

# 식물유 및 오존산화 식물유를 첨가한 낙엽송 목재펠릿의 생산성 및 품질특성에 관한 연구\*1

이 응 수\*2 · 강 찬 영\*2 · 서 준 원\*2 · 박 현\*2†

## A Study on Productivity and Quality Characteristics of Wood Pellets by *Larix Kaemferi Carr* Sawdust with Adding Vegetable Oil and Ozonized Vegetable Oil\*1

Eung-Su Lee\*2 · Chan-Young Kang\*2 · Jun-Won Seo\*2 · Heon Park\*2†

### 요 약

본 연구에서는 국내 수종 중 낙엽송(*Larix kaemferi Carr*)을 대상으로 하여 콩기름, 폐콩기름, 오존산화 콩기름, 오존산화 폐콩기름을 첨가하여 제조된 목재펠릿의 특성변화를 조사하였다. 제조된 펠릿의 함수율, 발열량, 회분, 겉보기밀도, 내구성, 흡습률, 원소분석을 측정하여 비교하였다. 펠릿제품의 함수율은 7.66~9.48%로 나타나 목재펠릿의 품질기준 1급인 10% 이하를 만족시켰고, 제조된 각 펠릿의 발열량 측정결과 품질기준(1급) 4,300 kcal/kg을 모두 넘었으며, 기름을 첨가한 모든 펠릿이 대조구보다 높은 발열량을 나타냈다. 회분은 0.34~0.42%로 품질규격 1급인 0.7% 미만의 범주에 속한 것으로 나타났으며, 제조된 펠릿 모두가 겉보기 밀도 품질기준 1급(640 kg/m<sup>3</sup>)을 만족시켰다. 내구성은 콩기름을 첨가한 펠릿, 오존산화 폐콩기름을 첨가한 펠릿이 품질기준1급(97.5% 이상)을 만족하였다. 전체적인 결과의 흐름을 보았을 때 첨가제를 첨가한 펠릿이 무첨가 펠릿보다 내구성이 좋게 나타났다. 흡습률은 24시간 후 흡습률 시험에서 첨가제를 첨가한 펠릿이 모두 무첨가 펠릿보다 낮은 흡습률을 나타냈으며, 5일 경과 후에도 무첨가 펠릿 보다 첨가제를 첨가한 펠릿이 모두 흡습률 감소 현상을 보였다. 원소분석은 황의 함유량이 목재펠릿의 품질기준 1급(0.05%) 이하를 만족시켰고, 질소 함유량 역시 목재펠릿의 품질기준 1급(0.3%) 이하를 만족시켰다.

\*1 접수 2011년 6월 7일, 채택 2011년 7월 19일

본 연구는 농림수산식품부 · 농림기술관리센터(과제번호 108098-2) 지원으로 수행되었음

\*2 건국대학교 산림과학과, Department of Forest Science, Konkuk University, Chungju, Chungbuk 380-701, Republic of Korea

† 교신저자(corresponding author) : 박현(e-mail: h.park@kku.ac.kr)

## ABSTRACT

The study was carried out to investigate the quality characteristics of pellets manufactured with adding soybean oil, waste soybean oil, ozonized soybean oil and ozonized waste soybean oil to *Larix kaemferi Carr* sawdust. The characteristics of pellet included moisture contents, heating value, ash contents, apparent densities, durabilities, absorption ratio and elementary analysis. Moisture contents were shown 7.66~9.48% which satisfied the first grade (less than 10%) of quality standard of wood pellets announced by Korea Forest Research Institute. The heating value of the manufactured wood pellets in this study exceeded the first grade of quality standard (more than 4,300 kcal/kg) and it appeared that the pellets manufactured with adding oils and ozonized oils had more heating value than the control pellets. Ash contents 0.34~0.42% also passed the first grade (less than 0.7%) of quality standard and apparent densities were adequate for the first grade (640 kg/m<sup>3</sup>) on the quality standard. Durabilities of the pellets manufactured with adding soybean oil and ozonized waste soybean oil were shown over the first grade (97.5 kg/m<sup>3</sup>) of quality standard. In the general results of durabilities, the pellets manufactured with additives had better values than the control pellets. After 24 hours absorption ratio experiment, absorption ratio of pellets manufactured with additives also appeared much lower moisture absorption than the control pellets and they still had the same results after 5days absorption ratio experiment. Elementary analysis of the sulfur content was satisfied the first grade (less than 0.05%) of quality standard of wood pellets and the nitrogen content was also adequate for the first grade (less than 0.3%) of quality standard of wood pellets.

**Keywords:** pellet, soybean oil, ozonized soybean oil, waste soybean oil, ozonized waste soybean oil, *Larix kaemferi Carr*

## 1. 서 론

세계는 기후변화에 대응하기 위한 친환경 대체 에너지개발과 탄소배출량이 적은 저탄소 연료를 사용하여 지구환경을 살리고 국가경제를 성장시키기 위한 에너지혁명을 추진하고 있다. 즉, 오늘의 세계문제가 직면하고 있는 경제문제와 환경문제를 동시에 해결하여 국가경쟁력을 강화하는 원동력인 저탄소 에너지 개발·이용을 활성화하기 위한 것이다.

이에, 국제사회는 1992년 브라질 '리우기후변화 협약', 1997년 '교토의정서'를 채택하여 온실가스 배출량을 단계적으로 줄여 나가는 노력을 해오고 있다. 우리나라도 1998년 '에너지 절약과 온실가스 배출 감축을 위한 자발적 협약'을 이행토록 하고 있고, 각종 개발에 있어서도 '지속 가능한 발전'이라는 개념을 도

입하여 신재생 대체 에너지 육성 법안을 마련하고 있다(류재윤 등, 2010).

심각한 환경문제와 에너지 고갈은 지구보호를 위한 저탄소방출에 대한 관심을 높였고, 이러한 해결방안으로 산림 및 그 활용을 들 수 있다. 산림은 그 자체만으로도 지구온난화를 막을 수 있는 능력을 지녔으며, 부산물을 이용할 경우 매장량이 한정된 기존의 화석연료 대신 매년 재생산이 가능한 목질계 연료인 펠릿을 이용하여 경제적·환경적 측면에서 이점을 가질 수 있다. 또한, 기후변화에 효과적으로 대응하면서 목질계 바이오매스 자원의 효율적 활용가치와 시장 잠재력이 뛰어나다(권구중 등, 2009).

연료의 경제성이란 상대적인 경우가 많지만 펠릿은 경우, 보일러 등유, 면세경유에 비하여 비용이 저렴하여 경제적이다. 다른 생물학적 연료에 비하여 높

은 에너지 밀도를 가지고 있어 같은 무게의 나무 장작에 비해 부피가 약1/2로 저장 공간이 매우 적게 요구되어 도시지역에 사용할 수 있는 연료이고, 규격화되어 생산되기 때문에 운송이 용이하여 매우 경제적이다. 또한, 펠릿생산 과정에서 나무에 있는 리그닌 성분이 녹아나와 형태를 묶어주는 것으로 친환경적이며(Alakangas and Paju, 2002), 우드 펠릿 연소 시 산성비의 주원인이 되는 황산화물(SOx)과 질소산화물(NOx), 일산화탄소 또는 먼지 등의 유독가스의 배출량이 적다. 스웨덴의 경우 석유매스 자원으로 목재펠릿의 수요가 꾸준히 증가하고 있다(신수정 등, 2008).

한편, 우리나라는 2008년 7월 1일 목재 펠릿 신재생 에너지 세미나를 시작으로 2008년 7월 중순 전북 군산에서 생산 실증 공장 준공, 2009년 1월 경기 여주에 산림조합중앙회 목재유통센터에서 본격적으로 생산 및 공급이 시작되었으며, 동년 5월 전남화순에 SK임업건설이 펠릿공장을 설립 가동하였고, 정부에서는 2020년까지 16개소를 설립할 예정이다. 또한, 정부지원 펠릿보일러 사업을 통해 2008년 24대, 2009년 3천대, 2020년 30천대까지 보급 계획을 세우고 있다.

이러한 사업은 정부의 저탄소녹색성장과 기후변화 대응을 위한 신재생 에너지 개발 및 보급에 대한 일환으로 전제되고 있다. 그러나 국내 연료용 목재펠릿 시장의 지속적인 발전과 이용 소비자들의 만족도 증가를 위해서는 고품질의 목재펠릿 생산기술을 확립하는 것이 중요하며, 이를 위해서는 펠릿 생산 공정에서 품질에 관련하는 인자들과 그들 간의 상호작용에 관한 많은 연구가 이루어져야 한다(이수민 등, 2011).

산림의 부산물만으로 제조된 목재펠릿의 발열량은 4,500 kcal/kg로 등유의 1/2밖에 되지 않는다(권구중 등, 2010). 또한, 펠릿을 보관할 때 습기에 노출되면, 목재가 수분을 흡수하여 함수율이 높아지고 이에 따라 발열량이 떨어질 뿐만 아니라, 균에 의해 부패되는 문제점이 있으며, 이에 대한 보완이 필요하다.

이에 본 연구에서는 이러한 단점들을 보완하기 위하여 식물성 기름을 첨가하여 펠릿을 제조하고, 그

품질적 특성을 조사하였다. 식물유는 바이오매스 물질로 현재 우리가 폭 넓게 사용하고 있으며 매년 재배에 의해 많은 양이 생산되므로 고갈의 위험이 없이 지속적인 생산이 가능하다. 또한 식물유는 지구 온난화의 주범으로 생각되고 있는 이산화탄소 배출에 대한 기여도가 낮은 점, 그리고 벤젠과리 화합물을 포함하고 있지 않기 때문에 자연환경으로 유출시 생분해도가 높은 장점을 가지고 있다(유영삼 등, 2009). 따라서 국내 대표 수종인 낙엽송 톱밥을 원료로 하여 콩기름, 폐콩기름, 오존산화 콩기름, 오존산화 폐콩기름을 첨가한 펠릿을 제조하고 그 생산성 및 품질특성을 조사하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시재료

#### 2.1.1. 낙엽송 톱밥

펠릿제조용 공시 원재료는 국내산 낙엽송 수종의 톱밥을 사용하였다. 사용 된 톱밥은 W사의 제재공장에서 펠릿제조를 위한 원 재료로 분양받는다.

#### 2.1.2. 식용유

펠릿제조에 사용된 원료인 식물성 기름은 현재 시판되고 있는 C사의 식용유인 콩기름(Soybean oil)을 사용하였다.

#### 2.1.3. 폐식용유

펠릿제조에 사용된 원료인 폐식용유는 현재 시판되고 있는 C사의 식용유로 닭을 튀기고 남은 기름을 통닭집에서 구매하여 사용하였다. 구매된 폐식용유는 미세한 천(광목)을 사용하여 찌꺼기를 걸렀다.

### 2.2. 오존처리 방법

#### 2.2.1. 식용유 오존처리

식용유를 아세톤에 용해하고 교반기로 교반하면서 오존발생기(Model : Lab-2 (220 Vac, 60 Hz) OZONE-

TECH사, 대전)를 사용하여 유량 0.5 LPM, 압력 1 kg/cm<sup>2</sup>의 조건, 즉, 오존농도 158.5~158.8 g/cm<sup>3</sup>, 오존발생량 7.13~7.14 g/hr으로 O<sup>3</sup>/O<sup>2</sup> 혼합기체를 흘려보내면서 3시간 오존산화 처리하였다. 오존산화 처리 후 반응액을 70°C에서 감압 농축하여 용매를 제거하고, 펠릿 제조용 원료로 사용하였다. 오존처리 조건은 오존발생기 제조회사에서 추천하는 범위에서 적용하였다.

### 2.2.2. 폐식용유 오존처리

폐식용유를 아세톤에 용해하고 교반기로 교반하면서 오존발생기(Model : Lab-2 (220 Vac, 60 Hz) OZONETECH사, 대전)를 사용하여 유량 0.5 LPM, 압력 1 kg/cm<sup>2</sup>의 조건, 즉, 오존농도 158.5~158.8 g/cm<sup>3</sup>, 오존발생량 7.13~7.14 g/hr으로 O<sup>3</sup>/O<sup>2</sup> 혼합기체를 흘려보내면서 3시간 오존산화 처리하였다. 오존산화 처리 후 반응액을 70°C에서 감압 농축하여 용매를 제거하고, 펠릿 제조용 원료로 사용하였다. 오존처리조건은 오존발생기 제조회사에서 추천하는 범위에서 적용하였다.

## 2.3. 목재펠릿의 제조

공시 원료의 톱밥은 자연건조 후 함수율 15%로 조정하여 원료로 사용하였다. 준비된 낙엽송 톱밥에 콩기름, 폐콩기름, 오존산화 콩기름, 오존산화 폐콩기름을 무게대비 3% 첨가하여 수작업으로 혼합 후 펠릿을 제조하였으며, 대조구로 무처리 펠릿을 제조하였다. 펠릿제조를 위한 성형기는 생산용량 500 kg/hr의 평다이(Flat dies type, hole 직경 6 mm, 2 개 롤러, 30마력(1,800 rpm))를 사용하여 동일한 조건으로 성형하였다. 펠릿성형기(Pelletizer)를 통과하여 성형된 목재펠릿은 지름 6 (-0.1~0.2) mm, 길이 10~30 ± 2 mm이었고, 실험실 내에서 24시간 자연건조를 통한 목재펠릿의 안정을 유도한 후 각종 실험을 실시하였다. 제조된 목재펠릿 중 미리 직경 3.15 mm체(ISO 3310-2에 규정)위에 남은 것을 시험 분석용 샘플로 사용하였다.

## 2.4. 생산성 및 펠릿 품질분석

### 2.4.1. 생산성

본 실험에서는 목재 펠릿 제조 시 식물성 기름 첨가에 따른 생산성을 조사하기 위하여 같은 펠릿 성형기에서 콩기름, 폐콩기름, 오존산화 콩기름, 오존산화 폐콩기름을 각각 3%씩 첨가하여 생산한 것과 무처리 톱밥으로 생산한 것과의 펠릿성형 효율을 조사하였다. 즉, 톱밥원료 1 kg에 각각의 기름을 무게대비 3%를 넣은 것과 무처리 톱밥을 원료로 하여 같은 펠릿 성형기로 펠릿을 제조하고, 제조된 펠릿을 미리 직경 3.15 mm체(ISO 3310-2에 규정)로 선별하여 체위에 남은 펠릿의 무게를 측정하여 생산효율로 정하였다.

### 2.4.2. 품질분석

제조된 목질펠릿의 함수율, 발열량, 회분, 겉보기 밀도, 내구성에 대한 측정방법은 국립산림과학원 고시 제2009-2호(2009.5.21일)의 '목재펠릿품질규격' 기준의 제5조(품질 및 품질시험 기준)에 의거 측정 분석하였다. 그 외 흡습률 및 펠릿의 원소측정을 실시하였다.

### 2.4.3. 함수율

제조된 목질펠릿의 함수율은 덮개가 있는 칭량병을 105 ± 3°C에서 건조 후 데시케이터에서 상온으로 냉각시켰다. 펠릿은 최소 20 g를 칭량병에 균일한 층으로 넣고 덮개를 포함하여 무게를 측정하였다. 그 후 덮개를 제거하고 105 ± 3°C의 온도에서 시료를 포함한 접시의 무게가 변화가 없을 때까지 건조한 후 오븐에서 덮개를 씌워 데시케이터에서 상온까지 냉각시켰다. 이런 과정을 거친 후 다음의 계산식을 이용하여 함수율 값을 구하였다.

$$M_{ad} = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} \times 100$$

$M_{ad}$  : 습량 기준 펠릿의 함수율

$m_1$  : 빈 칭량병 + 덮개의 무게

$m_2$  : 건조 전 칭량병 + 덮개 + 시료의 무게

$m_3$  : 전건 후 칭량병 + 덮개 + 시료의 무게

#### 2.4.4. 발열량

제조된 목질펠릿의 열량적 특성에 대한 품질평가로서 발열량의 측정방법은 측정할 시료를 열풍건조기의 온도가  $105 \pm 3^\circ\text{C}$ 에서 항량에 도달할 때까지 건조한 후 데시케이터에서 상온으로 냉각시켰다. 발열량은 건조된 시료 0.5 g을 열량계(Parr 6 calorimeter)에 넣고 산소를 충전하고 점화하여 연소전 후의 온도변화로부터 열량을 계산하였다.

#### 2.4.5. 회분

회분 측정방법으로는 시료 1 g 정도를 탄화로(Furnace)에서 품질규격에 규정된 시험방법에서 정한 승온스케줄( $250^\circ\text{C}$ 에서 60분,  $575^\circ\text{C}$ 에서 120분)에 의해 연소시험 후, 잔재의 무게를 측정하였다.

#### 2.4.6. 겉보기밀도

겉보기 밀도에 사용된 용기는 원기둥 형태로서 총 부피 5리터로 내경이 167 mm이고 내부 높이가 228 mm이었다. 펠릿을 용기의 상부 테두리로부터 200~300 mm 떨어진 곳으로부터 부어 산을 이루게 한 후 이를 150 mm의 높이로부터 평평한 바닥 위에 놓여진 15 mm 두께의 나무판 위에 수직으로 떨어뜨려 3회 다지고, 용기 위에 남은 펠릿은 50 mm 정각재를 이용하여 제거한 후 무게를 측정하였다.

#### 2.4.7. 내구성

내구성 측정방법은 미리 직경 3.15 mm의 체(ISO 3310-2에 규정)로 걸러진 목재펠릿  $500 \pm 50$  g을 0.01 g 수준까지 무게를 측정하여 내구성시험기(CEN/TS15210-1에 규정)에 넣고 분당  $50 \pm 2$  회전을 주어 500회전 시험을 한 후, 직경 3.15 mm의 체로 걸러내어 체에 잔류하고 있는 목재펠릿의 무게를 측정하였다.

#### 2.4.8. 흡습률

제조된 목재펠릿의 흡습률은 생산제품의 보관 시 중요한 인자로서, 연소기에서 연소시 열효율성에 밀접한 관계가 되기 때문에 이에 대한 실험을 실시하였다. 즉, 보관 중 수분에 대한 저항성의 정도를 알아보기 위하여 목재의 흡습성 시험방법(KS F 2205, 2004)에 의거 상대습도 90%, 온도 $20^\circ\text{C}$ 로 조정된 장치 속에서 24시간 및 5일 경과 후 무게변화에 의한 흡습률을 측정하여 비교하였다. 흡습률 측정에 사용된 계산식은 [(기건무게-흡습후무게)/기건무게]  $\times$  100의 식에 따라 구하였다.

#### 2.4.9. 원소측정

제조된 펠릿의 원소측정은 한국기초과학지원연구원에 의뢰하여 ICP-AES, 원소 분석기를 이용하여 측정 하였다. ICP-AES를 측정 시, 시료의 전처리를 위해 시료를 무게 0.1000 g까지 무게를 단 후  $\text{HNO}_3$ 를 넣고 watch glass를 닫은 상태에서 hot plate 위에 약  $200^\circ\text{C}$  정도에서 반응을 시킨다. 산에 의해 분해된 시료를 beaker에 넣고 증발시킨 후 산의 농도가 1~5% 정도 되도록 한다. 이러한 시료를 무게 20.0000 g까지 무게를 단 후 ICP-OES (Model : JY Ultima2C (1.5 KW 40.68 MHz) Jobin Yvon, France)를 이용하여 분석하였다. 원소 분석 측정은 펠릿의 샘플을 2.0 mg 내외로 하여 온도  $1,100^\circ\text{C}$ 에서 Flash EA 1112 series/CE Instruments를 이용하여 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 생산성

펠릿을 압축·성형시, 펠릿의 원료인 낙엽송 톱밥에 첨가제를 넣지 않았을 경우와 톱밥에 무게대비 3% 첨가제인 콩기름, 폐콩기름, 오존산화 콩기름, 오존산화 폐콩기름을 첨가 후 제조된 펠릿의 생산성을 비교하였다. 제조된 펠릿 중 대조구는 기름을 첨가한 펠릿보다 펠릿 성형을 이루지 못한 많은 양의 낙엽송 톱밥을 포함하고 있다. 반면, 기름을 첨가한 펠릿은 펠릿의 표면이 매끈하고 펠릿 압축·성형시

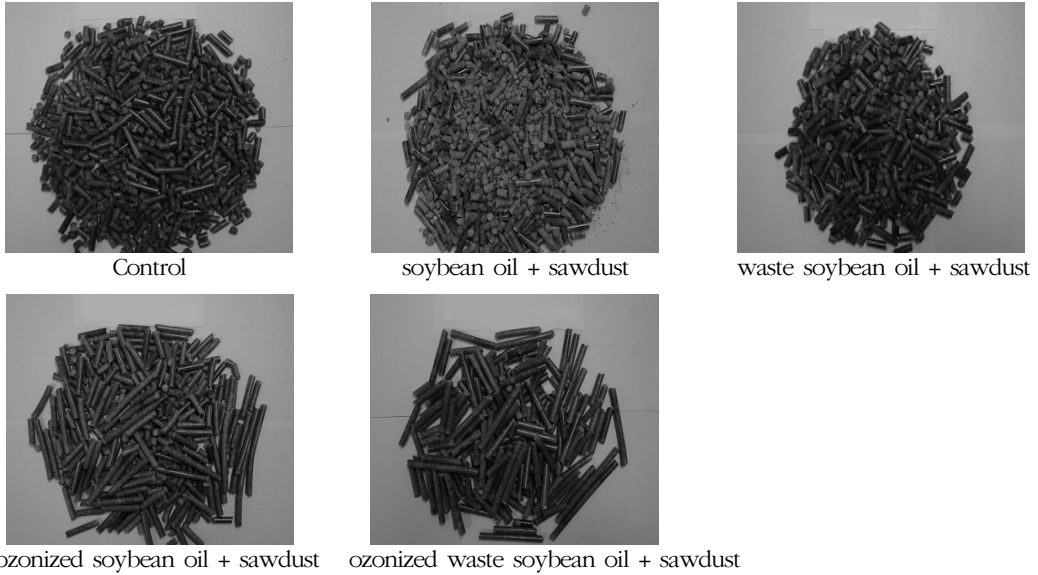


Fig. 1. Manufactured pellets of difference oil additives.

Table 1. Productivity of manufactured pellets

Raw materials	Input quantity of sawdust (g)	Productivity (g)
Control	1,000	280
Added 3% soybean oil	1,000	425
Added 3% waste soybean oil	1,000	461
Added 3% ozonized soybean oil	1,000	375
Added 3% ozonized waste soybean oil	1,000	450

원료인 낙엽송 톱밥이 모두 펠릿으로 제조되었으며, 특히 오존산화 식용유와 오존산화 폐식용유를 첨가한 펠릿은 성형된 펠릿의 직경이 다른 펠릿에 비해 길이가 긴 것을 알 수 있다. 이는, 펠릿 성형시 기름을 첨가함으로써 펠릿 성형기의 고부하율을 줄여주어 목재에 미치는 압력·성형의 힘이 증가하여 결합력을 높여주는 증대효과를 가져오는 것으로 판단된다 (Fig. 1).

Table 1에서와 같이 생산된 펠릿의 양은 대조구 (280 g) 보다 콩기름을 첨가한 펠릿(425 g), 폐콩기름을 첨가한 펠릿(461 g), 오존산화 콩기름을 첨가한 펠릿(375 g), 오존산화 폐콩기름을 첨가한 펠릿(450 g)이 대조구 펠릿보다 (1.33~1.64)배 높게 생산됨을

알 수 있다. 이는, 펠릿 성형 시 첨가제인 기름의 화학적 특수성이 생산기계에 걸리는 부하율을 줄이고 마모의 결합을 완화시켜 펠릿 생산성을 향상 시켰음을 알 수 있다.

### 3.2. 함수율

#### 3.2.1. 톱밥 함수율

본 실험과정 전, 예비실험을 실시한 결과, 실험에 사용한 펠릿제조기에서 펠릿이 가장 잘 제조되는 시험조건은 톱밥함수율 15%가 가장 적절함을 알 수 있었다. 따라서 톱밥함수율은 15%로 조정하였다.

Table 2. Moisture contents of manufactured pellets

Raw materials	Moisture contents (%)
Control	8.02 (0.33)
Soybean oil pellets	8.96 (0.08)
Waste soybean oil pellets	7.66 (0.25)
Ozonized soybean oil pellets	9.48 (0.08)
Ozonized waste soybean oil pellets	8.63 (0.05)

\* 주 : ( )는 Standard Deviation.

Table 3. Heating values of manufactured pellets

Raw materials	Heating value MJ/kg (kcal/kg)
Control	18.80 (4492 ± 25.43)
Soybean oil pellets	18.92 (4520 ± 23.02)
Waste soybean oil pellets	19.06 (4552 ± 12.33)
Ozonized soybean oil pellets	18.92 (4520 ± 15.62)
Ozonized waste soybean oil pellets	19.02 (4546 ± 31.69)

### 3.2.2. 목재펠릿의 함수율

제조된 펠릿의 함수율은 제조 후 24시간 경과 후 측정하였으며, Table 2에서 보여 주듯이 평균 7.66~9.48%로 나타나 목재펠릿의 품질기준 1급 10% 이하를 만족시켰다.

일반적인 경우, 목재의 펠릿 성형은 약 12% 톱밥이 다이(Dies)와 롤러(Roller)가 부착된 성형틀 내에 투입될 때 고속 회전하는 롤러에 의해 발생된 열처리 효과와 고압력에 의해 다이의 원형구멍(holes)을 소량씩 적층되면서 통과되어 2.5~3배로 압축되는 과정으로 이루어진다. 이 과정에서 목재가 가소화되면서 유동화 되어 톱밥간에 결합이 이루어지고 수분이 증발되며, 또한 성형기 통과 후 대기노출이나 냉각과정을 거쳐 함수율이 증발된다. 따라서 일반적으로 목재펠릿 제품은 약 10% 미만의 함수율이 되며, 본 실험에서도 이와 같은 압축·성형 과정의 결과로 10% 미만의 펠릿 함수율을 나타냈다.

### 3.3. 발열량

펠릿제품의 발열량은 원재료의 첨가물에 따른 영향이 크다고 할 수 있다. 제조된 목재펠릿의 열량적 특성에 대한 품질 평가로서 고위 발열량을 분석한 결과 Table 3과 같다.

제조된 펠릿제품의 발열량 측정결과는 품질기준인 1등급 (4,300 kcal/kg)을 상회하였으며, 사용된 톱밥이 동일 수종이기 때문에 톱밥 특성에 의한 발열량의 차이는 없으며, 첨가제에 의한 차이점을 볼 수 있다. 대조구 18.80 MJ/kg (4,492 kcal/kg)는 첨가제를 넣어 제조된 콩기름 펠릿 18.92 MJ/kg (4,520 kcal/kg), 폐콩기름 펠릿 19.06 MJ/kg (4,552 kcal/kg), 오존산화 콩기름 펠릿 18.92 MJ/kg (4,520 kcal/kg), 오존산화 폐콩기름 펠릿 19.02 MJ/kg (4,546 kcal/kg)보다 낮은 발열량을 나타내고 있다. 이는 기름의 화학적 특수성이 펠릿 연소 시 발열량을 높여주어 연소 효율성에 영향을 미치는 중요한 부분으로 인식된다.

Table 4. Ash contents of manufactured pellets

Raw materials	Ash content (%)
Control	0.42 (0.03)
Soybean oil pellets	0.42 (0.02)
Waste soybean oil pellets	0.35 (0.07)
Ozonized soybean oil pellets	0.34 (0.03)
Ozonized waste soybean oil pellets	0.40 (0.09)

\* 주 : ( )는 Standard Deviation.

Table 5. Bulk density densities of manufactured pellets

Raw materials	Apparent densities (kg/m <sup>3</sup> )
Control	640 (0.14)
Soybean oil pellets	667 (0.18)
Waste soybean oil pellets	664 (0.12)
Ozonized soybean oil pellets	650 (0.09)
Ozonized waste soybean oil pellets	647 (0.07)

\* 주 : ( )는 Standard Deviation.

Table 6. Durabilities of manufactured pellets

Raw materials	Durabilities (%)
Control	96.07 (0.08)
Soybean oil pellets	98.50 (0.16)
Waste soybean oil pellets	96.90 (0.46)
Ozonized soybean oil pellets	96.73 (0.10)
Ozonized waste soybean oil pellets	97.56 (0.05)

\* 주 : ( )는 Standard Deviation.

### 3.4. 회분

제조된 펠릿의 회분량을 측정하기 위하여 회화로를 사용하여 규정(목재펠릿품질규격 기준의 제5조)된 온도 스케줄에 의거 회분시험을 하였다.

펠릿의 회분은 평균 0.34~0.42%로 품질규격 1급의 0.7% 미만의 범주에 속한 것으로 나타나(Table 4), 가정용으로 사용이 가능한 고품질의 펠릿으로 판단되었다.

### 3.5. 겉보기 밀도

Table 5는 겉보기 밀도의 평균 값을 제시한 것으로서, 제조한 펠릿 모두가 품질기준 1급(640 kg/m<sup>3</sup>)을 만족시켰다. 대부분 첨가제를 첨가한 펠릿이 대조구보다 겉보기 밀도가 높게 나타났다. 이는, 기름의 특수성이 펠릿 제조시 펠릿 성형기의 윤활유 역할을 하므로써 톱밥의 압축·성형이 용이하도록 하여 각각 펠릿의 밀도가 향상되어 겉보기 밀도가 증가된 것으



Table 7. Water absorption ratios of manufactured pellets

Raw materials	Water absorption Ratios (%)	
	After 24 hour	After 5 days
Control	278 (0.07)	4.81(0.12)
Soybean oil pellets	204 (0.05)	3.51(0.08)
Waste soybean oil pellets	261 (0.09)	4.66(0.03)
Ozonized soybean oil pellets	274 (0.04)	3.93(0.09)
Ozonized waste soybean oil pellets	270 (0.11)	4.16(0.05)

\* 주 : ( )는 Standard Deviation.

Table 8. Concentration of elements from manufactured pellets (ppm)

	Control	Soybean oil pellets	Waste soybean oil pellets	Ozonized soybean oil pellets	Ozonized waste soybean oil pellets
Ca	424	405	451	420	441
K	334	353	365	372	365
Mg	94	100	100	102	104
P	44	50	51	50	50
S	66	69	66	64	62

로 사료된다.

### 3.6. 내구성

Table 6은 제조된 펠릿의 내구성을 조사한 결과이다. 제조된 펠릿의 내구성은 콩기름을 첨가한 펠릿(98.50%), 오존산화 폐콩기름을 첨가한 펠릿(97.56%)이 품질 기준1급(97.5% 이상)을 만족하였다. 이 밖에 대조구(96.07%), 폐콩기름을 첨가한 펠릿(96.90%), 오존산화 콩기름을 첨가한 펠릿(96.73%)은 품질 기준 3급(95% 이상)이 나왔으나, 전체적인 결과의 흐름을 보았을 때 첨가제를 첨가한 펠릿이 대조구보다 내구성이 좋게 나왔음을 알 수 있다.

### 3.7. 흡습률

Table 7은 펠릿제품의 흡습률을 조사한 것이다. 펠릿제품의 수분량은 연소 시 연소효율에 밀접한 영향을 미치기 때문에 펠릿의 흡습성은 중요한 인자이며

제품의 유통과정에서 흡습되지 않도록 해야 한다.

본 연구를 통해 대조구와 첨가제 종류별로 제조된 펠릿의 흡습률을 측정한 결과, 24시간 후 흡습률에서 첨가제를 첨가한 펠릿이 대조구 보다 낮은 흡습률을 나타냈으며, 5일 경과 후에도 대조구보다 첨가제를 첨가한 펠릿이 여전히 흡습률 감소 현상을 보이고 있다. 이는 첨가제 기름성분의 물리·화학적 특성이 수분에 대한 저항의 효과가 있는 것으로 판단된다. 결국, 흡습률은 제품 운반 및 보관시, 목재와 반응하여 나타나는 현상이다. 흡습률이 높은 제품일수록 제품의 유통과정에서 펠릿의 함수율이 높아질 수 있고 또한, 높은 함수율의 펠릿의 연소는 연소 기기에서의 발열 효율성이 떨어지는 현상이 나타나게 된다. 따라서 제품의 흡습률이 낮은 것이 제품의 유통과정상 상품성이 유리하다.

Table 9. Elemental analyzer of manufactured pellets (%)

	Control	Soybean oil pellets	Waste soybean oil pellets	Ozonized soybean oil pellets	Ozonized waste soybean oil pellets
N	0.11	0.12	0.12	0.13	0.11
C	59.42	58.76	61.64	58.46	60.36
H	5.39	5.33	5.73	5.24	5.45
O	23.94	22.22	23.81	24.54	24.12

### 3.8. 원소분석

#### 3.8.1. ICP-AES 의한 분석결과

제조된 펠릿의 ICP-AES 측정 결과, 황의 함유량이 목재펠릿의 품질기준 1급(500 ppm) 이하를 만족시켰다. 그 중 콩기름을 첨가한 펠릿(69 ppm)이 대조구(66ppm) 보다 황의 함량이 미세하게 많았으나, 이는 목재펠릿의 품질기준에 적용하여 보았을 때 큰 차이점으로 볼 수 없다.

#### 3.8.2. Elemental Analyzer 의한 분석결과

Table 9는 EA의 측정 결과를 나타낸 것으로, 제조된 펠릿의 질소 함유량이 목재펠릿의 품질기준 1급(0.3%) 이하를 만족시켰다. 기름첨가에 따른 C와 H의 비율변화의 유의성을 확인하기 위하여 분산분석을 수행한 결과 유의수준 0.05에서 기름첨가가 C와 H의 비율에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 국내 대표 수종인 낙엽송 톱밥을 원료로 하여 목재 펠릿 제조 시 식물성 기름 첨가에 따른 생산성을 조사하기 위하여 같은 펠릿 성형기에서 콩기름, 폐콩기름, 오존산화 콩기름, 오존산화 폐콩기름을 각각 3%씩 첨가하여 생산한 것과 무처리 톱밥으로 생산한 것과의 생산성 및 품질특성을 조사하였다. 이에 대한 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 펠릿 제조 시 무처리 톱밥에 의해 생산된 펠릿의 양보다 콩기름, 폐콩기름, 오존산화 콩기름, 오존산화 폐콩기름을 첨가한 후 생산된 펠릿의 양이(1.33~1.64배) 많은 것을 알 수 있었다.

2) 제조된 펠릿의 함수율은 평균 7.66~9.48%로 나타나 목재펠릿의 품질기준 1급 10% 이하를 만족시켰다.

3) 발열량은 모든 펠릿제품이 품질기준인 1등급(4,300 kcal/kg)을 상회하였으며, 첨가제를 첨가한 펠릿이 무첨가 펠릿보다 높은 발열량을 나타냈다.

4) 펠릿의 회분은 평균 0.34~0.42%로 품질규격 1급의 0.7% 미만의 범주에 속한 것으로 나타나 가정용으로 사용이 가능한 고품질의 펠릿으로 판단된다.

5) 제조된 펠릿 모두가 겉보기 밀도 품질기준 1급(640 kg/m<sup>3</sup>)을 만족시켰다. 대부분 첨가제를 첨가한 펠릿이 무첨가 펠릿보다 겉보기 밀도가 높게 나타났다.

6) 펠릿의 내구성은 콩기름을 첨가한 펠릿, 오존산화 폐콩기름을 첨가한 펠릿이 품질기준 1급(97.5% 이상)을 만족하였다. 이 밖에 무첨가 펠릿, 폐콩기름을 첨가한 펠릿, 오존산화 콩기름을 첨가한 펠릿은 품질기준 3급(95% 이상)이 나왔으나, 전체적인 결과의 흐름을 보았을 때 첨가제를 첨가한 펠릿이 무첨가 펠릿보다 내구성이 좋게 나타났다.

7) 24시간 후 흡습률 시험에서 첨가제를 첨가한 펠릿이 무첨가 펠릿보다 낮은 흡습률을 나타냈으며, 5일 경과 후에도 무첨가 펠릿보다 첨가제를 첨가한 펠릿이 여전히 흡습률 감소 현상을 보였다.

8) 펠릿의 원소분석은 황의 함유량이 목재펠릿의 품질기준 1급(0.05%) 이하를 만족시켰고, 질소 함유량 역시 목재펠릿의 품질기준 1급(0.3%) 이하를 만족시켰다.

이 실험을 통하여 식물유와 오존산화 식물유를 톱밥에 첨가함으로써, 기름의 특수성이 펠릿 제조 시 펠릿 성형기의 윤활유 역할을 도와주고 이로 인해,

톱밥의 압축·성형이 용이하도록 하여 기계에 부하되는 고압력 해소 및 생산성 향상을 볼 수 있었다. 또한 식물유와 오존산화 식물유가 첨가된 펠릿의 흡습률이 대조구보다 낮게 나타나 펠릿의 흡습에 의한 함수율이 높아지는 것을 방지할 수 있어 발열량이 떨어지는 현상을 보완할 수 있다고 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. Alakangas, E. and P. Paju. 2002. Wood pellets in Finland - technology, economy, and market. Organisations for the Promotion of Energy Technologies report 5. Jyväskylä. VTT processes: 13~14.
2. 국립산림과학원. 2008. 산림 바이오에너지 국제 학술 심포지엄. Utilization technology and economy of forest biomass. pp. 7~14.
3. 권구중, 권성민, 차두송, 김남훈. 2010. 목타르와 톱밥을 혼합하여 제조한 펠릿의 특성. 목재공학. 38(1): pp. 36~42.
4. 그린바이오에너지인력양성사업단. 2009. 바이오에너지의 이해. pp. 123~136.
5. 권구중, 김남훈, 차두송. 2009. 국내 시판중인 목재펠릿의 특성. Journal of Forest science 25(2): pp. 127~130.
6. 류재윤, 강찬영, 이웅수, 서준원, 이현중, 박현. 2010. 국내산 낙엽송의 톱밥 유형에 따른 펠릿특성에 관한 연구. 목재공학 38(1): pp. 49~55.
7. 서울대학교 농업생명과학대학. 2009. 바이오에너지 심포지엄. Low Carbon, Green Growth. pp. 13~15.
8. 신수정, 한규성, 심화섭, 안병국. 2008. 산업용 대마 목부를 이용한 고밀화 펠릿 연료 제조. 한국 신·재생 에너지학회 춘계학술대회논문집. pp. 221~224.
9. 유영삼, 이현중, 이택준, 박현. 2009. 오존산화 콩기름의 구조분석 및 이를 이용한 변성 pMDI 접착제의 중량비에 따른 접착력 변화. 목재공학 37(1): 56~64.
10. 이수민, 차은기, 최돈하, 안병준, 이오규, 김용식, 최석환. 2011. 목재펠릿 품질 영향 인자, 톱러와 다이사이의 간격이 품질에 미치는 영향분석. 목재공학회 학술발표대회 논문집. pp. 136~137.
11. 한국에너지기술연구원. 2009. 09년 바이오 에너지. pp. 83~109.
12. 한국임업신문. 2009. 제611호. pp. 1.