

발간등록번호

11-1543000-000176-01

농업부산물 활용 펠릿 제조기술 개발

Technical Development of Pellet Production
from Agricultural Residues

신흥기업(주)

농림축산식품부

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “농업부산물 활용 펠릿 제조기술 개발에 관한 연구” 과제의 보고서로 제출합니다.

2013년 6월 30일

주관연구기관명 : 신흥기업(주)

주관연구책임자 : 사 공 문

세부연구책임자 : 사 공 문

세부기관연구원 : 함 택 모, 박 헌 수, 장 병 래,
곽 동 열, 안 정 일, 이 경 화

협동연구기관명 : 해표산업(주)

협동연구책임자 : 홍 동 호

협동기관연구원 : 윤 경 석, 박 제 갑, 김 진 호

협동연구기관명 : 충북대학교

협동연구책임자 : 한 규 성

협동기관연구원 : 양 인, 김 성 호, 정 성 교

요 약 문

제 1절 농업부산물 펠릿 제조를 위한 원료건조시스템 개발

일반적으로, 벼짚, 보리짚, 밀짚, 옥수수대, 고추대 등과 같은 농업부산물은 거름용도나 사료용으로 사용되어 왔으며, 연료용으로도 그 활용도가 높은 추세이다.

본 연구에 따른 건조시스템은 산지에서 수집한 농업부산물을 파쇄장치에서 펠릿 생산 가능한 크기로 분쇄한 원료가 저장되어 다음 공정으로 공급시키는 투입장치와, 투입장치에서 공급되는 펠릿 원료를 내부로 유입시켜 외곽에서 중심부쪽으로 3-pass 건조장치로 이송시키면서 건조하여 반대편으로 배출시키는 회전드럼과, 펠릿 원료의 투입방향으로 사이클릭 연소장치가 연결되어 열원을 공급하는 연소로와, 회전드럼의 출구쪽에 연결되어 건조된 펠릿 원료를 분리시키는 사이클론과, 이에 연결되어 원료를 공기로 이송시키는 2차 연소팬, 사이클론의 하부에 설치되어 함수율 12%이하의 펠릿 원료만을 선택 배출시키는 배출제어장치를 포함하며, 배출제어장치는 수분센서와 레벨센서가 구비되고, 두 센서의 감지여부에 따라 건조가 끝난 펠릿 원료의 정상배출 및 비정상배출을 시키는 정역모터로 구성되는 건조시스템이다.

본 연구는 농촌에서 곡물, 농산물 수확 후 버려지는 농업부산물을 활용하여 펠릿 제조를 하기 위한 전처리 과정으로 원료를 건조시켜 농업부산물을 연소용 연료로 사용하기 위해 적절한 수분을 갖도록 하는 건조시스템의 방안이 될 것으로 생각된다.

또한 목질연료를 사용하는 건조시스템에 응용 가능하며, 대용량의 건조시스템에 적용 가능할 것으로 기대된다.

제 2절 농업부산물 펠릿 연소용 고효율 보일러 개발

본 연구는 농업부산물 펠릿의 연소장치에 관한 것으로서, 농업부산물을 이용한 펠릿이 저장되는 저장부, 저장부로부터 이송되는 펠릿을 연소시키는 연소부, 저장부와 연소부를 연결시킴으로써 구비되며, 저장부로부터 자중에 의해 펠릿을 공급받아 연소부에 자중의 반대방향으로 고행연료를 밀어 올려 공급하는 연료이송부, 연소부에서 가열된 공기를 공급받아 물을 가열하는 열교환부, 연소부에 펠릿의 연소를 위해 필요한 외부 공기를 공급하는 연소팬 및 열교환부에 연통되어 구비되며 상기 열교환부의 내부 공기를 배출시키는 2차 연소팬을 포함하며, 특히 벼

짚, 왕겨 등과 같은 농업부산물을 이용하여 제조된 펠릿의 연소 효율을 향상시키기 위한 연구를 진행하였다.

톱밥을 재료로 한 목재펠릿등 고품 연료는 다양한 형태의 연소장치 적용이 가능하여 다양한 구조의 연소장치가 제시되어 있으나, 볏짚, 왕겨와 같은 농업부산물이나 폐기물 고품연료 등을 사용하기 위한 연소장치는 연소조건이 까다롭기 때문에 이용이 제한되어 있다. 특히, 볏짚과 왕겨와 같은 농업부산물은 대량으로 생성되는 부산물로서 값싸고 최종 소비지 근처에 풍부하게 생산되는 연소물질임에도 유류 대체 연료인 연탄이나 화목 등의 고품연료에 비해 연료로서의 이용률이 매우 낮고, 대부분 퇴비재료로 이용되거나 일부 탄화처리에 의해 연료, 상토 재료로 활용되고 있다.

연료로서 농업부산물의 이용이 저조한 이유는, 볏짚, 왕겨와 같은 농업부산물의 경우 목재와 다른 성분조성으로 인하여 연소온도가 화목이나 톱밥 등의 고품연료보다 상대적으로 높고, 불완전 연소와 탄화가스물질 및 높은 회분성분으로 인하여 클링커의 발생량이 많기 때문이다. 이와 같이 열분해에 의해 생성되는 탄화가스물질 중 대략 35% 정도가 응축물인 목초액과 타르로서 연소 과정에서 이들 물질이 연료공급통로 등에 달라붙어 협착화 시킴으로써 사용성을 감소시키는 요인이 되고, 대략 20% 정도 차지하는 비응축성 탄화가스물질이 높은 열량을 가지고 있음에도 CO 등의 유해가스로 배출됨으로써 불완전 연소에 의한 열효율의 감소와 비닐하우스 등 밀폐된 공간에서 사용할 때 유해 가스 대책이 요구되는 등 사용 안전성에도 많은 대책이 요구된다.

본 연구에서는 농업부산물의 연소특성을 개선할 수 있는 구조 및 연소 후 발생 되는 회분 및 재 등을 효율적으로 제거할 수 있는 구조를 가지는 농업부산물 펠릿의 연소장치 가능성을 확인하였다.

제 3절 농업부산물을 이용한 중형급 펠릿 제조장치 개발

전세계적으로 바이오매스 활용에 대한 관심도 급증과 이용률 제고를 통해 신재생 에너지 활용이 지속적으로 증대되고 있는 상황이며, 특히 목질계를 중심으로 펠릿제조장치는 이미 상용화가 되었으나, 농업부산물은 원료의 물성 및 수집, 그리고 타 산업의 활용 때문에 현재 초보적인 수준에 머물러 있다.

볏짚, 보리짚, 밀짚등 농업부산물은 원료 수집형태, 운송방법, 물성에 따라 다소 차이는 있지만 연료용으로 효율성있는 활용을 위해서는 고밀도로 압축하는 펠릿제조과정이 필수이며, 매우 중요하다고 할 수 있다.

본 연구를 통해 볏짚등 농업부산물을 펠릿화 하는 과정중의 중요한 요인을 찾아 효율적인 공정과정을 구성하게 되었으며 공정순서는 다음과 같다. 원형 곤포 또는 사각뿔음으로 수거된 원재료를 chip 형태로 파쇄하는 장치와 chip 형태의 원료를 펠릿제조에 적합한 최적의 상태로 분쇄하는 미분쇄 장치, 분쇄장치 가동시 발생하는 풍압에 의해 이송되는 분쇄물 및 비산먼지를 집진할 수 있는 집진장치, 집진된 원료를 펠릿이 생산되기 위한 적정상태를 최적화 시키는 컨디셔닝장치, 농업부산물등 초분류의 물리적 특성상 낮은 비중을 적절한 수준으로 높여 펠릿성형성을 개선시킬 수 있는 밀도상승장치, 롤러와 다이스의 상호작용을 통해 미분상태의 원료를 최소 650kg/m³ 이상으로 압축시키는 펠릿성형장치, 펠릿 성형과정 중 발생하는 마찰열을 상온수준으로 식혀주는 냉각장치, 펠릿생산 및 냉각과정, 이송과정을 거치면서 발생한 부스러기를 선별하는 선별장치, 선별된 펠릿을 20kg단위로 계량하는 계량장치, 흡습력이 우수한 펠릿을 외부의 습기로부터 방지해주는 비닐썰링 포장장치로 구성된다.

본 연구를 통해 농업부산물의 펠릿제조과정을 상용화 할 수 있는 기반을 확보하였고, 향후 농업부산물과 같은 초분류에 해당하는 갈대, 억새등에도 적용 가능할 것으로 판단된다.

제 4절 농업부산물의 성형성과 연소효율 개선을 위한 전처리 기술 개발

본 연구는 농작물들을 생산한 후 발생하는 부산물인 볏짚, 보리짚등인 농업부산물의 효율적인 처리 및 재자원화 방안을 마련하기 위한 일환으로 고체 바이오연료인 펠릿을 제조하였으며, 원재료 및 조제된 펠릿의 화학적 조성과 연료적 특성을 조사하여 농업부산물의 펠릿 원료화 가능성을 검토하였다. 농업부산물은 보통 높은 회분을 함유하고 있었으며, 원소 분석 결과에서 높은 질소 함유량과 일정량의 유황 성분도 함유된 것으로 조사되었다. 본 연구 공시재료의 연료적 특성을 보면, 농업부산물의 발열량은 목재 펠릿에 비하여 상대적으로 낮았다. 상기 결과들을 종합하면 농업부산물릿은 4급 이하 또는 열병합발전소용의 저급 펠릿 제조을 위한 원료로 적당할 것으로 생각되며, 고등급의 펠릿 제조용 원료로 사용되기 위해 펠릿의 품질 기준에서 요구하는 성질 - 특히 회분의 함유량, 질소 및 유황 함유량, 발열량 - 개선을 위한 추가적인 공정이 필요할 것으로 생각한다.

SUMMARY

Chapter 1. Development of a drying-system for agricultural residues in the manufacturing process of agropellets

In general, agricultural residues, such as rice straw, barley straw, wheat straw, corn stalk and pepper stalk, have been used as a manure or feed. In addition, utilization of the agricultural residues as a fuel material also has been increased steadily.

Drying system developed in this study largely consisted of six parts. First part was a injection equipment that agricultural residues collected from the cultivating areas of each agricultural product were fragmented into small size which are able to produce pellets, stored in this equipment, and discharged to next process. Second part was a rotating drum that the fragmented agricultural residues provided from the injection equipment were carried to a 3-way drying equipment, dried in the equipment, and discharged to next process. Third part was a combustion furnace which provides heat to pelletizable materials with the connection of a cyclic-combustion equipment. Fourth part was a cyclone, which separates pelletizing materials, connecting to the outlet of rotating drum. Fifth part was a secondary combustion fan, which transfers pelletizable materials by strong air, connecting to the cyclone. Sixth part was a outlet controller, which discharges only pelletizable materials with less than 12% moisture content, connecting to bottom section of cyclone. In addition, moisture sensor and level sensor were attached to the outlet controller. According to the sensors, the dried pelletizable materials were discharged normally or unusually by two-way motor.

From this system, agricultural residues might be dried to a proper moisture content, which can be used as a pelletizable material. This system might also be applicable to a drying system for wooden materials as well as for the manufacture scale.

Chapter 2. Development of high-efficiency boilers for the combustion of agropellets

This study was conducted to develop a high-efficiency boiler for the combustion of agropellets. This boiler consisted of six parts. First one was a storage part, which stores agropellets. Second one was a combustion part, which burns agropellets transferred from storage part. The storage and combustion parts were connected mutually. Third one was a fuel-transferring part, which is installed between the storage and combustion parts. In this part, agropellets are transferred from storage part to combustion part by the mass weight of the agropellets itself. Fourth one was a heat exchanging part, which heats water by steam provided from a combustion part. Fifth one was a combustion fan, which provides outside air to combust agropellets in the combustion part. Sixth one was a secondary combustion fan, which discharges inside air in the heat exchanging part. In particular, this boiler was designed to increase the combustion efficiency of agropellets produced with rice straw and husks.

Although wood pellets can be used by various combustion equipments, use of combustion equipments for agropellets or waste solid-fuels has been restricted owing to its intricateness of combustion. Interestingly, agricultural residues such as rice straw and husks can easily obtain in large quantities from rice paddy, resulting in its low cost of securing raw materials. However, utilization rate of the agricultural residues as a raw material of solid fuels has been extremely low, and most of the agricultural residues are used as a raw material for the production of compost. Little amount of the agricultural residues torrefied has been used as a fuel and ridging.

Agricultural residues have hardly been used as a raw material of solid fuel so far. The reasons are as follows. At first, agricultural residues, such as rice straw and husks, have a higher combustion temperature than solid log or sawdust because of their chemical composition comparing to wood. Secondly, when agricultural residues are used as a fuel, much clinker in the burning furnace is produced due to their incomplete combustion and high contents of carbonization gas and ash. Thirty-five percentage of the carbonization gas, which is formed during the pyrolysis of agricultural residues, consisted of pyroligneous liquor and tar. During the combusting process, the pyroligneous liquor and tar are attached

on the funnel of fuel-transferring part, resulting in reducing the fuel supply. Non-condensation gas consisting 20% of the carbonization gas had high quantity of heat. but noxious gas such as carbon monoxide is emitted from the incomplete combustion of agricultural residues. Therefore, it is required to prepare the safety way against harmful gases when the agricultural residues are used as a fuel in the closed space like a green house.

Therefore, in this study, it was confirmed that combustion equipments for agropellets was needed improving the combustion characteristics of agricultural residues and removing ash efficiently.

Chapter 3. Development of mid-size pelletizer for the production of agropellets

In present, utilization of renewable energy has been increased steadily with surging the interest and application of biomass over the world. Particularly, pelletizer for wooden materials was successfully deployed on a commercial scale. However, pelletizer for agricultural residues is still in the beginning stages because agricultural residues have several problems, such as the unique characteristics, high collection cost and other utilization, to be used as a raw material of solid bio-fuels. Additionally, agricultural residues, such as rice straw, barley straw and wheat straw, are necessary to be densified for using efficiently as a raw material of solid bio-fuels, although be different depending upon its collection and transportation type and characteristics.

This study was conducted to investigate the variables affecting on the fuel characteristics of agropellets, which were made with rice straw. Based on the results, pelletizing process for rice straw were determined, and the processes are as follows. First one was a chipping process that rice straw of circular-bailed or square-bundle type was smashed into chip. Second one was a grinding process that the chip-size rice straw was ground into particles, which have a proper size for the production of pellets. Third one was a collecting process that the ground rice straw was transferred by strong wind, screened to remove fine dust, and collected in a large room. Fourth one was a conditioning process

that the collected particles were adjusted to proper moisture content for pelletizing. Fifth one was a density-increasing process that agricultural residues, which have a low specific gravity, were densified to a proper level resulting in improving the formability of the pellets. Sixth one was a pelletizing process that the particles of agricultural residues were densified by the pressure of at least 650kg/m³ with the mutual interaction of roller and dice. Seventh one was a cooling process that the pellets produced from the pelletizing process were cooled to the level of room temperature. Eight one was a screening process that dust or fine produced during the processes of pelletizing, cooling and transferring was removed. Ninth one was a measuring process that the screened pellets were measured by the unit of 20kg. Final one was a vinyl-sealing process that the pellets of 20kg were packaged to prevent them moisture absorption.

From this study, it was confirmed that agropellets fabricated with agricultural residues can be used commercially. Additionally, herbaceous plant, such as reed and silver grass, might be used as a raw material of agropellets.

Chapter 4. Development of pretreatment technique for improving the formability and combustion efficiency of agricultural residues

For the production of solid biofuel, new alternatives are needed to reduce reliance on wood, which is currently the predominant biomass combustion fuel. This study was conducted to identify the potential of rice straw (RS) and husk (RH) as a raw material for pellet productions. RS and RH could be easily dried compared to woody biomass, but contained significant levels of ash. Higher heating values of the air- or oven-dried RS and RH were slightly lower than commercial wood pellets. RS and RH contained quite more Ca and K than larch sawdust. The outdoor exposure of RS for a certain period reduced its ash and moisture contents effectively. The durability of RS and RH pellets improved steadily with increasing pelletizing temperature and time. These results suggested that RS and RH present a suitable alternative due to its availability, relatively high calorific value

and low moisture content. Pelletization under appropriate conditions also enabled the durability and bulk density of RS and RH to be improved, enhancing its potential as an alternative combustion fuel. In particular, significant reduction occurred in ash and moisture contents of RS during 15-week exposure on-rice paddy.

CONTENTS

Chapter 1	Outline of research	17
Section 1	Purpose of research	17
Section 2	Necessity of research	17
Section 3	Scope of research	18
Chapter 2	Global trend of this research	20
Section 1	Boiler for agropellets	20
Section 2	Pelletizer for agricultural residues	21
Chapter 3	Contents and results of research	22
Section 1	Development of a drying-system for agricultural residues in the manufacturing process of agropellets	22
1.	Agricultural residues for pellet manufacturing systems development	22
A.	Greenhouse boiler market research	22
B.	Drying system Layout	24
C.	Drying system specifications	26
D.	Drying system detailed design history	27
E.	Drying system configuration history	34
F.	Moisture measurement system with high-frequency sensor	37
G.	Drying system experimental details and results	38
Section 2	Development of high-efficiency boilers for the combustion of agropellets	44
1.	Agricultural residues development of optimized combustion	44
A.	Combustion method(lower, upper input, burner method, etc.) combustion analysis	44
B.	Ash high solids content to minimize fuel combustion technology to prevent slag	46
2.	Agricultural residues development of high-efficiency heat exchanger	47
A.	Entry boiler system Lay out	48

B. Boiler development specifications	49
C. Pellet boilers specifications determined	50
D. Pellet boilers design history	54
E. Pellet boilers basic experiment	65
3. Durability, reliability, ease of use technology development for improved	69
A. Automatic re-processing, and easy to clean structure	69
B. Backfire protection	71
C. Identify cyclone performance	73
4. High-efficiency pellet boilers complement the design, production	73
A. Boiler system Lay out	73
B. Boiler performance test	76
C. Boiler control	111
5. Application and analysis of field experiments	113
A. Greenhouse experiments and field application stability and performance analysis	113
Section 3 Development of midOsize pelletizer for the production of agropellets	116
1. Development of agricultural residues crushing device	116
A. Crushing device	116
B. Development of grinding device	119
C. Development of mixing device	124
2. Pellet manufacturing devices development for agricultural residues	125
A. Pelletizer characteristics analysis	125
B. Pelletizer system lay-out	128
3. Optimal conditions for pelleting agricultural residues	143
A. Development of optimal pelletizer dies	143
B. Physical characteristics of pellet by crushed density	147
C. Control of pellet function ratio by plastic sealing	150
Section 4 Development of pretreatment technique for improving the	
formability and combustion efficiency of agricultural residues	152
1. Investigating of the basic properties of agricultural residues as a raw material	
for the production of agropellets and evaluating their fuel characteristics	152
A. Introduction	152

B. Industrial trend of agropellets	153
C. Experimental method	157
D. Results and Discussions	160
E. Conclusion	169
2. Development of pretreatment technique for improving the formability and combustion efficiency of agricultural residues	170
A. Introduction	170
B. Experimental method	178
C. Results and Discussions	183
3. Application of agropellets as heating fuels in large-scale greenhouses and the evaluation of its economic efficiencies	193
A. Introduction	193
B. Experimental method	205
C. Results and Discussions	206
Chapter 4 Achievement of the goal for this research and its contribution to related the field	219
Section 1 First fiscal year (2010)	219
Section 2 Second fiscal year (2011)	220
Section 3 Third fiscal year (2012)	221
Chapter 5 Results of this research and plan for the utilization of the results ..	222
Section 1 Commercialization plans of the products developed in this research	222
Section 2 Transfer plans of the new technologies developed in this research	223
Section 3 Security plans of the intellectual rights obtained in this research	223
Section 4 Re-utilization plans of the new technologies into other researches	224
Chapter 6 Information of foreign scientific technology obtained from this research ·	226
Section 1 Drying system of Pellet Production from Agricultural Residues	226
Section 2 High efficiency Pellet boiler	230

Section 3	Pellet manufacture equipment	230
Chapter 7	Research facilities and equipments	232
Chapter 8	Reference	233

목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요	17
제 1 절	연구개발의 목적	17
제 2 절	연구개발의 필요성	17
제 3 절	연구개발의 내용 및 범위	18
제 2 장	국내외 기술개발 현황	20
제 1 절	농업부산물 펠릿 보일러	20
제 2 절	농업부산물 펠릿 제조장치	21
제 3 장	연구개발수행 내용 및 결과	22
제 1 절	농업부산물 펠릿 제조를 위한 원료건조시스템 개발	22
1.	농업부산물 펠릿 제조를 위한 원료 건조시스템 개발	22
가.	시설원예용 보일러 시장 조사	22
나.	건조시스템 Layout	24
다.	건조시스템 주요사양	26
라.	건조시스템 세부설계내역	27
마.	건조시스템 구성내역	34
바.	고주파 센서를 이용한 수분측정 시스템	37
사.	건조시스템 실험내역 및 결과	38
제 2 절	농업부산물 펠릿 연소용 고효율 보일러 개발	44
1.	농업부산물에 최적화된 연소장치 개발	44
가.	연소방식별(하부, 상부투입, 버너방식등) 연소특성 분석	44
나.	Ash 함량이 높은 고체연료 연소시 슬래그 방지 최소화 기술개발	46
2.	농업부산물 펠릿용 고효율 열교환기 개발	47
가.	보급형 보일러 시스템 Lay out	48
나.	보일러 개발사양	49
다.	펠릿보일러 사양결정	50
라.	펠릿보일러 설계내역	54

다. 펠릿보일러 기초실험	65
3. 내구성, 안정성, 사용편리성 향상을 위한 기술개발	69
가. 자동재처리 및 청소 용이한 구조	69
나. 역화방지 장치	71
다. 사이클론 성능파악	7.
4. 고효율 펠릿 보일러 보완 설계, 제작	73
가. 보일러 시스템 Lay out	73
나. 보일러 성능시험	76
다. 보일러 제어부	111
5. 현장적용 및 실험분석	113
가. 시설원에 현장적용 실험 및 안정성 및 성능분석	113
제 3 절 농업부산물을 이용한 중형급 펠릿제조장치 개발	116
1. 농업부산물 파쇄장치개발	116
가. 파쇄장치	116
나. 분쇄장치개발	119
다. 혼합장치개발	124
2. 농업부산물을 이용한 중형급 펠릿제조장치 개발	125
가. 펠릿성형방식별 특성분석	125
나. 펠릿성형system lay-out	128
3. 농업부산물을 이용한 펠릿제조 최적조건 구명	143
가. 최적 펠릿성형다이개발	143
나. 분쇄물 밀도별 펠릿의 물리적 특성	147
다. 비닐 씰링을 통한 펠릿 함수율 제어	150
제 4절 농업부산물의 성형성과 연소효율 개선을 위한 전처리 기술 개발	152
1. 농업부산물 펠릿 제조를 위한 기초조사 및 물성평가	152
가. 서 론	152
나. 아그로펠릿 산업 동향	153
다. 실험방법	157
라. 결과 및 고찰	160
마. 결 론	169
2. 농업부산의 성형성과 연소효율 개선을 위한 전처리 기술 개발	170
가. 서 론	170

나. 실험방법	178
다. 결과 및 고찰	183
3. 시설원에 현장직용 실험 및 경제성 분석	193
가. 서론	193
나. 실험방법	205
다. 결과 및 고찰	206
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	219
제 1 절 제 1차년도 (2010)	219
제 2 절 제 2차년도 (2011)	220
제 3 절 제 3차년도 (2012)	221
제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획	222
제 1 절 실용화·산업화 계획	222
제 2 절 교육·지도·홍보 등 기술확산 계획	223
제 3 절 특허, 품종, 논문 등 지식재산권 확보계획	223
제 4 절 추가연구, 타연구에 활용 계획	224
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	226
제 1 절 아그로 원료 건조시스템 연구 동향	226
제 2 절 고효율 펠릿보일러 연구 동향	230
제 3 절 펠릿 제조 장치 연구 동향	230
제 7 장 연구시설·장비 현황	232
제 8 장 참고문헌	233

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1절 연구개발의 목적

1. 농업부산물 활용 펠릿 제조 기술 개발

- 농업부산물의 성형성과 연소효율 개선을 위한 전처리 기술개발
- 농업부산물을 이용한 중형급 펠릿 제조장치 개발
- 농업부산물 원료 건조시스템 개발
- 농업부산물 시설원예용 고효율 중형급 보일러 개발

제 2절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

- 대부분 폐기 또는 비효율적으로 활용되는 농업부산물의 고체연료화를 통한 재자원화 기술 개발 필요
- 볏짚, 고춧대, 옥수수대, 담뱃대 등 농업부산물별 열량증대, 성형성 개선으로 경제성 있는 고체연료 개발필요
- 기존 펠릿 보일러의 문제점인 낮은 열효율(65~70%)로 인한 바이오매스 보일러의 경제성 결여 및 낮은 기술력에 의한 잦은 고장으로 소비자가 사용을 기피하고 있으며, 이러한 문제점을 해결한 높은 열효율(85%이상)과 사용 편리성을 갖춘 농업부산물 펠릿 보일러 개발 필요
- 농업부산물 펠릿은 목재 펠릿에 비하여 연소에 불리한 화학성분(높은 비율의 염소와 재)을 가지고 있으므로 부식, 클링커 그리고 부착물에 대비한 보일러의 설계, 제작 기술개발이 필요
- 회분 함량이 높은 고체연료 사용 시, 가장 큰 문제인 클링커 방지를 위해 하부투입, 하부송풍, 연소로 회전, 연소공기 공급방식등 관련 기술개발이 필요
- 농업부산물별 물성에 최적화된 펠릿 성형기, 고효율 분쇄기등 제조장치 개발 필요
- 우수한 성능의 농업부산물 펠릿제조시설의 국산화로 전량 수입에 의존하던 펠릿제조장치

의 수입 대체 및 향후 동남아등 해외시장 진출이 가능

2. 경제, 산업적 측면

- 시설재배 면적이 1990년대 정부의 시설 현대화사업 지원정책에 따라 급격히 증가하여 2008년 현재 53,000ha, 시설재배 농가 74,000호로 연간 1,264,000kl의 경유를 사용하고 있어 재생 가능한 펠릿 연료로의 대체가 필요
- 시설원에 경영비중 난방비가 차지하는 비중이 30~58% 수준으로 난방비 절감이 농가 소득 향상에 결정적 요인으로 작용
- 농가 소득향상을 위해 연료비를 15% 이상 절감할 수 있는 농업부산물을 이용한 펠릿 보일러 개발이 필요

3. 사회, 문화적 측면

- 화석연료인 경유를 농업부산물 펠릿 연료로 대체할 경우 연간 3,398천톤의 온실가스 감축 효과가 있어 이에 대한 펠릿연료 제조기술이 필요
- 고춧대, 옥수수대, 담뱃대등 폐기되는 농업부산물을 재활용함으로써 환경오염물 배출저감이 필요
- 국내 시설원에 재배 농산물의 생산원가 절감으로 소비자에게 국내산 농산물을 저렴하게 공급 가능
- 최근 채소, 화훼류를 중심으로 수출 신장세가 뚜렷해지고 있으며, 앞으로 수입 개방화 물결에 따라 저가의 농산물이 증가할 것으로 판단되어 국내 농산물의 가격 경쟁력 확보가 필요함

제 3절 연구개발의 내용 및 범위

1. 주관연구기관 (제1세부) (농업부산물 펠릿 연소용 고효율 보일러 개발)

가. 농업부산물 펠릿제조를 위한 원료 건조시스템 개발

- 바이오매스 사이클릭 연소기술을 이용한 열원공급장치 개발
- 광학센서를 이용한 원료 자동수분측정시스템 개발
- 건조기 효율 향상을 위한 3pass형 드럼건조기 개발

나. 시설원예용 고효율 중형급 펠릿 보일러 개발

- 연소방식별(하부투입, 상부투입, 버너방식등) 연소특성 분석

- 회분 함량이 높은 고체연료 연소시 슬래그(클링커) 방지 최소화 기술
- 열교환효율 증대를 위한 열교환기 설계, 제작(효율 85% 이상)
- 높은 비율의 연소와 Ash성분을 고려한 열교환기설계 및 내구성 향상기술 개발
- 청소가 용이한 자동재처리 장치개발
- 안정성이 향상된 역화방지 기술개발
- 대기오염 방지 시설인 사이클론 설계, 제작, 성능 분석
- 시설원예용 농업부산물 펠릿 보일러 시스템 제작도면 완성 및 시제품 제작
- 펠릿 보일러 설계 프로그램 개발
- 시설원에 현장 적용 실험 및 성능분석, 경제성분석(열효율, 연소상태, 가스성분, 손익분기점등)

2. 협동연구기관 (제1협동) (농업부산물을 이용한 중형급 펠릿 제조장치 개발)

- 연소특성 향상을 위한 농업부산물과 부재료의 혼합처리 장치개발(혼합방법 및 혼합비율 등)
- 농업부산물별 물리특성을 고려한 고효율 분쇄기 개발(분쇄입도, 동력대비 분쇄량 등)
- 농업부산물별 최적 펠릿 생산을 위한 성형다이 개발
- 500kg/h 용량의 중형 펠릿 성형기 설계, 제작(농업부산물별 동력대비 생산량 분석)
- 펠릿 제조장치 제작 및 성능평가를 통한 농업부산물 펠릿 제조 최적 조건 구명

3. 협동연구기관 (제2협동) (농업부산물의 성형성과 연소효율 개선을 위한 전처리 기술개발)

- 활용 가능한 농업부산물(벼짚, 고춧대, 옥수수대, 물성 특성연구담뱃대 등)에 대한 물성, 열량, 가용물량 등 조사
- 농업부산물의 연소효율 개선을 위한 전처리 방법 및 효과구명
- 농업 부산물별 시험펠릿 및 물성연구(발열량, 내구성, 걸보기밀도, 성분분석 등)
- 농업부산물의 펠릿 제조를 위한 최적 조건 검토/수립
- 성능평가를 통한 연료별 특성구명 및 펠릿제조법 확립
- 농업부산물을 활용한 연료 공급을 위한 시설원에 현장적용 실험방안 검토/수립
- 시설원에 현장적용실험 및 경제성분석

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1절 농업부산물 펠릿 보일러

인구의 급속한 증가와 산업화로 급증한 화석에너지의 소비는 21세기에 들어서면서 한층 가속화되고 있다. 대부분의 에너지를 수입에 의존하고 있는 우리나라에서도 산업화에 따른 에너지 소비의 급증과 자동차 문화의 급격한 보급으로 휘발유나 경유와 같은 수송용 연료를 포함하는 화석 연료의 사용이 기하급수적으로 증가하고 있는 가운데 환경오염에 대한 해결 방안과 화석에너지의 고갈 가능성에 따른 유가의 불안정 및 기후변화 협약의 규제를 위한 대응으로 새로운 에너지원의 개발이 필요한 실정이다. 새로운 에너지원으로 태양열, 풍력, 조력, 바이오매스 등과 같은 신재생에너지는 과다한 초기 투자라는 장애요인에도 불구하고 여러 선진국에서 과감한 연구, 개발과 보급 정책 등을 추진해오고 있다 (European Bioenergy Network, 2006).

이러한 요구를 충족시킬 수 있는 신재생에너지 가운데 바이오매스를 이용하여 열 또는 전기를 생산하는 고체 바이오연료가 관심을 받기 시작하여 1990년대 후반부터 괄목한 성장을 거듭하고 있으며, 그 수요는 폭발적으로 늘 것으로 예상되고 있다. 현재 고체 바이오연료 시장은 대부분 목재칩이 차지하고 있다.

한편 목재칩은 간단히 제조할 수 있다는 장점이 있는 반면 고함수율 상태로 오랜 기간 저장할 경우 열량 손실이 매우 크며, 연료 공급 측면에 있어서 벌채 시기와 밀접한 관련성으로 계절적 제한과 저장 및 운송의 문제점을 가지고 있다 (한규성, 2006). 이러한 문제점을 극복할 수 있는 방안으로 펠릿과 같이 밀도가 높은 고체 바이오연료에 대한 연구와 상용화가 북미 및 유럽에서 활발히 진행되고 있다. 예를 들면 목재를 원료로 제조한 펠릿은 최근 북미나 유럽에서 가정용의 자동화된 난로나 보일러 연료로 사용되고 있으며, 북유럽에서는 열병합발전소의 연료로도 많이 이용되고 있는 실정이다 (European Bioenergy Network, 2006). 국내에서 펠릿의 사용은 2002년 캐나다로부터 소량의 펠릿과 펠릿난로가 수입되어 사용되기 시작한 이래, 2004년 (주)건조기술과 2008년 산림조합 중앙회에서 목질 펠릿을 직접 제조하기 시작하였으며, 그 양은 2008년 현재 약 30,000톤 정도로 추산되고 있다 (류 등, 2010). 펠릿과 관련된 국내 기술은 한 등(2002)과 한 등(2003)에 의해 목질계 바이오매스로부터 고체 바이오연료를 제조하는 기술을 개발하기 시작한 이래, 제조분야와 활용분야로 나뉘어 기술 개발이 진행되고 있다 (한과 여, 2003; 한과 최, 2002). 국내에서 펠릿 제조에 소요되는 비용 가운데 50% 정도가 원재료비에 해당되고, 30-40%가 원재료의 건조공정에 소요되는 관계로 (권 등, 2009), 건조공정의 효율 향

상에 따른 비용 절감의 효과가 크기 때문에 이에 대한 개발 요구가 가장 많이 집중되고 있다. 한편 활용분야에서는 보일러의 열효율 향상이 주요 목표로서 최근에는 펠릿을 이용하는 고효율의 열병합발전시스템 개발이 주요 대상이 되고 있다 .

국내 시설재배 난방연료의 92%가 유류를 사용하고 있으며, 시설원에 작목의 경영비중 난방 비용 비율이 20~58%로 절대적 영향을 미치고 있어 이에 대한 개선이 시급한 실정으로, 이에 대한 대책으로 펠릿보일러가 국내에 2008년부터 공·사립 5개 휴양림에 목재펠릿 보일러 24대 시범사업을 시작으로 30여개 가정용 목재펠릿 보일러 업체에서 2009년에 3천대를 보급하였으나 낮은 열효율과 잦은 고장으로 소비자 불만이 높고 열효율이 65~70% 수준으로 연료소비량이 너무 많아 연료절감 효과가 낮은 것으로 조사되었으나 최근 열효율 및 기구적으로 안정화 되는 추세이며, 농업부산물 펠릿 연소에 최적화된 보일러는 국내에 아직 개발, 보급되지 않았으며 시설원예용 고효율 보일러 개발시 시장이 형성될 것으로 조사되어 목재 펠릿의 보조장치로 사용하는 방안이 가능할 것으로 예상된다.

제 2절 농업부산물 펠릿 제조장치

목재펠릿연료제조에 소요되는 비용중 50% 정도가 원재료에 소요되며, 30~40%가 원재료의 건조공정에 소요되며 재료비용의 경우 절감에 한계가 있으나 건조공정의 경우 효율향상에 따른 비용절감의 효과가 크기 때문에 개발요구가 집중되고 있으며, 최근들어 원재료의 범위를 다양하게 확장시키면서, 재료의 혼합등을 통해 발열량을 극대화시키기 위한 펠릿제조기술들이 산업현장에서 등장하기 시작하고 있고 국내의 경우 '07년 D사가 에너지관리공단의 지원을 받아 목재펠릿제조를 위한 연구 후에 하나의 연속식 시스템으로 실증 사업을 하고 있고 '09년 여주 산림조합중앙에서 목재펠릿제조시설을 독일에서 들여와 설치 운영중이며, 화순에 SK임업, '10년 충북단양 및 경기양평의 산림조합, 충북청원의 신영이엔피등에서 미국 및 독일에서 시설을 들여와 설치 운용중이다.

국내 생산은 범용 펠릿 제조장치에 대한 수요가 적기 때문에 펠릿제조장치에 대한(사료용, 유기질 퇴비용) 국내 직접 생산업체가 1-2곳에 한정되어있으며, 미국, EU 또는 중국에서 펠릿 제조장치 완제품을 수입하거나, 반제품을 수입해 보강 하여 판매하는 실정으로 중형급 펠릿제조장치 개발로 수입 대체 방안이 가능할 것으로 예상된다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1절 농업부산물 펠릿 제조를 위한 원료건조시스템 개발

1. 농업부산물 펠릿 제조를 위한 원료 건조시스템 개발

(시설원예용 보일러 시장 조사)

(바이오매스 사이클릭 연소기술을 이용한 열원공급 장치 개발)

(고주파 센서를 이용한 원료 자동수분 측정시스템 개발)

(건조기 효율 향상을 위한 3pass형 드림건조기 설계)

가. 시설원예용 보일러 시장 조사

(1) 정부 정책

(가) 2010년 시설원예용 중대형 펠릿난방기 지원 시범사업 : 160ha, 120억원 예상

(나) 펠릿 연료 구입 부가세 감면 지원 검토

(다) 시설원예 유류 난방면적(12,200ha)의 25%(3,000ha)에 펠릿 난방기 보급

→ 12,500~15,000대 규모(200,000kcal/h, 700평 기준)

(2) 시장 현황

(가) 펠릿보일러(난방기) 농공부 검사완료업체 : 두성외 7개 업체 10개 제품(온풍기6개, 보일러4개)

(나) 고유가, 면세유 지급 규제 및 중단에 따른 생산비 증가 우려 - 대체 연료 대안이 없어
병커C유, 전기온수, 지열 등 시범지원 사업 의존

(다) 대부분 시설 농가 2~3년 전부터 연탄, 갈탄 등 여러 종류의 대체연료 보일러(난방기)
사용하였으나 사용상 불편함과 성능 문제로 미사용(기존 배관 설비 이용 전기 온수
난방 전환, 부족한 열량은 기존 경유 온풍 난방기와 보온덮개로 보충)

(라) 대체연료 난방기에 대한 신뢰성 없음(연탄, 갈탄, 목재, RDF, 전기 온풍 등)

(마) 고온성 작물에서 저온성 작물 대체 농가 증가 (오이, 고추→토마토, 채소, 딸기)

(바) 유가(면세유) 1,000원/ℓ 까지는 현재 유류 난방기 사용 추세(성능, 편리성)

(사) 연료비 절감을 위한 병커C유(750원/ℓ) 난방기, 전기 온수(60~100kw/h)설치

-경남 창녕, 밀양, 진주 지역 (태광 대리점 중유 난방기 '09년 200~300대 공급)

(아) 난방기 교체시기 농가 : 펠릿 난방기 관심 높으나 연료 공급, 난방기의 편리성, A/S등
우려 (보조금 지급 및 시범 공급으로 성능 입증 확인 요구)

(3) 시설원예 연료별 경제성 비교

시설 기준 : 면적 800평, 난방용량 300,000kcal/h

(2010년. 7월 기준)

종 류	경유(면세)	중유	전기	목질펠릿	PKS(팜)	비고
연료열량	8,700kcal/ℓ	9,550kcal/ℓ	860kcal/kw	4,000kcal/kg	4,800kcal/kg	저위발열량 기준
연료가격	1,030원/ℓ (‘10.12.20)	710원/ℓ	40원/kw	350원/kg	300원/Kg	
					275원/kg	
					250원/kg	
난방기효율	86%	86%	90%이상	85%	74.3%	형식검정 기준
연간소비량	60,144 ℓ	54,791 ℓ	581,395kw	123,119kg	126,178kg	1일 10시간 5개월(150 일기준)
실제소비량	41,081 ℓ	37,555 ℓ	417,200kw *	84,090kg	86,180kg	농촌경제연구소
연간연료비	42,313천원	26,664천원	16,688천원	29,432천원	25,854천원	(중유 대비)
					23,700천원	
					21,545천원	
연간절감액	기준	6,612천원	16,588천원	**12,881천원	7,692천원	▼1,080천원
					9,576천원	▼2,965천원
					11,731천원	▼5,119천원
경유대비	100%	80.1%	50.2%	69.5%	77.7%	▼3.0%
					71.2%	▼11.1%
					64.7%	▼19.2%

** 펠릿 연료 경유(면세유) 대비 약 31.0% 절감 12,881천원/년간 절감

(4) 시장규모

(가) 시설 원예 난방 설비 현황

- 시설 원예 재배 면적 총 52,000ha 중 난방설비 재배면적 약 25%인 12,900ha

※ 2008.12.30일 기준(농업 연감)

연 료	유 류	석탄, 연탄	목재(폐목)	기 타	비 고
비 율	94%	3%	0.2%	2.8%	

(5) 농업용 펠릿난방기 시장규모 추정

(가) 경남, 충남, 20개 농가 방문 조사 결과(난방시설 원예 농가)

- 평균재배면적:(500평 이하 1%미만, 500~1,000평 4%, 1,000평~2000평 90%)

(나) 시장규모 추정

- 시설원예 난방 총면적(ha) × 유류 난방기 사용 (94%) × 500평 이상(94%) × 전환비율(25%)
= 13,000 × 0.94 × 0.94 × 0.25
= 2,800~3,500대 (700억 ~ 875억) : 200,000kcal/h용 기준
- 유류난방 면적의 20% 인 2,500ha 에 보급 전망(국정감사, 농민신문) -15,000대
- 2010년 펠릿 난방기 120억원(160ha) 지원 계획(농식품부)
- 대체 연료 난방기 보급 연간 300~400대 시장 예상
- 80억/년 시장 규모 형성 예상(농림부 녹색정책 지원 사업 일환)

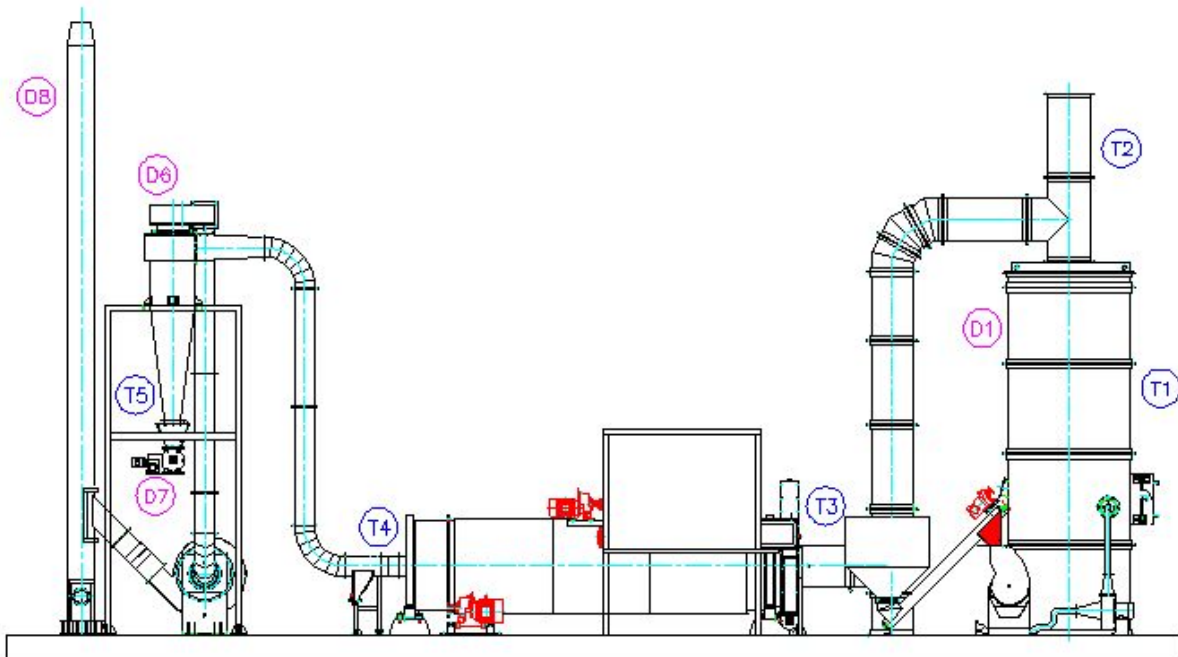
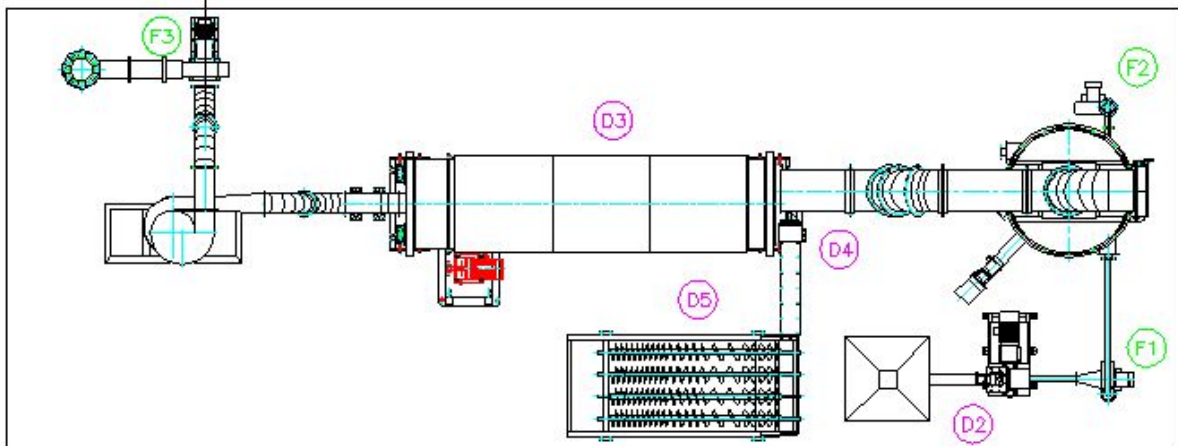
(6) 기타 조사사항

- 면세유 지급 제한이나 중지에 대한 정부 계획 대다수가 모름
- 농민 대기오염 배출가스 규제 관심 없음
- 대체 연료에 대한 안정성, 신뢰 부족(교체 의지는 있으나 보조금 및 안정성 확보 요구)

(7) 결 론

- 정부 정책이 활발하고, 시장에서도 공급가격, 공급체계, 기계의 안정성등이 확보된다면 충분한 시장형성이 가능함

나. 건조시스템 Layout



건조시스템 주요명칭 및 규격

품 번	명 칭	규 격	수 량	비 고
D1	연소로	168,000kcal/hr	1 SET	
D2	원료이송 스크류	50.0kg/hr, 0.4kW	1 SET	
D3	드럼 건조기	3.7kW	1 SET	
D4	원료이송 스크류	0.75kW	1 SET	
D5	원료 탱크	1.5kW	1 SET	
D6	싸이클론	1단 싸이클론	1 SET	
D7	로터리 밸브	1HP	1 SET	
D8	연도		1 SET	
F1	원료이송 Fan	0.75kW	1 SET	
F2	연소 Fan	0.75kW	1 SET	
F3	I.D Fan	30m ³ /min, 1.5kW	1 SET	
T1	연소로 온도	CA센서	2 EA	
T2	배기가스온도	CA센서	1 EA	
T3	건조기 Inlet온도	CA센서	2 EA	
T4	건조기 Outlet온도	CA센서	2 EA	
T5	수분측정기		1 EA	

다. 건조시스템 주요사양




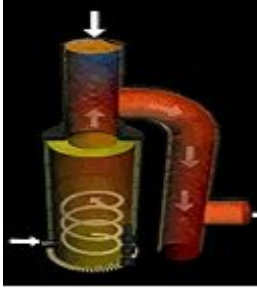

구 분		SBRD-500A	비 고
함 수 율	초기함수율(%W.B)	30	
	완료함수율(%W.B)	12	
건조능력	습톱밥 투입량(kg/h)	669	
	건톱밥 투입량(kg/h)	532	
연 소 로	필요열량(kcal/h)	168,000	
	직경 x 길이(mm)	1,260 x 3,806	
	연소방식	Cyclonic Combustion	
	Combustion Air Fan	0.75kW, 205mmAq, 27 m ³ /min	
	착화버너	건타입 4.5G/h	175,080kcal/h
건 조 기	직경 x 길이(mm)	914 x 3,656	
원 료 투입부	탱크용량	1.6m ³ (0.25시간)	
	이송방법	스크류 이송	
	원료투입방법	수 동(상부 톤백 투입)	탱크→스크류→건조기
연 료 투입부	탱크용량	0.6m ³ (3.6시간)	
	Fuel Feed Fan	0.75kW, 205mmAq, 27 m ³ /min	인버터 부착(풍량 조절용)
	이송방법	공기 이송	
	연료투입방법	수 동(상부 톤백투입)	
부대장치	Induced Draft Fan	1.5kW, 100mmAq, 30.0m ³ /min	인버터 부착(풍량 조절용)
	건톱밥 이송방법	수동(상부 톤백 투입)	
	수분측정시스템	접촉식 적외선 감지(M-2)	독 일
	사이클론	1단	로터리밸브 부착
	Cool Gas Duct	φ200	
	Hot Gas Duct	φ430	내경기준, 케스타블 두께 50mm
	Stack	φ267	
	Seperator	부 착	
	정.역스크류, 화재방지	없 음	

라. 건조시스템 세부설계내역

(1) 연소로 사양

(가) 사양분석

① 타사분석

사양		제조사	A사(미국)	B사(일본)	C사(한국)
연소장치	외부				
	내부				-
본체			Ø2.0m×높이 4.11m	Ø1.2m×높이 2.5m	3m×1.1m×2.5m(추정)
연소용량			1,260,000kcal/hr	300,000kcal/hr	300,000kcal/hr
사용연료			톱밥	톱밥	펠릿
점화장치			LPG 자동점화	석유 자동점화	자동점화장치
연료투입			전자동	반자동	반자동
재처리			수동	수동	-

② 분석결과

- 회분 함량이 높은 농업부산물을 원료 사용이 가능할 것으로 판단되는 사이클릭 연소 장치를 기본원리로 하여 다른 구조의 장점을 취합하여 개념 설계

(나) 사양 및 사이징분석

구 분	SBRD-500A	타사분석	비 고
필요열량(kcal/h)	168,000	1,260,000	
연소로체적(m ³)	1.55	11.6	
내 경(mm)	838	1,636	
외 경(mm)	1,260	2,058	• 벽돌두께=422mm(211*2)
높 이(mm)	2,805	5,522	
총높이(mm)	3,700	-	• 자동제처리 높이 =895mm포함

(1) 건조기 사양

(가) 사양분석

① 타사분석

제조사 사 양		A사(미국)	B사(일본)	C사(한국)
드럼 형식		3 PASS	1 PASS	1 PASS
건조 장치	외 부			
	내 부	-		
건조기 크기		Ø1.83m×길이 7.32m	Ø1.3m×길이 8.1m	Ø1.0m×길이 13m
건 조 용 량		2,000kg/hr	800kg/hr	1,000kg/hr
내 부 체 적		19.3m ³	10.8m ³	10.2m ³
인입/배출온도		427℃/83℃	429℃/59℃	-
송 풍 기		22.5kw, 114m ³ /min, 387mmAq	15kw, 100m ³ /min, 387mmAq	7.5kw, 120m ³ /min, 200mmAq
드럼 회전수		고 정(8~12rpm)	가변 (0.6~5.8rpm) 인버터 제어)	고 정

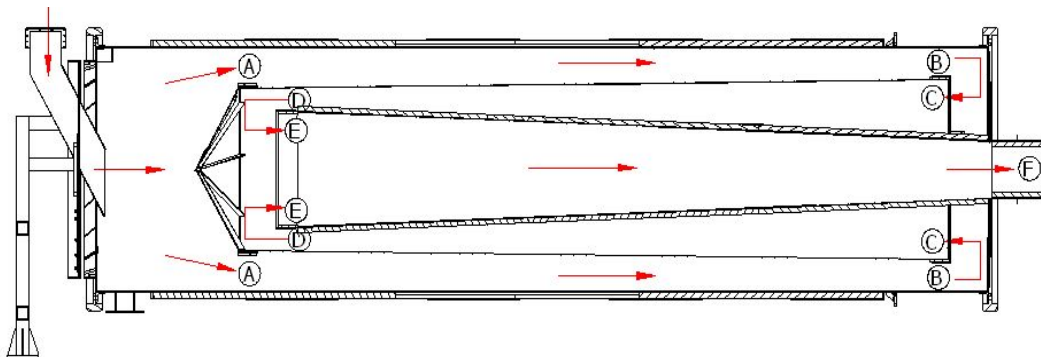
② 분석결과

- 대용량의 건조방식으로는 드럼형식의 타입이 대부분으로 건조효율을 높이기 위해 내부형식을 3pass 이상으로 하여 건조효율을 높일 수 있는 구조로 설계

(나) 사양 및 사이징 분석

구 분	SBRD-500A	타사분석	비 고
필요열량(kcal/h)	168,000	504,000	
제거수분량(kg/h)	137	261	
건조온도(℃)	370	370	
직 경(mm)	914	1,220	• 철판사이즈 감안
길 이(mm)	3,656	4,880	
내부체적(m ³)	2.4	5.7	

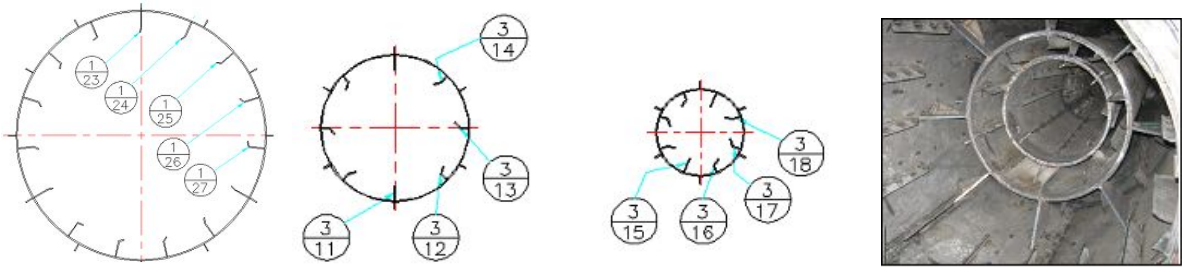
(다) 건조기 내부 사이즈분석



구 분	설 계 기 준	비 고	
1pass	A	• 아그로의 종말풍속 감안하여 1.2m/s 이상	
	B	• A 구간의 풍속과 유사하거나 약간 강하게 (건조기 내부 체류시간 감안 설계)	
2pass	C	• B 구간의 풍속과 유사하거나 약간 강하게 (건조기 내부 체류시간 감안 설계)	
	D	• 완만한 풍속증가를 통한 효율증가(D>B)	
3pass	E	• D 구간의 풍속과 유사하거나 약간 강하게 하여 건조효율 증대	
	F	• 배출구 풍속	

(라) 회전날개 안내가이드 설계내역

- 안내가이드 날개각도 조절을 통한 열효율 증대 → 직경에 따른 날개각도 조절



(3) Duct 사이즈 분석

(가) Duct 사양

구 분	Cool Gas Duct (mm)	Hot Gas Duct(mm), 케스타블 두께포함	Stack Gas Duct (mm)
SBRD-500A	200	430	270
타사분석	432	762	610

(나) Cool Gas Duct 사이즈 분석

① Factor

구 분	SBRD-500A	타사분석	비 고
필요열량(kcal/h)	168,000	1,260,000	
송 풍 량(m ³ /min)	28.8	184	
제거 수분량(kg)	137	883	

- 건조기 생산성 및 설계안전율을 감안하여 200mm

(다) Hot Gas Duct 사이즈 분석

① Factor

구 분	SBRD-500A	타사분석	비 고
필요열량(kcal/h)	168,000	1,260,000	
송 풍 량(m ³ /min)	28.8	184	
제거 수분량(kg)	137	883	

- ② Stack 설계 탄소강관 KS규격을 고려하여 (10.5인치) = 267mm (250A)

(4) 사이클론 설계내역

(가) 제거수분량에 따른 Duct 직경산출

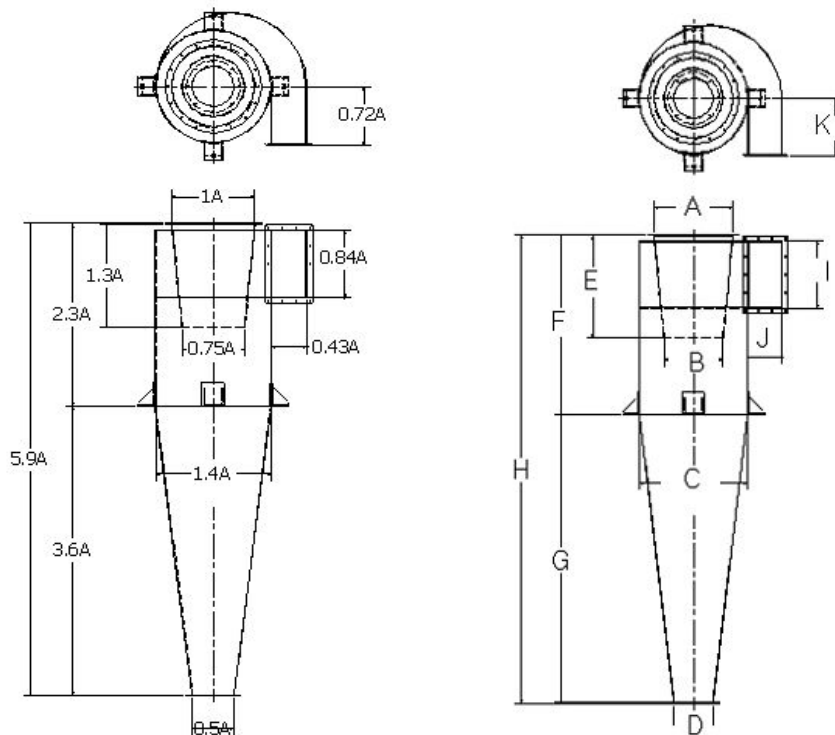
① Factor

구 분	제거수분량		토출직경		비 고
	제거량(kg)	비율	직경(mm)	비율	
SBRD-500A	137	15.5%	325	45.6%	
타사분석	883	21.6%	711	63.6%	

② 비율 산정 = $\frac{63.6\% \times 15.5\%}{21.6\%} = 45.6\%$

③ 직경(A) 산출 = $45.6\% \times 711 = 325$

④ 사이클론 직경유추

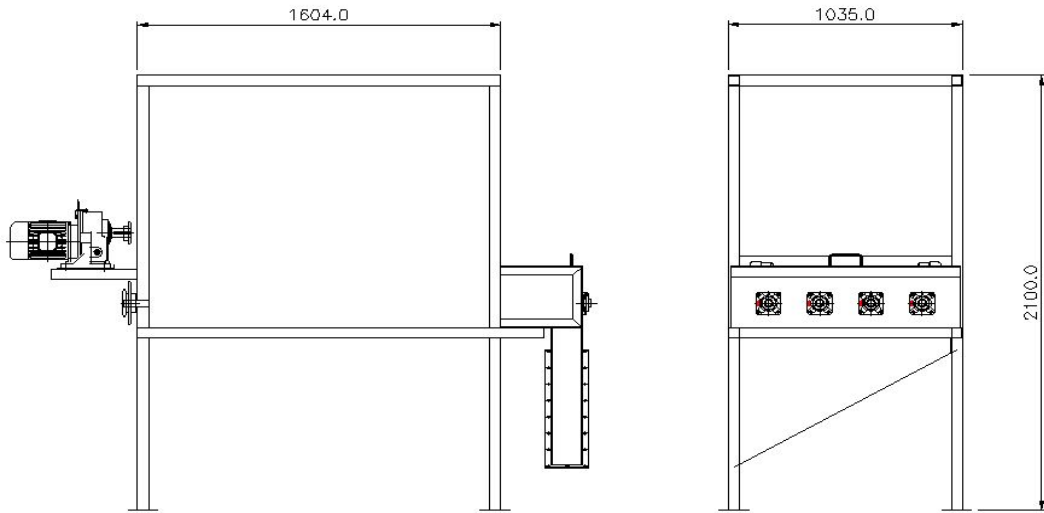


⑤ 사이클론 직경산출

구 분	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
직 경(mm)	325	245	455	160	425	750	1,170	1,920	270	140	235

(5) 원료이송라인 설계내역

(가) 원료탱크



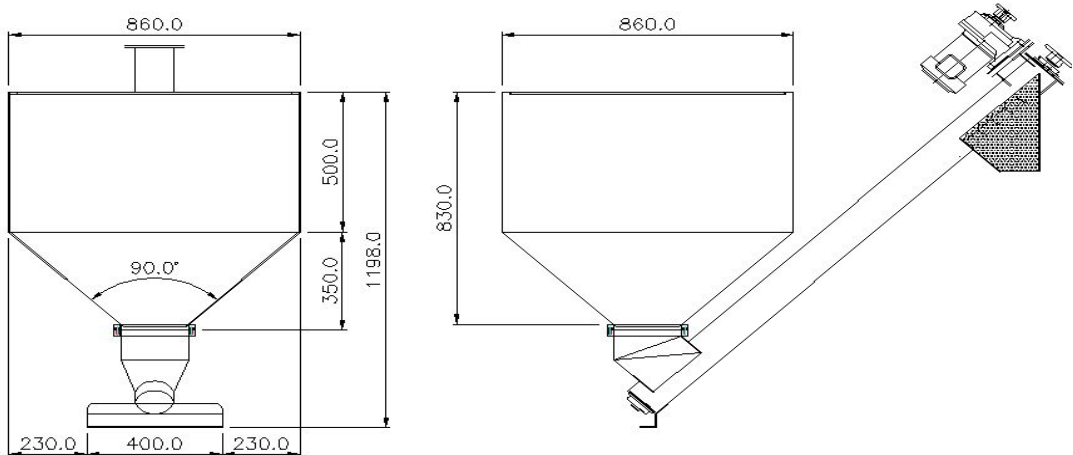
구 분	세부사양	비 고
연소로체적(m ³)	1.6	산물밀도 210kg/m ³
가로 x 세로(mm)	900 x 1,500	스크류 4EA
높 이(mm)	1,214	-
총 높이(mm)	2,100	지게차 원료투입 높이 감안
모터사양	1.5kW, 1/120(감속비)	인버터 속도제어

(나) 원료이송 스크류

구 분	스크류외경(Φ)	파이프직경(Φ)	스크류피치(mm)	축회전수(rpm)	감속비	이송량(kg/h)
60Hz	110.0	34.0	120.0	57.6	1/30	748

(6) 원료이송라인 설계내역

(가) 연료탱크



구 분	세부사양	비 고
연소로체적(m ³)	0.6	산물밀도 210kg/m ³
가로 x 세로(mm)	858x858	스크류 4EA
높 이(mm)	836	
총높이(mm)	1,385	지게차 원료투입 높이 감안
모터사양	0.4kW, 1/36(감속비)	인버터 속도제어

(나) 재처리시설

구 분	스크류외경(Φ)	파이프직경(Φ)	스크류피치(mm)	회전수(rpm)	감속비	이송량(kg/h)
60Hz	102.0	34.0	51.0	57.6	1/30	269

(7) FAN 설계내역

(가) ID Fan

① Factor

구 분	SBRD-500A	비 고
송 풍 량(m ³ /min)	28.8	1kg수분제거 송풍량 = 0.21CMM/kg (건조시설 자문 및 실험 0.2~0.24)
제거 수분량(kg)	137	

② 필요송풍량 : 0.21 x 137(제거 수분량) = 28.8CMM

$$③ Pt = \frac{4,500 \times Fan \text{ 효율}(0.6) \times \text{모터용량}(Hp)}{\text{송풍량}(m^3/min) \times \text{안전율}(1.5)}$$

(안전율 1.5 : 건조물인 아그로 종류에 따른 인버터 가변제어용)

④ 모터산정 : 2.0Hp 선정(업체자문)

$$⑤ Pt = \frac{4,500 \times 0.6 \times 2}{30 \times 1.5} = 120mmAq$$

⑥ 120mmAq, 30.0m³/min, 2.0Hp로 선정(인버터 가변제어)

(나) Fuel Feed, Combustion Air Fan

① Factor

구 분	SBRD-500A	비 고
통과풍속(m/s)	25.4	• 호그, 펠릿 연소로 이송 적정풍속
덕트직경(mm)	∅56	
풍 량(m³/min)	3.8	

② 필요송풍량(Q) = A x V = 3.8CMM

③ 약 205mmAq(최대압력)

$$④ Hp = \frac{\text{송풍량} \times \text{안전율}(1.5) \times \text{정압}(mmAq)}{4,500 \times fan\text{효율}(0.6)} = \frac{3.8 \times 1.5 \times 200}{4,500 \times 0.6} = 0.4$$

(안전율 1.5 : 건조물인 아그로 종류에 따른 여유율 높임)

⑤ Fuel Feed Fan은 연료이송용으로 풍량 고정, Combustion Air Fan은 과잉공기 조절용으로 인버터 가변제어

⑥ 200mmAq, 3.8m³/min, 1.0Hp로 선정(인버터 가변제어)

(8) 버너 설계내역

(가) Factor

구 분	SBRD-500A	비 고
필요열량(kcal/kg)	168,000	

(나) 버너제어 방법

구 분	노 즐 (G)	펌프압(kg/cm²)	토출량(ℓ/h)	온도상승폭(℃)
1단	4.5	9	21.3	337
off	0	0	0	0

마. 건조시스템 구성내역

(1) 주요부 세부사양

구 분	항 목	사 양	목 적
FAN	ID Fan(인버터)	1.5kW, 100mmAq, 30m ³ /min	• 원료건조용 풍량(인버터 제어)
	연료이송 Fan	0.75kW, 205mmAq, 27 m ³ /min	• 연료이송 및 1차 연소풍량
	연소 Fan(인버터)	1Hp, 205mmAq, 27m ³ /min	• 2차 연소풍량(인버터 제어)
모 터	Drive(인버터)	3.7kW, 1/30, 58rpm	• 건조기 구동(인버터 제어)
	원료탱크(인버터)	1.5kW, 1/120, 15rpm	• 원료탱크 이송스크류(인버터 제어)
	원료이송	0.75kW, 1/30, 58rpm	• 원료오거 이송스크류
	연료이송(인버터)	0.4kW, 1/90, 19rpm	• 연료이송 스크류 (인버터 제어)
	자동재처리	0.4kW, 1/30, 58rpm	• 연소후 재처리 이송
	로타리	0.4kW	• 원료배출용
버 너	건 타 입	0.25kW, G30, 4.5gal	• 연소로 착화 on / off제어
온 도	연소로	T1	• 연소로 온도(컴퓨터 Display용)
		T2	• 연소로 온도(PLC)
		T3	• 배기가스 온도(컴퓨터, Display 용)
	Dry inlet	T4	• 건조기 인입온도(컴퓨터, Display 용)
		T5	• 건조기 인입온도(PLC)
	Dry outlet	T6	• 건조기 배출온도(컴퓨터, Display 용)
		T7	• 건조기 배출온도(PLC)
레벨센서	사이클론용	호퍼감지	• 원료 감지 로타리 밸브 제어
수분센서	Vertex	수분측정	• 실시간 측정, 현재, 평균값 표시

(2) 주요부 설치사진

(가) 전체 설치전경



(나) 제어부

<p>구 성</p>	<p>PLC 판넬</p>	<p>제어 디스플레이</p>

(다) 각종 모터류

<p>Drive</p>	<p>원료탱크</p>	<p>원료이송</p>	<p>연료이송</p>	<p>자동재처리</p>	<p>로타리</p>

(라) 각종 팬

<p>ID Fan</p>	<p>연료이송 Fan</p>	<p>연소 Fan</p>	<p>버너팬</p>

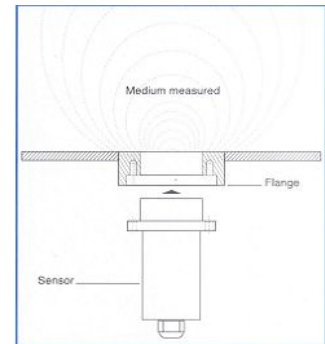
(마) 각종 센서류



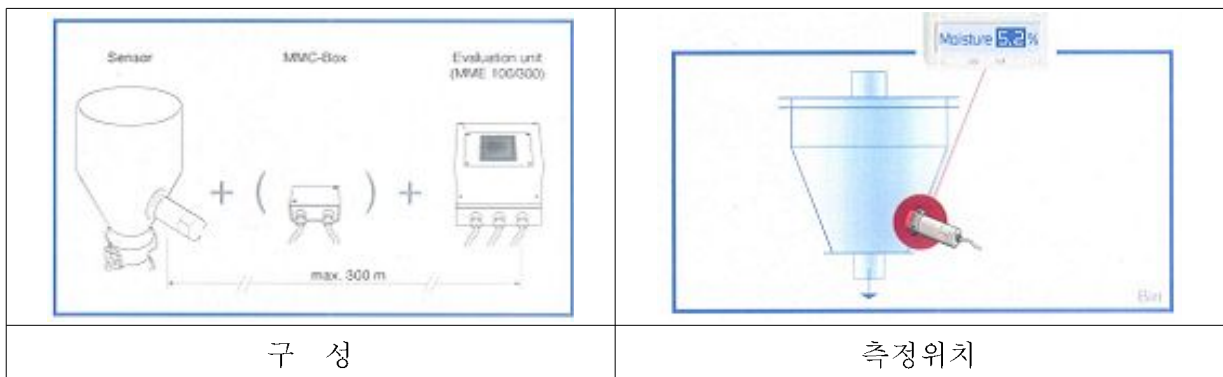
바. 고주파 센서를 이용한 수분측정 시스템

(1) 측정원리

구분 항목	고주파 방법
원 리	· 곡물의 함수율에 따라 유전율이 달라짐
장 점	· 비파괴적 신속측정 · 광범위(0~99%) 함수율 측정 · 환경오차에 대한 대응 용이
단 점	· 기계적 오차가 큼(밀도보정, 노이즈등에 의한 오차) · 이물질동시 측정에 의한 오차 발생 · 기술적 애로
기술정도	· 기술력 미확보로 독자개발의 어려움
용 도	· 비파괴 측정으로 곡물, 목재, 토양등에 적용
필요기술	· 원료의 물성, 전기, 전자, 주파수, 통계학등






(2) 구성 및 측정위치



(3) 측정방법

- 사이클론으로 포집된 바이오 원료를 센서를 이용하여 일정량 이상의 양이 포집되었을 경우 수분측정

(4) 설치사진

		
설 치	내 부	제어부

사. 건조시스템 실험내역 및 결과

(1) 기초실험

(가) 베이크아웃

- ① 목 적 : 연소로 내부 케스타블 건조(습기제거), 급격한 건조시 깨짐 방지
- ② 방 법 : 100℃(1시간) → 200℃(1시간) → 1시간 단위 온도상승 → 1,100℃까지 → 1,100℃에서 2시간 유지, 버너 on, off로 제어

③ 관련사진

		
연소로 케스타블	진행중 수분탈각	완료후 사진

(나) 구동부 기초실험

① ID FAN

- 실험조건 : 주파수 변경에 따른 기초실험
- 사 양

전 원	전 력(kW)	전 류(A)	효 율(%)	정 압(mmAq)	풍 량(CMM)
3Ø 220V	1.5	6.3	84	100	30

• 실험결과

주파수(Hz)	내 경(mm)	통과풍속(m/s)	정 압(mmAq)	풍 량(CMM)	전 류(A)
60	200	14.6	128	27.5	4.3
70	200	16.6	156	31.3	5.5
75	200	17.8	217	33.6	6.6

※ 세퍼레이터 간격 : 34mm

② Drum Dryer

- 실험조건 : 주파수 변경에 따른 기초실험
- 사 양

전 원	전 력(kW)	전 류(A)	정 압(mmAq)	풍 량(CMM)	비 고
3∅ 220V	3.7	14.2	100	30	

- 실험결과
 → 60Hz일 경우 7.3rpm
 → 왕겨(수분 10%) 건조기 통과시간 : 6분(기존 5톤 설비 배출시간 15~25분)

③ 연소팬(CAF)

- 실험조건 : 주파수 변경에 따른 기초실험
- 사 양

전 원	전 력(kW)	전 류(A)	정 압(mmAq)	풍 량(CMM)	비 고
3∅ 220V	0.75	3.0	205	27	

- 실험결과

주파수(Hz)	단면적		통과풍속(m/s)	정압(mmAq)	풍량(CMM)	전 류(A)
	가로(mm)	폭(mm)				
20	95.4	45.4	11.0	14	2.9	0.8
30	95.4	45.4	17.0	29	4.4	0.9
40	95.4	45.4	23.0	51	6.0	1.2
50	95.4	45.4	29.0	78	7.5	1.6
60	95.4	45.4	34.0	110	8.8	2.2
70	95.4	45.4	40.0	141	10.4	3.1

④ 연료이송팬(FFF)

- 실험조건 : 주파수 변경에 따른 기초실험
- 사 양

전 원	전 력(kW)	전 류(A)	정 압(mmAq)	풍 량(CMM)	비 고
3∅ 220V	0.75	3.0	205	27	

• 실험결과

흡입구	내 경(mm)	통과풍속(m/s)	정 압(mmAq)	풍 량(CMM)	전 류(A)
만개	56	39	100	5.8	1.5
밀폐	56	26	153	3.8	1.4

⑤ 버너팬

- 실험조건 : 무부하 상태(대기)에서 풍량실험
- 사 양

전 원	전 력(kW)	점화방식	연 료	비 고
1Ø 220V	0.25	트랜스	등 유	

• 실험결과

흡입구	내 경(mm)	통과풍속(m/s)	풍 량(CMM)	비 고
3.5단	100	9	4.2	

⑥ Hot 덕트 통과풍속 측정

- 실험조건 : ID fan(75Hz), FFF, 버너팬 on
- 풍속 측정방법 : 온도센서 홀 이용 풍속법에 의한 측정(10곳)
- 실험결과

구 분	내 경(mm)	통과풍속(m/s)	풍 량(CMM)	비 고
사 양	330	3.64	18.7	

⑦ 풍량측정사진

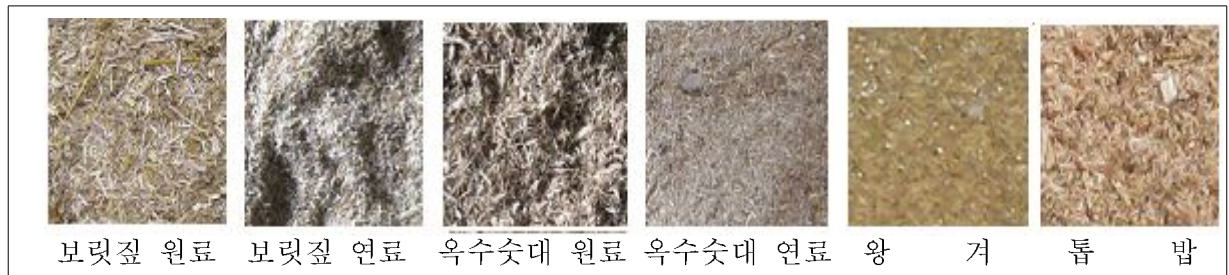
		
버너팬 풍량측정	Hot 덕트 통과풍량	ID FAN 풍량측정

(다) 실험재료 산물밀도

① 산물밀도

구 분		수분	무게(kg)	체적(m³)	산물밀도(kg/m³)	비 고
보릿대	4~10mm	10.8%	1.906	0.02200	87	원료용
	4mm 이하	10.5%	3.4	0.02200	155	연료용
옥수수대	4~10mm	24.2%	2.828	0.02200	129	원료용
	4mm 이하	22.3%	4.012	0.02200	182	연료용
왕 겨	6.5~7.0mm	10.2%	2.54	0.022	115	“
톱 밥	6~10mm	33.0%	1.5	0.00547	274	“

② 관련사진



(라) 연소로실험

① 실험내역

- 왕겨 팬 공기량에 따른 연소상태
- 왕겨 연소시 재발생량

② 기초실험

- 팬 풍량

구 분	버너팬	연료이송팬		연소팬		ID FAN (75Hz)
		밀 폐	만 개	30Hz	60Hz	
풍 량(m³/min)	4.2	3.8	5.8	4.4	8.8	33.6

• 연소상태 및 재발생량

구 분		1차실험	2차실험	비 고
가동 조건	투입량(kg)	50(20Hz)	50(25Hz)	연료이송 스크류
	연소풍량(m ³ /min)	10.0	8.0	
	과잉공기량(%)	400	210	이론공기량 3.79 m ³ /kg
연소 결과	연소로 내부(℃)	400	430	외기온도 : 20℃
	연소상태	불안정함(온도낮음)	안정적임(온도높음)	
	매연발생	5	3	
	재발생량(kg)	5.5	4.8	회분 10.9%

③ 결과분석

- 2차 실험조건 시 매연발생이 적고, 연소상태가 비교적 안정적인 것으로 판단됨
- 왕겨 회분은 약 10.9%로 4.8kg 포집되었으며, 0.65kg은 내부체류, 스탁으로 배출됨
- 왕겨의 크기가 6.5~7.0mm로 재가 연소로 바닥에 크랭크 형태로 쌓임

④ 실험사진



(마) 1차 건조실험

- ① 실험내역 : 옥수수대, 톱밥을 이용한 건조실험
- ② 실험조건 및 결과

구 분		옥수숫대	톱 밥	비 고
실험 조건	원료투입량(kg)	554	500	
	F.F.Fan(만개, 밀폐)	만 개	75% 밀폐	
	C.A.Fan(Hz)	off	off-	
	원료투입(Hz)	25(282kg/h)	20(457kg/h)	
	건 조 기(Hz)	60	60	
	ID Fan(Hz)	75	75	
	초기수분	24.2%	33.0%	
	외기조건	20℃	22℃	
연소 결과	원료배출량(kg)	-	377	
	완료 수분(%)	-	11.2	
	연소로 내부온도(℃)	-	450	
	건조기 입구온도(℃)	-	285	
	건조기 출구온도(℃)	-	42	

③ 결과분석

- 옥수숫대 원료(직경 4~10mm 투입속도를 25Hz로 투입시 사이클론 및 로터리 벨브의 용량을 초과하여 스택으로 분진되어 날림
- 톱밥 원료(6~10mm) 투입시 투입속도를 20Hz로 투입시 사이클론으로 양호하게 배출됨

④ 실험사진



(바) 2차 건조실험

① 실험내역

- 보릿짚, 옥수숫대의 최적 건조조건 실험

② 실험조건 및 결과

구 분		보릿짚	옥수수대	비 고
실험 조건	F.F.Fan(만개, 밀폐)	75% 밀폐	75% 밀폐	
	C.A.Fan(Hz)	off	off	
	원료투입(Hz)	12	12	
	건 조 기(Hz)	50	50	
	ID Fan(Hz)	70	70	
	외기조건	22℃	24℃	
	초기수분	42.2%	38.7%	
연소 결과	완료수분	7.1%	8.2%	
	연소로 내부온도(℃)	478	505	
	건조기 입구온도(℃)	265	270	
	건조기 출구온도(℃)	72	67	

③ 결과분석

- 옥수수대, 보릿짚 원료(직경 4~10mm) 투입속도를 12Hz, 건조기 50Hz, ID Fan 70Hz로 투입시 사이클론으로 양호하게 배출됨
- 고수분에서 원료투입(원료탱크)시 브릿지 현상이 발생함

④ 결 론

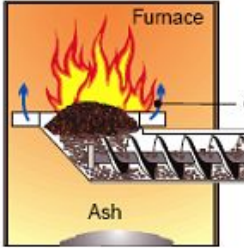
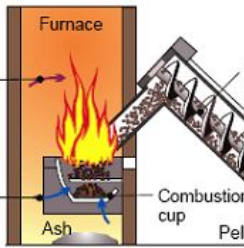
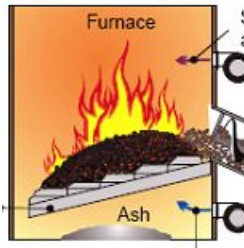

- 원료투입속도, 건조기 회전수, 송풍량 조절하며 농업부산물 원료 건조 가능함
- 건조용량 증가 및 고수분에서 건조하기 위해서는 사이클론, 로타리밸브 용량 증가등 일부 보완이 필요함

제 2절 농업부산물 펠릿 연소용 고효율 보일러 개발

1. 농업부산물에 최적화된 연소장치 개발

가. 연소방식별(하부, 상부투입, 버너방식등) 연소특성 분석

(1) 연소방식에 따른 분류

구 분	하부투입	상부투입	무빙 그레이드	버너방식
장점	<ul style="list-style-type: none"> • 균등한 연소풍량 분배로 연소효율 우수 	<ul style="list-style-type: none"> • 하부이송대비 구조가 간단 	<ul style="list-style-type: none"> • 대용량 구조에 적합 	<ul style="list-style-type: none"> • 구조가 간단하고 재처리가 용이
단점	<ul style="list-style-type: none"> • 상부투입방식 대비 구조복잡 	<ul style="list-style-type: none"> • 클링커 발생이 심함 	<ul style="list-style-type: none"> • 구조가 복잡하고 고가 	<ul style="list-style-type: none"> • 연소효율이 낮음
사 진				

(2) 하부투입방식

(가) 조사제품 : MB-50(일본)

(나) 연소방법 : 하부투입+클링커 방지 회전반+균등한 연소풍량 분배

(다) 재 처리 : 2회 / 월 실시

(라) 화덕타입의 연소로, 자동온도제어, 불씨유지 기능, 자동온도제어 기능등 안전장치 부착



(3) 상부투입 연소방식

(가) 조사제품 : KRP-25

(나) 연소방법 : 상부투입+하부 타공포트

(다) 클링커 및 재처리를 2~3회 / 주 실시 사용불편

(라) 1pass 및 열교환 파이프에 재 부착으로 열효율 저하



(4) 케도형 연소방식

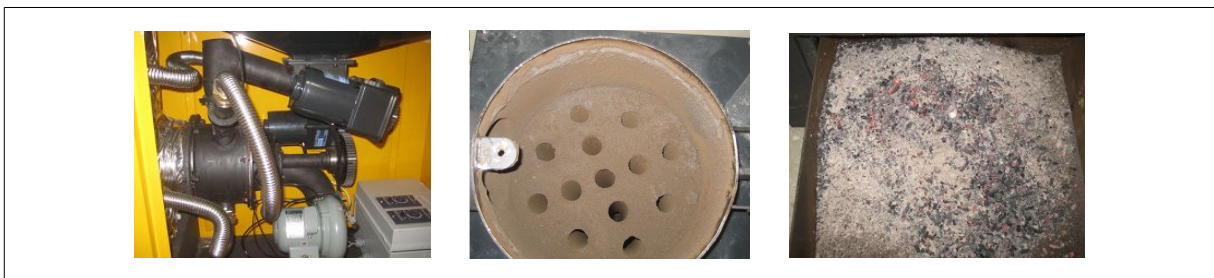
(가) 조사제품 : GV-30

- (나) 연소방법 : 케도형 로스톨+하부연소공기+연료측면투입
- (다) 연료투입, 재처리, 청소가 불편
- (라) 연소풍량 분배가 어려워 연소효율 낮음



(5) 버너방식

- (가) 조사제품 : P-20
- (나) 연소방법 : 회전형 버너+역화방지 연소공기+다방향 연소공기 공급
- (다) 재처리 간단, 연소효율 낮음
- (라) 1pass 및 열교환 파이프에 재 부착으로 열효율 저하



(6) 결 론

- (가) 중소형급 펠릿보일러에 있어 연소풍량 분배가 용이하고, 열량제어를 신속하고 용이하게 할수있는 하부투입 방식의 연소로가 가장 타당한 것으로 판단됨
- (나) 회분 성분이 높은 아그로펠릿 연소에 있어 클링커 발생 최소화 및 자동제거장치 고안, 부착이 용이한 하부투입방식 선정

나. Ash 함량이 높은 고체연료 연소시 슬래그 방지 최소화 기술개발

(1) 보릿짚, 왕겨 성분

구 분	홀로셀룰로오스(%)	리그닌(%)	회분(%)
보릿짚	70.07	17.80	7.66
왕 겨	65.21	27.0	10.87

(2) 보릿짚, 왕겨 펠릿 연소실험

- (가) 보릿짚 펠릿

① 연소사진



② 연소결과

- 몽침 현상으로 연료공급, 흐름 방해하여 연소면적 감소

(나) 왕겨펠릿

① 연소사진



② 연소결과

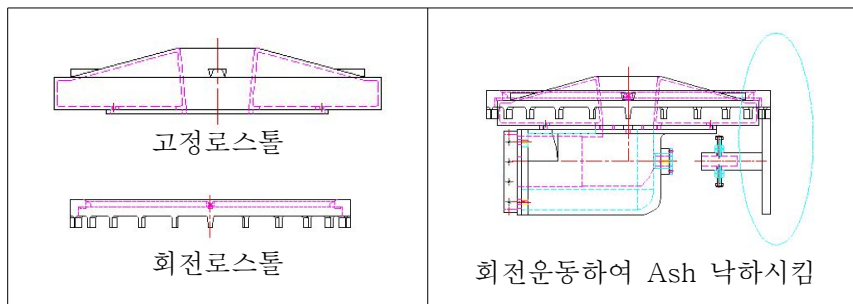
- 안정적으로 연소되나 회분이 많아 재가 많음

(3) 대책방안

(가) 기구적 장치

- ① 연소부인 고정로스틀에 별도 클링커 제거 장치 부착후 회전운동을 가하여 크랭크를 하부로 낙하시켜 연소효율 향상

② 관련도면



(나) 원료

- 기존 농업부산물 원료에 회분이 적은 톱밥을 첨가(20~30%)하여 펠릿 제조하여 연소하면 클링커 및 Ash방지에 효과적임

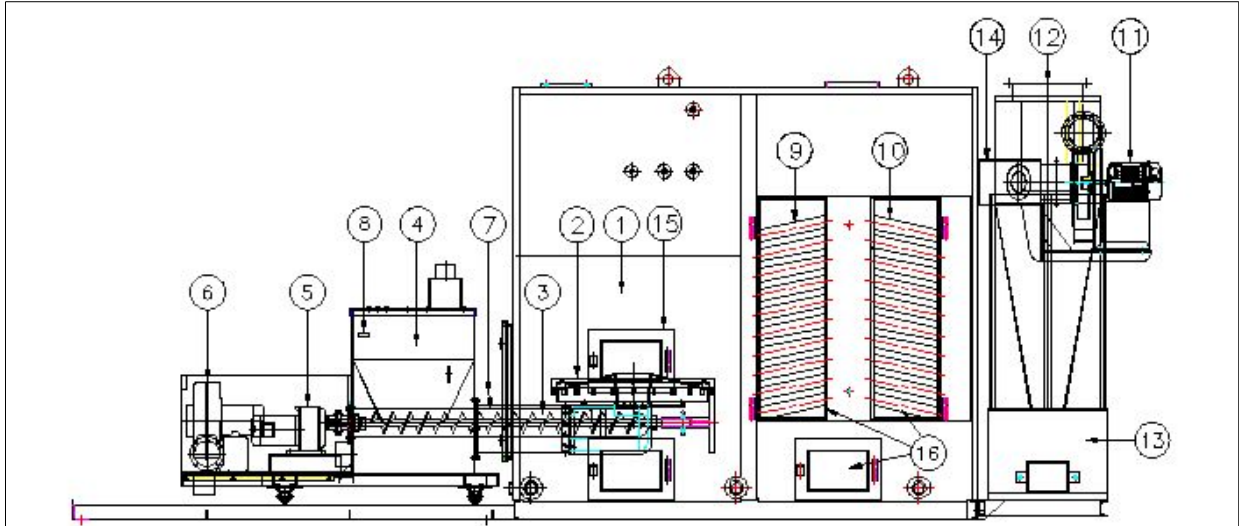
2. 농업부산물 펠릿용 고효율 열교환기 개발

(열교환효율 증대를 위한 열교환기 설계, 제작)

(높은 비율의 염소와 Ash성분을 고려한 열교환기설계 및 내구성 향상기술 개발)

(보일러 설계, 제작 및 기초실험)

가. 보급형 보일러 시스템 Lay out



품번	부품명	규격	수량
1	연소실	-	1
2	연소실 로스틀	내열 주철	1 Set
3	버너부 스크류	φ105*P85	1 Set
4	버너 연료밸브		1 Set
5	기어드 모터	0.75kw(200:1)	1
6	1차 연소팬	0.75kw, 28.5CMM	1
7	외회람저센서	PT 100	1
8	레벨 센서	5w 24v(최적식)	1

품번	부품명	규격	수량
9	1차 열교환기	SPPS	1 Set
10	2차 열교환기	SPPS	1 Set
11	2차 연소팬	2.2kw, 33CMM	1
12	사이클론	검식타입	1 Set
13	사이클론 재반이통	-	1
14	미화화 감지센서	PT 100	1
15	염소로 관측창	-	2
16	열교환기 청소구문	-	3

< 주요 명칭 및 규격 >



< 연 소 부 >



< 열교환부 >

나. 보일러 개발사양

항 목		단 위	50만 보일러	설 계 조 건
1) 난방능력 (발열량)		Kcal/h	500,000	펠릿 : 4,300Kcal/kg기준
2) 제품크기	길 이	mm	5,060	레일포함(연료통, 연통 제외)
	폭	mm	1,470	
	높 이	mm	2,130	
3) 연소장치	형 태	-	원형 화격자	
	크 기	mm	Ø740	
	모 터	kW	0.75	다단 제어기능(인버터 제어)
	연료 소모량	Kg/h	147	최대 연료 소모량
4) 전열면적		m ²	34	
5) 열 교환 기		-	SPPS / 3pass	
6) 열 효 율		%	85 이상	배기가스 온도 250℃이하
7) 열풍(온수) 토출구 온도		℃	70℃ 이상(70~80)	
8) C-BOX		-	4단변은, 이상경보, 역화 방지, 펠릿량 조절, 불씨 유지기능, 자동온도제어, 정전복귀, 레벨센서 등	터치패널 타입(조작편리)
9) 안전장치	역화감지		PT-100	온도 감지시 투입스크류 작동
	미착화감지		PT-100	
	불씨유지		PT-100	
	이상고(저)온		온실온도 감지	
	모터과부하		OCR, 인버터	
	연료부족		레벨센서	
10) 연 소 FAN	모터 출력	kW	0.75(2p)	
	회 전 수	rpm	3,460	
	풍량/ 정압	m ³ /min	20 / 170mmAq	댐퍼조절
11) 2차 연소 FAN	모터 출력	kW	2.2(2p)	
	회 전 수	rpm	3,460	
	풍량/ 정압	m ³ /min	33 / 301mmAq	댐퍼조절
12) 케스타블		-	연소실, 열교환기 바닥 청소구문	
13) 연료통/공급 모터		ton/kw	10ton / 0.75(6p)	옵션 : 스프링 이송장치(6m 이내)
14) 재처리 방법			싸이크론, 수동포집	

다. 펠릿보일러 사양결정

(1) 실용화재단 검정업체(2011년 기준)

- (가) 업 체 수 : 41개 회사
- (나) 제 품 수 : 84개 제품
- (다) 난방능력 : 351,949kcal/h(105,000~2,918,000kcal/h)
- (라) 열 효 율 : 81.2%(60.9~90.4%)

(2) 난방능력 결정

(가) 실용화재단 검정업체 분석결과 최저 105,000에서 2,918,000kcal/h급의 보일러가 검정을
필하였으며 보일러 평균 난방능력은 351,949kcal/h으로 조사됨

(나) 비닐하우스 원예농가 난방부하 산정

① 선정시 고려사항

- 비닐하우스 열손실(난방부하)
- 비닐하우스 형상 (맘모스형, 연동형, 터널형)
- 기후조건(계절풍, 적설, 강우 등)

② 선정 조건

- 설치 면적 : 1,000평(3,300m²)
- 비닐 표면적 : 5,042 m²
- 하우스 길이 : 150 m
- 체 적 : 13,410 m³
- 형 태 : 연동 2중 비닐
- 외기온도 : 최저기온(월 평균 - 최근5년) 청원 -5.6℃, 진주 0.2℃
- 실내 설정온도 : 16℃ (고온성 작물 - 가지, 토마토, 방울토마토 기준)

- 야간 온도 설정 기준, 환기 횟수 1회/hr

- 하우스난방부하 = 비닐전열손실 + 땅속전열손실 + 하우스주변전열손실 + 외풍전열손실

③ 청원, 음성지역 난방 부하 (Δt 21.6℃) (kcal/hr)

비닐하우스 난방부하	난방기 선정 용량	비 고
379,512	400,000	※ 실예상 연료소모량 : 555kg/일(펠릿)

※펠릿 발열량 4,300kcal/kg, 난방효율 85%, 1일10시간 가동 기준

④ 진주 지역 난방 부하 (Δt 15.8℃) (kcal/hr)

비닐하우스 난방부하	난방기 선정 열량	비 고
277,605	300,000	실예상 연료소모량 : 415kg/일(펠릿)

※ 농진청 작목별 난방기 용량 선정 기준(토마토) 1,000평 : 450,000 kcal/hr

※ 평균 최저 기온 시 최대 부하 량으로서 통상 필요열량은 300~400 kcal/평을 기준으로 난방용량 선정

⑤ 업체, 산지조사결과 약 1,000~1,500평 정도의 난방능력이 필요한 것으로 조사됨

⑥ 보일러 난방능력 목표를 50만kcal 사양으로 정함

(3) 세부사양 결정

(가) 50만kcal급 보일러 조사

① 제품사양

12개 제품

구 분	니꼬보일러	(주)에코프론트	록 원	지구촌	인터비비테크	반 석
형식명	RE-50N	Cozero-60R	J1015	GV-50P	IBT-W35	BS-50
난방능력 (kcal/h)	501,000	635,000	432,000	513,000	386,900	549,000
열효율(%)	85.0	89.1	81.5	86.1	86.8	85.2
연소착화	수 동	자 동	자 동	수 동	자동(히터)	자동(히터)
재처리	수 동	자 동	수 동	수 동	수 동	수 동
연소팬	2개	1개	1개	1개	2개	2개
사이클론	부 착	부 착	부 착	미부착	부 착	미부착
사 진						

구 분	빛나매크로	우주그린산업	두양중공업	맵스바이오	규원테크	두성농기
형식명	VPB-65S	CSA500	DHY600-02	NB500	K-600	DS-W802
난방능력 (kcal/h)	515,000	499,000	401,000	472,000	668,700	449,000
열효율(%)	79.1	82.0	80.4	83.5	84.2	84.6
연소착화	자동(히터)	자 동	수 동	자 동	수 동	자동(히터)
재처리	수 동	자동(스크류)	수 동	수 동	수 동	수 동
연소팬	2개	2개	1개	1개	1개	1개
사이클론	미부착	미부착	미부착	미부착	미부착	미부착
사 진						

(나) 열효율

① 검정업체 : 60.9~90.4%로 평균 81.2%임

② 목 표 : 열교환 효율 극대화, 연소공기 최적화, 단열재등을 통하여 열효율 85% 목표

(다) 착화방법

① 사양 비교

구 분	자동착화	수동착화	비 고
업체수	8(67%)	4(33%)	12제품 비교
장 점	자동으로 편리함	점화 안정적인	
단 점	점화장치(히터등) 내구성 저하됨	수동으로 불편함	

② 선 정

- 업체자문 및 자료조사결과 자동착화 방식이 편리하나 점화장치의 내구성 및 고장등으로 인한 A/S 빈도가 높은 것으로 판단되어 수동착화 방식으로 선택하였으며, 보일러 특성 고려하여 불꽃유지기능(최소연료 불씨유지)을 추가하여 초기 점화후 장기간 보일러 온도 유지할 수 있는 기능 추가

(라) 재처리 방법

① 사양 비교

구 분	자동 재처리	수동 재처리	비 고
업체수	2(17%)	10(83%)	12제품 비교
장 점	자동으로 편리함	깨끗한 청소가능	
단 점	완전 처리의 어려움	주기적인 청소로 불편함	

② 선 정

- 자동재처리 방식이 편리하나, 본체사이즈 증가, 별도의 동력장치 및 추가비용 발생등으로 업체에서 수동재처리 방식을 선호하는 것으로 판단되며, 2차연소팬 및 사이클론 추가등을 통한 충분한 재처리 가능하다 판단되어 보급형 보일러에는 수동방식으로 결정하고, 추후 고급형 보일러에 열교환부 에어, 스크류방식을 통한 자동청소방법으로 개선예정

(마) 연소팬 및 사이클론

① 사양 비교

구 분	연소팬		사이클론		비 고
	2개	1개	부 착	미부착	
업체수	5(42%)	7(58%)	4(33%)	8(67%)	12제품 비교
장 점	연소풍량 조정용이	원가절감	재처리 용이	추가비용 없음	
단 점	추가비용 발생	연소효율 떨어짐	추가비용 발생	재날림(주변오염)	

- ② 선정 : 1차, 2차 연소공기 최적분배를 통한 열효율 극대화, 대기 환경, 재처리 방법등을 고려하여 연소팬 2개, 사이클론 부착구조로 선정

(바) 열교환기

- ① 분석방법 : 2007년 농공연 연구자료인 농업용 온풍난방기 열교환기 형상, 배열에 따른 열효율 분석등을 기초자료로 보일러 구조에 적합한 열교환기 구조 및 배열선정

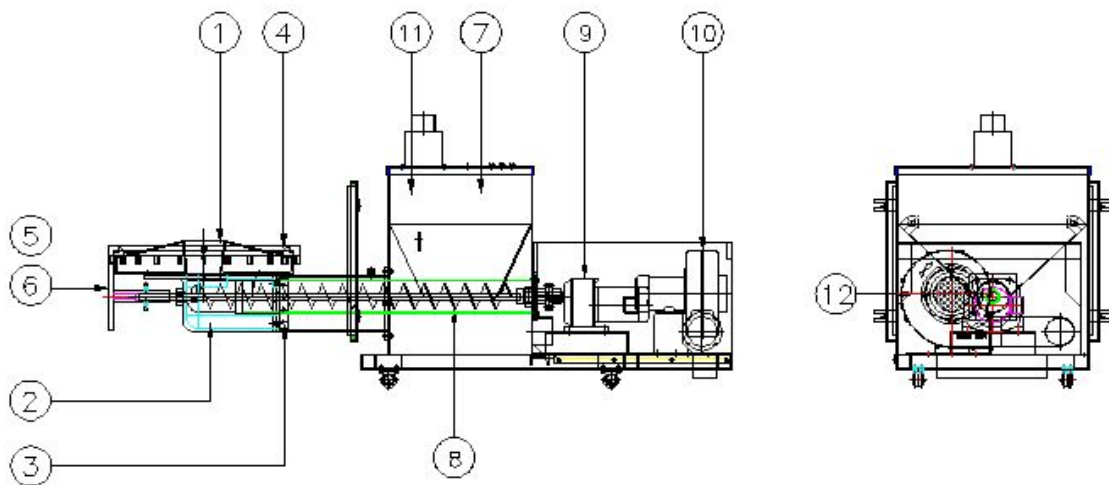
- ② 선 정 : 전열면적을 크게 하며, 2차 연소팬을 통한 사이클론으로 재 포집이 용이한 구조인 원형교차방식으로 결정

- (사) 연소방법 : 1차년도에 선정한 연소풍량 분배가 용이하고, 열량제어를 신속하고 할 수 있는 하부투입 방식의 연소방식



라. 펠릿보일러 설계내역

(1) 연소부 주요 구성품



품번	부품명	규격	수량
1	연소실 로스틀(상)	내밀 주철	1
2	연소실 로스틀(하)	내밀 주철	1
3	로스틀(하) 연결판	내밀 주철	1
4	연소실 회전 로스틀		1
5	로스틀 스크류 가이드		1
6	회전 로스틀 구동쇠		1 Set

품번	부품명	규격	수량
7	버너 연료탱크		1 Set
8	버너부 스크류		1 Set
9	가이드 모터	0.75kw(200:1)	1
10	1차 연소팬	0.75kw28.5CMM	1
11	레벨 센서	5w 24v(회전식)	1
12	풍량조절가이드		1

(2) 설계내역

(가) 연소 로스틀

① 사이즈 타사조사

구분	20만	25만	50만	비고
니꼬 보일러	Ø500	Ø550	Ø740	

② 타공율 : 연소팬 토출직경(Φ125) 유사하게 설계

③ 관련사진



(나) 이송량

① 스크류 최대이송량(kg/h) : 241

- 이송량 = [축회전수×60×π×(외경² - 축직경²)×피치×펠릿비중×효율]÷4
- 산물밀도 : 600kg/m³, 이송효율 : 110%

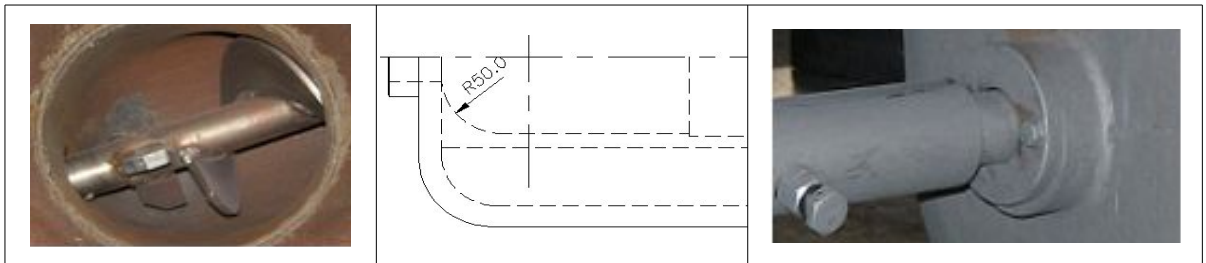
② 주파수 변화에 따른 이송량

이론값

구 분	60Hz	50Hz	40Hz	30Hz	20Hz	10Hz
회전수(rpm)	9.0	7.5	6.0	4.5	3.0	1.5
이송량(kg/h)	241	201	161	120	80	40

(다) 원료이송부 설계 고려사항

- ① 스크류 전면임펠라 날개의 위치에 따른 펠릿 막힘, 이송시 깨짐 현상에 대한 대책
→ 임펠라 날개를 후면부에 최대한 가깝게 설치
- ② 로스틀 하부 주물의 원활한 이송위한 끝단 내부 R값
→ 업체자문 및 타사조사결과 R50이 적당함
- ③ 연소부 로스틀 하부 부싱의 마찰면 최소화 및 소음감소 위한 가공공차
→ 열팽창 감안하여 1.0~2.0mm 공차유지



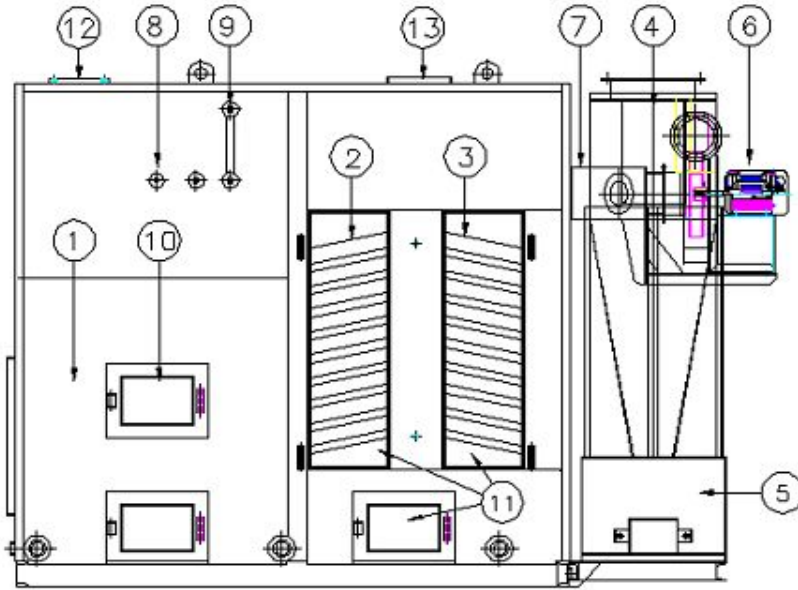
(라) 기타 연소부 설계시 고려사항

- ① 연소팬 정지시 버너 이송 스크류로 역류하는 연기 방지
→ 정지시 역류현상은 하부 재처리부 조절을 통한 연통으로 자연대류 유도
→ 연통 높게 설치

② 로스틀 내부 고온으로 인한 외벽보호

→ 도어부 캐스타블 작업

(3) 열교환부 주요 구성품



품번	부종명	규격	수량
1	연소실		1
2	1차 열교환기	SPPS	1 Set
3	2차 열교환기	SPPS	1 Set
4	사이클론	건설타입	1 Set
5	사이클론 개방이동	-	1
6	2차 연소팬	2.2kW, 33CMM	1
7	미량화 감지센서	PT 100	1

품번	부종명	규격	수량
8	온수온도센서	PT 100	1
9	니부 유량 표시제		1
10	연소로 관측창		2
11	열교환기 청소구멍		3
12	외부 투입모터접이대	-	1
13	수증기 배출구		1

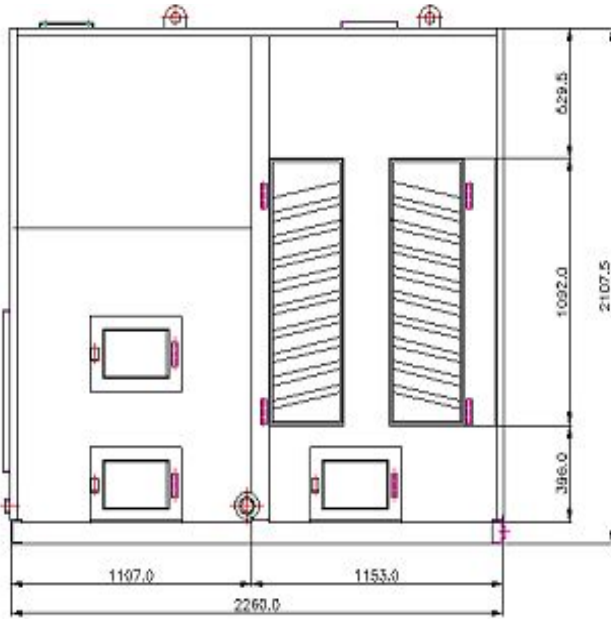
(4) 열교환부 설계 고려내역

(가) 열교환기

① 열효율 극대화, 작업성을 고려한 설계내역

- 타사조사 및 KS 파이프 규격감안
- 열교환 파이프 열유동에 따른 재 쌓임 최소화
- 용접비드, 피치, 작업성고려
- 열교환 파이프 배열에 따른 열효율 극대화
- 파이프, 열교환부 완전방수를 위한 용접방법
- 파이프 각도에 따른 열유동 고려

② 열교환부 사이즈 및 제작



③ 기타 열교환부 설계시 고려사항

- 연소로 외벽에 평철 부착하여 보강 및 뒤틀림 방지
- 지붕판을 크게 제작하여 용접 작업성 향상
- 외부면판 중앙부 절곡하여 변형 방지와 용접성 향상
- 열교환 파이프 하부 케스타블 장소 바닥판을 따내 내부 용접성 향상
- 열교환기, 연소실 바닥 케스타블 타설하여 뒤틀림 방지, 내구성 향상
- 열교환기 파이프 배열을 자료조사 및 타사 참고하여 10~15°로 결정
- 열교환기 전열면적 최적화 및 파이프 배열을 지그재그로 하여 열효율 극대화
- 물 흡입구, 배출구를 여러 곳에서 배관가능토록 조정



④ 열교환부 제작과정



(나) 2차 연소팬(배풍팬)

① 설계조건

- 열교환 이루어지는 압력손실, 단면적 비율 고려
- 먼지쌓임 최소화 및 연소공기량 고려
- 타사사양 참고
- 외부 배출가스(200~300℃) 고려한 팬 설계

② 단면적 비율

구 분	A	B	C	비 고
단면적	0.12m ²	0.20m ²	0.13m ² (풍속 증가)	

③ 2차 연소팬(배풍팬) 선정

- 최대정압 301mmAq, 최대 송풍량 33m³/min
- 팬 블레이드 : 스테인레스, 유사 재질

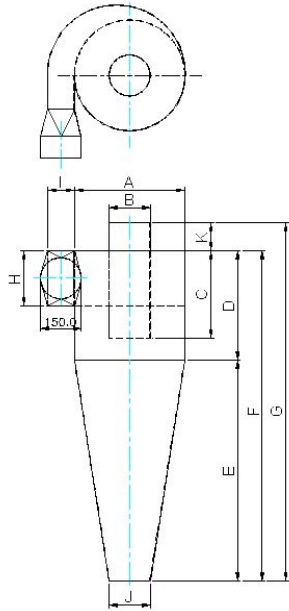
(다) 단열재 및 기타

- ① 외부로 방출되는 열손실 최소화하기 위해 내부보온재는 Glass wool 사용
- ② 연소로, 열교환기 하부의 변형 및 소손방지하기 위해 케스타블(40~50mm)작업

(라) 사이클론 설계

① 사이징 분석

• 사이클론 사이징 분석



구분	표준형	선회권선형	업체(고효율)
A	A	A	A
B	0.43A	0.75A	0.5A
C	1.1H	0.89A	1.25A
D	1.1A	1.5A	1.5A
E	2.4A	2.5A	2.5A
F	3.5A	4.0A	4.0A
G	3.5A+K	4.0A+K	4.0A+K
H	2I	0.75A	0.5A
I	$\sqrt{\frac{B^2}{2}}$	0.38A	0.2A
J	0.9B	0.25A	0.25A
K	50~100mm	50~100mm	50~100mm

• 사이클론 직경산출 (2차 연소팬 최대 송풍량 33m³/min 감안)

구분	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
직경(mm)	520	260	480	530	1050	1530	1580	307	148	168	50

(마) 연통설계

- ① 보일러 종화운전시 자연대류 흐름에 의한 연기 배출 고려 (높이 2m 이상)
- ② 펠릿연소시 발생하는 목초액 흐름 방지코져 받이통 고려한 설계
- ③ 연통 내식성 고려한 스테인레스, 유사 재질
- ④ 연통 끝부분을 H연통, 갓 형상 고려



(5) 제어시스템 설계

(가) 구동방식 선정

① PLC / MCU판넬 비교

구 분	PLC 방식	MCU 방식
부품구성		
터치판넬 필요성	<ul style="list-style-type: none"> • DISPLAY PCB적용시 설정 및 표시내역이 많아 PCB크기가 비대해짐 • 조작편의성 및 고가제품으로의 인식을 위하여 5.6인치 터치판넬을 적용 	
안정성	<ul style="list-style-type: none"> • 범용적 사용으로 안정성 확보 • 노이즈 대응력 좋음 	<ul style="list-style-type: none"> • 각종 IC류가 개방형이라 PLC에 비해 노이즈 대응력이 떨어짐
사양변경	<ul style="list-style-type: none"> • 확장성이 좋음 	<ul style="list-style-type: none"> • 초기 개발시부터 확장성 감안하여 설계(회로 및 PCB 재설계)
조립시간	<ul style="list-style-type: none"> • 약 6시간소요 	<ul style="list-style-type: none"> • 약 3시간소요

② 결 론

- 안정성 확보가 중요한 난방기의 특성상 PLC판넬 선정

(나) PLC 시스템 구성



① XBC-DR32H (컴팩트타입 기본유닛)

- AC 100V~220V전원 / DC24V입력 16점, 릴레이출력 16점
- RTC기능, 통신 2채널(RS-232/485) 내장
- USB포트 제공
- XG5000 (프로그래밍, 모니터링, 디버깅등 온라인기능 수행) 사용

② XBF-RD04A (아날로그 모듈)

- 측은 저항체(RTD) 입력 4채널 (PT100센서 이용)

③ XT05MB (HMI 터치판넬)

- 5.6인치 터치 판넬
- 시스템 설정 및 현재값 표시

(다) 시스템 적용검토

① 연소장치

구 분	개발 목표	개발 사양	비 고
CDS	화염을 감지하여 버너 운전상태 확인	미착화 온도센서 (배기가스 온도 계측)	CDS 설치 위치등을 고려 배기가스에 의한 방식이 안정적임
포토센서	연료 레벨 S/W	레벨 센서 (Paddle Type)	포토센서는 먼지에 취약
역화방지 센서	화재 예방을 위한 역화 방지 센서	역화 온도센서	
FAN	산소 공급을 위한 역할	연소 FAN	
MOTOR	연료공급을 위한 역할	연료투입 Motor	
역화방지장치	역화방지 및 배기가스 역류방지를 위한 기밀장치	역화방지기능 S/W	
재처리	자동배출	수동배출	싸이클론 감안
연소제어	연료공급량 조절	연료투입모터 인버터 제어	
	송풍량 조절	외부 공기 조절구 (수동)	검토

(라) 제어시스템 사양

① 제어시스템 입력요소

NO	입력 요소	계측 방법	제어 기능	비고
1	온실온도	PT-100	하우스내 온도 측정, 4단 변온제어	
2	미착화온도	PT-100	열교환기를 통과한 온도측정, 송풍기 제어	배기가스
3	역화온도	PT-100	투입스크류 역화감지	
4	온수온도	PT-100	보일러내 온수온도 측정	
5	저수위 센서		보일러내 온수량 체크	
6	연료레벨센서	레벨스위치	연료통 내부의 연료량 감지	
7	1차 연소팬 과부하	OCR	과부하 측정, 모터 보호	
8	2차 연소팬 과부하	OCR	과부하 측정, 모터 보호	
9	연료이송 모터과부하	OCR	과부하 측정, 모터 보호	
10	연료투입 인버터이상	인버터	과부하 측정, 모터 보호, 인버터 이상감지	

② 프로그램

• 프로그램 설정

NO	구분		Default	설정범위		환경	비고
				하한	상한		
1	시간 설정		-	-	-	시스템 시간 설정	
2	4단변온 설정	새벽 온도	15℃	10℃	30℃	시간대별 외기온도 대응	
		오전 온도	15℃	10℃	30℃		
		오후 온도	15℃	10℃	30℃		
		밤 온도	15℃	10℃	30℃		
4	미착화 온도	온도	70℃			시간내 설정온도 미승온시 이상 설정온도 이상시 송풍기 가동	
5	역화온도	온도	85℃			온도 감지시 투입스크류 작동	
6	불씨유지	유지시간	120분			설정시간버너작동 (투입 폐풍 원소)	
7	연료투입량 설정		30Hz	10	60	투입스크류 인버터 설정	
8	POST TIME 설정		60초			투입모터정지후 배풍팬 가동시간	
9	온수온도 설정	OFF온도	75℃			보일러 내부 물온도 설정이하시 버너작동(투입/배풍/연소)	
		ON온도	70℃				
10	연료이송	이송상한OFF	50초			레벨정지후 연료이송 정지시간	
		이송하한ON	500초			레벨회전후 연료이송 시작시간	
		연료없음감지	200초			이송모터 운전시간 설정	

• 프로그램 내용

구 분	내 용		비 고
청 소	조 건	■ 누름 스위치 @정지상태	
	동 작	■ 하부 재처리모터, 연소FAN, 배풍FAN 작동	
	정 지	■ 누름 스위치	
운 전	조 건	■ 누름 스위치 @청소상태가 아닌 경우	
	동 작	■ 4단 설정온도 제어 ■ 연소3종 및 송풍기 제어	
	정 지	■ 누름 스위치	
불씨유지	조 건	■ 정지 및 운전상태 ■ 설정 주기 마다	
	동 작	■ 설정 연소 시간 동안 ■ 연소3종 (투입스크류, 연소FAN, 배풍FAN) 작동	
	정 지	■ 전원 OFF	
연료투입	조 건	■ TS 스위치 @정지상태	
	동 작	■ 투입스크류 30초 운전	
	정 지	■ 시간 또는 TS 스위치	
연료이송	조 건	■ On/Off 스위치	
	동 작	■ 연료 레벨 센서에 의해 이송스크류 작동	
	정 지	■ 연료 레벨 센서	
정전복귀	조 건	■ 정전상태	
	동 작	■ 이전 운전상태로 작동	
	정 지	■ 없음	

• 안전장치

구분	감지	방법	운전 상태	해제	기타
역화감지	역화센서	역화감지온도 도달 85℃ 180초 감지	램프, 경보	설정연소시간 연소3종 On 역화온도이하	
미착화 감지	미착화 센서	연소3종 On일 때 설정시간 이내 설정온도 미도달	램프, 경보, 운전정지	재운전	송풍FAN Limit 기능
온도센서	PT-100 센서	단선/단락	램프, 경보, 운전정지	원인 제거	
이상고온 이상저온	온실온도	설정온도 +7℃ 30분 지속 설정온도 -5℃ 15분 지속	램프, 경보		
모터과부하	OCR 인버터	OCR 트립 인버터 트립 정보	램프, 경보, 운전정지	OCR 트립 해 제 원인 제거	
연료없음	레벨센서	센서감지	램프, 경보, 운전정지		
온수 동결방지	온수 온도센서	온수온도 5℃이하 30초 지속 (이후 60분 주기)	내용표시	순환펌프 30초 가동	
온수 끓음방지	온수 온도센서	온수온도 90℃이상 10초 지속	램프, 경보, 운전정지	원인 제거	

(마) 제어시스템 구성



<제어시스템 외형도>



<제어 내부구성>



<터치판넬 구성도>

마. 펠릿보일러 기초실험

(1) 주파수 변환에 따른 이송량 측정

(가) 사 양

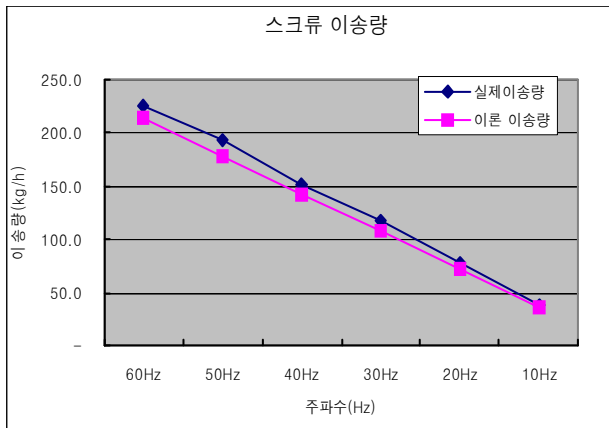
전 원	전 력(kW)	정격전류(A)	회전수(rpm)	모터효율(%)	비 고
3Ø 380V	0.75	2.1	1,720	82.5	

(나) 실험방법

- 주파수 변환에 따른 펠릿 배출량확인(2회 평균, 약 5분 주기)

(다) 실험결과

구 분		60Hz	50Hz	40Hz	30Hz	20Hz	10Hz	비 고
이송량 (kg)	1차 이송량	224.2	196.2	155.2	121.2	80.2	36.9	
	2차 이송량	228.4	188.8	149.6	114.2	75.2	39.2	
	실제 이송량	226.3	192.5	152.4	117.7	77.7	38.1	
	이론 이송량	214.0	178.0	143.0	107.0	71.0	36.0	
비율(%)	실제/이론	105	108	107	110	109	107	108%



(라) 실험사진



(마) 결과분석

- ① 이송량 측정시 이론값 대비 약 108% 측정되어 여유율을 8% 감안하여 설계반영

- ② 8% 오차는 펠릿산물밀도 및 실험오차에 따른 측정오차로 판단됨
- ③ 실제 보일러 연소 실험시 이송량은 40~60Hz 사이에서 이루어질 것으로 판단됨
(기존 난방기 실험결과 참고)

(2) 흡입댐퍼 조절에 따른 연소팬 풍량측정

(가) 사 양

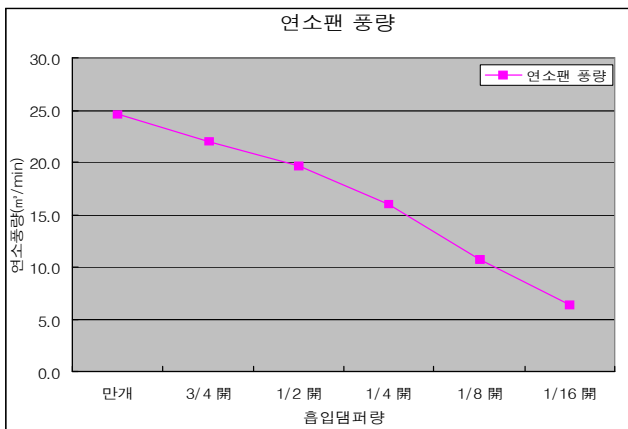
전 원	전 력(kW)	정격전류(A)	회전수(rpm)	정 압(mmAq)	풍 량(CMM)
3Ø 380V	0.75	2.0	3,520	215	28.5

(나) 실험방법

- 연소팬 흡입댐퍼 변경에 따른 흡입풍량 체크

(다) 실험결과 및 사진

구 분		연소팬						비 고
		만개	3/4 開	1/2 開	1/4 開	1/8 開	1/16 開	
풍 속	(m/s)	24.6	22.0	19.7	16.0	10.7	6.4	
단면적	(m ²)	0.0177						
풍 량	(m ³ /min)	26.1	23.3	20.8	16.9	11.4	6.8	



(라) 결과분석

- 연소팬 풍량 댐퍼조절에 따라 6.8~26.1m³/min로 측정됨
- 실제 보일러 연소실험시 연소풍량은 18~24m³/min 정도에서 이루어질 것으로 판단됨
(기존 난방기 실험결과 참고)

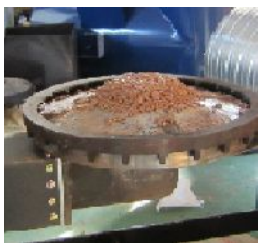

(3) 2차 연소팬(배풍팬) 사양

(가) 사양

전원	전력(kW)	회전수(rpm)	정압(mmAq)	풍량(CMM)	비고
3∅ 380V	2.2	3,460	301	33	

(4) 착화방법

- (가) 연료투입 버튼을 눌러 로스틀 상부로 충분한 연료공급
- (나) 연료상부에 기름분무
- (다) 연소기구(토치, 종이)등을 이용하여 착화
- (라) 연소부를 열교환부에 넣은후 고정시킴
- (마) 제어장치를 통해 보일러 가동

			
연료 이송	기름 분무	착화	내부 불꽃

(5) 보일러 실험구상

(가) 실험항목

① 난방성능 조사항목

연료소비량	급수량	입·출구 물 온도	배기가스온도
정격난방능력 및 운전시간	열효율	외기상태(온.습도)	

② 주요부 표면온도

- ③ 소비전력 ④ 작동상태 ⑤ 연소상태

(나) 측정방법

- ① 난방성능 : 정격난방능력 산출을 위한 연료소비량, 온도 등은 안정운전시간 동안 측정

- 연료소비량(kg/h) : 안정운전시간 동안 소비된 연료의 중량을 조사하여 단위시간당 소비량으로 환산
- 급 수 량(kg/h) : 보일러 급수 입구부에 설치된 유량계로 측정하며 비중을 적용하여 중량으로 환산
- 입구 및 출구 물 온도(℃) : 입구 및 출구 온도를 1~3분 간격으로 측정하고 각각의 평균 온도 산출
- 배기가스 온도 : 연통 연결부로부터 50cm 지점의 위치에서 배기가스 온도를 측정
- 외기상태(온습도) : 전·후·좌·우 방향으로 3 m, 지면으로부터 1.5 m 떨어진 지점에서 일정시간 측정하여 평균값 환산

· 정격난방능력 : $Q = G_w \times C_p \frac{\sum_{i=1}^n (t_{2i} - t_{1i})}{1000n}$

Q : 정격난방능력(MJ/h){kcal/h},

G_w : 급수량(kg/h)

C_p : 물의 평균비열(4.186 kJ/kg ℃){1.0 kcal/kg ℃},

t_{2i} : 출구 온도(℃)

t_{1i} : 입구 온도(℃),

n : 측정회수

· 열효율은 : $\eta = \frac{Q}{F \times H_\ell} \times 100$

n: 열효율(%),

Q : 정격난방능력(MJ/h) {kcal/h}

F : 연료소비량(kg/h),

H_ℓ, L_ℓ : 연료의 발열량(MJ/kg) {kcal/kg}

- 연 료 : 함수율, 총발열량 등을 측정
- 시간당 소비전력량 : 모든 기기가 정상적으로 작동하고 있는 1시간 동안의 소비전력량
- ② 주요부 표면온도(℃) : 전·후면, 좌·우면 및 상면부의 중앙 표면온도를 측정
- ③ 소비전력(kW) : 공시기가 안정되어 모든 기기가 정상적으로 작동하고 있을 때의 소비전력 3회 반복 측정하여 그 평균값
- ④ 작동상태 : 온도안정, 이상소음, 진동, 접속부의 헐거움 등의 이상유무, 안전장치 작동여부
- ⑤ 연소상태 : 공시기 작동 중 지속적인 연소상태 유지 여부 등 조사

(다) 실험장치 사진



(6) 보일러 연소실험

(가) 연소실험 진행예정

① 연소실 실험준비



3. 내구성, 안정성, 사용편리성 향상을 위한 기술개발

(청소가 용이한 자동재처리 기술개발)

(안정성이 향상된 역화방지 기술개발)

(사이클론 1차 성능분석)

가. 자동재처리 및 청소 용이한 구조

(1) 화격자 청소

(가) 방 법 : 회전 스크레이퍼(Scraper)

(나) 원 리 : 정상운전 중에 화격자를 자동으로 청소하는 장치로 원형 화격자 중앙으로

연료가 공급되어 연소가 진행될 때에 원형화격자가 회전운동을 하게 되면, 화

격자 가장자리에 고정식으로 설치된 스크레이퍼에 의해 화격자상의 잔재를 제거하는 구조

(다) 선정이유 : 하부투입 연소방법에서 보편적인 구조

(라) 관련사진



(2) 전열면 청소

(가) 방 법 : 2차 연소팬(배풍팬)을 이용한 청소

(나) 원 리 : 연소실에서 1차 회전 스크레이퍼 방식으로 재처리후 2차 열교환기로 유동되는 재를 배풍팬 → 사이클론으로 포집하는 구조

(다) 선정이유 : 열효율 개선을 위한 2차 연소팬(배풍팬) 구조에서 적합한 청소방법

(라) 관련사진



(3) 열교환기 청소

(가) 방 법 : 브러쉬등을 이용한 수동처리

(나) 원 리 : 열교환기 재 청소방법으로는 트위스트(Twist)판식, 스프링(Spring)식 압축공기식 자동청소 방법등이 있으나 현 구조에 적용키는 어려워 배풍팬 자동청소 후 추가적으로 브러쉬등을 이용한 수동 재처리

(다) 관련사진

		
열교환기 재 쌓임	청 소	청소후 열교환기

(라) 향후일정 : 고급형 보일러에는 열교환기 파이프에 부착된 재 자동 청소가능한 구조 설계 변경을 통한 적용가능한 자동청소방법 적용검토

나. 역화방지 장치

(1) 정 의 : 연소가스나 높은 열로 인한 연료공급 장치로 화염이 역화하는 것을 방지하는 장치

(2) 역화방지 장치의 종류

구 분	비상배출	로터리밸브	스프링클러	드롭슈트	차단댐퍼
장 점	· 투입모터로 간단히 제거가능	· 보편적인 역화 차단구조	· 최종 역화방지 장치로 완전차단	· 간단한 구조변경으로 적용가능	· 보편적인 역화 차단구조
단 점	· 완전한 역화방지 어려움	· 별도 구동장치 필요함	· 별도의 수배관 장치 필요함	· 완전한 역화방지 어려움	· 완전한 역화방지 어려움
사 진					

(3) 비상배출 방식

(가) 방 법 : 스크류 피더를 회전시켜 연료공급라인에 채워져 있는 펠릿을 일정시간 연소실로 배출, 연소팬, 배풍팬을 가동시켜 역화를 방지하는 방법

(나) 설치기준 : 상향식 연료공급 장치에는 역화방지장치로서 1개 이상의 비상연료 배출장치가 설치되어야 하며, 정전 시 역화방지장치로써 비상 연료배출장치가 사용되는 경우 비상전원 공급장치에 의한 정전 시에도 연료를 연소실로 배출할 수 있는 구조

(4) 로터리밸브(Rotary valve) 방식

(가) 방 법 : 화염이나 연소가스로 인하여 펠릿공급 장치로 화염이 역화하는 것을 방지

하는 회전식 밸브로 연료는 로터리밸브 상부로 공급되어 밸브 하부로 배출됨

- (나) 설치기준 : 댐퍼와 케이싱 사이의 간극이 좁아야 역화를 방지할 수 있어 간극을 0.5mm 이하로 함

		
<p>비상배출 방식</p>	<p>로터리밸브(Rotary valve) 방식</p>	

(5) 스프링클러(Sprinkler) 방식

- (가) 방 법 : 역화 발생 시 연료공급라인에 물을 분출하여 역화를 방지하는 장치로써 최종 역화방지 장치로 사용됨
- (나) 설치기준 : 물을 담은 용기에는 수위조절 스위치 또는 압력 스위치가 장착되어야 하며, 용기의 부피는 최소 5ℓ 이상이어야 함

(6) 드롭슈트(drop chute) 방식

- (가) 방 법 : 연료공급장치의 자유낙하 부분에서부터 화층으로 연료의 낙하를 유도하는 내화성 재질의 통로방식
- (나) 설치기준 : 드롭슈트의 길이는 화염면에서 최소 250mm 이상 단, 열출력이 15kW 이하인 경우는 150mm 이상이어야 하며, 재질은 내화성 재질이어야만 함 (역화 시에 소손되는 재질은 불가)

(7) 차단댐퍼 방식

- (가) 방 법 : 화염이나 연소가스로 인하여 펠릿 공급장치로 화염이 역화하는 것을 방지하는 차단식 댐퍼
- (나) 설치기준 : 댐퍼와 케이싱 사이의 간극이 좁아야 역화를 방지할 수 있어 간극을 0.5mm 이하로 함

		
<p>스프링클러(Sprinkler) 방식</p>	<p>드롭슈트(drop chute) 방식</p>	<p>차단댐퍼 방식</p>

(8) 결 론

- 연료 하부투입방식의 펠릿보일러에 있어 역화온도에 따른 제어가 간단하고 프로그램 변경이 용이한 비상배출 역화방지 장치가 가장 타당한 것으로 판단되며, 향후 고급협보일러에는 정전시 대비한 로타리 밸브 또는 스프링클러 타입 2중 안전장치 장착예정

다. 사이클론 성능파악

(1) 목 적 : 사이클론 효율파악

(2) 방 법

(가) 펠릿연소재, 밀가루의 무게측정

(나) 연소로 고정로스틀 위에 투입

(다) 2차 연소팬(배풍팬) 가동

(라) 사이클론 하부 재통으로 무게 확인

(3) 실험재료



(4) 실험결과

(가) 1, 2차 연소팬의 정확한 풍량 셋팅이 이루어지지 않아 집진효율 측정이 어려움

(나) 실험재료가 열교환기에 흡착되어 측정 신뢰성이 떨어짐

(5) 향후대책

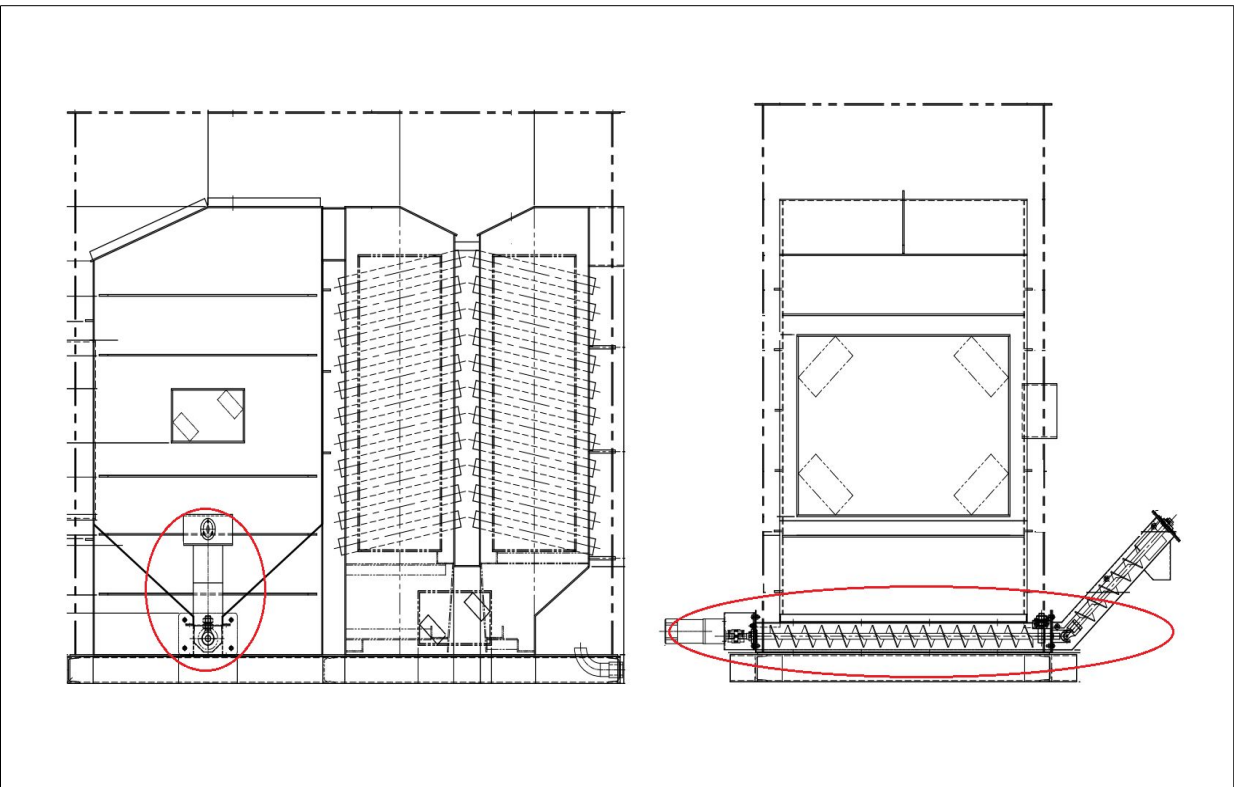
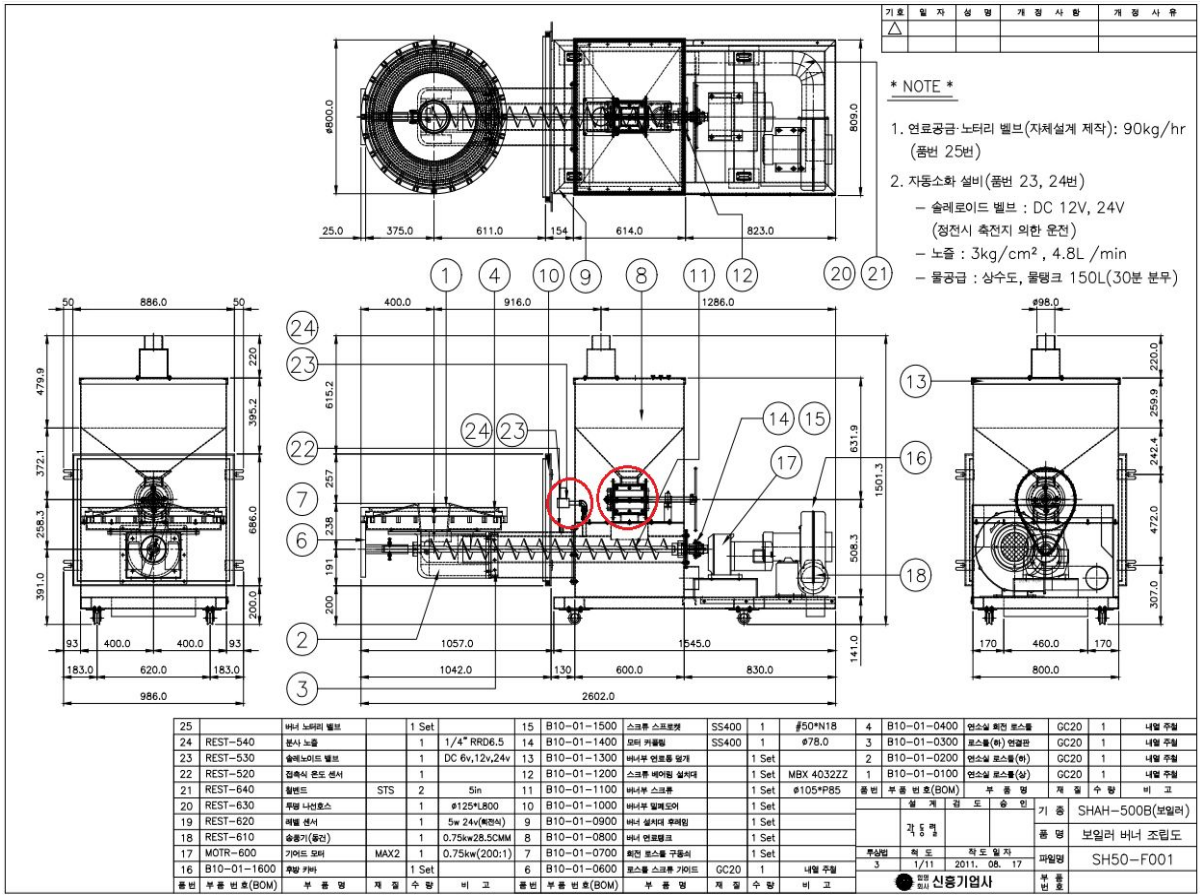
(가) 사이클론 성능확인 가능한 방법검색 후 재실험

(나) 실험장비 재확인을 통한 성능분석방법 모색

4. 고효율 펠릿 보일러 보완 설계, 제작

가. 보일러 시스템 Lay out

(1) 개선내역



(2) 개발사양

항 목		단 위	50만 보일러	설 계 조 건
1) 난방능력 (발열량)		Kcal/h	500,000	펠릿 : 4,300Kcal/kg기준
2) 제품크기	길 이	mm	5,060	레일포함(연료통, 연통 제외)
	폭	mm	1,470	
	높 이	mm	2,130	
3) 연소장치	형 태	-	원형 화격자	
	크 기	mm	Ø740	
	모 터	kW	0.75	다단 제어기능(인버터 제어)
	연료 소모량	Kg/h	147	최대 연료 소모량
4) 전열면적		m ²	34	
5) 열 교환 기		-	SPPS / 3pass	
6) 열 효율		%	85 이상	배기가스 온도 250℃이하
7) 열풍(온수) 토출구 온도		℃	70℃ 이상(70~80)	
8) C-BOX		-	4단변온, 이상경보, 역화방지, 펠릿량 조절, 불씨유지기능, 자동온도제어, 정전복귀, 레벨센서 등	터치판넬 타입(조작편리)
9) 안전 장치	역화감지	-	PT-100	온도 감지시 투입스크류 작동
	역화방지	-	로타리밸브	연소장치 모터연결
	미착화감지	-	PT-100	
	불씨유지	-	PT-100	
	이상고(저)온	-	온실온도 감지	
	모터과부하	-	OCR, 인버터	
	연료부족	-	레벨센서	
	자동소화	-	솔레노이드 밸브	설계반영
10) 연 소 FAN	모터 출력	kW	0.75(2p)	
	회 전 수	rpm	3,460	
	풍량/ 정압	m ³ /min	20 / 170mmAq	댐퍼조절
11) 2차 연소 FAN	모터 출력	kW	2.2(2p)	
	회 전 수	rpm	3,460	
	풍량/ 정압	m ³ /min	33 / 301mmAq	댐퍼조절
12) 연료통/공급 모터		ton/kw	10ton / 0.75(6p)	옵션 : 스프링 이송장치(6m 이내)
13) 재처리 방법	연소실		(기어모터 : 0.18kW, 1/120)	설계반영
	열교환부		싸이크론	

(3) 펠릿보일러 검사방법

(가) 목재펠릿을 연료로 사용하는 보일러 검사방법

구 분	농업용 보일러	가정용 보일러	산업용 증기 보일러	비 고
주관기관	<ul style="list-style-type: none"> • 실용화재단 	<ul style="list-style-type: none"> • 산림청 	<ul style="list-style-type: none"> • 좌 동 	
관련근거	<ul style="list-style-type: none"> • 농업용 고체연료 보일러 검정기준, 검정방법 	<ul style="list-style-type: none"> • 신재생에너지 설비 심사 세부기준 (목재펠릿용) • 2012 가정용 목재펠릿 보일러 보급 기준 	<ul style="list-style-type: none"> • 산업용 목재펠릿보일러 제조능력 및 준공검사 기준 	
적용범위	<ul style="list-style-type: none"> • 47,769kcal/h 이상 	<ul style="list-style-type: none"> • 50,000kcal/h 이하 	<ul style="list-style-type: none"> • 약 60만kcal/h 이상 	
구조 검사	연소 상태	<ul style="list-style-type: none"> • 외부확인 가능구조 	<ul style="list-style-type: none"> • 좌 동 	<ul style="list-style-type: none"> • 좌 동
	연소실	<ul style="list-style-type: none"> • 내부청소 용이 	<ul style="list-style-type: none"> • 좌 동 	<ul style="list-style-type: none"> • 좌 동
	기 타	-	<ul style="list-style-type: none"> • 자동점화 • 화격자 자동청소 • 전열면 자동청소 • 배기가스 온도는 외기 온도차이 160℃ 이하 	<ul style="list-style-type: none"> • 자동재처리 • 배기가스 재활용장치 • 배기가스 온도는 외기 온도차이 200℃ 이하
안전 장치	-	<ul style="list-style-type: none"> • 화염 역류방지 장치 • 온도감지, 경보장치 (85±5℃) 	<ul style="list-style-type: none"> • 화염 역화방지장치 • 과열 방지장치 (90±3℃) • 저수위 방지장치 • 불착화 안전장치 • 절연저항 2MΩ 이상 • 내정전성 	<ul style="list-style-type: none"> • 화염 역화방지장치 (2개 이상) • 과열 방지장치 • 저수위 안전장치 • 압력차단장치 • 절연저항 2MΩ 이상
성능 검사	열효율	<ul style="list-style-type: none"> • 75% 이상 (농림사업지침 80% ↑) (고위발열량) 	<ul style="list-style-type: none"> • 87% 이상 (저위발열량) 	<ul style="list-style-type: none"> • 85% 이상 (저위발열량)

2) 농업기술실용화 재단 보일러 성능검사

- 발열량 : 고위발열량 기준으로 함

나. 보일러 성능시험

(1) 1차 자체시험

(가) 실험장치

- 10톤 물탱크 → 유량계 → 보일러 하부 입수 → 보일러 축열 → 보일러 상부 출수

(나) 실험결과

구 분	실 험 내 역		비 고
입수량(m ³ /h)	9.4	8.4	
입수 - 출수온도(℃)	50.3	49.0	
연료투입량(kg)	153	129	
최대난방능력(kcal/h)	473,000	412,000	여주펠릿
열 효율(%) (고위/저위발열량)	69 / 76	71 / 78	고위 : 4,500kcal/kg 저위 : 4,068kcal/kg

(다) 결과분석

- ① 물탱크의 차가운 물(20℃)이 열교환기와 인접한 하부로 유입되면서 통과 공기가 노점온도 이하로 떨어져 물방울이 형성되어 열효율이 떨어지는 것으로 추정됨
- ② 입수, 출수 위치를 바꾸어 운수방향에 따른 연소로, 열교환기의 연소효율을 향상시켜 열효율을 증대코져 함

(라) 실험사진



(2) 2차 자체시험

(가) 실험장치

- 10톤 물탱크 → 유량계 → 보일러 하부 입수 → 보일러 축열 → 보일러 상부 출수

(나) 실험결과

구 분	실 험 내 역		비 고
연속운전시간	2시간	2시간	
입수량(m ³ /h)	8.1	15.5	
입수 - 출수온도(℃)	53.4	26.3	
연료투입량(kg)	130	155	
최대난방능력(kcal/h)	454,150	509,950	여주펠릿
열 효율(%) (고위/저위발열량)	77.3 / 85.9	72.8 / 80.9	고위 : 4,500kcal/kg 저위 : 4,068kcal/kg
배기가스 온도(℃)	170~180	165~175	

(다) 결과분석

- ① 연속운전 2시간, 급수량 최대로 연소실험결과 연료량 130kg시 난방능력 454,150kcal/h, 열효율 77 / 86%로 안정적임
- ② 연료량 증가시 난방능력은 증가(투입량 155kg : 509,950kcal/h)하나 열효율이 감소하여, 기술지도 검정시 최적의 실험 조건을 구현코져 함

(라) 향후대책

- 실용화 재단 기술지도 검정을 통한 미비점 보완코져 함

(3) 실용화재단 성능시험

(가) 목 적 : 기술지도검정을 통해 발생하는 미비점, 수정사항 보완

(나) 실험 자 : D&H팀 곽동렬, 안정일, C&I 박현수, 품질관리 박상열, 실용화재단 3명

(다) 실험일자 : 2012년 6월 27~29일(3일)

(라) 실험결과

구 분	실 험 내 역	비 고
열교환기	수관식	
전열면적(m ²)	18.0	
송풍, 급수량(m ³ /h)	14.2	당사 수량계 15.5(m ³ /h)
열풍 - 외기온도(℃)	29.6	
배기가스 온도(℃)	178	
최대난방능력(kcal/h)	421,000	
열 효율(%) (고위/저위발열량)	70 / 77	고위 : 4,500kcal/kg 저위 : 4,068kcal/kg

(마) 결과분석

(1) 보일러 최대난방능력 420,000kcal/h, 열효율 70, 77%로 측정되었으며, 자체 실험결과와 오차는 수량계 측정오차임

(2) 기술지도 검정을 통해 발생된 미비점인 안전장치 강화, 열효율 개선사항을 보완예정임


(바) 향후 보완사항

미 비 점	개 선 방 안	비 고
역화온도 85±5℃ 세팅	프로그램 세팅	프로그램수정
과열감지기능 구현	프로그램 변경(끊음방지기능)	프로그램수정
단열강화	단열강화 구조변경	구조변경
원료투입구 로타리밸브 설치	로타리밸브 설치	구조변경
난방능력 최적 및 열효율 향상방안	추가난방실험 및 열손실 최소화	구조변경
자동착화 기능	현 수동착화 유지(A/S)	-

(사) 실험사진

		
센서 및 장비	배관 및 수량계	각 부위별 온도

(아) 시험성적서

<p>제 FAKT19-0279 호</p> <p>농업기계 기술지도검정 성적서</p> <p>1. 신청인 가. 성 명 : 김용연 나. 사업자등록번호 : 315-81-00425 다. 주 소 : 충북 청주시 흥덕구 향정동 77-7 라. 상 호 : 《합명》신풍기업사</p> <p>2. 검정 용도의 제품 가. 기 종 명 : 농업용작물펠렛보일러 나. 형 식 명 : SPB-500 다. 형식 및 규격 : 연료자동공급식, 호정난방능력 1770 MJ/h (423000 kcal/h)</p> <p>3. 검 정 번 호 : 12-34-056</p> <p>4. 검 정 성 격 : 불합</p> <p>5. 검정 결과 판정 : 농업용고체연료보일러 안전방법 중 난방성능시험방법을 준용하여 실시된 장치임 「농업기계화 촉진법」 제9조 제1항 및 같은 법 시행규칙 제3조에 따라 검정 신청한 농업기계에 대한 기술지도검정 성적입니다.</p> <p>2012년 07월 03일</p> <p>농업기술실용화재단 이사장 </p>	<p>[합명] 12-34-056</p> <p>검정성적</p> <p>1. 기종명 : 농업용작물펠렛보일러 2. 검정번호 : 12-34-056 3. 형식명 : SPB-500 4. 형식 : 연료자동공급식 5. 규격 : 호정난방능력 1770 MJ/h (423000 kcal/h)</p> <p>6. 시험 성적</p> <p>6.1 구조 6.1.1 기계의 크기 - 길이 1530 mm - 폭 5330 mm - 높이 2200 mm - 중량 3500 kg</p> <p>6.1.2 연료공급계통 - 연료의 종류 목재펠릿 - 연료공급방식 자동식(호퍼의 연료를 스크류에 의해 자동으로 공급하는 방식)</p> <p>6.1.3 착화 및 소화방식 - 착화방식 수동착화 - 소화방식 자연소화</p> <p>6.1.4 연소실 및 열교환기 - 연소실(규격 및 성능시험서에 의한) (제원) S5400 (두께) 4.5 mm - 열교환기(규격 및 성능시험서에 의한) (제원) SP (두께) 18.1 mm</p> <p>6.1.5 송풍기</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>항목명</th> <th>제조업체</th> <th>형식</th> <th>송풍방식</th> <th>상용회전속도</th> <th>도출구경</th> <th>용도</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>FB-202</td> <td>동원공업(주)</td> <td>원형식</td> <td>직행방형식</td> <td>3520 rpm</td> <td>φ 125 mm</td> <td>연소용 1개</td> </tr> <tr> <td>-</td> <td>[명]신풍기업사</td> <td>원형식</td> <td>직행방형식</td> <td>3400 rpm</td> <td>φ 150 mm</td> <td>배출용 1개</td> </tr> </tbody> </table> <p>3-1</p>	항목명	제조업체	형식	송풍방식	상용회전속도	도출구경	용도	FB-202	동원공업(주)	원형식	직행방형식	3520 rpm	φ 125 mm	연소용 1개	-	[명]신풍기업사	원형식	직행방형식	3400 rpm	φ 150 mm	배출용 1개
항목명	제조업체	형식	송풍방식	상용회전속도	도출구경	용도																
FB-202	동원공업(주)	원형식	직행방형식	3520 rpm	φ 125 mm	연소용 1개																
-	[명]신풍기업사	원형식	직행방형식	3400 rpm	φ 150 mm	배출용 1개																

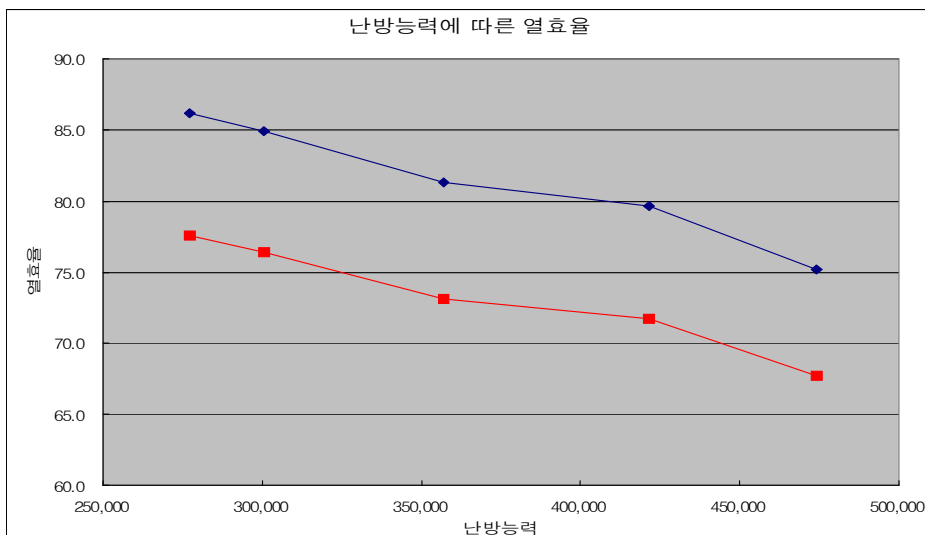
<p>6.1.6 재 처리방식</p> <ul style="list-style-type: none"> · 방식 : 수동식 · 조작성 : 연소되어 재처리실로 떨어진 재를 수동 배출하는 방식 <p>6.1.7 온도조절장치</p> <ul style="list-style-type: none"> · 온도조절 및 설정 방식 : 자동조절방식, 터치스크린식 · 온도제어 종류 및 개수 : 4개: 실내온도1, 외화강제1, 관수온도1 <p>6.1.8 포 입 - 출구</p> <ul style="list-style-type: none"> · 입 - 출구 내경 : Ø 115.4 mm · 개수 : 각 1 개 <p>6.2 성능시험</p> <p>6.2.1 난방성능</p> <p>시험조건</p> <ul style="list-style-type: none"> · 연료의 종류 : 목재펠릿 · 연료제조사 및 세류명 : 삼림조합중앙회, 한나로 · 연료발열량 : 18.92 MJ/kg (4520 kcal/kg) · 대기온도 : 29.5 °C · 상대습도 : 36.3 % · 사용전원 : 380 V (3상4선) <p>시험실적</p> <ul style="list-style-type: none"> · 연료소비량 : 134.2 kg/h · 급수량 : 14.2 m³/h · 입수 물온도 : 29.9 °C · 출수 물온도 : 26.2 °C · 정화난방능력 : 1771.2 MJ/h (423046 kcal/h) · 소비전력량 : 1.947 kWh · 열효율 : 69.3 % · 에너지 이용효율 : 69.6 % <p>7. 환경제출 개요</p> <p>가. 본 기대는 연료 자동공급방식의 농업용목재펠릿보일러로 호정난방능력은 1770 MJ/h (423030 kcal/h)이다.</p> <p>나. 연료회수는 수동식이고, 연료공급을 차단하면 자연소화되는 방식이며 연소되어 재처리실로 떨어진 재를 수동 배출하는 방식임</p>	<p>12-제1-056</p> <p>8. 검증결과</p> <p>가. 본 검증은 「농업기술실용화재단 분석검정 의뢰 및 처리규정」 제3조 제2항의 규정에 의하여 실시한 기술지도검정 성격으로 「농업용목재연료난방기 검정방법」 중 「난방성능시험」 방법을 준용하여 실시되었음</p> <p>나. 검증결과 열이용효율은 69.3 %이고, 에너지이용효율은 69.6 %임</p> <p>석남중추위저기개발그룹</p> <p>책임연구원 최희석 연구원 김병덕 연구원 한태호 책임연구원 정성환</p> <p>박희재 김병태</p> <p>3-3</p>
--	--

(4) 3차 자체시험

(가) 목 적 : 연료투입량에 따른 난방능력 및 성능측정

(나) 실험결과

구 분	실 험 내 역					비 고
	14.4	14.2	10.5	12.0	10.6	
입수량(m ³ /h)	14.4	14.2	10.5	12.0	10.6	
입수 - 출수온도(°C)	32.9	29.6	34.0	25.1	26.2	
연료투입량(kg)	155	130	108	87	79	
최대난방능력(kcal/h)	474,250	421,300	357,100	300,400	277,000	
열 효 율(%) (고위/저위발열량)	67.7 / 75.2	71.7 / 79.7	73.2 / 81.3	76.4 / 84.9	77.6 / 86.2	고위 : 4,500kcal/kg 저위 : 4,068kcal/kg



(다) 실험에 따른 후속조치

미비점	개선방안	조치내역
역화온도 85±5℃ 세팅	프로그램 세팅	프로그램수정
과열감지기능 구현	끓음방지기능 추가	프로그램수정
단열강화	단열강화 구조변경	내부내화단열
원료투입구 안전강화	로타리밸브 설치	도면수정
안전장치 강화	로타리, 자동소화설비	도면수정
열효율 향상방안	추가난방실험 및 열손실최소화	열교환 파이프수량증가 검토
자동청소	연소실 스크류 타입	도면수정
자동착화 기능	현 수동착화	A/S 유지편리

(5) 목질펠릿, 아그로 펠릿 성능평가지험

(가) 재료 및 방법

① 공시재료

본 실험에 사용한 공시재료는 사진 1에 나타난 바와 같이 목재 펠릿(지피고, 신영이엔피)과 농업 부산물 펠릿으로 신영이엔피에서 생산한 벚짚 펠릿, 벚짚 30%와 목재 70%의 벚짚 목재 혼합 펠릿(이 후 벚짚/목재 펠릿으로 칭함) 및 벚짚 40%와 왕겨 60%의 벚짚 왕겨 혼합 펠릿(이후 벚짚/왕겨 펠릿으로 칭함)을 사용하였다.

아래 그림은 공시재료인 목재 펠릿과 농업 부산물 펠릿의 저위 발열량을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 저위발열량은 목재 펠릿이 농업 부산물 펠릿보다 높은 경향을 보였다.

목재 펠릿의 저위발열량은 3949 kcal/kg 로 공시재료 중 가장 높게 나타났고, 벚짚 펠릿, 벚짚/왕겨 펠릿은 각각 3156, 3064 kcal/kg으로 목재 펠릿보다 793, 885 kcal/kg 낮은 것으로 나타났다. 한편, 벚짚/목재 펠릿의 저위발열량은 3868 kcal/kg 이었다.

표는 공시재료에 대한 원소 분석 결과를 나타낸 것이다. 표 1에서 보는 바와 같이 원소 분석 항목은 질소, 탄소, 수소 및 황을 대상으로 분석하였다.

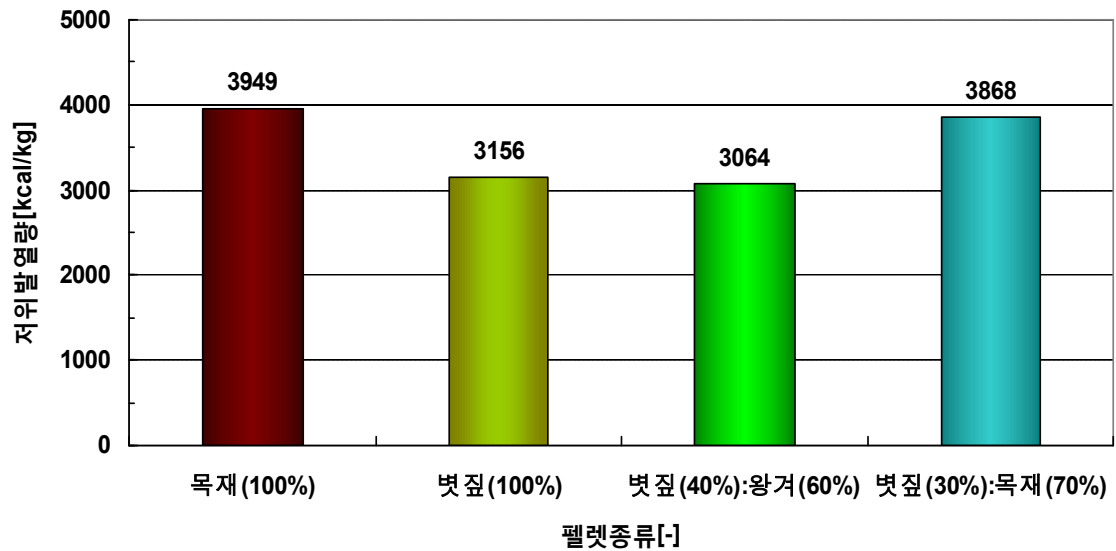
질소의 경우 목재 펠릿이 농업 부산물 펠릿보다 약간 낮은 경향을 보였고, 탄소의 경우에는 목재 펠릿이 농업 부산물 펠릿보다 3~9% 정도 높은 것으로 나타났다. 그 이외의 수소와 황은 목재 펠릿과 농업 부산물 펠릿에서 큰 차이가 없었다.

목재 펠릿과 농업 부산물 펠릿의 원소 분석 결과

시료		원소분석(%)			
		질소	탄소	수소	황
목재 펠릿 (100%)	1	0.25	49.94	6.31	0.18
	2	0.23	49.95	6.45	0.08
	3	0.19	49.80	6.54	0.05
	4	0.14	50.23	6.08	0.0155
	5	0.13	50.42	6.02	0.0157
	6	0.13	50.38	5.89	0.0156
표준편차		0.05307	0.2582	0.2576	0.0645
평균		0.18	50.12	6.22	0.06
벼짚 펠릿 (100%)	1	0.83	41.00	5.58	0.13
	2	0.83	40.51	5.49	0.14
	3	0.81	40.73	5.54	0.13
표준편차		0.0115	0.2454	0.0475	0.0057
평균		0.82	40.75	5.54	0.13
벼짚/왕겨 펠릿 (벼짚 40% : 왕겨 60%)	1	0.86	40.85	5.53	0.11
	2	0.90	40.71	5.51	0.12
	3	0.86	41.01	5.55	0.12
표준편차		0.0231	0.1501	0.0233	0.0087
평균		0.87	40.86	5.53	0.12
벼짚/목재 펠릿 (벼짚 30% : 목재 70%)	1	0.46	47.03	6.20	0.06
	2	0.46	46.97	6.18	0.06
	3	0.46	46.92	6.21	0.06
표준편차		0.0000	0.0551	0.0155	0.0015
평균		0.46	46.97	6.20	0.06



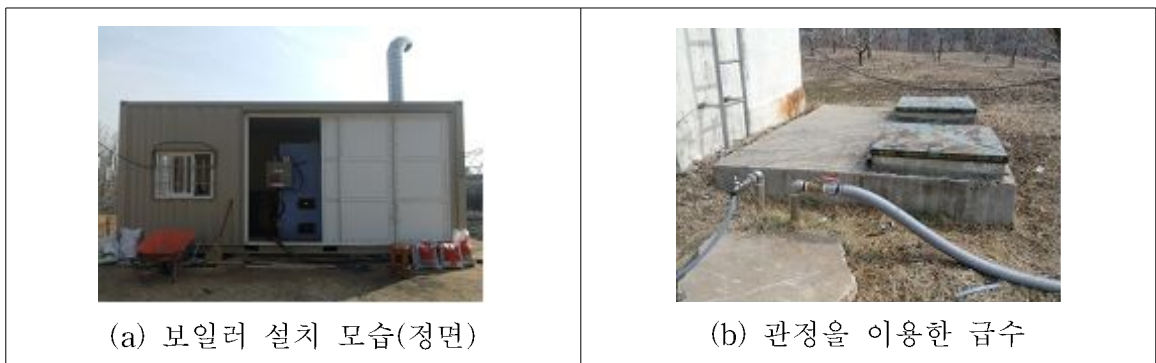
공시재료로 사용된 목재 펠릿과 농업 부산물 펠릿



목재 펠릿과 농업 부산물 펠릿의 저위발열량

(나) 실험방법

아래 사진은 농업 부산물 펠릿 연소용 고효율 보일러의 설치 모습을 나타낸 것이다. 보일러는 충북대학교 농장에 설치하였고, 사진 2(b)에서 보는 바와 같이 관정의 물을 이용하여 연소실험을 수행하였으며, 겨울철 동파 방지를 위해 급수부 파이프를 단열하였고, 파이프 내부에 별도의 열선을 설치하였다.



농업 부산물 펠릿 연소용 고효율 보일러의 설치 모습

아래 표는 농업 부산물 펠릿 연소용 고효율 보일러의 성능평가를 위한 실험 조건을 나타낸 것이다.

표에서 보는 바와 같이 농업 부산물 펠릿 연소용 고효율 보일러의 성능평가는 목재 펠릿을 이용하여 적정 연소조건을 확립하고 기초 성능을 파악한 후, 농업 부산물 펠릿을 이용하여 유사한 조건에서 연소 실험을 수행하여 보일러의 성능을 파악하였다. 또한 보일러의 연소 성능을 향상시키기 위하여 연소실 내부를 단열재로 단열 후 보일러의 연소 성능을 평가하였다.

① 목재 펠릿을 이용한 적정 연소조건 확립

표에서 보는 바와 같이 목재 펠릿을 이용한 적정 연소조건 확립은 보일러에 공급되는 펠릿량을 펠릿 공급 장치의 인버터로 조절하여 20Hz 및 25Hz의 2수준에서 공급하였고, 송풍량은 인버터로 연소팬의 회전수를 10Hz, 20Hz, 30Hz, 40Hz 및 50Hz의 5수준 조절하여 연소 실험을 수행한 후 적정 연소조건을 확립하였다. 연소실험은 유량을 일정하게 유지시킨 상태에서 배출수의 온도가 일정하게 유지되는 정상상태에서 1시간 이상 보일러를 운전하면서 연소실험을 수행하였다.

목재 펠릿을 이용한 적정 연소조건 확립 실험 조건

펠릿종류	송풍량 공급량	10Hz	20Hz	30Hz	40Hz	50Hz	60Hz
	목재펠릿	20Hz	◎	◎	◎	◎	
25Hz			◎	◎	◎	◎	

② 농업 부산물 펠릿을 이용한 고효율 보일러의 성능평가

농업 부산물 펠릿을 이용한 보일러의 성능평가는 목재 펠릿의 공급량과 송풍량을 고려한 적정 연소조건에서 수행하였다.

아래 표는 농업 부산물 펠릿을 이용한 보일러의 성능평가를 위한 실험 조건을 나타낸 것이다.

표에서 보는 바와 같이 볏짚 펠릿의 경우에는 공급량을 인버터 주파수 15Hz와 19Hz의 2 수준에서 공급하였고, 송풍속도는 20Hz와 30Hz의 2수준에서 연소실험을 수행하였다. 볏짚/왕겨 펠릿 연소실험은 공급량이 20Hz, 송풍량 20Hz에서 수행하였고, 볏짚/목재 펠릿의 연소실험은 펠릿 공급량이 16Hz, 송풍량 15Hz에서 수행하였다. 연소실험은 유량을 일정하게 유지시킨 상태에서 배출수의 온도가 일정하게 유지되는 정상상태에서 1시간 이상 보일러를 운전하면서 연소실험을 수행하여 보일러의 성능을 평가하였다.

농업 부산물 펠릿을 이용한 보일러 성능평가 실험 조건

펠릿종류	송풍량 공급량	10Hz	15Hz	20Hz	30Hz	40Hz	50Hz	60Hz
	벗짚펠릿	15Hz			◎			
19Hz					◎			
벗짚/왕겨	20Hz			◎				
벗짚/목재	16Hz		◎					

③ 보일러 연소실 내부 단열에 의한 성능평가

농업 부산물 펠릿 소용 고효율 보일러의 성능을 향상시키기 위하여 연소실 내부를 1300℃ 고열에서도 견딜 수 있는 초고온 내화 단열제인 세라크울(1300 Ceramic Fiber, KCC, Korea)로 단열하였다(사진 참조). 연소실험 조건은 표에서 보는 바와 같이 목재 펠릿 경우에는 펠릿 급량 15H, 송풍량 15Hz, 벗짚/왕겨 펠릿은 공급량 20H, 송풍량 20Hz에서 수행하였고, 벗짚/목재 펠릿 공급량 16H, 송풍량 15Hz에서 각각 수행하였으며, 연소 실험은 다른 실험과 동일한 조건에서 실험하여 보일러 성능을 비교·분석하였다.

보일러 연소실 내부 단열 후 농업 부산물 펠릿을 이용한 보일러 성능평가 실험 조건

펠릿종류	송풍량 공급량	10Hz	15Hz	20Hz	30Hz	40Hz	50Hz	60Hz
	벗짚펠릿	15Hz		◎				
벗짚/왕겨 펠릿	20Hz			◎				
벗짚/목재 펠릿	16Hz		◎					



내화 단열재 세라크울



내화 단열재 세라크울 설치 모습

④ 측정항목

- 급수 및 배출수 온도

보일러로 공급되는 급수 및 배출수 온도는 다점온도기록계(DA-100, Yokogawa, Japan)와 열전대(PT100Ω)를 이용하여 연소실험시 정상상태의 온도 데이터를 측정하였고, 평균

값으로 환산하여 나타내었다.



- 급수유량

급수유량은 유량계(DYWID, Dongyang, Korea)를 이용하여 시간당 유량을 측정하였고, 연소시간과 적산하여 시간당 총 급수 유량을 산출하였다.



- 배기가스온도 및 연소실 내부 온도

배기가스 온도와 연소실 내부 온도는 열전대(PT100Ω)를 각각 배기구와 연소실 내부의 열교환기 연결 통로에 설치한 후 다점온도기록계(DA-100, Yokogawa, Japan)를 이용하여 측정하였다.

- 배기가스 성분

배기가스 성분은 배기가스 측정 장치(TESTO 340, Testo, Germany)를 이용하여 배기구 말단에서 일산화탄소(CO)와 산소(O₂) 배출량을 정상상태 조건에서 1시간 동안 측정 한 후 평균값으로 환산하였다.



- 소 음

보일러 연소 실험시 소음측정은 소음 측정 장치(LA 200, ONOSOKKI, Japan)를 이용하여 보일러 본체로부터 1m 떨어진 지점의 정면, 좌측면, 우측면 및 후방에서 10회 측정하여 평균값으로 산출하였다.

- 외기 온습도

외기 온습도는 온습도 측정 장치(TR-72, T&D, Japan)를 이용하여 연소실험시 정상상태 조건에서 외기 온습도를 측정하였다.

- 소비전력량

소비전력량은 소비전력계(CW121, Yokogawa, Japan)을 이용하여 연소실험시 정상상태 조건에서 소모되는 소비전력을 측정하여 시간당 소비전력량으로 환산하여 나타내었다.

- 펠릿의 저위발열량(LHV)

본 실험에 사용된 목재 펠릿과 농업 부산물 펠릿의 발열량은 국가 공인기관인 한국입업진흥원에 의뢰하여 측정하였고, 저위발열량을 기준으로 정격난방능력을 산출하였다.

- 클링커 발생율

농업 부산물 펠릿의 클링커 발생률은 연소시 투입된 펠릿 무게에 대한 연소 후 클링커의 무게비로 산출하였다.

- 정격난방능력(Q_{out})

펠릿 보일러의 정격난방능력은 물의 평균 정압 비열을 1 kcal/kg $^{\circ}$ C로 가정하고, 급수구와 출수구에서의 온도 차이와 급수 유량을 이용하여 다음 식으로 산출한다.

$$Q_{out} = G_w \times c_p \times (T_{out} - T_{in})$$

여기서, Q_{out} : 정격난방능력(kcal/hr)
 G_w : 급수량(L/hr)
 c_p : 물의 평균 정압비열(1 kcal/kg $^{\circ}$ C)
 T_{out} : 출수 물 온도($^{\circ}$ C)
 T_{in} : 급수 물 온도($^{\circ}$ C)

- 보일러 열효율(η)

보일러 열효율은 식(2)를 이용하여 공급된 총열량(펠릿의 총 저위발열량)에 대한 배출된 총열량(물 가열에 사용된 열량)의 비로 산출한다.

$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} = \frac{G_w \times c_p \times (T_{out} - T_{in})}{F \times H_l}$$

여기서, Q_{in} : 공급된 펠릿의 총 저위발열량(kcal/h)
 F : 공급 펠릿량(kg/h)
 H_l : 펠릿의 저위발열량(kcal/kg)

(다) 결과 및 고찰

① 농업 부산물 펠릿 연소용 고효율 보일러의 성능평가를 위한 기초실험

• 송풍기 송풍량

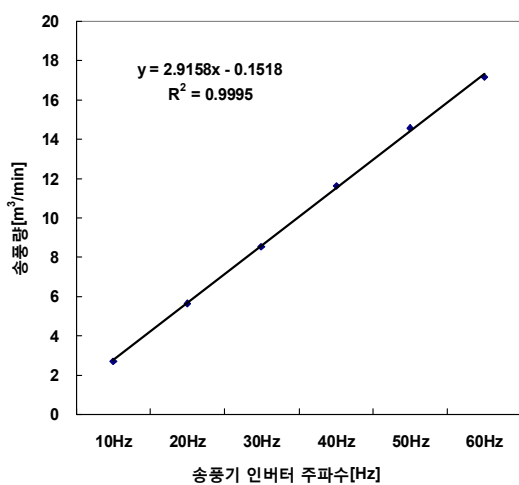
농업 부산물 펠릿 연소용 고효율 보일러의 공기 투입은 연소팬과 2차 연소팬을 병용하는 시스템으로 구성되어 있다. 따라서 연소에 필요한 송풍량을 조사하기 위하여 2차 연소팬을 정지시킨 상태에서 연소팬에 주파수 조절용 인버터를 설치하여 각각의 주파수별로 송풍량을 조사하였다.

또한 배기구에 설치된 2차 연소팬을 가동시킨 상태에서 연소팬의 주파수별 송풍량을 조사하였다.

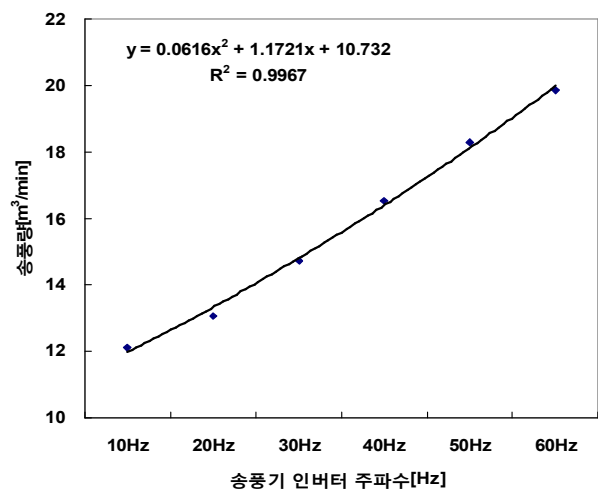
아래 그림과 표는 연소팬 및 2차 연소팬의 주파수에 따른 송풍량을 나타낸 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 2차 연소팬을 정지시킨 상태에서 연소팬의 주파수에 따른 송풍량은 주파수가 증가할수록 선형적으로 증가하는 경향을 보였다. 또한 그림 3에 나타낸 바와 같이 2차 연소팬을 작동시킨 상태에서 연소팬의 주파수 증가에 따른 송풍량은 비선형적으로 증가하는 경향을 보였다.

한편 표에서 알 수 있듯이 연소팬만 작동시켰을 경우와 연소팬 및 2차 연소팬을 동시에 작동시켰을 경우 송풍량 차이는 주파수가 증가할수록 감소하는 경향을 보였고, 20, 30Hz에서 각각 13.07과 14.73 m³/min로 나타났다.



연소팬 송풍량



연소팬, 2차 연소팬의 송풍량

연소팬과 2차 연소팬 작동에 따른 송풍량 비교

송풍조건 \ 주파수	10Hz	20Hz	30Hz	40Hz	50Hz	60Hz
연소팬	2.73	5.65	8.55	11.66	14.55	17.18
연소팬+2차 연소팬	12.12	13.07	14.73	16.54	18.28	19.86
송풍량 차이	9.39	7.42	6.18	4.88	3.73	2.68

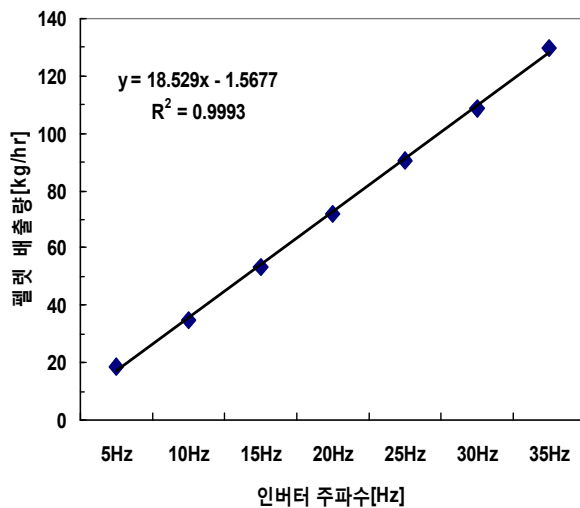
• 펠릿 공급량

아래 그림에 펠릿 공급 장치의 주파수 변화에 따른 펠릿 종류별 공급량을 나타내었다. 아래 그림에 나타낸 바와 같이 펠릿 공급량은 주파수가 증가할수록 선형적으로 증가하는 경향을 보였다.

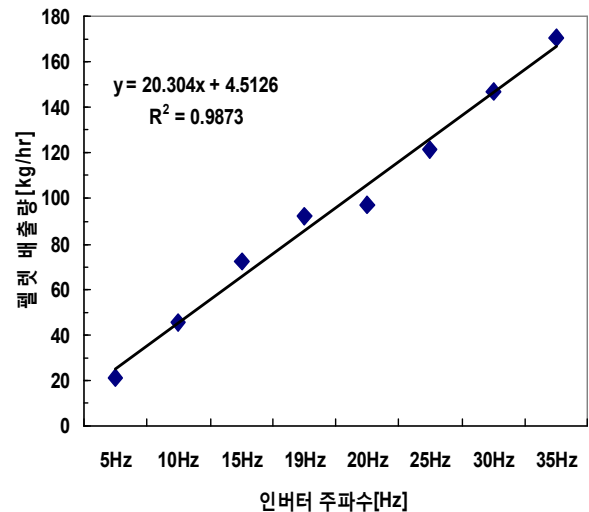
목재 펠릿의 공급량은 공급 장치 주파수 20Hz와 25Hz에서 각각 72.1, 90.5 kg/hr로 나타났고, 볏짚 펠릿의 공급량은 15Hz와 19Hz에서 각각 72.4, 92.1 kg/hr 로 나타났다.

볏짚/왕겨 펠릿의 경우에는 목재 펠릿과 유사한 20Hz와 25Hz에서 각각 72.6, 91.2 kg/hr로 나타났고, 볏짚/목재 펠릿의 공급량은 15Hz와 20Hz에서 각각 69.6, 91.2 kg/hr 로 나타났다.

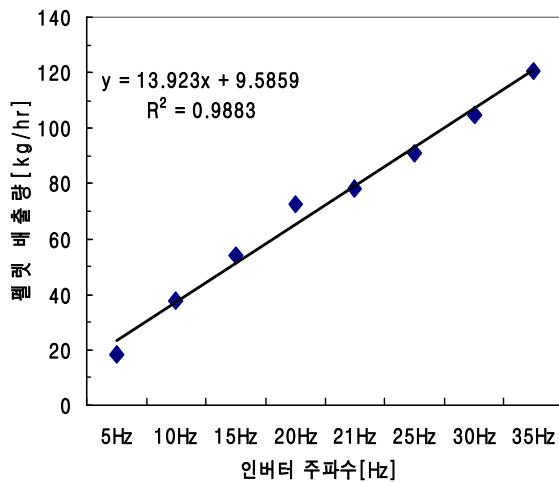
이와 같이 펠릿 종류별로 동일한 주파수에서 공급량이 차이를 보인 이유는 아래 그림에서 보는 바와 같이 걸보기 밀도가 다르기 때문으로 판단된다.



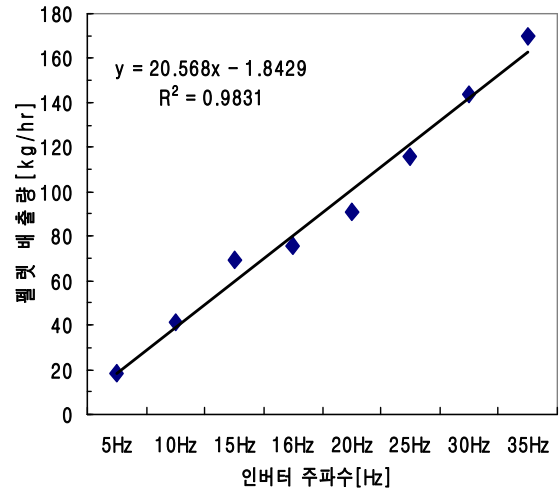
목재 펠릿의 주파수별 공급량



볏짚 펠릿의 주파수별 공급량

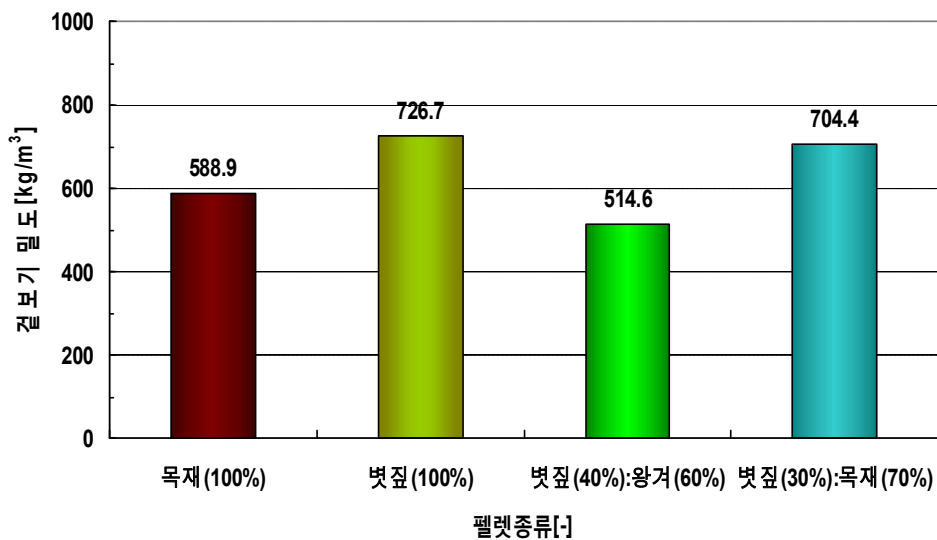


볏짚/왕겨 펠릿의 주파수별 공급량



볏짚/목재 펠릿의 주파수별 공급량

아래 그림은 목재 펠릿과 농업 부산물 펠릿의 겉보기 보기 밀도를 나타낸 것이다. 아래 그림에 나타낸 바와 같이 겉보기 밀도는 볏짚 펠릿이 가장 큰 것으로 나타났고, 볏짚/왕겨 펠릿이 가장 작은 것으로 나타나 볏짚의 함량이 높을수록 겉보기 밀도는 증가하는 경향을 보였다. 목재 펠릿의 겉보기 밀도는 588.9 kg/m³ 이었고, 볏짚 펠릿이 726.7 kg/m³으로 가장 큰 것으로 나타났다. 또한 볏짚/목재 펠릿의 경우에는 704.4 kg/m³으로 나타났으며, 볏짚/왕겨 펠릿의 겉보기 밀도가 514.6 kg/m³으로 다른 펠릿과 비교하여 가장 작은 값을 나타내었다.



펠릿 종류별 겉보기 밀도

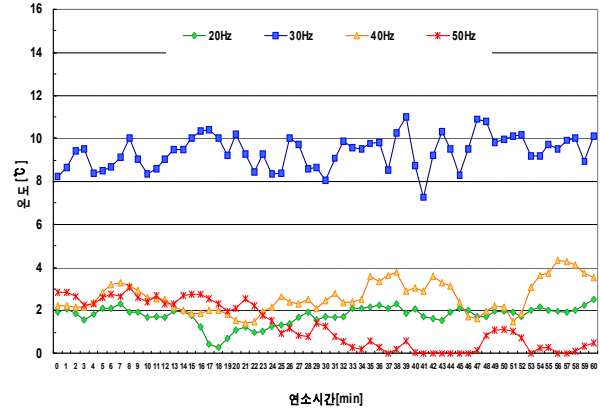
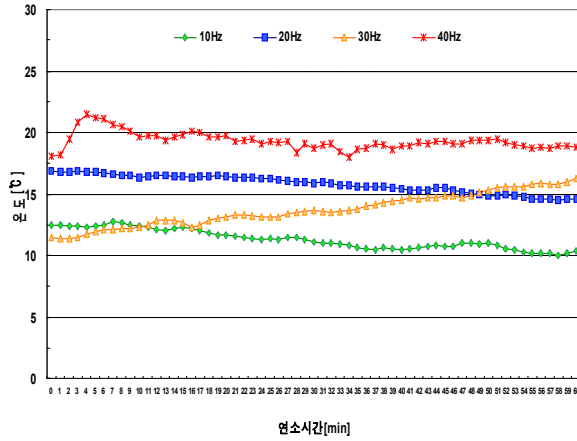
② 목재펠릿을 이용한 보일러의 적정 연소조건 확립

- 외기 온도 변화

아래 그림은 목재 펠릿 공급량에 따른 송풍 주파수 실험 조건별 외기 온도 변화를 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있듯이 목재 펠릿을 이용한 보일러의 적정 연소조건 확립 실험은 2월

초순부터 3월 말까지 진행되었다. 따라서 목재 펠릿 공급량 20Hz 실험 조건의 경우 외기 온도가 최소 10℃에서 최고 20℃ 내외에서 연소실험을 수행하였다. 목재 펠릿 공급량 25Hz 실험의 경우 2월 초순에 이루어져 송풍속도 30Hz를 제외하면 외기온도가 4℃ 이하에서 연소실험을 수행하였다.



목재 펠릿 공급량 20Hz(72.1 kg/hr)

목재 펠릿 공급량 25Hz(90.5 kg/hr)

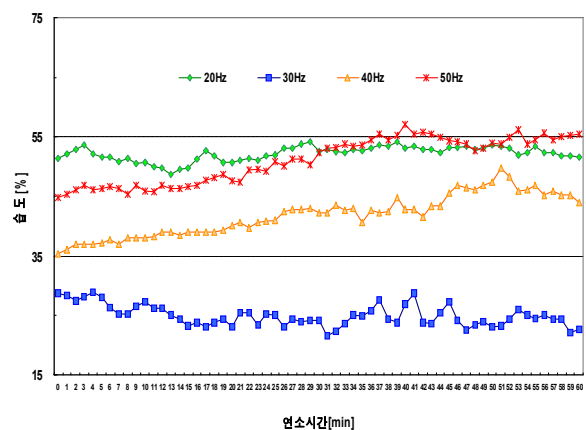
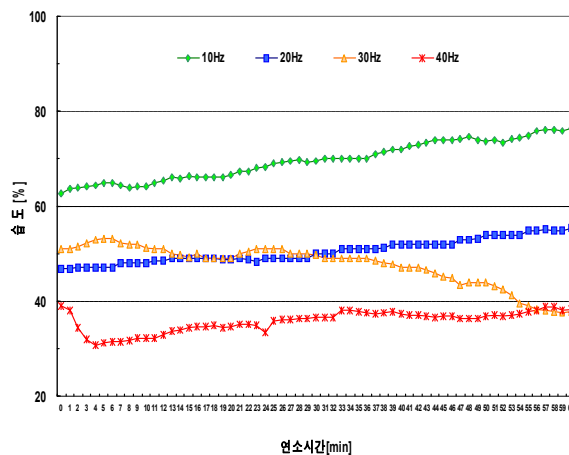
목재 펠릿 공급량에 따른 송풍 주파수 실험 조건별 외기 온도 변화

● 습도 변화

아래 그림에 목재 펠릿 공급량에 따른 송풍 주파수 실험 조건별 외기 습도 변화를 나타내었다.

그림에 나타낸 바와 같이 목재 펠릿 공급량 20Hz 실험 조건의 경우 외기습도는 송풍 속도 10Hz를 제외하고 50% 이내 이었고, 송풍속도 10Hz의 경우 우천으로 인하여 습도가 최고 75% 이상을 나타내었다.

목재 펠릿 공급량 25Hz 실험의 경우에는 외기온이 낮고 건조한 2월 초순에 이루어졌기 때문에 외기 습도가 55% 이하에서 연소실험을 수행하였다.



목재 펠릿 공급량 20Hz(72.1 kg/hr)

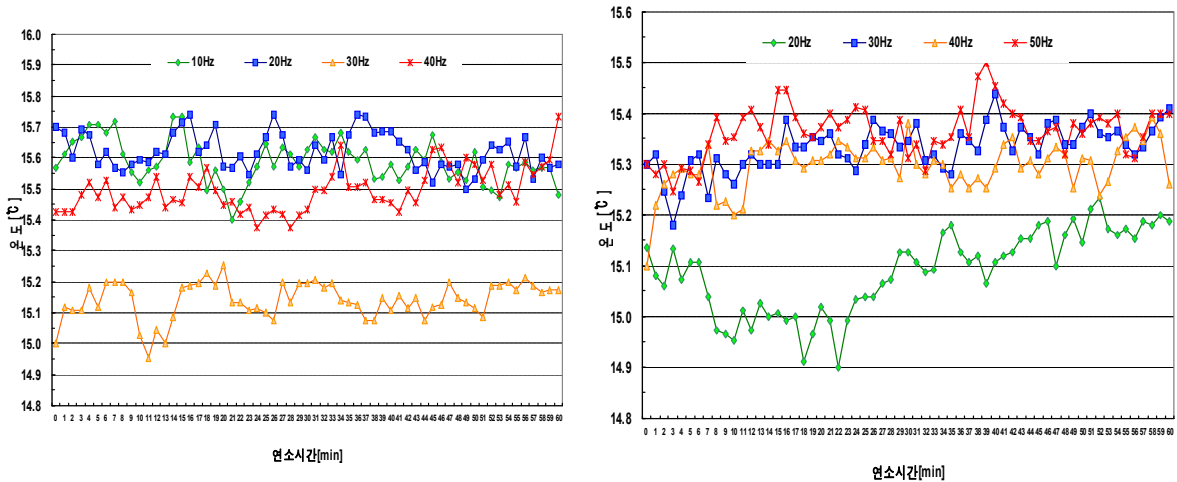
목재 펠릿 공급량 25Hz(90.5 kg/hr)

목재 펠릿 공급량에 따른 송풍 주파수 실험 조건별 외기 습도 변화

- 입수 온도

아래 그림은 목재 펠릿 공급량에 따른 송풍 주파수 실험 조건별 보일러의 입수 온도 변화를 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있듯이 목재 펠릿 공급량 25Hz(90.5 kg/hr) 실험 조건의 경우 전술한 바와 같이 외기온이 낮은 2월 초순이었지만 입수온도는 약 14.9~15.4℃의 온도분포를 나타내었다. 한편 목재 펠릿 공급량 20Hz(72.1 kg/hr) 실험 조건의 경우에는 외기온이 상승함에 따라 입수온도도 상승하는 경향을 보였지만 약 15.0~15.7℃의 온도분포를 나타내었고, 온도 편차는 1℃ 이내인 것으로 나타났다.



목재 펠릿 공급량 20Hz(72.1 kg/hr)

목재 펠릿 공급량 25Hz(90.5 kg/hr)

목재 펠릿 공급량에 따른 송풍 주파수 실험 조건별 입수온도 변화

- 출수 온도

아래 그림에 목재 펠릿 공급량에 따른 송풍 주파수 실험 조건별 출수 온도 변화를 비교하여 나타내었다. 아래 표는 목재 펠릿 공급량에 따른 송풍 주파수 실험 조건별 급수량을 나타낸 것이다.

아래 그림에 나타낸 바와 같이 목재 펠릿 공급량 20Hz(72.1 kg/hr) 실험 조건의 경우 송풍속도 10, 20, 30, 40Hz에서 평균 출수 온도는 각각 70.6, 71.4, 64.4, 65.7℃로 나타났고, 최고 및 최저 온도 편차는 각각 5.2, 7.1, 2.3, 5.4℃로 나타났다.

한편, 출수온도는 동일한 열량을 공급하더라도 급수 유량에 따라 차이가 발생한다.

표에서 보는 바와 같이 송풍속도 10, 20, 30, 40Hz에서 각각 1.16, 1.20, 1.25, 1.23 L/s로 송풍속도 20, 30, 40Hz에서 큰 차이는 없었으나 급수유량이 많을수록 출수 온도가 낮은 것은 경향을 보였다.

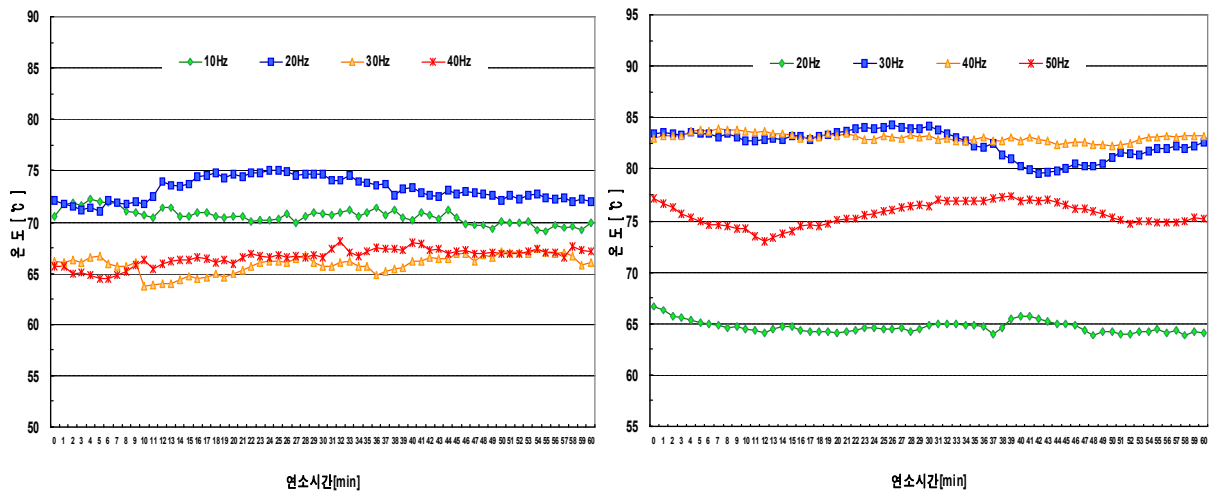
아래 그림과 표에서 보는 바와 같이 목재 펠릿 공급량 25Hz(90.5 kg/hr) 실험 조건의 경우 급수유량은 송풍속도 20, 30, 40, 50Hz에서 각각 1.73, 1.27, 1.25, 1.25 L/s로 나타났다.

평균 출수 온도는 송풍속도 20, 30, 40, 50Hz에서 각각 64.2, 83.8, 83.1, 75.6℃로 나타나 송풍속도 20Hz에서 출수 온도가 가장 낮은 경향을 보였다. 이것은 전술한 바와 같이 급수유량이 다른 실험조건보다 많았기 때문으로 판단된다. 한편 최고 및 최저 온도 편차는 6.7, 4.2, 2.4, 4.8℃로 나타났다.

따라서 목재 펠릿 공급량 20Hz(72.1 kg/hr) 실험 조건의 경우 송풍속도 20Hz에서 출수 온도가 가장 높은 경향을 보였고, 목재 펠릿 공급량 25Hz(90.5 kg/hr)의 경우 송풍속도 30Hz에서 출수 온도가 가장 높은 것으로 나타났다.

목재 펠릿 공급량에 따른 송풍 주파수 실험 조건별 급수량 (단위:L/s)

송풍속도 \ 공급량	10Hz	20Hz	30Hz	40Hz	50Hz
20Hz(72.1 kg/hr)	1.16	1.20	1.25	1.23	-
25Hz(90.5 kg/hr)	-	1.73	1.27	1.25	1.25



목재 펠릿 공급량 20Hz(72.1 kg/hr)

목재 펠릿 공급량 25Hz(90.5 kg/hr)

목재 펠릿 공급량에 따른 송풍 주파수 실험 조건별 출수온도 변화

● 연소실 내부 온도

아래 그림은 목재 펠릿 공급량에 따른 송풍 주파수 실험 조건별 보일러 연소실 내부 온도 변화를 나타낸 것이다.

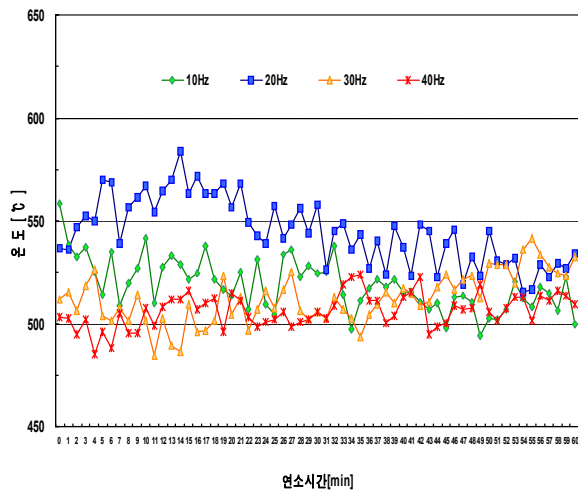
그림에서 보는 바와 같이 연소실 내부온도는 목재 펠릿 공급량 20Hz(72.1 kg/hr) 실험 조건의 경우 송풍속도 20Hz에서 가장 높게 나타났고, 목재 펠릿 공급량 25Hz(90.5kg/hr)의 경우에는 송풍속도 30Hz에서 연소실 내부 온도가 가장 높은 것으로 나타났다.

목재 펠릿 공급량 20Hz(72.1 kg/hr) 실험 조건의 연소실 내부 평균온도는 송풍속도 10, 20, 30, 40Hz에서 각각 519.0, 536.2, 471.8, 499.4℃로 나타났고, 최고 및 최저 온도 편차

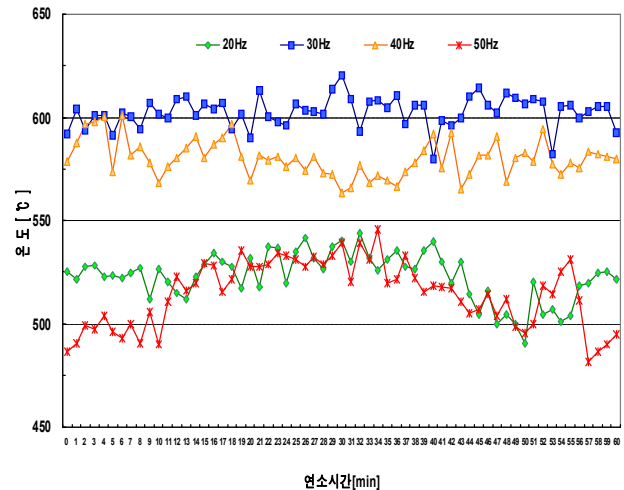
는 86.9, 98.5, 79.8, 59.4℃로 송풍속도 20Hz에서 연소실 내부온도가 가장 높고 온도 편차도 큰 것으로 나타났다.

목재 펠릿 공급량 25Hz(90.5 kg/hr) 실험 조건의 경우 연소실 내부 평균 온도는 송풍속도 20, 30, 40, 50Hz에서 각각 519.5, 606.3, 580.0, 514.7℃로 송풍속도 30Hz에서 연소실 내부온도가 가장 높은 것으로 나타났다. 한편 최고 및 최저 온도 편차는 송풍속도 20, 30, 40, 50Hz에서 각각 97.0, 97.7, 66.3, 114.8℃로 나타나 송풍속도 50Hz에서 연소실 내부 온도 편차가 가장 큰 것으로 나타났다.

이와 같이 목재 펠릿 공급량 20Hz(72.1 kg/hr)의 송풍속도 20Hz와 목재 펠릿 공급량 25Hz(90.5 kg/hr)의 송풍속도 30Hz 실험 조건에서 연소실 내부온도가 가장 높게 나타나 공급된 펠릿 연료를 가장 효율적으로 연소시킨 것으로 판단된다.



목재 펠릿 공급량 20Hz(72.1 kg/hr)



목재 펠릿 공급량 25Hz(90.5 kg/hr)

목재 펠릿 공급량에 따른 송풍 주파수 실험 조건별 연소실 내부 온도 변화

● 배기가스 온도

아래 그림에 목재 펠릿 공급량에 따른 송풍 주파수 실험 조건별 배기가스 온도 변화를 비교하여 나타내었다.

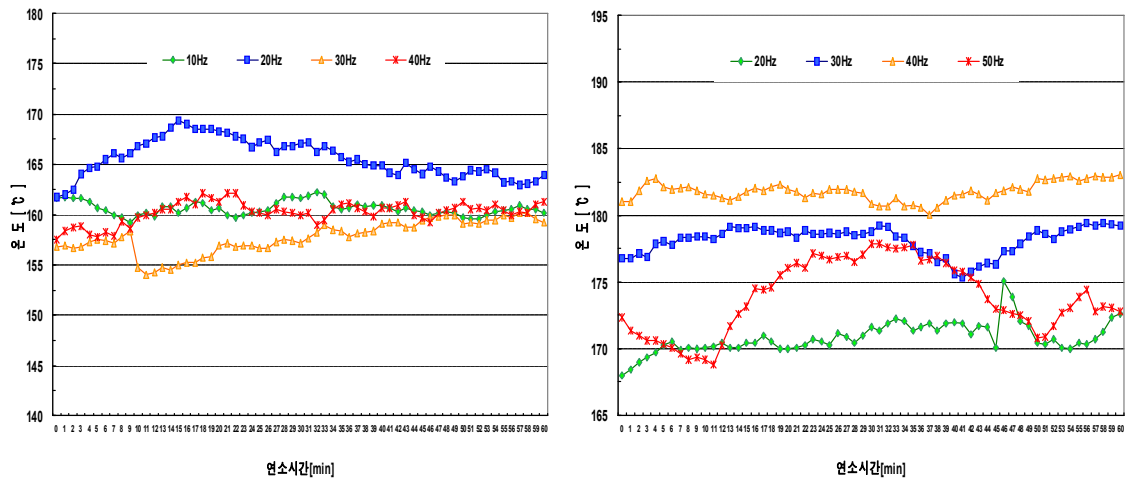
그림에 나타낸 바와 같이 목재 펠릿 공급량 20Hz(72.1 kg/hr) 실험 조건의 경우 배기가스 온도는 송풍속도 20Hz에서 가장 높게 나타났고, 송풍속도 30Hz에서 배기가스 온도가 가장 낮은 경향을 보였다. 목재 펠릿 공급량 25Hz(90.5 kg/hr) 실험 조건의 경우에는 송풍속도 40Hz에서 배기가스 온도가 가장 높은 것으로 나타났고, 송풍속도 20Hz 실험조건이 배기가스 온도가 가장 낮은 것으로 나타났다.

목재 펠릿 공급량 20Hz(72.1 kg/hr) 실험 조건의 경우 배기가스 평균온도는 송풍속도 10, 20, 30, 40Hz에서 각각 160.6, 163.2, 155.0, 158.6℃로 배기가스 평균 온도가 가장 높

은 송풍속도 20Hz 조건이 가장 낮은 30Hz 조건보다 8.2℃ 높은 경향을 보였으나 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

목재 펠릿 공급량 25Hz(90.5 kg/hr) 실험 조건의 경우 배기가스 평균 온도는 송풍속도 20, 30, 40, 50Hz에서 각각 169.1, 176.0, 181.8, 173.9℃로 배기가스 평균 온도가 가장 높은 송풍속도 40Hz 조건이 가장 낮은 20Hz 조건보다 12.7℃ 높은 것으로 나타났다.

한편, 목재 펠릿 공급량 25Hz(90.5 kg/hr)의 송풍속도 20Hz에서 배기가스 온도가 가장 낮았던 이유는 표에서 전술한 바와 같이 급수 유량이 1.73L/s로 다른 실험조건 보다 많았기 때문으로 판단된다.



목재 펠릿 공급량 20Hz(72.1 kg/hr)

목재 펠릿 공급량 25Hz(90.5 kg/hr)

목재 펠릿 공급량에 따른 송풍 주파수 실험 조건별 배기가스 온도 변화

● 배기가스 성분 분석

→ 일산화탄소(CO) 배출량

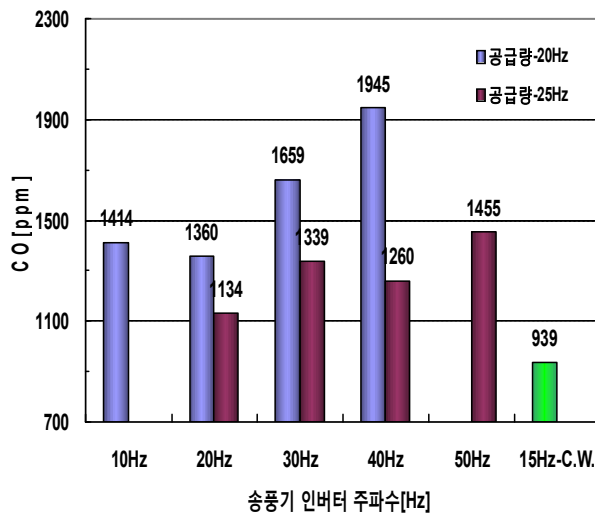
목재 펠릿 공급량에 따른 송풍 주파수 실험 조건별 배기가스 중 일산화탄소(CO)배출량을 아래 그림에 비교하여 나타내었다.

그림에서 보는 바와 같이 목재 펠릿 공급량에 따른 송풍 주파수 실험 조건별 배기가스 중 일산화탄소(CO) 배출량은 목재 펠릿 공급량이 많을수록 즉, 연소실 내부온도가 높을수록 감소하는 것으로 나타났고, 송풍속도가 빠를수록 증가하는 경향을 보였다.

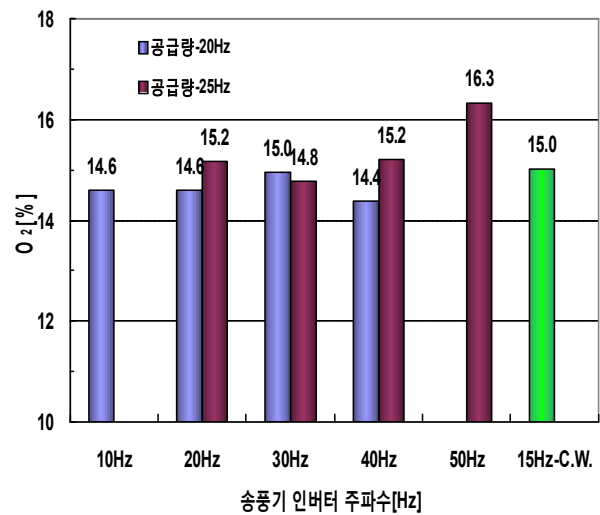
목재 펠릿 공급량 20Hz(72.1 kg/hr) 실험 조건에서 일산화탄소(CO) 배출량은 송풍속도 10, 20, 30, 40Hz에서 각각 1414, 1360, 1659, 1945 ppm으로 나타나 송풍속도 20Hz 조건에서 일산화탄소(CO) 배출량이 가장 적었고, 송풍속도 40Hz 조건이 가장 많은 것으로 나타났으며, 그 차이는 531 ppm 이었다. 이것은 전술한 바와 같이 송풍속도 20Hz에서 연소실 내부 온도가 536.2℃로 가장 높았기 때문으로 판단된다.

목재 펠릿 공급량 25Hz(90.5 kg/hr) 실험 조건에서 일산화탄소(CO) 배출량은 송풍속도 20, 30, 40, 50Hz에서 각각 1134, 1339, 1260, 1455 ppm으로 나타나 송풍속도 40Hz 조건에서 일산화탄소(CO) 배출량이 가장 적었고, 송풍속도 50Hz 조건이 가장 많은 것으로 나타났다.

한편 연소실 내부를 초고온 내화 단열재인 세라크올로 단열한 후 목재 펠릿 공급량 15Hz(53.4kg/hr), 송풍속도 15Hz에서 연소실험을 수행한 경우 일산화탄소(CO) 배출량은 939ppm 으로서 다른 연소실험 조건에 비해 매우 낮은 것으로 나타났다. 이것은 세라크올 단열 조건의 연소실 내부 평균온도가 625.7℃로 다른 실험조건보다 높았기 때문에 판단되며, 일산화탄소(CO) 배출량을 줄이기 위해서는 연소실 내부온도를 더 높일 수 있는 방안을 강구해야 할 것으로 판단된다.



연소실험 조건별 CO 배출량



연소실험 조건별 O₂ 배출량

→ 산소(O₂) 배출량

목재 펠릿 공급량에 따른 송풍 주파수 실험 조건별 배기가스 중 산소(O₂) 배출량을 위 그림에 비교하여 나타내었다.

그림에 나타낸 바와 같이 목재 펠릿 공급량에 따른 송풍 주파수 실험 조건별 배기가스 중 산소(O₂) 배출량은 모든 실험 조건에서 높게 배출되는 것으로 나타났고, 목재 펠릿 공급량이 많을수록 약간 증가하는 경향을 보였지만 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

목재 펠릿 공급량 20Hz(72.1 kg/hr) 실험 조건에서 산소(O₂) 배출량은 송풍속도 10, 20, 30, 40Hz에서 각각 14.6, 14.6, 15.0, 14.4%로 나타나 송풍속도 40Hz 조건에서 산소(O₂) 배출량이 가장 적었고, 송풍속도 30Hz 조건이 가장 많은 것으로 나타났으나 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

목재 펠릿 공급량 25Hz(90.5 kg/hr) 실험 조건에서 산소(O₂) 배출량은 송풍속도 20,

30, 40, 50Hz에서 각각 15.2, 14.8, 15.2, 16.3%로 나타나 송풍속도 30Hz 조건에서 산소(O₂) 배출량이 가장 적었고, 송풍속도 50Hz 조건이 가장 많은 것으로 나타났다.

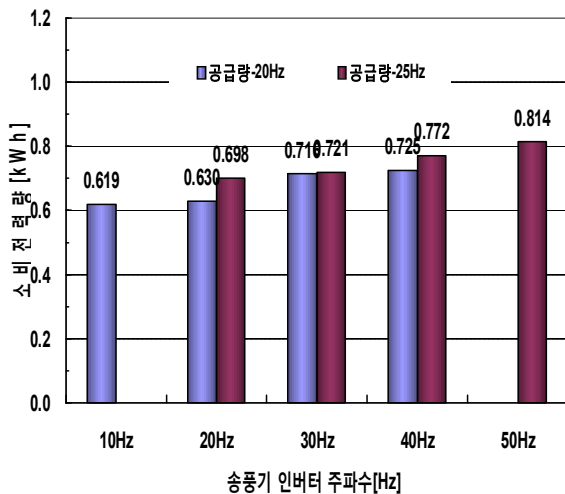
한편 연소실 내부를 초고온 내화 단열재인 세라크울로 단열한 후 목재 펠릿 공급량 15Hz(53.4kg/hr), 송풍속도 15Hz에서 연소실험을 수행한 경우 산소(O₂) 배출량도 15.0%로서 다른 연소실험 조건과 유사한 경향을 나타내었다.

- 소비전력량

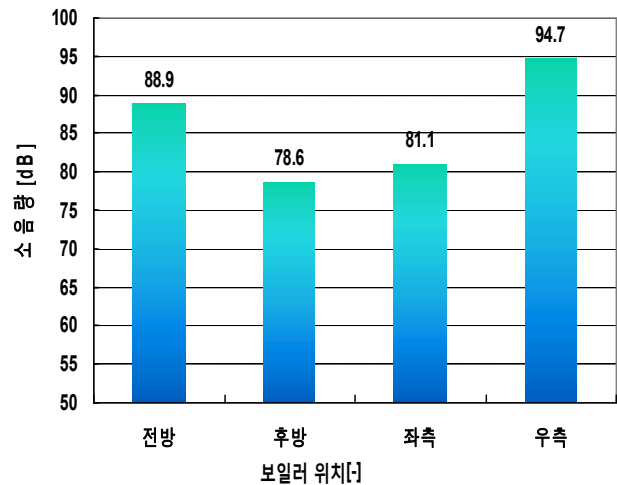
아래 그림은 목재 펠릿 공급량에 따른 송풍 주파수 실험 조건별 소비전력량을 비교하여 나타낸 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 목재 펠릿 공급량에 따른 송풍 주파수 실험 조건별 소비전력량은 송풍속도와 목재 펠릿 공급량이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났다.

목재 펠릿 공급량 20Hz(72.1 kg/hr), 송풍속도 10, 20, 30, 40Hz의 실험 조건에서 소비전력량은 각각 0.619, 0.630, 0.710, 0.725 kWh로 나타나 송풍속도 10Hz 조건에서 소비전력량이 가장 적었고, 송풍속도 40Hz 조건이 가장 많은 것으로 나타났으며, 그 차이는 0.106 kWh 이었다. 목재 펠릿 공급량 25Hz(90.5 kg/hr) 실험 조건에서 소비전력량은 송풍속도 20, 30, 40, 50Hz에서 각각 0.698, 0.721, 0.772, 0.814 kWh로 나타나 목재 펠릿 공급량 20Hz(72.1 kg/hr) 실험 조건과 마찬가지로 송풍속도가 증가할수록 소비전력량도 증가하는 것으로 나타났다.



연소실험 조건별 소비전력량



연소실험 위치별 소음 발생량

- 소음 발생량

위 그림은 목재 펠릿 공급량 25Hz(90.5 kg/hr), 송풍속도 50Hz에서 보일러 운전시 소음 발생량을 나타낸 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 소음 발생량은 2차 연소팬이 설치된 우측에서 가장 높게 나

타났고, 전체적으로 78dB 이상의 소음이 운전시에 발생하는 것으로 나타났다.

보일러의 각 부위별 소음 발생량은 2차 연소팬이 설치된 보일러 우측에서 94.7 dB로 가장 높게 나타났고, 그 다음으로 보일러 전방에서 88.9 dB의 소음이 발생하는 것으로 나타났다. 또한 연소팬 송풍기가 설치된 보일러 후방에서의 소음 발생량은 78.6 dB로 가장 낮게 나타났고, 보일러 좌측에서의 소음 발생량은 81.1 dB로 나타났다.

- 열 효율

아래 그림에 목재 펠릿 공급량에 따른 송풍 주파수 실험 조건별 열효율을 비교하여 나타내었다.

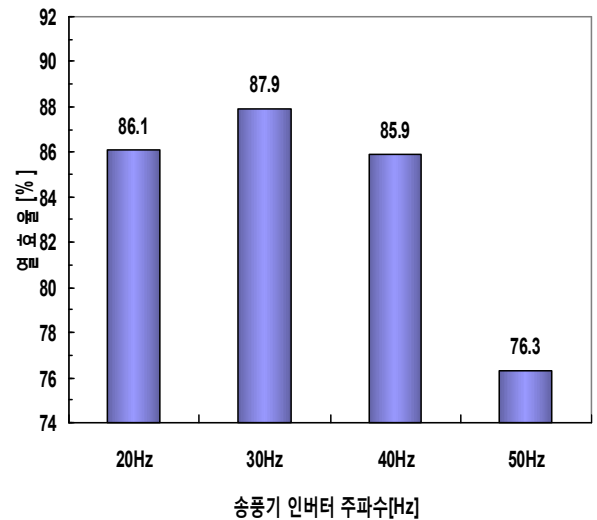
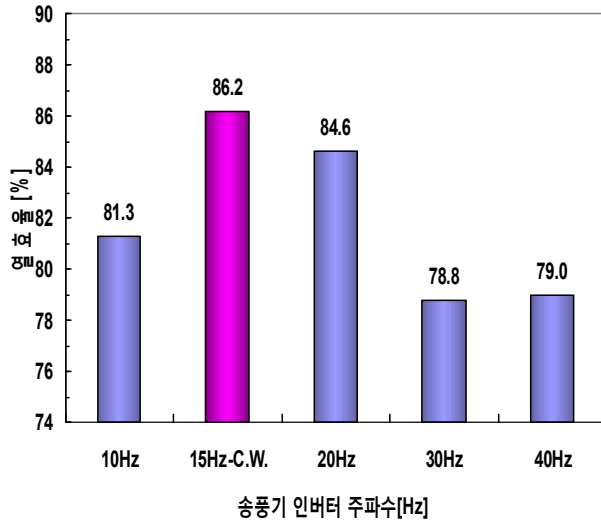
그림에 나타낸 바와 같이 목재 펠릿 공급량에 따른 송풍 주파수 실험 조건별 열효율은 목재 펠릿 공급량 20Hz(72.1 kg/hr), 송풍속도 20Hz와 목재 펠릿 공급량 25Hz(90.5 kg/hr), 송풍속도 30Hz의 실험 조건에서 가장 높게 나타났다.

목재 펠릿 공급량 20Hz(72.1 kg/hr) 실험 조건에서 열효율은 송풍속도 10, 20, 30, 40Hz에서 각각 81.3, 84.6, 78.8, 79%로 송풍속도 20Hz 조건에서 열효율이 가장 높은 것으로 나타났고, 이때의 정격 난방능력은 송풍속도 10, 20, 30, 40Hz에서 각각 230,151, 239,509, 226,981, 223,477kcal/h로 나타났다.

목재 펠릿 공급량 25Hz(90.5 kg/hr), 송풍속도 20, 30, 40, 50Hz의 실험 조건에서 열효율은 각각 86.1, 87.9, 85.9, 76.3%로 나타나 송풍속도 30Hz 조건에서 열효율이 가장 높은 것으로 나타났고, 이때의 정격 난방능력은 송풍속도 20, 30, 40, 50Hz에서 각각 305,638, 312,087, 304,963, 271,003kcal/h로 본 실험에서 개발한 보일러에 목재 펠릿을 연료로 사용하여 난방할 경우 정격 난방능력은 300,000 kcal/hr 이상인 것으로 판단된다.

한편 연소실 내부를 초고온 내화 단열재인 세라크울로 단열한 후 목재 펠릿 공급량 15Hz(53.4kg/hr), 송풍속도 15Hz에서 연소실험을 수행한 경우 열효율은 86.2%로서 다른 연소실험 조건보다 높은 것으로 나타났고, 정격난방능력은 183014 kcal/hr 것으로 나타났다.

따라서 본 실험에서 개발한 농업 부산물 펠릿 연소용 고효율 보일러의 열효율을 증가시키기 위해서는 연소실 내부를 재설계하고, 초고온 내화 단열재 등으로 연소실 내부를 단열해야 할 것으로 판단된다.



목재 펠릿 공급량 20Hz(72.1 kg/hr)

목재 펠릿 공급량 25Hz(90.5 kg/hr)

목재 펠릿 공급량에 따른 송풍 주파수 실험 조건별 열효율

● 적정 연소조건 확립

본 실험에서 개발한 농업 부산물 펠릿 연소용 고효율 보일러의 성능을 목재 펠릿을 이용하여 평가하였다. 그 결과 급수온도에 따른 출수온도, 연소실 내부 온도, 배기가스 배출 온도, 정격 난방능력 및 열효율에 있어서 목재 펠릿 공급량 20Hz(72.1 kg/hr), 송풍 속도 20Hz와 목재 펠릿 공급량 25Hz(90.5 kg/hr), 송풍속도 30Hz의 실험 조건이 가장 적절한 연소 조건으로 판단된다.

③ 농업 부산물 펠릿을 이용한 고효율 보일러의 성능평가

● 볏짚 펠릿과 목재 펠릿의 연소특성 비교

아래 그림은 볏짚 펠릿과 목재 펠릿의 연소특성을 비교하여 나타낸 것이다.

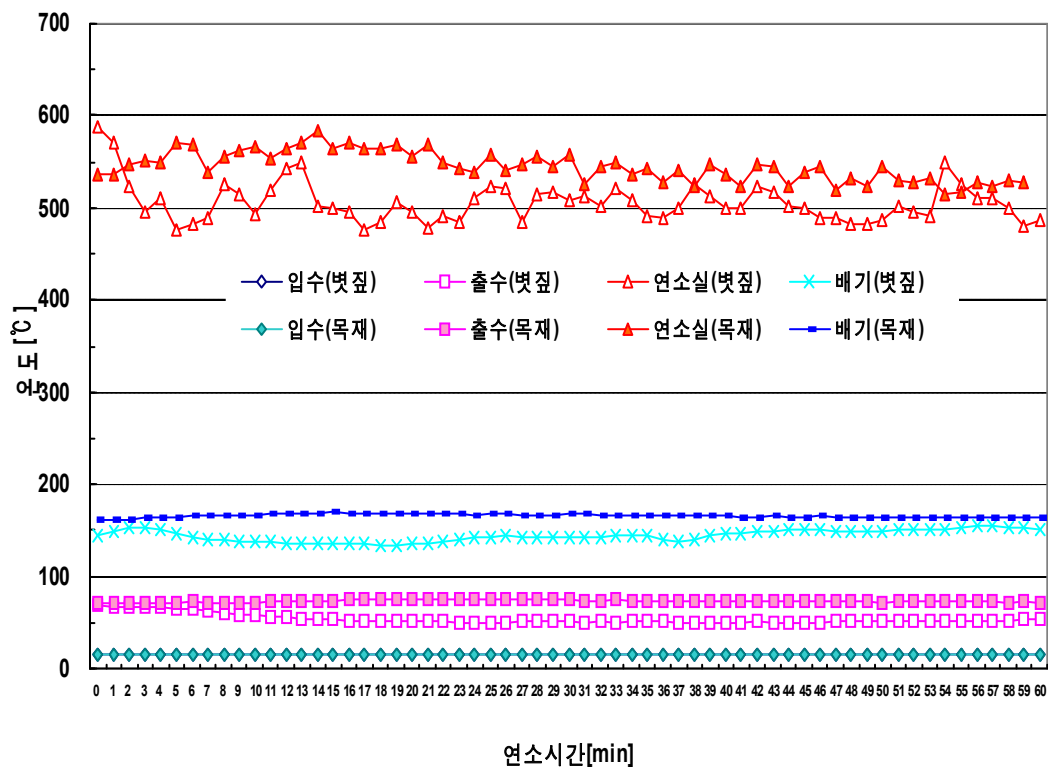
그림에서 보는 바와 같이 볏짚 펠릿 공급량 15Hz(72.4kg/hr)-송풍속도 20Hz 실험 조건에서의 평균 입수 온도는 15.5℃ 이었고, 평균 출수온도는 53.7℃로 나타났으며, 최저 및 최고 출수온도 편차는 약 6℃ 내외로 나타났다. 또한 연소실 내부 평균 온도는 506.0℃로서 최저 및 최고 온도 편차는 약 163.2℃로 나타났으며, 배기가스 온도는 144.3℃를 나타내었다.

한편 펠릿의 발열량이 다르지만 유사한 연소조건인 목재 펠릿 공급량 20Hz(72.1kg/hr) 송풍속도 20Hz 실험과 비교하면, 평균 출수온도는 목재 펠릿의 74.1℃보다 약 20℃ 낮은 것으로 나타났고, 연소실 내부 평균 온도도 약 30.0℃ 낮은 경향을 보였으며, 배기가스 온도의 경우 목재 펠릿의 163.2℃ 보다 약 20℃ 내외 정도 낮은 것으로 나타났다.

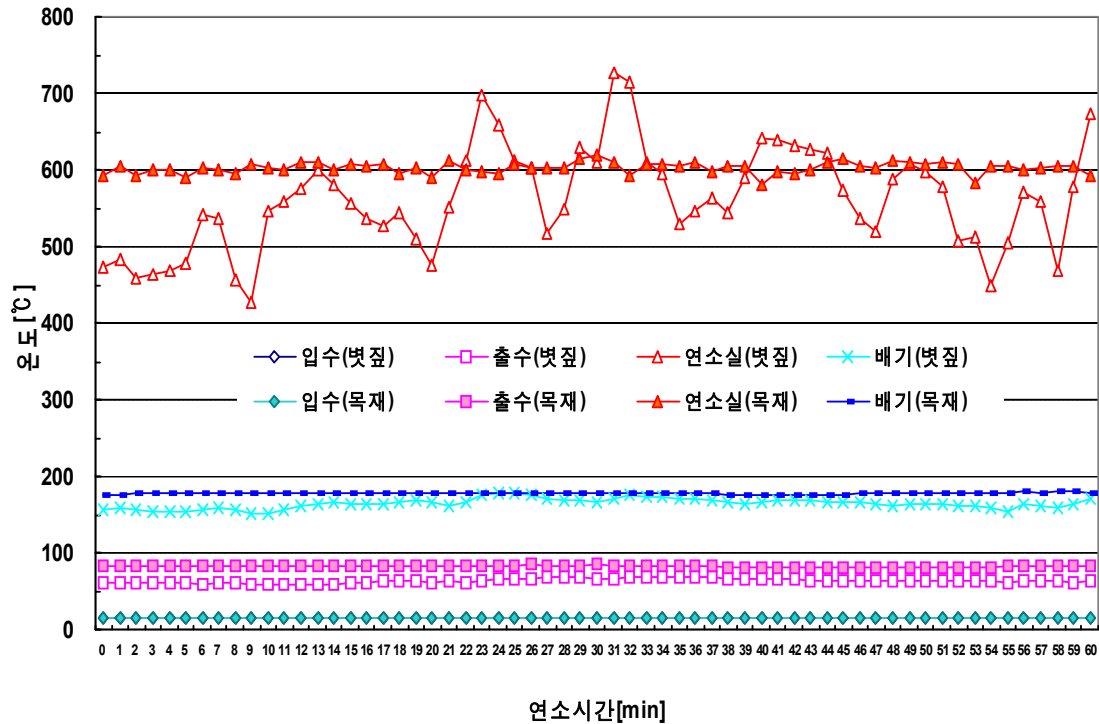
아래 그림에 나타낸 바와 같이 볏짚 펠릿 공급량 19Hz(92.0 kg/hr)-송풍속도 30Hz 실험 조건에서의 평균 입수 온도는 15.4℃ 이었고, 평균 출수온도는 61.6℃ 이었고, 최저 및 최고 출수온도 편차는 약 11℃ 내외로 나타났다. 또한 연소실 내부 평균 온도는 564.1℃로

나타났으나 그림에서 보는 바와 같이 연소시간 10분 간격으로 온도편차가 크게 발생하는 경향을 보였으며, 최저 및 최고 출수온도 편차는 약 343.7℃로 나타났다. 이와 같이 연소실 내부 온도의 편차가 큰 원인은 사진 12에서 보는 바와 같이 벗짚 펠릿의 경우 연소 과정에 클링커가 발생하여 연소로스트에서 정제되었다가 배출되는 현상이 반복되면서 새로 투입되는 벗짚 펠릿의 연소를 방해하는 현상이 발생하였기 때문으로 판단된다. 배기가스 온도는 160.3℃를 나타내었다.

한편 펠릿 공급량을 기준으로 유사한 연소조건인 목재 펠릿 공급량 25Hz(90.5 kg/hr)-송풍속도 30Hz 실험과 비교하면, 평균 출수온도는 목재 펠릿의 83.3℃보다 약 22℃ 정도 낮은 것으로 나타났고, 연소실 내부 평균 온도도 약 40.0℃ 낮은 경향을 보였으며, 배기가스 온도의 경우 목재 펠릿의 176.0℃ 보다 약 16℃ 내외 정도 낮은 것으로 나타났다.



벗짚 펠릿 공급량 15Hz(72.4 kg/hr)-송풍속도 20Hz
 목재 펠릿 공급량 20Hz(72.1kg/hr)-송풍속도 20Hz 비교



연소시간[min]
 볏짚 펠릿 공급량 19Hz-송풍속도 30Hz()/
 목재 펠릿 공급량 25Hz-송풍속도 30Hz 비교
 볏짚 펠릿과 목재 펠릿의 연소특성 비교



볏짚 펠릿 연소시 클링커 발생 모습

● 볏짚/왕겨 펠릿과 목재 펠릿의 연소특성 비교

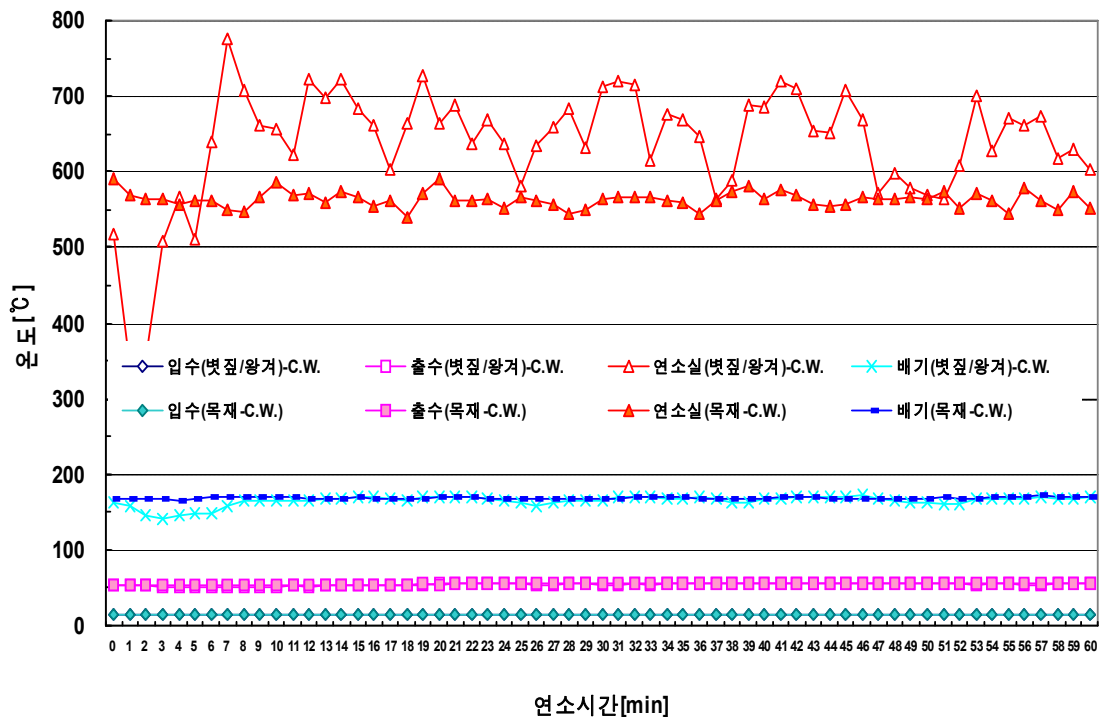
아래 그림에 볏짚/왕겨 펠릿과 목재 펠릿의 연소특성을 비교하여 나타내었다. 볏짚/왕겨 펠릿의 연소 실험은 초고온 내부 단열재인 세라크울을 이용하여 연소실 내부를 단열한 상태에서 수행하였다.

그림에 나타낸 바와 같이 볏짚/왕겨 펠릿 공급량 21Hz(78.4kg/hr)-송풍속도 20Hz 실험 조건에서의 평균 입수 온도는 15.5°C 이었고, 평균 출수온도는 54.3°C로 나타났으며, 최저 및 최고 출수온도 편차는 6.8°C 내외로 나타났다. 또한 연소실 내부 평균 온도는 637.5°C로서 최저 및 최고 온도 편차는 540.2°C로 나타났으며, 배기가스 온도는 164.2°C

를 나타내었다.

이와 같이 연소실 내부 온도의 편차가 큰 이유는 전술한 바와 같이 볏짚/왕겨 펠릿도 연소과정에 클링커가 발생하여 연소로스트에서 정체되었다가 배출되는 현상이 반복되면서 새로 투입되는 볏짚/왕겨 펠릿의 연소를 방해하는 현상이 발생하였기 때문으로 판단된다.

한편 펠릿의 발열량이 다르지만 초고온 내부 단열재인 세라크울을 이용하여 연소실 내부를 단열한 상태에서 수행한 연소조건인 목재 펠릿 공급량 15Hz(53.4 kg/hr)-송풍속도 15Hz 실험과 비교하면, 평균 출수온도는 목재 펠릿의 58.2°C보다 약 4°C 정도 낮은 것으로 나타났다. 한편 연소실 내부 평균 온도의 경우에는 목재 펠릿보다 약간 높은 경향을 보였으며, 배기가스 온도는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.



볏짚왕겨 펠릿과 목재 펠릿의 연소특성 비교

● 볏짚/목재 펠릿과 목재 펠릿의 연소특성 비교

볏짚/목재 펠릿의 연소 실험도 초고온 내부 단열재인 세라크울을 이용하여 연소실 내부를 단열한 상태에서 연소특성 실험을 수행하였다.

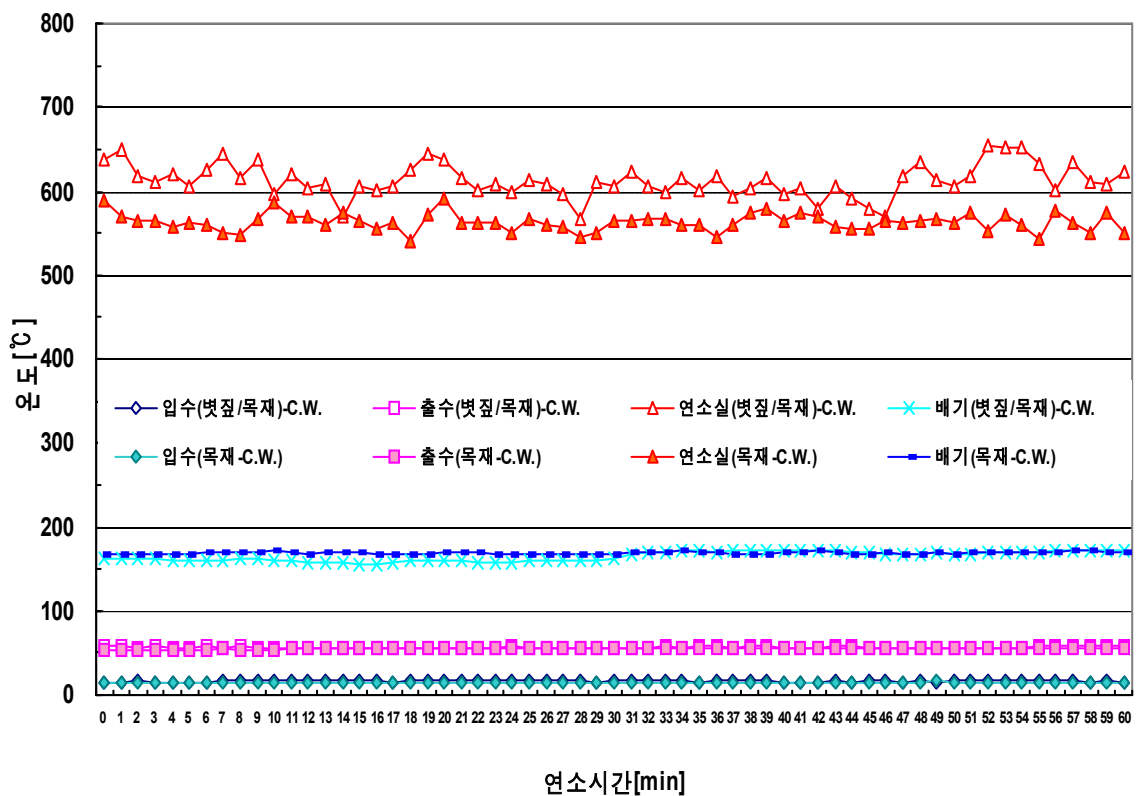
아래 그림은 볏짚/목재 펠릿과 목재 펠릿의 연소특성을 비교하여 나타내었다.

그림에 나타낸 바와 같이 볏짚/목재 펠릿 공급량 16Hz(75.6kg/hr)-송풍속도 15Hz 실험 조건에서의 평균 입수 온도는 15.8°C 이었다. 평균 출수온도는 56.6°C로 나타났고, 최저 및 최고 출수온도 편차는 4.5°C 내외로 나타났다. 또한 연소실 내부 평균 온도는 593.6°C

로서 최저 및 최고 온도 편차는 184.3℃로 나타났으며, 배기가스 온도는 164.1℃를 나타내었다.

볏짚/목재 펠릿 연소실험에서도 진술한 바와 같이 연소과정에 클링커가 발생하여 연소로스트에서 정체되었다가 배출되는 현상이 반복되었다. 따라서 농업 부산물 펠릿을 원활히 연소시키기 위해서는 클링커를 적절히 분쇄시킬 수 있는 보조 장치가 필요할 것으로 판단된다.

한편 펠릿의 초고온 내부 단열재인 세라크울을 이용하여 연소실 내부를 단열한 상태에서 수행한 연소조건인 목재 펠릿 공급량 15Hz(53.4 kg/hr)-송풍속도 15Hz 실험과 비교하면, 평균 출수온도는 목재 펠릿의 58.2℃보다 약 1.4℃ 정도 낮은 것으로 나타났다. 한편 연소실 내부 평균 온도의 경우에는 목재 펠릿보다 약 32℃ 정도 낮은 경향을 보였으며, 배기가스 온도는 약 5℃ 정도 낮은 것으로 나타났지만 큰 차이는 없었다.



볏짚/목재 펠릿과 목재 펠릿의 연소특성 비교

● 배기가스 성분 분석

→ 일산화탄소(CO) 배출량

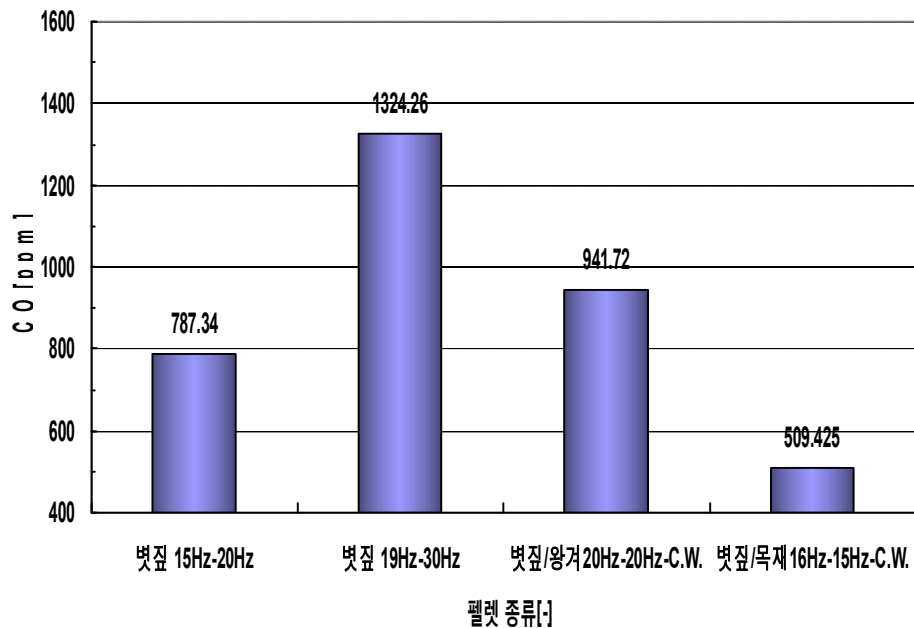
농업 부산물 펠릿의 연소시 발생하는 일산화탄소(CO) 배출량을 아래 그림에 비교하여 나타내었다.

그림에서 보는 바와 같이 일산화탄소(CO) 배출량은 볏짚과 왕겨의 공급량이 많을수록 배출량이 많은 것으로 나타났고, 세라크울로 연소실 내부를 단열할 경우 일산화탄소 배

출량이 감소하는 경향을 보였다. 한편, 목재 펠릿 연소시 배출되는 보다 일산화탄소(CO) 량보다 농업 부산물 펠릿 연소시 배출되는 일산화탄소(CO)량 적은 경향을 나타내었다.

볏짚 펠릿 공급량 15Hz(72.4 kg/hr) 실험 조건에서 일산화탄소(CO) 배출량은 송풍속도 20Hz에서 787.3 ppm으로 나타났고, 볏짚 펠릿 공급량 19Hz(92.0 kg/hr), 송풍속도 30Hz 실험 조건에서 일산화탄소(CO) 배출량은 1324.6 ppm으로 가장 높게 나타났다.

세라크올로 연소실 내부를 단열하여 연소실험을 수행한 볏짚/왕겨 펠릿의 경우 일산화탄소(CO) 배출량은 941.7 ppm, 볏짚/목재 펠릿의 경우에는 509.4 ppm 으로 다른 실험 조건과 비교하여 가장 낮은 일산화탄소(CO) 배출량을 나타내었다.



농업 부산물 펠릿 연소시 일산화탄소(CO) 배출량

→ 산소(O₂) 배출량

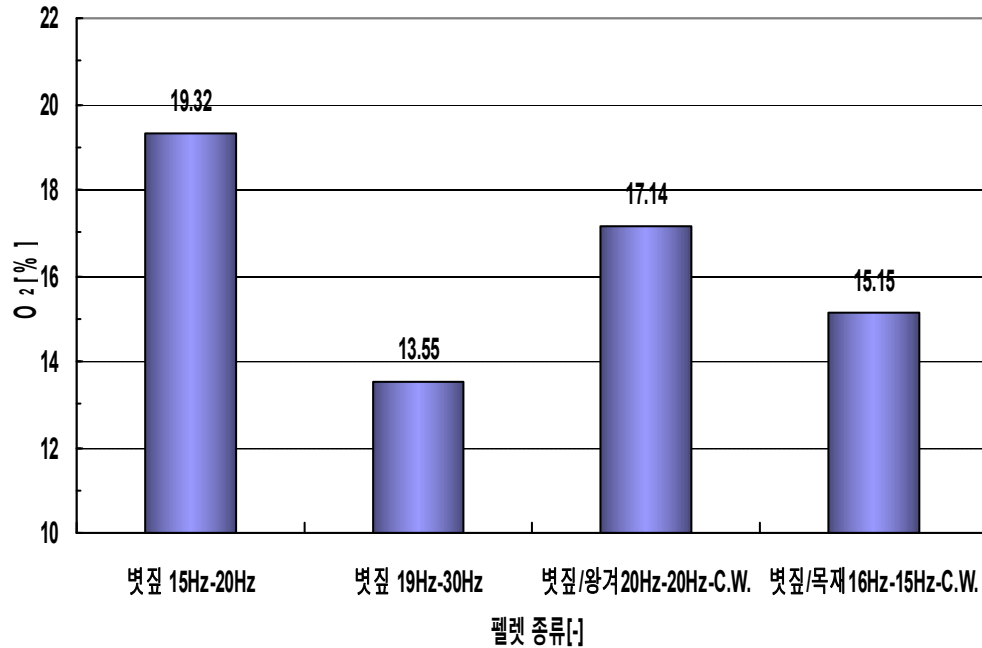
농업 부산물 펠릿의 연소시 배출되는 산소(O₂)량을 그림 24에 비교하여 나타내었다.

아래 그림에 나타낸 바와 같이 농업 부산물 펠릿 연소시 배기가스 중 산소(O₂) 배출량은 볏짚 펠릿 공급량 15Hz(72.4 kg/hr) 실험 조건과 볏짚/왕겨 펠릿에서 높은 경향을 나타내었고, 그 이외의 농업 부산물 펠릿 연소실험 조건에서는 15% 이하를 나타내어 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

볶짚 펠릿 공급량 15Hz(72.4 kg/hr) 실험 조건에서 산소(O₂) 배출량은 송풍속도 20Hz에서 9.3%로 다른 연소실험 조건과 비교하여 가장 높은 것으로 나타났다. 볏짚 펠릿 공급량 19Hz(92.0 kg/hr), 송풍속도 30Hz 실험 조건 연소시 13.6%의 산소(O₂)를 배출하는 것으로 나타났다.

세라크올로 연소실 내부를 단열하여 연소실험을 수행한 볏짚/왕겨 펠릿의 경우 산소(O₂) 배출량은 17.4%, 볏짚/목재 펠릿의 경우에는 15.2%로 나타났다. 따라서 연소실 내

부 단열은 일산화탄소(CO) 배출량 감소에는 효과가 있지만, 산소(O₂) 배출량에는 관계가 없는 것으로 판단된다.



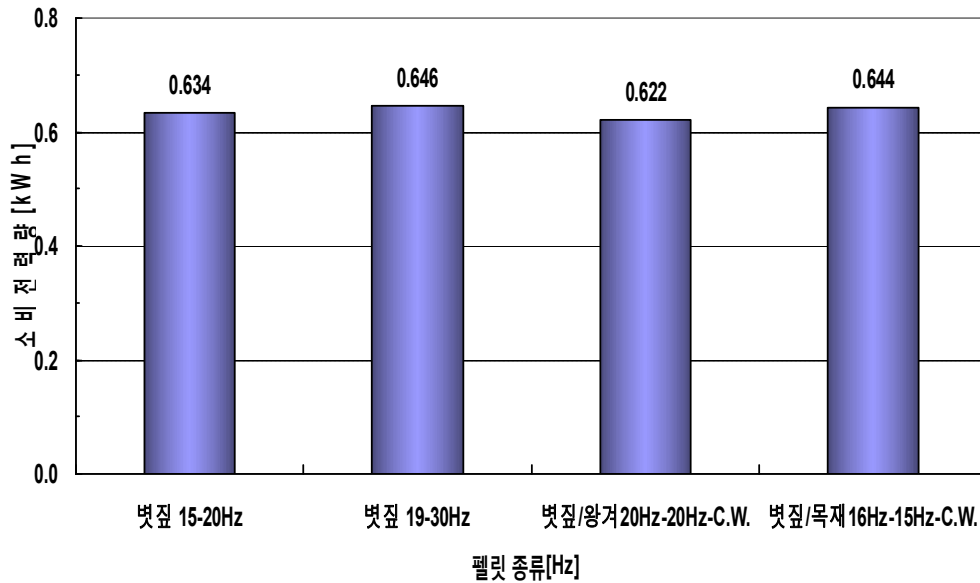
농업 부산물 펠릿 연소시 산소(O₂) 배출량

- 소비 전력량

아래 그림은 농업 부산물 펠릿 연소시 소요된 소비전력량을 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 농업 부산물 펠릿 연소시 소요된 소비전력량은 펠릿 공급량과 송풍속도가 증가할수록 약간 증가하는 경향을 보였으나 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

벚짚 펠릿 공급량 15Hz(72.4 kg/hr), 송풍속도 20Hz 실험 조건에서 소비전력량은 0.634 kWh로 나타났고, 벚짚 펠릿 공급량 19Hz(92.0 kg/hr), 송풍속도 30Hz 실험 조건에서는 0.646 kWh로 나타나 펠릿 공급량과 송풍속도가 증가할수록 약간 증가하는 경향을 보였다.

세라크올로 연소실 내부를 단열하여 연소실험을 수행한 벚짚/왕겨 펠릿의 경우 소비전력량은 0.622kWh 이었고, 벚짚/목재 펠릿의 경우에는 0.644 kWh로 나타났다.



농업 부산물 펠릿 연소시 소비전력량 비교

- 클링커 발생량

클링커는 전술한 바와 같이 농업 부산물 펠릿 연소시 펠릿 원료에 함유된 회분이 고온에서 점착성 물질로 물성이 변화하여 서로 융착되어 나타나는 것으로 본 실험에서 연소 성능을 저하시키는 가장 큰 원인이었다.

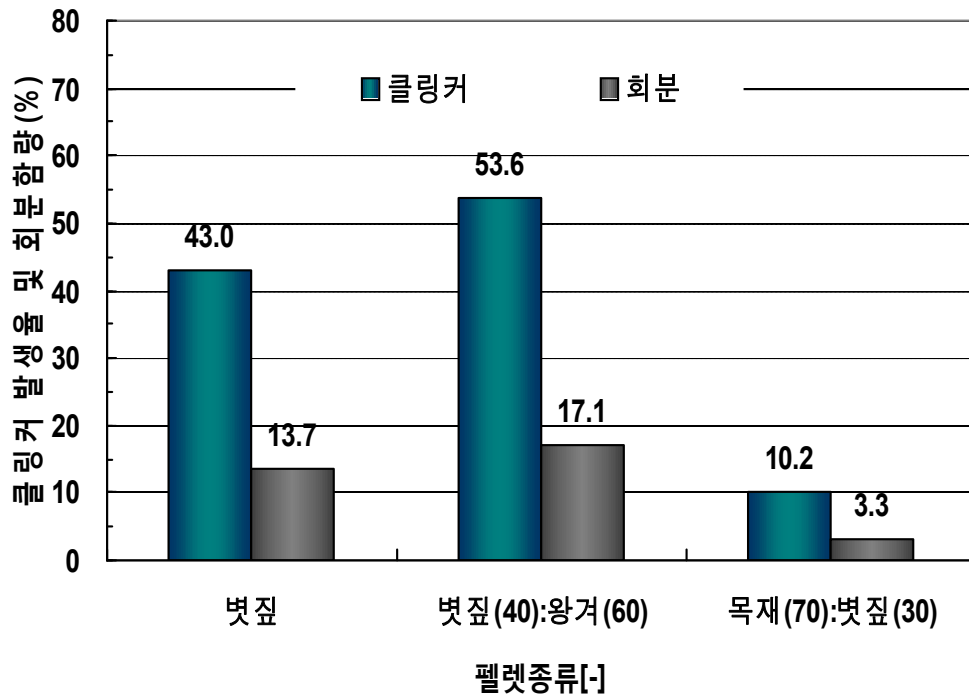
아래 그림에 농업 부산물 펠릿 연소시 발생하는 클링커 발생량과 회분과의 관계를 나타낸 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 클링커 발생량은 농업 부산물 펠릿에 함유된 회분함량이 높을수록 증가하는 것으로 나타났다.

볏짚 펠릿의 회분 함량은 13.7%로서 연소시 클링커 발생량은 약 43%를 나타내었다.

볏짚/왕겨 펠릿의 경우에는 다른 농업 부산물보다 회분 함량이 가장 높은 17.1%를 나타내었고, 클링커 발생량도 53.6%로서 가장 높게 나타났다. 한편, 볏짚/목재 펠릿의 경우 회분 함량은 3.3%로서 클링커 발생량도 10.2%로 가장 낮은 경향을 보였다.

따라서 본 실험에서 개발한 농업 부산물 펠릿 연소용 고효율 보일러의 성능을 향상시키기 위해서는 전술한 바와 같이 연소과정에서 농업 부산물 펠릿으로부터 발생하는 클링커를 적절히 처리할 수 있는 보조 장치가 필요할 것으로 판단된다.



농업 부산물 펠릿 연소시 클링커 발생량과 회분과의 관계

- 열 효율

아래 그림은 볏짚 펠릿의 열효율을 목재 펠릿과 비교하여 나타낸 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 볏짚 펠릿의 열효율이 목재 펠릿보다 낮은 경향을 나타내었다.

한편, 볏짚 펠릿의 열효율이 다른 농업 부산물 펠릿의 열효율과 비교하여 가장 높은 것으로 나타났다.

볏짚 펠릿 공급량 15Hz(72.4 kg/hr), 송풍속도 20Hz 실험 조건에서 열효율은 75.3%로 정격난방능력은 171,981 kcal/hr로 나타났고, 볏짚 펠릿 공급량 19Hz(92.0 kg/hr), 송풍속도 30Hz 실험 조건에서는 열효율이 70.7%로서 정격난방능력은 200,191 kcal/hr로 나타났다. 이것은 유사한 실험조건인 목재 펠릿의 열효율과 비교하여 약 8% 낮은 것으로 나타났다.

아래 그림에 연소실 내부를 세라크울로 단열한 후 연소실험시 볏짚/왕겨 펠릿과 목재 펠릿의 열효율 및 연소실 내부를 단열하지 않은 경우 목재 펠릿 연소시 열효율을 비교하여 나타내었다.

그림에 나타낸 바와 같이 볏짚/왕겨 펠릿의 열효율도 목재 펠릿보다 낮은 경향을 나타내었다.

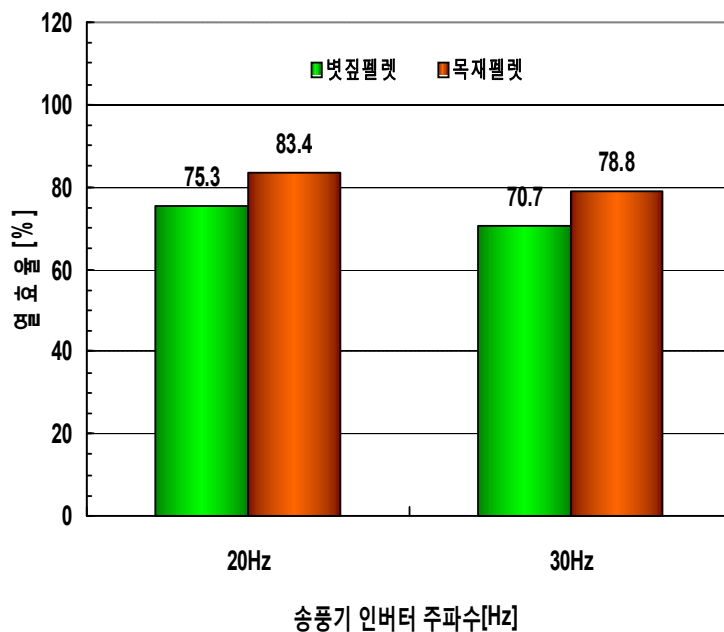
볏짚/왕겨 펠릿 공급량 21Hz(78.4 kg/hr), 송풍속도 20Hz 실험 조건에서 열효율은 67.3% 이었고, 정격난방능력:162,196 kcal/hr로 나타났다. 이것은 연소실 내부를 단열한

조건에서 목재 펠릿 공급량 15Hz(53.4 kg/hr), 송풍속도 15Hz 실험 조건의 열효율 87.3% 보다 20% 열효율이 낮은 것으로 나타났다. 또한 연소실 내부를 단열하지 않은 조건인 목재 펠릿 공급량 20Hz(72.1kg/hr), 송풍속도 20Hz의 열효율 보다 약 16% 정도 낮은 것을 알 수 있다.

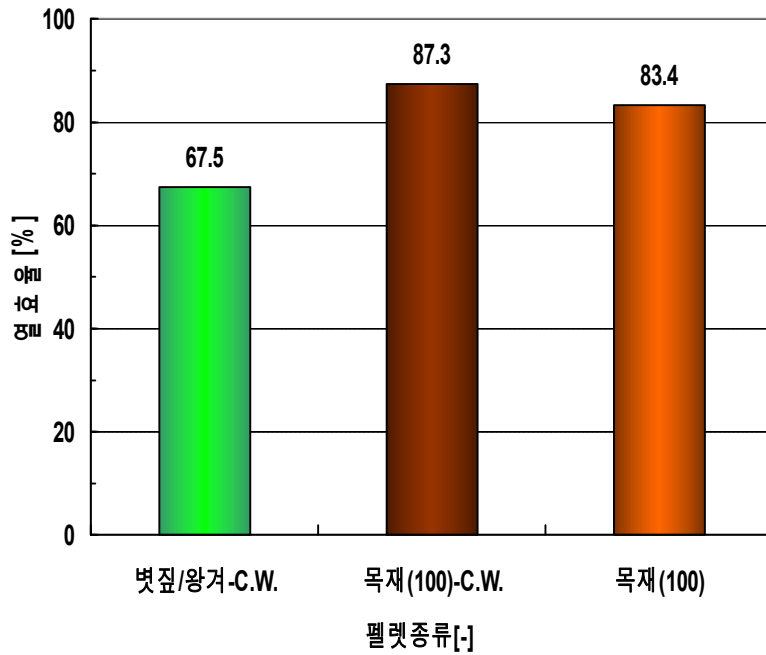
아래 그림에 연소실 내부를 세라크울로 단열한 후 연소실험시 볏짚/목재 펠릿과 목재 펠릿의 열효율을 비교하여 나타내었다.

그림에서 나타낸 보는 바와 같이 볏짚/목재 펠릿의 열효율도 목재 펠릿보다 낮은 경향을 나타내었다. 또한 농업 부산물 펠릿 가운데 볏짚/목재 펠릿의 열효율이 가장 낮게 나타났다.

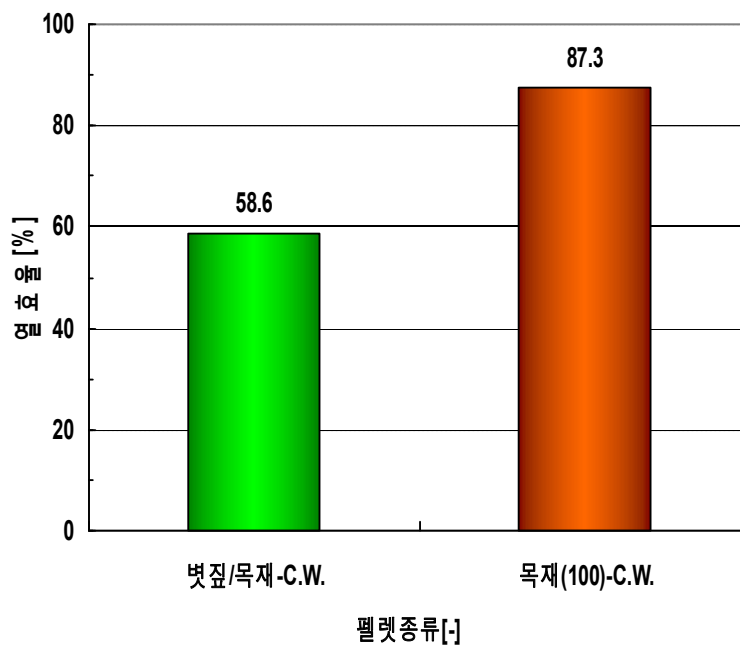
볏짚/목재 펠릿 공급량 16Hz(75.6 kg/hr), 송풍속도 15Hz 실험 조건에서 열효율은 58.6%로서 정격난방능력은 170728 kcal/hr로 나타났다. 이것은 연소실 내부를 단열한 조건에서 목재 펠릿 공급량 15Hz(53.4 kg/hr), 송풍속도 15Hz 실험 조건의 열효율 87.3% 보다 28.9% 열효율이 낮은 것으로 나타났다.



볏짚 펠릿과 목재 펠릿의 열효율



67.5/왕겨 펠릿과 목재 펠릿의 열효율



67.5/목재 펠릿과 목재 펠릿의 열효율

(라) 결 론

① 농업 부산물 펠릿 연소용 고효율 보일러의 기초성능

- 2차 연소팬을 정지시킨 상태에서 연소팬의 주파수에 따른 송풍량은 주파수가 증가할수록 선형적으로 증가하는 경향을 보였고, 2차 연소팬을 작동시킨 상태에서 연소팬 주파수 증가에 따른 송풍량은 비선형적으로 증가하는 경향을 보였다.
- 펠릿 공급량은 주파수가 증가할수록 선형적으로 증가하는 경향을 보였다.
- 목재 펠릿 연소시 배기가스 중 일산화탄소(CO) 배출량은 목재 펠릿 공급량이 많을수록

즉, 연소실 내부온도가 높을수록 감소하는 것으로 나타났고, 송풍속도가 빠를수록 증가하는 경향을 보였다. 산소(O₂) 배출량도 목재 펠릿 공급량이 많을수록 약간 증가하는 경향을 보였지만 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

- 목재 펠릿 공급량에 따른 송풍 주파수 실험 조건별 소비전력량은 송풍속도와 목재 펠릿 공급량이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났다.
- 소음 발생량은 2차 연소팬이 설치된 우측에서 가장 높게 나타났고, 전체적으로 78dB 이상의 소음이 운전시에 발생하는 것으로 나타났다.
- 개발된 농업 부산물 펠릿 연소용 고효율 보일러의 최대발열량은 목재펠릿 기준으로 약 300,000 kcal/hr 이상으로 나타났다.
- 개발된 농업 부산물 펠릿 연소용 고효율 보일러의 목재 펠릿 사용시 최적연소조건은 펠릿 공급량 20Hz(72.13 kg/hr)-송풍속도 20Hz(179.4 m³/min)로서 열효율이 83.4%로 나타났고, 펠릿 공급량 25Hz(90.54 kg/hr)-송풍속도 30Hz(201.8 m³/min) 조건에서는 열효율이 87.9%를 나타내었다.

② 농업 부산물 펠릿을 이용한 고효율 보일러의 성능평가

- 볏짚 펠릿은 펠릿 공급량 15Hz(72.4kg/hr)-송풍속도 20Hz 실험 조건에서의 평균 출수온도는 53.7℃로 나타났고, 연소실 내부 평균 온도는 506.0℃로서 최저 및 최고 출수온도 편차는 약 163.2℃로 나타났으며, 배기가스 온도는 144.3℃를 나타내었다.
- 볏짚/왕겨 펠릿은 펠릿 공급량 21Hz(78.4kg/hr)-송풍속도 20Hz에서 평균 출수온도는 54.3℃ 연소실 내부 평균 온도는 637.5℃로 출수온도 편차는 540.2℃로 매우 높게 나타났고, 배기가스 온도는 164.2℃를 나타내었다.
- 볏짚/목재의 경우에는 펠릿 공급량 16Hz(75.6kg/hr)-송풍속도 15Hz 실험 조건에서 평균 출수온도는 56.6℃로 나타났고, 연소실 내부 평균 온도는 593.6℃, 출수온도 편차는 184.3℃로 나타났으며, 배기가스 온도는 164.1℃를 나타내었다.
- 일산화탄소(CO) 배출량은 볏짚/왕겨의 공급량이 많을수록 배출량이 많은 것으로 나타났고, 세라크울로 연소실 내부를 단열할 경우 일산화탄소 배출량이 감소하는 경향을 보였으며, 목재 펠릿 연소시 배출되는 보다 일산화탄소(CO)량보다 농업 부산물 펠릿 연소시 배출되는 일산화탄소(CO)량 적은 경향을 나타내었다.
- 산소(O₂) 배출량은 볏짚 펠릿 공급량 15Hz(72.4 kg/hr) 실험 조건과 볏짚/왕겨 펠릿에서 높은 경향을 나타내었고, 그 이외의 농업 부산물 펠릿 연소실험 조건에서는 15% 이하를 나타내었다.
- 농업 부산물 펠릿 연소시 소요된 소비전력량은 펠릿 공급량과 송풍속도가 증가할수록 약간 증가하는 경향을 보였으나 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

- 클링커 발생량은 농업 부산물 펠릿에 함유된 회분함량이 높을수록 증가하는 것으로 나타났다.
- 농업 부산물 펠릿의 열효율은 목재 펠릿보다 약 8~29% 정도 낮은 경향을 나타내었고, 벗짚 펠릿의 경우 열효율이 약 70~75%로서 다른 농업 부산물 펠릿의 열효율과 비교하여 높은 것으로 나타났다.
- 개발된 농업 부산물 펠릿 연소용 고효율 보일러의 최대발열량은 농업 부산물인 벗짚 펠릿의 연소에서 약 200,000 kcal/hr로 나타났다.

(마) 향후 개선사항

- ① 농업 부산물 펠릿을 개발된 보일러에 적용하기 위해서는 연소로스톨에서 클링커를 분쇄하여 연소를 원활하게 할 필요가 있을 것으로 판단된다.
- ② 연소팬과 2차 연소팬의 사양이 동일해야 할 것으로 판단되고, 양자 모두 인버터를 이용하여 조절할 수 있어야 할 것으로 판단된다.
- ③ 개발된 농업 부산물 펠릿연소용 고효율 보일러의 열효율을 향상시키기 위해서는 배기구로 배출되는 폐열을 재순환하여 급수되는 물과 열교환이 이루어져야 필요할 것으로 판단된다.
- ④ 연료공급스크루를 개선하여 펠릿 과쇄량(2.5~3.9%)을 경감시켜야 할 것으로 판단된다.
- ⑤ 연소실 내부를 단열함으로써 배기가스 중 일산화탄소 감소와 열효율을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

다. 보일러 제어부

(1) 명 칭

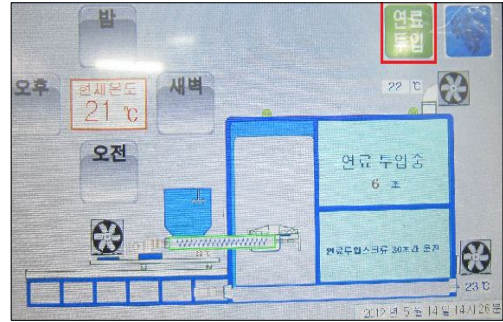


- ① 전 원 : 전원 ON/OFF 상태 표시램프
- ② 연료이송 : 연료이송 상태 표시램프
- ③ 이상경보 : 보일러 이상경보 표시램프
- ④ 터치판넬 : 보일러 조작 터치판넬
- ⑤ 연료이송 : 외부 연료탱크로부터 연료이송 ON/OFF
- ⑥ 운 전 : 보일러 운전(판넬에 상태표시)
- ⑦ 부저정지 : 이상발생시(판넬에 상태표시)
- ⑧ 청 소 : 청소할 경우(판넬에 상태표시)

(2) 기 능



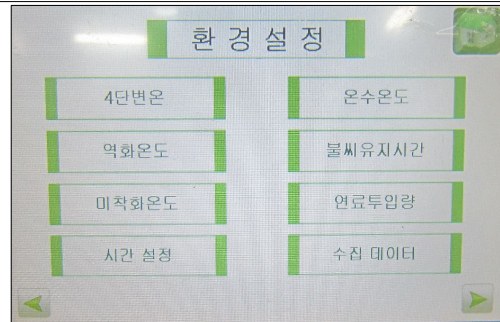
- 제어반 초기화면입니다.
- 온실온도, 배기온도, 온수온도, 역화온도가 표시됩니다.
- 좌측 하부에 현재시간이 표시됩니다.
- 우측상부에 연료투입, 환경설정 표시가 있습니다.



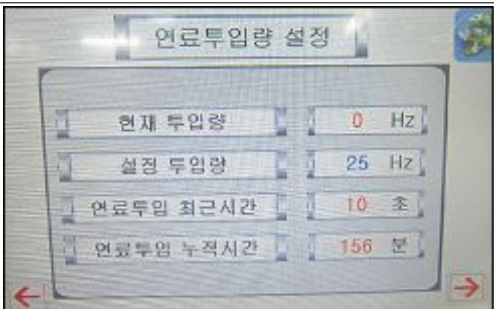
- 상부 연료투입 터치시 30초간 연료가 로스틀 상부로 공급됩니다.
- 버튼을 한번더 누를 경우 연료공급이 중단됩니다.



- 상부 환경설정을 터치시 환경설정, 그래프 화면이 표시됩니다.



- 환경설정을 터치시 좌측과 같이 4단변온, 온수온도, 역화온도, 불씨유지시간, 미착화온도, 연료투입량, 시간설정, 수집데이터 화면이 나타나며, 설정값을 변경할 수 있습니다.



< 연료투입량 설정 >

- 연료투입량에 따른 주파수 현재상태 및 설정 주파수, 최근 투입시간, 누적시간 표시입니다.
- 펠릿상태, 기타 조건에 따라 설정값을 변경할 수 있습니다.



< 시간 설정 >

- 현재시간 및 설정시간 표시입니다.
- 시간이 현저하게 차이날 경우 설정값을 변경할 수 있습니다.

(3) 제어시스템 프로그램 설정

NO	구 분		표준값	세 부 내 용	비 고
1	시 간 설 정		-	시스템 시간 설정	
2	4단변온 설정	새벽, 오전 오후, 밤	15℃	시간대별 외기온도 대응	
4	미착화 온도		70℃	시간내 설정온도 미승온시 이상	
5	역화 온도		85℃	온도 감지시 연소 (투입스크류, 연소팬, 2차 연소팬)	
6	불씨유지시간		120분	설정시간 연소 (투입스크류, 연소팬, 2차 연소팬)	
7	연료투입량 설정		30Hz	투입스크류 인버터 설정	
8	POST TIME 설정		60초	투입모터정지후 2차 연소팬 가동시간	
9	온수온도 설정	OFF온도	75℃	보일러 온수온도 설정값에 의해 연소 (투입스크류, 연소팬, 2차 연소팬)	
		ON온도	70℃		

5. 현장적용 실험 및 분석

가. 시설원예 현장적용 실험 및 안정성 및 성능분석

- (1) 목 적 : 시설원예용 생산시설에 동일한 펠릿보일러를 설치하여 예비실험을 실시
- (2) 설치장소 : 충북 진천군 이월면
- (3) 생산시설 : 비닐하우스 2동(400, 600평), 포트묘 생산



(4) 실험방법

- (가) 12월 28일부터 2월 18일까지 설치 운영하며 연료투입량(목질펠릿), 연소상태, 외기온도변화에 따른 실내 온도변화등을 실험하였다

(나) 운영 담당자와 보일러의 미비점, 향후 개선사항등을 체크하며 실험하였다

(다) 보일러 설치



(라) 펠릿투입 및 연소



(5) 실험결과

(가) 실험데이터

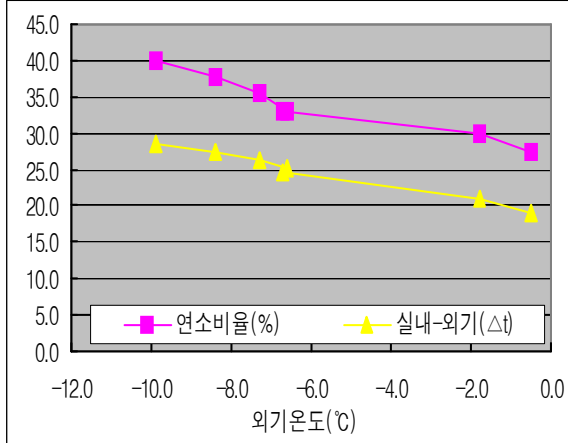
구 분	연료투입량 (톤)	가동시간 (hr)	연소시간 (hr)	연료소비량 (kg)	하우스온도 (℃)	외기온도 (℃)	비 고
12/28	10.0	160	30.0	2,713	16.0	-7.0	
01/03	7.0	149.5	47.0	3,948	16.0	-4.0	
01/06	-	70.8	14.3	1,290	18.5	-6.0	
01/11	-	115.8	38.2	3,435	18.0	-6.7	
01/13	-	49.6	16.4	1,476	18.5	-6.6	
01/17	6.0	95.4	38.1	3,429	18.7	-9.9	
01/25	8.0	192.0	68.0	6,120	19.0	-7.3	
02/01		168.0	63.3	5,700	19.0	-8.4	
02/07	8.0	148.0	40.7	3,660	18.6	-0.5	
02/18	7.0	264.0	79.0	7,110	19.2	-1.8	
합 계	46.0	1,413	435.0	38,899	18.2	-5.8	

※ 연료소비량 = 주파수 / 10 x 0.5kg x 60분 x 연소시간

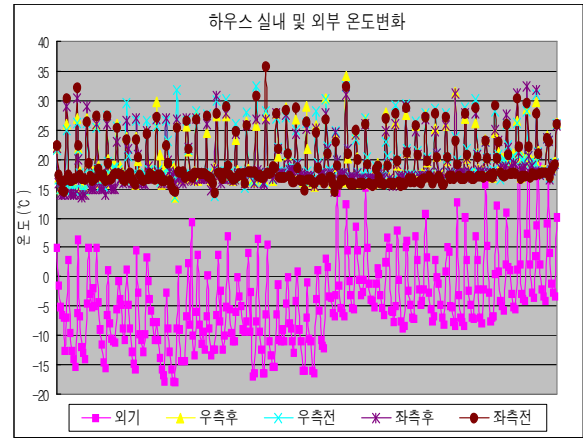
$$= \pi \times (D2-d2) / 4 \times \text{산물밀도} \times \text{피치} \times \text{회전수} \times 60 \times \text{효율}$$

(나) 실험차트

① 연소비율에 따른 실내-외기온도 변화



② 외기온도 변화에 따른 실내온도 변화(4위치)



(6) 결과분석

(가) 연소비율에 따른 실내-외기온도 변화는 비례적으로 변화하였음

(나) 외기온도에 따른 실내온도(4위치) 변화는 양호하게 측정되어 열량은 충분한 것으로 판단됨

(다) 연소후 재처리는 약 15일 간격으로 연소실 바닥, 사이클론, 열교환기를 청소하였음

(라) 실험하며 전체적으로 커다란 문제점은 발생하지 않았음

(7) 연소후 재처리



(8) 실험에 따른 후속조치

미비점	개선방안	조치내역
원료수급 어려움	원료 비수기시 확보	제조업체 협력 강화
원료투입 어려움	크레인 상부투입	제조업체 펠릿투입차 구입
연료탱크 투입구 막힘	재고분 미사용(보관시 얼음)	제조업체 협력 강화
레벨센서 미감지	센서 성능향상	감도 향상된 센서 설치
연통 목초액 발생	배출통 연통변경	연통변경
연소실 청소	스크류식 자동청소장치	도면수정
열교환부 청소	수시 청소	도면수정

제3절 농업부산물을 이용한 중형급 펠릿제조장치 개발

1. 농업부산물 파쇄장치 개발

(파쇄장치)

(분쇄장치)

(혼합장치)

가. 파쇄장치(파일럿)

(1) 전체공정



<파쇄장치전면>



<파쇄장치후면>

- 동력 : 15kW

- 파쇄공정 : 투입 → 파쇄 → 이송 (스크류컨베이어) → 배출

(2) 특징



<투입롤러>



<롤러진후방조정 >

- 투입롤러는 원료 미끄럼을 방지하여 분쇄날로의 용이한 투입
- 롤러진후방조정장치를 이용하여 원료의 끼임 현상을 방지 또는 해소
- 유압활용으로 파쇄원료 과다 투입시 조절가능



<투입롤러속도조절>



<분쇄디스크>

- 투입롤러 속도조절로 투입량 조정 가능
- 분쇄디스크에 장착된 칼날이 회전하면서 원료 파쇄





(3) 실험결과



(가) 처리량

① 원료별 처리량

원 료	배출입자	처리량	비고
옥수수대	1-7cm	약 300-400kg	- 옥수수대는 거의 통과함 - 투입제약 때문에 동력대비 처리량 감소
보리짚	3-8cm	약 400-500kg	

② 회전속도별 처리량

		A형	B형
파쇄디스크속도		1,200RPM	1,800RPM
폴리 SIZE		구동 6인치 , 피동 9인치	구동 6인치 , 피동 6인치
배출 입자 크기	보리짚		
	옥수수		

		A형	B형
폴리			
		<구동폴리>	<피동폴리>

- 디스크회전속도가 빨라짐에 따라 투입 재료의 파쇄입자의 크기는 약 5-10% 정도 분쇄력 증가
- 피동폴리의 사이즈를 변경하면서 회전속도를 조절했는데, 구동과 피동의 1:1비율이 적합한 것으로 판단됨 단, 파쇄디스크 중량 및 동력 감안필요

(나) 결과

- ① 농업부산물의 수거형태 상이에 따른 투입불편
- ② 보리짚 투입시 파쇄부하변화가 미미했지만 (20-25A), 옥수수대의 경우 미수확된 옥수수부착시 순간부하(30-35A) 발생

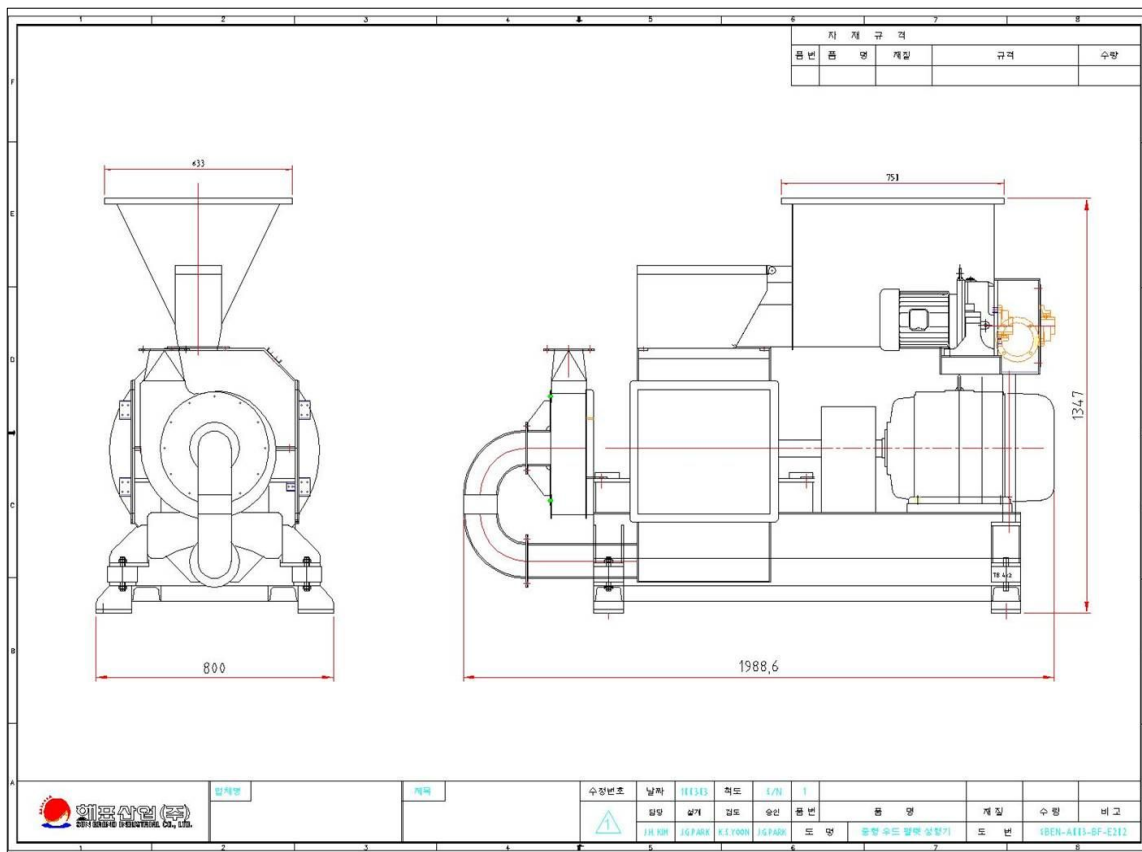
- ③ 옥수수를 감싸고 있는 옥수수잎은 거의 파쇄가 되지 않고 배출됨
- ④ 파쇄디스크의 회전속도에 따라 파쇄입자의 파쇄도가 약 10-15% 증가됨
- ⑤ 파쇄디스크의 회전에 의한 과도한 비산먼지 발생
- ⑥ 파쇄원료의 입자의 길이가 길때 스크류컨베이어에 의해 이송될때 스크류 감김 발생

(다) 결론

- ① 비산먼지 방지를 위한 집진설비 연결 필요 (집진여과장치 연계)
- ② 동력대비 파쇄디스크의 회전속도 증가필요
- ③ 파쇄디스크의 Knife의 추가장착
- ④ 원료 수거시 수거방법 확립 필요
- ⑤ 스크류컨베이어 끝부분에 파쇄원료의 감김현상 방지 대책 필요

나. 분쇄장치개발 (파일럿)

(1) 분쇄장치외형도 및 사진



<분쇄장치 외형도>

(2) 특징

(가) 햄머Knife

- 사진



< 햄머 Knife >



<Knife장착모습>

- 원료투입은 자유낙하를 응용한 것으로 분당 10-20m 낙하하면서 햄머에 충돌하면서 원료가 파쇄됨
- 햄머 전면에 스크린장착이 가능하도록 하여 스크린 교체로 분쇄입자 조절 가능하도록 설계되었음
- 햄머와 원료 접촉면에 홈을 주고 표면을 거칠게 하여 충분한 분쇄효과를 가져올 수 하였고, 햄머와 원료의 지속적인 접촉이 진행될 수록 홈이 마모되어 접촉면증가로 생산성 증가됨
- 햄머 마모시 양쪽 사용가능하도록 동일모양으로 가공

(나) 이송배출

- 사진



< 배출스크류장착부 >



<이송임펠라>

- 스크린을 통과한 분쇄물이 임펠라에 의해 이송이 용이토록 배출 스크류장착
- 햄머구동축과 연결된 임펠라의 회전에 의해서 집진장치로 원료 이송

- 임펠라의 크기에 따라 이송풍력 조절 가능
- 풍력 과다시 사이클론 풍압증가, 풍력 과소시 원료이송 어려움발생

(다) 이송 집진

- 사진



< 사이클론집진장치 >



<분쇄이송스크류>

- 사이클론 방식에 의한 집진
- 사이클론 하단 R/V장착으로 집진원료의 일정량 이송 가능

(3) 실험결과

(가) 처리량

원료	투입입자크기	배출입자	스크린 타공	처리량
옥수수대	1-7cm	4-12mm	10mm	200-300kg
보리짚	3-8cm	3-10mm	10mm	300-400kg

(나) 결과

- ① 옥수수 줄기부분은 파쇄 및 분쇄가 잘되지만 단, 옥수수잎 때문에 처리량 감소됨
- ② 원료의 특성상 배출스크린의 크기와 관계없이 약 10-20%정도 분쇄시 미분쇄되어 배출되며 특히 건조된 원료일때 발생을 증가됨
- ③ 보리짚은 분쇄는 용이하나 너무 가벼워 분쇄 투입시 브릿지현상 발생
- ④ 분쇄량과 함수율과 관계로 인해 보리짚은 수확시기에 함수율이 낮은 관계로 분쇄시 스크린의 막힘현상이 전혀 없는데 반해, 옥수수대의 경우 미건조된 옥수수대 투입시 분쇄스크린의 타공망을 막음으로써 약간의 분쇄물의 스크린 밖으로 배출 제한현상이 지속적으로 발생






(4) 결론

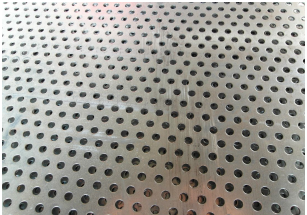







- (가) 원료용은 현재 스크린 타공망 10mm, 연료용은 3mm가 적정함

(나) 시작품 제작시 파쇄된 원료가 분쇄효과를 거치지 않고 직입되는 방법 필요

(다) 투입방법에 따라 생산량 차이가 발생함에 따라 원료별 적정 투입방법 필요

(라) 분쇄 스크린 타공 크기에 따른 분쇄입자크기

타공망크기		스크린	옥수수	보리짚
원료용	12mm			
	10mm			

타공망크기		스크린	옥수수	보리짚
원료용	8mm			
	연료용	4mm		
3mm				

① 연료용은 타공 10mm크기로 분쇄했으나, 건조기 투입시의 원료이송 상황에 따라 타공크기 결정 필요

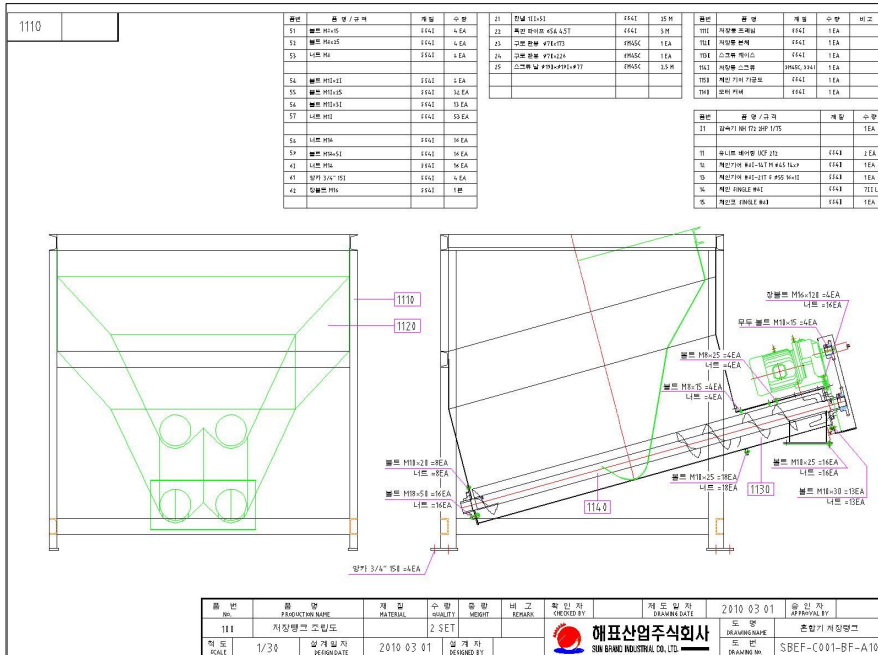
② 분쇄부하는 8/10/12mm는 큰 변화가 없었으며 (10-14A), 3/4mm장착시에는 12-16A로 약 10% 상승함

다. 혼합장치(파일럿)

(1) 혼합장치 도면 및 사진



<혼합장치사진>



<혼합장치 조립도>

(2) 특징

- A,B호퍼의 인버터에 의한 스크류 속도조절로 원료 혼합비 조정가능
- 기 건조된 원료가 있을때 건조기를 통과하지 않고 직접투입가능
- 차기공정에 성형전 2차분쇄 과정에서 추가 혼합 가능

(3) 실험결과

(가) 실험내용

- ① 호퍼 감속기 : 감속비율 1/75
- ② 인버터에 의한 이송량 측정

원료	밀도	20Hz	30Hz	40Hz	50Hz	60Hz
옥수수대	87kg/m ³	77kg/Hr	153kg/Hr	218kg/Hr	273kg/Hr	358kg/Hr
보리짚	120kg/m ³	115kg/Hr	220kg/Hr	312kg/Hr	374kg/Hr	505kg/Hr

③ 옥수수대와 보릿대는 비중이 다른 관계로 스크류 컨베이어에 의한 혼합량을 인버터에 의해 조절함.

④ 투입호퍼의 감속기의 비율은 1/75이며 스크류의 인버터 조절은 20-60Hz이며 보리대는 비중이 낮은 관계로 이송량은 77-358kg, 옥수수대는 115-505kg이 이송되었음

(4) 결론

(가) 원료의 이송량을 증가시키기 위해서는 감소비율을 낮춰서 적용하면 가능.

(나) 농업부산물의 종류별 밀도가 다르므로 혼합량을 조정할때는 각각의 밀도에 맞는 Hz 변경 적용을 통해 최종 혼합량 적용 .

(다) 밀도가 낮은 관계로 브릿지현상 발생하지 않도록 적정 대책 준비 필요

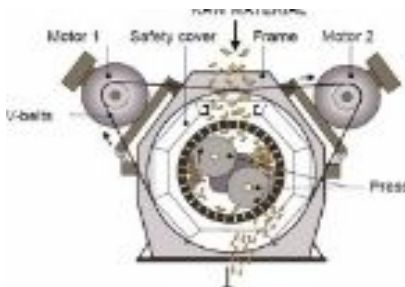


2. 농업부산물을 이용한 중형급 펠릿제조장치개발

(펠릿성형방식별 특성분석)

(펠릿성형system lay-out)

가. 펠릿성형방식별(Ring-Type , Flat-Type , Screw-Type) 특성 분석

(1) 방식별 분류

구 분	Ring-Type	Flat-Type	Screw-Type
방식			

구 분	Ring-Type	Flat-Type	Screw-Type
특징	<ul style="list-style-type: none"> ● 구동 방식 <ul style="list-style-type: none"> - 기어식 및 벨트식 ● 동력 <ul style="list-style-type: none"> - 100Hp ~ 300Hp ● Dies <ul style="list-style-type: none"> - Ring Type ● 성형방법 <ul style="list-style-type: none"> - 롤러와 다이스의 압착에 의해 원료가 Hole로 투입되면서 Pellet로 성형됨 - Ring-Dies가 회전 ● 사용처 <ul style="list-style-type: none"> - 목재 , 사료, 비료용으로 대형설비에 주로 사용 	<ul style="list-style-type: none"> ● 구동 방식 <ul style="list-style-type: none"> - 웜기어 또는 헬리컬기어 ● 동력 <ul style="list-style-type: none"> - 15Hp ~ 300Hp ● Dies <ul style="list-style-type: none"> - Flat Type ● 성형방법 <ul style="list-style-type: none"> - 롤러와 다이스의 압착에 의해 원료가 Hole로 투입되면서 Pellet로 성형됨 - Flat Dies위에 롤러가 배치되며 , 롤러가 회전 ● 사용처 <ul style="list-style-type: none"> - 주로사료용 사용됨 	<ul style="list-style-type: none"> ● 구동방식 : 헬리컬 ● 동력 <ul style="list-style-type: none"> - 20Hp ~ 75Hp ● 성형방법 <ul style="list-style-type: none"> - 스크류의 강한 압착에 의해 다이스 Hole로 원료가 투입되면서 Pellet으로 성형됨 ● 원료 함수율 <ul style="list-style-type: none"> - 30% - 50% ● 사용처 <ul style="list-style-type: none"> - 양식장등 사료제조업체

(2) 세부조사

(가) Ring-Type

- ① 구동방법 : 기어식(모터와 감속기의 직결) , Dies회전형
- ② 제조사 : 안드리쯔(Pellet Mill 대표적 제조사) 및 Muyang (중국)
- ③ 특징 : 펠릿밀 상부에 정량 공급장치 및 컨디셔너 설치로 생산성 및 제품 수율 증대
- ④ 장치의 범위 : 정량 공급장치, 컨디셔너, 모터, 다이스, 롤러, 감속기 및 하우징
- ⑤ 주요사용처 : 사료용 (국내100대이상 공급), 연료용(목재펠릿 : 신영E&P(충북청원 소재))
- ⑥ 사진



(나) Flat-Type

- ① 구동방법: 헬리컬(모터와 헬리컬 감속기 직결)
- ② 제작사 : FUJI (일본) , 75kW
- ③ 특징 : Dies회전, 헬리컬 감속방식, 원료의 입자가 비교적 클때 내부에서 마쇄후 성형
- ④ 장치의 범위 : Pellet Mill , 모터 , 감속장치
- ⑤ 주요사용처 : 연료용 (주로 목재 펠릿) 및 비료용 등으로 주로 100마력 이하에 사용
- ⑥ 사진



Pelle Mill 외관



Roller



Dies

(다) Screw-Type

- ① 구동방법: 헬리컬
- ② 제작사 : 대구상공사 , 해표산업 및 중국업체
- ③ 특징
 - 습식 펠릿 제조장치로서 함수율 30% - 50%의 원료를 성형
 - 성형후 건조시키거나 또는 냉동과정을 거친후 사용
- ④ 장치의 범위: 모터, 감속기, 압출스크류, 다이스, 커터
- ⑤ 주요사용처 : 양식장등 사료제조업체 대부분 사용
- ⑥ 사진



Pelle Machine



Dies

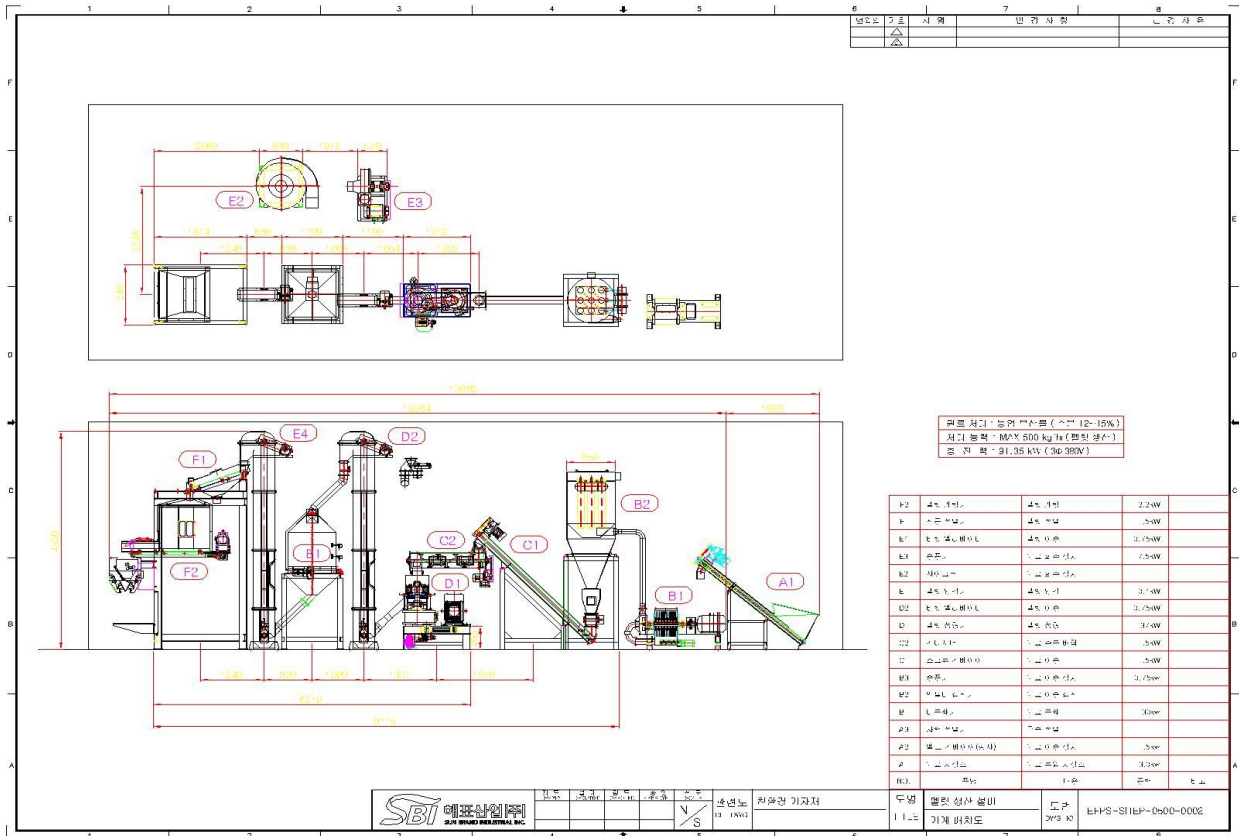


Twin Screw

(3) 결론

- 중형급 펠릿성형기로서 농업부산물 투입 되었을때 성형기 내부에서 자체 마쇄역할이 가능한 Flat-Type이 적합하다고 판단됨

● 배치도



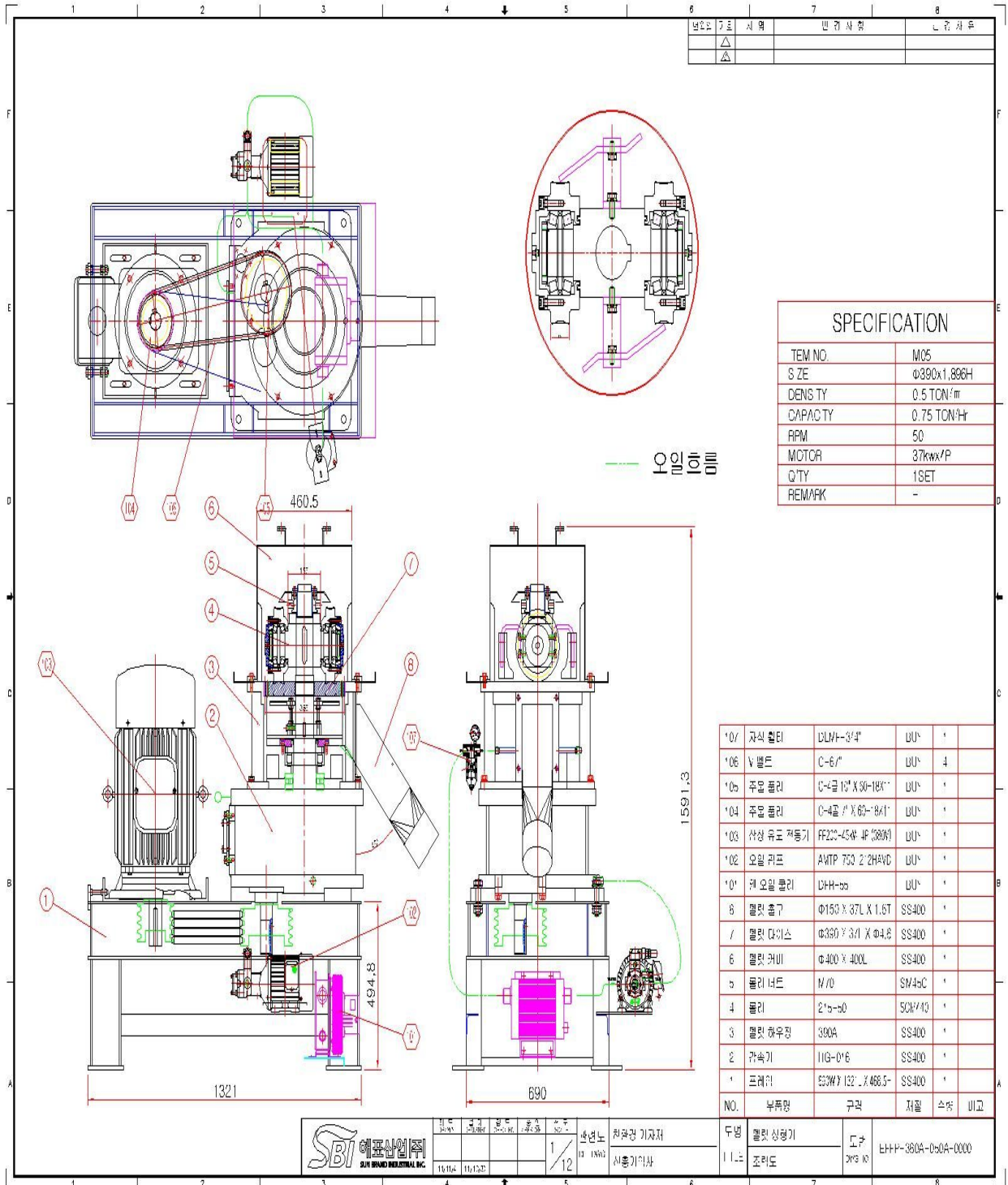
● 주요구성

순번	품명	내용	동력
1	펠릿계량기	펠릿계량	2.2kw
2	진동선별기	펠릿선별	1.5kw
3	버킷엘리베이터	펠릿이송	0.75kw
4	송풍기	원료회수장치	7.5kw
5	사이클론	원료회수장치	
6	펠릿냉각기	펠릿냉각	0.4kw
7	버킷엘리베이터	펠릿이송	0.75kw
8	펠릿성형기	펠릿성형	37kw
9	컨디셔너	원료수분배합	1.5kw
10	스크류컨베이어	원료이송	1.5kw
11	송풍기	원료이송장치	0.75kw
12	백필터집진기	원료이송집진	
13	미분쇄기	원료2차분쇄	30kw
14	자력선별기	금속선별	
15	벨트 컨베이어	원료이송장치	1.5kw
16	원료저장조	건조원료투입저장조	3.0kw

(2) 펠릿성형기 주요사양

(가) 펠릿성형기

① 조립도 및 사양



순번	품명	규격	수량
1	프레임	690W*1321L*469H	1
2	감속기	HG-016	1
3	펠릿하우징	390A	1
4	롤러	215-50	1
5	롤러너트	M70	1
6	펠릿커버	Φ400 * 400L	1
7	펠릿다이스	Φ390 * 37L	1
8	펠릿출구	Φ150*37L*1.6T	1
9	웬 오일 쿨러	DFR-55	1
10	오일펌프	AMTP-750-212HAVD	1
11	삼상유도전동기	FF200-37kW 4P(380V)	1
12	주물폴리	C-4폴 7" * 60-18*11	1
13	주물폴리	C-4폴 10" *60-18*11	1
14	V 벨트	C-67"	4
15	자석휠터	DLMF-3/4"	1

② 펠릿성형기 사진



펠릿성형기



오일 순환부



하우징내 감속기 오일 투입부



폴리 감속부

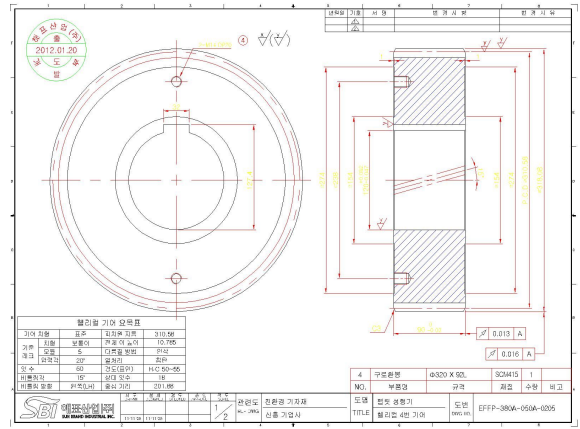
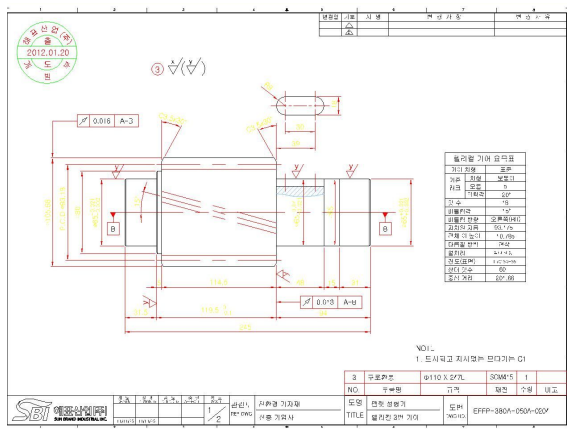
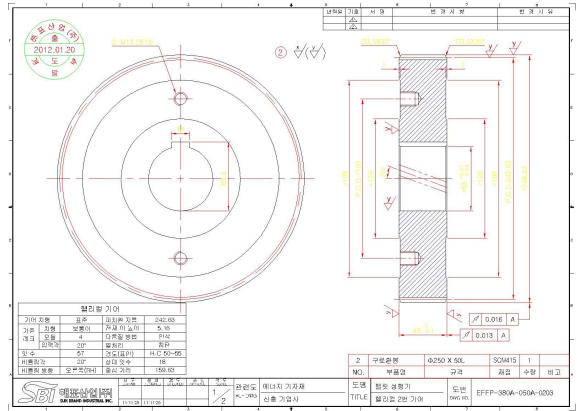
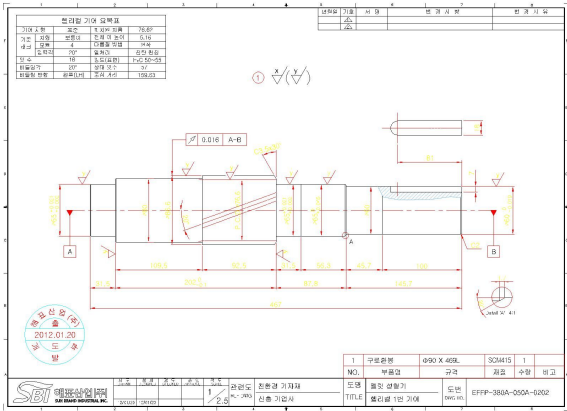
③ 기어방식검토

방식	웜기어	헬리컬기어
사진		
특징	<ul style="list-style-type: none"> ● 기어조립: 비교적 용이함. 단, 오조립시 기어파손 심함 ● 열 발생: 비교적 높은 열 발생 ● 마모: 웜휠과 웜의 조립에 따라 차이발생 ● 이물질 발생: 감속기 성분인 인청동에 의해 미세가루발생 ● 오일교환: 미세가루발생에 의한 비교적 짧은 오일교환 주기 	<ul style="list-style-type: none"> ● 기어조립: 비교적 어려우나, 오조립 가능성 낮음 ● 소음이 적고 고하중에 적합 ● 열 발생: 비교적 낮음 ● 이물질발생: 상대적으로 적음 ● 회전속도가 정확하며 감속비율 변경하는데 용이 ● 오일교환: 오일의 오염정도가 상대적으로 적어 교환주기가 약간 김

④ 기어방식 선정

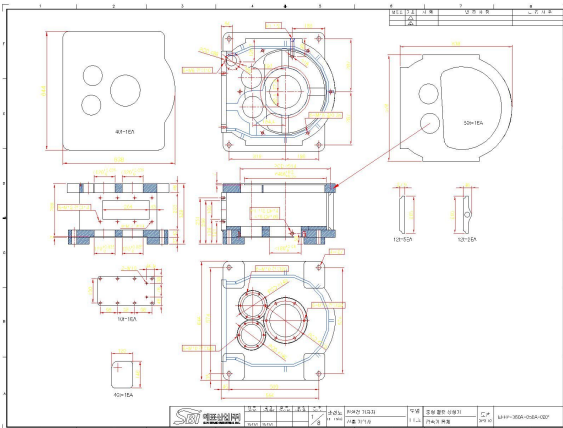
- 펠릿 성형기 동력이 20Hp 초과일 경우 열발생, 마모, 주축트러스트 베어링 윤활편의성, 웜휠 마모에 따른 동력전달 주축 흔들림등을 고려했을때 헬리컬 기어선정이 타당함
- 웜감속기의 가장 큰 문제점: 열발생, 마찰에 의한 웜휠 마모로 인한 주축의 동력전달이 일정치 않음

- 헬리컬감속기 설계 프로그램에 따른 감속기 설계



< 감속기 설계내역 >

● 감속하우징



< 하우징 도면 >



< 하우징 사진 >

- 감속하우징 설계 규격

헬리컬 감속기 설계 프로그램에 의한 감속기 설계 후 감속기 동력 및 비율에 의한 하우징 철판두께, 오일 펌핑 동력 및 순환, 오일쿨러, 감속비율의 정확성을 위한 감속기 배치등을 고려해서 설계

(3) 2차 분쇄장치(Hammer Mill)

(가) 설계도면 및 제작사진

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

SPECIFICATION	
ITEM NO.	M07
CAPACITY	400 Kg/Hr (0.4M³)
DENSITY	0.25 t
SCREEN SIZE	430 x 444 x 2.0(6#)
POWER	30KW x 2P (380V)
BEARING	SK212C + 2212 (2P)
REMARK	-

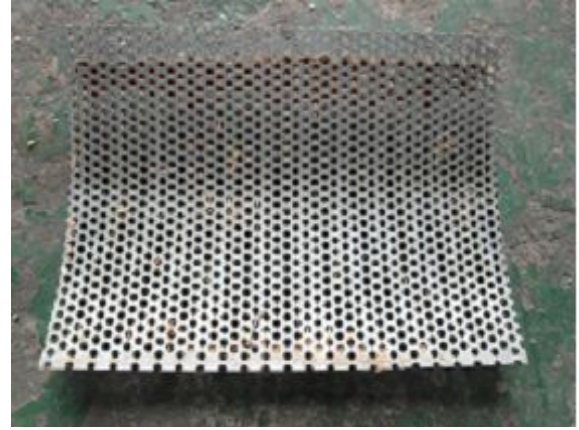
1/	방근고유	1U 4P2, M*6	고유	4
16	분쇄칼날	7/3 X 1/8.5 X 6t	SM45C	26
15	베어링 외장	AN*5	UU	*
14	베어링 내장	AN*5	UU	*
13	후커지 커플링	224N(055 X 16 X 10)	UU	*
12	도출 클리프	KJH-032-4*6A	UU	8
**	자동조션베어링	*312	UU	2
10	볼릭 하우징	SN 312C	UU	2
9	실링 유, 실링키	F*80L 30W 2P	UU	*
8	베어링	φ80 X 67.5L	SM45C	*
7	외곽 지지구	268 X 268 X 16t	SS400	*
6	커플링 커비	270 X 343 X 180	SS400	*
5	분쇄함 받침대	116 X 440L	SS400	*
4	미스택서 도리	500 X 482	SS400	2
3	분쇄함 고정틀	436 X 386	SS400	2
2	상부 케이싱	520 X 553 X 32#1	SS400	*
*	프레임	634 X 1,437 X 415H	SS400	*

	1/12 15.2425 15.2425	1/12 15.2425 15.2425	1/12 15.2425 15.2425	1/12 15.2425 15.2425	1/12 15.2425 15.2425	1/12 15.2425 15.2425	1/12 15.2425 15.2425	1/12 15.2425 15.2425	1/12 15.2425 15.2425
	NO. 부속명 규격 치질 수량 비고 1.1.1.1 분쇄기(400kg) 도판 2*3 kg NH110-0500-040A-0000								





<분쇄 knife>



<분쇄 screen >

(나) 주요사양

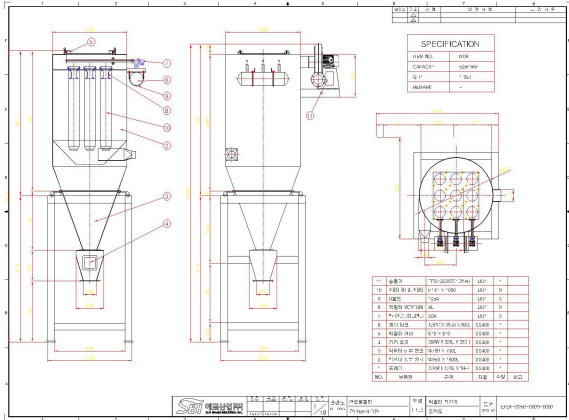
순번	품명	규격	수량
1	프레임	834W*1,437L*415H	1
2	상부 케이싱	520 * 553 * 324H	1
3	인스펙션 도어	500*482	2
4	분쇄망 받침대	118*440l	1
5	커플링 커버	270*343*180	1
6	원료투입구	268*268*165	1
7	메인축	Φ80*870	1
8	삼상유도전동기	30kw	1
9	분쇄칼날	73*179*6t	56

(다) 설계 내역

- ① 용도: 펠릿성형기 투입전 원료 입도는 최대 Φ3mm이하가 되어야함 (생산성 및 성형 성향상) 따라서 건조기 배출 후 , 펠릿 성형기 투입전 2차분쇄(미분쇄)용으로 사용함
- ② 처리량 : 500kg/Hr , 스크린망 홀 size : Φ 3mm
- ③ 1차년도 1차분쇄장치의 scale-up으로서, 작동구조 및 설계내역은 1차년도내용 동일

(4) 집진장치(백필터방식)

(가) 설계도면 및 제작사진



<도면>



<제작사진>



<백필터>



<Pulse Air>

(나) 주요사양

순번	품명	규격	수량
1	프레임	1076W*1076L*1944H	1
2	백필터 상부탱크	Φ950*1800L	1
3	백필터 하부탱크	Φ789*730L	2
4	에어탱크	124A*560L	1
5	백필터 밸브	20A	3
6	백필터케이싱, 백필터	P141*1000	9

(다) 설계내역

- ① 집진방식 : 여과에 의한 시설
- ② 탈진방식 : Pulse Air Type

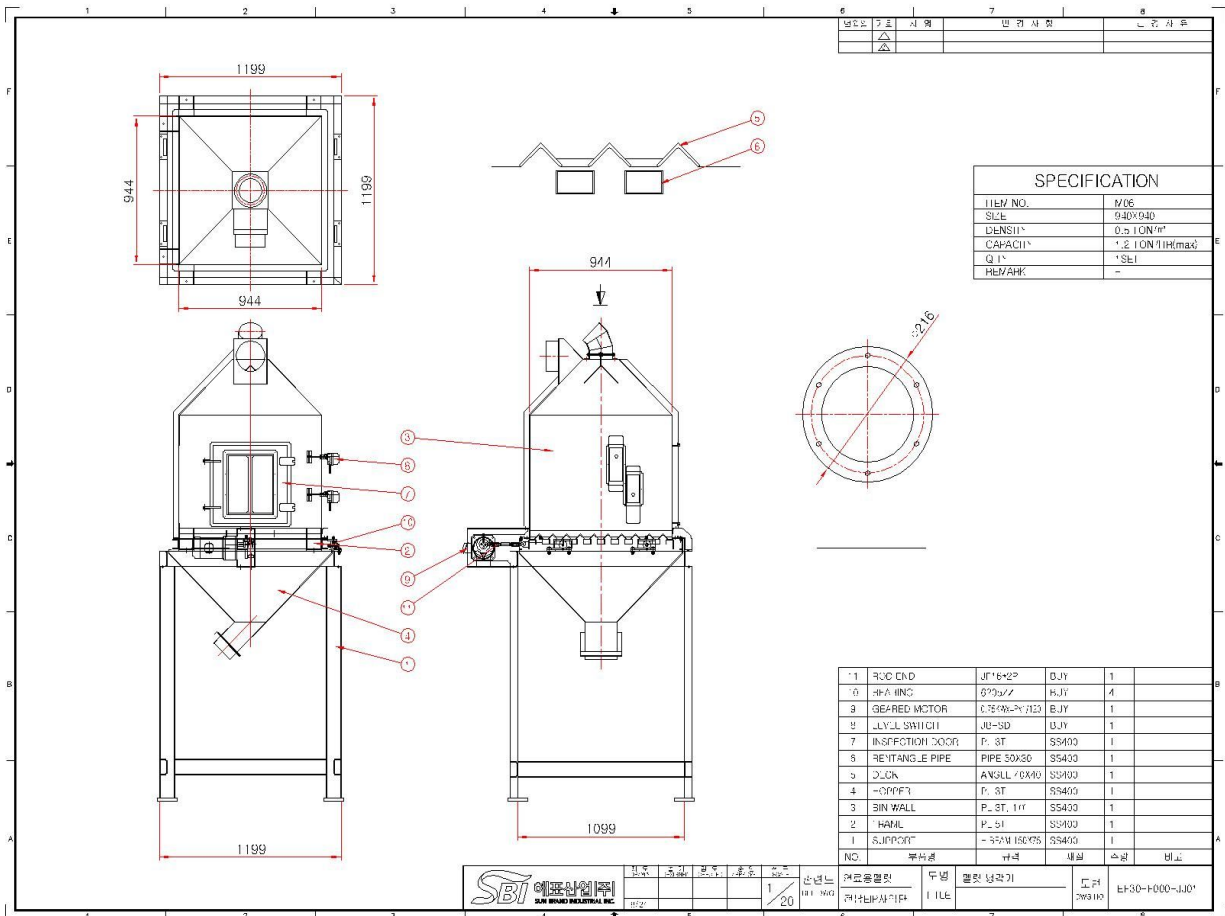
- ③ 풍 량 : 6.5m³/min
- ④ 여과속도 : 1.2 m³/min
- ⑤ 닥트유속 : 1.2 m³/min
- ⑥ 백필터규격 : Φ200mm(지름) * 1,000 mm(길이)
- ⑦ 여과면적(A)=유량(Q)/여과속도(V) = 6.5/1.2 = 5.4m²
- ⑧ 필터백단면적(A')=π * 필터지름 * 필터길이 = 3.14*0.2*1 =0.628m²
- ⑨ 필터백의 필요갯수 = 여과면적(A) / 필터백의 단면적(A') = 5.4/0.628 =9EA

(라) 용도

- ① 분쇄과정 중 발생하는 미분쇄된 입자를 백필터를 이용하여 포집하는 장치
- ② 사이클론 방식으로 집진할 경우 약 60-70%포집되며 그 외의 원료는 유실되며, 백필터 집진을 활용할 경우 약 98%이상 포집 가능
- ③ 정해진 시간 에어펄스를 활용하여 여과포에 부착된 입자를 털어주면서 집진효율을 증대시킴

(5) 냉각장치

(가) 설계도면 및 제작사진





<냉각기내부 및 센서>



<냉각피더>



<냉각기 배출>

(나) 주요사양

순번	품명	규격	수량
1	프레임	926*926*2,044	1
2	냉각탱크	926*926*842	1
3	피더선별기	210*838*367	1
4	감속기 모터	NV105 0.4kw 1/120	1
5	근접센서	CR18-5DN	1
6	레벨센서	JB-SD	3

(다) 설계내역

- ① 처리용량 : 500kg/Hr / 역류식 냉각
- ② 냉각원료 부피 : 중량/겉보기밀도 = 500kg/hr / 640kg/m³ = 781liter/Hr
- ③ 냉각기내 순가 체류량 : 부피 * 체류시간 = 781liter/Hr* 0.5Hr = 390liter
- ④ 냉각기 체적 (충진류 60%) = 순간체류량/충진률 = 390liter/60% = 0.65m³
- ⑤ 냉각기 설계체적 : 0.95 * 0.95 * 0.84 = 0.85m³ (안전율 고려)
- ⑥ 냉각기 공기유량 설계

<p>▷ 냉각기 입구측 조건</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 고형분량 : 450kg/Hr ② 수분량 : 50kg/Hr ③ 온도 : 70℃ ④ 열량 : 12,950kcal/Hr ⑤ 비열: 고형분(0.3) , 수분(1) * 계산식 (450*0.3*70)+(50*1*70)=12,950 	<p>▷ 냉각기 출구측 조건</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 고형분량 : 374kg/Hr ② 수분량 : 50kg/Hr ③ 분진 : 고형분량 77kg/Hr , 수분 9kg/Hr ④ 온도 : 40℃ ⑤ 열량 : 7,234kcal/Hr * 계산식 (450*0.3*40)+(46*1*40)=7,234 ⑤ 열량차 : 5,716kcal/Hr (입구측-출구측)
---	--

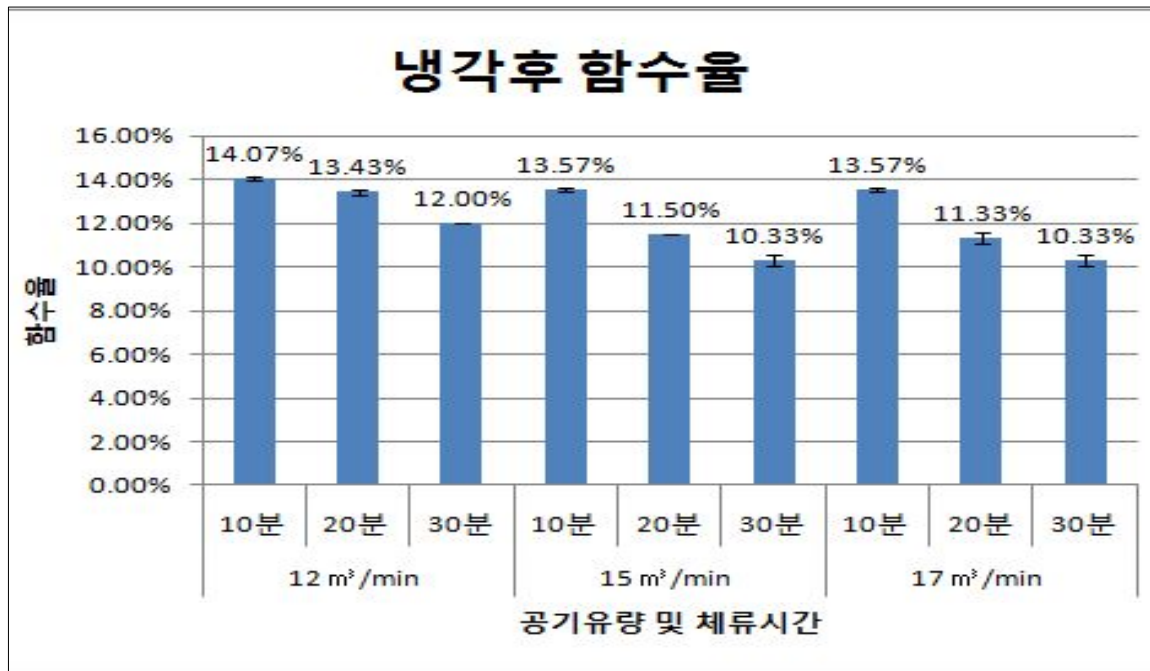
<p>▷ 유량측 조건</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 온도 : 입구온도 (30℃) , 출구온도 (50℃) ② 습도 : 절대습도 (0.023954) , 상대습도 (90) ③ 건공기량 : 1,141kg/Hr (881 Nm³/Hr) * 계산식 : 5,716kcal / ((0.24*20)+(0.44*20)*0.0240) = 1,140,74kg/Hr ④ 수분량 : 27.3kg/Hr (34.0 Nm³/Hr) ⑤ 총풍량 : 881.1 + 34.0 = 915.1 Nm³/Hr = 15.3m³/min

⑦ 냉각기 공기유량 결론

- 냉각기를 통해 외부로 배출되는 공기유량은 15.3 m³/min

(라) 실험결과 및 결론

① 실험결과



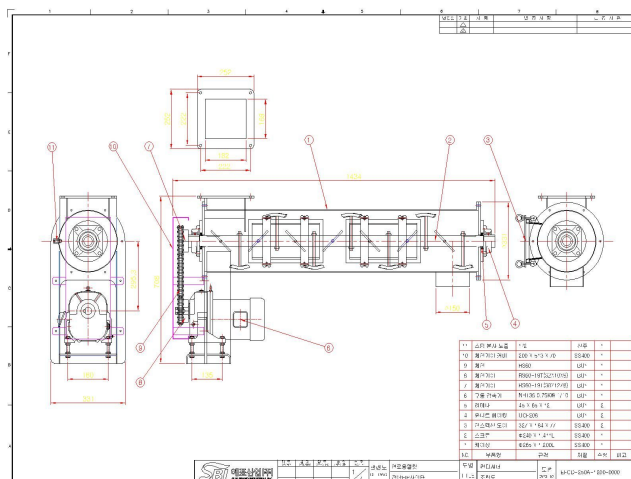
- 공기유량 12 m³/min일때 냉각배출 펠릿의 함수율은 10분(14.07%), 20분 (13.43%), 30분 (12.00%)이며, 15 m³/min일때 10분(13.57%), 20분(11.50%), 30분(10.33%), 17 m³/min일때는 10분(13.57%), 20분*11.33%), 30분(10.33%)로 나타남

② 실험결과

- 공기유량이 15 m³/min이상일때 냉각장치를 통과한 펠릿의 함수율은 크게 차이가 발생하지 않았음
- 연료용으로 사용하기위한 펠릿 함수율은 10%미만이 적합하며, 이를 위해서 펠릿성형 후 마찰열에 의해 뜨거워진 펠릿을 상온으로 식히는 이유는 펠릿의 흡습 때문이며, 이를 위해 냉각장치에 공기유량 15m³/min , 30분간 체류하는 것이 가장 효율적임

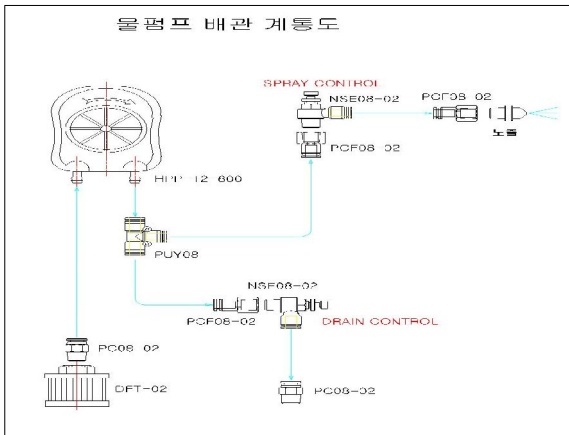
(6)컨디셔너

(가) 설계도면 및 제작사진



(나) 주요사양

- ① 동 력 : 1.5kw
- ② 원료체류시간 : 약 10초
- ③ 수분 공급가능량 : 150kg/Hr
- ④ 이송용량 : 1톤/Hr
- ⑤ 수분공급 장치 배관도 및 사진



<수분 공급 장치 계통도>



<장치사진>

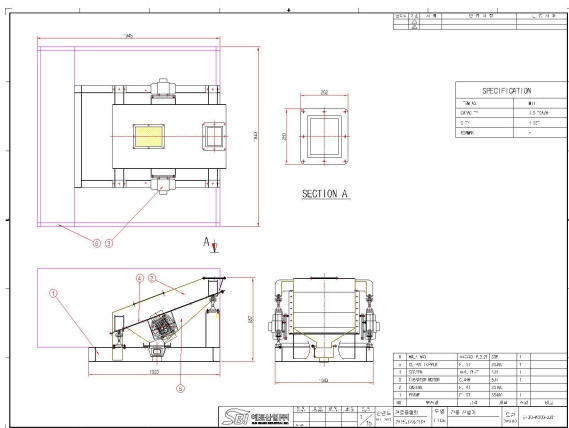
(다) 용도

- ① 결착역할 수행하는 일정량의 수분 공급과 원료와 수분의 효율적인 혼합
- ② 펠릿성형전 원료 함수율 조정과 고온에 의해 연료의 성형성을 증대시켜 펠릿의 품질과 생산성을 향상시킴

(7) 선별계량장치

(가) 선별장치

- ① 설계도면 및 제작사양



<도면>



<제작사진>

② 사양

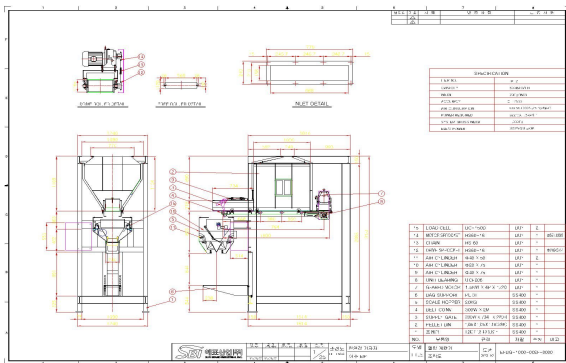
- 동력 : 0.4kw
- 방식: 2단선별
- 스크린망의 홀 크기조절가능
- 체류속도 조절가능
- 바이브레이터 방

③ 용도

- 펠릿성형과정, 냉각과정, 이송과정에서 발생한 부스러기를 냉각된 펠릿과 분리하는 장치
- 선별과정을 통해 모아진 부스러기는 재투입과정을 거쳐 펠릿으로 성형

(나) 계량장치

① 설계도면 및 제작사진



<도면>



<제작사진>

② 사양

- 동력 : 1.5kw
- 방식: Air cylinder 개폐방식
- 능력 : 600Bag/Hr

③ 용도

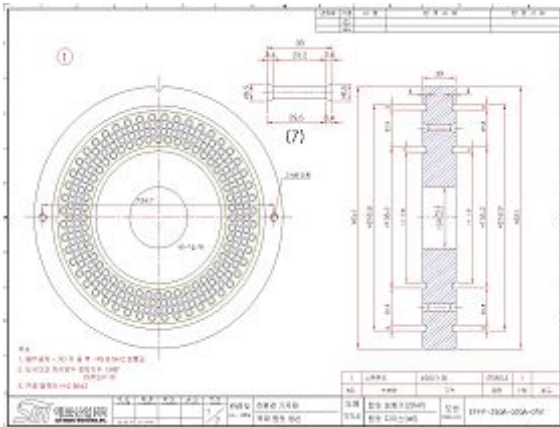
- 냉각선별과정을 거친 펠릿을 일정한 무게로 계량 포장하는 장치

3. 농업부산물을 이용한 펠릿제조 최적 조건 구명

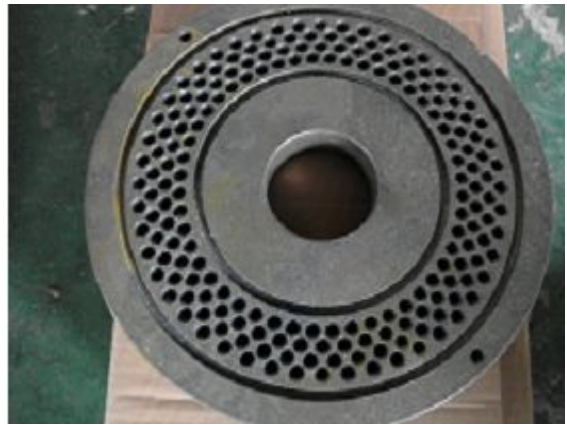
- (최적 펠릿성형다이스 개발)
- (분쇄물 밀도별 펠릿의 물리적특성)
- (비닐셀링을 통한 펠릿 함수율제어)

가. 최적 펠릿성형 다이스 개발

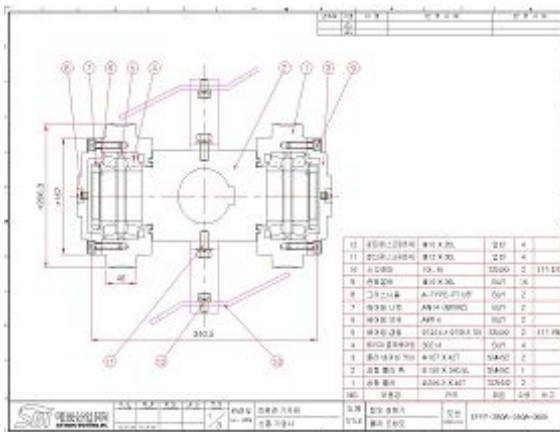
(1) Dies & Roller 사진 및 도면



<다이스 도면>



<다이스 사진>



<롤러 도면>



<롤러 사진>

(2) Dies & Roller 사양

- 홀수 / 직경 / 롤러폭 / LD ratio

	1형	2형	3형	4형	5형
홀갯수	192	192	192	192	192
다이스면적	100cm ²	100cm ²	100cm ²	90.5cm ²	90.5cm ²
홀출수	5	5	5	4	4
L/D ratio	3.5:1	4:1	5:1	4:1	5:1
롤러폭	40	40	40	30	30

* 홀 직경 Φ 6mm (연료용)

(3) 실험결과

① 실험장치



<미분쇄-집진-이송-성형장치>



<20Hp 펠릿성형기>

② 실험장치 사양

- 동력 : 20Hp / 만부하 30A (만부하 5초 이상 진행시 모터보호를 위해 정지)
- 방식 : Flat-type
- 감속방식 : 워기어감속
- 다이스 재질

재 질	특 징				
	가공성	열처리강도	열처리 가능두께	마모도	부식발생 여부
SCM415	상 (매우 좋음)	HRC56±2	표면	중	발생
SM45C	중 (양호)	HRC55±1	표면	상	발생
SUS420J2(크롬합금강)	중하 (약간안 좋음)	HRC58±2	전체	하	발생안함

- 가공성은 중하이지만 강도, 마모도, 부식에 강한 STS420J2로 선정해서 다이스 가공
- 경험에 의하면 SCM415 및 SM45C는 펠릿성형 후 성형기 가동 정지 시 습기에 의해 부식 발생하여 다이스 홀이 막히는 현상이 발생함

③ 결과

- 투입원료 : 볏짚 (함수율 13-18%)
- 1차파쇄한 볏짚은 상기 실험장치의 미분쇄기에 직접 투입 (분쇄기 스크린 망 Φ3mm)
- 펠릿 결과

롤러형태	L/D ratio	암페어범위	생산량(10분)	비고
롤러 1형 (40mm)	3.5 : 1	20-25A	25KG	- 압축력 안 좋음
	4 : 1	22-32A	23KG	- 압축력 보통
	5 : 1	25-35A	18KG	- 압축력 보통, 과부하로 정지
롤러 2형 (30mm)	4 : 1	15-22A	23KG	압축력 보통
	5 : 1	15-22A	23KG	압축력 좋음

- 롤러1형은 암페어(부하)의 변동폭이 커서 원료투입량의 수시 조절이 필요함
- 롤러2형은 다이스의 L/D와 관계없이 암페어(부하)는 일정하였음

(4) 결론

(가) 사진



<차과쇄벼짚>



<분쇄벼짚>



<벼짚펠릿>

(나) 분석

- ① 미분쇄기를 통해서 분쇄되는 과정중 폭은 좁고 길이가 약간 긴 재료들이 성형기에 투입됨(햄머밀을 통해서 분쇄되는 초본계의 특징)
- ② 펠릿성형의 방식이 Flat-Type이어서 펠릿다이스의 홀로 마쇄된 후 투입됨
- ③ 롤러 1형과 2형의 차이점은 롤러폭이며, 롤러폭에 의해서 암페어가 달라짐을 알 수 있음
- ④ 롤러1형과 3.5:1 다이스의 경우 펠릿성형기의 배출량은 조금 높으나 압축력이 낮아
- ⑤ 롤러2형은 폭은 롤러1형에 비해 좁지만 보다 강한 압력의 작용으로 정상품이 보다 많으며, 암페어(부하)의 변동폭이 적으며, 부하도 낮음
- ⑥ 롤러1형 다이스의 경우 1번째, 5번째의 홀에서는 펠릿배출이 거의 안됨

* 회전력에 의한 롤러 하중이 1번째(내측) , 5번째(외측)에는 감소됨

- ⑦ 롤러2형 다이스의 경우 전체적으로 고르게 배출되며, 다만 회전력에 의한 롤러하중이 1번째 홀(내측)에서 감소되어 펠릿생산이 일정치 않음

(다) 결론

- ① 20마력 성형기 적정 롤러 및 다이스 규격 → 50Hp 펠릿성형기에 적용

동력	롤러폭	홀갯수	홀줄수	L/D ratio
20Hp	30mm	192	4	4:1
50Hp	40mm	360	6	4:1

- ② 동일한 홀면적의 다이스에 홀갯수를 증가 시켰을때 생산성 향상 예상

나. 분쇄물 밀도별 펠릿의 물리적 특성

(1) 실험개요

- (가) 초분류의 분쇄후 밀도 상승으로 펠릿 성형성 향상



밀도상승을 통한 펠릿성형성 개선

- (나) 햄머밀 분쇄장치의 스크린 3mm타공망을 통과한 목재톱밥의 분쇄물의 밀도는 약 260g/L내외이며, 벧짚 분쇄물의 밀도는 230g/L내외임

- (다) 상기 원료의 분쇄물을 펠릿화 하여 겉보기밀도를 측정한 결과 650g/L , 620g/L임

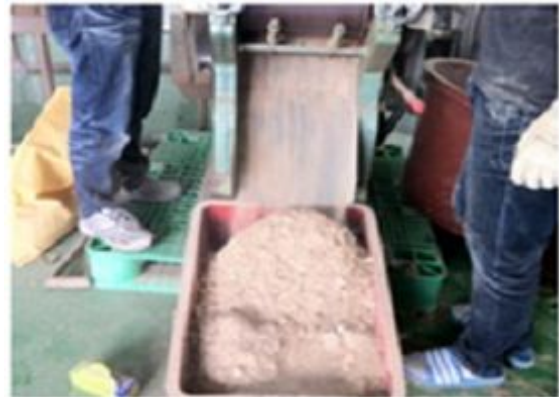
- (라) 벧짚을 분쇄한 후 밀도를 톱밥수준으로 상승시킨 후 겉보기밀도 측정 필요성 대두

(2) 실험장치

- (가) 장치내역



<밀도상승장치(펠릿성형기이용)>



<롤밀>

(나) 실험장치구성

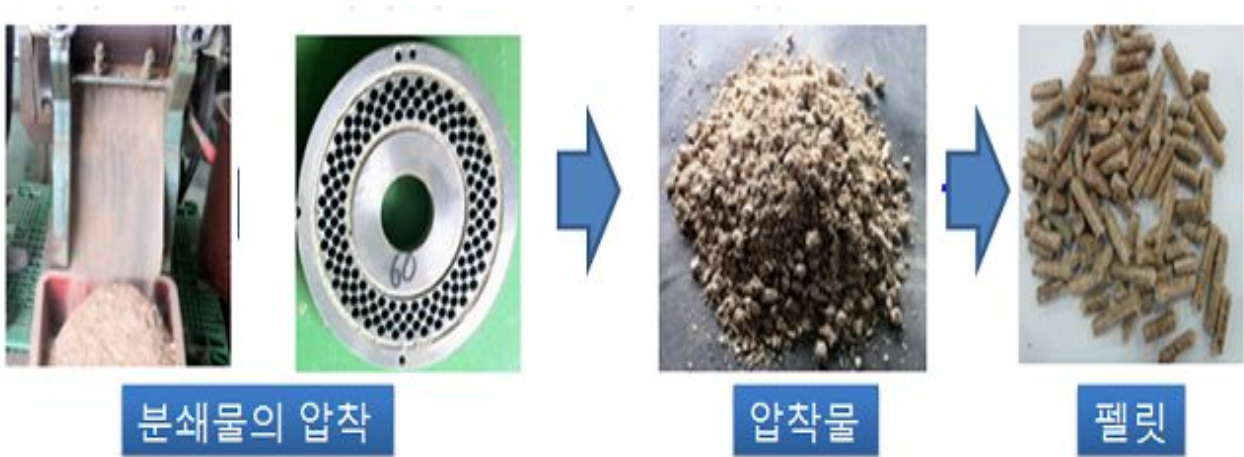
① 펠릿성형기를 활용한 밀도상승장치

- 1차 펠릿기(20Hp), 2차 펠릿기(50HP)
- 2단 구성을 통해 1차 펠릿기를 통과한 원료의 2차 펠릿기로의 재투입
- 1차 및 2차 펠릿기의 암페어 측정

② 롤밀을 통한 밀도상승장치

- 롤밀(3Hp)으로서 분쇄된 원료를 롤밀에 투입한후 밀도 측정

(3) 결과

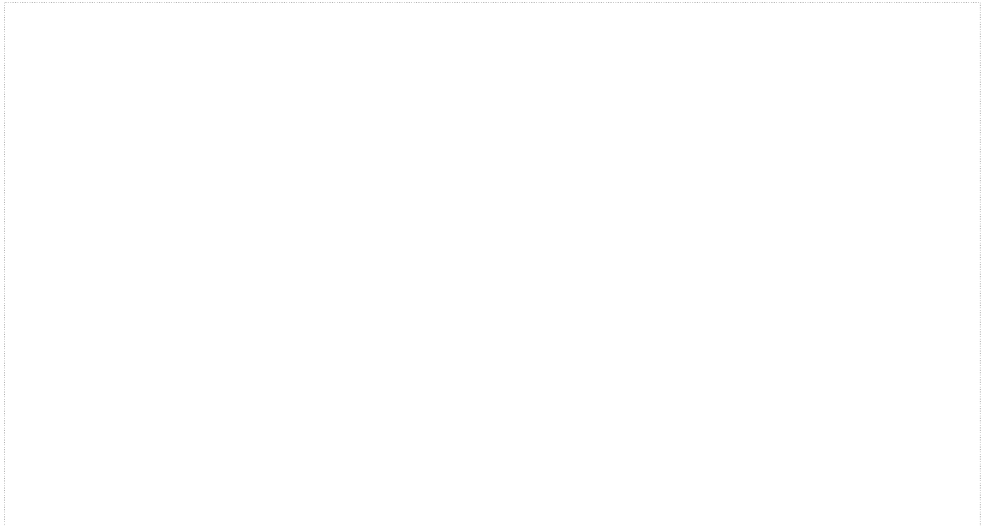


(가) 햄머 분쇄장치 스크린망(3mm 타공)을 통과한 벧짚분쇄물의 평균밀도는 240g/L내외임

(나) 펠릿성형기 다이스 L/D ratio에 따른 압착물의 밀도(다이스 직경 Ø6mm)

L/D ratio	3.5:1	3:1	2.5:1	2:1
압착후 밀도	300g/L	280g/L	260g/L	240g/L

(다) 압착물의 펠릿 성형후 밀도



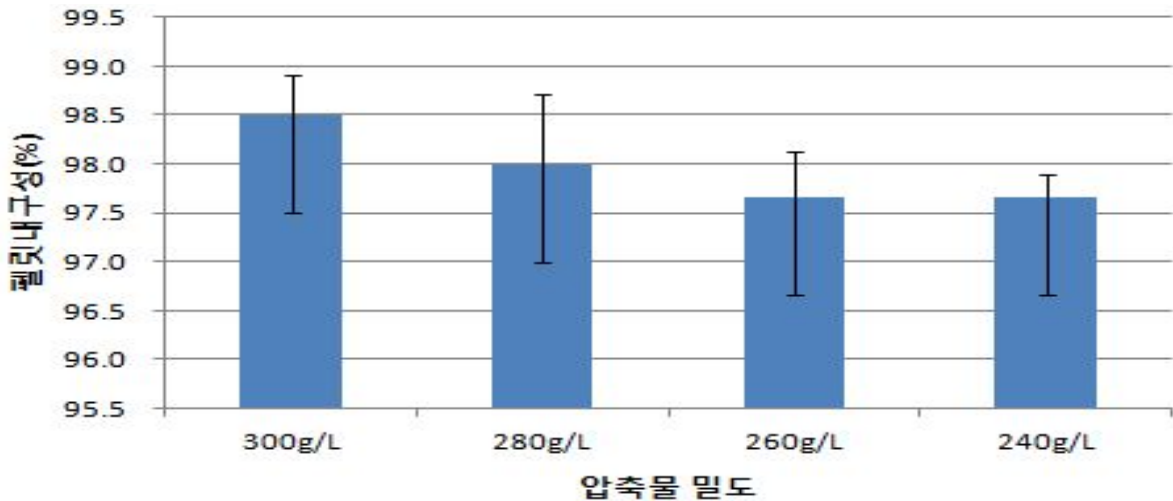
- ① 압축물의 밀도가 올라갈수록 펠릿의 겉보기밀도 상승
- ② L/D ratio가 2.5:1미만의 경우 압축물의 밀도가 크게 상승하지 않았으며, 또한 펠릿의 겉보기 밀도 역시 미압축 재료의 펠릿성형과 큰 차이가 없었음
- ③ 압축밀도가 280g/L이상일 경우 목재펠릿 1등급기준 겉보기밀도 650g/L을 상회함

(라) 펠릿성형 내구성

- ① 내구성 측정장치



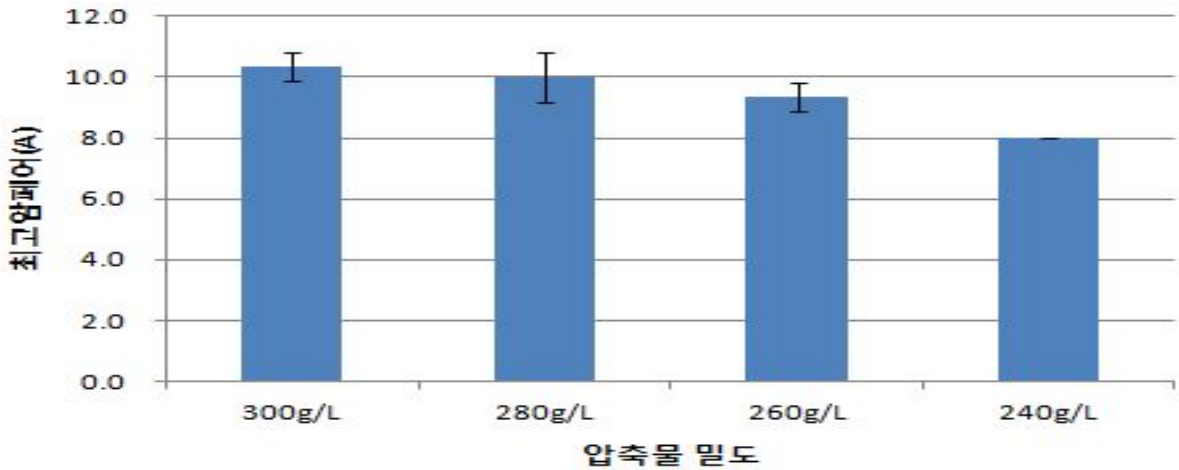
- ② 내구성측정결과



- ③ 압축밀도와 관계없이 펠릿내구성은 97.5%를 상회함
- ④ 압축밀도가 증가되면 펠릿의 겉보기밀도와 동시에 내구성도 상승한 것으로 판단됨

(마) 압착시 압페어

① 결과



- ② 압착시 압페어는 모터가동에 대한 기본 압페어 수준이며, 압착강도에 따라 크게 증가되지 않음

(3) 결론

- (가) 밀도 상승장치를 이용한 분쇄물의 밀도를 상승 시켰을때 겉보기밀도 및 펠릿의 내구성은 증가되었음
- (나) 밀도 상승장치를 이용하면서 소모된 압페어는 매우 낮아 전력소모량은 적을 것으로 판단됨
- (다) 톱밥분쇄물에 비해서 초분류인 벚짚은 분쇄물의 밀도가 상대적으로 낮으므로 밀도 상승 장치를 통해 펠릿의 품질을 향상 시킬 수 있음

다. 비닐썰링을 통한 펠릿 함수율 제어

(1) 실험장치



<비닐썰링장치>



<비닐썰링>

(2) 실험내용

(가) 실험장소 : 비가림 시설이 되어 있고 공기의 이동이 활발한 곳



<비닐씰링>



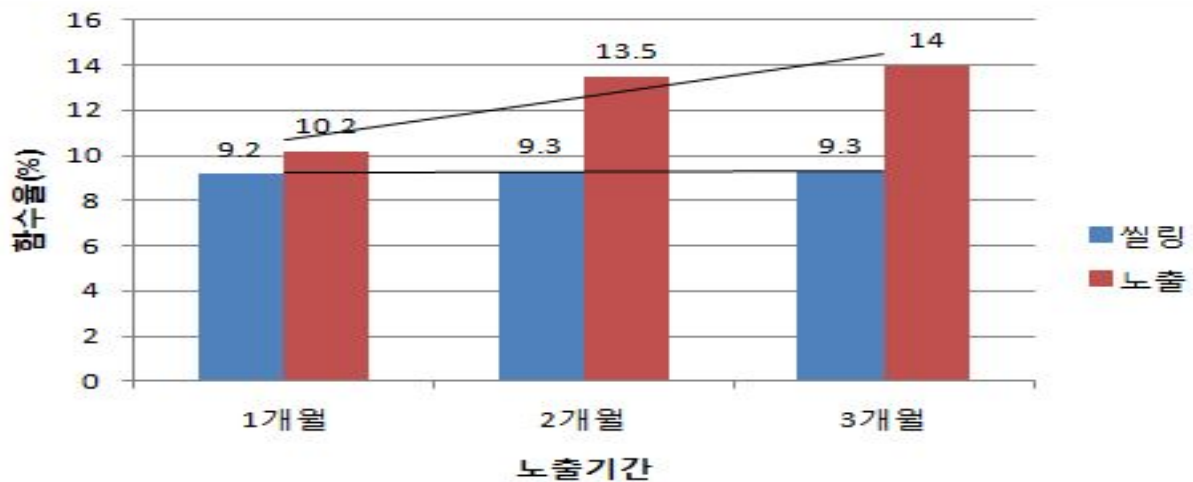
<노출보관>

(나) 실험방법 : 확보된 벗짚펠릿을 '13년 4월 -6월까지 상기장소에 보관

(다) 실험재료

- 비닐 sealing 후 내부공기배출을 위해 6곳을 3mm로 천공한 후 보관
- 냉각 선별된 재료를 상기 장소에 노출시킨후 보관

(3) 실험결과



- 비닐 씰링된 벗짚펠릿의 함수율은 노출기간과 관계없이 일정함
- 노출된 벗짚펠릿은 노출기간이 증가될수록 함수율이 지속 상승함

(4) 결론

- 연료용으로 사용되는 펠릿은 함수율이 10%미만일때 열효율이 증대될 수 있음
- 따라서 공기중에 노출된 펠릿은 흡습을 통해 함수율이 상승되므로 펠릿제조이후 저장시에는 반드시 외부공기가 통하지 않는 비닐 씰링을 통해 저장해야 됨

제 4절 농업부산물의 성형성과 연소효율 개선을 위한 전처리 기술 개발

1. 농업부산물 펠릿 제조를 위한 기초조사 및 물성평가

가. 서 론

에너지 생산을 위해 사용되고 있는 원료의 대부분을 수입에 의존하고 있는 우리나라에서 산업화 그리고 자동차 문화의 급속한 보급으로 화석 연료의 사용이 기하급수적으로 증가하고 있는 가운데 기후변화 협약의 규제를 위한 대응책의 일환으로 새로운 에너지원의 개발이 시급한 실정이다. 이러한 요구를 충족시키기 위하여 1990년대 후반부터 바이오매스를 이용하여 열 또는 전기를 생산하는 고체 바이오연료가 관심을 받기 시작하여 최근 괄목할만한 성장을 거듭하고 있으며, 그 수요는 폭발적으로 늘 것으로 예상되고 있다.

현재 고체 바이오연료로 목재칩이 주로 사용되고 있으나, 연료 공급 측면에 있어서 벌채 시기와 밀접한 관련성으로 인한 계절적 제한, 큰 부피로 인한 저장 및 운송의 어려움, 그리고 고함수율 상태에서 열량 손실 등으로 브리켓이나 펠릿과 같이 밀도가 높은 고체 바이오연료에 대한 연구와 상용화가 북미 및 유럽에서 활발히 진행되고 있다. 예를 들면 목재를 원료로 제조한 펠릿은 최근 북미나 유럽에서 가정용의 자동화된 난로나 보일러 연료로 사용되고 있으며, 북유럽에서는 열병합발전소의 연료로도 많이 이용되고 있는 실정이다 (EBN, 2006). 국내의 경우, 2002년 캐나다로부터 소량의 펠릿과 펠릿난로가 수입되어 사용되기 시작한 이래, 2008년부터 산림조합중앙회에서 목질펠릿을 직접 제조하기 시작하였으며, 2010년 현재 약 30,000톤 정도가 생산되고 있다 (류 등, 2010). 또한 2011년 말까지 19개소의 펠릿 제조 공장이 가동될 예정이 고체 바이오연료 시장의 전망은 매우 밝다고 하겠다.

현재 펠릿 또는 브리켓과 같은 고체 바이오연료를 제조하기 위하여 제재 부산물을 주로 사용하고 있으며, 향후 부족한 원료는 중남부 지방에서 발생하는 간벌재, 리기다 수종 갱신재 가운데 저급의 목질 자원 및 숲가꾸기를 통해 얻어지는 목질 폐기물로 충당할 예정이나(이 등, 2009), 연료 공급 측면에서 안정성을 확보하기 위하여 새로운 원료에 대한 탐색이 필요한 상황이다. 따라서 최근 농업부산물인 유채박과 유채대 (양 등, 2011), 그리고 대마대 (신 등, 2009)를 이용한 펠릿 연료화 가능성에 대한 연구 결과가 발표된 상황에서 고춧대, 옥수수자루, 옥수수대, 담뱃대, 왕겨, 벚짚, 보릿짚, 밀짚과 같이 국내에서 원료 확보가 용이한 농업부산물의 펠릿 제조를 위한 원재료로 사용하는 방안에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구는 상기 농산 부산물에 대한 이·화학적 성질, 원소 및 회분 성분 등을 분석하고 발열량을 측

정한 후, 국내에서 현재 펠릿 제조에 주로 사용되고 있는 낙엽송 톱밥의 측정치와 비교함으로써 각 농업부산물에 대한 펠릿 원료화 가능성을 평가하고자 수행하였다.

나. 아그로펠릿 산업 동향

아그로펠릿은 에너지 산업에 있어서 바이오매스의 이용을 확대하는 데에 큰 잠재력을 가지고 있다. 최근 유럽에서 목재펠릿 이용이 급진적으로 증가함에 따라 아그로펠릿에 대한 관심도 커져가고 있다. 그러나 전체 펠릿 시장에서는 아그로펠릿은 신규의 아이템인 만큼 시장 규모도 작고, 아그로펠릿과 관련된 규격도 미비한 실정이다. 게다가 아그로펠릿은 연소 시에 발생하는 문제점으로 인해 가정용 시장에서는 거의 사용되지 않으므로 목재펠릿의 시장과 다른 구조를 가지고 있다. 아그로펠릿 시장이 발전하기 위해서는 아그로펠릿을 효율적으로 연소시킬 수 있는 보일러 개발이 이루어져야만 한다.

목재펠릿 시장이 안정적으로 발전한 유럽에서도 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 품질기준을 살펴보면, 오스트리아에 압축역세에 관련된 규격이 있으며, 프랑스에서는 Table 4-1-1과 같이 FCBA에서 아그로펠릿의 품질 기준을 규정하고 있다.

Table 4-1-1. Specifications for French agropellet quality standards.

Specifications	Agro+	Agro
Dimensions	D=6 to 8mm±1mm L= 10 to 30mm	D=6 to 16mm±1mm L= 10 to 30mm
Moisture content (%)	≤11	≤15
Net caloric value (MJ/kg)	≥15.5	≥14.7
Net caloric value (kWh/kg)	≥4.3	≥4.1
Bulk density (kg/m ³)	≥650	≥650
Mechanical durability (%)	≥95	≥92
Amount of fines after production (%)	≤2	≤3
Ash content (%)	≤5	≤7
Cl (%)	≤0.2	≤0.3
N (%)	≤1.5	≤2.0
S (%)	≤0.2	≤0.2
Ash melt temperature (°C)	≥1,000	≥800
As (mg/kg)	≤1	
Cu (mg/kg)	≤40	
Cr (mg/kg)	≤10	
Cd (mg/kg)	≤0.5	
Hg (mg/kg)	≤0.1	
Ni (mg/kg)	≤15	
Pb (mg/kg)	≤10	
Zn (mg/kg)	≤60	

한편, 우리나라에는 Table 4-1-2와 같은 목재펠릿 품질규격이 있으며, 유럽에서는 그동안 독일의 DINplus 규격이 유럽의 목재펠릿 규격의 대표로 이용되어 오다 최근에 Table 4-1-3과 같은 목재펠릿 품질규격이(ENplus)이 마련되고 있는 실정이다.

Table 4-1-2. Specifications for Korean wood pellet quality standards.

Specifications	1st grade	2nd grade	3rd grade	4th grade
Dimensions	D=6-8mm L≤32mm	D=6-8mm L≤32mm	D=6-8mm L≤32mm	D=6-8mm L≤32mm
Moisture content (%)	≤10	≤10	≤15	≤15
Net caloric value (MJ/kg)	≥18.0	≥18.0	≥16.9	≥16.9
Bulk density (kg/m ³)	≥640	≥600	≥550	≥500
Mechanical durability (%)	≥97.5	≥97.5	≥95	≥95
Ash content (%)	≤0.7	≤1.5	≤3.0	≤6.0
Amount of fines after production (%)	<1.0	<1.0	<2.0	<2.0
Cl (%)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
N (%)	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
S (%)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

목재펠릿 규격과 아그로펠릿 규격에서는 회분과 발열량에서 큰 차이를 보이고 있다. 아그로펠릿은 원료의 특성 상 회분이 많이 존재하므로 Agro+는 5% 이하, Agro는 7% 이하로 높게 규정되어 있다. 또한 회분의 양은 발열량에도 영향을 미치게 되므로 이들에 대한 기준도, Agro+가 15.5MJ/kg 이상, Agro가 14.7MJ/kg으로 낮게 규정되어 있다.

원소분석치에 대해서도 목재펠릿의 규격과 큰 차이를 보이고 있는데, Agro+가 염소는 0.2% 이하, 질소는 1.5% 이하, 유황은 0.2% 이하로서, ENplus-B가 염소는 0.03% 이하, 질소는 1.0% 이하, 유황은 0.04% 이하로 규정하는 것에 비해 높게 규정되어 있다.

Table4-1-3. Specifications for European wood pellet quality standards.

Property class /Analysis method	Unit	A1	A2	B
Diameter, D ^a and Length L ^b , prEN16127	mm	D06, 6 ± 1; 3,15<L<40 D08, 8 ± 1 3,15<L<40	D06, 6 ± 1; 3,15 <L<40 D08, 8 ± 1; 3,15 <L<40	D06 6 ± 1; 3,15 <L<40 D08 8 ± 1; 3,15 <L<40
Moisture, M, EN14774-1, EN14774-2	as received, w-% wet basis	M10 <10	M10 <10	M10 <10
Ash, A, EN14775	w-% dry	A0.7 <0,7	A1.5 <1,5	A3.0 <3,0
Mechanical durability, DU, EN15210-1	as received, w-%	DU97.5 >97,5	DU97.5 >97,5	DU96.5 >96,5
Fines at factory gate in bulk transport (at the time of loading) and in small (up to 20 kg) and large sacks (at time of packing or when delivering to end-user), F, prEN15210-1	w-% as received	F1.0 <1,0	F1.0 <1,0	F1.0 <1,0
Additives ^c	w-% dry	< 2 w-% Type and amount to be stated	< 2 w-% Type and amount to be stated	< 2 w-% Type and amount to be stated
Net calorific value, Q, EN14918	as received, MJ/kg or kWh/kg	Q16.5, 16,5 ≤ Q ≤ 19 or Q4.6, 4.6 ≤ Q ≤ 5,3	Q16.3, 16,3 ≤ Q ≤ 19 or Q4.5, 4.5 ≤ Q ≤ 5,3	Q16.0, 16,0 ≤ Q ≤ 19 or Q4.4, 4.4 ≤ Q ≤ 5,3
Bulk density, BD, EN 15103	kg/m ³	BD600 >600	BD600 >600	BD600 >600
Nitrogen, N, prEN 15104	w-% dry	N0.3 <0,3	N0.5 <0,5	N1.0 <1,0
Sulphur, S, prEN15289	w-% dry	S0.03 <0,03	S0.03 <0,03	S0.04 <0,04
Chlorine, Cl, prEN 15289	w-% dry	Cl0.02 <0,02	Cl0.02 <0,02	Cl0.03 <0,03
Arsenic, As, prEN 15297	mg/kg dry	< 1	< 1	< 1
Cadmium, Cd, prEN 15297	mg/kg dry	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Chromium, Cr, prEN 15297	mg/kg dry	< 10	< 10	< 10
Copper, Cu, prEN 15297	mg/kg dry	< 10	< 10	< 10
Lead, Pb, prEN 15297	mg/kg dry	< 10	< 10	< 10
Mercury, Hg, prEN 15297	mg/kg dry	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Nickel, Ni, prEN 15297	mg/kg dry	< 10	< 10	< 10
Zinc, Zn, prEN 15297	mg/kg dry	< 100	< 100	< 100
Ash melting behaviour ^d , prEN15370	°C	Should be stated	Should be stated	Should be stated

^a Selected size of pellets to be stated.

^b Amount of pellets longer than 40 mm can be 1 w-%. Maximum length shall be < 45 mm.

^c Type (e.g. starch, corn flour, potato flour, vegetable oil)

^d All characteristic temperatures (shrinkage starting temperature (SST), deformation temperature (DT), hemisphere temperature (HT) and flow temperature (FT) in oxidized conditions should be stated.

다. 실험방법

(1) 공시재료

본 연구에서 고춧대, 옥수수자루, 옥수수대, 담뱃대, 왕겨, 벼짚, 보릿짚, 밀짚을 각 지역에서 수거하여 공시재료로 사용하였다. 먼저 각 공시재료는 음지에서 기건 건조를 실시하였으며, 소형분쇄기로 분쇄한 후 60 mesh(0.42mm) 이상의 분말을 사용하여 이·화학적 성질과 발열량 측정을 수행하였다(Fig. 4-1-1). 한편 각 공시재료의 이·화학화적 성질의 측정치를 비교, 분석하기 위하여 현재 국내에서 목재 펄릿 제조시 가장 많이 사용되고 있는 낙엽송 톱밥을 산림조합 중앙회 목재유통센터(경기, 여주)에서 무상으로 공급받아 대조구 시편으로 사용하였다.



Figure 4-1-1. Images of the grounded/screened agricultural residues.

(가) 이·화학적 성질

각 공시재료의 이화학적 성질 - 함수율, 회분, 전섬유소, 리그닌 - 은 A.O.A.C.에 서술되어 있는 방법을 토대로 조사하였다 (A.O.A.C., 1990).

(나) 함수율

뿔개가 있는 측정 접시를 $105 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 무게 변화가 없을 때까지 건조한 후, 데시케이터에서 상온으로 냉각시키고 뿔개를 포함하여 측정 접시의 무게를 0.1mg 수준까지 측정하였다. 1mm 금속망 표준체를 통과하는 각 공시재료 1g을 측정 접시에 균일한 층이 되도록 넣은 후 뿔개를 포함하여 무게를 측정하고, 뿔개를 제거한 후 $105 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 온도에서 시료를 포함한 접시의 무게 변화가 없을 때까지 건조를 수행하였다. 이 때 뿔개도 동일한 오븐에서 건조가 되도록 하며, 건조가 완료된 후 오븐에서 뿔개를 썬 후, 데시케이터로 옮기고 상온까지 냉각시켰다.

시료를 포함한 접시의 무게를 0.1mg 수준에서 측정하였으며, 2회 반복을 실시하였다. 함수율은 아래 계산식을 이용하여 소수점 둘째자리까지의 값을 구하여 %로 표기하였다.

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

$$U_{ad} = \frac{M_{ad}}{(100 - M_{ad})} \times 100$$

M_{ad} : 기건펠릿의 함수율(습량기준)

U_{ad} : 기건펠릿의 함수율(건량기준)

m_1 : 빈 접시 + 덮개의 무게

m_2 : 건조 전 접시 + 덮개 + 시료의 무게

m_3 : 전건 후 접시 + 덮개 + 시료의 무게

(다) 회분

시료를 함유하지 않는 도가니를 $550 \pm 10^\circ\text{C}$ 온도의 회화로에서 최소 60분간 가열한 후, 빼낸 다음 5-10분간 냉각시키고, 흡습제가 없는 데시케이터로 옮겨 상온까지 냉각시키고 도가니의 무게가 0.1 mg 수준에서 변화가 없을 때 그 중량을 기록하였다. 1g의 시료를 도가니 바닥에 균일한 두께가 되도록 펼치고 도가니의 시료 무게를 0.1mg 수준에서 측정하고 기록하였다. 시료를 담고 있는 도가니를 냉각된 회화로에 넣고 회화로의 온도를 $5^\circ\text{C}/\text{분}$ 의 속도로 250°C 까지 승온하여 60분간 방치하였다. 다음 회화로의 온도가 60분 간 $550 \pm 10^\circ\text{C}$ 가 되도록 승온하고 ($5^\circ\text{C}/\text{분}$), 최소 120분간 유지하였다. 회화로에서 도가니를 제거하고, 5-10분간 대기 중에서 방치한 후, 흡습제가 없는 데시케이터에서 상온까지 냉각 시킨 후, 0.1mg 수준에서 무게를 측정하고 기록하였다. 검댕 등으로 인한 불완전연소가 의심되면, $550 \pm 10^\circ\text{C}$ 의 회화로에서 30분 더 연소하거나 증류수 또는 질산암모늄 몇 방울을 첨가한 후 $550 \pm 10^\circ\text{C}$ 회화로에서 30분 더 연소한 후 무게를 측정하였다. 2회의 측정을 실시하였으며, 아래 계산식을 이용하여 소수점 둘째자리까지의 건조 중량에 대한 회분 함량의 값을 구하여 %로 표기하였다.

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

A_{dm} : 전건펠릿의 회분(건량기준) m_2 : 도가니 + 시료의 무게

m_1 : 도가니의 무게 m_3 : 도가니 + 회분의 무게 M_{ad} : 펠릿의 함수율(습량기준)

(라) 전섬유소

공시재료의 탈지를 위하여 먼저 1000ml 메스실린더에 에탄올 300ml와 벤젠 600ml를 넣어

시약을 제조하였다. 원통 여과지에 시료를 넣은 다음 Soxhlet extraction tube에 원통 여과지를 넣었다. Soxhlet extraction flask에 150ml의 알콜-벤젠시약을 넣고 3시간동안 반응시켰다. Soxhlet extraction flask에 남은 것을 칭량병에 넣고 항온수조에 올려 휘발시켰다. 탈지시킨 시료의 함수율을 구하고, 2.5g의 탈지시료를 250ml 삼각플라스크에 넣고 증류수 150ml를 가하고 아염소산나트륨 1g과 마이크로 피펫을 이용하여 빙초산 0.2ml을 넣고 소형 100ml 삼각플라스크를 마개로 뒤집어서 덮었다. 70-80℃로 유지되는 항온수조에서 1시간 가온 후 아염소산나트륨 1g, 빙초산 0.2ml을 넣고 3회를 반복하여 처리하였다. 잔사를 칭량한 glass filter에 놓고, 500ml의 증류수로 세척한 후, 진공을 풀고 아세톤 50ml로 충분히 흡입시켰다. 칭량병에 glass filter를 넣고 건조기에서 16시간 동안 건조시킨 후 데시케이터에서 1h 냉각한 후 칭량하여 전 섬유소량을 구하였다.

(2) 원소분석

각 공시재료의 원소 분석 (Elementary Analysis)을 위하여 시료를 1,014℃의 온도에서 연소시켜 석영관의 구리층을 통과시키면서 조성 원소별로 분석에 용이한 기체분자 (CO₂, N₂, H₂O, SO₂)로 전환하였다. 이 혼합가스들을 gas chromatography column에 통과시키면서 각각을 분리한 후, 열전도검출기 (Thermal Conductivity Detector)에 의하여 전기신호로 정량적으로 변환하였다. 마지막으로 표준시료를 이용하여 검량곡선을 작성한 후, 각 시료별 질소, 탄소, 수소, 유황의 함유량을 측정하였으며, 원소 분석의 결과는 3회 반복의 평균값으로 표시하였다.

(3) 회분 정성분석

회분의 정성분석은 국립산림과학원에서 고시한 “목재펠릿품질규격”에 제시된 방법에 따라 실시하였으며, 구체적인 방법은 다음과 같다 (국립산림과학원, 2009). 시료를 65%의 질산용액 (HNO₃)을 이용하여 회분을 제외한 모든 성분을 제거한 후, 증류수로 희석한 용액을 조사된 각 원소의 검출 파장에 따라 Inductively coupled plasma (ICP) emission spectrometer (Perkin-Elmer Optima 4300 DV)를 이용하여 수행하였다. 예를 들면 구리의 함량은 324.8nm의 파장에 탐지되는 양을 조사하여 얻었다.

(4) 발열량

각 시료의 발열량은 1g의 시료를 열량계(6400 Automatic Isoperibol calorimeter, Parr Instrument Inc., Moline, Illinois)에 넣고 국립산림과학원에서 고시한 “목재펠릿품질규격”에 기술된 방법에 의거하여 측정하였다 (국립산림과학원, 2009).

(5) 펠릿의 제조

기건 상태의 농업부산물 분말을 피스톤 타입의 펠릿타이저로 180℃의 온도 및 150MPa의 압력으로 3분간 압축하여 펠릿으로 제조하였으며(Fig. 3-2), 제조된 펠릿의 치수는 6.5mm의 지름과 20mm 내외의 길이를 보유하고 있다.

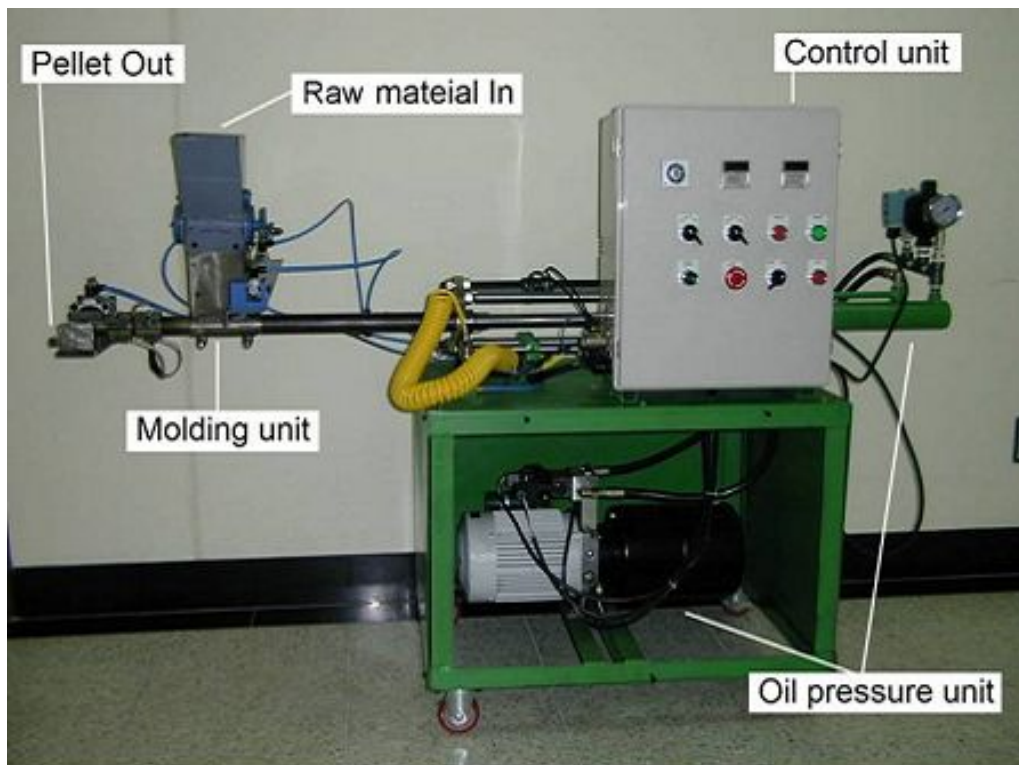


Fig. 4-1-2 Images of piston-type pelletizer used in our study.

(6) 리그닌

100ml 비이커에 탈지시킨 시료 1g을 넣고 72% 황산 20ml으로 20℃에서 2시간 동안 유리봉으로 충분히 교반하였다. 2시간 후 2000ml 삼각플라스크에 넣고 증류수 765ml를 넣어 3% 황산으로 만들고 100ml 비이커에 있는 잔여물을 765ml 증류수로 세척하며 넣었다. 이 반응물을 autoclave에 넣고 120℃의 온도에서 반응시키고, 4시간 후 삼각플라스크를 꺼내서 약 하루 동안 한쪽으로 쏠리도록 비스듬히 세워 놓고, 1G3 glass filter를 여과 흡입기에 끼우고 여과시킨 후 뜨거운 증류수 500ml로 세척하였다. 여과 및 세척시킨 시료를 칭량병에 넣고 16시간 건조시킨 후, 1시간 냉각시킨 다음 무게를 측정하여 리그닌 함량을 구하였다.

라. 결과 및 고찰

(1) 이·화학적 성질

Table 4-1-4은 본 연구에서 공시재료로 사용된 농업부산물 시료들의 이·화학적 성질을 분석한 결과이다. 먼저 함수율의 경우 전체적으로 5.59-13.56% 범위에 존재하였으며, 특히 왕겨,

옥수수자루, 벧짚은 6% 내외로 공시재료 가운데 낮은 것으로 나타나 목재에 비해 건조가 용이한 것으로 판단된다. 한편 보릿짚과 밀짚은 12% 이상의 수분을 함유하고 있어 본 연구에서 사용된 공시재료 가운데 가장 높은 함수율과 낙엽송 목분보다 높은 함수율을 보유한 것으로 조사되어 두 공시재료를 펠릿의 원료로 이용할 경우 함수율을 효과적으로 낮출 수 있는 방안을 마련해야 할 것으로 판단된다.

Table 4-1-4. Chemical composition of the agricultural residues

Biomass	Moisture (%)	Solid (%)	Dry-based chemical composition (%)			
			Holocellulose	Lignin	Ash	Others
Pepper stalk	8.06 (0.15)	91.94	61.08 (0.9)	19.21 (0.36)	7.01 (0.18)	12.70
Corn cob	6.29 (0.52)	93.71	70.78 (1.13)	11.67 (0.84)	1.67 (0.06)	15.88
Corn stalk	10.83 (0.46)	89.17	62.63 (1.53)	14.87 (0.25)	7.51 (0.16)	14.99
Tobacco stalk	11.02 (0.14)	88.98	62.31 (1.04)	13.66 (0.92)	9.02 (0.07)	15.01
Rice husk	5.59 (0.09)	94.41	65.21 (0.09)	22.00 (1.44)	10.87 (0.16)	1.92
Rice straw	6.72 (0.07)	93.28	65.47 (0.50)	12.83 (1.04)	9.44 (0.12)	12.26
Barley straw	12.67 (0.43)	87.33	70.07 (0.27)	17.80 (0.44)	7.57 (0.17)	4.56
Wheat straw	13.56 (0.21)	86.44	67.19 (1.01)	21.31 (0.38)	7.13 (0.18)	4.37
Larch ¹	10.55 (1.68)	89.45	68.80 (2.92)	28.62 (2.21)	0.34 (0.02)	2.24

¹*Larix kaempferi* C.

화학적 성분의 조사 결과를 보면 (Table 4-1-4), 전건무게 기준으로 61.08-70.78%의 전섬유소, 11.67-22.00%의 리그닌, 1.67-10.87%의 회분으로 구성되어 있는 것으로 나타났다. 전섬유소의 함량은 옥수수자루와 밀짚에서 가장 높았으며, 고춧대가 가장 낮았고 옥수수대과 담뱃대도

상대적으로 타 공시재료와 비교하여 낮은 것으로 조사되었다. 리그닌의 경우 전체적으로 목재보다 적은 양을 함유하고 있었으며, 왕겨와 밀짚에서 높았고 옥수수자루와 벼짚에서 낮은 것으로 나타났다.

현재까지 알려진 바로는 펠릿성형성은 일반적으로 리그닌 함량이 높을수록 유리하다고 하는데, 이런 관점에서는 옥수수자루, 옥수수대, 담뱃대, 벼짚의 성형이 다른 바이오매스에 비해 어려울 것으로 예측된다.

공시재료의 회분 함량은 1.67-10.87%로 우리나라 펠릿의 원료로 주로 사용되는 목분(1% 미만)과 비교하여 매우 많은 회분을 함유하고 있었으며, 특히 왕겨의 경우 10.87%로 가장 높았고 옥수수자루가 가장 낮아 1.67%로 측정되었다 (Table 34-1-4). 결과적으로 옥수수자루를 제외하고 높은 회분 함량을 보유한 농업부산물을 펠릿의 원료로 이용할 경우 연소 후 회분이 펠릿 보일러 또는 스토브의 열교환 부분에 부착되어 열 교환효율을 떨어뜨리며 (권 등, 2007), 결과적으로 보일러 또는 스토브에 존재하는 회분(클링커 또는 슬래크)을 자주 청소 또는 제거해야 하는 불편함과 다른 문제 등을 일으킬 수 있을 것으로 예상된다 (Holt *et al.*, 2006). 특히 본 연구에서 사용된 농업부산물의 회분 함량은 매우 높아서 펠릿이 되었을 때 우리나라와 유럽의 목재펠릿 기준 뿐만 아니라 프랑스 아그로펠릿 품질 기준도 초과할 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서 사용된 농업부산물을 펠릿의 원료로 사용할 경우 회분을 줄일 목적으로 일정량의 목재와 혼합하여 펠릿 제조에 사용하거나, 가정용이나 소형 펠릿 보일러용이 아닌 대형 또는 열병합발전소용의 저품질의 펠릿 제조 원료로 사용해야 할 것으로 판단된다.

(2) 원소분석

본 연구에서 공시재료로 사용된 농업부산물 시료와 낙엽송 톱밥의 원소 분석 결과를 Table 4-1-5에 나타냈다.

Table 4-1-5. Elemental composition of the agricultural residues

Biomass	Elemental composition(%)				
	Carbon	Hydrogen	Nitrogen	Sulfur ⁵	Chlorine ⁶
Pepper stalk	45.28	5.78	1.15	-	x
Corn cob	47.32	6.15	0.43	-	x
Corn stalk	43.11	5.70	0.51	-	x
Tobacco stalk	45.58	5.76	1.17	-	x
Rice husk	46.01	5.87	0.66	-	x
Rice straw	43.02	5.64	0.70	-	x
Barley straw	45.17	5.94	0.40	-	0.886
Wheat straw	46.58	5.84	0.68	-	0.047
Larch ¹	46.87	5.99	0.08	-	0.003
1st-grade pellet ²	-	-	<0.30	<0.05	<0.05
2nd-grade pellet ²	-	-	<0.30	<0.05	<0.05
3rd-grade pellet ²	-	-	<0.30	<0.05	<0.05
4th grade pellet ²	-	-	<0.30	<0.05	<0.05
ENplus-A1 ³	-	-	≤0.3	≤0.05	≤0.02
ENplus-A2 ³	-	-	≤0.5	≤0.05	≤0.03
ENplus-B ³	-	-	≤1.0	≤0.05	≤0.03
Agro+ ⁴	-	-	≤1.5	≤0.2	≤0.2
Agro ⁴	-	-	≤2.0	≤0.2	≤0.3

¹ *Larix kaempferi* C.

² Korean wood pellet standards.

³ European wood pellet standards.

⁴ French agropellet standards.

⁵ - means that sulfur was not detected.

⁶ x means that the elemental composition of other elements was not determined.

농업부산물의 탄소량은 43.02-47.32%로 낙엽송 톱밥(46.87%)와 유사하였으며, 수소량 역시 5.64-6.15%로 낙엽송 톱밥의 5.99%와 크게 차이가 없었다. 한편 질소 함량 조사에서 농업부산물은 0.40-1.17%로 낙엽송 톱밥의 0.08%에 비해 많이 함유되어 있는 것으로 나타났는데, 이와 같은 질소 원소의 검출은 각각에 함유되어 있는 일정량 단백질의 아미노산에서 기인한 것으로 판단된다. 한편 유황 성분은 모든 바이오매스에서 검출되지 않았으며, 염소 성분은 측정이 이루어진 밀짚은 매우 낮은 값이었으나 보릿짚은 아그로펠릿 규격도 초과하는 높은 값을 나타냈다.

농업부산물의 원소량 분석결과(염소분 제외)를 종합하면, 국립산림과학원에서 고시한 “목재 펠릿품질규격”의 질소 함량(<0.30%)보다 높지만 프랑스의 아그로펠릿 품질기준 이내에 포함되는 것으로 나타났다. 또한 고춧대와 담뱃대를 제외한 나머지 바이오매스는 유럽의 ENplus B규격을 만족하는 것으로 나타났다. 한편 고춧대와 담뱃대는 타 바이오매스와 혼합하여 사용함으로써 질소 함량을 조절할 수 있으므로, 본 연구에서 사용된 바이오매스는 가정용이 아닌 중대형급의 펠릿보일러의 연료로 공급되기에 적합한 것으로 판단된다.

(3) 회분의 정성 분석

Table 4-1-6은 본 연구에서 사용된 바이오매스의 회분(1.67-10.87%)에 대한 정성분석 결과로서, 칼슘과 칼륨의 함량이 매우 높았으며, 나트륨과 마그네슘은 비교적 적은 편이었다. 농업부산물의 금속 성분은 목재(낙엽송)에 비해 매우 높은 함량을 나타냈으며, 특히 칼륨의 농도는 평균적으로 목재의 약 100배에 달하였다. 칼륨은 연소 시 클링커 및 슬래그를 발생시키는 주요 원인으로 알려져 있는데, 옥수수자루와 왕겨를 제외하고는 모두 10,000ppm이 넘는 값을 나타냈다. 한편, 국내 농업부산물의 금속 성분은 유럽의 질류과 비교할 때 칼슘을 제외하고는 거의 비슷하게 나타났다.

Table 3-7는 농업부산물에 함유된 중금속 성분을 분석한 결과인데, 옥수수대의 아연 성분을 제외하고는 모든 종류의 농업부산물이 모든 성분에서 프랑스 아그로펠릿의 기준을 만족하였다. 대체적으로 국내산 농업부산물에는 구리 함량이 높게 포함된 것으로 나타났는데, 이에 대해서는 향후 원인 규명이 필요하다. 농업부산물에 함유된 회분은 연소 후 비료로서 이용 가능한데, 연소재 중에 포함된 중금속에 대한 각국의 기준은 Table 3-8와 같다.

Table 4-1-6. Contents of metals in the agricultural residues

Biomass	K (mg/kg)	Na (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)
Pepper stalk	18525.8	78.9	23848.2	1530.7
Corn cob	5166.4	-	586.62	111.7
Corn stalk	13091.7	-	15506.6	1334.5
Tobacco stalk	18285.4	-	34885.8	2179.9
Rice husk	4023.4	-	3265.6	424.1
Rice straw	12745.3	107.9	10643.6	1316.9
Barley straw	13511.9	167.3	6433.7	494.9
Wheat straw	7865.9	-	10307.2	724.3
Average of agricultural residues	11,652.0	44.3	13,184.7	1,014.6
Larch	115.4	66.3	470.9	84.3
Typical average value of straw from wheat, rye, barley ¹	10000	500	4000	700

¹ Reference 17.

Table 4-1-7. Contents of heavy metals in the agricultural residues

Biomass	Pb (mg/kg)	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Hg (mg/kg)
Pepper stalk	-	-	0.41	12.71	24.48	-	-
Corn cob	-	-	-	14.79	9.47	2.70	-
Corn stalk	5.72	-	-	25.58	129.97	8.10	-
Tobacco stalk	-	0.12	0.45	37.61	55.45	-	-
Rice husk	-	-	-	15.50	25.82	-	-
Rice straw	-	0.25	-	17.49	47.95	-	-
Barley straw	-	-	-	7.11	2.40	1.90	-
Wheat straw	-	-	0.07	4.71	8.59	4.02	-
Larch	-	0.19	-	1.53	1.59	0.20	-
ENplus A1, A2, B	≤ 10	≤ 1	≤ 0.5	≤ 10	≤ 100	≤ 10	≤ 0.05
Agro, Agro+	≤ 10	≤ 1	≤ 0.5	≤ 40	≤ 60	≤ 10	≤ 0.1
Typical average value of straw from wheat, rye, barley ¹	0.5	<0.1	0.1	2	10	10	0.02

¹ Reference 17.

Table 4-1-8. Limit values for heavy metals in ash for agricultural applications

Heavy metals	Denmark ¹	Austria ²	Sweden ²	Finland ²	Germany ²
Cu	1000	250	400	600/700	70
Zn	4000	1500	7000	4500	1000
Ni	30	100	70	100/150	80
Cr	100	250	100	300	
Pb	120	100	300	100/150	150
Cd	0.8	8	30	1.5/17.5	1.5

¹ Reference 15.

² Reference 16.

(4) 발열량

본 연구에서 측정된 공시재료의 발열량은 15.72-17.56MJ/kg의 범위에 분포하였으며, 낙엽송의 발열량과 비교하여 통계학적으로 낮은 것으로 나타났다 (Table 4-1-9). 한편 공시재료 간의 발열량 비교에서 옥수수자루가 가장 높았고, 다음으로 고춧대, 왕겨 그리고 볏짚과 보릿짚 순으로 조사되었으며, 옥수수대, 담뱃대 그리고 밀짚이 가장 낮은 것으로 조사되었다. 전건시킨 공시재료 간의 발열량 비교에서도 낙엽송이 가장 높았으며, 고춧대, 옥수수대 순이었다. 다음으로 왕겨, 담뱃대, 밀짚, 보릿짚, 옥수수자루, 볏짚 순으로 나타났으나, 통계학적으로는 차이가 없는 것으로 조사되었다. 이와 같은 결과는 Cordero *et al.* (2001)의 원소 조성에 따른 발열량 연구 결과에서 언급한 바와 같이 공시재료 간의 탄소함량 차이에서 기인하는 것으로 판단되며, 예를 들면 Table 4-1-4에서 보는 바와 같이 보릿짚과 밀짚의 낮은 탄소 함량이 낮은 발열량을 나타내는 이유로 생각된다. 발열량 결과만을 종합하면, 농산 부산물을 원료로 이용하여 펠릿을 제조할 경우 아그로펠릿 기준은 모두 만족시키며, 거의 대부분 ENplus-B 규격도 만족시키는 것으로 나타났다.

Table 4-1-9. Comparison of heating values of the agricultural residues

Biomass	Heating value-I ¹ (MJ/kg)	Heating value-II ² (MJ/kg)
Pepper stalk	17.18 C	18.59 B
Corn cob	17.56 B	17.28 D
Corn stalk	15.91 F	18.01 C
Tobacco stalk	15.72 F	17.64 D
Rice husks	16.67 D	17.83 D
Rice straw	16.21 E	17.27 D
Barley straw	16.22 E	17.38 D
Wheat straw	16.03 F	17.43 D
Larch	18.56 A	20.09 A

¹ Higher heating value of air-dried specimen.

² Heating value of oven-dried specimen

Means with the same capital letter in column are not significantly different from each other at the 5% level.

(5) 연소 효율 개선을 위한 진처리 효과

농업부산물을 이용한 펠릿을 연소할 때 발생할 수 있는 문제점은 크게 세 가지로 예측 가능하다. 첫째는 연료 중의 염소 성분에 의해 연소기기가 부식을 일으키는 것이고, 두 번째는 연료에 함유된 회분에 의해 발생하는 문제점이며, 세 번째는 농업부산물 펠릿의 발열량이 목재펠릿에 비해 다소 낮다는 것이다. 연료 중 이들 성분을 적절하게 줄임으로써 연소 효율을 개선하는 방법으로서 본 연구계획에서는 목재(과수 전지 가지 포함)와의 혼합 방법을 제시한 바 있다. 한편 본 연구 기간 중 자료 수집 차 방문한 프랑스의 연구소에서도 목재와의 혼합을 통해 이들 문제에 적절히 대응하는 것을 파악하였다.

염소 성분의 경우, 본 연구에서 측정된 범위에서는 목재와의 혼합에 의해 충분히 감소효과를 얻을 것으로 기대된다. 한편 본 연구 수행 중 최근에 입수한 자료에 따르면, 염소 성분의 경우 노지에서 강우와 일광에 일정기간 폭로될 경우 대부분이 세척되는 것으로 알려지고 있다 (Wach and Bastian, 2009). 따라서 이와 관련한 연구를 추후 진행할 예정이다.

회분은 보일러 등의 연소기기의 연소 특성에 매우 큰 영향을 끼치는 것으로 알려져 있다. 펠릿이 연소되어 발생하는 재(회분)는 연소기기 내에서 재차 용융하여 끈적끈적한 물질로 되고 이것이 식어서 딱딱한 덩어리로 되는데 이것을 클링커(clinker)라고 한다. 이는 연소기기의 작동을 불량하게 하여 유지관리를 증대시킨다. 또한 펠릿이 연소되면서 발생한 재는 열교환파이

프에 달라붙는데 이를 슬래그(slag)라고 하는데, 이는 열교환능을 감소시키며 연소기기의 성능을 떨어뜨린다.

Table 4-1-10은 각 농업부산물과 목재(낙엽송)을 혼합했을 때의 회분의 변화를 예측한 것으로서, 50:50으로 혼합할 경우 거의 대부분 프랑스의 Agro 기준인 5% 이하를 만족할 것으로 예측된다. 농업부산물의 전처리와 목재와의 혼합을 통해 회분량을 3% 이하로 감축하게 되면 국내의 3급과 유럽의 ENplus B 규격을 만족하게 되므로 농업부산물 펠릿의 용도 확대가 예상된다.

Table 4-1-10. Ash contents of the mixed biomass

Mixing ratio	Pepper stalk	Corn cob	Corn stalk	Tobacco stalk	Rice husk	Rice straw	Barley straw	Wheat straw
Ash 100 (%)	7.01	1.67	7.51	9.02	10.87	9.44	7.57	7.13
Ash 70 (%)	5.01	1.27	5.36	6.42	7.71	6.71	5.40	5.09
Ash 50 (%)	3.68	1.01	3.93	4.68	5.61	4.89	3.96	3.74

대부분의 농업부산물 바이오매스는 칼륨 함량이 높기 때문에(Table 4-1-6), 연소 시 클링커와 슬래그의 발생을 피하기는 어렵다. 따라서 이를 줄이기 위한 노력이 필요한데, 본 연구계획에서 제시했던 목재와의 혼합에 의해 회분량을 줄이는 동시에 칼륨의 함량을 조절하는 방법이다. 따라서 목재와의 혼합에 의한 회분량 조절을 피하였으며, 조사된 회분 자료를 토대로 혼합에 따른 회분 중 칼륨 감소효과를 Table 4-1-11에 제시하였다. 목재의 칼륨 함량이 매우 작기 때문에 혼합에 의한 상당한 감소 효과를 얻을 수 있는 것으로 판단된다. 한편 본 연구 수행 중 최근에 입수한 자료에 따르면, 바이오매스의 수거 시 노지에 일정기간 폭로함으로써 회분 중 칼륨의 함량을 줄일 수 있는 것으로 알려졌다(Wach and Bastian, 2009). 따라서 이와 관련한 연구를 추후 진행할 예정이다.

Table 4-1-11. Potassium contents of mixed biomass

Mixing ratio	Pepper stalk	Corn cob	Corn stalk	Tobacco stalk	Rice husk	Rice straw	Barley straw	Wheat straw
K 100 (mg/kg)	18525.8	5166.4	13091.7	18285.4	4023.4	12745.3	13511.9	7865.9
K 70 (mg/kg)	13002.7	3651.1	9198.8	12834.4	2851.0	8956.3	9493.0	5540.8
K 50 (mg/kg)	9320.6	2640.9	6603.6	9200.4	2069.4	6430.4	6813.7	3990.7

목재 발열량은 대체적으로 18.5MJ/kg인데 비해 농업부산물은 16-17MJ/kg으로 다소 낮다. 농업부산물로 만들어진 펠릿을 기존의 목재펠릿용의 연소기기에서 활용하기 위해서는 목재펠릿 품질 규격에서 규정하는 최소한의 열량 수준이 되어야 한다. Table 3-12에서와 같이 목재(50%)와 혼합할 경우 국내 목재펠릿의 품질기준인 3등급 (16.9 MJ/kg)을 상회하는 것으로 나타났다.

Table 4-1-12. Heating values of mixed biomass

Mixing ratio	Pepper stalk	Corn cob	Corn stalk	Tobacco stalk	Rice husk	Rice straw	Barley straw	Wheat straw
100	17.18	17.56	15.91	15.72	16.67	16.21	16.22	16.03
70	17.59	17.86	16.71	16.57	17.24	16.92	16.92	16.79
50	17.87	18.06	17.24	17.14	17.62	17.39	17.39	17.30

(6) 시험펠릿 제조 및 물성 평가

왕겨, 보릿짚 및 밀짚을 원료를 피스톤식 펠리타이저로 펠릿을 시험 제조한 결과, 외형상 목재펠릿과 유사한 형태로 성형이 이루어지는 것을 알 수 있었다. 펠릿의 성형성과 관련된 보다 세밀한 펠릿 제조 최적 조건은 2년차 연구 내용을 통하여 밝혀질 예정이다. 한편, Table 4-1-13은 왕겨, 보릿짚, 밀짚을 제조한 펠릿의 함수율, 회분 및 발열량을 측정된 결과로서, 함수율은 8.86-11.49%, 회분은 6.74-12.77%, 발열량은 15.99-16.55MJ/kg로 원료가 가지는 값과 거의 유사하였다.

Table 4-1-13. Characteristic of pellets fabricated with agricultural residues

Biomass	Moisture (%)	Ash(%)	Heating value (MJ/kg)
Rice husk	8.86	12.77	15.99
Barley straw	10.13	7.66	16.54
Wheat straw	11.49	6.74	16.55

마. 결론

본 연구에서 공시재료로 사용된 고춧대를 비롯한 농산 부산물은 전섬유소와 리그닌의 함량

이 높은 것으로 조사되었다. 두 성분 외에 회분 함량이 높았으며, 회분 중 칼슘과 칼륨의 함량이 매우 높았으며, 나트륨과 마그네슘은 비교적 적은 편이었다. 회분 중 중금속 성분은 옥수수대의 아연 성분을 제외하고는 프랑스 아그로펠릿의 기준을 만족하였다. 원소 분석 결과를 낙엽송 톱밥과 비교하면, 높은 질소 함유량을 보였으며 이 측정치는 목재펠릿의 품질규격을 초과하는 것으로 조사되었다. 또한 발열량 결과에 있어서도 목재 펠릿에 비하여 상대적으로 낮았다. 상기 결과들을 종합하면, 본 연구에서 사용된 농업부산물로는 등급외의 저급 펠릿을 제조할 수 있을 뿐이며, 고급의 펠릿 제조용 원료로 사용되기 위해 펠릿의 품질 기준에서 요구하는 성질 - 특히 회분의 함유량, 질소 함유량, 발열량 - 개선을 위한 추가적인 공정이 필요할 것으로 생각한다. 즉, 본 연구계획에서 제시한 목재와의 혼합을 통하여 물성 개선이 가능한 것으로 나타났다. 한편, 이러한 향후 연구 결과가 용이하게 원료 확보가 가능한 여러 농업부산물의 고체연료 원료화 가능성에 대한 판단에 중요한 자료가 될 것으로 판단된다.

2. 농업부산물의 성형성과 연소효율 개선을 위한 전처리 기술 개발

가. 서론

(1) 목재펠릿 산업 동향

목재펠릿은 제1차 오일쇼크 후 대체연료로 개발되기 시작하여 1997년 교토의정서 채택 후 그 사용량이 급격히 증가하였다. 2012년 1월 현재 전 세계의 펠릿 공장은 650여 개를 상회하며 펠릿의 생산가능량은 약 3,300만 톤에 이르는 것으로 알려지고 있다. 최근의 펠릿 사용량은 정확하게 알려지고 있지 않으나, 약 1,600만 톤에 달할 것으로 추정되고 있다.

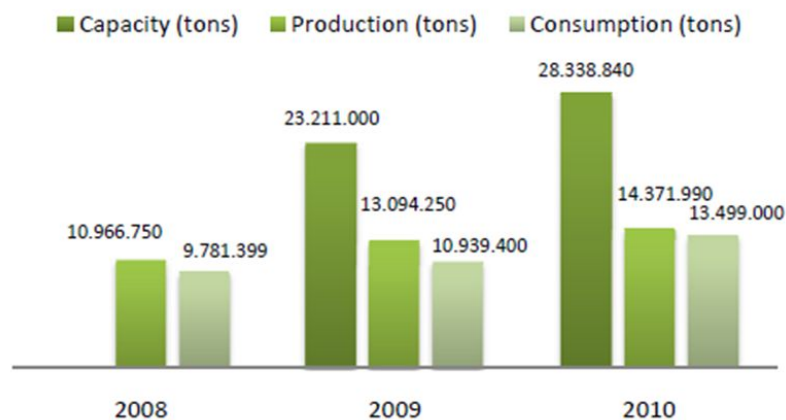


Fig. 4-2-1. Global pellet production and consumption.

펠릿의 사용량의 증대와 더불어 펠릿의 품질 규정도 정비되기 시작하여 유럽에서는 Table 4-2-1 및 Table 4-2-2와 같이 목재펠릿의 품질 규격이 정비되고 있다

- ◆ 2011. 6. 15 EN14961-2 Solid biofuels - Fuel specifications and classes Part 2: Wood pellets for non-industrial use 승인
- ◆ 2011. 9. 30 EN14961-2 공표
- ◆ 2011. 12. 31 EN14961-2 출판

한편, 2010년 7월 출범한 유럽펠릿협의회(European Pellet Council)는 2011년 3월부터 EN14961-2에 근거한 난방용 목재펠릿 품질 인증을 시행 중이다.

Table 4-2-1. Demands on raw material according to the ENplus (non-industrial) classifications.

ENplus-A1	ENplus-A2	EN-B
<ul style="list-style-type: none"> ● Stem wood ● Chemically untreated wood residues 	<ul style="list-style-type: none"> ● Whole trees without roots ● Stem wood ● Logging residues ● Chemically untreated wood residues 	<ul style="list-style-type: none"> ● Forest, plantation and other virgin wood ● Chemically untreated wood residues ● Chemically untreated used wood*

* no demolition wood

Table 4-2-2. Specifications for European non-industrial wood pellet quality standards.

Property class / Analysis method	Unit	ENplus-A1	ENplus-A2	EN-B
Origin, EN14961-2		1.1.3, 1.2.1	1.1.1, 1.1.3, 1.1.4, 1.1.5, 1.2.1	1.1, 1.2, 1.3
Diameter, D ^a and Length L ^b , EN16127	mm	D06, $\leq 6 \pm 1$; 3.15 $\leq L \leq 40$ D08, $\leq 8 \pm 1$ 3.15 $\leq L \leq 40$	D06, $\leq 6 \pm 1$; 3.15 $\leq L \leq 40$ D08, $\leq 8 \pm 1$ 3.15 $\leq L \leq 40$	D06, $\leq 6 \pm 1$; 3.15 $\leq L \leq 40$ D08, $\leq 8 \pm 1$ 3.15 $\leq L \leq 40$
Moisture, M, EN14774-1, EN14774-2	as received, w-% wet basis	M10 ≤ 10	M10 ≤ 10	M10 ≤ 10
Ash, A, EN14775	w-% dry	A0.7 ≤ 0.7	A1.5 ≤ 1.5	A3.0 ≤ 3.0
Mechanical durability, DU, EN15210-1	as received, w-%	DU97.5 ≥ 97.5	DU97.5 ≥ 97.5	DU96.5 ≥ 96.5
Fines at factory gate in bulk transport (at the time of loading) and in small (up to 20 kg) and large sacks (at time of packing or when delivering to end-user), F, EN15210-1	w-% as received	F1.0 ≤ 1.0	F1.0 ≤ 1.0	F1.0 ≤ 1.0
Additives ^c	w-% dry	≤ 2 w-% Type and amount to be stated	≤ 2 w-% Type and amount to be stated	≤ 2 w-% Type and amount to be stated
Net calorific value, Q, EN14918	as received, MJ/kg or kWh/kg	Q16.5, 16.5 $\leq Q \leq 19$ or Q4.6, 4.6 $\leq Q \leq 5.3$	Q16.3, 16.3 $\leq Q \leq 19$ or Q4.5, 4.5 $\leq Q \leq 5.3$	Q16.0, 16.0 $\leq Q \leq 19$ or Q4.4, 4.4 $\leq Q \leq 5.3$
Bulk density, BD, EN15103	kg/m ³	BD600 ≥ 600	BD600 ≥ 600	BD600 ≥ 600
Nitrogen ^d , N, EN15104	w-% dry	N0.3 ≤ 0.3	N0.5 ≤ 0.5	N1.0 ≤ 1.0
Sulphur ^d , S, EN15289	w-% dry	S0.05 ≤ 0.05	S0.05 ≤ 0.05	S0.05 ≤ 0.05
Chlorine ^d , Cl, EN15289	w-% dry	Cl0.02 ≤ 0.02	Cl0.03 ≤ 0.03	Cl0.03 ≤ 0.03
Arsenic, As, EN15297	mg/kg dry	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Cadmium, Cd, EN15297	mg/kg dry	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5
Chromium, Cr, EN15297	mg/kg dry	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Copper, Cu, EN15297	mg/kg dry	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Lead, Pb, EN15297	mg/kg dry	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Mercury, Hg, EN15297	mg/kg dry	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05
Nickel, Ni, EN15297	mg/kg dry	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Zinc, Zn, EN15297	mg/kg dry	≤ 100	≤ 100	≤ 100
Ash melting behaviour ^e , EN15370-1	°C	Should be stated	Should be stated	Should be stated

^a Selected size of pellets to be stated.

^b Amount of pellets longer than 40 mm can be 1 w-%. Maximum length shall be ≤ 45 mm.

^c Type (e.g. starch, corn flour, potato flour, vegetable oil)

^d These are normative only for chemically treated biomass.

^e All characteristic temperatures (shrinkage starting temperature (SST), deformation temperature (DT), hemisphere temperature (HT) and flow temperature (FT) in oxidized conditions should be stated.

발전을 포함하는 산업용 펠릿의 품질 기준에 대한 논의를 위하여 2011년 현재 유럽의 8대 바이오매스발전소가 제1목재펠릿바이어협회(Initiative Wood Pellets Buyers, IWPB)를 결성되었으며, Table 4-2-3과 같은 내용으로 산업용 펠릿의 규격에 대해 논의 중이다.

Table 4-2-3. Specifications for European industrial wood pellet quality standards.

Property class / Analysis method	Unit	I1	I2
Origin, EN14961-1		1.1 Forest, plantation and other virgin wood 1.2 By-products and residues	1.1 Forest, plantation and other virgin wood 1.2 By-products and residues
Chemically treated biomass, EN14961-1		Forbidden	Forbidden
Additives, EN14961	w-% dry	Forbidden	Forbidden
Diameter, D, EN16127	mm	6 to 8	6 to 8
Moisture, M, EN14774	w-%, wet	≤10	≤10
Ash, A, EN14775	w-%, dry	≤1.0	≤2.0
Mechanical durability, DU, EN15210-1	w-%	97.5-99	97.5-99
Fines, F, EN15210-1	w-%	≤4	≤4
Net calorific value, Q, EN14918	MJ/kg	≥16.5	≥16.5
Bulk density, BD, EN15103	kg/m ³	≥600	≥600
Nitrogen, N, EN15104	w-% dry	≤0.5	≤1.5
Sulphur, S, EN15289	w-% dry	≤0.05	≤0.4
Chlorine, Cl, EN15289	w-% dry	≤0.03	≤0.1
Ash deformation temperature, EN15370-1	°C	≥1200	≥1100

(2) 아그로펠릿 산업 동향

아그로펠릿은 에너지 산업에 있어서 바이오매스의 이용을 확대하는 데에 큰 잠재력을 지니고 있으나, 아그로펠릿은 연소 시에 발생하는 문제점으로 인해 가정용 시장에서의 이용에 제한

이 있다.

최근 유럽에서 목재펠릿 이용이 급진적으로 증가함에 따라 아그로펠릿에 대한 관심 증가되고 있으며, 그동안 미비했던 아그로펠릿 관련 규격이 정비되고 있다.

독일, 덴마크, 프랑스 등 13개국의 56개 아그로펠릿 공장(809,000 톤/년의 생산시설)에서 183,700 톤을 생산하고 있는 것으로 알려지고 있다.

아그로펠릿과 관련된 품질기준을 살펴보면, 오스트리아에 압축역세에 관련된 규격이 있으며, 프랑스에서는 Table 4-2-4와 같이 FCBA에서 아그로펠릿의 품질 기준을 규정하고 있다.

목재펠릿 규격과 아그로펠릿 규격에서는 회분과 발열량에서 큰 차이를 보이고 있다. 아그로펠릿은 원료의 특성 상 회분이 많이 존재하므로 Agro+는 5% 이하, Agro는 7% 이하로 높게 규정되어 있다. 또한 회분의 양은 발열량에도 영향을 미치게 되므로 이들에 대한 기준도, Agro+가 15.5MJ/kg 이상, Agro가 14.7MJ/kg으로 낮게 규정되어 있다.

원소분석치에 대해서도 목재펠릿의 규격과 큰 차이를 보이고 있는데, Agro+가 염소는 0.2% 이하, 질소는 1.5% 이하, 유황은 0.2% 이하로서, ENplus-B가 염소는 0.03% 이하, 질소는 1.0% 이하, 유황은 0.04% 이하로 규정하는 것에 비해 높게 규정되어 있다.

한편, 유럽규격협의회에서는 Table 4-2-5, Table 4-2-6과 같이 농업부산물 및 초분류를 포함하는 펠릿에 대한 규격을 정비 중에 있다.

Table 4-2-4. Specifications for French agropellet quality standards.

Specifications	Agro+	Agro
Dimensions	D=6 to 8mm±1mm L= 10 to 30mm	D=6 to 16mm±1mm L= 10 to 30mm
Moisture content (%)	≤ 11	≤ 15
Net caloric value (MJ/kg)	≥ 15.5	≥ 14.7
Net caloric value (kWh/kg)	≥ 4.3	≥ 4.1
Bulk density (kg/m ³)	≥ 650	≥ 650
Mechanical durability (%)	≥ 95	≥ 92
Amount of fines after production (%)	≤ 2	≤ 3
Ash content (%)	≤ 5	≤ 7
Cl (%)	≤ 0.2	≤ 0.3
N (%)	≤ 1.5	≤ 2.0
S (%)	≤ 0.2	≤ 0.2
Ash melt temperature (°C)	≥ 1,000	≥ 800
As (mg/kg)	≤ 1	
Cu (mg/kg)	≤ 40	
Cr (mg/kg)	≤ 10	
Cd (mg/kg)	≤ 0.5	
Hg (mg/kg)	≤ 0.1	
Ni (mg/kg)	≤ 15	
Pb (mg/kg)	≤ 10	
Zn (mg/kg)	≤ 60	

Table 4-2-5. Specifications of pellets produced from cereal straw, miscanthus and reed canary grass(final draft FprEN 14961-6).

Property class / Analysis method	Unit	Cereal straw pellets	Miscanthus pellets	Reed canary grass pellets
Origin, EN14961-2		2.1.1.2 Straw parts	2.1.2.1 Grasses, Whole plant	2.1.2.1 Grasses, Whole plant
Diameter, D ^a and Length L ^b , EN16127	mm	D06 to D25, D±1; 3.15≤L≤40 (from D06 to D10) 3.15≤L≤50 (from D12 to D25)	D06 to D25, D±1; 3.15≤L≤40 (from D06 to D10) 3.15≤L≤50 (from D12 to D25)	D06 to D25, D±1; 3.15≤L≤40 (from D06 to D10) 3.15≤L≤50 (from D12 to D25)
Moisture, M, EN14774-1, EN14774-2	as received, w-% wet basis	M10 ≤10	M10 ≤10	M12 ≤12
Ash, A, EN14775	w-% dry	A6.0 ≤6 A6.0+ >6	A4.0 ≤4 A6.0 ≤6	A8.0 ≤8 A8.0+ >8
Mechanical durability, DU, EN15210-1	as received, w-%	DU97.5 ≥97.5	DU97.5 ≥97.5	DU96.5 ≥96.5
Fines at factory gate in bulk transport (at the time of loading) and in small (up to 20 kg) and large sacks (at time of packing or when delivering to end-user), F, EN15210-1	w-% as received	F1.0 ≤1.0	F1.0 ≤1.0	F1.0 ≤1.0
Additives ^c	w-% dry	Type and amount to be stated	Type and amount to be stated	Type and amount to be stated
Net calorific value, Q, EN14918	MJ/kg or kWh/kg	Minimum value to be stated	Minimum value to be stated	Q14.5 ≥14.5 Q4.0 ≥4.0
Bulk density, BD, EN15103	kg/m ³	BD600 ≥600	BD580 ≥580	BD550 ≥550
Nitrogen, N, EN15104	w-% dry	N0.7 ≤0.7	N0.5 ≤0.5	N2.0 ≤2.0
Sulphur, S, EN15289	w-% dry	S0.10 ≤0.10	S0.05 ≤0.05	S0.20 ≤0.20
Chlorine, Cl, EN15289	w-% dry	Cl0.10 ≤0.10	Cl0.08 ≤0.08	Cl0.10 ≤0.10
Arsenic, As, EN15297	mg/kg dry	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Cadmium, Cd, EN15297	mg/kg dry	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5
Chromium, Cr, EN15297	mg/kg dry	≤ 50	≤ 50	≤ 50
Copper, Cu, EN15297	mg/kg dry	≤ 20	≤ 20	≤ 20
Lead, Pb, EN15297	mg/kg dry	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Mercury, Hg, EN15297	mg/kg dry	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1
Nickel, Ni, EN15297	mg/kg dry	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Zinc, Zn, EN15297	mg/kg dry	≤ 100	≤ 100	≤ 100
Ash melting behaviour ^d , EN15370-1	°C	Should be stated	Should be stated	Should be stated

^a Selected size(D06, D08, D10, D12 or D25) of pellets to be stated.

^b Pellets longer than 40mm can be 1 w-%. Maximum length shall be <45 mm for pellets from. D06 to D10.

^c Type of additives to aid production, delivery of combustion(e.g. pressing aids, slagging inhibitors or any other additives like starch, corn flour, potato flour, vegetable oil,...). Also additives which are used after production, before unloading to end-user storages, shall be stated similarly (type and amount).

^d All characteristic temperatures (shrinkage starting temperature (SST), deformation temperature (DT), hemisphere temperature (HT) and flow temperature (FT) in oxidizing conditions should be stated.

Table 4-2-6. Specifications of pellets produced from herbaceous biomass, fruit biomass and blends and mixtures (final draft FprEN 14961-6).

Property class / Analysis method	Unit	A	B
Origin, EN14961-2		2 Herbaceous biomass 3 Fruit biomass 4. Blends and mixtures	2 Herbaceous biomass 3 Fruit biomass 4. Blends and mixtures
Diameter, D ^a and Length L ^b , EN16127	mm	D06 to D25, D±1; 3.15≤L≤40 (from D06 to D10) 3.15≤L≤50 (from D12 to D25)	D06 to D25, D±1; 3.15≤L≤40 (from D06 to D10) 3.15≤L≤50 (from D12 to D25)
Moisture, M, EN14774-1, EN14774-2	as received, w-% wet basis	M10 ≤12	M12 ≤15
Ash, A, EN14775	w-% dry	A5.0 ≤5	A10 ≤10
Mechanical durability, DU, EN15210-1	as received, w-%	DU97.5 ≥97.5	DU96.0 ≥96.0
Fines at factory gate in bulk transport (at the time of loading) and in small (up to 20 kg) and large sacks (at time of packing or when delivering to end-user), F, EN15210-1	w-% as received	F2.0 ≤2.0	F2.0 ≤2.0
Additives ^c	w-% dry	Type and amount to be stated	Type and amount to be stated
Net calorific value, Q, EN14918	MJ/kg or kWh/kg	Q14.1 ≥14.1 Q3.9 ≥3.9	Q13.2 ≥13.2 Q3.7 ≥3.7
Bulk density, BD, EN15103	kg/m ³	BD600 ≥600	BD600 ≥600
Nitrogen, N, EN15104	w-% dry	N1.5 ≤1.5	N2.0 ≤2.0
Sulphur, S, EN15289	w-% dry	S0.20 ≤0.20	S0.20 ≤0.20
Chlorine, Cl, EN15289	w-% dry	Cl0.20 ≤0.20	Cl0.30 ≤0.30
Arsenic, As, EN15297	mg/kg dry	≤ 1	≤ 1
Cadmium, Cd, EN15297	mg/kg dry	≤ 0.5	≤ 0.5
Chromium, Cr, EN15297	mg/kg dry	≤ 50	≤ 50
Copper, Cu, EN15297	mg/kg dry	≤ 20	≤ 20
Lead, Pb, EN15297	mg/kg dry	≤ 10	≤ 10
Mercury, Hg, EN15297	mg/kg dry	≤ 0.1	≤ 0.1
Nickel, Ni, EN15297	mg/kg dry	≤ 10	≤ 10
Zinc, Zn, EN15297	mg/kg dry	≤ 100	≤ 100
Ash melting behaviour ^d , EN15370-1	°C	Should be stated	Should be stated

^a Selected size (D06, D08, D10, D12 or D25) of pellets to be stated.

^b Pellets longer than 40mm can be 1 w-%. Maximum length shall be <45 mm for pellets from D06 to D10.

^c Type of additives to aid production, delivery of combustion (e.g. pressing aids, slagging inhibitors or any other additives like starch, corn flour, potato flour, vegetable oil,...). Also additives which are used after production, before unloading to end-user storages, shall be stated similarly (type and amount).

^d All characteristic temperatures (shrinkage starting temperature (SST), deformation temperature (DT), hemisphere temperature (HT) and flow temperature (FT) in oxidizing conditions should be stated.

나. 실험방법

(1) 공시재료

본 연구에서 왕겨와 볏짚을 각 지역에서 수거하여 공시재료로 사용하였다. 먼저 각 공시재료는 음지에서 기건 건조를 실시하였으며, 소형분쇄기로 분쇄한 후 60 mesh(0.42mm) 이상의 분말을 사용하여 이·화학적 성질과 발열량 측정을 수행하였다. 한편 각 공시재료의 이·화학화적 성질의 측정치를 비교, 분석하기 위하여 현재 국내에서 목재 펠릿 제조시 가장 많이 사용되고 있는 낙엽송 톱밥을 산림조합중앙회 목재유통센터(경기, 여주)에서 무상으로 공급받아 대조구 시편으로 사용하였다.



Fig. 4-2-2. Rice husk and rice straw particles.

Table 4-2-7. Particle distribution of rice husk and rice straw.

Particle size	Rice husk	Rice straw
18 mesh over	21.91	0.70
18-40 mesh	59.81	47.10
40-60 mesh	11.14	28.35
60 mesh pass	7.15	23.84
Total	100.00	100.00

(2) 물리적·화학적 성질

각 공시재료의 물리적 및 화학적 성질 - 함수율, 회분, 전섬유소, 리그닌 - 은 A.O.A.C.에 서술되어 있는 방법을 토대로 조사하였다 (A.O.A.C., 1990).

(가) 함수율

뿔개가 있는 측정 접시를 $105 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 무게 변화가 없을 때까지 건조한 후, 데시케이터에서 상온으로 냉각시키고 뿔개를 포함하여 측정 접시의 무게를 0.1mg 수준까지 측정하였다. 1mm 금속망 표준체를 통과하는 각 공시재료 1g을 측정 접시에 균일한 층이 되도록 넣은 후 뿔개를 포함하여 무게를 측정하고, 뿔개를 제거한 후 $105 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 온도에서 시료를 포함한 접시의 무게 변화가 없을 때까지 건조를 수행하였다. 이 때 뿔개도 동일한 오븐에서 건조가 되도록 하며, 건조가 완료된 후 오븐에서 뿔개를 씻은 후, 데시케이터로 옮기고 상온까지 냉각시켰다. 시료를 포함한 접시의 무게를 0.1mg 수준에서 측정하였으며, 2회 반복을 실시하였다. 함수율은 아래 계산식을 이용하여 소수점 둘째자리까지의 값을 구하여 %로 표기하였다.

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

$$U_{ad} = \frac{M_{ad}}{(100 - M_{ad})} \times 100$$

M_{ad} : 기건펠릿의 함수율(습량기준)

U_{ad} : 기건펠릿의 함수율(건량기준)

m_1 : 빈 접시 + 뿔개의 무게

m_2 : 건조 전 접시 + 뿔개 + 시료의 무게

m_3 : 전건 후 접시 + 뿔개 + 시료의 무게

(나) 회분

시료를 함유하지 않는 도가니를 $550 \pm 10^\circ\text{C}$ 온도의 회화로에서 최소 60분간 가열한 후, 빼낸 다음 5-10분간 냉각시키고, 흡습제가 없는 데시케이터로 옮겨 상온까지 냉각시키고 도가니의 무게가 0.1 mg 수준에서 변화가 없을 때 그 중량을 기록하였다. 1g의 시료를 도가니 바닥에 균일한 두께가 되도록 펼치고 도가니의 시료 무게를 0.1mg 수준에서 측정하고 기록하였다. 시료를 담고 있는 도가니를 냉각된 회화로에 넣고 회화로의 온도를 $5^\circ\text{C}/\text{분}$ 의 속도로 250°C 까지 승온하여 60분간 방치하였다. 다음 회화로의 온도가 60분 간 $550 \pm 10^\circ\text{C}$ 가 되도록 승온하고 ($5^\circ\text{C}/\text{분}$), 최소 120분간 유지하였다. 회화로에서 도가니를 제거하고, 5-10분간 대기 중에서 방치한

후, 흡습제가 없는 데시케이터에서 상온까지 냉각 시킨 후, 0.1mg 수준에서 무게를 측정하고 기록하였다. 검댕 등으로 인한 불완전연소가 의심되면, 550±10℃의 회화로에서 30분 더 연소하거나 증류수 또는 질산암모늄 몇 방울을 첨가한 후 550±10 ℃ 회화로에서 30분 더 연소한 후 무게를 측정하였다. 2회의 측정을 실시하였으며, 아래 계산식을 이용하여 소수점 둘째자리까지의 건조 중량에 대한 회분 함량의 값을 구하여 %로 표기하였다.

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

A_{dm} : 전건펠릿의 회분(건량기준) m_2 : 도가니 + 시료의 무게

m_1 : 도가니의 무게 m_3 : 도가니 + 회분의 무게 M_{ad} : 펠릿의 함수율(습량기준)

(다) 전섬유소

공시재료의 탈지를 위하여 먼저 1000ml 메스실린더에 에탄올 300ml와 벤젠 600ml를 넣어 시약을 제조하였다. 원통 여과지에 시료를 넣은 다음 Soxhlet extraction tube에 원통 여과지를 넣었다. Soxhlet extraction flask에 150ml의 알콜-벤젠시약을 넣고 3시간동안 반응시켰다. Soxhlet extraction flask에 남은 것을 칭량병에 넣고 항온수조에 올려 휘발시켰다. 탈지시킨 시료의 함수율을 구하고, 2.5g의 탈지시료를 250ml 삼각플라스크에 넣고 증류수 150ml를 가하고 아염소산나트륨 1g과 마이크로 피펫을 이용하여 빙초산 0.2ml을 넣고 소형 100ml 삼각플라스크를 마개로 뒤집어서 덮었다. 70-80℃로 유지되는 항온수조에서 1시간 가온 후 아염소산나트륨 1g, 빙초산 0.2ml을 넣고 3회를 반복하여 처리하였다. 잔사를 칭량한 glass filter에 놓고, 500ml의 증류수로 세척한 후, 진공을 풀고 아세톤 50ml로 충분히 흡입시켰다. 칭량병에 glass filter를 넣고 건조기에서 16시간 동안 건조시킨 후 데시케이터에서 1h 냉각한 후 칭량하여 전섬유소량을 구하였다.

(라) 리그닌

100ml 비이커에 탈지시킨 시료 1g을 넣고 72% 황산 20ml으로 20℃에서 2시간 동안 유리봉으로 충분히 교반하였다. 2시간 후 2000ml 삼각플라스크에 넣고 증류수 765ml를 넣어 3% 황산으로 만들고 100ml 비이커에 있는 잔여물을 765ml 증류수로 세척하며 넣었다. 이 반응물을 autoclave에 넣고 120℃의 온도에서 반응시키고, 4시간 후 삼각플라스크를 꺼내서 약 하루 동안 한쪽으로 쏠리도록 비스듬히 세워 놓고, 1G3 glass filter를 여과 흡입기에 끼우고 여과시킨 후 뜨거운 증류수 500ml로 세척하였다. 여과 및 세척시킨 시료를 칭량병에 넣고 16시간 건조시킨 후, 1시간 냉각시킨 다음 무게를 측정하여 리그닌 함량을 구하였다.

(마) 원소분석

각 공시재료의 원소 분석 (Elementary Analysis)을 위하여 시료를 1,014℃의 온도에서 연소시켜 석영관의 구리층을 통과시키면서 조성 원소별로 분석에 용이한 기체분자 (CO₂, N₂, H₂O, SO₂)로 전환하였다. 이 혼합가스들을 gas chromatography column에 통과시키면서 각각을 분리한 후, 열전도검출기 (Thermal Conductivity Detector)에 의하여 전기신호로 정량적으로 변환하였다. 마지막으로 표준시료를 이용하여 검량곡선을 작성한 후, 각 시료별 질소, 탄소, 수소, 유황의 함유량을 측정하였으며, 원소 분석의 결과는 3회 반복의 평균값으로 표시하였다.

(바) 회분 정성분석

회분의 정성분석은 국립산림과학원에서 고시한 “목재펠릿품질규격”에 제시된 방법에 따라 실시하였으며, 구체적인 방법은 다음과 같다 (국립산림과학원, 2009). 시료를 65%의 질산용액 (HNO₃)을 이용하여 회분을 제외한 모든 성분을 제거한 후, 증류수로 희석한 용액을 조사된 각 원소의 검출 파장에 따라 Inductively coupled plasma (ICP) emission spectrometer (Perkin-Elmer Optima 4300 DV)를 이용하여 수행하였다. 예를 들면 구리의 함량은 324.8nm의 파장에 탐지되는 양을 조사하여 얻었다.

(사) 발열량

각 시료의 발열량은 1g의 시료를 열량계(6400 Automatic Isoperibol calorimeter, Parr Instrument Inc., Moline, Illinois)에 넣고 국립산림과학원에서 고시한 “목재펠릿품질규격”에 기술된 방법에 의거하여 측정하였다 (국립산림과학원, 2009).

(3) 펠릿의 제조

기건 상태의 농업부산물 분말을 피스톤 타입의 실험용 펠릿성형기로 150MPa의 압력하에 소정 온도와 소정 시간 압축하여 펠릿으로 제조하였으며(Fig. 3-3), 제조된 펠릿의 치수는 6.5mm의 지름과 20mm 내외의 길이를 보유하고 있다.

또한 실험용 플랫다이 방식 펠릿성형기를 이용하여 펠릿을 제조하였으며(Fig. 3-4), 다이의 구멍 깊이와 지름의 비인 L/D비가 3.87인 플랫다이를 사용하였다. 펠릿성형기 가동 중의 다이 온도와 전류량을 계측하였다.

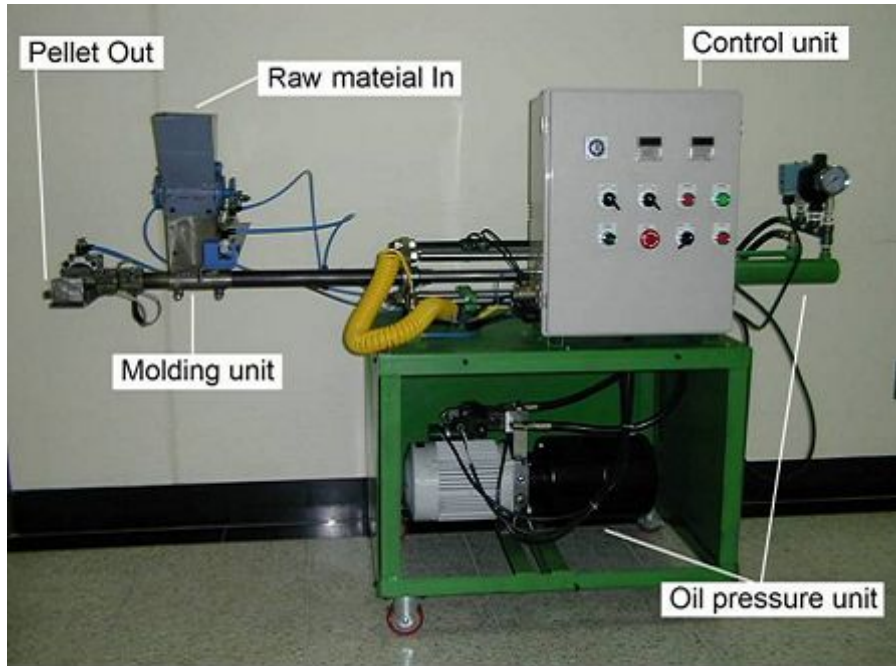


Fig. 4-2-3. Piston-type pelletizer used in our study.



Fig. 4-2-4. Flat-die type pelletizer used in our study.

(4) 펠릿의 저장 특성

펠릿의 장기저장특성은 포장을 개봉한 후 실내에 놓아 두어 6개월, 12개월 경과한 펠릿의 함수율, 내구성, 미세분을 측정함으로써 판단하였다. 또한 펠릿의 고습저장특성은 520g의 펠릿을 금속망체에 담아 이를 Fig. 4-2-5와 같이 바닥에 물을 채운 밀폐용기에 넣고 실온에서 1주 간

격으로 시간 경과에 따른 펠릿의 함수율과 내구성의 변화를 측정함으로써 판단하였다.

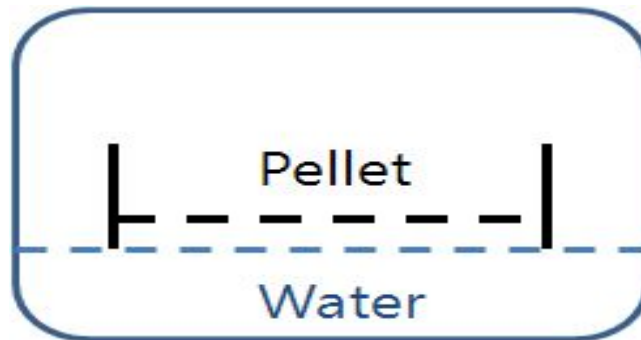


Fig. 3-5. High-humidity exposure apparatus.

다. 결과 및 고찰

(1) 왕겨와 벃짚의 물리적·화학적 성질

Table 4-2-8은 본 연구에서 공시재료로 사용된 농업부산물 시료들의 물리적·화학적 성질을 분석한 결과이다. 함수율의 경우 전체적으로 5.59-6.72% 범위에 존재하였으며, 목재에 비해 건조가 용이한 것으로 판단된다.

Table 4-2-8. Chemical composition of the agricultural residues

Biomass	Moisture (%)	Solid (%)	Dry-based chemical composition (%)			
			Holocellulose	Lignin	Ash	Others
Rice husk	5.59	94.41	65.21	22.00	10.87	1.92
Rice straw	6.72	93.28	65.47	12.83	9.44	12.26
Larch ¹	10.55	89.45	68.80	28.62	0.34	2.24

¹*Larix kaempferi* C.

화학적 성분의 조사 결과를 보면 (Table 4-2-8), 전건무게 기준으로 65.21-65.47%의 전섬유소, 12.83-22.00%의 리그닌, 9.44-10.87%의 회분으로 구성되어 있는 것으로 나타났다. 전섬유소의 함량은 서로 비슷하였으나 리그닌 함량은 매우 달랐다.

본 연구에서 공시재료로 사용된 농업부산물 시료와 낙엽송 톱밥의 원소 분석 결과를 Table

4-2-9에 나타냈다.

왕겨와 벃짚의 탄소량은 각각 46.01과 43.02%로 낙엽송 톱밥(46.87%)와 비슷하거나 약간 작았다. 한편 질소 함량 조사에서 왕겨와 벃짚은 각각 0.66%, 0.70%로 낙엽송 톱밥의 0.08%에 비해 많이 함유되어 있는 것으로 나타났는데, 이와 같은 질소 원소의 검출은 각각에 함유되어 있는 일정량 단백질의 아미노산에서 기인한 것으로 판단된다. 이 값은 유럽의 ENplus B 및 짚류 펠릿 규격에 적합한 것으로 판단된다.

Table 4-2-9. Elemental composition of the agricultural residues

Biomass	Elemental composition(%)				
	Carbon	Hydrogen	Nitrogen	Sulfur ⁶	Chlorine ⁷
Rice husk	46.01	5.87	0.66	-	x
Rice straw	43.02	5.64	0.70	-	x
Larch ¹	46.87	5.99	0.08	-	0.003
3rd-grade pellet ²			<0.30	<0.05	<0.05
ENplus-B ³			≤1.0	≤0.05	≤0.03
Agro+ ⁴			≤1.5	≤0.2	≤0.2
Cereal straw pellet ⁵			≤0.7	≤0.1	≤0.1

¹ *Larix kaempferi* C.

² Korean wood pellet standards.

³ European wood pellet standards(EN 14961-2).

⁴ French agropellet standards.

⁵ European biomass pellet standards(prEN 14961-6).

⁶ - means that sulfur was not detected.

⁷ x means that the elemental composition of other elements was not determined.

Table 4-2-10은 본 연구에서 사용된 왕겨와 벃짚의 회분(10.87%, 9.44%)에 대한 정성분석 결과로서, 칼슘과 칼륨의 함량이 매우 높았으며, 나트륨과 마그네슘은 비교적 적은 편이었다. 농업부산물의 금속 성분은 목재(낙엽송)에 비해 매우 높은 함량을 나타냈으며, 특히 칼륨의 농도는 평균적으로 목재의 약 100배에 달하였다. 칼륨은 연소 시 클링커 및 슬래그를 발생시키는 주요 원인으로 알려져 있는데, 옥수수자루와 왕겨를 제외하고는 모두 10,000ppm이 넘는 값을 나타냈다. 한편, 국내 농업부산물의 금속 성분은 유럽의 짚류과 비교할 때 칼슘을 제외하고는

거의 비슷하게 나타났다.

Table 4-2-11은 왕겨와 벃짚에 함유된 중금속 성분을 분석한 결과인데, 모든 성분에서 유럽의 짚류 펠릿의 기준을 만족하였다. 대체적으로 국내산 농업부산물에는 구리 함량이 높게 포함된 것으로 나타났는데, 이에 대해서는 향후 원인 규명이 필요하다.

Table 4-2-10. Contents of metals in the agricultural residues

Biomass	K (mg/kg)	Na (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)
Rice husk	4023.4	-	3265.6	424.1
Rice straw	12745.3	107.9	10643.6	1316.9
Average of agricultural residues	8,384.35	53.95	6,954.60	870.50
Larch	115.4	66.3	470.9	84.3
Typical average value of straw from wheat, rye, barley ¹	10000	500	4000	700

Table 4-2-11. Contents of heavy metals in the agricultural residues

Biomass	Pb (mg/kg)	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Hg (mg/kg)
Rice husk	-	-	-	15.50	25.82	-	-
Rice straw	-	0.25	-	17.49	47.95	-	-
Larch	-	0.19	-	1.53	1.59	0.20	-
ENplus B	≤10	≤1	≤0.5	≤10	≤100	≤10	≤0.1
Agro, Agro+	≤10	≤1	≤0.5	≤40	≤60	≤10	≤0.1
Cereal straw pellet	≤10	≤1	≤0.5	≤20	≤100	≤50	≤0.1

본 연구에서 측정된 왕겨와 벃짚의 발열량은 각각 16.67MJ/kg, 16.21MJ/kg의 범위에 분포하였으며, 낙엽송의 발열량과 비교하여 낮은 것으로 나타났으며 (Table 4-2-12), 발열량 결과만으로는 ENplus-B 규격을 만족시키는 것으로 나타났다.

Table 4-2-12. Comparison of heating values of the agricultural residues

Biomass	Heating value-I ¹ (MJ/kg)	Heating value-II ² (MJ/kg)
Rice husks	16.67	17.83
Rice straw	16.21	17.27
Larch	18.56	20.09
ENplus B	16.0<Q<19.0	

¹ Heating value of air-dried specimen.

² Heating value of oven-dried specimen.

대부분의 농업부산물 바이오매스는 회분 함량이 높기 때문에, 연소 시 클링커와 슬래그의 발생을 피하기는 어렵다. 따라서 이를 줄이기 위한 노력이 필요한데, 바이오매스의 수거 시 노지에 일정기간 폭로함으로써 회분의 양을 줄일 수 있는 것으로 알려지고 있다. 따라서 본 연구에서는 충북대학교 실험농장에서 추수가 끝난 직후인 2011년 11월 4일부터 2012년 2월 17일까지 벼짚을 노지에 폭로하며 벼짚의 함수율과 회분의 변화를 추적하였다.

Fig. 4-2-6은 벼짚의 함수율 변화를 나타낸 것으로, 최초의 함수율은 70%가 넘었으나, 폭로 후 3주가 지나면 함수율은 30% 이하로 감소하였고, 이후 15주까지 큰 변화를 나타내지 않았다. Fig. 3-7은 벼짚의 회분 변화를 나타낸 것으로, 최초의 회분은 12.3%였으나, 폭로 후 5주가 지나면 9.6%로 감소하였고 이후 15주까지 거의 변화가 없었다.

이상의 결과로부터, 추수 후 벼짚을 노지에 폭로한 후 약 5주가 경과하면 함수율과 회분을 상당량 감소시킬 수 있음이 밝혀졌으며, 이는 펠릿의 품질 향상(회분 감소 및 발열량 증대)과 건조비용 절감에 매우 효과적으로 적용될 것으로 기대된다. 실제로 폭로 전 16.01 MJ/kg이었던 발열량은 폭로 후 약 16.5 MJ/kg로 상승하였으며, 이는 회분의 감소로 인한 증대효과로 판단된다.

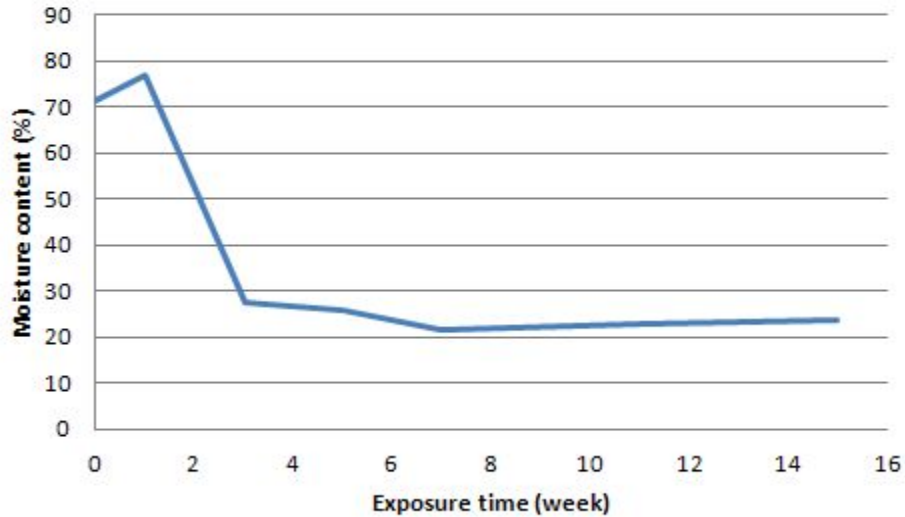


Fig. 4-2-6. Moisture content of rice straw according to exposure time.

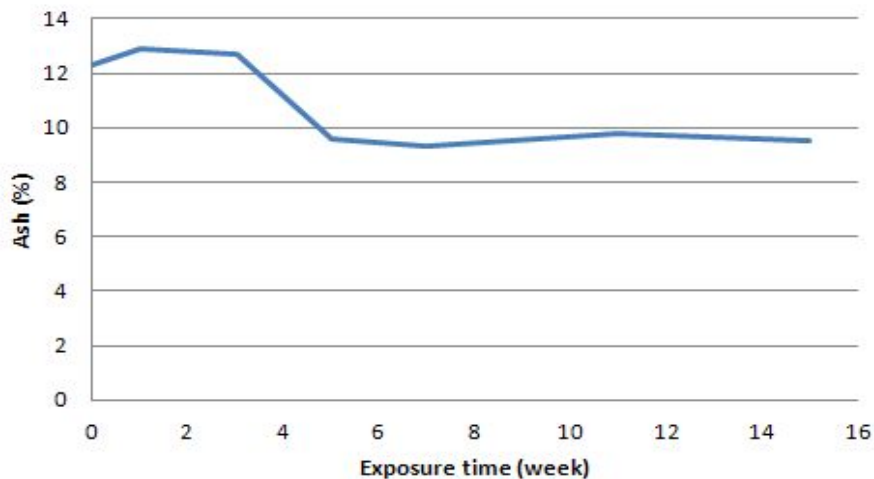


Fig. 4-2-7. Ash content of rice straw according to exposure time.

(2) 농업부산물 펠릿 제조 최적 조건 분석

왕겨와 벃짚의 펠릿 제조 특성을 파악하기 위하여 피스톤식 펠릿성형기를 이용하여 성형 시의 온도와 시간을 달리하여 펠릿을 제조하였다. 펠릿 성형성의 척도인 내구성을 비교하여 최적 조건을 분석하였다.

왕겨의 경우, Fig. 4-2-8과 같이 90℃의 성형온도에서는 79.96-85.36%의 낮은 내구성을 나타냈으나, 성형온도가 증가하면 성형성은 크게 개선되어 내구성이 현저하게 증가하였으며, 온도가 150℃ 이상이 되면 증가가 크게 둔화되는 경향을 나타냈다. 낮은 온도 영역에서는 성형시간의 영향을 크게 받아 성형시간이 증가하면 내구성이 증가하지만 2분과 3분간에는 거의 차이가 없었다.

볏짚은 왕겨의 경우와 달리 Fig. 3-9와 같이 90℃의 낮은 온도 영역에서도 98% 이상의 비교적 높은 내구성 값을 나타냈다. 이는 왕겨 분쇄물의 형상이 입자상인데 비해 볏짚은 침상이어서 물리적인 결합력이 크기 때문인 것으로 판단된다. 성형온도가 증가하면 내구성이 증대하였으며, 왕겨의 경우와 마찬가지로 온도가 150℃ 이상이 되면 증가가 크게 둔화되는 경향을 나타냈다. 성형온도 180℃에서는 99.5% 정도의 높은 내구성을 나타냈다.

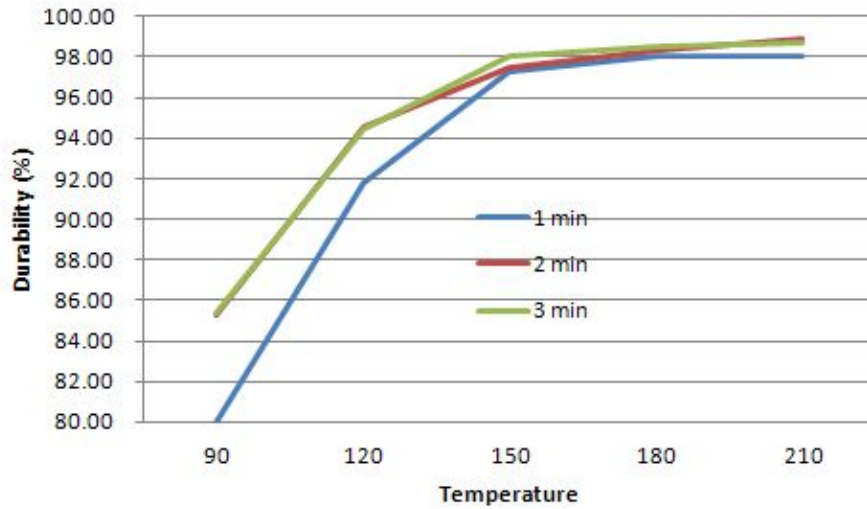


Fig. 4-2-8. Durability of rice husk pellet.

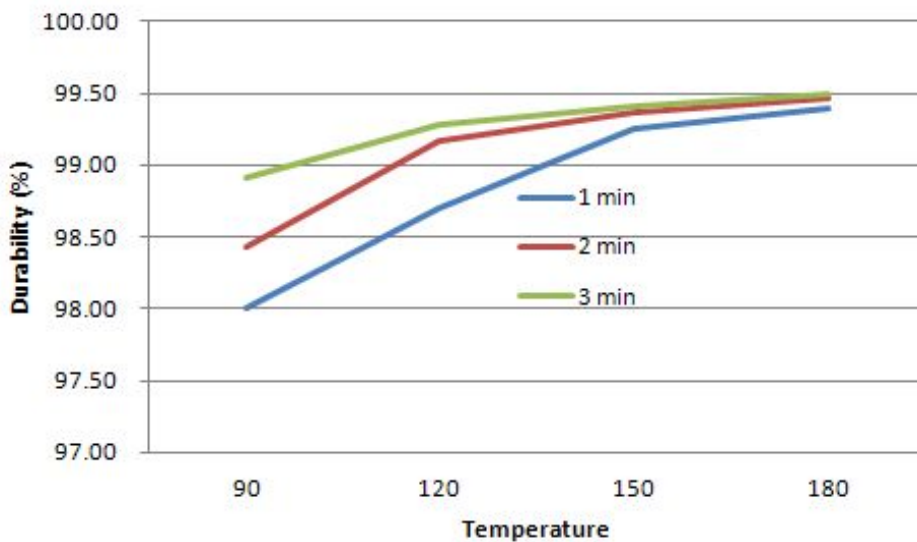


Fig. 4-2-9. Durability of rice straw pellet.

펠릿의 외관을 살펴보면(Fig. 4-2-10과 Fig. 4-2-11), 왕겨와 볏짚 모두 성형온도가 상승함에 따라 색상이 진해지고 광택이 더해져 성형성이 개선되었음을 보여주었다.

내구성 시험 전후의 펠릿의 외관은 성형온도에 따라 뚜렷한 차이를 나타냈는데, 왕겨펠릿의 경우 성형온도가 낮을수록 내구성 시험 후 펠릿이 중앙부가 부러지는 현상이 현저하게 나타났

다. 벧짚펠릿의 경우에도 성형온도가 낮아지면 펠릿의 중앙부에서 부러지는 현상이 나타나긴 하지만 왕겨펠릿보다는 그 정도가 미약했다.

Fig. 4-2-333. Rice husk pellets before and after durability test.

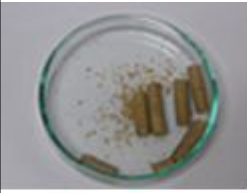
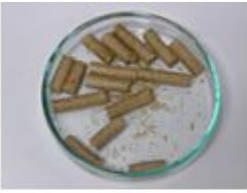
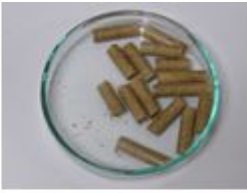
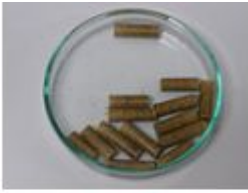





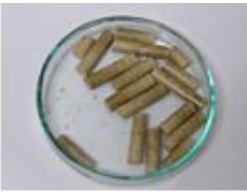

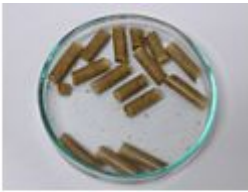




Pelletizing temperature	90℃	120℃	150℃	180℃
Before durability test				
After durability test				

Fig. 4-2-11. Rice straw pellets before and after durability test.

Pelletizing temperature	90℃	120℃	150℃	180℃
Before durability test				
After durability test				

(3) 연료별 특성 구명 및 펠릿제조법 확립

플랫다이 방식 소형 펠릿성형기를 이용하여 농업부산물 펠릿 제조를 위한 기초실험을 수행하였다. 왕겨를 일정량 공급하면서 펠릿의 제조 특성 및 펠릿성형기의 운전 상태를 관찰한 결과 Fig. 4-2-12와 같은 결과를 얻었다.

본 연구에서 사용한 펠릿성형기의 경우, 운전을 시작하여 22분이 경과하면서 플랫다이의 온도가 70℃ 이상을 유지하였으며 전류량은 20-25A를 나타냈다. 외관으로 관찰한 펠릿의 성형성은 다이의 온도가 75℃ 전후이며 20A 전후의 전류량을 나타낼 때 가장 우수하다고 판단되었

다.

플랫다이의 온도는 다이 최외각의 온도를 측정된 것이며, 다이 구멍의 실제온도는 이보다 다소 높을 것으로 판단된다. 한편, 전류량은 원료의 투입량이 증가하거나 다이의 L/D비가 증가하면 증가하는 것으로 알려져 있으며, 이는 성형 시의 압력을 조절하는 인자로 작용할 수 있으나, 본 실험에서는 조절하지 않았다.

플랫다이 방식 펠릿성형기로 제조한 왕겨펠릿의 연료 특성은 Table 4-2-13과 같으며, 펠릿의 회분과 발열량은 성형 전 원료의 값과 같았으며, 펠릿의 성형성과 강도를 반영하는 내구성은 99.52%로 매우 높게 나타났다.

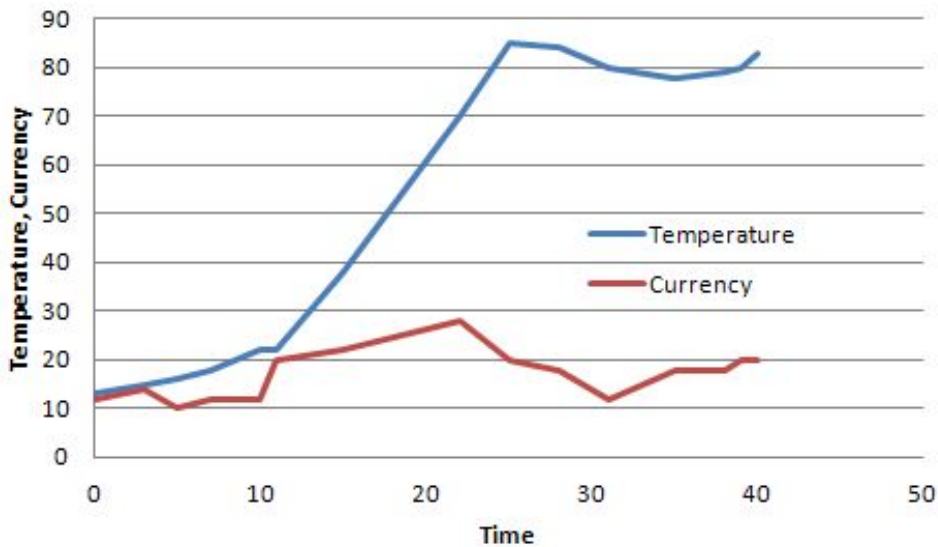


Fig. 4-2-12. Temperature and current change of pelletizer.

Table 4-2-13. Characteristic of pellets manufactured by flat-die pelletizer.

Biomass	Moisture content (%)	Ash (%)	Durability (%)	Heating value (MJ/kg)
Rice husk	6.41	12.76	99.52	16.02

(4) 농업부산물 펠릿의 저장특성 분석

펠릿의 저장 특성을 판단하기 위해서 장기저장특성과 고습저장특성을 조사하였다.

장기저장특성은 농업부산물 펠릿을 확보할 수 없는 관계로 국내산 1급 목재펠릿을 이용하여 측정하였다. Table 4-2-14와 같이 갓 생산된(2011.8) 펠릿부터 생산된 지 6개월(2011.2), 12개월(2010.8)이 경과한 펠릿의 함수율, 내구성 및 미세분은 모두 1급 규격의 값을 만족시키는 범위에 있어서, 실내 공간에서의 장기간 보관은 펠릿의 품질에 거의 영향을 미치지 않을 것으로 판

단된다.

Table 4-2-14. Long-term exposure test results.

Exposure time (month)	Moisture content (%)	Durability (%)	Fines (%)
0	7.25±0.342	98.15±0.130	0.06±0.031
6	7.20±0.529	98.00±0.065	0.04±0.011
12	9.20±0.082	99.40±0.026	0.02±0.009

한편, 제조된 왕겨 펠릿을 고습 상태에서 일정기간 노출시킨 후 펠릿의 함수율과 내구성의 변화를 관찰한 결과 Table 4-2-15와 같은 결과를 얻었다.

노출 전의 왕겨 펠릿의 함수율은 7.4%였으며 내구성은 98.6%였으며, 고습 조건에 노출됨에 따라 함수율은 증가하였고 함수율 증가에 따라 내구성은 현저하게 감소하였다. 따라서 저장 시 고습 환경에 노출되지 않도록 유지하는 것이 매우 중요하다.

Table 4-2-15. High-humidity exposure test results.

Exposure time (week)	Relative humidity (%)	Moisture content (%)	Durability (%)
0	35	7.4±0.174	98.6±0.10
1	81	11.2±1.389	93.1±2.25
2	85	12.5±0.721	91.7±0.06

(5) 농업부산물을 활용한 연료 공급화를 위한 시설원에 현장적용 실험방안 검토/수립

시설원에 현장적용을 위한 실험방안 수립을 위해 충북 진천에 소재한 포트묘 생산시설에서 상용 펠릿보일러를 이용한 예비실험을 진행하였다.



Fig. 4-2-13. Pellet boiler and green house.

400평과 600평의 면적을 가지는 비닐하우스 2동의 난방(설정온도 18℃)을 위하여 500,000kcal급의 펠릿보일러를 1월 11일부터 2월 24일까지 가동하여 실내외의 온도를 측정하였으며, 그 결과는 그림3-14와 같다.

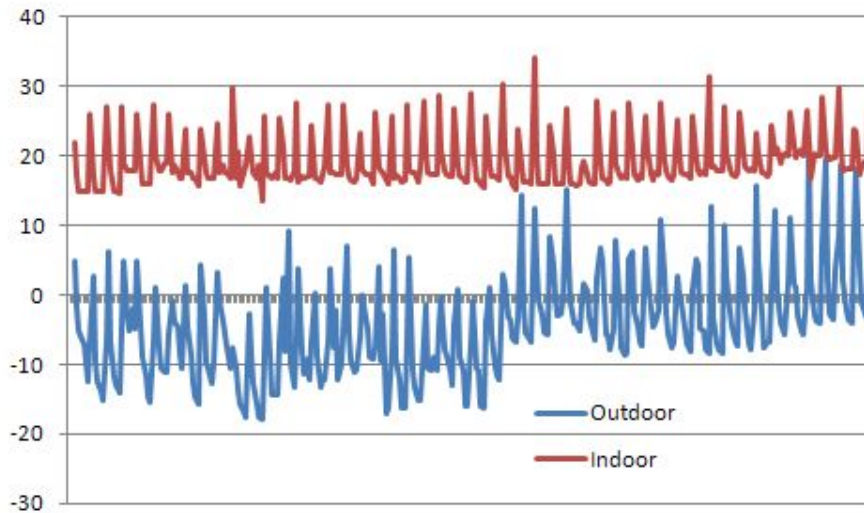


Fig. 4-2-14. Temperature change of green house.

전체 보일러 운영시간은 1,058시간이었으며, 펠릿보일러의 평균가동률은 33.3%였으며, 총 펠릿 사용량은 31.3톤이었다. 펠릿보일러의 가동률은 Fig. 3-15와 같이 실내외의 온도차가 클수록 높게 나타났다.

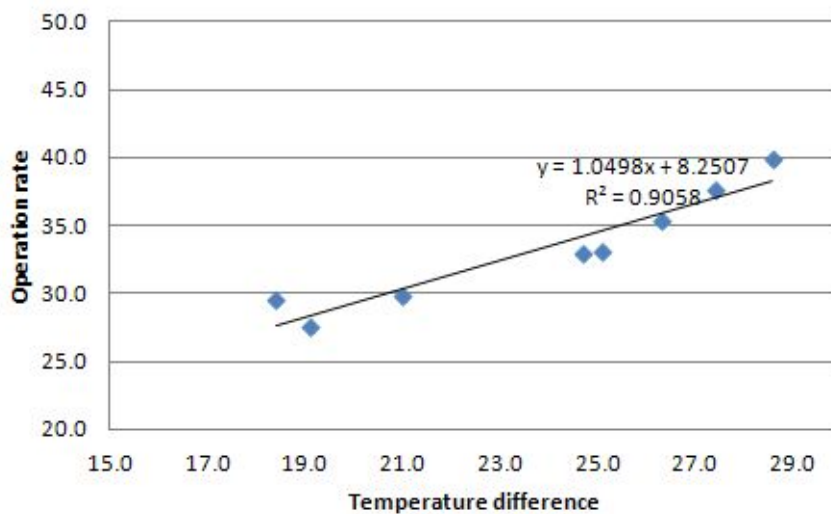


Fig. 4-2-15. Operation rate of pellet boiler for green house.

3. 시설원에 현장적용실험 및 경제성분석

가. 서론

(1) 세계 펠릿 시장 동향

1970년대 전반과 1980년대 전반의 두 차례의 석유위기는 목재펠릿이라는 상품을 이 세상에 등장시키는 계기가 되었다. 그러나 곧 석유 가격이 회복되기 시작하면서 펠릿의 가격이 상대적으로 높아짐으로써 목재펠릿은 세상의 관심으로부터 시작하였고, 이후 간신히 명맥만 유지하기에 이르렀다.

그런데 1990년대에 들어서면서 지구온난화 및 석유가격의 상승 등과 같은 이슈가 급속하게 부상하면서, 목재펠릿은 다시금 부활의 길로 접어들기 시작하였다. 특히, 선진국의 경우 적극적인 바이오에너지장려정책(보급 계몽활동, 기기도입보조, 탄소세 등)을 마련함으로써 목재펠릿 시장은 도약의 기틀이 마련되었다.

이제 목재펠릿은 고체바이오연료 중 가장 성공적으로 영역을 넓혀가는 아이템이 되고 있다. 열과 전기 생산을 위해 주거난방용뿐만 아니라 산업용 및 발전용으로 이용이 점차 확대되고 있다. 1997년 교토의정서가 채택된 이후 유럽은 - 특히 스웨덴, 핀란드, 네덜란드, 오스트리아, 독일 - 펠릿을 발전 및 열공급 시장에 적극적으로 도입하여 왔다.

목재펠릿의 90% 이상이 유럽과 북미지역에서 생산되고 있으며, 생산된 펠릿의 80% 이상이 온실가스 감축의무를 이행 중인 EU에서 소비되고 있다. 목재펠릿의 세계 생산량은 바이오연료의 중요성이 크게 부각되기 전인 1990년의 세계 펠릿 생산량이 불과 75만 톤이었던 것이 2000년에는 3백만 톤이 되었으며, 이후 급격히 증가하여 2006년에는 약 7.7백만 톤, 2011년에는 약 17.8백만 톤에 달하였다. 펠릿 생산 능력도 2006년에 약 14.5백만 톤이었던 것이 2011년에는 약 33.3백만 톤으로 증가하였다(Fig. 4-3-1, Global Data, 2012).

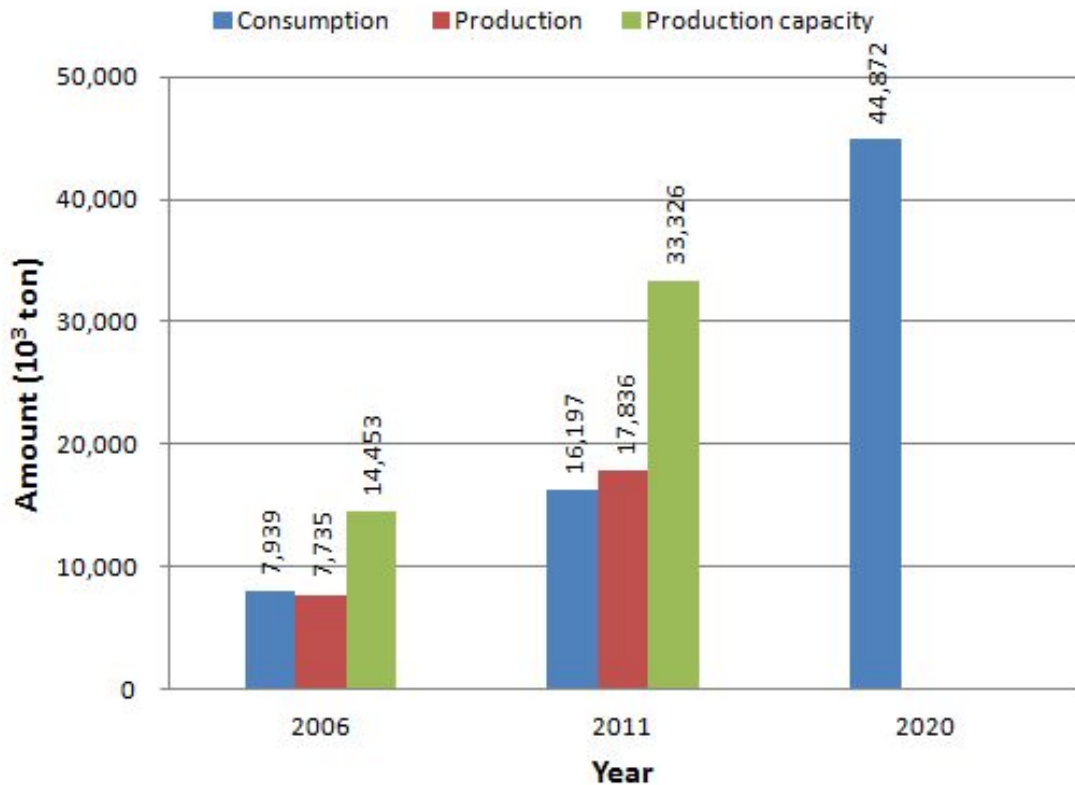


Fig. 4-3-1. Global wood pellet market.

펠릿 생산은 초기에는 원료 확보가 비교적 쉬운 미국과 스웨덴이 견인차 역할을 했다. 이후 세계 각국에서 생산되기 시작하여, 2011년에는 캐나다가 세계 펠릿 생산량의 13.7%를 차지하는 최대생산국이 되었으며, 그 뒤를 독일, 미국, 스웨덴, 오스트리아가 잇고 있다. EU 국가들이 전체 생산량의 약 67%, 북미 지역이 약 24%를 차지하였다. 최근에는 이탈리아, 러시아, 라트비아, 에스토니아, 폴란드 등도 주요 생산국으로 부상하고 있다. 아시아에서는 중국과 일본이 최근 몇 년 사이에 생산기지 건설에 박차를 가하고 있다. 특히 일본의 경우 펠릿 생산시설이 2002년에 3개소에 불과하였으나 2008년에는 53개소로 급성장하였고, 현재에는 100개소가 넘는 것으로 추정되고 있다.

한편, 목재펠릿의 세계 소비량은 2011년에 약 16.2백만 톤이었으며, 향후에도 꾸준히 증가하여 2020년에는 약 45백만 톤에 이를 것으로 예상된다. 이러한 가파른 성장세는 당분간 계속될 것으로 여겨지는데, 목재펠릿을 에너지로 사용하는 것이 교토의정서에서 제시된 각국의 목표치 달성을 위한 유효한 수단이 되기 때문이다. 특히 지금처럼 고유가가 지속되는 한 시나리오에서 보는 것처럼 연간 10% 이상의 성장세가 유지될 것으로 예견된다.

세계 펠릿 소비의 85% 정도가 유럽에서 이루어지고 있다. 유럽의 펠릿 소비는 점점 늘어나고 있으며, 2010년에 약 11.4백만 톤이 소비되었으며(IEA Bioenergy T40, 2011), 2012년엔 유럽에서만 15백만 톤이 소비될 것으로 추정하고 있다. 유럽의 펠릿 소비는 산업, 주택, 상업 등

거의 모든 분야에서 이루어지는데, 주택의 경우 주로 난방을 위하여 사용되고 있으며, 발전 (power generation) 분야에서의 펠릿 소비도 점차 증가하는 추세이다. 스웨덴이 가장 오래되고 가장 큰 소비자인데, 스웨덴은 약 14.6%의 소비율을 차지하며 주로 난방과 바이오매스 발전소에서 소비하고 있다. 스웨덴 다음으로 소비를 많이 하는 나라는 미국으로 약 11.7%를 차지하는데, 대부분 난방을 위한 목적으로 이용하고 있다. 독일과 오스트리아는 각각 10.7%와 6%를 차지하며 뒤를 이었다.

펠릿의 이용 형태를 보면, 대개의 국가에서 초기에는 소규모의 용도로 이용되는 것이 일반적이거나 최근에는 열병합발전 등의 대규모 용도로의 이용도 증가하는 경향이다. 이는 발전차액보상제와 신재생에너지 의무할당제(RPS, renewable portfolio standard)와 같은 정책 등에 기인한다. 교토의정서 상의 이산화탄소 감축 목표를 달성하기 위한 수단으로 펠릿 사용을 적극 늘리고 있는 것이다. 미국, 독일, 오스트리아, 이탈리아 등은 주로 소규모 난방 및 중규모 열공급용으로 사용하고 있으며, 네덜란드와 벨기에는 주로 대규모 발전용으로 사용하고 있다. 덴마크와 스웨덴은 소규모 난방 및 중규모 열공급용과 대규모 발전용으로 고루 이용하는 국가이다.

펠릿의 가격을 살펴보면, 오스트리아의 경우 2012년 5월 현재 가정용 목재펠릿의 가격이 3.8 €/15kg으로 약 380 ₩/kg이었다. 다른 연료와 비교해 보면, 목재펠릿은 4.71 cent/kWh로서 10.34 cent/kWh인 난방유의 약 46%에 불과할 정도로 매우 적다(Fig. 4-3-2, proPellets Austria, 2012).

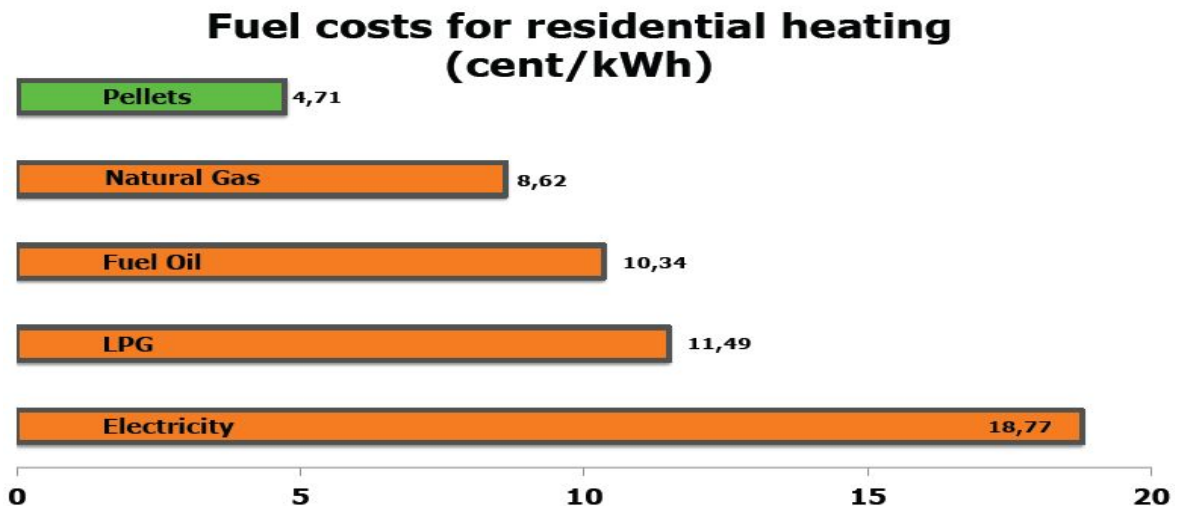


Fig. 4-3-2. Cost effectiveness of Austrian wood pellets(March 2012).

(2) 우리나라 펠릿 시장 동향

우리나라의 펠릿 시장은 정부 주도하에 형성되었다. 본격적인 펠릿 생산은 2008년 말 산림청의 보조사업에 의해 펠릿 생산 공장이 가동을 시작한 것이 시발점이 되었다. 현재 국내에는 21

개의 펠릿제조업체가 가동 중이며 이들 업체의 총 생산규모는 약 220천 톤에 이른다. 2009년 처음으로 약 8.5천 톤 생산을 시작으로, 2010년에는 약 18.7천 톤, 2011년에는 약 27.6천 톤을 생산하였으며, 2012년에는 약 51.3천 톤을 생산하였다(Table 4-3-1).

Table 4-3-1. Korea pellet production.

Year	Production capacity (t)	Production (t)
2009	30,000	8,470
2010	120,000	18,665
2011	200,000	27,554
2012	220,000	51,343

한편, 해외로부터의 목재펠릿 수입량도 크게 늘어, 2009년 약 12천 톤, 2010년 약 20.9천 톤, 2011년 29.7천 톤에 달하였다. 2012년에는 발전용 목재펠릿의 수입이 시작되어 무려 122,4천 톤에 달하였다 (Table 4-3-2).

Table 4-3-2. Imported wood pellets.

Year	Imported pellets (t)							
	Total	Vietnam	Malaysia	China	Indonesia	Canada	Russia	Japan
2009	12,043	638	49	8,774	723	1,118	-	4
2010	20,893	4,399	3,264	8,084	797	1,440	-	285
2011	29,678	7,237	7,626	5,582	225	2,021	3,301	2,186
2012	122,447	30,296	30,698	3,648	8,933	2,646	41,731	3,546

우리나라에서는 2011년에 약 45천 톤의 목재펠릿이 소비되었을 것으로 추산되며, 2012년에는 약 174천 톤이 소비된 것으로 추산된다. 2012년의 경우, 가정용으로 45천 톤(26%), 산업용으로 15천 톤(9%), 농업용으로 45천 톤(26%), 발전용으로 55천 톤(31%)의 비율로 소비되었을 것으로 여겨진다(Fig. 4-3-3)

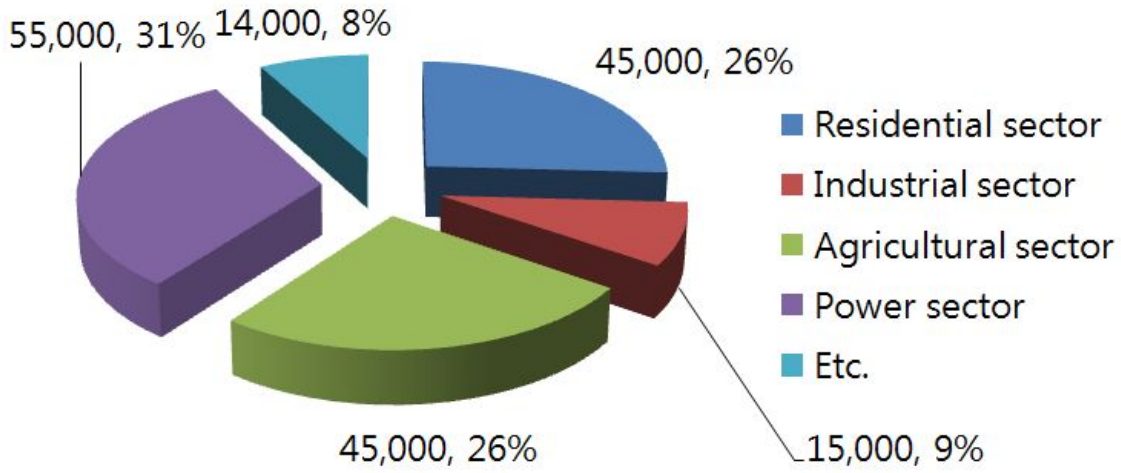


Fig. 4-3-3. 2012 Korea pellet market.

이러한 흐름에 활력을 불어넣고 있는 것은 2011년 이후의 급격한 유가 상승과 지속적인 고유가 체제, 그리고 발전 분야에서의 RPS 제도의 도입이라 할 수 있다. 국내의 펠릿 가격과 유가를 비교하면, 2012년 12월 현재 가정용 펠릿은 등유의 50%, 산업용 펠릿은 중유의 62%이고 천연가스의 75%로 명백한 가격경쟁력을 확보하였다(Fig. 4-3-4와 Fig. 4-3-5). 이러한 가격경쟁력에 힘입어 농업용과 산업용 펠릿 수요가 점차 확대되고 있는 실정이다. 그리고 2009년 9월 동서발전 동해화력에서의 목재펠릿과 석탄의 혼소 발전 시험이 이루어진 후, 2012년 10월부터 남부발전의 하동화력에서 본격적인 혼소 발전을 시작함으로써 발전영역에서의 목재펠릿 연소 시대가 개막되었다.

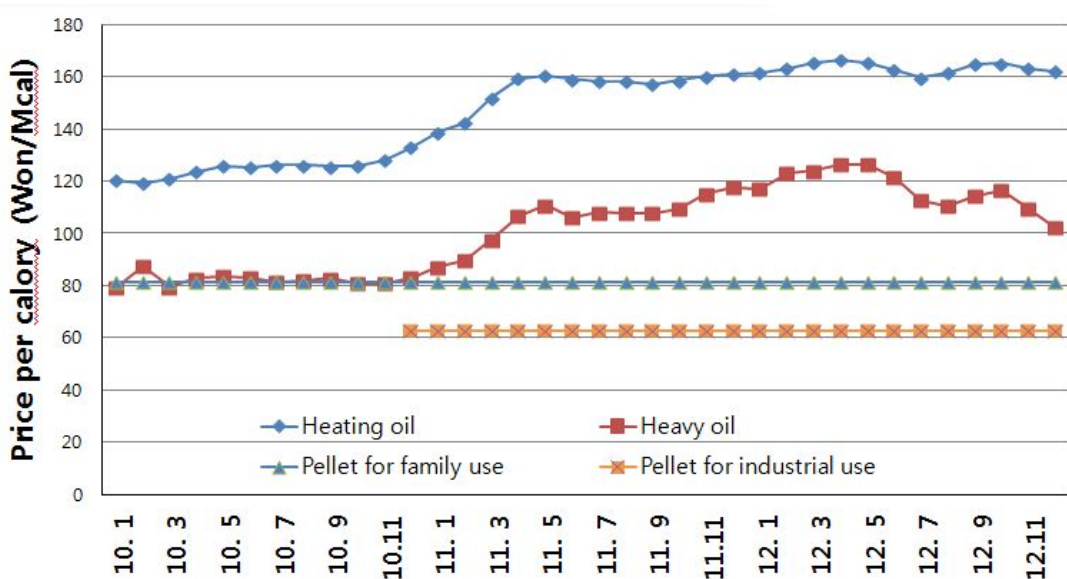


Fig. 4-3-4. Price trend of fuels.

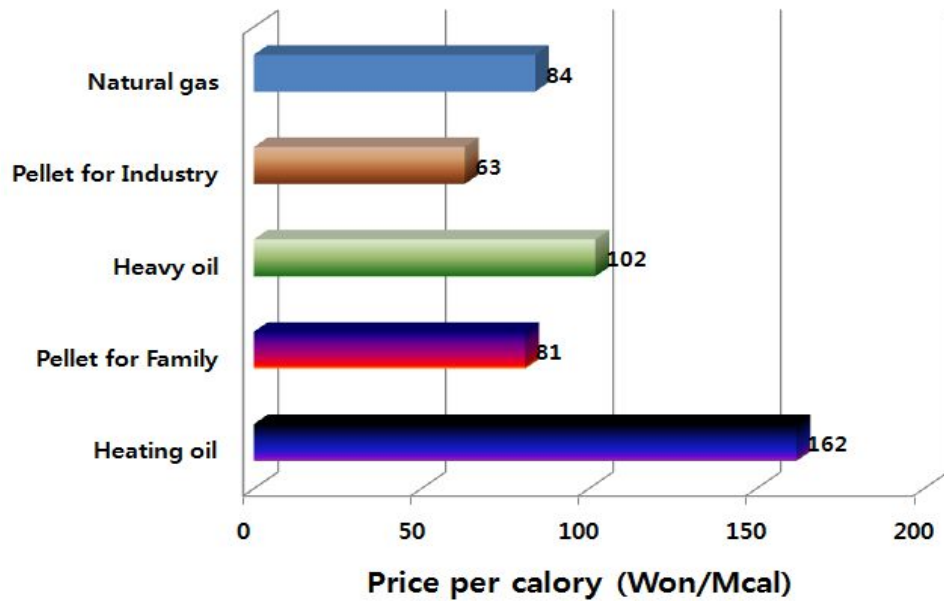


Fig. 4-3-5. Cost effectiveness of Korean wood pellets(Dec. 2012).

펠릿연소기기의 보급은 펠릿 소비시장의 규모를 가늠할 수 있는 척도가 되는데, 우리나라에서는 2009년부터 산림청과 에너지관리공단을 통해 보급 사업이 실시되었다. 이후 정부 업무 조정에 따라 2010년부터 산림청이 주관하여 현재에 이르고 있다.

주거용 목재펠릿보일러는 산림청과 에너지관리공단이 2009년부터 보급하기 시작하여 2012년까지 누적 13,277 대를 보급하였으며, 산업용 목재펠릿보일러(온수용과 증기용)는 산림청이 2011년부터 보급을 시작하여 2012년까지 누적 37대를 보급하였다. 한편, 산림청은 공공건물의 난방용 목재펠릿보일러와 목재펠릿난로를 2009년부터 보급하기 시작하여 2012년까지 각각 79대와 484대를 보급하였다(Table 4-3-3). 한편, 농림축산식품부에서 주관하는 농업용 펠릿보일러와 펠릿온풍기 보급사업은 시설 면적으로 집계되고 있는데, 2012년까지 누적 428 ha에 이른다.

펠릿보일러 등의 보급 사업의 내용을 보면, 주거용의 경우 국고 보조 30%, 지자체 보조 40%, 자부담 30%의 형태로 보급이 이루어지고 있으며, 산업용의 경우 국고 보조 50%와 자부담 50%의 형태로 보급되고 있다. 한편, 공공용은 전액 국고로 보급되고 있다.

Table 4-3-3. Promotion of dissemination of pellet burning appliances.

Use	Responsible department	2009	2010	2011	2012	Total
Residential boiler (unit)	Korea Forest Service	2,999	3,883	3,951	2,444	13,277
	Korea Energy Management Corporation	348	-	-	-	348
Stove (unit)	Korea Forest Service	5	5	394	80	484
Public boiler (unit)	Korea Forest Service	32	16	31	-	79
Industrial boiler (unit)	Korea Forest Service	-	-	9	28	37
Agricultural boiler (ha)	Ministry of Agriculture, Food, and Rural Affairs	-	138	140	150	428

(3) 펠릿 품질 규격의 변화

(가) 유럽 및 미국의 규격

유럽 및 미국의 목재펠릿 규격은 다음과 같은 경위로 제정되었다.

- 2010년 1월 EN 14961-1 Solid biofuels - Fuel specifications and classes Part 1: General requirements 출판
- 2010년 5월 미국 펠릿연료협회의 가정용 및 상업용 펠릿 규격 개정
- 2010년 7월 EN 14961-2 Solid biofuels - Fuel specifications and classes Part 2: Wood pellets for non-industrial use 초안 승인 후, 2011년 6월 정식규격으로 출판
- 2010년 7월 출범한 유럽펠릿협의회(European Pellet Council)는 EN 14961-2에 적합한 난방용 목재펠릿(ENplus-A1, ENplus-A2, EN-B)에 대해 인증
- 2011년 현재 유럽의 8대 바이오매스발전소가 목재펠릿바이어협의회(Initiative Wood Pellets Buyers, IWPB)를 결성하여 산업용 펠릿(전소용 및 혼소용)의 규격에 대해 논의 중(Ryckman, 2011)
- 2012년 7월 EN 14961-6 Solid biofuels - Fuel specifications and classes Part 6: Non-woody pellets for non-industrial use 출판

(나) 유럽의 비산업용 목재펠릿의 품질 규격

유럽의 비산업용 목재펠릿의 품질 규격에서는 ENplus-A1, ENplus-A2, EN-B의 세 종류로 분류하여 규정하였다(표 4-3-4).

질소분은 등급별로 달리하여 A2와 B급은 다소 완화된 범위로 규정하고 있으며, 염소분에 대해서는 좀 더 낮은 값으로 강화. 또한 8종의 중금속에 대해서도 강제규정으로 정하였다. 한편,

회분용융온도에 대해서만 임의규정으로 규정하였다.

Table 4-3-4. Specification of wood pellets for non-industrial use(EN 14961-2).

Parameter	Unit	ENplus-A1	ENplus-A2	EN-B	Analysis method
Diameter class, D	mm	6(±1),8(±1) ²⁾	6(±1),8(±1) ²⁾	6(±1),8(±1) ²⁾	prEN 16127
Length, L	mm	3.15 ≤ L ≤ 40 ³⁾	3.15 ≤ L ≤ 40 ³⁾	3.15 ≤ L ≤ 40 ³⁾	prEN 16127
Bulk density, BD	kg/m ³	≥ 600	≥ 600	≥ 600	EN 15103
Net calorific value, Q	MJ/kg, ar ¹⁾	16.5 ≤ Q ≤ 19 ⁶⁾	16.3 ≤ Q ≤ 19 ⁶⁾	16.0 ≤ Q ≤ 19 ⁶⁾	EN 14918
Moisture, M	w-%, ar ¹⁾	≤ 10	≤ 10	≤ 10	EN 14774-1
Fines, F(< 3.15mm)	w-%, ar ¹⁾	≤ 1	≤ 1	≤ 1	EN 15210-1
Mechanical durability, DU	w-%, ar ¹⁾	≥ 97.5 ⁴⁾	≥ 97.5	≥ 96.5	EN 15210-1
Ash, A	w-%, dry ¹⁾	≤ 0.7	≤ 1.5	≤ 3.0	EN 14775
Ash melting behaviour ⁵⁾	(DT), °C	should be stated	should be stated	should be stated	CEN/TS 15370-1
Chlorine, Cl	w-%, dry ¹⁾	≤ 0.02	≤ 0.02	≤ 0.03	EN 15289
Sulphur, S	w-%, dry ¹⁾	≤ 0.03	≤ 0.03	≤ 0.04	EN 15289
Nitrogen, N	w-%, dry ¹⁾	≤ 0.3	≤ 0.5	≤ 1.0	EN 15104
Copper, Cu	mg/kg ¹⁾	≤ 10	≤ 10	≤ 10	EN 15297
Chromium, Cr	mg/kg ¹⁾	≤ 10	≤ 10	≤ 10	EN 15297
Arsenic, As	mg/kg ¹⁾	≤ 1	≤ 1	≤ 1	EN 15297
Cadmium, Cd	mg/kg ¹⁾	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	EN 15297
Mercury, Hg	mg/kg ¹⁾	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	EN 15297
Lead, Pb	mg/kg ¹⁾	≤ 10	≤ 10	≤ 10	EN 15297
Nickel, Ni	mg/kg ¹⁾	≤ 10	≤ 10	≤ 10	EN 15297
Zinc, Zn	mg/kg ¹⁾	≤ 100	≤ 100	≤ 100	EN 15297

¹⁾ ar = as received, on wet basis (determinations from moist fuel (max. 10 w-%), dry = on dry basis (in water-free condition).
²⁾ Diameter class must be indicated.
³⁾ Maximum 1% of the pellets longer than 40 mm, max. length 45 mm.
⁴⁾ If measured by the Lignotester, the threshold value is ≥ 97.7 Max.-%.
⁵⁾ Ash melting behaviour is informative (voluntary) in EN 14961-2. For the certification of ENplus the limits are obligatory and must be observed and detected. In EN 14961-2 all characteristic temperatures (shrinkage starting temperature (SST), deformation temperature (DT), hemisphere temperature (HT) and flow temperature (FT) in oxidized conditions should be stated.
⁶⁾ Torrefied pellets are not included in ENplus and EN 14961-2. This is limited by setting net calorific value as received maximum 19 MJ/kg.

(다) 유럽의 산업용 목재펠릿의 품질 규격

유럽의 목재펠릿바이어협회(Initiative Wood Pellet Buyers, IWPB)는 100% 바이오매스 전 소용(I1)과 석탄혼소용(I2)의 산업용 펠릿의 규격을 정하기 위하여, 펠릿 생산자 및 시험기관과의 협의를 진행 중이다(표 4-3-5).

Table 4-3-5. Specification of wood pellets for industrial use.

Parameter	Unit	I1	I2	Analysis method
Origin and source		1.1 Forest, plantation and other virgin wood 1.2 By-products and residues	1.1 Forest, plantation and other virgin wood 1.2 By-products and residues	EN 14961-1
Chemically treated biomass		Forbidden	Forbidden	EN 14961-1
Additives	w-%, dry	Forbidden	Forbidden	EN 14961
Diameter, D	mm	6 to 8	6 to 8	prEN 16127
Moisture, M	w-%, ar	≤10	≤10	EN 14774
Ash, A	w-%, dry	≤1.0	≤2.0	EN 14775
Mechanical durability, DU	w-%, ar	97.5-99	97.5-99	EN 15210-1
Fines, F	w-%, ar	≤4	≤4	EN 15210-1
Net calorific value, Q	MJ/kg, ar	≥16.5	≥16.5	EN 14918
Bulk density, BD	kg/m ³	≥600	≥600	EN 15103
Ash deformation temperature	°C	≥1200	≥1100	CEN/TS 15370-1
Nitrogen, N	w-%, dry	≤0.5	≤1.5	EN 15104
Sulphur, S	w-%, dry	≤0.05	≤0.4	EN 15289
Chlorine, Cl	w-%, dry	≤0.03	≤0.1	EN 15289
Arsenic, As	mg/kg, dry	≤2	≤6	EN 15297
Cadmium, Cd	mg/kg, dry	≤1	≤10	EN 15297
Chromium, Cr	mg/kg, dry	≤15	≤50	EN 15297
Copper, Cu	mg/kg, dry	≤20	≤20	EN 15297
Lead, Pb	mg/kg, dry	≤20	≤20	EN 15297
Mercury, Hg	mg/kg, dry	≤0.1	≤0.1	EN 15297
Zinc, Zn	mg/kg, dry	≤200	≤200	EN 15297

(라) 유럽의 비목질계 펠릿 품질 규격

유럽의 비목질계 펠릿의 품질 규격에서는 크게 두 종류로 분류하여 짚류와 억새류 펠릿(표 4-3-6)과 초분류 혼합펠릿(표 4-3-7)에 대하여 규정하고 있다.

Table 4-3-6. Specification of pellets produced from cereal straw, miscanthus and reed canary grass.

	Property class, Analysis method	Units	Cereal Straw Pellets	Miscandthus pellets	Reed canary grass pellets
Normative	Origin and source, EN 14961-1:2010, Table 1		2.1.1.2 Straw parts	2.1.2.1 Grasses, Whole plant	2.1.2.1 Grasses, Whole plant
	Diameter, D ^a and length L ^b EN 16127 According to Figure 1	mm	D06 to D25, D±1; 3,15 ≤ L ≤ 40 (from D06 to D10) 3,14 ≤ L ≤ 50 (from D12 to D25)	D06 to D25, D±1; 3,15 ≤ L ≤ 40 (from D06 to D10) 3,14 ≤ L ≤ 50 (from D12 to D25)	D06 to D25, D±1; 3,15 ≤ L ≤ 40 (from D06 to D10) 3,14 ≤ L ≤ 50 (from D12 to D25)
	moisture, M, EN 14774-1, EN 14774-2	as received, w-%	M10 ≤ 10	M10 ≤ 10	M12 ≤ 12
	Ash, A ^c , EN 14775	w-% dry	A6.0 ≤ 6 A6.0+ >6 ^d	A4.0 ≤ 4 A6.0 ≤ 6	A0.8 ≤ 8 A8.0+ >8 ^d
	Mechanical durability, DU, EN 15210-1	as received, w-%	DU97.5 ≥ 97,5	DU97.5 ≥ 97,5	DU96.5 ≥ 96,5
	Fines at factory gate in bulk transport (at the time of loading) and in small bags, up to 20 kg and large sacks (at time of packing or delivery to end- user), F, EN 15210-1 (hand sieving)	as received, w-%	F1.0 ≤ 1,0	F1.0 ≤ 1,0	F1.0 ≤ 1,0
	Additives ^e	w-%, dry	Type and amount to be stated	Type and amount to be stated	Type and amount to be stated
	Net calorific value as received, Q, En 14918	MJ/kg or kWh/kg	Minimum value to be stated	Minimum value to be stated	Q14.5 ≥ 14,5 Q4.0 ≥ 4,0
	Bulk density, BD, EN 15103	as received, kg/m ³	BD600 ≥ 600	BD580 ≥ 580	BD550 ≥ 550
	Nitrogen, N, EN 15104	w-% dry	N0.7 ≤ 0,7	N0.5 ≤ 0,5	N2.0 ≤ 2,0
	Sulphur, S, EN 15289	w-% dry	S0.10 ≤ 0,10	S0.05 ≤ 0,05	S0.20 ≤ 0,20
	Chlorine, Cl, EN 15289	w-% dry	Cl0.10 ≤ 0,10	Cl0.08 ≤ 0,08	Cl0.10 ≤ 0,10
	Informative	Arsenic, As, EN 15297	mg/kg dry	≤ 1	≤ 1
Cadmium, Cd, EN 15297		mg/kg dry	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5
Chromium, Cr, EN 15297		mg/kg dry	≤ 50	≤ 50	≤ 50
Copper, Cu, EN 15297		mg/kg dry	≤ 20	≤ 20	≤ 20
Lead, Pb, EN 15297		mg/kg dry	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Mercury, Hg, EN 15297		mg/kg dry	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1
Nickel, Ni, EN 15297		mg/kg dry	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Zinc, Zn, EN 15297		mg/kg dry	≤ 100	≤ 100	≤ 100
Ash melting behaviour ^f , CEN/TS 15370-1		°C	should be stated	should be stated	should be stated

^a Selected size (D006, D08, D10, D12 or D25) of pellets to be stated
^b Pellets longer than 40 mm can be 1 w-%(from D06 to D10). Maximum length shall be <45 mm for pellets from D06 to D10.
^c Actual ash property class shall be stated.
^d Value to be stated.
^e Type of additives to aid production, delivery or combustion (e.g. pressing aids, slagging inhibitors or any other additives like starch, corn flour, potato flour, vegetable oil,...). Also, additives which are used after production, before unloading to end-user storages, shall be stated similarly (type and amount).
^f All characteristic temperatures (shrinkage starting temperature (SST), deformation temperature (DT), hemisphere temperature (HT) and flow temperature (FT) in oxidizing conditions should be stated.

Table 4-3-7. Specification of pellets produced from herbaceous biomass, fruit biomass and blends and mixtures

	Property class, Analysis method	Units	A	B
Normative	Origin and source ^a , EN 14961-1:2010, Table 1		2 Herbaceous biomass 3 Fruit biomass 4 Blends and mixtures	2 Herbaceous biomass 3 Fruit biomass 4 Blends and mixtures
	Diameter, D ^b and length L ^c EN 16127 According to Figure 1	mm	D06 to D25, D±1; 3,15 ≤L≤ 40 (from D06 to D10) 3,14 ≤L≤ 50 (from D12 to D25)	D06 to D25, D±1; 3,15 ≤L≤ 40 (from D06 to D10) 3,14 ≤L≤ 50 (from D12 to D25)
	moisture, M, EN 14774-1, EN 14774-2	as received, w-%	M12 ≤ 12	M15 ≤ 15
	Ash, A , EN 14775	w-% dry	A5.0≤5	A10≤10
	Mechanical durability, DU, EN 15210-1	as received, w-%	DU97.5≥97,5	DU96.5≥96,5
	Fines at factory gate in bulk transport (at the time of loading) and in small bags, up to 20 kg and large sacks (at time of packing or delivery to end- user), F, EN 15210-1 (hand sieving)	as received, w-%	F2.0≤2,0	F3.0≤3,0
	Additives ^d	w-%,dry	Type and amount to be stated	Type and amount to be stated
	Net calorific value as received, Q, En 14918	MJ/kg or kWh/kg	Q14.1≥14,1 or Q3.9≥3,9	Q13.2≥13,2 or Q3.7≥3,7
	Bulk density, BD, EN 15103	as received, kg/m ³	BD600≥600	BD600≥600
	Nitrogen, N, EN 15104	w-% dry	N1.5≤1,5	N2.0≤2,0
	Sulphur, S, EN 15289	w-% dry	S0.20≤0,20	S0.20≤0,20
	Chlorine, Cl, EN 15289	w-% dry	Cl0.20≤0,20	Cl0.30≤0,30
Informative	Arsenic, As, EN 15297	mg/kg dry	≤1	≤1
	Cadmium, Cd, EN 15297	mg/kg dry	≤0.5	≤0.5
	Chromium, Cr, EN 15297	mg/kg dry	≤50	≤50
	Copper, Cu, EN 15297	mg/kg dry	≤20	≤20
	Lead, Pb, EN 15297	mg/kg dry	≤10	≤10
	Mercury, Hg, EN 15297	mg/kg dry	≤0.1	≤0.1
	Nickel, Ni, EN 15297	mg/kg dry	≤10	≤10
	Zinc, Zn, EN 15297	mg/kg dry	≤100	≤100
	Ash melting behaviour ^e , CEN/TS 15370-1	°C	should be stated	should be stated
^a To be stated the 4-digit classification number of the source for 1 woody biomass , 2 Herbaceous and 3 Fruit biomass (Table 1, EN14961-1:2010). If composition of blend is known, the w-% can be used to specifying blends. Example 1:80 w-% 2.1.1.2 Straw,20 w-% 2.1.2.2 Grasses, straw plant. in the case of mixture, the main component should be stated first. Example 2:2.1.1.2 Straw, 2.1.2.2 Grasses, straw plant ^b Selected size (D06, D08, D10, D12 or D25) of pellets to be stated. ^c Pellets longer than 40 mm can be 1 w-%(from D06 to D10). Maximum length shall be <45 mm for pellets from ,D60 to D10. ^d Type of additives to aid production, delivery or combustion (e.g. pressing aids, slagging inhibitors or any other additives like starch, corn flour, potato flour, vegetable oil,...). Also, additives which are used after production, before unloading to end-user storages, shall be stated similarly (type and amount). ^e All characteristic temperatures (shrinkage starting temperature (SST), deformation temperature (DT), hemisphere temperature (HT) and flow temperature (FT) in oxidizing conditions should be stated.				

(마) 우리나라 목재펠릿 품질 규격

국내 목재펠릿 규격의 제정 및 운용 상황은 다음과 같으며, 목재펠릿 품질 규격은 표 4-3-8과 같다.

- 2009. 5. 21 국립산림과학원 “목재펠릿 품질 규격” 고시
- 2010. 7. 26 목재펠릿 품질규격 의무표시제를 도입하는 “산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률 시행령” 개정
- 2013. 5. 22 “목재의 지속가능한 이용에 관한 법률 시행령” 제정
- 2013. 6. 28 국립산림과학원 “목재펠릿 품질 규격” 개정 고시

Table 4-3-8. Korea wood pellets standard.

Parameter	Unit	1st Grade	2nd Grade	3rd Grade	4th Grade
Diameter	mm	6-8	6-8	6-8	6-25
Length	mm	≤ 32	≤ 32	≤ 32	≤ 32
Bulk density	kg/m ³	≥ 640	≥ 600	≥ 550	≥ 500
Moisture	%	≤ 10	≤ 10	≤ 15	≤ 15
Ash	%	≤ 0.7	≤ 1.5	≤ 3.0	≤ 6.0
Fines	%	< 1.0	< 1.0	< 2.0	< 2.0
Durability	%	≥ 97.5	≥ 97.5	≥ 95	≥ 95
Net calorific value	kcal/kg (MJ/kg)	≥ 4,300 (≥ 18.0)	≥ 4,300 (≥ 18.0)	≥ 4,040 (≥ 16.9)	≥ 4,040 (≥ 16.9)
Sulfur	%	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Chlorine	%	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Nitrogen	%	< 0.3	< 0.5	< 0.7	< 1.0
Arsenic	mg/kg	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0
Cadmium	mg/kg	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5
Chromium	mg/kg	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Copper	mg/kg	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Lead	mg/kg	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Mercury	mg/kg	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05
Nickel	mg/kg	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Zinc	mg/kg	≤ 100	≤ 100	≤ 100	≤ 100
Ash melting behaviour	℃	Recommend to state			
Additives	%	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0

나. 실험방법

(1) 공시재료

본 연구에서 사용한 목재펠릿은 신영이엔피(주)의 제품으로서, 품질은 표 4-3-9와 같다.

Table 4-3-9. Pellet quality used for test.

Parameter	신영이엔피
Grade	1
Diameter (mm)	6
Length (mm)	32
Bulk density (kg/m ³)	671
Moisture content (%)	7
Ash (%)	0.2
Net calorific value (kcal/kg)	4,640
Durability (%)	98.5
Fines (%)	0.2
Nitrogen (%)	0.2
Sulfur (%)	0.02
Chlorine (%)	0.01
Arsenic	-
Cadmium	-
Chromium	-
Copper	7.4
Lead	8.1
Mercury	-
Nickel	0.5
Zinc	6.6

Fig. 4-3-6. Wood pellets used for test.



(2) 현장가동상태 모니터링

충북 진천군 이월면 소재 중앙프러그영농조합법인의 비닐온실(면적 3300m²)에 설치된 난방용 펠릿보일러(신흥기업 제조)의 가동상태를 2013년 2월 2일부터 4월 15일까지 모니터링하였다 (Fig. 4-3-7).

온실의 실내온도는 14℃로 설정하였고, 난방수온도는 60℃로 설정하였으며, 정상 가동 시 연

료공급량은 135.05 kg/h으로 하였다. 보일러 가동 시의 온실의 실내온도, 실외온도, 및 연료공급 스크루의 전류량 등을 측정하여 가동상태를 분석하였다.



Fig. 4-3-7. Pellet boiler and green house.

(3) 등유 및 경유 대비 경제성 분석

2012년 12월 기준 각종 연료의 가격을 조사하여 비교 분석하였다.

(4) 펠릿제조시설 설비 모델링

국내에서 가동 중인 펠릿제조시설의 설비와 가동 상황 등을 고려하여 설비 모델링을 수행하였다.

(5) 펠릿 이용 가능한 농업 현장 적용 가능성 탐색

현장가동상태 모니터링 결과를 바탕으로 전국 표준지의 적용 가능성을 추산하였다.

다. 결과 및 고찰

(1) 현장가동상태 모니터링

2013년 2월 2일부터 4월 15일까지의 보일러 운전 상태를 모니터링한 결과를 Fig. 4-3-8에 나타냈다.

동 기간 실내최저온도를 14℃로 설정하여 보일러를 운전하였으며, 실내의 평균온도는 15-20℃를 나타냈다. 실외의 최저온도는 2월 중에는 영하를 나타냈고, 3월에는 영하와 영상이 반복되어 나타났으며, 4월에는 영상을 유지하였다. 평균실외온도 곡선은 최저온도 곡선과 최대온도 곡선의 중간에 위치하였다.

보일러의 가동시간은 실외온도 변화곡선과 상하 대칭되는 모습을 나타냈다. 동 기간 1일 최대의 가동시간은 약 6.3 시간이었으며, 4월 들어서는 전혀 가동되지 않는 날도 있었다.

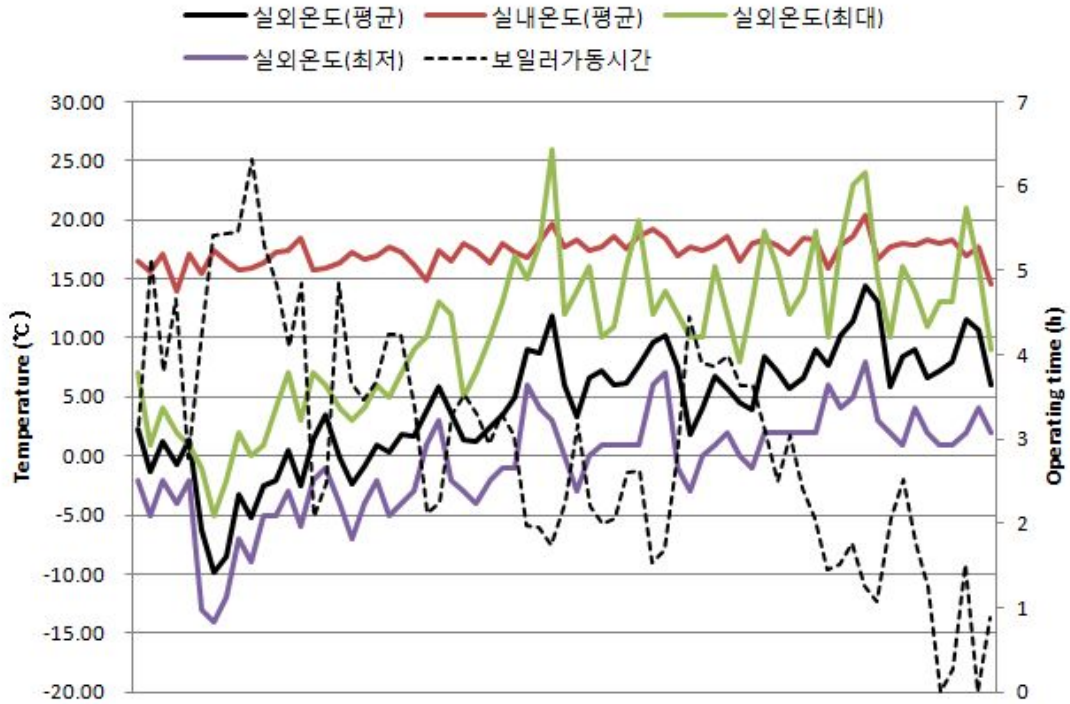


Fig. 4-3-8. Operating condition of pellet boiler.

매시간 측정된 실외온도와 설정온도(14°C)의 온도차를 ΔT 로 하고, ΔT 를 1일로 적산한 값을 적산 ΔT (integrating ΔT)로 하였다. 적산 ΔT 와 펠릿소모량의 관계를 회귀분석한 결과, Fig. 4-3-9과 같이 매우 상관관계가 높은 결과를 얻었다.

회귀식은 다음과 같이 정의되며, 0.05 수준에서 유의성이 인정되었다.

$$\text{펠릿소모량} = 1.43 \times \text{적산} \Delta T - 54.6 \quad (R^2 = 69.8)$$

또한, 회귀계수에 대해서도 0.05 수준에서 유의성이 인정되었다.

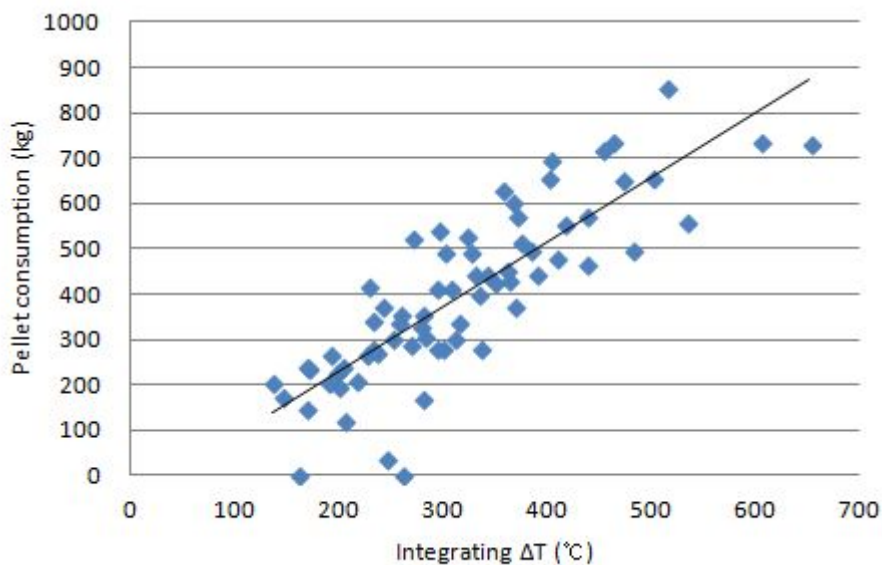


Fig. 4-3-9. Pellet consumption and integrating ΔT (Model 1).

매일의 평균 실외온도와 설정온도(14℃)의 온도차를 ΔT 로 하여 계산한 적산 ΔT 와 펠릿소모량의 관계를 회귀분석한 결과, Fig. 4-3-10과 같이 매우 상관관계가 높은 결과를 얻었다.

회귀식은 다음과 같이 정의되며, 회귀식과 회귀계수 모두 0.05 수준에서 유의성이 인정되었다.

$$\text{펠릿소모량} = 1.29 \times \text{적산}\Delta T + 95.2 \quad (R^2 = 69.3)$$

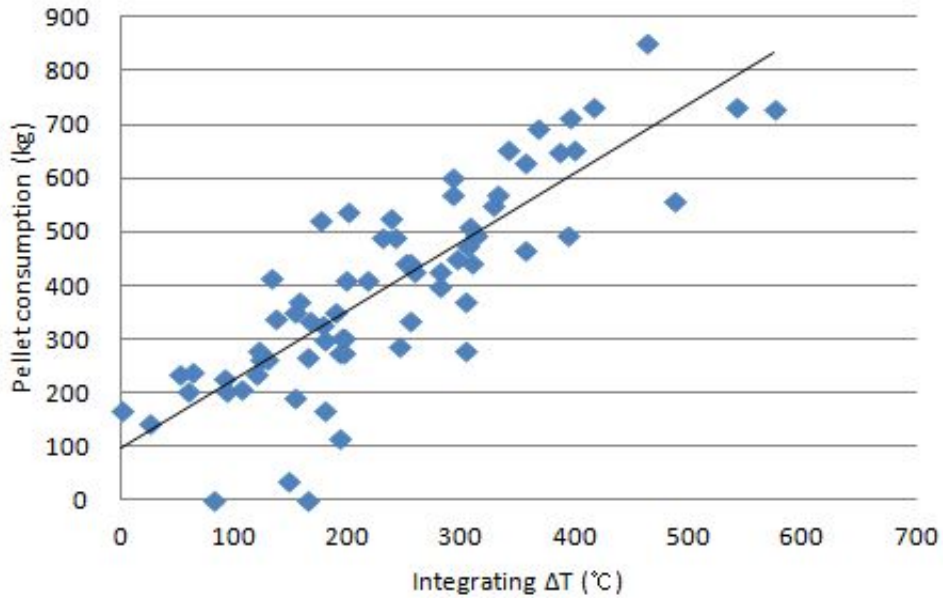


Fig. 4-3-10. Pellet consumption and integrating ΔT (Model 2).

모형 요약

Model	S	R ² (%)	Adjusted R ² (%)	Regression
1	103.657	69.80	69.30	y=-54.6+1.43x
2	104.419	69.30	68.90	y=95.2+1.29x

분산분석

Model		DF	SS	MSS	F-value	P-value
1	회귀모형	1	1660854	1660854	154.57	0.000
	잔차	67	719900	10745		
	합계	68	2380754			
2	회귀모형	1	1650235	1650235	151.35	0.000
	잔차	67	730519	10903		
	합계	68	2380754			

계수

Model		Coefficient	잔차	t-value	P-value
1	상수	-54.61	38.53	-1.42	0.161
	ΔT 적산값	1.4260	0.1147	12.43	0.000
2	상수	95.21	27.68	3.44	0.001
	ΔT 적산값	1.2892	0.1048	12.30	0.000

결론적으로 상기 회귀분석의 결과는 통계적으로 매우 유의성이 높은 결과를 제시하고 있다. 이에 따라 평균 실외기온과 실정온도로부터 산출된 적산 ΔT 를 통해 펠릿소모량을 예측하는 것이 가능하다.

(2) 등유 및 경유 대비 경제성 분석

(가) 목재펠릿의 경제성

2012년 12월 기준 국내 펠릿제조업체의 목재펠릿 판매 가격은 표 4-3-10과 같다. 주거용 소포장 목재펠릿의 공장 출하 가격은 280,000-320,000 원/톤이었으며, 산업용 톤백 포장의 목재펠릿 가격은 240,000-320,000 원/톤 이었다.

2011년 5월 이후의 급격한 유가 상승과 지속적인 고유가 체제, 그리고 발전 분야에서의 RPS 제도의 도입 등은 목재펠릿의 경제성 제고에 큰 영향을 주었다. 국내의 펠릿 가격과 유가를 비교하면, 2012년 12월 현재 가정용 펠릿은 등유의 50%, 산업용 펠릿은 중유의 62%이고 천연가스의 75%로 명백한 가격경쟁력을 확보하였다(Fig. 4-3-11과 Fig. 4-3-12). 이러한 가격경쟁력에 힘입어 농업용과 산업용 펠릿 수요가 점차 확대되고 있는 실정이다.

Table 4-3-10. Prices of domestic wood pellets(Dec. 2012)

업체	주거용 상차가격(원/톤)		주거용 배송기준	산업용 상차가격(원/톤)		산업용 배송기준
	관내	관외		주거용	산업용	
산림조합중앙회	300,000	320,000	-	-	-	-
양평군산림조합	300,000	320,000	1,2분기 30,000원/톤 3,4분기 40,000원/톤	-	-	-
단양군산림조합	300,000	310,000	거리별 3~5만원/톤 택배 8만원/톤	280,000	290,000	20,000원/톤
세종시산림조합	320,000	320,000	350,000원	-	-	-
포항시산림조합	300,000	320,000	350,000~390,000원	240,000	240,000	-
산청군산림조합	300,000	300,000	-	-	-	-
서귀포시산림조합	-	-	-	-	-	-
(주) 청림	300,000	320,000	관내 30,000원 관외 40,000원	280,000	280,000	관내 30,000원 관외 40,000원
일도 바이오	290,000	290,000	관내:거리 따라 상이 관외: 70,000원	-	-	거리에 따라 상이
우주그린산업	290,000	-	40,000원/톤	-	-	-
(주) 풍림	280,000	300,000	물류회사 비용기준	-	-	-
신영이앤피	300,000	300,000	관내 44,000원 100km이내 50,000원 100km이상 60,000원 택배 80,000원	300,000	300,000	100km 이내 1만원 150km 이내 1.5만원 150km 이상 2만원
SK임업						
아주녹화개발	300,000	320,000	2톤 기준 50,000원	280,000	320,000	10톤 기준 400,000원
개명목재산업	300,000	310,000	-	290,000	290,000	-
경기산업	280,000	280,000	10km 이내 300원/kg 20km 이내 330원/kg	280,000	-	-
대현우드	-	-	-	215,000	-	도착도 235,000원 시운전중 생산된 것으로 정상가격 아님
무주군	290,000	320,000	-	-	-	-

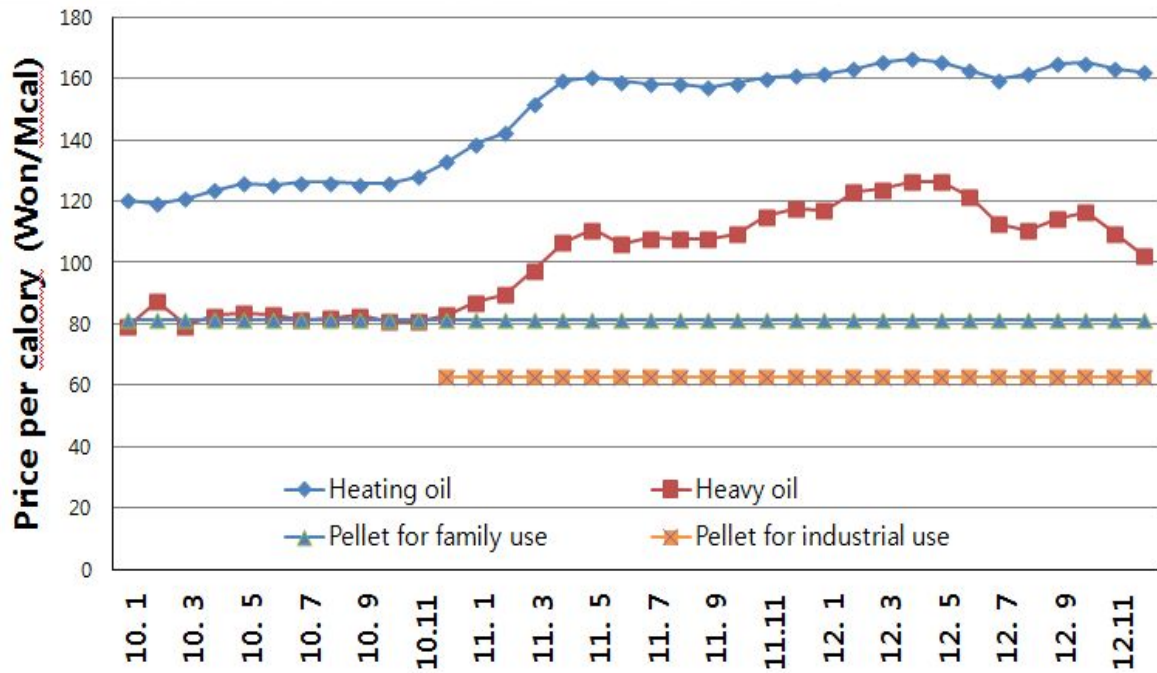


Fig. 4-3-11. Price trend of fuels.

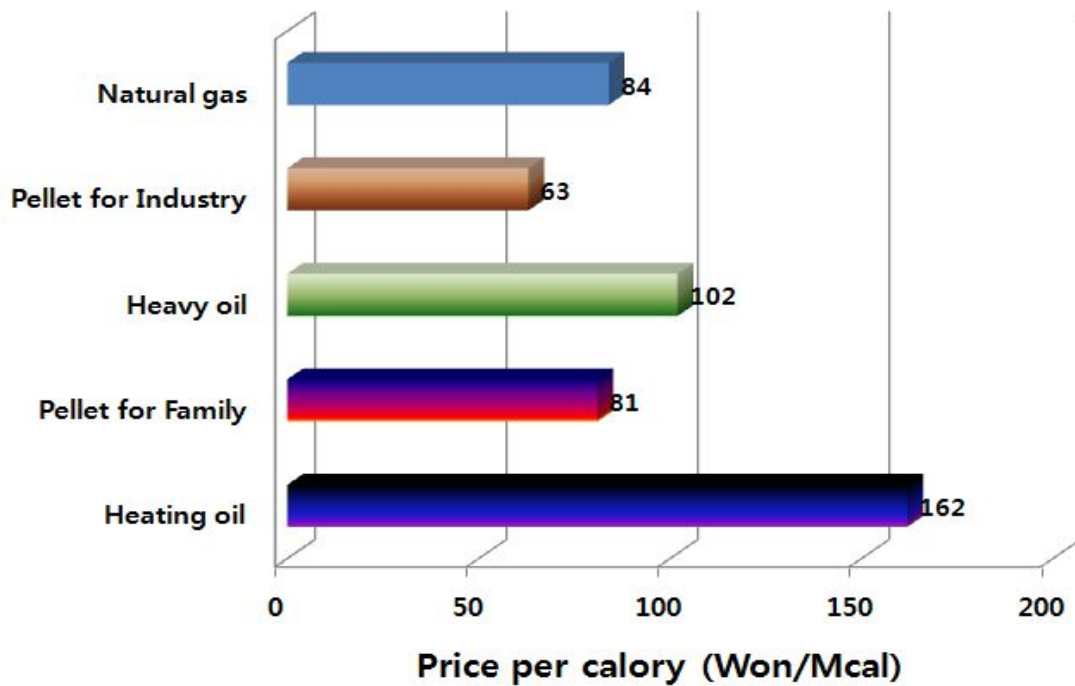


Fig. 4-3-12. Cost effectiveness of Korean wood pellets(Dec. 2012).

(나) 아그로펠릿의 경제성

아그로펠릿의 경우 원료의 수집 및 구매 조건에 따라 펠릿의 가격이 결정되는데, 최근 국내 산 볏짚의 경우 500 kg/톨의 가격이 50,000-55,000원에 이르고 있어 목재의 가격보다 높거나

같이 가격경쟁력이 없는 실정이다.

통상 아그로펠릿의 발열량은 목재펠릿보다 20-30% 정도 낮으므로 아그로펠릿의 가격은 목재펠릿보다 적어도 30% 이상 낮아야 한다. 또한 아그로펠릿의 생산성은 목재펠릿에 비해 매우 떨어지는 것이 일반적이다. 따라서 아그로펠릿의 경제성 확보를 위해서는 농업 및 축산업 분야와 경쟁이 되지 않는 원료의 탐색이 가장 시급하다고 할 수 있다. 또한 아그로펠릿의 용도를 연료가 아닌 축산 사료 분야로 확장하여 부가가치를 높이는 방향을 모색하여야 할 것이다.

(3) 펠릿제조시설 설비 모델링

(가) 국내 주요 업체 설비 및 조업 현황

국내 주요 업체의 펠릿 생산 설비의 특징은 표 4-3-11과 같다. 펠릿성형기는 2개 업체가 플랫다이, 2개 업체가 링다이 방식을 채택하고 있으며, 건조기는 2개 업체가 2단계 건조 설비를 갖추고 있다. 대체적으로 로터리 드럼 방식의 건조기를 채택하고 있으며, 1개 업체는 튜브식(기류식) 건조기를 채택하고 있다.

건조기의 연료는 대부분 목질계 바이오매스로 전환하고 있는 실정이다. 여주의 목재유통센터가 2011년 펠릿을 연료로 사용하는 연소 설비를 구축한 이래, 산림조합 계통의 업체들이 바이오매스 연료로의 전환이 잇따르고 있다.

거의 대부분의 업체가 숲가꾸기 산물을 파쇄하여 펠릿의 원료로 사용하고 있다. 목재유통센터는 2010년도에는 목재가공부산물(제재톱밥과 대팻밥)만을 사용하였으나, 최근 건설경기의 악화로 목재가공부산물의 발생량이 줄어들어 30% 정도의 부족한 원료를 숲가꾸기 산물로 충당하고 있는 실정이다.

연중 24시간 가동체제를 갖추고 있는 곳은 목재유통센터와 신영이앤피의 2개 업체에 불과하며, 나머지 업체는 판매 부진과 원료 조달의 어려움을 이유로 가동 시간 및 가동일수를 가변적으로 조정하고 있다.

Table 4-3-11. Current state of facilities of domestic pellet plants

Facility	Yeoju	Danyang	SK	Shingyoung
Pelletizer	Flat	Flat	Ring	Ring
Dryer	Belt + Drum	Belt + Drum	Tube	Drum
Drying fuel	Wood pellet	Wood pellet	Wood + LPG	Sawdust
Raw material	제재톱밥 + 숲가꾸기 산물	숲가꾸기 산물	숲가꾸기 산물	숲가꾸기 산물 수입 목재칩
Production capacity (t/h)	2	2	2	2
Operating hours	24 hr/d	필요에 따라 탄력적 운영	필요에 따라 탄력적 운영	24 hr/d
Others	숲가꾸기 산물 비중이 약 30%. 연료를 펠릿으로 전환.	연료를 펠릿으로 전환 중.	원료 확보에 어려움. 비수기에 제재목 및 내장재 생산.	산업용으로의 판매 호조. 생산능력 확대 결정.

(나) 아그로펠릿 제조를 위한 설비 모델링

국내에서 가동 중인 펠릿제조시설의 설비를 참고하여 아드로펠릿 제조를 위한 적용 가능한 설비를 표 4-3-12에 정리하였다.

펠릿성형기는 플랫다이스 또는 링다이스 방식 모두 적용 가능하나, 현재의 국내 기술 수준을 감안하면 플랫다이스 방식이 알맞을 것으로 판단된다.

건조기는 국내 가동 경험을 토대로 드럼 방식의 것이 가장 적당하며, 건조기용 연소기는 농업부산물 또는 아그로펠릿을 연료로 사용하는 싸이클론식 연소기나 이동화격자형 연소기가 가장 적당하다. 농업부산물과 아그로펠릿은 회분이 많아 연소 시 클링커와 슬래그의 발생 가능성이 큰데, 현재의 기술 수준으로는 싸이클론식 연소기와 이동화격자형 연소기를 사용함으로써 문제 발생 가능성을 낮출 수 있다.

설비 용량 및 가동 시간은 생산비를 감안할 때 시간 당 4 톤으로 연중 24시간 가동하는 것이 가장 적당할 것으로 판단되나, 원료의 조달 가능성을 고려할 때 기존의 펠릿제조시설에서 2-4톤 규모로 계절에 따라 탄력적인 가동을 하는 것이 적당할 것으로 판단된다.

Table 4-3-12. Recommended facilities of agropellet plants

Facility	Recommended type
Pelletizer	Flat or ring
Dryer	Drum
Combustor	Cyclonic combustor or moving grate combustor
Drying fuel	Agricultural residue or agropellet
Raw material	Agricultural residue
Production capacity (t/h)	2-4
Operating hours	24 hr/d or seasonal

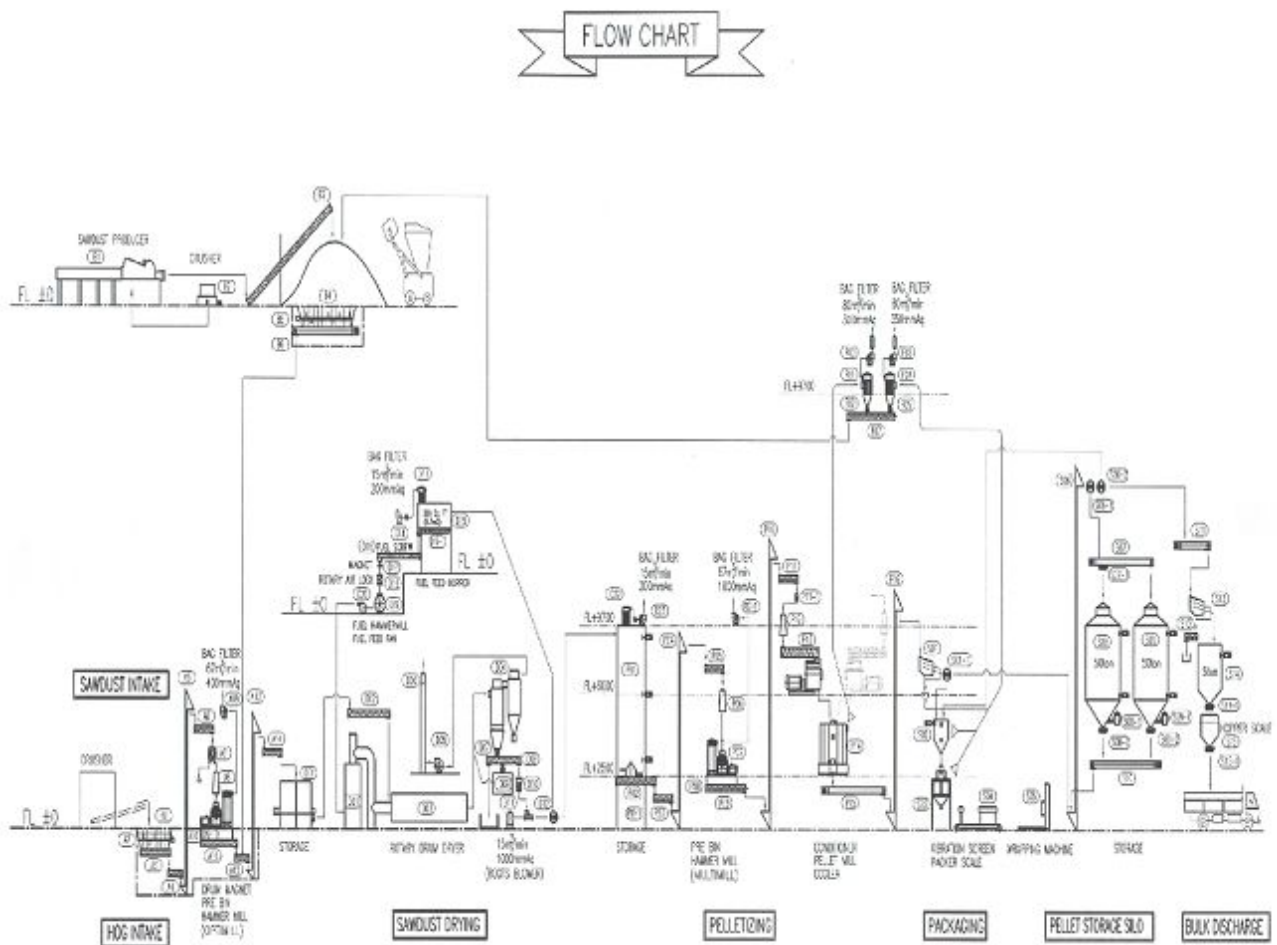


Fig. 4-3-13. 설비모델 flow chart

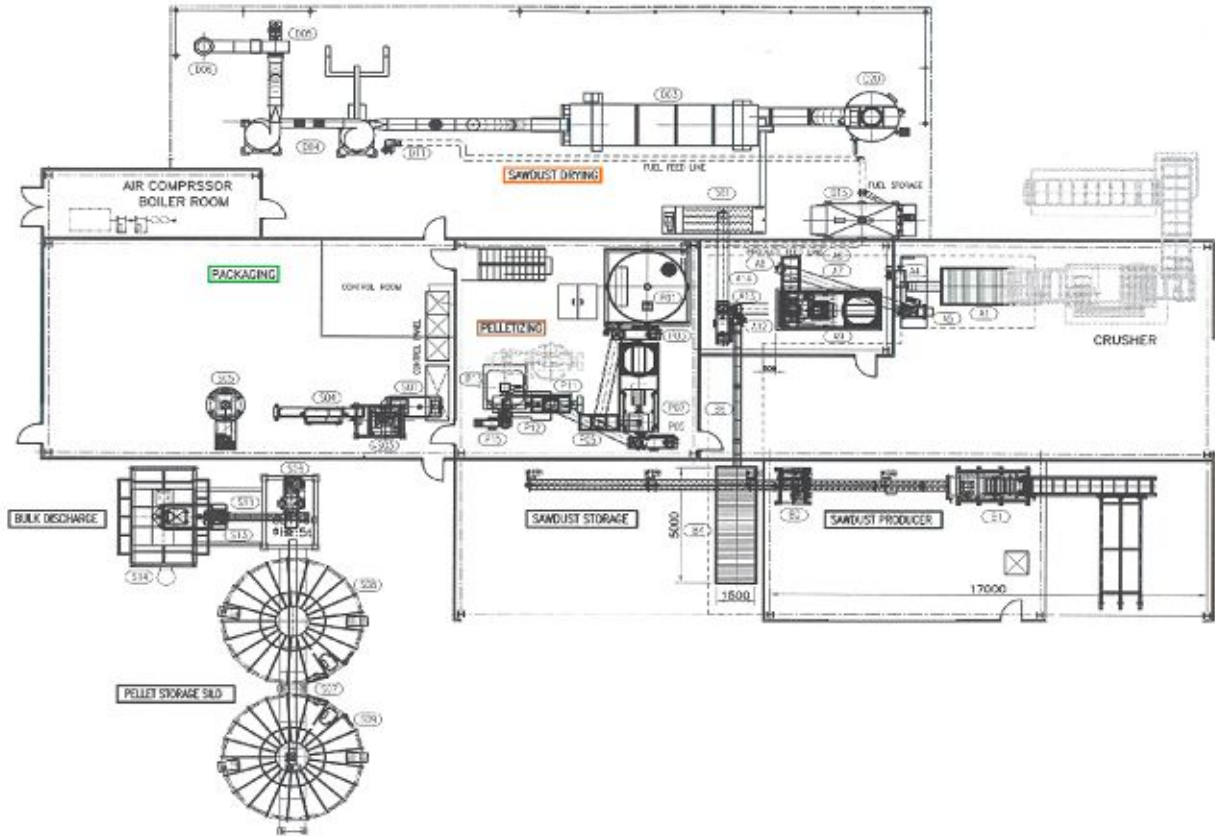


Fig. 4-3-14. 설비모델 lay out

<반입부>

A1	HOG 반입호퍼	1	3.0m x 1.5m	
A1-1	AIR KNOCKER	2	VK 40P	
A2	HOG 반입호퍼 교반기	1		5.5 kw
A3	HOG 반입호퍼 배출스크류	2	Ø300 x 4.2m	3.7 kw
A4	HOG 배출스크류	1	Ø350 x 1.9m	2.2 kw
A5	OPTIMILL 투입송강기	1	SHWBE-12" x 13.235m	3.7 kw
A6	OPTIMILL 투입 스크류	1	Ø350 x 5.56m	2.2 kw
A7	DRUM MAGNET	1	0.695 x 0.662 x 1.030 /6500guss	0.4 kw
A8	PRE BIN	1	1.5 x 0.66 x 1.8	
A8-1	PRE GRINDER	1	OPTIMILL 500	132 kw
A8-2	SCREW FEEDER	1		2.2 kw
A9	집진 팬	1	67 m ² /min,400mmAq	7.5 kw
A9-1	DISCHARGE HOPPER	1	3.8 x 0.75	
A10	AIR KNOCKER	2	VK 40P	
A11	DISCHARGE HOPPER 배출스크류	2	Ø250 x 4.8m	3.7 kw
A12	OPTIMILL 배출 스크류	1	Ø400 x 2.046m	2.2 kw
A13	건조기 투입 송강기	1	SHWBE-12" x 11.097m	3.7 kw
A14	건조기 투입 스크류	1	Ø350 x 4.455m	2.2 kw
B1	톱밥 제조기	1	YM-600BM	247.5 kw
B2	2차 분쇄기	1	1.7 x 1.5 x 2.5	56.25 kw
B3	이송 스크류	2	Ø400 x 4.48m /3.75kw	7.5 kw
B4	톱밥 반입호퍼	1	5.0m x 1.5m	
B4-1	AIR KNOCKER	4	VK 40P	
B5	톱밥 반입호퍼 교반기	1		7.5 kw
B6	톱밥 반입호퍼 배출 콘베어	1	FFR-600 x 13.180m	7.5 kw

<건 조 부>

D01	WET FEED HOPPER	1	1.53 x 4.3 x 4.01	4.5 kw	
D02	DRYER INCLINED 콘베어	1		2.25 kw	
D03	DRYER DRUM DRIVE	1	Ø2.108 x 8.487m	3.75 kw	
D04	DRYER CYCLONE	2	Ø1.502 x 5.524m , 5.31m		
D05	DIRECT I.D. FAN	1		30 kw	
D06	DRYER STACK	1	Ø600 x 15.20m		
D07	DRYER CYCLONE AIR LOCK	1		0.75 kw	
D08	REVERSING SCREW 콘베어	1		2.25 kw	
D09	MOISTURE SAMPLING SYSTEM	1		4.5 kw	
D10	로타리 벨브(이젝터 일체형)	1	Ø250	2.2 kw	
D11	연료 이송(ROOTS)BLOWER	1	15m ³ /min,1000mmAq	7.5 kw	
D12	LINE SWITCH(2방향 질환기)	1	HYLS-20		
D13	연료 탱크 백필터	1	HYPF-10/18B 15m ³		
D13-1	링 브로워	1	HB2-339	3 kw	
D14	연료 탱크 백필터 집진현	1	15m ³ /min,200mmAq	1.5 kw	
D15	FUEL FEED HOPPER	1	1.63 x 4.08 x 3.392		
D15-1	FUEL FEED HOPPER 스크류	1		3.75 kw	
D16	FUEL SCREW	1		3.75 kw	
D17	MAGNET	1			
D18	ROTARY AIR LOCK	1		0.75 kw	
D19	FUEL HAMMERMILL	1		11.25 kw	
D20	FUEL FEED FAN	1		7.5 kw	
D21	SOLID FUEL BURNER	1	Ø2.184 x 5.578m	0.75 kw	
D22	원료 탱크 백필터	1	HYPF-10/18B 15m ³		
D22-1	링 브로워	1	HB2-339	3 kw	
D23	원료 탱크 백필터 집진현	1	15m ³ /min,200mmAq	2.5 kw	

<성 형 부>

P01	원료 탱크	1	Ø3.0 x 7.5m(53m ³)	7.5 kw	
P02	원료 탱크 배출 스크류1	1	Ø350 x 2.1m	2.2 kw	
P02-1	원료 탱크 배출 스크류2	1	Ø350 x 2.1m	2.2 kw	
P03	원료 탱크 배출 중계 스크류	1	Ø350 x 3.3m	2.2 kw	
P04	MULTIMILL 투입 승강기	1	SHWBE-12" x 9.259m	2.2 kw	
P05	MULTIMILL 투입 SCREW 콘베어	1	Ø350 x 4.310m	2.2 kw	
P06	PRE BIN	1	1.5 x 0.66 x 1.8		
P07	FINE - GRINDER	1	MULTIMILL 650/530B	75 kw	
P07-1	SCREW FEEDER	1		2.2 kw	
P07-2	집진 현	1	67m ³ /min,1000mmAq	18.5 kw	
P08	DISCHARGE HOPPER	1	3.8 x 0.75		
P09	DISCHARGE HOPPER 배출스크류	2	Ø200 x 4.3m	3.7 kw	
P10	PELLETMILL 투입 승강기	1	SHWBE-12" x 13.185m	3.7 kw	
P11	PELLETMILL 투입SCREW 콘베어	1	Ø350 x 4.35m	2.2 kw	
P11-1	MAGNET	1	0.5 x 0.5 x 0.3(10000G)		
P12	PRE BIN	1	1.5 x 0.66 x 1.8		
P13	PELLET MILL	1	PM 615W	160 kw	
P13-1	SCREW FEEDER	1		2.2 kw	
P13-2	CONDITIONER	1		15 kw	
P14	COOLER	1	PCF 005	0.75 kw	
P15	진동선별기 투입 콘베어	1	FFR-220 x 4.32m	2.2 kw	
P16	진동선별기 투입 승강기	1	SHSWBE-7" x 11.684m	3.7 kw	

<포장,저장부>

S01	진동선별기	1		0.75 kw
S01-1	2-WAY 게이트	1	□200	
S02	소포장기 보조탱크	1	1.2m x 1.2m x 1.2m	
S03	소포장기	1	SW-20G2	1 kw
S04	BEND SEALER	1	DHTS-250V	1 kw
S05	WRAPPING MACHINE	1	HUIDORI-S1500-24-2N	2 kw
S06	사일로 투입 승강기	1	SHSWBE-7" x 12.784m	3.7 kw
S06-1,2	2-WAY 게이트	2	□200	
S07	사일로 투입 콘베어	1	FFR-220 x 10.72m	2.2 kw
S07-1	슬라이드 게이트	1	220 x 600	
S08	펠릿 저장 사일로	1	CHS-50 (50톤)	
S08-1	송풍기	1	70m ³ /min,60mmAq	1.5 kw
S08-2	슬라이드 게이트	1	300 x 300	
S09	펠릿 저장 사일로	1	CHS-50 (50톤)	
S09-1	송풍기	1	70m ³ /min,60mmAq	1.5 kw
S09-2	슬라이드 게이트	1	300 x 300	
S10	사일로 배출 콘베어	1	FFR-220 x 10.63m	2.2 kw
S11	진동선별기 투입 콘베어	1	FFR-220 x 4.43m	1.5 kw
S12	진동선별기	1	VR71(0.75kw*2)	1.5 kw
S13	선별이송 스크류 콘베어	1	Ø200 x 2.0m	0.75 kw
S14	펠릿 출하 탱크	1	2.4m x 2.4m x 1.5m	
S14-1	슬라이드 게이트	1	300 x 300	
S14-2	상부 레벨	1		0.003 kw
S15	스케일	1	500KG/B	
S15-1	슬라이드 게이트	1	300 x 300	
S15-2	폴리콘백 거치대	1		

* 조작설비

E1	중앙제어반	1		1 kw
E2	MCC제어반	1		1 kw
E3	건조기 제어반	1		1 kw
E4	흡입제조기 제어반	1		1 kw
E4	동력 배관 설비	1식		

* 집진설비

F01	백필터	1	HYPF-18/24 80m ³ /min	
F01-1	링 브로워	1	HB2-339	3 kw
F02	로타리 밸브	1	Ø300	1.5 kw
F03	집진팬	1	80m ³ /min,300mmAq	7.5 kw
F04	백필터	1	80m ³ /min	
F04-1	링 브로워	1	HB2-339	3 kw
F05	로타리 밸브	1	Ø300	1.5 kw
F06	집진팬	1	80m ³ /min,350mmAq	7.5 kw
F07	집진이송 스크류 콘베어	1	Ø200 x 5.0m	2.2 kw
F08	집진덕트 설비	1식		

* 공압 설비

C1	컴프레서	1	왕복동식	15 kw
C2	보조탱크	1	0.5m ³	

* 보일러 설비

H1	보일러	1	150kg/hr(96,000Kcal/hr) , 10kg/cm ²	1.8 kw
H2	급수설비	1식		

(4) 펠릿 이용 가능한 농업 현장 적용 가능성 탐색

국내에서는 북으로는 화천으로부터 남으로는 김해에 이르기까지 전국 각지에서 펠릿보일러를 이용한 시설원예 난방이 이루어지고 있어, 모든 지역에서 채소류와 화훼류 재배 등의 농업 분야에 대한 펠릿보일러 적용이 가능하다.

현장가동상태 모니터링 결과를 바탕으로 제시된 적산 ΔT 와 펠릿소모량 간의 회귀식에 따라 전국 8개 표본지에서의 펠릿사용량을 추산하였다(표 4-3-13). 실내온도는 14℃를 적용하였고, 난방기간은 최저온도가 10℃ 이하로 떨어지는 11월 1일부터 4월 15일까지로 정하였다. 회귀식에 적용한 평균기온은 각 표본지에서 2012년 11월 1일부터 2013년 4월 15일까지 측정된 값이다.

남부 지방(창원과 목포)은 1 ha의 비닐하우스에서 연간 173 톤과 198 톤을 소비할 것으로 추정되었으며, 군산, 서산, 연천, 진천은 연간 217-244 톤을 소비할 것으로 추산되었다. 한편 춘천이 272 톤으로 가장 많은 펠릿을 소비할 것으로 추산되었다.

Table 4-3-13. Estimation of pellet consumption.

Area	Pellet consumption (ton/ha/yr)
Gunsan	225
Mokpo	198
Seosan	244
Suwon	239
Yeongcheon	217
Changweon	173
Chuncheon	272
Jincheon	229

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1절 1차년도

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
1차 연도 (2010)	농업부산물 펠릿 연소용 고효율 보일러 개발	농업부산물 펠릿제조를 위한 원료 건조시스템 개발	100	<ul style="list-style-type: none"> · 시설원예용 보일러 시장 조사 · 바이오매스 사이클릭 연소기술을 이용한 열원공급 장치 개발 · 고주파센서를 이용한 원료 자동수분 측정시스템 개발 · 건조기 효율 향상을 위한 3pass형 드럼건조기 개발
		농업부산물에 최적화된 연소 장치 개발	100	<ul style="list-style-type: none"> · 연소방식별(하부투입, 상부투입, 버너 방식등) 사양 및 연소특성 비교분석 · Ash 함량이 높은 고체연료 연소 시 슬래그 방지 최소화 기술개발
	농업부산물을 이용한 중형급 펠릿 제조장치 개발	고효율 파쇄 및 분쇄장 치 개발	100	<ul style="list-style-type: none"> · 농업부산물별 물리특성을 고려한 고효율 파쇄장치 및 분쇄장치 개발
		원료혼합장치 개발	100	<ul style="list-style-type: none"> · 연소특성 향상을 위한 농업부산 물과 부재료의 혼합장치 개발
	농업부산물의 성 형성과 연소효율 개선을 위한 전처리 기술개발	농업부산물 펠릿제조를 위한 기초조사 및 물성 평가	100	<ul style="list-style-type: none"> · 활용 가능한 농업부산물(벼짚, 고춧대, 담뱃대, 옥수수대 등)에 대한 물성, 발열량, 가용물량, 가격, 이송비용 등 조사
			100	<ul style="list-style-type: none"> · 농업부산물의 연소효율 개선을 위한 전처리 방법 및 효과구명
			100	<ul style="list-style-type: none"> · 농업 부산물별 시험펠릿제조 및 물성 평가 (발열량, 내구성, 걸 보기밀도, 성분분석 등)

제 2절 2차년도

구분 (연도)	세부 과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
2차 년도 (2011)	농업부산물 펠릿 연소용 고효율 보일러 개발	농업부산물 펠릿용 고효율 열교환기 개발	100	<ul style="list-style-type: none"> · 열교환효율 증대를 위한 열교환기 설계, 제작 · 높은 비율의 염소와 Ash성분을 고려한 열교환기설계 및 내구성 향상기술 개발 · 보급형 펠릿보일러 설계, 제작 및 기초실험
		내구성, 안정성, 사용편 리성 향상을 위한 기술 개발	100	<ul style="list-style-type: none"> · 청소 용이한 자동재처리 장치개발 · 안정성이 향상된 역화방지 기술개발 · 사이클론 1차 성능분석
	농업부산물을 이용한 중형급 펠릿 제조장치 개발	중형급 펠릿 성형기 개발	100	<ul style="list-style-type: none"> · 농업부산물별 최적 펠릿 생산을 위한 다이스 및 롤러개발 · 500kg/h 용량의 펠릿 성형기 개발 · 펠릿 냉각장치/집진 장치 설계 제작
	농업부산물의 성 형성과 연소효율 개선을 위한 전 처리 기술개발	농업부산물 펠릿제조를 위한 기초조사 및 물성 평가	100	· 농업부산물 펠릿 제조 최적 조건 분석
			100	· 성능평가를 통한 연료별 특성구명 및 펠릿제조법 확립
			100	· 농업부산물 펠릿의 저장특성 조사
			100	· 농업부산물을 활용한 연료 공급화를 위한 시설원예 현장적용 실험방안 검토/수립

제 3절 3차년도

구분 (연도)	세부과제명	세부연구내용	달성도 (%)	연구개발 수행내용
3차 년도 (2012)	농업부산물 펠릿 연소용 고효율 보일러 개발	고효율 펠릿 보일러 보완 설계, 제작	95	<ul style="list-style-type: none"> · 펠릿 보일러 연구기관 연소효율 등을 통한 미비점 보완 설계 · 실험평가 및 현장실험을 통한 미비점 및 개선사항 설계보완 · 연소실험을 통한 제어, 프로그램 미비점 보완 · 현장적용 실험을 통한 개선사항 및 미비점 보완
		현장적용실험 및 분석	100	· 동일제품 현장적용 실험을 통한 안정성 및 개선사항 실험
	농업부산물을 이용한 중형급 펠릿 제조장치 개발	펠릿 제조 최적조건 구명 및 제조시스템 확립	100	펠릿 제조장치 제작 및 성능평가를 통한 농업부산물 펠릿 제조 최적조건 구명 농업부산물 펠릿 제조시스템 확립
	농업부산물의 성 형성과 연소효율 개선을 위한 전 처리 기술개발	시설원에 현장 적용 실험 및 경제성 분석	100	시설원에 현장적용실험 및 경제성 분석 펠릿제조시설 상용화 방안 수립

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

제 1절 실용화, 산업화 계획

1. 아그로 원료 건조시스템

- 사이클릭 연소방식, 드럼타입의 건조원리를 이용한 시스템 구축
- 아그로원료 이외의 톱밥원료등에 사용가능토록 시스템 구축
- 중소형 건조시스템을 기초로 중대형(1톤~5톤) 이상의 설계 및 제품개발 계획
- 출원된 특허를 이용하여 응용제품 개발

2. 고효율 펠릿보일러

- 아그로 원료 확보 방안 확립
- 아그로 원료를 사용한 펠릿 사용시 회분함량에 따른 클링커 발생 저감 및 제거방법에 대한 추가 실험 필요
- 시제작품을 기반으로 원예작물 생산용, 기타농업용에 적합한 펠릿보일러 설계 및 제품개발 계획
- 보일러 제작기술을 기반으로 하여 농업 원예용에 적합한 난방기 제품개발
- 출원된 특허를 이용하여 응용제품 개발

3. 펠릿 제조장치

- 농업부산물의 물성 파악을 통한 펠릿제조 공정 확립
- 농업부산물을 기초로한 갈대 및 억새등 초분류 펠릿제조공정으로 기술 확대 및 적용
- 농업부산물 펠릿의 사료 및 비료용으로 기술 확대 적용 및 제품 개발 계획
- 출원된 특허를 이용하여 응용제품 개발

4. 산업화를 위한 기초작업

- 아그로 펠릿 규격 제정
- 아그로 펠릿 원료 확보를 위한 관련기관의 지원방안 수립
- 아그로 펠릿 생산, 유통 활성화를 위한 관련 산업분야의 공감대 형성

제 2절 교육·지도·홍보 등 기술확산 계획

1. 교육, 지도계획

- 본 연구를 수행하며 축적된 정보, 기술, 결과를 토대로 교육용 자료를 작성하여 아그로 펠릿 제조기술을 확산시킬 계획임
- 향후 사이클릭 건조기술 및 아그로 펠릿보일러에 연구 및 생산에 대한 지침서로 사용할 예정
- 펠릿제조장치에 대한 제반 기술을 토대로 연구 및 생산에 대한 지침서로 사용할 예정

2. 홍보 계획

- 건조시스템 : 사이클릭 연소시스템+드럼건조방식의 시스템의 우수성을 홍보하며 기술보급을 확산시킬 계획임
- 아그로 펠릿보일러 : 시제품에 대한 제조 및 품질 검사를 종료한 후 신문과 방송을 통해 농업인들에게 농업부산물을 이용한 아그로펠릿 보일러에 대한 인식과 기술보급을 확산시킬 예정
- 펠릿제조장치 : 농업부산물을 이용한 펠릿제조장치 기술개발에 대한 언론홍보실시

제 3절 특허, 품종, 논문 등 지식재산권 확보계획

1. 특허 출원 (6건)

구 분	출원명칭	출원번호	비 고
1	농업부산물을 연료용 펠릿으로 제조하기 위한 건조 시스템	10-2011-0043107	등 록
2	농업부산물을 이용한 펠릿의 회분함량 저감방법	10-2012-0075887	
3	농업부산물 고품연료의 연소장치	10-2013-0072633	
4	농업부산물 파쇄장치	10-2011-0043045	등 록
5	펠릿성형기	10-2012-0044548	
6	펠릿냉각장치	10-2013-0074811	
합 계			

2. 게재/게재 예정 논문 (1건)

게재 연도	논문명	저자		학술지명	Vol.(No.)	국내외 구분	SCI구분
		주저자	공동저자				
2012	아그로펠릿 제조를 위한 농업부산물의 기초물성 조 사 및 연료특성평가	한규성	양 인, 사공문	한국폐기물자 원순환 학회지	29(2)	국내	KSCI

3. 심사 논문 (1건)

게재 연도	논문명	저자		학술지명	Vol.(No.)	국내외 구분	SCI구분
		주저자	공동저자				
2013	Fuel characteristics of agropellet fabrication with rice straw and husk	Han, G.S.	Yang, I., Kim, S.H., Sagong, M.	Renewable Resources	In review	해외	SCI

4. 국내 학회발표 (1건)

- “왕겨와 벃짚의 아그로펠릿 제조 특성.”
2012 한국폐기물자원순환학회 춘계학술연구발표회

5. 국외 학회발표 (건)

-

제 4절 추가연구, 타연구 활용 계획

1. 아그로 원료 건조시스템

- 아그로원료 이외의 톱밥원료등에 사용가능한 사이클릭 연소방식, 드럼타입의 건조원리를 이용
한 추가연구 필요
- 중대형(1톤~5톤) 이상에 적합한 건조시스템 연구에 활용

2. 고효율 펠릿보일러

- 연소중 발생하는 클링커 제거방법에 대한 추가 연구 필요
- 아그로 연료 펠릿의 사용 또는 연소 후에 발생하는 회분의 이용 방안에 대한 추가 연구 필요

3. 펠릿 제조장치

- 기존 펠릿 제조 설비를 이용한 아그로펠릿 제조화 가능성 확인

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 1절 아그로 원료 건조시스템 연구 동향

아그로펠릿은 에너지 산업에 있어서 바이오매스의 이용을 확대하는 데에 큰 잠재력을 가지고 있다. 최근 유럽에서 목재펠릿 이용이 급진적으로 증가함에 따라 아그로펠릿에 대한 관심도 커져가고 있다. 그러나 전체 펠릿 시장에서는 아그로펠릿은 신규의 아이템인 만큼 시장 규모도 작고, 아그로펠릿과 관련된 규격도 미비한 실정이다. 게다가 아그로펠릿은 연소 시에 발생하는 문제점으로 인해 가정용 시장에서는 거의 사용되지 않으므로 목재펠릿의 시장과 다른 구조를 가지고 있다. 아그로펠릿 시장이 발전하기 위해서는 아그로펠릿을 효율적으로 연소시킬 수 있는 보일러 개발이 이루어져야만 한다.

목재펠릿 시장이 안정적으로 발전한 유럽에서도 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.

Table 6-1-1. Specifications for French agropellet quality standards.

Specifications	Agro+	Agro
Dimensions	D=6 to 8mm±1mm L= 10 to 30mm	D=6 to 16mm±1mm L= 10 to 30mm
Moisture content (%)	≤11	≤15
Net caloric value (MJ/kg)	≥15.5	≥14.7
Net caloric value (kWh/kg)	≥4.3	≥4.1
Bulk density (kg/m ³)	≥650	≥650
Mechanical durability (%)	≥95	≥92
Amount of fines afetr production (%)	≤2	≤3
Ash content (%)	≤5	≤7
Cl (%)	≤0.2	≤0.3
N (%)	≤1.5	≤2.0
S (%)	≤0.2	≤0.2
Ash melt temperature (℃)	≥1,000	≥800
As (mg/kg)		≤1
Cu (mg/kg)		≤40
Cr (mg/kg)		≤10
Cd (mg/kg)		≤0.5
Hg (mg/kg)		≤0.1
Ni (mg/kg)		≤15
Pb (mg/kg)		≤10
Zn (mg/kg)		≤60

아그로펠릿과 관련된 품질기준을 살펴보면, 오스트리아에 압축역새에 관련된 규격이 있으며, 프랑스에서는 Table 6-1-1과 같이 FCBA에서 아그로펠릿의 품질 기준을 규정하고 있다.

한편, 우리나라에는 Table 6-1-2와 같은 목재펠릿 품질규격이 있으며, 유럽에서는 그동안 독일의 DINplus 규격이 유럽의 목재펠릿 규격의 대표로 이용되어 오다 최근에 Table 6-1-3과 같은 목재펠릿 품질규격이(ENplus)이 마련되고 있는 실정이다.

Table 6-1-2. Specifications for Korean wood pellet quality standards.

Specifications	1st grade	2nd grade	3rd grade	4th grade
Dimensions	D=6-8mm L≤32mm	D=6-8mm L≤32mm	D=6-8mm L≤32mm	D=6-8mm L≤32mm
Moisture content (%)	≤10	≤10	≤15	≤15
Net caloric value (MJ/kg)	≥18.0	≥18.0	≥16.9	≥16.9
Bulk density (kg/m ³)	≥640	≥600	≥550	≥500
Mechanical durability (%)	≥97.5	≥97.5	≥95	≥95
Ash content (%)	≤0.7	≤1.5	≤3.0	≤6.0
Amount of fines afetr production (%)	<1.0	<1.0	<2.0	<2.0
Cl (%)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
N (%)	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
S (%)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

목재펠릿 규격과 아그로펠릿 규격에서는 회분과 발열량에서 큰 차이를 보이고 있다. 아그로펠릿은 원료의 특성 상 회분이 많이 존재하므로 Agro+는 5% 이하, Agro는 7% 이하로 높게 규정되어 있다. 또한 회분의 양은 발열량에도 영향을 미치게 되므로 이들에 대한 기준도, Agro+가 15.5MJ/kg 이상, Agro가 14.7MJ/kg으로 낮게 규정되어 있다.

원소분석치에 대해서도 목재펠릿의 규격과 큰 차이를 보이고 있는데, Agro+가 염소는 0.2% 이하, 질소는 1.5% 이하, 유황은 0.2% 이하로서, ENplus-B가 염소는 0.03% 이하, 질소는 1.0% 이하, 유황은 0.04% 이하로 규정하는 것에 비해 높게 규정되어 있다.

펠릿 제조장치 동향

○ 미국

- '70년 유가급등시대에 사료용 펠릿제조기술을 기초로 하여 세계최초로 목재 펠릿연료를 개발 하였으나, 이후 유가가 안정되자 목재 펠릿연료에 대한 관심이 격감하여 별다른 기술개발이 이

루어지지 못하였음.

- 약 40여개의 목재 펠릿연료 생산 공장이 있고, 펠릿제조장치의 대표적인 생산회사는 Andritz Sprout Bauer와 CPM임.

○ 일본

- 교토의정서 발표와 함께 목재 펠릿연료의 제조 기술에 관심이 고조되어 관련기술에 대한 개발이 활발히 이루어지고 있지만, 유럽의 기술을 도입하는 수준임.

- '82년 목재 펠릿연료를 생산하기 시작하여 80년도 중반 30개소 가동 후 유가안정으로 3개소만 가동하다 현재 50개소 가동 중이며, 펠릿제조장치의 생산회사는 후지공업정도임.

○ 독일

- 발전된 기계산업의 강점을 바탕으로 높은 수준의 기술을 보유하고 있음.

- 목재펠릿 생산 공장은 '03년 14개에서 '07년 21개로 증가하였고, 생산회사는 Flat Dies형태로는 Kahl사 , Ring Dies형태로는 Munch 등이 있음.

○ 이탈리아

- 유럽에서 목재펠릿 연료시장이 가장 빠르게 성장하고 있는 국가로서 기술과 노하우가 매우 우수함.

- 목재 펠릿연료 시장규모는 독일이나 오스트리아를 능가하는 55만톤 정도로, 생산회사는 Macchina davanti 등이 있음.

○ 스웨덴

- 산림부국으로서 목재 펠릿연료 제조와 사용에 대해서 많은 노력을 기울여왔으며, 목재 펠릿연료를 이용하는 열병합발전 및 대형 산업용 보일러 제작기술에서 높은 수준의 기술력을 보유함.

- 목재 펠릿연료 시장규모는 '06년에 160만톤 이상 증가하며 지속적인 상승추세이고, 난방형태 점유율에서도 다른 나라에 비해 높은 편이며, 생산회사는 SPC사 등이 있음.

Table 6-1-3. Specifications for European wood pellet quality standards.

Property class /Analysis method	Unit	A1	A2	B
Diameter, D ^a and Length L ^b , prEN16127	mm	D06, 6 ± 1; 3,15<L<40 D08, 8 ± 1 3,15<L<40	D06, 6 ± 1; 3,15 <L<40 D08, 8 ± 1; 3,15 <L<40	D06 6 ± 1; 3,15 <L<40 D08 8 ± 1; 3,15 <L<40
Moisture, M, EN14774-1, EN14774-2	as received, w-% wet basis	M10 <10	M10 <10	M10 <10
Ash, A, EN14775	w-% dry	A0.7 <0,7	A1.5 <1,5	A3.0 <3,0
Mechanical durability, DU, EN15210-1	as received, w-%	DU97.5 >97,5	DU97.5 >97,5	DU96.5 >96,5
Fines at factory gate in bulk transport (at the time of loading) and in small (up to 20 kg) and large sacks (at time of packing or when delivering to end-user), F, prEN15210-1	w-% as received	F1.0 <1,0	F1.0 <1,0	F1.0 <1,0
Additives ^c	w-% dry	< 2 w-% Type and amount to be stated	< 2 w-% Type and amount to be stated	< 2 w-% Type and amount to be stated
Net calorific value, Q, EN14918	as received, MJ/kg or kWh/kg	Q16.5, 16,5 ≤ Q ≤ 19 or Q4.6, 4.6 ≤ Q ≤ 5.3	Q16.3, 16,3 ≤ Q ≤ 19 or Q4.5, 4.5 ≤ Q ≤ 5.3	Q16.0, 16,0 ≤ Q ≤ 19 or Q4.4, 4.4 ≤ Q ≤ 5.3
Bulk density, BD, EN 15103	kg/m ³	BD600 >600	BD600 >600	BD600 >600
Nitrogen, N, prEN 15104	w-% dry	N0.3 <0,3	N0.5 <0,5	N1.0 <1,0
Sulphur, S, prEN15289	w-% dry	S0.03 <0,03	S0.03 <0,03	S0.04 <0,04
Chlorine, Cl, prEN 15289	w-% dry	Cl0.02 <0,02	Cl0.02 <0,02	Cl0.03 <0,03
Arsenic, As, prEN 15297	mg/kg dry	< 1	< 1	< 1
Cadmium, Cd, prEN 15297	mg/kg dry	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Chromium, Cr, prEN 15297	mg/kg dry	< 10	< 10	< 10
Copper, Cu, prEN 15297	mg/kg dry	< 10	< 10	< 10
Lead, Pb, prEN 15297	mg/kg dry	< 10	< 10	< 10
Mercury, Hg, prEN 15297	mg/kg dry	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Nickel, Ni, prEN 15297	mg/kg dry	< 10	< 10	< 10
Zinc, Zn, prEN 15297	mg/kg dry	< 100	< 100	< 100
Ash melting behaviour ^d , prEN15370	°C	Should be stated	Should be stated	Should be stated

^a Selected size of pellets to be stated.

^b Amount of pellets longer than 40 mm can be 1 w-%. Maximum length shall be < 45 mm.

^c Type (e.g. starch, corn flour, potato flour, vegetable oil)

^d All characteristic temperatures (shrinkage starting temperature (SST), deformation temperature (DT), hemisphere temperature (HT) and flow temperature (FT) in oxidized conditions should be stated.

제 2절 고효율 펠릿보일러 연구 동향

- 해외 농업부산물 펠릿 보일러 시장에 대한 정확한 정보는 없으나, EU의 56개 펠릿공장에서 생산되는 180,000톤의 MBP(Mixed Biomass Pellet)가 가정용, 지역난방 그리고 발전용으로 사용됨.(MBP GENERAL FRAMEWORK-Agricultural University of Athens)
- EU국가들의 2008년도 목재펠릿 보일러 공급현황 : 독일-140,000대, 스웨덴-120,000대, 오스트리아-63,000대, 이탈리아-700,000대(펠릿 스토브)
 - 참고문헌: Pellet Market Overview Report : www.pelletsatlas.info
- 세계 목재펠릿 생산은 2008년 10~14백만톤으로 추정(지난 3년간 3배 성장)되며, 최근 미국을 중심으로 초대형 목재펠릿 생산시설이 증가 추세
- EU는 재생에너지 목표(2020년 20%)달성을 위해 2020년까지 EU 목재펠릿 시장이 26백만톤에 이를 전망으로, 목재펠릿의 가격경쟁력, 기술력 확보를 위해 탄소세, 부가세 감면, 보일러 열효율 향상에 노력하고 있음.

제 3절 펠릿 제조장치 연구 동향

미국의 경우 '70년 유가급등시대에 사료용 펠릿제조기술을 기초로 하여 세계최초로 목재펠릿연료를 개발하였으나 이후 유가가 안정되자 목재펠릿연료에 대한관심이 격감하여 별다른 기술개발이 이루어지지 못하였음

약 40여개의 목재펠릿연료 생산공장이 있고, 펠릿제조장치의 대표적인 생산회사는Andritz Sprout Bauer와 CPM임

일본의 경우 교토의정서 발표와 함께 목재펠릿연료 제조기술관심이 고조되어 관련기술에 대한 개발이 활발히 이루어지고 있지만, 유럽의 기술을 도입하는 수준임

'82년 목재펠릿연료를 생산하기 시작하여 80년도 중반 30개소 가동 후 유가안정으로 3개소만 가동하다 현재 50개소 가동 중이며, 펠릿제조장치의 생산회사는 후지공업정도임.

독일의 경우 발전된 기계산업의 강점을 바탕으로 높은 수준의 기술보유하고 있음

목재펠릿 생산공장은 '03년 14개에서 '07년 21개로 증가하였고, 생산회사는 Flat Dies형태로는 Kahl사 , Ring Dies형태로는 Munch등이 있음

이탈리아의 경우 유럽에서 목재펠릿 연료시장이 가장 빠르게 성장하고 있는 국가로서 기술과 노하우가 매우 우수함

목재펠릿연료시장규모는 독일이나 오스트리아를 능가하는 55만톤 정도로, 생산회사는

Macchina davanti 등이 있음

스웨덴의 경우 산림부국으로서 목재펠릿연료제조와 사용에 대해서 많은 노력을 기울여왔으며, 목재펠릿연료를 이용하는 열병합발전 및 대형 산업용 보일러 제작기술에서 높은 수준의 기술력을 보유함.

목재펠릿연료시장규모는 '06년에 160만톤 이상 증가하며 지속적인 상승추세이고, 난방형태 점유율에서도 다른 나라에 비해 높은 편이며, 생산회사는 SPC사등이 있음

제 7 장 연구시설·장비 현황

활용목적	기자재 품목	시설 및 장비 정보	활용 분야
펠릿보일러 실험	온도기록계	YOKOGAWA, MV1000	온도 측정
	연소효율측정기	KANE, km425	배기가스 측정
	오실로스코프	FLUKE, 125/008S	프로그램 입력, 오류신호등 측정
펠릿 제조장치	적외선 온도계	JT-500	온도 측정
	진동측정기	VB-8201HA	진동 측정
	회전계	DT-2234B	회전수 측정
	수분측정기	MB23, OHAUS	수분 측정
	노트북	ASUS, N43JQ-VX002V	데이터 판단
	미세먼지측정 장치	AIRY TECH, P311	집진효율성 판단
전처리 기술개발	데이터로그	16채널	온도 측정
	연소가스분석기		연소효율 측정

제 8 장 참고문헌

1. 권구중, 김남훈, and 차두송. (2009) 국내 시판중인 목재펠릿의 특성, *Journal of Forest Science* 25, 127-130.
2. 권성민, 조재현, 이성재, 권구중, 황병호, 이귀현, 한규성, 차두송, and 김남훈. (2007) 산불피해 소나무재의 목질펠릿으로의 이용가능성 평가, *목재공학* 35, 14-20.
3. 류재윤, 강찬영, 이응수, 서준원, 이현중, and 박현. (2010) 국내산 낙엽송의 톱밥 유형에 따른 펠릿특성에 관한 연구, *목재공학* 38, 49-55.
4. 신수정. (2009) 농업부산물인 산업용 대마 (*Cannabis sativa* L.) 목부를 이용한 고밀화펠릿 연료, *한국자원식물학회지* 22, 293-298.
5. 양인, 오세창, 안세희, 최인규, 김용현, 이수민, and 한규성. (2011) 기술자료 (技術資料): 바이오디젤 생산 부산물인 유채박 및 유채대를 이용한 펠릿연료의 제조 및 품질 평가, *한국폐기물자원순환학회지* 28, 89-96.
6. 한규성. (2012) 기획특집: 목질계 바이오매스 에너지화; 목재펠릿 산업의 동향과 전망, *공업화학전망* 15, 54-61.
7. 한규성 : 목질바이오매스를 이용한 펠릿연료의 제조, 한국신·재생에너지학회 2006년도 추계학술대회논문집, pp. 521-524 (2006)
8. 한규성, 최돈하 : 포플러로부터 고밀화연료의 제조, 임산에너지, Vol. 21, No. 3, pp. 59-65 (2002).
9. 이수민, 이오규, 안병준, 최석환, 조성택, 김외정 : 저탄소녹색성장시대 청정에너지 목재펠릿, 산림과학속보, 국립산림과학원, pp. 09-02 (2009).
10. 국립산림과학원 : 목질펠릿 품질 규격, 국립산림과학원 고시 제 2009-2호 (2009).
11. 한규성 : 한국 펠릿산업의 현황과 전망, 환경미디어, No. 269, pp. 62-64 (2011).
13. 류재윤, 강찬영, 이응수, 서준원, 이현중, 박현 : 국내산 낙엽송의 톱밥 유형에 따른 펠릿특성에 관한 연구, 목재공학회지, Vol. 38, No 1, pp. 49-55 (2010)
14. 연익준, 조병렬, 신수정, 한규성, 조중식, 김광렬 : 소나무 임목 폐기물로 제조한 목질펠릿 특성 - 목부와 뿌리 비교, 한국폐기물자원순환학회지, Vol. 27, No. 3, pp. 243-247 (2010)
15. Obernberger I. and Thek, G. : Physical characterization and chemical composition of

- densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour, *Biomass and Bioenergy* Vol 27, pp. 653–669 (2004)
16. Wach, E. and Bastian, M. : Final report on producers, traders and consumers of mixed biomass pellets, Baltic Energy Conservation Agency (2009).
 17. Yang, I., H.S. Chang, S.C. Oh, S.H. Ahn, I.G. Choi, Y.H. Kim and G.S. Han. 2013. Effects of binder addition and immersion treatment on the qualities of rape stalk-based agropellts. *J. of Korean Society of Waste Management* (in Review, in Korean). .
 18. Yang, I., Ahn, S., Choi, I., Kim, H. Y., and Oh, S. (2009) Adhesives formulated with chemically modified okara and phenol - resorcinol - formaldehyde for bonding fancy veneer onto high-density fiberboard, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 15, 398–402.
 19. Yang, I., Ahn, S., Choi, I.-g., Kim, H.-Y., and Oh, S. (2009) Adhesives formulated with chemically modified okara and phenol - resorcinol - formaldehyde for bonding fancy veneer onto high-density fiberboard, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 15, 398–402.
 20. Yang, I., Kuo, M., and Myers, D. J. (2006) Bond quality of soy-based phenolic adhesives in southern pine plywood, *Journal of the American Oil Chemists' Society* 83, 231–237.
 21. Yang, I., Kuo, M., Myers, D. J., and Pu, A. (2006) Comparison of protein-based adhesive resins for wood composites, *Journal of Wood Science* 52, 503–508.
 22. Yang, I., and Myers, D. J. (2005) Physical Properties of Hybrid Poplar Flakeboard Bonded with Alkaline Phenolic Soy Adhesives, *목재공학* 33, 66–75.
 23. Yang, K., Wang, X., and Wang, Y. (2007) Progress in nanocomposite of biodegradable polymer, *JOURNAL OF INDUSTRIAL AND ENGINEERING CHEMISTRY-SEOUL-* 13, 485.
 24. Yeoh, S., Shi, J., and Langrish, T. A. G. (2008) Comparisons between different techniques for water-based extraction of pectin from orange peels, *Desalination* 218, 229–237.
 25. Yoshie-Stark, Y., Wada, Y., Schott, M., and Wäsche, A. (2006) Functional and

bioactive properties of rapeseed protein concentrates and sensory analysis of food application with rapeseed protein concentrates, *LWT-Food Science and Technology* 39, 503-512.

26. Yoshie-Stark, Y., Wada, Y., and Wäsche, A. (2008) Chemical composition, functional properties, and bioactivities of rapeseed protein isolates, *Food chemistry* 107, 32-39.
27. Zabaniotou, A., Ioannidou, O., and Skoulou, V. (2008) Rapeseed residues utilization for energy and 2nd generation biofuels, *Fuel* 87, 1492-1502.
28. Zachariassen, C. B., Larsen, J., van den Berg, F., and Balling Engelsen, S. (2005) Use of NIR spectroscopy and chemometrics for on-line process monitoring of ammonia in Low Methoxylated Amidated pectin production, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 76, 149-161.
29. Zacherl, C., Eisner, P., and Engel, K.-H. (2011) In vitro model to correlate viscosity and bile acid-binding capacity of digested water-soluble and insoluble dietary fibres, *Food Chemistry* 126, 423-428.
30. Zhang, J., and Wang, Z.-W. (2013) Soluble dietary fiber from *Canna edulis* Ker by-product and its physicochemical properties, *Carbohydrate Polymers* 92, 289-296.
31. Zhang, M., Bai, X., and Zhang, Z. (2011) Extrusion process improves the functionality of soluble dietary fiber in oat bran, *Journal of Cereal Science* 54, 98-103.
32. Choi, Y. S., H. S. Choi, S. J. Kim and Y. J. Kim. 2011. A Study on the Properties Change and Safety of MSW RDF Pellet During a Long-time Storage in Silo. *Journal of*
33. GU, J. H. and S. C. Oh. 2012. Combustion Characteristics of Biomass and Refuse Derived Fuel. *Journal of the Korean industrial and engineering chemistry*. 23(5): 456-461.(In Korean)
34. Korea Energy Management Corporation. 2012. Handbook of Energy & Economic Statistics in Korea. 2012. (In Korean)
35. Kim, Y. J., K. Y. Kang, H. T. Park, D. H. Kuon, H. J. Han and W. Y. Lee. 2011. Prospect of Production and Utilization of Energy in Rural Sector and Strategies for Introducing Clean Energy Farming System. pp. 15~16.(In Korean)

36. Kim, J. J. and S. B. Kang. 2009. Performance Test and Flue Gas Characteristics of a 350kW Wood Pellet Boiler. Proceeding of the Society of Air-conditioning and Refrigeration Engineering Korea 2009 Summer Conference. pp. 167~171.(In Korean)
37. Lee, S. S., H. J. Kim and G. S. Choi. 2006. Experimental study on the melting characteristics of pellet fuel for a waste plastic firing boiler. Proceeding of the 32th KOSCO SYMPOSIUM. pp. 189-193. (In Korean)
38. Nam, W. J., B. J. Jung, H. T. Jomg, H. C. Yoon H. B. Kim, B. W. Lee, and N. T. Lee. 2009. Characteristics of Bio-solid Fuel Produced form the Drying/Granulation Plant of Sewage Sludge. Journal of Korean solid wastes engineering society. 26(5):438-446. (In Korean)
39. EN14961-6 : Solid biofuels - Fuel specifications and classes Part 6: Non-woody pellets for non-industrial use, European Committee for Standardization.
40. European Nation Committee for Standardization. 2003. Solid biofuels - Fuel specification and classes, CEN/TC 335-WG 2 N94. Brussels, Belgium.
41. Han, G.S., I. Yang and M. Sagong. 2012. Investigation of the basic properties of agricultural residues as a raw material for the production of agropellets and the evaluation of their fuel characteristics. J. of Korean Society of Waste Management 29(2):169-179 (in Korean).
42. European Bioenergy Network : Use of renewable energy and biomass in EU 27, 2006, <http://www.eubionet.net/default.asp?SivuID=25346> (2008) (Access date: May 05, 2010)
43. Association of Official Analytical Chemists : Analytical methods for chemical composition, 15th ed., Academic Press, Inc., Arlington, VA, pp. 313-319 (1990)
44. Holt, G.A., Blodgett, T.I. and Nakamura, F.S. : Physical and combustion characteristics of pellet fuel from cotton gin by-products produced by select processing treatments, Industrial Crops and Products, Vol. 24, No. 3, pp. 204-213 (2006)
45. Cordero, T., Marquez, F., Rodriguez=Mirasol, J. and Rodriguez, J. : Predicting heating values of lignocellulosics and carbonaceous materials from proximate analysis, Fuel, Vol. 80, pp. 1567-1571 (2001)

46. Voulgaraki, S., Balafoutis, A., Papadakis, G : MBP - General framework, Agricultural University of Athens
47. Centre for Biomass Technology : Straw for Energy Production - Technology, Environment, Economy. The document was prepared on behalf of the Danish Energy Agency, (1998)
48. CEN/TC 335-WG 2 N94 Final draft, November 2003 : Solid biofuels - Fuel specifications and classes, European Committee for Standardization(ed.). Brussels, Belgium

주 의

1. 이 보고서는 농림수산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림수산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.