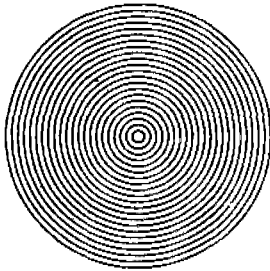


# 流動層燃燒 보일러의 經濟性 比較評價



Economic Feasibility of  
Fluidized Bed Combustion  
Boiler Compared to Other  
Industrial Boilers

(下)

孫宰翼

韓國動力資源研究所  
廢資源 研究室長

共同研究者

成載碩 (先任 研究員)

金正德 (研究員)

柳奎奎 (國際에너지링  
프란트事業部長)

## (1) PLADE의 基本原理

PLADE에서는 施設投資分析을 計劃樹立段階 (Planning)와 評價段階 (Evaluation)의 두 段階로 區分하여 遂行하게 된다.

第1 段階에서는 投資代替案들을 意思決定係數의 最初의 決定으로 하고, 製品의 需要만을 不確實한 事件으로 취급한 후 세 가지 可能한 決定들 (建設, 廢棄, 現象維持)에 의하여 意思決定係數를 構成한다. 作成된 意思決定係數를 動的計劃法에 의해 分析하고 最適의 戰略의 行動方案을 決定하고 投資計劃을 立案한다.

第2 段階는 이 投資計劃의 收益性을 가능한 한 現實의으로 評價하기 위하여 선택된 投資代替案에 대하여 模擬實驗을 통한 分析을 한다.

分析結果에 대하여 意思決定者가 定性的 考慮를 加味하여 最終的 決定을 하게 된다.

## (2) PLADE의 構造

〈表-21〉 MANUFACTURING COSTS OF  
STEAM GENERATED FROM STOKER  
COAL-FIRED BOILERS (10kg/cm<sup>2</sup>g, sat)

ITEM	CAPACITY			
	10T/T	20T/H	50T/H	100T/H
1. Fixed capital cost per metric ton of steam per hour, W/Ton/Hr	82,000,000	75,000,000	68,000,000	64,000,000
2. Total capital cost per metric ton per hour, W/Ton/Hr	88,800,000 (85,900,000)	81,400,000 (78,600,000)	74,100,000 (71,400,000)	70,300,000 (67,500,000)
3. Manufacturing cost per metric ton of steam, W/Ton	12,445 (9,095)	11,568 (7,437)	11,095 (6,905)	11,151 (6,973)

※ Note: Values in the parentheses are capital or manufacturing costs based on DOMESTIC-FURNISHED coal price of W26,640/M/T, while non-parentheses costs are those calculated on the basis of OVERSEAS-FURNISHED coal price of W 55,322/M/T.

PLADF는 1개의 主Program (Main Program) 과 23개의 副Program (Subroutine Program) 으로 構成되어 있으며 各 Program間的의 상호 聯關關係는 [그림 1], [그림 2]와 같다.

[그림 1]에 나타난 것과 같이 計劃樹立段階와 評價段階는 Modular Unit로 되어 있기 때문에 어느 한 段階만을 遂行할 수도 있고 兩者를 모두 同時에 遂行할 수도 있다.

PLADE에서는 計劃樹立을 위해 作成된 意思決

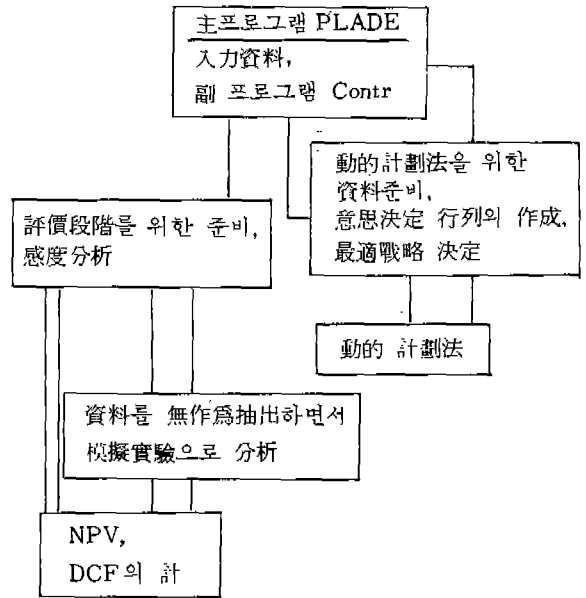
定行列을 根據로 하여 動的計劃法을 遂行함으로써 最適 代替案을 選定하고, 選定된 代替案의 收益性을 詳細하게 檢討하기 위하여 이 代替案을 第一次 意思決定으로 하여 最適戰略에 따라 收益性 分析을 하게 된다.

이에 Monte-Carlo 模擬實驗에 의해 需要 및 價格 수준을 每年 無作為抽出하면서 評價過程을 遂行하는 方法과 하나의 需要수준을 固定시킨 후 評價過程을 遂行하는 確定的 評價의 두 方法이 行해진다.

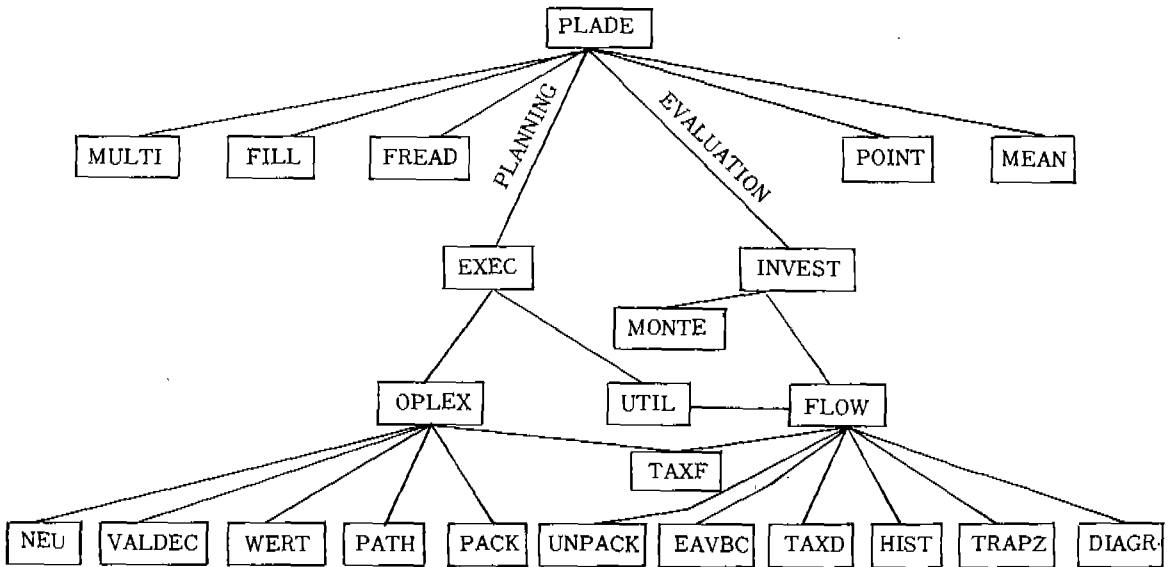
PLADE 評價過程의 特徵은 每年 最適操業政策을 決定한다는 것이다. 즉 需要가 施設의 生産能動보다 크면 그 해의 生産量은 施設의 生産容量만큼 되게 하며 反對의 경우에는 生産量이 需要만큼 되게 調整한다. 이때 分析의 時間單位는 1年으로 한다.

아. PLADE PROGRAMME의 INPUT DATA

(1) HEAD (Boiler System Name)



[그림-2] PLADE 主要 Program의 相關關係



[그림-1] PLADE PROGRAM 聯關關係圖

다음과 같은 略名을 使用함

- (가) Oil-Fired Boiler : OIL-FB
- (나) FBC Coal-Fired Boiler : FBC-CF
- (다) Pulverized Coal-Fired Boiler : PUL-CF
- (라) Stoker Coal-Fired Boiler : STK-CF

(2) Fuel중 國內無煙炭 (Domestic Coal)은 D, 輸

入有煙炭 (Imported Coal)은 I로 Boiler System Name 뒤에 붙임

ex) : (가) FBC-Fired Boiler에 國內無煙炭을 使用할 경우 : FBC-CF/D

(나) FBC Coal-Fired Boiler에 輸入有煙炭을 使用할 경우 : FBC-CF/I

(3) DEMAND

Steam生産量을 Ton/Year로 表示함.

(4) CAPITAL

Fixed Capital Investment로서 Boiler Cost를 意味하며, 10'으로 나눈 값을 使用함.

(5) FIXED COSTS

Stam生産을 위한 固定費用으로서, 10'으로 나눈 값을 使用함.

(6) VARIABLE COSTS

Steam生産을 위한 變動費用으로서, Fuel과 Electricity Cost를, W/Ton-Steam으로 表示하며, 10'으로 나눈 값을 使用함.

(7) SCRAP

Depreciation 後의 殘存價値로서, 0으로 表示함.

(8) OPERATION

新設되는 System으로 假定하여, 0으로 表示함.

(9) CONSTRUCTION

建設期間을 1年으로 假定하여 Initial Investment後, 1年後부터 Design Capacity를 生産하는 것으로 하여 1로 表示함.

(10) DISCOUNT

%로 表示하며 10 혹은 15로 表示함.

(11) TAX

稅金を 支拂치 않는 것으로 假定하며, 10으로 表示함.

(12) LIFE

Boiler의 수명을 10年으로 假定하여, 10으로 表示함.

(13) PROBABILITY

모든 Input Data의 Forecasting Possibility를 表示하며, 1.00으로 함.

(14) WORKING

Working Capital을 意味하며, W/Year로 表示함. 10'으로 나눈 값을 使用함.

(15) PRICE

生産된 Steam의 W/Ton을 表示하며, 10'으로 나눈 값을 使用하여, 1.9를 삽입함.

(16) CORRELATION

Demand /Year, Price/Demand의 相關關係를 뜻하는 것으로서, 각각 0, 1.0을 使用함.

(17) SENSITIVITY

生産된 Steam의 Price, 生産Steam量, Capital Cost, Fixed Costs, Variable Costs의 價格上昇과 下降率을 %로 表示하며, 여기에서는 0, 0, 10, 10, 10 및 0, 0, 15, 15, 15를 使用함.

자. 經濟性 評價(EVALUATION ANALYSIS)

本 經濟性 評價는 各 代案들의 IRR (Internal Rate of Return)과 PBT(Payback Time)를 比較하여 行하는 것으로 하였다. 단, 여기에 Mean NPW (Mean Net Present Worth)를 附記하여 次後에 本 結果의 活用性을 넓히고자 하였다.

比較對象으로서는 各 代案에 대해 輸入有煙炭을 使用했을 경우와 FBC Coal-Fired Boiler에 使用했을 경우 등에 대해 相互 經濟性을 比較했다.

(1) IRR EVALUATION

(가) 各 代案들의 Capacity에 따라 各其 Total Boiler Efficiency가 다르기 때문에 一律的으로 어느 것이 가장 經濟性이 좋다고 斷定하기에는 여러가지 모순이 있으므로, Capacity別로 그 經濟性을 擧論하는 것이 좋을 듯하다.

(나) 10-30T/H (Design Capacity)

① Graph에서 보는 바와 같이 Stoker Coal-Fired Boiler로서, 輸入有煙炭(塊炭)을 使用하는 System의 IRR이 42~52%정도로서 가장 經濟性이 높으며,

② Pulverized Coal-Fired Boiler로서 輸入有煙炭을 使用하는 System의 IRR이 33~55%정도로서 그 다음의 經濟性을 보이고 있음.

③ FBC Coal-Fired Boiler로서, 國內 低質炭을 使用할 경우의 IRR은 26~56% 정도로서, Oil-Fired Boiler의 2~32%보다는 훨씬 좋은 經濟性을 보이고 있다.

(다) 30-50T/H (Design Capacity)

FBC Coal-Fired Boiler에 國內의 低質無煙炭(2,500Kcal/kg의 發熱量)을 使用할 경우의 IRR이 55~71%로서 상당한 經濟性을 보이고 있으며, Pulverized Coal-Fired Boiler/Domestic Coal (IRR : 54~64%), Stoker Coal-Fired Boiler (IRR / Domestic Coal (IRR : 54~58%), Oil-Fired Boiler (IRR : 32~35%) 등과 比較하여 그 經濟性이 가장 높다.

(라) 50-10 T/H (Design Capacity)

FBC Coal-Fired Boiler/Domestic Low Grade Coal의 IRR이 71~96%로서 가장 좋은 경제성을 보이고 있다. 여기에 반하여 Oil-Fired Boiler는 IRR이 36~16%로 오히려 減少하는 傾向을 보이고 있으며, Oil-Fired Boiler의 經濟性이 Coal에 比해서 그 Capacity가 클수록 상당히 떨어짐을 알 수 있다.

(2) PAYBACK TIME EVALUATION

— PAYBACK TIME을 YEAR로 表示했으며 모든 條件을 IRR EVALUATION의 條件과 같은 假定下에서 行하였다.

— PAYBACK TIME EVALUATION이 回收期間 以後의 金錢出納과 投資活動의 存續期間을 考慮하지 않기 때문에 비교적 LIFE TIME이 짧은 各 代案들에 대해서는 投資機會를 잘 評價할 수 있으며,

— 더하여, 장래가 대단히 不確實하고, 初期投資額의 準備 等に 대한 어려움이 있을 경우에는 좋은 補助評價法일 수 있으므로 이에 대한 評價를 遂行하였다.

(가) 10~30T/H (Design Capacity)

① 다음 表에서 보는 바와 같이 STOKER COAL-FIRED BOILER로서 輸入塊炭을 使用할 경우가 1.45年으로서 가장 資本回收 期間이 짧은 것으로 評價되고 있다.

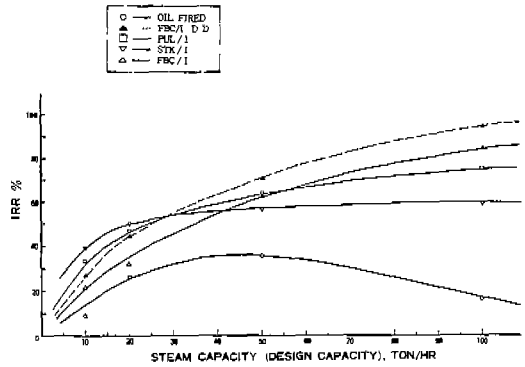
② FBC COAL-FIRED BOILER로서 國內低質無煙炭을 使用할 경우의 PAYBACK TIME이 1.99年으로서 OIL-FIRED BOILER의 6.22 年에 比해서는 훨씬 經濟性이 높으나, STOKER COAL-FIRED BOILER (PAYBACK TIME : 1.45年) 의 水準까지 經濟性을 높이기 위해서는 보다 많은 研究 開發이 이루어져야 할 것이다.

(나) 30~50T/H (Design Capacity)

가장 PAYBACK TIME이 짧은 것은 FBC COAL-FIRED BOILER (國內低質無煙炭 使用)로서 1.01年이며, 事實상 FBC COAL-FIRED BOILER의 經濟性은 30T/H以上부터 나타난다고 할 수 있다.

(다) 50~100T/V (Design Capacity)

前項의 경우와 같이 가장 PAYBACK TIME이 짧은 것은 FBC COAL-FIRED BOILER (國內低質無煙炭 使用)의 0.69年이며, FBC COAL-FI-



〈그림-3〉 IRR of oil-Fired, FBC, Pulverized & Stoker Coal-Fired Boiler

〈表-22〉 Tabulation of IRR (10T/H-30T/H)

Priority	Boiler Type	IRR (%)	
		Main./Max.	Avg.
1	STK-CF/I	42 / 55	49
2	PUL-CF/I	33 / 55	44
3	FBC-CF/D	26 / 56	41
4	FBC-CF/I	19 / 48	34
5	OIL-FB	2 / 32	17

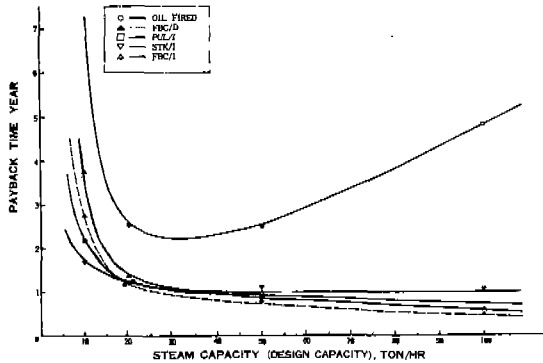
〈表-23〉 Tabulation of IRR (30T/H-50T/H)

Priority	Boiler Type	IRR (%)	
		Min./Max.	Avg.
1	FBC-CF/D	56 / 71	64
2	PUL-CF/I	55 / 64	60
3	STK-CF/I	55 / 58	57
4	FBC-CF/I	48 / 63	56
5	OIL-FB	32 / 36	34

〈表-24〉 Tabulation of IRR (50T/H-100T/H)

Priority	Boiler Type	IRR (%)	
		Min./Max.	Avg.
1	FBC-CF/D	71 / 96	84
2	FBC-CF/I	63 / 86	75
3	PUL-CF/I	64 / 76	70
4	STK-CF/I	58 / 59	59
5	OIL-FB	36 / 16	26

RED BOILER (輸入有煙炭 使用)의 경우도 0.83年으로 다른 代案에 비해 높은 것을 알 수 있다.



〈그림-4〉 PBT (Payback Time) of Oil-Fired, & Stoker Coal-Fired Boiler FBC, Pulverized

〈表-25〉 Tabulation of Payback Time (10T/H - 30 T/H)

Boiler Priority	Payback Time Type	Payback Time (Year)	
		Max./Min.	Avg.
1	STK-CF/I	1.70/1.20	1.45
2	PUL-CF/I	2.20/1.20	1.70
3	FBC-CF/D	2.77/1.20	1.99
4	FBC-CF/I	3.78/1.40	2.59
5	OIL-FB	9.63/2.80	6.22

〈表-26〉 Tabulation of Payback Time (30T/H - 50T/H)

Boiler Priority	Payback Time Type	Payback Time (Year)	
		Max./Min.	Avg.
1	FUC-CF/D	1.20/0.82	1.01
2	PUL-CF/I	1.20/0.95	1.08
3	STK-CF/I	1.20/1.15	1.18
4	FBC-CF/I	1.40/1.00	1.20
5	OIL-FB	2.80/2.50	2.65

#### 차. 感度分析 (Sensitivity Analysis)

(1) 各各의 代案들에 대해서  $\pm 10\%$ 와  $\pm 15\%$ 의 增減變化를 아래 Cost에 주었을 때,

- Capital Cost
- Fixed Cost

#### - Variable Cost

(2) 經濟性에 가장 큰 영향을 미치는 것은 아래의 예와 같이 Fixed Capital Cost였으며, 다음이 Fuel Cost와 직접적인 關聯을 갖는 Variable Cost였다.

(例) FBC Coal-Fired Boiler로서 國內低質炭을 使用하는 경우, 各各의 Cost에 영향을 주었을 때, 經濟性에 미치는 영향은 다음과 같았다.

〈表-27〉 Tabulation of Payback Time (50T/H - 100T/H)

Boiler Priority	Payback Time Type	Payback Time (Year)	
		Max./Min.	Avg.
1	FBC-CF/D	0.82/0.55	0.69
2	FBC-CF/I	1.00/0.66	0.83
3	PUL-CF/I	0.95/0.78	0.87
4	STK-CF/	1.15/1.12	1.14
5	OIL-FB	4.84/2.50	3.67

〈表-28〉 Sensitivity Analysis, case - 1

	IRR (%)	PBT (Year)
NORMAL	71	0.9
+ 10% Capital Increase	66.33	0.9
- 10% " "	76.45	0.8
+ 10% Fixed Cost	69.81	0.9
- 10% " "	72.17	0.8
+ 10% Variable Cost	67.81	0.9
- 10% " "	74.11	0.8

〈表-29〉 Sensitivity Analysis, case - 2

	IRR (%)	PBT (Year)
Normal	71.00	0.9
+15% Capital Increase	64.24	1.0
-15% " "	79.55	0.7
+15% Fixed Cost	69.22	0.9
-15% " "	72.76	0.8
+15% Variable Co	66.18	0.9
-15% " "	75.63	0.8

## 4. 結 論

가. 30T/H이하의 小型보일러에 있어서는 現實的으로 設置可能한 Stoker Coal-Fired Boiler System의 IRR이 49%로서 가장 經濟性이 있으나,

나. 最近 先進各國에서 앞을 다투어 研究開發을 서두르고 있는 FBC Coal-Fired Boiler로서, 現在로서는 國內에서 活用이 不可能한 2,500Kcal/kg의 低發熱量을 갖는 低質無煙炭을 燃料로 使用할 경우의 經濟性이 30T/H以上の 中型 및 大型 보일러에서는 IRR이 55~95%로서 충분한 經濟性을 보이고 있다.

다. 分析에 使用한 石炭價格이 實際販賣 價格과 상당히 차이가 있고 더우기 市場價格이 形成되어 있지 않는 低品位炭(3,000Kcal/kg以下)에 대한 價格이 더욱 낮아질 수 있으므로, 30T/H이하의 小型보일러에서도 低質炭을 利用하는 FBC Coal-Fired Boiler의 經濟性이 다른 石炭燃燒보일러에 비해 相對的으로 높아질 가능성이 있다.

라. 더우기, FBC Coal-Fired Boiler의 長點인 大氣汚染을 가장 經濟的인 費用으로 防止할 수 있다는 利點을 살릴 수 있기 때문에 硫黃除去裝置等 環境汚染防止, 有價金屬回收을 包含한 石炭灰滓(Ash)의 利用等 附加價値를 考慮한다면 상당한 Merit를 더할 것이다.

마. 따라서 國內賦存資源의 活用이라는 側面에서도 앞으로 이에 대한 研究가 계속 이루어져 小容量의 Boiler에서도 충분히 經濟性이 있으면서 安

全하고 Operational Flexibility를 만족시킬 수 있는 Boiler의 開發을 위해 지속적 研究開發이 이루어져야 할 것이다.

### Notations

- AFBC : Atmospheric Fluidized Bed Combustion  
(常壓流動層燃燒)
- CFBC : Circulating Fluidized Bed Combustion (循環流動層燃燒)
- DOE : Department of Energy (美國 에너지省)
- FBC : Fluidized Bed Combustion (流動層燃燒)
- FBC-CF/D : FBC Coal-Fired Boiler ("D" is Abbreviation of Domestic Coal)
- FBC-CF/I : FBC Coal-Fired Boiler ("I" is Abbreviation of Imported Coal)
- IRR : Internal Rate of Return (內部收益率)
- KAIST : 韓國科學技術院
- KIER : 韓國動力資源研究所
- NCB : National Coal Board, U, K.
- OIL-FB : Oil-Fired Boiler
- PBT : Payback Time (投資回收期間)
- PFBC : Pressurized Fluidized Bed Combustion  
(加壓流動層燃燒)
- PUL-CF/I : Pulverized Coal-Fired Boiler ("I" means Imported Coal)
- STK-CF/I : Stoker Coal-Fired Boiler ("I" means Imported Coal)

