환경영향평가 제9권 제2호 : 143~153

만경강 · 동진강 유역의 토양, 현미, 저질토중의 중금속 함량 및 분포

권용훈 · 성금수 · 황갑수* · 장재철
군산대학교 화학과, 군산대학교 환경공학과*

Heavy Metal Contamination in Soil, Rice, and Sediment from ManKyeong and DongJin River Area

Kwon, Young-Hun · Sung, Kum-Soo · Hwang, Gab-Soo* · Chang, Che-Chul
Department of Chemistry, Kunsan National University
Department of Environmental Engineering, Kunsan National University*

Abstract

This study was performed to investigate the heavy metal contents and distribution in soil, sediment, and rice from the downstream area of ManKyeong and DongJin River. Of the sites on Mankyeong river area, site M-1(Mokchon bridge) showed the highest average contents of Cd, Cr and Pb in paddy soil. In DongJin river area, site D-3(Munpo) and D-4(Gerjeonri) showed relatively high level of average contents of Cr, Pb and Zn in paddy soil. The average contents of heavy metals in brown rice from ManKyeong river area were 0.10mg/kg for Cd, 0.99mg/kg for Cr, 2.07mg/kg for Pb, 4.44mg/kg for Cu and 32.03mg/kg for Zn while those in brown rice from DongJin river area were 0.14mg/kg for Cd, 0.74mg/kg for Cr, 1.78mg/kg for Pb, 4.57mg/kg for Cu and 33.60mg/kg for Zn. Zn showed the highest transportation-rate from paddy soil to brown rice while Pb showed the lowest. From the results of heavy metal analysis in sediments, the average contents of Cd, Cr, Pb and Cu were generally high in site M-5(Euonri) and D-4(Gerjeonri), the most downstream sites in Mankyeong river and DongJin river, respectively.

Keyword: soil, sediment, rice, ManKyeong and DongJin rivers, heavy metal

I. 서 론

급속한 도시화와 산업화 속에서 대량의 오폐수의 유입으로 인해 하천과 해양오염이 갈수록 심화되고 있으며 산업폐수에 함유되어 배출되는 중금속은 미량으로도 인체에 심각한 독성을 야기할 수 있다는 점에서 많은 관심의 대상이 되고 있다. 수계에 유입된 중금속은 물리, 화학적인 변화 과정에 의해 현탁물에 흡착, 침전되어 하상 퇴적물 중에 축적되거나 생물학적 과정을 통해

생물에 흡수되어 먹이연쇄를 통한 생물학적 농축에 의해, 또한 관개에 의한 토양오염 등에 의해 수권생물 및 주변농작물에 피해를 주며 나아가 이들을 섭취한 인간에 치명적인 독성을 야기할 수 있다[1~4].

일반적으로 수계 오염도의 측정, 평가는 크게 관심지역의 환경수, 저질 및 주변토양, 그리고 서식 생물 등을 대상으로 이루어질 수 있는데[5~8] 현장의 정확한 오염정보를 얻기 위한 다각적인 활용노력이 지속적으로 요구되고 있다. 하상 퇴적물은 진흙, 미사, 모래, 유기물질, 광물질등의 혼합물로서 수많은 화학적, 물리적, 생물학적 반응들을 통하여 수중 밑바닥에 침전형성 되어짐으로서 현장의 오염상황에 대한 다양한 정보를 제공해 줄뿐 아니라 유기물과 무기물을 공급하는 장기적 source로서 수중환경의 물리화학적 조건에 따라 용출등에 의한 수계의 오염에 기여하게 된다. 따라서 하상퇴적물은 그 자체가 하나의 오염원인 동시에 중·장기적인 오염의 양상이 물, 생물체보다 더 오랜 시간을 대표하는 퇴적물의 기록에 의해 파악될 수 있으므로 중요한 의미를 갖게된다[9]. 농경지를 포함한 수계의 주변 토양은 지속적인 관개등을 통한 주변 수계의 오염을 반영하게 되고 해당지역의 농작물 역시 인근의 수계오염 및 토양오염을 반영하여 오염물질의 환경내 거동에 대한 구체적 정보를 제공함과 동시에 인간이 섭취하는 식품으로서 보건상의 중요한 의미를 갖게되며 특히 중금속오염과 관련되어 활발한 연구들이 진행되어 왔다.

본 연구에서는 현재 새만금 사업시행으로 인한 환경문제들과 관련되어 관심이 집중되고 있는 만경강, 동진강 유역에서 기수역에 이르는 지역내 저질토, 토양, 현미에 대한 중금속 오염 실태를 폭넓게 조사 분석함으로서 오염 저감대책 수립 및 장차 새만금 사업 수행후의 환경변화 및 영향평가를 위한 유용한 자료로서 제공하고자 한다. 그간 국내외에서 저질, 생물체들을 대상으로 중금속 오염에 대한 많은 연구들이 진행되어 왔으나 상대적으로 이들 지역에 관한 연구보고는 미미한 실정이다.

II. 재료 및 방법

1. 시료채취 및 조제

1) 논토양 및 현미

논토양과 현미는 1997년 9월중 수확직전에 조사지점 유역에서 동일지점의 시료를 채취하여 논토양은 토양공정시험법[10]에 따라 분석시료를 조제하였고 현미는 60℃에서 건조후 분석시료로 사용하였다.

2) 저질토

저질토는 매분기별(1997년 9월, 1997년 11월, 1998년 3월, 1998년 6월)에 채취하였다. 시료채취는 강우가 없고 간조시 조간대에서 직경 20.5cm의 Polyethylene Core Sampler를 각 지점의 저토에 수직으로 박은 후 그 속의 흙을 채취하였으며 유속이 완만하고 퇴적층이 잘 형성된 곳을 선정하여 수심이 가장 깊은 수면의 지점과 그 지점을 중심으로 좌우 수면쪽을 지점으로 하여 지그재그로 여러 곳에서 각 지점당 표층(0-15cm), 심층(15-30cm)에서 각각 약 200g 정도를 채취 혼합하여 polyethylene bag에 넣어 실험실로 운반한 후 통풍이 잘되는 그늘에서 균일한 두께로 헤쳐 놓고 자연 건조 시키면서 수분이 어느 정도 제거되면 시료를 잘게 부수어 줌으로써 단단하게 굳는 것을 방지하였으며 이물질 및 돌을 제거한 다음 다시 한번 건조시켜 표준체(140mesh)로 통과시켜 105℃에서 5시간 건조시킨 후 Desicator에 넣고 방냉한 후 분석 시료로 하였다.

2. 중금속 측정

1) 현미중의 중금속 정량

분석시료 2g을 취하여 파이렉스 비커에 넣고, Hood안의 Hot plate위에서 Conc-HNO_3 5ml를 가하여 건조시킨 후 Conc-HNO_3 3ml, Conc-$HClO_4$ 4ml, Conc-HCl 3ml를 순서대로 첨가하여 가열 분해시켜 시료가 백색으로 되어 내용물이 시럽상태로 될 때까지 가열 농축하였다. 탈 이온 증류수를 이용하여 20ml로 정용하고 Whatman No. 6 filter로 여과시킨 후 측정에 사용하였다.

2) 토양 및 저질토 내의 중금속 정량

토양 및 저질토는 0.1N HCl을 일정량 가하고 진탕기 안에서 24시간 정도 용출시킨 후 Whatman No. 6 filter로 여과하여 분석시료로 사용하였다.

3) 사용 기기

원자 흡광 분광 광도계(Model: Varian Spectr AA 30: Grephite furnace GTA-96), 유도 플라스마 분광계(Accuris 123 in ARL, SWISS)을 이용 분석하였다.[8-13]

3. 결과 및 고찰

1) 논토양중의 중금속 함량

하천 유역의 논토양은 관개에 의한 농업생산활동과 연계되어 주변 하천의 오염상황을 반영해 줄 수 있는 좋은 시료가 되며 아울러 토양오염물질들이 농작물에 흡수, 축적되어 야기될 수 있는 인체에 대한 유해성문제의 측면에서 중요한 연구대상이 된다.

만경강과 동진강 물을 관개수로 하는 측정지점

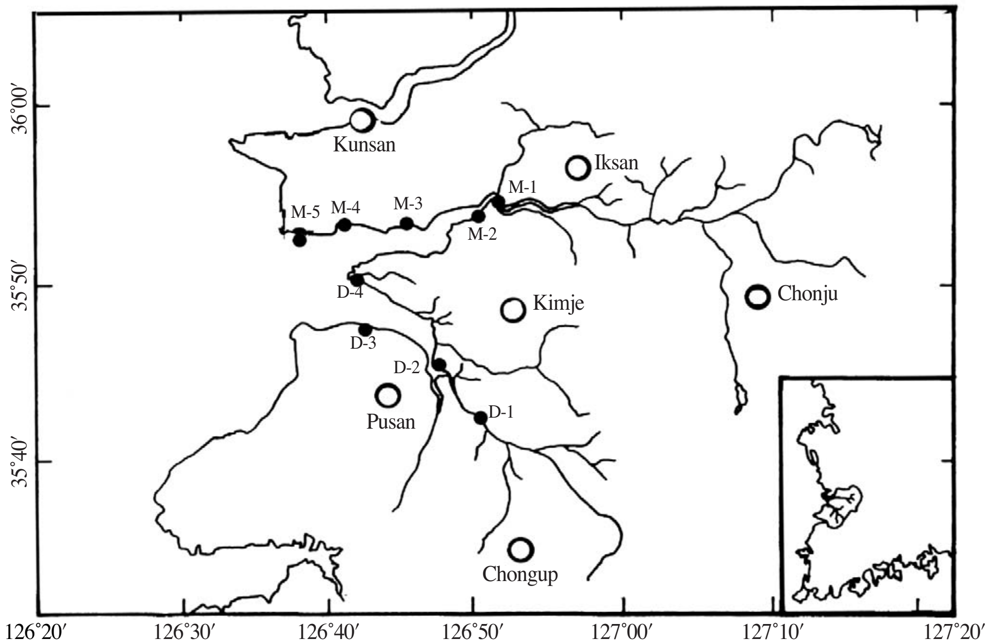

Fig. 1. Sampling sites in Mankyeong and DongJin river area.
M1: Mokchon bridge, M2: Walpo, M3: Gyungchangri, M4: Wolhasan,
M5: Euonri, D1:Okjeongri, D2: DongJin bridge, D3: Munpo, D4: Gerjeonri

에서의 기수역에 인접한 논토양중의 중금속 함량에 대한 측정결과는 Fig. 2, Fig. 3과 같다. 만경강에 있어서는 Cd, Cr, Pb 등의 유해 중금속 함량이 M-1지점의 논토양에서 가장 높은 것으로 나타나 목천포 지역이 익산, 전주 공단 및 도시하수의 영향을 크게 받고 있음을 알 수 있었다. Cd, Cr, Pb 등의 평균함량이 M-1지점의 논토양에 비해 M-2지점의 논토양에서는 낮아졌으나 M-3, M-4, M-5지점의 논토양에서는 M-2지점의 논토양에 비해 대체로 증가하는 경향을 나타내어 유입되는 인근 소지류 및 관개용수의 중금속오염이 상대적으로 큰 것으로 판단 된다. 만경강 논토양에 있어 지점별에 따른 각 중금속 함량변화는 Cu와 M-5지점의 Pb의 경우를 제외하고는 조사지점에 따른 유사한 분포 pattern을 보여주고 있다(Fig. 2). 본 조사결과에서 만경강 논토양의 Cd 함량 및 Zn 함량은 김 등[13]에 의해 조사된 1990년도 만경강 유역의 토양중 평균 Cd함량 0.68ppm(표토), 0.73ppm(심토), Zn함량 86.37ppm(표토), 80.41ppm(심토)등과 비교시 Cd는 1.0~1.9배정도의 높은

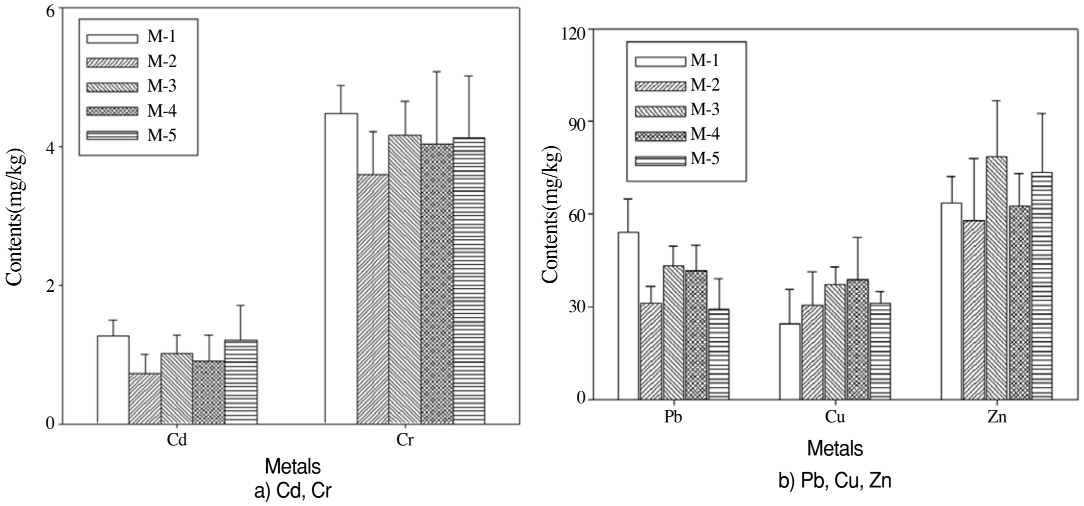

Fig. 2. Heavy metal contents in paddy soils from ManKyeong river area.

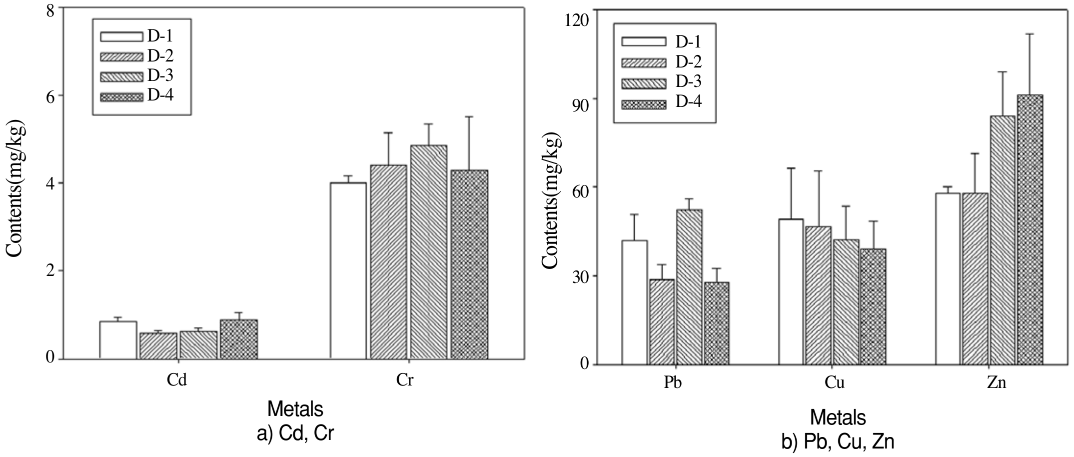

Fig. 3. Heavy metal contents in paddy soils from DongJin river area.

수준이었으며 Zn은 지점에 따라 약간 낮은 수준으로 나타났다. 또한 이 등[8]이 보고한 군산·장항 인근 공단지역의 논토양중 Cd함량 0.28~0.88ppm(평균 0.50ppm), Pb함량 20.56~50.50ppm(평균 34.33ppm), Cu함량 19.43~60.56ppm(평균 35.49ppm), Zn함량 51.52~91.75ppm(평균 71.67 ppm)등과 비교할 때 Cd는 1.5~2.5배, Pb는 0.9~1.6배정도의 수준이었고 Cu와 Zn은 거의 동일한 수준이었다.

동진강 논토양에 있어서는 Cd가 D-1, D-4지점, Cr과 Pb가 D-3지점, Cu가 D-1, D-2지점, Zn이 D-3, D-4지점에서 각각 높은 함량을 나타내어 지점별에 따른 오염양상의 차이를 나타낸바 유입되는 인근 소지류별에 대한 오염현황 및 오염원의 파악이 뒤따라야 할 것이다. 동진강 하류의 D-3지점과 D-4지점의 논토양에서 Cr, Pb, Zn의 함량이 높은 것에 대해서는 주변 김제시 폐기물 하치장의 영향도 있을 것으로 사료된다.

하천별 논토양중의 중금속함량 비교에 있어서 Cd는 만경강, Cu는 동진강의 경우가 높은 수준을 나타내었으며 Cr, Pb, Zn의 지점별 차이는 있었으나 전체적으로 거의 비슷한 수준이었다. 특히 Cu의 경우 동진강 논토양의 평균함량이 만경강 논토양의 평균함량에 비해 1.5~2배정도의 높은 수준으로 환경부에서 제시한 토양오염 우려기준인 50mg/kg에 근접하는 수준인 바 이에 대한 명확한 규명이 있어야 할 것이다.

만경강, 동진강 기수역 주변 논토양중의 중금속 함량 분포는 서 등[14]에 의해 제시되었던 우리 나라 논토양중의 중금속 자연함유량인 Cd 0.14mg/kg, Pb 17.3mg/kg, Cu 15.7mg/kg, Zn 40.4mg/kg보다 Cd는 4~10배, Pb는 1.5~3배, Cu는 1.6~3.2배, Zn은 1.5~2배정도의 높은 수준이었고 만경강 M-1지점과 M-5지점의 논토양에 있어 Cd 평균함량은 각각 1.46±0.45mg/kg, 1.33±0.95mg/kg로 토양오염우려기준인 1.5mg/kg에 근접하는 수준이었다. 또한 본 조사결과를 97년도 토지용도별 오염도

Table. 1. Heavy metal contamination in paddy soil (1997, 523sites)

unit:ppm

	Cd	Cu	As	Hg	Pb	Cr+6
min.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
max.	1.910	49.150	28.870	1.145	137.100	0.339
mean	0.150	5.130	0.618	0.060	7.027	0.019

Source : Environmental yearbook, 1998

(Table 1)[15]와 비교해 보면 전국 평균치에 비해 Cd는 4~10배, Pb는 4~8배, Cu는 5~10배정도의 높은 수준인 것으로 조사되었다.

2) 현미중의 중금속함량

토양오염은 인체에 직접적인 위해를 끼치는 것은 아니지만 농작물에 의한 오염 유해물질의 흡수, 축적으로 인해 인간의 건강에 위해 문제가 간접적으로 초래될 수 있다. 본 연구에서 수계오염의 영향을 파악하기 위해 가을 수확시의 현미에 대해 중금속분석을 수행한 결과 만경강 인근유역 현미중 중금속별 평균함량은 Cd 0.10±0.03mg/kg, Cr 0.99±0.22mg/kg, Pb 2.07±0.36mg/kg, Cu 4.44±0.90mg/kg, Zn 32.03±3.19mg/kg이었고 동진강 인근 유역 현미중 중금속별 평균함량은 Cd 0.14±0.07mg/kg, Cr 0.74±0.24mg/kg, Pb 1.78±0.32mg/kg, Cu 4.57±1.94mg/kg, Zn 33.6±4.96mg/kg으로 측정되었다(Fig. 4). 이러한 결과는 김 등[13]이 만경강 유역의 수도체중 Cd 및 Zn함량에 관한 조사에서 보고한 현미중 Cd함량 0.10~0.90ppm(평균 0.139ppm), Zn함량 4.2~95.9ppm(평균 26.072ppm)과 비교할 때 Cd는 거의 동일한 수준이었고 Zn은 본 연구결과에서 약간 높게 나타났으나 거의 비슷한 수준이었다. 또한 이 등[8]이 보고한 군산·장항 인근 공단지역의 논토양에서 생산된 현미중 Cd함량 0.01~0.25ppm(평균 0.07ppm), Pb함량 0.65~2.65ppm(평균 1.74ppm), Cu함량 1.38~7.93ppm(평균 3.54ppm), Zn함량 11.73~21.43ppm(평균 16.53ppm)등과 비교할 때 Cd는 1.4배, Pb는 1.2배, Cu는1.3배, Zn은 2배 정도

의 높은 수준으로 나타나 전체적으로 상기 논토양중 중금속함량의 비교결과를 반영하는 경향을 나타내었다. 한편 김 등[16]이 국내 각지에서 채집한 쌀중의 중금속 평균 함량치인 Cd 0.015ppm, Pb 0.13ppm, Cu 0.45ppm, Zn 5.00ppm등과 비교할 때 본 연구의 조사결과는 Cd 약 7배 이상, Pb 약 14배 이상, Cu 약 10배 이상, Zn 약 6배 이상에 달하는 높은 수치로 만경강, 동진강 유역에서 관개용수에 의한 오염영향이 매우 큼을 확인시켜 주었다. 만경강과 동진강유역간의 현미중 중금속 함량을 비교해 보면 만경강 유역에서 재배되는 현미중의 Cr과 Pb 함량이 상대적으로 높은 경향을 나타내었으나 유의성은 없었다.

현미중 중금속 함량과 상기 논토양중의 중금속 함량 결과에서 토양으로부터 현미로의 중금속 이행 함량비(현미중 평균농도/논토양 평균농도)는 Zn이 만경강 0.476, 동진강 0.461로 가장 크게 나타났으며, 다음이 Cr, Cd, Cu순이었고 Pb가 만경강 0.052, 동진강 0.047로 가장 작게 나타났다 (Fig. 5). 만경강 동진강 사이의 이행 농도비 차이는 Cd에 있어 동진강이 만경강이 2배정도 나타났으며 나머지 중금속들에 있어서는 큰 차이

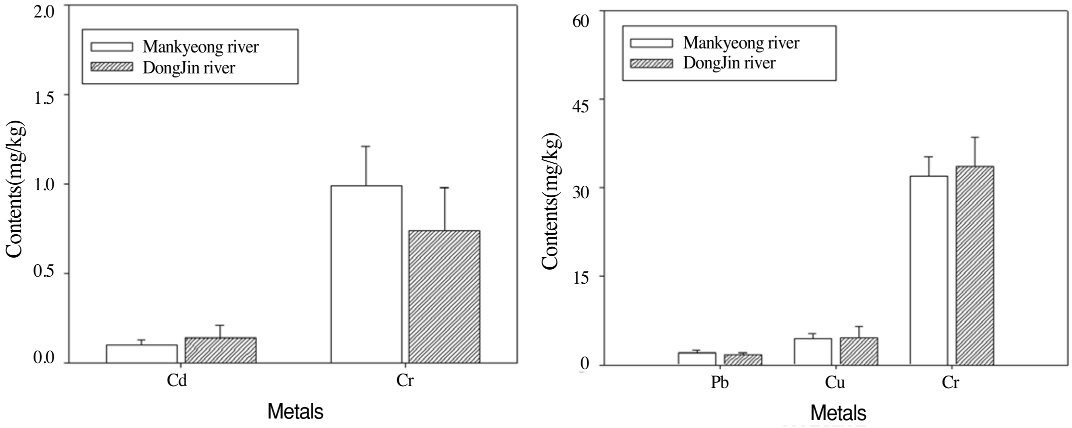

Fig. 4. Heavy metal contents in brown rice from ManKyeng and DongJin river area.

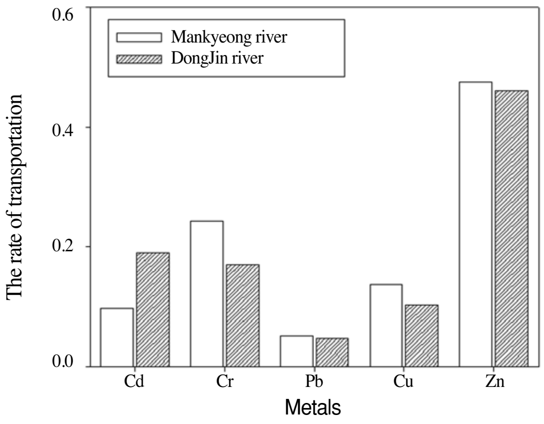

Fig. 5. Transportation rate of heavy metals from paddy soil to brow rice.
The rate of transportation represents the average content of heavy metal in brown rice/the average content of heavy metal in brown rice.

없이 만경강에 있어 전체적으로 높은 경향을 나타내었다.

3) 저질토의 중금속

육상으로부터 하천으로 유입되는 많은 오염물질들은 퇴적물로 침적되기 때문에 하천의 오염양상을 총체적으로 파악하기 위해서는 하상 퇴적물에 대한 연구가 필연적인바 국내외에서 오래전부터 이와 관련된 연구가 활발히 진행되어 왔다. 본 연구에서는 만경강, 동진강 하류 기수역의 오염현황 및 특성을 파악하기 위해 지점별 표층(1~15cm) 및 심층(15~30cm) 저질토시료를 계절별로 채취하여 중금속 분석을 수행하였으며 그 결과는 Table. 2~5와 같다. 만경강 저질토시료들에서 Cd함량은 표층의 경우 M-2지점에서 높은 경향을 나타내었으나 지점별에 따른 큰 차이는 없었고 심층의 경우는 M-4와 M-5지점에서 비교적 높은 함량수준을 나타내어 해당지점들에 있어 이

Table 2. Heavy metals contents in sediments from ManKyeong river(Surface).

(unit : mg/kg)

Heavy metal \ Site		M-1	M-2	M-3	M-4	M-5
Cd	Mean±S.D	0.94±0.21	1.35±0.34	1.16±0.38	0.89±0.18	1.10±0.23
Cr	Mean±S.D	5.10±1.54	5.70±1.21	4.72±1.53	4.96±0.72	5.98±1.38
Pb	Mean±S.D	33.43±3.15	45.79±10.32	47.26±7.23	41.48±9.06	52.35±13.27
Zn	Mean±S.D	29.16±15.49	38.25±17.25	41.67±14.3	44.86±12.34	42.28±12.78
Cu	Mean±S.D	73.05±11.25	83.27±25.84	86.06±18.64	62.31±16.60	80.18±11.96

Table 3. Heavy metal contents in sediments from ManKyeong river(Subsurface).

(unit : mg/kg)

Heavy metal \ Site		M-1	M-2	M-3	M-4	M-5
Cd	Mean±S.D	0.91±0.27	1.24±0.29	1.18±0.36	1.32±0.28	1.35±0.33
Cr	Mean±S.D	5.24±1.63	5.61±1.58	5.21±1.30	5.34±0.73	6.56±1.34
Pb	Mean±S.D	34.16±6.42	38.26±13.06	39.23±9.68	46.24±16.12	41.27±5.80
Cu	Mean±S.D	37.25±14.19	43.66±16.49	45.98±14.94	42.75±8.47	55.29±27.83
Zn	Mean±S.D	71.36±20.10	108.17±25.47	69.13±11.52	86.49±31.32	92.53±19.12

Table 4. Heavy metal contents in sediments from DongJin river(Surface).

(unit : mg/kg)

Heavy metal \ Site		D-1	D-2	D-3	D-4
Cd	Mean±S.D	1.36±0.31	1.25±0.12	1.02±0.23	1.08±0.39
Cr	Mean±S.D	4.48±1.69	5.13±0.79	4.57±0.92	4.88±1.35
Pb	Mean±S.D	34.35±9.06	42.37±10.30	32.27±9.74	32.78±13.52
Cu	Mean±S.D	31.96±11.68	24.54±3.21	48.50±14.42	52.20±10.51
Zn	Mean±S.D	49.14±14.46	45.37±8.32	78.12±12.39	75.15±14.31

Table 5. Heavy metal contents in sediments from DongJin river(Subsurface).

(unit : mg/kg)

Heavy metal \ Site		D-1	D-2	D-3	D-4
Cd	Mean±S.D	1.31±0.20	1.22±0.51	1.07±0.26	1.53±0.34
Cr	Mean±S.D	6.08±1.52	3.78±1.58	3.71±0.23	6.73±0.85
Pb	Mean±S.D	42.95±11.30	34.98±10.76	34.71±7.18	43.41±6.24
Cu	Mean±S.D	27.92±4.23	29.15±4.98	46.14±16.50	44.05±6.41
Zn	Mean±S.D	70.87±20.24	69.68±17.38	69.60±27.54	74.22±26.61

전의 Cd유입이 많았던 것으로 생각되었다. 동진강 저질토시료들에 있어 Cd함량은 표층의 경우 D-1, D-4지점, 심층의 경우 D-4, D-1지점의 순으로 높은 평균치를 나타내었다. 만경강의 경우 소 등[17]은 만경강유역 수질 및 저질토의 중금속 함량에 관한 조사연구에서 본 연구 조사지역내의 지점인 동계리의 저질토중 Cd평균함량이 0.89ppm인 것으로 보고한바 있어 본 연구결과에서는 전반적으로 그 보다 약간 높은 수준으로 나타났다. 또한 문 등[18]은 목천, 만경, 청하지점들의 저질토중 Cd평균함량이 각각 1.01ppm, 0.71ppm, 0.50ppm인 것으로 보고한바 있어 이에 비해 역시 본 연구결과에서 높은 수준으로 조사되었다.

만경강 시료들중의 Cr함량은 표층, 심층 모두 M-5지점에서 가장 높은 평균치를 나타내었으나 지점별 큰 차이는 없었고 표층과 심층간의 큰 차이도 없었다. 동진강 저질토시료들에 있어서는 표층의 경우 모든 지점들에서 Cr함량이 거의 동일한 수준이었으나 심층의 경우에는 D-1, D-4지점들에서 상대적으로 높은 함량수준을 나타내었다. 만경강의 경우 문 등[18]은 본 연구 조사 지역내에 해당되는 만경, 청하지점들의 저질토중 Cr평균함량이 각각 25.81ppm, 6.05ppm인 것으로 보고한바 있어 이에 비해 본 연구 결과치는 특히 만경지점에 비해 매우 낮은 수준으로 조사되었다.

만경강 저질토시료들에서 Pb함량은 표층, 심층 모두에서 M-1지점의 함량이 낮았고 표층의 경우 M-5지점에서 약간 높은 수준이었으나 전반적으로 유의할만한 차이는 보여지지 않았다. 표층의 Pb함량이 심층에 비해 M-4지점을 제외하고 전반적으로 높은 수준을 나타내었다. 동진강 저질토시료들에 있어서는 표층의 경우 D-2지점이 약간 높은 수준이었고 심층의 경우 D-1, D-4지점들에서 상대적으로 높은 평균함량치를 나타내었다. 만경강의 경우 소 등[17]은 본 연구 조사지역내의 지점인 동계리의 저질토중 Pb평균함량이 28.29 ppm인 것으로 보고한바 있어 본 연구결과는 그보다 1.5배 정도의 높은 수준으로 나타났다.

한편, 문 등[18]은 1994년에 목천, 만경, 청하지점들의 저질토중 Pb 평균함량이 각각 80.40ppm, 36.6ppm, 23.55ppm인 것으로 보고한 바 있다. 본 연구결과 같은 지역에서 33.43ppm, 47.26ppm, 52.35ppm으로 조사되어 문 등의 결과보다 목천의 경우에만 2배이상 낮았으며, 만경, 청하지역에서는 약간 높은 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 아마 시료채취 지역이 약간씩 다른 이유도 있을 수 있으나, 본 실험의 결과 대체로 상류보다 하류쪽이 높게 나타나는 것으로 보아 문 등의 결과가 너무 높게 나타난 것으로 생각된다.

만경강 저질토시료들에서 Cu함량은 표층의 경우 모든 지점들에서 거의 동일한 수준이었고 심층의 경우 M-1지점에서 가장 낮은 평균치를 나타내었으나 다른 지점들에서는 거의 동일한 수준이었고 심층의 경우 M-5지점에서 가장 높은 수치를 나타내었다. 동진강 저질토시료들에 있어서는 표층, 심층 모두 D-3, D-4지점에서 상대적으로 높은 평균함량수준을 나타내었다. 만경강의 경우 소 등[17]은 본 연구 조사지역내의 지점인 동계리의 저질토중 Cu평균함량이 46.09ppm인 것으로 보고한바 있어 본 연구결과는 그와 비슷한 수준으로 조사되었다. 그러나 문 등[18]은 목천, 만경, 청하지점들의 저질토중 Cu평균함량이 각각 53.92ppm, 19.03ppm, 12.64ppm인 것으로 보고한바 있어 목천을 제외한 지역에 비해 본 연구결과치가 높은 수준으로 나타났다.

만경강 저질토시료들에서 Zn함량은 표층의 경우 모든 지점들에서 거의 비슷한 수준이었으나 심층의 경우 M-2, M-5지점들에서 상대적으로 높은 수준을 나타내었다. 동진강 저질토시료들에서는 표층의 경우 D-3, D-4지점들에서 상대적으로 높은 평균함량치를 나타내었으나 심층의 경우 모든 지점들에서 거의 동일한 수준이었다. 만경강의 경우 소 등[17]은 본 연구 조사지역내의 지점인 동계리의 저질토중 Zn평균함량이 225.98ppm인 것

으로 보고한 바 있어 본 연구결과는 그보다 훨씬 낮은 수준으로 나타났다. 반면 문 등[18]은 목천, 만경, 청하지점들의 저질토중 Zn평균함량이 각각 630.3ppm, 27.9ppm, 32.2ppm인 것으로 보고한바 있어 지점별에 따라 본 연구결과치와는 큰 차이를 보여 주었다.

측정대상 중금속들 중에서 Cd, Cr, Pb, Cu는 만경강, 동진강 저질토시료들에서의 함량 수준이 거의 비슷하였으나 Zn은 만경강 저질토시료들에서 동진강의 경우에 비해 높은 수준을 나타내었다.

이상의 저질토 중금속분석결과로부터 만경강, 동진강 모두에서 가장 하류지점인 M-5지점과 D-4지점에서 Cd, Cr, Pb, Cu의 함량이 다른 지점들에 비해 높은 수준으로 나타나 앞으로 이들 지점에 대한 오염원 파악 및 대책수립에 많은 관심이 있어야 할 것이며 아울러 새만금 방조제 공사로 인한 지형 및 유속의 변화등에 기인되는 영향들에 대한 면밀한 검토가 있어야 할 것이다. 문 등[18]은 본 연구 조사지역내의 지점들에 있어 상류인 목천에 비해 하류지점들에서 저질토내 모든 측정 중금속의 평균함량이 감소하는 것으로 보고하였으나 본 연구결과는 그와는 달리 지점별 저질내 중금속 축적에 있어 소지류의 유입등 주변 환경의 영향이 더 반영되고 있음을 시사하고 있다. 논토양과 저질토내 중금속 함량과의 관계를 고찰하면 만경강의 경우 M-1지점의 논토양 중 Cd, Cr, Pb등의 유해중금속 함량이 측정지점들중 가장 높은 것으로 나타났으나 저질토의 경우에는 다른 지점들에 비해 높지 않고 특히 M-2지점에 비해 전반적으로 낮은 수준을 나타내었다. 이는 논토양의 경우 M-1지점으로 유입되는 폐수 및 도시하수의 영향이 직접적으로 반영되는데 비해 저질토의 경우는 중금속함량이 하천의 지 · 화학적 환경의 차이에 의해 달라질 수 있으므로 유량, 유속, 간만조의 영향차이 등에 기인되는 결과로 생각된다. 저질토중 중금속 평균함량과 논토양중 중금속 평균함량 비교에서는 만경강의 경우 Cr, Cu, Zn의 평균함량, 동진강의 경우 Cd, Cr, Pb의 평균함량이 논토양에 비해 전반적으로 높은 경향을 나타내었다.

IV. 결 론

(1) 만경강 논토양중의 중금속 평균함량은 Cd 0.73~1.26mg/kg, Cr 3.59~4.48mg/kg, Pb 29.32~54.14mg/kg, Cu 24.38~38.79mg/kg, Zn 57.85~78.61mg/kg의 분포로 M-1지점(목천포)에서 가장 높은 Cd, Cr, Pb등의 평균함량을 나타내었으며 동진강의 경우는 Cd 0.58~0.88mg/kg, Cr 4.01~4.85mg/kg, Pb 27.93~52.32mg/kg, Cu 39.06~39.27mg/kg, Zn 57.74~91.25mg/kg의 분포로 하류인 D-3지점과 D-4지점에서 비교적 높은 Cr, Pb, Zn등의 평균함량을 나타내었다. 하천간 논토양중의 중금속함량 비교에 있어서는 Cd가 만경강, Cu가 동진강에서 각각 더 높은 수준을 보였다. 만경강의 경우는 익산, 전주 공단 및 도시하수의 영향을 크게 받아서 M-1지역의 수치가 가장 높게 나타난 것으로 보이며, 동진강의 경우는 D-3, D-4지역의 수치가 다른 지역보다 높게 나온 것은 주변의 김제시 폐기물 하치장의 영향도 있을 것으로 사료된다.

(2) 만경강 인근유역 현미중의 중금속 평균함량은 Cd 0.10mg/kg, Cr 0.99mg/kg, Pb 2.07mg/kg, Cu 4.44mg/kg, Zn 32.03mg/kg이었고 동진강의 경우는 Cd 0.14mg/kg, Cr 0.74mg/kg, Pb 1.78mg/kg, Cu 4.57mg/kg, Zn 33.60mg/kg으로 나타나 만경강 유역에서 재배되는 현미중의 Cr과 Pb함량이 상대적으로 높은 수준이었다. 논토양에서 현미중으로의 중금속 이행농도비는 Zn이 가장 크며 Pb가 가장 작은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 김 등[13]이 만경강 유역의 수도체중 Cd 및 Zn함량에 관한 조사에서 보고한 자료와 비교할 때 Cd는 거의 동

일한 수준이었고 Zn은 본 연구결과에서 약간 높게 나타났으나 거의 비슷한 수준이었다. 또한 이 등[8]이 보고한 군산·장항 인근 공단지역의 논토양에서 생산된 현미중의 중금속을 비교해 볼때 Cd는 1.4배, Pb는 1.2배, Cu는1.3배, Zn은 2배 정도의 높은 수준으로 나타나 전체적으로 상기 논토양 중 중금속함량의 비교결과를 반영하는 경향을 나타내었다. 한편 김 등[16]이 국내 각지에서 채집한 쌀중의 중금속 평균 함량치인 Cd 0.015 ppm, Pb 0.13ppm, Cu 0.45ppm, Zn 5.00ppm등과 비교할 때 본 연구의 조사결과는 Cd 약 7배 이상, Pb 약 14배 이상, Cu 약 10배 이상, Zn 약 6배 이상에 달하는 높은 수치로 만경강, 동진강 유역에서 관개용수에 의한 오염영향이 매우 큼을 확인시켜 주었다.

(3) 저질토 중금속분석결과 만경강 저질토중의 중금속 평균함량은 Cd 0.89～1.35mg/kg, Cr 4.72～6.56mg/kg, Pb 33.43～52.35mg/kg, Cu 29.16～52.46mg/kg, Zn 62.31～108.17mg/kg의 분포로 나타났으며 동진강의 경우는 Cd 1.02～1.53mg/kg, Cr 3.71～6.73mg/kg, Pb 32.27～43.41mg/kg, Cu 24.54～52.20mg/kg, Zn 45.37～78.12mg/kg의 분포로 나타났다. 만경강, 동진강 모두 가장 하류지점인 M-5지점과 D-4지점에서 Cd, Cr, Pb, Cu의 평균함량이 전반적으로 높은 수준을 나타내었다. 이는 중금속 함량이 하천의 지·화학적 환경의 차이에 의해 달라질 수 있으므로 유량, 유속, 간만조의 영향차이 등에 기인되는 결과로 생각된다. 한편 새만금 방조제 공사로 인한 지형 및 유속의 변화등에 기인되는 영향들에 대한 면밀한 검토가 있어야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. Michael, C. N. and A. W. Mcintosh, 1991, Metal Ecotoxicology. Lewis Publishers, 33-64.
2. 최경식, 1994, 한국 서해 만경강 동진강 연근해역 해저 퇴적물의 퇴적학적 연구, 석사학위논문 서울대학교, 183.
3. Ikuta, K., 1987, Concentration thresholds in accumulation of heavy metals by Haliotis discus and Batillus cornutus. Nippon Suisan Gakkaishi, 53(9) : 1963-1678.
4. Galindo, L. Hardisson, A. and Montelongo, F. G., 1986, Correlations between lead. cadmium, copper, zinc, and iron concentrations in frozen tuna fish. Bull Environ Contam Toxicol, 36: 595-606.
5. 永長久德, 1989, 대판만(대판시역) 연안해수, 저질, 어류 중금속 오염현황, 日本 公衛誌, 20(8) : 393-405.
6. Ikuta K., 1987, Localization of heavy metals in the viscera and the muscular tissues of haliotis disuus exposed to selected metal Concentration gradients, Nippon Suisan Gakkaishi, 53(7) : 2269-2274.
7. 현대용, 이동배, 1994, 충남 서해안 어패류의 중금속함량 조사, 충남대학교 논문집, 8: 65-80.
8. 이진하, 1995, 군산·장항 해안지역의 해수, 토양 및 농산물 중 중금속의 동태, 박사학위논문, 전북대학교.
9. 이유대, 김창원, 1990, 낙동강 하구역 퇴적환경 연구: 퇴적작용 및 중금속 분포, 한국해양학회 25(4) : 182-188.
10. 농업진흥청 농업기술연구소, 1992, 토양화학분석법.
11. 환경부, 1999, 수질오염공정시험법, 동화기술.
12. 박재주, 1996, 환경독성물질분석법, 동화기술.
13. 김성조, 백승화, 김운성, 윤기운, 문광현, 강경원, 1994, 만경강 유역의 토양과 수도체중 Cd, Al, Zn함량의 변화, 한국환경농학회지, 13:

142-150.

14. 서윤수, 문화희, 김인기, 김학엽, 전성환, 지달현, 1982, 토양중의 중금속 자연함유량에 관한 조사 국립 환경연구소보, 4: 189-198.
15. 환경부, 1998, 환경연감.
16. 김 길생 외, 1992, 식품중의 미량금속에 관한 연구조사 - 농산물(곡류, 두류, 서류)중의 미량금속 함유량에 관하여-, 국립보건원보, 29(2) : 365-377.
17. 소진탁, 이종섭, 유일수, 유은주, 김환홍, 1991, 만경강 유역 수질 및 저질토의 중금속 함량에 관한 조사 연구, 한국 육수학회지, 24: 123-128.
18. 문무일, 정철웅, 박정제, 오세일, 송주훈, 박수, 백복남. 1994, 만경 수계 하천 하상 퇴적물의 중금속 함유량에 관한 연구, 전라북도 보건환경 연구 원보, 7: 213-219.