

저수지 내용적 곡선의 모의발생

Simulation of Stage-Storage Curve Function in Irrigation Reservoirs

김 현 영* · 윤 인 택** · 최 용 선* · 오 수 훈*
Kim, Hyun Young · Yoon, In Taek · Choi, Yong Sun · Oh, Soo Hun

Summary

The uses of stage-storage curve function are diverse in irrigation reservoirs. The curve functions would be used to determine the optimal size of spillway length and the inundation area above full water level based on the flood routing in reservoirs. In addition, the curve function would be used to transform the stage to the storage for the reservoir water management, in which the storage is the supply water. Besides those, the curve is necessary for the planning of dredging, the estimation of the effective and the dead storage, the drought management by reservoir, etc.

The curve function data, however, are almost unavailable for these purposes. According to the statistics, about 74% of the 2,900 reservoirs which are maintained by Farm Land Improvement Association have no more effective data.

Therefore, the simulation of the curve function could be better alternative. The curve functions were simulated deriving the regression equations based on the basin relief ratio and the effective depth.

The results of the verification show the enough reliability of the application to generate the curve function in some reservoirs which do not have the surveyed stage-storage data. Also, even though the averaged curve function would be applied without the basin relief ratio data, the result shows that the simulated curve is closer to the real one than the linear function by only the existing effective storage data.

I. 서 론

저수지에서 수위-내용적 곡선의 용도는 다양하다. 우선 저수지에서 홍수를 추적하여 그

조절량을 계산하는 데 필요하다. 이 조절량만큼 저수지 물넘이의 규모를 줄일 수 있고 홍수위선(洪水位線)의 추적으로 침수면적을 결정할 수 있는데 이때는 보통 만수위 이상의

*농어촌진흥공사 조사설계처
**농어촌진흥공사 경북지사

키워드 : 저수율, 저수지 내용적곡선, 유역특성인자, 유효수심, 기복량비, 비심, RMS

내용적 곡선이 이용된다.

다음으로 이 곡선은 평상시 저수지의 불관리에 필수적인 자료이다. 현재 관측된 저수지의 수위가 저수위-내용적 곡선을 통해 바로 저수량으로 환산되고 이 수량은 바로 관개용수로 공급될 수량이 되며, 이때 정확한 수위-내용적 곡선이 준비되어 있지 않다면 효과적인 불관리는 불가능하다. 또한 저수위-내용적 곡선은 저수지의 준설계획, 가뭄시 유효 저수량과 사수량의 추정등에 필요한 자료이다.

더욱이 관개용 저수지의 효율적인 불관리를 위해 자동 불관리 시스템을 도입할 경우 사전에 준비해야할 중요한 자료중의 하나가 바로 수위-내용적 곡선 자료이다. 또한 가뭄시 지역적인 유효 수자원량의 분포를 파악하여 그 대책을 수립하는 데도 필요하다. 농어촌진흥공사(1994)는 가뭄관리시스템의 일환으로 저수관리(貯水管理)시스템을 개발하면서 전국적인 저수지 수위 실시간 수집시스템을 구상한 바 있는데 이때 실시간으로 수집된 저수지 수위 자료로부터 저수량으로 환산하여 현재의 유효저수량을 파악하는데 필수적인 자료임을 강조하고 있다.

그러나 전국적으로 18,000여개의 저수지중 시 군에서 관리하는 15,000여개는 거의 저수위-내용적의 자료가 없는 실정이다. 더욱이 농지개발조합(농조)에서 관리하는 2,900여개 저수지의 경우에도 73.6%인 2,100여개가 이러한 자료가 없는 실정이다(농어촌진흥공사, 1993). 이러한 경우 저수지 내용적을 현장 측량하여 이 자료를 구득할 수 있지만 많은 노력과 시간, 그리고 비용이 소요되는 단점이 있다. 그래서 정도(精度)에 있어서는 떨어질지 모르지만 사용목적에 비추어 볼 때 허용 오차를 수용할 수 있다면 내용적 곡선의 모의 발생 방법은 매우 훌륭한 대안이 될 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 구득 가능한 제당높

이와 유효저수량 자료 및 지형도상에서 얻을 수 있는 저수지유역의 특성자료로부터 수위-내용적 곡선의 방정식을 유도하고 이를 실제 측량에 의해 얻은 수위-내용적 곡선과 비교 검증한 후 내용적 자료가 없는 저수지의 수위-내용적 곡선을 모의발생하는 데에 그 목적을 두고있다.

II. 사용자료의 통계분석

1. 제당높이와 유효수심

저수지 내용적곡선을 모의발생하기 위한 필요자료는 저수지의 유효수심과 유역 및 저수지 위치의 지형적인 특성을 반영할 수 있는 지상인자(地相因子)이다. 그러나 이와 관련되어 현실적으로 손쉽게 구득할 수 있는 자료는 농업기반조성사업통계연보에 수록된 저수지의 제당높이와 유효저수량 뿐이다. 따라서 유효저수량과 수심간의 상관관계를 분석하려면 제당높이를 유효수심으로 변환시켜야 한다.

제당높이를 유효수심으로 변환하기 위해서는 기존의 저수지 자료를 통계분석하여 제당높이와 유효수심간의 상관관계를 밝혀야 한다. 우선 여기에서는 농조관할 저수지 2,898개를 대상으로 제당높이의 통계적 특성을 분석하여 계급의 구간과 최빈(最頻) 계급한계를 추출하고 각 계급별 제당높이에 대한 유효수심의 비를 구하였다.

통계연보(1992)상의 자료에 의하면 보조수원공까지 합한 전체 저수지의 79.7%의 제당이 15m미만이며 평균 제당높이는 10.2m로 나타났다. 주수원공 1,483개 만을 통계처리했을 경우 20m이하가 83.4%를 차지하고 평균높이는 14.0m로 나타났다. 이로부터 제당높이의 상 하한 계급은 10m미만과 20m이상으로 하고 계급의 구간은 5m로 하는 것이 타당할 것으로 판단되었다(농어촌진흥공사, 1994).

일반적으로 통계연보에 수록된 제당높이는

저수지 바닥부터 독마루의 표고차로 정의되고 있다. 여기서 저수지 바닥이란 제당의 기초중 최저지반고 또는 저수지제당의 단면중 최대단면이 있는 곳의 단면 하류끝의 표고를 제거한 후의 표고이다. 한편 통계연보에는 독마루 표고가 수록되어 있지 않으므로 만수위와 물넘이 월류수심 및 여유고 등으로부터 추정해야 한다. 월류수심에 대해서는 일반적으로 농업용저수지의 경우 0.8~1.2m의 범위에서 결정되고 있다. 여유고는 설계 최고수위와 댐마루의 표고차를 말하며 풍속에 의한 물결높이, 이상홍수위(異常洪水位)에 의한 수위상승고(水位上昇高) 및 물넘이폭 등에 따라 저수지마다 다른 값을 가지고 있다(건설부, 1993).

2. 유효수심의 추정

유효수심을 추정하기 위해서 2가지 방법을 시도하였다. 첫째는 댐높이 산정기준(건설부, 1993)을 적용하여 제당높이로부터 월류수심과 여유고를 감하여 유효수심을 추정하는 기하학적(幾何學的)인 방법이었고 다른 하나는

제당고와 유효수심간의 통계적 관계를 추정하여 적용하는 방법이였다.

통계적인 방법을 위해 경기도내 12개농조가 관리하고 있는 저수지 중 58개 저수지에 대해 제당높이에 대한 유효수심의 비를 계산하였으며 그 결과가 Table-1과 Fig.1이며, 추정한 관계식은 식 1과 식 2이다.

$$Y = 0.625X (\text{제당높이 } 20\text{m 이하}) \dots\dots (1)$$

$$Y = 0.935X - 6.457 (\text{제당높이 } 20\text{m 이상}) \dots\dots (2)$$

식에서 X = 제당높이(m)
Y = 유효수심(m)

Table-1. 기설 저수지 제당높이에 대한 유효수심의 비

구 분	제 당 높 이 (m)		유효수심 비 (%)		자료수
	범 위	평 균	범 위	평 균	
10m 미만	5.0~9.5	7.33	50.0~75.0	62.62	12
10m~15m	10.0~15.0	12.36	51.5~73.8	62.07	13
15m~20m	15.8~19.0	17.46	56.4~76.0	63.55	10
20m 이상	20.1~37.4	24.77	53.7~76.7	68.36	12

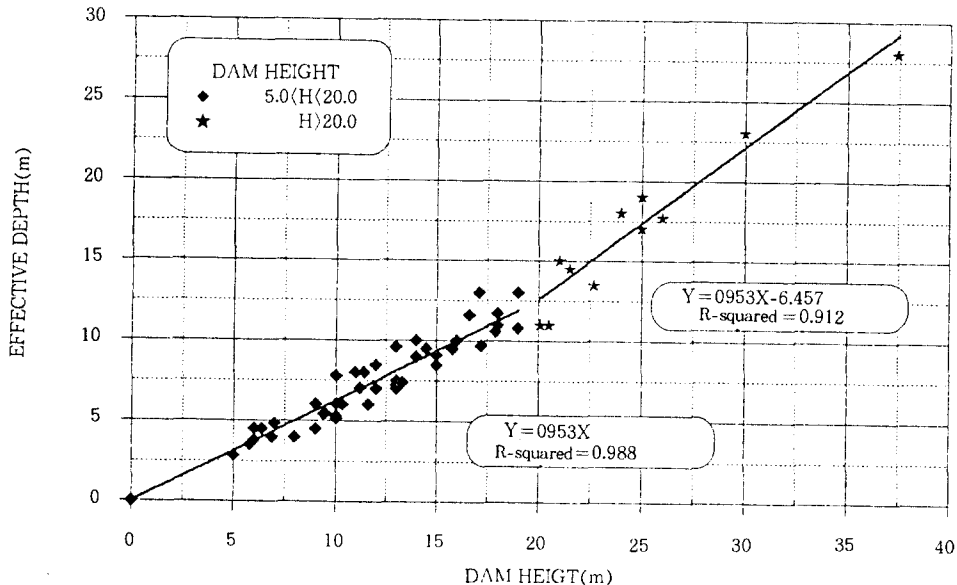


Fig. 1. 제당높이에 대한 유효수심

Fig.1 및 식 1,2에서 제당높이 20m이하의 저수지에 대한 일차회귀식 (식 1)에서 결정계수 R^2 은 0.988로 나타나 제당높이와 유효수심은 높은 상관관계가 있음을 보이고 있다. 반면에 20m 이상의 저수지에 대한 관계식 (식 2)에서는 결정계수가 0.912로 나타나 20m 이하 저수지에 대한 결정계수 보다 작은 값을 보이고 있지만 대다수(79.7%)의 농조관할 저수지의 제당높이가 15m 이하인 것을 고려할 때 제당 높이 20m 이하에서 유도된 식을 적용하면 높은 정도의 유효수심 추정이 기대될

것으로 생각된다.

3. 유효수심 추정식의 검증

한편 위의 2가지 방법에 대한 검정을 통해 유효수심추정 방법을 선정하고자 Table-2와 같이 경기도 안성군 안죽지구의 3개 저수지에 대하여 적용한 결과 기하학적인 방법은 3개 저수지에서 유효수심추정 평균오차가 45.33%로 나타난 반면 통계적인 방법은 6.28%로서 유효수심추정은 통계적방법으로 추정하는 것이 월등히 좋은 결과를 나타내고 있다.

Table-2. 유효수심 추정결과의 검증

저수지명	제당고 (m)	유효수심 (m)	기 하 학 적 방 법						통계적 방법		
			월류 수심 (m)	여 유 고 (m)			추 정 유효수심 (m)	오차 (m)	추 정 유효수심 (m)	오차 (%)	
				물 결 높 이	수 위 상승고	안전고					계
덕 산	15.80	9.5	1.0	0.65	0.11	1.0	1.80	13.0	3.5 (36.8)	9.87	0.37 (3.89)
장 계	22.70	13.5	0.8	0.34	0.10	1.0	1.50	20.4	6.9 (51.1)	14.18	0.68 (5.04)
용 설	19.00	10.8	1.2	0.64	0.12	1.0	1.80	16.0	5.2 (48.1)	11.87	1.07 (9.91)
평 균									(45.33)		(6.28)

4. 유역지상인자(流域地相因子)의 추출

내용적곡선의 모의발생을 위해서 분석하여야 할 또 다른 과제는 저수위별 내용적곡선의 분포특성에 영향을 미치는 유역의 지상인자들을 추출하는 것이다. 여기에는 유역의 기하학적인 특성인자, 배수특성인자, 저수지 인자 등이 있다. 기하적인 인자로서는 유역면적, 유역주장(流域周長), 주하천장(主河川長), 형상계수(形狀係數), 기복량비(起伏量比), 토지이용상태 등이 있으며, 배수특성인자로서는 수계밀도(水系密度), 수계빈도(水系頻度) 등이 있고, 저수지인자로서는 제당표고, 제당높이 등

이 있다.

내용적곡선의 표고별 분포특성을 알기 위해서 이미 유역의 지상인자의 값이 구해져 있는 전국 농업용저수지 88개(박승우 등,1992)와 최근 내용적측량을 실시한 7개 저수지(농어촌진흥공사,1994)를 이용하였으며 인자별 자료범위를 요약한 것이 Table-3이다. 또한 이 저수지 중 수위-내용적 곡선이 있는 12개 저수지를 선정하여 내용적곡선의 수심별 분포특성을 분석하였다.

다음은 Table-3에서 나타난 유역지상인자 중 어떤 인자가 저수위별 내용적곡선특성을 나타낼 수 있는가를 파악하는 것이다. 이를

위하여 각 인자들에 대한 계급별 분류를 실시한 후 이를 3~5개의 계급별 그룹으로 구분하였고 이의 그룹에 해당하는 저수지들중 저수위-내용적자료를 보유한 12개 저수지를 선정하여 내용적곡선의 수심에 따른 분포특성 분석에 이용하였다.

Table-3. 유역지상인자의 통계적 특성(95개 저수지)

구분	단위	자료값		
		최대	최소	평균
제당높이	m	37.30	4.80	13.84
제당표고	EL.m	250.00	0.00	62.00
유역면적	km ²	71.00	1.80	14.12
주하천장	km	15.80	0.50	5.15
유역주장	km	41.50	5.70	15.74
형상계수	-	1.26	0.12	0.51
수계밀도	m/km ²	2.44	0.61	1.54
기복량비	m/km	208.50	10.60	46.06
임야면적	%	99.00	19.00	69.00

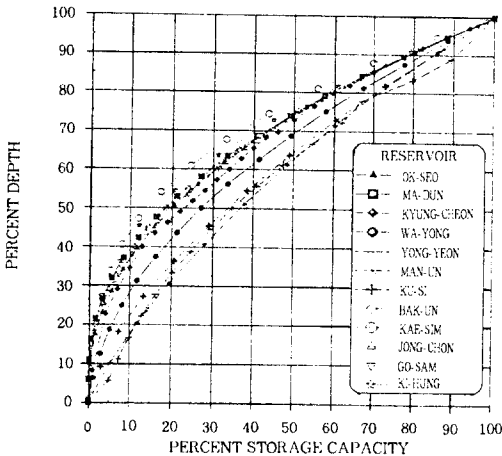


Fig.2. 비심별 내용적곡선의 분포

분석방법은 12개 저수지의 만수위를 100으로 보고 각 수심에 대한 내용적을 전체 내용적에서 표고별로 차지하는 저수위별 내용적비로 계산하여 그림으로 나타낸 다음 각 유역의 지상인자별로 Cluster분석을 시도하였다. 이 결과 Table-3의 9개인자 중 기복량비(Basin

Relief)가 표고별 내용적곡선특성을 그룹별로 나타내고 있음을 확인하였으며 다른 인자에 대해서는 일관성과 뚜렷한 분별성을 확인할 수 없었다.

이는 기복량비(Schumn 방법)가 유역내에서 지형상 고도의 기복을 나타내는 것으로서 최고점과 최저점과의 표고차를, 그 고도를 기준으로 한 분류하천의 연장으로 나눈 값으로 정의되기 때문이며 또한 저수지 형태를 결정할 수 있는 하천장, 고도, 경사도 특성을 내포하기 때문에 나타난 결과로 생각된다.

Fig.2 에서 내용적곡선의 분포형태가 대략 3가지로 분류됨을 알 수 있다. 하나는 용연, 만운, 구시 등 3개 저수지로서 곡면의 정도가 가장 낮은 부류이고, 또 하나는 곡면의 정도가 가장 심한 개심, 종천, 백운, 고삼, 기흥 등 5개 저수지가 이 부류에 속한다. 나머지 하나는 옥서, 마둔, 경천, 와룡 등 곡면의 정도가 위의 2개 부류의 중간에 해당하는 저수지군이다.

III. 내용적곡선의 모의발생

1. 내용적 곡선식의 유도

Fig.2의 3개 저수지군을 기복량비로 나타내었을 때 85.7이상, 20.5이하 및 48.4~59.0 범위에서 내용적분포가 뚜렷하게 집단을 형성하고 있음을 알 수 있다. 이들에 대해 기복량비에 따른 그룹별로 내용적분포식을 나타낸 것이 Fig.3이며 곡선의 관계식은 Table-4와 같다.

Table-4. 내용적곡선의 추정 관계식

기복량비구분	관계식	결정계수(R ²)	비고
20.5 이하	FIT1 : Y=0.0010 X ^{2.504}	0.977	5개저수지
48.4~58.1	FIT2 : Y=0.2715 X ^{1.258}	0.966	3개저수지
85.8 이상	FIT3 : Y=0.0027 X ^{2.294}	0.910	4개저수지
12.6~208.5	FIT4 : Y=0.0052 X ^{2.128}	0.839	12개저수지

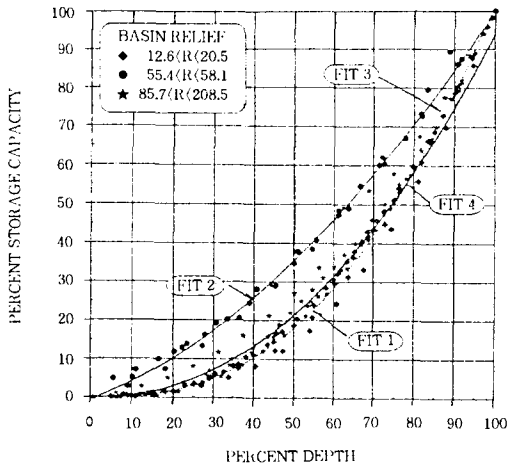


Fig. 3. 내용적곡선식의 분류

Table-4에서 보는 바와 같이 기복량비가 20.5이하일 때와 48.4~58.1의 범위일 때의 FIT-1 및 FIT-2의 결정계수는 각각 0.977, 0.966으로 높은 상관성을 보이나 기복량비가 85.8 이상의 경우와 각 경우를 평균한, 즉 12

개 저수지의 내용적곡선을 평균한 FIT-4인 12.6~208.5의 경우는 결정계수가 0.910과 0.839로 위의 2개의 경우보다 낮은 상관성을 보이고 있다. 그러나 Table-3에서 알 수 있듯이 95개 농업용저수지의 평균 기복량비가 46.06으로 나타나 FIT-1 및 FIT-2 적용시 정도 높은 내용적곡선의 식으로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 내용적곡선식의 검정

Table-5에서 보는 바와 같이 반월 및 장계 저수지는 각각 FIT-1과 FIT-2의 관계식을 검정한 저수지이다. 이들의 기복량비는 반월지에서 23.3, 장계지는 177.0으로 나타나 관계식 추정과정에 이용한 저수지들의 기복량비의 범위에 속하거나 근접하고 있으나 관계식 FIT-3을 검정한 궁저수지의 기복량비는 30.2로 관계식 추정시 이용한 저수지들의 기복량비의 범위인 48.4~59.0에 벗어나고 있다.

Table-5. 검정에 이용한 저수지

저수지명	관할 농조	만수 면적 (ha)	유연 면적 (km ²)	유 효 저수량 (ha-m)	제당 높이 (m)	제당 표고 (EL,m)	주하 천장 (km)	유역 주장 (km)	형상 계수	수계 밀도 (m/km ²)	기복량비 (m/km)	입야 면적 (%)
장계	기호	11.7	22.5	84.8	22.7	154	2.0	9.50	0.74	1.00	177.0	94.0
궁	보은	33.7	11.4	144.8	14.0	250	4.3	12.2	0.62	1.39	30.2	84.0
반월	수화	46.5	12.2	177.7	11.4	100	4.3	15.5	0.66	1.17	23.3	84.0

위의 저수지에 기복량비의 그룹별로 유도된 내용적곡선 모의발생 관계식을 해당 저수지에 적용하고 또한 12개 저수지 전체에 대해 유도한 FIT-4의 관계식을 3개 저수지 모두에 적용한 결과는 Table-6과 같다. 검정방법은 수위에 따른 내용적을 계산하고 실측 내용적 곡선과의 RMS(Root Mean Square)를 계산하여 비교하였다. 검정의 기준은 곡선식 유도 당시의 RMS를 계산할 수 없기 때문에 Fig. 4에서와 같이 내용적곡선이 없는 경우 현실적으로 이용 가능한 방법인 직선변화식을 적용하

였다.

FIT-3을 적용한 장계저수지의 경우 RMS는 3.016로 나타났고 저수지 수위별 평균오차는 20.45%이며, FIT-2를 적용한 궁저수지에서는 RMS 및 평균오차가 각각 9.981, 32.48%로 나타났고, 반월저수지는 RMS가 4.540, 평균오차는 19.87%로 나타났다. 또한 3개의 저수지 모두를 FIT-4에 적용한 결과 평균 RMS는 4.506, 오차의 평균은 17.22%를 나타냈다. 반면에 저수위-유효저수량자료를 모의발생시키지 않고 직선으로 분포시킨 경우를 살펴보면

장계저수지에서는 RMS가 13.01에 평균오차가 79.91%이고, 궁저수지는 RMS가 24.721 평균오차는 89.89%이며, 반월저수지는 RMS가 35.150, 평균오차는 160.83%로 나타났다. Fig. 4. (a), (b), (c)는 적용결과를 도시한 것으로서 대부분 실측 곡선과 근접하고 있음을 볼 수 있으며 평균곡선인 FIT-4를 적용하

더라도 직선분포보다는 매우 개선된 결과를 보여주고 있음을 알 수 있다. 더욱이 평균곡선식 FIT-4는 기복량비에 따른 곡선식보다 전반적으로 좋은 결과를 보여주는 것은 기복량비에 따른 분류의 의미를 희석시킨다고 할 수 있다.

Table-6. 내용적곡선의 검정

저수지명	내용적곡선 추정 관계식								직선변화시	
	FIT-1		FIT-2		FIT-3		FIT-4		RMS (ha.m)	오차 (%)
	RMS (ha.m)	오차 (%)	RMS (ha.m)	오차 (%)	RMS (ha.m)	오차 (%)	RMS (ha.m)	오차 (%)		
장 계	-	-	-	-	3.016	20.45	3.893	20.58	13.010	79.91
궁	-	-	9.981	32.48	-	-	7.081	23.32	24.721	89.89
반 월	4.540	19.87	-	-	-	-	2.545	7.75	35.150	160.83
평 균							4.506	17.22	24.294	110.21

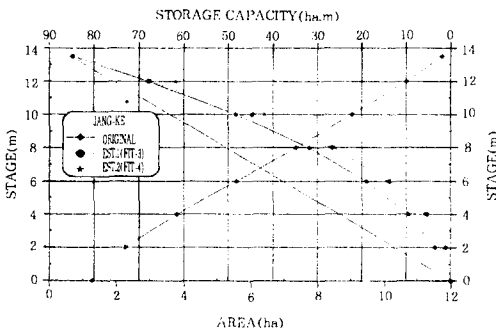


Fig. 4-(a) 내용적곡선 모의발생의 검정 (장계저수지)

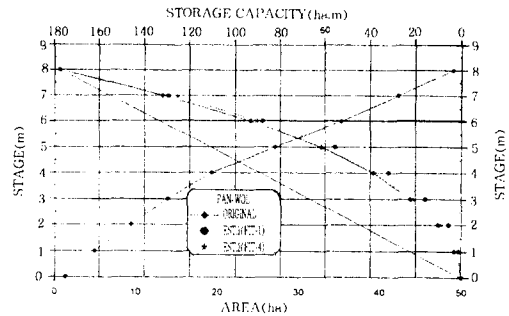


Fig. 4-(c) 내용적곡선 모의발생의 검정 (반월저수지)

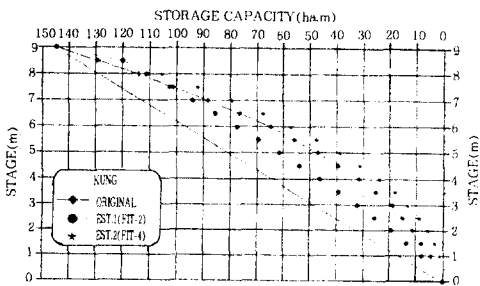


Fig. 4-(b) 내용적곡선 모의발생의 검정 (궁저수지)

IV. 요약 및 결론

현재 농조관할 농업용저수지 2,898개중 73.6%인 2,105개 저수지의 경우 저수지-내용적곡선자료가 없는 실정이며 이러한 저수지 자료의 부족으로 정확한 물관리 계획을 기대할 수가 없다.

따라서 이러한 문제를 해결하고자 실시한 저수지의 자료분석과 기존의 제당높이와 유효저수량자료 및 저수지 지상인자중 기복량비만을

이용하여 저수위별로 내용적을 분포시키는 내용적곡선 모의발생을 시도한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- ① 제당높이와 유효수심과의 관계는 매우 높은 상관관계를 보였으며 제당높이 20m를 기준으로 유효수심 추정 회귀식을 2개 유도하였다.
- ② 저수지 유역지상인자중 저수위별 내용적 분포에 가장 큰 영향을 주는 요소는 기복량비로 나타났으며 이 비의 범위에 의해 저수지는 3개 군으로 분류됨을 알 수 있었다.
- ③ 각 군별 저수지 수위를 독립변수로, 내용적을 종속변수로하는 회귀식을 유도한 결과 결정계수가 모두 0.91이상을 나타내어 내용적 곡선의 모의발생에 적용할 수 있을 것으로 판단되었다.
- ④ 모든 기복량비에 관계없이 평균곡선식을 사용하더라도 직선분포시 보다는 오차를 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. James, O. B., "Procedures for Monitoring Reservoir Sedimentation", U. S. Department of the Interior, Bureau Reclamation, 1985.
2. 건설부, "댐 설계 기준", 1993.
3. 농어촌진흥공사, "貯水管理시스템 開發", 농림수산부, 1992~1994.
4. 농어촌진흥공사, "저수관리시스템 개발", 농림수산부, 1994.
5. 農林水産部, "農業基盤造成事業統計年報", 1992.
6. 朴承禹, 金鎮澤, "既存의 灌溉用 貯水池 堆砂資料 調査 分析", 韓國建設技術研究院 研究報告書, 1992, pp. 40

(접수일자 : 1995년 7월 11일)