

농업비점오염 모형 비교 및 평가 기준에 대해서

한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원 김 철 검

1. 머리말

비점오염은 점원오염보다 그 오염의 정도는 낮지만 그 절대량에 있어서는 커서 대규모의 수량을 갖는 강, 호수 등의 주요 오염의 원인이 되고 있으며, 그 특성상 오염원이 어느 특정 지역에 국한되지 않고 광범위한 지역에 걸쳐 존재하며 수문순환과정 등 복잡한 자연현상을 수반하여 나타나기 때문에 사회적, 기술적으로 복잡하고 부하량의 조절이 쉽지 않다.

최근 비료와 농약 등 토양오염물질 사용의 증가로 인하여 비점오염물질이 증가하고 있으나, 국내의 경우 점원오염에 비해 비점오염에 대한 관심 및 체계적인 연구가 상대적으로 미흡한 상태이다. 이러한 비점오염원의 효율적인 관리를 위해서는 지형, 지질, 기후 및 토양특성, 수문학적 특성, 그리고 영농형태 및 토지이용방법 등과 같은 다양한 변화 요인들을 포괄적으로 수용하여 전반적인 관리대책을 세우는 것이 필요하며, 이러한 관리 및 오염물질의 이동 기작 등의 예측을 위한 모델링 기법이 개발되어 왔다.

그러나, 기준에 개발된 많은 비점오염 모형들 중에서 어떤 모형을 선택해야 하는가는 사용자에게 매우 곤혹스러운 일 중의 하나이다. 현재 폭넓게 사용되고 있는 대부분의 모형들은 보통 시공간적으로 특정한 적용 목적을 가지고 개발되었기 때문에 모형 선택 및 적용에 있어 세심한 검토가 필요하다.

본 고에서는 2001년 미국의 Southern Cooperative Series Bulletin에 기재되었던 "Agricultural non-point source water quality models: Their use & application"이라는 글을 토대로 기존의 개발된 많은 농업 비점오염 모형들에 대한 특징과 평가 기준에 대해 간략하게 소개하고자 한다. 이 연구에서의 실질적인 조사는 1999년의 한 시점을 기준으로 하였기 때문에 이후 새로이 개발

된 모형이나 새로운 버전의 수정된 모형에 대한 설명이 빠져있지만, 모형을 새로이 선택하여 적용하고자 하는 많은 연구자들 및 관련 실무자들에게 좋은 기준을 제시해 줄 수 있을 것으로 생각한다.

이 연구 보고서는 크게 다음과 같은 내용으로 구성되어 있다.

- 농업비점오염 모형들에 대한 평가 방법 및 기준
- 농업비점오염 모형들의 특징 간략 비교
- 평가항목에 따른 각 모형들에 대한 세부 설명 및 평가 내용

본 고에서는 평가 기준과 모형 특징의 간략 비교에 대해서만 소개를 하고, 나머지 각 평가 항목에 따른 모형들의 세부적인 설명 내용 및 평가 사항은 참고문헌이나 본문 내에 설명한 각 모형에 대한 웹사이트 등을 통하여 더 많은 정보를 얻을 수 있을 것이다.

2. 모형 평가 기준

연구 보고서에서는 모형 평가 기준으로 크게 다음과 같은 4가지를 제시하고 있다.

- 모형 사용
- 모의 방법 및 접근법
- 모형 설명서
- 모형 효율, 적용 및 제한사항

가. 모형 사용

모형 사용 측면에서의 평가 기준으로 모형에서 기술된 일반적인 모의 과정, 시공간적인 적용 규모, 최소 모의시간 간격, 모형의 활용 대상자, 입력자료의 구축 및 모의 결과 분석에 있어서의 사용자 편의성 등을 제시하고 있다.

모의 과정이라 함은 지표면/지표하 흐름, 화학물질 이송, 유출/유실 과정, 영양물질과 살충제 모의 등을 말하며, 시간적인 규모는 단일사상 모의와 연속적인 장기 모의를 의

미하고, 공간적인 규모로는 필드, 구역, 대구역, 지역으로 구분하고 있다. 모형 활용 대상은 모형을 배우고 적용시키는데 소요되는 시간에 따라 평가 가중치를 부여하여 일반적인 연구자, 모델링 전문가, 초심자, 실무자 등으로 구분하고 있다. 사용자에게 가장 중요한 문제일 수도 있는 사용자 편의성은 입력 매개변수의 가용성 및 입력자료 구축에 따른 지침서의 유무, 출력 양식 및 결과 분석 방법 등을 의미하고 있다. 최근 대부분의 수문/수질 모형들은 다양한 사용자의 요구에 맞춰 매우 복잡한 구조를 지니고 있고, 많은 출력 결과들을 생성해 내고 있다. 따라서, 각 모형별 출력 자료의 형태 및 결과에 대한 분석 방법의 제시 등도 모형 사용자 입장에서 중요한 평가 기준이 되고 있다.

나. 모의 방법 및 접근법

모의 방법 및 접근법 측면에서는 모형에서 사용된 주요 모의 과정들에 대한 모델링 방법을 제시하고 있다. 예를 들면 유한차분법, 유한요소법 또는 기타 경험적인 관계식에 의한 방법 등이 있을 수 있을 것이다. 이러한 내용은 일반적으로 모형 설명서나 각종 저널의 기사 및 연구 논문으로부터 참고할 수 있으며, 모형을 선택하는 하나의 평가 기준이 된다.

다. 모형 설명서

모형 설명서 측면에서는 모형의 소스 코드 및 모형 소프트웨어의 가용성 등을 제시하고 있으며, 다음과 같은 세부 항목들을 설명하고 있다.

- 모형 설명서의 수준, 질, 가용성
- 소프트웨어, 하드웨어 필요사항
- 소스 코드의 가용성
- 현장 검증에 따른 모형 수정 버전의 유무

이와 함께, 앞서 기술한 바와 같이 모형에 대한 사용자 인터페이스 또한 중요한 고려사항으로 언급하고 있다. 입력자료 구축을 위한 유틸리티 프로그램이 없다면, 모형들의 사용에 많은 시간이 걸리고 어려움이 많을 것이다. 따라서, 입력자료 구축과 모형의 결과 분석을 위한 유틸리티 프로그램에 대해서도 검토가 이루어져야 할 것이다. 넓은 지역에 대한 분석을 하고자 하는 경우에는 GIS와의 연계도 검토되어야 한다. GIS와의 연계는 모형 적용성을 더욱 향상시킬 수 있을 것이다. 이 밖에 모형 사용자가 더 빠르고 더 효율적으로 모형을 적용할 수 있도록 지속적인 교육과

훈련의 기회도 고려되어야 한다.

라. 모형 효율, 적용 및 제한 사항

모형 효율, 적용 및 제한 사항 측면에서는 모형의 일반적인 적용에 대한 적용성 및 신뢰도 수준, 입력 매개변수의 민감도, 모형 적용에 있어서의 제한 사항 등을 제시하고 있다.

모형의 일반적인 적용에 있어서의 상세한 부가 자료 즉, 모형으로부터 얻어지는 결과들에 대한 신뢰도의 정도, 매개변수 민감도 분석 결과에 의한 각 입력 매개변수에 따른 출력 결과의 영향 정도, 과거의 모형 적용 범위 등의 자료가 주어진다면 보다 편하게 모형을 선택하고 적용할 수 있을 것이며, 사용자는 이러한 적용을 통하여 무엇이 필요하고 어떤 결과가 예상되는 지에 대한 좋은 정보를 얻을 수 있을 것이다. 이와 아울러, 모든 모형은 특정 적용 목적을 가지고 개발되었기 때문에 특정 토양이나 지역 조건 등 적용이 불가능한 상황이나 시나리오가 있을 수 있다. 따라서, 모형의 단점과 제한 사항들에 대한 내용 또한 평가 기준에 포함되어야 한다.

3. 모형 특징 비교

연구보고서에서는 앞에서 기술한 평가 기준에 따라 AGNPS, ANSWERS-2000, BASINS, CREAMS, EPIC, HSPF, RUSLE, SWAT, TOPMODEL, WEPP 등 국내에서 많이 이용되고 있는 모형을 비롯하여 총 41개의 모형들에 대하여 각 항목별로 일목요연하게 비교하고 있다.

표 1에서 표 3은 모형의 특징들을 서로 비교한 것으로서, 표 1은 시공간적인 규모, 계산시간 간격, 활용 대상에 대한 비교, 표 2는 미국내 검증지역, 모형 설명서 및 사용자 인터페이스 유무에 대한 비교, 표 3은 모형에서의 모의 항목에 대한 비교 등을 나타내고 있다. 참고로 표에서 빈칸으로 되어 있는 것은 기존 문헌이나 모델링 전문가 등으로부터 검토가 되지 않아 평가 항목에 대한 정확한 판단을 하기 곤란한 경우로서, 꼭 항목의 기능이 빠져 있음을 의미하지는 않는다.

이 밖에도 연구보고서에는 모형 개발기관 및 개발자 연락처 (전화번호, 웹사이트 주소)까지 제시되어 있어, 향후 모형에 대한 자세한 정보를 얻는데 큰 도움이 될 것으로 생각한다.

표 1 Model characteristics

Model	Time scale		Spatial scale					Computational time step				Target audience	
	Event	Continuous	Point	Field/Farm	Watershed	Basin	Regional	Second	Hour	Day	Year	Re-searchers	Action agencies
ADAPT		0		0	0					0		0	0
AGNPS	0				0								0
ANIMO	0		0							0		0	
ANSWERS-2000	0	0		0	0			0				0	0
APEX		0		0	0					0		0	
BASINS		0			0	0	0			0		0	0
CALF		0		0						0		0	
CREAMS		0		0					0	0		0	0
DRAINMOD		0		0					0	0	0	0	0
EPIC		0		0					0	0		0	0
GCLM	0	0		0								0	
GLEAMS		0		0					0	0	0	0	0
GPFARM		0		0									0
HSPF/ARM/NPS					0	0							
KINEROS	0			0	0		0	0				0	0
LEACHM	0		0							0		0	
MACRO		0	0							0		0	
NCSWAP				0								0	
NLEAP	0			0						0	0		0
NPURG	0			0									0
NTRM				0	0	0		0	0	0		0	
OPUS	0			0				0	0	0			
PELMO		0		0						0			0
PERFECT		0		0						0			
PESTLA	0			0						0			
PLM		0		0						0		0	
PRMS	0	0			0			0				0	0
PRZM		0		0						0		0	0
REMM		0		0						0		0	0
ROTO	0					0							
RUSLE		0		0						0			0
RZWQM		0		0				0				0	
SIMPLE		0			0					0		0	
SRM		0				0				0		0	0
SWAT		0			0	0	0			0		0	0
SWRRBWQ		0			0	0						0	0
TOPMODEL					0				0	0			
TRANSOL	0			0						0		0	
VFSMOD-W	0			0				0				0	0
WAVE		0		0					0	0	0	0	
WEPP	0	0		0						0			0

표 2 Model validation and interfaces

Model	Physiographic validation (USA)						Documentation available?	User interface?	
	Northeast	Southeast	Midwest	Southwest	Northwest	Other		Input helpers?	GIS?
ADAPT		0	0				0		0
AGNPS			0				0	0	0
ANIMO						0			
ANSWERS-2000				0				0	0
APEX	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BASINS							0		0
CALF						0			
CREAMS	0	0	0	0	0	0	0		
DRAINMOD	0	0	0	0	0	0	0		
EPIC	0	0	0	0	0	0	0	0	
GCLM									
GLEAMS	0	0	0	0	0	0	0	0	
GPFARM									
HSPF/ARM/NPS							0	0	
KINEROS			0					0	0
LEACHM	0								0
MACRO						0			
NCSWAP									
NLEAP			0				0	0	0
NPURG							0		
NTRM						0			0
OPUS							0		
PELMO						0			
PERFECT						0			
PESTLA						0			
PLM						0			
PRMS			0		0		0	0	
PRZM		0					0	0	
REMM		0					0	0	
ROTO				0					
RUSLE	0	0	0	0	0		0	0	
RZWQM		0	0			0	0	0	0
SIMPLE		0						0	0
SRM	0		0		0	0	0		0
SWAT	0	0	0	0	0		0	0	0
SWRRBWQ							0		
TOPMODEL									
TRANSOL						0			
VFSMOD-W		0	0			0	0	0	
WAVE						0	0		
WEPP	0	0	0	0	0	0	0		

표 3 Processes simulated

Model	Surface water flow	Subsurface water flow	Chemical transport:		Erosion	Precipitation	Snowmelt	Lake/stream water quality	Economics
			nutrients	pesticides					
ADAPT	0		0	0	0	0	0		
AGNPS	0		0		0				
ANIMO	0	0	0						
ANSWERS-2000	0		0		0	0			
APEX	0	0	0		0	0	0		
BASINS									
CALF		0		0					
CREAMS	0		0	0	0	0			
DRAINMOD		0	0			0	0		
EPIC	0	0	0	0	0	0	0		0
GCLM		0		0					
GLEAMS	0	0	0	0	0	0			
GPFARM	0		0	0	0				0
HSPF/ARM/NPS	0		0	0	0				
KINEROS	0				0				
LEACHM		0	0	0			0		
MACRO		0	0	0					
NCSWAP			0						
NLEAP		0	0						
NPURG		0	0	0					
NTRM		0	0						
OPUS	0	0	0	0	0				
PELMO	0	0		0	0				
PERFECT	0				0				
PESTLA		0		0					
PLM		0		0					
PRMS	0	0			0	0	0		
PRZM	0	0	0	0	0				
REMM	0	0	0		0				
ROTO	0		0		0				
RUSLE					0				
RZWQM	0	0	0	0		0	0		
SIMPLE	0	0	0		0				
SRM	0					0	0		
SWAT	0	0	0	0	0	0	0		
SWRRBWQ	0	0	0	0	0	0		0	
TOPMODEL	0	0							
TRANSOL	0	0		0					
VFSMOD-W	0				0	0			
WAVE				0	0				
WEPP					0	0			

4. 맺음말

이상과 같이 농업비점오염 수질모형들에 대한 선택에 있어서의 평가 기준을 설명하고, 41개 모형에 대한 간략한 특징의 비교 검토 내용을 소개하였다.

많은 다양한 모형들에 대한 평가를 통하여 사용자는 현재 그리고 앞으로 수자원 관련 연구 및 사업을 추진하는데 있어 모형을 이용하는 경우, 신속하게 각 모형들에 특징을 검토할 수 있고, 합리적인 모형 선택 기준을 제시해 줄 것으로 생각한다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 22-2)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. Jone E. P., Daniel L. T., Rodney L. H., 2001, Agricultural non-point source water quality models: Their use & application, Southern Cooperative Series Bulletin #398, ISBN: 1-58161-398-9, A Cooperative publication associated with CSREES and EWRI.