

灌漑用 貯水池의 堆砂量과 流域 流砂量 推定式

Predictive Equations for Deposits and Sediment Yields at Irrigation Reservoirs

金 鎮 澤* · 朴 承 禹** · 徐 承 德***
Kim, Jin Taek · Park Seung Woo · Suh, Seung Duk

Summary

The objectives of this paper were to develop predictive equations for reservoir deposits and watershed sediment yields based on sediment survey data for irrigation reservoirs. Hundred reservoirs of various sizes, which have the surveyed data for sediment deposits, were chosen and fourteen watershed physiological and hydrological parameters were investigated. Correlations between watershed parameters and sediment deposits were investigated and a best fit regression equation was derived, which may be applied for estimating reservoir sediment deposits. The sediment deposits were converted to the watershed sediment yields by applying the trap efficiencies and specific weights. The resulting sediment yields were related to watershed parameters and an empirical predictive equation was also proposed that may be used for rough estimations of watershed sediment yields.

I. 緒 論

灌漑用 貯水池는 全國에 18,400個所에 설치되어 作物의 生育에 필요한 물을 확보하여 공급하고 있다. 이들 貯水池는 人工의인 堤防을 築造하여 조성된 것으로, 上流로 부터 流入하는

土砂의 상당량이 沈澱, 堆積되어 築造 당시의 内容積이 減少되었다. 堆砂로 인한 内容積의 減少率은 調査對象 貯水池에 따라 다르나, 平均 12.5% (尹 等²¹), 19.1% (柳 等¹⁹), 27.5% (李 等²²)으로 통상적인 中小規模 貯水池 設計基準의 값 10% 보다 2~3배 정도 큰 값을 보이고

* 서울대학교 農業生命科學大學(博士過程)修了 키워드: 灌漑用 貯水池, 貯水池 堆砂量, 流域, 流砂

** 서울대학교 農業生命科學大學

*** 慶北대학교 農科大學

量, 比堆砂量, 比流砂量, 流域 特性 因子, 流砂運送比, 貯水池 捕捉效率, 流砂 單位重量, 堆砂 粒徑分布

있다.

貯水池의 堆砂量은 계획시 부터 정확히 豫測해야만 耐久年限동안 內容積의 減少로 인한 물 부족을 대처할 수 있다. 堆砂量의 推定 方法에는 既存의 貯水池 堆砂量 調査資料를 이용하여 堆砂에 영향을 주는 因子 等과의 關係를 구하여 정하는 經驗式法과 貯水池 地點의 流砂量을 정하여, 流入 流砂量과 堆積量의 比, 즉 捕捉效率(trap efficiency)를 고려하여 決定하는, 流砂量-捕捉效率法으로 구분할 수 있다.

流域 流砂量은 1) 流砂量과 流量의 關係를 利用하는 法, 2) 總 流失量-流砂 運送比法, 3) 流砂量 經驗式 法, 4) 流砂量 推定模型을 利用하는 方法 등에 의하여 推定한다(Mitchell, 1982). 여기서, 流砂量-流量關係法은 流量-流砂量의 關係를 測定하여 流入 流量으로부터 流砂量을 정하는 方法이다. 總 流失量-流砂 運送比 法은 流域의 上流에서의 土壤 流失量과 河川 流失量의 합을 구하고, 運送比를 곱하여 流砂量을 推定한다. 流砂量 經驗式은 貯水池 堆砂量 혹은 流量-流砂量의 關係로 부터 구한 流砂量과 流域의 氣象 水文 因子, 地相 因子 等과의 關係를 구하는 方法이며, 流砂量 推定 模型은 流域에서의 流砂運送 過程을 數式的으로 模型化한 것으로 修正USLE(Williams, 1975), AG-NPS(Young 등, 1987), ANSWERS(Beasley 등, 1980) 등과 같은 流域模型이 있다.^{2,6)}

우리나라 灌漑用 貯水池의 堆砂量에 관한 研究는 嚴等¹⁷⁾, 尹²⁰⁾, 柳等¹⁸⁾, 柳等¹⁹⁾, 辛等¹⁵⁾에 의한 貯水池 堆砂資料와 地相因子 등의 關係式이 있으며, 尹²⁰⁾은 全國의 113개 貯水池에 대한 堆砂量式을 誘導한 바 있다. 그 외에도 安等¹⁶⁾, 徐等¹⁴⁾에 의한 地域別 堆砂量 關係式이 발표된 바 있다. 그러나, 대부분의 灌漑用 貯水池 計劃에서 堆砂量 推定에 이용된 것은 總貯水量의 일정 比率를 適用하거나, 혹은 水系別 堆砂量 資料로 부터 平均 比堆砂量을 適用하는 것이 보통이다.

本 研究의 目的은 全國 灌漑用 貯水池의 堆砂量 資料를 수집하고, 流域의 地相 및 水文特性 等과의 相互 關係를 구명하고 比堆砂量 推定式을 구하며, 對象流域의 流砂量을 推定하는데 있다. 比堆砂量 推定式과 既存 文獻의 結果와 比較하도록 하고, 捕捉效率, 單位重量 등에 따른 流砂量의 推定誤差를 검토하도록 하였다.

II. 研究史

流域의 流砂量은 ① 降水量과 降雨強度, ② 土壤 種類와 地質의 形成 過程, ③ 地表 被覆 狀態, ④ 土地 利用狀態, ⑤ 地形 및 地勢, ⑥ 流域의 土壤 浸蝕(排水組織과 密度, 河川의 傾斜, 形狀, 크기 등), ⑦ 流出量, ⑧ 流砂의 物理的 特性(粒徑 分布, 鑛物性), ⑨ 河川의 水理的 特性 등 여러 因子에 의하여 決定된다(Strand and Pemberton). 그런데, 이상의 9개 因子 등은 서로 相互 관련성이 있는데, 地形과 排水組織, 水理特性과의 關係나 地表被覆, 土地利用 등의 밀접한 相關성 등이 그 예이다.

Strand와 Pemberton은 기왕의 流砂量 資料를 바탕으로 앞서 제시한 9 因子를 가중하여 임의 지점에서의 流砂量의 推定方法을 정리하였는데, 이는 태평양 남서부 지역의 댐 流砂量 決定을 위한 美 開拓局(US Bureau of Reclamation)의 慣行方法이다. USBR은 流域面積과 比流砂量과의 關係로부터 流域面積에 대한 平均比流砂量을 정하여 이들 9因子에 대한 加重法에 따라 對象流域에 대한 比流砂量을 정하고 있다.³⁾

美國 土壤保全局(US SCS)에서의 流域 流砂量 決定은 流域의 總流失量을 정하고, 그 값의 한 地點까지의 運送比로 부터 구한 方法을 適用한다. 總流失量 중 上流 流失量은 土壤流失量式(Universal Soil Loss Equation, USLE)을 적용하는데, USLE는 ① 降雨因子, ② 土壤因子, ③ 傾斜長 및 傾斜度 因子, ④ 植生被覆因

Table-1. Empirical equations for reservoir deposits

Researchers	Year	Site	Empirical equations	References
Eum et al.	1968	1	SD-15 method review	KSAE 10(1)
Yoon et al.	1972	31	Mean D=1068 m ³ /km ² /yr	KSAE 13(2)
You et al.	1975	30	D=1.27(C/A) ^{0.6}	KSAE 14(3)
You et al.	1976	9	D=1.43(C/A) ^{0.531}	KSAE 17(3)
Shin et al.	1979	16	Mean D=536m ³ /km ² /yr	KSAE 21(1)
Yoon Y. N.	1981	113	(D/A)=1334.08A ^{0.8} T _e ^{25.946}	KSCE 1(1)
Ahn et al.	1984	66	(D/A)=3495.425A ^{0.633} T _e ^{25.946}	KAHS 17(2)
Suh et al.	1988	122	Local D=aA ^{e1} CL ^{e2} L ^{e3}	KSAE 30(4)

子, ⑤ 土壤保全工法因子 등에 의한 傾斜地의 平均 流失量 推定 方法이다. 따라서, 앞서 논의한 바 있는 流域 流砂量에 미치는 影響 中 河川의 水文水利的 特性이 고려되지 않았는데 이는 流砂運送比와 관련한 것으로 구분할 수 있다.

한편, 流域 運送比는 流域 面積에 따라 非線形的인 감소를 보이는데, 이들의 關係로 부터 流域 流砂 運送比를 구하여 總流失量에 適用하면 流域流砂量을 推定할 수 있다.

貯水池의 堆砂量에 관한 國內의 研究結果를 要約하면 Table-1과 같다. Table-1에서와 같이 比堆砂量과 流域面積의 關係는 大수함수적으로 감소하는 것을 알 수 있으며, 그 關係式은 調查 對象 貯水池에 따라 약간의 차이를 보이고 있다. Table-1에서와 같이 우리나라의 比堆砂量의 推定과 관련한 流域特性因子에는 ① 流域 面積, ② 年降雨量, ③ 流域 傾斜, ④ 貯水池 容量, ⑤ 貯水池 捕捉效率, ⑥ 主河川長 등임을 알 수 있다. 그런데, 貯水池 捕捉效率은 貯水池의 內容積과 流域面積 등과 밀접한 關係를 보이므로 (Brune¹⁾), 比堆砂量은 流域面積과 貯水池 容量, 傾斜度 등의 經驗的 關係로서 정의할 수 있음을 알 수 있다.

III. 堆砂量과 流域 因子

1. 貯水池 堆砂量

가. 對象 貯水池

貯水池의 堆砂量은 當初 貯水池 內容積과 일정한 經過年 後 貯水池 內容積 調查結果의 차이로 부터 정의된다. 堆砂量 資料가 있는 貯水池는 대부분 農組管理 貯水池로서 竣工後 일정기간이 지난 후 水位-內容積 曲線의 決定이나 浚渫 등을 목적으로 測量을 실시한 것이다. 貯水池의 內容積 測量은 보통 地形測量法에 따라 基準點 測量과 地形測量, 또는 音響 測深機 등을 병행하여 실시한다.

本 研究에서는 農組 管理 貯水池 중 120여 개의 자료로부터 비교적 內容積 資料가 충분하다고 생각되는 100개를 對象 貯水池로 선정하였다. 對象 貯水池를 道別 流域面積別로 구분하면 Table-2와 같다.

Table-2와 같이 對象 貯水池의 流域面積은 2~71km²의 범위이며 그 平均은 13.9km²이었다. 地域別 分布는 全南, 慶南 등 남부 地方이 35개소, 忠南·北, 全北, 慶北이 48개소이며 그밖의 17개소는 京畿, 江原에 위치하고 있다.

나. 比堆砂量

對象 貯水池別 當初 貯水容量과 經過年 後의 貯水容量의 차이로부터 堆砂量을 구하고, 이를 單位 流域面積과 經過年度에 대한 比, 즉 比堆砂量을 구하였다. 比堆砂量은 78~3803m³/

Table-2. Location and size of selected reservoirs

Province	Watershed area(km ²)								Total
	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	
Kyoung gi	3	6	1		1	1		1	13
Gang weon		3	1						4
Chung buk	2	3							5
Chung nam	10	8	4	1					23
Jeon buk	2	2							4
Jeon nam	17	7	1	2	1				28
Kyoung buk	7	6	3						16
Kyoung nam	4	3							7
Total	45	38	10	3	2	1	0	1	100

km²/yr의範圍였으며, 100개貯水池에대한平均은 792m³/km²/yr, 標準偏差는 744m³/km²/yr이고, 對象誤差는 93.9%로서貯水池에따라偏差를 보였다.

2. 流域特性因子

貯水池의比堆砂量의推定式을구하기위하여對象貯水池의流域의氣象水文및地相特性和貯水池諸元등을15개항목에대하여조사하였다. 조사항목의내용및조사방법등은다음과같다.

가. 水文因子

①降雨因子(rainfall erosivity, R) : USLE의 R因子로서다음식으로정의된다.

$$R = \frac{\sum EI_{30}}{100} \dots\dots\dots(1)$$

여기서, E : 降雨에너지

I₃₀ : 30분 最大 降雨強度이다.

本 研究에서는 對象貯水池別 R값은 農村振興廳²³⁾의 全國 降雨因子的 값으로 부터 구하였다.

②年平均 流出量 : 流域의 年平均流出量은 1968~1987년의 20년간의 降雨資料로부터 日別流出量을 推定하여 年流出量을 정의하고 그 평균값으로 정하였다. 日別流出量의 推定에는 金

等⁸⁾에 의한 修正 tank 模型을 適用하였으며, 模型의 入力 媒介變數는 地相因자를 이용하여 推定한 값을 사용하였다.

나. 地相 因子

對象貯水池流域의 地相因子로는 流域面積, 流域主長, 主河川長, 形狀係數, 起伏量比 등의 幾何學的 特性和 水系 頻度 및 密度 등의 排水特性 등을 구하였다. 또한, 流域의 土地利用 狀態로서 林野面積, 논·밭面積, 기타 面積 등을 구분하였다.

1) 幾何的 特性

①流域 面積(watershed area), A : 1/50,000 地形圖로 부터 流域境界를 정하고, 求積機를 이용하여 面積을 정하였다(km²).

②流域 主長(circumferential length), Cl : 流域境界의 周邊長(km).

③主河川長(main stream length), L : 流域의 主河川長의 길이(km).

④形狀 係數(shape factor), F : 流域面積(A)를 主河川長(L)의 제곱으로 나눈 값으로 A/L²로 정의하였다.

⑤起伏量比(basin relief), Re : 流域의 平均傾斜度를 나타내는 것으로, Schumn의 流域最高 標高와 最下流點 標高差(h)를 主河川長(L)로 나눈 값(m/km).

2) 排水 特性

① 水系 頻度(drainage frequency), D_f : 河川의 조밀상태를 표시하며 流路의 수를 面積으로 나눈 값(個/km²).

② 水系 密度(drainage density), D_d : 流域河川의 총연장을 流域面積으로 나눈 값(m/km²).

3) 土壤 特性 및 土地 利用 狀態

① 土壤 因子(soil erodibility factor), K : USLE의 土壤浸蝕能을 표시하는 것으로 土壤圖(1/25,000)의 土壤統別 K 값의 流域 平均值.

② 林野 面積, A_f : 流域內的 林野의 面積(km²).

③ 논 面積, A_p : 流域內的 논의 面積(km²).

④ 밭 面積, A_u : 流域內的 밭의 面積(km²).

다. 貯水池 特性 因子

① 經過 年度, P : 貯水池의 준공 후 堆砂量 측정년까지의 經過年(年).

② 單位面積當 初期貯水量, C/A : 貯水池 설치당시의 貯水容量을 流域面積으로 나눈 값(m³/km²).

對象 貯水池別 이상의 水文 및 地相因子들의 값은 參考文獻(朴, 金¹⁰)에 정리하였으며, 그 統計의 特性은 Table-3에 要約하였다.

IV. 結果 및 考察

1. 比堆砂量과 流域 特性의 關係

가. 相關性 分析

貯水池의 比堆砂量의 流域 水文, 地相 因子와의 關係를 解析하기 위하여 이들간의 相互相關性을 分析하였다. 相關性의 分析에서는 ① 各因子들의 정상치의 相關性 分析과 ② 대수치의 相關性 分析을 각각 실시하였는데, 相關係數의 값은 대수치의 경우에 큰 값을 나타냈다. 즉, 流域特性과 比堆砂量의 關係는 非線形的인 關係가 線形 關係보다 양호한 결과를 나타내 주었다.

Table-4는 貯水池 比堆砂量과 流域 特性 變數의 정상치 중 單純相關性이 큰 경우에 대한 값을 정리한 것이다. Table-4와 같이 流域面積, 流域主長 主河川長 등의 變數와 높은 負 相關性이 있음을 보여준다. 이들 變數의 대수치에 대한 相關性 分析의 결과는 Table-5와 같았다. 比堆砂量의 대수치와의 部分相關係數의 절대값이 0.5보다 큰 變數는 流域面積, 流域主長, 主河川長, 排水密度, 山林面積 등으로 나타났으며

Table-3. Statistics for watershed characteristics of selected reservoirs

Characteristic parameter	Units	Range		Average	Std. dev.	Rel. err. (%)
		Min.	Max.			
Rainfall erosivity	R	230.0	650.0	461.4	99.7	21.6
Average annual runoff	10 ³ m ³	105.3	4815.3	841.7	803.7	95.5
Watershed area	km ²	1.8	71.0	13.9	11.0	79.1
Circumferencial length	km	5.7	41.5	15.8	6.5	41.1
Main stream length	km	2.0	15.8	5.2	2.5	48.1
Shape factor		0.1	1.3	0.5	0.2	40.0
Basin relief	m/km	10.1	96.0	46.5	23.5	50.5
Forest area	km ²	0.7	46.0	9.7	8.5	87.6
Paddy area	km ²	0.0	10.5	1.8	1.8	100.0
Upland area	km ²	0.0	4.8	0.7	0.9	128.6
Deposit period	year	3.0	65.0	31.1	14.4	46.3
Reservoir capacity per watershed area	m ³ /km ²	3188.0	23024.2	47208.8	59376.6	125.8

그 밖의 變數는 0.5 이하의 값이었다. 그런데, 이들 變數의 대수치의 값에 대한 相關係數의 평균은 0.67로서 정상치의 0.47보다 큰 것을 보여준다.

한편 Table-5는 流域特性因子 등의 대수치에

Table-4. Correlation coefficients between specific sediment deposits and watershed parameters for their normal and log-transformed values

Watershed parameters	Correlation coefficients		Remarks
	Normal value	log value	
Watershed area, A	-0.49	-0.75	
Main stream length, L	-0.57	-0.73	
Circumferential length, C _f	-0.53	-0.65	
Forest area, A _f	-0.23	-0.65	
Reservoir capacity /watershed area, C/A	0.52	0.59	
Average	0.47	0.67	

대한 相互部分相關係數의 行렬을 보여주는데 流域의 地相因子 중 流域面積, 流域主長 主河川長 排水密度, 山林面積 등의 값이 相互 相關性이 높은 것을 알 수 있다.

Fig. 1은 流域面積과 貯水池 比堆砂量의 關係를 圖式的으로 표시한 것으로 比堆砂量은 流域面積에 반비례하여 감소하는 것을 나타내고 있다. 한편, 流域主長, 主河川長에 따른 比堆砂量의 경우에도 流域面積과 같은 경향을 보여 준다. 貯水池 比堆砂量과 경과년도의 關係는 뚜렷한 경향은 보이지 않으나 經過年度가 클수록 比堆砂量이 작은 경향을 나타내 준다. 그러나, 이들 變량의 部分相關係數는 Table-5에서와 같이 -0.21로 統計的 有意性이 높지 않았다.

나. 比堆砂量과 流域 面積의 關係

앞서 考察한 바와 같이 貯水池의 比堆砂量과 流域面積의 關係는 그 대수치간에 고도의 有意

Table-5. Correlation coefficients between specific sediment deposits and watershed parameters

P	S	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄
S	1.0	-.75	-.65	-.73	.34	.26	.47	.04	.59	-.65	-.33	-.19	-.21	-.36	.36
X ₁	-.75	1.0	.81	.95	-.36	-.43	-.58	-.24	-.40	.91	.39	.12	.36	.31	-.12
X ₂	-.65	.81	1.0	.83	-.60	-.22	-.22	-.20	-.45	.80	.20	.05	.30	.28	-.20
X ₃	-.73	.95	.83	1.0	-.43	-.38	-.46	-.17	-.35	.89	.33	.08	.32	.26	-.11
X ₄	.34	-.36	-.60	-.43	1.0	-.06	-.24	-.01	.32	-.40	.17	.12	-.08	-.09	.29
X ₅	.26	-.43	-.22	-.38	-.06	1.0	.27	.18	.12	-.34	-.29	-.11	-.22	-.07	-.16
X ₆	.47	-.58	-.22	-.46	-.24	.27	1.0	.20	.16	-.44	-.51	-.18	-.24	-.25	-.03
X ₇	.04	-.24	-.20	-.17	-.01	.18	.20	1.0	-.10	-.11	-.33	-.06	-.32	-.35	-.21
X ₈	.59	-.40	-.45	-.35	.32	.12	.16	-.10	1.0	-.45	.09	.06	-.03	-.12	.42
X ₉	-.65	.91	.80	.89	-.40	-.34	-.44	-.11	-.45	1.0	.12	-.05	.19	.16	-.14
X ₁₀	-.33	.39	.20	.33	.17	-.29	-.51	-.33	.09	.12	1.0	.47	.26	.36	-.05
X ₁₁	-.19	.12	.05	.08	.12	-.11	-.18	-.06	.06	-.05	.47	1.0	.21	.17	.06
X ₁₂	-.21	.36	.30	.32	-.08	-.22	-.24	-.32	-.03	.19	.26	.21	1.0	.15	.13
X ₁₃	-.36	.31	.28	.26	-.09	-.07	-.25	-.35	-.12	.16	.36	.17	.15	1.0	-.11
X ₁₄	.36	-.12	-.20	-.11	.29	-.16	-.03	-.21	.42	-.14	-.05	.06	.13	-.11	1.0

註 : P=parameters, S=log(D), X₁=log(A), X₂=log(C), X₃=log(L), X₄=log(F), X₅=log(D_f), X₆=log(D_a), X₇=log(R_c), X₈=log(C/A), X₉=log(A_f), X₁₀=log(A_p), X₁₁=log(A_u), X₁₂=log(P), X₁₃=log(R), X₁₄=log(K),

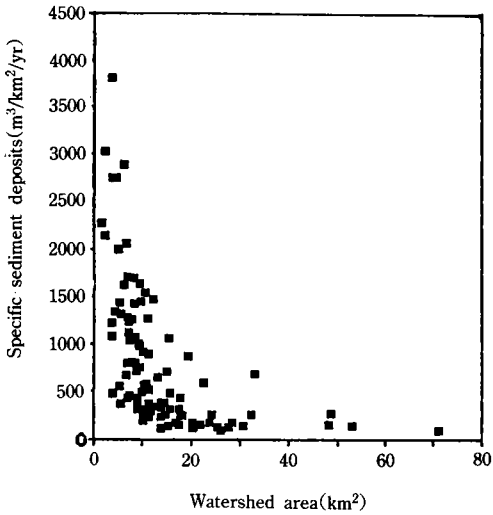


Fig. 1. Relationships between watershed area and specific sediment deposits

성($p > 0.01$)이 있는 負의 相關性이 있었다. 따라서, 比堆砂量을 流域面積의 指數函數로서 나타내면 다음과 같았다.

$$D = 6593.19 A^{-1.057} \dots\dots\dots(2)$$

여기서, D : 貯水池 比堆砂量($m^3/km^2/yr$)
A : 流域面積(km^2)이다.

式(2)의 決定係數(R^2)의 값은 0.56으로서 高度의 有意性이 있었다.

式(2)의 回歸 係數(流域面積의 指數)의 값은 -1.057으로 尹²⁰⁾의 類似한 關係式에서의 -0.2, 安等¹⁶⁾의 -0.377 등 보다 큰 값을 보였으며, USBR의 -0.24와 상이한 값을 나타냈다. 이와같은 差異는 ① 對象 貯水池의 差異, ② 比堆砂量 關係式의 相異, ③ 氣候條件과 貯水池 操作 方法의 差異 등에서 기인한 것으로 생각되었다.

한편, 式(2)에 의한 推定誤차를 參考文獻의 比堆砂量 推定式에 의한 값과 測量結果를 비교한 것은 Table-6과 같다. 式(2)의 推定結果와 實測值의 比의 平均은 1.21, 標準偏差는 0.78로서 相關誤차가 64%인 반면에 柳等¹⁸⁾, 柳

Table-6. Comparisons between surveyed and estimated sediment deposits using predictive equations

Statistics	Eq.(2)	Eq.(3)	You ¹⁸⁾	You ¹⁹⁾	Yoon ²⁰⁾
Average ratio	1.213	1.172	1.272	2.257	1.171
Standard Deviation	0.781	0.628	1.072	1.863	1.040
Relative error(%)	64.4	58.2	84.3	82.5	88.8
R^2	0.56	0.64	0.30	0.30	0.48

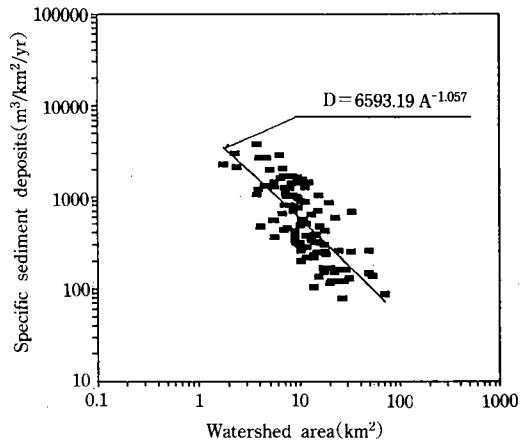


Fig. 2. Relationships between watershed sizes and specific sediment deposits

等¹⁹⁾, 尹²⁰⁾ 등의 推定値와 實測值의 比는 각각 1.27, 2.26, 1.17 등으로 尹의 結果가 가장 양호하였으나, 그 相對誤差는 각각 84, 82, 89% 등으로 式(2)의 結果에 비하여 큰 변이를 나타내고 있다. 이상의 結果로부터 流域面積의 함수로서 比堆砂量을 推定할 때는 2배 내외에서의 推定範圍를 갖는 것으로 나타났다. 한편 流域面積에 따른 比堆砂量의 關係를 圖式的으로 나타내면 Fig. 2와 같으며, 式(2)에 의한 比堆砂量의 推定値의 측정치를 비교하면 Fig. 2와 같이 推定値와 측정치의 誤差는 대략 2~3배 내외임을 보여 주었다.

다. 多重 回歸 分析

比堆砂量의 推定 經驗式을 誘導하기 위하여 段階的 多重 回歸 分析을 실시하였다. 模型變數의 選定은 確率 0.15이하의 경우에 대해 選

定하도록 하였으며, 流域面積, 貯水容量-面積比, 山林面積 등을 포함하는 非線形模型의 有意性이 있었다. 部分 決定係數의 경우 流域面積이 0.56, 容量-面積比 0.10 등이었으며, 山林面積이나 土壤因子 등은 0.025이하였다.

回歸模型 變數의 數에 따라 決定係數의 값이 0.56, 0.66, 0.69, 0.71 등으로 증가하나 變數의 수가 3개 이상의 경우의 決定係數의 증가율이 낮으므로 2개의 變數를 適用하도록 하여 다음과 같은 多重回歸模型을 구하였다.

$$D = 196.33 A^{-0.862} (C/A)^{0.301} \dots\dots\dots(3)$$

여기서, C/A : 當初 貯水容量과 流域面積의 比(m³/km²)이다.

式(3)에 의한 比堆砂量 推定値와 測定値와의 比를 式(2)의 流域面積에 대한 關係와 比較하면 Table-6과 같다. 對象 貯水池의 경우 比堆砂量의 측정치와 추정치의 平均比는 1.17, 標準偏差는 0.63이고 相關誤差는 58%로서 流域面積 單一因子에 의한 경우보다 크게 改善되는 것을 알 수 있었다(Table-6). 式(3)은 尹²⁰⁾의 결과와 같은 형태인데, 尹은 C/A 대신 捕捉效率 T_c의 函數로서 표시하였다.

$$T_c = 100 \left[1 - \frac{1}{1 + 0.1(C/A)} \right] \dots\dots\dots(4)$$

따라서, 式(3)의 多重回歸式은 이들의 模型과 흡사한 것임을 알 수 있다.

한편, 式(3)의 A의 값을 정리하여 간략히 쓰면 다음과 같다.

$$D = 196.33A^{1.163} C^{0.301} \dots\dots\dots(5)$$

2. 流域 流砂量의 推定

가. 貯水池 捕捉效率

1) 捕捉效率 曲線

貯水池의 堆砂 資料로부터, 流域의 流砂量을 推定하기 위해서는 貯水池에 流入되는 流砂量

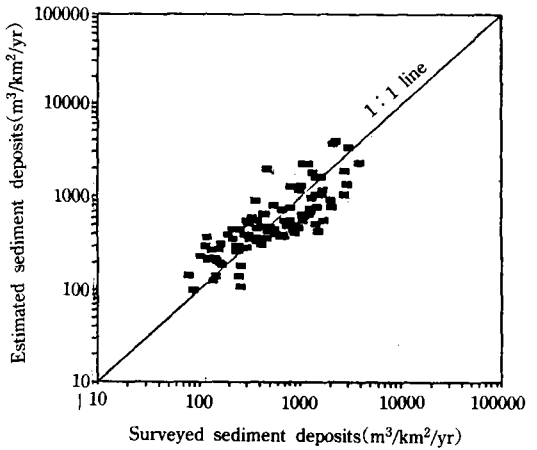


Fig. 3. Comparison between the surveyed and estimated sediment deposits using Eq.(3).

중 堆積된 量에 대한 比, 流砂 捕捉效率의 適用이 필요하다. 捕捉效率은 貯水池의 流入 流量, 貯水 容量, 貯水池 運營 操作 方式, 流砂의 粒徑 分布 등 여러 因子에 의하여 지배된다 (ASCE, 1975). 大댐이나 大型 貯水池의 捕捉效率은 보통 100%로 가정할 수 있는데, 이는 流入 流砂量이 貯水池 內에 堆積되는 것을 말한다. 그러나, 小型 貯水池에서는 流入流砂量의 상당량이 下流로 運送된다. 貯水池를 지나 흘러가는 流砂量은 貯水池 內의 流速과 流砂粒徑에 좌우되는데, 진흙 실트 등의 微粒徑 流砂는 비교적 장시간 동안 浮游하기 때문에 下流로 運送되기도 하며 모래 등은 堆積된다.

Brune¹⁾은 44개 貯水池의 記錄을 근거하여 捕捉效率을 貯水池 內容積과 年 平均 流入量의 關係로 정의하였으며, USBR, SCS 등에서 捕捉效率 결정에 이용되고 있다. Churchill은 TVA 貯水池 資料로부터 流入 流砂의 貯水池 通過率과 貯水池의 流砂指數(sediment index)의 關係를 誘導하였으며 流砂指數는 貯溜 期間을 平均 流速으로 나눈 값을 정의하였다.

本 研究에서는 貯水池 捕捉效率의 결정에서 Brune法을 適用하도록 하였다.

2) 年平均 流入量

Brune法에 의한 貯水池別 捕捉效率의 推定을 위해서는 貯水量과 平均 流入量의 값을 필요로 한다. 貯水量은 當初 貯水 容量을 適用하고, 年平均 流入量은 자료가 없기 때문에 流出 模型을 이용하여 降水量으로 부터 推定하였다. 本研究에서는 金, 朴⁸⁾의 中小規模 灌溉用 貯水池 操作 模型의 流入量의 推定을 위한 流出 模型으로 개발한 바 있는 修正 tank 模型을 이용하도록 하였다. 修正 tank 模型은 3단의 直列 tank를 適用하여 降雨量으로 부터 日 流出量을 推定하는 것으로 10여개의 流出記錄이 있는 流域에 適用하여 媒介變數를 補正하고 模型을 검증한 결과 適用性이 있음이 발표된 바 있다.

修正 tank 模型의 適用을 위하여는 각 tank의 流出孔의 높이, 流出係數, 排水係數 등의 媒介變數를 정하여야 한다. 金, 朴⁸⁾은 流域의 地相因子로 부터의 媒介變數 推定 經驗式을 誘導 하였으며, 本研究에서는 이 값들을 適用하였다.

각 貯水池別 日 降水量은 全國 21個 氣象觀測所의 20년간 1968~1987 日別 降雨量 資料를 이용하여 Thiessen網으로 부터 對象 貯水池의 降雨 資料로 사용하였고, 流域 蒸發散量은 氣象 資料를 이용하여 Penman式으로 推定하였다.

3) 捕捉效率

年平均 流入量과 貯水池 內容積을 이용하여 對象 貯水池의 內容積-流入量比를 구하여 Brune曲線으로 부터 捕捉效率를 推定하였다. 이때, 곡선의 값은 平均的인 流砂 粒徑條件으로 가정하였다. 捕捉效率의 값은 30~96%의 範圍로서 平均 70%이었다.

나. 比流砂量 推定

1) 單位 重量

貯水池의 比堆砂量을 捕捉效率로 나누면, 流域의 比流砂量을 구할 수 있는데, 이때의 比流砂量은 比堆砂量과 같이 體積 單位로서 표시

된다. 그런데, 比流砂量의 重量 單位의 값을 구하려면 流砂의 單位 重量을 곱하여야 한다.

堆砂의 單位 重量은 다음식으로 부터 推定할 수 있다.

$$W_i = W_c P_c + W_m P_m + W_s P_s + W_g P_g \quad \dots\dots(6)$$

여기서, W_i : 單位 重量(kg/m³)

P_c, P_m, P_s, P_g : 流砂 중의 점토, 실트, 모래, 자갈의 比率

W_c, W_m, W_s, W_g : 점토, 실트, 모래, 자갈의 單位 重量으로 그 값은 Strand 등이 제시한 값을 사용하였다.³⁾

한편, 堆砂는 沈澱 後 시간이 경과함에 따라 壓密 등의 현상으로 單位 重量이 증가된다. Miller는 T年後의 堆砂의 平均 單位 重量을 每年의 壓密 정도를 고려하여 堆積期間에 대하여 적분하여 다음식으로 표시하였다.

$$W_T = W_1 + 0.4343 K \left[\frac{T}{T-1} \log_e T - 1 \right] \quad \dots(7)$$

여기서, W_T : 經過年 T의 平均 單位重量

W_1 : 式(6)의 初期 單位 重量

K: 堆砂粒徑과 貯水池 操作 방식에 따른 常數이다.

2) 堆砂의 粒徑 分布

貯水池의 堆砂 粒徑 分布에 대한 國內 調査 資料는 거의 없는 실정이다. 農漁村振興公社⁹⁾는 江原道 횡성군 우천면 소재 오원 저수지에 대한 堆積 실태 조사에서 堆砂 粒徑分析을 실시하였는데, 그 결과는 Table-7과 같이 자갈 35%, 모래 93%, 실트 6%, 진흙 1.0% 등으로 나타났다.

本研究에서는 對象 貯水池의 堆砂 粒徑 分布를 Table-7등을 이용하여 가정하고 粒徑分布

Table-7. Sediment grain size distribution for Owon reservoir(RDC, 1990)

Depth	Grain size distribution(%)			
	Sand	Silt	Clay	Gravel
0~20	92	6.6	1.4	36
20~40	94	5.4	0.6	34
Average	93	6.0	1.0	35

에 따른 單位 重量의 變化를 고찰하였는데, 平均 單位 重量은 자갈 분포에 따라 1.3~1.6의 범위를 보였으며, 자갈 분포량을 15%로 가정하였을 때 실제 堆砂의 單位 重量과의 차이는 대략 10~20%의 誤差를 갖을 것으로 推定되었다. 이상의 결과로부터 堆砂의 粒徑 分布는 자갈 15%의 경우로서 진흙 21%, 실트 34%, 모래 30%로 假定하여 適用하였다.

3) 比流砂量

貯水池의 比堆砂量에 捕捉效率과 單位重量을 고려하여 流域의 比流砂量으로 換算하여 比流砂量을 測定值로 하였는데, 比流砂量의 결정에 따른 誤差는 Brune 捕捉效率 곡선의 粒徑分布에 따른 10% 내외 誤差와 單位 重量의 결정에서의 오차 10~20%를 감안할 때, 대략 20~30%에 이를 것으로 推定되었다. 그러나, 對象流域의 流砂量 實測值가 없는 까닭에 이 값을 測定值로 가정하였다.

다. 比流砂量 推定式

1) 相關性 分析

流域의 比流砂量 推定 經驗式을 구할 목적으

로 流域 特性因子와 앞서 推定한 比流砂量 測定值와의 部分 相關係數를 결정하였으며, 그 결과는 Table-8와 같았다. Table-8와 같이 比流砂量의 대수치는 流域 面積, 流域主長, 主河川長 등의 대수치와 負의 相關性이 있음을 알 수 있었는데, 이와같은 결과는 貯水池 比堆砂量의 경우와 유사한 것이었다. 다만, 相關係數의 값은 比堆砂量과의 약간의 차이를 보였다. Table-8의 部分 相關係數는 流域 特性 因子들의 相互 關係는 分析에서 제외하였는데, 이는 比堆砂量의 경우와 동일하기 때문이다(Table-5 참조).

Fig. 4는 流域 面積과 比流砂量과의 관계를 보여주는데 앞서 考察한 것과 같이 流域 面積이 클수록 比流砂量이 指數 함수적으로 감소하는 것을 보여준다.

2) 比流砂量 推定式

比流砂量의 流域特性因子와의 관계를 얻기 위하여 Table-8의 相關係數와 앞서 比堆砂量 經驗式을 참고하여 流域面積의 함수로서 정하였으며 그 결과는 다음과 같다.

$$S_y = 8668.21 A^{-0.896} \dots\dots\dots(8)$$

式(8)의 指數의 값은 -0.896으로 比堆砂量의 經驗式 보다 작은 값을 보였으며, 決定係數(R²)는 0.53이었다. Fig. 4는 比流砂量 經驗式에 의한 값과 比流砂量 推定值의 값을 비교하고 있는데 推定誤差는 대략 2배 내외의 값을 보여 주었다.

Table-8. Partial correlation coefficients between watershed parameters and specific sidiment yields

Parameter	Partial corr. coeff.	Parameter	Partial corr. coeff.	Parameter	Partial corr. coeff.
log(A)	-0.73	log(D _a)	0.47	log(A _n)	-0.24
log(C _i)	-0.61	log(R _c)	0.07	log(P)	-0.22
log(L)	-0.71	log(C/A)	0.40	log(R)	-0.39
log(F)	0.27	log(A _i)	-0.59	log(K)	0.32
log(D _i)	0.26	log(A _p)	-0.42		

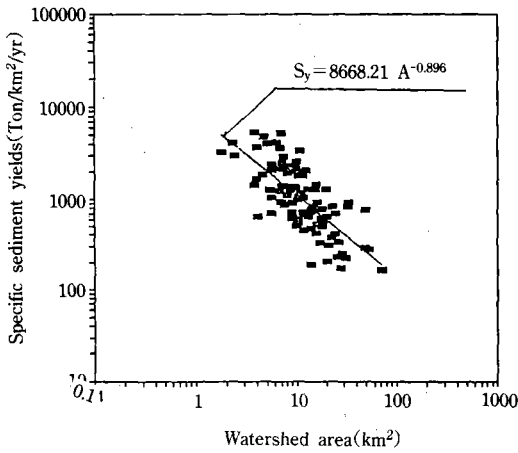


Fig. 4. Relationship between specific sediment yields and watershed areas

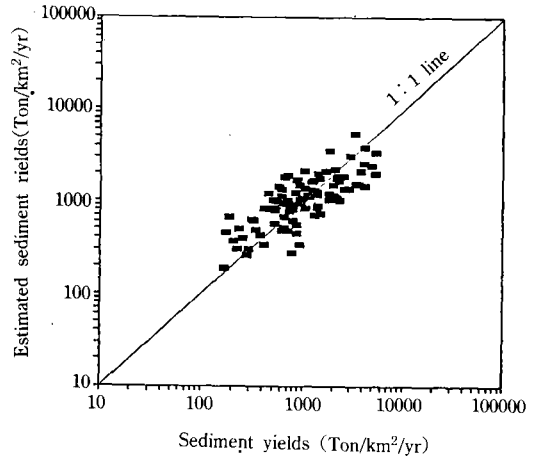


Fig. 5. Comparisons between sediment yields and the estimates from Eq. (9).

한편, 流域 特性 因子의 함수로서 比流砂量 推定式을 구하기 위하여 段階的 回歸分析을 실시하였으며, 比堆砂量의 경우와 마찬가지로 部分決定係數로 부터 구한 關係式은 다음과 같다.

$$S_y = 23563.68 A^{-1.341} A_f^{0.403} K^{0.582} \dots\dots\dots(9)$$

式(9)의 決定 係數는 0.611이었다. 式(9)에 의한 比流砂量의 推定結果와 貯水池 堆砂量으로 부터 구한 比流砂量을 비교하면 Fig. 5와 같다.

V. 要約 및 結論

本 研究의 目的은 既存 灌溉用 貯水池의 堆砂 資料를 수집하고, 流域의 地相 因子, 水文 特性 因子 등과 比堆砂量과의 關係를 分析함으로써 比堆砂量의 推定을 위한 經驗式을 유도하는데 있다. 全國 農地改良組合 管理 貯水池 中 100 곳을 선정하여 比堆砂量을 구하고 流域 特性 因子와의 關係를 究明하였다. 또한, 各 貯水池 別로 捕捉效率와 堆砂 單位 重量을 推定하여 比堆砂量으로 부터 流域 比流砂量을 구하였으며 統計的 方法을 適用하여 比流砂量의 推定式을 유도하였다.

本 研究의 結果를 要約하면 다음과 같았다.

1. 本 研究에서 사용한 100개 對象 貯水池의 流域 面積은 2~71km²로서 平均 13.9km²였으며, 比堆砂量은 792m²/km²/yr이었다.

2. 對象 貯水池의 流域 特性 因子로서 水文, 地相, 貯水池 特性 因子 등 14개 항목을 조사하여 比堆砂量과의 相關性을 分析한 결과, 比堆砂量은 流域 面積과 負의 相關關係를 보였다.

3. 比堆砂量의 推定 模型으로 流域 面積의 指數 函數式을 결정하여 實測值과 비교한 결과, 誤差는 平均 20% 내외였으나 相對 誤差가 64%로서 큰 변이를 보였다.

4. 多重回歸 分析方法으로 流域 面積과 貯水池의 當初 內容積과 流域面積의 比와의 函數로서 比堆砂量을 정의하고 決定係數(R²)^{0.64}로 比堆砂量 推定 模型을 제안하였으며, 그 推定 誤差를 제시하였다.

5. 比堆砂量으로 부터 流域 流砂量을 推定하였으며, 捕捉效率, 流砂의 單位 重量의 推定으로 인한 誤差를 검토하고, 流域 比流砂量과 流域 特性 因子와의 關係를 제시하였다.

이 論文은 1992년도 建設部 韓國建設技術 研究院의 위탁용역에 의하여 研究되었음.

參 考 文 獻

1. Brune, Gunnar M., 1953, "Trap Efficiency of Reservoirs", Transactions of American Geophysical Union, Vol. 34, No. 3.
2. Park, S. W., J. K. Mitchell, and J. N. Scarborough, 1982, Soil Erosion Simulation on Small Watersheds : A Modified ANSWERS Model, Transactions of the ASAE 25(6) : 1581-1588.
3. Vanoni, V. A.(Ed.), 1975, Sedimentation Engineering, ASCE, p. 745.
4. United States Soil Conservation Service, 1971, Sediment sources, yields and delivery ratio. SCS National Engineering Handbook (Section 3, chapt 6), USDA.
5. Williams, J. R. and H. D. Berndt, 1972, Sediment Yield Computed with Universal Equation, J. of the Hydraulics Div., ASCE, Vol. 98, No. HY12, pp. 2087-2098.
6. 金鎮澤, 1989, 小流域의 土壤浸蝕 및 堆積模型의 適用, 서울大學校 大學院 碩士學位論文.
7. 金鎮澤, 朴承禹, 1991, 傾斜地의 耕種別 流出 및 土壤 流失에 관한 研究, 學術振興財團 研究報告書, p. 15.
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 (I), 韓國農工學會誌 30(1) : 50-62.
9. 農林水産部, 1988, 오원저수지 堆積實態調查報告書.
10. 朴承禹, 金鎮澤, 1992, 既存의 灌溉用貯水池 堆砂資料 調查 分析, 韓國建設技術研究院 研究報告書, p. 40.
11. 朴承禹, 金鎮澤, 金秉辰, 1988, 小流域의 土壤浸蝕 및 堆積模型의 應用, 서울大 農學研究 13(2) : 37-45.
12. 朴承禹, 1986-1988, 海水面 및 海底堆積層 變化豫測 研究-아산호 및 삼교호의 流砂 堆積量 推定, 農水産部, 農業振興公社 研究報告書.
13. 朴承禹, 朴昌彦, 李奉勳, 1991, Reservoir Silting Patterns from a Two-Dimensional Hydrodynamic Model, 國際河川流砂 및 堆積 심포지움, 韓國建設技術研究院.
14. 徐承德, 林興益, 千萬福, 尹慶惠, 1988, 流域의 地相의 要因과 貯水池 比堆砂量과의 關係分析, 韓國農工學會誌, 30(4) : 45-61.
15. 辛逸善, 金在坤, 金始源, 1979, 貯水池의 所要容量과 堆砂量間의 關係에 관한 研究, 韓國農工學會誌 21(1) : 53-62.
16. 安相鎮, 李鍾衡, 1984, 貯水池 堆砂量과 地相因子와의 相關, 韓國水文學會誌 17(2) : 107-112.
17. 嚴泰營, 徐承德, 1968, 貯水池의 消失率 調查研究, 韓國農工學會誌, 第10卷, 1號.
18. 柳時昶, 閔丙享, 1975, 貯水池의 堆砂에 관한 研究-진양지구를 중심으로, 韓國農工學會誌 17(3) : 46-53.
19. 柳熙正, 金始源, 1976, 貯水池의 堆砂에 관한 研究. 韓國水文學會誌 9(2) : 67-75.
20. 尹龍男, 1981, 灌溉用貯水池의 年平均堆砂量과 貯水容量 減少年의 算定, 大韓土木學會 論文集 1(1) : 69-76.
21. 尹在漢, 韓相昱, 1972, 堆砂로 인한 貯水池의 內容積 減少에 관한 調查 研究, 韓國農工學會誌 14(3) : 65-72.
22. 李昌九, 劉漢烈, 高在君, 1971, 湖南地方의 貯水池 容量과 堆砂에 관한 研究.
23. 鄭弼均, 高文換, 1981, 降雨 特性 分析, 試驗研究報告書, 農技研, 農村振興廳.