명은 표 4를 참조하도록 한다.

표 4: Inventory of expressway pavements for LCA

Product Stage (Modules A1 - A3)	Materials	• Products manufacturing • Materials for Earth Works : Piles, Embankment, Drainage etc. • Materials for Bridge : Concrete, Steel, Beam etc. • Materials for Pavement Layers : Aggregates, Asphalt, Concrete, Admixtures etc. • Road Facilities : Barrier, Guardrail, Lights, Signs etc. • Logistics of materials
Construction Process Stage (Modules A4 - A5)	Construction	• Construction Process : Earth Work, Subgrade, Base, Surface layer paving, grading & compacting, finishing, curing etc. • Equipment, employee Activities • Logistics : transportation in job-site, waste during construction
Use Stage (Modules B1 - B7)	Use	• Use of Expressways : User Vehicle Emissions, Particles • Routine Maintenance : Maintenance, Cleaning • Repair : Repair of pavements, Repair of facilities etc. • Replacement : Facilities Replacement • Refurbishment : Mill & Overlay, Geotechnical Reinforcing • Operational Energy Use : Light, Ventilation, District Office, Patrol • Operational Water Use : Cleaning, District Office
End-Of-Life Stage (Modules C1 - C4)	Demolition /Abolition	• Demolition • Logistics to Waste Plant • Reuse, Recycling Potential • Landfilling

그렇다면, 고속도로 포장에 최적화된 LCA 산정 기법은 어떻게 정의를 하면 효과적이라 할 수 있을까? 도교원은 미국 및 유럽의 LCA기법의 도로·포장분야 적용 사례를 참조하여 아래 그림 3, 4와 같은 논리를 고속도로 포장 LCA 산정 기법으로 정의하였다.

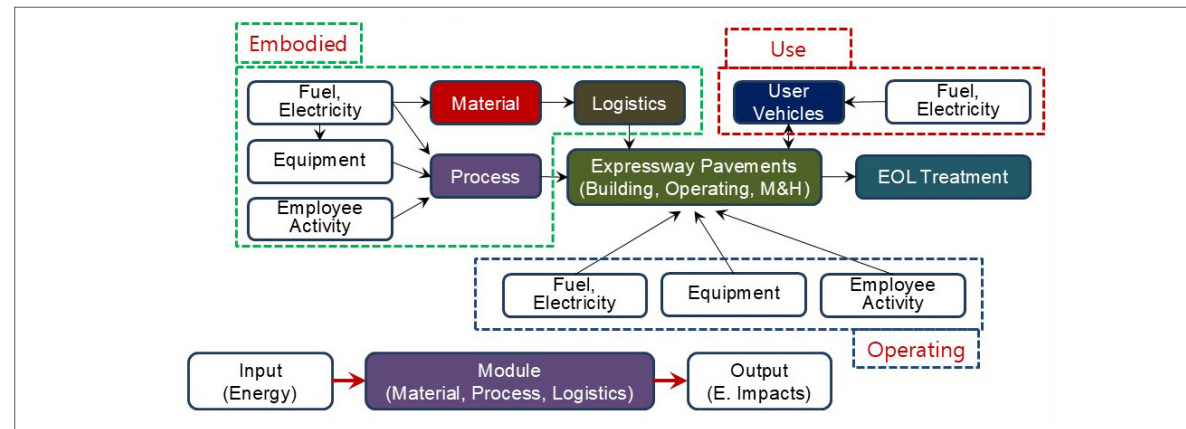


그림 3: LCA calculation process

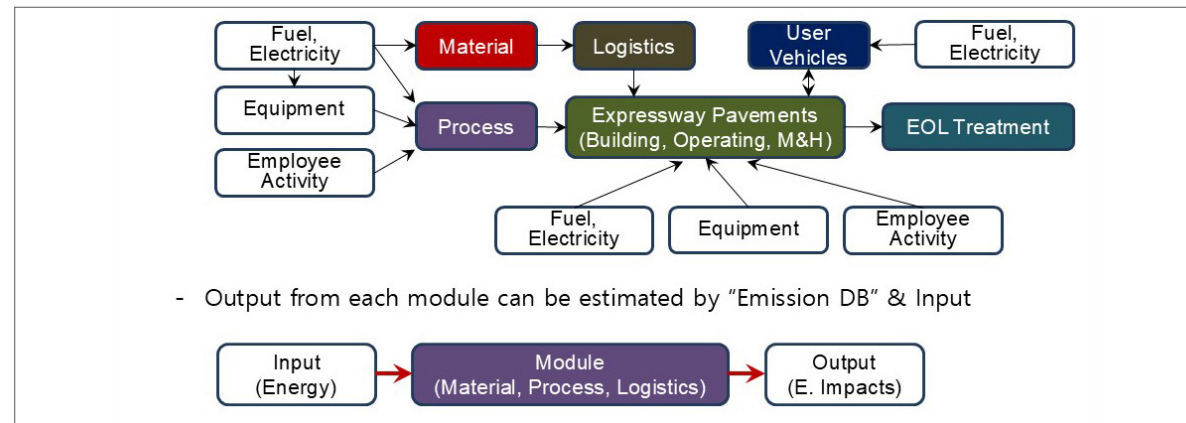


그림 4: LCA estimator (input & output)



도로원에서 규정한 도로 포장분야 LCA 산정 기법은 아래와 같다.

- 재료, 운송 및 시공의 과정은 내재 항목(Embodied)으로 규정하였다.
- 연료소모, 장비 및 인력 소요부분은 작동항목(Operation)으로 규정하였으며,
- 시공 후 유지관리 및 사용자 차량 이용 부분은 사용(Use)단계로 규정하여,
- LCA 기법의 전과정(A1~D)까지의 단계를 효과적으로 계산, 분석 할 수 있도록 기본 산정 논리를 정하였다.

보다 자세한 내용은 다음에(3부)에 자세히 언급 예정이다.

5. 맺음말(2부를 마치며)

과거 우리 도로인은 새로운 재료, 공법, 그리고 각종 분석 기법, 신기술 등을 많이 고민해 온 것은 사실이지만, 이는 사실 도로, 포장이라는 작은 연못 안에서 미시적 관점에서의 활동이었다고 할 수 있다. 과거의 건설 시장이 저가(低價), 효율성에 기반을 둔 입찰, 설계, 시공 방식이었다면 이제 건설 시장 또한 선진국 중심의 새로운 정의(Justice)를 바탕으로 “이제는 저가(低價), 효율성이라는 카드와 함께 환경적 측면에서의 경쟁력이 있어야 받아 들여지는” 새로운 시장 질서를 만들고 있다는 점을 주목해야 한다. 따라서 이제 비단 제조업 분야가 아닌 건설업같은 기반 시설 분야에서도 한국형 LCA 기법의 개발, 적용은 필수적이라 판단하며 이를 통해 우리는 새로운 도로, 포장분야의 르네상스를 실현 할 것이다. 이상으로 2부를 마치며, 3부에서는 한국도로공사의 지속가능 고속도로 건설을 위한 본격적 노력에 대한 설명을 이어가고자 한다.

참고문헌

- 조정식, 김수빈, 이성규, 전의찬, “온실가스 감축인지 예산제도내 녹색조달 확대를 위한 LCA 활용방안”, 전과정학회지, 2025.
- European Commission, COM(2020) 98, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, A New Circular Economy Action Plan for a Cleaner and more Competitive Europe, 2020.
- European Commission, COM(2022) 144, Laying down harmonized conditions for the marketing of construction products, amending Regulation 2019/1020, 2022
- European Union, Regulations 2024/1781, Establishing a Framework for the Setting of Ecodesign Requirements for Sustainable Products, Amending Directive 2020/1828, 2024.
- USA Federal Government, Federal Sustainability Plan and Executive Order 14057, 2021.
- California USA, Buy Clean California Act (BCCA) (Public Contract Code Sections 3500-3505), 2018.
- Construction Product Europe, <https://www.construction-products.eu/publications/green-deal>, EU Green Deal, 2019.

