

감염병 예방용 살충제의 살포 후 환경 중 추정농도 계산을 위한 가이드라인 개정

2013.06.

「감염병 예방용 살충제의 살포 후 환경 중 추정농도 계산을 위한 가이드라인」 개정

1. 개정이유

감염병 예방용 살충제의 환경 중 추정농도 계산방법을 전국 주요 시도의 기상변수를 확대 반영하여, 보다 우리나라 환경에 적합한 모델로 개선하여 감염병 예방용 살충제 사용에 따른 환경오염을 줄이고, 국민 건강 증진에 기여하고자 함

2. 주요내용

- 가. 사용자가 살포 방식, 살포량, 살포 지역의 특성, 살충제 성분 등을 직접 입력할 수 있도록 함
- 나. 전국 30년 평균 기상변수(평균 풍향, 풍속, 강수량, 온도, 습도)와 국내 하천 수계의 흐름이 반영되도록 함
- 다. Monte-Carlo 시뮬레이션 기법을 도입하여 사용자가 살충제 추정농도 결과의 불확실도를 평가할 수 있도록 함

목 차

I. 서론	1
II. 환경 중 추정농도 계산 프로그램의 개요 및 특성	2
1. 모형의 개요	2
2. 모형의 범위	4
3. 모형의 적용	4
4. 모형의 특성 및 개선사항	6
III. 프로그램 사용법	7
1. 모형화면 구성	7
2. 모형 실행방법	11
3. 환경 중 추정농도 결과 보기	22
IV. 참고문헌	23

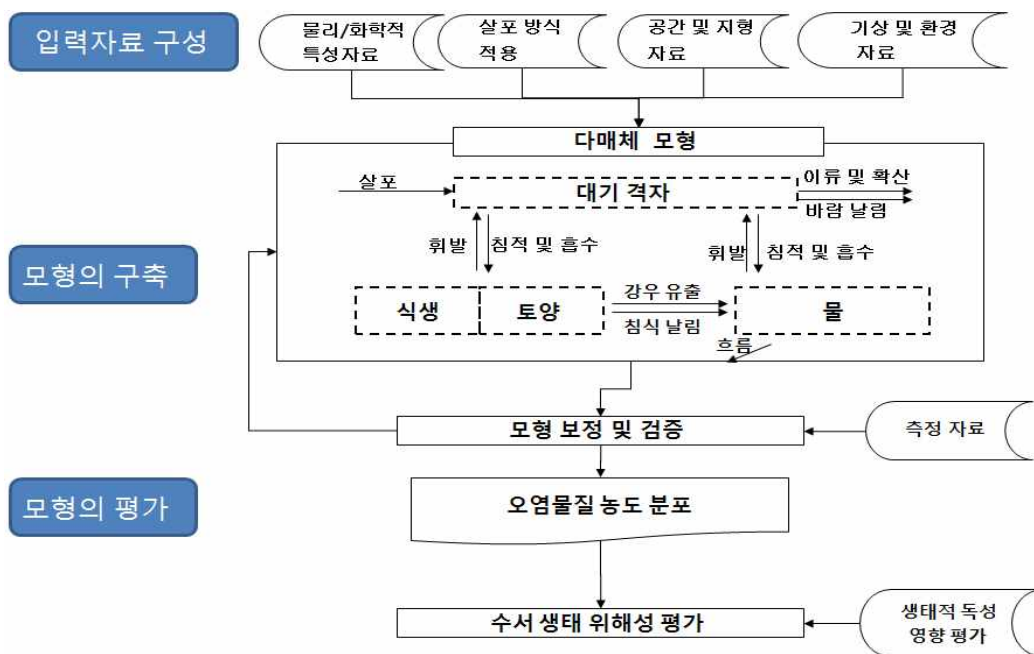
1. 감염병 예방용 살충제의 허가를 위해서는 어독성 시험결과와 환경중 추정농도(PEC, Predicted Environmental Concentration)의 비교 분석을 통해 환경 유해성에 대한 평가가 필요하다.

그 동안 국내에서 감염병 예방용 살충제를 살포한 후 환경 중 추정농도를 계산하기 위해서는 주로 국외의 농약 모형(GENEEC, FOCUS 등)을 제한적으로 사용하였으나 한국의 지리적 환경과 특성을 고려한 표준화된 살충제 노출평가 모형이 없었기 때문에 국내에서 살충제를 사용하였을 때의 환경에 미치는 영향 등을 분석하는데 어려움이 많았다. 이에 우리 처에서는 감염병 예방용 살충제 허가 시 활용할 수 있도록 표준화된 한국형 감염병 예방용 살충제 환경 중 추정농도 예측 모형(Version 1.0)을 개발하고, 활용 가이드라인을(B1-2011-3-012) 마련한 바 있다. 이후 기 개발된 한국형 감염병 예방용 살충제의 환경 중 추정농도 예측 모형이 현장 조사자료 등을 보완하여 개선, 개발(Version 2.0)되었기에, 이 가이드라인을 마련하여 활용토록 하고자 한다.

2. 동 가이드라인은 감염병 예방용 살충제를 사용하여 방역사업을 하였을 때 우리나라의 기후 등을 고려하여, 하천 등에서 살충제 농도 추정이 가능하도록 하는 프로그램을 제시하고 있다. 이 가이드라인은 살충제 허가 시 환경유해성을 평가하는데 활용함으로써, 살충제 사용에 따른 환경오염을 줄이고 국민 건강 증진에 기여할 것으로 기대한다.

1. 모형의 개요

한국형 감염병 예방용 살충제 환경 중 추정농도 예측 모형은 살충제 성분이 대기, 토양, 식생을 통하여 물로 유입되므로 이에 따라 물 속의 살충제 농도를 추정하도록 구축되었다. 환경 내 거동에는 매체 간, 매체 내 이동과정을 포함하였고 이를 기초로 물질수지식 (mass balance equation)이 구성된다. 모형의 개발 과정은 크게 모형의 개념 및 프로그램 작성, 모형의 입력자료 구축, 모형의 평가 과정으로 구분된다. 이중 모형의 개념은 국내외 문헌자료를 토대로 하여 그 주요한 환경 내 작용 원리를 정리 및 도출하였으며 그 프로세스에 필요한 입력 자료를 구성하였다<그림 1>. 또한 모니터링 자료와 모형의 모의결과를 비교분석하여 모형의 신뢰성을 평가하였다.

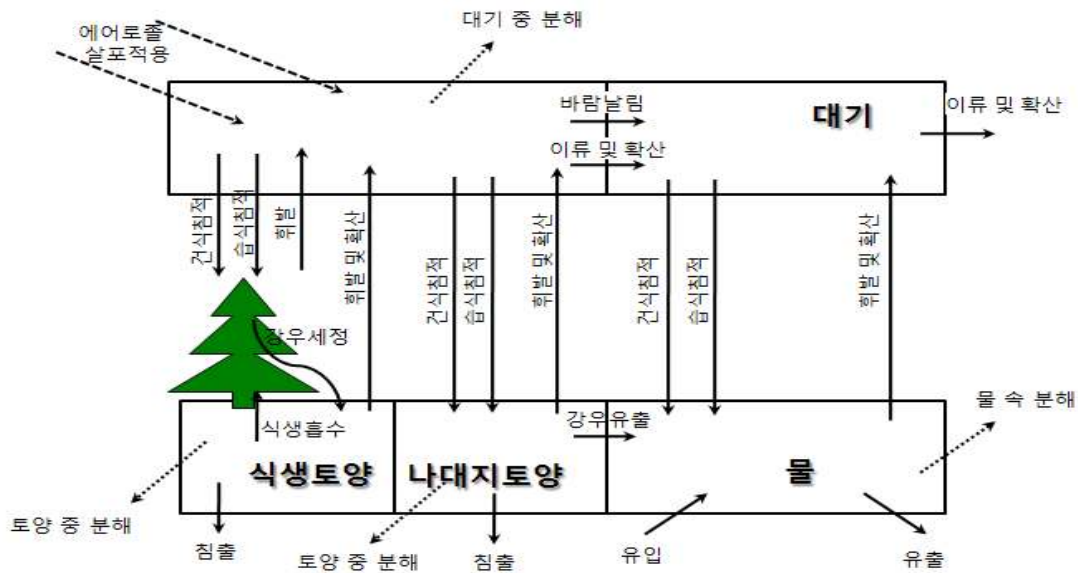


<그림 1. 모형 개발의 개요 >

개발된 모형은 대기 중에 살포되는 살충제의 환경 내 거동을 예측하기 위하여 대기, 물, 식생, 토양으로 구성된 다매체 모형의 특징을 갖는다. 모형의 대상 지역을 구성하는 대기와 물, 토양을 각각 대기(air), 물(water), 토양(soil)과 식생(vegetation)의 4개의 큰 범주 매체 (bulk compartment)로 구분하였다. 토양은 나대지(bare soil)와 식생토양(vegetation covered soil)으로 구분된다.

다음 <그림 2>는 모형에 적용될 매체 간 과정을 기술한 다매체 환경 개념 모형을 나타낸

것이다. 모형에서 고려한 환경 거동 작용 원리는 크게 매체 내 작용 원리(intra-media processes)과 매체 간 작용 원리(inter-media processes)으로 구분할 수 있는데, 매체 내 작용 원리로는 (1) 유출입(advection) 및 바람에 의한 날림(wind drift), (2) 분해(degradation), (3) 침출(leaching) 등을 포함한다. 매체 간 작용 원리에는 (4) 휘발(volatilization), (5) 건식침적(dry deposition), (6) 습식침적(wet deposition), (7) 강우 유출(run-off), (8) 식생 뿌리에서의 섭취(uptake), (9) 식생표면에서의 강우에 의한 세정(wash-off), (10) 대기에서 토양 및 수계로의 기체상 물질의 분자확산(diffusion) 등을 고려하였다.



<그림 2. 모형의 개념도>

다매체간 농도 예측에 대한 신뢰성을 평가하기 위하여 시간에 따른 살충제의 변화를 설명하는 비정상 상태(unsteady state) 모형을 구축하였다. 이를 위해 이상에서 설명한 매체내/매체간 분배, 이동, 변형 작용 원리를 포함하는 물질수지식을 세우고 이를 오일러 수치해석방법(Euler method)으로 풀어내는 모형을 작성하였다. 모형은 Microsoft Visual.Net C# 2008을 활용하였다.

살포 후 바람에 의한 날림은 확률론적 혹은 미기상학적으로 표현되는 구성을 포함하고 있다. 독자적으로 바람의 방향과 속도에 따라 이동하며, 확산하도록 구성하였다. 대기격자는 변화된 대상지역이나 환경특성에 맞춰 그 격자의 크기를 조절하는 것을 지원한다. 각 격자별로 살충제가 바람에 의한 이류와 확산에 의해 이동하여 다른 격자로 이동하게 된다. 이후 대기 중 살충제는 건식 및 습식 침적 등에 의해서 토양이나 식생, 물로 이동하게 된다. 살포된

살충제는 강우의 형태로 대기에서 토양으로 이동하여 다시 물로 도달하는 과정에서 유역의 특성이나 화학물질의 물리화학적 성상 등에 의해 그 양이 변하게 되며 물에 도달된 화학물질의 양은 다시 하천을 유하하면서 거동이 변화하게 된다. 또한 해당 지역의 지형 특성과 고도, 물의 흐름의 방향에 대해서 역동적인 지형의 방향성을 고려하기 위하여 지리 정보 시스템 (GIS, Geographic information system)를 활용하여 대상지역의 지형적 특성을 고려하고, 격자 별 강우유출 계수를 산정한 후 이를 모형에 적용한다.

2. 모형의 범위

모형의 공간적 범위는 하천(Stream), 연못(Pond)의 두 가지 수계형태로 이루어졌다. 하천 형태의 공간적 범위는 살포가 이루어지는 살포지역, 살포지역과 하천 사이에 인접지역, 그리고 하천지역으로 구분된다. 하천변이 실제 살충제가 살포되는 거리보다 넓기 때문에 살포지역과 하천사이의 인접 지역을 구성하였다. 하천에 대한 모형의 공간적 구성은 살포 지역 내에 토양, 식생, 물이며, 그 외의 지역으로 바람에 의한 날림과 이류 및 확산으로 빠져나가는 프로세스를 구성하였다. 대체로 양방향 살포를 진행하고 있기 때문에 양방향 살포 방식을 함께 고려하였다. 연못에 대한 모형의 공간적 구성은 그 규모에서 하천과 차이가 나며 한쪽 방향 살포만 진행된다.

3. 모형의 적용

본 모형은 감염병 예방용 살충제 살포 후 시간에 따른 물질의 변화를 나타내는 비정상상태(unsteady state) 모형으로 구축되었다. 모형은 1초 단위로 계산되며 모형의 결과 값의 출력단위는 시간에 따른 농도 변화가 큰 대기, 물의 경우는 1분 단위로, 농도변화가 상대적으로 적은 토양은 1시간 단위로 출력하도록 하였다. 모형에는 53종의 살충성분에 대한 데이터베이스가 구축되어 있으며, 이는 지형자료와 통합적으로 연계되어 있다. 또한, 입력된 살충제 이외에 다른 성분의 오염도 지형자료를 활용하여 예측 가능하도록 구성되어 있다. 기타 지형자료와 살포량에 대한 정보, 하천에 대한 주요한 정보는 기본 화면에서 실제 표준 대상지역내에서 적용된 기본 값 외에 다른 값으로 입력이 가능하며, 다른 지형 및 환경 조건을 입력하여 범용적인 모형 적용이 가능하다.

Pesticide Fate Model

시뮬레이션 시작

화학물질: Deltamethrin 시뮬레이션 기간: 1 year

살포 길이: 200 meter	앞면적지수(LAI): 2.0
살포 너비: 7 meter	피복도: 0.8
차량 속도: 11 km/hour	하천변 폭: 14 meter
분무 속도: 7.5 L/min	하천 폭: 1 meter
회석 배출: 100	하천 깊이: 0.2 meter
주입 농도: 15 원액내유효농도 (g/L)	하천 유속: 0.1 m3/sec

<그림 3. 모형의 구성화면>

4. 모형의 특성 및 개선사항

- 동 모형은 사용자의 편의성을 위해 윈도우 체계에서 운영가능 가능하도록 개발되었다.
- 국내 하천 수계의 흐름을 반영하였고 살충제 살포관련 변수는 기 입력된 데이터 베이스를 활용하거나, 사용자가 직접 입력 가능하도록 구성하였다.
- 대기, 토양, 물 속의 살포된 살충제의 추정농도 예측이 가능하며 매체 간 이동량 예측도 가능하다. 예측시간은 분과 시간 단위로 표현된다.
- 특히, 이번에 개발된 모형은 기존 모형에 비해 다음과 같은 사항이 개선되었다.
 - 살충제 살포관련 변수인 살포 길이, 너비, 분무 차량의 속도, 분무 속도, 살충제 희석배율, 살충제 주입농도는 전국 주요 시도(서울특별시 및 6개 광역시 포함)의 실제 설문조사 및 현장조사 자료를 적용하여, 기존 모형의 입력변수를 확대 추가 하였다. 특히, 진주, 평택, 담양은 수계의 유량, 유속의 현장 모니터링 결과를 모델에 반영하였다.
 - 또한, 기존모형은 대전지역 30년 기상자료가 시나리오 구동시 살포날짜를 선택할 때, 기본값으로 구축된 반면 이번 모형은 전국 30년 기상변수(평균 풍향, 풍속, 강수량, 온도, 습도) 평균값이 기본값으로 구축되었다. 다만, 4개 도시(진주, 평택, 담양, 대전)는 해당 시의 30년 기상자료가 데이터베이스로 입력되어있어 직접 선택, 활용할 수 있다.
 - 기존모형의 불확실성을 개선하기 위해 Monte-Carlo 시뮬레이션 기법을 도입하여 사용자가 입력변수 범위에 따른 살충제 추정농도 예측 결과의 불확실도를 평가할 수 있도록 하였다.

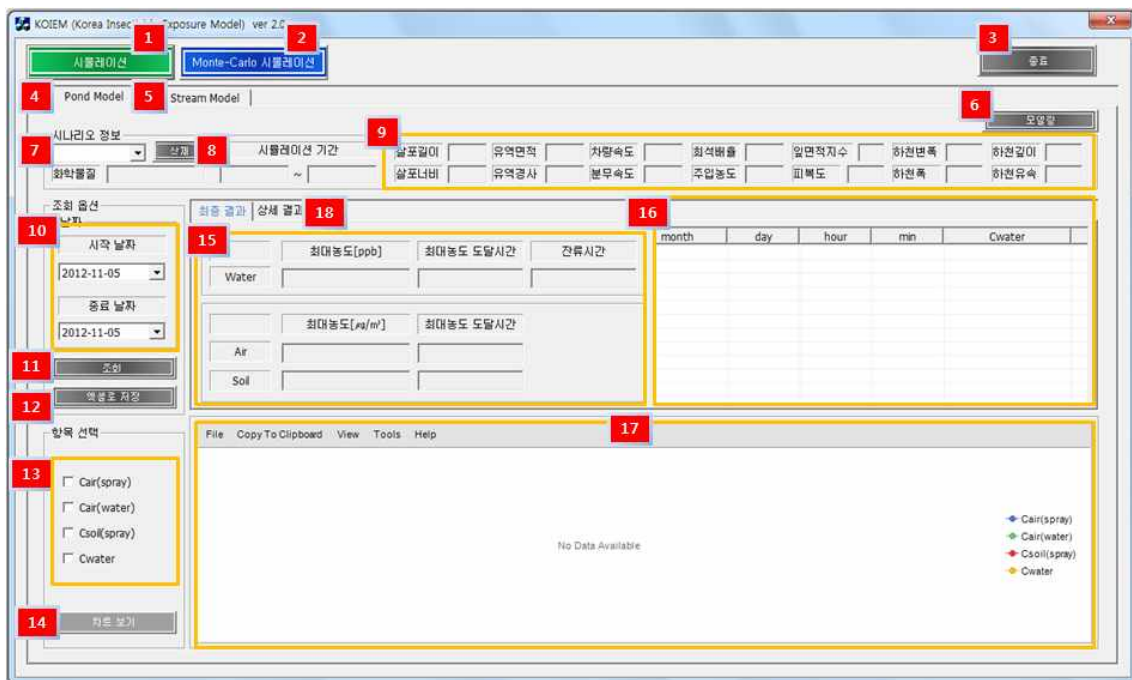


III. 프로그램 사용법

1. 모형화면 구성

1) 모형 실행 화면

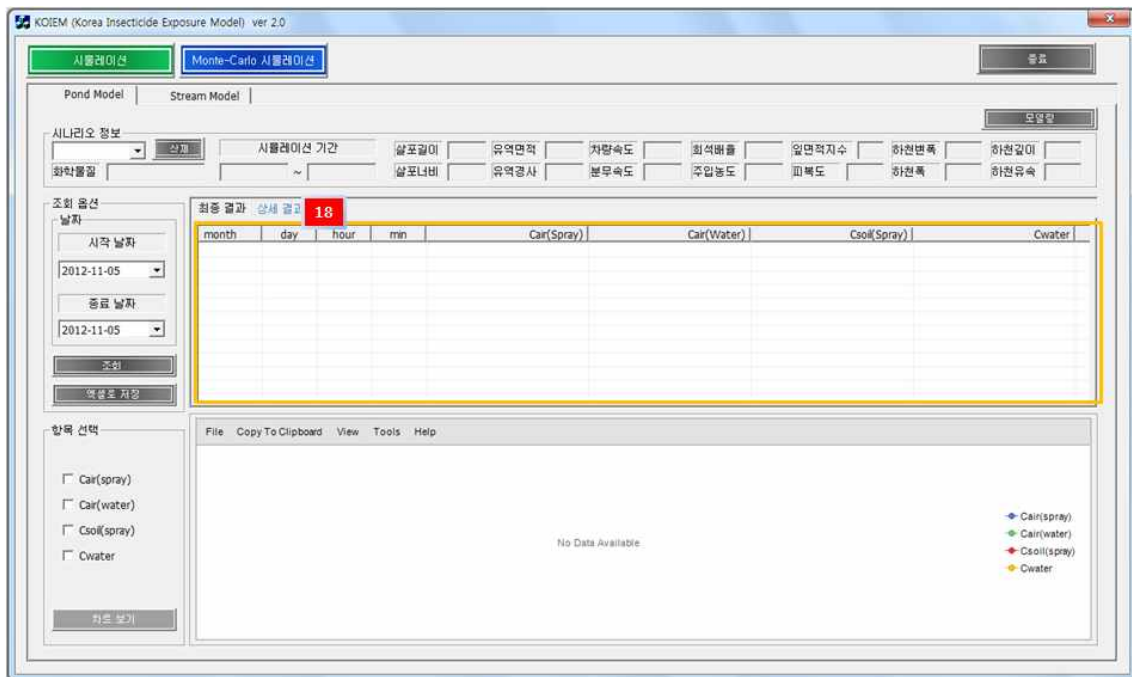
- 프로그램 실행 초기화면으로 상단의 시뮬레이션, Monte-Carlo 시뮬레이션 두 개의 모드를 선택할 수 있음
- 하위 메뉴로, 연못(Pond), 하천(Stream) 모델과 Monte-Carlo 연못(Pond), Monte-Carlo 하천(Stream) 모델로 구분, 선택 가능
- 모델 구동 결과를 조회하는 창임



※ 모형 실행 화면 설명

- ① : 연못(Pond) 모델, 하천(Stream) 모델 사용을 위한 선택 버튼
- ② : Monte-Carlo 연못(Pond) 모델, Monte-Carlo 하천(Stream) 모델 사용을 위한 선택 버튼
- ③ : 종료 버튼
- ④ : ①번 시뮬레이션 선택 시 활성화되며 대상 수계를 연못(Pond)으로 선택
- ⑤ : ①번 시뮬레이션 선택 시 활성화되며 대상 수계를 하천(Stream)으로 선택
- ⑥ : 모형 실행 버튼
- ⑦ : 실행한 모형을 시나리오 명으로 조회, 선택
- ⑧ : 선택된 시나리오를 삭제

- ⑨ : 모의하는 대상 수계 지형 특성 및 살포 특성 출력
- ⑩ : 결과 조회 기간 선택
- ⑪ : 결과 조회 버튼
- ⑫ : 조회된 결과를 엑셀 파일로 저장하는 버튼
- ⑬ : ⑰번에 보여줄 그래프를 선택하는 체크 박스
- ⑭ : ⑬번에서 선택된 그래프를 ⑰번에 적용하는 버튼
- ⑮ : 최종 요약 결과 제시
- ⑯ : 시간 별 수계 농도 제시
- ⑰ : 그래프 제시
- ⑱ : 대기, 토양, 물, 각 항목에 대한 시간별 농도를 상세하게 조회하는 버튼



2) 모형 모의 화면

- 모형 실행을 위해 시나리오 명, 화학 물질, 날짜, 입력파일, 대상 지역 살포 적용 방식 및 지형 특성 등을 선택
- 새 시나리오와 기존 시나리오로 구분되며, 기존 시나리오를 선택한 경우 각 항목이 자동 입력되며, 특정 항목을 수정하여 다시 모형 실행가능

※ 모의화면 설명

- ① : 새 시나리오 선택으로 시나리오 명을 입력
- ② : 기존 시나리오 선택으로 기존에 수행한 모형의 시나리오 명을 선택
- ③ : ①번 새 시나리오 선택 시 활성화되며 시나리오 명 입력 창
- ④ : 화학물질 선택
- ⑤ : 시물레이션 시작 버튼
- ⑥ : 체크 시 시물레이션 완료 후 자동결과 출력
- ⑦ : 기상자료 불러오기 버튼 (폴더 선택)
- ⑧ : 폴더 안 입력 파일들을 불러와 리스트 창에 보여줌
- ⑨ : 살포 날짜 추가 버튼
- ⑩ : 살포 날짜 삭제 버튼

- ⑪ : 대상 지역 살포 적용 방식 및 지형 특성 제시
- ⑫ : 선택 화학 물질의 정보 확인, 수정, 편집

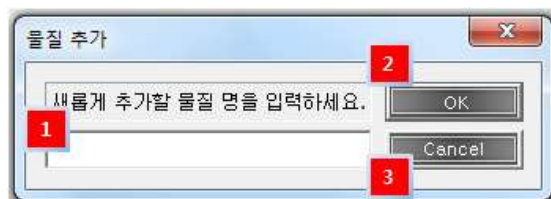
3) 물질정보 관리 화면

- 물질선택이 가능하며 선택한 물질을 삭제하거나 정보 확인 가능.
- 선택된 물질의 정보에 대한 편집이 가능 하며 새로운 물질 추가 가능.



※ 물질정보 관리화면 설명

- ① : 물질선택 버튼
- ② : 선택된 물질 삭제 버튼
- ③ : 모형에 필수적으로 사용되는 물질정보 구분
- ④ : 모형에 선택적으로 사용되는 물질정보 구분
- ⑤ : 물질 정보 제시_ 데이터베이스 연계
- ⑥ : 물질 정보 편집 적용 버튼
- ⑦ : 물질 정보 초기화 버튼
- ⑧ : 새로운 물질 추가 버튼



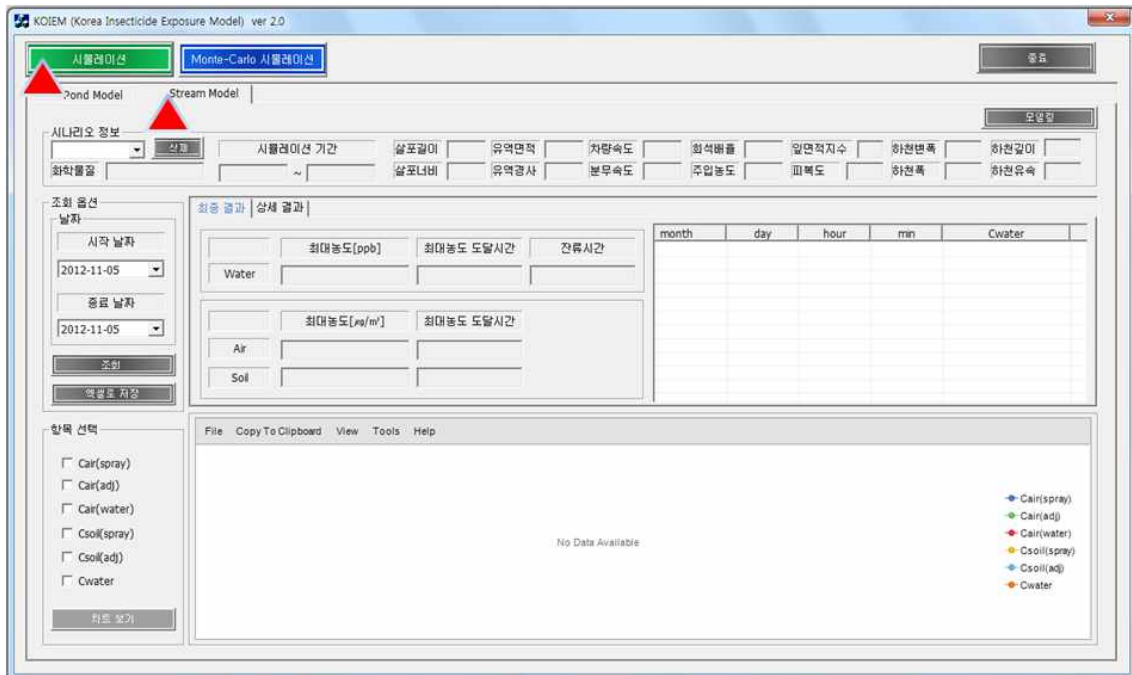
※ 물질 추가화면 설명

- ① : 새로운 물질 명 입력창
- ② : 물질 명 입력 완료 버튼
- ③ : 물질 명 입력 취소 버튼

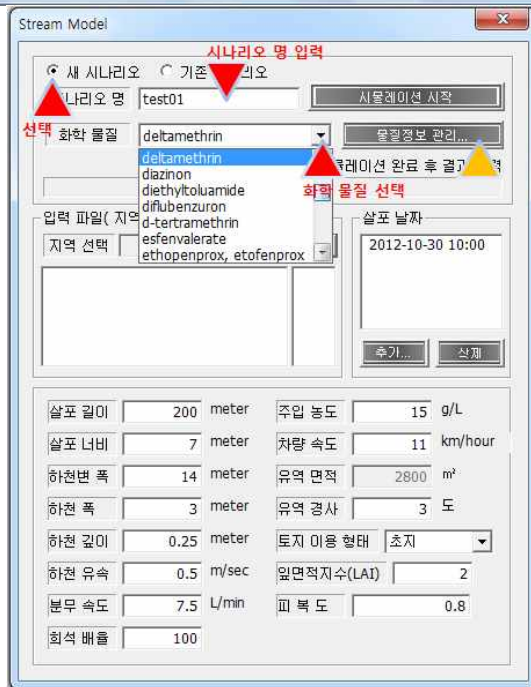
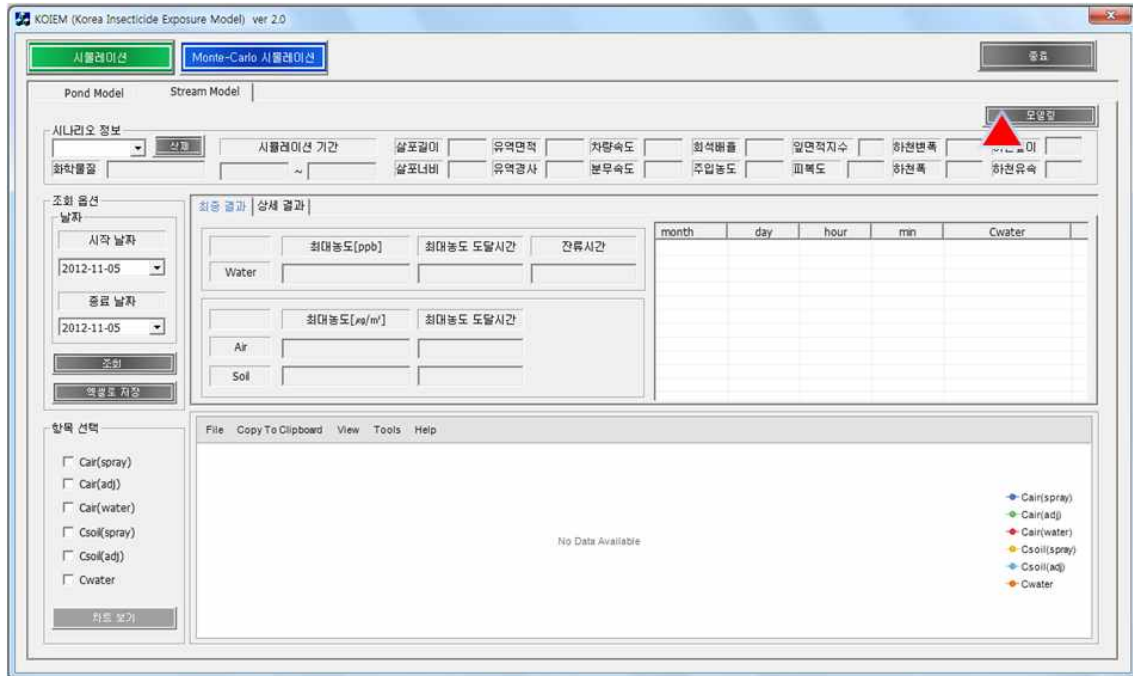
2. 모형 실행방법

1) 시뮬레이션 모형 실행방법

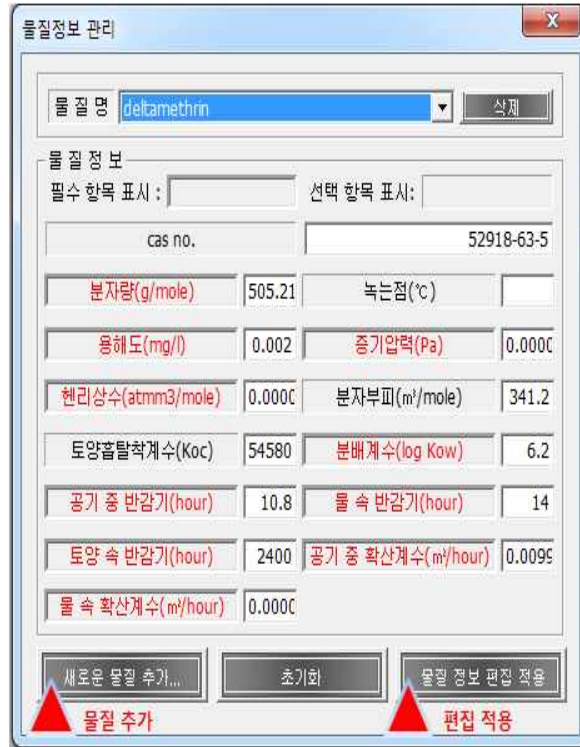
- ① 모형의 초기 화면에서 시뮬레이션을 선택한다.



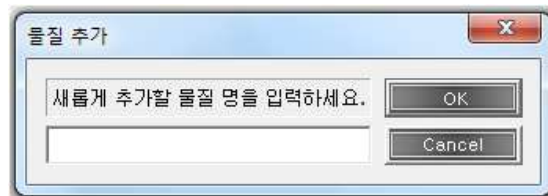
- ② 대상 수계 유형(연못 또는 하천) 선택 후, 모형 실행을 위해 모델링 버튼을 클릭한다.
- ③ 모의 화면에서 새 시나리오 선택 후 시나리오 명을 입력한다. 기존 시나리오를 체크하면 기존 시나리오가 검색된다.
- ④ 대상 화학 물질을 선택한다.
- ⑤ 대상 화학 물질의 정보를 확인하기 위해서는 물질정보 관리 버튼을 클릭하여 확인한다.



- ⑥ 물질정보의 변경을 원할 경우는 항목별로 변경 값을 입력해준다.
- ⑦ 물질정보편집 적용버튼을 클릭한다.
- ⑧ 대상 화학물질을 새로 추가할 경우에는 새로운 물질 추가 버튼을 클릭한다.



⑨ 물질정보(물질 명 및 물리 화학적 특성)를 입력해준다.

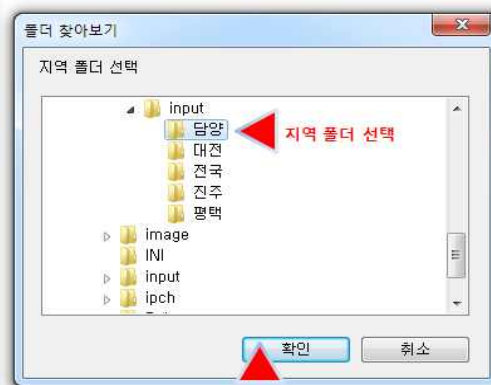
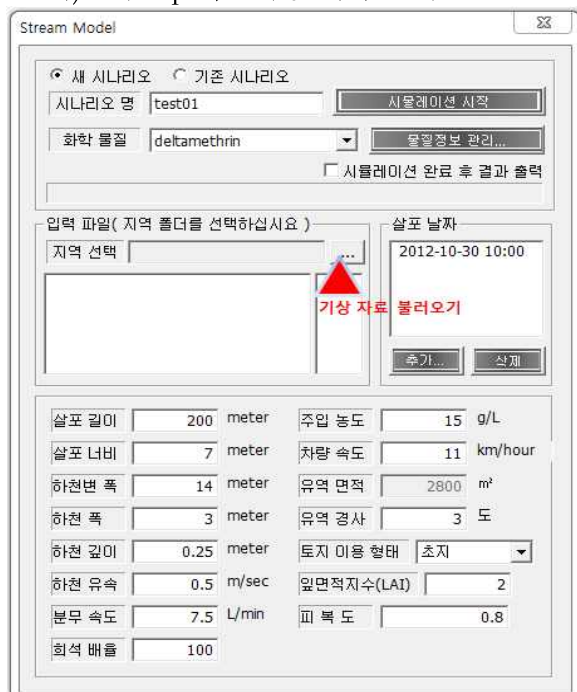


⑩ 살포날짜를 추가하기 위해서 추가버튼을 클릭한다.

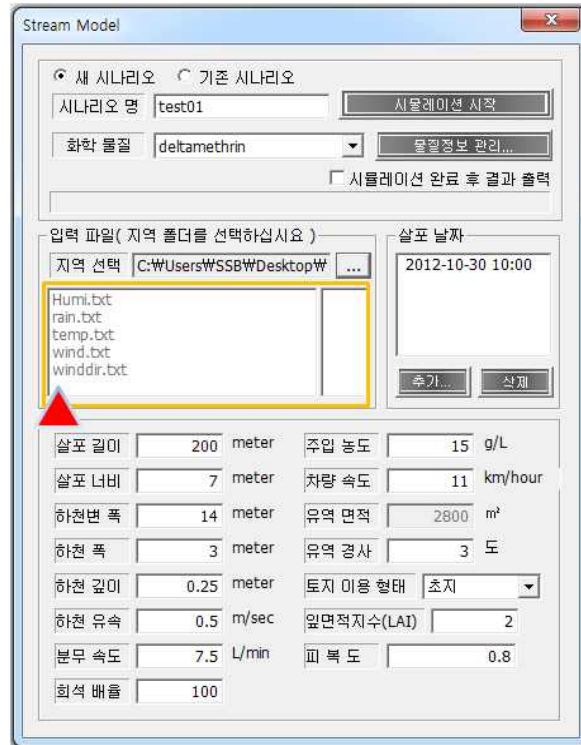
⑪ 원하는 살포날짜를 지정하여 추가한다. 삭제를 원할 경우 삭제 버튼을 이용한다.



⑫ 기 입력된 기상자료를 반영하기 위해서는 기상자료 불러오기 버튼을 클릭한다.
 예)폴더 input▶ 대상 지역 폴더



- ⑬ 지역 폴더 선택만으로 winddir(풍향), wind(풍속), temp(기온), rain(강수량), humi(습도)가 표시된다.



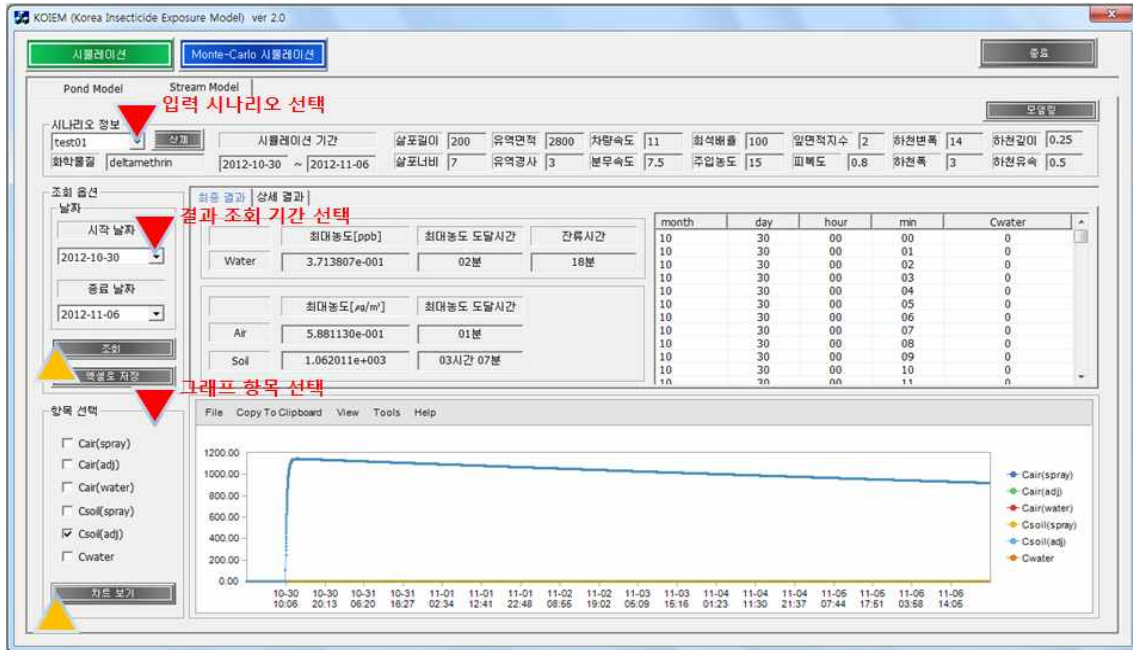
- ⑭ 살포 방식 및 대상지역 환경의 변경을 원할 경우 항목별로 변경 값을 입력해준다.
 ⑮ 시뮬레이션시작 버튼을 클릭한다.



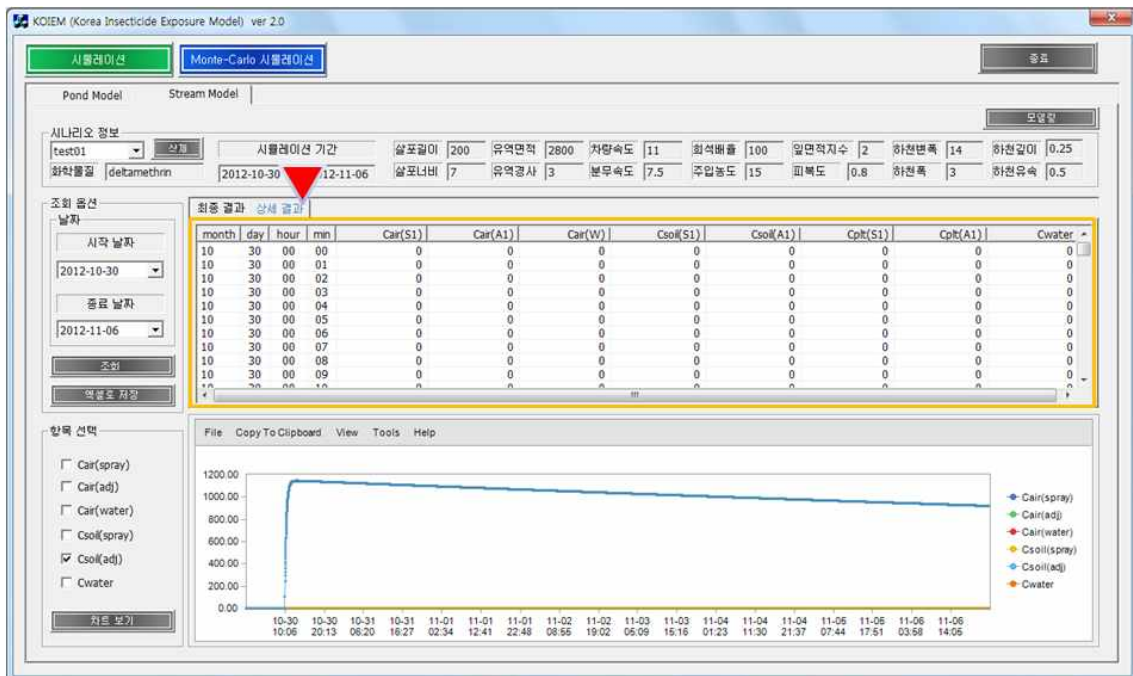
⑩ 시뮬레이션 완료 메시지가 뜨면 확인을 클릭하여 모의 화면을 종료한다.



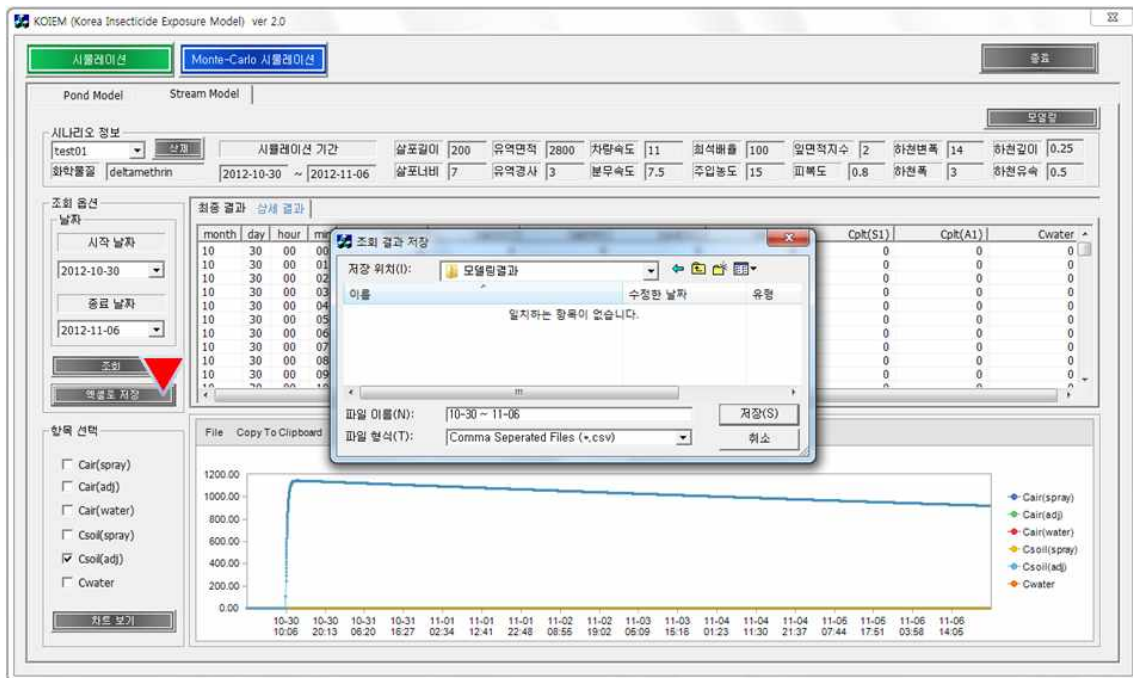
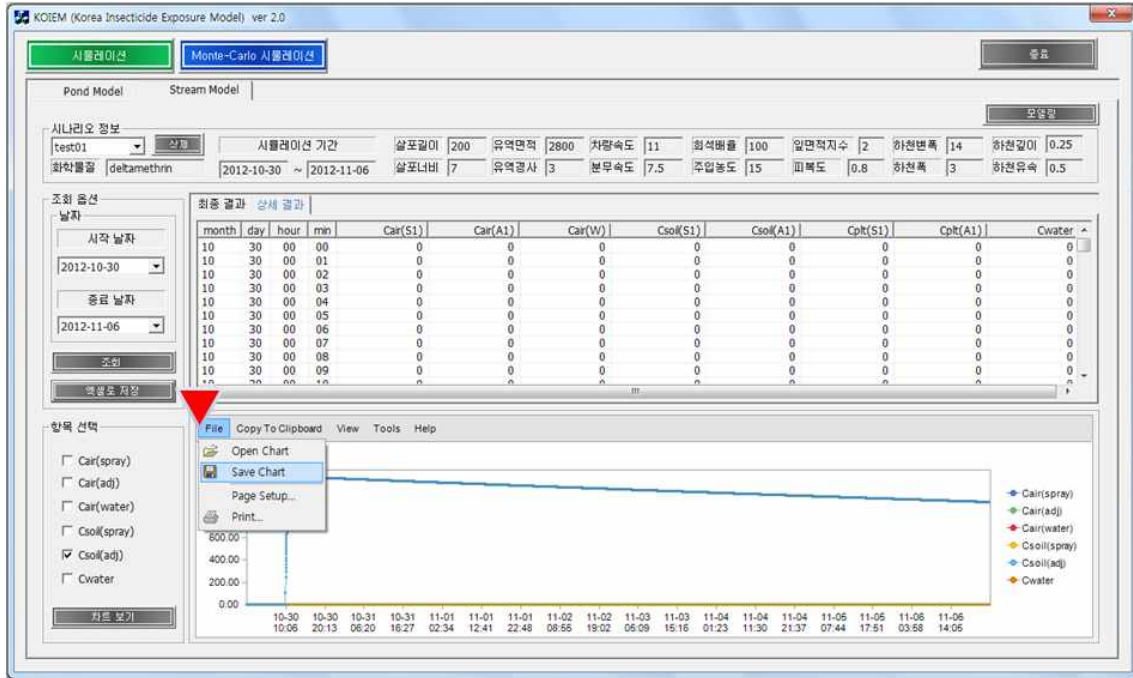
- ⑰ 모형 실행 화면에서 해당 시나리오 명을 선택한다.
- ⑱ 결과를 조회할 기간을 선택한다.
- ⑲ 조회 버튼을 눌러 결과를 조회한다.(결과 제시까지 3~5분 정도 소요)
- ⑳ 그래프 항목을 선택하여 차트 보기 버튼을 클릭하면 선택된 항목의 시간별 결과가 그래프로 제시된다.



- ㉑ 최종결과 옆에 상세 결과 탭을 클릭하면 대기, 토양, 수계의 농도를 시간별로 제시된다.

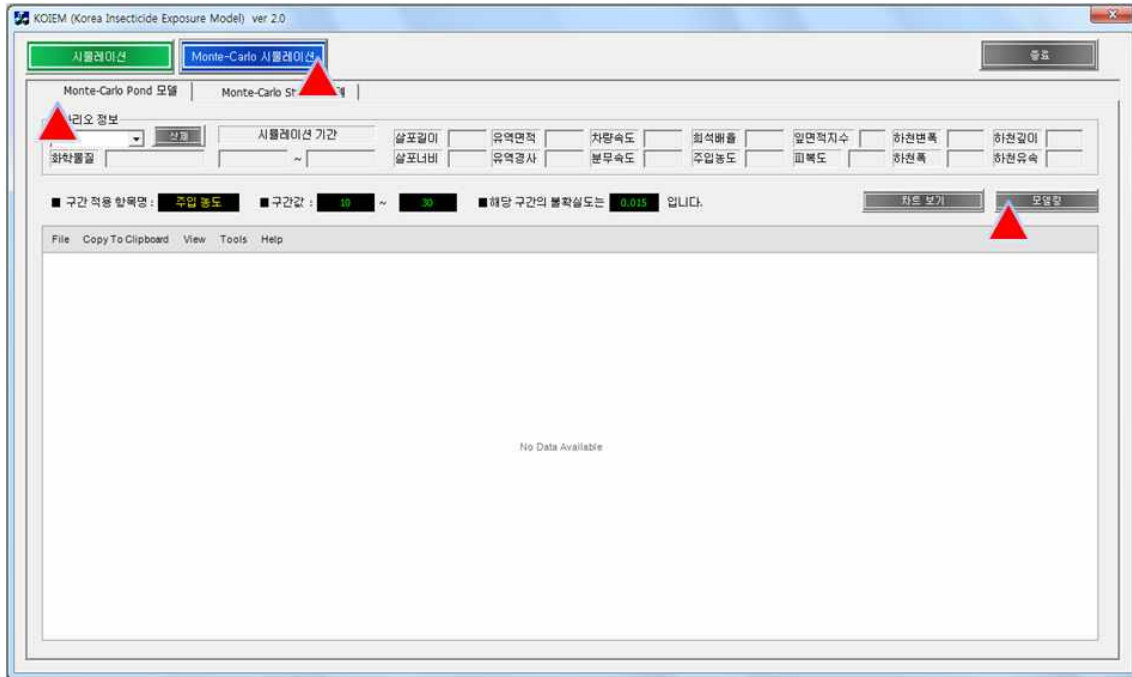


- ② 결과를 외부파일로 저장하기를 원할 경우 , 엑셀로 저장 버튼을 클릭하여 원하는 폴더를 지정하여 저장한다.
- ③ 그래프를 외부파일로 저장하기를 원할 경우 , 차트 메뉴에서 File 클릭하여 Save Chart 버튼을 선택하여 원하는 폴더를 지정한다.



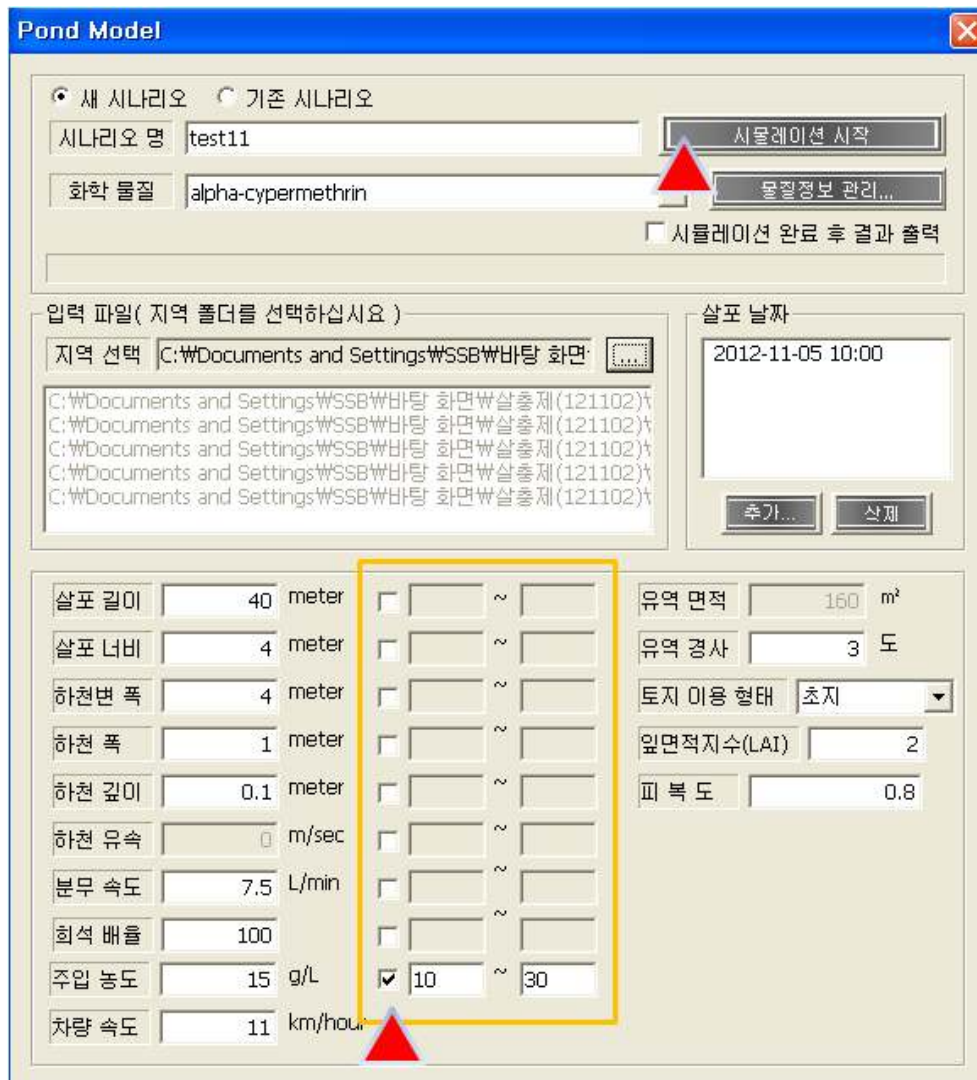
2) Monte-Carlo시뮬레이션 모형 실행 방법

- ① 모형의 초기 화면에서 Monte-Carlo 시뮬레이션을 선택한다.
- ② 대상 수계 유형을 선택 후, 모형 실행을 위해 모델링 버튼을 클릭한다.

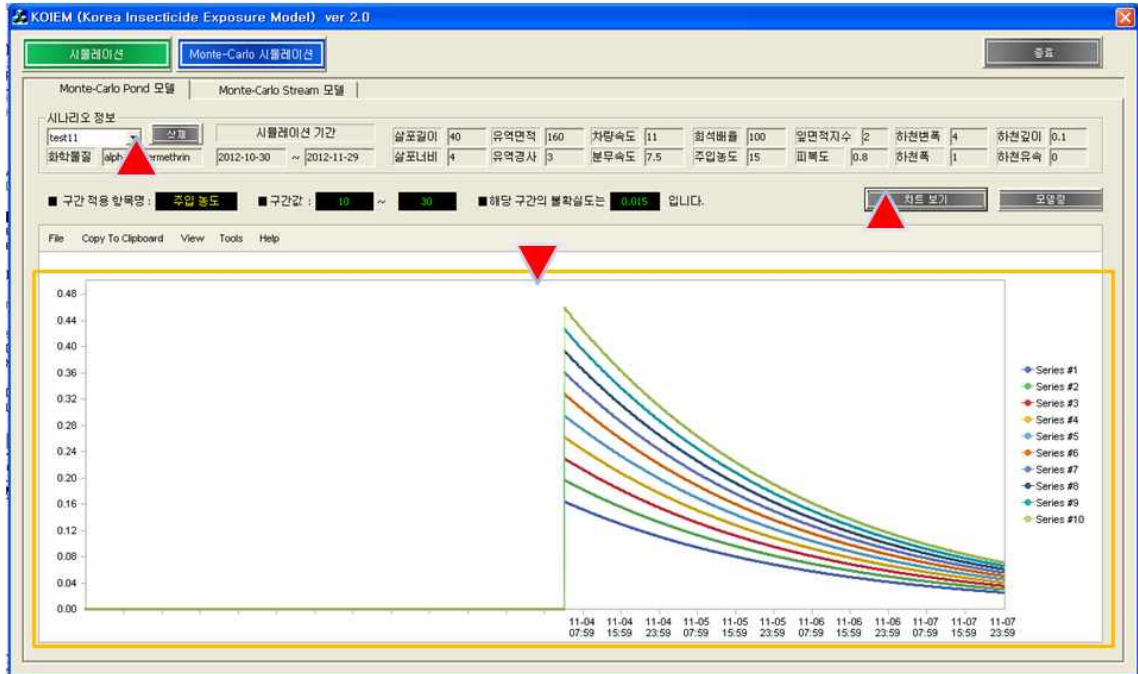


* 입력변수의 예측결과 불확실도 =
$$\frac{(\text{예측결과의 최대값}) - (\text{예측결과 최소값})}{(\text{입력변수 } a \text{의 최대값}) - (\text{입력변수 } a \text{의 최소값})}$$

- ③ 시뮬레이션 모형 실행 모의화면의 실행 순서와 동일한 방법으로 시나리오 명, 화학 물질, 입력 파일 지역선택, 살포 날짜, 대상 지역 환경 설정 등을 입력한다.
- ④ 구간 값을 알고 싶은 항목을 체크한 후 구간 값을 입력한다.
- ⑤ 시뮬레이션 시작 버튼을 클릭한다.

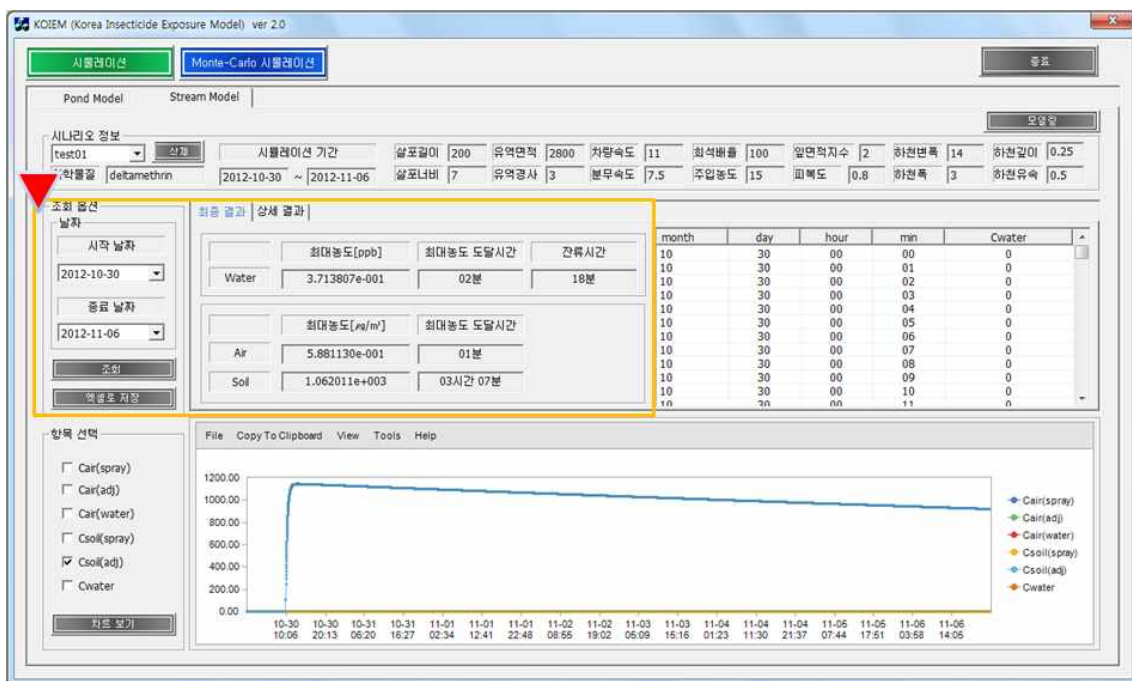


- ⑥ 시뮬레이션이 끝나면 모형 실행 화면에서 시나리오를 선택한다.
- ⑦ 시나리오를 선택하면 시나리오 정보가 세팅된다.
- ⑧ 차트보기를 클릭하면 ④에서 선택한 항목의 구간 값의 변화가 그래프로 출력된다.



3. 환경 중 추정농도 결과 보기

- 시뮬레이션 시나리오를 선택하고 조회 옵션으로 날짜를 지정한 후 <조회> 버튼을 누르면 다음과 같은 화면<최종결과>를 얻는다.
- <최종결과>로서 수계, 대기, 토양의 다매체에 관한 환경 중 추정농도(PEC)가 표시되며 이 값은 살충제 살포에 따른 환경 중 추정농도 결과로 활용할 수 있다.
- 이 결과는 연못(pond), 하천(stream)의 두 가지 수계 형태에 관하여 적용 가능하며 살충제의 환경 위해성평가를 위한 수계의 추정농도로 활용할 수 있다.





IV. 참고문헌

1. 식품의약품안전청, 감염병 예방용 살충제 환경 중 추정농도 예측 모델에 대한 검증연구, 2012.
2. 식품의약품안전청, 방역용 살충제의 환경 중 추정농도 계산을 위한 한국형 모델 개발, 2011.
3. 식품의약품안전청, 방역용 살균 살충제의 시험기준 선정사업, 2007.
4. 환경부, 노출모니터링 및 예측에 의한 지역단위 위해성평가, 2007
5. 식품의약품안전청, 방역약품의 환경유해성 표준시험법 및 평가지침 연구, 2005.
6. 김윤관., 유해 화학물질의 수서 생태위해성평가를 위한 유역기반 다매체동태모형 (ECORAME)의 개발 및 활용, 서울대학교 박사학위논문, 2005.
7. Jung, J., Lee, Y., Kim, Y., Lee, S. Development and evaluation of the KOrea Insecticide Exposure Model (KOIEM) for managing insecticides. Bull. Korean Chem. Soc., 2012, 33, 1183-1189.
8. Lee, Y., Lee, D., Kim, Y. Development and valuation of an Aquatic Ecological Risk Assessment System (KORECORisk) for the management of industrial complexes. Integrated Environ. Assess. & Management, 2007, 3, 508-516.
9. FOCUS, Surface water models and EU registration of plant protection products, 1997.
10. FOCUS, Leaching models and EU registration, 1995.
11. Mackay, D., Peterson, S. Calculating fugacity. Environmental Science and Technology, 1981, 15(9), 1006-1014.
12. Wischmeier, W., Smith, D. Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Handbook No. 537, 58 pp, 1978.
13. Williams, J. Sediment yield prediction with universal equation using runoff energy factor. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-S-40, 1975.
14. Onstad, C., Foster, G. Erosion modelling on a watershed. Trans. ASAE, 1975, 18(2), 288-292.
15. Branger, F., Tournebize, J., Carluer, N., Braud, I., Vaclin, M. A simplified modelling approach for pesticide transport in a tile-drained field: The PESTDRAIN model. Agricultural Water Management, 2009, 96, 415-428.

16. Birkved, M., Hauschild, M. Z. PestLCI- A model for estimating field emissions of pesticides in agricultural LCA. *Ecological Modelling*, 2006, 198, 433-451.
17. Christen, E. W., Chung, S.-O., Quayle, W. Simulating the fate of molinate in rice paddies using the RIGEWQ model. *Agricultural Water Management*, 2006, 85, 38-46.
18. Chu, X., Marino, M.A. IPTM-CS: A windows-based integrated pesticide transport model for a canopy-soil system. *Environmental Modelling & Software*, 2007, 22, 1316-1327
19. Epple, J., Maguhn, J., Spitzauer, P., Kettrup, A. Input of pesticides by atmosphere deposition. *Geoderma*. 2002, 105, 327-349.
20. Ferrari, F., Klein, M., Capri, E., Trevisan, M. Prediction of pesticide volatilization with PELMO 3.31. *Chemosphere*, 2005, 705-713.
21. Gil, M., Sinfort, C., Emission of pesticides to air during sprayer application: A bibliographic review. *Atmospheric Environment*, 2005, 39, 5183-5193.
22. Liu, C., Bennett, D.H., Kastenber, W.E., McKone, T.E., Browne, D. A multimedia, multiple pathway exposure assessment of atrazine: fate, transport and uncertainty analysis. *Reliability Engineering and Systems Safety*. 1999, 63, 196-184.
23. Luo, Y., Zhang, A., Liu, X., Ficklin, D., Zhang, M. Dynamic modeling of organophosphate pesticide load in surface water in the northern San Joaquin Valley watershed of California. *Environmental Pollution*, 2008, 156, 1171-1181.
24. Nuyttens, D., De Schampheleire, M., Verboven, P., Sonck, B. Comparison between indirect and direct spray drift assessment methods. *Biosystems Engineering*. 2010, 105 (2), 2-12.
25. Ramaprasad, J., Tsai, M. Y., Elgethun, K., Hebert, V. R., Felsot, A., Yost, M. G., Fenske, R. A. The Washington aerial spray drift study: assessment of off-target organophosphorus insecticide atmospheric movement by plant surface volatilization. *Atmospheric Environment*, 2004, 38, 5703-5713.
26. Rand, G. M. Fate and effects of the insecticide-miticide chlorfenapyr in outdoor aquatic microcosms. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2004, 58, 50-60.
27. Teske, M. E., Bird, S. L., Esterly, D. M., Curbishley, B. T., Ray, S. L., Perry, S. G., AgDRIFT: A model for estimating Near-field spray drift from aerial applications. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2002, 21(2), 659-671.