

## 마이크로파 가열에 의한 페타이어 열분해 거동

\*,\*\*김 성수<sup>1)</sup>, 김 지건<sup>2)</sup>, 조 정래<sup>3)</sup>, 박 동철<sup>3)</sup>

### The Pyrolytic Behavior Waste Tire under Microwave Heating

\*,\*\*Seongsu Kim, Jigeon Kim, Junglae Cho, Dongchul Park

**Key words** : Microwave(마이크로파), heating(가열), pyrolysis(열분해), waste tire(페타이어)

**Abstract** : The pyrolytic behavior of waste tire under microwave heating was investigated. Experiments were conducted using a lab- and bench-scale system to delineate the effects of microwave output power on the response. As the results of experiments, it was found that as the microwave output power was increased between 0.84 and 3.04 kW/kg, the oil yield and required time rapidly increased and decreased, respectively. With further increase of the microwave output power, the oil yield and required time did not change significantly.

## 1. Introduction

간접가열 방식인 재래식 페타이어 열분해 기술에서는[1,2] 열분해 반응용기 외부의 가열장치를 사용하여 열분해 반응용기의 벽면을 먼저 가열하고 반응용기 내부의 페타이어는 반응용기 벽면으로부터의 전도 및 대류에 의하여 가열되는 외부가열 방식이다. 반면에 마이크로파 페타이어 열분해 기술[3]은 직접가열 방식을 사용하므로 재래식 페타이어 열분해 기술과 비교하여 가열효율이 높고, 가열에 소요되는 시간이 짧으며, 균일한 가열이 가능한 장점이 있다.

마이크로파 열분해 기술은 마이크로파가 페타이어로 조사되면 페타이어에 포함된 카본입자가 마이크로파를 흡수하여 발열하는 현상을 이용한다. 카본입자에 의해 발생된 발열현상은 공간전하분극현상(space charge polarization)에 의하여 설명된다[4,5].

본 연구에서는 마이크로파의 출력량을 조절하여 실험실 규모와 벤치 규모 반응기에서 마이크로파 출력이 페타이어 열분해 거동에 미치는 영향을 조사하였다.

를 보여준다. 2리터 부피의 수정 반응기에 부피가 약 6 cm<sup>3</sup> 인 파쇄 페타이어 조각 400g을 채워넣고 부피가 85,000cm<sup>3</sup> 인 Cavity 중간에 설치하여 마이크로파를 조사하여 열분해 실험을 수행하였다. K-type 열전대를 수정 반응기내 페타이어 조각 사이에 위치하도록 하여 반응온도를 측정하였다. 가변식 전력공급장치와 2,000 W 마그네트론을 사용하여 마이크로파 출력을 0 - 2,000 W 사이에서 조절하였고 사용된 마이크로파 주파수는 2,450MHz였다. 열분해시 생성된 가스의 배출을 용이하게 하기 위하여 100 cc/min 의 N<sub>2</sub>가스를 carrier gas로 사용하였다. 각 실험에서 반응시간은 실험시작부터 가스와 오일로의 생성이 멈출 때까지 걸린 시간으로 정하였다.



## 2. Experimental

### 2.1 실험실 규모 실험

Fig.1은 실험실 규모 마이크로파 열분해 장치

- 1) 한국에너지기술연구원 대체연료연구센터
- 2) 서강대학교 화공생명공학과
- 3) 충남대학교 전파공학과



Fig.1 Lab-scale microwave waste tire pyrolysis reactor

## 2.2 벤치 규모 실험

Fig. 2는 통타이어의 열분해를 위한 벤치규모 마이크로파 열분해 실험 장치의 사진과 열분해 반응 전후의 페타이어 사진을 보여준다.



Fig. 2 Bench-scale microwave waste tire pyrolysis reactor

마이크로파 cavity의 크기는 850mm×850mm×850mm였으며 마이크로파 누설을 방지하기 위하여

문의 가장자리에 초크(Fig. 3)를 설치하였다. 초크의 구조 및 수치는 전산모사를 통하여 결정하였다. Cavity의 상부에 3 kW 마그네트론 4개를 설치하였고 4대의 가변식 전력공급장치를 사용하여 전력을 공급하였다. 사용된 마이크로파 주파수는 2,450MHz였다. Cavity내에는 페타이어의 균일한 가열을 위하여 통타이어를 회전시키는 턴테이블을 설치하였다. 턴테이블은 8개의 동심원과 방사선 모양의 사각 SUS 봉으로 구성하였고 동심원 사이로 반사되는 마이크로파가 통과하여 페타이어에 도달할 수 있도록 제작 하였다. 턴테이블의 회전수는 Fig.4의 전산모사 결과를 참조하여 2 r.p.m.으로 고정하였다.

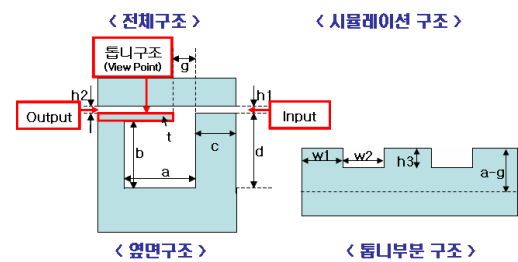


Fig.3 The structure of the choke used for the prevention of microwave leakage

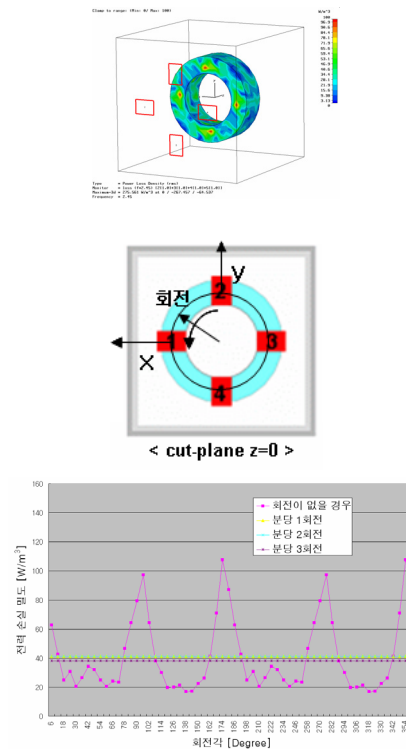
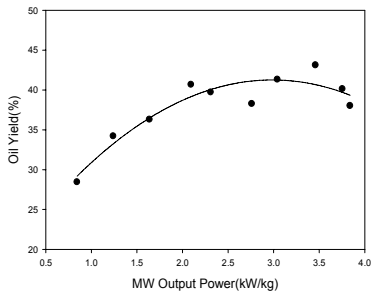


Fig.4 The effects of the rotational speed of the tire on the microwave power loss density by computer simulation

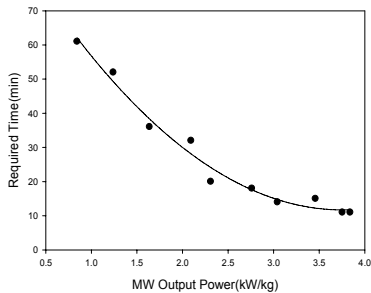
### 3. Results and Discussions

#### 3.1 실험실 규모 실험

Fig. 5는 실험실 규모 실험에서 마이크로파 출력값이 오일수율과 반응시간에 미치는 영향을 보여준다. Fig. 5-(a)는 마이크로파 출력값이 0.84 - 3.04 kW/kg 사이에서 증가함에 따라 오일수율도 증가하는 것을 보여준다. 출력값이 3.04 kW/kg 이상으로 증가하면 오일수율은 더 이상 큰 폭의 변화가 없는 것을 알 수 있다. Fig. 5-(b)에서 볼 수 있듯이 마이크로파 출력값이 0.84 - 3.04 kW/kg 사이에서 증가함에 따라 응시간은 급격히 감소한다. 출력값이 3.04 kW/kg 이상으로 증가하여도 반응시간은 더 이상 변화가 없는 것을 알 수 있다.



(a)

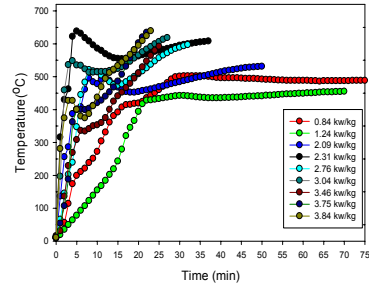


(b)

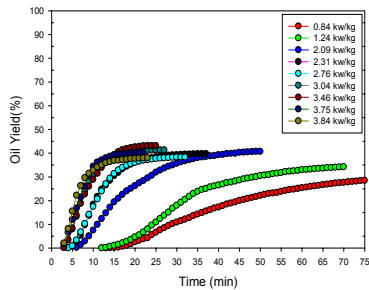
Fig. 3 Effects of microwave output power on the (a) oil yield and (b) required time in lab-scale experiments.

Fig. 6은 Fig. 5의 마이크로파 출력값에 해당하는 반응온도와 오일수율의 시간에 따른 변화추이를 보여준다. Fig. 6-(a)에서 볼 수 있듯이, 마이크로파 출력값이 증가할수록 반응온도는 급격히 증가하며, 그 이유는 마이크로파 출력값이 증가할수록 페타이어 조각 자체에서 발생하는 열의 양이 더 많아지기 때문이다. Fig. 6-(b)는 마이크로파 출력값이

0.84 - 3.04 kW/kg 사이에서 증가함에 따라 오일생성 속도가 급격히 증가하나 출력값이 3.04 kW/kg 이상으로 증가하게 되면 더 이상 변화가 없는 것을 보여준다.



(a)



(b)

Fig. 6 The time-dependent variations of the (a) temperatures and (b) oil yields at various microwave output powers.

#### 3.2 벤치 규모 실험

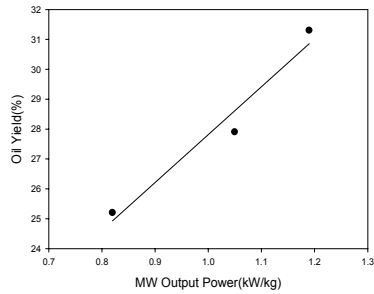
Fig. 7은 벤치규모 실험에서 마이크로파 출력값이 오일수율과 반응시간에 미치는 영향을 보여준다. Figure 7-(a)는 마이크로파 출력값이 0.82 - 1.2 kW/kg 사이에서 증가할 때 오일수율이 25.2%로부터 31.3%로 급격히 증가하는 것을 보여준다. Fig. 7-(b)에서 볼 수 있듯이 마이크로파 출력값이 0.82 - 1.2 kW/kg 사이에서 증가함에 따라 반응시간은 72 분에서 36 분으로 급격히 감소하는 것을 알 수 있다.

## 후 기

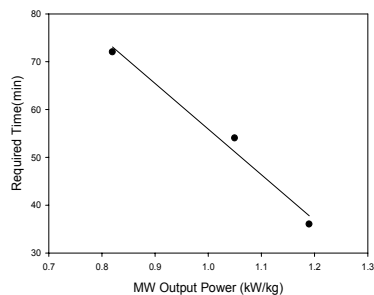
본 연구는 지식경제부의 신재생에너지개발사업으로 수행되었습니다.

## References

- [1] Diéz, C., Sánchez, M. E., Haxire, P., Martínez, O., Moran, A., "Pyrolysis of tyres: A comparison of the results from a fixed-bed laboratory reactor and a pilot plant(rotary reactor)," *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, Vol. 74, pp. 254-258, 2005.
- [2] Ucar, S., Karagoz, S., Ozkan, A. R., Yanik, J., "Evaluation of Two Different Scrap Tires as Hydrocarbon Source by Pyrolysis," *Fuel*, Vol. 84, pp.1884-1892, 2005.
- [3] Lodlow-Palafox, C., Chase, H. A., "Microwave Pyrolysis of Plastic Wastes," in *Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics* edited by John Scheirs and Walter Kaminsky, Chapter 21, pp.569-594, 2006.
- [4] Carrot P.J.M., Nabais, J. M. V., Riberio Carrott M. M. L., Menéndez, J. A., "Thermal Treatment of Activated Fibers Using a Microwave Furnce," *Microporous and Mesoporous Materials*, Vol.47, pp.243-252, 2001.
- [5] Liu, X., Quan, X., Bo, L., Chen, S., Zhao, Y., Chang, M., "Temperature Measurement of GAC and Decomposition of PCP loaded on GAC and GAC-supported Copper Catalyst in Microwave Irradiation," *Applied Catalysis A: General*, Vol. 264, pp.53-58, 2004.



(a)



(b)

**Fig.7 The Effects of microwave output power on the (a) the required time and (b) oil yield in bench-scale experiments.**

## 4. Conclusions

본 연구의 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

- (1) 실험실 규모 시스템을 사용하여 마이크로파 타이어 열분해 실험을 한 결과, 마이크로파 출력값이 0.84 - 3.04 kW/kg 사이에서 증가함에 따라 오일 수율과 반응시간은 각각 뚜렷한 증가와 감소를 하였으며 마이크로파 출력값을 더 이상 증가시켜도 오일 수율과 반응시간은 크게 변화하지 않았다.
- (2) 벤치 규모 시스템을 사용하여 마이크로파 타이어 열분해 실험을 한 결과, 마이크로파 출력값이 0.82~1.2kW/kg 사이에서 증가함에 따라 오일 수율은 25.2%로부터 31.3%로 증가하였고, 반응시간은 72 분에서 36분으로 감소하였다. 이와 같은 추세는 실험실 규모 시스템을 사용한 실험에서 얻어진 추세와 유사하였다.