

저수지 장기운명을 위한 퇴적토사의 효율적 관리(1) - 저수지 퇴사량 산정

안재현 · 장수형^{*†} · 최원석^{**} · 윤용남^{***}

서경대학교 토목공학과

^{*}고려대학교 방재과학기술연구센터

^{**}(주) 현대건설 기술개발원(설계)

^{***}(주) 삼안 수자원부

An Efficient Management of Sediment Deposit for Reservoir Long-Term Operation (1) - Reservoir Sediment Estimation

Jae Hyun Ahn · Su Hyung Jang^{*†} · Won Suk Choi^{**} · Yong Nam Yoon^{***}

Department of Civil Engineering, Seokyeong University

^{*}Research Center for Disaster Prevention Science and Technology, Korea University

^{**}Development Institute of Construction Technology, Hyundai Engineering & Construction

^{***}Water Resources Dept., Saman Corporation

(Received 24 August 2006, Accepted 13 October 2006)

Abstract

In this study, the method of annual sediment estimation for reservoir long-term operation is proposed. Long-term daily precipitation and evaporation are predicted by Markov Chain. Using these values, reservoir inflow is simulated by NWS-PC model. Reservoir sediment load is estimated by sediment rating relation curve which is observed. From the simulation results, it was found that each simulated value by Markov Chain and NWS-PC was well compared to the observed ones and also estimated reservoir sediment was appropriate to the compared values using empirical equations. It is thought that the proposed method for estimation of reservoir sediment can be useful used to operate the reservoir.

keywords : Markov chain, NWS-PC, Reservoir sediment, Sediment rating curve

1. 서론

저수지내로 유입된 유사의 퇴적은 저수지 기능에 여러 가지 장애를 초래하므로, 장기적 퇴사의 예측은 저수지의 계획이나 운영에 있어서 매우 중요한 사항이다. 특히, 잘못된 퇴사의 예측은 저수지의 운영목적 달성은 물론 배사시설 또는 저수지의 운영방법의 재검토 등 경제적으로 막대한 손해를 볼 수 있으며, 용수공급을 어렵게 할 수 있다.

저수지 퇴사로 인한 가장 주된 문제점은 저류용량의 감소로 이는 각종 목적을 위한 가용수자원의 감소를 의미하며, 이외에도 상류하천의 하상상승, 하천수질 및 생태학적 변화, 하류하상의 변화, 준설토 처리 등과 같은 문제점이 발생하게 된다(윤, 1988).

이와 같이 저수지 퇴사로 인한 치수 및 이수 그리고 환경적인 영향은 막대하기 때문에 무엇보다도 저수지 퇴사량의 정확한 예측은 저수지 운영에 필수적이라 하겠다. 국내의 저수지 퇴사량 예측은 퇴사량 자료가 있는 저수지를 대상으로 연평균 비퇴사량 산정을 위한 경험공식을 유도하는

방법(건설부, 1978; 건설교통부, 2002; 김 등, 1993a, 1993b; 류 등, 1975, 1976; 서 등, 1988; 안 등, 1984; 윤, 1981)이 주로 이용되고 있다. 그러나 경험공식의 대부분은 유역면적이 100 km² 이하의 농업용 저수지를 대상으로 하고 있고 대규모 저수지에 대한 퇴사량 산정에 대한 연구(건설교통부, 2002; 윤, 1981)는 미미한 실정이다. 이밖에 저수지 퇴사량 산정에 대한 연구로는 USLE (Wischmeier et al., 1965), RUSLE(USDA, 1997)와 같은 토사발생량 산정공식을 이용(손 등, 2004)하거나 유량-유사량 관계 곡선식을 이용(정, 1997)하는 방법이 있다.

저수지의 효율적 운영을 위해서는 장기적으로 경년별 퇴사량을 예측하여 대책을 수립하여야 하나 이들 선행연구는 일정한 기간 동안에 퇴적된 토사총량을 기준으로 연평균 비퇴사량을 추정하는 방법으로서 경년별 저수지의 퇴적현상을 추정하는 데는 한계가 있으며, 저수지 퇴사량 산정은 불확실성이 높기 때문에 실측자료를 바탕으로 한 방법의 신뢰도가 가장 높을 수밖에 없다.

본 연구에서는 미계측 지점인 한탄강 ○○댐을 대상으로 마코프 연쇄(Markov chain) 방법으로 장기 일 강수량과 일 증발량을 모의하고 강우-유출모형인 NWS-PC모형을 이용하여 장기유출량을 모의하였다. 그리고 실측된 유량과 유사

[†] To whom correspondence should be addressed.
angel452@korea.ac.kr

량을 통해 유량-유사량 관계곡선을 유도한 후 모의된 장기 유출량을 이용하여 저수지 장기 퇴사량을 추정하였다.

2. 저수지 장기 유출량 모의

2.1. 한탄강 ○○댐의 주요 특성

한탄강 ○○댐은 임진강을 중심으로 최근 기록적인 집중 호우로 여러 차례의 대홍수로 인한 인명 및 재산피해 발생과 수도권 인근 급속한 도시화에 따른 장래 용수수요 발생에 따른 해결책으로 Fig. 1과 같이 임진강하류점으로부터 24.4 km 상류인 한탄강 본류에 계획되었다(건설교통부, 2002).

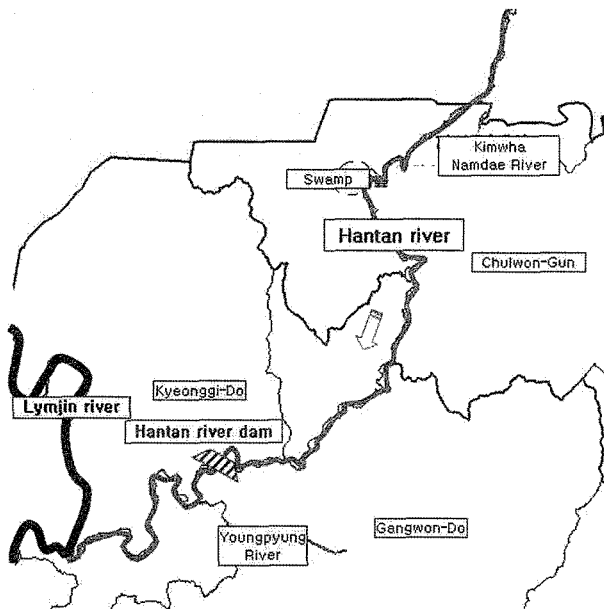


Fig. 1. Location of hantan river ○○dam.

대상 댐의 유역면적은 1,279 km²으로 한탄강 전체유역면적 2,436 km²의 52.5%에 해당되며, 홍수조절용량이 305백만 m³, 계획홍수위(D.W.L)는 EL.116.8 m로 계획되었으나 이를 유지하기 위한 설계상(건설교통부, 2002)의 여러 제약 조건으로 저수지 퇴사용량을 고려하지 못하여 댐의 건설을 위해서는 저수지내 퇴사의 방지대책이 필요한 실정이다.

한탄강 ○○댐의 유역특성 및 제원은 Table 1과 같다.

Table 1. Characteristics of hantan river ○○Dam (MOCT, 2002)

| Characteristics | Unit | Hantan river ○○dam |
|------------------------|--------------------------------|--------------------|
| Watershed area | km ² | 1,279 |
| Channel length | km | 116.6 |
| Maximum water level | EL.m | 119.1 |
| Normal water level | EL.m | 73.0 |
| Designed water level | EL.m | 116.8 |
| Restricted water level | EL.m | 60.0 |
| Effective storage | 10 ⁶ m ³ | 20.8 |
| Flood control storage | 10 ⁶ m ³ | 305.0 |

2.2. 강수량 및 증발량 모의

한탄강 ○○댐 저수지내 퇴사 특성을 분석하기 위해서는 장기 일 유출량 자료가 필요하다. 일반적으로 장기 일 유출량의 모의에는 측정된 유출량 자료의 통계 특성을 이용하여 유출량을 직접 모의하는 방법과 강수량 등의 자료를 모의한 후 강우-유출 모형을 이용하여 유출량을 모의하는 방법이 적용된다.

본 연구에서는 대상유역에 가용한 전곡수위표 유출량 자료의 기간이 3년으로 너무 짧기 때문에 전자의 방법을 적용하지 못하고 칠원관측소의 일 강수량과 일 증발량을 마코프 연쇄(Markov Chain) 방법으로 모의한 후 강우-유출 모형을 이용해서 장기 일 유출량 자료를 산정하는 방법을 이용하였다.

2.2.1. Markov Chain

마코프 연쇄(Markov Chain)는 일 단위의 강우와 무강우 사이의 전이확률(transition probability)에 근거하여 강우의 발생 유무를 결정하는 것을 기초로 하는 모형이다. 이 모형은 강우의 모의발생이 상대적으로 쉽고 확률의 추정도 과거 자료를 분석하여 상대적으로 쉽게 할 수 있다는 장점이 있다. 아울러 이 모형을 이용한 강우 또는 무강우 일의 발생은 일 단위와 같이 주어진 시간단위로의 순차적 모의가 가능하기 때문에 포아송 과정(Poisson process)에 근거한 모형과 같이 주어진 시간단위로 모의 결과를 재구성해야 하는 번거로움이 없다. 또한 마코프 연쇄에 근거한 모형은 주어진 전이확률에 따라 강우 또는 무강우 사상이 결정되기 때문에 강우의 근집특성을 고려해 주는 과정을 따로 고려하지 않는 것이 일반적이다.

마코프 연쇄를 이용한 강우의 발생과정은 다음과 같다. 먼저 k번째 일에 발생하는 강우 또는 무강우 사상을 나타내는 X_t 를 정의하면 식 (1)과 같다.

$$X_t = 0, \text{ if day } t \text{ is dry} \\ X_t = 1, \text{ if day } t \text{ is wet} \quad (1)$$

강우량 계열 Y_t 는 강우량을 나타내는 R_t 를 곱하여 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_t = R_t X_t \quad (2)$$

즉, Y_t 는 X_t 가 0일 경우 0의 값(무강우)을 갖고 X_t 가 1일 경우 R_t 의 값을 갖는다. 현재의 강우 발생확률이 바로 전날의 강우 유무에 의해서 결정된다고 가정하면 X_t 는 1차 마코프 연쇄모형을 따르게 되고, 강우 또는 무강우 확률은 식 (3)의 4가지 경우로 나타낼 수 있다.

$$\Pr X_t = 1 | X_{t-1} = 0 = p_{01} \\ \Pr X_t = 1 | X_{t-1} = 1 = p_{11} \\ \Pr X_t = 0 | X_{t-1} = 0 = p_{00} \\ \Pr X_t = 0 | X_{t-1} = 1 = p_{10} \quad (3)$$

식 (3)은 각각 $t-1$ 일이 무강우인 경우와 강우인 경우에 t 일 강우가 발생할 조건부 확률 및 무강우일일 조건부 확률을 나타낸다. 따라서 $p_{00} = 1 - p_{01}$ 이고 $p_{11} = 1 - p_{10}$ 이다.

1차 마코프 연쇄에 근거한 X_t 계열의 추계학적 모의는 균등분포(uniform distribution)로부터 난수를 발생시키고 식 (3)의 확률에 근거해 강우 또는 무강우의 결정을 통해 이루어진다. 즉, 다음과 같이 강우발생의 한계확률 p_c 를 정의하면 식 (4)와 같다.

$$p_c = \begin{cases} p_{01}, & \text{if } X_{t-1} = 0 \\ p_{11}, & \text{if } X_{t-1} = 1 \end{cases} \quad (4)$$

X_t 값은 식 (5)에 의해 결정된다.

$$X_t = \begin{cases} 1, & \text{if } u_t \leq p_c \\ 0, & \text{if } u_t > p_c \end{cases} \quad (5)$$

여기서 u_t 는 균등분포, $U(0, 1)$ 에 의해 발생된 난수를 의미한다.

2.2.2. Markov Chain을 이용한 일 강수량과 증발량 모의

철원관측소 14개년의 일 강수량과 증발량 자료를 이용하여 Markov Chain 방법으로 100년 동안의 일 강수량과 증발량을 모의하였다. 이를 위해 강수량 및 증발량 자료를 통계처리하여 전이확률 p_{00} , p_{01} , p_{10} , p_{11} 을 월별로 각각 산정한 후, 균등분포 $U(0, 1)$ 에 의해 발생된 난수인 u_t 를 적용해서 일별 강수량과 증발산량을 산정하였다. 철원관측소 1988~2001년의 강수량 및 증발량을 Table 2와 같이 비교하면 100년 모의 결과 값이 실측자료의 값을 잘 모의하는 것으로 파악되었다. Table 2는 증발점사에서 측정된 증발량으로 이를 잠재증발량으로 환산하려면 증발점시계수를 곱하여 사용한다.

2.3. 장기 유출량 모의

전절에서 설명한 바와 같이 장기유출량 모의를 위한 실측 유출량 자료의 기간이 너무 짧아 강우-유출 모형을 이용하여 미계측유역의 장기 유출량을 모의하는 방법으로 그 적용성이 널리 입증된 NWS-PC 모형을 이용하였으며, 모형의 입력 자료인 100년 장기 일 강수량 및 증발량은 Markov Chain에서 산정된 자료를 이용하였다.

2.3.1. NWS-PC

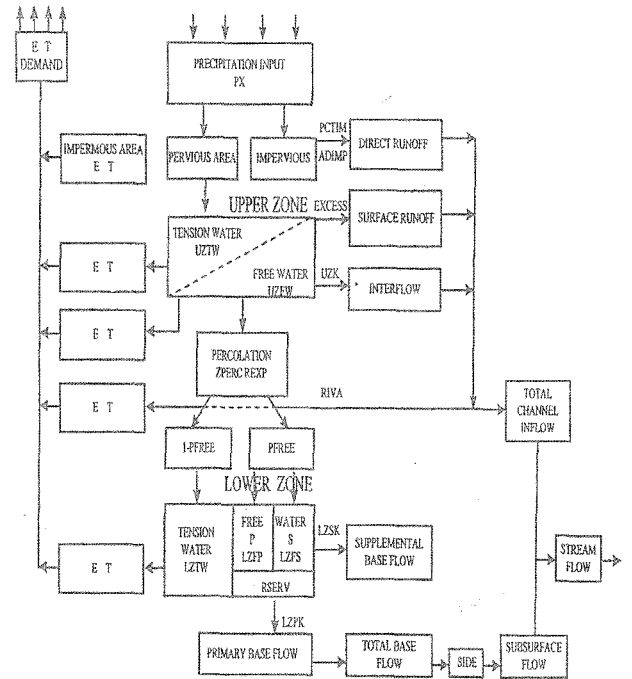


Fig. 2. Flow chart for computation of NWS-PC (Johnson et al., 1989).

NWS-PC 모형은 미국 국립 기상국(National Weather Service)에서 개인용 컴퓨터에서 수행가능 하도록 National Weather Service River Forecast System(NWSRFS)를 개선한 모형으로서 크게 토양 함수상태 계산(SAC-SMA) 모형과 흐름에 대한 추적모형으로 구분된다.

SAC-SMA의 모형은 Fig. 2와 같이 유역을 상층부(upper zone)와 하층부(lower zone)로 구분한다. 상층부는 상부 토양층과 차단 저류지를 나타내고 하층부는 토양 수분체나 지하수체를 표시한다. 상하층의 수분은 자유로이 이동할 수 있는 자유수(free water)와 토양 입자에 부착된 부착수(tension water)로 이루어진다. 그리고 하층부의 지하수는 다시 두 가지로 나뉘어져서, 장기간의 기저유출을 모의하는 기저자유수(primary free water)와 상대적으로 최근에 발생한 강우에 의해 나타나는 보조자유수(supplemental free water)로서 존재한다. 모형에서 고려하는 물 배분의 개념은 먼저 부착수 성분이 채워진 후 자유수 성분이 공급된다. 부착수는 증발산에 의해서만 탈수(depletion)되며, 자유수는 침투와 증발산에 의해 탈수된다. 상층부에서 하층부로 수분이 이동하는 침투현상은 상층부 가용수분과 하층부 수분 부족량의 함수이다. NWS-PC에서 모의되는 유출성분은 다음의 다섯 가지로 구분된다.

Table 2. Comparison of observed (1988-2001) and simulated (100 yrs) values.

| | Month | Annual mean values | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------|--------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Total |
| Rainfall (mm) | Simulated | 26.0 | 23.3 | 48.6 | 42.4 | 93.7 | 123.4 | 389.7 | 301.5 | 159.8 | 51.4 | 59.3 | 20.1 | 1339.2 |
| | Observed | 22.2 | 24.9 | 39.7 | 50.4 | 102.1 | 140.2 | 392.8 | 299.4 | 134.3 | 49.3 | 53.6 | 22.7 | 1331.6 |
| Evaporation (mm) | Simulated | 38.8 | 47.0 | 80.4 | 123.7 | 139.2 | 133.1 | 127.3 | 139.9 | 114.0 | 87.3 | 53.9 | 39.3 | 1123.8 |
| | Observed | 36.3 | 45.0 | 82.8 | 133.1 | 150.0 | 137.2 | 122.9 | 137.1 | 113.9 | 85.2 | 53.3 | 38.5 | 1135.4 |

- 영구적인 또는 일시적인 불투수 영역으로부터 유출되는 직접유출(direct runoff)
- 상부층 포화 또는 침투 및 중간유출율의 초과시 발생하는 지표면 유출(surface runoff)
- 상층부의 자유수에서 배수되는 중간유출(interflow)
- 보조 지하수(supplemental baseflow)
- 기저 지하수(primary baseflow)

이중 처음 3개 성분으로 구성되는 총 하도 유입량은 운동과 추적법이나 단위도-Muskingum 추적방법에 의해 하도 홍수추적되며, 마지막 2개 성분으로 구성되는 지하 유출(subsurface flow)은 선형 감쇠 가중 함수(linear decay weighting function)로 계산한 후 유역출구에서 하도 유입량에 합산된다.

2.3.2. NWS-PC 모형에 의한 장기 일 유출량 모의

2.2.2절의 Markov Chain 방법으로 모의된 100년 일 강수량 및 증발량 자료와 NWS-PC 모형의 매개변수를 1:25,000 수치지형도에서 산정하여 100년 일 유출량을 모의하였다. Markov Chain 방법으로 모의된 증발량 자료는 NWS-PC 모형의 잠재증발량으로 변환하기 위한 매개변수인 PEADJ를 통해 환산계수(0.7)를 적용하여 잠재증발량으로 환산되었다. 그러나 본 연구에서 모의된 장기 일 유출량 자료는 실측된 유량-유사량 관계곡선 식을 통해 저수지로 유입되는 유사량을 추정하는 목적이며, 저수지로 유입되는 대부분의 토사는 성수기인 6~9월 사이의 집중호우에 의해 발생되기 때문에 증발량의 영향은 미미하다 할 수 있다. 참고로 Tabios III 등(1986)에 따르면 강우량을 제외하고 NWS-PC 모형의 매개변수 중 LZTWM(하층부 부착수의 최대 저류용량)의 민감도가 가장 높은 것으로 분석하였다.

모의 결과를 한탄강 기본설계보고서(건설교통부, 2002)에서 인근 화천댐 실측유입량과 비유량법으로 산정된 자료를 Table 3과 같이 비교하면 NWS-PC모형을 이용하여 모의된 유출량의 값과 유사함을 알 수 있다.

3. 저수지 비퇴사량 산정

3.1. 실측을 통한 유량-유사량 관계곡선의 유도

하도로 유입된 유사량 산정 방법에는 여러 가지가 있으나, 크게 분류하면 실측에 의한 방법, 통계적 경험방법, 모형에 의한 방법 등의 세 가지로 나눌 수 있다(건설부, 1992).

실측에 의한 방법은 대상 지점의 유사량과 유량을 직접 실측하여 비유사량을 추정하는 방법이며, 통계적 경험방법은 비유사량에 영향을 줄 수 있는 유역의 지상 및 수문특성 요소들과 비유사량과의 경험적인 관계를 통계적 방법으로

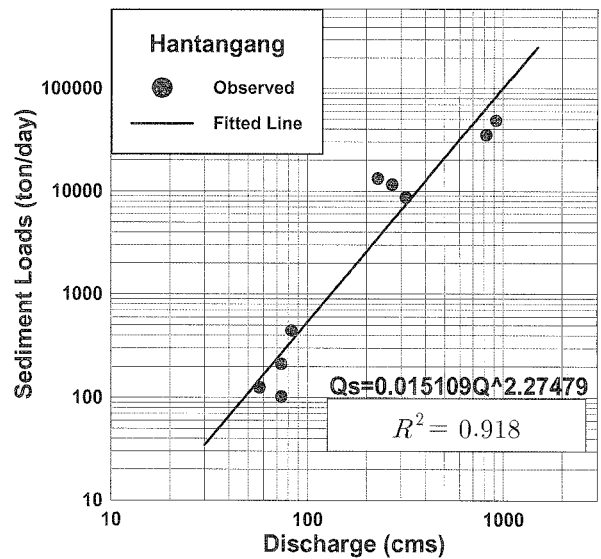


Fig. 3. Sediment rating curve at Gunguk stage.

의해 도출하는 방법이다. 그리고 모형에 의한 방법은 대상 유역의 유사 특성을 모형화한 후, 강우량 또는 유량에 따라서 유사량을 산정하는 방법이다.

그러나 대상지점의 유사량을 분석하는 어떤 방법도 결국은 실측자료를 바탕으로 한 방법의 신뢰도가 가장 높을 수밖에 없으며, 모형을 이용하는 여러 방법 또한 실측자료에 의한 모형의 검증(calibration) 과정을 거쳐야만 한다. 따라서 본 연구에서는 전국 수위표에서 실측된 유량과 유사량으로 부터 식 (6)과 같은 유량-유사량 관계곡선을 유도하였으며, 결정계수(R^2)는 0.918로 정확도는 높은 편인 것으로 추정되었다.

$$Q_s = 0.015109 \cdot Q^{2.27479} \tag{6}$$

여기서, Q_s 는 유사량(tons/day), Q 는 유량(m^3/s)을 나타낸다.

3.2. 비유사량 추정

저수지내에 퇴적되는 퇴사로 인한 영향을 파악하기 위해서는 먼저 장기간 동안 저수지내로 유입되는 비유사량을 추정해야 한다. 비유사량은 단위기간(1년) 동안 단위유역면적(km^2)에 유입되는 유사량(tons/ km^2/yr)을 의미하며, 본 연구에서는 실측을 통해 유도된 유량-유사량 관계곡선 및 NWS-PC 모형으로 추정된 대상지점에서의 유입량을 이용하여 비유사량을 결정하였다. 이와 같은 과정을 통해 연평균 유량 30.1(m^3/s)인 한탄강 ○○댐 계획지점에서의 비유사량을 산정한 결과, 697(tons/ km^2/yr)로 나타났다.

Table 3. Comparison of specific discharge (MOCT, 2002) and simulated (NWS-PC) discharge

| Unit: m^3/s | Month | Annual mean values | | | | | | | | | | | |
|---------------|-------|--------------------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|-----|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Mean |
| Simulated | 4.6 | 3.9 | 8.0 | 4.2 | 11.4 | 19.1 | 118.4 | 104.3 | 56.9 | 12.5 | 12.8 | 4.8 | 30.1 |
| Specific | 4.4 | 5.2 | 11.4 | 22.8 | 20.1 | 13.7 | 74.8 | 98.2 | 54.2 | 14.3 | 11.7 | 6.8 | 28.3 |

Table 4. Trap efficiency of hantan river ○○dam

| Dam | Storage capacity (10 ⁶ m ³) | Annual mean inflow (10 ⁶ m ³) | Capacity-inflow ratio | Trap efficiency (%) |
|-----------------|---|---|-----------------------|------------------------|
| Hantan river ○○ | 396.33 | 949.23 | 0.42 | 94.6 % |

Table 5. Comparison of specific sediment by this study and using equations (m³/km²/yr)

| Specific Sediment (m ³ /km ² /yr) by Each Equation | | | | |
|--|------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| This study | Yoon(1981) | Ryu et al. (1975) | Ryu et al. (1976) | Ahn et al. (1984) |
| 471.0 | 290.0 | 570.0 | 800.0 | 370.0 |

3.3. 비퇴사량 추정

비퇴사량은 단위기간(1년) 동안 단위유역면적(km²)당 저수지에 퇴적되는 퇴사의 양(m³/km²/yr)으로 정의되며, 댐 계획시 비유사량(tons/km²/yr)에 저수지 포착율(trap efficiency) 및 저수지 퇴적토의 단위중량(tons/m³)을 고려하여 식 (7)과 같이 결정하게 된다.

$$\text{비퇴사량} = \frac{\text{비유사량} \times \text{저수지 포착율}}{\text{퇴적토 단위중량}} \quad (7)$$

여기서, 퇴적토의 단위중량은 1.4(tons/m³)으로 저수지 포착율(trap efficiency)은 저수지내에 침전되는 유사량과 총 유사량의 비를 의미하며, 댐 저수량과 연평균 유입량의 비(capacity-inflow ratio)와 유사입자의 크기(fine~coarse sediment)에 따라 결정된다. 통상 저수지포착율은 경험공식을 이용하게 되는데 Churchill(1948)은 소형저수지, Brune(1953)은 대형저수지의 자료를 이용하여 경험식을 제안하였다.

한탄강 ○○댐은 저수용량이 396.33백만 m³인 대형저수지로 Brune(1953)의 방법을 이용하여 저수지 포착율을 계산하였으며, 결과는 Table 4와 같다.

이와 같은 과정으로 산정된 연평균 비퇴사량은 471(m³/km²/yr)로 기존 공식을 이용해서 분석된 결과를 Table 5와 같이 비교하였다. 실측치를 기반으로 산정한 본 연구의 비퇴사량이 기존 공식과 비교하여 신뢰도가 높다고 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 저수지의 효율적인 장기운영을 위해 경년별 퇴사량 추정방법을 제시하였다. 이를 위해 저수지의 장기 일 강수량과 일 증발량을 마코프 연쇄(Markov chain)방법으로 모의하고 NWS-PC 강우-유출모형을 이용하여 저수지 장기 유입량을 모의하였다. 그리고 실측된 유량과 유사량을 통해 유량-유사량 관계곡선을 유도한 후 모의된 장기 유출량을 이용하여 저수지 장기 퇴사량을 추정하였다.

마코프 연쇄(Markov chain)와 NWS-PC 모형으로 모의된 일 강수량, 일 증발량, 일 유출량을 실측된 자료와 비교한 결과 모두 유사한 값을 갖는 것으로 분석되었으며, 저수지 포착효율을 고려한 저수지 비퇴사량은 기존 경험공식으로 산정된 값과 비교한 결과 유사한 값으로 산정되었으나 본 연구에서는 실측치를 기반으로 산정하였으므로 기존 공식

과 비교하여 신뢰도가 높다고 판단된다.

이러한 저수지의 장기 퇴사량 예측은 일단위로 계산되기 때문에 기존 연구에서 수행되지 못한 저수지의 경년별 퇴사량을 추정함으로써 저수지 퇴사에 대한 경년별 대책수립이 가능할 것으로 파악되었다.

사 사

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업(03산학연C03-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구 성과로 연구지원에 감사합니다.

참고문헌

- 건설부, *새마을 수문조사사업 최종기술보고서* (1978).
 건설부, *댐 설계를 위한 유역단위 비유사량 조사·연구* (1992).
 건설교통부, *한탄강댐 기본설계보고서* (2002).
 김진택, 박승우, 관개용 저수지의 퇴사량과 포착효율의 추정, *한국수문학회지*, **26**(3), pp. 63-74 (1993a).
 김진택, 박승우, 서승덕, 관개용 저수지의 유사량과 유역 유사량 추정식, *한국농공학회지*, **35**(2), pp. 104-115 (1993b).
 류시창, 민병형, 저수지의 퇴사에 관한 연구, *한국농공지*, **17**(3), pp. 46-53 (1975).
 류희정, 김치원, 저수지의 퇴사에 관한 연구, *한국수문학회지*, **9**(2), pp. 67-75 (1976).
 서승덕, 박흥익, 천만복, 윤경덕, 유역의 지상적 요인과 저수지 비퇴사량과의 관계분석, *한국농공학회지*, **30**(4), pp. 45-61 (1988).
 손광익, 심명필, 농업용 저수지의 퇴적토사 관리를 통한 효율적 수자원 개발, *한국수자원학회논문집*, **37**(6), pp. 467-477 (2004).
 안상진, 이종형, 저수지 퇴사량과 유역인자와의 상관, *한국수문학회지*, **17**(2), pp. 107-112 (1984).
 윤용남, 관개용 저수지의 연평균퇴사량과 저수용량 감소율의 산정, *대한토목학회논문집*, **1**(1), pp. 69-76 (1981).
 윤용남, 저수지 퇴사, *한국수자원학회지*, **21**(1), pp. 9-15 (1988).
 정재성, 일유량 분석을 이용한 대규모 저수지의 퇴사량 추정, *한국환경과학회지*, **6**(5), pp. 417-423 (1997).
 Brune, G. M., *Trap Efficiency of Reservoirs*, Transactions of American Geophysical Union, **34**(3), pp. 407-418 (1953).
 Churchill, M. A., *Discussion of Analysis and Use of Reservoir Sedimentation Data*, by L. C. Gottschalk, Proceedings, Federal Inter-Agency Sedimentation Conference, Denver,

- Cololado (1948).
- Johanson, R. C. and Imhoff, J. C., Hydrological Simulation Program Fortran(HSPF) : user's manual for release 9.0, Environmental Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Athens, Georgia (1989).
- Tabios III, G., Obseysekera, J. T. and Salas, J. D., *Hydrology and Water Resource Program*, Colorado State University, Ft Collins, Colorado (1986).
- USDA, *Predicting Soil Erosion by Water : A Guide to Conservation Planning with the RUSE*, Agriculture Handbook #703 (1997).
- Wischmeier, W. H. and Smith, D. D., *Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains*, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Agricultural Handbook, No. 282 (1965).