

흡음재료로서 페타이어 금속Chip의 재활용 가능성 검토

배 재근, 황진우, 김민배*, 이동훈**

서울산업대학교 환경공학과, 주식회사 mTm*, 서울산업대학교 기계공학과**

I. 서론

최근들어 자동차 천만대 시대를 맞이하여 그와 더불어 급격히 증가하는 페타이어의 처리가 국내외적으로 심각한 문제로 대두되고 있다. 페타이어는 소각, 매립, 열분해, 재활용, 재이용 등의 방법에 의하여 처리되거나 재활용되고 있으며, 특히 최근에는 페타이어를 이용한 재자원화에 대한 연구가 집중되고 있다. 페타이어는 파쇄시 고무칩, 비드와이어 그리고 나일론 코드로 분리되며, 이 중에서 고무칩은 칩 또는 분말의 형태로 보도재료, 건축재료에 이미 재활용되고 있으며 그리고 나일론 코드는 시멘트업체의 보일러용 연료로 사용되고 있다. 그러나 비드와이어는 일반 고철로서 매각되고 있으며, 또 다른 부가가치의 제품으로 재활용되지 않고 있는 실정이다.

이러한 관점에서 본 연구는 고무칩을 제거한 페타이어 잔재물인 비드와이어를 이용하여 소음진동 방지 목적으로 쓰일 수 있는 흡음재와 방진재료의 재활용을 검토하였다. 타이어제조에 쓰이는 비드와이어는 강한 강성을 가지고 있으며, 비드와이어의 크기는 크게 직경이 0.2mm 전후인 가는 와이어와 1mm 전후인 굵은 와이어로 두 종류로 구분된다.

한편 비드와이어가 흡음재 및 방진재료 활용하기 위해서는 물드성형이 쉬워야하며, 시간이 지남에 따라 형상의 변화가 없어야 하고, 흡음 및 방진효과와 저하를 초래해서는 안된다. 그러나 비드와이어는 고탄소강으로서 강성이 매우 크므로 성형이 완료된 후에도 다시 원상태로 회복하려는 복원성이 강하다. 이 복원성을 제거하기 위해서는 물리/화학적 공정단계가 필요하다. 더욱이 비드와이어 주위에 강하게 접촉되어 있는 고무칩을 제거하기 위해서는 화학적처리 내지는 연소열을 이용하는 공정이 필요하다. 그러나 화학적 처리방법은 또다른 환경문제를 야기시킬 수 있으므로 연소열을 이용한 방법이 적절한 수단이라 사료된다.

일반적으로 연소열을 이용하면 비드와이어에 접촉되어 있는 고무칩을 제거시킬 수는 있지만, 연소시 필연적으로 수반되는 비드와이어의 산화문제에 인하여 최종제품의 수명에 악영향을 미치게 된다. 이 때문에 본 연구에서는 산화를 가급적 억제시키기 위한 방안으로 산소공급을 제한하면서 열을 가하는 열분해공법을 착안하게 되었다. 열분해공법은 비드와이어로부터 고무칩을 단순히 제거시키는 것 외에도 비드와이어에 강한 탄화막을 형성시키게 되어 제품수명을 연장시켜 줄뿐만 아니라 풀립효과로 인해 강성을 완화시켜 제품성형을 쉽게 해주는 부가적인 잇점을 제공하는 공법이다. 따라서 본 연구에서는 비드와이어에 접촉되어 있는 고무칩을 분리하는데 가장 적절한 열분해공정에 관한 제반조건을 파악하고, 공정이 끝난후의 비드와이어에 대한 기계적특성을 평가하였다.

II. 실험방법

1. 시료

실험에 이용한 재료는 페타이어로부터 전처리과정에서 3-5cm 정도의 크기로 파쇄된 비드와이어로서 상당량의 고무칩이 와이어에 접촉되어 있다. 전처리과정에서 승용차, 버스 및 트럭용의 다양한 페타이어를 일괄적으로 처리하게 됨으로서 비드와이어의 직경은 다양하였다. 그러나 비드와이어의 대부분은 지름 0.2mm의 가는 와이어와 지름 1mm 전후인 굵은 와이어로 분류된다.

2. 실험 장치와 실험 방법

페타이어에 접촉되어 있는 고무칩 및 탄성이 강하여 흡음재와 방진재료의 성형이 불가능한 것으로부터 본 실험에서는 열분해조건과 연소조건을 설정하고 온도변화를 시키면서 얻어진 시료에 대하여 물성을 측정하여 비교분석하였다. 연소는 용광로를 사용하여 실시하여 사용했으며, 열분해는 공기를 차단하는 무산소조건을 설정하

【연락처】 (우) 139-743 서울특별시 노원구 공릉동 172 서울산업대학교 환경공학과 배재근, Tel: 02-970-6617,
Fax: 02-971-5776, E-mail: phae@plaza1.snut.ac.kr

산소를 치환한 후에 반응기를 회화로에 넣어 회화로의 온도를 변화시키면서 실험을 실시하였다.

반응온도와 반응시간에 따른 고무성분의 제거효율과 고무성분이 비드와이어로부터 분리되는 정도를 반응후의 무게의 차이로 살펴보았다. 제거효율은 원시료 40g에서 철성분은 반응 후 무게 변화가 없으므로 잔류하는 성분의 무게를 측정하여 감소된 고무성분의 열분해 및 연소에 의하여 분해된 감량을 측정하였으며, 분리효율은 반응후에 철사에 붙어있는 고무성분을 간단한 물리적 조작에 의해 분리시키고 분리되는 양과 분리되지 않는 양을 측정하고 분리된 양과 반응 후 제거된 양을 합하여 분리효율을 계산하였다.

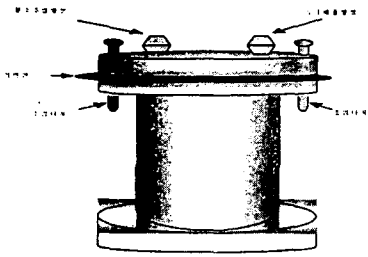


그림 1. 회분식 열분해 반응기 모형

열분해 후 잔존하는 비드와이어의 특성분석은 IX Automated Material Testing System으로 측정하였으며, Sample Rate(pts/secs): 10.000, Crosshead Speed: 5.000 mm/min, 2nd Crosshead Speed: 0.000 mm/min, Full Scale Load Range: 500.00 kgf, Humidity(%): 50, Temperature: 23°C의 조건으로 분석하였다.

실험은 열분해와 연소에 있어서 온도의 변화에 따른 잔류하는 비드와이어의 Load와 Stress 값으로 평가되었다. 결과로 나타난 Load와 Stress 값을 이용하여 차음재와 방진재로서의 이용가능 여부에 대하여 검토하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 열분해 및 연소에 있어서 온도 및 시간변화에 따른 고무의 무게감량 및 분리효율

열분해 및 연소의 조건을 설정하고, 반응시간과 온도를 변화시켜, 전체시료중의 고무성분의 열분해 및 연소에 의한 고무무게 감량율과 잔존된 고무를 제거하여 고무전체성분의 분리효율을 검토하여 [그림2]부터 [그림 4]까지 나타냈다. 열분해에서는 열분해나 연소에서 반응시간은 고무제거율에 큰 영향을 주지 않았으며, 시간이 증가해도 로내 자체에서 분해되는 량에는 큰차이가 없었다. 대부분의 반응에서 1시간정도에서 충분히 제거됨을 알 수 있었다.

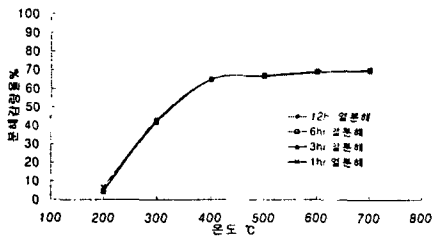


그림 2. 열분해조건에서 고무성분 분해감량율

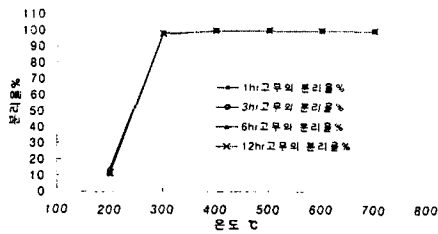


그림 3. 열분해조건에서 고무성분의 분리효율

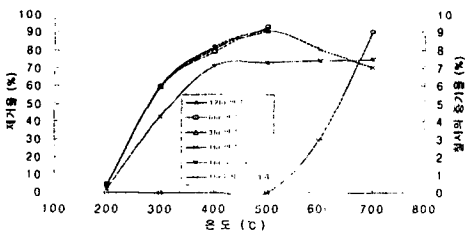


그림 4. 연소조건에서 고무성분 분해 감량율

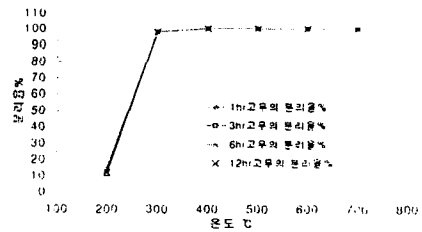


그림 5. 연소조건에서 고무성분의 분리효율

【연락처】 (우) 139-743 서울특별시 노원구 공릉동 172 서울산업대학교 환경공학과 배재근, Tel: 02-970-6617, Fax: 02-971-5776, E-mail: phae@plaza1.snut.ac.kr

온도변화에 있어서 200, 300℃에서는 고무성분의 분해 및 분리효율이 낮았으며, 400℃이상에는 큰 변화가 없는 것으로부터 400℃까지 최적으로 조건임을 알 수 있었다. 열분해와 연소에 있어서 고무제거정도에 대한 차이 점은 분해되어 날아가는 량이 연소에 높았으며, 연소단계의 600℃에서는 산화에 의하여 비드와이어의 무게가 증가하는 현상이 관찰되었다. 즉 열분해가 와이어의 상태를 온전하게 유지하면서 고무를 제거하는 최종분리효율이 연소와 동일한 것으로 나타났다.

2. 연소 및 열분해 후의 철성분 특성변화

1) 굵은 철사 열분해 및 연소의 비교

굵은 와이어의 열분해와 연소에서의 파단하중값의 비교는 [그림 6]에서 나타내었다. 하중 값은 반응기의 온도가 증가함에 따라 낮아짐을 알 수 있고 열분해와 연소를 비교해서는 200~300℃에서는 열분해를 했을 때 더 낮았으나 그 이후의 온도에서는 비슷하게 나타났다.

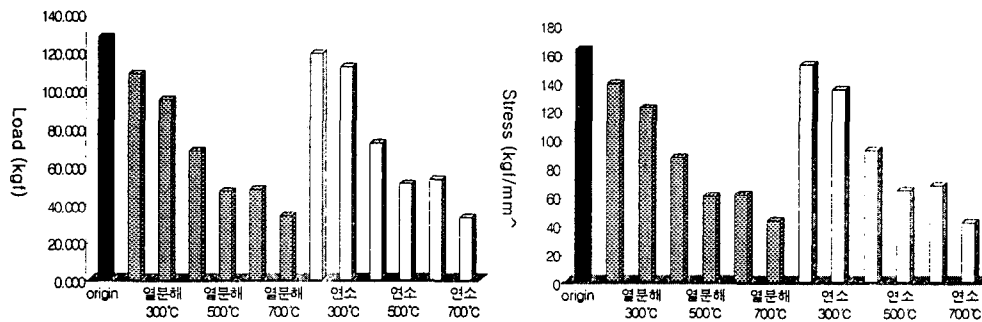


그림 6. 굵은 와이어의 열분해와 연소에서 온도 변화에 따른 파단하중값과 인장강도의 변화

열분해에서는 파단하중값의 감소가 200~400℃까지는 비교적 일정하게 감소하는 경향이 있었고 500℃이후에는 감소율이 비교적 적었다. 반면 연소의 경우에는 300℃에서 급격한 감소가 있었으며 그 이후에는 열분해와 비슷한 경향을 나타내고 있다. 이 결과에서 열분해의 경우에는 온도에 따른 하중값의 감소가 안정되게 이루어졌으나 연소에서는 다소 급격한 감소가 나타남을 알 수 있다. 인장강도는 전체적으로 열분해 했을 때 인장강도 값이 500℃이후에서는 약간 더 높았다. 이는 앞에서 설명한 것과 같이 500℃ 이후의 연소에서 와이어가 산소와 반응하는 철의 산화가 일어나 무게가 증가한다는 점에서 반응과정에서 와이어의 물리적 성질의 변화가 있었던 것 같다. 인장강도 역시 파단하중값과 같이 열분해시에는 비교적 안정적인 감소가 일어났으나 연소에서는 300℃에서 급격한 감소가 일어났다.

2) 가는 철사 열분해 및 연소 비교

가는 와이어의 열분해와 연소에서의 파단하중값의 비교는 그림 7에서 나타내었다. 이 결과에서 열분해의 경우 200~300℃에서 크게 감소하고 그리고 400~700℃에서 다시 감소하는 경향이 보이는 데 이는 열분해가 1,2차에 걸쳐서 진행됨을 나타내는데 가는 와이어보다 그 영향이 더 큰 것을 알 수 있다. 열분해와 연소공정율 비교하면 초기 200~300℃에서는 연소공정이 열분해공정보다 더 높은 파단하중값을 나타내다가 500℃이후에서는 연소공정이 열분해공정보다 더 낮은 것을 볼 수 있다. 이는 와이어가 500℃ 연소공정에서 산소와 결합하는 반응을 하기 때문이다. 이 결과에서 보던 가는와이어의 경우에는 열분해시에 2단계반응을 함으로써 온도별로 차이가 많이 남을 알 수 있다. 이는 비드와이어의 열분해에 의한 회수에 있어서 반응온도를 조절함으로써 필요로 하는 와이어의 파단하중값을 고려한 페타이어의 반응을 유도할 수 있다는 것을 가르킨다. 연소공정에 있어서는 초기에는 비교적 높은 값이 나타났으나 500℃이후에는 급격히 감소하는 것을 알 수 있는데 이는 고온에서 와이어의 산화에 의한 결과이다. 고온에서 파단하중값이 굉장히 적는데 실제 500℃이상의 온도에서 연소반응을 한 후에 나온 가는 와이어의 경우 원래 고탄소강의 탄성력은 다 없어지고 약간의 충격에도 가루로 변화하는 경향을 나타내었다. 가는 와이어 열분해와 연소에서의 인장강도 비교는 그림 11에서 나타내었다. 인장강도 역시 파

던값과 비슷한 경향을 나타내고 있다. 인장강도 역시 열분해에서는 200~300℃에서 크게 감소하고 그리고 400~700℃에서 다시 감소하는 경향을 나타내고 연소는 600℃ 이상에서 매우 낮은 값을 나타내었다.

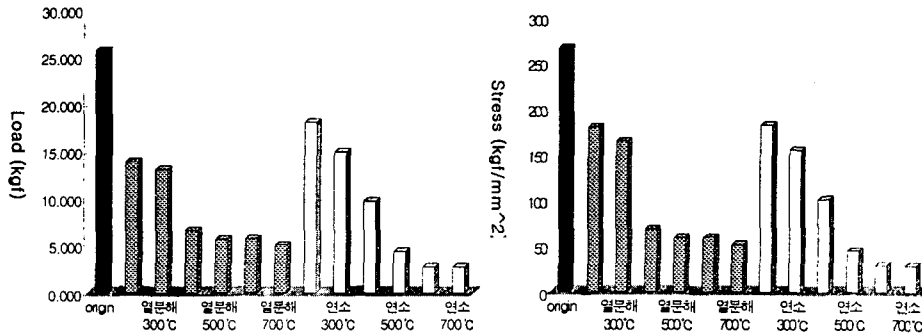


그림 7. 가는 비드와이어 열분해와 연소에서 온도 변화에 따른 파단하중값과 인장강도값의 변화

열분해 200℃에서 굵은 비드와이어의 경우 108.285kgf 이고 연소에서 200℃에서는 118.6kgf 이었다. 그러나 열분해 700℃에서 굵은 와이어의 경우 33.284kgf, 연소에서 700℃에서는 32.208kgf 이었다. 200℃에서는 연소공정에서 더 높은 하중값이 나왔고 700℃에서는 열분해가 더 높은 값이 나왔다. 이는 500℃ 연소공정에서 와이어와 산소가 반응하기 때문이다. 이 결과를 보면 초기에는 연소공정에서 파단하중값의 감소가 적었으나 고온으로 갈수록 감소율이 더 커졌다. 이는 연소과정에서 와이어와 산소와의 반응으로 인한 와이어의 산화가 일어났기 때문이다. 가는 와이어의 경우 그 차이를 더 확실하게 볼 수가 있다. 열분해공정에서는 굵은 와이어의 경우에 하중값의 감소가 비교적 안정되게 일어났고 연소공정에서는 일부분에서 급격한 감소가 일어났다. 가는 와이어의 경우에는 열분해의 특성인 2단계반응이 확실히 나타나 특정온도범위에서의 파단하중값이 비교적 비슷하게 나타났고 연소의 경우에는 초기에는 하중값의 감소가 적었으나 고온에서는 와이어의 금속성질을 완전히 잃어 버리는 결과를 나타냈다. 이를 보면 열분해의 경우에는 반응 후에 잔류하는 와이어의 방진재나 흡음재로서의 사용에 있어서 적당한 파단하중값을 가진 와이어의 회수에 있어서 온도조절에 의한 방법으로 용이하다. 연소의 경우에는 500℃이상의 온도에서 비드와이어의 산화에 의하여 금속으로서의 성질을 완전히 소멸한다는 단점이 있다.

IV. 결론

본 연구에서는 페타이어로부터 비드와이어만을 분리회수하여 방진재 및 흡음재로서의 사용을 검토하고 있으나, 파쇄공정후에 고무분말을 회수한 후에 와이어에 고무성분이 남는다는 점과 흡음재로서 탄성이 강하여 물딩이 어렵다는 점에 착안하여 열분해방법을 이용하여 고무를 효율적으로 제거하고, 탄성을 억제하는 방안이 대하여 검토하였다.

가는 와이어와 굵은 와이어 두 종류로 분리하여 실험하였으며, 열분해에서는 1시간의 반응동안 300℃이상의 온도에서 100%에 가까운 고무성분의 분리효율을 얻을 수 있었으며, 연소공정에서도 분리효율이 100%로 관찰되어 고무성분의 분리효율은 열분해와 연소공정 모두가 유용함을 알 수 있었다. 열분해의 온도증가에 따라 파단하중과 인장강도가 감소했으며, 연소의 경우에는 약간의 충격에 의해서도 하중에 못이겨 끊어지는 현상이 관찰되었으나, 열분해시에는 탄성력이 감소되는 대신에 연성과 전성을 갖는 기계적 특성을 관찰할 수 있었다.

< 참고문헌 >

1. 우리나라 타이어 수급현황과 페타이어의 재활용추진방향. 자원리사이클링 총서(1), (1997) pp173-177
2. 김영성 외 : 폐기물 열분해 반응연구. 동력자원 연구소, 1,2 차 연도 보고서 (1990-1)
3. 양석준, 페타이어 열분해로부터 생성된 카본블랙의 특성연구, (1997,12) PP15-32
7. 장동욱, 페타이어 활용 방안에 관한고찰, (1994) pp3-7
8. 노재경 열분해를 통한 페타이어의 유용성분 회수 연구, (1994)