

~~~~~

# Rhine 江 流域의 國際的 水質保全과 伏流水에 의한 原水 水質改善에 관하여

嶺南大學校 環境大學院 教授

工學博士 朴 永 圭

## International Association of Waterworks in the Rhine Catchment Area (IAWR) and Improvement of Water Quality with Riverbank Filtration.

Graduate School of Environmental Studies,  
Yeungnam University

Yung-Kyu Park

### Abstract

Here is introduced the International Association of Waterworks in the Rhine Catchment Area (IAWR), which contribute towards the improvement and safeguarding of the drinking water supply along the River Rhine.

Along the Rhine River, bank filtration generally removes 75 percent of the dissolved organics present in the river water, and also the removal efficiencies for heavy metals are more important, even if the percentage removals vary widely for the different elements, ranging from 0 to 94 percent.

But organic chlorine compounds are difficult to remove with riverbank filtration if their chlorine content is excessively high.

## 1. 緒論

上水處理의 目的은 믿을 수 있고 깨끗한 飲料水를 공급하는데 있으며 上水를 處理하는 施設도 이 目的에 부응하도록 設備되어야 한다. 세계적으로 모든 淨水場에서는 原水에 包含된 不純物을 가장 效果的으로 除去하기 위하여 既存 處理裝置를 改善하고 또 새로운 處理技術을 開發하는데 많은 노력을 하고 있다. 그러나 무엇보다도 良質의 飲料水를 보장하기 위해서는 原水의 水質이 좋아야 한다. 原水의 水質을 보호하기 위해서 각 국가마다 法的으로 環境基準值를 定하여 都市下水나 工場廢水處理를 規制하고 있으며 또 汚染된 地表水로부터 보다 良質의 原水를 얻기 위하여 伏流水를 이용한 飲料水 處理 工程이 研究되고 있다. (1,2) 本 論文에서는 Rhine江의 原水 水質을 保全하기 위해서 어떤 組織體를 構成하여 Rhine江 流域을 管理하고 있는지를 알아보고 최근의 Rhine江의 汚染實態를 알아본 다음 汚染된 Rhine강물을 伏流시켰을 때의 伏流效果에 대하여 소개하고자 한다.

## 2. Rhine江 流域 環境保全을 위한 國際上水道協會 (IAWR)의 役割

### 2-1. 國際 上水道協會 (IAWR)의 構成과 役割.

Rhine江 上流의 水源을 保全하기 위하여 1950 年에 上流에 위치한 Constance湖를 水源으로 하는 스위스와 독일의 淨水場 代表들이 모여 처음으로 AWBR (Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee - Rhein)을 創設하였고, 이어 Rhine江 下流의 네델란드에서 1951년 같은 目的으로 RIWA (Rijncommissie Waterleidingbedrijven)가 組織되었으며, 1953년에는 독일에서 ARW (Arbeitsgemeinschaft Rhein-Wasserwerke)가 結成되었다. 이 기구들은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 Rhine江을 크게 3 등분하여 AWBR는 上流를, ARW는 中流를 그리고 RIWA는 下流를 管理하여 왔으며 각 기구에서 보고된 水質分析値와 統計値를 기초로 하여 Rhine江의 汚染實態와 飲料水 공급에 따르는 諸般處理問題 등에 대한 상호의 意見交換을 하여왔다.

그러나, 이들의 노력에도 불구하고 Rhine 강

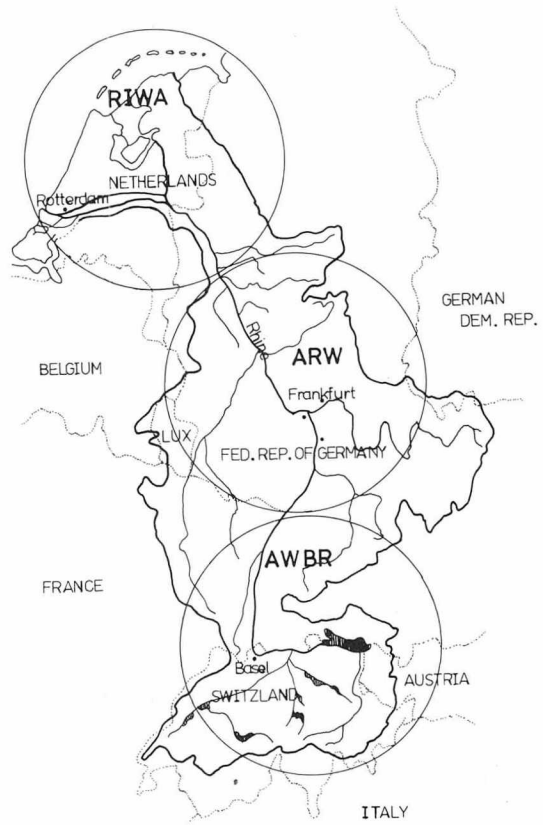


Fig. 1. The catchment area of the river Rhine and the activity regions of the AWBR, ARW and RIWA.

의 汚染이 이후 계속 증가되었고, 1969년 독일의 프랑크푸르트에 있는 Hoechst會社에서 사고로 殺虫劑 endosulfan을 支流인 Main강에 放流하여 本流인 Rhine강의 물고기가 대량 죽게 되고 下流의 取水場에서는 取水가 不可能하였다. 이 사고가 계기가 되어 AWBR, RIWA 및 ARW의 세 기구가 통합하여 Rhine강 流域 國際 上水道協會인 IAWR (International Association of Waterworks in the Rhine Catchment Area)가 발족하게 되었고 현재는 Rhine 강 全流域의 水質을 管理하고 있다. (3) 이 IAWR 는 산하에는 85개의 淨水場이 會員으로 가입되었다. 즉 스위스 23회사, 오스트리아 1회사, 프랑스 3회사, 독일 49회사, 네델란드 9회사이며 Rhine강 流域의 2,000만 인구나 많은 産業體들에 물을 供給하는 것을 총괄하여 管理하고 있다. 더우기 이 기구는 Rhine강 流域에 위치

Table 1. Table for determining the quality grades for surface water according to IAWR proposal

|                                                  |                  | 1     | 1.2       | 2         | 2.3       | 3         | 3.4       | 4     |
|--------------------------------------------------|------------------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| DOC<br>g/m <sup>3</sup>                          | C <sub>MAX</sub> | <3.0  | 3.0-4.0   | 4.0-5.5   | 5.5-7.0   | 7.0-8.5   | 8.5-11.0  | >11.0 |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup><br>g/m <sup>3</sup> | C <sub>MAX</sub> | <0.3  | 0.3-0.7   | 0.7-1.5   | 1.5-2.5   | 2.5-4.0   | 4.0-7.5   | >7.5  |
| ΔO <sub>2</sub><br>%                             | C <sub>MAX</sub> | <25   | 25-40     | 40-60     | 60-70     | 70-80     | 80-90     | >90   |
| ΣNS<br>g Cl/m <sup>3</sup>                       | C <sub>MAX</sub> | <70   | 70-140    | 140-210   | 210-280   | 280-350   | 350-425   | >425  |
| DOCl<br>g Cl/m <sup>3</sup>                      | C <sub>MAX</sub> | <0.04 | 0.04-0.07 | 0.07-0.10 | 0.10-0.17 | 0.17-0.25 | 0.25-0.40 | >0.40 |

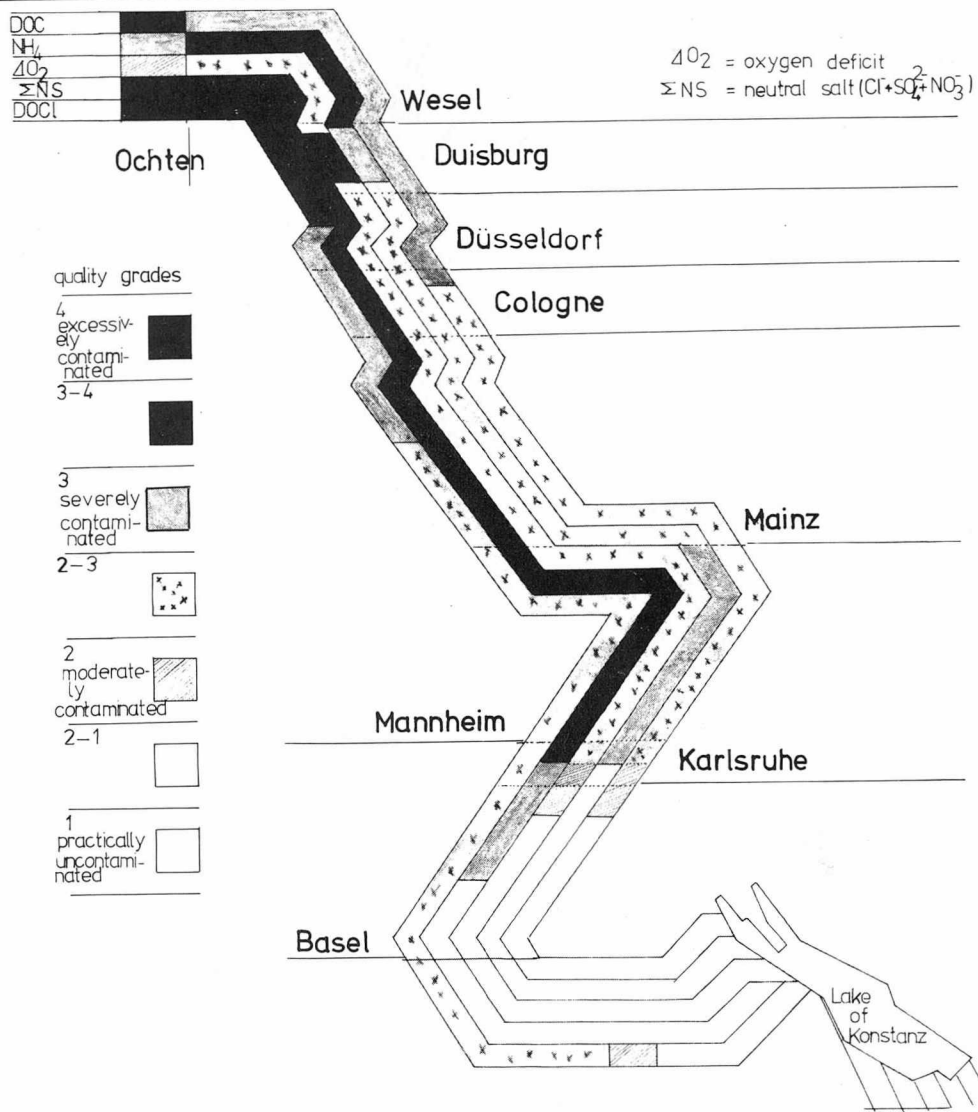


Fig. 2. The quality of the Rhine water in the years 1975-1977 presented according to a method proposed by the IAWR.

한 各國과 유럽공동체의 직접적인 후원하에 운영되고 있으며 Rhine강물을 原水로 하여 供給되는 飲料水의 水質을 改善하고 保護하기 위하여 Rhine강의 汚染度를 分析하고 그 分析值를 평가하여 매년 報告서를 출판하고 있으며 회의를 열어 Rhine강의 汚染防止를 위한 計劃樹立과 飲料水 處理技術등에 대한 정보를 교환하고 있다.

Table 1은 IAWR가 체계적이고 良質인 飲料水의 원활한 供給을 위하여 地表水의 DOC (溶存有機炭素 : Dissolved Organic Carbon) 와 암모니아, 酸素不足量, 中性鹽( $Cl^-$ ,  $SO_4^-$  및  $NO_3^-$ ) 및 DOCI (溶存有機塩素 : Dissolved Organic Chloride)의 濃度를 7.등분하여 만든 水質等級表이다.

이 水質等級表에 의하여 1975년부터 1979년 사이의 Rhine강의 水質을 분류하여 그림으로 나타낸 結果는 Fig. 2와 같은데 여기서 水質等級의 1은 실질적으로 汚染이 안된 깨끗한 물이며, 2는 적당히 汚染된 물, 3은 汚染이 심한 물, 그리고 4는 汚染이 극심한 물을 나타낸다. Rhine강의 上流는 DOCI이 약간 汚染된 외에는 깨끗하며 中流는 어느정도 汚染이 되었으나 특히 中性鹽의 汚染이 심하고 下流는 전반적으로 汚染이 심하며 Duisburg 근처에서 酸素의 不足量이 최대를 나타내고 있어 Rhine강의 自淨作用效果도 알 수 있다. 따라서 이 그림을 보면 Rhine강의 汚染狀態를 上流에서부터 下流까지 전반적으로 상세하게 파악할 수 있어 飲料水의

供給에 따른 여러가지 문제의 해결과 政策立案資料에 큰 도움이 될 수 있다.

## 2-2. Rhine 강의 汚染實態

1948년부터 1979년까지 30년동안 독일과 네델란드의 경계점에 위치한 Rhine강의 平均水質 分布를 조사하여 나타낸 結果는 Table 2와 같으며 流量은 長期間 동안에도  $2,200m^3/sec$  로 거의 일정하다. 그러나 1948년과 1969년의 水質을 비교하면 1948년의 酸素濃度  $9.5mg/l$  이 1969년에는  $5.1mg/l$  로, 色度는 17에서 32로,  $Cl^-$ 는  $88mg/l$  에서  $107mg/l$  로,  $NH_4^+$ 는  $0.54mg/l$  에서 2.2로,  $NO_3^-$ 는  $3.8mg/l$ 에서  $10mg/l$ 로, 그리고  $PO_4^{3-}$ 는 0.1에서  $0.5mg/l$  등으로 汚染度가 크게 증가하고 있다. 그 후 Rhine 강流域의 都市와 工場에서 廢水處理를 철저히 하여 1979년에는 水質이 상당히 회복되어 1948년의 水質과 거의 비슷한 경향을 보이고 있으나  $NO_3^-$ 와  $PO_4^{3-}$ 는 계속 增加하는 추세를 보이고 있어 營養鹽類에 의한 富營養化의 對策이 시급함을 알 수 있다.

Fig. 3은 1945년 이래 Rhine江 下流의 溶存 酸素濃度の 變化를 나타낸 것으로서 溶存 酸素는 Rhine江의 汚染增加와 더불어 계속 감소되어 오다가 1971년에는 그 濃度가  $4.5mg/l$  정도로 가장 작은 값을 나타내고 있다. 그러나 IAWR이 創設된 이후 廢水處理施設과 處理基準이 強化되면서 부터 水質은 점차 회복하게 되어 1979년에는 1952년과 거의 같은 酸素濃度를 유지하고 있다.

Table 2. The quality of the Rhine water at the german-dutch border (average values)

|                                   | 1948 | 1969 | 1979 |
|-----------------------------------|------|------|------|
| Discharge $m^3/s$                 | 2436 | 2243 | 2541 |
| Oxygen concentration $mg/l$       | 9.5  | 5.1  | 9.0  |
| Oxygen saturation index %         | 81   | 46   | 84   |
| Consumption of $KMnO_4$ $mg/l$    | 16.6 | 27   | 16   |
| Colour $mg/l$ pt                  | 17   | 32   | 20   |
| Chloride $mg/l$                   | 88   | 169  | 167  |
| Sulphate $mg/l$                   | 59   | 86   | 78   |
| Total hardness $mmol/l$           | 2.08 | 2.68 | 2.47 |
| Ammonium $mg/l$ $NH_4^+$          | 0.54 | 2.20 | 0.89 |
| Nitrate $mg/l$ $NO_3^-$           | 3.8  | 10   | 17   |
| Orthophosphate $mg/l$ $PO_4^{3-}$ | 0.1  | 0.5  | 1.27 |
| Iron $mg/l$                       | 0.4  | 1.3  | 1.3  |

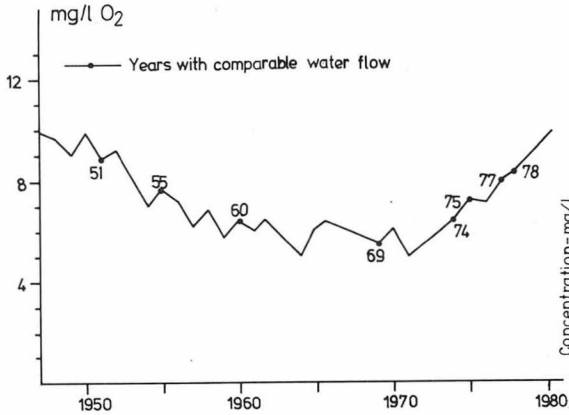


Fig. 3. The oxygen concentration of the lower course of the Rhine in the years 1945-1979.

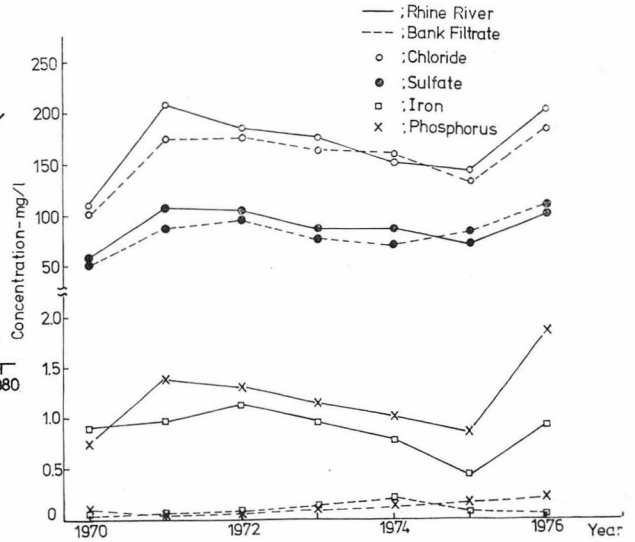


Fig. 6. Inorganic removal by bank filtration at Duisburg-Hamborn.

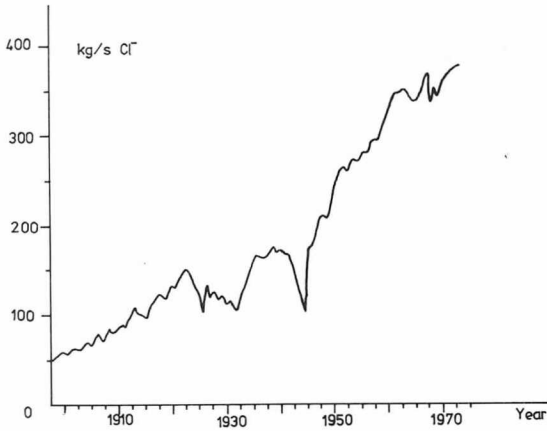


Fig. 4. The development of the chloride load of the lower course of the Rhine.

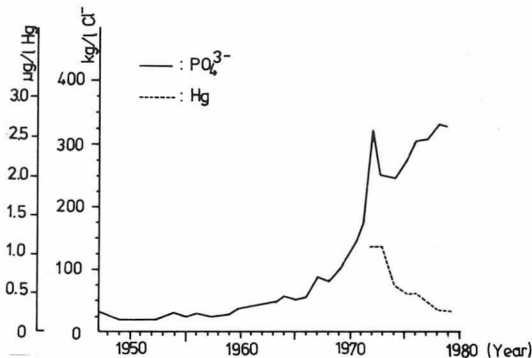


Fig. 5. The variation of the mercury and o-phosphate concentration of the lower course of the Rhine.

溶存酸素의 濃도가 회복된 것과는 달리 Fig. 4를 보면  $Cl^-$ 는 1950년 이래 塩化物負荷가 크게 증가하여 최근까지도 여전히 높은 값을 나타내고 있으며 가까운 장래에 塩化物負荷에 대한 水質改善은 어려움을 알 수 있다. 이에 대한 대책으로 스위스, 독일, 네델란드 등 Rhine江流域의 國家들이 모여 Rhine江의 보호를 위한 國際的인 塩協定(salt treaty)을 체결하였으나 1979년 프랑스가 國內사정으로 인하여 탈퇴하게 되었다.

현재 Rhine江의 總塩化物負荷량의 약 40%인 130kg/sec이 프랑스의 塩工場에서 流出되고 있는데 이 塩協定の 主目的은 프랑스에서 流出되는 塩化物의 양을 60kg/sec로 줄이는데 있지만 現在로서는 프랑스가 이 塩協定에 다시 가입해야만 해결이 가능하게 되어있다.

Rhine江 原水의 水質變化中 또 하나 특이한 것은 Fig. 5의  $PO_4^{3-}$  및 Hg의 濃度分布이다. Fig. 5를 보면  $PO_4^{3-}$ 는 1960년 이래 合成洗劑의 사용으로 인하여 급격히 증가하고 있으며 重金屬과 毒性物質의 汚染은 대체로 1972년 이후 改善되고 있는데 특히 수은은 Fig. 6과 같이 계속 감소하는 경향을 보이고 있다.

3. 伏流水에 의한 原水 水質 改善  
汚染된 강물에서 보다 良質의 原水를 확보하

기 위하여 Rhine 강의 下流에서는 약 75년전부터 原水を 직접 取水하지 않고 伏流水를 이용하여 飲料水を 處理하고 있다. (4, 5, 6)

강둑에서 일정한 거리를 두고 取水場을 설치하면 강물이 모래층을 통과하여 取水場까지 伏流되는 동안 物理的, 生物學的 및 化學的인 處理過程을 거치게 되므로 伏流水는 강물에 포함된 汚染물이 다소 제거된다. Fig. 6은 Duisburg Hamborn 淨水場에서 地下水를 거의 회색하지 않고 20~30일의 짧은 체류시간 동안 Rhine 강물을 伏流시켰을때 原水와 伏流水의 無機物質

濃度分布를 비교하여 나타낸 것이다.

Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>와 같은 塩은 地下를 통과하는 동안 除去效果가 별로 없으나 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, Fe 등과 같은 다른 無機物質은 伏流過程동안 沈澱 作用에 의하여 90% 이상 除去되고 있다. 또 伏流水에 의한 重金屬의 除去效果는 Table 3에서 보는 바와 같이 重金屬의 종류에 따라서 그 除去效率도 0~94%의 다양한 값을 나타내고 있다.

이 Date는 1975년부터 1980년까지 4년동안의 測定結果를 平均하여 나타낸 것인데 그 除去效果는 原水の 緩衝能力, 塩濃度 및 酸化-還元

Table 3. Heavy metal removal by riverbank filtration at the lower Rhine (Duisberg). \*

| Metal | Concentration- $\mu\text{g}/\ell$ |               | Percentage removal |
|-------|-----------------------------------|---------------|--------------------|
|       | Rhine river                       | Bank filtrate |                    |
| Zn    | 180                               | 33.           | 82                 |
| Cu    | 31.8                              | 7.5           | 51                 |
| Pb    | 12.6                              | 3.2           | 75                 |
| Ni    | 9.5                               | 4.7           | 51                 |
| Cr    | 7.9                               | 0.5           | 94                 |
| Sn    | 4.5                               | 3.6           | 20                 |
| As    | 4.2                               | 0.3           | 93                 |
| Cd    | 2.0                               | 0.5           | 75                 |
| Se    | 1.8                               | 1.6           | 11                 |
| Ag    | 0.5                               | 0.5           | 0                  |
| Hg    | 0.3                               | 0.2           | 33                 |
| Be    | 0.1                               | 0.1           | 0                  |

\*Mean values for 1975-1978.

Table 4. Removal efficiency for trace organics in a ground passage.

| Material                                                      | Concentration- $\mu\text{g}/\ell$ |               | Percentage removal |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------|--------------------|
|                                                               | Rhine river                       | Bank filtrate |                    |
| DOCl                                                          | 99.                               | 61.           | 38.4               |
| CHCl <sub>3</sub> +CCl <sub>4</sub>                           | 3.4                               | 2. 80         | 17.6               |
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>                 | 0.6                               | 0. 45         | 25.0               |
| C <sub>2</sub> H Cl <sub>3</sub>                              | 0.6                               | 0. 45         | 25.0               |
| C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub>                                | 1.5                               | 0. 50         | 66.7               |
| C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl                              | 2.30                              | 0. 09         | 96.1               |
| C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>                 | 2.98                              | 1. 65         | 44.6               |
| C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub>                 | 0.33                              | 0. 29         | 12.1               |
| C <sub>6</sub> H <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub>                 | 0.02                              | 0. 02         | 0.0                |
| C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> ClCH <sub>3</sub>               | 1.06                              | 0. 06         | 94.3               |
| C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> | 0.37                              | 0. 14         | 62.2               |
| C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>                                 | 0.75                              | 0. 15         | 80.0               |
| C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>                 | 1.90                              | 0. 10         | 94.7               |

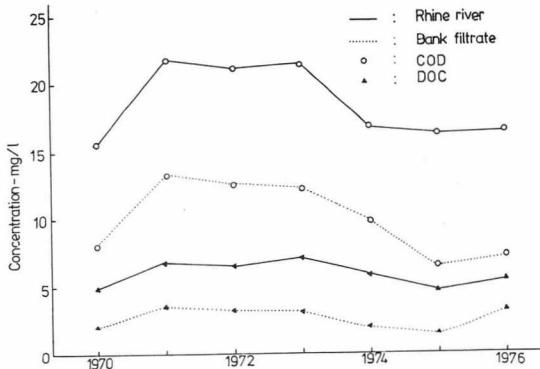


Fig. 7. DOC and COD values in Rhine river water and bank filtrate at Duisburg-Hamborn.

狀態 등에 따라서 다르지만 특히 Cr과 As는 93% 이상의 높은 除去效率를 보이고 있어 강물을 장시간 모래층에 통과시키면 沈澱作用에 의해 重金屬이 상당량 除去됨을 알 수 있다.

Duisburg-Hamborn 淨水場에서 Rhine강의 原水를 20~30일간의 짧은 기간 동안 伏流하였을 때와 伏流하지 않았을 경우 COD와 DOC의 濃度分布는 Fig.7와 같다.

COD는 10mg/l, DOC는 35mg/l 정도로 原水의 水質에 관계없이 거의 일정한 除去效果를 나타내고 있는 데 이는 原水中の 溶存酸素濃度가 伏流中 好氣性 상태를 유지하는 데 불충분한 것에 기인되고 있다. 酸素가 부족한 상태 아래서 原水中の NO<sub>3</sub>는 N<sub>2</sub>로 還元된다. 이때 생성되는 酸素가 암모니아의 酸化와 有機物의 分解에 필요한 酸素의 40%를 제공할 수 있다. 그러므로 伏流時 原水中에 高濃度の NO<sub>3</sub>가 존재하면 有機物 除去에 效果가 커지는 것을 알 수 있다. 그리고 飲料水의 맛과 냄새를 유발하는 揮發性物質과 최근 飲料水 處理時 크게 문제가 되고 있는 THM와 같은 微量 有機物質의 除去에 대한 伏流效果를 조사하여 Table 4에 나타내었다.

DOC1은 伏流에 의하여 38.4%가 除去되며 C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Cl은 96.1%, C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>Cl<sub>2</sub>는 44.0%, C<sub>6</sub>H<sub>3</sub>Cl<sub>3</sub>는 1% 그리고 C<sub>5</sub>H<sub>4</sub>Cl<sub>4</sub>는 0%로 除去效率가 낮아지고 있는 데 여기서 보면 有機鹵素化合物의 分子中 鹵素의 量이 많을수록 伏流에 의한 除去效果가 감소되는 경향이 있다.

#### 4. 結 論

1950년대 이후 Rhine江의 汚染은 계속 增加하여 1970년경에는 그 汚染度가 最大值를 나타내었으며, 그후 IAWR가 창설되어 Rhine江 全流域의 水質을 管理하면서부터 水質은 상당히 회복되었으나 最近에는 NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>등의 營養鹽類와 Cl<sup>-</sup>가 새로운 汚染原으로 등장하고 있다. 汚染된 地表水로부터 良質의 飲料水를 공급하기 위한 방법의 일환으로 伏流水를 이용하면 原水가 모래층을 통과하여 伏流되는 동안 物理的, 生物學的 및 化學的 處理過程을 거치게 되어 無機 및 有機汚染物質과 微生物이 상당히 除去됨으로 보다 좋은 水質의 原水를 얻을 수 있다. 5大江流域의 環境保全의 측면에서 우리나라도 유럽의 IAWR과 같은 기구를 만들어 局部的인 研究와 政策을 지양하고 長期的이고도 綜合的인 計劃은 樹立하여 處理技術과 情報交換 등을 실시하는 것이 바람직하다고 본다.

#### Reference

1. H. Sontheimer and W. Nissing, "Anderung der Wasserbeschaffenheit bei Bodenpassage Unter besonderer Berücksichtigung der Uferfiltration" Gas-Wasser-Abwasser, 77: 9: 639 (1977)
2. W. Poggenbury, "Activated Carbon Filters in Water Treatment Plants," EPA-600/9-76-030; December 1976, U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio 45268
3. L. J. Huizenga, "Public Water Supply and the River Rhine," Aqua, 6, 27 (1980)
4. H. Sontheimer, "Experience with Riverbank Filtration along the Rhine River." Journal AWWA, 7, 386 (1980)
5. Uferfiltration, Fed. Dept. Interior, Bonn, Fed. Republic of Germany (Dec 1975)
6. W. Kühn and H. Sontheimer, "Oxidation Processes in Drinking Water Treatment." EPA-570/9-79-020; CCMS 111, prc, NATO-CCMS symp., Karlsruhe, Fed. Rep. Germany (Sep 1978)