

# **GPS-X 8.1 튜토리얼 매뉴얼**

**GPS-X에 익숙해지기 위한  
단계별 학습 가이드**





---

# 목 차

서론 .....	1
GPS-X v8.1을 시작하며 .....	1
소개 .....	1
배경 .....	1
목적 .....	2
모델링 환경 .....	2
시뮬레이션 환경 .....	4
<b>튜토리얼 1.....</b>	<b>5</b>
플랜트 레이아웃 작성 .....	5
소개 .....	5
목적 .....	5
플랜트 레이아웃 만들기 .....	6
객체 모델 선택하기.....	14
모델 만들기 .....	18
시뮬레이션 환경 .....	18
시뮬레이션 실행하기 .....	20
<b>튜토리얼 2.....</b>	<b>21</b>
동적 시뮬레이션 실행 .....	21
목적 .....	21
입력 제어 만들기.....	21
출력 그래프 만들기.....	23
다이내믹 시뮬레이션 실행 .....	28
플랜트 분석하기 .....	29
<b>튜토리얼 3.....</b>	<b>32</b>
레이아웃 편집과 시나리오 이용하기 .....	32
문제 설정 .....	32
목적 .....	32
플랜트 확장하기 .....	33
시나리오 이용하기 .....	37
<b>튜토리얼 4.....</b>	<b>41</b>
모델 독립 및 종속 변수 기록 생성.....	41
문제 설정 .....	41
목적 .....	41
새 결과 표 탭 만들기.....	41
추가 결과 표시.....	44
Sankey 다이어그램 만들기 .....	45
물질 수지 도표 만들기 .....	46
에너지 사용 요약 보기 .....	48
운영 비용 요약 보기 .....	49
보고서 만들기 .....	50
<b>튜토리얼 5.....</b>	<b>51</b>
유입수 데이터 & 유입수 조연자 .....	51
문제 설정 .....	51
목적 .....	51

유입수 데이터 .....	51
유입수 조연자 사용하기 .....	54
유입수 조연자 경고.....	57
동적 데이터 검증 .....	58
<b>튜토리얼 6.....</b>	<b>61</b>
데이터 입력과 출력.....	61
문제 설정 .....	61
목적 .....	61
동적 입력자료 설정.....	62
방법 A: 엑셀 입력 파일 수동으로 준비하기.....	63
방법 B: GPS-X 데이터 파일 도구 사용하기.....	69
시뮬레이션 결과와 함께 측정 데이터 나타내기 .....	71
모델 수행도에 대한 통계 분석 .....	73
정상 상태에서 막대 차트 생성하기 .....	75
<b>튜토리얼 7.....</b>	<b>79</b>
자동 제어기 사용.....	79
문제 설정 .....	79
목적 .....	79
자동 DO 제어기 설정하기 .....	79
자동 MLSS 제어기 설정하기 .....	81
자동 MLSS 제어기 조정하기 .....	83
<b>튜토리얼 8.....</b>	<b>90</b>
정의 기능 .....	90
문제 설정 .....	90
목적 .....	90
레이아웃 설정하기 .....	90
질량유량 정의 .....	92
SRT 정의하기.....	95
평균 정의하기 .....	98
WAS 유량으로 SRT 제어하기.....	100
<b>튜토리얼 9.....</b>	<b>102</b>
민감도 분석 .....	102
문제 설정 .....	102
목적 .....	102
레이아웃 설정하기 .....	102
분석 매개변수 설정하기 .....	103
정상상태 분석 .....	105
시간 다이내믹 분석.....	107
위상 다이내믹 분석.....	108
<b>튜토리얼 10 .....</b>	<b>109</b>
파라미터 최적화.....	109
문제 설정 .....	109
목적 .....	109
레이아웃 설정하기 .....	110
최적화 도구를 이용한 자동 보정 .....	113
<b>튜토리얼 11 .....</b>	<b>117</b>
사용자 맞춤 설정하기 .....	117
문제 설정 .....	117
목적 .....	117

레이아웃 설정하기 .....	118
사용자 정의 매크로 추가.....	119
사용자 정의 입력 변수 추가 .....	121
사용자 정의 출력 변수 추가 .....	122
사용자 정의 변수로 시뮬레이션 설정하기.....	123
시뮬레이션 실행 .....	124
<b>튜토리얼 12 .....</b>	<b>125</b>
동적 파라미터 추정 (DPE) .....	125
문제 설정 .....	125
목적 .....	125
레이아웃 설정하기 .....	126
DPE 설정하기 .....	127
<b>튜토리얼 13 .....</b>	<b>130</b>
Monte Carlo 분석.....	130
문제 설정 .....	130
목적 .....	130
레이아웃 설정하기 .....	131
분석 모드 선택하기.....	135
시뮬레이션 실행하기 .....	135
<b>튜토리얼 14 .....</b>	<b>137</b>
GPS-X와 파이썬 - 소개 .....	137
문제 설정 .....	137
목적 .....	137
GPS-X와 파이썬 - 기초.....	138
GPS-X와 파이썬 - 기본 시뮬레이션.....	143
파이썬 라이브러리 설치하기 .....	147
<b>튜토리얼 15 .....</b>	<b>149</b>
GPS-X와 파이썬 - 랜덤 이벤트 .....	149
문제 설정 .....	149
목적 .....	149
레이아웃 설정 .....	150
랜덤 이벤트 생성하기.....	151
최대 유입수 제한하기.....	153
입력 지연 생성하기.....	157
<b>튜토리얼 16 .....</b>	<b>160</b>
파이썬과 GPS-X - 민감도 분석.....	160
문제 설정 .....	160
목적 .....	160
두 개의 보정 변수 민감도 분석.....	160
여러 가지 변수의 민감도 분석 .....	166
<b>튜토리얼 17 .....</b>	<b>172</b>
파이썬과 GPS-X - Java 클래스 .....	172
문제 설정 .....	172
목적 .....	172
JAR 클래스 경로 추가하기.....	172
JARS를 사용한 실시간 그래프 생성 .....	175
<b>튜토리얼 18 .....</b>	<b>179</b>
GPS-X와 파이썬 - DDO 최적화.....	179

---

문제 설정 .....	179
목적 .....	179
운전 제한 .....	180
목적 함수 생성하기.....	180
0일 시뮬레이션 상 DDO 예비 형성 .....	185
동적 시뮬레이션 상 DDO 예비 형성 .....	189
맺음말.....	192

# 서론

## GPS-X v8.1을 시작하며

### 소개

GPS-X란 하수 처리장의 수학적 모델링, 시뮬레이션, 최적화 및 관리가 가능하도록 해주는 소프트웨어 도구입니다. 간단한 드래그 앤 드롭 방식의 인터페이스와 다양한 단위 공정을 사용하여, 소프트웨어 사용자 하여금 손쉽게 플랜트 모델을 구축하고, 특성 데이터를 입력하여 시뮬레이션을 실행할 수 있도록 합니다.

### 배경

#### 하수 처리 플랜트의 모델을 생성하는 이유는 무엇일까?

실제 플랜트에 대한 시험이나 분석이 가능하지 않은 경우, 실제 플랜트 공정의 '대역'으로 삼기 위해 '모델'을 만들어 사용하는 경우가 가장 일반적입니다. 모델 생성의 주요 다섯 가지 이유는 다음과 같습니다.

#### 1. 다양한 설계, 공정 개선 및 운영 전략의 비교

단위 공정의 조정 및/혹은 추가를 통해 플랜트 설계를 간단히 조정할 수 있습니다. 예를 들어, 모델링을 통해 IFAS 생물반응조 내 무산소성 구역 및 호기성 구역의 크기를 결정하여, 정해진 방류수 수질을 달성할 수 있습니다.

#### 2. 기존 플랜트의 용량 확인

주변 인구 증가로 인해 유입수 유량이 점점 더 증가하고 있는 플랜트의 경우, 용량이 증가하는 상황에 대해 플랜트 모델을 실행하여 어느 시점에서 플랜트 방류수 수질이나 설계 용량이 이론적으로 초과될 것인지 예측할 수 있습니다.

#### 3. 공정 병목현상 파악

플랜트 모델은 어떤 운영 단위가 전체 플랜트 수행도에 영향을 미치고 있는지 파악할 수 있도록 합니다. 예를 들어, 2차 침전지 슬러지 폐기량이 지나치게 낮아서 침전지에 슬러지가 축적되고 방류수 내 TSS 농도가 높아지고 있는 것은 아닌지 확인이 가능합니다.

4. 보다 나은 비용 절약을 위한 전략 파악

많은 플랜트의 경우, 수질 악화의 가능성을 줄이기 위해 보수적인 방식으로 운영됩니다. 하폐수 처리가 제대로 되도록 하는 것이 물론 중요하지만, 일부 관행의 경우 지나치게 많은 양의 에너지를 소비하도록 하기도 합니다. 예를 들어, 모델링을 사용하면 플랜트의 DO 설정값이 2 mg/L가 아니라 1.4 mg/L가 되도록 운영하여, 상당한 에너지 절약이 가능하면서도 방류수 수질에는 무시해도 좋을 수준의 변화만 발생하도록 할 수 있습니다.

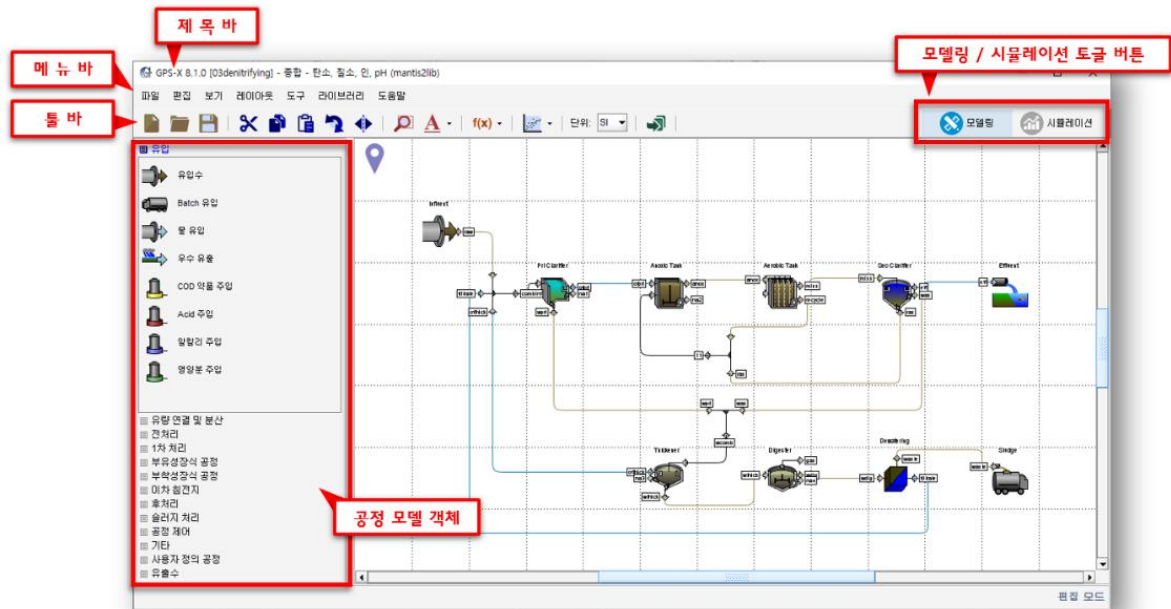
5. 플랜트 관리를 위한 의사결정 지원

하수 처리 플랜트는 규제 당국에 보고를 해야 할 의무를 지닙니다. 방류수 기준을 초과한 경우, 이에 대해 합당한 해명을 내어놓아야 할 수도 있습니다. 이와 같은 경우, 시뮬레이션 모델이 있다면 겨울철 추운 날씨로 인해 저온 현상이 지속되면서 방류수 내 TAN 급증의 원인이 되었다고 파악이 가능할 수 있습니다.

목적

단계별 학습을 실시하기 전에, 잠시 시간을 가지고 GPS-X 8.1 인터페이스에 익숙해지는 기회를 가지시기 바랍니다. 서론에서 기본적인 인터페이스를 살펴봄으로써 새로운 사용자들이 플랜트 모델을 구축하고 시뮬레이션을 실행하기 전에 레이아웃과 보다 친숙해질 수 있는 시간을 가질 수 있도록 합니다.

모델링 환경



GPS-X를 열면, GPS-X 인터페이스의 기본 요소들이 보입니다. 위의 그림은 모델링 모드에서의 모습입니다. 창의 우측 상단에 있는 버튼을 사용하여 모델링 모드와 시뮬레이션 모드를 변경할 수 있습니다.



## 제목 바

현재 사용 중인 GPS-X 버전, 편집 중인 모델 레이아웃의 이름, 레이아웃이 사용 중인 라이브러리와 관련된 정보를 확인할 수 있는 곳입니다.

## 메뉴 바

여러 가지 사용 가능한 메뉴들이 존재합니다.

1. **파일:** 파일 처리 및 변경을 위한 아이템들이 포함되어 있습니다. 또한, 튜토리얼을 위한 샘플 레이아웃을 포함한 여러 레이아웃에 접근 가능하고, 모델 레이아웃과 관련된 모든 파일들의 압축 폴더를 생성하며, 모델 레이아웃 사용 이력을 확인합니다.
2. **편집:** 드로잉 보드 상에서 객체를 잘라서 붙이거나 회전하는 등 객체의 변경이 가능하도록 합니다.
3. **보기:** 드로잉 보드 보기 및 현재 표시되고 있는 모델 객체의 보기 방식을 조정합니다.
4. **레이아웃:** 글로벌 시뮬레이션 특성, 맞춤형 사용자 코드, 플랜트 전반에 걸친 일반적인 특성들을 지정할 수 있도록 합니다.
5. **도구:** 플랜트 모델의 설정 및 사용과 관련된 아이템들에 접근할 수 있도록 합니다.
6. **라이브러리:** GPS-X 내에서 사용 가능한 라이브러리의 목록에 접근할 수 있도록 합니다. 보다 상세한 내용은 **기술 참조서**를 참고하시기 바랍니다.
7. **도움말:** **도움말 > 매뉴얼** 아래로 이동하시면 GPS-X와 관련된 다섯 가지 문서를 참고하실 수 있습니다. 문제 해결이나 소프트웨어 사용법에 대해 궁금하신 경우 이 문서들을 가장 먼저 확인해주시기 바랍니다.

## 툴바

도구 바에 포함된 버튼들을 사용하여 GPS-X 내 특정 기능들에 보다 빠르게 접속할 수 있습니다. 이 기능들은 메뉴 바에 표시된 메뉴에서도 찾을 수 있습니다.

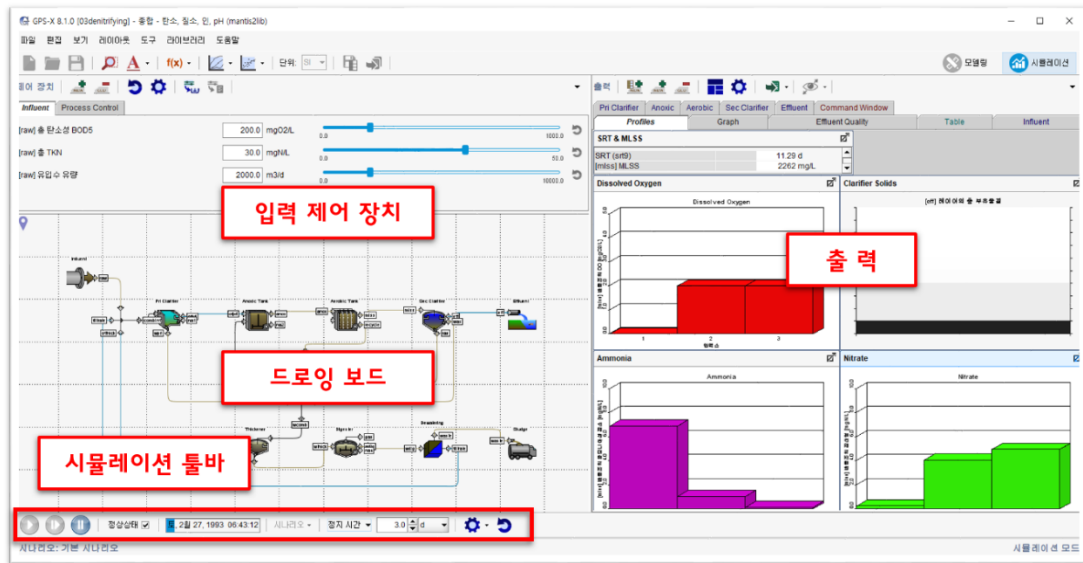
## 모델 객체

플랜트 모델을 구축하기 위해 사용 가능한 모델 객체들입니다. 각각의 기능에 따라 하위 섹션들로 나누어져 있습니다. 예를 들어, 부유 성장식 공정 헤더 아래를 살펴보면, CSTR, 플러그-흐름 반응조, 생물막 공정을 위한 객체들을 찾을 수 있습니다.

## 드로잉 보드

넓고 흰 도화지 같은 느낌의 드로잉 보드에 플랜트 모델 구축을 위해 여러 모델 객체들을 배열합니다. 화면 우측 상단의 버튼을 사용하여 시뮬레이션 모드로 변경해봅니다. 인터페이스의 기본 요소들을 살펴보도록 하겠습니다.

## 시뮬레이션 환경



### 입력 제어 장치

구체적인 플랜트 특성들에 대해 제어를 생성할 수 있습니다. 예를 들어, 위 화면에 보이는 것은 유입되는 BOD5, TKN과 유입수 유량에 대한 제어기입니다. 제어기를 사용하여 모델 시뮬레이션이 진행되는 동안 조정될 변수들에 보다 빠르게 접속할 수 있습니다.

### 드로잉 보드

이 공간에는 플랜트 모델의 복사본이 포함되어 있습니다. 모델링 모드에서 사용 가능한 모든 메뉴를 여기서도 동일하게 사용할 수 있습니다.

### 출력

출력된 결과를 그래프로 표시하는 공간입니다. 각 모델 객체에 대해 자동적으로 탭이 생성됩니다. 사용자 고유의 맞춤형 표나 그래프를 만들어 관심 있는 주요 특성들을 표시할 수 있습니다.

시뮬레이션이 실행되었을 때, 결과 내보내기, 플랜트 도해 상에 질량과 유량 표시(**Sankey** 다이어그램과 물질 수지 다이어그램), 에너지 사용 요약과 운영 비용 요약 보기 등 기능들을 사용할 수 있습니다.

### 시뮬레이션 툴바

플랜트 시뮬레이션 실행이 가능한 공간입니다. **재생**, **계속**, **일시 정지** 버튼이 있으며, 시뮬레이션이 실행 시, 수렴의 정도를 볼 수 있도록 합니다. 또한, 이 툴바 내에서 지정된 모델 특성들을 변경한 **맞춤형 시나리오**를 생성할 수 있습니다.

다음 이어지는 튜토리얼에는 GPS-X 인터페이스와 기능들에 대한 심도 있는 학습이 포함되어 있습니다. GPS-X를 처음 사용하는 경우라면 튜토리얼 1~8장을 반드시 완료하시기 바랍니다. 이후부터는 전체 사용자에게 적용되지 않을 수도 있는 특정 주제들을 다루고 있다는 점을 참고하시면서 학습을 진행하시기 바랍니다.

# 튜토리얼 1

## 플랜트 레이아웃 작성

### 소개

동적(Dynamic) 공정 모델은 운영자, 엔지니어 또는 관리자들을 도울 수 있는 큰 잠재력을 가지고 있습니다. 그러나, 과거에 동적 모델은 모델을 구성하고 시뮬레이션 실행 및 결과 해석의 비용이 너무 비싸서 자주 이용되지 않았습니다. 모델링 과정을 단순화하고 비용을 감소시키기 위해서는 체계적인 모델링 도구가 필요합니다.

그러한 도구 중 하나인 GPS-X는 다양한 수처리 공정 및 수질 모의를 가능하게 하는 강력한 시뮬레이션 라이브러리를 보유하고 있고, 이는 사용하기 쉬운 인터페이스를 통해 쉽게 접근할 수 있어 매우 유용합니다. 이를 통해 시뮬레이션 연구에 따른 비용을 크게 감소시킬 수 있습니다.

모델링 연구에는 다섯 가지 주요 단계가 있습니다:

1. 모델 구축
2. 모델 보정
3. 시나리오 개발
4. 시뮬레이션
5. 결과 해석

이번 장에서는 활성 슬러지 공법의 동적 모델을 만들어보도록 하겠습니다.

### 목적

이 튜토리얼은 다음과 같은 주제를 다룹니다:

1. GPS-X 인터페이스 및 도구에 익숙해지기
2. 간단한 플랜트 레이아웃 만들기
3. 시뮬레이션 실행하기

이 튜토리얼을 마치면 모델링 모드에서 공정 레이아웃을 만들고, 시뮬레이션 모드에서 해당 레이아웃을 모의할 수 있습니다. 사용자는 이번 챕터를 통해 이후 튜토리얼을 통해 배울 대화형 제어 및 출력 그래프들을 생성하기 위한 기초를 배울 수 있습니다.

## 플랜트 레이아웃 만들기

1. GPS-X에서 **파일 메뉴 > 새로 만들기**를 클릭해 새 파일을 연 다음 라이브러리 메뉴를 클릭하여 **“종합 - 탄소, 질소, 인, PH (mantis2lib)”**를 선택합니다. (그림 1-1)



그림 1-1 라이브러리 선택

2. GPS-X 창의 왼쪽에 **공정 테이블**이 있습니다. (그림 1-2) 이 아이콘들은 플랜트 레이아웃을 만드는데 이용합니다. 아이콘들은 레이아웃에서 단위 공정과 제어 지점을 나타냅니다. 아이콘은 **전처리**, **부유성장식공정**, **슬러지 처리**와 같은 객체의 그룹으로 분류됩니다.



그림 1-2 공정 테이블

공정 테이블은 하수 처리장 모델을 짓는데 이용하는 단위 공정 아이콘을 가지고 있습니다. 각 아이콘은 공정 이름으로 구분합니다. 또한 드로잉 보드에 생성된 객체 위에 커서를 갖다 대면 공정 이름이 나타납니다.

이제, 4개의 객체로 구성된 간단한 하수처리장을 만들어 보도록 하겠습니다.

- 유입수
- 폭기조
- 2차 침전지
- 방류구



3. 유입수 객체를 적용합니다.

공정 테이블에서 유입 그룹을 클릭하고, 유입수 객체를 드래그 앤 드롭을 통해 드로잉 보드로 적용합니다. 유입수 객체가 드로잉 보드에 나타납니다. 이 과정을 반복하여 원하는 객체를 여러 개 놓을 수 있습니다. 지금은 유입수 객체 하나만을 드로잉 보드에 놓겠습니다.



4. 플러그흐름 반응조(PFR) 객체를 적용합니다.

부유성장식 공정 그룹을 클릭하고, 플러그흐름 반응조 객체를 객체를 드래그 앤 드롭을 통해 드로잉 보드로 적용합니다. 생성된 폭기조는 유입수 객체 우측에 위치하게 됩니다.



5. 원형 2차 침전지 객체를 적용합니다.

2차 침전지 그룹에서 원형 이차 침전지 객체를 생성했던 폭기조 우측에 놓습니다.



6. 방류 객체를 적용합니다.

유출수 그룹에서 방류 객체를 2차 침전지 우측에 놓습니다.



7. 필요에 따라 경우 공정 테이블을 닫습니다.

공정 테이블 상단 우측 코너에서 좌측 방향 화살표를 클릭하거나 메인 메뉴에서 보기 > 툴바 > 공정 테이블을 클릭합니다.

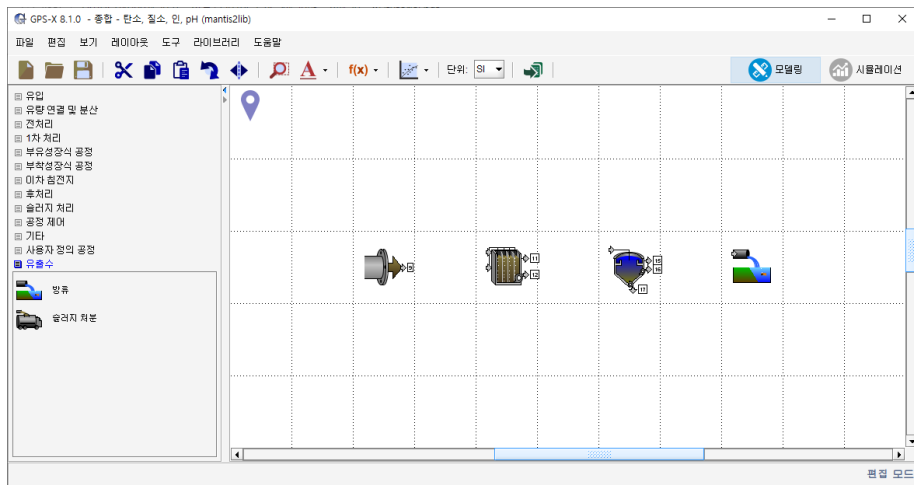
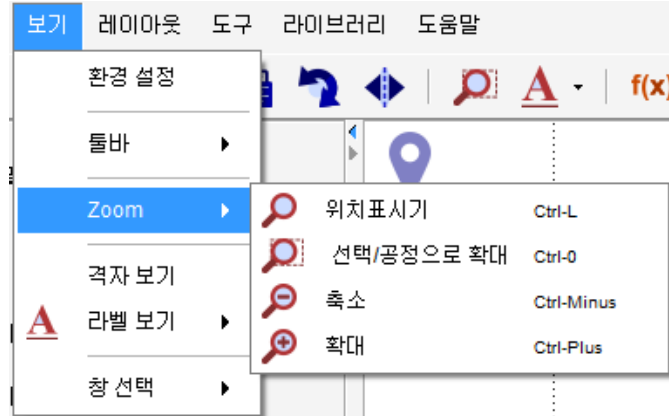


그림 1-3 4개의 단위 공정이 있는 드로잉 보드

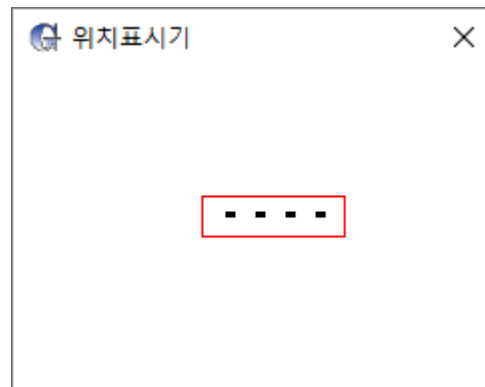
8. **Zoom** 도구를 통해 생성한 공정 레이아웃을 확대합니다.

만들어진 플랜트 레이아웃은 가장 단순한 형태이기에 드로잉 보드 상 공백이 많이 보입니다. 보기 메뉴에서 Zoom을 클릭해 사용가능한 기능을 확인합니다. (그림 1-4)

그림 1-4 **Zoom** 도구

## 1) 위치표시기를 사용하여 확대합니다.

위치표시기를 클릭하면, 위치표시기 창이 그림 1-5에서 보이는 것처럼 나타납니다.


그림 1-5 **GPS-X** 위치표시기 창

위치표시기 창에서 클릭 후 드래그하여 확대 표시될 영역을 나타내시면 됩니다. 그림 1-5에서 보이는 사각형보다 훨씬 큰 영역을 선택해 봅니다. 마우스를 뺐을 때 드로잉 보드가 새로 그려지고 드로잉 보드의 아이콘은 더 작게 나타납니다.

**참고:** 위치표시기 창의 영역은 드로잉 보드에서 사용가능한 전체 영역을 보여줍니다. 사용자는 위치표시기 창에서 영역을 그리고 마우스를 놓았을 때, 이제 사각형 내의 영역이 드로잉 보드 영역으로 나타납니다. 또한, 드로잉 보드에서 마우스 휠을 통해 레이아웃을 확대/축소할 수도 있습니다.

**2) 선택/공정으로 확대를 사용하여 확대합니다.**

이 기능은 메인 툴바에 나와있는 도구 입니다. 드로잉 보드 상의 모든 객체에 맞게 현재 확대 수준을 조정합니다.

이 기능은 플랜트 특정 지역을 자동 확대할 때도 사용 가능합니다. 드로잉 보드 상에 관심 지역 주변으로 파란색 박스를 클릭 앤 드래그하면 됩니다. **선택/공정으로 확대**  버튼을 누르면 하이라이트된 구역이 확대되어 드로잉 보드 전체 화면을 채우게 됩니다. (그림 1-6)

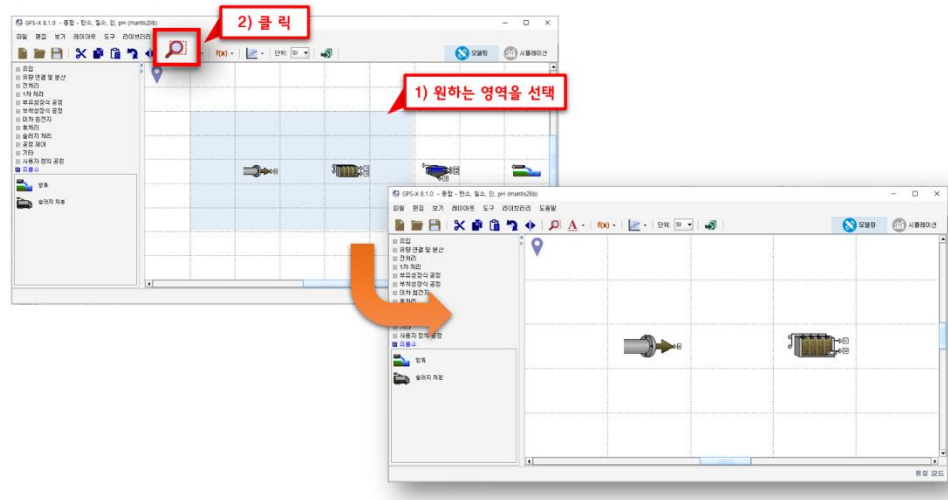



그림 1-6 선택사항/플랜트 확대하기

선택사항/플랜트 확대 버튼을 누르면 전체 플랜트를 확대한 화면을 다시 볼 수 있습니다.

**9. 객체 간의 연결을 지정합니다.**

이 과정은 공정의 흐름을 정의하는 것으로 물질수지를 정의하는 것이나 마찬가지로 정확하게 연결해야 합니다. 사용자는 객체 간 연결 시, 모든 연결에는 방향성을 갖는 흐름이 있다는 것을 기억해야 합니다. 즉, 연결할 때 흐름 선은 시작 지점에서 종료 지점까지 흐름 방향이 있습니다.

- 1) 드로잉 보드에서 유입수 객체 연결 지점 위에 마우스를 두고 기본 Windows 화살표에서 **하얀색 연결 화살표**  로 마우스 포인터가 바뀌면 드래그 하여, 포기조의 유입수 연결 지점(포기조의 왼쪽 상단 연결 부분)까지 드래그 합니다. (하단 연결부는 슬러지 반송을 위한 연결입니다.)
- 2) 비슷한 방법으로, 포기조 아이콘 오른쪽 위의 코너에서 2차 침전지에 연결합니다.
- 3) 마지막으로, 2차 침전지 아이콘 바닥에서 방류 연결 지점으로 연결합니다.
- 4) 이 예제에서 초과 슬러지는 2차 침전지 아이콘 오른쪽 아래 연결에서 버려집니다. 이 모델에서 슬러지 반송을 고려하지 않는다면 연결을 할 필요가 없습니다. (그림 1-7)

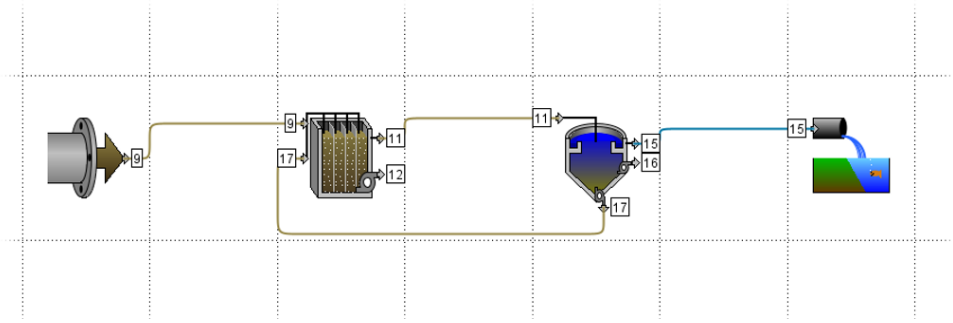


그림 1-7 연결 지정하기

**참고:** GPS-X는 연결이 부적절할 경우 연결이 되지 않습니다. 예를 들어, 유입수가 최종 침전지의 방류부분에 연결될 수는 없습니다. 이 경우 GPS-X는 연결할 수 없는 표시를 함으로써 연결을 허용하지 않습니다.  
 연결을 삭제하고자 할 경우에는, 시작 포인터에 마우스를 대고 드로잉보드의 빈 바닥으로 마우스를 끌면 연결선 삭제의 대화창이 뜨면서 연결을 삭제할 수 있습니다.

10. 연결을 재배치합니다.

생성된 흐름 라인 자체를 이동하려면, 흐름 라인 위에 커서를 올려 둡니다. 양쪽 화살표↔ 아이콘으로 변경되고, 라인이 빨간색으로 하이라이트 됩니다. 이를 통해 수평으로, 또는 수직으로 흐름 라인을 이동시킬 수 있습니다.

흐름 라인의 코너 지점을 지정하려면, 흐름 라인을 우 클릭한 뒤, 메뉴에서 중단점 만들기를 선택합니다. 이렇게 하면 해당 라인이 두 개의 독립적인 유동 부분으로 분리됩니다.

연결선을 GPS-X 기본 경로 형태로 되돌리고자 한다면, 연결을 우 클릭한 뒤, 메뉴에서 자동 그리기로 초기화를 선택합니다.

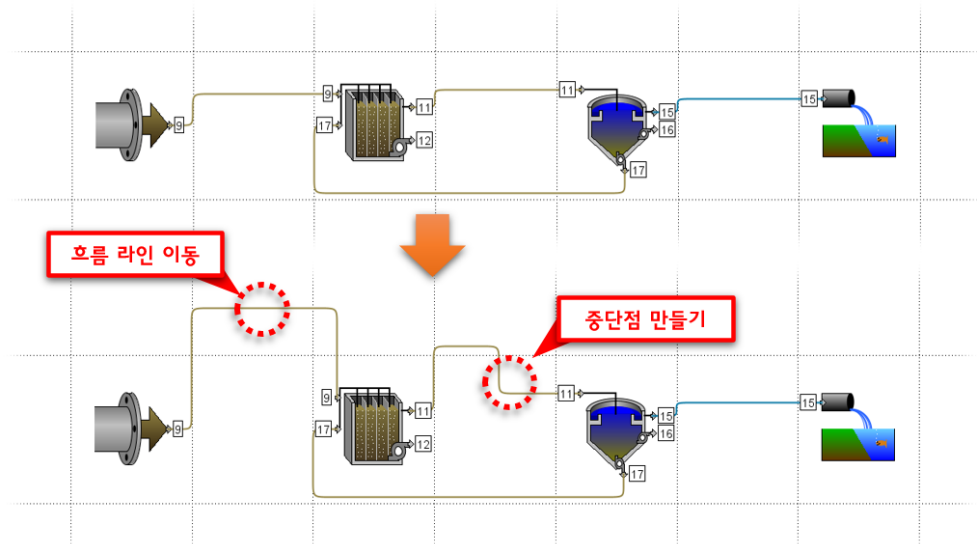


그림 1-8 연결 재배치



## 11. 라벨을 나타내거나 재 정의합니다.



두 가지 형식의 라벨이 있습니다. 단위 공정들은 객체의 선택 라벨과 stream (예, 흐름 라인) 라벨을 각각 가지고 있습니다. Stream 라벨은 드로잉 보드로 단위 공정들을 배치할 때 숫자가 증가하며 초기화됩니다.

그림 1-7에 보이는 완성된 레이아웃에 각 흐름과 관련 있는 숫자들이 보입니다. 드로잉 보드의 라벨을 보거나 숨기려면 툴바에 있는 **라벨 A** 버튼을 클릭합니다. 옵션을 보기 위하여 **라벨** 버튼을 클릭하여 공정 라벨이나 스트림(stream) 라벨을 보거나 숨길 수 있습니다.

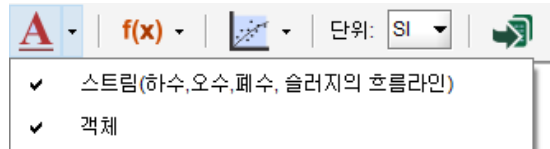


그림 1-9 라벨 하위메뉴

현재 드로잉 보드 상의 공정들은 객체 라벨을 아직 정하지 않았으므로 **객체 라벨**을 선택해도 아무런 변화가 없을 것입니다.

라벨을 변경하기 위하여, 객체 아이콘에서 마우스 우 클릭을 하면 해당 공정의 데이터 메뉴가 나타날 것입니다. 그림 1-10과 같이 메뉴에서 **라벨**을 선택합니다.

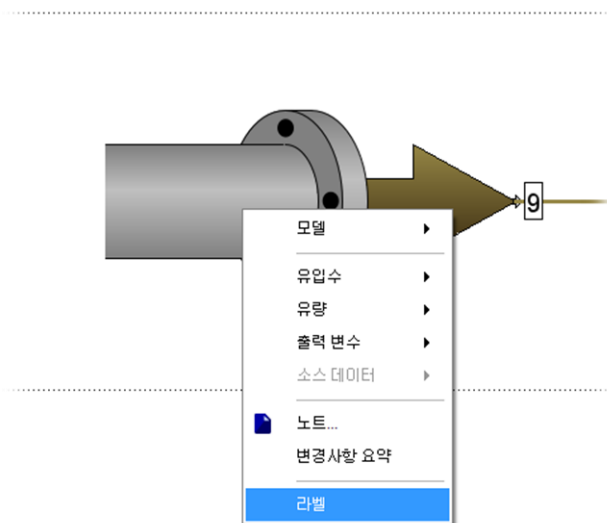


그림 1-10 공정 메뉴의 라벨 항목

그림 1-11와 같은 양식에 새 라벨 명을 입력할 수 있습니다. 승인을 클릭하여 변경사항을 저장합니다. 지정 라벨과 기존 라벨 간에 충돌이 있으면, **라벨 에러** 메시지가 나타날 것입니다.

GPS-X는 모델에서 변수 이름을 만들기 위해 레이블 이름을 사용하기 때문에 이 튜토리얼의 목적을 위해 그림 1-11, 1-12, 1-13 및 1-14에 표시된 것과 같이 정확하게 라벨 명을 입력하는 것이 중요합니다.

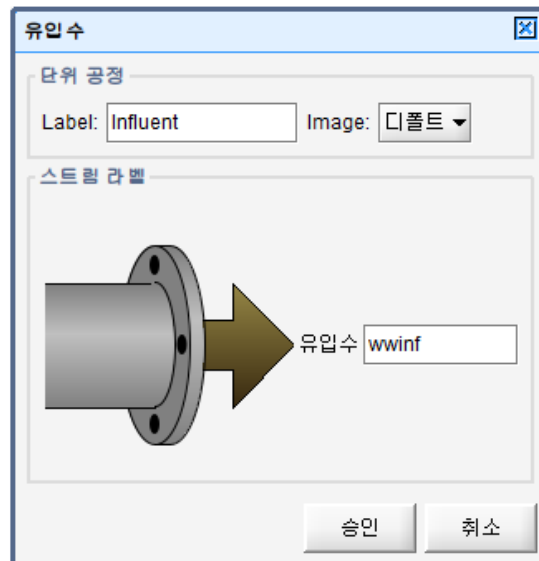


그림 1-11 유입수 라벨

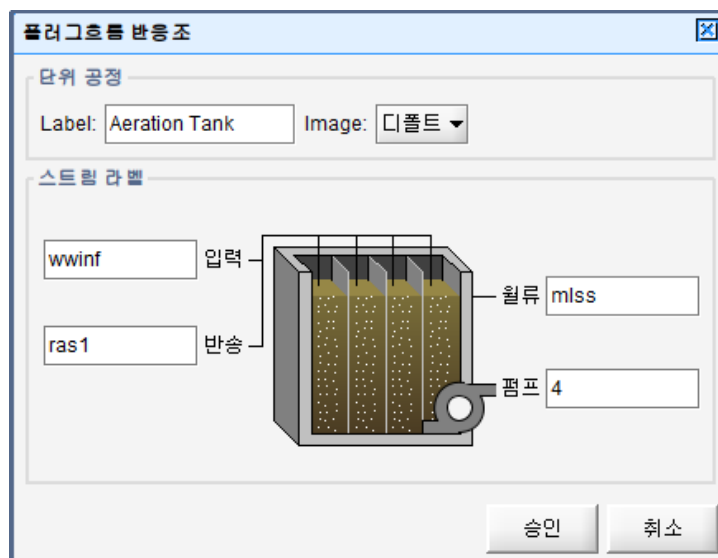


그림 1-12 플러그흐름 반응조 라벨

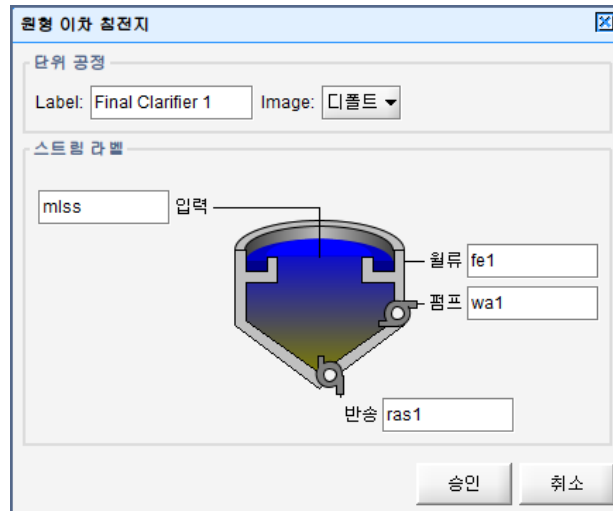


그림 1-13 침전지 라벨

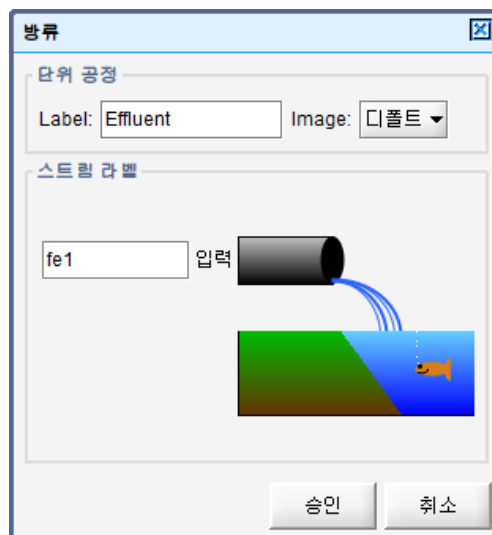



그림 1-14 방류 라벨

**참고:** GPS-X 모델의 변수 이름은 연결 레이블을 사용하여 특정 스트림을 식별합니다. 이 경우, 유입 유량의 경우 qwwinf와 유출 유량의 경우 qfe1). 이 변수 이름은 튜토리얼을 진행하면서 볼 수 있는 일부 양식에 표시됩니다.

#### 플랜트 레이아웃이 준비되었습니다!

지금까지 과정에서 객체를 선택하고, 드로잉보드에 적용하며 레이아웃을 생성하는 과정에서 실수가 있었을 수도 있습니다. 드로잉 박스에서 객체를 선택(파란색 박스로 하이라이트 됨)하고, Delete버튼을 클릭하여 객체를 삭제할 수 있습니다. 또는, 새로 만들기  를 통해 드로잉 보드를 닫아 새로 시작할 수도 있습니다.

## 객체 모델 선택하기

앞서, 기본 객체를 선택하여 플랜트 레이아웃을 작성했습니다. 이 객체들은 단지 주요 단위 공정과 제어 지점일 뿐, 아직 레이아웃의 다양한 객체에 수학적 모델들을 적용하지는 않았습니다.

레이아웃의 각 객체는 많은 속성이 있으며 각 속성은 특정 값을 가지고 있습니다. GPS-X 객체에 관한 가장 중요한 속성 중 하나는 각 객체의 동적 거동을 정의하는 일련의 방정식(혹은 모델)입니다. 객체 유형이 두 개 이상의 가능한 모델을 가지고 있으므로 객체 유형과 해당 객체의 모델을 구별해야 합니다. 각 객체는 드로잉 보드에 놓을 때 기본 모델이 주어 지지만 계속 진행하기 전에 필요한 경우 이러한 모델 선택을 확인하고 변경해야 합니다.

### 12. 유입수의 모델을 확인합니다.

유입수 아이콘을 오른쪽 클릭합니다. 유입수 객체의 메뉴가 아래 그림 1-15처럼 나타납니다. 모델 메뉴에서 **codstates** 항목이 선택되어 있는지 확인합니다.

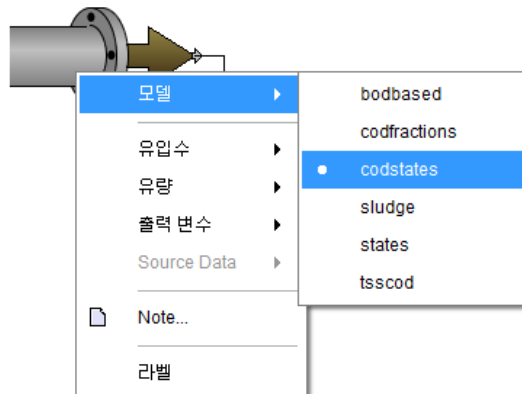


그림 1-15 모델 선택하기

### 13. 포기조의 모델을 확인합니다.

이번 경우에는 **mantis2**를 사용합니다.

### 14. 2차 침전지 객체의 모델을 확인합니다.

Simple1D(비반응성 1차원 침전 모델) 항목<sup>1</sup>이 선택되었는지 확인합니다.

### 15. 방류 객체의 모델을 확인합니다.

기본(**default**)이 선택되었는지 확인합니다. 방류에 대해 사용 가능한 유일한 모델입니다.

### 16. 레이아웃을 저장합니다.

파일 메뉴로 가서 **새 이름으로 저장**을 선택합니다. 레이아웃을 저장하기 위하여 적절한 경로를 찾아 적당한 파일 이름을 입력합니다(예: tutorial-1).

<sup>1</sup> 이 모델에 관한 더 많은 정보를 원하시면 *GPS-X 기술 자료*를 참고하시기 바랍니다.

객체의 공정 메뉴에는 많은 항목과 속성들이 포함되어 있습니다. 사용자께서 드로잉 보드의 공정 객체에서 우 클릭하였을 때, **입력 변수, 초기 조건 및 출력 변수**와 같은 하위 메뉴들을 포함하고 있음을 보셨을 겁니다.

본 튜토리얼에서는 “유입수의 총 COD 농도, 유입수의 총 TKN 농도, 잉여 슬러지 폐기량”에 대한 조건을 수정할 것이고, 그 외는 모두 기본값을 사용할 겁니다.

#### 17. 유입수의 성상을 수정합니다.

유입수 객체를 우 클릭하고, **유입수 > 유입수 성상**를 클릭합니다. (그림 1-16) 유입수 조건자로 불리는 데이터 입력 양식이 화면에 나타납니다. (그림 1-17)

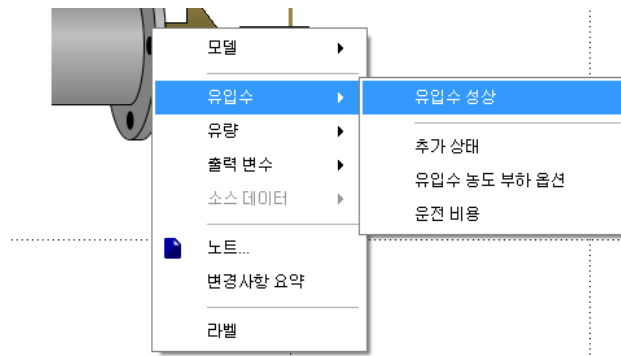


그림 1-16 유입수 성상 가기

유입수 조연자 - 라이브러리: mantis2lib - 유입수 모델: codstates - 생물학적 모델: mantis2			
사용자 입력			
- 유입수 구성			
cod	총 COD	gCOD/m3	380.0
tkn	총 TKN	gN/m3	35.0
tp	총인	gP/m3	10.0

그림 1-17 유입수 성상 변경하기

위와 같이 총 COD를 **380 gCOD/m3**로, 총 TKN을 **35 gN/m3**으로 변경합니다.

GPS-X 기본값에서 변경되었음을 알리기 위해 값이 **파란색**으로 강조 표시됨에 유의합니다. 유입수 조연자에 대해 상세 내용은 **GPS-X 사용자 매뉴얼의 3장**을 참고하시기 바랍니다.

승인을 클릭해 변경 사항을 적용합니다.

#### 18. 침전지의 운전조건을 수정합니다.

침전지 객체를 우 클릭하고, **입력변수 > 운전조건 입력**을 클릭하여 **2차 침전지 반응율**을 변경합니다. 데이터 입력 양식이 화면에 나타납니다.

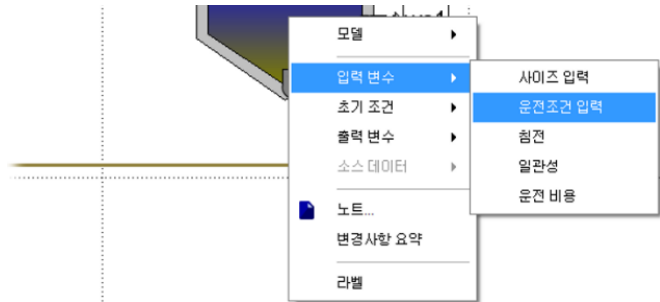



그림 1-18 운전 매개변수 항목 가기

반송 펌프, 폐기 펌프 등 제어할 수 있는 섹션이 나타납니다. 본 과정에서는 슬러지의 폐기량에 대해 조절할 것이기에 펌프 유량 섹션의 펌프 유량 값을 40m<sup>3</sup>/d에서 60m<sup>3</sup>/d로 변경합니다. 이후 승인 버튼을 클릭합니다. (그림 1-19)



그림 1-19 침전지 펌프 유량 변경하기



19. 플랜트 전체 특성의 일부를 편집하기 위해 플랜트 일반 정보  버튼을 클릭합니다.

사용자가 레이아웃을 완성하고 나면, 일반적으로 이를 수정하고자 할 것입니다. 드로잉보드 좌측 상단 코너에 있는 플랜트 일반정보 버튼을 클릭합니다. 또는, 레이아웃 메뉴에서 플랜트 일반 정보를 선택할 수도 있습니다.

창이 하나 열리고, 여기서 플랜트에 대한 추가 상세정보를 지정할 수 있으며 모델에 대한 메모가 가능합니다. 본 과정에서는 플랜트 전체 특성을 변경하기 위해 플랜트 전체 특성 탭을 선택하고, 수온 값을 22°C로 입력하겠습니다.

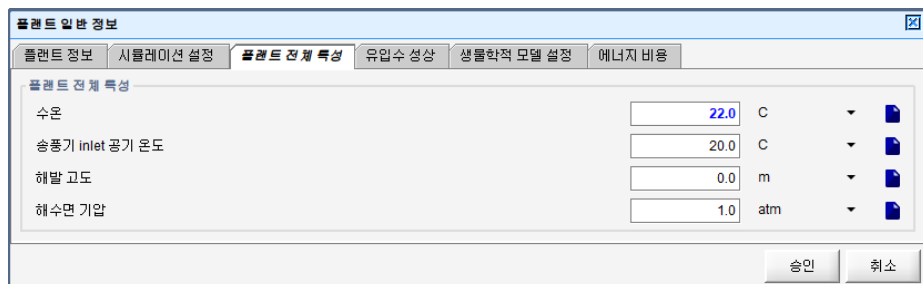


그림 1-20 플랜트 전체 특성 창

승인을 눌러 변경사항을 저장합니다.

20. 유입수 객체를 우 클릭한 뒤 **변경사항 요약**을 클릭합니다. (그림 1-21)

하나의 객체에 대해 변경사항을 확인하기 위한 방법으로, 이를 통해 기본 값에서 변경된 변수를 확인할 수 있습니다.

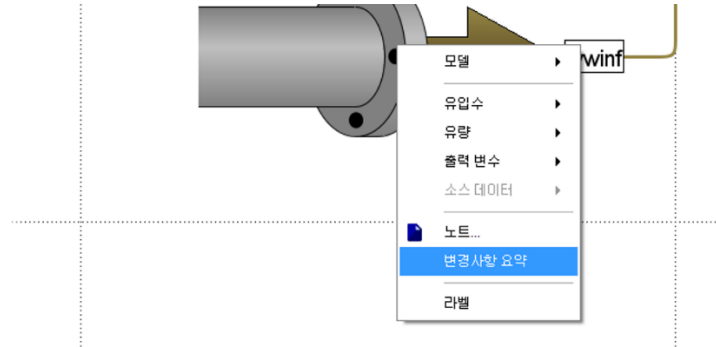


그림 1-21 변경사항 요약 가기

기본값 변경사항 요약 대화상자를 통해 모든 변경사항들을 확인할 수 있습니다. 현재 총 **COD** 농도와 총 **TKN** 농도에 대해 이루어진 변경사항들이 보입니다. (그림 1-22)

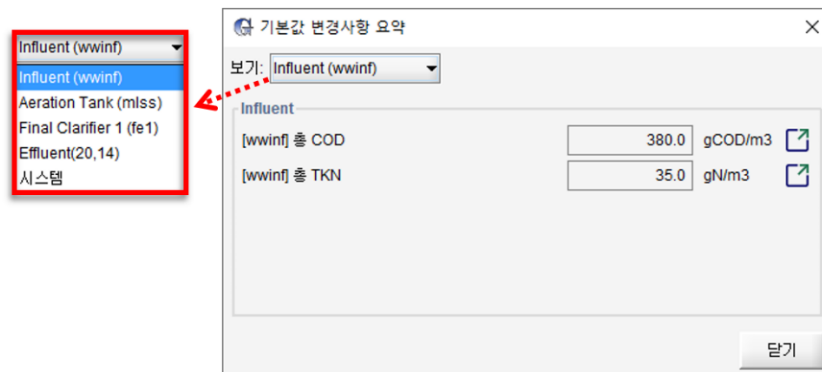




그림 1-22 유입수 객체에 대한 변경사항 요약



보기의 드롭다운 메뉴를 사용하여 드로잉보드 상의 다른 객체들을 선택한 뒤, 해당 객체에 대해 이루어진 변경사항들의 요약을 확인할 수 있습니다. 시스템 옵션을 선택하면 모델 운영 조건에 대해 이루어진 변경사항들을 볼 수 있으며, 플랜트 전체 특성 확인도 가능합니다. 사용자는 직전 과정에서 수정한 수온에 대한 변경사항을 확인하실 수 있습니다.

유입수 변경사항에서 총 COD에 대한 위치로 이동  버튼을 클릭합니다. 사용자는 해당 변수의 입력 필드로 곧장 이동할 수 있습니다.

21. 툴바의 저장  버튼을 클릭하여 레이아웃을 다시 저장합니다.

## 모델 만들기

다음 단계는 플랜트 레이아웃의 '정의'와 모델 매개 변수를 시뮬레이션을 실행할 수 있는 모델로 변환하는 것입니다.

22. 메인 화면 우측 상단의 모델링 모드를 시뮬레이션 모드로 변환합니다.



그림 1-23 모델링/시뮬레이션 모드 버튼

컴파일 및 링크 과정이 시작되어 실행 가능한 모델이 만들어집니다. 이 프로세스를 완료하는데 필요한 시간은 컴퓨터의 속도와 모델의 복잡성에 따라 다릅니다.

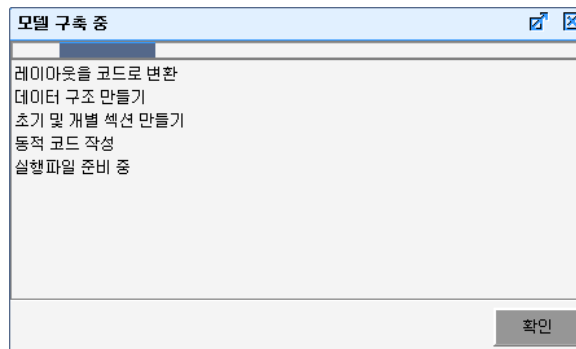


그림 1-24 컴파일 완료 메시지

모델 만들기가 완료되면, 모델 구축 창이 자동으로 사라지고 시뮬레이션 모드로 변경됩니다.

## 시뮬레이션 환경

모델을 컴파일하면 GPS-X는 그림 1-25와 같은 시뮬레이션 환경을 나타냅니다.

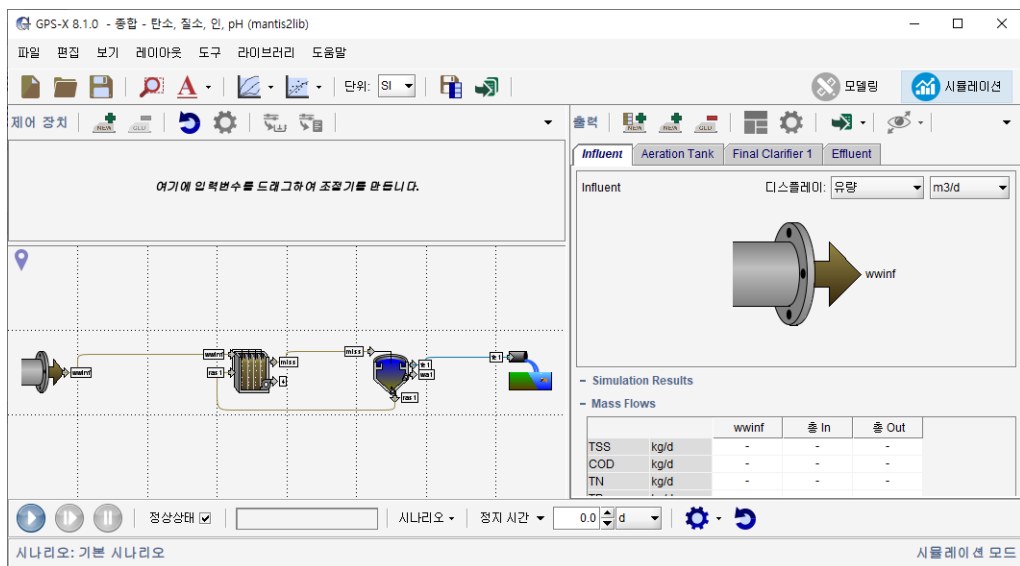


그림 1-25 시뮬레이션 환경



레이아웃 내 각 단위(유입수, 포기조, 최종 침전지, 유출수)에 대한 기본적인 단위 공정 출력 탭이 출력 섹션(그림 1-26)에 자동 생성됩니다. 이는 빠른 보기 요약 테이블들로 시뮬레이션이 실행된 이후 출력 결과들을 보여주는 곳입니다.

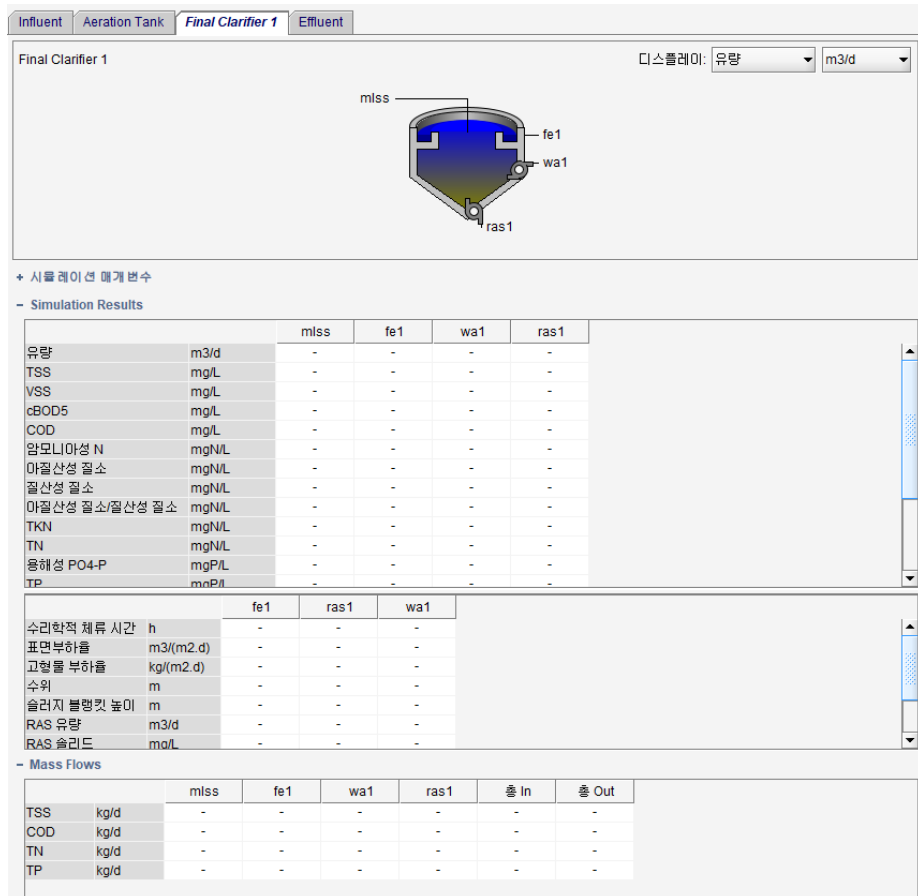


그림 1-26 빠른 보기 패널

원하는 빠른 보기 패널을 화면 앞으로 빠르게 불러오려면, 드로잉보드 상에서 해당 객체를 더블 클릭하면 됩니다.

빠른 보기 패널에는 3개의 하위 구역이 존재합니다.

- 시뮬레이션 매개변수:** 모델링 모드에서 지정한 객체의 운전 매개변수에 대한 정보를 표시하는 데 사용됩니다.
- 시뮬레이션 결과:** 유입수, 유출수 및 내부 조건들의 일부 주요 성상들을 강조하며, 시뮬레이션 결과의 요약을 제공합니다.
- 질량 유량:** 객체를 들고 나는 각 스트림에서 찾을 수 있는 TSS, COD, TN, TP의 질량을 요약하여 제공합니다.

빠른 보기 패널은 시뮬레이션 매개변수와 시뮬레이션 결과의 하위 구역들을 동시에 열도록 할 수 없습니다. 하나의 하위 구역을 열거나 닫으려면, 해당 하위 구역의 헤더\*를 클릭합니다. 하위 구역 중 하나를 열면, 다른 하나는 자동으로 닫힙니다. 예를 들어, 시뮬레이션 매개변수 하위 구역을 열면 시뮬레이션 결과의 하위 구역이 닫히게 됩니다.

## 시뮬레이션 실행하기

이제 시뮬레이션을 실행하기 위한 모델이 준비되었습니다. 시뮬레이션을 실행하기 위해 필요한 제어는 화면 하단의 시뮬레이션 툴바 상에 있습니다. 그림 1-27와 같이 모두 기본값으로 둡니다.

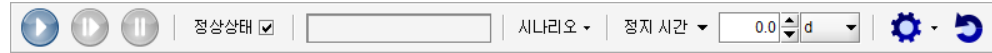


그림 1-27 시뮬레이션 툴바



23. 시뮬레이션 툴바의 시작 버튼을 클릭하여 시뮬레이션을 시작합니다.

시작 버튼을 클릭하면 정상상태 시뮬레이션이 실행될 것입니다. 시뮬레이션이 완료되고 나면, 출력 공간에 표가 값이 채워진 상태가 됩니다.

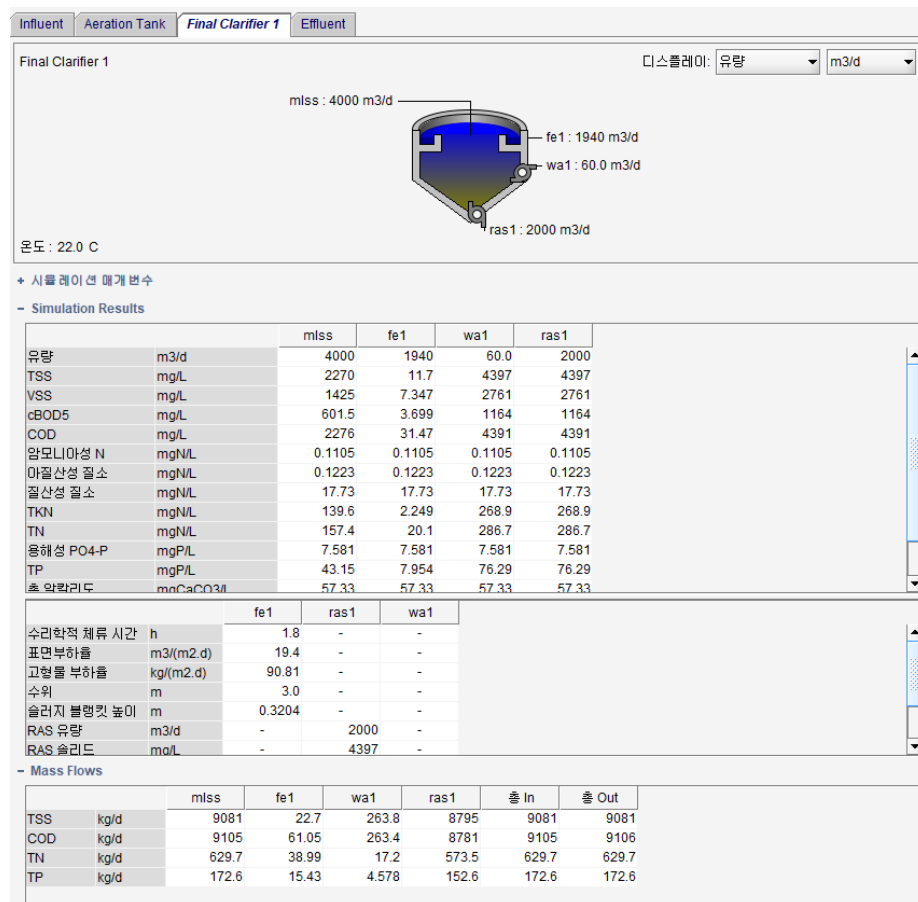


그림 1-28 침전지 빠른 보기상 시뮬레이션 결과

24. 빠른 보기 패널에서의 다른 공정 탭을 이동해가며 각 단위 공정에 대한 모의 결과들을 확인합니다.

25. 메인 툴바의 저장 버튼을 눌러 레이아웃을 저장합니다.

## 튜토리얼 2

### 동적 시뮬레이션 실행

정상상태 시뮬레이션이 모델의 토대를 제공해준다면, 동적 시뮬레이션을 실행함으로써 진정한 가치를 찾을 수 있습니다

#### 목적

이 튜토리얼에서는 다음의 주제를 다루게 됩니다.

- 그래픽 및 대화형(interactive) 제어기 설정
- 대화형(interactive) 시뮬레이션의 실행

이 튜토리얼을 완료하고 나면 실물 크기의 다이내믹 처리 공정 모델을 운영할 수 있게 됩니다. 시계열 그래픽과 대화형(interactive) 제어를 생성하는 절차에 대해서도 배우게 됩니다. 이와 같은 주요 역량들은 보다 고급 기능들을 배울 수 있는 토대가 됩니다. 따라서, 이 튜토리얼의 내용을 잘 이해하여 앞으로 이어질 다소 복잡한 예제들을 수행할 수 있도록 하는 것이 중요합니다.

#### 입력 제어 만들기

GPS-X는 대화형(interactive) 시뮬레이션 프로그램 혹은 시뮬레이터로서, 사전 정의된 시뮬레이션과 대화식 세션을 둘 다 수행할 수 있습니다. 본 예제에서는 방류수질에 영향을 미치는 유입수의 변화를 보기 위하여 대화식 세션을 설정합니다.

첫 번째 과제는 비어 있는 **입력 제어**를 새로 만드는 것입니다. 입력 제어는 시뮬레이션 실행 과정 동안 모델 변수 값을 변경하는데 이용할 수 있는 대화형 도구입니다. 원하는 대로 입력 제어를 많이 만들 수 있습니다.

본 예제에서는, 시뮬레이션이 실행되는 동안 이 변수가 변경될 수 있도록 유입수 유량에 관한 제어를 만들 겁니다. 다음의 과정은 시뮬레이션 모드에서 진행됩니다.

1. 튜토리얼 1에서 만든 레이아웃을 열고 **파일 > 다른 이름으로 저장**을 선택하여, 'tutorial-2'로 저장합니다.
2. 유입수 객체를 오른쪽 클릭하여 **유량** 하위메뉴에서 **유량 정보**를 선택합니다.

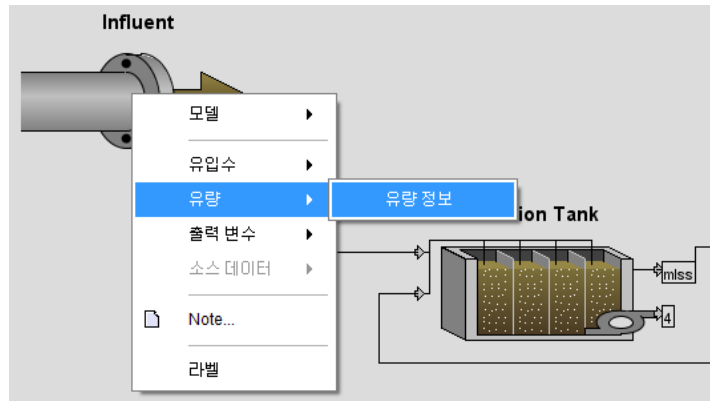


그림 2-1 유량 매개변수 가기

3. 유량 정보 창에서 아래 그림과 같이 유입수 유량 변수를 레이아웃의 입력 제어 영역으로 드래그 합니다.

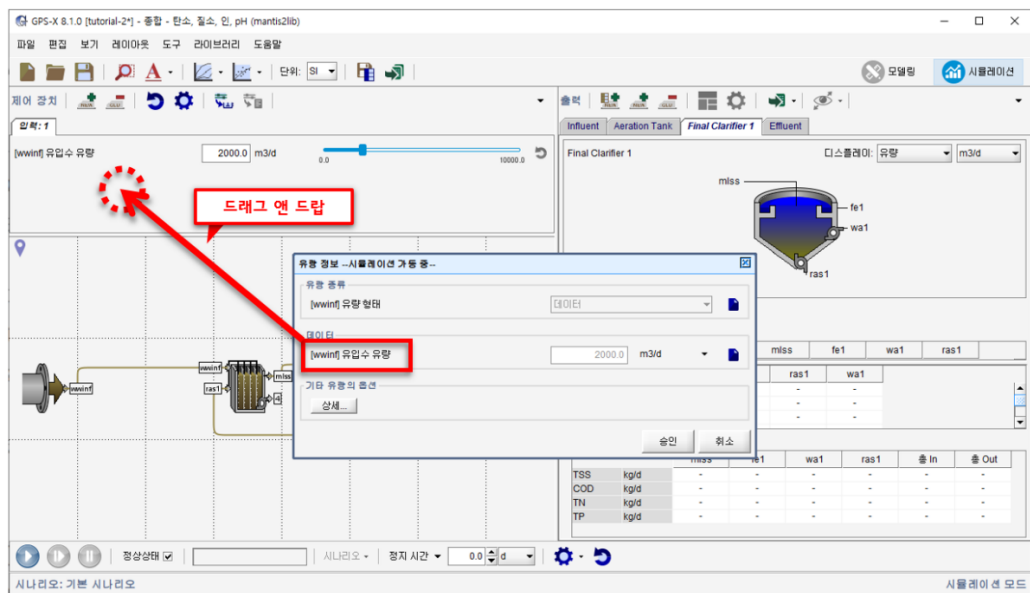



그림 2-2 입력 제어 탭에 유입수 유량 드래그

생성된 입력 제어를 위해 "입력 1"이라는 새로운 탭이 생성되었습니다. 사용자는 다중 제어를 구성하는데 있어 위해 탭 한 개만 놓거나 필요한 만큼 많은 탭을 놓을 수 있습니다. 본 교재를 진행함에 있어 여러 가지의 탭을 구성하시게 될 겁니다.



4. 입력 제어 섹션 위에 나와있는 입력 제어 속성  을 클릭하여 제어 창 속성을 편집합니다. 최소값, 최대값, 특정 변수에 대한 제어 증가 값(Delta)을 설정할 수 있습니다. (그림 2-3)

최소 유량을 0으로, 최대 유량을 12,000으로 선택합니다. 형식이 슬라이더로 되어있기에, Delta 칸에 값을 입력할 필요는 없습니다. 형식 행에서 드롭다운 메뉴를 클릭해 보시기 바랍니다. 다양한 제어기의 형태를 볼 수 있습니다. 본 과정에서는 슬라이더를 사용합니다.

승인 버튼을 클릭하여 입력 값을 저장합니다.

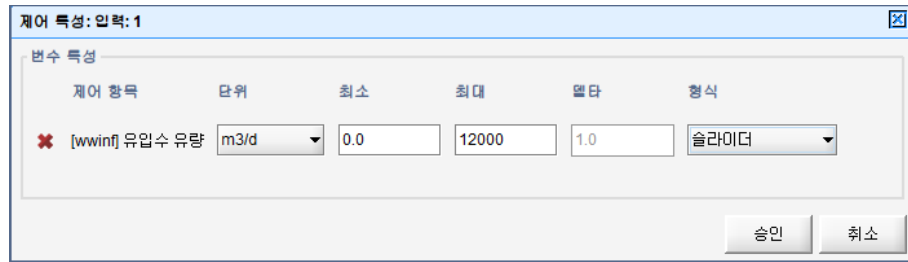


그림 2-3 입력 제어 창 설정

5. "입력 1"이란 이름의 탭을 더블 클릭하여 제어 창의 이름을 다시 짓습니다. '유량 제어'를 입력하고 엔터를 클릭합니다.

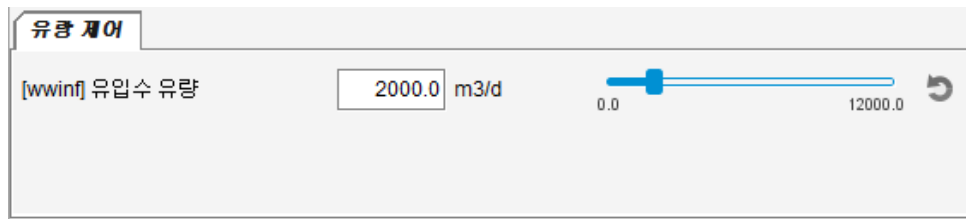


그림 2-4 최종 입력 제어

플랜트 유입수 유량이 있는 입력 제어 창이 생성됩니다.

그림 2-4에 보이는 창은 유입수 유량을 0~12,000 m<sup>3</sup>/d로 변경할 수 있는 슬라이더가 있습니다.

슬라이더의 막대를 드래그하여 크기를 바꾸며, 슬라이더 제어를 테스트할 수 있습니다. 슬라이더 막대를 이동하자 유입수 유량 값이 변동되는 것이 보입니다.



진행하기 전에, 슬라이더 기본 위치를 2,000m<sup>3</sup>/d로 돌려놓기 위해 슬라이더의 맨 오른쪽에 있는 리셋 버튼을 이용합니다. 또는 직접 제어에 값을 입력할 수 있습니다.

## 출력 그래프 만들기

튜토리얼 1에서 빠른 보기 패널에서 볼 수 있는 각 공정 객체의 요약을 보셨습니다. 그 외 각 공정 객체의 출력 변수에 대해 출력 창에 사용자 지정 디자인의 그래프를 만들 수도 있습니다.



6. 출력 섹션 위 툴바에 있는 새 탭 버튼을 클릭하여 새 출력 탭을 만듭니다. 비어 있는 새 출력 탭이 생성됩니다. (그림 2-5)

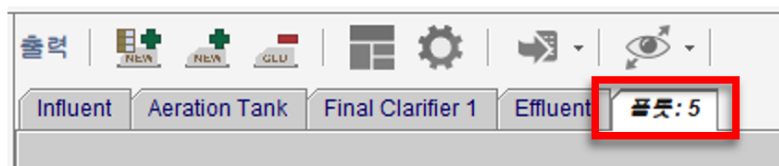


그림 2-5 새 출력 탭 생성하기

7. 유입수 객체에 우 클릭하고, 출력 변수 > 유량을 클릭합니다.

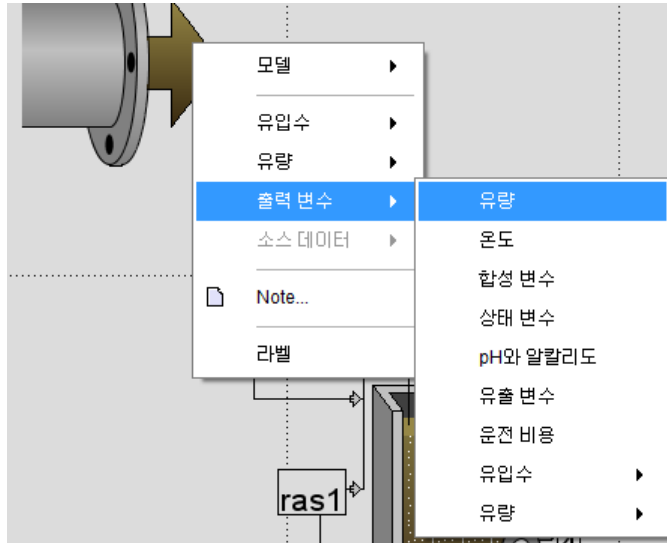


그림 2-6 출력 변수 메뉴 열기

8. 나타난 유량 창에서 유량 변수를 새로 생성한 출력 탭으로 드래그 합니다. (그림 2-7) Y 축이 변수인 X-Y 그래프가 만들어질 것입니다. 유량 창을 닫습니다.

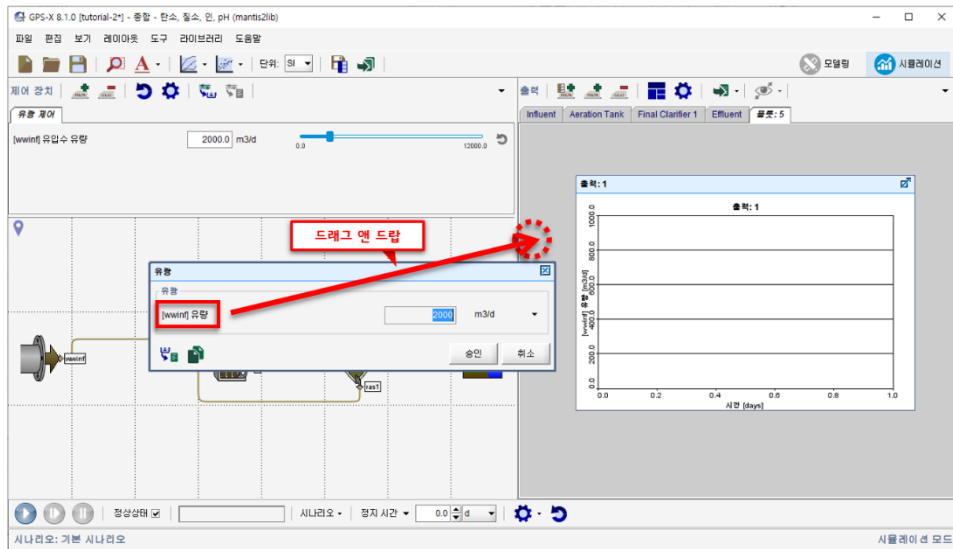


그림 2-7 그래프를 만들기 위해 출력 변수 드래그하기

9. 방류되는 총 부유물에 대해서도 그래프에 추가할 겁니다. 방류구 객체를 우 클릭하고 출력 변수 > 농도를 선택합니다.



그림 2-8 하수 방류에서 농도 메뉴 선택

이 방법 외에, 방류구 객체를 사용하지 않은 경우라면, 최종 침전지의 방류수를 통해서도 확인 가능합니다. 침전지의 유출부의 스트림에 마우스를 올려두면 그림 2-9에서 보이 듯 연결 화살표가 나타납니다. 그 상태에서 마우스 우 클릭 > 출력 변수 > 농도를 선택하시면 됩니다. 이처럼 연결 화살표가 나타난 것을 확인한 후, 우 클릭하여야 합니다. 그렇지 않은 경우 연결 지점<sup>2</sup>이 아닌 다른 메뉴가 열리게 됩니다.

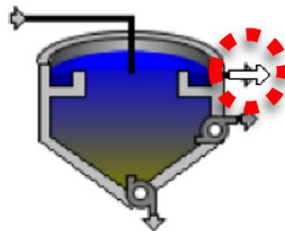


그림 2-9 연결 지점 화살표 변경

10. 8번 과정에서 생성한 그래프에 총 부유물 변수를 드래그 합니다. 이 변수를 위해 그래프에 다른 y 축이 추가될 것입니다.

**참고:** 입력 변수 양식과 출력 변수 양식은 비슷한 모양을 가지며 동일한 변수 이름 항목을 포함할 수 있지만 차이가 있습니다.

입력 변수 양식에서는 우측의 필드를 통해 데이터를 입력하고 수정할 수 있습니다. 출력 변수 양식에서 이 필드는 모델 결과를 나타낼 뿐 편집할 수 없습니다.

데이터 입력 변수에서 드래그한 변수는 입력 제어 탭에 놓을 수 있습니다. 반면에 출력 변수에서 드래그한 변수는 출력 양식의 그래프에 놓을 수 있습니다.

<sup>2</sup> 각 객체와 객체 연결 지점에 출력 변수를 정의합니다.



11. 출력 섹션의 툴바에서 자동 정렬 버튼을 클릭하여 그래프의 크기를 조정하고 정렬합니다. 완성된 시뮬레이션 환경은 아래와 같이 나타나야 합니다.

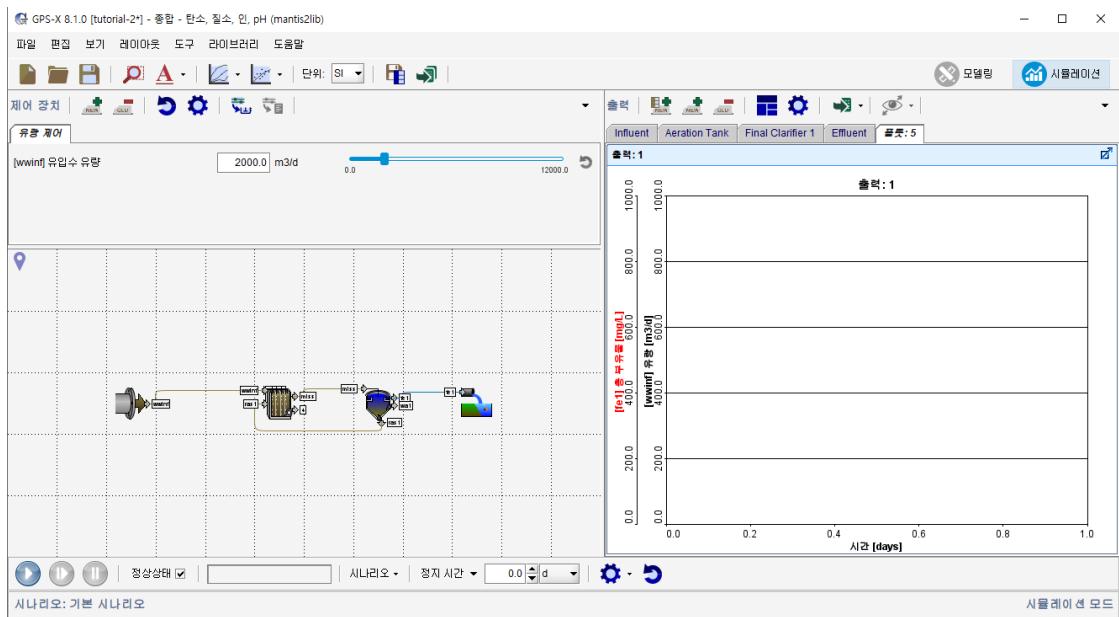


그림 2-10 완성된 출력 그래프가 있는 시뮬레이션 환경

12. 출력 그래프를 마우스 우 클릭하고 출력 그래프 설정 항목을 선택합니다.

출력 그래프 속성 창이 나타납니다. 이는 출력 섹션 툴바에서 그래프 특성 버튼을 눌러 나타낼 수도 있습니다.

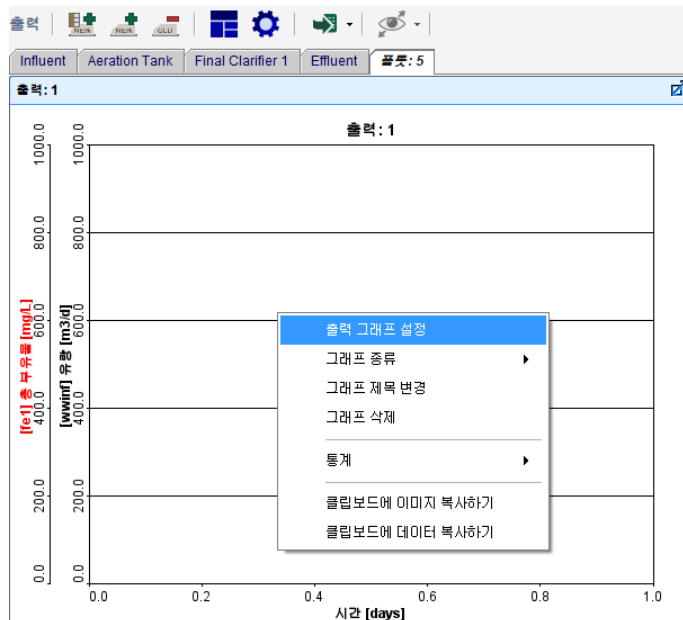


그림 2-11 출력 그래프 설정



출력 그래프 설정 창은 최소 및 최대 Y 축 값, 변수의 선 색상 및 단위를 비롯한 플로팅 속성을 지정하는 데 사용됩니다.

자동 축척 기능을 사용하면 y 축이 표시되는 데이터에 따라 적절한 최대 값을 자동으로 설정할 수 있습니다. 이 옵션을 선택하면 출력 그래프 설정 창의 아래에 있는 변수 특성 섹션의 값을 조정할 수 없습니다.

그래프 종류도 여기에서 변경할 수 있습니다. 기본적으로 그래프 유형은 X-Y 이지만 여러 가지 옵션으로 변경할 수 있습니다. 본 튜토리얼에서는 X-Y로 남겨 둘 것입니다.

13. 각 변수의 최소 값과 최대 값을 입력합니다.



필드를 편집하려면 최대 필드를 '잠금 해제' 해야 합니다. 그렇지 않으면 한 필드의 변경 사항이 다른 필드로 복사됩니다. 이는 사용자가 대체로 유사한 특성의 변수를 그래프에 표시하고 y 축이 같은 배율을 갖기를 원하기 때문입니다.

유량에는 0과 10,000 m3/d, 총 부유 고형물에는 0과 150 mg/L를 입력합니다.

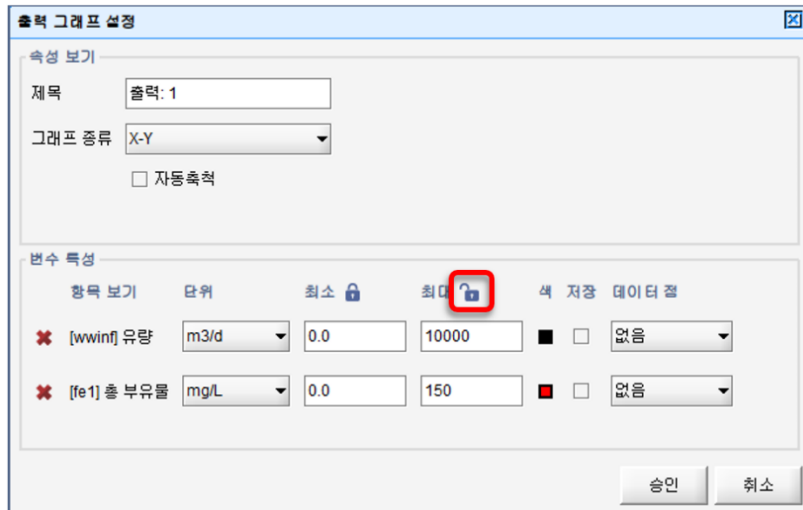


그림 2-12 출력 그래프 속성 메뉴

변경이 완료되면 승인 버튼을 클릭합니다.

14. 출력 그래프에서 마우스 우 클릭 후, 그래프 제목 변경을 클릭합니다. 출력 그래프를 위한 적절한 제목을 입력합니다.

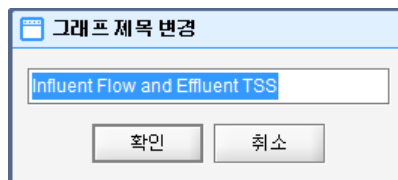


그림 2-13 출력 그래프 이름 변경

### 다이나믹 시뮬레이션 실행

모델을 실행할 준비가 되었습니다. 시뮬레이션을 실행하기 위해 필요한 모든 제어는 화면 바닥에 있는 **시뮬레이션 툴바**에 있습니다.

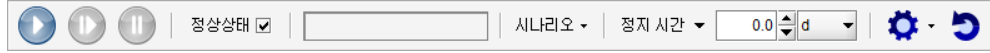


그림 2-14 시뮬레이션 툴바

15. 시뮬레이션 기간을 설정합니다. **시뮬레이션 제어** 도구 바에 있는 **정지 시간** 칸에 직접 입력하거나 화살표 버튼을 클릭합니다.
16. 시뮬레이션 제어 툴바의 **시작** 버튼을 클릭하여 시뮬레이션을 시작합니다.

시뮬레이션이 실행되는 동안 입력 제어 창에서 생성했던 유입수 유량 제어기의 슬라이드 바를 움직이면서 유량을 변경해 보시기 바랍니다.

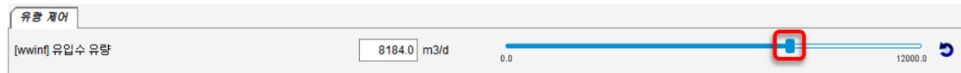


그림 2-15 유량 제어 창의 유량 제어기 조작

유량이 충분히 높아지면(7,000m3/d) 침전지 과부하로 인해 방류수 부유 물질이 크게 증가하게 됩니다.

예로 그림 2-16처럼 나타납니다. 유입수 유량은 시뮬레이션이 실행되는 동안 슬라이드 바를 움직임에 따라 증가되었습니다. 아래의 결과 그래프는 사용자가 시뮬레이션 기간 동안 어떻게 슬라이드 제어를 적용했는지에 따라 다르게 나타나겠습니다.

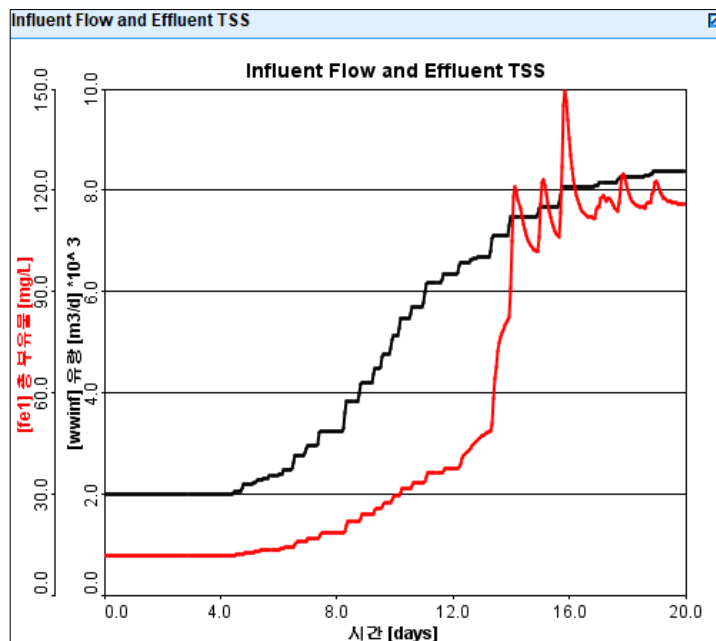


그림 2-16 유량 증가의 실행 예

- 이번에는 유입수 유량 슬라이더를 드래그하여 유입수 유량을 2,000 m<sup>3</sup>/d에서 떨어진 수치로 조정하고 다시 시뮬레이션을 실행합니다.

시뮬레이션이 너무 빨리 진행된다면 **지연**을 삽입하여 시뮬레이션을 인위적으로 느리게 할 수 있습니다. **시뮬레이션 툴바**에서 **정지 시간**을 클릭해 **지연**을 클릭합니다. 값은 0.5를 적용합니다. 이 값의 크기는 지연의 범위를 결정합니다.

**참고:** 시뮬레이션이 정지 시간을 초과하면 모델이 멈춥니다. 이 때, 2가지 선택이 있습니다.

- 시뮬레이션 제어 창의 **시작** 버튼을 클릭하여 시뮬레이션을 다시 시작합니다.
- **정지 시간**의 값을 증가시키고, **계속하기**를 클릭합니다.

즉, **계속하기** 버튼을 누르면, GPS-X는 이전에 멈췄던 부분부터 시작하고 새로운 정지 시간에 도달할 때까지 계속 진행합니다. **시작**을 클릭하면, GPS-X는 이전 시뮬레이션을 다시 실행합니다.

## 플랜트 분석하기

이제 2차 침전지에 증가한 유량을 조사하여 플랜트의 성능을 더 자세히 관찰합니다.

이를 위해 먼저 최종 침전지의 고형물을 나타내는 출력 그래프를 설정합니다. 그리고 나서 2,000m<sup>3</sup>/d의 설계 유량을 정상 상태로 모의하고 더 높은 유량(즉 강우 조건을 모의)으로 모델을 실행하여 최종 침전지 내 고형물 프로파일의 변경사항을 조사합니다.

- 2차 침전지 객체를 오른쪽 클릭하고 **출력 변수 >레이어 내 농도**를 선택합니다.

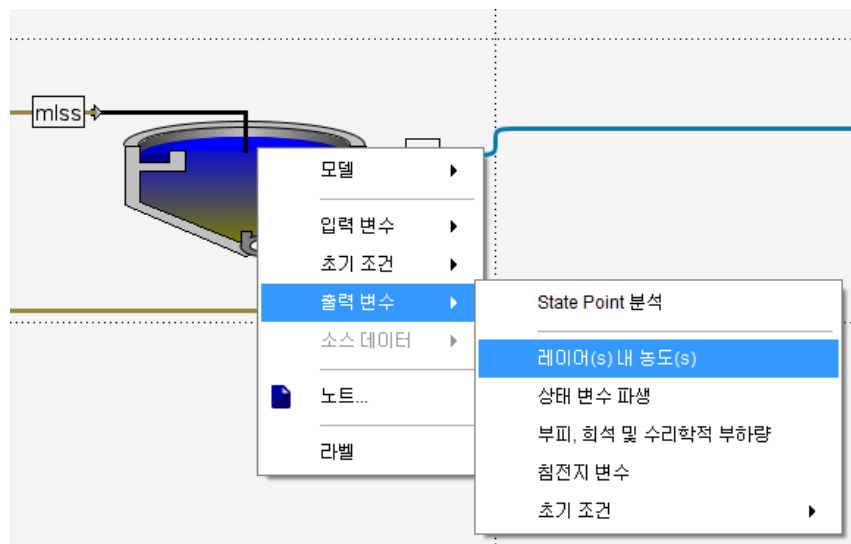


그림 2-17 변수 선택

19. “레이어의 총 부유물질” 이란 변수를 출력 탭 가장 우측의 빈 공간으로 드래그 합니다.

새로운 탭과 출력 그래프가 자동적으로 생성됩니다.

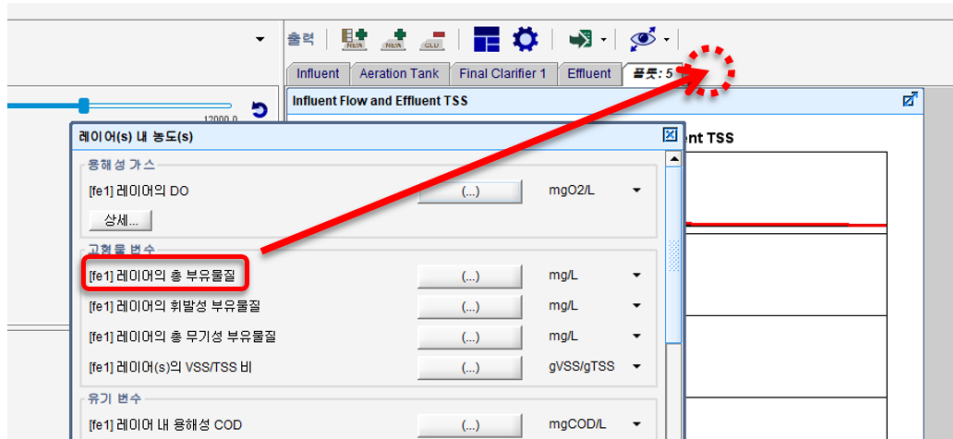


그림 2-18 새 탭에 변수 드래그하기

해당 변수는 값의 배열이므로, 기본적으로 생성되는 그래프는 x 축을 따라 배열 요소가 있는 막대 차트입니다.

참고로, 개별 값에 액세스하기 위해 줄 옆에 줄임표 (...) 버튼을 클릭하면 됩니다. (그림 2-19)

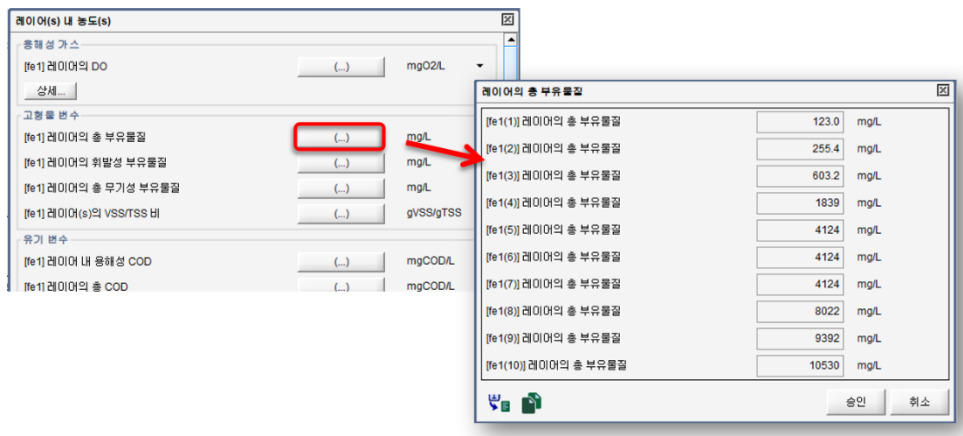



그림 2-19 개별 변수 보기

20. 그래프 유형을 변경합니다.

기본적으로 적용된 세로 막대형 차트 대신 가로 막대형 차트로 보려고 합니다. 이렇게 하면 침전지 내의 다른 층에 대해 보다 직관적인 느낌을 줄 수 있습니다.

출력 그래프를 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 출력 그래프 종류를 선택하면, 막대형 차트 유형이 이미 선택되어 있을 것입니다. 이를 수평 막대 차트로 변경합니다.

21. 출력 그래프 설정 창을 열어 그래프를 설정합니다.


그래프 특성  버튼을 누르고, 가서 최대 값을 5,000 mg/L로 변경합니다.

그래프 제목을 적절히 변경합니다. 본 과정에서는 Final Clarifier Solids Profile로 하였습니다.


탭 이름을 두 번 클릭하고 새 이름을 입력하여 탭의 이름을 변경할 수도 있습니다.

승인을 클릭해 변경사항을 반영합니다.

22. 그래프의 크기를 조정합니다.

자동 정렬  을 누르거나, 그래프 창의 가장자리를 드래그 하여 원하는 크기로 조정합니다.

23. 시뮬레이션을 실행합니다.

정상상태 옵션을 선택하고 10일까지 정지 시간을 설정합니다. 입력 제어 창에서 유입수 유량을 2,000m<sup>3</sup>/d로 설정합니다. 준비가 되었다면, 시뮬레이션을 실행  합니다.

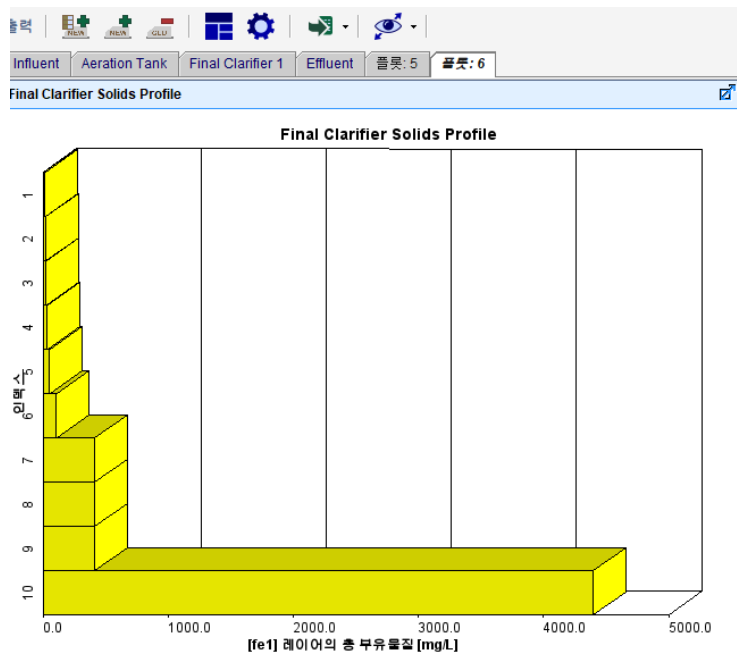




그림 2-20 침전지 고형물 프로필

24. 입력 제어 창의 유량 제어기를 5,000 m<sup>3</sup>/d로 증가시킵니다. 20일 까지 정지 시간을 조정하고, 시뮬레이션을 계속  실행합니다.

막대형 차트가 설정한 높은 유량으로 인한 고형물의 축적을 반영하여 변경됩니다. 원한다면 최대 축 값을 조정하여 전체 그래프를 볼 수 있습니다. 값은 기존 스케일보다 커집니다.

25. 메인 툴바에서 저장  을 클릭하여 레이아웃을 저장합니다.

## 튜토리얼 3

### 레이아웃 편집과 시나리오 이용하기

---

#### 문제 설정

본 튜토리얼에서는 튜토리얼 1에서 개발한 플랜트가 추가적인 하수관 연결로 인해 발생한 추가 유량을 처리하게 할 것입니다. 플랜트는 적절한 포기용량을 가지며 추가로 침전지가 필요하다고 가정합니다.

#### 목적

GPS-X를 통해 사용자는 플랜트 설계와 운영에 있어 변화를 검토하는데 도움을 줄 수 있는 모델을 쉽게 만들 수 있습니다.

이 튜토리얼은 레이아웃 추가를 위해 복사 및 붙여넣기와 같은 레이아웃 편집 도구를 사용하는 방법을 알려줍니다.

레이아웃이 추가된 이후에는, GPS-X를 통한 시나리오 기능을 소개할 것입니다. 이 시나리오 기능을 통해 정상 상태 및 동적 조건 모두에서 유량 분배가 불균등할 경우에 침전지의 성능을 각각 비교하기 위한 데이터 그룹을 설정할 수 있습니다.



이 튜토리얼을 마치면 사용자는 플랜트 레이아웃을 만들고 편집하는 요령과 GPS-X의 통계<sup>3</sup> 데이터 입출력 방법을 숙지할 수 있습니다. 다른 가설 상황을 테스트하기 위한 시뮬레이션 시나리오를 준비하고 대안이 되는 플랜트 설계나 운영 변경을 조사하기 위해 시나리오를 실행할 수 있습니다.

---

<sup>3</sup> 통계라는 용어는 데이터를 입력하고 출력하는 과정을 설명하는데 있어, 튜토리얼 4에서 설명할 시계열 입출력 데이터와의 구별을 위해 사용하였습니다.

## 플랜트 확장하기

1. 튜토리얼 1에서 만들고 저장한 레이아웃을 열어주거나, **샘플 레이아웃**을 사용합니다.

샘플 레이아웃을 사용하실 경우에는, 이미 작업 중인 파일이 날아가지 않도록 **저장**  하시고, **새로 만들기**  를 한 이후에 불러오시기 바랍니다.

**파일 메뉴 > 샘플 레이아웃** 에서, 튜토리얼 > 튜토리얼 1- 모델만들기를 엽니다. 본 과정은 샘플 레이아웃으로 진행하겠습니다.

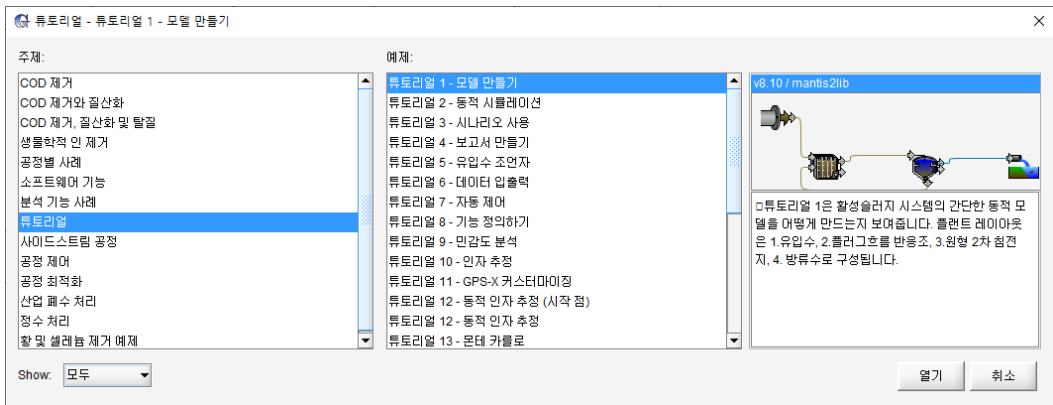


그림 3-1 샘플 레이아웃 불러오기

2. 다른 이름으로 레이아웃을 저장합니다. (예, tutorial-3).
3. 모델링 모드가 아니라면, 화면 우측 상단의 버튼을 이용하여 **모델링 모드**로 변경합니다.
4. 드로잉 보드 상에 격자가 보이지 않는다면, 메인 메뉴의 **보기 > 격자 보기**를 선택합니다.



그림 3-2 격자 보기 선택하기

- 레이아웃의 확장을 용이하게 하기 위해 드로잉 보드에 더 많은 공간이 필요합니다. 위치표시기 창을 열고, 더 큰 작업 영역의 윤곽을 드래그 하여 나타냅니다. (그림 3-3)



그림 3-3 레이아웃 확장하기

- 공정 객체를 클릭하고 드래그 하여 이동합니다.

객체를 드래그 할 때 마우스 커서가 변경되는 것을 볼 수 있습니다. 이후, 원하는 위치에 두면 객체 이동이 완료됩니다. 이와 같은 방법으로 유입구 객체, 폭기조, 폐수 방류구 객체를 이동하여 그림 3-4와 같은 모습이 되도록 합니다.

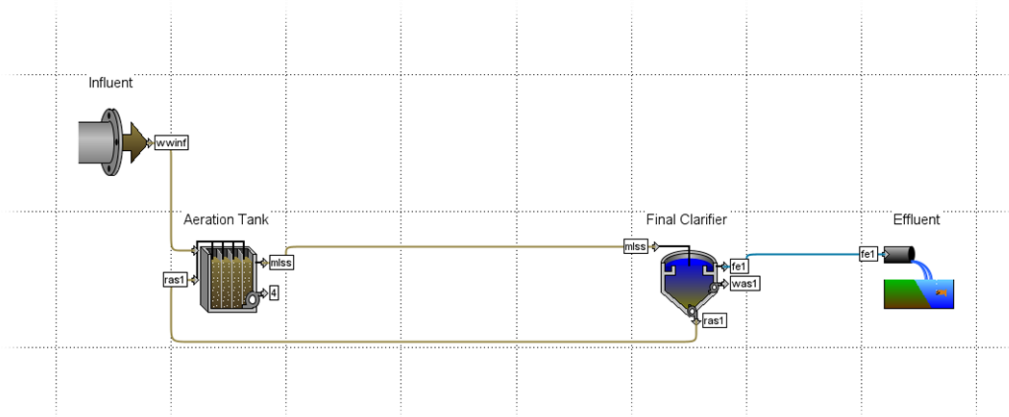


그림 3-4 객체 그룹 이동하기

- 최종 침전지를 복사합니다.

드로잉 보드 상의 기존 2차 침전지를 Ctrl을 누른 상태로 클릭 후, 바로 아래 격자로 드래그 합니다.

또는, 복사 대상 셀의 객체를 선택하고 복사 버튼을 클릭하고, 복사할 위치의 셀을 클릭하고 붙여넣기 버튼을 선택하여도 됩니다.



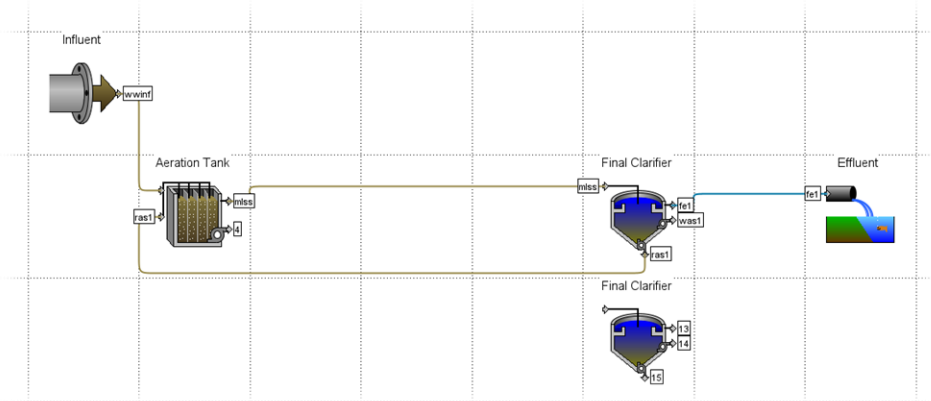


그림 3-5 침전지 복사 및 붙여넣기

8. 불필요한 연결을 삭제합니다.

각 공정 객체의 흐름 시작점이나 도착 지점에 커서를 두고 마우스 커서가 화살표  $\Rightarrow$  가 되었을 때, 드로잉 보드의 비어 있는 셀로 드래그 하면 흐름 라인을 삭제할 수 있습니다. 새 객체를 연결하기에 앞서, 모든 연결 흐름을 삭제해 줍니다.

9. 드로잉 보드에 다음의 공정을 추가합니다.

공정 테이블의 유량 연결 및 분산 탭을 통해 다음의 3가지를 추가합니다. (그림 3-6)

- 포기조에서 두 개의 침전지에 MLSS를 나누기 위한 **2방향 분산기**
- 두 개의 침전지에서 나오는 슬러지 반송을 위한 **2방향 혼합기**
- 2개의 침전지에서 최종 방류수를 혼합하기 위한 **2방향 혼합기**

10. 폭기조 아래 혼합기를 뒤집습니다.

폭기조 아래의 혼합기는 2개의 침전지에서 나오는 반송 슬러지를 위한 것이기에 뒤집어 주어야 합니다. 이를 위해 해당 혼합기를 선택하고, 메인 툴바의 반사  $\blacktriangleleft$  버튼을 누릅니다.

최종적으로 그림 3-6과 비슷하게 하기 위해 객체의 위치를 변경합니다.

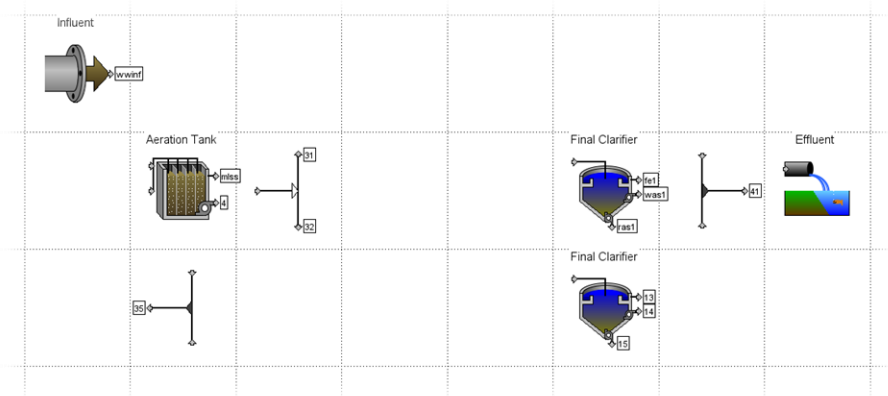


그림 3-6 분산기 및 혼합기 추가하기

11. 모든 객체를 연결합니다.

그림 3-7와 같이 적절한 라벨을 입력합니다.

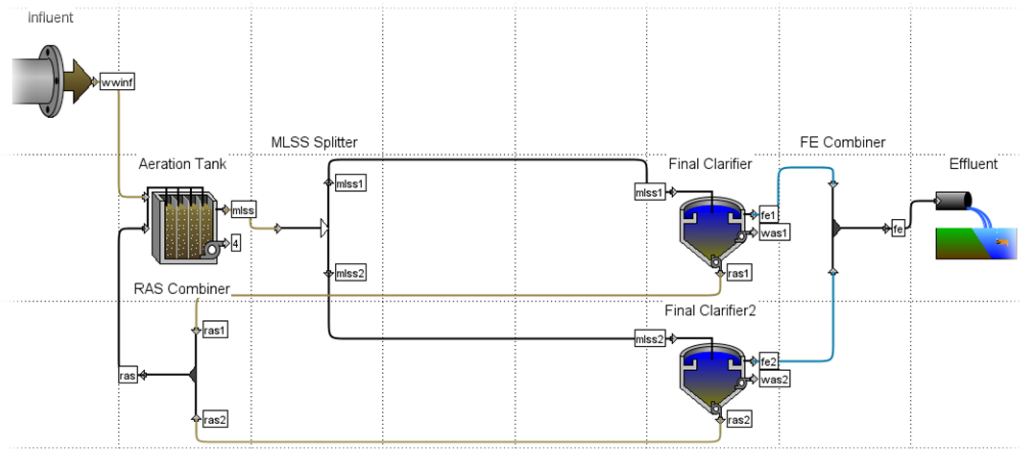


그림 3-7 라벨을 입력한 공정 및 흐름 라인

**참고:** 흐름선의 색상은 해당 스트림의 특성에 대해 특정 의미를 나타냅니다.

**갈색 선**은 하수/슬러지 흐름을 나타낼 때 사용합니다. 예를 들어, 침전지를 나가는 슬러지나 하수 유입이 있습니다.

**검정색 선**은 객체가 선택되었을 때 결과를 확인할 수 없는 흐름을 표시하는 데 사용됩니다. 예를 들어, 결합기나 분할기가 있습니다.

**파란색 선**은 물/처리수 흐름을 표시할 때 사용합니다. 예를 들어, 침전지를 통해 나간 방류수가 있습니다.

표 3-1 공정 및 흐름 라벨

단 위	라 벨	단 위	라 벨
폐수 유입 Influent	유입: wwinf	원형 2차 침전지 2 Final Clarifer 2	월류: fe2 펌프: was2 반송: ras2
플러그흐름 반응조 Aeration Tank	월류: mlss 반송: ras	반송 슬러지에 대한 2방향 혼합기 RAS Combiner	출력: ras
2방향 분산기 MLSS Splitter	출력#1: mlss1 출력#2: mlss2	최종 방류수에 대한 2방향 혼합기 FE Combiner	출력: fe
원형 2차 침전지 1 Final Clarifier 1	월류: fe1 펌프: was1 반송: ras1	하수 방류 Effluent	-

12. 공정에 노트를 추가합니다.

때로는 변경에 있어 필요한 세부 사항이나 사유에 대해 기록하기 위해 메모를 작성하는 것이 유용합니다. 이 노트는 단순히 사용자의 참고용일 뿐 어떤 식이든 시뮬레이션에 영향을 미치지 않습니다.

Final Clarifier 2 유닛에 노트를 추가합니다. 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 팝업 메뉴에서 노트...를 선택합니다. 장치에 대한 설명을 입력할 수 있는 빈 창이 나타납니다. 승인을 클릭하여 노트 창을 닫습니다.

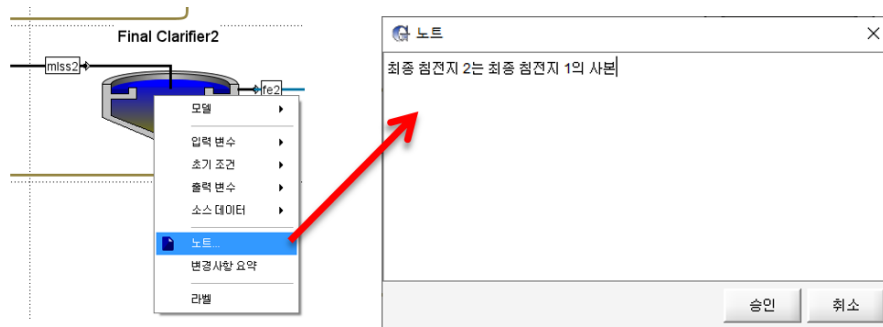


그림 3-8 공정에 노트 추가하기

13. 메인 툴바의 저장  버튼을 눌러 레이아웃을 저장합니다.

시나리오 이용하기

사용자는 여러 개의 시나리오를 작성할 수 있으며 각 시나리오 마다 모델 매개변수의 변경 사항을 저장할 수 있습니다. 이러한 변경들은 언제든지 복원할 수 있도록 저장됩니다.

이 튜토리얼의 섹션에서는 시나리오를 이용하여 다음의 모델 매개변수를 변경했을 때의 효과를 조사할 계획입니다:

- 추가 하수관 연결을 모의하기 위한 유입수 유량
- 유입수의 동적 변동을 모의하기 위한 유입수 유형

14. 화면 우측 상단의 버튼을 이용하여 시뮬레이션 모드로 변경합니다.

시나리오 생성 및 사용은 시뮬레이션 모드에서 수행됩니다.

15. 새 시나리오를 생성합니다.

하단의 시뮬레이션 도구 바의 시나리오 드롭 다운 메뉴에서 새로...를 선택합니다.

새 시나리오의 이름을 입력(예, Expansion)하고 승인을 클릭합니다.

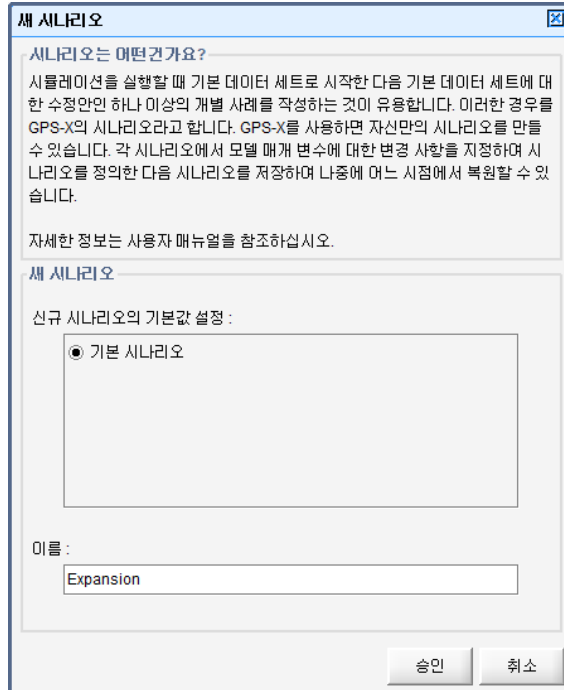


그림 3-9 시나리오 이름

시뮬레이션 도구 바 시작 버튼 아래에서 현재 선택된 시나리오의 이름이 나타나 있는 것을 확인할 수 있습니다.

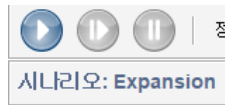


그림 3-10 시나리오 이름 표시

16. 몇 가지 매개변수 변경사항을 시나리오에 추가합니다.

본 튜토리얼 3에서는 유입 유량 형태와 유량을 변경할 것입니다. 시뮬레이션 모드를 유지하면서, 유입수 객체를 우 클릭하고, 유량 > 유량 정보를 선택합니다. 유량 형태를 사인곡선으로 변경하고 유입 유량을 5,000 m<sup>3</sup>/d로 변경합니다.

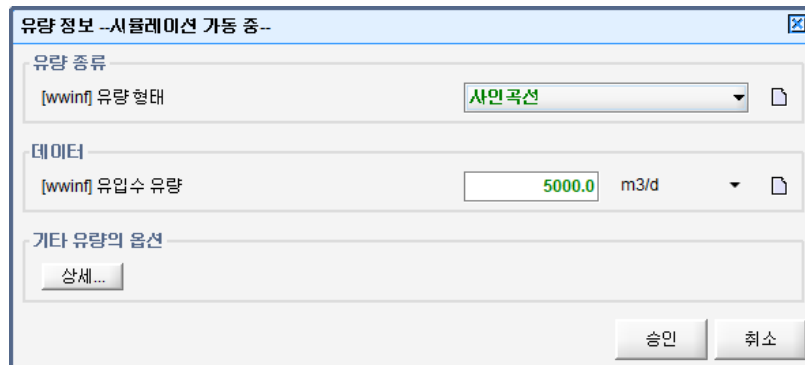


그림 3-11 시나리오에서 매개변수 변경

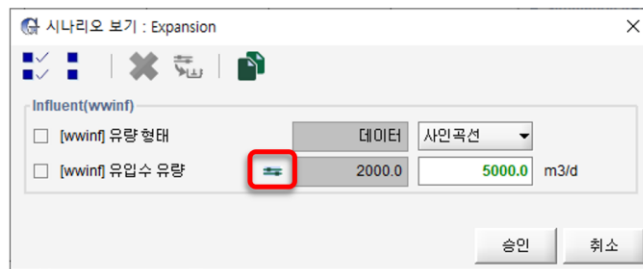
시나리오의 변경 사항이 초록색으로 강조 표시됨에 유의합니다. 승인 버튼을 클릭합니다.

17. 시뮬레이션을 위해 제어 장치와 출력 창을 설정합니다.

- 1) 유입수 유량 제어를 위한 유량 제어기(슬라이드 유형)를 추가합니다.

이는 튜토리얼 2에서 진행한 것과 같습니다. 유입수 객체를 우 클릭하고, 유량 > 유량 정보를 클릭합니다. 유입수 유량을 제어 창에 드래그 합니다. 최소값과 최대값을 각각 0 과 12,000 m3/d로 설정합니다.

**참고:** 시나리오 드롭 다운 메뉴에서 보기...를 선택하여 선택된 시나리오에서 변경된 항목을 확인하고, 수정할 수도 있습니다. 또한, 변경사항을 제거 X 버튼을 통해 지울 수도 있습니다.



이 창에서 현재 시나리오 내에 변경된 모든 변수들을 요약하여 볼 수 있습니다. 모델이 만들어질 때 설정한 값이 회색 상자에 표시됩니다. 만약 이 시나리오에서 변경된 변수가 입력 제어기 상에 나타나는 경우, 변수 이름 옆에 입력 제어기를 나타내는 아이콘이 표시됩니다.

또한, 모델링 모드에서 작성한 기본 매개변수 설정으로 돌아가시기 위해 시나리오 드롭 다운 메뉴에서 시나리오 선택 > 기본 시나리오를 선택하시면 됩니다.

- 2) 유입수 유량에 대한 출력 그래프 생성

유입수 객체의 유출 흐름을 우 클릭하고, 유량 > 유량 정보에서 유입수 유량에 대한 출력 그래프를 생성합니다.

- 3) MLSS 분산기의 분배 비율에 대한 입력 제어기 생성.

MLSS Splitter 객체에서 우 클릭하고, 입력변수 > 분배기 설정으로 이동합니다. 분배 비율을 입력 제어 창에 적용합니다. 최소값은 0, 최대값은 1로 각각 설정합니다.




- 4) 침전지 1과 침전지 2의 고형물 프로필에 대한 수평 막대 차트 생성.


이는 튜토리얼 2에서 진행한 것과 같습니다. 각 침전지를 우 클릭하고, 출력 변수 > 레이어 내 농도에서, 레이어의 총 부유물질을 출력 창에 적용합니다. 그래프의 제목을 적절히 수정합니다.

- 5) 각 침전지의 방류수에 대한 SS와 통합된 방류수의 SS에 대한 X-Y 그래프 생성.

총 부유 고형물 변수는 각각 유출 흐름에서 우 클릭하고, 출력 변수 > 농도 메뉴에서 찾을 수 있습니다. 한 개의 그래프에 세 개의 농도가 나타나도록 설정합니다.

18. 설정이 완료되었다면, 시뮬레이션을 실행하고 결과를 검토합니다.

- 1) 정상 상태 박스를 체크한 다음 1일의 정지 시간을 입력하고, 실행  을 클릭합니다.
- 2) 분배 분율을 0.3으로 변경하고 정지 시간을 2일로 증가시킵니다.
- 3) 시뮬레이션 제어 창에서 계속  (시작 버튼이 아닙니다)을 클릭합니다.
- 4) 유입수 유량을 8,500 m3/d로 변경하고, 정지 시간은 3일로 증가시킵니다.
- 5) 시뮬레이션 툴바에서 계속  을 클릭합니다.

19. 메인 툴바에서 저장  을 클릭하여 레이아웃을 저장합니다.

결과는 그림 3-14과 같습니다.

이는 최종 침전지 성능과 최종 방류수의 SS에 관한 불균형 유량 분산의 영향을 보여줍니다.

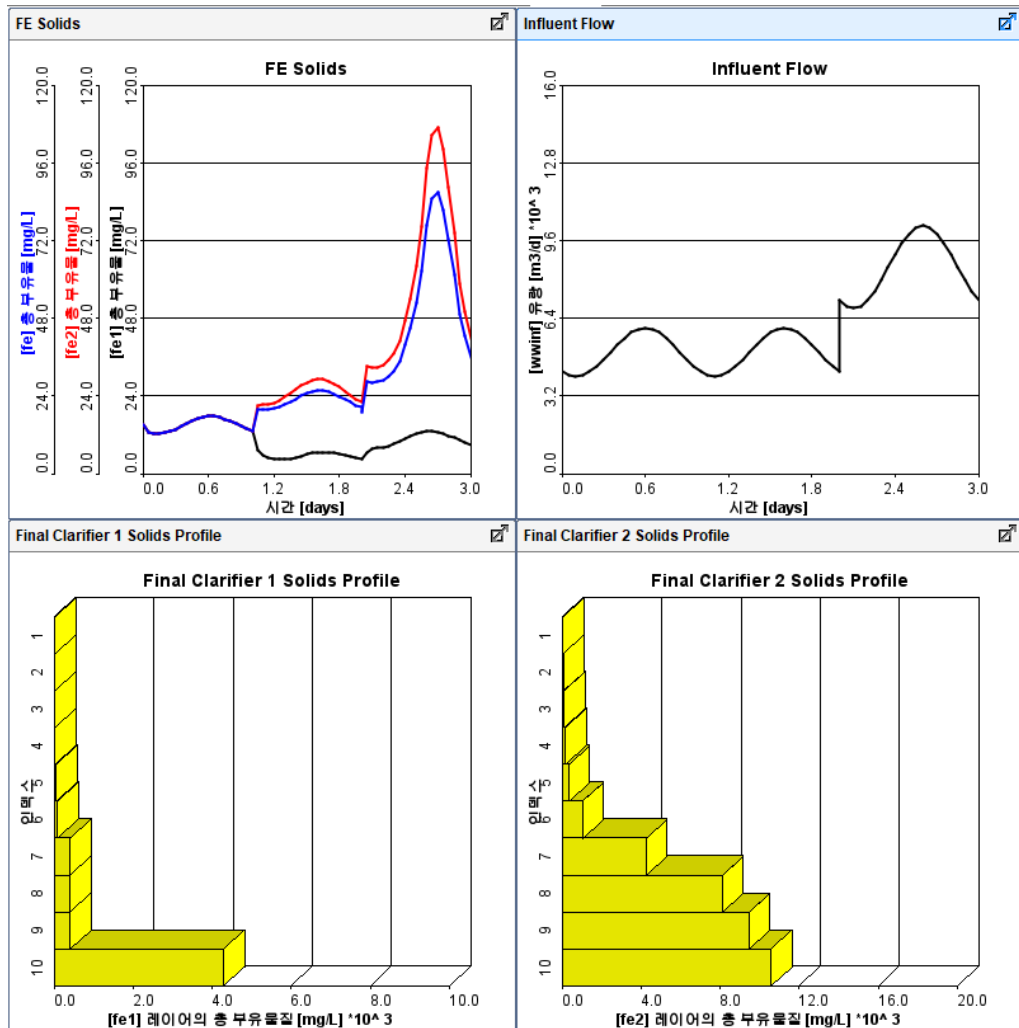


그림 3-12 결과 그래프 보기

## 튜토리얼 4

### 모델 독립 및 종속 변수 기록 생성

#### 문제 설정

튜토리얼 4에서는, 여러분의 상사가 월 단위의 플랜트 모델을 실행하여 플랜트 성능, 플랜트를 통과하는 흐름, 에너지 사용량, 운전 비용과 관련하여 다양한 보고서와 정보를 제출하기 원한다고 가정하겠습니다.


#### 목적

GPS-X를 사용하면 맞춤형 표 및 보고서 제작이 용이하며, 표나 보고서에 포함된 데이터를 외부로 내보내되 분석과 이해하기 쉬운 형태가 되도록 할 수 있습니다.


#### 새 결과 표 탭 만들기

1. Tutorial 3에서 만들었던 레이아웃을 열고, **파일 > 새 이름으로 저장**을 사용하여 'Tutorial-4'라고 이름을 변경합니다.
2. **시뮬레이션 모드로 전환**합니다.

앞서 튜토리얼에서 설명했던 다양한 그래프 결과와 모델 결과 및 요약 보기 외에도, 사용자 정의 표를 만들 수 있습니다. 광범위한 모델 결과들로 이 표를 채울 수 있으며, 이 표에 나타나는 데이터는 레이아웃 전반에 걸친 흐름 혹은 공정 변수의 요약이라 할 수 있습니다.

3. 출력 창 상단의 툴바에서 **새로운 테이블 탭 만들기**  를 클릭합니다. 테이블 속성 대화상자가 나타납니다.
4. 테이블 속성 대화상자를 설정합니다.



기본적으로 모든 옵션이 선택되어 있습니다. 우리는 오직 몇 가지 흐름 라인과 변수에만 관심이 있으므로, 각 선택 패널 상단의 **선택 없음**  버튼을 누릅니다. 모든 옵션이 선택 해제될 것입니다.

이제 스트림 선택 패널에서 다음 항목들을 선택합니다.

- Influent (wwinf) > wwinf
- Aeration Tank (mlss) > mlss
- Final Clarifier 1 (fe1) > fe1
- Final Clarifier 2 (fe2) > fe2
- FE Combiner (fe) > fe

변수 선택 패널에서는 다음을 선택합니다:

- 고형물 > TSS 와 VSS
- 유기 변수 > COD
- 질소 변수 > 암모니아성, 아질산염, 질산염

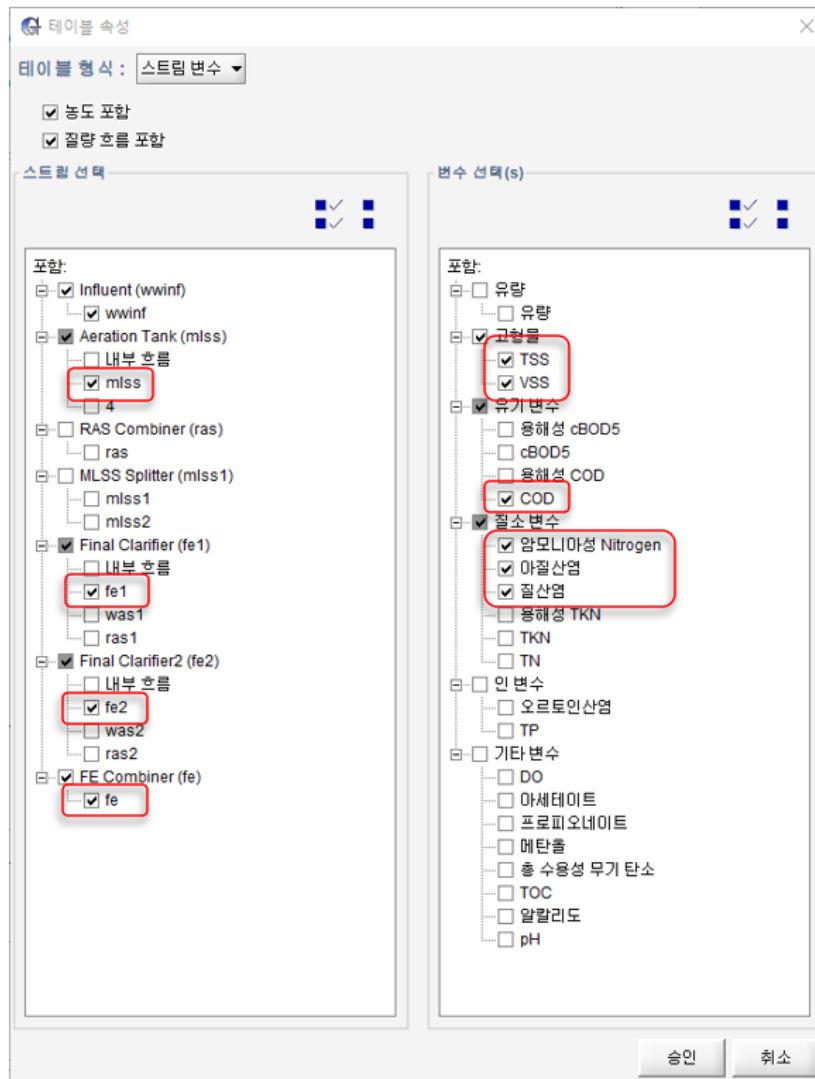



그림 4-1 테이블 속성 대화상자



5. 승인 버튼을 클릭하여 표를 만듭니다.
6. 시뮬레이션 바에서 시나리오 > 시나리오 선택에서 "기본 시나리오"를 선택합니다.
7. 정상 상태에 체크된 상태에서, 실행  을 클릭합니다.

생성했던 표를 통해 2 차 침전지(mlss 및 fe1/fe2 흐름) 모두에서 TSS 및 COD 농도 감소와 폭기조 (wwinf 및 mlss 스트림)에서 질산화가 발생하는 것을 관찰할 수 있습니다.

Influent		Aeration Tank		Final Clarifier		Effluent		Final Clarifier2		플롯: 6	테이블: 7
		wwinf	mlss	fe1	fe2	fe					
TSS	mg/L	192.6	1708	6.021	6.021	6.021					
	kg/d	385.3	10250	5.659	5.659	11.32					
VSS	mg/L	144.5	1104	3.89	3.89	3.89					
	kg/d	288.9	6622	3.657	3.657	7.313					
COD	mgCOD/L	380.0	1758	26.23	26.23	26.23					
	kg/d	760.0	10550	24.66	24.66	49.32					
암모니아성 Nitrogen	mgN/L	25.0	0.1258	0.1258	0.1258	0.1258					
	kg/d	50.0	0.7549	0.1183	0.1183	0.2365					
아질산염	mgN/L	0.0	0.1453	0.1453	0.1453	0.1453					
	kg/d	0.0	0.8717	0.1365	0.1365	0.2731					
질산염	mgN/L	0.0	16.75	16.75	16.75	16.75					
	kg/d	0.0	100.5	15.74	15.74	31.49					

그림 4-2 새 테이블 탭 결과



8. 출력 창에서 테이블을 내보내기  를 클릭합니다.

나타나는 드롭 다운 메뉴에서 보이 듯, 사용자는 데이터를 클립보드에 복사하여 직접 엑셀 등 붙여 넣을 수 있고, 엑셀 파일 또는 Microsoft 워드 파일로 내보낼 수 있습니다. 본 튜토리얼에서는 보여드리지 않지만, 직접 데이터를 저장해 어떻게 나타나는지 확인 해보시기 바랍니다.






-  클립보드에 테이블 복사하기
-  엑셀 파일로 데이터 내보내기
-  Word로 탭 내보내기

그림 4-3 테이블 내보내기



9. 막대 그래프로 데이터를 검토합니다.

특정 행의 데이터를 시각화 하기 위해, 표 상의 각 객체의 단위 우측에 있는 막대 그래프 아이콘을 클릭합니다. 새 탭이 생기며, 그래프가 나타납니다.

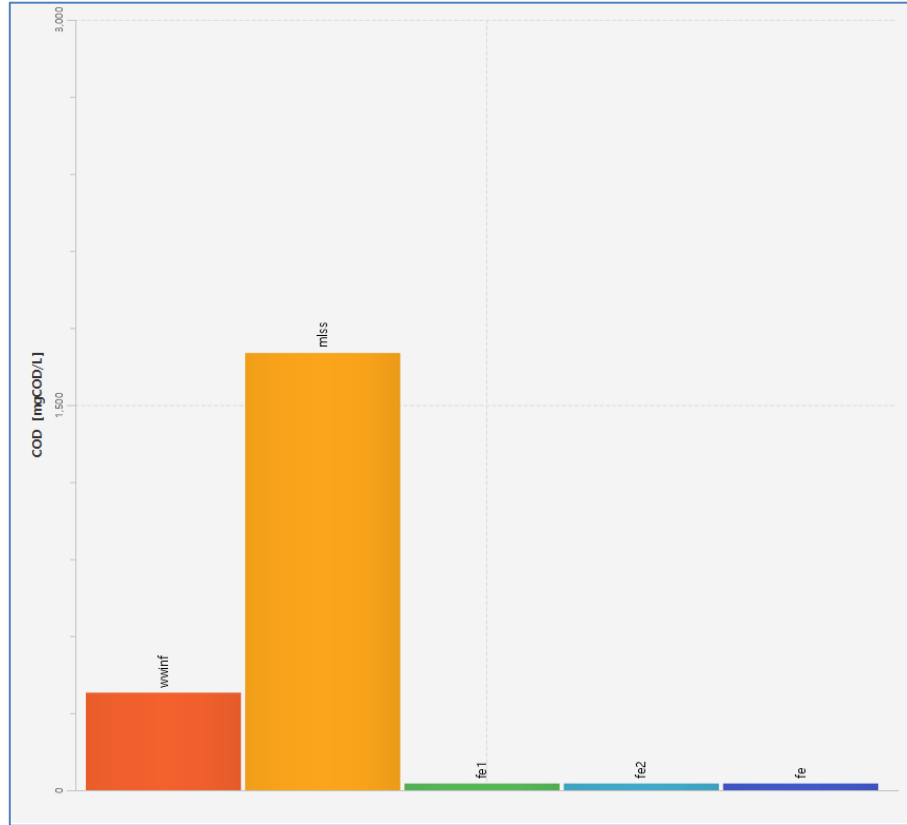


그림 4-4 COD 막대 그래프

추가 결과 표시



시뮬레이션 실행 후, 시뮬레이션 결과를 분석할 수 있는 GPS-X의 옵션들을 사용할 수 있습니다.

출력 창에 있는 추가 출력 디스플레이 옵션을 선택하면 드롭다운 메뉴가 열리면서 시뮬레이션 결과를 시각화하기 위한 다양한 도구들이 나타납니다. 각 옵션들에 대해 살펴보도록 하겠습니다.



그림 4-5 추가 결과 표시 메뉴

## Sankey 다이어그램 만들기



GPS-X는 5 가지 변수(Flow, TSS, COD, TN, TP)의 Sankey 다이어그램을 생성할 수 있습니다. Sankey 다이어그램은 화살표 폭의 관점에서 가변 수량을 표시하는 흐름도입니다. 이를 통해 사용자는 플랜트의 성과와 결과를 시각적으로 한 눈에 파악할 수 있습니다.

10. Sankey 다이어그램을 선택합니다.

추가 출력 디스플레이  옵션에서 Sankey 다이어그램  버튼을 클릭합니다.

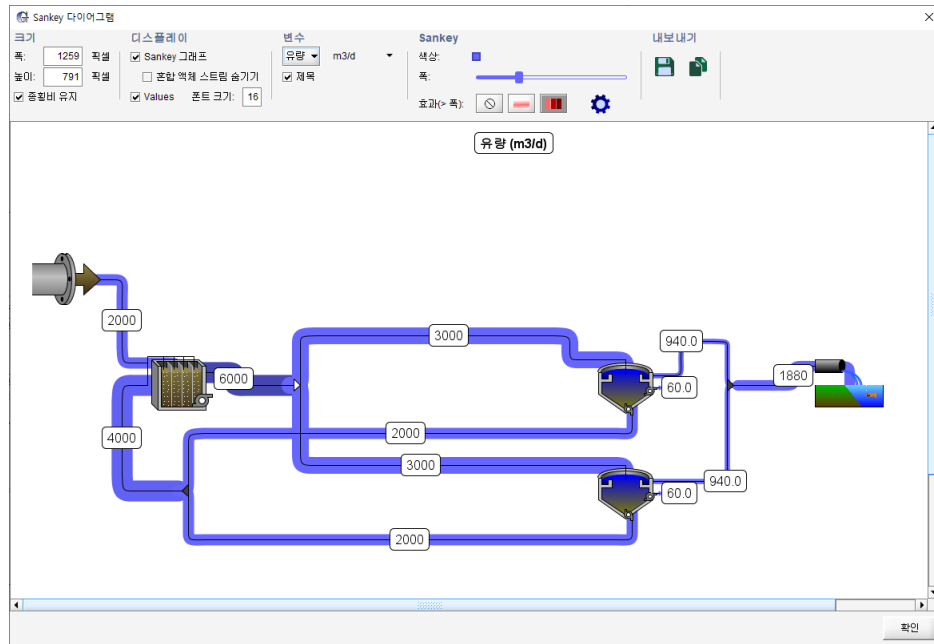




그림 4-6 Sankey 다이어그램 예시

그림 4-6는 유량에 대한 Sankey 다이어그램을 보여주고 있습니다. 다이어그램은 Sankey 그래프와 각 스트림의 값들을 보여줍니다.

높은 유량의 흐름 라인이 더 큰 폭으로, 그리고 짙은 색으로 보여지는 것을 알 수 있습니다. 이 예시에서는, 폭기조에서의 유출수 흐름(6,000 m<sup>3</sup>/d)과 2차 침전지에서 나오는 유출수 흐름(940 m<sup>3</sup>/d)의 차이를 보시면 확실한 구분이 가능합니다.

사용자는 Sankey 다이어그램 창 상단의 디스플레이, 변수 및 Sankey 섹션을 사용하여 그래프의 설정 및 출력 변수를 변경할 수 있습니다.



Sankey 다이어그램은 내보내기 옵션(이미지 파일로 저장 , 클립보드에 복사 )을 사용해 내보낼 수 있습니다.

## 물질 수지 도표 만들기



Sankey 다이어그램 내 선들의 두께와 색상을 통해 값들을 시각적으로 표시한다면, 물질 수지 다이어그램에서는 수치적으로 이를 표현할 수 있습니다.

### 11. 물질 수지 도표를 선택합니다.

추가 출력 디스플레이  옵션에서 물질수지 도표  버튼을 클릭합니다.

물질수지 도표 마법사가 나타납니다. 이를 통해 사용자는 도표 상에 표시하고자 하는 정보들을 선택할 수 있습니다. 열 옵션을 사용하여 농도 디스플레이 토글이나 질량 유량을 켜고 끌 수 있고, 행 옵션을 사용하여 관심 있는 변수를 선택할 수 있습니다.

기본 값으로 둔 상태에서 다음을 클릭합니다.

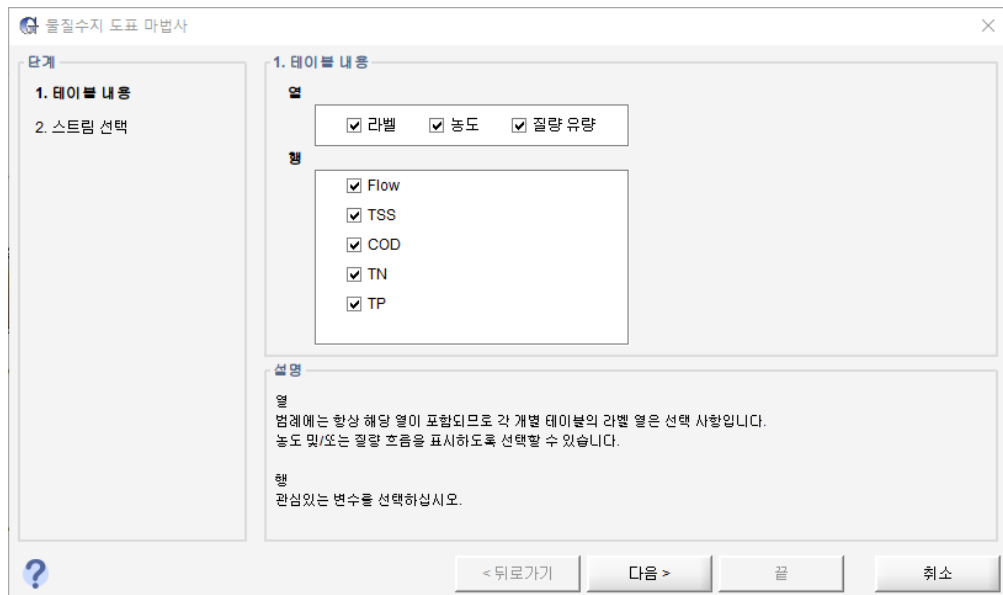



그림 4-7 물질 수지 설정 마법사 테이블 내용

### 12. 스트림을 선택합니다.

기본 적으로 모든 흐름 라인이 선택되어 있습니다. 우리가 알고 싶은 것은 그 중 일부이니, 우선 모든 옵션에 대한 선택을 해제하기 위해 **선택 없음**  을 클릭합니다.

메뉴에서 다음의 옵션들을 선택합니다.

- Influent (wwinf) > wwinf
- Aeration Tank (mlss) > mlss
- Final Clarifier 1 (fe1) > fe1
- Final Clarifier 2 (fe2) > fe2
- FE Combiner (fe) > fe





그림 4-8 물질 수지 설정 마법사 스트림 선택

13. 끝을 클릭하여 도표상 표시하고자 하는 스트림 선택을 완료합니다.
14. 물질수지 도표를 설정합니다.

끝을 선택하고 나면, 테이블 위치를 자동 정렬할지 여부를 묻는 메시지가 나타납니다. **확인 (Yes)**를 선택하여 테이블들이 정렬될 수 있도록 합니다. 이를 통해 테이블을 만드는 대상이 되는 흐름 라인 근처에, 도표의 상단과 하단을 따라 모든 테이블들을 정렬하게 됩니다. 자동 정렬을 선택하지 않으면 이전 테이블 레이아웃을 따르게 됩니다. 이 경우, 현재 사용 가능한 이전 테이블 레이아웃이 없기 때문에 자동 정렬을 누르면 현재와 동일한 레이아웃이 만들어 집니다.

도표 창 내에 원하는 곳에 테이블을 드래그하여 놓을 수 있습니다. 그림 4-9는 생성된 테이블을 원하는 위치로 수동 이동한 모습입니다.

내보내기 옵션(이미지 파일로 저장 , 클립보드에 복사 )을 사용해 내보낼 수도 있습니다.

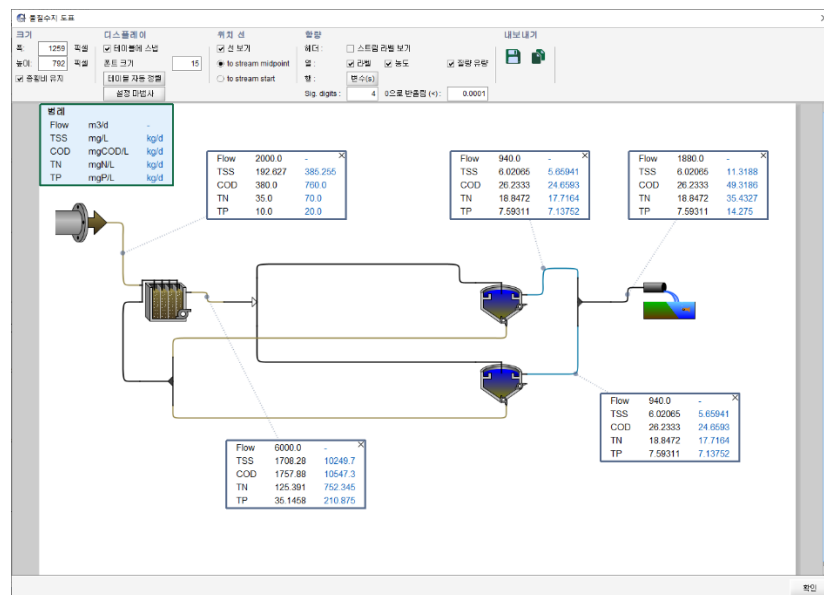


그림 4-9 물질 수지 도표의 예

## 에너지 사용 요약 보기



15. 에너지 사용 요약을 선택합니다.

추가 출력 디스플레이 옵션에서 에너지 사용 요약 버튼을 클릭합니다.

선택된 변수의 값을 해당 단위 객체 주위에 '핫 스팟'으로 나타내며, 클수록 색상 강도가 커 집니다.

변수의 드롭 다운 메뉴를 보시면, 다른 유형의 전력 사용을 선택할 수 있고 플랜트에서 사용 되는 다양한 유형의 전력 요약(Aeration, Pumping, Mixing 등)을 볼 수 있습니다.

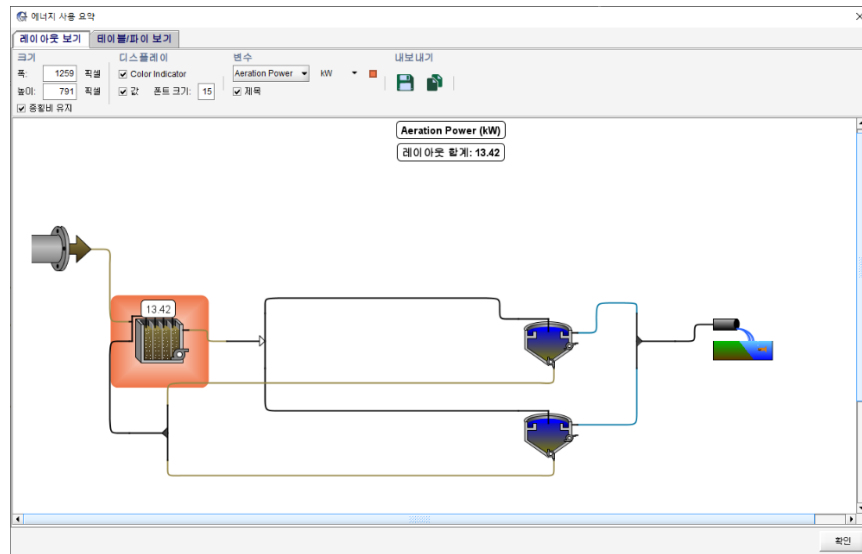


그림 4-10 에너지 사용 요약 창

16. 폭기조를 클릭합니다.

이미지에서 '핫스팟' 되어있는 폭기조를 클릭하면, "테이블/파이 보기" 탭으로 이동하게 됩니다. 행 / 열 선택 토크 을 클릭하여, 원형 차트가 변경되는 것을 확인합니다.



내보내기 옵션(엑셀로 저장 , 클립보드에 복사 )을 사용해 내보낼 수도 있습니다.

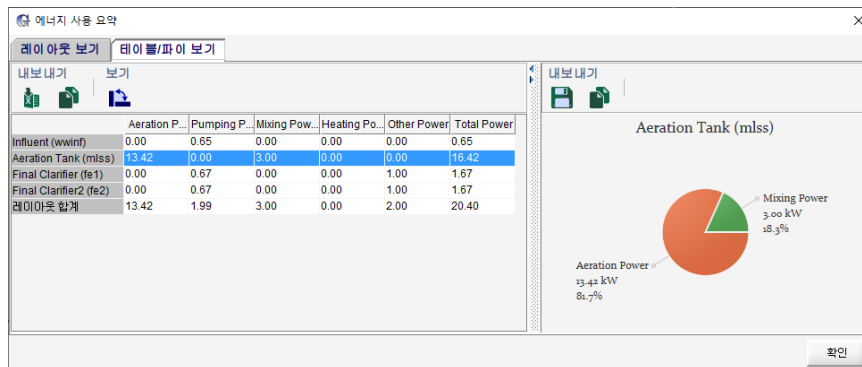




그림 4-11 폭기조의 테이블/파이 보기

## 운영 비용 요약 보기



17. 운영 비용 요약을 선택합니다.

추가 출력 디스플레이  옵션에서 운영비용 요약  버튼을 클릭합니다.

이 창의 정렬 방식이 에너지 비용 요약 창과 비슷하다는 것을 알 수 있습니다. 선택된 변수의 값을 해당 단위 객체 주위에 '핫 스팟'으로 나타내며, 클수록 색상 강도가 커집니다.

변수의 드롭 다운 메뉴를 보시면, 플랜트에 존재하는 다양한 유형의 운영 비용 요약 (aeration, chemical dosing, sludge disposal 등)을 볼 수 있습니다.

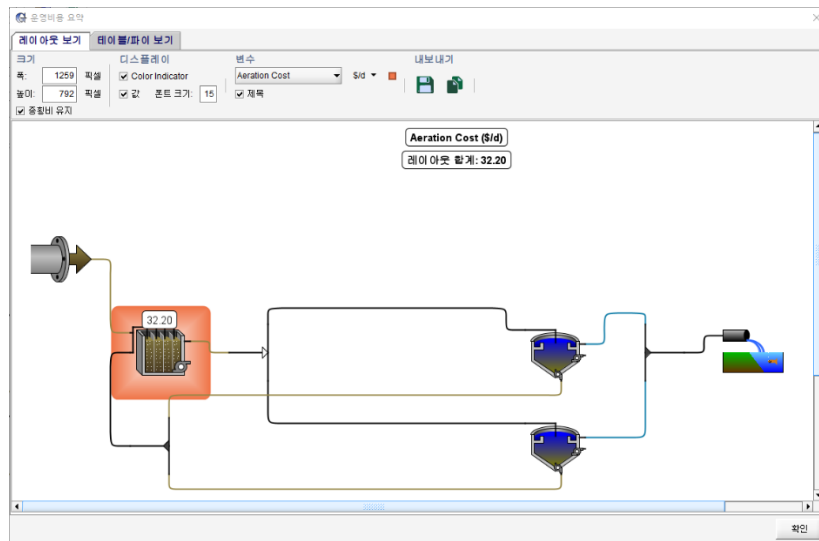





그림 4-12 운영 비용 요약 창

18. 폭기조를 클릭합니다.

이미지에서 '핫스팟' 되어있는 폭기조를 클릭하면, "테이블/파이 보기" 탭으로 이동하게 됩니다. 행 / 열 선택 토크  을 클릭하여, 원형 차트가 변경되는 것을 확인합니다.

내보내기 옵션(엑셀로 저장 , 클립보드에 복사 )을 사용해 내보낼 수도 있습니다.

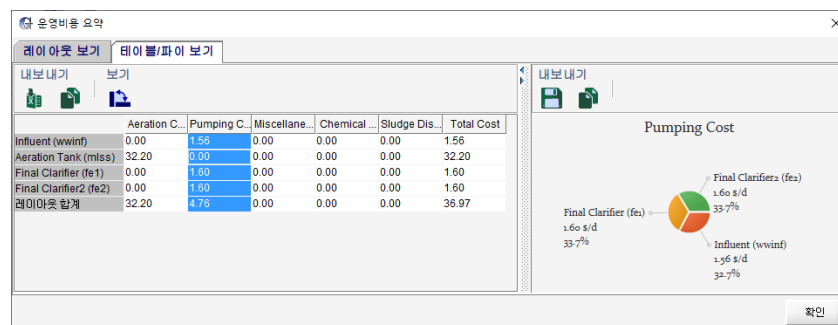


그림 4-13 폭기조의 테이블/파이 보기

## 보고서 만들기

사용자는 특정 실행 결과 외에도 모든 매개변수 값의 목록이 있는 보고서를 만들 수 있습니다. 보고서는 Microsoft Excel 혹은 Word 포맷으로 만들어집니다.



### 19. 메인 도구 모음에 있는 보고서 버튼을 클릭합니다

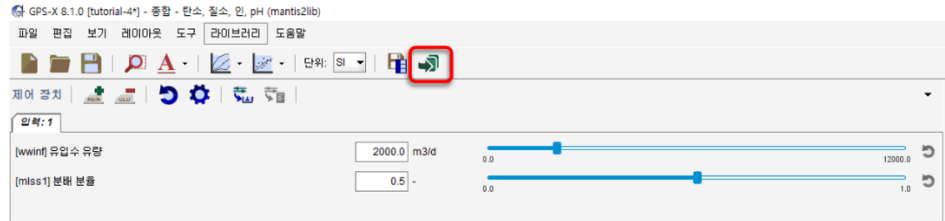


그림 4-14 보고서 만들기

위 그림 4-14에서 보이 듯, 출력 도구 모음에 있는 아이콘이 아닙니다.

표준 **Word** 보고서, 혹은 표준 또는 사용자 정의 **Excel** 보고서를 작성할 수 있는 창이 열립니다.

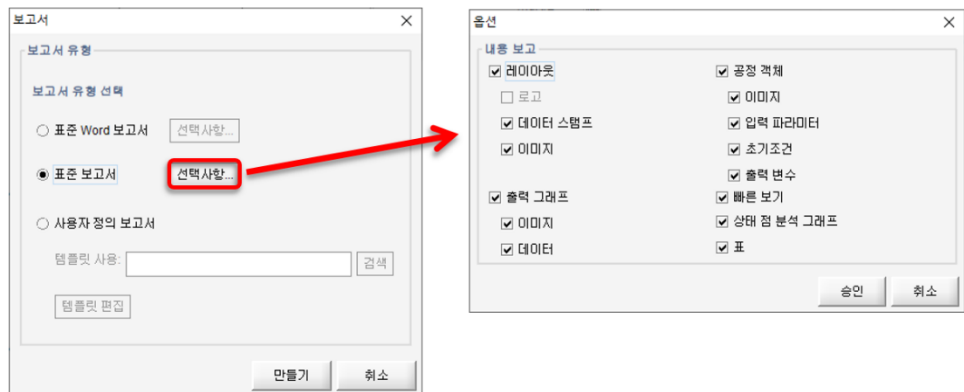


그림 4-15 보고서 만들기 마법사

### 20. 표준 보고서를 선택합니다.

옆의 **선택사항** 버튼을 이용하여 사용자는 보고서에서 특정 데이터를 포함하거나 제외할 수 있습니다.

### 21. 만들기 버튼을 클릭합니다.

파일 탐색기 창이 나타나고 사용자는 적절한 디렉토리 및 파일명을 선택할 수 있습니다.

파일을 만든 후 파일을 열 것인지 묻는 메시지가 나타납니다. 예(Yes)를 클릭하면 보고서가 Excel에서 열립니다. 다양한 워크 시트를 탐색하여 모델 레이아웃, 각 객체의 세부 사항 및 출력 그래프 데이터를 확인합니다.



## 튜토리얼 5

### 유입수 데이터 & 유입수 조연자

#### 문제 설정

사용자는 운영되고 있는 플랜트의 유입 폐수와 관련된 데이터를 갖고 있을 수 있지만, 이는 GPS-X 에서 유입수 객체 양식을 나타내는 기본 데이터와 유사하지 않을 수 있습니다. 유감스럽 게도, 유입수 폐수의 완전한 특성은 밝혀지지 않았습니다. 그렇기에, 모델에 지정된 기본 유입수 데이터를 실제 데이터와 비교해 유입수 폐수 특성을 추정해야 합니다.

#### 목적


이 튜토리얼에서는 유입수 모델, 유입수 계산에 대한 지역 생물학적 모델의 영향 및 유입수 데이터를 특성화하는 데 도움이 되는 유입수 조연자의 사용법을 알아볼 것입니다.

#### 유입수 데이터


다음의 데이터는 사용자의 플랜트에서 수집된 것으로 유입수의 평균값을 나타냅니다.

표 5-1 평균 유입수 데이터

측정 매개 변수	값	단위
총 COD	365	gCOD/m <sup>3</sup>
암모니아성 질소	26	gN/m <sup>3</sup>
총 TKN	36	gN/m <sup>3</sup>
총 탄소성 BOD5	190	gO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
용해성 COD	68	gCOD/m <sup>3</sup>
총 부유 고형물	210	g/m <sup>3</sup>
휘발성 부유 고형물	168	g/m <sup>3</sup>
용해성 TKN	31	gN/m <sup>3</sup>

1. 메인 도구 모음에서 새로 만들기  를 클릭하여 새 레이아웃을 만듭니다.
2. 드로잉 보드에 유입수 객체를 배치합니다.

공정 테이블의 유입 그룹에서 유입수 객체를 드로잉 보드로 드래그 합니다.

3. 저장  을 클릭하고, 이름은 'tutorial-5'로 합니다.
4. 시뮬레이션 모드로 변경합니다.

시나리오를 사용하여 이 사례 연구에 대한 변경사항을 보여줄 것입니다.

5. **Influent**라는 이름의 새 시나리오를 만듭니다.

새 시나리오를 만드는 방법은 튜토리얼 3의 시나리오 이용하기 섹션을 참조하시기 바랍니다.

6. 유입수 조연자 도구를 엽니다.

이를 위해, 유입수 객체에 우 클릭을 하고, 유입수 > 유입수 성상을 선택합니다.



그림 5-1 유입수 조연자 열기

7. "사용자 입력"에서 값을 조정합니다.

표 5-1의 데이터 목록을 참고하여, 사용자 입력 섹션의 값을 수정할 것입니다. 처음 세 값은 바로 적용 가능합니다. 총 COD, 총 TKN 및 암모니아성 질소 값을 입력합니다.

유입수 조연자 - 라이브러리: mantis2lib - 유입수 모델: codstates - 생물학적 모델: mantis2

사용자 입력			
- 유입수 구성			
cod	총 COD	gCOD/m3	365.0
tkn	총 TKN	gN/m3	36.0
tp	총인	gP/m3	10.0
- 질소 화합물			
snh	암모니아성 질소	gN/m3	26.0
snoi	마질산염	gN/m3	0.0
snoa	질산염	gN/m3	0.0

그림 5-2 조정된 값

입력 값들은 초록색으로 보여지고, 이는 새로 생성한 "Influent" 시나리오의 변동 사항임을 나타냅니다.

8. 표의 나머지 데이터를 유입수 조연자의 해당 값과 대조하여 확인합니다.

나머지 변수는 맨 오른쪽 열 합성 변수 섹션에 있습니다.

값들은 새로운 COD, TKN 및 암모니아 입력 값을 반영하지만, 기본 유입수 분류를 사용합니다. 아래의 표 5-2와 같이 플랜트 실측 데이터는 유입수 조연자 도구에 표시된 계산 값과 차이가 있는 모습입니다.

표 5-2 플랜트 실측 값 vs 계산 값

매개 변수	실측 값	계산 값	단위
총 COD	365	-	gCOD/m <sup>3</sup>
암모니아성 질소	26	-	gN/m <sup>3</sup>
총 TKN	36	-	gN/m <sup>3</sup>
총 탄소성 BOD5	190	188.2	gO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
용해성 COD	68	125.2	gCOD/m <sup>3</sup>
총 부유 고형물	210	185.3	g/m <sup>3</sup>
휘발성 부유 고형물	168	139.0	g/m <sup>3</sup>
용해성 TKN	31	28.9	gN/m <sup>3</sup>

이처럼, 유입수에 대한 계산에서 하나 이상의 기본 설정 (즉, 구성 데이터 또는 화학양론적 비율) 이 실제 폐수와 일치하지 않음을 나타냅니다.

다음 섹션에서는 이러한 불일치를 조정하는데 필요한 단계를 조사할 것입니다.

## 유입수 조연자 사용하기

유입수 조연자 도구는 가능한 간단하게 유입수 흐름의 특성을 만들기 위해 고안되었습니다. 정확한 설정을 찾기 위해 시뮬레이션을 연속 실행할 수 있습니다(슬라이더로 유입수 매개변수를 조정하고 출력물을 관찰하는 동안). 그러나 이 방법은 입출력 설정을 요구하며 다소 시간이 걸릴 수도 있습니다.

유입수 조연자 도구는 모든 입력 및 출력을 대화형 방식으로 표시하므로 사용자가 각 출력에 영향을 주는 입력을 확인하고 모든 종속 조건을 추적할 수 있습니다. 유입수 조연자 창에는 세 개의 열이 있습니다:

- 사용자 입력
- 상태 변수
- 합성 변수

이제 원하는 데이터를 구성하는 다양한 계산과 변수를 살펴보겠습니다.

### 9. 합성 변수 열에서 VSS 변수를 찾아 값을 클릭합니다.

VSS 행이 강조 표시되고 페이지를 위 아래로 스크롤하면 다른 여러 행이 밝은 보라색으로 강조 표시됩니다. 이들은 VSS 값을 계산하는 데 사용되는 변수입니다.

도구 하단 (스크롤 다운)에서 실제 수식이 표시됩니다 (그림 5-4). 이 공식은 클릭 한 값을 계산하기 위해 GPS-X에서 사용된 공식에 해당합니다.

상태 변수	합성 변수	고형물 변수
so DO gO2/m3 0.0	y 총 부유물 n/m3 185.3	vss 휘발성 부유 고형물 g/m3 139.0
xs 느린 생분해성 기질 gCOD/m3 192.4	xiss 총 무기부유 고형물 g/m3 46.3	it VSS/TSS 비율 gVSS/gTSS 0.75
xst PAO의 poly-hydroxy alkanoates gCOD/m3 0.0	scod 용해성 COD gCOD/m3 125.2	cod 총 COD gCOD/m3 365.0
xu 비생분해성 셀 생산물 gCOD/m3 0.0	sbod 용해성 cBOD5 gO2/m3 76.7	bod 총 cBOD5 gO2/m3 188.2
xi 입자성 비활성 물질 gCOD/m3 47.5	bod 용해성 cnBOD5 gO2/m3 204.5	cnBOD5 총 cnBOD5 gO2/m3 337.8
snoa 질산염 gN/m3 0.0	svfa 휘발성 지방산 g/m3 0.0	

그림 5-3 변수 관계를 보여주는 유입수 조연자

Equation for : vss

$$vss = xi / (0.0 + icodtovssxi) + xbh / (0.0 + icodtovssxbh) + xbai / (0.0 + icodtovssxbai) + xbaa / (0.0 + icodtovssxbaa) + bvss * xi / (0.0 + icodtovssxi) + xu / (0.0 + icodtovssxu) + xs / (0.0 + icodtovssxs) + xbt / (0.0 + icodtovssxbt) + xn$$

Change selection by:

- clicking on variable
- moving over variable

그림 5-4 VSS에 대한 공식

10. 측정 값과 모델 예측 값을 맞추기 위해 유입수 매개변수 (분율 또는 농도)를 조정합니다.

입자성 VSS 대 TSS 비율은 TSS의 계산에 사용된다는 점을 유의하시기 바랍니다. 합성 변수 테이블에서 총 부유물 (x)을 선택합니다. 이것은 기존 데이터에서 계산할 수 있는 몇 가지 중요한 관계 중 하나입니다. 예를 들어:

$$\text{VSS:TSS 비율 (ivt)} = 168/210 = 0.8$$

11. 이 값을 사용자 입력 섹션의 유입수 분율 항목에 입력합니다.

이렇게 하면 우리가 원하는 결과 값에서 보다 멀어집니다. 추가 변경이 필요합니다.

12. 합성 변수 섹션의 VSS를 클릭하여 계산 공식을 표시합니다.

공식의 각 항들을 클릭하면서, VSS가 xi (입자성 비활성 물질), xu (비생분해 셀 생산물) 및 xs (느린 생분해 기질)와 같은 입자성 유기 화합물의 함수인지를 알 수 있습니다.

VSS의 현재 값은 우리의 목표 값보다 낮습니다. 즉, 더 많은 유입수 COD를 입자성 형태로 (용해성 형태보다는 적은) 분배해야 합니다.

13. 입자성 COD의 농도를 높이기 위해 사용자 입력 섹션의 유기물 분율 (Organic Fractions) 항목을 조절합니다.

다음과 같이 화학양론비(stoichiometric ratios)를 조정합니다:

- 총 COD의 용해성 비활성분율을 0.02로 설정
- 총 COD의 생분해성 분율을 0.15로 설정
- 느리게 생분해하는 COD의 콜로이드 분율을 0.03로 설정합니다.

이러한 변화는 더 많은 COD를 xs (천천히 생분해되는 기질) 상태 변수로 강제적으로 전환시켜 VSS와 TSS를 증가시킵니다.

14. 합성 변수 섹션의 기타 질소 변수 항목에서 용해성 TKN (stkn) 값을 조정합니다.

방정식을 클릭하여 조정할 적절한 입력 매개 변수를 결정하고 필요한 변경을 합니다. 질소 변수를 조정하면 TSS가 변경됩니다. 유입수 COD 분율을 추가로 조정하여 TSS를 목표치로 되돌립니다.

**참고:** 각각의 폐수들은 서로 다르고, 실제 플랜트의 동작과 일치하는 모델링 결과 특성을 얻기 위해 매개 변수의 조정이 필요합니다. 즉, 사용자는 모델의 결과값과 실측값의 관계를 파악하여 미지의 변수들을 조정하고, 유입수 성상을 실제와 유사하게 맞춰줘야 합니다.

본 튜토리얼에서 진행한 유입수 조연자 조정에 대한 결과는 아래 그림 5-5와 표 5-3에 나와 있습니다.

사용자 입력			
Influent Composition			
cod	총 COD	gCOD/m3	365.0
tkn	총 TKN	gN/m3	36.0
tp	총인	gP/m3	10.0
Nitrogen Compounds			
snh	암모니아성 질소	gN/m3	26.0
snoi	마질산염	gN/m3	0.0
snoa	질산염	gN/m3	0.0
Phosphorus Compounds			
sp	오르토인산	gP/m3	8.0
xpp	PAO에 저장된 다인산염	gP/m3	0.0
Influent Fractions			
ivsstotss	VSS/TSS 비율	gVSS/gTSS	0.8
Organic Fractions			
frsi	총 COD의 용해성 비활성분율	-	0.02
frss	총 COD의 생분해성 분율	-	0.15
frxi	총 COD의 입자성 비활성 분율	-	0.13
frscol	느리게 생분해하는 COD의 콜로이드 분율	-	0.03
Nitrogen Fractions			
frsnh	용해성 TKN의 암모니아 분율	-	0.85
insi	가용 비활성 물질의 질소 함량	gN/gCOD	0.05
inxi	비활성 입자성 물질의 N 함량	gN/gCOD	0.05

그림 5-5 사용자 입력

표 5-3 플랜트 실측 값 vs 계산 값 및 입력 값

매개 변수	실측 값	입력 값	계산 값	단위
총 COD	365	365	-	gCOD/m <sup>3</sup>
암모니아성 질소	26	26	-	gN/m <sup>3</sup>
총 TKN	36	36	-	gN/m <sup>3</sup>
총 탄소성 BOD5	190		188.5	gO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
용해성 COD	68		69.7	gCOD/m <sup>3</sup>
총 부유 고형물	210		209.7	g/m <sup>3</sup>
휘발성 부유 고형물	168		167.7	g/m <sup>3</sup>
용해성 TKN	31		30.6	gN/m <sup>3</sup>
		0.8		gVSS/gTSS
총 COD의 용해성 비활성분율		0.02		
총 COD의 생분해성 분율		0.15		
느리게 생분해하는 COD의 콜로이드 분율		0.03		
용해성 TKN의 암모니아 분율		0.85		

## 유입수 조연자 경고

부적절하게 특성화된 유입수의 결과로 인해 경고 메시지가 발생하도록 유입수 성상을 변경할 것입니다.

15. 총 TKN 값 (tkn)을 15gN/m3로 변경하고 엔터 키를 클릭합니다.

유입수 조연자 - 라이브러리: mantis2lib - 유입수 모델: codstates - 생물학적 모델: mantis2

사용자 입력			
- 유입수 구성			
cod	총 COD	gCOD/m3	365.0
tkn	총 TKN	gN/m3	15.0
tp	총 인	gP/m3	10.0
- 질소 화합물			
snh	암모니아성 질소	gN/m3	26.0
snoi	아질산염	gN/m3	0.0
snoa	질산염	gN/m3	0.0
- 인 화합물			
sp	오르토인산	gP/m3	8.0
xpp	PAO에 저장된 다인산염	gP/m3	0.0

상태 변수				합성 변수			
- 용해성 가스				- 고형물 변수			
so	DO	gO2/m3	0.0	x	총 부유물	g/m3	177.8
+ 기타 용해성 가스				vss	취발성 부유 고형물	g/m3	142.2
+ 기타 용해성 유기 변수				xiss	총 무기부유 고형물	g/m3	35.6
+ 기타 입자성 유기 화합물				ivt	VSS/TSS 비율	gVSS/gTSS	0.8
- 질소 변수				- 유기 변수			
snh	암모니아성 질소	gN/m3	26.0	scod	용해성 COD	gCOD/m3	69.7
snoi	아질산염	gN/m3	0.0	cod	총 COD	gCOD/m3	365.0
snoa	질산염	gN/m3	0.0	sbod	용해성 cBOD5	gO2/m3	44.8
- 기타 질소 변수				bod	총 cBOD5	gO2/m3	188.5
snd	용해성 유기 질소	gN/m3	1.0	stbod	용해성 cnBOD5	gO2/m3	182.9
xns	느리게 생분해하는 기질에서 질소	gN/m3	-18.0	itbod	총 cnBOD5	gO2/m3	244.5
- 인 변수				svfa	취발성 지방산	g/m3	0.0
sp	오르토인산	gP/m3	8.0	+ 기타 유기 변수			
+ 기타 인 변수				- 질소 변수			
- 바이오매스 변수				snox	아질산염 및 질산염	gN/m3	0.0
xbh	중속영양미생물	gCOD/m3	0.0	tkn	총 TKN	gN/m3	15.0
xbai	암모니아 산화 바이오매스	gCOD/m3	0.0	tn	총 질소	gN/m3	15.0
xbaa	아질산염 산화제 바이오매스	gCOD/m3	0.0	tnn	총 질소화성 유기 질소	gN/m3	2.74
xbp	인산 축적 미생물	gCOD/m3	0.0	+ 기타 질소 변수			
xbf	발효 미생물	gCOD/m3	0.0	- 인 변수			
xbpro	아세트산생성 바이오매스	gCOD/m3	0.0	stp	용해성 총인	gP/m3	8.07
xbacm	아세트산생성 메탄생성 바이오매스	gCOD/m3	0.0	tp	총 인	gP/m3	10.0

그림 5-6 유입수 조연자 내 에러의 예

일부 상태 변수와 합성 변수가 빨간색으로 강조 표시됩니다. 이는 음의 농도를 가리키며 때때로 유입수 데이터가 일반적이지 않거나 그 성상이 미흡하기 때문일 수 있습니다. 음의 유입수 농도는 물질 수치 오류와 수렴 문제를 야기할 수 있으므로, 시뮬레이션을 진행하기 전에 반드시 이를 해결해야 합니다.

적절하지 않은 성상의 유입수를 승인하고자 시도하면, 팝업창이 나타나며 음수의 상태 혹은 합성 변수를 유발할 수 있는 입력 값이 있음에 대한 경고가 나타납니다. 이 값이 수정되기 전까지 해당 성상은 승인되지 않음을 유의하시기 바랍니다.

## 동적 데이터 검증



사용자는 동적 데이터 검증 도구를 통해 동적 시뮬레이션을 실행하기 전, 동적 입력 데이터 세트에 대한 검증을 수행할 수 있습니다. 이 도구는 데이터를 입력하고, 각 시간격마다 유입수 성상 계산을 수행함으로써 음의 값이 있는지 확인합니다.

### 16. 동적 데이터 검증 도구를 선택합니다.

동적 데이터 검증 도구는 유입수 조연자 도구 창의 하단에 있는 툴바에서 찾을 수 있습니다.



그림 5-7 유입수 조연자 툴바

### 17. 동적 데이터 검증 도구 창이 열리고 입력 및 출력 데이터 파일에 대한 경로를 추가하게 됩니다.

입력 파일을 준비할 수 있는 방법에는 두 가지가 있습니다.

- A. 검색을 클릭하여, GPS-X 프로그램 외부에서 수기로 만든 템플릿을 적용하는 방법입니다. (변수가 여러 개인 경우에 적합). 스프레드 시트를 직접 준비하는 방법에 대한 설명은 튜토리얼 6에서 자세히 설명할 것입니다.
- B. 템플릿 만들기를 클릭하여, 파일을 자동으로 생성할 수 있습니다. (단일 변수인 경우에 적합)

이 튜토리얼에서는 방법 B를 사용하겠습니다.



그림 5-8 동적 데이터 검증 창



18. 템플릿 만들기를 누릅니다.

19. 매개변수를 선택합니다.

다음의 매개변수를 선택합니다.

- cod / 총 COD
- tkn / 총 TKN
- snh / 암모니아성 질소

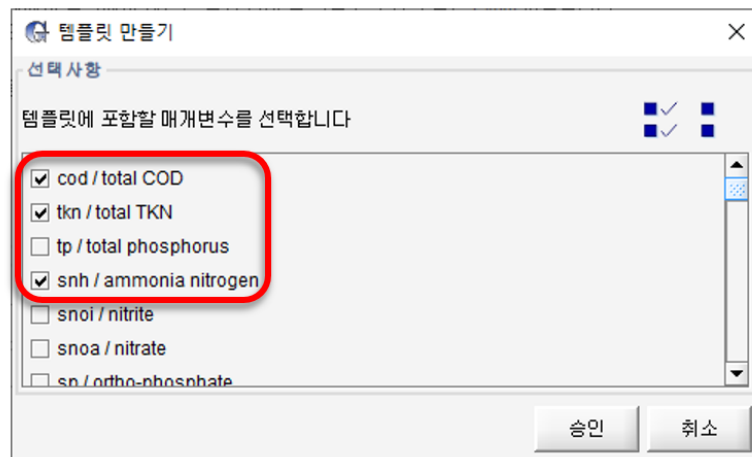


그림 5-9 동적 데이터 검증 매개변수 선택

20. 승인을 눌러 파일을 저장합니다.

레이아웃과 동일한 이름으로 활성 디렉토리에 엑셀 시트를 저장하게 된다는 메시지가 나타납니다. 저장(Save)을 클릭합니다.

21. 파일을 엽니다.

GPS-X에서 새로 생성된 스프레드시트를 열지 묻는 메시지가 나타납니다. 예(Yes)를 선택합니다.

	A	B	C	D
1	t	codcon1	tkncon1	snhcon1
2	d	gCOD/m3	gN/m3	gN/m3
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				

그림 5-10 GPS-X에서 생성된 엑셀 시트

22. 표 5-4에서 찾을 수 있는 데이터를 입력 파일 내에 입력합니다. 표에서 **빨간색**으로 표시된 값들은 성상이 미흡하게 지정된 값들에 해당하며, 이로 인해 유입수 조연자에서 음수값을 계산하게 될 것입니다.

표 5-4 플랜트 실측 값 vs 계산 값 및 입력 값

t	codcon1	tkncod1	snhcod1
d	gCOD/m <sup>3</sup>	gN/m <sup>3</sup>	gN/m <sup>3</sup>
0	370	36	25
1	375	36	<b>40</b>
2	374	37	25
3	376	38	26
4	373	40	29
5	378	42	28
6	380	<b>15</b>	28

23. 엑셀을 저장합니다.

24. 출력 파일을 만듭니다.

출력 파일 입력 필드 옆에 위치한 **검색** 버튼을 클릭합니다. 현재 작업 디렉토리 내에 출력 파일을 생성할 것인지 묻는 메시지가 나타납니다. **저장**을 클릭합니다.

25. 데이터 검증  을 클릭합니다.

데이터 검증의 결과가 출력 파일에 기록됩니다. 데이터 검증 후, GPS-X는 출력 파일을 열 것인지 묻는 메시지가 나타납니다. **네(Yes)**를 선택합니다.

26. 동적 데이터 검증의 출력 파일이 아래 그림 5-11과 같이 나타납니다.

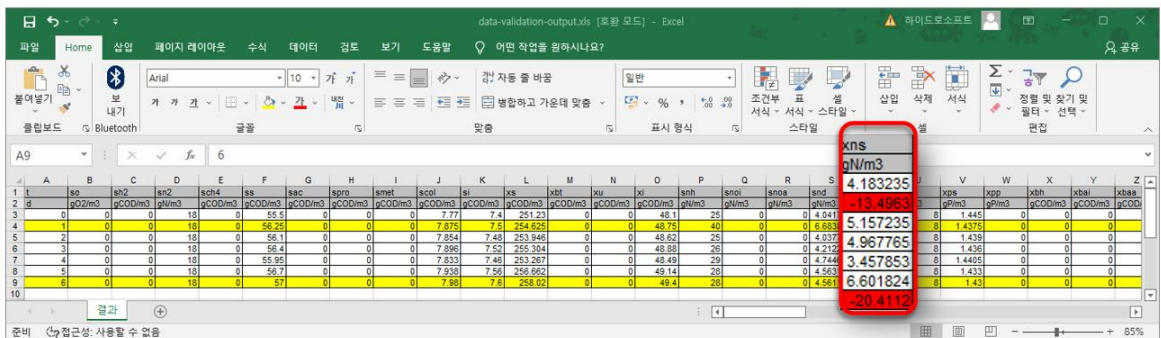


그림 5-11 동적 데이터 검증 결과

4번과 9번 행이 **노란색**으로 강조되고 **빨간색**으로 표시된 셀이 포함되어 있는 것을 확인하시기 바랍니다. 노란색 행은 이 시간격에서 사용된 유입수 조건으로 인해 유입수 성상 내 계산된 음수 값이 발생하였다는 것을 나타냅니다. 빨간색 셀은 유입수 성상 내 계산된 음수 값을 표시합니다.

## 튜토리얼 6

### 데이터 입력과 출력

---

#### 문제 설정

사용자는 폭풍과 같이 역동적이고, 급격히 변하는 조건하에서 플랜트를 실험하는데 관심이 많겠지만, 유감스럽게도 실제 강우의 실시간 데이터에는 연결할 수는 없습니다. 따라서 사용자는 플랜트에 모의된 강우 부하를 생성하고 이 데이터를 모델에 대한 운전 조건으로 입력할 것입니다. 그리고 강우 기간 동안의 단계별 주입의 영향에 대해 알아볼 것입니다.

대화형 제어기를 이용하여서 손쉽게 모델의 다이내믹한 반응을 검토할 수 있습니다. 그러나 대부분의 프로젝트에서 실제 현장의 조건에 따라 모델이 어떻게 움직일지 조사하기 위함이 아니라면, 굳이 입력조건을 똑같이 맞출 필요는 없습니다. 입력조건은 유량, 유입수 농도 혹은 기타 모델 변수 등에 해당하지만 항상 다이내믹 데이터를 필요로 하지 않습니다. 일반적인 동적 자료는 일정한 사이클 주기 동안 공정에 유입되는 유입 유량일 것입니다. GPS-X는 모델이 실제 상황에서 사용될 수 있도록 이 데이터의 입력을 용이하게 합니다.

#### 목적

이번 장에서는 다음과 같은 GPS-X의 주요한 특징을 살펴보도록 합니다.

- 시뮬레이션을 제어하기 위한 입력 자료로써 **data file**을 사용하기

## 동적 입력자료 설정

1. 튜토리얼 2의 레이아웃을 열어서 'tutorial-6'로 저장합니다.
2. 시뮬레이션 모드에서, 입력 제어를 만듭니다.

입력 제어기와 관련된 상세한 설명은 튜토리얼 2를 참고하시기 바랍니다. 유입수 객체를 마우스 우 클릭하고, 유입수 > 유입수 성상을 클릭합니다.

유입수 조연자는 화면 대부분의 공간을 차지합니다. "사용자 입력"열과 "상태 변수"열 사이의 작은 오른쪽 화살표 (그림 6-1 참조)를 클릭하여 창을 축소하고 "사용자 입력"열을 제외한 나머지를 숨깁니다.

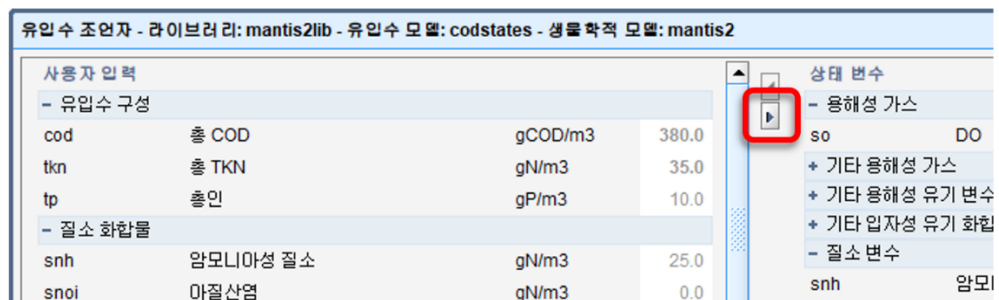


그림 6-1 유입수 조연자 축소

총 COD, 총 TKN, 암모니아성 질소를 입력 제어창에 드래그 합니다.

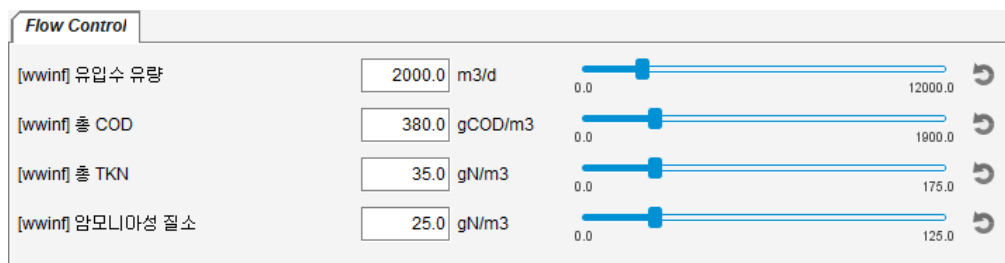


그림 6-2 새 입력 제어기


다음 순서는 시뮬레이션 동안 GPS-X에서 읽을 데이터파일을 설정하는 과정입니다. 데이터파일 설정 시 두 가지 방법이 있습니다. 사용자는 아래의 방법 중에서 선택하여 데이터파일을 작성하면 됩니다.

- A. 데이터 파일 변수가 여러 개 일 경우 엑셀에서 데이터를 미리 만들어서, GPS-X 시나리오> 구성 메뉴에서 데이터 파일을 선택하기
- B. 데이터 파일로 이용한 변수가 한 개일 경우, GPS-X 인터페이스에 있는 데이터 파일... 메뉴를 이용하여 작성하기

본 튜토리얼에서는 이들의 사용법을 보여주기 위하여 두 가지 방법 모두 사용할 것입니다.

### 방법 A: 엑셀 입력 파일 수동으로 준비하기



3. GPS-X 메인 툴바에서 데이터 파일  을 클릭합니다.
4. 새로운 입력창 만들기를 눌러 데이터 파일 생성 마법사를 엽니다.

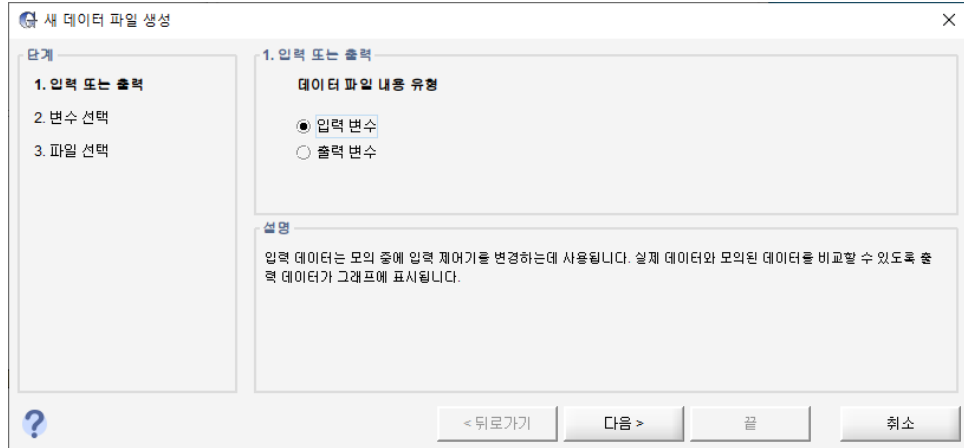


그림 6-3 데이터 파일 생성 마법사

5. “입력 변수”를 선택한 상태에서 다음을 클릭합니다.

사용자가 입력 제어 창에 추가한 모든 제어기에 대해 데이터 파일을 추가할 수 있습니다.

유량 제어(Flow Control) 탭에서, 유입수 유량, 총 COD, 총 TKN, 암모니아성 질소를 모두 선택합니다. 다음을 선택합니다.

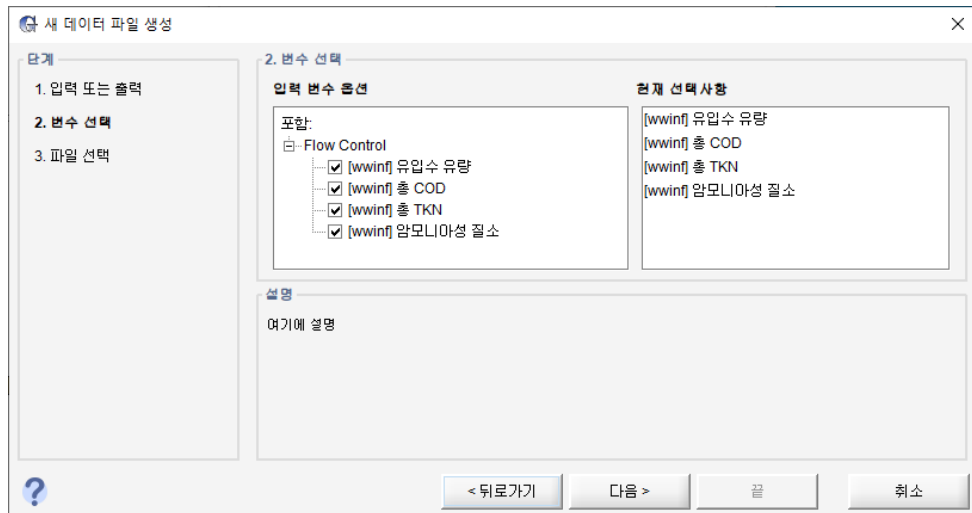


그림 6-4 입력 변수 선택

6. 파일의 저장 위치를 지정합니다.

기본적으로 GPS-X는 레이아웃과 동일한 이름으로 활성 디렉토리 내에 해당 엑셀 시트를 저장하게 됩니다. **끝**을 클릭합니다.

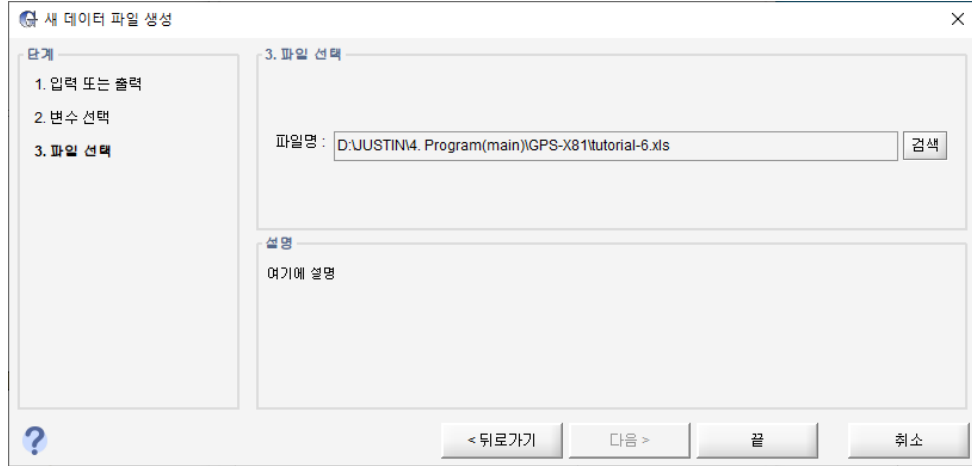


그림 6-5 새 데이터 파일 저장하기

7. 파일을 여시기 바랍니다.

저장 후, 새 파일을 열 것인지 묻는 메시지가 나타납니다. **네(Yes)**를 클릭합니다.

	A	B	C	D	E
1	t	qconwwinf	codconwwinf	tknconwwinf	snhconwwinf
2	d	m3/d	gCOD/m3	gN/m3	gN/m3
3					
4					

그림 6-6 GPS-X에서 만든 입력 데이터 파일

이 튜토리얼에서 사용할 데이터 파일을 만들었습니다. GPS-X 설치 위치에서 **layouts > 08tutorials** 내 있는 다음의 엑셀 시트를 찾아 열어 줍니다. **“tutorial-6-example-data.xls”**

	A	B	C	D	E
1	t	qconwwinf	codconwwinf	tknconwwinf	snhconwwinf
2	d	m3/d	gCOD/m3	gN/m3	gN/m3
3	0	2000	370	36	25
4	0.25	2000	375	36	25
5	0.5	2000	374	36	25
6	0.75	2000	376	36	26
7	1	2000	380	38	29
8	1.25	2000	378	40	28
9	1.5	2000	380	42	28
10	1.75	2180	390	38	30
11	2	2470	400	38	29
12	2.25	2920	415	34	26
13	2.5	3090	424	31	24
14	2.75	3290	421	29	20
15	3	3370	408	25	19
16	3.25	3700	397	24	18

그림 6-7 “tutorial-6-example-data.xls”의 내용

이 파일의 데이터를 동적 데이터 세트로 사용할 것입니다. 이는 사용자가 시간 경과에 따른 유입 수 부하의 변화를 시뮬레이션 하는데 사용할 수 있는 일반적인 유입수 입력 데이터 세트입니다.

첫 번째 열은 시간에 대해 "t"로 표시되고 일의 단위 "d"입니다.

나머지 열은 각 파라미터에 대한 데이터를 의미합니다. 상단의 이름들은 각 변수에 대한 GPS-X 에서 인식하는 내성 변수(Cryptic variable name)의 이름입니다. 이 이름은 사용자가 레이아웃을 만들 때 작성하는 라벨에 따라 달라지므로, 사용자는 데이터 파일을 작성할 때 라벨을 확인하여 작성해야 합니다.

8. 내성변수를 쉽게 알기 위해서는 그림 6-8과 같이 해당 메뉴에 마우스 커서를 대면 작은 팝업창으로 해당 메뉴의 내성변수를 알 수가 있습니다.

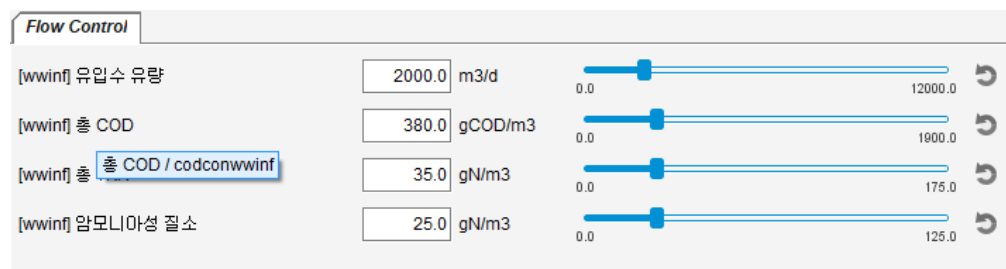


그림 6-8 툴팁을 이용하여 내성변수 보기

이 튜토리얼에 4가지 변수에 대한 내성 변수 이름은 다음과 같습니다.

- qconwwinf – 유입수 유량
- codconwwinf – 총 COD
- tknconwwinf – 총 TKN
- snhconwwinf – 암모니아성 질소

만약 사용자가 원하는 변수가 입력 컨트롤러 상에 있지 않다면, GPS-X 찾기 기능을 사용하여 해당 내성 변수를 신속하게 찾을 수 있습니다.

**찾기 도구를 실행합니다.** 찾기 기능은 메인 툴바에서 편집 > 찾기로 이동하거나 간단히 Ctrl+F 키 조합을 사용하셔도 됩니다.

찾기 창 아래의 ‘입력/출력 변수 찾기’ 섹션을 보면 키워드나 내성(Cryptic) 중 하나를 선택하는 토글 버튼과 입력 칸이 있습니다.

내성 변수 이름으로 검색하고 싶는데 원래 이름의 일부분만 알고 있는 경우, 키워드 옵션을 선택한 상태에서, 입력 필드에 ‘total COD’라고 원래 이름을 입력하면 됩니다. 이렇게 하면 해당 키워드가 포함된, 해당 모델 내 모든 변수가 검색됩니다. 찾아진 변수들은 관련된 객체별로 그룹을 이루어 표시됩니다. 변수와 연관된 흐름 라인이 각 이름 앞에 나타나 있습니다. (예. Wwwinf)

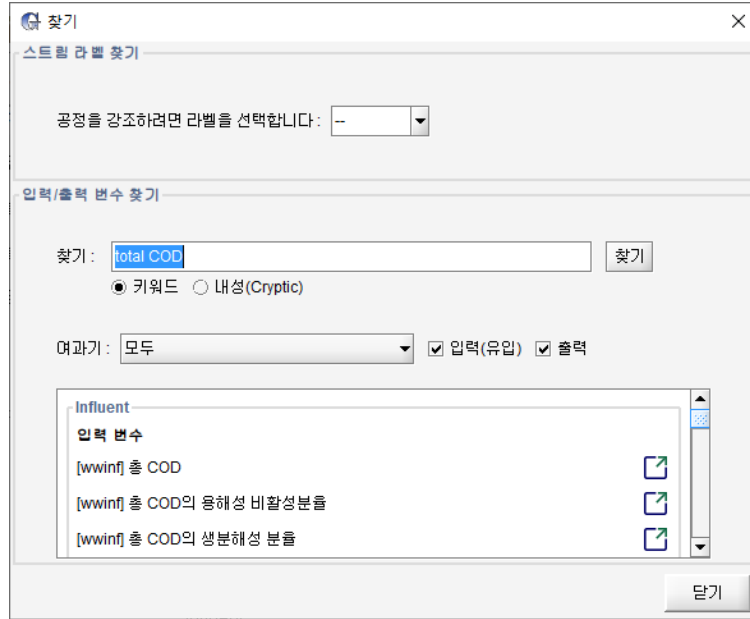


그림 6-9 모델 내 모든 총 COD 예시 찾기

만약 어떤 변수와 연관된 흐름 라인을 사용자가 알아보지 못하는 경우, **스트림 라벨 찾기** 섹션의 “공정을 강조하려면 라벨을 선택합니다” 드롭다운 메뉴를 사용하여 해당 스트림을 선택합니다. 이 드롭다운 메뉴를 사용하면 해당 스트림이 시작되는 객체가 레이아웃 상에 강조됩니다. 예를 들어, 드롭다운 메뉴에서 스트림 “fe1”을 선택하면 침전지가 강조됩니다. (그림 6-10)

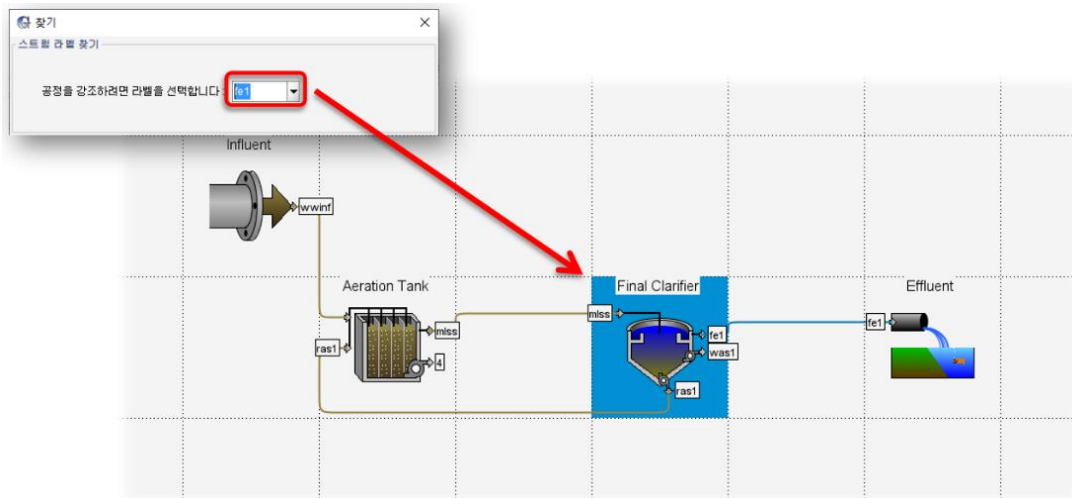



그림 6-10 스트림 라벨 찾기 기능의 활용



유입수(**Influent**) > 입력 변수 아래 관심 있는 변수에 대해, 우측에 위치한 위치로 이동  을 클릭하면 이 변수가 정의된 창으로 이동됩니다. 나타난 창에서의 변수 이름 위에 커서를 올려 두면 툴팁이 나타나며, 해당 툴팁에는 내성 변수 이름이 나타나 있습니다.



이 방법 외에 찾기 기능을 통해, 영문 내성 변수 이름을 직접 입력해서 찾아도 됩니다.

이 방법 외에 GPS-X 출력을 통해 내성 변수 이름이 주어진 경우, 찾기 기능을 통해 내성 변수 이름을 직접 입력하여 찾으실 수 있습니다. 예를 들어, 찾기 창을 연 후, cryptic (내성 변수) 옵션을 선택하고 찾기 필드에 "codconwwinf"를 입력해봅니다. 찾기 버튼을 누르면 codconwwinf가 포함된 내성 변수 이름을 지닌 입력 및 출력 변수가 나타나게 됩니다.

**참고:** "wwinf"라는 내성 변수의 이름은 유입수의 흐름 라인 라벨에서 온 이름입니다. 만약, 사용자가 유입수 흐름 라벨의 명칭을 "1"로 한다면, 유입수의 내성변수는 "qcon1"이 될 것입니다.

9. 시나리오 구성 메뉴로 갑니다.

하단의 시나리오 메뉴를 클릭하고, 구성을 선택합니다.



그림 6-11 시나리오 > 구성 메뉴 선택하기

구성 창에는 사용가능한 모든 시나리오가 표시됩니다. 현재 튜토리얼에서는 기본 시나리오만 나타나 있습니다. 기본 시나리오를 선택하고, 데이터 파일을 클릭합니다.

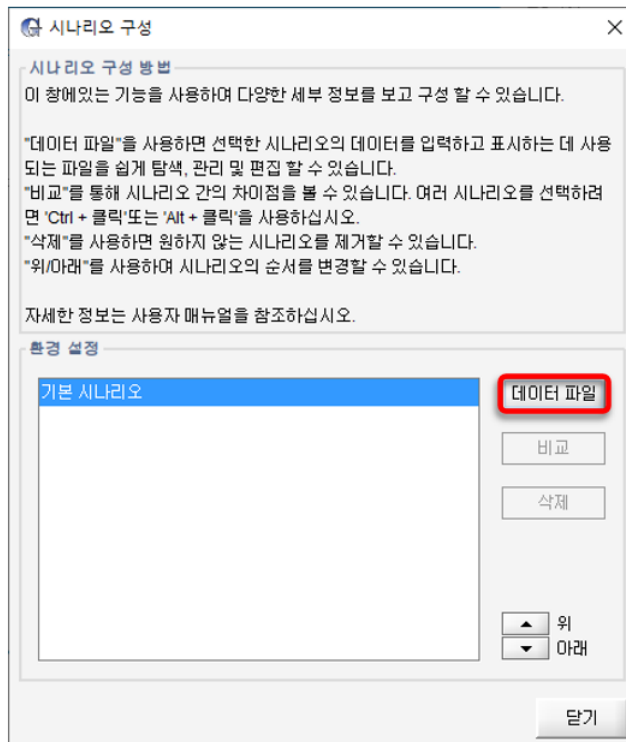


그림 6-12 데이터 파일 버튼이 있는 시나리오 구성 창

## 10. 데이터 파일을 추가합니다.

데이터 파일 창에는 이 시나리오에서 현재 사용중인 모든 파일이 표시됩니다. 지금은 파일이 표시되지 않습니다. 위에 준비된 Excel 파일을 추가하기 위해 **추가...** 버튼을 누르고, GPS-X 설치 파일 내 **layout > 08 tutorials** 폴더 내 있는 **"tutorial-6-example-data.xls"**을 선택합니다.

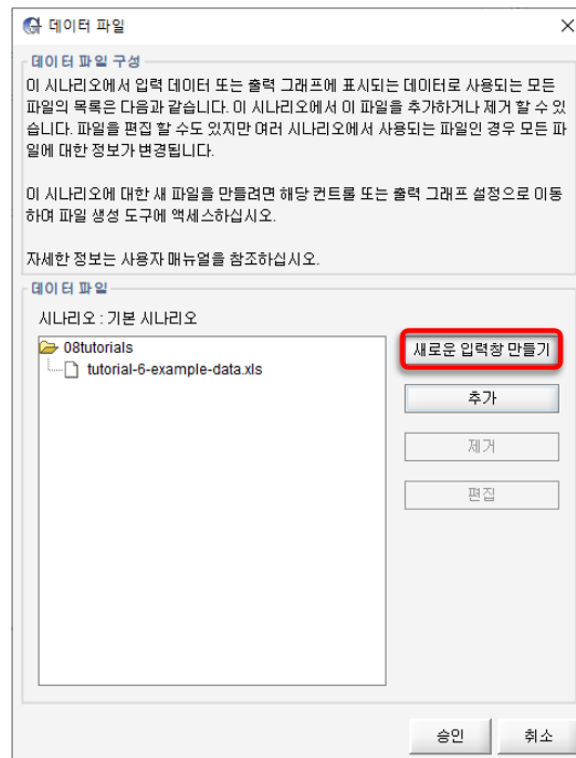


그림 6-13 시나리오에 파일 추가하기

## 11. 변경 사항을 승인하고, 시나리오 구성 창을 닫습니다.

입력에 대한 대화식 슬라이더가 직접 편집할 수 없는 파일 입력 컨트롤로 자동 변경되었습니다. 이제 해당 제어기들은 파일에서 값을 읽습니다.

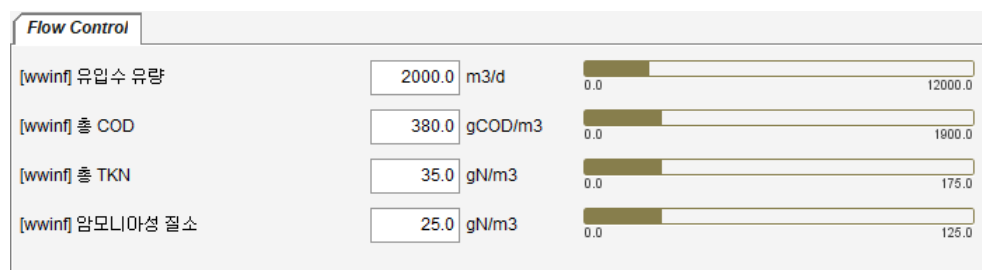


그림 6-14 파일 입력으로 변경된 컨트롤러

## 12. 정상상태에 체크하고 5일간 시뮬레이션을 실행합니다.

시뮬레이션이 진행됨에 따라 유입수 유량과 농도 값이 입력 제어기에서 변경됩니다. 모델은 증가하는 유출수 고품물에서 볼 수 있듯 변화하는 유입 값에 동적으로 반응합니다.

### 방법 B: GPS-X 데이터 파일 도구 사용하기

상기 방법은 많은 매개 변수에 대한 데이터를 동시에 읽는 시뮬레이션에 유용하며 스프레드 시트에서 외부로 데이터를 쉽게 모을 수 있습니다.

하나 또는 두 개의 매개 변수가 파일에서 읽히고 GPS-X에 직접 값을 입력하고자 하는 간단한 시뮬레이션에 유용한 또 다른 옵션이 있습니다. 이 경우 **데이터 파일 도구**를 사용할 수 있습니다.

#### 13. 다른 입력 제어를 생성합니다.

레이아웃 배경에서 빈 공간을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **시스템 > 입력 변수 > 물리적 환경 설정**을 선택합니다.

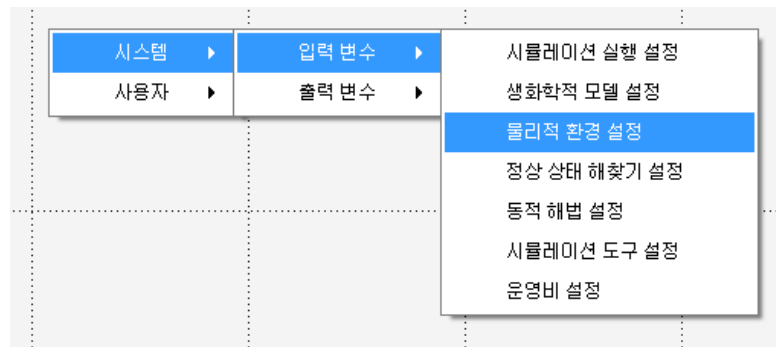


그림 6-15 물리적 환경 설정 열기

수온을 새 입력 탭으로 드래그합니다. (즉, 현재 탭 이름 옆의 빈 공간에 놓습니다). 이렇게 하면 새 탭에 새 슬라이드 제어가 만들어집니다.

#### 14. 탭 이름을 "Temperature"로 변경합니다.

#### 15. 수온 입력 제어기에 대한 데이터 파일 도구를 엽니다.

제어기 라벨(수온)을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **데이터 파일...** 옵션을 선택합니다. 새 창이 나타날 것입니다.

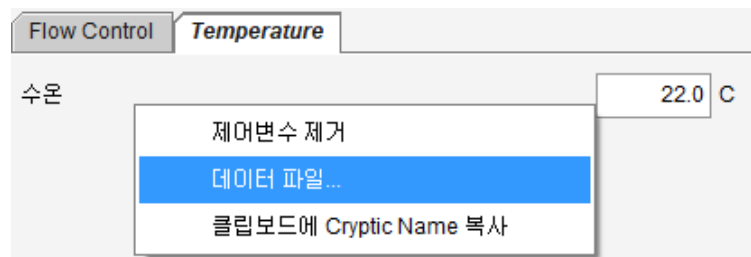


그림 6-16 데이터 파일 도구

## 16. 아래 표를 참조하여 데이터 양식을 입력합니다.

표에 있는 값을 복사하여, 데이터 파일 테이블에 붙여 넣습니다.

표 6-1 수온 제어기에 대한 데이터

Time (d)	Temp(°C)
1	17
2	18
3	20
4	22
5	24

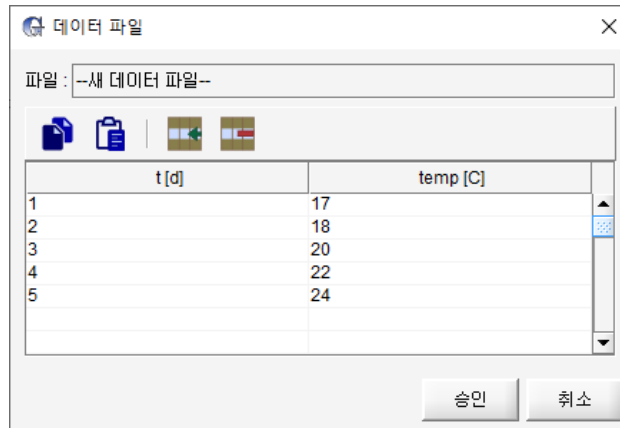


그림 6-17 데이터 파일 도구에 값 입력하기

## 17. 승인을 눌러 데이터를 저장합니다.

파일을 저장하라는 메시지가 나타납니다. 기본 위치는 레이아웃 파일과 동일한 디렉토리이며 기본 이름은 연결된 변수의 이름이 있는 레이아웃의 이름입니다. 이러한 기본값이 보통 적절하므로 저장을 클릭하여 파일을 저장합니다.

수온 입력에 대한 대화형 슬라이더가 자동으로 파일 입력 제어 막대로 변경되어 더 이상 수동으로 조정할 수 없음을 유의합니다.

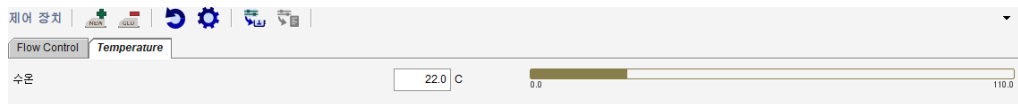


그림 6-18 수온 입력 제어기에 대한 데이터 입력

## 18. 정상 상태를 켜서 5일간 시뮬레이션 합니다.

시뮬레이션이 진행되면서 유입수 유량, 농도 및 온도의 값이 데이터파일을 읽어서 입력 제어 창에서 변화하는 것을 알 수 있습니다.

### 시뮬레이션 결과와 함께 측정 데이터 나타내기

이전 섹션에서는 입력 데이터를 시뮬레이션 파일로 가져오는 방법에 대해 설명했습니다. 이 섹션에서는 시뮬레이션 된 결과와 함께 측정된 결과 데이터를 가져와서 그래프에 표시하는 방법을 소개합니다. 이는 플랜트의 측정 값을 GPS-X에서 제공한 시뮬레이션 결과와 비교하는데 편리합니다. 또한 프로세스를 쉽게 보정하고 최적화할 수 있습니다(최적화에 대한 자세한 내용은 튜토리얼 10 참조).

#### 19. 예제의 측정 데이터가 있는 스프레드시트 파일을 만듭니다.

아래 표는 예제 플랜트의 최종 유출수에 대해 관측된 총 부유 고형물 데이터의 예입니다. 이 정보로 데이터 파일을 만들고 레이아웃 파일과 동일한 디렉토리에 저장합니다.

표 6-2 측정 데이터

T	Xfe1
d	mg/L
0	12
1	11.8
2	13.7
3	18
4	25
5	28

	A	B
1	t	xfe1
2	d	mg/L
3	0	12
4	1	11.8
5	2	13.7
6	3	18
7	4	25
8	5	28

그림 6-19 값이 입력된 엑셀 시트

최종 폐수(xfe1)의 총 부유 고형물에 대한 내성 변수 이름은 출력 그래프를 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 드롭 다운 메뉴에서 출력 그래프 설정을 선택하여 확인할 수 있습니다. 마우스 커서를 변수 레이블 위에 올려 놓으면 그림 6-20과 같이 이름/내성 정보와 함께 툴팁이 나타납니다. 이 값은 스프레드시트 파일의 첫 번째 행에 있는 이름과 일치해야 합니다.

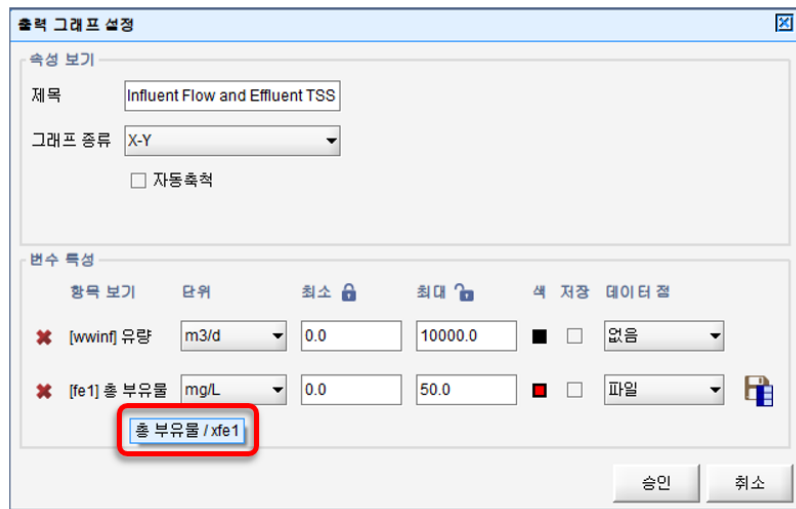


그림 6-20 내성 변수 이름을 보여주는 툴팁

20. 데이터 파일을 추가합니다.

이전 섹션에서 레이아웃에 입력 데이터 파일을 추가한 것과 동일한 절차에 따라 시나리오 > 구성에서 새 파일을 레이아웃에 추가합니다.

21. 정상상태를 선택하고 5일 간의 시뮬레이션을 실행합니다.

측정된 데이터의 데이터 포인트는 그림 6-21와 같이 그래프에 다이아몬드 모양의 점으로 표시됩니다.

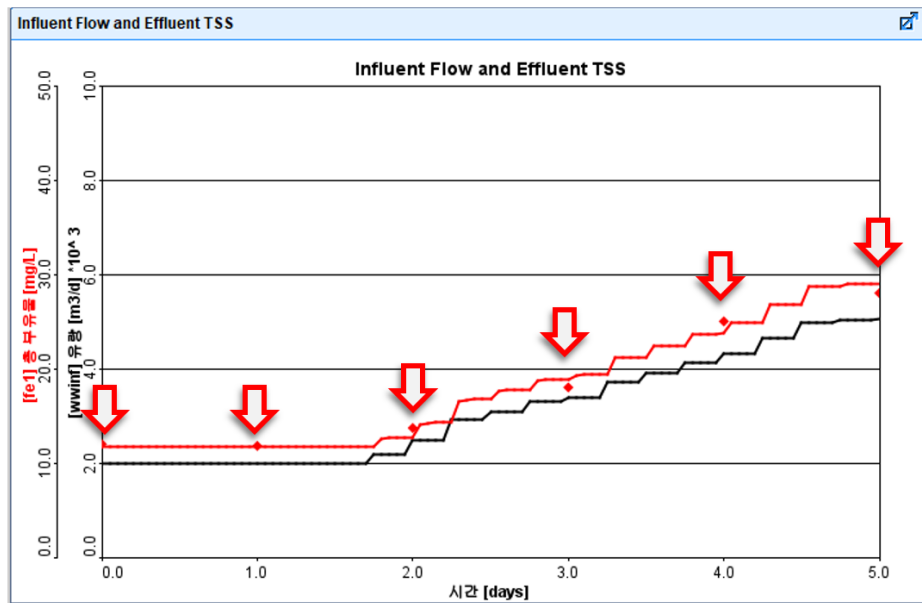


그림 6-21 측정 데이터 값을 보여주는 그래프

### 모델 수행도에 대한 통계 분석

GPS-X 내에서 통계학적 분석을 수행하여 관측된 데이터를 재현하는 모델의 능력을 테스트할 수 있습니다. 통계학적 분석은 플롯상 표시된 데이터 지점들을 지니고 있는, X-Y 시계열 출력 플롯에 대해서만 수행이 가능합니다.

22. 5일간 시뮬레이션을 수행합니다.

23. 통계 메뉴를 엽니다.

그래프 상 아무 곳에서도나 우 클릭한 뒤, 통계 > [fe1] 총 부유물을 선택하시면 됩니다.

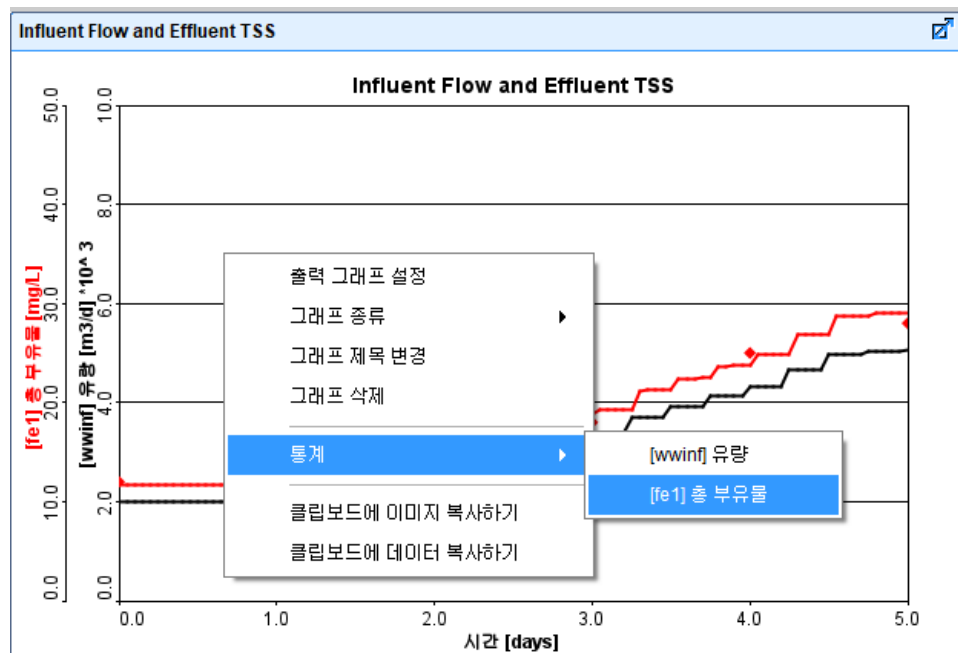


그림 6-22 총 부유 고형물에 대한 통계 메뉴 가기

24. 통계 메뉴에서 적절한 옵션을 선택합니다.

다양한 모델 적합성과 잔차 분석이 제공됩니다. 모델 적합성 평가 섹션에서, 다음을 선택합니다.

- 모의 vs 실측 그래프
- 적합도 통계표

잔차 분석 섹션에서, 측정값에 대한 그래프 아래, 다음을 선택합니다.

- 잔차

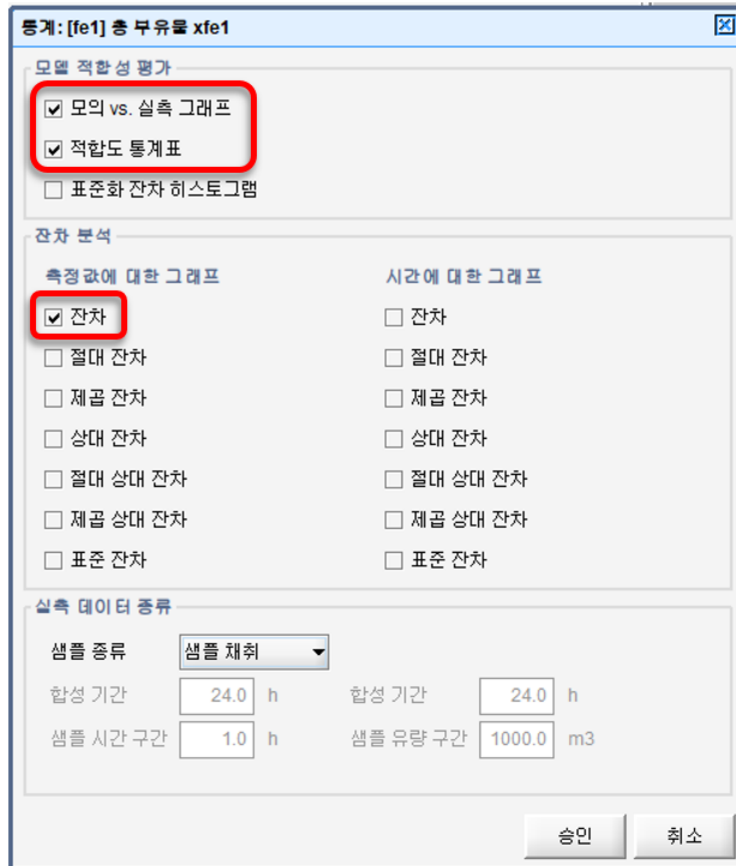



그림 6-23 모델 상에 수행할 통계 분석 선택하기

**참고:** 통계 분석 대화상자 하단의 **실측 데이터 종류** 섹션을 이용하여 데이터가 수집된 방식을 명시할 수 있습니다. 샘플 채취 옵션은 플롯상 나타난 데이터가 명시된 특정 포인트에서 수집된 것이라고 가정하게 됩니다. 샘플 종류에 대해서나 또는 본 튜토리얼 과정 외 통계 기능에 대한 보다 상세 정보는 **기술 참조 매뉴얼**을 참고하시기 바랍니다.

25. 승인을 클릭합니다.

GPS-X는 현재 출력 탭 상에 선택된 플롯을 자동으로 만들게 됩니다. 출력 툴바 상의 **자동 정렬**  을 클릭하여 모든 플롯들을 동시에 볼 수 있도록 합니다.

출력에 표현된 실측 데이터(점으로 표현된)를 사용하여, 플랜트에서 수집된 데이터를 나타내는 모델의 역량을 판단할 수 있습니다. 만약, 통계 분석 결과가 불충분하다 생각된다면, 유입수 조언자를 다시 조정하거나 객체 설정이 추가로 필요할 수 있습니다. 사용자는 입력 제어를 사용하여 **시뮬레이션 모드** 상에서 모델을 보다 정교하게 조정할 수 있습니다.



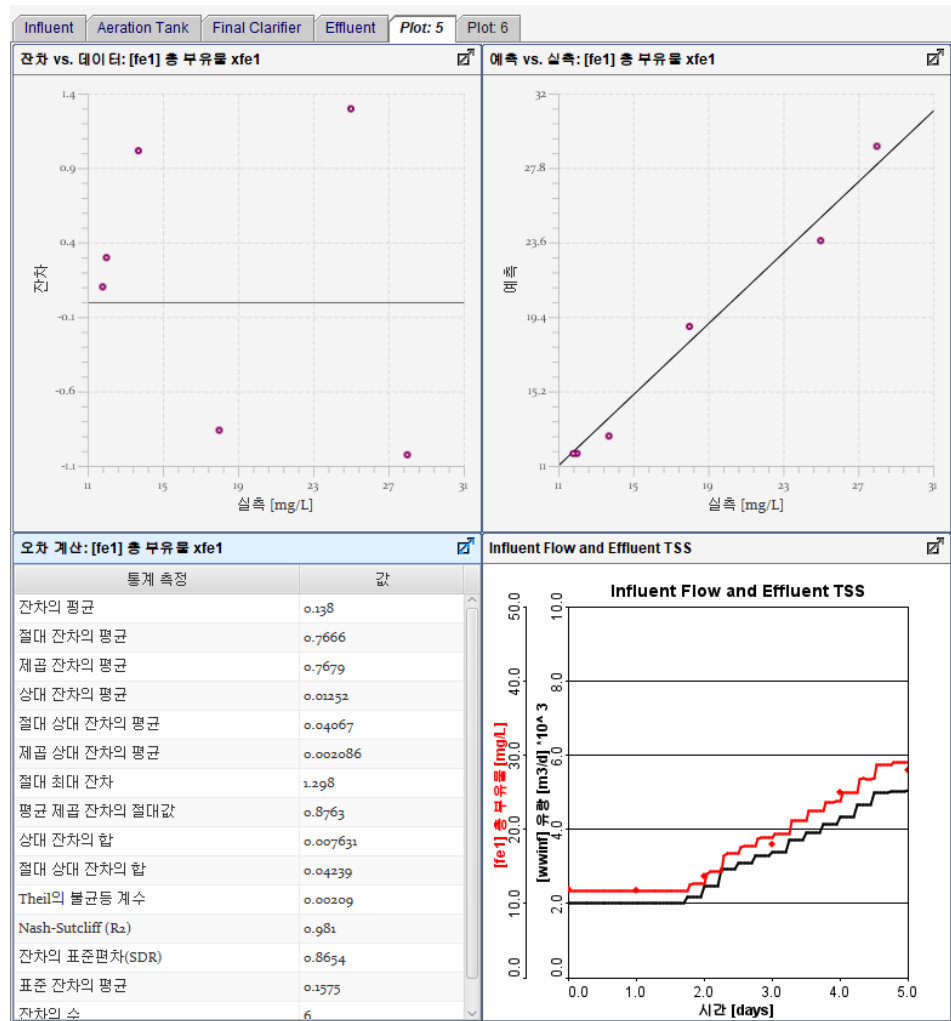


그림 6-24 총 부유 고형물 통계 분석 결과

### 정상 상태에서 막대 차트 생성하기

단위 공정 내의 측정된 데이터 분포는 막대 차트와 같은 시뮬레이션 결과와 함께 나타낼 수 있습니다. 이 방법은 이전 섹션에서 했던 것과 비슷합니다.

26. 출력 도구바에서 새로운 탭 만들기 를 클릭하여 빈 출력 탭을 만듭니다.

27. 새 그래프를 만듭니다. (그림 6-25)

이 예제에서 우리는 플러그 흐름 반응조 내의 반응조의 쉽게 생분해가능한 기질에 대한 변수를 사용할 것입니다. 플러그 흐름 반응조를 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 출력 변수 > 반응조 내 농도를 선택합니다. 이후, 유기 변수 항목에 있는 상세...를 클릭하고, 최 상단에 있는 반응조의 분해성 용해 기질 변수를 새로 만든 탭으로 드래그 하여 그래프를 생성합니다. 값 배열이므로 기본 그래프 유형은 막대형 차트입니다.

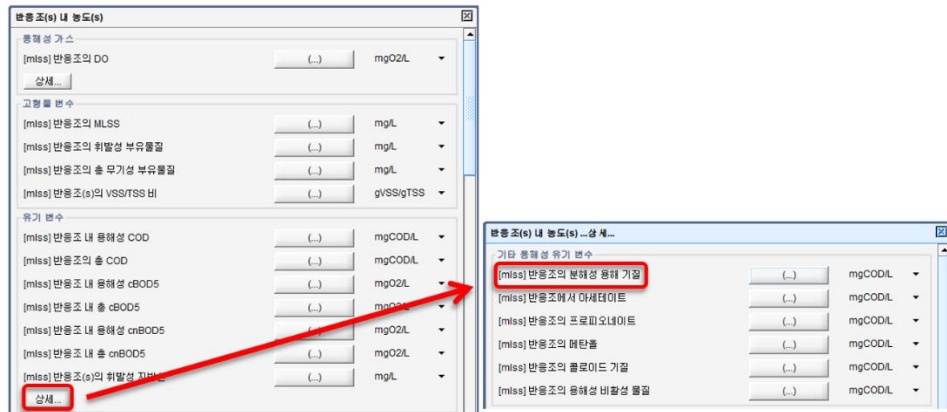



그림 6-25 반응조의 분해성 용해 기질

28. 메인 툴바의 데이터 파일  을 클릭하고, 새로운 입력창 만들기를 클릭합니다.
29. 데이터 파일 내용 유형에 대해 출력 변수를 선택하고, 다음을 클릭합니다.

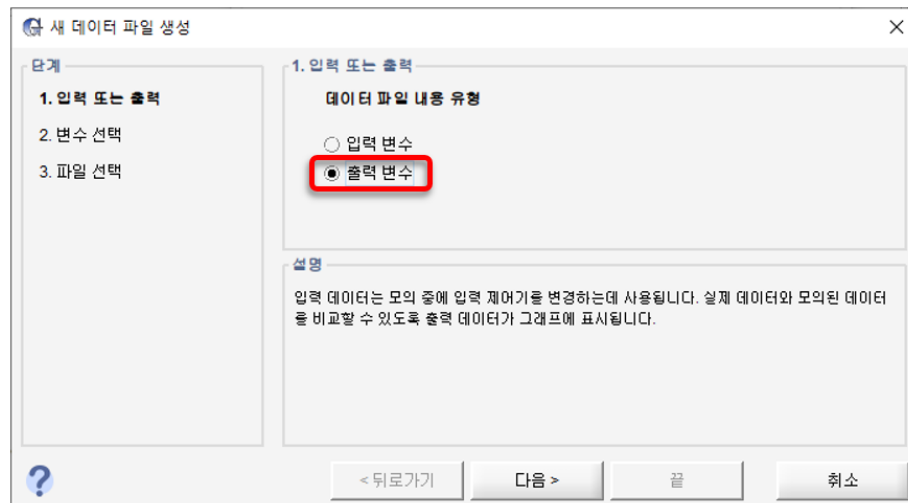


그림 6-26 데이터 파일 생성 마법사 내 출력 변수 선택하기

30. 변수를 선택합니다. 현재 출력 그래프 상 모든 출력 변수를 사용하여 데이터 파일로 추가할 수 있습니다.

모든 반응조에 대한 분해성 용해 기질 항목이 선택될 수 있도록 합니다.

□ [mlss] 반응조의 분해성 용해 기질

내성 변수 이름 옆에 있는 괄호 안의 숫자는 폭기조 내 반응조의 번호를 의미합니다. 반응조의 개수는 기본적으로 4개입니다. 다음을 클릭합니다.

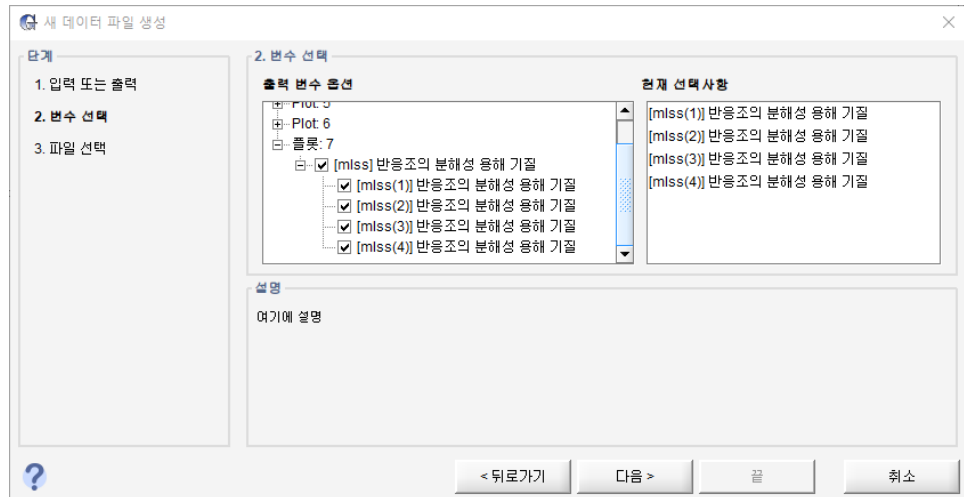


그림 6-27 데이터 파일에 포함될 출력 변수 선택하기

31. 끝을 클릭하여 파일을 저장합니다. 새로운 엑셀 시트를 열 것인지 묻는 메시지가 나타나면, 예(Yes)를 클릭합니다.

	A	B	C	D	E
1	t	sslm1ss(1)	sslm1ss(2)	sslm1ss(3)	sslm1ss(4)
2	d	mgCOD/L	mgCOD/L	mgCOD/L	mgCOD/L
3					
4					

그림 6-28 데이터 파일 생성 마법사로 만든 출력 변수 데이터 파일

32. 아래 표에 있는 데이터를 사용하여 데이터 파일을 채웁니다. 엑셀 시트를 저장합니다.

표 6-3 포기조에 대한 측정 데이터

t	sslm1ss(1)	sslm1ss(2)	sslm1ss(3)	sslm1ss(4)
d	mgCOD/L	mgCOD/L	mgCOD/L	mgCOD/L
0	2.8	1.68	1.21	0.88


33. 반응조의 분해성 용해 기질에 대한 그래프에서 그래프 특성  을 클릭하고, 자동 축적을 클릭합니다.



그림 6-29 막대 그래프 autoscale

## 34. 정상 상태에 체크하고, 0일 시뮬레이션을 수행합니다.

그림 6-30와 같이 막대 차트에 시뮬레이션 결과 값과 운전 데이터 값이 함께 표시가 됩니다. 시뮬레이션 값은 색상이 있는 막대차트로 표시가 되고, 운전 데이터 파일은 메쉬 모양이 막대 차트에 오버랩 되어 표시됩니다.

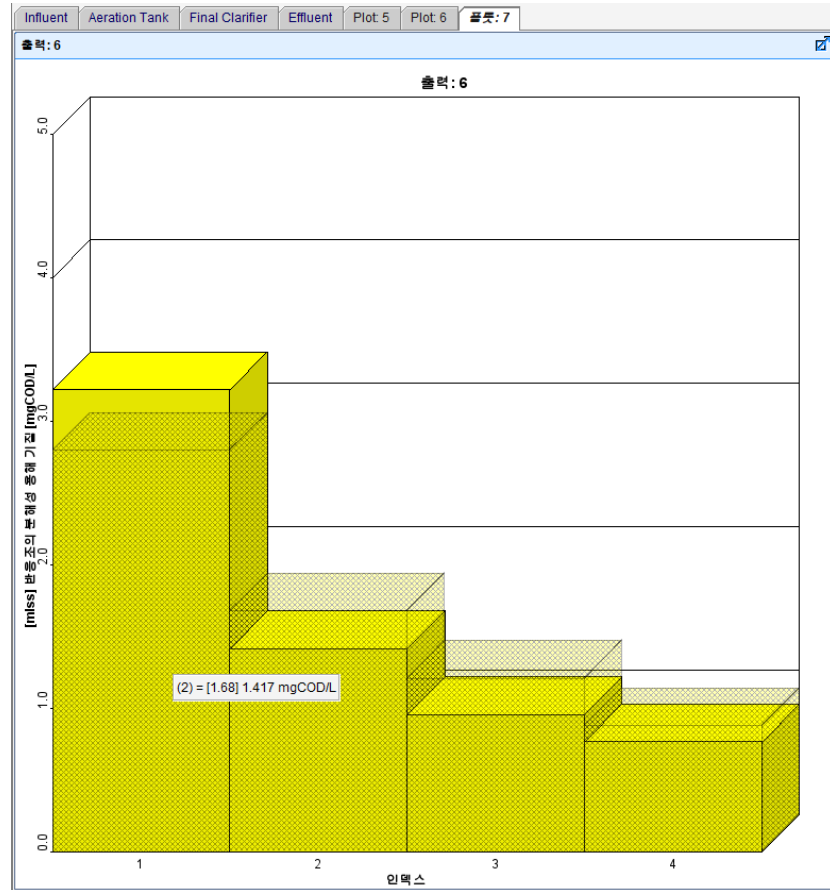


그림 6-30 측정 데이터를 보여주는 막대 그래프

막대를 클릭하면 해당 반응조의 데이터 값을 볼 수 있습니다. 위 그림에서는 2번 반응조를 클릭했으며, 대 괄호 안에 있는 값인 측정된 데이터(1.68)와 시뮬레이션을 통해 나온 값(1.417)이 보입니다.

## 35. 레이아웃을 저장합니다.

## 튜토리얼 7

### 자동 제어기 사용

#### 문제 설정

자동 공정 제어는 다 변수 모델 기반의 제어를 사용하는 대규모 정제 공장 에서부터 단순 **ON/OFF** 제어를 사용하는 빌딩 내 온도 제어에 이르기까지 다양한 분야에서 적용되고 있습니다. 하 폐수 처리 공정도 예외일 수는 없습니다. 기본적인 자동 제어라도 구현한다면, 처리장의 성능이 향상되고 비용을 절감할 수 있을 것입니다. GPS-X를 사용하여 자동 공정 제어의 효과를 시뮬레이션 할 수 있습니다.

사용자인 여러분이 에너지 비용을 절감시키고, 운전을 안정화 및 향상시키기 위해 MLSS와 용존 산소를 제어하기로 결심하였다고 가정하겠습니다. 사용자는 GPS-X에서 MLSS 및 DO 제어를 만들어 이를 수행할 수 있습니다.

#### 목적

이 튜토리얼에서는 용존 산소의 제어 설정치(Set Point)를 충족하도록 폭기 속도를 자동으로 변경하는 용존 산소 제어를 만들 것입니다.

또한, MLSS 제어 설정치(Set Point) 값을 충족시키기 위해 고형물 폐기량을 자동적으로 조정하도록 MLSS 제어를 설정하는 방법을 보여줍니다.

#### 자동 DO 제어기 설정하기

1. 튜토리얼 2에서 완성된 레이아웃을 열고 '**tutorial-7**'로 저장을 합니다.
2. **DO** 컨트롤러가 활성화되어 있는지 확인합니다.

기본적으로 폭기조는 DO 컨트롤러를 사용하도록 설정되었지만, 선택되어 있는지 확인합니다. 시뮬레이션 모드에서 폭기조를 우 클릭 후, **입력 변수> 운전조건** 입력으로 이동합니다.

폭기 설정 섹션에서 산소 공급 방법이 **DO 제어기 사용**으로 설정되어 있는지 확인합니다. 그렇지 않은 경우 **모델링** 모드로 전환하고 값을 변경한 다음 **시뮬레이션** 모드로 돌아갑니다.

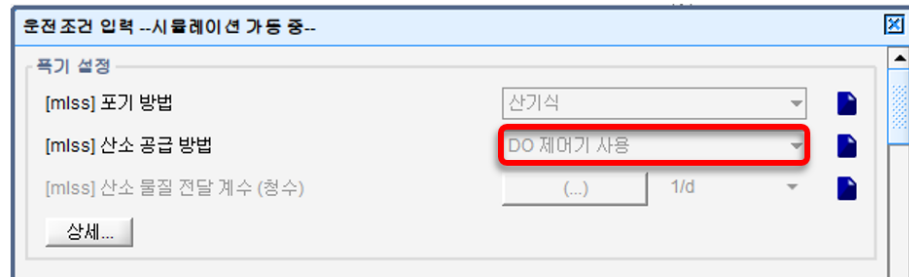



그림 7-1 DO Controller 활성화 여부 확인

3. 새 입력 제어를 만듭니다.

입력 제어 창에서 새 탭  을 클릭합니다. 새롭게 생긴 탭에서 두 개의 DO 설정 값에 대한 슬라이더를 만듭니다. 설정 값은 폭기조의 입력 변수 > 운전조건 입력의 폭기 제어 섹션 아래에서 찾을 수 있습니다.

DO 고정치 옆에 있는 출임표  를 클릭하여 개별 항목에 들어갑니다.

첫 번째와 마지막의 DO 고정치를 입력 제어 탭으로 드래그 하여 슬라이더를 만듭니다.

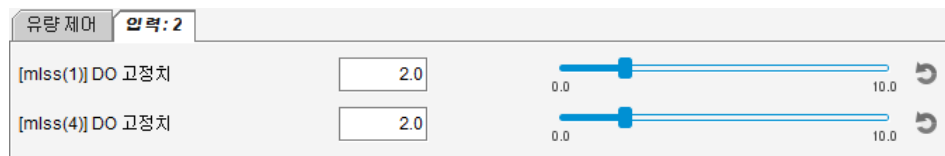



그림 7-2 DO 고정치 입력 제어

4. 새 결과 그래프를 만듭니다.

플러그흐름 반응조의 첫번째 및 네번째 반응조에서의 용존 산소 농도와 유출수의 암모니아성 질소를 추가합니다.

포기조를 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 출력 변수 > 반응조 내 농도를 선택합니다. 반응조의 DO 옆에 출임표  를 클릭하여 개별 반응조 항목에 접근합니다. 첫 번째 요소와 마지막 요소를 새 그래프로 드래그 합니다. (같은 그래프에 포함되도록 합니다).

포기조의 유출수 흐름 라인을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭합니다(반응조가 아님). 출력 변수 > 농도를 선택하고, 질소 변수 항목 하위에 있는 암모니아성 질소를 그래프로 드래그 합니다.

5. 그래프 설정을 편집합니다.

y- 축의 최대 값을 10으로 변경하고(DO 고정치 슬라이더 제한과 동일) 그래프에 적절한 제목을 지정합니다.

6. 그래프를 자동 정렬  합니다.

7. 20일간의 시뮬레이션을 실행하며, 유입 유량과 DO 설정 값을 변화 해보시기 바랍니다.

## 자동 MLSS 제어기 설정하기

이제 지정된 MLSS 제어 설정치(Set Point)를 충족시키기 위해 생 고형물 폐기량을 자동적으로 조정하도록 레이아웃에 MLSS 제어기를 추가할 것입니다. 즉, 폭기조의 MLSS 양이 제어하고자 하는 대상이며, 침전지의 폐기량이 보정하는 변수가 됨을 기억하시고 다음을 진행합니다.

8. 모델링 모드로 변경합니다.

9. 제어 변수를 찾습니다.

포기조의 유출수 흐름 라인을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고, 출력 변수 > 농도를 선택합니다. **MLSS** 라벨 위에 마우스 포인터를 올려 놓으면 툴팁이 나타납니다. (그림 7-3) 툴팁의 형식은 이름/내성 변수입니다.

여기에서 우리는 변수의 이름이 **xmlss**임을 알 수 있습니다. 추후 제어기 설정을 위해 제어 변수의 내성변수를 입력해야 합니다. 그렇기에, 사용자는 이 값을 기억해야 합니다.

또는 **MLSS** 라벨을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 "클립보드에 Cryptic Name 복사"를 선택할 수 있습니다. 이렇게 하면 컴퓨터의 클립 보드에 **xmlss**가 저장되어 나중에 필드에 붙여 넣을 수 있습니다.

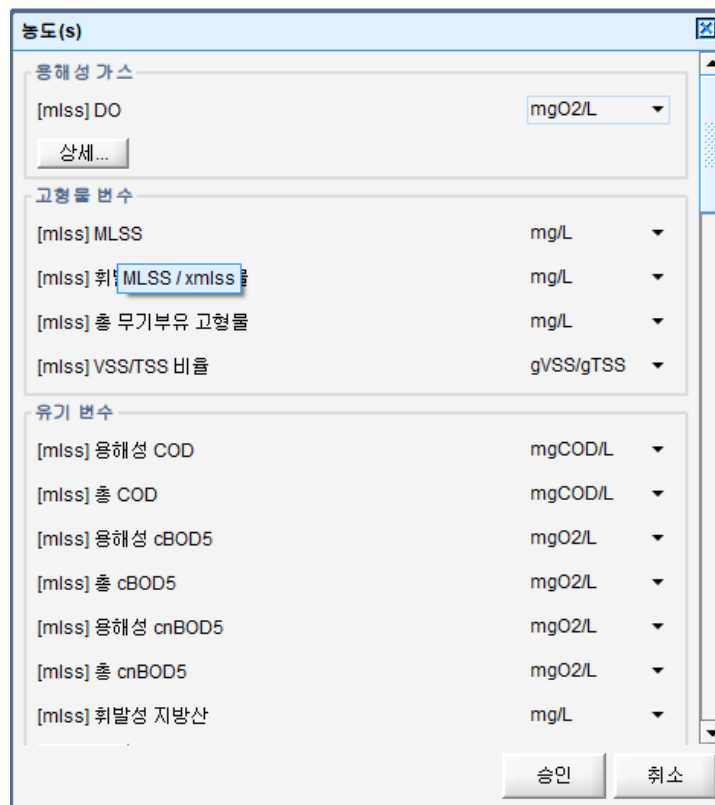


그림 7-3 내성변수 이름 보기

## 10. 제어기를 켜고, 제어기를 위한 설정을 합니다.

- 1) 침전지를 우 클릭 후 **입력 변수> 운전조건 입력**으로 갑니다.
- 2) **펌프유량** 항목에서 제어기를 **ON**으로 변경합니다. 제어기를 ON으로 변경하자, 펌프 유량 항목이 비 활성화된 것이 보입니다.
- 3) 폐기 펌프를 통해 폭기조의 MLSS를 제어한다 하였습니다. 따라서, 본 과정의 제어 변수의 설정치는 MLSS 농도를 뜻하며, 이를 **2000**으로 설정하겠습니다.



그림 7-4 침전지의 운전조건 입력 창(펌프 유량)

## 11. 제어기의 상세 옵션을 설정합니다.

- 1) 펌프유량 섹션 하단에서 **상세...** 버튼을 클릭하여 제어기 설정으로 갑니다.
- 2) **제어 변수 필드**를 **xmlss**로 변경합니다. 이전에 클립 보드에 저장한 경우 Ctrl-V를 사용하여 암호명을 붙여 넣습니다.
- 3) **제어기 샘플링 시간**으로 **0.05** 일을 입력합니다. 이는 제어기가 동작하는 빈도를 나타냅니다.
- 4) **제어기 효과 - Direct**를 **OFF** 합니다. 이는 제어하고자 하는 변수와 이를 위해 보정되는 변수의 방향을 나타냅니다. MLSS 농도를 줄이기 위해서는 폐기량이 증가해야 하므로, 반대 방향이기에 이를 OFF로 설정하는 것입니다. 즉, 반비례 관계에 대해서는 끄고, 비례 관계에 대해서는 키시면 됩니다.
- 5) 최대 펌프 유량으로 **200** m<sup>3</sup>/d를 입력합니다.



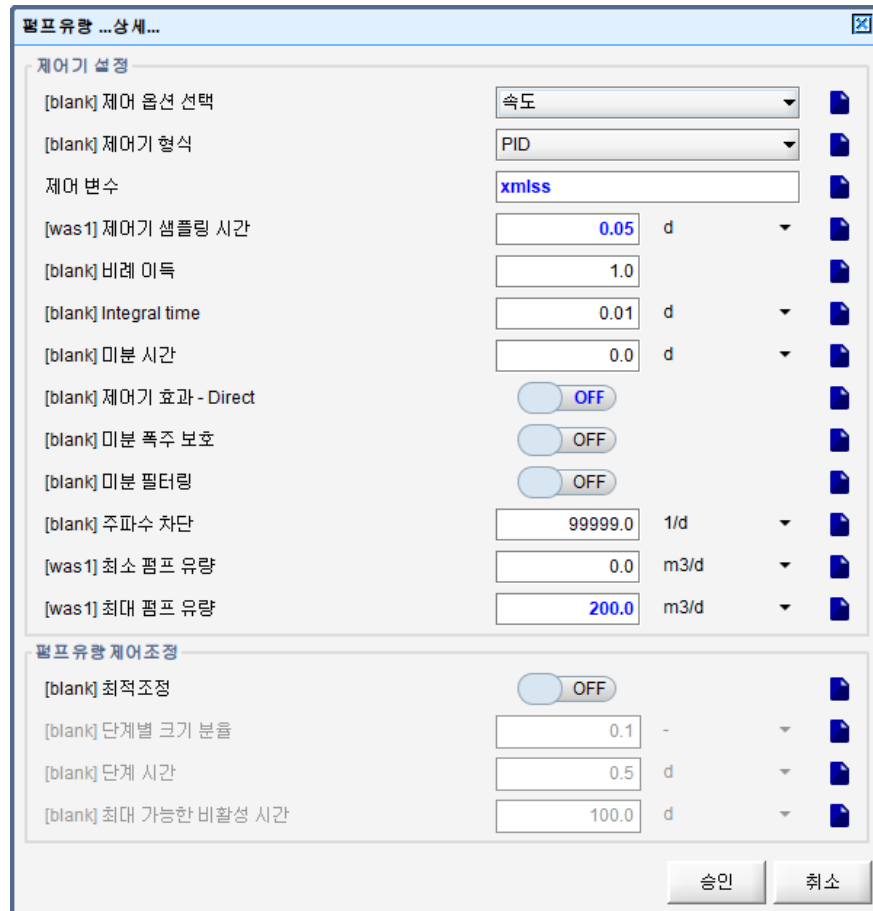


그림 7-5 MLSS 제어기 설정

12. 승인 버튼을 클릭하여 변경사항을 반영합니다.
13. 레이아웃을 저장합니다.

### 자동 MLSS 제어기 조정하기

14. 시뮬레이션 모드로 변경합니다.
15. 새 입력 탭을 만듭니다. 탭에 5개의 입력 제어기를 추가합니다.

침전지의 입력 변수 > 운전조건 입력을 선택하고, 펌프 유량 항목에서 아래의 항목을 찾을 수 있고, 상세... 버튼을 클릭하여 찾을 수 있습니다.

- 제어기 켜기/끄기
- 제어 변수의 설정치 (0에서 4000까지 설정합니다.)
- 비례 이득 (0에서 50까지 설정합니다)
- 적분 시간(Integral time) (0에서 10까지 설정합니다.)
- 미분 시간 (0에서 10까지 설정합니다.)

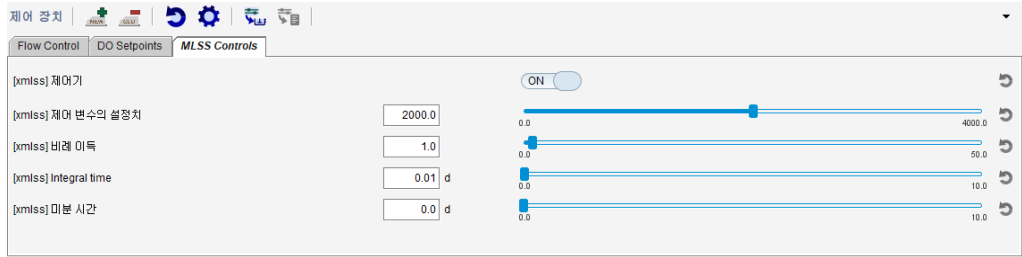



그림 7-6 MLSS 입력 제어

16. 새 그래프를 만듭니다. 동일한 그래프에 다음 세 가지 변수를 추가합니다:

- MLSS(포기조의 유출수 흐름 라인에서 출력 변수> 농도)
- 유입수 유량(유입수의 출력 변수> 유량)
- 폐기량(침전지의 펌프 흐름 라인(WAS1)에서 출력 변수> 유량)

17. 그래프 설정을 변경합니다.

y 축의 최대 값을 5,000(유입수 유량), 5,000(mlss), 600(폐기량)으로 변경합니다.

값을 개별적으로 편집할 수 있도록 최대 필드를 잠금 해제  해야 할 수도 있습니다.

그래프에 적절한 제목을 지정합니다. 필요에 따라 각 항목의 색상을 조정해야 할 수도 있습니다. 각 항목의 색 컬럼의 색을 클릭해 변경하시기 바랍니다.



그림 7-7 그래프 설정 변경

18. 새로운 시나리오를 만듭니다.

새로운 시나리오의 이름을 "사인곡선"이라 하고 유입수 유량 형태는 **사인곡선**, 유입수 유량은 기본 2000.0 m<sup>3</sup>/d로 유지합니다 (튜토리얼 3 - 시나리오 이용하기 참조).

19. 레이아웃을 저장합니다.

20. 사인곡선 시나리오에서 10일간 동적 시뮬레이션을 수행합니다.

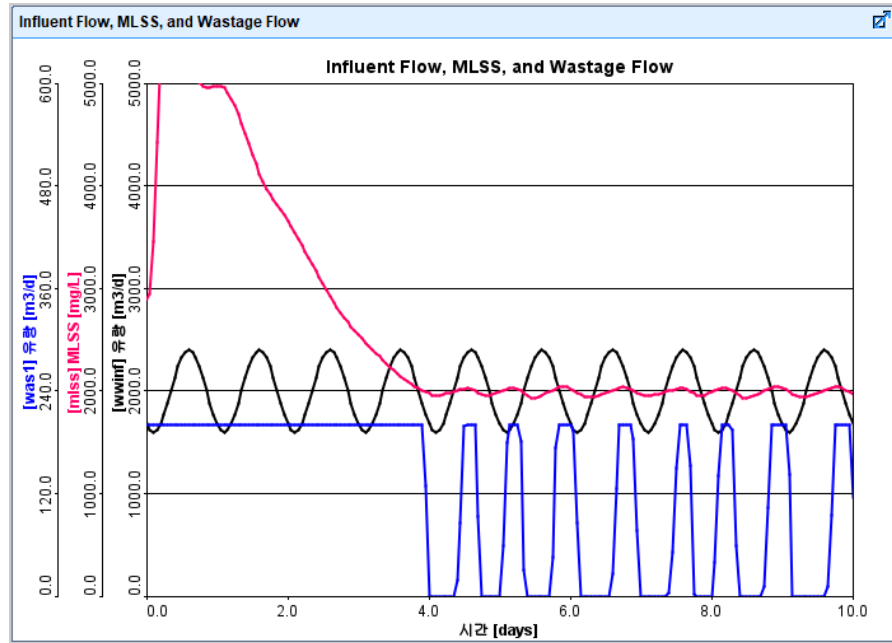


그림 7-8 제어기 시뮬레이션

조절 변수인 **폐기량**이 격렬하게 변동한다는 것을 알 수 있습니다. 이는 MLSS의 농도를 제어 설정치인 2000으로 맞추기 위한 변동이지만, 매우 공격적으로 변동하기에 현실성이 떨어지는 결과입니다.

이는 조정이 필요하며 이러한 과정을 **제어기 튜닝**이라고 합니다. 일반적으로 시행 착오를 통한 튜닝으로 합리적인 제어기 성능을 얻을 수 있습니다. 튜닝의 과정은 PID 제어기의 각각의 기능을 상징하는 **비례 이득**, **적분 시간**, **미분 시간**을 조정하는 것입니다. 비례 이득 값을 줄이면, 공격성이 감소한다는 점을 기억하시기 바라며, 이와 관련해서는 **기술 참조 매뉴얼**에 상세히 나와있습니다. 시행 착오를 위한 예시는 다음과 같습니다 :

- 1) 먼저, 낮은 비례 이득(0.001), 높은 적분 시간(10일) 및 낮은 미분 시간(0일)으로 시작해 봅니다. 느리지만 안정된 제어기가 생성되었습니다.
- 2) 교란된 유입수 유량의 영향을 막기 위해 폐기량이 어떻게 변하는지 검토하시기 바랍니다. 빠르게 반응하지 않으면, 비례 이득을 증가시킵니다. 합리적으로 반응하는 제어기 효과를 얻을 때까지 비례 이득을 계속 증가시키되 안정적인 반응을 유지합니다.
- 3) 폐기량이 큰 진폭으로 움직이며 불안정해지면 **비례 이득**을 감소시킵니다.
- 4) 비례 효과가 안정되면 제어기의 성능을 높이기 위해 **적분 시간**을 줄여봅니다.
- 5) 만약 진동이 너무 크다면 **미분 시간**을 늘립니다.

PID 제어기의 세 요소 P는 빠르기 (fast), I는 지속성 (persistent), D는 예측성(predictive)을 나타냅니다. 자동 공정 제어는 단순하지 않으며, 여러분이 원하는 수준으로 제어하는 것이 불가능할 수 있다는 것을 기억하시기 바랍니다. 폭기조에서 MLSS에 대한 공정 시간 상수를 고려합니다. 폐유량에 변화를 주어 공정이 새로운 정상상태에 도달하는 데 몇 일이 걸리는 반면, 공정 (유입 유량을 변경)은 수 시간이나 수 분 안에 MLSS에 엄청난 효과를 주는 혼란을 일으킬 수 있습니다.

PID 제어기에 대한 올바른 초기 최적조정 상수를 찾는 접근법에 대해 출간된 자료가 몇 부 있습니다. 한 가지 접근법은 Ciancone 상관분석 (Marlin, 1995)을 사용하는 것으로, 이것은 GPS-X의 PID 최적조정 도구에 포함되어 있습니다. Ciancone 상관분석은 이득, 시간 상수, 공정의 정체 시간의 최적조정 상수를 제공합니다. 단, 공정의 동적 거동이 정체 시간을 가지는 일차 공정 (First-order plus dead time)으로 합리적인 정확도를 가지고 있다고 가정합니다. GPS-X의 PID 최적조정 도구에서, 공정은 조절 변수의 단계 변화에 대한 공정의 변화를 최소자승 법을 이용하여 정체 시간을 가지는 일차 공정에 상응합니다 (최적조정 모드). Ciancone 상관분석은 최적조정 상수에 대한 적절한 값을 결정하는 데 사용합니다.

21. 최적 조정 기능을 통해 제어기 튜닝을 적용합니다.

- 1) 사인곡선 시나리오를 기반으로 다른 시나리오를 만들고, 이름을 "튜닝"으로 지정합니다.
- 2) 펌프 유량제어조정에서 최적조정 모드를 활성화합니다.

침전지의 입력 변수 > 운전조건 입력에서 펌프유량 섹션의 상세... 버튼을 클릭합니다.

펌프유량 상세 창에서, 펌프 유량제어조정 하부메뉴의 최적 조정을 ON 상태로 전환하고 이 변수를 입력 제어 탭으로 드래그 합니다. 이는 추후 이 기능을 쉽게 켜고 끌 수 있도록 해 줍니다.

단계별 크기 분율은 양 또는 음의 값을 가질 수 있는데 이 경우, 단계별 크기 분율을 0.5로 설정합니다.

승인을 클릭하고 이전 대화상자로 돌아갑니다.

- 3) 펌프유량 섹션에서 제어기를 OFF 상태로 하고 펌프 유량을 100 m3/d 으로 합니다.

앞서 설정한 단계별 크기 분율은 펌프 유량을 100 m3/d 에서 150 m3/d로의 변화시키는 것에 해당합니다. 승인을 클릭합니다.

- 4) 설정이 제대로 됐는지 다시 확인합니다. 이 시나리오에서 변경한 모든 변수를 보려면 시뮬레이션 도구 막대에서 시나리오 > 보기를 선택합니다.

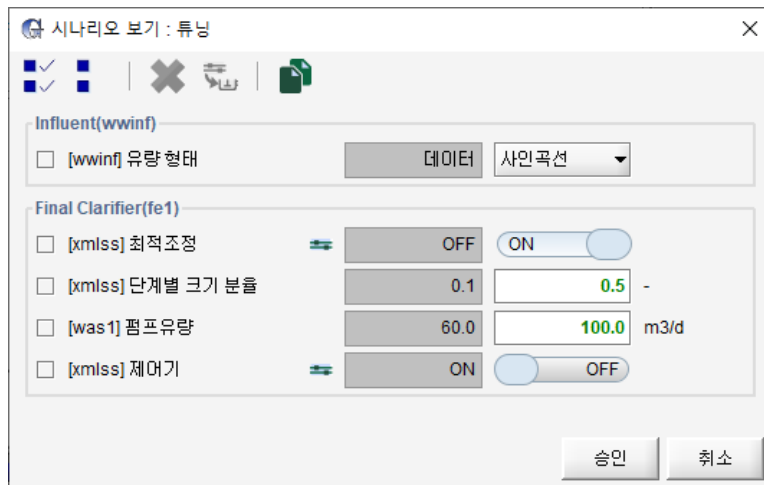


그림 7-9 시나리오 보기 대화상자

- 5) 입력 제어 창에서 PID 제어기를 ON으로, 최적 조정을 OFF로 한 상태에서, 0일의 정상 상태 모의를 실행합니다. 이는 최적 조정을 수행 하기 전 정상 상태의 값을 얻기 위한 과정입니다.
- 6) 입력 제어 창의 제어기4가 OFF로 되어있는지 확인하고(그림 7-10을 참조), 정상 상태 체크를 해지한 상태에서 10일 동적 시뮬레이션을 구동합니다.

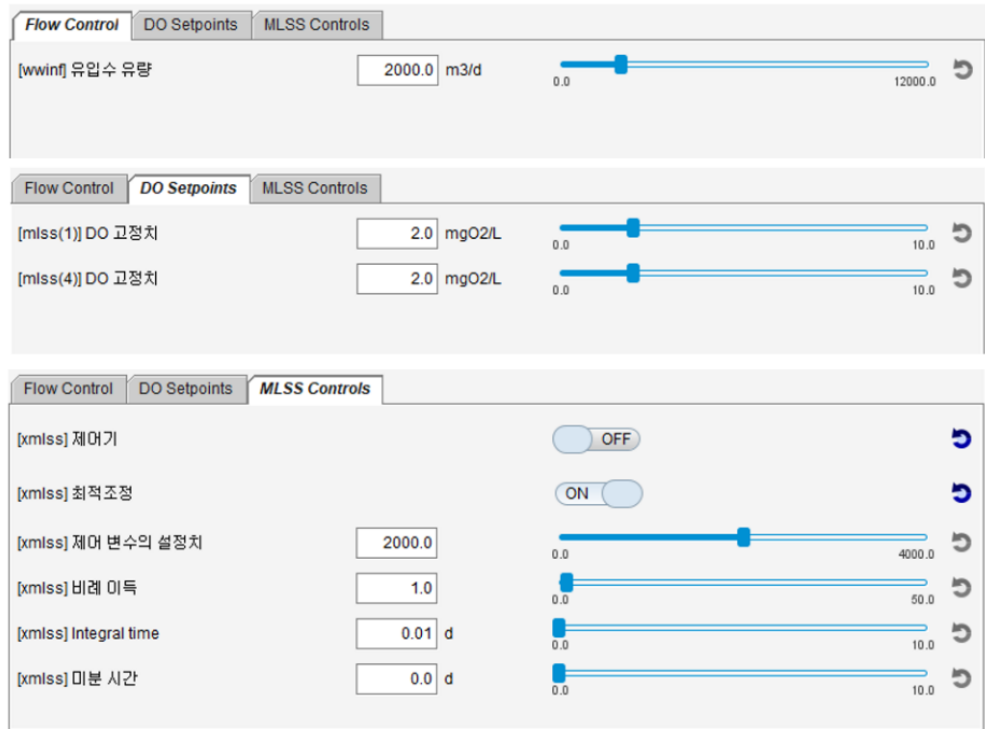


그림 7-10 입력 제어 설정

그림 7-11은 최적조정 모드에서 실행되는 시뮬레이션입니다. 성공적인 최적조정 모드 시뮬레이션을 위한 필수적인 특성은 다음과 같습니다.

- 조절변수(펌프 유량)와 제어변수(MLSS)는 일반적인 운전 조건에서의 값을 가지며, 정상 상태 조건에서 시작해야 합니다.
- 동적 공정을 할 수 있는 만큼 최대한 오래 시뮬레이션 해야 합니다 (즉, 시뮬레이션은 정상 상태에서 끝나거나 정상 상태에 도달해야 합니다).
- 조절 변수의 각 단계별 크기 분율은 제어 변수에 영향을 미치는 노이즈(noise)를 잡을 수 있도록 충분히 큰 값을 가져야 합니다. 이 경우, 사인 곡선 유입 유량 형태로 인해 노이즈가 발생할 수 있습니다.

<sup>4</sup> 최적조정 모드를 적절하게 작동시키기 위해 제어기 샘플링 시간을 합리적인 값으로 설정해야 합니다. 예를 들어, 구현되는 제어기의 실행시간으로 두는데 이게 제어기 샘플링 시간을 0.05 d로 정하는 이유입니다.

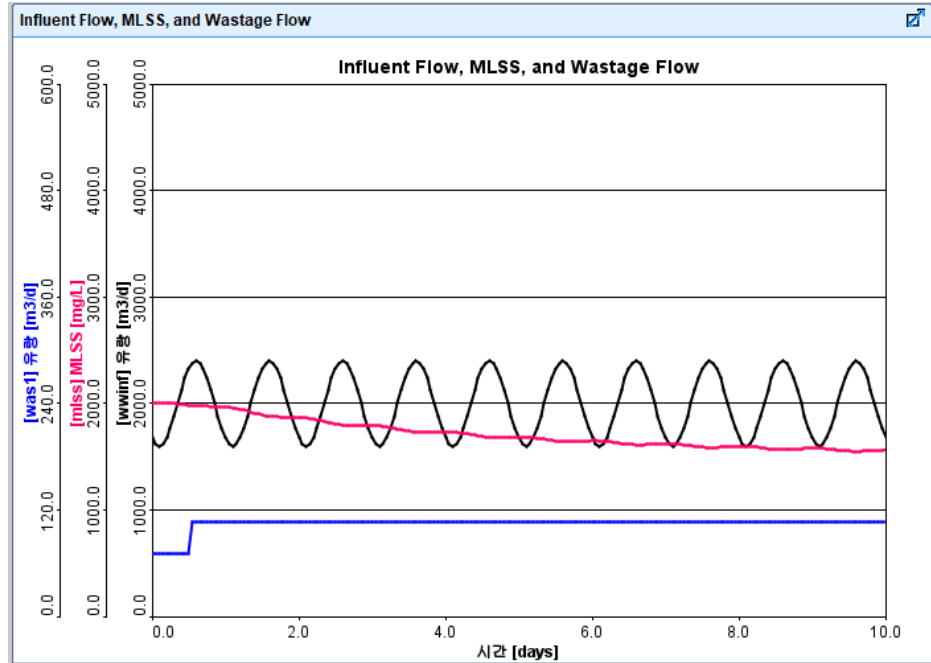



그림 7-11 최적조정 모드 시뮬레이션

7) 시뮬레이션 도구 바에서 시뮬레이션 제어  를 클릭하고, 명령창을 선택합니다.

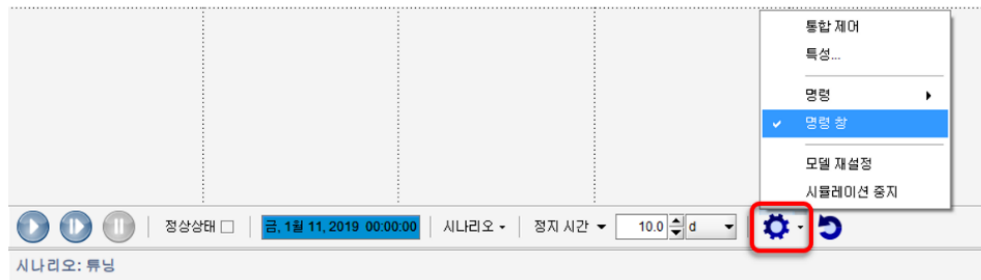


그림 7-12 명령창 열기


출력 창에 명령 창 탭이 추가된 것이 보입니다. 가장 하단으로 내려가면, 그림 7-13와 같이 xmlss 제어를 위한 PID 최적 상수 값을 확인할 수 있습니다.

```

Computing tuning constants.
Suggested PID tuning constants for
xmlss
Proportional gain           :01,0E-01
Integral time                :03,7E+00 d
Derivative time              :00,0E+00 d
Controller effect... - direct: OFF
    
```

그림 7-13 계산된 PID 최적조정 상수

22. 다른 시나리오를 만들고, 최적 상수를 적용합니다.

- 1) Tuning 시나리오를 기본으로 새로운 시나리오("MLSS 제어")를 생성합니다.
- 2) 입력 제어 창에서 비례 이득, 적분 시간 및 미분 시간을 최적 조정을 통해 나온 값으로 변경합니다. (명령 창에 표시된 값).
- 3) PID 제어기를 켜고 최적조정 모드를 끕니다.
- 4) 제어 장치 메뉴에서 **변경사항 저장**  을 누르고 제어기 최적조정 상수를 시나리오에 추가하여 이러한 설정을 저장합니다.

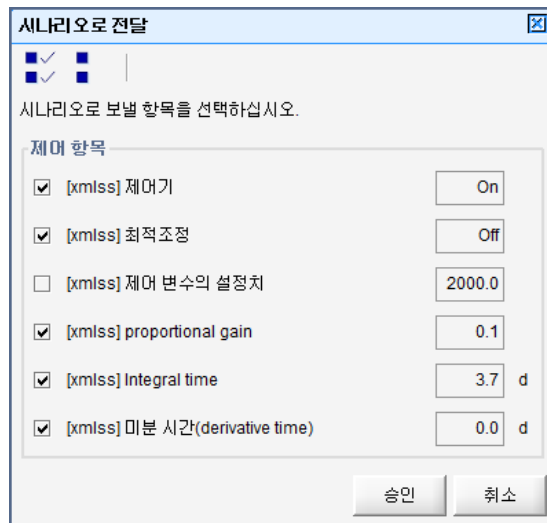


그림 7-14 변경사항 저장(시나리오로 보내기)

- 5) 레이아웃을 저장합니다.
- 6) **10일간의 시뮬레이션**을 실행합니다.

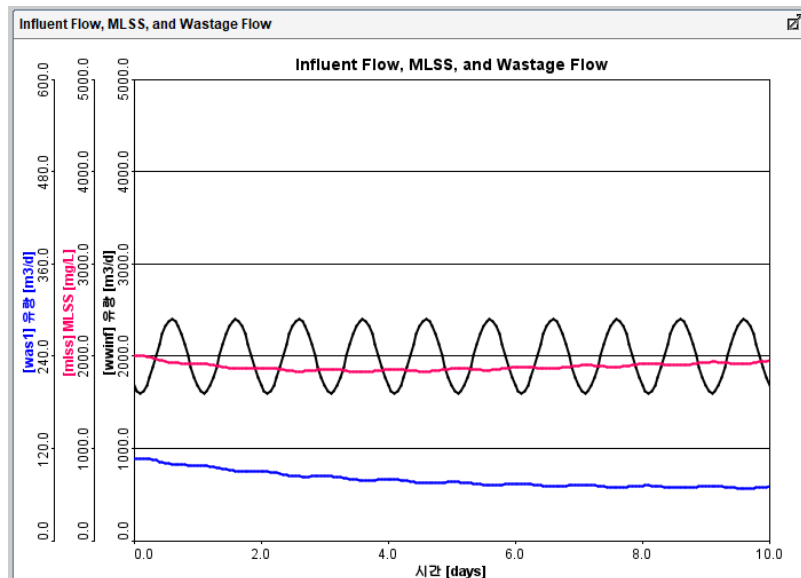


그림 7-15 MLSS 제어기를 사용한 시뮬레이션

## 튜토리얼 8

### 정의 기능

#### 문제 설정

하·폐수 처리공정에서 중요한 운전 변수는 현장마다 달라서 일반화하기가 어렵습니다. 이러한 변수로는 슬러지 체류 시간(SRT)과 F/M비가 있습니다. 또한 일 평균, 이동 평균 및 질량 유량과 같은 다른 계산들은 공정 내 대부분의 수질 매개변수로 적용될 수 있습니다. 따라서, 임의의 하 폐수 처리공정 모델에서 이러한 전통적인 공정 변수를 포함하는 것이 바람직하고, GPS-X는 이러한 기능을 제공합니다.

#### 목적


본 튜토리얼에서는 SRT와 같은 운전 변수를 정의하는 방법을 보여줄 것입니다.

부가적으로 평균과 흐름 계산과 같은 수학적 계산에 대하여 설명할 것입니다.

정의 기능(도구 > 정의 메뉴 또는 GPS-X 도구 모음에 위치한 정의 버튼)으로 이러한 작업을 할 수 있습니다.

#### 레이아웃 설정하기

1. 새로운 레이아웃을 생성합니다.

**새로 만들기**  를 통해 새로운 레이아웃을 만들고, 유입수, 컨트롤 분배기, 플러그흐름 반응조, 장방형 이차 침전지, 2-방향 혼합기, 하수 방류 객체로 구성합니다.

라이브러리는 가장 기본적인 종합 - 탄소, 질소, 인, **ph (mantis2lib)**을 선택합니다.

그림 8-1과 같이 단위 공정을 연결하고 라벨을 추가합니다. **컨트롤 분배기** 단위 공정은 바이패스 웨어를 모의하는데 사용됩니다.

설정이 완료되었다면, 레이아웃을 **저장("tutorial 8")**하시면 됩니다.



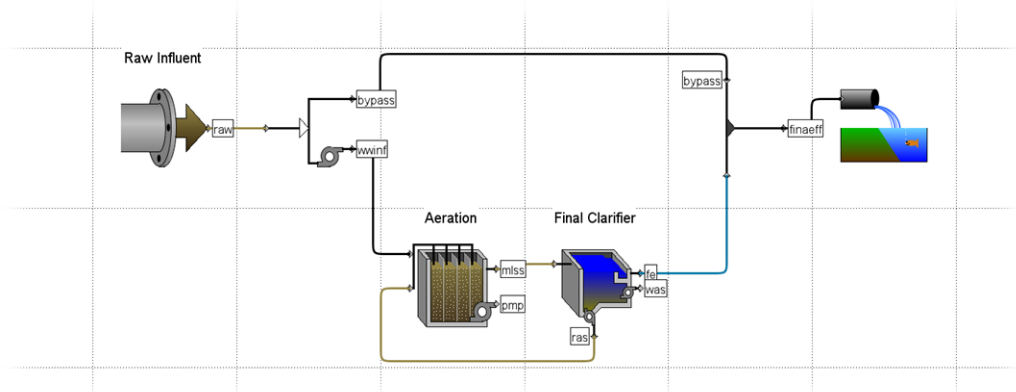


그림 8-1 튜토리얼 8 레이아웃

## 2. 침전지 반송 매개변수를 수정합니다.

침전지를 우 클릭 후, 입력 변수> 운전조건 입력에서 다음과 같이 설정합니다.

- 비례 순환 ON
- 비례 대상 라벨을 “blank” 에서 “wwinf”(포기조로 유입되는 흐름)로 변경
- 반송 분배(반송비)의 기본 값은 0.8이며, 본 예제에 적합하여 수정하지 않습니다.



그림 8-2 반송 설정 수정하기

## 3. 침전지 펌프 유량을 조정합니다.

- 펌프 유량 값을 40 m3/d 에서 100 m3/d 로 설정하고, 승인을 클릭합니다.



그림 8-3 펌프 유량 수정

### 질량유량 정의

이제 레이아웃이 설정되었고, 방류수 고형물에 대한 질량 유량 변수를 정의할 것입니다. 이 질량 유량은 방류수의 부유 물질에 방류수의 유량을 곱한 값으로 정의됩니다.

**f(x)**

4. 정의 마법사를 실행합니다.

메인 도구 메뉴에서 정의 **f(x)** 버튼을 클릭하고, 질량 유량을 선택합니다.



그림 8-4 정의 마법사 하위 메뉴인 질량 유량

5. 그림 8-5와 같이 스트림을 선택합니다.

- 컨트롤 분배기 > bypass(바이패스)
- Final Clarifier > fe
- 2-방향 혼합기 > finaleff

6. 그림8-5과 같이 변수를 선택합니다.

- 합성 변수 > 총 부유물

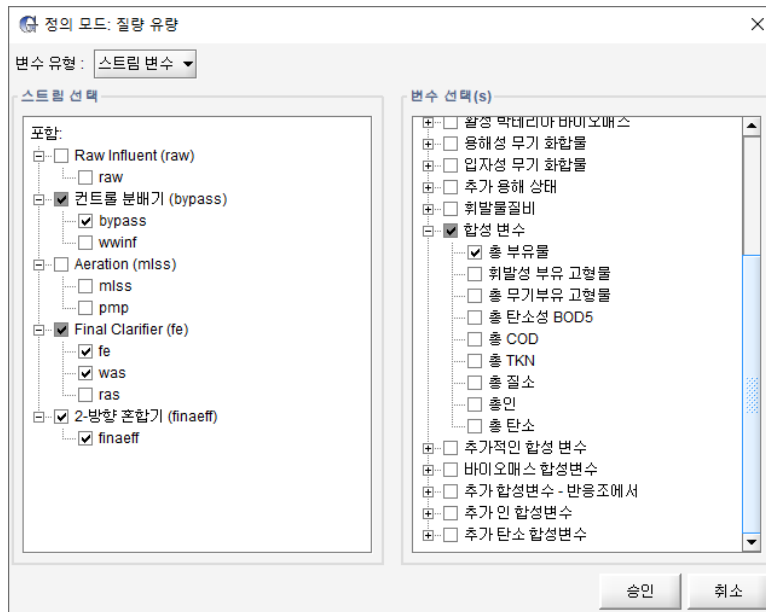



그림 8-5 질량 유량 마법사 정의하기

7. 승인을 누르고, 레이아웃을 저장  합니다.

이제 변수가 정의되었으니, 그래프를 설정하고 시뮬레이션을 실행하여 결과를 보겠습니다.

8. 시뮬레이션 모드로 변경합니다.

9. 새 그래프를 만듭니다. 이 그래프에 3개의 질량 유량 변수를 추가할 것입니다.

침전지의 fe 유출 흐름에 우 클릭을 하고, 출력 변수 > 정의된 변수 > 질량 유량을 선택합니다.

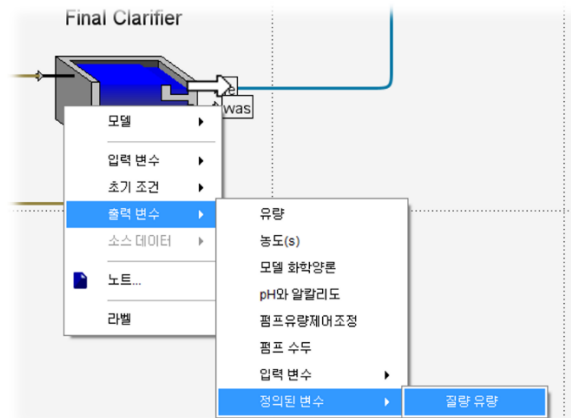


그림 8-6 정의된 변수

질량 유량.총 부유물 변수를 새로 만든 출력 그래프로 드래그 합니다.

bypass와 finaleff 흐름 라인에 대해서도 이 절차를 반복하여 3개의 질량 유량이 동일한 출력 그래프에 나타나도록 합니다.

10. 그래프 설정을 변경합니다.

그래프에서 최대 축 값은 1,000 kg/d로 제목은 "Mass Flows"으로 변경합니다.

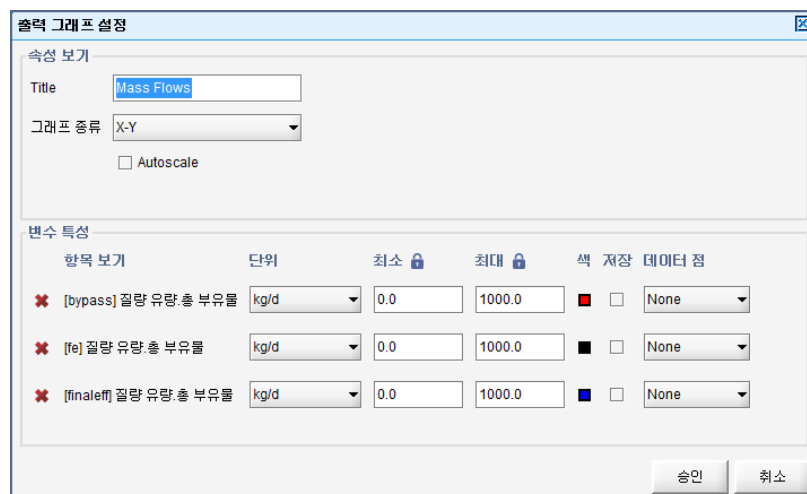



그림 8-7 질량 유량 그래프 설정

11. 유입수 유량에 대한 입력 제어를 만듭니다.

튜토리얼 2에서 설명한 바와 같이 유입수 유량 제어를 만들고, 최대 유량은 10,000 m<sup>3</sup>/d으로 합니다. 기본 값으로 2,000 m<sup>3</sup>/d이 적용되어 있을 겁니다.

12. 동적 시뮬레이션을 실행합니다.

- 1) 유입 유량의 변동에 따라 질량 유량의 변동을 볼 것이기에, 시뮬레이션을 다소 느리게 볼 수 있도록 정지 시간을 지연으로 변경합니다.
- 2) **20일**의 동적 시뮬레이션을 실행  합니다.
- 3) 진행되는 동안, 유입수 유량의 슬라이드바를 이용하거나, 직접 값을 올리며 그래프의 변화를 검토합니다.

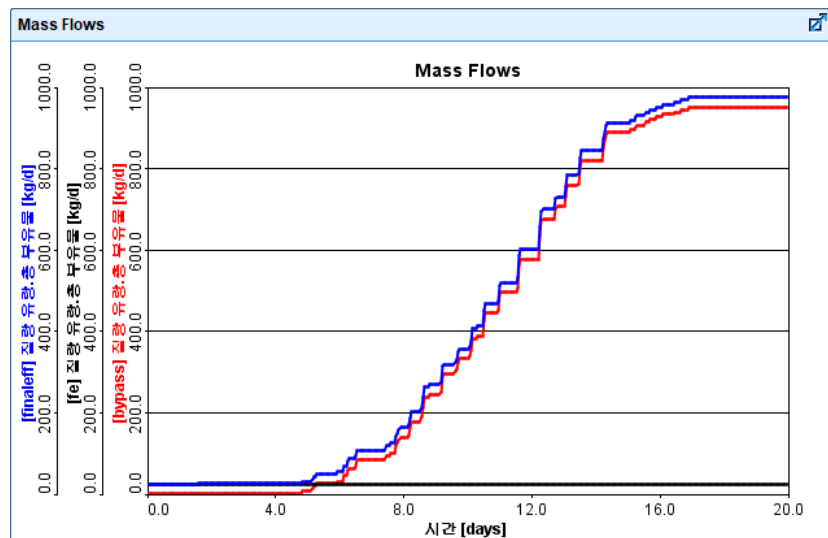



그림 8-8 질량 유량 출력 그래프

13. 컨트롤 분배기의 펌프 유량은 기본값인 2,000 m<sup>3</sup>/d으로 설정되어 있습니다. 그렇기에, 그 이상의 유입수 유량을 조절하자, 설비를 우회하여 bypass 흐름을 통해 나가고 있는 것을 볼 수 있습니다. 그림 8-8은 이를 나타낸 모습이지만, 사용자의 슬라이더 조절에 따라 그림이 다를 수 있습니다.

14. 컨트롤 분배기 객체에서 펌프 유량을 증가시켜 바이패스 유량 한계치 변경을 검토해 보시기 바랍니다.

모델을 다시 컴파일하지 않으려면 시나리오를 정의하거나, 바이패스 펌프 흐름을 입력 제어기에 배치해야 합니다.

예를 들어, 입력 제어를 만들려면 컨트롤 분배기를 우 클릭하고, 입력 변수 > 펌프 유량으로 이동한 다음 펌프 유량을 입력 제어창으로 추가하시면 됩니다.

시뮬레이션을 다시 실행  하며, 방류되는 전체 질량 유량을 감소시켜 봅니다.

15. 레이아웃을 저장  합니다.

## SRT 정의하기

이제 시스템 내 고행물 체류시간인 SRT를 계산하고 표시하는 방법을 배워보겠습니다.

16. 모델링 모드로 변경합니다.

17. 정의 **f(x)** 버튼을 클릭하고 옵션에서 **SRT**를 선택합니다.

18. **SRT** 변수를 만듭니다.



초록색 **+** 버튼을 클릭하고, 변수의 이름으로 'tank'를 입력합니다 (참고: 'srt'가 모든 변수 이름 앞에 자동으로 추가되기 때문에 전체 이름은 'srttank'입니다).

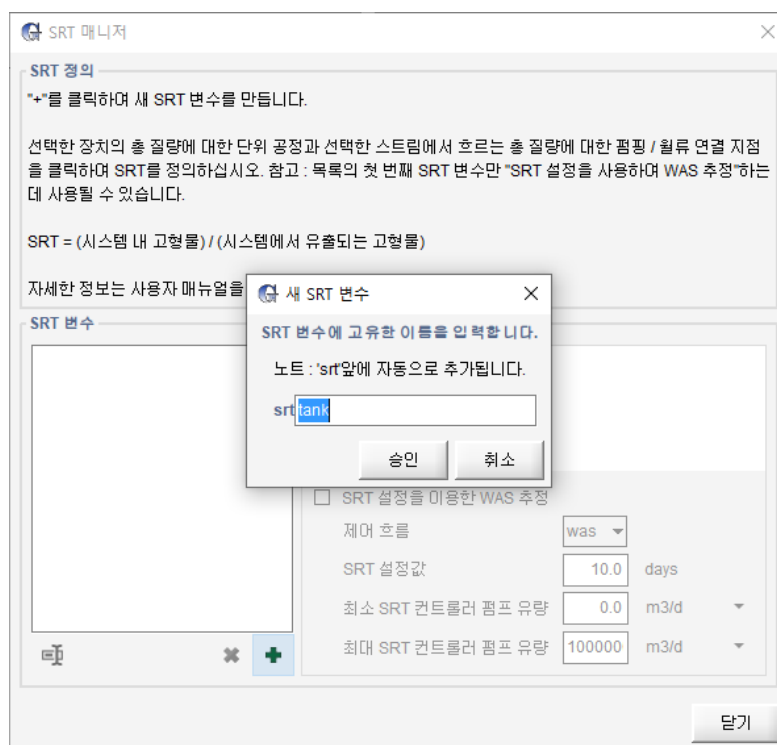


그림 8-9 SRT 정의하기

19. 승인 버튼을 클릭합니다. 비어 있는 새 SRT 방정식이 창의 오른쪽에 보일 것입니다.

20. 방정식을 정의합니다.

이 단계에서는 SRT 관리자 창이 열려 있는 상태에서 드로잉 보드의 적절한 위치를 클릭하는 작업이 포함됩니다.

SRT 방정식에는 분자와 분모 두 가지를 정해야 합니다: 질량() / 질량 유량()

- I. 분자는 방정식의 질량 부분이며 각 반응조에 들어있는 고형물의 질량을 포함합니다. 일반적으로 SRT 계산에는 포기조 내 고형물의 질량만 고려하지만 포기조와 최종 침전지의 질량을 더하여 SRT를 계산할 수도 있습니다. SRT 방정식이 표시되는 동안 반응조를 클릭할 때마다 해당 반응조의 고형물 질량이 SRT 계산에 포함됩니다.

분자에 추가하기 위해 다음 공정을 클릭합니다:



- 포기조 (이 단계는 여러 개의 반응조를 나타내기 때문에 포함시킬 대상을 묻는 메시지가 표시됩니다. 모두 포함합니다.)

- 침전지

- II. 방정식의 분모 부분은 SRT를 계산하는데 사용되는 초과 고형물 질량 흐름 선입입니다. 이것은 시스템 외부 고형물을 운송하는 유량 흐름을 가리킴으로써 수행됩니다. 일반적으로 폐 슬러지 유량만을 포함합니다.

다음 연결 지점을 클릭하여 분모에 추가합니다:



- was

- fe

방정식은 다음과 같이 보일 것입니다:

질량(mlss,fe)/질량 유량(was,fe)

그러나, 본 예제에서는 침전지의 질량은 포함하지 않을 것입니다.

#### 21. 침전지의 질량을 제거합니다.

이를 제거하기 위하여 침전지를 다시 클릭하면, 최종적으로 다음과 같이 보입니다.


질량(mlss)/질량 유량(was,fe)

#### 22. 방정식을 승인하기 위하여 SRT 매니저 창을 닫습니다.

#### 23. 레이아웃을 저장 합니다.

#### 24. 시뮬레이션 모드로 변경합니다.

#### 25. SRT 변수를 사용하여 그래프를 만듭니다.

시뮬레이션 모드에서 정의  메뉴를 통해 SRT 매니저를 열면 SRT 변수와 방정식만 볼 수 있습니다. 이 창에서 변수 이름을 새 그래프 또는 기존 그래프로 드래그 할 수 있습니다. 'srttank' 변수를 출력 창으로 드래그 합니다.

그래프에 SRT와 동적 SRT 두 개의 변수가 추가됩니다. 필요에 따라 둘 중 하나를 제거할 수 있습니다. 이번 경우에는, 둘 다 남겨둘 것입니다.

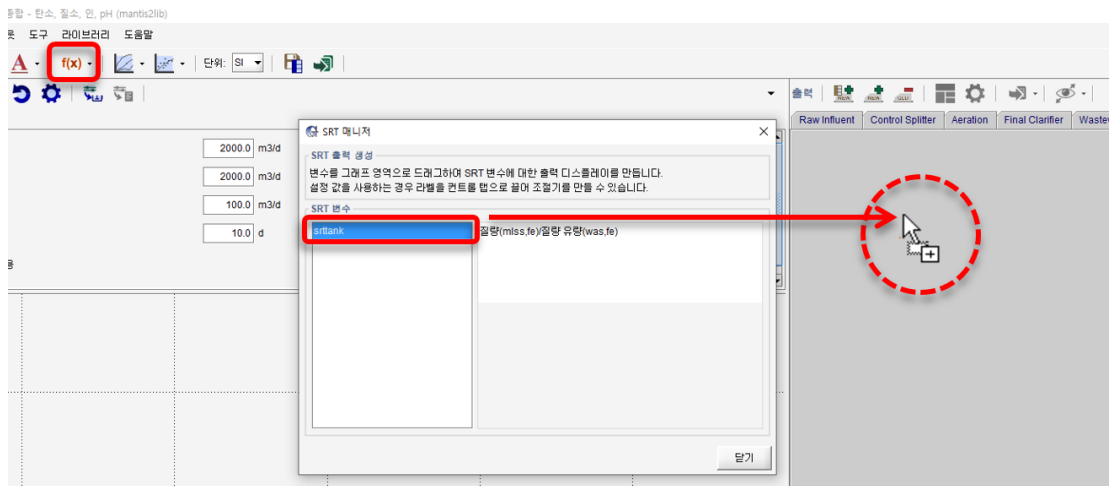



그림 8-10 그래프로 SRT 변수 드래그하기

26. 그래프 설정을 변경합니다.

y축 최대값을 30일, 그래프 제목을 "SRT"로 변경합니다.

27. 레이아웃을 저장  합니다.

28. 몇 가지 시뮬레이션을 실행하며, 시스템에서 폐기되는 고형물의 양에 따라 변화되는 SRT를 관찰해 보시기 바랍니다.

2차 침전지의 was 흐름 라인을 마우스 오른쪽 버튼으로 클릭하고 **입력 변수 > 운전조건 입력**에서 **[was] 펌프 유량**에 대한 입력 제어기를 추가합니다.

정상 상태 체크를 해지하고, 정지 시간으로 적용하여 20일 동적 모의를 수행합니다.

시뮬레이션이 진행되는 동안, WAS량을 변경하며, SRT를 관찰합니다.

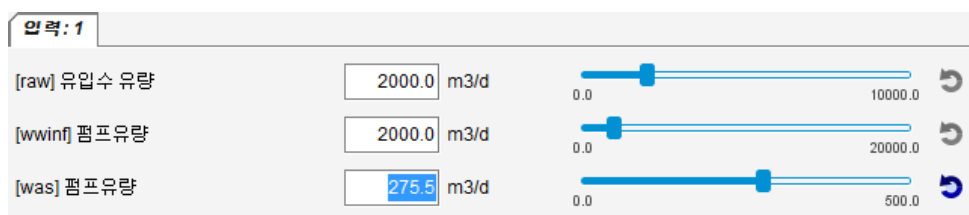


그림 8-11 입력 제어기 업데이트

## 평균 정의하기

평균을 정의하는 절차는 질량 흐름을 설정하는 것과 유사합니다. 또한 평균 계산은 정의된 질량 흐름, SRT, F/M 비에 적용될 수 있습니다. 이제 앞서 정의된 유출 흐름 내 **질량 유량**에 평균 계산을 적용해 볼 것입니다.

29. 모델링 모드로 변경합니다.

30. 정의 **f(x)** 를 클릭한 후 **일 평균**을 선택하면 일 평균 정의 창이 나타납니다.

31. 변수 유형을 변수 정의로 선택합니다.

여기에서는, 그림 8-12과 같이 **2-방향 혼합기 > Finaleff > 질량 유량** 아래의 **"질량 유량. 총 부유물"** 변수를 선택합니다.

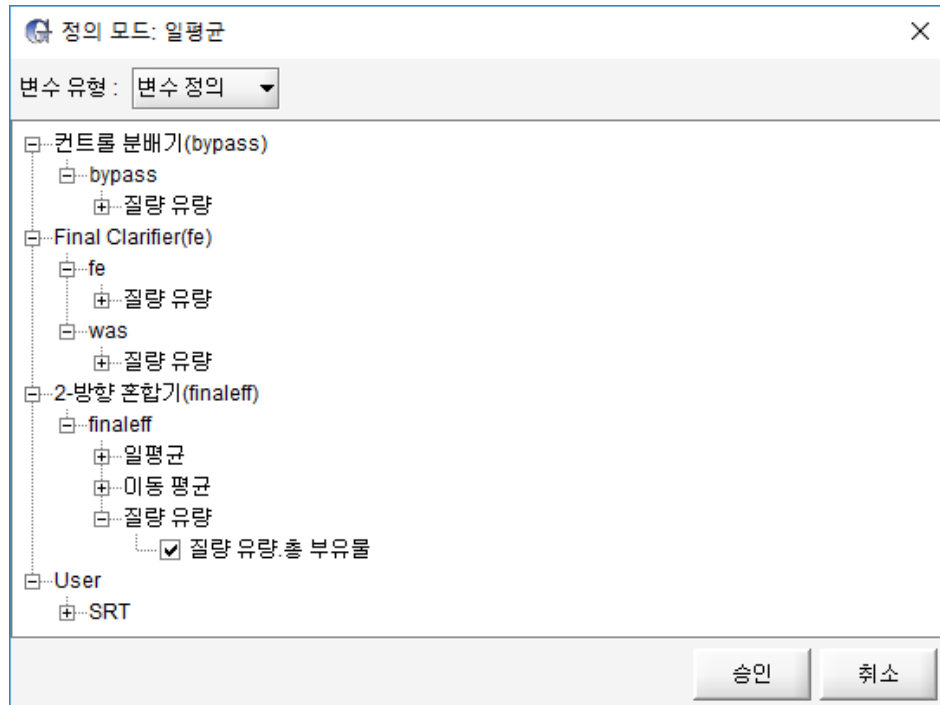



그림 8-12 일 평균 정의 마법사

32. 승인 버튼을 클릭하고 레이아웃을 저장합니다.

여러분은 이제 finaleff 흐름 라인의 부유 고형물 질량 유량에 대한 일 평균 계산을 설정했습니다.

33. 동일한 과정으로, finaleff 흐름 라인 내 질량 유량.총 부유물에 대한 **이동 평균**을 정의합니다. 위의 단계 중 정의 메뉴에서 일 평균 대신 이동 평균을 선택하는 것을 제외하고 동일하게 반복합니다.

34. 레이아웃을 저장  합니다.

35. 시뮬레이션 모드로 변경합니다.

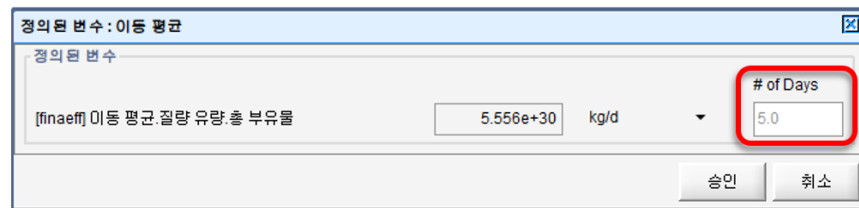


## 36. 일 평균과 이동 평균 변수를 그래프에 추가합니다.

혼합기의 finaleff 연결지점에서 우 클릭을 하고 출력 변수 > 정의된 변수 > 일 평균을 선택하여 그래프를 만들기 위해 출력 탭의 빈 영역으로 변수를 드래그 합니다.

이동 평균에 대해서도 같은 그래프에 동일하게 드래그 합니다.

참고: 변수 이름의 오른쪽에 숫자가 있는 이동 평균 변수의 표시 형식이 볼 수 있습니다. 이 숫자는 각 이동 평균 계산에 사용되는 일 수를 나타냅니다. 사용자는 모델링 모드에서만 **# of Days** 값을 편집할 수 있습니다.



## 37. 그래프 설정을 변경합니다.

두 변수에 대해 최대 값을 1,000 kg/d로 설정합니다. 적절한 이름을 입력합니다.

## 38. 모델을 실행하고 유입수 유량을 변경하여 이동 평균과 일 평균을 관찰합니다.

변화를 관찰하기 위해 지연 값을 0.1으로 설정하고, 정지 시간을 20일로 하여 모의합니다.

유입수 유량에 대한 슬라이더 또는 값을 직접 올려주며, 출력 그래프가 어떻게 변화하는지 검토합니다.

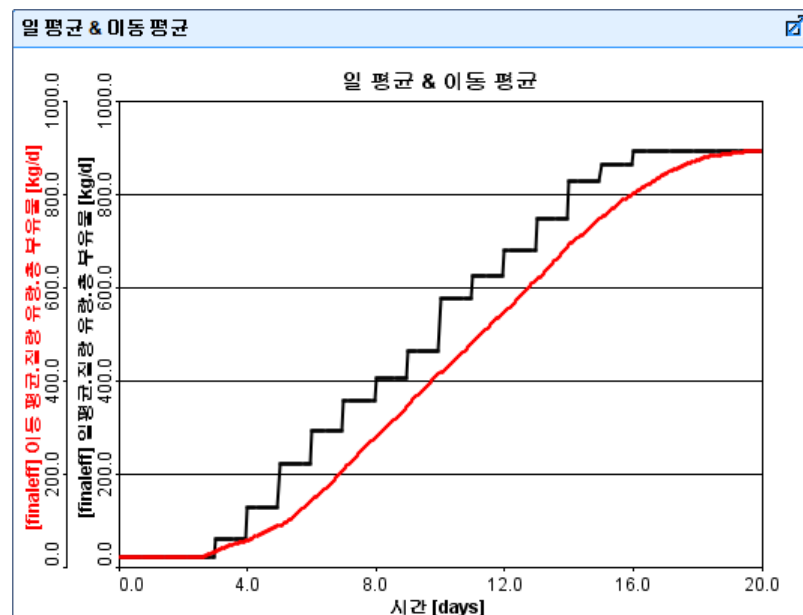


그림 8-13 이동 및 일 평균 출력 그래프

## WAS 유량으로 SRT 제어하기

SRT 공식을 정의할 때 SRT용 공정 제어를 만들 수 있습니다. 이 제어기는 주어진 SRT 설정 값을 달성하기 위해 폐기유량을 조절합니다.

39. 모델링 모드로 변경합니다.
40. SRT 제어를 설정합니다.

SRT 매니저 창을 불러온 뒤, SRT 설정을 이용한 WAS 추정 옵션에 체크합니다.

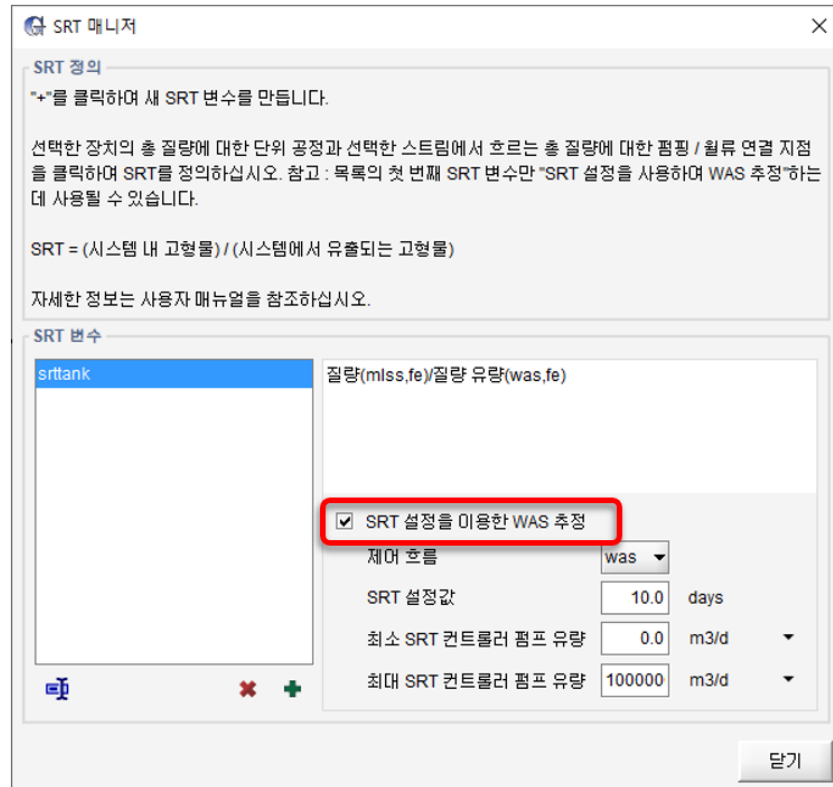


그림 8-14 SRT 설정을 이용한 WAS 추정

41. 본 튜토리얼에서는 설정 값들에 대해 기본 값으로 두겠습니다. 하지만, 설정 섹션에서 사용하는 제어를 위한 적절한 폐기유량을 선택하고 최소/최대 컨트롤러 펌프 유량 그리고, SRT 설정값을 입력하여야 합니다.

이 방법을 통해 한 번에 하나의 SRT만 제어할 수 있습니다. 다수의 SRT 제어가 필요한 경우(예: 병렬로 연결된 설비의 경우) PID 제어 루프를 2차 침전지의 펌프 제어 섹션 또는 도구 상자 객체에서 사용할 수 있습니다. PID 제어기에 관한 더 자세한 정보는 튜토리얼 5에 있습니다.

42. 시뮬레이션 모드로 변경합니다.

#### 43. 다른 입력 제어를 만듭니다.

시뮬레이션 모드에서 SRT 매니저를 다시 열고 **SRT 설정** 값을 입력 제어기 탭으로 드래그 하여 해당 변수에 대한 슬라이더를 만듭니다. 최대 값을 30 일로 변경합니다.

동시에 SRT 매니저 창에서 **SRT 설정을 이용하여 WAS 추정**을 입력 제어기 탭으로 가져와 켜기/끄기 스위치를 작성합니다. 원하는 경우 모델링 모드에서 SRT 매니저를 열지 않고도 이 설정을 쉽게 조정할 수 있습니다.

#### 44. 출력 그래프를 만듭니다.

SRT 설정 값을 변경하는 동안 필요한 WAS 유량을 관찰하기 위해 WAS 유량을 SRT 그래프와 동일한 탭에 작성합니다. 침전지의 WAS 연결점을 클릭하고 **출력 변수 > 유량**을 선택합니다. 그래프 설정을 편집하고 적절한 이름을 지정한 다음 y 축의 최대 값을 500 m<sup>3</sup>/d로 변경하십시오.

45. 다양한 **SRT** 설정 값에서 시뮬레이션을 실행하여 원하는 **SRT**를 달성하기 위해 필요한 **WAS 유량**을 관찰합니다. 아래 그림 8-15에 예가 나와 있습니다. 시뮬레이션 중에 SRT 설정 값 제어가 조정되는 방법에 따라 출력물이 다르게 나타날 것입니다.

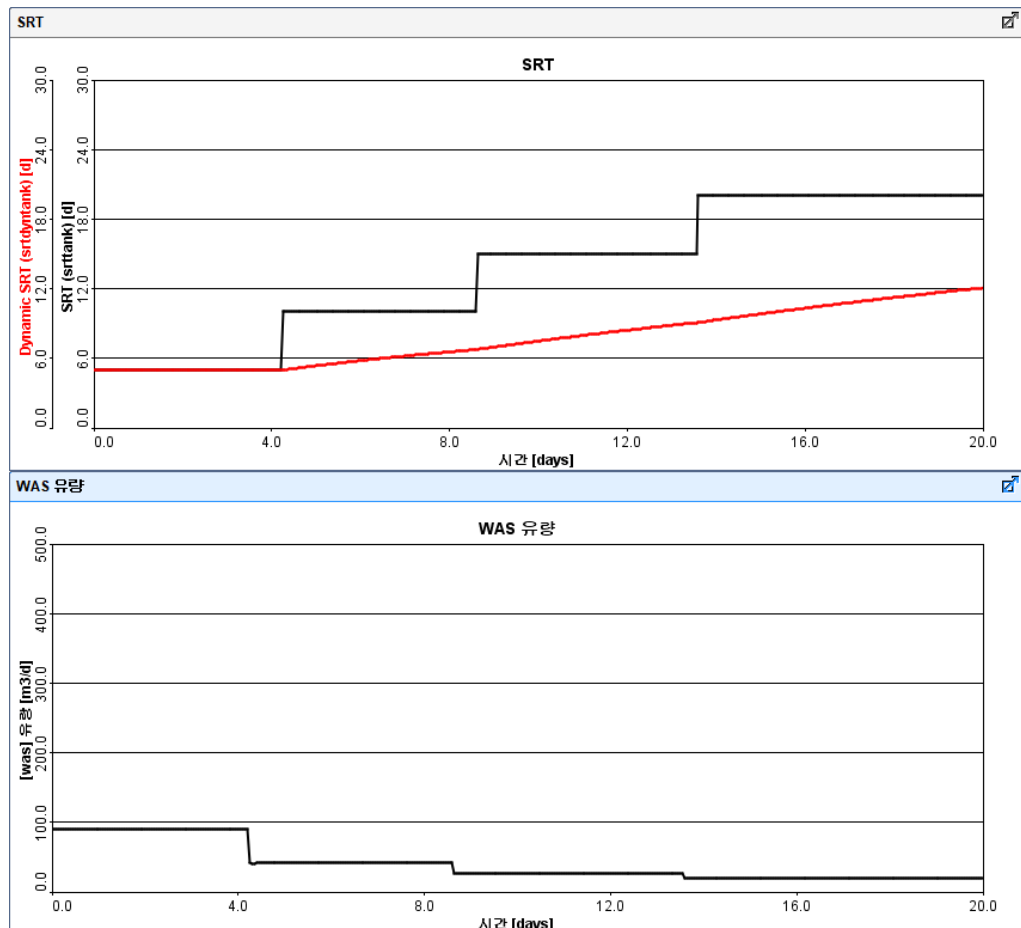


그림 8-15 SRT와 WAS 유량 출력 그래프

## 튜토리얼 9

### 민감도 분석

#### 문제 설정

어떤 모델에 대해 서든지 가장 먼저 진행해야 하는 작업 중의 하나가 모델 파라미터에 대한 민감도 분석입니다. 민감도 분석을 하는 두 가지 이유는 다음과 같습니다: **1) 모델 결과를 검증 2) 보정하는 동안 조절 가능한 파라미터를 식별하기 위한 것입니다.** 전자는 모델링을 하는 사람이 모델에 대해 어느 정도 신뢰성을 갖도록 하기 위한 것입니다. 기대된 움직임 범위 내에서 모델이 거동할 때 신뢰성을 가집니다. 예를 들면, 포기조로 유입되는 공기량이 낮을 경우 용존 산소의 농도가 낮아져야 합니다. 후자는 모델의 응답에 가장 영향을 많이 주는 파라미터를 결정하는데 유용합니다. 우리는 보정을 실행하는 동안 모델의 거동에 영향을 주지 않는 파라미터를 조절하기를 원하지 않습니다.

모델을 보정하고 검증한 후, 민감도 분석이 유용하게 활용될 수 있는 또 다른 이유가 있습니다. 때때로 수학적 모델은 내부를 들여다볼 수 있게 하며, 다른 방법으로 수행하지 못했던 운전 전략을 조사할 수 있도록 합니다. 이 과에서, 여러분은 기본적인 모델에 대한 정상 상태 및 동적 상태의 민감도를 조사할 것입니다.


#### 목적

이 튜토리얼의 목적은 GPS-X 모델로부터 어떻게 가능한 많은 정보를 추출하는지에 대한 방법을 알아볼 것입니다. 이 과를 마치면서 여러분은 분석 기능에 대한 작업 지식을 개발해야 합니다. 이것은 정상상태, 위상 다이내믹, 시간 다이내믹 민감도 분석을 설정하고 구동하는 것입니다. 이 튜토리얼을 마치면서 이러한 시뮬레이션으로부터 나온 결과를 해석하는 방법 또한 학습할 것입니다.

#### 레이아웃 설정하기

분석 모듈은 GPS-X의 옵션 기능입니다. 만약 이 모듈 구매에 관심이 있으시다면 하이드로소프트사에 연락주시기 바랍니다.

이번 GPS-X 기능은 다양한 시뮬레이션이 필요하기 때문에 예제의 목적으로 유입수, CSTR, 장방형 2차 침전지로 구성된 단순한 모델로 작업을 수행할 것입니다.

1. 새 레이아웃을 생성  합니다.
2. 라이브러리 메뉴에서 종합 - 탄소, 질소, 인 **ph (mantis2lib)**를 선택합니다.
3. 그림9-1와 같이 레이아웃을 만듭니다.

각 객체를 우 클릭하여, 모델을 정합니다. 유입수 객체는 **CODstates**, 완전혼합 반응조 모델은 **mantis2**, 장방형 침전지 모델은 **simple1d**를 선택합니다. 이들은 모두 기본 값입니다.

4. 레이아웃을 "tutorial-9"으로 저장  합니다.

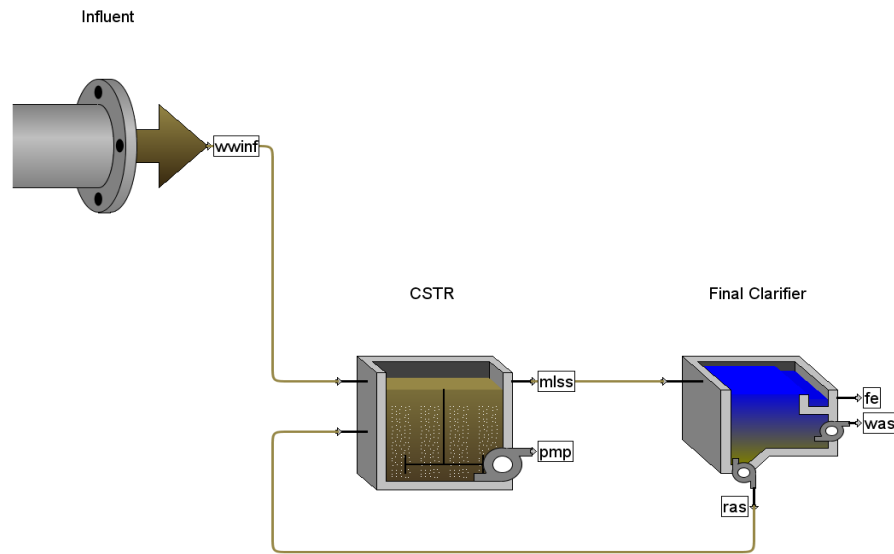


그림 9-1 튜토리얼 9 레이아웃

### 분석 매개변수 설정하기

5. 시뮬레이션 모드로 변경합니다.
6. 새 시나리오를 만듭니다. 이름은 "사인곡선"으로 합니다.
7. 유입 매개변수를 변경합니다. 유입수의 공정 메뉴로 가서 다음을 변경합니다:
  - 유량 > 유량 정보 > 유량 형태를 **사인곡선**으로 변경
  - 유량 > 유량 정보 > 유입수 유량을 **5,000 m<sup>3</sup>/d**으로 변경
  - 유입수 > 유입수 농도 부하 옵션 > 부하형태를 **사인곡선**으로 변경
8. **CSTR** 매개변수를 변경합니다.
  - 입력 변수 > 운전조건 입력 > 산소 공급 방법을 **공기량** 입력으로 설정합니다.
  - 포기조 유입 공기량을 **15,000 m<sup>3</sup>/d**로 설정합니다.

## 9. 입력 제어를 만듭니다.

유입수 유량과 포기조 유입 공기량을 입력 제어 탭에 배치합니다. 이들은 다음 위치에서 찾을 수 있습니다:

- 유입수 유량 변수는 유입수 객체의 유량 > 유량 정보
- 포기조 유입 공기량은 CSTR 객체의 입력 변수 > 운전조건 입력


두 변수를 동일한 입력 제어창에 배치합니다. 유입수 유량은 2000-10,000 m<sup>3</sup>/d, 공기량은 10,000-40,000 m<sup>3</sup>/d의 범위를 가지도록 설정합니다.

## 10. 출력 그래프를 만듭니다.

4개의 다른 그래프를 만들 것이며, 각 그래프는:

- 암모니아성 질소 (침전지 흐름 라인(fe)에서 출력 변수 > 농도)
- 총 cBOD5 (침전지 흐름 라인(fe)에서 출력 변수 > 농도)
- 용해성 이질소 가스를 포함한 총 질소 (침전지 흐름 라인(fe)에서 출력 변수 > 농도 > 질소 변수 항목의 상세...)
- DO (CSTR의 출력 변수 > 농도)

최소값과 최대값은 NH<sub>3</sub>-N은 0-30 mgN/L, cBOD<sup>5</sup>는 0-200 mgO<sub>2</sub>/L, 총 질소는 0-100 mgN/L, DO는 0-5 mgO<sub>2</sub>/L로 합니다.

11. 그래프를 자동 정렬  합니다.12. 레이아웃을 저장  합니다.

## 정상상태 분석

이제 다음의 과정을 통해 사용자는 포기조로 유입되는 공기량에 대한 민감도 분석을 수행할 것입니다. 여기서 포기조는 앞선 과정에서 선택한 종속 변수들(NH<sub>3</sub>-N, cBOD<sub>5</sub>, 총 질소, DO)에 따라 변동 됩니다.

13. 독립 변수를 설정합니다. 입력 제어 항목에 대해 설정 창을 열고 다음과 같이 변경합니다:


- 포기조 유입 공기량의 형식은 “분석 - Step”
- **Delta** 값은 500으로 합니다. 이는 분석 시 최소값부터 최대값까지 단계별로 수행할 증가량입니다.

제어 항목	단위	최소	최대	델타	형식
* [wwin] 유입수 유량	m3/d	2000.0	10000.0	1.0	슬라이더
* [miss] 포기조 유입 공기량	m3/d	10000.0	40000.0	500.0	분석- Step

그림 9-2 독립 변수 설정하기

14. 분석 형식을 확인합니다.



메인 도구 메뉴에서 분석  을 클릭하여 정상 상태가 선택되었는지 확인합니다.

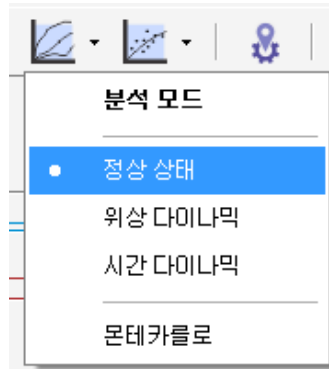



그림 9-3 분석 형식 선택하기

15. 분석 모드로 변경합니다.

분석  을 클릭하고, 분석 모드를 선택합니다.

메인 화면 아래의 상태 바 우측에 보면, 현재 상태가 분석 모드임을 알려주고 있으며 그려주는 독립 변수가 시간 대신에 x축에 있는 것으로 변경될 것입니다.

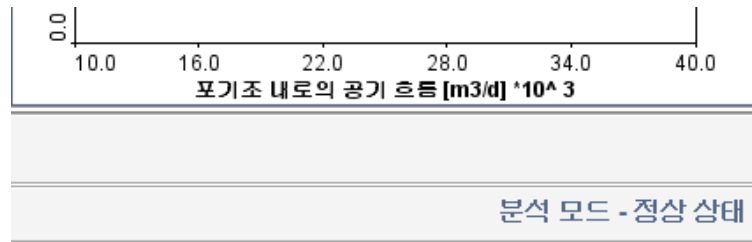


그림 9-4 "분석 모드 - 정상 상태"를 보여주는 상태 바

16. 정상 상태 0일 시뮬레이션을 수행합니다.

DO, 유출 BOD5, NH3 및 총 질소에 대한 공기량 증가에 대한 영향을 살펴봅니다. 전형적인 결과가 그림 9-5에 나와있습니다.

40,000 m<sup>3</sup>/d의 공기량은 DO가 2.0 mgO<sub>2</sub>/L 이상이 되는 것을 유의합니다.

유입 유량을 다르게 하여 분석을 해봅니다.

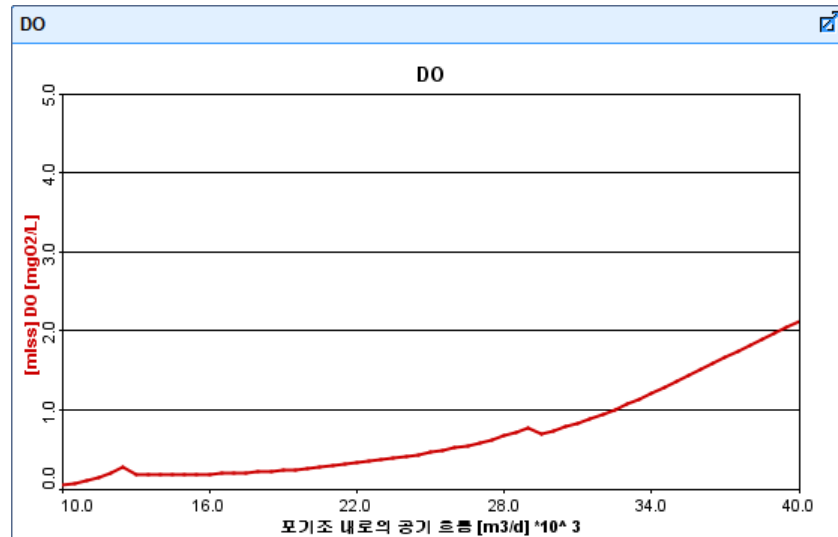



그림 9-5 정상상태 분석 결과



## 시간 다이내믹 분석

출력 변수(NH<sub>3</sub>-N, cBOD<sub>5</sub>, 총 질소, DO)로 선택한 종속 변수에 대하여 포기조 내로의 공기 흐름의 시간 동적 민감도 분석을 수행할 것입니다.

17. 분석 형식을 변경합니다.

분석  을 클릭하고 시간 다이내믹으로 변경합니다.

메인 화면 아래의 상태 바가 분석 모드 - 시간 다이내믹임을 알려줍니다. 그래프는 일반 시뮬레이션 모드와 같이 x축은 시간입니다.

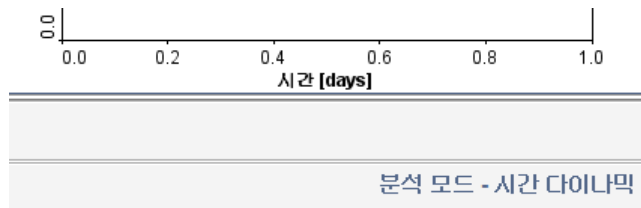


그림 9-6 “분석 모드 - 시간 다이내믹”을 보여주는 상태 바

18. 시뮬레이션 시간을 1일로 설정하고 (정상 상태를 체크하여 초기 조건을 정상상태로 합니다) 시작합니다.

시뮬레이션 결과는 그림 9-7에 나와 있습니다.

다양한 그래프 위의 각각의 연속적인 곡선은 포기조로 유입하는 특정 공기량을 사용한 동적 시뮬레이션의 결과입니다. 그림 9-7에서 주목해야 할 내용은 공기 유량 값과 포기조 내 용존 산소 농도가 증가한다는 것입니다. 또한 이것은 사인 곡선 형태의 유입 유량 및 부하 패턴으로 인하여 시간에 따라 변동합니다. 그래프에서의 실행 곡선의 수는 보기 > 환경설정 > 입/출력 > 표시된 실행 횟수로 가서 변경할 수 있습니다.

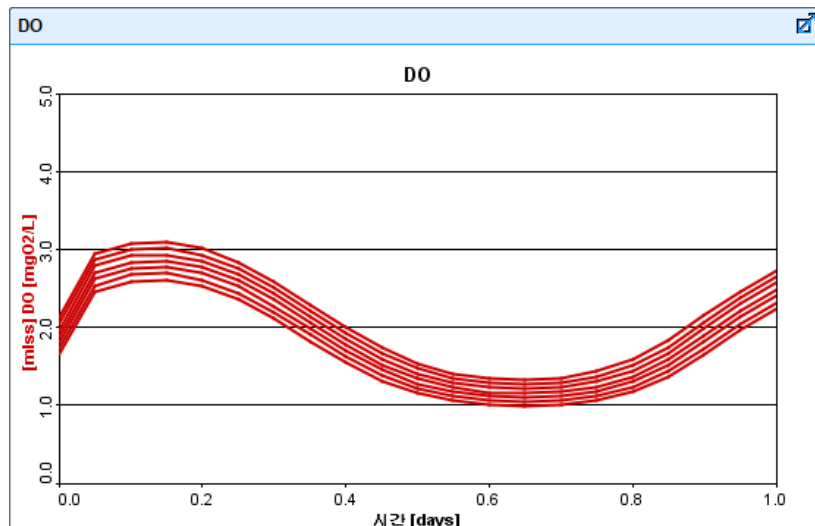



그림 9-7 시간 다이내믹 분석 결과의 예

## 위상 다이내믹 분석

출력 변수 (NH<sub>3</sub>-N, cBOD<sub>5</sub>, 총 질소, DO)로 선택한 종속 변수에 대한 포기조로 유입하는 공기량의 위상 동적 상태 민감도 분석을 수행할 것입니다.

19. 분석  드롭다운 메뉴에서 위상 다이내믹을 선택합니다.
20. 시뮬레이션 시간을 1일로 (초기 조건은 정상 상태가 되도록 정상 상태를 체크한 상태) 설정한 후 시뮬레이션을 시작합니다.

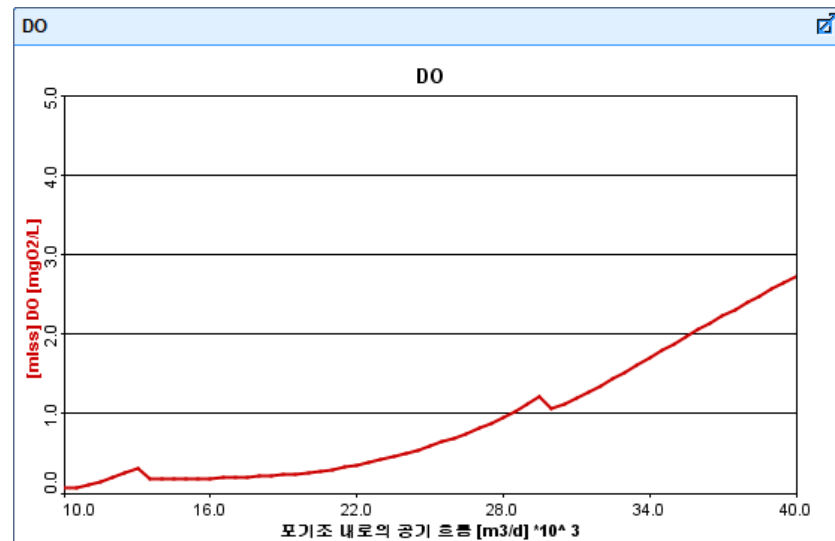


그림 9-8 위상 다이내믹 분석의 예

이러한 유형의 분석은 이전 단계 에서와 같이 동일한 동적 시뮬레이션을 구동하도록 합니다. 단지 그래픽 표현에 차이점이 있습니다. 여기에 나타난 결과가 시간에 대한 그래프가 아니라 분석된 변수에 대한 그래프가 그려집니다. 시뮬레이션의 길이가 위상을 설정할 것입니다. 사인 곡선의 유입수에 대한 결과가 그림 9-8에 나타나 있습니다.

본 예시에서는 시뮬레이션이 아주 동적이지는 않기 때문에 정상 상태 분석과 매우 유사한 결과를 나타냅니다.

그래프는 공기량 10,000-40,000 m<sup>3</sup>/d에 대해 1.0일 후 DO 농도를 보여줍니다. (t=0에서 정상 상태 분석을 수행할 때 정상 상태 값을 나타내는 것과 반대로).

# 튜토리얼 10

## 파라미터 최적화

### 문제 설정

모델 보정과 검증은 어떤 모델링 프로젝트에서도 가장 중요한 항목 중 하나입니다. 파라미터 예측으로 알려진, 모델 보정은 실제 측정값과 시뮬레이션 결과 차이가 최소화되도록 모델 파라미터를 조정하는 과정으로 정의할 수 있습니다. 예를 들어, 실제 측정값과 시뮬레이션 한 방류수의 부유물질 농도 차이가 너무 크다면, 여러분은 모델의 일부 파라미터를 조정하고 싶을 것입니다.


GPS-X는 모델의 파라미터를 조정하는 매우 간편한 방법을 제공합니다. 이 방법은 비선형 동적 다변수 최적화 알고리즘 (Nelder-Mead simplex method)을 기본으로 하고 있습니다.

이 예제에서, 측정된 용존 기질 농도와 모델이 예측한 농도가 일치하도록 두 가지 동역학 파라미터 (중속영양생물의 성장률 및 반포화 상수)의 예측이 수행될 것입니다. 이 과정에서 다루게 될 예제가 단순히 하나의 CSTR 단위 공정을 사용하지만 아래의 절차는 매우 중요합니다.

### 목적

이 튜토리얼의 목적은 GPS-X를 이용한 파라미터 예측에 대한 기본적인 이해를 하는 것입니다. 이번 과를 마치고 나면 여러분은 자료에 적합한 변수를 목표로 삼고, 조정하고자 하는 모델 변수 선택하고, 목적 함수의 형태를 지정할 수 있을 것입니다. 종료 기준과 자료의 수와 같은 다른 최적화 변수도 이번 과에서 설명할 것입니다.

## 레이아웃 설정하기

1. 새 레이아웃  을 만듭니다.
2. 탄소, 질소 (**cnlib**) 라이브러리로 변경합니다.

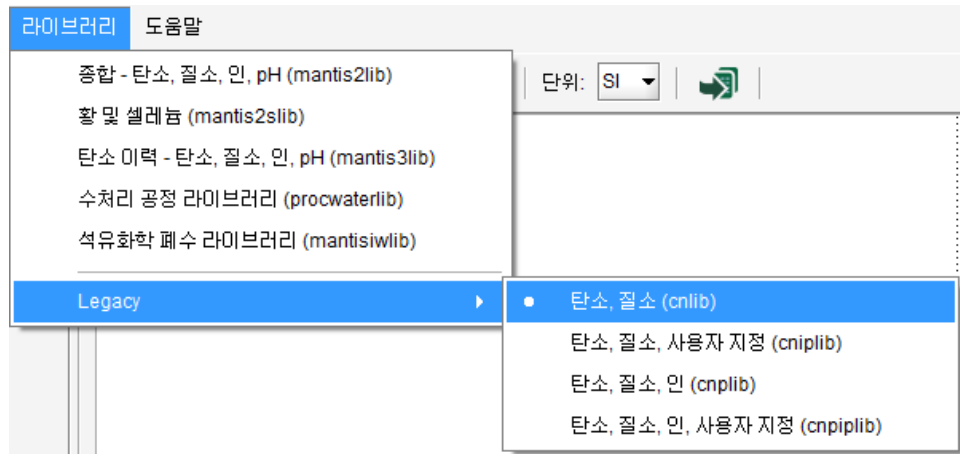


그림 10-1 Cnlib로 라이브러리 변경

3. 단일 **CSTR**을 생성하고, 모델을 **mantis**로 지정합니다.

흐름 라인 라벨은 기본 값으로 둡니다 (숫자는 1에서 4여야만 합니다).

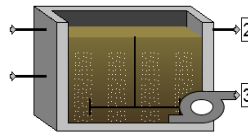


그림 10-2 최적화를 위한 간단한 레이아웃


4. 반응조의 초기 농도를 설정합니다.

반응조를 우 클릭 후 초기 조건 > 초기 농도로 가서 초기 쉽게 생분해가능 기질 변수를 **200 mgCOD/L**로 변경합니다.

5. 반응조의 매개변수를 변경합니다.

- 입력 변수 > 운전조건 입력 > 산소 공급 방법으로 **공기량 입력**을 선택합니다.
- 포기조 유입 공기량을 **40,000 m<sup>3</sup>/d**

6. 시뮬레이션 설정 매개변수를 변경합니다.

메인 도구 막대에서 플랜트 일반 정보  를 클릭하고, 시뮬레이션 설정 탭을 변경합니다.

정지시간을 **0.25 d**로, 통신 간격을 **0.01d**로 변경합니다.

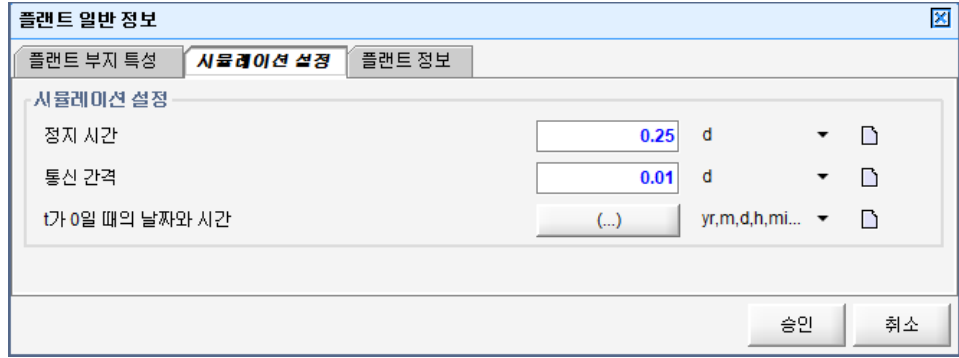


그림 10-3 시뮬레이션 설정 변경하기

7. 모델을 "tutorial-10"으로 저장합니다.
8. 시뮬레이션 모드로 변경합니다.
9. 출력 그래프를 만듭니다.

**CSTR 유출부의(2)의 출력 변수 > 농도 > 유기 변수 항목 > 상세...에서 분해성 용해 기질을 선택하여 출력 그래프에 배치합니다. 출력 그래프에서 범위를 0-300 mgCOD/L로 설정합니다.**

10. **0.25 일 시뮬레이션을 실행합니다. (반드시, 정상 상태에 체크 표시가 해제되어 있는지 확인합니다.)** 결과는 그림 10-4와 같이 나타나야만 합니다.

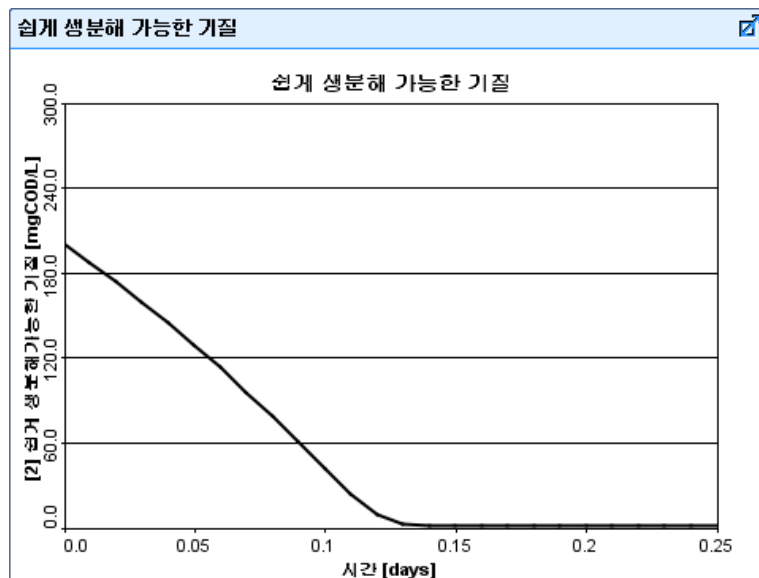


그림 10-4 쉽게 생분해 가능한 기질의 결과 그래프

이제 유출수 용해성 기질 데이터와 시뮬레이션 결과 간에 가장 적합한 결과를 얻기 위해 2 개의 동역학 파라미터를 최적화할 것입니다.

## 11. 입력 제어 탭을 만듭니다.

입력 제어 탭에 다음 매개변수 (반응조의 입력 변수 > 동역학)를 둡니다:

- 종속영양미생물 최대 성장률
- 쉽게 생분해가능한 기질의 반포화상수


성장률에 대해 0.5~5.0, 반포화 상수에 대해서는 0.5~10으로 범위를 지정합니다.

## 12. 관측 데이터 파일을 추가합니다.

표 10-1의 예제 데이터로 엑셀 파일을 만들고 레이아웃 파일과 동일한 폴더에 저장한 다음 레이아웃에 추가합니다. 만약 이 단계가 어려우시다면, 튜토리얼 6의 방법 A: 엑셀 입력 파일 수동으로 입력하기를 참고하시기 바랍니다.

표 10-1. 최적화를 위한 예제 데이터

t	ss2
d	mgCOD/L
0.00	213.5401
0.01	209.4151
0.02	197.8075
0.03	187.389
0.04	172.1104
0.05	185.44
0.06	178.8617
0.07	148.0012
0.08	152.297
0.09	142.1657
0.10	120.4514
0.11	117.4068
0.12	120.551
0.13	95.89756
0.14	84.38476
0.15	79.90364
0.16	73.47583
0.17	47.58231
0.18	39.27833
0.19	28.0756
0.20	16.67731
0.21	4.3656
0.22	0.624523
0.23	1.157525
0.24	0.985331
0.25	1.235542

13. 레이아웃을 저장  합니다.

14. 시뮬레이션을 재실행합니다.

시뮬레이션 데이터와 측정 데이터의 차이를 최소화하기 위해 성장률과 반포화상수 매개변수를 입력 제어 창에서 수동으로 변경합니다.

그림 10-5는 성장률 및 반포화상수 매개변수를 수동으로 변경하기 전 초기 결과를 보여주고 있습니다.

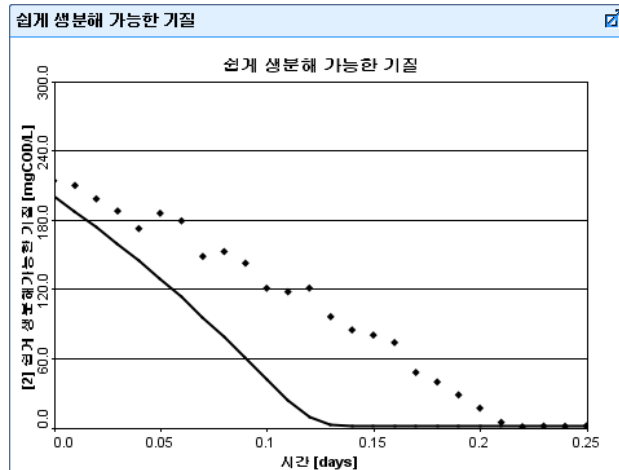


그림 10-5 예제 데이터가 있는 쉽게 생분해 가능한 기질의 출력 그래프

### 최적화 도구를 이용한 자동 보정

앞에서 모델을 수동으로 보정을 하였고 (예, 슬라이더를 이용한 **중속 영양 미생물 최대 성장률**과 **쉽게 생분해 가능한 기질의 반포화상수** 파라미터를 조정한 후 시뮬레이션을 다시 실행), 이제 여러분은 이러한 파라미터를 미세 최적 조정하는 보정 과정을 자동화할 것입니다

**참고:** 최적화를 수행하기 전에 파라미터가 시뮬레이션 응답에 미치는 영향을 결정하기 위해 항상 우선적으로 수동 보정을 수행할 것을 권장합니다.

15. 모델링 모드로 변경합니다.




16. 상단 메뉴에서 최적화  버튼을 클릭하고, 설정 최적화를 선택합니다.



그림 10-6 최적화 메뉴

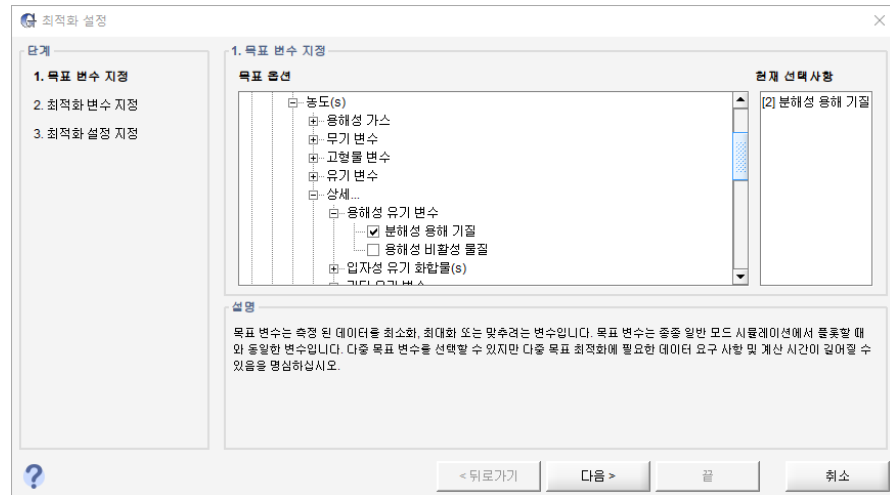


그림 10-7 최적화 설정 마법사(목표 변수)

17. 목표 변수를 선택합니다.

이 예제의 경우, 반응조에서의 분해성 용해 기질이며 아래에서 찾을 수 있습니다:

완전혼합반응조(2) > 2 > 농도 > 상세...

18. 다음 단계로 가기 위해 다음을 클릭합니다.

19. 최적화 변수를 선택합니다.

이는 최적화 과정에서 조정되는 입력 매개변수입니다. 다음 변수를 선택합니다:

- 종속영양미생물 최대 성장률
- 쉽게 생분해가능한 기질의 반포화상수

이들은 다음에서 찾을 수 있습니다:

완전혼합반응조(2) > 동역학 > 활성 종속 영양 바이오매스

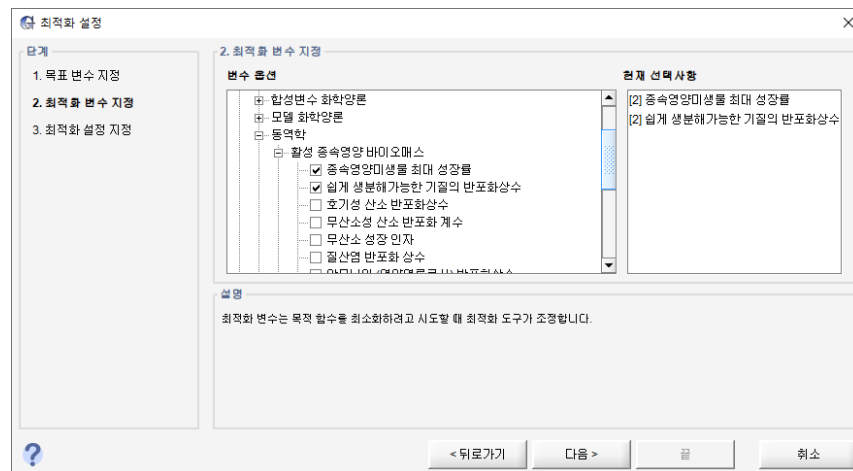


그림 10-8 최적화 설정 마법사(최적화 변수)



20. 다음 단계로 가기 위해 다음을 클릭합니다.

21. 최적화 설정을 지정합니다.

마지막 단계는 최적화의 종류를 지정하는 것입니다. 기본 설정인 데이터에 맞추기, 시계열, 최대우도를 이용할 것입니다.

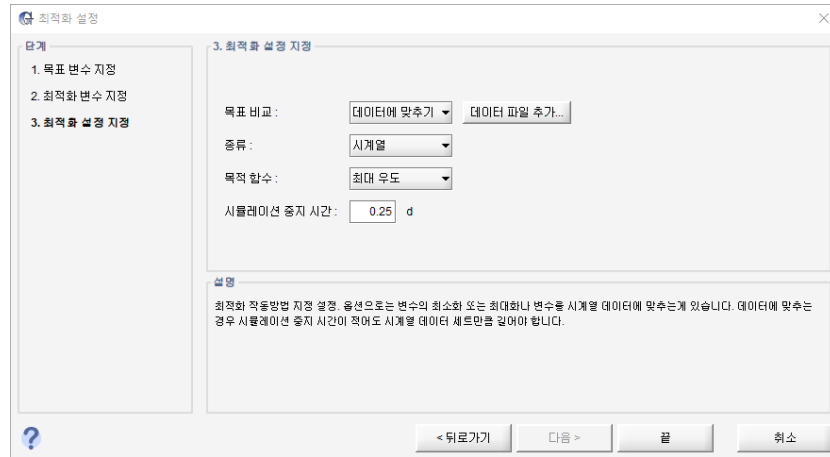




그림 10-9 최적화 설정 마법사(최적화 설정)


또한 "데이터 파일 추가..." 버튼을 이용하여 필요한 데이터를 추가할 수도 있지만, 이미 데이터 파일을 이전 단계(12번)에서 지정하였으므로 여기서는 이용하지 않습니다.

22. 끝을 클릭하여 구성을 완료합니다. 자동으로 시뮬레이션 모드로 변경됩니다.


새로 추가된 입력 제어창에는 최적화할 변수들이 이미 설정되어 있으며, 목표 변수는 우측에 결과 그래프 항목으로 추가되어 있습니다.

23. 최적화 모드를 입력합니다.

메인 툴바의 최적화  버튼을 누르고 최적화 모드를 선택합니다. 최적화 모드가 활성화되면 메인 툴바의 최적화 아이콘에 녹색 체크표시  가 있도록 변경됩니다.

24. 레이아웃을 저장  합니다.

25. 시뮬레이션을 시작합니다.

시뮬레이션 실행  을 클릭합니다. GPS-X는 관측된 데이터와 일치시키기 위해 정의한 두 개의 최적화 변수들을 조정해가면서 자동으로 연속 시뮬레이션을 수행합니다. 더 이상 최적화를 수행할 수 없다고 판단할 경우 시뮬레이션은 종료될 것입니다. 이 과정은 단지 몇 초 밖에 걸리지 않습니다.

각 최적화 단계마다 GPS-X는 현재 파라미터를 사용한 시뮬레이션 결과 (즉, 예측된 값)를 그려줍니다. 이는 최근 7개의 시뮬레이션을 그래프에 남깁니다. 실행곡선의 개수는 보기 > 환경설정 > 입출력 탭 > 표시된 실행 횟수에서 변경할 수 있습니다. 시뮬레이션 결과는 검은 선으로 나타나고, 자료는 붉은 색 점으로 표시됩니다.

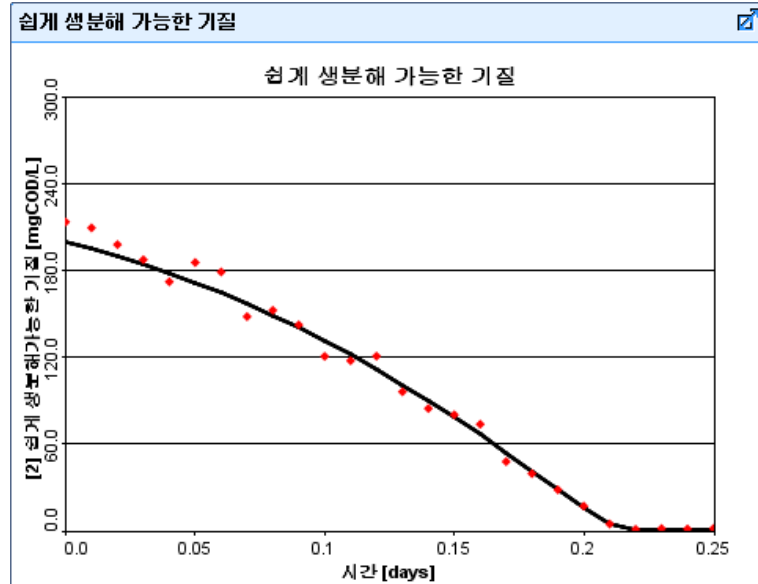
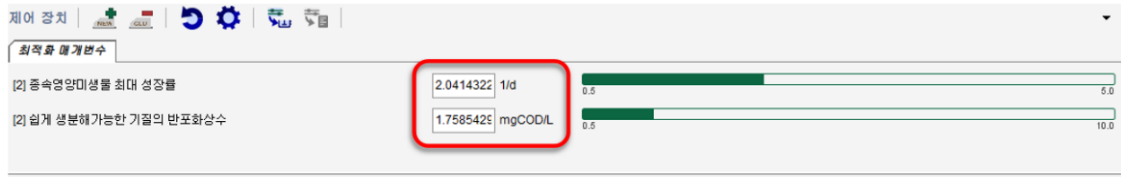


그림 10-10 최적화 결과

최적화된 값의 도출 과정은 명령 창을 통해서 더 정확히 확인 가능 합니다.

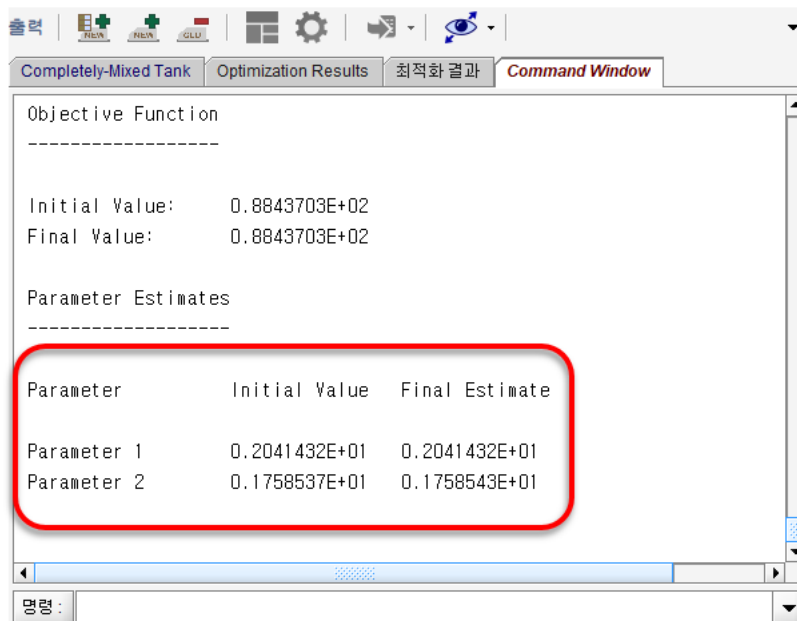


그림 10-11 명령 창

## 튜토리얼 11

### 사용자 맞춤 설정하기

---

#### 문제 설정

가능한 모든 공정 레이아웃이나 원하는 변수들을 충분히 자동적으로 다룰 수 있는 하폐수처리 공정 모델링/시뮬레이션은 일반적으로 존재하지 않습니다. 따라서, GPS-X는 모델 레이아웃을 사용자가 직접 다룰 수 있게 합니다. 이것이 GPS-X의 향상된 기능이며, GPS-X가 기본으로 하는 시뮬레이션 언어인 ACSL에 대한 이해가 필요합니다. 이 도구의 잠재적인 능력은 다음의 간단한 예제를 사용하여 보여질 것입니다.


이번 튜토리얼에서 여러분은 플러그흐름 반응조의 첫 번째 단의 비산소섭취율(SOUR)을 계산하기 위해 두 개의 방정식을 추가할 것입니다. 방정식 중 하나는 이상적인 산소섭취율(OUR) 측정을 가정할 것이며, 두 번째 식은 산소 소모율 측정 시 측정 noise를 시뮬레이션 할 것입니다. 이 변수는 독성 감지나 공정 제어 전략에 자주 사용됩니다.

#### 목적

이번 과에서는 여러분의 코드를 특정 공정 레이아웃에 입력하는데 필요한 과정을 소개하고자 합니다. 여러분은 GPS-X 인터페이스를 설정하는 방법, 마치 원래 레이아웃의 한 부분인 것처럼 사용자 정의된 변수들을 입력하고 출력하도록 설정하는 방법을 학습할 것입니다.

## 레이아웃 설정하기

1. **Tutorial 1**의 완성된 레이아웃을 열고, 'tutorial - 11'로 저장합니다.
2. 모델링 모드로 변경합니다.
3. 유입수의 매개변수를 변경합니다.
  - 유량 > 유량 정보 > 유량 형태를 **사인곡선**으로 변경
4. 반응조의 매개변수를 변경합니다.
  - 입력 변수 > 운전조건 입력 > 산소 공급 방법을 **공기량 입력**으로 변경
  - 포기조 유입 총공기량은 **30,000 m<sup>3</sup>/d**로 설정

5. 레이아웃을 저장  합니다.
6. 시뮬레이션 모드로 변경합니다.
7. 새 그래프를 작성합니다.

플러그흐름 반응조의 첫 번째 반응조에서의 유량과 변수를 같은 그래프에 추가합니다.

- 유입수의 **출력 변수** > 유량에서 유량을 추가합니다.
- 첫 번째 반응조에서 **실제 산소섭취율**을 추가합니다. 이는 **출력 변수 > 내부 변수**에서 찾을 수 있습니다. 개별 요소 확인을 위해 변수 옆의 (...) 버튼을 클릭하고 그래프로 첫 번째 요소를 드래그 합니다.

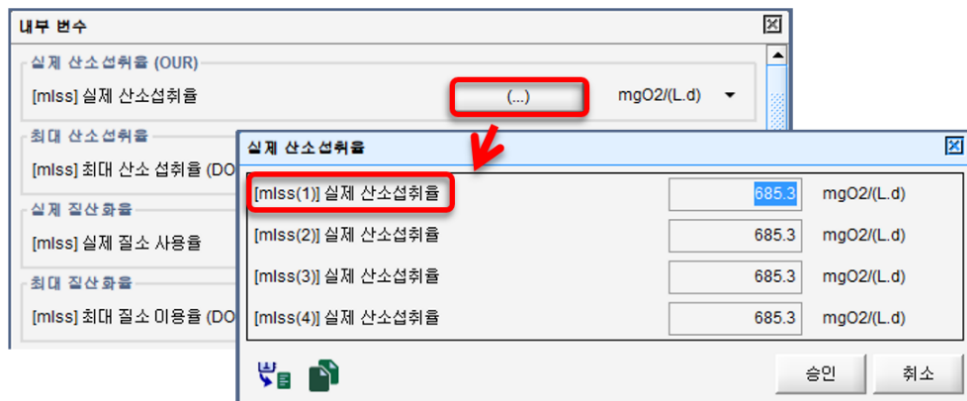




그림 11-1 개별 반응조 변수 확인하기

8. 그래프 설정을 변경합니다. 출력 그래프 설정 창에서
  - 유량 범위는 0-10,000 m<sup>3</sup>/d
  - 실제 산소섭취율 범위는 250 - 1,500 mgO<sub>2</sub>/L/d

참고: 이들을 각각 편집하기 위하여 최소/최대값을 잠금 해제  해야 할 수도 있습니다.

9. 레이아웃을 저장  합니다.
10. 모델이 올바르게 설정되었는지 확인하기 위해 10일 동적 시뮬레이션(정상 상태)을 수행합니다. 그림 11-2과 유사한 그래프를 얻을 수 있습니다.

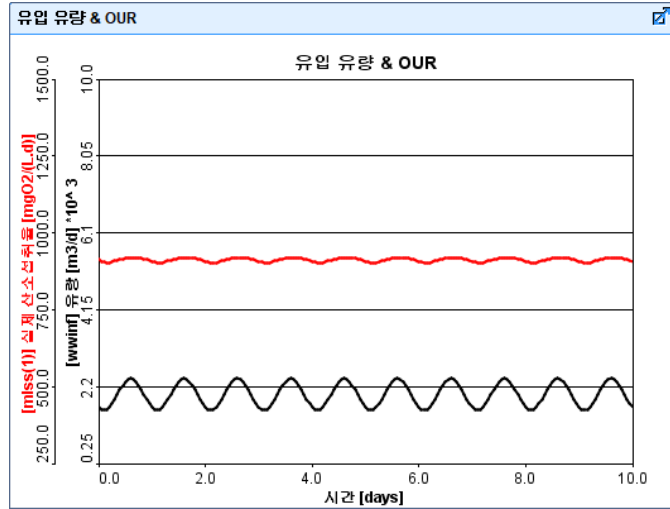


그림 11-2 동적 시뮬레이션에서의 예제 그래프

11. 모델링 모드로 변경합니다.

### 사용자 정의 매크로 추가

12. 매크로 사용자 파일을 엽니다.

메인 도구 막대에서 레이아웃 > 일반 데이터 > 사용자 파일 > 매크로...를 선택합니다.

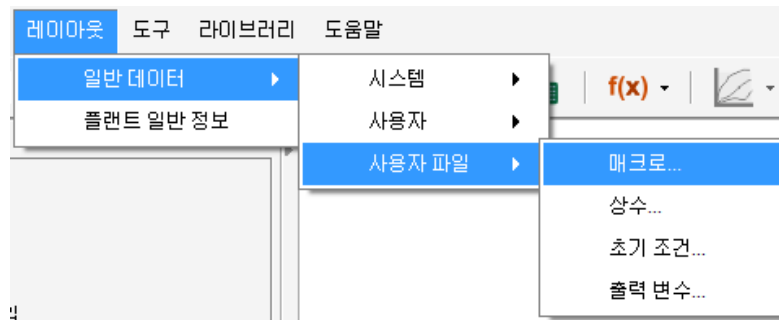


그림 11-3 매크로 사용자 파일

이 파일에는 별표로 구분된 여러 섹션이 있는데 이들은 처음 레이아웃을 저장할 때 만들어진 것입니다. 이들은 ACSL 프로그램 구조의 다른 섹션에 해당합니다. 이 예제에서는 아래와 같이 **DERIVATIVE SECTION**에 새 코드를 추가합니다.

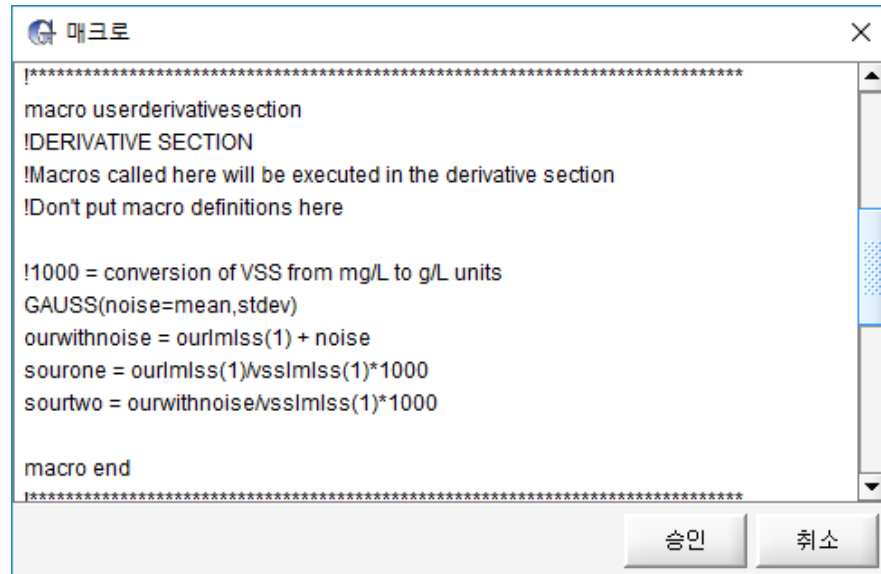


그림 11-4 Derivative Section 에 코드 추가하기

13. **DERIVATIVE SECTION**에 다음 코드를 추가합니다:

```
!1000 = conversion of VSS from mg/L to g/L units
GAUSS(noise=mean,stdev)
ourwithnoise = ourlmlss(1) + noise
sourone = ourlmlss(1)/vsslmlss(1)*1000
sourtwo = ourwithnoise/vsslmlss(1)*1000
```

느낌표로 시작하는 줄은 단지 주석일 뿐입니다.

다른 네 개의 라인은 새로운 변수(noise, ourwithnoise, sourone, sourtwo)를 생성하고 그 값을 계산합니다.

변수 noise는 ACSL 명령인 GAUSS를 사용하여 측정 noise를 시뮬레이션 합니다.

계산에 사용된 두 개의 기존 변수가 있습니다(ourlmlss (1), vsslmlss (1)). 이들은 플러그흐름 반응조의 첫 번째 반응조에서 각각 실제 산소 섭취 비율과 mlvss의 내성변수 이름입니다. 변수 이름을 가리키고 툴팁을 보면 이러한 내성변수 이름을 볼 수 있음을 이전 튜토리얼에서 배웠습니다.

14. 매크로에서 변경사항 저장을 위하여 **승인**을 클릭합니다.

**참고:** 이 사용자 정의 코드는 GPS-X 설치 파일 경로의 layouts 폴더와 동일한 디렉토리에 'tutorial-11.usr'파일로 저장되어 있습니다. 사용자는 GPS-X 코드 편집기를 사용하지 않고 외부 텍스트 편집기에서 해당 파일을 열고 편집할 수도 있습니다.

## 사용자 정의 입력 변수 추가

**15. 사용자 정의 입력 변수를 추가합니다.**

메인 메뉴의 레이아웃 > 일반 데이터 > 사용자 파일 > 상수를 선택합니다. 이 파일은 사용자가 GPS-X의 변수로 입력 제어창의 동일한 형태에서 입력 변수를 설정할 수 있게 합니다.

**16. 읽을 코드를 수정합니다:**

```
!MENU ITEM:!Noise Variables
!HEADER:!Noise Variables
```

```
constant mean = 0.0 !average measurement noise !gO2/(m3.d)
constant stdev = 50.0 !measurement noise standard deviation !gO2/(m3.d)
```

MENU ITEM 및 HEADER 행은 메뉴 및 변수 그룹을 설정합니다.

키워드 constant로 시작하는 행은 이 변수가 ACSL 상수임을 나타냅니다. 이 키워드 뒤에는 내성변수 이름, 값, 이름 및 단위(위의 해당 구분 기호가 있음)가 옵니다.

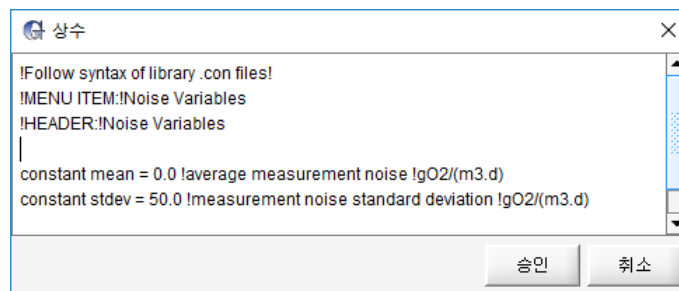


그림 11-5 사용자 정의 입력 추가

**17. 상수 대화창에서 변경사항 저장을 위하여 승인을 클릭합니다. GPS-X 레이아웃을 다시 불러오라는 안내가 뜰 것입니다.**

**참고:** 이 사용자 정의 코드는 레이아웃과 동일한 경로에 **'tutorial-11.con'**파일로 저장되어 있습니다. 사용자는 GPS-X 코드 편집기를 사용하지 않고 외부 텍스트 편집기에서 해당 파일을 열고 편집할 수 있습니다

**18. 레이아웃을 저장하고 다시 불러옵니다(파일 닫기 및 다시 열기).**

이렇게 하면 GPS-X가 사용자 정의 상수를 읽고 그에 관련된 메뉴를 생성합니다. 레이아웃> 일반 데이터> 사용자> 입력 변수> 노이즈 변수 메뉴 항목이 있음을 알 수 있습니다.

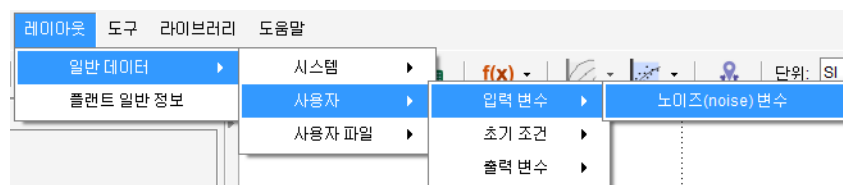


그림 11-6 새로운 사용자 정의 입력 변수

## 사용자 정의 출력 변수 추가

### 19. 사용자 정의 출력 변수를 추가합니다.

메인 메뉴에서 레이아웃 > 일반 데이터 > 사용자 파일 > 출력 변수를 선택합니다. 이 파일은 사용자가 GPS-X 변수로 출력 창의 동일한 형태에서 출력 변수를 설정할 수 있도록 합니다.

### 20. 읽을 코드를 수정합니다:

```
!MENU ITEM:!Uptake Variables
```

```
!HEADER:!Uptake Variables
```

```
display ourwithnoise !OUR with noise !gO2/(m3.d)
```

```
display sourone !SOUR without noise !mgO2/(gVSS.d)
```

```
display sourtwo !SOUR with noise !mgO2/(gVSS.d)
```

```
!MENU ITEM: !Noise Variables
```

```
!HEADER: !Noise Variables
```

```
display noise !measurement noise !gO2/(m3.d)
```

```
display mean !average measurement noise !gO2/(m3.d)
```

```
display stdev !measurement noise standard deviation !gO2/(m3.d)
```

입력 변수 파일과 이 출력 변수 파일의 차이점은 키워드가 'constant' 대신 'display'이며 출력 변수에 값이 주어지지 않는다는 것입니다(모델에 의해 계산되므로).

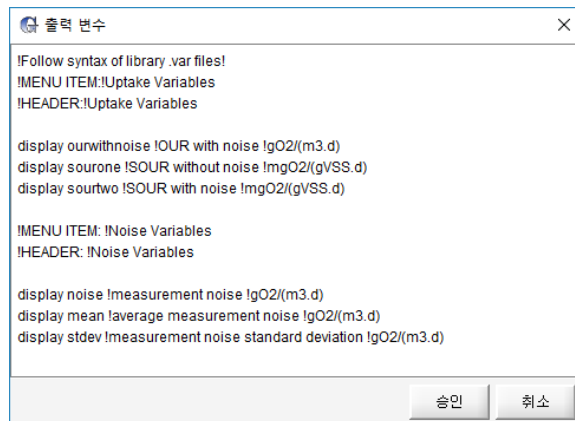


그림 11-7 사용자 정의 출력 추가

### 21. 변경사항 저장을 위하여 승인을 클릭합니다.

GPS-X 레이아웃을 다시 불러오라는 창이 뜰 것입니다.

**참고:** 이 사용자 정의 코드는 레이아웃과 동일한 폴더에 **'tutorial-11.var'** 파일로 저장됩니다. 사용자는 GPS-X 코드 편집기를 사용하지 않고 외부 텍스트 편집기에서 해당 파일을 열고 편집할 수 있습니다



22. 레이아웃을 저장하고 다시 불러옵니다. 이렇게 하면 GPS-X가 사용자 정의 상수를 읽고 그와 관련된 메뉴를 생성합니다. 이제 그림 11-10과 같이 레이아웃 > 일반 데이터 > 사용자 > 출력 변수 아래에 두 개의 새로운 메뉴 항목이 생긴 것을 확인할 수 있습니다.

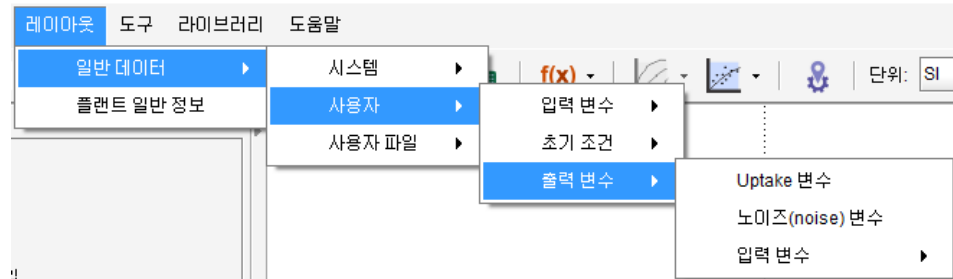


그림 11-8 새로운 사용자 정의 출력 변수

### 사용자 정의 변수로 시뮬레이션 설정하기

23. 시뮬레이션 모드로 변경합니다.
24. 입력 제어기를 만듭니다.
- 2개의 새 입력 변수를 입력 제어 탭에 슬라이더 형식으로 위치시킵니다. 이들 변수는 레이아웃 > 일반 데이터 > 사용자 > 입력 변수 > 노이즈(noise) 변수에서 찾을 수 있습니다.
25. 제어기의 설정을 변경합니다.
- 평균 측정 노이즈에 대해, 0에서 100의 범위를 설정합니다.
  - 측정 노이즈 표준 편차에 대해, 0에서 100의 범위를 설정합니다.
26. 새 그래프를 만듭니다.
- 2개의 새 SOUR 변수(noise가 없는 SOUR과 noise가 있는 SOUR)를 그래프에 위치시킵니다. 이들 변수는 레이아웃 > 일반 데이터 > 사용자 > 출력 변수 > Uptake 변수에서 찾을 수 있습니다. 범위는 0에서 1000으로 설정합니다.
27. 변수를 기존 그래프에 추가합니다.
- 노이즈가 있는 OUR 변수를 이 예제에서 앞에 만들었던 기존 그래프(유입 유량과 OUR)에 위치시킵니다. 범위를 250에서 1,500으로 설정합니다.

## 시뮬레이션 실행

28. 창을 자동 정렬하고 정상 상태에서 **10일** 간의 동적 시뮬레이션을 실행합니다.

그림 11-9과 유사한 결과를 얻어야 합니다.

29. 입력 제어창을 사용하여 **noise** 파라미터를 변화시키면서 출력에 대한 영향을 관찰하십시오. 다른 설정을 하고 몇 가지 시뮬레이션을 시도해 보십시오.

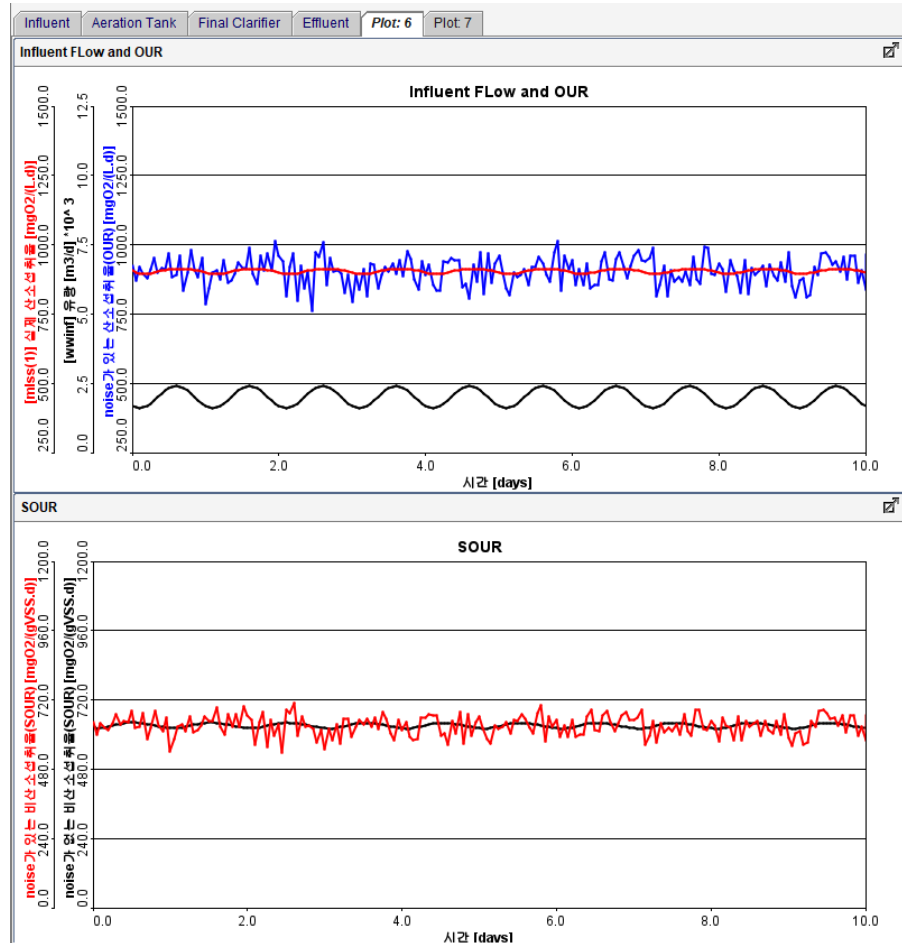


그림 11-9 노이즈가 있는 시뮬레이션 결과

## 튜토리얼 12

### 동적 파라미터 추정 (DPE)

---

#### 문제 설정

GPS-X에서 사용되는 많은 동적 모델들은 모델의 파라미터를 전체 보정 기간 동안 일정하다는 가정을 하고 있습니다. 예를 들면, 침전지 응집 침전 지역의 파라미터가 주로 전체 시뮬레이션 동안 하나의 특정 값으로 설정됩니다. 이렇게 가정하는 한 가지 이유는 파라미터를 온라인으로 측정하기 어렵기 때문에 시간에 따른 파라미터의 변화를 결정하고 식별하는 것이 어렵다는 것입니다. 모델링을 하는 사람이 할 수 있는 최상의 방법은 시뮬레이션 기간 동안 파라미터가 변하지 않는다고 가정하는 것이며, 그 결과 목적 자료와 측정 자료를 적합하기 위해 단지 하나 값을 사용합니다.

하지만 더욱 정밀한 접근은 시뮬레이션 기간 동안 파라미터를 변화시키면서 측정 데이터를 맞추는 것입니다. 이 것은 두 가지 장점이 있습니다. 첫째, 모델과 자료의 향상된 일치성이고, 둘째는 파라미터의 동적 거동에 대한 지시자를 가지는 것입니다. 물론 이러한 기법은 측정 자료의 오차를 상대적으로 무시할 수 있다고 가정합니다.

#### 목적

이 튜토리얼을 마친 후에는 동적 파라미터 추정기(DPE)를 설정하고 실행할 수 있어야 합니다. 이 튜토리얼을 진행하기 위해서 GPS-X Advanced Tools 모듈이 필요합니다.

## 레이아웃 설정하기

1. 샘플 레이아웃을 불러옵니다.

이미 적절한 데이터 파일, 제어기 및 출력 그래프를 가지고 있는 레이아웃이 설정되어 있습니다. 파일 > 샘플 레이아웃 > 튜토리얼 > 튜토리얼12 레이아웃을 엽니다.

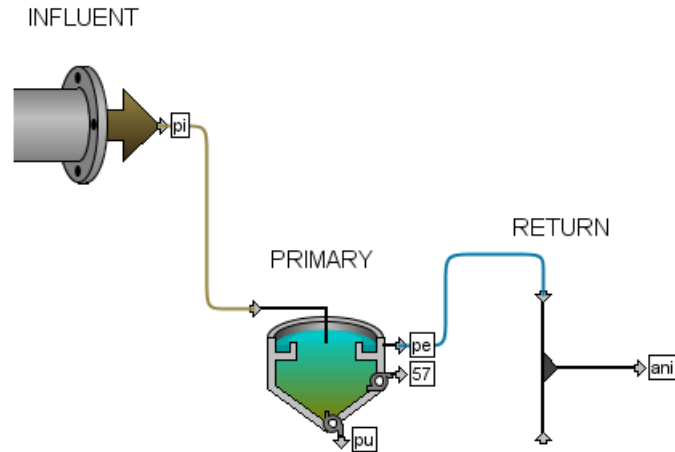


그림 12-1 튜토리얼 11 에서 사용된 레이아웃

2. 레이아웃을 사용자 지정 폴더에 새 이름으로 저장합니다.
3. 시뮬레이션 모드로 변경합니다.
4. 정상상태에서 4일 동적 시뮬레이션을 수행합니다.

1차 침전지 유출수 TSS의 그래프는 실제 측정된 데이터와 합리적인 적합성을 보여주지만 개선을 위한 상당한 여지가 있습니다. 이 결과는 그림 12-2에 나와 있습니다.

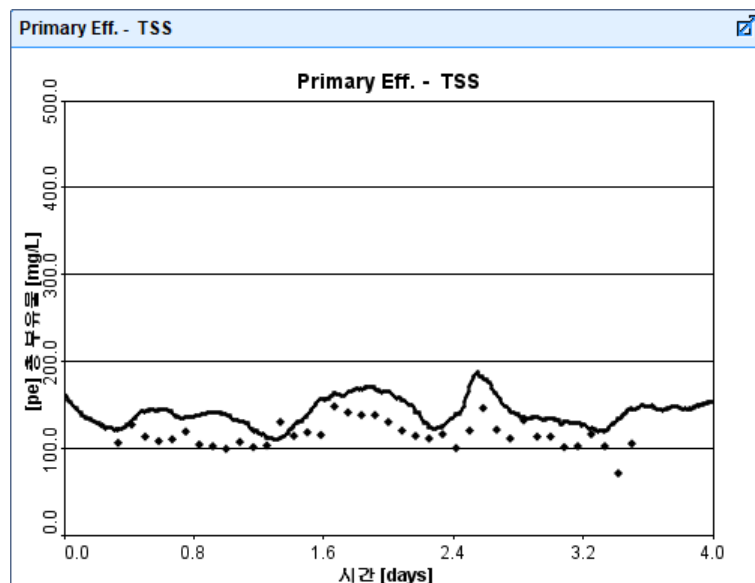



그림 12-2 그림 12-2 1차 침전지 유출수 TSS

## DPE 설정하기



이 시점에서 바라는 것은 응집 지역 침전 파라미터를 시간에 따라 변화도록 최적화함으로써 일차 침전지 유출 TSS와 측정 자료의 적합성을 향상시키는 것입니다.

5. 모델링 모드로 변경합니다.

6. 상단 도구 막대에서 최적화  를 클릭하고, 설정 최적화를 선택합니다.

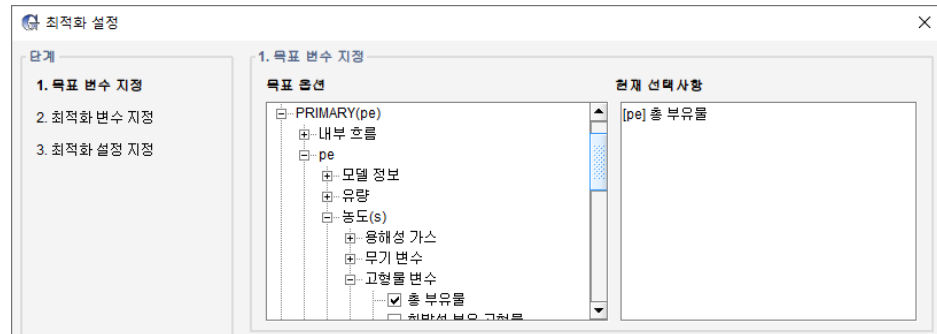


그림 12-3 최적화 설정 마법사(목표 변수)

7. 목표 변수를 선택합니다.

이번 경우에는, 침전지 내 총 부유물입니다. 이 변수는 다음에서 찾을 수 있습니다:

**PRIMARY > pe > 농도 > 고형물 변수**

8. 다음을 클릭하여 다음 단계로 갑니다.

9. 최적화 변수를 선택합니다.

이번 경우, 침전지 내의 응집구역 침전 파라미터입니다. 다음에서 찾을 수 있습니다:

**PRIMARY > 침전 > 이중 지수 매개변수**

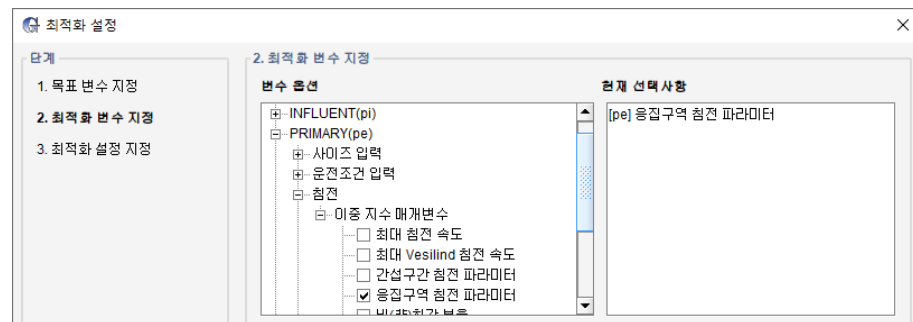


그림 12-4 최적화 설정 마법사(최적화 변수)

10. 다음을 클릭하여 다음 단계로 갑니다.

11. 최적화 설정을 지정합니다.

이 과정의 마지막 단계는 우리가 수행하고 있는 최적화의 종류를 지정하는 것입니다. 데이터에 맞추기, DPE 및 절대 오차를 사용합니다.

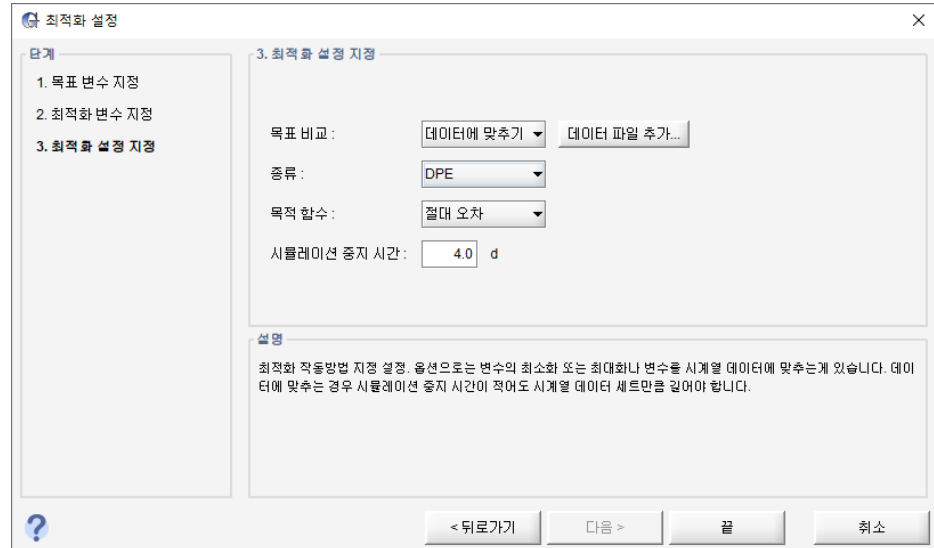


그림 12-5 최적화 설정 마법사(최적화 설정)


또한, 필요시 데이터를 추가하기 위해 여기에서 '데이터 파일 추가...' 버튼을 이용할 수 있습니다. 하지만, 우리는 이미 데이터 파일을 지정하였으므로 다시 지정할 필요가 없습니다.

12. 설정을 마치기 위하여 끝을 클릭합니다.

새로운 입력 패널은 최적화 변수가 이미 최적화 유형으로 설정된 상태에서 생성되었습니다. 목표 변수도 새 그래프에 그려져 있습니다.

13. 시뮬레이션 모드로 변경합니다.

14. 최적화 모드를 입력합니다.

상단 툴바에서 최적화  메뉴를 열고 최적화 모드를 선택합니다.

15. 최적화 변수의 범위를 변경합니다.

설정을 편집하고 최소/최대를 각각 0.0001과 0.005로 변경합니다.

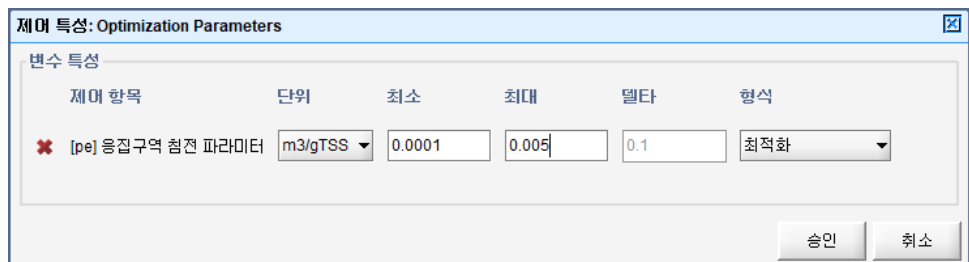



그림 12-6 최적화 변수 범위

16. 레이아웃을 저장  합니다.

17. 시뮬레이션을 실행합니다.

결과는 그림 12-7과 그림 12-8에 보여지는 것과 같습니다.

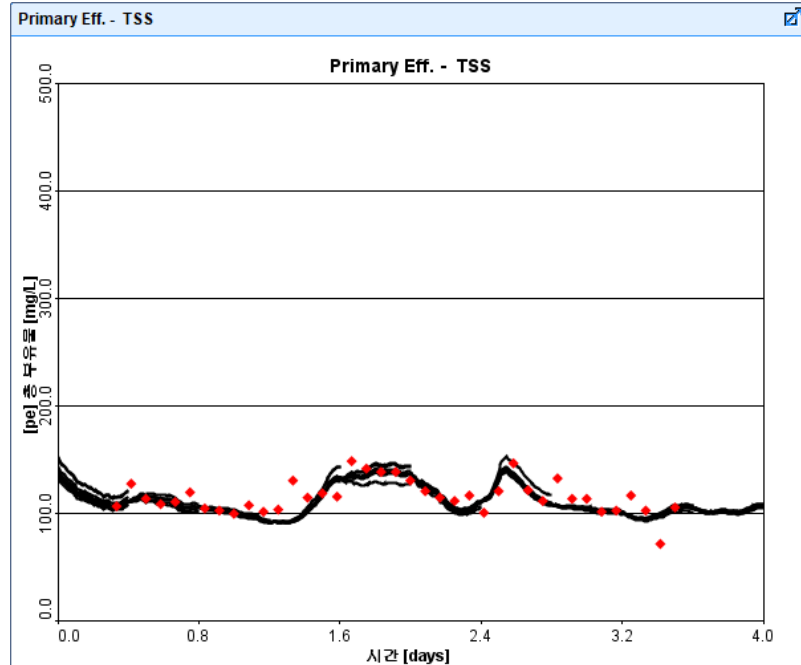


그림 12-7 DPE 결과

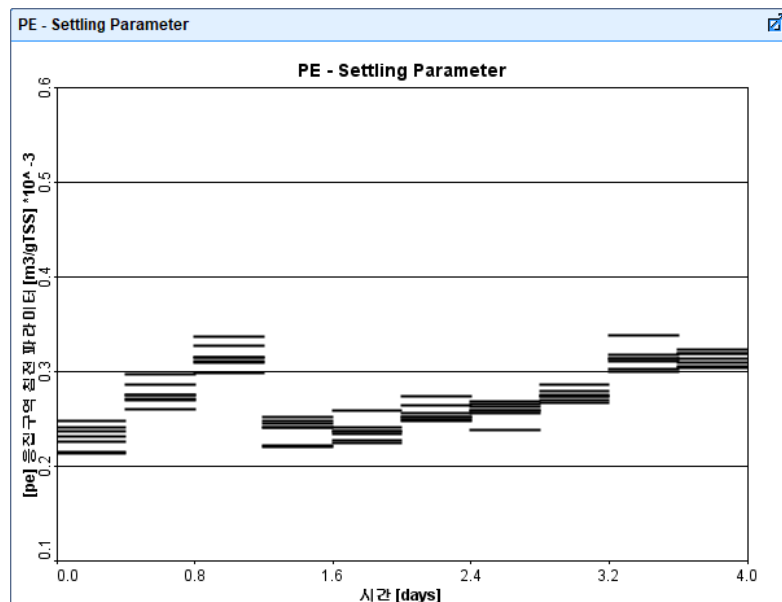


그림 12-8 응집구역 침전 파라미터

더 짧은 time window 또는 더 엄격한 수렴 기준으로 시뮬레이션을 반복합니다. 이 설정은 "DPE 설정"탭의 입력 컨트롤 슬라이더로 설정되어 있습니다.

## 튜토리얼 13

### Monte Carlo 분석

#### 문제 설정

플랜트 모델을 개발할 때, 실패의 원인뿐만 아니라 실패할 수 있는 빈도를 알고 싶을 때, 선형 분석은 어떤 포인트에서 플랜트가 실패할 것이라는 것을 알려주지만, Monte Carlo 분석은 플랜트가 실패할 확률을 결정합니다.

Monte Carlo 분석은 다양한 설계 가정하에 플랜트의 성능을 연구하는데 유용하게 사용됩니다. 예를 들어, 특정조에 대한 독립영양미생물의 최대 성장율과 알파인자에 대한 값을 선택할 때, 이 값들은 미리 알려져 있지 않습니다. 그러나 모델링에 실패하지 않을 범위에 대해서는 가정할 수 있습니다. 폐수의 알파 인자의 값이 0.4 ~ 0.7사이에 있고, 해당 범위 안의 특정 숫자는 균일하게 존재한다고 가정합니다. 해당 수치의 범위에 확률을 지정함으로써 Monte Carlo 분석을 수행하는데 범위를 벗어나는 플랜트의 성능뿐만 아니라 관측된 성능 특성의 확률까지 분석합니다.

#### 목적

본 과의 목적은 GPS-X에서 Monte Carlo의 기본적인 분석을 수행하고자 하는 것입니다. 본 과에서 나온 예제를 잘 따라하면, 사용자는 모델 변수에 대한 Monte Carlo 분석을 수행할 수 있을 겁니다. 본 예제에서는 독립영양미생물의 최대 성장율과 다양한 알파 인자에 영향을 받는 반응조 DO의 변화와 방류수의 이온화된 암모니아의 농도에 대해서 알아보하고자 합니다.

이 예제를 수행하기 위해서는 GPS-X Advanced Tools 모듈이 필요합니다.



## 레이아웃 설정하기

분석 모듈은 GPS-X의 옵션 기능입니다. 만약 이 모듈을 구매하지 않으셨다면, 가격 정보에 대해 하이드로소프트에 문의주시기 바랍니다.

1. 이 기능은 여러 시뮬레이션이 필요하기 때문에 데모 목적으로 **폐수 유입, 완전 혼합 탱크 및 직사각형 2 차 침전지**로 구성된 간단한 모델에서 작업을 수행합니다. 새 레이아웃을 시작합니다.
2. 라이브러리 메뉴에서 **종합 - 탄소, 질소, 인, PH (mantis2lib)**를 선택합니다. (그림 13-1)



그림 13-1 라이브러리 선택

3. 그림 13-2와 같이 유입수 모델은 **codstates**, **mantis2** CSTR 모델 및 **simple1d** 침전지 모델을 가진 레이아웃을 만듭니다.
4. 레이아웃 이름을 'tutorial-13'으로 저장합니다.

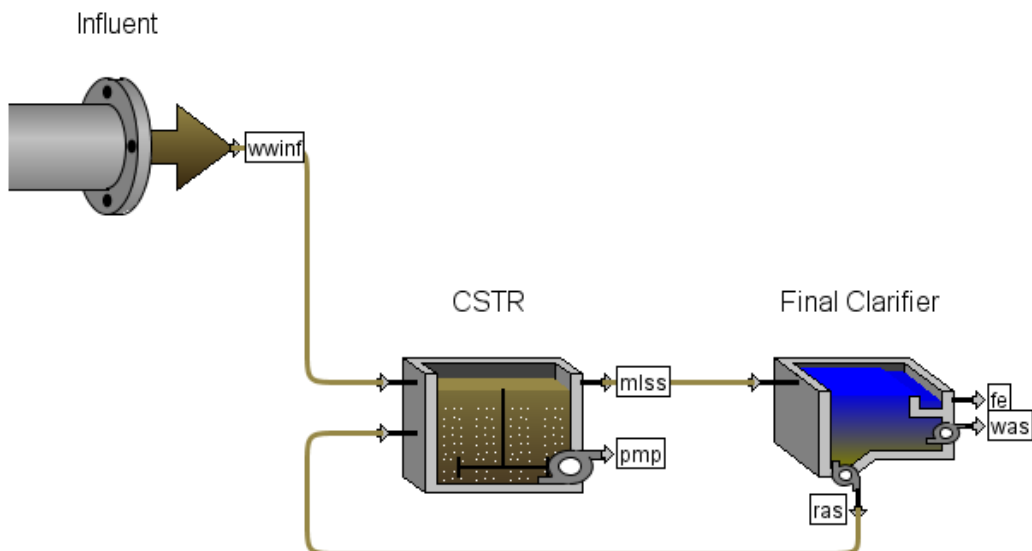




그림 13-2 튜토리얼 13 레이아웃

5. 추운 겨울 날씨를 시뮬레이션 하기 위해, 메인 도구 막대에서 **플랜트 일반 정보**  버튼을 클릭합니다. **플랜트 전체 특성** 탭에서 수온을 **10°C**로 설정합니다.
6. **CSTR** 매개변수를 변경합니다.
  - 입력 변수 > 운전조건 입력 > 산소 공급 방법을 **공기량 입력**으로 설정합니다.
  - 포기조 내로의 공기 흐름을 **15,000 m<sup>3</sup>/d**로 설정합니다.
7. **침전지** 매개변수를 변경합니다.
  - 입력 변수 > 운전조건 입력 > 펌프유량을 **70 m<sup>3</sup>/d**로 설정합니다.
8. 레이아웃을 저장  합니다.
9. 시뮬레이션 모드로 변경합니다.
10. 입력 제어를 만듭니다.

CSTR 객체에서 다음 매개변수를 새 입력 제어 탭으로 드래그합니다:

- 입력 변수 > 동역학 > 암모니아 산화 바이오매스 항목의 **ammonia oxidizer** 최대 성장률
  - 입력 변수 > 동역학 > 아질산염 산화 바이오매스 항목의 **nitrite oxidizer** 최대 성장률
  - 입력 변수 > 운전조건 입력 > 산기식 포기 항목의 상세...의 알파 인자(미세 기포)
11. 제어기 설정을 편집합니다.

설정 창을 열고 **ammonia oxidizer** 최대 성장률 설정값을 변경합니다:

- 최소/최대는 각각 0.5 및 1.2
- 제어기 형식은 “분석 - 몬테카를로”. 형식 박스 옆에 버튼 아이콘이 나타납니다. 이는 사용자가 분포 설정을 할 수 있도록 해줍니다.
- 분포 설정을 편집하고 type은 정상(정규), mean은 0.9 그리고 standard deviation는 0.1로 변경합니다.

동일하게 **nitrite oxidizer** 최대 성장률에 대해 최소/최대는 0.5와 1.2로 변경하고 형식은 “분석 - 몬테카를로”로 합니다. 또한 분포는 정상(정규)으로 변경하지만, 이 경우 mean은 1.0 그리고 standard deviation는 0.1로 변경합니다.

이는 기본 모델 설정에 대해 두 개의 매개변수가 변하도록 합니다.

알파 인자에 대해서는, 최소/최대를 0.4와 0.7로, 제어기 형식은 “분석 - 몬테카를로”로 설정합니다. 분포는 Uniform으로 둡니다.

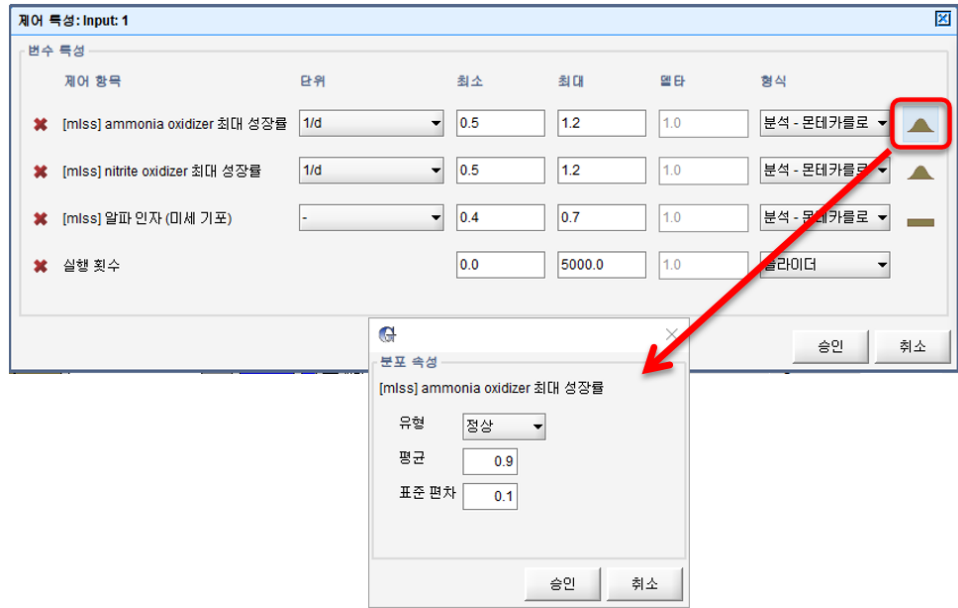


그림 13-3 몬테카를로 제어기 설정

## 12. 다른 입력 제어를 만듭니다.

몬테카를로 수행 횟수 설정을 위하여 **실행 횟수**에 대한 입력 제어를 만들 것입니다. 변수는 다음 메뉴에서 찾을 수 있습니다:

레이아웃 > 일반 데이터 > 시스템 > 입력 변수 > 시뮬레이션 도구 설정

이제 입력의 개별 출력 그래프(생성된 입력 분포를 보기 위해)와 출력(플랜트가 얼마나 잘 수행되었는지를 알려줍니다)을 설정할 것입니다.

## 13. 입력 변수의 그래프를 만듭니다.

이들은 입력 변수를 나타내는 출력 변수입니다. 입력 변수 자체는 그래프로 드래그할 수 없습니다.

“Input Distributions” 이름의 출력 탭을 만들고 다음 매개변수를 각 그래프에 추가합니다:

- CSTR의 출력 변수 > 입력 변수 > 동역학 > 암모니아-산화 바이오매스 항목에서 **ammonia oxidizer** 최대 성장률
- CSTR의 출력 변수 > 입력 변수 > 동역학 > 아질산염 산화 바이오매스 항목에서 **nitrite oxidizer** 최대 성장률
- CSTR의 출력 변수 > 입력 변수 > 운전조건 입력 > 산기식 포기 항목의 상세...에서 **알파 인자 (미세 기포)**

14. 출력 변수에 대한 그래프를 만듭니다.

“Output Distribution” 이름의 출력 탭을 만들고 다음 매개변수를 각 그래프에 추가합니다.  
CSTR의 출력 변수 > 농도 양식에서:

- DO
- 암모니아성 질소
- 아질산염
- 질산염

15. 그래프 설정을 편집합니다.

두 탭의 모든 그래프에 대해 다음과 같이 변경합니다:

- 그래프 종류는 **확률적 분석 (몬테 카를로)**
- x, y 축에 대해 **자동 축척** 선택

이 그래프 유형은 Monte Carlo 결과를 막대 그래프로 나타낼 것입니다.

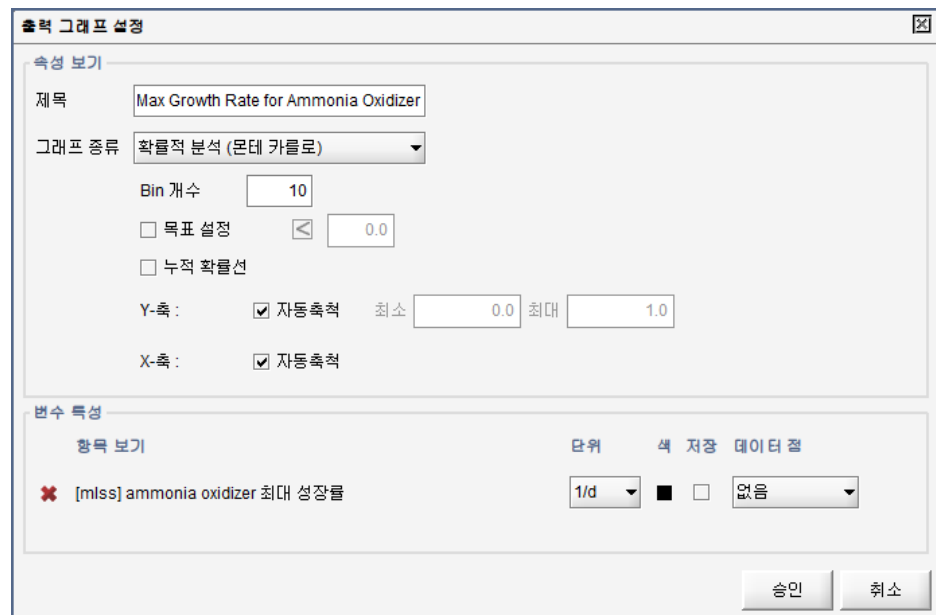



그림 13-4 몬테카를로 그래프 설정


용존 산소와 암모니아성 질소 그래프는 다음과 같이 추가 설정을 합니다:

- Bin 개수는 20 (최고 해상도에서 분포를 보기 위해)
- 암모니아성 질소에 대해 목표 값은 < 3.0, 용존 산소에 대해서는 > 2.0 (아이콘을 클릭하여 <, > 기호를 변경할 수 있습니다)

16. 레이아웃을 저장  합니다.

## 분석 모드 선택하기

17. 몬테카를로 분석 형식을 선택합니다.

메인 도구 막대의 분석  버튼 옆에 작은 화살표를 클릭하고 (또는 메인 메뉴 도구 > 분석 실행) 몬테카를로를 선택합니다.

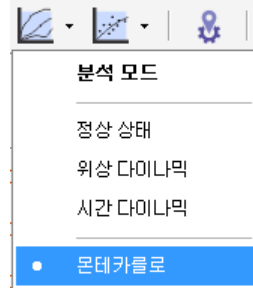



그림 13-5 분석 형식 선택

분석 모드로 변경합니다.

메인 도구 막대의 분석  을 누르고, 분석 모드를 클릭합니다. 메인 화면 아래의 상태 바가 분석 모드에 있음을 나타낼 것입니다.

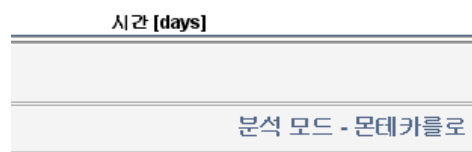


그림 13-6 “분석 모드 - 몬테카를로”를 보여주는 상태 바

## 시뮬레이션 실행하기

18. 시뮬레이션을 실행합니다.

시뮬레이션은 다음 시뮬레이션 분석을 위해 모델의 출력을 수집하면서 하나씩 차례로 실행됩니다. 세 개의 입력 매개변수에 빨간색 표시기가 필요한 시뮬레이션(기본값 1000개)을 통해 진행하면서 입력 탭에서 시뮬레이션의 진행을 따라갈 수 있습니다. 컴퓨터 속도에 따라 시뮬레이션을 완료하는데 몇 분 정도 걸릴 수 있습니다.

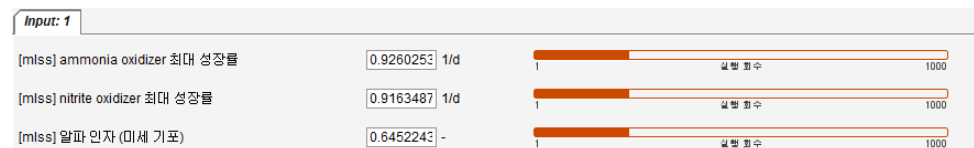


그림 13-7 시뮬레이션의 진행상황 확인

시뮬레이션이 완료되면 알파 상수와 두 개의 증가율에 대한 입력 변수의 분포를 확인해야 합니다. 성장률은 정규 분포를 따라야 하는 반면, 알파 계수는 균등(평평한) 분포를 가져야 합니다. 사용된 실제 값의 분포가 예상되는 분포 모양에 맞지 않을 수도 있음에 유의합니다. 이는 1000개의 시뮬레이션만 실행했기 때문입니다. 더 많은 수의 시뮬레이션을 통해 원하는 분포를 보다 잘 대표할 수 있습니다.

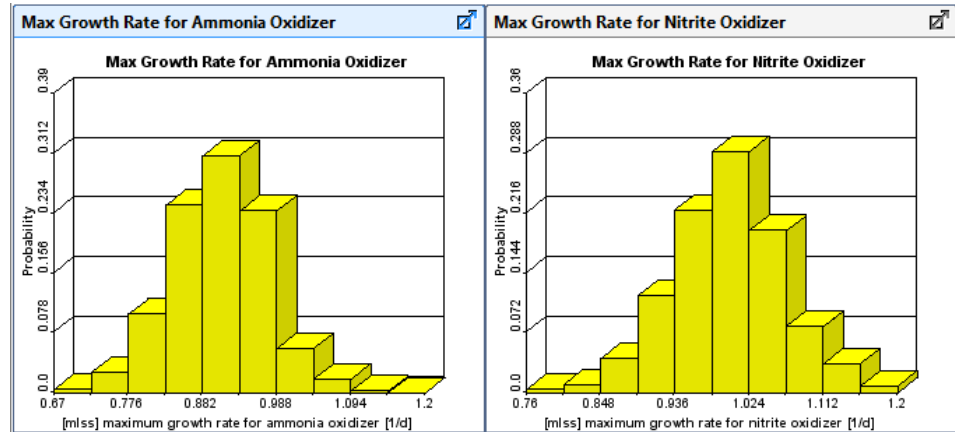


그림 13-8 입력 변수 분포

출력 분포 탭의 그래프는 변화하는 모델 입력 하에서의 시스템 성능을 보여줍니다. 유출수 암모니아 그래프는 플랜트가 주로 질산화 하는 것을 보여줍니다. 목표 라인은 플랜트 유출수 암모니아가 시뮬레이션의 87.7 %에서 목표 3.0 mgN/L과 같거나 그보다 낮다는 것을 보여줍니다. 몬테카를로 분석에서 약간 다른 해결책을 얻을 수 있지만 그래프에 기록된 % 값은 85% ~ 90%의 범위 내에 있어야 합니다.

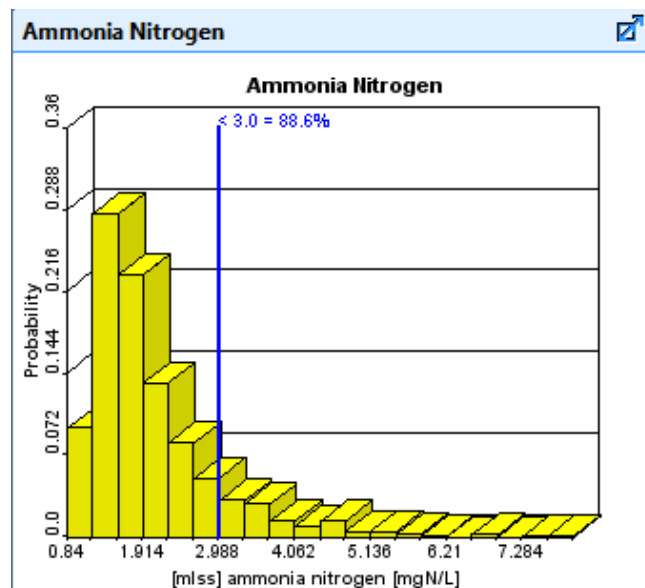


그림 13-9 목표를 보여주는 출력 분포 결과

19. 시뮬레이션을 재실행합니다. 그러나, 이번에는 더 큰 폭기 용량을 사용합니다. 새로운 시나리오를 만들고 포기조 부피 또는 시스템 내로의 공기량을 증가시킵니다. 3.0 mgN/L 이하의 유출 암모니아 농도를 갖는 시뮬레이션이 95 % 되기 위해서는 얼마나 커져야 하는지 테스트해 보시기 바랍니다

## 튜토리얼 14

### GPS-X와 파이썬 - 소개

#### 문제 설정

어떠한 소프트웨어 패키지도 화면 디스플레이나 소프트웨어 인터페이스와 관련하여 사용자 각각의 니즈를 정확하게 파악하여 자동으로 만족시킬 수 있을 정도로 제작하는 것은 불가능합니다. 대신, GPS-X는 파이썬과의 통합을 통해, 사용자가 원하는 바를 최대한 반영한 맞춤형 설정이 가능하도록 했습니다. 사용자 자신만의 고유한 시각적 효과 생성부터 데이터 수집의 자동화까지, GPS-X를 사용하는 방식을 사용자 자신에 맞도록 정할 수 있게 된 것입니다. 이 기능을 사용하기 위해서는 파이썬 프로그래밍 언어와 친숙해야 할 필요가 있습니다. 다음 이어지는 튜토리얼에서 파이썬 언어의 일부 기초적인 내용들이 언급될 것이지만, 파이썬 사용을 위한 종합적인 가이드라인을 제시해드리는 것은 아닙니다. 따라서, GPS-X 내 파이썬을 활용하여 그 효과를 극대화하기 위해서는 파이썬 언어에 대한 병행 혹은 선행 학습을 진행하실 것을 권장합니다.

이번 장에서는 먼저 파이썬이 GPS-X 내에서 어떤 방식으로 실행되는지 익숙해지는 것에서부터 시작하여 파이썬을 어떤 식으로 맞춤화할 수 있는지에 대해 알아보겠습니다. 파이썬을 어떻게 사용해서 GPS-X 시뮬레이션 내에서 직접 변수들을 변경할 수 있는지에 대해서도 배워보도록 하겠습니다.

이 튜토리얼을 학습하기 위해서는 GPS-X의 Advanced Tools 모듈이 필요합니다.

#### 목적

이 튜토리얼을 학습한 사용자는, GPS-X 시뮬레이션을 실행하고 조작하는 파이썬 스크립트를 만들 수 있어야 합니다.

## GPS-X와 파이썬 – 기초

1. 튜토리얼 1과에서 생성했던 레이아웃을 열고 'tutorial-14'로 저장합니다.

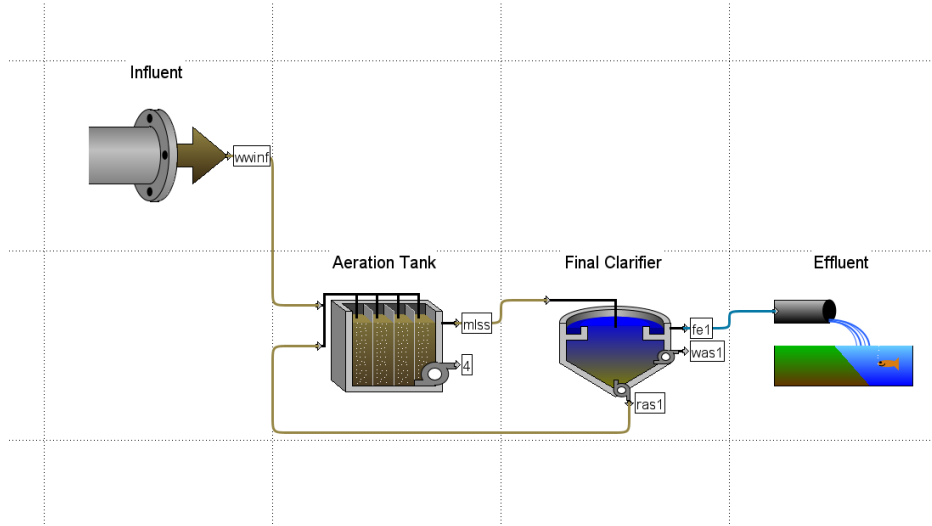


그림 14-1 튜토리얼 14 레이아웃

2. 시뮬레이션 모드로 전환합니다.
3. 파이썬 스크립트 매니저를 엽니다.

GPS-X 내 파이썬 기능을 관리하는 스크립트 매니저를 통해 이루어집니다.



그림 14-2 파이썬 스크립트 매니저로 이동

4. 새로운 스크립트를 생성합니다.

새로 버튼을 클릭하면 새로운 파이썬 스크립트를 생성할 수 있습니다. 기본적으로, 스크립트는 레이아웃과 동일한 디렉토리에, 레이아웃과 동일한 이름으로 저장됩니다. 기본 설정을 사용하여 스크립트를 저장합니다.





그림 14-3 GPS-X 내에서 새로운 파이썬 스크립트 생성하기

#### 5. 스크립트를 편집합니다.

tutorial-14.py'가 선택된 상태에서 **편집** 버튼을 클릭합니다. 기본적으로, 파이썬 3.7 버전을 사용하여 노트패드 내에서 파이썬 스크립트가 열리게 됩니다.

이 기본 설정은 **파이썬 설정** 버튼을 클릭하여 변경 가능합니다. GPS-X에는 파이썬 2.7 버전과 3.7 버전이 함께 설치되므로, **파이썬 설정** 메뉴 내에서 두 개의 버전 중 하나를 선택하여 끄고 켜는 것이 가능합니다. 그 외 옵션을 사용하도록 선택하면 다른 버전의 파이썬을 사용하도록 지정할 수도 있습니다. 이 때, 버전 번호와 파이썬으로의 경로를 지정해주면 됩니다. 기본 텍스트 편집기 역시 원한다면 변경이 가능합니다.

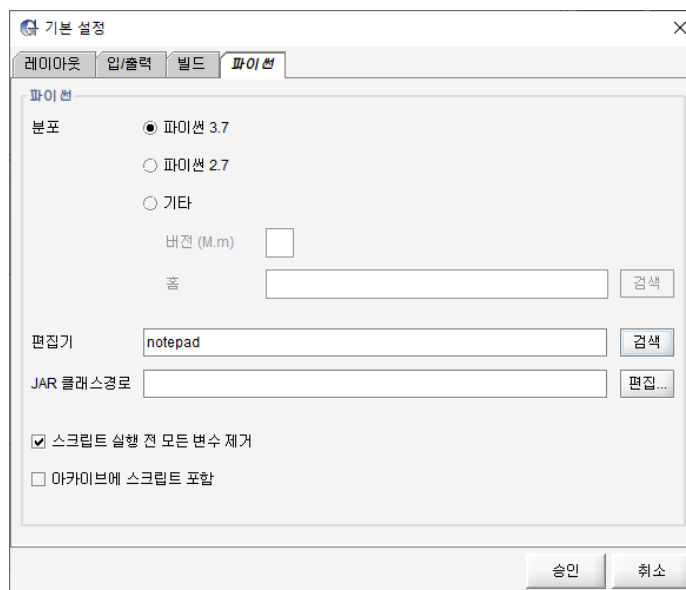


그림 14-4 파이썬 설정 메뉴

GPS-X로 생성된 모든 파이썬 스크립트는 최초에 GPS-X에서 인식되는 4개의 함수로 채워지게 됩니다. GPS-X에 의해 생성된, 편집되지 않은 파이썬 스크립트는 아래 그림 14-5와 같습니다. GPS-X가 스크립트 내에서 사전 정의한 함수는 다음과 같습니다.

i. **start**

이 함수는 하나의 시뮬레이션이 시작되는 시점에 한번 호출됩니다.

ii. **cint**

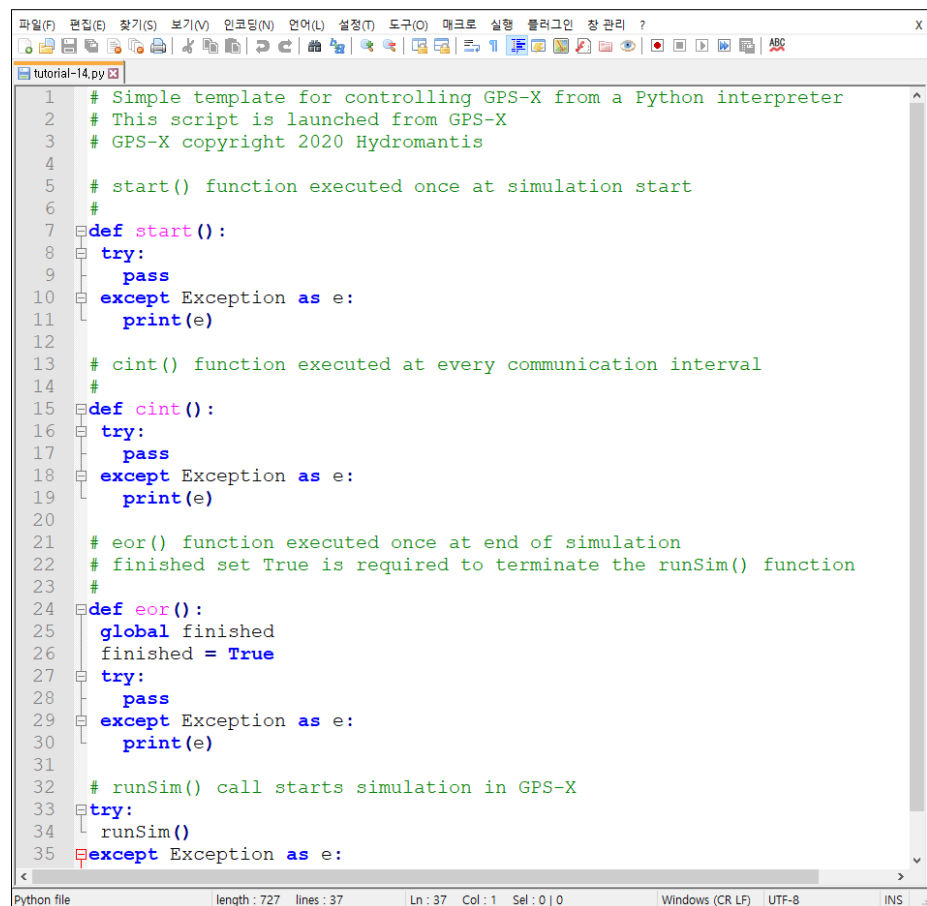
이 함수는 시뮬레이션 내 각 통신 간격마다 호출됩니다.

iii. **eor**

이 함수는 GPS-X 시뮬레이션이 끝나는 시점에 한번 호출됩니다.

iv. **runSim**

이 함수는 파이썬 스크립트 내에서 GPS-X 시뮬레이션을 시작하도록 하는 함수입니다. 스크립트 내에서 이 함수가 호출될 때마다 시뮬레이션이 시작하게 됩니다.



```

1 # Simple template for controlling GPS-X from a Python interpreter
2 # This script is launched from GPS-X
3 # GPS-X copyright 2020 Hydromantis
4
5 # start() function executed once at simulation start
6 #
7 def start():
8     try:
9         pass
10    except Exception as e:
11        print(e)
12
13 # cint() function executed at every communication interval
14 #
15 def cint():
16     try:
17         pass
18    except Exception as e:
19        print(e)
20
21 # eor() function executed once at end of simulation
22 # finished set True is required to terminate the runSim() function
23 #
24 def eor():
25     global finished
26     finished = True
27     try:
28         pass
29    except Exception as e:
30        print(e)
31
32 # runSim() call starts simulation in GPS-X
33 try:
34     runSim()
35 except Exception as e:

```

그림 14-5 GPS-X로 생성된 파이썬 스크립트

6. 파이썬이 GPS-X 내에서 어떤 식으로 작동하는지에 대해 익숙해지기 위해 'Hello World' 구문을 사용한 연습을 진행해 보겠습니다.

start() 함수에서, pass 명령어를 print("Hello")로 변경합니다.

cint() 함수에서, pass 명령어를 print(" ")로 변경합니다.

마지막으로 eor() 함수에서 pass 명령어를 print("World")로 변경합니다.

업데이트된 스크립트는 아래 그림 14-6과 같은 모습이어야 합니다.

```

1 # Simple template for controlling GPS-X from a Python interpreter
2 # This script is launched from GPS-X
3 # GPS-X copyright 2020 Hydromantis
4
5 # start() function executed once at simulation start
6 #
7 def start():
8     try:
9         print("Hello")
10    except Exception as e:
11        print(e)
12
13 # cint() function executed at every communication interval
14 #
15 def cint():
16     try:
17         print(" ")
18    except Exception as e:
19        print(e)
20
21 # eor() function executed once at end of simulation
22 # finished set True is required to terminate the runSim() function
23 #
24 def eor():
25     global finished
26     finished = True
27     try:
28         print("World")
29    except Exception as e:
30        print(e)
31
32 # runSim() call starts simulation in GPS-X

```

그림 14-6 파이썬 스크립트 예시

7. 스크립트를 저장합니다.

노트패드 내에서 스크립트를 변경하고 나면 GPS-X 내에서 실행하기 전에 반드시 노트패드 프로그램 내에서 해당 파일을 저장해야 합니다.

8. 스크립트를 실행합니다.

파이썬 스크립트 매니저로 돌아갑니다. 현재 파이썬 스크립트 매니저 내에서 사용 가능한, 유일한 스크립트는 'tutorial-14.py'이므로 기본적으로 이 스크립트가 선택될 것입니다. 스크립트 실행 버튼을 누르면 GPS-X 내에서 선택된 파이썬 스크립트가 실행됩니다. 이제 파이썬 스크립트 매니저가 파이썬 스크립트를 실행하게 됩니다.

9. 스크립트의 결과는 파이썬 스크립트 매니저의 결과 창에 나타나며, 출력 버튼을 클릭하여 확인 가능합니다. 시뮬레이션 결과는 아래 그림 14-7과 같습니다. "Hello"는 출력 창의 첫 번째 출력물로, 단 한번만 나타납니다. "Hello"가 맨 처음 나타나는 이유는, 시뮬레이션이 시작되자마자 가장 먼저 호출되는 것이 start 함수이기 때문입니다. 시뮬레이션이 진행되는 동안 start 함수는 다시 호출되지 않으므로, "Hello" 오직 한번만 나타나는 것입니다. 이와 마찬가지로, "World"의 경우 eor 함수가 시뮬레이션 종료 시에 한번만 호출되므로 출력물의 가장 마지막에 한번 나타나게 됩니다.

출력 내에서 "Hello"와 "World" 사이에 두 칸이 띄어져 있는데, 이는 시뮬레이션이 진행되는 동안 cint 함수가 두 번 호출되기 때문입니다. 시뮬레이션의 매 통신 간격마다 cint 함수가 호출되는데, 여기에는 start 함수 ( $t = 0.0$ ) 이후 시뮬레이션의 시작과 eor 함수 호출 전 시뮬레이션 종료되는 때가 포함되어 있습니다. 이 시뮬레이션의 정지 시간이 0.0일로 설정되어 있기 때문에, cint는 파이썬 스크립트의 시작과 종료 시에만 호출되어, 출력 내에 " "가 두 번 나타나게 된 것입니다.



그림 14-7 파이썬 스크립트 실행 결과

## GPS-X와 파이썬 – 기본 시뮬레이션

이제 GPS-X와의 커뮤니케이션을 위해 파이썬 스크립트가 어떻게 사용되는지에 대해 알게 되었으니, GPS-X 내 변수들을 조정하기 위해 어떤 방법으로 파이썬을 사용할 수 있는지에 초점을 맞춘 예제를 살펴해보도록 하겠습니다.

### 10. 새로운 스크립트를 저장합니다.

앞선 튜토리얼에서 만들어 둔 파이썬 스크립트를 만들어둔 바 있습니다. GPS-X 설치 디렉토리의 하위 디렉토리(아래 경로 참고)에 있는 파이썬 스크립트 파일 'tutorial-14-COD-Manipulation.py'를 찾아 여시기 바랍니다.

layout\08tutorials\

현재 GPS-X 파일이 저장된 디렉토리에 스크립트를 저장합니다.

### 11. 파이썬 스크립트 매니저를 여시기 바랍니다.

### 12. 스크립트를 추가합니다.

기존 작성된 파이썬 스크립트를 사용할 때는 추가 버튼을 클릭합니다.

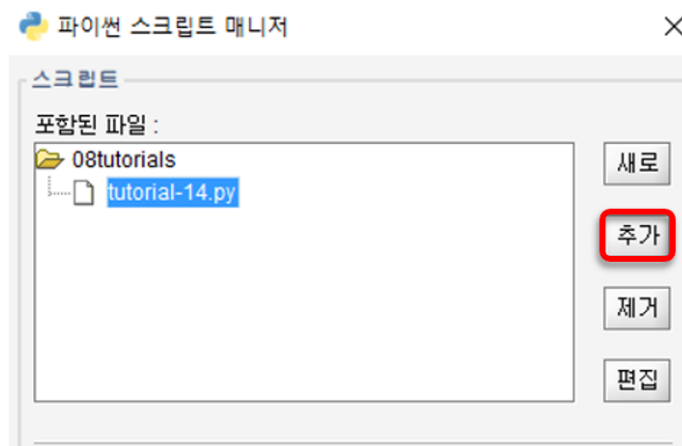


그림 14-8 기존 스크립트를 파이썬 스크립트 매니저에 추가

추가 버튼을 클릭하면 현재 작업 중인 디렉토리가 열리고 해당 디렉토리에 저장되어 있는 모든 파이썬 스크립트가 표시됩니다. 'tutorial-14-COD-Manipulation.py' 파일을 선택한 뒤, 열어서 파이썬 스크립트 매니저에 추가할 수 있도록 합니다.

### 13. 스크립트를 편집합니다.

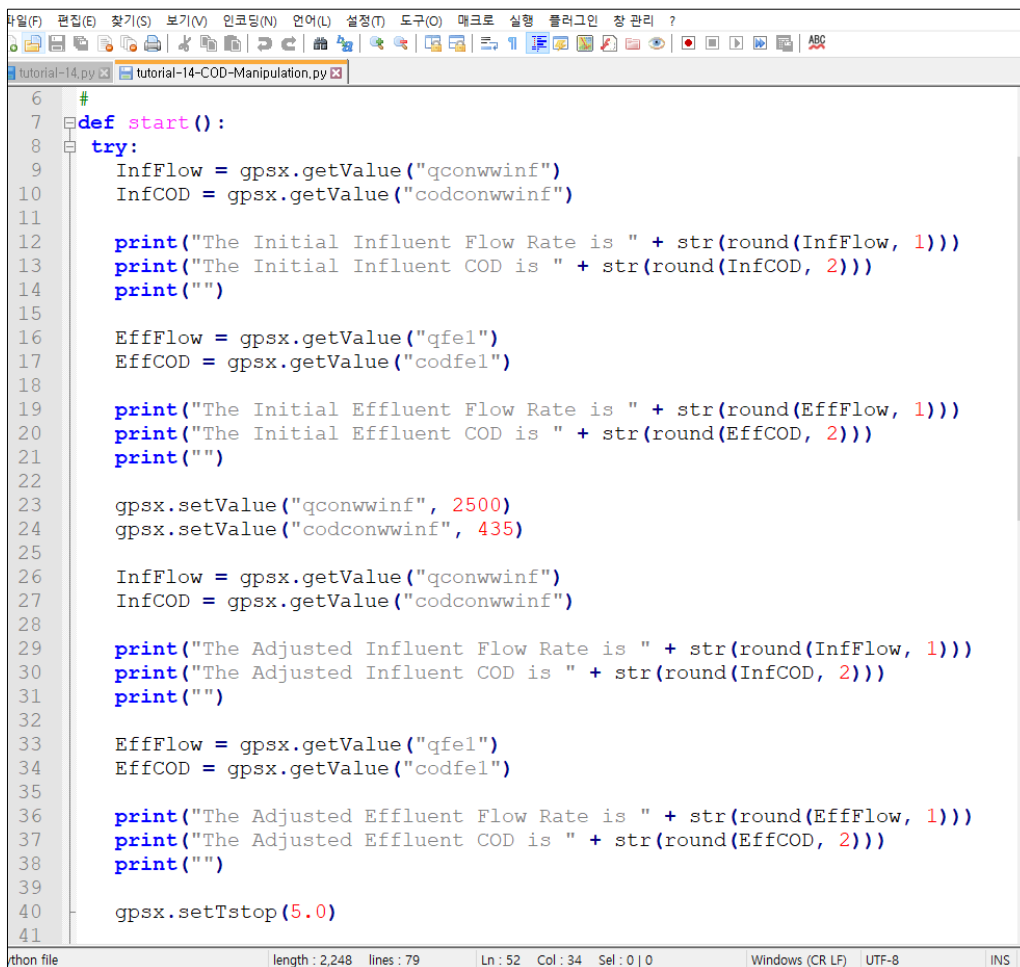
tutorial-14-COD-Manipulation.py 스크립트를 선택하고 편집을 클릭합니다. 노트패드 상에서 해당 스크립트가 열리게 됩니다. 이제 파이썬 스크립트의 중요 구성요소들을 살펴해보도록 하겠습니다.

그림 14-9와 같이 `start` 함수를 확인할 수 있습니다. 스크립트 내 `start` 함수는 사용자가 관심있게 살펴보고자 하는 GPS-X 변수들의 초기 값을 표시해줍니다. 파이썬을 사용하여 GPS-X 내에서 이 변수들의 값을 직접 변경할 수 있습니다. 이 작업은 GPS-X가 인식하도록 사전에 정의해둔 명령어를 사용하여 수행됩니다. `start` 함수 내에서 GPS-X가 인식하는 명령어에는 다음의 명령어들이 포함됩니다.

- **gpsx.getValue.** 파이썬을 통해서 값을 수정하기 위해, GPS-X 내의 한 변수에 현재 지정된 값을 가져오는 함수입니다. `getValue` 함수를 사용하려면, 괄호 안에 GPS-X 내성 변수를 입력해야 합니다.
- **gpsx.setVale.** 이 함수를 사용하면 파이썬을 통해 직접적으로 새로운 값을 GPS-X 변수에 지정할 수 있습니다. 이 함수를 사용하려면, 괄호 안에 GPS-X 내성 변수를 반드시 입력해야 합니다. 그 후에 사용자가 해당 변수에 지정하고자 하는 새로운 값을 입력합니다. 이 함수에서 적절한 파이썬 변수 유형이 사용될 수 있도록 확인합니다.

참고: GPS-X 내에서 ON/OFF 스위치를 켜고 끄려면, 반드시 `gpsx.setValue`를 사용해야 하며 OFF에는 값을 0.0으로, ON에는 1.0으로 지정해주어야 합니다.

- **gpsx.setTstop.** 이 함수를 사용하면 현재 시뮬레이션 정지 시간을 변경할 수 있습니다. 괄호 안에 원하는 정지 시간을 입력하기만 하면 됩니다.



```

6 #
7 def start():
8     try:
9         InfFlow = gpsx.getValue("qconwwinf")
10        InfCOD = gpsx.getValue("codconwwinf")
11
12        print("The Initial Influent Flow Rate is " + str(round(InfFlow, 1)))
13        print("The Initial Influent COD is " + str(round(InfCOD, 2)))
14        print("")
15
16        EffFlow = gpsx.getValue("qfel")
17        EffCOD = gpsx.getValue("codfel")
18
19        print("The Initial Effluent Flow Rate is " + str(round(EffFlow, 1)))
20        print("The Initial Effluent COD is " + str(round(EffCOD, 2)))
21        print("")
22
23        gpsx.setValue("qconwwinf", 2500)
24        gpsx.setValue("codconwwinf", 435)
25
26        InfFlow = gpsx.getValue("qconwwinf")
27        InfCOD = gpsx.getValue("codconwwinf")
28
29        print("The Adjusted Influent Flow Rate is " + str(round(InfFlow, 1)))
30        print("The Adjusted Influent COD is " + str(round(InfCOD, 2)))
31        print("")
32
33        EffFlow = gpsx.getValue("qfel")
34        EffCOD = gpsx.getValue("codfel")
35
36        print("The Adjusted Effluent Flow Rate is " + str(round(EffFlow, 1)))
37        print("The Adjusted Effluent COD is " + str(round(EffCOD, 2)))
38        print("")
39
40        gpsx.setTstop(5.0)
41

```

그림 14-9 tutorial-11-COD-Manipulation 파이썬 스크립트 내 `start` 함수

**cint** 함수는 아래 그림 14-10에서 확인할 수 있습니다. 앞서 설명한 **gpsx.getValue** 함수를 사용하여 **cint** 함수는 사용자가 관심있어 하는 변수들의 최종값을 얻게 됩니다.

```

47 def cint():
48     global InfFlow, InfCOD, EffFlow, EffFlow, EffCOD
49     try:
50         InfFlow = gpsx.getValue("qconwwinf")
51         InfCOD = gpsx.getValue("codconwwinf")
52         EffFlow = gpsx.getValue("qfel")
53         EffCOD = gpsx.getValue("codfel")
54     except Exception as e:
55         print(e)
56
57

```

그림 14-10 tutorial-11-COD-Manipulation 파이썬 스크립트 내 **cint** 함수

**eor** 함수는 아래 그림 14-11에서 확인할 수 있습니다. 이 함수는 **cint** 함수 내에서 수집된 데이터의 서식을 만드는 데 사용됩니다.

```

61 def eor():
62     global finished
63     finished = True
64     try:
65         print("The Final Influent Flow Rate is " + str(round(InfFlow, 2)))
66         print("The Final Influent COD is " + str(round(InfCOD, 2)))
67         print("")
68         print("The Final Effluent Flow Rate is " + str(round(EffFlow, 2)))
69         print("The Final Effluent COD is " + str(round(EffCOD, 2)))
70     except Exception as e:
71         print(e)
72
73     # runSim() call starts simulation in GPS-X
74     try:
75         runSim()
76     except Exception as e:
77         print(e)
78
79

```

그림 14-11 tutorial-11-COD-Manipulation 파이썬 스크립트 내 **eor** 함수

14. 스크립트를 저장합니다.

## 15. 스크립트를 실행합니다.

시뮬레이션 결과는 그림 14-12와 같이 나타나게 됩니다. 출력된 결과에서 중요하게 살펴볼 점은, 파이썬으로 GPS-X 변수의 값을 변경하긴 했으나 GPS-X 내 다른 변수들에 즉각적인 영향을 미치지 않는다는 것입니다. 이는 출력 결과 내에서 조정된 유입수와 방류수 변수들을 살펴보면 확인 가능합니다. 파이썬이 유입수 변수들을 변경하였으나, 방류수 변수들은 변경된 사항 없이 그대로 남아 있습니다. 방류수 변수들은 시뮬레이션이 다시 시작되기 전까지는 계산되지 않을 것입니다. 파이썬을 사용하여 다음 통신 간격에서 새로 계산되는 방류수 변수 값에 접근하는 것이 가능합니다.

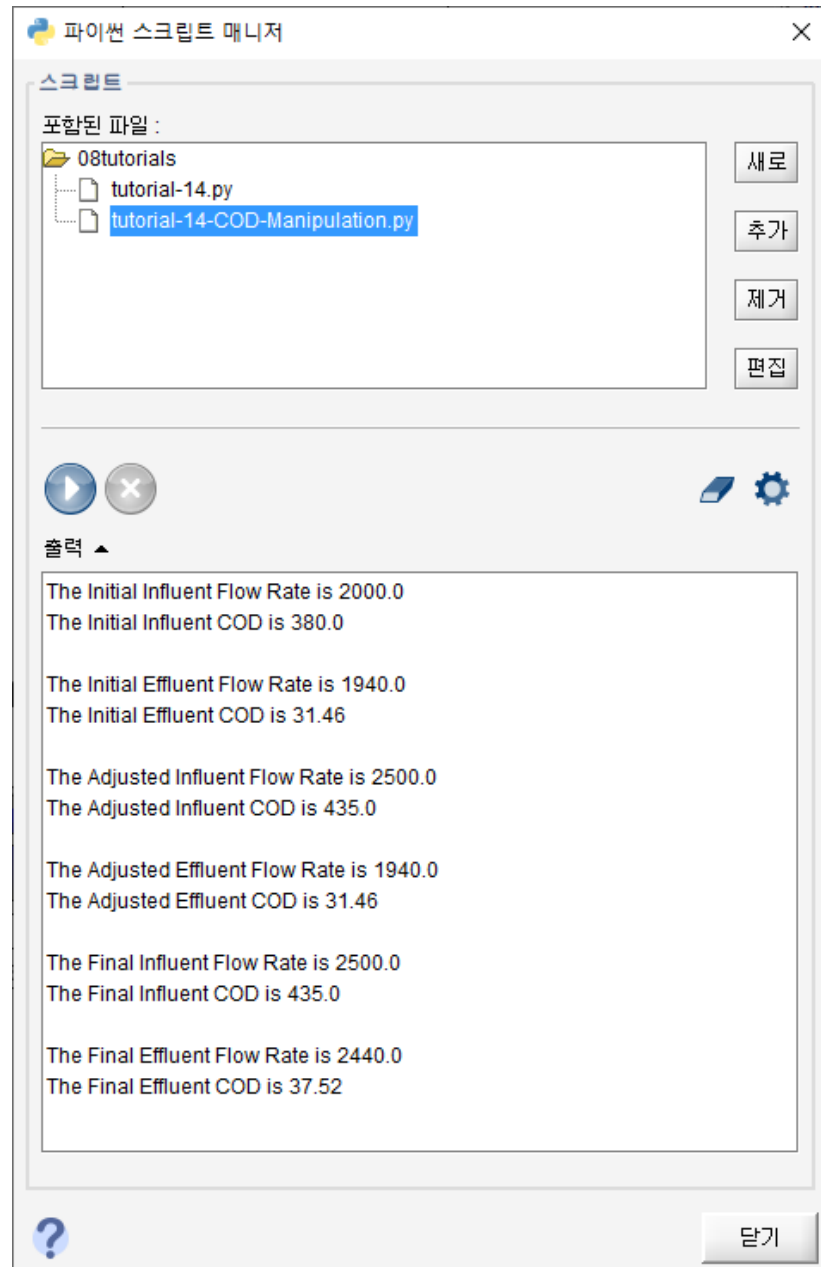


그림 14-12 tutorial-11-COD-Manipulation 파이썬 스크립트의 결과



## 파이썬 라이브러리 설치하기

파이썬 프로그래밍 언어를 GPS-X와 함께 사용하게 되면 파이썬 사용자들이 모인 커뮤니티를 활용할 수 있다는 강점이 있습니다. 사용자 커뮤니티에서는 파이썬 내 다양한 함수들을 수행하는 여러 오픈 소스 라이브러리를 활발하게 만들고 있습니다. 이 라이브러리들을 사용하려면, 파이썬을 실행하는 디렉토리 내에 라이브러리들을 설치할 필요가 있습니다. 사용자의 PC 상에 인터넷 연결이 되어 있다는 가정 하에, 윈도우 환경 내에서 파이썬을 설치하는 방법에 대해 알아보도록 하겠습니다.

### 16. 커맨드 창을 여시기 바랍니다.

윈도우 시작 메뉴에서 'cmd'를 입력하고, 실행합니다.

### 17. 디렉토리로 접근합니다.

사용자의 컴퓨터 상에서 GPS-X가 설치된 디렉토리로 접근해야 합니다. GPS-X 디렉토리를 찾았다면, 커맨드 창 내에서 해당 디렉토리로 가는 경로를 생성해주어야 합니다.

파이썬 버전 3.7을 사용하고 있다면, GPS-X 설치 디렉토리 내에서 python37이라는 이름의 폴더를 엽니다. 파일 탐색기 주소 창을 우 클릭한 뒤 디렉토리 주소를 복사합니다. 주소의 끝은 아래와 같을 것입니다.

*GPS-X81\python37*

파이썬 버전 2.7을 사용하고 있다면, GPS-X 설치 디렉토리 내에서 python이라는 이름의 폴더를 엽니다. 파일 탐색기 주소 창을 우 클릭한 뒤 디렉토리 주소를 복사합니다. 주소의 끝은 아래와 같을 것입니다.

*GPS-X81\python*

커맨드 창에 'cd'를 입력하고 복사한 주소를 붙여 넣습니다. 엔터 키를 누르면 활성화된 디렉토리로 만들 수 있습니다.

*cd<Paste address here>*

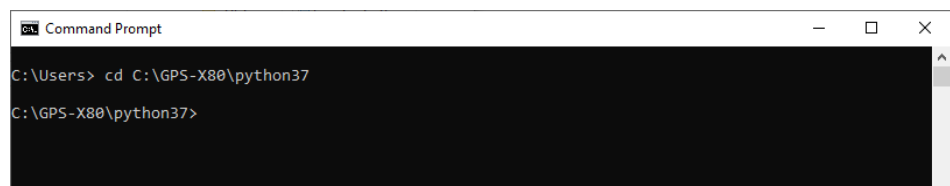


그림 14-13 GPS-X 파이썬 디렉토리 접근하기

### 18. pip를 업데이트합니다.

pip는 파이썬 내 라이브러리를 설치하기 위해 사용되는 기본(base) 파이썬 설치에 포함된 패키지 설치 프로그램입니다. 먼저, 아래와 같이 입력하여 pip가 완전히 업데이트될 수 있도록 합니다.

*python -m pip install - upgrade pip*

엔터 키를 누릅니다. 인터넷 연결을 사용하여 사용 가능한 pip 라이브러리 업데이트가 있는 확인이 이루어집니다. 사용 가능한 업데이트가 있는 경우, pip는 스스로 업데이트가 진행되며 오래된 종속성에 대해서도 업데이트가 이루어집니다.

```

C:\Users>cd C:\GPS-X80\python37

C:\GPS-X80\python37> python -m pip install --upgrade pip
Collecting pip
  Downloading https://files.pythonhosted.org/packages/30/db/9e38760b32e3e7f40cce46dd5fb107b8c73840df38f0046d8e6514e675a1/pip-19.2.3-py2.py3-none-any.whl (1.4MB)
    |-----| 1.4MB 3.3MB/s
Installing collected packages: pip
  Found existing installation: pip 19.2.1
    Uninstalling pip-19.2.1:
      Successfully uninstalled pip-19.2.1
  Successfully installed pip-19.2.3

C:\GPS-X80\python37>_
  
```

그림 14-14 파이썬 pip 패키지 매니저 업데이트하기

#### 19. matplotlib를 설치합니다.

파이썬 내 데이터를 출력하기 위해 사용되는 라이브러리인, matplotlib를 설치하겠습니다. matplotlib를 설치하기 위해, 커맨드 창에 아래와 같이 입력하고 엔터 키를 누릅니다.

```
python -m pip install matplotlib
```

pip는 자동으로 지정된 디렉토리 내에 matplotlib와 그 종속성을 설치하게 됩니다.

```

C:\GPS-X80\python37>python -m pip install matplotlib
Collecting matplotlib
  Downloading https://files.pythonhosted.org/packages/1a/c0/69e3f695d7384012e90be1e16570c08953baae00fd98094179ef87c7d5a2/matplotlib-3.1.1-cp37-cp37m-win_amd64.whl (9.1MB)
    |-----| 9.1MB 6.4MB/s
Requirement already satisfied: numpy>=1.11 in c:\gps-x80\python37\lib\site-packages (from matplotlib) (1.17.0)
Requirement already satisfied: cyclor>=0.10 in c:\gps-x80\python37\lib\site-packages (from matplotlib) (0.10.0)
Requirement already satisfied: pyparsing!=2.0.4,!=2.1.2,!=2.1.6,>=2.0.1 in c:\gps-x80\python37\lib\site-packages (from matplotlib) (2.3.1)
Requirement already satisfied: python-dateutil>=2.1 in c:\gps-x80\python37\lib\site-packages (from matplotlib) (2.8.0)
Requirement already satisfied: kiwisolver>=1.0.1 in c:\gps-x80\python37\lib\site-packages (from matplotlib) (1.0.1)
Requirement already satisfied: six in c:\gps-x80\python37\lib\site-packages (from cyclor>=0.10->matplotlib) (1.12.0)
Requirement already satisfied: setuptools in c:\gps-x80\python37\lib\site-packages (from kiwisolver>=1.0.1->matplotlib) (40.6.2)
Installing collected packages: matplotlib
Successfully installed matplotlib-3.1.1
  
```

그림 14-15 matplotlib 설치 중인 pip

#### 20. 설치 상황을 확인합니다.

사용자의 파이썬 버전에 설치한 라이브러리 확인은 GPS-X 다운로드 디렉토리 내에서 가능합니다. 파이썬 3.7 버전을 사용하고 있다면, 아래 경로로 이동합니다.

```
GPS-X81 > python37 > Lib > site-packages
```

파이썬 2.7 버전을 사용하고 있다면 아래 경로로 이동합니다.

```
GPS-X81 > python > Lib > site-packages
```

## 튜토리얼 15

### GPS-X와 파이썬 – 랜덤 이벤트

---

#### 문제 설정

모델을 구축할 때, 간과하기 쉬운 점은 시스템 내에 많은 변수들이 보이는 움직임이 무작위일 수도 있다는 사실입니다. 이에 더해, 강우 빈도 및 강도와 같이 일부 변수의 경우 과거 데이터가 없을 수 있으며, 시뮬레이션을 위해 데이터를 만들어낸다면 시스템에 입력 바이어스를 가져오게 됩니다. 파이썬을 사용하면 정확하고 고유한 데이터를 시스템에 부여할 수 있고 그로 인해 어떤 반응이 일어나는지 시각적으로 확인이 가능합니다.

랜덤 입력을 사용하여 하수처리플랜트가 예기치 못한 운전 조건 하에서 어떻게 반응하는지 확인할 수 있습니다. 예를 들어, 플랜트를 설계할 때, 예상되는 유입수를 상세히 설명하는 데이터가 있을 수도 있지만, 이와 같은 데이터는 종종 유입수 유량에 영향을 미치게 되는 강우 등과 같은 예기치 못한 랜덤 이벤트를 제외하고 있는 경우가 많습니다. 파이썬의 난수 생성기를 사용하여, 강우 빈도 및 강도가 유입수 유량에 미치는 영향, 플랜트에 미치는 영향을 시각적으로 볼 수 있도록 시뮬레이션을 만들어서 이와 같은 유량을 어떻게 제어할 수 있을지 알아보도록 하겠습니다.

이 튜토리얼을 학습하기 위해서는 GPS-X의 Advanced Tools 모듈이 필요합니다.

#### 목적

이 튜토리얼을 학습한 사용자는, GPS-X 내에서 랜덤 이벤트 생성을 위해 파이썬의 난수 생성기를 어떻게 사용하는지에 대해 이해하며, 랜덤 이벤트가 사용자의 플랜트 운전에 미치는 영향에 대해 시각화할 수 있게 됩니다.

## 레이아웃 설정

1. 다음으로 구성된 새로운 레이아웃을 만듭니다.

- 하수 유입수 객체
- 강우 유출수 (유입수 탭)
- 2-방향 혼합기 2개
- 컨트롤 분배기
- 플러그 흐름조
- 원형 이차 침전지
- 하수 방류구

Mantis2lib 라이브러리와 기본 모델 선택사항(*codstates* 유입수 모델, *mantis2* 플러그 흐름조 모델, *simple 1d* 원형 침전지 모델)을 사용합니다. 단위 공정들을 연결하고 아래 그림 15-1에 보이는 것과 같이 라벨을 추가합니다.

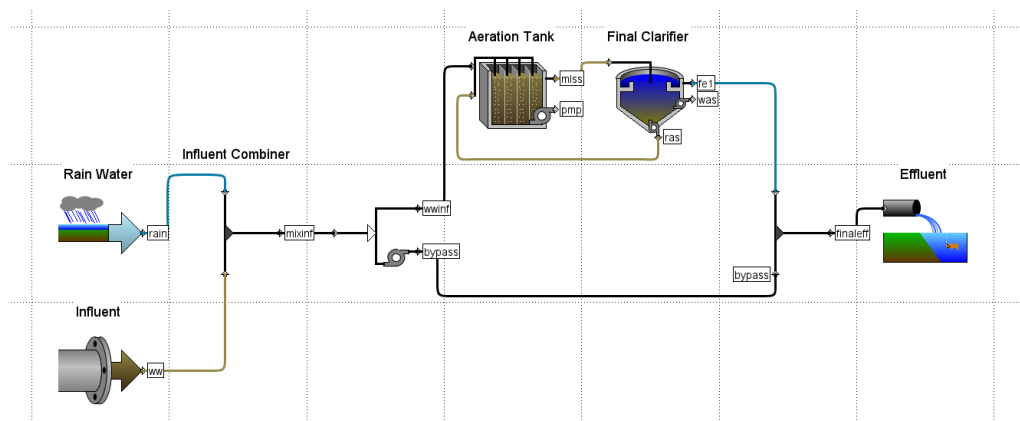


그림 15-1 튜토리얼 15 레이아웃

2. 레이아웃을 'tutorial-15'로 저장합니다.
3. 시뮬레이션 모드로 들어갑니다.
4. 출력 그래프를 설정합니다.

유입수 혼합기를 떠나는 유량(mixinf) 흐름에 대해서 그래프를 추가합니다.

## 랜덤 이벤트 생성하기

### 5. 기존 파이썬 스크립트를 엽니다.

랜덤 이벤트를 생성하기 위해 이미 쓰여진 파이썬 스크립트가 포함되어 있습니다. GPS-X 설치 하위 디렉토리(아래 경로 참고)에서 **tutorial-15-Random.py** 파이썬 스크립트를 찾아서 엽니다.

Layouts\8\tutorials\

### 6. 파이썬 스크립트를 저장합니다.

레이아웃 파일과 동일한 디렉토리에 파이썬 스크립트를 저장합니다.

### 7. 파이썬 스크립트를 레이아웃에 추가합니다.

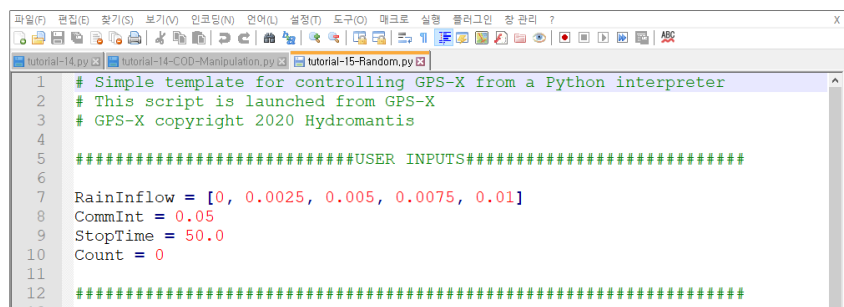
파이썬 스크립트 매니저 안에서 추가 버튼을 클릭하고 해당 스크립트를 선택합니다. 열기를 클릭합니다.

### 8. 파이썬 스크립트를 편집합니다.

편집 버튼을 클릭하여 노트패드 상에서 해당 스크립트를 엽니다. 스크립트는 2개의 섹션으로 나뉘어져 있습니다.

#### □ 사용자 입력(USER INPUTS)

사용자 입력 섹션에는 현재 강우량에 상응하는 변수의 목록이 포함되어 있습니다. 강우 유출 객체는 강우량을 mm/hr의 단위로 생성해냅니다. 또한, 사용자 정의 통신 간격과 정지 시간을 나타내는 변수도 포함되어 있습니다.



```

1 # Simple template for controlling GPS-X from a Python interpreter
2 # This script is launched from GPS-X
3 # GPS-X copyright 2020 Hydromantis
4
5 #####USER INPUTS#####
6
7 RainInflow = [0, 0.0025, 0.005, 0.0075, 0.01]
8 CommInt = 0.05
9 StopTime = 50.0
10 Count = 0
11
12 #####
13
  
```

그림 15-2 파이썬 스크립트의 사용자 입력 섹션

#### □ 함수(FUNCTIONS)

스크립트의 함수 섹션에는 새로운 파이썬 스크립트를 생성할 때 GPS-X에 의해 자동 생성되는 4개의 함수가 포함되어 있습니다. Start 함수에는 사전 정의된, GPS-X가 인식하는 새로운 명령인 **gpsx.setCint**가 도입되어 있습니다. 이 명령은 사용자 하여금 GPS-X 시뮬레이션 내에서 사용되는 통신 간격을 파이썬 내에서 직접 변경할 수 있도록 해줍니다. 이 명령을 사용하려면, 괄호 안에 원하는 통신 간격을 입력하면 됩니다.

이 스크립트 내에서 무작위성은 `cint` 함수 내에 도입됩니다. `Cint` 함수 안에서 파이썬 랜덤 라이브러리를 사용하여 무작위의 정수를 만들어냅니다. 조건부 포매팅을 사용하여, 이 무작위 정수들을 통해 강우 유출 객체 내에서 강우량 변수에 하나의 값을 지정하게 되며, 이렇게 함으로써 시뮬레이션 내에 무작위한 움직임을 생성할 수 있습니다.

```

14 #####FUNCTIONS#####
15
16 # start() function executed once at simulation start
17 #
18 def start():
19     global CommInt, StopTime
20     try:
21         gpsx.setTstop(StopTime)
22         gpsx.setCint(CommInt)
23
24     except Exception as e:
25         print(e)
26
27 # cint() function executed at every communication interval
28 #
29 def cint():
30     global RainInflow, Count
31     import random
32
33     try:
34         RainProbability = random.randint(1, 100)
35
36         if Count == 1.0:
37             Count = 0
38
39             if RainProbability <= 85:
40                 gpsx.setValue("rainfallrain", RainInflow[0])
41
42             elif RainProbability >85 and RainProbability <= 90:
43                 gpsx.setValue("rainfallrain", RainInflow[1])
44
45             elif RainProbability >90 and RainProbability <= 95:
46                 gpsx.setValue("rainfallrain", RainInflow[2])
47
48             elif RainProbability >95 and RainProbability <= 98:
49                 gpsx.setValue("rainfallrain", RainInflow[3])
50
51             else:
52                 gpsx.setValue("rainfallrain", RainInflow[4])
53
54         Count = round((Count + CommInt), 2)
55
56     except Exception as e:
57         print(e)
58
59 # eor() function executed once at end of simulation
60 # finished set True is required to terminate the runSim() function
61 #
62 def eor():
63     global finished
64     finished = True
65     try:
66         pass
67
68     except Exception as e:
69         print(e)
70
71 # runSim() call starts simulation in GPS-X
72 try:
73     runSim()
74
75 except Exception as e:
76     print(e)
77
78 #####

```

그림 15-3 파이썬 스크립트의 함수 섹션

9. 파이썬 스크립트를 저장합니다.

10. 스크립트를 실행합니다.

파이썬 스크립트 매니저 안에서 실행 버튼을 클릭합니다. 출력 그래프 샘플은 아래 그림 15-4를 참고하시기 바랍니다.

참고: 설정한 파이썬 스크립트의 입력 값은 랜덤이기에, 사용자의 그래프가 아래 보이는 것과 다를 것입니다.

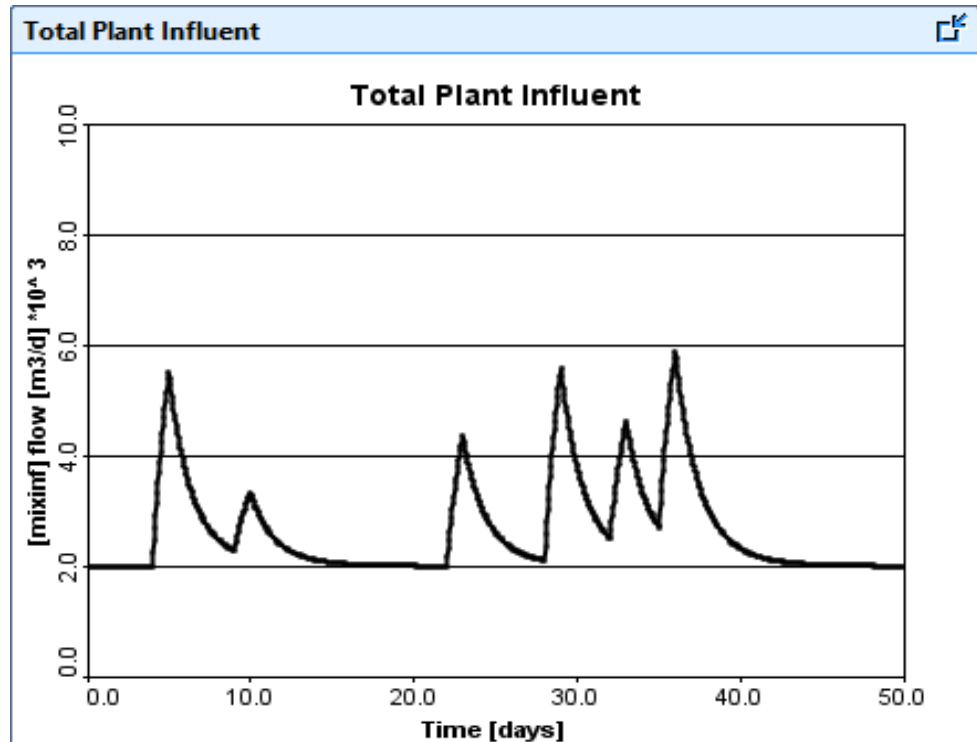


그림 15-4 랜덤 강우 이벤트의 출력 그래프

## 최대 유입수 제한하기

랜덤 강우 이벤트를 가져오게 되면, 플랜트의 총 유입수가 처리 장비들이 처리할 수 있는 최대 용량을 초과하는 값에 도달할 수 있습니다. 이를 다루기 위해, 파이썬을 사용하여 우회 웨어를 시뮬레이션해보도록 하겠습니다.

11. 시뮬레이션 모드로 전환합니다.

12. 다음의 변수들이 있는 출력 그래프를 생성합니다.

- 총 유입량 (유입수 혼합기 출력 변수 > 유량)
- 폭기장치 유량 (컨트롤 분배기 상의 wwinf 연결점 우 클릭, 출력 변수 > 유량)
- 바이패스 유량 (컨트롤 분배기 상의 바이패스 연결점 우 클릭, 출력 변수 > 유량)

13. 파이썬 스크립트 매니저를 엽니다.

## 14. 파이썬 스크립트를 편집합니다.

'tutorial-15 -Random.py' 파이썬 스크립트를 선택한 뒤 파이썬 스크립트 매니저 상에서 편집 버튼을 누릅니다.

## 15. 스크립트를 저장합니다.

새로운 시나리오 안에서 'tutorial-15-Random.py' 파이썬 스크립트를 변경할 것입니다. 이전 섹션에서 사용했던 스크립트를 저장하지 않으려면, 파일 > 다른 이름으로 저장을 선택합니다. 다른 이름으로 저장하기 창에서 저장 유형을 모든 파일로 변경하고, 스크립트를 새로운 이름으로 저장하되 확장자는 .py가 되도록 합니다. (예, 'tutorial-15-Bypass.py')

## 16. 다음과 같은 변경사항을 파이썬 스크립트에 적용할 것입니다.

- 다음을 사용자 입력 섹션에 추가합니다.

MaxAeratorFlow = 4000

이 값은 포기장치가 처리할 수 있는 최대 허용 가능한 유량을 의미합니다.

```

5 #####USER INPUTS#####
6
7 RainInflow = [0, 0.0025, 0.005, 0.0075, 0.01]
8 CommInt = 0.05
9 StopTime = 50.0
10 Count = 0
11 MaxAeratorFlow = 4000
12
13 #####

```

그림 15-6 바이패스 파이썬 스크립트에서 사용자 입력 섹션 변경

- Cint 섹션의 시작 부분에 정의된 글로벌 변수에 다음을 추가합니다.
  - MaxAeratorFlow
- Cint 함수의 마지막에 다음을 추가합니다.
  - Inflow = gpsx.getValue('qmixinf')
  - if Inflow > MaxAeratorFlow:
  - gpsx.setValue('qconbypass', (Inflow - MaxAeratorFlow))
  - else:
  - gpsx.setValue('qconbypass', 0.0)



```

15 #####FUNCTIONS#####
16
17 # start() function executed once at simulation start
18 #
19 def start():
20     global CommInt, StopTime
21     try:
22         gpsx.setTstop(StopTime)
23         gpsx.setCint(CommInt)
24         gpsx.setValue('qconbypass', 0.0)
25
26     except Exception as e:
27         print(e)
28
29 # cint() function executed at every communication interval
30 #
31 def cint():
32     global RainInflow, MaxAeratorFlow, Count
33     import random
34     try:
35         RainProbability = random.randint(1, 100)
36
37         if Count == 1.0:
38             Count = 0
39
40         if RainProbability <= 85:
41             gpsx.setValue("rainfallrain", RainInflow[0])
42
43         elif RainProbability >85 and RainProbability <= 90:
44             gpsx.setValue("rainfallrain", RainInflow[1])
45
46         elif RainProbability >90 and RainProbability <= 95:
47             gpsx.setValue("rainfallrain", RainInflow[2])
48
49         elif RainProbability >95 and RainProbability <= 98:
50             gpsx.setValue("rainfallrain", RainInflow[3])
51
52         else:
53             gpsx.setValue("rainfallrain", RainInflow[4])
54
55         Inflow = gpsx.getValue('qmixinf')
56
57         if Inflow > MaxAeratorFlow:
58             gpsx.setValue('qconbypass', (Inflow - MaxAeratorFlow))
59         else:
60             gpsx.setValue('qconbypass', 0.0)
61
62         Count = round((Count + CommInt), 2)
63
64     except Exception as e:
65         print(e)
66

```

그림 15-7 바이패스 파이썬 스크립트에서 함수 섹션 변경하기

두 개의 유입 객체로부터 플랜트로 들어오는 총 유입량을 찾아서, 포기장치가 처리할 수 있는 양보다 큰 지를 결정하게 됩니다. 만약 유입 유량이 최대 포기장치 유량보다 크다면, 초과분은 우회하게 됩니다.

17. 스크립트를 저장합니다.

18. 스크립트를 실행합니다. 출력 결과의 샘플은 아래 그림 15-8을 참고하시기 바랍니다.

참고: 설정한 파이썬 스크립트의 입력 값은 랜덤이기에, 사용자의 그래프가 아래 보이는 것과 다를 것입니다.

이런 방식으로 바이패스를 컨트롤함으로써 최대 허용 가능한 포기장치 유입량인 4,000 m<sup>3</sup>/d를 초과하는 유량은 즉시 우회하여, 유입량 한계치를 절대 초과하지 않습니다.

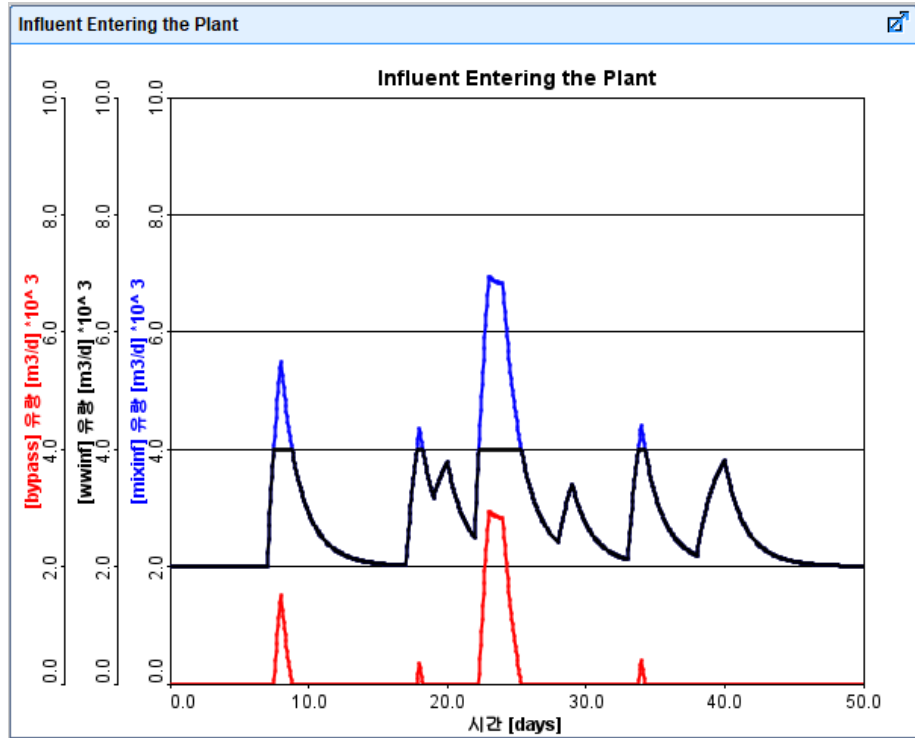


그림 15-8 'tutorial-15-Bypass' 파이썬 스크립트의 출력

## 입력 지연 생성하기

GPS-X 시뮬레이션을 실행할 때는 컨트롤 루프로 인한 변경사항이 그 즉시 발생하나, 실제로는 즉각적으로 발생하지 않는 경우도 있습니다. 입력 지연 및 기기 시작 시간으로 인해, 이벤트를 감지하는 것과 이를 올바르게 수정하는 시점간의 차이가 발생할 수 있기 때문입니다. 설정값에서 벗어난 상황을 모델이 대처하기 위해 소요되는 시간이 지연될 수 있도록 파이썬을 사용해보도록 하겠습니다.

### 19. 기존 파이썬 스크립트를 엽니다.

유입수를 컨트롤하는 바이패스 기능을 지연할 수 있는 파이썬 스크립트를 이미 작성해둔 상태입니다. GPS-X 설치 디렉토리 안의 하위 디렉토리에서 'tutorial-15-Delay.py' 스크립트를 찾아서 여시기 바랍니다. (아래 경로 참고)

Layouts\Tutorials

### 20. 활성화된 디렉토리 내에 파이썬 스크립트를 저장합니다.

### 21. 파이썬 스크립트 매니저를 엽니다.

### 22. 파이썬 스크립트 매니저에 스크립트를 추가합니다.

### 23. 스크립트를 편집합니다.

이 스크립트는 'tutorial-15-Bypass.py' 스크립트를 토대로 만든 것입니다. 이제 해당 파이썬 스크립트에서 어떤 변경사항이 있었는지에 대해 알아보겠습니다.

- 유입수: Influent라고 불리는 목록 변수가 start 함수에 추가되었습니다. 이 변수는 cint 함수 내에서 쓰여서 매 통신 간격마다 총 유입수 유량 정보를 수집하게 됩니다.
- 개수: Count라고 불리는 변수가 start 함수에 추가되었습니다. 이 변수는 발생하는 통신 간격의 개수를 추적하는 데 사용됩니다. 이 파이썬 스크립트 내에서 통신 간격 시간이 줄어든 상태이므로, 개수 변수는 통신 간격을 추적하여 하루가 흘러가는 동안 통신 간격 상에 무작위성 이벤트가 여전히 발생하는지 확인하게 됩니다.
- 바이패스 컨트롤: 이전 파이썬 스크립트에 있었던 바이패스 컨트롤을 조정했으나, 이제 최대 허용 유량 이전의 5개의 신뢰 구간을 발생시킨(that occurred 5 confidence intervals) 총 유입량을 포기장치와 비교해보도록 하겠습니다. 바이패스에 대해 5개의 통신 구간을 지연으로 적용하여 유입수 유량 내의 편차를 조절하게 됩니다.

```

5 #####USER INPUTS#####
6
7 RainInflow = [0, 0.0025, 0.005, 0.0075, 0.01]
8 CommInt = 0.05
9 StopTime = 50.0
10 Count = 0
11 MaxAeratorFlow = 4000
12 Influent = []
13
14 #####

```

그림 15-9 Delayed Bypass 파이썬 스크립트의 사용자 입력 섹션 변경하기

```

16 #####FUNCTIONS#####
17
18 # start() function executed once at simulation start
19 #
20 def start():
21     global CommInt, StopTime
22     try:
23         gpsx.setTstop(StopTime)
24         gpsx.setCint(CommInt)
25         gpsx.setValue('qconbypass', 0.0)
26
27     except Exception as e:
28         print(e)
29
30 # cint() function executed at every communication interval
31 #
32 def cint():
33     global RainInflow, MaxAeratorFlow, Count, Influent
34     import random
35     try:
36         if Count == 1.0:
37             Count = 0
38
39             RainProbability = random.randint(1, 100)
40             if RainProbability <= 85:
41                 gpsx.setValue("rainfallrain", RainInflow[0])
42
43             elif RainProbability >85 and RainProbability <= 90:
44                 gpsx.setValue("rainfallrain", RainInflow[1])
45
46             elif RainProbability >90 and RainProbability <= 95:
47                 gpsx.setValue("rainfallrain", RainInflow[2])
48
49             elif RainProbability >95 and RainProbability <= 98:
50                 gpsx.setValue("rainfallrain", RainInflow[3])
51
52             else:
53                 gpsx.setValue("rainfallrain", RainInflow[4])
54
55             if len(Influent) >= 5:
56                 if Influent[-5] > MaxAeratorFlow:
57                     gpsx.setValue('qconbypass', (Influent[-5] - MaxAeratorFlow))
58                 else:
59                     gpsx.setValue('qconbypass', 0.0)
60             else:
61                 gpsx.setValue('qconbypass', 0.0)
62
63             Influent.append(gpsx.getValue('qmixinf'))
64
65             Count = round((Count + CommInt), 2)
66
67     except Exception as e:
68         print(e)

```

그림 15-10 Delayed Bypass 파이썬 스크립트의 함수 섹션 변경하기

24. 스크립트를 저장합니다.

25. 스크립트를 실행합니다.

샘플 그래프는 아래 그림 15-11에서 찾아볼 수 있습니다.

참고: 스크립트 내 무작위성 때문에 사용자의 그래프는 샘플과 다르게 나타날 수 있습니다.

포기장치 유입수 한계를 초과하는 경우, 바이패스는 즉시 활성화되지 않으며, 초과 유입수는 포기장치로 들어간다는 점을 확인해보시기 바랍니다. 바이패스가 활성화될 때, 우회된 양은 포기장치로 들어가도록 허용된 최대 유입량을 충족하기 위해 실제 필요한 양을 초과합니다.

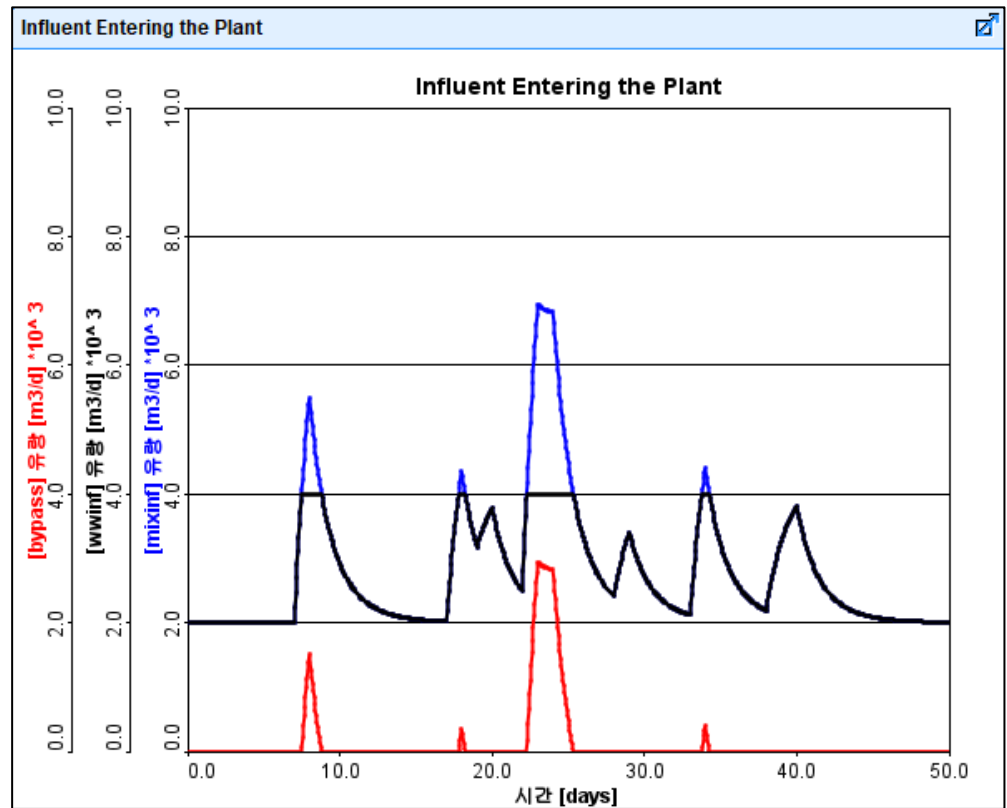


그림 15-11 'tutorial-15-Delay' 파이썬 스크립트의 결과

## 튜토리얼 16

### 파이썬과 GPS-X – 민감도 분석

#### 문제 설정

새로운 모델을 구축할 때, 민감도 분석을 수행하여 사용자의 매개변수 내에 불확실성이 모델에 어떤 영향을 미칠 지 분석하는 것이 일반적입니다. 단 하나의 매개변수를 변경하면 어떤 효과가 있을지를 시각화하는 것은 주어진 모델의 유효성을 테스트할 수 있는 하나의 방법이 될 수 있겠지만, 여러 개의 매개변수를 동시에 변경하게 되면 어떤 영향이 있을지를 시각화하는 것은 종종 쉽지 않은 일입니다.

주어진 시스템 내에서 사용되는 매개변수를 시스템적으로 변경함으로써, 사용자는 자신의 모델 내 변수들이 어떻게 상호작용하는지에 대해 자세히 이해할 수 있게 됩니다. 파이썬 사용을 통해, GPS-X 내 분석 프로세스는 간소화될 수 있으며, 상세한 민감도 지도를 생성하여 사용자의 시스템 내 변수들간 관계를 시각화할 수 있습니다.

이 튜토리얼에서는 두 가지 서로 다른 방식을 사용하여 플랜트의 유출수 암모니아 민감도에 대해 알아보도록 하겠습니다. 먼저, 3차원 민감도 지도를 만들어서, 수온과 2차 침전지의 하수량에 대해 동시에 변화를 주었을 때 유출수 암모니아의 민감도가 어떻게 되는지 알아보겠습니다. 그리고 나서, 다양하게 조합한 운전 조건들이 어떻게 GPS-X 내에서 시나리오를 사용하여 2차원 그래프 상에서 직접 비교 가능한지에 대해 알아보겠습니다.

#### 목적

이 튜토리얼의 목적은 GPS-X로부터 추출하는 정보를 파이썬을 사용하여 어떻게 최대화할 수 있는지 알아보는 것입니다. 이 튜토리얼을 학습하고 나면, 파이썬을 사용하여 GPS-X 내에서 상세한 민감도 분석을 생성할 수 있게 될 것입니다.

이 섹션에서 그래프는 파이썬 내 `matplotlib` 라이브러리를 사용하여 생성되므로, 14장에 기술된 바에 따라 해당 라이브러리를 반드시 파이썬에 먼저 설치할 필요가 있습니다. 그래프의 디스플레이 역시 파이썬 내에서 PIL이라 불리는 `Pillow`를 사용하여 이루어지므로, 미리 설치되어야 합니다.

#### 두 개의 보정 변수 민감도 분석

이제 파이썬을 사용해서, 동시에 보정되는 두 개의 입력값에 대해 하나의 출력 변수가 어떤 민감도를 보이는지 모의해보도록 하겠습니다. 이 튜토리얼을 진행하기 전에 14장에서 설명된 바와 같

이, 현재 사용하고 있는 파이썬 인스턴스에 matplotlib와 Pillow가 설치되어 있도록 합니다.

1. 튜토리얼 1에서 생성했던 레이아웃을 열고 이름을 'tutorial-16'으로 저장합니다.
2. 시뮬레이션 모드로 전환합니다.
3. 기존 파이썬 스크립트를 엽니다.

민감도 분석을 수행하기 위해 이미 작성된 파이썬 스크립트가 포함되어 있을 것입니다. GPS-X 설치 하위 디렉토리(아래 경로 참고)에서 '**tutorial-16-3D.py**' 파이썬 스크립트를 찾은 후, 여시기 바랍니다.

Layouts\Tutorials\

4. 파이썬 스크립트를 저장합니다.

현재 작업 중인 디렉토리에 스크립트를 저장하면 됩니다.

5. 파이썬 스크립트 매니저를 엽니다.
6. 해당 스크립트를 파이썬 스크립트 매니저에 추가합니다.

추가 버튼을 누르고 메뉴에서 **tutorial-16-3D.py**를 선택합니다. 열기를 누르면 파이썬 스크립트 매니저에 스크립트가 추가됩니다.

7. 스크립트를 편집합니다.

편집 버튼을 누르면 노트패드 상에 파이썬 스크립트가 열립니다.

스크립트는 4개의 주요 섹션으로 나누어집니다.

#### □ 사용자 입력(USER INPUTS)

사용자 입력 섹션은 사용자가 민감도 분석에 포함되길 원하는 값의 범위를 정의할 수 있는 곳입니다. 수온 및 2차 침전지 하수량에 대해 상한 및 하한 값을 지정할 수 있습니다.

또한, 민감도 분석에 사용하길 원하는 포인트의 개수를 지정할 수도 있습니다. 각 변수에 지정된 최소 및 최대 값 사이의 범위는 동일한 간격을 지닌 포인트들로 나누어질 것입니다. 각 조건에서 시뮬레이션이 실행될 것입니다.

```

5  #####USER INPUTS#####
6
7  #Define upper and Lower range of temperature and wasteage flow
8  UpperTemp = 25
9  LowerTemp = 10
10 UpperWaste = 1000
11 LowerWaste = 5
12
13 #Define the number of equally spaced points between the min
14 #and max values you'd like each variable to have
15 NumPoint = 4
16
17 #####

```

그림 16-1 파이썬 스크립트의 사용자 입력 섹션

### □ 함수

새로운 파이썬 스크립트를 생성할 때 GPS-X에 의해 정의된 함수를 사용하여 GPS-X 내 변수 값들을 보정하게 됩니다. 이 섹션에는 **GpsxFn**이 추가되었습니다. 사용자 정의 함수로, 현재 사용될 온도와 하수량에 대한 값들을 설정할 때 사용할 것입니다.

```

19 #####FUNCTIONS#####
20
21 # start() function executed once at simulation start
22 #
23 def start():
24     try:
25         gpsx.setValue('temp', CurTemp)
26         gpsx.setValue('qconwas1', CurWaste)
27
28     except Exception as e:
29         print(e)
30
31 # cint() function executed at every communication interval
32 #
33 def cint():
34     global CurNH3
35
36     try:
37         CurNH3 = gpsx.getValue('snhfel')
38
39     except Exception as e:
40         print(e)
41
42 # eor() function executed once at end of simulation
43 # finished set True is required to terminate the runSim() function
44 #
45 def eor():
46     global finished
47     finished = True
48
49     try:
50         pass
51
52     except Exception as e:
53         print(e)
54
55 def GpsxFn(CurrentWaste, CurrentTemp):
56     global CurWaste, CurTemp
57
58     CurWaste = CurrentWaste
59     CurTemp = CurrentTemp
60
61 #####

```

그림 16-2 파이썬 스크립트의 함수 섹션



#### □ 데이터 수집

스크립트의 이 섹션은 파이썬의 `numpy` 라이브러리를 사용하여 살펴보게 될 값들의 범위를 생성하는 곳입니다. `Numpy`를 사용하여, 각 변수에 대한 좌표 매트릭스가 구성됩니다. 매트릭스 내 값들은 사용자 입력 섹션에서 정의된 최소 및 최대 값 사이에서 동일한 간격으로 놓여 집니다. 이 좌표들 각각은 GPS-X 시뮬레이션 내로 입력되어, 운전 조건 하에서 유출수 암모니아 농도를 결정하게 됩니다. 유출수 농도는 GPS-X로부터 추출되며 결과 매트릭스 내에 기록됩니다.

```

63 #####DATA COLLECTION#####
64
65 import numpy as np
66
67 #Create an vector of equally spaced values between the min and max
68 Temp = np.linspace(LowerTemp, UpperTemp, NumPoint)
69 WasteFlow = np.linspace(LowerWaste, UpperWaste, NumPoint)
70
71 #Create coordinate matrices from the vectors
72 Temp, WasteFlow = np.meshgrid(Temp, WasteFlow)
73
74 Results = []
75
76 #Cycle through the values and record them
77
78 try:
79     for i in range(len(WasteFlow)):
80         CurrentWaste = WasteFlow [i][0]
81         Results.append([])
82
83         for j in range(len(Temp)):
84             CurrentTemp = Temp[0][j]
85             GpsxFn (CurrentWaste, CurrentTemp)
86
87             # runSim() call starts simulation in GPS-X
88             try:
89                 runSim()
90
91             except Exception as e:
92                 print(e)
93
94             Results[i].append(CurNH3)
95
96 #####

```

그림 16-3 파이썬 스크립트의 데이터 수집 섹션

### □ 출력

이 섹션에서는 파이썬의 matplotlib 라이브러리를 사용하여 파이썬 스크립트의 이전 섹션에서 수집된 데이터의 3차원 그래프를 생성합니다. 그래프는 파이썬 스크립트의 마지막에 .png 파일로 저장되며 그 위치는 레이아웃 파일과 동일한 디렉토리입니다. 그 다음, Pillow를 사용하여 스크립트 종료 전 PNG 파일을 열게 됩니다.

```

98 #####PLOTING#####
99
100 import matplotlib
101 matplotlib.use('Agg')
102 import matplotlib.pyplot as plt
103 from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D
104 from PIL import Image
105
106 #Plot the data
107 fig = plt.subplots(figsize = (20,15))
108 ax = plt.axes(projection='3d')
109 ax.plot_surface(X=Temp, Y=WasteFlow, Z=np.array(Results))
110
111 #Label the plot
112 ax.set_xlabel('Temperature', fontsize = 24, labelpad = 20)
113 ax.set_ylabel('Wastage Flow', fontsize = 24, labelpad = 20)
114 ax.set_zlabel('Effluent Ammonia', fontsize = 24, labelpad = 20)
115 plt.xticks(fontsize = 17)
116 plt.yticks(fontsize = 17)
117
118 #Add z-axis ticks
119 for t in ax.zaxis.get_major_ticks(): t.label.set_fontsize(15)
120
121 #Save the plot as a PNG image in the active directory
122 plt.savefig('Tutorial-16-3D-' + str(NumPoint) + 'points.png')
123 Image.open('Tutorial-16-3D-' + str(NumPoint) + 'points.png').show()
124
125 except Exception as e:
126     print(e)
127
128 #####

```

그림 16-4 파이썬 스크립트의 출력 섹션

8. 파이썬 스크립트를 저장합니다.

9. 파이썬 스크립트를 실행합니다.

파이썬 스크립트 매니저 창에서 스크립트 실행 버튼을 누릅니다.

스크립트에 의해 만들어진 그래프는 레이아웃 파일이 저장되는 디렉토리 내에 .png 파일로 저장됩니다. 레이아웃 파일을 저장했던 디렉토리를 열어 'Tutorial-16-3D-4points.png'라는 이름의 PNG 파일을 찾습니다. 이 PNG 파일을 열면 민감도 분석의 결과를 볼 수 있습니다.

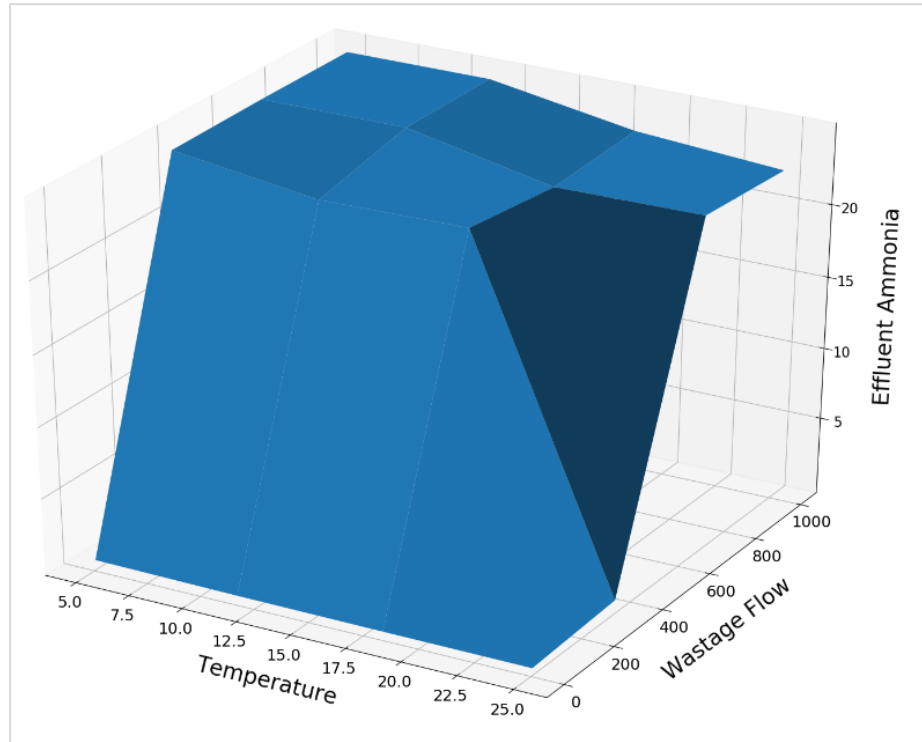


그림 16-5 액체 온도 및 하수량에 대한 유출수 암모니아의 민감도

10. 파이썬 스크립트를 편집합니다. 파이썬 스크립트의 사용자 입력 섹션에서 다음의 변경사항을 만듭니다.

- LowerTemp 값을 10°C로 증가시킵니다. (5°C와 10°C 사이에 변화가 거의 관측되지 않기 때문에, 살펴보게 될 온도 범위가 줄어들게 됩니다.)
- NumPoint 값을 10으로 증가시킵니다. (더 많은 포인트들을 샘플링하여 변화 추세를 더욱 잘 시각화할 수 있으므로, 데이터의 해상도가 증가합니다.)

참고: 포인트 개수가 증가하면 더 많은 시뮬레이션을 필요로 하게 되므로 이전 스크립트에 비해 실행 시간이 더 길어지게 됩니다.

11. 파이썬 스크립트를 저장합니다.

12. 파이썬 스크립트를 실행합니다.

### 13. 결과를 봅니다.

활성화된 디렉토리 내에서 'Tutorial-16-3D-10points.png'라는 이름의 새로운 PNG 파일을 찾아서 여시기 바랍니다. 사용되는 샘플 포인트의 개수가 늘어나면서 그래프의 해상도도 높아간 것을 확인할 수 있습니다.

참고: 민감도 분석에 사용될 포인트 개수를 결정할 때, 필요한 시뮬레이션의 개수가 포인트 개수와 동일하게 직선적으로 증가하는 것은 아니라는 사실을 기억하시기 바랍니다. 살펴볼 포인트 개수가 많은 경우 사용자 컴퓨터의 속도와 사용자가 생성한 레이아웃의 복잡함 정도에 따라 대기 시간이 길어질 수도 있습니다.

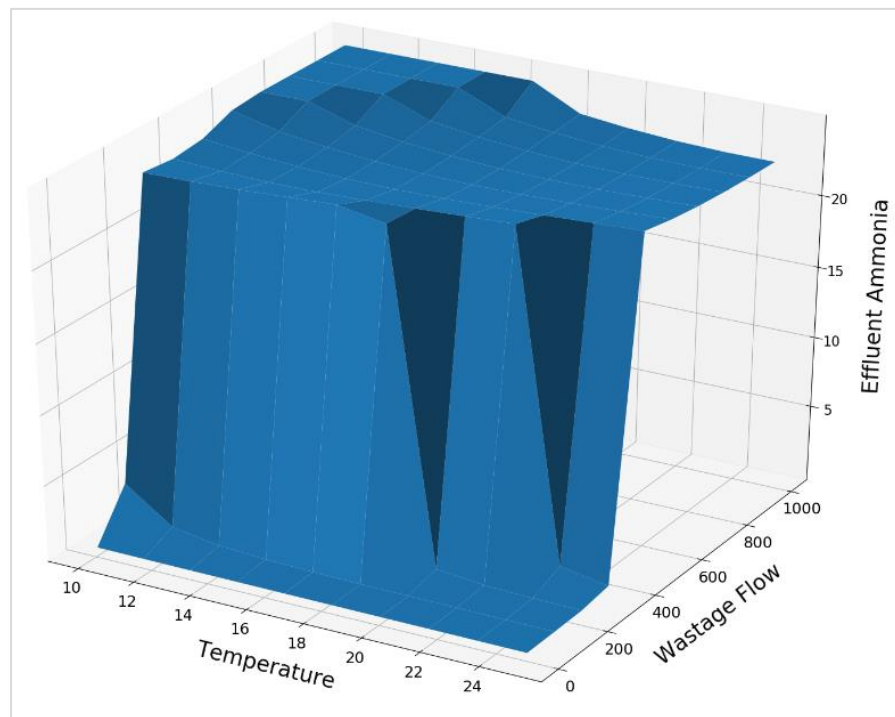


그림 16-6 샘플 포인트 개수를 늘린 후, 수온과 하수량에 대한 유출수 암모니아의 민감도

## 여러 가지 변수의 민감도 분석

이제 GPS-X의 시나리오 기능과 matplotlib 파이썬 라이브러리를 사용하여 한번에 여러 개의 변수를 변경하면 어떤 영향을 미치는 데 시뮬레이션 상에서 시각화하는 방법에 대해 살펴 보겠습니다.

14. 두 개의 새로운 시나리오를 생성합니다. 신규 시나리오 생성 관련 정보는 13장을 참고하시면 됩니다. 다음의 사양을 지닌 두 개의 새로운 시나리오를 생성하시기 바랍니다.

#### □ High Flow

- 새로운 시나리오는 Base Model로부터 유래
- 유입수 유량 변경: 유입수 > 유량 > 유량 데이터 에서, 4,000 m<sup>3</sup>/일로 변경
- 포기장치 최대 용량 변경: 포기조 > 입력 매개변수 > 사이즈 입력에서, 1,500 m<sup>3</sup> 입력

#### □ Low Flow

- 새로운 시나리오는 Base Model로부터 유래
- 유입수 유량 변경: 유입수 > 유량 > 유량 데이터에서, 500 m3/일로 변경
- 포기장치 용량 변경: 포기조 > 입력 매개변수 > 사이즈 입력에서 750 m3입력

#### 15. 기존 파이썬 스크립트를 엽니다.

2차원 민감도 분석을 수행할 파이썬 스크립트를 미리 작성해두었습니다. GPS-X 설치 디렉토리의 하위 디렉토리(아래 경로 참고)에서 **tutorial-16-2D.py** 파이썬 스크립트를 찾아 주시기 바랍니다.

layouts\tutorials\

#### 16. 스크립트를 편집합니다.

편집 버튼을 누르면 노트패드 내에 파이썬 스크립트가 열립니다. 이전 스크립트와 동일하게 4개의 섹션을 사용하여 설정되어 있습니다. 각 섹션을 하나하나 살펴보도록 하겠습니다.

#### □ 사용자 입력

사용자는 자신이 보고자 하는 온도 범위와 이 범위를 동일한 간격으로 나눌 포인트들의 개수를 반드시 정의해야 합니다. 출력 그래프 상에 겹쳐지게 될, 목표 유출수 암모니아 농도 역시 지정할 수 있습니다.

```

5 #####USER INPUTS#####
6
7 #Define upper and Lower range of temperature and wastage flow
8 UpperTemp = 35
9 LowerTemp = 10
10 WastageRate = 40
11
12 #Specify the concentration of Ammonia you would like in the effluent
13 TargetEffluentNH3 = 0.15
14
15 #Define the number of equally spaced points between the min
16 #and max values you'd like each variable to have
17 NumPoint = 4
18
19 #Set the Wastage Rate
20 gpsx.setValue('qconwas1', WastageRate)
21
22 #####

```

그림 16-7 파이썬 스크립트의 사용자 입력 섹션

## □ 함수

새로운 파이썬 스크립트를 생성할 때 GPS-X에 의해 정의되는 함수는 GPS-X 내 변수 값들을 보정할 때 사용됩니다. 사용자 정의 함수인 GpsxFn 역시 포함되어 현재 시뮬레이션에 사용되는 시나리오 및 온도를 관리하게 됩니다. GpsxFn 함수 내에서 새로운 GPS-X 인식 명령어인 **gpsx.setSenario**가 도입됩니다. 이 명령어는 시나리오 명을 괄호 내 스트링으로 포함함으로써 사용자로 하여금 GPS-X 시뮬레이션이 진행되는 동안 어떤 시나리오가 활성화될지 선택할 수 있도록 합니다.

```

25 #####FUNCTIONS#####
26
27 # start() function executed once at simulation start
28 #
29 def start():
30     try:
31         pass
32     except Exception as e:
33         print(e)
34
35 # cint() function executed at every communication interval
36 #
37 def cint():
38     global CurNH3, CurScenario
39     try:
40         CurNH3 = gpsx.getValue('snhfe1')
41     except Exception as e:
42         print(e)
43
44
45 # eor() function executed once at end of simulation
46 # finished set True is required to terminate the runSim() function
47 #
48 def eor():
49     global finished
50     finished = True
51     try:
52         pass
53     except Exception as e:
54         print(e)
55
56 def GpsxFn(CurrentScenario, CurrentTemp):
57     global CurScenario, CurTemp
58
59     CurScenario = CurrentScenario
60     CurTemp = CurrentTemp
61
62     gpsx.setScenario(CurScenario)
63     gpsx.setTstop(1.0)
64     gpsx.setValue('temp', CurTemp)
65
66 #####

```

그림 16-8 파이썬 스크립트의 함수 섹션

### □ 데이터 수집

살펴보게 될 온도 범위는 이 섹션에서 동일한 간격을 지닌 포인트들의 벡터로 전환됩니다. 그 다음, 이 벡터는 순환되고, 벡터 내 각 온도는 분석 대상이 되는 각 GPS-X 시나리오에 적용됩니다. 각 시나리오 내 유출수 암모니아는 GPS-X로부터 추출되며, 파이썬 내의 결과 리스트에 기록됩니다.

```

68 #####DATA COLLECTION#####
69
70 import numpy as np
71
72 #Create an vector of equally spaced values between the min and max
73 TempLevel = np.linspace(LowerTemp, UpperTemp, NumPoint)
74
75 Scenario1 = []
76 Scenario2 = []
77 Scenario3 = []
78 Goal = []
79
80 #Cycle through the Temperatures and record value for each scenario
81 try:
82     for i in range(len(TempLevel)):
83         CurrentTemp = TempLevel[i]
84
85         GpsxFn('High Flow', CurrentTemp)
86
87         # runSim() call starts simulation in GPS-X
88         try:
89             runSim()
90
91         except Exception as e:
92             print(e)
93
94         Scenario1.append(CurNH3)
95
96         GpsxFn('Low Flow', CurrentTemp)
97
98         # runSim() call starts simulation in GPS-X
99         try:
100             runSim()
101
102         except Exception as e:
103             print(e)
104
105         Scenario2.append(CurNH3)
106
107         GpsxFn('Base Model', CurrentTemp)
108
109         # runSim() call starts simulation in GPS-X
110         try:
111             runSim()
112
113         except Exception as e:
114             print(e)
115
116         Scenario3.append(CurNH3)
117
118         Goal.append(TargetEffluentNH3)
119
120 #####

```

그림 16-9 파이썬 스크립트의 데이터 수집 섹션

### □ 그래프 그리기(Plotting)

시뮬레이션의 결과는 단일 축 위에 그려집니다. 목표 유출수 암모니아 농도를 나타내는 선이 그래프 위로 겹쳐집니다. 그래프는 레이아웃 파일이 저장되는 것과 동일한 디렉토리에 PNG 파일로서 저장되며, 이름은 'Tutorial-16-2D-4points.png'가 됩니다. 시뮬레이션의 마지막에 Pillow는 이 PNG를 열게 됩니다.

```

122 #####PLOTTING#####
123
124 import matplotlib
125 matplotlib.use('Agg')
126 import matplotlib.pyplot as plt
127 from PIL import Image
128
129 fig, ax = plt.subplots(figsize = (20,15))
130
131 #Plot the data
132 ax.plot(TempLevel, Scenario1, 'k', label = 'High Flow')
133 ax.plot(TempLevel, Scenario2, 'b', label = 'Low Flow')
134 ax.plot(TempLevel, Scenario3, 'r', label = 'Base Model')
135 ax.plot(TempLevel, Goal, 'g--', label = 'Goal Value')
136
137 #Label the plot
138 ax.set_xlabel('Temperature', fontsize = 32)
139 ax.set_ylabel('Effluent Ammonia', fontsize = 32)
140 ax.set_title('Effects of Temperature on Effluent Ammonia', fontsize = 32)
141 ax.legend(loc = 'best', fontsize = 24)
142 plt.xticks(fontsize = 24)
143 plt.yticks(fontsize = 24)
144
145 #save the plot as a PNG
146 plt.savefig('Tutorial-16-2D-' + str(NumPoint) + 'points.png')
147 Image.open('Tutorial-16-2D-' + str(NumPoint) + 'points.png').show()
148
149 except Exception as e:
150     print(e)
151
152 #####

```

그림 16-10 파이썬 스크립트의 출력 섹션

17. 스크립트를 저장합니다.

18. 파이썬 스크립트를 실행합니다. 파이썬 스크립트 매니저 창에서 스크립트 실행 버튼을 누릅니다.



## 19. 결과를 봅니다.

스크립트에 의해 생성된 그래프는 레이아웃 파일이 저장되는 디렉토리 내에 png 파일로 저장됩니다. 레이아웃 파일을 저장했던 디렉토리를 열어서 'Tutorial-16-2D-4points.png' 라는 이름의 파일을 찾습니다. 해당 이미지 파일을 열면 스크립트의 결과를 볼 수 있습니다.

세 개의 서로 다른 시나리오를 어떻게 서로 비교할지 이 결과로부터 알 수 있습니다. Low Flow와 Base Model 시나리오는 모든 온도의 경우에 대해 유사하나, 저온일 경우 High Flow 시나리오에 비해 낮은 유출수 암모니아 농도를 지닙니다. 겹쳐진 목표 선을 사용하여 Low Flow와 Base Model 시나리오가 16 °C 이하에서 수용 가능한 유출수 암모니아 농도를 지니게 된다는 것을 알 수 있습니다. 반면, High Flow 시나리오는 19°C 이하에서 수용 가능한 유출수 암모니아 농도를 지닌다는 것도 판단할 수 있습니다.

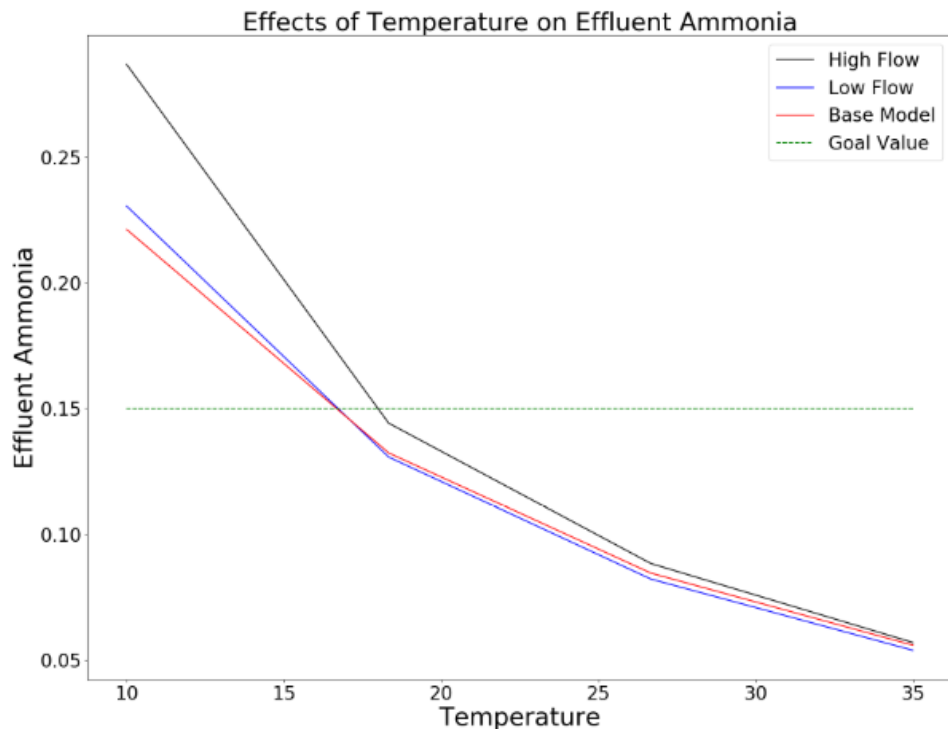


그림 16-11 수온이 유출수 암모니아에 미치는 영향

## 20. 새로운 조건으로 스크립트를 재실행합니다.

온도 범위 내에서 분석 대상이 되는 포인트의 개수를 10개로 늘립니다. High Flow 시나리오에서 유입수 유량을 5,000 m<sup>3</sup>/d로 늘려 봅니다.

## 튜토리얼 17

### 파이썬과 GPS-X – Java 클래스

#### 문제 설정

GPS-X 내에 파이썬을 통합함으로써 사용자가 GPS-X를 어떻게 활용할지 사용자에게 맞게 조정하는 맞춤화가 가능합니다. 또한, 파이썬을 위해 사용 가능한 오픈 소스 라이브러리가 다양하게 존재합니다. 다만, 사용자가 원하는 바를 충족할 수 있는 라이브러리가 존재하지 않을 수도 있습니다. GPS-X 내에서 파이썬에 추가적인 기능을 부여하기 위해, Java JAR 파일을 추가할 수 있는 기능이 포함되어 있습니다. JAR 파일에 쉽게 접근이 가능하므로 GPS-X를 보다 사용자에게 맞게 조정할 수 있는 추가 도구들에 대한 선택의 폭이 넓어진 것입니다.

이 튜토리얼을 학습하려면 GPS-X의 고급 도구 모듈이 필요합니다.

#### 목적

이 튜토리얼의 목적은 GPS-X 내에서 Java JAR 파일로 접근하기 위해 어떻게 파이썬을 사용할 수 있는지에 대한 이해를 높이는 것입니다. 이 장에서 우리는 JAR 파일이 어떻게 GPS-X에 추가될 수 있는지 살펴보고 Java Virtual Machine으로 JAR 파일들을 사용하여 정상 상태 운전 조건이 시뮬레이션 어떻게 영향을 미치는지를 역동적으로 시각화해보도록 하겠습니다.

#### JAR 클래스 경로 추가하기

GPS-X 내에서 파이썬과 Java를 사용하려면, 먼저 사용자가 사용하고자 하는 JAR 파일로 가는 경로를 GPS-X에 제공해주어야 합니다. 이 튜토리얼에서는 오픈 소스 Java 프레임워크이자, 다양한 쌍방향 차트를 만드는 데 사용되는 JFreeChart로부터 JAR 파일을 가져와 사용하도록 하겠습니다.

1. 빈 GPS-X 레이아웃을 여시기 바랍니다.
2. 파이썬 환경설정을 여시기 바랍니다.

파이썬 환경설정 메뉴는 메인 툴바의 보기 > 환경설정에서 찾을 수 있습니다. 파이썬 탭을 클릭합니다.

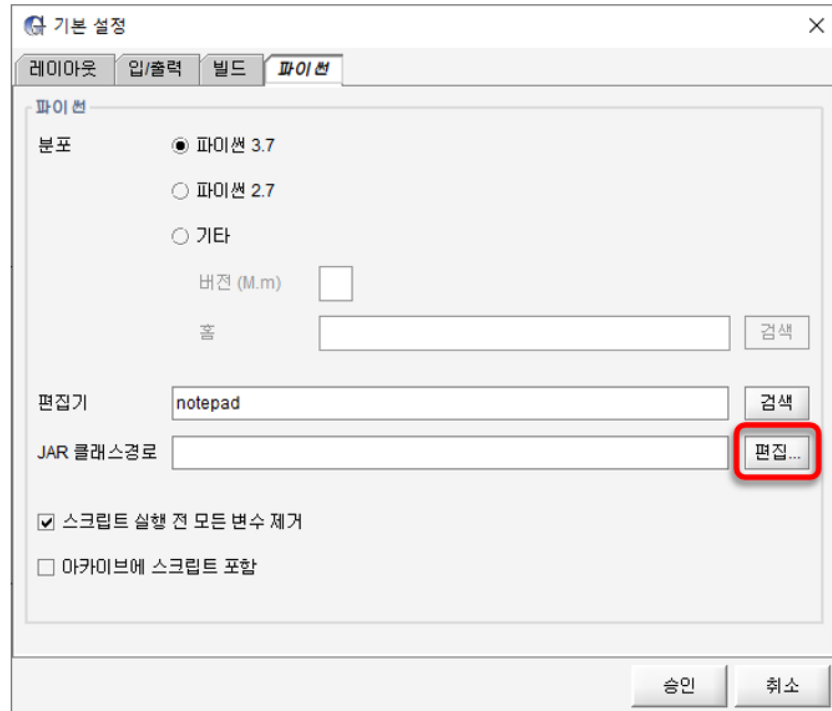


그림 17-1 파이썬 환경설정 메뉴

3. **JAR** 클래스 경로를 편집합니다.

**JAR** 클래스 경로 입력 필드 옆에 위치한 **편집...** 버튼을 클릭합니다.

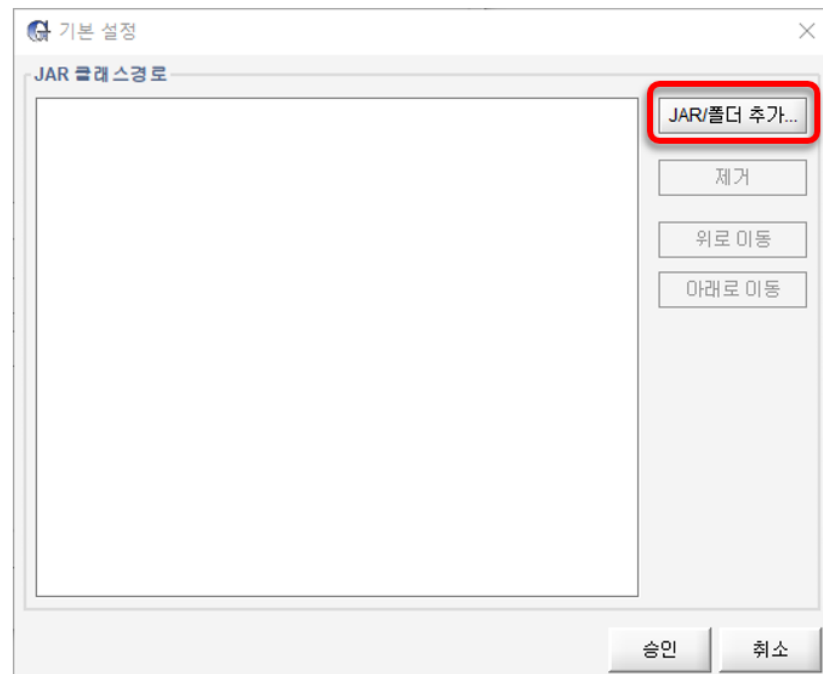


그림 17-2 JAR 클래스경로 매니저

#### 4. JAR 클래스 경로를 추가합니다.

**JAR/폴더 추가...** 버튼을 클릭하고, 레이아웃이 저장되어 있는 폴더로 이동하여 새 폴더를 생성합니다. 이름은 적절히 정합니다. (예. Tutorial-17-JARS) 이후, 해당 폴더를 클릭하고, **JAR/폴더 추가**를 클릭합니다.

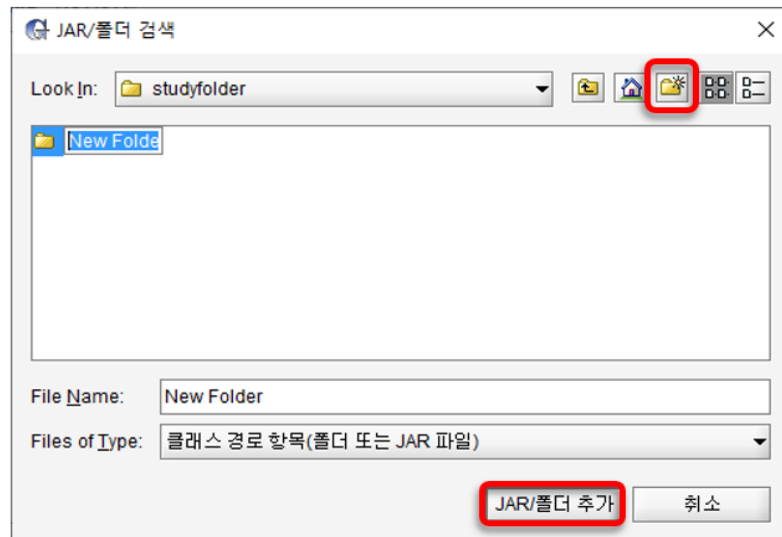


그림 17-3 JAR/폴더 선택

#### 5. JAR 클래스 경로를 수락합니다.

JAR 클래스경로 매니저 상에서 **승인** 버튼을 클릭하여 파이썬 환경설정으로 돌아갑니다.

#### 6. 새로운 파이썬 설정을 수락합니다.

파이썬 환경설정 화면 상에서 **승인**을 클릭합니다. 새로운 변경사항 적용을 위해 GPS-X를 재시작 하라는 메시지가 나타날 것입니다. **확인(OK)**을 클릭하여 파이썬 환경설정의 변경사항을 수락하고 GPS-X를 종료합니다.

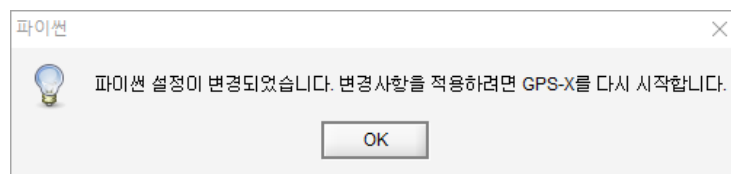


그림 17-4 새로운 환경설정의 효력 발휘를 위해 파이썬을 재시작하라는 GPS-X 메시지 창

## JARS를 사용한 실시간 그래프 생성

7. GPS-X를 실행하고, 튜토리얼 1에서 만들었던 레이아웃을 여기서 바랍니다. 이 레이아웃을 'tutorial-17'이라는 이름으로 저장합니다.

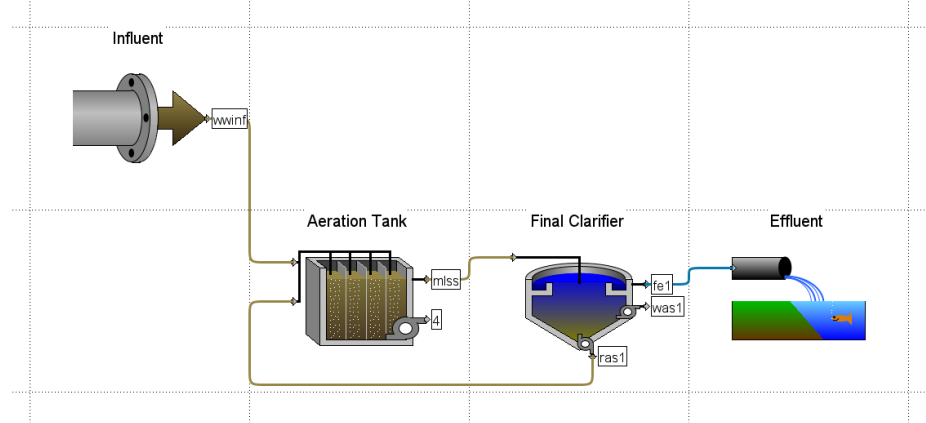



그림 17-5 튜토리얼 17에서 사용하는 레이아웃

8. 유입수 객체 우 클릭 > 유량 > 유량정보를 클릭해, 다음과 같이 변경합니다.
- 유입수 유량 형태를 **사인곡선**으로 변경합니다.
  - 유입수 유량 비율을 **3,000 m3/일**로 변경합니다.
9. 시뮬레이션 모드로 전환합니다.
10. 레이아웃을 저장  합니다.

이 튜토리얼에 사용할 파이썬 스크립트를 미리 만들어 준비해둔 상태입니다. 아래 디렉토리로 이동하여 'tutorial-17.py'라는 이름의 파이썬 스크립트를 텍스트 프로그램(notepad, 메모장)으로 여시기 바랍니다.

□layouts□08tutorials□

11. 파이썬 스크립트를 저장합니다.

현재 레이아웃이 저장되어 있는 폴더에 저장하시면 됩니다.

12. 스크립트를 **GPS-X**에 추가합니다.

GPS-X 내에서 파이썬 스크립트 매니저를 열고 해당 파이썬 스크립트를 GPS-X로 추가합니다.

13. 스크립트를 편집합니다.

편집 버튼을 누르면 노트패드 상에 스크립트가 열립니다. 이 스크립트는 함수(Functions)와 출력(Plotting)의 두 개 주요 섹션으로 나누어져 있습니다. 각 스크립트가 어떤 역할을 하는지 알아보겠습니다.

함수 섹션은 GPS-X가 새 스크립트를 만들 때 포함되는 표준 GPS-X 함수가 들어 있습니다. Cint() 함수는 매 통신 간격마다 데이터를 수집하는 데 사용됩니다. 사용자 정의 함수 인 createDialPlot 함수가 이 섹션에 추가되어 있습니다. 이 함수는 Java Virtual Machine 내에 Dial 그래프(dial plot)를 생성하는 데 사용됩니다.

```

19 #####FUNCTIONS#####
20
21 # start() function executed once at simulation start
22 #
23 def start():
24     try:
25         pass
26     except Exception as e:
27         print(e)
28
29 # cint() function executed at every communication interval
30 #
31 def cint():
32     try:
33         t=gpsx.getValue("t")
34         q=gpsx.getValue("xras1")
35         series.add(t, q)
36         dataset.setValue(t)
37
38     except Exception as e:
39         print(e)
40
41 # eor() function executed once at end of simulation
42 # finished set True is required to terminate the runSim() function
43 #
44 def eor():
45     global finished
46     finished = True
47     try:
48         pass
49     except Exception as e:
50         print(e)
51
52 def createDialPlot(min, max, incr, dataset):
53     plot = jvm.DialPlot(dataset)
54     plot.setDialFrame(jvm.StandardDialFrame())
55     plot.addLayer(jvm.DialValueIndicator(0))
56     plot.addLayer(jvm.DialPointer.Pointer())
57
58     scale = jvm.StandardDialScale(min, max, -120.0, -300.0, incr, 1)
59     scale.setTickRadius(0.88)
60     scale.setTickLabelOffset(0.20)
61     plot.addScale(0, scale)
62     return plot
63
64 ##### Example of implementing a Java interface in Python
65 #class MouseMotionListener():
66 # def __init__(self):
67 #     pass
68 # def mouseMoved(self, e):
69 #     pass
70 # def mouseDragged(self, e):
71 #     pass
72 # class Java:
73 #     implements = ["java.awt.event.MouseMotionListener"]
74 #
75 #mml = MouseMotionListener()
76
77
78 #####

```

그림 17-6 비정상 상태 테스트 파이썬 스크립트의 함수 섹션

그래프 섹션은 시뮬레이션을 실행하며 JPanel을 생성합니다. JPanel에 Dial 그래프와 XY 선 차트가 추가될 것입니다. Dial 그래프는 시뮬레이션에서 흘러간 시간을 추적하는 데 사용되며, XY 선 차트는 출력 변수의 값 내에서 변경된 사항을 추적하게 됩니다.

```

80 #####PLOTTING#####
81
82 try:
83     gpsx.resetAllValues()
84     gpsx.setSteady(False)
85     gpsx.setTstop(40.0)
86
87     dataset = jvm.DefaultValueDataset(0.0)
88     series = jvm.XYSeries("Total Suspended Solids")
89     dataset1 = jvm.XYSeriesCollection(series)
90
91     if jframe == None:
92         jpanel = jvm.JPanel()
93         jpanel.setLayout(jvm.FlowLayout())
94
95         plot = createDialPlot(0.0, 40.0, 5.0, dataset)
96         chart = jvm.JFreeChart(plot)
97         chart.setTitle("Time (d)")
98         panel = jvm.ChartPanel(chart)
99         panel.setPreferredSize(jvm.Dimension(200, 216))
100        jpanel.add(panel)
101
102        chart1 = jvm.ChartFactory.createXYLineChart('Total Suspended Solids', "Time (d)",
103        "Total Suspended Solids(mg/L)", dataset1, jvm.PlotOrientation.VERTICAL, True, True, False)
104        plot1 = chart1.getPlot()
105        domainAxis = plot1.getDomainAxis()
106        rangeAxis = plot1.getRangeAxis()
107        domainAxis.setRange(0.0, 40.0)
108        rangeAxis.setRange(5000.0, 11000.0)
109        panel1 = jvm.ChartPanel(chart1)
110        jpanel.add(panel1)
111
112        jframe = jvm.JFrame("Plots")
113        jframe.setContentPane(jpanel)
114        jframe.addWindowListener(None)
115        jframe.setLocationByPlatform(True)
116        jframe.setAlwaysOnTop(True)
117        jframe.setDefaultCloseOperation(jvm.JFrame.DISPOSE_ON_CLOSE)
118        jframe.pack()
119
120    else:
121        plot.setDataset(dataset)
122        plot1.setDataset(dataset1)
123
124    jframe.show()
125
126    sys.stdout.flush()
127
128    # runSim() call starts simulation in GPS-X
129    try:
130        runSim()
131    except Exception as e:
132        print(e)
133
134 except Exception as e:
135     print(e)
136
137 #####

```

그림 17-7 비정상 상태 테스트 파이썬 스크립트의 출력 섹션

두 개의 새로운 GPS-X 파이썬 명령어가 그래프 섹션에 추가되었습니다.

- **gpsx.resetAllValues.** 이 명령어는 모든 변수 값을 처음 시뮬레이션 모드로 들어갔을 때 값으로 되돌리는 명령어입니다. 아무런 입력값이 필요하지 않습니다.
- **Gpsx.setSteady.** 이 함수는 파이썬을 통해 GPS-X 내에서 정상 상태 설정을 켜고 끌 수 있도록 합니다. 정상 상태를 켜지도록 설정하려면, 괄호 안에 True를 입력합니다. 정상 상태를 끄려면, 괄호 안에 False를 입력합니다.

14. 스크립트를 저장하고 실행합니다.

시뮬레이션의 끝에 생성된 그래프는 아래 그림 17-8과 같으며, 이 그래프를 보면 2차 침전지 반응류 내 총 부유 고형물이 처음에 매우 높고 예측 불가능한 상태임을 알 수 있습니다. 시뮬레이션이 계속될수록, 총 부유 고형물의 수위는 사인 곡선의 유입수패턴을 반영합니다. 약 30일 후, 출력을 보면 반응류 내 총 부유 고형물의 상한 및 하한이 유입수 유량 함수로서 일정함을 보이고 있습니다. 이는 시스템이 정상 상태에 도달했다는 것을 나타냅니다.

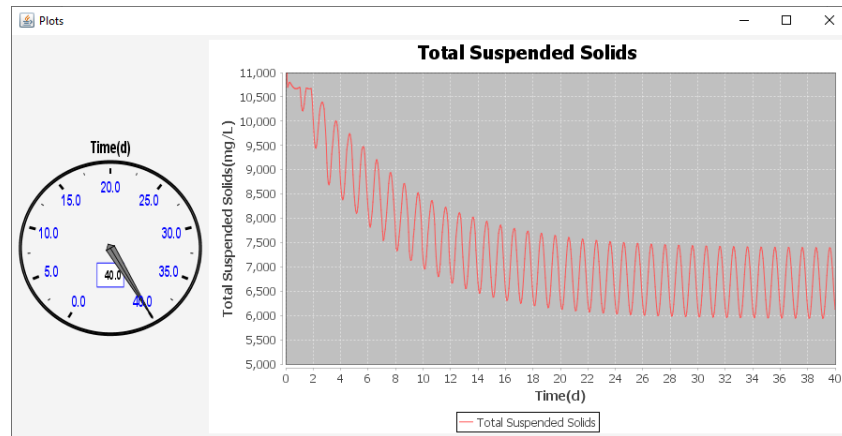


그림 17-8 비정상 상태 파이썬 스크립트 출력

15. 파이썬 스크립트를 업데이트합니다.

스크립트를 업데이트하여 정상상태에서 시뮬레이션을 시작하도록 하겠습니다. **gpsx.setSteady**의 값을 **True**로 변경합니다. 또한, **rangeAxis.setRange(5000.0, 11000.0)** 명령어로 정의된, 차트 상 y 축 한계치를 변경하여 총 부유 고형물 상한이 8,000mg/L이 되도록 합니다.

16. 파이썬 스크립트를 저장하고, 실행합니다.

스크립트의 결과는 아래 그림 17-9와 같습니다. 2차 침전지 반응류 내 총 부유 고형물은 최대 및 최소 한계치가 일정한 사인 곡선 패턴을 보입니다. 이 출력을 이전 파이썬 스크립트의 결과들과 비교해보면, 비정상 상태 시뮬레이션이 정상상태 시뮬레이션에서 보여진 것과 동일한 출력 패턴으로 수렴하는 것을 확인할 수 있습니다.



그림 17-9 정상상태 테스트 파이썬 스크립트 출력



## 튜토리얼 18

### GPS-X와 파이썬 – DDO 최적화

#### 문제 설정

하나의 모델이 보정되고 나면, 수학적 최적화를 사용하여 순 에너지 사용량, 총 화학약품 사용량 최소화 혹은 전체 운전 비용 최소화 등의 목표 달성을 위해 최선의 운전 조건을 찾아낼 수 있습니다. 이 목표들은 모델 내 여러 변수들에 의해 직접적인 영향을 받는 것으로, 사용자들이 모델 내에서 다른 변수들과 별개로 설정할 수 있습니다.

대상 및 보정되는 변수의 개수가 적은 최적화 문제를 해결하기에는 GPS-X 내에서 사용 가능한 Nelder-Mead Simplex 방식이 이상적이지만, 문제의 크기가 커질수록 속도가 느려질 수 있습니다. GPS-X 내에 포함된 데이터 주도 최적화(Data Driven Optimization) 방식은 여러 개의 매개변수가 있는 최적화 과업에 적합합니다. 이 방식을 사용할 때 걸리는 계산 시간은 최적화 과업 내 보정되는 매개변수의 개수에 크게 영향을 받지 않지만, 모델의 복잡성이나 반복 횟수에는 영향을 받습니다.

이 튜토리얼에서는 서로 다른 운전 조건 하에서 플랜트의 순 에너지 소비량을 최소화하기 위해 최적의 운전 조건을 찾아보는 연습을 해보겠습니다. 플랜트 에너지 소비량에 직접적인 영향을 미치는 변수들을 조작해보되, 플랜트 유출수 수질은 방류수 허용치 내에서 유지되도록 하겠습니다.

#### 목적

이 튜토리얼의 목적은 GPS-X 내에서 사용되는 운전 조건의 최적화에 파이썬을 어떻게 사용할 수 있을지 알아보는 것입니다. 이 튜토리얼을 학습한 후, 파이썬을 사용하여 GPS-X 레이아웃 내에서 복잡한 최적화 문제를 해결할 수 있는 능력을 갖추게 될 것입니다.

## 운전 제한

다음과 같은 방류수 허용치와 운전 제한이 플랜트에 적용된 상태로 진행하여야 합니다.

유출수 제한	하 한	상 한	단 위
총 부유 고형물	0.0	20.0	mg/L
총 탄소성 BOD5	0.0	10.0	mgO <sub>2</sub> /L
총 질소	0.0	7.5	mgN/L
암모니아성 질소	0.0	0.2	mgN/L
Ortho-인	0.0	0.02	mgP/L

표 18-1 플랜트 유출수 허용치

운전 제한	하 한	상 한	단 위
MLSS	1500.0	5000.0	mg/L

표 18-2 플랜트 운전 제한

## 목적 함수 생성하기

이제 맞춤형 GPS-X 코드를 사용하여 목적 함수를 생성할 수 있는지에 대해 살펴보겠습니다. 이 방법 외에도, 목적 함수 내에서 각 변수를 가져와서 목적 함수를 직접 계산하여 파이썬 내에서 이를 직접 구하는 것도 가능합니다.

1. 시작 지점(**starting point**) 레이아웃을 불러옵니다.

이 튜토리얼을 위해 사용할 수 있는 레이아웃을 이미 설정해둔 상태입니다. 파일 > 샘플 레이아웃 > 튜토리얼 > 튜토리얼 18 (시작 지점)에서 해당 레이아웃을 찾을 수 있습니다.

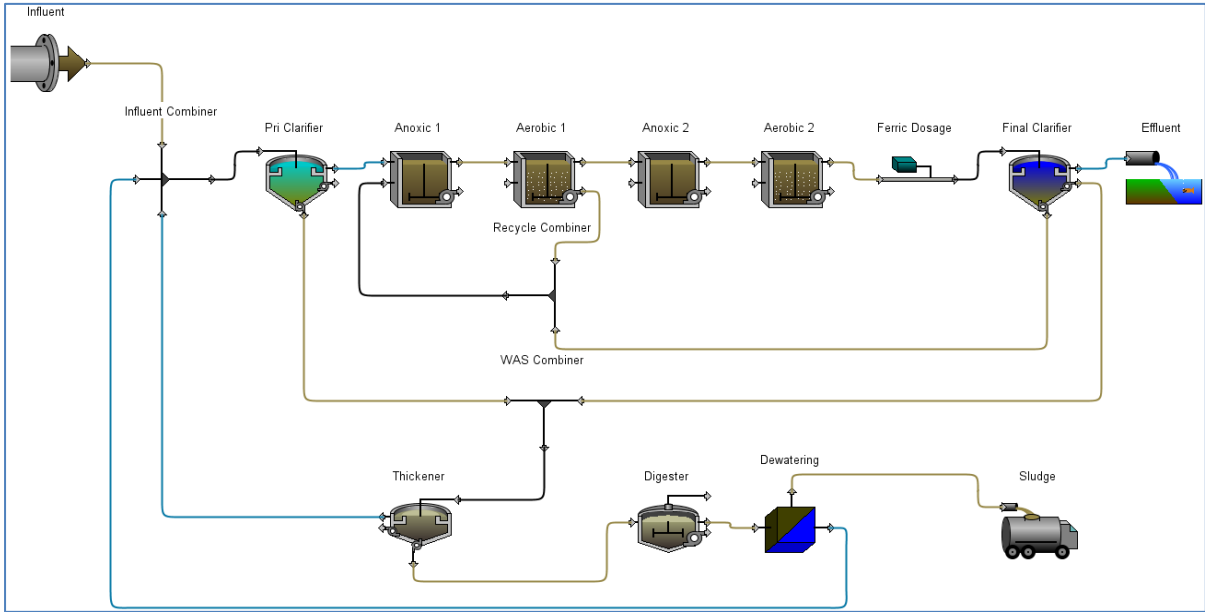


그림 18-1 튜토리얼 18 레이아웃

**2. 새로운 이름으로 레이아웃을 저장합니다.**

이 레이아웃을 변경할 예정이므로 기존의 시작 지점 레이아웃을 바꾸지 않기 위해 원하는 위치에 저장합니다. (예. Tutorial-18)

**3. 매크로 사용자 파일을 엽니다.**

레이아웃 > 일반 데이터 > 사용자 파일 > 매크로...로 이동하면 됩니다.

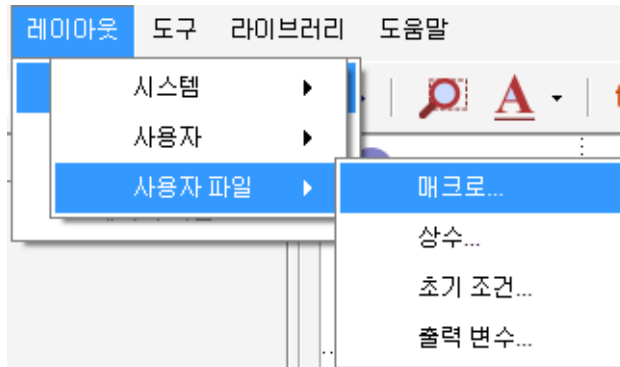


그림 18-2 매크로 파일로 이동

## 4. 매크로 코드를 추가합니다.

목적 함수를 대표할 하나의 GPS-X 변수를 생성할 예정입니다. 다음의 코드를 매크로 파일의 **DERIVATIVE SECTION**에 추가하여 GPS-X로 하여금 이 변수를 자동으로 계산할 수 있도록 합니다.

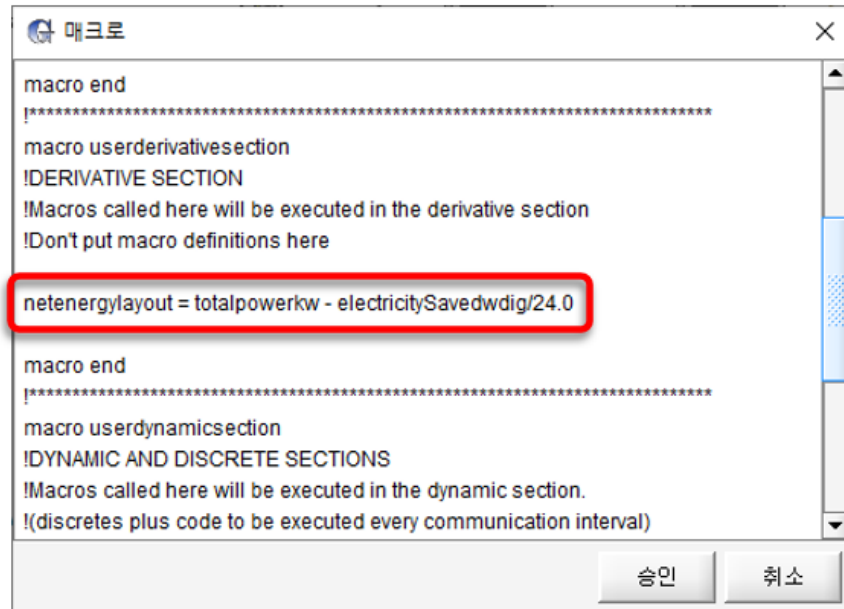
$$\text{netenergylayout} = \text{totalpowerkw} - \text{electricitySavedwdig}/24.0$$


그림 18-3 업데이트된 매크로 코드

Netenergylayout 변수가 우리의 최적화 목적 함수가 됩니다. 이렇게 계산을 실시함으로써, 플랜트 내 순간 에너지 소비(kW)와 소화조 단위에 의해 생성 가능한 예상 전력량 (kWh) 간의 차이를 살펴보게 됩니다.

## 5. 승인을 클릭하여 변경사항을 저장합니다.

6. 변경된 효과를 보려면 레이아웃을 다시 불러오라는 메시지가 나타납니다. **확인(OK)**을 클릭합니다.

## 7. 목적 함수에 대한 출력 변수를 생성합니다.

맞춤형 출력 변수 입력 양식은 레이아웃 > 일반 데이터 > 사용자 파일 > 출력 변수...로 이동하여 찾을 수 있습니다.

## 8. 다음의 코드를 출력 변수 입력 양식에 추가합니다.

$$\text{display netenergylayout !Net Energy Used in the Layout !kW}$$

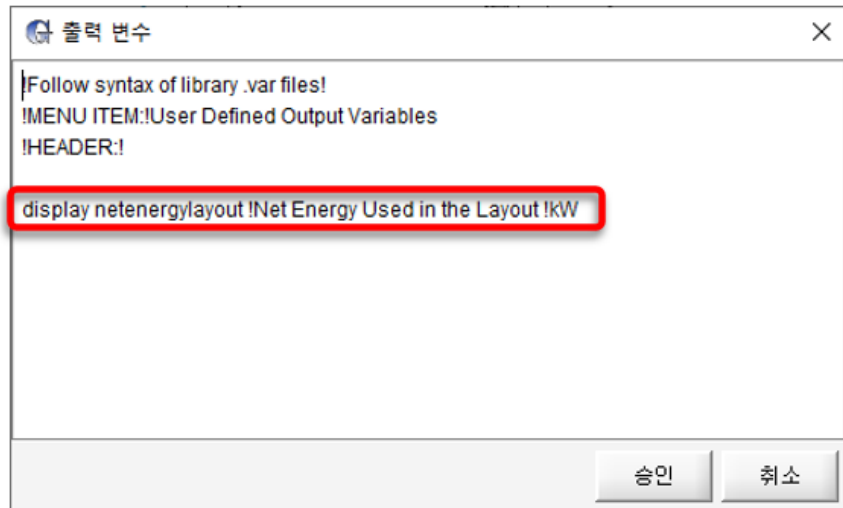


그림 18-4 업데이트된 매크로 코드\_2

- 9. 승인을 클릭하여 변경사항을 저장합니다.
- 10. 이제 레이아웃을 저장하고 다시 불러옵니다.

이렇게 하면 GPS-X가 출력 변수를 읽고 이에 대한 메뉴를 다음의 경로 상에 생성하게 됩니다. 레이아웃 > 일반 데이터 > 사용자 > 출력 변수 > 사용자 정의 출력 변수

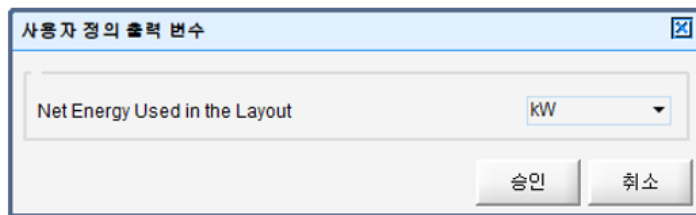


그림 18-5 사용자 정의 출력 변수 메뉴

- 11. 시뮬레이션 모드를 여시기 바랍니다.
- 12. 디지털 유형의 출력 그래프를 생성하여 다음의 변수들이 포함되도록 합니다.
  - 레이아웃 > 일반 데이터 > 사용자 > 출력 변수 > 사용자 정의 출력 변수 > 레이아웃 내 순 에너지 사용량
  - 호기성 2 유출수 > 농도 > **MLSS**
  - 유출수 > 농도 > 총 부유 고형물
  - 유출수 > 농도 > 총 **cBOD5**
  - 유출수 > 농도 > 암모니아성 질소
  - 유출수 > 농도 > 총 질소
  - 유출수 > 농도 > 오르토 인산염



그림 18-6 출력 그래프 설정

13. 0일 정상 상태 시뮬레이션을 실행합니다.

이를 통해, 최적화 작업을 실행하기 전 플랜트 운전의 기준치를 확인할 수 있습니다.

아래 그림 18-7를 보면 현재 플랜트의 순 에너지 사용량이 어떻게 14.47 kW가 되며, MLSS와 오르토 인산염이 한계치를 초과하는지에 대해 확인할 수 있습니다.

Output: 1		
Net Energy used in the Layout		14.47 kW
[mlss] MLSS		3798 mg/L
[fe] 총 부유물		11.33 mg/L
[fe] 총 cBOD5		3.353 mgO2/L
[fe] 암모니아성 질소		0.1422 mgN/L
[fe] 총 질소		4.194 mgN/L
[fe] 오르토인산		3.194 mgP/L

그림 18-7 0일 정상 상태 시뮬레이션의 최적화되지 않은 출력

## 0일 시뮬레이션 상 DDO 예비 형성

14. 이 튜토리얼을 진행하기 위해 사용할 수 있는 파이썬 스크립트를 이미 생성해둔 상태입니다. 다음의 디렉토리로 이동하여 'tutorial-18-0Day.py'라는 이름의 파이썬 스크립트를 찾아 주시기 바랍니다.

Layouts\08tutorials\

15. 파이썬 스크립트를 저장합니다.

현재 작업 중인 디렉토리에 스크립트를 저장하면 됩니다.

16. GPS-X에 스크립트를 추가합니다.

GPS-X에서 파이썬 스크립트 매너지를 열고 해당 파이썬 스크립트를 GPS-X에 추가합니다.

17. 스크립트를 편집합니다.

편집 버튼을 누르면 노트패드로 해당 스크립트를 열게 됩니다. 이제 이 스크립트가 어떤 역할을 할지 알아보겠습니다.

파이썬 라이브러리인 ctypes 라이브러리를 사용하여, GPS-X 설치 내 Dynamic Link Library (DLL)에서 찾을 수 있는 DDO와 sobol\_sampling 함수에 접속합니다. Ctypes 라이브러리를 사용하여 ddo 함수 입력 유형은 ctypes 라이브러리 내에서 사용 가능한 데이터 유형을 사용하도록 정의되었습니다.

```

6 #Import the DDO dynamic link library(DLL)
7 dll = CDLL(GPSXDIR + '/bin/ddo.dll')
8 ddo = dll.ddo_
9 ddo.argtypes=[c_void_p, c_void_p, c_void_p, c_void_p, c_void_p, c_void_p, c_void_p,
10              c_void_p, c_void_p, c_void_p, c_void_p, c_void_p, c_void_p, c_void_p,
11              c_void_p, c_void_p, c_void_p, c_void_p, c_void_p]
12 sobol_sampling = dll.sobol_sampling_
13 sobol_sampling.argtypes=[c_void_p, c_void_p, c_void_p, c_void_p, c_void_p]
14

```

그림 18-8 파이썬 스크립트에 Dynamic Link Library 함수 추가하기

다음으로 최적화에 사용될 최적화 조건들을 정의합니다.

```

15 #Define the characteristics of the DDO optimization
16 nvars = 7 #number of design variables
17 nineq = 6 #number of inequalities
18 n0 = 100 #number of data points in training set
19 maxiter = 20 #maximum number of iterations before termination
20 mpoint = 25 #new set of points
21 lb = np.array([0.0, 5.0, 1000.0, 1.0, 1.0, 0.0, 1000.0]) #lower bound on design variables
22 ub = np.array([100.0, 200.0, 10000.0, 4.0, 4.0, 10.0, 2000.0]) #upper bound on design variables
23 x0 = np.array([10.0, 40.0, 4000.0, 2.0, 2.0, 5.0, 2000.0]) #initial guess for design variables
24 xbest = np.zeros(nvars) #design variables at best operating conditions
25 fbest = c_double(0.0) #best objective function value
26 ig = np.array([2, 2, 2, 2, 2, 3]) #constraint (0=ignore,1=lb,2=ub, 3=bound, 5=equal)
27 gl = np.array([0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1500.0]) #lower bound on constraint
28 gu = np.array([20.0, 10.0, 7.5, 0.2, 0.1, 5000.0]) #upper bound on constraint
29 g = np.empty(nineq) #array to store constraint values
30 gbest = np.empty(nineq) #constraint value at best operating conditions
31 PTOL = 0.01 #Optimization tolerance
32 data_dvars = np.empty((nvars, n0 + mpoint*maxiter), order='F')
33 data_resp = np.empty((1 + nineq, n0+mpoint*maxiter), order='F')
34 points_of_interest = np.empty((nvars,mpoint), order='F')
35 iconverge = c_int(0)
36 opt_errorcode = c_int(0)

```

그림 18-9 최적화 문제 정의

- `nvars` – 최적화 내에서 변경될 대상 변수들의 개수를 나타냅니다. GPS-X 내에서 변경할 입력들의 개수에 해당합니다.
- `nineq` – 최적화 문제 내 제한조건의 개수를 나타냅니다.
- `n0` – 트레이닝 세트에 사용될 지점의 개수입니다.
- `maxiter` – 최적화 종료 전 발생 가능한 최적화 반복 최대 횟수입니다.
- `lb` – 설계 변수의 하한입니다.
- `ub` – 설계 변수의 상한입니다.
- `x0` – 설계 변수에 사용될 최초 추측값입니다.
- `xbest` – 최선의 목적 함수 값을 도출하는 설계 변수 값들이 포함된 목록입니다.
- `fbest` – 최선의 목적 함수 값을 포함하는 변수입니다.
- `gl` – 제한조건의 하한입니다.
- `gu` – 제한조건의 상한입니다.
- `ig` – 사용되고 있는 제한조건의 유형입니다. 0은 제한조건이 무시 가능하다는 것을 의미하며, 1은 제한조건이 크거나 같은 단축 제한조건이라는 뜻입니다. 2는 제한조건이 크거나 같은 단축 제한조건임을 의미합니다. 3은 양측 제한조건임을 의미하고, 5는 균등 제약임을 의미합니다.
- `g` – 제약 변수의 현재 값이 저장되어 있는 목록입니다.
- `gbest` – 설계 변수를 사용할 때 제약 변수의 값이 포함된 목록으로, 최선의 목적 함수 값이 도출됩니다.
- `data_dvars` – 테스트 대상이 되는, 조정된 포인트들을 포함하기 위해 사용되는 매트릭스입니다.
- `data_resp` – 테스트된 조건들의 결과를 포함하는 매트릭스입니다.
- `points_of_interest` – ddo 최적화가 살펴보고자 하는 지점들의 매트릭스입니다.
- `PTOL` – 최대 반복 회수에 도달하기 전, 종료 시 사용되는 최적화 허용 오차입니다.



```

38 #Function to check if the optimizer has converged
39 def checkConvergence(x1, x2):
40     sum = np.sum(np.absolute(np.subtract(x1, x2)))
41     return sum <= PTOL
42
43 #Function that is used to determine the objective value under given conditions
44 def userfunc(nvars, x):
45     global AllResults
46     gpsx.setValue('qconwpri', x[0]);
47     gpsx.setValue('qconwas', x[1]);
48     gpsx.setValue('qconrecycle', x[2]);
49     gpsx.setValue('setpsoaerl', x[3]);
50     gpsx.setValue('setpsomlss', x[4]);
51     gpsx.setValue('chem4dosageqferric', x[5]);
52     gpsx.setValue('qconras', x[6]);
53     gpsx.setTstop(0.0)
54     gpsx.setSteady(True)
55
56     # runSim() call starts simulation in GPS-X
57     runSim()
58
59     #Get our user defined variable
60     netenergylayout = gpsx.getValue('netenergylayout')
61     return netenergylayout
62
63 #Function that is used to collect the constraint values under given conditions
64 def userg(nvars, nineq, x, g):
65     xeff=gpsx.getValue('xfe')
66     bodeff=gpsx.getValue('bodfe')
67     tneff=gpsx.getValue('tnfe')
68     snheff=gpsx.getValue('snhfe')
69     speff=gpsx.getValue('spfe')
70     xmlss=gpsx.getValue('xmlss')
71
72     g[0] = xeff
73     g[1] = bodeff
74     g[2] = tneff
75     g[3] = snheff
76     g[4] = speff
77     g[5] = xmlss

```

그림 18-10 입력 값 설정 및 출력 수집을 위한 함수

Userfunc는 GPS-X 내 설계 변수의 현재 값을 설정하고 GPS-X 내 시뮬레이션을 시작합니다. 목적 함수의 값은 시뮬레이션의 마지막에 모여서 함수로부터 되돌아옵니다.

Userg 함수는 0일 시뮬레이션의 마지막에 제한된 변수의 값을 수집합니다.

#### 18. 스크립트를 실행합니다.

해당 스크립트가 하이라이트된 상태에서 **스크립트 실행** 버튼을 누릅니다. 스크립트 실행에 필요한 시간은 사용자 워크스테이션의 속도 및 모델의 복잡도에 영향을 받습니다.

최선의 목적 함수 값, 이를 얻기 위해 사용된 설계 변수 값 및 제한된 변수 값이 파이썬 스크립트 매니저의 출력 섹션에 표시됩니다. 0일 DDO 최적화 결과는 아래 그림 18-11와 같습니다.

참고: DDO 최적화를 사용할 때, 모든 제한 조건을 충족하는 솔루션이 달성된 것인지 확인해야 합니다. 일부 제한 조건이 충족되지 않았다 하더라도 최적화에서는 이를 사용자에게 알려주지 않습니다.

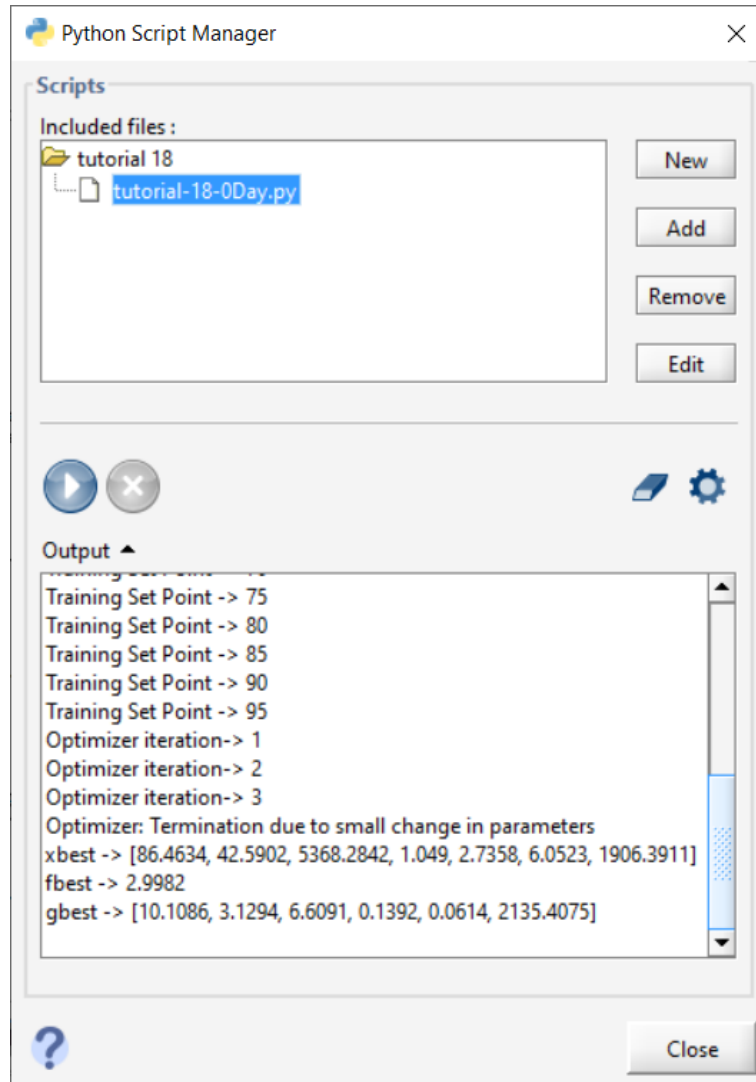


그림 18-11 0 일 DDO 최적화 결과

19. 파이썬 스크립트를 변경합니다.

n0의 값을 25로, maxiter의 값을 5로, mpoint의 값을 7로 변경합니다.

20. 파이썬 스크립트를 저장합니다.

21. 스크립트를 실행합니다.

최적화가 사용할 반복 횟수를 선택할 때, 최적화 성능과 계산 속도간 어느 정도 절충이 이루어질 것입니다. 사용할 반복 횟수를 줄이면, 보다 짧은 시간 내에 적절한 솔루션을 얻을 수 있으나 목적 함수는 2.12 kW 증가합니다. 최적화 문제를 구성할 때, 이와 같은 상호 절충이 이루어질 수 있다는 것을 고려해야 합니다.

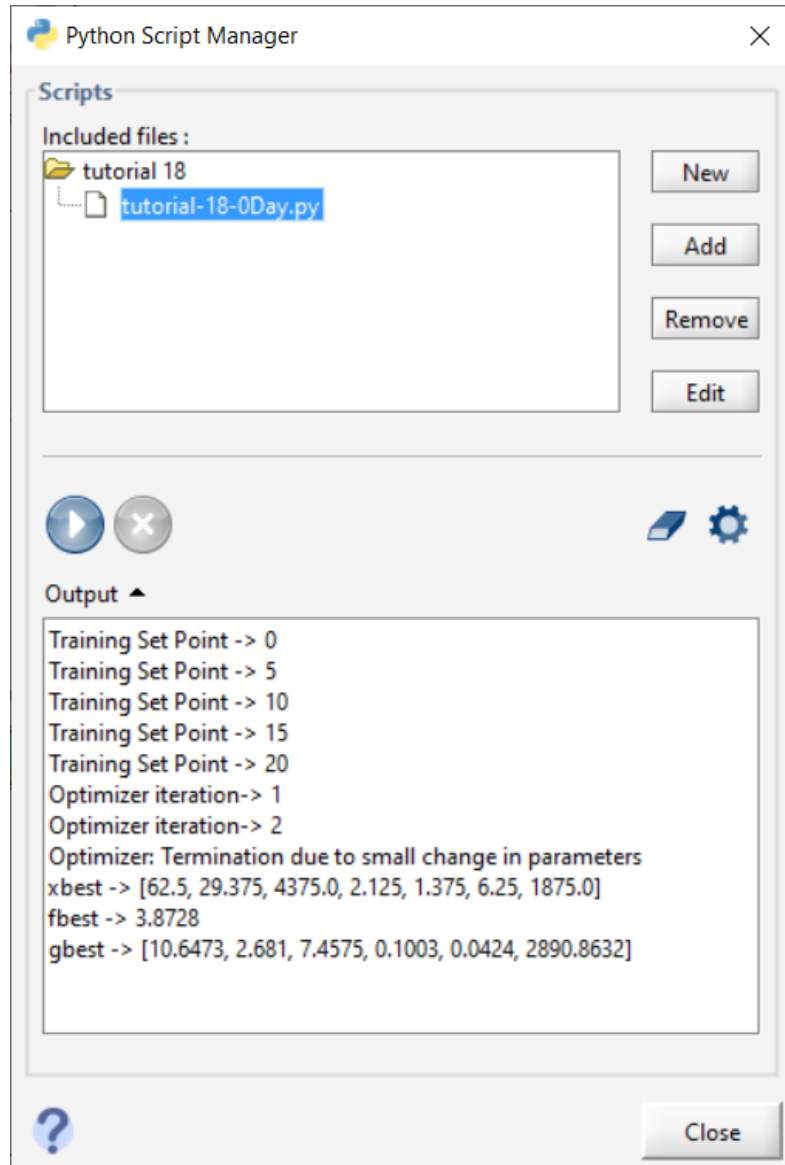


그림 18-12 조정된 0 일 DDO 최적화의 결과

### 동적 시뮬레이션 상 DDO 예비 형성

0일 시뮬레이션에서 플랜트 운영을 최적화하면 가능한 운전 개선사항은 무엇인지 파악하는 데 도움이 되나 실제 플랜트 운영의 단편적인 면만을 볼 수 있는 뿐입니다. 동적 시뮬레이션을 수행하면 표준 운전 조건을 오랜 기간 적용했을 때 혹은 극심한 기후 조건의 경우에도 최적화를 위해 어떤 매개변수 설정이 이루어져야 할지 알 수 있습니다. 파이썬과 GPS-X를 사용하여 실제 플랜트 데이터를 시뮬레이션에 넣어, 사용자가 플랜트에서 경험한 실제 운전 조건에 대한 최적화를 수행할 수 있습니다.

참고: 동적 데이터에 대해 DDO를 수행할 때, 상당히 오랜 시간이 소요될 수 있습니다. 사용자의 워크스테이션 속도에 따라 달라지겠지만, 결과가 수렴하려면 수 시간이 소요될 수도 있습니다.

22. 이 튜토리얼에서 사용하기 위해 이미 파이썬 스크립트를 만들어 둔 상태입니다. 아래 디렉토리에서 'tutorial-18-Dynamic.py'라는 이름의 파이썬 스크립트를 찾아 여시기 바랍니다.

☐layouts☐tutorials☐

23. 파이썬 스크립트를 저장합니다.

현재 작업 중인 디렉토리 내에 해당 스크립트를 저장하면 됩니다.

24. 해당 스크립트를 **GPS-X**에 추가합니다.

GPS-X에서 파이썬 스크립트 매니저를 열고 해당 파이썬 스크립트를 GPS-X에 추가합니다.

25. 스크립트를 편집합니다.

편집 버튼을 클릭하면 노트패드에서 스크립트가 열리게 됩니다. 'tutorial-18-0Day.py' 스크립트에서 무엇이 바뀌게 되는지에 대해 알아보도록 하겠습니다.

1일 동적 시뮬레이션 실행을 위해 스크립트가 변경되었습니다. 시뮬레이션이 동적 시뮬레이션으로 변경되기 때문에, 통신 간격이 이제 시뮬레이션 내에서 발생하게 됩니다. 그림 18-13에서 보이는 바와 같이, 하나의 함수가 각 통신 간격마다 호출되어 목적 함수 변수의 현재 값과 제한 조건을 수집하게 되며, 이를 누적 합계에 추가하게 됩니다. 이번 예제에서는 시뮬레이션 기간에 걸쳐 총 순 에너지 사용량을 최소화해보도록 하겠습니다.

```

42 # cint() function executed at every communication interval
43 #
44 def cint():
45     global netenergylayout, g, intervals
46     xeff = gpsx.getValue('xfe')
47     bodeff = gpsx.getValue('bodfe')
48     tneff = gpsx.getValue('tnfe')
49     snheff = gpsx.getValue('snhfe')
50     speff = gpsx.getValue('spfe')
51     xmlss = gpsx.getValue('xmlss')
52
53     g[0] = xeff + g[0]
54     g[1] = bodeff + g[1]
55     g[2] = tneff + g[2]
56     g[3] = snheff + g[3]
57     g[4] = speff + g[4]
58     g[5] = xmlss + g[5]
59
60     intervals = intervals + 1

```

그림 18-13 시뮬레이션 내 각 통신 간격에 함수 호출

이 예제에서 순간 값이 아닌 누적 합계가 수집되므로, 수집된 모든 제한 조건 값들은 0일 시뮬레이션 내에서 설정된 한도를 초과할 것으로 예상됩니다. 이에 대처하기 위해, 통신 간격에 걸쳐 발생하는 각 제한조건의 평균 값을 제한할 것입니다. 시뮬레이션이 이루어지는 동안 통신 간격의 개수를 추적하고 배열  $g$  내 각 요소를 통신 간격의 개수로 나누는, 한 변수를 생성하면 됩니다. 이 평균 작업 수행을 위해 사용되는 코드는 아래 그림 18-14에서 찾을 수 있습니다.

```

64 #Function that is used to determine the objective value under given conditions
65 def userfunc(nvars, x):
66     global netenergylayout, g, intervals
67     gpsx.setValue('qconwpri', x[0])
68     gpsx.setValue('qconwas', x[1])
69     gpsx.setValue('qconrecycle', x[2])
70     gpsx.setValue('setpsoaer1', x[3])
71     gpsx.setValue('setpsomlss', x[4])
72     gpsx.setValue('chem4dosageqferric', x[5])
73     gpsx.setValue('qconras', x[6])
74     gpsx.setTstop(1.0)
75     gpsx.setSteady(True)
76
77     netenergylayout = 0
78     g = np.zeros(nineq)
79     intervals = 0
80
81     # runSim() call starts simulation in GPS-X
82     runSim()
83
84     #Use the average value of each of the constraints over the simulation
85     g = g/intervals
86     return netenergylayout, g
    
```

그림 18-14 g 내에 수집된 제한조건 값의 평균을 구하는, 업데이트된 userfunc 함수

26. 유입수 유량 형태에 대한 입력 제어기를 생성합니다.

유입수 객체를 우 클릭한 다음, 유량 > 유량 데이터로 이동하면 됩니다.



그림 18-15 유입수 유량 형태 제어기

27. 입력 제어기를 사용하여 유입수 유량 형태를 24 시간 데이터로 설정합니다.

28. 최적화 스크립트를 실행합니다.

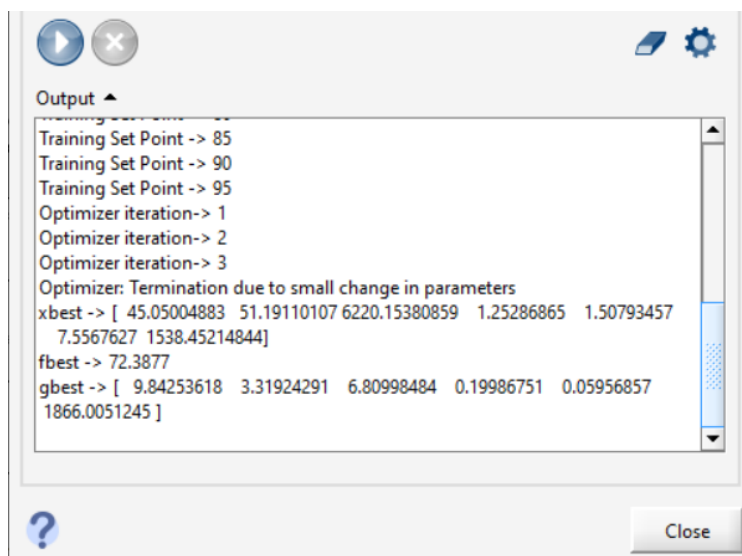


그림 18-16 24 시간 유입수 유량이 있는 1 일 동적 시뮬레이션에 대한 DDO 최적화 출력

29. 시뮬레이션이 완료되고 나면, 유입수 유량 형태를 사인곡선으로 변경하고 스크립트를 재 실행합니다. 최적화 결과에 어떤 영향을 미치게 되는지 확인해볼 수 있습니다.

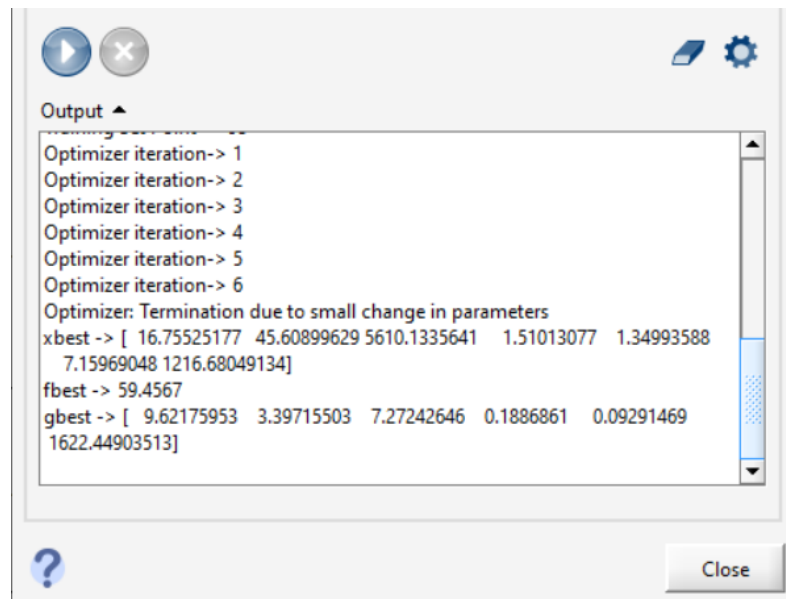


그림 18-17 사인곡선 유입수 유량의 1 일 동적 시뮬레이션에 대한 DDO 최적화 출력

## 맺음말

여러분은 모든 과를 마쳤습니다. 이제 모델의 레이아웃을 개발하고, 시뮬레이션을 실행하며, 출력 창을 표시하는 것이 자연스럽게 될 것입니다. 특히 GPS-X 특징에 대한 부가적인 정보는 GPS-X 사용자 가이드에서 얻을 수 있으며, 모델에 대한 자세한 정보는 *GPS-X Technical Reference*에 포함되어 있습니다.