

## 갈대를 이용하여 제조한 바이오펠릿의 품질 특성

김성호 · 한규성<sup>†</sup>

접수일(2016년 6월 7일), 수정일(2016년 6월 17일), 채택일(2016년 6월 23일)

### Fuel Characteristics of Biomass Pellets Fabricated with Reed Stalk

Seong-ho Kim and Gyu-Seong Han<sup>†</sup>

Received June 7, 2016; Received in revised form June 17, 2016; Accepted June 23, 2016

#### ABSTRACT

Our aim was to identify the potential of reed stalk as a raw materials for biomass pellet production. Compared to woody biomass, reed stalk contained significant levels of ash. The holocellulose content of reed stalk was similar to that of larch, but the lignin content of reed stalk was lower than that of larch. In the elemental analysis, chlorine content of reed stalk was much higher than that of larch, and satisfied only the mixed biomass pellet B of European non-woody pellet standards(EN 14961-6). In quantitative analysis of the ash, heavy metals contents of reed stalk satisfied European non-woody pellet standards. Higher heating value of oven-dried reed stalk pellet was slightly lower than that of larch wood pellet. The durability of reed stalk pellet was lower than that of larch wood pellet. The results of this study indicate that reed stalk might be used as a raw material of mixed biomass pellet B.

**Keywords:** Biomass, pellet, reed stalk, ash

#### 1. 서론

재생에너지를 통한 온실가스감축은 지난 20여 년간 에너지 분야에서 가장 중심적인 화두가 되었다. 2015년 12월 12일 기후변화협약 당사국총회에서 채택된 파리협정은 1997년의 교토의정서 이후 온실가스감축을 위한 인류

의 위대한 진보라 해도 과언이 아니다. 장기적인 목표로서 지구 평균온도 상승폭을 산업화 이전 대비 2℃보다 훨씬 작게 줄이는 것을 주요목표로 설정한 것이다. 이러한 목표를 달성하기 위해 재생에너지의 사용은 더욱 필수적인 요소가 될 것이다.

재생에너지 중 유럽과 북미에서 가장 관심을 받아온 것

• 충북대학교 목재종이과학과(Department of Wood and Paper Science, Chungbuk National University, Cheongju, 28644, Korea)

<sup>†</sup> 교신저자(Corresponding Author): E-mail: wood@chungbuk.ac.kr

은 바이오매스 연료라 할 수 있다. 특히 임업 및 목재산업의 부산물인 칩과 톱밥 등을 이용하여 만들어지는 목재펠릿은 바이오매스 연료 중 가장 보편적으로 이용되는 품목이 되었다. 세계 목재펠릿 소비량은 2008년 1,100만 톤으로부터 2014년 2,500만 톤을 넘기에 이르렀다.<sup>1)</sup> 우리나라에서는 2009년 처음으로 목재펠릿이 이용되기 시작하여 국내 생산량이 8,470톤, 수입량은 12,043톤이었다. 이후 우리나라의 목재펠릿 시장은 급격히 성장하여, 2014년에는 국내 생산량이 96,376톤, 수입량이 1,849,642톤에 달하였다.<sup>2)</sup>

목재펠릿에 대한 폭발적인 수요는 목재 이외의 원료로부터 펠릿 연료를 구하는 방향으로 자연스럽게 이어진다. 그 중의 하나가 농업부산물로서 밀짚, 보릿짚, 벼짚, 옥수수대, 해바라기대, 왕겨 등이 있다. 또한 스위치그라스 (switch grass), 억새(miscanthus), 갈풀(reed canary)과 같은 바이오매스 생산량이 많은 초본계의 식물로부터 원료를 구하기도 한다. 이들 원료로부터 얻어진 펠릿은 바이오매스펠릿(biomass pellets) 또는 아그로펠릿(agropellets)이라고 한다.

아그로펠릿은 에너지산업에 있어서 잠재력이 풍부한 매력적인 품목이다. 최근 유럽에서 목재펠릿 이용이 급진적으로 증가함에 따라 아그로펠릿에 대한 관심도 커져가고 있지만, 신규의 품목인 만큼 전체 펠릿 시장에서 차지하는 비중이 아직은 낮다. 게다가 아그로펠릿은 높은 회분을 함유하고 있어 보일러 적용에 있어서 제한적인 것이 시장 확대에 있어서 걸림돌로 작용하고 있다. 다소 오래전의 자료이지만 2009년의 자료를 살펴보면,<sup>3)</sup> 유럽에서 아그로펠릿 시장이 형성된 곳은 독일, 덴마크, 프랑스 등 13개국 정도에 그치고 있다. 이들 13개국에는 56개의 아그로펠릿 공장이 있으며, 총 809,000 톤/년의 생산시설에서 183,700 톤을 생산한 것으로 알려지고 있다. 생산능력은 프랑스가 400,000 톤/년을 상회하는 것으로 나타났지만, 실제 생산량은 덴마크가 가장 많아 100,000 톤을 상회하는 것으로 알려져 있다.

아그로펠릿과 관련된 품질기준은 EN 14961-6<sup>4)</sup>으로 규정되어 있는데, 원료의 종류에 따라 3개의 그룹 - 초본계 바이오매스, 과실류 바이오매스, 바이오매스 혼합물 - 으로 분류하고 있다. 이들로부터 만들어진 펠릿은 짚펠릿 (cereal straw pellets), 억새펠릿(miscanthus pellets), 갈풀펠릿(reed canary grass pellets), 혼합바이오매스 펠릿 A와 B로 나뉜다. 한편, 우리나라의 환경부에서는

고형연료제품으로서 바이오 고형연료제품(Bio-SRF, Biomass-Solid Refuse Fuel)<sup>5)</sup>의 품질기준을 마련하고 있다. 이는 폐지류, 농업폐기물, 폐목재류, 식물성잔재물, 초본류 폐기물 등의 바이오매스 폐기물로부터 얻어지는 성형 또는 비성형의 고형연료에 대한 품질기준인 것이다. Bio-SRF의 품질기준은 유럽의 EN 14961-6에 규정되어 있는 바이오매스펠릿의 품질기준에 비해 적용항목이 적으며 허용범위가 매우 크다. 따라서 Bio-SRF의 품질기준은 바이오매스펠릿의 국제적인 기준에 부합되지 않는 측면이 있다.

국내에서는 아직 아그로펠릿이 산업적인 형태를 갖추지는 않았으나 연구는 꾸준히 이루어지고 있다. 양인 등 (2011, 2013, 2014)<sup>6-8)</sup>은 유채대와 유채박을 이용하여 제조한 펠릿의 품질을 분석하였고, 유채대를 이용하여 펠릿을 제조할 때 유채박 및 커피박을 바이언더로 첨가함으로써 펠릿의 내구성 및 발열량을 향상시킬 수 있었다고 보고하였다.

한규성 등(2012)<sup>9)</sup>은 고춧대, 옥수수자루, 옥수수대, 담배대, 왕겨, 벼짚, 보릿짚, 밀짚 등으로부터 아그로펠릿 제조가능성을 탐색하였으며, 이들 원료로부터 목재펠릿과 유사한 형태로 성형이 가능함을 보고하였다. 또한 Yang 등(2016)<sup>10)</sup>은 왕겨와 벼짚을 이용하여 제조한 펠릿의 품질을 분석한 결과, 유럽의 비목질계펠릿 중 짚펠릿의 기준에 다소 미치지 못하나 프랑스의 아그로펠릿의 Agro+ 기준은 만족한다고 밝혔다. 그리고 벼짚의 경우 수확 후 15주간의 옥외폭로를 통해 회분과 함수율을 효과적으로 낮출 수 있음을 보고하였다.

성용주 등(2013, 2015)<sup>11,12)</sup>은 오일팜 바이오매스인 EFB와 PKS를 이용하여 제조한 펠릿의 품질을 분석하였고, 오일팜 바이오매스를 반탄화 한 후 목재 톱밥을 혼합하여 펠릿을 제조함으로써 오일팜 바이오매스의 연료로서의 이용가능성을 높일 수 있다고 보고하였다.

본 연구에서는 바이오매스 에너지 시장을 확대해 나가기 위한 대체 바이오매스의 탐색의 일환으로서, 국내에서 확보가 용이한 갈대에 주목하였다. 갈대는 벼과 식물로 토양수분, 유기물 함량의 수치가 높은 곳에서 쉽게 자생하며, 수확시기가 6월 하순부터 7월 중순으로 겨울철을 맞이하기 전 여름에 수확을 할 수 있다는 장점이 있는 식물이다. 또한 갈대를 이용한 바이오에너지 생산기반을 마련하는 기술 개발의 결과로 대량 증식이 가능해져 바이오매스 자원으로 매우 유망한 지위를 나타내고 있다. 그

러나 갈대로부터 펄릿 제조와 관련된 연구는 거의 이루어지지 않고 있다.

따라서 원료 확보가 용이하고 대량생산이 단기간 내에 가능하다는 장점을 갖는 갈대의 펄릿 제조 가능성과 연료 특성을 조사하였다. 갈대로 제조한 펄릿의 품질 특성을 조사하기 위해 갈대의 물리, 화학적 성질조사, 발열량, 내구성 측정을 수행한 후, 현재 펄릿시장에서 가장 널리 쓰이고 있는 낙엽송톱밥으로 제조한 목재펠릿을 대조구로 하여 비교 분석하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시재료

원료로 사용된 갈대 줄기는 시화호에서 채취된 것으로서, 분쇄기에 투입하기 위하여 먼저 원예용 가위로 절단한 후, 60 mesh 체를 장착한 해머밀 분쇄기를 이용하여 분쇄하였다. 또한 비교 분석을 위하여 낙엽송 톱밥을 대조구로 분쇄하였다. (Fig. 1)

### 2.2 해부학적 특성 분석

절단한 갈대 원료를 Schultze 용액(농질산 1에 물 1을 가한 약 35% 질산용액 100 mL에 염소산칼륨 6 g을 녹인 용액)에 침지시켜 시료의 색이 백색 투명해질 때까지 실온에서 2주간 방치시킨 다음, 증류수로 세척하고 해섬하여 측정용 시료로 하였다.

해섬된 시료를 사프라닌과 아스트라블루로 2중 염색 후 광학현미경으로 섬유 형태적 특징을 관찰하였으며,



Fig. 1. Images of stalks and particles of reed.

Morfi LABO(LB01)를 이용하여 섬유장과 섬유폭을 측정하였다.

### 2.3 화학 조성 분석

회분 측정을 위하여 전건한 갈대와 낙엽송 분쇄물을 미리 전건한 도가니에 담아 회화로에서 다음과 같은 승온 스케줄을 이용하여 가열하였다. 회화로의 온도를 4~5℃/분의 속도로 250℃까지 승온하고, 60분간 방치하고 그 후에 회화로의 온도가 다음 60분간 575±25℃가 되도록 승온하고 (5~6℃/분), 그 온도에서 최소 120분간 유지하였다. 회분 함량은 원시료의 무게에 대한 회분의 무게 비율로 계산하였다.

갈대와 낙엽송의 전섬유소(holocellulose)와 리그닌의 함량은 National Renewable Energy Laboratory<sup>43)</sup>의 표준 방법에 따라 분석하였다.

### 2.4 원소 분석

갈대의 원소 분석(C, H, N, S)을 위하여 시료를 1.014℃의 온도에서 충분한 산소와 함께 연소시켜 석영관의 구리 층을 통과시키면서 조성 원소별로 분석에 용이한 기체분자(CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>)로 전환하였다. 이 혼합 가스들을 가스크로마토그래피 컬럼에 통과시키면서 각각을 분리한 후, 열전도검출기에 의하여 전기신호로 정량적으로 변환하였다. 표준시료를 이용하여 검량곡선을 작성한 후, 각 시료별 탄소, 수소, 질소, 황의 함유량을 측정하였다.

염소는 다음과 같이 측정하였다. 밀폐 용기 내에서 시료 1 g을 연소시킨 후 세척수를 이용하여 염소를 수집하였다. 세척수를 모은 후 이온 크로마토그래피법을 이용하여 염소의 양을 측정하였다.



## 2.5 회분의 정성 분석

갈대와 낙엽송에 함유된 회분의 정성 분석은 국립산림과학원 고시의 목재펠릿 품질·규격<sup>14)</sup>에 따라 수행하였다. 칼륨(K), 칼슘(Ca), 나트륨(Na), 마그네슘(Mg)은 ICP-AES(Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectroscopy, Optima 4300 DV, Perkin Elmer)를 이용하여 분석하였으며, 비소(As), 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 크롬(Cr), 수은(Hg), 니켈(Ni), 납(Pb), 아연(Zn)은 ICP-MS(ICP - Mass Spectroscopy)로 분석하였다.

## 2.6 펠릿의 제조 및 물성 평가

소량의 펠릿을 제조하기 위하여 Fig. 2와 같은 Piston-type 펠릿성형기를 이용하였다. 성형기는 직경 7 mm의 실린더로 구성된 성형유닛과 유압으로 작동하는 프레스유닛으로 구성되었다. 성형유닛의 끝은 자동개폐장치가 부착되어 있으며, 실린더의 돌레는 밴드 히터가 장착되어 가열이 가능하다. 갈대펠릿 제조 조건은 예비실험에서 최적조건으로 조사된 압축시간 4분, 온도 150℃, 압력 150 MPa로 설정하였다. 투입부에 함수율 11%로 조정된 1 g의 분쇄물을 넣고 실린더 안에 분쇄물을 밀어 넣고 피스톤으로 압력을 가함으로써 펠릿을 제조하였다.

펠릿의 함수율, 발열량 및 내구성은 국립산림과학원 고시의 목재펠릿 품질·규격<sup>14)</sup>에 따라 수행하였다. 함수율

측정을 위해 1 g의 펠릿시료를 칭량병에 균일한 층이 되도록 넣어 105±3℃의 온도에서 무게 변화가 없을 때까지 건조하였다. 함수율은 건조 전과 건조 후의 무게를 측정하여 습량기준으로 계산하였다. 또한 항온형열량계(6400 Automatic Isoperibol calorimeter, Parr Instrument Inc.)에 시험용 펠릿 1 g을 넣고 연소시켜 고위발열량을 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 해부학적 구조

갈대 줄기부를 해설했던 후 사프라닌과 아스트라블루로 2중 염색한 결과, 섬유와 유세포가 관찰되었다. 유세포는 막대형, 방형, 또는 주머니형의 모습을 나타냈다. 섬유는 긴 바늘 모양으로 나타나는데, 현미경으로 관찰 시 섬유는 붉은색과 푸른색으로 염색된 것으로 나뉜다. 붉은색으로 염색된 것은 리그닌이 많이 함유된 것을 의미하며, 푸른색으로 염색된 것은 셀룰로오스가 많이 함유된 것을 의미한다. 섬유의 길이는 1-3 mm(평균 1.5 mm)였으며, 섬유폭은 8.0-20.0 μm(평균 18.3 μm)였다.

갈대 줄기의 표피에서는 톱니 모양의 전형적인 표피세포가 관찰되었으며, 호흡을 위한 공변세포도 관찰되었다. Fig. 3과 같이 알갱이 형태의 실리카 결정이 관찰되며, 실리카 결정 주변에서는 코르크세포가 관찰되었다.

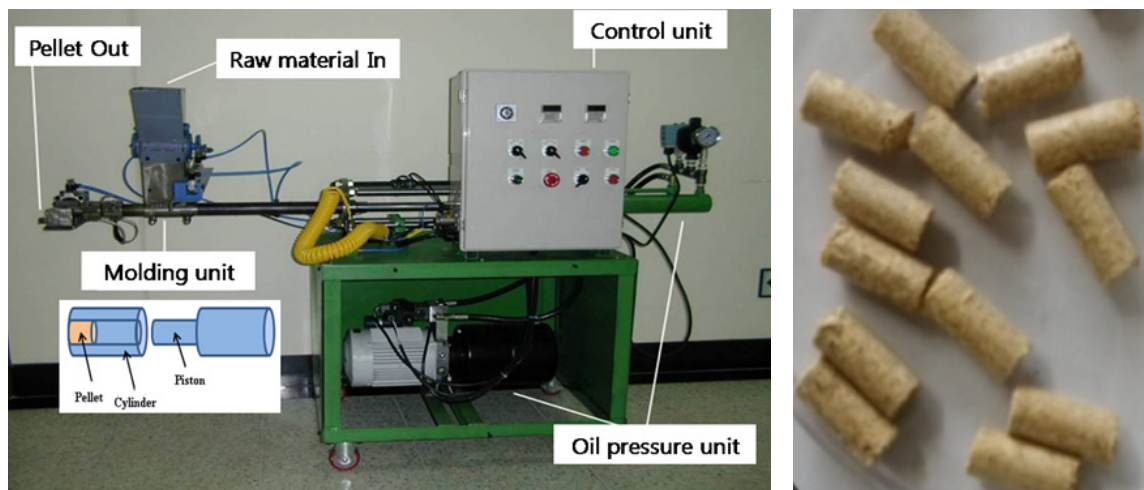


Fig. 2. Piston-type pelletizer and reed pellets.



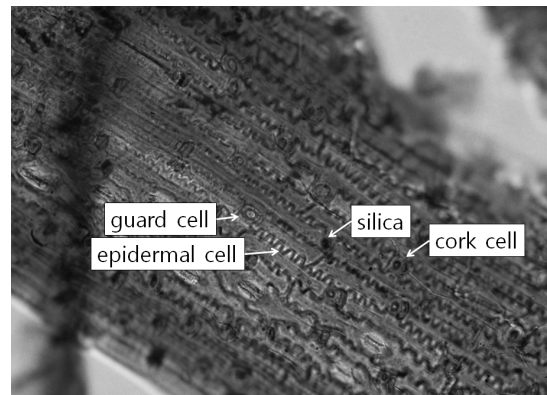
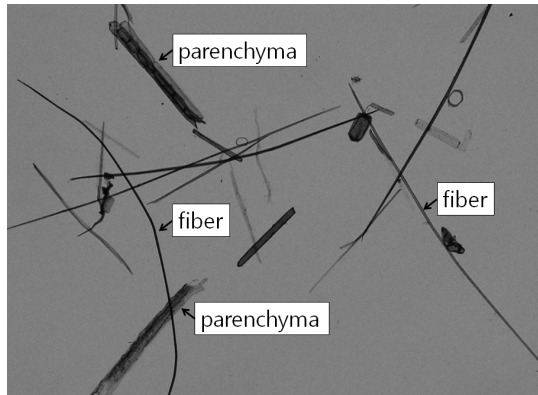


Fig. 3. Images of microscopic structure of reed.

### 3.2 화학적 조성

Table 1은 본 연구에서 펠릿의 주원료로 사용된 갈대의 화학적 조성을 낙엽송과 비교하여 분석한 결과이다. 초본류인 갈대는 홀로셀룰로오스 양에서는 목본류인 낙엽송과 차이가 없었으나, 갈대의 리그닌은 18.6%로 낙엽송의 28.6%에 비해 현저하게 적은 양이었다. 성형에 있어서 갈대가 낙엽송에 비해 불리할 것으로 예측된다. 또한 갈대는 많은 회분(7.7%)을 함유하고 있어 유럽의 비목질계펠릿 중 갈풀펠릿 규격 범위인 8% 이하 또는 혼합바이오매스펠릿B 규격 범위인 10% 이하에는 해당되나, 억새펠릿의 규격 범위인 4% 또는 6% 이하 및 혼합바이오매스펠릿A 규격 범위인 5% 이하에는 해당되지 않는다. 회분이 높은 원료를 이용하여 펠릿을 제조하는 경우, 연소 시

발생한 재를 자주 제거해야 하는 불편함이 발생하거나, 연소 시 발생한 재에 의해 열교환효율이 감소하는 등의 문제가 발생하기도 하므로 이용에 있어서 주의를 요한다.

Table 1. Chemical compositions of reed

Biomass	Dry-based chemical composition (%)			
	Holocel-lulose	Lignin	Ash	Ex-tractives
Reed	63.7	18.6	7.7	10.1
Larch	68.8	28.6	0.3	10.1

### 3.3 원소 조성

갈대의 원소 조성을 분석한 결과, 갈대의 탄소 함량은 43.59%로 낙엽송에 비해 낮은 값을 나타냈는데, 이는 일

Table 2. Elemental composition of the reed

Biomass	Elemental composition (%)				
	C	H	N	S	Cl
Reed	43.59	6.16	0.67	0.13	0.21
Larch	46.87	5.99	0.08	0.01	0.004
1st-grade Wood pellet <sup>a</sup>	-	-	<0.3	<0.05	<0.05
Miscanthus pellet <sup>b</sup>	-	-	≤0.5	≤0.05	≤0.08
Reed canary pellet <sup>b</sup>	-	-	≤2.0	≤0.2	≤0.1
Mixed biomass pellet A <sup>b</sup>	-	-	≤1.5	≤0.2	≤0.2
Mixed biomass pellet B <sup>b</sup>	-	-	≤2.0	≤0.2	≤0.3
Bio-SRF <sup>c</sup>	-	-	-	≤0.6	≤0.5

<sup>a</sup>Korean wood pellet standards<sup>13)</sup>

<sup>b</sup>European non-woody pellet standards(EN 14961-6)<sup>14)</sup>

<sup>c</sup>Korean biomass-solid refuse fuel standards<sup>5)</sup>

## 갈대를 이용하여 제조한 바이오펠릿의 품질 특성

반적인 초본류의 범주에 속하는 값이다.<sup>9)</sup> 갈대의 질소 함량은 0.67%로 낙엽송에 비해 훨씬 높은 값을 나타냈다. 이 값은 역새펠릿의 기준인 0.5%는 초과하지만 갈풀펠릿의 기준인 2.0% 이하에 포함되는 값이었다. 갈대의 황 함량은 0.13%로서, 역새펠릿의 기준은 초과하지만 갈풀펠릿의 기준은 만족하는 값이었다. 그러나 갈대의 염소 함량은 0.21%로 낙엽송에 비해 현저하게 높은 값으로서, 역새펠릿과 갈풀펠릿의 기준을 초과하는 값이었다. 다만 혼합바이오매스펠릿B의 기준에는 포함되는 것으로 나타났다. 갈대의 염소 함량이 높게 나온 것은 이용된 갈대가 해수와 담수가 섞이는 시화호에서 자랐기 때문인 것으로 판단된다.

연료 중의 염소 성분은 연소 중 연소 기기의 부식과 같은 문제점을 일으킬 수 있어서 주의를 요한다. 그런데 Wach와 Bastian<sup>3)</sup>에 따르면 농업부산물의 염소 성분은 노지에서의 강우와 일광에 일정기간 폭로시키면 대부분이 제거된다고 보고하였다. 갈대의 경우 수확 시기를 조절함으로써 염소 함량의 감소를 기대할 수 있다고 판단된다.

### 3.4 회분의 정성 분석

Table 3은 본 연구에 사용된 갈대의 회분에 대한 정성 분석 결과로서, 갈대의 알카리금속 함량은 낙엽송의 것

보다 훨씬 높게 나타났다. 우리나라 농업부산물<sup>9)</sup>에 비해 갈대의 칼륨 함량은 평균보다는 낮았으나, 칼슘 함량은 평균보다 높았다. 특히 나트륨 함량은 매우 높게 나타났는데, 이는 해수가 유입되는 생육지의 환경과 관련이 있을 것으로 판단된다.

Table 3. Contents of metals contained in the reed

Biomass	Metal contents (mg/kg)			
	K	Ca	Na	Mg
Reed	5132	26040	1992	1113
Larch	115.4	470.9	66.3	84.3

갈대에 함유된 중금속 성분의 분석 결과는 Table 4에 나타났다. 갈대에 함유된 중금속 함량은 목재에 비해 비슷하거나 약간 높은 수준이었으며, 비목재펠릿의 기준을 모두 만족하는 값이었다.

또한 갈대에 함유된 회분은 연소 후 비료로서 이용 가능한데, 비료로 사용하기 위한 연소재가 함유할 수 있는 유해중금속의 최대량기준(비료 공정규격설정 및 규격, 농촌진흥청고시 제2014-13호)<sup>15)</sup> 보다는 훨씬 적은 양이었다.

### 3.5 갈대펠릿의 물성

피스톤식 펠리타이저로 갈대펠릿을 제조한 결과 외형상 목재펠릿과 같은 형태로 성형이 되는 것을 확인할 수 있

Table 4. Contents of heavy metals contained in the reed

Biomass	Heavy metal contents (mg/kg)							
	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Ni	Zn
Reed	ND	0.112	17.4	7.68	6.01	ND	≤2	20.0
Larch	ND	0.224	0.904	6.00	1.95	ND	ND	7.81
1st-grade Wood pellet <sup>a)</sup>	≤1	≤0.5	≤10	≤10	≤10	≤0.05	≤10	≤100
Miscanthus pellet <sup>b)</sup>	≤1	≤0.5	≤50	≤20	≤10	≤0.1	≤10	≤100
Reed canary pellet <sup>b)</sup>	≤1	≤0.5	≤50	≤20	≤10	≤0.1	≤10	≤100
Mixed biomass pellet A <sup>b)</sup>	≤1	≤0.5	≤50	≤20	≤10	≤0.1	≤10	≤100
Mixed biomass pellet B <sup>b)</sup>	≤1	≤0.5	≤50	≤20	≤10	≤0.1	≤10	≤100
Bio-SRF <sup>c)</sup>	≤5	≤5	≤70	-	≤100	≤0.6	-	-
Limit value for agricultural application <sup>d)</sup>	≤45	≤5	≤250	≤400	≤130	≤2	≤45	≤1000

<sup>a)</sup>Korean wood pellet standards<sup>14)</sup>

<sup>b)</sup>European non-woody pellet standards(EN 14961-6)<sup>14)</sup>

<sup>c)</sup>Korean biomass-solid refuse fuel standards<sup>5)</sup>

<sup>d)</sup>Korean fertilizer standards<sup>15)</sup>

ND means that each element was not detected

Table 5. Fuel characteristics of reed pellets

Biomass	Fuel characteristics		
	Moisture (%)	Heating value (MJ/kg)	Mechanical durability (%)
Reed	7.7	17.4	97.1
Larch	10.6	20.1	98.6
1st-grade Wood pellet <sup>a</sup>	≤10	≥18.0	≥97.5
Miscanthus pellet <sup>b</sup>	≤10	Minimum value to be stated	≥97.5
Reed canary pellet <sup>b</sup>	≤12	≥14.5	≥96.5
Mixed biomass pellet A <sup>b</sup>	≤12	≥14.1	≥97.5
Mixed biomass pellet B <sup>b</sup>	≤15	≥13.2	≥96.0
Bio-SRF <sup>c</sup>	≤10	≥13.2d (imported) ≥12.6d (domestic)	-

<sup>a</sup>Korean wood pellet standards<sup>14)</sup>

<sup>b</sup>European non-woody pellet standards<sup>4)</sup>

<sup>c</sup>Korean biomass-solid refuse fuel standards<sup>5)</sup>

<sup>d</sup>Lower heating value

었다(Fig. 2). 이렇게 제조된 갈대펠릿의 함수율, 발열량, 내구성을 조사한 결과는 Table 5와 같다.

갈대펠릿의 함수율은 모든 범위의 기준을 만족시키는 결과를 얻을 수 있었다. 발열량은 낙엽송펠릿에 비해서는 훨씬 적은 값을 나타냈으나, 모든 종류의 비목질펠릿의 기준을 상회하는 값을 나타냈다. 운송 또는 저장 시 펠릿의 강도를 나타내는 내구성은 97.1%로서 갈풀펠릿과 혼합바이오매스펠릿B의 기준을 만족시킬 정도의 다소 작은 값이었다. 펠릿의 내구성에 관여하는 인자로는 원료의 화학적 조성고 성분 조건을 들 수 있다. 화학적 조성고 관련하여 리그닌은 성형 시 접착제의 역할을 하는 것으로 알려져 있는데, 본 연구에 사용된 갈대는 리그닌 함량이 목질계 원료에 비해 매우 적다. 리그닌 함량이 적은 초본계 원료의 펠릿 성형 시 헤미셀룰로오스 유래의 당성분이 성형에 일정 부분 역할을 하는 것으로 추정되고 있다. 따라서 실제 산업적인 펠릿 제조 시에는 성형 조건 중 다이의 길이 조절을 통한 압력 변화 또는 함수율 조절을 통해서 펠릿의 내구성을 높일 수 있다고 판단된다.

목질계 바이오매스에 비해 회분 함량이 높았다. 갈대의 홀로셀룰로오스 함량은 낙엽송과 거의 비슷했지만, 리그닌 함량은 매우 적었다. 원소분석 결과, 갈대의 염소 함량은 낙엽송보다 높았으며, 유럽 비목질계펠릿 규격 중 혼합바이오매스펠릿B를 만족시킬 뿐이었다. 회분의 정량 분석 결과, 갈대의 중금속 함량은 유럽 비목질계펠릿 규격을 만족하는 수준이었다. 갈대펠릿의 고위발열량은 낙엽송펠릿보다 약간 낮았다. 갈대펠릿의 내구성은 낙엽송펠릿보다 낮았다. 이상의 결과로부터 갈대는 혼합바이오매스펠릿B의 원료로 사용가능할 것으로 판단된다.

## 사 사

이 논문은 충북대학교 2013년도 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의해 연구되었습니다.

## Literature Cited

1. European biomass association, AEBIOM Statistical Report 2015, 2015.
2. Forest Biomass Energy Association, <http://www.biomassenergy.kr>.

## 4. 결 론

바이오매스펠릿의 원료로서 갈대의 가능성과 이로부터 제조된 펠릿의 연료 특성에 대하여 조사하였다. 갈대는

3. Wach, E., and Bastian, M., Final report on producers, traders and consumers of mixed biomass pellets, Baltic Energy Conservation Agency, 2009.
4. CEN, EN 14961-6, Solid biofuels – Fuel specifications and classes, 2012.
5. Ministry of environment, Biomass–solid refuse fuel standards, enforcement regulations in law on saving and recycling promotion of resources, 2016.
6. Yang, I., Oh, S. C., Ahn, S. H., Choi, I. G., Kim, Y. H., Lee, S. M., and Han, G. S., Pellets made with rapeseed flour and rape stalk obtained from the production of bio–diesel and the evaluation of its characteristics, *Waste Recycling and Management Research* 28(1): 89–96(2011).
7. Yang, I., Chang, H. S., Oh, S. C., Ahn, S. H., Choi, I. G., Kim, Y. H., and Han, G. S., Effects of binder addition and immersion treatment on the qualities of rape stalk–based agropellets, *Waste Recycling and Management Research* 30(4): 357–367(2013).
8. Yang, I., Ahn, B. J., Kim, M. Y., Oh, S. C., Ahn, S. H., Choi, Y. G., Kim, Y. H., and Han, G. S., Separation of reducing sugars from rape stalk by acid hydrolysis and fabrication of fuel pellets from its residues, *Korean J. Plant Resources* 27(1): 60–71(2014).
9. Han, G. S., Yang, I., and Sagong, M., Investigation of the basic properties of agricultural residues as a raw material for the production of agropellets and the evaluation of their fuel characteristics, *Waste Recycling and Management Research* 29(2): 169–179(2012).
10. Yang, I., Kim, S. H., Sagong, M., and Han, G. S., Fuel characteristics of agropellets fabricated with rice straw and husk, *Korean J. Chem. Eng.*, 33(3): 851–857(2016).
11. Sung, Y. J., Kim, C. H., Cho, H. S., Kim, S. H., Sim, S. W., Yim, S. J., Lee, J. Y., and Kim, S. B., Study of oil palm biomass resources (Part 2), Manufacturing characteristics of pellets using oil palm biomass, *Journal of Korea TAPPI* 45(1): 42–51(2013).
12. Sung, Y. J., Kim, C. H., Lee, J. Y., Cho, H. S., Nam, H. G., Park, H. H., Kwon, S., and Kim, S. B., Study of oil palm biomass resources (Part 4), Study of pelletization of torrefied oil palm biomass, *Journal of Korea TAPPI* 47(1): 24–34(2015).
13. National Renewable Energy Laboratory, Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass, Technical Report of NREL/TP–510–42618, Golden, 2011.
14. National institute of forest science : Wood pellet specification and standards, Notification No. 2013–5, 2013.
15. Rural development administration, Fertilizer precess specification and standards, Notification No. 2014–13 of the rural development administration, 2014.