

태안기업도시 조성관련

현대도시개발(주)

1. 서론

서산 A/B간척지는 농지 확보의 목적으로 충남 서산시, 태안군, 홍성군 일원에 총 6,470억원의 사업비를 투자하여 총 3,122만평의 농지를 조성하였다. 서산 A/B간척지는 1979년 8월 매립면허를 취득하여 1995년 8월에 준공하였으며, 특히 서산A 방조제의 경우, 폐유조선으로 최종 물막이 공사를 완료한 것으로 유명한 "정주영공법"은 미국 토목학회에서도 알려져 있다. 또한 서산 A/B지구 간척지는 고 정주영 회장께서 이룩하신 업적중의 하나로 2000년 이후 현대건설의 유동성 위기시 농지를 매각하여 유동성 지원을 하였으며 현대건설의 오늘을 있게 한 곳이기도 하다.

2000년 이후 채권단의 자금 관리하에서 서산간척지 개발을 통한 보유자산 가치의 극대화 및 금융비용 축소를 위한 일환으로 노력해 왔으며, 회사가 어려울 때에 잃어버린 땅을 기회의 땅, 꿈의 땅으로 구현하기 위해 서산 B지구 간척지 14,643,669m²(약 443만평) 부지에 태안 관광 레저형 기업도시 시범사업으로 2005년 8월 선정되어, 2006년 12월에 개발구역 지정 및 개발계획 승인을 받았다. 그리고 2007년 9월에 실시계획 승인을 받아 10월 착공하여 2011년까지 부지조성공사를, 2011~2020년까지 시설공사를 모두 마쳐 준공할 계획에 있다. 향후 부남호를 중심으로 양쪽 방향(서산, 태안방향)으로 기업도시의 발전과 확장을 통해 당사가 할 일이 무궁무진 할 것으로 판단된다.

한편, 1982년 방조제 공사를 완료하여 서산 B지구 간척 농지에 농업용수를 확보하기 위해 담수면적이 466만평, 담수용량이 8,400만 m³의 인공호수(부남호)를 조성하였다. 그러나 현재 서산 B지구는 농업기반시설인 부남호에서 농업용수를 취수하여 공급하고 있으나 1982년 이래로 부남호 유역에서 유입된 오염물질의 퇴적으로 부남호 수질오염이 장기간 진행되어 현재 농업용수 수질기준을 초과함으로써 청정농산물 생산에 큰 위협이 되고 있다.

부남호의 수질개선을 위한 학계와 충청남도에서 각각 수행한 기존 연구 사례들을 살펴보면, 호소의 수질개선을 위

하여 1차적으로 호소로 유입되는 오염물질의 양을 삭감시키는 것이 중요한 요소이나 부남호의 경우 호소내로 유입되는 오염물질 차단만으로는 문제해결을 할 수 없는 상태이고 수질개선에 많은 시간이 소요되기 때문에 외부 오염물질 외에 부영양화에 의한 호소 자체의 생산성이 매우 높고 퇴적물이 유기물로 심하게 오염되어 있어 호소의 생산성을 낮출 수 있는 보다 적극적인 내부대책이 필요하다는 결론을 도출해 내었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 2005년 8월 태안 기업도시 선정시 외부 오염부하보다 호내 부영양화에 의한 호소 자체 생산성이 높으므로 보다 적극적인 대책으로 퇴적물 준설을 실시하여 수질개선과 더불어 준설과정에서 발생하는 부산물을 기업도시 성토재로 재활용 할 경우 자원 재활용 차원에서 토취장 개발에 따른 자연환경 훼손을 막을 수 있어 심의위원으로부터 높은 점수를 받아 서산 B지구 간척지 일대가 기업도시로 선정될 수 있었다.

양질의 농업용수 확보를 위해서 농업기반시설에 대한 적절한 관리의 일환으로 수질개선사업의 시행이 절실히 요구되고 있는 실정이며, 향후 관광 레저형 기업도시 조성에 따른 자연경관의 향상 및 생태공간으로서의 역할을 할 수 있는 건강하고 깨끗한 환경조성이 필요하다. 따라서 부남호 수환경 및 부남호 유입지천의 수질 현황을 조사하여 부남호의 오염실태를 파악함으로써 양질의 농업용수 확보 필요성을 만족하고 향후 기업도시 조성을 포함한 부남호 일대 생활 여건의 변화에 부합하는 호소 수질을 달성하기 위한 호내 및 호외 수질개선 대책을 마련하여야 한다.

본 연구는 오염물질 유역배출, 호내 자생부하, 부남호 유입경로 등을 고려하여 부남호 수질오염 현상을 분석함으로써 목표수질 달성을 위한 호내 수질개선대책과 기업도시를 포함한 유역의 점오염원 또는 비점오염원의 오염물질 배출관리계획을 수립하고, 이를 바탕으로 정책적인 대안을 제시하며, 개별 수질개선대책 시행을 위한 최적대상지 및 공법 선정, 시설의 적정용량을 산출하였다.

2. 서산 B지구 개발계획의 개요

1) 서산간척지 현황

당사는 농지확보 목적으로 민간이 최초로 시행한 서산간척사업에 총 6,470억원의 사업비가 소요되었으며, 사업결과 총 3,122만평의 농지를 조성하였다(표-1). 1간척사업을 수행하기 위해 1979년 8월에 서산 A, B지구 매립면허를 취득하여 1982년 서산 B 방조제 최종 물막이공사를 완료하고 1984년 A 방조제 물막이 공사를 완료하였다. 1986년 시험영농을 시작하면서부터 '직파재배'로 파종하였으며, 농업용 비행기 4대를 비롯하여 대형 트랙터 100여대, 콤바인 40대 정도가 쌀 생산을 위해 사용되어 시범적인 기계화영농단지로 운영되었다. 최종적으로 서산 간척지는 1995년 8월에 준공에 이르게 되었으며, 서산간척지는 우리나라 벼재배 전체면적의 약 1%에 달하는 면적으로 연간 쌀 생산량은 33만석 수준에 있다.

표 1. 서산간척사업의 개요

구 분	사업비 (억원)	방조제 연장(m)	간 척 면 적(천평)			
			농지 면적	담수호 면적	기 타	계
A 지구	4,630	6,458	19,347	8,007	1,766	29,112
B 지구	1,840	1,228	11,878	4,617	991	17,486
계	6,470	7,686	31,225	12,624	2,757	46,602

그러나 2000년 이후 현대건설의 유동성 확보 차원에서 서산간척지의 매각을 결정하여 일반매각분, 피해어민 우선매각분 등으로 나누어져 매각절차를 진행하였으며, [표-2]와 같이 2004년 2월 기준으로 당사가 보유중인 농지는 총 1,058만평 규모이며, 이중 A지구에 390만평, B지구에 668만평이 소재하고 있다. 이 때 매각대금의 선수금을 한국토지 공사로부터 3,450억원을 조달하였다.

표 2. 서산간척지 매각현황(단위: 천평)

구 분	기부채납	일반매각	피해어민	잔여면적	계
A 지구	53	7,772	7,623	3,898	19,346
B 지구	-	1,884	3,311	6,684	11,879
합 계	53	9,656	10,934	10,582	31,225

2) 서산 B지구의 개발계획 개요

당사의 유동성 위기시 매각을 통해 잃어버린 땅을 기회와 꿈의 땅으로 구현하기 위해 서산간척지중 B지구 미매각

지역 650만평에 대해 개발방안을 2004년 3월에 수립하여 당사의 개발이익 극대화(사업개발 이익, 관련공사 수주, 시설운영수입 창출 등)를 위해 우선적으로 개발하고자 하였다. 서산 B지구의 부남호를 중심으로 태안방면의 간척지 443만평을 관광레저형 기업도시로, 서산시에서는 서산측을 서산 바이오/웰빙특구사업으로 추진하고 있다.

표 3. 서산 B지구의 개발사업 현황

구 분	사업 내용	면 적(m ²)	비 고
태안기업도시	골프, 첨단복합단지, 국제비즈니스단지, 테마파크, 웰빙병원, 아카데미타운, 공공편익시설, 관광숙박시설, 상업/업무시설, 주거용지 등	14,643,669 (약 443만평)	
서산 바이오 웰빙 특구	농업 바이오단지, 지역활성화단지 웰빙주택 & 콤플렉스, 수상 및 항공레저, 유통단지 등	5,775,000 (약 175만평)	

태안 관광 레저형 기업도시는 2004년 12월 31일에 기업도시개발특별법이 공포되면서 2004년 3월 수립한 개발계획을 국내외 컨설팅사와 더불어 일부 수정하여 2005년 4월 기업도시 시범사업을 문화관광부에 지정 신청해서 당해 8월 시범사업도시로 선정되어, 2006년 5월 개발구역 지정 및 개발계획 승인을 신청하여 당해 12월 승인을 받았고, 2007년 9월에 실시계획 승인을 얻어 10월 착공하였다.

서산 바이오 웰빙특구는 지식경제부에 특구지정 신청을 한 상태에 있으며, 기업도시와 특구에 대해 상호 보완적 관계를 가지고 중장기적으로 추진할 계획에 있다.

3. 부남호 수질개선 목표

현재 부남호의 수질은 IV등급을 상회하고 있으며, 향후 농업용수 목적에서 지역여건 변화에 따라 용도변경 가능성이 있으므로, 수질관리 방안에 따라 호소의 목표수질을 단기 IV등급, 중장기 III등급으로 목표수질을 설정하였다.

표 4. 부남호 수질개선 목표

구 분	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	등급
단 기 (2010년)	8	1.0	0.10	IV등급
중장기 (2015년)	6	0.6	0.05	III등급 ^{주)}

주) III등급 : 기업도시 사전환경성검토(2006년) 협의 당시의 등급별 수질 적용

4. 현황조사

1) 유역의 일반현황

부남호내 총유역 면적은 142.2km²이며, 대부분 논(76.1 km²)과 밭(30.8km²)으로 구성되어 있다. 유역내 총 인구는 28,102명으로, 태안읍 지역의 인구는 20,293명(72.2%)이며 태안읍의 일부 지역을 제외하고는 대부분이 하수미처리구역에 해당한다. 축산현황은 주로 신고, 신고미만의 소 규모 축산 농가들이 산재하고 있었으며, 주요 축종으로 돼지, 닭, 한우, 개 등을 사육하고 있는 것으로 조사되었다. 또한 부남호 유역은 국내의 대표적인 철새도래지로서 부남호 일대를 대상으로 2006년 8월부터 2007년 3월까지 8월 1회의 여름조사와 10월에서 3월까지 월별 2회씩 철새도래기 집중조사 결과 철새의 대부분(약 95%)은 오리류와 기러기류인 것으로 조사되었다.(철새도래기 전체 조류개체수 중 오리류와 기러기류의 우점도는 각각 33.6%, 61.8%)

2) 부남호 수환경조사

환경부 수질측정망 자료에 의하면 부남호의 COD는 연중 호소수질기준 IV등급을 초과하고 있는 것으로 조사되었으며, 특히 하절기(강우기) 수질이 악화되는 것으로 조사 되었다. T-N의 경우 연중 대부분 VI등급을 초과하는 것으로 조사되었으며 T-P의 경우 연중 III~V등급의 수질변화를 보였다.

3) 유입하천 수질 및 유량조사

부남호 유역의 하천은 지방2급 6개 하천과 23개 소하천에 의해 부남호로 유입되고 있다. 부남호로 유입되는 하천 7개지점에 대하여 무강우시(평상시) 4회, 강우시 2회에 걸쳐 수질 및 유량 조사를 실시하였다(EMC : 강우사상에 대한 평균농도). 평상시와 강우시 조사한 수질분석 결과는 [표-5]와 [표-6]에 각각 나타내었다. 강우시 태안천과 장검천에서 SS 농도가 상당히 높은 상태로 부남호로 유입되고 있음을 알 수 있다.

표 5. 평상시 (1~4차 평균, 단위:mg/L)

항목	흥인천	태안천	진장천	장검천
BOD	5.0	5.5	5.1	7.2
COD _{Mn}	5.7	6.9	6.0	10.3
SS	8.4	8.5	6.6	9.3
T-N	3.9	6.9	3.2	3.4
T-P	0.2	1.0	0.2	0.3

표 6. 강우시(1,2차평균 EMC. 단위:mg/L)

항목	흥인천	태안천	진장천	장검천
BOD	7.7	13.5	13.0	11.4
COD _{Mn}	80.2	123.1	47.4	103.8
SS	11.0	17.2	17.0	14.8
T-N	6.9	11.0	9.7	6.1
T-P	0.8	1.4	1.0	0.8

4) 부남호 저질조사(용출실험)

호소로 유입되는 점오염원 및 비점오염원과 같은 외부 영양염류 공급원이외에, 호소 바닥의 저니로부터 용출되어 순환되는 내부 공급원 또한 대단히 중요하다. 저니로부터 영양염류의 용출은 호소 저부에 저니와 그 상부에 위치하는 심층수 사이에 존재하는 농도경사에 의해 유발된다. 유기물 질의 용출속도는 혐기상태에서 44.97~94.41mg/m²/일로 나타났다. 그리고 T-N과 T-P의 용출속도는 53~74.6mg/m²/일과 8.9~15mg/m²/일의 범위로 각각 나타났다.

표 7. 용출속도(단위: mg/m²/일)

구 분	용출속도		
	COD _{Mn}	T-N	T-P
1호지	94.41	66.24	8.91
2호지	86.91	74.61	13.86
3호지	68.94	52.98	8.88
4호지	45.81	61.14	9.87
5호지	44.97	61.02	15.00

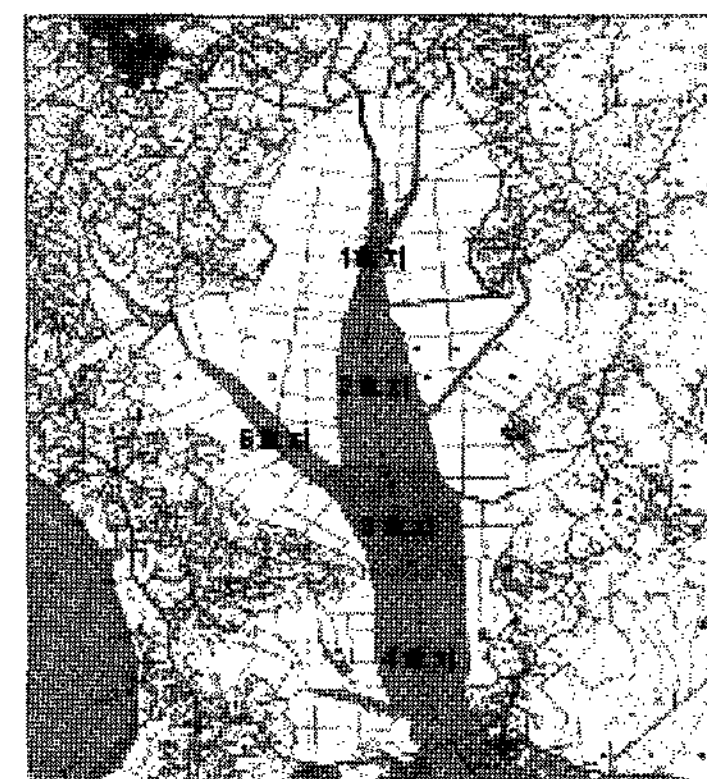


그림 1. 부남호의 구역

5) 오염부하량 산정

부남호 유역을 배수구역별로 9개지점(B1~B9)으로 소유역으로 나누어 태안군, 서산시의 동리별로 구분하여 [그림-2]와 같이 나타내었다. 부남호의 경우, [표-8]에서 보듯이 유역으로부터의 유입되는 오염부하량과 비교하여 내부 오염부하량의 비중이 모든 항목에 대해 매우 큰 것으로 산

정되었다.(BOD외부: COD내부=1:0.8, T-N외부:내부=1:0.8, T-N외부:내부=1:1.6) 따라서 부남호 수질 개선을 위해서는 유역으로부터의 배출부하량 저감 뿐 아니라 호내 내부부하에 대한 관리 대책 수립이 필요한 것으로 판단된다.

표 8. 내부 및 외부 유입부하량 (단위:kg/일)

구분	BOD	TN	TP
외부유입부하량	1,185.8	1,202.2	101.3
내부부하량	969.7*	919.5	161.3

* COD 용출부하량

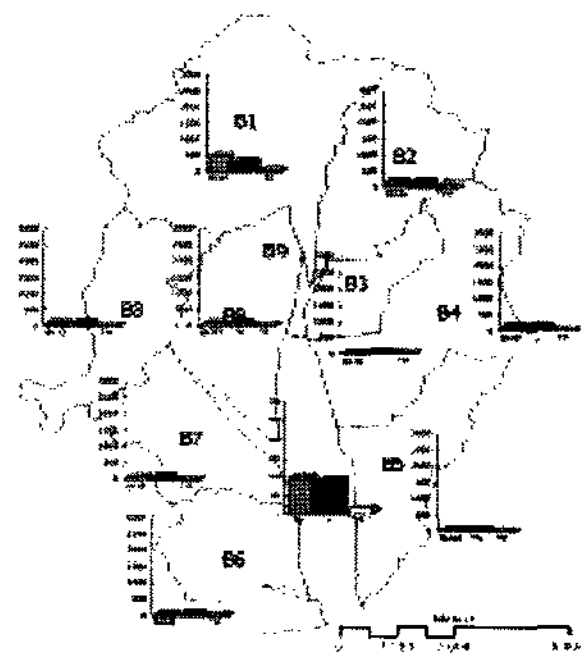


그림 2. 배출부하량(외부 및 내부)

5. 기업도시 영향예측

기업도시가 건설됨으로써 오염부하 변화는 주로 토지이용(부지면적 14,734,000㎡)의 변화에 따른 것으로 기업도시내 하수처리장(16,000㎡/일) 및 비점오염처리시설(저류지 35개유역, 장치형 44개소) 설치로 인해 오염부하량은 삭감되어 배출된다.

표 9. 기업도시 시행에 따른 발생 및 배출부하량 변화

(단위 : kg/일)

항목	기업도시 미시행시		기업도시 시행시	
	발생	배출	발생	배출
BOD	42.5	42.5	3,082.5	196.5
T-N	94.8	94.8	800.7	44.4
T-P	8.3	8.3	83.5	7.0

기업도시 시행으로 인한 오염부하량 변화를 부남호를 대상으로 구성된 수질모형(EFDC, WASP7)에 적용하여 부남호 수질을 예측하였다. COD의 경우 사업시행에 따른 토지이용변화에 따라 전반적으로 증가되는 경향을 나타내며(호내 체적이 적은 5호지의 증가율은 17.5%로 가장 큰 변화를 나타냄), T-N 및 T-P의 경우 유역으로부터의 오염

부하량 변화는 적으나, 기업도시 시행시 농업용수의 유출입 유량 변화로 인해 다소 증가되는 것으로 나타났고, 3호지, 5호지의 경우 배출부하량의 감소로 오히려 수질 농도가 감소하는 것으로 예측되었다. 기업도시 시행으로 인한 수질 변화율은 12.51%~17.52%의 범위를 나타내며, COD 항목의 변화율이 크고, T-N 및 T-P 항목에 대해서는 전반적으로 5%이내의 변화율을 나타내어 기업도시 시행에 따른 부남호 수질에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 예측된다.

표 10. 기업도시 시행에 따른 수질변화

(단위:mg/L)

구분	COD		T-N		T-P	
	사업 미시행	사업 시행시	사업 미시행	사업 시행시	사업 미시행	사업 시행시
1호지	11.34	11.86	4.49	4.72	0.380	0.386
2호지	9.09	9.97	3.39	3.43	0.168	0.168
3호지	9.36	10.00	2.89	2.84	0.136	0.140
4호지	7.35	7.54	2.36	2.36	0.081	0.081
5호지	10.97	12.89	3.00	2.91	0.187	0.163

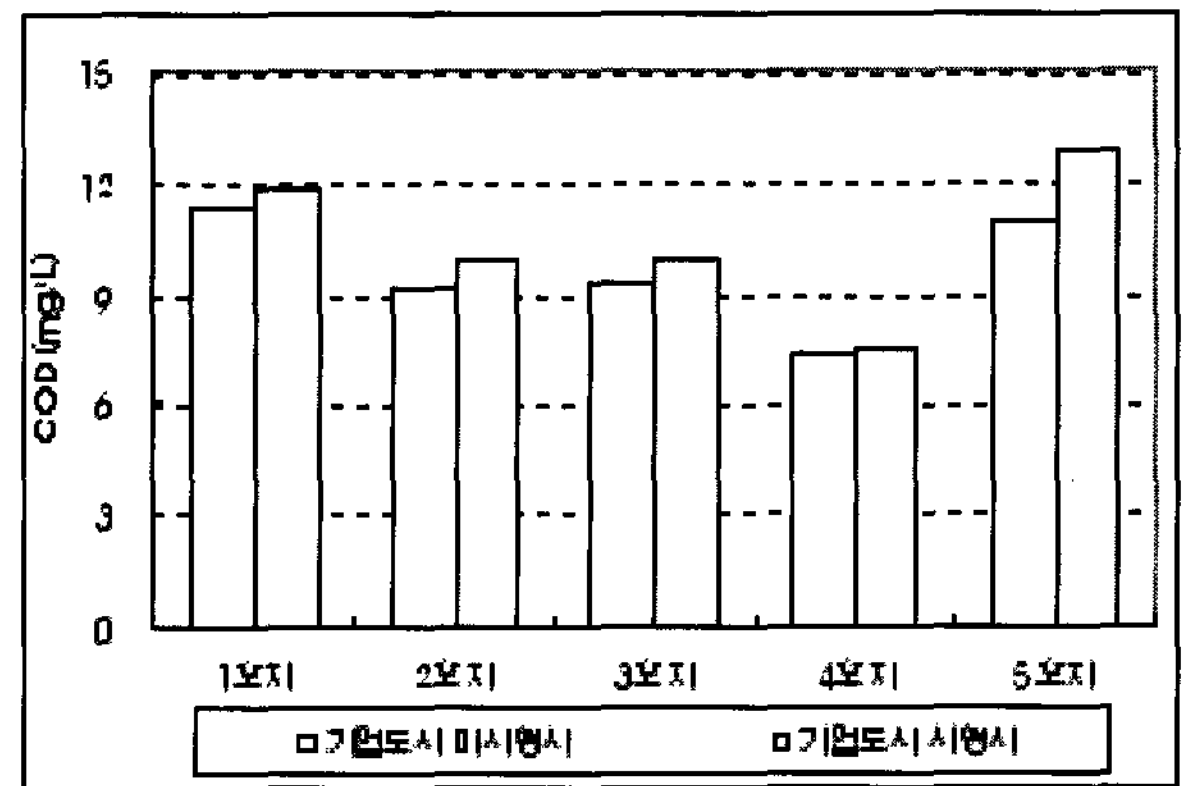


그림 3. 기업도시 시행에 따른 부남호 수질 변화

6. 수질개선대책

해당 지자체(태안군, 서산시)의 상위계획에 반영된 하수관거, 마을하수도 신설계획과 기업도시 입지에 따른 추가 수질오염원 저감대책(하수처리수 재이용, 초기우수처리시설 등)을 반영하고, 퇴적토 준설 및 준설여수 처리에 의한 수질개선 효과를 파악한 후 최종적으로 부남호 목표수질을 달성하기 위한 외부 유입 오염원 차단대책(점오염원, 비점오염원관리 등)을 수립하여 수질개선효과를 분석하였다. 또한 준설 및 호외대책으로 달성된 목표수질 유지를 위한 추가 호내 수질개선대책(조류제거, 호소수 인공순환 등)을 수립하였다.

1) 기존대책(상위계획)

부남호 유역에 해당하는 태안읍하수처리장 처리구역의 경우 기존 처리구역은 1단계 (2006년), 신설 처리구역은 처리구역 편입과 함께 분류식 관거를 보급하도록 계획 되었다.(태안군 하수도정비 기본계획 변경 2005, 태안군)

또한, 서산시는 하수도정비 기본계획의 하수종말 처리시설구역에서 제외된 지역으로 생활오수로 인한 농업용수의 오염이 우려되며 하천의 수질에 영향을 미치는 지역을 대상으로 마을하수도 시설계획을 수립하여 부석면사무소 소재 지역인 부석면 취평리 지역에 2009년을 목표년도로 마을하수도(330m³/일)를 신설할 계획이다.(서산시 통합하수도 정비 기본계획 변경 2003, 서산시)

2) 기업도시대책

기업도시내 비점오염원 관리방안으로서 도심 및 상업지역 내 강우유출수 배출량을 최소화하기 위하여 공원, 학교 운동장, 주차장 등에 투수성 재료를 도입하여 투수성 면적을 최대화하고 일부지역은 장치형시설(44개소)을 설치하는 것으로 계획하였다.

골프장의 경우, 잔디조성과 시설 유지관리를 위하여 비료 및 제초제와 농약사용에 의한 영양염류가 강우시 다량 유출되므로 이를 처리하기 위한 저감시설로 14일 이상 저류가 가능한 Pond를 각 골프장의 35개 배수유역별로 설치하는 것으로 계획하였다.

기업도시 내에서 발생하는 하수(16,000m³/일)는 'HANT' 공법(침지식 분리막공법)을 적용 “환경부 하수처리 재이용 권고수질” 이하로 고도처리하여 전량 중수도로 재이용하는 것으로 계획하였다. 하수처리장 방류수질은 BOD 5mg/L, SS 5mg/L이하로 처리하며, 처리수는 중수도 수질기준으로 처리하여 화장실용수, 청소용수, 조경용수 및 골프코스의 관개용수 등으로 전량 재이용 할 계획이다.

3) 호내대책

가. 준설

조류서식 보호 및 수중 생태환경 보호를 고려하여 1호지 및 5호지 상류부는 준설범위에서 제외하였다. 5호지 하류부는 제방의 안전 및 수변 생태환경을 고려하여 50m 이상 이격하고 수심 2m이상 확보되는 구역을 준설범위로 설정하였으며, 2, 3, 4호지는 제방의 안전 및 수변 생태환경을 고려하여 50m 이상 이격하고 수심 2m 이상 되는 구역을 준설범위로 정하였다. 부남호 바닥에 퇴적된 오염토사 제거

를 위한 총 준설량은 1,670만m³로 산정되었다(준설기간 2007년~2010년). 준설토 처리과정중 발생하는 여수는 응집/침전공정을 거쳐 상징수의 유기물, 부유물질 및 영양염류를 저감시켜 부남호로 약 9680만m³을 방류하도록 하였다. 이때 방류되는 수질은 COD 5mg/L, SS 10mg/L, T-P 0.067mg/L 이하로 처리하여 방류할 계획이다.

4) 호외대책(비점오염원 대책)

가. 적용가능시설 검토

토지이용조건에 따른 비점오염관리시설의 적용성을 검토하여 보면 부남호 대상유역은 대부분 농촌지역으로 저류지 또는 인공습지 및 식생수로 등의 적용이 가능한 것으로 검토되었고, 세부입지별 설치 가능한 시설들을 검토한 결과에 의하면, 부남호 유역과 유사한 입지조건은 합류식 하수관거의 장치형 하수처리시설 및 도시지역과 인접한 오염된 소하천에 설치 가능한 시설인 저류형, 식생형, 장치형 시설로 검토되었다. 한편 물리적으로 실현 가능한 시설들에 대한 검토 결과에 의하면, 상기의 식생형 시설은 배수면적 등에서 적합하지 않을 것을 예상되었고 유역 특성 및 발생오염물 특성상 여과시설은 바람직하지 않은 것으로 검토되었다. 지역사회와 환경요소 측면의 경우 저류지, 인공습지, 식생여과대, 식생수로 및 복류정화 시설 등이 적용성이 비교적 우수한 것으로 나타났다.

따라서 상기 검토결과에 따라 지역의 배수특성 및 비점오염 발생특성에 적합하고 부지확보 및 유지관리, 경제성 등을 종합적으로 검토하여 적용가능시설을 검토하도록 하였다. 검토대상 시설은 위의 검토결과에 따라 설치가능시설 중 식생형시설 및 여과시설을 제외한 저류시설 및 인공습지, 장치형시설, 하수처리형 시설 등을 [표-11]과 같이 선정하였다.

표 11. 비점오염원 관리시설의 적정위치 선정

비점오염원관리	태안군	서산시	위치선정기준
하수처리형	태안천, 흥인천, 송암천, 소하천 (4개소)	진장천, 장검천 (2개소)	·유역면적 大 ·단위유역 오염기여비중 大 ·강우시 비점오염관리 ·상시 하천흐름 有 ·상시 하천수질 제어
인공습지	태안천(하류부) (기업도시내) 1개소	-	·부지확보가 유리한 곳 ·강우시 비점오염관리 ·상시 하천흐름 有 ·태안천의 부남호 유입전 질소, 인 제어 ·하수처리장 방류수 제어

나. 비점오염원관리시설의 선정

유역의 비점오염원 처리조건, 호소 수질개선 효과 등을 고려하여 부남호 주요유입지천 하류부에 하수처리형 비점오염원 관리시설(태안군 4개소, 서산시 2개소)과 인공습지(기업도시내 1개소 - 태안천과 인접한 버드존내)를 설치하는 것으로 계획하였다.

5) 목표수질 유지대책

퇴적물 준설 및 비점오염원관리, 마을하수도신설, 하수관거확충, 기업도시내 점오염 및 비점오염관리를 전제로 2015년에 목표수질을 달성한 후에 개선된 호소 수질을 유지하고 재오염 가능성을 배제하기 위해서는 부영양화 및 성층억제를 위한 추가적인 호내대책 도입이 필요하다. 아래와 같이 부남호의 여건을 고려할 때 도입 가능한 호내대책은 조류제거 및 호소수 인공순환으로 판단되며 이에 대하여 적용 가능한 공법을 검토하였다.

가. 조류제거

부남호는 풍부한 영양염류 및 유기물질로 인하여 매년 수온이 상승하는 시기인 늦봄에서부터 늦가을까지 녹조류가 다량 번식하고 있다. 다량 번식된 조류들은 겨울철 수온의 저하와 함께 사멸하여 호소바닥으로 가라앉아 퇴적되고, 이듬해에 재용출되어 호소내부 오염 원인물질로 작용하는 순환작용을 하고 있다.

현재 기술적으로 이용 가능한 조류제거 방법은 황산동 살포, 마이크로 스트레이너를 탑재한 조류제거선, 용존공기 부상원리를 이용한 조류제거 장비 등을 운용하는 방법과 호

소내 질소, 인을 제어함으로써 조류의 성장과 재생산을 억제하는 방법이 있다. 본 연구에서는 용존공기부상법을 이용한 조류제거사업을 시범사업(간월호)으로 충남도에서 시행한 결과에 의하면 최대 COD 75%, SS 80%, T-P 95% 및 Chl-a 95% 제거가 가능하다.

나. 호소수 인공순환

태양전지에너지를 통하여 호소 하부의 온도가 낮고 용존산소가 부족한 물을 프로펠러를 회전하여 표면으로 얕은 층류로 확산시키며, 흡입호소내부의 물은 대기압에 의해 지속적으로 프로펠러 위치로 이송되므로 확산된 물은 대기와 접촉하여 풍부한 용존산소와 유익한 미생물의 활발한 활동으로 수생태계는 건강한 물로 회복되며, 수생생물에게 건강한 서식처를 제공하여 생태계의 안정 및 회복을 기대할 수 있다.

호소수 인공순환 장치를 부남호에 적용하기 위해서는 실증규모의 실험을 통해서 효과를 검증할 필요가 있다. 따라서 2007년에 호소수 인공순환장치를 4호지의 지류에 시범설치하여 성층파괴·혼합효과 및 수질개선효과를 수년간 모니터링하여 전체적인 효과를 검증한 후, 부남호 수질개선에 긍정적인 효과가 기대된다고 판단 될 때 부남호(4호지) 전체에 시설을 확대 설치하며 그 시점은 2015년으로 계획하였다.

7. 수질개선 시나리오 효과분석

1) 수질개선대책 시나리오

부남호 목표수질 달성을 위한 적절한 방안을 도출하기

표 12. 수질개선 대책 시나리오

구분	호내대책		호외대책		
	퇴적물 준설	조류제거	점오염원 하수관거신설 / 마을하수도	비점오염원	
				태안군	서산시
개선 대책 개요	· 호내 퇴적물 준설 - 준설량 : 16,700천㎥ - 면 적 : 9,822천㎡ - 준설기간 : 5년 - 준설토처리 : 세척후 상등수 응집 침전처리	· 기업부상법에 의한 조류제거 - 원수 가압탱크로 이송 - 고압 공기주입 - 응집제 주입, 플럭형성 - 부상플럭 제거	· 관거신설(태안읍) - 연장:98,820m(분류식) - 계획년도:2015년 · 서산시 부석면 - 취평리 마을하수도 - 계획 : 2009년 - 용량 : 330톤/일	· 하수처리형 시설에 의한 비점오염원 처리 : 강우시 · 비점오염원관리 및 평상시 하천정화 · 자연형시설에의한 비점오염원관리 (인공습지) : 질소, 인 제어	· 하수처리형 시설에 의한 비 점오염원 처리:강우시 비점 오염원관리 및 평상시 하천 정화
1안	●		●		
2안	●		●	●	
3안	●		●	●	●
4안	●	●	●		
5안	●	●	●	●	
6안	●	●	●	●	●

위하여, 앞에서 검토된 상위계획(기존대책), 기업도시 대책 및 호내대책, 호외대책, 등의 개별 수질개선대책을 6개 안으로 구성하였다. 시행 안(시나리오)은 실제 사업이 시행되기 위한 여러 가지 가능성(지자체 협의, 수질개선효과 등)을 검토하기 위하여 개별 수질개선대책의 중요성, 시행시기, 시행주체 등을 고려하여 구성하였다.

① 1안 : 퇴적물 준설, 기존대책

[1안]은 부남호 수질개선 및 준설토 부산물 재활용(기업도시 성토재로 이용)을 목적으로 기업도시 조성사업과 병행하여 실시되는 퇴적토 준설사업과 태안군과 서산시에서 계획하고 있는 하수관거확충 및 마을하수도 신설에 따른 수질개선 효과를 파악하기 위한 안으로 부남호 목표수질 달성을 위해 기본이 되는 안이다.

② 2안 : 1안 + 비점오염원저감(태안군)

[2안]은 [1안]과 더불어 유역에서 유입되는 오염원을 차단하는 방안으로 부남호로 유입되는 주요 지천 중 태안군에 해당하는 유역의 비점오염원을 저감했을 경우의 안이다. 본 안은 유역으로부터의 오염원 유입을 저감시키는 것으로 퇴적물 준설([1안])로 크게 개선되는 부남호 수질의 재오염을 막기 위해 필수적인 안이며, 사업주체로 현대건설(주) 외에 태안군의 참여가 필요하다.

③ 3안 : 1안+비점오염원저감(태안군,서산시)

[3안]은 [1안]과 더불어 유역에서 유입되는 오염원을 차단하는 방안으로 부남호로 유입되는 주요 지천의 유역 전체(태안군, 서산시)에서 비점오염원을 저감했을 경우의 안이다. 사업주체로 현대건설(주)외에 태안군과 서산시의 참여가 필요하다.

④ 4안 : 1안+호내대책(조류제거)

[4안]은 [1안]과 더불어 부남호 수질을 목표수질 달성 및 유지하기 위해 추가적인 수질개선대책(조류제거)의 효과를 검토하기 위한 안으로 해당 지자체(태안군, 서산시)의 참여 없이 목표수질 달성 및 유지 가능여부를 판단하기 위한 안이다.

⑤ 5안 : 4안+비점오염원저감(태안군)

[5안]은 [4안]과 더불어 태안군에 해당하는 유역의 비점오염원을 저감했을 경우의 안이다. 사업주체로 현대건설(주)외에 태안군의 참여가 필요하다.

⑥ 6안 : 4안+비점오염원저감(태안군,서산시)

[6안]은 [4안]과 더불어 유역 전체(태안군, 서산시)에서 비점오염원을 저감했을 경우의 안이다. 사업주체로 현대건설(주)외에 태안군과 서산시의 참여가 필요하다.

2) 수질개선 효과분석

상기 구성된 6개 시나리오의 수질개선대책의 개별 삭감부하량을 부남호 수질모형 (WASP7)에 적용하여 장래수질을 예측함으로써 수질개선효과를 분석하였다. 부남호의 수질개선 목표연도인 2010년, 2015년을 기준으로 수질예측을 실시하였으며 시나리오별 예측결과는 다음과 같다.

1안(퇴적물 준설, 기존대책)의 경우, 준설로 인한 용출부하량의 감소 및 준설시 처리 여수의 유입 및 서산시 취평리 마을 하수도(330m³/일) 신설의 영향을 고려하여 수질모의를 실시하였다. 준설 및 마을하수도 신설로 인해 전반적으로 수질농도는 감소되는 것으로 예측되었으나, T-N의 경우에는 준설 여수의 처리 수질이 높으므로 준설이 실시되는 동안 증가되는 경향을 나타내며, 준설 완료 후에는 다시 감소될 것으로 모의되었다. 단기 수질목표년도인 2010년의 경우 COD 및 T-P 항목에 대해 1호지를 제외하면 목표 수질(Ⅳ)을 만족하는 것으로 모의되었으며, 장기 수질목표년도인 2015년의 경우에는 3호지 및 4호지의 수질이 목표수질(Ⅲ)을 만족하나, 다른 호지에 대해서는 목표수질을 만족하지 않는 것으로 모의되었다. 따라서 장기적인 수질 개선을 위해서는 준설대책 외에 유역으로부터의 오염부하 유입제어를 통한 수질관리 개선대책 수립이 필요할 것으로 판단된다. 특히 5호지 경우 COD가 2008년 10mg/L이상에서, 준설로 인해 2010년 4.42mg/L(Ⅲ등급)로 일시적으로 감소하는 효과를 나타내나 준설 완료 후 준설여수처리수 유입이 중단되고, 기업도시로부터의 오염부하량이 증가함에 따라 Ⅲ등급에서 Ⅳ등급 수질을 나타낼 것으로 예상되었다. 그러나 결과적으로는 2006년의 9.68mg/L에서 2015년 7.58mg/L로 V등급에서 Ⅳ등급으로 전반적인 수질은 개선됨을 알 수 있다. 부남호내 준설은 2007년부터 2010년까지 1호지를 제외한 모든 호지에 대해 단계적으로 시행될 예정이며, 퇴적물 준설시 저니층 제거 및 준설여수처리수 유입이 동시에 이루어져 준설의 효과가 극대화된다. 준설시행시 여수 처리수의 유입을 고려하지 않고 저니층 제거 기작만을 고려하는 경우 COD 농도를 기준으로 Ⅳ등급 이상의 수질로 모의되어 모든 호지에 대해 목표수질을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 따라서 준설로 인한 용출제어 뿐만 아니라 수질 농도가 낮은 준설여수처리수 유입은 부남호의 수질

개선에 많은 기여를 하는 것으로 판단된다.

2안(1안 + 비점오염원저감(태안군))의 경우, 태안군의 비점오염원저감시설 설치를 고려한 수질모의 결과에 따르면 2호지, 3호지와 4호지는 목표수질을 만족하나, 1호지 및 5호지의 경우에는 2015년 목표수질을 만족하지 못하는 것으로 예측되었다.

3안(1안+비점오염원저감(태안군, 서산시))의 경우, 태안군 및 서산시의 비점오염원저감 시설 설치를 고려한 3안의 수질모의 결과, 1호지 및 5호지를 제외하고 2015년 목표수질을 만족하는 것으로 예측되었다. 특히 1호지의 경우, 2안 및 3안 대책을 통해 유입오염부하가 상당부분 저감됨에도 불구하고 뚜렷한 수질 개선효과를 나타내지 않는 것으로 모의되었다. 이는 외부 유입오염부하 외에 철새 배설물 등에 의한 오염원이 지속적으로 유입되고, 철새 보호를 위해 준설대상에서 제외된 지역이므로 목표수질 달성에는 현실적으로 많은 한계를 갖고 있기 때문인 것으로 판단된다.

4안(1안+호내대책(조류제거))의 경우, 각 호지에 대한 준설 및 4호지의 수질 개선을 위한 호내 대책을 고려한 4안에 대해 수질 모의를 실시한 결과에 의하면 1호지, 2호지, 5호지에서 2015년 목표수질을 만족하지 못하는 것으로 예측되었다.

5안(4안+비점오염원저감(태안군))의 경우, 태안군의 비점오염원저감시설 설치 및 4호지의 수질 개선을 위한 호내 대책을 고려한 5안에 대한 수질 모의 결과에 의하면, 1호지 및 5호지를 제외하고 2015년 목표수질을 만족하는 것으로 예측되었다.

6안(4안+비점오염원저감(태안군, 서산시))의 경우, 태안군과 서산시에 대한 비점오염원저감시설 설치 및 4호지의 호내 대책을 고려한 6안에 대한 수질 모의 결과에 따르면 1호지 및 5호지를 제외하고 2015년 목표수질을 만족하는 것으로 예측되었다.

표 13. 목표수질 달성여부

구분	2010년					2015년				
	1호지	2호지	3호지	4호지	5호지	1호지	2호지	3호지	4호지	5호지
1안	등급외	Ⅳ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	등급외	Ⅳ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅳ
2안	등급외	Ⅳ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	등급외	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅳ
3안	등급외	Ⅳ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	등급외	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅳ
4안	등급외	Ⅳ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	등급외	Ⅳ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅳ
5안	등급외	Ⅳ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	등급외	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅳ
6안	등급외	Ⅳ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	등급외	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅳ

주) : 목표수질 만족

[표-13]에서 보듯이, 각 수질개선 시나리오에 대한 수질 예측결과에 의하면 2호지, 3호지, 4호지는 2안, 3안, 5안, 6

안에서 2010년, 2015년 모두 목표수질을 만족하였다.

1호지의 경우, 2안 및 3안 대책을 통해 유입오염부하가 저감됨에도 불구하고 수질 농도는 뚜렷한 개선효과를 나타내지 않는 것으로 모의되었다. 이는 외부 유입오염부하 외에 철새 배설물 등에 의한 오염원이 지속적으로 유입되고, 철새 보호를 위해 준설대상에서 제외된 지역이므로 목표수질 달성에는 현실적으로 많은 한계를 갖고 있다.

또한 5호지 경우 COD가 2008년 10mg/L이상에서, 준설로 인해 2010년 4.42mg/L (Ⅲ등급)로 일시적으로 감소하는 효과를 나타내나 준설 완료 후 준설여수처리수 유입이 중단되고, 기업도시로부터의 오염부하량이 증가함에 따라 Ⅲ등급에서 Ⅳ등급 수질을 나타낼 것으로 예상되었다. 그러나 결과적으로는 2006년의 9.68mg/L에서 2015년 7.58mg/L로 V등급에서 Ⅳ등급으로 전반적인 수질은 개선됨을 알 수 있다.

상기와 같이 1호지나 5호지는 목표수질 달성에 현실적으로 많은 한계를 가지고 있기 때문에 1, 5호지는 2, 3, 4호지에 유입되는 외부 오염부하에 대한 완충효과를 기대할 수 있는 전처리호 성격의 호지로 관리하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

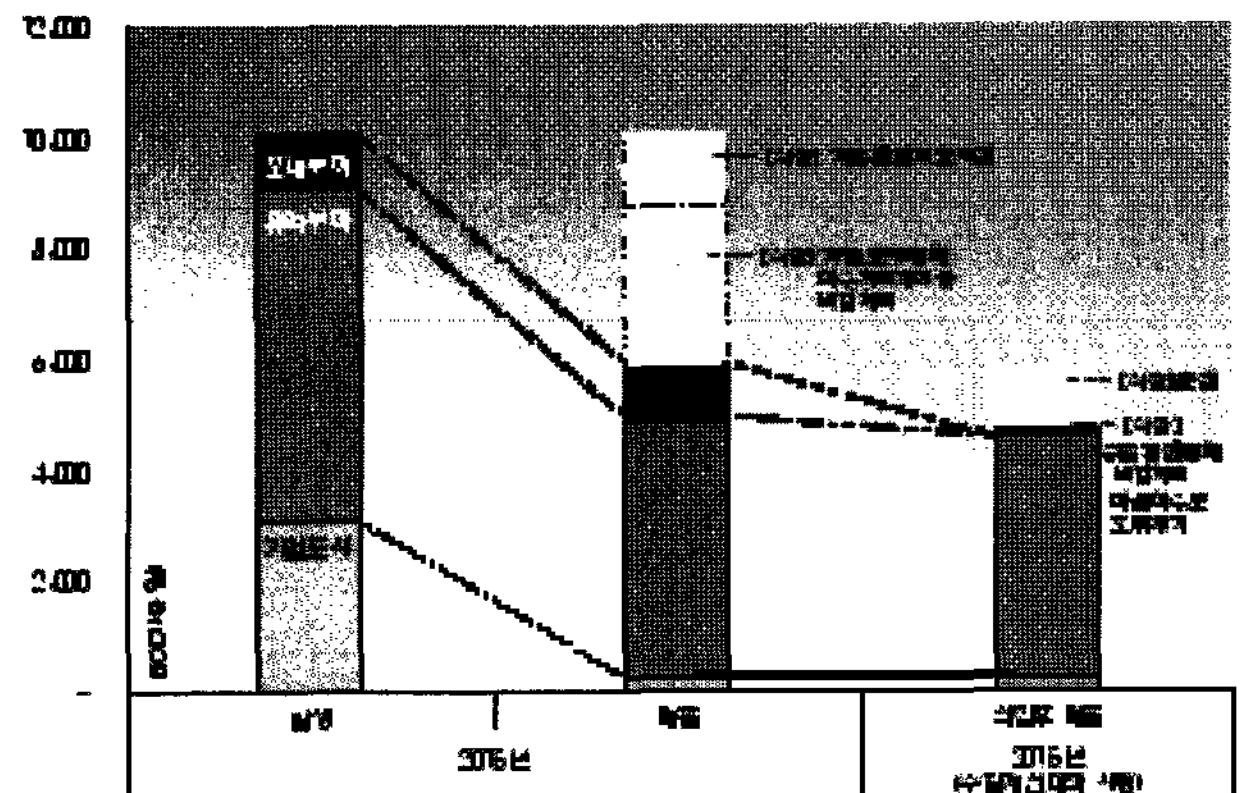


그림 4. 오염 부하량 및 삭감량 비교(BOD)

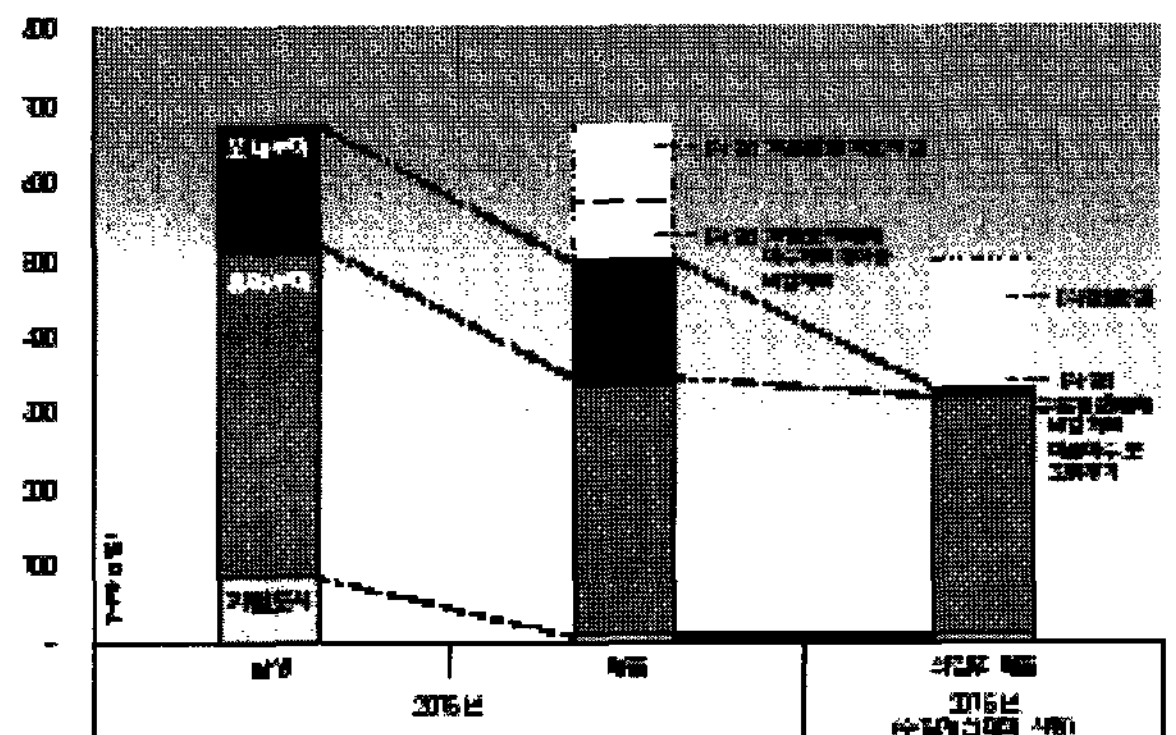


그림 5. 오염 부하량 및 삭감량 비교(T-N)

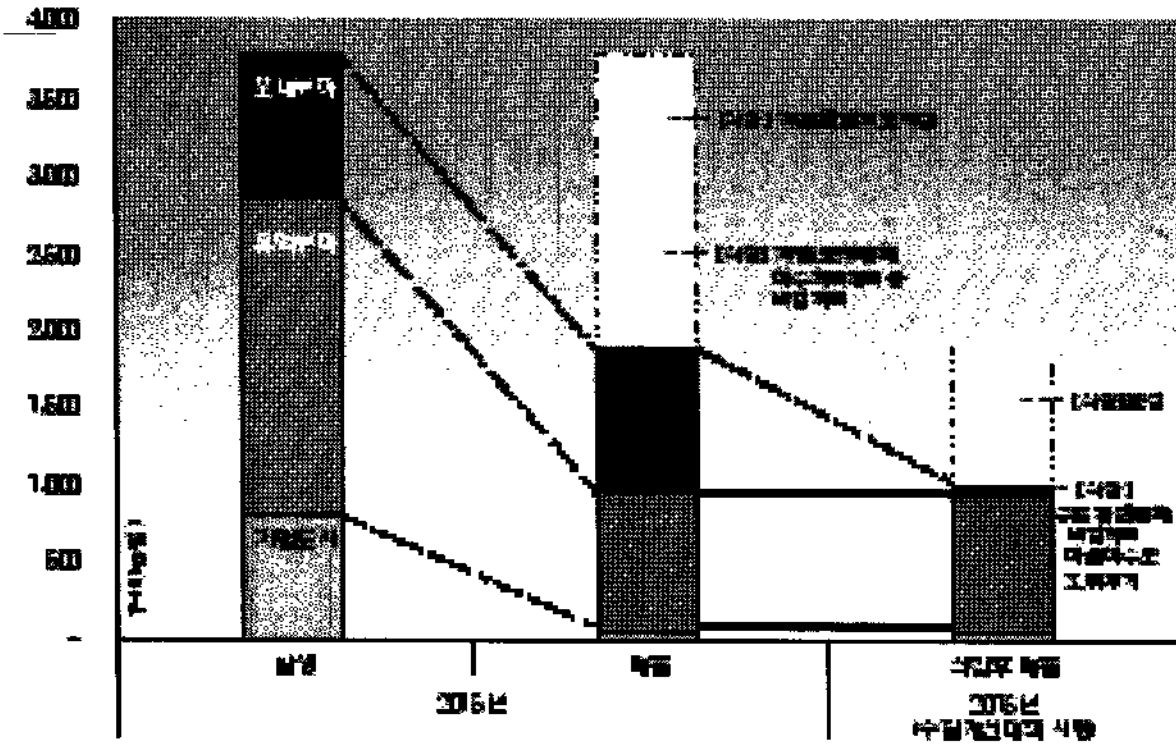


그림 6. 오염 부하량 및 악감량 비교(T-P)

8. 수질개선의 시행계획

부남호의 수질은 단기적(2010년)으로 호소수질등급 IV 등급 그리고 중장기적(2015년)으로 III등급 달성을 목표로 하여 시행계획을 수립한 결과는 [표-14]와 [표-15]에 각각 나타내었다. [표-14]와 [표-15]에서 보는 바와 같이 퇴적물 준설, 기업도시대책(하수처리-재이용, 초기우수 처리시설), 마을하수도 신설, 하수관거확충(태안군), 비점오염원처리시설(태안군-4개소), 인공습지(1개소) 등의 5안으로 단기 및 중장기 시행계획으로 수질목표는 달성될 것으로 판단되나, 보다 더 나은 부남호 수질을 유지하기 위해서는 6안으로 계획하여 호외대책을 추가적으로 시행하여야 한다. 이와 더불어 관련 지자체인 서산시와 지속적인 협의를 추진함으로써 부남호 수질개선을 위하여 노력할 필요가 있다.

표 14. 수질개선대책 후 부남호 수질예측(2010년)

구분	2010년					사업내용
	1호지	2호지	3호지	4호지	5호지	
COD	10.81	5.49	4.74	4.71	4.42	·퇴적물 준설 ·마을하수도 신설 : 330m ³ /일 취평리 마을하수도(서산시)
T-N	4.39	2.46	2.78	2.68	2.90	
T-P	0.367	0.060	0.029	0.032	0.047	
수질등급	등급외	IV	III	III	III	

주) : 목표수질 만족

표 15. 수질개선대책(5안) 후 부남호 수질예측(중장기, 2015년)

구분	2015년					사업내용
	1호지	2호지	3호지	4호지	5호지	
COD	10.95	5.97	4.98	4.40	6.63	·기업도시대책 : 하수처리-재이용, ·비점오염원 관리(초기우수 처리) ·비점오염원 관리 : 인공습지(1개소), 비점오염원관리시설(태안군 4개소) ·하수관거 확충 : 태안하수처리장 하수관거 ·조류제거, 호소수인공순환(시범설치)
T-N	4.40	2.24	2.48	2.70	2.75	
T-P	0.306	0.050	0.026	0.022	0.055	
수질등급	등급외	III	III	III	IV	

주) : 목표수질 만족

부남호 수질개선대책 중 호내대책은 퇴적물 준설, 조류제거 및 호소수 인공순환이 계획되어 있으며 호외대책으로는 비점오염원관리시설로 하수처리형 6개소와 인공습지 1개소가 계획되어 있다. 이들 시설은 [표-16]과 같다.

표 16. 수질개선 대책

구분	사업내용
호내대책	·준설 : 준설량 16,700천m ³
	·조류제거 : 가동일수 180일 - 운영기간:5년(2015~2019년)
	·호소수 인공순환(3개 시범설치) - 운영기간:6개월(2007~2008년)
	·호소수 인공순환(32개) - 운영기간:5년(2015~2019년)
소 계	
호외대책	·비점오염원관리시설(6개소)
	·비점오염원관리시설(습지 1개소) - 규모,8.5ha, 용량 47천톤/일
소 계	
합 계	

9. 결 론

서산 A/B간척지는 2000년 이후 현대건설의 유동성 위기시 농지를 매각하여 유동성 지원을 하여, 회사가 어려울 때에 잃어버린 땅을 기회의 땅, 꿈의 땅으로 구현하기 위해 노력한 결과, 부남호를 중심축으로 서산 B지구 간척지 14,643,669 m²(약 443만평)에 태안 관광레저형 기업도시를 2007년 9월 착공하여 추진중에 있으며, 또한 서산 바이오웰빙특구(약 170만평)도 개발을 추진중 있다. 향후 부남호를 중심으로 양쪽 방향(서산, 태안방향)으로 기업도시의 발전과 확장하기 위해 당사가 할 일이 무궁무진 할 것으로 판단된다.

- 1) 부남호의 수질현황을 살펴보면 부남호의 COD는 연중 호소수질기준 IV등급을 초과하고 있는 것으로 조사되었으며, 특히 하절기(강우기) 수질이 악화되는 것으로 나타났다. T-N의 경우 연중 대부분 VI등급을 초과하는 것으로 조사되었으며 T-P의 경우 연중 III~V등급의 수질변화를 보였다.
- 2) 부남호 유역의 하천은 지방2급 6개 하천과 23개 소하천에 의해 부남호로 유입되고 있다. 평상시 대부분 유입하천의 질소와 인 농도는 호소수질 등급외로 부남호로 유입되고 있으며, 강우시에는 태안천과 장검천에서 비점오염부하량이 상당히 높은 상태로 부남호

로 유입되고 있음을 알 수 있었다.

- 3) 호소로 유입되는 점오염원 및 비점오염원과 같은 외부 영양염류 공급원이외에, 호소 바닥의 저니로부터 용출되어 순환되는 내부 공급원 또한 대단히 중요하며, 본 연구에서 용출실험을 통해 산정한 결과, 용출에 의한 호내의 오염부하량은 호내·외 오염부하량의 약 45%를 차지하는 것으로 나타났다.
- 4) 기업도시 건설로 인한 부남호의 수질영향 예측결과에 의하면, 기업도시 시행으로 인한 수질 변화율은 12.51%~17.52%의 범위를 나타내며, COD 항목의 변화율이 크고, T-N 및 T-P 항목에 대해서는 전반적으로 5%이내의 변화율을 나타내어 기업도시 시행에 따른 부남호 수질에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 예측되었다.
- 5) 부남호 목표수질 달성을 위한 적절한 방안을 도출하기 위하여, 해당 지자체(태안군, 서산시)의 상위계획(하수관거, 마을하수도 등), 기업도시 대책(하수처리수 재이용, 초기우수처리시설 등) 및 호내대책(준설, 조류제거, 인공순환 등), 호외대책(점오염원, 비점오염원 관리 등), 등의 개별 수질개선대책을 6개 안으로 구성하였다. 시행 안(시나리오)은 실제 사업이 시행되기 위한 여러 가지 가능성(지자체 협의, 수질개선효과 등)을 검토하기 위하여 개별 수질개선대책의 중요성, 시행시기, 시행주체 등을 고려하여 구성하였다.
- 6) 상기 구성된 6개 시나리오의 수질개선대책의 개별 삭감부하량을 부남호 수질모형(WASP7)에 적용하여 장래수질을 예측함으로써 수질개선효과를 분석하였다. 부남호의 수질개선 목표연도인 2010년, 2015년

을 기준으로 수질예측을 실시하였으며 시나리오별 예측결과는 5안(호내: 준설, 조류제거, 인공순환, 호외: 태안군 비점저감시설(4개소), 인공습지 1개소)과 6안(5안+ 서산시 비점저감시설 2개소)이 가장 적합한 것으로 판단되었다. 2호지, 3호지 및 4호지는 목표연도별 목표수질을 달성할 수 있으나, 1호지나 5호지는 목표수질 달성에 현실적으로 많은 한계를 가지고 있다. 1, 5호지는 2, 3, 4호지에 유입되는 외부 오염부하에 대한 완충효과를 기대할 수 있는 전처리호 성격의 호지로 관리하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

7) 따라서 부남호 수질개선대책 중 호내대책은 퇴적물 준설, 조류제거 및 호소수 인공순환이 계획되어 있으며 호외대책으로는 비점오염원관리시설로 하수처리형 6개소와 인공습지 1개소를 계획하였다.

참 고 문 헌

1. 서산간척지 B지구 개발방안 컨설팅 보고서, 한국산업은행, 2004.03
2. “부남호 수질개선사업보고서”, 한서대학교, 2005.08
3. “서산 A·B지구 담수호 수질보전 및 관리방안”, 충청남도, 2001.02
4. “서산 A지구 간월호 수질개선 시범사업보고서”, 서산시 & 농업기반공사, 2005.12
5. “간척지 담수호의 수질관리시스템 개발”, 농림부, 2001.12
6. “수변완충지대 효율적 조성 및 오염부하 저감효과 연구”, 한강수계관리위원회, 2005.01
7. “화옹호 수질개선대책”, 경기도, 2002.02
8. “경기도 인공호수의 수질개선과 효율적인 관리방안(평택호를 중심으로)”, 경기개발연구원, 1998.11