

수자원시설 건설공사 표준공기 산정을 위한 기초연구

이봉수¹ · 김기남² · 이민재*

¹한국수자원공사 · ²충남대학교 토목공학과

A Study on Normal Project Duration for Water Resource Project

Lee, Bongsu¹, Kim, Kinam², Lee, Minjae*

¹Department of Technology Security, K-water

²Department of Civil Engineering, ChungNam National University

Abstract : It is important to have enough design and construction duration for infrastructure projects. However, recent water resource project in Korea shows several problems caused by their fast-tract schedule. National Audit Committee report several water resource projects have quality problems caused by insufficient project duration. Especially, water resource projects such as dam and water pipeline construction should have proper time to secure their structure quality. Normal project duration for these projects should be estimated based on previous similar projects' historical data analysis. However there is no standard model which can estimate normal project duration for water resource projects in Korea. There are several normal project duration estimation models for building project developed by public(LH) and private construction companies. However, there is no proper model for water resource projects. So, this study developed normal project duration model for dam and water pipeline projects using historical data and show application of models.

Keywords : Normal project duration, Historical data, Regression model, Water resource

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

사회기반시설 건설공사의 성공적인 완수와 고품질의 목적물 확보를 위해서는 적절한 설계기간과 공사기간의 반영이 반드시 필요하다. 그러나 최근 4대강사업과 관련된 감사원 지적사례와 같이 적정공기의 미확보로 인한 기반시설물의 품질문제가 다수 발생하는 것으로 추정되고 있다. 특히, 댐과 같은 수자원시설물의 공사기간은 합리적인 산정기준에 따라 계산되어야 하며 이는 오랜 기간 사용될 시설의 시공품질과 추후 유지관리와 관련된 품질에 직접적인 영향을 미침에도 불구하고 이에 대한 명확한 산정기준이나 연구가 부족한 실정이다.

사회기반시설물의 적정공기 산정을 위해 국가차원에서 표

준화하여 운용중인 기준은 없으며, 일부 공공기관(LH공사 등)에서 건축, 단지분야 위주로 공사기간 산정기준을 수립하여 자체 활용중이나, 댐과 같은 수자원시설물에 대한 공기 산정기준은 없어 그동안의 경험에 기초해서 공기를 산정하고 있으며, 이에 대한 적정성 검토를 위한 기준이 없는 상태이다. 유일한 정부기준은 1974년 건설부에서 건설공사공기 표준화방안을 마련하면서 도로, 댐, 교량, 철도, 건축 분야에 대한 기준제시 사례가 있으나, 이는 당시의 예산편성과 집행을 위한 자료로 만들어졌으며, 현재는 사용할 수 없는 유명무실한 상태이다.

이에 본 연구에서는 대표적인 수자원시설인 댐과 수도시설 건설공사의 실적자료를 바탕으로 건설공사 규모와 실 공사기간 간의 상관관계를 통계적 기법으로 분석하여 회귀분석모델을 제시함으로써 수자원건설공사의 적정공기 산정을 위한 기초체계를 제시하려 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 댐 건설공사의 적정공기 산정을 위하여 자료가 존재하는 최근 15년 내에 준공되었거나 현재 공사가 진행 중인 부항댐, 군남댐 등 총 17건의 댐 건설사업의 공정관련 자료를 분석하였으며 수도사업분야에서는 수도건설시 관료연

* Corresponding author: Lee, Minjae, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea
E-mail: lmjcm@cnu.ac.kr
Received October 13, 2014; revised November 17, 2014
accepted November 21, 2014

장을 기준으로 분석하여 사업분야별로 광역상수도과 공업상수도로 나누어 적정공기 산정모형을 구축한다.

적정공기 산정모형은 기 수행된 댐 건설공사 및 수도 건설공사의 실적자료를 바탕으로 실 공사기간(절대공기)과 공사규모(공사물량, 연장)간의 상관관계를 회귀분석 등의 통계적 기법을 이용하여 실적자료에 의한 적정공기산정모형을 개발한다.

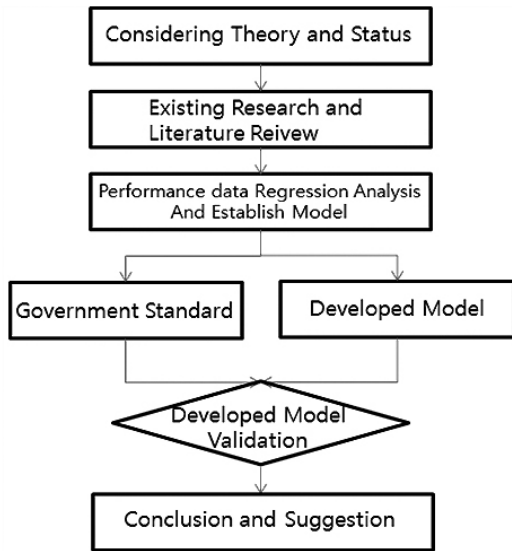


Fig. 1. Research Methodology and Process

2. 기존 연구 및 문헌 조사

본 연구에서는 대표적인 수자원시설들의 실적자료를 바탕으로 수자원시설의 종류와 규모별로 실 공사기간을 추정할 수 있는 분석모형을 제시함으로써 수자원시설 건설공사의 적정공기 산정을 위한 기초체계를 제시하려 한다. 이를 위한 기존연구 및 문헌조사는 다음과 같다.

2.1 국내 자료조사

국내의 경우 1974년 건설부에서 발표한 건설공사 공기 표준화 방안 이후 40여년의 시간동안 국가차원의 후속 연구가 없었으며 필요에 따라 기관별로 표준공기를 산정한 사례가 있다 유일한 정부기준은 1974년 건설부에서 건설공사공기 표준화방안과 건설공사 감리대가 기준(국토부 2013, Table 1)을 마련하면서 도로, 댐, 교량, 철도, 건축 분야에 대한 기준제시 사례가 있으며, 모형은 Table 1과 같다.

Table 1. Nomal Projects Duration (Ministry of Construction, 1974 & MOLIT 2013)

	Type	Pre-construction	Standard Duration					
			Project size	Duration				
DAM	Concrete Faced Rockfill Dam	24	3,000,000m ³	36	m/m ³			
			6,000,000m ³	48				
			10,000,000m ³	60				
	Con's Dam	24	10,000,000m ³ ↑	72				
			100,000m ³	36				
			300,000m ³	48				
			600,000m ³	60				
			600,000m ³ ↑	72				
PIPE	Cost (₩100M)	Construction Duration	Cost (₩100M)	Construction Duration				
					50	510	400	1140
					70	720	500	1170
					100	840	700	1350
					150	900	1,000	1620
					200	1110	1,500	1620
300	1140	2,000	1620					

국내 건축분야에서 대표적으로 많이 사용되는 산정기준은 LH공사(건설공사의 적정 표준공사기간 산정방법, 1998)에서 개발한 모형로 공사기간 산정기준을 “단지”와 “건축” 분야로 나누고 단지건설의 경우 사업 단지의 “규모별순공사기간,” “동절기공사중단기간,” “우기공사중단기간,” “혹서기공사중단기간,” “공휴일휴지일수”의 합에 설계자의 판단에 의한 추가 공기를 더하여 표준공기를 산정하는 기준을 제시하였다. 건축공사의 경우 일반건축공사 또는 PC조 건축공사 여부에 따라 그리고 건축물 층수와 유희품 사용여부에 따라 또한 입찰방식 등에 따라 추정하는 모형이 있는데 (1)과 같다.

$$T=(T_1+T_2) \times k + T_3 + T_4 \tag{1}$$

- T: 전체 건축공사 기간, T1: 지하부분 순작업 기간
- T2: 지상 골조부분 순작업 기간
- T3: 잔여 마감부분 순작업 기간
- T4: 비작업기간, k: 공사여건 계수

아울러, 국내 민간분야에서는 시공사별로 필요에 따라 표준공기 산정식을 개발하여 사용하고 있으며 아래 (2)는 S건설사의 개략공기 산정식을 나타낸다.

$$T=T_1+T_2+T_3+T_4+T_5+T_6 \tag{2}$$

- T: 전체 공사 기간, T1: 준비 기간
- T2: 흙막이 공사 기간, T3: 굴착 공사 기간
- T4: 지하골조 공사 기간, T5: 철골 공사 공기
- T6: 철골 공사 후의 공기

2.2 국외 자료조사

국외의 경우 먼저 일본의 이토산정식(3)과 아사꾸라산정식(4), 그리고 일본주도공단 산정식(5)이 있다. 산정식들은 대부분 층수 또는 면적을 변수로 사용하고 있으며, 이토산정식에

서는 면적, 아사꾸라 산정식에는 층수와 면적을 함께 고려하고 있다.

$$T = \frac{3 \times A \times \omega \times i}{28 \times a \times K_e} \quad (3)$$

T: 표준공기(개월), A: 연면적(m²)
 w: 현장시공도(명/m²), I: 구조별 정수
 a: 공사규모 보정치, Ke: 업자급별 경제시공속도(명/일)

$$T = 0.25 + e + 1.05(T_1 + T_2 + T_3) \times f \times g \quad (4)$$

T: 전체공기(개월)
 e: 준비공사, 외부공사에 동반하는 보정치
 T1: 말뚝 및 토공사 시간, T2: 골조공사 시간
 T3: 마감공사 시간
 f: 입지조건, 신설조건, 주민민원 등에 의한 보정치
 g: 연도별 변화에 의한 보정치

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7 + T_8 \quad (5)$$

T: 전체 공사 시간, T1: 준비 기간
 T2: 파일공사 시간, T3: 굴토 및 기초 공사 시간
 T4: 골조공사 시간, T5: 마감공사 시간
 T6: 별도 가산 시간, T7: 휴일 기간
 T8: 옥외(토목,조경) 공사 시간

미국의 경우 일반적으로 과거 수행한 유사 사업의 실적공정표(Historical data)를 근간으로 해당사업의 특성을 반영한 표준공기를 산정한다. 이 경우 표준공기를 “Normal Project Duration”으로 표현하는데 여기서 “Normal Project”란 잘 관리되어 완공된 프로젝트로 극단적인 날씨, 설계변경, 사고 등의 외부 영향을 크게 받지 않은 프로젝트를 의미한다.

대표적인 경우로 NECA(National Electrical Contractors Association)는 주기적으로 이와 같이 정상적으로 끝난 프로젝트의 데이터를 모아 표준공기(적정공기) 산정식을 제공하는데 표준공기 추정식은 작업시간(Workhour)으로 표현되는 프로젝트 규모와 주(Week) 단위로 표현되는 공기(Duration) 사이의 회귀식(Regression Model)으로 표현된다(Fig. 2).

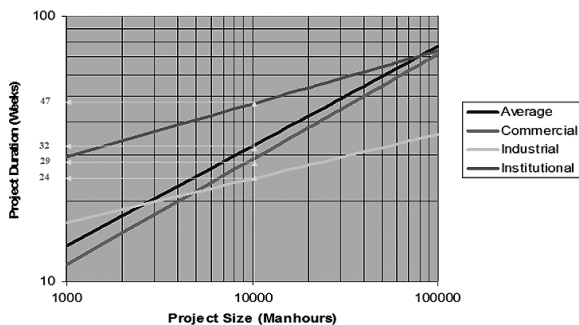


Fig. 2. Normal Project Duration (NECA 2000)

2.3 국내외 연구

관련된 국외연구로는 공기에 대한 실적데이터와 설문조사 결과를 확률·통계적 기법을 활용하여 모델을 개발한 연구들이 있으며, 이는 프랑스, 독일, 영국의 건설회사의 공정전문가들의 설문을 통하여 비교 분석하였고, 콘크리트 타설 방법과 거푸집 종류, 작업자의 활용이 공사기간과 상관관계가 있는가를 분석한 연구가 있다(Prober 1999). 또한, 영국에서는 수행된 46개의 건축공사를 통계 분석하여 공사기간에 영향을 미치는 변수를 조사하여 발주자, 프로젝트의 조직, 환경요인이 어떻게 공기에 영향을 미치는가에 대한 연구가 있다(Akinsola et al. 1997). 국내연구로는 실적공기를 통한 사무소 건축공사의 표준공기를 지하층수, 연면적, 마감공사, 공중수, 발주기관별 공사기간을 비교·분석(황효상 2002) 하였으나 구체적인 대안은 제시하지 못하였다. 반면, 군에서 실시한 공사실적자료를 대상으로 상관분석, 다중선형회귀분석 등의 통계적 방법을 사용하여 순공사기간 예측모형을 개발한 연구가 있다(정인수 et al. 2000). 제조업에서 적용하고 있는 CCPM(Critical Chain Project Management)의 확률론적 공기산정방식과 공정버퍼의 개념을 건설프로젝트에 적용한 연구(김상중과 이재섭 2003)가 있으며, 또한, 공사 관리적 측면에서 작업계획방법들(LOB, 다공구 수평, 수직분할방법, 분절마감 방법 등)의 조화를 공정균형방법이라 정의하고 공동주택공사의 실적자료를 활용하여 공기산정 방법을 제시(이상범 2001)한 연구도 있다. 건축공사의 공사규모 및 단위작업물량에 대한 표준작업량을 산정하고, 공기에 영향을 미치는 요인을 확률적 요소로 규정하고, 공사외적요인과 내적요인으로 구분하여 강우와 기온 등 외부적 확률요소를 몬테카를로 모의조작기법을 수행하여 공기산정 모델을 제시한 연구(강인석 et al. 2000)와 기후를 요소별로 분석하고 가상의 기후를 시뮬레이션을 통하여 공기산정과 연계함으로써 의사결정 지원모델을 제시하였고(정성남과 이학기 2000), 고등학교 건설공사의 실적자료를 통하여 다중 선형회귀분석으로 도출한 공사기간에 작업 불가능한 기간과 기후특성을 반영하여 총 공사기간의 산정방법을 제시한(권동찬과 이찬식 2004)연구가 있다. 아울러, 현장조사와 관련 전문가 인터뷰를 통하여 프로젝트 공기에 내·외부적으로 미치는 영향요소들을 알아보고, 확률분포를 이용하여 영향요소들을 감안한 예측공기와 실제 공기와의 비교를 실시한 연구가 있다(염상민 et al. 2004). 건설공사의 완료예정일에 완료할 수 있는 확률을 제공하는 확률적 프로젝트 스케줄 시뮬레이션 SPSS (Stochastic Project Scheduling)시스템을 개발, 가상의 자료로 SPSS의 실용성을 제시(Lee 2005)한 연구가 있으나, 액티비티 작업시간의 확률분포는 검증하지 못하고, 토사의 적재, 운반, 배토, 주행의 작업시간을 통계적으로

분석한 결과, 베타확률분포가 건설공사에 가장 적합하다는 것을 증명(Schexnayder et al. 2005)한 연구가 있다. 시뮬레이션 방법으로 공기산정 전문가들의 주관적인 판단을 객관화 시키고 정량화하기 위한 퍼지 집합이론을 이용한 공기산정 방안(한태곤과 김영수 2000)연구가 있으며, 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여 공기를 예측하는 기술로 몬테카를로 시뮬레이션을 활용한 공기 예측 모델을 도출하였고, 도출된 기준공기를 보정하여 공기에 영향을 주는 외생 변수 확률분포를 더하여 적정공기를 산정하는 방식을 제안하였다. 이후 계획, 실적 공정표를 통하여 외생변수, 확률변수를 계산하여 공정프로그램에 반영하는 공기 예측모듈을 개발하였다(박재현 et al. 2010).

표준공기 산정과 관련된 연구들은 크게 다섯 분야로 나눌 수 있으며 주요 조사 대상 연구는 아래 Table 2와 같다.

기존 문헌과 연구를 검토한 결과 개발된 표준공기 산정식은 주로 건축공사에 활용 가능한 식들로 본 연구의 대상인 수자원시설에 적용하기에는 어려움이 있으며, 토목공사의 특성을 반영하지 못하고 있다. 이에 본 연구에서는 기 수행된 수자원시설 건설공사의 실적자료를 바탕으로 표준공기(적정공기) 산정 모델을 개발하려 한다.

3. 수자원시설 표준공기 및 모델개발

3.1 댐 건설공사 표준공기 모델개발

본 연구에서는 최근 시행된 총 12건의 댐과 현재 진행중 댐 5건을 포함한 총 17건을 대상으로 형식별로 댐 체적과 공사 기간에 대한 통계분석을 시행하였으며, 댐 건설사업은 사업 특성 및 발주방법 등에 따라 주요공종별로 통합 또는 분리 발주되므로 일관성 확보측면에서 토목공사 공기를 기준으로 하였으며, 분석에 사용된 데이터는 Table 3과 같고, 그중 CFRD 7, CFRD 9, CGD 1, CGD 3, CGD 4 댐은 현재 건설 중인 댐이다.

Table 3. Dam construction historical data

(Units : 1000m³, Hundred million Won, Day)

Type	Size	Cost	Duration	Type	Size	Cost	Duration
CFRD1	1,280	1,804	3,125	ECRD1	1,116	2,476	2,310
CFRD2	3,943	2,753	2,641	ECRD2	675	475	1,889
CFRD3	2,206	1,210	2,660	ECRD3	190	154	1,303
CFRD4	614	180	1,627	ECRD4	893	889	1,879
CFRD5	1,506	1,028	2,690	CGD1	227	384	1,860
CFRD6	877	750	2088	CGD2	179	671	1,612
CFRD7	2,189	1,369	1,986	CGD3	702	2,395	2,430
CFRD8	528	385	1,879	CGD4	204	1,010	1,610
CFRD9	1,262	1,357	1,820				

Table 2. Literature Review

Research Category	Researchers	Research title
Calculated as probability, statistical techniques	Akinsola A.O, Potts K.F, Ndekugri I, Harris FC (1997)	Identification and evaluation of factors influencing variations on building projects
	Probers (1999)	Factors impacting construction project duration
	Jung, Hwang, Park, Lee(2000)	A Predictive Model for the Estimation of Net Working Days in the Military Facility Construction
	Hwang, Hyo-Sang (2002)	Analysis of Actual Duration by Effecting Elements to Duration Estimate – Focused on Standard Duration of the Office Building Construction
Estimating duration considering construction management	Kim, Sang-joong, Lee, Jae-Soeb (2003)	An Optimal Scheduling Method Using Probability on the Estimation of Construction Duration
	Shin, Jong-Hyun, Lee, Chan-Shik (1996)	Estimation Method for Construction Duration in the Frame Work of Reinforced Concrete Wall-Slab Type Apartments
Estimating duration considering non-working day (weathers) factors	Lee, Sang-Beom (2001)	A Study on the Optimal Duration Estimating Method by Line of Balance
	Koo, Hae-Shik, Choi, Bong-chUL (1999)	A Study on the Estimation of Construction Period Considering Weather Factor in Building Construction
	Jeong, Suk-Nam, Lee, Hak-ki (2000)	a preliminary study on the effective decision-making support model for duration by the hypothetical weather simulation
	Kwon, Dong-Chan Lee, Chan-Shik (2004)	The Estimation of Construction Duration for High School Buildings Based on the Actual Data
Using AI techniques and simulation study	Ahuja, Nandakumar (1985)	Simulation model to forecast project completion time
	AbouRizk, Halpin (1992)	Statistical properties of construction duration data
	Han, Tae-Gon, Kim, Young-su (2000)	An Estimation Method of Activity Duration Using Fuzzy Set Theory
	Lee, D.E. (2005)	Probability of Project Completion Using Stochastic Project Scheduling Simulation
	Schexnayder, (2005)	Describing a beta Probability Distribution Function for Construction Simulation
Related factors with duration estimate	KICT (1992)	Study on the Estimation Standard of Construction Duration
	Lee, Hyun-soo (1996)	A Method of Estimating the Construction Duration Based on Rdpetitive Work Modules for Reinforced Concrete Buildings
	Yang, (2002)	A Study on the Construction Period Calculation and Duration Control in the SRC High Rise Building
	Kim, Byeong-soo, Chun, Jin-Ku (2005)	A Study on Estimation Model of Construction Duration for Public Construction

유사 유형별 모델개발을 위하여 댐 형식별로 CFRD (Concrete Faced Rockfill Dam), ECRD(Earth Core Rockfill Dam), CGD(Concrete Gravity Dam)으로 구분하였으며, 공통적으로 적용 가능한 모델 도출을 위해 댐 형식 구분 없이 댐 체적과 공사기간과의 상관관계를 분석하였으며, 현재건설 진행중인 댐의 데이터를 제외하고 총 12건의 공사규모(댐 체적)와 공사기간의 상관관계를 분석한 결과 결정계수는 0.73으로 분석되었으며 Fig. 3과 같다.

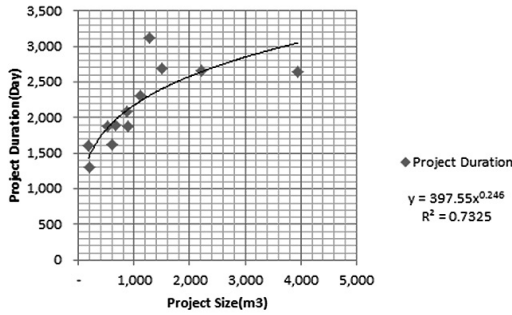
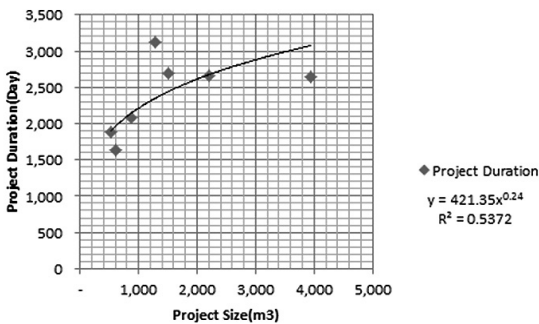


Fig. 3. Dam Project Size - Duration Model

형식별 분석으로는 댐 형식별 세부공종이 상이하므로 댐 체적과 공사기간과의 상관관계를 분석하였다. CFRD댐은 현재 공사중인 댐을 제외한 총 7건을 분석하였고, 이는 건설공사 특성상 기본계획 진행시 유사건설공사공정기간과 경험식으로 인하여 주관적으로 예상하는 공사기간이므로 실공사기간과의 오차를 우려하여 제외하였으며, ECRD댐은 총 4건, CGD댐은 실적자료의 부족으로 현재 진행 중인 댐 공사를 모두 포함하여 총 4건을 분석하였다.



CGD : Concrete Gravity Dam

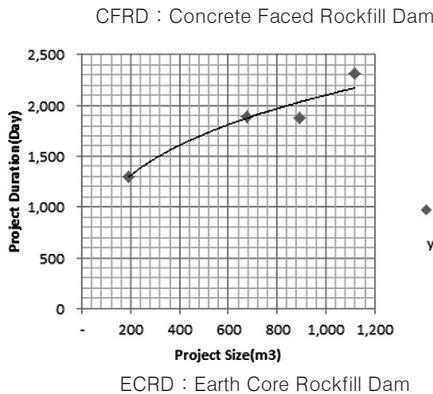
Fig. 4. Dam Project Size - Duration by Type (CFRD, ECRD, CGD)

댐 건설공사의 기 수행된 실적데이터를 바탕으로 공사규모(체적)와 공사기간 간의 상관관계를 분석한 결과 모델은 Table 4와 같으며, 댐 형식별로 나누어 상관관계를 회귀분석한 결과에서 보여주는 결정계수값을 근거로 할 때 적용 가능한 모델로 판단된다. 특히 형식별 분석결과에서 CFRD댐은 결정계수값이 통합분석 결과보다 작게 나타났으나, 표준편차를 통한 검증결과, 형식별로 나누어 분석하여 적용 하는 것이 타당한 것으로 판단되었다.

ECRD댐과 CGD댐의 형식별 분석에 의한 모델들은 상관관계가 상당히 높았으나, 현재 공사가 진행 중인 댐을 포함하여 표본수가 적어 실제 적용에는 주의가 필요할 것으로 판단된다.

Table 4. Regression models (Dam)

Dam Type	Regression Model	R ²
Total	$y = 397.55x^{0.246}$	0.73
CFRD	$y = 421.35x^{0.24}$	0.54
ECRD	$y = 279.08x^{0.2922}$	0.94
CGD	$y = 345.03x^{0.2988}$	0.94



CFRD : Concrete Faced Rockfill Dam

ECRD : Earth Core Rockfill Dam

3.2 수도시설 건설공사 표준공기 모델개발

수도 건설사업 분야에서는 관중, 관경, 연장 등에 따라 그 종류가 다양하게 나뉘지며, 사업분야별로는 광역(A), 공업(B), 급수체계(C)로 분류되어 관리되고 있다. 본 연구에서는 한정된 실적데이터로 인하여 수도관로의 종류별 분석은 어려움이 있었으며 관중에 관계없이 관로연장과 총사업비 데이터를 활용하여 사업 분야별 A(광역, 40건), B(공업, 7건), C(급수체계, 27건)로 총 74건의 실적자료(Table 5)를 바탕으로 공사기간과 관로연장, 공사기간과 공사비용과의 상관관계를 분석하여 표준공기모델을 도출하였다.

Table 5. Pipeline construction historical data

(Units : km, Hundred million Won, Day)

	Length	Cost	Dur.		Length	Cost	Dur.
A_1	0.3	0.9	60	A_38	0.5	78.6	395
A_2	27.7	221.3	1,335	A_39	11.4	70.7	600
A_3	34.5	24.6	760	A_40	72.9	594.6	1,694
A_4	11.4	32.5	270	B_1	25.2	352.8	1,319
A_5	21.5	148.0	848	B_2	22.1	188.9	730
A_6	3.6	27.2	273	B_3	7.9	192.4	675
A_7	0.3	1.1	150	B_4	8.4	91.9	210
A_8	0.1	1.2	40	B_5	27.2	119.2	425
A_9	0.8	1.4	120	B_6	4.2	13.2	180
A_10	15.3	36.8	373	B_7	9.1	141.0	1,095
A_11	10.3	33.2	390	C_1	6.2	18.0	200
A_12	1.2	2.9	60	C_2	12.6	54.5	518
A_13	64.2	394.9	1,460	C_3	0.0	0.5	40
A_14	43.1	291.0	1,394	C_4	29.9	125.9	900
A_15	0.6	7.1	86	C_5	3.3	23.5	344
A_16	4.9	14.2	305	C_6	11.9	39.1	545
A_17	21.6	76.6	570	C_7	18.4	108.3	685
A_18	2.4	12.5	161	C_8	3.0	47.8	540
A_19	32.7	134.5	936	C_9	27.5	91.0	720
A_20	2.4	22.8	732	C_10	2.5	6.6	180
A_21	71.3	495.5	1,468	C_11	2.6	8.9	180
A_22	120.1	470.8	1,664	C_12	21.7	93.2	881
A_23	44.0	466.5	1,474	C_13	32.4	216.2	900
A_24	64.0	280.0	1,311	C_14	0.3	0.8	90
A_25	0.8	9.7	670	C_15	3.4	25.2	194
A_26	0.2	2.9	180	C_16	3.2	26.8	150
A_27	0.1	0.2	60	C_17	28.4	284.0	1160
A_28	76.7	313.1	1,378	C_18	24.9	274.6	721
A_29	16.8	54.0	960	C_19	9.0	100.5	812
A_30	4.9	39.3	391	C_20	1.1	0.5	78
A_31	13.6	59.2	622	C_21	0.8	0.7	70
A_32	10.9	80.5	300	C_22	1.3	623.5	1158
A_33	0.0	2.2	120	C_23	22.2	649.3	1697
A_34	37.5	433.9	1,339	C_24	9.8	74.5	601
A_35	39.5	392.3	1,136	C_25	36.4	535.7	889
A_36	20.1	143.0	937	C_26	3.3	229.1	1033
A_37	0.1	1.1	74	C_27	4.3	111.3	667

수도사업 분야별 구분 없이 공통 적용이 가능한 모델 도출을 위해 관로사업 총 74건의 모든 실적자료를 이용하여 관로 공사 연장과 공사기간의 상관관계, 그리고 총공사비와 공사기간과의 상관관계 모델을 회귀분석기법을 활용하여 분석하였으며 도출된 상관관계 모델과 결정계수값은 Fig. 5와 같다.

수도 관로공사의 경우 총공사비와 공사기간의 상관관계모델이 관로연장과 공사기간의 상관관계모델 보다 결정계수값이 더 크게 나왔으며, 이는 관로공사의 경우 관종별로 분류하여 모델을 개발하지 못하여 공사비와 공기의 상관관계모델이 더 우수한 결과를 보이는 것으로 추정된다.

아울러 관로공사의 목적분야별 모델 도출을 위해 광역상수도(A)의 총공사비와 공사기간, 그리고 관로연장과 공사기간 사이의 상관관계를 분석하여 모델을 도출하였으며, 그 결과는 (Fig. 6)과 같다.

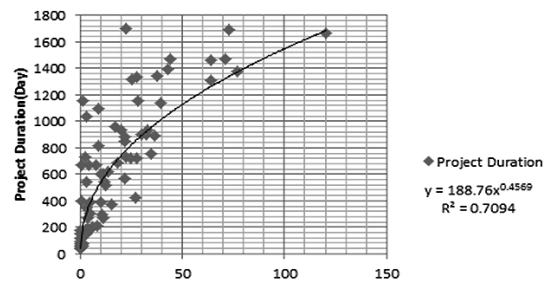
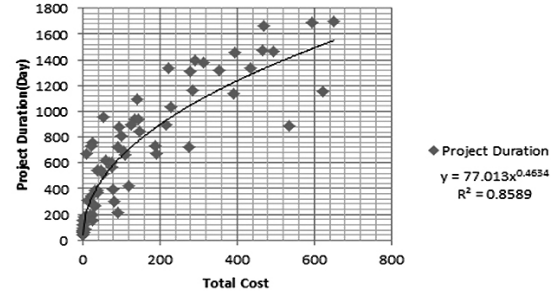


Fig. 5. Normal project duration for pipeline

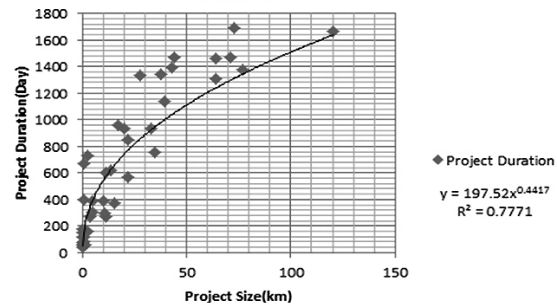
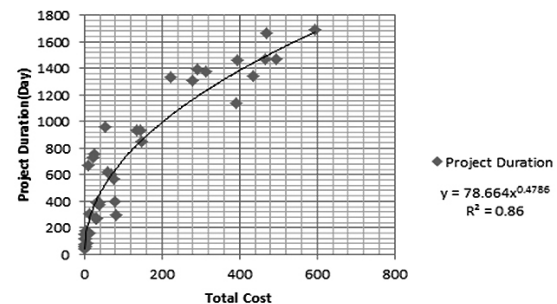


Fig. 6. Normal project duration (Network Waterworks)

공업용수도(B) 공사의 경우는 특이하게 공사비모델이 관로 연장모델에 비하여 월등하게 우수한 결정계수값을 보이고 있는데, 이는 공업용수도의 경우 다양한 관종과 기 시행된 실적 공사의 자료가 적어 의미 없는 결과로 추정되며, 도출된 총공사비와 공사기간의 상관관계 모델은 Fig. 7과 같다.

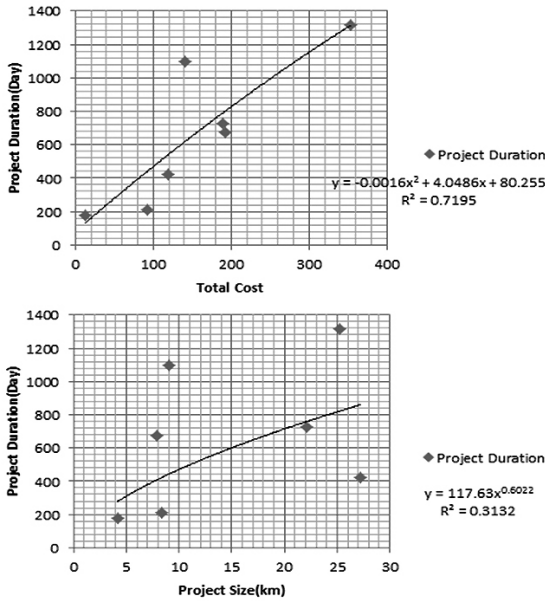


Fig. 7 Normal project duration (Industrial Waterworks)

또한, 급수체계개선공사(C)도 총공사비와 공사기간 사이의 상관관계, 그리고 관로연장과 공사기간 사이의 상관관계를 분석하여 모델을 도출하였으며, 그 결과는 Fig. 8과 같다.

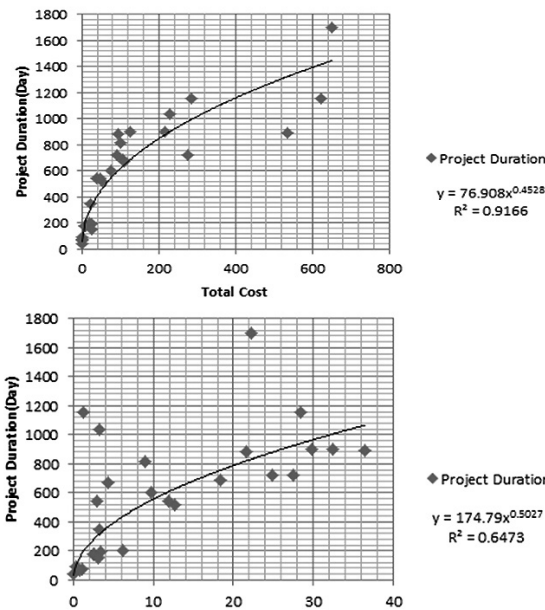


Fig. 8. Normal project duration (Water supply system)

수도 건설사업 분야에 대해서 총 74건의 실적자료를 바탕으로 수도사업 표준공기를 분석한 결과 산정된 결정계수값을 근거로 총공사비와 공사기간 간의 회귀분석 상관관계 모델이 더욱 유의미 한 것으로 분석되었으며, 그 결과는 Table 6과 같다.

Table 6. Regression models (Pipelines)

Pipeline Type	Regression Model	R ²
Total	$y = 77.013x^{0.4634}$	0.86
Network Waterworks	$y = 78.664x^{0.4786}$	0.86
Industrial Water Works	$y = -0.0043x^2 + 4.4083x + 203.7$	0.72
Water Supply System	$y = 76.908x^{0.4528}$	0.92

4. 표준공기모델의 적용성 검토

최근 시행된 CFRD댐의 건설공사 실적자료를 바탕으로 도출된 본 연구의 표준공기모델 결과를 정부에서 운용중인 건설공사 감리대가기준의 공기산정방법으로 산출한 결과 값과 비교하면 Fig. 9와 같으며, 그 결과 값에 차이가 있음을 보여 준다. 향후 기 시행된 실적자료의 축적을 통하여 더 높은 수준의 표준공기 추정모델의 개발이 가능하리라 판단되며, 좀 더 다각적인 분석방법의 적용이 가능할 것이다.

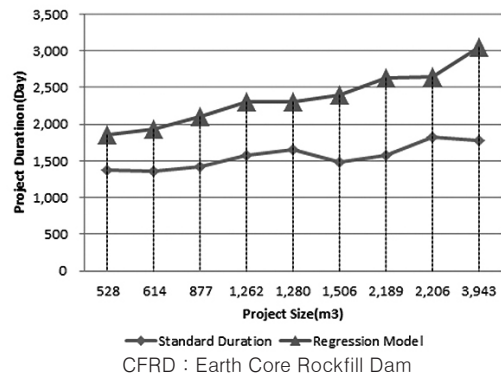


Fig. 9. Project Duration

5. 결론 및 향후연구

본 연구는 수자원시설의 주요사업인 댐, 수도사업의 표준 공기산정체계 구축을 위한 기초연구이며, 댐 사업의 경우 기 시행된 17건의 실적자료를 분석하였고, 댐 형식별 분석을 실행하였다. 분석결과 공사규모(댐 체적)와 공사기간의 상관관계를 바탕으로 댐 건설공사 표준공기 추정모델을 도출하였다.

수도 건설사업 분야에서는 총 74건의 데이터를 활용하였으며, 광역상수도 40건, 공업상수도 7건, 급수체계개선 27건으로 나누어 분석하였고, 이를 바탕으로 관로공사 연장과 공사기간의 상관관계, 그리고 총공사비와 공사기간과의 상관관계 모델을 회귀분석기법을 활용하여 도출하였다.

하지만, 그동안 축적된 실적자료가 부족하여 다각적으로 비교분석과 높은 정밀도의 모델 도출은 다소 부족하였다. 향후 연구에서는 기 수행된 실적자료를 바탕으로 더 많은

자료를 축적함으로써 좀 더 높은 수준의 회귀분석 결과를 바탕으로 표준공기 추정모형의 신뢰성을 높일 수 있으며, 나아가 다양한 토목사업 분야에서도 활용 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2014년도 충남대학교 학술연구진흥사업에 의해 지원되었으며, 연구과정에 도움을 주신 한국수자원공사 관계자 여러분께 감사드립니다.

References

- AbouRizk, Halpin (1992). "Statistical properties of construction duration data", *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 118(3), pp. 525-544.
- Ahuja, Nandakumar (1985). "Simulation model to forecast project completion time", *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 111(4), pp. 325-342.
- Akinsola A.O, Potts K.F, Ndekugri I, and Harris FC (1997). "Identification and evaluation of factors influencing variations on building projects", *International Journal of Project Management*, 15(4), pp. 263-267.
- Han, Tae-Gon and Kim, Young-su (2000). "An Estimation Method of Activity Duration Using Fuzzy Set Theory", *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, 16(3), pp. 93-102.
- Hwang, Hyo-Sang (2002). "Analysis of Actual Duration by Effecting Elements to Duration Estimate - Focused on Standard Duration of the Office Building Construction", *Korean Journal of Construction Engineering and management*, KICEM, 3(3), pp. 84-93.
- Jeong, Suk-Nam and Lee, Hak-ki (2000). "a preliminary study on the effective decision-making support model for duration by the hypothetical weather simulation", *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, 20(2), pp. 587-590.
- Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (1992). "Study on the estimation standard of construction duration"
- Kim, Byeong-soo and Chun, Jin-Ku (2005). "A Study on Estimation Model of Construction Duration for Public Construction", *Korean Journal of Construction Engineering and management*, KICEM, 6(6), pp. 142-151.
- Kim, Sang-joong and Lee, Jae-Soeb (2004). "An Optimal Scheduling Method Using Probability on the Estimation of Construction Duration", *Korean Journal of Construction Engineering and management*, KICEM, 5(6), pp. 72-79.
- Koo, Hae-Shik and Choi, Bong-CHUL (1999). "A Study on the Estimation of Construction Period Considering Weather Factor in Building Construction", *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, 15(11), pp. 87-96.
- Kwon, Dong-Chan and Lee, Chan-Shik (2004). "The Estimation of Construction Duration for High School Buildings Based on the Actual Data", *Korean Journal of Construction Engineering and management*, KICEM, 5(6), pp. 138-145.
- Lee, Chan-Shik (1996). "Estimation Method for Construction Duration in the Frame Work of Reinforced Concrete Wall-Slab Type Apartments", *KSCE of Civil Engineering*, 12(7), pp 349-364.
- Lee, D.E. (2005). "Probability of project completion using stochastic project scheduling simulation", *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 131(3), pp. 310-318.
- Lee, Hyun-soo (1996). "A Method of Estimating the Construction Duration based on Repetitive Work Modules for Reinforced Concrete Buildings", *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, 12(5), pp. 257-266.
- Lee, Sang-Beom (2001). "A Study on the Optimal Duration Estimating Method by Line of Balance", *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, 17(9), pp. 233-240.
- Schexnayder, C., Knutson, K. and Fente, J (2005). "Describing a beta probability distribution function for construction simulation", *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 131(2), pp. 221-229.

요약 : 국내 사회기반시설 건설공사의 성공적인 완수와 고품질의 목적물 확보를 위해서는 적절한 설계기간과 공사기간의 반영이 반드시 필요하다. 그러나 최근 4대강사업과 관련된 감사원 지적사례와 같이 적정공기의 미확보로 인한 기반시설물의 품질문제가 다수 발생하는 것으로 추정되고 있다. 특히, 댐 시설물의 공사기간은 합리적인 산정기준에 따라 계산되어야 하며 이는 오랜 기간 사용될 시설의 시공품질과 추후 유지관리와 관련된 품질에 직접적인 영향을 미침에도 불구하고 이에 대한 명확한 산정기준이나 연구가 부족한 실정이다. 사회기반시설물의 적정공기 산정을 위해 국가차원에서 표준화하여 운용중인 기준은 없으며, 일부 공공기관(LH공사 등)에서 건축, 단지분야 위주로 공사기간 산정기준을 수립하여 자체 활용중이나, 댐과 같은 수자원시설물에 대한 공기 산정기준은 없어 그동안의 경험에 기초해서 공기를 산정하고 있으며, 이에 대한 적정성 검토를 위한 기준이 없는 상태이다. 유일한 정부기준은 1974년 건설부에서 건설공사공기 표준화방안을 마련하면서 도로, 댐, 교량, 철도, 건축 분야에 대한 기준제시 사례가 있으나, 현재는 사용할 수 없는 유명무실한 상태이다. 이에 본 연구에서는 대표적인 수자원시설의 건설공사의 실적자료를 바탕으로 건설공사 규모와 실 공사기간 간의 상관관계를 통계적 기법으로 분석하여 회귀분석모형을 제시함으로써 수자원건설공사의 적정공기 산정을 위한 기초체계를 제시한다.

키워드 : 표준공기, 실적자료, 회귀분석, 댐공사, 관로공사