

프로그램레벨 다수 대학시설물 유지보수 일정계획 지원 모델

채흥윤, 조동현, 박상현, 배창준, 구교진*
서울시립대학교 건축공학과

Program-level Maintenance Scheduling Support Model for Multiple University Facilities

Hong-Yun Chae, Dong-Hyun Cho, Sang-Hun Park, Chang-Joon Bae, Kyo-Jin Koo*

Department of Architectural Engineering, University of Seoul

요약 대학 시설은 다수의 건물들로 구성되어 많은 유지보수항목이 있고 한정된 기간 내에 처리해야 하는 관리상의 제약사항이 있다. 대부분의 유지보수 작업은 규모가 작으며 방수공사 등 다수 공종이 동시에 진행되는 특성을 가진다. 시설관리자는 유지보수업체와 연간단가계약을 맺고 공사를 추진하지만 기존 유지보수공사는 일정 및 인력투입계획 없이 공사가 진행되어 공사지연과 다수의 재작업이 발생하고 있다. 본 연구는 시설관리자가 다수의 대학 시설물 유지보수공사들을 프로그램 레벨로 관리할 수 있도록 지원하는 일정계획 모델을 제안하였다. 모델은 순차적으로 진행되는 3단계로 구성된다. 대상 분석단계에서는 수량산출서를 바탕으로 유지보수항목들의 세부공종을 분석하고 수량을 산출한다. 자원 분석단계에서는 효과적인 전문기능공의 투입을 위해 세부공종별 전문기능공 및 공사기간을 도출한다. 일정계획 수립단계에서는 공종별 우선순위와 최적 투입인력이 도출되고 적합도에 따라 일정계획 최적안을 선정한다. 사례적용결과 프로그램 레벨에서 다수 대학시설물 유지보수공사 간의 효과적인 인력투입이 가능하며, 노무비가 감소되어 모델 적용 전 보다 많은 수의 공사를 완료할 수 있었다. 실무자 면담을 통해 모델의 적용성 및 효과성을 평가한 결과 관리자의 유지관리공사 일정관리를 지원할 수 있는 효과적인 도구로 평가되었다.

Abstract The university facility is made up of multiple buildings and has many maintenance items. In addition, administrative constraints need to be handled within a limited period. Most maintenance work is small scale and multi-work construction, such as waterproofing, needs to be organized. The facility manager makes annual unit price contract with a maintenance company and carries out the maintenance work. On the other hand, delay and rework is occurring because existing maintenance work performed without scheduling based on the manpower input. This study proposed a scheduling model that can support the facility manager to manage maintenance works of multiple university facilities at the program level. The model consists of three stages in order. In object analysis, details of the maintenance items were analyzed and the quantity is calculated based on the quantity takeoff sheet. In resource analysis, the craftsmen and construction period of detailed works are derived for the effective input of craftsmen. In scheduling, the priority of each work and the optimal manpower input are derived. The optimal schedule is selected according to the goodness of fit. The applicability and effectiveness of the prototype was evaluated through a case study and interviews with case participants. The model was found to be an effective tool to support the scheduling of maintenance works for the facility manager.

Keywords : Multiple Buildings, Maintenance, Scheduling, Manpower Allocation Plan, Clustering

본 연구는 국토교통부 도시건축 연구개발사업의 연구비지원(18AUDP-B127891-02)에 의해 수행 되었습니다.

*Corresponding Author : Kyo-Jin Koo(University of Seoul)

Tel: +82-2-6490-2760 email: kook@uos.ac.kr

Received September 3, 2018

Revised (1st October 25, 2018, 2nd October 31, 2018)

Accepted December 7, 2018

Published December 31, 2018

1. 서론

대학교는 다수 건물의 성능유지 뿐만 아니라 수시로 발생하는 사용자 요구사항을 처리하기 위해 다양한 유지보수업무를 수행한다. 다수의 시설물을 보유한 기관들은 대형 발주자로서 시설물의 신규건축 뿐만 아니라 유지보수 및 리모델링 프로젝트를 발주·관리하는 조직이 있으며, 이 조직은 상시고용 내부직원과 더불어 외부인원을 계약에 의해 활용하게 된다[1]. 대학교 유지보수공사는 상시 고용된 작업자가 진행하는 공사항목과 연간단가계약을 통해 외주업체가 진행하는 공사항목으로 구분된다[2]. 대학 시설물의 규모와 수가 증가하고 있지만 적정 유지보수 비용 및 시점에 대한 고려가 미흡하여 유지보수가 제대로 이루어지지 않고 있다[3]. 특히 한정된 예산 내에서 최대한의 유지보수공사를 수행하기 위해 우선순위가 고려된 일정계획 수립이 필요하지만 실무적으로 시설관리자가 활용 가능한 명확한 우선순위 기준이 없는 실정이다. 대학 시설물 유지관리공사는 계절적 특수성으로 인해 공사기간이 제한되어 있다. 그러나 외주업체는 제한된 공사기간을 고려하지 않고 공사를 진행한다. 또한 유지보수항목별 요구 및 긴급 정도와는 무관하게 노무비 절감을 위해 운용 가능한 전문기능공별로 공사를 진행하여 공사 지연으로 인한 사용자의 불편 및 공사품질 저하를 초래하고 있다. 대학 시설물 유지보수공사의 품질향상을 위해서 유지보수항목의 요구 및 긴급 정도를 고려한 유지보수항목선정 우선순위 기준이 필요하다. 한정된 예산 및 기간뿐만 아니라 프로그램 관점에서의 작업 근집화를 통한 인력투입을 고려한 일정계획 지원방안이 필요하다.

본 연구의 목적은 한정된 예산 및 기간 내에 최대한의 대학 시설물 유지보수공사 완료율을 위해 프로그램 관점에서 관리를 지원하는 일정계획 모델의 개발이다. 연구의 범위는 다수의 이용자들에 의해 사용되어 동시 다발적으로 유지보수항목들이 발생하는 대학교 시설물을 대상으로 한다. 유지보수공사의 범위는 건축 마감으로 한정하였다.

2. 문헌고찰

2.1 연간단가계약공사 유지관리

유지관리에 대한 정의는 Table 1과 같이 건축법 등

관련법에 따라 정의가 조금씩 다르지만 대체로 시설물의 기능을 유지하기 위해 지속적으로 관리하는 행위로 정리할 수 있다[4,5]. 유지보수공사는 소규모 공사가 많고 수시로 발생하기 때문에 시공된 실제 작업 물량과 무관하게 정해진 일정금액으로 하는 계약형태인 총액계약 보다 단가계약을 통해 처리하는 것이 효과적이다. 단가계약이란 매년 반복적으로 발생하는 보수 및 수리, 복구공사에 대하여 연간 추정물량을 산출하여 예산의 범위 내에서 추정가격을 산정하는 계약형태이다[6]. 공사마다 단가 변동을 따로 고려하지 않기 때문에 일일이 계약절차를 밟지 않고 문제 발생 시 신속한 처리가 가능한 장점이 있어 소규모 다공종의 특성을 가진 대학교 시설물 유지보수공사에 적합하다.

Table 1. Definitions for maintenance

Law	Contents
Special act on the safety control and maintenance of establishments Article 2, 11	- routinely inspecting and maintaining a completed establishment - restoring damaged sections to the original state - other activities necessary for improving, repairing, reinforcing the establishment
Building act Article 2, 16-2	- an act of managing a building by its owner or manager to continuously maintain the site, structure, facilities

일반적인 연간단가계약공사의 업무절차는 다음과 같다. 해당기관이 추정물량을 기입한 물량내역서 등을 제시하여 조달청 나라장터를 통해 발주한다. 업체에서는 추정물량을 바탕으로 단가 고정 후 총 공사비를 산출하여 입찰금액을 결정하며 낙찰금액이 계약금액이 된다. 시설관리자는 사용자로부터 요청받거나 점검결과를 통해 도출된 유지보수 대상항목들에 대하여 공사기간 등이 포함된 작업지시서를 작성하여 업체에 전달한다. 작업지시서는 수시로 발생하는 유지보수항목들로 인해 여러 차례에 걸쳐 수정된다. 유지보수업체는 공사를 진행하고 진행된 공사항목의 수량산출서와 내역서를 관리자에게 제출하면서 계약이 완료된다.

2.2 유지보수 일정계획 및 공사 우선순위

국내 교육시설물의 유지보수 관련 선행연구들은 2005년 이후 BTL사업 시행과 맞물려 유지관리비의 적정성 및 유지관리시스템 개발을 중심으로 진행되었다[7]. 또한 관리주체의 경제적 의사결정 지원정보로서의 유지보수비용 추정 및 비용도출 방법 개선 관련 연구들

이 진행되었다. 대학교의 경우 다수의 건물을 대상으로 하기 때문에 유지보수공사의 일정계획 및 공사우선순위 도출이 중요하다. 일정계획은 공사를 완성하는데 필요한 여러 작업들에 대하여 현장에서 실제로 시행되는 순서와 작업 기간 등을 공사 초기에 설정하는 과정을 의미한다 [8]. 구체적으로는 설계도서에 따라 적기에 자재와 장비를 공급하여 각 요소작업이 완료될 수 있도록 각 작업을 시간으로 배열하고, 공사에 필요한 모든 작업의 개시시기와 완료시기로서 일시를 결정하는 방법을 의미한다 [9]. 일정계획과 관련된 연구로서 Koo(2004)는 다수 시설물의 유지보수 및 리모델링에서 다중 자원의 제약을 고려하여 관리·계획할 수 있는 계층관리 모델을 제안하였다[1]. Lee(2007)는 수리모형을 통해 상황별 유지보수 작업계획 선정 모델을 제시하여, 기간 내 많은 작업을 수행할 수 있도록 하였다[10]. Kim et al.(2017)은 기숙사 시설의 유지보수 계획 시 사용자 만족도가 고려된 중요도를 바탕으로 우선순위를 제시하였다[11]. 국외의 경우 Grussing et al.(2008)은 유지관리 비용 최소화 및 시기 적절한 유지보수 계획 수립을 위한 부위별 평가지수를 제시하였다[12]. Kim et al.(2015)은 유지관리 예산의 변동 폭 최소화와 유지관리 활동 지연 예방을 위한 LCC 분석기반 자원 레벨링 모델을 제시하였다[13]. 유지보수 공사의 우선순위 도출과 관련된 연구에서 Kim et al.(2003)은 제한된 자원을 활용한 공공건축물의 리모델링 우선순위 고려사항으로 공중별 중요도 및 노후도, 사용자 요구사항을 제시하였다[14]. Ryoo(2008)는 단위면적당 평균 보수비용을 교육시설의 품질관리 우선순위 기준으로 제시하였다[15]. Yun et al.(2008)은 공동주택을 대상으로 공중별 하자의 발생 비율 및 하자보수비용 비율, 하자에 대한 공중별 가중치를 활용하였다[16]. 교육 시설 또는 대학교 시설물을 대상으로 유지보수 연구가 다양하게 수행되었지만 유지보수공사의 일정계획의 우선순위와 관련된 연구는 미흡하다. 기존 연구들은 연간 단가계약을 통해 외주업체가 진행하는 경우의 대학교 유지관리 실무가 반영되지 못한 한계가 있다.

3. 대학교시설 유지보수 현황분석 및 공사 우선순위 기준 수립

3.1 유지보수 대상 사례분석

일반적으로 대학교 시설관리자는 유지보수 대상항목을 선정하여 이를 명시한 작업지시서를 외주업체에 전달하며 이를 바탕으로 외주업체가 유지보수공사를 전담한다. 유지보수 사례분석을 위해 1개 대학의 2013~2016년 동안 수행된 연간단가계약공사의 작업지시서와 수량산출서, 내역서를 바탕으로 유지보수항목들을 분석하였다. Table 2는 작업지시서를 통해 외주업체에 전달한 유지보수항목과 재작업항목의 현황이다. 재작업항목은 연도별로 계획된 유지보수항목들 중 다음 차수에도 반영된 항목들을 의미한다. 2013~2016년 동안의 작업지시서 전달 시 계획된 유지보수 대상항목은 연간 평균 약 132개이며 이 중 재작업항목은 9.5개로서 약 7%인 것으로 나타났다.

Table 2. Number of maintenance and rework items per year

Order	2013		2014		2015		2016	
	object	re-work	object	re-work	object	re-work	object	re-work
1	32	-	18	-	56	-	22	-
2	28	4	17	2	67	3	17	-
3	6	-	19	2	46	2	19	5
4	9	1	19	1	16	6	31	-
5	24	4	19	4	-	-	34	2
6	-	-	28	2	-	-	-	-
sum	99	9	120	11	185	11	123	7

사례대상의 2013년 연간단가계약 유지보수 결과를 바탕으로 유지보수항목별 공사 완료시점을 분석한 결과는 Fig. 1과 같다. 대학교 시설의 특징으로 학기 중에는 시설물 이용자가 많아 방학인 T1 및 T3 기간에 주로 공사가 진행된다. T1 기간에 외주업체에 총 99개 공사가 요청되어 계획상으로 18개의 공사가 T1에 완료되어야 했지만 실제 완료된 공사는 9개 공사였다. 나머지 9건은 계획보다 지연되어 T3에 해당하는 7월 30일 시점에 해당공사가 완료되었으며 이로 인해 T2~T4에 진행되었어야 하는 유지보수 공사들이 지연되었다.

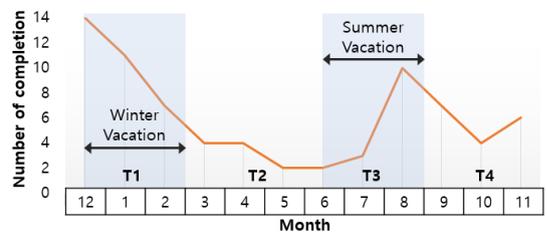


Fig. 5. Number of monthly construction completion (2013)

시설관리자는 전년도 유지보수항목들과 이번 년도에 신규 항목들을 고려하여 연간 일정계획을 수립해야 한다. 경험이 부족한 관리자가 다수의 유지보수항목을 고려하여 일정계획을 수립하는데 한계가 있기 때문에 재작업이 발생하게 된다. 여러 차수에 걸쳐 작업지시서 수정을 반복하여 업체에 전달하게 되고 외주업체 전문가의 판단만으로 공사가 진행되는 것이다. 업체에서는 1일 기준 노임단가를 고려하여 유지보수공사의 유사한 공종을 묶으려고 노력한다. 그러나 유지보수공사별 세부공종을 고려한 일정계획이 이루어 지지 않고 있다.

3.2 공사 우선순위 산정식 구축

유지관리공사 우선순위 기준 수립을 위해 가중합 방식[14,15]을 준용하였다. 중요도 기준은 공종별 중요도, 사례 및 사용자 중요도를 활용하였다. 공종별 중요도는 사례 대학교 시설과장 및 주무관 2인과 면담을 통해 도출하였다. 3인 모두 유지관리 업무에 2년 이상의 실무 경력자에 해당한다. 철거를 포함한 11개 공종을 대상으로 1~5점의 리커트 척도를 통해 도출하였다. 면담결과 구조성능에 영향을 미칠 수 있는 방수공사와 정해진 기간 내에 완료되어야 계획대로 사용자가 이용할 수 있는 가변공사가 가장 우선순위가 높은 것으로 나타났다 (Table 5의 ①). 사례 중요도는 공종별 계획대비 공사완료 비율을 활용하였다. 공사완료 비율을 중요도 지수로 변환하기 위해 완료 비율을 5개 범위, 1~5점으로 구분하였다. 공사완료 비율이 가장 높은 공종은 급속 및 유리공사로 나타났다(Table 3).

Table 3. Construction completion ratio compared to work order

work type	work order ①	completion ②	(②/①)× 100	IPI*
Waterproof	7	2	28.5	2
Tile	16	4	25	2
Steal	1	1	1	5
Window	42	7	16.7	1
Glass	6	6	1	5
Painting	55	15	27.3	2
Interior finishing	40	8	20	2
Roof & gutter	8	3	37.5	2
Space alteration	14	8	57.1	3
Demolition	16	6	37.5	2
Carpenter	1	5	20	2

*Importance index

대학교의 유지보수공사는 사용자의 민원사항이 대부분이다. 사용자의 요구사항을 고려하기 위해 사용자 만족도를 조사하였다. 대학교 시설물 사용자 33명의 설문 결과를 바탕으로 사용자 만족도를 중요도 지수로 변환하였다. 공종별로 중요도에 따라 1~5점으로 조사한 결과는 Table 4와 같다.

Table 4. User importance index

Work type	Number of points					avg.	IPI
	1	2	3	4	5		
Waterproof	0	0	4	9	20	4.48	5
Tile	3	7	13	6	4	3.03	4
Steal	2	9	14	8	0	2.85	3
Window	1	0	7	11	14	4.12	5
Glass	1	0	5	18	9	4.03	5
Painting	5	10	15	2	1	2.52	3
Interior finishing	2	5	21	2	3	2.97	3
Roof & gutter	4	6	11	8	4	3.06	4
Space alteration	5	8	10	8	2	2.82	3
Demolition	5	12	7	6	3	2.70	3
Carpenter	13	12	5	2	1	1.97	1

우선순위 산정식의 각 변수에 대한 가중치 결정이 필요하다. 실무경력 최소 4년, 평균 10년 이상의 시설관리 외주업체 전문가 2인과의 면담을 통해 공종별 중요도, 사례 중요도, 사용자 중요도에 대한 가중치가 각각 4.0, 3.5, 2.5로 도출되었다. 각각의 중요도 지수를 적용한 우선순위 산정식은 식(1)과 같으며 이를 적용한 공종별 유지보수공사 우선순위는 Table 5와 같다.

$$P = Ww_1 \times Cw_2 \times Uw_3 \quad (1)$$

here, P : Maintenance priority, W : Work type IPI,
 C : Case IPI, U : User IPI, w_1 : Work type weight,
 w_2 : Case weight, w_3 : User weight

Table 5. Maintenance priority

Work type	Importance Index			Equation result	Priority
	Type ①	Case ②	User ③		
Waterproof	5	2	5	42.5	2
Tile	4	2	4	35	4
Steal	2	5	3	31.5	6
Window	3	1	5	33	5
Glass	3	5	5	43	1
Painting	1	2	3	20.5	9
Interior finishing	4	2	3	31	7
Roof & gutter	2	2	4	28	8
Space alteration	5	3	3	37	3
Demolition	4	2	3	31	7
Carpenter	1	2	1	12.5	10

우선순위는 유리공사가 가장 높고 방수공사, 가변공사, 타일공사 등의 순서이다. 이를 바탕으로 일정계획 수립 시 유지보수항목의 우선순위 점수를 계산하여 유지관리 선후 관계를 결정하였다.

4. 유지보수 일정계획 지원 모델

프로그램 관리는 프로그램 전체의 편익 달성을 위해 다수의 프로젝트를 수행하는 체계적·전략적 프로세스이다[17,18]. 다수 건물에서 발생하는 소규모·다공종의 유지관리공사들을 관리하는 것은 프로그램 관리에 해당한다. 유지관리 공사 관리를 효과적으로 수행하기 위해서는 프로그램 레벨의 일정 계획이 필요하다. 본 연구에서는 유지보수항목들의 결정 및 수량을 산출하는 대상 분석 단계와 표준품셈을 기반으로 세부공종별 인력투입을 진행하는 자원분석 단계, 세부공종별 전문 인력과 건물을 변수로 유지보수항목들의 군집화를 진행하는 클러스터링 단계, 투입 인력계획을 고려한 일정계획 수립 단계로 구분하여 프로그램 레벨 유지보수 일정계획 지원 모델을 제시하고자 한다.

4.1 유지보수 대상 분석 및 자원 분석

프로그램 일정계획 지원 모델의 첫 번째 단계로서, 대상 분석 단계에서는 해당 건물의 수량산출서를 바탕으로 유지보수항목들의 세부공종을 분석한다. 그 후 정리된 유지보수 대상 세부공종들의 수량을 도면을 통해 산출한다. 자원분석 단계에서는 효과적인 전문기능공의 투입을 위해 대상 세부공종별 전문기능공 및 공사기간을 도출한다. 이를 위해서는 표준품셈을 기준으로 각 세부공종에 따른 전문기능공 산정이 필요하다. 또한 도출된 수량을 기준으로 투입되는 인력을 산정하며 마지막으로 투입되는 전문기능공과 공사기간을 도출한다.

Table 6은 2013년도 연간단가계약공사 작업지시서 사례의 일부 세부공종을 바탕으로 도출한 수량, 해당 전문기능공, 1인 기준 공사기간이다. 분석결과 하루가 초과되는 공사들도 존재하지만 시간단위의 공사들이 다수 존재하였다. 따라서 유지보수 일정계획을 위해서는 일 단위 공사기간의 시간단위로의 변환이 필요하다.

Table 6. Detail work type and quantity of the case

Building /space	Detail work type & quantity	Labor	*CDP
A /room 529	Building aid (20m ²)	normal worker	0.2
	Wale installation (20m ²)	carpenter	0.7
	Gypsum board (80m ²)	built-in worker	5.3
	Water paint (76m ²)	painter	1.8

* Construction duration per person

4.2 공사항목 클러스터링 및 우선순위 선정

기존 유지보수는 건물단위 실별 부위를 대상으로 진행되고 있다. 유지보수 대상항목은 신축보다 수량이 적어 투입인력이 1인/일에 미달되는 세부공종이 다수 존재한다. 동일 전문기능공이 서로 다른 시기 및 공사에 투입되면 노무비가 낭비되는 문제가 있다. 이를 해결하기 위해서는 전문기능공 1인이 가능한 많은 공사에 투입되어야 한다. 따라서 일정계획 시 동일 전문기능공들이 투입되는 유지보수 공사항목의 군집화가 필요하다.

본 연구에서는 실용성과 응용성 측면에서 가장 좋은 클러스터링 방법 중 하나인 K-means 클러스터링[19]을 적용하였다. SPSS 22.0 통계분석 프로그램을 활용하였으며 클러스터링 변수로 대상 건물(실)과 공종별 전문기능공을 활용하였다. 클러스터 수는 rule of thumb approach로서 단순하며 어떤 유형의 data set에도 적용 가능한 방법인 $\sqrt{n/2}$ 를 적용하였다[20]. 군집화된 동일 클러스터 내의 유지보수항목들 간의 우선순위는 Table 5의 세부 공종별 우선순위 결과를 적용하였다. 클러스터 사이의 우선순위는 공종별 우선순위 값의 평균을 기준으로 선·후행을 결정하였다.

4.3 일정계획 수립

4.3.1 초기 일정계획 수립

일정계획수립 단계에서는 공종별 우선순위를 바탕으로 초기일정계획을 수립한다. 만약 클러스터 내 동일 공종이 존재할 때에는 건물(실) 단위로 선행 공종 완료이 후에 진행된다. 예를 들어 A 건물 529호의 공종별 우선순위가 평균이 530호보다 높고 두 실 모두 목공사(벽, 띠장설치)가 진행되어야 한다고 가정하면, 529호의 목공사가 선행되어야 한다. 또한 다수의 공종이 선행될 때는 앞서 가장 늦게 완료되는 공종을 기준으로 다음 유지보수항목의 공종이 수행된다.

4.3.2 최적투입인력 및 적합도 평가 기반 최적 일정계획 선정

일정계획 시 유지보수항목에 존재하는 각 세부공종별 투입되는 인력의 고려가 필요하다. 전문기능공의 투입인력에 따라 각 유지보수항목별 공사기간이 결정되고, 동일한 전문기능공이 아닐 경우에는 병행공사가 진행될 수 있다. 적정 전문기능공 투입이 가능한 일정계획을 수립하여 노무비를 감소시킬 수 있다면 수량에 따른 자재비와 경비가 동일하기 때문에 보다 많은 유지보수공사를 진행할 수 있다. 그러나 단순히 투입인력을 줄이면 공사기간과 노무비가 증가할 수 있고 반대로 투입인력을 증가시키면 공사기간이 감소되 오히려 노무비가 증가할 수도 있다. 공사기간과 노무비를 고려하기 위한 최적 인력투입이 필요하다. 최적 인력투입을 도출하기 위해 MS Excel 2013소프트웨어를 이용하여 몬테카를로 시뮬레이션을 진행하였다. 각 세부공종별 전문기능공을 투입인력에 대한 난수 범위로 활용하였다. 공사 수량에 투입인력을 계산 후 세부공종별 공사기간을 산정하였다. 일정계획 수립에서 제시한 조건을 적용한 공사기간 및 공사 완료 날짜를 계산한 후에 노임단가를 고려한 세부공종별 공사기간, 투입 인력 수에 따른 노무비를 계산하였다. 마지막으로 공사비를 초과한 대안을 제외하고 적합도에 따라 최적안을 선정하였다.

대학교 시설의 계절적 특성을 반영하기 위해 Fig. 1의 T1~T4를 기준으로 적합도 산정식을 제안하였다. T1, T3은 공사가 최대한 진행되어야 하는 방학기간이며 T2, T4는 가급적 공사가 진행되지 않아야 하는 기간이다. 노무비 적합도 및 공사기간 적합도 산정식은 각각 식(1) 및 식(2)와 같다. 최종 적합도는 노무비 및 공사기간 적합도를 곱한 값이다. 최적일정계획은 시뮬레이션을 통해 생성된 계획안들 중 가장 낮은 적합도 값을 가지는 대안이 최적안으로 선정된다.

$$Labor\ Cost\ Fitness = \frac{WC_{T1} + WC_{T3}}{WC_{T2} + WC_{T4}} \quad (2)$$

here, $WC_{T1} + WC_{T3}$: T1+T3 work cost
 $WC_{T2} + WC_{T4}$: T2+T4 work cost

$$Work\ Duration\ Fitness = \frac{WD_{T1} + WD_{T3}}{WD_{T2} + WD_{T4}} \quad (3)$$

here, $WD_{T1} + WD_{T3}$: T1+T3 work duration
 $WD_{T2} + WD_{T4}$: T2+T4 work duration

4.4 유지보수 일정계획 지원 모델

본 연구에서는 다수 대학 시설물 관리자의 프로그램 레벨에서의 일정계획 지원 모델을 Fig. 2와 같이 제시하였다. 이를 통해 시설관리자와 외주업체 간의 협의를 지원하여, 대상 시설물의 유지보수공사를 체계적으로 수행할 수 있다.

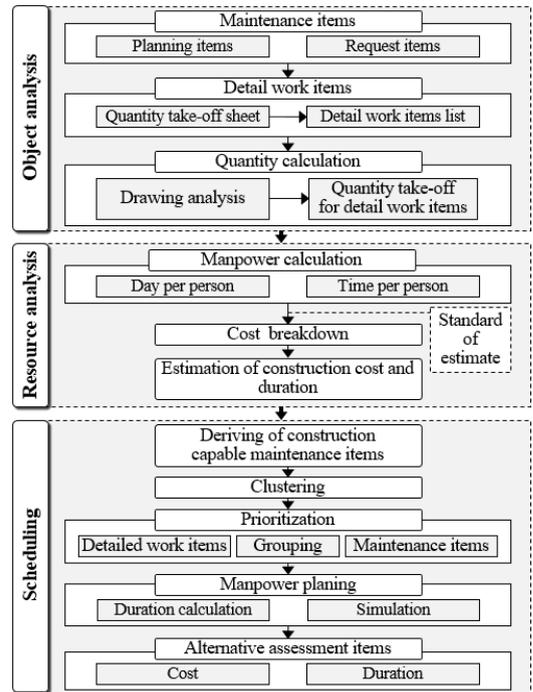


Fig. 6. Maintenance scheduling support model

4.5 사례적용 및 검증

사례적용 대상은 S대학교로서 강의실, 연구실과 같은 업무용 시설이 주로 있으며 식당 등 근린생활시설도 포함된다. 2013년도 작업지시서에서 6개 건물을 대상으로 총 20개의 공사, 179개의 세부공종작업이 진행되었다. 공사 기간은 2월 3일~7월 30일로 178일, 총 공사비는 368,248천 원으로서 이 중 총 노무비는 204,542천원이다. 유지보수 일정계획 지원 모델의 사례적용 결과는 다음과 같다.

각 유지보수항목의 세부공종별 수량과 전문기능공을

분석하였으며 1인 기준 공사기간을 산정하였다. 다음으로 20개 공사항목에 대하여 k=4로 실시한 K-means 클러스터링 결과는 Table 7의 ①과 같다. 이후 공종별 우선순위를 적용하여 도출된 유지보수공사 우선순위는 Table 7의 ②와 같다. 최적인력투입 기반 일정계획을 도출하기 위해 세부공종별 전문기능공 1~10명을 난수로 천 번의 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션 결과의 평균 공사기간은 130일이며 평균 노무비는 145,536천 원으로 나타났다. 이들 중 총 노무비를 초과한 59개 대안들을 제외시킨 결과는 Fig. 3과 같다.

Table 7. Priority of the case

Cluster ①	Bldg.	Space	Priority ②
1	A	3F center hall	6.53
	E	room 311	6.64
	A	4F center hall	6.87
	E	3F hallway	7.40
	F	room 201	7.63
2	C	2F conference hall	7.00
	B	door between 405-406	7.50
	E	2F hallway	7.66
	E	BF1 room 108	8.50
3	B	door between 529-530	7.50
	B	3F front side	7.50
	B	room 405	7.85
	B	room 406	8.00
	B	room 529	8.28
	B	room 523	8.30
	C	room 116, 117	9.00
	C	room 310	9.00
	C	room 329	9.00
	D	room 510	9.00
B	5F floor outside entrance	9.50	

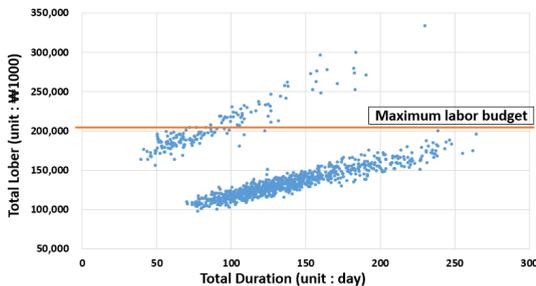


Fig. 7. Simulation result based on input workforce

각 시뮬레이션 결과들의 노무비 적합도, 공사기간 적합도를 활용하여 적합도 평가를 실시하였으며, 최종 적합도가 가장 낮은 742번째 대안이 최적대안으로 도출되었다(Table 8).

Table 8. Fitness evaluation result

case	Labor Cost Fitness (thousand KRW unit)			Work Duration Fitness		Final Fitness ③×⑤
	WC _{T1,T3} ①	WC _{T2,T4} ②	Fitness ③=①/②	WD _{T1,T3} ④	Fitness ④/*26	
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
740	120,561	78,209	1.5415	35.50	1.3654	2.1048
741	89,927	86,821	1.0358	14.92	0.5737	0.5942
742	80,892	83,291	0.9712	13.50	0.5192	0.5043
743	168,418	50,116	3.3606	69.79	2.6843	9.0207
744	116,185	68,751	1.6899	30.71	1.1811	1.9960
745	135,949	53,081	2.5612	43.79	1.6843	4.3138
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴

*Winter vacation: 2/3 ~ 2/28

사례적용 결과는 Table 9, Table 10, Fig. 4와 같다. 기존 공사 완료일은 7월 30일이었으나 투입인원 2인 기준인 초기 일정계획에서는 5월 17일로, 최대 투입인원 10인 기준인 최적 일정계획에서는 3월 14일에 공사가 완료되어 기존 사례보다 공사기간이 139일 단축되었다. 초기 일정계획을 보면 공사 수량이 적고 우선순위가 낮은 대부분의 공사가 주로 5월에 시작되어 완료되고 있다. 총 공사비는 11%가 감소되었는데, 수량이 정해져있기 때문에 재료비와 경비를 제외한 노무비의 차이이다. 기존 사례는 유지관리업체의 임의결정으로 공사가 진행되어 공사완료일만 알 수 있기 때문에 최적안과의 세부 공종 작업순서 비교에 한계가 있다.

Table 9. Result of scheduling considering input workforce

Object	Total duration	Total cost
Case	178 days	₩342,460
Application result	39 days (▼139 days, ▼78%)	₩304,899 (▼11%)

Fig. 4는 최적 일정계획안과 기존사례의 월별 유지보수공사 완료 개수를 비교한 결과이다. 2월에 최적 일정계획안의 공사완료 개수가 적은 것은 수량이 많은 일부 유지보수항목이 다수 선행되었기 때문인 것으로 분석되었다.

Table 10. Result of case study

Cluster	Bldg	Space	Initial schedule (craftsmen 2)																Optimal schedule (optimal manpower input)													
			Start day	End day	Feb.			Mar.					Apr.				May				Start day	End day	Feb.					Mar.				
					1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3			4	1	2	3	4	1	2	3	4	5
1	A	3F center hall	2/3	2/15	■	■												2/3	2/6	■												
	E	room 311	2/3	2/23	■	■												2/3	2/9	■												
	A	4F center hall	2/21	3/23			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	2/5	2/16	■	■											
	E	3F hallway	3/13	3/26					■	■	■	■	■	■	■	■	■	2/15	2/19	■	■	■										
	F	room 201	3/16	5/1					■	■	■	■	■	■	■	■	■	2/19	3/8			■	■	■	■	■	■	■	■			
2	C	2F conference hall	5/1	5/2													3/1	3/8														
	B	door between 405-406	5/1	5/2													3/5	3/8														
	E	2F hallway	5/1	5/2													3/8	3/8														
	E	BF1 room 108	4/30	5/3										■	■	■	■	3/8	3/9													
3	B	door between 529-530	5/2	5/3													3/9	3/9														
	B	3F front side	5/3	5/4													3/9	3/10														
	B	room 405	5/3	5/5													3/9	3/10														
	B	room 406	5/5	5/7													3/10	3/11														
	B	room 529	5/6	5/12													3/10	3/13														
	B	room 523	5/12	5/13													3/13	3/13														
	C	room 116, 117	5/13	5/14													3/13	3/13														
	C	room 310	5/14	5/15													3/13	3/14														
	C	room 329	5/15	5/16													3/13	3/14														
	D	room 510	5/16	5/17													3/13	3/14														
B	5F floor outside entrance	5/16	5/17													3/14	3/14															

*Total Manpower Input

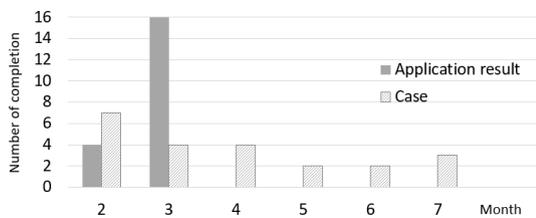


Fig. 8. Comparison of completed monthly maintenance work

본 연구에서 제안하는 일정계획 지원 모델에 대한 사례적용 결과 타당성과 실무 적용성 검증에 대해 전문가 면담을 실시하였다. 면담대상은 공사 우선순위 산정식 도출을 위해 실시한 실무자들과 동일하다. 면담결과 사례적용 시 실무의 업무흐름이 명확하게 반영되어 사례적용 전·후의 결과비교가 타당한 것으로 평가되었다. 일정계획이 제대로 이루어지지 않아 발생하는 손실의 감소가 가능한 것으로 도출되었으며 관리자의 유지관리공사 일정관리를 지원할 수 있는 효과적인 도구로 평가되었다. 경험이 적은 관리자일수록 유용성이 큰 것으로 도출되었다. 한계점으로 실무에서 공사 진행 중 발생 가능한 예기치 못한 민원에 대한 고려가 미흡한 부분이 지적되었다.

5. 결론

본 연구에서는 다수 대학교 시설물의 효과적인 유지보수공사 수행을 위해 공종별 공사우선순위 및 투입인력을 고려한 프로그램 레벨의 유지보수 일정계획 모델을 제시하였다. 모델은 순차적으로 진행되는 3단계로 구성된다. 대상 분석 단계에서는 해당 건물의 수량산출서 분석을 통해 유지보수항목들의 세부공종을 분석하고 수량을 산출한다. 자원분석 단계에서는 효과적인 전문기능공의 투입을 위해 세부공종별 전문기능공 및 공사기간을 도출한다. 일정계획수립 단계에서는 클러스터링 결과를 바탕으로 항목 간 우선순위를 산정한다. 시뮬레이션을 통해 최적투입인력이 도출되며 적합도에 따라 최적안을 선정한다.

본 연구에서 제안한 유지보수 일정계획 모델을 통해 다수의 대학시설물 유지보수항목들을 프로그램 관점에서 관리가 가능할 것으로 기대된다. 사례적용결과 프로그램 관점에서 다수의 대학시설물 유지보수항목들 간의 효과적인 인력투입이 가능하며, 노무비가 감소되어 모델 적용 전 보다 많은 수의 공사를 완료할 수 있었다. 모델의 사례적용 결과의 타당성과 실무적용성 검증을 위해 실무자 면담조사를 실시한 결과, 관리자의 유지관리공사

일정관리를 지원할 수 있는 효과적인 도구로 평가되었다. 모델의 일반성 확보 및 보완을 위해 대학시설 이외의 다양한 사례분석을 바탕으로 프로세스 보완이 필요하다. 유지보수항목들 간의 공사우선순위 산정식의 객관성을 높이기 위한 추가적인 연구가 필요하다.

References

- [1] K. J. Koo, "Organizational Program Management of Multiple Maintenance Projects under Fund Constraints", *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 5, No. 2, pp. 211-218, 2004.
- [2] H. Y. Chae, "Maintenance Schedule Prototype of Annual Unit Price Contract Constructions for Multiple Facilities" Master's thesis, University of Seoul, 2018
- [3] M. H. Shin, C. S. Lee, "Maintenance Case and Cost Analysis for University Facilities", *Journal of the Korean Institute of Educational Facilities*, Vol. 26, No. 6, 27-34, 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7859/kief.2016.23.6.027>
- [4] Special Act on the Safety Control and Maintenance of Establishments, No. 14545 (2018), Article 2, 11.
- [5] Building Act, No. 15594 (2018), Article 2, 16-2.
- [6] The Ministry of the Interior and Safety, *A Study on Improvement of Local Government Contract System*. Seoul: Korean Association for Local Government Studies, 2016. Final Report '16-12.
- [7] J. R. Kim, J. H. Son, "A Study on Estimation Status and Improvement Plan of the Repair and Replacement Cycle of a Building", *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, Vol. 10, No. 1, pp. 193-198, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5345/JKIC.2010.10.1.193>
- [8] J. H. Park, K. H. Kim, J. J. Kim, "Development for Using Stochastic Construction Scheduling Model considering Weather Elements", *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, Vol. 27, No. 2, pp. 97-104, 2011.
- [9] C. A. Kwon, S. W. Lee, "A Study on System Improvement of Duration Schedule for Construction Works", *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, Vol. 17, No. 2, pp. 83-92, 2001.
- [10] J. H. Lee, "A Study on Railway Track Maintenance Scheduling", Master's thesis, Kangwon National University, 2007.
- [11] M. S. Kim, Y. Kim, J. H. Kim, "Suggestions on Efficient O&M Plan for Improving Users' Satisfaction on the University Dorm Facilities", *Journal of the Korean Institute of Educational Facilities*, Vol. 24, No. 5, pp. 11-18, 2017.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7859/kief.2017.24.5.011>
- [12] M. N. Grussing, L. R. Marrano, "Building Component Lifecycle Repair/Replacement Model for Institutional Facility Management", *Computing in Civil Engineering* (2007), pp. 550-557, 2007.
DOI: [https://doi.org/10.1061/40937\(261\)65](https://doi.org/10.1061/40937(261)65)
- [13] J. Kim, S. Han, C. Hyun, "Minimizing Fluctuation of the Maintenance, Repair, and Rehabilitation Cost Profile of a Building", *Journal of Performance of Constructed Facilities*, Vol. 30 No. 3, pp.1-7, 2015.
DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000775](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000775)
- [14] Y. I. Kim, K. H. Shin, C. S. Lee, "Decision making of remodeling priority for an aged public building", *Journal of the Architectural Institute of Korea, Structure & Construction*, Vol. 19, No. 3, pp. 107-114, 2003.
- [15] C. H. Ryoo, "A Study on the Priorities for Quality Management of the Construction Work in Educational Facilities in Korea", PhD diss., Yonsei University, 2008.
- [16] S. H. Yun, C. W. Park, S. Y. Jeong, "A Study on the Integrated Construction Defects Assessment of Apartments for Systematic Asset Management" *Journal of the Architectural Institute of Korea, Structure & Construction*, Vol. 24, No. 8, pp. 179-186, 2008.
- [17] Y. Cha, J. Kim, C. Hyun, S. Han, "Development of a Program Definition Rating Index for the Performance Prediction of Construction Programs", *Sustainability*, Vol. 10, No. 8, pp. 27-47, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.3390/su10082747>
- [18] R. J. Gray, *Alternative Approaches to Programme Management*, *International Journal of Project Management*, Vol. 15, No. 1, pp. 5-9, 1997.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(96\)00014-2](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(96)00014-2)
- [19] S. Selim, M. Ismail, "K-Means-Type Algorithms: a generalized convergence theorem and characterization of local optimality", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 6, No. 1, pp. 81-87, 1984.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TPAMI.1984.4767478>
- [20] T. M. Kodinariya, P. R. Makwana, "Review on determining number of Cluster in K-Means Clustering", *International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies*, Vol. 1, No. 6, pp. 90-95, 2013.

채 홍 윤(Hong-Yun Chae)

[종신회원]



• 2018년 2월 : 서울시립대학교 일반대학원 건축공학과 (공학석사)

<관심분야>
BIM, 정보경영

조 동 현(Dong-Hyun Cho)

[정회원]



- 2009년 2월 : 서울시립대학교 일반대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2011년 2월 ~ 현재 : 서울시립대학교 일반대학원 건축공학과 (박사과정)

<관심분야>

BIM, 문서·지식 관리, 유지관리

구 교 진(Kyo-Jin Koo)

[정회원]



- 2000년 12월 : University of Wisconsin-Madison (공학박사)
- 2002년 3월 ~ 현재 : 서울시립대학교 도시과학대학 건축학부 정교수

<관심분야>

BIM, 설계·시공 통합관리, 문서·지식 관리, 유지관리

박 상 현(Sang-Hun Park)

[정회원]



- 2013년 2월 : 서울시립대학교 일반대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 서울시립대학교 일반대학원 건축공학과 (박사과정)

<관심분야>

BIM, 원가관리, 공정관리

배 창 준(Chang-Joon Bae)

[정회원]



- 2017년 9월 ~ 현재 : 서울시립대학교 일반대학원 건축공학과 (석사과정)

<관심분야>

BIM, 건설관리, 유지관리