

# APEX(Agricultural Policy/Environmental eXtender) Model: An Emerging Tool for Agricultural Environmental Analyses

Min Kyeong Kim\*, Soon Kun Choi, Goo Buk Jung, Myung Hyun Kim,  
 Seong Chang Hong, Kyu Ho So, and Jae Hak Jeong<sup>1</sup>

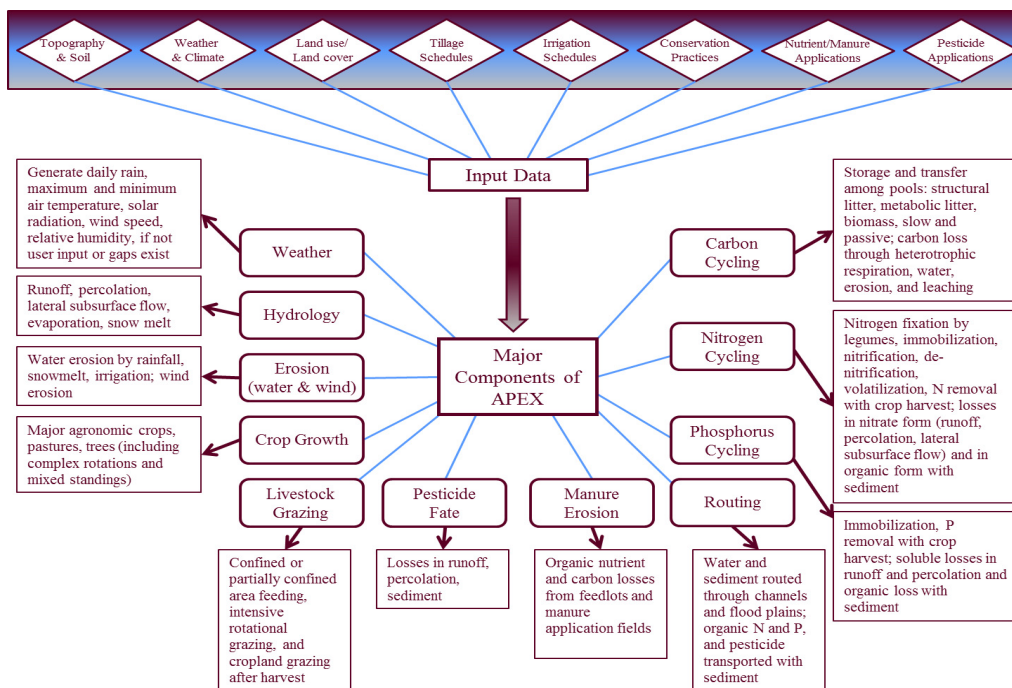
*Department of Agricultural Environment, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, 441-707, Korea*

<sup>1</sup>*Texas A&M AgriLife Research, 720 East Blackland Road, Temple, Texas 76502*

(Received: April 14 2014, Accepted: May 30 2014)

The agricultural policy/Environmental eXtender (APEX) model was developed by the Blackland Research and Extension Center in Temple, Texas. APEX is a flexible and dynamic tool that is capable of simulating a wide array of management practices, cropping systems, and other land uses across a broad range of agricultural landscapes, including whole farms and small watersheds. The model can be configured for novel land management strategies, such as filter strip impacts on pollutant losses from upslope crop fields, vegetated grassed waterways in combination with filter strip impacts, and land application of manure removed from livestock feedlots or waste storage ponds. The APEX model has continually evolved since its inception, and the process of adaptation and modification will likely continue as use of the model expands for an ever-increasing range of environmental problems and conditions. Several improvements to specific model subroutines have already been initiated, while other potential improvements have been identified that will require future research and code modification efforts.

**Key words:** APEX, Best management practices, Conservation practices, Farm and watershed simulations, Soil carbon, Water quality



**Major components of APEX(Agricultural Policy/Environmental eXtender).**

\*Corresponding author : Phone: +82312900223, Fax: +82312900206, E-mail: kimmk72@korea.kr

§ Acknowledgement: This study was carried out with the support of “Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ008507)”, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Republic of Korea.

## Introduction

지구 온난화 및 이상기상 등 기후변화로 야기되는 집중강우와 패턴 변화는 농업환경 전반에 영향을 주어 농업생산성 감소와 사회경제적 위기를 초래할 것으로 예상된다. 특히 비점오염에 의한 수질오염의 기여도는 계속 증가될 것으로 예상되어 이에 대한 적극적인 관리가 요구되나 농업분야 비점오염 관리대책은 미흡한 실정이다 (Kim et al., 2013). 따라서 정부의 정책 결정자 및 농민이 과학적이고 손쉽게 사용할 수 있는 농업 비점오염에 대한 평가시스템 개발이 필요하다.

미국 정부에서는 농업환경 보전을 위해 매년 4억 달러 이상의 보조금을 지출하고 있으며, 이러한 예산이 투입된 국가 정책사업 등의 효과분석 및 검증을 위하여 비점오염 모델을 국가단위 평가도구로 활용하고 있다. 그러나 우리나라는 대부분 미국에서 개발된 수질 모델을 활용하여 국내 연구지역에 단순 적용하거나 일부 변수 값을 수정하여 활용하는 실정이다. 또한 모델링을 이용한 국가 단위의 종합적인 평가 및 예측이 없는 비점오염 연구는 단순 반복되는 모니터링 연구 수준에 불과하며 추후 연구결과의 정책적 활용에도 한계가 있다. 따라서 우리나라 지역 및 농경지 특성을 고려한 필지단위의 농업 비점오염 모델이 필요하다.

현재 농진청에서는 한국형 농업 비점오염원을 평가하고 관리하기 위한 모델을 개발 중에 있는데 특히 논에 대한 오염 부하량을 추정하는 부모모델을 개발하고 있다. 따라서 본 논문에서는 우리나라의 농경지 적용에 적합한 필지단위에서 비점오염원을 평가하고 침식, 관개 및 수질, 기상, 토질, 작물 경합, 경제성 등의 요소를 고려한 다양한 농업관리 전략을 평가하기 위해 구성된 APEX (Agricultural Policy/Environmental eXtender) 모델을 소개하고자 한다.

## Model Development History

APEX 모델의 각 필지 구동 요소는 1980년대 초 침식이 생산성에 어떠한 영향력을 미치는지 평가하기 위해 개발된 EPIC (Environmental Policy Integrated Climate) 모델 (Williams et al., 1984)에서 유래되었다. CREAMS (Knisel, 1980) 및 SWRRB (Williams et al., 1985)의 다양한 요소들이 EPIC 모델을 개발하는데 사용되었고 이 후에 GLEAMS (Leonard et al., 1987) 모델의 농약 관련 기능이 추가되었다.

1985년 미국 RCA (Resources Conservation Act) 적용 (Putman et al., 1988) 이래로 EPIC 모델은 지속적인 확장 과 개선을 거쳐 농업 경영에 있어 중요한 많은 과정을 모의할 수 있게 되었다 (Sharpley and Williams, 1990; Williams, 1995). EPIC 모델에서 고려된 배수 면적은 일반적으로 최대 100 ha 정도이며 이는 날씨, 토양 및 관리 시스템이 동일하

다는 전제조건 하에 있다.

EPIC 모델에서 중요한 구성요소는 날씨 모의구동, 수문, 침식-퇴적, 양분 순환, 농약의 분해과정, 작물 성장, 토양 온도, 경작, 경제성 및 작물 환경 제어 등이다. EPIC 모델은 일 단위로 운영되지만 Green-Ampt 침투식을 이용할 경우 더 짧은 시간 간격으로 초과 강우율을 모의할 수 있다 (0.1 ha). 이 모델은 기타 여러 과정들을 모의할 수 있는 선택권을 제공하는데 이는 5개의 잠재증발산량 방정식, 6개의 침식 및 퇴적량 방정식 및 2개의 최대 유출률 방정식 등을 포함한다. 변경 가능한 관리 요소는 윤작, 경운 작업, 관개 일정 관리, 배수, 제방 작업, 토양 개량, 방목, 가지치기, 속음 및 수확, 비료 및 농약 사용량 및 사용시기 조절 등이 있다.

APEX 모델은 EPIC 모델의 기능을 농장 전체 또는 소규모 유역으로 확장하기 위해 개발되었다. EPIC 모델의 기능 이외에 APEX 모델은 복잡한 지형 및 수로 시스템에서 유역 출구까지 여러 영역에 걸쳐 존재하는 물, 퇴적물, 양분 및 농약을 추적하는 기능을 포함한다. 또한 APEX 모델은 지하수 및 저류지 관련 요소를 포함하고 있다. 유역은 여러 영역으로 세분화할 수 있는데 이러한 세분화 과정은 각 영역이 토양, 토지이용과 관리 및 계절적인 측면에서 상대적으로 동질성을 가질 수 있도록 필요한 만큼 이루어질 수 있다.

이러한 추적 메커니즘을 통해 표면 유출, 환원수, 침전물 퇴적 및 분해, 양분 이동 및 지하수의 흐름 간의 상호작용을 평가할 수 있다. 각 영역 및 유역 출구에서 암모니아태, 질산태 및 유기태 질소, 용해성, 흡착/미네랄 및 유기성 인과 농약 농도 등 수질 예측이 가능하다. 비료 또는 가축분뇨 등을 자동으로 또는 특정 일자에 원하는 양과 깊이만큼 사용하도록 설정하는 것도 가능하다. GLEAMS 모델 내 농약 모델은 유출량, 침출, 퇴적물의 이동 및 분해 등을 고려하여 농약의 거동을 예측하는데 사용되며 추적 및 세분화 과정이 있기 때문에 유역의 크기는 상관없다. 따라서 환경에 영향을 주는 농약을 추정하는데 GLEAMS 모델 내 농약 모델을 APEX 모델에서 사용되고 있다.

## Model Summary

APEX 모델은 전 농장/소규모 유역 관리에 활용하기 위해 개발되었다. 이 모델은 농업의 지속가능성과 경제성, 바람과 물에 의한 침식, 관개와 수질, 토질, 작물 경합, 날씨와 해충 등의 요소를 고려한 다양한 토지 관리 전략을 수립하기 위해 구성되었다 (Fig. 1).

농경지 관리 기능에는 관개, 배수, 제방, 완충대, 수로, 비료, 가축분뇨 관리, 저류지, 저수지, 윤작 및 작물 선택, 농약 살포, 방목 및 경운 등을 포함한다. 이러한 농장 관리 기능 이외에도 APEX 모델은 지구 기후 혹은 CO<sub>2</sub> 변화의 영향을 평가하거나 환경적으로 안전하고 경제적인 매립지 설

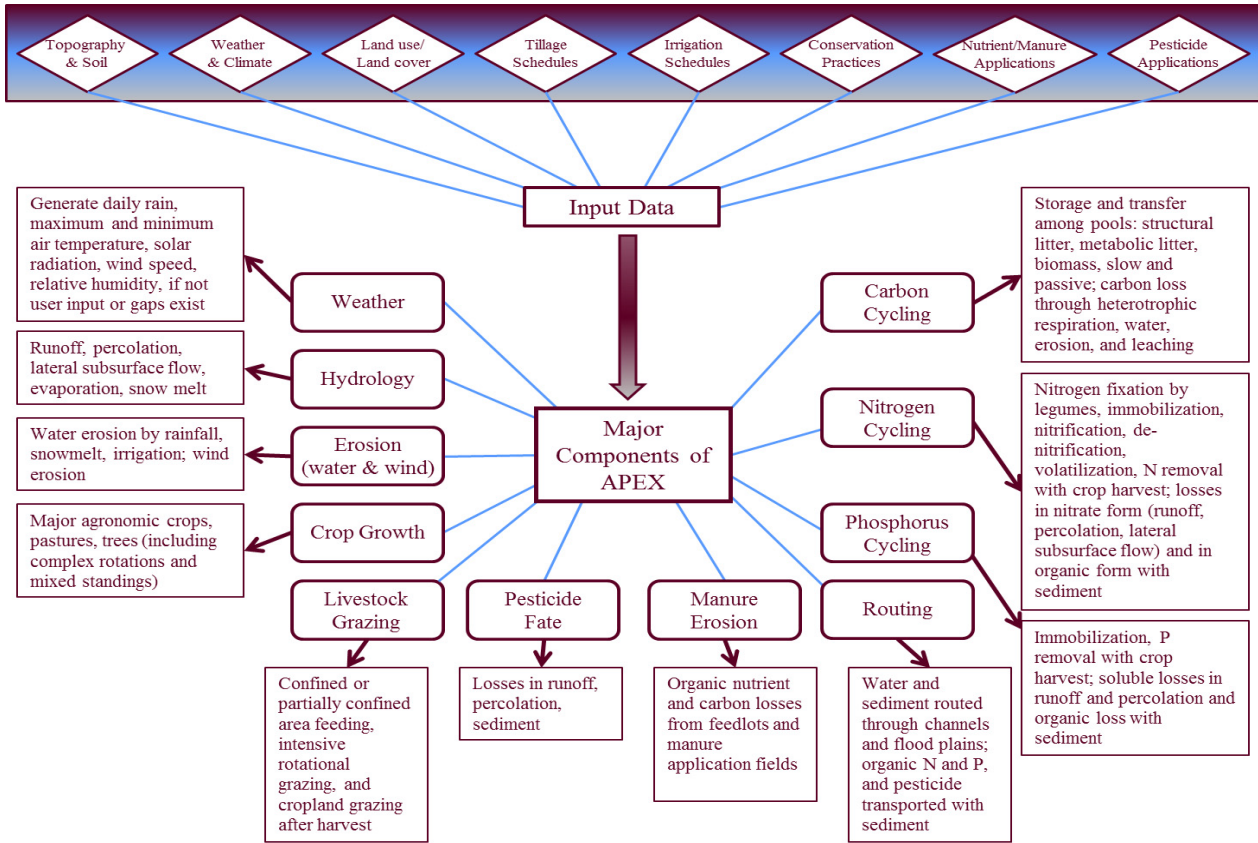


Fig. 1. Major components of APEX (agricultural Policy and Environmental eXtender) model.

계, 에너지 획득을 위한 바이오매스 생산 시스템 설계 또는 다른 파생적인 응용 분야에 활용될 수 있다.

이 모델은 일 단위로 운영되나 일부 과정은 시간 단위 또는 그보다 더 짧은 시간 단위로 모의 구동할 수 있다. 또한 필요에 따라 수백 년에 이르는 시간에 대한 모의 구동도 할 수 있다. 농장은 경작지, 토양 종류, 지형, 기타 적합한 구성으로 세분화될 수도 있다.

APEX 모델의 주된 활용 예를 들면 텍사스 주의 Erath와 Hopkins 카운티에서 수질을 관리하기 위한 가축분뇨 관리 (Flowers et al., 1996)와 퇴적물 및 다른 오염물질을 제어하기 위한 방법으로 여과대의 효과를 평가하는 국책 연구에 이 APEX 모델을 활용하였다 (Arnold et al., 1998). 또한 현재 미국 농무성 산하 농업연구청-자원보전연구청과 공동으로 텍사스 농생명연구소에서는 국가 프로젝트인 CEAP 프로젝트 (Conservation Effects Assessment Project)를 수행하는데 APEX 모델과 SWAT 모델을 이용하여 농경지 규모부터 유역 규모까지 농업비점오염 영향을 평가하고 보전효과를 분석하여 이를 국가 정책자료로 활용하는 연구를 수행하고 있다.

우리나라에서는 토지이용별 비점오염원 부하량의 비교 분석에 따른 논지역의 하류하천 수질에 미치는 영향을 월별, 시기별로 분석하여 농촌유역의 관계시기별 적합한 BMP 시나리오를 산정하는데 적합한 유역-필드모델로서 활용될 수

있는 가능성을 확인한 연구결과 (Jung et al., 2011)가 있다.

APEX 모델은 날씨 모의뿐만 아니라 토양, 작물, 경작, 비료 및 농약 등에 대한 자체 데이터베이스를 보유하고 있다. 또한 입력 데이터를 조합하고 산출 결과를 해석하기 위해 편리한 iAPEX, WinAPEX, SWAPP, ArcAPEX 등의 인터페이스가 제공된다. 현재도 APEX 모델의 검·보정에 대한 연구는 계속 수행되어 오고 있으며 (Gassman et al, 2010) 일반적으로 이 모델은 합리적으로 현장 연구 결과를 잘 반영하고 복잡한 지형과 영농관리 시나리오를 평가하는데 유용한 도구로 사용된다고 알려져 있다 (Gassman et al, 2010).

### Future Model Enhancements

APEX 모델은 개발된 이후로 계속 발전하고 있으며 모델의 적용과 수정 과정은 끊임없이 증가되는 환경문제에 모델이 확장되어 사용되는 것처럼 계속 진행되고 있다. 이미 APEX 모델 내 특별한 영역의 부모모델에 대한 여러 확장이 시작되었으나 미래에 요구되는 연구나 모델 코드의 수정에 대한 노력은 또 다른 잠재적인 확장 부분으로 남아져 있다.

APEX 모델의 미래 버전에는 현재 기계론적 탈질에 대한 영역을 최적화 기술이 현재 개발 중에 있으며 이 새로운 부모모델은 현재의 APEX 모델보다 토양-작물-대기 시스템내의 CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, 그리고 N<sub>2</sub>O 플럭스를 예측하기 위한 새로운 중

합적인 방안으로 APEX 모델에 결합될 것이다.

비록 EPIC 모델에서는 기후변화에 따른 작물 수량을 예측한 연구결과가 많이 보고 (Gassman et al., 2005) 되고 있으나 APEX 모델을 이용한 연구결과가 없다. 작물 수량에 대한 대기 중 CO<sub>2</sub> 효과를 평가하기 위하여 Eckhardt and Ulbrich (2003)에 의해 개발된 방법에 근거하여 APEX 모델과 EPIC 모델을 결합하여야 한다. 이를 위해서는 CO<sub>2</sub> 반응이 작물 수량에 미치는 영향에 대한 연구가 더 필요하다.

APEX 모델의 구조적인 발전은 토양과 지구 시스템의 인터페이스 개발이 유용할 것이다. APEX 모델은 생태계 내 탄소와 에너지 밸런스를 구성하기 위해 필요한 작물의 탄소 기작에 대한 자세한 정보가 부족하다. 따라서 이를 위해서는 토양과 지구 사이의 탄소와 에너지 교환을 계산하는 것이 중요하다. 예를 들어 전지구 기후 모델은 토양과 지구 시스템 사이의 탄소와 물 등의 물질 교환과 에너지에 대해 잘 모의되고 있는 반면에 농작물과 영농관리 그리고 토양침식과 그에 따른 영향에 대한 토양 관리가 부족하다. APEX 모델은 토양 관리와 그와 관련된 유역내 환경 반응에 대해서는 가장 정교한 모델 중 하나이지만 전지구 혹은 지역 순환 모델에서도 이 알고리즘에 대한 반응이 제공되어야 한다.

## References

- Arnold, J.G., J. D. Atwood, V. W. Benson, R. Srinivasan, and J. R. Williams. 1998. Potential Environmental and Economic Impacts of Implementing National Conservation Buffer Initiative Sedimentation Control Measures. USDA, NRCS Staff paper.
- Eckhardt, K. and U. Ulbrich. 2003. Potential impacts of climate change on groundwater recharge and streamflow in a central European low mountain range. *J. Hydrol.* 284:244-252.
- Flowers, J. D., J. R. Williams, L. M. Hauck, 1996. Livestock and the Environment: A National Pilot Project NPP Integrated Modeling system: Calibration of the APEX Model for Dairy Waste Application Fields in Erath County, Texas. TIAER pr 96-07.
- Gassman, P.W., J.R. Williams, V.W. Benson, R.C. Izaurralde, L. Hauck, C.A. Jones, J.D. Atwood, J. Kiniry, and J.D. Flowers. 2005. Historical development and applications of the EPIC and APEX models. Working paper 05-WP 397, CARD, Iowa State Univ., Ames, IA.
- Gassman, P.W., J.R. Williams, X. Wang, A. Saleh, E. Osei, L. Hauck, C. Izaurralde, and J. Flowers. 2010. The Agricultural Policy Environmental Extender(APEX) model: An emerging tool for landscape and watershed environmental analyses. *Trans. ASABE.* 55:1447-1462.
- Jung, C.G. J.Y. Park, J.W. Lee, H. Jung, S.J. Kim. 2011. The applicability of SWAT-APEX model for agricultural nonpoint source pollution assessment. *KSAE.* 53:35-42.
- Kim, M.K. S.I. Kwon, G.B. Jung, S.C. Hong, M.J. Choi, S.G. Yun, K.H. So. 2013. Small-scale pond effects on reducing pollutants load from a paddy field. *Korean J Environ Agric.* 32:347-350.
- Knisel, W.G. 1980. CREAMS, A field scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems. U.S. Dept. Agric. Conserv. Res. Rept. No.26.
- Leonard, R.A., W.G. Knisel, and D.A. Still. 1987. GLEAMS: Groundwater loading effects on agricultural management systems. *Trans. ASAE* 30(5):1403-1428.
- Putman, J., J. Williams, and D. Sawyer. 1988. Using the erosion productivity calculator(EPIC) model to estimate the impact of soil erosion for the 1985 RCA appraisal. *J. Soil Water Conserv.* 43(4):321-326.
- Sharpley, A.N. and J.R. Williams, eds. 1990. EPIC-Erosion/Productivity Impact Calculator: 1. Model Documentation. U.S. Dept. Agric. Tech. Bull. No. 1768.
- Williams, J.R., C.A. Jones, and P.T. Dyke. 1984. A modeling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. *Trans. ASAE* 27:129-144.
- Williams, J.R., A.D. Nicks, and J.G. Arnold. 1985. SWRRB, a simulator for water resources in rural basins. *ASCE Hydr. J.*, 111(6): 970-986.
- Williams, J.R. 1995. The EPIC Model. pp 909-1000 In V. P. Singh, Computer models of watershed hydrology, Water Resources Publications, Highlands Ranch, CO.