

저수지 준설대상 토양의 이화학적 특성

Physicochemical Characteristics of Dredged Soils in Reservoirs

손 재 권* · 구 자 응* · 최 진 규*
Son, Jae Gwon · Koo, Ja Woong · Choi, Jin Kyu

Summary

This study was carried out to examine the physicochemical characteristics of dredged soils in reservoirs. Surveys and analyses of basic materials were made on 241 of 2,328 reservoirs in Chonbuk province through 2 years from December 1994 to November 1996.

The results of this study are summarized as follows :

1. Soils were classified as 15 types according to physical properties, and some soils contain comparatively high percentage of sand and gravel. Considering only soil textures, useful and economical soils as aggregate are approximately 25% in all, and the other soils are arable for farm planting.

2. The results of chemical analyses of soils showed on the average 5.9 in pH, 1.1mmhos/cm in E_{Ce}, 14.6me/100g in CEC, 460.0ppm in T-N, 119.0ppm in T-P, 264.9ppm in K, 134.2ppm in Na, 1,335.0ppm in Ca, 575.9ppm in Mg, 486.5ppm in Fe, 57.7ppm in Mn, 3.3ppm in Cu, 21.9ppm in Zn, 0.49ppm in As, 0.34ppm in Cd, 0.03ppm in Hg, 1.7% in OM, respectively.

3. General chemical components, heavy metals, organic matter contents were analyzed as similar to the mean values of common soils, therefore it was considered to be no significant effects on crop growth in the chemical properties.

4. Accordingly, the physicochemical characteristics of soils ought to be analyzed accurately before dredging for effective using of dredged soils. And it will be more effective, if the dredged soils are used with proper balance among each content of components with considering to the physicochemical properties of common soils.

* 전북대학교 농과대학

키워드 : 저수지, 준설토, 물리적 성분, 화학적 성분, 토양특성

I. 서 론

최근 우리나라는 해마다 주기적인 가뭄으로 인하여 막대한 피해를 입고 있다. 특히 지난 '94년~'95년에 걸쳐 계속된 가뭄으로 일부지방에서는 생활용수는 물론 농업용수까지 물이 부족하여 농작물 생육에 막대한 지장을 초래하였다.

농업용수의 안정적 확보와 공급 등, 농업생산기반의 여건을 개선하기 위해서는 먼저, 농업용 수리시설물의 기능이 원활하게 유지될 수 있도록 수리시설물에 대한 전면적인 진단과 그 보수대책의 수립 및 효율적인 이수관리, 저수지 준설 등이 필요하다. 특히 농업용 수리시설물중 관개면적면에서 55%를 차지하고 있어⁵⁾ 그 비중이 가장 크다고 볼 수 있는 저수지의 저수용량을 충분히 확보하여 안정적인 용수공급을 할 수 있도록 그 방안을 모색하는 일이 중요하다고 할 수 있다.

그 대책의 일환으로 정부에서는 농업용저수지중 준설가능 저수지를 대상으로 오랜시일에 걸쳐 토사의 유입으로 퇴적되어 있는 퇴적토나 기존의 저수역(貯水域) 등을 준설하여 계획저수용량의 확보는 물론, 저수지의 기능회복 및 수질오염원인을 제거함으로써 효율적인 시설의 유지관리와 물 관리에 원활을 기하고 저 준설계획을 수립하여 지속적으로 추진중에 있다.

준설시 발생하는 준설토는 오랜기간동안에 걸쳐 저수지내에 유입되어 퇴적된 토양이므로 중금속과 같은 오염물질만 축적되어 있지 않으면 유기물 등이 풍부하여 작물이 생육하기에 적합할 뿐만 아니라, 저수지 상류에서 유입된 모래·자갈 등 골재성분이 퇴적토내에 다량으로 포함 되기도 한다.

따라서 준설토양의 물리·화학적 성분을 정확히 분석하여 농경지에 객·복토 하여 준설토를 이용한 작물재배의 실시 등 적절한 용도로

사용토록 하여 농지이용율을 높임으로써, 농지조성의 간접효과를 얻는 것은 물론이고, 농지이외에 성토재료 또는 골재 등 각 용도에 적합하게 사용하여 그 이용도를 높이는 방안을 강구하는 것이 필요한 시기라 생각된다.

한편, 저수지 준설토의 토양특성에 대한 연구는 1993년 전북지역 21개 저수지를 표본지구로 선정하여 조사한 준설타당성 및 기능조사보고서⁴⁾에서 준설토는 니토(泥土)가 많고, 골재료의 사용은 어려울 것으로 판단 된다고 보고한 바 있고, 1995년 일본의 野中大成 등¹⁴⁾이 관개용저수지의 퇴적토사처리에 대한 연구에서 퇴적토사의 성분을 하천에서 운반된 자연의 토사, 생활배수의 폐기물에 의한 토사 등으로 분류한 바 있으며, 이⁸⁾는 경남지역 7개 소류지에 대하여 퇴사토의 성분을 조사한 바 있으나 준설토의 효율적 활용을 위한 조사와 연구는 아직까지 미약한 실정이다.

따라서, 본연구는 항구적인 농업용수확보 대책을 수립하기 위한 일환으로 전국 농업용저수지중 준설을 실시할 계획이거나 준설이 필요한 저수지로부터 발생하는 많은 양의 준설토를 대상으로, 1995년 1월 8월, 1996년 1월 4월 사이에 전북지역에 있는 농조 및 시군관할 농업용저수지 241개소를 표본지구로 선정하여 현황조사와 기초적인 토양의 물리·화학적 특성, 오염물질 함유정도, 유기물함량 등을 조사한 후, 분석결과를 토대로 준설토의 정확한 분류체계를 수립하여 기준에 맞도록 저습지 논에 복토하여 침수피해를 방지하거나, 저지대에 매립(사토처리)하므로써 새로운 토지를 조성하고, 논과 밭에 객·복토를 실시하여 토양을 개량하고, 공원·산보용도로·꽃밭 조성 등 준설토를 이용한 친수공간의 확보, 다목적 경지이용과 골재료의 이용, 준설토를 이용한 작물재배 등 효율적 준설토 이용방안을 모색 하기위한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

본 연구에서는 준설토의 토양특성을 파악하기 위하여 전북지역 농업용저수지를 대상으로 시료를 채취하여 입도분석, 가비중·진비중·공극률 등의 물리적성분과 수소이온농도(pH), 전기전도도(ECe), 양이온치환용량(CEC), 총질소(T-N), 총인(T-P) 및 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg), 칼륨(K), 나트륨(Na) 등 주요양이온, 구리(Cu), 아연(Zn), 망간(Mn), 철(Fe), 카드뮴(Cd), 비소(As), 수은(Hg) 등의 중금속과 유기물함량(OM) 등 화학적 성분을 분석하였다.

1. 조사저수지

준설토의 물리·화학적 토양특성조사는 Table-1에서 보는 바와 같이 전북지역 농조관할 340개소, 시군관할 1,988개소 등 전체 2,328개소⁵⁾의 저수지중 1994년~1996년에 기준설이 실시된 저수지와 향후 농업용수확보차원에서 준설을 실시해야 할 필요성이 있다고 판단되는 저수지 241개소를 대상으로 하였다.

Table-1. Numbers of surveyed reservoirs in Chonbuk province

Items	Numbers by agency		Sum
	FIA	Si-Gun	
Total reservoirs	340	1,988	2,328
Surveyed reservoirs	115	126	241
Soil samples	190	133	323

(Note) FIA : Farmland Improvement Association

본 연구에서 조사저수지로 선정한 저수지의 현황을 설치년도별로 살펴보면 1945년 이전에 설치된 곳이 133개소 55.2%, 1966년 이전에 설치된 곳이 67개소 27.8%로서 30년이상 경과된 저수지가 83.0%를 차지하고 있어 대부분 저수지가 물넘이와 사통·복통 등 취수시설이 노후화 되고, 토사 퇴적으로 인해 저수용량의 부족과 수초와 잡초가 무성하여 저수지 본래의 기능을 발휘하지 못하고 있는 것으로 나타나, 시설물의 개보수 및 준설이 시급한 것으로 나타났다.

한편, 관개면적별로는 100ha미만이 180개소로서 74.8%를 차지해 거의 대부분의 저수지가 소규모라는 것을 알 수 있다. 또한, 도시근교에 위치해 있어 생활폐수가 유입되거나 축사, 계사 등 농업용수오염원이 저수지주변에 산재해 있는 저수지도 상당수 있어 이에 대한 대책마련이 요구되는 것으로 나타났다.

저수지의 저수능력을 나타내는 유효저수량별 현황은 10만³m³미만이 전체 241개 저수지중 119개소로서 49.4%, 10~50만³m³은 55개소 22.8%, 50~100만³m³이 23개소 9.5%로 나타나 100만³m³미만의 내용적을 갖는 곳이 197개소 81.7%를 차지하였고, 100만³m³이상의 저수용량을 갖는 저수지는 44개소 18.3%로 나타났다. 따라서 준설의 효과는 저수용량이 큰 저수지에서 더욱 크게 나타날 것으로 판단되는 바, 준설실시전에 사업의 시행으로 인한 내용적의 증가, 준설량, 처리방법 등에 대한 충분한 검토가 있어야 할 것으로 생각된다.

Table-2. Status of surveyed reservoirs

Items	Numbers(percentage) by range						Remark
	'45 >	'45~'66	'67~'71	'72~'76	'77~'81	'82 <	
Establishment Year	133(55.2)	67(27.8)	21(8.7)	8(3.3)	5(2.1)	7(2.9)	241 (100.0)
Irrigated Area(ha)	50 >	50~100	100~300	300~500	500 <	-	
Effective Capacity(10 ⁴ m ³)	149(61.8)	31(12.9)	35(14.5)	8(3.3)	18(7.5)	-	
	0~10	10~50	50~100	100~500	500~1,000	1,000 <	
	119(49.4)	55(22.8)	23(9.5)	32(13.3)	4(1.7)	8(3.3)	

Table-2는 조사저수지의 설치년도별, 관개 면적별, 유효저수량별 현황을 나타낸 것이다.

2. 토양시료채취

토양시료는 1995년 1월~8월, 1996년 1월~4월사이에 채취하였으며, 채취지점은 채취 시 저수지의 저수율을 감안하여 비교적 퇴적이 많이 되어있는 곳과, 저수역중에서 표토층과 그 이하층(30~100cm)에서 현장여건을 고려하여 채취함을 원칙으로 하였고, 시료수는 저수지 1개소당 1점을 기본으로 하되, 시군관리저수지에 비하여 상대적으로 저수량이 큰 편인 농조관리저수지는 1~2점씩, 시군관리저수지는 7개소를 제외하고는 1점씩 Auger와 삽을 이용하여 채취하였다.

3. 분석방법

가. 물리적 성분

준설토의 물리적 성질중 입도분석은 비중계 및 체분석법을 이용하고, 미국농무성(USDA)의 입도조성에 의한 삼각분류법²⁾에 의하여 토성을 분류하였다. 또한 가비중, 진비중, 공극률, 포화도는 실용적측정법에 의해 시험을 실시하였다.

나. 화학적 성분

준설토양의 화학적 특성분석은 토양의 합리적 토지이용과 시비개선 또는 토양개량과 토목공학적 토지이용 등 준설토의 효율적 활용방안을 모색하기 위한 것으로 각 저수지에서 채취한 323점의 시료에 대하여 수소이온농도(pH)는 초자전극법, 염분농도(ECe)는 전기전도도 측정법, 양이온치환용량(CEC)은 AO-AC-ASTM법, 총질소(T-N) 및 총인산(T-P)은 Kjeldahl법 및 Vanado molydate법, 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg)은 EDTA적정법, 칼륨(K), 나트륨(Na)은 F.E.S법, 철(Fe) 및 중금속인 망간(Mn), 구리(Cu), 아연(Zn), 카드뮴

(Cd)은 AAS법, 수은(Hg), 비소(As)는 환원기화법, 유기물함량(OMC)은 Walkley-black법을 이용하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 토양의 물리성 분석

가 입도분석

토양시료에 대한 입도분석 결과, 토성은 Table-3에서 보는 바와 같이 15가지로 분류되었고, 자갈 및 모래 등 골재의 함유율은 Table-4와 같이 나타났다. Fig. 1과 Fig. 2는 이를 그림으로 나타낸 것이다.

분석결과 각 저수지에서 채취한 323점의 시료중 자갈을 함유하고 있는 곳이 70.6%인 228점으로 나타났고, 이중 30~50%정도 함유하고 있는 곳이 12.4%인 40점, 50.0%이상인 곳이 8.4%인 27점으로 나타났으며, 자갈을 함유치 않고 모래, 실트, 점토 만을 함유하고 있는 곳도 94개소로서 29.1%를 차지하고 있었고, 모래의 함유율이 50%이상인 곳은 121점 37.5%로 나타났다. 또한 함유율면에서 모래와 자갈의 함유량이 각각 60%이상으로서 골재나 도로성토용으로 사용가능하여 경제성이 있다고 판단되는 곳은 79개소 24.5%로 나타났다. 골재나 도로성토용이외의 것을 작물재배에 이용할 수 있는 토양으로 본다면 이같은 토양은 244개소 75.5% 정도로 나타났다. 그러나 이는 단순히 토성(soil texture)만을 고려한 것으로 준설토를 작물재배에 이용하기 위해서는 준설량이나, 유해물질 함유정도, 토양의 수분상태, 운반비용, 시험재배 등에 대한 사전 충분한 검토가 필요하다.

이러한 분석결과를 준설대상 토양이 오랜기간에 걸쳐 퇴적된 곳도 있지만, 대부분은 저수지 저수역(貯水域)중 일부분이라는 것도 그 영향이 크다 할 수 있다. 따라서 효율적인 준설토의 이용을 위해서는 준설전에 정확한 토

성을 분석하고, 그 결과를 이용하여 분류기준을 수립한 후 사용함이 바람직할 것이다. 또한 준설했던 토양의 입도조성은 저수지의 조건 및 준설풅방법 등에 따라 달라질 수 있으므로

준설시 저수지가 건조 및 담수상태인 경우와 준설장비의 사용 등에 대한 충분한 검토가 있어야 할 것으로 판단된다.

Table-3. Soil texture of dredged soil

Soil texture							
Gravelly sand (GS)	Gravelly loam sand (GLS)	Gravelly sandy loam (GSL)	Gravelly loam (GL)	Gravelly silty loam (GSiL)	Gravelly sandy clay loam (GSCl)	Gravelly clay loam (GCL)	Gravelly silty clay loam (GSiCL)
19(5.9)	33(10.2)	90(27.9)	49(15.2)	25(7.7)	1(0.3)	3(0.9)	8(2.5)

Soil texture							Total
Sand (S)	Loamy sand (LS)	Sandy loam (SL)	Loam (L)	Silty loam (SiL)	Clay loam (CL)	Silty clay loam (SiCL)	
5(1.6)	6(1.9)	21(6.5)	26(8.0)	26(8.0)	4(1.2)	7(2.2)	323(100.0)

(Note) () is the percentage(%)

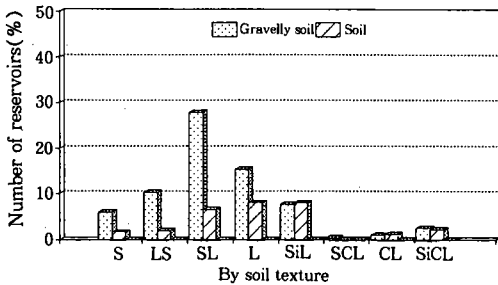


Fig. 1. Soil texture of dredged soil

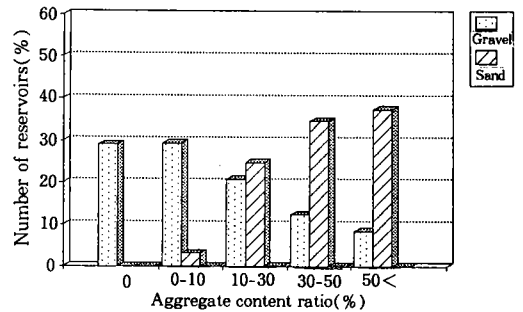


Fig. 2. Aggregate content ratio of dredged soil

Table-4. Aggregate content ratio of dredged soil

Items	Aggregate content ratio(%)					Total
	0	0~10	10~30	30~50	50 <	
Gravel	94(29.1)	95(29.4)	67(20.7)	40(12.4)	27(8.4)	323(100.0)
Sand	-	10(3.1)	80(24.8)	112(34.7)	121(37.4)	

(Note) () is the percentage(%), sand or gravel 60% < : 79 samples(24.5%)

나. 가비중, 진비중, 공극률, 포화도

조사대상저수지에 대한 토양 분석결과 가비중은 1.10~1.63의 범위로 나타났다. 또한 식

질토의 범위라 할 수 있는 1.10~1.20범위가 35개소 10.8%로 나타났고, 양토의 범위인 1.20~1.40은 150개소 46.5%, 사양토로 분류되는 1.40~1.50범위가 67개소 20.7%, 사질토로 분류될 수 있는 1.50이상은 71개소 22.0%로 나타났다.

한편 진비중은 2.20~2.63범위로 나타났고, 공극률과 포화토양의 수분함유율(포화도, degree of saturation)은 각각 35.0~55.8%, 35.0~74.8%로서 토성에 따라 차이가 있었

Table-5. Physical properties of dredged soil

Items	Numbers(percentage) by range				
	1.10~1.20	1.20~1.40	1.40~1.50	1.50<	-
Bulk density	35(10.8)	150(46.5)	67(20.7)	71(22.0)	
Particle density	2.20~2.30	2.30~2.40	2.40~2.50	2.50~2.60	2.60<
	41(12.7)	88(27.2)	123(38.1)	59(18.3)	12(3.7)
Volumetric rate(%)	35~40	40~45	45~50	50~55	55~60
	84(26.0)	126(39.0)	90(27.9)	22(6.8)	1(0.3)
Degree of saturation(%)	30~40	40~45	45~50	50~55	55~60
	64(19.8)	115(35.6)	65(20.1)	46(14.3)	33(10.2)

다. 시험결과로 보아 앞으로 준설토를 골재용, 경작토용, 사토용, 공공용지조성용 등으로 분류하는데 참고자료로 이용하기 위해서는 보다

정밀한 분석이 필요할 것으로 판단된다.

2. 토양의 화학적성분 분석

조사저수지 토양의 화학분석에 대한 분석결과를 기초로 준설토를 이용한 토양개량, 골재로의 활용, 작물재배 등에 참고자료로 활용할 수 있도록 하기 위해 조사항목별로 구분하여 정리하였다. Table-6은 pH, ECe, CEC, T-N, T-P, 유기물함량 등에 대하여 정리한 것이고, Table-7 및 Table-8은 Ca, Mg, K, Na, Fe 등의 주요양이온과 Zn, Mn, Cu, As, Cd, Hg 등 중금속을 분석한 결과이다.

Table-6. Chemical properties of dredged soil

Items	Numbers(percentage) by range							Mean
	5.0>	5.1~5.5	5.6~6.0	6.1~6.5	6.6~7.3	7.4~7.8	9.0<	
pH	67(20.7)	39(12.1)	59(18.3)	88(27.2)	59(18.3)	10(3.1)	1(0.3)	5.9
ECe (mmhos/cm)	0~1.0	1.0~2.0	2.0~3.0	3.0~4.0	4.0~5.0	-	-	1.1
	272(84.3)	45(13.9)	4(1.2)	1(0.3)	1(0.3)	-	-	
CEC (me/100g)	0.0~10.0	10.0~20.0	20.0~30.0	30.0~40.0	40.0<	-	-	14.6
	144(44.6)	117(36.2)	32(9.9)	12(3.7)	18(5.6)	-	-	
T-N(ppm)	0	1~100	100~200	200~300	300~400	400~500	500<	460.0
	46(14.2)	80(24.8)	50(15.5)	34(10.5)	19(5.9)	12(3.7)	82(25.4)	
T-P(ppm)	0~30	30~60	60~90	90~120	120~150	150<	-	119.0
	19(5.9)	101(31.3)	34(10.5)	41(12.7)	66(20.4)	62(19.2)	-	
OMC(%)	0.0~1.0	1.0~2.0	2.0~3.0	3.0~4.0	4.0~5.0	5.0<	-	1.7
	99(30.6)	141(43.7)	38(11.8)	23(7.1)	14(4.3)	8(2.5)	-	

(Note) () is the percentage, pH 5.5~5.7 : 26 samples(8.0%), T-P(44~90ppm) : 80 samples(24.8%)

가. 수소이온농도(pH)

토양에서 작물재배 적합성 여부를 판단하는 기준으로 상당히 중요하다고 할 수 있는 pH를 분석한 결과, 우리나라 보통논과 밭토양의 범위라 할 수 있는 pH 5.5~5.7¹⁰⁾ 토양은 26개소 8.0%로 나타났다. 또한 매우 강한 산성 토양으로 객토나 복토용으로 이용하기에는 곤란할 것으로 판단되는 pH 5.0이하의 67개소 20.7%로 나타났으며, 농토배양 적정기준치라 할 수 있는 pH 6.1~6.5⁶⁾정도는 88개소 27.2

%로 나타났다. 한편, 모든 작물에 적합한 범위라 할 수 있는 pH 5.6~7.3정도의 값을 나타낸 토양은 63.8%인 206개소로 나타나, 다른 이화학적 성분분석 결과를 참고하여 각 성분에 대한 함량간의 균형을 적절히 조절하여 이용하면 효과적일 것으로 판단된다. Fig. 3은 전체자료의 설치년도에 대한 pH를 도시한 것으로 대부분의 자료가 평균치 5.9를 중심으로 4.0~8.0범위내에 고르게 분포되어 있는 것으로 나타났다.

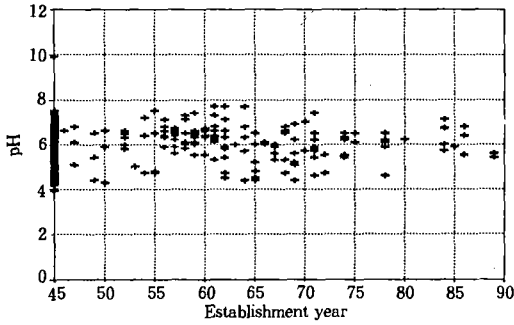


Fig. 3. Reservoir establishment year and pH

나. 전기전도도(ECe)

토양에 함유되어 있는 염분농도의 측면에서 볼때 준설토를 논과 밭등의 경작토로 이용함에 있어 작물생육장해 여부를 판단하기 위해, 토양의 전기전도도를 측정해본 결과 1.0mmhos/cm 미만이 272개소 84.3%, 1.0~2.0mmhos/cm의 범위가 45개소 13.9%로서 작물재배의 적정한계라 할 수 있는 2.0mmhos/cm보다 대부분 낮게 나타나 준설토를 경작토로 이용한다면 염기로 인한 피해는 발생하지 않을 것으로 판단된다.

다. 양이온치환용량(CEC)

토양분석결과 양이온치환용량은 우리나라 밭토양의 일반적 함유량인 10me/100g미만이 144개소로서 44.6%로 나타났고, 최소한도 함유해야 할 기준치인 10~20me/100g^{6,10)} 범위가 117개소 36.2%이었다. 또한 비교적 비옥한 토양이라고 할 수 있는 20me/100g이상은 19.2%인 62개소로 나타나, 토양의 다른 이화학적 성분분석 결과와 연계해서 적절히 이용한다면 준설토를 이용한 토양개량 등에 효과적으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

한편, 전체 평균치는 14.6me/100g으로 일반토양보다 비교적 높게 나타났다. 이는 퇴적이 오래기간동안 이루어진 것에 기인한 것으로 보인다.

라. 총질소(T-N) 및 총인산(T-P)

1) 총질소(T-N)

총질소(T-N)는 300ppm이하가 210개소로서 65.0%를 차지해 일반토양중 함유량 300~2,000ppm¹⁾에 비하여 적은편이었다. 한편, 평균치는 460.0ppm으로 나타나 일반토양의 함유량범위내에 있었다. 그러나 토양중에 질소가 부족하면 식물의 성장속도가 느리고 잎이 성숙기전에 떨어지는 현상 등이 발생하기 때문에 준설토를 작물재배에 이용하기 위해서는 사전에 충분한 조사가 있어야 할 것으로 보인다.

2) 총인산(T-P)

총인산(T-P)은 일반토양의 함유량인 1~30ppm정도가 19개소로서 5.9%로 나타났고, 30ppm이상은 304개소 94.1%로 나타나 총인 함유량은 자연함유량보다 비교적 많은 것으로 나타났다. 그러나 인산의 과잉으로 토양의 기능을 상실하는 일은 거의 없고, 간접적인 작용을 통하여 식물의 생육이 억제되는 일은 있을 수 있지만 가용성 인산이 존재하지 않으면 이같은 현상은 발생하지 않는다. 또한 우리나라 논과 밭의 농토배양적정기준치라 할 수 있는 44~90ppm⁷⁾정도 함유된 곳이 80개소로서 24.8%로 나타났다. 한편, 전체시료의 평균치는 119.0ppm으로서 일반토양중 함유량보다 높게 나타나 준설토를 농경지에 활용할시 효과적일 것으로 판단된다.

마. 유기물함량(OM)

유기물은 작물에 대한 질소성분의 공급원이 될 뿐만 아니라 가리흙의 여러가지 이화학적 특성을 지배하는 중요한 성분으로, 토양중에서 식물양분을 저장하고 수분을 흡수 유지하며 토양의 이화학적 성질을 개선하는 등 중요한 역할을 한다. 따라서 유기물의 함량은 토양 비옥도의 지표가 될만큼 중요한데, 우리나라의 경우 농토양의 함유량은 2.6~2.8%¹⁰⁾정

도로써 적정기준치인 3.0%⁶⁾와 비슷하여 벼재배에는 비교적 적정한 수준이라 할 수 있다. 그러나 밭 토양은 2.0~2.2% 수준으로 적은편이어서 기준치인 3.0~3.5%⁶⁾까지 높여주어야 하는데, 이를 위해서는 장기간에 걸친 퇴비, 녹비 등 유기질비료의 많은 시비가 필요하다.

본 연구에서 분석한 조사대상저수지 토양의 유기물은 Table-6에서 보는 바와 같이 2.0% 미만이 240개소로서 74.3%를 차지하고 있으며, 비교적 우리나라 논 토양의 개량기준치와 비슷한 2.0~3.0%정도의 토양은 11.8%인 38개소로 나타났다. 또한 밭토양의 개량기준치와 비슷하다고 볼 수 있는 3.0~4.0%를 나타낸 곳은 23개소로서 7.1%이었고, 4%이상 비교적 많은 유기물을 함유하고 있는 곳은 22개소 6.8%로 나타났다. 한편 전체 평균치는 1.7%로서 우리나라 토양의 평균치와 별차이가 없는 것으로 나타났다.

이러한 결과로 보아 조사대상저수지 토양의 유기물함량은 우리나라 토양의 평균치 2.0%보다 약간 낮거나 비슷한 경우가 거의 대부분인 278개소 86.1%로 나타나, 준설토를 작물재배 등에 이용하기 위해서는 퇴비나 유기질의 시용 등 토양개량에 대한 적절한 대책의 수립이 요구된다고 볼 수 있다.

Fig. 4는 토성별 유기물함량(OM)의 평균치

를 그림으로 나타낸 것으로 미사토성분이 있는 자갈섞인미사질양토(GSiL), 자갈섞인미사질식양토(GSiCL), 미사질양토(SiL)만이 일반 토양의 평균치 2.0%보다 크게 나타났고, 모래성분이 많은 토양은 1.0%이하, 그외 토양의 평균치는 1.0~2.0%로 나타났다.

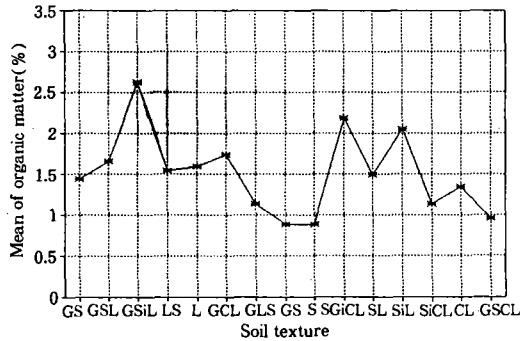


Fig. 4. Mean value of organic matter content by soil texture

바. 주요 양이온

작물생육에 필수적으로 필요한 영양원소중 토양중의 자연함량으로는 부족하여 인공적으로 보급 할 필요가 있는 비료요소중 칼륨·칼슘·마그네슘과 필수원소는 아니지만 칼륨의 대응적 역할을 하는 나트륨 및 필요 미량원소인 철에 대한 조사저수지 토양의 분석결과를 Table-7에서 보는 바와 같다.

Table-7. Main cation and heavy metals of dredged soil

Division	Heavy metals (ppm)				
	K	Na	Mg	Ca	Fe
Range	14.0~786.0	14.0~536.0	10.0~6,762.0	70.0~4,739.0	32.0~3,950.0
Mean	264.9	134.2	575.9	1,335.0	486.5

(Note) Mg is 490ppm < : 161 samples(49.8%)

1) 칼륨(K), 나트륨(Na)

칼륨은 모든 작물의 생육에 필수불가결한 원소로서, 광합성, 탄수화물 및 단백질 형성, 세포내의 수분공급, 증산에 의한 수분상실의 제어 등 식물세포의 기공개폐에 관여하며, 나

트륨은 필수원소는 아니지만 칼륨의 대응적 역할을 하는 원소로 토양중 자연함량이 보통 1~50ppm¹⁾이다. 본 조사 토양에 함유되어 있는 칼륨과 나트륨 함량은 각각 14~786ppm, 14~536ppm범위, 평균치 264.9ppm,

134.2ppm으로서, 일반 토양중의 자연함유량 보다 상당히 큰 값을 나타냈다. 따라서 준설토를 작물재배에 활용할 시 칼륨부족은 발생하지 않을 것으로 판단되나, 나트륨 성분이 과다하게 함유되어 있는 토양을 농경지에 객·복토 처리할 경우에는 이에 대한 충분한 사전 검토가 있어야 할 것으로 판단된다.

2) 마그네슘(Mg)

녹색식물의 엽록소 구성 성분이며 효소활성화, 질소대사에 관여하고, 부족하면 줄기나 뿌리의 성장점에 발육이 저해되고 작물의 종자성숙에 영향을 주는 마그네슘(Mg)은 10~6,762ppm으로서, 일반 토양중의 자연함유량인 1~100ppm¹⁾보다 훨씬 크게 나타났다. 이러한 마그네슘은 석회가 부족한 산성토양이나 또는 석회를 과다하게 시용했을때 결핍현상이 나타나기 쉽다. 한편 전체 평균치는 576ppm으로 나타났고, 논과 밭의 개량목표치인 490ppm보다 큰값을 나타낸 곳이 161개소 49.8%로 나타나, 준설토를 농경지에 이용한다면 마그네슘 부족으로 인한 피해는 발생되지 않을 것으로 보여진다.

3) 칼슘(Ca)

조사대상저수지 토양에 함유되어 있는 칼슘의 함량은 70~4,739ppm범위로서, 일반 토양중의 자연함유량 70~5,000ppm과 비슷하나, 평균치는 1,335.0ppm으로 나타났다. 또한 우리나라 논과 밭의 개량목표치라 할 수 있는 2,400ppm⁶⁾보다 큰 값을 보인 곳은 6개소로 나타나 준설토를 이용하여 작물을 재배할 경우 석회시용에 대한 검토가 있어야 할 것으로 판단된다.

4) 철(Fe)

토양 분석결과 철은 32~3,950ppm의 범위로서, 식물체내 자연함유량인 50~1,000ppm³⁾범위가 대부분으로 35개소, 10.3%만이 자연함유량의 범위보다 크게 나타나, 작물재배에는 별 지장이 없을 것으로 판단된다. 또한, 논토양에서는 담수하면 pH가 6.5이상이 되므로 철분 부족으로 인한 피해는 거의 발생치 않는다.¹⁰⁾

사. 중금속

토양오염을 일으키는 주요 원소로는 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb), 수은(Hg), 망간(Mn), 구리(Cu), 아연(Zn) 등을 들 수 있다. 이들 원소중 1995년도에 채취한 시료 208점과 1996년도에 채취한 시료 133점 등 총 323점을 대상으로 분석한 망간·구리·아연은 작물생육에 필요한 성분으로 미량만 공급해도 되는 미량원소라 할 수 있다. 그러나 이러한 미량원소는 약간만 많아져도 유해할 경우가 있다. 즉 토양중에 무기성분이 과잉하면 작물에 직접적으로 나쁜작용을 끼치는 한편, 다른 원소의 흡수·이동에 영향을 주기도 한다.

한편, 비소(As), 수은(Hg)에 대하여는 1996년도 1월부터 3월에 걸쳐 채취한 전북관내 8개농조 저수지에서 각각 2개소 2점씩 16점, 시군관리저수지는 4개시군 6개저수지에서 1점씩 6점과 작물재배시험포용 준설토양 4개저수지 9점 등 총 26개저수지에서 31점을 채취하여 분석하였고, 카드뮴(Cd)은 농조관리저수지에서 90점, 시군관리저수지에서 25점 등 총 115점을 분석하였다.

Table-8. Heavy metals of dredged soil

Division	Heavy metals(ppm)					
	Mn	Cu	Zn	As	Cd	Hg
Range	7.8~319.5	0.2~48.3	1.2~381.2	0.29~0.72	0.1~2.5	0.0~0.06
Mean	57.7	3.3	21.9	0.49	0.34	0.03

(Note) Cd was detected only in 63 samples of 115 samples.

Table-8은 이들 중금속에 대한 분석결과를 나타낸 것이다.

1) 망간(Mn)

식물에 필요한 필수원소로서 각종 효소의 활성을 높여서 동화물질의 합성분해, 호흡작용, 광합성 등에 촉매의 기능을 하는 망간은 토양중에서 철과 유사한 작용을 하고 식물의 요구량은 미량이므로, 함량이 부족한 경우는 거의 없지만 부족하면 작물의 엽맥에서 먼부분이 황색으로 된다. 너무 많이 함유되어 있으면 뿌리가 갈색으로 변하고, 줄기·잎에 갈색의 반점이나 무늬가 생기며, 잎이 황백화와 만곡(彎曲)도 발생하고 철 결핍증을 일으킨다. 또한 토양이 강한 알카리성이 되거나, 과습하거나, 철분이 과다하면 망간의 결핍상태가 초래된다.

토양 분석결과 7.8~319.5ppm범위로 나타나, 순창농조 대가제를 제외하고는 식물체내 자연함유량인 10~300ppm¹⁾범위내에 있는 것으로 나타났고, 평균치도 57.7ppm으로 비교적 낮게 측정되었다.

2) 구리(Cu)

구리의 일반 토양중 자연함유량은 2~100ppm(평균 20ppm)^{10,13)}이고, 벼의 재배시 40~65ppm¹³⁾에서 피해가 발생된다. 조사대상 저수지 토양 분석결과 0.2~48.3ppm범위, 평균 3.3ppm으로 나타나, 동진농조 선암제 1개소만이 48.3ppm으로 자연함유량 평균치를 초과했을 뿐, 나머지 322개소는 평균치 이하로 나타났다. 그리고 수질환경보전법 제46조 및 시행령30조에 규정된 농산물의 재배를 제한하는 기준치인 125ppm⁹⁾을 넘지 않아 구리로 인하여는 별다른 문제가 발생되지 않을 것으로 판단된다.

3) 아연(Zn)

토양중 아연의 자연함유량은 10~300ppm(평균 30~50ppm)^{1,10,13)}정도이고, 우리나라 논토양의 자연함유량은 32.8ppm이며, 벼의

생육에 지장이 없는 범위는 200~500ppm³⁾이다. 분석결과 아연의 함유량은 1.2~381.2ppm 범위, 평균 21.9ppm으로 일반 토양중의 함유량과 비슷하게 나타났고, 벼의 생육제한치 범위내에 있어 아연 역시 별다른 문제가 발생하지 않을 것으로 보인다.

4) 비 소(As)

비소(As)는 토양중에 평균 5~6ppm가 함유되어 있고, 우리나라 논토양의 자연함유량은 2.31~4.8ppm으로 조사된 바 있다.^{12,13)} 한편 작물의 생육에 해를 끼치는 농도는 20ppm이고, 우리나라 밭토양에서는 15ppm이하로 규정하고 있다.¹⁰⁾ 본 연구에서 분석한 31점의 토양중 비소 함유량은 0.29~0.72ppm, 평균 0.49ppm으로서 논이나 밭토양의 자연함유량보다 적게 나타났고, 작물에 해를 끼치지 않는 범위 내에 있어 준설토를 농경지에 객·복토 하여도 비소(As)에 의한 지장은 없을 것으로 조사되었다.

5) 카드뮴(Cd)

Cd는 식물생육에 필요한 원소로 인정되지 않고 있으며, 과잉으로 식물에 흡수될 경우 생육장해를 일으킨다. 또한 토양중 함량이 25ppm 이상일 때 작물의 생육이 저해된다. 한편 우리나라 논토양의 카드뮴함유량은 0.142~0.152ppm¹²⁾, 오염되지 않은 지역의 토양중 함유량은 보통 1ppm이하로 조사된 바 있다.

분석결과 평균치는 0.34ppm으로서 조사되었고, 전북농조 경천제 1.6ppm, 순창농조 동산제 1.0ppm, 동진농조 능계 2.5ppm, 금강농조 어란제 1.8ppm, 완주군 상관저수지 1.1ppm, 1.3ppm등 6개소만이 오염되지 않은 토양의 함유량 1ppm보다 약간 높게 나타났으며, 64개소는 1ppm이하, 나머지 44개소는 전혀 검출되지 않았다. 따라서 이들 토양을 작물재배에 이용시 작물생육에 영향을 끼치는 값인 25ppm이하로서 생육에는 지장이 없을

것으로 판단되나, 1ppm보다 높게 검출된 경천제, 동산제, 능제, 어란제, 상관제 등 5개소는 지속적인 조사와 검토가 필요한 것으로 나타났다.

6) 수 은(Hg)

수은의 토양중 자연함유량은 60ppb이고, 우리나라 논토양의 자연함유량은 0.09~0.098ppm으로 조사된바 있다.¹²⁾ 한편 분석토양의 수은 함유량은 전혀 검출되지 않은 곳이 보화제, 방산제 등 2개소로 나타났고, 나머지 저수지에서는 최소 10ppb(0.01ppm)에서 최대 60ppb(0.06ppm)로 조사되었고, 평균치는 0.03ppm으로 일반토양중 자연함유량과, 우리나라 논토양의 범위내로서 본 연구에서 분석한 결과로서는 수은으로 인한 피해는 없을 것으로 조사되었다.

Fig. 5는 중금속중 As, Cd, Hg에 대한 31점의 분석결과 평균치로서 As가 0.35ppm(양질사토; LS), 0.62ppm(미사질양토; SiL), Cd 0.00ppm(자갈섞인양토; GL), 1.35ppm(미사질양토; SiL), Hg가 0.02ppm(미사질양토; SiL), 0.05ppm(양질사토; LS)의 최저치와 최고치를 각각 나타냈다.

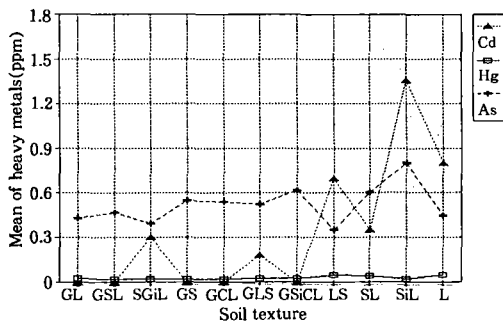


Fig. 5. Mean value of heavy metals by soil texture

IV. 결 론

본 연구는 저수지 준설과 관련 준설토의 물

리화학적 토양특성을 조사하여 실제 준설공사 설계에 이용이 가능토록 그 기초자료를 제공하고 전북지역의 241개 저수지를 중심으로 저수지 현황조사와 준설토의 물리·화학적성분을 분석하고 토양특성을 항목별로 고찰하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 입도분석 결과 토성은 15가지로 분류되었고, 분석대상 토양이 저수역의 일부분인 관개로 모래와 자갈 등 골재성분이 포함된 곳이 상당수 나타났다. 토성만을 고려한다면, 모래나 자갈의 함유율이 각각 60% 이상으로서 골재용으로 사용가능하여 경제성이 있는 곳은 25%, 이외에 작물재배에 이용할 수 있는 토양은 75%로 나타났다.

2. 토양의 화학적성분 분석결과 pH는 5.9, ECe는 1.1mmhos/cm, CEC는 14.6me/100g, T-N은 460.0ppm, T-P는 119.0ppm, 유기물은 1.7%, K과 Na는 264.9ppm과 134.2ppm, Ca와 Mg는 1,335.0ppm과 575.9ppm, Fe는 486.5ppm, Mn과 Cu는 57.7ppm과 3.3ppm, Zn과 As는 21.9ppm과 0.49ppm, Cd와 Hg는 0.34ppm과 0.03ppm의 평균값을 각각 나타내었다.

3. Ca, Mg, K, Na, Fe 등의 주요양이온과 Mn, Cu, Zn, As, Hg, Cd 등 중금속 성분은 대부분 일반토양중의 자연함유량과 비슷하게 나타나 농작물 생육에는 큰 영향을 주지 않을 것으로 나타났다.

4. 유기물함량은 우리나라 일반토양의 평균치보다 약간 낮거나 비슷한 경우가 거의 대부분인 86.1%로 나타나, 준설토를 이용하여 작물을 재배할 경우에는 퇴비나 유기질 사용등 적절한 토양개량 대책을 수립한 후 사용해야 할 것으로 나타났다.

5. 따라서 효율적 준설토 이용을 위해서는 준설전에 정확한 토성을 분석하고, 다른 이화학적 성분분석 결과를 참고하여 각 성분에 대한 함량간의 균형을 조절하여 이용하면 효과

적일 것으로 판단된다.

본 논문은 1996년도 농림수산특정연구
사업에 의한 연구지원과제의 일부결과임

참 고 문 헌

1. 강영희, 신영호(1994) 식물영양학, 도서출판 아카데미서적.
2. 권무남외 6인(1994) 토질공학, 건국대학교 출판부.
3. 김영일(1985) 비료분석법 해설.
4. 농림수산부(1993) 저수지준설타당성 및 기능조사보고서(전북).
5. 농림수산부(1995) 농업기반조성사업통계연보.
6. 농촌진흥청(1989) 농토배양 10개년사업 종합보고서.
7. 농촌진흥청(1993) 농토배양기준.
8. 이유근(1983) 저수지의 퇴적토에 관하여, 진주전문대 논문집 21 : 255~257.
9. 전국환경관리인연합회(1994) 환경관계법규(Ⅱ), 1994.12.
10. 조백현, 조성진, 박천서, 엄대익(1986) 삼정토양학, 향문사.
11. 조재성, 이광전(1977) 실험통계학, 선진문화사.
12. 한국환경농학회(1991) 환경농학, 한림저널사.
13. 한기학외 9인(1989) 농업환경화학.
14. 野中大成, 小谷正浩, 永井啓一(1996) 溜池の堆積土砂處理, 日本農業土木學會誌(63) : 25~30.

(접수일자 : 1997년 3월 5일)