

수영용수 수준의 하수 초고도처리를 위한 I³ System 실용화 기술소개

이의신* · 임성균 · 김용학

*대우건설 기술연구소 · 코오롱건설 기술연구소

Development of I³ Advanced Sewage Treatment Systems for Recreational Water

Eui-Sin Lee* · Seong-Keun Yim · Yong-Hak Kim

*Daewoo Institute of Construction Technology · R&D Institute, KOLON E&C

1. 서론

하수처리산업은 앞으로도 지속적으로 발전되어야 할 공공기반기술이며 복지기술이다. 향후 우리나라 하수처리율은 10년 이내에 선진국 수준에 육박하며, 기술적인 측면에서는 BOD, SS 제거 위주에서 N, P 제거를 포함한 고도처리로의 개량이 상당 부분 완료될 것으로 예상된다. 그간 정부주도의 국책연구사업이 추진되면서 다양한 BNR(Biological Nutrient Removal) 공정들이 개발되어 적용되었지만 좁은 국내시장과 유사 공정들 간의 과다경쟁, 그리고 개발된 기술의 대외 수출산업화가 미흡하여 국내 하수처리분야는 전반적으로 성장동력을 상실하고 있는 실정이다. BNR 공정을 근간으로 하는 고도처리기술 적용 이후 국내 상하수도 분야의 기술혁신과 함께 수처리 산업의 새로운 성장 동력이 필요하다. 또한, 국민의 환경보전에 대한 욕구가 지속적으로 증대되면서 양질의 수자원 확보가 필요한 상황이므로, 하수의 수영용수수준의 고도처리는 중요한 핵심기술이자 새로운 성장동력이 될 것으로 예상된다.

지금까지 환경기술개발은 일반적으로 개별 기업의 능력에 의하여 개별기업단위로 추진되어 왔다. 하지만 최근 하수처리분야의 새로운 기술개발사업은 IT 및 BT 분야기술이 급격히 발전하면서 대기업이라 할지라도 모든 기술을 동시에 선단식으로 개발하기에는 기술개발투자의 위험성이 너무 큰 현실이다. 따라서 본 기술실용화사업은 국가적 차원에서 기술개발(R&D)의 투자위험 분산 및 성공률 제고를 위하여 “기술 컨소시엄(engineering consortium)” 형태를 취하여 참여기업 간의 기술적 시너지 효과를 극대화하도록 조직할 필요성이 시급하다. 이러한 시도는 단위과제별 단위 기업별로 개발되어온 국내 실용화 기술개발 사업을 기술적 장점을 지닌 기업협력형 연구로서 매우 중요한 의미가 있다. 이미 IT 분야에서 삼성전자와 일본 SONY사간의 Display 분야 기술협력을 선행사례로 들 수 있으며 환경기술 분야에서도 이러한 시

도가 필요하다.

이러한 배경에 따라 수처리선진화사업단에서는 세계 최고 수준의 하수 처리 기술과 시스템을 개발하기 위해 Eco-Star 프로젝트를 통해 수영용수 수준의 하수 초고도처리를 위한 I³ system 실용화 연구를 수행하고 있다. 본서에서는 이러한 I³ system 실용화 연구의 배경과 목표, 수행 내용 및 성과, 추진 계획 등을 소개하여 향후 수처리 분야를 선도할 수 있는 기술 협력 연구 사례를 제시하고자 한다.

본 과제는 수처리선진화사업단의 과제 관리 하에 국내 3개의 민간기업인 (주)대우건설, 코오롱건설(주), (주)포스코건설이 주관기관으로서 기술개발에 참여하고 있으며 위탁기관으로 경북대학교, 연세대학교, 고려대학교, 참여기업으로 (주)도화종합기술공사, (주)한국종합기술, (주)부강테크가 참여하고 있다. I³ system은 하수고도처리 공정의 효율 극대화를 위한 MBR(Membrane Bio-Reactor), BNR(Biological Nutrient Removal) 공정 연구와 미량유해 물질 제거 및 제어를 위한 AOP(Advanced Oxidation Process), BNR 효율 증진을 위한 슬러지 가용화, 반류수 처리 및 후탈질 공정, 모니터링 및 자동화 시스템 등으로 구성되어 있다. I³ system을 통하여 수영용수 수준 및 무해화한 처리수질을 확보하여 상수원을 보호하고 체계화/표준화한 초고도 하수 처리 공정개발을 목표로 집적형 공정, 조합공정, BNR 최적화 공정을 개발하고 자동화 등을 포함한 연계공정을 구축하며 대상용수/목표수질에 따른 최적의 공정 조합을 도출하여 공정의 고집적·저비용·고효율화를 이룩하고자 한다. I³ system은 정량적인 기준으로서 BOD < 3 mg/L, SS < 3 mg/L, T-N < 5 mg/L, T-P < 0.5 mg/L, 탁도 < 1 NTU, 대장균수 ND의 수질기준에 해당하는 수영용수 수준의 처리수를 목표로 하며, 집적화 및 저에너지 공정 개발을 통하여 기존 BNR 공정 대비 부지 면적 50% 절감, 기존 BNR 공정 대비 비용 10% 절감(유지관리비 30%)을 목표로 하고 있다. 본 과제의 연구 추진 일정과 관련하여 1단계(2004년 12월~2005년 5월)에서는 하수고도처리관련 요소 기술 검토 및 적용 기반 기술 연구를 수행하였으며 2단계(2005년 6월~2007년 5월)에서는 요소 기술의 결합에 의한 통합 공정의 도출을 진행하고 있으며, 향후 3.4 단계에서는(2007

E-mail: hak94@kolon.com

Tel: 031-329-0641

Fax: 031-329-0651

년 6월~)에서는 시험사업을 통한 실증플랜트 운영에 의해 공정 성능을 평가하고, 기술의 상용화 및 상품화를 구축하고자 한다.

2. 관련기술의 국내외 동향

2.1. 국외 기술현황

2.1.1. 국외 MBR 공정 기술 현황

국외의 경우 일본의 시장이 가장 활발히 형성되어 있으며 캐나다, 호주 등도 일부 분야에서 상업화되었다. 일본은 Aqua-Renaissance '90 Project를 통해 정부와 20여개의 회사들로 조직을 구성하여 1985년부터 분리막과 생물반응기를 결합한 공정에 대한 연구를 착수하였다. 이는 활성슬러지 공정으로 가정하수와 산업폐수 처리시 발생하는 폭기동력, 소요부지, 잉여슬러지 발생 등의 문제점들을 해결하기 위한 것으로 그 결과를 토대로 빌딩내의 중수도 설비와 소규모 하수처리장 및 분뇨처리 시설에 많이 적용시키고 있으며, 1994년의 경우 신설된 분뇨처리시설의 50.2%가 막결합 공정으로 채택된 바 있다. 이들은 초기에 주로 관형이나 관형의 UF막을 이용한 순환형 공정을 이용하였으나 최근에는 증공사 형태의 MF/UF 막모듈을 이용한 침지형 공정이 많이 사용되고 있으며, MRC (Mitsubish Rayon Corporation), Kubota 및 Zenon 사가 주류를 이루고 있다.

최근 적용되는 MBR 공정은 대부분 MLSS 10,000~20,000 mg/L에서 운전되는데 화학세척주는 연간 1~2회 행하고 있다. 현재 성공적으로 가동되고 있는 MBR의 경우 설치된 지 3~5년이 지난 이후에도 분리막 교환 없이 안정적으로 운영되고 있음이 보고되고 있다. 또 점차 설치되는 MBR의 용량이 증가하는 경향을 보이고 있는데, 초기의 수십톤/일 규모에서 현재는 수만톤/일 규모로 대형화되는 추세이다. 교차흐름 여과방식의 분리막을 이용하는 MBR은 설치 및 운전의 경제성이 침지형에 비해 크게 뒤떨어지므로 현재는 축산폐수와 같은 혐잡물이 많은 폐수를 제외하고는 침지형(submerged) MBR이 일반화되고 있는 추세이다.

막 결합 생물반응조의 운전에서 가장 중요한 인자는 막의

수명이며, 이는 직접적으로 공정의 경제성과 유출수의 수량 및 수질에 영향을 미친다. 막오염은 물리적, 화학적 및 생물학적 요인이 복합적으로 작용하는 복잡한 기작으로서 이에 대한 규명이 막제조국을 중심으로 진행되고 있다. 이러한 막오염 규명을 중심으로 동력비 및 막 교체주기 관련한 경제성 평가, 막 모듈의 표준화와 관련한 연구가 수행 중에 있다.

2.1.2. 국외 AOP 기술 현황

전 세계적으로 하천수, 호수 및 지하수에서 아주 낮은 농도이기는 하지만 고도산화로 제거가 가능한 다양한 유해물질이 검출되고 있다. 생산 공정으로부터의 부산물, 농약, 살충제, 의약품, 산업용 용제, 향생제, non-prescription drugs 및 소방약품 등에 대표적인 유해 화학물질 등이 포함되어 있으며 대부분 아주 작은 농도로 검출되지만 발암성이거나, 내분비계 장애물질(endocrine disruptor chemicals, EDCs)로서 그 중 일부는 이미 특별관리 대상으로 지정되어 있다. 염소 소독의 결과로 생성되는 대표적인 소독부산물(disinfection by-product, DBPs)인 N-nitrosodimethylamine(NDMA), trihalo-methane(THMs) 및 haloacetic acids(HAAs) 등도 발암성이고, 임신부의 유산율을 증가시킬 수 있는 물질로 알려져 있다. 자연계에 존재하는 bromide와 오존이 결합하여 생성되는 bromate도 강력한 발암물질이다. 이 bromate는 USEPA에 의하여 0.05 ppb에서 발암성인 것으로 판명된 바 있다. USEPA 산하 Endocrine Disruptor Screening and Testing Advisory Committee(EDSTAC)에서는 약 87,000가지의 화학물질을 내분비 장애를 촉진할 수 있는 연구대상 물질로 분류한 바 있다. 이렇게 다양한 유해물질이 자연계에 배출되어 상수원수를 오염시키는 가장 큰 원인은 미처리 산업폐수의 방류뿐만 아니라 이 물질들이 생활하수를 따라 일차적으로 유입되는 하수처리장에서 이러한 유해물질을 제거하지 않고 배출하기 때문이다. 따라서 하수처리 공정에 유입되는 유해물질의 종류 및 농도의 파악, 공정 내 분해기작의 규명 및 고도산화를 이용한 제거방법의 개발의 필요하다.

선진국의 대부분의 하수 고도처리장에서 물의 재생을 위한 고도처리수 내 유해물질을 제거하는 방안으로서 크게 AOP

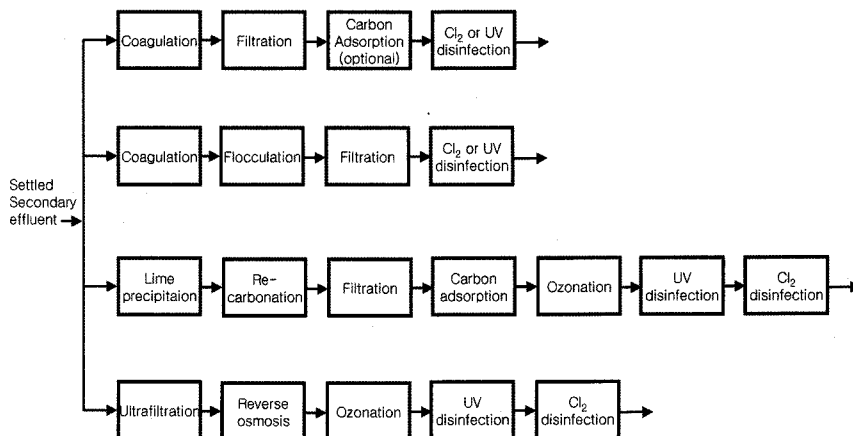


Fig. 2.1. Flow diagrams for wastewater treatment employing advanced treatment processes.

(고도산화)계열의 공정과 물리화학적 제거공정이 설계되고 있다. UV 혹은 오존 등과 같은 강력한 산화제와 H₂O₂를 이용하는 공정이 전자의 경우이며 여과, 막분리 및 활성탄 흡착이 후자에 속한다. BNR 공정에서 배출되는 방류수의 물리적 후속 처리공정으로서 흔히 사용되는 공정은 (1) 여과, (2) 입상여과 + 활성탄흡착 + 역삼투(RO), (3) MF + RO 등이 제안되기는 하나, 제거 대상 유해물질에 따른 물리화학적 성질 및 사용목적에 따라서 달리 적용하는 것이 효율적이다. 일반적인 AOP 연계 처리 공정들을 Fig 2.1에 나타내었다.

2.1.3. 국외 BNR 공정의 고효율화 기술 현황

탄소원 절약과 회수를 위하여 국외에서 연구된 생물학적 기작으로는 생물막을 사용하는 경우 생물막내의 내생탈질을 최대한 이용하는 절약공정이 공정 안정성 측면에서는 이상적인데 이 기작은 때로는 동시질산화-탈질(Simultaneous Nitrification Denitrification: SND)으로도 알려져 있으며 일부 미생물들은 실제 이러한 기작을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 이 기작은 생물막 외부의 호기성 질산화와 생물막 내부(혹은 생물막 저층)에서 미생물용해산물(lysis products)에 의한 탈질로 해석된다. 이러한 기작은 반응조가 호기성상태에서 운영되는 과정에서 질소가 제거되므로 호기성탈질(Aerobic Denitrification)로도 혼동되기도 한다. 참고로 순수한 의미의 호기성탈질미생물은 최근(2002년경)에야 동정된 실정이다. 따라서 현재 선진국의 연구 개발 수준과 미생물학적 조절개념에서 보면 생물막에서 SND를 유도하는 것이 공정미생물학적 측면에서 유지관리와 조절이 용이한 것으로 평가된다. 생물막 SND를 유도하는 경우, 이론적으로 보면 시스템내 탄소원 소요를 최대 10% 정도 절약할 수 있는 것으로 산정된다.

탄소원 절약공정의 한 방안으로 아질산화(Nitritation)을 이용하는 공정도 충분히 고려될 수 있다. 생물학적 아질산화공정은 pH 조건에 의한 free ammonia 저해조건을 이용하거나 혹은 질산화미생물의 온도에 따른 성장률의 차이를 선택적으로 이용하여 아질산화미생물을 축적하는 것인데 원래 탄소원 절감을 위하여 소화조 상징액 등 중온(35℃)에서 특허화된 Sharon-Anammox 조합공정을 위하여 개발되었다. 아질산화공정은 방류수내 질소를 전환시켜 궁극적으로는 처리장의 질소제거효율을 최대 15% 정도 증대시킬 수 있다. 하지만 기존 아질산화 공정의 최대 약점은 Chemostat 형식의 부유성장공정이므로 상대적으로 반응조의 체류시간이 긴 점과 미생물학적 안정성을 획득하기 난이한 것으로 평가된다. 참고로 국외에서는 아직까지 생물막 아질산화공정을 개발하고 있지 못하고 있는데 그 이유는 media 제조기술 때문으로 사료된다.

탄소원 회수기술은 최근 10여 년간 심도 있게 연구 개발된 분야이다. 일차슬러지로부터 산발효 등 혐기성적인 회수방안은 매우 가능성이 있는 기술이나 국내하수처리장을 기준의 물질수지에서 보면 전체 탄소원 소요(질소+인)를 공급하기 힘들다는 단점이 있다. 따라서 각종 공정 부산물이나 연계 처리되는 유입수를 활용하는 경우 환경적 측면에서 경제성이 있는 것으로 평가되고 있다. 다만 가장 문제점으로

지적되는 것은 회수 후 탄소원 내 질소 및 인의 함량인데 특히 질소의 경우 제거대상 물질을 재주입하는 결과가 되어 효율적인 질소제거 기술의 개발이 필요하다. 최근에는 슬러지 감량화를 고려하여 산세정 발효를 통한 가용성물질의 회수기술이 주류를 이루고 있다. 특히 산세정발효공정은 음식물쓰레기 등 공정 부산물을 포함하여 처리하면 BNR공정의 탄소원 문제를 해결할 수 있는 것으로 평가된다.

한편, 슬러지 처리과정에서 호기성반응을 이용한 탄소원 회수 공정도 개발되고 있는데 원래 호기성공정은 슬러지 감량화 목적으로 개발되었으나 산소공급에 따른 에너지 비용 때문에 잘 사용되지 않았다. 하지만 최근에는 ATAD(Auto-Thermal Aerobic Digestion)을 이용하여 감량화는 물론 자체 발열을 이용하여 병원균제거와 에너지비용 절감방안으로도 연구·개발되고 있다. 특히 고온 호기성 반응과정에서 일부 유해물질의 제거와 탄소원 회수는 장점으로 부각되나 기계적 문제점이 개선되어야 할 것으로 알려져 있다.

2.1.4. 국외 유해물질 모니터링 및 자동 제어 기술 현황

선진국에서는 분자생물학이나 생화학 기법을 통한 유해물질의 분석 및 모니터링 기술을 연구하고 있다. 하수 내 유해물질의 측정은 현장성과 감도, 경제성이 기술개발의 핵심으로 대두되고 있다. 유해물질의 측정농도 범위특성으로 보면 ppt 수준의 위해성물질을 측정 감시하여야 하는 상수와는 달리 하수는 대개 ppb 수준이다. 국외 측정분야 기술 발전 수준은 IT분야 기술의 generation time 이상으로 급격히 변모하고 있다. 대표적인 예로 ELISA kit와 같은 기존의 기술을 이용한 분석방법이 있다. 이 측정기술은 하수분야에 적용에 대하여 회의적인 것으로 간주되어 국내에서도 잘 시도되지 않았다. 하지만 특정 유해물질에 대한 간편분석법으로 응용되는 ELISA kit의 국외 적용 사례를 보면, 시료와 감도에 따라 차이는 있지만 대개 3시간 이내의 측정시간으로 0.25 ppb에서 500 ppb 농도의 몇몇 유해물질들을 측정할 수 있는 것으로 나타나고 있으며 개발비용도 최근에는 상대적으로 저렴한 것으로 나타나고 있다.

한편 자동화를 위한 공정 모델링 접근방법으로는 물질수지식에 기반한 수학적 모델인 활성슬러지공정에 대한 IWA Activated sludge 모델을 변형하고 간략화시켜 실시간으로 운전결과를 예측하기 위한 노력과 더불어 최근에 각광받고 있는 인공지능 기법을 이용하여 입출력간의 운전 자료를 이용한 모델링 방법이 시도되고 있다. 수학적 모델인 IWA Activated sludge 모델은 모델식에 포함되어 있는 매개변수의 수가 너무 많고 매개변수의 결정과정 역시 상당한 시간과 노력이 필요하여 실제 운전에 적용되는 데는 한계가 있는 것으로 나타나고 있다. 최근에는 공정의 수학적 모델 대신 실제 운전을 통해 축적된 입출력 자료를 이용한 모델이 시도되고 있다. 이러한 모델링 접근 방법은 다변수 회귀분석 등 통계적 방법이 주로 사용되어 오다가 최근에는 인공신경망 등의 인공지능 기법이 도입되면서 모델의 예측 성능을 더욱 향상시키고 있다.

2.2. 국내 기술 현황

2.2.1. 국내 MBR 공정 기술 현황

국내 분리막 소재개발은 몇 개 전문 업체에 의해 추진되어 왔으며 시장성이 제한되어 정수용이나 여과용으로 개발되어 왔다. 본격적인 하수 MBR 공정은 아직 적용 실적이 희박하며 일부 소규모 오수처리장에 적용되고 있다. MBR 변형 공정이 축산폐수, 분뇨, 침출수 등 유기물농도가 높은 폐수에 적용되어 충격부하 및 적정 F/M비 유지를 위해 높은 슬러지 농도를 유지하는 방향에서 설계되고 있는데 국내의 상황과 같이 유입부하가 낮은 하수처리 공정에서는 높은 슬러지농도의 유지가 어렵고, 유지하는 경우에 있어서도 막 오염 현상의 심화, 미생물 활성의 저하 등이 예상된다. 또 국내 유입 하수와 같이 COD/N 비가 낮은 경우 막오염의 주요 원인물질인 미생물의 체외고분자물질(Extracellular polymeric substances, EPS)이 많이 분비되어 막오염을 심화시키는 것으로 나타났다. 따라서 현재 외국을 중심으로 개발된 MBR 기술을 그대로 적용하는 것은 향후 많은 문제점을 야기할 것으로 판단되며, 국내 실정에 적합하고 막공정에서 낮은 슬러지농도의 유지가 가능한 공정을 개발하는 것이 필요하다고 사료된다.

국내의 경우 아쿠아테크에 의해 90년대 증반 관형막(tubular membrane)을 이용한 MBR 공정인 BIOSUF 공정이 상업화되었다. 이 공정은 남아프리카공화국의 Membratex사의 막을 이용되었고, 고농도 축산, 분뇨 및 분뇨폐수처리에 주로 이용되었고, 산화구의 MLSS 농도를 10,000 mg/L 정도로 높게 유지하여 충격부하에 강한 특징을 보였으며, 질소제거에도 큰 효과가 있음이 보고되었다. 이후 90년대 말부터 2000년대 초 MBR 공정 및 분리막의 제조 분야에서 획기적인 발전을 하고 있다. 하수처리장의 경우, 대부분 증공사 또는 평막을 이용하며, 대부분 침지식으로 적용하고 있다. 특히, 초창기에는 기존활성슬러지 형태의 오수 및 산업폐수처리장에 주로 도입하였으나, 2002년 하수처리장의 법적방류기준이 크게 강화되고 특히, 중소규모 하수처리장 및 마을하수 처리장의 효율적인 관리의 중요성이 인식되면서, 슬러지의 효율적 관리 및 이로 인한 효율의 안정성 및 시설의 compact화 및 후속되는 시설, 여과 및 소독공정의 문제와도 결부되어 많은 관심의 대상이 되고 설치규모도 점진적으로 확대되고 있는 실정이다.

2.2.2. 국내 AOP 기술 현황

고도산화공정과 관련한 국내 실정으로는 비공식적으로 일부 하수처리장과 정수장에서 일부 미량유해물질을 측정하고 있으나 체계적인 기초조사가 미비한 상황이다. 오존의 경우에 국내에서는 대구 달서천 하수처리장, 부산 덕산 정수장, 화명 정수장 등에서 사용되고 있다. 대구 달서 하수처리장의 경우 중·서·남·북 달서구 등 도심의 생활하수와 3공단, 서대구공단, 염색공단의 폐수, 방천리 쓰레기매립장의 침출수 및 위생처리장의 분뇨 등을 통합·처리하여 금호강으로 방류하는 대구 최대의 하수처리장이다. 처리방법은 혐기, 무산소, 호기+오존처리+모래여과(34만³/일)이다. 이 달서천 하수처리장은 색도를 유발하는 유기물질을 오존으로 산화시켜 제거하고 있는 국내 유일한 최대규모의 하수처리장이다.

UV는 국내 약 100여개 이상의 하수처리장에서 설치 운영 중이며 대부분 대장균 살균을 위해 이용되고 있다. 대표적인 하수처리장으로는 안양하수처리장, 남제주 동부하수처리장, 보은하수처리장, 해운대하수처리장, 양산어곡폐수처리장, 광양하수처리장, 경안하수처리장, 양양하수처리장, 남제주 대정하수처리장, 영동하수처리장 및 강진 하수처리장 등이다. UV 소독 장치가 설치된 하수처리장 방류수에서 NDMA 혹은 1,4 Dioxane 등을 처리하기 위해 UV 강도를 조절하거나 H₂O₂ 주입설비를 추가하여 고도산화 처리시키는 연구도 추진되고 있다.

2.2.3. 국내 BNR 공정의 고효율화 기술 현황

국내에서는 탄소원 절약 공정이 개발된 사례가 있으나, 아직 수요에 비해 연구가 부족한 실정이다. 슬러지 및 축산 분뇨 등의 질소제거에 본 실용화과제 연구진을 포함하여 일부에서 고농도질소의 아질산화 공정에 대한 특허 및 연구개발이 있다. 특히 슬러지 아질산화 공정은 하수처리장의 혐기성소화조가 있는 경우, 공정 설계에 대한 구체적인 연구 결과까지 제시되어 있어 이 분야 국내 수준이 오히려 국외의 수준에 필적하는 것으로 평가된다. 특히 생물막 아질산화공정은 실제 적용 시 부유성장공정에 비하여 경제성이 있는 것으로 평가된다. 산발효 공정 또한 본 과제 참여 연구진에 의해 다양한 연구 결과를 확보하고 있는 실정이다.

한편, 최근에는 도입단계의 기술로서 호기성 소화 및 자체 발열 고온호기성소화(ATAD)에 대한 연구 시도도 있다. 일부 외국(독일, 미국, 캐나다)에서 ATAD공정은 에너지 비용 때문에 슬러지 감량화 공정으로서의 가치는 낮은 편으로 평가되었으며 국내에서도 잘 연구되지 않았다. 다만 최근 ATAD 공정에서 질소제거 특성과 탄소원 회수 가능성에 대한 기초연구가 이루어지면서 새로운 가능성을 지닌 공정으로 대두되고 있다.

2.2.4. 국내 유해물질 모니터링 및 자동 제어 기술 현황

국내에서는 BT/NT 분야를 응용한 분석법이 실험실 규모에서 수행된 사례가 있으나 실제 처리장에 적용한 경우는 보고되지 않고 있다. 따라서 국내외에서 개발된 그 밖의 여러 분석법들을 검토하여 국내 하수처리장에 적용 가능한 분석법을 적용 혹은 개발하는 것이 필요하리라 판단된다.

국내 자동화 기술은 아직 기초적인 수준으로서 하수처리장에서의 복합적이고 정밀한 공정조절과 자동화는 아직 적용되지 못하는 실정이다. 그 이유는 자동화의 개념자체를 인력대체수단 정도로 보고 있는 정책적 문제점과 실질적으로 처리장을 운영할 수 있는 기술체계가 장기간에 걸쳐 구축되지 않았기 때문이다.

3. 기술개발 수행현황

3.1. 연구 개발 추진 구성

본 과제는 현재 3개의 주관사(1주관: (주)대우건설, 2주관:

코오롱건설(주), 3주관: (주)포스코건설)의 공동연구에 의해 기술 컨소시엄을 통한 통합공정의 개발을 추진 중이다. 1주관에서는 MBR 공정 및 탄소원 보충을 위한 슬러지 가용화 등으로 구성되는 집적형 공정 개발을 수행하고, 위탁기관인 경북대와 인하대에서 슬러지 가용화 기초평가 및 LCC, LCA 기법개발을 각각 수행하고 있다. 2주관에서는 MBR 핵심 설비 개발 및 후단 AOP 공정으로 구성된 조합 공정 개발을 수행하며 위탁기관인 연세대에서는 후속 조합 공정 평가를 진행 중이다. 3주관에서는 고효율 BNR 공정과 반류수 처리 및 후탈질 공정 등으로 구성된 BNR 최적화 공정 개발을 수행하고 있다. 참여기업으로는 (주)도화종합기술공사와 (주)한국종합기술공사에서 통합 공정의 설계 표준화를 수행하며, (주)부강테크에서 시스템 자동화 및 모니터링 공정 개발을 진행 중이다. 본 과제에 참여 기관의 역할 분담을 도식화하여 그림 Fig. 3.1에 나타내었다.

3.2. 연구 수행 목표

본 연구과제는 I³ Advanced Treatment System 구축을 위한 집적형 공정 개발, 조합공정 개발 및 BNR 최적화공정 개발을 목표로 대형 하수처리장(100,000톤/일)의 적용을 위한 BNR 최적화 연구와 중소형 하수처리장(50,000톤/일) 적용을 위한 침지형 분리막 공정 연구 슬러지 가용화 및 재이용을 통한 질소제거효율 향상, 발생슬러지 최소화 기술 등 수영용수 수준의 수질확보가 가능한 시스템을 확립하고자 한다. 각 주관기관의 단계별 연구수행 목표를 Table 3.1에 나타내었고, 본 과제에서 개발 및 도출하고자 하는 I³ System의 개념도를 Fig. 3.2에 나타내었다.

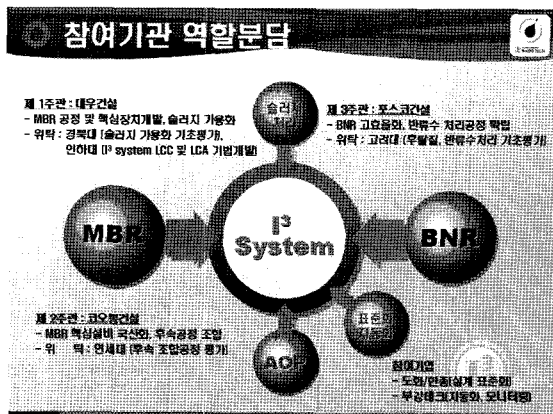
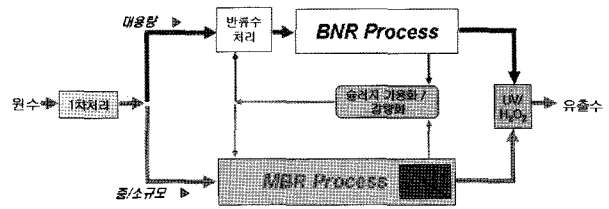


Fig. 3.1. 과제 참여 기관 역할 분담.

Table 3.1. 단계별 연구수행 목표

구분	1단계(2004.12~2005.5)	2단계(2005.6~2007.5)	3단계(2007.06~2010.05)
1주관	집적형 공정 요소기술 검토 (MBR+BNR 기초조사)	I ³ System 구축을 위한 집적형 공정개발	- 시범사업을 통한 시스템 상용화 - 실증화를 통한 용도별 /적용 대상별 최적 조합 기술개발
2주관	공정조합 요소기술 검토 (MBR+AOP 기초조사)	I ³ System 구축을 위한 조합 공정개발	
3주관	고효율화 요소기술 검토 (BNR 고효율화 기초조사)	I ³ System 구축을 위한 BNR 최적화 공정개발	
	Innovation	Interconnected	Integrated



주처리 공정 (생물학적 처리)	BNR, MBR	-경제성 및 처리량 규모에 따라 선정 -외부탄소원 최소화
후속조합공정	후탈질, UV+H ₂ O ₂	-후탈질: TN 5mg/L 만족 위한 질산염 제거 -AOP: 미량유해물질 제거
슬러지 처리	슬러지 가용화, 감량화	-슬러지 가용화 및 처리비용 최소화 -반류수 영합 최소화 및 악취, 외부탄소원 최소화

Fig. 3.2. I³ System의 개념도.

1주관의 최종목표는 I³ System 구축을 위한 집적형 MBR 공정 개발로서 수영용수 수준의 수처리 안정성 확보, Flux, 막 점유면적 등의 기술성 제고, 초기시설비, 인건비, 전기요금 등 경제성 및 친환경성 제고를 목표로 한다. 아울러 위탁과제를 통해 고도처리 MBR 공정의 검증 및 최종슬러지 감량화/자원화/무해화 공정과 관련한 세부 연구 및 집적형 공정에 대한 경제성 및 친환경성 평가를 수행하고자 한다.

2주관의 최종목표는 I³ System 구축을 위한 조합공정 개발로서 핵심요소기술의 최적화, 대용량 하수처리용 MBR 핵심 설비 국산화, 탈질효율 극대화를 위한 MBR 공정의 확립, 미량유해물질 제거용 후속조합공정 확립을 세부목표로 한다. 위탁과제로는 방류수질 특성 및 유해물질의 물리 화학적 성질에 따른 연계/융합 고도산화 공정 개발을 목표로 한다.

3주관의 최종목표는 I³ System 구축을 위한 BNR 최적화 공정 개발로서 지능형 제어시스템 개발, 원격 제어시스템 개발, 통합공정의 운전 최적화, 설계 표준화이며, 위탁 과제에서는 BNR 고효율화와 탄소원 최적화 기술개발을 수행하고자 한다.

본 연구를 통해 도출하고자 하는 최종 성과물 목표의 예를 Fig. 3.3에 나타내었다.

3.3. 연구 수행 내용

3.3.1. 1단계(2004.12~2005.5)

1단계에서는 수영용수 처리수질 확보를 위한 기반 구축 및 요소기술을 평가하였다. 하수고도처리 요소기술과 관련하여 국내 하수처리장의 처리결과를 비교 검토하였고, 기존 하수처리장의 문제점(처리수질 문제, 동절기 저수온 문제, 유입수

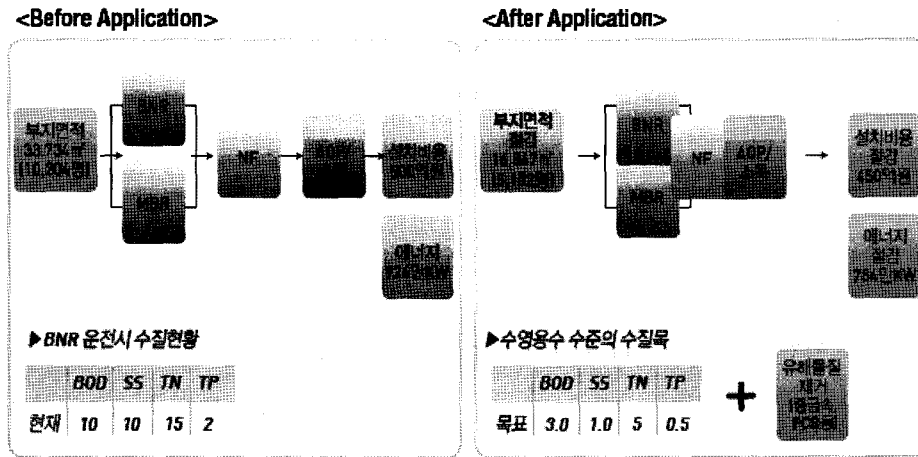


Fig. 3.3. I³ System의 최종 성과물 목표의 예.

C/N비 저하 등)과 위해성 평가를 위한 자료 수집 및 방법을 검토하였다. 적용기반 기술연구로서 공정별, 규모면에서 Pilot plant 적용가능 처리장 선정, 막 오염 저감을 위한 분리막 소재 선정 및 하부산기장치 개발, 개발 시스템의 운전인자 영향 분석, 기존 개발된 미생물담체 사양 검토, 분리막 소재 및 사양 검토, 일차슬러지 탄소원회수 및 세정가용화공정 검토를 수행하였다. 가동중인 MBR 파일럿 플랜트 진단 평가와 관련하여 처리수질, 효율 및 막 성능 평가, 운전조건에 따른 효율평가를 수행하였다. 요소기술의 적용과 관련하여 대표 공정별 영양염류 제거 성능 평가 및 N, P 제거의 영향요소를 평가하고, 선진국 하수고도처리시설 및 MBR 공정 관리 실태 파악하였다. 고도산화 공정 평가와 관련하여 국내의 고도산화공정 설치 운영사례를 조사하고 국내의 유해물질 모니터링 자료평가 및 모니터링을 실시하였으며 대상 유해물질을 선정하였다.

(1) I³ System 구축을 위한 집적형 공정 개발(1 주관기관)

하수고도처리관련 요소기술 검토를 위해 국내의 하수고도처리 개발현황을 조사하여 각 공정별 분류 및 장, 단점을 비교 분석하였으며, 기존 개발공정을 평가하여 처리공정을 선정하였다. 적용 기반기술연구를 위해 국내와 분리막 및 MBR 공정 개발현황을 조사하고, 분리막 및 모듈 배치형태에 의한 영향을 평가하였으며, 현장여건에 따른 막 세정 방안을 도출하였으며, 산기장치 및 분배장치 최적화 방안을 도출하였다. MBR Pilot Plant 평가를 위해 처리수질 및 처리효율 평가, Flux 및 TMP 평가, Pilot Plant 적용 가능 현장 조사를 수행하였다.

Table 3.2. 국내 하수처리장 운영 현황(2004년)

구분	BOD		COD		SS		T-N		T-P		C/N비
	유입수	방류수	유입수	방류수	유입수	방류수	유입수	방류수	유입수	방류수	
Max	309.3	19.0	165.7	30.0	392.0	15.6	67.9	37.6	21.0	1530	34.1
Avg.	84.7	6.9	51.7	9.7	89.6	6.3	24.9	14.2	2.8	1.3	3.6
Min	14.0	1.0	7.6	1.5	2.0	0.6	2.0	1.1	0.2	0.1	1.1

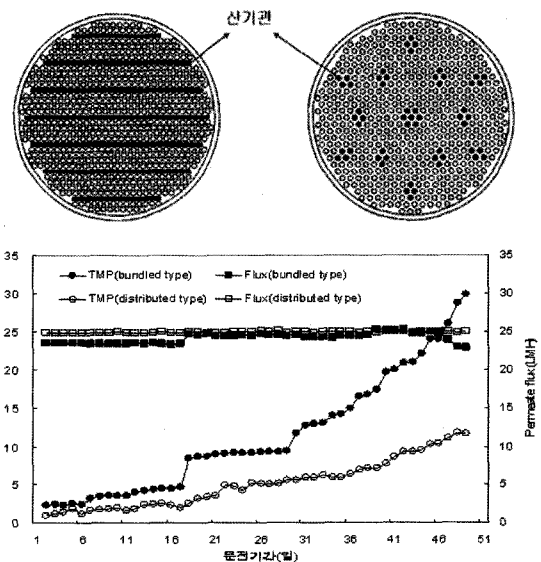


Fig. 3.4. 분리막 모듈 배치형태에 따른 막오염 영향.

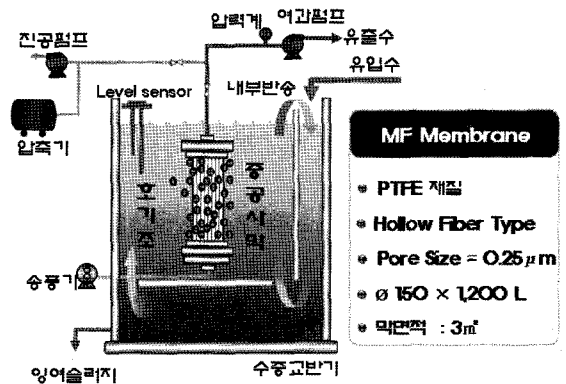


Fig. 3.5. MBR 공정 모식도.

(2) I³ System 구축을 위한 조합 공정 개발(2 주관기관)

기술현황조사 및 선진기술 벤치마킹을 위해 국내의 기술현황 및 운영사례를 조사하여 MBR 문제 및 개선방안을 도출하였으며, AOP 등 조합공정의 기술조사, 대상 미량유해물질 스크리닝을 수행하였다. 분리막 모듈 및 Skid 설계와 관련

하여 주요 분리막 모듈 벤치마킹 및 평가를 수행하였고, 막 면적 20 m², Flux 25 LMH, 인장강도 35 kgf/fiber 이상의 1차 분리막 모듈 시제품을 개발하였으며(Fig. 3.7), 200 m²/skid 용량의 1차 스킵드 시제품을 개발하였다. 기초공정평가 및 Pilot 설계, 제작과 관련하여 기존 공정 평가분석을 통해 개선방안을 도출하였고, 기본공정을 선정하였으며, 평가용 Pilot 을 설계, 제작하였다. AOP 기초평가와 관련해서는 실험실 규모의 H₂O₂/UV/O₃ 장치를 제작하여 기초평가를 수행하였으며, Fate & Transport Model을 평가하였다.

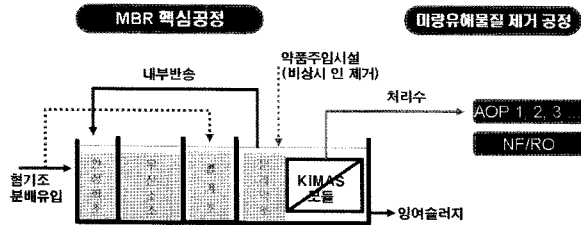


Fig. 3.6. MBR 공정구성안.

Table 3.3. MBR 설비 설계 제원

Item	Description	Specification
분리막	Model	KIMAS_20
	Material	Polysulfone/PVDF
	Fiber Size(ID/OD mm)	0.8/2.0
	Area(m ² /module)	20
	Pore Size(μm)	0.3
	Flux(LMH)	20 · 40
	Tensile Strength(kgf)	over 35
모듈	Casing Material	ABS
	Specification(mm)	1800H×L900×80W
스키드	NO. of Module(ea)	10
	Total Area(m ²)	200
	Specification(mm)	2000H×L1220×1500W

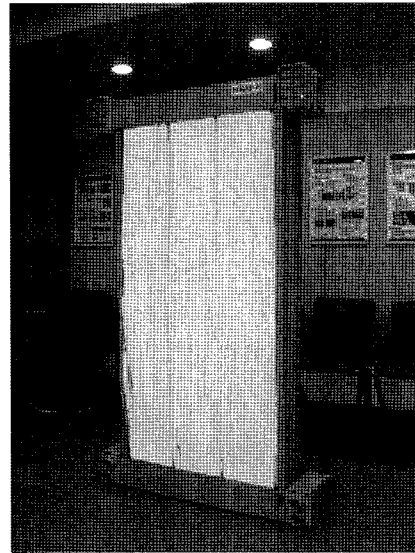


Fig. 3.7. MBR 모듈.

(3) I³ System 구축을 위한 BNR 최적화 공정 개발(3 주 관기관)

BNR 공정 고효율화를 위해 국내의 BNR 설치 및 운영 사례를 조사하였고, 생물막, 후탈질, 탄소원 회수 기술을 조사하였으며, BNR 고효율화 방안을 수립하였다. 무해성 검증 기술 개발을 위하여 조사 대상 유해물질 및 하수처리장을 선정하였고(Table 3.4), 선정된 하수처리장의 유해물질을 분석하였으며, 국내 하수처리장의 주요 유해물질을 규명하였다. 자동화/설계 기술 개발을 위해 국내의 하수처리장의 설계 및 자동화 사례를 조사하였고, 지능형 선진제어시스템 구성방안을 도출하였으며, 설계 기법 및 표준화 방안을 수립하였다(Fig. 3.10).

3.3.2. 2단계(2005.6~2007.5)

2단계에서는 각 주관사 별로 100 m³/d 급 파일럿 플랜트를 운영 중이며 BNR, MBR 공정의 조합을 이용한 최적 설계

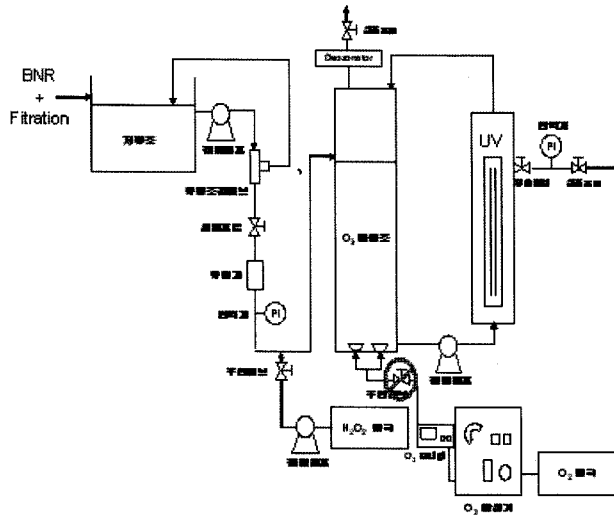


Fig. 3.8. Lab-Scale AOP System.



Table 3.4. 무해성 검증을 위한 분석 항목 선정

구분	세부항목
농약 및 내분비계 장애물질 류	Di-n-octyl phthalate, Simazine, Di-n-Butyl phthalate, Butylbenzyl phthalate, Diethyl-phthalate, Pyrene, Phenanthrene, Chloroneb, Dimethyl phthalate, Diisobutyl phthalate, Dihexyl phthalate, Benomyl(12개 항목)
Phenol 류	Phenol, 2-4-dichlorophenol, Nonylphenols, Bisphenol A (4개 항목)
VOC	Benzene, TCE, PCE, 1,1,1-trichloroethane, Methylene chloride, toluene, chloroform, ethylbenzene, trans-1,2-dichloroethylene(9개 항목)
중금속	Cd, Pb, Hg, Ni, Cr, As, Cu, Zn(8개 항목)
1,4-dioxane	1개 항목

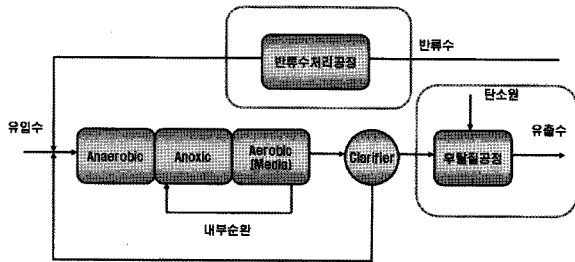


Fig. 3.9. BNR 공정 구성안.

인자 및 운영인자의 도출, 개발 시스템의 운전인자 영향 분석을 통한 Modeling simulator 개발, 운전조건에 따른 처리

수질 및 처리효율 평가, 막의 효율 및 성능평가를 수행하고 있다. MBR 관련 세부기술로서는 세정 및 산기와 관련한 세부 기술 최적화를 위해 막 재질에 따른 최적의 유지세정 방안, 세정약품 및 농도에 따른 회복을 극대화 방안, 공기량 저감을 위한 산기장치 개발 연구를 진행하고 있다. 대규모 하수처리장을 대상으로 하는 MBR 요소기술연구와 관련하여 10,000 m³/d급 이상의 하수처리장 적용을 위한 Scale-up Factor를 도출하고 에너지 절약형 MBR 설계 및 운전기술 조사 및 검토를 수행하고 있다. 고효율·집적형 고도하수처리 MBR 공정 구성을 위해 Bench scale 고도하수처리 MBR system 구축, 혐기조-무산소조(담체)-호기조(담체)-MBR조 구성 방안, 질산화 및 탈질 담체 활용, 침지형 분리막 활용, 최적운전인자 도출을 진행 중이다. 일차슬러지 탄소원 회수기술 개발과 관련하여 세정가용화 공정 개발 및 최적운전 인자 도출을 수행 중이며, 고도하수처리 MBR공정과 일차슬러지 탄소원 회수 연계공정 개발과 관련하여 일차슬러지 세정유출수의 탄소원 활용 효율 평가 및 공정별 유해물질 분석을 통한 거동 파악을 수행 중이다. AOP system 설치, 운영 및 성능 평가, 무해화 혹은 위해성 이하 농도의 처리를 위한 기반 기술 도출, 연계/융합 고도산화 공정구축, Pilot scale AOP plant 공정 운영인자 및 운전범위 선정을 진행하고 있다.

(1) I³ System 구축을 위한 집적형 공정 개발(1 주관기관) 집적형 MBR 공정 확립을 위하여 100톤/일 규모의 MBR

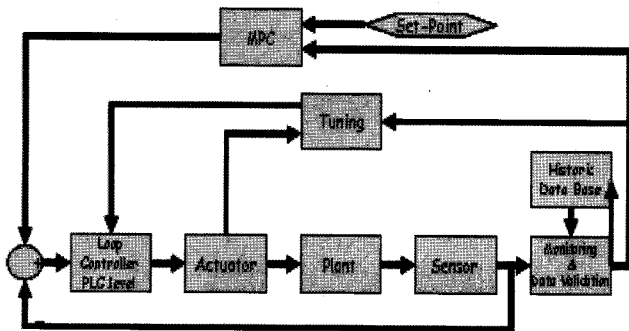


Fig. 3.10. 지능형 선진자동제어 시스템 기본 유형 및 자동화 전략 수립.

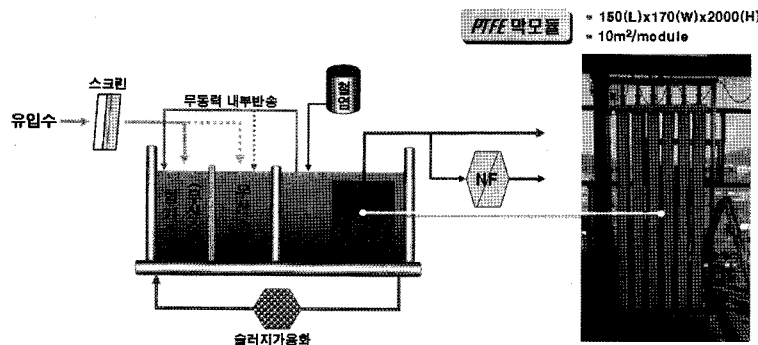
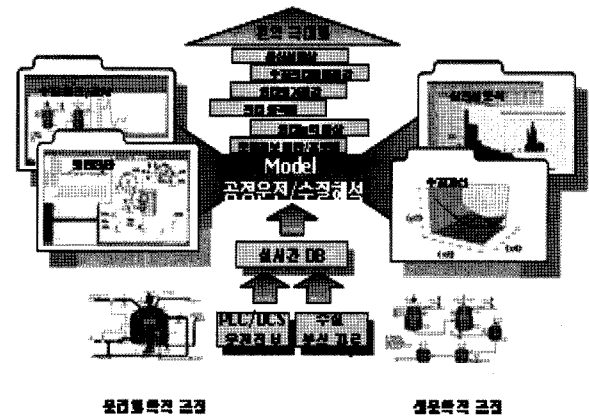


Fig. 3.11. MBR Pilot 공정 구성도.

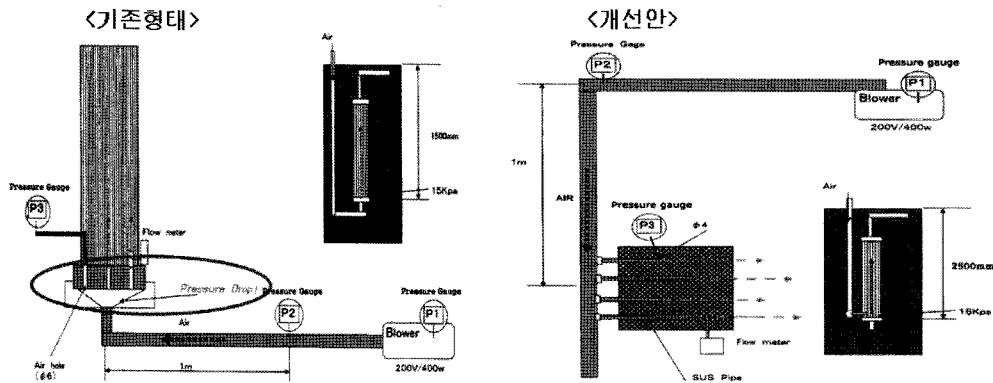


Fig. 3.12. 산기관 개선.

PILOT PLANT를 제작 하였으며, Flux 25 LMH 이상의 조건에서 6개월 이상 연속운전을 실시하였다. MBR관련 세부기술 최적화 방안 연구에 있어서는 기존 MBR 공정대비 공기량 50% 절감을 위한 산기장치를 개발하였고(Fig. 3.12), A/Q 비 23이하를 도출하였으며, 고 Flux(25 LMH 이상) 조건에서의 장기운전을 위한 산기장치를 개발하였고, 95% 이상의 세정 회복을 보증을 위해 6개월 이상 연속운전을 위한 세정 방안(약품, 농도 최적화)을 도출하였다. 슬러지 가용화 기술 개발과 관련하여 실험실 규모로 일차슬러지의 세정가용화 공정을 평가하였으며, 실험실 규모의 Membrane-BNR 공정과 일차슬러지 탄소원 회수 연계공정을 평가하였다.

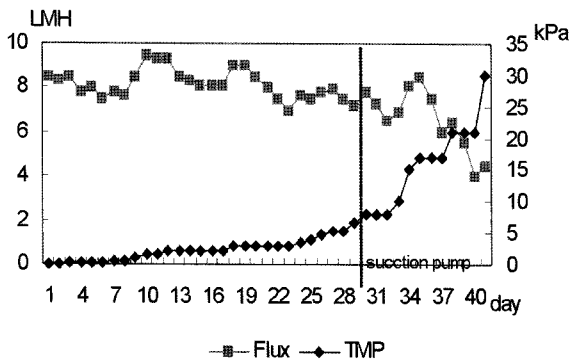


Fig. 3.13. Membrane-BNR 공정의 Flux 및 TMP.

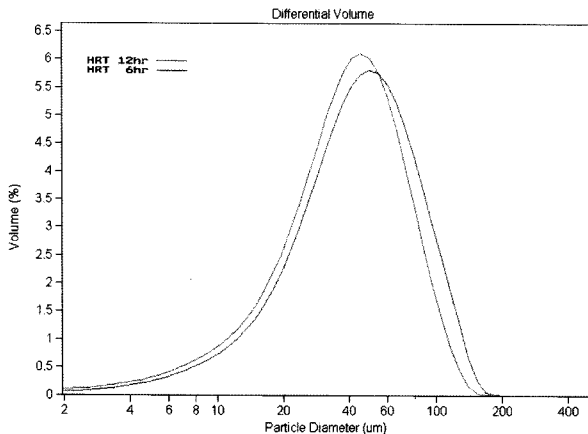


Fig. 3.14. HRT에 따른 입자크기.

현재 집적형 MBR 공정 보완 및 최적화를 위하여 운전조건 변화에 따른 공정영향 평가하고, Modeling Simulator를 통한 성능검증을 수행 중이며 세부적으로 반응조 유동해석을 위한 기본조건 설정, 조 구성에 따른 효율성 평가, 운전조건에 따른 Flux 및 TMP평가, 운전조건에 따른 처리수질 및 처리효율 평가, 절염주입에 따른 처리효율(P 제거) 및 반응조 영향 평가, 운전 및 유지관리 매뉴얼 작성을 진행하고 있다. 부속공정의 구성과 관련하여 문헌연구 및 사례조사를 통한 슬러지 가용화 최적방안 선정하고 슬러지 가용화 장치를 이용한 외부 탄소원 활용 가능성 평가하고 있다. MBR 관련 세부기술 최적화 연구와 관련하여 막면적/유량비를 고려한 저에너지, 고효율 산기장치 개발, CFD를 이용한 산기관 최적화, 개선된 산기관의 장기 성능 평가, 고집적형 모듈 및 프레임 개발을 수행중이다. 고도하수처리 MBR 공정 검증 및 최종슬러지 감량화/자원화 공정 연구와 관련하여 MBR Pilot plant 검증, Membrane-BNR공정완성 및 발생슬러지 검토, 1차슬러지 및 2차슬러지 감량화/자원화 검토, 최종슬러지내 증금속 및 유해물질 분석, 최종슬러지의 biosolid 활용 검토를 수행하고 있다. 집적형 고도하수처리공정에 대한 VE/LCC 및 LCA 수행과 관련하여 친환경성 및 경제성 평가기법 구축, 각 처리공법별 VE/LCC 및 LCA 수행 및 비교, 통합 공법에 대한 VE/LCC 및 LCA를 수행 중이다.

(2) I³ System 구축을 위한 조합 공정 개발(2 주관기관)

대용량 하수처리용 MBR 핵심설비 국산화를 달성하기 위하여 20 m²/Module 국산화 모듈 개발을 완료하였고, 10 Module/SKID를 제작 및 개선하였으며, 대량생산을 위한 금형을 제작하였고 이에 대한 생산설비를 확보하였다(Fig. 3.15). 탈질 효율 극대화를 위한 MBR 공정 확립을 위하여 100톤/일 규모의 MBR PILOT를 제작하였고, 장기운전을 통해 최적 탈질/탈인 운전조건 평가를 수행하였으며, 분리막조와 호기조를 분리하여 세정공기로 인한 파폭을 방지하고, 상하부 분할 공기 공급에 의한 에너지 절감방안을 도출하였다. 미량유해물질 제거용 후속조합공정 확립과 관련하여 실험실 규모의 AOP(UV/H₂O₂) 시스템을 이용하여 2,4-DCP, DEHP, DEP의 제거효율을 평가하였다. 핵심요소기술 최적화를 위해 하수재이용관련 해외 현황조사를 수행하였고, 용도별 process train과 관련된

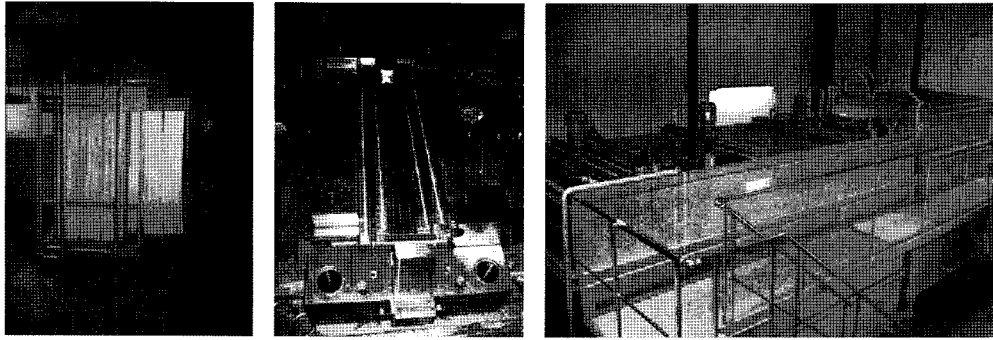


Fig. 3.15. 모듈/스키드, 금형, MBR PILOT.

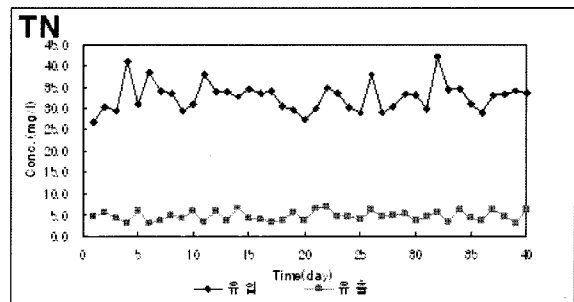
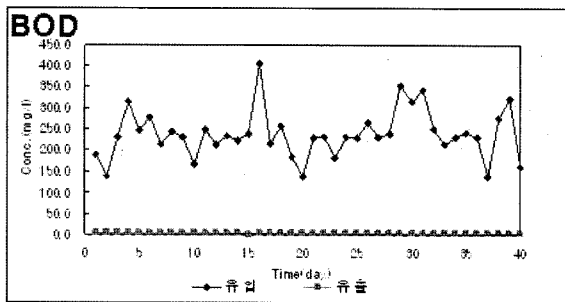


Fig. 3.16. MBR 공정 유기물 및 질소 제거.

여 활성탄 흡착 적용가능 여부에 따른 조건을 제시하였다. 현재 핵심요소기술 최적화를 위하여 문헌 및 사례조사를 통해 수질 및 용도에 따른 MBR 모듈 특징점 분석 및 벤치마킹을 수행중이다. 대용량 하수처리용 분리막 모듈을 위해 막 면적을 20 m²/모듈에서 40 m²/모듈로 증가시켜 집적도를 2배 향상하고, Flux 20 LMH 이상, 인장강도 35 kgf/cm²/fiber 이상의 모듈을 개발중이며, 400 m²/skid(200톤/일 처리) 규모의 스킵드 개발을 위해 경량화 & 배관최소화, 고집적모

듈 스킵드 개발 연구를 수행중이다. 모듈 장기 성능 평가와 관련하여 분리막 scrubbing air량 절감방안 평가(조별 이원화, 상하부 Switching aeration), 세정공기량 변화에 따른 Flux 평가를 수행중이다. 당해 모듈의 대량생산체제 구축을 위해 금형의 보완 및 시범사출을 진행중이며, 한편 분리막 재질의 다양화를 위해 PVDF 재질의 분리막을 추가 개발하여 적용, 평가 중이다. 이러한 핵심설비들의 표준화를 위해 모듈/SKID/Piping 등 Package화, Block/System Engineering, Train array

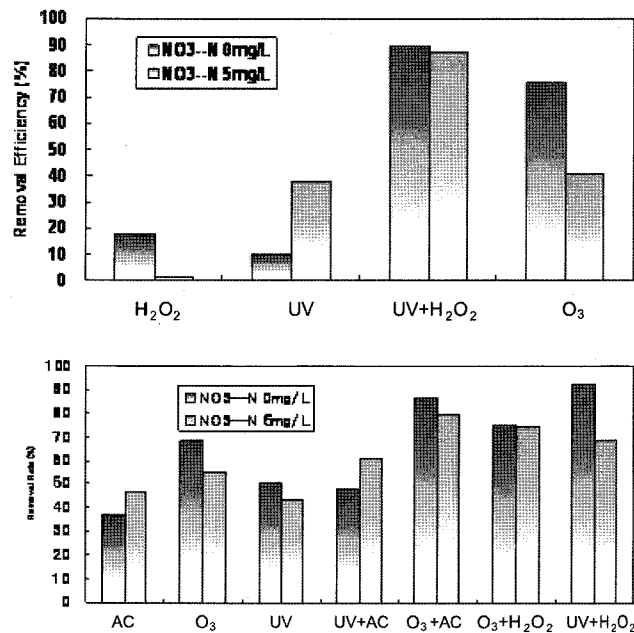


Fig. 3.17. Lab-Scale AOP 반응조 및 AOP의 종류에 따른 2,4- DCP, DEP의 제거효율 평가.

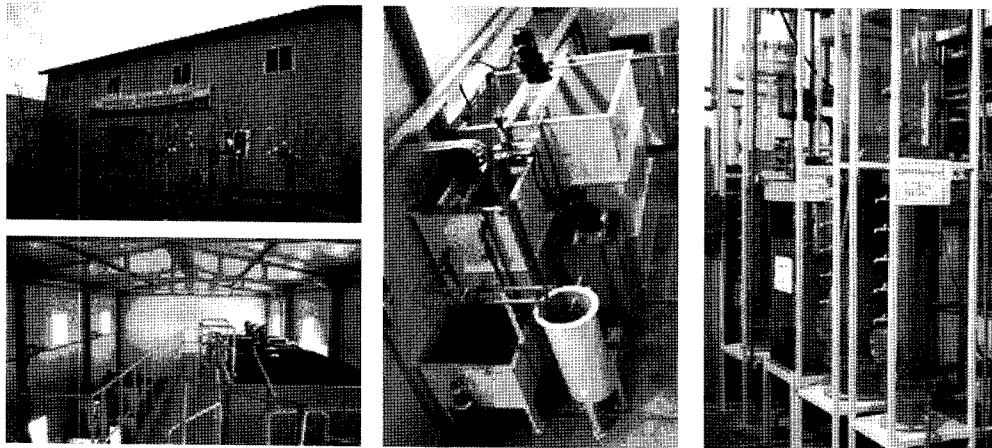


Fig. 3.18. BNR PILOT PLANT 및 반류수 처리 공정과 후탈질 공정.

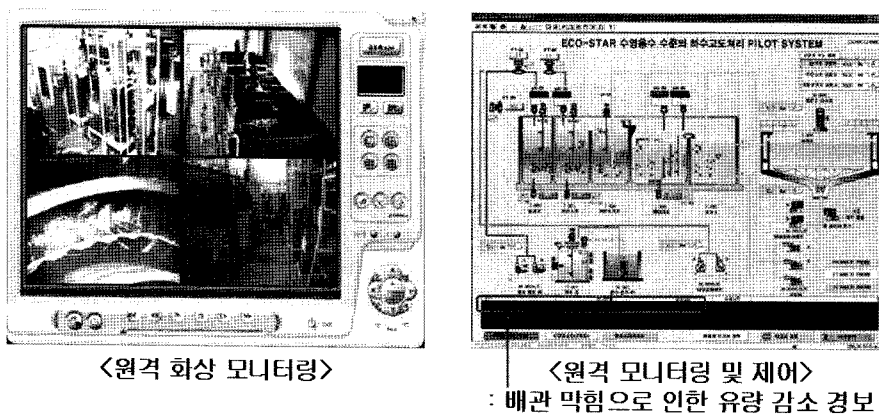


Fig. 3.19. 인터넷 기반 원격 모니터링 및 제어.

를 진행중이며, 탈질효율 극대화를 위한 MBR 공정확립을 위해 100 m³/d MBR Pilot 운영을 통해 안정화/무산소/혐기/호기/분리막조 구성의 효율성 평가, Dual P 제거방안 평가, 분리막조 세정공기량 변화에 따른 무산조로 DO leak 영향 평가, 운전조건별 FLUX/ TMP/처리효율평가, 호기영역 이원화 효율성 검증, 슬러지발생량 및 전력사용량 평가, 환경신기술 검증 평가(06. 11~07. 5) 등을 수행중이다. 미량유해물질 제거용 후속조합 공정 확립을 위해 UV/H₂O₂ AOP Pilot 장치(20 m³/d)를 제작하여 2단계 1차년도 Lab test에 의해 도출된 운전조건을 pilot scale에서 실증평가 및 검증하고, UV/H₂O₂, O₃/H₂O₂, 및 각각의 공정과 AC를 연계한 공정에 대한 pilot scale test 및 공정 운영인자 도출 수행중이며, 각각의 대상 오염물질에 따른 최적의 pilot scale AOP train 제시 및 검증하고 있다.

(3) I³ System 구축을 위한 BNR 최적화 공정 개발(3 주 관기관)

Main stream에서의 BNR 고효율화를 위한 공정 개발을 위하여 대규모 BNR 하수처리장 최종 처리수의 SS 3 mg/L, 질소농도를 5 mg/L 이하를 확보하기 위한 현장 PILOT 규모 (96톤/일)의 조합공정들의 운전을 통하여 최적 공정을 선정하였고, 후탈질 공정에서 천연담체(표준사)와 합성담체를 사용하여 공간 및 체류시간 최적화 조건의 설계기술을 확보하

였다. Side stream공정에서 탄소원 최적화 기술연구를 위해 대규모 하수처리장 BNR에서 필요한 탄소원 절약을 목적으로 적용하는 반류수 생물막아질산화 공정의 필수 설계인자(DO 및 온도)에 대한 실험실 연구를 수행하였으며, BNR공정에 활용하기 위하여 고온호기성 슬러지가용화를 이용한 탄소원 회수공정의 설계인자 확립에 관한 실험적 연구를 수행하였다. 통합공정 운전관리 기술 개발을 위해 Internet 기반 원격 감시/제어 프로그램, 공정 운영 상태 및 효율 모니터링, 운영자 편의 비상 감시 프로그램 연구 개발을 수행하였다.

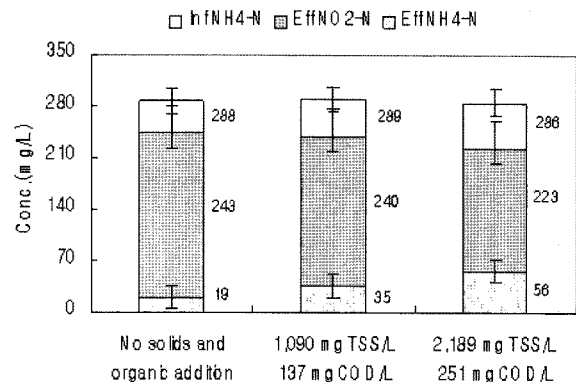


Fig. 3.20. 유기물 부하에 대한 아질산화 영향.

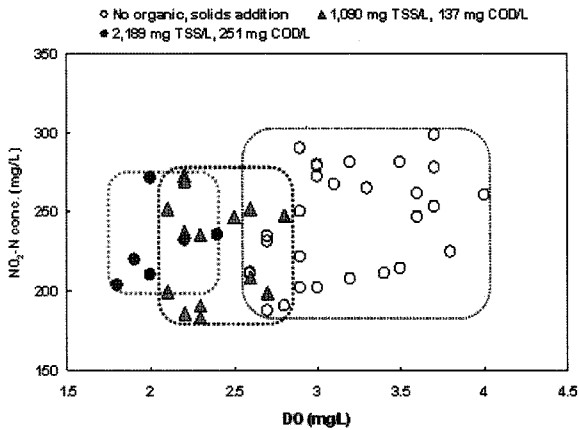


Fig. 3.21. DO에 따른 아질산 측정.

현재 I³ System 구축을 위한 BNR 최적화 공정개발을 위해 지능형 제어시스템 개발, 원격 제어시스템 개발, 통합공정 운전 최적화, 설계 표준화를 수행하고 있다. 지능형 제어시스템 개발을 위해 공정별 동특성 분석, 제어 구조 결정, 제어기 설계, 제어 논리 현장 적용 및 평가, 장기 운전 실험 및 제어기 개선을 수행하고 있다. 원격 제어시스템 개발과 관련하여 MMI 개선, 개방형 서버 구축, 보안 시스템 구축, 인터넷 기반 원격 무인제어시스템 구축 및 운전을 진행 중이다. 통합공정 운전 최적화를 위해서는 공정별 모델 개발, 실측 자료를 이용한 모델 검증, 최적 운전 조건 도출, 통합 공정 최적 조건 검증 실험을 수행하고 있다. 설계 표준화와 관련하여는 공정별 표준 설계 자료를 제시하고 처리유량 및 유입 농도에 따른 설계인자 보정안을 제시한다. 위탁과제에서는 Main stream에서 BNR 고효율화를 위한 공정개발과 관련하여 후탈질 pilot plant 규모 조합공정의 운전을 통한 최적조건 확보하고자 하며, 세부적으로 현장 공정들의 조합 운전, 후탈질공정 중 탈질여과 운전에 관한 연구, 담체량과 담체종류에 따른 효율성 평가, 역세 유량 최소화 방안 및 최적 여과운전조건 검토, 선정 공정의 최적화를 수행하고 있다. Side stream에서 탄소원 최적화 기술 연구와 관련해서는 Lab scale 반류수 생물막아질산화 실험을 통하여 현장 운전의 최적화 기초자료(온도영향연구, DO 영향 연구, 자료분석 및 보완)를 도출하고 있으며, I³ System의 실용화 보완기술과 관련하여 후탈질공정과 주처리공정의 설계결합 기술을 연구 중이다.

4. 향후 추진계획 및 활용방안

현재 진행 중인 각각의 pilot 운영 및 검증을 통해 요소기술들을 최종 확립하고 2단계 2차년도 후반까지는 통합공정을 확정하며, 실증 시범사업을 위한 부지의 선정 및 설계에 착수할 예정이다. 3단계 1차년도에는 통합공정 시범 플랜트를 설계, 운영, 평가하고 통합공정의 표준도면, 매뉴얼, 카다로그 등의 작성을 통한 표준화 작업이 수행되며, 실증사업 설계의 완료를 목표로 하고 있다. 3단계 2차년도 부터 본격적인 5,000 m³/d 규모의 실증 시범사업을 시공 및 시운전이 수행될 예정이며 이후 정상 가동 및 상용화를 완료하고자 한다.

실증 시범사업을 통해 검증된 I³ system에 대하여 적용규모, 처리수질, 경제성 등에 따른 한국형 표준 모델을 구축하며, 기술 컨소시엄을 통해 기술적 시너지 효과를 극대화할 계획이다. 도출된 통합 기술은 향후 국내 하수초고도처리 분야의 기술적 우위를 선도할 수 있으며, 더 나아가 세계 시장에서의 수출 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 기대된다. 환경적인 측면에서는 수영용수 수준의 처리수질을 충족시킴으로써 하천의 건천화 방지 등의 방류수계의 수질보전이 가능하고, 하천의 친수공간 확보로 주민 친수환경 조성 및 삶의 질 향상이 가능하다. 또한 재이용수의 가치 및 재이용 범위를 증대시킬 수 있으며, 나아가 방류수질규제기준을 탄력적으로 제고할 수 있어 수질오염총량규제의 조기 정착에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

또한, 기술적인 파급효과로 우선 MBR 분야에서 국내의 독자적인 기술력을 확보함으로써 하수고도처리공정을 한 단계 발전시킬 수 있을 뿐만 아니라 개발 기술의 해외 수출 효과를 기대할 수 있다. 한편, BNR 요소기술인 탄소원 절약 및 회수 기술을 통하여 약품비용 및 포기비용의 절감과 질소제거 효율의 향상을 도모하고 아울러, 원격자동제어 기술을 통하여 운영 및 관리의 효율화를 유도할 수 있을 것으로 기대된다.

* 연구수행기관 관련정보

주관기관	연구 책임자	담당자 / 실무자	실무자 연락처 / E-mail
대우건설 (1주관)	이의신 실장	허용록 과장 / 정진호 대리	031-250-1204 / detangel@dwconst.co.kr
코오롱건설 (2주관)	최광호 상무	강문선 과장 / 김용학 대리	031-329-0661 / hak94@kolon.com
포스코건설 (3주관)	이철 상무	남해욱 과장 / 고주형 대리	031-379-9823 / joohko@poscoenc.com