

## 온실가스 평가지수를 활용한 저탄소 설계VE 수행 사례

허 인 한국도로공사 기술심사처장  
 김석출 한국도로공사 기술심사처 부장  
 김기환 한국도로공사 기술심사처 선임연구원



### 1. 서론

지구 온난화를 유발하는 온실가스 저감을 위한 국제적인 대응책으로 1992년 브라질의 리우환경회의에서 이산화탄소 등 온실가스 증가에 따른 지구온난화에 대처하기 위해 기후변화협약이 체결 되었고, 주요 선진국을 비롯한 세계 각국에서는 화석연료 사용을 줄여 온실가스를 저감하기 위해 적극적인 노력을 기울이고 있다.

우리나라는 1993년 12월 기후변화 협약에 47번째 국가로 가입하였고 기후변화 대응과 관련하여 다양한 측면에서 노력하고 있다. 2007년에 발표된 제4차 기후변화대응 종합계획(2008~2012)에서는 기후변화와 관련하여 온실가스 배출 감축, 기후변화 적응, 연구개발의 3개 분야에 대한 기후변화 대책이 수립되었고 부처별 기후변화 대응방안도 다양하게 발표되었다.

또한 2010년 1월에 저탄소 녹색성장 기본법을 제정하여 저탄소 녹색성장 정책의 기본원칙을 정립하였다. 모법에서는 녹색기술·녹색산업에 대한 지원, 기후변화대응 및 에너지 목표관리 등과 같은 정책의 큰 틀을 정했다. 그 시행령에서는 법에서 위임한 사항과 그 시행에 필요한 세부적인 사항을 규정하였고, 제25조에서는 2020년의 온실가스 배출전망치(BAU: Business as Usual)에서 30%를 감축하는 것을 국가 온실가스 중기 감축 목표로 명시하여, 매년 목표를 부과하고 이행을 점검하는 ‘온실가스·에너지 목표관리제’를 시행하고 있다.

이와 같은 온실가스 저감정책에 따라 국내 건설 분야에서 온실가스 배출량 감축에 관한 연구가 활발히 진행 되고 있다.

도로건설 분야에서의 온실가스 배출량 감축을 위한 기존의 연구를 살펴보면 황용우 등(2000)은 도로건설시 장비에서 발생하는 이산화탄소 배출량을 공정별로 산정하였으며, 한국도로공사(2009)는 고속도로 건설사업에서의 온실가스 배출량을 예측하기 위하여 온실가스 배출량 자동산정 프로그램을 개발하였고, 이현규 등(2010)은 도로의 시공단계에서 배출되는 온실가스의 양을 예비타당성 단계에서 예측할 수 있는 예측모델을 제안하였다. 또한 한국도로공사(2010)는 설계단계에서의 온실가스 저감을 위한 친환경 설계 추진 방안을 수립하였다.

이처럼 다양한 분야에서 온실가스 저감을 위한 연구가 추진되고 있지만 도로건설 사업의 한 분야인 설계VE에서는 아직 온실가스 저감을 위한 연구가 부족하다. 따라서 현재 국가의 녹색 성장 추진 전략에 발맞추어 설계VE에서도 온실가스 최소화 유도를 통한 저탄소 녹색성장의 국가 전략의 실천이 필요하다.

### 2. 설계VE에 온실가스 평가지수 도입

설계VE는 총공사비가 100억원 이상인 건설공사의 기본 설계 및 실시설계에 대한 설계의 경제성 등을 검토하는 과정으로서 현재의 설계VE 프로세스에는 온실가스 감축과 관련한 적극적인 평가항목은 없는 실정이며, 설계VE에서 시행되고 있는 전반적 평가는 팀원들 간의 합의를 통해 주관적으로 결정된다. 때문에 설계VE 수행시 온실가스 배출을 고려하기 위해서는 품질모델에 온실가스 관련 항목이 추가되어야 하며, 온실가스 배출에 대한 객관적인 정량화가 반드시 필요하다.

## 2.1 온실가스 평가항목 품질모델에 적용

VE 프로세스에서 가장 중요한 기준이 되는 것은 사용자의 가치이며, VE는 이러한 사용자의 가치에 대응하여 성능/비용의 비율을 높이는 행위이다. 따라서 사용자 및 발주자의 요구와 기대에 적합한 대안을 도출하는 것은 매우 중요한 절차이며, 이를 위해 품질 모델을 활용한다. 이와 같은 품질 모델은 VE 수행시 기능정의, 기능정리, 기능평가 및 아이디어 성능평가지 의사결정의 지침을 제공하고 대안이 발주자의 요구에 합당하지 확인할 수 있는 중요한 평가 기준으로 활용되며 표 1과 같다.

표 1. 고속도로 설계VE 품질모델 사례

대분류	내용
A. 이용자 편의성	분기 편의성, 시간단축 부응성, 비상시 회차 편의성, 이용자 편의시설 간격 적정성 등
B. 안정성	도로선형의 안전성, 위빙구간 교통 안전성, 본선 및 연결로 분, 합류부의 교통안전성 등
C. 관계자 요구의 부합성	개발제한구역 편입 최소화, 문화재 저촉 최소화, 도시미관 저해 최소화 등
D. 민원 및 환경영향 최소화	인접마을 조망권 확보, 공공중 인접마을 생활환경(소음, 진동) 최소화 등
E. 시공성	공사중 기존도로 간섭 최소화, 공기단축 용이성, 공사의 난이도 등
F. 유지관리 편리성	유지관리 차량의 진출입 편리성, 교량 등의 시설물 접근 용이성 등

설계VE 프로세스에 온실가스 평가지수를 객관적으로 정량화 하여 적용하기 위해서 먼저 품질모델 대분류 항목에 온실가스 감축 항목을 추가하여 가중치를 결정해야 한다.

일반적으로 VE 품질모델의 가중치는 AHP 기법에 기초하여 팀원들의 의견수렴을 통해서 산정하는데, “온실가스 감축” 항목의 가중치는 적용기준이 없기 때문에 한 개의 대분류 항목에 가중치가 집중하지 않도록 5~15% 사이에서 팀원들과의 합의하에 정하도록 한다.

“온실가스 감축” 항목의 가중치는 해당사업에서 온실가스 감축이 미치는 중요도를 판단해서 결정해야 하며, 너무 낮게 결정할 경우에는 아이디어 성능점수에 미치는 영향이 미미해 지고, 너무 높게 결정할 경우에는 온실가스 감축률에 따라 성능점수가 좌우 될 수 있다. 따라서 해당 사업에 대한 온실가스 배출량의 중요도에 따라 5~15%로 정한 가중치의 범위 역시 조정이 가능하다.

중분류 항목 또한 대분류와 같이 팀원들의 의견을 수렴하여 “온실가스 발생 최소화”로 결정하였으며, 가중치는 중분류 항목이 1개이므로 대분류 가중치와 동일하다. 온실가스 평가항목이 추가된 품질모델은 표 2와 같다.

표 2. 온실가스 평가항목이 적용된 품질모델

대분류	중분류	비고
A. 이용자 편의성	분기 편의성, 시간단축 부응성 등	중분류 항목 및 가중치는 팀원과의 후 결정
B. 안정성	도로선형의 안전성, 위빙구간 교통 안전성 등	
C. 관계자 요구의 부합성	유지개발제한구역 편입 최소화, 문화재 저촉 최소화 등	
D. 민원 및 환경영향 최소화	인접마을 조망권 확보, 공공중 인접마을 생활환경 최소화 등	
E. 시공성	공사중 기존도로 간섭 최소화, 공기단축 용이성 등	
F. 유지관리 편리성	유지관리 차량의 진출입 편리성 등	
G. 온실가스 감축	온실가스 발생 최소화	대중 분류 가중치는 5~15% 사이에서 결정

※ 사업의 특성에 따라 온실가스 감축 항목의 가중치는 조정 가능

## 2.2 온실가스 감축률을 이용한 성능평가

이렇게 수립된 품질모델은 이후 설계VE의 진행에서 아이디어의 검토방향을 제시하고, 대안이 사용자의 요구에 합당한지 확인할 수 있는 중요한 평가기준으로 활용된다. 품질모델을 통해 가중치가 결정되면 기능분석 단계를 거쳐서 아이디어를 창출하고 구체화한 후 대안의 구체화 단계를 통해 성능평가를 실시한다.

온실가스 감축 항목에 대한 아이디어 등급은 온실가스 감축률을 산정하여 정량적으로 결정한다. 여기서 온실가스 감축률은 원안대비 원안과 아이디어안의 온실가스 배출량 차이의 비율로서 온실가스 배출량은『온실가스 배출량 자동산정 프로그램(한국도로공사, 2010)』을 사용하여 산출하며, 감축률은 다음 식을 통해 산정한다.

$$\text{온실가스감축률}(\alpha) = \frac{(\text{원안})\text{배출량} - (\text{아이디어})\text{배출량}}{(\text{원안})\text{온실가스 배출량}} \times 100\%$$

온실가스 배출량 자동산정 프로그램은 건설과정에서 온실가스를 배출하는 두가지 큰 원인 인자인 건설자재와 건설장비 가동에 대한 배출량을 총 121개 세부공종(표 3)으로 분석

하여 유형별 배출계수를 통해 배출량 산정식을 도출함으로써, 설계서류만으로 건설구간에 대한 온실가스 배출량을 산출할 수 있는 프로그램이며, 그림 1과 같다.

표 3. 온실가스 배출 공종

공종	토공	교량공	터널공	배수공	포장공
계	121	30	10	9	63

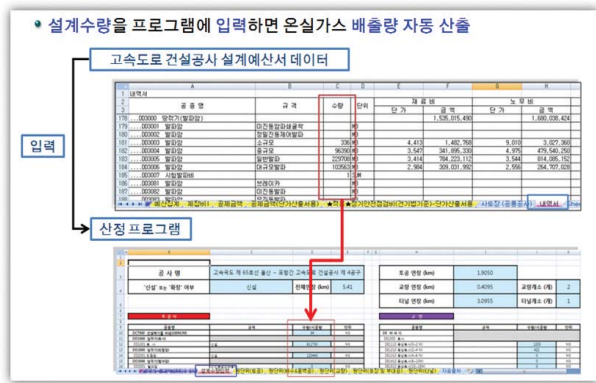


그림 1. 온실가스 산정 프로그램

온실가스 배출량을 산출했으면 아이디어에 대한 온실가스 감축률을 계산하여 감축률에 따른 아이디어 등급을 표 4와 같이 결정한다. 결정된 아이디어 등급과 품질모델의 가중치를 통해서 아이디어의 성능점수가 정해지게 되기 때문에 아이디어 등급을 결정하는 감축률의 격차는 매우 중요하다.

표 4. 감축률에 따른 아이디어 등급 결정

구분	온실가스 증가(↑)		변화없음	온실가스 감소(↓)	
감축률(%)	$-2n \leq a < -n$	$-n \leq a < 0$	0	$0 < a \leq n$	$n < a \leq 2n$
등급	3	4	5	6	7

\* 감축률 격차  $n = 1 \sim 10\%$ (팀원합의로 결정)

온실가스 감축률에 따라 결정되는 아이디어 등급은 3등급부터 7등급까지로 정하였으며, 등급을 결정하는 감축률의 격차는 1~10%사이에서 팀원들과의 합의를 통해 결정한다. 감축률의 격차가 너무 작거나 크게 형성될 경우에는 아이디어 등급이 고르게 형성되지 못하고 일부 등급으로 집중되는 경우가 생기기 때문에 온실가스 감축률의 분포에 따라 적절한 격차를 선정하는 것이 중요하다.

이러한 절차를 통해서 아이디어 등급이 결정되면 대안의

구체화 단계를 거쳐서 성능평가를 실시하여 온실가스 감축률이 고려된 아이디어의 성능점수를 결정할 수 있다.

### 3. 설계VE 적용사례

2장에서는 온실가스 평가지수를 VE프로세스에 도입하기 위해 온실가스 감축을 품질모델 대분류 항목으로 선정한 후 가중치를 결정하였고, 원안 및 아이디어안의 온실가스 감축률을 산출하여 아이디어 등급을 결정하였다. 이와 같이 설계VE에서 성능점수를 결정하는 가장 중요한 품질모델의 가중치와 아이디어 등급 결정단계에 온실가스 평가지수를 도입함으로써 설계VE 검토시 온실가스 배출량을 함께 고려할 수 있다.

한국도로공사는 2011년 설계VE에 온실가스 평가지수를 도입하기 위하여 2010년에 기 시행한 『○○○○ 건설공사 실시설계VE』에 시험적용을 통한 효과분석을 실시하였으며, 이후 『○○터널 민자도로 사업』등 여러 건의 설계VE 사업에 온실가스 평가지수를 적용하여 설계단계에서부터 온실가스 발생량을 감축하여 왔다

본고에서는 기존에 시행한 설계VE에 온실가스 평가지수를 적용하여 분석한 대표적인 사례를 소개하고자 한다.

『○○○○ 건설공사 실시설계VE』는 한국도로공사에서 2010년에 수행한 설계VE 사업으로서 기존에 제안된 아이디어 중에서 설계VE 온실가스 감축적용이 용이한 아이디어 4건을 선정하여 온실가스 감축을 고려한 설계VE 프로세스 적용 후 결과를 비교, 분석하였다.

먼저 본 사업의 사용자 및 발주처의 요구사항을 분석한 후, 팀원들과의 합의를 통해 프로젝트 성능에 대한 기대치를 도식화 할 수 있는 품질모델을 표 5와 같이 구성하였다. 또한 AHP기법에 기초하여 팀원들과의 합의를 통해 대분류 및 중분류 항목 가중치를 결정하였으며, 온실가스 감축항목의 가중치는 5%로 결정하였다.

품질모델과 가중치를 결정한 후 온실가스 산정프로그램을 통해서 구조분야 4건의 아이디어에 대한 온실가스 배출량을 산출하였으며 표 6과 같다. 원안의 온실가스 배출량은 5,597 tonCO<sub>2</sub>이며, 대안의 온실가스 배출량은 5,425 tonCO<sub>2</sub>로서 감축량은 172 tonCO<sub>2</sub>이다. 온실가스 배출량은 구조-1 교각단면 중공처리기가 가장 많았으며 그 감축량 또한 가장 컸다. 구조-3 주두부 복부두께 조정의 경우는 안전성 확보를 위해 두께를 증가시켰기 때문에 온실가스 배출량이

증가하는 것으로 판단되었다

표 5. 0000 실시설계VE 품질모델

평가항목(대분류)	성능속성(중분류)	가중치(%)
계		100
A. 경제성	- 교량연장의 적정성 - 지역주민과의 연계성 등	31
B. 시공성	- 연약지반 처리공법의 안정성 - 가설구조물의 안정성 등	27
C. 유지관리	- 교통안전성 - 운행선박의 안전성 등	15
D. 안전성	- 내구성의 적정성 - 부대시설의 적정성 등	11
E. 쾌적성	- 시공계획의 적정성 - 상부구조의 시공용이성 등	7
F. 환경성	- 녹색환경과의 부합성 - 교량의 미관 등	4
G. 온실가스 감축	- 온실가스 발생 최소화	5

표 6. 선정된 아이디어 4건의 온실가스 배출량

분야	항 목	온실가스량(tonCO <sub>2</sub> )			감축률 (%)	등급
		원안	대안	감축량		
계		5,597	5,425	△172	△3.07	-
구조-1	교각단면 중공처리	3,979	3,806	△173	△4.35	7
구조-2	교량받침 개수 축소	14	9	△5	△35.7	7
구조-3	주두부 복부두께 조정	646	655	9	1.39	4
구조-4	주경간부 상부슬래브 텐던간격조정	958	955	△3	△0.31	6

정부에서는 2012년부터 온실가스 감축 실적에 대한 정부 구매단가를 tonCO<sub>2</sub>당 12,000원으로 상향조정하였다. 따라서 본 설계VE에서 선정한 구조분야 아이디어 4건에 대한 온실가스 감축량 172 tonCO<sub>2</sub>에 대해 총 2백만원의 온실가스 조기감축 실적이 나타남을 알 수 있었다.

온실가스 배출량이 산출되면, 아이디어 등급 결정을 통해서 원안대비 대안의 성능점수를 구할 수 있다. 앞에서 기술한 바와 같이 아이디어 등급 결정을 위한 감축률 격차는 팀 원과의 합의를 통해서 2%로 결정하였고, 감축률에 따른 등급 분포는 표 7과 같다.

표 7. 감축률에 따른 아이디어 등급 분포

구 분	온실가스 증가(↑)		변화없음	온실가스 감소(↓)	
감축률	-2% 미만	-2%~0%	0%	0%~2%	2% 초과
등급	3	4	5	6	7

품질모델 가중치와 아이디어 등급을 통해 성능점수를 산출하여 원안대비 대안의(온실가스 감축을 고려하기 전과 후) 성능점수를 비교분석하여 표 8과 같이 나타내었다.

표 8. 온실가스 평가지수 적용 전·후 성능점수 비교

구 분	구조 1	구조 2	구조 3	구조 4	
원안	100	100	100	100	
대안	적용전	111	211	103	106
	적용후	113	214	102	107
차 이	2	3	-1	1	

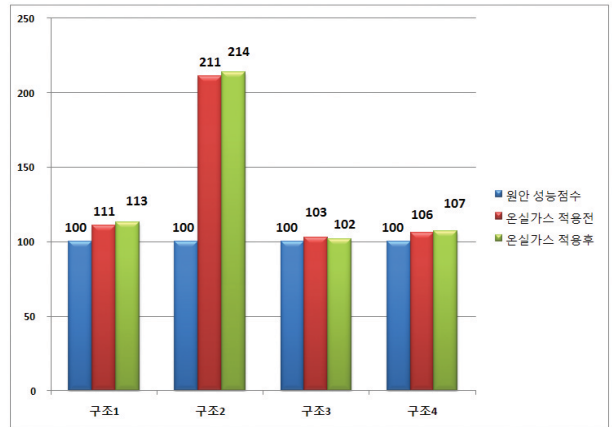


그림 2. 온실가스 감축을 고려한 아이디어 성능점수

온실가스 평가지수를 적용한 결과 그림 2와 같이 구조-1에서 온실가스 평가지수를 적용한 대안은 원안대비 성능점수가 13점 향상되었으며, 온실가스 평가지수 적용 전 대안에 비해 2점 향상되었다. 구조-2의 경우 원안대비 114점 향상되었으며, 평가지수 적용 전 대안에 비해 3점 향상되었다. 구조-3의 경우는 원안대비 2점 향상되었지만, 온실가스 배출량이 증가함에 따라 평가지수 적용 전 대안에 비해서는 성능점수가 1점 하락하였음을 알 수 있었다.

이와 같이 온실가스 평가지수 적용을 통해 기존의 VE프로세스에서는 알 수 없었던 온실가스 감축량과 온실가스 조기 감축에 대한 비용분석이 가능해졌으며, 온실가스 감축 항목을 추가함에 따라서 온실가스 배출량이 고려된 성능점수를 도출 할 수 있었다.

#### 4. 결론

최근 저탄소 녹색성장 기본법이 시행됨에 따라 정부의 온

실가스 저감정책에 대응하기 위하여 한국도로공사는 도로건설 사업의 한 분야인 설계VE에 온실가스 평가지수를 도입하여 수행하고 있다.

본고에서는 온실가스 평가지수를 설계VE 프로세스에 적용하기 위해 품질모델에 항목을 신설하였고 온실가스 감축률에 따른 평가 등급 결정하여 성능점수를 도출하였다. 또한 실제 VE사업에 적용하여 온실가스 감축량을 산출하였으며, 성능점수를 도출해서 원안과 비교분석 하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 온실가스 평가지수 적용을 위해 품질모델에 “온실가스 감축” 항목을 신설하여 팀원들과의 협의하에 가중치를 결정하였고, 감축률에 따라 정량적으로 아이디어 등급을 결정하여 설계 성능점수를 도출하였다.
2. 정량적 온실가스 배출량 산출을 위해 온실가스 자동산정 프로그램을 이용하여 실제 설계VE에 적용해 본 결과, 원안의 총 온실가스 배출량은 5,597 tonCO<sub>2</sub>였으며, 대안의 총 배출량은 5,425 tonCO<sub>2</sub>로 총 172 tonCO<sub>2</sub>의 온실가스를 감축했음을 알 수 있었다.
3. 온실가스 감축실적에 정부구매단가를 적용시 총 2백만원의 온실가스 조기 감축실적을 도출되었으며 성능점수는 4개의 안이 원안에 비해 각각 13점, 114점, 2점, 7점 향상되었음을 알 수 있었다.

한국도로공사는 설계VE에 계량적인 온실가스 평가지수를 도입하여 추진함으로써 저탄소 녹색성장에 많은 기여를 하고 있다. 또한 최근 원가절감적인 부분에만 치중되는 경향이 있는 설계VE에 온실가스 평가지수를 적용하여 기능적인 면이 강조된 차별화 된 설계VE를 수행함으로써 설계VE 사업에서의 경쟁력 우위를 검증할 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고문헌

국토해양부(2005), 설계VE 업무 매뉴얼  
 이현규, 김병일, 김형관 (2010). “도로 건설사업의 온실가스 배출량 예측모델 개발”, 대한토목학회 학술대회, p 326~329  
 저탄소 녹색성장 기본법 (2010)  
 저탄소 녹색성장 기본법 시행령 (2011)  
 한국도로공사 (2009). “고속도로 건설사업 환경영향평가 적

용을 위한 온실가스 예측 및 저감대책 연구”  
 한국도로공사 (2010). “온실가스 배출감소를 위한 친환경 설계 추진방안 검토”  
 허인, 이용구, 정병천, 양재경 (2011). “효율적 고속도로 설계VE 수행을 위한 Hi-Value 프로세스 정립”, 한국건설관리학회지, 제2권 제6호, p 36~48  
 황용우, 박광호, 서성원 (2000). “도로건설에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량 평가”, 대한토목학회 논문집, 제20권 제1-B호, pp. 113~121