

氣象豫報를 考慮한 灌溉用 貯水池의 最適 操作 模型(III)

— 模型의 應用 —

Optimal Reservoir Operation Models for Paddy Rice Irrigation with Weather Forecasts(III)

— Model Application —

金 秉 辰*·朴 承 禹**·鄭 夏 禹**
Kim, Byeong Jin ·Park, Seung Woo ·Chung, Ha Woo

Summary

The irrigation reservoir operation models developed were tested with weather and field data, and the sensitivity of the water requirement deficiency indices(WRDI) were checked with different initial reservoir storages, irrigated areas, and other water uses from the reservoir storage.

Seven reservoir release rules were applied to Yongseol Reservoir. Twenty year WRDIs were computed to check performances of those reservoir release rules. Mean WRDIs were 138, 198, 198, 200, 240, 344, and 1033mm for ROM, TOS, COS, CRR, MSC, FAS, and SRC, respectively. The results indicated that ROM contributes consistently to higher operation efficiencies of an irrigation reservoir.

The test results of LFROM and SFROM showed that reservoir operation with the proposed optimization technique ROM would be better suited for an irrigation district than those with the other rules. And the proposed model could be used as a tool to improve reservoir operations.

I. 緒 論

本 연구의 제 1보에서는 1차 Markov chain

과 incomplete Gamma 함수를 이용한 日降水
量豫測 模型과 正規 分布函數를 이용한 日蒸
發量 예측 模型의 開發 및 應用에 대하여 살펴

* 三星建設 土木設計ENG팀

** 서울大學校 農業生命科學大學

키워드: 最適 貯水池 操作, 實時間 操作, 修正
Tank 模型, 長·短期 氣象豫測 操作 模型

보았으며, 제 2보에서는 作物의 必要水量的 증축 정도를 표시하기 위하여 日別 必要水량과 貯水池 放流量과의 차이를 累加한 必要水량 缺乏指數(WRDI), 저수지 조작 방법으로 一定率法(CRR), 平均 貯水率 曲線法(MSC), 旬別 貯水率 頻度分析法(FAS), 貯水 必要量 曲線法(SRC), 一定 最適 貯水率法(COS), 旬別 最適 貯水率法(TOS), 그리고 放流係數 最適化法 (ROM) 등의 7가지 방법, 저수지의 實時間 조작을 위하여 長期 氣象豫測 操作模型(LFROM)과 短期 氣象豫測 操作模型(SFROM)의 개발에 대하여 언급한 바 있다.

本 報에서는 개발된 모형의 응용성을 평가하기 위하여, 對象 貯水池를 선정하여 實測 資料와 비교하고 貯水池 操作方法에 따른 WRDI를 비교함으로써 각 灌溉方法의 타당성을 비교하였다. 또한 初期 貯水量, 灌溉面積 增加, 그리고 저수량의 他目的 轉用에 따른 灌溉方法別 WRDI 변화를 分析하였으며, 貯水池 實時間 操作을 위하여 長期 氣象豫測 操作 模型(LFROM)과 短期 氣象豫測 操作模型(SFROM)의 응용성을 살펴보고자 하였다.

II. 貯水池 操作 模型의 適用

1. 對象地區 및 資料

貯水池 操作 模型을 적용하기 위한 試驗地 區로는 京畿道 安城郡 二竹面에 위치하고 있는 龍舌貯水池 지구를 선정하였다.

용설저수지 지구의 주요 특성은 Table-1에

Table-1. Yongsul reservoir and irrigated area

Items	Unit	Characteristics
Watershed area	ha	790
Irrigated area	ha	395
Full water level	El m	113.8
Dead water level	El.m	102.0
Effective storage	ha-m	298.9

서와 같이 流域面積 790ha, 灌溉面積 395ha의 中규모 지구로서 1989~1990년 2개년 동안 서울대학교 농공학과에서 貯水池 流入部, 貯水池, 用水路 주요 지점에 각각 自記水位計를 설치하여 수문관측을 실시한 바 있다. 저수지 유입부 수위관측 지점의 유출량 계산을 위하여는 洪水時 流速 測定과 渴水時 容積測定을 통하여 수위-유량 관계를 구하였다.

용설 저수지 유역의 土地利用 狀態는 Table-2에서와 같이 임야가 79.3%로 대부분을 차지하며, 그 다음으로는 논, 밭, 기타 등으로 각각 11.4%, 6.6% 그리고 3.9%를 차지하고 있다.

대상지구의 기상 자료는 利川氣象觀測所의 1972~1991년까지의 20개년 관측치를 사용하였다.

2. 流入量 計算

저수지 유입량은 저수지의 유입부에 설치한 자기수위계에서의 수위와 流速測定 등을 통하여 결정된 水位-流量 관계로부터 계산된 유량에 전체 流域 面積에 대한 유역 #1의 面積比를 곱하여 결정하였다.

용설저수지의 유역 #1과 전체 유역의 地相 因子와 김과 박(1988)의 회귀식을 이용한 tank 모형 매개변수는 다음 Table-3과 같다.

이 매개변수를 이용한 유역 #1의 1989년과 1990년의 저수지 유입량을 모의 발생한 결과를 살펴보면 Table-4와 같다. Table-4에서와 같이 總流出量에 대한 상대오차는 1989, 1990년 각각 36, 28%를 보였으며 평방 제곱근 평균(Root Mean Square, RMS) 오차는 3.30, 3.66mm의 값을 나타냈다.

流入量 模擬發生에 나타난 특징은 유출량이 클 때에는 오차가 크고 底水시에는 비교적 적은 오차를 보이고 있다는 것이다. 洪水時에 나타난 큰 오차는 홍수시의 유속측정이 실시되지 않음으로 인한 유량계산에서의 오차와 입력자료로서 이용된 利川 기상관측소와 龍舌

Table-2. Watershed characteristics and land uses

Watershed	Area (km ²)	Stream length (km)	Paddy rate (%)	Upland rate (%)	Forest rate (%)	Others rate (%)	Shape factor (f)
#1	2.53	1.75	15.2	5.4	77.9	1.6	0.83
#2	2.10	1.33	6.5	6.3	86.0	1.1	1.20
#3	0.68	0.82	10.1	6.9	79.3	3.7	1.00
Total	7.90	2.58	11.4	6.6	78.1	3.9	1.19

Table-3. Tank model parameters from regression models and parameter optimizations

Variables	A ₁₁	A ₁₂	A ₂	A ₃	H ₁₁	H ₁₂	H ₂	B ₁	B ₂	B ₃	ST ₁	ST ₂	ST ₃	Remarks
Regression	0.106	0.197	0.198	0.008	5.00	39.68	4.88	0.41	0.263	0.030	0.0	0.0	77.7	
Optimization	0.17	0.06	1.10	0.011	6.40	24.6	49.29	0.40	0.18	0.008	7.4	20.4	84.5	1989
	0.0005	0.001	0.25	0.017	3.00	58.68	4.00	0.35	0.25	0.003	0.0	0.0	127.5	1990

Table-4. Relative and RMS error between observed and simulated runoff with the parameters from regression model and optimization

Year	Observed runoff (mm)	Simulated runoff(mm)		Relative error(%)		RMS error(mm)	
		Regression	Optimization	Regression	Optimization	Regression	Optimization
1989	522	333	461	36	12	3.30	2.62
1990	539	388	594	28	10	3.66	2.54

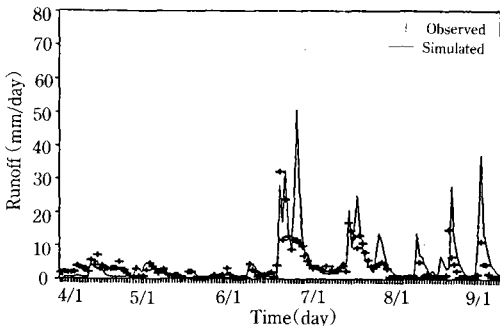


Fig. 1. Observed and simulated watershed runoff(1990)

貯水池 유역에서의 강수의 시공간 분포의 차이에서 오는 오차가 그 원인으로 생각된다. 특히 Fig. 1에서와 같이 1990년 6월 하순에 나타난 큰 오차는 전적으로 강수량의 차이에서 온 것이다.

한편 수정 tank 모형의 媒介變數를 最適化

하여 추정 오차를 줄이도록 시도하였다. 그 결과 Table-4에서와 같이 回歸模型에 의한 결과에 비하여 크게 개선되었다. 그러나 Table-3에서와 같이 最適 媒介變數가 年度別로 차이를 보이고 있으며 그 결과 역시 不規則적인 점 등을 고려하여, 본 모형의 應用에서는 Table-3의 회귀식에 의한 媒介變數를 적용하였다.

3. 放流量 計算

가. 媒介變數 補正

放流量 模型의 매개변수 보정은 龍舌貯水池의 1989년 관측치와 모의 발생치의 累加曲線을 비교하여 最適 媒介變數를 구하는 시산법을 적용하였다. 그 결과 이양용수량은 100mm, 물꼬높이는 80mm, 상시 관리담수심은 20mm, 최저방류량은 3.5mm, 그리고 수로 손실율은 15%로 결정되었다.

Table-5. Relative and RMS errors between observed and simulated reservoir release

Year	Total releases		Errors		Remarks
	Observed (mm)	Simulated (mm)	Relative (%)	RMS (mm)	
1989	825	887	7.5	51.9	Calibration
1990	799	665	17.0	41.5	Verification

매개변수 보정에 사용된 1989년 放流量을 비교하면 Table-5와같이 방류량에 있어서는 總量의 7.5% 오차를 보였으며 51.9mm의 RMS 오차를 나타내었다.

나. 模型의 檢定

1989년 방류량 자료를 이용하여 결정된 매개변수를 사용하여 1990년의 방류량을 模擬發生하여 觀測値와 비교해 본 결과, Table-5에서와 같이 總 放流量은 觀測値의 약 17% 오차를 보였으며 RMS 오차는 41.5mm를 보였으며, Fig. 2의 日放流量 累加曲線을 비교하여 보면 8月 중순의 放流에서 많은 차이를 보이고 있으나 대체적으로 龍舌貯水池의 방류 특성과 類似한 것을 알 수 있었다.

4. 貯水池 水位比較

流入量과 放流量 模型을 포함하는 灌溉用貯水池의 模擬操作 模型을 실제 입력자료를 사용하여 물收支에 의해 模擬操作을 시행하고 그 결과로 얻어지는 저수지 수위와 실측 수위

와의 오차를 계산함으로써 模型의 응용성을 검토할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 1989, 1990년의 龍舌貯水池의 관행 操作방법에 의한 저수지 水位와 一定率法(CRR)에 의한 모의발생치를 비교함으로써 그 응용성을 알아보았다.

年度別 수위와 모의발생치를 비교해 보면 Table-6과 같다. Table-6에서와 같이 灌溉期間 동안의 觀測水位와 CRR에 의한 貯水池 水位의 RMS 오차는 1989년의 경우 0.04~0.76m의 변화폭을 보였다. 1990년의 경우 0.08~0.72m였고 평균은 각각 0.45, 0.36m를 보여 비교적 양호한 결과였다. 또한, Fig. 3에서와 같이 CRR에 의한 貯水池 操作이 龍舌貯水池의 水位變化를 비교적 잘 나타내 주고 있음을 알 수 있었다.

따라서, CRR에 의한 임의의 저수지 模擬操作이 龍舌貯水池의 실제 操作으로 가정될 수 있음을 알 수 있다.

III. 貯水池 放流係數 模型의 適用

貯水池 操作 模型의 구동에 있어 放流係數

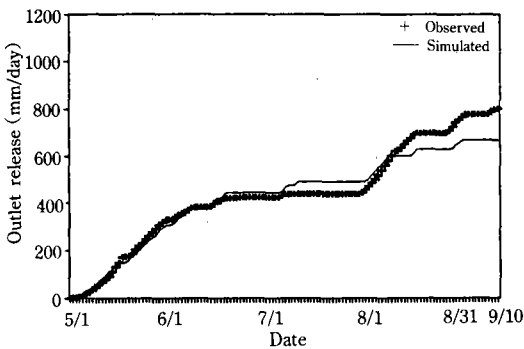


Fig. 2. Observed and simulated outlet releases for model verification

Table-6. Monthly average RMS errors between observed and simulated stages of Yongseol reservoir storage

Month	RMS errors(m)	
	1989	1990
5	0.04	0.16
6	0.39	0.31
7	0.58	0.08
8	0.47	0.72
9	0.76	0.51
Mean	0.45	0.36

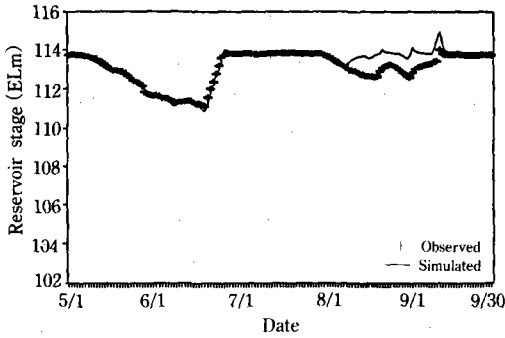


Fig. 3. Observed and simulated reservoir stages with CRR(1990)

를 결정하는 방법으로 제 2보에서 언급한 一定率法(CRR), 平均 貯水率 曲線法(MSC), 旬別 貯水率 頻度分析法(FAS), 貯水 必要量 曲線法(SRC), 一定 最適 貯水率法(COS), 旬別 最適 貯水率法(TOS), 그리고 放流計數 最適 化法(ROM) 등 7가지 방법에 대하여 龍舌貯水池에 응용하였다.

1. 氣象資料

龍舌貯水池를 대상으로 각 방류모형의 응용을 위하여 앞서 언급한 바와 같이 利川氣象觀測所의 1972年 부터 1991年 까지의 20年間 資料를 이용하였다. 이 기간 동안의 降水量, 소형 pan 蒸發量, 그리고 必要水量을 Table-7에 나타내었다.

Table-7에서와 같이 年 總降水量은 1982年 이 916mm로 가장 적고 1990년 이 2231mm로 가장 많았다. 5月에서 9月까지의 灌溉期間 동안의 降水量의 경우에도 1982年 이 575mm로 최소치를 1990年 1815mm로 최대치를 보였다. 20年間的 總 平均은 1305mm, 灌溉期間 平均은 985mm였다.

年 소형 Pan 蒸發量은 934~1233mm의 범위를 보였으며, 증발산과 관계있는 5~9월까지의 관계기간 동안의 증발량은 1977년 이 781mm로 最大值를 보였고 最小值는 강수량이 가장 많았던 1990년의 526mm였다. 이와

Table-7. Precipitation and pan evaporation data during the testing period from 1972 to 1991

(Unit : mm)

Year	Precipitation		Evaporation		Irrigation requirements
	Total	Irrigation period	Total	Irrigation period	
1972	1714	1326	1094	670	1416
1973	1095	767	1099	663	1370
1974	1139	778	1033	617	1317
1975	1279	980	1154	672	1367
1976	1206	866	1127	681	1319
1977	991	577	1206	781	1617
1978	1121	931	1233	728	1345
1979	1371	1015	1089	626	1341
1980	1417	973	1080	627	1263
1981	1326	1103	1046	610	1323
1982	916	575	1104	642	1346
1983	938	644	1004	607	1380
1984	1154	968	1033	604	1360
1985	1381	908	1004	591	1286
1986	1189	925	1013	594	1286
1987	1841	1570	1011	603	1258
1988	1002	870	1133	676	1349
1989	1416	1029	1078	675	1429
1990	2231	1815	934	526	1143
1991	1366	1081	1010	602	1260
Mean	1305	985	1074	640	1339

같은 결과는 必要水量 計算 결과에도 잘 나타나, 1977年의 必要水量이 平均值인 1399mm 보다 278mm 많은 1617mm로 최대였으며 1990年의 경우에는 평균치 보다 195mm 적은 1143mm로서 최소치를 보였다.

2. 一定率法

일정률법(CRR)의 1972년부터 1991년까지의 20년간 적용결과는 Table-8과 같다. Table-8에서와 같이 방류계수 1.0을 적용한 결과, 1972, 1976, 1977, 1982, 1983년의 5個年 동안 저수량이 고갈되는 경우가 발생하였다.

CRR에 따른 년도별 WRDI는 1977, 1976, 1972, 1982, 1983년의 순으로 최대 1897mm,

Table-8. Mean water requirement deficiency indices from release models

Year	CRR	MSC	FAS	SRC	COS	TOS	ROM
1972	674	542	556	1244	674	674	232
1973	0	28	85	1416	0	0	0
1974	0	14	31	889	0	0	0
1975	0	86	184	1004	0	0	0
1976	711	725	777	1026	716	716	461
1977	1897	1756	1776	1752	1897	1896	1424
1978	0	116	393	786	6	0	0
1979	0	26	101	729	0	0	0
1980	0	98	224	920	0	0	0
1981	0	52	187	891	0	0	0
1982	601	565	666	1408	577	585	582
1983	115	189	391	1155	96	92	72
1984	0	110	315	894	0	0	0
1985	0	26	28	1027	0	0	0
1986	0	83	213	1001	0	0	0
1987	0	78	185	1051	0	0	0
1988	0	125	343	922	0	0	0
1989	0	111	268	971	0	0	0
1990	0	1	18	642	0	0	0
1991	0	60	142	926	0	0	0
Mean WRDI (mm)	200	240	344	1033	198	198	138
No of Year Depleted	5	20	20	20	6	5	5

최소 115mm를 나타내었으며, 必要水量 전량을 급수하는 것으로 나타났다. 1972~1991년 기간의 平均値는 200mm였다. WRDI가 최대를 보인 1977년의 경우는 앞서 살펴본 기상 개황에서와 같이 최소 강수량에 따른 최대 증발량에 그 원인이 있음을 알 수 있다.

3. 平均 貯水率 曲線法

平均 貯水率 曲線法(MSC)을 적용한 결과는 Table-8과 같이 MSC에 따른 년도별 WRDI가 1977, 1976, 1972, 1983년 등의 순으로 20년 전기간 동안 나타났으며 최대 1754mm, 최소 1mm였다.

1972~1991년 기간의 平均値는 240mm로서 CRR의 경우보다 20% 정도 많은 양을 보였다. 이는 앞으로 발생할 강우에 대한 사전 정보없이 平均 貯水率에 따라 一定量을 감수 하므로서 必要水量을 충족시키지 못함에 그 原因이 있다. 그러나 WRDI가 가장 큰 1977년의 경우에는 오히려 WRDI가 약 8% 줄어들어 MSC에 의한 조작이 극심한 旱魃時에 효과가 있음을 보여 주었다. 貯水量 枯渴에 의한 방류 불가능 일수는 CRR의 경우와 같이 25일 이었다.

4. 時期別 貯水量 頻度分析法

灌溉期間 동안의 旬別 平均 저수율의 頻度分析을 통하여 旬別 放流係數를 결정하는 旬別 貯水量 頻度分析法(FAS)의 적용결과는 Table-8에서와 같이 WRDI는 1990年度에 18mm로 最小를, 1977年度에 1771mm로 최대치를 보였으며 전 기간에 걸쳐 WRDI가 발생하였다. 20년간 平均은 344mm로 MSC 보다 약 43%, CRR 보다는 약 72% 많은 값을 보였다. 한편, 貯水量 枯渴에 의한 放流 不可能 日數는 23일로 CRR, MSC 보다 2일이 줄어든 결과였다.

5. 貯水 必要量 曲線法

貯水 必要量 曲線法(SRC)에 의한 응용 결과는 Table-8에서와 같이 WRDI는 1990년이 642mm로 最低치를 보였고, 1977년이 1752mm로 최대치를 보였다. SRC에 의한 貯水池 방류계수는 그 값이 너무 안정적(conservative)으로 결정되어 평상시에 너무 제한적인 방류를 수행하도록 하므로서 平均적으로는 1033mm로 상당히 큰 결핍량을 보였다.

6. 一定 最適 貯水率法

貯水率에 따라 一定率을 放流하도록 하는 一定 最適 貯水率法(COS)의 最適放流係數 값은 Table-9와 같이 貯水率이 10% 이하의 경

Table-9. Release rates according to reservoir storage rates

Storage rate(%)	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	80~90	90~100
Release rate	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Table-10. Release rates according to seasonal reservoir storage rates

Period	May			Jun.			Jul.			Aug.			Sep.		Release rates
	F	M	L	F	M	L	F	M	L	F	M	L	F	M	
Normal-save	50	40	30	10	0	0	0	10	20	20	0	0	0	0	0.85
Saverestricted	40	30	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.60

우에만 放流係數를 0.8로 적용하고 그 이상의 저수율에서는 1.0으로 방류하는 것이 최적 결과로 나타났다.

이 방류계수를 사용하여 COS를 적용시킨 결과, Table-8에서와 같이 1977, 1976, 1972, 1982, 1983, 1978年 순으로 6개년에 부족량이 발생하였는데, WRDI는 1978년에 최소 6mm, 1977年 최대 1897mm이며 20年 평균 198mm로 一定率法의 경우와 거의 같은 값을 나타내었다.

7. 時間別 最適 貯水率法

灌溉期間 동안의 旬別 最適放流係數 값은 Table-10과 같다. Table-10은 정상급수(Normal)와 절수급수(Save), 절수급수와 제한급수(Restricted)의 경계값이 되는 저수율과 절수급수, 제한급수시의 각각의 放流係數를 나타낸 것이다. 放流係數는 정상급수의 경우에는 1.0, 절수급수, 제한급수의 경우에는 각각 0.85, 0.60으로 결정되었다.

이 放流係數를 이용하여 旬別 最適 貯水率法(TOS)을 적용시킨 결과는 Table-8에서와 같이 1983, 1982, 1972, 1976, 1977年 순으로 5個年에 不足量이 발생하였는데, WRDI가 최소 92mm, 최대 1897mm이며 평균 198mm로 CRR, COS의 경우와 거의 같은 값

을 보였다.

8. 放流係數 最適化法

放流係數 最適化法(ROM)을 적용시킨 결과, Table-8과 같이 CRR, COS, TOS의 경우와 동일하게 5개년에 不足量이 발생하였다. 年度別 WRDI는 1977, 1982, 1976, 1972, 그리고 1983年의 순으로 나타났으며, 1983年이 72mm로 최소치를, 1977年이 1424mm로 최대치였으며, 20年 평균값은 138mm였다.

9. 各 方法의 比較

20年間の 실제 氣象資料를 이용하여 각 방류계수 결정방법들 간의 모의조작 결과를 비교하였다. 비교 항목은 20年間 氣象資料에 의한 평균 WRDI와, 만수량에 대한 초기 저수량 비율의 감소, 물리면적 증가, 그리고 저수량의 타목적 전용율의 증가에 따른 WRDI 변화 등에 대하여 분석하였다.

가. 氣象資料의 結果

20年 氣象資料를 이용하여 각 방법을 적용한 결과를 저수량 缺乏年水와 平均 WRDI에 대하여 정리하면 Table-8과 같다.

저수량 결핍년수의 경우에는 CRR, TOS, ROM이 5個年 발생하였으며 COS가 6개년, MSC, FAS, SRC가 20年 전 기간 동안 WRDI

가 발생하여 평균 12個年을 보였다. 따라서, MSC, FAS와 SRC는 灌溉 初期에 절수급수 기준을 높여 잡아 결과적으로 必要水量을 放流하지 못하면서 貯水量을 충분히 사용하지 못하는 것으로 나타났다.

20個年 평균 WRDI는 ROM이 138mm, TOS 198mm, COS 198mm, CRR 200mm, MSC 240mm, FAS 344mm, 그리고 SRC가 1033mm로 나타났다. WRDI가 가장 큰 값을 나타낸 1977年의 灌溉期間 동안의 必要數量 累加値와 각 모형에 의한 給水 累加値를 비교하면 Fig. 4, 5와 같다.

Fig. 4에서와 같이 CRR, MSC, FAS에서는 8월 전기간에 貯水池 枯渴 상태가 발생하였는데 반해 SRC에서는 6월초 부터 절수를 시행

하여 8월 하순에서만 貯水池가 枯渴되었으나 WRDI는 初期 절수에 의해 거의 비슷한 값을 보였다.

COS, TOS, ROM의 조작 결과는 Fig. 5에 나타내었다. COS, TOS는 CRR과 마찬가지로 7월까지 必要水量 전량을 給水하여 8월에 必要水量을 給水하지 못함으로써 WRDI가 크게 나타났으나, ROM의 경우에는 6月 下旬에서 7月 上旬까지 절수를 실시하고 그 이후부터는 거의 전량을 급수하도록 하여 WRDI가 가장 적게 나타났다.

이러한 결과는 貯水量 缺乏年數의 경우와 마찬가지로 저수량, 저수량에 따른 一定 放流係數 또는 灌溉期間別 一定率에 의한 방법으로 절수 혹은 제한 급수를 실시함으로써 발생한 것이다. 따라서, 期間別, 貯水率別 一定 放流基準를 마련하는 것은 貯水池 操作에 있어서 바람직하지 못함을 나타내 주었다.

나. 初期 貯水量의 影響

初期 貯水量 수준에 따른 변화는 Table-11에서와 같이 7가지 방법 모두 初期 貯水水準이 떨어짐에 따라 WRDI가 增加하였다. 각 방법의 平均 값은 ROM이 가장 작은 476mm를 보였고, 그 다음으로 CRR 548mm, TOS 561mm, MSC 616mm, FAS 730mm, COS

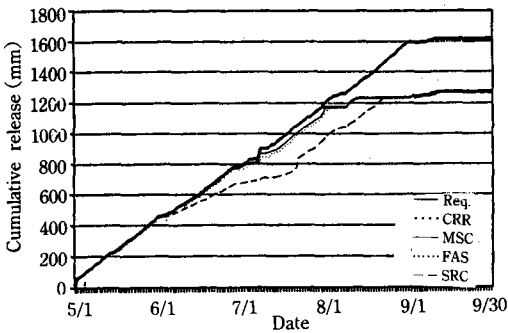


Fig. 4. Comparison of cumulative release curves from release methods

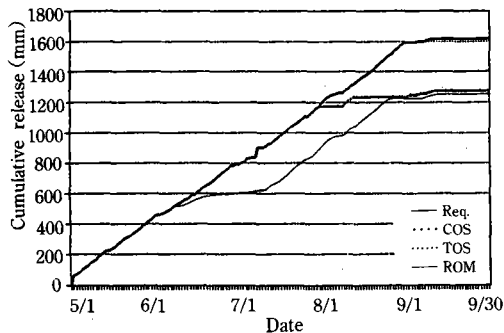


Fig. 5. Comparison of cumulative release curves from release methods

Table-11. Water requirement deficiency index changes from various initial reservoir storages

(Unit : mm)

Initial storage (%)	100	90	80	70	60	Mean
CRR	200	317	455	688	1080	548
MSC	240	418	569	759	1092	616
FAS	344	539	729	883	1153	730
SRC	1033	1068	1164	1279	1469	1203
COS	198	763	1072	1481	1959	1095
TOS	198	319	460	708	1123	561
ROM	138	269	415	632	923	475

1095mm의 순이었으며 SRC가 가장 큰 1203 mm를 나타내어 각각 ROM의 平均 WRDI보다 15, 18, 29, 53, 130, 그리고 152% 정도 큰 값이었다.

初期 貯水率이 떨어짐에 따른 WRDI의 變化度는 COS가 가장 민감한 반응을 보여 初期 貯水率이 60% 수준일 때 만수시 보다 약 10 배 가량 WRDI가 커지는 결과를 보였으며 SRC가 변화폭이 제일 적어 만수시의 WRDI 보다 初期貯水率이 60%일 대의 약 40% 增加만을 보여 初期 貯水量 변화에 둔감한 결과를 보였다.

다. 灌溉面積의 影響

灌溉面積 증가에 따른 WRDI의 變化는 Table-12와 같다. 면적이 증가함으로써 일정하게 늘어나는 必要水量의 증가 때문에 이에 따른 각 WRDI의 증가도 서로 비슷한 양상을 가지고 증가하였다.

平均 WRDI의 크기 순으로 보면 ROM이 825mm로 가장 적고, COS가 893mm, CRR이 919mm, TOS가 921mm, MSC가 963mm, FAS가 1074mm, SRC는 가장 큰 1415mm를 보였다. 이는 초기 저수량의 변화에 따른 영향 보다 각 방법 간의 차이가 적어서 WRDI가 가장 작은 ROM의 평균치와 비교해 보면 COS 부터 크기 순으로 각각 8, 11, 12, 17, 30,

Table-12. Water requirement deficiency index changes from increasing irrigated area

(Unit : mm)

Area Increment (%)	0	20	40	60	Mean
CRR	200	580	1112	1784	919
MSC	240	653	1167	1794	963
FAS	344	794	1278	1880	1074
SRC	1033	1217	1490	1922	1415
COS	198	574	1123	1679	893
TOS	198	579	1119	1788	921
ROM	138	520	1052	1589	825

Table-13. Water requirement deficiency index changes from increasing amount of other water use

(Unit : mm)

Ratio*	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	Mean
CRR	200	388	485	740	1167	586
MSC	240	391	558	801	1217	641
FAS	344	512	700	933	1296	757
SRC	1033	1063	1170	1291	1521	1216
COS	198	342	484	740	1173	587
TOS	198	340	484	743	1168	587
ROM	138	269	432	651	1012	501

*Ratio : Amount of other use/Full reservoir storage

그리고 72% 만큼 큰 값이었다.

라. 他目的 轉用의 影響

生工用水, 레크레이션 用水 등의 他目的 轉用量 增加에 따른 WRDI 變化는 Table-13에서와 같이 만수량의 10, 20, 30, 그리고 40%를 타 목적으로 전용할 때에 평균 WRDI는 ROM이 501mm, CRR 586mm, TOS 587mm, COS 588mm, MSC 642mm, FAS 758mm, 그리고 SRC 1216mm의 순으로 나타났다. 이는 ROM의 경우보다 CRR, TOS, COS는 약 17%, MSC는 28%, FAS는 51%, 그리고 SRC는 143% 정도 큰 값이었다. 따라서, 他目的 轉用量에 따른 WRDI 變化는 初期 貯水率에 의한 변화 보다 比較的 그 변화폭이 적음을 알 수 있다. 이는 같은 양이라 할지라도 貯水 初期의 貯水量이 必要水量 수급에 더욱 중요함을 나타낸 것이다.

IV. 貯水池 實時間 操作

貯水池 運營方法을 대별하면 必要水量에 의한 방법, 必要水量에 의한 방법, 必要水量과 貯水率에 의한 方法, 最適化에 의한 방법의 3 가지로 구분할 수 있는데, 본 실시간 조작에서는 必要水量에 의한 方法으로 一定率法(CRR), 必要水量과 貯水率에 의한 方法으로

平均貯水率 曲線法(MCS), 그리고 最適化 方法으로 旬別 最適 貯水率法(TOS), 放流係數 最適化法(ROM) 등의 WRDI가 적은 결과를 나타낸 4가지 방법에 의한 조작 결과를 살펴 보았다.

1. 長期 氣象豫測 操作模型

長期 氣象豫測을 이용한 저수지의 실시간 조작을 위하여 無作為로 30年間の 降水量과 蒸發量을 모의발생하고 이 자료를 이용하여 저수지를 모의 조작하였다.

가. 模擬 氣象資料

DRFM과 DEFM을 이용하여 저수지의 실시간 조작을 위하여 모의 발생시킨 30년간의 강수량자료와 증발량 자료를 비교하면 Table-14와 같다. Table-14에서와 같이 年度別 降水量은 801mm에서 1621mm의 범위로서 30年平均 年降水量은 1287mm로 Table-7에 나타난 20年間の 실측평균 降水量 1305mm 보다 작은 값을 보였다. 5월에서 9월까지의 灌溉期間 중에는 모의발생 평균치가 949mm를 보여 同期間의 실측치 평균 985mm 보다 작은 값을 보였다.

蒸發量의 경우에는 모의발생치가 최대 1099 mm, 최소 968mm로 평균 1060mm를 보여 Table-7의 실측 증발량 평균 1074mm 보다 적었으며, 灌溉期間 중의 平均 蒸發量 역시 634mm로 20年間の 실측 평균 蒸發量 640mm 보다 적었다.

나. 一定率法

一定率法(CRR)을 이용하여 操作한 결과는 다음 Table-15와 같다. 總 30年동안 저수량 부족이 나타난 해는 제 4, 5, 7년의 3個年이었으며 WRDI는 각각 402, 80, 그리고 1528mm로 평균 67mm였다. 이와 같은 결과는 Table-14에서와 같이 4, 7년의 강수량이 930, 923mm로 평균치 보다 적은 값을 보였으며, 灌溉期間의 강수량 또한 638, 615mm로 평균치 보다 300mm 이상 적었던데 그 이

Table-14. Precipitation and pan evaporation data of 30 year weather simulation (Unit : mm)

Year	Precipitation		Evaporation		Irrigation requirements
	Total	Irrigation period	Total	Irrigation period	
1	1451	1161	1056	633	1155
2	1188	867	1091	678	1402
3	1368	1079	968	567	1134
4	930	638	1084	650	1371
5	1380	1112	1058	630	1254
6	1189	989	1060	659	1286
7	923	615	1087	646	1298
8	1256	945	1058	624	1249
9	1288	796	1041	626	1260
10	1050	716	1051	611	1230
11	1457	1041	1025	592	1192
12	1064	861	1045	630	1191
13	944	711	1047	630	1380
14	1621	1284	1055	631	1169
15	1344	1024	1082	641	1225
16	1175	907	1122	688	1296
17	1325	917	1063	632	1280
18	1308	948	1083	666	1307
19	1371	1122	1064	628	1217
20	1235	922	1075	649	1275
21	1443	1053	1059	633	1226
22	1481	1059	1037	626	1232
23	1341	794	1064	617	1234
24	1148	767	1024	587	1217
25	1227	1013	1053	640	1245
26	1821	1427	1028	609	1154
27	1501	1091	1095	642	1179
28	1510	1020	1076	667	1225
29	1471	1029	1099	647	1195
30	801	560	1057	646	1289
Mean	1287	949	1060	624	1244

유가 있는 것으로 생각된다.

한편, 강수량이 적었던 제 13, 30년의 경우 용수 부족이 생기지 않은 이유는 보통 한발이 발생하는 5, 6월에 100mm 이상의 비가 내렸으며 灌溉期間 동안 고르게 비가 내린 것에

Table-15. Mean water requirement deficiency index from long term irrigation forecasting (Unit : mm)

Year	CRR	MSC	TOS	ROM
1	0	1	0	0
2	0	144	0	0
3	0	12	0	0
4	401	376	402	393
5	86	179	82	65
6	0	56	0	0
7	1529	1150	1485	976
8	0	102	0	0
9	0	106	0	0
10	0	81	0	0
11	0	55	0	0
12	0	46	0	0
13	0	126	0	0
14	0	49	0	0
15	0	14	0	0
16	0	80	0	0
17	0	16	0	0
18	0	133	0	0
19	0	97	0	0
20	0	15	0	0
21	0	54	0	0
22	0	49	0	0
23	0	120	0	0
24	0	108	0	0
25	0	33	0	0
26	0	102	0	0
27	0	50	0	0
28	0	19	0	0
29	0	100	0	0
30	0	102	0	0
Mean	67	119	65	47

기인한 것으로 판단되었다.

다. 平均 貯水率 曲線法

평균 저수율 곡선법(MSC)을 이용하여 조작한 결과는 다음 Table-15에 나타내었다. WRDI가 30년 전기간 걸쳐 나타났는데, 제 7년이 1150mm로서 가장 큰 값을 나타냈으며 제 1년이 1mm로서 가장 작았다. 평균은

119mm을 보여 CRR의 약 1.8배에 해당하는 값이었다.

라. 旬別 最適貯水率法

旬別 最適 貯水率法(TOS)을 이용하여 조작한 결과는 Table-15와 같다. WRDI가 나타난 해는 4, 5, 7, 29년의 4個年이었으며 각각 402mm, 82mm, 1485mm, 그리고 4mm로 평균 65mm였다. 본 방법에 의하면 CRR의 경우 보다 WRDI가 1개년 더 생겼지만 평균치는 오히려 줄어 들었다. 이는 제 7년의 경우와 같은 심한 한발 발생시에 절수에 의한 용수의 절약으로 인한 결과로 생각되었다.

마. 放流係數 最適化法

放流係數 最適化法(ROM)을 적용한 결과는 CRR의 적용에서와 같이 제 4, 5, 7년의 경우에만 WRDI가 발생하였다. 그 결과를 살펴보면 Table-15에서와 같이 제 4, 5, 그리고 7년의 WRDI는 각각 393, 65, 967mm로 平均 47mm를 나타내어 가장 적은 결과를 보였다.

바. 各 方法의 比較

一定率法(CRR), 平均 貯水率 曲線法(MSC), 旬別 最適 貯水率法(TOS), 그리고 放流係數 最適化法(ROM) 등의 4가지 방법을 이용하여 長期豫測 模型을 응용해 본 결과, Table-15에서와 같이 WRDI 평균치가 각각 67mm, 119mm, 65mm, 그리고 47mm로 비슷하였으나, 크기 순으로 보면 ROM, TOS, CRR, 그리고 MSC의 순이었으며 4가지 방법의 평균 75mm였다. 한편, 한발이 가장 심한 것으로 나타난 제 7년의 WRDI에서는 ROM이 976mm로 가장 작았고 CRR의 경우가 1528mm로 가장 큰 값을 나타냈다.

따라서, 長期 氣象豫測 操作模型(LFROM)의 경우에는 일단 CRR을 운전하여 必要數量의 전량 관개시 WRDI발생유무를 파악하고, WRDI가 발생할 시에는 ROM을 응용하여 灌溉期間 동안 放流係數를 결정하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

Table-16. Mean water requirement deficiency index from short term irrigation forecasting

(Unit : mm)

Year	Reference Year	CRR		MSC		TOS		ROM	
		WRDI with WD*	WRDI with PD**	WRDI with WD	WRDI with PD	WRDI with WD	WRDI with PD	WRDI with WD	WRDI with PD
1	1972	674	0	542	276	674	0	232	0
2	1976	711	0	725	237	716	0	461	0
3	1977	1897	3166	1754	3452	1897	3130	1424	2199
4	1982	601	2032	565	1911	585	2036	580	295
5	1983	115	1217	189	1222	92	1222	72	498
Mean		800	1283	755	1420	793	1278	553	598

*WD : Weather data

**PD : Predicted

2. 短期 氣象豫測 操作模型

短期 氣象豫測을 이용한 저수지의 실시간 조작을 위하여 대상지구의 과거 20個年 氣象資料 중에서 一定率法 적용시 WRDI가 발생한 1972, 1976, 1977, 1982, 1983年의 5個年資料를 基準年度(reference year)로 하여 강수 발생일을 입력하고 雨天時 降雨量과 蒸發量을 模擬發生하여 操作 方法을 計劃하였다.

가. 一定率法

一定率法(CRR)을 적용한 결과, Table-16에서와 같이 WRDI가 5個年 중 3個年에서만 발생하였는데, 平均 1283mm로 실제 觀測值를 사용한 경우보다 약 60% 정도 많은 값을 보였다.

나. 平均 貯水率 曲線法

平均 貯水率 曲線法(MSC)의 경우에는 Table-16에서와 같이 WRDI가 平均 1420mm로 실측치에 의한 WRDI 755mm 보다 1.9배 큰 값을 보였으며 각 년도에 모두 WRDI가 발생하였다.

다. 旬別 最適 貯水率法

旬別 最適 貯水率法의 적용 결과는 氣象豫報에 의한 WRDI가 平均 1278mm로서 觀測值에 의한 적용 결과보다 1.6배에 해당하는 값으로 Table-16에 나타내었다. 본 방법에서는 일정률법의 경우와 같이 1977, 1983年의

경우에만 WRDI가 발생하였다.

라. 放流係數 最適化法

放流係數 最適化法(ROM)의 경우는 Table-16에 나타낸 바와 같이 CRR, TOS와 마찬가지로 1977, 1982, 1983년에 WRDI가 발생하여 平均 598mm를 보였다. 이는 실측치에 의한 平均 554mm와 거의 같은 값이었다.

마. 各 方法의 比較

一定率法(CRR), 平均 貯水率 曲線法(MSC), 旬別 最適 貯水率法(TOS), 그리고 放流係數 最適化法(ROM) 등의 4가지 방법을 이용하여 단기 기상예측 조작 모형(SFROM)을 응용해 본 결과, Table-16에서와 같이 WRDI 平均値가 각각 1283, 1420, 1278, 그리고 598mm로 ROM이 가장 작은 결과를 보였으며 다음으로 TOS, CRR, MSC의 순으로 나타났으며 4가지 방법의 平均은 1145mm였다. 한발이 가장 심했던 1977년의 경우 WRDI는 ROM이 2197mm로 가장 작았고 MSC의 경우가 3452mm로 가장 큰 값을 나타냈다.

따라서, 短期 氣象豫測 操作模型(SFROM)의 경우에도 CRR을 통하여 WRDI 발생유무를 파악하고, WRDI가 발생할 시에는 ROM을 응용하여 灌溉期間 동안의 放流係數를 결정하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

한편, 제 1, 2년에는 實測 氣象資料를 입력한 경우에 WRDI가 발생한 반면 예측에 의한 결과에서는 MSC의 경우 훨씬 작은 값을, CRR, TOS, ROM에서는 발생하지 않았다. 이와 같은 결과는 강수량 예측에서의 오차와流入量, 放流量 모형 등의 模擬操作 模型에서의 오차가 서로 복합적으로 작용하여 발생한 것으로 판단된다.

V. 要約 結論

1. 利川 氣象觀測所의 20個年 氣象 觀測值를 사용하여 WRDI를 비교함으로써 각 操作方法을 비교한 결과, ROM이 138mm, TOS, COS는 198mm, CRR이 200mm, MSC가 240mm, FAS는 344mm, 그리고 SRC 1033mm의 순으로 나타났다.

2. 初期 貯水量의 변화에 따른 조작 방법별 平均 WRDI는 ROM이 475mm, CRR은 548mm, TOS는 561mm, MSC는 616mm, FAS는 730mm, COS는 1095mm, SRC가 1203mm를 나타내었다.

3. 蒙利面積 增加에 따른 平均 WRDI는 ROM이 825mm, COS가 893mm, CRR이 919mm, TOS는 921mm, MSC는 963mm, FAS는 1074mm, SRC가 1415mm를 나타내었다.

4. 他目的 轉用量에 따른 平均 WRDI의 변화는 ROM이 501mm, CRR은 586mm, TOS는 587mm, COS가 587mm, MSC는 641mm, FAS는 757mm, SRC가 1216mm를 나타내었다.

5. 長期氣象豫測 操作模型(LFROM)과 短期

氣象豫測 操作模型(SFROM)의 적용결과, CRR을 이용하여 WRDI발생 유무를 파악하고 ROM을 이용하여 灌溉期間 동안의 旬別 放流係數를 결정하는 것이 效率的이었다.

6. 貯水池 操作 方法에 따라 放流係數의 변화폭이 크기 때문에 일률적인 放流 수준에 의한 操作보다는 最適化 技法을 적용하도록 해야 할 것으로 판단되었다.

본 연구는 농림수산부, 농어촌진흥공사의 일부 재정 지원에 의하여 수행되었음.

參 考 文 獻

1. 金秉辰, 1993. 氣象豫報를 考慮한 灌溉用 貯水池의 最適 操作 模型, 서울大學校 大學院 博士學位 論文.
2. 金秉辰, 朴承禹, 1993. 氣象豫報를 考慮한 灌溉用 貯水池의 最適 操作 模型(I), 韓國農工學會誌, 36(1), pp. 63-72.
3. 金秉辰, 朴承禹, 1993. 氣象豫報를 考慮한 灌溉用 貯水池의 最適 操作 模型(II), 韓國農工學會誌, 36(2), pp. 44-55.
4. 金顯榮, 朴承禹, 1986. 流域特性에 따른 탱크 模型 媒介變數의 變化, 韓國農工學會誌, 28(2), pp. 42-52.
5. 朴承禹, 任相浚, 1991. 專門家 시스템을 이용한 灌溉用 貯水池 操作, 韓國農工學會誌, 33(1), pp. 100-109.
6. 鄭夏禹, 1989-1991. 集中用水管理組織研究(I)-(III), 農林水産部, 農漁村振興公社, 서울大學校 附屬 農業開發研究所.