

철도건설단계에서 친환경 공정개선을 위한 확공지압형 앵커시스템의 LCA평가기법



| 민 경 남 |
(주)세종이엔씨
대표이사



| 배 우 석 |
(주)나노지오이엔씨
기술연구소장



| 안 광 국 |
충북대학교
교수

1. 서론

화석에너지 고갈과 온실가스 배출 증가 등의 영향으로 인한 국제적 기후변화 정책 및 온실가스에 대한 각종 규제에 선제적으로 대응하기 위한 노력이 벌어지고 있다. 그리고 환경위기에 대해 에너지 절감을 위한 친환경 공정개선이 최근의 고유가와 맞물려 범정부차원에서 이루어지고 있다.

건설업에서도 최근 정부의 이러한 저탄소 녹색성장 정책에 동참하기 위한 대책마련에 분주하다. 특히 철도건설 분야는 친환경 공정개선과 에너지 절약을 위한 관련연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다.

철도산업 자체에서 배출되는 온실가스는 상당부분 건설단계에서 배출되기 때문에 저탄소 철도시설물 건설을 위한 노력이 필요하다(이철규 외). 현재 철도건설사업의 환경성평가는 교통체계 효율화법에 따라 환경정책기본법에 의한 사전환경성검토와 환경영향평가법에 의한 환경영향평가로 구분되는데, 최근 환경부는 환경영향평가법 시행령 개정을 통하여 환경영향평가 항목에 온실가스 배출량을 산출하도록 수정하였다. 이에따라 2011년 1월 환경부는 온실가스 항목 환경평가 가이드라인을 개정 및 시행하였다. 이 가이드라인 제정을 계기로 2012년부터 철도시설물 건설시 사전환경성 검토

를 통하여 온실가스 항목의 환경평가를 수행하도록 하고 있으며, 이에따라 앞으로 철도시설물의 온실가스 배출량 산정 및 저감을 위한 설계 및 기술개발이 요구될 것으로 예상된다.

토목공사의 시공 초기에 투입되는 보링그라우팅 사업은 공사의 특성상 천공작업에 막대한 기름이 투입된다. 공압식천공기의 기본사양인 900CFM 콤프레샤는 시간당 60리터의 경유가 필요하고 일 평균 120만원의 경유가 소모된다. 기름먹는 하마인 천공기의 유류소모를 줄이기 위한 노력이 전세계적으로 일어나고 있는데 장비의 사양을 바꾸거나, 대기시간을 줄여서는 크게 도움이 되지 않는다. 이러한 이유로 20% 이상의 연료를 절약하기 위해 천공깊이를 줄이는 공법들이 최근에 두각을 나타내고 있으며, 특히 확공비트를 이용하여 정착부의 공경을 확대함으로써 천공깊이를 줄이는 방식 등이 안정성과 경제성이 확보되는 방법으로 관심을 끌고 있는 상황이다.

본 연구에서는 친환경 공정개선의 한 방법으로 전과정평가를 통하여 새로운 지압형앵커의 온실가스 배출량을 분석하고 친환경설계를 철도시설물에 적용하는 방안을 제안하였다. 또한 제안된 저탄소 철도시설물 건설방안에 대한 개선효과를 정량적으로 도출하였다.

2. 본론

2.1 개요

전과정평가는 “원료 채취, 가공, 제품제조, 사용 및 폐기 등의 과정에서 사용되는 에너지와 물질, 배출되는 폐기물을 규명하고 정량화함으로써 제품 및 공정과 관련된 환경 부하를 평가하는 기법”이다.

전과정평가 방법론과 관련하여 국제표준화기구에서는 방법론의 표준화를 위해 환경기술위원회(TC 207)를 발족 시키고, 그 산하기구인 제5분과 위원회에서 전과정에 대한 표준으로 ISO 14040(Environmental management Life cycle assessment Principles and framework)과 14044 (Environmental management Life cycle assessment Requirements and guidelines)를 제정하였다.

전과정 평가는 목적 및 범위정의, 전과정 목록 분석, 전과정 영향평가, 전과정 해석으로 구성되어 있다.

전과정평가는 수행하는 목적에 따라 연구의 방향과 깊이가 결정되므로, 목적 및 범위정의 단계에서는 우선 연구 수행 목적을 명확히 정의하고 목적에 맞추어 대상제품이나 공정의 범위를 설정해야 한다.

목록분석 단계는 원료의 추출에서부터 제조 및 가공, 수송 및 유통, 사용, 최종 폐기에 이르는 한가지 제품이나 공정의 전과정 동안의 에너지 및 원료 소요량과 환경 배출물

을 정량화 하여 목록을 작성하는 과정이다.

영향평가 단계에서는 목록분석에서 규명된 자원 소요량과 환경 배출물에 대한 정보를 토대로 하여 각 영향 범주별로 미치는 잠재적인 환경영향을 파악하고 평가한다. 마지막으로, 해석 단계에서는 제품이나 공정에 대한 목록분석 또는 영향평가의 결과들을 연구에서 정의된 목적 및 범위에 맞게 해석하고 환경 배출물 또는 환경영향을 감소시킬 수 있는 방안을 체계적으로 규명하고 평가하는 과정이다.

전과정 목록분석을 수행한 후에 대상제품에 대한 환경 측면을 파악하기 위해서는 전과정 영향평가는 필수적이다. 전과정 영향평가는 전과정 목록분석의 결과를 영향범주별로 분류하는 분류화 단계와 영향범주별로 분류된 목록 파라미터들이 영향범주에 미치는 영향을 정량화하는 특성화 단계, 영향범주 별 환경영향을 지역적인 인자 또는 시간적인 인자, 인구수에 의한 인자 등에 의해 기여한 환경영향으로 나누는 정규화 단계, 마지막으로 영향범주 별 상대적인 가중치를 결정하는 가중치부여 단계로 진행된다.

분류화와 특성화 단계는 필수적인 단계이지만 정규화와 가중치부여 단계는 선택사항으로 분류하고 있다. 영향평가단계는 일반적으로 <그림 1>과 같이 목록분석단계에서 작성된 투입/배출물을 각각의 물질들이 영향을 미치는 영향범주로 분류된 다음, 선택한 영향평가 모델링에 의하여 범주지표 또는 범주 종말점들이 받는 영향으로 각각의 물

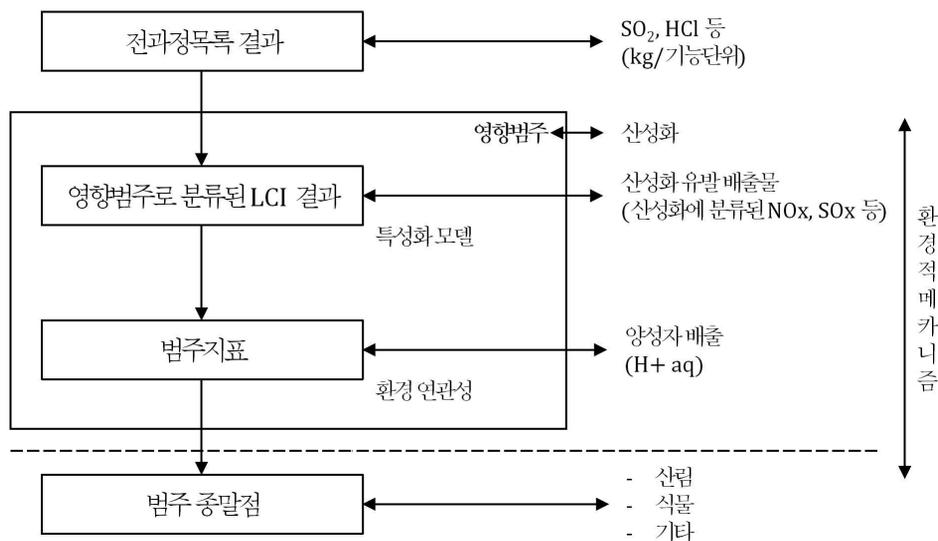


그림 1. 전과정 영향평가 절차

질들이 환경에 미치는 잠재적인 영향 값을 나타내는 일련의 과정이다.

2.2 전과정 평가 수행

2.2.1 연구목적

본 연구는 기존(VSL type) 앵커 시스템 및 확공지압형 앵커 시스템에 대한 전과정평가 수행을 통해 환경측면에서의 주요이슈 규명 및 환경성의 비교 분석을 목적으로 하였다.

앵커 시스템은 토목이나 건축분야에서 구조물을 지반에 정착시키기 위하여 강재를 지반에 정착시키고 높은 긴장력을 도입하여 구조물에 구속력을 가하기 위해 사용된다. <표 1>과 <그림 2>에서 대상 시스템에 대하여 간략히 정리하였다.

대상 기술에 대한 시스템 경계는 <그림 2>와 같이 원료 물질 채취 및 가공단계, 제조단계, 시공단계까지를 고려하는 전과정으로 설정하였다.

2.2.2 사용 소프트웨어

일반적으로 전과정평가 수행을 위해서는 데이터 수집 이후 LCA 소프트웨어를 사용하여 전과정 영향평가를 수행하게 된다. 현재 다양한 LCA 소프트웨어가 활용되고 있는데 가장 대표적인 소프트웨어는 다음의 4가지로 요약할 수 있다.

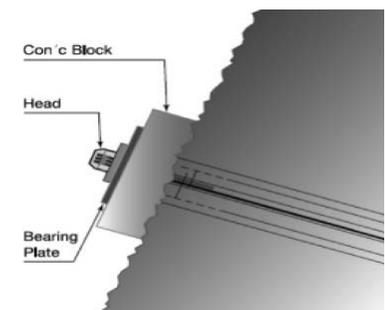
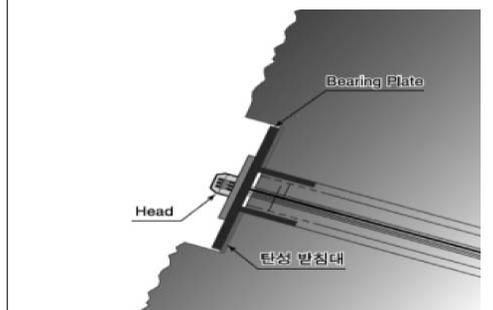
가. TOTAL (Tool for Type3 Labelling and LCA)

- 환경부에서 개발한 LCA 평가 프로그램으로 2005년 개발되어 현재 Version 3.0 출시
- 현재 건설 및 토목 분야의 데이터베이스를 개발 중이며 기존 구축되어있는 환경부 및 지식경제부 데이터베이스 활용 가능

나. PASS (Product Assessment for Sustainable Solution)

- 지식경제부에서 개발한 LCA 평가 프로그램 환경친화 제품 생산을 위한 목적으로 개발됨
- 유연하고 명확한 공정도를 나타낼 수 있는 기능 및 과

표 1. 대상 시스템 개요

구분	VSL type 앵커 시스템	확공지압형 앵커 시스템
개요	<ul style="list-style-type: none"> • 그라우트의 부착력에 의해 인장력에 대응하는 앵커공법으로 자재비가 저렴하고 시공실적이 가장 많은 앵커 시스템 	<ul style="list-style-type: none"> • 앵커의 정착부를 확공하여 앵커체의 인발저항력을 극대화시키고, 지압판을 근입하여 수압구조물이 필요없도록 두부처리를 단순화한 신개념의 앵커 시스템
장점	<ul style="list-style-type: none"> • PC강연선 수의 선택이 자유로움 • 현장 제작 가능 • 길이 조정 용이 • 타앵커 대비 자재비 저렴 • 설계·시공사례가 가장 많음 • 시공관리 및 유지보수 용이 	<ul style="list-style-type: none"> • 정착부가 빼기식으로 확경 공벽의 지압강도로 지지되어 진행성 파괴가 유발되지 않음 • 인발되지 않아 인장력 감소 적음 • 정착체가 지압정착되므로 천공길이를 작게 할 수 있으므로 경제성 우수 • 가인장이 가능하여 그라우트에 의한 시공 신뢰도 우수
단점	<ul style="list-style-type: none"> • Set량이 발생하여 길이가 짧을 경우 부적합 	<ul style="list-style-type: none"> • 최신공법으로 시공사례가 적음 • 확공작업시 고도의 전문기술 필요
구조		

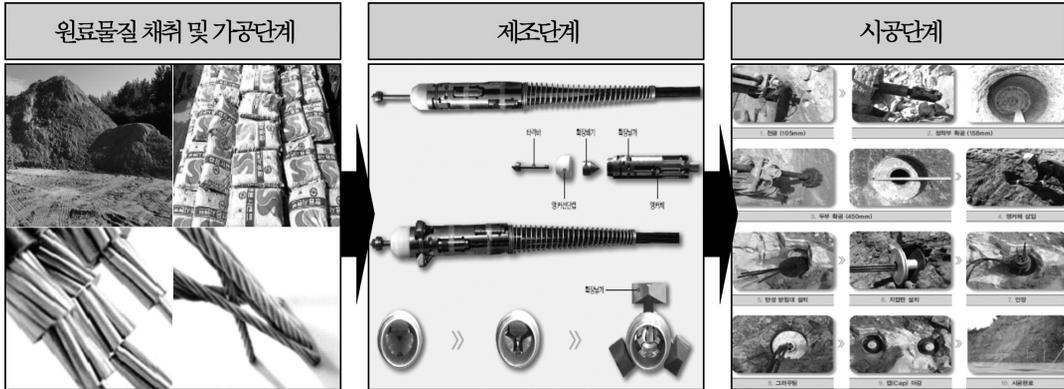


그림 2. 앵커 시스템의 시스템 경계

- 거 데이터 이력 관리 기능 등 사용자 편의 기능 제공
- 인터넷을 통한 데이터 업데이트가 가능하여 유용한 데이터베이스 구축 가능

다. SimaPro7.0

- Pre 컨설팅에서 만든 LCA 소프트웨어로 가장 널리 사용되고 있는 프로그램
- 다양한 데이터베이스가 지원되기 때문에 활용성이 뛰어나
- 데이터베이스 업데이트 및 개발이 빨라 다양한 분야에 대한 평가가 용이함

라. Gabi

- 슈트트가르트 대학의 IKP에서 만든 LCA 소프트웨어
- 각종 산업을 대상으로 양케이트를 통해 데이터 수집

본 연구에서는 전세계적으로 가장 많이 사용되고 사용상의 오류가 적으며, 활용 가능한 데이터베이스가 가장 많은 SimaPro7.0을 사용하여 환경성 평가 결과를 도출하였다.

2.2.3 데이터수집

앵커 시스템에 대한 환경성 평가 수행을 위해 앵커 시스템 및 앵커 시스템을 구성하는 각 부품의 생산업체를 대상으로 데이터 수집을 진행하였다.

현장데이터를 우선적으로 적용하기 위하여 데이터 수집에 앞서 데이터 수집 설문지를 개발하였으며, 대상 업체의 생산 공정 담당자를 대상으로 전과정평가에 대한 소개 및

설문지 작성 교육을 실행하고, 이를 통해 업체의 현장데이터를 수집하였다. 또한, 현장에서 관리하고 있는 기록 일지 및 생산 공정 담당자의 자문을 데이터 수집 시 반영하였다. 다음 <표 2>에 수집된 데이터의 분류와 데이터명을 정리하였다.

표 2. 수집된 데이터 및 수집처

전과정단계	데이터 분류	데이터명	
		VSL type	확공지압형
제조단계	앵커두부	-	탄성받침대
			지압판
			헤드
			웨이
			캡
	앵커체	열수축시트	타격봉
		노스콘	앵커선단캡
		간격재	확장뼈기
		에폭시	확장제어스프링
		실리콘	연결핀
		PC강연선	확장날개
		FEP관	바디
		철선	웨이
		CD-P관	앵커몸체
		-	압축스프링
-	PC강연선		
-	CD-P관		
콘크리트 수압판 제작	콘크리트 수압판	-	
시공단계	시공	천공, 앵커체 삽입	
		콘크리트 수압판 및 지압판 설치	지압판 설치
		그라우팅	
		인장	

2.2.4 데이터계산

전기 발전을 위한 연료 연소로 인해 발생하는 대기배출물의 경우, 계산식을 통하여 이론값을 산정하였다. 본 연구에서 고려한 대기배출물은 온실가스배출물(CO₂, CH₄, N₂O)과 대기오염배출물(CO, NO_x, SO_x, TSP, PM10, VOC, NH₃)이다.

다음 수식은 온실가스배출물에 대한 산정식이다. 연료 사용량은 대상 업체에서 실제 연료 사용량을 수집하였으며, 연료의 열량계수는 『에너지법』의 에너지열량환산기준을, 연료의 온실가스 배출계수는 『IPCC(2006)』을 적용하였다. 또한, 연료의 산화계수는 『환경성적표지 대상제품과 작성지침』을 따랐다.

$$E_{i,j} = Q_i \times EC_i \times EF_{i,j} \times f_i \times 10^{-6}$$

- E_{i,j} : 연료(i) 연소에 따른 온실가스(j) 배출량(단위: kg)
- Q_i : 연료(i) 사용량(실제 사용량, 단위: L,kg-연료)
- EC_i : 연료(i)의 열량계수(연료 순발열량, 단위: MJ/L,kg-연료)
- EF_{i,j} : 연료(i)의 온실가스(j) 배출계수(단위: kg-온실가스/TJ-연료)
- f_i : 연료(i)의 산화계수

대기오염배출물 또한, 온실가스배출물과 동일한 방법으로 산정하며, 연료의 대기오염 배출계수는 국립환경과학원의 『국가 대기오염물질 배출량 산정방법편람(2010)』의 배출계수를 적용하였다.

3. 평가 결과

3.1 지구온난화 영향 결과

VSL type 앵커 시스템과 확공지압형 앵커 시스템의 주요 단계별 지구온난화 영향에 대한 결과는 <표 3, 4>와 같이 나타내었다.

지구온난화 영향 결과를 <그림 3>과 같이 비교한 결과, 확공지압형이 VSL type 보다 44.3%의 지구온난화 영향이 감소되었으며, 앵커두부, 앵커체, 인장을 제외한 모든 부분에서 지구온난화에 대한 환경성이 개선된 것으로 나타났다. VSL type 대비 앵커두부가 125.3%, 앵커체가 9%의 지구온난화 영향이 증가한 반면, 천공, 앵커체 삽입은 11.1%, 콘크리트 수압판 제작은 100%, 콘크리트 수압판 및 지압판 설치는 31.3%, 그라우팅은 50%의 영향이 감소하였다. 인장에 대한 영향은 두 시스템이 동일한 것으로 도출되었다.

확공지압형 앵커 시스템은 지표근입 지압판을 적용하여 콘크리트 수압판 설치의 불필요하지만, 안정성을 증대하

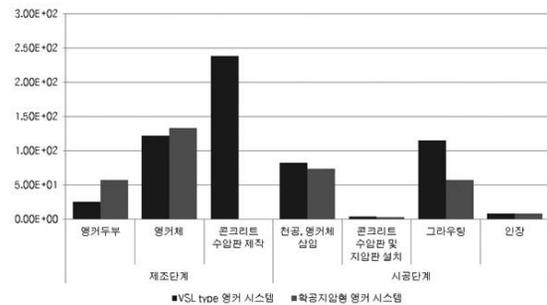


그림 3. 지구온난화 영향 결과 비교

표 3. VSL type 앵커 시스템의 주요 단계별 지구온난화 영향 기여도

구분	제조단계			시공단계			
	앵커두부	앵커체	콘크리트 수압판 제작	천공, 앵커체 삽입	콘크리트 수압판 및 지압판 설치	그라우팅	인장
지구온난화 영향(kg CO ₂ eq.)	2.53E+01	1.22E+02	2.38E+02	8.22E+01	3.78E+00	1.15E+02	8.22E+00
지구온난화 영향 기여도 (%)	4.3	20.5	40.1	13.8	0.6	19.3	1.4

표 4. 확공지압형 앵커 시스템의 주요 단계별 지구온난화 영향 기여도

구분	제조단계		시공단계			
	앵커두부	앵커체	천공, 앵커체 삽입	지압판 설치	그라우팅	인장
지구온난화 영향(kg CO ₂ eq.)	5.70E+01	1.33E+02	7.31E+01	2.60E+00	5.74E+01	8.22E+00
지구온난화 영향 기여도 (%)	17.2	40.1	22.1	0.8	17.3	2.5

기 위해 VSL type 보다 지압판의 크기가 커졌으며, 탄성받침대가 추가로 필요하게 되었다. 이로 인해 앵커두부 제조를 위해 소비되는 자원 및 에너지량이 증가함으로써 지구온난화 영향이 VSL type 보다 크게 도출되었다. 또한, 확공지압형 앵커체는 VSL type 보다 길이는 줄어들었으나, 지구온난화에 영향을 미치는 앵커몸체, 바디 등을 사용함으로써 앵커체의 전체 영향은 다소 증가하였다.

반면, 확공지압형 앵커체의 길이가 감소함에 따라, 천공 깊이도 얕아져 천공에 필요한 에너지 소모량과 그라우팅 시 투입되는 고로 슬래그 시멘트 양이 현저히 줄어들었으므로 ‘천공, 앵커체 삽입’, 및 ‘그라우팅’에 대한 지구온난화 영향이 감소되었다. 특히, 확공지압형 앵커 시스템에서는 콘크리트 수압판 설치 불필요하기 때문에 ‘콘크리트 수압판 제작 및 설치’ 공정이 생략되며, 이에 대한 지구온난화 영향이 발생하지 않는다.

확공지압형 앵커 시스템은 기존 보다 앵커두부, 앵커체에 대한 지구온난화 영향이 다소 상승했지만, 지구온난화의 주요이슈인 콘크리트 수압판 제작에 대한 영향이 전혀 발생하지 않으며, 나머지 부분도 영향이 감소하였으므로, 결과적으로 지구온난화 영향이 44.3% 감소한 것으로 분석된다.

3.2 자원고갈 영향 결과

자원고갈 영향에 대한 VSL type 앵커 시스템과 확공지압형 앵커 시스템의 결과를 <표 5, 6>과 같이 나타내었다. 자원고갈 영향 결과를 <그림 4>와 같이 비교한 결과, 확공지압형이 VSL type 보다 39.4%의 자원고갈 영향이 감소되었으며, 앵커두부와 인장을 제외한 모든 부분에서 자원고

갈에 대한 환경성이 개선된 것으로 나타났다. 앵커두부의 경우, 확공지압형의 자원고갈 영향이 103.0% 증가한 반면, 앵커체는 29.8%, 천공, 앵커체 삽입은 11.2%, 콘크리트 수압판 제작은 100.0%, 콘크리트 수압판 및 지압판 설치는 31.4%, 그라우팅은 49.2%의 영향이 VSL type보다 감소하였으며, 인장에 대한 영향은 두 시스템이 동일한 것으로 도출되었다.

앞서 언급한 것과 같이 앵커두부에 대한 영향은 기존의 VSL type보다 확공지압형이 더 높게 도출되었다. 확공지압형 앵커 시스템은 콘크리트 수압판이 필요 없는 새로운 개념의 앵커 시스템으로써 앵커두부에 확공 개념을 도입하여 지표근입 지압판을 적용하였다. 따라서 기존의 앵커두부보다 지압판의 크기가 커졌으며, 강관을 절단하여 지압판에 용접하기 때문에 앵커두부 제작 시 더 많은 양의 자원을 소모하게 되어 자원고갈 영향이 증가했다. 또한, 탄성받침대가 앵커두부에 포함되는 것도 ‘앵커두부’의 자원고갈 영향이 증가한 요인이다.

반면, 확공지압형 앵커 시스템은 구조적 안정성이 증대

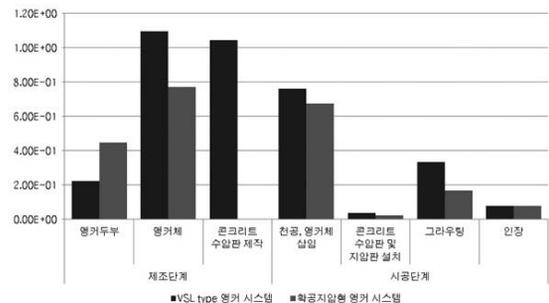


그림 4. 자원고갈 영향 결과 비교

표 5. VSL type 앵커 시스템의 주요 단계별 자원고갈 영향 기여도

구분	제조단계			시공단계			
	앵커두부	앵커체	콘크리트 수압판 제작	천공, 앵커체 삽입	콘크리트 수압판 및 지압판 설치	그라우팅	인장
자원고갈 영향(1/y)	2.21E-01	1.10E+00	1.04E+00	7.59E-01	3.49E-02	3.32E-01	7.59E-02
자원고갈 영향 기여도(%)	6.2	30.7	29.3	21.3	1.0	9.3	2.1

표 6. 확공지압형 앵커 시스템의 주요 단계별 자원고갈 영향 기여도

구분	제조단계			시공단계			
	앵커두부	앵커체	천공, 앵커체 삽입	지압판 설치	그라우팅	인장	
자원고갈 영향(1/y)	4.48E-01	7.70E-01	6.74E-01	2.40E-02	1.69E-01	7.59E-02	
자원고갈 영향 기여도(%)	20.7	35.6	31.2	1.1	7.8	3.5	

됨으로써 앵커 정착부의 길이가 기존의 4m에서 1m로 줄어들어, 앵커체의 길이 또한 기존의 15m에서 12m로 줄어들었다. 이처럼 앵커체의 길이가 감소함에 따라, 원자재인 PC강연선의 사용량이 감소하고, 천공 깊이도 얕아져 천공에 필요한 에너지 소모량과 그라우팅 시 투입되는 고로 슬래그 시멘트 양이 현저히 줄어들었으므로 ‘앵커체’, ‘천공, 앵커체 삽입’, 그리고 ‘그라우팅’에 대한 자원고갈 영향을 감소시켰다.

특히, 확공지압형 앵커 시스템에서는 콘크리트 수압판 설치가 불필요하기 때문에 ‘콘크리트 수압판 제작 및 설치’ 공종이 생략되며, 이에 대한 자원고갈 영향이 발생하지 않는다.

확공지압형 앵커 시스템은 기존 보다 앵커두부에 대한 자원고갈 영향이 다소 상승 했지만, 자원고갈의 주요이슈인 앵커체, 콘크리트 수압판 제작, 천공, 앵커체 삽입 등에 대한 영향이 크게 감소하였으므로, 결과적으로 자원고갈 영향이 39.4% 감소한 것으로 분석된다.

3.3 기타 환경성 영향평가 결과

VSL type 및 확공지압형 앵커 시스템의 전과정에 걸친 환경성 평가 결과를 10가지 영향범주에 대하여 비교 분석하였다. 다음<그림 5>는 VSL type과 확공지압형 앵커 시스템의 환경성 평가 결과를 개괄적으로 나타내었다. 기존 시스템인 VSL type 앵커 시스템의 결과를 기준으로 확공지압형 앵커 시스템의 환경성 평가 결과를 비율로 도출하였다. 따라서 VSL type 앵커 시스템은 모든 영향범주에서 ‘1’의 값을 가지며, 확공지압형 앵커 시스템의 결과가 ‘1

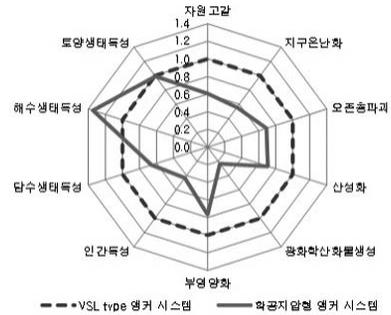


그림 5. VSL type과 확공지압형 앵커 시스템의 환경성 비교

이하’ 일 경우 해당 영향범주에서 환경성이 개선된 것을 의미하며, ‘1 이상’ 일 경우 오히려 환경성이 나빠진 것을 의미한다.

평가된 영향범주 중 해수생태독성을 제외한 전 영향범주에서 확공지압형 앵커 시스템의 환경성이 적게는 1.0%에서 많게는 76.6%까지 개선된 것으로 도출되었다. 이는 앵커 시스템의 기능 향상을 위한 기술 개발 시 ‘한국형 DfE’를 적용함으로써 환경성을 충분히 고려한 결과라 할 수 있다. 다음<표 7>은 각 영향범주에 대한 개선정도를 정리하였다.

5. 결론

본 연구는 기존 앵커 시스템인 VSL type과 ‘한국형 DfE’를 통해 개발된 확공지압형 앵커 시스템에 대한 전과

표 7. VSL type 및 확공지압형 앵커시스템의 영향범주별 개선정도

영향범주	단위	영향평가 결과		개선정도(%)
		VSL type	확공지압형	
자원고갈	1/y	3.56E+00	2.16E+00	39.4
지구온난화	kg CO2 eq.	5.94E+02	3.31E+02	44.3
오존층파괴	kg CFC11 eq.	1.85E-03	1.28E-03	30.9
산성화	kg SO2 eq.	2.53E+00	1.79E+00	29.2
광화학산화물생성	kg Ethylene eq.	6.79E-01	1.59E-01	76.6
부영양화	kg PO43- eq.	4.28E-01	3.27E-01	23.4
인간독성	kg 1,4 DCB eq.	3.72E+01	1.62E+01	56.6
담수생태독성	kg 1,4 DCB eq.	4.25E+00	2.80E+00	34.1
해수생태독성	kg 1,4 DCB eq.	1.01E+04	1.36E+04	- 34.6
토양생태독성	kg 1,4 DCB eq.	1.42E-01	1.41E-01	1.0

정평가 수행을 통해 환경측면에서의 주요이슈 규명 및 환경성의 비교 분석을 목적으로 하였다.

연구 대상은 VSL type 및 확공지압형 앵커 시스템이며, 전과정을 원료물질 채취 및 가공단계, 제조단계, 시공단계로 나누어, 자원고갈, 지구온난화, 오존층파괴, 산성화, 광화학산화물생성, 부영양화, 인간독성, 담수생태독성, 해수생태독성, 토양생태독성에 대하여 '지식경제부의 한국형 LCA 영향평가 방법론'을 적용하여 평가하였다.

VSL type 앵커 시스템에 대한 영향평가 결과를 살펴보면, 대부분의 영향범주에서 '앵커체'와 '콘크리트 수압판 제작'이 주요이슈로 도출되었으며, '천공, 앵커체 삽입' 및 '그라우팅' 또한 특정 영향범주에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

확공지압형 앵커 시스템에 대한 영향평가 결과를 살펴보면, 대부분의 영향범주에서 '앵커체'가 가장 높은 영향 기여도를 가지므로 주요이슈로 도출되었다. 또한, '앵커 두부', '천공, 앵커체 삽입', '그라우팅'도 특정 영향범주에서 영향을 나타냈다.

VSL type과 확공지압형 앵커 시스템의 전과정에 걸친 영향범주별 환경성을 비교 평가한 결과, 해수생태독성을 제외한 모든 영향범주에서 확공지압형 앵커 시스템의 환경성이 개선된 것으로 도출되었다. 광화학산화물생성 영향이 76.6%로 가장 많이 개선되었으며, 토양생태독성 영향은 1.0%로 개선정도가 매우 미미하였다. 반면, 해수생태독성 영향은 개선 후가 VSL type 보다 34.6% 환경영향이 높은 것으로 나타났다.

'한국형 DfE'를 적용하여 개발된 확공지압형 앵커 시스템은 콘크리트 수압판이 필요 없는 새로운 개념의 앵커 시스템으로 VSL type 앵커 시스템에서 주요이슈로 규명된 콘크리트 수압판을 사용하지 않음으로써 모든 환경 영향범주에 대해서 영향이 크게 감소하였다. 또한, 앵커체의 길이가 감소함에 따라, 원자재인 PC강연선의 사용량이 감소하였으며, 천공 깊이도 얕아져 천공에 필요한 에너지 소모량

과 그라우팅 시 투입되는 고로 슬래그 시멘트 양이 현저히 줄어들었으므로 '앵커체', '천공, 앵커체 삽입', 그리고 '그라우팅'에 대한 환경영향이 개선된 것으로 나타났다.

그러나 해수생태독성 영향범주에서는 확공지압형 앵커 시스템의 영향이 VSL type 보다 높게 도출되었다. 이러한 결과는 해수생태독성 영향이 높은 앵커몸체 및 바디 등의 부품이 확공지압형 앵커체에 사용되었기 때문이다.

최근 전세계적으로 관심이 증대되고 있는 지구온난화 영향의 경우, 확공지압형 앵커 시스템의 온실가스 배출량이 VSL type에 비해 44.3% 감소하는 것으로 나타났으며, 이는 온실가스 배출량 저감을 중대과제로 하는 우리나라의 저탄소녹색성장 정책에 가장 부합하는 내용으로 판단되며, 이러한 분석을 통하여 새로운 확공지압형 앵커 시스템이 저탄소 기술로서의 활용성이 매우 높은 수준임을 확인할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원의 2010년 "건설교통R&D정책 인프라사업"으로 수행된 것으로 관계자 여러분께 감사드립니다. ☺

♣ 참고 문헌

1. 이철규, 김종수(2011), "건설단계에서의 철도시설물 온실가스 저감방안 연구" 한국철도학회 논문집 제14권 제5호 pp. 425-432
2. ISO 14040, Environmental management - life cycle assessment - requirements and guidelines, International organization for standardization, 2006
3. ISO 14044, Environmental management - life cycle assessment - requirements and guidelines, International organization for standardization, 2006
4. 이건모, Atsushi Inaba, "Life Cycle Assessment ISO14040 시리즈 실무지침", 무역/투자 위원회, 2004