

# 燃料와 熱供給施設

金 鍾 奭

〈環境廳 大氣管理課長·技術士〉

## 1. 시설내용

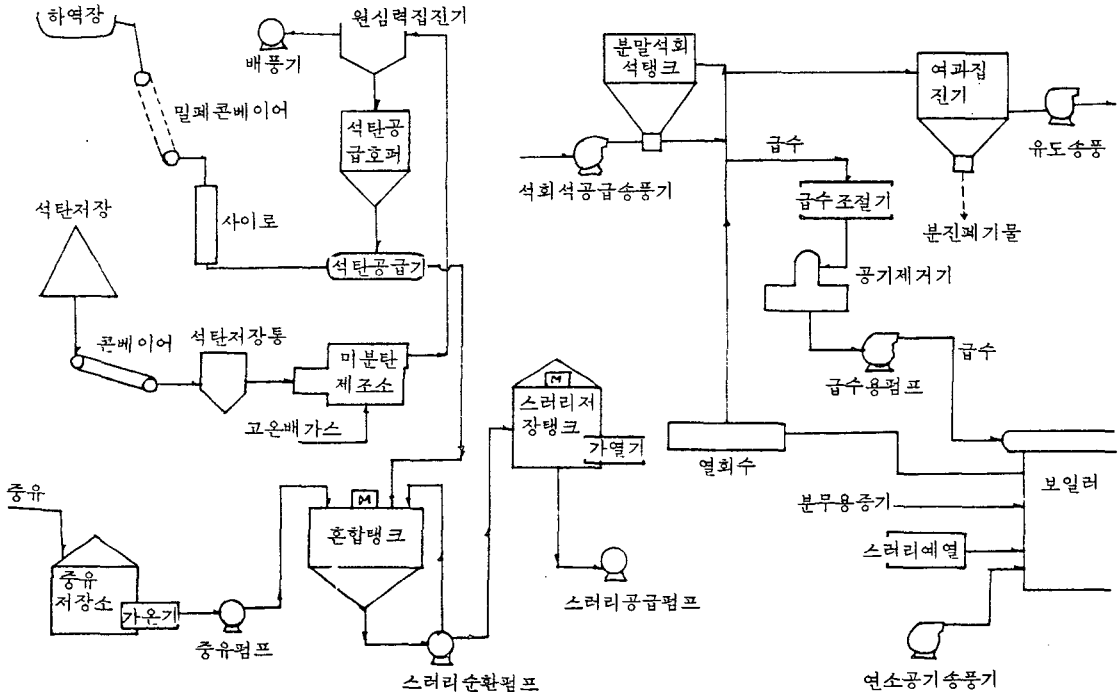
연료선택에 고려할 중요 요인은 energy, 환경 문제 및 경제성문제이다.

연료선택의 경제성검토를 위해서 최근 R&D 단계를 벗어나고있는 석탄스러리(COM)에 대한 연구결과를 예로 검토하기로 한다.

앞서 설명한 바와 같이 COM은 중유(#6oil)

와 유연탄을 대략 50:50 비로 혼합한 반고상 액상연료로서 그물성이 #6 oil과 비슷하다.

경제성 분석을 위하여 COM생산시설과 연소시설의 개조 등에 필요한 경비를 자체 COM생산시설을 갖는 경우와 외부에서 COM을 구입하는 경우로 분리분석하였다. 자체 COM생산시설을 갖는 경우 공정은 아래 <그림-1>의 flow



〈그림-1〉 자체 COM시설을 갖춘 보일러

sheet 로 표시하였다.

이상의 시설을 위해선 별도의 공장부지가 필요하며 동시설내에는 석탄처리시설, COM제조시설, 연소시설 및 공해방지시설이 필요하다. 공정을 좀더 말하면 아래와 같다.

석탄제조시설은 입경 3"×0" 인 석탄을 3/8" screen 한것을 하역장 (dumping pit) 의 운반으로부터 경사 stacking conveyer, 원추형 silo 저장 등을 순차적으로 거쳐 원형 pad 를 가진 저장소에 원추형으로 pile 되는데 까지이며, COM 제조과정은 Reclaimer, 석탄저장, 미분탄제조, 원심력입경분석, 석탄공급호퍼, 석탄공급기, 혼합장치 및 스텔리저장탱크 까지이며, 본 분석에 사용된 미분탄분쇄기는 vertical shaft air swept roll type crusher 로서 석탄의 입경을 200mesh 이하로 분쇄할 수 있는 것이며 분쇄된 200mesh 정도의 미분탄은 공기를타고 원심력입경분무기를 거쳐 혼합기 (batch type mixer) 중 하나에 유입되어 예열된 # 6 oil 이 들어있는 용량 1hr 짜리 회분식혼합기 (batch mixer) 4개중 하나에 운반되어 수직 shaft impeller 에 의하여 서서히 혼합되어 COM이 된다. 이렇게 생산된 COM은 holding tank 에 저장하여 사용시 예열을 거쳐 연소버너에 유입된다.

연소시설은 버너자체만 개조하기 때문에 보일러감발과 유지관리난점은 없었고 첨가제도 사용되지 않아 경비에서 큰문제는 없다.

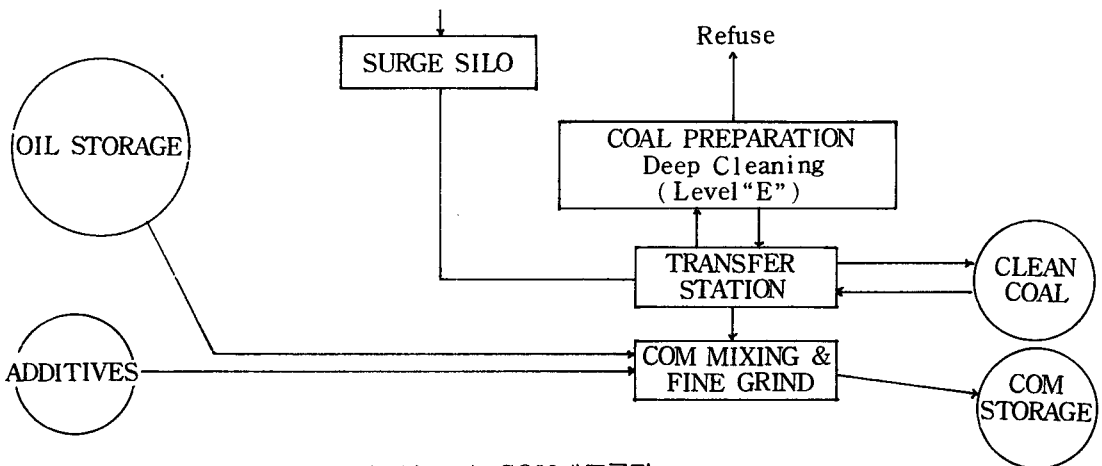
본 분석에서는 50 % COM을 연료로 사용하였으므로 보일러출력감소 (derating) 는 발생하지 않았으며 유지관리에 특별한 문제도 없었다. 보일러의 열효율은 85 %정도였다.

공해방지시설은 배가스중 아황산가스 및 분진을 제거하기 위해서 중탄산나트륨 (NaHCO<sub>3</sub>) 을 공기로 운반하여 여과집진기 입구에 유입되는 배가스에 혼합시켜 배가스내 SO<sub>2</sub> 를 0.93lb/ 1000 Btu 까지 흡수한 후 여과집진기 내에서 fly ash 와 함께 포집제거한다.

본 분석을 위하여 사용된 # 6 oil, 석탄, 생산된 COM, 방지기, 방지에 사용된 시약, 화실의 사양은 각각 다음 <표-1> 과 같은것을 사용하였다.

공해방지에 사용된 중탄산나트륨의 현장납품가격은 \$ 4.50/100lb 로 하였으며, 중탄산나트륨은 한번사용후 폐기하는것으로 하였으며, 여과집진기로 포집한 분진과 bottom ash 처리비는 \$ 10/ton 이었다.

보일러용량이 소규모일때는 자체내 COM제조시설을 갖추는것 보다는 <그림-2> 에서와 같은 외부로부터 제조판매되는 COM을 구입 사용하는 것이 이롭다고 생각되고 있다. 이경우 COM제조공장은 mine mouth 처로 연간 700 만~2 억 Bbl 의 COM이 생산될 수 있는 시설을 예로 보고, 공급방법은 pipeline 을 통한 것과 수송방법이 있다.



<그림-2> COM제조공장

BE-78-53

소규모시설에서는 # 6 oil 을 석탄연소시설로 전면 대체하면 기존시설을 이용할 수 있도록 대체연료를 개발한 것으로 coal preparation 과정에서 유황과 회분을 제거할 수 있어야 한다.

위의 <그림 2>는 COM 제조능력이 10<sup>4</sup> ton 에 대한 것으로 coal preparation이 주요부분으로 이는 입경이 200mesh인 coarse beneficiation 을 입경 28mesh 정도인 Eleborate beneficiation coal로 전환하는 것으로 석탄세척 과정에서 ash와 유황이 감소되므로 소비자의 공해방지시설 투자 및 운영관리비가 감소된다. 보통 이과정의 석탄세척에는 2~4 /10<sup>6</sup> Btu가 소요된다.

COM 제조공장의 주요장치로 stracker / reclaimr, rotary car dump, 석탄비축

turbin 운전에 요하는 mobile Equipment 와 열차운반석탄의 하역시 필요한 12시간 용량의 surge silo 등이 주요시설이 된다.

본 분석에 사용된 COM 제조공장의 연료저장능력은 30일, COM 저장능력은 15일이며, 첨가제가 추가된 COM의 저장기일은 30~90일 정도였으며 첨가제처리비용은 \$ 0.1/10<sup>6</sup> Btu정도였다.

## 2. 시설의 선택

자체 COM 생산은 기본시설 이외에 COM 생산에 필요한 석탄의 수송, 저장, 분쇄, 환경 및 안전 관계등의 시설이 별도로 필요하여 공장내에 이를 위한 별도부지가 필요하게 된다. 따라서 이미 석탄조작시설 및 보급기지를 가지고 있는 제철, 석유화학제품, 펄프등과같이 기존시설을 가지고 있는 공장은 자체내에서 COM을 생산함이 바람직

<표-1> 경제성 분석에 사용된 연료

	석 탄	# 6 oil	생 산된 COM	비 고
유 황 함 량	2 % ( 최대 )	1 % ( 최대 )	1.5 % ( 최대 )	COM은 # 6 oil : 석탄을 50:50 으로 혼합한것임.
열 량	7,182 kcal / kg (12910 Btu / lb)	10,348 kcal / kg (18,602 Btu / lb)	8,765 kcal / kg	
입 도	3" x 8" ( 건 조 )	—	—	
최 종 입 도	200 mesh ( 90 % )	—	—	
밀 도	—	0.96 kg / l	0.243 kg / l	
가 격	\$ 27 / ton ( \$ 2,046 / 10 <sup>6</sup> Btu )	\$ 13.70 / B lb ( \$ 2,165 / 10 <sup>6</sup> Btu )	\$ 10.19 / B lb ( \$ 1,707 / 10 <sup>6</sup> Btu )	
운 반 비	—	—	\$ 10 / MM Btu	

하며 기타 소규모시설에서는 외부로부터 제조 판매되는 COM을 구입 사용하는것이 바람직하다. 보일러의 경우 이를 판단하기 위해서 본연구에서는 시간당 증기생산량을 500,000 lb/hr 및 100,000 lb/hr 시설을 각각 선택하여 분석하였다.

COM을 연료로 사용할때 경제성을 알기위해서 자가 COM 제조시설을 갖춘 500,000 lb/hr 보일러시설과 외부로부터 제조된 COM을 구입 사용하는 100,000 lb/hr 보일러시설에 대해서 각각 현금할인지급분석 (discounted currency flow of return)을 행하였다.

500,000 lb/hr 보일러의 경우 보일러 개조에 요하는 시간을 2년, 시설 내구연한은 20년으로 하여, 현금투자로 발생한 상각 및 연간운전비용 (연료비 제외)에 대하여 고려하였다. <표-2, 3 참조>

100,000 lb/hr 보일러의 경우는 연간 30 MM barrel의 COM을 제조하는 공장에서 COM을 공급하는 것으로하여 검토 <표-4, 7>하였다. 아래 <표-6>은 500,000 lb/hr 및 100,000 lb/hr 보일러 dcf 분석자료를 정리한 것이다.

본 dcf 분석에서는 감가상각 및 운전비용에 대한 감가상각율은 정액법으로 하여 할인현금유

〈표-2〉 COM사용을 위하여 소요된 비용

항 목	500,000lb/hr		100,000lb/hr	
	Boiler	Boiler	Boiler	Boiler
	Cost	Cost	Cost	Cost
석탄조작시설	\$ 353,000			
COM 제조	1,294,100			
공해방지대	496,800	\$160,200		
보일러개조	50,000	25,000		
공장시설	164,500	13,900		
공장유틸리티	235,800	19,900		
총건축비	\$2,594,200	\$219,000		
처리전석탄 및 중탄산 소다 필요량	230,100	36,000		
건축중이자	338,900	26,300		
가용자본	253,100	22,500		
총투자액	\$3,416,300	\$303,800		

〈표-3〉 보일러 개조비 및 운전비의 분포

Cost Component	500,000lb/hr*		100,000lb/hr**	
	Boiler	Boiler	Boiler	Boiler
	Percentage	Percentage	Percentage	Percentage
COM				85.8
Oil	62.0			
Coal	20.5			
NaHCO <sub>3</sub>	6.9		6.4	
O and M	6.0		4.9	
Fixed Cost	2.7		1.1	
Ash Disposal	1.4		1.3	
Power	0.5		0.5	
	100.0		100.0	

\* Annual operating cost for 500,000lb/hr boiler is \$9,069,900.

\*\* Annual operating cost for 100,000lb/hr boiler is \$1,933,300 COM purchased and delivered at \$1.88/10<sup>6</sup> Btu(12% dcf) from off-site COM preparation facility.

〈표-4〉 30 MM 보일러의 개조경우 필요투자내용

Item	Cost
Coal receiving, storage, reclaim	\$ 3,206,200
Liquids storage	35,172,000
COM preparation	15,366,100
Plant facilities	4,045,800
Plant utilities	5,999,000
Total Construction	\$63,789,100
Interest during construction	7,654,700
Working capital	
Facility and equipment	5,103,100
Oil inventory	11,076,300
Coal inventory	7,332,800
Additive inventory	900,000
Total Investment	\$95,856,000

〈표-5〉 30 MM 보일러 연간운전비용 분포

Component	Percentage
Oil	69.3
Coal	23.0
Additive	3.2
O and M	2.3
Fixed Cost	1.7
Power	0.5
	100.0

\* Annual operating cost of COM plant is \$332,100,000.

량을 각각 12%, 15%, 20%로, 세율은 50% 가정하여 분석한 것으로 자가COM 제조시설을 가진 500,000lb/hr의 보일러의 경우는 연간 요구되는 재원의 필요한 연료절감액을 각각의 할인현금판매율에 대하여 분석하면 각각 \$0.452(dcf 12%), \$0.485(dcf 15%) 및 \$0.544

$/10^6 \text{Btu} (\text{dcf } 20\%)$ 가 되어 dcf을 12%~15%범위내에서는 COM사용의 경제성이 충분히 입증된다. 그러나 20%가 넘으면 COM사용은 비경제적이란 결론을 얻게된다. 같은 방법으로 COM을 외부에서 구입하는 100,000**lb/hr**보일러의 경우 현금할인판매율 12%, 15%, 20%에 대하여 판매가격을 산정하면  $\$ 1.85/10^6 \text{Btu}$  (dcf 12%),  $1.87/10^6 \text{Btu}$  (dcf 15%) 및  $1.91/10^6 \text{Btu}$  (dcf 20%)와 같이 dcf율에 판매가가 큰 변동이 없음을 알 수 있다. 이는 COM가격이 투자액에 대한 dcf회수율이 큰 영향을 미치지 못함을 뜻한다. 또 이경우 수송비는 거리에 따라 다르나 COM제조공장으로 부터 50 mile 이내에서는 수송비가 대체로  $\$ 2/\text{bb}$  ( $\$ 0.033/10^6 \text{Btu}$ )가 소요되는것으로 가정할 때 COM의 소비자가격은  $\$ 1.88 \sim 1.94/10^6 \text{Btu}$  범위로 추정되는 반면 #6 oil은  $\$ 2.16$

$/10^6 \text{Btu}$ 가 되므로 100,000 **lb** 보일러에서 COM을 구입사용에 따른 연료절감은  $\$ 0.22 \sim \$ 0.28/10^6 \text{Btu}$ 로 예상된다. <표-2>에서 보듯이 100,000**lb/hr** 보일러에 COM을 위해서 개조할때 필요한 비용  $\$ 303,800$ 을 중심으로 dcf율은 12%, 15%, 20%로하며 COM 전환이 유리한 할인현금유량을 산출하여보면  $\$ 0.303 \sim \$ 0.385/10^6 \text{Btu}$ 가 되므로 연료절감비가 할인유량보다 적어지므로 COM을 외부에서 구입 사용하는 소규모 100,000**lb/hr**보일러의 경우는 COM으로의 전환이 실제적으로 경제성이 없음을 예시하게 된다.

이제까지 #6 oil과 COM에 대해서만 검토하였으나 여기서는 석탄을 직접 연소하는 미분탄 보일러에 대하여 이들과 비교하여 연료선택에 대한 경제성분석을 결론내리코자 한다.

<표-6> 규모별 dcf 분석 결과

	500,000 <b>lb/hr</b>	100,000 <b>lb/hr</b>
총 전 설 비	전체 공장에 대한것 $\$ 2,594,200$ (50%는 COM 제조 혼합시설)	30 MM Bb <b>lb</b> COM 제조공장에 대한것
필요 투자 총액	$\$ 3,416,300$	$\$ 63,789,100$
운전비용(312일선)	$\$ 9,069,900$ (89.4%가 원료비 이중 20.5%석탄 62%석유)	$\$ 332,100,000$ (69% 기름값, 23% 석탄구 입, 첨가제비용은 $\$ 19,309,100$ 로 별도포함)
COM 연료비	$\$ 1,707/10^6 \text{Btu}$	COM 판매가격
#6 oil 비	$\$ 2,165/10^6 \text{Btu}$	$\$ 1.85/10^6 \text{Btu}$ (dcf 12%)
COM 사용시 연료 절 감 비	$\$ 0.458/10^6 \text{Btu}$	$\$ 1.87/10^6 \text{Btu}$ (dcf 15%)
		$\$ 1.91/10^6 \text{Btu}$ (dcf 20%)
		수송비별도 $\$ 2/\text{bb}$ ( $\$ 0.033/10^6 \text{Btu}$ )로 가정함 (50mile 이내)로 소비자 가격은 $\$ 1.88 \sim 1.94/10^6 \text{Btu}$
할 인 현 금 유 량 분 석 ( d c f )		
연간 자원 마련에 필요한 현금유량율	연간 필요한 재원을 만들기 위한 연료 절감액	
12%	$\$ 0.452/10^6 \text{Btu}$	$\$ 0.393/10^6 \text{Btu}$
15%	$\$ 0.485/10^6 \text{Btu}$	
20%	$\$ 0.544/10^6 \text{Btu}$	$\$ 0.385/10^6 \text{Btu}$

500,000ℓb/hr 또는 100,000ℓb/hr 의 미분탄 보일러를 신설하려면 대략 각각 \$24,500,000 (증기생산량 \$48/ℓb/hr) 와 \$5,700,000(증기생산량 \$57/ℓb/hr) 가 필요하다. 이들 투자비는 COM의 경우 500,000ℓb/hr의 보일러에는 \$3,416,300가 100,000ℓb/hr의 경우 \$303,800로 비교된다.

신설 500,000ℓb/hr 의 미분탄연소보일러와 기존 #6 oil 연소시설을 COM 연소시설로 개조한 것에 대하여 비교하면 연간 원자재면에서 \$2백60만, 연료비에서 약 \$320만이 되고 할인현금지불회수율(dcf rate of return)을 12%로 정하면 500,000ℓb/hr COM 연소보일러 개조에 소요된 연간투자액은 미분탄연소보일러신설에 필요한 전비용보다 적은 \$530만이 된다. 따라서 500,000ℓb/hr 이상의 대형보일러의 경우는 자가COM생산시설을 갖추고 COM 연소보일러로 개조하는 것이 연간 약 \$270만 (\$0.61/10<sup>6</sup>Btu) 정도의 순익을 창조하게 된다.

이외에도 신설에 요하는 기간(3년)보다 개조에 요하는 기간(1년)이 짧아지는 등 많은 경제적 이득이 예상된다.

### 3. 결 론

COM은 대형산업용보일러(500,000ℓb/hr 이상)에 사용할때 #6 oil 또는 석탄보다 경제적이다. 기름을 약 50%정도 석탄으로 대체를 가능케 할 수 있다.

또 COM 제조과정에서 비교적 심도높은 석탄 세척을 하게되면 저유황 저회분 COM을 공급할 수 있게한다.

또 dcf 회수율비교를 검토하면 COM의 제조원가는 근본적으로 원자재인 석탄과 기름의 가격에 의하여 결정되는 것이며 투자비용에 의해서 결정되는 것이 아님을 알 수 있다. 또한 본 분석은 석유가가 석탄가보다 더욱 급격히 오를때 경제적 이득은 크다는 것을 예시하고 있다. 이상의 결과로 볼 때 각종 석탄 slurry의 사용은 시설에 따라서는 유리하다고 판단할 수 있을 것이다.

〈끝〉

## 環境保全상담안내

社団法人 環境保全協會에서는 環境保全에 관한 技術指導 및 啓蒙事業의 一環으로「環境保全相談室」을 設置運營하고 있는바 本相談室에서는 政府施策弘報, 關係法令解説, 公害防止 閔聯技術相談, 自家測定方法指導, 其他 建議 및 隘路問題相談 등을 無料實施하고 있어오니 많은 活用을 바랍니다.

상담실 전화번호 (753)7640 (753)7669

社団法人 環境保全協會

## ● 투 고 안내 ●

會員 여러분들의 원고를 기다립니다.

각 회원사에서 일어나고 있는 일들, 연구·개발 현황, 공지사항 그리고 제언이나 시·수필 등을 수시로 본 협회 홍보부(753-7669)로 보내 주시기 바랍니다.

단, 국문으로 씀을 원칙으로 하되 부득이할 경우 괄호내에 원어(한자 또는 영어등) 사용이 가능합니다.

※ 게재된 원고는 소정의 고료를 지불하며 보내주신 원고는 일체 반환치 않습니다.