

線型計劃模型에 의한 最適操業의 決定

—鐵鋼工業을 中心으로—

梁 光 敏

目 次

I. 序 論	3. 鋼材製造「모델」
1. 鐵鋼工業의 概況	4. 統合「모델」
2. 問題의 提起	II. 假定의 檢討
3. 工程의 概要	1. 製鐵工程
II. 모 델	2. 製鋼工程
1. 製鐵工程「모델」	3. 鋼材製造 工程
2. 製鋼工程「모델」	IV. 結 論

I. 序 論

鐵鋼工業은 모든 産業中에서도 그 前後方 聯關效果 (Linkage effect)가 가장 클 뿐만 아니라 다른 産業의 生産活動에 필수적인 素材를 生産 供給하는 基礎産業으로서 鐵鋼材의 生産 및 消費指數에 의하여 一國의 工業化 水準을 表示할 정도로 그 重要性이 큰 國家 基幹産業이다.

外國의 경우 國民一人當 鐵鋼材消費量을 보면 200kg(1968年 美國 687kg 日本 419kg)을 上廻하고 있는 反面에 우리나라는 約 34kg에 불과하여 우리나라가 아직 工業化를 이룩하고 있지 못함을 나타내고 있다.

그러나 우리나라의 鐵鋼工業은 과거 約 10年間に 걸쳐 生産面에서 급속한 成長을 이룩하였다.

즉 1959年 91,000 噸에 불과했던 鐵鋼生産은 1968年 736,000 噸으로 늘어나 8倍 以上의 生産增大를 보였으며 第一次五個年計劃 期間中에는 年平均 27%의 生産增加를 이룩했으며

筆者: 서울 大學校 經營大學院 碩士課程 3回卒業生.
本論文은 生産管理最優秀論文을 拔萃要約한것임.

生産面에서 一個工場의 年間 生産實績이 10萬圓을 상회하고 施設面에서도 점차 零細性과 後進性を 탈피하고 있다. 그리하여 第二次 五個年計劃의 가장 핵심적인 事業으로 추진되고 있는 年産 103萬圓 規模의 綜合製鐵工場 建設은 그 規模로 보아 우리나라 初有의 事業임과 同時에 國內 鐵鋼工業 近代化를 위한 발돋움의 되는 것이다.

이에 本 論文은 施設投資額이 막대한 鐵鋼工業에 있어서 鐵鋼一貫操業工程의 線型모델을 통하여 효율적인 受注, 生産計劃 및 施設의 利用度를 높일 수 있는 바탕을 마련하고자 한다.

1. 鐵鋼工業의 概況

1) 原價構成面에서 본 鐵鋼工業

鐵鋼部門의 原價構成比率은 과거 6年間に 있어서 材料費의 比重이 대폭 增大된 반면에 經費와 一般管理費 및 販賣費의 比重은 相對的으로 低下되었다. 이러한 原價構成比率의 변동 추세는 그동안 國內古鐵, 導入古鐵 및 銑鐵等의 主原料 價格이 다른 原價要素의 價格上 昇率보다 높았으며 한편 經營合理化에 의한 經費 및 一般管理費의 節減에 주로 基因하는 것이다.

한편 要素別 原價構成을 日本의 그것과 對比하여 보면 1968年에 있어 日本은 材料費의 構成比가 61.4%임에 比하여 韓國은 80.4%로써 韓國이 19%나 높은 반면에 勞務費, 經費 및 一般管理費 및 販賣費는 韓國이 오히려 낮다.

그리고 日本은 材料費의 比重이 漸次 低下되고 있으나 經費 및 一般管理費와 販賣比의 比重은 높아가고 있음에 比하여 韓國은 그와 正反對의 現象에 있음은 注目할 만한 事實이다. 그러므로 위의 事實을 注目할 때 製造原價 節減이 材料費部門에서 重點的으로 이루어져야 함을 알 수 있다.

따라서 製銑 및 製鋼部門에 있어 모델이 시도하려는 바는 原料類의 最適選擇을 통한 製造原價中 材料費의 節減에 치중한다.

2) 鐵鋼工業에 있어서의 技術革新 및 最適規模

鐵鋼工業은 本來 다른 產業과 比較해서 多額의 固定資本을 필요로 한다는 특징을 갖는다.

月産 一萬臺의 自動車工場이나 最新施設을 갖춘 合成纖維 工場은 三仟萬圓 前後의 設備資金으로서 建設할 수 있고 鐵鋼業과 같은 裝置工業인 石油化學工業도 ethylene 年産 20萬圓정도하는 國際規模의 綜合工場이면 2억불이면 建設이 가능하다.

이에 대하여 鐵鋼業의 경우, 粗鋼 年生産 600萬圓 規模의 綜合製鐵工場을 建設하는데 7억불의 設備資金이 所要된다.

이와같은 工場建設의 第一段階로서 高爐一基, 轉爐二基 및 熱延·冷延板材 壓延機(strip mill)를 具備한 粗鋼 年生産能力 150萬噸 規模를 完成하는데만 3억불이란 巨額의 資金이 所要된다. (1)

第二次 世界大戰 直後에는 粗鋼 年生産能力 70~100萬噸 規模의 綜合製鐵工場이 適正規模라고 알려졌으나 最近 各生産 工程의 大規模化로 豫想되는 今후의 現代 製鐵所의 規模는 5,000 噸 짜리 高爐三基, 300 噸짜리 轉爐三基, 二個의 分塊壓延機(또는 連續鑄造機) 그 後續熱冷壓延機, 表面處理등의 設備를 갖춘 粗鋼 年 600~800萬噸의 工場이 適正規模라고 알려지고 있다 (2)

鐵鑛石을 일단 炭素分이 많이 含有된 銑鐵로 만들고 다시 炭素分을 낮추어 鋼으로 만드는 間接製鐵工程은 投資固定資本單位의 팽창을 助長한다는 性격을 본래부터 가지고 있다.

그러나 現在까지도 高爐一製鋼爐의 間接製鐵法에 대신하여 가까운 장래에 보다 저렴한 費用으로 鋼을 大量 生産할 수 있는 直接製鋼法 또는 粉末冶金 等の 획기적인 新技術에 의해 전면적으로 대체될 것이라는 假定을 除外하고는 現代 製鐵技術의 흐름은 당연히 500年의 전통적인 間接製鐵方式의 延長上에서 大規模化, 高速化, 連續化 및 自動化的 方向으로 발전할 것이다.

따라서 이 경우 資本의 절감을 卍하기 위해 綜合製鐵所의 單位 設備容量은 巨大化하고 그 設備投資規模도 커지지 않으면 안된다.

또한 一定容量의 施設로서 보다 빨리 製鍊하기 위한 各種의 新技術이 適用되고 있다.

즉 高爐에 있어 各種原料의 事前處理法, 重油 및 酸素富化, 高壓操壓과 製鋼工程에 있어서의 LD 爐의 登場으로 因한 生産 單位當 設備投資의 低下가 그것이다.

또한 점차 鉅액의 投資를 필요로 하는 分塊壓延機의 設備를 폐지하고 製鋼工程에서의 造塊와 이에 繼續된 分塊工程을 한번에 連續적으로 加工하는 連續鑄造法은 實收率向上에 의한 大폭적인 原價節減을 이롭과 동시에 分塊壓延을 위한 設備費를 輕減하는 효과를 갖고 등장했다.

이와 같은 間接製鐵法下의 一貫作業 方式의 범위內에서 大型化하는 企業規模의 효율적인 管理方式은 必然적으로 自動化的 導入을 가져온다.

따라서 이 모델의 試圖은 鋼材受注로부터 出荷까지의 全工程을 모델化하여 大規模化하는 製鐵·製鋼工場의 管理道具로서의 自動化的 前提가 되도록 하려는 것이다.

(1) 大橋周治「鐵鋼業의 再編成」金屬, Vol. 36, No. 22 (1966), p. 36.

(2) 上揭文 p. 37.

2. 問題의 提擧

現代의 製鐵·製鋼工業의 特色은 競爭, 기술혁신등의 여러 要因으로부터 오는 操業의 一貫化 및 大規模化로 要約될 수 있으며 이는 必然的으로 計劃 및 管理의 複雜化를 招來한다.

이와같은 最少의 經費 또는 最大利益을 가져오기 위한 生産計劃의 樹立은 여러가지 고려되어야 할 要素들의 相互關聯性으로 말미암아 數理計劃의 導入을 不可避하게 하며 또한 製鐵·製鋼工業의 投資規模가 莫大하므로 最適 Input 및 工程을 決定함은 重要한 意味를 갖는다. 製鐵·製鋼工程 모델에서 求하고자 함은 各種 output 에 따른 input 의 種類 및 比率의 決定이다.

一貫作業의 綜合製鐵 製鋼工場은 鐵鑛石의 選擇으로부터 最終 壓延製品의 選擇에 이르기까지의 주어진 生産施設內의 原料, 工程 및 製品選擇의 범위가 多樣하다. 이를테면 鐵鋼을 生産하기 위하여는 價格, 成分 및 技術的特性이 相異한 諸種의 原鑛을 選擇 使用할 수 있으며 製鋼工程에서 特定 鋼種을 生産하기 위한 scrap 과 熔鑪의 使用比率는 어느 技術的 限界內에서 그 選擇이 可能한 것이다. 이와같은 使用 input 의 選擇에 미치는 要素는 市場價格⁽³⁾, 原料가 製品價格에 미치는 影響, 操業에 難易性, 生産施設에의 適切한 割當 등이며 이들은 相互 關聯性을 갖고 關係한다. 壓延過程에서의 모델이 求하고자 함은 가장 有利한 製品組合⁽⁴⁾ (product mix)과 各 工程段階에서의 操業程度(activity level)의 決定 및 一定한 費用으로 既存市場의 最有利 改善方案을 摸索하는 것이다.

製鐵 및 製鋼工程의 모델에서 制約條件은 대체로

① product specification

② chemical reaction

③ material balance

④ heat balance

⑤ availability & minimum usage 가 되고 最少費用(또는 最大利益)이 目的函數가 된다

鋼材製造工程에서의 制約式은

① line balancing

② availability (supply & capacity)

③ demand 가 되고 目的函數는 製鐵製鋼工程에서와 같이 最少費用(또는 最大利益)이 된다.

(3) 計劃期間中에는 一定하다고 假定함

(4) 또는 工程組合(process mix)

여기 提示된 모델은 綜合製鐵 製鋼工程의 最適操業의 指針을 마련할 뿐 아니라 이와 類似한 性質을 갖는 諸工程에 약간의 修正을 加하므로써 適用될 수 있다.

3. 工程의 概要

鐵鋼工業은 鐵鑛石, 石灰 및 鐵屑(scrap), 그 밖에 諸原料(副材料)를 使用하여 鐵鋼材를 生産하는 工業으로 主要 作業工程은 製銑, 製鋼, 鋼材製造(壓延, 鑄造 및 鍛造等)의 셋으로 大別된다. (5)

製鐵部門은 그 第一段階로서 原料의 豫備處理, Coke 製造作業, 高爐作業으로 나눌 수 있다.

原料의 豫備處理作業은 外部로부터 供給된 各種 鐵鑛石中 큰 것은 粉碎하여 均一한 粒度로 만들고 이미 粉狀으로 된 것은 適當한 方法으로 (6) 適當한 크기의 덩어리로 만든 다음 다시 여기에 塊鑛을 섞어 全體적으로 成分을 調節하므로써 高爐의 作業이 가장 능률적으로 行하여지도록 하는 作業이다.

Coke 製造作業은 外部로 부터 供給된 各種石炭을 配合하고 필요에 따라서는 選炭하여 品位를 높인 다음 Coke 爐에 裝入 乾溜하여 高爐에 使用될 수 있는 良質의 Coke 를 製造하는 作業이다.

高爐作業은 이들 塊鑛, 燒結鑛 및 Coke 에 一定한 量의 石灰石, 망강(manganese)鑛石등을 配合하여 高爐에 裝入, 鑛石類을 還元, 熔解하여 鐵分과 不純物(鑛滓)를 分離하여 目的하는 化學組成의 銑鐵을 生産하는 作業이다.

製鋼作業도 前記의 高爐作業에 의하여 生産된 生鐵과 제철소內 또는 外部로부터 供給된 屑鐵(scrap)을 主原料로 하여 平爐, 轉爐 또는 電氣爐에 의하여 精鍊하고 炭素含有量을 調整하는 동시에 不要成分 및 有害成分을 除去하는 한편 必要成分을 添加하여 用途에 맞는 鋼을 만든 다음 鑄型에 鑄入하여 鋼塊(ingot)를 만드는 作業이다.

鋼材製造作業도 前記의 製鋼作業에 의하여 生産된 鋼塊를 使用하여 各種의 鋼材로 成形하는 作業이다.

그 方法으로는 壓延(rolling)에 의하는 것이 많고 一部分가 鍛造(forging)等 기타 方法에 의한다.

壓延順序는 加熱된 鋼塊를 다시 分塊壓延機(primary mill or blooming mill)에 의하여 粗

(5) 本論文에서는 여러가지 製鐵, 製鋼法中 高爐에 의한 製銑, 酸素轉爐에 의한 製鋼法을 中心으로 모델을 展開하기로 한다.

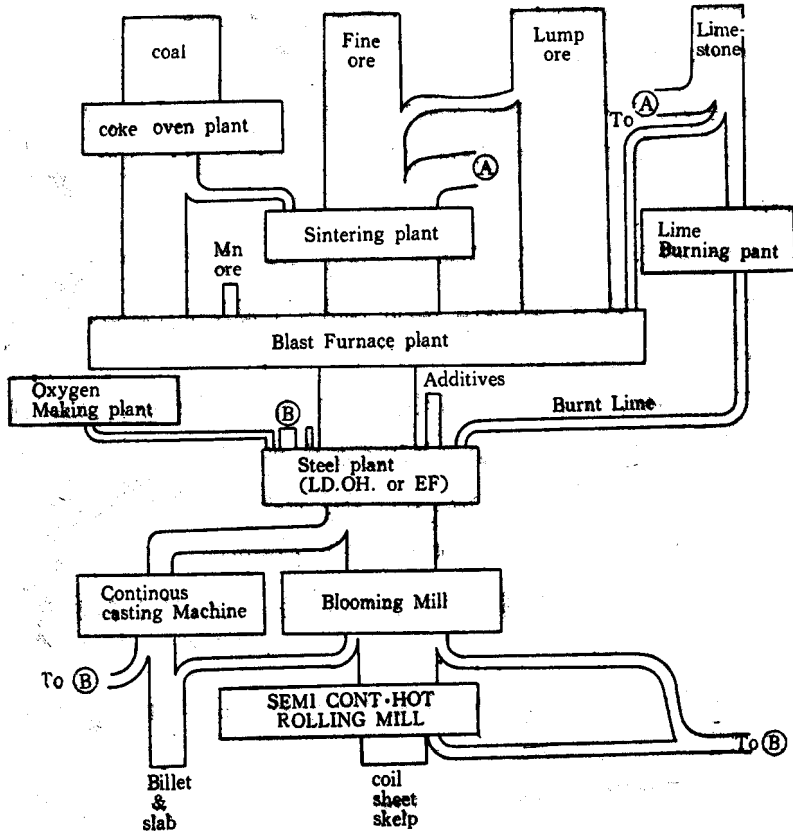
(6) 燒結(sintering) 또는 pelletizing

壓延하여 billet, slab 등의 鋼片을⁽⁷⁾ 만들고 이를 成品壓延機(secondary mill)에 의하여 最終壓延하는 것이다.

軌條(rails), 棒鋼(bars), 形鋼(shapes), 薄板(sheet) 등이 이와같은 工程을 거쳐서 製造된다.

또한 두께가 얇고 表面이 미려한 高級鋼板과 같은 것은 特히 冷間壓延(cold rolling) 하여 製造하고 亞鉛渡鐵板(galvanized sheet)를 만들기 위해서는 다시 이러한 薄板을 亞鉛渡金工程에 거친다. 以上에서 말한 三大主要作業이 一個工場에서 이루어지는 鐵鋼一貫工場의 工程을 <그림-1>에 보인다.

<그림-1> 鐵鋼一貫工場의 工程圖



(7) 中間段階의 半成品으로 bloom, 條鋼用 billet, 鐵板用 slab 또는 sheet bar 와 鋼管用 skelp 및 hoop 等

(8) 再結晶溫度 以下에서 行하는 壓延.

II. 모 델

1. 製鐵工程모델

製鐵工程에서는 이미 논의한 바와 같이 鐵分의 源泉으로 諸種 鐵鑛石 및 含鐵物質, 還元劑로서 Coke, 熔劑로서 石灰石이 Input 로 된다.

여기서 Coke 는 鐵鑛石 中에서도 酸化鐵의 形態로 들어있는 鐵分을 還元하기 위한 還元劑로 또한 熱化學的으로 還元反應 (吸熱反應)이 활발히 進行하도록 溫度를 維持시켜 주기 위한 熱源으로도 작용한다.

製鐵工程中에서 취급하고자 하는것은 가장 經濟的인 操業을위한 使用鑛石의 種類 및 그 量과 各鑛石種類에 對應하는 적절한 鹽基度의 決定이며 制約條件으로 고려되어야 할 것은 다음의 것들이 된다.

- 1) 熱收支(Heat Balance)
- 2) 物質收支(Material Balance)
- 3) 生産能力(Capacity)
- 4) 製品規格(Product Specification)
- 5) 需要供給量 (Supply & Demand)

制約條件이 될 수 있는 化學反應은 그 反應에 必要的인 溫度와 物質收支만을 고려하여 주면 즉 위의 (1)과 (2)를 만족하면 反應은 正方向으로 進行하므로 모델에는 添加할 필요가 없다.

制約條件中 熱收支와 物質收支는 相互聯關性을 가지며 製鍊技術的인 性格을 많이 가지고 있다.

鐵鑛石을 中心으로 생각하면 熱收支 및 物質收支와 關係하는 Input 는 Coke 와 石灰石이 되고 이중에서 所要되는 Coke 量은 製鍊技術的인 資料가 보여 주는 바로는 熱收支를 維持하기에 필요한 量의 Coke 는 物質收支를 維持하는데 必要的인 量을 超過한다.⁽⁹⁾

따라서 物質收支에서는 石灰石의 使用量만을 算定토록 한다.⁽¹⁰⁾ 모델을 構成하기 전에 鐵分의 源泉이 되는 含鐵物質인 諸種 鐵鑛石, 燒結鑛(Sinter), Mill Scale

(9) Schuhmann, R. Jr., Metallurgical Engineering, Vol. 1, Addison-Wesley, 1952, pp. 61-66.

(10) 單位 鐵鑛石生産에 필요한 Coke 및 石灰石의 量은 II-1(2)(3) 參照.

平爐滓 등과 石灰石 및 Coke 의 化學組成은 既知이고 生産하고자 하는 銑鐵의 品位 및 不純物 (S,P,Mn 및 Cu 등)의 品位는 一定值라고 假定한다.

모델이 加法性(additivity)을 維持하고 線型으로서 모델形成을 容易하게 하기 위해서 어떤 特定鐵鑛石으로부터 單位量의 銑鐵을 生産하는 것을 操業單位로 하여 모델을 構成한다.

이렇게 함으로써 生産되는 銑鐵의 量 및 成分은 이들 各 操業의 和로서 表示될 수 있어 모델의 加法性を 維持하고 또 다른 하나의 利點은 物質收支와 熱收支를 別個로 고려하여 모델에 挿入할 수 있게 하는 것이다.

그러나 炭素 및 珪素의 銑鐵中에의 混入은 線型性を 維持하지 못하므로 여기에 提示될 모델에서는 除外하기로 한다. (11)

(a) Supply Constraint

i). Ore Supply

이미 말한 바와 같이 特定 鐵鑛石과 그것을 가지고 주어진 化學組成의 銑鐵을 生産하기 위해 필요한 적당量의 Coke 와 石灰石을 合한 것을 하나의 操業單位로 한다.

즉 j 鹽基度⁽¹²⁾에서 i 種 鐵鑛石을⁽¹³⁾ 가지고 操業하여 生産되는 銑鐵의 量을 x_{ij} 라고 하면 i 는 可能한 모든 含鐵物質의 가지數(1, 2, ..., i') 만큼 될 것이고 使用 鹽基度 j 는 (1, 2, ..., j')⁽¹⁴⁾가 될 것이다.

單位量의 銑鐵을 生産하는데 필요한 i 鐵鑛石의 量을 α_i 라고 하면⁽¹⁵⁾ 鐵鑛石의 使用量은 線型計劃을 實施하는 特定 期間동안 供給可能한 含鐵物의 量 A_i 를 超過할 수 없으므로

$$\alpha_i x_{ij} \leq A_i \quad (i=2, 3, \dots, i')$$

위 式에서 ij 操業에 필요한 i 種鐵鑛石 所要量은 鹽基도와 關係없이 一定하므로 α_i 로 表示되어 있다. 또한 粉鑛질 경우는 高爐에 裝入하기에 앞서서 일정한 豫備處理工程을 거쳐야 하므로 豫備處理工程에서의 損失分을 고려하여 다음과 같이 表示할 수 있다.

$$\alpha_i x_{ij} \leq d_i A_i \quad (i=2, 3, \dots, i') \quad \text{---(1)}$$

(11) 炭素 및 珪素는 原料의 선택에 의하여 조절되지 않는다. 즉 Input 과無關係로 變化한다.

(12) 鹽基度(basicity)는 鑛滓中의 다음 成分의 比로서 表示된다.

$$\text{basicity} = \frac{\%CaO + \%MgO + \%FeO}{\%SiO_2 + \%P_2O_5 + \%Al_2O_3}$$

(13) mill scale, 平爐滓, scrap 등과 같은 含鐵物質을 포함함.

(14) (1, 2, ..., j')는 通常의 操業이 可能한 鹽基度를 몇개의 鹽基度群으로 나눈 것이다.

(15) α_i 의 計算은 Ⅱ-2-(2) 參照.

(16) $i=1$ 은 製鋼工程에서도 함께 使用하는 鐵鑛石으로 이것은 後述하는 統合모델에서 고려하므로 여기서는 除外한다.

여기서 d_i 는 i 鐵石의 豫備處理工程回收率(recovery)을 나타낸다. (17)

ii) Coke Supply Constraint

鐵鑛石과 마찬가지로 Coke의 所要量도 計劃期間中の Coke 爐의 生産量을 超過할 수 없다. 特定 鑛石으로부터 銑鐵을 生産할 경우 鹽基度의 變化는 石灰石의 配合率에 따르며 石灰石 配合率은 使用 Coke 量에 영향을 주므로 j 鹽基度에서 i 鑛石으로 操業하여 單位銑鐵을 生産하는데 所要되는 Coke 量은 r_{ij} 로 表示될 수 있다. (18)

즉 다음과 같다.

$$\sum_j \sum_i r_{ij} x_{ij} \leq C$$

여기서 C 는 計劃期間中の Coke 爐의 Coke 生産量을 나타낸다.

그러나 여기서 고려되어야 할 것은 <그림-1>에서 보여주는 바와 같이 高爐에서 뿐만 아니라 鑛石豫備處理(燒結爐)에서도 相當量의 Coke가 使用되므로 이들 高爐와 燒結爐에 가는 Coke 量의 合計가 供給量을 超過하면 안 된다는 點이다.

鑛石中에서 粉鑛을 set $P = \{i | l+1, l+2, \sim i\}$ 라고 하면

$$\sum_j \sum_i r_{ij} x_{ij} + \sum_j \sum_{i \in P} \alpha_i / d_i r_{ij}^d \cdot x_{ij} \leq C \text{ --- (2) 가 된다.}$$

여기서 r_{ij}^d 는 i 粉鑛 單位量을 j 鹽基度の 燒結鑛으로 處理하는데 필요한 Coke 量이다.

iii) Limestone Supply Constraint

石灰石은 高爐의 Input도 되고 燒結爐에도 裝入되나 燒結鑛도 결국은 高爐에 裝入되고 中間變化가 없으므로 처음부터 高爐에 裝入되는 것으로 간주하여 模型化한다.

j 鹽基度에서 i 鐵鑛石을 가지고 單位量의 銑鐵을 生産하는데 所要되는 石灰石의 量을 λ_{ij} 라고 하면 (19)

$$\sum_j \sum_i \lambda_{ij} x_{ij} \leq L \text{ --- (3)}$$

로 表示된다.

여기서 L 은 計劃期間中에 供給이 可能한 石灰石 總量이다.

b) Demand Constraint

各種의 鐵鑛石으로부터 生産되는 銑鐵의 量은 計劃期間中の 銑鐵 計劃生産量을 充足해야 한다. 즉

$$\sum_j \sum_i x_{ij} \geq X + X^m \text{ --- (4)}$$

(17) 塊鑛일 경우의 d_i 는 당연히 1로 表示된다.

(18) r_{ij} 의 計算은 II-2-(2) 參照

(19) λ_{ij} 의 計算은 II-1-(3)參照.

$X+X^m$ 은 計劃期間中の全體 銑鐵 生産量이고 이중 X 는 製鋼工程으로 X^m 은 外部로 販賣될 銑鐵⁽²⁰⁾의 量이다.

C) Product Specification

高爐操業으로부터 生産되는 銑鐵은 特定된 製品 規格의 범위內에 있어야 한다.

이 制約式은 銑鐵의 共通元素인 炭素(C), 磷(P), 珪素(Si), 硫黃(S) 및 망강(Mn)中에서 原料의 選擇으로 銑鐵中에 포함되어 들어오는 量이 調節 可能한 P,S 및 Mn 과 그밖에 特別元素인 TiO_2 , Cu, Cr 등에 대한 調節이다.

原料鑛 및 Coke 가 함유하고 있는 고려 對象 成分 S의 함유 비율을 각각 e^{s_i} 및 $e^{s'}$ 라고 하면 ij 操業의 Input 이 되는 S 成分의 總量은

$$e^{s_i} \alpha_i + e^{s'} \gamma_{ij}$$

가 된다.⁽²¹⁾

그러나 고려對象 成分이 Input 에 대해 銑鐵에 混入되는 比率은 대체로 原料鑛의 種類에 無關하고 그 고려對象 成分原素에 의한다.

예를 들면 特定 鹽基度에서 原料中 P는 100%, S는 10%, Mn은 60%, Cu는 100% 銑鐵中으로 混入한다는 것이다. j 鹽基度에 있어서의 s 成分의 銑鐵中으로의 混入比率을 σ^s_j 라고 하면

$$\sigma^s_j \sum_i (e^{s_i} \alpha_i + e^{s'} \gamma_{ij}) x_{ij} / \sum_i x_{ij} \leq E^s (s=1, 2 \sim s'; j=1, 2 \dots j')$$

로 表現되고 여기서 s는 一般的으로, 前述한 S, P, Mn, Cu 및 TiO_2 의 다섯가지 程度가 된다.

위 式을 整理하면

$$\sum_i (\sigma^s_j e^{s_i} \alpha_i + \sigma^s_j e^{s'} \gamma_{ij} - E^s) x_{ij} < 0 (s=1, 2, \dots, s'; j=1, 2 \dots j') \text{---(5)}$$

또한 여기서 特定 成分의 製品規格이 얼마 以上으로 될 경우⁽²²⁾ E^s 는 負의 값으로 表示 하면 된다.

d) Capacity Constraint

i) Sintering plant

(20) 또는 製鋼工程으로 가지 않고 鑄物用으로 使用되는 銑鐵分

(21) 鐵鑛石中の 裝入量은 鹽基度の 變化와 關係없고 鹽基度の 變化와 關係를 갖는 것은 Coke와 石灰石뿐이다. 이 中 石灰石으로부터 오는 고려對象 不純物은 거의 없는 것으로 간주하여 鹽基度 增加에 따른 Coke로부터의 不純物 增加만을 고려한다. 實際, 操業에 있어 銑鐵中 硫黃은 90%가 Coke로부터 由來한다.

(22) Mn 이라면 60%.

다음에 고려되는 制約으로는 施設容量이다.

鑛石의 豫備處理中 가장 큰 比重을 차지하는 粉鑛 處理施設인 燒結爐工場 (Sintering plant)은 粉鑛의 使用比率이 增加함과 燒結過程의 物質收支로 因해 모델에 添加되어야 한다.

原鑛(含鑛物質 包含)中에서 燒結工程을 필요로 하는 것은 粉鑛으로서 이 粉鑛에 이미 말한 바와 같이 適當量의 coke와 石灰石이 添加되어 工程이 進行한다.

$$\sum_{i \in P} a_{ij} / d_j \pi_{ij} x_{ij} \leq V \quad p = \{i | l+1, l+2, \dots, i'\} \text{--- (6)}$$

여기서 V 는 燒結爐 稼動可能時間이고 π_{ij} 는 i 粉鑛 單位量을 j 鹽基度의 燒結鑛으로 處理하는데 所要되는 時間을 나타낸다. (23)

ii) Blast Furnace Capacity,

高爐의 容量은 鐵鑛石에 따른 還元性(reducibility)과 Coke의 燃燒速度로서 決定되고 實際 稼動可能時間으로 表示된다.

높은 Coke 消耗率은 (24) 보다 많은 熱風을 필요로 하게 되고 이는 熱風爐 送風能力 및 一定溫度의 爐床(hearth) 維持條件이 주어질 경우, Coke 消耗率을 높으려면 銑鐵單位 生産 當 더 많은 時間이 消耗된다는 結論이다.

즉 高爐內의 反應所要時間은 鑛石에 따른 函數일 뿐이다. ij 操業에 필요한 時間을 β_{ij} 라고 하면 x_{ij} 生産에 所要되는 時間은 β_{ij} 가 된다.

$$\sum_j \sum_i \beta_{ij} x_{ij} \leq B \text{--- (7)}$$

여기서 β 는 計劃期間中 全體 高爐使用可能時間이다.

(e) Non-negativity Restriction

生産量은

$$x_{ij} \geq 0 \text{--- (8)}$$

(f) Objective Function.

i 鑛石을 가지고 j 鹽基度에서 銑鐵單位量을 生産하는데 필요한 費用을 (25) C_{ij} 라고 하면 目的函數는

$$\min \sum_j \sum_i C_{ij} x_{ij} \text{--- (9)}$$

以上の 製銑工程을 綜合해 보면

(23) π 의 값은 鹽基度 變化에 따른 燒結鑛 配合化의 變化로 당연히 鹽基度에 따라 變化한다.

(24) Coke ratio 로 表示된다.

(25) C_{ij} 의 計算은 Ⅱ-1-(7) 參照

minimize $\sum_j \sum_i C_{ij} x_{ij}$

Subject to $\sum_j \alpha_i x_{ij} \leq d_i A_i \quad (i=2, \sim i')$

$\sum_j \sum_i \gamma_{ij} x_{ij} + \sum_{i \in P} \alpha_i / d_i \gamma^d_{ij} x_{ij} \leq C \quad P = \{i | l+1, \sim i'\}$

$\sum_j \sum_i \lambda_{ij} x_{ij} \leq L$

$\sum_j \sum_i x_{ij} \geq X + X^m$

$\sum_i (\sigma^s_j e^{\alpha_s} \alpha_i + \sigma^s_j e^{\sigma^s} \gamma_{ij} - E^s) x_{ij} \leq 0 \quad (s=1, \sim s'; j=1, \sim j')$

$\sum_j \sum_{i \in P} \alpha_i / d_i \pi_{ij} x_{ij} \leq V$

$\sum_j \sum_i \beta_{ij} x_{ij} \leq B$

$x_{ij} \geq 0.$

例題 1 製鉄工程

鐵礦石(i); 1(東南亞產), 2(南美產), 3(國產) 鹽基度(j); 1(B=1.2) 2(B=1.5)

考慮對象不純物(s); 1(硫黃) 2(磷) 3(manganese) Ore;

i	粉/塊	化學成分(e ^{α_s)%}			供給量(A _i) ₯/week
		硫黃(e ^{α₁)}	磷(e ^{α₂)}	망강(e ^{α₃)}	
1	粉	0.10	0.01	0.80	2,500
2	粉	0.05	0.80	0.60	2,000
3	塊	0.15	0.02	0.20	1,000

Coke;

S	不純物含有量(e ^{σ_s)%}			供給量(C) ₯/week
	1	2	3	
e ^{σ_s}	0.2	0.1	—	480

高爐容量(B); 120hrs/week

燒結爐容量(V); 120hrs/week × 2 基

銑鐵牛よ(생산計畵量)(X); 500 ₯/week

石灰石供給量(L); 400 ₯/week

不純物限界(製品規格)(E^s)

S	不純物含有量(e ^{σ_s)%}		
	1	2	3
E ^s	≤0.1	≤0.6	≥0.5

鹽基度에 따른 不純物混入率(σ^s_j)

j	S		
	1	2	3
1	40	100	50
2	25	90	70

鐵石 所要量 (α_i)

i	1	2	3
α_i	2	1.5	3

(磅/磅 of pig)

石灰石 所要量 (λ_{ij})

$j \backslash i$	1	2	3
1	0.5	0.6	0.3
2	0.6	0.72	0.35

(磅/磅 of pig)

高爐工程에서의 Coke 소요량 (r_{ij})

$j \backslash i$	1	2	3
1	0.8	0.7	0.9
2	0.9	0.8	1.0

(磅/磅 of pig)

豫備處理爐에서의 Coke 소요량 ($\alpha_i/d_i r_{ij}$)

$j \backslash i$	1	2	3
1	0.01	0.01	—
2	0.02	0.02	—

(磅/磅 of pig)

豫備處理爐工程所要時間 ($\alpha_i/d_i \pi_{ij}$)

$j \backslash i$	1	2	3
1	0.50	0.65	—
2	0.55	0.75	—

(hr/磅 of pig)

高爐工程所要時間 (β_{ij})

$i \backslash j$	1	2	3
1	0.20	0.15	0.22
2	0.24	0.20	0.25

(hr/磅 of pig)

豫備處理爐 回收率 (d_i)

i	1	2	3
d_i	95	90	100

(%)

Cost (Cij)

(1,000원 / 猪 of pig)

		i		
		1	2	3
j	1	11.5	12.5	13.0
	2	12.0	13.0	14.0

minimize

$$11.5x_{11} + 12.0x_{12} + 12.5x_{21} + 13.0x_{22} + 14.0x_{31}$$

Subject to

$$2x_{11} + 2x_{12} \leq 0.95 \times 2500$$

$$1.5x_{21} + 1.5x_{22} \leq 0.9 \times 2000$$

$$3x_{31} + 3x_{32} \leq 1.0 \times 1000$$

$$0.8x_{11} + 0.9x_{12} + 0.7x_{21} + 0.8x_{22} + 0.9x_{31} + 1.0x_{32} + 0.01x_{11} + 0.02x_{12} + 0.01x_{21} + 0.02x_{22} \leq 480$$

$$0.5x_{11} + 0.6x_{12} + 0.6x_{21} + 0.72x_{22} + 0.3x_{31} + 0.35x_{32} \leq 400$$

$$x_{11} + x_{12} + x_{21} + x_{22} + x_{31} + x_{32} \geq 500$$

$$[0.4(0.001 \times 2 + 0.002 \times 0.8) - 0.001]x_{11}$$

$$+ [0.4(0.0005 \times 1.5 + 0.002 \times 0.7) - 0.001]x_{21}$$

$$+ [0.4(0.0015 \times 3 + 0.002 \times 0.9) - 0.001]x_{31} \leq 0$$

$$[0.25(0.001 \times 2 + 0.002 \times 0.9) - 0.001]x_{12}$$

$$+ [0.25(0.0005 \times 1.5 + 0.002 \times 0.8) - 0.001]x_{22}$$

$$+ [0.25(0.0015 \times 3 + 0.002 \times 1.0) - 0.001]x_{32} \leq 0$$

$$[1(0.0001 \times 2 + 0.001 \times 0.8) - 0.006]x_{11}$$

$$+ [1(0.0080 \times 1.5 + 0.001 \times 0.7) - 0.006]x_{21}$$

$$+ [1(0.0002 \times 3 + 0.001 \times 0.9) - 0.006]x_{31} \leq 0$$

$$[0.9(0.0001 \times 2 + 0.001 \times 0.9) - 0.006]x_{12}$$

$$+ [0.9(0.0080 \times 1.5 + 0.001 \times 0.8) - 0.006]x_{22}$$

$$+ [0.9(0.0002 \times 3 + 0.001 \times 1.0) - 0.006]x_{32} \leq 0$$

$$[0.5(0.008 \times 2) - 0.005]x_{11}$$

$$+ [0.5(0.006 \times 1.5) - 0.005]x_{21}$$

$$+ [0.5(0.002 \times 3) - 0.005]x_{31} \geq 0$$

$$[0.7(0.008 \times 2) - 0.005]x_{12}$$

$$+ [0.7(0.006 \times 1.5) - 0.005]x_{22}$$

$$+ [0.7(0.002 \times 3) - 0.005]x_{32} \geq 0$$

$$0.5x_{11} + 0.55x_{12} + 0.65x_{21} + 0.75x_{22} \leq 240$$

$$0.2x_{11} + 0.24x_{12} + 0.95x_{21} + 0.2x_{22} + 0.22x_{31} + 0.32x_{32} \leq 120$$

다시 整理하면

minimize

$$5(23x_{11} + 24x_{12} + 25x_{21} + 26x_{22} + 26x_{31} + 28x_{32})$$

Subject to

$$2x_{11} + 2x_{12} \leq 2475$$

$$\begin{aligned}
 x_{21} + x_{22} &\leq 1200 \\
 3x_{31} + 3x_{32} &\leq 1000 \\
 81x_{11} + 92x_{12} + 71x_{21} + 82x_{22} + 90x_{31} + 100x_{32} &\leq 48000 \\
 50x_{11} + 60x_{12} + 60x_{21} + 72x_{22} + 30x_{31} + 25x_{32} &\leq 40000 \\
 x_{11} + x_{12} + x_{21} + x_{22} + x_{31} + x_{32} &\geq 500 \\
 22x_{11} - 7x_{21} + 76x_{31} &\leq 0 \\
 -4x_{12} - 33x_{22} + 50x_{32} &\leq 0 \\
 -50x_{11} + 87x_{12} - 55x_{31} &\leq 0 \\
 -501x_{12} + 552x_{22} - 537x_{32} &\leq 0 \\
 -6x_{11} + x_{21} + 4x_{31} &\leq 0 \\
 -62x_{12} - 13x_{22} + 8x_{32} &\leq 0 \\
 10x_{11} + 11x_{12} + 13x_{21} + 15x_{22} &\leq 4800 \\
 20x_{11} + 24x_{12} + 15x_{21} + 20x_{22} + 22x_{31} + 32x_{32} &\leq 12000
 \end{aligned}$$

最適操業은

$$x_{11} = 480$$

$$x_{31} = 20 \text{ 이다.}$$

即 鑛石 1 을 鹽基度 1.2 로서 操業하여 480 鎊의 銑鐵을 生産하고 鑛石 3 을 염기도 1.2 로 조업하여 20 鎊 銑鐵을 生産하는 것이다. 이때의 費用(最少費用)은 11560×5000 원이 所要되고 x_{12} , x_{21} , x_{22} 및 x_{32} 를 單位量 生産하는데 最適解보다 더 所要되는 費用(利益의 減少分)은 各各 $1.3 \times 5,000$, $2.9 \times 5,000$, $4.5 \times 5,000$ 원이다.

full capacity 로 稼動되는 工程(bottleneck)은 S_b 과 S_{13} 即 Demand Constraint 과 豫備處理爐容量에 關한 制約이다.

2. 製鋼工程 모델

製鋼工程에서 制約이 되는 것은 原料銑 및 屑鐵(scrap)의 需給, 爐의 製鋼容量, 添加劑, 銑鐵 使用量 및 需要制約 等이며 目的하는 바는 가장 費用이 적게드는 Input 과 output 의 種類 및 量을 決定하려는 것이다.

製銑工程에서와 같이 鐵分을 含有한 含鐵物⁽²⁶⁾에서 特定 鋼種, 單位量을 生産하는데 필요한 操業을 基準으로 모델化한다. 製鋼工程에 들어가는 모든 Input 을 Set,

$I = \{h | 1.2 \sim n, n+1, = h'\}$ 라고 놓는다. 여기서 $h=1$ 은 熔銑을 나타내고 $h=2, \sim n$ 은 冷銑을, $h=n+1, \sim, h$ 는 Scrap 을 表示하기로 한다.

(a) Supply Constraint,

i) pig Supply,

h 種의 含鐵物로부터 生産되는 k 種鋼의 量을 y_{hk} 라고 表示한다. 使用 銑鐵(pig iron)의 種類를 Set $N = \{1, 2, \sim n\}$ 로 表示하면 製鋼爐가 使用 가능한 銑鐵은 銑鐵供給量 X 를 超

(26) 熔銑, 冷銑, 여러 種類의 Scrap 및 Scale.

過하지 못한다. 즉

$$\sum_k \sum_{h \in N} f_{hk} x_{hk} \leq X \text{---(10)}$$

f_{hk} 는 製銑工程에서와 마찬가지로 k 種鋼 單位生産에 필요한 銑鐵의 量이다.

ii) Scrap Supply.

다음에 使用 Scrap 및 外部銑鐵에 관해서는 다음과 같이 表現될 수 있다.

$$\sum_k f_{hk} y_{hk} \leq F^h (h=n+1, n+2, \dots, n') \text{---(11)}$$

여기서 f_{hk} 는 h 種의 Scrap 으로 k 種鋼 單位 生産에 要하는 Scrap 量이고 F_h 는 h 種 Scrap 의 計劃期間中 供給量을 나타낸다.

iii) Additives Supply

使用되는 添加劑의 量은 計劃期間中の 一定한 供給量을 超過할 수 없다. (27)

$$\sum_k \sum_h g^{ah} y_{hk} \leq G^a (a=1, 2, \dots, a') \text{---(12)}$$

여기서 g^{ah} 는 y_{hk} 單位量 生産에 필요한 a 種 添加劑의 量이고 G^a 는 計劃期間中の a 種 添加劑의 供給可能量이다.

(b) Demand Constraint

$$\text{計劃期間中 } k \text{種鋼의 要求量을 } Y^k \text{라고 하면 } \sum_k y_{hk} \leq Y^k \quad (k=1, 2, \dots, k') \text{---(13)}$$

이 된다.

여러 鋼種에 따른 需要는 後續作業인 壓延(rolling) 또는 鍛造(forging)工程의 要求量에 의해 決定된다.

(c) Heat Balance

前章에서 말한 바와 같이 製銑工程에서는 製品의 規格(product specification)이 高爐裝入物에 따라 調整되었으나, 本製鋼工程에서의 鋼 組成의 決定은 操業의 特殊性으로 最初의 裝入物 配合에 의하여 決定되지 않으며 熔劑도 高爐에 비해 小量이다.

고려對象이 되는 것은 Scrap 과 熔銑 및 冷銑의 配合비율이 된다. 實際操業 data 가 보여주는 冷銑(Scrap 포함) 과 熔銑의 使用비율 R 은 15~30%이다.

$\sum_{h \in U} f_{hk} y_{hk} / \sum_k f_{hk} y_{hk} \leq R (k=1, 2, \dots, k')$ 윗 式中 Set u 는 $u = \{h|2, \dots, n, n+1, \dots, h'\}$ 로서 原料中の 冷銑 및 Scrap 을 나타낸다.

整理하면

$$\sum_{h \in U} f_{hk} y_{hk} - R \sum_k f_{hk} y_{hk} \leq 0 \quad (k=1, 2, \dots, k') \text{---(14)}$$

$$\{n=h|2, \dots, n, n+1, \dots, h'\}$$

(d) Capacity Constraint

다음 고려될 制約은 爐의 使用 可能한 容量이 된다.

特定 鋼을 製造하기 위한 時間은 熔銑일 경우와 Scrap의 경우 各各 그 裝入所要 時間이 다르고 熔落(melt down) 時間이 相異하므로 各種 Input에 따른 製鋼時間은 다르게 된다.

마찬가지로 製造하고자 하는 鋼種에 따라 要求 鋼種을 생산하기 위한 造滓時間 및 熔銑 使用比率이 相異하여 鋼單位量 生産時間이 다르게 된다.

$$\sum_k \sum_h t_{hk} \cdot y_{hk} \leq T \text{---(15)}$$

위에서 t_{hk} 는 h 種 Input으로 k 種鋼을 單位量 生産하는데 要하는 時間이고 T 는 使用可能 時間이다.

(e) non-negativity restriction

$$y_{hk} \geq 0 \text{---(16)}$$

(f) objective function

$$\min \sum_k \sum_h C_{hk} \cdot y_{hk} \text{---(17)}$$

C_{hk} 는 h 種 Input으로 k 種鋼 單位量을 生産하는데 所要되는 費用이다. (28)

以上の 製鋼工程 모델을 綜合해 보면

$$\text{minimize } \sum_k \sum_h C_{hk} y_{hk}$$

$$\text{Subject to } \sum_k \sum_{h \in N} f_{hk} y_{hk} \leq X \quad N = \{h1, \sim n'\}$$

$$\sum_k f_{hk} y_{hk} \leq F_h \quad (h = n+1, \sim h')$$

$$\sum_k \sum_h g^a_{hk} y_{hk} \leq \sigma^a \quad (a = 1, \sim a')$$

$$\sum_k y_{hk} \geq Y^k \quad (k = 1, \sim k')$$

$$\sum_{h \in U} f_{hk} y_{hk} - R \sum_h f_{hk} y_{hk} \leq 0 \quad (k = 1, \sim, k') \quad (u = h|2, \sim h')$$

$$\sum_k \sum_h t_{hk} y_{hk} \leq T$$

$$y_{hk} \geq 0$$

例題 2 製鋼工程

INPUT (h): 1(熔銑) 2(自家 Scrap) 3(外部 Scrap) OUTPUT(k): 1(普通鋼) 2(珪素鋼)

使用添加劑(a): 1(Fe-Si) 2(ore)

INPUT 所要量(f_{hk})

		(₯ / ₯of steel)		
		1	2	3
k	h			
		1	1.1	1.3
	2	1.2	1.4	1.6

(27) 添加劑로서의 鐵鑛石의 使用(oring process)은 統合모델에서 고려한다.

(28) C_{hk} 의 算定은 II-2-(5) 參照.

添加劑 所要量(G^{ah})

		(₩/₩ of steel)					
a		1			2		
k	h	1	2	3	1	2	3
1		0.005	0.02	0.02	0.15	0.06	0.05
2		0.001	0.05	0.04	0.10	0.04	0.03

製鋼爐 使用時間(L_{hh})

		(hr/₩ of steel)		
k	h	1	2	3
1		0.5	0.8	1.0
2		0.6	0.9	1.2

鋼需要 (Y^k)

k	Y^k	(₩/week)
1	500	
2	200	

INPUT 供給量

銑鐵供給量(X); 600 ₩/week

Scrap 供給量 (F_k)

h	F_k	(₩/week)
2	100	
3	300	

冷銑使用比率 (R); 0.3

製鋼爐 容量 (T); 600hr/week

添加劑供給量 (G^a)

a	G^a	(₩/week)
1	200	
2	100	

Cost (C_{hh})

		(1,000원/₩ of steel)		
k	h	1	2	3
1		30	5	15
2		35	10	20

SIMPLEX TABLEAU 3

c_j		-6	-7	-1	-2	-3	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-M	-M
C_B	b	y_{11}	y_{12}	y_{21}	y_{22}	y_{31}	y_{32}	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9	s_{10}	q_1	q_2
0	3670	0	12		-32.63	34.9		1	-2.33						0.333				
-6	212	1		0	2.97	-3.18	16								-0.0304				
0	3000	0				15	40												
0	17405	0	1		13.65	35.8	3		0.212	1					0.1512				
0	5340	0	10		-47.3	52.88	0		-3.66	0					0.4571				
-M	211	0			-4.05	4.176	0		-0.289	0					0.303				
-M	200	0	1		1		1												
-1	74.2	0		1	1.04	-0.011	0		0.0742	0					0.0004				
0	0	0	-36		98		112												
0	4325	0	6		-14.5	25.87	12		-1.675	0					0.2513				
0	-411M	0	-M+7		3.05M	4.176M	-M+4		0.289M	0					-0.0303M				
	-1342	0		0	-16.9	+22.046			-1.349	0					+0.01716				
	$z_j - c_j$																		

SIMPLEX TABLEAU 4

c_j		-6	-7	-1	-2	-3	-4													
C_B	b	y_{11}	y_{12}	y_{21}	y_{22}	y_{31}	y_{32}	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9	s_{10}	q_1	q_2	
-6	1907	1	12		1.22	0		1	0.086						8.36					
0	372.8			0	-0.12				-0.008						-0.007					
0	2242					0	16		-1.037	1					-0.1088					
0	15595		1		14.54	0	40		-0.115	0	1				-0.1088					
0	3665		10		48.4	0	3		0.005	0					0.0731					
-3	50.5	0			-0.97	1	1		-0.0707	0					0.007					
-M	200		1	1	1.02933	0	1		0.0634	0					0.0019					
-1	174.76					0									0.0026					
0	0		-36		98	0	112													
0	3019		6		10.6	0	12		0.115	0					0.0638					
0	-200M		-M+7		-M	0	-M+4		0.176	0					0.0116					
	-2455.6			1	+4.47	0														
	$z_j - c_j$																			

SIMPLEX TABLEAU 5

C_B	c_j	b	-6		-7		-1		-2		-3		-4						-M		-M	
			y_{11}	y_{12}	y_{21}	y_{22}	y_{31}	y_{32}	y_{41}	y_{42}	y_{51}	y_{52}	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9	s_{10}	q_1	q_2
	s_1	1907		12	0	1.22	0	1	0.086						8.36					8.36		
-6	y_{11}	372.8	1	0	0	-0.12	0	0	-0.008						-0.762					0.762		
-0	s_3	2242		5.14	0	14.54	0	16	1.037			1			3.59					-3.59		
	s_4	15595		13.85	0	48.4	0	40	-0.115			0	1		8.58					-8.58		
	s_5	3665		10.996	0	4	0	3	0.005			0		1	12.68					-12.68		
-3	y_{31}	50.5	0	0	0	-0.97	1	1	-0.0707			0			-0.2395					0.2395		
-M	q_2	200		1.321	0	1	0	1	0.0634			0			-0.0026					0.0026		
-1	y_{21}	74.76		0	1	1.02933	0	0	0.115			0			6.19					-6.19		
-4	y_{32}	3019		9.86	0	98	0	112	0.115			0			0.638					-0.638		
	s_{10}	-200M		-1.321M	0	-M	0	-M+4	0.176			0			5.28					-5.28		
	$s_j - c_j$	-2455.6	0	+8.286	0	+4.47	0	0	0			0			1					1		

SIMPLEX TABLEAU 6

C_B	c_j	b	-6		-7		-1		-2		-3		-4						-M		-M	
			y_{11}	y_{12}	y_{21}	y_{22}	y_{31}	y_{32}	y_{41}	y_{42}	y_{51}	y_{52}	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9	s_{10}	q_1	q_2
	s_1	91			0	0.076	0	1	0.086						8.36					8.36		
-6	y_{11}	372.8	1	0	0	-0.12	0	0	-0.008						-0.762					0.762		
0	s_3	1464		0.05	0	12.08	0	0	1.037			1			3.59					-3.59		
	s_4	13499		12.08	0	0	0	0	-0.115			0	1		8.58					-8.58		
	s_5	2007		0.327	0	0	0	0	0.005			0		1	12.68					-12.68		
-3	y_{31}	50.5	0	0	0	-0.97	1	1	-0.0707			0			-0.2395					0.2395		
-7	y_{12}	151.4		0.0954	0	0	0	0	0.0634			0			-0.0026					0.0026		
-1	y_{21}	74.7		1.029	0	1	0	0	0.115			0			6.19					-6.19		
-4	y_{32}	45.4		0.8286	0	0	0	0	0.115			0			0.638					-0.638		
	s_{10}	1527		-0.841	0	0	0	0	0.176			0			5.28					-5.28		
	$s_j - c_j$	-3723.6	0	0.171	0	0	0	0	0			0			1					1		

Minimize $30y_{11} + 35y_{12} + 5y_{21} + 10y_{22} + 15y_{31} + 20y_{32}$

Subject to

- 1. $1y_{11} + 1.2y_{12} \leq 600$
- 1. $3y_{21} + 1.4y_{22} \leq 100$
- 1. $5y_{31} + 1.6y_{32} \leq 300$
- $0.005y_{11} + 0.001y_{12} + 0.02y_{21} + 0.05y_{22} + 0.02y_{31} + 0.04y_{32} \leq 20$
- $0.15y_{11} + 0.10y_{12} + 0.06y_{21} + 0.04y_{22} + 0.05y_{31} + 0.03y_{32} \leq 100$
- $y_{11} + y_{21} + y_{31} \geq 500$
- $y_{12} + y_{22} + y_{32} \geq 200$
- $1.3y_{21} + 1.5y_{31} - 0.3(1.1y_{11} + 1.3y_{21} + 1.5y_{31}) \leq 0$
- $1.4y_{22} + 1.6y_{32} - 0.3(1.2y_{12} + 1.4y_{22} + 1.6y_{32}) \leq 0$
- $0.5y_{11} + 0.6y_{12} + 0.8y_{21} + 0.9y_{22} + y_{31} + 1.2y_{32} \leq 600$

整理하면

Minimize $5(6y_{11} + 7y_{12} + y_{21} + 2y_{22} + 3y_{31} + 4y_{32})$

Subject to $11y_{11} + 12y_{12} \leq 6000$

- $13y_{21} + 14y_{22} \leq 1000$
- $15y_{31} + 16y_{32} \leq 3000$
- $5y_{11} + y_{12} + 20y_{21} + 50y_{22} + 20y_{31} + 40y_{32} \leq 20000$
- $15y_{11} + 10y_{12} + 6y_{21} + 4y_{22} + 5y_{31} + 3y_{32} \leq 10000$
- $y_{11} + y_{21} + y_{31} \geq 500$
- $y_{12} + y_{22} + y_{32} \geq 200$
- $-33y_{11} + 91y_{21} + 105y_{31} \leq 0$
- $-36y_{12} + 98y_{22} + 112y_{32} \leq 0$
- $5y_{11} + 6y_{12} + 8y_{21} + 9y_{22} + 10y_{31} + 12y_{32} \leq 6000$

最適操業은

- $y_{11} = 372.8$
- $y_{12} = 151.4$
- $y_{21} = 74.76$
- $y_{31} = 50.5$
- $y_{32} = 45.4$ 이다.

即 熔銑으로부터 普通鋼 372.8 톤과 珪素鋼 151.4 톤을 生産하고 自家 Scrap으로 普通鋼을 74.76 톤 生産하고 外部 Scrap으로부터 50.5 톤 珪素鋼 45.4 톤을 生産하는 것이다. 이때의 費用은 3723.6×5000 원이고 其他 activity에 따른 費用증가는 製銑공정의 경우와 같이 說明될 수 있다.

鋼材製造工程 모델

지금까지의 모든 工程은 鐵鋼의 化學的 成分을 調節하려는데, 그 目的이 있었음에 反해 이 鋼材製造工程(主로 여기서는 壓延工程)에서는 物理的 加工 또는 熱處理에 의해 要求되는 形態 및 性質의 鋼材를 만드는 過程이다.

위에서 말한 製銑·製鋼工程과 相異한 다른 하나의 鋼材製造工程의 특징은 以前 工程이 裝置工業(process industry)임에 비해 鋼材製造工程은 機械加工 工程이라는 點이다.

따라서 鋼材製造工程에서 모델이 취급하려고 하는 것은 製鐵工程이 價格이 相異한 여러 原料의 組合에 의해 要求되는 特定銑鐵을 만드는 것과는 對照的으로 特定鋼種으로 부터 最少費用으로 製造할 수 있는 여러가지 形態의 鋼製品에 따른 工程組合과 操業程度를 구 하려는 것이다.

一般的으로 壓延工程 全工程을 통해 一段階工程의 INPUT 는 그 直前工程의 OUTPUT 이고 그 工程의 OUTPUT 는 다음 工程의 INPUT 가 된다는 특징을 갖고 있으며 여기서 는 production scheduling 이 process mix 와 함께 重要視된다.

各 段階의 工程에서는 여러 種類 및 各各 量이 다른 INPUT 의 使用 및 OUTPUT 의 生産이 可能하고 이것은 諸種의 INPUT 을 諸種의 工程에 가장 經濟的으로 割當하는데 有用한 線型計劃의 典型이 된다.

즉 分塊壓延의 OUTPUT 는 bloom, slab 또는 billet 의 여러가지중 어느 하나도 될 수 있으며 다시 이들은 다음 工程에서 그 斷面이 各各 다른 여러 種類의 形鋼(shapes)으로 加工될 수 있는 것이다.

特定 形鋼을 加工하기 위해서는 特定壓延機의 roll 을 交替하여야만 한다든가 또는 roll 을 交替하지 않아도 加工이 可能하기는 하나 그 費用이 커진다는 경우(roll setup time 만큼 生産量이 감소하므로) 및 工程의 相互 聯關性으로 말미암아 各 段階의 一工程의 INPUT 使用量의 變化는 다른 工程의 INPUT 및 OUTPUT 量의 變化를 가져오므로 어떤 段階에서 의 變化量이 다른 段階의 工程에 미치는 영향을 아는 것은 重要하다.

鋼材製造工程은 造塊 壓延(또는 鍛造) 및 熱處理工程으로 集約된다. 이 中 여기서 다루 려고 하는 것은 가장 복잡하고 線型計劃의 典型이 될수 있는 造塊, 壓延工程을 對象으로 한다. 이 工程은 鋼塊를 製造하고 다시 이것을 要求되는 모양과 크기의 形鋼으로 加工하는 것이라고 할 수 있다. 이 壓延工程의 특징은 一工程의 製品(半製品)은 最終製品으로 市場에 販賣될 수도 있고 다시 다음 工程의 INPUT 이 될 수도 있다는 것이다. 工程中 發生한 scrap 은 다시 製鋼工程으로 순환된다.

여기서 scrapping coefficient 는 各各의 工程마다 相異하여 같은 모양 같은 크기의 製品이라 할지라도 그 선택된 中間工程 各各에 있어서의 scrapping coefficient 는 相異하게 된다 마찬가지로 mill scale 의 量도 工程別로 相異하다.

特定 製品의 生産速度는 各 製品의 生産에 要하는 pass 數의 영향을 받아서 一般的으로 같은 모양의 斷面을 가진 製品이라도 그 斷面이 적을수록 pass 數는 增加하게 된다.

또 特定壓延機의 壓延製品 生産速度는 鋼品組合에 關聯한 roll change 에 要하는 set up

time 만큼 減少한다.

roll change 數는 一般的으로 製品種類가 많을수록 增加한다.

鋼材 製造工程 모델에서는 固定 生産能力內에서의 各 段階의 capacity, set up time, demand, scrapping coefficient 및 production sequencing 에 對한 制約下에서의 cost minimization(또는 profit maximization)을 만족시키는 製品組合(product mix)과 activity level 을 동시에 고려하기로 한다.

各 生産段階에 있어서 各 製品의 單位時間當 生産量, 一製品, 生産에서 他製品 生産으로 轉換하는 가능한 모든 組合의 製品들이 要求하는 set up cost, 個個 最終製品의 生産費用⁽²⁹⁾ 各 工程에 있어서 scrapping coefficient, 各 製品의 注文量(또는 市場需要)의 크기 등은 알고 있다고 前提한다.

위에서 말한 set up cost 는 capacity constrain 로서 set up time 으로 換值가 可能할 것이다.

q 工程의 INPUT 이 되는 種鋼의 量을 ω_k^q 라 놓고 가장 費用을 적게하는 工程 q 의 activity level 을 구하기로 한다.

a) Supply Constraint

生産하고자 하는 여러 鋼材의 總計는 前段階의 OUTPUT⁽³⁰⁾인 製鋼能力의 범위內에 있어야 한다. 즉

$$\sum_q \omega_k^q \leq Y^k \quad (k=1, 2, \sim, k') \text{---(18)}$$

ω_k^q 는 q 工程을⁽³¹⁾ 거쳐 生産되는 鋼材의 量을 表示한다.

즉 ω_k^q 는 p 工程을 거치기 위하여 加工을 始作하는 壓延機(또는 造塊工程)에 投入되는 量이다.

Y^k 는 k 種鋼의 供給能力을 나타낸다.

(b) Capacity Constraint

各各의 工程에 對한 가능한 生産能力은 各各의 製品 單位當 生産에 所要되는 時間으로서 表示함이 時間當 生産量의 크기로 表示하는 것보다 모델 構成에 便利하다.

製品의 生産에 所要되는 時間은 製品의 種類 및 크기에 따라 다르며 製品은 여러 段階의 壓延機를 거쳐 加工되므로 그 各 段階에서의 제품의 單位當 生産에 필요한 時間은 一般的으로 相異하다.

(29) 最終製品의 生産費는 同一 製品이라도 그 中間工程에 따라서 相異할 수가 있다.

(30) 鋼材製造工程의 Input

(31) 同一製品이라도 相異한 中間工程을 거쳐 生産되는 경우는 別個의 製品으로 간주하기 위해 工程中心으로 모델化함.

特定 製品의 生産을 위한 적절한 roll 의 選定, 交替 또는 附屬施設 (roll pass guide 等) 設置에 필요한 時間인 set up time 과 함께 實際 壓延時間에 屬하는 加工時間 (processing time) ⁽³²⁾이 疊쳐서 capacity constraint 를 이루게 된다. p 壓延機 使用 可能時間을 M_p 라고 하면 capacity constraint 는 다음과 같이 表示된다.

$$\sum_k \sum_q \mu_{pq} \delta_{pq} \omega_k^q \leq M_p \quad (p=1, 2, \sim p')$$

여기서 μ_{pq} 는 p 壓延機에서의 q 製品單位 生産에 所要되는 時間이고 δ_{pq} 는 q 製品의 p 壓延機까지의 scrapping coefficient 를 意味한다.

따라서 $\delta_{pq} \omega_k^q$ 는 p 壓延機에서 壓延할 鋼材의 量이 된다.

鋼種에 따른 scrapping coefficient 나 壓延時間의 差異는 거의 없으므로 k 는 壓延鋼材의 總量에만 關係한다.

一般的으로 $p=1, \sim, n$ 의 경우 M_p 는 各種 鋼塊 (ingot) 의 scrap factor 를 고려한 造塊能力이 된다.

$p=u+1, \sim, n'$ 는 均熱爐 (soaking pit) 가 되고 $p=v, \sim$ 는 차례로 諸種 壓延機, 加熱爐, 熱處理爐 및 剪斷機 (shear) 를 表示한다.

위의 capacity constraint 는 $q=1$ 일 경우 즉, 一種의 製品을 生産할 경우에는 適用될 수 있으나 一般的인 $q=1$ 이 아닌 경우에는 一製品에서 他製品 生産을 위한 set up time 의 필요성으로 因해 實際의 M_p 가 減少된다.

一般的으로

$$\sum_k \sum_q \mu_{pq} \delta_{pq} \omega_k^q \leq M_p - \sum_q s_{pq} \quad (p=1, \sim p') \quad (19)$$

로 表示 할 수 있다.

여기서 s_{pq} 는 p 壓延機에서 q 製品을 加工하기 위한 set up time 을 나타낸다. ⁽³³⁾

그러나 이 s_{pq} 는 앞에서 말한 바와 같이 operation sequencing 의 函數로서 같은 製品을 같은 工程에서 같은 程度 加工하더라도 直前 batch 의 製品에 따라 달라진다.

(c) Demand Constraint

모델의 마지막 制約으로서 生産된 製品에 對한 需要를 생각할 수 있다. 一週 製品의 生産量은 一定 注文量보다 커야 된다.

$$\sum_{k \in Q_r} \delta^r \omega_k^r \leq D_k^r \quad (r=1, \sim r', \quad k=1, \sim, k') \quad (20)$$

(32) processing time 은 reheating time, rolling time 및 manipulating 이됨.

(33) II-3 參照.

$$Q_r = \{q | q = f(r)\}$$

여기서 Dr^k 는 k 種鋼 r 製品의 注文量이고 δ_q 는 q 工程 製品의 工程 全體를 통한 scrap-
ping coefficient 를 表示한다.

$\sum_{q \in Qr}$ 은 r 製品이 되는 모든 q 工程 製品의 和를 나타낸다. (34)

(d) non-negativity restriction

$$\omega_k^q \geq 0 \text{ --- (21)}$$

(e) objective function.

目的函數는 가장 費用을 적게하는 製品組合 즉

$$\min \sum_k \sum_q c_k^q \delta_q \omega_k^q \text{ --- (22)}$$

여기서 c_k^q 는 k 種鋼 q 工程製品 單位生産當 費用을 뜻한다. (35)

以上の 鋼材製造工程모델을 整理하면

$$\text{minimize } \sum_k \sum_q c_k^q \delta_q \omega_k^q$$

$$\text{Subject to } \sum_k \omega_k^q \leq Y^k \quad (k=1, \sim, k')$$

$$\sum_k \sum_q \mu_{pq} \delta_{pq} \omega_k^q \leq M_p - \sum_q s_{pq} \quad (p=1, 2, \sim p')$$

$$\sum_{q \in Qr} \delta_q \omega_k^q \leq Dr^k \quad (r=1, 2, \sim r')$$

$$(k=1, 2, \sim, k')$$

$$Q_r = \{q | q = f(r)\}$$

$$\omega_k^q \geq 0.$$

4. 統合 모델

여기서 시도하려는 統合모델은 위에서 適用한 3 가지 區分에 의한 製銑, 製鋼, 鋼材製
造 모델중에서 相互 需給關係에 있거나 한가지의 INPUT 또는 OUTPUT 이 두가지 혹은
工程 全般에 걸치는 것에 대한 고려를 하려는 것이다.

예를 들면 어떤 種類의 鐵鑛石은 製銑工程(高爐)에서도 使用되고 製鋼工程에도 INPUT
된다.

이러한 鑛石의 供給源은 실제로 하나 뿐이나 各各 다른 記號로 別개의 것처럼 表示되
어 있다.

다른 하나의 例는 閉回路를 이루는 物質의 需給關係이다.

(34) 工程이 相異하더라도 最終的으로 r 製品이되는 工程의 和.

(35) c_k^q 의 算出은 II-3-(3) 參照.

Scrap 은 鋼材製造工程中 대략 生産量의 5~15%의 많은 量이 생기고 이는 다시 前工程인 製鋼工程의 INPUT 이 된다.

따라서 이와 같은 量을 數量化하고 모델에 첨가하여 統合工程(高爐의 INPUT 으로부터 出發하여 壓延製品에 이르는 全工程)의 모델을 만들려는 것이다.

(a) 需給關係

製銑工程의 OUTPUT 인 銑鐵은 製鋼工程의 INPUT 이고 製鋼工程의 OUTPUT 인 鋼은 鋼材製造工程의 INPUT 이다. 다시 말하여 製銑工程의 需要制約(demand constraint)은 製鋼工程의 供給制約(supply constraint)과 重複되고 製鋼工程의 需要制約은 鋼材製造工程의 供給制約과 重複되므로 이를 한데 묶기로 한다.

關係되는 制約式을 다시 쓰면 製銑工程의 需要制約은

$$\sum_j \sum_i x_{ik} \geq X + X^m \quad (4)$$

製鋼工程의 供給制約은

$$\sum_h \sum_{h \in N} f_{hk} y_{hk} \leq X \quad (10)$$

$$N = \{h/1, 2, \dots, n'\}$$

生産된 銑鐵을 市販하지 않고 全量 製鋼工程에 넘긴다고 하면 위의 制約式 (4)와 (10)에서 $X^m = 0$ 이므로 하나로 묶을 수 있다. 즉

$$\sum_h \sum_{h \in N} f_{hk} y_{hk} - \sum_j \sum_i x_{ji}$$

整理하면

$$\sum_h \sum_{h \in N} f_{hk} y_{hk} - \sum_j \sum_i x_{ji} \leq 0 \quad (23)$$

다음 製鋼工程의 需要量과 鋼材製造工程의 供給量은 一般的으로 同一 하므로 制約式(18)은 다음과 같이 하나로 表示될 수 있다.

$$\sum_k \omega_k^i \leq \sum_h y_{hk}$$

$$(k=1, 2, \dots, k')$$

移項하면

$$\sum_k \omega_k^i - \sum_h y_{hk} \leq 0$$

$$(k=1, 2, \dots, k') \quad (24)$$

b) 高爐의 INPUT 이 되는 鋼滓에 對한 고려

前述한 바와 같이 製鋼工程中 發生한 鋼滓(slag)는 相當한 量의 鐵分을 含有하는 故로 通常 이는 다시 高爐에 裝入되어 鋼滓가 含有하고 있는 鐵分 및 기타 有利成分을 回收하게 된다. 高爐 INPUT 中 鋼滓를 그 INPUT 으로 使用하는 것을 $i=2$ 로 表示하면

(36) 이것은 製鋼工程中 發生한 鋼滓의 量을 超過하지 못한다. 즉

$$A_2 \leq \sum_k \sum_h b_{hk} y_{hk} \quad (25)$$

여기서 b_{hk} 는 y_{hk} 單位量 生産에 부수되어 生産되는 鋼滓中에서 高爐에 다시 순환되는 量을 表示한다.

(c) 製鋼工程의 INPUT 이 되는 鋼材製造工程의 scrap 에 對한 고려

鋼材製造工程에서 加工中 發生한 scrap 과 scale 은 다시 製鋼爐에 INPUT 이 되므로 당연히 고려되어야 한다.

制約式(11)에서 $h=n+1$ 이 鋼材製造工程에서 오는 scrap 의 量이라고 하면 scrapping coefficient 를 δ_q 라고 하였으므로 工程中 scrap 이 되는 量은 $(1-\delta_q)\omega_q^k$ 가 된다. 즉

$$F_{n+1} \leq \sum_k \sum_q (1-\delta_q) \omega_q^k \quad (26)$$

(d) 製造工程에서 鐵鑛石 添加에 對한 고려

特定的 鐵鑛石은⁽³⁷⁾ 製銑工程(高爐) 및 製鋼工程의 INPUT 모두에 使用된다.

따라서 制約式(1)에서 고려되지 않은 $i=1$ 이 이러한 종류의 INPUT 를 나타낸다고 하면 $\sum_j \alpha_1 x_{1j} + \sum_k \sum_h o_{hk} y_{hk} \leq d_1 A_1$ (27)로 된다.

여기서 o_{hk} 는 y_{hk} 單位生産에 投入되는 鐵鑛石의 量이다.

(e) objective function

製銑, 製鋼, 鋼材製造工程의 目的函數는 다음과 같이 同時에 表現할 수 있다.

$$\min \sum_j \sum_i c_{ij} x_{ij} + \sum_k \sum_h \hat{c}_{hk} y_{hk} + \sum_k \sum_q \hat{c}_q^k \delta_q \omega_q^k \quad (28)$$

여기서 \hat{c}_{hk} 및 \hat{c}_q^k 는 重複計算됨을 피하기 위하여 各各 材料費中 前 工程에서 오는 INPUT 의 價格(材料費)를 除外한 값이다.

즉 \hat{c}_{hk} 의 경우는 熔銑 및 冷銑의 값과 \hat{c}_q^k 의 경우는 材料費 全部를 除外한 값이다.

지금까지 展開한 모델을 統合하면 各工程의 目的函數 대신

$$\text{minimize } \sum_j \sum_i c_{ij} x_{ij} + \sum_k \sum_h \hat{c}_{hk} y_{hk} + \sum_k \sum_q \hat{c}_q^k \delta_q \omega_q^k$$

制約式 (4)와 (10)대신

$$\sum_k \sum_{h \in N} f_{hk} y_{hk} - \sum_j \sum_i x_{ij} \leq 0$$

制約式 (13)과 (18)대신

$$\sum_q \omega_q^k - \sum_h y_{hk} \leq 0 \quad (k=1, 2, \sim k')$$

$$A_2 \leq \sum_k \sum_h b_{hk} y_{hk}$$

$$F_{n+1} \leq \sum_k \sum_q (1-\delta_q) \omega_q^k$$

$$\sum_j \alpha_1 x_{1j} + \sum_k \sum_h o_{hk} y_{hk} \leq d_1, A_1 \text{을 添加한 것이 된다.}$$

GLOSSARY OF SYMBOLS

Symbol	Description
A_i ;	計劃期間中 i 鑛石의 供給量
b_{hk} ;	h 種 INPUT 으로부터 k 種 OUTPUT 生産에 부수되어 生産되어 高爐에 다시 순환되는 鋼滓量
B ;	計劃期間中 高爐 稼動可能時間
c_{ij} ;	j 鹽基度에서 i 鑛石으로 부터 單位量의 銑鐵을 生産하는데 所要되는 費用
c_{hk} ;	h 種 INPUT 으로 k 種鋼 單位量을 生産하는데 所要되는 費用
c_q^k ;	k 種鋼 q 製品 生産에 所要되는 費用
\hat{c}_{hk} ;	c_{hk} 에서 前工程에서 오는 銑鐵의 값을 除外한 값.
\hat{c}_q^k ;	c_q^k 에서 材料費를 除外한 값
c ;	計劃期間中 Coke 爐의 Coke 生産量
d_i ;	豫備處理工程에서의 i 鑛石의 回收率
D_r^k ;	k 種鋼 r 製品의 計劃期間中 需要量(生産計劃量)
e^s_i ;	i 鑛石의 s 種 不純物 含有率
e^s ;	Coke 의 s 種 不純物 含有率
E^s ;	銑鐵中 s 成分의 規格
f_{hk} ;	k 種 OUTPUT 單位量 生産에 所要되는 h 種 INPUT 의 量
F_h ;	h 種 INPUT 의 計劃期間中 供給量
g^a_{hk} ;	h 種 INPUT 으로 k 種鋼 單位量 生産에 所要되는 a 種 添加劑의 量
G^a ;	計劃期間中 a 種 添加劑의 供給量
L ;	計劃期間中 石灰石 供給量
M_p ;	p 工程段階의 稼動可能時間
o_{hk} ;	y_{hk} 單位生産에 所要되는 鐵鑛石의 量
R ;	INPUT 中 熔銑에 대한 冷銑 (scrap 包含)의 使用比率
s_{pq} ;	p 工程段階에서 q 工程製品을 加工하기 위한 set up time

Symbol	Description
t_{hk} ;	y_{hk} 單位量 生産에 所要되는 製鋼工程時間
T ;	計劃期間中 製鋼工程 稼動 可能時間
V ;	計劃期間中 豫備處理工程 稼動可能時間.
X ;	計劃期間中 製鋼工程에서 필요로 하는 銑鐵의 量
X^m ;	計劃期間中 市販될 銑鐵의 量
Y_k ;	計劃期間中 鋼材製造工程에서의 種鋼의 필요量
α_i ;	單位量의 銑鐵 生産에 필요한 i 鑛石의 量
β_{ij} ;	j 鹽基度에서 i 鑛石을 가지고 操業하여 單位量의 銑鐵을 生産하는데 所要되는 Coke 量
γ_{ij}^d ;	i 粉鑛 單位量을 j 鹽基度の 燒結鑛으로 處理하는데 要하는 Coke 量
δ_{pq} ;	q 工程製品의 p 工程 段階에 이르기까지의 scrapping coefficient
δ_q ;	q 工程製品의 工程全體를 通한 scrapping coefficient.
λ_{ij} ;	j 鹽基度에서 i 鑛石을 가지고 操業하여 單位量의 銑鐵을 生産하는데 所要되는 石灰石量
μ_{pq} ;	p 工程段階에서의 q 工程製品 單位量 處理하는데 所要되는 時間
π_{ij} ;	i 粉鑛 單位量을 j 鹽基度の 燒結鑛으로 豫備處理하는데 所要되는 時間
σ^s_j ;	s 成分의 j 鹽基度에 있어서의 銑鐵中으로의 混入率

VARIABLES

ω^k_q ;	q 工程製品의 INPUT 이 되는 k 種鋼의 量
x_{ij} ;	i 鑛石으로부터 j 鹽基度에서 操業하여 生産할 銑鐵의 量
y_{hk} ;	h 種 INPUT 으로부터 k 種 OUTPUT 이 되는 量.

SUBSCRIPTS

h ;	製鋼工程 INPUT 의 種類
i ;	鐵鑛石의 種類
j ;	鹽基度の 種類
k ;	製鋼工程 OUTPUT 의 種類

- p ; 鋼材製造工程段階
- q ; 工程製品的 種類
- r ; 製品種類

SUPERSCRIPTS

- a ; 製鋼工程에서의 添加劑의 種類
- k ; 鋼種
- s ; 製銑工程에의 고려대상 不純物의 種類

SETS

- I ; 製鋼工程으로 가는 모든 INPUT 의 set
 $I = \{h|1, \sim n, n+1, \sim h'\}$
- N ; 製鋼工程의 INPUT 의 set
 $I = \{h|1, \sim n, n+1, \sim h'\}$
- P ; 鑛石中 粉鑛의 set
 $P = \{i|l+1, \sim i'\}$
- Q_r ; r 種類의 製品集合
 $Q_r = \{q|q=f(r)\}$
- U ; 製鋼工程의 INPUT 中 冷銑 및 scrap 의 集合
 $u = \{h|2, \sim n, n+1, \sim, h'\}$

II. 假定の 檢討

本章에서는 모델의 一貫性에 關聯된 것과 모델의 前提가 된 여러 假定에 對한 檢討를 다루기로 한다.

모델에 使用된 變數(x_{ij} , y_{kk} , w^k_k)를 除外한 모든 것은 실제 操業에 있어 그 값을 알고있거나 그 計算이 可能하다고 前提되었으나 그中 어느것은 製品組合(product mix) 또는 操業程度(activity level)가 決定된 後에야 알 수 있는 모순성을 지닌다.

이와 같은 모순성에 대한 고려와 이미 알고 있다고 假定한 여러 定數值의 算定 및 모델에 포함되어 있지 않으나 고려가 필요한 事項에 대하여 다음에 工程別로 언급하려고 한다.

1. 製銑工程

製銑工程에 使用된 여러 定數値의 算出 및 決定에 대해서 생각해 본다. 特定 鹽基度 (basicity), 特定鑛石에 있어서의 單位銑鐵 生産에 필요한 鑛石 所要量(α_i)과 石灰石 所要量(λ_{ij})은 高爐工程에 있어서의 各 INPUT의 損失(loss) (또는 recovery)을 알고 있다면 計算이 可能한 數値이나 Coke 所要量(r_{ij})은 여러가지 要因에 의하여 영향을 받으므로 精確한 값의 算定에는 畧이 따른다. 그 밖의 供給 可能量 및 施設容量에 대한 값은 알 수 있는 것이다.

1) 鐵鑛石 所要量(α_i)의 決定

어떤 工程의 回收率(recovery)은 다음과 같이 OUTPUT 과 INPUT의 比로서 表示된다.

$$\text{Recovery} = \frac{\text{OUTPUT}}{\text{INPUT}}$$

要求되는 銑鐵의 鐵分 品位를 F , i 種 鑛石의 鐵分 含有量을 F_i , i 種 鑛石의 高爐工程에 서의 損失⁽³⁶⁾을 감안한 實收率을 (Rec) _{i} 라고 하면

$$[\text{Rec}]_i = \frac{\text{OUTPUT}}{\text{INPUT}} = \frac{1 \times F}{\alpha_i \times F_i}$$

가 된다.

여기서 1은 單位 銑鐵 生産量을 表示하고 있다.

따라서 單位 銑鐵 生産에 所要되는 鑛石量 α_i 는

$$\alpha_i = \frac{F}{F_i \cdot [\text{Rec}]_i} =$$

로 부터 計算할 수 있다.

鹽基度에 따른 鐵分 recovery의 變化는 없는 것으로 간주한다.

2) Coke 所要量(r_{ij})의 算定

單位 銑鐵 生産에 所要되는 Coke 量 (r_{ij})⁽³⁹⁾의 推定은 여러가지 要因으로부터 영향을 받으므로 이러한 모든 영향을 고려하여 算定한다는 것은 거의 不可能하다.

一般的으로 Coke 比에 영향을 주는 要因으로는 鐵鑛石中の 鐵分量, 鐵鑛石의 粒度, 燒結鑛의 使用比率, 石灰石 使用比率, Coke 中の 灰分送風溫度, 燃料 및 酸素富化 與否등을

(36) $i=1$ 은 後述함

(37) 鐵分含有量이 높고 不純物이 적은 鑛石

(38) 爐頂 gas (top gas)로서의 dust와 slag로 混入되는 鐵分

(39) $\text{Coke ratio} = \frac{\text{Coke 量}}{\text{出銑量}}$

들 수 있다(40).

이와 같은 여러 要因中 送風溫度, 燃料吹入量 등은 一定하고 한 種類의 Coke 를 使用한다고 假定하면 Coke 比는 使用鑛石의 種類와 特定 鹽基度에 따른 函數라고 볼 수 있으나鑛石에 따른 基準을 定하기가 어렵다.

즉 Coke 比는 鑛石의 化學組成뿐만 아니라 物理的 特性(41)에 따라 相異하므로 化學組成을 다루는 熱收支計算에서도 모든 要因을 고려할 수 없다는 難점이 있다.

따라서 γ_{ij} 의 決定은 各 鑛石의 실제 操業 結果에 따른 平均値를 使用하도록 한다.

3) 石灰石 所要量 λ_{ij} 의 算定

單位 銑鐵 生産에 所要되는 石灰石量(λ_{ij})는 使用 鑛石의 種類와 鑛滓 鹽基度에 따른 函數이다.

즉 特定 鑛石중의 酸性 成分과 鹽基性 成分의 量 및 使用 鹽基度만 決定되면 따라서 決定된다. (42)

basicity 는 base/acid 로 定義되므로 使用 basicity 를 B_j 라고 하고 i 鑛石中 acid 의 % 를 a_{ai} , base 의 % 를 b_{ai} , 石灰石中의 acid 의 % 를 $a_{\lambda ij}$, base 의 % 를 $b_{\lambda ij}$ 라고 하면

$$\beta_j = \frac{\alpha_i \cdot b_{ai} + \lambda_{ij} \cdot b_{\lambda ij}}{\alpha_i \cdot a_{ai} + \lambda_{ij} \cdot a_{\lambda ij}}$$

로 된다.

여기서 λ_{ij} 를 구하면

$$\lambda_{ij} = \frac{\alpha_j (b_{ai} - a_{ai} \cdot \beta_j)}{a_{\lambda ij} \cdot \beta_j - b_{\lambda ij}}$$

가 된다.

4) 高爐 使用時間(β_{ij})의 算出

銑鐵 單位 生産當 高爐 使用時間(β_{ij})의 決定은 目的函數에의 單位銑鐵 生産當 費用(c_{ij})의 計算에 영향을 미치는 要素로써 이의 正確한 값을 算出하는 것은 重要한 意味를 갖는다.

이 β_{ij} 의 決定은 使用 鑛石의 諸性質(品位, size, reducibility, bulk density 등)에 따른 實驗的인 값이어서 어떤 特定 鑛石의 β_{ij} 는 그 鑛石 各各을 使用했을 경우만이 計算이 可能하다. (42) 따라서 이 β_{ij} 의 값은 실제의 操業 data 에 의존하여 計算할 수 밖에 없으며 이러한 實積値가 없는 경우의 모델의 效果는 低下될 것이다.

(40) 日本鐵鋼協會編: 製鐵製鋼法, 地人書館 1959, p. 34

(41) 氣孔度, 粒度, 高溫強度 등.

(42) 酸性 成分은 主로 SiO_2 , P_2O_5 , Al_2O_3 鹽基性 成分은 MgO , MnO , CaO 등

5) 鹽基度에 따른 不純物 混入率(σ'_j)의 決定

特定 不純物の 銑鐵中으로의 混入率은 爐內溫度, 鑛滓의 鹽基度 및 기타 不純物の 存在 與否에 따른 函數이다. (44) 그러나 制約式(5)에서 보인 바와 같이 銑鐵中으로의 不純物 混入을 오직 鹽基度에 따른 函數로 보아 왔다.

이는 爐內溫度 및 기타 不純物の 영향을 모델에서 고려 할 수 없기 때문이다.

그러나 銑鐵의 不純物中 가장 重要視되는 硫黃의 銑鐵에의 混入은 주로 鑛滓의 鹽基度에 의해 조절되므로 制約式(5)는 所期의 目的을 다 할 수 있다고 보여진다.

6) 制約式(5)와 1 回裝入量과의 關係

制約式(5)에서 特定 不純物에 對한 制限은 모델의 計算 結果 最適 INPUT 全量이 配合될 경우를 나타내고 있으나 실제로 計劃期間中의 最適이라는 비율의 INPUT 모두가 同時에 全量 高爐에 裝入되는 것은 아니고 1 회에 約간씩 回分(batch)的으로 裝入되므로 이때의 1 回分 裝入量은 마땅히 모델의 計算 結果 얻어진 各 鑛石의 最適比率로서 構成되어 여단 주어진 不純物에 관한 制約을 만족하게 된다.

이와 같은 1 回裝入量이 各 鑛石의 最適비율로서 되어 있어야 한다는 것은 裝入될 鑛石의 빈번한 交替를 意味하므로 裝入費用(一種의 set up cost 로서)의 增加를 招來하게 된다. 이와 함께 고려되어야 할 것은 모델에서 鑛石種類數에 따른 保管費 및 運搬費가 除外되어 있다는 點이다.

以上에서 說明한 1 回裝入量과 그것이 維持해야 할 配合比率는 製鋼工程에도 해당된다.

7) 單位銑鐵生產費用 c_{ij} 의 計算

j 鹽基度에서 i 鑛石을 가지고 銑鐵 單位을 生産하는데 所要되는 費用 c_{ij} 는 材料費와 工程費로서 區分하여 다음과 같이 計算할 수 있다.

$$c_{ij} = \frac{\alpha_i}{d_i} c^{\alpha_i} + \left(\gamma_{ij} + \frac{\alpha_i}{d_i} \gamma^d_{ij} \right) c^{\gamma} + \lambda_{ij} c^{\lambda} + \beta_{ij} c^B + \frac{\alpha_i}{d_i} \pi_{ij} c^V$$

여기서 c^{α_i} ; i 鑛石의 單位當 價格(rebert materials 는 handing cost 에만 計算)

c^{γ} ; Coke 의 單位當 價格

c^{λ} ; 石灰石의 單位當 價格

c^B ; 高爐單位時間當 費用

c^V ; 豫備處理爐 單位 時間當 費用

위에서 $\frac{\alpha_i}{d_i} c^{\alpha_i}$, $\left(\gamma_{ij} + \frac{\alpha_i}{d_i} \gamma^d_{ij} \right) c^{\gamma}$ 및 $\lambda_{ij} c^{\lambda}$ 는 各 單位量의 銑鐵을 生産하는데 所要되

(43) 여러 鑛石을 함께 使用했을 경우의 data 를 各各의 鑛石에 割當하면 各鑛石에 對한 β_{ij} 값을 구할 수 있을 것 같으나 이때의 適切한 時間割當 基準의 選擇이 問題가 된다.

(44) Megannon, H.E. 前掲書 pp. 337~361

는 鑛石, Coke, 石灰石의 價格이고(材料費) $\beta_{ij} c^B$ 및 $\frac{\alpha_i}{d_i} \pi_{ij} c^V$ 는 各各 單位 銑鐵 生産에 필요 高爐 操業費用 및 豫備 處理爐費用을 뜻한다.

2. 製鋼工程

1) Cast Steel 分에 대한 고려

製鋼工程 모델의 需要에 대한 制約式(13)에서 鑄物用으로 使用되는 cast steel 分은 고려 되지 않았으나 cast steel 이 따로 要求되는 경우에는 製銑工程의 모델에서의 같이 다른 定數를 添加하므로 고려될 수 있다. 즉

$$\sum_k \sum_h Y_{hk} \geq Y^k + Y^{ck}$$

여기서 Y^{ck} 는 cast steel 로 使用될 k 種鋼의 量을 表示한다.

2) 熔, 冷銑 使用 比率(R)

制約式(14)는 熱收支(heat balance)를 表示하고있는 것으로 여기서 熔銑에 對한 冷銑과 scrap 의 混合比率은 모델의 線型性을 維持하기 위해⁽⁴⁵⁾ 一定值 R로서 表示되어 있으나 실제로 이 R의 값은 一定值가 아니고 主로 裝入物中의 s_i 含量에 따른 函數이다.

따라서 R은 操業 data 에 따른 最高許容值로서 代用하여 線型을 維持하도록 한다.

3) 添加劑 使用量(g^a_{hh})

第二章에서 說明한 바와 같이 製鋼工程은 工程의 特殊性으로 鋼成分을 그 初期 裝入量에 의해 조절할 수 없고 裝入後의 操業 形便에 따라 變化하므로 特定鋼種을 生産하기 위해 要求되는 單位鋼 生産當 添加劑 使用量(g^a_{hh})는 通常의 操業過程에서 推定하지 않으면 안된다.

또한 이 添加劑에 대한 制約式은 모델에 포함된 기타 制約式에 비해 별로 重要하지 않다.

즉 添加劑의 使用量(換算된 價格)은 熔銑이나 scrap 에 비해 尠少하므로 添加劑에 관한 制約式은 添加劑의 使用범위가 特別히 주어질 때⁽⁴⁶⁾엔 有用하다고 할 수 있다.

4) 工程所要時間(t_{hh})

실제의 操業에서 冷銑 또는 scrap 만을 100% INPUT 으로 使用하는 경우는 存在치 않으므로⁽⁴⁷⁾ 冷銑 및 scrap 을 使用할 경우의 t_{hh} 는 실제 操業 data 에서 얻을 수 없다.

따라서 冷銑과 熔銑을 混合하여 使用할 경우의 data 로 부터 外插(extra polation)하여

(45) h 裝入物中 Si 의 含量을 e^h_{Si} 로 表示하면

$$R = \sum_h e^h_{Si} f_{hh} y_{hh}$$

가 되므로 制約式(14)는 線型을 유지할 수 없다.

(46) 所有하고 있는 添加劑의 限度內에서 計劃을 해야 하는 것이 強調되는 경우.

(47) LD 爐의 경우

使用한다. (48)

5) 單位鋼 生産費 (c_{hk})의 算出

單位鋼 生産費用 c_{hk} 는 單位鋼 生産에 所要되는 材料費 및 工程費로서 構成되며 여기서 材料費를 構成하는 것은 工程의 INPUT 인 熔銑, 冷銑 scrap 및 添加劑의 값이 된다.

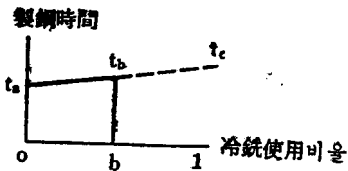
工場 外部로부터 購入되는 (外部 購入 冷銑) scrap 및 添加劑의 價格은 一定 數值(49)로 表示될 것이므로 문제가 되지 않으나 熔銑 및 冷銑의 價格은 前 工程인 製銑工程의 結果에서 일어난다.

製銑工程에서 決定되는 銑鐵單位當 價格은 銑鐵 需要量이 變化함에 따라 變化하므로(50) 銑鐵의 生産量(51)이 事前에 決定되어야 計算 可能하나 銑鐵의 使用量은 製鋼工程에서 구하려고 하는 것이므로 二律背反的인 性格을 띠운다.

따라서 模型을 適用하려고 하는 對象이 製銑製鋼一貫工程方式을 擇하고 있다면 各各의

$$(48) \text{ 製鋼時間 } t_c = t_a + \frac{t_b - t_a}{D}$$

- t_a : 熔銑만을 使用했을 경우의 製鋼時間
- t_b : 冷銑使用比率이 b 일 경우의 製鋼時間
- t_c : 冷銑만을 使用했을 경우의 製鋼時間



<그림 2> 製鋼時間과 熔銑使用比率과의 關係

(49) 購買價格으로 決定됨.

(50) 銑鐵의 需要量이 增加하면 銑鐵 單位當 價格은 上昇한다. 이는 一定한 資源中에서 生産量을 增加하면 할수록 生産費用이 저렴한 資源의 選擇이 어렵게 되는 線型計劃의 특징때문이다.

(51) 製鋼工程에서는 使用量



<그림 3> 銑鐵生産量과 總原價의 關係

目的函數를 묶은 前章 統合모형을 適用하여야만 한다.

鋼의 單位當 生産費는 다음과 같이 表示된다.

$$c_{hk} = f_{hk}c^h + \sum_a g_{hk}c^a + t_{hk}c^T$$

여기서 c^h 는 h 種 INPUT 單位當 價格, c^a 는 a 種 添加劑의 單位當 價格, c^T 는 單位時間當 工程費를 各各 表示한다.

c^h 中 scrap 및 添加劑로서의 scale의 價格은 工程中 副產物로서 回收되는 것이므로 零으로 놓고 計算한다.

6) 自家冷銑의 最低 使用量⁽⁵²⁾

操業형편에 따라서는 製銑工程의 熔銑이 後續된 製鋼工程에서 곧 加工될 수 없는 경우가 發生한다.

이러한 경우에는 原價面에서 不利한 冷銑이 發生하고 이러한 冷銑 處분에 관한 또 다른 制約式이 필요하게 된다.

$$\sum_k f_{zk}y_{zk} \leq z$$

여기서 y_{zk} 는 z 種 冷銑이고 z 는 그 最低使用量을 나타낸다.

7) scrap 및 mill scale의 區分計算

統合모형의 制約式(26)은 鋼材製造工程에서 製鋼工程으로 再循環되는 scrap 및 scale의 量과 關聯된 것이다.

여기서 製鋼工程에 循環되는 $(1-\delta_q)\omega_q$ 는 scrap 과 scale全體를 말하는 것으로 scrap 과 scale은 그 化學組成이 相異하고 또 一般的으로 scrap은 製鋼工程에, scale은 製銑工程으로 再循環됨에도 불구하고 同一한 것으로 表現되어 있다.

그러므로 이들 scrap 과 scale의 區分計算이 필요한 경우에는 scrapping coefficient를 scrap 과 scale에 대한 것으로 各各 나누어 表示하면 된다.

$$\delta_q = \delta_q^1 + \delta_q^2$$

δ_q^1 은 scrap에 對한 scrapping coefficient이고 δ_q^2 는 scale이 되는 scrapping coefficient를 나타낸다.

3. 鋼材 製造工程

1) set up time의 決定

特定工程 段階에서 特定 鋼製品을 生産하기 위한 set up time의 決定은 약간의 問題를

(52) 이와같은 것은 製銑工程에서도 있을 수 있다. 즉 政策的인 배려 등에서 어떤 特定 鑛石의 最低使用量을 定할 수 있는 것이다.

提起한다.

制約式 (19)는 capacity constraint 를 表示하고 있다.

$$\sum_k \sum_q \mu_{pq} \delta_{pq} \omega_q^k \leq M_p - \sum_q s_{pq} \quad (p=1, 2, \dots, p') \text{--- (19)}$$

위에서 p 工程에서 q 種類의 製品을 生産하기 위한 總 set up time 은 $\sum_q s_{pq}$ 로 表示되어 있으나 p 工程에서 새로 q 製品을 加工하기 위한 set up time s_{pq} 는 q 製品을 加工하기 直前의 製品種類에 따라 달라지며⁽⁵³⁾ 壓延工程은 鋼塊의 溫度가 一定溫度以下로 떨어지기 前(一定時間內)에 壓延되어야 하는 특징을 가지고 있으므로 s_{pq} 는 工程段階마다 다를 수가 없다.

即 特定 製品 q 에 있어서의 各工程 段階의 s_{pq} 는 其中 가장 긴 set up time s_{pq} 로써 壓延段階에 無關하게 表示되어야 한다.

따라서 加工될 製品의 工程과 加工順序가 決定된다면 $\sum_q s_{pq}$ 는 一定值가 된다.

그러나 本 鋼材製造工場모델은 生産해야 할 製品의 工程을 決定하려는 것이므로 먼저 $\sum_q s_{pq}$ 를 알아야만 하는 모순이 있다.

따라서 이 $\sum_q s_{pq}$ 는 실제 操業 data 의 平均으로서 代用할 수 밖에 없다.

2) 熱間加工의 경우 μ_{pq} 에 대한 고려

特定 製品 q 의 p 工程段階에서의 實加工時間을 μ_{pq} 라고 하면 μ_{pq} 는 工程段階 p 에 따라 다르다.

그러나 熱間壓延의 경우 일단 加熱된 鋼片은 壓延加工中 一定溫度 以上으로 維持되어야 하므로 다시 加熱爐에 들어가 再加熱되기 前에는 一定 溫度以上을 維持할 수 있는 一定 時間內에 加工되어야만 한다.

따라서 特定製品 q 의 加工에 필요한 모든 工程段階에 있어서의 μ_{pq} 는 p 工程段階中 가장 큰 $\bar{\mu}_{pq}$ 로써 表示되어야만 한다.

즉 q 製品의 加工을 위한 모든 p 工程段階 series 는 balancing 되어야만 함을 말한다.

3) 鋼材 單位量 生産費用 c_q^k

單位 鋼材 生産費 c_q^k 는 다음과 같이 材料費, 工程費 및 set up 費用의 和로서 表示된다.

$$c_q^k = \frac{1}{\delta_q} c^k + \sum_p \mu_{pq} c^p + \sum_p s_{pq} c^s$$

여기서 c^k 는 k 種鋼 單位量 價格이고 c^p 는 p 壓延機 單位時間當 稼動費用, c^s 는 單位時

(53) 類似한 種類의 製品일 경우는 同一한 pass guide 등을 使用할 수 있으므로 set up time 이 아주 相異한 製品의 경우에 비해 적다.

間當 set up 費用을 나타낸다.

4) operation sequencing

一定한 種類의 工程을 채택할 때 全體工程 所要時間⁽⁵⁴⁾은 여러 工程間의 進行順序에 따라 相異하게 된다.

즉 類似한 工程을 계속해서 채택한다고 假定하면 전혀 相異한 工程을 交互로 선택하는 것보다는 set up time 이 적을 것은 自明하다.

따라서 前述한 모델에 의해 最適工程組合이 決定된 後에는 그 選定된 工程群들 相互間에서의 適切한 進行順序는 生産 能力을 擴大시키는 方便이 될 수 있다.

다음에 n 個의 工程을 利用하는 것이 最適 process mix 라고 假定하고 이때의 가장 費用 (또는 時間)을 적게 하는 工程進行順序(process sequencing)를 생각하기로 한다.

$t \backslash s$	1	2	3	n	a_s
1	∞	c_{12}	c_{13}		c_{1n}	1
2	c_{21}	∞	c_{23}		c_{2n}	1
3						
\vdots						
n	c_{n1}	c_{n2}			c_{nn}	1
b_t	1	1	1	1	n

<그림...4>

<그림-4>와 같이 이 process sequencing 은 輸送問題(transportation problem)의 特殊한 形態로 表現될 수 있다.

$$\sum_{t=1}^n p_{st} = a_s = \sum_{s=1}^n p_{st} = b_t = 1$$

$$(s, t=1, 2, \dots, n)$$

$$p_{st} \geq 0$$

$$\text{minimize } \sum_t \sum_s c_{st} p_{st}$$

p_{st} 는 s 工程에서 t 工程으로 가는 製品을 表示하고 c_{st} 는 이때 필요한 set up cost (time) 이다.

특히 $s=t$ 일때는 실제로 存在치 않으므로 이때의 c_{st} 는 ∞ 로 놓는다.

a_s, b_t 가 1 이므로 p_{st} 는 1 또는 0 中 하나 即 한 column 과 한 row 에 하나씩만이 해당

(54) set up time 이 포함된 時間.

될 것이다. (55)

다음에 얻어진 p_{st} series 中 가장 큰 c_{st} 를 갖는 p_{st} 를 끊으면 구하고자 하는 最適 sequencing 이 얻어진다.

IV. 結 言

以上에서 展開한 一貫操業의 製鐵製鋼工程 모델에서는 在庫問題, 機械 및 裝置의 定修 (periodic shutdown) 여러 種類의 INPUT 을 취급하는데 부수되는 諸問題 등이 고려되지 않았다.

그러나 이와 같은 모델의 適用은 基本的인 企業의 政策 決定에 有利한 指針과 方向을 提示할 수 있을 뿐만 아니라 生産量이 膨大함으로 해서 비교적 작은 工程能力의 向上에 의해서도 모델 適用에 所要되는 費用의 數倍以上의 原料費나 生産原價의 節減을 가져올 수 있다. (56)

모델은 一定 計劃期間中 原料在庫의 限界內에서 要求되는 質과 數量의 製品生産에 所要되는 費用을 最小로 하는 INPUT 의 最適 使用比率(57)을 提供하는 外에 다음과 같은 利點을 준다.

1. 計劃期間中 市場에서 購買可能한 모든 原料中에서 어떤 種類의 INPUT 을 어떤 價格으로 使用하면 有利한가를 아는데 有用한 道具가 될 수 있다.

2. 特定製品 生産을 위해 주어진 生産施設內의 代替工程中 가장 有利한 工程을 차례로 選擇하므로 全體的인 施設의 利用度を 높인다.

즉 生産량을 增大시킬 수 있다.

(55) integrality property; Hadley, G: Linear programming, Addison-Wesley 1962, p. 280

(56) 1. A national food Co.

投資 : \$2,000

費用節約 : \$500,000/year

A major oil Co.

投資 : \$ 2,000

利益 : \$ 15,000/day

; Buffa, B.S. Readings in Production & Operations Management. John Wiley & Sons 1966, pp. 80~81

2. 年間 300 萬 圓 生産規模의 製鐵所에서 壓延製品의 不良率을 1%만 減감해도 年間 150萬~300萬\$의 純 利益을 획득할 수 있다; 坪井邦夫 前掲文 p. 63

(57) 製銃工程에서는 鑛石 種類의 選擇뿐만 아니라 어떤 鑛石을 어떤 鑛基度에서 操業함이 가장 有利한가 하는 것 또 鑛材製造工程에서는 各製品마다 가장 有利한 工程이 어느 것인가도 알려준다.

3. 모델의 適用에 의해 施設中 가장 隘路工程(bottleneck)이 되는 것 또는 施設容量(生産能力)만큼 利用되지 못하는 施設에 대한 數學的인 情報를 提供받는다. 따라서 어떤 特定生産施設에 대한 投資가 全體의 生産能力을 효과적으로 增大시킬 수 있는 것인가 하는 Capacity 增加⁽⁵⁸⁾와 設備改善에 대한 有效한 方案을 提示한다.

4. 모델은 INPUT 種類의 選擇 및 量的인 決定에 있어서의 誤謬로 因해 製品이 要求된 特定規格을 벗어난 不良品이 되는 위험성을 제거한다.

5. 약간의 變化를 모델에 加함으로써 市場生産에 대해서도 적절한 product mix 를 決定할 수 있게 한다. 즉 需要制約外에 sales constraint(또는 demand constraint의 upper limit)와 目的函數에서 單位 生産費用 代身에 製品單位當 利益을 使用함으로써 市場生産일 경우의 最適 製品組合을 提示할 수 있고 특히 이것은 現在의 需要量制約下의 모델과 比較되어 어떤 製品部門에 가장 集中的 marketing 活動이 要求되는가 하는데 대한 指針을 마련한다.

6. 또한 모델 適用의 實施는 各 工程間, 現場間, 現場과 管理의 各部署間, 販賣擔當者와 生産擔當者사이의 情報傳達, 生産計劃, scheduling 生産에 필요한 諸手配, 在庫管理 등을 쉽게 한다.

參 考 文 獻

1. 商工部 金屬課 鐵鋼工業參考資料 1969.
2. 綜合製鐵事業計劃 研究委員會, 綜合製鐵建設을 中心으로 하는 韓國 鐵鋼工業開發에 對한 研究報告書 1969.
3. 韓國產業銀行調查部, 韓國의 產業(上) 1966.
4. 日本鐵鋼協會編, 製鐵製鋼法, 地人書館 1959.
5. 日本鐵鋼協會編, 鋼材製造法, 地人書館 1959.
6. 大橋周治, 鐵鋼業, 東洋經濟新報社, 1966.
7. 井上俊夫, 壓延設備의 理論과 實際, 拔報堂 1960.
8. 坪井邦夫「製鐵所に 있어서의 Computer Control」金屬材料 Vol. 9, No. 3, 1969.
9. 大橋周治, 「鐵鋼業의 再編成」金屬. Vol. 36, No. 22, 1966.
10. Buffa, B.S., Readings in Production and Operations Management John Wiley & Sons, 1966.
11. Charnes, A. & W.W. Cooper, Management Models and Industrial Applications of

58) 특히 壓延部門에서는 Producing Scheduling 에 의해 Capacity 를 最大로 할 수 있다.

Linear Programming. Vol. 1&2. John Wiley & Sons, 1961.

12. Duncan J.W., Optimization of Blast Furnace Operation Through Linear Programming, Blast Furnace and steel Plant, Vol. 51, No. 4 (1963).
13. Eisemann K. and W.M. Young Study of Textile Mill with the aid of Linear Programming, Management of Technology, No. 1 (1963).
14. Fabian, T.A. Linear Programming, Model of Integrated Iron and Steel Production, Management Science Vol. 4, No. 4 (1958).
15. Hadley, G. Linear Programming, Addison-Wesley, 1962.
16. McGannon, H. E., The Making Shaping and Treating of Steel, U.S. Steel 1964.
17. Metzger, R.W. and R. Schwarzbek, A Linear Programming Application to Cupola Charging, Journal of Industrial Engineering Vol. 12, No. 2 (1961).
18. Pehlke, R.D.A., Thermochemical Model for Computer Prediction of Cupola Performance, Tech. Congr. Am. Foundrymen S. Soc., 1963.
19. Schuhmann, R. Jr., Metallurgical Engineering Vol. 1, Addison-Wesley, 1952.
20. Schultz, R.G. and A.W. Smith, Determination of a Mathematical Model for Rolling Mill Control IEEE Gen. Conf., Paper CP-63-548 1963.