

# 현장 가열 표층재생 아스팔트 포장공법의 재활용 가열장비 성능향상 및 개선방안



조 홍 현 | 조선대학교 공과대학 교수  
강 변 | 조선대학교 공과대학 박사과정  
정 찬 우 | (주)중원개발 선임연구원

## 1. 개요

최근 환경에 대한 문제가 사회적 이슈로 부각되고 있으며 폐기물의 자원화에 대한 이슈가 부각되고 있다. 아스팔트 도로 포장의 설계수명은 약 20년으로 추정되고 있다. 하지만 실제 도로에서는 부단한 유지관리 노력이 없으면 그 수명은 유지하기 힘들며 심한 경우 5년 정도에 재포장을 해야 한다. 하지만 아스팔트 도로 포장의 경우 재활용될 수 있다는 장점을 가지고 있으며 이 장점을 활용한 공법이 현장 가열 표층재생 공법이다.

현장 가열 표층재생 아스팔트 포장공법은 도로의 재포장 시 적절한 온도로 도로 표면을 가열하여 폐아스팔트와 첨가제를 혼합하여 다시 도로 표면을 시공할 수 있는 공법이다. 이 공법은 현장에서 발생한 폐아스팔트를 바로 재활용하므로 운반에 따른 비용이 절감되며, 도로 표면을 일정한 높이로 포설할 수 있고 도로에서 발생하는 폐아스팔트를 100% 재활용함으로써 타 공법에 비하여 환경친화적 공법이다.

## 2. 현장가열 표층재생 공법



a. 현장가열 재생아스팔트 포장 전경

b. 1차노면 가열 장치



c. A-Unit 1차 절삭(첨가제 살포)

d. 신재아스팔트 투입



e. 신재+구재 아스팔트 혼합

f. 아스팔트 혼합물 포설 및 다짐

그림 1. 현장가열 표층재생 공법 절차

현장가열 표층재생 아스팔트 포장공법은 아스팔트 도로 포장의 파손된 기존 표층을 현장에서 가열, 질삭하여 발생하는 아스팔트와 플랜트(Plant)에서 생산된 신규 아스팔트, 재생첨가제를 혼합하여 현장가열 재생 아스팔트 포장 장비를 이용하여, 현장에서 발생된 폐 아스팔트를 75~100% 재활용하여 아스팔트 생산과 시공하는 공정으로 이루어진 도로 포장 보수 공법이다. 그림 1은 2013년 5월에 국도 5호선 포장유지보수를 위해 시행된 현장가열 재생 아스팔트 콘크리트 포장 시공절차를 6단계로 정리하여 설명해 주고 있다.

개선된 재활용 가열장치를 설치하고 마무리 과정인 페이버를 이용한 아스팔트 혼합물 포설온도를 측정한 결과 120~130℃ 이상에서 현장가열 재생아스팔트 포장이 포설되었다.

### 3. 재활용 포장장비 문제점

기존에 사용되고 있는 재활용 포장장비의 문제점을 그림 2와 그림 3에서 각각 보여주고 있다. 그림 2는 재활용 아스팔트 포장장치의 정상품과 불량품의 상



그림 2. 재활용 아스팔트 포장장비 상판 온도 비교



그림 3. 기존 재활용 아스팔트 장비에서의 문제점 예시

판 온도를 보여주고 있다. 정상품의 경우 상판의 온도가 100℃에서 120℃를 유지하고 있으나 불량품의 경우 온도가 300℃ 이상으로 상승하여 측정이 불가능하다. 또한, 그림 3은 노즐 부분에서 불꽃이 발생하고 있다. 이는 불꽃이 아래의 노면을 가열하지 못하고 유동 흐름의 문제로 인하여 가스가 재활용 아스팔트 장치에 끌고루 분사되지 못하기 때문이다. 따라서 이러한 문제점으로 인하여 작업의 효율이 떨어지고 가스 소비율이 증가하게 된다.

### 4. 재활용 포장장비 및 실험장비

그림 4는 재활용 아스팔트 포장장비의 내부를 보여주고 있다. 내부에는 가스 노즐의 끝 부분에 반사판이 2개가 설치되어 있고 가스는 노즐을 통해 토출된 후 반사판에 반사되어 장비의 밑 부분으로 고르게 분포되도록 설계되었으며 노즐의 길이는 460mm, 반사판의 각도는 2개 모두 138°로 기울어져 있고 상판과 간격은 8mm로 설계되었다. 또한 재활용 아스팔트 장비에서 사용되는 망은 얇은 망을 3장 겹쳐서 사용하였으며 이는 불꽃이 노면에 고르게 분포할 수 있도록 도와주는 역할을 하도록 설계되었다. 실험장비 제작을 위해 프로파일을 이용하여 실험장치 제작을 위한 실험대를 설치하였고 이때 30×30의 프로파



그림 4. 재활용 아스팔트 포장장비 내부 모습

일을 선정하였다. 아스팔트 재활용 포장장비 밑의 불꽃이 토출되는 부분에 내열강화유리로 차단하고 불꽃의 온도를 측정할 수 있는 K-Type의 열전대를 설치하여 가열기 전방에 걸쳐 토출되는 불꽃의 분포도 측정하였다. 또한 LPG 가스에서 재활용 포장장비로 들어가는 정확한 압력을 측정하기 위해 디지털 압력계를 설치하였으며 mx100을 통하여 압력 및 온도를 측정하였다.



그림 5. 재활용 아스팔트 포장장비 실험대

## 5. 모델링 및 해석방법

3-D 해석 프로그램인 CFX 해석 프로그램을 통하여 아스팔트 재활용 포장장치 내부의 모델을 디자인한 후 가스 유동을 해석하였다. 가스 유동을 해석하기 위해 노즐에서 분사된 유체가 반사판에 반사되어 메쉬(mesh)를 통과하는 모습을 모델링하였으며 반사판의 각도, 노즐의 길이, 첫 반사판과의 거리를 변경하여 각각 3-D 모델로 구성하였으며 해석을 통하여 최적의 내부구조를 설정하였다. 실제 내부 반사판의 각도와, 노즐길이, 외관의 전체 사이즈를 동일하게 3-D 모델을 구성하였으며 망의 경우 3개의 망으로 겹치도록 가정하여 해석을 진행하였다.

해석 도중 다른 요소와의 열교환은 없는 것으로 설정하였으며 모든 면은 inlet, outlet, mesh를 제외하고 wall 처리하여 계산하였으며 난류모델은 오차를 많이 줄일 수 있는 SSG Reynolds stress 모델로 선정하여 진행하였다. 기존에 설정된 모델 해석을 통하

여 기본 제품에 대한 가스 유동흐름에 대해 분석한 후 이를 최적화하기 위하여 반사판 각도의 변화, 노즐길이 변화 등의 변수에 따른 해석을 진행하였다.

그림 6은 기존 재활용 아스팔트 포장장비의 내부 그림과 모델 해석결과를 보여주고 있다. 본 해석결과 중간 부분에 비하여 뒷 부분에 높은 유속을 나타내고 있으며 앞쪽 부분에서 빠른 유속을 보여주고 있다. 또한 거의 모든 가스가 뒤쪽과 중앙 부분에 집중되고 있으며 처음 부분은 낮은 유속을 보이고 있다. 기본 모델의 경우 가스 유입부분에 적은 가스 유입으로 인하여 불꽃 온도가 낮게 나왔으며 해석을 통하여 기존의 재활용 아스팔트 포장장비의 문제점을 확인할 수 있다.

그림 7은 첫 번째 반사판 위치 변경에 따른 가스 내부 변화 해석에 따른 3-D 해석결과를 보여주고 있다. 반사판 위치변경에 따라 재활용 아스팔트 장비 가스 유입부에 가스 유동이 많이 생성됨을 보여주고 있으며 기존의 제품보다 가스 분포가 향상됨을 보이고 있다. 또한 반사판 각도 변화와 달리 전체적인 부분에 가스 유동이 활발하게 이루어지고 있는 모습을 보이고 있으며 기존의 제품보다 가스유속이 빨라지는 것을 확인할 수 있었다.

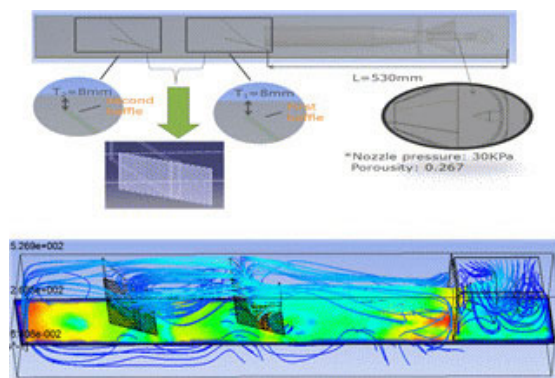


그림 6. 기존 재활용 아스팔트 포장장비의 3-D모델 해석

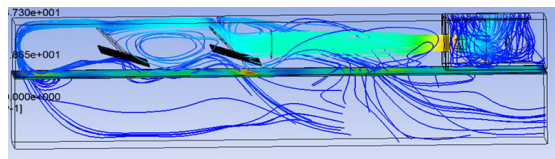


그림 7. 첫번째 반사판 위치 변경에 따른 가스 내부 변화 해석

그림 8은 반사판 각도를 138°에서 126°로 변경에 따른 가스 내부 변화 해석을 보여주고 있다. 반사판 각도 변화에 따라 재활용 아스팔트 포장장비 가스 유입부에 가스 유동이 많이 생성됨을 보여주고 있으며 기존의 제품보다 가스 분포가 향상됨을 보이고 있다.

그림 9는 반사판 각도를 138°에서 120° 변경에 따른 가스 내부 변화 해석을 보여주고 있다. 반사판 각도 변경에 따라 내부 유동 해석을 CFD 해석을 통하여 확인한 결과 기존의 제품에 비해 가스내부의 유동의 분포가 잘 되고 있는 결과를 확인할 수 있었으며 기존 제품에 비해 가스가 분포가 가스 유입부분에 잘 이루어지고 있다.

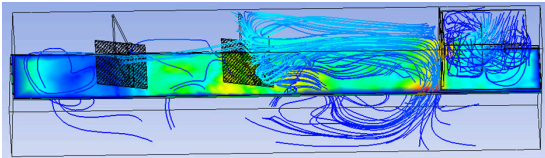


그림 8. 반사판 각도 126° 변경에 따른 가스 내부 변화 해석

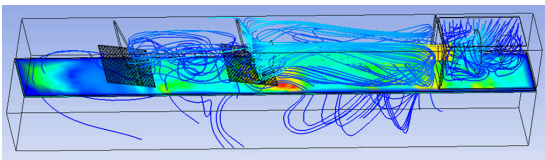


그림 9. 반사판 각도 120° 변경에 따른 가스 내부 변화 해석

## 6. 실험결과

그림 10은 각 제품 별 K-type 온도센서에서 30분 후 측정된 최종 온도를 나타내고 있다. 변경된 세 제품(반사판각도 120°, 126°, 반사판위치를 560mm 변경) 모두 기존 제품에 비해 온도 분포율은 좋게 나타나는 것을 확인할 수 있었으나 반사판 각도를 126°로 변경한 제품과 반사판위치를 560mm으로 변경한 제품의 경우 기존 제품에 비해 최고 온도가 낮아지는 현상을 보이고 있다. 5, 6번 온도센서 측정결과와 반사판 각도가 120°로 변경된 제품의 온도가 가장 높게 나타났으며 각 센서에서 온도측정결과 가스 분포가

가장 좋은 것으로 나타났다. 7번 온도센서의 경우 기존 제품의 경우 가장 낮은 온도가 측정되었으며 반사판 각도를 120°로 변경한 제품의 경우 가장 높게 측정되었으며 이는 반사판 각도를 120°로 변경한 제품의 경우 다른 타 제품에 비해 입구부분에 가스 유동이 원활하게 이루어기 때문이다. 또한 최고온도의 경우 기존 제품과 반사판 각도를 120°로 변경한 제품의 경우 별다른 차이점이 없으므로 전체적인 온도분포도와 온도를 확인한 결과 120°로 변경한 제품의 성능이 향상됨을 확인할 수 있었다.

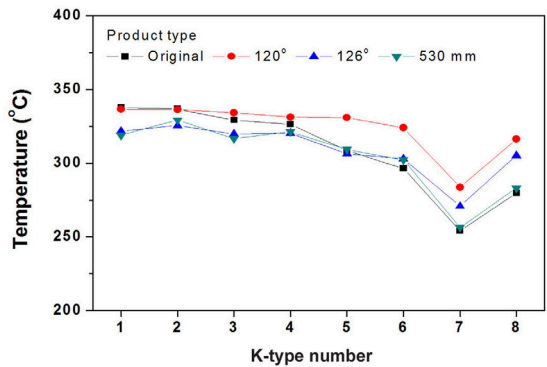


그림 10. 제품 별 온도 분포 결과분석

그림 11은 각 제품 별 K-type 온도센서에서 측정된 최고온도와 최저온도를 비교하여 나타내고 있다. 기존 제품의 경우 최고온도가 337.8℃로 가장 높게 나타났으며 반사판각도를 변경한 제품은 336.6℃로 거의 비슷한 온도를 나타내고 있으며 반사판 각도를 126°로 변경한 제품과 반사판위치를 560mm로 변경한 제품의 경우 기존의 제품보다 낮은 최고온도를 보여주고 있다. 최저온도의 경우 기존 제품보다 변경한 제품 모두 높게 나오는 것을 확인할 수 있었으며 이는 재활용 포장장비의 내부 변경을 통하여 가스 유동이 기존의 제품보다 향상되기 때문이다. 반사판각도를 120°로 변경한 제품의 최저온도는 283.6℃로 기존의 제품의 최저온도 254℃ 보다 약 30℃ 높게 나타남을 확인할 수 있었으며 이는 반사판각도를 120°로 변경한 제품의 경우 가스 유동이 기존의 제품보다

향상되어 가스 입구부분의 온도가 높게 측정된 것으로 판단된다. 또한 다른 제품의 경우 보다 반사판각도를 120°로 변경한 제품의 경우 최고온도와 최저온도가 높게 형성됨을 확인할 수 있으며 이는 다른 제품에 비해 가스 손실률이 적음을 확인할 수 있다.

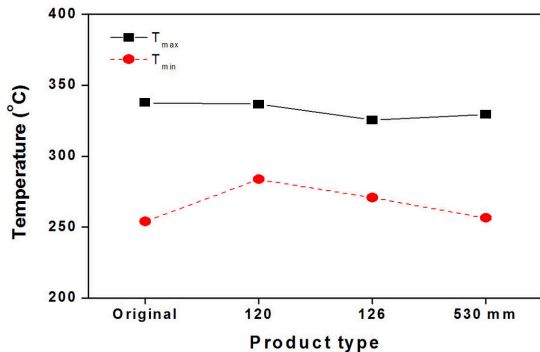


그림 11. 각 제품별 최고온도, 최저온도 비교

그림 12는 재활용 아스팔트 포장장비의 기존 제품, 반사판 각도를 120°와 126°, 반사판위치를 560mm로 변경한 제품의 최종온도의 합을 나타내고 있다. 본 실험 시 각 제품의 압력이 모두 동일하게 40kpa로 설정하였으며 동일조건에서의 모든 변수는 같다고 가정하고 동일압력 시 전체 온도에 따라 제품의 효율을 판단할 수 있다. 기존 제품의 온도 합은 2,468°C로 나타났으며 반사판각도를 120°, 126°로 변경한 제품의 경우도 합은 각각 2,563.4°C, 2,472.7°C, 반사판위치를 560mm로 변경한 제품의 경우 2,437.3°C로 나타났다. 반사판각도를 120°로 변경한 제품의 경우 다른 제품에 비해 최종 온도의 합이 높게 나타났으며 이는 다른 제품에 비해 가스 손실률이 매우 적으므로 동일 조건 시에 효율이 좋다는 것을 의미하고 있으며 반사판위치를 560mm로 변경한 제품의 경우 기존의 제품에 비해 낮은 온도 합을 나타내고 있다. 본 실험 결과 반사판각도를 126°로 변경한 제품의 경우 기존제품과 거의 유사한 온도합을 나타내고 있다.

본 실험결과 반사판각도를 120°로 변경한 제품의 기존 제품보다 가스 유동률이 좋으며 손실율이 적게

나타남을 확인할 수 있었으며 다른 제품에 비해 열효율이 좋음을 확인할 수 있었다.

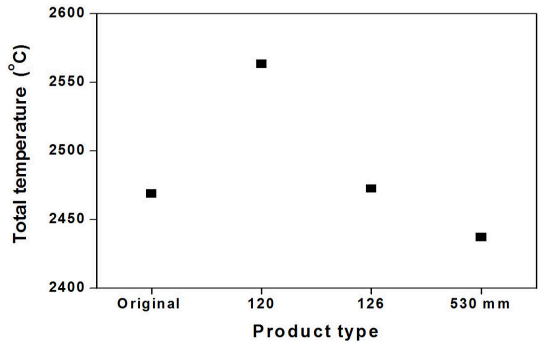


그림 12. 각 제품의 최종 온도의 합

그림 13은 각 제품의 최저온도(7번 K-type)가 100°C까지 걸리는 시간을 나타내고 있다. 시작 설정 온도는 초기변수를 최소화하기 위해 35°C로 선정하였으며 기준 센서는 가장 낮은 온도를 나타내는 7번 센서를 기준으로 하였다. 반사판각도를 120°로 변경한 제품의 온도가 가장 빠르게 (약 1분 53초) 소요되었으며 기준제품은 약 3분 1초 정도 소요되었다. 또한 반사판 각도를 126°로 변경한 제품의 경우 약 2분 20초 정도 소요되었으며 반사판위치를 560mm로 변경한 제품의 경우 가장 많은 시간이 소요되는 것으로 나타났다. 100°C에 도달하는 시간이 적게 걸린다는 것은 연료의 소비가 많이 강조하는 것을 의미하고 있

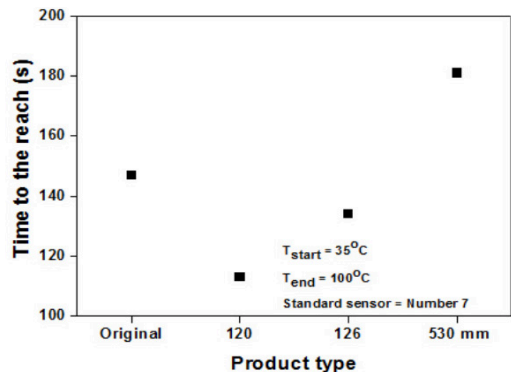


그림 13. 각 제품의 최저온도가 100°C 도달하는 시간 비교

으며 가스 유동이 원활하게 이루어짐을 나타내고 있다. 따라서 반사판각도를 120°로 변경한 제품의 경우 기존 제품에 비해 가스 소비율을 감소시킬 수 있으며 높은 열효율을 얻을 수 있다. 기존 제품에 비해 반사판각도를 120°로 변경한 제품의 경우 약 1분 정도 감소시킬 수 있으며 이를 현장에 적용하였을 시 작업속도 및 연료소비율을 감소시킬 수 있을 것으로 예상된다.

### 7. 불꽃 촬영 결과

그림 14는 재활용 포장장치 아스팔트 제품들의 30분 후 불꽃 사진을 보여주고 있다. 기존 제품과 반사판위치를 560mm으로 변경한 제품의 경우 가스입구 부분에 유동이 제대로 형성되지 않아 입구부분이 검은색으로 나타나고 있으며 반사판각도를 120°와 126°로 변경한 제품의 경우 유동의 흐름이 좋아져 입구부분에서의 불꽃이 제대로 촬영되고 있다. 반면 기존 제

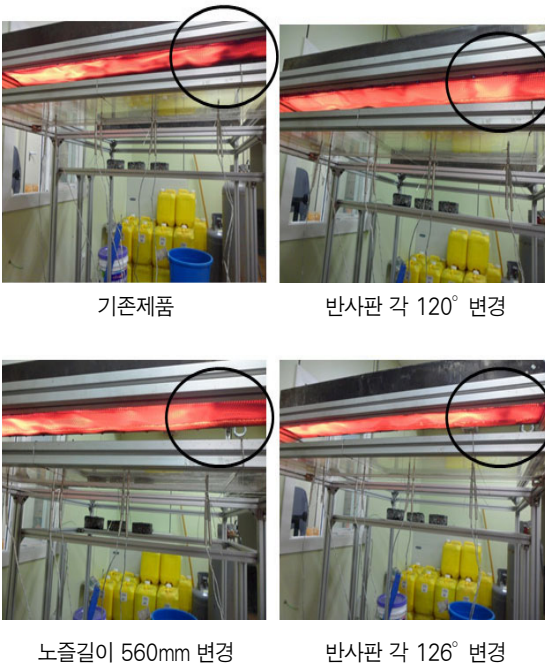


그림 14. 각 제품의 불꽃 촬영 사진

품의 경우 입구부분과 끝 부분에서의 불꽃의 색이 선명하게 구분되는 현상을 확인할 수 있다. 이는 기존 제품의 경우 가스 유동이 불균일하게 일어나 입구부분에서는 불꽃이 제대로 형성되지 않기 때문이다.

### 8. 결론

아스팔트 재활용 포장장치의 히터관의 3-D 모델을 개발하고 CFD 해석을 통하여 성능을 예측하였으며 여러 가지 운전조건에 따른 성능실험을 실시하였다. 특히 실제 시스템의 운전과 동일한 모사를 위하여 설계조건(반사판위치, 각도) 변화를 통하여 최적화에 대한 연구를 진행하였다. 1, 2, 3차 재활용 아스팔트 포장장치의 3-D모델과 실험을 통하여 결과를 분석하였으며, 기존의 시스템에 비해 변경한 제품의 대부분 재활용 포장장치의 내부의 분배가 크게 향상되어 안정성을 확보한 것으로 나타났다. 또한 재활용 아스팔트 포장장치의 내부에 따라 3-D 해석을 수행하였으며 이를 제작하여 실제 실험을 통하여 결과를 분석하였으며 대부분의 3-D 해석 결과로는 가스의 유동의 분포가 기존의 제품보다 좋게 나타났다. 반사판각도를 120°로 변경한 제품의 경우 기존의 제품보다 높은 불꽃온도와 빠른 온도의 상승, 가스분배율이 향상되어 실제공정에 적용되면 연료소비율이 감소할 것으로 예상된다. 본 공법은 노상에서 화염이 포장 표면에 직접 닿지않는 복사가열방식으로 전체 공정에서 세 번에 걸친 가열공정과 두 번에 걸친 혼합공정으로 일반 아스팔트 플랜트에서 생산되는 혼합물에 비해 온도관련 공정이 잦아지므로 철저한 온도관리가 필요하다. 따라서 열효율을 개선한 재활용 가열장비를 사용함으로써 기존 재활용 가열장비에 비해 열량부족으로 인한 아스팔트와 골재가 깨어지는 손상을 최소화 하였고 최종단계에서 기존 재활용 가열장비에 비해 아스팔트 혼합물 최종온도가 10℃ 상승효과가 있어 현장가열 표층재생 아스팔트 혼합물의 품질이 크게 향상될 것으로 기대된다.