

# 저수지의 최적관리를 위한 생애체계 신뢰성 해석 연구

## -체제의 생애분포함수 유도 중심-

Lifetime System Reliability for Optimum Management of Reservoirs for Irrigation

이준구\* · 박광수 · 신수균 · 김관호 · 김명원(농기공) · 김한중(서울대)

Lee, Joon Gu · Park, Kwang Soo · Shin, Su Gyun · Kim, Kwan Ho

Kim, Myung Won · Kim, Han Joung

### Abstract

This research deriving the lifetime distribution function of embank as one of main components in reservoir was carried out by mining the data of precise safety diagnosis in 1995 to 2001 as one of researches that were performed for determining the propriety for making item at design for planning and considering optimal maintenance strategy for service life through acquiring the system function of reservoir as main resource for irrigation and analyzing the life cycle cost of it.

### I. 서론

최근 시설물의 타당성 평가 시 총 생애주기 비용의 검토를 통한 사업결정이 이루어지고 있다. 생애주기 비용은 기본설계, 실시설계, 시공, 유지관리, 사용자비용, 폐기 및 재활용 비용 등을 합한 시설물의 생애기간동안 발생하는 비용의 총합을 의미한다. 설계 및 시공은 비교적 짧은 시간동안에 이루어지며, 비교적 고려의 폭이 좁은 반면, 유지관리 시 소요되는 비용은 예측이 어렵고, 시설물의 중요도 및 관리자의 관리의지에 따라 그 경제적 비용발생이 달라질 수 있다. 즉, 관리대상 시설물의 보다 정확한 분석을 통해 가장 경제적인 관리 방안의 연구가 필요하다. 시설물의 생애기간동안의 열화에 의한 생애체계변화를 신뢰성으로 표현한다.

따라서 본 연구에서는 열화에 의한 신뢰성변화를 장기간의 진단자료를 통하여 분석하고, 시스템의 성분별 생애분포함수를 유도하여 성분별 중요도에 따라 시스템함수를 유도하는 것을 목적으로 하였으며, 먼저 체제의 생애분포함수를 유도하였다. 또한 성분별 유지보수에 의한 신뢰성 회복과 유지보수 비용의 경제적 분석을 통한 최적 유지관리 방안을 마련코자 하였다.

### II. 시스템 신뢰성

#### 2.1 신뢰성

어떤 항목(Item)에 대한 신뢰성은 그 항목이 계획된 환경조건 하에서 계획된 기간동안 계획된 목적을 적절하게 수행해 낼 확률을 의미한다. 본 연구에서는 이 항목이 저수지라는 한 개의 시스템이 된다. 시스템은 여러 개의 성분(component)으로 구성되며 각 성분은 다양한 개별적 특성을 갖는다. 따라서 시스템은 저수지 자체가 될 수도 있지만 여러 성분의 정렬(arrangement)이 한 개의 시스템 모델이 될 수도 있다. 확률적 이론을 바탕으로 전개되는 신뢰성 이론은 계획된 목적과 계획된 기간이 반드시 정의되어야 하며, 기간이 언급되지 않을 경우 품질(quality)과 혼돈을 가져올 수 있다. 즉, 시간을 고

려하지 않은 품질은 항목의 정적 묘사자이며, 시간적 개념이 들어있는 신뢰성은 항목의 시간의 경과에 따른 성능변화의 묘사자이다.

**2.2 생애함수**

계획된 환경 하에서 시간의 경과에 따라 변화되는 항목의 파괴확률변화를 표현하는 생애분포표현함수는 생존함수(survivor function), 확률밀도함수(probability density function), 위기함수(hazard function), 누적 위기함수(cumulative hazard function), 그리고 평균 잔여 수명 함수(mean residual life function)가 있다. 이들 다섯 표현은 연속적(예, 전구)인 생애와 이산적(예, 주단위로 실행되는 컴퓨터프로그램)인 생애 모두 적용이 된다. 본 연구에서는 임의의 시간(t)에 항목이 작동하고 있을 확률인 생존함수를 이용하여 생애분포를 표현할 것이며, 생존함수는 기본적으로 다음 조건을 만족해야하며 표1과 같은 함수가 있다.

$$S(t) = P[T \geq t] \quad t \geq 0 \quad (1)$$

- 1)  $S(0) = 1$
- 2)  $\lim_{t \rightarrow \infty} S(t) = 0$
- 3)  $S(t) = 1 - F(t)$ ,  $F(t) = P[T \leq t]$
- 4)  $S(t)$  는 유지보수가 없으면 증가하지 않는다.

Table 1. Survival Function

Distribution	Survivor function
Exponential	$\exp(-\lambda t)$
Weibull	$\exp[-(\lambda_s t)^\alpha]$
Log-logistic	$[1 + (\lambda_s t)^\alpha]^{-1}$
Exponential - power	$\exp[1 - \exp(\lambda_s t)^\alpha]$

**III. 저수지 시스템 함수**

**3.1 농업용 저수지**

통계연보(2002년)에 따르면 전국에는 총 17,882개의 농업용 저수지가 있으며, 이중 농어촌정비법의 시설물 구분에 의해 1종 시설물이 798개(50만톤이상)있는 것으로 집계되어있다. 최근 태풍 루사(2002) 및 매미(2003)

where  
 $\lambda$  = Failure rate  
 $\alpha$  = Shape factor  
 $t$  = Time,  $t \geq 0$   
 $\lambda_s$  = Scale factor

등에 의해 엄청난 인명 및 재산 피해가 발생되었다. 따라서 농업용 저수지의 역할과 안전 및 기능에 대한 중요도가 더욱 부각되고 있는 시점에 이르렀다. 저수지는 사용기간 중 각종 재해(홍수, 가뭄, 지진등)로부터 안전하여야 할 뿐 아니라 시공당시 목표로 하였던 농업용수를 저류하고 이를 안정되게 농경지에 급수할 수 있어야 한다. 즉 저수지는 안전성과 기능성을 동시에 충족하여야 한다.

**3.2 정밀안전진단**

1995년 시설물안전관리 특별법(대통령)이 제정되고, 농업기반시설관리규정(농림부훈령)이 제정됨에 따라 1, 2종 시설물에 대해서는 준공 후 10년이 경과한 때부터 5년에 1회의 빈도로 정밀안전진단을 실시해 오고 있다. 정밀안전진단의 주관성을 최대한 배제하기 위해 저수지를 주요 성분으로 나누고, 각 주요 성분을 소 성분으로 나누어 그 기능성을 조사와 해석을 통하여 평가하는 방식을 택하고 있으며, 2002년에는 각 성분이 저수지 전체 시스템에 미치는 영향도를 기능과 안전 측면에서 AHP(Analytic Hierachy Procedure)기법을 도입하여 표 2와 같이 가중치를 결정하여 전체 시스템을 평가하고

2003년 한국농공학회 학술발표회 논문집 (2003년 11월 1일)

있다. 본 연구에서는 제체의 생애함수 유도를 위해 그 동안의 정밀안전진단자료 중 1995년에서 2001년까지의 자료에는 표.2(좌측)와 같이 2002년도에 결정된 가중치를 용용하여 적용하였으며, 2002년도 자료는 표.2(우측)와 같이 적용하였다.

Table 2. Classifications for Precise Safety Diagnosis in Safety and Function of Reservoir for Irrigation

정밀안전진단(1995~2001)			정밀안전진단(2002)			
대상부재(대분류) : 제체			제체			
대상부재(소분류)	가중치		대상부재	가중치	대상부재	안전기준
	기능	안전				
침하·균열상태	0.12	-	댐마루	0.12	여유고	2.0m 이상
내제사면보호공	0.32	-	상류사면	0.32	사석고	홍수위 이상
외제사면보호공	(0.6)	-	하류사면	0.56	사면안정	$F_s=1.2$ 이상
누수상태	(0.4)	1	하류사면		파이핑, 침투량	$F_s=3\sim 4$ 이상 $Q_a=10m^3/일$

### 3.3 저수지(제체) 생애함수

농업용 저수지 965개의 정밀안전진단결과를 분석하여 저수지 주요 성분중의 하나인 제체의 생애분포함수를 Fig1, 2와 같이 생존함수(Weibull)를 이용하여 유도하였으며, 각 소성분별 생애분포함수의 변수는 Table 2와 같다.

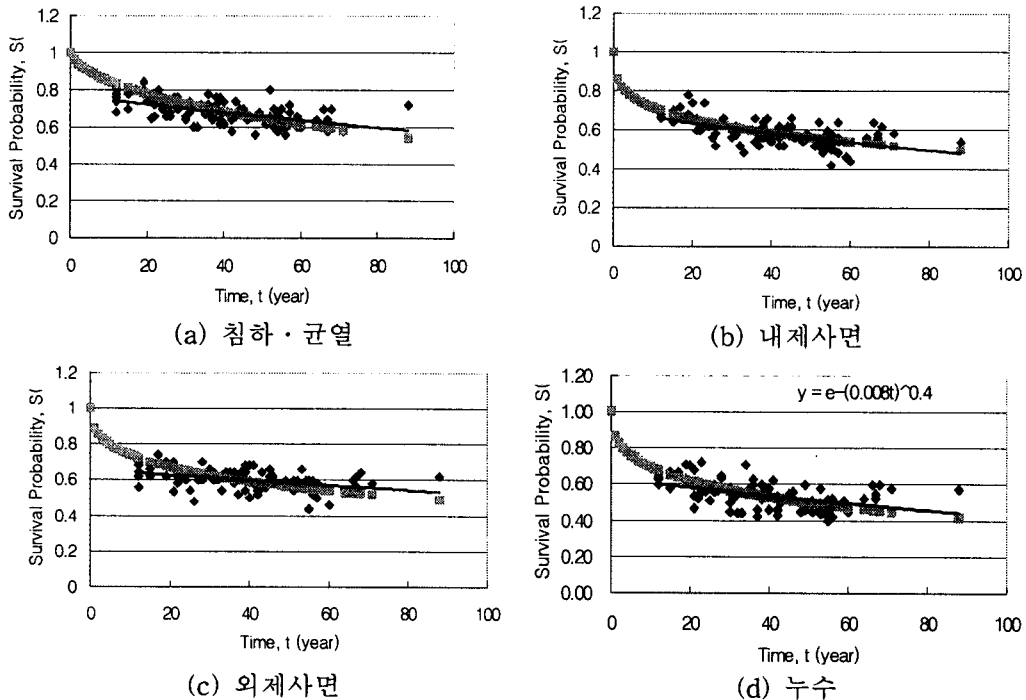
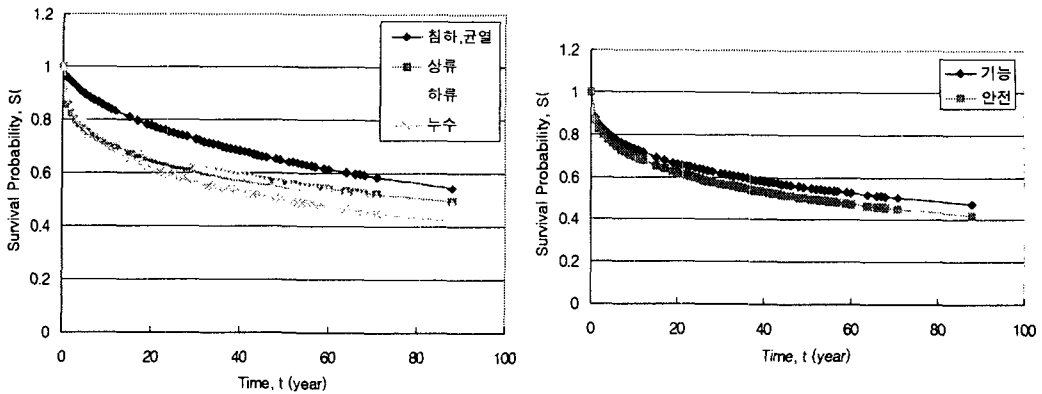


Fig 1. Survival Function (Weibull) for Components of Embankment with functioning ((a)~(d))

## IV. 저수지 유지관리

저수지의 주요성분 중 제체의 생애함수유도 과정을 살펴보았다. 저수지는 크게 제체, 2003년 한국농공학회 학술발표회 논문집 (2003년 11월 1일)

여·방수로시설, 취수시설로 나누어 볼 수 있으며, 유지관리 측면에서는 물그릇의 준설 또한 주요성분으로 다루어진다. 저수지 전체의 시스템 함수와 성분별 중요도를 결정하



(a) 성분별 생애함수

(b) 제체 생애함수

Fig 2. Weibull functions for Components of Embankment with functioning((a)~(b))

Table 3. Parameters in Weibull function : Scale factor, Shape factor, Importance factor in function

변수 \ 제체성분	침하·균열	내제사면	외제사면	누수
$\lambda_s$	0.005	0.004	0.005	0.008
$\alpha$	0.6	0.34	0.4	0.4
$I_f$	0.12	0.32	0.56(0.6)	0.56(0.4)

여 각 성분이 기능적 측면에서 전체시스템에 미치는 영향과 안전적 측면에서 미치는 영향을 신뢰성으로 분석할 수 있을 것이다. 또한 성분별 개수 및 보수에 소요되는 비용을 현재가치로 평가하는 경제적 분석기법을 신뢰성과 함께 고려할 때 저수지의 최적 유지관리 모델을 도출할 수 있을 것이다.

## V. 결론

농업용 주수원공인 저수지의 8년간의 정밀안전진단결과를 분석하여 체제의 생애분포 함수를 유도함으로서 저수지시스템의 조직적 신뢰성해석의 가능성으로 진일보했으며, Fig. 2을 통해 체제의 소 성분 중 침하·균열은 상류/하류사면의 신뢰성 보다 높고, 누수의 신뢰성이 가장 낮음을 쉽게 관찰할 수 있는 생애함수의 특성을 체험할 수 있었다. 또한 체제는 기능성 측면보다 안전성 측면의 신뢰성이 낮음을 알 수 있었다. 앞으로 저수지 전체의 시스템 함수 유도과 경제성 분석을 통하여 최적의 유지관리 방안 및 계획 설계 타당성 분석에 활용이 가능할 것으로 판단되었다.

### 참고문헌

- 1) 정밀안전진단보고서, 농업기반공사, 1995~2002.
- 2) Leemis, "Reliability" Prentice-Hall, 1995.
- 3) Seung-Ie Yang, "Predicting Lifetime Reliability of Deteriorating Systems with and without Maintenance", dissertation of doctor, 2002.