

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장관 귀하

이 보고서를 “충청권 소규모 농촌마을(리 단위)의 자체운영 가능한 저비용·자연친화형 하수처리 시스템 개발에 관한 연구”과제의 보고서로 제출합니다.

2013 . 11 . 23

주관연구기관명 : 충북대학교

주관연구책임자 : 전향배

주관공동책임자 : 맹승진

주관공동책임자 : 이효상

연구원 : Tian Dongjie

" : 김지성

" : 김태우

" : 김형산

" : 박기순

" : 손주영

" : 이소정

" : 임현숙

" : 장형준

" : 정구식

" : 조희용

참여기업 : 장돈규

" : 허준용

보고서 요약서

과제고유번호	D05	해당단계 연구기간	2011.10.24. ~2013.10.23	단계구분	총단계
연구사업명	중사업명	지역기술혁신사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	충청권 소규모 농촌마을(리 단위)의 자체운영 가능한 저비용·자연친화형 하수처리 시스템 개발			
연구책임자	전향배	해당단계 참여 연구원수	총 : 16명 내부 : 14명 외부 : 2명	해당단계 연구비	정부 : 100,000천원 기업 : 33,334 천원 계 : 133,334 천원
		총연구기간 참여 연구원수	총 : 17명 내부 : 15명 외부 : 2명	총연구비	정부 : 250,000 천원 기업 : 83,334 천원 계 : 333,334 천원
연구기관명 및 소속부서명	충북대학교 환경공학과		참여기업명	(주)엠에스워터	
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위탁연구	연구기관명 :		연구책임자 :		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면수	
본 연구에서는 UASB(Upflow Anaerobic Sludge Blanket)-ABF(Aerobic Biofilter)시스템을 하수 중의 유기물 분리 및 살수여상(식생조)의 3차 처리로 비점오염원 저감의 저비용 자연친화형의 시스템을 구축하고자 하였다. 따라서, 본 시스템은 방류수 수질 기준에도 만족하고 에너지 저감 및 이산화탄소 발생량 감축(유기물 회수로 인한 폭기 에너지 감축)을 도모한 저비용 자연친화형 하수처리 시스템을 구축하였다.					
색인어 (각 5개 이상)	한글	UASB-ABF 시스템, 자연친화형, 저비용, 자연친화형			
	영어	UASB-ABF system, Nature friendly, low cost, Resource recycle			

요 약 문

I. 제목

충청권 소규모 농촌마을(리 단위)의 자체운영 가능한 저비용·자연친화형 하수처리 시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

수질오염총량제, 4대강살리기 등 지역 및 하천 수질개선을 위한 하수도 설치 및 농어촌 지역적 특성에 알맞은 소규모 농어촌 하수처리 시스템 구축이 필요한 실정이다. 또한 농어촌 하수도 보급 및 농어촌 지역의 삶의 질 개선을 위한 오염발생원 근접 관리가 필요한 실정에 맞춰 저비용의 친환경 신개념 하수처리기술 도입이 필요한 실정이다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 충청권 농촌지역의 하수특성 파악 및 시범 적용 마을 선정
 - 충청권 농촌지역의 하수(생활하수, 농업하수 등) 유출 특성 및 계통도 분석
 - 충청권 시범 적용 마을 선정(10~20가구 등)
- 소규모 마을 단위의 저비용·자연친화형 하수처리 시스템 개발
 - 국내외 관련 기술을 조사 분석하여 충청권 소규모 농촌마을의 특성을 반영한 자연형 하수처리 시스템 개발
 - 건설비용이 낮고(20백만원 이하) 저비용 유지관리가 가능한(2백만원/년 미만) 자연친화적인(예, 식생 정화 기능 활용, 인공습지, 저류조, 친환경 여과제 사용, 에너지저감형 등) 하수처리 융합 시스템 개발
 - 하수처리 최종 방류수의 생물학적 산소요구량(BOD₅)이 10mg/L이하를 만족시키는 하수처리 시스템 개발
- 친환경 저비용 자연친화형 하수처리 시설의 시범 적용 및 운영관리 지침 마련
 - 선정된 시범 마을에 하수처리시설 소규모 시작품 실제 적용
 - 적용된 시작품의 시범 운영 및 관리를 통하여 문제점 보완

- 저비용 하수처리 시설의 관리 및 운영 매뉴얼 작성

IV. 연구개발결과

본 연구에서는 UASB(Upflow Anaerobic Sludge Blanket)-ABF(Aerobic Biofilter)시스템을 하수 중의 유기물 분리 및 살수여상(식생조)의 3차 처리로 비점오염원 저감의 저비용 자연친화형의 시스템을 구축하고자 하였다. 따라서, 본 시스템은 방류수 수질 기준에도 만족하고 에너지 저감 및 이산화탄소 발생량 감축(유기물 회수로 인한 폭기 에너지 감축)을 도모한 저비용 자연친화형 하수처리 시스템을 구축하였다.

V. 연구개발결과의 활용계획

개발하고자 하는 기술은 학제간 차세대 친환경기술로써, 특허 및 신기술과 참여기관의 각 분야에서 정립된 이론적, 경험적 연구결과를 토대로 학술적 가치가 클 것으로 판단되며, 이를 활용한 국내외 학술지 등에 발표 및 게재 등 지적재산권 확보에 많은 기대를 두고 있다.

또한 개발하고자 하는 기술은 21세기 친환경적인 하·폐수처리분야에 활용될 수 있기 때문에, 지자체 및 농어촌지역을 대상으로한 신설 및 기존에 운영되는 처리시설의 효율향상 및 고농도 폐수처리분야에서 겪고 있는 기술적, 경제적인 문제 해결에 활용하고자 한다.

SUMMARY

- 충청권 농촌지역의 하수특성 파악 및 시범 적용 마을 선정
 - 충청권 농촌지역의 하수(생활하수, 농업하수 등) 유출 특성 및 계통도 분석
 - 충청권 시범 적용 마을 선정(10~20가구 등)

- 소규모 마을 단위의 저비용·자연친화형 하수처리 시스템 개발
 - 국내외 관련 기술을 조사 분석하여 충청권 소규모 농촌마을의 특성을 반영한 자연형 하수처리 시스템 개발
 - 건설비용이 낮고(20백만원 이하) 저비용 유지관리가 가능한(2백만원/년 미만) 자연친화적인(예, 식생 정화 기능 활용, 인공습지, 저류조, 친환경 여과재 사용, 에너지저감형 등) 하수처리 융합 시스템 개발
 - 하수처리 최종 방류수의 생물학적 산소요구량(BOD₅)이 10mg/L이하를 만족시키는 하수처리 시스템 개발

- 친환경 저비용 자연친화형 하수처리 시설의 시범 적용 및 운영관리 지침 마련
 - 선정된 시범 마을에 하수처리시설 소규모 시작품 실제 적용
 - 적용된 시작품의 시범 운영 및 관리를 통하여 문제점 보완
 - 저비용 하수처리 시설의 관리 및 운영 매뉴얼 작성

CONTENTS

제1장 연구개발과제의 개요	1
제1절 연구개발의 목적 및 필요성	1
제2절 연구개발의 목표	1
제3절 연구개발의 최종목표의 성격 및 설정근거	2
제4절 연구개발의 내용 및 범위	2
제5절 연구개발 추진체계	5
제6절 연구결과의 활용방안 및 기대성과	6
제7절 연도별 주요 추진 일정	7
 제2장 대상지역 현황 및 특성	8
제1절 대상지역 선정	10
제2절 현장 답사	12
제3절 선정된 무의 구룡 처리장의 유역 특성	24
 제3장 공정개요 및 운영조건	33
제1절 국내·외 연구동향	33
제2절 혐기-호기(UASB-ABF) 공법 개요	34
제3절 자연수로 호안 공법 개요	37
 제4장 연구결과	41
제1절 충청권 소규모 농촌지역 하수의 최적관리를 위한 처리체계	41
제2절 충청권 농촌의 특성에 최적화된 소규모 친환경 하수처리 기술 개발	64
제3절 상용화된 Package형 사후처리 시설의 설계 및 운영	66
제4절 전기사용량 비교	97
제5절 이산화탄소 발생량	98
제6절 유가자원 회수	102
제7절 C/N비 및 식생여과조 막 폐색 문제점 해결 방안	103

제8절 동절기 저수온시 pilot plant 운영	104
제5장 연구성과물이 타 하수시스템과의 건설비용 비교	108
제6장 결론	116
제7장 활용방안 및 기대효과	117

표 목 차

[표 2-1] 다목적댐 주요 제원	8
[표 2-2] 소규모공공하수처리시설 현황(A지역)	10
[표 2-3] 소규모공공하수처리시설 현황(B지역)	11
[표 2-4] 소규모공공하수처리시설 답사지점 현황	12
[표 2-5] 내추문화 처리장 현황	13
[표 2-6] 내수조정 처리장 현황	14
[표 2-7] 묵방1 처리장 현황	15
[표 2-8] 문의소전1리 처리장 현장사진	16
[표 2-9] 인풍정 처리장 현장사진	17
[표 2-10] 옥화1리 처리장 현장사진	18
[표 2-11] 금관신촌 처리장 현장사진	19
[표 2-12] 어암2리 처리장 현장사진	20
[표 2-13] 금관2리 처리장 현장사진	21
[표 2-14] 문의구룡 처리장 현장사진	22
[표 2-15] 문의구룡 처리장 세부 현황	23
[표 2-16] 유역 현황	25
[표 2-17] 구룡 2리 유역의 표고분포별 면적 및 면적비	26
[표 2-18] 청주기상대 일람	26
[표 2-19] 월별 기온	27
[표 2-20] 월별 강수량	27
[표 2-21] 월평균 풍속	29
[표 2-22] 월별 상대습도	29
[표 2-23] 행정구역	30
[표 2-24] 문의면 세대 및 인구	30
[표 2-25] 경지규모별 농가 및 경지면적	30
[표 2-26] 문의면 농업용수 이용량	31
[표 2-27] 문의면 농가가축두수	32
[표 3-1] 21세기 하수처리기술 개선방향	33
[표 3-2] Lab Scale 및 pilot plant 설계조건	35
[표 3-3] 식생수로 관련 최근(2000~2012년) 특허 동향	38
[표 3-4] 살수여상의 운영조건 비교	40
[표 4-1] 유량과 수질 조사지점별 위치와 유역특성	41
[표 4-2] 수질분석방법(수질오염공정시험법)	43

[표 4-3] 점오염원과 비점오염원의 특성 비교	44
[표 4-4] 점오염부하량 산정 방법	44
[표 4-5] 연간 비점오염부하량 산정방법(환경부, 2003)	46
[표 4-6] 측정 호우사상	46
[표 4-7] 문의구룡 처리장 호우사상별 최고오염부하율(kg/hr) 비교	55
[표 4-8] 문의구룡 처리장 호우사상별 단위유출부하율(kg/hr) 비교	55
[표 4-9] 강우시 유량과 오염부하율의 상관관계	60
[표 4-10] 하수처리 전후의 연간 오염물질 부하량	62
[표 4-11] UASB-ABF 3hr 시스템	65
[표 4-12] Lab Scale 운영에 사용되는 원수 성상	66
[표 4-13] pilot plant에 유입되는 원수 성상	66
[표 4-14] Lab Scale에 의한 UASB-ABF 시스템 운전 조건별 유기물 변화 거동	67
[표 4-15] Lab Scale에 의한 UASB-ABF 시스템 운전 조건별 질소 변화 거동	71
[표 4-16] Lab Scale에 의한 UASB-ABF 시스템 운전 조건별 인 제거 거동	72
[표 4-17] Lab Scale에 의한 UASB-ABF 시스템 운전 조건별 pH 변화 거동	73
[표 4-18] pilot plant에 의한 UASB-ABF 시스템 운전 조건별 유기물 변화 거동	75
[표 4-19] pilot plant에 의한 UASB-ABF 시스템 운전 조건별 질소 변화 거동	76
[표 4-20] pilot plant에 의한 UASB-ABF 시스템 운전 조건별 인 제거 거동	78
[표 4-21] pilot plant에 의한 UASB-ABF 시스템 운전 조건별 pH 변화 거동	79
[표 4-22] Lab Scale에 의한 식생여과조 유기물 제거	83
[표 4-23] Lab Scale에 의한 식생여과조 질소 제거	85
[표 4-24] Lab Scale에 의한 식생여과조 인 제거	86
[표 4-25] Lab Scale에 의한 식생여과조 pH 변화	87
[표 4-26] pilot plant에 의한 식생여과조 유기물 제거	90
[표 4-27] pilot plant에 의한 식생여과조 질소 제거	92
[표 4-28] pilot plant에 의한 식생여과조 인 제거	93
[표 4-29] pilot plant에 의한 식생여과조 pH 변화	94
[표 4-30] UASB-ABF 시스템 처리효율 대조표(Lab 및 pilot plant)	96
[표 4-31] 식생여과조 처리효율 대조표(Lab 및 pilot plant)	96
[표 4-32] 하수처리시설 기기별 전력사용 비교	97
[표 4-33] 수중 폭기 및 Trickling filter 처리효율 대조표	97
[표 4-34] case I TCOD, SS, Turbidity 제거	98
[표 4-35] UASB에서 TCOD, SS, Turbidity 제거(case II, case III 비교)	100
[표 4-36] 부동한 HRT 조건에서 유기물 제거(UASB)	100
[표 4-37] UASB-ABF system의 COD 수치	101
[표 4-38] UASB-ABF 시스템 내 슬러지 원소분석 결과	102

[표 4-39] 청주 10월, 11월 기온변화	104
[표 5-1] 터파기 단가산출	108
[표 5-2] 퇴메우기 단가산출	109
[표 5-3] 잔토처리 단가산출	110
[표 5-4] 기초장석깔기 단가산출	111
[표 5-5] 45m ³ /day 처리용량의 하수처리 시스템 설계	112
[표 5-6] MBR 토목시설공사 견적	113
[표 5-7] UASB-ABF 시스템 토목시설공사 견적	114

그 립 목 차

[그림 2-1] 대청댐 상류지역 내 상수원보호구역	9
[그림 2-2] 내추문화 처리장 현장사진	13
[그림 2-3] 내수조정 처리장 현장사진	14
[그림 2-4] 묵방1 처리장 현장사진	15
[그림 2-5] 문의소전1리 처리장 현장사진	16
[그림 2-6] 인풍정 처리장 현장사진	17
[그림 2-7] 옥화1리 처리장 현장사진	18
[그림 2-8] 금관신촌 처리장 현장사진	19
[그림 2-9] 어암2리 처리장 현장사진	20
[그림 2-10] 금관2리 처리장 현장사진	21
[그림 2-11] 문의구룡 처리장 현장사진	22
[그림 2-12] 구룡2리 마을하수도 유역도	24
[그림 2-13] 구룡2리 마을하수도 유역특성	25
[그림 3-1] 하수처리 발전방향	33
[그림 3-2] 시운전 중인 Lab Scale	35
[그림 3-3] 시운전 중인 pilot plant 현장	35
[그림 3-4] pilot plant 시설 배치도	36
[그림 3-5] 여상과 식생호안을 내장한 자연수로 호안 공법 개요도	37
[그림 3-6] 여상과 식생호안을 내장한 자연수로 호안 공법의 단면도	39
[그림 4-1] 문의구룡 처리장 유역의 유입하천과 조사지점	41
[그림 4-2] 구룡유역 유입하천 수질·유량 측정 지점 사진	42
[그림 4-3] 구룡유역 유입하천 수질·유량 측정 지점 사진	42
[그림 4-4] 강우시 유속측정 및 Point 2 횡단면도	43
[그림 4-5] 문의구룡 처리장 유역의 2012년도 유량변화	47
[그림 4-6] 문의구룡 처리장 유역의 2012년도 유량변화	48
[그림 4-7] 문의구룡 처리장 유역의 유량변화(호우사상3)	48
[그림 4-8] 유량-농도 변화(호우사상1)	49
[그림 4-9] 유량-농도 변화(호우사상2)	50
[그림 4-10] 유량-농도 변화(호우사상3)	51
[그림 4-11] 강우시 유량-부하율 변화(호우사상1)	53
[그림 4-12] 강우시 유량-부하율 변화(호우사상2)	54
[그림 4-13] 강우시 유량-부하율 변화(호우사상3)	55
[그림 4-14] 강우시 유량-부하율 상관관계(호우사상1)	57

[그림 4-15] 강우시 유량-부하율 상관관계(호우사상2)	58
[그림 4-16] 강우시 유량-부하율 상관관계(호우사상3)	59
[그림 4-17] 연간 오염물질 부하기여율	62
[그림 4-18] 연간 오염물질 부하기여율	63
[그림 4-19] UASB-ABF 시스템(사전 연구)	64
[그림 4-20] 반송율 변화 및 응집제 첨가에 따른 유기물 변화	68
[그림 4-21] 반송율 변화 및 응집제 첨가에 따른 질소 변화 거동	71
[그림 4-22] 반송율 변화 및 응집제 첨가에 따른 총인 제거 거동	72
[그림 4-23] 반송율 변화 및 응집제 첨가에 따른 pH 변화 거동	73
[그림 4-24] 반송율 변화에 따른 유기물 제거 거동(pilot plant)	75
[그림 4-25] 반송율 변화에 따른 질소 변화 거동(pilot plant)	77
[그림 4-26] 반송율 변화에 따른 인 제거 거동(pilot plant)	78
[그림 4-27] 반송율 변화에 따른 pH 변화(pilot plant)	79
[그림 4-28] Lab Scale 살수여상(식생조)	80
[그림 4-29] Lab Scale 살수여상(식생조) 유기물 변화	82
[그림 4-30] Lab Scale 살수여상(식생조) 질소 변화 거동	84
[그림 4-31] Lab Scale 살수여상(식생조) 인 제거 거동	85
[그림 4-32] Lab Scale 살수여상(식생조) pH 변화 거동	86
[그림 4-33] 3차 처리 및 비점오염처리 시설 현장 설치	88
[그림 4-34] 3차 시설 및 비점오염처리 시설 살수여상(식생조) 유기물 변화(pilot plant)	90
[그림 4-35] 3차 시설 및 비점오염처리 시설 살수여상(식생조) 질소 제거 거동(pilot plant) 92	
[그림 4-36] 3차 시설 및 비점오염처리 시설 살수여상(식생조) 인 제거 거동(pilot plant) ..	93
[그림 4-37] 3차 시설 및 비점오염처리 시설 살수여상(식생조) pH 변화(pilot plant)	94
[그림 4-38] 시간 경과에 따른 3차 시설 및 비점오염처리 시설 살수여상(식생조) 변화과정 (pilot plant)	95
[그림 4-39] pilot plant 전력 소모 기기	97
[그림 4-40] case I TCOD 제거	98
[그림 4-41] case II TCOD 제거	99
[그림 4-42] case III TCOD 제거	99
[그림 4-43] 슬러지 메탄 발생량	102
[그림 4-44] 식생여과조 막 폐색	103
[그림 4-45] 동절기 기온 변화에 따른 TCOD 제거	105
[그림 4-46] 동절기 기온 변화에 따른 SCOD 제거	105
[그림 4-47] 동절기 기온 변화에 따른 TN 제거	106
[그림 4-48] 동절기 기온 변화에 따른 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 제거	106
[그림 4-49] 동절기 기온 변화에 따른 TP 제거	107

제1장 연구개발과제의 개요

제1절.연구개발의 목적 및 필요성

하수도는 인간의 활동에 의해 배출되는 오수와 분뇨를 하수처리시설로 차집하여 처리함으로써 방류수역의 수질오염을 방지하고 공중위생을 향상시키는데 크게 기여해 왔다.(환경부, 2005). 그동안 우리나라의 하수도 사업은 도시지역의 대규모 공공하수처리시설 위주로 진행되었으며, 그 결과 2008년 전국의 하수도 보급률은 88.6%까지 끌어올렸다(환경부, 2009). 하지만 이 과정에서 도시지역과 농어촌지역의 하수도 보급률 격차는 날로 심화되어가고 이로부터 환경부는 ‘국가하수도종합계획’(환경부, 2007)을 통해 2015년까지 전국 공공하수도 보급률을 92%로 확대하겠다고 밝혔다. 중요한건 도시지역의 공공하수처리시설 보급은 마무리 단계에 처해있고 계획한 목표는 달성해야 하는 실정으로서, 이 목표를 달성하기 위해서는 농어촌지역의 하수도 보급률을 제고시키는 것 밖에 없다. 한편, 우리 나라 농촌 지역은 넓은 면적에 낮은 처리효율 및 산재한 소규모 가축사육시설, 농약/비료 등의 사용으로 비점오염원 등에 의한 환경오염 및 지역 간 갈등이 매년 대두되고 있다.

이로부터 환경부에서는 이번 계획에 많은 관심을 보이고 있다. 구체적으로 농어촌지역 하수도 정비를 위해 약 4조 7천억원의 사업비를 책정하였으며, 신규 시설의 설치에 약 80%, 기존 시설의 증설 및 개량에 나머지 20% 정도의 예산을 배정하였다.

이에, 본 과업에서는 충청권 지역 내 소규모 농촌을 시범지역으로, 소규모 농촌마을 하수처리의 최적 관리를 위한 처리체계를 정립하고 충청권 농촌지역 특성에 최적화된 소규모 친환경 하수처리 기술 개발 및 상용화된 Package형 하수처리 시설의 설계 및 운영 관리 매뉴얼을 작성하고자 한다.

제2절.연구개발의 목표

본 과업의 목표는 충청권 소규모 농촌 지역 하수의 최적 관리를 위한 처리체계를 정립하고 충청권 농촌의 지역적 특성에 최적화된 소규모 저비용·자연친화형 하수처리기술 개발 및 상용화된 Package형 하수처리 시설의 설계 및 운영 관리 매뉴얼 작성하는 것을 최종 목표로 한다.

제3절.연구개발의 최종목표의 성격 및 설정근거

본 연구개발의 최종 성과물은 새로운 개념의 저탄소, 저에너지 소규모 하수처리 공정이며 다음과 같은 특성을 갖는다.

- 하수 중 유기물질(BOD₅), 부유물질(SS), TN, TP 제거 및 회수 가능.
- 이산화탄소 발생량 감축을 위한 저탄소 저에너지 하수처리 녹색기술.
- 운영이 용이한 저비용 하수처리기술 개발 및 자원순환 체계 구축.
- 기존 기술은 처리효율에만 극도로 치중하여 농촌지역에 부적합한 목표 설정으로 에너지 소모가 크고, 전문 유지관리 기술이 필요한 것을 해결.
- 전통적인 물리화학 및 생물학적폐수처리 기술의 핵심요소들을 보유함.
- 소규모 하수처리장 기술개발 및 현장적용 실적을 보유하고 있는 중소기업과 공동으로 실용성 있는 환경 친화적 농촌마을 하수처리기술 개발.

제4절.연구개발의 내용 및 범위

연구목표 및 내용(총괄)

연차	연구목표	주요 연구내용
1 차 년 도	충청권 농촌의 특성에 최적화된 소규모 친환경 하수처리 기술 개발	Task 1: 충청권 농촌지역 소규모 하수의 최적 관리를 위한 처리체계 정립
		Task 2: 충청권 농촌의 특성에 최적화된 소규모 친환경 하수처리기술 개발
		Task 3: 자연수로 공법 개발
		Task 4: 충청권 소규모 농촌마을 하수처리시설 시제품 제작
2 차 년 도	충청권 농촌지역에 상용화된 Package형 하수처리 시설의 설계 및 운영 관리 매뉴얼 작성	Task 5: 충청권 소규모 농촌 마을 하수처리시설 운영 및 효율 평가
		Task 6: 실용화 기술의 정립 및 운영 매뉴얼 작성

- Task 1: 충청권 농촌지역 소규모 하수의 최적 관리를 위한 처리체계 정립
 - 1.1 국내외 관련 소규모 마을하수 관리기술의 적용사례 및 문제점 조사 및 비교분석
 - 1.2 충청권 농어촌 지역의 계통도 작성(예, 생활하수, 농업용수, 축산분뇨에 의한 하수발생원)
 - 1.3 계절변화에 따른 하수 유출 특성 조사(BOD₅, SS, TN, TP)
- Task 2: 충청권 농촌의 특성에 최적화된 소규모 친환경 하수처리기술 개발
 - 2.1 Bio-flocculation에 의한 하수 내 유기물질 분리기술 개발
 - Bio-flocculation에 의한 콜로이드 및 부유성 유기물질(VSS, SSCOD) 침전분리기술
 - 탈질에 의한 용존성 저분자 유기물질(rbCOD)의 세포합성 및 분리(VSS, biomass)
 - 2.2 이산화탄소 발생량 감소 및 제거공정 개발
 - 폭기를 최소화하여 이산화탄소 발생량(전기에너지에 의한 이산화탄소 발생) 절감
 - 효율적인 질산화 공정 개발(Bio-filter에 의한 질산화 미생물 군집)
 - 2.3 강화된 방류수 수질 만족을 위한 혐기-호기 조합 하수고도처리공정 개발
 - 혐기성 탈질에 의한 질소의 고도처리 및 유기물 제거
 - 반류수에 의한 원하수의 생물학적 응집에 의한 유기성 인의 고도처리
 - 2.4 차별화된 저탄소, 유가자원 회수형 하수고도처리 기술 개발
 - 혐기조에 축적된 생슬러지 및 잉여슬러지의 퇴비화
- Task 3: 자연수로 공법 개발
 - 3.1 교체가 가능한 필터재를 이용함으로써 유지관리가 용이
 - 3.2 필터재로 농부산물을 이용함으로써 저비용의 지속운영이 가능한 정화 시스템 개발
- Task 4: 충청권 소규모 농촌마을 하수처리시설 시제품 제작
 - 4.1 Task 1에 의한 사전 조사 및 분석을 기초로 10-20가구를 단위로 처리 용량을 산출하여 이에 상응한 규모의 시설물 설치
 - 4.2 시설물의 기술 적용은 Task 2 및 Task 3를 기초 기술로 하며, 또한 선정된 지역 특성에 의해 설계상의 변동도 가능(예, Task 2 및 Task 3 기술중 하나만 사용 가능함)
- Task 5: 충청권 소규모 농촌마을 하수처리시설 운영 및 효율평가

5.1 Task 2, Task 3의 Lab Scale, Task 4 현장 실운전 및 이에 따른 효율 평가

5.2 저비용 및 운영관리가 용이한 하수처리 시설의 관리 및 운영 매뉴얼 작성(예, Task 2에서 유기물 분리 장치는 별도의 운전조건이 필요 없음 단지 질산화조에서 질산화 유출액 공급만 보장해주면 되기 때문에 질산화조에서의 정상적인 폭기만 확인을 위해 반응기 일부를 유리로 제작)

제5절.연구개발 추진체계

연차	연구내용	세부추진 계획 및 방법	수행기간 (개월)	해당기관
1차 년도	충청권 농촌지역 소규모 하수의 최적 관리를 위한 처리체계 정립	국내외 관련 소규모 마을하수 관리기술 조사 및 분석	4	충북 대학
		충청권 농어촌 지역의 하수 유출 특성 분석 및 계통도 작성(예, 생활하수, 농업용수, 가축분뇨 등)	2	충북 대학
	충청권 농촌의 특성에 최적화된 소규모 친환경 하수처리기술 개발	소규모 농촌마을하수처리 관련 문헌조사 및 저비용 저에너지 환경 친화적 하수처리기술 개발	6	충북 대학
	자연수로 공법 개발	농부산물을 이용한 저비용, 저기술의 지속운영 가능한 시스템 개발	6	충북 대학
	시작품 제작	충청권 지역의 농촌 마을 하수처리시설 시작품 제작	5	(주)엠 에스 워터
2차 년도	충청권 소규모 농촌 마을 하수처리시설 운영 및 효율 평가	충청권 지역의 소규모 농촌마을 하수처리시설 시작품 적용	12	충북 대학
		적용된 시작품의 시범 운영 및 관리를 통하여 문제점 보완	12	충북 대학
	실용화 기술의 정립 및 운영 매뉴얼 작성	실용화기술 정립 및 설계기준 작성	3	충북 대학
		저비용 하수처리 시설의 관리 및 운영 매뉴얼 작성	3	충북 대학

제6절.연구결과의 활용방안 및 기대성과

1.연구결과의 활용방안

○ 개발하고자 하는 기술은 학제간 차세대 친환경기술로써, 특허 및 신기술과 위탁기관의 각 분야에서 정립된 이론적, 경험적 연구결과를 토대로 학술적 가치가 클 것으로 판단되며, 이를 활용한 국내외 학술지 등에 발표 및 게재 등 지적재산권 확보에 많은 기대치를 확보할 수 있음.

○ 개발하고자 하는 기술은 21세기 친환경적인 하·폐수처리분야에서 활용될 수 있기 때문에, 지자체 및 농어촌 지역을 대상으로한 신설 및 기존에 운영되는 처리시설의 효율향상 및 고농도 폐수처리분야에서 겪고 있는 기술적, 경제적 고충을 해결할 수 있음.

○ 농어촌 지역 소규모 단위로 오염발생원에서 바로 처리해줌으로서 농어촌 지역의 삶의 질 향상에 큰 기여가 됨.

2.기대성과 및 파급효과

○ 충청권 농어촌 지역의 하수유출 특성 계통도를 통하여 지역 특성을 고려한 맞춤형 하수처리 관리가 가능 함.

○ 소규모 친환경 하수처리 시설은 적은 운영비용 및 시설비용으로 농어촌 지역의 생활환경을 개선하며, 또한 효과적인 분산 하수처리로 환경개선이 가능함.

제7절.연도별 주요 추진 일정

연차	연구목표	연구내용	추진일정(월별)												연구비 (천원)	비중 (%)
			1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월		
1차 년 도	충청권 소규모 농촌지역 하수의 최적 관리를 위한 처리체계 정립	국내외 관련 소규모 마을하수 관리기술 조사 및 분석														
		충청권 농촌지역 소규모 하수의 최적 관리를 위한 처리체계 정립														
	충청권 농촌의 특성에 최적화된 소규모 친환경 하수처리 기술 개발	충청권 농촌의 특성에 최적화된 소규모 친환경 하수처리기술 개발														
		자연수로 공법 개발														
		충청권 소규모 농촌마을 하수처리시설 시제품 제작														
2차 년 도	충청권 농촌지역에 상용화된 Package형 하수처리 시설의 설계 및 운영 관리 매뉴얼 작성	충청권 소규모 농촌마을 하수처리시설 운영 및 효율평가														
		실용화 기술의 정립 및 운영 매뉴얼 작성														
	최종보고서															

제2장 대상지역 현황 및 특성

우리나라의 충청권은 대전광역시, 충청남도 및 충청북도로 구분되어진다. 특히 충청북도는 우리나라에서 2번째와 3번째로 큰 댐이 위치하고 있어 단일 도로서는 우리나라에서 제일 많은 수량을 확보하고 있다[표 2-1].

[표 2-1] 다목적댐 주요 제원

댐명	수계	소재지	높이 (m)	길이 (m)	저수용량(백만m ³)		사업효과(백만m ³ ,GWh)		
					총 저수 용량	유효 저수 용량	용수 공급	홍수 조절	연간 발전
소양강	한강	강원춘천	123.0	530	2,900.0	1,900.0	1,213.0	500.0	353.0
충주	한강	충북충주	97.5	447	2,750.0	1,789.0	3,380.0	616.0	844.1
횡성	한강	강원횡성	48.5	205	86.9	73.4	119.5	9.5	5.6
안동	낙동강	경북안동	83.0	612	1,248.0	1,000.0	926.0	110.0	89.0
임하	낙동강	경북안동	73.0	515	595.0	424.0	592.0	80.0	96.7
합천	낙동강	경남합천	96.0	472	790.0	560.0	599.0	80.0	232.4
남강	낙동강	경남진주	34.0	1,126	309.2	299.7	573.3	269.8	41.3
밀양	낙동강	경남밀양	89.0	535	73.6	69.8	73.0	6.0	7.0
대청	금강	대전대덕	72.0	495	1,490.0	790.0	1,6409.0	250.0	240.0
용담	금강	전북진안	70.0	498	815.0	672.0	650.4	137.0	0.2
섬진강	섬진강	전북임실	64.0	344	466.0	370.0	350.0	32.0	181.0
주암 본댐	섬진강	전남순천	58.0	330	457.0	352.0	270.1	60.0	45.3
주암 조절지	섬진강	전남순천	99.9	563	250.0	210.0	218.7	20.0	51.3
부안	직소천	전북부안	50.0	282	41.5	35.6	35.1	9.3	1.3
보령	대천천	충남보령	50.0	291	116.9	108.7	124.0	10.0	2.5
탐진	탐진강	전남장흥	53.0	403	191.0	171.0	127.8	8.0	2.3
계	16개소				12,580.1	8,825.2	10,900.9	2,197.6	2,193

충주댐의 담수는 수도권으로 공급되어 2,000만명 이상의 인구가 수혜를 보고 있으며, 대청댐은 충청북도 청주시, 대전광역시 및 충청남도 천안시와 아산시의 농업 단지까지 용수를 공급하고 있다. 충주댐과 대청댐내 담수는 우리나라 인구의 약 절

반정도가 사용하고 있기 때문에 수량뿐만 아니라 수질관리 측면에서 매우 중요하다.

특히 대청댐 상류의 경우 오염원에 의한 녹조 현상이 매년 되풀이 되고 있다. 이러한 녹조현상을 근본적으로 차단하기 위해 정부에서는 대청댐 상류의 일부지역을 상수원보호구역으로 설정하여 관리하고 있다[그림 1]. 그러나 상수원보호구역 설정만으로는 댐내로 유입되는 오염원을 제거하거나 차단하는데 매우 제한적이다. 따라서 댐 상류로부터 유입되는 오염원의 배출 농도를 극소화 할 수 있는 기술 개발이 절대적으로 필요한 상황이다.



[그림 2-1] 대청댐 상류지역 내 상수원보호구역

또한, 연구대상지역을 선정하기 위해서는 명확한 기준에 의해 선정되어야 한다. 본 연구에서는 여러 가지 선정기준들 중에서 접근성, 과거자료의 기록 상태, 파일럿 플랜트가 설치될 수 있는 공간 확보 등에 가중치를 크게 하여 대상지역을 선정하였다.

제1절. 대상지역 선정

본 연구에서는 여러 가지 선정기준들 중에서 접근성, 과거자료의 기록 상태, 파일럿 플랜트가 설치될 수 있는 공간 확보 등에 가중치를 크게 하여 대상지역을 선정하였다.

본 연구의 수행 기관인 충북대학교에서 가깝고 접근성이 원활한 충청북도 청원군 관내의 소규모공공하수처리시설을 대상으로 하였다. 청원군에 위치한 소규모 농촌 마을 중에서 문의, 미원 및 내수 지역의 소규모 공공 하수처리시설을 조사하고 지역내의 하수 처리용량을 조사한 결과 청원군의 소규모 공공하수처리시설 현황은 [표 2-2] 및 [표 2-3]과 같다.

[표 2-2] 소규모공공하수처리시설 현황(A지역)

일련 번호	처리장명	위치	처리공법	용량 (m ³ /일)
1	부용검시	부용면 금호리 390-5	호기성침전지형고도처리공법	60
2	현도하석	현도면 하석리 654-1	회분식활성슬러지공법	30
3	문의구룡	문의면 구룡리 251-5	호기성침전지형고도처리공법	60
4	문의소전1리	문의면 소전1리 73-1	바이오비드공법	35
5	강내지존	강내면 궁현리 206-13	FNR 공법	20
6	강내문화	강내면 궁현리 223	목편발효침공법	30
7	구방리	미원면 구방리 107-1	KS-MBR 공법	50
8	금관2리	미원면 금관2리 209-2	고효율오수합병정화조	34
9	어암2리	미원면 어암2리 22-2	HANT 공법	25
10	금관신촌	미원면 금관리 342	고효율오수합병정화조	60
11	월룡	미원면 월룡리 219-11	호기성침전지형고도처리공법	18
12	옥화1리	미원면 옥화1리 117	고효율오수합병정화조	15
13	옥화2리	미원면 옥화2리 159-1	고효율오수합병정화조	10
14	인풍정	미원면 운암리 632	O.A.M 공법	35
15	대전지구	미원면 운암리 547-3	O.A.M 공법	30

[표 2-3] 소규모공공하수처리시설 현황(B지역)

일련 번호	처리장명	위치	처리공법	용량 (m ³ /일)
1	고은남일	남일면 고은1리 467-2	호기성침전지형고도처리공법	18
2	오창용두	오창면 용두리 94-6	목편발효침공법	40
3	선바위	내수읍 입동리 150-10	고효율오수합병정화조	20
4	중리	내수읍 입동리 149-8	고효율오수합병정화조	20
5	외수	내수읍 내수3리 332-7	3단접촉폭기공법	35
6	북이용계	북이면 용계리 442-8.9	호기성침전지형고도처리공법	40
7	내추문화	북이면 내추리 130-7	SMMIAR 공법	150
8	비중문화	내수읍 비중리 127-1	SMMIAR 공법	190
9	저곡1	내수읍 저곡2리 362-4	KS-MBR 공법	40
10	저곡2	내수읍 저곡1리 365-4	3단접촉폭기공법	30
11	우산2	내수읍 우산2리 131-1	SMMIAR공법	20
12	우산1	내수읍 우산1리 613	회분식활성슬러지공법	34
13	내수초정	내수읍 우산리 218-6	FNR 공법	60
14	목방1	내수읍 목방1리 317-1	SMMIAR 공법	80
15	목방2	내수읍 목방2리 759-2	3단접촉폭기공법	25

[표 2-2] 및 [표 2-3]과 같이 소규모 하수처리장의 공법은 호기성침전지형고도 처리공법이 가장 많은 수를 차지하고 있다.

제2절. 현장 답사

청원군 관내의 하수처리시설 현황 및 하수처리용량을 조사한 후 연구대상지를 선정하기 위하여 현장 답사를 실시하였다. 하수처리용량을 기준으로 10개 지점의 처리장을 후보지로 지정하였고 답사한 10개 지점의 현황은 [표 2-4]와 같다. 10개의 답사지점을 대상으로 현지조사를 실시한 결과는 [그림 2-2] ~ [그림 2-11] 및 [표 2-5] ~ [표 2-15]와 같다.

[표 2-4] 소규모공공하수처리시설 답사지점 현황

일련 번호	처리장명	위치	처리공법	용량 (m ³ /일)	비고
1	내추문화	북이면 내추리 130-7	SMMIAR 공법	150	
2	내수조정	내수읍 우산리 218-6	FNR 공법	60	
3	묵방1	내수읍 묵방1리 317-1	SMMIAR 공법	80	
4	문의소전1리	문의면 소전1리 73-1	바이오비드공법	35	
5	문의구룡	문의면 구룡리 251-5	호기성침전지형 고도처리공법	60	최종 선정
6	인풍정	미원면 운암리 632	O.A.M 공법	35	
7	옥화1리	미원면 옥화1리 117	고효율오수합병 정화조	15	
8	금관신촌	미원면 금관리 342	고효율오수합병 정화조	60	
9	어암2리	미원면 어암2리 22-2	HANT 공법	25	
10	금관2리	미원면 금관2리 209-2	고효율오수합병 정화조	34	

[표 2-5] 내추문화 처리장 현황

일련 번호	처리장명	위치	처리공법	용량 (m ³ /일)	비고
1	내추문화 처리장	북이면 내추리 130-7	SMMIAR 공법	150	
					



[그림 2-2] 내추문화 처리장 현장사진

내추문화 처리장은 인근 부지사용이 양호하나 유출부 유량이 농지 배수로와 연결되어 방류되고 측정 여건이 좋지 않기 때문에 적합하지 않은 것으로 판단되었다.

[표 2-6] 내수조정 처리장 현황

일련 번호	처리장명	위치	처리공법	용량 (m ³ /일)	비고
2	내수조정 처리장	내수읍 우산리 218-6	FNR 공법	60	
					



[그림 2-3] 내수조정 처리장 현장사진

내수조정 처리장은 인근 부지사용이 양호하나 유출부 유량이 소하천으로 방류되고 측정 지점의 접근성이 떨어지기 때문에 선정에 적합하지 않은 것으로 판단되었다.

[표 2-7] 묵방1 처리장 현황

일련 번호	처리장명	위치	처리공법	용량 (m ³ /일)	비고
3	묵방1 처리장	내수읍 묵방1리 317-1	SMMIAR 공법	80	
					



[그림 2-4] 묵방1 처리장 현장사진

묵방1 처리장은 인근 부지를 사용할 수 없으며, 유출부 유량이 관망을 통해 소하천으로 방류되기 때문에 부적합한 것으로 판단되었다.

[표 2-8] 문의소전1리 처리장 현장사진

일련 번호	처리장명	위치	처리공법	용량 (m ³ /일)	비고
4	문의소전1리 처리장	문의면 소전1리 73-1	바이오비드공 법	35	
					



[그림 2-5] 문의소전1리 처리장 현장사진

문의소전 1리 처리장은 인근 부지사용이 양호하나 유출부 유량이 소하천으로 연결되어 대청댐으로 방류되고 홍수시 대청댐 배수위 영향을 받을 가능성이 있다. 또한 접근이 어려워 유출량을 측정함에 있어 신속하게 이동하기 어렵기 때문에 부적합한 것으로 판단되었다.

[표 2-9] 인풍정 처리장 현장사진

일련 번호	처리장명	위치	처리공법	용량 (m ³ /일)	비고
6	인풍정 처리장	미원면 운암리 632	O.A.M 공법	35	
					



[그림 2-6] 인풍정 처리장 현장사진

인풍정 처리장은 접근성이 용이하나 인근 부지의 여유가 없기 때문에 적합하지 않은 것으로 판단되었다.

[표 2-10] 옥화1리 처리장 현장사진

일련 번호	처리장명	위치	처리공법	용량 (m ³ /일)	비고
7	옥화1리 처리장	미원면 옥화1리 117	고효율오수합병 정화조	15	
					



[그림 2-7] 옥화1리 처리장 현장사진

옥화 1리 처리장은 인근 부지의 여유가 없고 하천으로부터 이격거리가 크기 때문에 적합하지 않은 것으로 판단되었다.

[표 2-11] 금관신촌 처리장 현장사진

일련 번호	처리장명	위치	처리공법	용량 (m ³ /일)	비고
8	금관신촌 처리장	미원면 금관리 342	고효율오수합병 정화조	60	



[그림 2-8] 금관신촌 처리장 현장사진

금관신촌 처리장은 하수 출구부의 단면이 불분명하여 적합하지 않은 것으로 판단되었다.

[표 2-12] 어암2리 처리장 현장사진

일련 번호	처리장명	위치	처리공법	용량 (m ³ /일)	비고
9	어암2리 처리장	미원면 어암2리 22-2	HANT 공법	25	
					



[그림 2-9] 어암2리 처리장 현장사진

어암2리 처리장은 접근이 어렵고 하수 출구부의 단면이 불분명하여 적합하지 않은 것으로 판단되었다.

[표 2-13] 금관2리 처리장 현장사진

일련 번호	처리장명	위치	처리공법	용량 (m ³ /일)	비고
10	금관2리 처리장	미원면 금관2리 209-2	고효율오수합병 정화조	34	
					



[그림 2-10] 금관2리 처리장 현장사진

금관2리 처리장은 접근성이 용이하며 하수 출구부의 단면이 분명하였으나, 하수 수질을 분석한 결과 오염도가 크지 않기 때문에 적합하지 않은 것으로 판단되었다.

[표 2-14] 문의구룡 처리장 현장사진

일련 번호	처리장명	위치	처리공법	용량 (m ³ /일)	비고
5	문의구룡 처리장	문의면 구룡리 251-5	호기성침전지형 고도처리공법	60	최종 선정
					



[그림 2-11] 문의구룡 처리장 현장사진

문의 구룡처리장은 인근 부지의 여유가 있으며, 유출부 유량이 소하천으로 방류되며 홍수시 대청댐의 수위 영향을 받지 않는 위치에 있다. 또한 유량을 측정함에 있어 유리한 단면형상이며 접근성이 유리하기 때문에 적합하다고 판단되었다. 이로

부터 문의구룡 처리장에 pilot plant를 설치하는 것으로 확정하였다.

다음 [표 2-15]는 선정된 문의구룡 처리장의 세부 현황이다.

[표 2-15] 문의구룡 처리장 세부 현황

항목	내용
시설명	구룡2리 마을하수도
소재지	문의면 구룡리 251-5
경위도	경도 127°31'11.59", 위도 36°29'40.26"
처리용량(생물학적)	60(m ³ /일)
일평균 처리량(생물학적)	22(m ³ /일)
처리방법	호기성침전지형 고도처리공법
가동개시일	2005.12.27
가구수	40(가구)
인구	116(명)
관로길이	2.6(km)
처리구역 면적	0.14(km ²)
방류수역 및 수계	금강

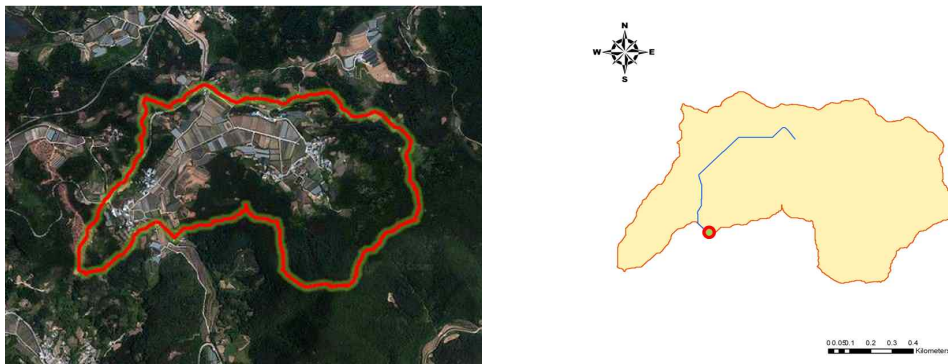
제3절. 선정된 문의 구룡 처리장의 유역 특성

1. 대상유역의 특성

문의구룡 처리장 유역은 동경 $127^{\circ} 31' 12'' \sim 127^{\circ} 32' 53''$, 북위 $36^{\circ} 01' 52'' \sim 36^{\circ} 04' 44''$ 사이에 위치하고 있으며 행정구역으로는 충청북도 청원군 문의면 구룡리에 위치하고 있다. 구룡리의 서북쪽에는 대청호가 있으며 남쪽으로는 최정상 산 봉우리인 문필봉(330m)이 위치하고 있으나 대부분 낮은 구릉지이다. 문의구룡 유역의 소하천은 금강유역에 위치하고 있으며 대청호로 유입되는 하천이다.

(1) 유역의 물리적 특성

유역의 물리적 특성은 유출특성을 파악하기 위한 중요한 기초자료로 사용되며 정확한 물리적 특성을 산정하기 위해 1:25000 수치지도를 바탕으로 지형정보시스템을 이용하여 산정하였으며 대상지역의 유역도는 [그림 2-12]과 같다.



[그림 2-12] 구룡2리 마을하수도 유역도

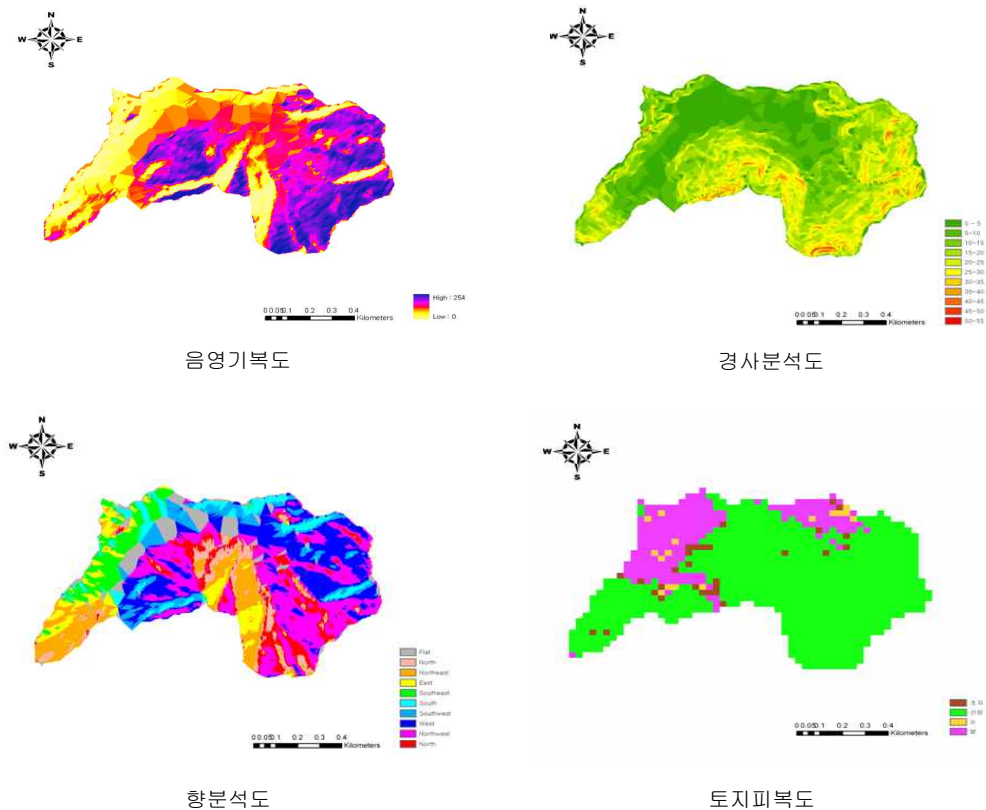
구룡2리 마을하수도 소하천 유역의 면적 및 하천연장은 [표 2-16]과 같다. 유역면적은 0.91km^2 로 매우 협소하며 하천연장은 0.98km 로 상대적으로 소하천의 전형적인 형태이다. 마을하수도 소하천의 하천명이 존재하지 않으며 금강수계에 위치하고 있다.

[표 2-16] 유역 현황

대상지역	유역면적	하천연장	비고
구룡 2리 마을하수도	0.91km ²	0.98km	하천명이 존재하지 않으며 금강수계에 위치

(3) 유역의 지형적 특성

본 절에서는 대상유역의 지형적 특성을 분석하여 유출특성을 파악하기 위해 경사 분석, 토지피복, 향분석을 실시하였으며 그 결과는 [그림 2-13]와 같다.



[그림 2-13] 구룡2리 마을하수도 유역특성

대상유역의 지형은 남동쪽이 높고 북서쪽이 낮은 것으로 나타났으며 유역의 경사는 0°~5°로 대부분 완만한 것으로 나타났다. 또한 대상유역의 지형은 북쪽과 서쪽을 향하고 있는 것으로 나타났으며 대상유역의 토지피복은 대부분 산림과 밭으로 나타났다.

(4) 표고분포별 면적 및 구성비

지표의 표고분포는 지표면 경사도에 직접인 영향을 미치며 표고분포에 따라 유출의 특성이 변한다. 본 과업의 대상구역인 구룡2리 마을하수도 소하천 구역의 표고분포별 면적 및 구성비는 [표 2-17]와 같다. 대상구역의 표고범위는 0m ~ 254m까지이며 가장 많은 면적을 차지하는 표고범위는 151m ~ 200m로 전체 0.90km² 중 47.44%인 0.43km²를 차지하고 있다. 또한 대상구역의 표고범위 중 대부분은 151m~250m에 위치하고 있으며 전체 면적의 87.95%인 0.79km²를 차지하고 있다.

[표 2-17] 구룡 2리 구역의 표고분포별 면적 및 면적비

계	표고범위(EL.m)					
	0~50	51~100	101~150	151~200	201~250	251~254
0.90(km ²)	0.0007	0.0123	0.0929	0.4257	0.3634	0.0022
100(%)	0.08	1.37	10.36	47.44	40.51	0.24

2. 대상구역의 기상 및 기후

본 과업의 대상지역의 기상상태를 파악하기 위해 지리적으로 근접하고 관측년수가 많은 지점인 청주기상대의 기상관측권을 조사지역으로 설정하였으며, 최근 46년(1967~2012)의 기상자료를 이용하여 주요 기상별 특징을 분석하였다. 청주기상대의 위치는 다음 [표 2-18] 과 같다.

[표 2-18] 청주기상대 일람

관측지점	위도	경도	노장의 해발높이(m)
청주 기상대	36° 38 ' 10.68"	127° 26 ' 34.08"	56.4

국가수자원종합정보시스템

(1) 기온

청주기상대의 최근 45년간(1967년~2011년) 기온자료를 조사한 결과는 다음 [표 2-19]와 같다. 월별 평균기온은 8월에 25.6℃로 가장 높게 나타났으며, 월별 최고기온은 7월에 29.1℃로 나타났다. 또한 월별 최저기온은 1월에 -8.4℃로 나타났다.

[표 2-19] 월별 기온

(단위 : °C)

연도	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
평균	-2.7	0.1	5.4	12.5	18.0	22.4	24.6	25.6	20.6	13.9	6.7	0.1
월최고	0.7	4.3	8.1	16.0	19.7	24.0	29.1	28.0	22.8	17.3	11.2	2.9
월최저	-8.4	-4.6	1.1	10.2	16.0	20.1	21.9	22.6	18.3	11.2	2.9	-4.0

기상연보(청주기상대), 기상청 1967~2011

(2) 강수량

강수량 자료 조사는 유역의 유출특성을 파악하기 위한 중요한 자료이다. 따라서 청주기상대의 관측개시년인 1967년부터 2012년까지 자료를 수집하였으며 그 결과는 다음 [표 2-20]과 같다. 연강수량이 가장 많은 해는 2011년 1806mm로 우리나라 연평균 강수량인 1245mm의 약 150%가 발생하였으며 가장 적은 해는 2001년 784mm로 연평균 강수량의 63%가 발생하였다. 또한 최대월강우량은 1995년 8월에 835.4mm으로 나타났으며 최저월강우량은 1977년 2월에는 0.2mm로 나타났다.

[표 2-20] 월별 강수량

(단위 : mm)

연도	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
1967	24.1	22.6	58.0	84.8	51.3	160.1	232.5	243.1	83.5	16.6	91.6	10.7	1078.9
1968	12.9	15.4	63.0	13.5	44.5	50.4	195.6	244.8	62.3	120.0	52.0	10.7	885.1
1969	100.2	49.6	19.2	187.1	130.0	41.7	335.3	495.6	250.5	15.0	31.8	20.2	1676.2
1970	2.3	72.3	9.8	87.9	93.6	97.9	267.7	136.4	347.5	121.2	28.0	19.1	1283.7
1971	48.3	37.8	41.1	53.8	69.9	282.2	424.3	164.2	75.8	5.6	10.8	32.6	1246.4
1972	64.9	29.7	171.0	42.8	90.0	59.0	179.4	372.3	141.6	36.1	108.3	15.6	1310.7
1973	63.9	15.3	2.0	99.5	85.1	161.1	133.3	110.9	101.9	51.9	35.8	10.8	871.5
1974	23.1	27.6	77.6	158.0	198.4	52.0	337.9	92.8	50.1	48.0	16.4	24.7	1106.6
1975	9.7	5.5	60.9	138.3	86.8	65.1	341.2	140.7	229.2	61.1	34.3	33.6	1206.4
1976	7.2	60.8	11.9	85.6	22.0	70.9	127.7	523.2	26.6	41.4	39.5	32.1	1048.9
1977	1.4	0.2	34.0	169.6	56.2	114.2	236.5	110.9	182.4	7.3	76.7	43.5	1032.9
1978	23.0	42.9	58.4	13.5	18.8	337.3	307.1	330.4	25.0	56.7	14.6	24.2	1251.9
1979	21.4	49.5	69.3	99.3	104.7	361.9	140.7	230.8	200.8	43.0	30.6	24.2	1376.2
1980	34.6	7.3	37.5	157.1	208.6	279.9	415.0	261.9	65.8	112.4	37.6	42.0	1659.7
1981	26.2	13.6	28.8	39.3	23.9	108.6	369.6	277.8	161.4	39.1	34.3	12.1	1134.7
1982	22.2	9.3	58.0	20.2	112.8	5.3	158.9	260.2	4.9	32.1	127.9	38.4	850.2
1983	16.2	25.9	77.0	134.0	67.1	140.5	267.2	228.3	224.3	27.5	25.2	4.9	1238.1
1984	9.8	8.9	29.8	108.5	59.6	174.8	205.2	187.2	200.7	24.3	67.7	27.0	1103.5

1985	15.6	34.8	72.9	52.6	125.1	46.8	229.0	280.8	236.4	157.0	81.8	39.3	1372.1
1986	15.1	16.1	31.8	28.7	100.4	197.2	282.5	197.0	132.8	76.9	33.6	45.4	1157.5
1987	64.7	53.3	47.7	46.4	82.4	121.7	536.5	571.7	21.1	44.6	63.8	2.3	1656.2
1988	12.4	3.5	45.8	50.4	39.3	75.7	385.9	162.3	51.2	5.2	19.9	27.3	878.9
1989	65.3	62.8	82.8	17.3	56.1	180.3	303.0	127.8	273.4	24.7	64.0	22.8	1280.3
1990	72.1	99.2	60.2	75.0	76.5	282.8	264.0	247.9	189.1	3.1	68.1	35.7	1473.7
1991	21.2	47.3	57.5	71.6	88.5	99.6	357.3	79.8	213.0	17.0	21.4	69.4	1143.6
1992	13.5	16.3	29.6	110.1	100.3	28.7	141.7	263.9	176.9	27.4	42.2	39.5	990.1
1993	7.3	75.4	33.1	54.6	127.2	118.8	254.0	378.1	126.6	39.6	66.9	20.2	1301.8
1994	13.3	12.8	54.2	21.3	108.8	140.5	85.5	318.5	48.1	160.1	29.6	19.3	1012.0
1995	21.5	14.0	34.4	64.0	70.7	30.9	204.9	835.4	17.5	22.6	20.3	3.6	1339.8
1996	27.9	4.2	98.4	28.6	36.8	255.8	170.5	128.6	11.2	67.1	77.2	22.5	928.8
1997	12.9	39.1	31.6	58.5	179.1	210.3	425.5	211.1	55.5	8.4	180.3	44.3	1456.6
1998	22.0	28.9	30.9	153.1	92.8	247.0	253.0	460.6	225.9	74.2	44.7	7.1	1640.2
1999	1.6	3.6	54.1	91.4	102.4	191.1	122.4	197.4	281.3	252.4	15.4	13.4	1326.5
2000	38.7	1.3	10.4	56.1	42.1	185.7	300.0	390.4	244.6	32.1	37.3	18.9	1357.6
2001	56.9	50.3	11.3	12.7	14.3	217.5	171.5	135.5	11.8	75.9	6.9	19.5	784.1
2002	58.7	9.0	25.9	132.0	106.9	57.9	186.2	482.4	90.5	58.0	26.3	48.0	1281.8
2003	16.2	45.0	38.9	192.7	113.5	186.0	467.2	293.9	150.6	32.5	33.1	12.2	1581.8
2004	12.5	42.3	67.3	61.0	121.8	421.5	318.9	247.6	139.0	2.0	34.0	38.0	1505.9
2005	4.6	13.8	36.8	66.1	50.7	170.5	373.1	332.7	295.5	54.6	16.0	11.3	1425.7
2006	20.0	28.9	8.2	89.3	119.4	115.5	508.0	52.5	18.4	21.3	83.4	16.7	1081.6
2007	11.2	33.3	103.2	35.8	145.5	81.2	273.2	385.5	391.4	43.5	8.8	21.9	1534.5
2008	29.0	7.7	29.4	27.0	64.5	112.0	296.6	195.5	92.6	13.1	10.5	14.4	892.3
2009	17.8	13.1	54.9	30.4	109.6	77.2	345.7	187.5	49.5	49.5	43.9	40.7	1019.8
2010	37.8	69.2	99.8	70.5	110.0	42.6	224.1	433.2	278.6	17.1	15.7	23.8	1422.4
2011	4.5	43.2	23.5	111.2	116.2	360.7	531.9	290.2	182.5	34.5	92.6	14.6	1805.6
2012	17.8	3.7	65.1	106.8	31.2	93.7	257.4	479.5	162.5	61.2	52.1	56.6	1387.6

기상연보(청주기상대), 1967~2012

(3) 월별 풍속 및 상대습도

청주기상대의 풍속과 상대습도는 최근 11년간의 자료를 조사하였으며 그 결과는 다음 [표 2-21] 및 [표 2-22]와 같다. 월별 풍속 자료중 가장 큰 값은 2002년 4월에 3.1m/s로 조사되었으며 가장 낮은 값은 1.1m/s로 조사되었다. 월별 상대습도 자료중 가장 큰 값은 2011년 7월에 81.9%로 조사되었으며 가장 낮은 값은 2004년 4월 46.4%로 조사되었다.

[표 2-21] 월평균 풍속

(단위 : m/s)

연도	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
2002	2.7	2.1	2.9	3.1	2.7	2.6	2.8	2.7	2.1	2.2	2.4	2.1	2.5
2003	2.1	2.2	2	2	1.9	1.7	1.7	1.5	1.5	1.5	1.4	1.6	1.8
2004	1.5	2	1.8	2	1.9	1.7	1.7	1.8	1.8	1.6	1.3	1.5	1.7
2005	1.9	2.2	2.3	2.1	1.9	1.7	1.6	1.6	1.7	1.2	1.2	1.4	1.7
2006	1.3	1.6	2	2.1	1.8	1.7	1.6	1.4	1.4	1.1	1.5	1.1	1.6
2007	1.2	1.3	1.8	1.8	1.9	1.8	1.7	1.6	1.7	1.3	1.3	1.3	1.6
2008	1.3	1.3	1.5	1.8	1.7	1.8	1.4	1.6	1.2	1.1	1.1	1.3	1.4
2009	1.3	1.4	1.9	1.6	1.6	1.6	1.6	1.7	1.3	1.3	1.4	1.3	1.5
2010	1.2	1.4	1.9	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.2	1.2	1.3	1.5
2011	1.2	1.1	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.6	1.5	1.2	1.3	1.2	1.4
2012	1.2	1.4	1.8	1.9	1.5	1.8	1.5	1.9	1.4	1.1	1.3	1.2	1.5
평균	1.54	1.64	1.96	1.99	1.85	1.78	1.70	1.72	1.55	1.35	1.40	1.39	

기상연보(청주기상대), 2002~2012

[표 2-22] 월별 상대습도

(단위 : %)

연도	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
2002	67.0	57.8	53.4	50.9	60	60.3	71.9	78.8	72.3	68.4	61.8	66.9	64.1
2003	66.4	64.1	59.5	58	59.7	67.9	76	77.1	75.7	62.8	67.8	62.2	66.4
2004	63	54.6	48.5	46.4	60.2	61.5	75.5	71.1	70.3	58.4	64.5	59.2	61.1
2005	54.1	50.9	50.2	46.8	54.1	67.7	73.4	74.5	70	68	58.9	59.7	60.7
2006	60.8	56.4	48.2	53.3	57.9	64.7	80.2	69.8	63.5	64.7	60.9	66.8	62.3
2007	62.8	56.6	58.7	48.6	56.8	60.5	74	76.6	80.4	68.1	61.3	70	64.5
2008	63.3	52.2	56.4	52.2	55.2	66.1	73.9	69.6	67.4	67.4	63.4	59.8	62.2
2009	61	61.2	52.7	49.9	54	59.8	73	67.5	66.3	61	63.6	64.5	61.2
2010	65.9	61.1	60.4	52.1	55.5	58.8	74	80.1	76.8	70.5	61.3	66.3	65.2
2011	61.4	61.5	50.4	53	58.6	67.1	81.9	78.1	69.6	67.8	66.7	58.4	64.5
2012	60.0	51.0	58.0	55.0	55.0	61.0	76.0	74.0	74.0	66.0	65.0	69.0	63.7
평균	62.3	57.0	54.2	51.4	57.0	63.2	75.4	74.2	71.4	65.7	63.2	63.8	
	4	4	2	7	0	2	4	9	8	4	0	9	

기상연보(청주기상대), 2002~2012

3. 유역의 일반현황

대상유역이 포함되어 있는 행정구역은 구룡1리의 1반과 구룡2리의 1반 및 2반이며, 2012년 12월 기준, 행정구역별 인구는 구룡1리의 1반에 36명(남자:16명, 여자:20명), 구룡2리의 1반에 48명(남자:29명, 여자:19명), 구룡2리의 2반에 31명(남자:18명, 여자:13명)으로 나타났다.

대상유역 내의 가축사육현황은 소 20두이며, 기타 소규모 가축두수는 수시적으로 변화하여 조사가 불가하였다. 따라서 대상유역이 포함되어 있는 구룡리의 상위 행정구역인 문의면에 대한 추가 조사 결과를 다음과 같이 보충하였다.

(1) 행정구역 및 인구

대상유역이 포함되어 있는 충청북도 청원군 문의면의 행정구역과 인구를 조사하였으며 그 결과는 [표 2-23] 및 [표 2-24]와 같다. 문의면의 면적은 93.9km²이며 대상유역의 구성비율은 11.46%이다. 문의면에는 22개의 법정리와 34개의 행정리로 구성되어 있으며 81개의 자연마을을 포함하고 있다. 청원군 문의면의 총 인구는 5,087명이며 전년대비 증가하는 추세를 보이고 있다.

[표 2-23] 행정구역

읍면동	면적 (km ²)	구성비 (%)	면(개)	리(개)		반(개)	자연마을(개)
				행정	법정		
문의면	93.30	11.46	1	34	22	101	81

청원군 통계연보 2011, 청원군

[표 2-24] 문의면 세대 및 인구

읍면동	합계				한국인			외국인		
	인구수(명)			세대 수 (가구)	인구수(명)			인구수(명)		
	계	남	여		계	남	여	계	남	여
문의면	5,149	2,664	2,485	2,110	5,062	2,607	2,455	87	57	30

청원군 통계연보 2011, 청원군

(2) 경지규모별 농가 및 경지면적

문의면의 경지규모는 3.0ha 미만 가구가 97.6%로 소규모 영농을 영위하고 있는 것으로 조사되었으며 총 경지 면적은 647ha로 조사되었다. 그 결과는 다음 [표 2-25]와 같다.

[표 2-25] 경지규모별 농가 및 경지면적

읍면동	특성 별	농가 (가구)	경지 없는 농가 (가구)	경지 규모별 농가:계 (가구)	3.0ha 미만 (가구)	3.0ha 이상 (가구)	경지 면적 (ha)	미경작 면적 (ha)
문의면	계	754	4	750	732	18	647	6

농림어업총조사 2010, 통계청

(3) 농업용수 이용량

청원군 문의면의 농업용수 이용량을 조사하였으며 그 결과는 [표 2-26]과 같다. 농업용수 중 논용수와 밭용수는 1970년대 소폭 증가하는 추세를 보이다가 1980년대부터 감소하기 시작하여 현재까지 감소하는 추세를 보인다. 반면, 축산용수는 과거부터 현재까지 꾸준히 증가하는 추세를 보이는 것으로 조사되었다.

[표 2-26]문의면 농업용수 이용량

(단위 : 천m³/년)

연도	계	논용수	밭용수	축산용수
1970	15,347.10	9,680.70	5,654.00	12.4
1971	16,298.10	10,155.90	6,130.10	12.1
1972	16,857.60	10,532.80	6,311.90	12.9
1973	17,881.60	11,072.80	6,794.00	14.8
1974	17,378.50	10,886.90	6,474.70	16.9
1975	17,480.30	10,703.90	6,761.50	14.9
1976	17,030.20	10,765.40	6,250.30	14.5
1977	18,285.90	11,859.90	6,410.30	15.7
1978	17,399.50	11,301.90	6,079.30	18.3
1979	16,429.90	11,060.20	5,351.70	18.0
1980	15,446.90	10,621.00	4,810.10	15.8
1981	16,384.60	11,251.20	5,118.70	14.7
1982	17,434.60	12,040.50	5,376.30	17.8
1983	16,316.80	11,231.10	5,063.00	22.7
1984	16,280.30	11,385.00	4,867.90	27.4
1985	16,009.60	11,290.50	4,689.90	29.2
1986	15,605.50	11,083.90	4,495.20	26.4
1987	14,309.70	10,302.60	3,984.50	22.6
1988	15,964.00	11,673.40	4,271.30	19.3
1989	15,168.20	11,033.00	4,115.90	19.3
1990	15,214.90	11,346.40	3,848.40	20.1
1991	15,084.50	11,185.40	3,878.30	20.8
1992	15,792.20	11,720.80	4,048.20	23.2
1993	14,163.20	10,400.20	3,736.20	26.8
1994	16,935.10	12,284.20	4,623.30	27.6
1995	14,364.50	9,878.60	4,455.50	30.4
1996	14,042.40	9,792.50	4,215.90	34.0
1997	13,143.20	9,745.60	3,362.50	35.1
1998	11,712.00	8,756.80	2,920.60	34.6
1999	12,284.90	9,060.00	3,194.30	30.6
2000	12,090.10	8,814.20	3,249.90	26.0
2001	13,404.60	9,651.20	3,729.20	24.2
2002	11,737.50	8,444.80	3,222.10	70.6
2003	10,595.70	7,601.60	2,919.00	75.1
2004	11,303.60	8,182.50	3,043.50	77.6
2005	10,779.00	7,745.60	2,956.20	77.2
2006	10,512.60	7,713.00	2,718.20	81.4
2007	9,678.70	7,101.30	2,496.60	80.8
2008	7,942.20	6,055.10	1,773.60	113.5
2009	10,505.10	7,602.90	2,776.40	125.8

국가수자원종합정보시스템 1970~2009

(4) 농가가축두수

문의면의 농가가축두수는 축산용수 이용량의 증가와 함께 2002년부터 크게 증가한 것으로 조사되었다. 그 결과는 [표 2-27]과 같다.

[표 2-27] 문의면 농가가축두수

(단위 : 마리)

연도	한육우	젖소	돼지	닭
1970	480	3	7	71
1971	466	4	8	71
1972	498	4	7	55
1973	562	7	8	41
1974	645	8	9	26
1975	564	7	5	29
1976	550	7	10	38
1977	597	8	8	45
1978	693	9	10	80
1979	676	11	18	66
1980	592	11	10	67
1981	547	11	9	77
1982	661	14	11	92
1983	841	18	22	131
1984	1,012	23	18	115
1985	1,076	28	17	126
1990	677	39	32	402
1991	702	38	33	374
1992	794	40	32	350
1993	917	47	35	372
1994	951	46	33	441
1995	1,052	49	40	472
1996	1,175	54	47	490
1997	1,212	57	57	531
1998	1,179	60	65	551
1999	1,025	58	67	614
2000	840	57	71	662
2001	765	57	84	544
2002	531	160	2,594	33,794
2003	598	153	2,849	34,298
2004	679	143	2,705	39,913
2005	707	133	2,702	39,547
2006	773	124	2,748	45,180
2007	841	116	2,892	37,389
2008	1,642	271	3,125	36,103
2009	1,834	277	3,359	45,539

국가수자원종합정보시스템 1970~2009

제3장 공정개요 및 운영조건

제1절.국내·외 연구동향

기존의 고도처리 기술은 크게 물리·화학적 처리와 생물학적 처리, 다단계 처리로 대별할 수 있다. 생물학적 처리에는 호기적처리, 혐기적처리, 호기적처리와 혐기적처리의 조합, 동물·식물에 의한 처리 등이 있고, 다단계 처리는 물리·화학적, 생물학적처리 단계의 다양한 단위공정으로 이루어진 수처리 기술이다. 하지만 여러 가지 방법 중에서 생물학적 처리방법이 가장 선호를 받고 있다. 이는 잠재적 처리효율이 높고, 공정의 안정성과 신뢰도가 높으며, 공정운전이 비교적 단순하며, 토지소요 면적이 작고, 다른 공정들에 비해 비용이 적은 장점들을 가지고 있다. 하지만 기존의고도하수처리공법의 경우 과도한 폭기 에너지와 긴 SRT(>30일)로 고탄소 고에너지가 사용됨과 동시에 대량의 온실가스(CO₂)가 방출하는 심각한 환경오염문제를 초래한다. 또한 최근 런던협약, 교토의정서, 수질오염총량제들이 시행됨에 따라 하수처리도 단순 방류수 기준에만 의존하는 것이 아니라 방류수기준에도 만족함과 동시에 저에너지 온실가스 감축을 위한 친환경 하수처리 개념으로 바뀌는 추세이다[그림 3-1].

[표 3-1] 21세기 하수처리기술 개선방향

기존연구의 문제점	개선방향
고탄소, 고에너지 사용 하수처리공정(MBR)	저에너지 저탄소의 하수처리기술
슬러지 매립 및 소각	메탄가스 회수 및 유가자원 회수 기술
잉여슬러지의 낮은 가용화를	생슬러지 발생비율 증가 및 폭기 에너지 감축



[그림 3-1] 하수처리 발전방향

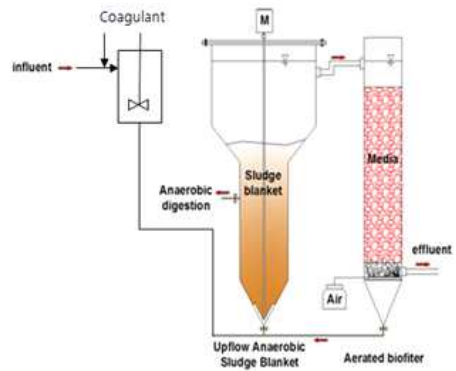
제2절. 혐기-호기(UASB-ABF)공법 개요

최근 연구되고 있는 혐기성 하수처리 공법은 체류시간이 3~8시간 범위이고, 상온에서 운전하며, 유기물 부하량이 작기 때문에 메탄가스 발생량이 크지 않고, 질소와 인을 포함한 방류수 농도가 높다는 문제점을 내포하고 있다. 그러나 산소요구량을 줄여 폭기를 위한 전기에너지가 적게 소요되고, 폭기조내 이산화탄소 발생량을 줄일 수 있는 친환경 하수처리기술로 인식되면서 많은 연구가 진행되고 있다.

혐기성 하수처리 공법의 단점을 개선하거나 보완하기 위하여 호기성 처리공법과 조합한 다양한 하수처리공법들이 개발되고 있으며, 높은 유기물질 제거효율을 달성하고 있다. Von Sperling 등은 유기물 부하량이 $2.3 \sim 4.4 \text{ kg-COD/m}^3 \cdot \text{d}$ 이고, 체류시간이 각각 4시간, 2.8시간인 UASB(Upflow Anaerobic Sludge Blanket)-AS(Activated Sludge) 시스템을 운영한 결과 85~93%의 TCOD 제거효율을 얻을 수 있었다. 제거된 TCOD의 81~94%가 UASB에서 제거되었고, 활성슬러지(AS) 공정에서는 약 4~9% 정도만 제거되었다. 약 90% 정도의 유입 TCOD가 혐기성으로 운전되는 UASB에서 제거되기 때문에 후속으로 오는 활성슬러지공정에서 산소요구량을 크게 줄일 수 있고, 활성슬러지공정을 거치면서 방류수 수질을 확보할 수 있다.

UASB에서 유기물질은 슬러지층에 포획된 후 혐기성 미생물에 의해 메탄가스로 전환되어 제거된다. La Motta 등은 유입 TCOD가 341 mg/L 인 하수를 $25.5 \sim 28.5^\circ\text{C}$ 에서 체류시간이 3.2시간인 UASB로 처리한 결과 메탄가스가 $253 \sim 29.1 \text{ mL/L}$ 발생하였다고 한다. 그러나 체류시간이 짧고, 상온에서 운전하였기 때문에 혐기성 하수처리공정에서 메탄 발생량에 대한 결과는 많지 않은 실정이다.

따라서, 본 연구서는 UASB(Upflow Anaerobic Sludge Blanket) 타입의 혐기성 반응조와 ABF(Aerobic Bio-Filter)로 구성된 복합 혐기성 하수처리공정을 이용하였다. 하수 원수는 UASB 하단에 설치된 유입구를 통하여 상향류로 유입되며, 유입하수의 원활한 분배와 슬러지층의 유동을 위하여 UASB 바닥에 임펠러를 설치하였고, 10rpm으로 교반시켜 주었다. Lab-Scale의 경우 인 제거를 위해 UASB 반응조 전단에 응집교반조를 별도로 두어 인 제거를 수행하였으며, pilot plant의 경우 직접 UASB 반응조에 투입하여 인 제거를 수행하였다.



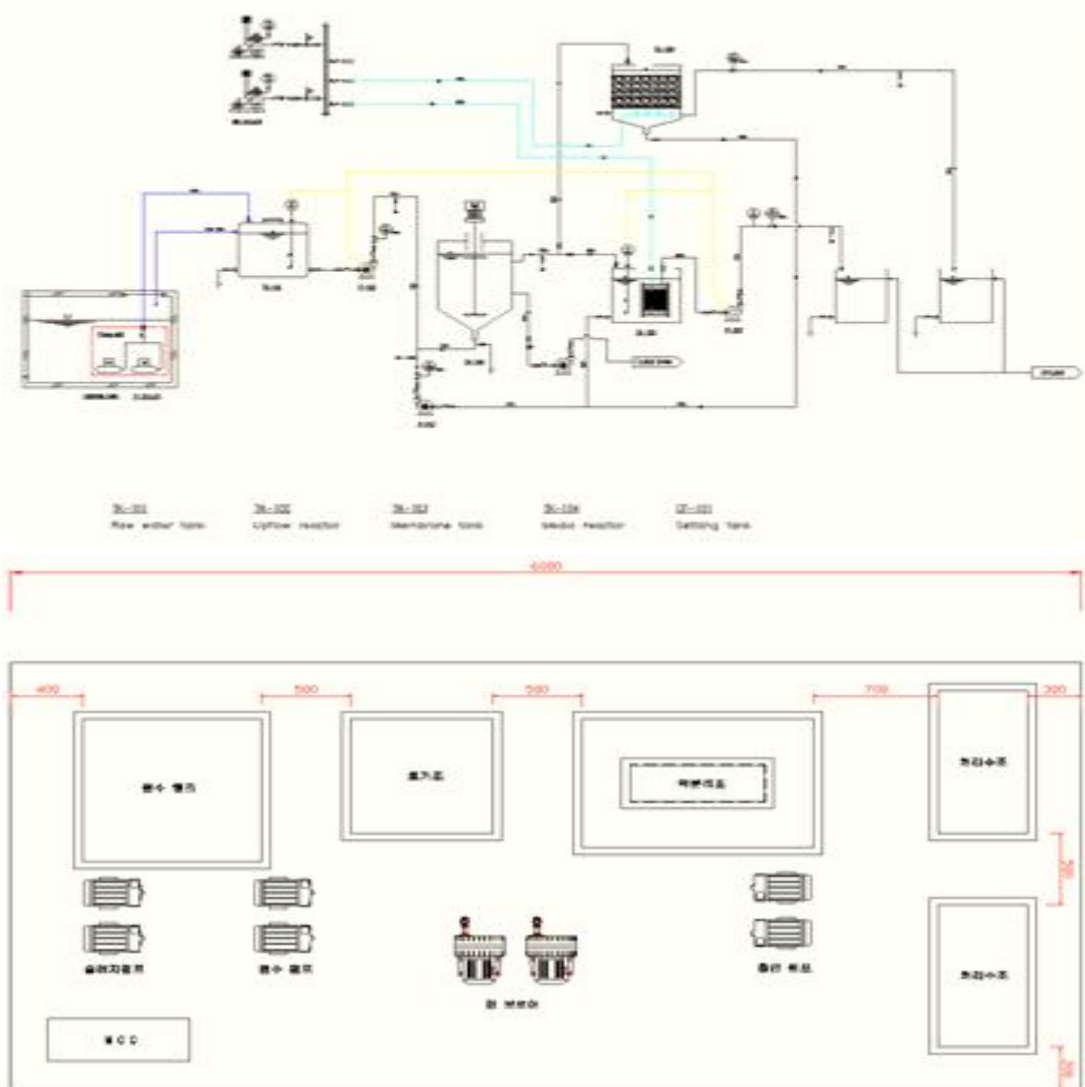
[그림 3-2] 시운전 중인 Lab Scale



[그림 3-3] 시운전 중인 pilot plant 현장

[표 3-2] Lab Scale 및 pilot plant 설계조건

구 분	Lab Scale	pilot plant
협기조	직경 16cm, 높이 68cm	직경 1.2m, 높이 2.8m
호기조(매디아 충전)	길이 10cm, 너비 10cm, 높이 50cm	길이 0.8m, 너비 0.6m, 높이 1m
호기조(trickling filter)	직경 8cm, 높이 74cm	-
식생조	길이 46.2cm, 너비 31cm, 높이 6.2cm (3단으로 구성)	길이 3m, 너비 2m, 높이 0.4m (3단으로 구성)
하루 처리 용량	9.36L/d	2.6m ³ /d



[그림 3-4] pilot plant 시설 배치도

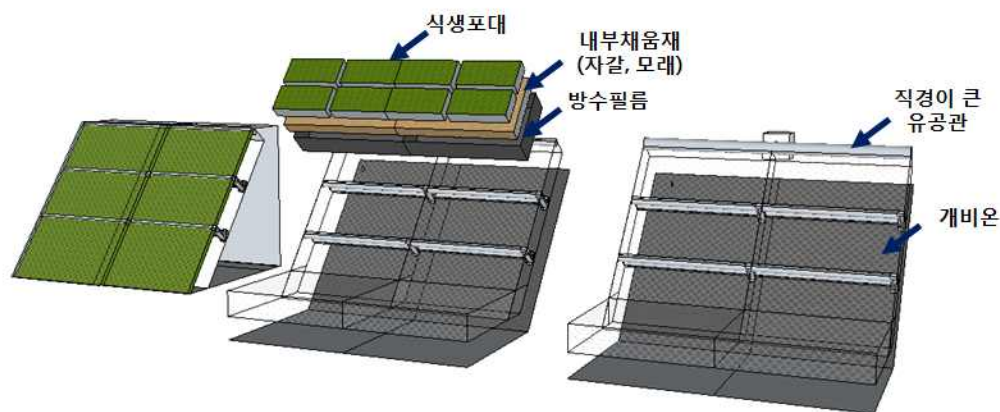
제3절. 자연수로 호안 공법 개요

1. 여상과 식생호안을 내장한 자연수로 호안 공법의 개요

소규모 농촌 마을 하수 처리시설에 적용 가능한 3차 처리 시설로서 매트리스 개비온을 활용한 자연 수로 호안 공법을 개발한다.

하천 호안공으로 널리 활용되고 있는 매트리스 호안공에 [그림 3-5]와 같이 차수성의 포대로 격벽을 구성하고, 이의 내부를 모래, 자갈 및 굵은 쇄석으로 채워 정화 매질을 구성한다. 차수성의 격벽간의 물넘이 판을 설치하여 하고, 정화 매질 내 호기 및 혐기성 미생물의 생장을 도모하여 살수 여상의 정화 효과를 활용한다. 또한 매트리스의 상부를 갈대등의 식생 식생포대공으로 마무리하여, 식생의 생장에 의한 추가적인 정화를 도모한 친환경 자연 수로 공법이다.

본 연구에서 처리된 방류수를 자연수로 호안으로 유입시켜, 하수처리시스템의 3차 처리를 수행한다. 또한 본 자연수로 공법을 주변 경작지 및 도로 등의 우수에 의한 초기 유출수를 하천 유입 단계에서 차단하여 처리함으로써, 비점 오염 처리가 효율적으로 수행 가능할 것으로 기대된다.



[그림 3-5] 여상과 식생호안을 내장한 자연수로 호안 공법 개요도

2. 자연수로 공법의 연구동향

2003년도 물관리 정책 토론회의 연구 발표 보고서(참고문헌)에 따르면 자연수로 공법의 오염 유출저감 장치를 크게 저류형, 침투형, 식생형 및 장치형으로 구분하고 있다. 이중 식생을 활용하여 강우 유출수의 침투를 촉진 시키고, 고형물을 제거하는 식생형은 자연 수로의 대표적인 공법으로 식생 수로와 식생 여과대 등으로 구분할 수 있다.

(1). 식생 수로는 강우 시 토양의 침식을 돌리기 위한 식생으로 덮힌 수로이다. 유출수는 식생 수로를 통과하면서 유속이 감소하고, 식물에 의한 여과 및 고형물의 침전을 통하여 오염물이 제거된다. 농촌 지역의 활용도가 높은 공법이나, 농촌 하수도 처리의 공법으로 적용하기에는 지하수 오염의 가능성 등이 있다.

(2). 식생여과대는 식생수로와 비슷하나 식생수로인 경우는 집수된 우수 유출수를 처리하는 방식이나, 식생여과대는 지표면으로부터 넓게 퍼져 유입되는 우수 유출수를 대상으로 처리하는 시스템이다. 이러한 공법을 활용한 다양한 공법 등이 특허로 개발 되어, 활용되고 있다. [표 3-3]은 최근 관련 특허 동향이다.

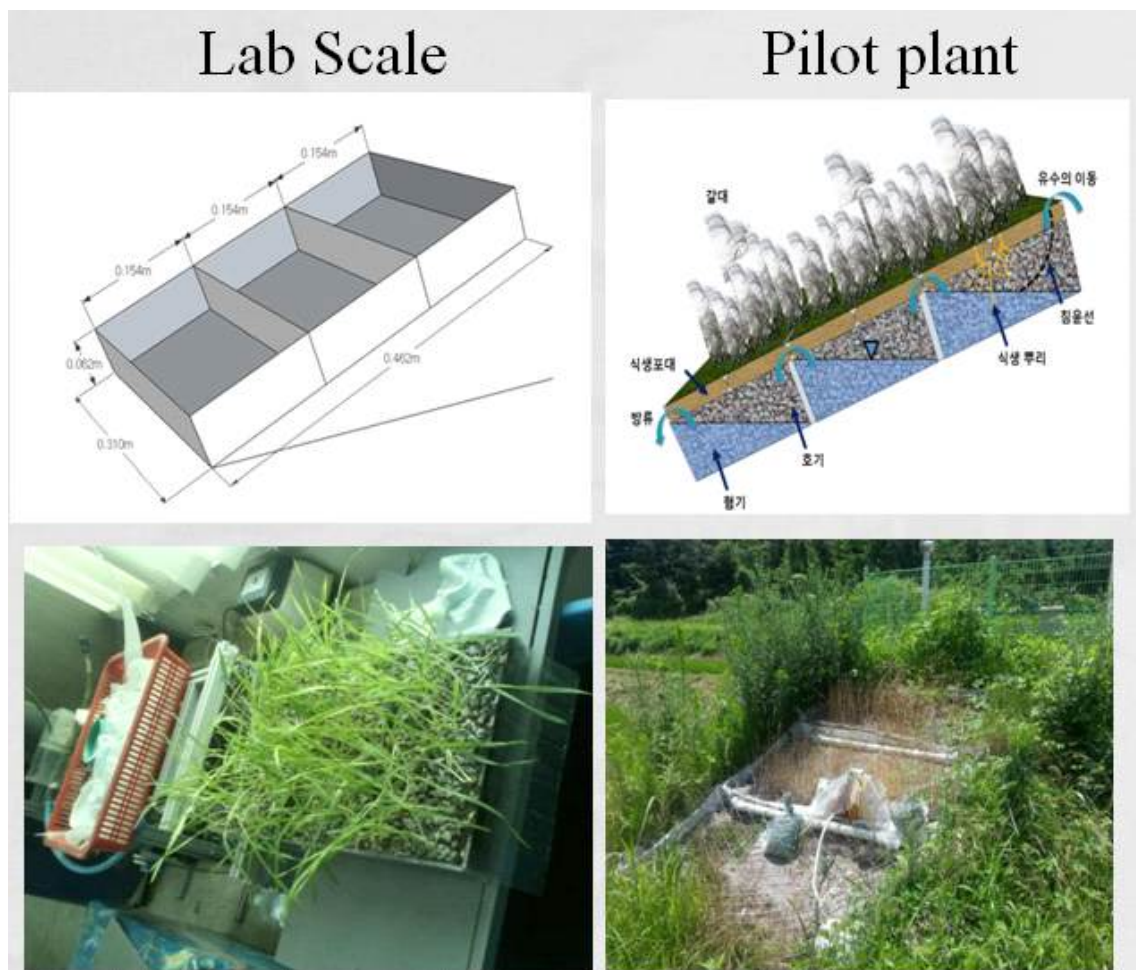
[표 3-3]. 식생수로 관련 최근(2000~2012년) 특허 동향

특허명	특허권자	등록년도	개요
하천변 자연제방과 둔치를 이용한 생물 접촉 산화식 하천수질 정화 시스템	(주) 오이코스	2000	하천변 자연제방과 둔치를 이용한 생물 접촉 산화식 하천 수질 정화 시스템
인공 습지를 이용한 자연 정화 장치	최원영	2001	오폐수를 자연정화방법에 의하여 정화되도록 저류시설을 설치하여 습지를 조성하고 습지에 공기를 공급하여 자연 정화를 촉진되도록 한 인공습지를 이용한 자연정화 장치
제방사면 및 둔치 지하공간을 이용한 하천 유지유량 확보방법 및 그 구조물	오종민	2004	제방사면 및 둔치 지하공간을 이용한 하천 유지유량 확보방법 및 그 구조물에 관한 것
강우유출수를 비롯한 오염수 처리를 위한 수처리장치	진흥기업 주식회사	2005	하천의 제방사면 및 둔치를 활용한 수처리시스템
비점오염원 유출수 정화처리시스템	(주) 에코탑	2009	친환경적으로 정화하는 것으로 비점오염원 유출수 정화처리시스템에 관한 것
초기우수 비점오염 처리 장치를 이용한 자연형 비점오염 처리 시스템	(주)에일 엔지니어링	2010	강우시 비점오염물질이 다량 포함된 초기우수를 분리 및 정화처리하기 위한 초기우수 비점오염 처리장치를 이용한 자연형 비점오염 처리 시스템
비점오염물질 처리를 위한 인공습지 생물 여상법	대성그린 테크	2010	비점오염물질 발생가능성이 높은 배출시설 주변에 처리시설을 설치함으로써 효율적인 비점오염물질 처리가 가능한 인공습지생물여상법에 관한 것
저류조를 이용한 인공습지형 비점오염원 저감시스템 및 그 방법	신명옥	2011	저류조를 이용하여 건기에도 안정적으로 습지의 물을 순환시킬 수 있도록 하는 인공습지를 구비한 비점오염원 저감시스템 및 그 방법

3. 농촌 하수도 3차 처리시설로서의 자연수로 호안 공법의 개발

충청권 농촌 마을 하수 처리시설의 3차 처리 시설로 활용가능한 자연 수로 호안 공법은 기존의 살수 여상법을 매트리스 호안공에 적용한 방법이다, 이는 기존의 살수 여상법이 수직으로 집적된 여상에 살포하여 처리하나, 본 개발 공법에서는 매트리스 호안공의 채움재로 활용된 쇄석에 뿌려 쇄석에 부착된 미생물막과 처리수의 유기물이 접촉하여 처리되는 공법이다.

[그림 3-6]과 같이 매트리스 호안공의 내부를 굵은 쇄석으로 채워 정화 매질을 구성하고 매질 내 호기 및 혐기성 미생물의 성장을 도모하여 살수 여상의 정화 효과를 활용한다. 매트리스 호안공의 격벽과 호안공의 경사를 조정하여 채움재의 호기·혐기의 특성을 갖는 매질의 특성을 조성하여 정화의 효과를 높인다. 또한 매트리스의 상부를 갈대등의 식생 식생포대공으로 마무리하여, 식생의 성장에 의한 추가적인 정화를 도모한 친환경 자연 수로 공법이다. 운영조건은 [표 3-4]에 나타낸 바와 같다.



[그림 3-6] 여상과 식생호안을 내장한 자연수로 호안 공법의 단면도

[표 3-4]. 살수여상의 운영조건 비교

구분	Lab Scale	pilot plant
유량(m^3/d)	0.00936	2.6
용적(m^3)	0.00888	2.4
유기물 부하($\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$)	0.004~0.034	0.013~0.034
수리학적 체류시간 (d)	1.05	0.6

제4장 연구결과

제1절 충청권 소규모 농촌지역 하수의 최적관리를 위한 처리 체계

1. 유량조사

가. 조사지점

문의구룡 처리장 유역으로 유입되는 오염물질의 유달부하량을 실측하기 위하여 하천명이 존재하지 않은 주요 유입지점을 선정하여 유량과 수질조사를 실시하였다. 첫 번째 측정지점이 낮은 지대에 위치하여 일정 강우 이상시 침수 발생으로 과도 강우시 측정할 수 있도록 하류에 위치한 교량을 두 번째 측정지점으로 선정하였다. 첫 번째 지점과 두 번째 지점사이에서 유입되는 유량이 없으며, 두 지점간의 거리는 0.5km이다. 2개 지점의 위치와 주변 특성은 [그림 4-1]과 [표 4-1]과 같다.



[그림 4-1] 문의구룡 처리장 유역의 유입하천과 조사지점

[표 4-1] 유량과 수질 조사지점별 위치와 유역특성

지점	면적(km ²)	위치	유역특성
Point 1	0.902	충북 청원군 문의면 구룡리 441-1	주변이 논과 밭으로 구성되어 있으며, 소규모 가구 위치함
Point 2	0.336	충북 청원군 문의면 산덕리 27-1	주변이 논과 밭으로 구성되어 있으며, 큰 도로와 인접해 있음



Point 1



Point 2

[그림 4-2] 구룡유역 유입하천 수질 · 유량 측정 지점 사진

나. 유량측정

문의구룡 처리장 유역으로 유입되는 지점의 유량과 수질조사를 강우시 1회 실시하였다. 강우시 조사는 기상청 예보 기준으로 실시하였으며, 강우시점부터 강우종료 후 평시 수위 도달 시까지 강우량과 강우강도를 고려하여 2~5시간 간격으로 연속 수질 및 유량조사를 실시하였다.

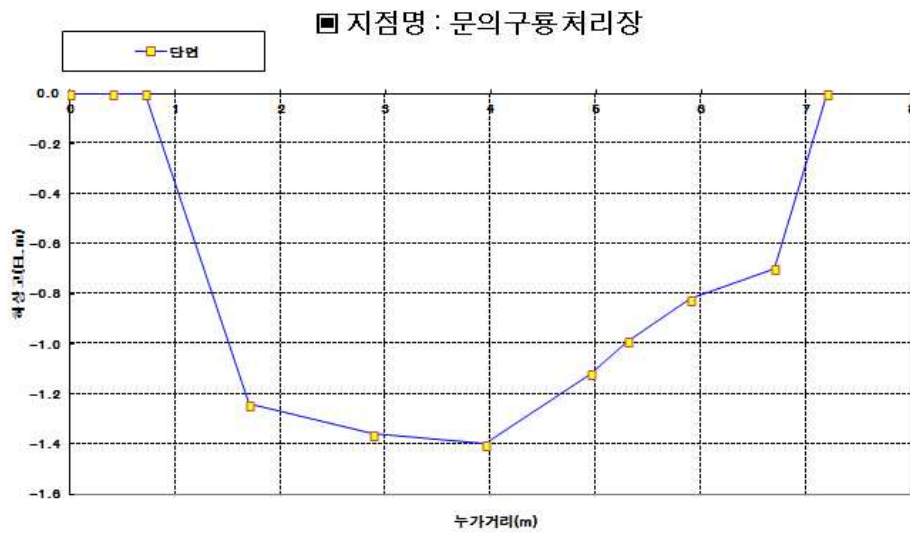
유량 측정은 유속이 느린 경우 Point 1 지점에서 도섭법을 사용하여 측정하였으며, 유속이 빠른 경우 Point 2 지점에서 전자파 표면 유속계를 사용하여 측정하였다.

오염부하량을 산정하기 위해서는 Point 1 지점의 유량자료가 필요하기 때문에 Point 2의 유량자료를 이용하여 유역 면적비로 Point 1의 유량자료로 환산하였다.

강우시 각 지점에서의 유속 측정 모습과 측량한 Point 2 지점의 횡단면도를 아래 그림과 같이 나타내었다.



[그림 4-3] 구룡유역 유입하천 수질 · 유량 측정 지점 사진



[그림 4-4] 강우시 유속측정 및 Point 2 횡단면도

2. 수질조사

하천의 수질조사를 위해서는 수질조사 지점의 하천구간을 횡방향으로 3등분하여, 각 구간의 중간부 수심 1/3지점에서 시료를 수집한 후 혼합시료를 만들어 냉장 보관하여 분석실로 이동하였다. 현장 측정항목인 수온은 시료 채취 후 즉시 측정을 실시하였다. 하천의 주요 수질분석항목은 PH, BOD, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, SS, TN, TP 이며, 분석방법은 수질오염공정시험법을 따랐으며, 조사항목별 측정 및 분석방법은 아래 표와 같다[표 4-2].

[표 4-2] 수질분석방법(수질오염공정시험법)

측정 항목	분석방법	시료 보존방법	보존기간
온도	직접측정법	-	즉시측정
pH	pH 표준액에 의한 pH	-	즉시측정
BOD	호기성 미생물의 증식과 호흡작용에 의해 소비되는 용존산소 양 측정	4℃ 보관	48hr(6hr)
COD	과망간산칼륨에 의한 COD	4℃ 보관, H ₂ SO ₄ 로 pH 2이하	28day(7day)
NH ₄ -N	흡광광도법(인도페놀법)	4℃ 보관, H ₂ SO ₄ 로 pH 2이하	28day(7day)
T-N	흡광광도법(자외선)	4℃ 보관, H ₂ SO ₄ 로 pH 2이하	28day(7day)
T-P	흡광광도법(아스코르빈산 환원법)	4℃ 보관, H ₂ SO ₄ 로 pH 2이하	28day
SS	유리섬유여지법	4℃ 보관	7day

가. 소유역별 환경특성을 고려한 오염부하량 산정 방법

(1) 오염원 특성

공공수역으로 유입하는 오염물질은 크게 점오염원과 비점오염원으로 구분된다. 점오염원은 발생지점과 흐름경로가 비교적 명확하고, 환경기초시설들의 확충과 법적규제가 마련되어 오염부하량 산정과 오염원 관리가 용이하다. 비점오염원의 경우는 강우현상, 토양 및 지형, 토지 이용도 등 다양한 수문학적 특성에 따라 오염물질 발생량과 이동경로가 달라지기 때문에 오염부하량 산정에 큰 어려움이 있다. 특히, 강우시 지표면에 퇴적된 각종 오염물질들이 우수 유출수와 함께 단시간에 하천으로 유입됨에 따라 수질오염에 미치는 영향을 정량적으로 파악하는 데에는 한계가 있다. 아래 [표 4-3]에 점오염원과 비점오염원의 특성을 나타내었다.

[표 4-3] 점오염원과 비점오염원의 특성 비교

구분	점오염원	비점오염원
배출원	생활하수, 산업폐수, 축산폐수, 분뇨처리장, 가두리 양식장 등	논, 밭, 임야, 대지, 도로, 대기중의 오염물질 등
특징	• 인위적 • 배출기능만 수행 • 배출지점이 명확 • 한 지점에 집중적으로 배출 • 계절적인 변화가 적음 • 차집용이 • 처리효율 높음	• 인위적 및 자연적 • 배출기능과 정화능력의 양면성 • 배출지점이 불명확 • 희석, 확산되면서 넓은 지역으로 배출 • 계절에 따른 변화가 심함 • 차집곤란 • 강우의 영향이 커 처리효율 낮음

(2) 점오염부하량 산정

점오염부하량은 비강우시 하천유량과 수질농도의 곱으로 산정하였다. [표 4-4]는 본 연구에서 적용한 점오염부하량 산정 관계식을 보여준다.

[표 4-4] 점오염부하량 산정 방법

부하율(Mass flow rate)	$L(kg/hr) = Q \cdot C$
점오염부하량(PL)	$PL = (C \cdot Q) \times \Delta t$

(3) 비점오염원 단위유출량 산정

비점오염원 원단위는 적용이 쉬워 유역이나 배수구역의 오염도 평가에 널리 사용되고 있으나, 시간과 비용 측면의 한계로 정확한 산정이 어렵다. 비점오염원은

배출양상이 다양하므로 오염원에 대한 정확한 산정을 위해서는 장기간(최소한 5년 이상) 동안 연속 측정한 실측자료가 필요하다. 그러나 과업기간과 재원이 한정되어 있으므로 각 조사지점별 강우시 3회 측정한 한정된 실측자료를 사용하여 단위유출량을 산정하였다.

$$\text{단위유출부하량}(kg/ha) = \frac{(\text{강우시총오염부하량} - \text{비강우시총오염부하량})}{\text{배수구역면적}}$$

비점오염원 단위유출 부하량은 단위토지면적에서 배출되는 오염물질량을 의미하며, 현재 사용되고 있는 원단위산정방법으로는 경험식에 의한 계산법과 유역에서 유량과 오염부하량을 실측해서 산정하는 실측법이 있다. 실측법은 조사방법에 따라 세가지로 구분된다. 첫째, 지표면에서 오염물질 총량을 실측한 후 축적을 및 분해율을 적용하는 방법, 둘째, 강우시 특정지역을 통과하는 하천상류와 하류의 수질을 비교하여 수질의 차이를 환산하여 당해 유역에서의 비점오염원 배출원단위를 산정하는 방법, 셋째, 토지이용별 강우시 배출물질을 직접 채취하여 농도를 측정하는 방법이 있다.

(4) 연간 오염부하량 산정

본 연구에서는 강우시 유량, 수질 동시 조사가 1회 정도이므로 연간 오염물질 유달부하량을 산정하기 위해서는 단위유출부하를 환산하는 방법이 필요하다. 즉, 일 년 동안 연속해서 비점오염원을 실측 조사할 수 없기 때문에 실측 기간에 대해 계산한 값(kg/ha)을 연간으로 환산(kg/ha/년)하여 사용하기 위해 아래의 [표 4-5]에 나와 있는 방법 중 유효우량비법을 적용하여 산정하였으며, 독립변수는 다음과 같다.

$$L = (kg/ha/yr) = \frac{I_a}{A} \times \frac{P_a}{p_a}$$

여기서, I_a 는 강우시 총누가오염부하량(kg)에서 비강우시 총누가오염부하량(kg)을 뺀 값, A 는 배수구역면적(ha), P_a 는 연간 총강우량 (mm/yr), p_a 는 실측기간 총강우량 (mm)이다.

[표 4-5] 연간 비점오염부하량 산정방법(환경부, 2003)

적용방법	산출식	산출내용
직접강우횟수 적용법	$L = N \cdot la$	연간부하량 = 연간유출횟수 × 출수당평균부하량
유효우량비법	$L = la(Pa/pa)$	연간부하량 = 실측강우시부하량 × (10mm이상 연간 총강우량/실측기간의 강우량)
유출량비법	$L = lm(Qm/qm)$	연간부하량 = 실측기간유량가중평균농도 × (연간유출량/실측기간유출량)
유출량-가중농도법	$L = N(Qa/qa)$	연간부하량 = 연간유출횟수 × (출수당평균부하량 × (모집단에서 일출수당평균유량/표본에서 일출수당 평균유량))

나. 강우시 오염원 유출특성

(1) 강우사상에 따른 유출유량 특성

조사기간 동안 기상청의 방재기상정보시스템과 레이더 영상 예보자료를 수시로 점검하며 문의구룡 처리장 유역의 강우시기와 유량측정 여부를 판단하였다. 강우량 조사는 충북 청원군 문의면 상장리 산1-8에 위치한 한국수자원공사 강우관측소 자료를 사용하였다. 2012년 5월 14일, 2013년 6월 17일~19일 및 2013년 9월 13일~14일 동안 실시하였으며, 2012년 호우사상1에서 초기 강우는 5월 14일 13시를 시작으로 15시에 4.0mm의 침두강우가 발생하였다. 2013년도 호우사상2에서 초기 강우는 17일 밤 23시를 기점으로 시간당 2.0mm가 내렸다. 6월 18일 오전 6시쯤 시간당 19mm의 최고 강우량을 보이다가 19일 새벽 4시정도까지 소강과 내리기를 반복하며 강우가 지속되었다. 2013년도 호우사상3에서 초기 강우는 9월 13일 밤 23시 시작으로 14일 0시 시간당 18mm로 침두강우가 발생하였고, 14일 아침까지 두 시간가량 강우가 지속되다가 오전 8시부터 12시까지 강우가 지속되었다.

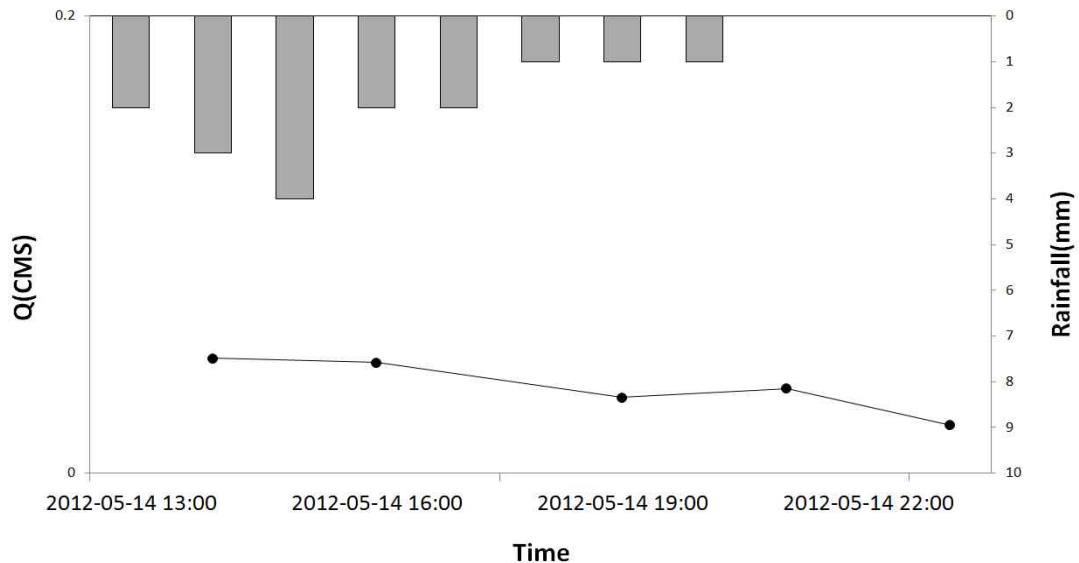
2012년 및 2013년도 유량측정은 강우사상의 변화에 따라 각각 5회, 8회 및 12회에 걸쳐 조사하였으며, 총 강우량은 각각 19mm 및 132mm, 69mm를 기록하였다. 다음 [표 4-6]은 측정된 시점의 호우사상과 총 강우량을 나타낸다.

[표 4-6] 측정 호우사상

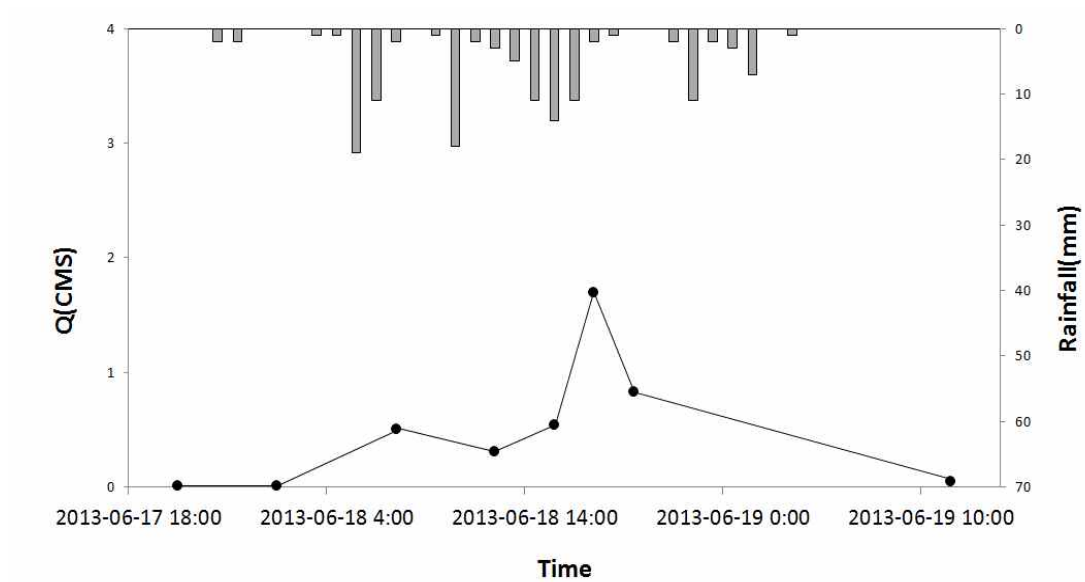
구 분	기간	강우량(mm)
호우사상1	2012. 05. 14 13:00 ~ 2012. 05. 14 23:00	19
호우사상2	2013. 06. 17 18:00 ~ 2013. 06. 19 13:00	132
호우사상3	2013. 09. 13 18:00 ~ 2013. 09. 14 13:00	63

전반적으로 강우의 시간적 분포와 유출량의 관계는 매우 밀접한 상관관계를 보이고 있으며 [그림 4-5]~[그림 4-7]의 그래프와 같이 강우패턴 분포에 따라 유출량의 증감 및 첨두유량이 나타남을 알 수 있다.

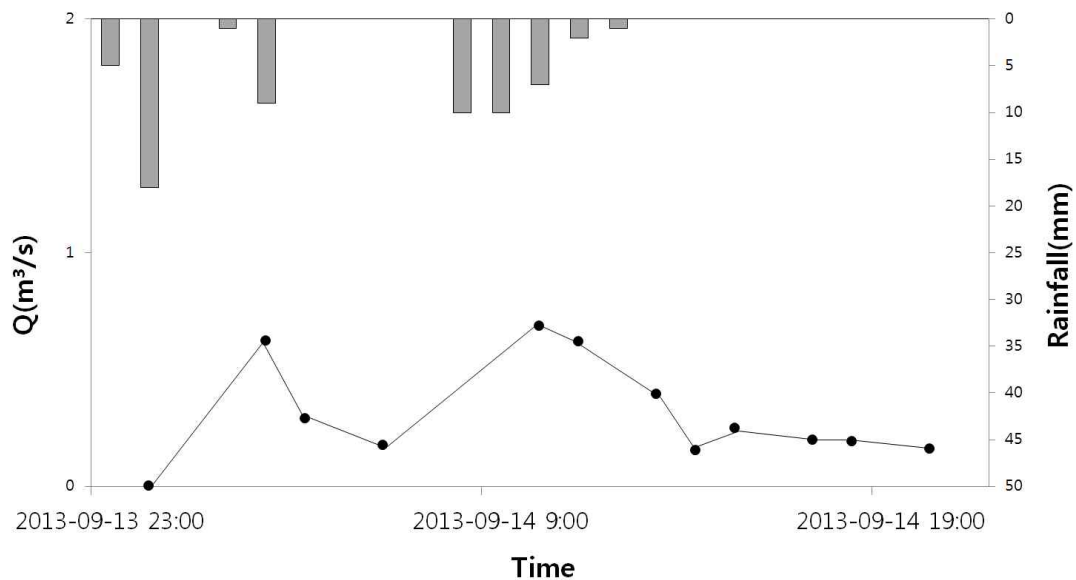
호우사상별로 강우가 발생한 후 2시간, 12시간 및 11시간 후에 첨두유량이 각각 $0.05\text{m}^3/\text{s}$, $1.7\text{m}^3/\text{s}$ 및 $0.68\text{m}^3/\text{s}$ 로 관측되었다. 도달시간이 다른 이유는 문의구룡 처리장 유역의 초기유출특성은 선행 무강우 일수가 길어 토양의 상태가 메말라 있었기 때문에 침투, 저류효과 등이 잘 일어나 유출속도가 다소 늦어진 것으로 보인다. 또한, 첫 번째 첨두강우에 의한 현상으로 유출이 발생하였고 유출량이 다소 감소한 후에 다시 발생한 강우로 인하여 두 번째 첨두유출이 발생하였다. 이것은 선행 강우에 의해 토양이 충분히 포화상태가 되어있었기 때문에 초기 강우와 근사한 양의 강우량에도 더 많은 유출이 발생하였기 때문이다.



[그림 4-5] 문의구룡 처리장 유역의 2012년도 유량변화



[그림 4-6] 문의구룡 처리장 유역의 2012년도 유량변화



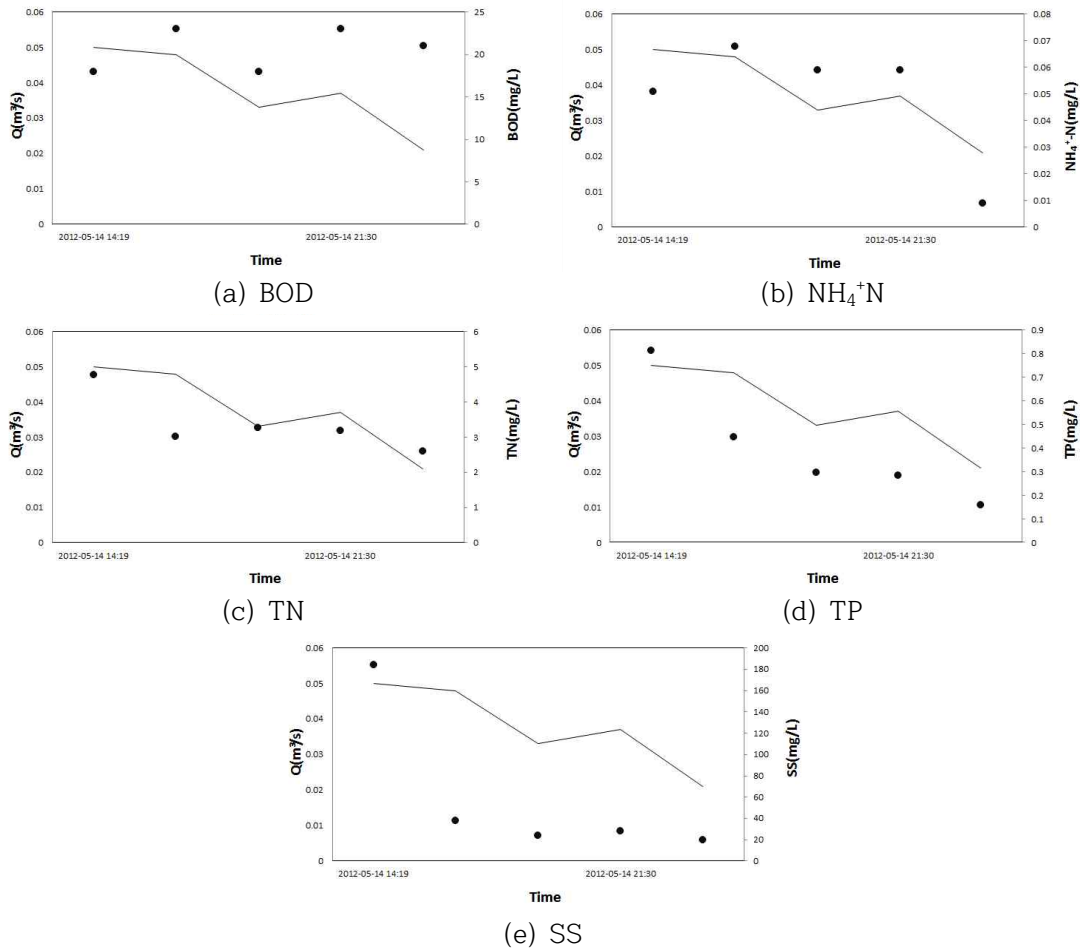
[그림 4-7] 문의구룡 처리장 유역의 유량변화(호우사상3)

(2) 강우시 유량-농도변화

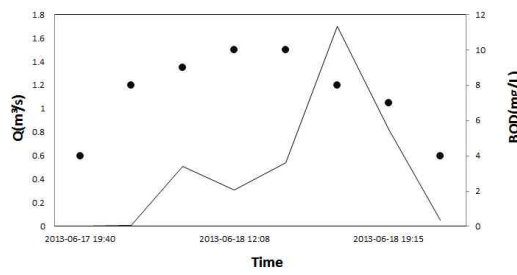
강우유출수의 농도는 기상조건이나 수리조건, 지형 및 토지이용특성에 영향을 받는다. 일반적으로 강우유출수에 함유된 오염물질의 농도는 강우초기에 매우 높고 시간이 지날수록 낮아지는 특성을 보이는데, 이를 초기세척효과(first-flushing effect)라 한다. 강우 초기에 고농도의 오염물질을 포함하는 초기우수는 단시간에 다량의 오염물질을 유출시켜 수계에 심각한 오염을 초래할 수 있다.

강우사상에 대한 유량-농도 변화 그래프를 [그림 4-8] 및 [그림 4-10]에 나타내

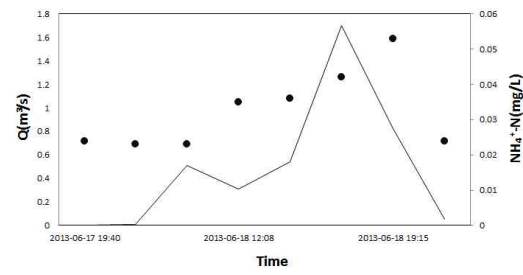
었다. 수질항목과 지점에 따라 약간씩 차이를 보였으나, 대부분 초기 세척 효과의 영향으로 강우초기에 농도가 일시적으로 높게 나타났다.



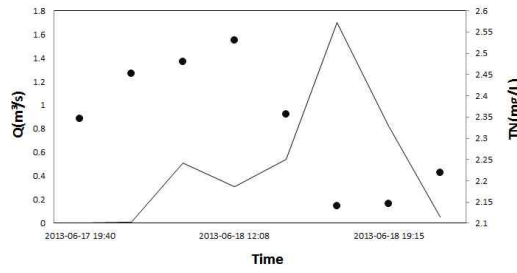
[그림 4-8] 유량-농도 변화(호우사상1)



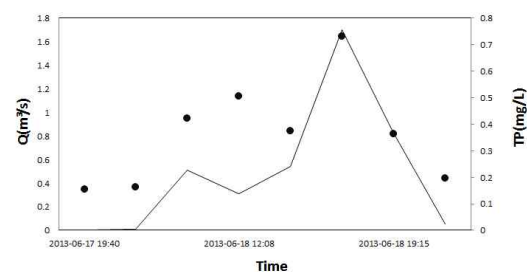
(a) BOD



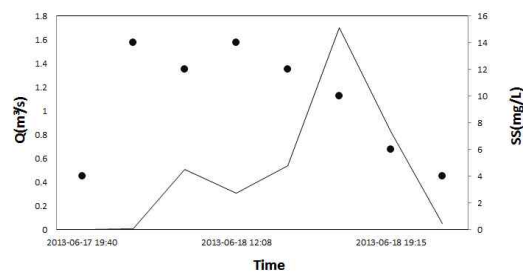
(b) NH₄⁺N



(c) TN

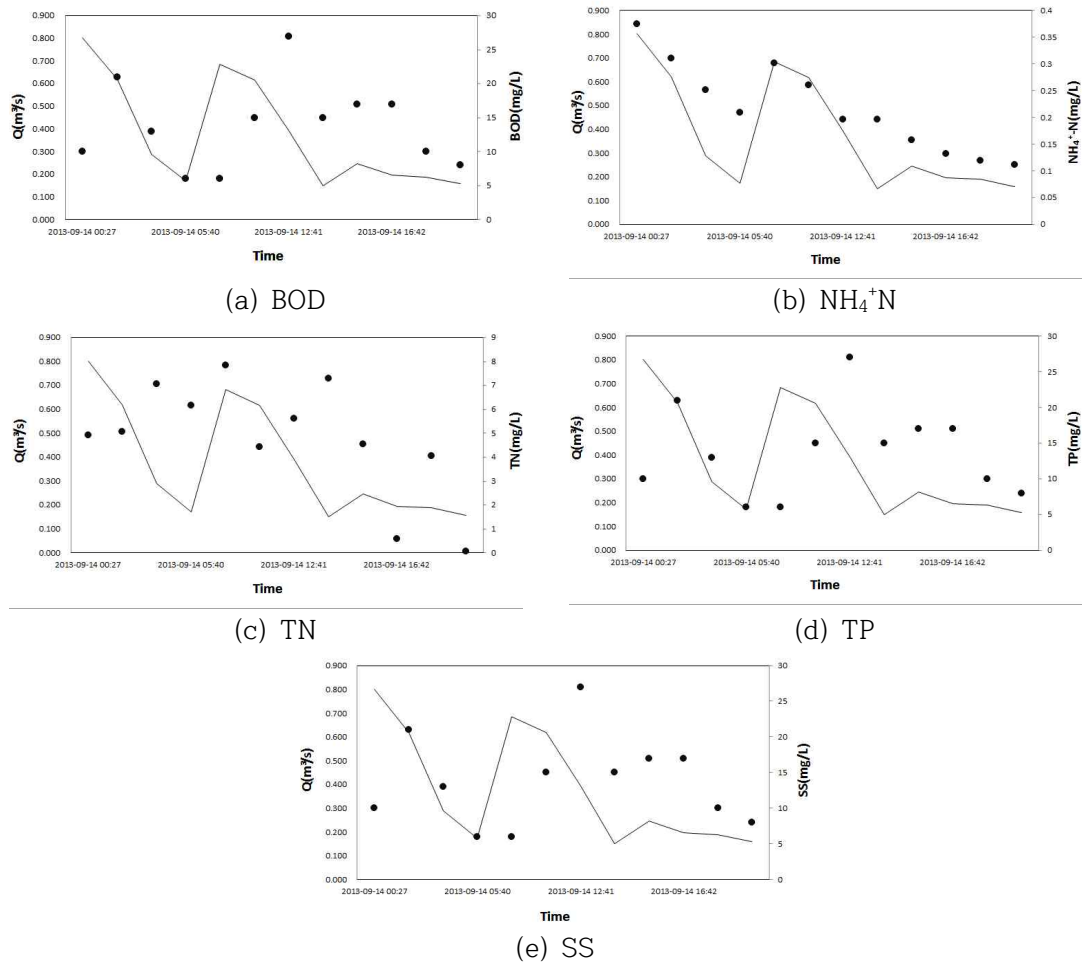


(d) TP



(e) SS

[그림 4-9] 유량-농도 변화(호우사상2)



[그림 4-10] 유량-농도 변화(호우사상3)

호우사상1의 경시변화에 따른 농도변화는 BOD농도와 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 농도를 제외하고 유출곡선과 유사한 형태로 나타났으며 강우초기의 유출과 수질측정을 실시하지 못하여 초기세척효과에 대한 부분은 나타낼 수 없었다. 호우사상2의 경시변화에 따른 농도변화는 초기세척효과가 발생하는 것을 확인 할 수 있었으며 BOD농도와 TN, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 농도는 유출곡선과 다른 양상으로 나타났다. 또한, 호우사상3의 경시변화에 따른 농도변화는 호우사상2와 유사하게 나타났으며 그 원인으로는 각 항목의 거동방법이 다르기 때문인 것으로 판단되었다.

다. 강우시 오염부하 특성

(1) 강우시 유량-오염부하율 변화

오염부하율(kg/hr)은 단위시간당 하천의 특정지점을 통과하는 오염물질의 질량을 나타낸다. 비록 동일한 농도일지라도 강우시에는 하천의 유량이 많아 평상시 보

다 훨씬 높은 오염부하율을 보이며, 특히 SS와 TP와 같이 유량과 수질농도가 양의 상관관계를 보이는 경우 오염부하율은 지수함수적으로 증가하게 된다.

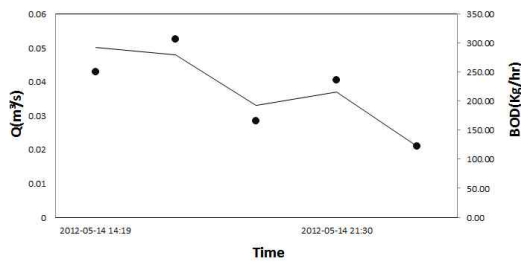
앞에서 언급했듯이 초기강우에 의한 고농도의 비점오염물질이 세척효과로 인해 하천과 저수지에 유입할 경우 일시적인 수질악화를 가져오게 된다. 때때로 강우초기 유출 동안 하천의 일부구간에서 급격한 용존산소 고갈현상이 일어나거나 물고기 폐사가 발견되기도 한다. 유역에 따라 초기세척효과는 하천이나 저수지 수질관리에 매우 중요한 영향인자로 작용한다. 일반적으로 유역면적이 상대적으로 작은 경우와 불투수면적인 큰 경우 초기세척효과의 영향은 더 크게 나타난다. 이러한 초기세척효과를 나타내는데 유입물질의 농도는 정량적인 계산이 어렵기 때문에 일반적으로 오염물질의 부하율을 사용하여 나타낸다. 따라서 초기세척효과에 대한 특성을 나타내기 위해서는 유입유량에 따른 오염물질 부하량의 관계를 산정해야 한다.

문의구룡 처리장 유역에서 강우시 유량과 오염부하율의 관계를 호우사상별로 [그림 4-11]~[그림 4-13]에 도시하였다. BOD, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, TN, TP, SS의 오염부하율(kg/hr)은 동시에 측정한 유량(m^3/s)과 수질농도(mg/L) 값의 곱으로 산정하였다. 유량과 오염부하율의 시계열 그래프를 보면 매우 높은 상관성을 가지고 변화하는 것을 알 수 있다. 오염부하율은 유량이 클수록 높게 나타났으며, 침투 유량이 통과할 때 오염부하율도 최고값을 기록하였다.

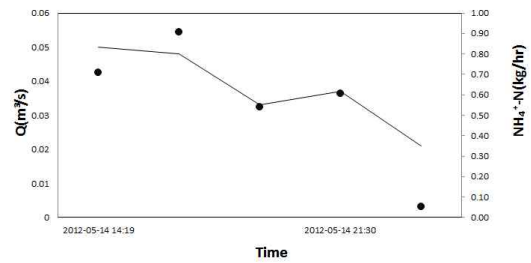
침투유량을 기준으로 왼쪽의 유량-부하율 비를 보면 다른 값들에 비해 상대적으로 높게 나타나고 있다. 특히 SS의 경우 그러한 특징이 두드러지게 나타나는데, 이것은 유입농도가 상대적으로 높다는 것을 의미한다. 즉 초기세척효과가 나타난다는 것을 의미한다.

강우시 최고오염부하율과 단위유출부하율을 산정하여 [표 4-7]와 [표 4-8]에 각각 비교하였다. 강우시 BOD, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, TN, TP, SS의 최고 부하율은 호우사상 1에 306kg/hr, 0.91kg/hr, 1,180kg/hr, 66kg/hr, 11kg/hr로 나타났으며, 호우사상 2에는 3,777kg/hr, 20kg/hr, 10,388kg/hr, 1,010kg/hr, 345kg/hr로 나타났다. 또한, 호우사상3에서는 3,616.02kg/hr, 83.28kg/hr, 1,492.28kg/hr, 175.9kg/hr, 35,625.73kg/hr로 나타났다.

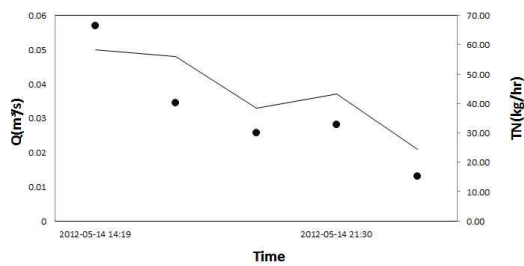
단위유역면적당 단위유출부하율은 호우사상1에 3kg/hr/ha, 0.01kg/hr/ha, 12.97kg/hr/ha, 0.79kg/hr/ha, 0.12kg/hr/ha로 나타났으며, 호우사상2에는 41kg/hr/ha, 0.22kg/hr/ha, 114.16kg/hr/ha, 11.11kg/hr/ha, 3.79kg/hr/ha로 나타났다. 또한, 호우사상 3에서는 39.74kg/hr/ha, 0.92kg/hr/ha, 16.40kg/hr/ha, 1.93kg/hr/ha, 391.49 kg/hr/ha로 나타났다.



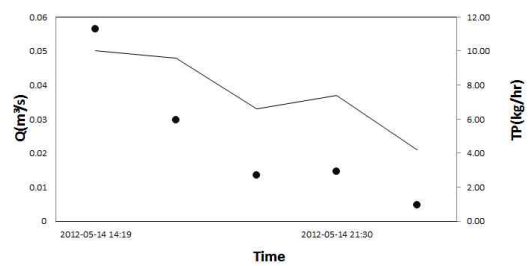
(a) BOD



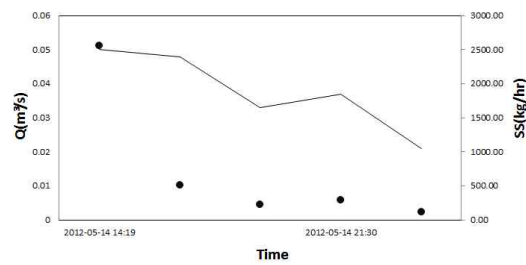
(b) NH₄⁺N



(c) TN

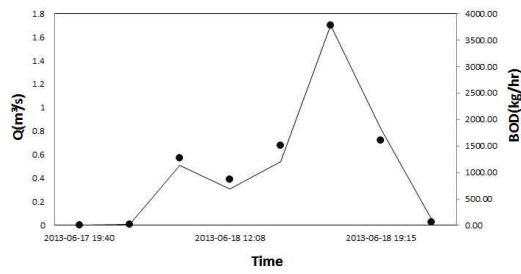


(d) TP

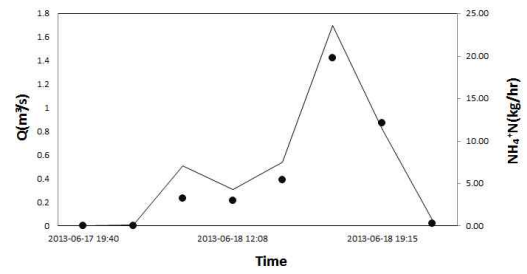


(e) SS

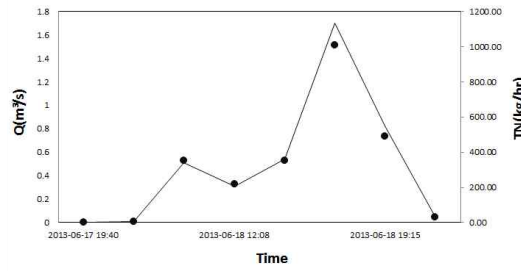
[그림 4-11] 강우시 유량-부하율 변화(호우사상1)



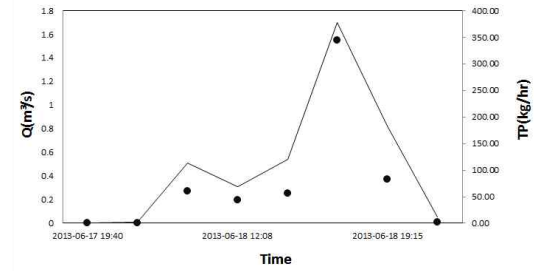
(a) BOD



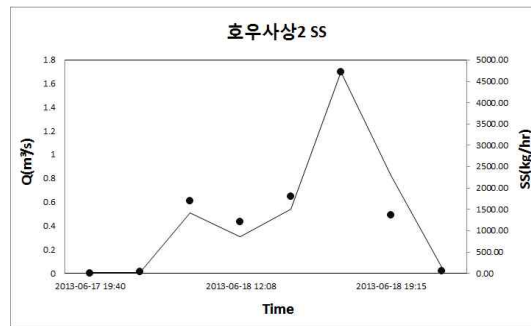
(b) NH₄⁺N



(c) TN

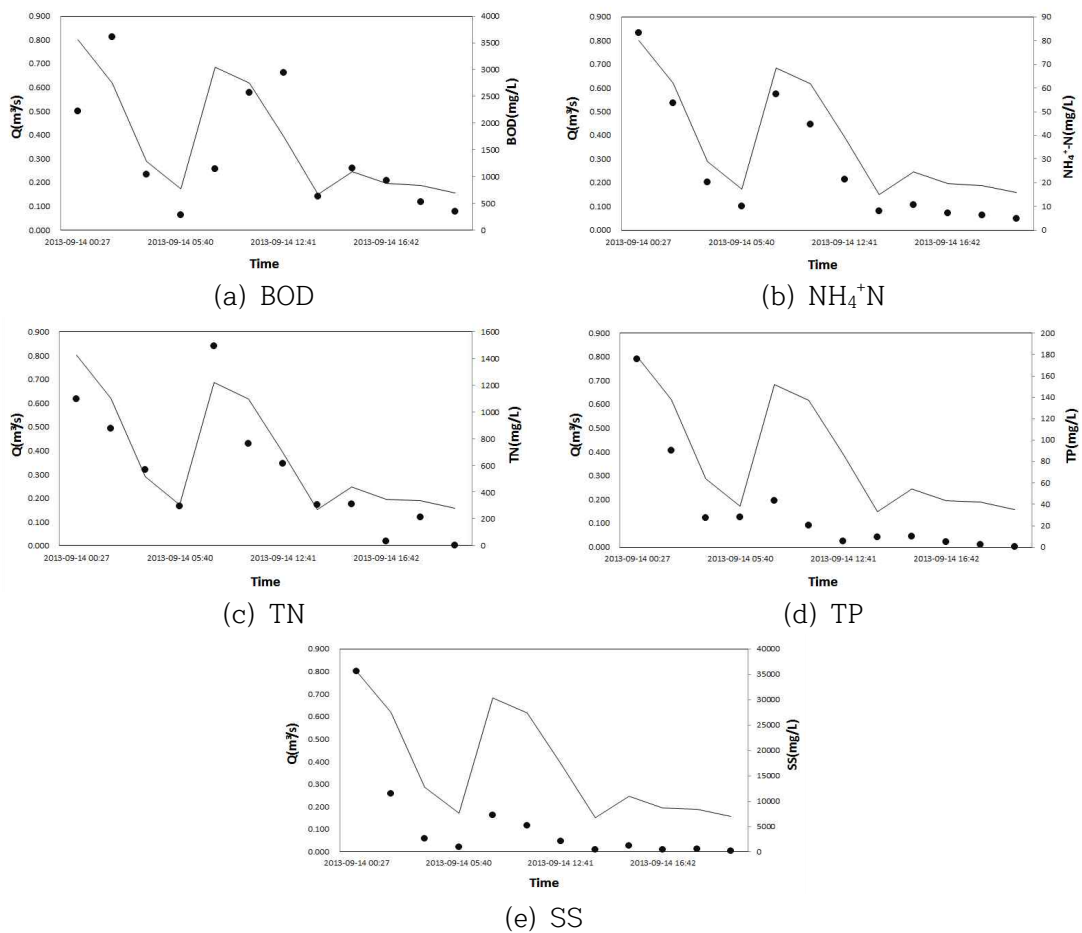


(d) TP



(e) SS

[그림 4-12] 강우시 유량-부하율 변화(호우사상2)



[그림 4-13] 강우시 유량-부하율 변화(호우사상3)

[표 4-7] 문의구룡 처리장 호우사상별 최고오염부하율(kg/hr) 비교

구 분	BOD	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	TN	TP	SS
호우사상 1	306.67	0.91	1,180.57	66.39	11.29
호우사상 2	3,777.81	19.83	10,388.97	1,010.56	345.20
호우사상 3	3,616.02	83.28	1,492.28	175.90	35,625.73
평 균	2,566.83	27.01	4,353.94	417.62	11,994.07

[표 4-8] 문의구룡 처리장 호우사상별 단위유출부하율(kg/hr/ha) 비교

구 분	BOD	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	TN	TP	SS
호우사상 1	3.37	0.01	12.97	0.73	0.12
호우사상 2	41.51	0.22	114.16	11.11	3.79
호우사상 3	39.74	0.92	16.40	1.93	391.49
평균	28.21	1.29	47.84	4.59	131.80

(2) 유량-부하율 상관관계

앞에서 언급했듯이 유량과 부하율은 밀접한 상관관계를 가지고 변화한다. 오염부하율과 유량과의 관계는 다음과 같이 멱함수로 표현할 수 있다.

$$L=aQ^b$$

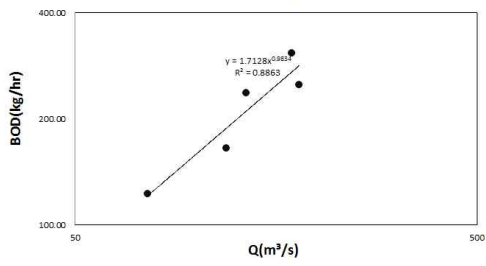
여기서, L 은 오염부하율(kg/hr), a , b 는 회귀상수, Q 는 유출량 (m^3/hr)이다. 위의 식의 양변에 대수값을 취하고 선형회귀분석을 하면 절편 a 와 기울기 b 값을 구할 수 있다. 절편 a 값은 강우가 없는 기저유출 상태에서 오염물질의 부하율을 나타내며, 기울기 b 값은 강우시 오염물질의 부하특성을 나타낸다. 오염물질의 성상과 종류에 따라 유량과 부하율의 선형관계식의 기울기는 다르게 나타나며, 유량의 증가에 따라 농도가 증가하는 경우 기울기는 1보다 큰 값을 보인다.

유량과 부하율의 관계는 오염물의 부하특성을 이해하는데 도움을 줄 뿐만 아니라, 수질 실측자료가 부족한 경우 유량자료를 이용하여 오염물질의 부하량을 산정하는데 활용되기도 한다. 문의구룡 처리장 유역 유입하천에서 조사지점별 유량의 변화에 따른 오염부하율의 상관관계를 정량적으로 분석하기 위해서 강우사상별로 오염물질 항목에 대해 1차 회귀분석을 실시하였다. [그림 4-14]~[그림 4-16]는 유량과 오염물질부하율 간에 상관관계 그래프를 나타낸 것이다.

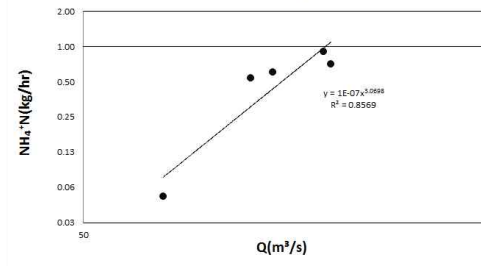
강우시 측정지점에서 BOD, NH_4^+-N , TN, TP, SS의 부하율은 유량이 증가할수록 비례하여 증가하는 경향을 보였으며, 호우사상1에서 NH_4^+-N , TN, TP, SS의 기울기는 소수점 이하 유효숫자 2자리를 고려할 경우 1보다 큰 값을 나타내는 반면에, BOD의 경우는 1보다 작은 값으로 나타났다..

선형관계에서 기울기가 1보다 큰 수질항목의 경우, 강우 유출시 오염부하량은 유량의 지수함수에 비례하여 증가함을 시사한다. 따라서 이러한 수질항목은 강우시 부하량이 평상시 부하량보다 훨씬 클 수 밖에 없으며, 우수 유출수에 대한 관리가 매우 중요한 항목들이다.

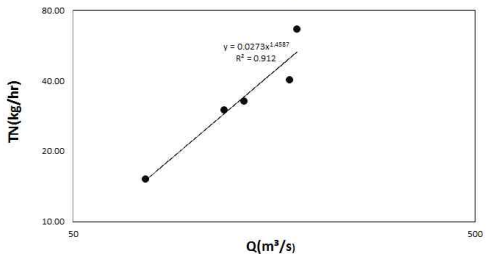
호우사상2와 호우사상3에서는 모든 수질항목의 기울기가 1보다 큰 값으로 나타났다.



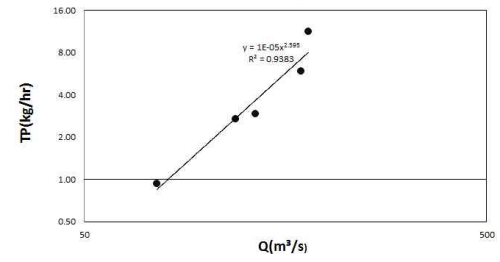
(a) BOD



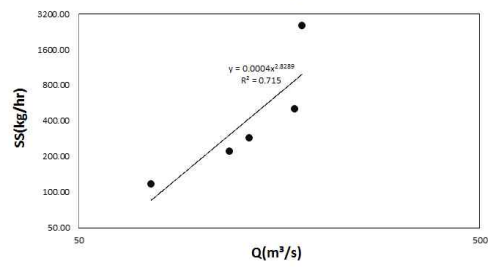
(b) NH_4^+N



(c) TN

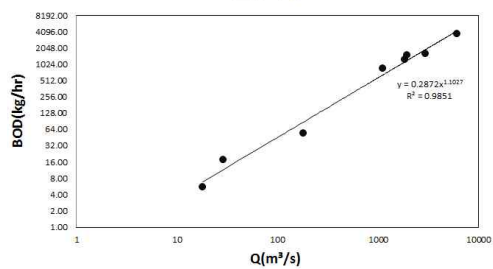


(d) TP

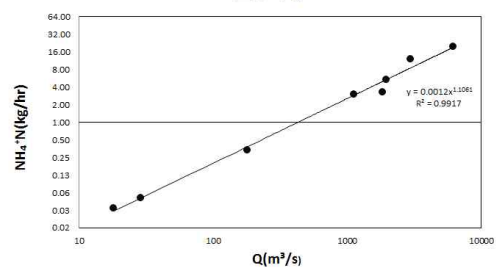


(e) SS

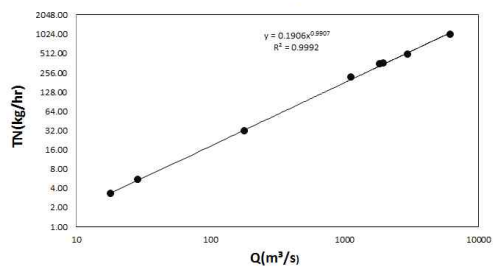
[그림 4-14] 강우-유량 부하율 상관관계(호우사상1)



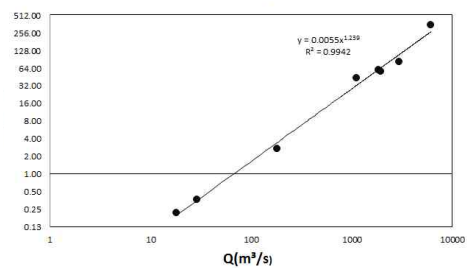
(a) BOD



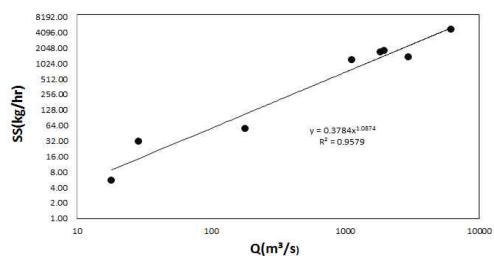
(b) NH_4^+N



(c) TN

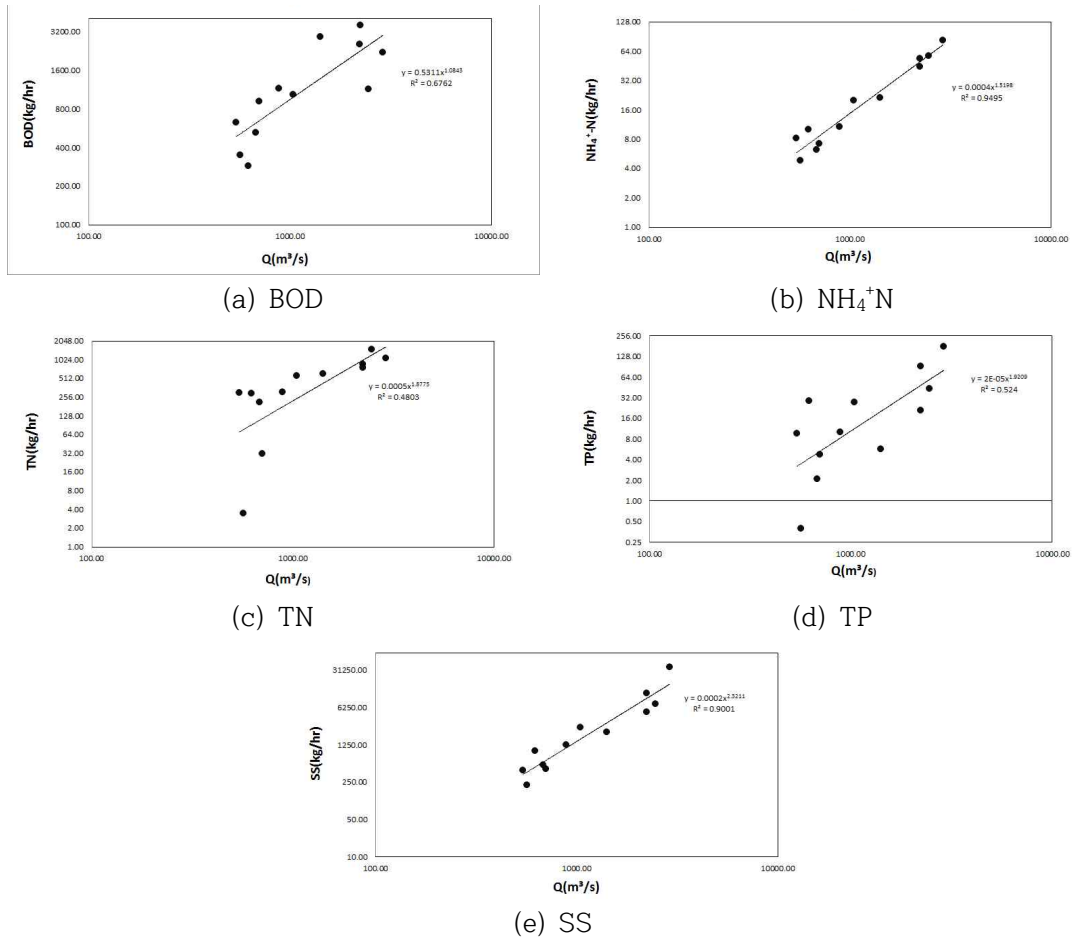


(d) TP



(e) SS

[그림 4-15] 강우-유량 부하율 상관관계(호우사상2)



[그림 4-16] 강우-유량 부하율 상관관계(호우사상3)

앞의 그래프에서 나타난 유량과 부하율의 상관관계와 관계식을 [표 4-9]에 정리하였다. 대부분의 수질항목에서 유량과 부하율의 결정계수값(R^2)이 0.8이상으로 상관성이 매우 높은 것으로 나타났다.

제시된 L-Q 관계식은 문의구룡처리장 유역의 오염물질 유입 부하특성을 보여주며, 유량자료가 확보될 경우 연간 오염부하량을 간접적으로 산정하는데 활용할 수 있다. 그러나 L-Q 관계식의 신뢰도를 높이기 위해서는 보다 장기간의 조사가 필요하며 다양한 수문조건에서 검증이 요구된다.

[표 4-9] 강우시 유량과 오염부하율의 상관관계

구분	항목	관계식	R ²
호우사상1	BOD	$L = 1.7128Q^{0.9834}$	0.8863
	NH ₄ ⁺ -N	$L = 1.0 \times 10^7 Q^{3.0698}$	0.8569
	T-N	$L = 0.0273Q^{1.4587}$	0.9120
	T-P	$L = 1.0 \times 10^5 Q^{2.5950}$	0.9383
	SS	$L = 0.0004Q^{2.8289}$	0.7150
호우사상2	BOD	$L = 0.2872Q^{1.1027}$	0.9058
	NH ₄ ⁺ -N	$L = 0.0012Q^{1.1061}$	0.9447
	T-N	$L = 0.1906Q^{0.9907}$	0.8882
	T-P	$L = 0.0055Q^{1.239}$	0.9434
	SS	$L = 0.3784Q^{1.0874}$	0.8608
호우사상3	BOD	$L = 0.5311Q^{1.0843}$	0.6762
	NH ₄ ⁺ -N	$L = 0.0004Q^{1.5198}$	0.9495
	T-N	$L = 0.0005Q^{1.8775}$	0.4803
	T-P	$L = 2.0 \times 10^5 Q^{1.9209}$	0.5240
	SS	$L = 0.0002Q^{2.3211}$	0.9001

(3) 연간오염부하량 산정

문의구룡 처리장 지점에서 측정한 유량과 농도 데이터를 바탕으로 강우시 오염물질의 총부하량을 산정하였다. 이 값은 강우시 유역에서 발생된 유달부하량이 된다. 이 유달부하량에서 기저유량과 그때의 농도를 점오염원으로 가정하고 강우지속시간을 곱한 값을 강우시 유달부하량 중 점 오염부하량으로 산정하여 총부하량에서 감한 값을 강우시 유달되는 비점오염부하량으로 산정하였다. 현재 대상지역인 문의구룡처리장 지점에는 지속적인 유량자료를 확보하는 것이 어렵기 때문에 연간 오염부하량은 유효유량비법을 적용하여 산정하였다. 연간오염부하량은 2011년부터 2012년까지의 강우자료를 사용하여 산정하였으며, 10mm 이상의 강우사상을 오염물질 유출이 발생하는 유효강우로 사용하였다.

$$L = l_a \times \frac{P_a}{p_a}$$

- L : 연간비점오염부하량 (ton/yr)
 l_a : 측정기간 동안 총비점오염부하량(톤)
 P_a : 연간 10mm 이상 강우총량 (mm/yr)
 p_a : 측정기간 동안 총 강우량 (mm)

무강우시 점오염부하량은 비강우시 측정한 3번의 유량 중에서 가장 작은 값과 그때의 농도를 사용하여 산정하였다. 가장 낮은 유량 자료를 사용한 이유는 과업기간

의 제약조건 때문에 비강우시 유량측정을 대부분 홍수기 때 측정하였기 때문이다. 점오염부하량의 산정공식을 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$PL = \frac{(C \times Q_{low}) \times \Delta t}{10^6}$$

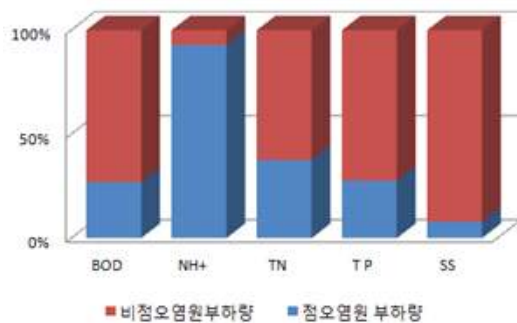
PL : 연간 점오염부하량 (ton)
 C : 비강우시 측정한 수질농도 (mg/L)
 Q_{low} : 연간 10mm 이상 강우총량 (mm/yr)

[표 4-10]에 하수처리과정의 전과 후의 연간 오염물질부하량을 나타내었다. 비점오염부하량은 2012년부터 2013년까지 유효우량비법을 적용하여 연간 비점오염부하량으로 산정한 것이다. 문의구룡 처리장 지점에서의 NH_4^+-N 의 2012년도 점오염부하량은 7.30톤이며, 비점오염부하량은 0.5톤으로 전체 부하량 중 비점오염원의 부하기여율은 7%로 다른 항목 보다 낮게 산정되었으며 2013년도의 비점오염부하량 또한 5.1%로 다른 항목 보다 낮게 산정되었다. 동일한 수질항목에 대해 하수처리과정을 거친 결과로는 비점오염원 기여율이 각각 9.6%와 7.1%로 증가하였다. 따라서 하수처리과정이 점오염원기여율을 감소시키는 것으로 판단되었다.

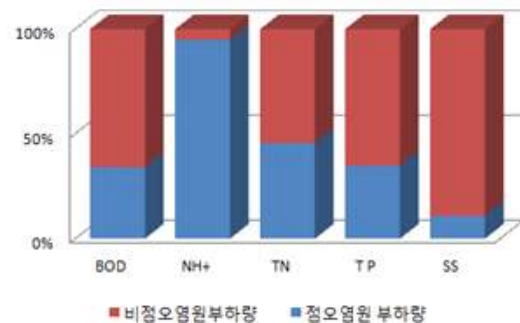
BOD와 SS의 경우 2012년도 비점오염원 부하기여율은 각각 73.0%와 91.9%로 산정되었으며 2013년도 부하기여율은 각각 65.9%와 89.0%로 산정되었다. 동일한 수질항목에 대해 하수처리과정을 거친 결과로는 2012년도 비점오염원 부하기여율이 각각 92.6%와 99.0%로 증가하였고 2013년도 비점오염원 부하기여율이 각각 89.9%와 98.6%로 증가하여 하수처리과정이 점오염원기여율을 감소시키는 것으로 판단되었다.

[표 4-10] 하수처리 전후의 연간 오염물질 부하량

항 목		처리전		처리후	
		2012년도	2013년도	2012년도	2013년도
총부하량 (ton)	BOD	59.2	46.9	46.7	34.4
	NH ₄ ⁺ -N	7.8	7.6	5.6	5.5
	TN	23.9	19.6	23.4	19.1
	T P	2.7	2.1	2.5	1.9
	SS	139.1	102.5	129.2	92.5
점오염원 부하량 (ton)	BOD	16	16	3.5	3.5
	NH ₄ ⁺ -N	7.3	7.3	5.1	5.1
	TN	9	9	8.5	8.5
	T P	0.7	0.7	0.5	0.5
	SS	11.2	11.2	1.3	1.3
비점오염원 부하량 (ton)	BOD	43.3	30.9	43.3	30.9
	NH ₄ ⁺ -N	0.5	0.4	0.5	0.4
	TN	14.9	10.6	14.9	10.6
	T P	1.9	1.4	1.9	1.4
	SS	127.9	91.3	127.9	91.3
비점오염원 기여율(%)	BOD	73.0(27.0)	65.9(34.1)	92.6(7.4)	89.9(10.1)
	NH ₄ ⁺ -N	7.0(93.0)	5.1(94.9)	9.6(90.4)	7.1(92.9)
	TN	62.5(37.5)	54.3(45.7)	63.8(36.2)	55.7(44.3)
	T P	72.4(27.6)	65.2(34.8)	79.3(20.7)	73.2(26.8)
	SS	91.9(8.1)	89.0(11.0)	99.0(1.0)	98.6(1.4)

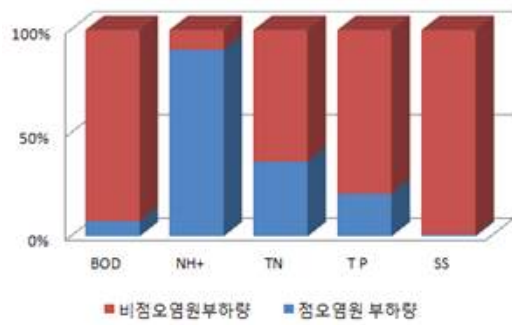


(a) 2012년

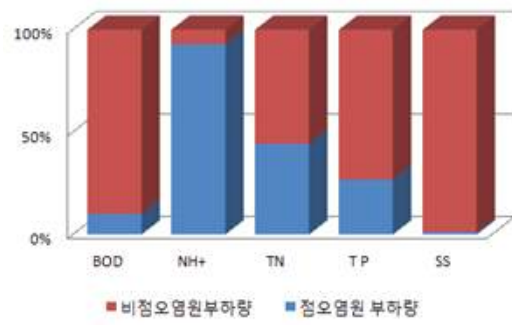


(b) 2013년

[그림 4-17] 연간 오염물질 부하기여율(처리전)



(a) 2012년



(b) 2013년

[그림 4-18] 연간 오염물질 부하기여율(처리후)

제2절 충청권 농촌의 특성에 최적화된 소규모 친환경 하수처리 기술 개발

1. 실험실 사전 연구(Lab Scale)

실험실 사전 연구에서도 [그림 4-19]에 나타낸 바와 같은 UASB 타입의 혐기성 반응조와 호기성 여과지로 구성된 복합 혐기성 하수처리공정을 이용하였다. 하지만 실험실 사전 연구에서는 UASB 및 ABF 반응조의 체류시간을 각각 3시간으로 하여 유기물 제거 및 질소 인 제거 경향을 관찰하였다. 따라서, UASB의 표면부하율은 약 21.6m/d 정도이었고, ABF 반응조에는 sus 재질의 환상형 매디아를 충전시켜 부착성 미생물을 배양시켰으며, 하향류로 운전하였다. ABF의 유출수는 매디아층 아래에서 유출되며, 바닥에 침전되어 축적된 슬러지는 UASB 반응조로 반송시켜 주었다. 반송율은 실험 목적에 따라 원수 유입유량 대비 0~240%로 변경하여 실험하였고, 각 경우에 오염물질의 제거 특성을 관찰하였다. 반송율을 180%로 할 경우 UASB의 실수리학적 체류시간은 3시간에서 1.1시간으로 감소하며, 표면부하율은 60m/d로 증가하게 된다. ABF의 경우 DO 농도는 5.0mg/L 정도를 유지시켰으며, 온도는 실온으로 질산화가 정상적으로 이루어질 수 있는 20±3℃ 범위이었다. 이와 같이 운전한 결과 무반송의 경우 UASB 반응조에서 유기물 제거효율은 64%에 머물렀으나, 반송율 120%, 180%, 240%로 증가한 결과 각각 92%, 95%, 96%로 향상되었다. 반송율 180% 이상에서는 유기물 제거효율 증가폭은 크지 않았다. 그 외 ABF 유출수 반송으로 TN 제거효율이 크게 향상되었다. TN 제거효율은 무반송 조건일 때 18%에서 82%로 향상되었으며, UASB에서 지속적인 유기물질 제거로 인하여 ABF에서 질산화효율은 안정적으로 95%이상으로 나타났다. 그리고 ABF 유출수 반송으로 TP 및 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 의 제거효율도 향상하였으나, 방류수 수질기준에는 만족하기 어려웠다[표 4-11].



[그림 4-19] 연간 오염물질 부하기여율

[표 4-11] UASB-ABF 3hr 시스템

Parameters	Raw				UASB				ABF			
Recycle ratio	0	120	180	240	0	120	180	240	0	120	180	240
Total COD (TCOD)	380	368	400	396	140	31	20	17	28	25	16	11
TN	34	35	39	41	29	13	12	9	28	10	8	8
TP	3.46	3.63	3.78	4.21	3.35	1.75	1.38	1.34	3.30	1.55	1.11	1.05

제3절 상용화된 Package형 사후처리 시설의 설계 및 운영

1. 시료 채취 및 성상

현장 Pilot Plant 설계 및 운전 인자 사전 도출을 위해 운전된 Lab Scale은 C시에 위치한 하수종말처리장의 1차 침전지로 유입되는 도시하수를 채수하여 사용하였으며, 이에 따른 원수 성상은 [표 4-12]과 같다.

[표 4-12]. Lab Scale 운영에 사용되는 원수 성상

Parameters		Range	Average
pH		7.0~7.8	7.2
CODCr (mg/L)	TCODCr	100~490	250
	SCODCr	25~90	70
SS (mg/L)		120~360	250
T-N (mg/L)		22~50	30
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)		15~28	22
T-P (mg/L)		1.8~4.0	3
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)		1.1~3.0	2.8
C/N Ratio		8.3	

그 외 Lab Scale 실험 결과를 바탕으로 미원면 구룡 하수처리장 내에 설치된 pilot plant에 공급되는 하수 성상 또한 [표 4-13]에 나타낸 바와 같다. 여기서 관찰할 수 있다 싶어 농촌하수의 특성상 하수중의 유기물 농도가 도시하수의 비해 현저하게 낮은 반면 다른 기타 항목들은 큰 차이를 나타내지 않았다(C/N비가 현저히 낮은 문제점).

[표 4-13]. pilot plant에 유입되는 원수 성상

Parameters		Range	Average
pH		7.02~7.91	7.46
CODCr (mg/L)	TCODCr	86~123	104.5
	SCODCr	26~96	61
SS (mg/L)		102~130	118
T-N (mg/L)		9.58~37.36	23.47
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)		13.13~23.69	18.41
T-P (mg/L)		2.16~4.12	3.14
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)		0.83~1.35	1.09
C/N Ratio		4.5	

2. Lab Scale에 의한 UASB-ABF 하수처리 시스템 운영 결과

가. 유기물 거동

[그림 4-20]은 각각 반송율 1Q, 2Q, 3Q 및 3Q 반송에 Al/P 물비를 2.6으로 하여 황산알루미늄 첨가, 그리고 호기조를 각각 sus 재질의 환상형 미디어를 충전하여 수중 폭기하는 형식과 Trickling filter법으로 하수 중의 유기물 제거 거동을 나타낸 결과이다. 유입 하수의 평균 TCOD 및 SCOD는 각각 250mg/L, 70mg/L 범위이었으나, 300일 이후의 데이터에서는 TCOD 및 SCOD 평균값보다 낮은 수준을 나타내고 있는데, 이는 봄철에 접어들어서 잦은 강우등의 원인으로 다소 낮은 것으로 나타내었다.

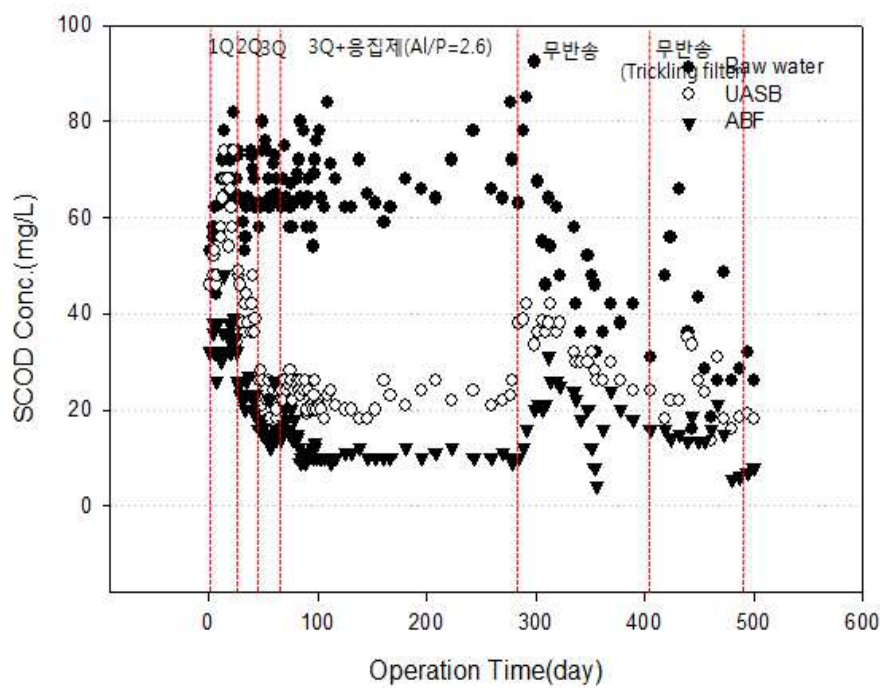
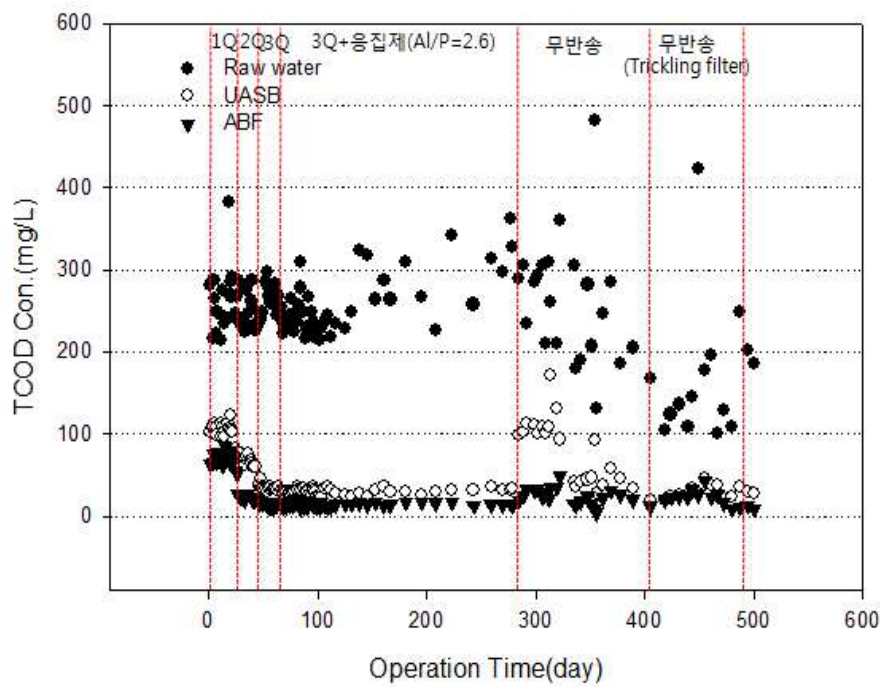
초기 전반 시스템의 빠른 안정화를 위해 본 연구에서는 시운전을 1Q의 반송율에서부터 시작하였으며, 이때 UASB에서의 TCOD은 60%까지 제거되었고 나머지 40%의 유기물은 ABF 반응조에 유입되어 폭기에 의한 산화에 의해 TCOD 제거효율은 ABF 반응조 내의 폭기에 의한 산화로 총 유기물질이 73%까지 제거되었다. 따라서, SCOD의 경우에는 UASB에서 14%의 미미한 수준이었으나, ABF 반응조를 거치고 나면 SCOD 제거효율은 49%까지 향상되었다.

따라서, 반송율 1Q에서 2Q, 3Q로 올렸을 경우 UASB에서의 TCOD는 물론 SCOD도 크게 향상되었다. 즉, 1Q에서 2Q 및 3Q로 올린 결과 TCOD 제거효율은 각각 73%, 87%로 향상되었으며, SCOD의 경우에는 38%, 64%로 향상되었다.

또한, 질산화 유출액 반송 없이 유기물 제거 거동을 살펴본 결과 [그림 4-20]에 나타낸 바와 같이 초기 질산화 유출액 반송에 비해 UASB 반응조에서 유기물 제거가 불안정성을 나타내었다. 또한 이때는 봄철에 접어드는 탓으로 빈번한 강우등으로 유입 하수의 농도가 낮아지면서 유출수의 농도도 다소 낮은 것으로 나타났다. 이때의 제거효율은 70%로 반송율 2Q에 맞먹는 수준으로 나타났다. 또한 같은 조건하에 폭기 에너지를 줄이기 위해 호기조를 Trickling filter 형식으로 운전하였을 경우 유기물 제거효율은 80%이상을 유지하였다.

[표 4-14] Lab Scale에 의한 UASB-ABF 시스템 운전 조건별 유기물 변화 거동

Parameters	1Q		2Q		3Q		3Q+응집제 (Al/P=2.6)		무반송		무반송 (Trickling filter)	
	T	S	T	S	T	S	T	S	T	S	T	S
Raw	263	73	253	66	263	70	261	68	258	53	171	36
UASB	106	62	69	41	33	25	30	22	77	33	30	22
ABF	72	37	27	24	15	16	14	10	24	19	21	13
Removal eff.(%)	73	49	89	64	94	77	95	85	91	64	88	64



[그림 4-20] 반송율 변화 및 응집제 첨가에 따른 유기물 변화

나. 질소 제거 거동

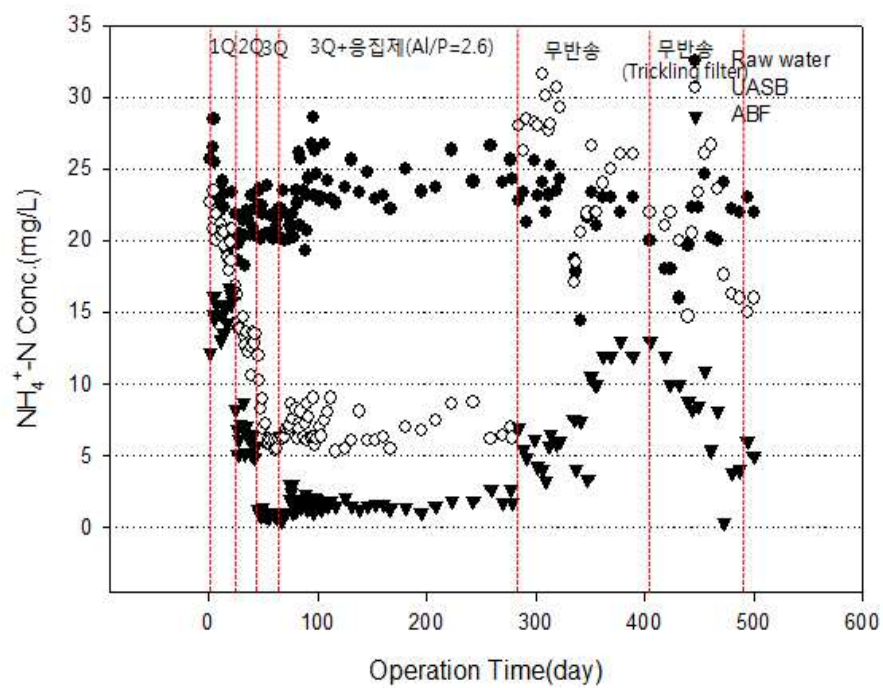
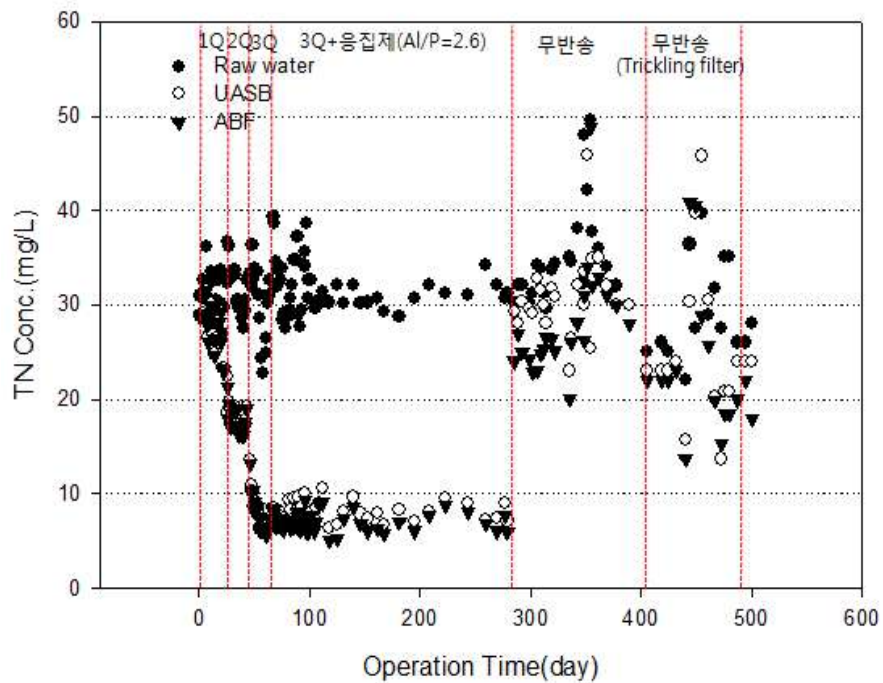
[그림 4-21]는 각각 반송율 1Q, 2Q, 3Q 및 3Q 반송에 Al/P 몰비를 2.6으로 하여 황산알루미늄 첨가, 그리고 호기조를 각각 sus 재질의 환상형 매디아를 충전하여 수중 폭기하는 형식과 Trickling filter법으로 하수 중의 질소 거동을 나타낸 결과이다. 유입 하수의 평균 TN 및 $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 는 각각 30mg/L, 22mg/L, 0mg/L범위이었으며, 봄철에 들어서 유기물 뿐만 아니라 TN, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 도 마찬가지로 다소 낮은 값 TN 25mg/L, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 20mg/L를 나타내었다.

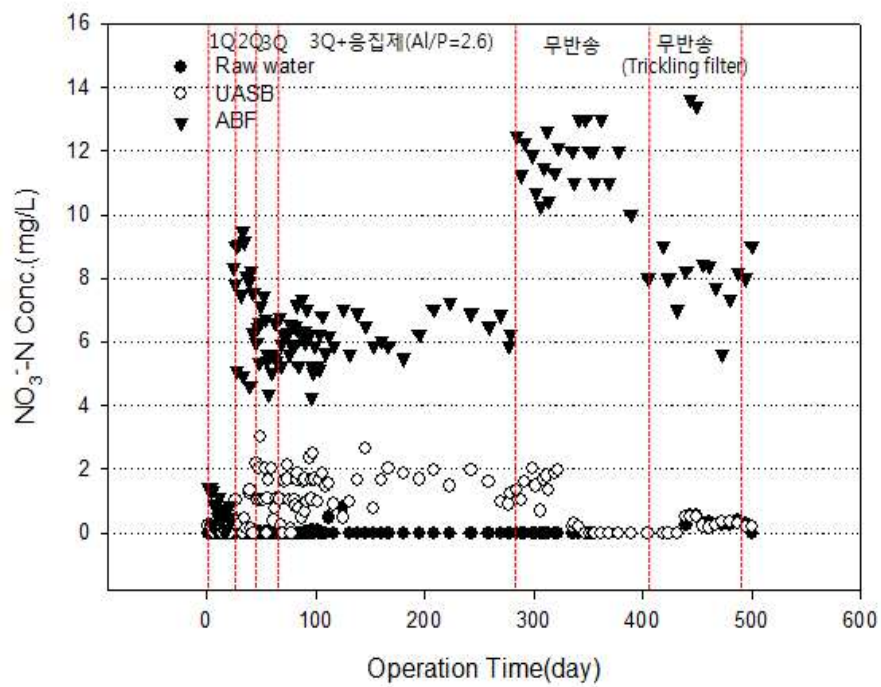
초기 1Q의 반송에서 TN 제거효율은 UASB에서 13%, ABF 반응조를 거치고 나서도 제거효율은 13% 수준에 머물러 있었다. 이는 ABF 반응조에서는 단순히 질산화 작용외 질소 제거를 위한 탈질반응이 이루어지지 않기 때문에 ABF 반응조를 거친 유출액에서 TN의 효과적인 제거효율을 관찰할 수가 없다. 따라서, 본 시스템의 질소 제거는 초기 ABF 반응조에서 시작하는 것으로도 여길 수 있다. 즉, 질소의 전처리인 질산화가 이루어지고, 그다음 질산화가 이루어진 질산화 유출액은 다시 UASB 반응조로 반송됨으로써 UASB 반응조 내에서 일련의 탈질 반응으로부터 최종 질소 제거가 이루어지는 것으로 볼 수가 있다. 따라서, 전반 시스템의 TN 제거는 UASB에서 관찰된다.

그 외 반송율을 1Q에서 2Q, 3Q로 증가하였을 경우 TN 제거는 크게 향상되었다. 2Q의 경우 UASB에서 44%의 제거효율을 나타내었으며, 3Q의 경우에는 UASB에서 75%까지 향상되었다. 그리고 다시 무반송으로 운전하였을 경우 TN 제거는 거의 이루어지 않는 것으로 나타났다. 그리고 3Q반송에 Al/P 몰비를 2.6를 하여 황산알루미늄을 첨가하였을 경우에는 기존의 3Q 운전과 큰 차이를 나타내지 않았다. 하지만 최정수(2011) 등의 연구에 따르면 생물학적 하수처리공정에서의 직접적인 응집제 사용은 미생물 활성도에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 하지만 본 연구에서는 부유성장이 아닌 부착성장 방식을 채택한 탱크로 생물반응조에 직접적인 응집제 투입에도 불구하고 질산화 뿐만 아니라 탈질 반응도 원활하게 이루어진 것으로 판단된다.

따라서, 각 반송율 변화 및 응집제 첨가등 일련의 변수에 따른 질산화 효율은 각각 1Q 29%, 2Q 57%, 3Q 86%, 3Q+응집제(Al/P=2.6 몰비) 첨가 71%, 무반송 69%를 나타내었다. 여기서 무반송이 기존의 1Q 및 2Q 반송에 비해 높은 질산화 효율을 나타낸 것은 초기 1Q, 2Q는 정상적인 안정화가 되지 않은 것으로 판단된다. 또한 이에 따른 질산화 산물인 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 농도는 각각 1Q 1mg/L, 2Q 7mg/L, 3Q 6mg/L, 3Q+응집제(Al/P=2.6 몰비) 첨가 6mg/L, 무반송 12mg/L를 나타내었다. 여기서도 볼 수 있다 싶이 1Q의 경우에는 정상적인 질산화가 이루어지지 않음을 확인할 수가 있다. 그리고 무반송의 경우 호기조를 Trickling filter 형식으로 운전하였을 경우가 매디아 충전 수중 폭기에 비해 총 질소 제거효율이 우수한 것으로 나타났다. [그림 4-21]에서 관찰할 수 있다 싶이 질산화 효율에서는 큰 차이를 나타내지 않으나 총 질소 제거효율에서 미미한 차이

를 나타내는 것으로 보아 Trickling filter의 경우 단순 질산화의 일련의 탈질 반응도 함께 이루어지는 것으로 판단된다.





[그림 4-21] 반송율 변화 및 응집제 첨가에 따른 질소 변화 거동

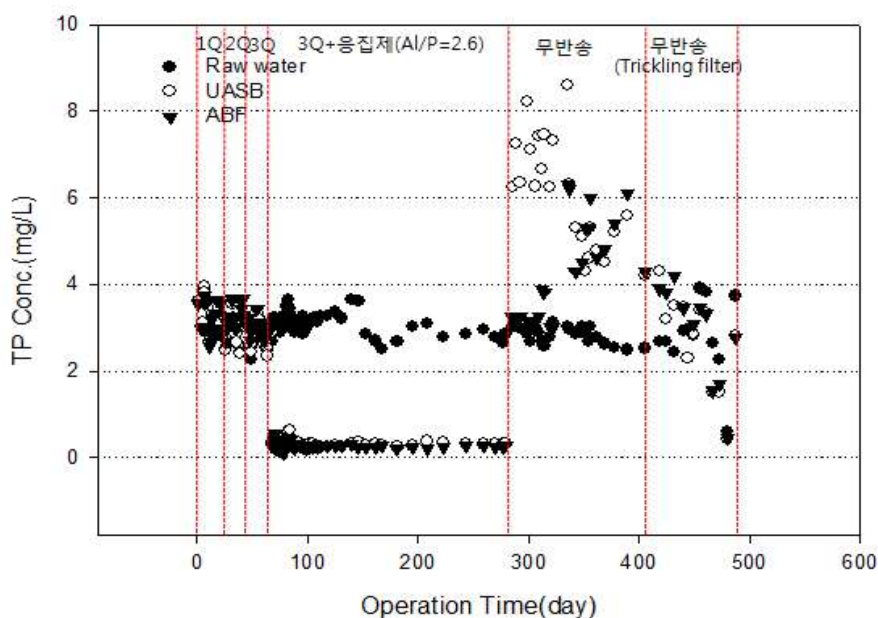
[표 4-15] Lab Scael에 의한 UASB-ABF 시스템 운전 조건별 질소 변화 거동

Parameters	1Q		2Q		3Q		3Q+응집제 (Al/P=2.6)		무반송		무반송 (Trickling filter)	
	TN	NH ₄ ⁺	TN	NH ₄ ⁺	TN	NH ₄ ⁺	TN	NH ₄ ⁺	TN	NH ₄ ⁺	TN	NH ₄ ⁺
Raw	31	23	32	21	32	22	33	24	36	22	31	21
UASB	28	21	18	14	8	7	8	7	32	26	27	20
ABF	27	15	18	6	8	1	7	2	29	8	25	7
Removal eff.(%)	13	35	44	71	75	95	79	92	19	64	19	67

다. 인 제거 거동

[그림 4-22]은 각각 반송율 1Q, 2Q, 3Q 및 3Q 반송에 Al/P 물비를 2.6으로 하여 황산알루미늄 첨가, 그리고 호기조를 각각 sus 재질의 환상형 미디어를 충전하여 수중 폭기하는 형식과 Trickling filter법으로 하수 중의 총인 제거 거동을 나타낸 결과이다. 유입 하수의 평균 TP는 3.0mg/L범위를 나타내었으며, TP 제거는 1Q, 2Q의 반송율 변화에서는 영향이 미미하였으나, 3Q의 반송시에는 응집제 첨가 없이 40%의 제거효율을 나타내었다. 또한 3Q 반송에 Al/P 물비를 2.6하여 황산알루미늄 응집제를 첨가하였을 때에는 TP가 0.2mg/L까지 떨어짐을 확인할 수가 있었다.

그 외 장기간 응집에 의한 UASB 반응조 내 다량의 인 축적으로 응집제 첨가를 멈추고 단순 무반송 운전에서는 UASB 반응조 내에서 다량의 인용출로 총인의 농도가 6.10mg/L까지 급격히 증가된 것을 관찰할 수가 있었다.



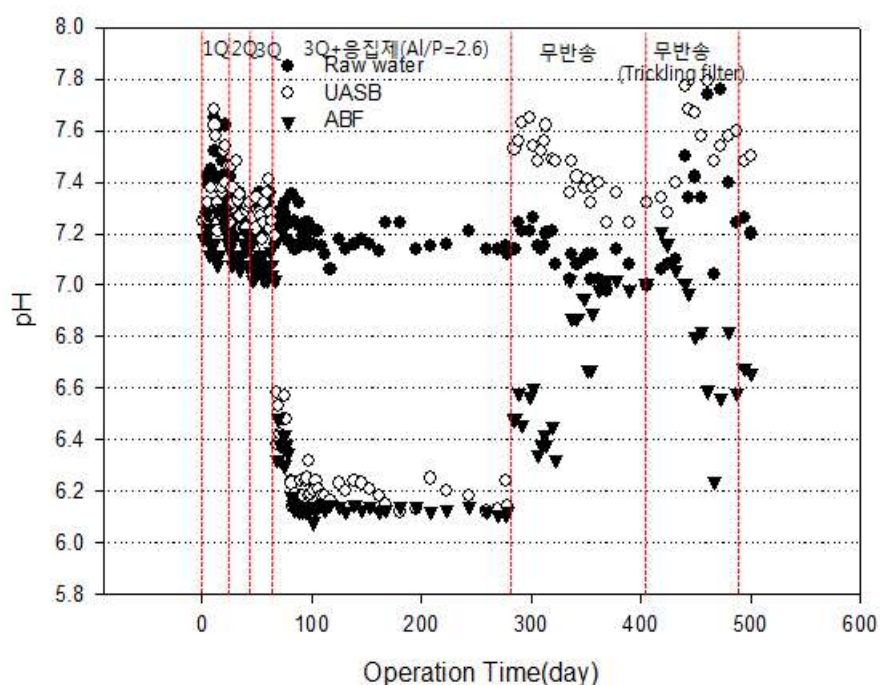
[그림 4-22] 반송율 변화 및 응집제 첨가에 따른 총인 제거 거동

[표 4-16] Lab Scale에 의한 UASB-ABF 시스템 운전 조건별 인 제거 거동

Parameters	1Q	2Q	3Q	3Q+응집제 (Al/P=2.6)	무반송	무반송 (Trickling filter)
Raw	3.26	3.00	3.10	3.03	2.83	2.38
UASB	3.25	2.97	1.78	0.28	6.10	2.33
ABF	3.15	3.23	1.86	0.25	4.31	2.47
Removal eff.(%)	3	0	40	92	0	0

라. pH 변화 거동

[그림 4-23]은 각각 반송율 1Q, 2Q, 3Q 및 3Q 반송에 Al/P 물비를 2.6으로 하여 황산알루미늄 첨가, 그리고 호기조를 각각 sus 재질의 환상형 메디아를 충전하여 수중 폭기하는 형식과 Trickling filter법에 의한 pH 변화 거동을 나타낸 결과이다. 유입 하수의 평균 pH는 7.2이었으며, pH변화도 응집제 첨가에 의한 인 제거 거동과 흡사하게 1Q, 2Q의 낮은 반송율에는 큰 변화를 나타내지 않았으나, 3Q 반송 및 3Q 반송에 Al/P 물비를 2.6으로 하여 황산알루미늄을 첨가하였을 때 pH는 7.0이하로 떨어짐을 확인할 수가 있었다. 이는 수중에 투입된 응집제 주성분인 Al^{3+} 이온이 일련의 가수분해를 통해 수중에 다량의 H^+ 이온을 방출하여 종국적으로 수중의 pH가 떨어진 것이다.



[그림 4-23] 반송율 변화 및 응집제 첨가에 따른 pH 변화 거동

[표 4-17] Lab Scael에 의한 UASB-ABF 시스템 운전 조건별 pH 변화 거동

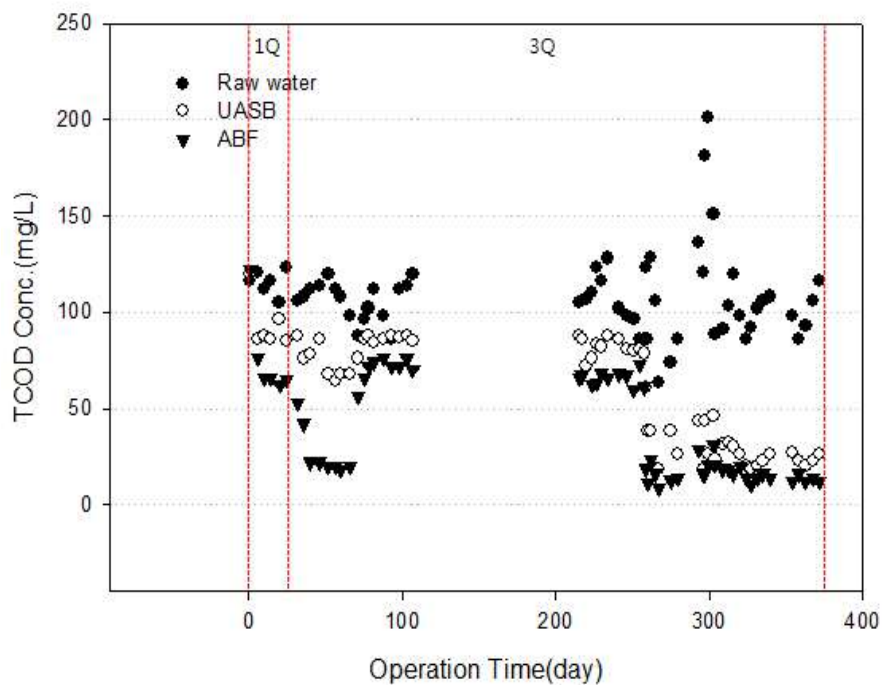
Parameters	1Q	2Q	3Q	3Q+응집제 (Al/P=2.6)	무반송	무반송 (Trickling filter)
Raw	7.42	7.31	7.51	7.17	7.12	7.32
UASB	7.39	7.32	7.10	6.19	7.45	7.55
ABF	7.19	7.13	6.97	6.13	6.69	6.80

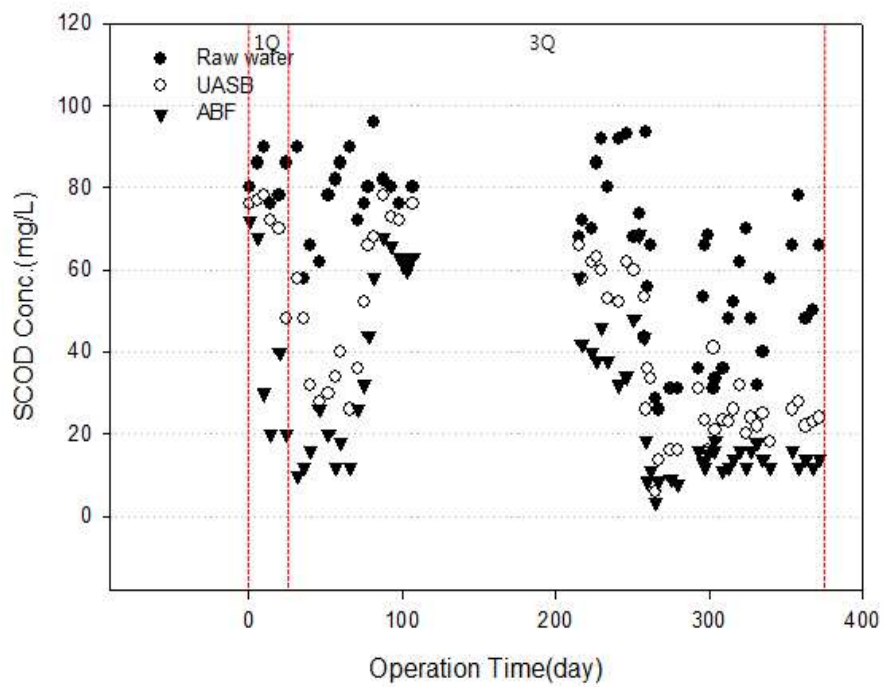
3. pilot plant에 의한 UASB-ABF 하수처리 시스템 운영 결과

가. 유기물 제거 거동

[그림 4-24]은 각각 1Q, 3Q 반송율에 따른 pilot plant 운영에 관한 유기물 제거 거동을 나타낸 결과이다. 그림에서 볼 수 있다 싶이 현장 평균 유입 TCOD 및 SCOD는 각각 111mg/L와 73mg/L범위이었다. 따라서, 1Q 및 3Q의 반송율에 따른 TCOD 제거효율은 각각 UASB에서 20%, ABF 반응조에서 19%와 UASB에서 74%, ABF 반응조에서 43%이었다.

따라서, SCOD의 경우 1Q에서 각각 UASB 16%, ABF 40%이었으며, 3Q에서는 각각 UASB 53%, ABF 43%의 제거효율을 나타내었다. 또한 초기 3Q 운전 과정에서 약 100일의 시운전을 수행하지 않았는데, 이는 겨울철 낮은 온도(10℃ 이하)의 제약 조건에 의해 일시중지 하였다. 이는 생물반응조의 경우 기온이 15℃이하에서는 질산화가 억제되어 전반 시스템의 질소 제거 및 미생물 활성도가 급격히 떨어져 정상적인 처리가 불가능하기 때문이다.





[그림 4-24] 반송율 변화에 따른 유기물 제거 거동(pilot plant)

[표 4-18] pilot plant에 의한 UASB-ABF 시스템 운전 조건별 유기물 변화 거동

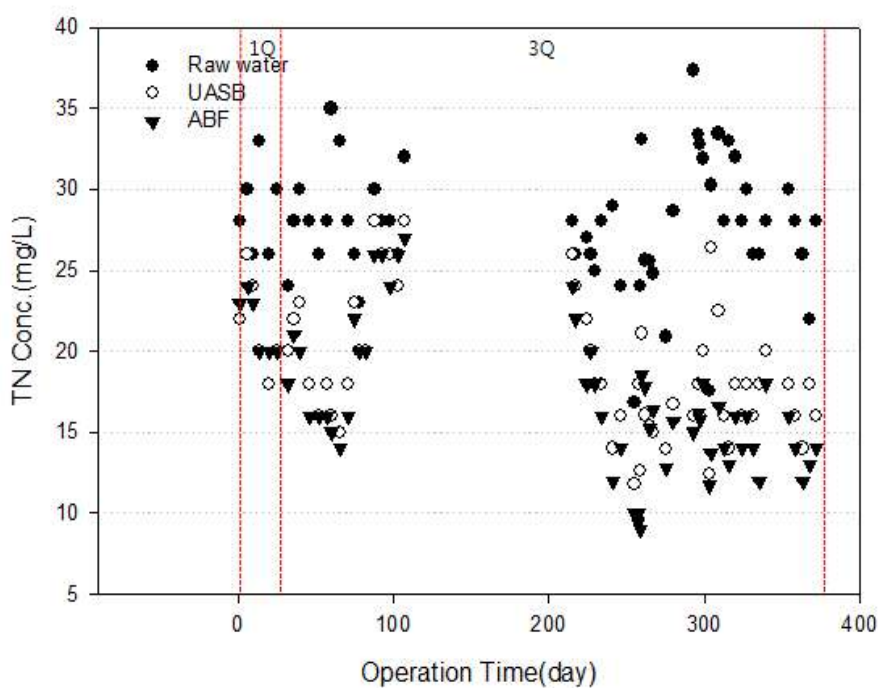
Parameters	1Q		3Q	
	T	S	T	S
Raw	116	83	109	49
UASB	94	70	28	23
ABF	76	42	16	13
Removal eff.(%)	34	49	85	73

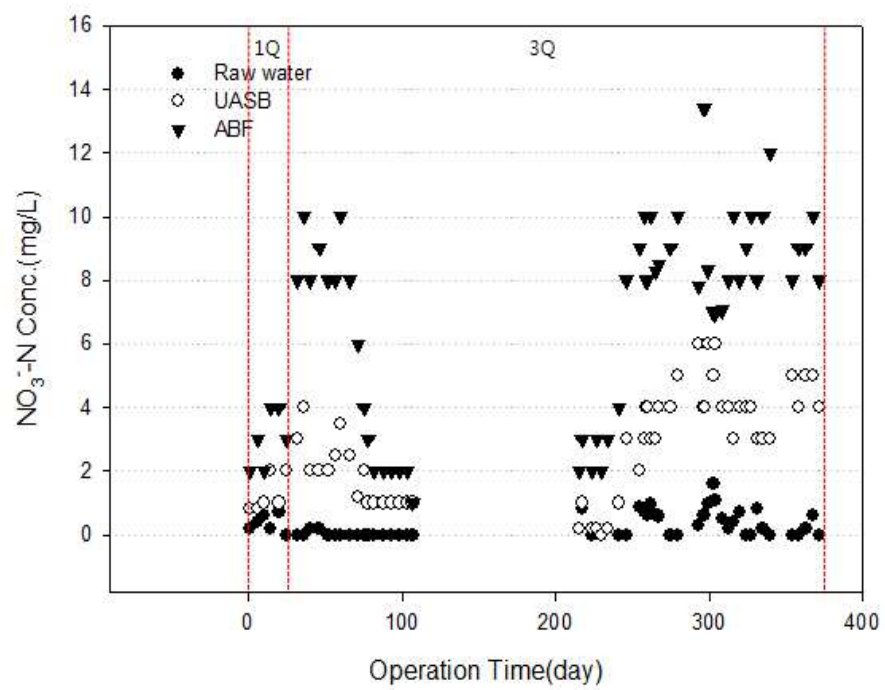
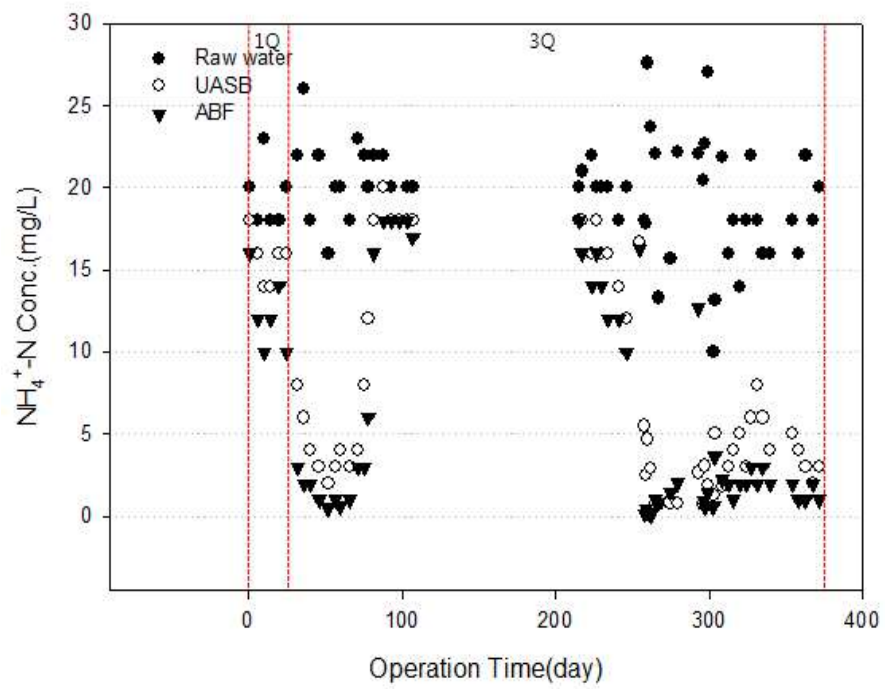
나. 질소 제거 거동

[그림 4-25]은 각각 1Q, 3Q 반송율에 따른 pilot plant 운영에 관한 질소 제거 거동을 나타낸 결과이다. 그림에서 볼 수 있다 싶이 현장 평균 유입 TN 및 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 는 각각 27mg/L와 19mg/L범위이었으며, 이에 따른 각 반송율에서의 TN 제거 및 질산화 정도는 각각 1Q의 경우 24% TN 제거와 40%의 질산화율을 나타내었고, 3Q의 경우에는 46%의 TN 제거효율과 89%의 질산화율을 나타내었다. 또한 이에 따른 질산화 유출액의 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 농도는 각각 4mg/L, 9mg/L 수준을 나타내었다.

[표 4-19] pilot plant에 의한 UASB-ABF 시스템 운전 조건별 질소 변화 거동

Parameters	1Q		3Q	
	TN	NH_4^+	TN	NH_4^+
Raw	29	20	28	19
UASB	22	16	17	3
ABF	22	12	15	2
Removal eff.(%)	24	40	46	89

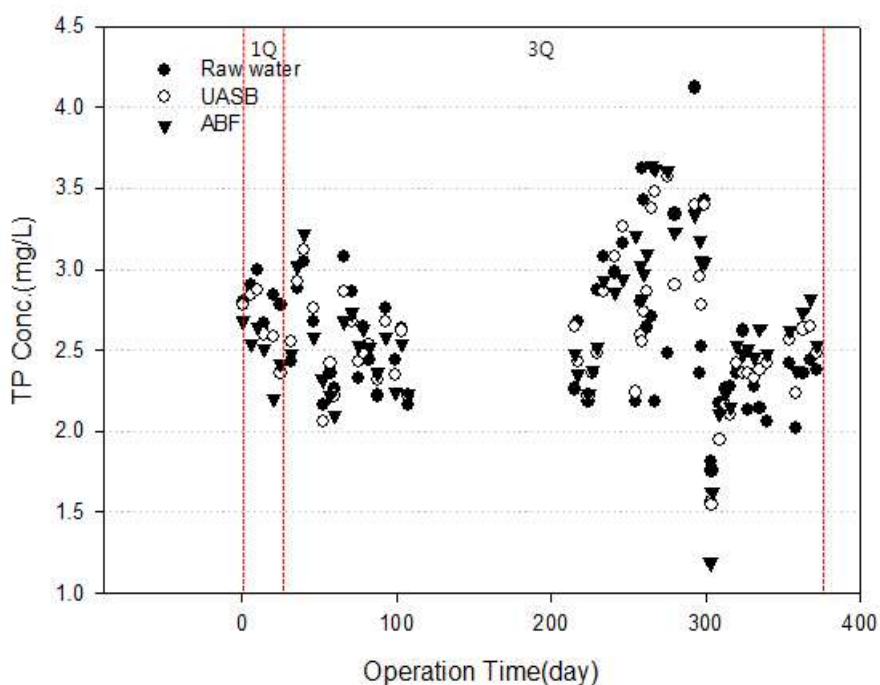




[그림 4-25] 반송율 변화에 따른 질소 변화 거동(pilot plant)

다. 인 제거 거동

[그림 4-26]은 각각 1Q, 3Q 반송율에 따른 pilot plant 운영에 관한 인 제거 거동을 나타낸 결과이다. 그림에서 볼 수 있다 실험 현장 평균 유입 TP는 2.5mg/L이었으며, 반송율에 따른 TP 제거는 거의 이루어지지 않는 것으로 나타났다. 오히려 장기간 운영결과에 의하면 UASB에 축적된 다량의 유기물질이 장시간 UASB 반응조 내에서 축적-부패되면서 UASB 반응조 유출액 총인 농도의 증가를 초래하였다.



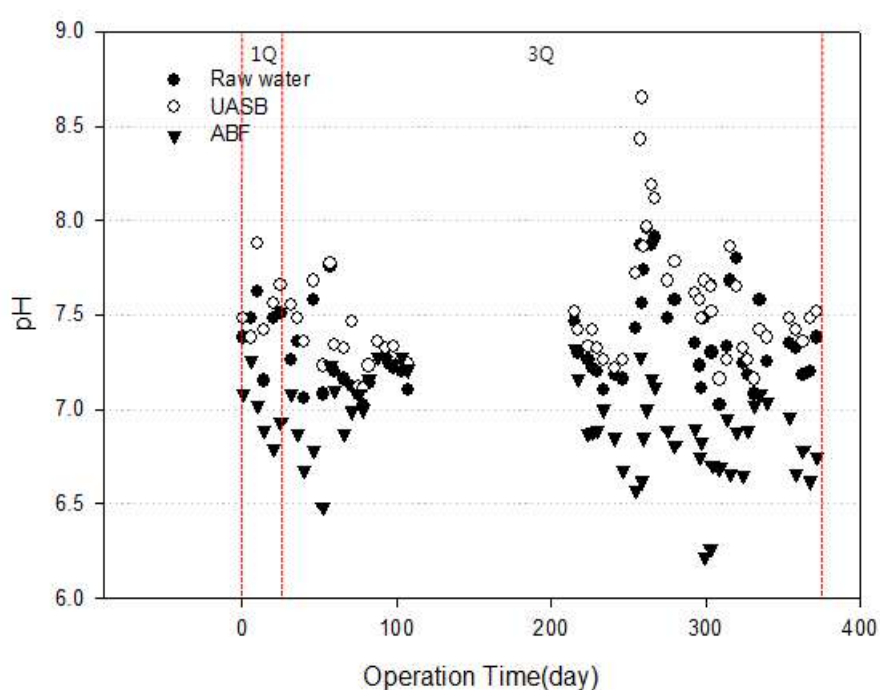
[그림 4-26] 반송율 변화에 따른 인 제거 거동(pilot plant)

[표 4-20] pilot plant에 의한 UASB-ABF 시스템 운전 조건별 인 제거거동

Parameters	1Q	3Q
Raw	2.83	2.49
UASB	2.67	2.60
ABF	2.50	2.70
Removal eff.(%)	12	0

라. pH 변화 거동

[그림 4-27]는 각각 1Q, 3Q 반응율에 따른 pilot plant 운영에 관한 pH 변화 거동을 나타낸 결과이다. 그림에서 볼 수 있다 실험 현장 평균 유입하수의 pH는 7.2이었으며, UASB 및 ABF 반응조를 각각 거치면서 pH는 약간의 미미한 변화를 나타내었다. 즉, 장시간 운영에 의한 UASB 반응조 내 축적된 유기물질이 천천히 부패되면서 UASB 반응조 유출액은 유입 하수에 비해 상대적으로 높은 pH를 나타내었으나, 그 후단에 설치된 ABF 반응조를 거치면서 처리수는 질산화 미생물의 일련의 생물학적 반응에 의해 pH는 다소 감소를 나타내었다.



[그림 4-27] 반응율 변화에 따른 pH 변화(pilot plant)

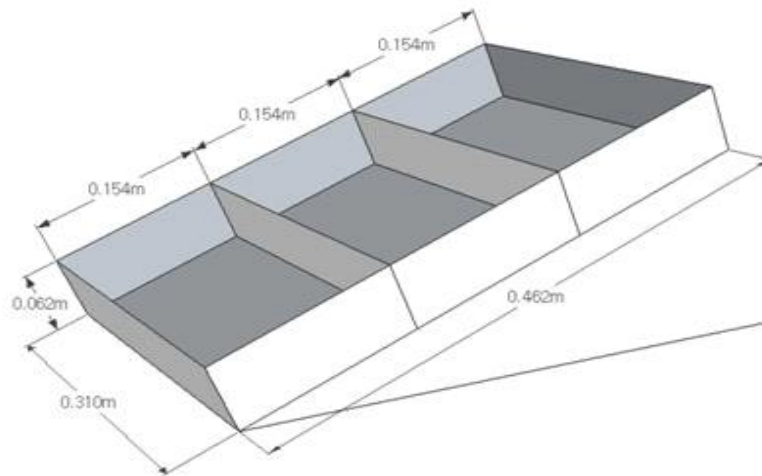
[표 4-21] pilot plant에 의한 UASB-ABF 시스템 운전 조건별 pH 변화 거동

Parameters	1Q	3Q
Raw	7.20	7.20
UASB	7.50	7.50
ABF	6.80	6.60

4. Lab Scale에 의한 비점오염처리시설(식생조)

Lab Scale 3차 처리 및 비점오염처리시설(식생조)로 크기는 [그림 4-28]에 나타난 바와 같이 길이 0.462m, 너비 0.310m, 높이 0.062m로 총 3단계로 나뉘어 설계되어 있으며, 운전시에는 15°의 경사를 뒤어 일정한 방향으로의 흐름을 가지도록 하였다. 또한 처리시설 내에는 평균 1.5cm 크기의 자갈을 채워 넣었다.

실 Lab Scale로 운전하는 과정에 3차 처리 시설로서의 처리효율 향상을 위해 자갈 표면에 보리 씨앗을 뿌려 단순 물리적인 3차 시설이 아니 친환경의 식생처리 처리를 함께 수행하도록 하였다. 보리 씨앗은 크기가 불규칙적인 자갈 사이에 뿌리를 내림으로서 자갈 사이의 공간들을 채워 처리 효율 향상시켰다.

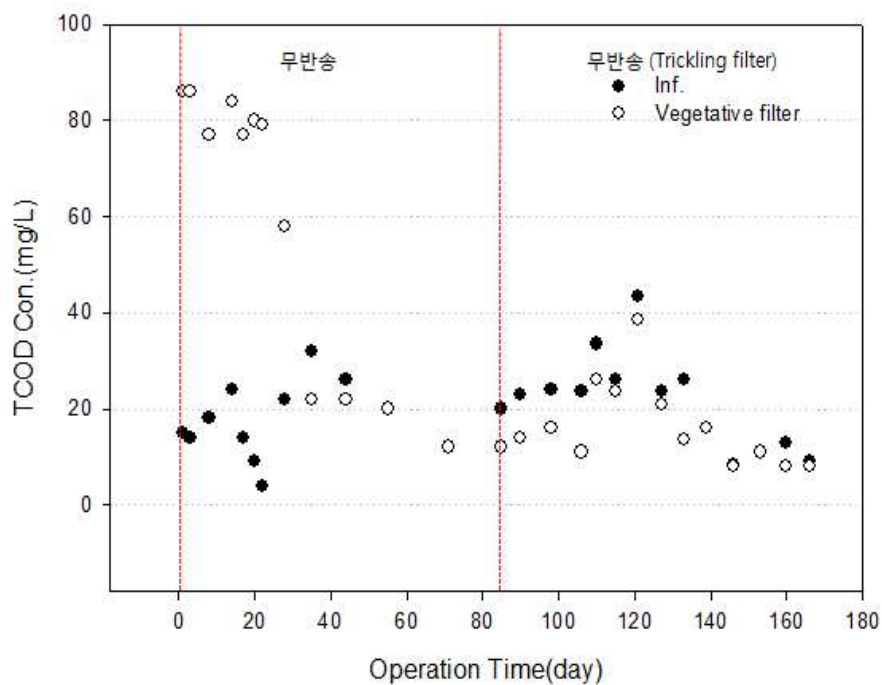


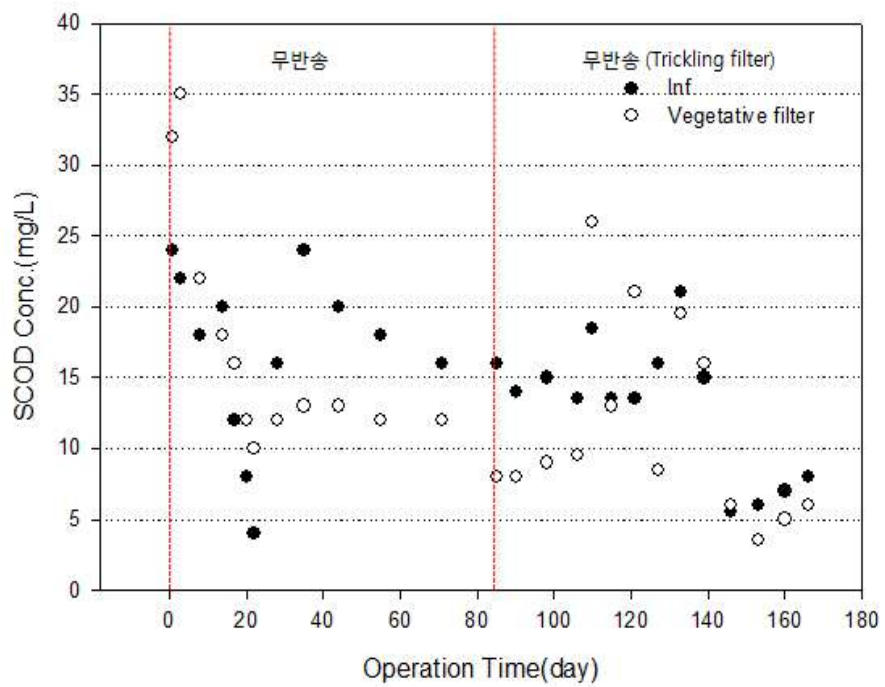
[그림 4-28] Lab Scale 살수여상(식생조)

가. 유기물 거동

[그림 4-29]은 각각 매디아 충전에 의한 수중 폭기 및 매디아 충전에 의한 살수여상법에 의해 처리된 처리수를 3차 시설인 살수여상-식생조에 통과시켜 이에 따른 유기물 변화 거동을 관찰한 것이다. 살수여상-식생조로 유입되는 유입수는 4절에서 설명드린 UASB-ABF 시스템에 처리된 처리수로 TCOD가 22mg/L, SCOD가 15mg/L범위이었다. 따라서, 초기 매디아 충전에 의한 수중 폭기를 이용하였을 경우 살수여상-식생조 처리수 유기물 농도가 살수여상-식생조 유입전 농도보다도 높게 나타났는데, 이는 초기 보리 씨앗 결표면에 붙어있던 유기물질 성분들이 씻겨 나오면서 이러한 결과를 초래한 것으로 판단된다. 따라서, 28일간의 시간이 경과하고 나서 살수여상-식생조는 안정적인 처리효율을 나타내었으며, 이때의 처리효율은 23%정도를 나타내었다.

또한 매디아 충전에 의한 살수여상법 처리수의 3차 처리 즉 살수여상-식생조에 통과시켰을 경우에는 앞서 수중 폭기에 의한 무반송 80일간의 운전을 거쳐 바로 안정화가 이루어졌으며, 이때의 제거효율은 24%를 나타내었다.





[그림 4-29] Lab Scale 살수여상(식생조) 유기물 변화



매디아 충전 수중 폭기법



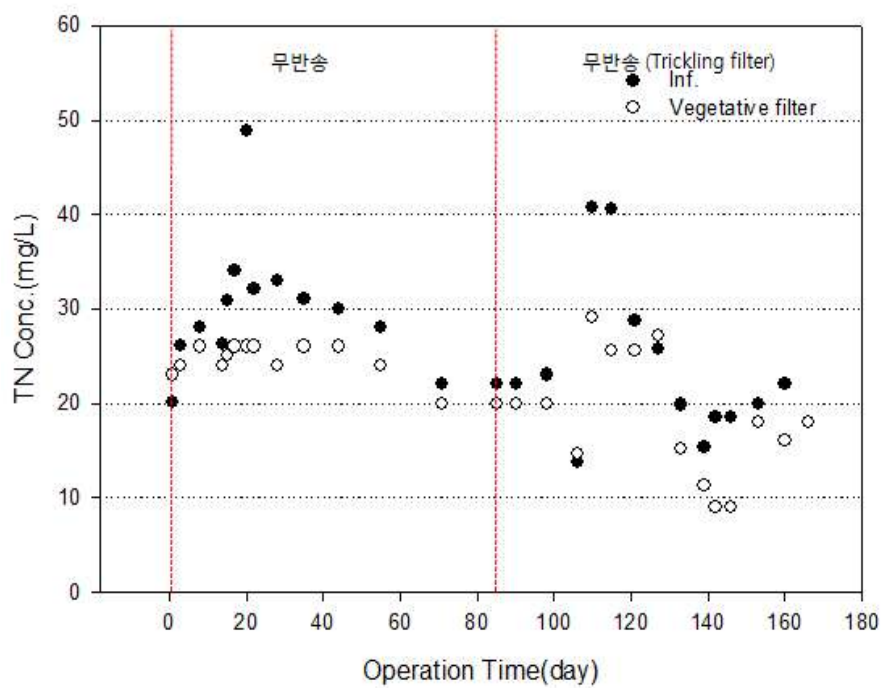
매디아 충전 살수여상법

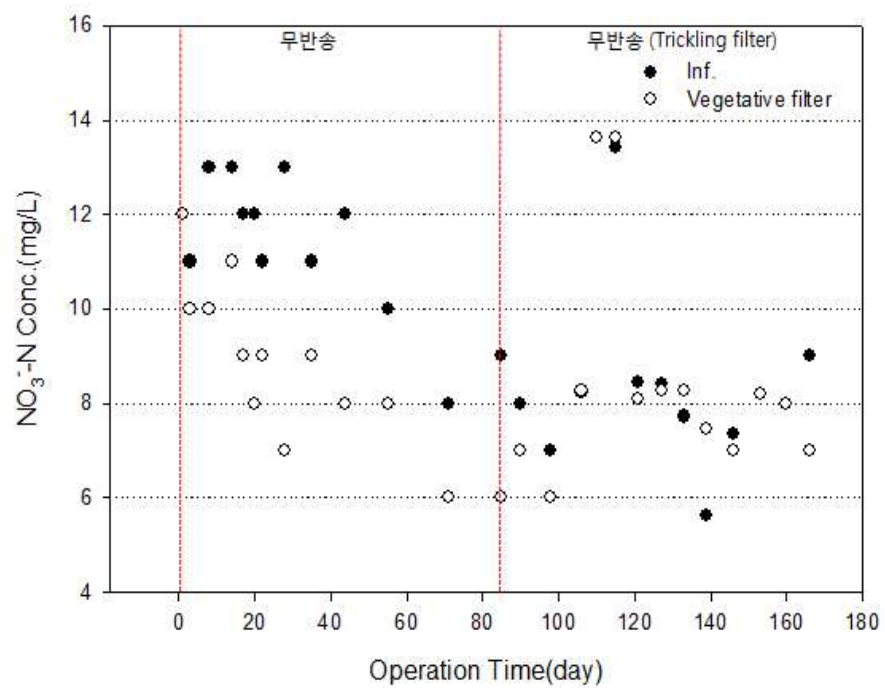
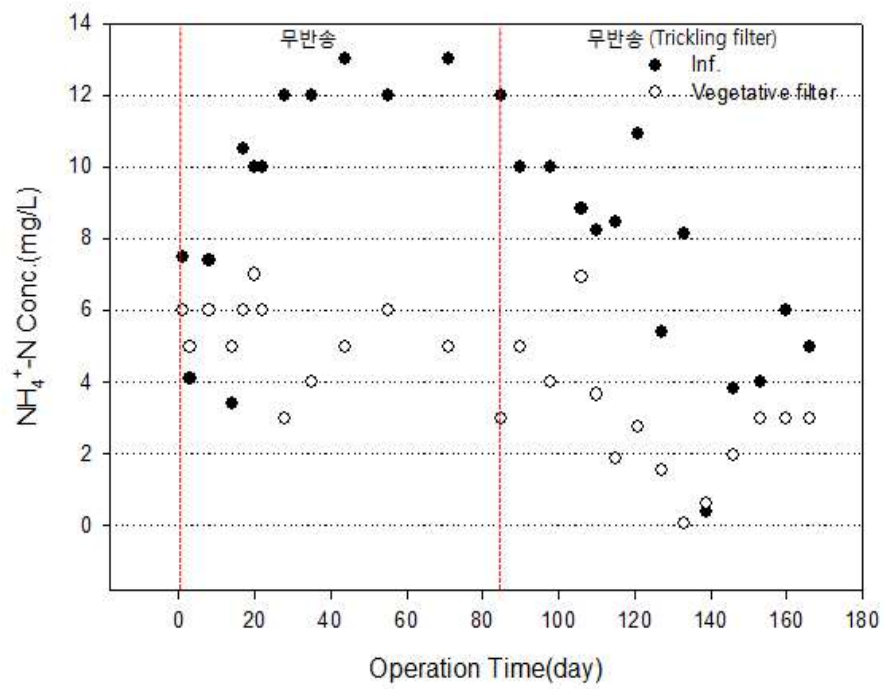
[표 4-22] Lab scale에 의한 식생여과조 유기물 제거

Parameters	수중폭기		Trickling filter	
	T	S	T	S
Inf.	23	20	21	13
Vegetative filter	19	13	16	11
Removal eff.(%)	17	35	24	15

나. 질소 거동

[그림 4-30] 또한 각각 매디아 충전에 의한 수중 폭기 및 매디아 충전에 의한 살수여상법에 의해 처리된 처리수를 3차 시설인 살수여상-식생조에 통과시켜 이에 따른 질소 변화 거동을 나타낸 것이다. 살수여상-식생조로 유입되는 유입수 TN, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 는 각각 15.32~48.86mg/L, 0.387~13mg/L, 7~13.63mg/L범위이었다. 하지만, 살수여상-식생조를 통과하고 나서는 TN 8.94mg/L, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 0.047mg/L, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 6mg/L까지 감소하였다.





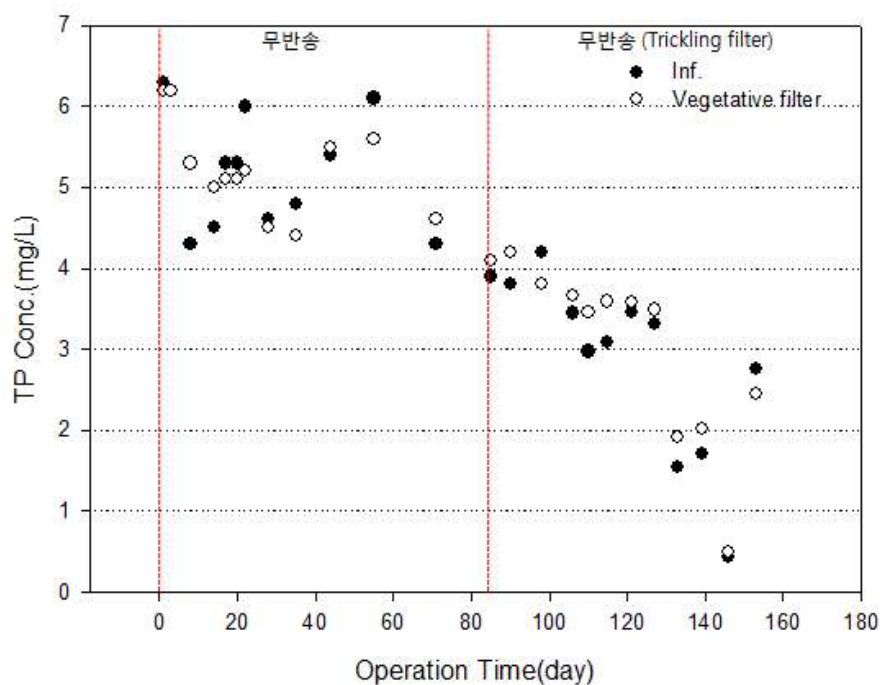
[그림 4-30] Lab Scale 살수여상(식생조) 질소 변화 거동

[표 4-23] Lab scale에 의한 식생여과조 질소 제거

Parameters	수중폭기		Trickling filter	
	TN	NH ₄ ⁺	TN	NH ₄ ⁺
Inf.	28	13	25	7
Vegetative filter	24	5	20	3
Removal eff.(%)	14	62	20	57

다. 인 제거 거동

[그림 4-31] 또한 각각 매디아 충전에 의한 수중 폭기 및 매디아 충전에 의한 살수여상법에 의해 처리된 처리수를 3차 시설인 살수여상-식생조에 통과시켜 이에 따른 질소 변화 거동을 나타낸 것이다. 살수여상-식생조로 유입되는 유입수 TP는 0.439~6.3mg/L범위이었으며, 이러한 유입수는 최종 살수여상-식생조를 통과하고 나서는 TP 0.496~6.2mg/L범위를 나타내었다. 인은 식물체내에서 세포막의 인지질, ATP, NADP 등의 저장성 물질로 다른 영양소와 달리 일정량 섭취되면 더 이상 섭취를 하지 않는다. 따라서, Lab Scale의 식생조에서는 60일 이후부터는 오히려 인 농도가 상승하는 것을 관찰할 수가 있었다.



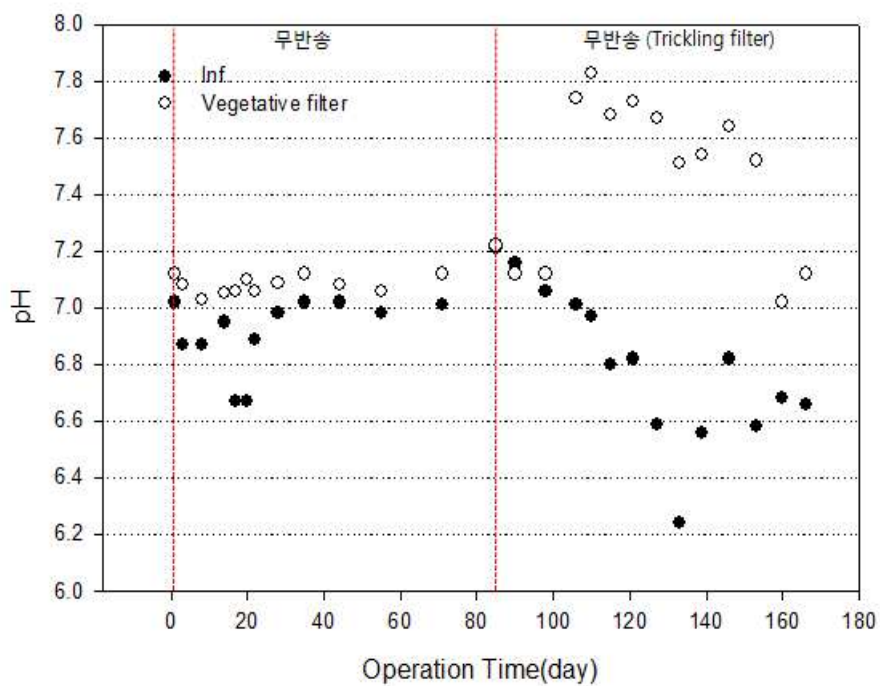
[그림 4-31] Lab Scale 살수여상(식생조) 인 제거 거동

[표 4-24] Lab scale에 의한 식생여과조 인 제거

Parameters	수중폭기	Trickling filter
Inf.	5.15	2.47
Vegetative filter	5.03	2.63
Removal eff.(%)	2	0

라. pH 변화 거동

[그림 4-32]은 각각 매디아 충전에 의한 수중 폭기 및 매디아 충전에 의한 살수 여상법에 의해 처리된 처리수를 3차 시설인 살수여상-식생조에 통과시켜 이에 따른 pH 변화 거동을 나타낸 것이다. 살수여상-식생조로 유입되는 유입수 pH는 약 6.24~7.21mg/L범위이었으며, 매디아 충전에 의한 수중폭기는 pH 변화가 미미하였으나, 매디아 충전에 의한 살수여상법 사용은 pH가 오히려 0.6정도 상승하였다.



[그림 4-32] Lab Scale 살수여상(식생조) pH 변화 거동

[표 4-25] Lab scale에 의한 식생여과조 pH 변화

Parameters	수중폭기	Trickling filter
Inf.	7.01	6.80
Vegetative filter	7.10	7.46

5. pilot plant에 의한 비점오염처리시설(식생조)

3차 처리 및 비점오염처리시설(식생조) pilot plant는 2012년 9월19일 청원군 미원면 구룡리 하수처리장 인근에 설치하였으며, 정상적인 운영은 2013년 5월에 들어서서 정상적인 운영이 이루어졌다. [그림 4-33]는 3차 처리 및 비점오염처리 시설 pilot plant 설치 전반 과정을 나타낸 것이다. pilot plant 또한 실험실 규모를 1/6.44 비율로 확충하여 설계한 것이다. pilot plant 실 크기는 각각 길이 3m, 너비 2m, 깊이 0.4m로 실험실 축소모형과 같게 총 3단계로 뒀어 설계되어 있다.

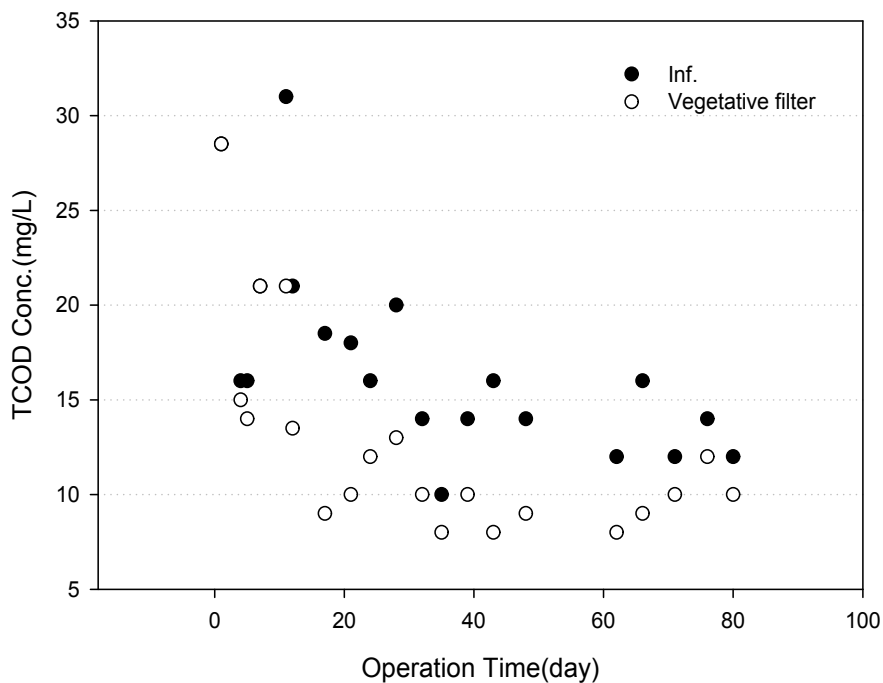


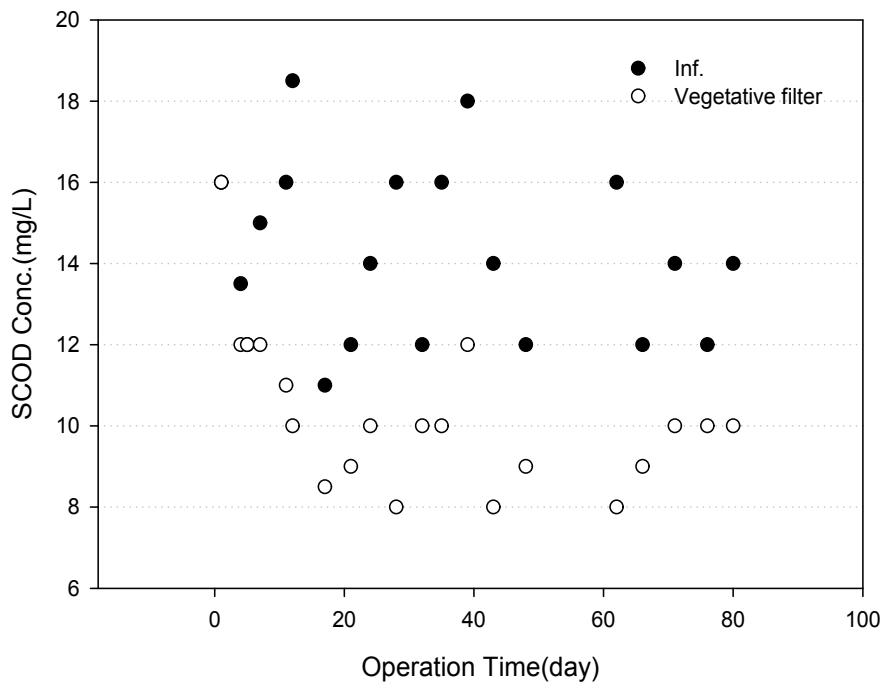
[그림 4-33] 3차 처리 및 비점오염처리 시설 현장 설치

가. 유기물 거동

[그림 4-34]는 3차 시설 및 비점오염처리 시설 살수여상(식생조) pilot plant 운영 결과 중 유기물 제거 변화 거동을 나타낸 것이다. [그림 4-34]에서 볼 수 있다 싶이 유입수 내 TCOD는 약 17mg/L이었고, SCOD는 약 14mg/L범위이었다. 또한 유입수 유기물 농도는 감소하는 경향을 관찰할 수가 있는데, 이는 5월에서 8월에 접어들면서 장마로 인한 전단 하수처리시설로 유입되는 유기물 부하가 감소함에 따라 전단 처리시설에서의 효율 향상에 인한 것으로 판단된다.

따라서, 3차 시설 및 비점오염처리 시설 살수여상(식생조) pilot plant에서 유기물 제거는 TCOD 약 24%, SCOD 29%의 제거효율을 나타내었으며, 이는 Lab Scale과 비교했을 때 상대적으로 조금 더 우수한 것으로 나타났다. [표 4-26]에 나타낸 바와 같이 Lab Scale 및 pilot plant 운영 조건은 별 차이는 없었지만 살수여상의 경우 pilot plant가 더 우수한 것은 살수여상(식생조)에 뿌린 보리 씨앗 단위면적 밀집정도에 상관관계를 가지고 있는 것으로 사료된다.





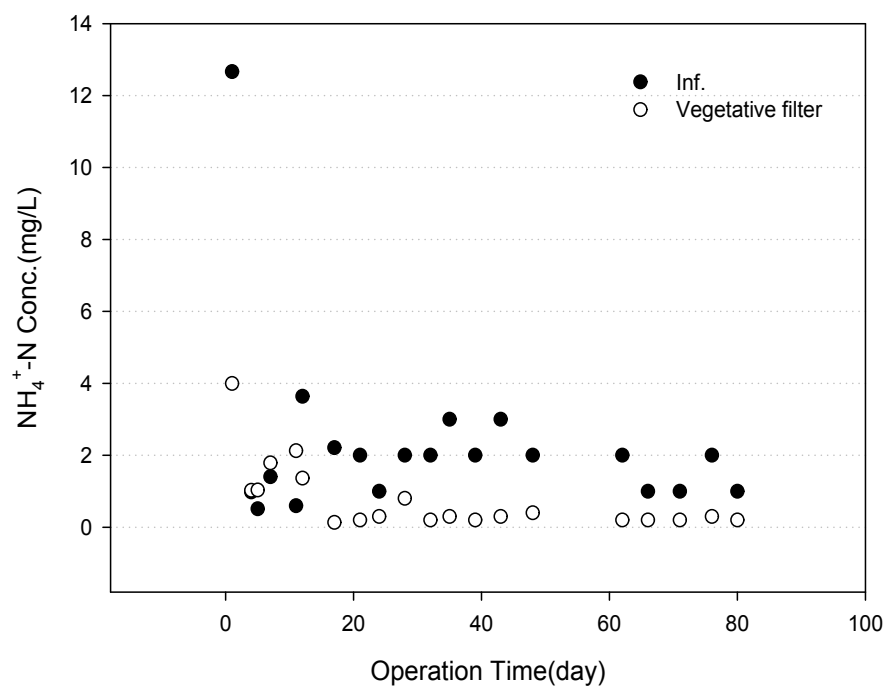
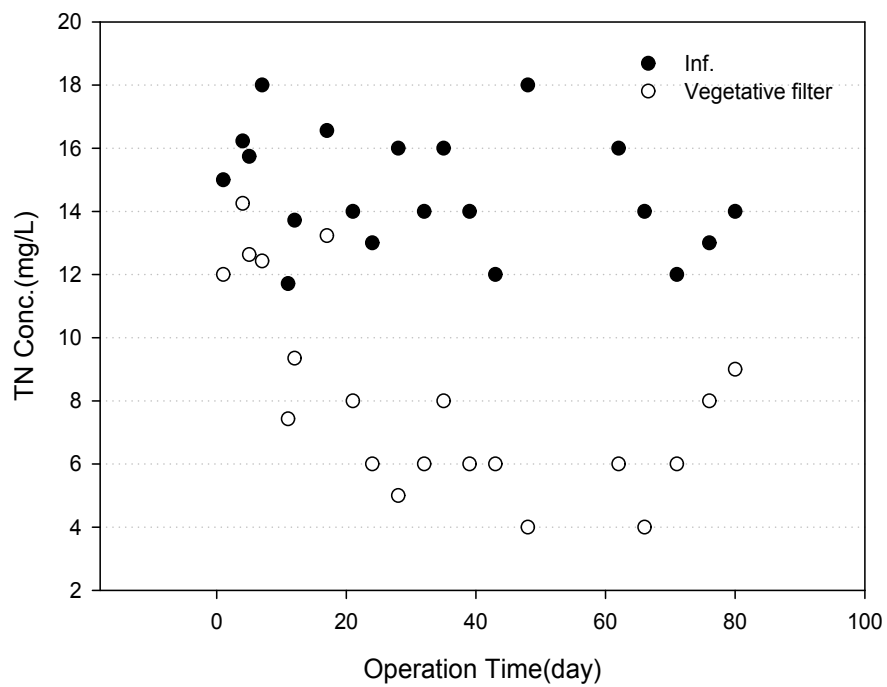
[그림 4-34] 3차 시설 및 비점오염처리 시설 살수여상(식생조) 유기물 변화(pilot plant)

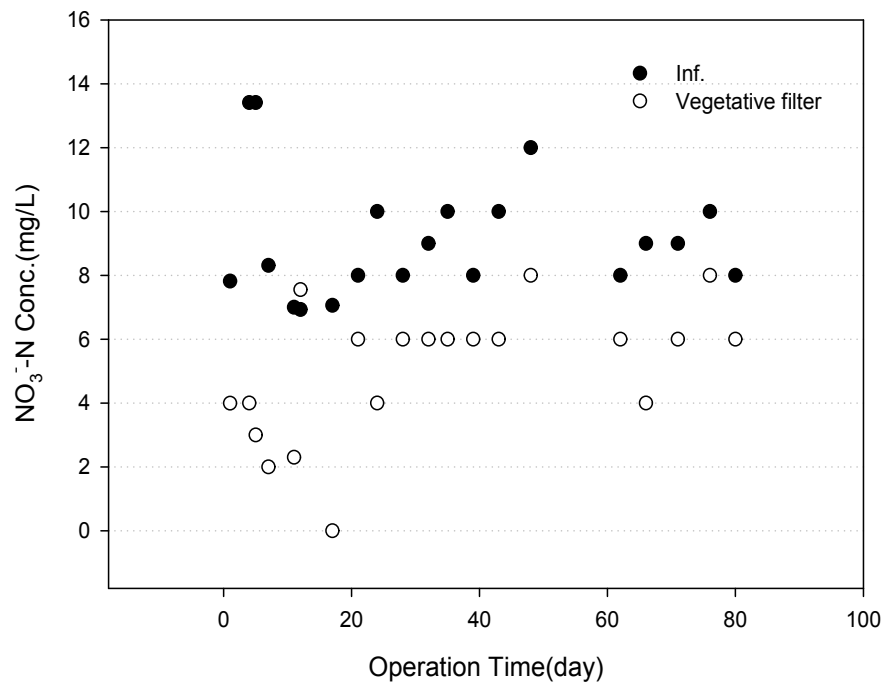
[표 4-26] pilot plant에 의한 식생여과조 유기물 제거

Parameters	TCOD	SCOD
Inf.	17	14
Vegetative filter	13	10
Removal eff.(%)	24	29

나. 질소 제거 거동

[그림 4-35]은 3차 시설 및 비점오염처리 시설 살수여상(식생조) pilot plant 운영 결과 중 질소 제거 변화 거동을 나타낸 것이다. [그림 4-35]에서 볼 수 있다 싶이 유입수 내 TN는 약 15mg/L이었고, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 는 약 2mg/L범위이었으며, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 는 약 8mg/L이었다. 하지만, 살수여상-식생조를 통과하고 나서는 TN 8mg/L, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 1mg/L, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 6mg/L 수준을 나타내었다.





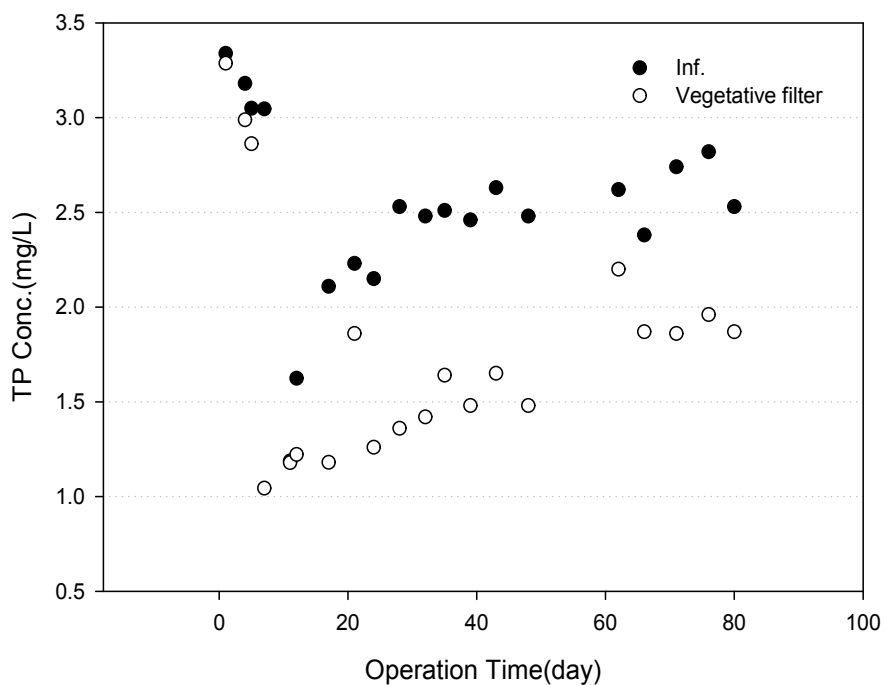
[그림 4-35] 3차 시설 및 비점오염처리 시설 살수여상(식생조) 질소 제거 거동(pilot plant)

[표 4-27] pilot plant에 의한 식생여과조 질소 제거

Parameters	TN	NH ₄ ⁺
Inf.	15	2
Vegetative filter	8	1
Removal eff.(%)	47	50

다. 인 제거 거동

[그림 4-36]는 3차 시설 및 비점오염처리 시설 살수여상(식생조) pilot plant 운영 결과 중 인 제거 변화 거동을 나타낸 것이다. [그림 4-36]에서 볼 수 있다 싶이 유입수 내 TP는 약 2.50mg/L이었고, 살수여상-식생조를 통과하고 나서는 TP는 1.78mg/L 수준을 나타내었다.



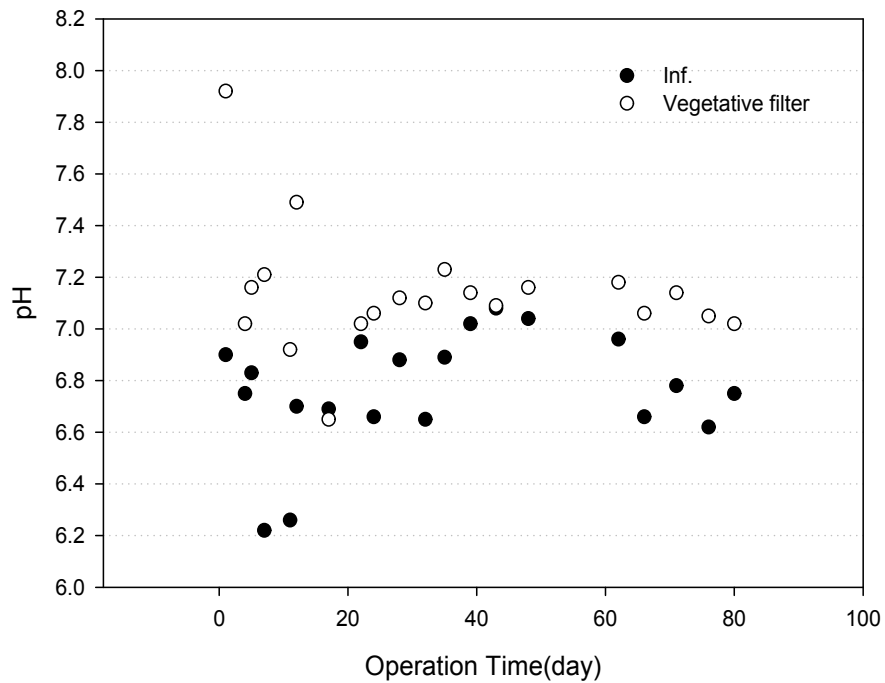
[그림 4-36] 3차 시설 및 비점오염처리 시설 살수여상(식생조) 인 제거 거동(pilot plant)

[표 4-28] pilot plant에 의한 식생여과조 인 제거

Parameters	TP
Inf.	2.50
Vegetative filter	1.78
Removal eff.(%)	29

라. pH 변화 거동

[그림 4-37]는 3차 시설 및 비점오염처리 시설 살수여상(식생조) pilot plant 운영 결과 중 pH 변화를 나타낸 것이다. [그림 4-37]에서 볼 수 있다 싶이 유입수 내 pH는 약 6.65이었고, 살수여상-식생조를 통과하고 나서는 7.10이상을 유지하였다.



[그림 4-37] 3차 시설 및 비점오염처리 시설 살수여상(식생조) pH 변화(pilot plant)

[표 4-29] pilot plant에 의한 식생여과조 pH 변화

Parameters	pH
Inf.	6.65
Vegetative filter	7.10



[그림 4-38] 시간 경과에 따른 3차 시설 및 비점오염처리 시설 살수여상(식생조) 변화 과정(pilot plant)

6. Lab 및 pilot plant 대조표

[표 4-30] UASB-ABF 시스템 처리효율 대조표(Lab 및 pilot plant)

	Lab Scale								pilot plant							
	1Q				3Q				1Q				3Q			
	Influe nt	UASB	ABF	eff.	Influe nt	UASB	ABF	eff.	Influe nt	UASB	ABF	eff.	Influe nt	UASB	ABF	eff.
TCOD	263	106	72	73	263	33	15	94	116	94	76	34	109	28	16	85
SCOD	73	62	37	49	70	25	16	77	83	70	42	49	49	23	13	73
TN	31	28	27	13	32	8	8	75	29	22	22	24	28	17	15	46
TP	3.26	3.25	3.15	3	3.10	1.78	1.86	40	2.83	2.67	2.50	12	2.49	2.60	2.70	-

[표 4-31] 식생여과조 처리효율 대조표(Lab 및 pilot plant)

	Lab Scale			pilot plant		
	Influent	Vegetative filter	eff.	Influent	Vegetative filter	eff.
TCOD	21	16	24	17	13	24
SCOD	13	11	15	14	10	29
TN	25	20	20	15	8	47
TP	2.47	2.63	-	2.50	1.78	29

[표 4-30]에서 볼 수 있다 싶이 UASB-ABF 하수처리 시스템의 경우에는 Lab Scale이 pilot plant에 비해 같은 조건에서 더 우수한 것으로 나타나고 있다. 이는 Lab의 경우 UASB-ABF 설계의 가장 핵심적 요소인 반응조 높이/폭 비가 4이상으로 설계 되어 있으나, pilot plant의 경우 현장의 위험성을 줄이기 위해 높이/폭 비를 2.3이하로 설계한 탓으로 UASB 타입의 반응조의 장점이 나타나지 않아서 이러한 결과를 초래한 것으로 판단된다. 따라서, Lab 및 현장 운영을 동시에 수행에 있어서 UASB-ABF 시스템의 설계에 가장 중요한 키 포인트가 반응조의 높이/폭 비가 4.0이하로 운영되면 UASB-ABF 시스템의 정상적인 처리효율을 기대할 수 없다. [표 4-31]의 경우에는 pilot plant가 Lab scale에 비해 우수한 것으로 나타났는데, 이는 식물의 크기는 한정되어 있는 조건에서 식생조의 크기에 따른 식물의 밀집성에 의존한 것으로 판단된다(즉, pilot plant의 경우 밀집성이 큼).

제4절 전기사용량 비교

[표 4-32]. 하수처리시설 기기별 전력사용 비교

구분	포기조 송풍기	유입 펌프	슬러지 탈수처리 설비	슬러지 이송펌프	방류펌프	소화조 가스교환기	기타
비율(%)	40.1	21.3	6.4	3.6	2.3	1.4	23.9

하수도시설 에너지 자립화 타당성 조사 연구('08.12)

[표 4-32]에 나타난 바와 같이 하수처리시설의 기기별 전력사용은 포기조 송풍기가 가장 많은 비중을 차지하였다. 또한 환경부 통계에 따르면 하수 처리량당 전력사용은 0.29kwh/m³로 제시되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 하수처리에 있어서 전기사용량을 최소한으로 줄이기 위한 대안으로 기존의 수중폭기 방식과는 달리 유럽등 선진국에서 많이 호응을 받고 있는 Trickling filter를 도입하여 사용하였다. [표 4-33]는 기존의 수중폭기 방식과 Trickling filter를 이용하여 하수처리한 결과를 정리하여 나타낸 것이다. 이 결과에서 볼 수 있다 싶어 각 항목에 대한 제거효율은 큰 차이를 나타내지 않았다.

[표 4-33]. 수중 폭기 및 Trickling filter 비교

	Lab Scale							
	수중폭기(무반송)				Trickling filter(무반송)			
	Influent	UASB	ABF	eff.	Influent	UASB	ABF	eff.
TCOD	258	77	24	91	171	30	21	88
SCOD	53	33	19	64	36	22	13	64
TN	36	32	29	19	31	27	25	19

이로부터, Trickling filter를 적용한 본 UASB-ABF 시스템의 경우 질산화를 위한 송풍에서만 해도 전체 하수처리에 사용되는 전력의 40.1%를 대대적으로 감축할 수 있을 뿐만 아니라, [그림 4-39]에 나타난 바와 같이 단순히 원수 공급 펌프 및 반송 펌프만 있으면 전반 시스템은 정상적으로 운영이 가능하여 비용 절감은 40.1%이상으로 감축될 것으로 판단된다.



(원수 유입펌프)

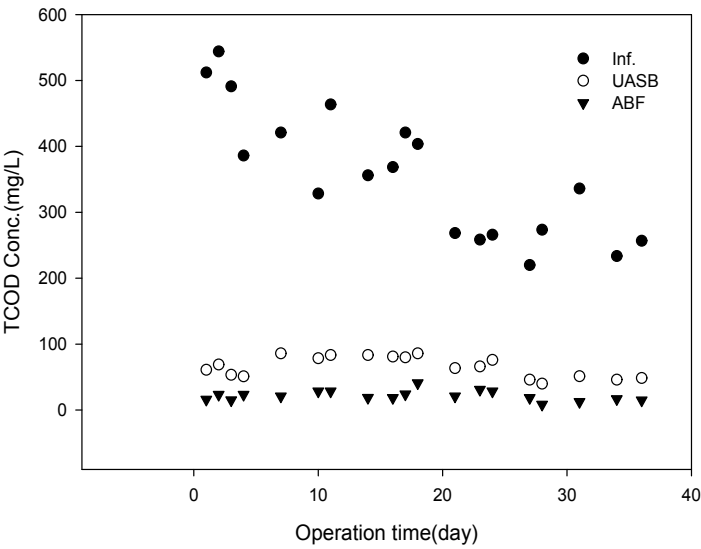


(반송 펌프)

[그림 4-39] pilot plant 전력 소모 기기

제5절 이산화탄소 발생량

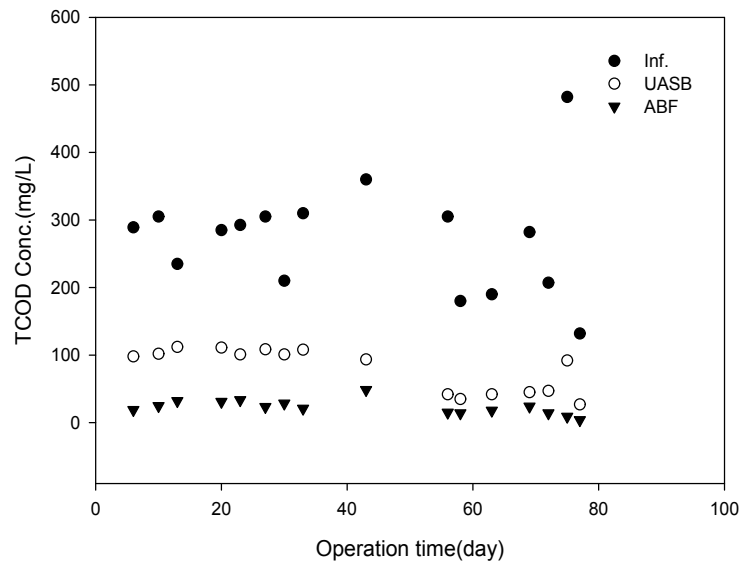
이산화탄소 발생량 측정은 pilot plant가 아닌 Lab Scale 규모에서 수행하였다. 이는 현장 pilot plant 경우 전부 철로 제조하다 보니 내부 축적된 정확한 슬러지 부피 및 농도 측정이 불가능하였다. 따라서, 이산화탄소 발생량 계산을 위해 본 연구에서는 UASB-ABF 반응조의 UASB 반응조 HRT를 각각 72(case I), 25(case II), 3hr(case III)으로 무반송에서 유기물 수지 분석을 수행하였다[표 4-34].



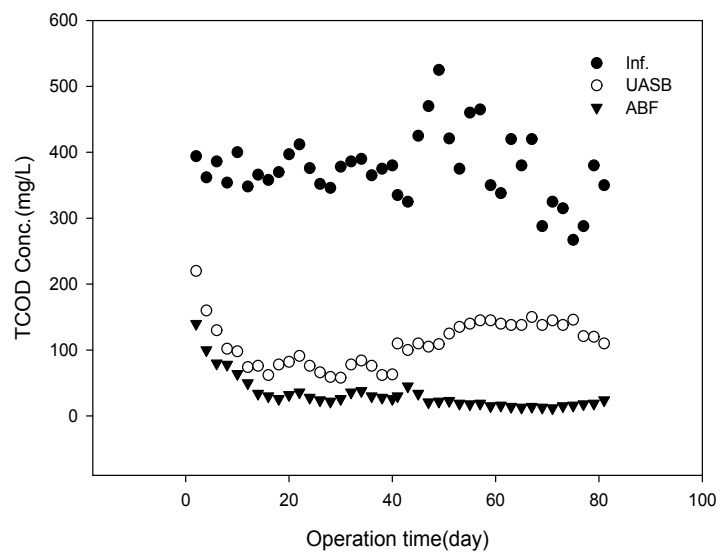
[그림 4-40] case I TCOD 제거

[표 4-34]. case I TCOD, SS, Turbidity 제거

Items	TCOD (mg/L)		SS (mg/L)		Turbidity (NTU)	
	Inf.	UASB	Inf.	UASB	Inf.	UASB
Concentration	358	66	238	26	144	39
Removal Eff. (%)	82		89		73	



[그림 4-41] case II TCOD 제거



[그림 4-42] case III TCOD 제거

[표 4-35]. UASB에서 TCOD, SS, Turbidity 제거(case II, case III 비교)

Items	TCOD (mg/L)			SS (mg/L)			Turbidity (NTU)		
	Inf.	UASB	%	Inf.	UASB	%	Inf.	UASB	%
case II	254	47	81	370	34	90	120	25.5	79
case III	376	110	71	238	26	89	120	19.2	84

[표 4-36]. 부동한 HRT 조건에서 유기물 제거(UASB)

HRT (hr), UASB/ABF		TCOD (mg/L)			SCOD (mg/L)		
		Inf	USB	ABF	Inf	USB	ABF
case I	72/3	358	66	22	--	--	--
case II	25/2.4	254	47	30	65	38	21
case III	3/3	376	110	33	87	81	22

case I, case II, case III 실험결과로부터 UASB 내에서 TCOD에 대한 물질수지를 분석하였다[표 4-36]. UASB 반응조로 유입 및 유출된 TCOD 양을 측정하여 UASB 내에 축적되었거나 분해된 TCOD 양을 계산하였다. UASB 내에 축적된 유기물 총량은 UASB 슬러지층의 평균농도를 측정한 후 슬러지층의 부피를 곱하여 산출하였고, 슬러지 폐기에 의해 제거된 유기물 질량은 슬러지 배출 부피에 폐기된 슬러지의 TCOD 농도를 곱하여 산출하였다. case I의 경우 UASB에서 제거된 TCOD 양은 유입 TCOD 대비 약 82% 수준이었으며, case II 및 case III의 경우에는 71% 수준이었다. 이와 상응해서 각 case에 따른 유기물 축적은 체류시간이 짧아질수록 많아졌으며, 그 결과는 [표 4-37]에 제시한 바와 같다. HRT가 72시간으로 가장 긴 case I의 경우에는 미생물들에 의한 동화-이화작용과 더불어 UASB 반응조내에서 유기물 축적이 거의 이루어지지 않는 것으로 나타났으며, case II의 경우에는 총 유입 유기물의 1.2%의 아주 미미한 수준으로 UASB 반응조에 축적되는 것으로 분석되었다. 하지만 HRT가 3시간밖에 안되는 case III의 경우에는 총 유입 유기물 대비 UASB 반응조내 축적된 TCOD가 약 69.8%로 UASB 반응조 내 고밀도의 슬러지 블랭킷을 유지하였다.

이와 같이, case III의 경우 슬러지 축적량 $2.1\text{g/L}\cdot\text{d}$ 는 호기성인 ABF로 유입되지 않기 때문에 ABF에서 산소요구량을 대폭적으로 줄일 수 있다. 또한, 폐기된

슬러지 형태의 유기물질은 생슬러지로 혐기성 소화조에서 효과적으로 메탄가스로 전환시킬 수 있다. 이 경우 UASB는 혐기성 반응조가 아니고, 일종의 고효율 침전 분리장치로 활용된 것으로 해석할 수 있으며, 1차 침전지를 대신하여 생슬러지 분리효율을 70%까지 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 따라서, Case III의 UASB-ABF 시스템을 이용할 경우 기존의 일반 활성슬러지 BNR 공정 ($Y_{obs}=0.5$ 로 가정)과 비교할 때, 약 70%의 이산화탄소 발생량을 감축시킬 것으로 추정된다. 따라서, 이산화탄소 발생량 20%이상 감축을 위해서는 UASB 체류시간을 3시간으로 설계하여 운영하여야 한다.

[표 4-37]. UASB-ABF system의 COD 수치

Items	Input ¹⁾ (g/L·d)	Output ²⁾ (g/L·d)	Removed ³⁾ (g/L·d)	Waste sludge ⁴⁾ (g/L·d)	Ratio of waste sludge to influent TCOD (%)
UASB (case I)	0.120	0.022	0.098	0	0
UASB (case II)	0.244	0.045	0.199	0.003	1.2
UASB (case III)	3.009	0.880	2.129	2.100	69.8

1) $\text{Input(g/L·d)} = 1/\text{HRT(hr)} \times \text{TCOD(inf)} \text{ (mg/L)} \times 24(\text{h/d}) \times 10^{-3}$

2) $\text{Output(g/L·d)} = 1/\text{HRT(hr)} \times \text{TCOD(effl)} \text{ (mg/L)} \times 24(\text{h/d}) \times 10^{-3}$

3) $\text{Removed(g/L·d)} = \text{Input} - \text{Output}$

4) $\text{Waste sludge(g/L·d)} = \text{concentration(mg/L)} \times \text{accumulation volume(mL)} \times 10^{-3} / \text{day}$

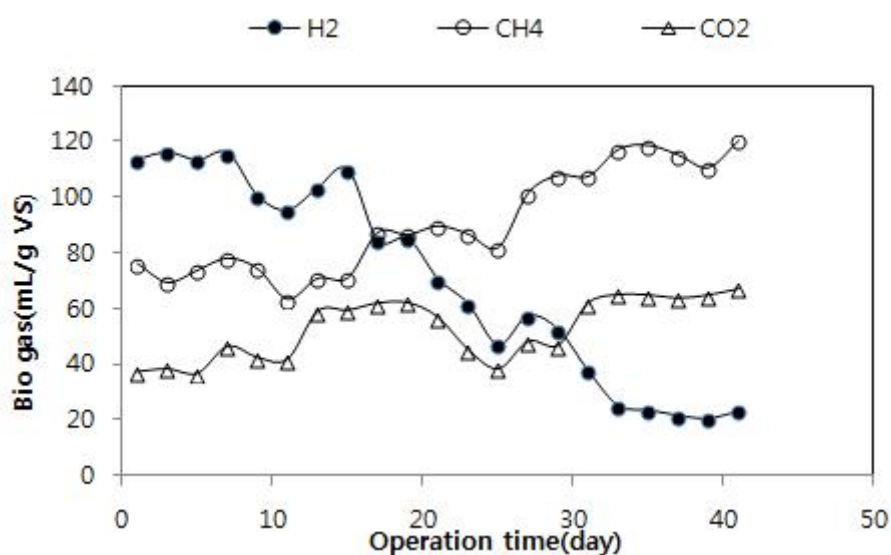
제6절 유가자원 회수

본 연구에서는 에너지 저감 및 이산화탄소 발생량 감축 외 하수 내에 내포되어 있는 유가자원의 회수 및 재이용에 대해 더 연구를 수행하였다. 충청권 소규모 하수처리에 이용된 25시간의 UASB-ABF 시스템은 3시간의 UASB-ABF 시스템에 비해 체류시간이 길어 UASB 반응조 내에서 유기물 회수가 완만하였다. 하지만 3시간의 UASB-ABF의 경우 UASB 내 유기물 회수가 잘 이루어져 이에 따른 UASB 반응조 내 슬러지에 대한 원소분석 및 혐기성 소화 가능성을 테스트하였다. [표 4-38]는 3시간 UASB-ABF 시스템에서 축적된 슬러지의 원소분석 결과로 이에 따른 이론적 메탄 발생량은 628.12mL CH₄/g VS이었다.

[그림 4-43]는 실제 3시간 UASB-ABF 시스템에서 회수되는 슬러지를 유효용적 10L의 혐기성 반응조에 투입하여 체류시간 20day로 연속 운전하여 얻는 결과이다. 그 결과 실제 메탄발생량은 120mL CH₄/g VS 수준으로 이론적 메탄발생량의 19%, 가용화율 또한 19%로 예측된다.

[표 4-38]. UASB-ABF 시스템 내 슬러지 원소분석 결과

구분	원소조성 (총고형물의 중량비 %)					C/N	이론적 메탄 생성량 (ml CH ₄ /g VS)
	C	H	O	N	S		
UASB(Sludge)	31.35	4.97	15.84	4.14	0.84	7.57	628.12



[그림 4-43] 슬러지 메탄 발생량

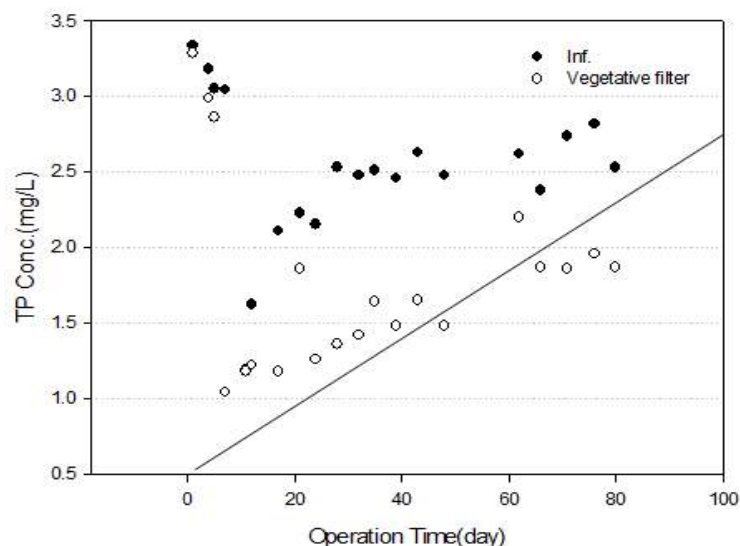
제7절 C/N 비 및 식생여과조 막 폐색 문제점 해결 방안

1. 농촌 하수 특성상 C/N비가 낮은 문제점 해결

본 연구에서는 농촌 하수 특성상 C/N비가 낮은 문제점을 고려하여 이와 같은 UASB 타입의 반응기를 이용함으로써 UASB 하단에 대량의 유기물질을 축적시켜 농촌하수의 특성상 C/N비가 낮은 문제점을 해결하였다. 따라서, 도시하수를 사용한 Lab Scale과 농촌지역 하수 특성을 잘 반영한 pilot plant 운영결과를 비교했을 때 차이를 나타내지 않았다. 따라서, 농촌지역 하수 특성상 C/N비가 낮아서 질산화 효율이 떨어지는 것은 방지하기 위해 에탄올 등 외부탄소원을 첨가해주는데, 본 UASB-ABF 시스템을 사용하에서는 부가적인 외부탄소원 공급이 없이 안정적인 질산화 효율을 유지가 가능하다. 따라서, 시설 운영에 대한 유지관리에서도 많은 비용을 저감이 가능하다.

2. 식생여과조 막 폐색 및 식생대에 축적된 인의 처리 방법

[그림 4-44]는 하루 처리용량 $2.6\text{m}^3/\text{d}$, 2.4m^3 의 식생여과조(길이 3m, 너비 2m, 높이 0.4m)의 막 폐색 주기를 알아보기 위해 그동안 운전한 결과를 바탕으로 비선형회귀분석한 것이다. 그 결과 식생여과조의 폐색 주기는 약 90일로 나타났으며, 이로부터 안정적인 처리효율을 유지하기 위해서는 90일에 한번씩 역세척을 해주어야 하며, 이때 식생여과조 내의 식물들도 함께 제거하고 파시 씨앗을 뿌려 식생여과조의 효율을 증대시켜야 한다. 따라서, 가솔한 식물은 4장 6절에서 제시한 슬러지와 함께 공동소화(Co-digestion)를 수행함으로써 유가자원 창출 증대도 가능할 것으로 사료된다.



[그림 4-44] 식생여과조 막 폐색

제8절 동절기 저수온시 pilot plant 운영

본 연구의 pilot plant 운영은 2차년도부터 본격적으로 착수하게 되었는데, 실제 pilot plant 정상 가동은 8월달부터 시작하다 보니 UASB-ABF 시스템의 안정화가 되기도전에 첫 번째 동절기를 만나 급격한 온도 저하로 인해 UASB-ABF 시스템의 정상적인 가동이 불가능하게 되었다. 이로인해 동절기 저수온시 pilot plant 운영에 대한 현장 검토가 불가능하였으며, 그 이듬해인 2013년 3월부터 다시 본격적으로 착수하여 최대 반송율인 3Q로 보다 빠른 안정화를 유도하였다.

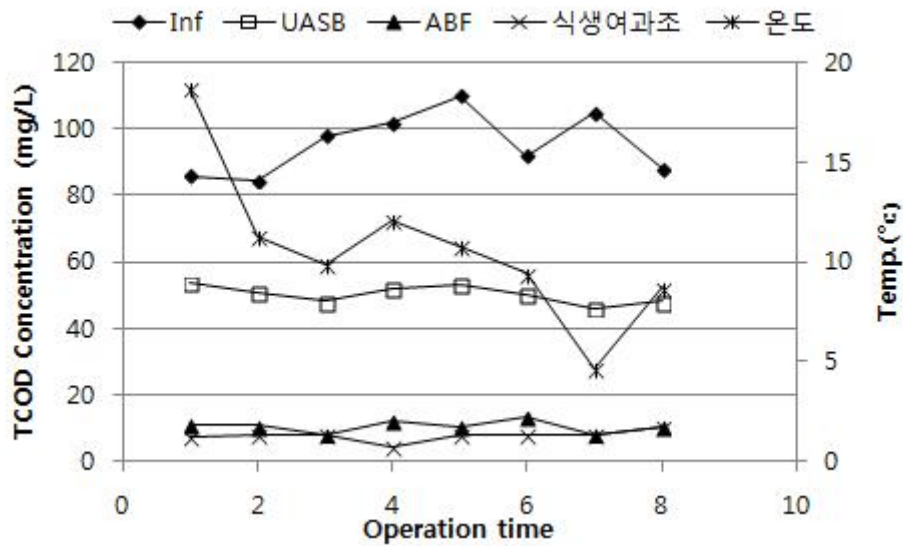
[표 4-39]는 2013년 10월, 11월 청주의 평균기온을 정리하여 나타낸 것이다. [표 4-39]에서 관찰할 수 있다 싶이 10월15일 이후부터 평균기온이 15℃이하를 나타내었다. 이로부터 본 연구에서는 10월15일 이후를 본 과제의 연구 대상인 동절기 저수온시 처리효율에 미치는 영향을 검토하였다.

[표 4-39]. 청주 10월, 11월 기온변화 [℃]

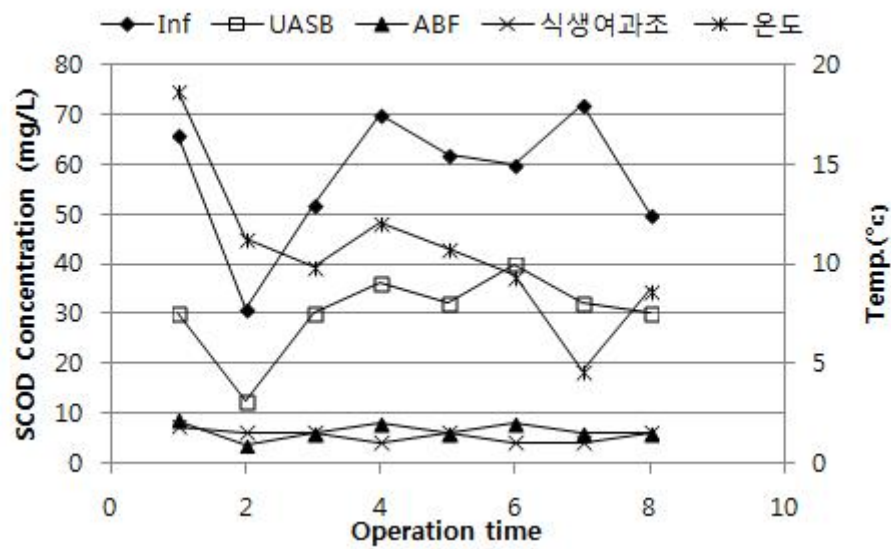
날짜	평균기온	날짜	평균기온	날짜	평균기온	날짜	평균기온
10월01일	22.2	10월13일	16.6	10월25일	9.9	11월06일	11.6
10월02일	20.2	10월14일	18.3	10월26일	9.9	11월07일	12.5
10월03일	16.4	10월15일	13.9	10월27일	10.7	11월08일	9.4
10월04일	17.1	10월16일	11.3	10월28일	10.5	11월09일	11.9
10월05일	19.5	10월17일	11.5	10월29일	12.1	11월10일	7.8
10월06일	21.3	10월18일	13.7	10월30일	12.1	11월11일	4.7
10월07일	23.8	10월19일	14.9	10월31일	11.9	11월12일	4.6
10월08일	20.3	10월20일	16.4	11월01일	15.0	11월13일	4.6
10월09일	21.5	10월21일	15.5	11월02일	13.1	11월14일	5.6
10월10일	20.7	10월22일	15.9	11월03일	11.9	11월15일	8.7
10월11일	18.7	10월23일	16.2	11월04일	12.3	11월16일	6.9
10월12일	16.2	10월24일	14.1	11월05일	10.8	11월17일	6.5

[그림 4-45]~[그림 4-48]은 각각 10월11일, 10월16일, 10월25일, 10월30일, 11월05일, 11월08일, 11월12일 및 11월15일에 해당하는 기온 및 이에 따른 TCOD, SCOD, TN, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, TP의 제거거동을 나타낸 것이다. 이결과에 볼수 있다 싶이 유기물의 경우에는 큰 차이를 나타내지 않았으나, TN 제거효율은 다소 감소한 것으로 나타났다. 하지만 ABF 반응조 내에서의 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 질산화효율에는 큰 차이를 나타내지 않았다. 그 외 동절기 탕으로 식생조에서의 인 제거 능력이 저하 될것으로 우려되어 UASB 반응조에 연속적으로 PAC 11%를 Al^{3+} /P 몰비 1:1로 투입하여 인 제거를 수행하였다. 그 결과 방류수 중의 인의 농도는

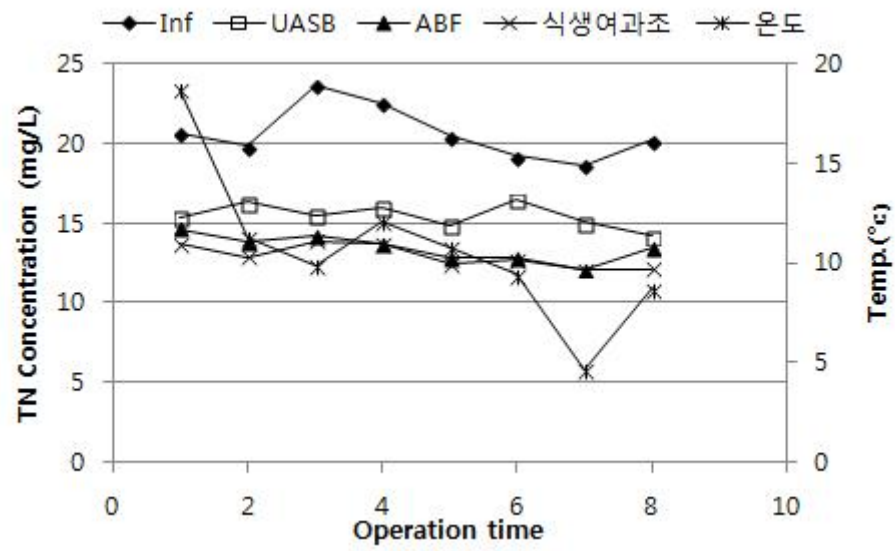
2mg/L이하를 계속 유지하였다. 또한 응집제 첨가에 의한 슬러지 발생량은 눈에 띄이게 늘어나지 않았다.



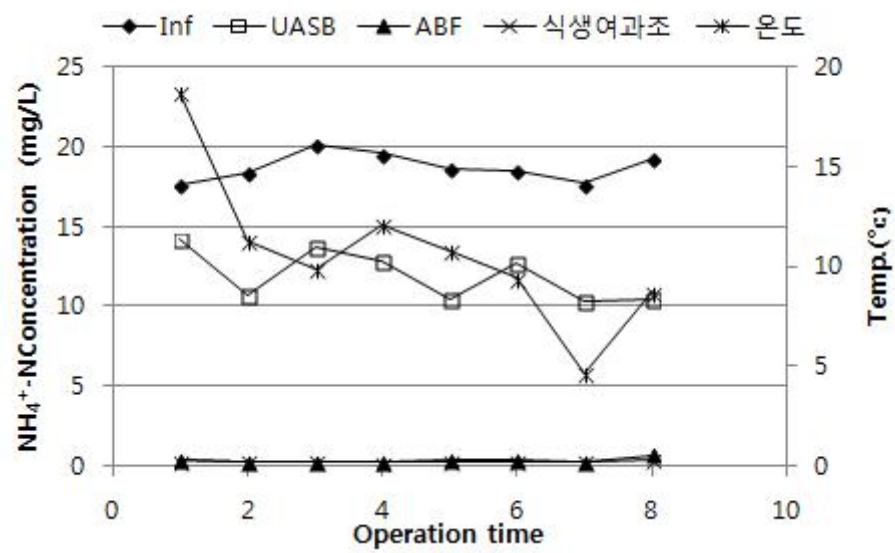
[그림 4-45] 동절기 기온 변화에 따른 TCOD 제거



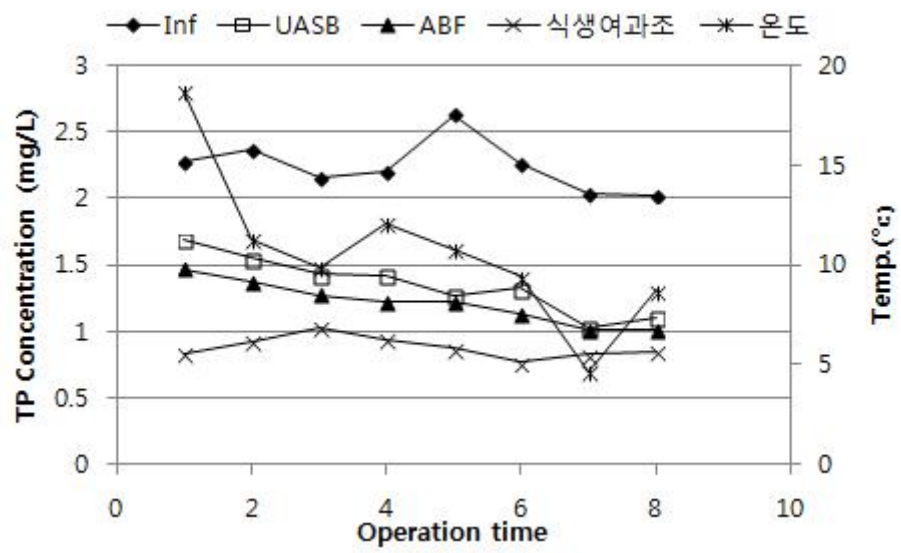
[그림 4-46] 동절기 기온 변화에 따른 SCOD 제거



[그림 4-47] 동절기 기온 변화에 따른 TN 제거



[그림 4-48] 동절기 기온 변화에 따른 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 제거



[그림 4-48] 동절기 기온 변화에 따른 TP 제거

제5장 연구성과물이 타 하수시스템과의 건설비용 비교

토목건설비용(터파기, 되메우기, 다짐, 잔토처리)

[표 5-1]. 터파기 단가산출

산출근거	합계	노무비	재료비	경비
1. 터파기: 토사(인력20%+기계80%)[m ³]	3,636	3,046	287	303
1.1 인력(20%) ※ (표준품셈 p-91) 3-1 2항 인력터파기 참조 L1=0.20인 보통인부: $L1 \times 66,622 \times 0.2 = 0.2 \times 66,622 \times 0.2 = 2,664.8$	2,665	2,665		
1.2 기계(80%) 굴삭기(무한궤도)(0.7m ³) $q=0.7 \quad f=1/1.25=0.8 \quad k=0.9$ $E=0.55 \quad C_m=20\text{sec}(135^\circ)$ $Q=3,600 \cdot q \cdot k \cdot f \cdot E / C_m = 3,600 \times 0.7 \times 0.9 \times 0.8 \times 0.55 / 20$ $=49.9\text{m}^3/\text{hr}$ 노무비: $23,805 \div 49.9 \times 0.8 = 381.6$ 재료비: $17,902 \div 49.9 \times 0.8 = 287$ 경비: $18,961 \div 49.9 \times 0.8 = 303.9$ 소계: $=972.5$	973	382	287	304
3. 합계(W/m ³) 노무비: $2,664.8 + 381.6 = 3,046$ 재료비: 287 경비: 303 계 : 3,636	3,636	3,046	287	303

[표 5-2]. 퇴메우기 단가산출

산출근거	합계	노무비	재료비	경비
퇴메우기(기계80%+인력20%)[m ³]	4,713	4,172	332	209
1. 기계(80%): 굴삭기(무한궤도)(0.7m ³) $q=0.7 \quad f=1 \quad k=1.1$ $E=0.65 \quad C_m=16\text{sec}(45^\circ)$ $Q=3,600 \cdot q \cdot k \cdot f \cdot E / C_m = 3,600 \times 0.7 \times 1.1 \times 1 \times 0.65 / 16$ $= 112.61 \text{m}^3/\text{hr}$ 노무비: $23,805 \div 112.61 \times 0.8 = 169.1$ 재료비: $17,902 \div 112.61 \times 0.8 = 127.1$ 경 비: $18,961 \div 112.61 \times 0.8 = 134.7$ 소 계: $= 430.9$	431	169	127	135
2. 다짐: 램머(80kg) $a=0.28 \times 0.33 = 0.0924 \quad N=36,000$ $H=0.15 \quad f=1 \quad E=0.5 \quad P=57$ $Q=a \cdot N \cdot H \cdot f \cdot E / P = 0.0924 \times 36,000 \times 0.15 \times 1 \times 0.5 / 57$ $= 4.38 \text{m}^3/\text{hr}$ 노무비: $14,625 \div 4.38 \times 0.8 = 2,671.2$ 재료비: $1,124 \div 4.38 \times 0.8 = 205.2$ 경 비: $412 \div 4.38 \times 0.8 = 75.2$ 소 계: $= 2,951.6$	2,952	2,671	205	75
3. 인력(20%) 보통인부: $66,622 \times 0.1 \text{인} \times 0.2 = 1,332.4$	1,332	1,332		
4. 합계 노무비: $169.1 + 2,671.2 + 1,332.4 = 4,172$ 재료비: $127.1 + 205.2 = 332$ 경 비: $134.7 + 75.2 = 209$ 계 : 4,713	4,713	4,172	332	209

3. [표 5-3]. 잔토처리 단가산출

산출근거	합계	노무비	재료비	경비
잔토처리(덤프15Ton)[m3]	3,343	1,073	1,487	788
※ 현장~사토장 1. 덤프트럭(자동덤프)(15Ton) L1=5km L2=5km V1=35km/hr V2=35km/hr T=15Ton rt=1.7Ton/m ³ L0=1.25 k=0.9 q0=0.7 q=T/rt×L0=15/1.7×1.25=11.03 f=0.8 E=0.9 n=q/(q0×k)=11.03/(0.7×0.9)=17.51 Cms=16 Es=0.7 t1=Cms·n/(60·Es)=16×17.51/(60×0.7)=6.67 t2=(L1/V1+L2/V2)×60=(5/35+5/35)×60=17.14 t3=0.8 t4=0.42 t5=0.5 Cm=60·q·f·E/Cm=60×11.03×0.8×0.9/25.53 =18.66m ³ /hr 노무비: 20,034÷18.66=1,073.6 재료비: 27,755÷18.66=1,487.4 경 비: 14,712÷18.66=788.4 소 계: 3,349.4	3,349	1,074	1,487	788
2. 합계 노무비: 1,073 재료비: 1,487 경 비: 788 계 : 3,348	3,348	1,073	1,487	788

[표 5-5]. 45m³/day 처리용량의 하수처리 시스템 설계

명칭	산출근거	비고
1. MBR 공정(차지하는 부피)		
유량조정조	L×W×H=5.0×2.7×3.5	47.25m ³
무산소조	L×W×H=2.1×1.0×3.5	7.35m ³
혐기조	L×W×H=1.7×1.0×3.5	5.95m ³
호기조	L×W×H=4.05×2.0×3.5	28.35m ³
탈기조	L×W×H=1.0×1.5×3.5	5.25m ³
슬러지저류조	L×W×H=1.1×1.5×3.5	5.78m ³
방류수조	L×W×H=1.45×1.5×3.5	7.61m ³
		107.54m ³
콘크리트면 정리	유량조정조+무산소조+혐기조+호기조+탈기조 +슬러지저류조+방류수조= (5.0×2.7+5.0×3.5×2+1.7×3.5+2.7×3.5)+ (2.1×1.0+2.1×3.5×2)+(1.7×1.0+1.7×3.5×2)+ (4.05×2.0+4.05×3.5×2+1.0×3.5+0.5×3.5)+ (3.55×1.5+3.55×3.5×2+1.5×3.5)=	171.43m ²
시멘트	(콘크리트면)×1.5kg/m ² ÷40kg/포=	7포
모래	(콘크리트면)×0.02m÷2=	1.72m ³
철근		7.13ton
2.UASB-ABF (차지하는 부피)		
UASB	L×W×H=2.24×2.24×9	45.16m ³
ABF	L×W×H=1.12×1.12×5	6.27m ³
		51.43m ³
콘크리트면 정리	UASB+ABF= (2.24×2.24+2.24×9×2+2.24×5.5+1.12×9+1.12×4)+(1.12×1.12+1.12×5×2+1.12×1.5) =	84.51m ²
시멘트	(콘크리트면)×1.5kg/m ² ÷40kg/포=	4포
모래	(콘크리트면)×0.02m÷2=	0.85m ³
철근		3.42ton

[표 5-6]. MBR공법 토목시설공사 견적

	공종	규격	재질	수량	단위	재료비		노무비		경비		합계	
						단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액
1. MBR	터파기	백호우0.7+인력	토사	107.54	m ³	287	30,864	3,046	327,567	303	32,585	3,636	391,015
	시멘트	40kg		7	포	3,410	23,870					3,410	23,870
	모래	자연사		1.72	m ³	21,000	36,120					21,000	36,120
	PE 필름 깔기	바닥0.02mm*2겹		30.73	m ³	331	10,172	5,359	164,682			5,690	174,854
	유로폼	벽		140.71	m ²	6,568	924,183	12,834	1,805,872			19,402	2,730,055
	시멘트액체 방수			171.43	m ²	308	52,800	10,286	1,763,329			10,594	1,816,129
	시트방수	바닥, 3MM		30.73	m ²	30,198	927,985	6,631	203,771			36,829	1,131,755
	방수 보호판	20MM,바닥		30.73	m ²	4,386	134,782	2,716	83,463			7,102	218,244
	보호 몰탈	바닥24MM		30.73	m ²	265	8,143	8,853	272,053			9,118	280,196
	보호 몰탈	벽18MM		140.71	m ²	383	53,892	12,780	1,798,274			13,163	1,852,166
	콘크리트면처리			171.43	m ²	155	26,572	5,186	889,036			5,341	915,608
	고름몰탈	바닥15MM		30.73	m ²	237	7,283	7,902	242,828			8,139	250,111
	에폭시페인트	0.3MM		171.43	m ²	5,956	1,021,037	5,622	963,779			11,578	1,984,817
	수성페인트	3회		171.43	m ²	907	155,487	5,341	915,608			6,248	1,071,095
	Fixed bar screen	30mm	STS304	1	set	300,000	300,000	33,735	33,735	3,373	3,373	337,108	337,108
	Fixed bar screen	10mm	STS304	1	set	400,000	400,000	50,602	40,602	5,060	5,060	455,662	455,662
	원수 pump	50A×0.21m ³ /min×8m H×0.75kw		2	set	600,000	1,200,000	116,128	232,256	3,483	6,966	719,611	1,439,222
	자동탈착장치	50A		2	set	200,000	400,000					200,000	400,000
	흡인 pump	40A×0.26m ³ /min×16m H×0.6kw		2	set	5,800,000	11,600,000	116,128	232,256	3,483	6,966	5,919,611	11,839,222
	blower	80A×42m ³ /min×4000m maq		2	set	1,625,000	3,250,000	247,015	494,030	7,410	14,820	1,879,425	3,758,850
	내부반송 pump	50A×0.2m ³ /min×7mH× 0.75kw		2	set	600,000	1,200,000					600,000	1,200,000
	방류 pump	50A×0.16m ³ /min×10m H×0.75kw		2	set	600,000	1,200,000	157,536	315,072	4,726	9,452	762,262	1,524,524
	철근	HD10,13,16,19,22		7.13	톤	711,000	5,069,430					711,000	5,069,430
	수중 mixer	1.5kw x 0.3m/sec	횡형식	1	set	5,200,000	5,200,000	116,128	116,128	3,483	3,483	5,319,611	5,319,611
	수중 mixer	0.75kw x 0.3m/sec	하향식	2	set	4,000,000	8,000,000	116,128	232,256	3,483	6,966	4,119,611	8,239,222
	Sieve Screen	0.75mmx12m/hr	STS304	1	set	5,000,000	5,000,000	759,043	759,043	75,904	75,904	5,834,947	5,834,947
	NaOCl Tank	200L	PE	1	set	195,000	195,000					195,000	195,000
	Chain hoist	0.49 ton		1	set	1,450,000	1,450,000	826,514	826,514	82,651	82,651	2,359,165	2,359,165
	Diffuser	Disk jet		13	set	12,000	156,000					12,000	156,000
	Chlorinator	100A x 1,000H	PVC	1	set	250,000	250,000					250,000	250,000

	Moter	0.75kw		1	set	248,000	248,000					248,000	248,000
	Moter	1.5kw		1	set	312,000	312,000					312,000	312,000
	레미콘	25-240-15		149.5	m ³	58,050	8,678,475					58,050	8,678,475
	레미콘	25-180-8		8.0	m ³	49,350	394,800					49,350	394,800
	Membrane	0.4μm x 96m ² /Frame	HD-SU R234W	2	set	34,280,000	68,560,000					34,280,000	68,560,000
	합 계												139,447,273

[표 5-7]. UASB-ABF 시스템 토목시설공사 견적

	공종	규격	재질	수량	단위	재료비		노무비		경비		합계	
						단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액
2.UASB -ABF	터파기	백호우0.7+인력	토사	51.43	m ³	287	14,760	3,046	156,656	303	15,583	3,636	186,999
	시멘트	40kg		4	포	3,410	13,640					3,410	13,640
	모래	자연사		0.75	m ³	21,000	15,750					21,000	15,750
	PE 필름 깔기	바닥0.02mm*2겹		6.27	m ³	331	2,075	5,359	33,601			5,690	35,676
	유로폼	벽		78.24	m ²	6,568	513,880	12,834	1,004,132			19,402	1,518,012
	시멘트액체 방수			84.51	m ²	308	26,029	10,286	869,270			10,594	895,299
	시트방수	바닥, 3MM		6.27	m ²	30,198	189,341	6,631	41,576			36,829	230,918
	방수 보호판	20MM,바닥		6.27	m ²	4,386	27,500	2,716	17,029			7,102	44,530
	보호 몰탈	바닥24MM		6.27	m ²	265	1,662	8,853	55,508			9,118	57,170
	보호 몰탈	벽18MM		78.24	m ²	383	29,966	12,780	999,907			13,163	1,029,873
	콘크리트면처리			84.51	m ²	155	13,099	5,186	438,269			5,341	451,368
	고름몰탈	바닥15MM		6.27	m ²	237	1,486	7,902	49,546			8,139	51,032
	에폭시페인트	0.3MM		84.51	m ²	5,956	503,342	5,622	475,115			11,578	978,457
	수성페인트	3회		84.51	m ²	907	76,651	5,341	451,368			6,248	528,018
	원수 pump	50A×0.21m ³ /min×8 mH×0.75kw		2	set	600,000	1,200,000	116,128	232,256	3,483	6,966	719,611	1,439,222
	blower	80A×42m ³ /min×400 0mmaq		2	set	1,625,000	3,250,000	247,015	494,030	7,410	14,820	1,879,425	3,758,850
	내부반송 pump	50A×0.2m ³ /min×7m H×0.75kw		2	set	600,000	1,200,000					600,000	1,200,000
	철근	HD10,13,16,19,22		3.42	톤	711,000	2,431,620					711,000	2,431,620
	합계												14,866,434

제6장 결론

본 연구의 대상유역인 문의구룡 처리장 지점에서 평상시와 강우시 총 3회에 걸쳐 조사한 오염물질의 부하특성 및 UASB-ABF 시스템을 이용한 하수처리 운영결과를 요약하면 아래와 같다.

○ 문의구룡 처리장 지점의 연간 오염부하량 중 비점오염원이 차지하는 비중은 매우 큰 것으로 나타났다. 특히 호수의 부영양화 원인물질이면서 제한영양염인 총인의 경우 약 80%가 비점오염원 형태로 유입한다. 따라서 문의구룡 처리장 지점의 하류인 대청호의 수질개선을 위해선 강우시 유입하는 비점오염원에 대한 부하량 삭감대책이 필요하다.

○ 암모니아성 질소의 경우 다른 항목과는 다르게 비점오염원부하량 보다 점오염원부하량이 더 큰 것으로 나타났다. 암모니아성 질소 부하량을 조절하기 위해서는 점오염원에 대한 대책이 필요하다.

○ 조사기간 동안 BOD의 최고 단위유출부하량은 2013년도에 3,077.00kg/hr/ha로써 가장 높게 나타났으며, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 최고 단위유출부하량은 2013년도에 19.83 kg/hr/ha로써 가장 높게 나타났으며, TN과 TP 및 SS도 2013년도에 각각 10,388.97 kg/hr/ha, 1,010.56kg/hr/ha, 345.20kg/hr/ha로 가장 높게 나타났다.

○ 문의구룡 처리장 지점의 유량-오염부하율 그래프에서 SS와 TP의 경우 초기 강우 세척효과에 의한 부하량이 매우 큰 것으로 나타났다. 강우초기에 오염물질 배출량이 상대적으로 큰 SS와 T-P는 효율적으로 처리한다면 비점오염원의 오염부하량 삭감대책이 될 것이다.

○ 문의구룡 처리장 지점의 유역 면적은 0.91km²로써 대상 지점으로 유입하는 연간 총 유달부하량은 2012년도에 BOD 52톤, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 5톤, TN 22톤, TP 3톤, SS 62톤이며 2013년도에 BOD 38톤, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 5톤, TN 18톤, TP 2톤, SS 44톤으로 나타났다.

○ Lab Scale 운영에 의한 유기물 제거는 UASB에서 TCOD는 60% 제거되었고 나머지 40%의 유기물은 ABF 반응조에 유입되어 폭기에 의한 산화에 의해 TCOD 제거, ABF 반응조 내의 폭기에 의한 산화로 총 유기물질이 72%까지 제거되었다. 따라서, SCOD의 경우에는 UASB에서 14%의 미미한 수준이었으나, ABF 반응조를 거치고 나면 SCOD 제거효율은 57%까지 향상되었다. 질소의 경우 3Q 반응에서 약 73%의 제거효율을 나타내었으며, 총인의 경우 3Q 반응에 Al/P 몰비 2.6으로 황산알루미늄 응집제를 첨가하여 최종 TP농도를 0.2mg/L이하까지 낮출 수가 있었다.

○ pilot plant 경우 유기물 제거는 3Q 반응에서 UASB에서 70%제거 되고, UASB에서 미처 처리되지 못한 유기물 75%가 ABF 반응조에서 재차 제거되었다.

질소의 경우에는 3Q에서 48% 제거효율을 나타내었으며, 인의 경우에는 응집제 투입 3차 시설인 살수여상(식생조)를 통과하고 나서 2.0mg/L이하로 떨어졌다.

○ 또한, 본 시스템에서 송풍량을 Trickling filter 방식으로 사용할 경우 기존의 하수처리시설에 비해 전기사용량은 약 40.1% 감축이 가능한 것으로 나타났다.

○ 그 외, 이산화탄소 발생량의 경우 Lab Scale에 의한 일련의 UASB 반응조 HRT를 달리하여 실험한 결과 하수처리과정에서 이산화탄소 발생량 감축 20% 이상을 위해서는 UASB HRT를 3hr으로 짧게 가져가야 하는 것으로 나타났다.

○ UASB를 3hr에서 운영하였을 경우 총 유기물의 70%정도가 회수가 가능하였다. 더욱이 UASB 반응조에서 회수한 슬러지로 혐기성 자원화를 수행한 경과 메탄 발생은 120mL CH₄/g VS 수준이었으며, 이는 이론적 메탄발생량의 19%이었다.

○ 또한, 유입 원수 중의 절대 대부분의 유기물이 UASB 반응조에 축적 되면서 농촌지역 하수 특성상 C/N비가 낮아 질산화효율이 저조한 문제점이 해결되었다. 그리고 동절기 저수온시에도 대량의 유기물이 생물학적 제거외에도 물리·화학적 작용에 의해 제거되다 보니 저수온시에도 안정적인 처리 효율을 유지하였다.

○ 45m³/day 처리시설의 소규모 하수처리시설을 건설할 경우 MBR 공정은 약 1억3천9백만원정도가 소요된다면 본 연구에 사용된 UASB-ABF 시스템은 약 1천4백만원정도의 비용밖에 앓드는 것으로 나타났다.

제7장 활용방안 및 기대효과

활용방안

1. 설계기준 및 운영 매뉴얼 작성
2. 신기술 인증 및 참여기업(상현선재 및 MS water)과 활용방안 협의
3. 활용시기: 2014년 상현선재 - 자연하천형 호안공법
2015년 MS Water - 저에너지 하수처리공법

기대효과

1. 기술적: 저탄소, 저에너지 하수처리공법 보급
2. 경제적: 간단한 시스템으로 공사 및 운영비 대폭 절감
3. 정책적: 온실가스 감축 및 에너지 자립형 하수처리공법 보급

실적

국내외 학술발표			
연번	제목	학회명	비고
1	구룡유역의 비점오염원에 의한 수질 분석	2012년도 한국농공학회	2012.9.18.~2012.9.19
2	반송울 변화에 의한 UASB-ABF 반응조 내 유기물 분리 및 제거특성	2012년 대한환경공학회	2012.8.22.~2012.8.24
3	음식물폐수의 2상 혐기소화: HRT 변화 및 온도에 따른 슬러지 농축효율 및 가스발생 특성	2013년 대한환경공학회	2013.6.11.~2013.6.13
4	연속식 하수처리 공정에서의 슬러지를 이용한 바이오가스 회수	2013년 대한환경공학회	2013.6.11.~2013.6.13
5	Nitrogen and Phosphorus Removal in an Anaerobic(UASB)-Aerobic(ABF) Sewage Treatment system	2013년 IAT Conference	2013.6.11.~2013.6.13
6	Nitrogen and Phosphorus removal in an anaerobic sewage treatment using UASB-ABF system	2013년 IWA-ASPIRE Daejeon	2013.9.8.~2013.9.12 .

국내외 학술지 논문 투고			
연번	제목	학술지명	비고
1	Separation of organic matter from domestic sewage in a UASB-ABF system with anoxic bio-flocculation	Desalination and Water Treatment(DWT)	2차 심사중
2	Nitrogen and Phosphorus Removal in an Anaerobic(UASB)-Aerobic(ABF) Sewage Treatment system	Desalination and Water Treatment(DWT)	1차 심사 완료
3	동시 질산화-탈질(SND) 반응을 적용한 MBR 반응조에서 질소 및 인 제거 특성		게재 확정 (2013년 10월호)
4	혐기성 하수처리공정에서 UASB HRT에 따른 유기물질 제거특성		1차 심사 완료

특허 등록 및 출원			
연번	제목		비고
1	하·폐수의 유기물질 분리 및 바이오가스 회수 장치	특허 제 10-1273265호	2013.06.04. 등록
2	정수처리기능을 갖는 자연형 하천 호안 공법	출원 번호 10-2012-0069571	출원일자: 2012.06.28

구룡유역의 비점오염원에 의한 수질 분석 Analysis of Water Quality by Non-Point Pollution Source in Guryong Watershed

맹승진*, 김형산**, 김태우***, 정지혜****
Seungjin Maeng, Hyungsan Kim, Teawoo Kim, Jihye Jeong

요 지

우리나라의 하수도사업은 도시지역의 대규모 공공하수처리시설위주로 진행되었으며 전국 하수보급률은 88.6%까지 끌어올렸지만 도시지역과 농어촌지역의 하수도 보급률 격차는 날로 커지고 있다. 농어촌의 소규모하수처리장은 낮은 처리효율 및 산재한 소규모 가축사육시설, 농약, 비료 등의 사용으로 비점오염원 등에 의한 환경오염 및 지역 간 갈등이 매년 대두되고 있다. 이에 본 연구에서는 충청권 내 소규모 농촌지역을 대상으로 유출특성조사를 하였다.

유출특성조사를 실시하기 위하여 조사시기는 계절별 강우시 진행. 무강우 일수가 3일 이상(5mm이하의 강우 포함)으로 실제 일일 강우량이 20mm 이상이 예상될 경우 실시하며, 현장조사(온도, pH 등)를 병행하여 농도무하가 증가할 시점부터 유량 및 오염물질농도가 최대일 시점까지 나타나도록 조사를 시행하였다.

본 연구에서는 계절적 변화에 따른 유출특성조사를 실시하고자하며 5월 강우 특성에 따른 구룡유역의 비점오염원에 의한 수질 분석 결과는 표 1과 같다.

향후 계절별로 표 1과 같은 비점오염원에 의한 수질 분석을 실시하여 점오염원에 대한 수질분석 결과와 비교 분석하고자 한다.

표 1. 비점오염원에 의한 수질특성

일시	방향	유량 (m/s)	온도 (℃)	pH	BOC (mg/L)	NH4+-N (mg/L)	탁도 (NTU)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	SS (mg/L)
2012-05-14 14:19		0.050	16	7.10	1.8	0.051	85	4.78	0.813	184
2012-05-14 16:23		0.048	16	7.37	2.3	0.068	29	3.02	0.445	38
2012-05-14 19:16		0.035	15.5	7.37	1.8	0.050	17	3.27	0.295	24
2012-05-14 21:50		0.057	15	7.41	2.3	0.059	18	5.18	0.264	28
2012-05-14 23:07		0.021	15.5	7.46	2.1	0.089	12	2.60	0.159	20

핵심용어 : 소규모 하수처리장, 비점오염원, 감수량, 유출량

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비지원(105)에 의해 수행되었습니다.

* 장희원 · 충북대학교 지역건설공학과 부교수 · E-mail : maeng@cbnu.ac.kr

** 장희원 · 충북대학교 지역건설공학과 박사과정 · E-mail : kimhs@cbnu.ac.kr

*** 장희원 · 충북대학교 지역건설공학과 석사과정 · E-mail : tkwml@cbnu.ac.kr

**** 장희원 · 충북대학교 지역건설공학과 석사과정 · E-mail : jeongjihye@cbnu.ac.kr

반응율 변화에 의한 UASB-ABF 반응조 내 유기물 분리 및 제거특성

Dong-Jie Tian · 임현우 · 양효진 · 전항배
충북대학교 환경공학과

1. 서론

오늘날 산업의 발달과 인구의 증가로 인해 폐수의 성상이나 양적인 면에서 크게 변화를 가져오고 있으나, 기존의 하·폐수처리 방식은 여전히 하·폐수중에 존재하는 유기물 및 질소, 인 등 영양물질들을 적정수준까지 제거하는데 초점을 맞추어 개발되어 왔다. 따라서, 이러한 처리기술은 고에너지를 사용하여 대기중에 대량의 이산화탄소를 방출하게 된다.

또한, 21세기 화두는 기후변화로서, 모든 분야에서 탄소 배출을 줄이고, 대체에너지를 개발하는데 주력하고 있는 실정이다. 특히, 4대강 수질개선을 위한 수질오염총량제¹⁾의 강화 및 온실가스 감축을 위한 교도의정서, 유기성폐기물 해양투기 금지를 위한 원단협약 등 일련의 규제로 기존의 하수처리도 더 이상 방류수 수질기준에 국한될 것이 아니라, 보다 고효율의 저탄소, 저에너지 및 에너지 회수의 신개념 하수고도처리기술로 받아들여야 할 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 기존의 MLE 공법을 변형한 UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)-ABF (Aerated Bio-Filter) 시스템을 이용하여 반응율에 따른 하수 내 유기물질 제거 및 분리특성을 조사하였다.

2. 연구방법

본 연구에 사용된 시료는 인근 도시하수종말처리장의 1차 침전지로 유입되는 도시하수를 사용하였다. 또한 사용된 반응조는 5 mm 두께의 투명 아크릴로 제작되었으며, 본 시스템의 유입 유량, 반응조 용적 및 반응조의 운전조건들은 Table 1에 정리하여 나타내었다.

Table 1. Specifications and operating conditions of UASB and ABF

Parameters	Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)	Aerated Bio-Filter (ABF)
Flow rate (mL/min)	25	25
Volume (L)	4.5	4.5
HRT (hr)	3	3
Recycle ratio (%)	0%, 120%, 160%	
DO (mg/L)	0~0.2	3.0
Temperature (°C)	20 ± 3	

또한 본 연구에서는 Membran filter의 공극 사이즈를 이용하여 하수 내 유기물질을 PCOD (particulate COD), CCOD (colloids COD), SSCOD (suspended solid COD), StCOD (settleable COD)로 세분화하여 비분석하였다 (Table 2).

Table 2. Serial filtration method and fractionation of COD

COD		Descriptions	Comments
TCOD		SCOD + PCOD	
SCOD		Filtrate through 0.01 μm	rsCOD
PCOD	CCOD	0.01 < Filtrate (0.45 μm)	stCOD
	SSCOD	0.45 μm (non-settled COD)	
	SiCOD	30 min settled COD	

3. 결과 및 고찰

Table 3은 각 반응율(0, 120, 180%)에 따른 COD 변화 기동을 나타낸 것이다. 이 결과에서 보다 깊이 반응율이 증가할수록 UASB 내의 PCOD 제거효율이 크게 향상하였다. 특히 PCOD의 중의 CCOD 및 SSCOD가 반응이 없을 경우에 비해 제거율이 현저히 증가하였다.

Table 3. COD removal at each recycle ratio in the UASB-ABF system (mg/L)

Parameters		Raw			UASB			ABF		
Recycle ratio, %		0	120	180	0	120	180	0	120	180
TCOD		380	368	400	140	30.5	20	28	24.5	15.5
SCOD		87	85	92	79	28.5	17	22	22	10
PCOD	CCOD	27	25	28	20	2	3	6	2.5	5.5
	SiCOD	190	187	196	0	0	0	0	0	0
	SSCOD	76	71	84	41	10	6	10	5	4

4. 결론

반응율 변화에 따른 유기물 제거 기동을 관찰한 결과, 반응율이 증가할수록 유기물 제거가 향상되었으며, 특히 PCOD의 중의 CCOD 및 SSCOD가 반응이 없을 경우에 비해 제거율이 현저히 증가하였다.

사 사

이 연구결과는 전설교통기습평기원 지역혁신기술지원사업의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

참고문헌

1. 환경부, 수질오염총량제(2004).

음식물 폐수의 2상 혐기소화: HRT 변화 및 온도에 따른 슬러지 농축효율 및 가스발생 특성

임현우·변병수*·이봉규**·전창배

충북대학교 환경공학과, *한국환경공단, **충청북도 보건환경연구원

1. 서론

음식물쓰레기와 같은 유기성 폐기물은 혐기소화 과정으로 알려진 미생물학적 분해과정을 거치며 일부가 메탄으로 전환되는데, 이는 곧 바로 다양한 에너지원으로 활용됨으로써 화석연료를 대체할 훌륭한 바이오 에너지가 되고 있다.¹⁾

우리나라는 지속적인 산업발전과 생활수준의 향상으로 음식물쓰레기와 같은 유기성폐기물 발생량이 점차적으로 증가하고 있다. 이러한 유기성폐기물의 처리방법으로는 대부분 퇴비화 또는 해양투기에 의존해왔지만, 런던협약에 의해 2012년부터 해양투기가 금지 되었다. 한편 저탄소 녹색성장을 국가성장의 패러다임으로 제시된 사회적 배경에 힘입어 유기성폐기물의 처리방법으로 최근 에너지 회수를 도모할 수 있는 혐기성 소화공정이 주목을 받고 있다.

본 연구에서는 음식물 쓰레기를 이용하여 lab scale의 이상 혐기성 소화를 중온과 고온으로 나누어 수행하였다. HRT와 OLR (Organic Loading Rate)을 3단계에 걸쳐 실험을 시행하여 각 단계별로 시스템에서의 효율을 평가하였다.

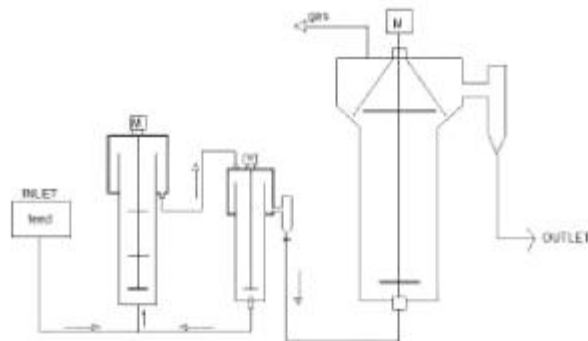


Fig. 1. Schematic diagram of process.

2. 연구방법

본 실험에서 사용된 이상 혐기성 소화조의 실험장치는 Fig 1과 같이 중온, 고온 모두 산생성 반응조, 농축조, 메탄생성 반응조와 가스포집기로 구성되어있다. 중온소화조와 고온소화조 각각 산생성 반응조는 원전혼합 반

용조(CSTR)로 유출유량 32 L, 농축조는 20 L, 메탄생성 반응조는 132 L이다. 이 공정은 run1, run2, run3의 3가지의 조건으로 운전을 하였다. run1은 전체 HRT는 21.5일, 메탄생성조의 유기물 부하는 6 kg TCOD/m³/day 이고, run2는 전체 HRT는 18일 이고, 메탄생성조의 유기물 부하는 7 kg TCOD/m³/day이고 run3는 전체 HRT는 14일 이고, 메탄생성조의 유기물 부하는 10 kg TCOD/m³/day로 운전하였다.

3. 결과 및 고찰

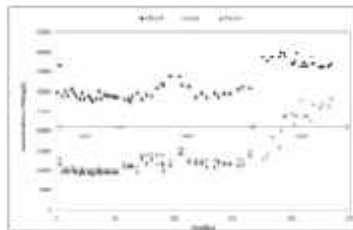


Fig. 2. Concentration of VSS according to the temperature.

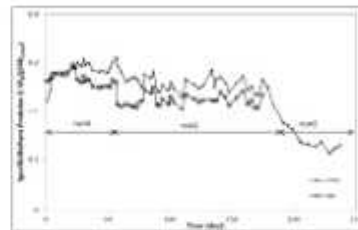


Fig. 3. Time series of SMP according to temperature.

Fig. 2는 메탄생성조 전 단계인 농축조 유출수와 VSS농도를 나타낸 것이다. run1에서는 중온과 고온에서 각각 유기물 농도에 대한 유출농도의 제거 효율은 63.7%, 67.2%를 나타내고 있다. run2에서는 중온 56.5% 고온 59.7%로 run1보다 효율이 낮아 졌다. run3에서는 초기 56% 정도의 제거율을 보이다가, 31.8%로 제거효율이 떨어졌다. 이는 HRT감소로 인해 농축조 안에서 고액분리가 잘 이루어지지 않았기 때문이다. 농축조는 따로 가운을 하지 않았으며, 고온에서의 VSS제거가 전적으로 종온보다 4% 정도 높게 나타나고 있다.

가스발생량은 전적으로 비슷하게 측정되었다. SMP는 HRT가 가장 긴 Run1에서 가장 높은 것으로 나타났다. Run3에서는 SMP가 줄어드는 경향을 보이는데 이는 짧은 HRT와 높아진 유기물 부하량으로 인해 거칠을 분해에 필요한 시간의 부족으로 분해율이 낮아진 것으로 판단된다.

4. 결론

- 1) 산업효에서의 VSS 제거 효율은 각각 23%, 8.5%로 낮은 효율을 보였지만, 농축조에서의 슬러지 농축으로 인하여 유출수의 VS 농도가 낮기 때문에 TPAD공법보다 효율적인 것을 알 수 있다.
- 2) 이상 열기성소화의 메탄발효조의 활성화를 위해서는 고온보다도 중온으로, 유기물 부하는 Run1과 같이 6 kg-TCOD/m³/day가 가장 경제적이면서도 효율적인 바이오가스 회수가 이루어질 것으로 판단된다.

사 사

This research was supported by a grant (code D05) from Development of a natural sewage treatment system for small rural village in Chung Cheong area by self operating with low cost Program funded by Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs of Korean government.

참고문헌

1. Taffrup S., "Viable energy production and waste recycling from anaerobic digestion of manure and other biomass materials," *Biomass Bioenergy*, 9(5), 030-014(1995).

상태로 유지하기 위하여 반응기 상층부를 밀폐하였으며, gas를 포집 및 배출하기 위한 장치를 구성하였다. 실험에 사용된 원수는 인근 도시하수종말처리장의 1차 침전지로 유입되는 도시하수를 채수한 후 700 μm 의 체 거름을 통하여 Lab scale pilot plant에 유입시켰으며, 하수의 성장은 TCOD₅ 평균 380 mg/L, SCOD₅ 150 mg/L로 낮은 편이었다. T-N과 NH₄-N, T-P의 농도는 각각 35 mg/L, 23 mg/L, 3.4 mg/L이었다.

3. 결과 및 고찰

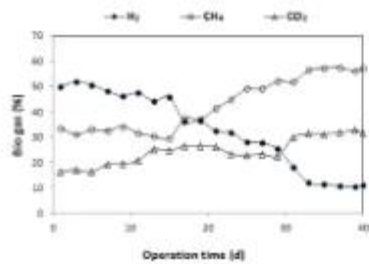


Fig. 2. Composition of generated gas from the anaerobic digestion of APC sludge.

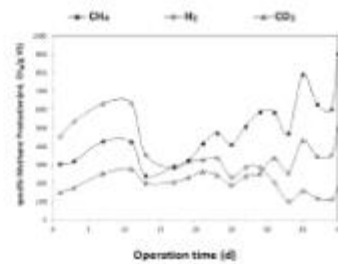


Fig. 3. Variation of methane production.

Fig. 2는 운영기간 동안 발생된 가스의 분포를 나타낸 것이다. 하루평균 가스발생량은 약 640 mL였다. 반응 초기의 H₂는 340 mL로 총 가스량의 50%를 차지하였으나 점차 감소하여 60 mL의 발생량을 보였고 CH₄와 CO₂는 증가하는 추세를 보였고 특히 CH₄는 초기에 약 30%에 불과한 228 mL 발생하였으나 360 mL로 꾸준히 증가하였다.

Fig. 3은 g VS당 생성되는 CH₄의 양을 나타낸 것이다. 반응 초기에 약 300 mL CH₄/g VS였고, 점차 증가하면서 900 mL CH₄/g VS가 발생하였다.

4. 결론

슬러지의 전기리로 인한 효과적인 슬러지분해 및 가용화는 바이오가스 회수율을 더욱 높여주었고 이로 인한 메탄회수율은 60% 이상의 효율을 보였다. 이로써 하수슬러지의 간단한 전기리로 혐기소화를 이용한 높은 바이오가스 회수가 가능하다고 판단된다.

사 사

This research was supported by a grant (code D05) from Development of a natural sewage treatment system for small rural village in Chung Cheong area by self operating with low cost Program funded by Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs of Korean government.

참고문헌

1. 우미희 "이상 혐기성 소화 공정을 통한 슬러지 발생량 저감과 바이오 가스 생산에 관한 연구," 석사학위논문 고려대학교(2010).

Nitrogen and Phosphorus Removal in an Anaerobic (UASB)-Aerobic (ABF) Sewage Treatment System

Dong-Jie Tian, Hyun-Sook Lim, Chan-Hyun An, Hana-Bae Jun

Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University, Naesudongro 52, Cheongju, Korea

INTRODUCTION

A large number of anaerobic digesters have been built and operated for high strength wastewater treatment. Among the anaerobic digesters, high rate digesters are considered for low strength sewage treatment. Unlike the conventional low-rate anaerobic digesters such as anaerobic ponds and septic tanks, high rate anaerobic reactors are designed to operate at short hydraulic retention times(HRT) and long solids retention times(SRT) to incorporate large amounts of high activity biomass¹⁾.

The up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors are by far the most robust high rate anaerobic reactors for sewage treatment and there have been more than 1000 UASB reactors installed worldwide²⁾. But their low removal capacity as nitrogen and phosphate still remains detrimental disadvantages for the stringent local effluent standards.

The objective of this paper is to remove nitrogen and phosphate in the UASB-ABF sewage treatment system by applying anaerobic denitrification as well as chemical precipitation.

MATERIALS AND METHODS

Operating conditions

Table 1 shows the detail specifications and operating conditions of UASB and ABF. Hydraulic residence times of UASB and ABF are 25 hr and 2.4hr on the base of incoming flow rate. 3 different recycle ratios (100%, 200%, 300%) were applied for verifying the effectiveness of the recycle on the removal of organic matters and nitrate in UASB. Phosphorus removal was achieved by adding coagulant (Al/P mole ratio of 2.6) in UASB. DO level was kept above 5.0mg/L in ABF and operating temperature was kept around 20±3°C.

Table 1 Specifications and operating conditions of UASB and ABF

Parameters	UASB	Aerated Bio-filter (ABF)
Flow rate (mL/min)	6.5	6.5
Volume (L)	9.8	0.9
HRT (hr)	25.0	2.4
Recycle ratio (%)	100, 200, 300	
DO (mg/L)	<0.2	>5.0
Temperature (°C)	20±3	
Coagulant (Al/P mole ratio)	2.6	

RESULTS AND DISCUSSION

Fig.1 show the TN and NH₄⁺-N removal patterns in UASB-ABF at different recycle ratios. The removal efficiencies of influent TN was 12.9%, 43.8%, 74.2% and 78.1% at recycle ratio of 100%, 200%, 300% and 300% +coagulant, respectively. Also, the nitrification efficiencies was 34.8%, 71.4%, 95.5% and 91.3% at recycle ratio of 100%.

200%, 300% and 300% +coagulant, respectively. Coagulant was added, it was observed that the nitrification efficiency decreased 4.2%.

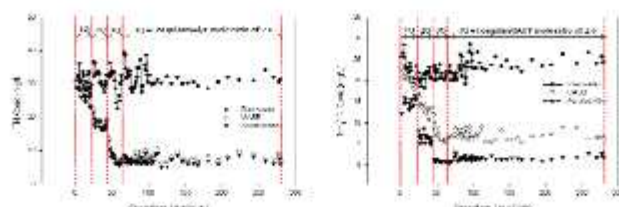


Fig.1 TN and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ removal patterns in UASB-ABF system at different recycle ratios

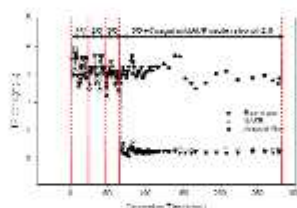


Fig.2 TP removal patterns in UASB-ABF system at different recycle ratios

Fig.2 show the TP removal patterns in UASB-ABF at different recycle ratios. Stable TP removal below 0.2 mg/L was possible by adding coagulant at Al/P mole ratio of 2.6 in UASB. Nitrification in the subsequent aerated bio-filter was not affected with the coagulant application to UASB.

CONCLUSIONS

Complete denitrification had occurred in the UASB, and both TN and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ removal also improved by recycling the nitrified effluent. Low organic matter in the effluent of UASB could improve nitrification efficiency in a subsequent aerobic filter. The removal efficiencies of influent TN was 78.1% at recycle ratio of 300% with coagulant, and 90% TP removal was possible with coagulant dose at Al/P mole ratio of 2.6 without any was added showed in UASB. Finally, 95% removal of TCOD, above 90% removal of TP and above 75% removal of TN was achieved at the UASB-ABF sewage treatment system.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by a grant(code D05) from development of a natural sewage treatment system for small rural vilage in Chung Cheong area by self operating with low cost program funded by ministry of Land, Transport and Maritime Affairs of Korean government.

REFERENCES

1. Von sperling, M., Chernicharo, C.A.L.,(2005). "Biological wastewater treatment in warm climate regions", IWA publishing
2. Tiwari, M., Guha, S., Harendranath, C., Tripathi, S., (2006). "Influence of extrinsic factors on granulation in UASB reactor", Applied microbiology and biotechnology, Vol.71(2), p.145-154

Separation of organic matter from domestic sewage in a UASB-ABF system with anoxic bio-flocculation

Dong-Jie Tian*, Jun-Sang Lee**, Hyun-Sook Lim***, Hang-Bae Jun****

* Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University, 508-909, Naesudongro 52, Heungdeok-Gu 361-763, Korea

(E-mail: dongjie1203@cbnu.ac.kr)

** Department of Korea Environment Corporation, Environmental Research Complex, 42, Hwangyeong-Ro, Seo-Gu, Incheon 404-708, Korea

(E-mail: jules2949@hanmail.net)

*** Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University, 508-909, Naesudongro 52, Heungdeok-Gu 361-763, Korea

(E-mail: emy741122@hanmail.net)

**** Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University, 508-909, Naesudongro 52, Heungdeok-Gu 361-763, Korea

(E-mail: jhbcbe@cbnu.ac.kr)

Abstract

An anoxic sewage treatment process an upflow anaerobic sludge blanket (UASB) followed by an aerated bio-filter (ABF) was investigated for the reduction of oxygen demand and the separation efficiency of the organic matter. After recycling of the nitrified effluent, complete denitrification occurred in the UASB, with an enhancement in both turbidity characteristics and TCOD removal rates. Low turbidity and COD in the effluent of the UASB reduced the oxygen demand and improved the nitrification efficiency in the subsequent ABF. Both with and without the recycling of the nitrified effluent in the UASB, 95% and 63% of the TCOD values, respectively, were removed. Compared with a conventional activated sludge system, approximately 11.74% of the TCOD was converted to CO₂ in both the UASB and the ABF, generating an approximately 60% reduction in the amount of CO₂. After accumulation in the UASB, 84% of the influent TCOD could be sequestered for use as a marginal energy source in a subsequent anaerobic digester.

Keywords: anoxic sewage treatment, bio-flocculation, separation of organic matter, CO₂ reduction

1. Introduction

The major objectives of sewage treatment have included improvements in public health, reductions in the oxygen demand after a discharge into streams, decreases in the eutrophication of natural bodies of water, and the removal of various synthetic organic chemicals. In the beginning of the 21st century, global warming concerns originating from greenhouse gases have become important issues worldwide, and the reduction of carbon dioxide from environmental utilities has emerged as another major objective.

As alternative approaches in the treatment of domestic wastewater, sequential anaerobic-aerobic processes have many advantages compared with conventional aerobic technologies, including reductions in energy consumption, excess sludge production, carbon dioxide generation, and operational complexity (Kassab *et al.*, 2010, von Sperling and Chernicharo, 2005).

With multiple inherent advantages, anaerobic treatment processes can require additional aerobic treatments to comply with effluent standards. Anaerobic processes have been generally adopted for the pre-treatment of domestic sewage to reduce the organic load on subsequent aerobic processes. An upflow anaerobic sludge blanket (UASB) has been a popular anaerobic process used in sewage treatment at ambient temperatures. The HRT (Hydraulic Retention Time) of the UASB typically ranges from 3-6 hr with a wide range of TCOD removal efficiencies (34% - 94%), as reported by

Nitrogen and Phosphorus Removal in an Anaerobic (UASB)-Aerobic (ABF) Sewage Treatment System

Dong-Jie Tian, *Hyun-Sook Lim,*** Hang-Bae Jun†

Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University, Naesadongro 52, Cheongju, Korea
(E-mail: dongjie1203@cbnu.ac.kr Tel: +820432612470)
* Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University, Naesadongro 52, Cheongju, Korea
(E-mail: envy741122@hanmail.net Tel: +820432612470)
** Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University, Naesadongro 52, Cheongju, Korea
(E-mail: jhbcho@cbnu.ac.kr Tel: +820432612470)

ABSTRACT

Anaerobic sewage treatment process using UASB (up-flow anaerobic sludge blanket) coupled with ABF (aerated bio-filter) was tested for the removal of nitrogen and phosphorus by recycling the final effluent and by adding alum to the influent. TCOD Removal efficiency was about 60% in UASB without recycle of the ABF effluent, while it increased to 90% at recycle ratio of 3. Complete denitrification had occurred in the UASB, and removal efficiencies of both TN and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ were also improved to 74% and 96% by recycling the nitrified ABF effluent. TP removal was not improved by recycle of the ABF effluent. TP and soluble phosphorus were effectively removed in UASB by adding alum to the influent. 90% removal of TP was possible with alum dose at Al/P mole ratio of 2.6. In the final effluent, concentration of TCOD, TN and TP were below 14.0, 7.0, and 0.27mg/L, respectively in the UASB-ABF sewage treatment system at recycle ratio of 3 with alum.

Keywords: Anaerobic sewage treatment, UASB, ABF, TN and TP removal

INTRODUCTION

A large number of anaerobic digesters have been built and operated for high strength wastewater treatment. Among the anaerobic digesters, high rate digesters are considered for low strength sewage treatment. Unlike the conventional low-rate anaerobic digesters such as anaerobic ponds and septic tanks, high rate anaerobic reactors are designed to operate at short hydraulic retention times (HRT) and long solids retention times (SRT) to incorporate large amounts of high active biomass⁽¹⁾. Sequential anaerobic-aerobic processes has been suggested for alternative domestic wastewater treatment that exploited many advantages compared to conventional aerobic technologies, such as less energy consumption, less excess sludge production, less carbon dioxide generation, and less complex in operation^(1,2).

Higher contribution of the UASB reactor to the TCOD removal in an anaerobic-aerobic system can reduce aeration energy and sludge production in a subsequent aerobic process. Pontes et al.⁽³⁾ demonstrated over 93% contribution of the UASB reactor was possible by recycling the trickling filter (TF) sludge with about 1% recycle ratio of the influent. Jun et al.⁽⁴⁾ could have 95% contribution of the UASB reactor by recycling the aerated filter (AF) effluent with 100% recycle ratio. They stated that recycle of the nitrified effluent of AF might enrich the heterotrophic microorganisms (denitrifiers) who improved bio-flocculation of the particulate COD in the UASB reactor. They also reported TN removal efficiency was about 70% in the UASB-AF system that showed similar efficiency as other biological nutrient

심사중

동시 질산화-탈질(SND) 반응을 적용한 MBR 반응조에서
질소 및 인 제거 특성

Nitrogen and Phosphorus removal in Membrane Bio-Reactor(MBR)
using Simultaneous Nitrification and Denitrification(SND).

전통걸 · 박찬일 · 전항배†

Tian, Dong-Jie · Park, Chan-Il · Jun, Hang-Bae†

충북대학교 환경공학과

Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University

ABSTRACT

Simultaneous nitrification and denitrification(SND) occurs concurrently in the same reactor under micro dissolved oxygen(DO) conditions. In an aerated Membrane bio-reactor(MBR) anoxic zone could easily settled in a microbial floc due to high sludge residence time(SRT) and high MLVSS even in high DO. In this study, nitrogen removal by SND was investigated in a single MBR and phosphorus by coagulant with synthetic domestic wastewater. The major parameters for SND in MBR were DO, hydraulic retention time(HRT), C/N ratio, and the floc size. Several DO levels such as 2.0, 1.5, 1.0, 0.75mg/L were tested for finding the condition of SND in MBR. CODcr removal efficiency was over 90% at DO 0.75mg/L. When the DO was maintained at 2.0mg/L, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ removal efficiency was over 99%. But denitrification did not occur due to the high DO and T-N removal efficiency was about 52%. At DO 0.75mg/L about 66% of T-N could be removed in the SND MBR. As a result of injecting with 50mg/L and operating continuously the coagulant Alum in the anaerobic reactor, the T-N removal efficiency reduced in 66% by 54%, T-P removal efficiency could confirm to increase in 30% by 90%. The coagulant injection all backwashing cycle showed up as 15-20 day, after injecting, the backwashing cycle confirmed to be lengthened with 40-50 day.

keywords : Membrane bio-reactor(MBR), Simultaneous nitrification and denitrification(SND), Dissolved oxygen(DO), Biological nitrogen removal(BNR)

† Corresponding author

E-mail: jhlee@chungbuk.ac.kr

Tel: 043-261-2470

Fax: 043-271-7976

게재 확인

혐기성 하수처리공정에서 UASB HRT에 따른 유기물질
제거특성
Effect of UASB HRT on the Removal of Organic Material in
Anaerobic Sewage Treatment Processes

전항배†
Jun, Hang-Bae†
충북대학교 환경공학과¹⁾

ABSTRACT

The effect of UASB HRT on the removal of organic material was investigated in an UASB-ABF(Up-flow Anaerobic Sludge Blanket-Biofilter) anaerobic sewage treatment system. UASB HRT were 72, 25, 3hr which case I, case II, case III compared divided into, respectively. Removal efficiency of organic material was the highest in UASB HRT 72hr with case I, methane gas occurred. However, HRT 25, 3hr which case II and case III were 71%, respectively. The methane gas generated was not enough to be measured. Unlike organic material removal, removal efficiency of SS and Turbidity were the highest in HRT 3hr case III. In addition, a series of inflows organic material, effluent organic material, organic material accumulated in the reactor, such as the various parameters were analyzed. Organic material well accumulated in UASB reactor, the shorter HRT. On the other hand, organic removal efficiency did not show a big difference.

Keywords: Anaerobic Sewage Treatment, UASB, HRT, Organic Material Removal, SS Removal, Turbidity Removal

요약: 본 연구는 UASB-ABF(Up-flow Anaerobic Sludge Blanket-Biofilter) 시스템을 이용한 하수의 혐기성처리 방법에서 UASB HRT가 유기물질 제거에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. UASB HRT는 각각 72, 25, 3hr의 case I, case II, case III로 나뉘어 비교 분석하였다. 그 중 UASB HRT가 72hr인 case I에서 유기물 제거효율이 가장 높았고, 메탄가스도 발생하였으나, HRT 25hr인 case II와 HRT 3hr인 case III에서는 유기물 제거효율이 각각 71%이었다. 또한 메탄가스 측정이 가능할 정도로 발생되지 않았다. SS 및 탁도 제거효율은 유기물 제거와는 달리 HRT가 3hr인 case III에서 가장 우수하였다. 또한 각 case에 따른 일련의 유입 유기물 량 및 유출 유기물 량, 반응조 내 축적된 유기물량 등 다양한 변수들에 대한 분석을 통하여 각 case에 따른 유기물 수치분석한 결과 HRT가 짧을수록 UASB 반응조 내에서의 유기물 축적이 현저히 이루어졌으며, 이와 반면에 유기물 제거효율에는 큰 차이를 나타내지 않았다.

† Corresponding author:
E-mail: jhbsbe@chungbuk.ac.kr Tel: 043-261-2470 Fax: 043-271-7076

심사중

특허

		
특 허 증 CERTIFICATE OF PATENT		
특 허 제 10-1273265 호 (PATENT NUMBER)	출원번호 (APPLICATION NUMBER) 출 원 일 (FILING DATE:YY/MM/DD) 등록일 (REGISTRATION DATE:YY/MM/DD)	제 2011-0102963 호 2011년 10월 10일 2013년 06월 04일
발명의명칭 (TITLE OF THE INVENTION) 하·폐수의 유기물질 분리 및 바이오가스 회수 장치		
특허권자 (PATENTEE) 충북대학교 산학협력단(150171-0*****) 충청북도 청주시 흥덕구 내수동로 52 (계신동)		
발명자 (INVENTOR) 등록사항란에 기재		
위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다. (THIS IS TO CERTIFY THAT THE PATENT IS REGISTERED ON THE REGISTER OF THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE.) 2013년 06월 04일		
 특 허 청 장 김 영 COMMISSIONER, THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE 		
연차등록료 납부일준 일정등록일 이후 4년차부터 매년 06월 04일까지이며, 등록원부요 관리관계를 확인바랍니다.		

관인생략 출원번호통지서

출원일자 2012.06.28
 복기사항 심사청구(유) 공개신청(무)
 출원번호 10-2012-0069571 (접수번호 1-1-2012-0515754-48)
 출원인명칭 충북대학교 산학협력단(2-2004-016822-6)
 대리인성명 김세창(9-2004-000061-7)
 발명자성명 이호상
 발명의명칭 정수처리기능을 갖는 자연형 하전 호안 공법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
 * 납부자번호 : 0131(가공코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
 * 특허포(patent.go.kr) 좌측 > 민원서비스바로가기 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
 * 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-특허마팅-PCT/마드리드
 * 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
 * 미국특허상표청의 선출원을 기점으로 우리나라에 우선권수정출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적고향허가서(PTO/68/99)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
 * 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

3-1037

수질 측정 기록부

번호 3-1037

① 의뢰인	상 호(기관명)	충북대학교		② 일반현황	시 설 별	-
	소재지(주 소)	충북 청주시 흥덕구 내수동로52			종 별	-
	대표자(의뢰인)	-			주 상 산 품	-
	환경 기술인	-				
③ 의뢰내용	측 정 용 도	수질확인용				
	대 상 의 명 칭 (측정지점)	식생여과조 방류수				
	의 회 항 목	T-N, T-P, BOD				
④ 시료채취	채 취 용 기 및 수 량	2L	수 량	2		
	채 취 자 외 견	특이사항 없음				
	채 취 일 시	2013년 11월 12일		시 료 채 취 자	지참시료	
	⑤ 측정분석결과	측 정 항 목	관 련 기 준	측정 분석값	측정분석방법	비 고
T-N		-	12.178 mg/L	자외선/가시선분광법		
T-P		-	0.724 mg/L	자외선/가시선분광법		
BOD		-	6.5 mg/L	20℃ 5일간		
		- 이	하 여	매 -		
분 석 기 간	2013년 11월 12일 ~ 2013년 11월 19일		분 석 책 일 자	박수미 (서명)		
⑥ 총 합 의 견	-					

주의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 지역기술혁신사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.