

타이어의 메터리얼 리사이클 (material recycle)(I)

李 源 善* 譯

이 자료는 1994년 5월 일본자동차타이어협회(JATMA)에서 발간한 자료집 「タイヤの マテリアルリサイクル」을 번역한 것으로서 앞으로 3회에 걸쳐 게재하려고 한다. ……………〈譯者註〉

1. 타이어의 특성면에서 본 리사이클

1) 메터리얼 리사이클의 定義

타이어의 원자재는 크게 고무, 카본블랙, 섬유 및 스틸로 나눌 수가 있으며, 이 가운데서 특히 고무는 중요한 원자재로서 탄력성이 있어 다 사용한 후에도 여러가지 물건으로 가공하여 다시 이용할 수가 있다.

따라서 타이어를 다 사용한 후에도 타이어 그대로 또는 가공하여 이용하고 있으며, 마지막으로는 열에너지로도 이용할 수 있는 것이 타이어가 갖고 있는 특징이다.

이와같이 형태는 변화하더라도 한가지 물건을 여러가지로 이용할 수 있기 때문에 자원이 부족한 나라에서는 원자재 재활용(material recycle)과 열이용(thermal recycle)의 밸런스를 취하면서 재활용을 하고 있다.

2) 지구환경과 타이어 리사이클

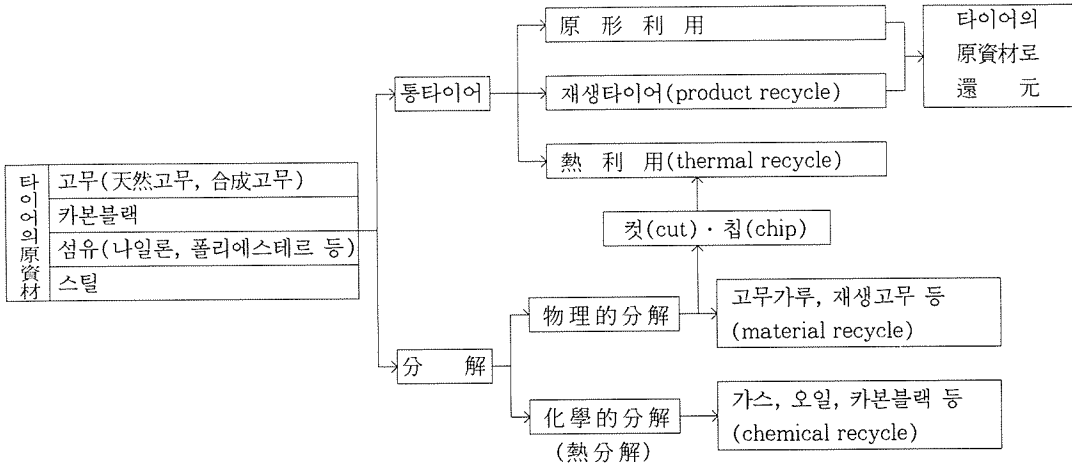
省資源, 省에너지 측면에서 보면 모든 제

품은 장기간 사용할 수 있고, 사용후에도 간단히 가공하여 재이용할 수 있으며, 또 더 이상 쓸 수 없게 된 뒤에도 어떤 형태로든 資材로서 사용할 수 있어야 한다. 그러나 아무리 하여도 資材로서 재활용할 수 없는 경우에도 에너지로 회수함으로써 化石燃料資源을 절약하는 데 도움이 되어야 한다.

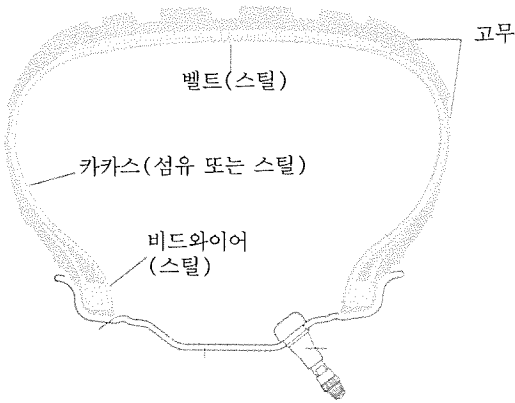
자동차용 타이어의 경우 텍스타일 바이어스 타이어가 스틸 래디알화됨에 따라 수명이 거의 2배 이상 길어지고 또한 자동차의 성능이 향상됨에 따라 省資源 및 省에너지에도 공헌할 수 있게 되었다. 오래전부터 자동차용 타이어는 다 사용한 후에는 재생타이어를 만들어 사용하여 왔으며, 또한 트럭·버스용 및 소형트럭용 재생타이어는 신폼타이어와 비교하여 원자재는 1/3~1/4, 가공에너지는 45% 정도밖에 들어가지 않기 때문에 省資源, 省에너지에 이바지하고 있다.

다만, 재생타이어는 성능, 품질보증 등과 같은 기술적인 면, 제조원가 등과 같은 경제적인 면, 수요자들의 嗜好面 등 많은 문

* 大韓타이어工業協會 常勤理事



[그림 1] 타이어의 리사이클



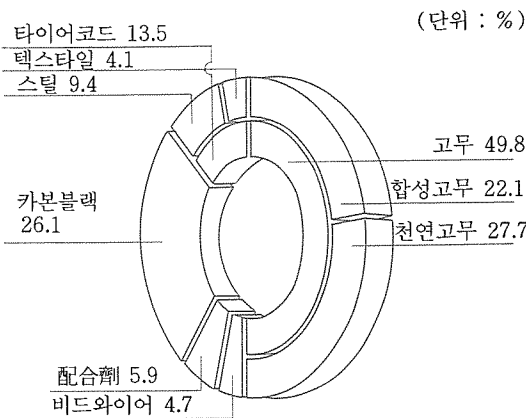
[그림 2] 승용차용 래디알 타이어의 구조

제점을 갖고 있기 때문에 재생타이어를 만들어 재활용하는 것이 반드시 바람직한 것이라고 할 수는 없다.

메테리얼 및 케미컬 리사이클에 대해서도 2차가공에 필요한 에너지라든가 환경에 미치는 영향 등을 고려할 필요가 있다. 예를 들면 타이어 원자재인 고무 및 카본블랙 등을 만드는 데 사용된 에너지를 비교한다는 것은 쉬운 일이 아니다. 그러나 사용된 에너지는 모두 제조원가에 포함되기 때문에 어느 정도 가격에 반영된다고 볼 수 있다.

폐타이어로 만든 재생고무의 가격과 신고무 배합(예로서 RSS#3 50%, 카본블랙 25%, 오일 18% 등을 배합한 고무)의 가격을 비교하면, 재생고무는 신고무 배합(환율에 의해 좌우됨)에 비하여 현재 약 10% 정도 비싸기 때문에 경제적으로 전혀 잇점이 없으며, 재생고무를 배합함으로써 가공성을 개선하려고 하는 경우를 제외하고는 재생고무를 사용하려고 하지 않는다. 재생고무는 품질면에서도 신고무 배합과 비교하여 떨어지기 때문에 그 용도가 한정되어 있다(뒤에 상세하게 설명함).

이에 대하여 고무가루는 제품의 종류에



[그림 3] 타이어 原資材의 重量構成比

따라 다르기는 하지만, 경제적으로 잇점이 있을 뿐만 아니라 그 용도도 다양하다.

한편 에너지 회수를 생각할 때 타이어의 경우 50%가 원료고무이고 이 가운데 56% (전체의 28%)가 천연고무이기 때문에 식량 등과 같이 자연의 메타볼리즘(metabolism)을 통한 물질순환중에 포함되어 있는 부분도 있다고 생각할 수 있다. 왜냐하면 연소에 의해 발생한 CO₂는 고무나무가 흡수하여 다시 천연고무로 만들어지기 때문이다.

또한 페타이어를 연료로 이용할 경우, 페타이어를 가공(재생타이어, 재생고무, 고무가루 등)하는 데 소비되는 에너지를 줄일 수 있고, 오히려 페타이어가 갖고 있는 높은 에너지(8,000kcal/kg)를 최대한 이용할 수가 있다. 그밖에 시멘트킬른에서 타이어를 연소시킬 경우에는 단지 에너지만을 회수하는 것이 아니라 스틸 및 황이 시멘트의 원료가 된다는 사실을 看過해서는 안될 것이다.

2. 페타이어의 리사이클 방법

타이어 리사이클 방법은 다음과 같이 크게 분류할 수 있다.

1) 메테리얼 리사이클(material recycle)

(1) 오픈(open); 원자재를 하나하나 분해하거나 또는 분별하여 다른 제품의 원자재로서 재이용(재생고무, 고무가루)

(2) 클로즈드(closed); 원자재를 하나하나 분해하거나 또는 분별하여 같은 제품의 원자재로서 재이용(高性能이 필요없는 타이어)

2) 프로덕트 리사이클(product recycle): 제품 및 부품에 필요한 재생처리를 하여 같은 용도로 재이용하고, 제품의 수명을 연장한다(재생타이어).

<표 1> 1993년도 일본의 타이어 리사이클 현황 (단위 : 1,000톤, %)

리사이클 현황		중량, 구성비	
		중량	구성비
재생고무 (메테리얼)	타이어 및 튜브용(클로즈드)	19	2
	타이어 및 튜브용 이외(오픈)	51	6
	계	70	8
고무가루(메테리얼·오픈)		29	3
재생타이어 (프로덕트)	내수용	80	10
	수출용	6	1
	계	86	11
기타(수출 포함)		171	21
원형 및 가공이용 합계		356	43
열이용 (서멀)	시멘트 킬른	222	27
	중형 및 소형 보일러	109	13
	금속 및 제지회사 공장	71	9
	타이어회사 공장	9	1
계		411	50
용도 불명		62	7
합계		829	100

3) 케미컬 리사이클(chemical recycle): 열분해 또는 화학분해를 하여 低分子의 원자재로 환원시킨다(가스, 오일, 카본블랙, 活性炭).

4) 서멀 리사이클(thermal recycle): 연소시켜 열에너지로서 재이용

5) 기타 원형이용: 선박충격방지용, 어린이 놀이기구 등

위와 같은 분류방법으로 1993년도 일본의 타이어 리사이클 현황을 분류하여 <표1>에 나타냈다.

3. 메테리얼 리사이클의 현황

일본에서도 오래전부터 페타이어 리사이클 방법에 대하여 많은 연구를 하고 실제로 시행도 하여 왔으나, <표 2>와 같이 개발의 한계에 와있거나 또는 개선할 것이 아직도 남아 있는 등 해결해야 할 과제가 많다.

<표 2> 타이어 리사이클 방법 및 장단점, 문제점

이용(처리) 방법	장 점	단 점	문 제 점
재생고무, 고무가루 용	· 고무로서 재이용	· 품질, 원가 양면 모두 불리하여 수요 감소	· 고성능이 요구되는 타이어에 사용하는 데는 기술적으로 어려움이 있음. · 용도개발이 전제가 되며, 장기전망은 있다. · 고무가루의 용도는 가격 여하에 따라서는 확대될 가능성이 있다(예 : 정부지원이 필요함).
재생타이어 원단용	· 타이어로 재이용	· 신품 타이어의 가격이 저렴하기 때문에 수요가 증가한다는 것은 기대하기 어려움.	· 승용차용 재생타이어는 타이어시장의 여건으로 보아 판매가 어렵다.
수출용	· 有價物로서 해외에서 재이용	· 수입을 금지하는 추세임. · 환율에 따라 수요량의 변화가 없다.	· 미국 : 트럭·버스용 래디알 타이어 · 동남아시아 : 승용차용 래디알 타이어 · 시장이 불안정하다.
기타 원형 이용	· 원형 그대로 재이용	· 이용량이 적고, 이용확대를 기대하기 어려움. · 장소를 차지한다.	· 어린이 놀이기구 · 선박충격방지용 · 물고기집
시멘트 소성로용	· 열에너지로 재이용 · 장기안정적으로 대량처리 가능 · 고온연소, 완전이 용으로 공해에 대한 불안이 적다. · 원료, 연료로서 완전이 용-단순한 서멀 리사이클만은 아니다.	· 전국에 있는 타이어를 이용할 수 있지만, 운반비에 한계가 있다.	· 타이어를 원형 그대로 사용하거나 절단하여 사용→ 타이어를 절단하여 사용하는 경향이 있음. · 안정공급에 대한 우려가 있다(시멘트업계). · 될 수 있는 한 시멘트 품질에 나쁜 영향을 미치지 않도록 할 필요가 있다. · 사용량에 한계가 있다 (10% 정도). · 집하장소를 줄이고, 물류비를 절감해야 한다. · 省人對策이 필요하다(無人全自動化에 의한 합리화)
금속제련 및 제지용 보일러용	· 에너지로 재이용	· 사용확대를 기대할 수 없다. · 와이어 찌꺼기 처리 문제가 있다.	· 제지용 보일러에 쓸 경우에는 타이어를 칩(chip)으로 만드는 비용이 많이 들기 때문에 원가가 높다.
중형 및 소형 보일러용	· 에너지로 재이용 · 발생지에	· 대기오염 문제가 있다. · 보일러의 耐	· 總量을 규제하는 자치단체가 있다. · 건축기준법(제51조)에 문

서 처리하기 때문에 물류비가 저렴하다.	久性에 문제가 있다.	제가 없도록 하는 데는 시간이 소요된다.
-----------------------	-------------	------------------------

1) 고무가루

고무가루는 재생고무를 만드는 시설(재생고무를 만드는 공정중의 시설의 하나)이나 고무가루를 전문적으로 만드는 시설을 사용하여 생산하고 있으나, 1980년경부터는 冷凍破碎法이 실용화(關西타이어 리사이클센터)되어 이 방법으로 고무가루를 만들고 있다(그림 4 참조).

최근 고무가루의 수요는 증가하고 있지만, 수요자의 요구에 맞춘 多品種, 少量을 생산하는 데는 각 제조공정간에 밸런스가 맞지 않아 계속적인 생산이 어렵다. 따라서 많은 양의 고무가루를 계속적으로 이용하는 것도 곤란하다. 고무가루는 주로 운동장 트랙 바닥재, 골프장 보행로 바닥재, 아스팔트 포장재, 방음재료 등으로 쓰이고 있다.

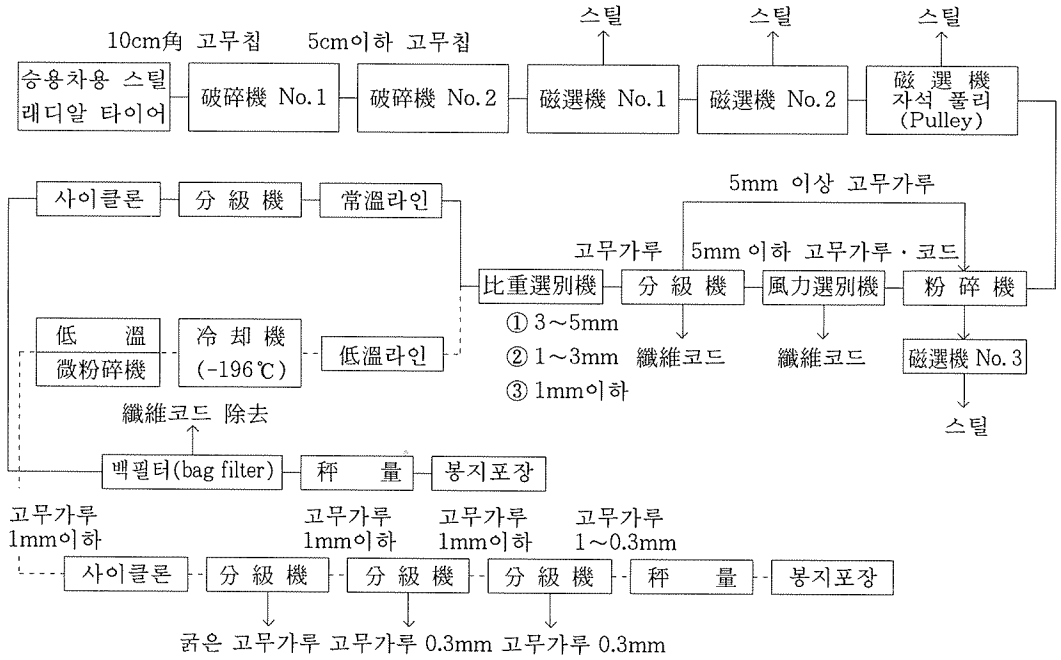
다만, 고무가루를 넣은 아스팔트 포장재로 도로포장을 하면 좋지만, 현재로서는 비용이 많이 들기 때문에 하지 못하고 있다. 그렇지만 고무가루를 넣은 아스팔트 포장재로 도로를 포장하면,

- ① 소음이 적다.
- ② 耐磨耗性이 양호하다.
- ③ 배수성이 양호하다.

등과 같이 나름대로의 특징이 있으며, 양적으로 많은 수요가 기대된다(고무가루 사용량을 더욱 늘리기 위해서는 용도개발이 시급하다).

2) 재생고무

재생고무는 오래전부터 만들어 사용되어 왔으며, 그 역사는 100년 이상이나 된다. 원료는 주로 천연고무 배합비율이 높고, 재



(그림 4) 고무가루의 제조공정(關西타이어 리사이클센터)

생고무를 만드는 데 적합한 트럭·버스용 페타이어를 이용하고 있다.

제조방법은 페타이어를 파쇄하여 섬유, 스틸와이어 등 고무가루 이외의 것을 제거한 뒤 再生劑(유기 디설파이드, 에스테르산 등)와 오일(에로매틱 오일 등)을 혼합, 가열한 후 롤을 이용하여 쉬트狀으로 만들면 제품이 된다(그림 5 참조).

현재 재생고무의 원료로 쓰이고 있는 트럭·버스용 페타이어는 대부분 스틸 래디알 타이어로서 파쇄하기 전 비드가 붙은 채로 절단하여 크래커(cracker) 롤에 넣고 있기 때문에 스틸을 완전히 제거할 필요가 있다.

더우기 재생고무는 만드는 과정에서 탄성이 적어지고, 可塑性으로 됨과 동시에 고무 분자가 절단되거나 또는 많은 양의 오일성분이 들어가기 때문에 고무의 용도가 한정될 수밖에 없다.

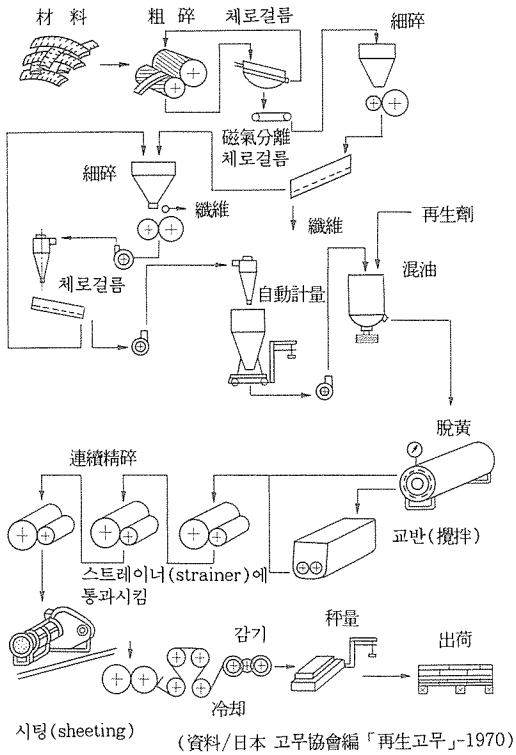
따라서 재생고무는 고성능이 필요없는 타

이어나 벨트, 호스 등과 같은 공업용품, 매트, 신발, 신발창 등 고무공업의 副資材로 사용되고 있다. 현재 생산량, 소비량 모두 1985년을 피크로 하여 감소하고 있다. 재생고무의 사용을 확대하기 위해서는 더욱더 용개발에 힘써야 할 것이다.

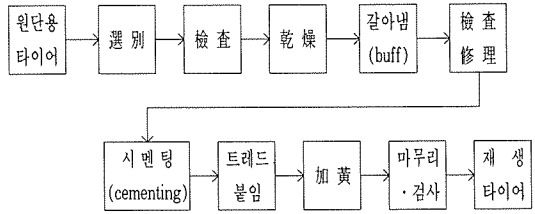
3) 재생타이어

페타이어 가운데 상처가 적고 카카스부에 손상이 적은 것을 재생타이어용 원단으로 구입하여 철저히 검사한 후 가공하여 재생타이어를 만들어 시장에 출하한다.

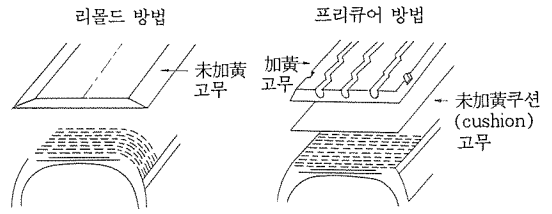
재생타이어 제조방법으로서 일반적으로 하고 있는 방법은 [그림 7]과 같다. 먼저 트레드(접지면)를 갈아내어(buff) 표면을 깨끗하게 한 후 별도 공정의 압출기에서 압출한 고무시트를 갈아낸 재생타이어 원단의 원주상에 붙이고 이것을 가황기에 넣어 가황하면 제품이 된다.



시팅(sheeting) (資料/日本 고무協會編「再生고무」-1970)
 [그림 5] 재생고무 제조방법 (팬(pan)法 플로시드)



[그림 7] 재생타이어 제조공정도



(資料/住友고무工業)

[그림 8] 리몰드, 프리큐어 방법의 비교

① 리몰드(remold) 방법

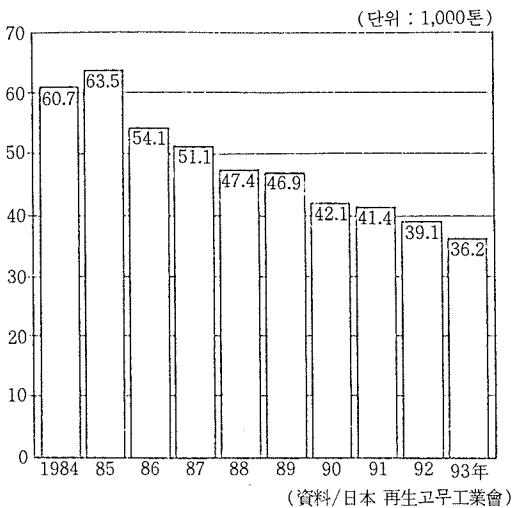
폐타이어의 트레드부를 갈아내고 그곳에 압출한 미가황고무시트(camelback)를 붙인 후 가황하여 제품을 만든다. 대부분 이 방법을 이용하여 재생타이어를 만들고 있다.

② 프리큐어(precure) 방법

폐타이어의 트레드부를 갈아내고 그곳에 미리 가황한 트레드를 붙인 후 다시 가황하여 제품을 만든다.

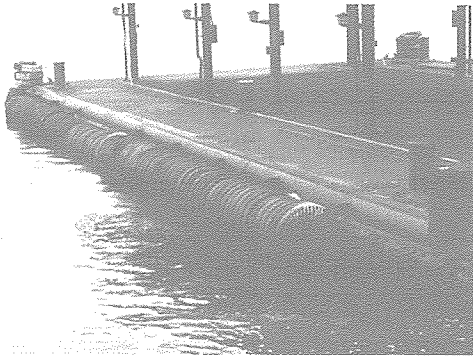
4) 원형이용

원형 그대로 이용한 예를 <사진 1>에 나타냈다. 1970년대에는 폐타이어로 고기집을 많이 만들었으나, 고기집을 만드는 작업(조립)이 어렵고, 또한 이 고기집이 수심, 조류의 속도 등의 조건에 좌우되는 일이 많기 때문에 최근에는 거의 사용되고 있지 않다. 소형어선이나 해안의 충격방지재로서 많이 이용되고 있다. 폐타이어를 어린이공



[그림 6] 재생고무 생산량 추이

재생방법으로는 아래와 같이 2가지가 있다(그림 8 참조).



(사진 1) 원형이용의 예 (防舷材)

원의 놀이기구나 사방공사 등에도 사용하고 있는데, 매우 흥미있는 사용방법이라고 생각된다.

최근에는 페타이어 안에 콘크리트를 넣어 강도를 높인 후 비올 때 흙이 흘러내리는 것을 막기 위한 사방공사에 사용하는 방법이 개발되었다.

5) 시멘트 원료 및 연료

(1) 이용의 필요성

시멘트공장에서 페타이어를 사용하게 되면 타이어가 갖고 있는 높은 에너지와 시멘트 제조과정상의 특성(에너지 대량소비 및 고온)이 잘 맞아 최대한으로 활용할 수 있다. 즉, 고무나 코드는 연료로, 스틸과 황은 원료로 되며, 재가 전혀 남지 않는 것이 커다란 잇점이다. 타이어업계에서는 이와같은 점에 초점을 맞추어 리스 방식에 의한 페타이어 투입설비 무상대여제도를 만들어 이용 확대를 도모하고 있다. 한편 시멘트업계에서도 省資源 및 原價節減이라는 측면에서 보아 잇점이 있다.

또한 환경보전설비(타이어 처리는 완전 클로즈드 시스템)가 완비되어 있기 때문에 별도로 공해방지를 위한 시설투자를 할 필요가 없다.

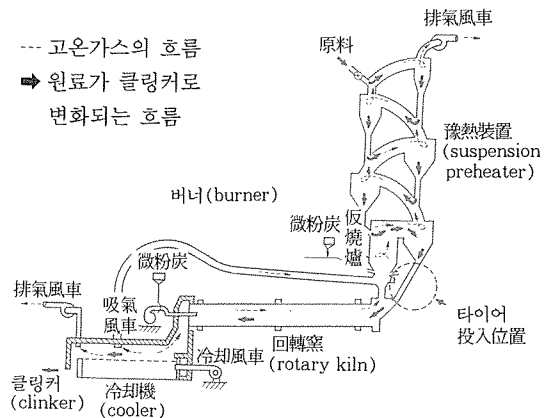
<표 3> 발열량 비교

종 류	발열량(kcal/kg)
벙커 C油	9,200
보통 타이어(나일론)	8,570
스틸 래디알 타이어	7,180
석 탄	6,000

(2) 기술의 개요

페타이어는 원형 또는 절단한 상태로 자동투입설비에 의해서 프리히터 타워(pre-heater tower)의 하부 통로를 통하여 시멘트킬른으로 들어가게 된다.

시멘트킬른내의 온도는 최고 1,800℃(가스온도)까지 올라가기 때문에 투입된 타이어는 짧은 시간내에 완전연소된다. 이와같이 고온하에서 많은 양의 페타이어를 처리할 수는 있지만, 페타이어 사용량은 일반적으로 절단한 것을 기준으로 전체 석탄연료의 10% 정도인 것으로 알려져 있다.

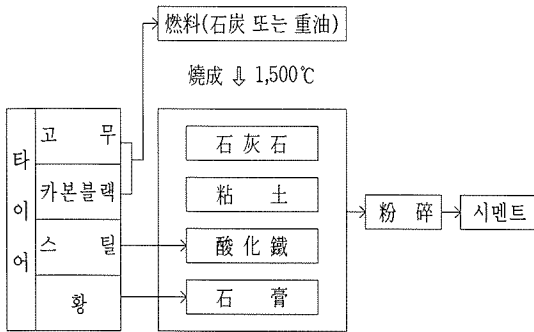


(資料/日本시멘트協會編「시멘트의 常識」)

[그림 9] 페타이어의 투입위치

(3) 이용효과

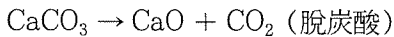
타이어는 [그림 10]과 같이 주로 고무, 카본블랙, 스틸, 황의 4가지 성분으로 구성



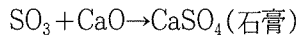
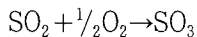
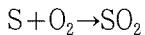
[그림 10] 시멘트 제조과정에서의 페타이어 사용효과

되어 있다. 시멘트킬른내에서 고무와 카본블랙은 연료가 되고, 스틸은 고온에 溶融되면서 산화되어 酸化鐵이 되며, 황은 원료중의 산화칼슘과 반응하여 石膏가 되어 시멘트 원료의 일부가 된다.

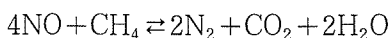
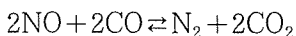
化學反應式은 다음과 같다.



(石灰石)



또한 킬른내는 온도가 높기 때문에 NO_x 가 많이 발생하는데, 킬른내에 페타이어를 투입하면 일부는 환원이 되고(일산화탄소, 산화수소 발생), 시멘트 원료의 촉매작용에 의하여 NO_x 가 감소한다.



(4) 페타이어 사용현황

전국 45개 시멘트공장(페타이어 사용가능공장 41개) 가운데 27개 공장이 페타이

어를 사용하고 있다. 페타이어를 사용하고 있는 공장 가운데는 페타이어를 절단하지 않고 원형 그대로 사용하고 있는 공장이 많지만, 최근에는 취급의 편리성 및 페타이어 집하장소의 면적을 줄이기 위하여 페타이어를 절단하여 사용하는 경우도 늘어나고 있다. 또한 乾溜爐에서 가스를 발생시켜 그 가스를 킬른용 연료로 사용하거나, 流動床爐에 의해 쿨러(cooler)에서 나오는 배기가스의 온도를 높여 假燒爐에서 다시 이용하는 경우도 있다.

6) 가스, 오일, 카본블랙의 회수(乾溜)

페타이어를 分解爐 안에서 가열하여(500~900℃) 가스, 오일, 카본블랙을 회수하는 방법도 과거부터 시행해 왔다.

(社)兵庫縣資源再利用事業團은 (財)크린저팬센터(Clean Japan Center)와 (財)機械시스템 振興協會의 지원을 받아 1979년에 乾溜工場을 건설하여 주로 카본블랙을 회수하기 시작하였다. 회수된 카본블랙의 특성은 시판되고 있는 카본블랙과는 그 성질이 다르지만 配合劑로서 사용되고 있다(위 事業團은 1988년에 해산됨). 그러나, 품질, 가격면에서는 어려움이 있어 보급되고 있지 않다.

7) 活性炭

페타이어를 燃燒시키면 그 부산물로서 活性炭이 나오는데, 최근 용도에 따라서는 시판되고 있는 活性炭의 1/2~1/4 정도가 이 페타이어로 만든 것이다. 그러나 이 活性炭의 용도 및 仕樣이 복잡하기 때문에 앞으로 많은 연구가 있어야 할 것으로 생각된다.

자료: 「타이어의 메터리얼 리사이클」(JATMA)