

工業用水의 現況과 展望

崔 熙 云*

「工業用水에 대한 諸問題」 및 「韓國의 水資源」에 관하여도 '66년 8월 本學會 심포지움에서 이미 論議된 바있다.¹⁾

근래 諸工業의 急進의인 發達과 특히 石油化學工業의 胎動으로, 工業에 있어서 상당히 중요한 位置를 占하고 있으면서도, 비교적 疎忽히 취급되거꾸운 用水問題는 좀더 新중히 再考되어 마땅하다고 생각되므로 이에 대한 概括의인 現況과 展望을 말하고 몇가지 提言을 하고자하는 것이다.

“Process Design”의 가장 큰 代제가 最適化(Optimization)에 있고, 나아가서는 그 Project의 最少經費와 最大利益의 追求에 있다고보면, 本論題도 여기에서 어긋남이 없다고 생각한다.

1. 韓國의 水資源 概要

韓國의 年平均降雨量은 1,160 mm이며, 이는 國土全域에 一年에 1,140억 m³의 비가 내린다는 계산이 된다. 이중 河川流出은 약 700억 m³로 64% 로써 그 내용은 洪水가 470億, 自然流出이 230億, 利用水量은 51.2億 m³, 약 7.3%를 차지한다고 한다.¹⁾ (65年) 한편 1975년에 있어서의 用水利用展望은 93.7億 m³로써 降雨量의 13.4%로 잡고, 그중 工業用水는 11.7億 m³, 都市水道가 5.2億 m³, 農業用水가 76.8억 m³로써 工業用水로는, 그 12.5%가 되리라는 전망이다.

美國의 例를 보면²⁾

年平均 降雨量 30 in (762 mm)

平均 流出 8.5 in (最下 0.25 ~ 最高 80 in/yr)

平均 流出水量 1,200 bgpd (Billion gallons per day)

利用水量(水力發電除外) 270 bgpd (22.5%)

消耗水量 60 bgpd

이와 같이 비교할 때 우리나라의 降雨의 利用率은 아직 낮은 편이라 하겠다.

2. 化學工業과 工業用水

2-1 化學工業에 있어서의 工業用水의 位置

여기 몇가지 공업에 있어서의 用水의 原單位를 表1로 적었거니와, 특히 化學工業에 있어서는 工業用水가

工程水와 冷却水, 飲料水, 洗滌水로써, 직접, 간접으로 製品生産의 原料가 되고있는 것이다.

表 2는 石油化學工業을 위주로한 化學工業에 있어서, 電力, 水蒸氣, 用水의 原單位와 이들이 製造原價에 미치는 率을 표시하였다.

表 1. 몇가지 工業의 用水 原單位²⁾

| 工業名 | 生産單位 | 用水原單位 (Gal. per Unit) |
|---------------|------|--------------------------|
| 製鐵 | Ton | 65,000 |
| 精油 | Bbl. | 770 |
| 揮發油 | Bbl. | 357 |
| Pulp sulphate | Ton | 64,000 |
| Sulphite | Ton | 60,000 |
| Soda | Ton | 85,000 |
| Grounl wood | Ton | 5,000 |
| Paper | Ton | 39,000 |
| Coke | Ton | 3,600 |
| Beer | Bbl. | 470 |
| Milk, butter | lb. | 0.1~0.25 |
| 清涼飲料 | case | 2.5 |
| 비누 | lb. | 0.25 |
| 砂糖 | Ton | 1,000 |
| Rayon | lb. | 0.16 |

表 2의 作成에 있어서는, 日本 Chem. Marketing center 刊行資料 및 기타의 實例가 基準이 되었으며, 다음과 같은 前提를 基礎로 한 것이다.

1. Utility 價格

用水 5 W/m³

電氣 4 W/KWH

水蒸氣 800 W/Ton

2. 補修費 年 3%

償却 主施設 7~10年

附帶施設 18年

建設金利 年 5%

管理費 5%

이와같이 化學製品 製造原價에 工業用水가 차지하는 率은, 0.2 내지 11.2%로서 평균 5% 라 하겠고, 用水,

*三洋化工設計公社 理事

表 2. 化學工業에 있어서 Utilities 의 原單位(金額 W)

| 製 品 名 | 規 模 | 工 程 | Utilities(B) | | | 製造原價 (A) | B/A | % C/A | C/B | 備 考 | |
|------------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------|--------|--------|---|------|----------|------|---|---|
| | | | 用水 (C) | 電氣 | 蒸氣 | | | | | | |
| 水 素 | 12,000 m ³ /H | 天然가스의 水蒸氣改質 | 200 | 300 | — | 4,870 | 10 | 4.1 | 40 | 天然가스 | 7 W/m ³ |
| | 12,000 m ³ /H | Naphtha 改質 | 300 | 560 | 180 | 6,000 | 17.2 | 5.0 | 29 | Naphtha | 6,000 W/KL |
| 鹽 素 | 24,000 T/Y | 電解鹽素 | 60 | 13,730 | 960 | 17,430 | 84 | 0.3 | 0.4 | 原鹽 NaOH H ₂ | 3,500 W/T 16,000 W/T 6 W/m ² |
| Ethylene | 100,000 T/Y | Naphtha steam 分解 madium | 2,300 | 4,000 | — | Ethylene 24,440 Propylene 14,660 | 16 | 5.8 | 36.5 | Naphtha | 8,000 W/Ton |
| Butadiene | 20,000 T/Y | 脫水素 | 750 | 4,800 | 1,600 | 62,510 | 11.4 | 1.1 | 10.5 | Butane | 10 W/kg |
| | 25,000 T/Y | Furfural 抽出 | 800 | 200 | 4,000 | 54,300 | 9.2 | 1.5 | 16 | B-B 溜分 Furfural | 15 W/kg 120 W/kg |
| Cyclohexane | 25,000 T/Y | Benzene 水添 | 50 | 120 | 200 | 35,400 | 1.1 | 0.2 | 13.5 | Benzene | 30 W/kg |
| Benzene Toluene Xylene | 30,000 T/Y | UDEX 法 | 850 | 400 | 24 | 25,300 21,500 22,750 | 1.8 | 1.2 | 67 | 分解 Gasoline 水素(platformer) 抽出量比 B:T:X=1:0.7:0.4 價格比 B:T:X=1:0.85:0.9 | 10 W/kg 3 W/m ³ |
| Ammonia | 200 T/D | Texaco 天然가스 | 1,500 | 5,600 | 400 | 23,750 | 31.5 | 6.3 | 20 | Oil | 5,500 W/KL |
| | 400 T/D | 水蒸氣改質 | 1,040 | 2,600 | — | 16,000 | 22.7 | 6.5 | 28.5 | 天然가스 往復動壓縮機 motor 驅動 | 7 W/m ³ |
| | 1,000 T/D | " | 1,440 | 120 | — | 12,900 | 12 | 11.2 | 92 | 高壓合成 遠心型壓縮機 Turbine 驅動 | |
| " | 400 T/D | Naphtha 改質 | 810 | 3,000 | — | 15,700 | 24.3 | 5.2 | 21.3 | Naphtha | 8,000 W/Ton |
| Methanol | 200 T/D | 天然가스 | 1,220 | 2,600 | — | 17,000 | 22.5 | 7.2 | 32 | 高壓, 往復動 | |
| 無水 phthal 酸 | 12,000 T/Y | Naphthalene | 500 | 4,000 | — | 62,550 | 7.2 | 0.8 | 11 | Naphthalene | 30 W/kg |
| " | " | O-Xylene | 1,000 | 2,400 | — | 57,109 | 6.0 | 1.8 | 29.5 | O-Xylene | 30 W/kg |
| Alkyl Benzene (Dodecyl) | 15,000 T/Y | Propylene Benzene | 1,000 | 600 | 800 | 68,420 | 3.5 | 1.5 | 41.7 | Propylene Benzene | 25 W/kg 30 W/kg |
| Caprolactam | 20,000 T/Y | | 7,500 | 9,600 | 19,200 | 178,400 | 20 | 4.2 | 20.5 | Cyclohexane NH ₃ | 40 W/kg 25 W/kg |
| Acrylonitrile | 20,000 T/Y | PNC | 6,000 | 24,000 | 12,000 | 162,300 | 26 | 3.7 | 14.2 | 硫酸 硫酸安 | 8,000 W/Ton 12,000 W/Ton |
| | 20,000 T/Y | Acetylene 靑酸 | 3,000 | 1,200 | 6,400 | 120,300 | 8.8 | 2.5 | 28.2 | Acetylene 靑酸 | 70 W/kg 58 W/kg |
| | 20,000 T/Y | 直接酸化法 | 5,000 | 2,600 | 4,000 | 93,000 | 12.5 | 5.4 | 4.3 | Propylene NH ₃ | 25,000 W/Ton 25,000 W/Ton |
| Styrene(M) | 20,000 T/Y | | 500 | 600 | 8,000 | 61,800 | 14.4 | 0.8 | 5.5 | Benzene Ethylene | 30 W/kg 30 W/kg |
| 尿 素 | 85,000 T/Y | 無煙炭深冷 | 720 | 5,560 | 2,000 | 21,000 | 39 | 3.5 | 8.8 | | |
| | 85,000 T/Y | Texaco 深冷 | 580 | 4,800 | 1,900 | 19,000 | 28.9 | 3.0 | 10.4 | | |

電力, 蒸氣等 utilities 의 占據率은 평균 15%, utility 中 用水는 평균 30%나 된다.

우리나라 年間 製造業 製品總生産을 1,600 億원이라 면, 80 億원이 用水값이라는 計算이 된다.

化學工場의 位置選定에 있어서, 工業用水의 需給이 그 판가름의 중요한 要素가 되고있음은 당연하다 하겠다.

3. 工業用水의 價格과 用水管理

3-1 工業用水의 價格

工業用水를 原水, 淸澄水(Clearator, settling pond, sand fieter 등으로 沓게 만든 물), 軟水, 純水 (Total

demineralized water)와 冷却水를 나누어, 여러 경우 의 用水 m³當 價格을 표시하였다.

| | 蔚山 | 馬山 | 麗水 | 湖肥 | 忠肥 | 上水道 | 日本 | 美國 |
|-----|----------|------|-------|-------|------|-------|------|-------|
| 原水 | ₩4.96 | 5.80 | ~6.00 | 6.10 | 1.25 | 10~15 | ¥5 | c4~12 |
| 淸澄水 | | | | 8.90 | | | ¥8 | +c0.5 |
| 軟水 | Na-Cycle | | | 22.00 | | | | |
| | H-Cycle | | | 34.00 | | | | |
| 純水 | | | | 45.00 | | | ¥35 | |
| 冷却水 | | | | 1.20 | 1.25 | | 2.30 | |

또한 參考로 用水處理 各段階에 있어서의 操業費와 그 施設 費의 概略値를 적었다.

| 處理 | 效果 | 操業費 \$/1000 Gal. | 施設費 \$/Gpm. |
|---------------------------------------|---|---------------------|----------------|
| Alum 處理 Clearator | 濁度低下 | 0.015 | 120 |
| Cold lime | 全硬度低下 | 0.02 | 120 |
| Sodium ion 交換 | 硬度低下 | 0.025 | 50 |
| Na-H ion 交換 | " | 0.03 | 85 |
| 2-stage weak-base demineralizing | ion 除去 except SiO ₂ | 0.03~0.10 | 190 |
| 2-stage strong base demineralizing | Reduce conductivity to 5~10 micromoh | 0.05~0.15 | 120 |
| Electrodialysis | Electrolyte to 500 ppm | 0.20~0.50 | 250 |
| Evaporation | Total solids to 1 ppm | 2.00 | 330 |

3-2 用水의 效率의 利用

前章에서 논한 바와같이 화학공업에 있어서 用水가 製造原價面에 미치는 영향은 至大하므로 用水의 管理, 效率의 利用은, 機器裝置의 補修費節減이라는 간접적인 Profit 外에, 우선 生産費 節減이라는 직접 算術的인 效果를 가져오는 것이다.

일단 사용한 用水중 再使用할수있는 물(太平의 여기 포함되는데)을 經濟的인 限度에서 處理 回收한다하는것은, 單一工場의 原價節減뿐만 아니라, 工業團地內의 用水需給을 고려할 때는, 必要不可缺한 條件이 되는 것이다. 凝縮水는 대부분 사용하고 있으나, 冷却水는 일부 循環使用하는 공장이 있고, 工場汚染水는 廢水로써 버리고 있는 형편이다.

冷却塔에 의한 冷却水의 再循環使用은, once-through system 과 비교할 때, 長短이 논의되겠지만, 우선 原價面만을 考察한다면 다음과 같다.

| | |
|---|--|
| 原水 | 5 W/m ³ |
| 清淨費 | 2.50 W/m ³ |
| once through 冷却水 | $5 + 2^{50} = 7^{50}$ W/m ³ |
| 再循環冷却水 | 2.70 W/m ³ * |
| * 冷却塔 (1,000m ³ /H WBT=27°C, ΔT=8°C) 施設費 Approach. 5°C | |
| | ₩ 17,500,000 |
| 償却 | 10年 |
| 利子 年 | 25% |
| 電力費 | 4W/KWH |
| 補修費 年 | 1% |
| 補充水 | 3% |
| 補充水價 | 7.50 W/m ³ |
| 管理費 | 5% 라면 |
| 循環冷却水의 價格은 : | |
| 減價償却 | 0.22 W/m ³ |

| | |
|-----|-----------------------|
| 利子 | 0.58 |
| 藥品費 | 0.20 |
| 電力費 | 1.32 |
| 補修費 | 0.03 |
| 補充水 | 0.23 |
| 管理費 | 0.13 |
| 합계 | 2.71 W/m ³ |

각종 容量(또는 冷却水量)에 따르는 冷却塔 建立費 (化學裝置 May, 1964)와 循環冷却水의 年用水價와 Once-through system 時의 年用水價를 圖示(그림 1)하여, 冷却塔使用의 經濟性을 설명하였다. 대개의 경우 1年未滿에 pay 한다는 이야기가 된다.

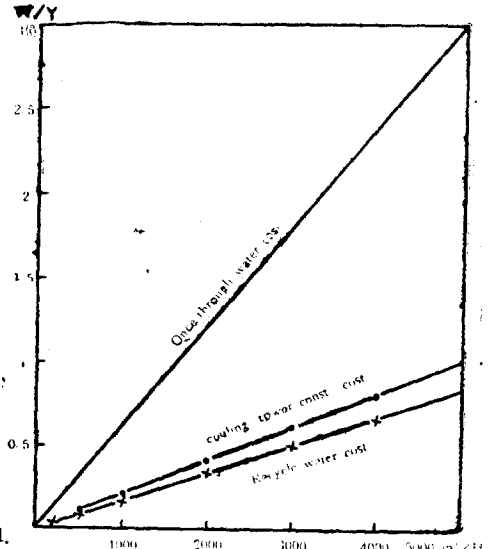


그림 1.

4. 蔚山地區 工業用水의 現況과 展望

蔚山地區의 工業用水需給의 現況과 展望을 기술함에 있어, 資料는, 公式 確定된 것이 아니며, 筆者가 蒐集하여, 여기에 私見을 곁드려 발표하는 것임을 前提로 한다.

4-1 水資源 및 工業用水의 現況과 展望

蔚山地區降雨量 (1919~1961 平均 蔚山測候所)

| | |
|----|---------|
| 1月 | 29.2 mm |
| 2月 | 46.1 " |
| 3月 | 65.2 " |
| 4月 | 87.2 " |
| 5月 | 101.2 " |
| 6月 | 150.6 " |
| 7月 | 221.1 " |
| 8月 | 168.0 " |
| 9月 | 183.4 " |

10月 65.4 "

11月 45.2 "

12月 40.6 "

年 1,203.2 mm (韓國 年平均 降雨量 1,160 mm)

太和江 河川表流水의 水質

| | | | |
|----------------------|-----------|--------------------------|--------------------------------|
| pH | 7.2~7.4 | O ₂ consumpt. | 7.3~31.6 |
| Color | 0~5 | Fe | 0.01~0.09 |
| Alkalinity | 18~23 ppm | Total solid | 133~141 |
| Acidity | 4~7 " | Total Hardness | 23~42 ppm as CaCO ₃ |
| Free CO ₂ | 3.5~6.2 " | Non carbonate hard. | 11.6~18 " |
| NO ₃ | Trace | Carbonate H. | 15~24 " |
| NO ₂ | Neg | | |
| NH ₃ | Neg | | |

所要 現況과 展望

| | |
|--------------|-------------|
| 石油公社 | 10,000 MTD |
| 大韓製罐 | 30 |
| 보론 아스팔트 | 60 |
| 韓國肥料 | 42,163 |
| 인성製罐 | 330 |
| 同昌카본부록 | 763 |
| 嶺南化學 | 14,000 |
| 달미늄弗化物 | 5,675 |
| 曉星物産 | 4,890 |
| 東洋合纖 | 28,800 |
| 大韓瓦斯 | 20 |
| 共榮 Vinyl | 33,600 |
| 計 (1967 契約高) | 140,201 MTD |
| 韓國알미늄 | 16,000 |
| 朝鮮紡織 | 30,000 |
| 石油公社増設 | 13,000 |
| 東信포리마 | 20,000 |
| 新亞化學 | 10,000 |
| 共榮 Vinyl 増設 | 20,000 |
| 其他 | 20,800 |
| 計 (68~71 契約) | 129,800 MTD |
| 合計 | 270,000 MTD |

여기에 石油化學工業 및 關聯工業用 用水가 追加되는바 이에 關하여는 따로 논하기로한다.

工業用水供給의 現況과 展望

| 水源 | 流域面積 km ² | 有效容量 × 10 ⁶ m ³ | 可用水量 × 10 ³ m ³ /D | 用水單價 ₩/m ³ | 備考 |
|--------------|-------------------------|--|---|--------------------------|----|
| 太和江本流 取水場 | 626 | | 20 (最大 30) | 4.96 | |
| 泗湍堤 | 124.5 | 25 | 100 | 4.96 | |
| 小計 | | | 120 | | |

三次計劃水源:

| | | | |
|-----|----|---|----|
| 盤谷堤 | 87 | 6 | 50 |
|-----|----|---|----|

| | | | |
|-----|-----|----|-----|
| 河口湖 | 190 | 18 | 100 |
| 小計 | | | 150 |

三次計劃水源:

| | | | |
|---------|-----|----|---------------------------|
| 太和江本流追加 | | | 20 |
| 盤泉堤 | 208 | 10 | 100 |
| 茶雲堤 | 38 | 4 | 30 |
| 小計 | | | 150 |
| 合計 | | | 420,000 m ³ /D |

※ 여기 收錄된 水源은 蔚山地區工業地帶을 중심으로 30 km. 내의 水源으로서 開發可能한 點을 網羅한것이다. 河口湖의 경우는 鹽分擴散, 水質등의 좀 더 廣範圍한 檢討가 先行되어야 하리라 본다.

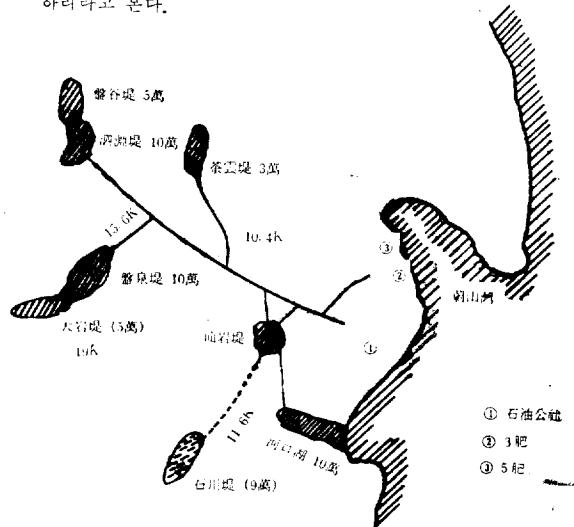


그림 2. 蔚山地區工業用水源位置圖

4-2. 石油化學工業用水

지금 胎動하고있는 石油化學工業 Center 에 대하여 建設이 具體化되거전, 몇가지 參考資料에서, 系列化學工業에 所要되는 用水量을 推定하였다.

參考資料:

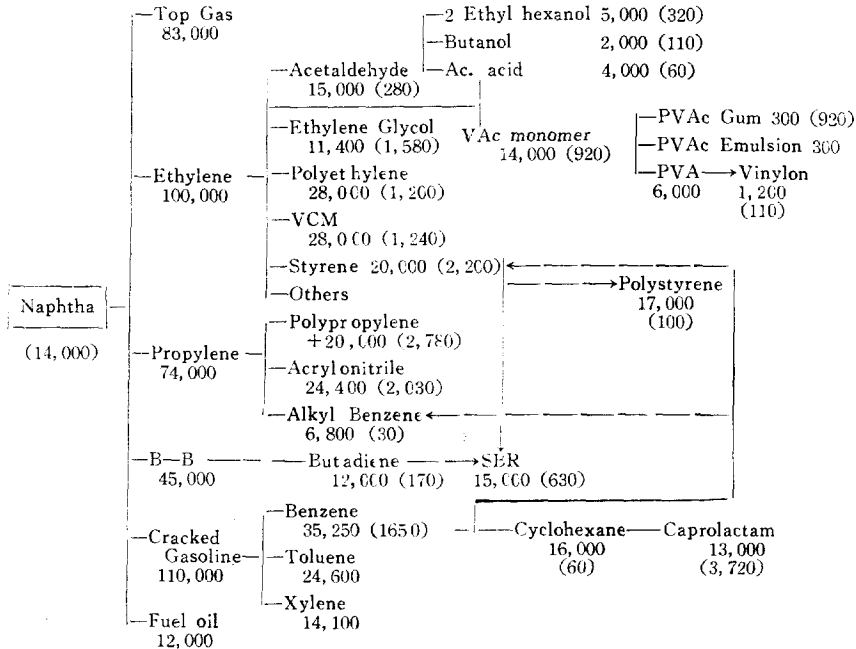
1. ADL Report ADL
2. 石油化學의企劃と經營 佐藤恒巳
3. 石油と石油化學 July, '66
- Feb. '67
- Mar. '67

4. 石油化學總合分析 3 프로세스, 코스트, 價格
- " 4 모델코비나트의設計
- ケミカルマーケティング・センター
5. 石油化學工業妥當性豫備檢討 技公
- 石油化學工業地帶과 用水檢討 技公

다음에 圖示할 model combinat 는 政府의 許可로 推進되고있는 Project 와 그 容量을 基準으로, 系列工業

의 原料需給에 可及의 無理가 가지 않도록 꾸며낸 model 로 策定하였다. 分解는 medium cracking 으로 假定한 case 로, Naphtha cracking 容量은 100,000 Ton Base 다.

그림 3. 石油化學 Model Combinat 의 系統圖와 用水所要量



*數字로 表示된것은 年生産能力, 括弧로 表示한것은 用水所要 T/D 이다.

이때 用水의 所要는 34,000 Ton/hr 로 關聯産業의 發達 誤差를 위하여 약 30%의 餘裕를 보면 44,000 Ton/hr 이고 補充水를 이것의 10%로 하면, 약 110,000 Ton/D 의 用水가 所要될 것이다.

한편 工場(Naphtha cracking)의 擴大를 생각하여, Ethylene 300,000 TPY 의 Combinat 로 關聯新規工場을 고려에 넣어 비슷한 推定을 하면, 약 450,000 TPD 의 用水供給을 필요로 하게될 것이다.

4-3. 蔚山地區의 用水

현재까지 用水供給申請이 되어있는것은 日 27 萬噸 인바, 여기에 石油化學 Ethylene 10 萬噸을 고려하면 38 萬噸으로, 可用水源을 개발하면 需給에 蹉跎이 없다. 그러나, 일반적인 추세인 Naphtha center 의 大型化에 따른 工場의 擴張을 고려한다면, 다시 用水需給問題를 심각하게 다루어야할줄안다.

현재 申請된 工場의 用水所要가 實地에 있어서 過大하게 策定된 感이 있고, 工場自體의 成否조차 미심적은 業種도 있으니, 全體의인 用水需給으로 보아서는 다행이라하겠으나, 將次의 擴張을 위해서는 地下水等 다른 水源의 調査, 또 枝葉的인 業種의 分散, 등 여러 가지 고려되어야하겠고, 어느 경우에 있어서도 철저한

大局의인 面에서의 用水管理가 要望되는것이다.

5. 結 論

工業의 立地選定 및, 그 計劃에 있어서, 用水問題는 綿密한 事前檢討가 이루어져야 하겠고, 地域別 水文關係의 調査에 의한 풍부한 資料를 提供할만한 機關의 積極的인 措置와 더 많은 水資源의 開發등 當局의 힘 있는 支援이 있어야 하겠다.

工業團地, 특히 어떠한 劃一性있는 計劃아래 동시에 推進되는 關聯工場群에 대해서는, 用水需給의 圓滑, 效率的인 管理등을 위하여, 當局의 政策的인 資料가 隨伴해야 되는것으로 생각한다. Utility 施設의 集中化 (Centralization) 問題는 論外인 補修工場, Engineer pool 등과 아울러 많은 merit 가 있다고 본다. 國際的인 正常規模에 未洽한 우리나라의 工業形態에 있어서는 더욱 深刻하게 政府의 計劃性있는 育成策이 아쉬운 것이다.

參考文獻

1. 化學공학 Vol. 4. No. 3. 1966
2. Chem. Engineering, June 10, 1963
3. 石油化學의 企業と經營.
4. 蔚山地區工業用水水源調査資料.
5. 石油化學總合分析 3,4.