

SWAT ArcView GIS Extension Patch를 이용한 소유역 분할에 따른 수문 및 유사 거동에 미치는 영향 평가

허성구 · 김남원* · 박윤식 · 김종건 · 김성준** · 안재훈*** · 김기성 · 임경재†

강원대학교 농업공학부
*한국건설기술연구원
**건국대학교 지역건설공학과
***농촌진흥청 고령지농업연구소

Evaluation of Effects on SWAT Simulated Hydrology and Sediment Behaviors of SWAT Watershed Delineation using SWAT ArcView GIS Extension Patch

Sunggu Heo · Namwon Kim* · Younshik Park · Jonggun Kim · Seong-joon Kim**
Jaehun Ahn*** · Ki-sung Kim · Kyoung Jae Lim†

Division of Agricultural Engineering, Kangwon University
*Korea Institute of Construction Technology

**Department of Rural Engineering, Konkuk University

***National Institute of Highland Agriculture, Rural Development Administration

(Received 19 November 2007, Accepted 21 January 2008)

Abstract

Because of increased nonpoint source runoff potential at highland agricultural fields of Kangwon province, effective agricultural management practices are required to reduce the inflow of sediment and other nonpoint source pollutants into the water bodies. The watershed-scale model, Soil and Water Assessment Tool (SWAT), model has been used worldwide for developing effective watershed management. However, the SWAT model simulated sediment values are significantly affected by the number of subwatershed delineated. This result indicates that the SWAT estimated watershed characteristics from the watershed delineation process affects the soil erosion and sediment behaviors. However, most SWAT users do not spend time and efforts to analyze variations in sediment estimation due to watershed delineation with various threshold value although topography falsification affecting soil erosion process can be caused with watershed delineation processes. The SWAT model estimates the field slope length of Hydrologic Response Unit (HRU) based on average slope of subwatershed within the watershed. Thus the SWAT ArcView GIS Patch, developed by using the regression relationship between average watershed slope and field slope length, was utilized in this study to compare the simulated sediment from various watershed delineation scenarios. Four watershed delineation scenarios were made with various threshold values (700 ha, 300 ha, 100 ha, and 75 ha) and the SWAT estimated flow and sediment values were compared with and without applying the SWAT ArcView GIS Patch. With the SWAT ArcView GIS Patch applied, the simulated flow values are almost same irrespective of the number of subwatershed delineated while the simulated flow values changes to some extent without the SWAT ArcView GIS Patch applied. However when the SWAT ArcView GIS Patch applied, the simulated sediment values vary 9.7% to 29.8% with four watershed delineation scenarios, while the simulated sediment values vary 0.5% to 126.6% without SWAT ArcView GIS applied. As shown, the SWAT estimated flow and sediment values are not affected by the number of watershed delineation significant compared with the estimated flow and sediment value without applying the SWAT ArcView GIS Patch.

keywords : Hydrological Response Unit (HRU), Soil and Water Assessment Tool (SWAT), Soil Erosion, SWAT ArcView GIS Extension Patch

1. 서론

비점오염원은 1980년 이후 수질문제의 중요한 요소로 인

식되어오고 있다. 자연적, 인위적인 원인 및 종류의 다양함과 광역적인 분포로 인한 그 양의 막대함으로 오염원을 저감하기에는 많은 제약이 동반한다. 그러나 점원 오염원의 경우 하수처리장, 배출구, 공장의 굴뚝 등과 같이 오염물질이 좁은 배출경로를 통하여 배출되는 오염원으로 점진적인 환경기초 시설의 확충과 적절한 운영 시스템을 사용한다면

† To whom correspondence should be addressed.
kjlim@kangwon.ac.kr

점진적으로 저감될 수 있다. 그 중 강원도 지역은 비점오염원 중 농업비점오염원에 상당히 많이 노출되어 있다. 지형적인 특성상 고랭지 농경지 지역의 대부분이 경사진 지역에 위치하여 강우 시 유출과 함께 유기물, 영양분, 부유물질, 미생물 및 유해화학물질 등이 토양유실 발생 시 수계 유입으로 수질 및 생태계를 악화시키고 있다. 또한 고랭지 지역은 매년 연작피해, 병충해 예방, 작물 생산성 향상 등을 위해 원 지반에 새로운 토양 30~50 cm 정도 객토를 시행하고 있다(전만식과 김법철, 2005). 객토의 양은 농민에 따라서도 차이가 커서 전체적인 객토 양은 사실상 추정하기 어려운 실정이다. 과거에는 엄두도 내지 못했던 객토를 중장비나 농기계의 보급으로 객토가 용이해진 것만은 사실이다. 농경지 객토된 토양은 구조상 강수에 따른 유출로 인해 상당량이 쉽게 유실되는 경향이 있고, 토양에 흡착된 농약 및 비료 등의 오염물질이 수계로 유입되어 수계 내 탁수 및 부영양화의 요인(허성구 등, 2007)이 되며, 토목공사 및 강원도의 수해로 발생하는 산사태 등이 수계로 유입 시 비점오염으로 심각한 수질 문제를 야기시킨다. 이러한 수질 문제 및 비점오염원의 효율적인 관리 방안과 저감할 수 있는 대책을 수립해야만 한다. 하지만 방안 수립 시 연구인력 및 소요경비를 감안할 때 한계가 있다. 이러한 문제점을 해결하고 대단위 유역에서의 효과적인 비점오염 관리를 위해서 모델링 기법이 많이 이용되고 있으며, 그 중 많이 이용되고 있는 유역 단위 모델 중 대표적인 모형인 Soil and Water Assessment Tool(SWAT) 모형은 농업 비점오염원에 의한 수문 순환을 고려하며 공간적인 변이 따른 모의 방법도 가능하며, Geographic Information System(GIS) 기반의 모형으로써 수문 및 수질현상의 시간적·공간적 변화를 모의할 수 있는 시스템이다. 입력 자료인 일 기상자료를 이용하여 고랭지 지역과 같은 기상변화가 심한 지역의 수문 및 수질 현상 모의도 가능하며, 토양과 토지이용 및 관리 상태에 따라 반응한 대규모 유역의 물과 토사유출 및 농업화학물질 거동에 대한 토지관리 방법의 영향도 예측 가능한 모형이라서 우리나라에서도 SWAT 모형을 이용하여 많은 연구가 진행되고 있다. 연구 사례를 보면 김철걸 등(2005)은 대규모 유역인 소양강 댐 상류유역에 대해 유출 및 유사, 비점오염 관련 매개변수를 보정하여 본 대상유역에 대한 비점오염 모델링에 대한 적용성을 평가하여 분석하였고, 김남원 등(2003)은 SWAT 모형의 유출 요소에 영향을 미치는 매개변수를 선정하여 그 특성을 고찰하고, 매개변수의 변화에 따른 모형의 반응을 검토하여 유역에 적용하여 모형의 보정 및 검증에 대한 정보 등을 제공하였다. 또한 박윤식 등(2007)은 2002년 태풍 루사와 2003년 태풍 매미로 인하여 고탁도의 탁수가 발생한 입하댐 유역에 대한 수문 및 유사 거동의 시·공간적 분석을 위해 SWAT 모형을 적용하였다. 하지만 위와 같이 대부분의 SWAT 모형을 이용한 연구사례를 살펴보면 SWAT 모형의 운영 및 정확성을 평가하기 모형의 매개변수에 대한 연구와 조정을 통한 보정 및 검증 작업 연구를 실시하였다. 그러나 유역 단위 모형인 SWAT은 모형의 보

정 및 검증 작업 이전에 소유역에 대한 명확한 설정 기준 없이 기본 값으로 소유역을 구분하고, 모형의 입력자료 변화를 통한 모형의 보정 및 검증을 수행한다. 그러나 허성구 등(2006)은 강원도 평창군 도암댐 유역에 SWAT 모형의 거동 특성과 도암댐 유역에서의 SWAT 적용 시 적정한 소유역 분할에 대한 기준을 제시할 목적으로 시행착오법을 이용하여 연평균 유량 및 유사량, T-N, T-P의 변화량을 검토하였으나 소유역 개수의 변화에 따라 유량 모의는 큰 차이가 발생하지 않았지만 유사량 및 영양물질의 차이는 많이 발생하여 소유역 분할에 따른 소유역 크기와 수가 모의 예측치에 상당히 많은 영향을 주는 것으로 분석되었다. 또한 장경수 등(2007)은 낙동강 제1지류이자 국제 수문개발 계획(International Hydrologic Project, IHP)의 국내 대표 유역 중 하나인 위천 유역을 대상으로 소유역 분할(1~119) 개수를 달리하여 연평균 유출량, 유사량 및 환경인자(T-N, T-P)의 변화량을 통해 소유역 분할 시 63개 소유역 수가 위천 유역내 하천을 최적으로 표현하였다고 분석하였다. Manoj Jha 등(2002)은 SWAT 모형을 이용하여 아이오와 4개의 유역에 대하여 소유역 분할(10~50)개수를 달리 적용하였을 경우의 그에 따른 유출량, 유사량 및 농업비점오염 물질에 대하여 연구를 수행하였다. 그 결과 표면유출량의 경우 소유역 분할 개수 증가에 따른 민감도의 영향을 그리 많이 받지는 못하였으나, 유사량의 경우 소유역 분할 개수 증가 시 경사장과 경사도의 변화 따라서 모의 결과 값에 민감하게 영향을 받는 것으로 분석되었다. 그러나 위와 같은 소유역 분할에 따라 모의 값들이 차이가 발생하는 실제 원인은 SWAT 모형이 유역의 평균 경사도 산정에 따른 경사장 산정 문제로 발생하는 것이다. 즉 SWAT 모형은 대상유역의 DEM을 이용하여 유역의 평균 경사도를 산정하고 평균 경사도와 경사장과의 관계를 이용하여 평균 경사장을 계산하여 모의를 한다. 그러나 기존의 SWAT 모형은 전반적으로 미국 지형의 경사가 완만한 지역에 적합하게 개발되어 왔기 때문에 우리나라와 같이 산세가 험하고 경사가 급한 지역에 적용하기에는 무리가 있다.

따라서 본 연구의 목적은 소유역 구분에 따라 SWAT 예측값에 많은 영향을 미치는 것으로 판단되어 기존의 SWAT ArcView GIS Extension 기능의 경사도와 경사장 관계를 수정하여 개발한 패치(임경재 등, 2007)를 이용하여 임계면적에 따른 소유역 개수(700 ha(13), 300 ha(31), 100 ha(77), 75 ha(101))를 달리하여 기존 SWAT ArcView GIS Extension과 SWAT ArcView GIS Extension Patch 기능을 사용하였을 경우 소유역 분할에 따른 유출량 및 유사량 전/후 차이를 비교 분석하는데 있다. 향후 본 연구 결과는 SWAT 모형을 이용하여 소유역 분할시 매개변수 조정에 통해 모형의 정확성을 평가하기 이전에 SWAT ArcView GIS Extension Patch 기능을 사용함으로써 소유역 분할에 따른 모의 예측치의 영향을 감소시켜 줄 수 있을 것으로 판단된다.

2. 연구방법

2.1. 연구지역 선정

연구 대상지역은 강원도 평창군 대관령 면에 속하는 도암댐 유역으로 도암호의 집수구역이다. 위치는 동경 128° 37'~128° 47', 북위 38° 35'~38° 47' 이다. 송촌 본류의 길이는 약 29.5 Km²이며 유역면적은 145.6 Km²로 대관령 면(221.6 Km²)의 65%를 차지한다. 대관령 면 면적은 평창군 전체 면적(1463.7 Km²)의 15.2%에 해당되며, 이 중 농경지와 초지는 각각 31.7%와 2.3%를 차지한다. 반면, 산림이 61.8%를 차지하는 전형적인 산지 고원 지역이다(허성구 등, 2005). Fig. 1은 평창군 대관령면의 도암댐 수계를 나타내고 있다.

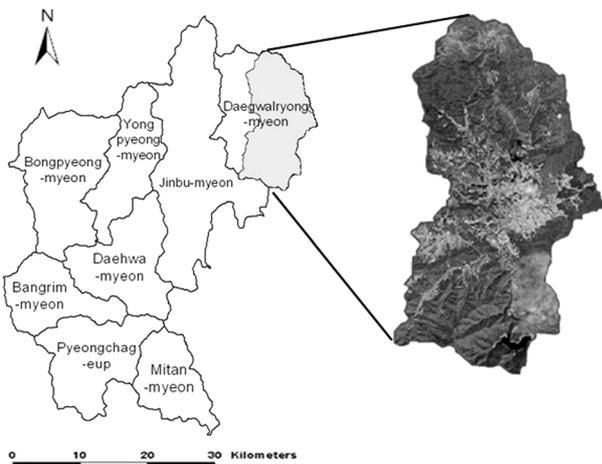


Fig. 1. Location of the doam-dam watershed at pyeongchang, kangwon-do.

2.2. SWAT 모형 적용

2.2.1. SWAT 모형 개요

SWAT 모형은 미국 농무성의 농업연구국(Agricultural Research Service, ARS)에서 개발한 유역단위의 모형이다.

이 모형은 미국 농무성에서 개발하여 이용해 온 CREAMS 모형, GREAMS 모형 및 EPIC 모형과 같은 농업연구국 모형들을 결합하여 만들었다(Arnold and Srinivasan, 1994). 특히 SWAT은 강우-유출모형과 수질모형이 GIS와 연계된 호환모형로서 장기 유량과 수질을 모의할 수 있으며, 미계측 지역에서는 모의도 가능하며, 경작형태나 기후·식생 등의 변화에 따른 수질의 상대적 효과도 정량화할 수 있는 특성을 지니고 있다. Fig. 2는 SWAT 모형의 입력 자료와 출력자료를 보여준다. SWAT 모형을 이용하여 수문 및 수질을 시·공간적으로 분석하기 위해서 시간적으로 변화하는 기상자료(일 강수량, 기온, 풍속, 일조량, 상대습도)와, 공간적으로 변화하는 토지이용현황, 토양속성, 그리고 지형자료 등이 필요하다. Fig. 2에서 보이는 바와 같이 SWAT 모형은 유역에서의 토지이용에 따라 발생하는 비점오염원과, 유역내 소하천별, 소유역별, 그리고 소유역내 수문학적 반응단위별 유출량, 토양유실을 모의한다(허성구, 2006). 또한 SWAT 모형은 소유역 분할 시 소유역 분할에 따른 소유역의 평균경사도를 통해 소수계의 각 HRU의 경사장을 산정하는데 있어 경사장 산정 시 경사도가 25% 이상인 급한 지형에서는 0.05m로 일괄적으로 사용되도록 개발되었다(Arnold and Srinivasan, 1994).

2.3. SWAT 모형의 입력자료 구축

2.3.1. 기상자료

SWAT 모형의 운영에 필요한 기상자료는 장기 일 강우(mm), 일 평균풍속(m/sec), 일 평균상대습도(%), 일 최고온도(°C)·일 최저온도(°C), 일 수평면일사량(MJ/m²)이다. 기상청에서는 일 수평면일사량(MJ/m²) 자료를 제공하지 않기 때문에, 국가수자원관리종합정보(2007)를 이용하여 SWAT에서 필요한 일 수평면일사량(MJ/m²)을 구축하였고, 다른 기상자료는 1974년 1월 1일부터 2007년 6월 28일까지 측정된 대관령 지역의 기상데이터를 이용하였다.

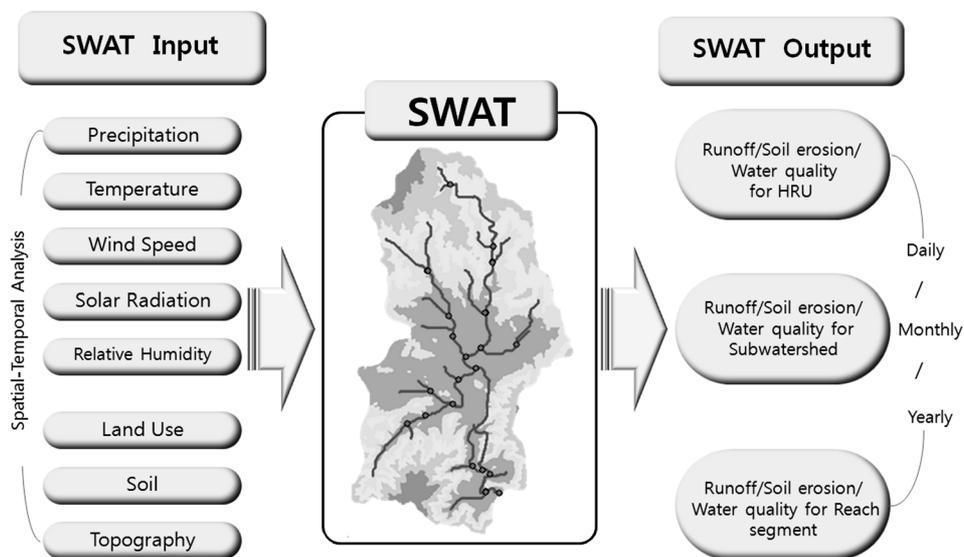
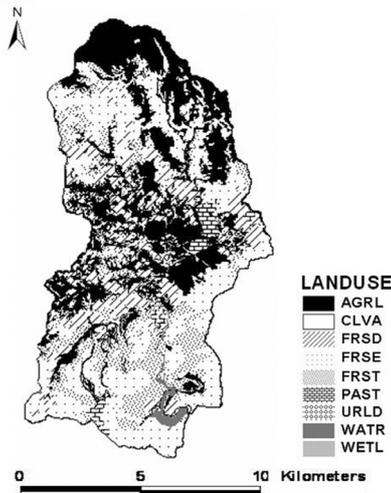


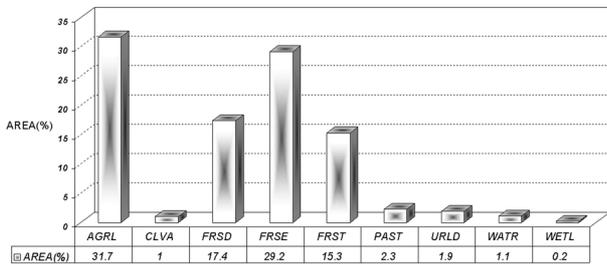
Fig. 2. Overview of the swat model - model input/output parameters.

2.3.2. 토지이용도

도암댐 수계내 토지이용현황은 환경부 환경지리정보(EGIS)에서 배포하는 2000년 1/25,000의 대분류 수치 토지피복도 자료를 이용하였다. 도암댐 유역의 토지 이용 분류는 산림(FRSD, FRSE, FRST)이 61.8%를 차지하며, 농업지역(AGRL)이 31.7%, 시가화(URLD) 1.9%, 초지(PAST) 2.3%, 습지(WETL) 0.2%, 나지(CLVA) 1.0%, 수역(WATR) 1.1% 각각 차지하고 있다. Fig 3(a)와 (b)는 도암댐 유역의 토지 이용 현황도를 나타내는 것이다.



(a) Land uses at doam-dam watershed



(b) Land use classification at doam-dam watershed

Fig. 3. Land cover/land use at the doam-dam watershed (egis, 2000).

2.3.3. 객토속성 고려한 토양도

도암댐 수계내 토양속성은 농촌진흥청 농업과학기술원(농촌진흥청 농업과학기술원, NIAST, 2000)에서 제공해 주는 정밀토양도(1:25,000)를 사용하였다. 하지만 도암댐 유역내 고랭지 농경지에서는 매년 연작 피해, 병충해 예방, 작물 생산성 향상 등을 위해 객토가 지속적으로 많은 양의 객토가 성행하고 있어 토양유실 및 탁수발생을 가중시키고 있다. 따라서 본 연구에서는 대상유역에 대한 객토 속성을 고려한 토양 데이터베이스를 수정 구축하기 위하여 2006년 9월 13일 강원도 평창군 도암댐 유역 고랭지 농경지의 객토 토양 시료를 채취하여 비중계 실험 및 체가름 분석을 통한 입도 분석을 수행하였다(허성구 등, 2007; Fig. 4). 분석 결과 자갈 함량 20%, 모래 함량 61%, 실트 함량 19.4%, 점토 함량 6.1%인 사양토(SL)로 분석되었다. 구축된 객토



Fig. 4. Soil hydrometer test.

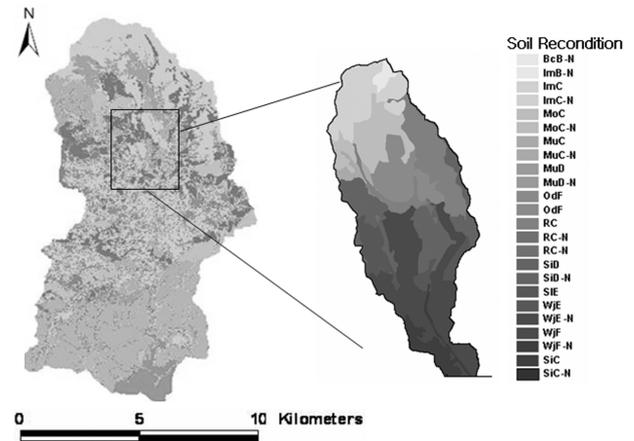


Fig. 5. Soil distribution map using soil properties of reconditioned soil at agricultural field.

토양도를 토지이용과 중첩하여 객토 속성을 고려한 토양도를 이용하였다(Fig. 5).

2.3.4. DEM (Digital Elevation Model)

SWAT 모형의 수치표고모형(Digital Elevation Model, DEM)을 구축하기 위해 환경부에서 발행한 도암댐 유역의 1:5,000 수치지도와 ArcView GIS 프로그램을 이용하였다. DEM의 격자(Cell)크기 결정에 있어 모의 시간의 효율성과 모의결과의 정확성을 고려하여 격자 크기는 5 m × 5 m로 하여 DEM을 구축하였다(Fig. 6).

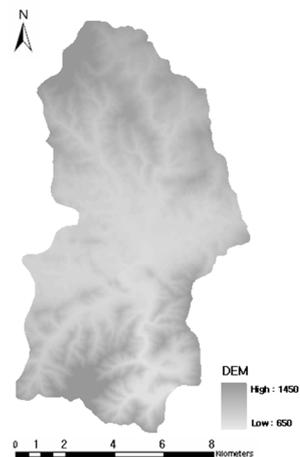


Fig. 6. Digital elevation model at the doam-dam watershed.

2.3.5. SWAT 모형의 소유역 구분 및 HRU 생성

SWAT 모형의 소유역 구분을 위해 Neighborhood Technique(Srinivasan and Engel, 1991)를 이용하여 월류 경사를 추정하고 구분하고 있다. 즉 대상유역에 대한 소유역은 DEM 분석으로부터, 하천망 생성을 위한 임계값을 조정하여 자동 분할된다. 이 임계값은 하천 시점을 형성하기 위한 최소한의 배수면적을 의미하며, 이 값에 따라 생성되는 하천망의 밀도가 좌우되며 이에 따라 Neighborhood Technique에 의해 소유역 분할 및 소유역 수가 결정된다(김철경과 김남원, 2005). 따라서 본 연구에서는 SWAT 모형의 거동특성과 도암댐 유역에서의 적정한 수준의 소유역 분할에 대한 기준을 제시하기 위해 소유역 분할시 수자원 단위지 상의 하천망을 표현할 수 있는 최적의 임계값을 시행착오법을 적용하여 하천 생성을 위한 최소배수면적(임계면적)을 변화시켜가며 최적의 소유역 수를 산출하였다. 또한 소유역의 복합적인 특성을 반영하기 위해 각 소유역별 토지이용과 토양특성을 고려한 수문학적 반응 단위인 HRU를 설정하였다. 지표면, 지표하, 지하수의 수문성분은 개개의 HRU에 대해 각각의 수문성분량을 산정한 다음 소유역에 대하여 지체된 후 합산되며 이렇게 합산된 각 수문성분량이 소유역의 주 수로에 유입된다고 가정하여 상류 소유역에서 하류 소유역으로 하도추적이 이루어진다(김남원 등, 2006). 따라서 본 연구에 있어 각 소유역별 HRU 수와 종류를 분석하였고, Definition of Landuse & Soil distribution 과정 중 면적비율을 모두 0%로 설정하여 HRU 생성 시 모든 공간적인 특성을 반영하였고(허성구 등, 2006), 최적의 소유역 수를 산출하기 위해 Watershed Delineation 작업 중 Stream Definition Threshold Area (ha) 값을 700 ha, 300 ha, 100 ha, 75 ha로 임계값 변화를 주어 소유역 개수 13개, 31개, 77개, 101개로 구역 분할되었다(Fig. 7). 또한 소유역 분할 정도에 따른 경사도가 25% 이상일 때 소유역의 경사장이 0.05 m로 짧아진 소유역의 개수는 13(6)개, 31(16)개, 77(39)개, 101(59)개로 분석되었다. 본 연구에서는 SWAT 모형의 소유역 분할에 따라 모의 예측 유량 및

유사량 산정 시 결과 값에 영향을 최소화하기 위해 SWAT 입력 자료인 기상자료, 토지이용도, 토양도 등의 자료는 모두 동일하게 적용하여 수계를 추출하였다.

2.3.6. SWAT ArcView GIS Extension Patch

허성구 등(2006)은 도암댐 유역에 SWAT 모형의 거동특성과 적정한 수준의 소유역 분할을 위해 시행착오법을 적용하여 최적의 하천 생성을 위한 임계면적을 변화시켜가며 소유역 수에 따른 평균 유량, 유사량, T-N, T-P의 변화량을 검토하였다. 그 결과 소유역 분할 시 SWAT 소유역 개수 변화에 따라 모의 유량은 큰 차이가 발생하지 않았지만, 모의 유사량 및 영양물질은 차이가 많이 발생하였다. 그렇다면 대부분의 SWAT 운영자들은 많은 시간을 소비하면서 변수를 조정하여 모형의 정확성 평가를 하기 위해 보정(Calibration) 및 검증(Validation) 작업을 통해 모형의 정확성을 평가한다. 하지만 사전에 정확한 유역 내 소유역 분할이 이루어지지 않는다면 변수조정을 통해 정확성을 평가하는데 있어 한계가 발생한다. SWAT 모형은 DEM을 이용하여 유역의 평균 경사도를 산정하고 평균경사도와 경사장과의 관계식을 이용하여 평균 경사장을 계산한다. 그러나 기존의 SWAT 모형은 전반적으로 미국 지형의 경사가 완만한 지역에 적합하게 개발되어 왔기 때문에 우리나라와 같이 산세가 험하고 경사가 급한 지역에 적용하기에는 부적절할 수 있다. 또한 SWAT 모형은 소유역의 평균경사를 통해 소수계의 각 HRU의 경사장을 산정한다. Fig. 8은 SWAT 모형은 분할된 소유역의 경사장 산정 시 경사도가 25% 이상의 급한 지형에서는 0.05 m로 일괄적으로 사용하도록 되어 있다(Arnold and Srinivasan, 1994).

이러한 소유역마다 경사장 산정의 오류는 예측 유사량 모의 결과에 상당히 많은 영향을 미칠 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 경사장과 경사도 관계를 이용하여 개발한 SWAT ArcView GIS Extension Patch(임경재 등, 2007) 기능을 적용하였다. 본 기능은 기존의 SWAT 모형에서의 경사장과 경사도 관계에 따른 경사도 25% 이상인

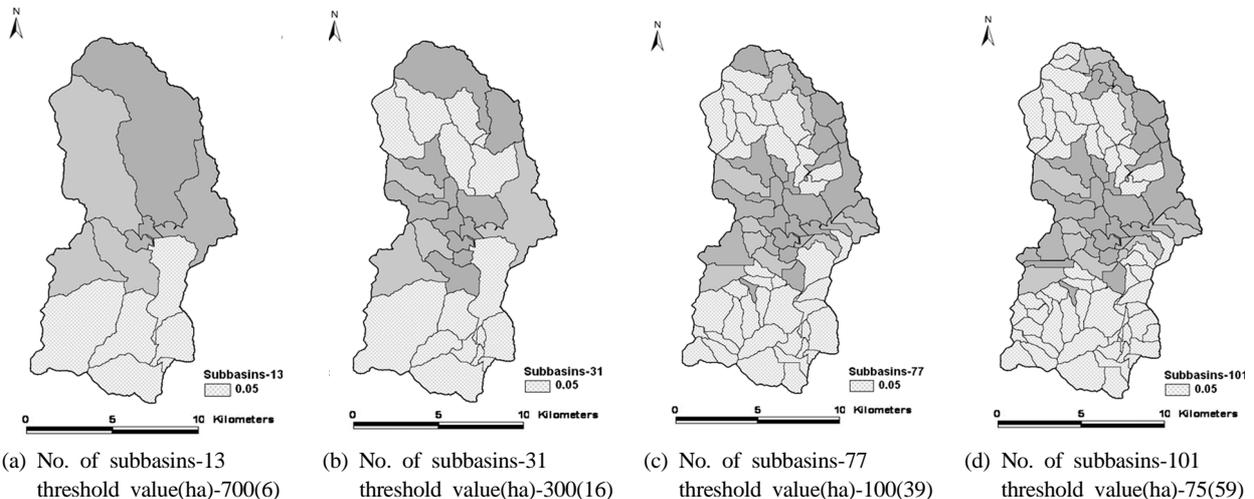


Fig. 7. Subbasins delineation at the doam-dam watershed with various threshold value.

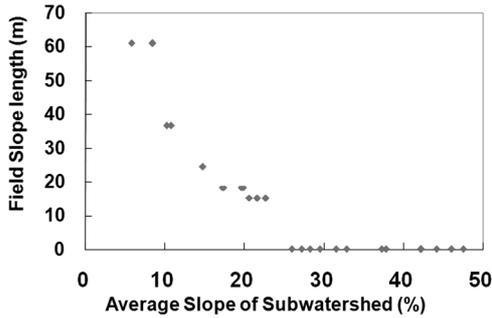


Fig. 8. Relationship used in the swat arcview gis extension to estimate average field slope length from average subwatershed slope.

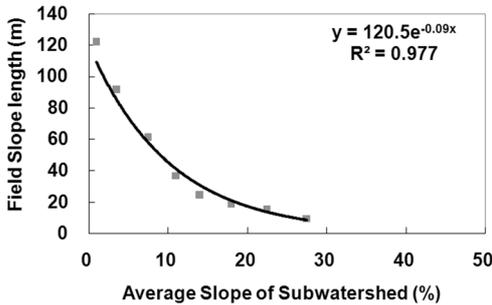


Fig. 9. Regression equation used in the swat arcview gis extension patch to estimate average field slope length from average subwatershed slope.

소유역을 0.05 m로 사용되어지도록 설계되어 있었으나 수정 보완한 SWAT ArcView GIS Extension Patch 기능은 경사장과 경사도 관계에서 경사도 25% 이상일 때 경사장이 10 m에 근접한 값의 경향을 보여 SWAT 모듈 내부에 경사장과 경사도 관계식 소스코드를 수정 보완하여 SWAT Patch 모형 적용 시 일괄적으로 10 m로 산정하여 적용할 수 있도록 설계하였다(Fig. 9). 그러나 유역 내 하천의 흐름과 하천의 형상을 결정하는데 중요한 요소인 지형인자를 고려한 경사장 방식이 필요할 것으로 판단된다.

2.3.7. SWAT 모형 정확성 평가를 위한 보정 및 검증

SWAT 모형을 이용하여 경사장과 경사도 관계의 회귀식을 이용하여 개발한 SWAT ArcView GIS Extension Patch 기능을 적용하여 도암댐 유역에서의 소유역 분할에 따른

소유역 개수의 유출량 및 유사량 변화량을 평가하기 위해 SWAT 모형의 정확성이 사전에 평가되어야 한다. 허성구 등(2007)은 객토 토양 특성을 고려하여 SWAT 모형의 수문 및 토양유실/유사 컴포넌트의 정확성을 평가하였다. 모형의 정확성을 검증하기 위해 실측자료는 도암댐 수계의 유량 데이터(한국수력원자력(주), 2007)와 송천 지점의 유사량 데이터(물환경정보시스템, 2006)를 이용하였다. 객토 토양 속성을 고려한 도암댐 유역의 수문 모의 시 모형 효율지수는 (EI = 0.53 Calibration, EI = 0.74 Validation) 및 유사 (R2 = 0.54, EI = 0.51)로 허성구 등(2005)의 객토토성을 고려하지 않고 SWAT 모형을 이용하여 고령지 농경지의 토양유실을 모의한 연구 결과보다 객토 토성 속성을 고려하였을 때 도암댐 유역 내 수문 현상을 더 잘 모의하는 것으로 나타났다(Fig. 10).

3. 결과 및 고찰

3.1. SWAT ArcView GIS Extension Patch 사용에 따른 소유역 개수별 유량 분석

SWAT 모형을 이용하여 모의 총 기간은 1974년부터 2004년까지 수행하였다. 수문 및 비점오염원 모의 시 모형의 정확성을 평가하기 위해 모형의 초기화 과정(Warming Up)을 수행을 하는데 본 연구에서는 1974년부터 1983년까지 모형의 초기화 구간으로 설정하여 평가하였다. Fig. 11은 도암댐 유역의 기존 SWAT ArcView GIS Extension 기능을 사용하였을 경우 700 ha(13개), 300 ha(31개), 100 ha(77개), 75 ha(101개) 변화에 따른 소유역 개수별 연 평균 유량을 나타낸 것이다. 또한 Fig. 12는 SWAT ArcView GIS Extension Patch 기능을 사용하여 임계면적 변화에 따른 소유역 개수별 연 평균 유량을 나타낸 것이다.

위와 같은 임계면적 변화에 따른 소유역 분할 시 기존 SWAT 경사장과 경사도 관계를 이용한 SWAT ArcView GIS Extension 기능을 사용하여 도암댐 유역의 소유역 개수별 연 평균 유량은 임계면적 75 ha(101개)를 주었을 경우 연 평균 모의 유량은 7.7 m³/s, 임계면적 700 ha(13개) 7.6 m³/s, 임계면적 100 ha(77개) 6.9 m³/s, 임계면적 300 ha(31개) 6.8 m³/s로 약간의 차이가 나타났다. 그러나 SWAT 경사장과 경사도 관계 오류를 수정한 SWAT ArcView GIS

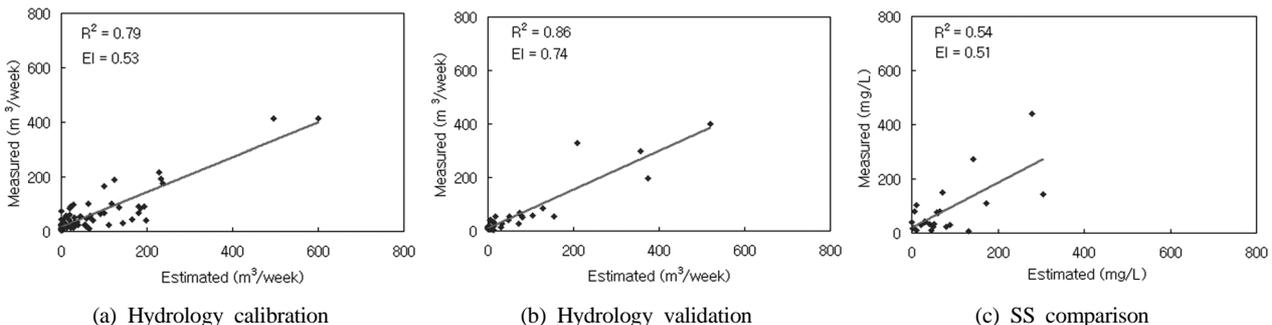


Fig. 10. Analysis of swat simulated hydrology and sediment accuracy.

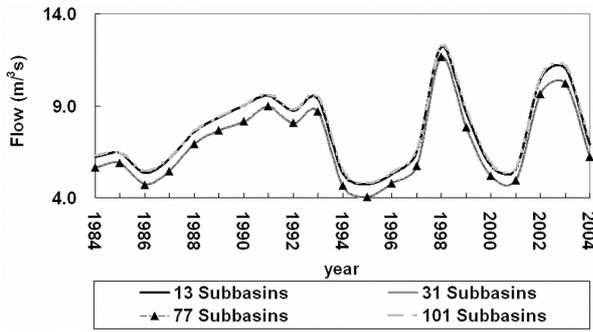


Fig. 11. Swat arcview gis extension simulated flow Rate.

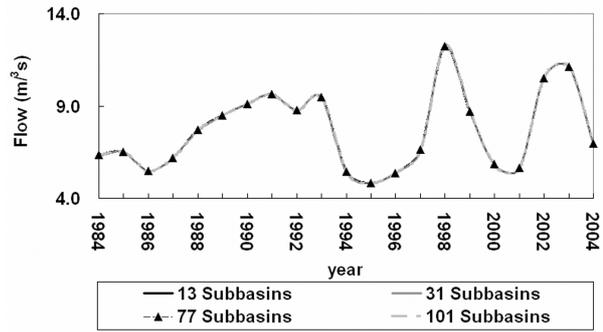


Fig. 12. Swat arcview gis extension patch simulated flow rate.

Table 1. Details of simulated flow using swat arcview gis extension and swat arcview gis extension patch

Doam-dam watershed				
Simulation period	1984 ~ 2004			
No. of subwatershed delineated	13	31	77	101
Threshold value (ha)	700	300	100	75
w/o SWAT patch applied (m ³ /s)	7.6	6.8	6.9	7.7
w SWAT patch applied (m ³ /s)	7.7	7.7	7.7	7.7

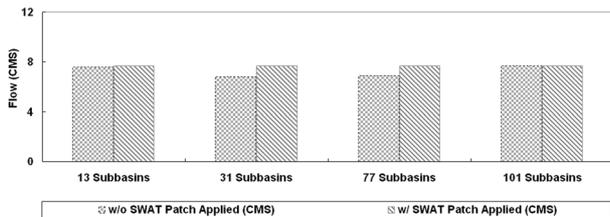


Fig. 13. Comparison of simulated flow using swat arcview gis extension and swat arcview gis extension patch.

Extension Patch 기능을 사용하여 임계면적 변화에 따라 각각의 소유역 개수를 달리 적용하였을 경우 연평균 유출량은 7.7 m³/s로 SWAT ArcView GIS Extension Patch 기능을 사용하지 않았을 경우와 비교하여 불 때 수계 개수에 상관없이 유출 모의가 상당히 안정적인 경향을 보이고 있다(Fig. 13, Table 1).

3.2. SWAT ArcView GIS Extension Patch 사용에 따른 소유역 개수별 유사량 분석

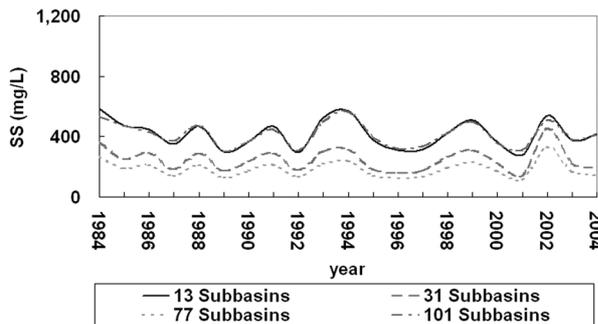


Fig. 14. Swat arcview gis extension simulated ss rate.

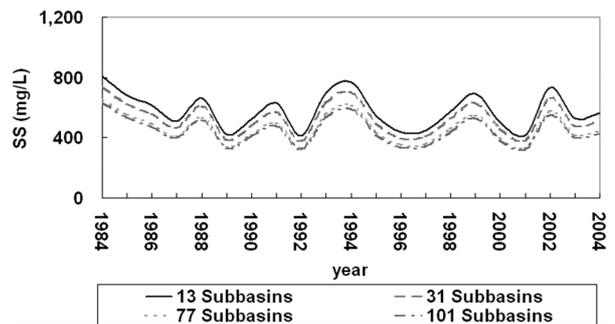


Fig. 15. Swat arcview gis extension patch simulated ss rate.

SWAT 모형은 경사장과 경사도 관계를 이용하여 유사량을 모의한다. 따라서 경사도에 따라 경사장이 크게 달라질 수 있다. 또한 SWAT 모형의 경사도 25% 이상인 급경사지의 경사장을 일괄적으로 0.05 m로 산정되어 있어 이와 같은 오류 발생에 따른 SWAT 모형 적용 시 유사량을 산정하기에 무리가 있다. Fig. 14는 도암댐 유역의 기존 SWAT ArcView GIS Extension 기능을 사용하였을 경우 700 ha(13개), 300 ha(31개), 100 ha(77개), 75 ha(101개) 변화에 따른 소유역 개수별 연 평균 유사량을 나타낸 것이다. 또한 Fig. 15는 SWAT ArcView GIS Extension Patch 기능을 사용하여 임계면적 변화에 따른 소유역 개수별 연 평균 유사량을 나타낸 것이다.

Fig. 13과 같이 SWAT ArcView GIS Extension Patch 기능을 적용하였을 때 유량의 경우 미비한 차이가 줄어들어 패치 적용 결과 연 평균 유출량은 거의 차이가 없음을 알 수 있었다. 그러나 유사량의 경우 SWAT ArcView GIS Extension 기능을 사용하였을 경우 임계면적 변화에 따른 소유역 개수를 달리 적용하였을 경우 연 평균 유사량은 0.5~126.6% 차이가 나던 것이 SWAT ArcView GIS Extension Patch 기능을 적용하였을 경우 임계면적 변화에 따른 소유역 개수별 연 평균 유사량이 9.7~29.8%로 줄어든 것을 알 수 있었다. 그러므로 SWAT 모형을 소유역 분할 시 경사장과 경사도 관계 오류를 수정한 SWAT ArcView GIS Extension Patch 기능을 사용하여야만 소유역 개수에 따른 유사 예측치에 미치는 영향을 최소화시킬 수 있다(Fig. 16, Table 2).

Table 2. Details of simulated ss using swat arcview gis extension and swat arcview gis extension patch

Doam-dam watershed				
Simulation period	1984 ~ 2004			
No. of subwatershed delineated	13	31	77	101
Threshold value (ha)	700	300	100	75
w/o SWAT patch applied (mg/L)	417	248	184	415
w SWAT patch applied (mg/L)	579	528	463	446

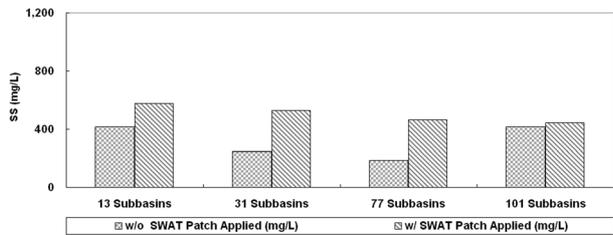


Fig. 16. Comparison of simulated ss using swat arcview gis extension and swat arcview gis extension patch.

4. 결론

고랭지 농업지역 유역에서의 토양유실 및 물리적 현상과 토양유실에 영향을 미치는 제반인자의 특성을 구명하고자 Watershed-scale 모형인 SWAT 모형을 강원도 평창군 도암댐 유역에 적용하여 분석하였다. 하지만 모형 적용 시 대부분의 SWAT 운영을 하는 연구자들은 모형의 정확성을 평가하기 위해 매개변수를 조정하여 보정 및 검증 작업을 실시한다. 그러나 작업 이전에 소유역 분할에 명확한 설정 없이 주어진 임계값을 이용하여 소유역 구분을 수행한다. 그러나 소유역 분할에 따른 소유역의 크기와 수가 SWAT 모의 예측 치에 영향을 미치는 것으로 분석이 되었다. SWAT 모형은 전반적으로 미국의 경사가 완만한 지역에 적합하게 개발되었다. 우리나라와 같이 특히 고랭지 농경지와 같은 산세가 험하고 경사가 급한 지역에 적용하기에 부적절할 수 있다. SWAT 소유역 분할에 따른 소유역의 평균경사를 통해 소수계의 각 HRU의 경사장을 산정하는데 있어 경사장 산정 시 경사도가 25% 이상의 급한 지형에서는 0.05 m로 일괄적으로 사용되도록 개발되었다. 따라서 이와 같은 오류를 본 연구에서는 경사장과 경사도 관계를 이용하여 개발한 SWAT ArcView GIS Extension Patch(임경재 등, 2007)기능을 적용하였다. 그 결과 임계면적 변화에 따른 소유역 개수별 Patch 기능 적용 전의 모의 유량은 약간의 차이가 발생하였지만, SWAT ArcView GIS Extension Patch 기능 적용 하였을 시 수계 개수에 상관없이 예측 연 평균 유량은 7.7 m³/s로 상당히 안정화된 경향을 보였다. 또한 경사장과 경사도 관계를 이용한 유사량 모의를 임계면적 변화에 따른 소유역 개수별 SWAT ArcView GIS Extension Patch 기능 전·후 차이를 비교 분석해 본 결과 기존 SWAT ArcView GIS Extension 기능을 사용하였을 경우 수계 개수 변화에 따라 예측 연 평균 유사량은 0.5~

126.6% 정도 차이가 발생하던 것이 SWAT ArcView GIS Extension Patch 기능을 사용하였을 경우 수계 개수 변화에 따라 연 평균 유사량이 9.7~29.8% 정도 줄어든 것을 알 수 있었다. 따라서 본 연구의 결과 SWAT 모형을 이용하여 임계면적 변화에 따른 소유역 분할 시 SWAT ArcView GIS Extension Patch 기능을 사용하지 않고 예측 유량 및 유사량 모의를 하였을 경우 소유역 분할에 따른 경사장과 경사도 관계 오류로 인하여 모의 결과 치에 영향을 주는 것으로 분석이 되었다. 향후 SWAT 모형을 이용하여 SWAT ArcView GIS Extension Patch 기능을 활용하여 모형의 정확성을 평가해야 할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 2-2-3)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

국가수자원관리종합정보(2007). <http://www.wamis.go.kr>.
 김남원, 신성철, 김철겸(2003). SWAT 모형의 매개변수 민감도 분석. *경기학술대회 논문집*, 대한토목학회 pp. 2264-2268.
 김남원, 정일문, 원유승, 이정우, 이병주(2006). 시공간적 변동성을 고려한 무심천 유역의 지하수 함양량 추정. *한국지하수토양환경학회지*, 11(5), pp. 9-19.
 김철겸, 김남원(2005). SWAT 모형에서의 소유역 및 HRU 수에 따른 유사량 변화. *학술발표회 논문집*, 한국수자원학회, pp. 835-839.
 김철겸, 김남원, 이정은(2005). SWAT 모형을 이용한 소양강댐 유역의 비점오염 모델링. *학술발표회 논문집*, 한국농공학회, pp. 57-64.
 농촌진흥청 농업과학기술원(2000). <http://www.niast.go.kr>.
 물환경정보시스템(2006). <http://water.nier.go.kr/weis>.
 박윤식, 김종건, 박준호, 전지홍, 최동혁, 김태동, 최중대, 안재훈, 김기성, 임경재(2007). 임하댐 유역의 유사 거동 모의를 위한 SWAT 모델의 적용성 평가. *한국물환경학회지*, 23(4), pp. 467-473.
 임경재, 허성구, 박윤식, 김종건, 박준호, 최대현, 강현우(2007). SWAT ArcView GIS Extension Patch개발, 강원대학교 농업공학부 GIS 환경 시스템 연구실, No.0708, <http://www.EnvSys.co.kr/~swat>.
 장경수, 장광진, 여운기, 고진석, 지흥기(2007). SWAT 모형에 의한 수문 및 환경인자 예측을 위한 유역분할의 영향. *학술발표논문회 논문집*, 한국수자원학회, pp. 1578-1582.
 전만식, 김범철(2005). 고랭지 농경지로부터의 비점오염물질 유출특성 및 저감방안. 강원대농업과학연구소.
 한국수력원자력(주) (2007). <http://www.khnp.co.kr>.
 허성구(2006). 도암댐 유역의 산림파편화에 따른 수(水) 환경영향 평가. 석사학위논문, 강원대학교.
 허성구, 김기성, 사공명, 안재훈, 임경재(2005). 고랭지 농경지의 토양유실모의를 위한 SWAT 모형의 적용성 평가. *한국농촌계획학회지*, 11(4), pp. 67-74.

- 허성구, 김기성, 안재훈, 임경재, 최중대(2006). 소유역 구분이 SWAT 예측치에 미치는 영향 평가. *한국관개배수학회지*, **13**(2), pp. 55-62.
- 허성구, 김재영, 유동선, 김기성, 안재훈, 윤정숙, 임경재 (2007). 객토 농경지의 토양특성을 고려한 도암댐 유역에서의 수문 및 유사 거동 모의. *한국농공학회지*, **49**(2), pp. 49-60.
- 환경부(2007). 환경지리정보서비스. <http://egis.me.go.kr/egis>.
- Arnold, J. G. and Srinivasan, R. (1994). Integration of a BASIN-SCALE Water Quality Model with GIS. *Water Resources Bulletin. American Water Resources Association*, **30**(3), pp. 453-462.
- Manoj Jha, Gassman, P. W., Secchi, S., Roy, G. and Arnold, J. G. (2002). *Impact of Watershed Subdivision Level on Flows, Sediment Loads, and Nutrient Lossless Predicted by SWAT*. Working Paper 02-WP 315.
- Srinivasan, R. and Engel, B. A. (1991). *A Knowledge based approach to extract input data from GIS*. ASAE Paper No. 91-7045. American Society of Agricultural Engineers. Summer Meeting Albuquerque, NW.