

## 중질잔사유 적용시 발전플랜트의 에너지 수지 및 성능 변화 분석

박호영\* · 김태형

한전전력연구원

(2008년 5월 26일 접수, 2008년 6월 30일 수정, 2008년 7월 3일 채택)

### Analysis on the Energy Balance and Performance Variation of the Power Plant by using the Heavy Residual Oil

Ho Young Park\* and Tae Hyung Kim

Korea Electric Power Research Institute

(Received 26 May 2008, Revised 30 June 2008, Accepted 3 July 2008)

#### 요 약

신에너지원으로 주목받고 있는 중질 잔사유를 기존 중유화력의 대체 연료로 사용하는 경우에 대하여 상용 해석코드로 플랜트의 에너지 및 물질 수지, 플랜트의 성능을 분석하였다. 국내 A 중유 화력발전소에 대한 플랜트 성능분석 모델을 구축하였으며 플랜트의 성능 및 효율 등에 대한 시뮬레이션 결과를 설계 및 실제 운전 데이터와 비교하여 그 건전성을 확인하였다. 중질 잔사유 적용에 대한 시뮬레이션 결과 출력은 315 MW로서 중유 적용시의 300 MW 보다 높게 나타났으며 플랜트 효율은 약간 감소함을 알 수 있었다. 외기온도 및 냉각수 온도, 배가스 순환량, 출력에 따른 열소비율의 민감도 분석으로부터 중질 잔사유 연소시의 최적 운전을 위한 기본 자료를 얻을 수 있었다.

**주요어** : 중질잔사유, 에너지 수지, 열소비율, 민감도 분석

**Abstract** — The numerical analysis of energy and material balance, and plant performance has been carried out when applying the heavy residual oil instead of heavy oil to the existing heavy oil power station. The performance analysis model has been constructed for A heavy oil power station in Korea, and the modeling results were compared with the design data in order to ensure the validity of the model, and further compared with the plant operation data. With the heavy residual oil, the simulation gave 315 MW in power output, which is higher than that of the heavy oil combustion, but the plant efficiency turned out to be lower. The sensitivity analysis of heat rate for the changes in cooling water and ambient temperature, flue gas recirculation and power output has provided valuable information for the optimal operation of the power station.

**Key words** : Heavy residual oil, Energy balance, Heat rate, Sensitivity analysis

#### 1. 서 론

석유자원을 전적으로 해외에 의존하고 있는 우리나라는 경제 수준의 향상으로 중질유의 소비가 급속히 감소되어온 반면에 경질 유류의 소비는 지속적으로 증가하

여 왔다. 또한 고유황 벙커 C유의 연소시 발생되는 대기오염 물질의 방지를 위하여 정부에서는 도심지역에서의 저급 중질유의 사용을 규제(환경부, 청정연료 등의 사용에 관한 고시 : 1996. 12. 21)하고 있어 관련 산업계에서는 사용 연료를 가스 및 경유 등으로 전환하고 있다. 이와 같이 중질유의 수요는 더욱 감소되고 반면, 다른 연료로서의 대체가 곤란한 LPG, 나프타, 휘발유 및 경유와 같은 고급 경질유 제품은 화학공업의 기초원료 및 수송연료로서 그 수요가 증가하고 있다.

\*To whom correspondence should be addressed.  
Korea Electric Power Research Institute  
Tel: 042-865-5342  
E-mail: hypark@kepri.re.kr

유류 제품별 수요와 공급의 심한 불균형을 해소하기 위하여 정유업계에서는 원유 정제시 유동상 촉매분해(FCC : Fluid Catalytic Cracking) 방법에 의해 감압증류공정을 거쳐 보다 많은 양의 경질 유분을 생산한다. 이 과정에서 중질 유분으로 하부에서 생성되는 것이 중질 잔사유(Heavy residual oil or Vacuum residue)이다<sup>[1]</sup>. 현재 국내 5개 정유사에서 생산되는 중질 잔사유는 약 20만배럴/일이며, 추가의 아스팔트 공정을 거쳐 도로 포장용의 아스팔트(Asphalt), 혹은 코크스(Cokes)로 전환되며, 잔사유 유동상 촉매분해공정(RFCC : Residue Fluid Catalytic Cracking), 열분해(Thermal Cracking) 공정, 수소화분해(Hydrocracking) 공정등과 같은 분해공정을 거쳐 경질 유분으로 전환되기도 한다. 그러나 이러한 추가적인 분해공정은 시설투자과 운전비 측면에서 경제적인 방법은 아니다.

이러한 중질잔사유는 현재 이태리를 비롯한 몇몇 국가에서 가스화 복합발전(IGCC : Integrated Gasification Combined Cycle) 플랜트의 연료로 사용되어지고 있다<sup>[2]</sup>. 현재 중질 잔사유 IGCC 공정기술의 신뢰도는 90% 이상 입증되어 있으며 2000년부터 대형플랜트의 건설, 운영이 급격히 증가하고 있다. 잔사유를 사용하는 IGCC 플랜트는 이태리의 Falconara(234 MW), Priolo-Gargallo ISAB(521 MW), Saras(550 MW) 발전소와 네덜란드의 Pernis(125 MW) 발전소가 있으며 석유코크스를 사용하는 스페인 Puertollano(298 MW), 미국 El Dorado(40 MW) 등에서 IGCC 발전소가 상업 운전중이거나 현재 시운전중에 있다. 일본은 Negishi(431 MW) Nippon Pet Refining에서 2003년 6월 상업화운전을 시작하였으며, 중국은 990톤/일급 가스화 플랜트를, 싱가포르는 630톤/일, 1019톤/일급 중질잔사유 IGCC 플랜트를 2000년부터 가동중에 있다. 이태리는 전력비용에 대한 인센티브 제도를 두어 1997년부터 2001년 사이의 단기간에 280 MW, 510 MW, 550 MW, 450 MW 규모로 4기의 잔사유 IGCC 플랜트를 건설하여 운영중에 있다<sup>[3]</sup>.

한편, 일본에서는 중질 잔사유를 상업용 보일러의 연료로 사용하기 위한 시도가 이미 1980년대부터 이루어져 2001년을 기준으로 잔사유의 연료 이용은 연간 100만톤인 것으로 알려져 있다. 잔사유 직접 연소관련 연구는 미쯔비시 중공업에서 주로 수행되었으며 중질 잔사유를 연료로 하는 산업용 보일러를 약 25개소 건설한 것으로 알려져 있다<sup>[4]</sup>. 특히, 2004년부터 일본 오사카 근교 마리푸 정유공장에서는 475 ton/hr(중기 기준) 규모의 잔사유 연소 보일러를 운용하고 있으며 최근 중질 잔사유의 높은 황함량에서 기인하는 황산화물의 배출 저감을 위한 배연탈황설비(FGD : Flue gas de-sulfurization)를 설치한 바 있다<sup>[5]</sup>. 또한, 일본 동아석유의 제넥스 미

즈에 발전소는 석유정제 과정의 부산물로 생성되는 중질 잔사유와 부생 가스를 보일러 연료로 사용하는 279 MW 규모의 복합발전 플랜트를 2003년 6월 1일부터 상업운전하기 시작했다. 플랜트에서 생산되는 전력은 도쿄 전력에 판매하며 동아석유(주) 게이힌 제유소에는 일정 부분의 전력과 증기를 공급하고 있으며 보일러는 평일 낮에는 100% 출력 부하, 휴일과 야간에는 70% 부하로 운용되고 있다. 특히 잔사유 및 부생가스 혼소용 콤비네이션 버너의 채용으로 높은 연소 효율을 달성하였으며, 성능시험 결과 보일러 효율이 91.8% 이상의 계획치를 상회하는 양호한 결과를 얻은 바 있다<sup>[6]</sup>.

국내의 경우 신재생에너지 개발·이용·보급·촉진법 제 2조에 의거하여 중질잔사유 가스화는 현재 신재생에너지로 분류되어 있어 신연료로서의 활용성이 커질 것으로 기대되고 있다. 2005년 12월에 발표된 정부의 제

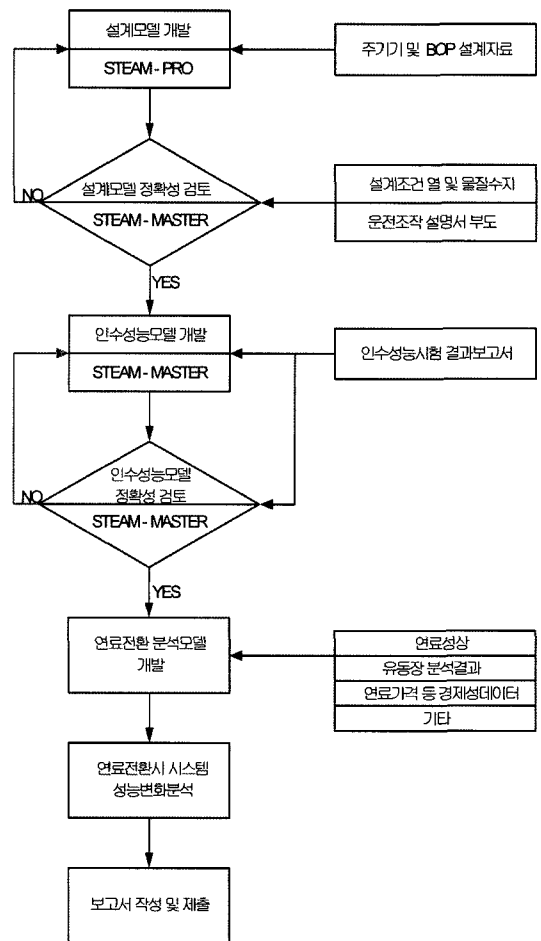


Fig. 1. Flow chart for developing system analysis model.

2차 에너지기본계획에 따르면 2011년 총 에너지의 5%를 신재생에너지로 보급한다는 장기적인 목표하에 신재생에너지 기술개발 및 보급사업에 대한 지원을 강화하고 있다. 신재생에너지중에서 석탄 가스화와 더불어 중질잔사유의 가스화는 상업적으로 대용량화가 손쉬운 에너지로서 이에 대한 보다 많은 지원과 기술개발이 필요한 실정이다.

중질 잔사유에 대한 국내 연구는 주로 소규모(Bench Scale)의 가스화 장치를 이용한 합성가스 제조특성에 대한 연구<sup>[10][11]</sup>와 중질잔사유의 직접 연소시험 연구가 소규모 반응로에서 수행된 바 있다<sup>[10][11]</sup>. 또한, 국내 두개 정유회사에서 300~600 MW급의 중질잔사유 IGCC 건설에 대한 타당성 조사를 완료하였으나, 정유업계와 전력산업계의 여건상 실제 투자는 아직 이루어지지 않고 있는 상태이다. 신재생 에너지원으로 분류되어 있는 중질 잔사유의 대규모 상업화를 위하여는 민간참여 확대를 위한 기술개발, 정부주도의 보급 활성화 및 지원 시책등 정책적 측면의 지원이 필요하다. 또한 대용량 플랜트에 적

용시의 효율, 발전 원가등의 경제성 평가, 에너지 및 물질 수지 평가를 통한 성능 평가로부터 기존의 플랜트 성능 및 경제성에 대한 비교, 분석이 우선적으로 수행되어야 한다.

본 연구에서는 최근 신연료, 신에너지원으로 주목받고 있는 중질 잔사유를 기존의 중유화력의 대체 연료로 사용하는 경우에 대하여 플랜트의 열 및 물질, 에너지 수지로부터 플랜트의 성능을 상용 전문분석 코드로 분석하고자 하였다. 이를 위하여 먼저 기존에 운영중인 플랜트의 설계 및 운전 데이터로부터 플랜트의 성능 분석 모델을 구축하였으며 시뮬레이션 결과와 운전 데이터와의 비교로부터 그 건전성을 검증하였다. 그리고 기존에 사용 중인 중유와 대비하여 중질 잔사유의 적용시 플랜트의 성능 및 효율등을 비교하여 그 효과를 분석하고자 하였다.

## 2. 플랜트의 성능 분석 모델 개발

기존의 중유화력 발전플랜트에서 연료를 중질 잔사유

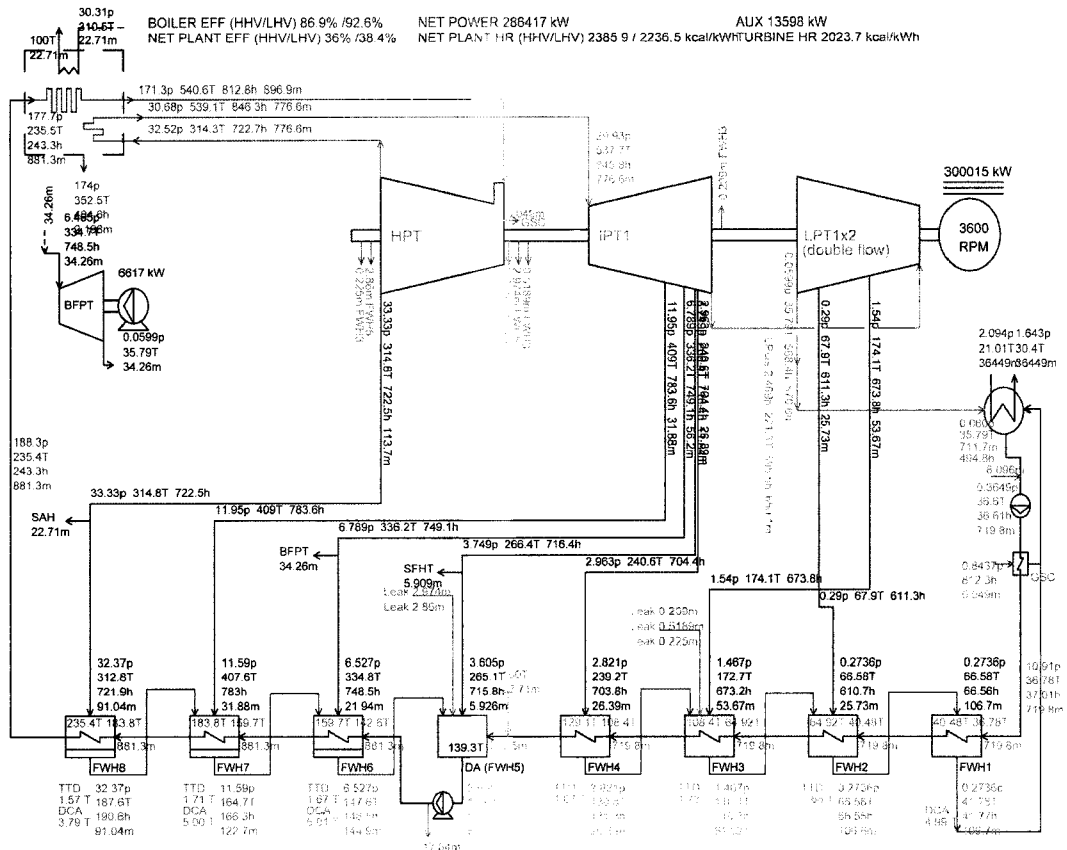


Fig. 2. Thermal energy and material balance for the steam cycle of A power station.

로 전환하는 경우 플랜트의 전체적인 성능 및 효율 뿐만 아니라 각 구성 기기의 변화를 분석하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 현재 운영중인 국내 A 중유화력 2호기를 대상으로 발전플랜트 설계 및 시뮬레이션 전용 코드인 Steam-Pro와 Steam-Master<sup>12)</sup>를 이용하여 설계 모델과 탈 설계점 모델을 각각 개발하고 중질 잔사유를 적용하는 경우에 대한 성능변화를 분석하였다. Fig. 1은 시뮬레이션 모델을 이용하여 연료전환이 발전 플랜트에 미치는 영향을 분석하는 과정을 순서대로 나타낸 것이다.

발전 플랜트의 주기기 및 보조기기의 설계 데이터로부터 A 중유화력의 설계모델을 Steam-Pro로 구축하였으며 모델링 결과를 열에너지 및 물질수지, 운전 조건 등의 설계 데이터와 비교한 결과 오차율이 0.01% 이하로 나타났다. 이와 같이 건전성이 검증된 설계모델을 바탕으로 플랜트의 부분 부하 또는 운전 변화에 따른 성능 및 각 부분의 상태를 정확하게 모사할 수 있는 탈 설계점 모델을 Steam-Master를 사용하여 개발하였다. 이 모델로부터 플랜트의 각 기기의 실제 운전조건이 변화

하는 경우 플랜트의 성능 및 운전상태의 변화를 분석할 수 있으며 연료를 중질잔사유로 대체한 경우에 대하여도 플랜트의 성능 변화를 분석할 수 있다. 본 연구에서는 플랜트의 주요 운전조건은 2호기 발전소 편람, 기본 운전 지침서, 부도 및 성능진단 결과보고서에 명시된 부하별 운전조건과 그 때의 열 및 물질수지 흐름도를 참조하여 모델을 구축하였다.

Fig. 2와 Fig. 3은 STEAM-PRO를 이용하여 개발된 A 중유 화력발전소 2호기의 설계조건에 대한 증기 에너지 사이클과 보일러의 열에너지 및 물질 수지의 흐름도를 나타낸 것이다. Fig. 2에 나타난 설계모델의 결과로서 고압터빈(HPT), 중압터빈(IPT), 저압터빈(LPT)으로부터의 출력(Net power)은 설계치인 300,000 kW에 비하여 300,015 kW로서 거의 일치함을 알 수 있다. Fig. 3의 보일러 모델은 보일러 화로를 포함하여, 연소계통, 보일러 내부 열전달계통과 공기에열기(SAH), 전기집진기(ESP), 유인송풍기(ID Fan)와 배연탈황설비(FGD)를 포함하고 있다.

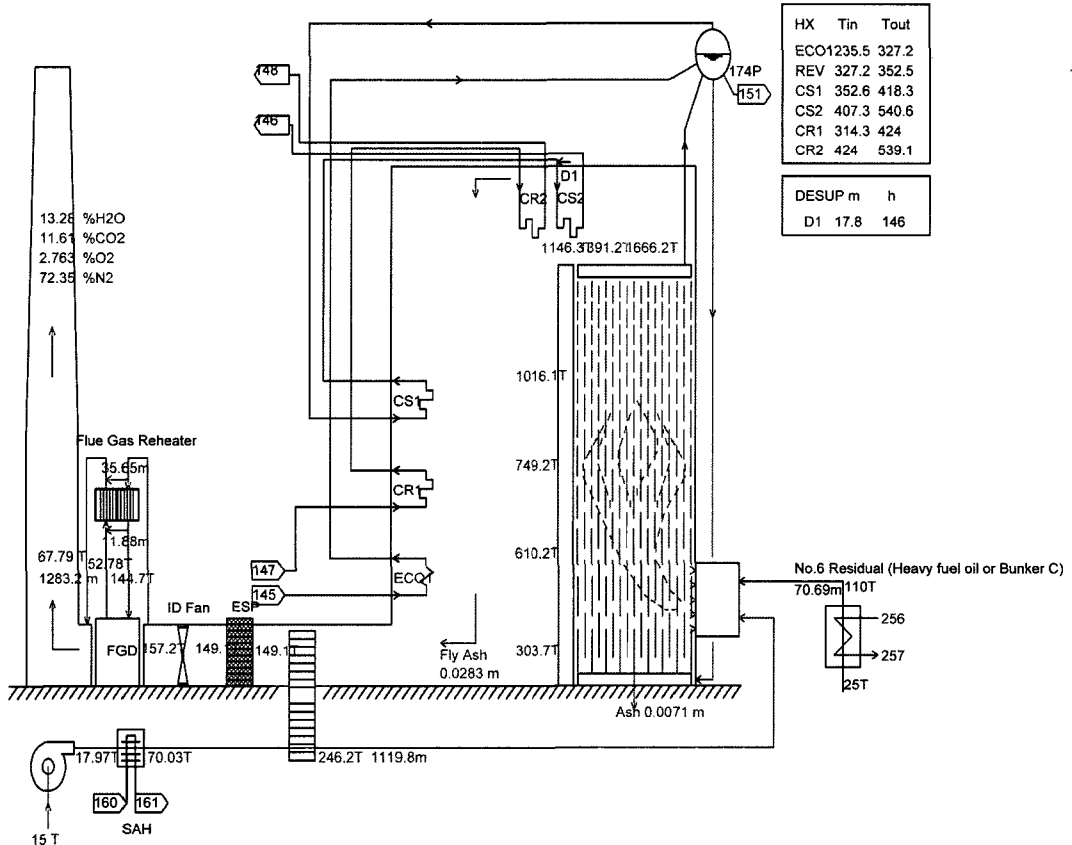


Fig. 3. Thermal energy and material balance of the boiler of A power station.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3-1. 분석 모델의 건전성 검증

개발된 분석 모델의 신뢰성 평가를 위하여 설비의 설계조건과 개발된 모델의 결과를 비교하였다. 시스템의 설계점 및 탈설계점 모델을 개발하기 위하여 시스템을 구성하고 있는 각 단위 기기에 대하여 가능한 정확하고 상세한 설계자료를 입력하여야 하며, 정확한 자료가 많이 확보될수록 신뢰도가 높은 모델이 개발되어질 수 있다. 그러나, 증기터빈에 대한 상세한 설계 자료의 부족으로

설계자료 대신 100% 부하에서의 열 및 물질수지를 기준으로 설계모델을 구축하였기 때문에 실제 설계자료와는 약간의 차이가 발생할 수 있다. Table 1은 증기 터빈의 주요 상태량에 대한 설계 데이터와 모델링 결과를 비교한 것이다. 주증기와 재열증기의 유량, 압력, 온도에 대한 두 값의 비교는 만족스러운 결과를 보여준다. Table 2에서 보는 바와 같이 1, 2번 급수 가열기의 추기와 급수에 대한 유량, 온도, 압력등 여러 상태량 역시 잘 일치하는 결과를 보여준다. 콘덴서에 대한 가용한 설계 데이터의 부족으로 많은 상태량을 서로 비교할 수 없

**Table 1. Results of steam turbine modeling.**

Item	Unit	Design (100% Load)	Modeling (100% Load)
Steam turbine output	kW	300,000	300,015
Superheater steam	Mass flow	kg/hr	896,323
	Temperature	°C	538
	Pressure	ata	165.3
	Enthalpy	kcal/kg	812.8
Reheater steam	Mass flow	kg/hr	796,898
	Temperature	°C	538
	Pressure	ata	29.93
	Enthalpy	kcal/kg	845.8
HP TBN extraction	Temperature	°C	314.8
	Pressure	ata	33.33
	Enthalpy	kcal/kg	722.5
HPTBN exhaust	Temperature	°C	314.3
	Pressure	ata	32.52
	Enthalpy	kcal/kg	722.7
LP crossover	Temperature	°C	221.3
	Pressure	ata	2.469
	Enthalpy	kcal/kg	695.5
LP TBN exhaust	Mass flow	kg/hr	587,067
	Temperature	°C	35.79
	Pressure	ata	0.0598

**Table 2. Some results of feed water heater modeling.**

Item	Unit	FWH #1		FWH #2		
		Design	Modeling	Design	Modeling	
Extract steam	Mass flow	kg/hr	25,730	54,502	53,670	
	Extract Pr. (TBN)	ata	0.26	0.29	1.47	1.54
	Extract temp. (TBN)	°C	67	67.9	179	174.1
	Shell Side Pr.	ata		0.2736		1.467
	Saturation temp.	°C	67	66.58	110	110.1
Drain temp.	°C		40.48		110.1	
Feed water	Mass flow	kg/hr	730,129	719,800	730,129	719,800
	Inlet temp.	°C	39.5	40.48	63.93	64.92
	Outlet temp.	°C	63.93	64.92	107.26	108.4
	ΔT	°C	24.43	24.44	43.33	33.2

**Table 3. Results of condenser modeling.**

Item	Unit	Design	Modeling
Turbine load	kW	300,000	300,015
Vacuum	ata		0.0599
Cleanness	%	80	80
Condensate mass flow	kg/hr		711,700
Condenser heat release	kcal/sec		90,751.8
Cooling water	Inlet temp.	°C	21
	Outlet temp.	°C	30.4
	$\Delta T$	°C	9.4
	Mass flow	kg/hr	36,448,000
	Velocity	m/s	

었으나 터빈 출력의 경우 앞서 언급한 바와 같이 매우 잘 일치하는 결과를 보여주고 있다(Table 3 참조).

시스템 설계모델의 결과와 설계조건상의 열 및 물질 수지 흐름도의 값을 비교하는 과정은 시뮬레이터를 이용하여 개발된 설계모델이 실제 설계된 기기와 얼마나 정확히 일치하는가를 평가하기 위한 것으로 실제 기기와 시뮬레이션 모델의 차이가 적을수록 시뮬레이션 모델이 실제 기기를 정확히 모사 할 수 있다. 설계조건과 설계모델의 계산 결과를 주요흐름에 대하여 값을 비교한 결과 다소간의 차이를 보이고 있다. 이것은 앞서 설명한 바와 같이, 증기터빈을 비롯한 각 기기에 대하여 상세한 설계 자료가 부족하여 확보가 가능한 자료를 기준으로 작성되었기 때문이며, 보다 상세한 설계자료의 확보가 가능하였다면 이러한 차이를 좀 더 줄일 수 있었을 것이다.

### 3-2. 신연료 적용시 효과 분석

Table 4는 본 연구에 적용되어진 중질잔사유의 성분을 기존의 중유와 비교하여 나타내었다. 중질잔사유와 기존의 중유와 차이는 거의 없어 보인다. 잔사유의 높은 황(Sulfur) 성분 함유는 잔사유를 연료로 사용시 높은 SOx 배출이 예상된다. 이 외에 중유와 비교하여 잔사유의 밀도가 약간 높고 발열량은 조금 떨어진다. 본 연구에서는 중유 연소시의 공기와 연료의 공급량을 중질 잔사유를 대체한 경우에 대하여도 똑같이 사용하게 되면 과잉공기는 중유 적용시의 12.2%에서 16.2%로 증가하게 된다. 좀 더 높은 과잉공기는 일반적으로 NOx 증가, CO 저감과 같은 현상을 일으킬 수 있으며 중질잔사유의 고정 탄소의 연소 반응성이 상당히 좋지 않은 점을 고려할 때 더 많은 양의 연소용 공기가 필요할 것이다. 발열량은 중질 잔사유가 약간 낮게 나타난 것으로 미루어, 같은 조건이라면 중질 잔사유를 사용하는 경우의 출력은 중유에 비하여 높아지는 반면에 효율은 약간 낮아질 것임을 쉽게 예측할 수 있다.

**Table 4. Analysis of heavy oil and residual oil.**

	Heavy oil	Residual oil
C (wt%)	85.50	85.30
H (wt%)	11.67	10.34
O (wt%)	0.12	0.13
N (wt%)	0.27	0.45
S (wt%)	2.44	3.77
Ash (wt%)	0.01	0.08
Density (kg/m <sup>3</sup> )	899.6	1,037.0
HHV (kcal/kg)	10,350	10,100
Excessive air (%)	12.2	16.2

**Table 5. Modeling results for heavy oil and residual oil.**

Item	Heavy oil	Residual oil
Power output (kW)	300,015	315,060
Heat rate (kcal/kWh)	2,144	2,155
Efficiency (%)	40.10	39.91
Internal power consumption (kW)	13,598.4	13,882.1
Turbine heat rate (kcal/kWh)	2,024	2,038
Total heat input (kcal/sec)	178,712	188,557

개발되어진 모델에 중질 잔사유를 적용한 시뮬레이션의 주요 결과를 Table 5에 나타내었다. 출력은 315 MW로서 정격인 300 MW보다 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 중질 잔사유의 연소성 증대를 위하여 연소용 공기를 중유 대비 더 많은 양을 공급하게 되어 배기가스 양이 증가하였기 때문이다. 따라서, 보일러를 제외한 증기 사이클 입장에서는 효율 등에서의 손실이 중유 사용시에 비하여 차이가 거의 나지 않을 것임을 알 수 있다. 보일러의 경우에, 잔사유를 사용하게 되면 중유에 비하여 과도한 과잉공기량이 적용되어지며, 연소로 내부 각 부분의 온도도 중유에 비하여 다소 떨어지게 된다. 이는 과잉공기와 미연분 발생량 증가로 인하여 일어난 현

상이라고 판단되어진다. 근본적으로 두가지 연료 모두가 비슷한 성상을 가지고 있기 때문에, 열 및 물질수지 측면에서는 큰 차이는 나타나지 않고 있다.

Table 5에 나타난 바와 같이, 중유 사용시에 비하여 중질 잔사유를 사용하는 경우에 터빈의 출력은 증가하지만, 효율은 감소하는 것으로 나타났다. 이는 연소용공기의 사용량이 중유에 비하여 잔사유 사용시 상당히 높아지기 때문에 연소가스의 유량이 증가함으로써 증기발생량이 더불어 증가하기 때문이며, 이로 인하여 증기터빈에서의 출력은 상대적으로 증가하게 된다. 하지만, 미연분 발생량이 높고 연소용공기 사용량이 높기 때문에, 추가적인 열량소모가 많아지고, 소내 소비동력이 증가하여 효율 측면에서는 약간 낮아지게 됨을 알 수 있다.

3.3. 신연료 적용시 민감도 분석

개발되어진 중질 잔사유 적용 모델에 몇가지 민감도 분석을 수행하였다. Fig. 4는 냉각수 온도변화에 따른 플랜트의 열소비율(Heat rate) 변화를 나타내었다. 냉각수 온도 이외의 변수들은 설계조건과 동일한 것으로 간주하였다. 그림에 나타난 바와 같이, 발전소의 복수기(Condenser) 냉각수 온도가 10°C 이하가 되는 경우에 발전소 열소비율에는 변화가 발생하지 않는 것으로 나타났다. 냉각수온도가 상승함에 따라, 18°C까지는 열소비율이 감소하고, 온도가 보다 상승하는 경우에 플랜트의 열소비율도 같이 상승함을 알 수 있다. 이러한 현상은 냉각수 온도에 따라 변화되는 복수기의 진공도로 설명할 수 있다. 발전용 복수기의 진공도는 통상적으로 약 진공도 720 mmHg로 유지되고 있는데, 냉각수의 온도가 낮으면 진공도가 증가된다. 이는 저압 터빈의 열낙차가 커지는 것을 의미하며 터빈 효율의 향상, 즉 열소비율

이 감소하게 된다. 따라서 냉각수 온도가 감소함에 따라 터빈의 효율은 증가, 즉 열소비율이 감소하게 된다. 그러나 냉각수 온도가 어느 일정 온도 이하, 즉 진공도가 어느 한도 이하가 되면 저압 터빈 마지막 단에서의 응축된 습분의 증가로 인한 마찰 손실이 증가하게 되어 오히려 효율이 감소, 즉 열소비율이 약간 증가하게 된다. Fig. 4의 냉각수 온도에 따른 열소비율의 관계로부터 냉각수 온도가 일정 온도 이상 상승하게 되는 경우에 냉각수 유량을 증가시켜 열소비율을 감소시키는 방안을 강구하는 것이 효율측면에 긍정적인 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다. Fig. 5에 외기온도 변화에 따른 발전소 열소비율의 변화를 나타내었다. 그림에 나타난바와 같이, 외기온도가 상승하는 경우에 열소비율이 지속적으로 감소하여 효율 측면에서 우수해지는 것으로 나타났다. 외기 온도

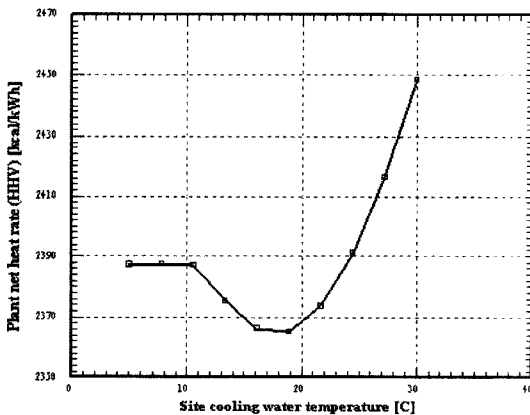


Fig. 4. Variations of heat rate with the changes in cooling water temperature.

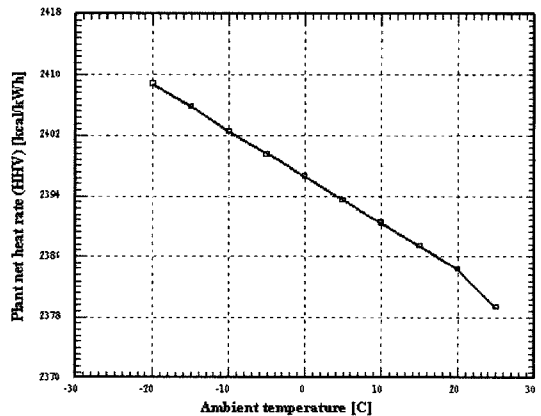


Fig. 5. Variations of heat rate with the changes in ambient temperature.

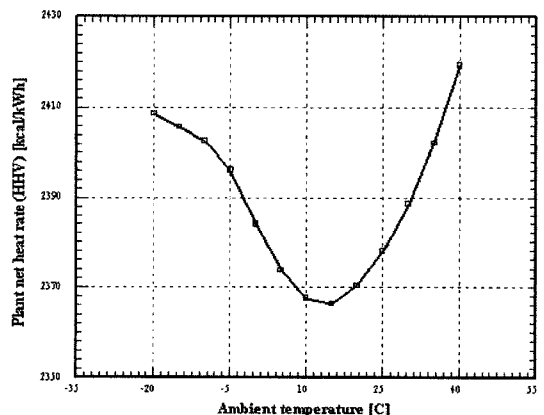


Fig. 6. Variations of heat rate with the changes in cooling water and atmospheric temperature.

가 상승하게 되면 보일러의 연소용 공기의 예열에 소요 되는 에너지의 투입량이 그 만큼 줄어들게 되며 이것이 곧 효율의 증가, 즉 열소비율의 감소로 나타나게 된다.

Fig. 6은 잔사유를 적용하는 경우에, 외기온도의 변화와 냉각수의 변화가 동시에 발생하는 경우에 대한 열소비율의 변화를 나타내었다. 외기변화에 대한, 냉각수의 변화는 5~30°C로 가정하였다. 이와 같이, 현실적인 경우를 감안하여, 두가지 변수인 해수온도와 외기온도가 동시에 변한다고 가정한 경우에 플랜트 효율에 최적인 부분이 존재함을 알 수 있다. 이는 위에서 나타난 두가지 경우와 다른 결과가 나타남을 알 수 있다. 따라서, 발전 플랜트 운영 최적화 등과 같은 분석을 위해서는 외기온도의 변화에 대한 냉각수변화에 대한 통계 데이터 등을 활용하여 두가지 온도가 동시에 변화하는 경우를 분석하는 것이 필요하다.

Fig. 7은 배가스 재순환량의 변화에 따른 열소비율의 변화를 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 배가스 재순환량이 증가하게 되면 초기 5% 수준까지는 열소비율이 감소하지만 5% 이상으로 증가하게 되면 재순환량 증가에 따라 열 소비율이 증가하게 된다. 배가스의 재순환 연소는 배가스가 가지고 있는 열량을 다시 이용하는 측면에서 어느 정도까지는 보일러의 열효율을 높이는 역할을 한다. 그러나 그 이상의 배가스 재순환은 연소의 안전성을 위하여 그 만큼의 연소용 공기를 더 공급하게 되며, 증가된 공기량 만큼의 배가스양이 증가하게 되어 배가스 손실이 증가하게 된다. 본 연구에서는 Fig. 7에 나타난 바와 같이 약 5%의 배가스 재순환량이 열소비율을 가장 작게 유지하는 최적의 재순환량을 알 수 있다.

Fig. 8은 부하변화에 대한 플랜트 열소비율 변화를 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이, 부하가 낮아질수록 열소비율이 이차 함수적으로 증가함을 알 수 있으며, 가

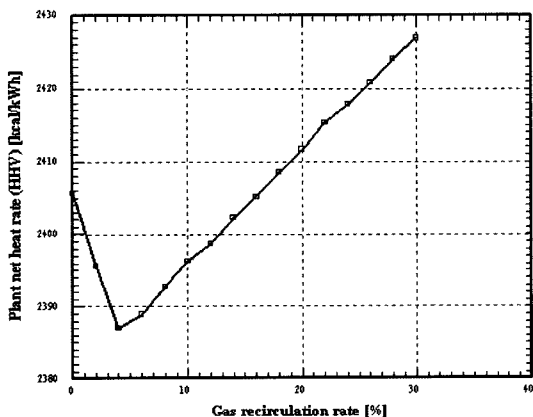


Fig. 7. Variations of heat rate with the changes in flue gas recirculation rate.

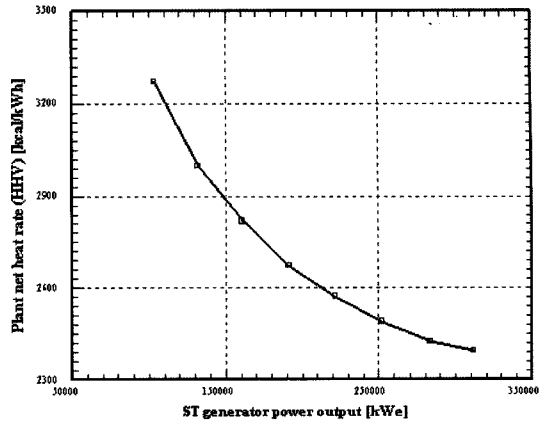


Fig. 8. Variations of heat rate with the changes in power output.

능한 높은 부하에서 운전하는 것이 유리함을 알 수 있다. 일반적으로 플랜트의 효율은 100% 부하에서 효율이 가장 높게 유지되고 있으며 잔사유를 적용한 경우에서도 전부하(Full load) 운전상태에서 효율이 가장 높은 것을 알 수 있다.

### 4. 결 론

기존의 중유화력의 대체 연료로 중질 잔사유를 사용하는 경우에 대하여 플랜트의 열 및 물질, 그리고 에너지 수치로부터 플랜트의 성능을 살펴보고 이를 중유화력의 경우와 비교하였다. 상용 전문해석 코드로 먼저 기존에 운영중인 중유 화력플랜트의 성능 분석 모델을 구축하고 설계 데이터와의 비교를 통하여 모델이 합리적으로 구축되었음을 알 수 있었다. 중질 잔사유 적용시의 시뮬레이션 결과 출력은 315 MW로서 정격인 300 MW보다 높게 나타남을 알 수 있었다. 이는 중유 대비 더 많은 양의 연소용 공기를 공급하였기 때문이며, 전체적인 효율은 약간 감소하는 것으로 나타났다. 중질 잔사유 적용시 냉각수 및 외기 온도 변화에 따른 열소비율의 최저점이 존재하여 플랜트 효율이 최적인 부분이 존재함을 알 수 있었으며 약 5%의 배가스 순환량이 플랜트 효율측면에서 최적점임을 알 수 있었다. 또한 부하변화에 대한 플랜트 열소비율 변화 시뮬레이션 결과 가능하면 높은 부하에서 운전하는 것이 효율측면에서 유리함을 알 수 있었다.

### 참고문헌

1. Gray, M.R. "Upgrading petroleum residues and



- heavy oils”, Narcel Dekker, INC. 1994, 1-3.
2. Wolff, J.; Radtke, K.; Karg, J.; Gunster, W. “Refinery residue based IGCC power plants and market potential”, Gasification Technologies 2001 conference, San Francisco, 2001.
  3. Park, T.J.; Choi, Y.C.; Lee, J.G. “A study on the gasification characteristics of vacuum residue”, Technical Report, Korea Institute of Energy Research, 2002.
  4. 박태준. “중질유 IGCC 플랜트의 건설 및 시운전 현황”, IGCC W/S, RIST, Pohang, Korea, 2000.
  5. Ichinose, T.; Fujimura, K.; Takeno, K.; Motai, T.; Arakawa, Y.; Fuki, H. “Combustion characteristics and pollution minimum technology for VR (Vacuum Residue) fired boiler”, JSME International Journal, 1998, 41, 1055-1060.
  6. Fujimura, K.; Mastumoto, H.; Arakawa, Y.; Fujii, H.; Mizoguchi, T. “Development and operation results of VR firing boiler”, Mitsubishi Juco Giho, 1999, 32, 36-37. (See also <http://www.mhi.co.jp/tech/htm/9362/e936211a.htm>).
  7. Minoru, H. “Demonstrative operation plan of asphalt burning power plant in oil refinery”, 17th WEC congress, CA, 1998.
  8. Aoki, H.; Fukushima, H.; Yoshida, D. “감압잔사유 연소보일러의 계획과 운전 실적”, 화력원자력발전, 2004, 12, 1-10.
  9. Choi, Y.C.; Lee, J.G.; Yoon, S.J.; Park, M.H. “Experimental and theoretical study on the characteristics of vacuum residue gasification in an entrained flow reactor”, Korean Journal of Chemical Engineering, 2006, 24, 60-66.
  10. 박호영; 김영주; 김태형; 서상일. “소규모 반응로를 이용한 감압잔사유의 연소실험”, 에너지공학, 2005, 14, 268-276.
  11. Park, H.Y.; Kim, Y.J. “Combustion characteristics of vacuum residue in a test furnace and its utilization for utility boiler”, Korean Journal of Chemical Engineering, 2006, 24, 83-92.
  12. Gigmayr, I.; Pogoreutz, M.; Nixdorf, M. “Comparison of software for thermodynamic process calculation”, VGB research report, Graz university of technology, 2003. (See also <http://www.thermoflow.com>).