

목타르와 톱밥을 혼합하여 제조한 펠릿의 특성*1

권 구 중*2 · 권 성 민*2 · 차 두 송*2 · 김 남 훈*2†

Characteristics of Pellet Prepared from Sawdust and Wood-tar*1

Gu-Joong Kwon*2 · Sung-Min Kwon*2 · Du-Song Cha*2 · Nam-Hun Kim*2†

요 약

본 연구에서는 소나무재와 굴참나무재의 톱밥을 이용하여 제조한 목재펠릿과 두 수종의 톱밥에 목타르를 혼합하여 제조한 펠릿의 특성에 대해서 조사하였다. 펠릿은 상온에서 만능강도측정기를 이용하여 2000 kgf/cm²의 압력을 가하여 제작하였다. 목재펠릿의 밀도는 굴참나무 톱밥으로 제조한 것이 소나무 톱밥으로 제조한 것보다 다소 높았고, 미세분 발생량은 굴참나무 톱밥으로 제조한 펠릿이 소나무 톱밥으로 제조한 펠릿보다 낮았다. 발열량은 소나무 톱밥으로 제조한 펠릿이 굴참나무 톱밥으로 제조한 펠릿보다 다소 높았다. 톱밥과 목타르를 혼합하여 제조한 펠릿은 목타르 함량이 증가함에 따라 함수율, 밀도 및 발열량이 높게 나타났고, 미세분 발생량은 적었다. 이상의 결과로부터 목타르는 고품질 펠릿제조를 위한 원료로서의 이용이 기대된다.

ABSTRACT

This study has been carried out to investigate the characteristics of pellets manufactured from sawdust, and a mixture of liquid wood-tar and sawdust. Pellets were prepared at room temperature under 2000 kgf/cm² using an universal testing machine. The pellets prepared from *Q. variabilis* wood had slightly higher density than those prepared from *P. densiflora* wood. The amount of fine particles from *Q. variabilis* wood pellets was smaller than those from *P. densiflora* wood. The pellets from *P. densiflora* wood had higher heating values than those from *Q. variabilis* wood. The wood pellets manufactured with wood tar showed higher moisture content, density and heating value, but lower fine particles. From the experimental results, it is suggested that wood tar can be used to obtain the higher quality wood pellets.

Keywords: pellet, sawdust, wood tar, heating value, wood fuel

* 1 접수 2009년 12월 14일, 채택 2009년 12월 31일

* 2 강원대학교 산림환경과학대학. College of Forest and Environmental Sciences, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea

† 주저자(corresponding author) : 김남훈(e-mail: kimnh@kangwon.ac.kr)

1. 서 론

최근 지구 온난화 방지책의 일환으로 온실가스의 배출축소와 화석연료를 대체할 수 있는 새로운 에너지 개발의 필요성이 증가하고 있다. 이러한 상황에서 산림바이오매스는 자원의 순환적 이용과 재생산 가능한 청정 에너지원으로 재평가되어 이것을 활용한 대체에너지의 개발과 보급에 관심이 커지고 있다.

목재펠릿은 숲 가꾸기나 제재소 등에서 발생하는 부산물을 톱밥으로 분쇄한 후 고압으로 압축, 성형하여 생산한 바이오 연료로, 온실가스과 대기오염물질을 적게 배출하기 때문에 저탄소 녹색성장에 적합한 친환경 대체에너지원이다. 펠릿은 여러 가지 면에서 장점이 많은 연료이다. 이것은 크기가 작고 표준화되어 있어 운반이나 이동작업이 매우 용이할 뿐만 아니라, 연료실로의 공급을 자동화할 수 있다. 그리고 다른 연료와 달리 발화성이 낮기 때문에 운송과정에 있어 특별한 설비나 장비를 필요로 하지 않는다. 또한 아황산가스를 비롯한 배출되는 유독가스의 양이 적으며, 회분 발생량도 펠릿 무게의 0.5~2.0%에 지나지 않는다. 이외에도 크기가 작아 투입량에 의한 온도조절이 자유로워 안전하다(이 등, 2009). 이런 이유로 최근 목재펠릿을 연료로 이용하기 위한 연구가 활발하게 진행되어 왔다(한 등, 2002, 2003, 2006; 권 등, 2007; 권 등, 2009).

하지만 산림 부산물만으로 제조한 목재펠릿의 발열량은 4500 kcal/kg로 등유의 1/2밖에 되지 않는다. 등유와 같은 발열량을 가지기 위해서는 중량으로 2배, 외관 용적으로는 약 3배의 양이 필요하게 된다. 목재펠릿의 공급이 현재 등유배달과 같은 시스템이라면 공급되는 양적차이가 큰 문제가 될 것으로 생각되기 때문에 목재펠릿의 발열량을 향상시키는 것이 중요하다.

숯을 제조하는 과정에서 배출되는 연기를 액화시키면 액상의 조목초액이 얻어지는데, 이것을 정제하는 과정에서 목타르가 하층부에 다량으로 침전되어 발생된다. 그 양은 4~11% 정도인 것으로 알려져 있다(Soltes and Elder, 1980). 현재까지 목타르는 자원으로 활용이 되지 않아 대부분은 연소되거나 그대로 방치되어 심각한 환경피해를 초래하고 있다(박 등, 2005). 그러므로 목타르의 새로운 용도개발은 목탄산업에 있어서 시

급히 해결해야 할 과제 중의 하나이다.

목타르는 점조성이 강한 흑색유상 물질이기 때문에 목재펠릿 제조 시 첨가하면 펠릿의 발열량을 향상시킬 수 있다고 판단된다. 또한 폐자원을 친환경적 연료로 이용하여 산업화에 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구는 목탄과 목초액의 부산물로 발생하는 목타르를 보다 효율적으로 이용하고자, 여러 비율로 목재칩과 혼합하여 제조한 펠릿의 특성을 분석하여 연료로서의 가치를 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 실험에서는 소나무(*Pinus densiflora*)와 굴참나무(*Quercus variabilis*) 목재의 톱밥을 이용하였다. 펠릿 제조 시 첨가물로서 (주)홍천참숯 공장에서 채취한 목타르를 이용하였다. 액상상태의 목타르를 102°C에서 10일간 향량에 다다랐을 때까지 건조하였고, 24시간 간격으로 시료의 무게를 측정하여 목타르의 건조량을 계산하였다.

2.2. 펠릿 원료의 성질

2.2.1. 펠릿 제조

소나무, 굴참나무 톱밥을 점액상태의 목타르와 10%, 20%, 30%의 중량비율로 혼합하여 펠릿을 제조하였다. 펠릿 성형기는 강철 재질의 60 mm³의 강철 정육면체에 지름 10 mm의 홈을 판 지지대와 지름 10 mm, 높이 80 mm의 원기둥 형태의 핀으로 제작하였다. 톱밥과 점액상태의 목타르를 합친 시료무게 1 g으로 해서 9 : 1, 8 : 2, 7 : 3의 비율로 혼합하여 펠릿 성형기의 홈에 넣은 후 만능재료시험기(Instron 4482)를 이용하여 2000 kgf/cm²의 압력으로 상온에서 10분간 가압하여 펠릿을 제작하였다.

2.2.2. 펠릿의 특성 분석

펠릿의 특성은 국립산림과학원 고시 제2009-2호의 목재펠릿 품질규격에 의하여 함수율, 회분, 밀도, 미세

분 발생량, 발열량을 측정하였다. 함수율은 시료를 $105 \pm 3^\circ\text{C}$ 에서 무게변화가 없을 때까지 건조한 후 데시케이터에 상온으로 냉각시킨 후, 무게를 측정하여 계산하였다. 회분은 회화로의 온도를 575°C 까지 승온하여 4시간 동안 완전히 회화한 후, 데시케이터에서 냉각하여 회분량을 구하였다. 펠릿의 전건 밀도는 원기둥 형태의 펠릿을 단면적($2r^2\pi$) × 높이(h)/무게(g)의 식으로부터 산출하였다. 미세분 발생량은 펠릿의 저장 및 수송 특성을 파악할 목적으로 측정하였다. 이것은 각 시료 5개를 진탕기에 넣어 분당 200 rpm으로 30분 동안 미세분을 발생시킨 후, 미세분 발생량의 무게를 측정하여 전체 투입량에 대한 백분율로 나타냈다. 발열량은 시료 0.5 g을 열량계(Parr 6300 calorimeter)에 넣고 산소를 충전하고 점화하여 연소전후의 온도변화로부터 열량을 계산하였으며, 동일 시료에 대하여 5회 반복 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 목타르 건조

목초액 채취시 얻어지는 목타르는 수분함량이 높아 톱밥과 혼합하여 펠릿을 제조하기에는 어려움이 많다. 또한 완전 건조된 목타르는 고체상태의 분말이어서 펠릿제조 시 톱밥과의 점착력이 떨어지는 단점이 있다. 따라서 우선 어느 정도 수분이 제거되어 점착력을 갖는 점액상태의 목타르를 얻어 사용하는 것이 펠릿 제조 시 좋은 점착제 역할을 할 것으로 판단하여 적정건조 조건을 조사하였다. Fig. 1은 액상목타르를 102°C 에서 10일 동안 건조변화를 나타낸 결과이다. 처음 건조시작일로부터 3일까지는 급격한 중량감소를 나타내었고, 그

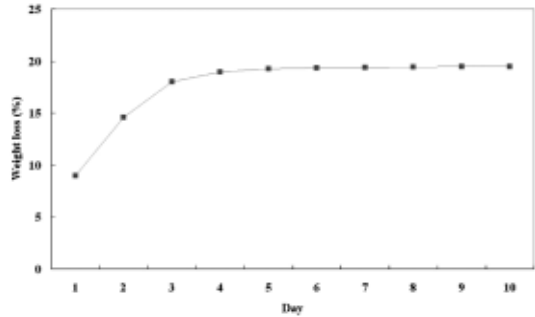


Fig. 1. Weight loss of liquid wood-tar by oven drying.

후 중량 감소는 미미하여 건조 5일 후부터는 중량변화가 거의 없었다. 이 때 목타르상태는 점도가 높은 액상 물질이었다.

3.2. 목타르 혼합 펠릿의 형상

Fig. 2는 소나무 톱밥과 점액상태의 목타르를 각 중량비율(w/w)로 혼합하여 제조한 펠릿의 사진이다. 펠릿 제조 시 목타르는 102°C 에서 5일간 건조시킨 점액상태의 것을 이용하였다. 펠릿의 색은 목타르의 영향으로 첨가량 증가와 함께 점차 검게 되었다. 굴참나무 톱밥과 목타르를 혼합하여 제조한 펠릿도 비슷한 형상을 보여주었다.

3.3. 함수율

Table 1은 각 시료에 대한 함수율을 측정한 결과이다. 소나무재 펠릿의 함수율은 7.2%, 굴참나무재 펠릿의 함수율 5.4%, 목타르의 함수율 19.5%였다. 혼합펠

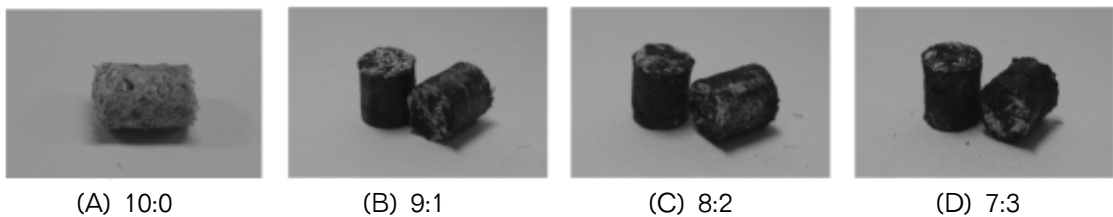


Fig. 2. Pellets prepared from a mixture of *P. densiflora* wood sawdust and wood tar.

Table 1. Moisture contents of each sample (Unit : %)

Mixing ratio	Moisture content	
	<i>P. densiflora</i>	<i>Q. variabilis</i>
10:0	7.2 ± 0.6	5.4 ± 0.5
9:1	7.6 ± 0.6	8.6 ± 0.5
8:2	9.4 ± 1.8	8.9 ± 0.5
7:3	11.8 ± 0.8	10.7 ± 0.4
0:10	19.5 ± 1.6	

릿의 함수율은 목타르 첨가에 따라 점차 증가하였다. 일반적으로 상업적인 펠릿의 평균 함수율은 10~12%로 알려지고 있다(Lehtikangas, 2001). 국립산림과학원에서 고시한 목재펠릿 품질기준(국립산림과학원, 2009)으로 보면 톱밥과 목타르의 비율을 8:2까지 해서 제조한 펠릿은 함수율이 10% 미만의 기준인 1,2등급에 해당하지만, 7:3의 비율로 제조한 펠릿은 15% 미만의 3급 펠릿에 해당한다.

본 연구에서 목타르의 증가와 함께 펠릿의 함수율이 증가하는 것은 목타르를 5일 동안 건조시켜 향량에 도달한 것을 이용하였으나, 다소의 수분이 목타르에 존재하는 것에 기인하는 것으로 생각된다.

3.4. 회분량

Table 2는 각 시료에 대한 회분량을 측정한 결과이다. 소나무 펠릿의 회분은 0.90%로 굴참나무 펠릿의 1.15%보다 다소 낮게 나타났다. 전체적으로 소나무 톱밥과 목타르 혼합 펠릿이 굴참나무의 혼합 펠릿보다 회분량이 낮았다. 또한 톱밥과 목타르를 혼합한 펠릿의 회분량은 목타르 함량증가에 따라 낮아졌다. 국립산림과학원에서 고시한 목재펠릿기준(2009)으로 비교해 보면 소나무 톱밥과 목타르를 혼합한 펠릿은 목타르 혼합 비율에 관계없이 1급펠릿 기준인 0.7% 이하이고, 굴참나무 톱밥과 목타르는 7:3의 비율로 제조한 펠릿이 1급 펠릿 기준에 해당하고, 그 외의 펠릿은 2급 펠릿 기준에 해당한다.

목타르의 혼합비율 증가에 따라 회분율이 감소하는 것은 목타르가 회분량이 매우 낮기 때문에 목타르 혼

Table 2. Ash content of each sample (Unit: %)

Mixing ratio	Ash content	
	<i>P. densiflora</i>	<i>Q. variabilis</i>
10:0	0.90 ± 0.2	1.15 ± 0.3
Wood sawdust : Wood tar		
9:1	0.26 ± 0.3	1.10 ± 0.5
8:2	0.19 ± 0.1	0.84 ± 0.6
7:3	0.08 ± 0.3	0.64 ± 0.2

합비율이 증가할수록 펠릿의 회분량이 감소하는 것으로 생각된다.

3.5. 펠릿의 밀도

Fig. 3은 소나무와 굴참나무 톱밥을 목타르와 혼합하여 제조한 펠릿의 밀도를 나타낸 것이다. 소나무와 굴참나무 톱밥으로 제조한 펠릿의 밀도는 각각 0.80 g/cm³와 0.83 g/cm³였다. 소나무 톱밥과 목타르를 혼합하여 제조한 펠릿은 0.81~0.87 g/cm³, 굴참나무 톱밥과 목타르를 혼합하여 제조한 펠릿은 0.84~0.91 g/cm³의 범위였고 목타르의 함량이 증가할수록 밀도가 높게 나타났다.

한(2003)은 현사시 톱밥을 고형연료로 활용하기 위해 전분접착제를 첨가하여 여러 조건으로 펠릿을 제조하여 그 특성을 조사한 연구에서 압력과 시간을 조절하면 140°C 이상의 조건에서 전건밀도 1.2 g/cm³ 이상의 고밀화 고형연료를 얻을 수 있었다고 하였고, 한과 김(2006)은 여러 수종의 톱밥을 온도 180°C, 압력 1500 kgf/cm²의 압력으로 3분간 압축하여 제조한 목재펠릿의 밀도는 1~1.2 g/cm³ 정도 범위라고 보고하였다. 또한, 권 등(2007)은 산불피해재인 소나무를 고밀화 목질 펠릿으로 활용하기 위한 연구에서 톱밥크기별로 제작한 펠릿의 0.86~0.94 g/cm³였다고 보고하였다.

일반적으로 목재펠릿은 고온의 열과 압력에 의해 제조되는데, 이때 목재 내의 리그닌이 연화되어 천연접착제 역할을 하는 것으로 알려지고 있다(Alakangas and Paju, 2002). 따라서 본 연구에서 펠릿의 밀도가 낮은 것은 열없이 압력만으로 펠릿을 제조하였기 때문인 것으로 생각된다.

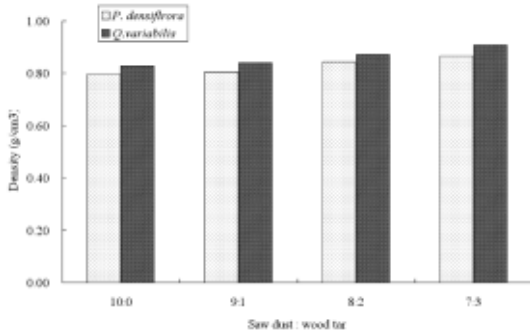


Fig. 3. Density of pellets made from the mixture of sawdust and wood-tar.

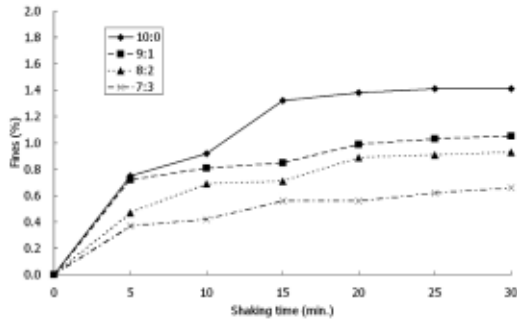


Fig. 4. Fine particles from the pellets prepared from a mixture of *P. densiflora* wood sawdust and wood-tar by 30 min. shaking test.

3.6. 미세분 발생량

Fig. 4와 5는 제조한 펠릿의 30분간 진탕 후의 미세분 발생량을 나타낸 것이다. 미세분 발생량은 소나무 톱밥만으로 제조한 펠릿 1.14%, 굴참나무 톱밥만으로 제조한 펠릿 0.66%로 굴참나무로 제조한 펠릿의 미세분 발생량이 다소 낮았다. 소나무 톱밥과 목타르를 혼합하여 제조한 펠릿의 미세분 발생량은 0.06~1.05%, 굴참나무와 목타르를 혼합하여 제조한 펠릿의 미세분 발생량은 0.46~0.61%의 범위였고, 목타르의 혼합 비율이 높아질수록 미세분 발생량이 낮아졌다. 이것은 목타르가 펠릿 제조시 바인더로 작용하여 첨가량의 증가와 함께 미세분 발생량이 적어지는 것으로 생각되었다.

미세분 발생량은 펠릿의 보관 및 운송 특성과 관련되

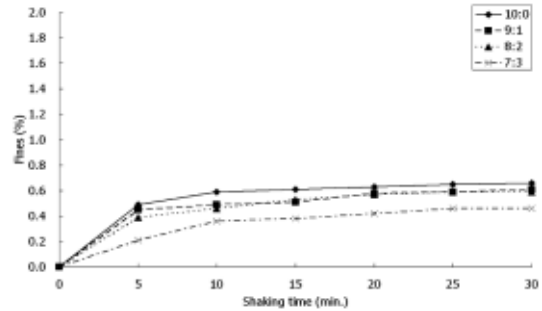


Fig. 5. Fine particles from the pellets prepared from a mixture of *Q. variabilis* wood sawdust and wood tar by 30 min. shaking test.

어 있다. 한(2006)은 일반적으로 미세분율이 침엽수재가 활엽수재보다 낮은 것으로 알려져 있지만, 그의 연구결과에서는 백합나무가 리기다소나무보다 미세분율이 낮다고 보고하였다. 본 연구에서도 굴참나무가 소나무보다 다소 낮은 미세분 발생량을 보여주었다.

3.7. 발열량

Table 3은 각 시료들에 대한 발열량을 측정한 결과 값이다. 목타르의 발열량은 완전 건조된 고품 목타르의 분말을 이용하여 측정하였다. 소나무 톱밥만으로 제조한 펠릿의 발열량은 4503 cal/g, 굴참나무 톱밥만으로 제조한 펠릿 4108 cal/g, 목타르 7883 cal/g로 나타나 목타르가 가장 높은 값을 보여주었다. 또한 소나무 펠릿이 굴참나무 펠릿보다 높게 나타났다. Satonaka (1963)는 북해도산 12수종의 침엽수재와 59종의 활엽수재에 대한 발열량을 조사하여 침엽수재의 평균 발열량은 전건재를 기준으로 4960 cal/g, 활엽수재의 평균 발열량은 4730 cal/g으로 침엽수재가 활엽수재보다 200 cal/g 정도 높게 나타났다고 보고하였다. Dharmadaran 등(1989)은 목재의 발열량이 화학적 구성성과 관련이 있다고 하였고, White (1987)는 침엽수재와 활엽수재의 발열량 차이는 리그닌 함량의 차이에 기인한다고 보고하였다. 따라서 소나무 톱밥 펠릿이 굴참나무 톱밥 펠릿에 비해 발열량이 다소 높게 나타난 것은 소나무와 굴참나무의 리그닌 함량이 각 29.32%와

Table 3. Heating values of each sample
(Unit : cal/g)

	Heating values		
	<i>P. densiflora</i>	<i>Q. variabilis</i>	
	10:0	4503 ± 10.0	4108 ± 11.0
Wood	9:1	4800 ± 12.0	4514 ± 8.0
sawdust :	8:2	5136 ± 9.0	4906 ± 7.0
Wood tar	7:3	5581 ± 10.0	5487 ± 5.0
	0:10	7895 ± 10.0	

23.10% (정과 박, 2008)로 소나무가 굴참나무에 비해 높은 리그닌 함량에 기인하는 것으로 생각된다.

소나무, 굴참나무 톱밥과 점액상태의 목타르를 여러 조건의 비율로 혼합하여 제조한 펠릿의 발열량을 측정 한 결과, 소나무 톱밥과 목타르를 혼합하여 제조한 펠릿은 4800~5581 cal/g의 범위, 굴참나무와 목타르를 혼합하여 여러 비율로 제조한 펠릿은 4514~5478 cal/g의 범위였다. 두 시료 모두, 목타르의 함량이 높아질수록 발열량이 점차 높아지는 결과를 얻었다. 펠릿 제조 시 목타르의 첨가에 따라 발열량이 목타르를 첨가 하지 않은 펠릿에 비해 소나무 펠릿은 최대 24%, 굴참 나무 펠릿 33% 정도 향상되었다. 또한 목타르의 혼합 비율이 증가할수록 소나무와 굴참나무 펠릿의 발열량 차이는 점차 적어졌다.

4. 결 론

소나무와 굴참나무 톱밥과 목타르 혼합 펠릿의 특성을 조사한 결과는 다음과 같다.

- 1) 펠릿의 함수율과 밀도는 목타르 함량이 증가할수록 점차 증가하였다.
- 2) 펠릿의 회분량과 미세분 발생량은 목타르의 혼합 비율이 높아질수록 낮아졌다.
- 3) 발열량은 소나무 펠릿이 굴참나무 펠릿보다 다소 높았고 목타르의 함량이 높아질수록 발열량은 증가하였다.

따라서 목타르를 혼합한 목재펠릿은 펠릿의 품질을 나타내는 밀도, 회분량, 미세분 발생량, 발열량 등의 성질이 우수하여 고품질의 펠릿을 제조할 수 있는 원료로

서 활용이 기대된다.

사 사

본 연구는 산림청 '산림과학기술개발사업(과제번호 : S210708L0201704)' 지원에 의해 수행되었음.

참고문헌

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. Dhamodaran, T. K., R. Gnanaharan, and P. K. Thulasidas. 1989. Calorific value variation in coconut stem wood. Wood Sci. Technol. 23: 21~26.
3. Satonaka, S. 1963. Fundamental study on wood carbonization. The research bulletin of the college experiment forest, college of agriculture, Hokkaido university 22: 609~814.
4. Soltes, E. J. and T. J. Elder. 1980. Pyrolysis, in organic chemicals from biomass, ed. I.S. Goldenstein, CRC Press, Boca raton. pp. 73~81.
5. White, R. H. 1987. Effect of lignin content and extractives on the higher heating value of wood. Wood and Fiber Science. 19(4): 446~452.
6. 국립산림과학원. 2009. 국립산림과학원고시 제2009-2호. 국립산림과학원
7. 권구중, 김남훈, 차두송. 2009. 국내 시판중인 목재펠릿의 특성. Journal of forest science 25(2): 127~130.
8. 권성민, 조재현, 이성재, 권구중, 황병호, 이귀현, 한규성, 차두송, 김남훈. 2007. 산불피해 소나무재의 목질펠릿으로서의 이용가능성 평가. 목재공학 35(4): 14~20.
9. 박상범, 김수원, 박병대, 한태형, 강은창, 박종영, 문성필. 2005. 목타르 혼합 폐늘수지 접착제의 접착성능. 임산에너지 24(1): 28~32.
10. 이수민, 이오규, 안병준, 최석환, 조성택, 김외정. 2009. 저탄소녹색성장시대 청정에너지 목재펠릿. 산림과학속보 09-02. 국립산림과학원.
11. 정성호, 박병수. 2008. 한국산 유용수종의 목재성질. 국립산림과학원.
12. 한규성. 2006. 목질바이오매스를 이용한 펠릿연료의 제조 한국신·재생에너지학회 2006년도 추계학술대회논문집: 521~524.

13. 한규성, 김병로. 2006. 목질펠릿으로 제조한 탄화물의 특성. 목재공학 34(3): 15~21.
14. 한규성, 여진기. 2003. 고밀화에 의한 현사시 톱밥의 고품
연료화. 임산에너지 22(2): 54~59.
15. 한규성, 최돈하. 2002. 포플러로부터 고밀화 연료의 제조. 임산에너지 21(3): 59~65.