

영동지역 교목 3수종 생엽의 연소에 따른 탄소배출량 분석

박영주 · 이해평^{*}

강원대학교 화학공학연구소 · *강원대학교 소방방재학부
(2010. 5. 24. 접수 / 2010. 11. 17. 채택)

Analysis of Carbon Emissions from Combustion of Three Arbor in Youngdong Area

Young-Ju Park · Hae-Pyeong Lee^{*†}

Chemical Engineering Research Center, Kangwon National University

(Received May 24, 2010 / Accepted November 17, 2010)

Abstract : In this study, when the forest fire occurred, in order to estimate greenhouse gas emissions, tree glow in Gangwon Youngdong area, *Juglans mandshurica*, *Alnus japonica*, *Acer palmatum* of carbon dioxide and carbon monoxide emissions were about. Water content were measured before the experiment, *Juglans mandshurica* 196.24%, *Alnus japonica* 169.17% *Acer palmatum* 210.10% moisture content showed a big difference, Living leaves of *Acer palmatum* were a lot of moisture. Also, 50g weight of carbon dioxide on the *Juglans mandshurica* 53.3644g, *Alnus japonica* 49.4256g, was released about *Acer palmatum* 51.3394g, *Juglans mandshurica* living leaves were the most carbon dioxide emissions. Carbon monoxide emissions result, About weight 50g *Juglans mandshurica* 1.5329g, *Alnus japonica* 1.7189g, 2.5002g about *Acer palmatum* was released, *Acer palmatum* living leaves were the most carbon monoxide emissions.

Key Words : climate change, carbon dioxides, carbon monoxides, living leaf, greenhouse gases

1. 서론

한국은 세계 9위 온실가스 배출국가로서 1인당 탄소배출량은 가장 높은 수치를 기록하고 있다. 기후변화 적응에 관한 연구는 기후변화의 영향 분석, 취약성 평가 지표 및 방법론, 적응 능력 평가, 적응 사례, 적응대책 수립을 위한 가이드라인에 이르기 까지 매우 다양하다¹⁾. 1997에 체결된 교토의정서는 지구온난화의 주범으로 인식하고 있는 이산화탄소와 메탄 등 온실가스의 배출을 의무적으로 저감시키는 국제적 합의이다. 2002년 11월 교토의정서를 비준한 한국 역시 세계에서 9번째로 많은 이산화탄소를 배출하는 국가로서 온실가스 배출저감 기술 개발 및 대체 에너지 개발과 같은 연구 개발 및 기술 확보가 매우 중요한 시점에 와 있다²⁾. 따라서, 온실가스 저감 목표설정 및 할당 방법과 각 부분별, 산업별 온실가스 저감 잠재량 파악 및 목표설정 등에 대한 계획을 준비하고 있으며, 이를 위하여 임업 부

분에 있어서는 교토의정서 발효 이후 세계 각국은 산불, 산림전용 등 산림교란에 의해 발생하는 이산화탄소 및 비이산화탄소(non-CO₂) 흡수 및 배출량을 정량화하여 경제적으로 불이익을 받지 않기 위한 연구 개발을 진행하고 있다. Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC)에서는 산불발생 시 직접 배출되는 비이산화탄소 온실가스의 추정을 위해 국가별 지역자료의 유무에 따라 적절한 방법을 선택하여 온실가스의 배출량을 추정해야 한다³⁾고 제시하고 있다. 하지만, 우리나라에서는 산불로 인해 배출되는 이산화탄소 및 비이산화탄소를 정량적 또는 과학적으로 측정 및 평가할 수 있는 기초적 연구가 이루어지지 못하고 있는 실정이다⁴⁾.

따라서, 본 연구에서는 기후변화에 대응하기 위하여 산불발생 시 배출되는 온실가스 배출량 데이터베이스 구축에 기초자료를 제공하고자 산림연료의 연소실험을 통하여 탄소배출량을 분석하였다. 영동지역에서 자생하는 주요 교목 수종 가운데 가래나무(*Juglans andshurica*), 오리나무(*Alnus japonica*), 단풍나무(*Acer palmatum*) 3가지 수종의 생엽을 대

[†] To whom correspondence should be addressed.
crelab@kangwon.ac.kr

상으로 연소로부터 배출되는 이산화탄소 및 일산화탄소 배출량을 분석하였다.

2. 실험내용 및 방법

2.1. 연료 및 대상지 선정

연료의 채취 대상지는 대형 산불 발생 빈도가 높은 강원도 영동지역을 대상지로 하였으며, 연료의 선정은 주요 분포 수종으로서 교목류인 가래나무, 오리나무, 단풍나무 3가지 수종의 생엽을 선정하였다. 생엽의 채취 시기는 9월에 채취하였으며, 맑은 날이 5일 이상 지속되는 다음날 채취하여 연료로 준비하였다. 연료의 형태는 실제 산불발생 시 연료의 조건과 동일한 조건을 적용하기 위하여 원형상태로 사용하였다.

2.2. 함수율 측정

연소특성 시험에 앞서 채취한 시료들의 함수율을 측정하였다. 함수율 측정은 ASTM D 2016(American Society for Testing and Material)⁵⁾에 의하여 측정하였으며, 측정 방법으로 재료 200g을 취하여 103±2℃에서 온도를 유지하도록 설정한 건조기(dry oven) 내에서 24시간 이상 건조시킨 후 항량이 될 때까지 중량을 측정하여 함수율을 측정하였다. 항량 측정기준은 4시간 간격으로 무게를 측정하였을 때 0.1%의 무게 변화가 없을 때까지로 하여 식 (1)에 의하여 산출하였다. 여기서, MC(moisture content)는 함수율[%], W는 건조 전 시료의 중량[g], W₀은 완전 건조시킨 시료의 중량을 나타낸다. 함수율의 측정은 3회 측정에 대한 평균값을 결과 값으로 사용하였다.

$$MC(\%) = \frac{W - W_0}{W_0} \times 100(\%) \quad (1)$$

2.1.1. 탄소배출량 특성 실험

산림연료의 연소시 탄소배출량을 측정하기 위

Table 1. Experimental conditions of cone calorimeter

Items	Contents
Size(mm)	100×100
Weight(g)	50
Heat flux(kW/m ²)	50
Test time(s)	Time until there was no more weight decrease
Material condition	Raw

하여 영동지역에서 자생하는 주요 교목류 3가지 수종(가래나무, 오리나무, 단풍나무)에 대한 일산화탄소와 이산화탄소 배출량을 분석하였다. 사용 장비로는 FTT사의 Dual Cone Calorimeter⁶⁾를 사용하였으며 실험조건은 Table 1에 제시하였다.

콘칼로리미터는 연소시스템에서 발생하는 열량과 공기로부터 소비되는 산소의 양 사이에는 상관관계가 있음이 실험적으로 알려져 왔고, 고분자재료, 유기성 액체, 천연재료를 포함한 대부분의 가연성 재료들은 연소 시 소비된 산소 1kg당 13.1MJ의 열량을 방출하는 원리로 CO 및 CO₂ 방출량이 측정된다. 이때 평균값의 편차는 ±5% 정도이다. 산소소비원리의 기본개념은 연소로 인해 열량이 발생되기 위해서는 배출 흐름 속으로 부터 제거되는 일정한 수의 산소분자들이 있어야 한다. 실제로 사람들이 산소의 몰수를 셀 수는 없으나 산소의 농도와 유량의 측정은 가능하다. 따라서, 산소소비 방정식의 실제적인 이행은 유입과 유출 흐름 사이의 몰변화, 가스분석기로부터 어떤 가스의 포착 등과 같은 문제들과 관계되어지는 것이다. 그 결과로 도출된 방정식은 간단하지는 않으나 대부분의 관계되는 조건들에 대해서 상세하게 연구되었으며, 여기에, 일산화탄소(CO) 및 이산화탄소(CO₂)의 발생을 첨가하여 불완전연소를 고려한 좀 더 정확한 값을 계산할 수 있다^{7,8)}.

2.1.2. 잔류량 특성 실험

수종별 잔류량 특성은 실험 종료 후 최종잔류물을 측정하였으며, 더 이상 중량감소 변화가 일어나지 않는 시간에서 실험을 종료하여 잔류량을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 산불발생 시 산림 내 연료의 탄소 배출량을 예측하기 위하여 교목류 3가지 수종(가

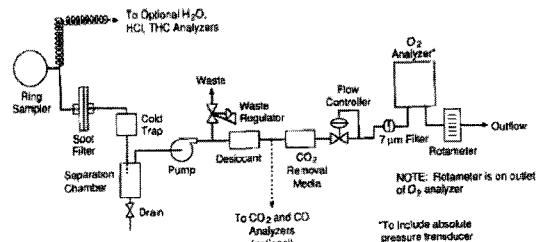


Fig. 1. Gas Analyser instrumentation.

래나무, 오리나무, 단풍나무)의 생엽을 대상으로 연소실험을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

3.1. 함수율 특성

Table 2에는 가래나무, 오리나무, 단풍나무의 생엽에 대한 함수율 측정 결과를 제시하였다. 함수율 측정 결과, 가래나무 196.24%, 오리나무 169.17%, 단풍나무 210.10%로 측정되어 수종간 함수율 차이는 큰 것으로 나타났으며, 단풍나무의 생엽은 가장 많은 수분을 함유하는 것으로 나타났다.

잎이 수분을 함유하는 3가지 형태는 첫째, 수분이 세포와 세포사이에 들어 있는 형태(이 수분은 공기의 습도변화에 따라 변한다), 둘째는 수분이 세포 속에 들어 있는 형태이며, 셋째는 수분이 결정수가 되어 함유되는 형태로 나타나게 되는데 건조한 연료는 생장이 불규칙해 지면서 세포형태 변화에 따라 수분함량이 변화 되면서 나타나게 된다⁹⁾. 또한, 생엽의 함수율은 기온, 바람, 습도 등과 같은 기상 조건의 영향을 많이 받는 것으로 알려져 있다.

따라서, 함수율은 지역별, 기후별, 채취시기별, 부위별 등에 따른 함수율 차이가 크게 다르며, 연소 특성에 영향을 주는 요인으로 작용을 한다.

3.2. 이산화탄소 배출량 특성

Fig. 2에는 교목류 수종인 가래, 오리, 단풍나무 생엽의 중량 50g 연소로부터 방출된 이산화탄소 총 방출량을 나타내었으며, Fig. 3에는 실시간 방출량

Table 2. Percentages of moisture content of various trees

Species	M.C(moisture content)
Juglans andshurica	196.24
Alnus japonica	169.17
Acer palmatum	210.10

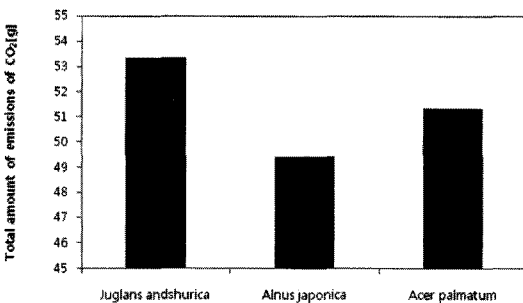


Fig. 2. Total amount of emissions of carbon dioxide for the living leaves of conifer species.

곡선을 나타내었다. 수종별 이산화탄소 총방출량을 살펴보면, 가래나무 53.3644g, 오리나무 49.4256g, 단풍나무 51.3394g으로 나타나 수종별 차이를 보였으며, 가래나무의 생엽은 연소시 가장 많은 이산화탄소를 방출하는 것으로 나타났다. 이에 대하여 Table 3에 제시하였다.

Fig. 3의 이산화탄소 실시간 방출량을 살펴보면, 3가지 생엽 모두 1,200s 정도의 시간까지는 최대값이 나타나지 않았으며, 오리나무의 생엽은 1,800s 정도의 시간과 가래나무 생엽은 2,300s 정도의 시간에서 최대값을 보이는 것으로 나타났다. 따라서, 오리나무의 생엽은 가래나무와 단풍나무의 생엽보다 상대적으로 빠른 시간에 가장 높은 최대값을 보이는 것으로 나타났으며, 가래나무의 생엽은 1,800s 이후 시간부터 연소종료시 까지 순간 최대방출량이 높게 작용하여 총 이산화탄소를 많이 방출한 것으로 사료된다.

이러한 이산화탄소 방출량 차이는 주요성분인 탄소 및 탄소화합물의 함량 차이로 부터 완전연소에 따라 기인된 것으로 사료된다.

생엽은 일반 목재 성분과 크게 다르지 않으며, 수종별 성분 함량에 대하여는 지역, 나무, 부위별에 따른 차이와 수종별 채취시기에 따른 성분들의 함량변화는 뚜렷한 차이를 나타낸다는 연구보고¹⁰⁻¹⁴⁾는 되었으나, 변수에 따른 구체적인 함량은 밝힐 수 없었다.

주요 성분은 Cellulose, Hemicellulose, Lignin 과 추출성분(유지, 수지, 정유, 무기물, 단백질)등의 부 성분, 회분, 다수의 수분 등으로 구성되어 있으며, 50%는 Cellulose로 구성되어 있고, 활엽수와 침엽수에 따라서 Hemicellulose, Lignin의 함량에 다소 차이를 보이며, 10% 정도의 추출성분과 1% 미만의 회분 등으로 구성되어 있다고 보고¹⁵⁾되었다.

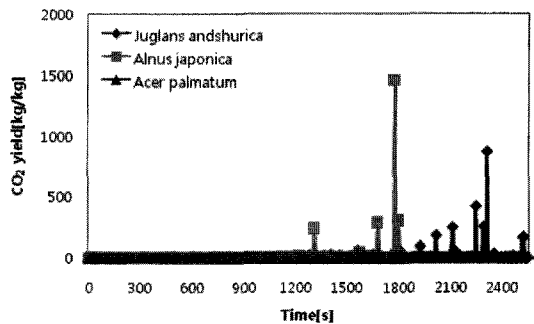


Fig. 3. Yield of carbon dioxide for the living leaves of conifer species.

Table 3. Total amount of emissions of carbon dioxide and carbon oxide for the living leaves of various trees

Items	Juglans andshurica	Alnus japonica	Acer palmatum
CO yields(g)	1.5329	1.7189	2.5002
CO ₂ yields(g)	53.3644	49.4256	51.3394

따라서, 이산화탄소 배출량의 차이는 같은 수종 내에서도 개체와 채취부위에 따라서 그 조성이 다르기 때문에 구체적 함량에 따른 차이는 밝힐 수 없었으나, 가래나무의 생엽은 산불발생 시, 단풍나무, 오리나무의 생엽보다 상대적으로 많은 이산화탄소를 배출할 것으로 사료된다.

3.3. 일산화탄소 배출량 특성

Fig. 4에는 교목류 수종인 가래, 오리, 단풍나무 생엽의 중량 50g 연소로부터 방출된 일산화탄소 총방출량을 나타내었으며, Fig. 5에는 실시간 방출량 곡선을 나타내었다. Fig. 4의 50g 중량에 대한 일산화탄소 총방출량을 살펴보면, 가래나무 1.5329g, 오리나무 1.7189g, 단풍나무 2.5002g 정도 방출하는 것으로 나타났다. 따라서, 수종별 일산화탄소 총방출량은 차이를 보였으며, 단풍나무의 생엽은 가장 많은 일산화탄소를 방출하는 것으로 나타났다. 이에 대하여 Table 3에 제시하였다. Fig. 5의 일산화탄소 실시간 방출량을 살펴보면, 이산화탄소 배출량 곡선에서와 마찬가지로 3가지 생엽 모두 1,200s 정도의 시간까지는 최대값의 차이가 나타나지 않았으며, 일산화탄소 역시 오리나무의 생엽이 상대적으로 빠른 1,800s 정도의 시간에서 가장 높은 최대값을 보이는 것으로 나타났으며, 가래나무 생엽은 2,100s 정도의 시간에서 최대값을 보이는 것으로 나타나 수종별 차이를 보였다. 따라서, 산불발생 시 오리나무의 생엽은 가래나무와 단풍나무의 생엽보다 상대적으로 빠른 시간에 이산화탄소와 일산화탄소의 순간배출량이 높을 것으로 사료된다.

이러한 일산화탄소의 발생은 탄소나 탄산산화물의 연소시 산소가 부족하거나, 연소온도가 낮으면 완전연소가 일어나지 못하여 불완전 연소로 인하여 일산화탄소를 방출하게 된다. 따라서, 단풍나무의 생엽은 최대값이 상대적으로 높게 나타나지는 않았지만 연소초기부터 불완전 연소가 크게 작용하여 일산화탄소를 가장 많이 방출한 것으로 사료되며, 이 또한, 구체적 함량에 따른 차이는 밝힐 수 없었으며, 수분을 다량 함유한 단풍나무 생엽은 탄소화합물이 연소초기에 수분으로 인하여 충분히 연

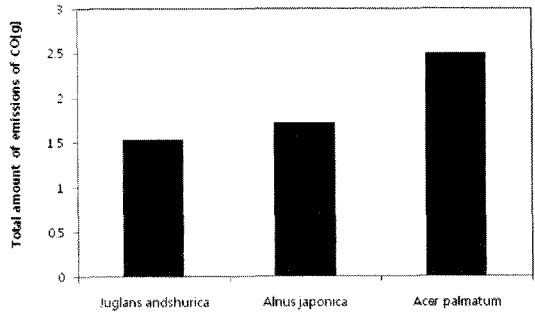


Fig. 4. Total amount of emissions of carbon oxide for the living leaves of conifer species.

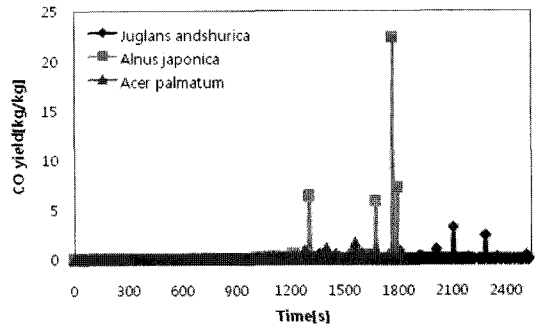


Fig. 5. Yield of emissions of carbon oxide for the living leaves of conifer species.

소온도에 도달하지 못하였기 때문인 것으로 사료된다.

목재의 연소는 분해연소를 갖는다. 즉 목재의 주 성분인 셀룰로오스와 리그닌이 가열에 의해서 열분해를 일으키며 열분해 생성물은 260℃ 부근에서 맹렬하게 되고 적당한 열에너지가 있으면 목재는 인화한다. 더욱이 가열온도가 400~460℃로 되면 점화원 없이도 발화하게 된다. 목재의 고온 성상으로 분해성 가스 속에 CO, H₂, CnHm 등의 가연성 가스와 분해탄소나 공기 중의 O₂와 화합해서 연소하게 되며 이때 점화원(열에너지)을 받으면 상단부의 가연성 증기와 공기의 혼합체가 발열 연소하는 경우를 인화라고 하며 열에너지가 많은 재료의 고체 표면에 착화하는 경우를 발화라고 한다. 이처럼 한 곳에서 발생한 화염이 주위의 연료에 열을 전달하여 연료의 표면온도를 상승시킴으로써 점화온도 이상으로 이르게 되어 연료의 표면온도가 점화온도보다 높아지게 되면 급격한 열분해가 일어나서 연료가스가 발생하게 되고 많은 열량을 방출하는 화염을 이루게 되어 큰 화재로 발전하게 된다¹⁶⁾.

따라서, 일산화탄소 배출량 차이 또한 같은 수종 내에서도 개체와 채취부위에 따라서 그 조성이

Table 4. Concentrations of the combustion gases for living leaves of various coniferous and broadleaf trees

Items	Juglans andshurica	Alnus japonica	Acer palmatum
Initial mass(g)	50	50	50
Mass loss(g)	47.90	49.70	44.61
Final mass(g)	2.10	0.30	5.39

다르기 때문에 구체적 함량에 따른 차이는 밝힐 수 없었으나, 단풍나무의 생엽은 산불발생 시, 가래나무, 오리나무의 생엽보다 상대적으로 많은 일산화탄소를 배출할 것으로 사료된다.

3.4. 잔류량 특성

Table 4에 수종별 중량 50g에 대한 연소후 최종 잔류량을 제시하였다. 총중량감소량은 오리나무가 49.7g으로 가장 중량감소가 큰 것으로 나타났으며, 가래나무 47.9g, 단풍나무 44.61g의 중량감소를 보여 단풍나무의 최종잔류량은 5.39g으로 잔류량이 가장 많은 것으로 나타나 무기물을 가장 많이 함유하는 것으로 사료되며, 이러한 잔류량의 차이는 수종에 따라 잎의 외부표면과 세포간극으로 되어 있는 내부표면의 비가 달라 수종간 구성하고 있는 잎의 조직과 수분 함유량에 따른 차이¹⁷⁾와 고온조건에서 열분해된 다음 남게 되는 무기화합물인 칼슘, 칼륨, 마그네슘, 망간, 규소와 같은 원소를 함유하는 불연성 화합물의 차이로 이러한 무기물은 산불발생 후 토양에 남게 되어 2차 피해를 유발하기도 한다¹⁸⁾.

4. 결론

본 연구에서는 산불발생 시 온실가스 배출량을 추정하기 위하여 강원도 영동지역에서 자생하는 가래나무, 오리나무, 단풍나무의 생엽에 대한 이산화탄소 및 일산화탄소 배출량을 측정하고 다음과 같은 결론들을 얻을 수 있었다.

1) 함수율 특성 결과, 가래나무 196.24%, 오리나무 169.17%, 단풍나무 210.10%로 측정되어 수종간 함수율 차이는 큰 것으로 나타났으며, 단풍나무의 생엽은 가장 많은 수분을 함유하는 것을 알 수 있었다.

2) 이산화탄소 배출량 특성 결과, 50g 중량에 대하여 가래나무 생엽 53.3644g, 오리나무 생엽 49.4256g, 단풍나무 생엽 51.3394g 정도 방출하는 것을 알 수 있었으며, 가래나무의 생엽은 가장 많은 이산화

탄소를 방출하는 것을 확인할 수 있었다. 이산화탄소 배출량의 차이는 같은 수종 내에서도 개체와 채취부위에 따라서 그 조성이 다르기 때문에 구체적 함량에 따른 차이는 밝힐 수 없었으나, 가래나무의 생엽은 산불발생 시, 단풍나무, 오리나무의 생엽보다 상대적으로 많은 이산화탄소를 배출할 것으로 사료된다.

3) 일산화탄소 배출량 특성 결과, 50g 중량에 대하여 가래나무 생엽 1.5329g, 오리나무 생엽 1.7189g, 단풍나무 생엽 2.5002g 정도 방출되는 것을 확인할 수 있었으며, 단풍나무의 생엽은 가장 많은 일산화탄소를 방출하는 것을 알 수 있었다. 이러한 차이는 불완전 연소에 따른 것으로 사료되며, 이 또한, 구체적 함량에 따른 차이는 밝힐 수 없었으며, 수분을 다량 함유한 단풍나무 생엽은 탄소화합물이 연소초기에 수분으로 인하여 충분히 연소온도에 도달하지 못하였기 때문인 것으로 사료되며, 또한 같은 수종 내에서도 개체와 채취부위에 따라서 그 조성이 다르기 때문에 구체적 함량에 따른 차이는 밝힐 수 없었으나, 단풍나무의 생엽은 산불발생 시, 가래나무, 오리나무의 생엽보다 상대적으로 많은 일산화탄소를 배출할 것으로 사료된다.

4) 잔류량 특성 결과, 단풍나무의 생엽은 오리나무, 가래나무의 생엽과 비교하여 상대적으로 잔류량이 많았으며, 이는 잎의 무기화합물의 구성성분 차이에 따른 것으로 사료되며, 이러한 무기물은 산불발생 후 토양의 변화 등으로 인한 2차 피해를 유발할 것으로 사료된다.

감사의 글 : “이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2010-0002686)”

참고문헌

- 1) 고재경, 최충익, 김희선, “지방자치단체 기후변화 적응정책의 특성 연구”, 한국지역개발학회지, 제22권, 제1호, pp, 67~86, 2010.
- 2) 김현선, 김동식, 이승복, “폐기물관리 정책변화 따른 온실가스 배출량 예측”, 한국환경보건의학회지, 제34권, 제5호, pp, 343~350, 2008.
- 3) IPCC, “Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry, National Greenhouse Gas Inventories Programme”, the Insititute for Global Environmental Strategies(IGES) for the IPCC, 2003.
- 4) M.S. Won and K. S and Koo and M. B, Lee and Y.M.

- Son, "Estimation of non-CO₂ Greenhouse Gases Emissions from Biomass Burning in the Samcheok Large-Fire Area Using Land sat TMI imagery", Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 10, pp. 17~24, 2008.
- 5) 김현중, 엄영근, 이연제, 정희석, 최인규, "목재공학개론", 선진문화사, pp. 86~187, 2004.
 - 6) ISO 5660-1, "Reaction to Fire Part 1, Rate of Heat Release from building products (Cone Calorimeter)", Generer, 1993.
 - 7) ASTM E 1354, "Standard Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using an Oxygen Consumption Calorimeter".
 - 8) KS F ISO 5660-1, "연소성능시험 - 열방출, 연기발생, 질량감소율 - 제1부: 열방출율".
 - 9) 현성호, 이창우, 차시환, "방화방폭공학", 신광문화사, pp. 186~187, 2003.
 - 10) H. K. Song, J. K. Kim, "Original Articles : Essential Oil Components of Leaves and Resins from *Pinus densiflora* and *Pinus Koraiensis*", J. of the Korean Society of Wood Science Technology, Vol. 22, No. 3, pp. 55~67, 1994.
 - 11) G.S. Shin and W.Y. Ahn, "Factors Affecting on the Monoterpene Composition in Needles of Korean White Pine (*Pinus Koraiensis* S. et Z.)", J. Kor. For. En, Vol. 13, No. 1, pp. 44~51, 1993.
 - 12) W.Y. Ahn, "Seasonal Variation of Monoterpene Composition in Needle Oils from Korean Red Pine (*Pinus densiflora*), Korean White Pine (*P. Koraiensis*) and Pitch Pine (*P. rigida*)", J. Kor. For. En, Vol. 13, No. 1, pp. 29~36, 1993.
 - 13) Bordasch, R, P., and A.A. Berryman, "Host Resistance to the Fir Engraver Beetle. *Scorytus ventralis* (Coleoptera: S. colytidae) Repellency of *Abies Grandis* Resins and some Monoterpenes", Can. Entomol. 109, pp. 95~100, 1977.
 - 14) 송홍근, 김재광, "소나무와 잣나무 잎의 수지에 함유된 성분", 목재공학, 제22권, 제3호, pp. 49~53, 1994.
 - 15) 조재현, 황병호, 이현종, 족구란, 강하영, 유순희, "신기능성 물질 탐색을 위한 주요 소나무류 잎의 특수성분 분석에 관한 연구" 한국목재공학회, 97년 추계학술발표논문집, pp. 130~135, 1997.
 - 16) 김충익, "화재의 복사 열전달에 관한 연구. 방재기술", 한국화재보험협회, 1998.
 - 17) 임경빈, "신고 조립학원론", 향문사, 2007.
 - 18) 김현중, 엄영근, 이연제, 정희석, 최인규 "목재공학개론", 선진문화사, 2004.