

추자·우도 저수지 수질특성에 관한 연구

이용두·고득영

제주대학교 해양과학부 토목환경공학전공

A Study on Water quality characteristics of CHUJA and UDO-Reservoir

Yong-Doo LEE and Deuk-Young Ko

Major of Civil & Environmental Engineering, Cheju National University, Jeju 690-756, Korea

The research which it sees should have been danced the Chuja and Udo island which is appropriate and under also the right against the reservoir analyzes a seasonal datum medulla change quality precisely and problem point escape, the objective of the place where it finishes the best in the books area waterworks Chuha and Udo island it proposes also it presents a rational essence treatability as there is. Also the right should have been danced and Chuha and Udo measurement result of the reservoir : The pH 7.47, SS 2.40 mg/l, T-P 0.65 mg/l and BOD 13.1 mg/l was degree. Danced the 1st reservoir pH 7.82, SS 0.5 mg/l, T-P 0.70 mg/l, BOD 3.0 mg/l to be, should have been danced the 2nd reservoir pH 7.82, SS 0.5 mg/l, T-P 0.70 mg/l, BOD 3.0 mg/l was degree. And should have been danced the 3rd reservoir pH 7.78, SS 1.3 mg/l, T-P 0.37 mg/l and BOD 0.96 mg/l and, should have been danced the 4th reservoir appeared pH 7.47, SS 2.4 mg/l, T-P 0.65 mg/l, BOD 13.1 mg/l. with the result that in order to prevent the efficient decrease of the replacement of salt water by fresh water control which is caused by with the summer season temperature rise, it means the fringe land of water sampling location will be inevitable, also stable series hazard there is a necessity which will control the size of multiple.

Key Words : Reservoir, Eutrophication, Water Quality.

1. 서 론

해양과 인접하고 있는 섬 지역은 내륙과 달리 지표 면적이 협소 하고 토지의 경사가 급하여 하천의 발달이 미약하며 하상계수가 큰 편에 속 하기 때문에 유수 환경은 여름철의 강우기에만

현재하게 유지되고, 건기에는 물의 흐름이 육안 으로 관찰되기 어려울 정도로 거의 빈약하다. 또한 수자원의 효율적인 이용도가 낮아 이를 고려할 때 생활환경적 측면에서 열악한 지리적 환경을 가지고 있다. 호소나 저수지의 부영양화는 호소수질저하의 가장 일반적인 형태로서 자연상

태에서는 아주 느리게 진행되는 장기적 과정이지만, 인간 활동에 따른 영양물질의 유입증가는 이 자연적인 과정을 가속화 하게 된다. 일단 부영양화 상태에 들어선 호수나 저수지는 수질을 회복시키기가 어렵고 복구 시에는 많은 시간과 경제적 노력이 필요하거나, 아니면 복구가 불가능하므로 사전에 적절한 대책을 수립하여 수자원을 용도에 맞도록 관리할 필요가 있다. 저수지나 호소는 중력에 의해 흐르는 자연하천과는 달리 대부분의 경우, 오염물질이 대량 또는 장기간 유입되었을 경우 저수지 내에 오염물질이 축적, 보존되는 특징을 가지므로 한 번 기능을 상실한 저수지를 복원 하는 데에는 막대한 시간과 재원이 소요된다. 추자 및 우도의 경우 천수를 집수하여 정수처리 후 담수화 처리수와 병행하여 주민들의 먹는 물, 생활용수 및 농업용수로 공급하고 있다. 그러나 여름철 고수온기의 경우 조류발생으로 인한 악취와 이로 인한 정수처리 공정의 효율을 저하시키는 문제점이 발생하고 있다. 이에 본 연구는 추자·우도 저수지에 대한 하절기 수질변화 특성을 정밀 분석하여 수질보전대책 수립 및 적합한 정수처리 방안의 도입, 먹는 물 수질 개선 방안 수립에 대한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 추자·우도 저수지 현황

추자 제1수원의 경우 1937년에 축조되어 완속여과로 정수 하여 최근까지 공급하고 있으며, 제2원의 경우 지질 및 조류의 영향으로 물의 색도가 높고 약간 붉은색을 띠고 있어 계속 사용을 계획할 경우 구체적인 조사가 요구되는 지점으로 분석 되었다. 제3수원은 전면 시트로 차수 하였고 담수장의 물과 4수원의 물이 혼합되어 정수처리 후 배수지로 보내고 있는 형태

이다. 이와 같이 추자지역에는 총 4개의 저수지가 있으며, 총 저수용량은 172,000 m³ 이며 Table 1 에 일반 현황을 정리 하였다. 각 저수지 상류부에는 예전에 경작이 이루어졌던 경작지가 있으나, 현재에는 거의 경작이 이루어지고 있지 않고 있으며, 또한 오염원이 거의 존재하고 있지 않은 실정으로 보여 진다. 우도 저수지는 우도면 전 지역에 생활용수 공급을 목적으로 준공되었으나, 1999년 우도지역에 담수화시설(1,000 m³/day)이 가동되면서, 농업용수로만 공급되어 사용되고 있는 실정이다. 시설규모는 면적이 1,539 m², 시설용량은 50,000 m³, 그리고 1일 급수량은 최대 172 m³/day, 평균 115 m³/day 이다.

Table 1. Pondage factors of reservoir on Chuja Island

구분	위 치	저수용량	현재수량	사 용 가능량
제1저수지	추자면 대서리	13,000	4,000	4,000
제2저수지	추자면 영흥리	9,000	3,000	3,000
제3저수지	추자면 북리	100,000	51,000	51,000
제4저수지	추자면 북리	50,000	7,000	7,000

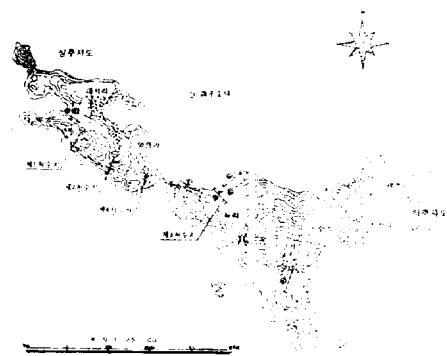


Fig. 1. Map showing location for the survey of Chuja Island.

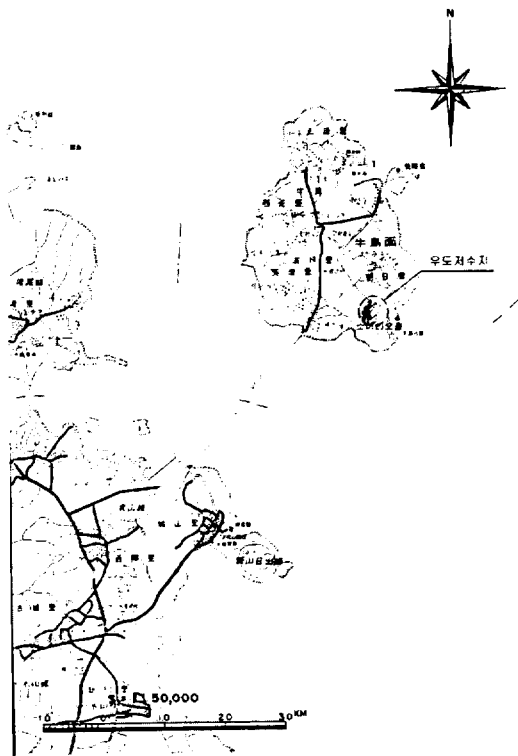


Fig. 2. Map showing location for the survey of Udo Island

2.2 수질 조사 및 분석 방법

추자·우도 수질조사는 계절적으로 저수지 수질이 가장 취약한 여름기간(2004. 6. 17~2004. 8. 25)동안 총5회에 걸쳐 강우가 없는 시기를 택하여 채수 하였으며, 측정 지점은 우도 저수지 2개 지점, 추자 제1, 2, 4 저수지 각 2개 지점 및 추자 제3저수지 4개 지점(Fig. 3~4)에서 시료를 채수 하였으며, 채수한 시료는 4ℓ 폴리에틸렌병에 넣어 4℃로 전처리 또는 현상태로 냉동 보관하여 실험실로 운반 즉시 분석하였으며, 분석항목은 pH, 수온, SS, T-N, T-P, BOD, DO, SS, NH₄-N, NO₃-N, 탁도, 색도, 투명도, 대장균군, Chl-a, 경도, Cl, SO₄, Cu, Fe, Mn, Al, Zn, Cd, As, CN, Hg, Pb 등 29개 항목으로 수질오염공정시험법과 Standard Method(18th ed.)에 준하여 분석하였다.

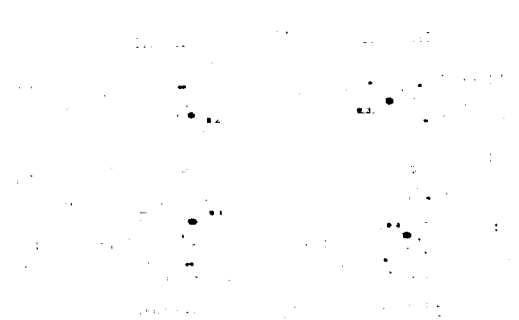


Fig. 3. Sampling for the survey of water quality and phytoplankton in Chuja Reservoir

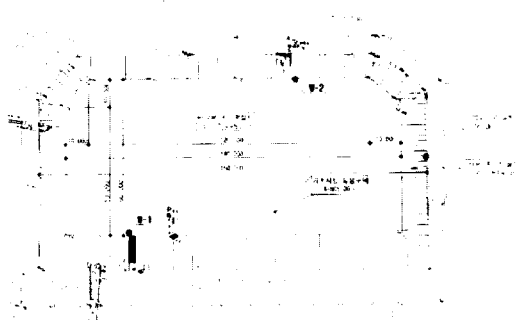


Fig. 4. Sampling for the survey of water quality and phytoplankton in Udo Reservoir

2.3 영양도 평가

부영양화는 많은 Parameter가 복합적으로 나타나는 현상이라고 할 수 있는데, 이러한 단계를 간단히 하여 영양상태 평가를 단순화 하는 것이 연구되어 왔으며, 그 대표적인 것이 미국 환경청(U.S Environmental Protection Agency)에 의한 것으로 총인, Chl-a, 투명도, 용존산소 포화도(%)의 총 4가지 Parameter로서 호소의 영양단계를 판정하게 되어 있으며, 영양염류로서 총인 의 농도 10~20 mg/m를 경계치로 하고 있다. 한편 환경부에서는 Table 2에 나타낸 바와 같은 R. V. Vollenweider의 분류 기준을 따르고 있다. 평가 인자로서는 총질소와 총인 두 가지로서, 총인에 대한 총질소의 농도 비율이 7 미만일 경우는 총질소를, 16 이상일 경우는 총

인을, 7 이상 16 미만일 경우는 영양상태가 높은 항목을 기준으로 하여 영양화 단계를 모두 5 단계로 구분 하였으며, Forsberg와 Sakamoto에 의한 한계영양물질에 대한 N/P와 다소 차이가 난다.

Table 2. Classification of trophic State from Vollenweider

영양상태	총인(mg/ℓ)	총질소(mg/ℓ)
극빈영양	<0.005	<0.2
빈-중영양	0.005~0.01	0.2~0.4
중영양	0.01~0.03	0.3~0.65
중-부영양	0.03~0.1	0.5~1.5
부영양	>0.1	>1.5

3. 결과 및 고찰

우도 및 추자 저수지의 수질측정 결과를 각각의 저수지에 대하여 Table 3, 4, 5에 나타내었다. 수질측정 결과를 살펴보면, 우도의 경우 평균 pH 7.47, SS 2.40 mg/l, T-P 0.65 mg/l 그리고 BOD는 13.1 mg/l 정도였다. 추자 제 1저수지는 pH 7.82, SS 0.5 mg/l, T-P 0.70 mg/l, BOD 3.0 mg/l 이며, 추자 제 2저수지는 pH 7.82, SS 0.5 mg/l, T-P 0.70 mg/l, BOD 3.0 mg/l 정도였다. 그리고 추자 제 3저수지는 pH 7.78, SS 1.3 mg/l, T-P 0.37 mg/l 그리고 BOD 0.96 mg/l 이고, 추자 제 4저수지는 pH 7.47, SS 2.4 mg/l, T-P 0.65 mg/l, BOD 13.1 mg/l으로 나타났다.

Table 3. Mean water quality of the reservoir of Udo Island

측정 항목	W-1	W-2
pH	7.23	7.71
Temperature(°C)	28.6	28.5
SS(mg/ℓ)	2.40	2.40
T-N(mg/ℓ)	-	-
T-P(mg/ℓ)	0.45	0.85
BOD(mg/ℓ)	14.10	12.10
DO(mg/ℓ)	4.68	4.78
Turbidity(NTU)	2.30	2.01
Color intensity	1	1
Coliform group(MPN/100 ml)	20	140
NH ₄ -N(mg/ℓ)	0.02	N.D
NO ₃ -N(mg/ℓ)	0.80	0.44
Cl (mg/ℓ)	43.42	33.98
Hardness(mg/ℓ)	22	25
SO ₄ (mg/ℓ)	-	-
Transparency(cm)	50이상	50이상
Chl-a(ug/l)	19.1	17.6

Table 4. Mean water quality of the reservoir(No. 1, 2, 4) of Chuja Island

측 정 항 목	추자 제1저수지		추자 제2저수지		추자 제4저수지	
	W-1	W-2	W-1	W-2	W-1	W-2
pH	7.87	7.78	7.86	8.1	7.23	7.71
Temperature(℃)	26.5	26.5	27	26.9	28.6	28.5
SS(mg/l)	0.75	0.25	4.25	1.5	2.40	2.40
T-N(mg/l)	-	-	-	-	-	-
T-P(mg/l)	0.75	0.65	0.65	0.7	0.45	0.85
BOD(mg/l)	5.04	1.01	3.02	6.05	14.10	12.10
DO(mg/l)	5.07	4.87	5.03	4.96	4.68	4.78
Turbidity(NTU)	1.50	1.50	6.35	6.30	2.30	2.01
Color intensity	1	1	4	3	2	1
Coliform group(MPN/100ml)	N.D	N.D	170	170	20	140
NH ₄ -N(mg/l)	0.03	N.D	N.D	0.01	0.02	N.D
NO ₃ -N(mg/l)	1.02	0.60	0.81	1.36	1.18	1.28
Cl (mg/l)	143.49	143.49	154.82	147.26	43.42	33.98
Hardness(mg/l)	44	40	35	34	22	25
SO ₄ (mg/l)	-	-	-	-	-	-
Transparency(cm)	50이상	50이상	50이상	50이상	50이상	50이상
Chl-a(ug/l)	10.0	10.4	45.1	53.0	24.6	16.3

Table 5. Mean water quality of the reservoir(No.3) of Chuja Island

측 정 항 목	1차(2004. 7.15.)				2차(2004. 7. 27)			
	W-1	W-2	W-3	W-4	W-1	W-2	W-3	W-4
pH	7.83	7.77	7.90	7.93	8.16	8.14	8.07	8
Temperature(℃)	26.0	25.9	25.9	25.9	31.3	31.5	31	30.8
SS(mg/l)	0.5	0.75	3	1.25	1.2	1.2	1.15	0.65
T-N(mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-
T-P(mg/l)	0.70	0.68	0.65	0.8	0.16	0.81	0.22	0.21
BOD(mg/l)	1.51	1.51	0.5	0.5	1.01	1.01	1.51	1.51
DO(mg/l)	4.88	4.97	5.34	4.69	4.59	5.07	4.89	4.83
Turbidity(NTU)	3.82	3.90	3.96	3.74	1.72	1.72	1.59	1.62
Color intensity	1	2	2	1	1	1	1	1
Coliform group(MPN/100ml)	40	70	N.D	80	N.D	N.D	N.D	N.D
NH ₄ -N(mg/l)	0.01	N.D	N.D	N.D	0.03	N.D	0.01	0.1
NO ₃ -N(mg/l)	1.11	1.16	0.77	0.36	0.99	0.40	0.64	1.19
Cl (mg/l)	252.9	251.1	243.5	305.8	100.2	103.5	98.8	101.8
Hardness(mg/l)	51	44	42	35	49	40	43	44
SO ₄ (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-
Transparency(cm)	50이상	50이상	50이상	50이상	50이상	50이상	50이상	50이상
Chl-a(ug/l)	1.72	2.25	4.19	3.81	6.9	4.2	4.3	2.7

3.1 하절기 추자·우도 저수지의 수질 특성

하절기 수질 특성은 정수과정에서 문제가 되고 있는 조류의 번식에 대하여 중점적으로 고찰을 행하였다. 추자 저수지에 있어서 클로로필-a의 농도 및 우점 종 조류를 Table 6 및 Fig. 5에 나타내었다. 클로로필-a 농도는 저수지에 따라 많은 차이를 나타내고 있다. 제1저수지 7.56, 제2저수지 29.08, 제3저수지 3.95, 제4저수지 18.88 mg/m의 농도를 나타내었으며, 제3저수지에서 낮은 수치를 나타내고 있다. 또한, 우점종 조류도 각각 다르게 나타나고 있으나, 모두 녹조류임을 알 수 있다. 현미경 관찰결과 각각의 시료에서 동물성 플랑크톤도 다량으로 발견되었다. 우도 저수지의 수질분석 결과로부터 총질소 및 총인 농도가 높게 나타났고, BOD는 상대적으로 낮은 값을 나타내었다. 용존산소의 농도도 낮게 나타나는 특징을 보였다. 또한, 대장균군이 검출되었다.

Table 6. Algae observed and Chlorophyll-a biomass in Chuja Reservoir

	Chl-a(mg/ℓ)	우점종
제1수원지	7.56	<i>Microactinium</i>
제2수원지	29.08	<i>Coelastrum</i>
제3수원지	3.95	<i>Eudorina</i>
제4수원지	18.88	<i>Actinastrum</i>

추자 저수지에 있어서 제2저수지의 경우는 부영양화가 발생하고 있다고 할 수 있고, 제4저수지는 부영양단계로서 부영양화가 발생할 우려를 나타내고 있으나, 제3저수지는 부영양화를 우려할 수준이라고 보기는 어렵다. 제3저수지에는 조류보다 동물성플랑크톤이 많이 존재하는 것으로 조사되었고, 이 동물성 플랑크톤에 의해 조류가 섭취되어 개체수가 줄어들었음을 알 수 있다.

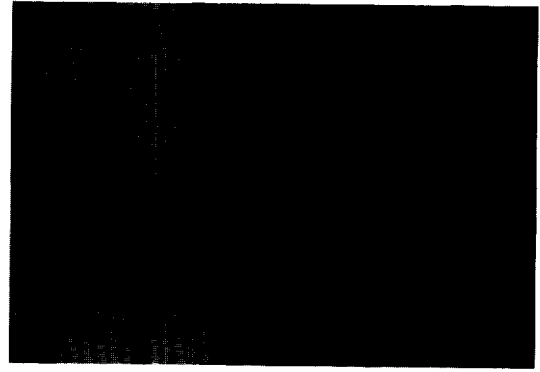


Fig. 5. A photograph of *Planktosphaerium* in Chuja Reservoir.

3.2 오염원 조사 및 오염방지 대책

추자 제3저수지의 경우, 저수지 유역의 우수, 담수화 처리수 및 제4저수지의 물을 차집하여 저수하고 있다. 저수지내에는 물의 흐름이 거의 없고, 수심이 낮으며, 저수지 저부에 퇴적물이 존재하는 실정으로, 수온이 상승하는 여름철에는 저부의 퇴적물의 빠른 분해가 일어나 영양염류의 용출이 우려되며, 또한, 수온의 상승 및 저수지내 체류시간이 길어, 1차생산(조류의 증식)이 과도하게 발생할 수 있다. 저수지내 체류시간을 줄이기 위하여 지내의 물을 순환하고 있으나, 지내에서의 순환이 더욱 요구된다고 하겠다. 한 가지 방법으로 현재 제4저수지에서 송수되는 물의 방류구와 담수화 처리수의 방류구가 같은 동일한 위치에 존재하는데, 이를 분리하여 배출하는 방법을 이용하여 지내의 흐름을 인위적으로 조성할 수 있을 것으로 본다. 저수지내에서 조류의 번식을 억제하기 위한 수단으로는 위에 나열한 여러 가지 방법을 응용하여, 저수지의 수질을 개선시킬 수 있는 방안을 모색하는 방법이 있겠으나, 본 과업 수행 중에서 자료 조사를 통하여 추자지역의 급수에 대하여 고찰한 결과, 저수지의 수질을 개선하기 위한 노력보다는 현재의 급수시스템을 상시 급수 시스템으로 개선하여 담수화 처리수를 공급하는 방법이 보다 경

계적으로 판단되었다.

4. 결 론

우도와 추자도 제3저수지의 수질조사를 실시하여 수질변화 특성을 분석하였으며 이를 바탕으로 한 수질 개선방안을 모색하였다. 추자 제3저수지의 수질 개선방안을 여러 참고문헌을 통하여 고찰을 행한 결과, DO 상승을 위하여 인위적으로 폭기 하는 방안, 저수지내의 유동을 원활히 하기 위하여 기계적 순환(오존처리 병행) 방법과 저수지의 일부 수면을 차광하여 수온상승을 방지시키고 밀도류를 형성하여 순환하는 방안 등을 들 수 있다. 한편, 비용 면에서 문제가 있기는 하지만 저수지의 수질을 개선하여 급수하는 방법보다는 현재의 급수 시스템을 바꾸어, 담수화 처리수를 이용한 상시 급수체제로 하는 것이 보다 경제적인 방법으로, 안전하고 안정적으로 급수가 가능하리라 본다. 이를 위해서는 여름철 온도상승으로 인한 담수화 처리의 효율저하를 방지하기 위하여, 취수위치의 변경이 불가피할 것이며, 또한 안정적인 급수를 위해서는 배수지의 크기를 조절할 필요가 있다. 제3저수지는 비상시 급수대체 시설로 이용하는 방법이 보다 경제적이라 판단된다. 현재, 제3저수지에 담수화 처리수를 저수시켜 정수처리를 행하는 방법은 담수화 처리수를 오염된 저수지의 물과 혼합시켜, 다시 정수하는 경제적이지만 못한 방법으로 운영되고 있다고 판단된다. 따라서 추자지역의 먹는 물 및 생활용수의 공급은 담수화 처리수만을 이용하는 것이 경제적이며, 담수화 시설에서의 여름철 온도 상승에 의한 처리수질의 악화는, 별도로 취수위치의 변경 등으로 충분히 예방할 수 있다. 때문에, 추자지역의 저수지 수질을 개선하여 이용하기 보다는 담수화시설을 적극 이용하여 상시 급수하거나, 현재

의 급수시스템으로 계속하기 위해서는 담수화 처리수를 저수지에 저수하는 방법 보다는 배수지를 추가 건설하여 담수화 처리수만을 공급하는 것이 최선의 방법이라 볼 수 있다.

참 고 문 헌

- 김영철·박재홍·이동철, 2003. 농업용 저수지 소하천의 통계학적 수질변화 특성. 한국물환경학회지, 19(6), 685~697.
- 박형진·권오병·안태석, 2000. 인공섬을 이용한 소형 저수지의 수질개선. 한국환경복원녹화기술학회지, 4(1), 90~97.
- 이홍수·신재기, 2006. 백령도 소유역 저수지의 부영양화와 담수적조 영향. 한국물환경학회 공동춘계학술발표회 논문집, 101~111.
- 임경호·정상민·한영성·박영오, 2002. 저수지 수질관리를 위한 인공폭기 장치의 최적운전 방안. 한국물환경학회지, 18(3), 261~270.
- 한국수자원공사, 다목적댐 저수지 수질조사 보고서, 1986~1989.
- C. Demuyne, W. Bauwens, N. De Pauw, 1997. Evaluation of Pollution Reduction on a River Basin. *Wat. Sci. Tech.*, 35(9), 65~75.
- Particia Lohgabucco and Michale R. Rafferty, 1998. Analysis of Material Loading to Cannonsville Reservoir. *Journal of Lake and Reservoir Management*, 14(2-3), 197~212.