

폐아스콘 100% 재활용을 위한 신기술개발

Development of New Technology for 100% RAP Recycling

허정도*

Huh, Jung Do

1. 서론

아스팔트도로포장의 해체 및 유지보수증가로 국내 폐아스콘 발생량은 2005년 환경부통계에 의하면 연간 500만 톤을 상회하고 있다. 대부분 성토 재나 매립용으로 사용되고 있으나 최근 들어 폐아스콘이 귀중한 자연자원이며, 불법 매립할 경우에 환경오염문제를 유발할 수 있어 도로포장에 재사용하려는 움직임이 환경부에 의해 활발히 진행되고 있다. 정부는 부존자원인 폐아스콘의 재활용비율을 선진국수준으로 끌어올리려고 하고 있으나 아직도 대부분 폐기물 처리업체의 적치장에 쌓여있거나 단순 매립하는 실정이다. 2009년 7월 말에는 서울시를 포함한 전국 20개 공공기관이 폐아스콘을 도로포장에 재활용하기 위해 협약서를 체결하였고 2010년 하반기부터 모든 도로에 폐아스콘을 신재 대비 20%이상 의무적으로 사용하는 규정을 만들었다. 현재 국내의 폐아스콘 재활용 규정은 포장표층에 최대 30%, 기층에는 50%로 정하고 있다. 미국에서는 최근 각 주마다 시험포장을 건설하고 있으며, 주요도로에 20-50%의 폐아스콘 사용을 시험하고 있다. 미국의 경우 폐아스콘 사용함량이 25%를 넘으면 다량의 폐아스콘을 사용한 것으로 정의하고 있다. 폐아스콘 사용량 제한에 대한 주된 이유는 기술력 부족이 초래한 재생포장의 열악한 품질에 기인하며, 이를 해결하기 위해서 우수한 품질의 재생아스콘 생산, 폐아스콘 사용량의 증대로 자원낭비의 최소화, 환경오염방지 등의 목적에 부합하는 새로운 기술개발이 시급히 요청된다.

2. 폐아스콘의 재활용기술

2.1 아스팔트바인더의 산화노화 메카니즘

아스팔트포장 중의 아스팔트바인더는 공기 중의 산소와 서서히 반응하여 포장의 공용기간이 경과하면 점진적으로 본래의 유연성을 상실하고 점점 딱딱해져서 마침내 심각한 균열을 발생시키며 포장수명을 종료한다. 아스팔트포장의 유지보수나 재포장 혹은 포장굴착으로 인하여 폐아스콘이 수거되는 데, 이러한 폐아스콘 중에는 공기 중에 오랫동안 노출되어 있어서 산화 노화된 아스팔트바인더가 다소 포함되어 있다. 산화노화란 방향족화합물 (벤젠링에 부착되어 있는 알킬그룹)이 공기 중의 산소와 반응하여 카보닐그룹 (-C=O-)으로 변화하고 이들 카보닐그룹은 서로 간에 강한 수소결합을 형성하여 마치 딱딱한 재료인 아스팔텐 화합물처럼 거동한다. 다시 말해서 산화노화로 아스팔트바인더 중의 방향족화합물이 점점 감소하고 아스팔텐화합물이 증가하는 결과를 낳음으로서 아스팔트바인더는 유연성을 상실하고 점점 딱딱해진다. 이러한 증거는 본래의 아스팔트바인더의 물성을 회복하기 위하여 재생첨가제를 폐아스콘에 첨가하는데, 이러한 재생첨가제의 성분을 조사해보면 알 수 있다. 표 1에는 상품화된 5종류의 재생첨가제 성분을 나타낸다 (한국형 포장설계법 중 아스팔트 재활용연구 내용 중에서 인용함(1)).

* 정회원 · (주)뉴페이브 연구소장 · 공학박사(E-mail : jdhuh47@gmail.com) - 발표자

표 1. 상업화된 재생첨가제의 화학적 조성물

재생첨가제(Rejuvenator)	RJ-1(wt%)	RJ-2(wt%)	RJ-3(wt%)	RJ-4(wt%)	RJ-5(wt%)
지방족 (Saturates)	1.23	45.39	36.47	7.4	10.57
방향족 (Aromatics)	96.8	52.84	61.01	90.25	79.78
환상지방족(Cyclic Saturates)	0.71	0.96	1.71	2.34	6.7
아스팔텐(Asphaltenes)	1.15	0.82	0.81	0	2.94

표 1에서 각 재생첨가제는 물성복원을 위하여 산화노화로 감소된 방향족화합물이 조성물의 상당부분을 차지하고 있음을 볼 수 있다.

산화노화 중에 일어나는 또 하나의 반응으로 아스팔트바인더 화합물 중의 유황이 산소와 결합하여 설포닐그룹(-S=O-)이나 설폭사이드그룹(-SO₂)으로 변화한다. Huh와 Robertson(2)은 산화노화로 인한 점도증가에 대한 모델식을 제안하고 있으며, 점도증가는 카보닐 그룹의 생성에 의한 것으로 설포닐그룹이나 설폭사이드그룹의 생성과는 거의 무관하다고 보고하고 있다. 그림 1에는 압력노화용기(PAV, Pressure Aged Vessel) 속의 노화시간에 따른 일반아스팔트바인더의 동점도 증가를 보여준다. 노화시간에 따라 산화노화가 일어나 점도가 증가함을 알 수 있다.

산화노화는 아스팔트포장의 표면에서 시작하여 점진적으로 포장내부로 진행된다. 산화노화가 진행되면 그림 1과 같이 점도가 증가하여 아스팔트바인더가 유연성을 상실하고 점점 딱딱해진다. 딱딱해진 재료에 차량의 반복하중이 작용하면 그림 2와 같이 쉽게 균열이 발생하는 데, 종 방향이나 횡 방향 균열이 아닌 거북등 균열이 발생한다. 포장표면에서 1-2cm 깊이까지 산화노화가 침투되면, 포장표면에는 이미 균열이 나타나기 시작하여 거북등 균열로 진행된다. 이렇게 되면 포장수명이 종료되었다고 평가한다. 일반적으로 아스팔트포장의 표층으로부터 수거된 페아스콘은 8-10%의 산화노화된 아스팔트바인더가 포함되어 있다.

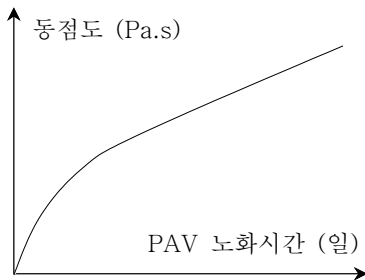


그림 1. 아스팔트바인더의 산화노화

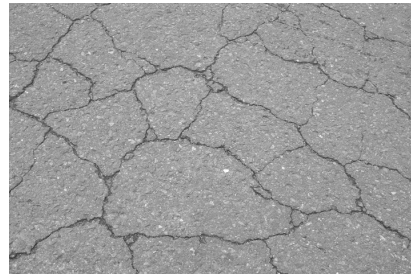


그림 2. 아스팔트포장의 거북등 균열

2.2 페아스콘 재활용을 위한 종래기술

전 세계적으로 통용되고 있는 기존의 페아스콘 재활용기술은 산화 노화된 아스팔트의 물성을 복원시켜 본래의 물성을 회복하는 데 초점이 맞추어져 있다. 이러한 기술은 폐 골재에 신규 골재를 첨가하여 원래 아스팔트포장의 입도분포도와 일치하도록 맞추어야 하고, 폐 아스팔트바인더는 신규 아스팔트바인더와 같은 점도 혹은 침입도를 가지도록 신규 아스팔트바인더와 재생첨가제를 사용하여 조정한다. 이러한 이유로 기존기술은 입도분포도를 맞추기 위해 페아스콘을 분쇄하여 순환골재를 만들어 사용하고 재생첨가제를 필요로 한다. 그러나 이러한 재생기술은 잘해야 신규아스콘 물성과 비슷하거나 그 보다 열악할 가능성이 매우 높다. 왜냐하면, 실험실에서 먼저 수거된 페아스콘을 기준으로 배합설계가 결정되고 그 후에 재생아스콘이 생산되는 데, 생산과정에서 고온가열로 인하여 수거된 페아스콘의 추가적인 산화노화가 진행되며, 이 과정은 배합설계에 전혀 반영되지 않았기 때문에 물성이 더욱 나빠질 수밖에 없다. 그림 3에는 기존의 페아스콘 재활용기술에 대한 배합설계기술을 보여주고 있다.

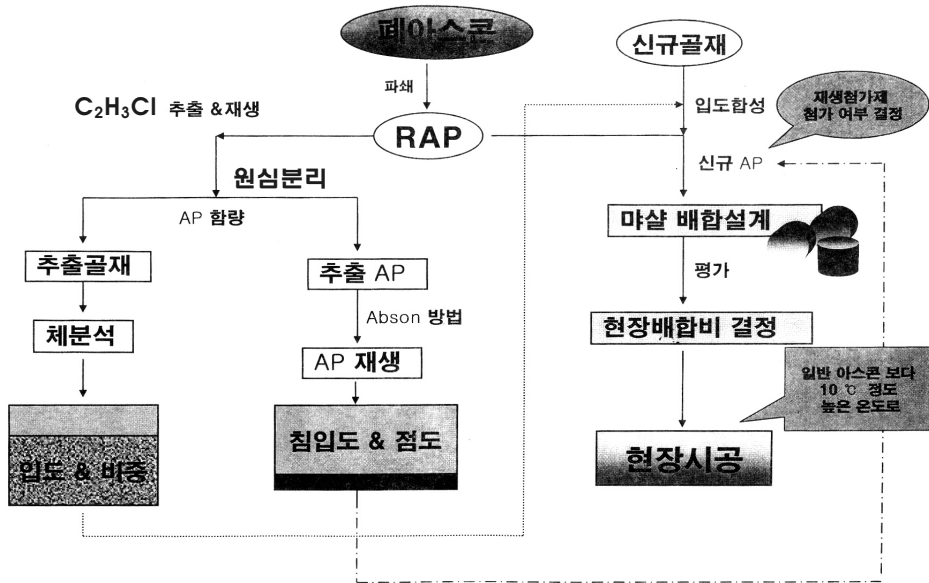


그림 3. 기존의 페아스콘 재활용을 위한 배합설계 법.

상기에서 설명한 기존의 페아스콘 재생기술은 신재의 사용없이 폐재만 100% 사용한다면 원래의 성질을 복원할 수 없을뿐더러 재활용포장에 심각한 물성저하를 가져온다. 따라서 표층에는 폐재를 최대 30%, 기층에는 최대 50%를 사용하고 나머지는 신재를 사용하도록 현재의 국토해양부 시행서는 규정하고 있다.

2.3 페아스콘 재활용을 위한 신기술

본 연구의 페아스콘 재활용기술은, 재생 첨가제를 사용하여 신규 아스콘의 품질복원에 목표를 두는 기존 기술과는 차별화를 이루어, 품질복원과 물성향상을 동시에 도모하는 새로운 기술이다. 기존기술과는 달리 신규재료를 전혀 사용하지 오로지 100% 페아스콘에 개질첨가제를 첨가함으로써 고품질의 재생아스콘을 생산하는 원천기술이다. 이 기술의 효과는 페아스콘의 사용증대, 자원절약, 환경보호, 포장건설비용 저감 및 우수 품질로 인한 포장수명 연장 등과 같은 경제적 또는 환경적 이점을 가져온다. 핵심적인 기술은 개질첨가제의 개발이며, 개질첨가제의 특성은 아래와 같다;

1. 페아스팔트와의 상용성이 우수해야 함
2. 폐골재와 접착성이 우수해야 함
3. 탄성 성질이 커서 균열 저항성이 우수해야 함
4. 고 점성으로 소성변형 저항성이 우수해야 함
5. 일부 파쇄된 골재를 피복시킬 수 있어야 함
6. 재생 아스콘 생산과 포장시공이 용이해야 함
7. 운반이 편리해야 함.

다음 표 2는 페아스콘 함량에 따른 마살안정도시험 결과를 보여준다. 신규재료의 바인더함량은 6.0%를 사용하고 골재입도는 13mm 밀입도를 사용하였다. 페아스콘재료는 표층을 상온 질착한 것을 채가름 없이 그대로 사용하였다. 재생첨가제 없이 AP-5 아스팔트바인더를 사용하여 마살시편을 제조하였으며, 50회 양면다짐을 실시하였다. 페아스콘 100%를 위한 혼합물에는 개질첨가제를 전체 혼합물무게의 1%를 첨가하였다. 시편



은 각각 3개씩 준비하여 시험하였으며 아래 표는 평균값을 나타낸다.

표 2. 페아스콘 함량과 마찰안정도시험 결과

100% 페아스콘 + 개질첨가제	13mm 밀입도 100% 신규 혼합물	10% 페아스콘 + 90% 13mm 신규혼합물	20% 페아스콘 + 80% 13mm 신규혼합물	30% 페아스콘 + 70% 13mm 신규혼합물	40% 페아스콘 + 60% 13mm 신규혼합물	50% 페아스콘 + 50% 13mm 신규혼합물
2182 kgf	1127 kgf	1202 kgf	1240 kgf	1001 kgf	943 kgf	800 kgf

표 2를 참조하면, 100% 페아스콘에 개질첨가제를 첨가한 혼합물이 타 페아스콘 혼합물에 비하여 물성이 우수함을 볼 수 있으며, 신규 13mm 밀입도 혼합물에 단순히 페아스콘만을 첨가한 것은 20%까지는 문제가 없으나 그 이상에서는 물성저하가 현저히 나타남을 볼 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 새로운 개질첨가제를 개발하여 페아스콘 100%를 재활용하는 연구를 수행하였으며 충분한 가능성이 있음을 확인하였다. 특허 1건을 이미 등록하였으며 중온특성을 고려한 다른 특허를 현재 출원한 상태이다. 추가적인 연구가 현재 진행되고 있다.

참고 문헌

1. 정규동외, “페아스콘 재활용 연구,” 한국형포장설계법 아스팔트포장연구분야, 2006년.
2. Huh J.D. and Robertson R.E., “Modeling of Oxidative Aging Behavior of Asphalts from Short Term High Temperature Data as a Step toward Prediction of Pavement Aging”, *TRR No.961112*, TRB, 1996, NationalResearchCouncil, Washington, D.C.