

# 농업용 저수지의 퇴적토사 관리를 통한 효율적 수자원 개발

## Effective Water Resources Development by the Management of Sediment Deposit in Agricultural Reservoirs

손 광 익\* / 심 명 필\*\*

Son, Kwang Ik / Shim, Myung Pil

### Abstract

Effective management of water resources in Korea becomes very important in recent years. Especially, the management of reservoirs cannot be over emphasized. The status of sediment deposit and the dredging records of agricultural reservoirs were examined to find out that the reservoir retention capacity could be raised more than 10% of the total volume of reservoirs in Kyungbook Province.

Sediment prediction methods were developed by combining the estimation methods of geomorphological characteristics and upslope contribution area in GIS. The estimated sediment deposit amount were compared with the dredging records for three agricultural reservoirs. It was found that the distributed model with 'Flow accumulation' and 'Multiple Flow Direction Algorithm' gives good prediction results for mountaineous area.

**Keywords** : Sediment deposit, Reservoir management, Sediment yield

### 요 지

물이 부족한 우리나라는 최근 수자원의 효율적인 이용에 대한 중요성이 강조되고 있으며 특히 지금까지 개발된 저류시설을 통한 수자원의 효율적인 관리가 절대적으로 필요한 실정이다. 효율적이고 합리적인 수자원관리와 그 이용 효과를 극대화하기 위해 경북지방의 농업용 저수지에 대한 저류용량과 퇴사량의 현황을 분석한 결과 농업용 저수지의 준설을 통하여 10% 이상에 이르는 저류용량을 추가적으로 확보할 수 있음을 확인하였다. 또한 GIS와 각종 토사발생량 예측기법을 활용하여 산정한 퇴사량을 실제 준설량과 비교 분석한 결과 분산모형과 다방향흐름알고리즘을 이용한 기법이 산지에 위치한 저수지 상류의 지형학적 특성을 잘 반영하며 타 기법에 비해 우수한 예측결과를 제시하는 것을 알 수 있었다.

**핵심용어** : 퇴사량, 저수지 관리, 토사발생량 산정

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경 및 연구목적

급속한 경제성장과 인구의 증가 및 산업화, 도시화는

물론 국민소득의 증가로 물 소비량이 지속적으로 증가하여 2020년에는 약 26억톤의 수자원이 부족할 것으로 예측되면서 수자원의 개발과 효율적인 이용의 중요성에 대한 인식이 높아가고 있다. 그러나, 종래에 주로 사용해 왔던 수자원 개발 형태인 대규모의 댐의 건설은

\* 영남대학교 토목도시환경공학부 부교수

Associate Professor, Dept. of Civil Eng., Yeungnam Univ., Gyungsan, Gyungbuk 712-749 Korea  
(E-mail : kison@yu.ac.kr)

\*\* 인하대학교 토목공학과 교수

Professor, Dept. of Civil Eng., Inha University, Incheon, 402-751 Korea

NIMBY현상과 개발적지의 감소, 건설비 및 수물보상비의 증가, 환경적인 측면 때문에 그 개발에 있어 한계를 드러내고 있다. 따라서, 지금까지 개발된 수자원의 효율적인 관리가 더욱 필요한 실정이다.

저수지의 저류량 증대를 통한 추가적 수자원 확보기법은 추가적인 댐 건설이 요구되지 않는 효율적이고 합리적인 수자원 개발 기법이라 할 수 있다. 현재 우리나라의 농업용 저수지로 개발되어 운영되고 있는 저수지는 건설 후 퇴적토사에 대한 관리소홀로 실제 저류량을 정확히 파악하지 못하고 있다. 또한 저수지의 퇴적토사 준설이 거의 이루어지지 않아 전국적으로 준설이 필요한 곳은 무려 2,375개소에 이르는 것으로 알려져 저수지의 퇴사량 예측과 관리를 통한 수자원 확보 효과에 대한 체계적 연구가 필요하다 하겠다.

따라서 본 연구에서는 저수지의 퇴적토사 관리를 통해 얻을 수 있는 수자원 확보 개선효과에 대한 정량적인 평가를 위해 경북지방의 농업기반공사 관리하에 있는 농업용 저수지에 대한 저류량 및 준설기록 등의 자료를 수집하고 분석하고자 한다. 또한 저수지의 퇴사량을 예측할 수 있는 기법을 검토하여 우리나라에 적합한 저수지에 대한 퇴사량 예측기법을 제안함으로써 향후 저수지 관리에 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 1.2 연구방법 및 기대효과

농업용 저수지의 퇴사량 관리를 통한 양질의 수자원 확보란 연구목적은 달성을 위해 연구내용을 크게 두 단계로 분리하여 수행하였다.

그 첫 번째 단계는 효율적이고 합리적인 수자원관리와 그 이용의 효과를 극대화하기 위해서 2003년 현재 경북지방의 농업기반공사 관리하에 있는 농업용 저수지에 대한 저류량 및 준설기록 등의 자료를 수집하고 분석하여 저수지를 통한 수자원 확보효과를 정량적으로 검토하고자 한다.

두 번째 단계는 저수지의 준설량을 저수지의 실측 퇴사량으로 가정하고 각종 예측기법을 이용하여 산정한 저수지의 토사유입량과 준설량을 비교 분석함으로써 우리나라에 적합한 토사유입량 예측기법을 개발 제안하고자 한다.

이상의 연구를 통해 얻은 연구결과는 우리나라의 저수지에 적합한 퇴사량 예측기법을 제안하며 저수지의 퇴적토사 관리를 통한 수자원을 양적으로 확보하는데도 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 저수지내 퇴적토사의 준설은 저수용량의 추가적 확보 이외에도 저수지 바닥에

쌓인 오니 등 오염물질의 제거로 수질보전 및 효율적인 유지관리에 기여하며, 준설토를 저습지 농경지에 객복토, 저지대 매립, 제당성토, 사리부설 용도로 활용하여 부가가치를 창출하여(농업기반공사, 2002a). 수질개선 대책수립을 위한 중요한 기초자료를 제공할 것이다.

## 2. 퇴적토사 관리를 통한 수자원 개발효과

표 1과 표 2와 같이 전국 하천의 상류와 계곡에 설치된 18,000여개소의 농업용 저수지가 산재해 있다. 그러나 저수지의 90%가 저수량이 10만<sup>3</sup> 이하로 소규모로 가물에 취약하다. 또한 전체 저수지의 54%에 해당하는 9,900여개의 저수지가 1945년 이전에 축조된 노후된 소규모 시설이며 토사퇴적으로 저류용량이 감소되고 있다.

농업기반공사가 관리하고 있는 경북지방의 농업용 저수지 610여 개에 대한 유역면적, 저류용적, 제방형식, 준설량 등 각종 구조적 특성과 수리수문학적 특성을 조사한 결과 경북지역 내 총 유효 저류용량은 311,407,474m<sup>3</sup>으로 유역면적 280,018.4 ha 저수지 만수면적은 6246.6 ha로 유역면적의 약 2%가 저수지인 것으로 나타났다. 또한 지난 '94년부터 '99년까지 6년 동안 83개 저수지에서의 준설된 토사량은 11,229,100m<sup>3</sup>으로 총 유효저류용량 90,809,300m<sup>3</sup>의 12%에 이르고 있음을 확인하였다. 이는 농림부(2002b)의 경기지역 저수지에 대하여 퇴사에 의한 저류용량 감소율을 9.5%로 추정하고 있는 결과치와 유사한 결과를 보이는 것으로(표 3 참조) 전국의 저수지에 대한 효율적 관리를 통해서 추가적으로 약 10% 내외의 저류용량을 확보할 수 있음을 의미한다. 우리나라 저수지의 50%이상이 1960년대 이전에 축조되었으며 약 60-70%의 저수지가 건설이후 한번도 준설된 실적이 없고 1990년대에 이르러 비로소 준설사업을 수행하고 있다는 점을 감안한다면 퇴사조절에 의한 농업용 저수지의 저류용적은 최소 15% 이상 향상시킬 수 있을 것으로 추정된다. 그림 1은 경북의 행정구역별 저수지의 준설량 분포를 나타내고 있다.

저수지의 수원유입 형태는 간접유입과 직접유입으로 구분할 수 있다. 경북 고령 인근의 경우 1945년부터 1965년 사이에 준설된 저수지 중 간접유입방식을 택하고 있는 저수지가 6개가 있는데 준공이후 준설을 한 번도 하지 않았으며 향후 준설이 요구되는 것으로 판단되는 저수지도 한 곳뿐인 것으로 조사되어 유입형태에 따른 퇴적토사 조절기능 및 저수지의 운영에 대한 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

표 1. 농업용저수지의 유효 저류량별 개소수 (농림부, 2002b)

규모 (m <sup>3</sup> )	< 10만	10만-100만	100만-300만	300만-1,000만	> 1,000만	
개소수	18,161	16,300	1,497	258	71	35
%	100	90	8	1.4	0.4	0.2

표 2. 도별 저수지 저류량과 추정 준설 대상량 (농림부, 2002b)

도	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	계
저류량 (천톤)	3531	2431	14125	6948	7958	12656	3652	10883	62184
비율(%)	5.6	3.9	22.7	11.2	12.8	20.4	5.9	17.5	100

표 3. 시·도별 저수지 준설 대상 현황 (농림부, 2002b)

시·도별	저수지 수	사업비 (백만원)	시·군 관리		농업기안공사관리	
			저수지 수	사업비 (백만원)	저수지 수	사업비 (백만원)
부산	13	370	13	370	-	-
대구	6	2,306	2	80	4	2,226
인천	10	4,300	3	1,050	7	3,250
광주	25	4,444	13	1,700	12	2,744
대전	2	400	-	-	2	400
울산	26	3,590	13	715	13	2,875
경기	62	19,782	16	2,160	46	17,622
강원	27	10,825	8	955	19	9,870
충북	151	58,941	20	276	131	58,665
충남	276	66,826	203	20,364	73	46,462
전북	488	50,837	305	19,914	183	30,923
전남	605	64,833	388	30,347	217	34,486
경북	355	24,304	222	5,992	133	18,312
경남	329	145,861	109	13,940	220	131,921
제주	-	-	-	-	-	-
계	2,375	457,619	1,315	97,863	1,060	359,756

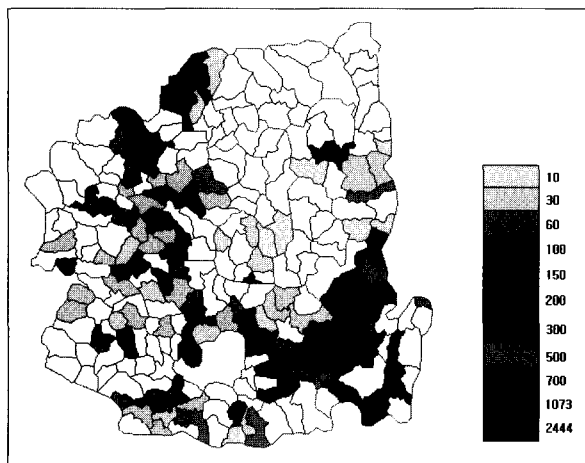


그림 1. 경상북도 행정구역별 농업용 저수지 준설량 분포도 (94-99년, m<sup>3</sup>)

### 3. 토사발생량 예측기법 검토

유역의 토사발생량 및 저수지로의 토사유입량 예측은 토양의 생산성을 향상시키기 위한 토양관리법 개선과 농지보전, 토지이용에 따른 유역의 효과적 관리에 필요한 기초자료를 얻을 수 있기 때문에 저수지로 유입되는 총량적 개념의 토사유입량 뿐만 아니라 구체적으로 토사가 발생하는 지역적 분포에 대한 예측도 중요하다. 이러한 점을 고려할 때 단순히 저수지로의 토사유입량을 산정하는 총괄형 모형(lumped model)에 비해 소유역의 지형적 특성을 반영하고 있는 분산형 모형(distributed model)이 보다 다양하고 정확한 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 본 연구에서는 이 두가지 모형을 이용하여 준설기록이 있는 저수지 유역에 적용하여 예측되는 토사유입량과 준설량을 비교함으로써 우리나라에 적합한 토사발생량 예측기법을 개발하고자 한다. 본 연구결과는 기존의 저수지 준설사업의 적합성 검토는 물론 차후 실시될 준설사업에 대한 보다 합리적인 준설량 산정 및 사업비 책정을 위한 기초자료를 제공하게 될 것이다.

#### 3.1 총괄형 모형 예측기법

저수지의 퇴사량은 저수지의 내용적을 실측하여 당초의 내용적과 비교함으로써 산정하는 것이 가장 정확한 방법이다. 기왕의 내용적 실측자료가 있을 경우에는 실측자료에 의거하여 퇴사량을 산정하며 여건상 내용적 측량에 의한 퇴사량 산정이 곤란하거나 예정지 조사, 기본계획 수립 등 사업비를 산정하는 경우에는 실측한 퇴사량 자료와 유역특성 및 저수지 특성변수 등 퇴사량에 영향을 미치는 주요인자와의 상관관계를 통계처리하여 유도된 경험공식을 이용하여 제한된 범위내에서 퇴사량을 추정하게 된다. 현재 우리나라에서 적용하고 있는 경험공식은 우리나라의 자료로부터 개발된 공식과 외국에서 개발된 공식이 있다.

우리나라에서 개발된 공식으로는 유시창과 민병형 공식, 서승덕 공식, 유희정과 김시원 공식, 새마을 공식, 윤용남 공식, 안상진과 이종형 공식, 건설부 공식 등이 있다(농림부, 2002a). 이들 공식은 저수지 퇴사량 자료로부터 구해진 추정식으로 유희정과 김시원 공식, 유시창과 민병형 공식, 서승덕 공식은 비퇴사량 공식이며 나머지 공식은 연평균 퇴사량 공식이다.

공식을 이용하여 퇴사량을 산정하는 경우에는 공식 자체가 가지고 있는 한계성과 범용성의 제한으로 실측치와의 오차 발생이 불가피하다. 따라서 현장에서 어느

공식을 적용하여 퇴사량을 산정하는 것이 적합한가를 판단하기 위해서는 공식별 특성과 실측치와의 오차정도, 계산의 간편성 등을 감안하여 공식을 선택하여 적용하여야 할 것이다.

#### 가. 유시창·민병형 공식

1975년도에 발표되었으며 경남 진양군 내의 30개 소류지에 대한 퇴사자료를 이용하여 단순 회귀분석을 실시하였으며 이들이 추천한 퇴사량 추정식은 다음과 같다.

$$Vr = 1.27(cd/A)^{0.6} \quad (1)$$

$$Vr = 21.9P^{10.5} \quad (2)$$

$$Vr = 39.6S^{0.75} \quad (3)$$

여기서, Vr : 비 퇴사량  $m^3/km^2/yr$   
 cd : 계획저수량  $m^3$   
 P : 연평균 강우량 mm  
 S : 유역평균 경사 %  
 A : 유역면적  $km^2$

이들은 다중 회귀분석을 실시하여 다음과 같은 퇴사량 추정식을 제안하였다.

$$\log Vr = 0.179 + 0.108 \log A - 6.72 \log P + 2.20 \log S \quad (4)$$

#### 나. 류희정·김시원 공식

1976년도에 발표되었으며 삼교천내의 9개소 저수지의 퇴적자료를 이용하여 단순 회귀 분석을 실시하였으며 공식은 다음과 같다.

$$Vr = 1.43(cd/A)^{0.531} \quad (5)$$

$$Vr = 672.61 P^{0.024} \quad (6)$$

$$Vr = 267.21 S^{0.587} \quad (7)$$

#### 다. 새마을 공식(1978)

$$Vs = 255.4A^{0.1816} C^{0.5774} \quad (8)$$

여기서 C : 초기저수량 (ha-m)

연평균 퇴사량 Vs를 유역면적 A로 나누면 비퇴사량( $m^3/yr/km^2$ )을 얻을 수 있으나 이 식의 개발근거는 확인되지 않았다.

**라. 율용남 공식**

1982년도에 발표되었으며 국내의 113개소의 저수지 퇴사 자료를 이용하여 다중회귀분석을 실시하였으며 연평균 퇴사량 추정식으로 다음 식을 제안하였다.

$$V_s = 1334.08A^{0.8}Et^{6.2668} \quad (9)$$

$$Et = \left[ 1 - \frac{1}{1 + 2.1(C/A)} \right] \quad (10)$$

여기서 Et : 저수지포착률

또한 단순히 유역면적 A만을 사용하여 다음의 상관관계식을 제안하였다.

$$V_s = 816.58A^{0.9005} \quad (11)$$

여기서  $V_s$  : 연평균 퇴사량  $m^3/yr$

A : 유역면적  $km^2$

**마. 안상진·이종형 공식**

1984년도에 발표되었으며 삼교천 영산강 및 남강유역의 저수지자료를 이용하여 다음과 같은 유역별 연평균 퇴사량 추정식을 제시하였다.

삼교천

$$V_s = 174301.049A^{0.02}Et^{17.017}S^{0.429}S_f^{0.684}Ag^{-1.157} \quad (12)$$

영산강

$$V_s = 66023.721A^{0.546}Et^{11.061}S^{0.068}S_f^{0.353}Ag^{0.877} \quad (13)$$

남강

$$V_s = 1488.675A^{0.934}Et^{4.985}Ag^{0.122} \quad (14)$$

여기서  $S_f$  : 유역형상계수

Ag : 저수지 퇴적기간

**바. 서승택 공식**

1998년도에 발표되었으며 유역면적 200ha이상인 전국(제주제외) 122개 저수지 퇴사자료를 이용하여 유역면적, 유역경계의 총연장, 유로연장의 3개 특성인자를 종속변수로 하여 저수지 퇴사량 추정공식을 도별, 저수지 제방표고별로 도출하였으며 회귀분석 모형식은 다음과 같다

$$V_s = aA^bCL^cL^d \quad (15)$$

여기서 CL은 유역경계의 총 연장(km),

L은 유로연장(km),

a, b, c와 d는 회귀 계수이며, 이들이 도출한 도별 회귀식은 다음과 같다.

$$\text{경기: } V_s = 39.030A^{-0.212}CL^{-1.807}L^{-0.316} \quad (16)$$

$$\text{강원: } V_s = 24.220A^{-1.010}CL^{-1.216}L^{-0.310} \quad (17)$$

$$\text{충북: } V_s = 10.166A^{-3.088}CL^{2.616}L^{-2.943} \quad (18)$$

$$\text{충남: } V_s = 65.895A^{-0.658}CL^{-1.874}L^{-0.233} \quad (19)$$

$$\text{전북: } V_s = 607.757A^{-3.446}CL^{-4.728}L^{2.064} \quad (20)$$

$$\text{전남: } V_s = 0.226A^{-0.574}CL^{-0.809}L^{1.099} \quad (21)$$

$$\text{경북: } V_s = 0.214A^{-1.215}CL^{1.194}L^{-1.213} \quad (22)$$

$$\text{경남: } V_s = 69.189A^{-2.168}CL^{-0.721}L^{-0.445} \quad (23)$$

저수지 표고별 회귀식은 다음과 같다.

$$(0\sim 10m): V_s = 3.946A^{-1.829}CL^{0.067}L^{0.013} \quad (24)$$

$$(10\sim 100m): V_s = 29.237A^{-0.018}CL^{-1.725}L^{-0.316} \quad (25)$$

$$(100m\text{이상}): V_s = 7.863A^{-1.568}CL^{-0.255}L^{-0.544} \quad (26)$$

**사. 건설부 공식**

1992년도에 발표되었으며 건설부의 건설기술연구원에서 농조관리 저수지중 120여개의 자료로부터 비교적 내용적 자료가 충실하다고 생각되는 100개를 선정하여 퇴사량과 유역면적, 유역면적과 초기저수량을 상관관계 분석결과 다음과 같은 식을 유도하였다.

$$V_r = 6.593A^{-1.057} \quad (27)$$

$$V_r = 196A^{-1.163}C^{0.301} \quad (28)$$

여기서 C : 초기저수량 ( $m^3$ )

**아. 담수호 퇴사량 추정공식**

담수호는 조석에 따라 배수갑문의 개폐가 저수지와는 다르기 때문에 포착률과 퇴사량이 다르다. 김태철 등(1996)은 아산, 남양, 삼교호에서 조사된 20년 간의 퇴사량 자료를 이용하여 다음과 같은 담수호의 비퇴사량 추정공식을 제시하였다.

$$Dr = 4,128 \times A^{-0.386} \quad (29)$$

### 3.2 분포형 모형 예측기법

강우에 의한 토사발생량 산정을 위한 공식은 우리나라의 재해 영향평가에서 많이 활용되고 있는 범용토양손실공식(USLE)과 개정범용토양손실공식(RUSLE ; USDA, 1997)을 활용하였으며 GIS를 이용한 DEM의 각 셀별로 두 공식의 각종 지형관련 지배인자를 산정하였다.

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \cdot D_R \quad (30)$$

여기서 A는 토사발생량에 의한 저수지로의 단위면적당 토사유입량,

R은 호우침식성인자,

K는 토양침식성인자

L은 침식사면의 길이인자,

S는 침식사면의 경사인자,

C는 식생에 의한 토양의 피복인자,

P는 토양보전 대책인자,

DR은 저수지로의 토사전달률.

#### 3.2.1 GIS환경 하에서 경사장(L) 산정기법

##### 1) 누적경사장(Cumulative Slope Length)

Hickey(1994)는 격자체계(Grid system)에서 동일한 경사와 방향을 가진 Cell이 연속되면 하부 Cell은 상부 셀의 영향을 받기 때문에 하부의 경사장은 상부 셀의 경사장보다 크다는 개념의 누적경사장을 이용하였다.

##### 2) 상류기여면적(Upslope Contribute Area)

근래에 들어서 GIS가 발달함에 따라 1차원적인 경사장의 개념보다는 2차원적인 면적의 개념을 도입하게 되었다. Moore와 Burch(1986), Moore와 Wilson(1992) 및 Desmet와 Govers(1996)의 연구가 이러한 면적의 개념을 도입한 기법이다. 상류기여면적이란 임의의 출구지점에 영향을 주는 유역면적이라고 할 수 있으며, GIS환경에서는 현재 Cell에 영향을 미치는 상류의 Cell의 개수로 표현되는 Flow Accumulation Map을 이용할 수 있다.

기여면적을 산정하는 방법은 흐름의 추적방법에 따라 단일흐름방향 알고리즘과 다중흐름방향 알고리즘으로 나눌 수 있다. 단일흐름방향 알고리즘(SF : Single Flow direction Algorithm)은 Mark (1984)에 의해 개발

되어 현재 가장 많이 이용되는 방법으로 현재 Cell의 흐름이 이동할 때 고도차이가 가장 큰 하나의 Cell로 흐름이 이동되는 방법으로 ArcInfo Grid모듈의 Flow-accumulation 함수에서 SF 알고리즘을 채택하고 있다. 다중흐름방향 알고리즘(MF : Multiple Flow direction Algorithm)은 흐름이 이동할 때 인접한 여러 개의 Cell에 흐름이 분산되어 전파된다는 보다 실질적인 가정을 도입한 기법으로 많은 연구자들이 다양한 방법을 제안하였다. 본 논문에서는 Quinn 과 Beven(1991)의 방법을 이용하여 구현하였다.

#### 3.2.2 GIS환경 하에서 경사도(S) 산정기법

그림 2와 같은 3×3matrix상에서 경사도를 산정하는 방법은 크게 네 가지로 나눌 수 있다.

1	2	3
8	9	4
7	6	5

그림 2. 3×3 matrix

##### 1) Neighborhood Method (NBH)

이 방법은 ArcInfo Grid 및 GRASS GIS에서 채택하고 있는 방법으로 그림 2와 같은 3×3 matrix상에서 각 Cell의 경사도를 다음과 같이 산정하고 있다.

$$S = (\sqrt{(S_{e-w}^2 + S_{n-s}^2)}) \times 100 \quad (31)$$

여기서,

$$S_{e-w} = \frac{(Z_3 + 2Z_4 + Z_5) - (Z_1 + 2Z_8 + Z_7)}{4 \times 2 \times d}$$

(동-서 방향의 경사)

$$S_{n-s} = \frac{(Z_1 + 2Z_2 + Z_3) - (Z_5 + 2Z_6 + Z_7)}{4 \times 2 \times d}$$

(남-북 방향의 경사)

S = slope ratio (%)

$Z_1 - Z_9$  = 각 셀의 고도

d = cell 크기

이 방법은 중심셀을 계산에서 제외함으로써 중심셀에서 발생하는 작은 함몰이나 돌출 등의 영향을 배제할

수 있다. 일반적으로 slope을 계산하기 전 전처리 과정으로 함몰부나 돌출부를 처리하는 fill명령을 이용하여 오류를 최소화시킬 수 있다. 따라서 이 방법은 최초의 DEM의 자료가 부정확한 경우에 적합한 방법이라고 할 수 있다.

2) Maximum Downhill Slope Method (MDS)

이 방법은 중심Cell의 영향을 고려하는 방법으로 Hickey 등(1994)에 의해 제안되었으며 경사의 표현은 다음 식과 같다.

$$S = \frac{\max(Z_9 - Z_1) \times 100}{Lc} \quad (34)$$

이 방법은 절대값을 사용하지 않음으로 경사의 과대평가 가능성을 최소화하였으며 국부적인 변화를 잘 표현할 수 있다는 것이다.

4. 실제 유역에 대한 적용 및 비교검토

4.1 예측모형의 선정

총괄형 모형과 분포형 예측모형을 이용하여 선정 저수지로의 토사유입량을 산정한 후 준설량과 비교하였다. 활용한 집합모형 예측공식으로 유시창·민병형 공식, 류희정·김시원 공식은 회귀분석을 통한 저수지의 비퇴사량을 산정하는 공식으로 통계처리를 위한 자료인 용 지역이 각각 경남과 삼교천이며 윤용남 공식과 서

승덕 공식은 회귀분석을 통한 유역의 연평균 퇴사량을 산정한 공식으로 각각 전국의 저수지를 대상으로 자료를 추출하였다. 안상진·이종형 공식 역시 연평균 퇴사량을 산정한 공식이나 그 대상유역이 삼교천, 영산강 및 남강이었으며 새마을 공식의 자료선정 대상은 전국이나 그 분포에 대해서는 확인할 수 없는 실정이다. 각 공식의 특성에 따르면 경북지역에 활용할 수 있는 공식은 윤용남 공식과 서승덕 공식뿐이나 두 식의 결과만으로는 타 모형과의 비교가 어렵다고 판단되어 본 연구에서는 각 공식 자체가 갖고 있는 한계성과 범용성을 무시하고 앞에서 기술한 모든 집합모형 예측공식을 적용하여 퇴사량을 산정하여 각 공식의 한계성과 범용성을 재검토 하였다.

분산형 예측모형의 경우 토사발생량 예측 기본공식으로는 USLE와 RUSLE를, 경사도(S) 산정은 NBH와 MDS방법을 선택하여 사용하였다. 경사장(L) 산정은 누적경사장과 기여면적을 이용하는 방법을 활용하였다. 누적경사장은 Hickey의 aml을 통하여 구현하였고, 기여면적은 일방향 알고리즘(SF)과 다방향 알고리즘(MF) 알고리즘을 적용하였다. 기여면적 산정시 흐름의 누적개수는 RUSLE에서 제시하고 있는 경사장의 한계값인 400 ~ 1000ft를 넘지않도록 셀의 누적개수를 한정하는 경우(limited)와 제한을 두지 않은 경우(unlimited)로 나누어 해석하였다.

본 논문에서 조합하여 적용한 지형인자 산정기법을 종합하면 다음 표 4와 같다.

표 4. L과 S인자 산정기법의 명명법

		기법 명칭			
MDS	누적경사장	USLE	MDS-USLE		
		RUSLE	MDS-RUSLE		
	기여면적	MF	limited	MDS-MF(limited)	
			unlimited	MDS-MF(unlimited)	
		SF	limited	MDS-SF(limited)	
			unlimited	MDS-SF(unlimited)	
NBH	누적경사장	USLE	NBH-USLE		
		RUSLE	NBH-RUSLE		
	기여면적	MF	limited	NBH-MF(limited)	
			unlimited	NBH-MF(unlimited)	
		SF	limited	NBH-SF(limited)	
			unlimited	NBH-SF(unlimited)	

## 4.2 대상 저수지에 대한 토사유입량 산정

### 4.2.1 대상유역 선정 및 기본가정

본 연구에서는 토사발생에 의한 저수지로의 토사유입 예측량과 준설량과의 관계를 비교·분석하기 위하여 경북지역의 3개의 농업용 저수지(권이 저수지, 송전상 저수지, 석계 저수지)를 선정하여 적용하였으며(표 5, 표 6 참조) 기초자료는 농업기반공사(2002b)의 농촌용

수 10개년계획 자료와 강우량 및 농업기반공사 경북지사의 저수지 준설 자료를 수집하여 활용하였다. 토사유입 예측량에 저수지의 토사 포착률을 곱한 값이 저수지의 퇴사량이 되며 준설량은 저수지 퇴사량과는 또 다를 수 있으나 본 연구에서는 각종 가정을 통한 오류를 최소화하기 위하여 토사 포착률은 100%, 퇴사량은 모두 준설된 것으로 가정하였다.

표 5. 대상 저수지의 유역특성치

유역명	유역면적(km <sup>2</sup> )	유역거리(km)	유역경사(%)	유출입량(km)	평균경사(%)	유역세도/가로 비		
권이	양북	권이	640	11.83	275	4.06	24.69	1.03
송전 상	양북	송전	503	11.94	276	3.57	24.88	0.81
석계	외동	석계	565	11.06	329	3.55	43.35	0.86

표 6. 저수지 준설사업 현황

유역명	토사유입	토사유입량(백톤)	유역면적(km <sup>2</sup> )	1992년			1993년			1998년			
				유역면적(km <sup>2</sup> )	유역거리(km)	유역경사(%)	유역면적(km <sup>2</sup> )	유역거리(km)	유역경사(%)	유역면적(km <sup>2</sup> )	유역거리(km)	유역경사(%)	
권이	마사 토유실 심함	·	산간 지역	550	640	9.9	1964	·	·	24	31	18	73
송전상	상류부광 산	90	산간 지역	438	503	7.2	1954	11	27	24	44	25	70
석계	·	90	산간 지역	683	565	9.3	1966	24	28	31	58	·	·

### 4.2.2 USLE 인자(R, K, C, P, DR) 산정

본 연구의 대상유역은 5~6km<sup>2</sup>이하의 소규모 유역이고 세 유역 모두 경주시 동남부에 위치하고 있으며 포항 기상관측소와 인접한 관계로 포항 기상관측소의 연평균 강우량을 바탕으로 산정된(박정환, 2000) 강우침식인자 R = 2620 (MJ/ha · mm/hr)을 적용 하였다.

우리나라의 경우 건설부(1992)에서 전국의 토양통 별 K값을 발표한 바 있으나 전국의 토양통 자료를 이용한 K값을 토사유출량 산정에 적용할 경우 실제와 많은 차이가 날 수 있으므로 현장의 입도분석을 통해 산정한 K값과 건설부(1992)의 K값을 비교하여 K값 산정에 보다 신중을 기해야 하나(손광익, 2001) 정밀토양도를 분석한 결과 세 유역 모두 비슷한 토양분포를 보이고 있어 건설부(1992)의 토양통별 K값을 적용하였다.

또한 본 연구의 대상유역의 대부분은 산림지역으로 산림에 해당하는 C값을 사용하였으며, 일부는 논·밭으로 이용되고 있어 지형도상에서 토지이용별 경계를 추출하여 그 지역에 해당하는 P값을 활용하였다. 각 유역

별 적용된 C와 P값은 표 7과 같다.

표 7. 각 유역별 C와 P값

유역명	유역면적(km <sup>2</sup> )	유역거리(km)	유역경사(%)	C값	P값
C	논·밭	0.3	0.3	0.3	0.3
	산림	0.002	0.002	0.002	0.002
P	논·밭	0.16	0.16	0.16	0.16
	산림	0.8	0.8	0.8	0.8

표 8. 저수지별 유역 토사전달률

유역명	유역면적(km <sup>2</sup> )	유역거리(km)	유역경사(%)	토사전달률
권이	640	11.83	24.69	0.415
송전상	503	11.94	24.88	0.467
석계	565	11.06	43.35	0.462

상류에서 발생한 토사발생량 전체가 하류의 저수지로 전달되는 것은 아니며 이 같은 토사의 전달정도를 반영한 계수가 토사전달률(DR)이다. 토사전달률 산정기법으로는 Renfro(1972), TRB(1980), 그리고 Julien과 Frenette(1987) 등 많은 연구자들이 많은 방법들을 제시



하였으나 아직 보편적으로 인정되는 기법이 없는 실정이다. 더구나 분포형모형과 연계하여 전달률을 산정하는 기법은 거의 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서

는 유역면적-전달률 관계곡선(Hann, 1994)을 이용하여 표 8과 같은 토사전달률을 적용하였다.

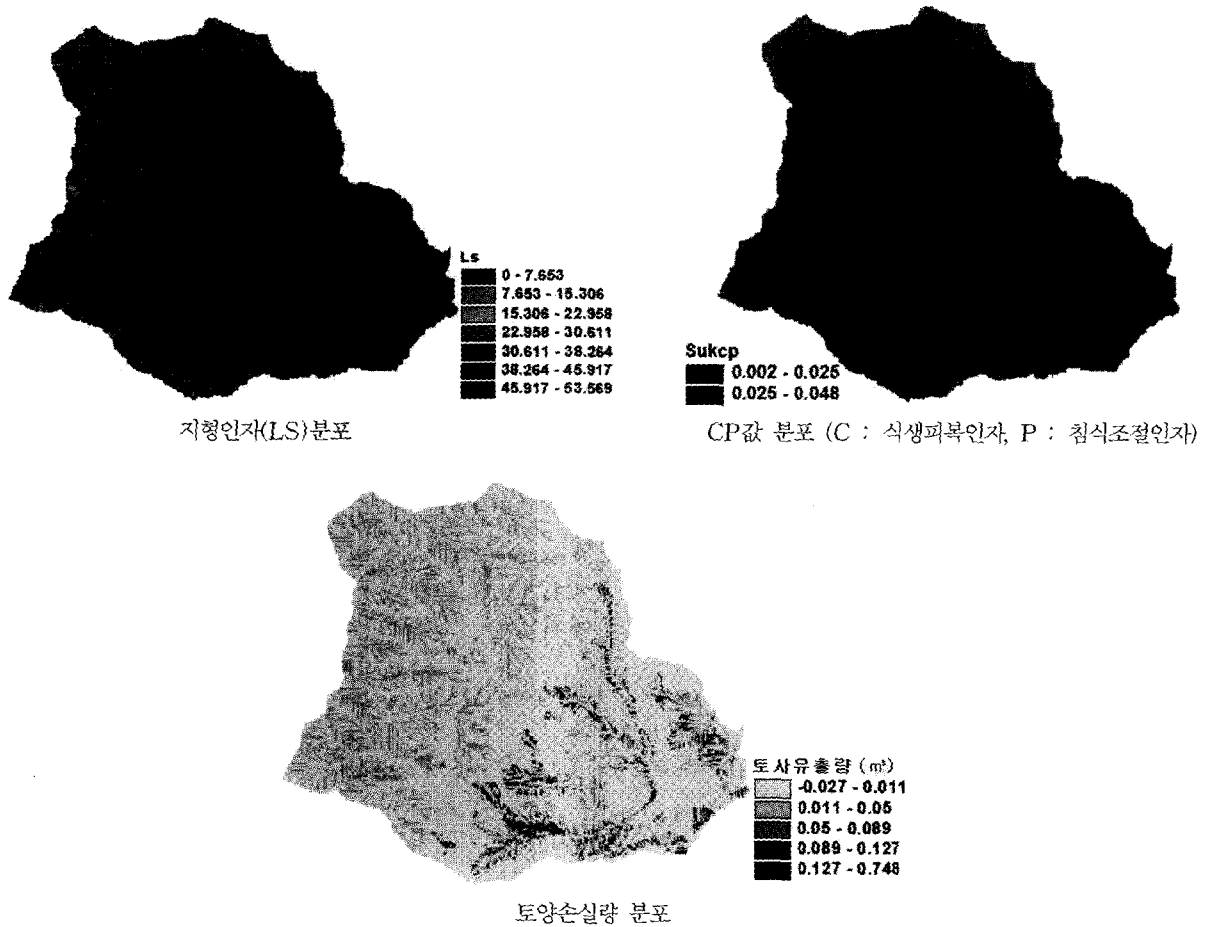


그림 3. 석계저수지 지형인자 및 토양손실 분포도

### 4.3 연구결과 비교검토

선정된 저수지의 준설량과 집합형 예측모형 및 분포형 예측모형을 이용하여 산정한 저수지로의 토사유입량을 비교 정리하면 표 9와 같다. 표 9의 준설량은 준설기간동안의 총합으로 표현하였으며 토사유입량은 준설기간동안 매년 연평균 강우침식도(R)에 의한 토사유입이 발생하는 것으로 가정하였다.

퇴사량 추정공식에 의한 저수지로의 토사유입량의 예측은 전체적으로 준설량보다 지나치게 과대평가 되는 경향을 보이고 있는데, 이는 추정식에 사용되어지는 유역의 면적이나 경사, 강우자료 등이 전체유역의 평균값이나 대표값으로 지나치게 단순화하여 적용되므로 나타나는 현상으로 판단되며 정량적으로는 큰 차이가 나타나나 서승덕 공식이 준설량과 가장 유사한 정성적 예측 특성을 타나내고 있음을 알 수 있다.

한편, 분포형 예측기법에 의한 토사유출량의 예측은 그림 4와 표 9에서 나타난 바와 같이 모든 저수지에 대해 MDS 기법이 NBH 기법보다 작은 토사발생량을 예측하고 있으며 다방향 알고리즘이 일방향 알고리즘보다 작은 예측결과를 보이고 있으며 알고리즘의 특성을 고려하면 당연한 결과라 하겠다. 또한 USLE 계열의 공식의 적용 기준에 따라 기여면적의 최대치를 적용할 때가 적용치 않을 때보다 작은 예측결과를 나타내고 있으며 이 또한 예상되었던 결과라 하겠다. 포작률을 고려할 때 저수지로의 토사유입량이 준설량보다 큰 것은 당연하다 하겠다. 전체적으로는 기여면적의 최대치를 무시한 다방향 알고리즘을 이용한 MDS기법(MDS-MF-unlimited)이 준설량과 가장 유사한 결과를 나타내고 있다.

표 9. 산정방법별 토사유입량과 준설량의 비교표 (단위 : m³)

		1차	2차	3차	4차
MDS	MF	limit	21,430	24,444	29,828
		unlimit	42,630	60,171	81,962
	SF	limit	28,804	32,592	41,240
		unlimit	65,903	63,722	117,237
	RUSLE		31,108	35,517	45,649
	USLE		27,651	32,174	37,868
NBH	MF	limit	38,021	36,353	58,359
		unlimit	45,625	72,079	151,215
	SF	limit	101,390	82,526	94,930
		unlimit	746,373	166,723	329,664
	RUSLE		125,586	74,378	99,080
	USLE		168,907	166,932	199,199
추정식	유시창 등(1975)		45,146	33,235	311,527
	류희정 등(1976)		59,668	52,885	107,452
	새마을 공식(1978)		123,339	93,244	180,243
	윤용남 (1982)		143,755	110,637	196,591
	안상진 등(1984)		24,310	21,128	33,990
	서승덕(1988)		169,934	206,380	185,296
	건설부(1992)		262,544	220,825	363,772
준설량		42,000	60,000	55,000	

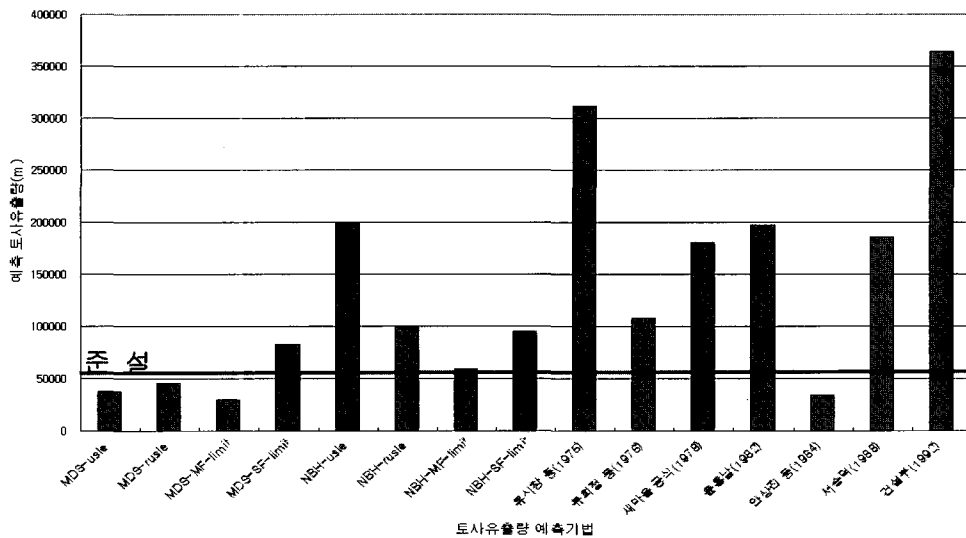


그림 4. 예측 토사유입량 및 실제 준설량(석계 저수지)

### 7. 결 론

본 연구는 효율적인 수자원 개발과 저수지 관리의 효과를 극대화하기 위해서 현재 전국의 농업용 저수지에 대한 저류용량과 퇴사량 현황을 분석하여 농업용 저

수지를 통한 수자원 확보 가능성을 제시하였다. 또한 비슷한 준공년도와 유역면적을 갖고 있으나 준설량 및 24-43% 경사도 등 지형학적 특성이 다른 소규모 저수지 세 곳에 대하여 농업용저수지의 준설량과 각종 토사유입량을 산정하여 비교함으로써 우리나라에 적합한 농업용

저수지의 퇴사량 예측기법을 개발하고 저류용량 감소 문제를 해결할 수 있는 기초자료를 제공하고자 하였다.

1. 경북지역의 경우 준설량은 저류량의 약 9-11%에 달하는 것으로 나타나 농업기반공사 산하의 저수지 전체에 대한 준설 등 효율적인 운영에 따라 저수지 유효 저류량의 10% 이상에 달하는 수자원을 추가로 확보할 수 있을 것으로 판단된다.
2. 퇴사량 추정공식에 의한 토사유입량에 대해서는 안상진과 이중형 공식은 과소하게 예측하고 있으며 나머지 대부분의 식들은 실제보다 과대평가 되는 경향을 나타낸다.
3. 다양한 분포형 예측기법을 적용하여 우리나라의 토사발생량 예측 가능성을 검토하였으며 선정된 세개의 저수지에 대해서는 NBH 모형과 다방향알고리즘을 접목한 분포형 예측기법이 실제의 현상에 가장 잘 유사한 예측치를 제시하고 있음을 알 수 있었다.
4. 보다 정확한 토사유입량 예측을 위해서는 토사의 전달률과 포착률에 대한 추가적 연구가 더 요구된다.

## 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호 2-5-1)에 의해 수행되었습니다.

## 참고 문헌

건설부 (1992). **댐 설계를 위한 유역단위 비유사량 조사연구**.

농림부(2002a). **저수지준설사업 관리요령**, 농림부·농업기반공사

농림부 (2002b). **항구적 가뭄대책을 위한 농촌용수 10개년 계획**, 농림부

박정환, 우효섭, 편종근, 김광일 (2000). 토양유실공식의 강우침식도 분포에 관한 연구, **한국수자원학회 논문집**, 제 33권 제 5호, pp.603-610, 2000. 10.

손광익 (2001). "해외 토사유출량 산정공식의 국내 적용성 검토(1) -RUSLE를 중심으로-.", **한국수자원학회 논문집**, 제34권 3호, pp. 199-207

Dosmet, P.J.J., and Govers, G. (1996). A GIS procedure for automatically calculating the topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation*, Vol. 5, No. 5, pp.427-433.

Haan, C.T., Barfield, B.J., and Hayes, J.C. (1994). *Design hydrology and sedimentology for small catchment*, Academic Press.

Hickey, R., Smith, A., and Jankowski, P. (1994). Slope length calculations from a DEM within ARC/INFO GRID: *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 18, No. 5, pp.365-380.

Julien, P.Y. & Frenette, M. (1987). Macroscale analysis of upland erosion, *Journal of Hydrol. Science*. Vol.32, No.3, pp.347-358.

Mark, D.M. (1984). Automated detection of drainage network from digital elevation, *Cartographica*, 21, pp.168-178.

Moore, I.D., and Burch, G.J. (1986). Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 50, pp.1294-1298.

Moore, I.D. and Wilson, P. (1992). Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation ; Simplified method of estimation. *J. Soil and Water Conservation*. 47, 5, pp.423-428.

Nearing, M.A. (1997). A single, continuous function for slope steepness influence on soil loss., *American J. of Soil Science Society*, 61, pp.917-919.

Quinn, P., Beven, K., Chevallier, P., and Planchon, O. (1991). The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using Digital Terrain Models. *Hydrological Processes*, Vol. 5, pp.59-79.

Renfro, G.W. (1972). "Use of erosion equations and sediment-delivery ratios for predicting sediment yield." *Proc., Sediment-Yield Workshop*, Oxford, Miss., Nov. 28-30, pp.33-45.

TRB (1980). *Design of sedimentation basins*. National Cooperative highway Research Program Synthesis of Highway Practice #70, Transport Research Board.

USDA (1997). *Predicting soil erosion by water : A Guide to conservation planning with the RUSE*. Agriculture Handbook #703.

(논문번호:03-94/접수:2003.10.23/심사완료:2004.05.17)