제 출 문

경남지역환경기술개발센터장 귀하

본 보고서를 “SS 1mg/L이하에서 대장균 완전살균을 위한 자외선 소독기술에 개발”에 관한 최종보고서로 제출합니다.

연구기관명 : 경상대학교

연구책임자 : 이 동 근 교수(경상대학교 생명화학공학과)

연 구 원 : 김둘선, 박휘혜, 김은영, 조영대, 김성철

요 약 문

Ⅰ. 제목

SS 1mg/L 이하에서 대장균 완전살균을 위한 자외선 소독기술의 개발

Ⅱ. 연구의 목적 및 필요성

- 2004년 1월 1일부터 특정 수계 지역의 하수처리시설 방류수 수질 기준 중 대장균 군수의 기준이 1,000개/L로 강화되었고, 법적인 방류기준을 충족시키기 위하여 방류수 중의 대장균 소독 기술의 개발이 필요한 시점임.
- 또한 물 부족 문제를 해결하기 위해 하수처리시설 방류수의 재이용 계획이 물관리 종합대책에 포함되는 등 하수처리시설 방류수가 농업용수 및 관개용수로 재이용될 수 있는 방안 마련이 시급한 실정임.
- 그러나 하수처리시설 방류수가 농업용수 및 관개용수 등으로 재이용되기 위해서는 우선적으로 하수처리시설 방류수를 처리한 물속에 포함된 대장균 군수를 최소화함으로써 재이용수의 사용자가 지니는 심미적인 문제를 우선적으로 해결하여야 함.
- 본 연구의 참여 기업은 현재 방류수중의 SS 농도를 1mg/L 이하로 유지시킬 수 있는 하수처리 기술을 보유하고 있으며 전국적으로 약 50여 곳에 하수처리 시설을 설치하여 두고 있음.
- 참여기업이 보유한 공법은 수초와 골재를 이용하는 자연친화형 하수고도처리기술로서 골재에 부착 성장하는 미생물을 이용하여 여과 및 생물학적 산화분해를 동시에 가능하게 하는 고효율 하수처리기술임.
- 방류수 중의 대장균이 주로 부유 물질의 외부 표면에 부착되어 서식하고 있는 상황에서 SS 농도를 1mg/L 이하로 유지시키면 대장균 군수의 농도는 법적인 대장균 군수 농도 기준인 1,000개/L 이하를 충분히 만족시킬 수 있어 별도의 소독 설비의 설치가 불필요한 실정이고, 현재 설치된 하수처리시설 방류수중의 평균 대장균 군수 농도는 약 200-600개/L로 나타나고 있음.
- 그러나 참여기업은 법적인 방류기준의 만족 차원을 넘어 방류수를 최소한 농업용수로 재이용할 수 있도록 하기 위하여 방류수중의 대장균을 완전 살균할 수 있는 소독 설비의 개발을 추진하게 되었음.
- 이와 함께 새로이 개발될 소독 기술은 방류수중의 유기물을 추가 산화분해시켜 BOD 농도를 저하시켜 재이용수로서의 가치를 보다 향상시키는 기술이어야 함.
- 이에 따라 본 연구에서는 SS 농도 1mg/L 이하의 방류수를 처리하여 대장균을 완전 살균할 뿐 아니라 BOD의 농도를 함께 낮출 수 있는 소독 기술로서 광촉매와 자외선을 이용한 소독기술을 개발하게 되었음.

- 이를 위해 살균 소독설비에 적용될 담체의 선정과 광촉매 고정화기술을 확보하는 것이 우선적으로 이루어져야 하며,
- 확보된 고정화 기술을 적용하여 최적의 소독반응조를 설계, 제작하고자 함.
- 이와 함께 자외선램프 선정, 체류시간 등 운전변수 확보를 통해 최적의 운전조건을 제시함.

III. 연구의 내용 및 범위

- 하수 처리수 중의 대장균 농도, BOD 농도 등의 측정
- 소독설비의 제작 및 설치
- 설치된 소독설비의 성능 평가
- 성능 평가에 따른 문제점 보완
- 최종 소독설비의 개발 완료
- 사업의 원활한 추진을 위하여 참여기업의 연구원과 함께 연구 진행을 추진함.
- 주관연구기관에서는 광촉매의 고정화 기술과 관련된 핵심기술 개발, 최적의 담체 및 자외선 램프의 선정 광촉매 살균, 소독을 위한 기반기술을 개발하고,
- 참여기업에서는 소독설비의 제작과 현장 설치 및 운전과 관련된 기술지원을 주로 하는 연구체계를 구성함.
- 기술을 개발하기 위한 대상 하수처리시설은 경상남도에 설치되어 운전 중인 30m^3/일 규모의 시설로 정하고 주관연구기관에서 1시간 이내에 위치한 시설로 함.
- 현장에서의 운전은 참여기업 연구원이 개발 완료 후 쉽게 적용할 수 있도록 참여기업과 함께 진행함.

IV. 연구결과

○ 박막흐름 소독설비

박막흐름 소독설비는 저장탱크에 저장된 하수가 TiO_2필름이 코팅된 반응기의 표면을 통하여 흘러 내려가며 반응기표면을 흐르는 동안 반응기 상층부에 설치된 저압수은램프(Phillips, 15W, 253.7nm)를 통하여 자외선이 조사된다. 반응기의 표면은 길이 3.0m, 폭 30cm로 이루어져 있으며 지표면과 경사를 이루도록 되어 있고, 경사각을 조절함으로써 흐르는 하수의 두께와 유속을 변화시킬 수 있었다.

○ 혼합흐름 소독설비

혼합흐름 소독설비는 직경은 약 79.2㎝, 높이는 65.0㎝로 하였고, 이 때, 실제 소독설비의 내경은 램프의 위치 또는 크기 등을 고려하여 68.0cm로 하여 설계 및 제작하였다. UV lamp는 투과실험을 수행한 결과 20cm가 가장 효과적인 것으로 조사되어 UV lamp의 설치간격을 20cm로 하여 설치하였고, 내부에 4개가 장착이 되도록 하였다. 처리되는 동안 내부의 상태를 확인할 수

있도록 전면에 아크릴 창을 별도로 설치하였다. 설치된 자외선램프는 고압, 중압, 저압수은램프 등 다양한 자외선램프가 적용되어 실험될 수 있도록 하였고, 소독설비 내에는 광촉매가 고정화된 유리판 등의 기타 매체가 일정시간 동안 접촉할 있도록 하기 위한 별도의 담체 고정시설을 설치하여 두었다.

○ 박막흐름 소독설비를 이용한 결과

유량이 445.0cc/min 일 때, 체류시간에 따른 대장균수, BOD, COD, SS, T-N, T-P의 제거에 대해여 알아보았는데, 체류시간(5, 7, 14, 20초)에 따른 대장균군의 제거율은 각각 UV-C만을 조사하였을 경우, 10%, 13.5%, 23.7%, 35.9% 였고 UV-C와 TiO_2를 코팅한 경우 97.8%, 91.6%, 80%, 68% 였다. UV-C만을 조사하였을 경우, 체류시간이 길수록 제거효율이 증가하였다. UV-C 파장의 자외선은 그 자체로도 살균에 응용될 만큼 강한 광원으로 대장균 등의 미생물살균에 이용된다. 이러한 이유로 자외선의 조사만으로도 어느 정도의 제거효율이 관찰된다. 그러나 UV-C와 TiO_2를 코팅한 경우는 체류시간이 짧을수록 제거효율이 증가하였다.

BOD의 제거율은 각각 UV-C만을 조사하였을 경우, 2.8%, 4.1%, 6.9%, 15.1% 였고, UV-C와 TiO_2를 코팅한 경우 63.9%, 58.6%, 51.4%, 43.1% 였다. COD의 제거율은 각각 UV-C만을 조사하였을 경우, 0.9%, 6.4%, 8.5%, 12.5% 였고 UV-C와 TiO_2를 코팅한 경우 64.2%, 54.6%, 43.4%, 38.7% 였다. UV-C와 TiO_2를 코팅한 경우, BOD와 COD는 체류시간이 짧을수록 제거효율이 증가하였다. UV-C만을 조사하였을 경우, 체류시간이 길수록 제거효율이 증가하였지만 제거효율의 차이는 별로 크지 않았다.

SS의 제거율은 UV-C만을 조사한 것과 UV-C와 TiO_2를 코팅한 것과 별 차이를 나타내지 않았다. T-N의 제거율은 UV-C만을 조사한 결과 제거효율이 극히 저조하였고, UV-C와 TiO_2를 코팅한 것의 결과는 체류시간이 7, 14, 20초 일 때 어느 정도의 제거가 일어났다. T-P의 제거율은 SS의 경우와 같이 UV-C만을 조사한 결과와 UV-C와 TiO_2를 코팅한 것과 별 차이를 나타내지 않았다. 따라서, UV-C와 광촉매 반응으로는 SS, T-N, T-P의 제거에 별 영향을 미치지 못하는 것으로 생각된다.

○ 혼합흐름 소독 설비를 이용한 실험결과

UV 램프 튜브의 외부 벽면에 TiO_2를 직접 코팅하여 사용하였을 경우 유속에 따른 하수처리시설 방류수 중 대장균의 제거효율을 조사한 결과 처리수의 유속이 약 $15m^3$/일 일 경우 초기 대장균의 약 83%가 제거되었으며, 유속이 약 $10m^3$/일 일 경우 초기 대장균의 약 91%가 제거 되었다. 유속이 $5m^3$/일 이하일 경우에는 대장균의 완전제거가 이루어 졌다. 그러나 TiO_2가 없이 자외선만 조사한 경우에는 약 $15m^3$/일 의 유속에서 15%의 대장균 효율을 얻을 수 있었으며 유속이 감소함에 따라 제거효율은 증가하였다. 그러나 낮은 유속에도 불구하고 대장균의 완전제거는 달성되지 못하였다.

UV 램프 튜브의 외부 벽면에 TiO_2를 코팅하여 사용한 경우 유속에 따른 BOD 제거효율을 조

사한 결과 TiO_2가 없이 자외선만 조사한 경우 BOD 제거효율은 미미한 반면 TiO_2가 코팅된 UV 램프를 사용한 경우 약 15m^3/일의 유속에서 24%의 BOD 제거효율을 나타내었으며 10m^3/일의 유속에서는 32%의 BOD 제거효율을 얻을 수 있었다.

이상의 결과로 미루어 보아 TiO_2가 코팅된 UV 램프를 사용함으로써 탁월한 대장균 및 BOD 제거효율을 얻을 수 있었다. 그러나 보다 향상된 제거효율을 얻기 위해 반응기내에 TiO_2가 코팅된 유리구와 직경 3mm의 모래입자를 투입하였고 그 결과가 TiO_2가 코팅된 UV 램프 외에 200g의 TiO_2가 고정된 직경 1cm의 유리구를 투입한 경우 10m^3/일 이하의 유속에서 대장균의 완전제거를 얻을 수 있었으며 BOD의 경우 70%이상의 제거효율을 얻을 수 있었다.

TiO_2가 고정화된 유리구 대신 200g의 TiO_2가 고정화된 직경 3mm의 모래입자를 투입한 경우 대장균 및 BOD 제거효율은 크게 증가하며 15m^3/일 이하의 유속에서 대장균의 완전제거 및 50% 이상의 BOD 제거효율을 얻을 수 있었다.

Ⅴ. 연구결과의 활용계획

- 참여기업에서 설치중인 하수처리시설에 소독설비로 직접 적용
- 기존 하수처리시설의 대장균군 항목 초과시설에 효과적으로 적용.