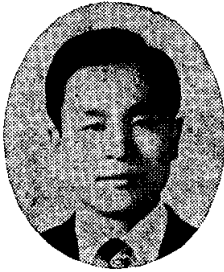


線型計画法(L.P.)適用 事例研究

—精油工場の 製品配合—



尹 錫 喆
(서울大 經營大 副教授)

L.P. 應用事例：精油工場の 製品配合¹⁾

본 L.P.應用事例에서는 하루 28萬바렐의 原油 處理能力을 갖고 있는 精油工場(refinery)과 에틸렌 기준 年 15萬톤의 生産施設을 보유하고 있는 나프타 分解工場(naphtha cracking center) 등 2個工場으로 구성되어 있는 K精油會社를 對象으로 하여 18가지에 精油一般製品에 대한 製品配合計劃을 L.P.에 의하여 作成하고 그 結果를 分析함으로써 L.P.가 實務에 어떻게 適用되고 있는가를 例示하고자 한다.

K精油會社의 精油施設規模, 製品配合過程, 製造原油, 販賣價格, 需要, 最大貯油能力, 在庫水準 등의 資料를 綜合, 分析하여 制約式을 구성하고 각 製品의 貢獻利益(contributinal margin)을 極大化함과 동시에 系列工場인 나프타分解工場에서 生産되는 副産物을 최대로 사용함을 目的函數로 표시하여 製品配合模型을 作成한 후 實際資料를 入力시켜 最適製品配合計劃을 구하고 그 結果를 分析함으로써 L.P.技法의 有用性 및 限界點을 考察할 것이다.

I. 精油製品配合過程의 概要

原油는 가장 가볍고 구조가 간단한 데탄에서

부터 탄화수소가 100에 달하는 큰 化合物까지 갖가지 형태의 탄화수소로 구성되어 있다. 이러한 原油를 加熱하면 沸騰點의 差에 의하여 여러 가지의 溜分(stream)을 얻을 수 있는데 이 과정을 蒸溜工程이라고 한다.

蒸溜工程을 거쳐 나온 溜分들에는 가스分(C₃, C₄), 直流가솔린(LSR), 나프타(Naphtha), 燈油(Kerosene), 輕質가스油(LGO), 重質가스油(HGO), 塔底油(Reduced crude oil) 등이 있는데 이들은 不純物이 많이 포함된 粗製品이 대부분이므로 品質을 높이는 精製工程을 거쳐야 한다. 溜分들은 그 중 한 溜分만으로서 完製品規格을 만족시켜서 제품으로 販賣되는 것도 있지만 대부분의 제품은 한 溜分만으로서 是 產品規格을 만족시킬 수 없으므로 몇 가지 종류의 溜分을 適當한 비율로 配合하고 또한 產品의 質을 向上시키는 첨가제(additives)를 첨가하여 完製品規格에 맞추어야 하는데 이 작업을 製品配合이라고 한다.

K精油會社에서 사용하고 있는 製品配合의 종류와 關聯되는 完製品規格은 <表 1>에 要約되어 있다.

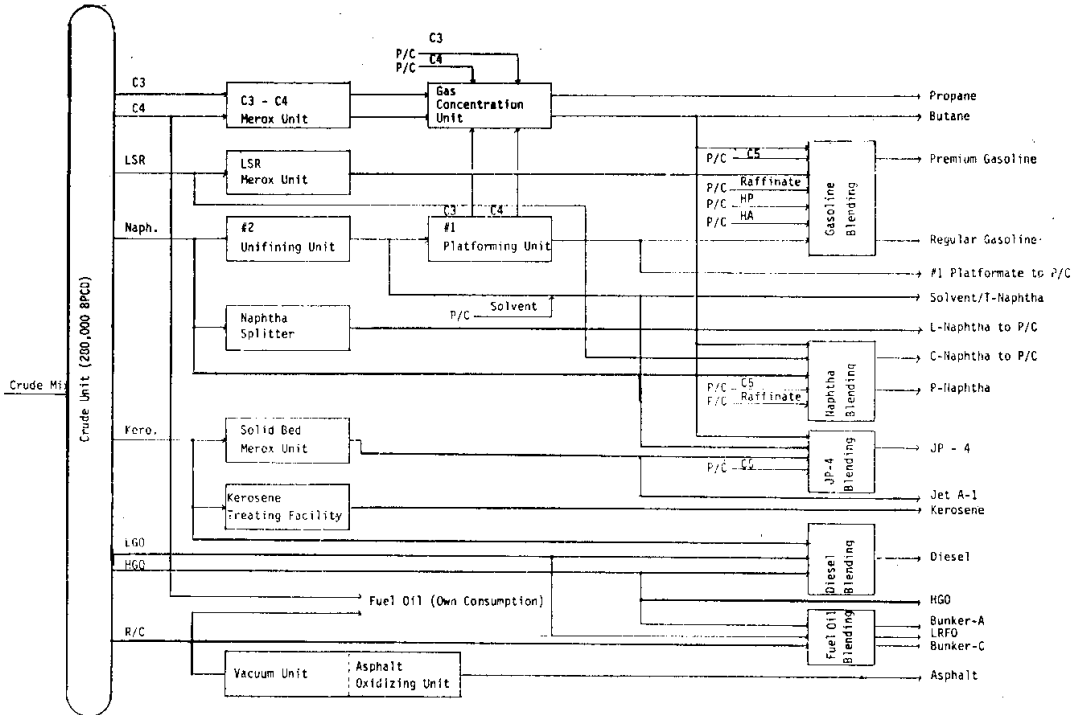
이상과 같이 原油는 蒸溜工程, 精製工程 및 製品配合過程을 거쳐 完製品으로 販賣되는 것이다.

K精油會社의 石油精製操業系統圖는 <圖表 1>과 같다.

1) 本 事例研究는 李仁洙 碩士의 努力에 의해 가능해진 것이다.

〈圖表 1〉 石油精製操業系統圖

(註: P/C는 나프타分解工場을 뜻함)



〈表 1〉 製品配合의 種類 및 完製品規格

製品配合의 種類	完製品規格 ²⁾
가솔린 製品配合	중기압(RVP), 옥탄가(ROK)
나프타 "	중기압(RVP)
JP-4	중기압(RVP), 비중(Sp. Gr.)
輕油 "	유황함량(Wt. %)
重質油 "	"

x_i : 精油製品 i 의 生産量
 α_i : "의 販賣價格
 y : 原油의 投入量
 k : 原油의 導入原價
 S_j : 半製品 j 의 導入量
 (나프타分解工場으로부터)
 β_j : 半製品の 導入原價

① 貢獻利益의 極大化(maximization of contributinal margin)

II. 製品配合을 위한 L.P. Model

1. 目的函數

本 製品配合 L.P. Model의 目的函數는 製品의 貢獻利益을 극대화하고 系列工場인 나프타分解工場에서 에틸렌, 프로필렌, 부타디엔, B.T.X. 등의 主製品 生産과정에서 副産物로서 生産되는 7가지의 半製品³⁾ 사용을 극대화함을 目的으로 하여 다음과 같은 式으로 표시한다.

$$\text{Maximize } Z = \sum_i \alpha_i x_i - ky + \sum_j \beta_j S_j$$

精油製品의 製造原價는 變動費와 固定費로 구성되는데 공헌이익은 제품의 賣出原價에서 변동비를 차감한 것이므로 고정비는 目的函數에서 제외된다. 그리고 製造原價 중에서 94%를 차지하는 原油代를 제외한 一般精製費는 연료비, 동력비, 용수비, 노무비, 수선비 등의 變動費와 감가상각비, 일반관리비 등의 固定費로 구성되는데 石油精製는 여러종류의 탄화수소의 혼합물인 原油를 蒸溜에 의해서 여러가지의 溜分으로 분리한 후 不純物의 제거 및 品質을 향상시키는

2) 이들 規格만 맞추면 기타의 完製品規格은 溜分の 性狀을 고려할 경우 자동적으로 만족된다고 함.

3) 프로판, 부탄, 펜탄, Raffinate, 솔벤트, Heavy Platformate, Heavy Aromatics.

다수의 精製裝置를 거쳐 가솔린, 납사, 燈油, 輕油, 重油 등으로 생산하는 것이며 어떤 特定 한 제품만을 제조하는 것이 아니라 동시에 여러 製品이 생산되기 때문에 製品別 製造原價의 계산은 극히 곤란하다. 따라서 一般的으로 精油工場 전체의 一連의 作業工程을 일괄하여 全製品에 대한 제조원가를 구하는 것이 편리하며, 實務的으로도 加重販賣價值法(weighted selling ratio method), 副製造法(by-product method), 平均原價法(average unit cost method)⁴⁾ 등이 사용되고 있다. 이러한 方法들은 製品收率과 總賣出額을 기준으로 하여 거꾸로 製品別 製造原價를 산출한다. 따라서 一般精製費는 固定費의 性格을 갖는다고 볼 수 있으므로 본 目的函數에서는 變動費로서 原油代단을 고려한다.

② 導入半製品의 使用 極大化(maximum utilization by-product base stocks)

系列工場인 나프타分解工場에서 副產物로서 생산되는 半製品은 全量 一般精油製品配合에 사용하여야 한다. 왜냐하면, 이 반제품들은 부산물로서 생산되고 있을 뿐만 아니라 再處理工程을 거치지 않고서는 單一製品으로 販賣가 불가능하기 때문이다. K精油會社는 이러한 再處理工程을 갖고 있지 않으므로 導入半製品의 使用을 極大化하여야 한다. 만약 製品配合過程에서 남는 量이 발생한다면 그 만큼 機會費用(opportunity loss)이 발생하기 때문이다.

2. 制約條件

본 L.P. Model의 制約條件은 一般的 制約條件과 技術的 制約條件으로 크게 兩分할 수가 있는데 前者는 販賣豫測, 半製品導入量, 石油備蓄量⁵⁾ 및 最大貯油能力 등으로 구성되며 後者는 精油施設과 製品配合過程과 주로 相關된다.

① 一般的 制約條件

일반적 제약조건은 技術的 制約條件과는 달리 外部的 要因에 의하여 변동될 수도 있으며 會社의 販賣戰略, 石油備蓄政策, 製品需給動向 등에 의하여 크게 변화가능한 제약조건이라 할 수 있다. 따라서 一般的 制約條件은 Top Manage-

ment에서 관심을 갖고 분석, 평가하여 會社의 政策樹立 및 意思決定에 도움을 줄 수 있게끔 작성되어야 한다.

一般式으로 표시하면 다음과 같다.

$$d_i \leq x_i + t_i^* \leq d_i + t_i^{**}, i=1, 2, \dots, n$$

x_i : 製品 i 의 生産量

d_i : " 販賣豫測量

t_i^* : " 期初在庫

t_i^{**} : " 石油備蓄量(혹은 最大貯油能力)

② 技術的 制約條件

기술적 제약조건은 原油의 製品收率(product yield), 精油工程의 흐름, 製品配合過程, 그리고 精油施設의 能力 등으로 구성되며, 이들은 일단 會社의 政策決定 등에 의하여 고정되면 쉽사리 변경시키기가 어렵다.

原油의 製品收率⁶⁾은 原油의 종류 혹은 沸騰點의 조작(deep cut)에 따라 다소 차이가 있으나 原油需給事情의 불안정, 그리고 상대적으로 質이 좋은 原油의 長期的 確保의 어려움 등으로 原油供給源의 多邊化政策이 불가피하므로 여러 종류의 原油를 적당히 배합하여 사용하여야 한다. 여러 종류의 原油를 혼합하여 사용할 때 製品收率은 個別 원유의 製品收率을 그 구성비에 의하여 加重平均하여 구할 수 있다. 마찬가지로 방법으로 溜分들의 유향함량도 결정된다.

精油工程의 흐름은 각각의 裝置를 지나는 溜分 혹은 半製品의 흐름을 等式으로 표시한 制約式으로 거의 대부분이 input=output의 형태를 갖는다.

製品配合過程의 제약식은 投入되는 溜分 혹은 半製品의 量과 生産되는 完製品의 等式과 完製品規格을 맞추기 위한 不等式으로 구성된다.

또한 각종 精油施設規模도 여기에 흐르는 溜分の 흐름을 제한하므로 그 施設能力 역시 制約式에 포함되어야 한다.

3. L.P. Model의 構成

앞에서 기술한 制約式과 目的函數를 決定變數와 각종 係數로서 數式化함으로써 製品配合을 위한 L.P. Model을 구성한다.

4) 大韓石油公社, 石油調査報 4號, 1969.

5) 石油備蓄量은 需要 및 製品引渡期間의 不確實性을 대비한 安全在庫量(safety stock)과 防衛備蓄量을 포함하는 在庫水準이다.

6) 原油를 加熱하면 沸騰點의 差에 의하여 여러 溜分을 얻을 수 있는데 이 때 溜分들의 구성비를 말한다.

〈表 2〉 溜分 및 製品의 決定變數

決定變數	說 明	備 考	決定變數	說 明	備 考
YY	原油	總 投 入 量	X ₁	프로판가스(C ₃)	完 製 品
Y	原油	有 効 量	X ₂	부탄가스(C ₄)	"
S ₁	프로판(C ₃)		X ₃	高級揮發油(P-G)	"
S ₂	부탄(C ₄)		X ₄	普通揮發油(R-G)	"
S ₃	펜탄(C ₅)	導 入	X ₅	#1 Platformate	*
S ₄	Raffinate	"	X ₆	Solv./T-Naph.	完 製 品
S ₅	直流가솔린(LSR)		X ₇	L-Naph.	*
S ₆	솔벤트(Solv.)	導 入	X ₈	C-Naph.	*
S ₇	Heavy Platformate(HP)	"	X ₉	P-Naph.	完 製 品
S ₈	Heavy Aromatics(HA)	"	X ₁₀	JP-4	"
S ₉	나프타(Naph.)		X ₁₁	Jet A-1	"
S ₁₀	燈油(Kero.)		X ₁₂	燈油(Kero.)	"
S ₁₁	輕質가스油(LGO)		X ₁₃	輕油(Diesel)	"
S ₁₂	重質가스油(HGO)		X ₁₄	HGO	"
S ₁₃	塔底油(R/C)		X ₁₅	방카에이油(B-A)	"
S ₂₁	프로판(C ₃)	導 入	X ₁₆	重油(LRFO)	"
S ₂₂	부탄(C ₄)	"	X ₁₇	방카시油(B-C)	"
			X ₁₈	아스팔트(AP-3)	"
			X ₁₉	燃料	自體消費用

(註 : *는 나프타分解工場の 主原料임.)

〈表 3〉 半製品割當量의 決定變數

溜分	製品	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	X ₁₉	合計	
S ₁ , S ₂₁	T ₁																					
S ₂ , S ₂₂	T ₂								T ₂₁	T ₂₆	T ₃₁											T ₅₄
S ₃	T ₃		T ₃	T ₁₀					T ₂₂	T ₂₇	T ₃₂											
S ₄	T ₄		T ₄	T ₁₁					T ₂₃	T ₂₈												
S ₅	T ₅		T ₅	T ₁₂					T ₂₄	T ₂₉												
S ₆	T ₆		T ₆	T ₁₃							T ₃₃											
S ₇	T ₇		T ₇	T ₁₄			T ₁₈															
S ₈	T ₈		T ₈	T ₁₅																		
S ₉	T ₉		T ₉	T ₁₆	T ₁₇	T ₁₉	T ₂₀		T ₂₅	T ₃₀	T ₃₄											
S ₁₀										T ₃₅	T ₃₈	T ₃₇	T ₃₈									
S ₁₁													T ₃₉			T ₄₂	T ₄₅	T ₄₈				
S ₁₂													T ₄₀	T ₄₁		T ₄₃	T ₄₇	T ₄₉				
S ₁₃																T ₄₄	T ₄₇	T ₅₀	T ₅₁	T ₅₂		
合 計																						

① 決定變數의 설명

蒸溜工程에서 나오는 각종溜分과 精製裝置를 지나 제품배합에 할당되는 半製品 그리고 여기에서 생산되는 完製품을 變數로 표시하면 <表 2> 및 <表 3>과 같다.

② 技術的 制約條件의 구성

原油의 製品收率, 精油工程의 흐름, 製品配合過程 그리고 精製裝置의 施設能力 등으로 구성된 制約式은 <表 4>, <表 5>, <表 6>, <表 7> 및 <表 8>과 같다.

③ 一般的 制約條件 및 目的函數의 구성

實際資料를 인용하여 구성하여야 하므로 다음

〈表 4〉 原油의 製品收率

ROW NAME	制約條件	備考	ROW NAME	制約條件	備考
R ₁	Y - 0.99YY=0	原油의 손실 및 연료사용 프로판 부탄 直流가솔린	R ₆	S ₉ - 0.132302Y ≤ 0	나프타
R ₂	X ₁₉ - 0.02YY=0		R ₇	S ₁₀ - 0.111762Y ≤ 0	燈油
R ₃	S ₁ - 0.005178Y ≤ 0		R ₈	S ₁₁ - 0.15932 Y ≤ 0	輕質가스油
R ₄	S ₂ - 0.016153Y ≤ 0		R ₉	S ₁₂ - 0.018616Y ≤ 0	重質가스油
R ₅	S ₅ - 0.044378Y ≤ 0		R ₁₀	S ₁₃ - 0.503643Y ≤ 0	塔底油

〈表 5〉 精油工程의 흐름

ROW NAME	制約條件	備考
R ₁₁	-S ₁ -S ₂₁ +T ₁ -0.0875T ₉ -0.0875T ₁₆ -0.0875T ₁₇ =0	
R ₁₂	-T ₅₃ -S ₂₂ +T ₂ +T ₃ -0.075T ₉ +T ₁₀ -0.075T ₁₆ -0.075T ₁₇ +T ₂₁ +T ₂₆ +T ₃₁ =0	
R ₁₂₁	-S ₂ +T ₅₃ +T ₅₄ =0	
R ₁₃	-S ₃ +T ₄ +T ₁₁ +T ₂₂ +T ₂₇ +T ₃₂ =0	
R ₁₄	-S ₄ +T ₅ +T ₁₂ +T ₂₃ +T ₂₈ =0	
R ₁₅	-S ₅ +T ₆ +T ₁₃ +T ₂₄ +T ₂₉ =0	
R ₁₆	-S ₆ +T ₁₈ +T ₃₃ =0	
R ₁₇	-S ₇ +T ₇ +T ₁₄ =0	
R ₁₈	-S ₈ +T ₈ +T ₁₅ =0	
R ₁₉	-S ₉ +1.25T ₉ +1.25T ₁₆ +1.25T ₁₇ +T ₁₉ +T ₂₀ +T ₂₅ +T ₃₀ +T ₃₄ =0	
R ₂₀	-S ₁₀ +T ₃₅ +T ₃₆ +T ₃₇ +T ₃₈ =0	
R ₂₁	-S ₁₁ +T ₃₉ +T ₄₂ +T ₄₅ +T ₄₈ =0	
R ₂₂	-S ₁₂ +T ₄₀ +T ₄₁ +T ₄₃ +T ₄₆ +T ₄₉ =0	
R ₂₃	-S ₁₃ +T ₄₄ +T ₄₇ +T ₅₀ +T ₅₁ +T ₅₂ =0	

〈表 6〉 製品配合

ROW NAME	制約條件	備考(完製品)
R ₂₄	-X ₁ +T ₁ =0	프로판가스
R ₂₅	-X ₂ +T ₂ =0	부탄가스
R ₂₆	-X ₃ +T ₃ +T ₄ +T ₅ +T ₆ +T ₇ +T ₈ +T ₉ =0	高級揮發油
R ₂₇	-X ₄ +T ₁₀ +T ₁₁ +T ₁₂ +T ₁₃ +T ₁₄ +T ₁₅ +T ₁₆ =0	普通揮發油
R ₂₈	-X ₅ +T ₁₇ =0	#1 Platformate
R ₂₉	-X ₆ +T ₁₈ +T ₁₉ =0	Solv./T-Naph.
R ₃₀	-X ₇ +T ₂₀ =0	L-Naph.
R ₃₁	-T ₃ +T ₂₁ +T ₂₂ +T ₂₃ +T ₂₄ +T ₂₅ =0	C-Naph.
R ₃₂	-X ₉ +T ₂₆ +T ₂₇ +T ₂₈ +T ₂₉ +T ₃₀ =0	P-Naph.
R ₃₃	-X ₁₀ +T ₃₁ +T ₃₂ +T ₃₃ +T ₃₄ +T ₃₅ =0	JP-4
R ₃₄	-X ₁₁ +T ₃₆ =0	JetA-1
R ₃₅	-X ₁₂ +T ₃₇ =0	燈油
R ₃₆	-X ₁₃ +T ₃₈ +T ₃₉ +T ₄₀ =0	輕油
R ₃₇	-X ₁₄ +T ₄₁ =0	HGO
R ₃₈	-X ₁₅ +T ₄₂ +T ₄₃ +T ₄₄ =0	방카에이油
R ₃₉	-X ₁₆ +T ₄₅ +T ₄₆ +T ₄₇ =0	重油
R ₄₀	-X ₁₇ +T ₄₈ +T ₄₉ +T ₅₀ =0	방카시油
R ₄₁	-X ₁₈ +T ₅₁ =0	아스팔트
R ₄₂	-X ₁₉ +T ₅₂ +0.7T ₅₄ =0	燃料

〈表 7〉 製 品 配 合

ROW NAME	制 約 條 件	備考(製品規格)
R ₄₃	$-7X_3 + 65T_3 + 24T_4 + 6.5T_5 + 15T_6 + T_7 + 0.8T_8 + 5.5T_9 \geq 0$	증기압(RVP)
R ₄₄	$-9X_3 + 65T_3 + 24T_4 + 6.5T_5 + 15T_6 + T_7 + 0.8T_8 + 5.5T_9 \leq 0$	"
R ₄₅	$-9X_4 + 65T_{10} + 24T_{11} + 6.5T_{12} + 15T_{13} + T_{14} + 0.8T_{15} + 5.5T_{16} \geq 0$	"
R ₄₆	$-10X_4 + 65T_{10} + 24T_{11} + 6.5T_{13} + 15T_{13} + T_{14} + 0.8T_{15} + 5.5T_{16} \leq 0$	"
R ₄₇	$-95X_3 + 101.3T_3 + 93.8T_4 + 74.7T_5 + 74.7T_6 + 98T_7 + 116T_8 + 93.8T_9 \geq 0$	옥탄가(RON)
R ₄₈	$-86X_4 + 101.3T_{10} + 93.8T_{11} + 74.7T_{12} + 74.7T_{13} + 98T_{14} + 116T_{15} + 93.8T_{16} \geq 0$	"
R ₄₉	$-6X_8 + 65T_{21} + 24T_{22} + 6.5T_{23} + 15T_{24} + T_{25} \geq 0$	증기압(RVP)
R ₅₀	$-8X_8 + 65T_{21} + 24T_{22} + 6.5T_{23} + 15T_{24} + T_{25} \leq 0$	"
R ₅₁	$-10X_9 + 65T_{26} + 24T_{27} + 6.5T_{28} + 15T_{29} + T_{30} \leq 0$	"
R ₅₂	$-2X_{10} + 65T_{31} + 24T_{32} + T_{33} + T_{34} \geq 0$	"
R ₅₃	$-3X_{10} + 65T_{31} + 24T_{32} + T_{33} + T_{34} \leq 0$	"
R ₅₄	$-0.751X_{10} + 0.58T_{31} + 0.626T_{32} + 0.7389T_{33} + 0.7389T_{34} + 0.7949T_{35} \geq 0$	비중(Sp. Gr.)
R ₅₅	$-0.802X_{10} + 0.58T_{31} + 0.626T_{32} + 0.7389T_{33} + 0.7389T_{34} + 0.7949T_{35} \leq 0$	"
R ₅₆	$-X_{13} + 0.21068T_{38} + 1.12271T_{39} + 1.82234T_{40} \leq 0$	유황함량(Wt. %)
R ₅₇	$-2.15X_{15} + 1.12271T_{42} + 1.82234T_{43} + 3.94959T_{44} \leq 0$	"
R ₅₈	$-3.15X_{16} + 1.12271T_{45} + 1.82234T_{46} + 3.94959T_{47} \leq 0$	"
R ₅₉	$-4.0X_{17} + 1.12271T_{48} + 1.82234T_{49} + 3.94959T_{50} \leq 0$	"

〈表 8〉 精製裝置의 施設能力*

(單位 : 1,000바렐)

ROW NAME	制 約 條 件	備考(精製裝置)
R ₆₀	$YY \leq 97090$	Crude Unit
R ₆₁	$S_1 + T_{53} \leq 1976$	C ₃ -C ₄ Merox Unit
R ₆₂	$S_1 + T_{53} + S_{21} + S_{22} + 0.1625T_9 + 0.1625T_{17} \leq 2323$	Gas Concentration Unit
R ₆₃	$T_6 + T_{13} \leq 2080$	LSR Merox Unit
R ₆₄	$1.25T_9 + 1.25T_{16} + 1.25T_{17} + T_{19} + T_{34} \leq 2601$	#2 Unifining Unit
R ₆₅	$1.25T_9 + 1.25T_{16} + 1.25T_{17} \leq 2254$	#1 Platforming Unit
	$T_{35} + T_{36} \leq 3121$	Solid Bed Merox Unit
	$T_{20} \leq 5548$	Naphtha Splitter
	$T_{37} \leq 5375$	Kerosene Treating Facility
	$T_{51} \leq 867$	Vacuum-Asphalt Unit

* 年間 最大處理能力은 操業率 95%를 기준함

의 III. 製品配合計劃에서 작성하기로 하고 여기서는 생략한다.

III. 製品配合計劃

1. L.P. Model의 導入

製品配合을 위한 L.P. Model을 이용하여 K精油會社의 1980年度 販賣豫測資料와 관련시켜 事例研究를 시도한다.

① 目的函數

1980年 1月の 製品販賣價格, 原油公示價格 및

半製品導入原價를 기준으로 하고 製品貢獻利益의 極大化, 그리고 導入半製品の 使用極大化를 목적으로 하는 目的函數는 〈表 9〉와 〈表 10〉의 내용과 같이 구성된다.

② 一般的 制約條件

1980年度の 製品別 販賣豫測量, 1980. 1. 1현재의 期初在庫水準, 石油備蓄量 그리고 最大貯油能力 등으로 1980年度の 製品別 最大生産可能量에 대하여 制約條件을 作成한다. 일반적 제약조건은 會社의 販賣戰略, 石油備蓄政策, 製品需給動向 등에 의하여 크게 변화 가능한 제약조건이

〈表 9〉 製品別 販賣價格(α_i)

(單位: \$/바렐)

製 品 販 賣 價 格	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
	55.67	61.14	55.95	46.69	33.14	99.46	33.14	33.14	33.14
製 品 販 賣 價 格	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}	X_{17}	X_{18}
	44.79	44.79	38.04	34.06	34.06	33.83	32.64	31.75	35.28

〈表 10〉 半製品導入原價 및 原油公示價格(β_j 및 k)

(單位: \$/바렐)

半 製 品 導 入 原 價	S_{21}	S_{22}	S_3	S_4	S_6	S_7	S_8	原 油 公 示 價 格	YY
	33.14	33.14	33.14	33.36	33.87	39.57	39.57		28.80

目的函數:

$$\text{Maximize } Z = \sum_i \alpha_i X_i - k YY + \sum_j \beta_j S_j \quad (i=1, 2, \dots, 18) \quad (j=21, 22, 3, 4, 6, 7, 8)$$

지만 본 事例研究에서는 방카시油(X_7)의 구조적 부족현상을 어느 정도 완화시키기 위하여 半製品의 配合過程이 비슷한 제품들($X_{12} \sim X_{18}$)에 대하여 그 上限을 石油備蓄量으로 제한시킴으로써 방카시油의 增産에 도움을 주고 기타 제품들에 대해서는 上限을 最大貯油能力까지 높인 경우를 뜻한다. 또한 系列工場인 나프타分解工場의 主原料(X_5, X_7, X_8)에 대해서는 下限(販賣豫測量과 5日分 豫備量의 合)을 정하여 精油工場의 갑작스런 Shutdown에도 불구하고 나프타分解工場의 操業을 정상적으로 하기 위한 必須的 在庫量을

〈表 11〉 一般的 制約條件(製品別 生産可能量)
(1980年度) (單位: 1,000바렐)

製 品	販賣豫測量	初 庫 量	石 油 備 蓄 量	最 大 貯 油 能 力	制 約 式
X_1	1,077	40	23	63	$X_1 \leq 1,100$
X_2	1,059	36	33	63	$X_2 \leq 1,086$
X_3	748	152	110	263	$X_3 \leq 859$
X_4	3,103	328	230	1,053	$X_4 \leq 3,828$
X_5	23	3	-	45	$23.3 \leq X_5 \leq 65$
X_6	164	0.3	4	90.5	$X_6 \leq 254.2$
X_7	5,002	38	60	130	$5,032.5 \leq X_7 \leq 5,094$
X_8	5,083	42	60	140	$5,110.6 \leq X_8 \leq 5,181$
X_9	4,125	194	300	630	$X_9 \leq 4,561$
X_{10}	858	84	100	168	$X_{10} \leq 942$
X_{11}	1,132	55	60	93.5	$X_{11} \leq 1,170.5$
X_{12}	4,526	220	240	689	$X_{12} \leq 4,526$
X_{13}	19,090	1,213	870	1,790	$X_{13} \leq 18,747$
X_{14}	18	8	10	20	$X_{14} \leq 20$
X_{15}	1,624	152	70	261	$X_{15} \leq 1,542$
X_{16}	1,223	103	70	175	$X_{16} \leq 1,190$
X_{17}	48,089	862	2,060	3,135	$X_{17} \leq 49,287$
X_{18}	566	4	26	53	$X_{18} \leq 588$

〈表 12〉 一般的 制約條件(半製品導入量)

(1980年度)

(單位: 1,000바렐)

半 製 品	導 入 量	制 約 式
S_3	829	$S_3 \leq 829$
S_4	1,299	$S_4 \leq 1,299$
S_6	518	$S_6 \leq 518$
S_7	416	$S_7 \leq 416$
S_8	121	$S_8 \leq 121$
S_{21}	218	$S_{21} \leq 218$
S_{22}	266	$S_{22} \leq 266$
合 計	3,667	

고려하여야 한다.

以上과 같은 경우에 있어서 製品別 最大(혹은 最低) 生産可能量에 대한 일반적 제약조건을 구성하면 〈表 11〉과 같다.

나프타分解工場의 主製品 生産過程에서 副産物로서 생산되는 半製品の 年間導入量 또한 일반 제약조건으로 入力되어야 하는데 그 制約式은 〈表 12〉에 정리되어 있다.

2. L.P. Model의 適用結果 및 分析

1980年度 諸資料로부터 구성된 목적함수와 일반적 제약조건을 L.P. Model에 入力시켜 精油一般製品配合의 最適解를 구하였다. 본 계산에는 美 Control Data Corporation의 L.P. Package Program, APEX-III를 사용하였으며 CPU Time으로 약 8.6초가 소요되었다. 投入된 原油量은 총 97,090천바렐에 달하였으며 이때 目的函數의 값은 675,508,630\$로 계산되었다.

最適解에서 구한 諸決定變數의 값과 관련, 限界價値(marginal value 혹은 shadow price)를 K

會社의 販賣戰略, 製品需給計劃, 製品配合指針 및 施設規模의 檢討 등에 관련시켜 分析함으로써 本 L.P. Model이 어떻게 이용될 수 있는가를 검토하여 보자.

① 販賣戰略 및 製品需給計劃

〈表 13〉은 最適解에서 구한 製品生産量과 二 限界價値를 入力資料와 관련시켜 작성한 것이며 여기에서 追加販賣可能量은 期末在庫에서 石油 備蓄量을 除한 量이다.

正의 限界가치를 갖는 제품의 경우 한 單位 販賣를 증가시킬 때 목적함수의 값을 증가시킬 수 있는 반면에 負의 限界가치를 갖는 製品(X_5) 是 最適解에서 가능한 범위내에서 生産을 억제 하였음에도 불구하고 목적함수에 負의 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 實務에 있어서 이러한 製品의 生産은 가능한 한 억제하고 여기에 소요되는 半製品을 製品配合過程이 비슷한 製品(X_3 및 X_4)의 生産에 사용하는 것이 會社全體로 보아 利益이 될 것이다.

상대적으로 높은 限界價値를 갖는 製品(X_2 , X_3 , X_4 , X_6 , X_{10} , X_{11})에 대하여는 集中的인 販賣 戰略을 세워 追加販賣可能量을 소화시킴으로써 市場占有率의 확대를 모색해 나아가야 한다. 반

면에 限界가치가 비교적 낮은 제품의 販賣戰略은 관련제품들의 需給狀況에 대한 Top Management의 政策決定에 따라 크게 달라질 것이다.

나프타分解工場의 主原料로 생산되는 제품들 (X_5 , X_7 , X_8)중에서 負의 限界가치를 갖는 原料 (X_5)의 사용은 가능한 한 억제해야 할 것이며 기타 原料들에 대해서는 追加販賣可能量을 적극 활용하여 附加價値가 높은 石油化學製品의 生産을 증가시켜야 한다.

期末在庫에서 正의 값을 갖는 제품들은 그 生産량이 販賣豫測量을 초과함을 의미하므로 이들 제품에 대해서는 보다 적극적인 販賣戰略이 필요하지만 負의 값을 갖는 프로판가스(X_1) 및 방카시油(X_{17})은 그 수치 만큼 生産량이 판매수요를 따라가지 못함을 뜻하므로 이들 제품에 대해서는 製品輸入 또는 제품배합과정의 비슷한 다른 제품들의 生産을 감소시켜 不足量을 다소 완화시키든가 하는 政策的 決定이 필요하다.

이와같이 追加販賣可能量과 限界價値의 상호 關係를 면밀히 관찰함으로써 販賣戰略 및 製品 需給計劃을 재검토할 수 있는 意思決定資料로서 本 L.P. Model을 이용할 수 있다.

② 製品配合指針

〈表 13〉 1980年 製品生産量 및 追加販賣可能量 (單位: 1,000바렐, 1,000 \$)

製 品	販賣豫測量	期初在庫	石油備蓄量	生産量	期末在庫	追加販賣可能量	限界價値
X_1	1,077	40	23	852.4	-207.6	0	—
X_2	1,059	36	33	1,086	63	30	29.39
X_3	748	152	110	859	263	153	22.03
X_4	3,103	328	230	3,828	1,053	823	13.65
X_5	23	3	—	23.3	0.3	0	-0.84
X_6	164	0.3	4	254.2	90.5	86.5	67.71
X_7	5,002	38	60	5,094	130	70	1.39
X_8	5,083	42	60	5,181	140	80	1.39
X_9	4,125	194	300	4,561	630	330	1.39
X_{10}	858	84	100	942	168	68	13.04
X_{11}	1,132	55	60	1,170.5	93.5	33.5	13.04
X_{12}	4,526	220	240	4,526	220	0	6.29
X_{13}	19,090	1,213	870	18,747	870	0	2.31
X_{14}	18	8	10	20	10	0	2.31
X_{15}	1,624	152	70	1,542	70	0	2.08
X_{16}	1,223	103	70	1,190	70	0	0.89
X_{17}	48,089	862	2,060	46,297.7	-929.3	0	—
X_{18}	566	4	26	588	26	0	3.53

註: 期末在庫에서 (-)의 값은 在庫不足을 의미함.

〈表 14〉 半 製 品 割 當 計 劃

(單位: 1,000바렐)

溜 分	製 品	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀
S ₁ , S ₂₁		852									
S ₂ , S ₂₂			1,086	0	29				317	0	39
S ₃				273	556				0	0	0
S ₄				109	1,190				0	0	
S ₅				0	454				880	2,932	
S ₆							254				264
S ₇				416	0						
S ₈				61	60						
S ₉				0	1,539	23	0	5,094	3,984	1,629	56
S ₁₀											583
S ₁₁											
S ₁₂											
S ₁₃											
合 計		852	1,086	859	3,828	23	254	5,094	5,181	4,561	942

溜 分	製 品	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	X ₁₉	合 計
S ₁ , S ₂₁											852
S ₂ , S ₂₂										501	1,822**
S ₃											829
S ₄											1,299
S ₅											4,266
S ₆											518
S ₇											416
S ₈											121
S ₉											12,325
S ₁₀		91,171	4,526	4,463							10,743
S ₁₁				12,515		982	1,190	627			15,314
S ₁₂				1,769	20	0	0	0			1,789
S ₁₃						560	0	45,671	588	1,591	48,410
合 計		1,171	4,526	18,747	20	1,542	1,190	46,298	588	1,942*	98,704

註: *의 수치는 $501 \times 0.7 + 1,591 = 1,942$ 에서 계산된 것임. 즉 부탄 1바렐을 연료로 사용한 경우 0.7바렐의 방카시유에 해당됨.

**의 수치는 $1,086 + 29 + 317 + 39 + 501 \times 0.7 = 1,822$ 에서 계산된 것임.

L.P. Model에서 구한 最適解로부터 製品別 半製品割當量을 〈表 14〉와 같이 작성하면 이 表를 중심으로 하여 製品配合指針을 세울 수 있다.

예를 들면, 重質油製品配合에 있어서 방카에 이油(X₁₅), 重油(X₁₆) 및 방카시유(X₁₇)의 생산을 위하여 輕質가스油(S₁₁), 重質가스油(S₁₂) 및 塔底油(S₁₃) 등의 半製品가 필요하지만 〈表 14〉의 결과에 의하면 重質가스油는 重質油의 제품배합에 사용하지 말고 輕油의 제품배합에 주로 사용하는 것이 좋다.

〈表 14〉는 어떤 제품배합에는 어떤 반제품을 사용하지 않는 것이 會社全體로 보아 利益을 증가시킬 수 있음을 시사하고 있으므로 이러한 관점에서 〈圖表 1〉 石油精製操業系統圖는 주의 깊게 재검토되어야 할 것이다. 본 半製品割當計劃表는 1980年 한해를 대상으로 한 最適製品配合計劃에 의거하여 작성된 것으로서 反제품할당에 대한 基本指針을 제시하고 있으나 計劃單位期間을 月別로 할 경우 生産計劃業務에 큰 도움을 줄 수 있을 뿐만 아니라 特定 제품에 대한 제품

〈表 15〉 精製裝置의 使用率

裝 置 名	年間處理能力 (1,000바렐)	使 用 率(%)	限 界 價 值 (1,000\$)
Crude Unit	97,090	100.0	1.66
C ₃ -C ₄ Merox Unit	1,976	80.2	—
Gas Concentration Unit	2,323	100.0	9.53
LSR Merox Unit	2,080	21.8	—
#2 Unifining Unit	2,601	77.2	—
#1 Platforming Unit	2,254	86.6	—
Solid Bed Merox Unit	3,121	56.2	—
Naphtha Splitter	5,548	91.8	—
Kerosene Treating Facility	5,375	84.2	—
Vacuum-Asphalt Unit	867	67.8	—

배합을 현재 이용 가능한 범위 내에서 수행할 경우 특히 有效하게 사용될 수 있다.

③ 施設規模의 檢討

〈表 15〉는 最適解로부터 구한 각종 決定變數의 값을 이용하여 常壓蒸溜裝置를 비롯한 각종 精製裝置의 사용률을 요약한 것이며 100% 사용된 경우는 해당 裝置의 限界價値를 기록한 것이다.

상압증류장치(crude unit)의 사용률은 100%로서 그 한계가치는 1.66\$/바렐 이므로 한 單位 시설확장 시 1.66\$/바렐 만큼 목적함수의 값을 증가시킬 수 있다. 그러나 液化가스回收裝置(gas concentration unit)의 한계가치는 -9.53\$/바렐로서 시설확장의 경우 오히려 목적함수의 값을 감소시킬 수 있다. 액화가스회수 장치의 병목현상(bottle neck)이 있다고 하여 시설확장을 단독으로 추진할 경우에는 자칫하면 잘못 판단하기 쉬운 문제이지만, 精油工場 전체를 대상으로 한 最適製品配合計劃은 이러한 시설확장 문제를 限界價値의 개념으로 쉽게 해결하여 준다. 따라서 액화가스회수장치는 100%의 사용률을 보이고 있는 상압증류장치의 확장이 先行되지 않는 이상 현재의 販賣패턴으로 볼 때 그 시설확장은 전혀 불필요하다.

LSR메록스裝置의 사용률이 21.8%로 낮은 이유는 본 장치가 휘발유제품배합에 사용되는 直流가솔린을 精製하고 있음에도 불구하고 휘발유제품배합에 나프타分解工場에서 도입되는 여러가지 半製品을 우선적으로 사용하였기 때문

이다.

IV. L.P. Model의 有用性 및 限界點

L.P. Model을 이용한 製品配合計劃이 試行錯誤法에 의한 제품배합계획보다 有利한 點은 다음과 같이 요약될 수 있다.

① 特定 一般的 制約條件 下에서 제품생산량과 판매예측량을 비교하여 과부족량을 定量的으로 파악하고 製品의 限界價値를 分析함으로써 製品需給計劃과 追加販賣戰略 등의 기초자료를 제공할 수 있다.

② 特定 製品配合에 투입되는 半製品을 定量的으로 파악함으로써 半製品割當指針을 세울 수 있다.

③ 精油工場 全體의 입장에서 個別 精製裝置의 使用率과 그 限界價値를 分析하여 施設擴張問題를 검토할 수 있다.

그러나, L.P. Model은 確定的(deterministic)이며 그 기본 전제가 線型性(linearity)이기 때문에 다음과 같은 短點 역시 무시할 수가 없다.

① 常壓蒸溜裝置에서 나오는 溜分들의 收率(yield) 및 性狀은 投入原油의 종류에 따라 다소 변화가 있으며 운전공의 沸騰點操作(deep cut)으로도 어느 정도 조정이 가능하므로 L.P. Model의 係數들이 변동하게 된다.

② 어떤 精製裝置의 갑작스런 作業중지는 全工程의 흐름을 깨뜨리므로 L.P. Model의 수정이 불가피하게 된다.

③ 製品需要의 季節的 變動, 그리고 注文의 不規則한 도착 등으로 最適半製品 割當指針을 지키기가 어려운 경우도 있을 것이다.

이상과 같은 短點들은 L.P. Model의 限界點이라고 할 수 있으나 어떠한 計劃이라도 시스템

外的인 未來의 不確實성을 배제하기가 어렵기 때문에 事後統制가 必須的인 점을 감안할 때 L.P. Model에 의한 製品配合計劃은 實務的으로 크게 도움을 줄 수 있을 것이다.