

수질 개선을 위한 침전산화수로 개발

Development of the Depot Encircled with Oxidation Canal for Water Quality Improvement

김 원 장* · 박 상 현*
Kim, Won Jang · Park, Sang Hyun

Abstract

A depot encircled with contact oxidation canal has been developed to improve water quality. The depot is aimed to settle suspended solid in the flow. The oxidation canal is to contact the pollutants and oxygen in the surface of gravel filter to purify the water. The deposit of the pollutants in the depot is released by the drainage culvert located at the bottom of it. Aeration nozzle is installed to supply enough oxygen to the gravel filter layers in the bottom of the encircled oxidation canal. The bottom slope of the oxidation canal is mild enough to detain the flow and improve oxidation efficiency. From the experiment it is founded that 91% of SS, 39% of TN, 63% of TP and 77% of COD were removed in the system. The treatment efficiency of total nitrogen is rather lower than any other components, however, it would be higher when some floating vegetation is added in the primary clarifier. The depot and oxidation canal system would be useful to purify the flows in the mouth of the reservoirs or at the outlet of the drainage canal.

I. 서 론

최근 농어촌 용수원의 수질 악화로 관개를 비롯한 수자원 이용에 많은 어려움을 겪고 있으며, 일부 지역에서는 농업용수 수질 기준에도 미달하는 사례가 발생하고 있다. 이러한 농업용 호소와 이에 유입되는 하천의 수질개선을 위하여 많은 수처리 공정이 개발되고 있으나, 농촌지역의 경우 하수 및 우수 관거의 정비가 미비하여 오염부하가 대부분 비점오염원 형태로 유입되기 때문에 효과적인

수처리 공정 개발에 많은 어려움을 겪고 있다. 일반적으로 농촌지역의 수질 개선 공법은 공학적인 처리공정의 경우 설치비와 유지·관리에 많은 비용이 소요되기 때문에 농촌지역의 특성에 적합하지 않다. 따라서 경제적인 처리비용과 안정적인 처리효율을 얻을 수 있는 자연정화 처리기법의 개발이 요구되고 있다.^{1,2)} 자연정화 처리기법은 대부분 하천의 고수부지 혹은 호안 등의 넓은 유희부지에 설치되기 때문에 하천으로 배출된 농촌지역의 생활오수나 축산폐수를 수계별로 처리하기에

*농업기반공사 농어촌연구원

키워드 : 접촉산화법, 여재, 식생정화 낙차공, 산화수로, 침전지

적합하다. 근래에는 대규모 호소를 중심으로 수질개선 사업을 추진하면서 농촌지역의 실정에 맞는 자연정화처리공법의 연구가 활발히 진행되고 있다.

최근 김^{3,4)} 등은 수중의 자정작용을 기본 이론으로 하는 자갈접촉산화법을 이용하여 하천수의 수질개선에 대해 연구하였는데 유기물질 및 부유물질 제거에 안정적인 처리효율을 보이는 것으로 나타났다. 그러나 질소(N)와 인(P) 등의 영양염류와 유해물질의 처리효율은 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

박⁵⁾ 등은 아산시 마산저수지의 농업용수 수질개선사업 중 호소로 유입되는 하천에 쇄석과 플라스틱 여재를 사용한 복합 접촉산화수로를 시공하였다. 오염물질의 농도가 높은 접촉산화수로 전반부는 고효율의 인공여재를 배치하고 후반부는 경제적인 쇄석을 사용하여 처리효율을 분석하였다.

본 연구는 기존의 자연정화 처리기법 중 농촌지역 현실에 적합하면서 지역적 특성에 상관없이 안정된 수처리 효율을 거둘 수 있는 접촉산화공법을 사용하여 현장에 적용 가능한 실용적인 공정을 개발하고, 처리효율을 분석하는데 그 목적이 있다.

II. 침전산화수로의 구성 및 방법

1. 정화 원리

침전 접촉산화수로의 정화원리는 자연의 자정작용 중 침전·흡착 및 미생물에 의한 분해작용을 처리시설 내에서 극대화시킨 것이다. 접촉산화수로의 중앙에 위치한 침전지에서는 수중의 오탁물질이 자중에 의해 침전·제거되어 유입수의 농도 및 오염량을 감소시킨다. 산화분해 작용은 자갈여재 표면에 서식하는 미생물(호기성 미생물)이 오염물질을 물과 이산화탄소로 분해하는 것으로 오염물질을 실질적으로 감소시키는 유일한 방법이다.⁴⁾ 오염물질의 정화개념은 대체로 다음과 같은 3단계로 이루어진다.

1. 생물학적으로 활성상태에 있는 슬러지와 접

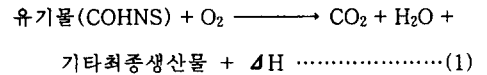
촉할 때 생기는 고속도의 초기제거

폐수 중의 부유성, Colloid 물질 및 용해성 물질이 활성 슬러지에 의하여 부착, 흡착, 흡수되는데 기인하며, 이들 유기물은 세포 중에 저장된다.

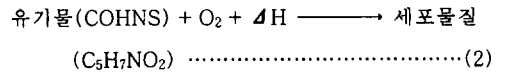
2. 생물학적인 세포의 증식에 직접 비례하는 유기물 제거

위와 같이 1단계에서 제거된 유기물의 일부는 합성되어 새로운 세포물질이 되고, 나머지는 산화되어 합성과 생활을 위한 에너지원이 된다.

· 유기물의 산화(이화작용)

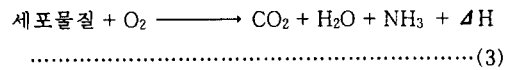


· 세포물질의 합성(동화작용)



3. 내호흡작용에 의한 세포물질의 산화

유기물 공급이 불충분할 때, 미생물은 생존을 위하여 자기자신의 세포물질을 산화한다.



위의 식들 중에서 ΔH 는 energy를 나타낸다.⁶⁾

2. 침전산화수로의 구성

침전산화수로는 안산시에 위치한 농업기반공사 농어촌연구원 내에 설치하였다. 좁은 공간을 효율적으로 사용 할 수 있도록 시스템은 원형으로 구성하였으며, 접촉산화수로 하단부에 인위적인 폭기장치를 설치하고, 산화수로를 통과한 하류구간은 산소 공급을 높이기 위하여 계단식 낙차공을 설치하였다. 접촉산화수로 전반부에는 공극과 접촉면적이 큰 여재를 사용하고, 1차 침전지를 식생 재배공간으로 활용함으로써 SS와 COD의 높은 처

리효율은 물론 질소와 인의 처리에도 효율을 나타내도록 하였다. 하천수를 취수하기 위하여 하천에 수중펌프를 설치하였고, 펌프와 유입수로 사이에는 취수관으로 연결 구성하였다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 1차 침전지는 퇴적물이 침전지 중앙에 모이도록 원추형의 바닥형태로 형성하고, 침전지 중앙에는 배수관을 설치하여 퇴적물을 수압에 의하여 쉽게 배출할 수 있도록 구성하였다. 배출된 퇴적물은 농축조에 저장한 후 정기적으로 배출할 계획을 수립하였다(년 1~2회 정도). 1차 침전지 내부에는 부유 또는 수중 식생이 가능하고 질소와 인의 정화 효율이 우수한 식물들을 식생 하여 질소와 인의 정화 효율을 향상시켰다.

유량 조정조는 1차 침전지에서 식생 및 침전에 의하여 처리된 유출수가 접촉산화수로에 일정량이 유입되도록 하기 위한 것으로, 1차 침전지 외측 일부에 가동 웨어를 설치하여 구성하였다. 접촉산화수로에는 접촉여재가 충전되며, 이의 하단부에 설치된 산기관에는 다수의 역류방지용 노즐이 결합 구성되어 있다. 접촉여재로는 자갈을 사용하고, 오염물질과 자갈의 접촉면적 및 접촉시간을 증대하여 미생물을 번성시킨다. 아울러 흡착을 통한 산화 분해를 도모하고, 수압에 의한 자연적인 슬러지 제거 효과를 볼 수 있도록 하였다. 접촉산화수로의 수심, 체류시간, 유하거리 등은 여재의 양,

공극률, 처리 될 물의 오염정도, 처리될 물의 양 등에 따라 변화될 수 있다. 본 연구에서는 적정 설계기준으로 반복 시험을 통해 얻은 유하거리 20m, 수심 1.2m, 산화수로 체류시간 90min, 유속 0.004m/s를 선정하여 적용하였다.

2차 침전지는 접촉산화수로에서 생성된 미생물 슬러지 등을 침전시키기 위한 것으로 내부에는 부유 또는 수중 식생이 가능하고 질소와 인의 정화 효율이 우수한 식물들을 재배할 수 있다. 2차 침전지로부터 유출된 처리수들은 미생물에 의한 산화 분해의 과정에서 대부분의 용존 산소가 소모되기 때문에, 재폭기 유출수로를 통해 용존 산소 농도를 증대시키도록 하였다. 유출 수로는 계단식 낙차공 형태이며 기울기 1/500, 유속 1m/s으로 빠른 유속과 여울을 발생시켜 재폭기 효과를 극대화시켰다.

3. 실험 방법

실험에 사용된 시험용수는 농어촌연구원 경내로 유입되는 하천수를 이용하였다. 시험용수는 연구원 경내에 위치한 습지로 유입되기 직전 0.5HP 수중 펌프 2대에 의해 양정되어 유량 조정조에 저장된다. 처리효율 분석시 유량조정조에서의 수질을 유입원수 정상으로 설정하였고, 1차 침전지를

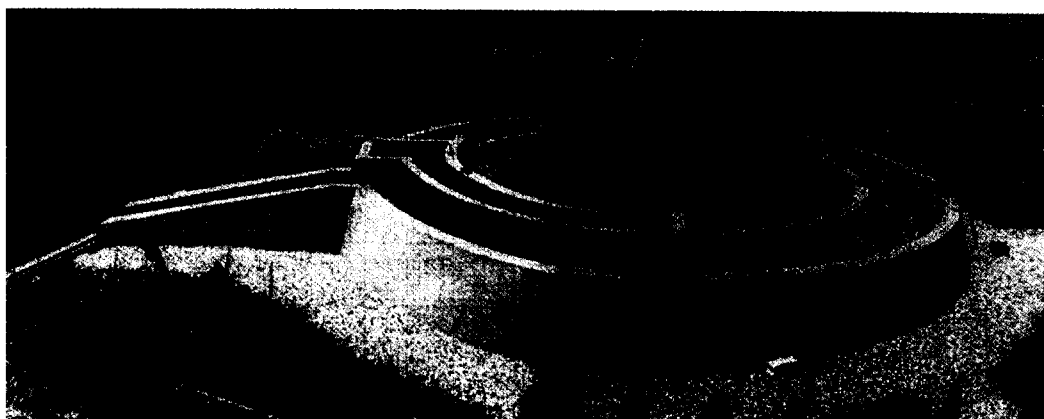


Fig. 1. Layout of depot and gravel contact oxidation canal

산기시설계획평면도

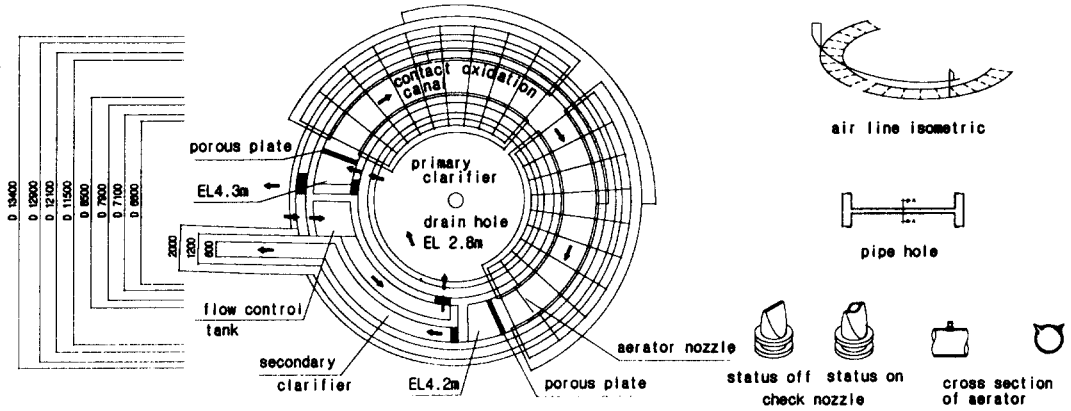


Fig. 2. Plan of depot and gravel contact oxidation canal

지나 20m 길이의 접촉산화수로를 통과한 후 유공판을 지나는 지점에서 유출수 농도를 측정하였다. 시험용수의 흐름과 각 시설의 위치는 Fig. 2에 나타내었다.

침전 산화수로의 처리효율 분석을 위해 1999년 7월 1일부터 10월 1일까지 시험운전을 통한 미생물 식종을 실시하였고, 시료의 채수 및 분석은 10월 8일부터 10월 18일까지 10회에 걸쳐 시행하였다. 채수한 시료 중 현장 수질측정 항목은 WTW F/SET-3 멀티센서 측정기를 사용하여 현장에서 측정하였고, COD, T-N, T-P, SS는 농어촌연구원 농촌환경연구실로 운반해서 Standard Methods⁷⁾에 의해 분석하였다. 시험용수의 유입수질 및 시료의 채수 시기는 Table 1과 같다.

처리효율 분석을 위한 침전 산화수로의 유입유량은 200m³/day, 1차 침전지에서의 체류시간은 60min으로 설정하였고, 접촉 여재로는 지름 200~250mm, 공극율 30%의 자갈을 충전하였다. 접촉산화수로의 체류시간은 90min이며 유속은 0.004m/s로 설계하였다. 운전조건은 Table 2에 요약되어 있다.

Table 1. Sampling time and concentration of influent

Sampling time	Weather	Concentration of influent				
		COD (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)	SS (mg/l)	
1st	October 8	Cloudy	2.7	0.584	0.085	6.0
2nd	October 9	Clear	8.5	1.116	0.084	0.8
3rd	October 11	Cloudy	13.6	0.982	0.123	8.8
4th	October 12	Clear	12.5	0.968	0.108	5.6
5th	October 13	Cloudy	9.6	0.709	0.090	3.6
6th	October 14	Cloudy	15.0	1.618	0.127	10.8
7th	October 15	Cloudy	11.1	1.270	0.078	7.6
8th	October 16	Cloudy	16.2	1.482	0.131	4.4
9th	October 17	Rainy	-	2.011	0.519	21.2
10th	October 18	Clear	15.2	1.341	0.164	14.8

Table 2. Operating condition of depot encircled with oxidation canal

Parameters	Operating condition
Influent	200m ³ /day
Residence time of primary precipitation	60min
Residence time of oxidation canal	90min
Porosity of gravel media	30%
Gravel size	φ 200~250mm
Velocity at oxidation canal	0.004m/s

III. 결과 및 고찰

1999년 10월 총 10회에 걸쳐 측정한 침전 산화수로의 시험용수 성장과 처리효율 결과를 요약하면 Table 3과 같다. 시험용수의 온도는 16.7~18.5°C 였고, pH는 7.54~7.98로 시험기간 동안 큰 변화 없이 거의 중성에 가까웠다. DO는 유입수의 경우 5.87~6.79의 범위이고, 재폭기 구간을 통과한 유출수는 7.08~8.09로 상대적으로 높은 농도를 유지했다.

Table 3. Test result of depot encircled with oxidation canal

Constituents		Influent	Effluent	Average treatment efficiency (%)
Temp (°C)	Max	18.3	18.5	-
	Min	16.7	17.4	
pH	Max	7.66	7.98	-
	Min	7.54	7.64	
DO (mg/l)	Max	6.79	8.09	-
	Min	5.87	7.08	
Saturation (%)	Max	71.0	84.4	-
	Min	60.4	74.4	
COD (mg/l)	Max	16.2	2.9	77.2
	Min	2.7	1.7	
SS (mg/l)	Max	21.2	1.8	91.0
	Min	3.6	0.2	
T-P (mg/l)	Max	0.519	0.064	63.8
	Min	0.078	0.022	
T-N (mg/l)	Max	2.011	1.071	39.2
	Min	0.584	0.432	

침전 산화수로 가동 후 처리효율을 분석해 본 결과, COD의 경우 평균 77%의 처리효율을 보였다. 유입 농도별 COD 처리효율은 Fig. 3과 같다.

유입수의 COD는 2.7~16.2 mg/l의 분포를 보이고 유출수는 1.7~2.9mg/l 정도로 처리된다. 처리효율을 보면 초기 2.7mg/l의 저농도 유입수 효율이 37%로 가장 낮으나 8.5~16.2mg/l 유입수의

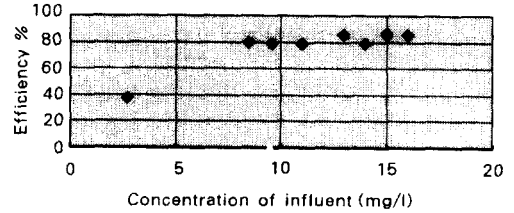


Fig. 3. Treatment efficiency of COD

경우 80% 내외의 안정적이고 양호한 처리효율을 나타내었다. 초기 시료의 처리효율이 낮은 것은 측정방법이나 시료 채취시 오류가 발생한 것으로 추정되고, 1회 측정값과 9회 측정시 회석범위를 벗어난 결과를 제외하면 80%를 상회하는 처리효율을 나타냈다.

Fig. 4는 SS 처리효율을 나타낸 것으로 0.8~21.2mg/l의 다양한 유입농도 범위 내에서 90% 정도의 높은 처리효율을 나타내며 처리수의 농도도 대부분 1mg/l 미만의 양호한 상태이다. 이는 접촉산화공법이 미생물 부착 여재를 사용하기 때문에 유기물질의 산화분해 효과와 함께 여재 표면에 부착 또는 여재와 여재사이의 공극 및 산화수로 구간에서의 침전되는 여과 효과가 우세하게 나타나기 때문이다. 그러나, 접촉산화수로 전반부 여재의 경우 급격한 폐쇄 현상이 진행되므로 지속적인 처리효율을 유지하기 위해서는 공극이 크고, 접촉면적이 큰 여재를 전반부에 설치하는 것이 효과적이다.

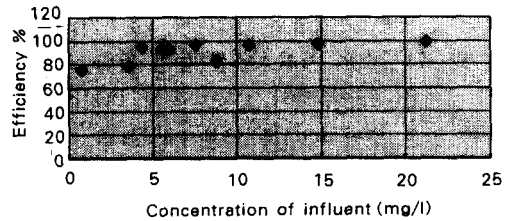


Fig. 4. Treatment efficiency of SS

Fig. 5와 Fig. 6은 T-N, T-P의 처리효율을 나타낸 것이다. 처리효율은 T-N의 경우 평균 40% 미만이며, T-P는 평균 63% 정도이다. 이는 정화

식물의 식생이 불충분한 상태에서 이루어진 것으로 식생이 활발히 이루어지면 더욱 상승할 것으로 추측된다.

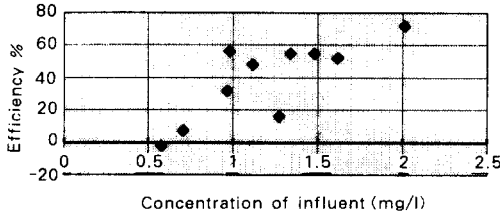


Fig. 5. Treatment efficiency of T-N

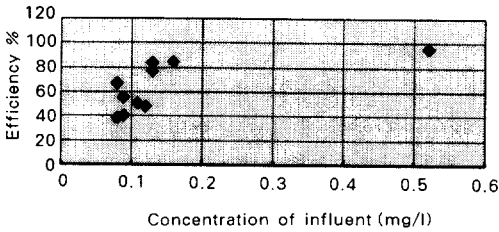


Fig. 6. Treatment efficiency of T-P

이미 개발된 접촉산화공법 설비는 대부분 접촉 여재가 지하에 매설되어 있어 여재의 폐색 발생시 교체가 어렵고 홍수시 범람에 의한 여재 폐색에 대비해 고무보와 같은 추가적인 시설을 필요로 하는 단점이 있다. 통상적으로 수로를 일자형으로 구성하고 있어 많은 부지를 필요로 할 뿐만 아니라 접촉 산화 수로를 통과하는 동안 미생물에 의한 산화 분해의 과정에서 대부분의 용존 산소가 소모된다. 또한 유기물의 정화에는 효과가 우수하지만 인 및 질소의 처리효율은 높지 않다.

본 시설은 오염부하와 수량변동에 대하여 완충 능력이 있을 뿐만 아니라 난분해성 물질 및 유해 물질에 대한 내성이 높고 슬러지의 반응이 필요 없다. 지상에 노출된 접촉산화수로는 설치공간이 작아 경제적이며, 여재의 교체가 용이하며 심층부 혐기화 현상이 개선되는 효과를 나타낸다. 또한 접촉산화수로 앞에 설치된 원형의 침전지는 식생에 의한 수질 정화 공법을 폭 넓게 적용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 본 접촉산화공법은 유지

관리가 용이하고, 산화수로 내에 슬러지 보유량이 크고 분해속도가 낮은 기질의 제거에 효과적이다.

IV. 결 론

본 연구에서는 오염물과 접촉면을 증가시켜서 오염 농도를 감소시키는 접촉산화법을 적용하여 그 효율성을 검토하였다. 접촉 여재로는 자갈을 사용하였고, 접촉산화수로를 통과한 하류구간은 산소 공급을 높이기 위하여 기울기 1/500의 계단식 수로를 만들었다. 접촉산화수로의 전반부에는 공극과 접촉면적이 큰 여재를 사용하고, 1차 침전지를 식생재배공간으로 활용함으로써 SS와 COD의 높은 처리효율은 물론 질소와 인의 처리에도 높은 효율을 나타낼 수 있도록 하였다. 본 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 침전산화수로의 COD 처리효율에서 유입수 질은 2.7~16.2 mg/l의 분포를 보이고 유출수는 1.7~2.9 mg/l 범위로 처리되어 배출된다. 평균 처리효율은 77%이며, 1회 측정값과 회석범위를 벗어난 9회 측정값을 제외하면 80% 내외의 안정적이고 양호한 처리효율을 나타냈다.

나. SS처리효율은 90% 정도로 유출수는 1mg/l 이하의 아주 양호한 결과를 나타냈다. 이는 미생물 부착여재를 사용하기 때문에 유기물질의 산화 분해 효과와 접촉여재의 여과 효과가 우세하게 나타났기 때문이다. 그러나, 오염수의 유입으로 접촉산화수로 전반부 여재의 경우 급격한 폐색 현상이 진행되므로 지속적인 처리효율을 유지하기 위해서 공극이 크고, 접촉면적이 큰 여재를 전반부에 설치하는 것이 효과적이다.

다. 영양염류 처리효율은 질소와 인의 경우 각각 39%와 63%이었다. 인의 경우는 1차 침전지에서 상당량이 침전 혹은 부유식생생물에 의해 제거된 것으로 추정된다. 금번 실험은 부유식생생물의 식생이 불충분한 상태에서 이루어진 것인 바, 식생이 활발히 이루어지면 질소 성분의 처리효율도 상승할 것으로 추측된다.

결론적으로, 본 연구에서 개발된 침전산화수로

는 설치공간이 작아 경제적이며, 대규모 폭기 시설이 필요하지 않고, 노출된 접촉산화수로로 인해 여재의 교체가 용이하며 침층부 혐기화 현상이 대폭 개선되는 등의 효과를 얻을 수 있었다. 또한, 계절에 따른 처리효율 분석은 실시하지 못했지만 가을철(10월) 처리효율 분석에서 유기물과 부유물질 처리에 효과적인 것으로 나타났다.

개발된 침전산화수로는 시공 및 유지 관리 측면에서 공학적인 처리기법에 비해 경제적이며 하천 및 호소의 유희부지에 쉽게 설치할 수 있어서 농업용 호소 및 유입하천의 수질개선에 적합한 처리 공정으로 판단된다.

본 논문은 1998년도 농림수산기술개발사업에 의하여 수행한 연구결과의 일부임

참 고 문 헌

1. 황길순 외, 1998, 수질개선을위한 수처리조 배열기법 연구(Ⅱ), 농림부, 농어촌 진흥공사, pp. 1~3.
2. 박상현, 1999, 환경 친화적 수리시설 개발, '99. 10. 국가 전문 행정연수원 강의 교재.
3. 경남기업(주), 1997, 한국형 하천수질 정화기술의 개발.
4. 김태균, 1998, 자갈접촉산화법, 한국수자원학회지 제31권 제5호, pp. 147~150.
5. 박병훈 외, 1997, 충청남도 아산시 마산저수지 농업용수 수질개선 시험사업 보고서, 농림부, pp. 105~142.
6. 양상현, 1990, 상하수도공학, 동화기술, pp. 430.
7. APHA, 1995, Standard Methods for the examination of water and wastewater, 19th Edition, American Public Health Association.