



## 건축용 목재의 연소시 지구온난화 가스의 배출특성에 관한 연구

†안형환

한국교통대학교 산업경영안전공학부 안전공학전공 교수  
(2018년 11월 1일 접수, 2018년 12월 18일 수정, 2018년 12월 19일 채택)

## A Study on Emission Properties of Green House Gas on Duration Combustion of Constructive Wood Materials

†Hyung-Hwan An

Dept. of Safety Engineering, Korea National University of Transportation, Korea  
(Received November 1, 2018; Revised December 18, 2018; Accepted December 19, 2018)

### 요 약

MDF목재에 처리제 즉, 방화락카, 수용성방염코트, 수용성우드커버 등을 MDF표면에 처리하여 연소시 열분해특성과 대기 유해가스 발생 특성을 대용량열분석기를 활용하여 실험한 결과 순수 MDF목재에 방화락카를 질량비로 0.11/11.55g을 처리한 후 열분해 및 연소가스 발생 특성을 살펴본 결과 방화락카를 처리한 경우 순수 MDF보다 연소시작시간이 다소 길어지고 연소온도가 약340℃에서 450℃로 올라가는 현상을 알 수 있었다. 그리고 수성방염코트를 처리한 MDF목재(PA2)의 열분해 및 연소가스발생 특성은 시료의 질량 비 0.13/11g에서 연소시작 시간과 온도가 약 26분 260℃에서 약54분 612℃로 변화를 보였다. 또한 상업적으로 판매되고 있는 수용성우드커버를 MDF에 0.13/11.55g을 처리하여 연소하였을 경우 급격한 중량변화는 300℃에서 370℃로 높아지는 경향을 보였고 약500℃에서 2차 변화가 나타났다.

**Abstract** - MDF was treated on the surface of MDF with fire retardant lacquer, water-soluble flame retardant coat and water-soluble wood cover on the MDF wood, and the pyrolysis characteristics and the atmospheric noxious gas generation characteristics were investigated by using the large capacity thermal analyzer. As a result of investigating pyrolysis and combustion gas generation characteristics after treatment of 0.11 / 11.55 g in terms of mass ratio, it was found that combustion starting time was slightly longer than that of pure MDF in the case of treatment with fire retardant lacquer. The combustion temperature was increased from 340 °C to 450 °C. The pyrolysis and combustion gas generation characteristics of the MDF wood treated with the aqueous flame retardant coat showed the changes in combustion starting time and temperature from 260 °C to 542 °C for about 26 minutes at the mass ratio of 0.13 / 11g. Also, when the commercially available waterproof wood cover was treated with 0.13 / 11.55 g of MDF, the sudden weight change tended to increase from 300 °C to 370 °C and showed a second change at approximately 500 °C.

**Key words** : greenhouse gas, constructive wood, pyrolysis, introduction, atmospheric noxious gas

### I. 서 론

건축용 목재는 각종 주택 및 건축물에 없어서는 안 될 중요한 재료로서 원목을 중심으로 사용하는 경우와

원목을 용도에 맞게 단판이나 합판 등으로 만들어 사용되고 있다. 이러한 목재는 용도에 맞게 다양한 종류의 건축 자재로 만들어지고 있으며 그 종류에는 합판(plywood), 집성재(glue-laminated timber), 마루판(flooring), 코펜하겐리브판(copen-hagen rib), 코르크판(cork board), MDF(medium density fiber board), 파티클보드(particle board) 등이 있다.

†Corresponding author:hhahn@ut.ac.kr  
Copyright © 2018 by The Korean Institute of Gas

이들 중 파티클보드(particle board)나 MDF (medium density fiber board)의 경우 제조과정이 목재 및 기타 식물 등의 못쓰게 된 조각을 잘게 부수어 한 커씩 펴고 합성수지 접착제를 뿌려 열과 압력을 가하여 제조하고 있으며 또한 원목을 가공하는 과정에서 발생하는 부산물(톱밥, 대패밥 등)을 섬유 상태로 만든 후 수지계 접착제를 첨가하여 열압착하여 제조하고 있다. 이에 제조과정에 각종 접착제 등이 다량 사용되고 있으며 이외에도 건축내장재로서 상용될 경우 추가적으로 화재의 발생을 예방하기 위하여 방염제 처리가 부수적으로 따르게 된다. 따라서 이들 폐 자재의 무분별한 소각은 유해대기오염 물질(HAPs)의 발생으로 이어지고 있으며 최근 들어 미세먼지발생이 온 국민의 관심사가 되고 있는 가운데 원인 제공의 단초를 제공하기도 한다[1].

따라서 건축자재의 무분별한 소각으로 인한 유해대기오염 물질(HAPs)의 발생에 대한 기초연구는 필수적이라 하겠다. 이에 건축자재 및 각종 폐기물들의 소각으로 인한 HAPs의 발생관련 연구는 많은 연구자들의 의해 진행되고 있다.

특히, 이동기 등[2]은 폐기물의 노천소각은 지역 대기오염을 유발하는 중요한 비점오염원이며 전체 오염물의 약 8% 내외를 차지하고 있다고 주장하고 있으며 소각으로 발생하는 유해대기오염 물질(HAPs) 배출특성으로 폐 목재 및 플라스틱, 그리고 도시생활 쓰레기를 연구 재료로 활용하여 HAPs 배출계수를 추정하여 PM10~1.19 g/kg, PM2.5~0.78 g/kg, CO; 40.7 g/kg, 총괄 PAHs;1.1 mg/kg, 중금속;13.4 mg/kg. 아울러 PM10과 PM2.5는 총 입자상 물질의 60%와 30%를 각각 차지하고 있다고 보고하였다.

Fabienne Reisen 등[3]은 콘칼로리미터를 이용하여 통풍이 원활한 조건하에서 소나무 위주의 보드, 표면에 멜라민 처리된 particle보드, MDF, 도색된 소나무, 울, 나일론 카펫, polyester전열제, 폴리우레탄(PUR) 폼, 고밀도 폴리스티렌 등의 재료를 이용하여 연소 실험을 실시한 후 CO, CO<sub>2</sub>, 이산화탄소 미립자(PM2.5), 유기탄소, 방향족탄화수소(PAHs), 휘발성 유기화합물 등의 농도를 분석한 결과 환기조건이 충분하지 않은 조건에서는 CO, PM2.5 및 PAHs의 배출량 증가로 이어진다고 발표하였다.

또한 Ana Isabel Moreno 등[4]은 가구 목재 폐기물(처리 및 중고 목재) 및 공장에서 순수 원목 폐기물을 이용하여 공기와 질소 분위기에서 각기 다른 가열 속도로 동적 및 동적 + 등온 운전을 하여 실험한 결과 두 폐기물간의 열적행동의 중요한 차이가 발견되었다고 발표하였다. 특히 가구 목재 폐기물의 경우 질소화합물의 수율이 높게 나타났다고

분석 보고 하였다. 그리고 Maïté Huron 등[5]은 각종 첨가재로 처리된 목재와 등급별 및 첨가재 처리가 되지 않은 폐목재 등에 대하여 실험을 하여 particle보드가 N의 함유량이 많아 38g/kg이었고 Ba, Ti, Zn와 같은 중금속은 페이트 처리된 목재와 직접적인 연관이 있다고 분석하였다.

이외에도 많은 연구자들[6-8]이 가구목재에 대한 연소에 있어 유해물질 유출에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그러나 주로 가공 목재의 경우 각종 화학적인 유해물질의 처리 종류 및 방염처리 등은 종류 및 제조사 뿐 만 아니라 사용자에게 따라 다양하기 때문에 그에 따른 목재 폐기물의 연소시에 유해대기오염물질(PAHs)이 발생할 수 있다.

따라서 이 연구에서는 건축 내장재 및 가구 등 다양한 제품에 사용되는 목재에 처리되는 화학약품에 대기환경에 미치는 가스배출 특성에 대한 영향을 살펴보기 위하여 국내에서 사용되는 라카 페인트 및 방염제 처리한 MDF를 기본으로 CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NO, SO<sub>2</sub> 등의 가스의 발생농도 변화 및 연소특성을 실험적 연구를 통하여 살펴보고자 하였다.

## II. 실험장치 및 방법

실험에 사용된 장치는 Fig 1.과 Fig 2에서 보는 바와 같이 대용량 열중량분석기(large scale - thermog-



Fig. 1. Combustion furnace for thermal pyrolysis of wood.



Fig. 2. Controller and weighing scales of the combustion furnace.

Table 1. Specification of large scale thermogravimetric analyzer

Item	Condition
Max Power	5KW
Acc. Voltage	220V
Temperature	Max. 1500°C
Weighting Scale	0.1g
Sample Size	Max. 100g
Heating Rate	1~20°C/min

Table 2. Specification of combustion gas analyzer

Item	Condition
Model	Green MK2
Acc. Voltage	87~264V
Measurement Items	O <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>
Measurement Range	O <sub>2</sub> :0~20,000ppm NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> :0~20,000ppm, C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> :0~5%
Measurement Error	O <sub>2</sub> :±0.57%, CO:±0.62% SO <sub>2</sub> :±0.25%,NO <sub>x</sub> :±0.25%
Measurement Interval	1 second

ravimetric analyzer ; LS-TGA)로 온도를 1500°C 까지 올려가며 특정 분석물질의 질량 변화 및 온도와 질량변화에 따른 열 변화 상태를 확인 할 수 있을 뿐만 아니라 정량 및 정성분석이 가능한 장치로 열분해성과 안전성, 열분해과정 등의 열적 특성을 파악할 수 있는 장치이다. 따라서 이 연구에서는 시료의 무게를 48시간 건조 후 약10~13g정도에서 8.3°C/min의 속도로 2시간 동안 1000°C까지 올려 열중량분석을 컴퓨터와 연결하여 데이터 분석을 실시하였다. 이외에 실험장치에 대한 자세한 사양은 Table 1, 2에 나타내었다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 방화락카가 처리 전·후 MDF 목재(PA1)의 열분해 및 연소가스 발생 특성

대용량열중량분석기를 이용하여 방화락카, 수성방염코트, 수성우드커버를 MDF목재에 적용하여 실험한 결과를 나타내었다. Fig. 3에 나타난 그림은 목재의 첨가되는 방염처리제 및 페인트 등이 연소할 때 발생하는 환경오염물질(O<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>)의 영향을 알아보기 위한 실험으로서 순수 MDF 12g을 온도 8.3°C/min의 속도로 2시간 동안 1000°C까지 올려 실험을 실시하였다. 이 때 연소시작 후 약 15분이 경과한 후 온도는 87.5°C부터 내용물의 증발이 서서히 시작되어 40분 후 약 300°C에서 급격한 중량변화가 일어나면서 약 100분후 연소가 완결되는 것을 알 수 있었다. 반면 방화락카(0.11g/11.55g)를 적용하여 실험을 한 결과 Fig. 5와 같이 증발 시작하는

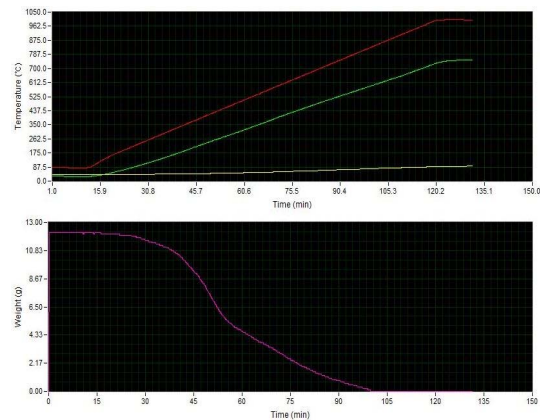


Fig. 3. The thermal pyrolysis properties on a various temperature and combustion time of MDF.

시간이 15분에서 연소시작 시간이 32분정도로 길어지고 급격한 중량변화도 55분정도에 시작하여 105분

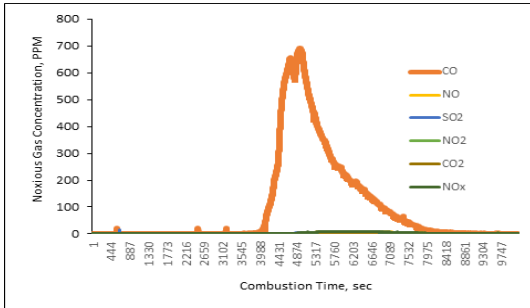


Fig. 4. Emission of noxious gas concentration on combustion time of MDF.

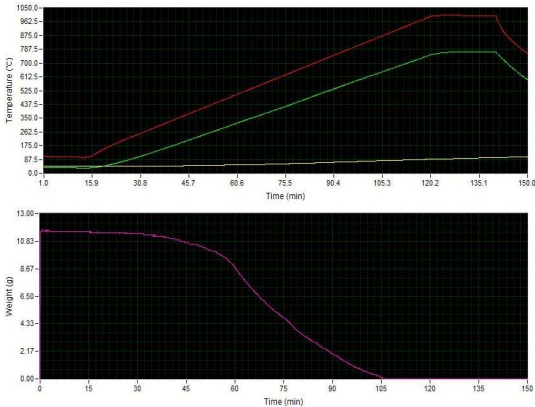


Fig. 5. The thermal pyrolysis properties on a various temperature and combustion time of fire prevention laccac paint(PA 1).

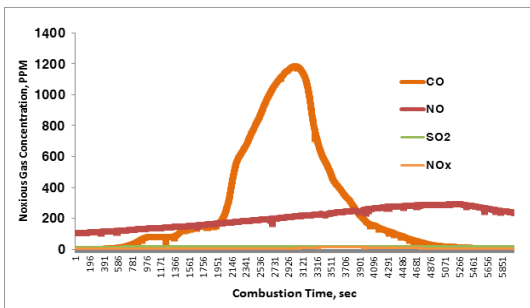


Fig. 6. Greenhouse gas generation concentration on a combustion time of fire prevention laccac paint(PA 1).

에 완결되는 것으로 나타났다.

특히, 순수 MDF와 방화락카(우레탄계)를 처리하여 연소 후 대기 열분해분석기로 분석 대기 유해가스 방출 정도를 알아본 결과 Fig. 4와 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 4에서 보여 지듯이 순수 MDF에서는 연소실험 시작 후 약 4,000sec에서 CO가스가 급격히 증가하여 700ppm까지 증가하다가 약 8600sec에서 완전연소 되어 사라지는 것을 알 수 있었다. 또한 NOx와 NO의 경우는 5790sec정도에서 최고농도 8ppm정도를 보이다가 7075sec정도부터 서서히 줄어드는 현상을 보였다. 그리고 SO<sub>2</sub>는 5460sec에서 3ppm의 최고농도를 보였고 약 7050sec에서 서서히 줄어드는 것을 확인하였다. 그러나 MDF에 방화락카를 적용시켜 실험한 결과는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 CO의 경우 586sec부터 상승하기 시작하여 2926sec에서 약 1200ppm까지 올라 약5400sec에서 완전연소가 되는 것을 알 수 있었으며 NO의 경우는 순수 MDF와는 달리 290ppm까지 상승하는 것을 알 수 있었다. 따라서 이러한 현상은 주재료인 우레탄 반응에 참여하는 polyol의 종류와 isocyanate 및 기타 첨가 화학물질이 연소 및 NO가스 유출에 영향을 주는 것으로 판단된다.

## 2. 수성방염코트를 처리한 MDF 목재(PA2)의 열분해 및 연소가스발생 특성

Fig. 7, 8은 수성방염코트(아크릴계)에 대한 시간에 따른 열분해 특성 및 대기오염가스 생성 특성을 분석한 그림으로서 시료를 0.13g/11g사용하여 연소를 시작한 결과 실험시작 약 19분 후 증발을 시

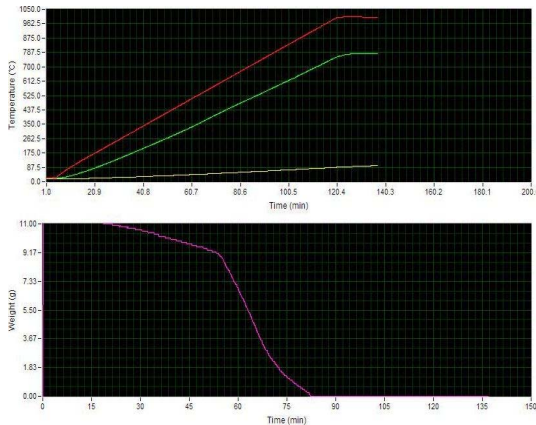


Fig. 7. The thermal pyrolysis properties of temperature and weight change on a combustion time of water soluble flame resistant(PA 2).



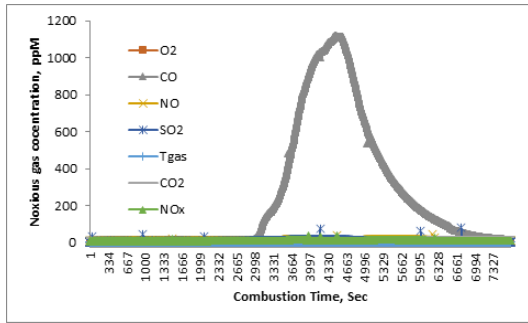


Fig. 8. Greenhouse gas generation concentration on a combustion time of water soluble flame resistant(PA2).

작하여 53분정도에서 연소가 시작되어 급격하게 중량이 감소되고 81분정도에서 완전연소가 되는 것을 알 수 있었다. 이것은 앞에 언급된 방염락카를 적용했을 때와 비교할 때 상당히 빠르게 연소가 진행되는 것을 알 수 있었다. 그러나 연소가스 중 CO가스의 발생시간대는 오히려 늦은 것을 알 수 있었으며 발생농도는 1160ppm정도로 다소 낮은 농도를 보였다. 이외에 발생 가스는 2ppm 수준으로 낮은 것으로 나타났다.

### 3. 수용성우드커버가 처리된 MDF 목재(PA3)의 열분해 특성 및 연소가스 발생 특성

상업적으로 판매되고 있는 수용성우드커버는 반광투명한 상태의 액체 상태로 0.13g(PA3)/11.55g의 비율로 목재에 처리를 한 후 48시간 건조 후 연소 실험을 실시하였다. 그 결과 Fig. 9에서 보는 바와 같이 시료전체의 중량 11.5g이 실험시작 45분 후 온도 379℃에서 급격한 변화를 보여 3.25g까지 줄어들다가 약 58분 후 다시 완만하게 줄어들어 1시간 30분에 연소가 완결되는 것을 알 수 있었다. 특히 58분 후 중량변화 기울기에 큰 변화를 가져온 원인은 수용성우드커버의 화학물질 특히 제조과정에서의 분산제 및 동결방지제를 비롯한 탄화제 등이 영향을 미친 것으로 판단된다. 이 때 순수 MDF와 비교해보면 급격한 중량변화의 온도가 약 300℃에서 379℃로 변화되고 중량감소 기울기도 순수 MDF의 경우는 완만하게 감소하는 반면에 수용성우드커버를 처리한 MDF는 약 500℃에서 기울기 변화가 큰 것을 알 수 있었다.

또한 Fig. 10은 연소후의 발생 가스를 MK2분석기를 이용하여 분석한 결과를 보여준 그림으로서 NO의 경우는 실험 470ses 부터 1ppm 정도의 농도를 보이다가 시간이 지나면서 서서히 증가하여 약

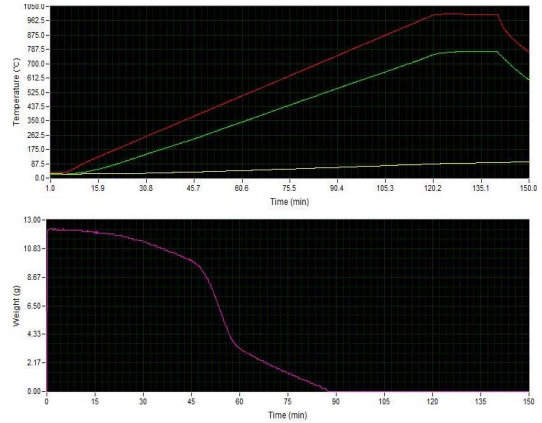


Fig. 9. The thermal pyrolysis properties of temperature and weight change on a combustion time of water soluble wood flame resistant(PA3)

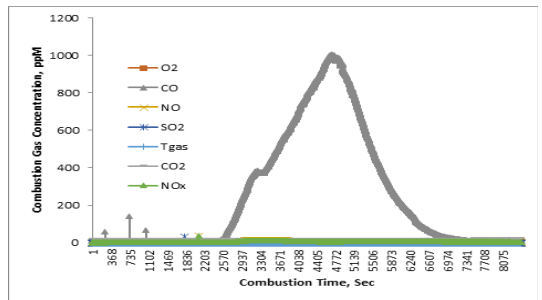


Fig. 10. Greenhouse gas generation concentration on a combustion time of water solubility wood flame resistant (PA 3).

4600sec가 되면서 13ppm까지 증가하다가 4800sec부터 서서히 줄어드는 현상을 보였으며 CO의 경우는 약 2500sec부터 생성되기 시작하여 농도가 서서히 증가하여 약 4600sec에서 1070ppm을 보이고 있으나 순수 MDF의 경우는 약 4700sec에서 5400sec에서 최고치인 약 700ppm의 농도를 보이고 있어 순수 MDF보다 CO의 양이 증가하는 것을 알 수 있었다.

## V. 결론

MDF목재에 처리제 즉, 방화락카, 수용성방염코트, 수용성우드커버 등을 MDF표면에 처리하여 연소시 열분해특성과 대기 유해가스 발생 특성을 대

용량열분석기를 활용하여 실험한 결과는 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 순수 MDF목재에 방화락카를 질량비율(PA1/PA1+MDF)로 0.11/11.55g을 처리한 후 열분해 및 연소가스 발생 특성을 살펴본 결과 방화락카를 처리한 경우 순수 MDF보다 연소시작시간이 다소 길어지고 연소온도가 약340℃에서 450℃로 올라가는 현상을 알 수 있었으며 또한 연소 발생 가스는 방화락카를 처리 후 NO와 CO가스의 농도가 순수 MDF (3ppm, 700ppm)와 비교해 290ppm과 1200ppm으로 큰 차이를 보였다. 이는 방화락카의 고분자 첨가 물질 내 N=C결합의 분해로 생성되는 산화물의 영향인 것으로 판단된다.

2. 수성방염코트를 처리한 MDF목재(PA2)의 열분해 및 연소가스발생 특성은 시료의 질량 비 0.13/11g에서 연소시작 시간과 온도가 약 26분 260℃에서 약54분 612℃로 변화되는 것을 알 수 있었으며 연소 가스는 CO를 기준으로 1130ppm까지 방출되는 것으로 나타났다. 그러나 NO의 경우나 기타 SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> 등의 가스는 약 1~3ppm에 머무르는 결과를 보였다.

3. 상업적으로 판매되고 있는 수용성우드커버를 MDF에 0.13/11.55g을 처리하여 연소하였을 경우 급격한 중량변화는 300℃에서 370℃로 높아지는 경향을 보였고 약500℃에서 2차 변화가 나타났다. 연소가스의 경우 NO는 최고 농도가 12ppm을 보였고 CO의 경우 1020ppm을 보였다.

이상과 같이 MDF목재에 처리되는 각종 방염제나 페인트 등은 열분해특성 뿐만 아니라 연소가스 발생으로 인한 지구온난화가스 유발함에 따라 소각처리에 유의하여야 할 것이다.

### 감사의 글

이 논문은 2017년 한국교통대학교 지원을 받아 수행하였음.

### REFERENCES

- [1] Reid, R. C., Prausnitz, J. M., and Sherwood, T. K., *The Properties of Gases and Liquids*, 3rd ed., McGraw-Hill, New York, (1997)
- [2] Dong Ki Lee, King Hong Kim, and Young Min Jo, Emission of HAPs from Open Burning of Solid Wastes, *KIC News*, Volume 19, No. 1, 19-27, (2016)
- [3] Fabienne Reisen, Mahendra Bhujel, Justin Leonard, Particle and volatile organic emissions from the combustion of a range of building and furnishing materials using a cone calorimeter, *Fire Safety Journal Volume* 69, October, 76-88, (2014)
- [4] Ana Isabel Moreno, Rafael Font, Juan A. Conesa, "Combustion of furniture wood waste and solid wood: Kinetic study and evolution of pollutants", *Fuel* 192, 169-177(2017)
- [5] Maité Huron, Sophia Oukala, Jérôme Lardière, Nicolas Giraud, Capucine Dupont, "An extensive characterization of various treated waste wood for assessment of suitability with combustion process", *Fuel* 202, 118-128(2017)
- [6] Ana Isabel Moreno, Rafael Font, Juan A. Conesa, "Characterization of gaseous emissions and ashes from the combustion of furniture waste ", *Waste Management* 58, 299-308(2016)
- [7] Ana Isabel Moreno, Rafael Font, "Pyrolysis of furniture wood waste: Decomposition and gases evolved ", *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 113, 464-473(2015)
- [8] Fabio Tatano\*, Luca Barbadoro, Giovanna Mangani, Silvia Pretelli, Lucia Tombari, Filippo Mangani, "Furniture wood wastes: Experimental property characterisation and burning tests ", *Waste Management*, 29, 2656-2665 (2009)