

중소규모 하수처리장의 탈질·탈인 PICD 시스템 실용화기술개발

주관연구기관 : (주)그린기술산업 부설연구소

위탁기관 : 전국대학교 산업기술연구원

한상배, 노명규, 정보림, 장 덕, 서성철, 홍기호, 성문성

기술개발요약

G-7 환경기술연구개발 3단계사업의 일환으로 '98년도부터 (주)그린기술산업과 전국대학교에서 연구 수행 중인 PICD (Phased Isolation Intra Clarifier Ditch) 시스템은 중소규모 하수처리장의 유입부하변동에 대해 안정적이고, 신속적인 운전이 가능한 탈질·탈인 공정이다.

국내는 물론 미국 및 중국 특허를 획득한 본 시스템은 기존의 내부순환포함 다단 완전혼합형 영양염류제거공정과는 달리 침전지를 산화구에 내장시킨 단위시스템인 침전지내장형산화구(Intra Clarifier Ditch) 2기를 조합하여 구성하고, 간헐폭기 및 유로변경방법을 조합하여 운영함으로써 유기물과 질소·인의 동시제거가 가능한 하수처리시스템으로서 유럽과 미국에서 활발하게 보급되고 있는 기존의 BioDenipho 공정의 비능률적인 복잡성을 극복하고, 여러 단점을 개선하여 경제성과 효율성을 증대시킨 공정이다. 현재까지 PLC자동제어방식의 실험실규모시스템 및 현장 소규모파일럿(유효용량 16.2m³)을 제작하여 각각 12개월 및 12개월간 운전하였으며, 실험실규모의 체계적인 연구결과로부터 주요 설계·운전인자를 도출하여 소규모파일럿 PICD 시스템을 운전한 결과, HRT 12~16시간, SRT 25~35일,

MLSS 1,900~4,220mg/L에서 BOD 90~97%(평균 95%), T-N 68~80%(평균 73%), T-P 60~85%(평균 73%)의 우수한 처리효율을 얻고 있다.

1. 서론

최근 급격한 경제성장 및 도시화에 따른 인구증가는 생활하수의 급증을 초래하였으며, 질소와 인이 다량 함유된 하수가 하천, 호수 및 해양으로 방류되면 부영양화현상 및 적조현상을 초래하여 가용한 수자원량을 제한하고 연안어업활동에도 큰 피해를 끼치게 된다. 특히 우리나라에서와 같이 연중 강우량이 6월과 7월의 장마철에 집중되어 용수확보수단으로 하천에 댐을 축조하고 인공 호수에 저장된 담수를 상수 또는 공업용수로 사용하고 있는 경우에는 부영양화의 심각성은 더 크다고 볼 수 있다. 부영양화를 방지하기 위해서는 수계로의 질소 및 인 부하의 주요 오염원인 하수처리장에서 질소·인을 충분히 제거해야 하지만, 국내 현장 하수처리시설에서는 아직까지도 활성슬러지법, 재래식 산화구법 또는 회전원판법 등을 주로 운영중에 있으며 영양염류인 질소와 인의 상당부분은 제거되지 않은 상태로 수계로 방류되고 있다.

우리나라의 경우 하수처리장으로 유입되는 하수의 유기물농도가 외국하수에 비해 낮기 때문에 기존의 내부순환형 생물학적 영양염류제거시스템으로는 선진외국에 비해 낮은 처리효율을 나타낼 수밖에 없다. 본 시스템은 슬러지반송이 불필요하고, 침전지를 산화구내에 내장하기 때문에 기존의 내부순환형 생물학적 영양염류제거시스템에 비해 경제성을 증진시킬 수 있고, 산화구사이에 슬러지를 제외한 상정액이 교환되기 때문에 탈질 및 질산화효율의 저하를 방지하여 처리효율을 향상시킬 수 있다. 또한 간헐폭기시간과 유로 변경시간의 조합에 의하여 반응조용량을 변경시키는 효과를 가져올 수 있어서, 유입조건의 변화에 탄력적으로 대응할 수 있다. 이미 대규모 하수처리에 있어서는 기존의 외국기술을 국내실정에 맞도록 개선하는 연구가 활발하였지만 규모가 작은 중소규모 하수처리에 대해서는 자체적인 기술개발이 부족한 상태이며 이로 인해 외국기술에 의한 시장잠식의 우려가 있다. 이러한 상황속에서 PICD 시스템의 개발은 기존 BioDenitro의 단점을 극복·개선하여 국내실정에 맞도록 시도하는 독창적인 연구로서 국내 탈질·탈인 기술개발로 선진외국의 고효율 탈질·탈인 기술을 극복할 수 있는 돌파구를 마련하는 것이라 하겠다.

2. 연구방법

본과제는 G-7 환경기술연구개발 3단계사업(1998.12~2001.11; 총 3년)의 일환으로 현재 연구계획에 따라 원활히 수행되고 있으며, 현재까지 진행된 연구결과 및 앞으로의 연구개발 내용 및 방법을 요약하면 다음과 같다.

- 1차년도(1998.12~1999.11; 기수행) : 문헌조사 및 각종 정보검색을 통해 국내외 연구개발동향을 분석하였고, 기존 연구의 재구성성을 통해 실험실규모 PICD시스템(유효용량 30L)을 제작·운전하였다. 또한 실험실규모 시스템의 운전으로부터 도출되는 문제점들을 체계화하여 적정 설계인자를 선정하였으며, 선정된 설계인자로부터 파일럿규모 PICD시스템(유효용량 16.2m³)을 제작·시운전 하였다. 파일럿 연구는 8개 대상 환경사업

소 중 장기간의 조사와 신중한 평가를 거쳐 최적의 설치장소로 S환경사업소를 선정하였으며, 관련장치에 대한 검토 및 선정을 동시에 실시하였고, 파일럿에서 발생하는 구조적 문제점 등을 개선하였다. 실험실규모 연구결과를 파일럿의 운전에서 지속적으로 back-up하고 설계·운전지침을 작성하였으며, 전문가시스템의 최근동향을 파악함과 동시에 작성된 설계·운전지침을 토대로 PICD 전문가시스템의 지식 DB 구성을 차질없이 수행하였다.

- 2차년도(1999.12~2000.11; 수행중) : 파일럿규모의 최적화를 위해 실험실규모 도출 최적운전조건 적용, 파일럿규모 시스템 운전조건 변경, 시스템 문제점파악 및 개선, 관련장치 및 소재의 최적화 등을 수행하고 있으며, 스케일업인자 및 운영관련 기술검토와 관련 장치·소재의 검토 및 spec.작성을 통해 대규모파일럿의 실시설계와 oxidation ditch 전문가시스템 사용자인터페이스를 개발할 예정이다.

- 3차년도(2000.12~2001.11; 수행예정) : 실험실규모 및 파일럿규모 도출결과를 적용하고, 사계절 실증연구를 통한 주요 운전영향인자 도출과 시스템 처리안정성을 평가하여 대규모 파일럿 시스템을 최적화할 예정이다. 또한 PICD시스템 기술의 상용화를 위해 처리시스템 설계·운영기술확립, 관련장치 및 소재의 최적화, 설계 및 운전지침서·표준설계도 작성을 실시할 것이며, oxidation ditch 전문가시스템을 현장적용하여 문제점 도출 및 보완을 통해 최적의 Oxidation Ditch 전문가시스템 개발연구를 수행할 것이다.

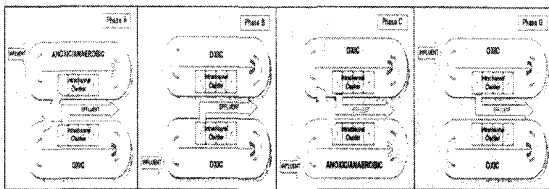
3. 연구개발결과

3.1 PICD 시스템의 원리

PICD시스템은 산화구에 침전지를 내장시킨 단위시스템인 침전지내장형산화구(Intra Clarifier Ditch)를 한 계열의 단위시스템으로 하고, 이 단위시스템을 2계열 이상 조합·구성하고, 간헐폭기 및 유로변경방법을 조합하여 4단계의 상으로 변하는 공정으

로 각 반응조는 시간에 따라 무산소, 호기, 혐기를 거치게 된다. 그림 1은 내장형침전지가 장착된 PICD시스템의 운전개략도를 나타낸 것이다.

Phase A는 지속시간이 90분이며, 유입수는 초기 무산소조건의 ditch(상부)로 유입되어 유기물제거와 동시에 전 단계에서의 질산화수가 탈질되고, 일정시간 후 인의 방출이 일어나는 혐기성조건이 형성된다. 탈질 및 인방출 후 호기상태인 ditch(하부)로 유입되어 질산화를 수행한 후 내장형침전지 상징액이 유출된다. Phase B는 호기조건인 ditch(하부)로 유입되어 유기물제거 및 질산화 수행 후 유출되며 접촉시간은 30분이다. 상부의 ditch는 독립적으로 공폭기를 실시하여 phase C로 전환하기 전에 잔류 TKN을 질산성질소로 전환시킨다. Phase C 및 phase D는 유로만이 변화된 채 phase A 및 phase B와 동일한 과정이다. 이상 단계의 상변화를 1 cycle이라 하며, 본 연구에서 1 cycle은 4시간



(cycle time)을 기준으로 한다.

그림 1. PICD시스템의 운전개략도

3.2 실험실규모 PICD 시스템

3.2.1 실험실규모시스템 개요

시스템 구조변경과 운전조건변경이 신속적이고 용이한 실험실규모 연구를 통해 파일럿규모에서는 단 시간에 알아내기 어려운 운전조건영향연구의 수행과 실규모에서의 발생이 예측되는 운전상의 문제점을 해결할 수 있는 적절한 구조변경을 소규모파일럿 운전에서 적용하고자 하였다. 실험실규모 연구로부터 도출된 주요 설계인자를 파일럿규모시스템의 제

작에 적용하였으며, 실험실규모시스템의 주요 운전 결과를 파일럿연구에 지속적으로 백업하여 설계·운전지침을 작성하였다. 1차년도 연구에 이어 현재까지 유입하수특성에 따른 시스템의 영향평가 및 환경조건의 변화에 따른 시스템의 영향평가 등을 수행하였으며 기타 추가적인 연구사항은 현재 진행 중에 있다.

S환경사업소로 유입되는 하수를 적용한 실험실규모 PICD시스템(유효용량 30L)의 경우 대표적인 처리특성은 HRT 6~12 시간, SRT 20~35일, MLSS 1,070~5,650mg/L에서 BOD제거효율 84~96%(평균 89%), T-N제거효율 60~80%(평균 70%), T-P제거효율 60~90%(평균 65%)의 결과를 얻었으며, 실험실규모 연구에서 도출된 결과는 파일럿규모시스템 연구에 지속적으로 반영하고 있다.

3.2.2 실험실규모시스템 처리특성

3.2.2.1 실험실규모시스템에서의 C/N비에 따른 질소제거특성

일반적인 부유성장식 질소제거공정은 충분한 질소 제거효율을 얻기 위해서는 적절한 탄소원을 필요로 한다. 이론적으로 1mg의 질소를 탈질시키는데 필요한 BOD는 2.86mg이나 실제로 대부분의 질소제거 공정들은 BOD/TKN비 3.5~4.0이상에서 만족할만한 질소제거효율을 얻을 수 있다. 실험실규모 PICD 시스템에서 질소제거를 위한 적정 C/N비를 알아보고자 유입 BOD/TKN비에 따른 정상상태에서의 총 질소제거효율을 알아본 결과 유입 BOD/TKN비 2.5이상에서 65%이상의 질소제거효율을 얻을 수 있었다.

3.2.2.2 실험실규모시스템에서의 HRT 및 SRT에 따른 질소제거특성

정상상태에서 시스템 SRT 20일과 30일을 대상으

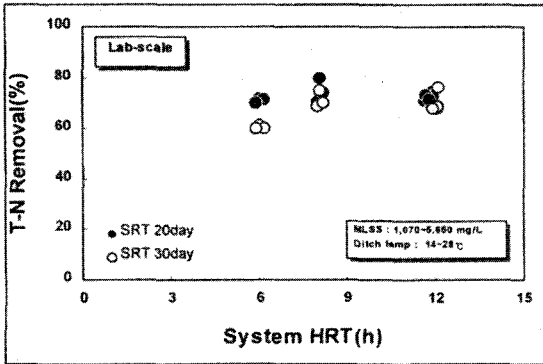


그림 2. 실험실규모 시스템에서의 HRT에 따른 질소제거특성

로 하였을 때 실험실규모시스템에서의 HRT에 그림 2. 실험실규모시스템에서의 HRT에 따른 질소제거 특성따른 T-N 제거효율의 변화는 그림 2와 같고, 시스템 HRT(침전지용적 체의 기준)에 따른 질소제거 효율은 6~12시간의 범위에서 측정하였다. 시스템 HRT 8시간과 12시간에서는 67.8~80.0%의 T-N 제거효율을 얻었으며, 이때의 유출수 T-N농도는 7.4~9.5mg/L였다. 그러나 HRT 6시간에서 SRT 20일로 운전한 경우 70.2~72.5%의 높은 T-N 제거효율을 얻었으나, SRT 30일로 운전하였을 때는 T-N 제거효율이 60.0~61.2%로 저하되는 경향을 나타내었다. 이는 SRT의 증가, 즉 MLSS의 증가에 의해 내장형침전지의 슬러지블랭킷층이 상승되었고, 짧은 HRT에서의 유량증가에 따른 침전효율저하 때문인 것으로 판단된다. 실험실규모시스템에서는 내장형침전지 규모의 한계가 있기 때문에 PICD 시스템의 HRT 및 SRT 등 최종 운전범위 설정을 위해 현재 별도의 내장형침전지연구 및 파일럿연구를 병행하여 수행하고 있다.

3.2.2.3 Cycle time동안 ditch내부에서의 질소·인 거동

PICD시스템을 SRT 20일에서 HRT 6시간과 8시간으로 운전하여 ditch내부에서의 질소·인 거동에

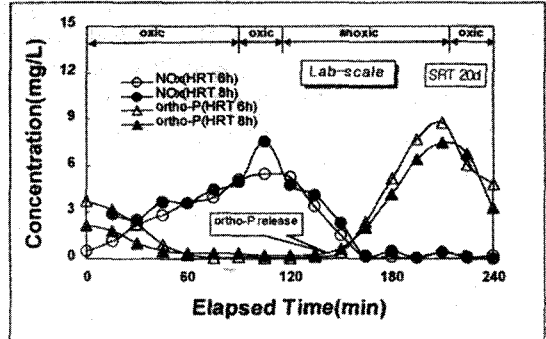


그림 3. 실험실규모시스템에서 cycle time동안 ditch 내부의 질소·인 거동

대해 track study를 수행한 결과는 그림 3과 같다. Track study 결과는 특히 cycle time의 역할을 파악하는데 중요한 자료로 활용할 수 있다. 현재의 cycle time은 oxic time이 2.5시간, anoxic time이 1.5시간으로 총 4시간이다. 그림 3에서 anoxic time을 살펴보면 약 40분간에 걸쳐 탈질이 완료되는 것을 볼 수 있다. 그러나 탈질이 완료된 이후부터 인방출이 일어나기 시작하여 anoxic time이 끝나는 시점까지 인방출이 지속되는 혐기성조건이 됨을 알 수 있다. 따라서 인제거효율을 증가시키기 위해 anoxic time의 증가 및 cycle time의 조정 등에 대한 최적화 연구를 수행하고 있다.

3.2.2.4 실험실규모시스템에서의 환경조건에 따른 질소·인 제거특성

우리나라는 사계절이 존재하므로 겨울철의 온도저하시 PICD시스템의 처리특성에 대해 검토하고, 도출된 결과를 상세평가하여 시스템 설계·운전조건 범위의 기초자료로 이용하고자 본 실험실 연구를 수행하였다. 실험실규모연구에서는 실내라는 한계로 인하여 겨울철의 실온이 10°C내외였으며, ditch내수온 14°C이상에서는 70%이상의 T-N 제거효율을 얻었다. BOD 및 T-P 제거효율은 각각 88% 및 65%이상으로 온도변화에 거의 영향을 받지 않았다. 또한 우리나라의 기후적 특성상 강우가 하절기

인 6~8월에 집중되므로, 시스템으로 유입되는 단기적인 수리학적 충격부하에 의한 영향을 검토하고 그 결과를 상세평가하여 유입조건의 변화에 탄력적으로 대응하고자 실험실규모시스템 연구를 통해 수리학적 부하에 따른 전체적인 제거특성을 알아보았다. HRT 12시간, SRT 20~25일, MLSS 2,500~2,800mg/L의 조건에서 2 cycle(8시간)동안 유량을 2배로 유입시켜 HRT가 6시간으로 감소하였으나, 유기물 및 질소·인 제거효율 변화폭은 4%이내로 큰 변화가 없었으며, 3 cycle(12시간) 운전 후 수리학적부하 이전의 처리효율을 확보할 수 있었다.

3.2.2.5 PICD 시스템과 BioDenitro 의 공정비교

국내 탈질·탈인 기술의 국제적인 경쟁력을 강화하기 위해 국내·외 기술동향을 파악한 결과, PICD 시스템과 경쟁가능한 공정으로서 덴마크 Kruger사의 BioDenitro와 BioDenitro공정을 들 수 있다. 그러나 BioDenitro공정의 경우 별도의 혐기조를 치·운전하기 때문에, 본 연구에서는 보다 비교적합한 BioDenitro공정을 별도로 제작하여 동시에 운전하였다. 운전조건은 SRT 20~30일, HRT 6~12시간, MLSS 2,500~3,000mg/L였으며, 두 시스템의 주요 운전결과를 요약하면 표 1과 같다. 유기물 및 질소·인 제거효율은 PICD시스템이 BioDenitro공정에 비해 큰 차이는 없었지만 약간 높았다. 그러나 PICD시스템의 경우 내장형침전지를 설치·운전하기 때문에 BioDenitro공정에 비해 경제성이 우수하고, 내장형침전지의 용적에 의해 반응시간이 BioDenitro공정보다 짧다는 점 등을 감안하면 훨씬

우수한 공정임을 알 수 있었다.

3.3 파일럿규모 PICD 시스템

3.3.1 파일럿규모시스템 개요

파일럿 연구는 시스템의 처리특성을 파악하는 것뿐만 아니라 PICD시스템의 최적 운전조건을 도출하기 위한 것이므로 8개 대상 환경사업소 중 장기간의 조사와 신중한 평가를 거쳐 최적의 설치장소로 S환경사업소를 선정하였으며, 실험실규모시스템의 운전으로부터 도출된 설계인자를 바탕으로 파일럿 PICD시스템(유효용량 16.2m³)을 제작·시운전하였다. 2차년도 1분기연구에서는 파일럿의 처리특성 상세분석 및 시스템의 운전과 대규모파일럿의 설계시 발생가능한 중대오류를 사전에 방지하고자 위탁 과제연구기관과 공동으로 운전을 수행하였다. 파일럿 시스템은 2대의 ditch와 내장형침전지, 사방향수로, 수평흐름믹서, 이젝터, 자동제어장치, 블로어, 모니터링 시스템으로 구성되었다.

Ditch는 1.8mH×1.3mW×5.7mL의 크기이고, 유효수심은 1.5m, ditch내 채널폭은 0.6m이었으며, 흐름의 저항을 최소화하기 위해 타원형으로 설계되었다. 일정한 체류시간을 구현하기 위해 3m³용량의 유량조정조를 앞단에 두었고, 후단에는 처리수조를 두어 composit sampling을 용이하게 하였다. 반응조 양극의 곡면부는 흐름의 회전에 의해 바깥쪽으로 유속이 편중되는 현상을 방지하기 위해 유도벽을 설치하였는데, 흐름의 입구쪽은 넓게, 출구쪽은 좁게 설치해 유속을 고르게 하고자 하였다. 유도벽은 지름이 0.6m인 반원통을 사용했으며, 높이는 ditch의 높이와 동일하도록 하였다.

3.3.2 파일럿규모시스템 관련장치기술

3.3.2.1 내장형침전지

선진외국에서 파일럿현장설치 이젝터산화구에 장착하는 내장형침전지 기술을 보유하고 있는 회사로

Parameters	PICD system			BioDenitro system		
	Influent	Effluent	Removals(%)	Influent	Effluent	Removals(%)
BOD(mg/L)	80~210(160)	6~20(13.1)	83.0~96.0(91.2)	130~180(162.2)	16~29(20.3)	81.9~92.0(90.1)
T-N(mg/L)	18.8~51.7(31.7)	8.2~15.4(9.9)	53.4~80.3(67.8)	26.3~59.7(36.8)	9.3~22.1(13.0)	48.7~77.6(62.7)
T-P(mg/L)	1.6~8.3(4.6)	0.6~2.3(1.6)	44.8~85.6(64.4)	4.7~8.3(6.7)	1.3~2.8(1.9)	27.4~75.2(54.3)

표 1. 실험실규모 PICD시스템과 BioDenitro의 공정비교

는 미국의 Burns Mcdonell사와 United Industries 사로 각각 BMTS와 Boat Clarifier 기술을 보유하고 있다. 국내의 경우 oxidation ditch 내장형침전지 기술을 보유하고 있는 회사로는 (주)그린기술산업이 유일하게 ICD (Intra Clarifier Ditch) 기술을 보유하고 있으며, 산학협동으로 연구한 ICD 는 BMTS보다 처리효율이 우수하며 Boat Clarifier보다 건설비가 적은 장점이 있다. 그림 6은 파일럿에 설치한 콘타입 내장형침전지(유효용량 1.48m3)를 나타낸 것이다. 현재 내장형침전지의 연구는 실험실과 파일럿에서 축적된 경험을 바탕으로 하여 하부유속, 반송구 크기 및 개수 등이 반송유량에 미치는 영향 등에 대해 본격적인 내장형침전지 반응조의 운전 을 통해 도출하고 있다. 또한 내장형침전지가 ditch 내에서 차지하는 최적의 부피비 및 유입·유출부 등 의 형상인자들에 대한 다각적인 검토 및 연구를 수 행하고 있다.

3.3.2.2 폭기 및 교반기술(이젝터)

PICD시스템에서 별도의 폭기장치 설치 없이도 수 평류형 수로와 미생물 플록의 혼합 및 폭기를 동시 에 시킬 수 있는 설비가 이젝터(ejector)이다. 이젝 터를 설치함으로써 기존 산화구에서의 수평식 폭기 기를 대체할 수 있고 BioDenipho공정에서처럼 수 로형성을 위한 별도의 추진기가 불필요해진다.

또한 이젝터를 이용한 폭기시 혼합액의 비산이 억 제되어 주위 대기환경 및 작업환경 개선효과가 있으 며, 폭기 및 흡입장치가 수중에 설치되므로 소음문 제를 저감시킬 수 있다. 현재까지의 연구결과 단위 동력대비 높은 산소용존효율로 적은 동력으로 운전 이 가능하며, 장치가 단순하고 구동부위가 작기 때 문에 유지관리가 용이하다는 장점이 있다. 현재까지 3단계에 걸쳐 각기 다른 성능의 이젝터를 파일럿에 설치하여 본 PICD시스템의 폭기 및 교반기술 연구 에 대해 지속적으로 진행중에 있다.

3.3.2.3 시스템 유로변경기술(사방향수로)

PICD 시스템의 유로변경기술인사방향수로로는 4개 의 유로를 교차(십자형태의 관로)시키고 원형의 교 차점에서 밸브에 의해 유로의 흐름을 2가지 형태로 구현하며, open/close 2가지 신호와 2개의 사방향 수로로 조합을 이루어 4가지의 흐름패턴을 나타낼 수 있다. 유로변경을 기존 밸브와 펌프로 구현할 경 우 많은 동력이 소모되고, 많은 밸브 및 복잡한 배관 라인을 필요로 하므로 설치비가 많이 들고 자동제어 에 어려움이 있다. 또한 장치 이상시 많은 배관라인 점검과 교체에 따르는 시간적·경제적인 어려움이 있을 수 있다.

3.3.3 파일럿규모시스템 처리특성

파일럿 PICD시스템의 운전은 1차년도 수행결과 및 현재까지의 실험실연구에서 도출된 최적의 운전 조건을 적용하였으며, 파일럿 운전 중에 발생된 문 제점들을 충분한 검토와 자료조사를 통해 이를 피드 백하여 본 시스템을 개선·수행 중에 있다. 본 연구 기관은 현재까지의 실험실규모 연구에서 도출된 최 적운전조건을 파일럿에 적용하여 반응성 상세평가 를 위한 동절기 운전을 포함한 운전을 실시하고 있 으며, 시스템의 문제점 파악 및 반응성최적화를 위 한 연구가 현재 수행중에 있다. 현재까지 수행된 파 일럿규모 PICD시스템의 정상상태 처리특성을 요약 하면 표 2와 같다.

표 2. 정상상태에서의 파일럿규모 PICD시스템 처리특성

	minimum ~ maximum(average)					
	System Running Operating Time					
	18hours		24hours		24hours	
	Influent(mg/L)	Effluent(mg/L)	Removals(%)	Influent(mg/L)	Effluent(mg/L)	Removals(%)
Temp(°C)	12~20	5~28	-	18~23	20~24	-
pH	6.9~7.3	7.0~7.2	-	6.9~7.4	6.8~7.8	-
SS(mg/L)	90~263 (150)	10~23 (10)	81.7~94.3 (88.1)	100~225 (189)	10~23 (15)	85.8~95.6 (88.8)
BOD(mg/L)	120~170 (145)	5~10 (7)	33.3~37.1 (35.3)	100~150 (125)	4~10 (6)	90.0~97.3 (94.9)
T-N(mg/L)	32.5~40.7 (36.0)	9.0~10.7 (9.8)	69.1~80.1 (75.3)	31.0~36.0 (33.0)	9.5~10.6 (10.2)	68.4~71.3 (71.1)
T-P(mg/L)	4.08~8.34 (5.1)	0.93~1.36 (1.2)	68.4~84.9 (75.8)	2.03~4.72 (3.8)	0.98~1.50 (1.1)	36.3~78.5 (70.2)
Air Temp(°C)	3~17(13)			20~24(21)		
MLSS(mg/L)	230~420(334)			1,000~3100(2400)		
SRT(days)	25~35(29)			25~41(31)		

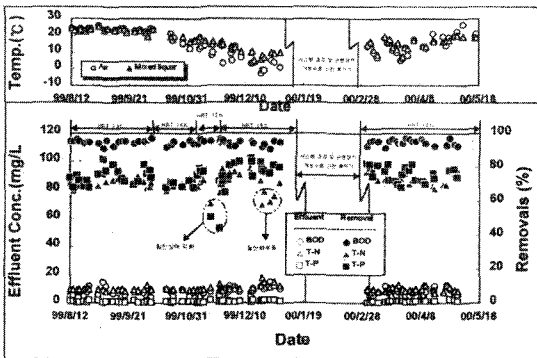
파일럿규모시스템의 HRT를 16시간과 24시간외에 12시간에서도 운전하였으나 유량증가로 인한 내장형침전지의 침전효율이 저하되어, 이를 개선하기 위한 작업이 현재 진행중에 있다.

3.3.3.1 파일럿규모시스템에서의 주요 운전 기간동안 온도변화 및 처리특성

파일럿 PICD시스템의 주요 운전기간동안 온도변화 및 처리특성변화는 그림 9와 같다.

Ditch내 수온은 자동 모니터링시스템을 이용하여 24시간 감시하였으며, 운전기간 중 약 2개월간은 시스템 점검 및 관련장치 개보수를 실시하였다. 현재 PICD시스템의 실용화를 위한 기초자료로 사계절 처리효율 등의 데이터를 지속적으로 축적하고 있으며, 파일럿에서 발생하는 문제점 등을 면밀히 체크하고, 이를 피드백하여 3차년도에 계획된 대규모 파일럿시설의 설계에 반영할 것이다.

그림 9. 주요 운전기간동안 온도변화 및 파일럿규모시스템의 처리특성



3.3.3.2 파일럿규모시스템에서의 온도변화에 따른 유기물 및 질소제거특성

그림 10 및 그림 11은 정상적인 운전기간 중 온도변화에 따른 파일럿 PICD시스템의 유기물 및 질소 제거특성을 나타낸 것이다. 기온 -3~24°C(수온 5~24°C)의 범위에서 BOD 및 T-P제거효율은 온

도변화에 관계없이 각각 90%, 70%이상의 높은 제거효율을 나타냈으나, T-N의 경우 수온 10°C이하부터 질산화가 저해를 받아 제거효율이 70%이하로 감소하였다.

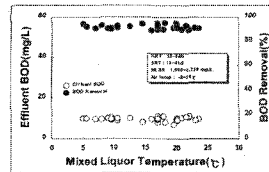


그림 10. 파일럿규모시스템에서의 온도변화에 따른 유기물제거특성

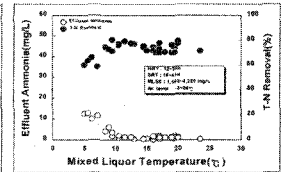


그림 11. 파일럿규모시스템에서의 온도변화에 따른 질소제거특성

현장 파일럿의 계절과 시간에 따라 온도편차는 다를 수 있으나, 겨울철 운전 중 파일럿시스템에서의 시료채취 및 측정시간이 비교적 온도가 높은 낮시간대이고, 온도가 크게 저하되는 야간에도 처리효율이 안정적으로 유지되는 것을 감안할 때, PICD시스템은 압축공기에 의한 가온효과가 없음에도 불구하고 저온에서의 온도변화에 대해 일반 단순기계식폭기공정에 비해 영향을 덜 받음을 알 수 있었다. Ditch내의 수온은 현장 파일럿에 설치한 자동 모니터링시스템을 이용하여 24시간 추적하였으며, 24시간 중 최고수온과 최저수온은 약 5°C의 편차를 나타내었다. 또한 자동 모니터링시스템을 이용하여 수온이외에도 pH, ORP, DO의 지속적인 자동측정을 통해 PICD시스템의 현장적용시 보다 용이한 운전방안에 대해 현재 지속적으로 연구수행 중에 있다.

3.3.3.3 파일럿규모시스템에서의 유입 C/N비에 따른 질소제거특성

일반적인 유입하수의 BOD/TKN의 비는 PICD시스템의 질산화 반응 및 탈질 반응을 위한 호기성조건 및 무산소조건에 매우 중요하다. 본 운전기간동안 유입수 BOD/TKN비에 따른 질소제거특성은 그

림 12와 같으며, 운전조건은 HRT 12시간, 16시간, 24시간, SRT 15~41일, MLSS 1,600~4,220mg/L였다. 파일럿규모시스템은 유입 BOD/TKN비 2.7이상에서, 실험실규모시스템의 경우 유입 BOD/TKN비 2.5이상에서 안정적인 질소 제거효율을 나타내어 동일한 양상을 나타내었다.

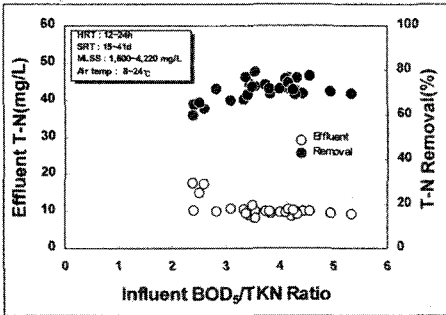


그림 12. 파일럿규모시스템에서의 유입 BOD/TKN비에 따른 질소제거특성

3.3.3.4 파일럿규모시스템에서의 HRT에 따른 질소·인 제거특성

본 시스템은 질산화 및 탈질반응을 각 ditch내에서 수행하기 때문에 질소제거효율을 극대화하기 위해서는 질산화 및 탈질을 위한 최적조건을 동시에 고려해야 한다. 파일럿 운전기간동안 PICD시스템의 최적 HRT를 알아보기 위하여 12시간, 16시간, 24시간에서 운전을 한 결과, HRT에 따른 질소제거량은 그림 13과 같으며, 파일럿 주요 운전기간 중 폭 넓은 HRT의 적용을 위해 단기간 동안 시스템 HRT를 12시간에서 운전하였다 시스템 HRT 12시간에서 총질소제거효율은 69.3~75.2%, 16시간에서는 69.1~80.1%, 24시간에서는 68.4~71.3%의 질소 제거효율을 나타내었으며, 다른 운전인자에 의한 영향을 제외하고 질소제거를 극대화 할 수 있는 시스템 HRT는 16시간이었다. 그림 14는 파일럿규모시스템에서의 HRT에 따른 인제거량을 나타낸 것이다. HRT 16시간으로 운전한 경우 12시간 및 24시간으로 운전하였을 때 보다 T-P의 제거량 및 제거

효율이 더 높게 나타났다. HRT 12시간에서 T-N 및 T-P 제거효율이 저하되는 것은 유량증가에 따른 침전효율저하 때문이었으며, 이에 대한 내장형침전지의 하부구조 및 내부순환에 대한 침전지개선 작업이 현재 진행 중에 있다. 또한 시스템의 HRT가 24시간인 경우의 낮은 인제거특성은 체류시간의 증가에 의해 인제거미생물에 필요한 유기물이 많이 부족하게 되어 인제거효율이 저하된 것으로 판단된다.

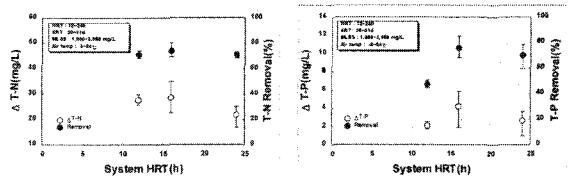


그림 13. 파일럿규모시스템에서의 HRT에 따른 질소제거특성
그림 14. 파일럿규모시스템에서의 HRT에 따른 인제거특성

3.3.3.5 파일럿규모시스템에서의 SRT에 따른 질소·인 제거특성

정상상태에서의 파일럿규모시스템 운전기간동안 SRT에 따른 질소·인 제거특성은 그림 15와 같으며, 시스템 HRT 16~24시간, MLSS 1,900~4,220mg/L로 운전하였다. SRT 25일이하에서는 T-N제거효율이 약간 저하되는 경향이 나타났으며, 이는 짧은 SRT로 인해 질산화가 영향받았기 때문으로 판단된다. T-P의 경우 SRT 35일이하에서는 67.7%이상의 제거효율을 얻었으나 35일 이상의 SRT에서는 59.3~59.7%로 저하되었다. 파일럿규모시스템의 SRT증가에 따른 내장형침전지내 MLSS 축적량증가 및 침전성저하에 의해 T-P제거효율이 저하된 것으로 사료된다. 인 제거는 HRT, SRT, cycle time 등의 각 인자에 의해 독립적으로 영향을 받는 것이 아니기 때문에, 인제거효율의 극대화를 모색하기 위해서는 우선적으로 각 인자들의 상호 관계 및 최대 영향인자를 도출하는 것이 중요

하며, 현재 이에 대해 보다 심도있는 실험실 및 파일럿 연구를 지속적으로 수행하고 있다.

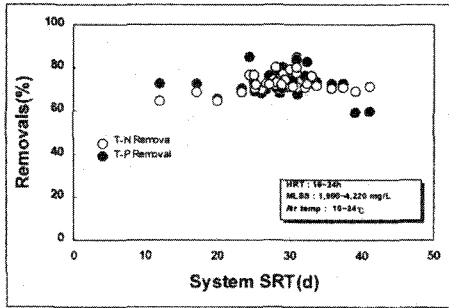


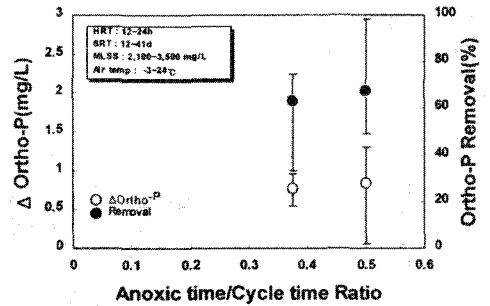
그림 15. 파일럿규모시스템에서의 SRT에 따른 질소·인 제거특성

3.3.3.6 파일럿규모시스템에서의 anoxic time/cycle time비에 따른 인 제거 특성

파일럿규모 PICD시스템에서 HRT를 16시간, MLSS는 2,260~3,270mg/L, 시스템 SRT는 20~35일로 운전하고, anoxic time/cycle time의 비를 각각 0.38과 0.5로 조정하였을 때, anoxic time/cycle time의 비에 따른 ortho-P 제거특성은 그림 16과 같다. 기존의 cycle time 4시간은 ditch 1기를 기준으로 [phase1(호기:1시간30분)-phase 2(호기:30분)-phase 3(무산소:1시간30분)-phase 4(호기:30분)]으로 구성되어 있었으나, anoxic time/cycle time의 비를 0.5로 한 경우는 [phase1(호기:1시간30분)-phase2(호기:20분, 무산소:10분)-phase3(무산소:1시간30분)-phase4(무산소:20분, 호기:10분)]으로 구성하였다. 실험실규모시스템의 내부저동 연구결과 무산소 조건을 연장시키게 될 경우 혐기조건의 형성으로 인한 인의 방출량을 더욱 증대시킬 수 있을 것으로 판단되어, 파일럿규모시스템의 anoxic time/cycle time비를 0.5로 조정하였으며, anoxic time/cycle time비가 0.38일 때에 비해 0.5일 때 비록 적은 양이었으나 제거된 ortho-P의 양 및 제거효율이 증가함을 알 수 있었다. Cycle time 변경 및 phase 별

시간배분 등 기타 운전인자의 변경을 통한 인 제거 최적화연구는 현재 진행 중에 있다.

그림 16. 파일럿규모시스템에서의 anoxic time/cycle time비에 따른 인 제거특성



3.3.3.7 운전인자 선정

현재까지의 실험실규모 및 파일럿규모 시스템 연구를 통해 도출된 PICD시스템의 적용가능한 운전범위를 요약하면 표 3과 같다. 제시된 여러 범위들에 대한 교집합을 설정하여 연구방향에 대해 타당성이 높은 운전조건을 선정하여 이를 대규모파일럿 설계 및 운전시 활용할 예정이다. 아래의 조건들은 실험실규모 및 파일럿규모 시스템에서 도출된 결과로 PICD시스템의 스케일업시 최적의 운전범위라고 단정지을 수는 없다. 따라서 실험실규모시스템에서 도출된 운전결과를 파일럿규모시스템에 적용하고 그 타당성을 파일럿은 물론 실험실규모 실험을 통해 지속적으로 검증·평가하여 현장파일럿규모 PICD시스템에 적절한 운전인자를 재구성할 필요가 있으며, 이에 대해 현재 수행 중에 있다.

표 3. 실험실 및 파일럿 연구로부터 현재까지 도출된 PICD 시스템의 적용가능한 운전범위

매개변수	적용가능범위	적용가능범위	
		20 : 10 : 1	20 : 20 : 2
시스템 HRT(h)	유기물	> 6	> 6
	질소	> 8	> 6
	인	> 8	> 8
시스템 SRT(d)	질소	25-35	10-40
	인	30-35	10-40
MLSS(mg/L)	유기물, 질소, 인	2,000-3,500	2,000-4,000
	MLDO(mg/L)	anaerobic	< 2.0
수온(°C)	유기물, 질소, 인	< 0.5	< 0.5
	유기물, 질소, 인	> 10	> 10
용량 BOD/TKN비	유기물, 질소, 인	> 5	> 5
	질소	> 3.0	> 2.5

3.4 설계 및 운전지침서의 작성

1차년도 연구에 이어 당해연도에는 1분기까지 진행된 파일럿 PICD시스템의 반응 최적화 연구를 통해 도출된 반응최적조건과 파일럿 운전시 발생되었던 문제점 및 개선방안 등의 경험지식을 추출하여 실험규모에의 적용성을 고려하여 가공한 후, 설계·운전지침에 반영하였다. 추가적인 문헌고찰로부터 서류화 및 디지털화된 관련정보를 정리하여 PICD시스템 설계·운전지침을 지속적으로 업그레이드 중에 있다. 갱신된 파일럿 설계·운전지침을 기본자료로 하여 대규모파일럿 제작에 앞서서 대규모파일럿 PICD시스템 설계 및 제작·운전에 도움이 될 수 있는 설계·운전지침(안)의 기본자료로 활용할 예정이다. 현재 갱신 중에 있는 설계·운전지침서는 소규모 및 대규모 파일럿 연구에 지속적으로 반영하고, 그 결과를 피드백하여 PICD시스템의 최적설계 및 안정 운영기법의 완성도를 지속적으로 증대시킬 수 있다.

3.5 Oxidation Ditch 전문가시스템 DB구축

3.5.1 데이터베이스의 업그레이드 및 사용자 인터페이스 개발

1차년도 연구에서는 전문가시스템의 최근동향을 파악함과 동시에 작성된 설계·운전지침을 토대로 PICD전문가시스템의 지식 DB 구성을 차질없이 수행하였으며, 현재 파일럿 연구 및 추가적인 문헌고찰을 통하여 작성된 설계·운전지침을 지속적으로 데이터베이스화하였다. 당해연도 1분기 연구에서는 윈도우즈환경하에서 사용의 용이성, 확장성, 장래확장성면에서 유리한 관계형데이터베이스인 마이크로소프트엑세스를 데이터베이스 개발틀로 선정하여 PICD스텝 설계·운전 데이터베이스를 구축하였다. 데이터베이스 사용자 인터페이스 개발을 위한 틀로는 비주얼베이직을 선정하여 PICD시스템 설계·운전 데이터베이스 사용자 인터페이스 개발을 위한 알

고리즘 연구를 추진 중에 있다.

현재 윈도우즈 환경에서 개발중인 PICD시스템 설계·운전 데이터베이스의 운영메뉴 중 주메뉴 및 검색메뉴를 실행한 결과를 그림 17에 제시하였다. 2차년도에서 개발중인 데이터베이스는 그림 17에서 볼 수 있는 바와 같이 'WYSIWYG기능'을 갖추어 사용의 용이성을 증대시키고자 하였다. 사용자 인터페이스 개발시에는 추후 지식베이스와의 연계성을 충분히 고려하여 사용자 인터페이스에서 데이터베이스 및 지식베이스의 상호참조가 용이하도록 프로그램 개발·설계를 추진 중에 있다.

3.5.2 PICD 시스템 지식베이스의 업그레이드

2차년도 연구에서는 1차년도에서 시작된 PICD시스템 지식베이스를 업그레이드하여 설계·운전지침 중 전문가의 의사결정과정을 시뮬레이션 할 수 있도록 핵심지식을 추출하여 규칙베이스화가 가능하도록 정형화하는 작업을 수행하였다. 본 연구에서는 PICD전문가시스템을 개발하기 위하여 지식베이스를 크게 최적 운전, 최적 설계, 진단 및 예측의 3가지 영역으로 구분하였으며, 각 분류영역별로 전문가적인 지식이 필요로 되는 영역을 세분화한 후, 세분화된 문제영역에 대한 지식 획득과정을 추진 중에 있다. 분류된 문제 사례별로 문제해결 과정을 구조공학적 기법을 이용하여 지식베이스화하여 지식베이스의 지속적인 업그레이드를 추진중이다. 구축 중인 사례별 지식베이스의 일례를 그림 17에 제시하였다. 2분기 연구에서는 구축된 지식베이스에 대하여 사례별로 다양한 추론을 수행한 후 문제점을 도출하고, 도출된 문제점을 재반영·최적화하는 연구와 함께 PICD전문가시스템 통합 사용자인터페이스 개발 연구와 함께 병행하여 추진할 예정이다.

4. 기술개발 효과 및 적용분야

4.1 기술개발효과

4.1.1 국내 산업의 파급효과

선진외국에서는 이미 1970년대부터 A²/O, Bardenpho, UCT 등의 완전혼합·내부순환형 탈질·탈인 공정을 하수처리에 개량·적용해 왔으며, 1980년대 후반부터는 중소규모 하수처리장에 적합한 탈질·탈인 산화구변법을 연구하여 1990년대부터 본격적으로 보급이 확대되고 있다. 국내 대규모 하수처리장에서는 DNR공정, P/L-II공정 등의 전통적인 탈질·탈인 수정공정에 의하여 외국기술과의 경쟁력을 갖추기 시작한 반면에, 중소규모 하수처리장의 탈질·탈인 기술시장에서는 외국에서 보급이 확대되고 있는 탈질·탈인 산화구변법 등과 경쟁할 수 있는 기술은 부족하다.

(주)그린기술산업에서 G-7환경기술연구개발사업의 일환으로 연구중인 하수 탈질·탈인 PICD 시스템의 실용화가 성공할 경우, 아직 국내 하수에 대한 처리경험을 갖지 못하고 상대적으로 복잡한 BioDenipho 공정 등의 선진외국기술보다 국내 중소규모 하수처리장의 질소·인 제거시장에서 경쟁력을 확실히 확보하여 국내시장보호에 큰 기여를 할 것으로 기대된다.

4.1.2 외국산업의 파급효과

본 시스템과 유사한 기술을 보유하고 있는 외국의 회사로는 덴마크의 Kruger와 미국의 EIMCO가 있다. 덴마크 Kruger의 BioDenipho 공정과 미국 EIMCO의 Carrousel 시스템은 모두 하수의 탈질·탈인을 목적으로 한 산화구변법이며 유럽 및 미국등지에서 많은 중소규모 하수처리장 적용사례를 갖고 있다. PICD 시스템이 국내에서 성공적으로 실용화 되면, 상대적으로 국내와 하수특성이 유사한 중진국 등 세계 각지로 수출되어 충분한 경쟁력을 확보할 수 있으리라 판단된다. 특히 동남아시아 및 중국 등의 국가에서는 중소규모 하수처리장 건설시 다른 탈질·탈인 시스템에 비하여 경제성을 가질 수 있기 때문에 상당히 유리한 조건에서 수주활동을 할 수

있을 것으로 판단된다.

4.2 적용분야

본 연구의 성공적인 연구개발을 통하여 국내 중소규모 하수처리시장에서 외국기술에 대한 국내 기술의 전반적인 경쟁력을 크게 향상시킬 수 있을 것이며, 특히 생물학적 탈질·탈인 시스템의 자동화기술, 산화구변법에서의 혼합액 순환장치와 산소공급 장치의 개발 및 운전기술, 내장형침전지 개발, 설치 및 관리기술 등의 분야에 적용되어 뚜렷한 경쟁력의 향상이 기대된다.

5. 결론 및 향후 전망

'98년도부터 G-7 환경기술연구개발 3단계사업의 일환으로 연구 수행중인 PICD (Phased Isolation Intra Clarifier Ditch) 시스템은 간헐폭기 및 유로변경방법을 조합하여 운영함으로써 유기물과 질소·인의 동시제거가 가능한 하수처리시스템으로서 중소규모 하수처리장의 유입부하변동에 대해 안정적이고, 신속적인 운전이 가능하며, 유럽과 미국에서 활발하게 보급되고 있는 기존의 BioDenipho 공정의 비능률적인 복잡성을 극복하고, 여러 단점을 개선하여 경제성과 효율성을 증대시킨 공정이다. 현재까지 실험실규모의 체계적인 연구결과로부터 주요 설계·운전인자를 도출하여 소규모파일럿 PICD 시스템을 운전한 결과, HRT 12~16시간, SRT 25~35일, MLSS 1,900~4,220mg/L에서 BOD 90~97%(평균 95%), T-N 68~80%(평균 73%), T-P 60~85%(평균 73%)의 우수한 처리효율을 얻고 있다. 또한 실험실규모 연구결과를 파일럿의 운전에 지속적으로 back-up하고 설계·운전지침을 작성하였으며, 전문가시스템의 최근동향을 파악함과 동시에 작성된 설계·운전지침을 토대로 PICD 시스템 전문가시스템의 지식 DB 구성 및 지식베이스 업그레이드를 통해 oxidation ditch 전문가시스템 사용자 인터페이스개발을 위한 연구를 차

질없이 수행하고 있다. 파일럿의 운전을 통해 얻어진 시스템 관련장치 및 기술의 문제점과 결과를 설계·운전지침으로 피드백하여 시스템 관련장치 및 기술의 현장화에 박차를 가하고 있으며, 본 시스템의 실용화를 위한 작업으로 신문 등을 통한 홍보와 국내외 특허 및 신기술신청 등을 실시하였다.

현재의 연구추진계획대로 성공적으로 과제가 수행되어 하수 탈질·탈인 PICD 시스템의 실용화가 성공할 경우, 국내 및 국외(미주, 유럽, 동남아 및 중국) 중소규모 하수처리장을 주시장으로 하여 향후 2001~2005년에는 수출산업화를 실시하여 무역수지개선효과를 얻을 수 있을 것으로 기대되며, 아직

국내 하수에 대한 처리경험을 갖지 못한 선진외국 기술보다 국내 중소규모 하수처리장의 질소·인 제거시장에서 경쟁력을 확실히 확보하여 국내시장보호에 큰 기여를 할 것으로 기대된다. 특히, 미주 및 유럽지역에서는 BioDenipho 공정 및 Boat Clarifier 등의 사용실적이 많아 새로이 개발된 PICD 시스템에 대한 거부감이 없고, 기존 BioDenipho 공정의 단점을 충분히 이해하고 있어 PICD 시스템을 자연스럽게 수용할 것으로 판단된다. ◀

나우누리 전국환경관리인동호회 CUG 폐쇄

연합회는 홈페이지 개설로 그동안 운영해 온 나우누리 전국환경관리인동호회 CUG를 오는 1월부터 폐쇄하고자 합니다.

회원여러분들은 전국환경관리인연합회 홈페이지(www.kemf.or.kr)를 많이 애용해 주시기 바랍니다.

(사) 전국환경관리인연합회