

출장보고서

I. 출장 개요

1. 출장건명: EPIC모형 설명 및 운영 교육 참가

2. 출장목적:

- EPIC(Environmental Policy Integrated Climate) 모형 연수
- 한국적 EPIC 모형 도입을 위한 사전협의 및 모형 적용가능성 검토

4. 출장기간: 2011년 11월 13일 ~ 11월 17일 (3박 5일)

5. 출 장 자

부서명(기관명)	직 급	성 명
농업관측센터	부연구위원	한석호
농업관측센터	위촉연구원	양현석

6. 방문지역 및 기관

○ 방문지역 : 미국 Texas Temple, Blackland Research and Extention Center

○ 방문일정

일시		장소	내용	출장일자
한국기준	미국기준			
10:50 (13일)	10:50 (13일)	인천-텍사스 달라스 공항→오스틴공항	출발, 도착	1박 1일
	09:00~18:00 (14일)	EPIC모형 프로그램 획득 및 운영 습득	교육참석	1박 1일
	09:00~18:00 (15일)	EPIC모형 설명 및 적용 작물 검토	교육참석	1박 1일
(17일)	16:50 (16일)	킬린공항→텍사스 달라스 공항→인천	귀국	1일

II. 주요 출장결과

1. 개요

- EPIC(Environmental Policy Integrated Climate) 모형
 - 1977년 통과된 자원보호법안으로 미국농림부는 미대륙의 토질과 수질을 주기적으로 조사하기 시작하였음. 법안에 따라 1980년에 처음 조사가 시행되었는데, 토양 오염이 토양생산성에 미치는 영향을 측정하기 위한 새로운 기술이 필요하였음.
 - 이러한 기술적 한계를 지원하기 위해 1980년 초에 미농림부(USDA)의 모형팀에 의해 EPIC((Erosion Productivity Impact Calculator, 오염과 생산성의 상관관계 모델) 모델이 개발되었음.
 - 1985년에 시행된 2번째 조사에서 이 모델이 처음 적용되었는데, 미 전역에 135개 토지에 대한 오염도 조사에 사용되었음. 이후 수질조사 및 대기 중 이산화탄소 변화에 대한 영향 등이 모델에 추가되면서 EPIC(Environmental Policy Impact Climate)으로 계명되었음.
 - 가장 최근의 EPIC 모델은 이산화탄소 순환경로에 따른 영향측정까지 추가되었음.
- 미국 뿐 아니라 세계 여러 지역에서 환경에 영향을 미치는 다양한 요소를 측정하기 위해 EPIC 모델을 많이 적용
 - 적용대상으로는 다른 종류의 경작지, 순환경작지 등 토지용도에 따른 토양 내 침전물 평가와 영양분 손실, 가축 거름으로 인한 토양영양분 손실, 배수시설 설치에 따른 토양 내 질산 손실, 작물방식에 따라 변화하는 영양분 측정, 바람에 의한 침식으로 야기되는 토양손실, 기후변화에 따른 수확량 변화와 토양침식정도, 농약살포에 따른 손실, 관개시설이 수확량에 미치는 영향, 토양온도 예측, 작물방식과 관리방식에 따른 탄소변화량 등이 있음.
 - 농지, 수림지, 기타 광범위한 지역에 농경정책을 결정하는 경제 및 환경 모델 분야에 이르기까지 두루 적용
- EPIC 모형은 기후, 수질, 침식, 양분, 토양온도, 작물성장, 작물환경 조성, 기온, 그리고 경제학적 접근(예산)의 총 9개의 세부항목으로 나눌 수 있음.

- 현장측정 모형으로써, 동일한 날씨, 토양, 주변환경, 작물순환경작, 그리고 관리방식까지 두루 갖춘 관개시설에서 실시.
- 주로 일일단위로 연속적으로 측정하며 100년부터 길게는 1000년까지 측정할 수 있도록 설계되었음.
- 대규모의 작물순환경작과 기타 야생작물 분포까지 포괄적인 작물순환과정이 모형에 적용되었다. 대규모의 관개시설과 기타 관리체계 또한 포함하고 있으며 물에 의한 토양침식을 모의하기 위한 7개의 변수와 잠재적 수분증발을 모의하기 위한 5개의 변수가 적용.

2. EPIC 모형의 적용사례

- EPIC 모형은 자원보호법의 시행을 위해 1985년에 처음 적용
 - 텍사스에 있는 FALL 카운티의 세 개의 작은 수렴지에 토양 수확량과 평균토양 순환율을 비교적 있는 실측통계와 유사한 수준 모의하였고, 아이오와주, 미주리주, 오하이오주의 옥수수과 밀, 콩의 수확량을 모의하였음.
 - 이후 자원보호법에 따른 평가를 위해 12000개의 100년 계획의 EPIC 시뮬레이션을 개발, 각각 다른 작물, 거름, 토양, 온도의 조합과 경제력과 상관관계를 측정하였음.
 - EPIC모형은 지속적으로 발전해왔음. 일부연구에서는 각각의 다른EPIC 기능들을 구체적으로 측정하여 이 중 몇몇 결과를 바탕으로 수정되고 더욱 발전되었음.
 - 또한 특정 사용자 또는 특정부분에 적용을 위해 또 변화된 모형도 있음. EPIC 모형의 트렌드는 수확량, 바람 혹은 물에 의한 토양침식등과 같은 다양한 요소의 변화측정을 위해 발전, 변화하였음. 세부항목은 지역 혹은 특정목적에 위한 측정방식까지 자세히 측정하였음.

■ 작물성장과 수확량 연구

- EPIC 모형의 가장 큰 성과는 작물수확량 예측임. 미국과 다른 나라에서 EPIC의 작물성장과 수확량 예측을 측정하기 위한 연구가 진행되었음. 이러한 연구는 다른 연구와 함께 진행되었는데, 그 중 가장 포괄적인 연구는 작물성장(미국, 아시아, 프랑스, 남미 지역의 옥수수, 쌀, 콩, 해바라기, 밀 등의 수확량)에 관한 연구임.
- 예측한 수확량을 지난 11년간의 과거수확량과 비교하였는데 평균예측 수

확량은 실제 측정수확량의 오차 범위7%이내였으며 95% 신뢰도로 예측량과 실수확량의 큰 차이가 없었음.

- 그러나, 작물에 따라 상관계수 R제곱의 연관성은 0.8(밀)에서 0.2(옥수수)까지 차이가 있었음.

○ EPIC의 다른 연구에서의 예측수확량은 매우 정확하게 그 평균치와 연간 수확량을 모의하였음.

- BRYANT연구는 TEXAS의 BUSHLAND에서 1975년부터77년까지 38개의 관개시설에서 실험하여 1976년에 우박폭풍이 온 후 수확량을 정확히 예측하였음.

- GRAY 연구는 1990년부터 93년까지 실험을 통해 EPIC모형의 시뮬레이션이 실제 옥수수의 생산성과 상관계 수 0.82, 0.85라는 결과를 도출하였음.

- CAVERO연구 역시1994부터 95년까지 캘리포니아의 사크레멘토에서 실험한 결과를 바탕으로 EPIC모형이 특별한 질병문제로 인한 수확량 변화를 제외하고는 매우 정확히 모의하고 있다고 보고한 바 있음.

- ROLOFF연구에서는 캐나다의 온타리오, 안토니오, 퀘백에서의 실험을 통해 대부분이 수확평균치와 생산량이 정확하지만, 옥수수는 그 정확도가 낮다고 보고하였음.

○ 기타 다른 실험들을 통해EPIC모형이 평균치 및 중간치 수확량을 비교적 정확히 예측하지만, 1년 미만의 예측은 변동이 있다고 보고함.

○ 일부 실험연구결과는EPIC모형이 최고수확량을 과소평가하고 최저수확량을 과대평가하는 경향이 있다고 보고. MARTIN연구는EPIC모형을 통해 예측된 수확량과 침식정도사이의 상관관계가 실제보다 낮다고 보고.

- MOULIN과 BECKIE, KINIRY연구의 결론에 의하면, EPIC모형은 캐나다 토양을 기준으로 수확량과 환경에 미치는 영향정도가 장기간 예측일 경우 매우 유용한 측정도구가 될 수 있음.

- TOURE 연구는 기후가 수확량에 미치는 영향에 있어서EPIC모형이 가장 정확하다고 보고. 비록 많은 연구결과들이 EPIC모형이 비교적 정확하다고 보고하고 있으나, 여전히 많은 수정을 통한 보완이 필요함.

2. 주요 내용

2.1. 주요 변수

- EPIC 모형에서는 기후, 작물 환경 제어, 수문학, 토양침식, 거름침식, 영양소, 농약, 토양온도, 작물 성장 모형, 경작지, 경제변수(경영비) 등 11개의 대분류를 기준으로 다음의 다양한 변수가 고려됨.

<EPIC 모형 주요 변수 1>

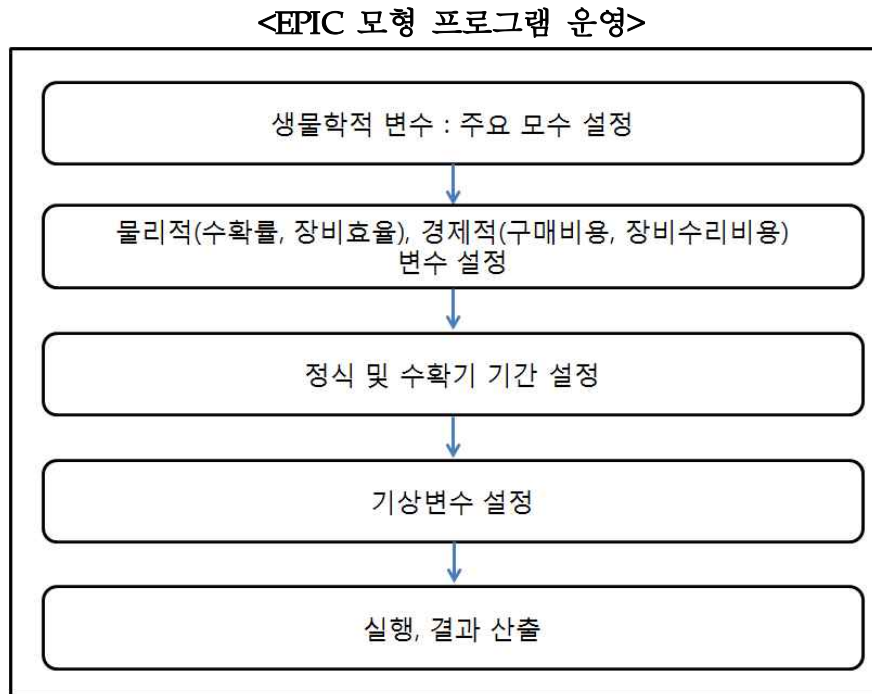
변수	내용
2 1 WEATHER	기후
Precipitation	강수량
Point rainfall	단일지점 강우량
Spatially distributed rainfall	공간분포 강우
Air Temperature and Solar Radiation	기온과 태양복사
Wind	바람
Relative Humidity	상대습도
2 2 HYDROLOGY	수문학
Rainfall Interception	강우수면
Surface Runoff	표면유출
Runoff Volume	유출량
Subsurface Flow	저류(복류)
Evapotranspiration	증발산량
Potential Evaporation	가능증발량
2 3 SOIL EROSION	토양침식
Water	수분
Rainfall/Runoff	강수/유거수(땅위를 흐르는 빗물)
Irrigation	관개
Wind	바람
Soil Erodibility Factor	토양 침식요인
Roughness Factor	조도 요인
Vegetative Cover Factor	식생포설요인
Unsheltered Distance Factor	노출요인
2 4 MANURE EROSION	거름침식

<EPIC 모형 주요 변수 2>

변수	내용
2 5 NUTRIENTS	영양소
Nitrogen	질소
Denitrification	탈질소
Carbon and Nitrogen Cycling and Transformations	탄소-질소 순환 및 변화
Nitrification	질소화합
Volatilization	휘발
Rainfall	강수
Phosphorus	인
Soluble P Loss in Surface Runoff	지표수의 수용성 인 유실
P Transport by Sediment	퇴적으로 인한 인 변환
Mineralization	무기화
Mineral P Cycling	무기 인 순환
2 6 PESTICIDE FATE	농약
2 7 SOIL TEMPERATURE	토양온도
2 8 CROP GROWTH MODEL	작물 성장 모형
Potential Growth	잠재성장
Water Use	용수
Nutrient Uptake	양분흡수
Nitrogen	질소
N Fixation	질소고정
Phosphorus	인
Growth Constraints	성장 제약
Biomass	생물량
Water Stress	수분 부족
Temperature Stress	기온부족
Nutrient Stress	질소부족
Aeration Stress	탄산 가스 부족
Root Growth	뿌리 성장
Crop Yield	작물 수확량
Plant Competition	식물 경합
Winter Dormancy	동계 휴면
2 9 TILLAGE	경작지
2 10 PLANT ENVIRONMENT CONTROL	작물 환경 제어
Drainage	배수
Irrigation	관개
Fertilization	비옥화
Liming	석회질
Pests	병해충
Furrow Diking	수로
2 11 ECONOMICS	경제변수(경영비)

2.2. 프로그램 운영

- EPIC 모형의 프로그램 운영은 아래의 그림을 따름.



- 생물학적 주요변수는 강수량, 대기 중 이산화탄소, 바람침식요인, 질산 등 총 70개의 변수로 구성되어 있음.
- 물리적, 경제적 변수는 각 17개, 11개로 구성되어 있음.
- 정식 및 수확기 기간을 월, 일 단위로 입력, 가용한 기간의 기상변수를 포함하여 분석을 실시함.
- 생물학, 물리적, 경제적 변수는 미국 현지에서 확보할 수 없는 자료이므로, 한국(전라남도)의 기상요인만을 고려하여 분석을 실시함.
- 생물학적 요인은 텍사스 벨(Bell) 지역과 동일함.

<EPIC 모형 프로그램 운영: 생물학적 변수 모수 설정>

itor - WinEPIC0810 - , - TEXAS CENTRAL Korea.MDB units = Metric

Select by Record Number Select by Control Record Name

Edit Record

	EPIC	Variable	Default	Current	New
30	RFN0	Average concentration of nitrogen in rainfall (ppm)	0.8	0.8	
31	CO2	CO2 concentration in atmosphere (ppm)	330	330	
32	CNO30	Conc. of NO3 in irrigation water (ppm)	0	0	
33	CSALT	Conc. of salt in irrigation water (ppm)	0	0	
34	PSTX	Pest damage scaling factor	1	1	
35	YWI	Number years of max. monthly .5 hour rainfall record	10	10	
36	BTA	Coeff. used to est. wet-dry prob. given mon. wet days	0.75	0.75	
37	EXPK	Parameter used to modify exp rain distribution	0	0	
38	FL	Wind run Length (km)	2	2	
39	FW	Wind run width (km)	1	1	
40	ANG0	Clockwise angle of field length from North	0	0	
41	STD0	Standing dead crop residue (t/ha)	0	0	
42	UXP	Power parameter of modified exp dist of wind speed.	0.3	0.3	
43	DIAM	Soil particle diameter (UM)	500	500	
44	ACW	Wind erosion control factor	0	0	
45	BIR	Irrigation trigger	0	0.95	
46	EFI	Runoff volume / volume irrigation water applied	0	0	
47	VIMX	Max annual irrigation volume allowed (mm)	2000	2000	

<EPIC 모형 프로그램 운영: 물리적, 경제적 변수 모수 설정>

WinEPIC0810 location = Central Texas, TX (Database name = TEXAS CENTRAL Korea.MDB) - Setup - Edit tillage units = MET.

File Settings Tools

Editing: Plant - Activity #: 766 (IHC : 6)

Default activity name

Current activity name

This activity has been added (No defaults)

Physical				Economic			
Description	Default	Current	New	Description	Default	Current	New
Type		NON		Purchase price(\$)		19	
Power of Unit(KW)		0.0		Initial list price in current(\$)		21	
Width of pass(m)		4.3		Annual use (H)		70	
Operation speed(km/h)		5.8		Life of Equip (H)		1200	
Fraction Mixing efficiency		0.2		Repair cost coef 1		0.32	
Random surface roughness(mm)		10.00		Repair cost coef 2		2.1	
Tillage depth(mm)		50.00		Lubricant factor		0.1	
Ridge Height(mm)		25.00		Fuel consump. mult. (Liter)		.000	
Ridge interval(m)		0.3		Remaining farm value parm 1		0.6	
Harvest efficiency (Fract.)		0		Remaining farm value parm 2		0.885	
harvest index (Forage, root crops)		0.0		Annual real interest (\$/\$)		0	
Fraction plant pop. reduced by oper.		0					
Fraction runoff from Irrigation ops		0.00					
Fraction Machine efficiency		0.7					
Type of Irr. Distribution system		0					
Height of furrow dikes(mm)		0					
Distance between furrow dikes(m)		0					
Fraction of soil compacted		0					
Manufactured Carbon Emission(kg/ha)		6.79					

<EPIC 모형 프로그램 운영: 정식 및 수확기 기간설정>

WinEPIC0810 location = Central Texas, TX (Database name = TEXAS CENTRAL Korea.MDB) - Setup - Edit budgets

File View Run About

Rice-Flood Irrigation-No Till ()

Type operation (Crop)	Operation	Year	Month	Day
Furrow dke [Rice]	BUILD RICE PADDY	1	March	1
Puddle [Rice]	PUDDLE RICE PADDY	1	March	15
Irrigate [Rice]	IRRIGATION, FLOOD, TEXAS	1	April	1
Plant [Rice]	Korean Rice planter	1	May	1
Puddle [Rice]	PUDDLE, STOP	1	August	15
Harvest [Rice]	COMBINE, 4 WD	1	September	21
Kill [Rice]	KILL (STOP GROWTH OF PLANT PERMANENTLY)	1	September	30

Click in a data box to edit that item

Add Operation

Set Budget To Default

<EPIC 모형 프로그램 운영: RUN설정, 기상변수>

User ID: Default User

Farm: Sample Farm

Site: Sample Field Flood

Soil Location: Bell, TX

Site size(ha): 40.5

Latitude: 31.01000

Longitude: 97.48030

Elevation (m): 202

Zone Name: Entire field

Switch to Field entry mode

Clear All Fields

Soil: BRACKETT (8k8) (CL) : 1 - 3%

Weather Station: Korea2

This Weather Station's observations begin on 1.1.1973 and end on 1.31.2011

Control: K Rice

Cropping System: Rice_Flood Irrigation_No Till

Land Condition: Straight Row (Good Infiltration)

Comment:

Save WinEPIC0810 run

<EPIC 모형 프로그램 운영: 단수산출결과>

모든 Access 개체	RT#	Year	Crop Full Name	EPIC Cro	EPIC Croj	Grain	Yield (t/ha)	Forage Yie
BIOWASS_ROOT_WEIGHT_YEARLY	3	1992	Rice	18	RICE		5.126	
Conversion settings	4	1993	Rice	18	RICE		4.026	
COST_ANNUAL	5	1994	Rice	18	RICE		3.214	
CROP_STRESS_DAILY	6	1995	Rice	18	RICE		4.031	
CROP_STRESS_MONTHLY	7	1996	Rice	18	RICE		1.77	
CROP_SUMMARY_YEARLY	8	1997	Rice	18	RICE		1.948	
CROP_YEARLY	9	1998	Rice	18	RICE		4.237	
Definitions	10	1999	Rice	18	RICE		3.093	
Fuel_Use_Annual	11	2000	Rice	18	RICE		3.761	
GENERAL_DAILY	12	2001	Rice	18	RICE		4.211	
GENERAL_INFO	13	2002	Rice	18	RICE		5.761	
GENERAL_SUMMARY_YEARLY	14	2003	Rice	18	RICE		5.504	
GENERAL_YEAR	15	2004	Rice	18	RICE		2.841	
Grain & Forage Moisture	16	2005	Rice	18	RICE		4.665	
HYDROLOGY_DAILY	17	2006	Rice	18	RICE		2.413	
PESTICIDE_DAILY	18	2007	Rice	18	RICE		5.499	
PESTICIDE_MONTHLY	19	2008	Rice	18	RICE		3.723	
PESTICIDE_YEARLY	20	2009	Rice	18	RICE		2.964	
PRECIPITATION_MONTHLY	21	2010	Rice	18	RICE		4.731	
SOIL_DAILY	22	2011	Rice	18	RICE		4.213	
SOIL_FIELD	*	0	0	0			0	

<EPIC 모형 프로그램 운영: 100년 기간설정 단수산출결과>

RT#	Year	Crop Full Name	EPIC Cro	EPIC Croj	Grain	Yield (t/ha)	Forage
82	2071	Rice	18	RICE		2.016	
83	2072	Rice	18	RICE		2.728	
84	2073	Rice	18	RICE		2.865	
85	2074	Rice	18	RICE		2.299	
86	2075	Rice	18	RICE		2.497	
87	2076	Rice	18	RICE		3.34	
88	2077	Rice	18	RICE		3.541	
89	2078	Rice	18	RICE		3.622	
90	2079	Rice	18	RICE		3.67	
91	2080	Rice	18	RICE		2.059	
92	2081	Rice	18	RICE		4.713	
93	2082	Rice	18	RICE		4.621	
94	2083	Rice	18	RICE		4.124	
95	2084	Rice	18	RICE		4.468	
96	2085	Rice	18	RICE		2.577	
97	2086	Rice	18	RICE		4.793	
98	2087	Rice	18	RICE		5.006	
99	2088	Rice	18	RICE		2.371	
100	2089	Rice	18	RICE		4.302	
*	0	0	0			0	

2.3. 모형비교 및 결론

- 모형곡물팀에서 개발하고 있는 기상요인을 고려한 단수예측모형과 EPIC 모형을 비교한 표임.

<단수예측모형 과 EPIC 모형 비교>

	기상요인을 고려한 단수예측모형	EPIC 모형
학술 기반	통계학, 계량경제학	식물학, 환경공학
단수산출방법	Estimation	calibration
주요변수	기상요인 (평균기온, 강수량, 일교차)	식물학적 요인 (토지생산성, 침식, 양분, 토양온도 등)
결과	시나리오에 따른 단기 확률 분포 (전년대비, 평년대비)	시뮬레이션에 따른 중장기 점추정 (100년~1000년)
예측오차	예측오차 조정가능	불가
작물성장	식물학적 요인 고려 불가	모형의 모든 변수가 작물성장 요인임
기술변화	Trend를 통해 조정 가능	불가
연구범위	단수통계 공표 지역 (쌀:130개 시군)	calibration에 필요한 실험통계가 가용한 지역 전체

- EPIC 모형과 기상요인을 고려한 단수예측모형은 개별적인 단점을 극복할 수 있는 특징을 가지고 있음.
 - 이에 단수예측모형을 보다 개선한 후 EPIC 모형과의 통합 방안을 모색하는 것이 필요함.
- EPIC 모형에 포함되는 다양한 변수 중 일부는 국제기준을 바탕으로 한국의 조사결과가 존재함.
 - 식물학적 요인들을 실험통계를 통해 모수를 추정하는 과정이 일부 필요함.