

# 자원재활용을 통한 녹색 고속도로의 구현

## Implementation of Green Expressway using Recycled Materials



한승환\*  
Sung-Hwan Han

### 1. 서론

기후변화와 저탄소 녹색 기술의 개발에 대한 국가적인 관심과 다양한 노력이 시행되고 있다. 이러한 논의의 바탕에는 전지구적인 위기에 대응하는 필수적인 선택의 당위성과 더불어 사회, 경제적 패러다임의 변화 및 개편을 포함하고 있다. 거대한 선언적인 담론은 후자의 목적을 달성하기 위해 정책적 목표와 규제 및 법규를 수반하게 되며, 원론적인 동의와는 상관없이 사회 각 분야의 노력을 요구한다. 사실 공학 분야의 최대 목적이 항상 경제적인 과학 기술의 사회적 구현에 있었던 만큼, 평가 시간의 시야를 확대하면, 기존과 배치되는 사상이나 철학을 담고 있지는 않다고 생각한다.

특히 건설 분야는 기후 변화와 탄소발생의 수요처이기도 하면서, 아울러 녹색 기술의 구현을 통한 그 혜택을 가장 많이 창출할 수 있는 분야이다. 출처에 따라 다소 차이가 있을 수 있으나, 전 세계의 도로는 약 16백만km 정도로 추산되고 있으며, 이는 지구에서 달까지 거리의 약 42배에 해당하는 거리이다. 인류의 생존을 위해 필수불가결하다는 거창한 말을 하지 않더라도, 단순히 업무 출장이나 추석 귀성 등의 일상적 사례를 도로 및 고속도로와 떼어놓고 생각하기가 매우 어렵다. 수치적인 객관적 사실에서도 도로는 국내 여객 수송과 물류의 84%, 53%(수송인원×거리 기준, 개별적으로 수송인원과 수송톤수 고려는 각

95%, 96% 분담)를 담당하고 있다. 이와 같이 필요하고 많은 역할을 담당하고 있다면, 다음 선택은 어찌면 당연하게도 축소나 개편이 아니라 이를 어떻게 Green Code로 전환할 것인가일 것이다.

결국 자연친화적인 도로의 건설 및 유지관리, 그리고 그 이용은 사회 담론의 이행과 국제적인 규제 및 법규의 필수적인 대상 객체가 될 수 밖에 없다. 그리고 과소평가되는 측면이 있으나, 다행스럽게도 고속도로 분야는 상당히 오래 전부터 친환경 기술에 대한 주요한 사용처였으며, 많은 연구와 공학적 적용이 수행되어지고 있다. 특히 자원 재활용 분야는 많은 성과를 이룬 부분이면서도 향후에도 적용 가능한 좋은 기술 들이 많이 존재하는 것으로 판단 된다.

### 2. 분야별 자원 재활용 기술

고속도로의 건설은 교량, 터널, 지반, 포장, 교통 및 서비스 시설 등의 여러 부분을 포함하고 있으며, 개별적인 자원재활용 기술 들이 각 분야에서 적용되거나 시도되고 있다. 이런 기술들은 대부분이 과도한 발생량으로 인한 처리의 문제를 안고 있는 경우나, 구조물의 내구성을 향상시키기 위해 첨가제로서의 역할이 필요한 경우 등과 같이 우선적 필요성에 의해 수행되었다. 주요 적용 분야로는 시멘트 콘크리트 생산에의 고로 슬래그, 플라이애시 등의 혼화재 적용이 있으며, 쇄석골재의 생산과 아스팔트 절삭이나 콘크리트의 파쇄를 통해 유발되는 폐자재의 활용 방안

\* 한국도로공사 도로교통연구원 수석연구원, 공학박사  
Expressway & Transportation Research  
E-mail : hansu@ex.co.kr

강구, 그리고 오니를 활용한 사면처리 적용 등이 있다.

## 2.1 산업 부산물의 콘크리트 혼화재 활용

콘크리트 분야의 내구성은 일반적인 역학적 특성과 더불어 주요한 요건으로 해상 구조물과 극심한 제설제의 영향을 받는 시설물에 필수적으로 확보되어야 할 사항이다. 서해대교, 영종대교 그리고 인천대교의 중요 구조물을 건설하는 과정에서 이러한 중요성은 더욱 증대되었고, 이 과정 중에 내구성 확보를 위한 고로 슬래그, 플라이애시 등의 산업 부산물의 사용이 일반화되었다. 해상교량 구조물의 콘크리트와 교면 노출교량의 바닥판 콘크리트에 단위 시멘트량 15~20%의 플라이애시, 그리고 단위시멘트량의 30~50%의 고로 슬래그 등을 혼입하는 것을 표준으로 하고 있다.

표 1. 콘크리트 혼화재로서의 산업부산물 활용

구 분	사용 방법	사용 현황
고로 슬래그	내구성 증진 혼화재	실무 사용
페로니켈 슬래그	내구성 증진 혼화재	시험 적용
플라이애시	내구성 증진 혼화재	실무 사용
바텀애시(매립회)	채움재 및 대체재	규격 제정
주물사 더스트	채움재 및 대체재	시험 적용
스크리닝스	채움재 및 대체재	실무 사용

최근의 일부 구간에서 알칼리실리카반응(ASR, Alkali-Silicate Reaction)으로 인해 콘크리트에 과도한 균열이 발생하여, 이에 대한 대책을 강구하는 연구가 진행되었다. 국제적으로 ASR반응을 저감시키기 위한 노력으로 다양한 혼화재를 사용하는 방안이 사용되고 있는데, 다음의 표 2와 같은 여러 개의 방안 중에 한국도로공사에서는 경제적으로 가장 유용한 방안인 플라이애시(F-Class) 혼입을 기준으로 채택하였다. 따라서 현장 골재의 전수조사 결과를 바탕으로 반응성 골재의 사용이 예상되는 구간에 대해서는 의무적으로 플라이애시 배합을 사용하도록 규정하였다.

이외에도 주물사더스트와 페로니켈슬래그의 활용을 위한 기술 검토가 이루어졌으며, 이의 실무적 활용을 위한 기준 수립 등의 연구 등이 진행된 바 있다. 특히 고속도로 공사의 경우에는 현장암을 유용하여 골재를 생산하는 경우가 많은데, 이러한 골재의 생산을 위한 암의 파쇄 과정에서 스크리닝스가 발생한다. 스크리닝스를 린콘크리트 기층, 중앙분리대, 레벨링 콘크리트, 그라우팅재 등의 배합에

표 2. ASR 억제를 위한 산업부산물 사용

구 분	내용	비 고
등가 알칼리 함량 제한	4.0 lb/yd <sup>3</sup> 이하	
플라이애시 사용	20~35% 시멘트 치환	Class F
슬래그 사용	35~50% 시멘트 치환	
플라이애시, 슬래그, 실리카폼의 사용	35~50% 시멘트 치환	혼합 사용

혼입하여 활용하는 방안 등이 검토되고 내부적인 기준을 마련하여, 이미 실무 적용이 이루어지고 있다.

## 2.2 산업부산물의 도로 기층재 활용

도로 포장 시스템은 자연 노상의 상부에 입도가 개선된 다짐 노상, 보조기층, 기층, 표층으로 구성되어 있다. 이러한 포장 시스템은 사용되는 재료의 물량이 많아, 재활용 재료의 활용성이 입증되는 경우에는 그 효과가 매우 클 수 있다. 고속도로의 건설에서는 상대적으로 물성 기준을 맞추기가 용이한 노상에 아스팔트 절삭재, 콘크리트 파쇄재, 스크리닝스 등이 활용이 되고 있으며, 보조기층이나 기층에도 부분적으로 재활용 재료가 혼입되어 사용되고 있다. 여기에서는 별도의 기준을 마련하고 물성을 확보하기 위한 대책이 강구되어 활용이 되고 있다.

특히 스크리닝스는 폐기물의 고속도로에 대한 재활용의 큰 성과 중의 하나로서, 도로교통연구원에서 많은 물성 실험과 현장 적용성 평가에 의한 결과 도출로 과거에 거의 전량이 폐기되었지만 현재는 거의 전량이 재활용되고 있는 실정이다.

이외에도 앞서의 절에서 언급한 일부 산업 부산물이 마찬가지로 도로 노상, 보조기층 및 기층재에 채움재로 활용이 되고 있다. 페로니켈슬래그, 발전소의 바텀애시 등이 시험적용되어 기준을 수립한 상태이다.

표 3. 도로 포장재로서의 재활용

구 분	사용 방법	사용 현황
아스팔트 절삭재	노상, 보조기층, 기층	실무 사용
콘크리트 절삭재	노상, 보조기층, 기층	실무 사용
스크리닝스	보조기층, 기층	실무 사용
바텀애시(매립회)	보조기층, 기층	규격 제정
페로니켈 슬래그	보조기층, 기층	시험 적용
주물사 더스트	보조기층	시험 적용



그림 1. 플라이애시 콘크리트의 포설



그림 4. 스크리닝스를 활용한 링크콘리트 기층



그림 2. 바텀애시 혼합골재의 보조기층 포설



그림 5. 쇄석골재의 생산 및 야적



그림 3. 스크리닝스 혼합 전경



그림 6. 플랜트의 골재 재활용 시설 사례

### 2.3 재생 아스팔트

재생 아스팔트는 노면의 절삭된 아스팔트 재료를 단순히 채움재로 사용하는 것이 아니라, 새로운 아스팔트 포장재로서 재생시키는 것을 의미한다. 이러한 재생 공법으로는 노후된 구간의 절삭 현장에서 절삭된 재료를 직접 재생하는 공법인 현장 재생 아스팔트 공법과 절삭된 재료를

일단 플랜트로 가져가 재생산하여 포설하는 플랜트 재생 아스팔트 공법이 있다. 그리고 현장에서 상온 재활용하는 공법도 존재하고 있다.

절삭된 아스팔트의 품질을 확보하기 위해 첨가제, 바인더, 추가 골재 등의 적절한 배합 및 생산이 중요한 관건으로 이에 대한 연구가 일부 이루어지고 품질확보를 위한 시공 기준이 수립되었다. 고속도로가 일반 도로에 비해 높은 수준의 품질기준을 요구하고 있어서 부체도로 등의 사

용만이 이루어지고, 본선에서는 시험시공이 수행된 상태이기는 하지만, 향후 기술적 발전을 통해 약점이 극복되어지면 사용이 확대될 가능성이 존재한다.

## 2.4 순환(재생) 골재

폐콘크리트 및 폐아스팔트에서 발생하는 골재는 재생하여 활용하는 방안으로 국내에서도 상대적으로 많은 연구가 이루어진 상황이다. 골재와 함께 존재하는 시멘트 및 아스팔트 바인더의 품질 영향성 등에 대한 검토 등이 연구의 주요 내용을 이루고 있다. 고속도로 현장의 적용을 위해 일부 연구가 진행되어졌으며, 굵은 골재의 경우에는 이미 사업자가 존재하여 활용에 큰 문제는 없는 것으로 판단된다.

고속도로 현장은 일반적으로 이동식 현장 플랜트를 활용하기 때문에 순환 골재 생산지와 거리가 다소 이격되어 있고, 특히 현장암을 유용해서 별도의 골재 구매가 활발히 이루어지지 않는 점이 실질적인 제약 조건이 되고 있다. 그러나 향후 점차적으로 현장 플랜트의 사용이 줄어들 것으로 예상되고 있어, 순환 골재의 활용이 증대될 가능성이 존재한다. 결국 이러한 상황 변화에서 순환 골재의 활용이 증대되기 위한 관건은 건설 실무 당사자의 능동적인 활용을 유도하는 제도적인 뒷받침이 필요한 것으로 판단된다.

순환 골재와는 다소 상이한 점이 있지만은 최근의 양질의 진골재 확보에 대한 어려움은 부순 모래의 활용을 상당히 증대시키고 있다. 이에 대한 필요성에 의해 부순모래에 포함된 미립분의 영향과 전체 완성품의 품질에 미치는 영향, 그리고 품질관리 방안에 대한 연구가 진행되었다. 연구결과를 바탕으로 고속도로 공사의 부순모래 사용에 대한 품질 기준과 이용방안이 수립되어 이미 실무 적용되

고 있다.

## 2.5 기타 분야

앞서 기술한 내용은 고속도로 공사에 사용되는 대표적인 재활용 기술들이고, 이와 더불어서 소규모 이기는 하지만 다양한 재활용 관련 기술들이 시도되고 있다. 그 중의 한 사례가 오니를 이용한 사면 안정으로 사면 표면의 보호 뿐만 아니라 식생에 유리한 공법이 제시되고 일부 적용된 바가 있다. 그 밖에도 생활 폐기물을 이용한 다양한 기술들이 개발되어 지고 있으나, 실제적으로 공사에 적용된 사례는 아직 존재하지 않는 것으로 보인다.

## 3. 기술 적용의 문제점

일반적으로 고속도로의 공사는 일반 도로에 비해 높은 수준의 품질을 요하는 경우가 많다. 고속의 도로 주행은 보다 높은 수준의 구조적 신뢰성을 요구하고, 이에 따라 다소 품질이 저하가 우려될 수 있는 가능성을 가진 재료의 사용이 보수적으로 받아들여지고 있다. 그리고 건설 현장의 일반적인 보수적 성향이 여기에 가세하고 있다. 따라서 이에 대한 많은 연구개발이 이루어지고, 시행을 위한 노력이 투입되어야 할 것으로 판단된다.

다음으로는 경제성의 문제를 들 수 있는데, 재활용 재료의 경우에는 원 재료에 비해 낮은 수준의 가격을 가짐에도 불구하고 건설 현장과의 거리 이격으로 인해 추가적인 운송비용이 단가 측면에서 불리한 조건이 된다. 특히 고속도로의 경우에는 대부분이 현장 플랜트의 운용과 현장 유용암을 이용한 골재 생산 등의 조건을 가진다. 따라서 비용을 지불해야 하는 특수한 상황이 아닌 경우에는 별도의 운송비용이 추가되는 것이다. 앞서 기술한 내용 중



그림 7. 재생골재의 활용 전후 전경



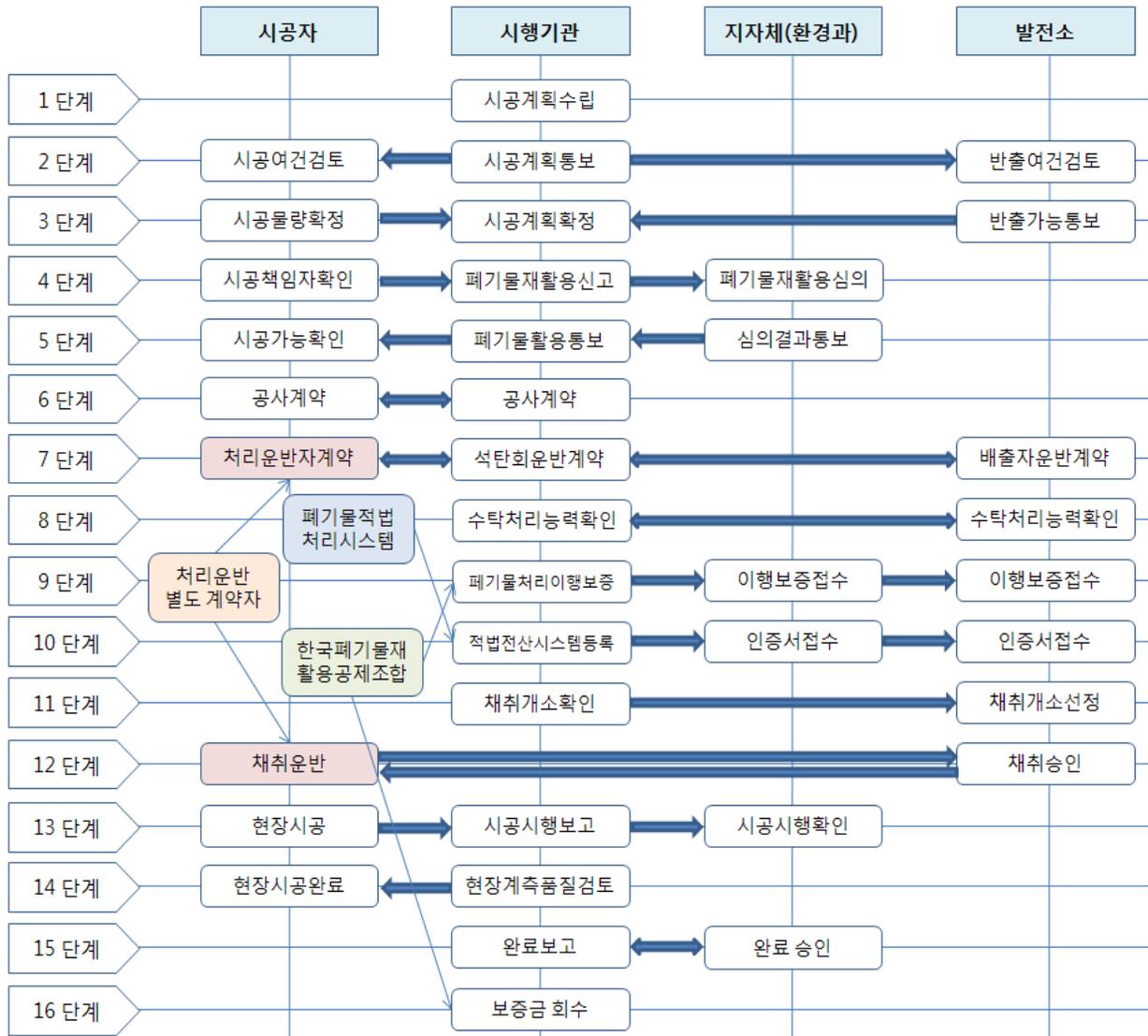


그림 8. 재활용 현장 시공을 위한 업무 절차 사례

에 알카리골재반응에 대한 대책으로 플라이애시를 사용하는 경우는 필수적인 요건이 부과되어 비용을 지불하고서라도 이를 사용해야하는 상황이지만, 그 외의 대부분의 경우에는 부가적인 선택사항이 된다.

재활용 재료의 상당 부분은 폐기물 관리와 같은 별도의 법률적, 제도적 제약 조건이 존재하여서, 이를 고속도로 건설 현장에서 사용하는데 다소 어려움이 존재한다. 다음의 그림 8은 발전소 매립회를 도로 기층재로 현장 적용하는데, 소요된 절차를 한 사례로 기술한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 다소 복잡한 과정이 개입되므로 실제 현장 기술자의 접근이 어려울 수도 있다. 그리고 절차의 중간에서도 재활용 재료의 사용에 대한 구체적인 기술이 실제적이지 못한 경우에는 실무적으로 어려움이 존재한다.

#### 4. 결론

여러 가지 선언적인 방안 들이 제시되고 있으나, 재활용 재료의 확대 적용은 공적인 영역에서의 선도적인 역할이 매우 중요한 것으로 판단된다. 그리고 이러한 선도는 강제적인 집행이 아니라, 자원 재활용 기술을 현장 기술자들이 자연스럽게 접근 가능하고 선택 가능한 대안의 하나가 될 수 있는 여건 조성에 기반하여야 한다.

결국은 현장기술자의 리스크를 줄여주고 보조금 등의 인센티브 부여 방안 등과 제도적인 뒷받침이 이루어져야 보다 활성화된 재활용 재료의 사용이 이루어질 것으로 판단된다. 다음의 그림 9에서 보는 바와 같은 녹색도로 구현



그림 9 녹색도로 구현을 위한 활동 사례

을 위한 실질적인 업무 추진 체계와 장려 방안이 적극적으로 강구되어야 할 것으로 판단된다.

다행스럽게도 한국도로공사를 중심으로 고속도로의 많은 영역에서 세부 분야별로 재활용 재료의 이용을 위한 기술적 축적이 이루어지고 있다. 그리고 결과적으로는 고속도로를 포함한 도로가 다른 어떤 분야에 비해서 가장 유용한 녹색기술의 구현 마당이라는 인식이 확대될 것이라고 생각한다.

### 참고 문헌

1. 고속도로 건설공사 전문시방서, 한국도로공사, 2009.
2. Han Seung-Hwan, Hong Seung-Ho, "The Implementation of Fly Ash Concrete for Mitigating ASR," International Symposium on the Resources Recycling Technology & Alternative Construction Materials, 2007.
3. 한승환, 홍승호, "콘크리트포장의 알카리골재반응 기준 검토 및 대책방안 연구," 한국도로공사 도로교통연구원 연구보고서, 2004.
4. 김진철 외, "폐콘크리트 및 폐아스콘의 용도별 재활용방안과 현장 적용성 연구," 한국도로공사 도로교통연구원 연구보고서, 2002.
5. 김인수 외, "Rap 시험시공 및 품질향상 연구," 한국도로공사 도로교통연구원 연구보고서, 2008.
6. 한승환 외, "발전소 매립지의 친환경적 활용을 위한 규격화 요소 기술 개발 - 도로 포장재 활용 기술 개발 부문-, " 전력산업연구개발사업 연구보고서, 2010.