

폐기물 고형연료의 성상과 배기가스 열회수시스템의 변화에 따른 SRF 열병합발전소 공정 해석에 관한 연구

김진홍* · 이찬**†

A Study on the Process Analyses of SRF Co-generation Plant with Changes of Solid Refused Fuel Composition and Exhaust-gas Heat Recovery System

Jin-Hong Kim*, Chan Lee**†

Key Words : SRF(폐기물 고형연료), SRF co-generation(SRF 열병합발전), Performance evaluation(성능평가), SRF property(SRF 성상), Exhaust-gas heat-recovery system(배기가스 열회수시스템), Process Optimization(공정 최적화)

ABSTRACT

The performance of SRF(Solid Refused Fuel) co-generation plant was analyzed with the changes of SRF property and exhaust-gas heat-recovery systems, and the process optimization of plant was studied accordingly. Performance analyses were carried out on a 20 MW-class SRF co-generation plant by using the Thermoflex code. From the present analysis results, as the moisture content of SRF is increased, the electrical power, the heat output and the overall efficiency of SRF co-generation plant are decreased. However, when the hydrogen content of SRF is increased by 5%, the overall efficiency of SRF co-generation plant is increased by 2%. According to the performance analysis results on co-generation plants with three different exhaust-gas heat recovery systems, CS(Condensing Scrubber), HTC(High Temperature Waste Condensing Heat Utilization) and HRS(Heat Recovery System), when the moisture content of SRF is changed, the co-generation plants with exhaust-gas heat-recovery systems were operated at much higher overall efficiencies than that with no exhaust-gas heat-recovery. Among three exhaust-gas heat-recovery options, the plant with HRS showed the highest overall efficiency of 104% based on LHV.

1. 서론

세계는 21세기 들어오면서 자원고갈, 에너지 소비증가, 온실가스 배출 증가 등 자원과 에너지, 그리고 환경 등의 위기를 동시에 직면하고 있다. 에너지원으로 사용되는 자원은 점점 고갈되어 2017년 말 기준 전 세계 자원 가채연수는 석유 50년, 가스 53년, 석탄 134년 수준으로 자원고갈 문제가 중요하게 대두되고 있다.¹⁾ 또한 화석연료 사용증가에 따른 온실가스 배출량의 증가로 지구는 기후변화 위기에 직면해 있다. 지구의 평균온도는 지난 133년간 0.85°C가 올랐으며, 우리나라의 경우에는 지난 100년간 1.5°C 상승하여 지구 평균의 약 2배에 가까운 수치로 온도가 상승하였다.²⁾

온실가스 감축 및 자원고갈 등의 문제를 해결하기 위해 유럽, 미국, 일본 등 선진국은 에너지의 사용측면에서 화석 연료를 줄이고 신재생에너지의 개발과 사용, 그리고 폐자원의 에너지화를 적극 추진하고 있다. 최근 국제적으로 가연성 폐기물의 고형연료화 사업, 유기성 폐기물의 바이오가스화 사업 등 폐자원 에너지화가 온실가스 감축 및 화력연료의 대체 수단으로 등장하고 있다. 또한 폐기물 에너지화 기술 개발 속도를 내고 있다.

폐기물 에너지는 기존 폐기물 매립지 포화, 소각시설 감소 등의 사유로 소각·매립 대신 폐기물 에너지화를 통한 다양한 에너지원으로 전환 노력이 필요하다. 그 방법 중 하나가 폐기물을 고형화하여 연료로 사용하는 것이다. 또한,

* 한국지역난방공사(Korea District Heating Corporation)

** 수원대학교 기계공학과(Department of Mechanical Engineering, University of Suwon)

† 교신저자, E-mail : clee@suwon.ac.kr

폐기물 에너지화와 함께 에너지의 효율적 이용 측면에서 발전소 등에서 연돌로 배출되는 배기가스 내에 회수가능한 많은 열과 수분이 존재함에 따라 열을 회수하여 에너지 효율을 향상시킬 수 있다.

따라서 본 연구에서는 폐기물 고형연료(Solid Refuse Fuel, 이하 SRF)를 연료로 사용하는 열병합 발전소를 대상으로 연료 수분량 변화에 따른 발전소 성능변화, 보일러 주 증기 운전방법에 있어 온도고정방식과 유량고정방식에 따른 성능변화, SRF 연료 원소별 수소성분 변화에 따른 성능변화와 배기가스 열회수 시스템 종류별 열수회량 및 발전소 종합효율을 분석하여 발전소 공정 최적화, 즉 플랜트 효율과 출력 등을 최적화하는 방법을 연구하는데 그 목적이 있다.

2. SRF 열병합발전소 공정 개요

2.1 계통 및 운전방법

SRF 열병합발전소의 계통은 Fig. 1과 같으며, SRF를 보일러 내에 투입하여 생산된 증기로 증기터빈을 이용해 전기를 생산하며 증기터빈에서 증기를 추가하여 열교환기에서 지역난방수와 열 교환을 통해 지역난방수를 가열, 생산된 열을 사용자에게 공급한다.

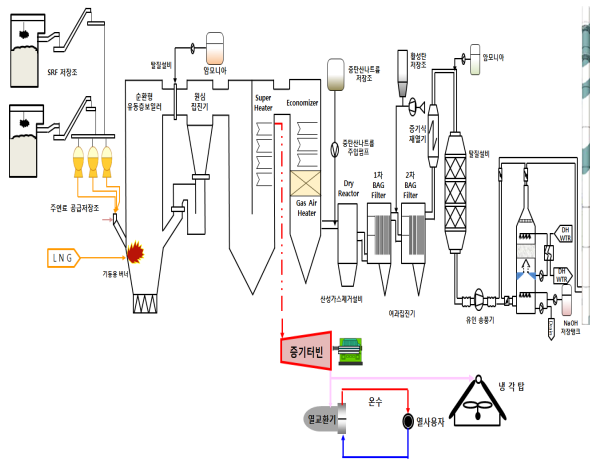


Fig. 1 SRF co-generation power plant schematic diagram

SRF 열병합발전은 보일러에서 생산된 증기로 열과 전기를 동시에 생산하는 운전방식으로 주요설비로는 연료 전처리설비, 보일러설비, 연소가스처리설비로 나누어진다. 연료 전처리설비는 반입 및 저장설비, 송출설비, 이송설비 투입설비 등으로 구성되고, 외부순환유동층 보일러에서 연소한 연소가스를 처리하는 연소가스처리설비로 구성되어 있다. 일반적으로 NOx 제거설비인 SCR에서 원활한 반응을 위해 연소가스를 약 200℃까지 승온하게 되며 이는 열손실로 이

어진다. 따라서 이러한 배기가스열을 회수하기 위한 열회수 시스템을 연돌 전단에 설치하여 현열과 잠열을 회수하여 지역난방수를 가열할 수 있다.³⁾

2.2 SRF 열병합발전소 특징

SRF 열병합발전소의 가장 큰 특징은 생활폐기물 등을 연료화한 고체연료를 사용하므로 LNG 및 유류 열병합발전소에 비해 환경설비 구성이 다르다. SRF 연료 특성상 연소시 다이옥신이 발생할 수 있으며, 연료 내 중금속이 함유되어 있어 이를 제거할 수 있는 설비가 추가로 필요하다. 일반적으로 열병합발전소 시스템 구성시 연료별 고려하는 오염물질을 보면 LNG는 질소산화물, 유류는 질소산화물, 황산화물, 먼지, SRF는 질소산화물, 중금속, 다이옥신, 산성가스, 먼지 등이다.

Fig. 1에서 보여지듯이, 일반적으로 SRF 열병합발전소는 탈질설비, 산성가스 제거설비, 여과집진기(중금속, 다이옥신, 먼지 등 제거) 등을 설치하여 환경오염을 방지하며, 특히 다이옥신의 경우에는 다이옥신 생성 자체를 억제하기 위해 일정한 연소 온도와 일정시간 이상의 체류시간을 보일러 노 내에서 유지되도록 한다.

또한, SRF에 포함된 염소(Cl)와 알칼리 성분(K, Na, Si 등)을 고려하여야 한다. 염소성분의 경우 보일러 튜브 내 고온부식을 일으킴에 따라 염소성분을 제거할 수 있는 설비를 두거나, 고온부식이 잘 이루어지는 온도 구간을 피하여야 한다. SRF 연소시 발생하는 알칼리 성분은 화학적 반응을 통해 소결(Sintering), 연소재 표면 코팅현상 등을 일으켜 큰 덩어리로 응집(Agglomerate)됨에 따라 SRF 보일러는 발생하는 연소재의 순환이 잘 되도록 하고, 연소로 내의 압력과 온도가 일정하게 지속적으로 유지될 수 있도록 해야 한다.

2.3 배기가스 열회수시스템

2.3.1 응축열 회수설비(Condensing Scrubber, CS)

주로 우드칩, SRF 보일러에서 배출된 연소가스가 선택적 촉매환원법 탈질설비(Selective Catalytic Reduction, SCR)를 거쳐 질소산화물을 저감하는 동안 가열된 연소가스를 응축하여 응축열을 지역난방수로 회수하는 계통에 많이 사용된다. 이러한 반응과정 속에서 응축수는 연소가스 속에 잔류 산성가스와 먼지를 부수적으로 제거할 수 있다.

응축열 회수설비는 Fig. 2와 같이 2단계(Lower Stage, Upper Stage)로 구성되며 1단 Scrubber는 Scrubber로 유입되는 배기가스에 NaOH 수용액을 분사하여 잔여 산성가스나 먼지 등을 제거하는 목적과 200℃의 고온가스를 단열 포화온도로 냉각시켜 2단 Scrubber에서 응축열을 높이는 역할을 한다. 수용성 유해가스(SOx, HCl)를 물과 흡수제로

중화, 흡수제거하며, NaOH에 의한 산성가스 흡수 반응식은 식 (1), (2)와 같다.⁴⁾

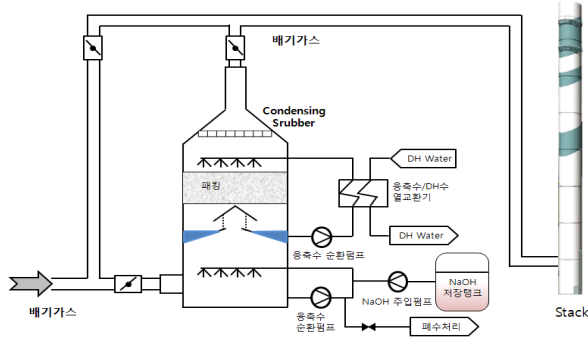
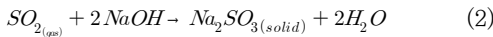
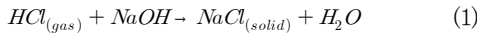


Fig. 2 Condensing scrubber schematic diagram



2단 Scrubber는 Scrubber 상부로 이동한 고온 다습한 배기가스에 저온의 수용액을 분사하여 배기가스 내 현열 및 잠열을 회수한다.

응축열 회수설비는 유럽 여러 국가에서 대용량으로 설치 및 운영 사례가 많으며, 국내에는 한국지역난방공사 광주전남 열병합발전소에서 설치 운영 중이다.

2.3.2 고온 배기가스 응축열 회수시스템

고온 배기가스 응축열 회수시스템(High Temperature Waste Condensing Heat Utilization, 이하 HTC)은 Fig. 3 과 같이 흡습성이 뛰어난 질산칼슘(Ca(NO₃)₂) 수용액을 흡수탑 배기가스에 분사하여 응축잠열과 현열을 회수하고 백연을 제거하는 설비이다.⁵⁾ 배기가스 내에 존재하는 수분을 직접 포집하므로 수분제거 효율이 75%로 높아 백연저감 효과가 우수하며, 배기가스 온도를 70 °C까지 낮추어 폐열을 회수하며 열효율을 약 10% 이상 상승시킨다.⁶⁾

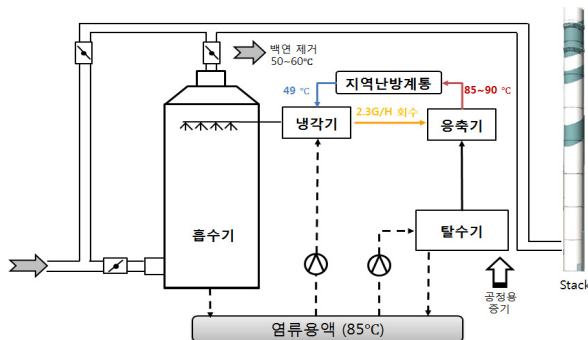


Fig. 3 HTC schematic diagram

단, 백연저감은 가능하지만 해외기술(독일 Kluft社)로 설치비용이 고가이며 흡습제인 질산칼슘 농도조절과 승온에 많은 시간이 소요되므로 기동정지가 잦은 플랜트에는 적용이 곤란하다.

국내에는 첨두부하보일러(Peak Load Boiler, PLB)의 연간 가동률이 높은 한국지역난방공사 김해지사에 설치·운영 중이며⁷⁾, 해외에는 독일 Berlin-Buch District Heating Plant의 LNG 증기보일러 등에 설치하여 운영 중에 있다.

2.3.3 열회수 설비(Heat Recovery System)

열회수 설비(이하 HRS)는 Fig. 4와 같이 연도에서 배기가스를 추출하여 반응기에 유입시키면서 약품을 분사하는 방식으로 연소 배기가스는 반응기를 지나면서 먼지제거, 열회수, 수분 제거, SO₂ 제거가 진행된다.

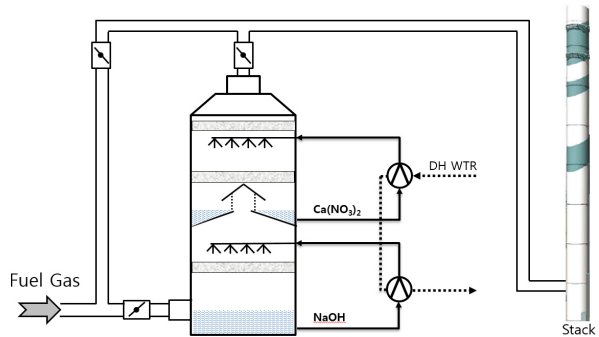


Fig. 4 HRS schematic diagram

알칼리 수용액(NaOH)을 분사하여 배기가스 중 오염물질 제거하는 단계와 질산칼슘 수용액(Ca(NO₃)₂)을 분사하여 배기가스 중 열회수 및 수분 제거단계, Mist Eliminator에서 외부로 배출되는 수분 차단(백연 제거)하는 3단계로 구성되어 있다.⁶⁾ 앞서 언급된 응축열 회수설비와 HTC의 미비점을 보완하고 성능개선을 위하여 국내기술로 연구하면서 한국지역난방공사 대구지사 우드칩 발전소에 소규모 용량의 Pilot설비를 설치하여 성능 검증을 완료하였다⁹⁾.

3. 성능해석 방법

3.1 조건 및 방법

연료성상이 SRF 열병합발전소 성능에 미치는 영향을 분석하기 위해 한국지역난방공사 광주전남 SRF 열병합발전소 열, 전기 동시생산 운전모드로 모델링을 수행하였으며, 주요해석 조건은 Table 1과 같다.

Table 1 Simulation conditions for SRF cogeneration plant

Items	Conditions
Common	- Ambient temperature : - 12 °C - Relative humidity : 60 %
Fuel	- Quantity : 19.46 ton/hr - LHV : 3,622 kcal/kg
Boiler	- Steam generation quantity : 92.8 ton/hr - Steam generation temperature : 475 °C
Steam turbine	- Power output : 18,643 kW
District Heating	- District Heating flow rate : 750 ton/hr - Heat output : 44.47 Gcal/hr

이러한 공정최적화를 위해서는 연료 성상, 열병합발전 사이클(Power Cycle), 배기가스 열회수시스템의 변화에 따른 성능변화해석이 필요하며, 이를 위해 발전소를 설계하고 성능을 진단하는 시뮬레이터인 미국 Thermoflow사가 만든 Thermoflex 를 사용하였다¹⁰⁾. 따라서 우선적으로 SRF 열병합발전소 성능분석을 위해 본 프로그램으로 한국지역난방공사에서 건설한 광주전남 SRF 열병합발전소 모델링을 수행하였으며, 본 프로그램에 내장되어 있지 않은 기기인 열회수시스템(CS, HTC, HRS)에 대하여는 in-house 프로그램(엑셀프로그램)을 통해 해석하고 성능해석 프로그램에 열교환기 형태로 입력하여 성능분석을 수행하였다. 더 나아가 SRF 열병합발전소 모델링 후 실제 운전 데이터를 비교하여 타당성을 검증하였고, 연료성상 변화 및 열회수시스템의 종류에 따른 SRF 열병합발전소 성능을 해석하여 비교하였다.

Themoflex 프로그램 내에 내장되어 있지 않은 기기인 열회수시스템(응축열 회수설비, HTC, HRS)에 대하여는 수계산을 통해 프로그램에 입력하여 해석하였다. 수계산 방법은 열회수시스템 입구와 출구측 배기가스 현열량 차이와 열회수시스템 입구측 배기가스 내의 수분량에 열회수시스템 Performance Table에 따른 고유 수분 제거율, 즉 응축열 회수설비의 경우 31%³⁾, HTC 75%¹¹⁾, HRS 83%⁸⁾를 고려하여 잠열 회수량을 계산, 현열 및 잠열 회수량을 합산하여 열생산량을 산정하였으며, 이를 성능해석 프로그램에 입력하는 방식을 적용하였다. 발열량은 SRF 폐기물을 연료로 사용하여 수증기가 온전히 외부로 배출되는 대부분의 고형연료 발전소에서는 주로 사용하는 저위발열량을 사용하였다¹²⁾.

3.2 공정최적화 성능해석 모델링

본 연구에서는 한국지역난방공사 광주전남 SRF 열병합발전소 열, 전기 동시생산 운전모드에 대한 모델링을 수행하였으며, 보일러, 스팀터빈, 지역난방열교환기, 탈기기, 펌프, 밸브 등 주요 설비를 프로그램 내에 구성하고, 광주전남

SRF 열병합발전소 설계 데이터를 활용하여 모사하였으며, 해당 모델링의 성능변화가 실제 발전소 운전 자료와 가깝게 변화되는지 비교하였다.

또한, 앞에서 언급하였던 바와 같이 성능해석 프로그램에 내장되어 있지 않은 열회수시스템의 경우 엑셀프로그램을 통해 프로그램에 열교환기 형태로 입력하여 모델링하였으며, 계산 및 입력방법은 다음과 같다. 열회수시스템은 하나의 열교환기로 열회수량 계산을 위해서는 열회수시스템 입·출구 배기가스 온도 및 배기가스 성분별(이산화탄소, 산소, 수분 등) 유량 조건이 필요하다. 이에 따른 배기가스 성분 및 유량 등은 설계 데이터를 활용하였다.

열회수시스템의 입·출구 온도는 Condensing Scrubber 입·출구 온도차인 $\Delta T = 148^{\circ}\text{C}$ 로 고정하여 동일한 조건에서 열회수량을 계산하였으며, 여기에 열회수설비 별 수분제거율 특성을 반영하였다. 이를 통해 열회수시스템 입·출구 배기가스 성분별 온도 및 유량 조건 파악 및 열회수량 계산이 가능하며, 모델링 후 실제 운전 데이터를 비교하여 타당성을 검증하기 위해 해당 발전소 설계 및 실제 운전 데이터를 예측결과와 비교하였으며 종합효율이 각각 1.60%, 0.26% 차이가 있음을 알 수 있었다.

따라서 상용 성능해석 프로그램을 이용한 모델링이 실제 운전 성능에 더욱 가깝게 모사되고 최대 상대오차가 0.3% 이내인 양호한 결과를 얻음으로써 신뢰성을 확인하였다.

4. 공정최적화 성능해석

4.1 연료 수분량 및 운전방법에 따른 성능변화

SRF 열병합발전에서 연료 수분량이 1%에서 25%까지 변동함에 따라 성능변화를 열회수시스템이 운전되지 않은 상태에서 해석하였으며, SRF 발전소의 정격운전을 위해 연료 인입열량을 동일하게 유지하면서 증기터빈으로 인입되는 증기의 온도, 유량을 각각 설계 값에 고정하여 운전하는 2가지 방식으로 검토하였다.

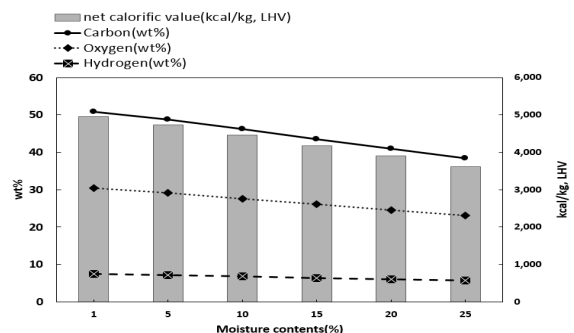


Fig. 5 Net calorific value & elemental analysis according to fuel moisture contents

연료 수분량의 변화에 따라 원소 조성 및 계산식에 따른 발열량¹³⁾ 변화를 해석한 결과 Fig. 5와 같이 연료 수분량이 5% 증가할 때마다 약 7.7%씩 저위발열량이 감소되며, 탄소(Carbon), 수소(Hydrogen) 등 연료의 각종 원소는 수분의 증가 비율만큼 감소됨을 알 수 있었다.

다음으로 연료 수분량이 변화함에 따라 스팀터빈으로 들어가는 증기 유량을 고정하여 운전하는 방식과 증기 온도를 고정하여 운전하는 방식의 성능변화를 분석한 결과는 Table 2 및 Table 3 과 같았다. 열효율은 열생산량을 투입연료의 발열량으로 나눈 값이며, 전기효율은 전기생산량을 투입연료의 발열량으로 나눈 값으로 열효율과 전기효율을 더한 값을 종합효율이라 한다.

연료의 수분량이 5%씩 증가함에 따라 배기가스량이 1.2%에서 3%까지 증가함을 알 수 있었는데, 이는 수분량 증가시 연료 입열량을 맞추기 위해 연료가 추가 투입되면서 수분을 제외한 나머지 원소, 즉 탄소, 산소, 질소 등이 수분량이 적을 때보다 많아져 연소를 위한 필요 공기량이 많아짐에 그 원인이 있음을 알 수 있었다.

그리고 연료 수분량이 25% 이하에서는 연료 수분량이 낮아질수록 증기 유량을 고정하여 운전하는 것이 증기 온도를 고정하여 운전하는 것보다 전기효율이 높아짐을 확인하였다.

따라서 일반적인 연료 수분량이 10% 이하인 성형 SRF나 25% 이하인 비성형 SRF에서 연료 수분량이 낮을수록 증기 유량을 수분량 25% 설계유량에 고정하는 방식의 운전이 증기 온도를 고정하는 방식보다 전기효율이 높음을 확인하였다. 단, 열효율의 경우에는 전기효율과 반대로 연료 수분량이 25% 이하에서는 증기 유량을 고정하여 운전하는 것이 증기 온도를 고정하여 운전하는 것보다 열효율이 낮아짐을 확인하였다. 그러나, 연료 수분량이 동일한 경우 운전방법과 관계없이 전기효율의 증감만큼 열효율이 변동되어 종합효율은 동일함을 확인하였다.

4.2 연료의 수소함량에 따른 성능변화

연료 성상 중 수소량 변화에 따른 SRF 열병합발전의 성능해석을 수행하였으며, HRS 열회수시스템 운영 시 동일한 수분량과 입열량 조건으로 성능변화를 해석, 비교 분석하였다.

수소 함량이 높아질수록 배기가스 내 수분량이 많아짐에 따라 잠열 회수량이 증가하였다. 수소함량이 높아질수록 발열량이 증가하여 연료 투입량이 감소하고 이에 따라 연소가스량 역시 감소함에 따라 연소를 위한 차가운 외부공기량이 줄어들어 기인하였다.

Table 2 Co-generation plant performance in a fixed steam temp. condition

Moisture contents(%)	1	5	10	15	20	25
fuel input(t/hr)	14.14	14.81	15.74	16.79	18.00	19.39
heat input(Mcal/s)	19.49	19.49	19.49	19.49	19.49	19.49
steam flow(t/hr)	93.88	93.74	93.55	93.33	93.07	92.77
air flow(t/hr)	134.3	135.5	137.2	139.1	141.3	143.9
power output(MW)	18.87	18.84	18.8	18.754	18.701	18.638
heat output(Gcal/hr)	44.92	44.86	44.78	44.69	44.58	44.46
power efficiency(%)	23.05	23.01	22.96	22.91	22.84	22.77
heat efficiency(%)	63.8	63.71	63.60	63.47	63.32	63.15
Total efficiency	86.85	86.72	86.56	86.38	86.16	85.92

Table 3 Co-generation plant performance in a fixed steam flow condition

Moisture contents(%)	1	5	10	15	20	25
fuel input(t/hr)	14.14	14.81	15.74	16.79	18.00	19.39
heat input(Mcal/s)	19.49	19.49	19.49	19.49	19.49	19.49
steam flow(t/hr)	92.79	92.79	92.79	92.79	92.79	92.79
air flow(t/hr)	134.3	135.5	137.2	139.1	141.3	143.9
power output(MW)	19.07	19.02	18.94	18.85	18.76	18.63
heat output(Gcal/hr)	44.74	44.71	44.66	44.60	44.53	44.46
power efficiency(%)	23.29	23.23	23.13	23.03	22.91	22.76
heat efficiency(%)	63.55	63.51	63.44	63.35	63.26	63.16
Total efficiency	86.85	86.74	86.57	86.38	86.17	85.92

열 생산량 역시 HRS 운영시 연료 수소함량이 증가할수록 상승하고, Fig. 6과 같이 수소함량이 5%p 증가시 약 2%p의 종합효율 상승효과가 있었다.

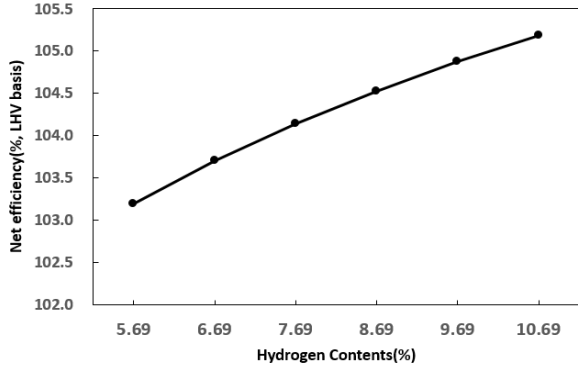
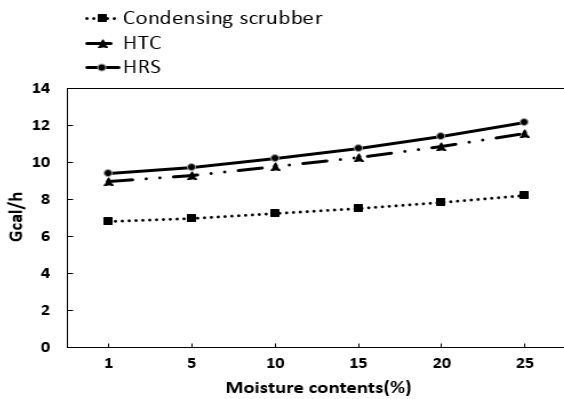


Fig. 6 Co-generation plant performance with HRS according to hydrogen contents

4.3 배기가스 열회수설비 종류별 성능변화

응축열 회수설비(CS), 고온 배기가스 응축열 회수시스템 (HTC), 열회수설비(HRS)별로 연료 내 수분량을 고려한 열



(a)

회수량과 종합효율을 분석하였다.

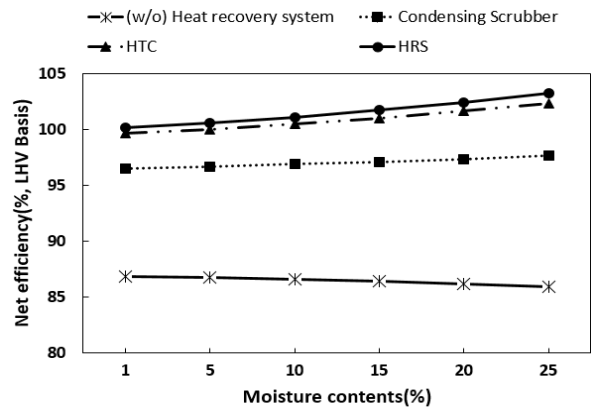
증기유량을 고정하는 방식을 기본 모델로 하였으며, 사용 자에 공급 및 회수되는 지역난방수 온도는 설계와 동일하게 각각 100℃, 40℃인 조건으로 하였다.

배기가스 열회수설비별 연료 수분량 변화에 따른 열회수 량을 분석한 결과 응축열 회수설비는 연료 수분량 변화에 따라 수분량 1% 시 6.82 Gcal/hr, 수분량이 25% 시 8.69 Gcal/h로서 수분량이 증가함에 따라 최대 약 27%의 열회수 량이 증대되었으며, HTC는 46%, HRS는 49% 증대함을 Fig. 7과 같이 확인할 수 있었다.

그리고 연료 수분량이 많아질수록 열회수시스템을 통한 잠열 회수량이 많아져 SRF 열병합발전 전체 시스템에서의 열출력이 증대, 열효율이 개선됨에 따라 종합효율이 증가함 을 알 수 있었다. 3가지 열회수시스템 중 HRS운전 시 저위 발열량 기준 종합효율이 Table 4와 같이 최대 약 103%로 가 장 높았다.

5. 결 론

본 논문은 한국지역난방공사 20MW급 SRF 열병합발전소 를 대상으로 폐기물 고형연료의 성상 및 배기가스 열회수시



(b)

Fig. 7 (a) Heat Output and (b) net efficiency comparison by exhaust-gas heat-recovery systems

Table 4 Co-generation plant performance with HRS

Moisture contents(%)	1	5	10	15	20	25
ST Extraction pressure (bar)	1.62	1.60	1.58	1.55	1.51	1.48
ST outlet pressure (bar)	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36
DH flow rate (ton/hr)	907.5	912.8	920.1	928.2	937.8	948.6
DH heater inlet temp. (℃)	50.7	51.03	51.47	51.97	52.53	53.17
power output(MW)	19.08	19.03	18.96	18.88	18.79	18.69
heat output(Gcal/h)	54.14	54.45	54.89	55.37	55.94	56.59
power efficiency(%)	23.30	23.25	23.16	23.07	22.95	22.83
heat efficiency(%)	76.89	77.34	77.96	78.65	79.45	80.38
Total efficiency(%)	100.20	100.59	101.12	101.72	102.40	103.21

시스템이 SRF 열병합발전소 성능에 미치는 영향을 연구하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, SRF 고형연료의 수분함유량은 발열량과 밀접한 관계가 있다. 수분함유량과 발열량은 서로 반비례하며, 열회수 설비가 없는 경우 수분 함유량이 증가할수록 전기 및 열출력이 감소하고 종합효율이 감소하였다. 이는 동일 연료 입열량 조건임에도 불구하고 수분량이 증가함에 따라 연료 투입량이 증가하면서 필요 연소 공기량이 증가함에 원인이 있었다.

둘째, 증기터빈 운전방식에 있어 주증기 온도고정 방식과 주증기 유량고정방식 비교 분석한 결과, 주증기 유량고정 방식이 연료 수분량 1%인 경우와 수분량 25%인 경우와 비교시 전기효율이 최대 0.24%p 높음을 확인하였다. 이는 수분량이 낮아질수록 증기터빈으로 인입되는 온도가 상승하면서 엔탈피 상승으로 열역학적 전기 생산 사이클이 개선되기 때문이다. 따라서 주증기 유량을 고정하는 운전방식이 전기효율을 극대화함에 있어 유리하다고 판단된다.

셋째, 배기가스 열회수시스템인 Condensing Scrubber, HTC, HRS 설치 후 운전 시 플랜트 종합효율이 상승하는 것을 확인하였다. 이는 대기 중에 배출되는 배기가스에 포함된 현열 및 잠열을 열회수시스템이 회수하기 때문이다. 따라서 SRF 열병합발전에는 열회수설비를 설치, 운영하는 것이 열효율 측면에서 유리하다고 판단된다. 단, HRS 시스템은 Pilot 설비로 설치, 운영된 결과를 반영하였기에 연구의 한계가 있었으므로 향후 Scale-up하여 미세먼지 등 대기오염물질 저감효과는 물론, 백연 저감효과 등에 대해서 보다 많은 연구가 필요하다.

넷째, 연료내 수소 함량을 변화시켜가며 해석한 결과, 수소 성분이 배기가스 수분량 증가에 기여하여 열회수시스템에서 잠열 회수량을 증가시키므로 수소함량 증가 시 종합효율이 상승함을 알 수 있었다.

본 연구결과로 부터 공정최적화란 열병합발전소의 전기 생산, 열생산 및 배열회수 등 다양한 공정에 최적의 조건을 부여하여 최대출력과 최고의 효율을 얻고자하는 일련의 과

정을 의미하므로, 국내 많은 발전소, 보일러, 소각장 등에서 최종 굴뚝을 통하여 대기중으로 버려지는 연소가스 내 폐열을 회수할 경우 에너지 절감효과는 물론 대기오염물질 저감에도 기여할 것으로 판단된다.

References

- (1) BP, 2018, "BP Statistical Review of World Energy 67th edition," pp. 12~36.
- (2) IEA, 2017, "World Energy Outlook 2017," pp. 64~65.
- (3) Gwangju-Jeonnam SRF CHP total energy supply facility Operation & Maintenance Manual
- (4) "Gwangju-Jeonnam Total energy supply facility Condensing Scrubber Operation books", pp. 10~15.
- (5) "KDHC Gimhae Office HTC completion books (Operation Manual)," pp. 31~33.
- (6) Kim T. H, 2016, "KDHC Gimhae Office HTC performance test results," pp. 3~4.
- (7) Gimhae Peak Load Boiler Operation Manual & Maintenance Manual
- (8) Park G. S, "Small business technology development project results Equipment development for the white smoke & pollutant reduction and energy efficiency improvement," pp. 88~102.
- (9) Daegu wood-chip CHP total energy supply facility Operation & Maintenance Manual
- (10) Thermoflex Software Operation Manual (Steam Master, Steam Pro, Thermoflex 22)
- (11) Hang B. J, 2015, "KDHC Gimhae Office heat production cost reduction results of HTC operation mode development and application," pp. 6~7.
- (12) Notice on Energy efficiency measurement and calculation methods and procedures "Ministry of Environment Notice 2019-62"
- (13) Seung-Mi Jeong, Yong-Jin Kim 2016, Standardization of the Major Elements and Estimation of Energy Contents by Municipal solid wastes, New&Renewable Energy, Vol. 12.