

2次元 流砂運送模型을 利用한 貯水池 堆積分布類型의 推定

Prediction of Reservoir Sedimentation Patterns Using a Two-Dimensional Transport Model

李 奉 勳* · 朴 昌 彦** · 朴 承 禹***
Lee, Bong Hoon · Park, Chang Eon · Park, Seung Woo

Summary

The sedimentation patterns at a reservoir, important to the reservoir capacity curve were simulated using a depth averaged, two-dimensional sediment transport model, that is capable of depicting velocity distributions and sediment transportation. The Banweol reservoir, whose stage capacity relationships have been surveyed before and after the construction, was selected and the daily inflow rates and stages were simulated using a reservoir operation model(DI-ROM). The applicability of the transport model was tested from the comparisons of simulated sedimentation patterns to the surveyed results.

The simulated inflow rates and water level fluctuations at the reservoir during twenty-one years from 1966 to 1986, showed that water levels exceeding 80 percent of the total capacity occurred for 70 percent of the periods and inflow rates less than 5000m³/day sustained for 54 percent of the spans.

Dorminant flow directions were simulated from two streamflow inlets to the dam site. And simulated sediment concentrations were higher near the inlets and lower at the inside of the reservoir. Sediment was deposited heavily near the inlets, and portions of sediments were distributed along the flow paths within the reservoir.

The comparisons between the simulation results and the surveyed depositions were partially matched. However, it was not possible to compare two results at the upper parts of the reservoir where dredging was carried out few times for the purpose of reservoir maintena-

* 農林水産部 農漁村開發局

** 서울大學校 農業生命科學大學 博士過程 修了

*** 서울大學校 農業生命科學大學

키워드: 2次元 流砂運送模型, 土砂堆積, 模擬發生,
탱크模型, 數值解析, 連續方程式, 모우멘텀
방정식, 流砂運送連續方程式, 有限差分法,
다중法, Toffaleti法.

nce. This study demonstrates that sedimentation patterns within the reservoir are closely related to incoming sediment and flow rates, water level fluctuations, and flow circulation within the reservoir.

I. 緒 論

作物生育에 필요한 물을 공급하기 위한 灌溉用水源으로서 많은 貯水池가 축조 되었으며, 이러한 灌溉用 貯水池는 불규칙적으로 내리는 자연강우를 저류하였다가 필요한 시기에 적정량의 灌溉用水를 공급하기 위한 것이다. 貯水池는 이러한 灌溉를 위한 水資源의 확보이외에도 生工用水의 供給, 發電, 洪水調節 및 觀光資源 등으로 다양한 역할을 담당하고 있다.

貯水池를 축조하려면 많은 양의 수집된 자료를 기초로 하여 貯水池 流入量을 분석하고, 消費水量을 산정한 후 水收支分析을 통하여 內容積을 결정하게 된다. 水收支分析은 미래를 예측한 水需要의 판단, 浸透量, 수로 및 포장에서의 用水損失, 그리고 土砂堆積으로 인한 貯水池의 內容積의 감소 등 각종 손실 등을 고려한 貯水池의 용량 결정 등의 단계를 거쳐야 한다. 특히 土砂堆積은 貯水池 內容積의 감소를 초래하여 장기간이 경과한 후에는 물부족의 원인이 되므로 정확한 토사매몰량의 예측이 중요하다.

流砂를 運送하는 河川은 貯水池로 유입되게 되고, 貯水池내에서의 流速의 감소는 流砂運送能力(transporting capacity)의 감소를 가져와 貯水池 바닥에 土砂의 堆積을 발생시킨다. 貯水池에 유입된 土砂를 효율적으로 배제하는 일은 거의 불가능하므로 流入土砂의 대부분이 貯水池 내에 堆積되는 것이 보통이다. 그러나 현 시점에서 貯水池 축조 후의 土砂流入으로 인한 內容積 감소문제는 크게 대두되고 있지만 貯水池에 쌓이는 土砂堆積量을 현실에 접근되게 예측할 수 있는 연구는 미흡한 실정이다.

장기간에 걸쳐 貯水池에 堆積되는 土砂量을 경험식으로 구하는 방법에는, 상류에서 유입하는 土砂量에 대한 貯水池 堆積量의 비율을 계산하여 추정하는 堆積效率(trap efficiency) 방법과, 貯水池에 堆積한 土砂의 密度를 측정하고 貯水池 操作方式에 따라 이를 분류한 후 실측 자료로부터 유도된 경험식을 이용하여 장기간 후의 堆積量을 계산하는 방식이 있으며, 또한 貯水池내 堆積土砂의 분포유형은 貯水池의 操作方式, 流入土砂의 粒子, 貯水池의 형태, 堆積量 등에 좌우되므로 貯水池 유형별로 경험식을 유도하는 土砂堆積으로 인한 內容積 曲線을 추정함으로써 貯水池내 표고별 堆積分布를 구하는 방법 등이 이용되고 있다.⁶⁾

本 研究에서는 半月貯水池를 對象地區로 선정하여 貯水池 日別模擬操作模型(DIROM)을 이용하여 貯水池 流入量, 放流量 및 水位變化를 추정하고, 貯水池 축조 후에 발생할 수 있는 土砂 堆積量의 추정과 土砂堆積 位置를 예측할 수 있는 2次元 動水力學 流砂運送模型을 개발하여 堆積類型을 추정하였으며, 실제 측량결과와 비교하여 그 應用性을 검토하였다.

II. 貯水池 操作 模擬發生

貯水池에 유입되는 土砂의 堆積分布는 貯水池의 貯水量, 流入流量, 放流量 등의 水文因子 및 그 相關關係에 따른 물의 유동과 밀접한 관계가 있다. 따라서 貯水池 堆積分布의 추정을 위하여는 장기간의 貯水池 操作에 대한 정보가 필요하다.

1. 對象貯水池

본 研究의 對象貯水池는 京畿道 華城郡 半月 面에 위치한 半月貯水池를 선정하였는데, 이 貯水池는 1952~1957년 사이에 축조된 것으로 서울大學校 農業生命科學大學附設 農業開發研究所에서 1985년 이래 물管理 研究의 수행을 위하여 貯水池 內容의 測量이 실시된 바 있어 內容積變化에 대한 자료를 얻을 수 있다.

半月貯水池의 制원은 流域面積이 1220ha이며, 流入量은 대부분 2개의 지천으로부터 유입되고 있으며 貯水池 滿水面積은 46ha, 內容積은 139.6ha · m로서 405ha의 농경지에 灌溉用水를 공급하고 있다.

2. 貯水池 日別模擬操作模型

貯水池의 流砂堆積과 직접적인 關係이 되는 流入量과 貯水池 水位變化 등의 計算을 위하여 金, 朴(1988)⁸⁾이 개발한 貯水池 日別模擬操作模型(DIROM模型)을 이용하였다. 이는 貯水池의 물收支 要素인 流入量, 灌溉量, 越流量, 貯水位 등의 日別 變化를 模拟발생할 수 있도록 개발된 것이다.

가. 流入量

DIROM은 日別 流入量의 模拟발생을 위하여 Tank模型을 선정하고, 우리나라 灌溉用 貯水池의 特性에 맞게 수정하였다. Tank模型에 의한 流域의 流出量은 日別 강우량으로부터 다음과 依해 計算된다.

$$Q_{ij} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (ST_{it} - H_{ij}) A_{ij} \quad \dots\dots\dots(1)$$

- 여기서, Q_{ij} : t일의 總流出量(mm)
- i : 탱크의 수
- j : i 탱크의 유출공의 수
- ST_i : i 탱크의 저류수심(mm)
- H_{ij} : i 탱크의 j 번째 유출공의 높이 및
- A_{ij} : 유출공의 단면적이다.

나. 放流量

貯水池 통과에서의 放流量은 포장에서의 必要水量과 用水量의 흐름을 유지시켜주는 最低放流量 및 논벼의 경작에 필요한 伊양용수량 등의 附加적 개념으로 볼 수 있으며 여기에 水路損失率을 고려하여 放流量을 결정하였다.

$$OR(t) = C \times [REQ(t) + MR(t) + TS(t)] (1 - L/100) \times A \quad \dots\dots\dots(2)$$

- 여기서, $OR(t)$: t일의 放流量(m^3/day)
- C : 10(單位換算係數)
- REQ(t) : 畚 必要水量(mm/day)
- MR(t) : 단위면적당(ha) 最低放流量(mm)
- TS(t) : 이양용수량(mm)
- L : 水路損失率(%) 및
- A : 灌溉面積(ha)이다.

3. 模擬發生 結果

1985년 이래 서울大學校 農工學科에서 半月 流域을 대상으로 수문관측해온 자료와 水原測候所의 氣象資料를 이용하여 半月貯水池 模擬操作을 실시하였다. 模擬發生은 1966년부터 1986년까지 21년간의 日別 貯水池 流入量, 放流量 및 貯水池의 水面高 등을 計算하였다.

年度別 日別 물收支 模擬發生 結果로부터 貯水池의 水位別, 流入量別 發生頻度를 定하도록 하였는데, 水位變化는 Table-1과 같이 貯水率을 고려하여 구분하였으며 日別 流入量은 Table-2와 같이 流入量 100,000 m^3 /일 간격으로 8단계로 구분하여 정의하였다.

半月貯水池 模擬操作 結果, 發生일수는 Table-3과 같이 나타났는데, 21년간(7670일)의 日別 貯水位와 流入量을 분석한 結果, 貯水位의 경우 Stage 1,2가 전체일수의 70%인 5519일로 34.2m 이상에서 貯水位가 대체로 유지되는 것을 알 수 있었다. 流入量의 경우 4900 m^3 /일 이하인 Stage 8의 전체의 54%인 4040일로서 우리나라

Table-1. Stage classifications of water level and capacities for banweol reservoir

Stage	Elevation of water level(m)	Reservoir capacity(%)
1	more than 35.0	100
2	35.0~34.2	100~81
3	34.1~33.3	80~61
4	33.2~32.2	60~40
5	less than 32.2	less than 40

* Spillway crest : EL 35.0m

Table-2. State definition for inflow at banweol reservoir

State	Inflow(1000m ³ /day)
1	more than 400
2	400~300
3	299~200
4	199~100
5	99~50
6	49~10
7	9.9~5
8	less than 5

Table-3. Number of Days in each state and stage(1966~1986)

State	Stage					Total
	1	2	3	4	5	
1	20	2	3	1	4	30
2	13	6	3	1	3	26
3	28	5	9	5	10	57
4	135	28	17	16	27	223
5	225	72	49	34	102	482
6	781	429	138	79	130	1557
7	474	350	125	64	242	1255
8	1532	1419	426	433	230	4040
Total	3208	2311	770	633	748	7670

는 降雨量이 7~8월에 집중적으로 내리므로 그 이외의 기간에는 流入量이 적게 나타나는 것을 볼 수 있다.

III. 2次元 流砂運送模型

貯水池에서의 堆積類型을 분석하기 위하여 水深平均 2次元 動水力學模型(TIFS)⁹⁾에 流砂運送模型을 결합한 2차원 流砂運送模型을 개발하였는데 그 構成 및 運用結果는 다음과 같다.

1. 基本方程式

本 流砂運送模型은 基本方程式으로 흐름의 連續方程式과 모우멘텀方程式, 그리고 流砂運送 連續方程式을 사용하였다.

가. 連續方程式

質量保存의 法則을 만족하는 連續方程式은 아래 式(3)과 같이 정의하였다.

$$\frac{\partial u(a+h)}{\partial x} + \frac{\partial v(a+h)}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \dots\dots\dots(3)$$

여기서, h : 基準面으로 부터의 水深

u : X-方向의 平均流速

v : Y-方向의 平均流速

a : 地面으로부터 基準水面까지의 距離

t : 時刻이다.

나. 모우멘텀方程式

水深平均 자유수면흐름 (Depth-averaged free-surface flow)의 基本運動方程式으로서 3次元흐름의 運動方程式(Navier-stokes方程式)으로 부터 유도되어지는데 式(4), 式(5)와 같이 정의된다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \Omega V = -g \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{gn^2V}{(a+h)^{4/3}} \times u + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \dots\dots\dots(4)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} - \Omega V = -g \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{gn^2V}{(a+h)^{4/3}} \times v + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \dots\dots\dots(5)$$

여기서, g : 重力加速度
 Ω : Coriolis數
 V : 流速벡터의 絕對式($V = \sqrt{u^2 + v^2}$)
 n : Manning 粗度係數 등이다.

다. 流砂運送 連續方程式

흐름을 갖는 임의의 점에서 수중혼합물의 시간적 변화율은 다음의 2次元 連續方程式을 만족시킨다.

$$\frac{\partial(h \times c)}{\partial t} + \frac{\partial(h \times u \times c)}{\partial x} + \frac{\partial(h \times v \times c)}{\partial y} = S \times h \dots (6)$$

여기서, c : 혼합물의 濃度(Volume/Volume)
 S : 혼합물의 供給率 등이다.

2. 數值解析

基本方程式인 式(3), (4), (5), (6)에서와 같은 편미분항들을 해석하기 위하여 Taylor series에 의해 전개하여 有限差分의 형태로 나타내어 계산하는 有限差分法을 적용하였다.

가. 水理計算

水理計算인 式(3), (4), (5)는 계산시간을 절반으로 나누어 부분적으로 陽函數法과 陰函數法을 함께 적용하는 多重法(Multi-operation method)에 의해서 계산하였다.

나. 流砂量計算

1) 連續方程式 解析

水理計算에 의하여 정하여진 水位, 流速을 이용하여 陽函數法에 의하여 流砂運送 連續方程式을 해석하였다.

2) 流砂運送能의 計算

流砂運送能力을 계산하기 위하여 Toffaleti法을 적용하였다. Toffaleti法은 흐름을 水位에 따라 네 부분으로 나누어 각 부분에서의 流速分布와 流砂濃度의 분포는 일정하다고 가정하고 流砂運送能을 계산하는 방법으로 總 流砂運送能은 각각의 합으로 다음식과 같이 구성된다.

$$QT = B \times (q1 + q2 + q3 + q4) \dots (7)$$

여기서, QT : 總流砂運送能(tons/day)

B : 폭(ft)

q1 : 상층의 流砂運送能

q2 : 중간층의 流砂運送能

q3 : 하층의 流砂運送能

q4 : 바닥에서의 流砂運送能 등이다.

3) 堆積量 計算

本 模型에서의 堆積量은 앞의 連續方程式으로부터 계산되어진 流砂量과 Toffaleti法에 의한 流砂運送能으로부터 다음식에 의하여 계산된다.

$$Dr = \alpha s \times (qs - Tc) \dots (8)$$

여기서, Dr : 堆積量

qs : 流砂量

Tc : 流砂運送能

αs : 常數 등이다.

3. 初期 및 境界條件

本 模型의 有限差分法에 의하여 해석되어지는 만큼, 계산시작 시간에서의 水位, 流速 및 流砂濃度와 매 계산시각에서의 X, Y-방향의 境界條件要素에 대한 水位 또는 流速과 流砂濃度 등이 요구된다.

가. 初期條件

계산시작 시간에서의 水位는 일정한 貯水池 水位를 진 격자에 대하여 동일하게 정의하였고, 流速은 영으로 하고 流砂濃度는 일정량을 가정하여 入力資料로서 정의하였다.

나. 境界條件

本 模型의 境界條件은 Dirichlet條件으로 주어지는데, 이는 각 계산시각마다 기지의 값으로 境界條件이 정의되어지는 것을 말한다. 그래서 流入量이 존재하는 境界要件에서는 그 流入量 자료를 境界條件으로 하고, 그 외의 境界要素들은 흐름이 차단되는 요소들로서 流速이 영인 것으로 가정하였다. 또한 流砂濃度의 경우는 流入量이 존재하는 境界要素에서는 실제측정치

Table-4. Input data of two-dimensional sediment transport model

Variables	Contents	Values
DT	Computation time interval	5 sec
DX	Distance of Grid in X-direction	40 m
DY	Distance of Grid in Y-direction	40 m
Time 1	Begining time of computation	0 hr
Time 2	Finishing time of computation	26 hr
PRT	Time interval for output printing	2 hr
XNT	Time interval for conformation of water depth	2 hr
CORIOR	Coriolis coefficient	0
IR	No. of grid in X-direction	35
IC	No. of grid in Y-direction	19
ROUGH	Manning's roughness coefficient	0.03
BELE	Bed elevation of reservoir	26~35 m
H	Water level at Initial condition	32~35 m
U	Velocity of water in X-direction at initial condition	0 m/sec
V	Velocity of water in Y-direction at initial condition	0 m/sec
D50	Mean diameter of sediment particle	0.03 mm
SW	Mean density of sediment particle	2.65

를, 그 외의 요소들에서는 流速이 없으므로 流砂濃度가 영인 것으로 정의하였다.

4. 模型의 構成

가. 入力資料

貯水池 堆積量을 계산하기 위한 2次元 流砂運送模型의 入力資料는 Table-4와 같이 ① 計算調節變數, ② 計算에 필요한 常數, ③ 格子網의 構成資料, ④ 格子別 特性資料(地盤高, 粗度係數 등), ⑤ 初期條件資料(水位, 流速), ⑥ 流砂의 特性資料(直徑, 密度), ⑦ 境界條件資料 등으로 構成된다.

나. 模型의 構成

2次元 流砂運送模型의 計算過程은 Fig. 1과 같으며, 그 내용은 다음과 같다.

- ① Table-4와 같은 入力資料를 읽는다. (sub-routine data)
- ② 各 格子別 構成, 整理 및 計算範圍, 計算 順序 등으로 결정한다. (subroutine xnet)
- ③ 水位의 변화에 따라 格子網의 構成을 점

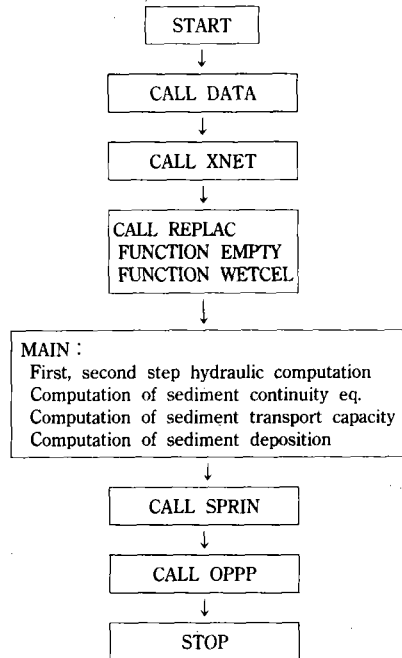


Fig. 1. Flow chart of two-dimensional sediment transport model

검하여 格子를 추가 혹은 제외 시킨다.
(subroutine replac)

- ④ 境界條件을 時間別 流量資料로부터 線形補間法으로 計算한다.
- ⑤ 有限差分法에 의하여 格子別 水位, 流速을 計算한다.
- ⑥ 有限差分法에 의하여 流砂運送 連續方程式을 計算한다.
- ⑦ 流砂運送能을 비교하여 貯水池 堆積量을 計算한다.
- ⑧ 計算結果를 出力한다.(subroutine sprin, subroutine oppp)
- ⑨ 計算終了時間까지 計算時間間隔마다 ③~⑧의 計算過程을 반복한다.

다. 出力資料

2次元 流砂運送模型의 出力資料는 ① 入力資料의 結果, ② 時間別, 格子別, 水位, 流速, 流砂濃度 計算結果, ③ 時間別, 格子別 堆積量 計算結果 등으로 構成된다.

5. 模型의 適用結果

Fig. 2는 stage 1~state 1의 경우에 대한 流速分布를 보여주고 있으며 Fig. 3은 流砂濃度分布를 Fig. 4는 堆積分布를 나타낸다. 이렇게 계산되어진 堆積深을 각 격자별로 더하여 21년간의 流砂堆積深을 구하였다.

Fig. 5는 半月貯水池 21년간의 模擬發生에 의한 堆積深을 나타내고 있는 것으로 A, B, C

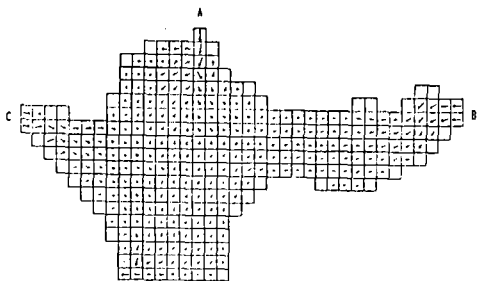


Fig. 2. Distribution of water velocity at stage 1-state 1(After 2 hrs)

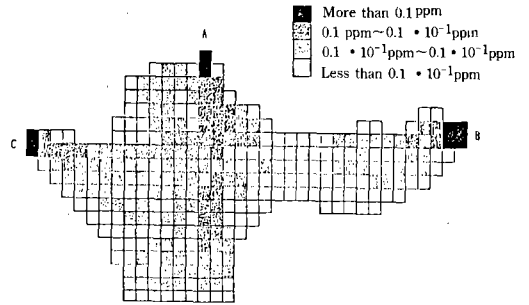


Fig. 3. Distribution of sediment concentration at stage 1-state 1(After 2 hrs)

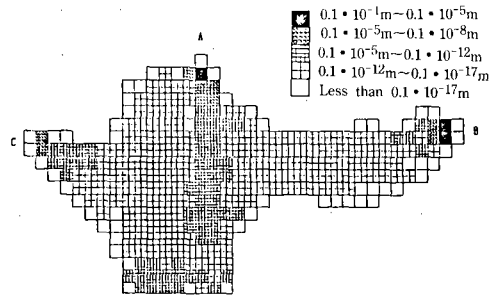


Fig. 4. Distribution of sediment deposited on the bed at stage 1-state 1(After 24 hrs)

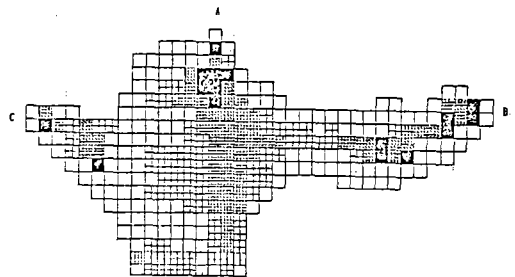


Fig. 5. Result of sediment transport simulation in banweol reservoir for 21 years (1966~1986)

각 유입구 부근에 堆積이 많이 이루어지고 있으며, 流向을 따라 貯水池 안쪽을 향하여 퇴적이 이루어지고 있어 堆積深은 流速과 관련이 깊은 것을 알 수 있었다.

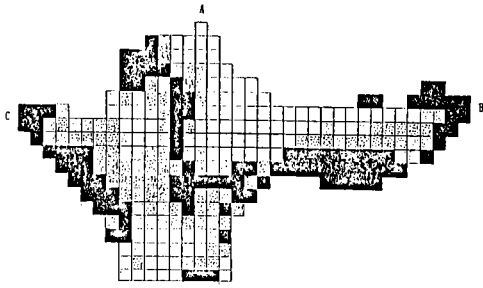


Fig. 6. Deposition of sediment in banweol reservoir for 21 years(1966~1986) ; surveyed at 1986

Fig. 6은 1986년도에 貯水池 内容積 測量을 실시한 바 있어 그 결과를 1966년 測量結果와 비교하여 土砂堆積 상황을 표시한 것이다. 模擬發生結果인 Fig. 5를 이 그림과 비교해 보면 境界條件으로 주어진 流砂濃度 100ppm이 실제 보다 적어 전체적으로 堆積深이 적게 계산되었으며, 貯水池 境界地點에서의 境界條件 流速을 0으로 처리함으로써 실제와는 달리 貯水池 周邊에서의 堆積이 표시되지 않았다. 그러나 전체적인 堆積類型은 실제 測量結果와 비교적 유사한 결과를 보인 것으로 판단되었다.

IV. 要約 및 結論

灌溉用 貯水池의 土砂堆積 分布流型을 분석할 목적으로 貯水池내의 流速分布와 流砂運送 상태를 나타낼 수 있는 2次元 流砂運送模型을 개발하고, 半月貯水池를 선정하여 DIROM을 이용한 貯水池 日別模擬操作을 통하여 貯水池 水位別 流入量이 조합을 얻은 후 각 경우에 대한 堆積類型을 模擬發生하여 貯水池 축조후의 堆積分布流型을 분석하도록 하였으며, 분석결과를 内容積 測量結果와 비교함으로써 模型의 應用性을 검토하도록 하였다.

本 研究의 結果는 다음과 같았다.

1. 半月貯水池에서의 21년간의 流入量과 貯水率의 變化를 분석한 결과 전기간의 70%에

해당하는 기간동안 貯水率 80% 이상을 유지하였으며 流入量은 4900m³/일 이하가 54%의 기간 동안 流入되는 것으로 나타났다.

2. 貯水池 堆積類型 推定을 위해 이용한 2次元 流砂運送模型은 ADI 方法에 의하여 水理 計算을 실시하고 그 결과로부터 流砂濃度를 계산한 후, Toffaleti 公式에 의한 流砂運送能과 비교하여 土砂 堆積量을 결정토록 하였다.

3. 水深平均 2次元 動水力學模型 TIFS를 이용한 貯水池내의 流向分布는 3곳의 유입구에서 貯水池 내측으로 향하는 것을 볼 수 있었으며 특히 流量이 많은 A, B 유입구로 부터 해당부 근을 돌아 C 유입구와 인근 상류측 방향으로 흐름이 이루어지는 것으로 나타났다.

4. 2次元 流砂運送模型을 이용한 貯水池내의 流砂濃度分布는 유입구 부근에서 가장 크게 나타나고 貯水池 내측을 향하여 점점 작게 流砂 濃度가 분포되고 있으며, 특히 流入量이 제일 많은 A 유입구로 부터 貯水池의 중앙부를 지나 해당에 이르기까지 流砂濃度 분포를 나타냈다. 流砂堆積分布는 貯水池 유입구의 주변에 많이 堆積되고 일부는 貯水池 내측을 향하여 堆積되는 것을 볼 수 있다. 특히 A유입구로 부터 貯水池 중앙부를 향하여 넓게 堆積이 이루어지고 있었으며 해당을 향하여 약간의 堆積이 이루어지는 것을 볼 수 있었다. 아울러 B 유입구로 부터는 내측을 향하여 길게 堆積이 이루어지고 있으며 流入量이 적은 C 유입구에서는 유입구에 인접한 부근에 일부 堆積되는 것으로 나타났다.

5. 流砂運送模型의 適用結果를 内容積 測量 結果 분석된 실제 堆積分布와 비교해 본 結果, 그 類型이 비교적 유사한 결과를 보이고 있으나 半月貯水池의 유지관리를 위하여 과거 수차에 걸쳐 행해진 浚渫로 인하여 貯水池 상류측은 비교에 어려움이 있었다. 本 模型을 貯水池 土砂 堆積量推定 및 堆積 類型分布에 이용하기 위하여는 향후 여러 貯水池를 대상으로 실측자료와 의 비교 검증이 요구된다.

參 考 文 獻

1. Abbott, M. B., 1979, *Computational Hydraulics*, Pitman Publishing Ltd., London.
2. ASCE, 1971, *Fundamentals of Sediment Transportation*, Proc, ASCE 97, HY12, p. 1979-2023.
3. ASCE, 1971, *Sediment Discharge Formulas*, Proc. ASCE, 97 HY4, p. 523-567.
4. Pais-Cuddon, I.C. dos M., and N. C. Rawal, 1969, *Sedimentation of Reservoir*, Journal of the Irrigation and Drainage Division, Proc. ASCE, IR3, p. 415-429.
5. Park, S. W., C. E. Park, and B. H. Lee, 1991, *Reservoir Silting Patterns from a Two-Dimensional Hydrodynamic model*, Proceedings of International Symposium on Special Problems of Alluvial Rivers Including Those of International Rivers, UNDP/UNESCO, p. 225-238.
6. USBR, 1987, *Design of Small Dams*, A Water Resources Technical Publication, Third Edition, Denver, Colorado, p. 529-563.
7. 農林水産部, 農業振興公社, 1988, 새萬金地區 海水面 및 海底堆積層 變化豫測研究(I, II, III).
8. 金顯榮, 朴承禹, 1988, 灌溉用貯水池의 日別流入量과 放流量의 模擬發生, 韓國農工學會誌, 30(1), p. 50-62.
9. 朴昌彦, 朴承禹, 1986, 水深平均 2次元 數學的模型(TIFS)을 利用한 錦江河口 및 沿海의 潮汐計算, 韓國農工學會誌 28(1), p. 60-67.
10. 李奉勳, 1990, 2次元 流砂運送模型을 利用한 貯水池堆積類型的 推定, 서울大學校 碩士學位 論文.