

## 水質汚染과 農業

金 福 榮\*

### Water pollution in Relation to Agriculture

Bok-Young Kim\*

#### 緒 論

人類의 歷史를 보면 文化發祥地로 알려져 있는 古代 그리스 文化로부터 中國文化에 이르기 까지 모두 大河川의 惠澤으로 이루어 졌으며 물은 모두 生命을 支配하고 있다.

그러나 現代는 産業의 急速한 發達과 人口의 都市集中으로 水質汚染을 急増시키고 있으며 이들 물, 土壤汚染은 生態系를 變化시키고 나아가서는 生物의 棲息環境을 위협하고 있어 社會的 問題로 야기되고 있다<sup>1)</sup>.

이와 같은 問題는 現代에 큰 課題로 등장하게 되었고 過去에는 極小地域의 問題이었던 것이 漸次 國家의 인 또는 國際의 인 더 나아가서는 地球狀의 問題로 擴大되어 가고 있다.

水質汚染에 依한 農業의 被害는 各種 廢水에 依한 灌漑水汚染, 土壤汚染으로 區分되는데 農業은 畜産廢水에 의하여 農業自體가 汚染源이 되기도 한다.

이들 汚染物質의 種類가 多樣하여 被害도 單一物質로 限定되지 않고 2種 이상의 汚染物質에 의한 複合被害가 많으며 그 被害程度는 農作物의 種類, 品種, 生育時期, 生育狀態, 被害時刻 등에 따라 相異하며 따라서 그 對策도 多樣하다.

現在 우리나라의 都市 및 工業團地隣近에 汚染度가 深化되고 있으며 農業政策的 하나인 農工地區 造成은 앞으로 우리나라 農村地域에도 水質汚染이 問題示될 可能性이 매우 높다.

#### 水質汚染

##### 1. 自然水의 水質

自然河川의 水質은 流域의 母岩에 따라서 다르나 물

이 흐르는 過程에서 地質의 各種成分들이 녹아서 各種 化合物을 含有하게 되며 流域에서 流入되는 植物의 分解產物인 有機物도 包含하게 된다.

有機物은 水 中에서 比較的 安定하여 全成分에 큰 變化가 없으나 有機物은 물이 흐르는 中에 酸化, 心澱, 吸着, 蒸發등에 依하여 自淨作用을 받고 점차 無機物로 變化된다.

우리나라의 重要地質系統別 河川 및 貯水地의 水質成分은 다음 表1과 같으며  $\text{NH}_4\text{-N}$  및  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 含量범위가 큰 것은 試料採取時 降雨로 인하여 地表로 흐르는 물이 土壤 中 含量을 河川 및 貯水地로 流入시켰기 때 문이라고 한다.

이들 自然水<sup>4)</sup>는 無色 透明하나 汚染物이 混入된 廢水가 流入되면 이들 自然水 性質을 變化시킨다. 自然水라 할지라도 有機物, 亞酸化物이 多量流入하여 이것들이 酸化되면서 溶存酸素를 減少시키거나 酸·알카리 流入으로 pH가 變하면 自然水를 混濁시키는 同時에 부유물이 沈澱되어 底泥土를 惡化시켜 生物分布상에 變化를 가져온다.

自然水는 自淨作用에 의해서 有機物이 分解되지만 一時에 多量의 有機物이 水中에 流入되면 水中의 溶存酸素는 消盡되고 嫌氣狀態가 되어 自淨作用은 停止되고 腐敗現狀을 일으키며 分解產物으로서의 無機物은 水中의 無機物의 濃度を 增加시킨다.

##### 2. 水質汚染源

水質汚染으로 인한 農業用水의 汚染은 農產物生産에 광범위한 影響을 미칠 수 있으며 農民들의 生産意慾을 저하시키는 물론 有害物質에 의하여 特殊 重金屬이 汚染된 農耕地에서 收穫된 農產物은 國民保健의 위해를 야기할 수 있는 可能性을 內包하고 있다. 이와 같은 被

\*農業技術研究所 (Agricultural Science Institute, Sumeon, Korea)

Table 1. Quality of the water in different geological formations(1964)

(Unit : ppm)

Geological system		pH	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	SO <sub>4</sub>	Cl	SiO <sub>2</sub>	Fe	Mg	K	Na	Ca	PO <sub>4</sub>
Granite and granite gneiss system	Average		0.82	3.36	0.47	4.98	13.75	-	2.25	0.95	4.95	6.05	0.06
	High	8.1	1.60	21.37	1.2	8.0	18.24	-	4.85	2.0	7.0	9.0	8.4
	Low	6.8	0.02	0.01	0.01	0.80	11.58	-	0.50	0.5	3.0	2.0	0.01
	No. of sample		11	7	9	11	11	-	11	11	11	11	8
Basalt system	Average		0.3	0.3	0.18	3.5	17.13	0.02	1.24	1.1	4.75	3.64	0.01
	High	6.9	0.3	0.4	0.2	5.4	24.15	0.02	1.92	1.2	6.0	5.27	0.01
	Low	6.7	0.3	0.2	0.15	1.6	10.01	0.02	0.56	1.0	3.5	2.01	0.01
	No. of sample		2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1
Sand stone and conglomerate system	Average		1.1	15.77	5.5	3.0	15.15		3.42	1.0	5.76	6.0	0.02
	High	7.1	1.2	31.5	9.0	5.0	17.16		6.3	1.5	8.0	8.0	0.02
	Low	7.0	1.0	0.03	1.5	1.0	12.87		2.0	0.5	4.0	4.5	0.02
	No. of sample		3	2	3	3	3		3	3	3	3	1
Limestone system	Average		3.68	1.0	22.15	5.25	44.29		16.45	1.5	1.5	25.5	0.01
	High	7.9	5.0	1.0	29.8	6.0	5.36		25.5	2.0	2.0	31.0	0.01
	Low	7.5	2.35	1.0	14.5	4.5	3.22		7.40	1.0	1.0	20.0	0.01
	No. of sample		2	1	2	2	2		2	2	2	2	1

害는 해를 지남에 따라서 増加될 것이며 加害物質도 더욱 多樣化되어 가고 있는 실정이다. 우리나라에서는 收質汚染의 原因이 되는 物質들을 各 汚染源別로 보면 다음과 같다<sup>2)</sup>

가. 都市下水

都市下水는 主로 家庭下水나 家庭廢水이며 이는 많은 有機物을 含有하고 있어 이것이 河川이나 湖水에 流入되면 그 酸化過程에 많은 酸素를 要求하고 따라서 水中 酸素를 減少시켜 河川이나 湖水의 生物界는 變化를 가져온다. 水中 酸素가 극도로 減少하면 잔존 有機物은 嫌氣性菌에 의하여 嫌氣的 分解 所謂 腐敗를 일으키며 硫化水素, 암모니아, 水素 등이 發生되고 악취가 나며 黑褐色으로 變한다. 흔히 都市下水가 汚染된 河川이나 湖水가 검은 색으로 變하며 魚類가 죽어 부유하는 등의 현상을 볼 수 있는데 이는 위와 같은 作用에 의하여 물이 汚染되었음을 말해주고 있다.

우리나라의 都市下水 中에는 都市工場에서 排出되는 廢水도 包含되어 있는 廢水의 特性은 表2와 같이 地域에 따라서 그 特性이 相異하며 一般적으로는 COD, Na, Cl, CO<sub>4</sub>등의 含量이 높은 傾向이며 pH가 아주 낮은 것과

NH<sub>4</sub>-N Oil 등의 含量이 매우 높을 경우도 있다.<sup>5)</sup>

이와 같이 各 家庭에서 排出되는 廢水 中에 食品의 微細片, 세탁물의 섬유소등이 많이 含有되기 때문이며 N, Na, Cl, SO<sub>4</sub> 등의 含量은 食品中 鹽分의 排出과 水洗式 화장실에서 排出되는 下水 등에 기인된 것으로 생각된다.

都市人 1人當 1日 排出되는 汚染物量은 COD : 68.2g, SS. 44.9g, 窒素 7.7g, 磷 1.7g 이라고 한다.<sup>6)</sup>

나. 工場有機廢水

○종이 pulp 工場廢水는 各 工場에 따라서 그 成分含量이 相異하여 表3과 같이 主로 Na, SO<sub>4</sub> COD, SS 등의 含量이 높은 것이 特徵이다. 이와 같이 COD, SS. 含量過多와 pH 高低는 pulp 製造 工程 中에 未分解된 木材片, 微細섬유, 非섬유소질의 生成物인 pentose, Hexose 등의 糖質, Lignin 및 未反應藥品 등에 기인된다. 우리나라의 pulp 工場에 平均 廢水排出量은 1.329.4m<sup>3</sup>/日로 다른 어떤 工場보다 가장 많고 BOD : 478.5kg/日, SS : 685.7kg/日이라고 한다.<sup>6)</sup>

○澱粉工場廢水는 表3과 같이<sup>2)5)</sup> 廢水 中의 COD, SS 含量이 過多하고 이는 使用原料인 감자, 고구마, 옥수수

Table 2. The quality of water of sewage

Unit : ppm

Sample	No	pH	Cl	SO <sub>4</sub>	Na	NH <sub>4</sub> -N	COD	SS	Oil
Inchun	1	4.00	550	-	205	30	2,137	404	-
	2	6.35	948	-	96	27	264	321	-
	3	6.25	154	-	96	34	552	640	-
	4	6.25	126	-	110	29	208	567	-
	5	2.45	200	-	84	220	1,956	2,603	-
	6	6.40	107	-	80	53	213	1,880	-
	7	6.25	134	-	88	46	347	152	-
	8	2.95	754	50	74	195	-	1,710	-
	9	7.25	53	67	185	Trace	-	1,380	-
	10	2.45	17	887	10	-	-	Trace	-
	11	2.20	-	-	-	-	-	-	9,800
	12	7.19	-	-	-	-	-	-	9,160
Gpyang	1	6.75	89	-	43	47	-	-	-
	2	7.20	124	-	68	88	-	-	-
Seoul	1	7.75	86	-	36	76	-	-	-
	2	7.55	63	-	27	67	-	-	-
Taegu	1	7.50	141	41	138	22	-	-	-
	2	7.50	142	41	138	22	-	-	-
	3	7.50	141	41	138	22	-	-	-
Military Units	1	7.05	36	94	35	12	-	-	-
	2	7.02	39	5	33	11	-	-	-
	3	7.00	49	-	-	-	102	-	186
	4	7.20	45	-	-	-	179	-	774

Table 3. The quality of water from paper and pulp manufacturing

Sample	No	pH	Cl	SO <sub>4</sub>	Na	Al	COD	SS
Paper	1	3.83	37	305	18	-	202	47
	2	6.15	7	Tr.	15	42	-	91
	3	6.30	76	-	72	-	-	428
Pulp	1	6.06	202	100	375	-	1,608	-
	2	5.88	71	125	62	-	-	-

등에 따라서 상이하며 原料에 含有하고 있는 蛋白質, 糖分, 色素, 澱粉 澱粉粕 등이 排水에 混入되어 COD, SS의 含量이 많아지고 또한 有機酸의 生成으로 pH가 낮아졌다고 생각된다.

○ 醱酵工場廢水는 酒精醱酵, 酒類製造 抗生物質醱酵, 有機酸醱酵, 장유발효 등에 따라서 排出廢水의 性質이

다를 것이나 사용하는 原料 即 廢糖밀 감자, 고구마 곡류, 포도당 전분 등에 따라서도 매우 상이하다. 醱酵工場廢水의 共通의인 特性은 表4와<sup>2),5)</sup> 같이 COD, 및 SS를 多量 含有하는데 장류공장폐수는 pH가 매우 낮고 Cl, SO<sub>4</sub>, Na, NH<sub>4</sub>N 含量이 매우 높다. 이는 사용原料가 대부분 原料 中에 含有된 蛋白質이 廢水 中에 含有되었으

Table 4. The quality of waste water from fermentation and starch factory

Unit : ppm

Sample	No	pH	Cl	SO <sub>4</sub>	Na	NH <sub>4</sub> -N	COD	SS
Alcohol		6.50	-	-	-	-	1,250	2,700
Soysauce		2.03	1,068	236	83	803	-	-
Starch	1	4.70	151	75	44	-	1,634	961
	2	5.50	-	-	-	-	2,500	7,625

며 다량의 소금을 사용하기 때문에 Na, Cl의 함량이 높고 pH低下는 醱酵過程에서 생긴 有機酸의 影響이라고 생각된다.

○食品工場廢水는 醱酵工場廢水와 마찬가지로 製品의 多樣化로 廢水의 性質도 多樣한 點이 많다. 表5와 같이<sup>25)</sup> 두부 工場의 廢水性質은 pH가 약간 낮은 편이며 NH<sub>4</sub>-N, Cl, SS의 함량이 높았다. 이와 같이 NH<sub>4</sub>-N, Cl의 함량이 높은 것은 사용하는 原料가 콩이고 두부의 응결제로서 MgCl<sub>2</sub>를 사용하기 때문이며 또한 SS함량과다는 두부를 제조할 때 부생하는 찌꺼기가 廢水에 混入되기 때문이라고 생각된다. 食品工場의 平均 廢水排出量은 441.7m<sup>3</sup>/日이고, BOD : 263.4kg/日, SS는 773kg/日이라고

한다<sup>6)</sup>.

○방직공장폐수는 植物性, 動物性 纖維原料에 따라서 또는 製造方法 및 工程에 따라서 相異하나 表5에서와<sup>2)</sup> 같이 SO<sub>4</sub>, Na, COD, 함량이 높은 것이 特徵이다 방직 공장폐수의 COD가 높은 것은 모직물인 경우 세모공정에서 腐敗性이 높은 物質과 염색공정에서 사용하는 糊拔이 廢水 中에 含有되어 排出되기 때문이며 SO<sub>4</sub> 및 Na이 함량이 높은 것은 漂白劑로서 차아염소산소다. 등을 사용하기 때문이라고 생각된다. 섬유공장의 平均 廢水排出量은 618.3m<sup>3</sup>/日이며 COD : 80.9kg/日 SS : 64.5 kg/日 이라고 한다<sup>6)</sup>.

○皮革工場의 廢水는 表5에서와 같이 Cl 및 COD의

Table 5. The quality of waste water from groceries, textile, and leather manufacturing.

unit : ppm

Sample	pH	Na	Cl	SO <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub> -N	COD
Bean curd	7.30	33	603	-	28	336
Textile	1.	6.20	73	112	-	1,250
	2.	7.50	145	92	75	527
	3.	7.60	14	18	22	322
Leather	6.55	-	2,498	-	-	560

함량이 높은 것이 特徵인데 우피, 마피, 양피 등 原料皮의 種類에 따라서 相異하겠으나 生皮의 腐敗를 防止하기 위하여 소금을 사용하므로 이것이 廢水에 混入되고 原料皮에 부착된 汚物, 皮下組織, 脂肪등어리 등의 腐敗性이 강한 物質이 排出되며 Tannin, Chrome Sodium Sulfate, Sulpuric acid 등을 사용하고 있으므로 Cl 및 COD의 함량이 높으며 Cr, Na, SO<sub>4</sub> 등의 有害物質도 多量 含有되어 있다. 皮革工場의 平均 廢水排出量은 297.2ℓ/日이고 BOD : 398.1 kg/日 SS : 663.1kg/日이라고 한다<sup>6)</sup>

다.

○畜産廢水는 소나 돼지 닭 등을 集團的으로 大量飼育하기 때문에 家畜의 糞尿나 洗滌水가 많아 廢水로서 문제시 되고 있으며 表6과 같이 Cl, COD, NH<sub>4</sub>-N 함량이 過多하여 문제시 되고 있다.

이상과 같이 都市下水 및 工場有機性 廢水는 産業의 種類가 同一할지라도 各 工場에 따라서 廢水의 性質이 相異하였고 大體로 COD, SS, Cl, SO<sub>4</sub> Na의 含量過多로 因하여 汚染된것으로 볼수 있다.

표 6 축산 폐수의 성분(1985)

구 분	조사점수	PH	Na	Cl	NH <sub>4</sub> -N	No <sub>3</sub> -N	COD
목장(소)	10	6.8~7.9	10.6~	78.0~	10.5~	0.6~	20.8~
			266.9	535.4	1,404.6	10.5	2,872.0
양돈장(돼지)	13	6.6~8.1	53.3~	44.3~	3.9~	3.11~	48.0~
			109.4	345.7	740.4	567.6	1,232.0
혼합(소+돼지)	5	6.3~7.9	12.3~	53.0	22.5~	0.5~	380.8~
			248.5	833.5	1,577.6	14.0	7,100.0

3. 工場無機廢水

無機廢水의 汚染原因이 되는 工場은 化學工業, 染料工業, 金屬精鍊工業, 鑛山廢水 등을 들 수 있다.

○化學工場廢水는 表7에서<sup>2) 5)</sup> 보는 바와 같이 各 工場의 種類에 따라서 相異하여 黃酸工場에서는 pH가 대단히 낮고 SO<sub>4</sub> 및 NH<sub>4</sub>-N含量이 대단히 높으며 乾電池製造工場에서는 pH가 낮고 SO<sub>4</sub> 및 Na의 含量이 높았으나 精油工場의 廢水는 pH가 높으며 Na含量도 높았다. 이와 같이 黃酸工場에서 pH가 낮고 SO<sub>4</sub>含量이 過多한 原因은 强酸性 物質인 黃酸을 製造하기 때문에 이들 物質이 含有된 때문이며, 乾電池工場은 乾電池溶液의 主成分이 黃酸이기 때문에 pH가 낮고 SO<sub>4</sub>含量이 過多하며 精油工場에서 pH가 높고 Na含量이 過多한 것은 精油工程의 一部分에서 알카리 物質을 사용하고 있기 때문으로 추정된다. 化學工場의 平均 廢水排出量은 269.9 m<sup>3</sup>/日이고 COD:148.5kg/日, SS는 50.3kg/日 이라고 한다<sup>6)</sup>

○染料工場廢水는 사용하는 原料 製造染料, 造製, 製造方法 등에 따라서 상이하하며 他工場들 보다 매우 多樣하다. 일반적으로 染料工場의 廢水는 表8과<sup>2) 5)</sup> 같이 可溶性 化學成分을 多量 含有하고 있는 것이 특징이다.

○金屬製造工場廢水는 製造目的物의 種類에 따라서 상이하나 表9와 같이 銅 製造工場廢水는 銅含量이 大湍히 높다. 金屬工場의 平均廢水 排出量은 98.2m<sup>3</sup>/日이고 SS는 223.7kg<sup>6)</sup>/日이다.

4. 非金屬鑛山廢水

非金屬鑛山의 廢水成分을 보면 表10<sup>2) 5) 8)</sup>에서 보는 바와 같이 鑛山의 種類에 따라서 成分 含量이 相異하겠으나 일반적으로 Cl, SO<sub>4</sub>, SS의 成分이 多量 含有되어 있다. 이는 炭鑛廢水中 抗內水中에 可溶性 黃酸鹽類가 多量 含量되어 있기 때문에 河川水의 SO<sub>4</sub>含量이 높고 따라서

Table 7. The quality of waste water from chemical industry. Unit : ppm

Sample No	pH	Cl	SO <sub>4</sub>	Na	NH <sub>4</sub> -N
Sulfuric acid	1.95	1,883	1,019	24	550
Battery	5.45	46	828	320	13
Refined oil	11.60	108	-	1,110	3

Table 8. The quality of waste water from dye factory. Unit : ppm

Sample No	pH	Cl	SO <sub>4</sub>	Na	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N
1	6.60	805	138	505	20	12

Table 9. The quality of waste water from refinery metal. Unit : ppm

Sample No.	pH	Cl	Na	Cu	SS
1	6.75	46	16	2,678	78

Table 10. The quality of waste water from coal mine unit : ppm

Sample No	pH	SO <sub>4</sub>	Cl	SS
1.	6.30	1,441	15	2,277
2.	8.10	733	492	2,286
3.	2.90	2,450	-	-
4.	2.99	1,875	-	-
5.	2.50	1,975	-	-
6.	2.70	1,700	-	-
7.	3.41	2,400	-	-

pH도 낮아진다. 우리나라의 非金屬鑛山의 平均 廢水排出量은 154.9kg/日이고 SS는 135.5kg/日이라고<sup>6)</sup> 한다.

5. 金屬鑛山廢水

金屬鑛山廢水是 各鑛山의 主鑛物에 따라서 廢水의 性質도 상이 하여 表11에서 보는 바와 같이 鐵鑛廢水是 鐵의 含量이 亞鉛鑛에서는 亞鉛의 含量이 많았으며 鑛山에 따라서 Cu, Pb 등의 다른 重金屬含量도 많은 것을 볼 수 있다. 그리고 鑛出廢水의 pH는 낮은 것과 높은 것이 있으며 SO<sub>4</sub>含量이 많은 것은 鑛物 中에 可溶性 黃酸鹽類를 多量 含有하고 있기 때문이라고 생각된다. 金屬鑛山은 平均 208.6m<sup>3</sup>의 廢水を 排出하며 SS는 46.0kg/日 이라고 한다.

土壤을 汚染시킨다.

砒素는 農藥, 防腐劑의 主劑로 硝子類, 製造時 添加劑로 活用되고 있으나, 作物에 對한 毒性은 有害 重金屬 元素들 보다 강한 것으로 알려져 있고 人畜에도 有害한 元素로 알려져 있으며 農耕地의 砒素汚染은 主로 砒素를 多量含有한 硫砒鐵, 銅, 銀 및 鉛鑛의 採鑛이나 이를 製鍊하는 過程에서 排出되는 廢水 粉塵 鑛微砂 等에 起因되며 이밖에도 砒素系 農藥의 長期間 連用에서도 汚染되어 진다고 한다.

砒素를 含有한 硫砒鐵 및 銅을 採鑛하는 鑛山과 亞鉛酸을 製鍊하는 製鍊工場 隣近의 畜 土壤中 IN-HCl 가용성 砒素의 平均含量은 表13와 같<sup>10)</sup>며 同地域에서 生産된 玄米中の 砒素含量은 表14와 같<sup>10)</sup>다.

Table 11. The quality of waste water from metallic mine

Unit : ppm

Sample No.	pH	SO <sub>4</sub>	Fe	Cu	Zn	Pb	SS
Iron	6.55	-	733	-	Tr.	-	244
Zinc	6.15	86	-	8	144	50	1,245
Tungsten 1	3.20	65	50	2,850	-	-	440
2	7.03	117	-	-	-	-	730
3	8.03	92	-	-	-	-	590

鑛山廢水是 廢水 中の 有害成分이 문제되는 경우도 있지만 鑛石을 採取하고 微細한 粉末로 破碎하여 鑛物을 選別해 내고 내버린 鑛微砂를 그대로 放置하여 洪水時에 降雨와 같이 下流로 흘러내려 河川의 底泥土나 農耕地에 流入沈澱되어 堆積되므로서 農土를 汚染시키는 경우가 많이 있는데 우리나라의 鉛, 亞鉛鑛山 廢水 流入으로 因한 土壤中 重金屬含量은 表12와 같으며 이는 農耕地에 모래가 堆積되어 農土를 惡化시키기도 하지만 鑛微砂中에 含有되어 있는 有害重金屬이 溶解되어 나와

3. 農作物 生育에 對한 影響

水質汚染은 그 汚染種類나 濃度등 複合된 原因과 結果에 緣由되며 우리나라에서는 大體의으로 水稻作에 局限되어 있으며 土壤條件과의 關係, 汚染廢水의 流入量, 生育時期, 降水量 蒸産量 등 複雜多樣한 條件이 關與되고 있다.

水質汚染物質은 灌溉水를 따라 논에 流入되며, 汚染된 논은 土壤의 物理的인 性質을 나쁘게 하거나 土壤의 還元을 阻害하고 土壤을 強酸性이나 強알칼리性化시켜 植物生育에 直接 影響을 주어 生育을 억제 하기도 하며 土壤中 有效成分의 不溶化로 養分의 吸收를 억제 하기도 한다. 때로는 農作物은 窒素의 過剩吸收로 過繁茂하게 자라서 倒伏되거나 病蟲害에 耐性이 弱하게 되고 등숙이 不良하게 되어 收量과 品質이 低下된다. COD 나 BOD가 높거나 부유물이 많을 때에는 土壤이 還元되어 農作物 뿌리의 生長이 억제되고 養分吸收가 저해되며 甚하면 뿌리가 腐敗되고 作物의 生育障害를 일으킨다.

유류는 主로 水面에 皮膜을 형성하여 土壤의 酸素供

表 12 鉛亞鉛鑛山廢水流入地土壤의 重金屬含量 (79, 80)

단위 : ppm

	Cd	Cd	Pb	Zn
最高	17.9	69.9	434.2	868.1
最低	0.02	0.20	1.0	0.5
平均	1.11	8.5	27.4	30.3

Table 13. IN-HCl extracted As content of paddy soils adjacent to mining and refinery sites, and sample distribution

Sampling site	No. of samples	As contents (ppm)	Soil sample distribution according to content As					
			0=1.0	1.01~5.0	5.01~10.0	10.01~15.0	15.01~ppm	
Mining	Ulju	48	15.96	3	15	8	5	17
	Bongwaha	50	3.54	5	33	11	0	1
	Yangsan	20	6.57	0	11	6	1	2
	Goseung	15	1.83	7	8	0	0	0
Refinery sites	Yeongdong	31	2.13	2	27	2	-	-
	Cheongsong	51	1.70	39	9	1	-	2
Total	215	(0.10-96.76)	56	103	28	26	22	

Table 14. Arsenic content in brown rice collected from paddy field adjacent to mining and refinery sites and sample distribution

Sampling site	No. of sample	As content (ppm)	Rice sample distribution according to As contents		
			0 - 0.50	0.51 - 1.0	1.01 ppm
Ulju	48	0.41	36	8	4
Yangsan	20	1.10	20	-	-
Goseong	15	0.08	15	-	-
Yenngdong	31	0.19	29	1	1
Total	114	(0.03~3.35)	100	9	5

給을 不良하게 하며 機械的으로 水稻體에 皮膜을 형성하여 物理的인 障害를 일으킨다.

또한 有害重金屬은 農作物의 生育을 不良하게 하거나 生産된 農産物에 有害한 元素를 含有하기도 한다.

가. 土壤의 酸性 및 알카리화

海岸地帶의 排水가 不良한 農耕地가 乾燥하게 되면 有機物, 黃 등이 表層에 集積되어 黃酸이 생겨 pH가 매우 낮은 特異酸性土壤을 形成하는 경우가 있고<sup>11,12,13</sup> 亞黃酸가스가 排出되는 工場 隣近에서도 亞黃酸가스가 土壤을 酸性化시키는 경우가 있다<sup>5)</sup>다. 또한 黃酸工場 廢水中에는 SO<sub>4</sub>가 1,019ppm 이나 含有되어 있어 pH 1.95로 대단히 낮은 경우가 있고 乾電池工場廢水는 SO<sub>4</sub>가 828ppm 含有되어 pH가 5.45라고 했으며 石炭鑛山廢水의 경우는 SO<sub>4</sub>가 1.245ppm 이며 pH는 2.15라고 했으며

는의 pH는 2.6~3.6 程度의 强酸性을 나타내는 곳도 있었다<sup>5)8)</sup>.

黃酸根을 土壤이 多量 含有할 경우는 土壤 중 水素이 온을 多量 含有케 하여 土壤pH가 낮게되며 따라서 土壤中 Al이 活性化되어 作物의 養分吸收을 阻害하고 石灰 苦土成分 欠乏을 초래케하여 作物의 生育을 不良하게 하며 間接的인 影響으로는 微生物相에 影響, 土壤化學的의 惡化, 鹽基의 流失, 土壤의 老化 등 土壤을 酸性化시키고 直接的으로는 農作物의 生育을 害하여 減收의 原因이 되기도 한다<sup>1)</sup>

黃酸根(SO<sub>4</sub><sup>-</sup>)에 의한 水稻의 被害는 表15와 같이<sup>14)</sup> 灌溉水에 黃酸根을 濃度別로 處理하여 水稻收量을 調査한 結果 SO<sub>4</sub> 100mg/l 부터 현저히 減收되어 1000 mg/l 이상에서는 收量을 얻을 수가 없었다. 草丈도 분

Table 15. Yield and Growth of rice plant in relation to the concentration of sulfate in irrigation water.

	Concentration (mg/l)						
	Deite	Check	50	100	500	1000	2000
Yield (g/pot)		83.1	80.6	72.7	29.6	0	0
Height (cm)	6. 28	44.4	47.2	46.6	45.1	43.3	34.5
	7. 28	92.8	98.5	101.5	97.6	88.3	64.3
Number of tillers	6. 28	4.0	3.9	3.3	3.0	2.6	1.6
	7. 28	16.0	13.1	13.3	12.4	11.0	3.1

藥도 모두 減少되어 8月20日 부터 萎週 枯死 하였고 試驗后 土壤pH는 對照가 6.25 SO<sub>4</sub> 50ppm 5.65, 100ppm, 3.03 500 ppm : 2.45로 낮아졌다.

灌溉水中 SO<sub>4</sub><sup>-</sup>의 減收濃度는 54.9mg/l이고 土壤中 SO<sub>4</sub><sup>-</sup>의 減收濃度는 396.2 ppm이었다.

土壤알카리에 의한 被害는 實例가 많지않으므로 생략 하기로 한다.

나. 窒素過剩

窒素는 都市汚水나 有機廢水, 畜産廢水 중에 많이 含有되어 있고 이들이 汚染된 河川水 中에는 窒素濃度가 10~20ppm 上廻하는 수도 많이 있다<sup>2)5)</sup>.

水稻에 窒素가 過剩吸收되면 稻體의 光에너지 利用率이 떨어져 呼吸소모가 增大되고 莖葉이 연약하여 倒伏이 잘 되며 病虫害에 걸리기 쉽다. 또한 稻體 內에 炭水化合物인 糖이나 澱粉의 蓄積이 적고 세루로스나 리그린 細胞膜 構成成分이 減少되고 蛋白態窒素成分比가

減少되며 可溶性窒素가 增加되고 암모니아態 窒素가 集積된다. 암모니아態 窒素 集積은 代謝作用에 有害하고 同化産物의 轉류가 지연되어 등숙이 지연된다<sup>1)15)</sup>

窒素는 農作物에 가장 必要로 하는 營養素이기 때문에 水稻栽培時에 대략 窒素를 10a當 10~15kg施用한다.

水稻栽培期間 中에 灌溉水의 總 所要量은 1,440kl(8 척석) 이라고 하므로<sup>16)</sup> 汚染된 灌溉水 中에 窒素含量이 10ppm일 경우에는 벼 栽培期間 中 灌溉水에 依하여 供給되는 窒素量은 14.4kg/10a가 된다.

그러나 降水가 많이 灌溉되므로 汚染된 灌溉水가 約 50%만 灌溉된다고 하더라도 7.2kg의 窒素肥料를 施用한 것과 같게 된다. 따라서 灌溉水가 汚染되었을 때에는 窒素肥料를 그 만큼 減肥해야 한다.

窒素過剩에 의한 水稻의 影響은 報告者에 따라서 多少의 차이는 있으나 表16에서와 같이 正常施肥를 한 경우 에 灌溉水 中 窒素含量이 3~5ppm에서 收量減少를

表16 水稻의 被害程度와 用水의 窒素濃度

生育 및 收量の 影響	T-N	NH <sub>4</sub> -N	네스라반응
1. 被害 全無	1.0ppm이하	-	-
2. 가끔 過繁茂	1-3 "	-	-
3. 過繁茂, 가끔 收量減少	3-5 "	소 량	+
4. 收量減少	5-10 "	중 량	++
5. 收量 激減	10ppm 이상	다 량	+++

가져온다고 한다<sup>15)</sup>

다. 土壤의 還元化

土壤의 還元은 有機物質이 많이 含有되어 있는 都市

汚水, 畜産廢水, 工場有機廢水가 流入될 때 흔히 일어나며 還元은 酸素不足에 의하여 일어난다. 酸素不足은 化學的 酸素要求量(COD) 혹은 생물화학적 酸素要求量



(BOD)으로 表示하는데<sup>17)</sup> 農作物은 生育期間이 길기 때문에 COD로 酸素不足量을 表示하는 것이 타당할 것으로 생각된다. COD 含量이 높다는 것은 물 중에 含有된 分解性 有機物 혹은 無機物이 分解되는 過程에서 물中の 酸素를 消耗하므로 灌溉水가 酸素不足을 일으켜 嫌氣的 條件으로 되어 水素, CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S 등 가스, 酢酸, 酪酸 등 有機酸, 알콜류 등 中間代謝産物을 生成하게 된다. 分解過程에서 灌溉水 中の 溶存酸素는 Fe, SO<sub>4</sub>, Mn<sup>+5</sup> 등 土壤 中 酸化物이 酸素를 消耗하게 되고 酸素가 不足하면 土壤의 Eh가 低下되며 따라서 Fe, Mn, 硫化物등을 生成하여 過剩의 Fe, H<sub>2</sub>S, 有機酸 등이 水稻의 養分吸收과 體內代謝를 阻害하여 뿌리의 活力이 減少되며 地上部의 生育, 根의 伸張, 發根 등을 抑制하여 결국 수도 收量減少를 가져 온다.

水中的 化學的 酸素要求量(COD) 과 水稻收量과의 關係를 보면 表17과 같이 COD濃度增加에 따라서 水稻 苗乾物量이 減少되었<sup>18)</sup>으며 本番期에도 收量減少를 가져왔는데 有意性있는 減收濃度는 모두 50ppm이었다.

또한 廢水의 COD濃도가 147.8~221.0ppm, NH<sub>4</sub>-N : 162~17.4ppm인 灌溉水를 사용하여 試驗한 結果 73%가 減少되었고 COD : 69.8~81.2ppm NA<sub>4</sub>-N : 3.3~5.6 ppm 인 灌溉水를 사용하여 栽培한 結果 26.1%가 減收

되었<sup>20)</sup>으며 이는 根活力의 減少를 가져왔고 穗數, 粒數, 千粒重의 減少로 收量이 減少되는 結果를 가져왔다.

라. Oil 含量의 過多

羊毛洗滌, 洗車場, 注油所 등에서 排出되는 Oil을 含有한 廢水가 農耕地에 流入되는 경우에 Oil이 植物의 組織 內에 浸透하여 被害를 주는 경우와 表面을 被服하여 土壤還元하르로서 被害를 주는 경우가 있다.

土壤還元の 경우에는 土壤 內에 置還性 Mn 및 Fe의 過多로 作物根의 伸張을 抑制하고 또한 Oil 自體가 作物의 組織內에 浸透하여 作物의 幼軟組織內 細胞사이의 組織에 分布하여 植物의 氣孔을 閉鎖하고 酸素 및 炭酸 가스의 排出를 防害하여 물의 供給을 遲延시켜 作物의 生育을 不良하게 하며 또한 植物의 組織內에 浸透한 Oil은 組織을 破裂, 組織內酸素의 不足 등을 超來하여 油類自體에 含有하고 있는 Sulphonate에 依하여 原形質의 破壞로 植物이 枯死하게 된다고 한<sup>21)22)23)</sup>다.

다음 表18은 水稻에 對한 輕油의 濃度別, 水稻 品種別로 被害度를 나타낸 것으로 品種에 따라서 그 被害程度가 相異하며 統一品種은 0.92ℓ/a에서 振興은 0.5ℓ/a 에서 有意性있는 減收를 가져왔고 油類處理로 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O의 吸收量이 현저히 減少되<sup>24)</sup>었다고 하는데 이는 뿌리의 機能低下로 養分吸收가 防害된 때문으로 생각된다.

表 17 灌溉水中 COD濃도에 따른 水稻乾物重 및 收量

		COD濃度 (ppm)					
		0	50	100	300	500	1,000
苗	乾物重 (g/100本)	6.4	5.9	5.2	5.1	4.4	4.1
	指數 (%)	100	92.19	81.25	79.69	67.97	64.66
收量	非汚染地土壤 (g/pot)	75.9	69.3	68.1	-	66.5	66.0
	汚染地 "	86.6	79.0	78.3	-	76.7	74.7
	平均	78.2	74.2	73.2	-	71.6	70.4
	指數 (%)	100	94.9	98.6	-	91.6	90.0

表 18 灌溉水中 Oil含量에 따른 벼 收量

		Oil濃度 (l/a)				
		0	1	5	10	20
振興	收量 (g/opt)	78.78	63.72	36.28	16.02	13.46
	지수 (%)	100	80.1	46.1	20.3	17.1
統一	收量 (g/pot)	50.24	47.36	26.36	19.85	8.61
	지수 (%)	100	94.3	52.5	39.5	17.1

또한 Oil에 의한被害는 組織이 幼軟한 生育 初期에 被害가 甚한 것으로 알려져 있다.

라. 重金屬元素의 過多

金屬鑛山廢水, 金屬精鍊工場, 陶金工場 등에서 排出되는 廢水는 Cu Cd, Zn, Pb 등의 重金屬이 多量 含有되어 있어<sup>25)</sup> 農耕地에 流入될 경우 大部分이 土壤 內에 蓄積된다. 勿論 Cu, Zn같은 元素는 適當量을 含有할 경우에는 作物의 營養으로 利用될 수 있으나 過剩으로 蓄積되던 原形質의 蛋白과 結合하여 細胞를 破壞하며 土壤이 酸性化될 경우에는 各種 重金屬類의 溶解度 上昇으로 因하여 重金屬의 害作用이 甚하여 지기도 한다.

重金屬類가 植物에 吸收되므로서 各種酵素作用을 抑制하고 青枯現狀, 奇形化, 뿌리의 枯死 등 植物의 生育을 直接的으로 沮害하지만 低濃度에서는 이와 같은 被害가

없을지라도 植物體나 糞에 吸收蓄積된 것이 그를 食物로 攝取한 사람이나 動物體 內에 蓄積되어 特殊한 病害를 誘發하는 등 被害를 주고 있다.

重金屬이 水稻의 收量에 미치는 影響에 對하여 砂耕栽培를 通하여 各 元素別 濃度別로 全生育期間을 灌水한 結果 表19와 같이 各成分 모두 濃度가 增加함에 따라 收量이 減少되었으며 重金屬元素別 有意性있는 減收濃度는 Cu : 0.18ppm, Ni : 0.34ppm, Co : 0.4ppm, Cr : 0.67ppm, Mn : 0.93ppm, Hg : 0.20ppm Cd : 0.90ppm, Zn : 7.4ppm, Pb : 13.6ppm 이었<sup>25) 26)</sup> 었다.

그러나 發芽 및 苗莖期 生育에 對한 重金屬元素의 被害濃度는<sup>27)</sup> 이보다 훨씬 낮은 濃度이며 土壤에서는 Cu가 5ppm 으로서 사경보다 훨씬 높은 濃度를 나타내었으며 點質土에서는 砂土보다 被害濃度가 높았다.

Table 19. Yield in relation to the concentration of heavy metals in nutrient sention.

unit : gr/pot

Heavy metal ion	Concentration (ppm)							
	0	0.05	0.1	0.5	1.0	5.0	10	20
Cu	117	108.1	98.5	95.4	89.9	-	-	-
Ni		109.1	98.6	95.9	90.5	-	-	-
Cr		-	-	103.6	96.8	81.9	67.7	-
Co		-	-	-	100.1	88.4	39.8	0
Mn		-	-	-	107.5	106.0	104.4	93.9

또한 重金屬元素別 濃度에 따른 水稻의 生育狀況도 重金屬濃度가 增加함에 따라 草丈 및 分蘖數가 減少하였고 植物體 部位別 重金屬의 含量은 Cu, Co, Cr는 大部分이 뿌리에 含有되어 있었고 玄米에는 微量이었으며 Mn은 反對로 葉身에 大部分이 分布되었고 뿌리에는 微量이었다. 그러나 重金屬 濃度가 增加함에 따라 Cu 와 Ni는 뿌리에 Cr 와 Mn는 葉鞘에 Co는 葉鞘 및 葉身에 많이 含有되었다<sup>27)</sup>

마. 重金屬元素의 土壤內 蓄積

土壤은 農産物을 生産하는 基本培地로서 健全하고 肥沃한 土壤이 農業生産에 必須條件이나 水質 및 大氣汚染으로 因하여 土壤은 漸次 汚染되어 가고 있다. 有機成分들은 土壤微生物에 依하여 分解되기 때문에 별 문제는 없으나 重金屬類나 鹽類는 土壤을 汚染시키게 된다. 土壤은 원래 環境容量이 크기 때문에 다소의 條件變化에는 지장이 없으나 일정 限界를 넘으면 農土로

서의 價値를 잃게 된다.

土壤은 岩石의 風化産物이므로 各種 元素를 微量씩은 含有하고 있는데 이를 天然賦存量 또는 自然賦存量이라고 하며 1980~1981년에 調査된 韓國의 土壤 407點과 그 土壤에서 生産된 玄米 中の 重金屬 自然賦存量은 表 20과 같이 土壤에서 Cd : 0.127ppm, Cu : 4.15ppm, Zn : 3.95ppm, Pb : 4.67ppm 이었고 玄米는 Cd : 0.052ppm, Cu : 3.40ppm, Zn : 20.55ppm, Pb : 0.44ppm 이었<sup>29)</sup> 는데 土壤 中 含量은 農作物과 가장 關係가 큰<sup>30)</sup> 0.1N-HCl 可溶性 含量이므로 全含量은 이보다 더 높다.

土壤에 重金屬의 蓄積은 水質이나 大氣粉塵을 通하여 汚染되어 農作物이 重金屬을 過多吸收하게 되어 植物細胞의 酵素蛋白이 重金屬이온과 置換하여 吸收作用이 沮害되고 따라서 農産物의 生産性を 低下시키거나 農作物生育에는 全然影響이 없을지라도 카드뮴과 같이

표20 한국 논토양중의 0.1NHCl 가용성 카드뮴 및 현미중 카드뮴 천연함량

(단위 : ppm)

지 역	토 양				현 미			
	Cd	Cu	Pb	Zn	Cd	Cu	Pb	Zn
경 기	0.119	4.62	5.51	2.81	0.051	3.14	0.47	18.29
강 원	0.129	3.60	4.46	2.26	0.049	2.85	0.41	21.65
충 북	0.097	3.66	4.60	2.63	0.053	3.00	0.49	21.01
충 남	0.111	4.65	4.60	2.23	0.058	3.19	0.53	19.89
전 북	0.131	3.73	3.86	6.36	0.055	2.94	0.52	20.25
전 남	0.130	3.85	4.60	3.81	0.047	3.02	0.39	21.14
경 북	0.157	4.78	4.73	5.09	0.052	3.01	0.42	22.91
경 남	0.142	4.79	5.31	4.60	0.062	3.27	0.36	20.79
평 균	0.127	4.15	4.67	3.95	0.052	3.04	0.44	20.55
	±0.058	±2.00	±2.64	±3.16	±0.025	±0.92	±0.12	±4.00

人畜에 有害한 物質을 含有하는 農産物을 生産하게 되어 人이나 家畜이 攝取하게 되므로 오는 2次的인 保健上의 危害가 문제가 되는 경우가 있다. 그 좋은 예로는 日本의 神通川 流域에서 發生한 “이따이 이따이” 病이 有名한 公害病으로 알려진 것 중의 하나가 될 것<sup>31)</sup>이다.

카드뮴(Cd)은 銅이나 亞鉛鑛物 中에 含有되어 있으므로 이들 鑛山下流, 製鍊所隣近과 選鑛場 下流의 農耕地에 汚染되어 玄米 中의 카드뮴 含量을 높이는 原因이 된다. 우리나라의 鉛亞鉛鑛山 隣近의 畚土壤 中 Cd 및

Zn 含量은 表<sup>21)</sup>과 같고 이들 地域에서 栽培된 玄米 中의 Cd 및 Zn의 含量은 表<sup>22)</sup>와 같<sup>32)</sup>이 平均 含量은 모두 1.0 ppm이하로 낮으나 最高 含量은 環境保全法에서 農産物의 栽培를 制限하거나 農産物을 廢棄할 수 있는 濃度인 1.0ppm을<sup>33)</sup> 上廻하고 있다.

玄米 中의 Cd含量과 土壤 中 Cd含量과는 汚染地試料에서 土壤 pH와 0.1N-HCl可溶性 Cd와는 有意性 있는 關係가 있었으며 汚染源으로 부터 가까울수록 土壤 中 및 玄米 中 Cd含量이 높았으며 거리가 멀어질수록 낮아졌다<sup>32)</sup>

Table 21. Minimum, maximum, and average values of Cd and Zn contents (0.1N-HCl extractable) of soils collect soils collected from paddy fields adjacent to the zinc-mining sites(ppm)

Sampling site	No. of Sample*	Element	Surface soil			Subsurface soil		
			Min.	Max.	Aver.	Min.	Max.	Aver.
Siheung	6	Cd	4.00	14.67	7.68	-	-	-
		Zn	263	1763	938	-	-	-
Changweon	8	Cd	0.35	2.86	1.25	0.37	2.86	1.19
		Zn	16	167	60.88	14	152	53.0
Seongju	12	Cd	0.39	4.16	1.53	0.31	3.47	1.41
		Zn	15	173	105.8	11	172	100.3
Uljin	9	Cd	1.06	3.61	2.16	0.82	2.69	1.64
		Zn	28	230	104.6	18	116	65.1
Chilgog	10	Cd	0.21	3.21	0.79	0.13	1.39	0.43
		Zn	4.3	82.0	17.76	3.3	30.4	8.91

\* Composite samples : obtained by mixing at least 20 individual samples in each paddy field.

Table 22. Minimum, and average values of Cd and Zn contents in brown rice collected from paddy fields adjacent to the zinc-mining sites(ppm)

Sampling site	No. of sample*	Cd content			Zn content		
		Min.	Min.	Aver.	Min.	Max.	Aver.
Siheung	6	0.41	1.63	0.87	28.8	40.6	34.07
Changweon	8	0.19	1.57	0.57	24.4	33.8	29.61
Seongju	12	0.13	1.31	0.55	20.6	55.0	28.66
Uljin	9	0.12	1.13	0.43	23.0	35.0	29.33
Chilgog	10	0.04	1.11	0.31	21.8	28.3	24.11

\* Composite samples : obtained by mixing at least 20 individual samples in each paddy field.

4. 水質汚染 對策

廢水에 의한 農作物 被害對策은 工場 및 事業場 自體에서 處理를 철저히하여 有害物質의 排出을 最大限으로 抑制하는 積極的인 方法을 講究하여야 할 것이며 이를 爲해서는 可能한 한 물의 使用量을 줄여서 廢水의 排出을 적게 하거나 廢棄物을 回收하여 再活用하는 方法이 있다.

가. 有機廢水

有害重金屬이 含有되지 않은 有機廢水는 窒素 및 有機物이 多量含有되고 있으므로 이를 一定期間 貯藏탱크에서 醱酵시켜 農耕地에 再活用하거나 再活用이 不可能할 경우에는 汚染源을 除去하여 排出해야 한다.

畜産廢水는 窒素, 磷酸, 加里含量을 過量 含有하<sup>7)</sup>고 있기 때문에 廢水에 吸肥力이 강한 水草(부레옥잠)를 栽培하여 廢水를 淨化해서 排出하고 水草는 推肥나 家畜의 飼料로 活用한다면 바람직한 方法이라고 생각된다.

水草(부레옥잠)에 의한 畜産廢水의 淨化效果는 그림 1에서와 같<sup>34)</sup>이 窒素, 磷酸, COD, 除去 效果가 클 뿐만 아니라 10a當 乾物生産量(表23)은 5,076kg/年이나 되며 窒素 및 磷酸除去量은 10a當 年間 222.3kg, 105.6kg이나 되<sup>34)</sup> 이의 活用을 기대할 만 하다.

나. 重金屬

各種 事業場이나 工場에서 重金屬의 排出을 禁止하여 土壤에 汚染되지 않도록 事前에 防止하는 것이 좋겠으나 일단 土壤에 汚染된 重金屬은 不溶態로 만들어 農作

그림 1 水草에 의한 畜産廢水의 淨化效果(200株/4,500ℓ)

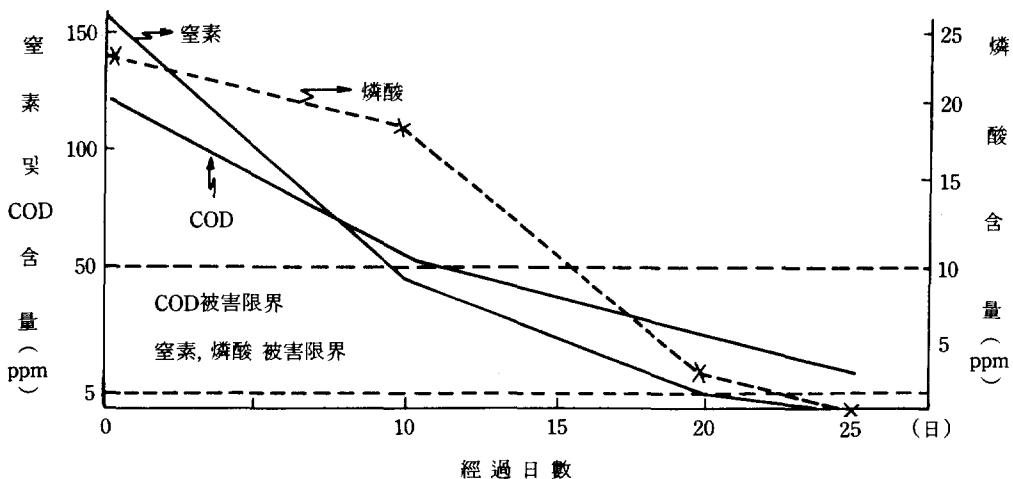


表23 水草 生産量과 窒素, 磷酸 除去量

(kg/10a/年)

生産量		除去量	
生體重	乾物重	窒素	磷酸
72,517	5,076	222.3	105.6

※ 粗白 31.7%, 粗脂肪 0.53%, 粗纖維 14.52%

物の被害나 吸收을 輕減시켜야 하는데 이의 方法은 多樣하다.

우리나라 環境保全法에서 카드뮴(Cd)은 玄米 中에 1.0ppm, 銅(Cu)은 土壤 中에 125ppm 砒素(As)는 土壤 中에 15ppm 以上 있을 때 그 土壤에 農作物栽培를 除限하거나 生産된 農産物을 廢棄한다고<sup>33)</sup> 되어 있으며 이웃 日本에서는 玄米 中에 카드뮴(Cd) 含量이 0.4ppm 이상이면 要觀察濃度라고 하며 그 土壤에서 生産된 農産物을 수매하여 非汚染 쌀과 混合하여 汚染度를 낮추어 供給한다고<sup>35)36)</sup> 한다.

有害重金屬의 土壤 中 不溶化 方法으로 銅汚染地에서는 珪酸物質施用으로 收量을 101~114% 增收할 수 있었<sup>37)</sup>으며 또한 金은 消石灰 및 珪灰石施用으로 26~30%와 27~48% 增收하고 常時湛水하므로 더욱 增收되었다고 報告하<sup>38)</sup>었다.

또한 크롬汚染對策으로 珪酸石灰와 推肥施用으로 效果를 얻을 수 있었다는 報告가 있<sup>39)</sup>다.

水稻의 重金屬吸收抑制과 물管理 즉 還元條件을 維持해 줌으로서 Cd, Cu, Zn 모두 그吸收을 크게 減少시킬 수 있었으며 그 效果는 Cd가 크다<sup>40)</sup>고 報告하였다. 또한 同試驗에서 石膏試用效果는 還元條件下에서 더욱 顯著하였다고 했으며 統一品種에서 吸收抑制가 컸을 뿐만 아니라 酸化狀態에서의 重金屬吸收가 統一에서 가장 컸다고 하였다.

土壤의 pH調節과 Cd吸收關係는 많은 外國學者들에 의하여 報告된 바 있으며 우리나라에서도 그림2와 같이

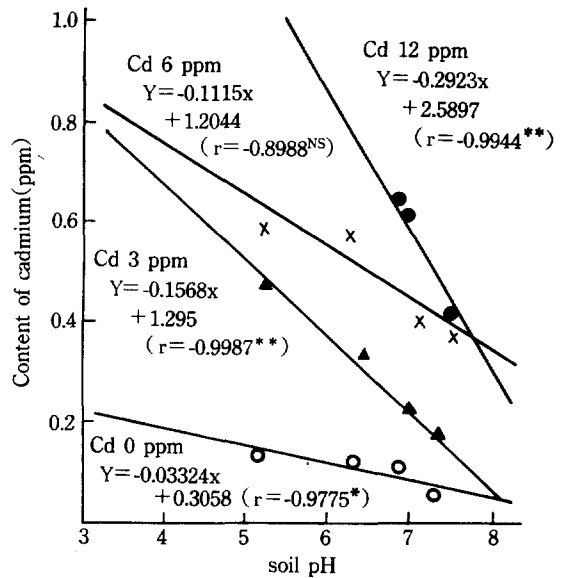


Fig. 2. Relationship between soil pH and Cd content in brown rice after liming(before transplanting)

玄米 中 Cd含量은 土壤의 pH와 高度의 負相關이 있었고 石灰物質別로는 施用量에 따라 表24와 같이 Ca(OH)<sub>2</sub> 및 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>는 그 施用量이 增加함에 따라 玄米 中 Cd含量은 減少하였으나 CaCl<sub>2</sub>는 오히려 增加하는 경향을 보였으며 이는 CaCl<sub>2</sub>가 土壤을 더욱 酸性化하였기 때문

Table 24. Cadmium content in rice plant at different stages

unit : ppm

	panicle formation (leaf and stem)				harvesting (brown rice)			
	0	150	300	450	0	150	300	450kg/10a
Control	12.8	-	-	-	1.18	-	-	-
Ca(OH) <sub>2</sub>		6.9	5.6	5.4		0.84	0.73	0.63
CaCl <sub>2</sub>		14.0	21.9	33.4		1.14	1.38	1.49
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>		8.1	5.1	4.2		0.92	0.88	0.77

이므로 Ca보다는 pH에 의한 영향이 큰 때문으로 보인다고 報告하<sup>41)</sup>였다. Cd에 대하여 磷酸의 效果에 대해서도 이미 많이 報告되고 있으며 그림3에서와 같이 磷酸施用量이 增加함에 따라 玄米 中 Cd含量은 현저히 減

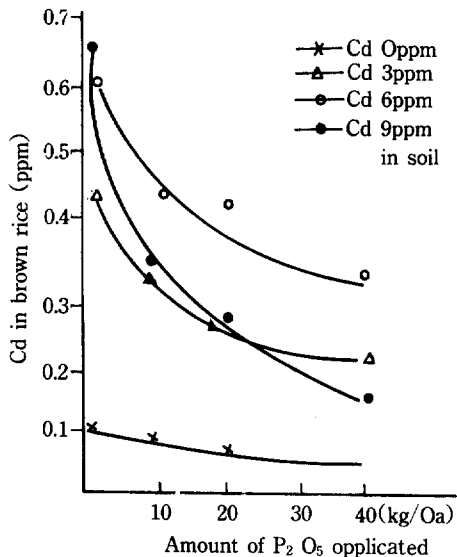


Fig. 3. The relationship between phosphate application and Cd content in brown rice.

少하였으며 肥料別로는 溶成磷肥, 重過石, 溶過磷 등 모두 效果의이었고 Bentonite의 效果도 認定할 수 있었<sup>42)</sup>

다.

또한 鑛山廢水 流入土壤에서 深耕 또는 反轉이 Cd의 吸收를 減少하는 效果가 있었다고 하였<sup>42)</sup>다.

砒素는 엄밀히 보아 重金屬은 아니나 重金屬과 類似한 行動을 하는 元素로서 毒性은 重金屬元素들 보다 더 強한 것으로 報告되고 있으며 農作物의 生育을 沮害시킬 뿐 아니라 人畜에 有害한 元素로 알려져 왔다.

砒素의 土壤中 含量에 의한 水稻體의 吸收程度 및 生育에 미치는 影響은 土壤中 砒素濃度가 높아짐에 따라 有意性있게 減少되었고 土性別 有意性있는 減收農度는 砂壤土가 2.75ppm, 壤土가 6.79ppm이었<sup>43)</sup>다(表25,26)

水稻體 部位別 砒素含量은 根>莖>葉鞘>玄米 順으로 주로 뿌리에 많이 蓄積된다고 하며 常時 湛水區에 비해 間斷湛水區에서 뿌리 莖葉 모두 그 含量이 減少되었으며(表27), 水稻의 生育도 間斷 湛水區가 顯著히 良好하여 植物體 乾物量이 많았으며(그림4)<sup>43)</sup> 이는 重金屬元素들과는 反對의 傾向을 나타내었다.

土壤中 砒素는 磷酸과 같은 性質로 粘土膠質에 吸着 또는 有機物에 結合되거나 土壤 matrix內에서 Al, Fe, Ca, 및 Mg 等과 結合하여 比較的 水溶性인 化合物的 形成하거나<sup>44)</sup> Fe, Al 등의 2,3酸化物 또는 水酸化物과의 沈殿物을 形成하여 難用化된다<sup>45)</sup>.

### 5. 結 論

以上과 같이 水質污染源, 農作物生育에 對한 影響, 및

Table 25. Rice yields(g/pot)

Soil texture	As concentration(ppm) added in soil				
	0	10	25	50	100
Loam	154.7	129.0 (16.4)	117.9 (23.8)	108.7 (29.8)	30.3 (80.4)
Sand Loam	143.3	102.8 (28.3)	94.7 (34.0)	62.5 (56.4)	0
LSD 1% :		Loam 22.51	Sand Loam 21.70	( ) indicates the rate of yield decreased	

Table 26. Regression equations and correlation coefficients between rice yield and soil As concentration, and As critical level.

Soil texture	Regression	Coeff. (r)	Critical level (ppm)
Loam	$Y = 153.512 - 2.685x + 0.0575x^2 - 0.000429x^3$	0.977**	6.79
Sand Loam	$Y = 143.300 - 6.250x + 0.2518x^2 - 0.00318x^3$	0.921**	2.75

\*\* Significant at 1% probability level

Table 27. Aresnic contents in the shoots and roots of rice plants with different As levels and water managements at 45 days after transplanting

(unit : ppm)

As treatment ( $\mu$ ppm)	p	Intermittent irrigation		Continuous submersion	
		Shoot	Root	Shoot	Root
0		0.17	17.9	0.19	12.6
10		1.16	23.4	2.86	170.4
50		2.83	94.9	6.84	700.1
100		6.64	170.4	16.9	958.6
150		5.13	375.7	14.9	1038.8

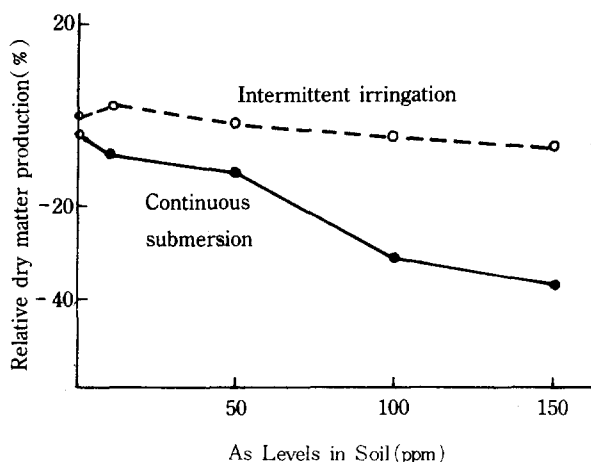


Fig. 4. Relative dry matter production in different soil As levels and water managements at 45 days after transplanting

水質汚染對策에 對하여 우리나라의 研究結果를 中心으로 檢討하여 보았다. 우리나라에서도 産業의 發達과 人口의 都市集中 및 增加가 各種 水質汚染物質의 急進的인 增加와 複雜化 및 多樣化되어 灌溉水質에도 많은 影響을 끼쳐 왔을 뿐만 아니라 農作物生育에 危脅은 勿論 國民保健의 危害도 繼續深化되어 갈 것이 分明하다.

이와 같은 危害는 局部的인 것에서 全面的으로 擴大되어 갈 可能性이 크다고 하겠으나 이에 對하여 一部 소극적인 對策이 部分的으로 發表되었고 期間 國內에서 水質汚染과 農業에 關한 分野의 研究가 未洽點을 自認하지 않을 수 없다.

多樣해지는 水質汚染物質 種類와 새로운 科學技術의 導入으로 보다 實質的이고 價値있는 研究는 勿論 被害

輕減對策등에 關한 多樣한 材料를 對象으로 多樣한 研究結果가 우리나라 農業發達, 灌溉水質保護, 國民保健向上이라는 側面에서 緊要하게 要求되어 새로운 開拓分野로 擡頭되리라 생각된다.

限定되어 있는 農耕地의 環境은 漸次汚染度를 더해 가고 있고 國民의 食糧을 供給해야 하는 우리의 立場에서 農業用水의 水質環境을 保護하고 永久히 保全하여 後孫에게 물려 주어야 함은 우리에게 맡겨진 宿命的 課題이므로 우리 모두가 뜻을 모아 舍心努力해야 할 것이다.

끝으로 보다 많은 研究報告를 모두 引用 못한 점 애석하게 생각하며 이 分野에 많은 사람이 關心을 가져 주시길 바라며 關心을 가지신 研究者들을 위하여 조금이라도 도움이 되었으면 합니다.

參 考 文 獻

1. 鄭永浩, 金福榮, 李重吉, 韓基誦, 1973. 環境汚染에 依한 農作物 被害調查 研究. 金泳 變博士回甲紀念論文集 : 61~72.
2. 鄭永浩, 金福榮, 韓基誦, 1971. 우리나라 수질오염의 실태조사 農事試驗研究 15. (식물환경면) : 7-13.
3. 朴永大, 金戊謙, 1964. 地質系統別 灌溉水의 水質調查. 農事試驗研究 報告. 7輯 1號 : 77~81.
4. 李東碩, 李命浩, 全光柱, 1960. 灌溉水 水質調查. 韓國農化學會誌 創刊號 : 21~25.
5. 金萬壽, 1985. 農作物 被害 調查事例報告書 農業技術研究所 : 59-171.
6. 崔守一, 1981 全國主要河川 流域 基礎調查要約 報告書. 環境廳 : 63-106
7. 李敏孝, 金奎植, 金福榮, 1985. 水稻에 對한 畜産廢水

被害輕減 方法 研究 農業技術研究所 試驗研究報告 書 : 32~36.

8. 李春澤 1986. 石炭鑛의 酸性 抗內 排水 處理利用制 御에 關한 研究 韓國技術士學會誌 19卷 4號 : 11~21.

9. 金福榮 1988. 土壤汚染 通信構議教材 農業振興公私 : 131-165.

10. 李敏孝 1986. 畚土壤에서 砒素의 行動과 砒素吸收에 따른 水稻의 生理生態의 特性 變化. 高麗大學校大學 院博士學位論文 : 19~33.

11. Mai-Thimy Nhung and F.N. Ponnampereuma, 1965. Acid sulfate soil, *Soil Sci.* 102 : 4.

12. Moorman F.R. 1963. Acid sulfate soil(cat-clays) of the tropic. *Soil Sci.* 95 : 271-275.

13. Park. N.J. and Y.S. Park. 1969. A study on the physicochemical characteristics of acid sulfate soil in Kimhae plain. *J. Korean soci. Soil Sci. Ferti.* 2(1) : 15

14. 金鼎濟, 韓大成 1979. 灌溉水中 黃酸이 水稻의 減收에 미치는 影響 江原大學校 研究論文集, 13輯 : 99-104.

15. 戶田光晴 1969. 過剩窒素と 農作物被害 農業と公害 農業用水の水質 保全 : 173-214. 地球出版株式會社.

16. 趙成鎮, 1978. 관개수에 의한 양분의 천연공급 新稿 肥料學 郷文社 : 129-132.

17. Raymond C. Loehr. 1984. Oxygen Demand Measurements, Pollution Control for Agriculture. *Academic Press, Inc* : 100-105.

18. 정영호, 김복영 1970. 공장폐수 및 매연이 농작물생육에 미치는 영향. 식물환경 연구소 시험연구보고서 : 1-70~1-77.

19. 정영호, 김복영, 이종길. 1971. 유해물질에 따른 농작물 생육시기별 피해도 기준설정, 식물환경연구소 시험연구보고서 : 1-76~1-81.

20. 한기학, 김복영, 김규식, 하영래, 1976. 폐수관개가 비위조현상에 미치는 영향. 농촌진흥청 농사시험연구 사업보고서 (비 신계통 이상현상구명) : 116~126.

21. Plice, M.J. 1948. Some effects of crude petroleum on soil fertility. *Soil. Sci. Soci. of Ammerica Proceeding.* 13 : 413-416.

22. Roscoe Ellis, Jr, and Russell S Adams, Jr. 1961. Contamination of soils by petroleum hydrocarbons. *Advanced in Agro.* 13 : 197-216.

23. Young, P.A. 1935. Distribution and effect of petroleum oils and Kerosenes in Potato, Cucumber, Turnip, Barley and Onion. *J.Agr. Research* 51 : 925-934.

24. 정영호, 김복영, 이종길 1972. 유해물질에 따른 농작물 피해도 기준설정. 식물환경연구소 시험연구보고서 : 106-116.

25. 金福榮, 金奎植, 金福鎮, 韓基確. 1978. 重金屬元素의 水稻에 依한 吸收 및 收量에 關한 研究. 農事試驗研究報告 (農業技術論) : 20~1-9.

26. 김규식, 이민효, 김복영, 1978. 유해물질의 농작물 피해도 기준설정, 농업기술연구소 시험연구보고서 : 65~72.

27. 金福鎮, 河永來, 金正玉, 韓基確. 1978. 水稻生育에 對한 有害重金屬의 影響 一發芽 및 苗垵期生育에 對하여. 韓國土肥誌. 11(2) : 119-126.

28. 정영호, 김복영, 이종길, 1973. 유해물질에 따른 농작물 피해도 기준설정, 농업기술 연구소 시험연구보고서(토양비료편) : 52-61.

29. 金福榮, 金奎植, 趙在規 등, 1982. 韓國 的 土壤 및 玄米中の 重金屬의 天然賦存量에 關한 調查研究. 農事試驗研究報告 24(土肥. 作保) : 51-57.

30. 立川碁 1972. 土壤および作物體中の重金屬の分析法 日本土壤肥料學雜誌 : 43(7) : 264~311.

31. 高宮信島 1983. 日本에 있어서의 公害의 歷史와 環境計量證明事業의 現狀에 對하여 技術士 16卷 4號 : 74~77.

32. 柳順昊, 李春寧, 1980. 亞鉛鑛山地域의 畚土壤과 玄米中 카드뮴 및 亞鉛含量, 學術院論文集, 自然科學篇 19 : 255-266.

33. 環境廳. 1980. 농수산물재배를 제한할수있는 오염기준 環境保全法 42條1項, 시행령-27조 : (령 9066호)

34. 金福榮 1988. 環境汚染과 農作物被害對策, 研究와 指導 29卷 2號 : 33~35.

35. 小林降 1975. 土壤中微量重金屬의天然賦存量および 毒性等にていて公害と對策, 11卷11號 : 82~94.

36. 中路清利 1978. 玄米中カドシウム 濃度早期予知に關する研究. 日本土肥誌. 49(3) : 231-237.

37. 鄭永浩, 金戊謙. 1971. 銅 鑛毒地 土壤改良에 關한 研究. 韓國土壤肥料學會誌, 4 : 49-53.

38. 金奎植, 金福榮, 李敏孝, 韓基確, 1985. 水稻의 銅被害에 對한 물 管理 및 石炭物質의 效果, 韓國環境農學會誌 4(2) : 102-107.

39. 鄭永浩, 1977. 重金屬 元素에 依한 農作物被害 및 對策에 關한 研究. 크롬에 依한 배추의 被害對策-韓



- 國土壤肥料學會誌：10(4)：1-6.
40. 金正玉, 河永來, 金福鎮 1978. 水稻品種別重金屬 吸收抑制에 對한 물管理 및 石膏의 效果, 韓國土壤肥料學會誌. 11(2)：113-118.
  41. 金奎植 1980. 畚土壤에 있어서 石灰施用이 水稻의 Cadmium 吸收에 미치는 影響, 忠北大學校 大學院論文集 6：179-190.
  42. 農業技術研究所, 1978 主要試驗研究業績과 研究方向：419-422.
  43. 李敏孝, 林秀吉, 金福榮, 1986. 土壤中砒素의 行動과 水稻의 砒素吸收에 依한 被害生理 生態에 關한 研究, 韓國環境農學會誌 5(2)：95~100
  44. Ganje, T.J. and D.W. Rains. 1982. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Second edition p.385.
  45. Misra, S.G. and Tiwari, R.C. 1963. Studies on Arsenite arsenate system adsorption of arsenate, *Soil sci. Plant Nut.* (Tokyo), 9. 216.