

# 일본의 폐타이어 재활용현황

## 업 무 부

### 1. 서 언

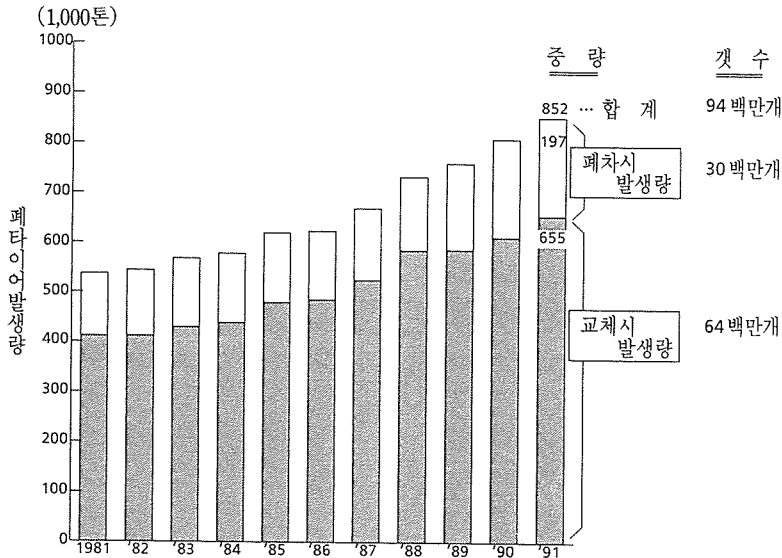
자동차 산업의 발전과 함께 타이어 산업도 크게 발전하여 왔으며, 그 결과 최근 경제불황의 영향을 받아 수요량이 감소하고 있음에도 불구하고 연간 1억 6,500백만개의 타이어를 생산하기에 이르렀다. 고무산업에서 사용하는 총고무사용량의 약 70%는 타이어를 만드는데 사용되고 있어 양적으로 큰 비중을 차지하고 있다. 따라서 수명이 끝난 폐타이어가 폐기물로 배출되는 양도 증가하여 사회적으로 큰 문제를 야기시키게 되었다. 즉, 폐타이어가 환경문제로 대두되어 세상의 관심을 끌게 되었으며, 타이어회사들도 환경문제, 省資源, 省에너지 등의 측면에서 타이어의 경량화, 저연비화 등에 힘쓰고 있다. 그러나 한편으로는 폐타이어를 불법 폐기하는 등 그 처리도 문제가 되고 있다. 폐기물의 처리에 관하여는 입법화나 법개정 등의 움직임도 활발하게 추진되고 있으며, 처리의 적정화, 省資源化 및 재활용 등도 추진되고 있다. 다음에서 폐타이어의 처리현황과 기술에 대하여 설명하고자 한다.

### 2. 폐타이어의 발생과 처리현황

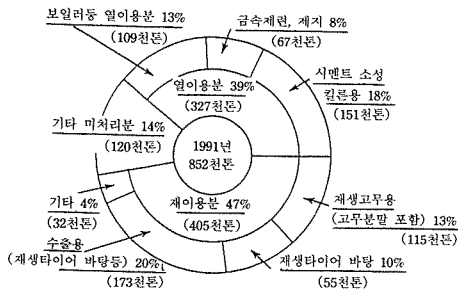
#### 2-1. 발생과 문제점

일본에서의 폐타이어 발생량은 일본자동차타이어협회의 조사에 의하면 [그림 1]<sup>1)</sup>과 같이 1991년에는 연간 85만톤으로 추정된다. 타이어의 성능이 해마다 향상되고, 내구성도 향상되고 있으며, 특히 래디알 타이어의 개발로 타이어의 수명과 안정성이 현저히 향상되었는데, 그 수요가 증가함에 따라 발생량도 증가하고 있다. 폐타이어의 발생은 타이어를 교환할때, 즉 타이어 판매시에 교체하거나, 운송업자들이 타이어를 교체할 때 가장 많이 발생되고, 다음으로 폐차시에 많이 발생된다.

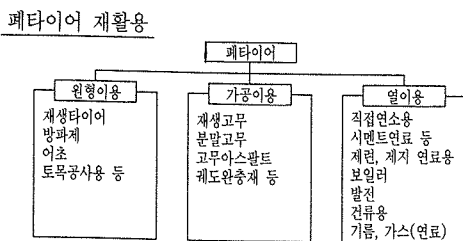
타이어는 다른 부품들과 비교하면 그 구조상 비교적 회수하기 쉽다. 타이어 전문판매점, 소매점, 타이어 판매회사 등에서 발생하는 것이 대부분인데, 어느것이든 회수단계에서의 처리비가 많이 들고, 타이어의 용적효율이 좋지 않은 데서 오는 집적장소의 부족문제, 처리장소와 처리능력과의 밸런스 문제 등으로 인하여 타이어가 쌓이거나 불법폐



(그림 1) 페타이어 발생량 추이



(그림 2) 페타이어 재활용 현황(1991)



(그림 3) 페타이어 재활용

기의 요인이 되기도 하였고, 모기나 파리의 발생, 화재의 우려 등도 문제가 되어 왔다. 따라서 회수효율을 높임과 동시에 재활용화 및 처리능력을 높여 페타이어 처리문제를 해결하는 데 힘써야 할 것이다.

## 2-2. 처리현황

발생량에 대한 처리량을 타이어 증량비와 비교해 보면 1991년에는 약 86%가 재이용되었다(그림 2 참조). 페타이어의 재활용으로는 재생고무나, 재생타이어와 같이 원형 그대로 또는 가공하여 재활용되고 있는 것이 전체의 47%, 시멘트 소성 및 보일러 등의 열이용이 39%로 되어 있으며, 또 재활용되지 않는 것이 14%를 차지하고 있는데 이것은 처리장이나 중간업자의 재고분이다. 여기서 열이용분이 비교적 많은데, 이는 원유가격의 영향을 받기 쉽다고 하는 것도 고려해야 할 필요가 있다.

## 3. 이용기술

페타이어의 재활용에 대해서는 과거에도 여러가지 방법을 사용해 왔으며, 현재도 그 방법을 각처에서 연구하고 있다. 그 이용방법을 크게 나누면 앞에서 설명한 것과 같이 원형 그대로 이용하는 방법, 가공하여 이용하는 방법, 열로 이용하는 방법으로 나눌 수

있다(그림 3 참조). 이 가운데서 대표적인 처리방법에 대해서 다음에 소개한다.

### 3-1. 원형이용

#### 3-1-1. 재생타이어

페타이어의 마모된 접지면의 고무를 새로 갈아붙여 새로운 타이어를 만든 것을 재생타이어라고 한다. 타이어 部材의 대부분을 재이용할 수 있고, 수명연장이라고 하는 점에서 재활용으로서 대표적인 것이라 할 수 있다. 그러나 재생타이어의 수요량은 오히려 감소 경향을 보이고 있다(그림 4 참조). 그 이유는 품질의 고급화에 따라 원가가 높아지고 있는데다 신제타이어와의 시장가격에서의 균형문제 때문이라고 생각된다.

재생타이어는 승용차용 타이어는 적고, 트럭·버스용이 대부분이며, 트럭·버스용 타이어의 신제타이어에 대한 재생타이어의 비율은 약 20% 정도이다. 트럭·버스에서 타이어 비용이 차지하는 비중이 높은 것이 재생타이어를 이용하게 되는 한가지 이유라고 생각된다. 재생타이어의 제조에 일반적으로 이용되고 있는 방법을 (그림 5)에 나타냈다. 먼저 트레드를 갈고, 표면을 고르게 갈아 별도 공정의 압출기로 압출한 새로운 고무를 잘 간 바탕타이어에 접착시킨다. 이것을 가황기로 가황함으로써 재생타이어가 된다. 이 경우 트레드 고무는 미가황 고무를 접착하는 방법과 가황고무를 접착하는 방법이 있으며, 바탕타이어와 트레드 고무와의 접착이 재생타이어의 품질상 중요한 포인트가 된다.

#### 3-1-2. 기타

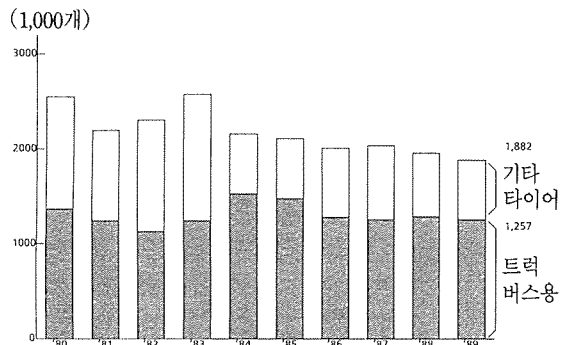
타이어를 어초나 砂防工事に 이용하는 방법이 있다. 특히 1970년대에는 인공어초로서 이용하는 연구가 전국적으로 이루어졌다. 이것은 타이어 속에 콘크리트 등을 채워로 프로 고정시켜 바다속에 매설하는 것인데 현

재는 그다지 보급되고 있지 않다.

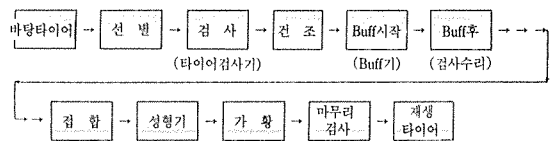
### 3-2. 가공이용

#### 3-2-1. 재생고무

고무를 재생하는 것에 대해서는 이미 일본 국내에서 수십년의 역사를 갖고 있으며, 여러가지로 이용되어 왔는데, 최근 래디알 타이어의 보급에 따라 고성능 재료가 요구되고 있는 데다, 스틸래디알 타이어의 와이어 제



(그림 4) 재생타이어 생산량 추이



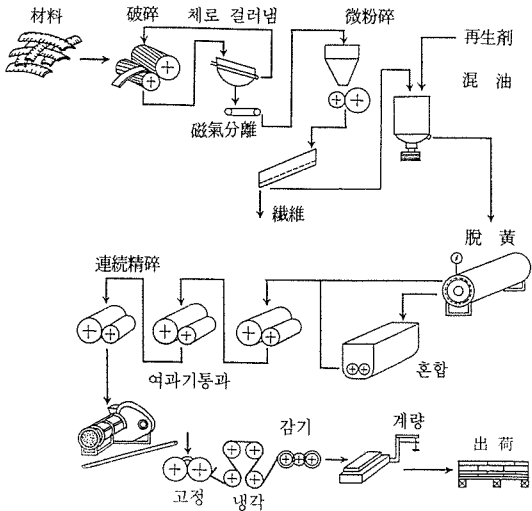
(그림 5) 재생타이어 제조과정

<표 1> 재생고무 소비량추이

(단위: 톤)

연도	소 비 량							
	합 계		타 이 어 · 튜브		벨트, 호스 공업용품		기 타	
	소비량	%	소비량	%	소비량	%	소비량	%
1985	57,811	100.0	28,796	49.8	23,894	44.3	5,121	8.9
1986	50,974	100.0	23,317	45.7	22,403	43.9	5,254	10.3
1987	48,525	100.0	22,859	47.1	21,283	43.9	4,383	9.0
1988	46,639	100.0	22,828	48.9	19,855	42.6	3,956	8.5
1989	45,595	100.0	22,275	48.8	20,238	44.4	3,082	6.8
1990	42,028	100.0	19,936	47.4	19,612	46.7	2,480	5.9
1991	38,575	100.0	17,030	44.1	19,187	49.7	2,358	6.2

자료: 일본 재생고무공업회, 통산성 원재료통계.



(그림 6) 팬 법

거에 소요되는 노력 및 천연고무의 저가 안정화 등에 의해 원가면에서도 불리하여 <표 1>에 나타난 바와 같이 최근 수요가 감소하고 있다. 제조 방법(그림 6)에 나타난 오일법<sup>2)</sup>이라고 하는 방법으로 제조되고 있는 것이 대부분인데, 최근 스틸코드화에 수반하여 磁氣를 사용하여 분쇄한 고무와 스틸의 분리가 공정상 중요하게 되었다. 재생고무는 고무공업의 副資材로서 타이어용 이외에는 벨트, 호스, 신발, 고무리브 등에 이용되고 있다. 어느것이라도 사용비율의 증대를 위해서는 재생고무의 품질의 고도화와 용도개발이 과제일 것이다.

### 3-2-2. 분말고무

페타이어를 분쇄, 고무성분만 분리하여 분말로 만들어 매트나 아스팔트 포장 등에 이용한다. 분쇄방법으로서는 常溫에서 기계적으로 분쇄하는 방법이나 액화가스를 이용하여 처리하는 냉동분쇄방법 같은 것이 있다. 그 예로서는 關西리사이클센터가 고무분쇄의 전문공장으로서 가동되고 있다.

아스팔트 포장에 이용하는 방법은 분말고무를 아스팔트 혼합골재로 하여 몇 %의 다른

碎石 등과 섞어서 사용하는 방법이 이용되거나, 아스팔트 시멘트와 고무를 바인더로 하는 방법이 있다. 동결방지나 저소음화 등의 효과도 있지만, 원가면에서의 문제가 있어 시험적으로 채용되고 있는 예가 많은데, 미국에서는 고속도로에서의 이용확대가 검토되고 있을 정도로 향후 양적인 확대가 예상되고 있다. 그밖의 사용방법으로는 슬라브 매트, 테니스코트, 골프장 통로용 매트 등이 있다(그림 14 참조).

### 3-3. 열이용

타이어가 지니고 있는 높은 열량을 추출하여 대체에너지로 사용하고 있다. 즉, 타이어를 연소시켜 물에서 증기나 온수를 발생시키거나, 시멘트 소성공정에서 원료 및 연료로 사용하고 있다. 또 타이어를 열분해시켜 기름이나 카본을 회수하는 방법도 있다.

#### 타이어의 발열량

- 보통타이어 8,500kcal/kg
- 스틸타이어 7,200kcal/kg
- C중유 9,200kcal/kg
- 석탄 6,000kcal/kg

타이어를 연소 또는 열분해시키는 데는 爐를 이용하고 있는데, 그 구조에 따라 분류하면 직접연소방식과 건류방식 등이 있으며, 직접연소방식으로는 火格子爐, 로터리킬른爐, 流動床爐 등이 있다. 또 건류방식으로는 爐 밖에서 간접적으로 가열하는 방식(전기술식)과 爐 안에서 가열하는 방식이 있다.

#### 3-3-1. 직접연소방식

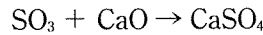
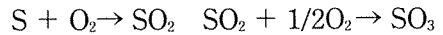
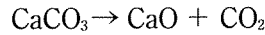
일반적으로 爐 안에 투입하는 타이어는 통타이어 또는 칩형(절단한) 타이어가 사용되고 있다. 중유나 석탄의 대체연료로서 제지공장, 양어장, 일반공장의 보일러 등에 이용되고 있으며, 위의 어느 경우도 연소 찌꺼기로서 스틸와이어와 재가 남는다. 한편 로터리킬른

식의 이용예인 스멘트 소성용 킬른에서는 찌꺼기가 남지 않고 시멘트 성분으로 모두 이용되는 것이 특징이다. 타이어 연소에 따른 검은 연기나 냄새에 대한 대책으로는 고온처리를 필요로 하는데 爐의 구조개량, 집진기 설치 등의 대책이 행해지고 있다. 대규모 처리방법으로서는 캘리포니아에서 사용하고 있는 것과 같이 대량의 페타이어를 에너지원으로 연소시켜 스팀을 발생시켜 발전을 하고 있는 예도 있다.

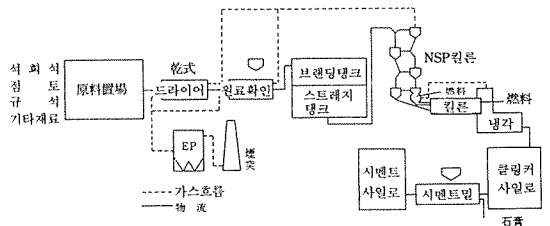
시멘트 소성용 킬른에서의 이용기술에 대해서 다시 소개하고자 한다. 킬른에서 이용되는 포인트로서는 다음과 같은 점을 들 수 있다. 즉, 시멘트 제조공정이 타이어 처리에 적합한 closed system일 것, 기존 설비를 활용할 수 있을 것, 원가면에서 유리할 것, 2차 공해문제가 없을 것 등이다. 시멘트제조공정(그림 7 참조)에서는 석회석, 점토, 규석, 철 등의 원료를 배합한 뒤 분쇄기로 미세하게 분쇄하여 분말원료를 예열하기 때문에 로터리 킬른 내에서 고온으로 燒結하여 클링커를 얻을 수 있다. 완성된 클링커에 응결조절제로서 몇 %의 석고를 첨가하여 다시 「micron order」로 微粉碎하여 제품화한다. 페타이어는 통타이어 또는 칩형타이어의 상태로 킬른 입구의 분말원료투입구로 투입한다. 타이어가 연소할 때 어떠한 연소특성을 나타내는가 하는 것이 문제되어 왔는데 타이어는(그림 8)에 나타나 있는 것과 같이 300~350℃에서 착화하여 급속도로 연소한다. 이렇게 연소하기 시작하여 약 450℃에서 종료하고, 그 후에는 타이어의 카본이 연소한다. 카본의 연소도 600~650℃에서 거의 완전히 연소하고 재만 남게 된다. 이와같이 타이어는 650℃에서 스틸을 제외하고 완전히 연소하게 된다. 스틸은 약 1,200℃ 정도에서 熔融하기 시작한다<sup>3)</sup>. 한편 시멘트 킬른내의 온도분포는(그림 9)에 나

타난 바와 같이 최고 1800℃까지 올라간다. 따라서 극히 짧은 시간에 타이어는 연소한다. 또한 타이어 재료중 황은 산화칼슘과 반응하여 석고로 된다.

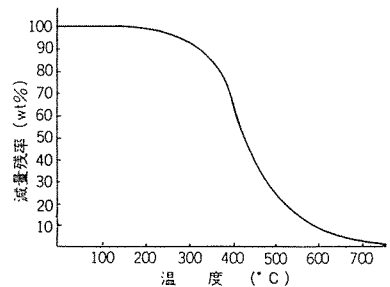
이들 공정은 고온소성 때문에 NO<sub>x</sub>이 많이 발생하는데 타이어에는 NO<sub>x</sub> 감소효과도 있다(그림 10 참조)<sup>4)</sup>.



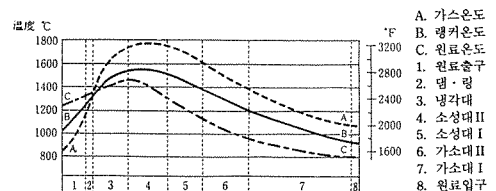
페타이어의 수집규모와 시멘트공장의 규모가 비교적 상대적이기 때문에 현재 일본에서는 대략 20개 공장에서 이용되고 있다(그림



(그림 7) 시멘트 제조공정

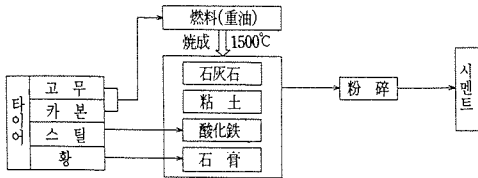


(그림 8) 타이어 연속곡선

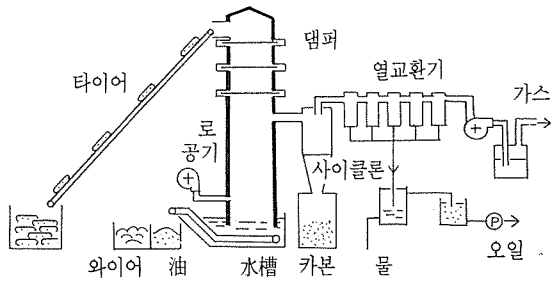


(그림 9) 로터리 킬른내 온도분포

11 참조). 또 타이어가 연소하고 난 뒤에 남은 재나 와이어를 별도로 처리할 필요가 없어서 원가도 절감할 수 있기 때문에 폐타이어의 이용이 늘어가고 있는 것으로 생각된다.



(그림 10) 시멘트공업 제조공정에서의 타이어 이용



(그림 12) 타이어 건류장치

〈표 2〉 건류연료의 발생량과 발열량

종 류	발생량	발열량
오 일	0.33 ℓ/kg	7,900 kcal/kg
가 스	0.5~0.8 Nm <sup>3</sup> /kg	2,000~3,000 kcal/m <sup>3</sup> N
카 본	0.13 kg/kg	7,200 kcal/kg
유	0.19 kg/kg	6,800 kcal/kg

〈표 3〉 건류가스 조성(%)

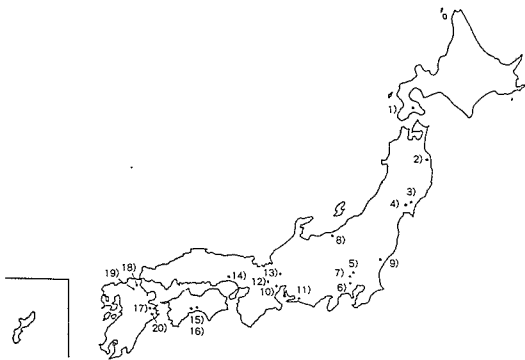
(분해온도 500℃)

H <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
8.3	10.0	5.3	1.1	2.9	0.5	6.9	1.5	53.1

### 3-3-2. 열분해방식

타이어를 건류하여 열분해시켜 기름이나 카본을 얻는 방법은 옛날부터 연구되어 실용화되어 왔다. 그러나 그 장치의 복잡성, 안정성, 환경대책(2차공해), 회수된 제품의 품질, 원가 등의 문제 때문에 널리 보급되지 않고 있다. 현재로서는 간접가열방식은 별로 사용되지 않고, 직접가열방식이 사용되고 있다. 또 기름이나 카본을 회수하고 있는 곳은 많지 않은데 대표적인 예로서는 小名浜製鍊所가 있다. 다음에 小名浜製鍊所에서의 사용예를 소개하고자 한다.

이 시스템은 타이어를 연속적으로 공급하면서 건류를 하는 것이 특징이다. 기름, 카본, 가스 및 찌꺼기를 따로 회수하기 위한 사이클론, 가스 냉각장치 등이 설치되어 있으며, 회수한 뒤 가스는 다시 체련소내 각처의 연

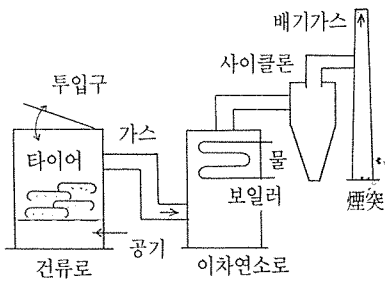


- 1) 日本시멘트(上磯)
- 2) 八戶시멘트(青森)
- 3) 小野田시멘트(大船渡)
- 4) 東北開發(岩手)
- 5) 日本시멘트(埼玉)
- 6) 三菱 material(横瀬)
- 7) 秩父시멘트(熊谷)
- 8) 明星시멘트(糸魚川)
- 9) 日立시멘트(日立)
- 10) 小野田시멘트(藤原)
- 11) 三河小野田시멘트
- 12) 住友시멘트(彦根)
- 13) 大阪시멘트(伊吹)
- 14) 住友시멘트(赤穂)
- 15) 日本시멘트(土佐)
- 16) 大阪시멘트(高知)
- 17) 日本시멘트(佐伯)
- 18) 日本시멘트(香春)
- 19) 三菱 material(黑崎)
- 20) 小野田시멘트(津久見)

(그림 11) 폐타이어 사용 시멘트공장 소재지

료로 사용되고 있다. 爐本체는 상부의 타이어 투입구에 3단식 댐퍼를 사용하고, 폐타이어는 하부에서 그대로 타이어의 배기가스로 예열, 열분해되어 자체 무게로 降下하여 하부에 있는 水槽컨베어에 의해 찌꺼기가 爐 밖으로 연속 배출된다. 밑바닥의 水封은 폭발방지 등 안전대책으로 사용되고 있다(그림 12 참조).

건류가스는 분해온도 500℃전후가 收率이



(그림 13) 타이어 건류로

높으며, 발생한 가스의 성분 및 열량은 <표 2~3>에 나타난 것과 같다<sup>3)</sup>.

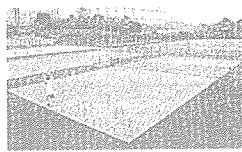
그밖의 열이용으로는 兵庫県 자원재이용사업단이 재단법인 Clean Japan센터와 재단법인 기계시스템진흥협회의 지원에 의해 1979년부터 재생카본 제조를 중심으로 열분해법으로 실용화되었는데, 1988년에 폐쇄되었다. 소형건류로로서 많이 사용되고 있는 것이 (그림 13)과 같은 형태로서 2차연소실을 갖춘 배치처리방식이다. 이 방식은 爐 안에 타이어를 투입하여 발생한 가연성 가스를 2차로 보내 연소시켜 증기 또는 온수로 에너지를 회수하는 방식이다.

#### 4. 결 론

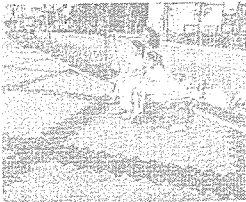
폐타이어 이용에 대해서는 이상과 같이 폭넓게 연구되고 있으며, 이용률에 있어서도 매우 높은 비율을 차지하고 있다. 그러나 아직 지역에 따라서 처리에 어려움을 겪고 있는 곳도 있으며, 재활용화를 촉진하기 위한 목적에서 처리대책에 힘을 필요가 있다.



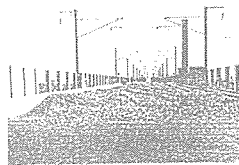
경기장



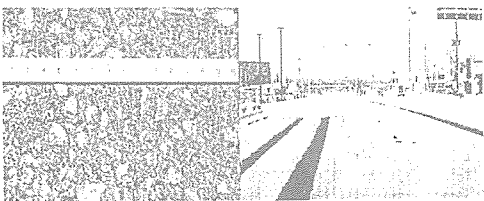
테니스 코트



고무블록



포장용 매트



고무분말 아스팔트 포장재

(그림 14) 고무분말의 이용예

#### <참고자료>

- 1) (社)日本自動車タイヤ協會編 「日本のタイヤ産業」(1992).
- 2) (社)ゴム協會編 「再生ゴム」(1970).
- 3) (財)環境調査センター編 「季刊環境研究」(1979).
- 4) (社)日本自動車タイヤ協會編 「用済タイヤの知識」(1988).
- 5) クリーンリジャパン技術レポート：No48, 82.

자료 : Bridgestone 環境管理室長 小松忠昭

(日本ゴム協會誌, 1993年 3月号)

번역 : 李宗烈/協會 環境對策課