

페타이어 재 자원화를 위한 연구

이 석 일[†]

대경대학 환경제열

A Study on Recycling of Waste Tire

Suk Il Lee[†]

School of Environment, Tae Kyeung College in Kyongsan, Korea
(Received 30 October 2000 ; Accepted 28 November 2000)

ABSTRACT

Compared to other waste, waste tire has much discharge quantity and calorific value. When we use waste heat from waste tire, it can be definitely better substitute energy than coal and anthracite in high oil price age. To use as a basic data for providing low cost and highly effective heating system, following conclusion was founded. Annual waste tire production was 19,596 million in 1999, Recycling ratio was almost 55% and more than 8.78 million was stored. Waste tire has lower than 1.5% sulfur contain ratio which is resource of an pollution, So it is a waste fuel which can be combustion based on current exhaust standard value without any extra SOx exclusion materials. Waste tire has 9,256 Kcal/kg calorific value and it is higher than waste rubber, waste synthetic, waste fiber and combined daily life waste. It is estimated that waste tire is higher calorific power waste energy as same as B-C oil. When primary and second air quantity was 1.6 , 8.0 Nm³/min, dry gas production time was 270 min and total combustion time was 360 min. In the created condition of the optimum dry gas of waste tire, good quality and quantity was enough produced at 230°C. CO, SOx, NOx, HC of air pollution material density were lower than exhaust standard value at the back of cyclone and dusty was exceed than exhaust standard value. but there should be more research about the second pollution to make it lower than exhaust standard value without dust collector.

Keywords : recycling, pyrolysis

I. 서 론

자동차 문화의 발달은 대기오염문제를 유발시킴과 동시에 엄청난 양의 페타이어를 발생시키고 있다. 이러한 페타이어의 배출량은 국내의 경우에서만 연간 2,000만 개 이상 발생하는 것으로 추정되고 있으며 1999년 기준으로 재활용률이 55%수준임을 감안할 때 연간 약 900만개가 그대로 야적되어 방치되거나 일시 보관상태에 있는 실정으로 이로 인한 환경 및 사회적인 문제가 이미 심각한 상황에 도달해 있는 실정이다. 이러한 상황은 자동차산업이 일찍부터 발달해온 서구 선진국의 경우에 더욱 더 뚜렷하게 나타나고 있다.

페타이어는 어느 폐기물과 달리 단일품목으로 배출량이 많으며, 선별과정이 필요없고, 처리비용을 받을 수 있다는 장점이 있을 뿐만 아니라 열량이 매우 풍부하

여 연소기술과 대기오염방지 등의 문제만 해결된다면 훌륭한 에너지원으로 이용될 수 있다.

특히 현재 유가는 사상 유래없이 년일 최고치를 경신하고 있으며 연세쥬 예년 가격으로 되돌아올지 아무도 예측할 수 없어 국민들의 에너지 절약이 어느 때보다 절실하다.

이런 고유가 시대에 대체에너지로 각광받는 석탄이나 무연탄 보다 훨씬 뛰어난 열량을 가진 페타이어의 폐열을 이용하기 위해서 열적 처리에 의한 에너지 회수를 극대화시켜 최적의 열적 처리 시스템의 보급과 운영이 필요하다.

따라서 향후 저 비용, 고효율의 2차 오염이 없는 간접가열 방식의 건류 가스를 이용한 난방 시스템 개발 연구의 기초자료로 활용하기 위하여 연구하였다.

II. 조사방법

1996년부터 1월 1일부터 1999년 12월 31일까지 우리나라의 타이어 총 생산량과 페타이어의 재활용현황

[†]Corresponding author : School of Environment, Tae Kyeung College in Kyongsan, Korea
Tel: 053-850-1381, Fax: 053-850-1214
E-mail: siLee600@tk.ac.kr

등을 한국 타이어 공업 협회의 자료¹⁾를 이용하였으며, 외국에서의 페타이어 재활용 현황을 살펴보고 재 자원을 위한 방안으로 열분해 기술에 대하여 자료를 분석하였다.

1. 타이어 생산량

1999년 현재 자동차 보유대수가 1,063만대를 돌파하였다. 자동차 증가에 따라 타이어 생산규모도 6,379만개 이상으로 확대되었다. 여기에서 발생한 타이어는 종래부터 재생고무의 원료 및 재생타이어 등으로 재 이용되어져 왔으며 우리 나라의 자동차 보유 대수와 타이어 생산량은 Table 1과 같다.

2. 페타이어의 발생량에 따른 재활용 현황

페타이어 발생량은 매년 꾸준히 증가하고 있으며 1996년도에는 약 1,500만개의 페타이어 발생량 중 약 70%인 1,000만개가 재활용되었으며, 1999년의 페타이

어 총 발생량이 약 1,959만개로 재활용 비율은 55%인 약 1,081만개가 재활용되고 있음을 Table 2에서 잘 나타나고 있으며, 나머지 45%인 약 878만개가 매년 야적되고 있는 실정이다.

이것은 좁은 국토의 효율적 이용에 대단히 악영향을 미칠 뿐만 아니라, 사회적으로 큰 문제가 되고 있는, 지역 이기주의 현상인 소위 NIMBY 현상이 충분히 일어날 소지가 있다.

특히 현재 유가는 사상 유례없이 년일 최고치를 경신하고 있으며 유류값이 하향곡선을 나타낼 시기도 전혀 예측할 수 없이 절망적인 상황변화에 의해 페타이어의 재활용과 처리의 원활한 추진을 도모하고, 특히 열량이 풍부한 페타이어를 건류 소각하여 폐열을 이용하는 등 많은 연구와 노력이 있어야 한다.

3. 페타이어의 용도별 재활용 현황

용도별 재활용 현황을 Table 3에서 살펴보면 가공 이

Table 1. The possession number of car, and tire production amount

Year	1996	1997	1998	1999	Unit
Car Possession Number	9,553	10,413	10,469	10,632	1,000EA
Tire Production Amount	57,779	62,478	62,814	63,792	1,000EA

Source : Korea Tire Manufacturers Association.

Table 2. Recycling of waste tire

Year	1996	1997	1998	1999	Unit
Generation Amount	15,388	17,584	20,729	19,596	1,000EA
Recycling	10,782	10,522	13,626	10,816	1,000EA
Ratio	70	58.8	65.7	55.1	%

Source : Korea Tire Manufacturers Association.

Table 3. Recycling states of waste tires

(unit : %)

Section		1996	1997	1998	1999
Processing	Regeneration Tire	11.1	10.2	8.7	9.0
	Rubber Powder	6.4	15.3	15.9	14.0
	Bar	2.6	3.0	2.7	2.0
	Sub-total	20.2	28.5	27.3	25.0
Recycling	Cement Kiln	-	9.6	28.3	51.2
	Pyrolysis Incinerator	2.8	3.1	1.4	8.0
	Sub-total	2.8	12.7	29.7	59.2
Original	Export	9.0	10.3	5.5	6.0
	Public Work	60.6	40.3	31.4	-
	Reclamation Work	7.3	8.1	6.0	9.6
	Sub-total	77	58.6	43.0	15.6
Total		100	100	100	100

Source : Korea Tire Manufacturers Association.

용은 매년 약 25%로 일정한 편이며 원형 그대로 이용은 매년 큰 폭으로 감소하여 1999년에는 15.6%인데 비해 열 이용은 매우 미미한 2%에서 1999년에 급격한 증가를 하고 있음을 알 수 있다.

그 이유는 한동안 석유 및 석탄가격이 안정됨에 따라 대체연료로서의 상대적 가치도 낮아져 폐타이어의 원형 그대로의 이용에서 고유가 시대를 맞이하여 연소기술과 대기 오염 방지 등의 문제를 해결하여 폐열에 관심이 집중되고 있기 때문으로 생각되며 앞으로 건류 소각에 의한 열 이용이 기하급수적으로 높아질 전망이다.

4. 폐타이어 발생추이

폐타이어는 일반적으로 다음의 세 가지 경우로 발생²⁾한다.

- 1) 현 타이어를 신품 타이어와 교체하는 경우 이것은 신품 타이어를 국내 교환용으로 판매하는 것에 해당된다.
- 2) 자동차를 폐차하였을 때 생기는 경우
- 3) 폐타이어가 재생타이어등 원형 그대로 이용된 후 수명이 다하여 폐기되는 경우 폐타이어 발생량은 다음 계산식으로 추정한다.

$$\text{폐타이어 발생량} = \text{교체용 타이어 판매량} + \text{폐차시 발생량}$$

폐타이어는 자동차, 중기, 농기계, 이륜차에서 발생하는 타이어로서 타이어 제조업체, 수입업체에서 직접 회수하거나 대한 타이어 공업협회 또는 한국 자원 재생 공사에 위탁하여 수거한다. 타이어 교환 시 발생하는 폐타이어는 타이어 회사의 판매량을 이용하여 알 수 있으나, 폐차 시 발생하는 폐타이어는 교환용 타이어에 비하여 그 실태가 명확하지 않다.

5. 폐타이어의 환경 변화

- 1) 경제 정세의 변화
현재 원유 가격의 폭등으로 인하여 에너지 이용 측면에서 경제성은 매우 밝다.
- 2) 타이어 재질 변화
타이어의 골격을 형성하고 있는 코드지의 재질면에서 나일론과 같은 화학섬유로 바뀌었다가 현재는 주로 스틸 코드지를 사용하고 있어, 승용 타이어는 약 99%, 트럭, 버스용은 50% 이상이 스틸 코드지를 사용하는 스틸 래디얼 타이어이다.
이 스틸 래디얼 타이어를 생산하지 않았을 때는 재생 카본, 분말고무, 재생고무를 만드는데 있어 비드 부분

만 잘라내고 만드는 설비만으로도 충분하였으나, 나일론 타이어의 생산이 감소되고 스틸 래디얼 타이어의 생산이 증가함에 따라 스틸 코드를 잘라내는 별도의 시설을 하지 않으면 안되게 되었기 때문에 가격상승 요인이 되어 신카본, 신고 무와의 가격 경쟁력이 약화되었다.

3) 환경 규제의 강화

환경부는 폐타이어에 의한 환경 공해를 방지하기 위하여 산업폐기물 재생·이용자, 시멘트 제조 시설의 소성로 설치자, 폐타이어 건류 소각시설 설치 자로하여금 폐기물 관리법에 의거 폐타이어를 위탁 처리하도록 하였으며 폐타이어 건류 소각시설에 대하여는 건류 시설 기준을 마련하여 오염 물질 배출기준, 처리 능력, 형식 및 기능 등에 대한 규제를 하고 있다.

4) 유통, 회수 구조 및 비용

환경부는 1991년 7월 환경부 고시로 시행에 들어간 "폐타이어 회수 및 처리에 관한 규정"을 마련하여 수거 작업은 차츰 체제를 갖추어 가고 있으나 재활용 분야에서는 아직 재활용 기술개발이 아직까지 미흡하다고 볼 수 있다.

6. 외국에서의 폐타이어의 재활용 현황

1) 미 국

현재 미국에서 연간 버려지는 폐타이어는 2억4,000만 개로 이는 미국인 한 사람이 연간 폐타이어 1개를 버리는 셈이다.

미국의 폐타이어 활용방법으로 초기에는 항만의 방파제, 놀이터 시설 등에 이용하였으며, 재생고무도 생산해 각종 고무공업용품에 사용하기도 하였다. 또한 분쇄하여 분말로 만든 후 이를 분말석탄과 혼합하여 보일러 연료로 개발, 현재 일부에서는 대체에너지로 이용하고 있음을 주목할 필요가 있다.

2) 일 본

일본의 1992년도 폐타이어의 발생량은 약 82만 톤으로 지난 10년간 연평균 4.4%의 증가율을 나타냈다. 일본은 폐타이어의 회수, 처리율이 90%이상으로서 매우 높은 수준인데, 용도별로는 전체 회수·처리량의 47%를 차지하는 연료용이 주종을 이루고 있으며, 그중 시멘트 소성용으로 활용되는 비중이 22%에 달하고 있다.

3) 영 국

영국에서는 해마다 2천5백만 개의 폐타이어가 처리되는데 대부분이 폐타이어를 이용한 열 병합 발전소에서 이용되고 있다.

이러한 열 병합 발전소는 폐타이어의 처리와 대체에너지 개발 외에도 많은 장점을 갖고 있다. 이러한 열

Table 4. E. C Countries and waste tire (1990)⁹⁾

(Unit : 1,000 ton/year, %)

Section	Germany	France	England	Italy	etc	Total
Generation Amount	600	362	292	320	381	1,955
(Composition Ratio)	(30.7)	(18.5)	(14.9)	(16.4)	(19.5)	(100)

병합 발전소가 생김으로 인해 54개의 일자리를 제공, 연 70만 파운드의 고용효과와 무공해 설비라는 인식을 재고시켜 주었다. 또한, 페타이어를 소각하는 2개의 Plant가 1983년에 세워져 현재까지도 가동되어지고 있으며, 이 Plant는 그 혁신적인 기술로 환경보호상 등 많은 수상경력이 있다.

4) E. C

E. C 전체로는 Table 4에서와 같이 매년 약 2백만 톤 정도의 페타이어가 발생하고 있는데 80%정도가 독일, 프랑스, 영국 그리고 이탈리아 등 4개국에서 발생되고 있으며, 독일의 경우 연간 60만톤의 페타이어 발생량으로 E. C 국가 중 가장 많이 발생되었고, 프랑스가 그 다음으로 36만톤의 발생량을 보이고 있으며, 이것은 독일이 전체 발생량의 30.7%, 프랑스가 18.5%를 나타내고 있다.

페타이어의 재활용율은 국가별로 다르나 42~62%정도로 일본의 재활용율 보다는 낮으며 미국에 비해서는 월등히 높은 수집율을 보인다. E. C에서의 페타이어 재활용에 있어 두드러진 특성은 재생 타이어용으로 사용되는 비중이 발생량의 25%정도로 높다는 점인데, 이는 재생타이어에 대한 수요가 크게 기인하는 것이다. 전체 타이어 시장에서 재생타이어가 차지하는 비중은 승용차용 타이어의 경우 2~20%이고, 트럭의 경우 35~50%에 달하고 있으며, 이밖에 토목공사, 농업용 및 선박 방호제 등으로의 재활용 비율은 발생량의 6~9%정도를 나타내고 있다. 한편, 페타이어 발생량의 약 50%를 가공 또는 열 이용 방법으로 재활용하고 있는 독일의 경우 주로 소각로를 통한 재 이용과 화학분해방법에 대한 재활용 방안을 중점적으로 연구하고 있다.

5) 독일

독일의 1990년 페타이어 재활용 현황을 Table 5에 나타내었다. 전체 페타이어의 34%인 157,000 ton/year이 시멘트 킬른용 연료로 사용되고 있으며 재생타이어용으로 20%인 90,000 ton/year가 사용되고 있으며, 재생고무 및 원형 매립은 2%수준으로 낮음을 알 수 있다.

7. 페타이어의 재활용 및 자원회방안을 위한 열분해 기술

1) 건류 가스화³⁾

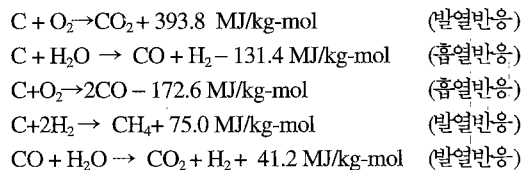
폐기물을 부분 산화시켜 발생한 배기가스의 연소 열

Table 5. Waste tire recycling condition of germany¹⁰⁾

	Section	Ratio	Ton/year
Effective Using	Regeneration Rubber	2%	10,000
	Regeneration Tire	20%	90,000
	Export etc.	11%	49,000
	Sub-total	36%	162,000
	Cement Kiln	34%	157,000
	Heat Regeneration Tire	3%	13,000
	Sub-total	37%	170,000
etc.	Reclamation(Original)	2%	10,000
	Reclamation (Pulverization)	6%	26,000
	etc.	19%	86,000
	Sub-total	27%	122,000
	Total	100%	454,000

에 의해 폐기물로부터 CO, H₂가 주 성분인 가연성 가스를 얻는 방법으로 200~300°C 전후에서 발생하는 열분해(Pyrolysis)를 통해 진행된다.

여기에 관련된 반응을 식으로 나타내면 다음과 같다.



즉 폐기물의 열분해에 의해 CO, H₂, CH₄ 등의 가연성가스를 생성시키는 것을 건류 가스화(Dry Distillation Gasification)라 한다.

2) 페타이어의 원소 조성

주요 가연성 산업폐기물인 페타이어, 폐 고무, 폐 합성수지, 폐 합성섬유 및 일상 생활 폐기물(혼합 폐기물)의 원소 조성은 최⁴⁾의 보고에 의하면 Table 6에 나타낸 바와 같다. 탄소 함량이 상당히 높은 고분자 폐기물은 연소성이 양호한 고발열량의 폐기물임을 알 수 있으며, 주요한 대기 오염유발 물질인 유황 함유율은 고무류를 제외하면 1.5%이하이므로 저유황 B-C유류의 유황 함유량 1.6%수준으로 별도의 황산화물 제거 장치 없이도 현재의 배출 허용 기준에 적합하게 연소시킬 수

Table 6. Element analysis of waste tire (Unit : wt%)

Component	Waste Tire	Waste Rubber	Waste Synthetic	Waste Fiber
C	79.1	77.65	84.5	46.1
H	6.8	10.35	14.2	6.4
O	5.9	-	-	41.8
N	0.1	-	0.06	2.1
S	1.5	2.0	0.03	0.2
ASH(90°C)	6.6	10.0	1.19	3.17

있는 폐 연료임을 알 수 있다.

3) 페타이어의 구성 성분

국내에서 시판되고 있는 타이어의 구성 성분은 김⁵⁾ 등의 보고에 의하면 Table 7에서와 같이 종류에 따라 다소 차이는 있으나 주요 구성 성분은 폐열의 이용이 가능한 고무가 40~50%, 카본이 20~30%를 차지하고 있으며, 나머지는 첨가제로 구성되어 있음을 알 수 있다. 특히 대기오염 유발물질인 유황이 0.5~1.5% 들어 있으나 이는 저유황 B-C유 이하의 수준임으로 배기 가스 내 농도는 대기오염 배출 허용 기준에 크게 문제되지 않을 것으로 사료된다.

4) 페타이어의 발열량

각 폐기물의 발열량은 김⁵⁾ 등의 보고에 의하면 Table 8과 같다. 페타이어, 폐 고무, 폐 합성수지, 폐 합성섬유 및 혼합 생활 폐기물의 발열량은 페타이어의 경우가 9,256 Kcal/kg으로 가장 높았고, 폐 고무가 및 폐 합성수지의 경우가 약 8,900 Kcal/kg으로 나타났으며, 폐 합성섬유가 6.95 Kcal/kg, 혼합 생활폐기물이 5,158 Kcal/kg을 이었다. 현재 시판되는 B-C유의 발열량이 9,700 Kcal/kg, 연탄의 경우가 4,500 Kcal/kg임을 감안할 때 페타이어, 폐 고무, 폐 합성수지의 경우는 B-C유에 해당하는 고발열량의 폐기물 에너지로 판단된다.

5) 페타이어의 최적 연소 및 건류 가스 생성조건

적정한 건류 가스생성 조건 및 연소조건을 결정하기 위하여 여러 관련 인자를 측정할 연구보고서⁶⁾에 의하면 Table 9와 같았다. 회분식(Batch type)의 연소방식으로 1회 투입량은 300 kg으로 하였고, 최적 연소 및 건류 가스 생성조건을 위하여 1차 및 2차 공기 공급량을 각각 1.6, 8.0 Nm³/min으로 하였을 때, 270분간 건류가스가 생성함을 알 수 있고, 총연소 시간은 360분이며, 이때 평균 열작 감량은 1.5%을 나타내었다. 페타이어 소각시 연소가스의 소각 개시 후 270분에 걸쳐 220~240°C로 유지되었고 이후 360분까지 로내 직연소가 이루어지면서 온도가 900°C 부근까지 상승하였으

Table 7. Component of waste tire(Base of radial tire)

Component	Rubber	Carbon	Sulfur	Firework	Zinc-Oxide	Vulcani-zation	Fiber	Still
%	40~50	20~30	0.5~1.5	2~10	1.5~2.0	2~7	3~12	5~12

Table 8. Calorific value of wastes

Wastecalorific value	Waste Tire	Waste Rubber	Waste Synthetic	Waste Fiber	Life Waste
Higher Calorific Value	9,256	8,927	8,962	6,951	5,158

Table 9. The optimal combustion condition of waste tire

Introjection Amount (kg/Batch)	Air supply (Nm ³ /min)		Dry Gas Producing Time(min)	TotalCombustion Time(min)	Average Loss on Ignition(%)
	Primary	Secondary			
300	1.6	8.0	270	360	1.5

Table 10. Created condition of the optimum dry gas

Created Condition	Dry Gas	Waste Tire	Waste Rubber	Waste Synthetic	Mixed Waste
Pyrolysis Temperature (°C)		230	250	280	200
Primarily Supplied Air Amount (Nm ³ /min)		1.6	1.2	1.3	1.8
Generation Amount of Dry Gas(Nm ³ /min)		7.2	6.7	6.2	7.7
Dry Gas Amount/Primary Air Amount		4.5	5.5	6.3	4.3
Total Dry Gas Amount(Nm ³ /kg)		6.4	6.9	7.2	6.4

Table 11. Concentration of major air-pollution materials of combustion exhaust gas

Measuring Position	Air Pollution Materials	Exhaust Standard			Waste Tire
		Korea('99)**	USA	Germany	
Cyclone output	CO ppm	600(12)	150	50	22
	SOx ppm	300(12)	30	50	65
	NOx ppm	20(12)	180	100	87
	Hcl ppm	50(12)	25	10	5
	Dust.*mg/Nm ³	100	69	10	170

*In case of dust, exhaust gas amount is lower than 40,000/hr among exhaust standard.

** () means standard oxygen concentration % of exhaust gas.

나, 250°C 이하의 낮은 온도에서 양질의 건류 가스가 충분히 생성되었음을 알 수 있다.

폐기물별 최적 건류가스 생성조건을 살펴보면 Table 10에서와 같이 건류온도는 페타이어가 230°C이고, 혼합 폐기물, 폐고무 및 폐합성수지는 각각 200°C, 250°C, 280°C로 높아짐을 알 수 있으며, 건류가스량 대 1차공기량은 페타이어의 경우 4.5이고, 총 건류가스량은 6.4 Nm³/kg을 나타내며, 폐합성수지가 7.2 Nm³/kg으로 가장 높음을 알 수 있다.

6) 사이클론 후단에서 측정된 대기오염물질 농도

사이클론 후단에서 대기오염 물질 농도는 구⁷⁾ 등의 보고 및 김⁸⁾의 보고에 의하면 CO, SOx, NOx, HC는 기준치 이하이며 먼지만 기준치를 초과하였으나 향후 집진 장치없이 2차 오염을 기준치 이하로 낮추기 위해 아직까지는 국내에서는 그 연구가 매우 미미한 실정이지만, 외국에서는 수년 전부터 활발히 연구⁹⁻¹¹⁾ 하고 있음을 주목할 필요가 있다.

III. 요약 및 결론

어느 폐기물과 달리 단일품목으로 배출되는 양이 많으며, 열량이 매우 풍부한 페타이어를 열분해를 통하여 폐열을 이용한다면 고유가 시대에 각광받는 석탄, 무연탄 보다 훨씬 뛰어난 대체에너지가 분명될 것이며 저비용, 고효율의 난방시스템을 향후 개발하기 위한 기초자료로 활용하기 위하여 자료를 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다

1. 페타이어 연간 생산량은 1999년도 기준으로 19,596천 개이며 재활용 비율은 약 55% 수준이고 나머지 878만개 이상이 매년 야적되어 방치되는 실정이다.
2. 용도별 재활용은 페타이어 원형 그대로 이용은 매년 큰 폭으로 감소되고 고 유가의 영향에 따라 열 이용이 증가하고 있다.
3. 페타이어는 대기오염물질인 유황 함유율이 1.5%

이하이므로 저유황 B-C유의 유황 함유량 1.6%수준으로 별도의 황산화물 제거 장치없이도 현재의 배출허용기준에 적합하게 연소시킬 수 있는 폐 연료임을 알 수 있다.

4. 페타이어는 폐 고무, 폐 합성 수지, 폐 합성 섬유 및 혼합 생활 폐기물의 발열량 보다 9.256 Kcal/kg으로 가장 높아 B-C유에 해당하는 고발열량의 폐기물 에너지로 판단된다.

5. 1차 및 2차 공기량을 각각 1.6, 8.0Nm³/min으로 했을 때 건류 가스 발생시간은 270 min이고 총 연소시간은 360 min이었다.

6. 페타이어의 최적 건류 가스 생성조건에서 230°C에서 양질의 건류 가스가 충분히 발생된다.

7. 사이클론 후단에서 대기오염 물질 농도가 CO, SOx, NOx, HC는 배출규제 기준치 이하이며 먼지만 기준치를 초과하였으나 향후 집진 장치없이 2차 오염을 기준치 이하로 낮추기 위해 많은 연구가 필요하다.

참고문헌

- 1) 대한 타이어 공업협회 : 페타이어 재활용 현황, 타이어지 34(1), 41-57, 2000.
- 2) 공성호, 김영채, 배성렬, 이주성, 김용수 : 페타이어 재활용 방안의 연구, journal of RIEET, 3, 74-76, 1997.
- 3) 김용욱, 김종욱 : 열분해를 이용한 페타이어의 재활용에 대한 연구, 폐기물학회지, 7(2), 335-345, 1987.
- 4) 최중호 : 페타이어 재활용에 대한 연구, 1996.
- 5) 김진오, 김 중 : 폐기물의 에너지이용 잠재력 평가 및 보급 확산 대책, 에너지 R & D, 11, 89-103, 1989.
- 6) 환경공해 연구소 : 반 건류 가스화 소각로 연구 보고서, 소각로지, 11, 70-90, 1996.
- 7) 구자공, 서영화, 김석원, 유동준 : 페타이어 건류 소각에서 발생하는 재와 배기가스의 독성오염 물질의 정량, 대한토목학회지, 13(1), 213-220, 1993.
- 8) 김석준 : 고분자 폐기물 연속 건류 소각과 폐 열 회수 및 전식 가스처리 기술개발 연구 보고서, 한국기계 연구소, 1992.

- 9) Williams, P. T., Besler, S. and Taylor, D. T.: The pyrolysis of scrap automotivetyres, The influence of temperature and heating rate on product composition, *FUEL*, **69**, 1474-1482, 1990.
- 10) Yang, J., Tanguy, P. A. and Roy, C.: Heat, mass transfer and kinetics study of the vacuum pyrolysis of a large used tire particle, *Chem. Eng. Science*, **50**, 1909-1922, 1995.
- 11) Araki, T., Niikawa, K., Hosoda, H., Nishizaki, H. and Mitsui, S.: Development of fluidized-bed pyrolysis of waste tires, *Conserv. Recycling*, **3**, 155-164, 1979.