

최적화기법을 활용한 교육시설물 BTL 사업 운영관리비용 비용예측 시스템 개발 기초연구

A Study on Development of Maintenance Cost Estimation System for BTL Project of Education Facilities Using Optimization Methodology

조창연*
Cho, Chang-Yeon

손재호**
Son, Jaeho

김재온***
Kim, Jeon

요 약

교육시설물 BTL 사업은 여러 개의 시설물을 1개의 번들로 계약하며, 계약기간을 20년으로 산정하여 그 비용을 지급한다. 따라서 BTL 프로젝트 초기단계에 운영관리비를 예측하는 정확도와 발주번들에 포함되는 시설물을 어떻게 편성하느냐에 따라 비용편차가 크게 발생하게 된다. 본 연구에서는 교육시설물 BTL 사업 발주 시 운영관리 최적 번들을 구성하기 위한 방법으로 콤플리트 링키지 알고리즘을 이용하는 비용 예측 시스템을 개발하고, 이를 통해 발주번들에 포함되는 시설물 변화에 따라 제한조건들이 변화하는 경우에 대해 사용자의 의사결정 시 판단근거자료로 활용 가능하게 하고자 한다. 본 연구에서 제안하는 시스템을 활용하면 보다 효율적이고 신속한 BTL 프로젝트의 운영비 예측이 가능할 것으로 사료된다.

키워드 : 플BTL 사업, 교육시설물, 비용 예측, 운영관리 번들, 콤플리트 링키지 알고리즘, 브랜치 앤 바운드 알고리즘

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

BTL (Build-Transfer-Lease) 사업은 민간업체가 자금을 투자하여 공공시설물을 건설하고, 이에 대한 운영비용을 정부가 지급하여주는 방식으로써, 2005년 처음 시행된 이래, 지속적인 투자증가가 이루어져왔다. BTL 사업은 군시설물과 교육시설물에 대한 투자가 주를 이루고 있으며, 이 중 교육시설물은 가장 왕성한 투자가 진행되는 분야이다. 특히 교육시설물은 한 번에 여러 개의 시설물이 하나의 단위사업으로 발주되며¹⁾, 운영기간을 20년으로 산정한다는 점에서 초기단계의 시설물 운영비용에 대한 예측의 정확도에 따라 비용간 편차가 크게 발생한다는 것에 그 특징이 있다. 또한, 초기 단위사업에 포함되는 시설물을

어떻게 조합하느냐에 따라 비용편차가 크게 변화한다.

이에 본 연구에서는 기수행된 선행연구를 바탕으로 교육시설물 BTL 사업 운영관리비용 산정을 위한 비용예측 시스템(Cost Estimation System)을 개발함으로써, 보다 합리적이고 신속한 BTL 운영관리비의 예측이 가능할 수 있도록 하는 것에 그 목적이 있다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 BTL 사업으로 발주예정인 교육시설물의 운영관리 실시를 위한 기획단계에서 의사결정 지원을 위해 콤플리트 링키지 알고리즘을 이용한 운영관리 실시 예정학교들에 대한 단위사업 구성 방안의 제시 및 최적 운영관리 비용을 예측할 수 있는 시스템(Maintenance Cost Optimization System)을 개발하는 것을 그 범위로 한다.

본 연구를 진행하기 위한 방법은 다음과 같다.

첫째, 교육시설물 BTL 사업의 운영관리 형태에 대한 선행연

* 일반회원, 공학박사, 성균관대학교 건설환경연구소 박사후 연구원, yms09d@hanmail.net

** 일반회원, 공학박사, 홍익대학교 건축공학부 부교수, 교신저자 jiwoodad@yahoo.co.kr

*** 일반회원, 공학박사, 홍익대학교 건축공학부 겸임교수 kjo8986@hanmail.net

이 논문은 2007학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음.

1) 조창연(2008). "BTL 사업 최적대안 구성을 위한 기획단계 사업비 예측 시스템 개발 : 교육시설물을 중심으로" 홍익대학교 박사학위논문, pp. 38-39.

구 고찰 및 BTL 사업 운영관리 특징분석을 실시한다.

둘째, BTL 사업 운영관리 문제를 정의하고 최적화가 가능한 알고리즘을 도출한다.

셋째, 도출된 최적알고리즘을 적용한 교육시설물 BTL 사업 최적 운영관리비 예측 시스템을 제안한다.

넷째, 제안된 시스템을 구축하고, 그 효용성을 검증한다.

본 연구의 진행과정을 도식화하면 다음의 그림 1과 같다.

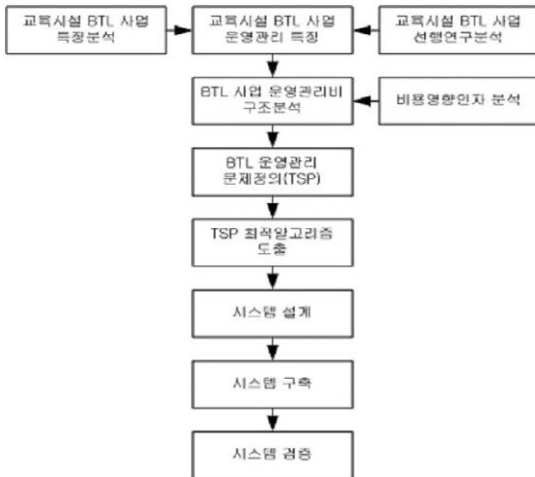


그림 1. 연구흐름도

2. BTL 사업의 운영관리 특징 분석

2.1 BTL 사업의 특징

2005년 4월에 발간된 기획예산처(현 기획재정부 : 이하 기획재정부)의 '05 BTL 사업 시행지침(안)²⁾에 의하면, BTL 사업에 대한 일반적인 추진절차는 다음의 그림 2와 같다.

상단의 그림 2에서 나타나는 바와 같이, BTL 사업은 기존의 사업과는 다른 몇 가지 특징을 나타내게 되는데, 가장 대표적인 내용으로는 단위사업 선정 시 단위시설을 묶어서 적정 규모를 설정한다는 점과, 총사업비에 대한 제약(500억원 이상)이 있다는 것이다.

교육시설물 BTL 사업은 단위사업을 설정한 이후 해당 단위사업에 대한 기본계획 수립 및 적격성 평가, 사업고시 이후 민간사업자-주무관청간 협의를 통한 사업진행의 단계를 가지고 있는 것으로 분석되었다. 기존 사업과 BTL 사업의 가장 큰 차이점은 BTL 사업의 경우 운영관리와 유지보수 비용이 총사업비에 포함되어 산정되어야 하며, 사업 기획단계에서 주무관청은 해당 사업비에 대한 상한선을 설정하여 사업고시를 하게 된다. 따라서

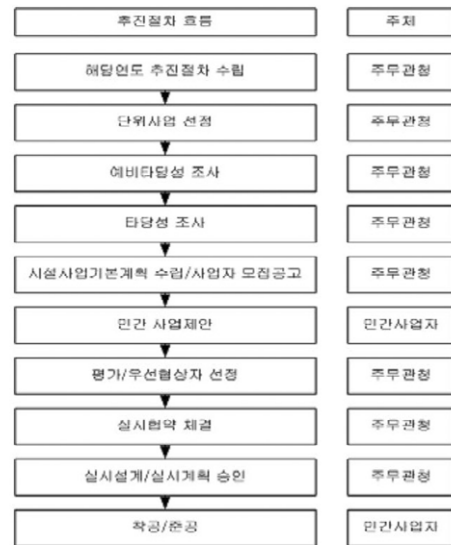


그림 2. BTL 사업 추진절차

BTL 사업은 운영관리비 예측 시 단위사업 편성방안의 변화에 따라 총사업비가 변화하게 되는 특징을 보이게 된다.

2.2 교육시설 BTL 사업 선행연구 분석

본 논문의 대상인 초·중·등 교육시설물 BTL 사업에 대한 선행연구 중 정량적 VFM 분석 및 사업비 예측과 관련된 선행연구 및 관련 내용을 요약하면 다음의 표 1과 같다.

선행연구 조사결과, 이춘경의 연구(2007)는 BTL 사업진행 현황에 대한 전반적인 분석을 통해 사업에 참여하는 실무자들이 인식하는 문제점에 대한 설문조사 결과를 분석한 연구이며, 손기영(2006)의 연구는 운영비 세부항목에 대해 시스템 다이내믹스를 활용하여 운영관리비 인과지도를 작성하였다. 김장영(2007)의 연구는 손기영(2006)의 연구를 바탕으로 전체적인 BTL사업비에 대한 VFM(Value For Money)³⁾ 모델을 구축하는 연구로써, 발주자가 제시하는 번들 내에서의 비용에 대해서 인과지도를 활용한 비용계산을 유도하고 있다.

김동훈(2006)의 연구는 BTL 사업의 재무모델에 대한 민감도 분석을 통해 현행 BTL 사업의 문제점을 분석하고, 이에 대한 대안을 제시하고자 하였으며, 권범준(2007)의 연구는 교육시설물 BTL에 대한 연구는 아니나, 군시설물 유지관리비용 산정모델 제시를 위해 실적자료에 대한 분석을 바탕으로 사업참여자의 사업추진 개선방안을 제시하였다.

2) 기획재정부 (2005), '05 BTL 사업 시행지침(안).

3) A Value-For-Money Model of BTL Project for Education Facilities, 이하 VFM 모형 이라함.

표 1. BTL 사업의 예측 관련 국내 선행연구 사례조사

연구자	년도	연구 제목	내용
이준경 외	2007	BTL사업의 경제성 평가 현황조사 및 개선을 위한 실무자 설문조사연구	BTL사업현황을 분석하고 실무자 입장에서 바라본 사업추진단계별 경제성 분석 방식 (VFM분석, 추정사업비 산출,입찰가격평가 등)의 적정성, 개선 필요성 및 대안 분석
손기영	2006	교육시설 BTL 사업의 투자가치 평가를 위한 운영비 모형 구축	효율적인 교육시설 BTL 사업의 추진을 위해 현행 투자가치 평가의 문제점 파악, 실제협약안과의 상대비교를 통한 시스템 다이내믹스 기법을 활용하여 VFM 모형 구축
김정영 외	2007	시스템 다이내믹스를 활용한 교육시설 BTL사업의 투자가치 평가 모형	시스템 다이내믹스를 활용하여 투자가치 모형 (VFM 모형)을 구축
김동훈	2006	BTL사업에 대한 재무모델 민감도 분석을 통한 문제점 분석 및 효율적인 사업전략 연구	BTL 사업의 재무모델 민감도 분석을 통한 문제점 분석 및 효율적인 사업전략 제시
권범준	2007	BTL 사업 군관사 건축물의 유지관리 비용 산정에 관한 연구	BTL 사업 군관사 건축물의 장기수선비 분석을 통하여 유지관리 비용을 산정, 장기수선 계획 수립 시 효율적인 사업 추진 방향 제시
김승섭 외	2007	소규모 공공교육 시설 임대형 민자사업(BTL)의 수행구조 개선모형	지방·중소 건설업체 및 설계 사무소의 사업 참여를 돕고 지역주민의 BTL 사업 시설 이용을 유도하여 궁극적으로 소규모 BTL 학교 시설 사업을 성공적으로 수행할 수 있는 대안 제시
이은동 외	2007	교육시설물 BTL 사업의 유지관리 시스템 모듈 개발	교육시설물 BTL 사업의 비용 항목 중 운영관리비에 해당되는 위생관리비 산정 방법 제시
조창연 외	2008	컴플리트 링키지 알고리즘을 이용한 교육시설물 BTL사업 유지관리변들 구성방안에 관한 연구	분기한정법과 컴플리트 링키지 알고리즘을 적용한 유지관리 변동구성방안에 대한 대안 제시

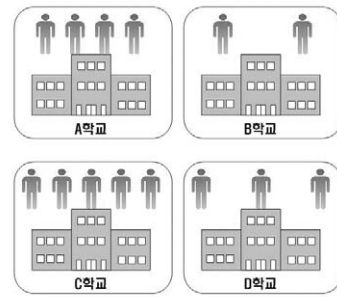


그림 3. 운영관리원 모두 상주방식

(1) 모두 상주 방식

모두 상주 방식은 운영관리 담당 인원 전체가 해당 학교에 항상 상주하는 방식이다. 이는 PSC에서도 실시하고 있는 방식으로써, 운영관리 담당자가 상주하기 때문에 운영관리 서비스의 질이 향상될 수 있다는 장점이 있다. 그러나 청소관리나 시설관리 순찰업무 등이 학교당 8시간(1일 업무시간)을 모두 소요하는 것이 아니기 때문에 업무의 효율성이 떨어질 수 있으며, 이로 인한 비용의 낭비를 초래할 수 있다.

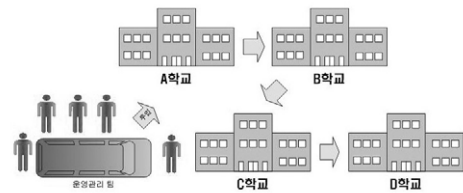


그림 4. 운영관리원 모두 이동 방식

(2) 모두 이동 방식

모두 이동 방식은 운영관리 담당 인원 전체가 해당 학교 군을 항상 이동하면서 관리하는 방식이다. 이는 대학교 건물의 청소 용역 발주 시 사용되는 방식으로써, 운영관리 담당 인원은 자신이 1일 업무시간 한도 내에서 관리가 가능한 면적까지 최대한 관리하는 방식이다. 그러나, 대학교 캠퍼스 내부를 이동하는 것과는 다르게 교육시설물의 PFI 발주 방식은 학교 건물과 학교 건물간 이동거리가 길어지게 되며, 이로 인해 업무 시간보다 이동 소요시간이 늘어나는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 모두 상주와는 다르게 인건비뿐만 아니라 이동경비까지 고려한 비용을 산정해주어야 한다.

(3) 일부상주 일부이동 방식

일부상주 일부이동 방식은 모두 상주방식과 모두 이동방식을

이은동(2007)의 연구는 효율적인 운영관리 방안 도출을 위해 컴플리트 링키지 알고리즘을 활용한 프로그램을 개발하고, 이를 적용한 비용계산을 통해 프로그램 효율성을 검증하였다.

조창연(2008)의 연구는 이은동의 연구결과를 바탕으로 TSP 문제와 유사한 형태를 보이는 교육시설물 유지관리 최적대안 산정을 위해 컴플리트 링키지와 분기한정법을 적용하는 것에 대한 이론적인 정리를 실시하였다.

본 연구에서는 이은동의 선행연구와 조창연의 연구결과를 바탕으로 선행연구의 알고리즘 적용효율성 증대 및 비용산정 자동화를 통해 발주자(주무관청) 입장에서 보다 효율적인 BTL 사업 기획단계 운영관리 단위사업 구성방안을 제안하고자 한다.

2.3 BTL 사업 운영관리 특징

BTL 사업으로 실시되는 교육시설물을 운영하기 위한 방법은 크게 다음의 세 가지로 구성된다 할 수 있다⁴⁾.

4) 이은동 (2007). “교육시설물 BTL 사업 VFM 평가항목의 운영비 중 위생관리비 산정기준 및 시스템 개발에 관한 연구” 홍익대학교 석사학위 논문.

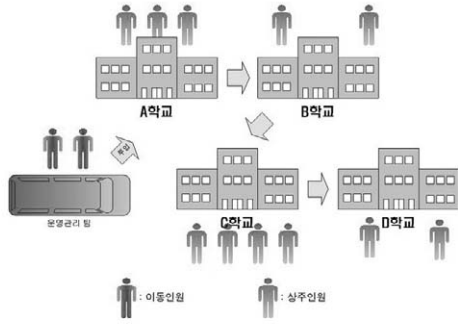


그림 5. 운영관리원 일부상주 일부이동 방식

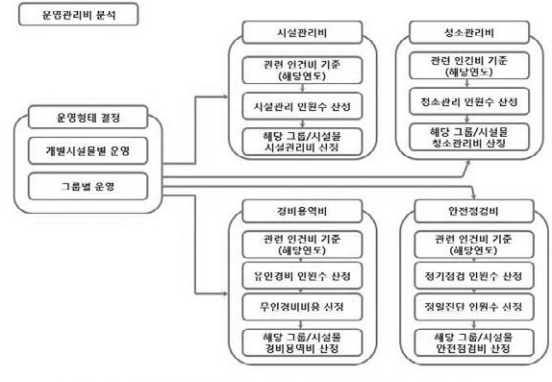


그림 6. 교육시설 BTL 사업 운영관리비 산출 Process

혼합한 방식으로써, 해당 연면적에 필요한 소요 인원수를 산출하고, 해당 인원 중 이동인원에 편입시킴으로써 최소 인원이 산출될 수 있는 인원의 조합을 찾아내는 방식이다. 이 경우의 소요 비용 산정은 상주하는 인원의 인건비와 이동인원 인건비의 합에 이동 소요비용을 합산하는 것으로 고려해주어야 한다.

다음의 표 2는 BTL로 진행되는 교육시설물의 각 운영방식별 특징을 표로 정리한 것이다.

표 2. 운영방식에 따른 특징

구분	모두상주	모두이동	일부상주 / 일부이동
특징	운영관리원 항상 상주	운영관리원 항상 이동	운영관리원 일부 상주 일부 이동
인원산정	2(학교 연면적 ÷ 1인당 1일 업무량)	변들연면적 ÷ 1인당 1일 업무량	모두상주 + 모두 이동 혼합
비용계산	인원수 x 1인당 인건비	인건비 총액 + 이동비용	인건비 총액 + 이동경비

BTL 방식으로 진행되는 교육시설물의 운영관리 방식 중 모두 상주를 제외한 나머지 두 가지 방식은 순환 외판원 문제 (Traveling Salesman Problem)와 유사한 성격을 가지는 것으로 분석되었다.

3. 운영관리비 최적화 알고리즘 규명

3.1 교육시설 BTL 사업 운영관리비 구조분석

BTL 사업 기획단계에서의 운영비 산출은 PSC와 PFI의 사업 방식에 따라 틀려지게 되며, 운영형태를 어떻게 결정하느냐에 따라 비용계산 방식이 틀려지게 된다.

운영비의 경우 발주변들에 포함되는 학교의 연면적과 학교간 거리, 차량이동거리의 산정여부 등에 따라 비용이 변화하게 되며, 최적화된 값을 구하기 위해서는 우선적으로 발주변들을 구성해야 한다. 교육시설물 BTL 사업의 운영관리비를 산출하기 위한 Process를 도식화하면 다음의 그림 6과 같다.

시설관리비는 일상점검을 실시하는 운영관리업체의 비용에

대한 계산항목으로써, PSC는 실적단가를 이용하여 산정하고, PFI는 시설관리 투입인원을 BTL 사업 성과수준 요구서에 명시되어있는 업무를 수행하기 위해 필요한 인원을 산정하여 계산하게 된다. 본 연구에서는 해당학교별 소요인원 업무량 산정기준은 선행연구에서 제안한 기준⁵⁾을 따라 산정하도록 하는 것으로 한다.

위생관리비는 1일 청소업무와 관련된 용역비용에 대한 계산항목으로써, 크게 모두상주 방식(PFI)과 일부상주 일부이동(PFI 대안1), 모두이동(PFI 대안2)으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 PSC와 PFI 사업에 대한 위생관리비 산정을 위한 기준으로는 선행연구⁶⁾에서 제안된 기준을 사용하도록 한다.

경비용역비는 변들 내 학교시설물에 대한 경비용역에 대한 비용으로써, 크게 유인경비와 무인경비로 구분될 수 있다. 무인경비의 경우 기존의 실적자료 단가⁷⁾를 기준으로 산정하였으며, 유인경비의 경우 경비원 급여 원가 산출표⁸⁾를 이용하여 산정하였다.

안전점검비는 시설물에 대한 정기점검 비용 항목으로써 크게 정기점검비와 정밀안전진단비, 전기설비점검비, 기계설비점검비, 소방설비 점검비의 다섯 가지 항목으로 구성되어 있다.

BTL 사업의 운영관리비 구조 및 산출방법을 정리하면 다음의 표 3과 같다.

5) 석현수 외 3명 (2007). “회귀분석을 이용한 합리적인 교육시설물 점검시간의 산정 기준 도출에 관한 연구.” 교육시설, 한국교육시설학회, pp. 34~42.

6) 이은동 (2007) “교육시설물 BTL 사업 VFM 평가항목의 운영비 중 위생관리비 산정기준 및 시스템 개발에 관한 연구.” 홍익대학교 석사학위 논문.

7) 충청남도교육청 (2006). “학교시설 유지관리비용 · 교육환경개선사업 투자실적 분석 및 개선방안에 관한 연구.”

8) 노동부 (2007). “경비원 급여 원가 산출표, 12시간 맞교대/30% 감액/휴게시간.”

표 3. BTL 사업 운영관리비 항목별 산출방법

시설관리비	인건비	일상점검 투입인원 x 1인당 인건비
	이동경비	일상점검 거리 x 거리당 차량경비
위생관리비	인건비	위생관리 투입인원 x 1인당 인건비
	이동경비	일상점검 거리 x 거리당 차량경비
경비용역비	무인경비	대상시설 연면적 x 면적당 단가
	유인경비	투입인원 x 1인당 인건비
점검비	정기점검	정기점검 투입인원 x 1인당 인건비
	정밀점검	정밀점검 투입인원 x 1인당 인건비
	전기점검	회당 점검비용 x 운영기간동안 총 점검회수
	소방점검	회당 점검비용 x 운영기간동안 총 점검회수
	기계점검	회당 점검비용 x 운영기간동안 총 점검회수

3.2 운영관리비용 영향인자 도출

운영관리비는 해당 시설물에 투입되는 인원을 산출한 인건비에서 추출하는 비용과 운영기간 중의 시행횟수에 회당 투입비용을 곱하여 산정하는 비용으로 구분된다.

시설물에 투입되는 인원을 산정하여 소요인건비를 산정하는 비용은 시설관리비와 위생관리비, 경비용역비이며, 운영기간 내 시행횟수에 의해 산정되는 비용은 안전점검비이다.



그림 7. 운영관리비 예측 시 영향인자 도출

따라서 운영관리비 예측 시 영향인자는 다음의 그림 7과 같이 도식화할 수 있다.

상단의 그림 7에서 나타나는 바와 같이, 운영관리비는 시설관리비, 위생관리비, 무인경비, 유인경비 등과 같은 각 해당비용항목이 독립적으로 산출되게 된다.

교육시설물 BTL 사업은 여러 개의 시설물을 하나의 단위사업으로 구성하게 되며, 따라서 상단의 그림 7의 비용항목 중 단위사업 구성방식과 운영관리 형태변화에 따라 그 비용이 변화하는 가장 큰 항목은 시설관리비와 위생관리비로써, 이 비용들은 운영관리 사업형태에 따라 단위사업에 투입되는 인원과 이동에 소요되는 비용예측방식이 변화하게 된다.

시설관리비와 위생관리비에 대한 예측 프로세스 모델은 다음의 그림 8과 같이 정리될 수 있다.

안전점검비와 경비용역비의 경우, 시설물 전체 연면적 대비 금액을 산정하는 방식으로 예측하게 되며, 운영관리 형태변화에 따른 비용의 변화는 발생하지 않는 항목이다.

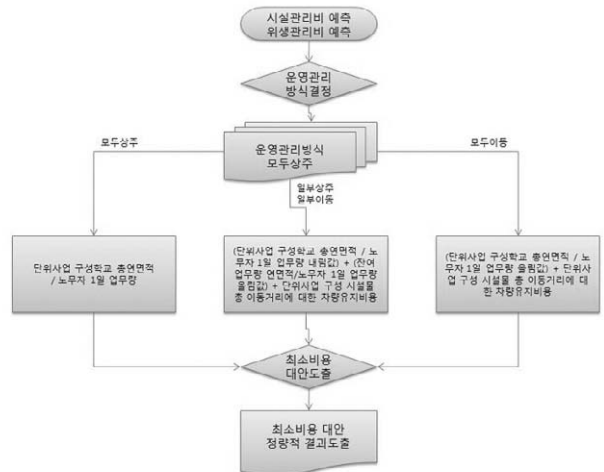


그림 8. 운영관리 형태변화에 따른 비용산출

그러나, 경비용역비의 경우 단위사업 구성 시설물의 개수에 따라 그 총비용이 변화하게 되는 항목으로써, 단위사업 구성 시설물 조합에 따라 발주비용의 차이가 발생한다.

따라서 교육시설물 BTL 사업 운영관리비 예측 시 가장 큰 영향을 미치는 요인은 운영관리 사업형태와 단위시설물에 포함되는 시설물의 총 개수, 단위사업에 포함되는 시설물간의 거리라 할 수 있다.

3.3 운영관리비 예측 최적 알고리즘

(1) 순환외판원 문제(Traveling Salesman Problem)⁹⁾

순환외판원 문제(Traveling Salesman Problem : 이하 TSP)는 그래프가 주어지고, 각 변에 가중치(길이 등)가 정해져있는 경우, 이 그래프의 정점을 모두 통과하여 가중치의 합이 최소로 되는 경로(폐로)를 구하는 문제¹⁰⁾로써, NP 완전문제(NP-Complete Problem)에 속하는 것이다.

NP 완전문제란 P≠NP인 문제를 의미한다. 여기서 P란 클래스 P(Class P)에 속하는 문제를 의미하여, NP란 클래스 NP(Class NP)에 속하는 문제를 의미한다.

클래스 P문제는 어떠한 알고리즘¹¹⁾의 사용을 통해 효율적인 조작이 가능할 수 있는 문제들을 다항식 시간(polynomial time) 안에 풀 수 있는 문제들을 의미한다. 이에 반해 클래스 NP에 속한 문제들은 비결정성 알고리즘(Non-deterministic Algo-

9) 조창연 (2008). "BTL 사업 기획단계 정량적 최적대안 예측 시스템 개발." 홍익대학교 박사학위논문, pp. 105-110.
 10) 박지환 외 (1999). 알고리즘과 데이터구조, 홍릉과학 출판사, pp. 410.
 11) 이때의 알고리즘을 결정성 알고리즘(deterministic algorithm)이라 함

rithm)을 사용하면 다항식 시간 안에 풀 수 있는 문제들을 의미한다.

비결정성 알고리즘이란 개개의 단계에서 취할 수 있는 길이 몇 개 정도로 나뉘어져 있어서 그 중에 적당한 것을 골라 진행을 하는 것과 같은 형태의 알고리즘을 의미한다. 즉, 어떠한 길을 선택하는 것이 다른 길을 선택하는 것 보다 확연하게 효율적이라거나 선택되어야하는 이유가 존재하는 것이 아닌, 어느 것이든지 아무거나 하나를 선택해야만 하는 상황 하에서 무작위적(Random)으로 선택하게 되는 것을 의미한다. 따라서 비결정성 알고리즘을 사용하여 선택된 해 중에서 가장 좋은 해를 얻을 가능성이 높은 것을 운 좋게 선택했을 때, 다항식 시간 안에 해가 발견되는 문제의 집합이 NP 클래스인 것이다.¹²⁾

비결정성 알고리즘은 경로탐색을 위해 깊이 우선 탐색과 너비 우선 탐색을 병행하여 진행한다. 깊이 우선 탐색은 무작위로 선택한 한 경로를 따라 계속 선택해서 나아가는 것을 의미하며, 이 길이 막힌 경우 또는 비효율적이라 판단될 경우 그 경로를 폐쇄하고 다시 다른 경로를 찾아서 새로운 경로를 찾아가는 것을 너비 우선 탐색이라 한다.

P=NP문제(P=NP Problem)란, 클래스 NP에 속한 문제 중 다항식 시간의 알고리즘으로 풀리는 경우가 나타나게 되면 클래스 P 문제와 동일하게 되는 것을 말한다.¹³⁾

NP 완전문제란 클래스 NP이면서 NP근란(NP-Hard)문제에 속하는 문제를 말한다. 이 정의에 의하면 P=NP 문제는 NP완전 문제에 효율이 좋은 알고리즘이 존재하는가 하는 문제로 대치된다.¹⁴⁾

이러한 NP 완전문제에 속하는 TSP를 풀기 위한 알고리즘들은 여러 가지가 있다. 그 중 분기한정법(Branch and Bound) 알고리즘은 최적화 문제를 풀기위한 것으로서, 최대값 또는 최소값 문제를 구하기 위해 사용되는 알고리즘이다.

분기한정법은 각 노드의 한계(Bound) 값을 이용하여 고려해야할 후보 해답의 수를 더욱 감소시켜주는 방법이다. 각 부분 노드는 다시 분해되기 때문에 전체로서 나무 구조로 분해 조각을 표시할 수 있다. 부분 문제로 분해할 때 국소적 최적해(最適解)의 하계(상계)를 이용하여 원래 문제의 최적해를 부여할 가능성이 없는 부분 문제에 대한 분기를 한정함으로써 고찰해야 할 경우의 수의 삭감을 도모하는 방법¹⁵⁾이다.

TSP의 분기한정법은 1954년 Dantzig와 Fullkerson &

Johnson의 논문에서 제일 처음 제시되었으며, 1963년 Little, Murty, Sweeney & Karel의 논문에서 제일 처음 Branch and Bound란 용어를 사용하였다.¹⁶⁾ Branch and Bound 방식은 문제를 더 작은 집합으로 나누어 각 서브 집합의 목적함수(Object Function)의 한계 값(Bound)을 계산한다. 즉, 주어진 문제에 대해 한계 값을 더 작게 또는 더 쉽게(Relaxed) 바꾸는 과정을 계속 반복하여 쉽게 해를 구할 수 있을 때까지 계산하게 된다.

그러나 본 연구와 같은 그룹 프로젝트의 운영관리 형태는 TSP로 바로 정의되기에 어려움이 따른다.

일반적으로 TSP의 경우, 통과해야하는 정점의 개수가 한정되어 있는 상황 하에서 각 정점간의 가중치 값을 이용하여 분기한정법과 같은 알고리즘을 사용하여 최적경로에 대한 값을 도출하게 된다. 그러나 본 연구의 대상인 그룹 프로젝트의 경우 정점의 개수가 한정되어 있다 해도, 각 정점들 중 어떠한 조합이 최적의 비용조합을 가질 수 있는냐의 문제로 귀결되기 때문에 총 정점들간의 이동거리 최적화와 같은 방식으로 문제를 바로 접근할 수는 없다.

따라서 그룹 프로젝트를 TSP화 하기 위해서는 주어진 제한조건(Constraint)을 이용하여 어떻게 정점들의 그룹을 나누어주느냐가 각 정점의 최적화 그룹을 도출하기 위한 선결조건이라 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 그룹 프로젝트의 운영관리비용 최적화를 위한 그룹 구성방안으로써 클러스터링 알고리즘을 사용하였다.

3.4 군집화 알고리즘(Clustering Algorithm)

본 연구에서는 정점들을 일정한 조건에 의해 묶어주기 위하여 군집화 알고리즘(Clustering Algorithm)을 사용하였다. 군집분석이란 의미 있거나, 유용성이 있거나, 혹은 의미와 유용성 모두 있는 그룹으로 데이터들을 분할하는 것이다. 군집분석의 목적이 의미있는 그룹으로 분할하고자 하는 것이라면, 군집들이 데이터 자체의 기본 구조를 포함하여야 한다¹⁷⁾.

군집화는 계층 군집화(Hierarchical Clustering)과 분할 군집화(Partitional Clustering)로 나눌 수 있으며, 배타적(Exclusive) 군집화와 중첩적(Overlapping) 군집화, 비배타(Non-Exclusive)군집화로 나눌 수 있다.

계층 군집화는 군집이 다른 하위 군집들을 가지는 군집화를

12) 박지환 외 (1999). 알고리즘과 데이터구조, 홍릉과학 출판사, pp. 408.

13) 상동, pp. 409.

14) 상동, pp. 410.

15) 분기한정법의 정의, 두산동아사전.

16) T.B. Boffey(1982). Graph Theory in operations research, Macmillan Press Ltd, Hongkong, pp. 148-15.7.

17) Pang-Ning Tan 외, 용환승 외 번역(2007). Introduction to Data Mining(데이터 마이닝), 인피니티 북스, pp. 486.

의미하며, 분할 군집화는 데이터 객체들을 중복이 없는 부분집합으로 나누는 것이다. 분할 군집화나 계층 군집화와 같이 각각의 개체를 하나의 군집에 지정하는 경우를 배타적 군집화라 하며, 개체들이 하나 이상의 군집에 구성될 수 있는 경우 중첩 또는 비배타 군집화라한다.¹⁸⁾

또한 완전 군집화(Complete Clustering)와 부분 군집화(Partial Clustering)가 있는데, 완전 군집화는 모든 객체들이 군집에 속하도록 지정하는 것이고, 부분 군집화는 그렇지 않은 것을 의미한다.

이러한 군집화 알고리즘 중 대표적인 것은 K-means 알고리즘(K-means Algorithm)과 병합형 계층 군집화 알고리즘(Agglomerative Hierarchical Cluster Algorithm)이 있다.

K-means 알고리즘은 K개의 중심점¹⁹⁾들을 선택하여 각각의 점들을 가장 가까운 중심점에 지정시킨다. 각 중심점에 할당된 점들의 집합을 군집으로 설정하며, 다시 각각의 군집 중심점을 군집에 할당된 점들을 기반으로 하여 갱신시킨다. 이러한 할당과 갱신 단계를 반복하여 어떤 점도 군집이 바뀌지 않거나 또는 중심점들이 동일하게 유지될 때까지 계속해서 군집화를 하는 알고리즘이다. 이때 중심점과 다른 점들간의 거리를 구하기 위해 유클리디안 거리(Euclidean Distance)를 사용하거나 코사인 유사성(Cosine Similarity)을 사용하게 된다. 유클리드 거리는 유클리드 공간에 있는 데이터 점간의 군집화 시 사용하며, 코사인 유사성은 문서데이터를 군집화할 때 주로 사용된다²⁰⁾.

병합형 계층 군집화는 각 점들을 별개의 군집들로 만들어 시작점을 삼고, 각 단계마다 가장 가까운 군집들을 합하는 방식으로 군집화하는 알고리즘이다. 이때 이 방법을 사용하기 위해서는 군집 접근성에 대한 정의를 하는 것이 필요하게 된다. 병합형 계층군집화는 반대로 분할형(Divisive) 군집화도 가능하게 되는데, 분할형 군집화는 모든 것을 포함한 하나의 군집에서 시작해서 각 단계별에서 개별적인 점이 있는 단일 원소 군집이 남을 때까지 군집을 나누는 알고리즘이다. 이 경우 각 단계에서 어떤 군집을 나누고, 어떻게 나눌 것인지에 대해 결정해주어야 한다.²¹⁾

본 연구에서 사용되어야 하는 알고리즘은 다음의 그림 9와 같은 상황들을 해결할 수 있어야 한다.

다음의 그림 9에서 나타나는 바와 같이, 그룹 프로젝트로 발주되는 시설물들간의 거리는 유클리디안 거리로 정의되기 어렵

다. 유클리디안 거리는 평면과 공간을 거리와 길이, 각도를 이용한 좌표계로 정의시킬 수 있어야 하나, 본 연구의 대상 시설물들은 지도상의 위도와 경도에 의한 좌표를 유클리디안 거리로 정의할 경우 각 시설물과 시설물간의 거리를 유클리디안 거리로 치환할 수 없다. 따라서 유클리디안 거리계를 사용하는 K-means 알고리즘을 본 연구에 적용하기에는 어려움이 있다.

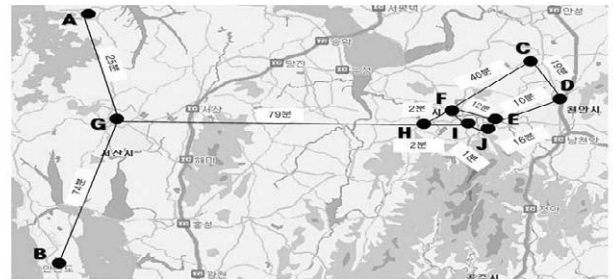


그림 9. 군집화 알고리즘이 해결해야하는 대상

따라서 본 연구에서는 계층군집화 알고리즘 중 병합형 계층군집화 알고리즘인 링크지 알고리즘을 사용하도록 한다.

계층군집화 알고리즘이란 처음에 각각의 데이터 점을 하나의 클러스터로 설정한 후 이들 쌍 간의 거리를 기반으로 하여 분할, 합병해 나가는 상향식(Bottom-Up) 방식으로 모든 점들이 하나의 대형 클러스터에 속하게 될 때까지 그 히스토리 정보를 유지해 나가게 된다. 이것은 Agglomerative Hierarchical Clustering이라 하며 ‘가까운’ 객체끼리 군집화시키는 방법으로, 이 알고리즘에서는 모든 n개의 데이터가 n개의 서로 다른 그룹이라 가정후, 그룹간의 유사성(Similarity)을 보고 가장 유사한 두 개의 그룹을 합병해(Merge) 그룹 수를 줄여가는 과정을 전제 그룹 수가 K개가 될 때까지 반복함으로써 K개의 그룹을 찾아낸다. 또한 군집의 병합 또는 분리되는 과정은 이차원 도면의 Dendrogram을 사용하여 간략히 표현되며 군집화 과정에서 어떤 개체가 일단 다른 군집에 속하면 다시는 다른 군집에 속하지 못하게 된다²²⁾.

표 4. 계층적 알고리즘의 종류 및 특징

알고리즘	특징
Single Linkage	군집과 군집 사이의 거리를 최단거리로 설정함
Complete Linkage	군집과 군집 사이의 거리를 최장거리로 설정함
Average Linkage	군집과 군집 사이의 거리를 각 군집 사이의 평균값으로 결정함
Centroid Linkage	각 군집간의 중심간의 거리를 군집간 거리로 결정함
Median Linkage	각 군집에 속하는 무작위 점 두 개 간의 거리의 평균을 군집간 거리로 결정함(단, 군집의 크기는 고려하지 않음)

18) 상동, pp. 490.

19) 이때의 k는 사용자가 명시하는 매개변수로서, 원하는 군집들의 개수를 의미함.

20) 상동, pp. 495~496.

21) 상동, pp. 513.

22) 유동하, "지식 발견 프로세스의 필수데이터 마이닝" <http://cafe.naver.com/tomasworld/19>

계층적 접근방법 알고리즘은 군집과 군집간의 거리를 계산하는 방식에 따라 다음의 표 4와 같이 다섯 가지 정도로 구분된다.

클러스터링 알고리즘에 사용되는 표현 방법은 다음과 같다. 일반적으로 p개의 변수를 서로 다른 두 개체 X_i 와 X_j 를 각각 다음과 같이 표현할 경우 $X_i = (X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ip})$, $X_j = (X_{j1}, X_{j2}, \dots, X_{jp})$ 라고 하며, 두 개체 사이의 거리 d_{ij} 는 $d_{ij} = d(X_i, X_j)$ 으로 표현하고, 다음의 조건 $d_{ij} \geq 0$, $d_{ij} = 0 \iff d_{ji} = d_{jik} + d_{jk} \geq d_{ij}$ 를 만족한다.

컴플리트 링크지 알고리즘은 클러스터링 알고리즘 중 병합형 알고리즘(Agglomerative Algorithm)에 속하며, 다시 병합형 알고리즘 중 계층 군집화 알고리즘(Hierarchical Clustering)에 속한다.

계층 군집화 알고리즘은 군집과 군집의 거리를 계산할 때, 노드들 간의 부분집합 중 가까운 거리를 계산하는 경우 근접성 기반의 군집(Contiguity-Based Clusters)을 만들어내는 싱글 링크지(Single Linkage) 알고리즘과 가장 먼 노드간의 거리를 군집간의 거리로 산정하는 컴플리트 링크지(Complete Linkage) 알고리즘, 두 그룹간의 평균거리를 군집간의 거리로 산정하는 평균거리 링크지(Averagy Linkage) 알고리즘으로 나뉜다.

이러한 계층 군집화 알고리즘 중 그룹을 만들어가는데 유리한 방식은 컴플리트 링크지 알고리즘으로써, 본 연구에서는 컴플리트 링크지 알고리즘 적용을 통한 운영관리 클러스터를 도출하는 것을 적용하도록 한다.

선행연구에서는 BTL 사업 운영관리를 TSP화는 컴플리트 링크지 알고리즘은 사용하였으나, 분기한정법을 통한 TSP 최적해를 구하는 것에 대한 연구의 진행이 미진하여 단위사업 구성 예측 개체 수 제한이 존재하였으나, 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 분기한정 알고리즘을 시스템에 도입함으로써, 시설물 개체 수 제한을 현행 교육시설물 단위사업 구성 기획단계 예측량까지 가능할 수 있도록 설계하였다.

4. 운영관리비 예측 최적시스템 구축 및 검증

4.1 시스템 설계

운영관리비는 크게 시설관리비, 위생관리비, 경비용역비 및 안전점검비의 네 가지 항목으로 구성되며, 각 항목이 연산되기 이전에 단위사업 시설물 조합이 완료되어야 한다. 따라서 각각의 개별비용은 다음과 같은 연산 카테고리를 가지게 된다.

(1) 운영관리비 연산을 위한 단위사업 시설물 조합 연산

운영관리비 연산을 위한 단위사업 시설물 조합방법은 앞의 제 4장에서 언급한 바와 같이 현행 교육시설물 BTL 사업에 대한 운영관리비에 대한 연산인가 운영관리비만을 BTL 사업형태로 진행하고자 하는 운영관리비에 대한 연산인가에 따라 다르게 구성되게 된다.

현행 BTL 방식일 경우는 시설투자비의 공사비 도출단계에서 실시한 단위사업 시설물 조합결과를 그대로 사용하며, 운영관리비만을 고려할 경우 클러스터링 알고리즘 적용을 통한 조합을 사용하게 된다.

따라서 이를 도식화하면 다음의 그림 10과 같다.

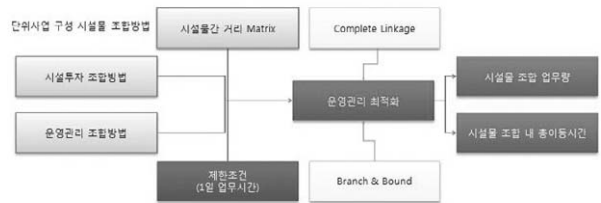


그림 10. 운영관리 단위사업 시설물 조합 연산관계

(2) 시설관리비 연산단계 규명

시설관리비는 조합된 단위사업 대안에 대한 전체 연면적에서 해당 시설물에 대한 업무량을 산정한 후, 산정된 업무량에서 추출한 시설물 관리 업무시간과 단위사업 시설물 조합 연산단계에서 추출한 단위사업 시설물 조합 내 총 이동시간을 합산한 시간에 대해 제한조건인 1일 작업시간에 대한 효율성을 검토하여 적정 투입인원을 도출하게 된다. 따라서 시설관리비 연산단계를 도식화하면 다음의 그림 11과 같다.

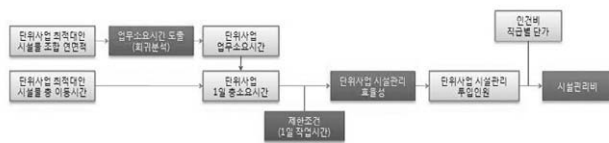


그림 11. 시설관리비 연산관계

(3) 위생관리비 연산단계 규명

위생관리비는 조합된 단위사업 대안에 대한 전체 연면적에서 최적 인원을 도출해주게 되며, 도출된 최적인원에 대한 인건비 단가를 합산하여 줌으로써 비용을 산정하게 된다.

따라서 위생관리비 연산단계를 도식화하면 다음의 그림 12와 같다.

(4) 경비용역비 연산단계 규명

경비용역비는 유인경비와 무인경비의 두 가지 하위항목으로



그림 12. 위생관리비 연산관계

구분되며, 무인경비의 경우 시설물별 연면적에 면적당 실적단가를 곱하여 산정한다.

유인경비의 경우, 시설물당 1명씩이 투입되는 현재의 교육시설물 BTL 사업의 특성상, 단위사업 구성 시설물의 총 개수와 정비례하여 인원이 투입되게 된다.

따라서 경비용역비 연산단계는 다음의 그림 13과 같이 도식화할 수 있다.



그림 13. 경비용역비 연산관계

(1)항에서 도출된 운영관리비 개발비용항목별 입력 카테고리 및 관리 데이터를 정리하면 다음의 표 5와 같다.

표 5. 운영관리비목별 초기입력조건 및 관리데이터

구분	시설관리비	위생관리비	경비용역비	안전점검비
초기 입력 조건	운영관리 형태		시설물 총 개수 : 유인경비	운영관리 총기간 : 점검회수 산정
	형태별 투입인원		시설물별 연면적 : 무인경비	시설물 연면적 : 점검투입인원 산정
	이동거리			
관리 데이터	직급별 인건비 기준		유인경비 인건비 기준	점검투입인원 인건비 기준
	이동경비 기준		면적당 무인경비 실적단가	점검 회당 투입비용

4.2 시스템 구축

시스템 구축을 위해 본 연구에서는 크게 세 가지 프로그램을 이용하여 코딩(coding)을 하였다.

시스템 코어의 경우 학교 개체수가 늘어날 경우 보다 효율적인 작업수행을 위해 Visual C++ Ver.6.0을 이용하였으며, DB 구축은 안전성과 보안성이 뛰어난 Oracle 사의 Oracle 10.2 버전을 이용하였다. 또한 오라클 DB와 시스템 코어의 연산을 수행할 수 있는 프로그래밍 툴로서는 델파이(Delphi)를 사용하였다.

비주얼 C++를 사용하는 시스템 코어와 델파이로 작성한 시스템간의 데이터 연동은 DLL 호출방식을 이용하였다.

(1) 시스템 코어 구축

시스템 코어에서 입력변수는 크게 관리변수와 초기입력변수의 두 가지로 구분되게 된다.

관리변수는 DB를 관리하기 위한 변수로써, 기존의 DB를 수정하거나 새로운 Data를 입력할 수 있게 구성하였다.

다음의 그림 14-(1)은 시스템이 연산을 하기 위한 기본조건에 대한 입력화면으로써, 대상학교에 대한 이름과 등급, 해당학교의 연면적 및 예상 공사비, 신개축 여부를 결정하게 된다. 공용면적 데이터는 연면적을 입력하면 자동적으로 연면적의 35%로 산출되게 된다. 등급은 크게 P(초등학교 : Primary School), M(중학교 : Middle School), H(고등학교, High School)로 구분되어 입력되게 된다.

유지관리 대상학교	학교간 거리	별주변별	시설관리비	공공관리비	경비용역비	안전점검비	보통료	최종산출물
학교명	등급	공용면적(m ²)	공사비(원)	신/개축	연면적(m ²)			
1 1	p	3,900	11,405,000,000	☑	11,115			
2 2	m	3,442	10,080,000,000	☑	9,833			
3 3	p	2,767	8,112,000,000	☑	7,906			
4 4	p	3,320	9,734,000,000	☑	9,487			
5 5	p	3,358	10,580,000,000	☑	10,165			
6 6	p	740	21,999,000,000	☑	2,113			
7 7	m	3,442	10,080,000,000	☑	9,833			
8 8	m	1,819	5,409,000,000	☑	5,196			
9 9	p	3,320	9,734,000,000	☑	9,487			
10 10	m	946	2,812,000,000	☑	2,702			
11 11	p	2,767	8,112,000,000	☑	7,906			
12 12	h	4,364	12,764,000,000	☑	12,440			
13 13	h	4,364	12,764,000,000	☑	12,440			
14 14	h	1,702	5,239,000,000	☑	5,034			

(1) 학교 기본데이터 입력

유지관리 대상학교	학교간 거리	보통변수	시설관리비	공공관리비	경비용역비	안전점검비	보통료	최종산출물		
이동거리	시간	400	인원당 하루 단위	1322.42						
1 1	0	3	21	0	33	0	33	66	66	132
2 2	3	0	18	0	20	0	20	40	40	80
3 3	0	4	15	0	15	0	15	30	30	60
4 4	0	4	11	0	14	4	14	28	28	56
5 5	23	20	18	14	0	17	3	14	19	33
6 6	0	4	15	0	17	0	17	34	34	68
7 7	23	20	18	14	0	17	0	14	19	33
8 8	18	15	21	24	14	24	14	0	14	28
9 9	92	82	78	82	81	82	84	0	124	248
10 10	88	86	89	80	85	83	86	76	119	238
11 11	84	84	87	46	43	46	49	49	134	268
12 12	0	3	22	11	28	18	28	27	56	112
13 13	18	13	18	7	19	10	19	21	49	98
14 14	11	8	20	9	22	8	22	27	59	118

(2) 학교간 거리 데이터 입력

그림 14. 시스템 코어 실행화면

14-(2)의 화면은 운영관리 소요인원(시설관리인원 및 위생관리인원) 산정을 위한 시간을 도출하기 위해 각 시설물간 거리를 입력하는 화면으로, 이 Data를 활용하여 컴플리트 링키지 알고리즘과 브런치 앤 바운드 알고리즘을 이용하는 시스템 코어가 연산을 수행하게 된다.

(2) 시스템 개발 및 DB 구축

델파이와 오라클 10.2를 활용하여 데이터베이스를 구축하였으며, 다음의 그림 15와 같이 코드가 등록된 학교들에 대한 세부

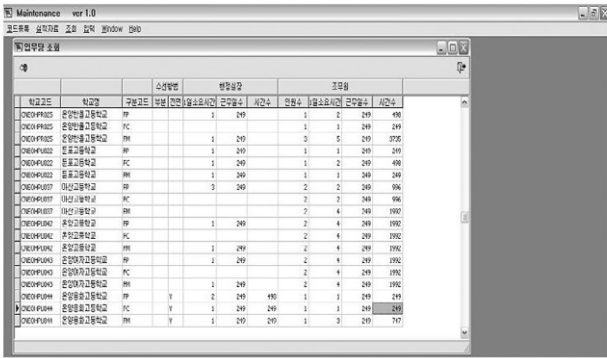


그림 15. 행정실장 및 조무원 업무량 조회 화면

적인 DB 내용 중 행정실장 및 조무원의 업무량을 조회하고 필요한 부분에 대해 수정할 수 있게 하였다.

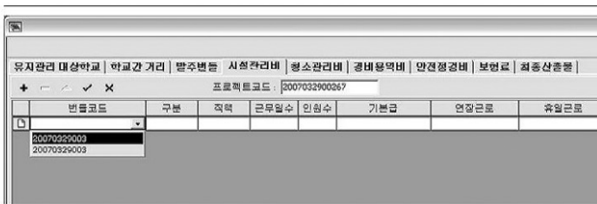
앞서 4.1 절에서 언급한 바와 같이, 시스템 초기데이터는 엑셀파일의 Data를 Database 파일로 변환하여 업로드 시킬 수 있게 되어있으며, 개발된 시스템 내에서 DB 관리권한에 접속하게 되면 그림 15와 같이 개별적인 Data에 대한 수정이 가능해지게 된다.

(3) 비용산출 프로그램

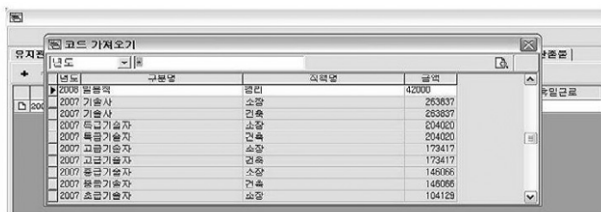
단위사업이 구성되고 나면, 실적자료 DB와 관련 법규 및 비용산출 근거 DB와 프로그램이 연동되어 해당항목 운영관리비를 산출하게 된다.

다음의 그림 16은 각 비용항목별로 산출되는 화면들을 보여주는 것이다.

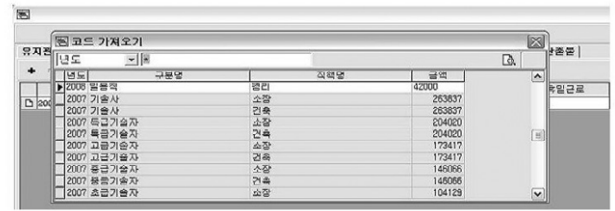
시설관리비 -> 위생관리비 -> 경비용역비 -> 안전점검비 등



(1) 번들 선택



(2) 직급별 인건비 선택



(3) 시설관리비 산출

그림 16. 비용산출 프로그램 동작화면 캡처

의 비용산출은 사용자가 해당 버튼을 클릭하면 자동으로 DB와 연계되어 해당 DB에서 필요로하는 비용을 꺼내올 수 있도록 구성하였다.

4.3 시스템 검증 및 효용성 검토

본 연구에서 구축한 시스템의 효용성을 평가하기 위하여 C고육청의 BTL 실적자료를 바탕으로 계산을 수행하였다.

다음의 표 6, 그림 17은 본 시스템의 검증을 위해 사용한 Data를 정리한 것이다.

표 6. 시스템 검증용 14개교 Data

번호	등급	연면적	부지면적	공사비	공용면적	학급수	구분
1	P	11,115	13,000	11,405,000,000	3,890	36	신축
2	M	9,833	12,942	10,089,000,000	3,442	30	신축
3	P	7,906	14,499	8,112,000,000	2,767	24	신축
4	P	9,487	12,708	9,734,000,000	3,320	30	신축
5	P	10,165	22,969	10,580,000,000	3,558	36	개축
6	P	2,113	13,900	21,999,000,000	740	20	증축
7	M	9,833	13,096	10,089,000,000	3,442	30	신축
8	M	5,196	22,842	5,409,000,000	1,819	12	개축
9	P	9,487	11,866	9,734,000,000	3,320	30	신축
10	M	2,702	28,359	2,812,000,000	946	12	증축
11	P	7,906	16,083	8,112,000,000	2,767	24	신축
12	H	12,440	14,185	12,764,000,000	4,354	36	개축
13	H	12,440	14,439	12,764,000,000	4,354	36	개축
14	H	5,034	33,131	5,239,000,000	1,762	38	개축



그림 17. 시스템 검증을 위한 데이터(14개교) 위치

수작업 수행을 통해 도출한 인원산출 결과 중 위생관리 인원 결과를 정리하면 다음의 표 7과 같다.

표 7. 수계산 산출결과

단위 사업	학교 번호	위생관리면적 (m ²)	위생관리 소요시간	상주인원	모두 상주	일부 이동
1	9	3320	20,08590961	2,510738702	3	2
	10	946	5,723274245	0,715409281	1	0
2	11	2767	16,74027467	2,092534334	3	2
	14	1762	10,66005203	1,332506504	2	1
	12	4354	26,34158146	3,292697683	4	3
	1	3890	23,5343941	2,941799262	3	2
	2	3442	20,82400629	2,603000786	3	2
	6	740	4,476979854	0,559622482	1	0
	4	3320	20,08590961	2,510738702	3	2
	3	2767	16,74027467	2,092534334	3	2
	13	4354	26,34158146	3,292697683	4	3
	7	3442	20,82400629	2,603000786	3	2
5	3558	21,52580313	2,690725392	3	2	
총합계						

그림 19. 1번 단위사업 시스템 연산결과

그림 20. 2번 단위사업 시스템 연산결과

본 연구에서 개발한 시스템의 연산 결과를 캡처한 것은 다음의 그림 18²⁴⁾과 같다.

그림 18. 단위사업 구성 및 소요인원, 최적경로 산출 결과

이때, 본 연구에서 개발한 시스템은 제일 처음의 시설물을 0으로 인식한다. 따라서 상단의 그림 19에 표현된 2007032900353 단위사업에 포함된 8, 9는 실제 9번 시설물과 10번 시설물을 의미한다.

2개 단위사업에 대한 PSC와 PFI 사업비 도출결과는 다음의 표 8과 같다.

표 8. 단위사업별 계산 결과

번호	단위사업 비목	1			2		
		PSC	PFI	적격성 (PSC-PFI)	PSC	PFI	적격성 (PSC-PFI)
1	시설관리비	35,951,837	29,419,414	6,532,423	283,234,464	234,248,835	48,985,629
2	위생관리비	63,202,959	61,984,830	1,218,129	483,874,565	419,910,118	63,964,447
3	경비용역비	29,715,262	28,938,576	776,686	203,786,139	198,459,653	5,326,486
4	안전점검비	9,300,730	9,057,631	243,099	19,524,864	19,014,531	510,333
5	합계	138,170,788	129,400,451	8,770,337	990,420,032	871,633,137	118,786,895

본 연구에서 제안하는 시스템의 연산결과는 다음의 그림 19, 20과 같다.

시스템 테스트 결과 수계산을 통한 작업과 시스템에서 도출하

24) 개발한 시스템은 처음 시작번호를 0으로 하기 때문에, 1번들의 8, 9는 실제 9번과 10번 시설물을 의미함.

는 비용은 동일하게 산출되는 것으로 증명되었다.

숙련된 작업자²⁵⁾가 작업을 하였을 때, 4.2절의 그림 14-(1),(2)의 데이터를 만드는데까지 소요되는 시간은 1일 ~ 1.5일 정도가 소요되었으며, 14-(1),(2)의 데이터 도출 이후 비용산출까지는 4일정도가 소요되었다.

또한, 수작업의 경우 단위사업을 나누는 것에 대해서는 선행 연구²⁶⁾되었던 프로그램을 활용한 것으로서, 프로그램이 없는 경우 단위사업 구성에 대해서 해당 교육청과 적격성 평가를 진행하는 업체와의 의사결정에 1주일 이상이 소요되고 있다.

이에 대해 본 연구에서 제안하는 시스템이 번들을 구성하고 해당항목 비용에 투입되는 인원수 산출까지 걸리는 시간은 1초 미만으로, 개체수 20개까지는 1초 미만으로 연산이 가능하게 된다.²⁷⁾

또한 수계산 작업 시 이동경로에 대한 최적경로에 대한 계산도 따로 수행되어야 하나, 본 연구에서 제안하는 시스템의 경우 자동으로 최적경로를 도출해주게 된다.

본 연구에서 제안하는 시스템과 수작업, 기존에 개발된 프로그램에 대한 작업효율성 결과를 분석하면 다음의 표 9와 같다.

본 연구에서 개발된 시스템의 가장 큰 효과는 표 9에서 나타나는 바와 같이 현재 정확한 산출근거 없이 이루어지던 단위사

25) BTL 적격성 평가 관련 프로젝트를 5회 이상 수행한 석사과정 대학원생인.
26) 이은동 (2007). "교육시설물 BTL 사업 VFM 평가항목의 운영비 중 위생관리비 산정기준 및 시스템 개발에 관한 연구." 홍익대학교 석사학위 논문.

27) 20개가 넘어가는 경우 경우의 수가 증가하기 때문에 20개씩 끊어서 계산하도록 설계하였음. 현재까지 발주된 교육시설물 BTL 사업 사례들의 경우 최대 15개 정도이기 때문에 본 시스템의 최대 개체수인 20개는 유의미한 것으로 판단됨.

표 9. 수작업을 이용한 계산과 시스템간의 작업효율성 비교분석

구분	수작업	선행연구 프로그램	제안 시스템
단위사업구성	산정 불가	1초 미만	1초 미만
단위사업개체수	9개 시설물	9개 시설물	20개 이상
최적경로도출	전체계산	전체계산	분기한정 알고리즘
단위사업비용별 소요인원도출	1일 이상	5초 미만	1초 미만
운영관리 비용별 산출	4~5일	없음	5분 이내

업 구성방안에 대해 컴플리트 링키지 알고리즘과 분기한정 알고리즘을 활용한 정량적 방법으로 최적 단위사업 대안을 도출해주는 것에 있다 하겠다.

이를 통하여 발주자는 기존에 직관과 수작업에 의존하던 단위사업 구성에 대해 보다 정량적인 방법을 활용할 수 있을 것이며, 이를 통해 기수행된 단위사업구성을 위한 의사결정을 보다 효율화시킬 수 있을 것으로 기대된다.

따라서, 본 연구에서 제안하는 비용예측 시스템의 효율성은 있다고 볼 수 있다.

5. 결론 및 향후연구계획

본 연구에서는 교육시설물 BTL사업의 적격성 평가항목 중 운영관리비 항목에 대해 발주변들 구성에 따른 비용예측이 가능한 초기단계 시스템을 제안하고, 제안된 시스템에 대한 구축 및 검증을 실시하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 선행연구를 바탕으로 교육시설물 BTL 사업의 적격성 평가항목 중 운영관리비의 비용구조를 분석하고, 발주변들 변화에 따른 시설물 운영관리비용 변화 예측이 가능한 시스템 형태를 제안하였다.

(2) 운영관리 단위사업구성을 위한 시스템 코어의 연산 알고리즘으로 컴플리트 링키지와 브런치 앤 바운드 알고리즘을 이용하는 것을 제안하였으며, 이를 활용한 비용예측 시스템 코어 설계 및 구축을 실시하였다.

(3) 운영관리 단위사업 구성과 번들별 비용산출을 시스템화하기 위한 운영관리비 산출 프로세스를 규명하였으며, 규명된 프로세스를 기반으로 델파이 랭귀지와 오라클 데이터베이스를 활용한 운영관리비용 예측 시스템을 구축하였다.

선행연구 분석결과 교육시설물 BTL 적격성 평가단계에 대한 연구나 시스템들은 현재 개발되거나 적용된 사례가 있었으나, 기획단계에서의 발주자 의사결정 지원을 위한 예측연구는 진행

된 것이 없었으며, 따라서 본 연구의 결과는 BTL 사업 기획단계에서의 발주자 의사결정 지원 근거자료로서의 효율성이 있다고 판단된다.

또한 비용예측의 신뢰도를 향상시키기 위하여 기수행된 실적자료 데이터베이스 구축을 통한 비용산정이 가능하도록 함으로써, 기획단계에서 발생하는 비용예측 편차를 최소화할 수 있는 정량적 예측이 가능하도록 시스템 개발을 유도하였다.

그러나 컴플리트 링키지 알고리즘의 경우 시설물의 면적데이터를 활용하지 않고 거리간의 데이터를 기반으로 연산을 하기 때문에 면적과 거리 관계에 의해 도출될 수 있는 최적화된 비용산출까지는 예측할 수 없는 단점이 나타났다.

따라서 향후 진행되는 연구에서는 본 연구에서 제안한 초기단계 시스템을 기반으로, 컴플리트 링키지 알고리즘이 가지는 한계점을 극복하기 위하여 대상시설물 면적과 대상시설물간의 거리에 대한 관계를 동시에 고려할 수 있는 알고리즘의 추가적인 개선과 개발이 필요할 것으로 사료된다.

시스템에 대한 추가적인 개선이 이루어지게 되면, 발주변들 구성 학교의 변화 시 보다 효율적이고 정확한 교육시설물 BTL 사업의 운영관리비 시뮬레이션을 가능하게 할 수 있으며, 이를 통해 사업제안자(교육청)나 사업참여자(SPC) 모두에게 보다 최적화된 사업형태에 대한 의사지원 역할을 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 기획예산처(2007). “07년 BTL 사업시행지침(안).”
2. 김장영 외 (2007). “시스템다이나믹스를 활용한 교육시설 BTL 사업 투자가치 모형구축.” 건축학회 논문집 구조계, v.23 n.1, 대한건축학회, pp.147-153,
3. 노동부 (2007). “경비원 급여 원가 산출표, 12시간 맞교대 /30% 감액/휴게시간.”
4. 박문선 외 (2007). “교육시설 BTL 사업의 유지관리비용 비교 분석을 통한 비용추정 개선방안에 관한 연구.” 건설관리, v.8 n.6, 시스템 모듈개발, 한국건설관리학회, pp. 139-149.
5. 석현수 외 3명 (2007). “회귀분석을 이용한 합리적인 교육시설물 점검시간의 산정 기준 도출에 관한 연구.” 교육시설, 한국교육시설학회, pp. 34~42.
6. 손기영 외 (2006). “교육시설 BTL 사업의 투자가치 평가를 위한 운영비 모형구축.” 건설관리, v.7. n.6, 한국건설관리학회, pp. 141-150.
7. 손재호 외 1명 (2006). “합리적 교육시설물 유지보수 및 공사비 예측을 위한 BTL 적격성 평가시스템 개발에 관한 연구.” 건설관리학회 논문집.
8. 손재호 외 1명 (2007). “교육시설물 BTL 사업 운영관리비용 Simulation System Structure 개발연구,” 홍익대학교 산업기술연구소,
9. 이미영 외 (2006). “BTL 사업의 적격성 평가를 위한 분석모형 개발.” 대한건축학회 구조계 논문집, v. 22 n.7, 대한건축학회, pp. 131-139.
10. 이은동 (2007). “교육시설물 BTL 사업 VFM 평가항목의 운영비 중 위생관리비 산정기준 및 시스템 개발에 관한 연구.” 홍익대학교 석사학위 논문.
11. 이은동 외 (2007). “교육시설물 BTL사업의 유지관리 시스템 모듈개발.” 건설관리, v.8 n.5 pp. 132-141.
12. 조창연 (2008). “BTL 사업 기획단계 정량적 최적대안 예측 시스템 개발.” 홍익대학교 박사학위논문, pp. 105-110.
13. 조창연 외 (2008). “컴플리트 링키지 알고리즘을 이용한 교육시설물 BTL사업 유지관리변들 구성방안에 관한 연구.” 교육시설, 한국교육시설학회, pp. 5-17.
14. 충청남도 교육청 (2006). 학교시설 유지관리비용 · 교육환경 개선사업 투자실적 분석 및 개선방안에 관한 연구,
15. 충청남도 교육청 (2007). 유지관리 비용분석을 통한 BTL 사업의 합리적인 변들링 구성방안 연구,
16. 한국위생관리협회 (2007) “건축물 용도별 1인작업 평수 기준.”

논문제출일: 2008.04.29

심사완료일: 2008.10.13

Abstract

BTL (Build-Transfer-Lease) Project for Education Facilities are contracted as a package which consists of several education facilities. The general maintenance period of BTL project for education facilities is 20 years..

Thus, total cost variation largely depends on the accuracy of the maintenance cost forecasting in the early stage in the life cycle of the BTL Project.

This research develops a cost forecasting system using complete linkage algorithm and branch & bound algorithm to help in finding optimal bundling combination. This system helps owner's decision-making to estimate the total project cost with various constraints changing.

The result of this research suggests more reasonable and effective forecasting model for the maintenance facilities package in the BTL project.

Keywords : BTL project, Education Facilities, maintenance bundle, complete linkage algorithm, branch and bound algorithm