

# 産業廢水의 再利用

酸化用연못法을 中心으로

金 炳 珪

〈서울藥大 製藥學科長〉

## 天然物 産業의 廢水處理

人口가 增加하고 産業이 擴張됨에 따라 環境의 汚染問題가 점차 커져감은 잘 알려진 사실이다.

우리 나라에서도 工業化가 加速됨에 따라 産業廢水의 處理가 現實的 문제로 대두되고 있다.

특히 食品工業分野는 대개 天然物을 原料로 취급하는 경우가 많아서 有機物質이 包舍된 廢水가 發生하는 수가 있다.

韓國뿐만 아니라 東南亞 各國의 天然物産業에서 發生하는 大量의 廢物을 處理하는 문제를 다루기 위하여, 지난 72年 5月 1일부터 18일까지 말레이시아의 首都 Kuala Lumpur 市에 있는 University of Malaya 캠퍼스에서 「微生物에 의한 廢物回收 會議(Waste Recovery of Microorganisms)」가 UNESCO와 말레이야 大學校 主權로 개최되었다. 이 會議에 筆者가 代表로 參席하는 機會를 가지게 되었으며, 그 회의에서 學論된 方法中 東南亞의

開發途上國家에 가장 適合한 方法으로써 提示된 酸化用 연못 法에 대해서 간단히 소개하고자 한다.

지난 20餘年 동안 都市下水나 産業廢水의 處理目的으로 酸化用 연못을 開發하려는 研究는 꾸준히 進行되어 왔다.

현재는 많이 發展되어 東南亞地域中 말레이시아 및 泰國에서 이미 設置되어 良好한 結果를 거두고 있다.

## 酸化用 연못法

酸化用 연못은 oxidation pond 혹은 lagoon 이라고 칭하며 이 연못을 利用한 廢水處理法의 커다란 長點은 바로 적은 費用으로 處理할 수 있다는 點이다.

즉 前에 부터 써오고 있는 活性汚泥法(activated sludge method)이나 撒布濾過法(trickling filter 혹은 bio-filterprocess)의 施設費와 運營費의 總額의 10分の1 내지 4分の 1의 費用으로도 充分하다는 事實은 큰 注目거리가 아닐 수 없다.

더욱이 發展途上에 있는 中進國이나 後進國에 特히 適合한 方法이라고 볼 수 있다. 왜냐하면 이 方法은 여러 가지 複雜한 機械裝置와 設備를 要하지 않으므로 機械의 故障 및 腐蝕 등의 問題가 發生하지 않을 뿐만 아니라 BOD와 病原菌을 能率的으로 減少시키기 때문이다 또한 處理方法이 간단하여 高度로 훈련된 技術者가 必要없으며 훨씬 少數의 職員으로도 處理場이 運營될 수 있는 利點은 特記할 만 하다.

勿論 酸化用 연못法의 原理는 廢水나 下水의 有機物質을 微生物學的으로 酸化시키는데 있다. 다시 말하면 有機物質을 分解시키는데 있어서 好氣性 細菌의 有效適切한 利用 및 藻類의 光合成 作用에 의한 물의 溶存酸素의 增加가 이 方法의 成敗를 左右한다. 이러한 두 가지 條件은 소위 藻類細菌間의 共生現象에 의해 實現된다.

即 細菌類가 廢水中의 有機物質을 炭酸가스 암모니아, 물과 같은 簡單한 物質로 分解시키면서 에너지를 生成하고 이 에너지는 다시 細菌의 새로운 細胞를 形成하는데 쓰인다.

또한 藻類는 여기서 生成된 炭酸개스와 암모니아를 光合成에 利用하며 이때 酸素가 유리되고 이 酸素는 다시 好氣性細菌이 利用한다. 이러한 關係를 다음과 같이 表示할 수 있다.

이때 光合成에서 生成되는 酸素量과 好氣性細菌의 呼吸에 쓰이는 酸素의 相對的 量은 日光과 溫度에 의해 크게 左右된다. 그러나 비록 日光이 照射되고 있는 晝間의 照射期間에 의해 光合成의 進行이 左右된다고 하지만, 이때 生成되는 酸素의 量이 晝夜를 통해서 藻類의 呼吸에 쓰이는 全體 산소量보다 더 많다. 바로 이러한 過剩의 酸素가 有機物質의 分解에 關與하는, 好氣性 細菌과 기타 微生物의

代謝에 쓰이게 된다.

現在 酸化用 연못을 設置한 나라는 이스라엘, 臺灣, 泰國, 말레이시아, 호주, 美國, 캐나다 등이다.

그런데 연못中의 藻類가 光合成을 하기 때문에 日光의 照射期間이 긴 熱帶地方에서만 이 方法이 可能할 것 같지만 實際는 반드시 그런것은 아니다. 예를 들면 캐나다의 Alberta

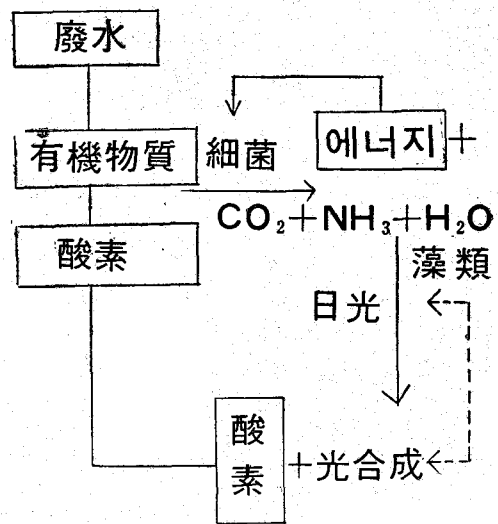


그림 1 酸化用 연못에서 일어나는 現象의 相互관계

州와 같은 추운 地方에서도 이 方法이 잘 適用되고 있으므로 溫帶地方에서도 充分히 可能한 것이다.

말레이시아의 경우 最初의 酸化用연못은 1969년 8월에 完工, 開設된 「쿠알라룸폴」 市の 「와아디분」(Wardieburn)區의 연못이다.

이 住宅地區에 居住하는 약 8千名의 人口를 위해서 만든 이 下水處理 연못은 작은 沈澱池 하나와 두 개의 커다란 연못으로 構成되어 있

다.

開設할 當時 처음에 下水를 연못에 넣기 前에 우선 藻類가 자라고 있는 근방의 다른 天然的 연못의 물을 導入하므로써 藻類를 移植하였다.

藻類를 심어 後 3週 내지 4週內에 조류가 잘 增殖되었으며 수집된 下水를 넣어 沈澱池를 거쳐 1號 연못에 到達하였을 때는 藻類가 充分히 자라서 廢水에 전반적으로 자라게 되었다.

그리고 나서 손가락 크기의 어린 보통 잉어 (common carp=Cyprinus carpio), 인도네시아 잉어 (Puntius gonionotus) 및 「이칸 세팔」 (Ikan sepat=Trichogaster)의 세 가지 淡水魚 약 3천마리를 酸化用 연못에 넣어 주었으며 現在도 잘 자라고 있어서 淨化作用의 一助가 되고 있다.

現在 하루에 약 40萬 개론의 廢水가 이 연못에 들어 오고 있으며 原廢水の BOD는 180 ppm 程度이지만 연못에서 處理되어 나오는 流出水の BOD는 20ppm으로 減少된다. 그리고 각 연못에 下水가 체류하는 時間은 약 24時間 내지 36時間이 適合하다.

이 연못의 埖地代를 포함한 總工事費가 美貨로 計算해서 14萬 9千弗(本來의 말레이시아 달러 40萬 9千弗)이며 機械設備가 전혀 必要치 않으므로 다른 費用은 지어 없다. 이것을 5人 家族을 한 單位로 하려 計算해 보면 93弗이며 다른 處理方法의 費用과 比較해 보면 훨씬 低廉한 비용이다.

例로 腐蝕탱크法을 쓸 경우 145弗이며 Imhoff 탱크法에서는 327弗, 그리고 活性汚泥法은 581弗이 所要됨을 볼때 얼마나 경제적으로 有利한 方法인가를 쉽게 알 수 있다.

더욱이 酸化用 연못을 유지하는데 勞務者 2名이 있으면 足하므로 유지費는 거의 無視할

程度이다. 이와 反對로 活性오니法은 더 많은 職員과 技術者가 必要하므로 人件費가 높을 뿐만 아니라 機械의 修理費와 減價償却費를 包含시키면 전체 유지費가 훨씬 늘어난다.

뿐만 아니라 酸化用 연못에 자라고 있는 藻類는 약 50%의 蛋白質을 含有하므로 이를 蒐集하여 家畜飼料로 팔게 되면 經費를 더욱 節約하거나 相殺할 수 있다.

이미 말레이시아, 泰國, 日本 等地에서는 養鷄業界에서 酸化用 연못에서 얻은 藻類를 購入하여 飼料로 使用하고 있으며 좋은 結果를 얻고 있다.

또한 酸化用 연못에 자라고 있는 魚類를 잡아서 팔 수 있고, 아니면 연못 自體가 養魚場과 같으므로 낚시터로도 開發될 수 있다.

酸化用 연못에서 자란 藻類를 수집하는 方法으로써 濾過法, 遠心分離法 등이 考案되었는데 그 中에서 가장 優秀한 方法이 化學凝集現象 (Chemical flocculation)과 流下浮遊 (down-flow floatation)를 利用하는 方法이다.

化學응집法은 明반, 石灰, 黃酸第1鐵, 黃酸第2鐵, 硫化第1鐵, 市販 Polyelectrolytes 등의 化學藥品을 응집劑로 使用하는 方法이다. 즉 이러한 응집劑를 藻類가 들어 있는 處理水에 교반하면서 加해 주면 조류가 엉켜서 덩어리를 만들게 된다. 응집劑와 함께 酸을 加하여 pH를 6.5로 調節해 주어야 하며 교반조작이 重要하다.

明반의 量은 1리타當 75~150밀리그램의 比率로 加해 주면 適當하다. 使用한 明반을 다시 回收할 수 있으므로 再利用하면 化學藥品費를 조금이라도 節約할 수 있다.

藻類를 凝集하려면 塔狀의 응집裝置에서 流出水를 펌프로 壓力을 加하여 平方センチ메타當 3.5킬로그램의 壓力下에서 응집劑와 酸이 加해지는 곳에서 導入시킨다. 이때 압축 空氣가

微少한 氣泡에 부착되어 上面으로 떠오르게 된다.

그리고 淨化된 流出水는 下部로부터 連續적으로 放出시킨다. 藻類가 점차 더 많이 부유함에 따라 水面으로 넘어 나오는데 이를 수집하면 水分이 많이 除去된 藻類를 얻게 된다.

이렇게 해서 수집된 藻類로부터 明반을 다시 回收하는 것은 明반의 再使用을 爲해서도 必要할 뿐만 아니라 養鷄飼料로 藻類를 使用할 경우 알미늄 含量이 높은 것은 병아리의 成長에 有害하기 때문에 可能한 限 이를 除去하는 것이 좋다.

明반을 回收하려면 먼저 黃酸을 加하여 pH 3.5로 조절한 후 원심분리법이나 吸引 여과법으로 分離한다. 回收된 明반의 응집力은 減少되지 않으므로 數回 계속 반복하여 再利用하여도 無妨하다.

이와 같이 水分을 除去시켜서 수집한 藻類는 乾燥시켜 包裝한다.

周知하는 바와 같이 日本과 臺灣에서는 現在 每年 약 100톤의 藻類, 特히 클로렐라(*Chlorella*)를 合成培地에서 工業적으로 大量 生産하고 있다.

이 중의 약 50톤은 日本과 美國에서 人類의 健康食品으로써 킬로그램當 美貨 약 40弗에 販賣되고 있다.

남어지 ʘ은 요구르트(yoghurt) (우리 나라에서 現在 「야구르트」라는 商品名으로 판매되고 있는 것)의 生産業體에서 購入하고 있는데 그 所以는 乳糖醱酵를 促進시키는 成長因子가 藻類에 存在하기 때문이다.

또한 클로렐라屬뿐만 아니라 세네데스무스(*Scenedesmus*)屬의 藻類를 사람의 醫療用食品으로 成功的으로 使用하고 있다.

勿論 都市下水나 産業廢水에서 培養한 藻類를 人間의 食糧으로 利用할 수는 없지만 家畜

飼料로써도 훌륭하다.

即 藻類의 成分으로서 50%의 蛋白質이 들어 있는바 그 質은 大豆蛋白質보다 더 좋으며 維生素 B群, 캐로틴 및 無機質이 含有되어 있다.

### 酸化用 연못의 微生物

이 연못에서 有機物質의 酸化에 關與하는 微生物은 주로 藻類와 細菌類이다.

대개 藻類는 光合成을 하여서 獨立生活을 하지만 一部는 共生하거나 寄生하여 자라며 프랑크톤의 構成要素로써도 존재한다. 이와 같이 藻類는 光合成을 行하기 때문에 그 결과로 酸素를 遊離시키며 이것이 물의 溶存 酸素量을 增加시키게 된다.

이리하여 有機物質과 惡臭 등이 除去된 流出水는 상당히 淨化된 셈이며 江이나 河川에 投入되어도 汚染上의 문제를 招來하지 않는다

이 酸化用 연못에 서식하는 藻類를 쿠알라룸폴市의 와아디분(Wardieburn)區의 연못을 例로 삼아 알아 보면 다음과 같다. 즉 말레이아 大學校의 라트나사바바티 教授의 研究報告에 의하면 酸化用 연못에는 藻類中의 3個綱만이 살고 있는바, 곧 藍藻類, 연두벌레類, 綠藻類의 3綱이다.

種으로 볼때, 남조류에는 2屬 2種, 연두벌레類에는 9屬 25種, 녹조류에는 14屬 17種이 確認되었다. 이들 44種中 35種은 光合成型이다. 24種은 運動性을 나타내며 대개 鞭毛를 가지고 있다. 이들 편모運動性인 것은 연두벌레類의 *Euglena*屬, *Lapponcinolis*屬, *Phacus*屬, *Trachelomonas*屬의 4屬, 綠조류의 *Chlamydomonas*屬, *Gonium*, *Pandorina*屬, *Eudorina*屬, *Chlorogonium*屬, *Oscillatoria*屬의 다섯 가지이다.

酸化用 연못의 廢水는 연못處理場의 入口며

들어 와서 出口로 나가기 때문에 항상 흐르고 있고 여기에 자라고 있는 藻類는 生物體이므로 이들 種類의 分布에 週期的 變化가 있음을 밝혀 내었다. 즉 最初에 豊富하게 자라났던 *Oscillatoria*屬, *Euglena auis* 및 *Euglena sanguinea*가 점차 時間이 지남에 따라 *Chlorella*屬, *Chlorogonium*屬, 그리고 연두벌레類의 두 가지 無色種인 *Menoidium tortuosum*과 *Rhabdomonas*屬으로 代置됨을 관찰하였다.

그런데 이들 藻類中에서 *Euglena sanguinea*와 *Oscillatoria*屬은 연못水의 表面에 두껍고 걸쭉한 膜樣이를 形成하므로 不利한 영향을 미친다. 即 이렇게 되면 下部의 조류는 日光이 차단되기 때문에 增殖이 減少되고 生成되는 酸素는 물 속으로 溶解되지 않고 오히려 大氣中으로 날라가서 손실되는 傾向이 높아진다. 따라서 水中에서 널리 分散되어 자라는 *Chlamydomonas*屬, *Pandorina*屬, *Eudorina*屬, *Chlorella*屬, *Scenedesmus*屬 및 *Trachelomonas*屬 등이 더 適合한 種類라고 볼 수 있다.

특히 營養價가 높고 또 糸狀이므로 分離 채취하기 쉬운 *Spirulina maxima*가 더욱 優秀한 종류로 報告되었으며 飼料로도 추천되고 있다.

高度로 汚染된 廢水에서는 *Chlamydomonas*, *Euglenids*, *Chlorococcalea*類가 일반적으로 잘번식한다는 Silva와 Papenfuss 兩學者의 研究報告는 「와아디분」區의 연못에서도 同一하다는 것이 觀察되었다.

그런데 酸化用 연못中에는 藻類만이 서식하는 것은 아니어서 原虫類도 자라고 있다. 특히 *Oicomonas*屬과 같은 鞭毛虫類, 질신벌레 (*Paramecium*)屬, *Vorticella*屬 등의 纖毛虫類가 조류를 먹고 자라고 있다.

또한 魚類도 多量の 藻類를 소모시킨다. 뿐만 아니라 雙翅類에 屬하는 곤충들도 연못에

서 자란다.

이와 같이 不必要한 原虫類와 昆虫의 번식을 防止하기 위하여 規則적으로 물을 채취하여 檢査해야 하며, 일단 번식되면 이를 抑制 除去할 必要가 있음은 두말할 것도 없다.

酸化用 연못을 거쳐 나온 最終 流出水의 水質은 여러 가지 因子에 의해 左右되므로 이러한 因子들을 適切히 調節管理해야 한다.

살아 있는 藻類를 多量 포함하는 流出水를 河川 등으로 흘려 보낼 경우 過多한 生物體의 번식이 초래될 수 있으므로 可能한限 藻類를 分離 채취하여 家畜의 飼料로 팔거나 肥料로 利用하면 處理費를 節約할 수 있다.

### 酸化用 연못法の 長點과 展望

以上에서 産業廢水나 都市下水를 酸化用 연못法으로 處理하는 方法을 概觀하였다.

活性오니法은 能率의 이기는 하지만 施設費와 運營費가 많이 所要되고 國內 技術로는 建設할 수 없는 등의 不利點이 있다.

이와 反對로 酸化用 연못法은 처음에 垆地와 建設費만 投資하면 거의 運營費를 안 들이고 家畜飼料로 쓸 수 있는 藻類 및 魚類를 生産할 수 있는 長點을 가지고 있다.

더구나 最近 우리 나라에서는 畜産振興을 強力히 推進하고 있는데 家畜飼料의 不足으로 每年 多量の 飼料를 輸入해 오고 있는 形便이다. 특히 蛋白質 飼料는 全的으로 輸入品에 依存하고 있는 어려운 與件下에 놓여 있다.

따라서 우리 나라의 現實情을 감안할 때 畜産獎勵策에도 一助가 될 수 있는 藻類를 酸化用 연못法으로 生産한다면 文字 그대로 一石二鳥의 利를 얻게 됨은 明白한 일이다.

그러므로 各種 産業廢水 및 地方都市의 下水處理에 酸化用 연못法을 應用할 것을 勸奨하는 바이다.