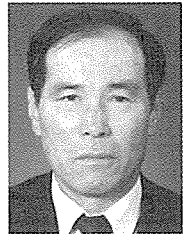


# 환경공학의 새로운 분야를 전개하는 활성오니모델



**이복춘** | 환경(수질)·화공(고분자제품) 기술사  
한국과학기술정보연구원 전문연구위원  
인천환경기술개발센터 홈닥터

## 1. 서언

환경공학에서는 포괄적인 개념으로 정의 혹은 처리하는 분야가 많아, 타 공학에 비해 치밀하게 이론을 전개할 수 없는 것이 사실이다. 예를 들어 현재 수질오염 지표로 사용되고 있는 COD와 BOD는 화학적 또는 생물학적 산소요구량으로 표시되어 오염성분과 처리조건에 따라 처리속도와 효율이 다른 것을 구분하지 못하고 있다. 이러한 이유로 특정한 하수 또는 폐수의 처리예측을 위한 정확한 수치모델을 개발할 수 없었다.

일반하수 및 폐수에서 수질만을 논의하는 시대는 지났고, 보다 효율적인 설계와 유지관리를 통해서 처리수질은 물론 폭기량, 오니발생량, 그리고 처리방법의 요소를 비교하고 인원 및 코스트의 절감, 부지절약이 요구되고 있다. 글로벌 경제의 국제간 경쟁에서 환경 분야도 예외일 수 없으므로 경제적이고 효율적인 의미에서 환경을 새롭게 인식할 필요가 있다.

이러한 배경에서 세계 수학회(International Water Association ; 이후 IWA로 약함)에서 3가지 기본 활성오니모델을 발표해왔다. IWA에서는 처리속도 및 효율

에 따라 오염성분을 2종류 이상으로 분류하고, 화학공학에서 적용하고 있는 화학양론과 반응속도론을 도입하여 처리조건에 따른 처리효율의 예측 등 보다 공학적으로 하, 폐수처리에 접근하고 있다.

이 원고에서는 IWA에서 제시하는 활성오니모델과 IWA 태스크(Task) 그룹 활동을 소개하고, 일본 Tokyo 도에서 도입하고 활용한 사례, 그리고 처리시설 제어를 위한 활성오니모델의 응용 편을 소개하고자 한다. 필자는 한국과학기술정보연구원의 전문위원으로 참여하여 접하게 된 3편의 논문을 중심으로 이 원고를 작성하게 되었다.

## 2. IWA 태스크 그룹 활동

IWA에 의해 활성오니모델(activated sludge models)이라는 용어가 배수처리 분야에서 국제적으로 정착하고, 그 실무이용이 본격적으로 검토되고 있다. IWA 태스크(Task) 그룹은 1986년 이래 3가지 기본 활성오니모델 ASM, ASM2/ASM2d, ASM3를 발표해왔다.

이러한 활성오니모델을 기초로 연구자간에 교류를 촉

진시켜, 연구를 현저하게 활성화 시켰다. 결과적으로 연구 목적으로 사용되었던 수학적 모델 개념을 실무에 이용하게 하였다.

IWA 태스크 그룹은 기존모델을 보완하려고 하고 있으며, 추가로 계획하는 사항은 ASM3에 인제거 모듈을 포함시키고, 질산화 탈질 프로세스에서 질소 성분으로 아질산을 추가하려고 하고 있다.

### 3. 활성오니모델의 구성

활성오니모델을 조기에 이용한 네덜란드에서는 ASMI를 타 국가는 ASM2d를 많이 사용한다. ASM2는 ASM2d가 제안되고 난 뒤에는 거의 사용되지 않고 있다. 한편 IWA 태스크 그룹은 ASM3을 기본모델로 추천하고 있다.

활성오니모델의 미생물은  $NH_4-N$ 를 질산화하는 질산화세균, poly 인산의 저장기능을 갖는 인 축적세균, 유기물을 분해하는 중속영양세균 등 3종류로 분류하고 있다. 난분해성 유기물은 중속영양세균에 의해 분해되기 쉬운 유기물로 가수 분해된다. 이렇게 가수 분해된 유기물은 중속영양세균과 인축적 세균에 저장된 후, 균체의 증식과 탈질반응에 소비된다. 균체가 자기 분해되면 균체의 유기성분은 난분해성 유기물과 불활성 유기물로 되고, 저장유기물 성분은 분해되기 쉬운 유기물로 된다고 한다.

유기물 저장프로세스에 대해서 모델 간에 차이가 있다. 즉 ASM1, ASM2d와 ASM3의 구조상 큰 차이는 전자가 중속영양 미생물에 의한 유기물(탄소원)의 저장을 고려하지 않으나 후자는 고려한다는 점이다. ASM3에서는 기질의 저장을 모델에 추가하기 때문에 증식속도와 함께 탄소원의 섭취속도를 별도로 설정할 수 있다. 그러므로 ASM1과 ASM2d에 의해서는 탄소원의 농도변화를 적절하게 예측할 수 없으나, ASM3에서는 예측이 가능하다. 이러한 저장기능을 도입하면 중속영양 미생물의 성장이 불가능한 경우에도 예를 들어 미생물에 의한 응집 내지 흡착에 의하여 탄소원의 농도저하를 쉽게 이해할 수

있다.

IWA 활성오니모델은 도시하수를 대상으로 만들어졌기 때문에 각 모델 정수의 표준치는 도시하수처리에 정확하게 들어맞는다. 그러나 유기물 조성이 도시하수와 다른 유기물 폐수에 적용하는 경우에는 처리속도에 따라 장시간에 분해되는 유기물  $Y_s$ , 분해되기 쉬운 유기물  $S_s$ 의 정의를 달리하여야 한다. 즉 분해속도를 표시하는 속도식과 그 정수의 수치를 재검토하여야 한다.

〈표-1〉 IWA 활성오니 모델의 개요

모델명	발표 년도	제거 물질	공정 의수	변수의 수 용해성부유성	구성미생물	비 고
ASM1	1986	C N	8	8 5	중속영양세균	
ASMS2	1995	C N P	19	9 10	중속영양세균 질산화 세균 인축적 세균	-인제거 모델 추가
ASM2d	1998	C N P	21	9 10	중속영양세균 질산화 세균 인축적 세균	-탈질반응시 인제거를 위해 인축적 세균에 탈질능력을 보유하도록 ASM2를 수정
ASM3	1998	C N	12	7 6	중속영양세균 인축적 세균	-여러 현상을 추가 -ASM1과 2의 문제 개선

## 4. 일본 TOKYO 도 하수국의 활성오니모델 도입현황

### 4-1. 활성오니모델 추진경과

폐쇄성 수역인 TOKYO만에서 발생하고 있는 적조현상을 해결하기 위해 TOKYO 도에서는 1999년부터 조례로 수재생센터(2004년부터 하수처리장에서 개칭)의 방류수에 질소, 인의 가중기준을 적용하고 있다. 또한 목표연도가 2004년인 제5차 수질총량규제에서도 COD의 규제강화와 함께 질소, 인이 추가되었다.

질소, 인을 제거하기 위한 고도처리시설을 건설하기 위해서는 막대한 비용과 시간이 소요 되고, TOKYO와 같이 현저하게 도시화된 지역에서 용지확보도 쉽지 않다. 표준 활성 오니법을 채택하고 있는 대부분의 수재생센터에서는 운전조건을 변경하는 등 여러 가지 방법에 의해 질소, 인을 제거하기 위한 방안을 추진해왔다.

이와는 별도로 고효율로 질소, 인을 제거하기 위해 IWA 활성오니모델 ASM2d를 채택한 수질예측 소프트웨어를 개발하고, 각 수재생센터에서 사용할 수 있도록 하였다.

#### 4-2. ASM 활용을 위한 기본사항

- 자국어로 쉽게 사용할 수 있어야 한다.
- 일상적인 수질분석 데이터를 사용하여야 한다. ASM에 적용되는 CODCr기준에 맞추기 위해 통상적으로 측정되는 CODMn에 변환변수를 도입하였다.
- 특별한 지식 없이 ASM을 활용할 수 있어야 한다.
- 사용자의 의견을 개발된 소프트웨어에 반영하고 ASM의 수질항목과 각 수재생 센터의 수질측정 항목을 조정한다.

#### 4-3. 개발된 소프트웨어의 특징

- 기존 수재생센터 흐름에 맞추어 조작하기 쉬운 소프트웨어로 개발하였다.
- 유기물 분획에 따른 예측정도를 향상시키기 위해 네덜란드 응용수연구재단이 개발한 소프트웨어를 수정하였다.
- 처리수질의 계산치와 실측치 사이에 차이가 발생하면 매개변수를 수동설정으로 변경할 필요가 있지만, 이 소프트웨어는 수동으로 매개변수를 변경하는 기능 외에 자동으로 매개변수를 조정하는 기능이 있다.
- ASM에는 미생물이 소비하는 DO가 매개변수로 도입되어 있으나, 폭기량을 제어하기 위해 DO를 제어하고 있는 다수의 수재생센터를 위해 설정 DO를 유

지하기위한 송풍량을 종래의 지식으로 산출하였다.

#### 4-4. 개발된 소프트웨어의 활용사례

목표로 하는 처리수질을 유지하기위한 운전조건을 수질예측계산에 의해 추정하고, 측정치를 기초로 운전조건을 변경하고 처리수질을 개선하였다. A<sub>2</sub>O법을 채택하고 있는 수재생센터에서 반응탱크에 유입되는 유기물의 농도가 인의 농도에 비해 상대적으로 낮아 인제거 효율이 저하되었으나, 혐기 탱크의 체류시간을 증가시키고, 질산화액 순환율을 감소시켜서 해결 하였다.

인처리가 개선된 후 폭기조 후단에서 DO가 감소하는 것을 가정해서 수질 예측 계산을 하였던 결과, 수질을 저하시키지 않고 송풍량을 대폭 절감할 수 있었다.

〈표-2〉 코스트 절감을 목적으로 한 계산치

폭기조 후단 DO 농도(mg/l)	송풍량 비	폭기조 출구 T-N농도(mg/l)	폭기조 출구 T-P농도(mg/l)
4.3	1	16.3	0.32
3.5	0.82	16.3	0.29
2.5	0.67	16.2	0.26

#### 4-5. 개발된 소프트웨어의 응용사례 및 차후 계획

개발된 소프트웨어는 TOKYO 도 하수국의 모든 수재생센터에서 운영되고 있으며 개발부서는 지원하고, 활용은 각 수재생센터에게 위임되어 있다.

표준 활성오니법에서 폭기조 전단부에 제한적인 폭기를 하는 등 ASM2d에서 제시하는 운전조건으로 변경하면 질소, 인을 제거할 수 있다.

또한 제한 폭기에 의해 생물학적으로 제거하고 있는 폭기조에서는 말단에서도 DO를 조절하고 있다. 제한적인 폭기부분의 DO농도는 0.5mg/l, 호기 부분에서는 1.0~2.0mg/l 정도이다.

ASM에서는 이러한 DO의 차이에 반응속도의 차이만 구분할 수 있으나 처리시설에서는 인축적 세균에 의해 인

방출과 과잉섭취 등 생물학적으로 인을 제거할 수 있어 응집제를 사용하지 않고도 방류수의 T-P 기준을 만족한다.

차후에 소프트에 추가할 내용은 다음과 같다.

- MLSS농도를 제어하여 잉여오니의 인발량을 예측하려고 한다.
- DO 대신 송풍량을 입력하는 소프트로 변경하려고 한다.
- 최종침전지에서 질소와 인이 재용출하는 현상을 해결하기 위해 오니침강에 관한 모델과 ASM을 조합시켜 소프트에 도입하고자 한다.
- 운전 중에 발생하는 아질산을 고려하여 ASM의 질산화 반응에 아질산을 겸유하는 반응모델을 추가하고자 한다.

TOKYO 도 하수국 내의 각 수재성센터는 우편과 전자회의실을 이용하여 정보를 공유하고 있다.

## 5. 활성오니모델을 응용하여 처리시설 제어방향

### 5-1. 활성오니모델을 이용한 하수 시뮬레이터의 개요

시뮬레이션의 대상이 되는 프로세스는 폭기조와 최종 침전지이다.

입력항목은 다음과 같다.

- 유입조건: 수량과 수질
- 시설구조: 폭기조의 크기와 분할수, 순환수의 유무, 스텝유입위치, 응집제주입 의무, 초침오니 투입
- 운전조건: 각조의 송풍량, DO, MLSS, 반송오니량이 때문에 표준 활성오니법, AO, A<sub>2</sub>O, 스텝유입 활성오니법, 산화지법, 2단 AO 법 등에 적용할 수 있다.

### 5-2. 하수시뮬레이터를 운전제어로 활용하는 방안

하수처리장에서는 처리수질 향상과 동력비 절감을 동시에 추구하고 있으나 역 상관관계에 있다. 시뮬레이터로 특정 유입조건에 대해 운전조건 변경에 따른 처리수질, 동력비를 산출할 수 있고, 적절한 운전조건을 탐색할 수 있다. 그러므로 탐색결과를 참고로 운전조건을 설정하여 처리수질의 향상과 동력비의 절감이 가능하다.

### 5-3. 적용사례

가. A<sub>2</sub>O법에 적용한 사례

- 질소와 인을 동시에 제거하는 A<sub>2</sub>O법에 시뮬레이터를 적용하였다. 조정대상이 되는 운전조건은 DO(송풍량), 반송오니량(반송율), 질산화액 순환량, MLSS 등이 있다.
- 하수시뮬레이터를 적용하기 위해 활성오니모델의 계수를 조율하였다. 통상적인 실험과 정밀 실험결과를 활용하지만, 데이터가 부족하면 채수하여 분석할 필요가 있다.
- 계수조율에 의한 결과를 검증하기 위해 DO와 유입수량을 단계적으로 변화시켰을 때, 처리수의 T-N과 PO<sub>4</sub>-P를 측정하였다.
- 처리수질에 영향을 미치는 인자로 DO와 순환율이다. 처리수질에서 BOD, T-N, PO<sub>4</sub>-P를 만족시키는 DO의 범위는 다르나 모두 만족시키기 위한 DO 설정치는 1.3~2.5mg/l 이다.
- DO와 순환율의 조합에 의해 처리수질과 동력비 절감 관계를 탐색하였다. 이 결과 DO가 1.3mg/l, 순환율이 160%로 설정한 경우 처리수 T-N을 10mg/l 이하로 하고 동력비도 절감할 수 있었다.
- 하수시뮬레이터로 유입량 변동에 따라 운전조건을 변경하여 적용하였는데, 3시에서 18시는 야간운전 조건으로, 18시에서 3시까지는 주간조건으로 하였을 때 처리수질이 양호하였다. 이는 유입량과 수질이 6시경에 최소로 되고, 그 영향이 5~6시간 후에 처리

수질로 나타나는 것으로 예상된다. 주간과 야간의 운전조건에서 DO 설정치를 1.1과 0.8mg/l 로 달리 하면 소비전력량을 1% 절감할 수 있었다.

나. 초침오니를 투입할 사례

- 질소·인 제거율을 향상시키기 위하여 최초 침전지에서 발생하는 초침오니를 폭기조에 투입하는 방안이 있다. 폭기조에 투입된 초침오니는 미생물에 의해 분해되므로 오니 발생량도 감소시킬 수 있다.
- 초침오니투입량에 따라 MLSS농도와 SRT가 변화한다. 일정한 MLSS농도에서 오니발생량 감소비율을 측정한 결과 초침오니를 투입하지 않았을 때를 100%로 하면 MLSS가 1,500mg/l 에서 10%, 3,000mg/l 에서 20%의 감소결과를 얻었다.
- 처리수의 T-N수치는 MLSS농도에 따라 변동하여, MLSS가 1,500mg/l 일 때 8mg/l, 3,000mg/l 일 때 4mg/l 로 나타났다.
- 그러나 투입된 초침오니 중에는 분해하지 않는 부분은 활성오니에 축적해서 T-N제거 효율에 영향을 미치므로 초침오니의 적정투입량이 존재한다.

6. 결론

지금까지 활성오니모델의 소개, 일본에서의 이용사례와 함께 여러 가지 응용분야를 소개하였다. 유럽에서 시

작된 활성오니모델을 일본에서는 여러 가지로 응용하여 새로운 시설을 추가하지 않고 질소, 인을 제거하는 고도처리를 하고 있고, 시뮬레이터에 의해 예측 수질을 계산하여 유입조건에 따라 운전조건을 변경하여 처리수질을 안정화시키고, 동력비 및 오니처리비 등을 절감하고 있다. 일본 내에서 활성오니모델 도입은 Tokyo 도가 중심이 되어 (주)닛수이콘과 (주)야스가와 텐키의 공동연구에 의해 2001~2002년 사이에 완성되었다. 그러므로 우리나라에서도 정부차원에서 기술도입과 개발이 요망되고, 개발된 소프트웨어를 자치단체의 하수종말처리장에 조기에 파급시킬 필요가 있다고 보아진다.

비록 국내에서 고도처리시설이 도입되었다고는 하나, 유입수질 변동에 따른 처리수질의 안정화, 그리고 유지관리비의 절감을 위해 활성오니모델의 도입은 시급하다고 보아진다. 또한 고도처리 시설을 하지 않은 표준 활성오니시설에서도 이러한 내용을 상세하게 파악하여 폭기조 전단에 제한 폭기를 하고, 반송을 조정한다면 큰 투자 없이 고도처리효과를 얻을 수 있다고 보아진다. 이와 함께 통상 유지관리비의 절감도 가능하다고 보아진다.

이러한 활성오니모델을 보완한다면 산업폐수에도 적용할 수 있으며 국내실정에 맞게 소프트웨어를 보완하고, 사용자의 요청에 따라 추가할 수 있다고 본다. 국내의 하수, 폐수처리분야에도 수치계산에 의해 처리수질을 예상할 수 있는 보다 과학적인 환경시설이 조기에 도입될 수 있도록 기원한다. ◀

- 참고문헌 -

- 1) Takashi Mino ; Future Expansion and Possible Uses of Activated Sludge Models, 용수와 폐수 Vol.46 No.10. 830~836(2004)
- 2) Kiyooki Kitamura, Massami Ebisawa, Keiichi Ishida ; Introduction and Utilization of Activated Sludge Model in the Bureau of Sewage, Tokyo Metropolitan Government, 용수와 폐수 Vol.46 No.10.845~851(2004)
- 3) Takeshi Takemoto, Kouji Kageyama, Naoki Hara, Bunchi Kimura ; Application of Activated Sludge Model for the Control of Wastewater Treatment Plant, 용수와 폐수 Vol 46, No.10. 857~863(2004)