

공급공기의 온도 변화와 수증기가 바이오매스 가스화 과정에서 전환가스의 발열량에 미치는 영향

안 성율¹⁾, 문 철언²⁾, 최 경민³⁾, 김 덕줄⁴⁾

The effect oxidizer temperature and steam addition on caloric value in biomass gasification process

SeongYool Ahn, GyungMin Choi, DuckJool Kim

Key words : biomass(바이오매스), gasification(가스화), downdraft fixed bed gasifier(하향식 고정층 반응로), steam addition(가습)

Abstract : An experimental study was carried out to investigate the heat value change by various conditions of wood sawdust gasification in the 1-dimensional downdraft flow fixed bed gasifier. The preheated air and steam were used as a gasifying agent. The components of syngas were influenced increasing residence time of supplied agent. The operating parameters, the supplied agent temperature and steam addition were used. The oxidizer temperature was varied from 500K to 620K. The gasification process was monitored by measuring temperature at three points near the biomass using R-type thermocouples and the syngas composition was analyzed by gas chromatograph. We get the sample gas at the end of gasifier. Finally, the amount of hydrogen and methane were increased widely as increasing the oxidizer temperature and adding steam.

1. 서론

현재 국내에서 발생한 목재 톱밥이나 가구 폐기물, 벌목 폐기물 등의 자원들은 직접 연소를 통한 난방용으로 사용되거나 퇴비 등으로 사용되고 있다. 그러나 화석 연료의 과도한 사용으로 인한 자원의 고갈 및 대기 오염이 심화됨에 따라 이산화탄소의 배출이 거의 없는 목재 바이오매스는 기존의 화석 연료를 대체할 수 있는 에너지 자원의 하나로 각광을 받기 시작하였으며 현재 유럽과 미국, 일본에서는 상용화가 이루어지고 있는 실정이다. 이에 국내에서도 대체 에너지 원으로서 바이오매스를 이용한 에너지 전환기술이 연구되고 있으나 아직 진행속도가 미비하다.

바이오매스 자원들을 이용하여 에너지 자원으로 만드는 방법으로는 생물화학적 방법(혐기소화, 알코올 발효 등), 열화학적 방법(가스화, 열분해, 액화방법 등), 물리적 방법(고형화, 추출) 등으로 구분할 수 있다. 특히 열 화학적 방법은 반응시간이 매우 짧고 단위 부피당 처리량이 높으며 공정 폐기물의 발생량이 매우 적은 장점을 지니고 있

기 때문에, 최근에는 NOx, soot 등의 대기오염물질의 발생에 따라 직접연소보다는 열분해나 가스화에 의한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 바이오매스 자원의 에너지 전환기술은 직접 연소에 비하여 공정이 복잡하고 제어가 어려우나, 에너지 저장에 용이하고 대기 오염물질의 배출이 적으며 에너지 회수율이 높기 때문에 차세대 에너지 전환기술로 여겨지고 있다.⁽¹⁾

이러한 열분해 기술 중 고온의 산화제를 통한 가스화 기술은 최근 많은 연구가 이뤄지고 있으며 공기나 수증기 혼합 가스를 산화제로 사용하

1) 부산대학교 기계공학과 대학원
E-mail : syahn405@pusan.ac.kr
Tel : (051)510-1417

2) 부산대학교 기계공학과 대학원
E-mail : moonce125@pusan.ac.kr
Tel : (051)510-1417

3) 책임저자, 부산대학교 기계공학부
E-mail : choigm@pusan.ac.kr
Tel : (051)510-2476 Fax : (051)512-5236

4) 부산대학교 기계공학부
E-mail : djkim@pusan.ac.kr
Tel : (051)510-2365

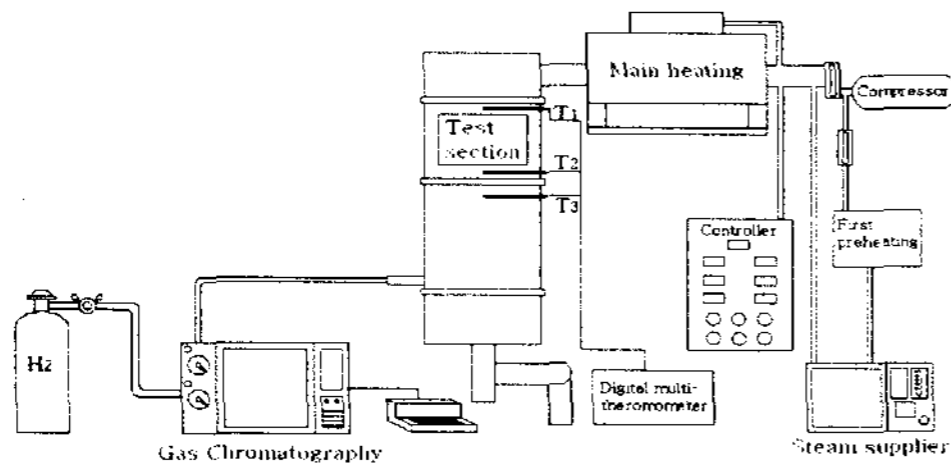


Fig. 1 The schematic of the experiment setup

는 경우가 대부분이다. 바이오매스를 가스화 시키면 수소, 일산화탄소, 이산화탄소, 약간의 잔류물이 생성된다. 이러한 가스화를 통한 에너지 생산은 공급 공기, 반응로 종류, 연료 종류 등에 따라 다른 경향을 보인다.⁽²⁾

따라서 본 연구에서는 목재의 착화점과 발화점인 260~450℃ 사이에서 공기온도와 수증기가 하향식 고정층 바이오매스 가스화 과정을 통한 전환가스 생성에 미치는 영에 대한 실험을 수행하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장비

본 연구에서는 바이오매스 가스화를 위해 하향식 고정층 반응로(downdraft fixed bed gasifier)를 사용하였다. 이 하향식 고정층 반응로는 공급 공기의 잔류 시간을 늘려주어 충분한 화학 반응이 발생하도록 한다. 그리고 1-Dimensional stream flow를 구현하기 위하여 내부 반응 영역을 100×100mm인 정 사각형 형상으로 제작하였으며 수직 방향으로 장비를 설치하였다. 외부 단열을 위해 반응 영역 주위에 50mm 두께의 단열재를 설치하였다. 공기는 컴프레서를 통하여 공급되며, 실리카겔을 거쳐 수분을 제거하고 레귤레이터를 거쳐 유량계에서 조절하게 된다. 유량계를 통과한 공기는 전기로로 직접 연결되거나 1차 예열을 거쳐 100℃의 포화 상태인 가습 챔버를 통과하여 자체 가습과 수증기를 동시에 운반하도록 하였다. 이렇게 만들어진 공기/수증기 혼합 가스를 전기로로 공급하여 반응로에 공급되는 온도를 조절하였다. 메인 전기로는 100lpm에서 최대 1000℃까지 2℃정도의 유동을 가지고 안정적인 온도 공급이 가능하다. 전기로의 출구부에서 바이오매스 반응 영역 사이에는 단열재를 사용하여 열 손실을 최소화 하였고, 바이오매스의 반응 과정과 상태를 알아보기 위하여 반응영역 주위의 세 곳(바이오매스 바로 위(T₁), 바로 아래(T₂), 전환가스 영역(T₃))의 위치에 100 μm R-type thermo-couple을 설치하였고, 이 결과 값들은 데이터 로거를 이용하여 기

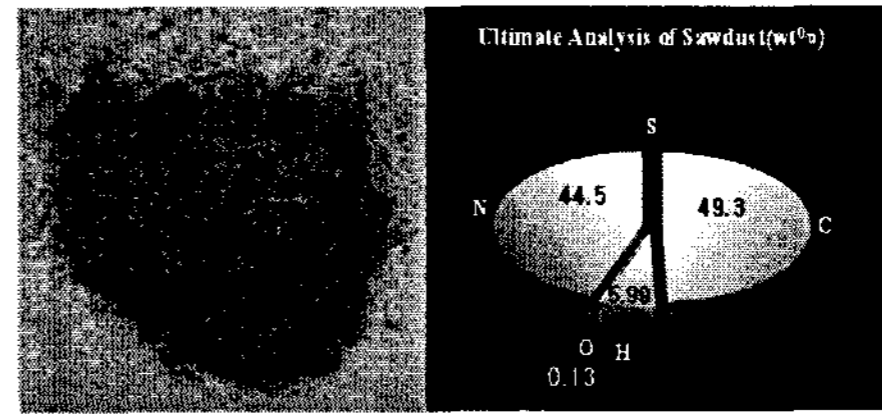


Fig. 2 The sawdust picture and ultimate analysis

록하였다. 바이오매스 전환가스는 반응로 하단부에서 샘플링 하였으며, 샘플링 된 전환가스의 성분은 SRI 8610C Multiple Gas Analyzer System #2를 이용하여 분석하였다. 가스 분석을 위한 column으로는 MoleSieve 13X (9ft)와 HayeSep-D (9ft)를 사용하여 가스를 분리하였으며, thermal conductivity detector(TCD)와 Helium Ionization Detector(HID)를 사용하여 가스 피크를 획득하였다. Carrier gas로는 고 순도헬륨(99.999%)을 사용하였다. 본 연구에 사용된 바이오매스 가스화 장치의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

2.2 실험 방법

본 실험에서는 1~2mm 이하의 목재 파우더와 칩 상태의 톱밥을 바이오매스 재료로 사용하였다. 목재 톱밥은 2~3일 동안 건조기 안에서 충분히 건조하여 사용하였다. Thermogravimetric analysis (TGA) 방법을 이용하여 건조된 목재 톱밥의 유기 조성을 분석하여 실제 사진과 함께 Fig. 2에 나타내었다.

실험은 목재 톱밥의 착화점과 자발화 온도 사이 260℃~450℃ 주위의 네 가지 온도 조건(240, 270, 300, 350℃)에서 무가습 상태와 가습 상태로 수행되었다. 실험은 공급되는 공기의 온도는 반응 영역에 공급되는 온도(T₂)가 20분 이상 변동 없이 유지 될 때 수행되었다. 수증기의 공급 또한 가습 챔버의 온도가 충분히 유지되고, 1차 예열장치가 안정적인 상태가 되었을 때 실험을 수행하였다. 실험에 공급된 유량은 100lpm으로 고정하여 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 실험 결과

세 곳에서의 온도 측정 결과 하향식 반응로의 특성에 따라 T₂ 위치에서의 온도와 바이오매스 전환가스 변화가 유사한 경향을 가지는 것을 알 수 있었다. T₂의 온도 변화를 Fig. 3에 정리하여 나타내었다. 무가습 상태와 가습 상태 모두 공급되는 매질의 온도가 증가하면서 반응대의 온도 역시 증가하는 것을 확인 할 수 있다. 하지만, 자착화

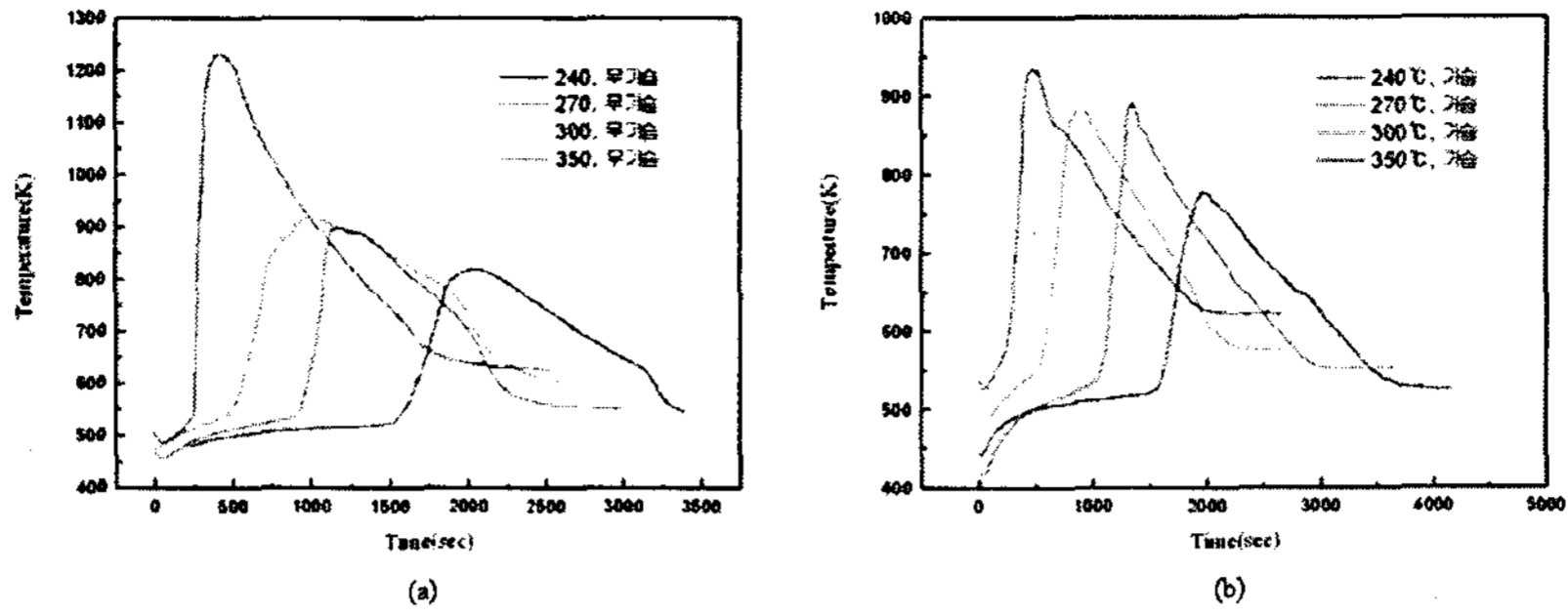


Fig. 3 The T_2 temperature variation versus time with (a) dried air (b) steam addition

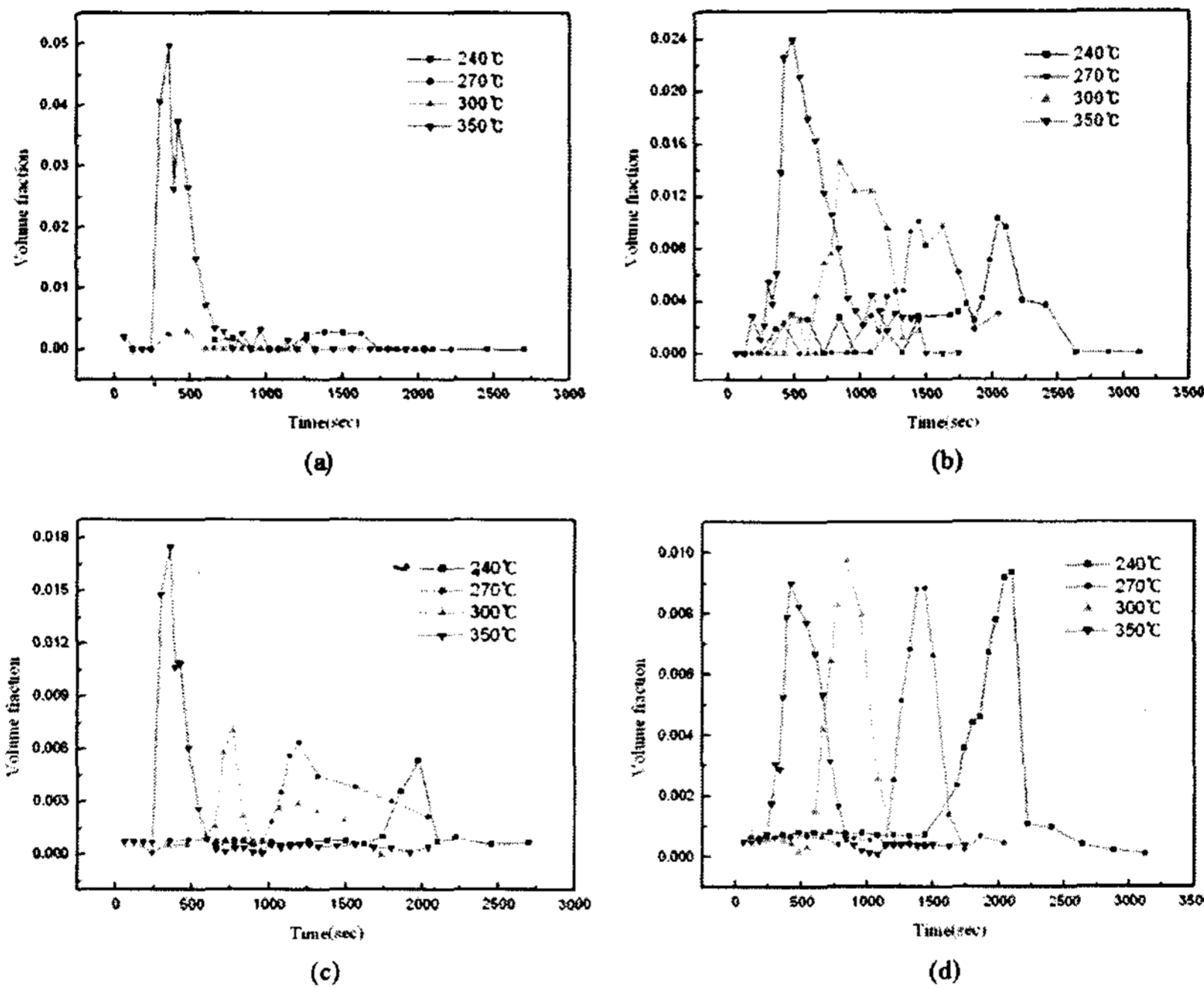


Fig. 4 The volume fraction of hydrogen with (a) dried air (b) steam addition and methane with (c) dried air (d) steam addition in the biomass syngas

온도인 260°C 이하에서의 공급 온도와 그 이상의 온도에서는 반응대의 온도 영역이 약간의 차이를 가지는 것을 알 수 있다. 특히, 무가습 350°C의 매질이 공급될 때는 반응대의 온도가 확연히 높아지는 것을 확인 할 수 있는데, 이는 바이오매스가 가스로 전환될 때, 발열 반응함으로 착화온도보다 낮은 온도에서 발화가 시작되었다는 것을 확인하였다.

Fig. 4는 수소와 메탄의 체적 분율을 공급 매질의 온도에 따라 무가습과 가습 상태로 나눠서 표시하였다. Fig. 4(a) 그림에서 무가습 상태에서는 공급 매질의 온도가 350°C가 되기 전에는 수소가 거의 나타나지 않지만, 가습 상태에서는 240°C 때부터 나타나기 시작하여 점차적으로 증가하는

경향이 있다는 것을 확인 할 수 있다. 이는 water-gas 반응과 water-gas shift 반응에 의한 결과이다. 메탄의 경우, 가습 상태에서의 더욱 많은 메탄의 생성을 확인할 수 있었다. Fig. 4(c)에서 300°C의 경우 두 개의 피크를 가지는 것을 확인할 수 있으며, 수증기가 첨가될 때 일정한 경향을 가지는 것은 메탄화 반응에 의한 것을 알 수 있다.

Fig. 5에는 일산화탄소와 이산화탄소의 체적 분율을 공급 매질의 온도에 따라 무가습과 가습 상태로 나눠서 표시하였다. 일산화탄소의 경우 가습이 되면 무가습 상태에서는 발생하지 않던 공급 매질의 온도에서도 발생하는 것을 알 수 있다. 이산화탄소는 큰 변화 없이 무가습 발화한 경우만 다량으로 발생하였다는 것을 확인하였다.

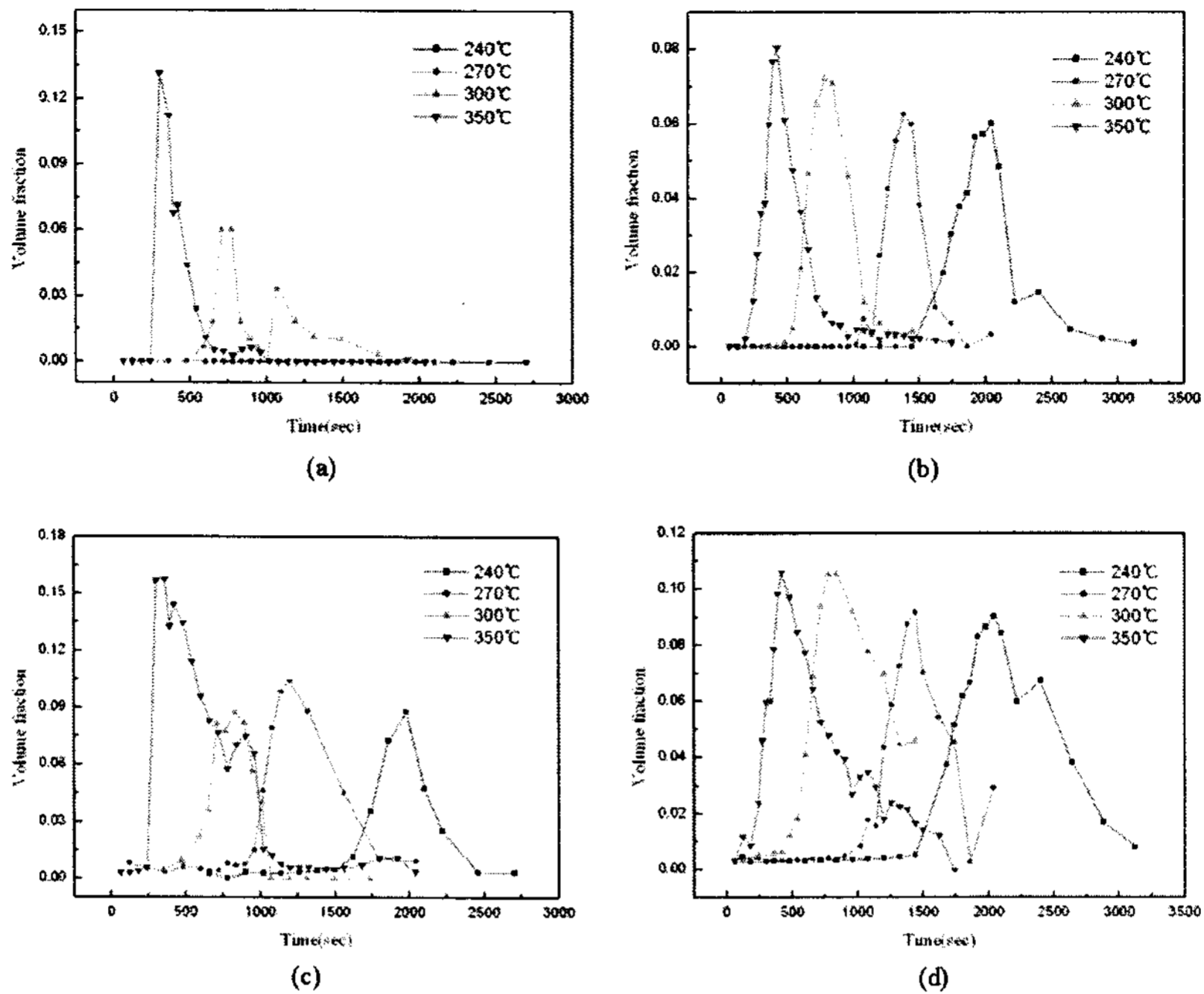


Fig. 5 The volume fraction of carbon monoxide with (a) dried air (b) steam addition and carbon dioxide with (c) dried air (d) steam addition in the biomass syngas

Fig. 5(a)에서 일산화탄소는 300°C에서 두 개의 피크를 가진다. Fig. 5(c)에서 이산화탄소가 감소하는 부분과 겹치게 되는 것을 확인 할 수 있고, 이는 일산화탄소와 이산화탄소간의 화학적 반응으로 인한 것이며, 메탄화 반응과도 연관이 있다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

- 하향식 고정층 반응로에서 바이오매스 반응은 T₂ 위치에서의 온도로 확인 할 수 있다.
- 수소는 무가습 상태에서는 공급 매질의 온도 350°C 이전에서는 미량만 발생하였으나, 수증기가 첨가되면서 저온에서도 발생하는 것을 확인하였으며, 매질의 온도가 증가할수록 수증기의 양도 증가하는 것을 확인하였다.
- 메탄과 일산화탄소가 300°C에서 두 개의 피크를 갖는 것을 확인하였으며, 이를 통하여 일산화탄소와 이산화탄소간의 화학 반응 및 메탄화 반응을 확인하였다.

후기

본 논문은 교육인적자원부·산업자원부·노동부의 출연금으로 수행한 산학협력중심대학육성사업의 연구결과입니다.

References

- [1] Seehoon Lee, Younggu Kim, Jaechang Hong, Sangjun Yoon, Youngchan Choi, Jaegoo Lee, 2005, "Thermochemical conversion of biomass in a fluidized bed pyrolyzer", 한국 신재생에너지학회, 춘계학술 논문대회 논문집 pp.467~470
- [2] Blasiak W, Szewczyk D, Lucas C, Tsamba AJ, Rafidi N., 2002, "High temperature air/steam gasification technical report No. 1: High Exergy rate gas aided low grade fuel utilization technology," ISRN KTH/MSE-02/16-SE ENERGY/TR.
- [3] Beenackers A, Maniatis K, 1996 "Gasification Technologies for heat and power from biomass." Proceeding of the Conference: 5th European Bioenergy Conference.
- [4] Y.J.Lu, L.J. Guo, C.M. Ji, X.M. Zhang, X.H. Hao, Q.H. Yan, 2006, "Hydrogen production by biomass gasification in supercritical water: A parametric study", International Journal of Hydrogen Energy, Volume 31, Issue 7, 83 p.822-831
- [5] Mathieu P, Dubuisson R., 2002, "Performance analysis of a biomass gasifier.", Energy Conversion and Management, 43 p.1291-9.