

## 프랑스 A-71 고속도로변 Retention Pond의 기능평가

이평구 · 이재영\*

한국자원연구소 환경지질부

\*서울시립대학교 환경공학과

### Assessment of the fonction of Retention Pond, A-71 Motorway, France

Pyeong-Koo Lee · Jai-Young Lee\*

*\*Dept. of Environmental Geology, Korea Institute of Geology, Mining & Materials*

*\*Dept. of Environmental Engineering, The University of Seoul*

#### ABSTRACT

Retention ponds have been dug along some of the motorways to control water flow during rainstorms and to minimize environmental pollution. A retention pond located at Les Ardilleres about 20km South of Orleans along the A-71 motorway has been selected to evaluate the effectiveness of such a pond as a trap for heavy metals. Based on the "index of geoaccumulation" and the "enrichment factor" normalized to Fe introduced by Müller in 1979 and by Helz in 1976, respectively, the degree of contamination by heavy metals for the roadside soil and the settling particles was evaluated. As expected, the contamination was very severe in the roadside soil, while it was not so great in the settling particles. Using these methods, cadmium anomaly was traced in the settling particles of the retention pond, their occurrence being attributed partly to natural and partly to anthropogenic pollution.

The estimated input of heavy metals associated with settling particles to the pond was 0.9 g/day Pb, 2.1 g/day Zn and 6mg/day Cd. A tentative mass balance of Pb and Zn originated by motor vehicles suggested that only 5 to 11% of heavy metals deposited on the surface of the motorway is carried to the retention pond by runoff water ; suggestions are made to improve their efficiency.

**key word : motorway, roadside soil, pollution, assessment, mass balance**

## 요 약 문

고속도로에서 흘러오는 빗물의 양을 조절하고 환경오염을 최소화하기 위해 프랑스 일부 고속도로변에 간이정화시설을 설치하였다. 중금속에 의해 오염된 입자를 제거하기 위해 설치된 간이정화시설의 효과를 평가하기 위해서 오를레앙 남쪽 20km 지점의 "Les Ardilleres" 지역의 A-71고속도로변에 위치한 간이정화시설을 선정하였다.

Müller (1979)와 Helz (1976)에 의해 각각 도입된 index of geoaccumulation와 enrichment factor를 이용하여 오염된 도로변 토양과 간이정화시설에서 채취한 부유퇴적물의 중금속오염 정도를 정량화하여 평가하였다. 기대한 대로, 도로변 토양의 오염은 매우 심각한 반면에 부유퇴적물의 오염은 미약하였다. 간이정화시설의 부유퇴적물은 카드뮴오염만이 진행되고 있으며 이 결과는 인위적인 오염과 자연적인 농집현상에 기인된 것이다.

부유퇴적물에 수반되어 간이정화시설에 유입되는 중금속의 추정량은 하루 납 0.9g, 아연 2.1g, 카드뮴 6mg이다. 자동차통행에 의해 배출된 납과 아연의 양과 간이정화시설에 유입된 것을 비교한 tentative mass balance 결과 고속도로상에 오염된 납과 아연의 약 5~11% 만이 빗물에 의해 간이정화시설에 운반되어 유입되었다. 간이정화시설의 효율을 높이기 위한 제안이 제시되었다.

**주제어** : 고속도로, 도로변 토양, 오염, 평가

### 1. 서 론

산업혁명 이후, 급속한 경제발전으로 인한 산업화의 부정적인 영향은 자연환경에 편중되어 농집되는 중금속원소에 의한 환경오염문제이다. 고속도로변<sup>1)2)</sup> 혹은 대도시지역의 도로변<sup>3)</sup>의 토양과 먼지는 자동차 배기가스, 휘발유 및 각종 윤활유 등의 유기물질과 중금속 (Pb, Zn, Cd)오염에 노출되어 있다. 특히, 영국의 경우 M1, M6 고속도로변의 오염된 토양과 먼지의 중금속함량은 각각 납 895~1,604 ppm, 아연 1,760~2,020 ppm, 카드뮴 3.8~6.8 ppm으로 오염상태가 심각한 것으로 알려져 있다<sup>2)3)</sup>. 또한, 94~95년도 연평균 자동차 총통행량이 약 3백 5십만 대인 프랑스 A-71고속도로 (오를레앙-클레르몽페랑) 변 오염된 토양의 중금속함량도 이와 유사하다 (납 : 1,456 ppm, 아연 : 2,860 ppm, 카드뮴 : 2.72 ppm)<sup>1)</sup>.

프랑스 A-71고속도로변에 간이정화시설을 설치한 것은 빗물에 의해 씻겨 이동되는 오염물질을 배수로를 통해 간이정화시설에 유입되게 함으로써 오염물질이 주변환경으로 확산되는 것을 방지할 목적이었으므로 도로변토양과 간이정화시설에서 채취된 부유퇴적물의 중금속함량은 유사하여야 한다. 그러나, 입도  $\phi < 315\mu\text{m}$ 의 도로변 토양과 부유퇴적물사이의 중금속함량의 차이가 매우 크다<sup>1)</sup>. 이 결과는 자동차 배기가스 및 타이어 등에서 발생하는 중금속오염물질들이 빗물에 씻겨 배수로를 통해 간이정화시설에 유입되는 양이 극히 적거나 혹은 유입되지 않음을 의미한다. 그러므로, 오염물질을 제거하기 위해 설치한 간이정화시설의 효과를 평가해야할 필요성이 제기되었다.

이 연구의 목적은 index of geoaccumulation 및 enrichment factor를 이용하여 오염된 고속도로변 토양 (roadside soil)과 부유퇴적물의 중금

속함량을 오염되지 않은 Sologne soil과 비교하여 오염정도를 정량화하고 이를 근거로 고속도로변 좁은범위에서 축적되는 중금속오염의 심각성을 평가하고자 하였다. 이 방법들은 호수, 강 및 해안에 퇴적되는 퇴적물의 중금속오염을 정량화하는 데 많이 쓰이는 방법이다<sup>3)</sup>. 한편, 고속도로 부근에서 자동차통행으로 발생하는 중금속 오염물질은 특정 이동경로 (빗물과 바람)를 통해 이동되어지며<sup>6)</sup> 특히 빗물에 의해 이동되는 중금속원소는 간이정화시설에 축적되는 부유물질오염에 가장 중요한 영향을 미치는 주요 오염원이다. 그러므로, 고속도로에서 발생하는 오염물질의 양과 간이정화시설에 유입되는 오염물질의 mass balance는 간이정화시설의 효과를 평가하고 문제점을 밝혀 개선하는 데 중요하다. 자동차의 통행량을 근거로 계산된 A-71 고속도로에서 배출되는 오염물질 (납, 아연)의 양을 부유퇴적물에 수반되어 실제 간이정화시설에 유입된 납과 아연의 양과 비교하여 간이정화시설의 기능을 평가하였다.

## 2. 연구방법

A-71고속도로변에서 채취된 오염된 토양 및 간이정화시설에서 정기적으로 회수된 부유퇴적물의 중금속함량을 background soil인 Sologne soil<sup>1)</sup>의 각 중금속함량값과 비교하여 오염정도를 정량화하기 위해 사용된 방법은 index of geoaccumulation과 enrichment factor이다.

### 2.1 Index of geoaccumulation

Index of geoaccumulation (Igeo)은 Müller (1979)<sup>7)</sup>에 의해 제시되었으며 해안퇴적물의 오염정도를 평가하기 위해 많이 이용되었다<sup>8,9)</sup>. Igeo는 다음과 같이 정의된다.

$$Igeo = \log_2 [(M)_{sample}/1.5X(M)_{background}]$$

여기서 (M)sample은 도로변 토양과 부유퇴적

물의 금속함량이며 (M)background는 Sologne soil를 이용하였다<sup>1)</sup>. 값 1.5는 이 Sologne soil의 lithologic variation에 대한 보정을 위한 임의의 상수이다. Igeo값은 index의 값에 따라 다음과 같이 7개 등급 (class)로 구분된다.

Table 1. Classement of index of geoaccumulation

Igeo	Igeo-class	Designation of sediment quality
>5	6	Very strongly polluted
4-5	5	Strongly/very strongly polluted
3-4	4	Strongly polluted
2-3	3	Moderately/Strongly polluted
1-2	2	Moderately polluted
0-1	1	Pratically unpolluted/Moderately polluted
0	0	Pratically unpolluted

After G. Müller (1979)<sup>7)</sup>

### 2.2 Enrichment factor

Enrichment factor의 계산은 퇴적물의 입도와 점토광물의 함량에 의해 야기되는 미량금속 함량의 변화를 보정하기 위해 사용되어 왔으며 보통 퇴적물의 Al과 Fe와 같은 conservative element를 이용하여 계산한다<sup>9,10,11)</sup>. 본 연구에서 enrichment factor (EF)를 계산하기 위해 각시료의 금속함량을 Fe함량으로 표준화 한 뒤 Sologne soil로 보정하였다.

$$EF = [M/Fe]_{sample}/[M/Fe]_{background}$$

이때, 보정에 사용된 철의 값은 비교적 오염에 영향을 적게 받아야 한다. 만일  $EF > 1$ 이면 Sologne soil에 비해 오염된 것을 의미하며,  $EF > 1$ 이면 감소된 것을 의미한다. Sommer and Pyzik<sup>12)</sup>은 metal vs Al/metal 비율을 퇴적물에 함유된 금속함량과 퇴적물과의 수반관계를 설명하기 위해 사용하였다. Trefry and Presley<sup>13)</sup>는 metal vs Fe 그림을 이용하여 오염되지 않은 퇴

적물과 산업활동의 결과에 의한 환경오염과의 구분을 시도하였다.

### 3. 결과 및 토론

#### 3.1 Indices of geoaccumulation

계산된 Pb, Zn, Cd 및 Mn의 Igeo값은 Table 2에 정리하였다. 부유퇴적물의 경우 Pb의 Igeo값은 1이하로 class 1, Zn의 Igeo값은 평균 1.5로 moderate pollution (class 2)로 구분되는 반면에 Cd의 Igeo값은 평균 2.2, 최대 3.6으로 class 3으로 구분된다. 도로변 토양의 Pb, Zn, Cd의 평균 Igeo값은 모두 class 6 (very strong pollution)로 구분되어 자동차통행에 의해 직접적으로 영향을 받는 고속도로 갓길에서 1m 범위의 좁은 구간의 토양은 중금속오염이 매우 심각하다<sup>1)</sup>.

#### 3.2 Enrichment factor

도로변 토양의 Pb, Zn, Cd은 매우 높은 EF값 (각각 평균 11.8, 16.9, 8.8)을 갖는 것이 특징이며 이 결과는 자동차 통행에 따른 주변토양에서 축적되고 있는 중금속오염이 심각한 것을 의미한다 (Table 2). 간이정화시설에서 채취된 부유퇴적물의 Pb, Zn에 대한 평균 EF값은 약 0.6과 1.2로 index of geoaccumulation 결과와 같이 부유퇴적물은 Pb와 Zn의 오염되지 않은 것으로 나타난 반면에 Cd의 평균 EF값은 1.9로 오염된 것으로 나타났다.

그러므로 index of geoaccumulation과 enrichment factor의 결과를 요약하면 도로변토양은 납, 아연 및 카드뮴 오염이 매우 심각한 반면에 간이정화시설에서 퇴적되는 부유퇴적물의 경우는 납과 아연은 오염되지 않았으며 카드뮴만이 Sologne soil에 비해 미약하게 오염되었다. 도로변의 오염된 토양의 경우, 휘발유에 첨가된 tetraethyllead와 tetramethyllead의 연소후 대기중에 배출된 납 (주로 PbBrCl)이 공기중의 황산과

**Table 2.** Summary of the indices of geoaccumulation and enrichment factor of trace metals in roadside soil and settling particles.

	Pb	Zn	Cd	Mn
Index of geoaccumulation				
Roadside soil	4~5.8 (5.1)	4.3~6.6 (5.6)	3.4~5.8 (4.9)	1.4~2.7 (2.2)
Settling particles	0.1~1.1 (0.6)	0.7~2.4 (1.5)	0.9~3.6 (2.2)	0.4~3.9 (2.4)
Enrichment factor				
Roadside soil	8.3~18.0 (11.8)	9.8~27.5 (16.9)	5.0~13.7 (8.8)	1.1~1.5 (1.3)
Settling particles	0.3~1.0 (0.6)	0.5~2.0 (1.2)	0.5~5.8 (1.9)	0.8~5.9 (2.1)

화학반응한 결과 형성된 PbSO<sub>4</sub>가 주요 납오염원이 되고 있으며 아연과 카드뮴은 자동차타이어에 약 1~2%정도 첨가된 ZnO가 주요오염원으로 알려져 있다<sup>3)14)15)</sup>. 한편, 시료의 입도차이에 의한 중금속함량의 차이를 Fe를 이용하여 보정하였으므로, 만일 시료중 Pb함량이 증가됨에도 불구하고 Pb/Fe 값이 일정하다면 시료의 Pb함량은 세립질입자의 증가에 기인된 것이며, Pb/Fe 값이 증가한다면 시료중 세립질 입자가 증가된 요인이외에도 anthropogenic pollution 등의 다른 요인의 영향을 받은 결과를 의미한다. 그림 1-a, b, c에 Pb/Fe vs Pb, Zn/Fe vs Zn, Cd/Fe vs Cd 관계를 도시하여 도로변 토양, 부유퇴적물, Sologne soil를 구분하였다. 부유퇴적물의 경우 Pb, Zn의 함량이 증가함에 따라 Pb/Fe 와 Zn/Fe 값은 일정하였으며 이 결과는 부유퇴적물의 납과 아연함량이 Sologne soil에 비해 높긴 하지만 세립질 퇴적물의 양이 상대적으로 높아졌기 때문으로 해석되어진다. 카드뮴의 경우 서로 양의 상관관계를 보이고 있어 간이정화시설에서 카드뮴오염이 진행되고 있는 것으로 예측된다. 한편, 고속도로변의 오염된 토양의 경우 Pb/Fe vs Pb, Zn/Fe vs Zn, Cd/Fe vs Cd 관계가 양의 상관관계

를 보이고 있어 자동차 통행에 의한 중금속오염이 고속도로변 토양에 축적되고 있다는 것을 지시한다<sup>1)</sup>.

그림1-d에 Pb/Fe vs Zn/Fe 관계를 도시한 결과 간이정화시설에 유입되는 부유퇴적물은 오염되지 않은 Sologne soil의 영역에 중복되어 도로변 토양과는 구분되었다.

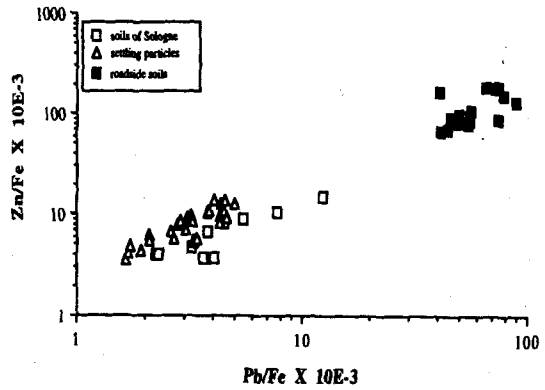
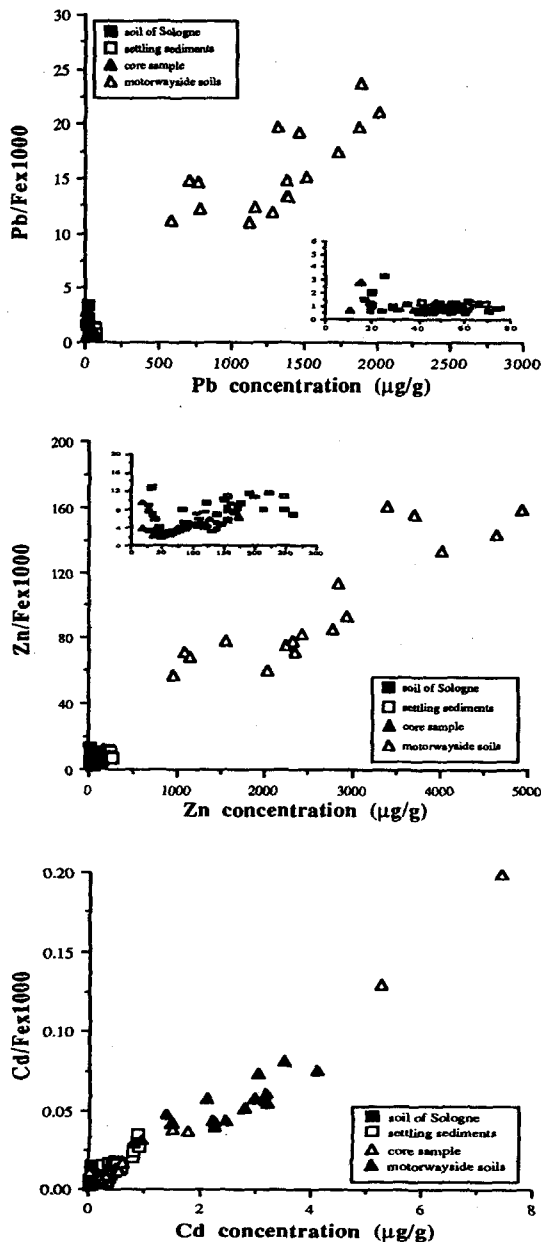


Fig. 1. Pb/Fe vs Pb, Zn/Fe vs Zn, Cd/Fe vs Cd and Pb/Fe vs Zn/Fe weight ratios in Sologne soil, settling particles and roadside soil.

### 3.3 중금속 일일유입량

#### 3.3.1 용해된 상태

연구기간동안 간이정화시설에 유입된 지표수의 양은 1994년 58,000m<sup>3</sup>, 1995년 55,000m<sup>3</sup> 이었으며 지표수에 용해된 상태로 존재하는 Pb, Zn 및 Cd의 평균함량은 각각 0.72µg/L, 44.9µg/L 및 0.73µg/L 이었다<sup>1)</sup>. 용해된 상태로 간이정화시설에 유입유출된 중금속량을 유입된 지표수의 양과 지표수의 평균 금속함량을 근거로 계산하여 Table 3에 정리하였다. 이 도표에 간이정화시설의 입구와 모래침전조의 출구에 유입유출된 중금속량을

Table 3. The estimated mass of dissolved pollutants in input of Retention Pond and output of Sand Filter for one year comparison with the net mass of particulated pollutants associated with suspended matter.

	Annual dissolved mass in input of RP (g/year)	Annual dissolved mass in output of SF (g/year)	Annual deposition of particulated heavy metals (g)
Pb	40.6	31.6	328
Zn	2536.0	2322.0	766
Cd	41.2	20.9	2.2

RP : retention pond ; SF : sand filter

비교하였으며 참고로 부유퇴적물과 수반되어 유입된 각각의 중금속함량과도 비교하였다.

이 결과를 보면, 간이정화시설에 용해된 상태로 유입된 각각의 금속원소 중에서 카드뮴이 간이정화시설의 부유물질에 의해 가장 잘 제거된 반면에 아연은 제거되는 비율이 다른 두 원소에 비해 매우 낮다. A-71고속도로변에 간이정화시설에서 회수된 부유퇴적물에 존재하는 미량원소의 지화학적 거동 및 중금속오염에 관한 연구결과에 의하면 퇴적물중의 아연은 망간과 지화학적으로 매우 친화력이 높은 것으로 나타났으며<sup>1)</sup> 이 결과로 볼때 지표수중의 아연은 콜로이드 형태로 존재하는 망간<sup>46)</sup>에 의해 흡착되어 지표수에 의해 하천으로 유출되는 것으로 사료된다.

한편, 간이정화시설에 용해된 상태로 유입된 중금속량을 입자형태로 유입된 양과 비교하면 납의 대부분은 입자형태로 유입되는 반면에 아연과 카드뮴은 용해된 상태로 유입되고 있는 것으로 나타났고, 특히 카드뮴은 입자상태로 유입되는 양보다 용해된상태로 유입되는 양이 약 20배정도 많은 것으로 나타났다. 이 결과는 빗물에 의해 입자형태 혹은 용해된 상태로 이동되는 오염물질을 mass balance를 이용하여 정량화한 Hewitt & Rashed (1992)<sup>15)</sup>의 연구결과와 유사하다. 이들의 연구결과에 의하면 납의 90% 이상이 입자상태로 이동되는 반면에 카드뮴은 48%가 용해된 상태로 이동된다고 하였다.

즉, 고속도로주변 토양과 간이정화시설의 부유퇴적물의 오염은 각 금속원소의 오염원, 오염물질의 지화학적 존재상태 및 오염물질을 이동시키는 이동경로와 매개체에 의해서 영향을 받는 것으로 사료된다.

### 3.3.2 입자상태

부유퇴적물과 함께 입자의 형태로 간이정화시설에 유입되는 중금속의 함량은 연구기간 동안에 회수된 부유퇴적물의 량을 간이정화시설의

표면적으로 곱한뒤 부유퇴적물에 입자의 형태로 함유된 중금속함량 (납 : 55ppm, 아연 : 141ppm, 카드뮴 : 0.39ppm)<sup>1)</sup>을 기초로 해서 계산을 하였다.

간이정화시설의 면적과 회수된 퇴적물의 양을 근거로 계산된 퇴적물의 총량은 12.94톤으로 하루 15.7kg의 퇴적물이 간이정화시설에 유입된 것으로 추정되었다<sup>1)</sup>. 또한 부유퇴적물과 수반되어 간이정화시설에 유입된 Pb, Zn, Cd의 연간 및 일일 유입량을 계산하여 Table 4에 정리하였다. 간이정화시설에 유입된 Pb, Zn, Cd의 하루 추정 유입량은 각각 0.9g, 2.1g과 6mg이다. 그러나 부유퇴적물과 도로변 오염된 토양의 중금속함량 차이가 크다는 것은 도로변의 오염된 토양이 부유퇴적물에 미치는 영향이 적다는 것을 의미하고 오히려 Sologne soil에 의해 많은 영향을 받은 것으로 사료된다. 따라서 추정된 금속유입량은 Sologne soil의 영향을 고려치 않았기 때문에 간이정화시설에 유입될 수 있는 최대값으로 사료된다.

**Table 4.** Estimated annual and daily maximum mass of metals associated with settling particles in the retention pond (October 1993 to December 1995).

	Pb (g)	Zn (g)	Cd (g)	Mn (g)	Fe (g)
annual	319	772	2.36	2932	90029
daily	0.87	2.11	0.006	8.0	246

## 3.4 Pb, Zn의 tentative mass balance

### 3.4.1 납

자동차 배기가스에 함유된 납이 A-71 고속도로에 축적되는 양은 자동차 통행량, 평균 휘발류 소모량, 휘발류의 납함유량을 근거로 계산할 수 있다. 프랑스에서 휘발류의 납의 최대함유량은 유연휘발류가 0.15g/l이고 무연휘발류가 0.013g/l으로 tetraethyl-lead와 tetramethyl-

lead의 형태로 혼합된다. 프랑스 석유연구소 (Institute Francaise du Petrole) 자료에 의하면 1994년과 1995년도 유연휘발류의 사용량은 전체 휘발류사용량의 약 54%를 차지한다고 하였다. 같은 기간동안 A-71 고속도로의 자동차 통행량은 연간 3,482,100대로 이중 휘발류를 사용하는 자동차는 2,956,300대였다 (Societe Cofiroute 제공). 자동차의 휘발류 평균소비량은 9L/100km로 가정하였다. 한편, 배기가스로 배출되는 납중 고속도로변에 축적되는 납은 10%로 추종하였으며 나머지 90%의 납은 대기 중에 확산된다고 가정하였다<sup>17)</sup>.

위의 계산결과 자동차 배기가스에 배출되어 A-71 고속도로상에서 축적되는 일일 총 Pb량은 약 6.1g/km/일이다. 실측과 지형도를 이용하여 측정된 각 간이정화시설간의 간격은 약 3km이므로 하루에 간이정화시설에 유입될 수 있는 납의 추정량은 18.3g이다. 부유퇴적물과 유입되는 일일 납유입량은 0.9g/일 (Table 4)이므로 추정된 일일유입량 18.3g의 약 5%만이 실제로 유입되고 있어 간이정화시설의 효과는 매우 미미하다. 두값의 차이가 큰 것은 빗물에 의해 씻겨진 오염물질이 배수로를 통해 극히 일부분이 이동, 유입되고 있다는 것을 지시한다.

#### 3.4.2 아 연

자동차타이어 고무에 함유된 평균 금속아연함량은 약 0.8%이며 타이어소모량은 타이어의 종류에 따라 차이가 있지만 일반적으로 승용차의 경우 40,000km 주행당 소모되는 타이어는 약 650g이고 화물트럭의 경우 150,000km 주행당 약 5,250g이 소모된다 (Michelin 제공). 즉 승용차는 km당 0.016g의 타이어가 소모되고 화물트럭은 0.035g이 소모된다.

그러므로, 자동차 통행량, 타이어소모량, 타이어의 아연함량을 기초로 해서 계산된 A-71 고속도로의 아연 오염량은 하루 6.6g/km이며, 간이

정화시설에 유입될 수 있는 금속아연함량은 하루에 약 19.8g이다. 그러나, 아연오염원은 자동차타이어이외에도 Zn 도금된 안전시설물도 주요 오염원이나 정량화하기 어려워 제외하였으므로 추정된 Zn금속량 (19.8g/일)은 최소 추정량이다. 추정된 Zn금속량을 간이정화시설에 퇴적물과 함께 유입된 Zn함량 (Table 4)과 비교하면 연구대상 간이정화시설의 효율은 약 11%이다.

#### 4. 요약 및 결론

프랑스 A-71 고속도로변 오를레앙 (Orleans) 20km 남쪽 "Les Ardilleres" 지역에 위치한 간이정화시설에 유입된 부유퇴적물과 고속도로변 오염된 토양의 오염상태를 Sologne soil과 비교하여 연구하고 간이정화시설의 효과를 mass balance 측면에서 검토하였다.

Pb는 입자상태로 운반되는데 반면에 Zn는 용해된 상태로 하천에 유입되고 있다. 지표수에 이온화된 상태로 간이정화시설에 유입되는 Pb와 Zn의 양은 각각 약 연간 40g, 2500g이며, 부유퇴적물과 운반되는데 Pb와 Zn의 양은 각각 약 연간 328g, 766g이다.

고속도로변 오염된 토양과 부유퇴적물의 중금속함량 차이가 매우 현격하여 index of geoaccumulation와 enrichment factor를 이용하여 중금속오염을 평가하였다. 부유퇴적물의 경우, Pb, Zn의 Igeo 값은 일반적으로 1이하로 비교적 오염되지 않았는 것으로 보이나 Cd는 moderate to strong pollution으로 분류되었다. 도로변 토양은 Pb, Zn, Cd가 모두 class 6 (very strongly polluted)로 분류되었다. Enrichment factor (EF)를 계산한 결과 도로변 토양의 오염은 매우 심각한 반면에 부유퇴적물은 Cd오염만이 확인되었다.

A-71 고속도로에서 자동차 통행에 의해 오염될 수 있는 Pb, Zn의 추정량을 계산한 결과 Pb

는 6.1g/km/day, Zn는 6.6g/km/day이고 입자상 태로 간이정화시설에 유입된 Pb, Zn, Cd 금속량은 각각 0.9g/일, 2.1g/일, 6mg/일 이었다. 부유퇴적물에 의해 간이정화시설에 유입된 Pb, Zn 금속량과 비교한 결과 자동차 통행에 의해 오염될 수 있는 Pb, Zn의 추정량의 5%~11%만이 간이정화시설로 회수되고 있는 실정으로 간이정화시설의 효과가 크게 떨어지고 있다.

간이정화시설의 효과를 높이기 위하여 고속도로 갓길에 빗물을 모으기 위한 구조물과 배수로를 시멘트로 설치할 필요가 있다. 또는 고속도로 변의 오염된 토양에는 석회석을 살포하여 완충 효과 (buffer effects)를 높여 산성비에 의해 야기될 수 있는 용해작용으로 인한 중금속오염을 감소시킬 수 있다.

### 참고문헌

1. 이평구 "프랑스 A-71고속도로변 토양과 부유퇴적물의 중금속 거동 및 오염연구", 한국토양환경학회, Vol.2, No.1, pp.23~36 (1997).
2. Ellis J.B. and Revitt D.M. "Incidence of Heavy Metals in Street Surface Sediments : Solubility and Grain Size Studies", *Water, Air, and Soil Pollution*, 17, pp.87~100 (1982).
3. Harrison R.M., Laxen D.P. and Wilson S.J. "Chemical Associations of Lead, Cadmium, Copper, and Zinc in Street Dusts and Roadside soil", *Environ. Sci. Technol.*, 15, pp. 1378~1383 (1981).
4. Harrison R.M. and Wilson S.J. "The Chemical Composition of Highway Drainage water: II. Chemical Associations of Metals in the Suspended Sediment", *Sci. Total Environ.*, 43 pp.79~87 (1985).
5. Salomons W. and Forstner, U. "Metals in Hydrocycle", Springer, Berlin Heidelberg, New York, (1984).
6. Harrison R.M. and Wilson S.J. "The Chemical Composition of Highway Drainage water: I. Major Ions and Selected Trace Metals", *Sci. Total Environ.*, 43, pp.63~77 (1985).
7. Müller G. "Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins-Veränderungen seit 1971", *Umschau*, 79, pp.778~783 (1979).
8. Kindler F.-M. and Sevin H.E. "Heavy metals in sediment of Turkish river systems. Natural background and anthropogenic effects". In Broekaert J.A.C. et al., eds., *Metal Speciation in the Environment*, Springer-Verlag, pp.601~611 (1990).
9. Kemp A.L.W., Thomas R.L., Dell C.I. and Jaquet J.-M. "Cultural Impact on the Geochemistry of sediment in Lake Erie", *J. Fish. Res. Board Can.*, 33, pp.440~462 (1976).
10. Helz G.R. "Trace element inventory for the northern Chesapeake Bay with emphasis on the influence of man", *Geochim. Cosmochim. Acta*, 41, pp.527~538 (1976).
11. Rule J.H. "Assessment of Trace Element Geochemistry of Hampton Roads Harbor and Lower Chesapeake Bay Area sediment", *Environ. Geol. Water Sci.*, 8, pp.209~219 (1986).
12. Sommer S.E. and Pyzik A.J. "Geochemistry of middle Chesapeake Bay sediment from Upper Cretaceous to Present", *Chesapeake Sci.*, 15, pp.839~844 (1974).
13. Trefry J.H. and Presley B.J. "Heavy metals in sediment from San Antonio Bay and the northwest Gulf of Mexico", *Environ. Geol.*, 1, pp.282~294 (1976).



14. Harrison R.M. and Johnston W.R. "Deposition Fluxes of Lead, Cadmium, Copper and Polynuclear Aromatic Hydrocarbons (PAH) on the verges of Major Highway", *Sci. Total Environ.*, 46, pp.121~135 (1985).
15. Hewitt C.N. and Rashed M.B. "Removal Rates of Selected Pollutants in the Runoff water from a Major Rural Highway", *Wat. Res.*, 26, pp.311~319 (1992).
16. Buffle J. "Nature and behaviour of colloids in surface waters", *EUG Strasbourg, France Abstract* pp.247 (1995).
17. Hewitt C.N. and Rashed M.B. "An Integrated Budget for Selected Pollutants for a Major Rural Highway", *Sci. Total Environ.*, 93, pp.375~384 (1990).