

化學工業에 있어서 環境汚染防止計劃

盧 在 植

韓國原子力研究所 環境管理研究室長

Pollution Control Planning in Heavy and Chemical Industries

Chae-Shik Rho

*Envirommental Research Laboratory,
Korea Atomic Energy Research Institute,
Seoul 130-02, Korea*

1. 序 言

10餘年前 WHO의 Higginson 博士는 “모든 癌 種類의 80%까지는 環境을 亂舞하는 化學物質에 의해서 誘發되는것 같다”고 暗示하였으며⁴⁾, 또 最近 미국의 國立癌研究所는 癌에 의한 死亡率이 높은 地方이 化學工場地帶나 化學物質에 의한 環境汚染이 甚한 地域이라는 事實을 밝힌 바 있다⁵⁾. 이들 化學物質中에는 一時的으로 生體機能을 阻害하는 것도 있고 細胞遺傳的인 障害을 일으키는 物質도 있다. 最近에 와서 重要視되고 있는 突然變異誘發性, 發癌性 및 畸型誘發性物質의 數는 尙잡아 2萬5千餘種이 된다고 하는 바 이 中 어떤것이 人體에 致命的인 害를 끼치느냐 하는 것을 試驗하는 것은 人類存亡의 至大한 關鍵을 쥐고 있다고 본다.

또 銅製鍊所와 鉛製鍊所가 있는 地域에서의 肺癌發生率이 높다는 것은 이미 널리 確認된 事實이며 고무와 化工藥品, 香水와 化粧品, 비누와 印刷用잉크 등을 生産하는 工場地帶에서 膀胱癌과 肝癌發生率이 가장 높은 것으로 알려져 있다. 朝鮮에서 밝혀진 바로는 몇몇 合成고무製品의 主原料가 되는 Chloroprene에 被曝된 勞働者가 다른 作業環境에서 일하는 勞働者보다 皮膚癌 및 肺癌罹患率이 크다는 것이었다. 이밖에

PVC 工場地域에 居住하고 있는 婦人들이 다른 地方에 살고 있는 婦人보다 出生缺陷兒 또는 畸型兒出生率이 높다든가 鹽化비닐이 人體의 染色體破壞要因이 되고 있다는 등등 重化學工業과 環境汚染으로 인한 健康障害問題는 深刻하며 또 多樣하다.

뿐만 아니라 미국 環境保護處가 1972년에 發行한 한 報告書⁶⁾에 의하면 大氣汚染物質에 의한 1977年度 被害推定額이 無慮 249億弗이나 되며, 工場에서 放出한 大氣汚染物에 의한 被害는 그 의 약 50%를 차지하고 있다.

工業化過程을 밝고 있는 우리나라에서도 局地的이긴 하지만 곳곳에 環境汚染現象이 나타나고 있다. 萬一 앞으로도 環境汚染防止를 위한 積極的인 對策을 세우지 않은 채 工業化에만 力點을 둔다면 汚染의 質的 및 量的 擴散이 誘發될 것으로 念慮된다. 예를들어 國內最大의 工業都市인 蔚山工業團地의 경우 1966年以來 同團地內所在 여러 工場들이 隣近 農漁民에게 支拂한 大氣汚染 被害補償金만 하더라도 1억 2천여만원(이 금액은 損害賠償要求額의 約 10분의 1에 不過하였음)에 달하였고 1974年度 한해만 하더라도 이 地方 蔚山郡 漁業協同組合은 蔚山工業團地內 11個 石油化學系列工場에서 排出한 廢水로 인한 水産物被害補償條로 1억 1400만원을 要求하기에 이르렀다¹⁾. 이와 비슷한 汚染問題는 蔚山地方에

서만 일어난 것이 아니다. 麗川地方의 光陽灣, 鎭海, 馬山灣, 閑麗水路, 洛東江 그리고 漢江下流 등 漸次 工業汚染은 全國의인 次元으로 擴散되고 있는 것이다.

이 小考에서 筆者는 이와같은 現實의 要求에 立脚해서 어떠한 對策을 세움으로써 環境汚染을 最少化하고 또 어떠한 側面을 考慮하여야 하는가에 대해서 重要한 事項만 추려서 論하였다. 즉 重化學工業團地 등 大單位開發行爲를 計劃하고 推進코져 할 때에는 우선 當該 敷地 및 그 隣近의 環境條件을 微氣象學的, 水理學的, 土木工學的, 地質學的, 生態學的 및 微海象學的으로 充分히 事前調査하고, 分析하여 이른바 環境影響評價를 함으로써 周邊隣近에 미칠 環境汚染을 最少化시킬 수 있다는 것을 說明하였다. 또 各產業體에서 環境汚染防止業務를 效果의으로 遂行할 수 있는 集約의 基本資料인 公害工程圖가 지니고 있는 意義와 重要性을 略述하였다.

2. 敷地環境條件의 事前調査 및 環境影響評價

重化學工業團地 등 國家의 大單位開發行爲를 計劃하고 推進하고자 할 때에는 事前에 建設計劃團地候補敷地の 環境條件에 대한 調査·分析 및 評價를 하여야만 適切한 對策樹立이 可能하다. 즉 어떤 開發行爲를 하고자 하는 候補敷地の 環境條件에 대한 微氣象學的, 水理學的, 土木工學的, 地質學的 및 微海象學的 調査·分析 및 評價를 하여 同團地 建設計劃과 이에 관련된 土地利用計劃 및 關聯都市計劃을 비롯한 各種附隨開發計劃을 樹立하여야 한다. 이와 같은 調査는 敷地選定以前에 事前直接調査를 하는 것이 原則이며, 用水問題를 包含한 全般的인 環境條件의 妥當性與否가 檢討評價되어야 한다.

이러한 調査事業은 全國土에 대한 國土利用基本計劃을 樹立할 때에 環境汚染防止分野의 專門家와 充分한 協議를 거쳐 實施하는 것이 이상적이다. 국지적이긴 하지만 古里原子力發電所敷地에 대한 事前環境調査는 좋은 예이다.

다음에 이와같은 課題를 遂行하기 위한 조사

내용중 몇 가지를 좀더 具體的으로 說明하여 그 必要性을 強調해 보고자 한다.

가. 敷地上空의 微氣象 調査

大氣汚染物에 의한 污染地區를 決定하는 風向, 汚染物의 濃度에 直接 影響을 미치는 風速과 亂流, 汚染物을 洗滌 내지 沈降시키는데 支配的인 役割을 하는 降水現象(비와 눈 등), 그리고 大氣擴散能에 決定的인 影響을 미치는 氣溫의 垂直分布 등과 같은 局地的인 微氣象學的側面이 이에 속한다. 이것은 綜觀氣象學的側面과 함께 大氣科學의인 調査의 氣象學的側面을 이룬다. 즉 該當 敷地上空에서 支配的인 大規模氣壓系(Large scale pressure system)分布에 따른 環流(Circulation)와 주로 陸地와 水圈 및 地形의 分布特性에 따른 局地環流(Local circulation: 山바람, 골바람, 해풍 및 육풍 등)의 月別 및 季節別의 風向, 風速 그리고 降水現象의 發生頻度와 持續性 등을 數值的으로 調査하고 分析하는 것은 綜觀氣象學的側面이며, 地上 약 500m 未滿의 極低空大氣層에서의 高度別 氣溫分布과 바람의 垂直分布는 微氣象學的側面의 調査內容이 될 것이다.

污染地區를 決定하는 風向은 時間的 空間的으로 恒常變動하기 때문에 相當期間(최소한 1 년간)에 걸친 風向別發生頻度(바람장미, wind rose) 및 持續時間(persistence) 分布에 관한 統計値가 有意高度別로 正確히 把握되어 있어야 한다. 이 자료로부터 潛在污染地域을 豫測할 수 있으며 그 결과에 따라서 大單位計劃團地內 各種集團(工場區域, 住居區域, 餘暇善用區域 등)의 배치를 事前에 調整하여 오염방지에 대한 最適對策을 樹立할 수 있다. 이러한 大氣內에서의 污染擴散이나 汚染物濃度增加現象은 局地的인 微氣象觀測値가 아닌 綜觀氣象觀測値(Synoptic meteorological observation)만 갖고서는 豫測할 길이 없다. 가령 어떤 地點에서의 主風向이 綜觀氣象觀測結果에 의하면 大部分이 바다쪽을 향하고 있다 해서 陸地쪽에 위치한 生活環境에는 아무런 피해가 없을 것이라는 思考는 때때로 엄청난 錯誤를 發生可能케 하며 不可逆의 피해를 입히게 할 수도 있다. 즉 中觀기상관측치는 비교적

地表에 가까운 高度에서 측정되는 반면에 대규모 생산공장의 대기오염발생원인 굴뚝의 높이는 이 관측고도보다 일반적으로 훨씬 더 높기 때문이다 또 지표부근 大氣의 수직기온 분포특성 여하에 따라서는 똑같은 바람이 불고 있는 경우라 할지라도 오염물의 농도가 진해질 수도 있고 희석될 수도 있는 까닭이다. 그림 1은 미국 Brookhaven 국립연구소에 설치된 높이 355 피트의 微기상관측탑에서 각각 지상 40, 150 및 350 피트 높이에서 바람이 3 방향으로 불고 있는 경우를 찍은 사진이다. 따라서 어떤 공장의 높은 굴뚝에서 뿜어지는 연기의 방향이 북쪽을 향하고 있다고 해서 그 근방의 높이에 浮遊中인 行染物質이 굴뚝 남쪽으로는 절대로 흘러가지도 않고 떨어지지도 않는다는 보장을 할 수는 없다.

또 지표와 접한 극저공대기층의 수직방향 기온 분포여하에 따라서 굴뚝에서 방출되는 오염물이 지표에 낙하하는 지점이 똑같은 風向과 風速下에서도 달라지기 때문에 고도별 기온의 수직분포는 季節別로 日變化(Diurnal variation)의 특성을 파악해둔 다음 대기오염물 방출시간을 조절할 때 참조하게 된다. 그림 2는 기온의 여러 가지 수직분포와 이에 따른 연기의 흐름을 보여 준다. 그림 2에서 中立(neutral) 상태라 함은 乾燥大氣의 斷熱(遞)減率과 비슷한 (遞)減率의 大氣安定度を 말하며 點線은 乾燥斷熱(遞)減率線(Dry adiabat)을 表示하고 實曲線은 實測한 大氣의 垂直氣溫分布(環境減率, Environmental

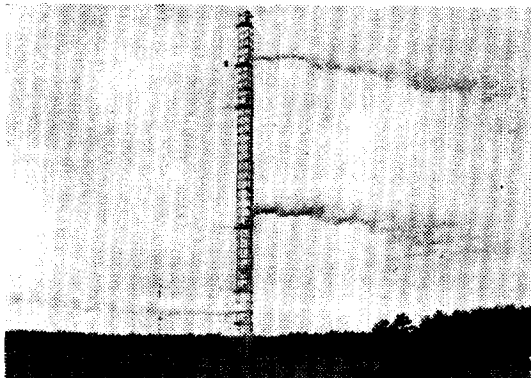


그림1. 불과 100m 고도내에서 風向이 세갈래인 경우⁹⁾

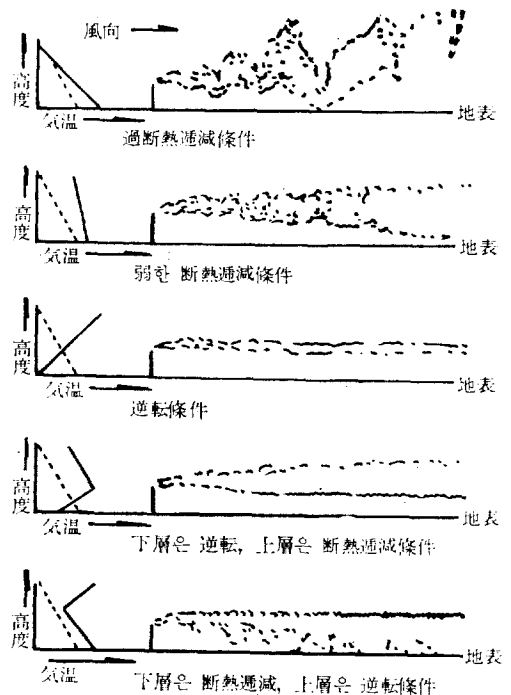


그림2. 大氣의 安定度에 따라서 서로 다른 모양을 보이고 있는 굴뚝연기의 예시

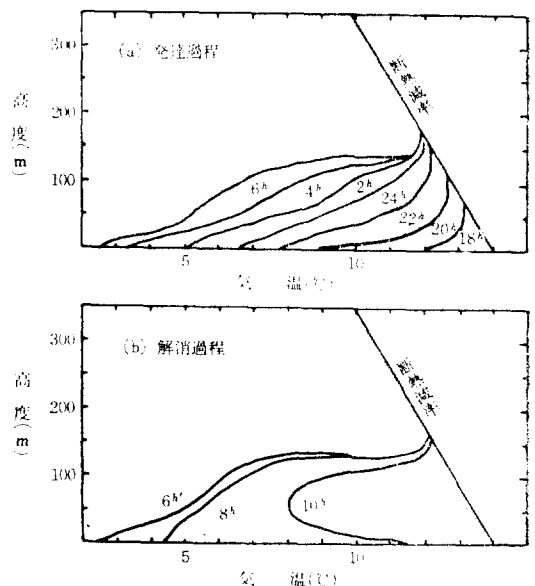


그림3. (a) 接地逆轉層(輻射型)의 發達過程
(b) 接地逆轉層(輻射型)의 解消過程

lapse rate)를 나타내고 있다.

一般的으로 이상과 같은 종류의 조사는 현장에서 實測을 통해서 얻은 微氣象觀測值를 土台로 分析한 다음 大氣擴散 Model을 設定하고, 地型 Mock up을 만들어 각 건물배치계획 및 굴뚝의 높이를 考慮에 넣고 風洞안에서 實驗을 한다. 여기서 考慮하여야 할 投入因子中 가장 重要的 것은 風向, 風速 및 氣溫의 有意高度別 垂直分布 등이다. 또 굴뚝의 높이와 예상오염물의 방출량율(rate of release)등을 調節해서 隣近保全對象地域(住居地域 및 餘暇善用區域 등)에 미치는 被害可能性을 最少化시킬 수 있도록 事前 環境影響評價를 해야 하는 것이다.

大氣의 垂直運動 즉 大氣內汚染物質의 擴散能을 左右하는 大氣의 安定度는 前述한 바와 같이 氣溫의 垂直分布如何에 따라서 決定된다. 즉 正常的인 大氣層에서는 上層에 올라 갈 수록 氣溫이 내려가나(斷熱膨脹으로 인한 內部에너지의 消耗에 의한)어떤 경우에는 等溫層내지 上層에 올라 갈 수록 氣溫이 上昇하는 大氣層이 形成될 때가 있다. 바로 이와같은 大氣層을 氣溫의 逆轉層(Temperature inversion layer)이라고 부르는데 氣溫이 逆轉되고 있는 大氣層에서는 大氣의 垂直運動(上·下)에 의한 混合이 거의 일어나지 않기 때문에 똑같은 排出量(또는 排出量率)일 경우라도 이 層內에서 大氣汚染度는 높아진다. 各種 逆轉層中에서도 특히 地表와 接한 이른바 接地逆轉層(Surface inversion)인 경우가 가장 문제가 된다. 接地逆轉層은 흔히 日沒後夜間에 長波의 赤外線을 大氣內로 再輻射시킴으로써 地表

가 冷却되어 形成되는 경우가 大部分인데 특히 바람이 弱하고 맑게 개인 밤중에 현저하게 나타난다. 그림 3의 (a)는 日沒後 接地逆轉이 生成, 發達하는 과정을 順序대로 表示한 것인바 一般的으로 바람이 弱할 때에는 逆轉이 강한 반면에 逆轉의 두께는 얇으며 바람이 세면 逆轉은 약하나 逆轉의 두께는 두꺼워지는 傾向이 있다. 接地逆轉層은 日出後 地表가 加熱되면 밑바닥부터 점점 解消되기 시작해서 日中에 다다르면 相當한 高度까지 消滅되어 다시 過斷熱狀態로 되돌아 가는데 그림 3의 (b)가 이 과정을 보여주고 있다. 이 接地逆轉이 解消되는 과정에서 形成되는 이른바 最大混合깊이(Maximum Mixing Depth, MMD)의 高低가 地表附近에서의 汚染物濃度의 大小를 決定하는 決定的要인이 되는 까닭에(그림 4 참조)이에 대한 事前評價 및 分析을 하는 것이 중요하다.

이와같이 地表上 500m 以內 특히 200~300m 高度까지의 極低空接地大氣層에 대한 高度別 微氣象觀측치가 大氣汚染防止面에서 갖고 있는 重要性이 認定되어 先進工業國에서는 都市內에 設置한 높은 塔을 微氣象觀측용으로 並活用하고 있으며 該當地域 大氣汚染豫測에 크게 이바지하고 있다. 우리나라도 이와같은 配慮를 하여야 할 時點에 와있다고 보아야 할 것이며 關係當局과 關聯人士들의 早速함 決斷있기 바라는 마음 간절함을 첨언해 두는 바이다.

또 盆地型의 地域에서는 그림 5와 같은 周圍山에서 아래 盆地를 향해서 부는 突風(Katabatic Wind)이 있어 汚染度가 深化되는 경우가 있으며, 海風이 일 때에는 그림 6과 같은 바람의 영향으로 굴뚝에서 배출된 煤煙의 行方이 달라질 수도 있다.

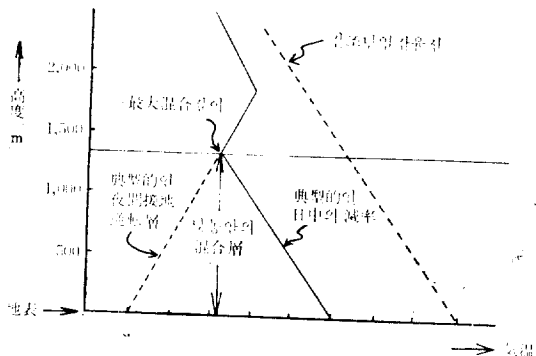


그림4. 最大混合깊이

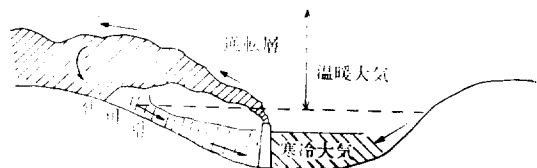


그림5. 盆地 또는 溪谷에서의 汚染物 累積

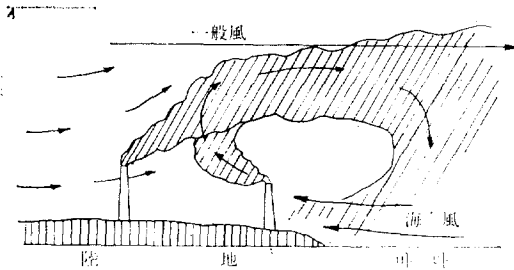


그림6. 海風の影響

나. 水質調査 및 物理海況調査

臨海工業團地인 경우에는 沿海水産發展에 決定的인 阻害要因이 되고 있는 工業廢水의 移動 및 擴散을 支配하는 物理海況(微海象)調査, 그리고 內陸工業단지인 경우에는 內陸河川의 水質을 汚染 내지 富營養化시킴으로써 水圈生態系을 威脅破壞하는 河川汚染에 대한 調査를 事前에 하여야 한다. 沿海水域의 物理的인 海況조사시에는 海底의 地形, 地質, 海水의 移動, 水溫分布, 鹽分分布, 水色, 透明度 및 水中照度 등을 觀測하여야 한다. 또 染料등의 追跡子에 의한 擴散實驗을 통한 該當水體의 擴散能檢討도 並行하여 汚染事故發生時의 對策을 講究하여야 한다. 內陸河川, 특히 大都市의 上水源 및 工業團地의 用水源, 또는 廢棄物放流對象인 河川의 汚染實態를 조사할 경우에는 同 河川水系流域 全般에 걸친 氣候值뿐만 아니라 河川水表層에서 深部까지 그리고 河川邊에서 河川中央部까지의 水溫, 流速, 水色 등 物理量에 관한 測定值도 正確하게 잡아 놓아야 한다. 이와같은 모든 資料는 廢水排出口의 位置, 깊이, 排出量率 및 排出時期와 排出頻度 등에 參考해야 할 資料로서 蓄積되어 環境공학적 諸 設計에 決定的인 基盤을 하게 될 것이다. 동시에 이러한 자료는 上水, 農水産用, 餘暇善用 등 他目的의 用水로서 사용할 경우에도 被害可能性을 最少化시키는데 寄與할 것이다. 이와같은 配慮는 특히 여름장마철의 강우량이年間降雨量의 半에 가까운 우리나라와 같은 立場에서 더 간절하게 必要한 사항이다.

工業廢水로 인한 工場近傍河川의 水質汚染과 더불어 上水源 및 工業用水源에서의 莫大한 淨水處理費用을 强要한다²⁾. 水資源의 所要量은 工

業化가 더 되고 生活水準이 向上될수록 增加一邊倒의 길을 걸을 것이다. 예를들어 미국의 오늘날 1人當 給水量과 産業 및 灌溉用水量은 각각 1900年代初의 4倍 및 6倍가 되고 있으며 앞으로도 계속 늘 것으로 展望되고 있다. 狹小하고 山岳地가 많은 우리 나라에서는 水質이 保全된 水資源의 確保가 將次 工業發展과 經濟成長의 成敗를 가늠할 것이다.

다. 生態學的 調査

工場의 建設 및 稼動에 따라 誘發될 隣近 自然環境의 破壞 내지 環境汚染을 防止하기 위하여는 工場建設以前에 立地條件을 비롯한 生態系의 分布 및 構造를 把握하고 生産力에 관한 機能도 조사하여야 한다. 또 工場이 稼動한 뒤에 發生할 可能性이 있는 環境의 變貌過程 및 環境의 質的變化가 生態系에 미치는 影響등을 조사해서 自然의 保全對策과 汚染으로부터의 被害最少化對策을 마련하여야 할 것이다. 自然環境의 保全計劃 특히 生態學的側面에서 본 環境保全計劃의 樹立 및 그 推進은 工業化計劃 및 都市化計劃樹立上의 基本要素로서 活用될 뿐만 아니라 國土全般에 걸친 土地利用計劃樹立에 가장 重要하고 科學的인 基本資料로 活用될 것이다.

水圈으로 流入한 産業廢棄物이 plankton 을 죽이고 陸地上空에 發生한 smog 이 植物을 枯渴시킨다는 것은 잘 알려진 사실이다. 또 먹이連鎖를 통한 汚染物質(특히 重金屬類 등 人體에 甚大한 障害을 주는)의 濃縮이 이른바 生物學的濃縮過程을 밟아 plankton에서 人體에 다다른 사이에는 數 10萬倍로 濃縮되어 경우에 따라서는 이를 攝取하는 人體에 致死量이 될 수도 있다. 가령 太陽光線中的 紫外線에 의해서 光分解되어 PCB로 됨으로써 하나의 環境汚染物質이 또하나의 다른 環境汚染物質을 낳게 하는 것으로 알려진 DDT 殘留物인 경우 algae에서는 3日間에 3千倍, 굴에서 한달에 7萬倍 그리고 굴을 먹은 人體에 들어 오게 되는 때에는 77萬倍로 濃縮된다는 것이다. 따라서 産業廢棄物을 大量 排出하고 있는 生産業體에 몸을 담고 있는 化工人들은 온갖 忍耐과 努力 그리고 슬기로운

保安全管理가 開始되는 里程原點이 되리라는 것을 確信하고 化工人 여러 先輩同賢의 積極的支援을 바라는 바이다.

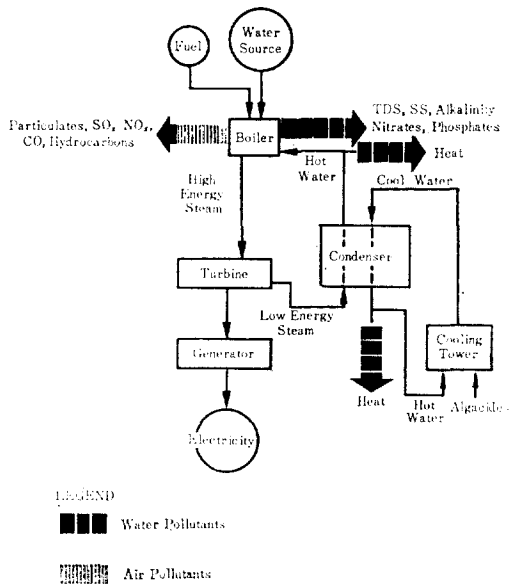


Fig. 8. Electric power production.

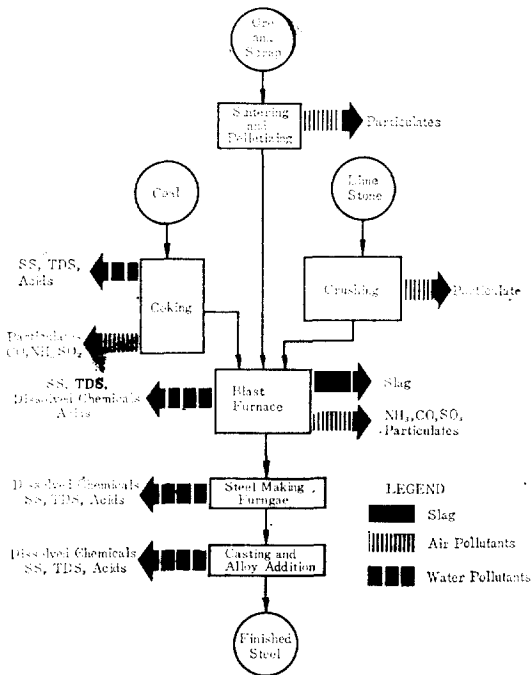


Fig. 9. Iron and steel industry.

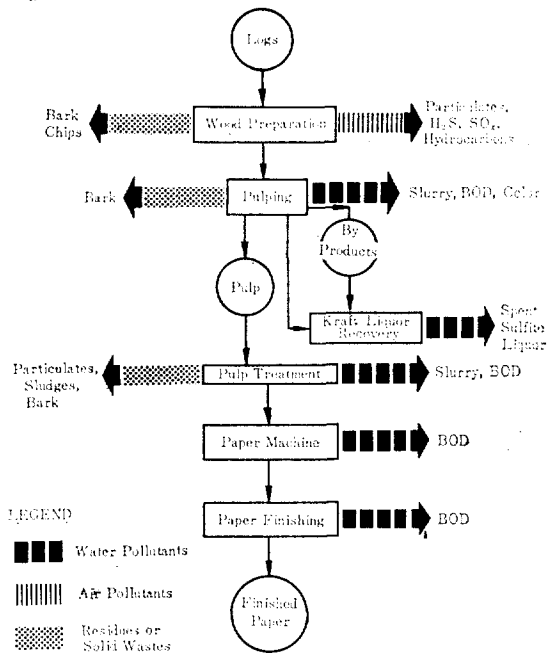


Fig. 10. Paper production.

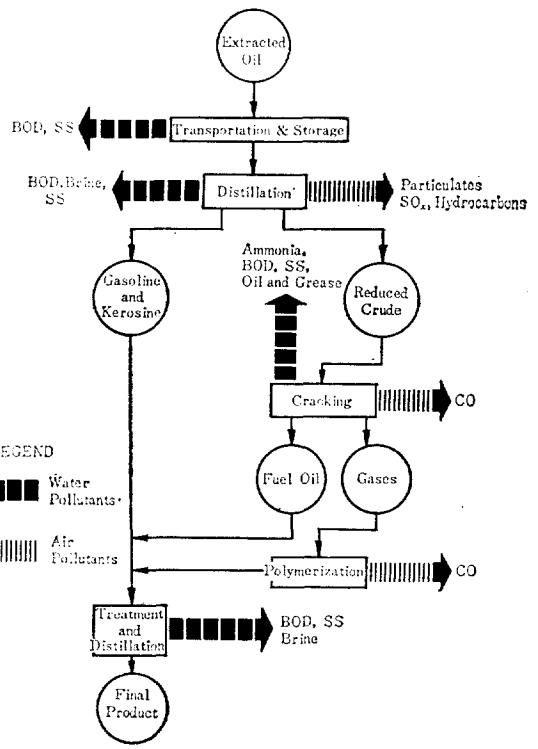


Fig. 11. Petroleum industry.

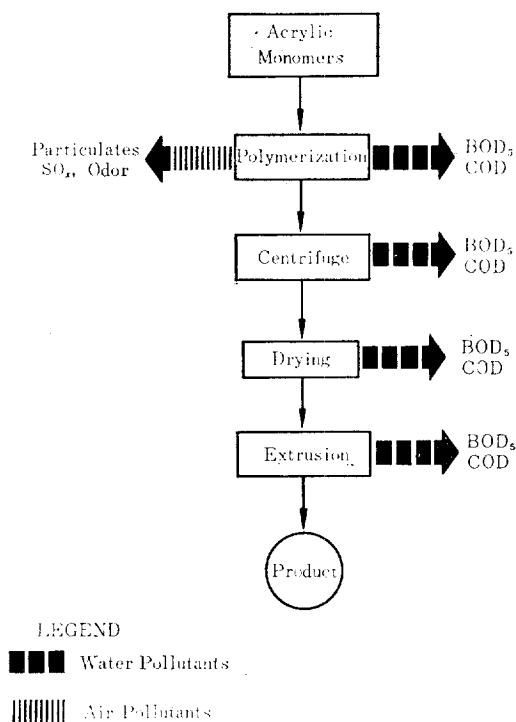


Fig. 12. Petrochemical industry.

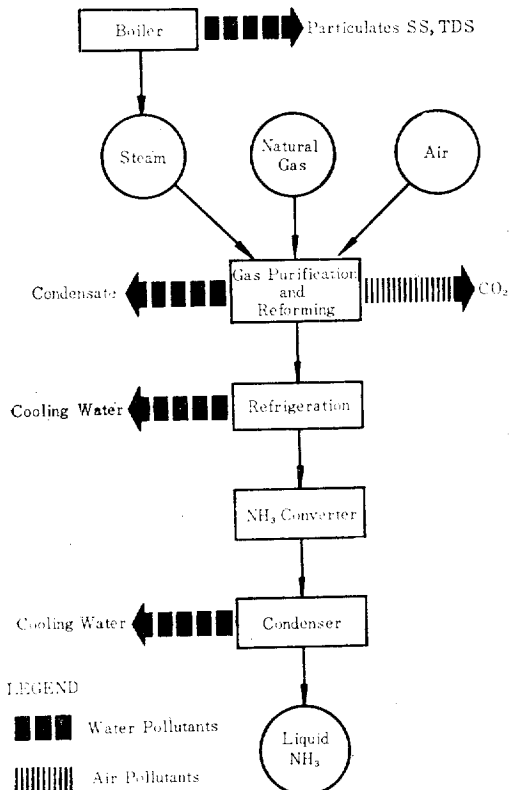


Fig. 13. Ammonia industry.

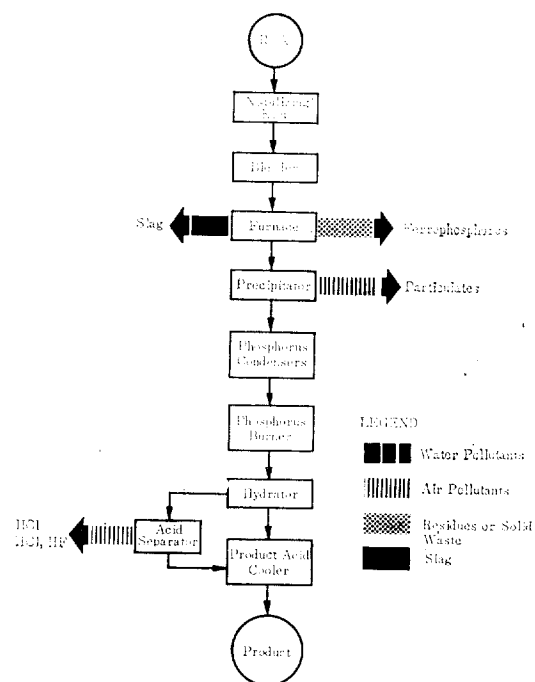


Fig. 14. Industrial schematic: Phosphoric acid production by the electric furnace process

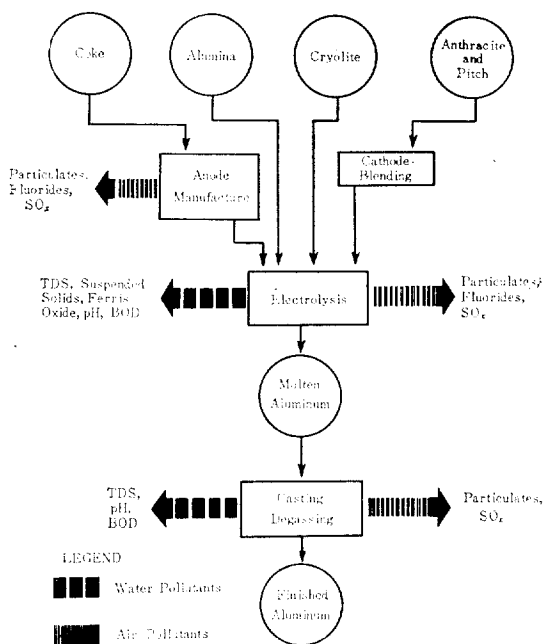


Fig. 15. Aluminum Refining

참고 문헌

- 1) Kim, Ji-Myung (1975): "As Industry Grows Pollution Posing Serious Problems," The Korea Times, Oct. 10 1975.
- 2) Kim, K.C. and C-S Rho (1976): "Korean Environment and National Development," Published by Korea Atomic Energy Research Institute, June 1976, p. 34
- 3) 盧在植 외 6名 (1976): "昌原機械工業基地의 大氣汚染防止對策에 관한 豫備調査研究", p. 55, 한국원자력연구소
- 4) WHO Technical Report No. 276 (1964): "Prevention of Cancer."
- 5) Time (1975): Aug. 11. 1975, p. 44.
- 6) USEPA (1972): Environmental Protection Agency, A Progress Report, Dec. 1970-June 1972, published Nov. 1972, p. 8
- 7) Ralph Stone & Co. Inc. (1975): "Decision-Maker's Guidebook for Industrial Pollution Control, Preliminary Edition Vol. 1, p. 1-10.
- 8) 참고문헌 (6)의 p. 27
- 9) USAEC Report TID-24190, "Meteorology and Atomic Energy"
- 10) 참고문헌 (7)의 Vol. 2.

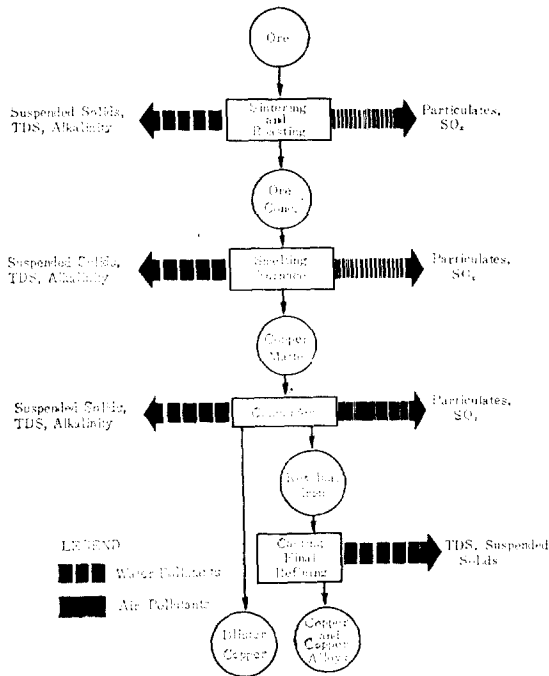


Fig. 16. Copper Industry

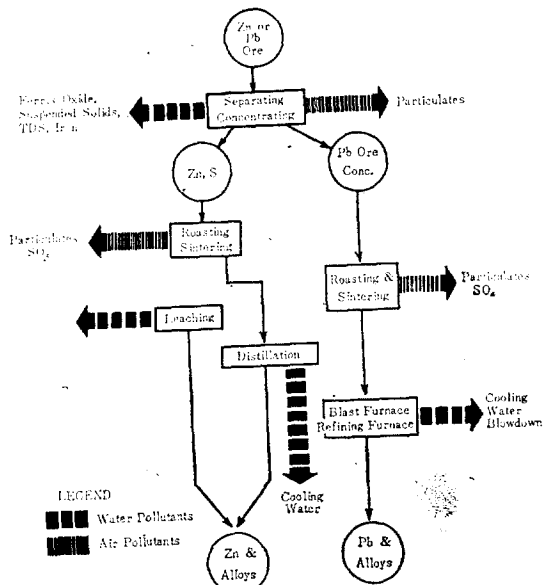


Fig. 17. Zinc and lead processing