

컴플리트 링키지 알고리즘을 이용한 교육시설물 BTL사업 유지관리번들 구성방안에 관한 연구

A Study on Maintenance Bundle Alternatives of BTL Project for Educational Facilities Using Complete Linkage Algorithm

조 창 연* 손 재 호**
Cho, Chang-Yeon, Son, Jae-Ho

Abstract

BTL (Build-Transfer-Lease) Project for Education Facilities is contracted as a package which consists of several education facilities and its maintenance period 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 Projects. This research develops a method using complete linkage algorithm and branch & bound algorithm to help in finding optimal bundling combination. The result of this research suggests more reasonable and effective forecasting method for the maintenance bundle in BTL projects.

키워드 : BTL 사업, 교육시설물, 운영관리방안, 컴플리트 링키지 알고리즘, 브런치 앤 바운드 알고리즘

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

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

교육시설은 교육의 기능과 목적수행을 위해 건축 및 설치된 일체를 의미한다. 한미 FTA가 진행이 되면서 현재 국내 교육시장은 외국자본의 개방 압력에 시달리고 있다. 통계청의 자료¹⁾에 의하면 현재 국내 초·중·고등학교의 교사 1인당 학생수는 2005년 21명에서 2006년 20명으로 점점 감소하는 추세이나, 학급당 학급원 수는 2005년 33.7명에서 2006년 33.3명으로 감소되는 추세이나, 아직도 교원 확충에 비해 시설물 확충이 느리며, 또한 OECD 선진국 평균인 16.6명~13.4명대에 비하면 아직까지 높은 수준²⁾으

로, 국내외의 변화하는 환경을 고려할 때 국내의 교육환경이 국제경쟁력을 갖추기 위해서는 시설물에 대한 다방면에서의 투자가 요구되고 있는 실정이다.

현재 교육시설물에 대한 투자방식으로 각광을 받고 있는 BTL(Build-Transfer-Lease)방식은 민간업체가 자금을 투자하여 공공시설물을 건설하고, 이에 대한 운영비용을 정부가 지급해주는 방식으로써, 기존 정부발주방식과 다르게 한번 발주 시 여러 개의 학교가 1개 발주그룹으로 묶여 발주되며(발주번들 : Bundle), 이로 인해 사업에 참여하는 SPC(Special Purpose Company)의 자금력을 비롯한 시공능력, 시설물 운영능력 등 여러 가지 요인들에 대한 철저한 사전검증이 필요하다.

또한, 각 사업별 운영기간이 완공 후 20년이며, 수익자 부담원칙으로 사업을 진행하는 BTO방식과는 다르게, 운영비를 정부가 분할상환한다는 점을 감안할 때, 20년간 지불될 유지관리 비용에 대한 검증을 통한 정부의 운영비용 절감의지 또한 요구된다 하겠다.

* 정희원, 홍익대 일반대학원 건축공학과 박사과정

** 정희원, 홍익대 건축공학부 부교수, 공학박사

※ 이 논문은 2006학년도 홍익대 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음

1) 교원 1인당 학생수 및 학급당 학생수, 교육인적자원부, 2008

2) 교사 1인당 학생수 및 여교사비율, OECD 통계, 통계청, 2008

그러나 현재까지 진행된 선행연구들은 적격성 평가단계의 개별비용간 연관관계에 대한 규명에 집중되어 있으며, 능동적인 번들링 구성을 통한 비용절약 노력에 대한 연구는 아직까지 미흡한 실정이다.

이에 본 연구에서는 BTL 사업비 항목 중 유지관리 비용에 대한 합리적인 산출을 위한 기초연구로써, 컴플리트 링키지 알고리즘을 이용한 BTL 사업 유지관리 번들구성방안에 관한 합리적인 대안을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 BTL 사업 적격성 평가 시 산출하는 비용 항목 중 운영관리비 항목에 대한 프로세스 개선을 그 연구의 범위로 한다.

이를 위해, 본 연구에서는 클러스터링 알고리즘 중 컴플리트 링키지 알고리즘을 활용한 운영관리비용 산정 프로세스 개선방안을 도출하고, 가상의 학교들에 대한 실험을 통해 컴플리트 링키지 알고리즘의 운영관리 프로세스 개선 적용 타당성을 검토한다. 또한, 도출된 번들 내에 필요한 운영관리원 산출 및 번들 내 최적경로계획을 위해 분기한정 알고리즘을 적용하고, 두 알고리즘의 효용성 검증을 위해 기수행된 BTL 사례에 적용하여, 두 알고리즘의 효용성에 대한 검증을 수행한다.

2. 예비적 고찰

2.1 BTL 사업의 정의 및 추진현황 조사

BTL사업이란 ‘민간이 자금을 투자하여 사회기반시설을 건설(Build)한 후 국가 혹은 지자체로 소유권을 이전(Transfer)하고, 국가 또는 지자체에 시설을 임대(Lease)하여 투자비를 회수하는 사업방식’이라고 정의³⁾된다.

BTL 사업방식의 대상시설 중 교육시설물은 ‘2008년 교육시설 BTL 사업 계획안’(교육인적자원부, 2008)에 의하여 택지개발지역 등 인구증가 지역의 학생 수용을 위한

표 1. 교육시설물 BTL 사업규모

(단위 : 억원)

| 구분 | | '06년 | '07년 | '08년(안) | 향후 |
|-------|-----|-------------|-------------|------------|-------------|
| 초·중·등 | 신축 | 26,403(280) | 11,620(115) | 8,906 (93) | 32,069(332) |
| | 개축 | 7,004(74) | 4,950(59) | 621(7) | 3,258 (33) |
| | 소규모 | 3,751(334) | 5,135(328) | - | - |
| 합계 | | 37,158 | 21,705 | 9,527 | 35,327 |

※ ()는 학교수, 초·중등 신축은 예정·확정교부 단계에서 조정될 수 있음.

93개(8,806억원) 학교를 신설할 계획이다. 그리고 건물 경과연수가 30년 이상으로 정밀안전점검 결과 불안전시설로 판정된 7개(621억원) 노후학교를 개축할 계획이다. 소규모 시설의 경우 2007년 사업 이후 별도의 시설투자계획은 가지고 있지 않다.

2.2 교육시설물 BTL 사업 적격성 체계 및 비용 분석

교육시설물 BTL 사업의 적격성 평가단계에서는 PSC (Public Sector Comparator : 재정투자)로 발주되었을 때의 비용과 PFI(Private Finance Initiative : 민간투자)로 발주되었을 때의 예상비용을 산출하여 각 비용간의 비교·분석을 실시한다.

발주자는 이러한 적격성 평가를 통해 PSC로 발주되는 것 보다 PFI로 발주되는 비용이 저렴한 시설물들을 선별하여 BTL 사업으로 발주하게 된다.

BTL 사업 적격성 평가 시 비용은 크게 시설투자비와 운영비로 구성되며, 운영비는 <그림 1>과 같이 구성이 된다.

이 중 본 연구의 대상인 운영관리비는 크게 다섯 가지 항목으로 구성이 되며, 각각의 비용은 다음과 같은 항목으로 구성된다.

시설관리비는 일상점검을 실시하는 운영관리업체의 비용에 대한 계산항목이며, 청소용역비는 1일 청소업무와 관련된 용역비용에 대한 계산항목이다. 경비용역비는 번들 내 학교시설물에 대한 경비용역에 대한 비목이며, 안전점검비는 시설물에 대한 정기점검 비용 항목이며, 보험료는 운영관리기간 중 발생할 수 있는 인적, 물적 보험에 대한 비용 계산 항목이다.

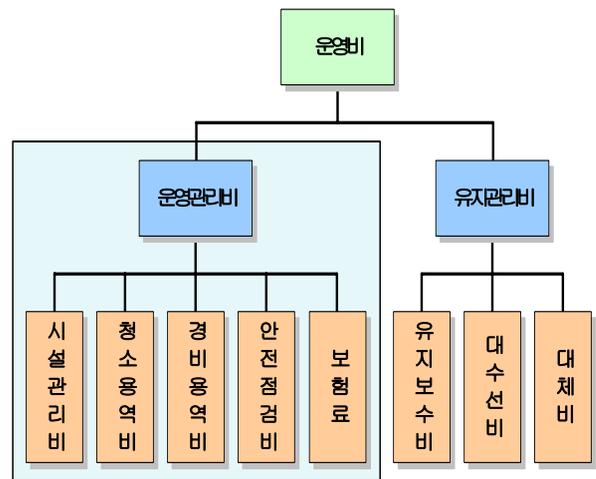


그림 1. BTL 사업의 운영비 항목

3) 민투법, 제4조 제2호 BTL방식의 정의

2.3 교육시설물 BTL 사업 운영관리의 특징

BTL 방식에 의해 건축되는 학교는 기존 재정사업으로 건축한 학교와 다르게 완성학급을 기준으로 체육관, 급식실 등 지원시설을 포함하여 완공되므로 개교와 동시에 쾌적한 교육환경조성이 가능하다. 또한, 전문성을 가진 민간사업자가 시설 완공 후 20년간 시설유지·보수, 청소, 경비 등 학교 시설운영 전반을 책임짐에 따라 학생들에게 질 높은 서비스 제공하며, 교사들은 수업 등 학사행정에만 전념할 수 있다는 장점이 있다.

그러나 학교에 배치된 관리직원의 소극적인 업무자세, 시급성을 요하는 보수가 조속히 해결되지 못하는 경우, 교육청에서 제시하는 RFP상에 포함되지 않는 문제가 발생하는 경우 등에서는 학교측과 민간사업자간의 분쟁이 예상된다.

또한, 여러 개의 학교가 번들로 묶여 발주되며, 운영기간이 20년으로 확정되어 있는 사업의 특성상 초기단계에서의 사업비 예측의 정확도에 따라 향후 20년간 진행되어질 시설물 운영관리에 대한 비용의 과다 또는 과소 계상으로 인한 발주자와 민간사업자간의 분쟁 역시 발생할 수 있는 것으로 예상된다.

BTL 방식으로 발주되는 시설물과 기존 시설물간의 운영관리 방식의 특징을 요약하면 다음의 <표 2>와 같다.

표 2. BTL 방식과 기존방식의 운영관리 차이점

| 구분 | PSC | PFI |
|-------|---------------|------------------------------|
| 발주 형태 | 학교 1개별 단독발주 | 여러개 학교가 Package로 묶여서 발주 |
| 관리 주체 | 정부(각급 학교 행정실) | SPC 운영관리 담당 법인 |
| 관리 방식 | 해당학교 운영관리원 상주 | Package내 최소인원 산정 가능한 방식으로 운영 |
| 관리 비용 | 정부가 해당학교에 지급 | 정부가 SPC 법인에 일괄지급 |

즉, 운영관리의 주체가 정부가 아닌 민간사업자라는 특징에서 기인하는 사용자(교사/교직원/학생)와 시행사(SPC 법인)간의 이견이 발생할 수 있으며, 시행사 직원이 현행 방식과는 다르게 한 학교에 상주하지 않을 수 있기 때문에 시급을 요하는 보수나 위생관리에 있어서 사용자와 시행사간의 이견이 분쟁으로 발전될 수도 있다.

따라서, 시설사업기본계획 및 성과요구수준서 작성과 실시협약에 있어서 가능한 유지관리 업무범위를 명확히 하고 세분화하는 것이 필요하며, 이에 대한 비용계산의 객관적 근거를 마련하는 것이 필요하다 하겠다.

3. 운영관리 번들 구성 알고리즘의 구성

3.1 BTL 사업 운영관리방식별 특징 분석

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

(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 불필요한 집행을 초래할 수 있다.

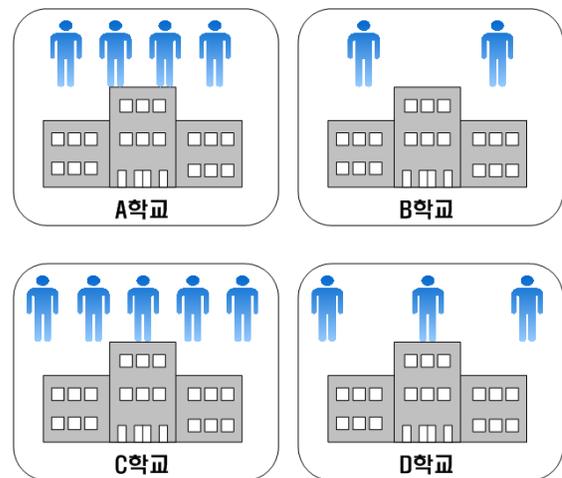


그림 2. 운영관리원 모두 상주방식

(2) 모두 이동 방식

모두 이동 방식은 운영관리 담당 인원 전체가 해당 학교 군을 항상 이동하면서 관리하는 방식이다. 이는 대학교 건물의 청소용역 발주 시 사용되는 방식으로써, 운영관리 담당 인원은 자신이 1일 업무시간 한도 내에서 관리가 가능한 면적까지 최대한 관리하는 방식이다. 그러나 대학교

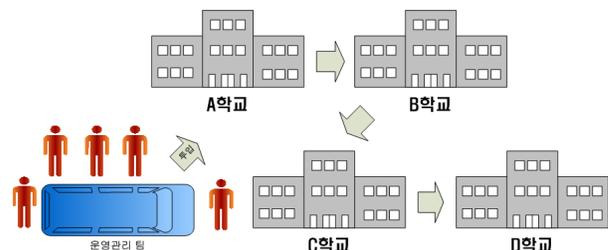


그림 3. 운영관리원 모두 이동 방식

캠퍼스 내부를 이동하는 것과는 다르게 교육시설물의 PFI 발주 방식은 학교 건물과 학교 건물간 이동거리가 길어지게 되며, 이로 인해 업무 시간보다 이동소요시간이 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 혼합한 방식으로써, 기본적으로 연면적에 필요한 소요 인원수를 산출하고, 해당 인원 중 이동인원에 편입시킴으로써 최소 인원이 산출될 수 있는 인원의 조합을 찾아내는 방식이다. 이 경우의 소요비용 산정은 상주하는 인원의 인건비와 이동인원 인건비의 합에 이동 소요비용을 합산하는 것으로 고려해주어야 한다.

다음의 <표 3>은 BTL로 진행되는 교육시설물의 각 운영방식별 특징을 표로 정리한 것이다.

표 3. 운영방식에 따른 특징

| 구분 | 모두상주 | 모두이동 | 일부상주 일부이동 |
|----------|--|-------------------------|----------------------|
| 특징 | 운영관리원 항상 상주 | 운영관리원 항상 이동 | 운영관리원 일부 상주 일부 이동 |
| 인원 산정 | $\Sigma(\text{학교 연면적} \div 1\text{인당 } 1\text{일 업무량})$ | 번들연면적 \div 1인당 1일 업무량 | 모두상주 + 모두이동 혼합 |
| 비용 계산 | 인원수 \times 1인당 인건비 | 인건비 총액 + 이동경비 | 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.

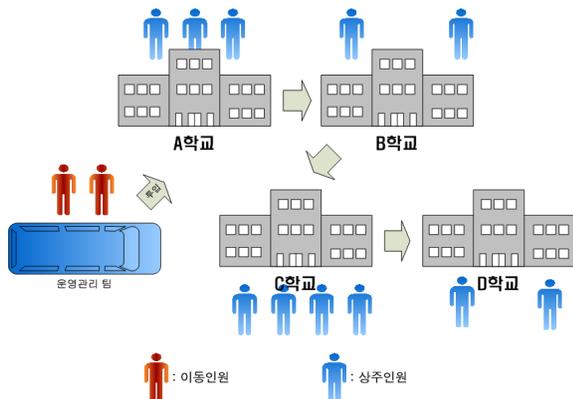


그림 4. 운영관리원 일부상주 일부이동 방식

3.2 순환 외판원 문제 : Traveling Salesman Problem

Traveling Salesman Problem(이하 TSP)이란 여러 도시들이 있고 한 도시에서 다른 도시로 이동하는 비용이 모두 주어졌을 때, 모든 도시들을 단 한 번만 방문하고 원래 시작점으로 돌아오는 최소 비용의 이동 순서는 무엇인가를 구하는 문제⁴⁾로써, 시작점과 끝점이 동일하며, 시작점과 끝점 사이에 존재하는 n개의 점을 돌아다니는 최적 경로를 구하는 문제이다.

TSP에서 해를 구하는 방식은 크게 Heuristic 방법과 정확하게 해(exact solution)를 구하는 방법의 두 가지가 있다.

Heuristic 방법은 최적의 순환경로를 구하는 것이 아니라 최적에 가까운 순환경로(near-optimal-tour path)를 구하는 방법으로써, 가장 대표적인 방법은 Branch and Bound 방식이 있다.

본 연구의 번들 구성방안과 TSP의 차이점은 TSP의 경우 시작점과 끝점이 동일한 것으로 정의되어 있으나 본 연구에 적용되는 문제는 운영관리원이 업무 진행 후 마지막 학교에서 바로 퇴근을 해도 문제가 없기 때문에 시작점과 끝점이 동일할 필요가 없다는 것이다.

3.3 데이터 마이닝 알고리즘 : Data Mining Algorithm

데이터 마이닝 알고리즘은 기계 학습 알고리즘(machine-learning algorithm)에 성능을 고려하여 동적인 실세계 데이터로부터 유의미한 패턴을 발견하는 알고리즘으로 출발해 현재 다양한 기법과 혼합하여 사용되고 있거나, 순수 데이터 마이닝을 목적으로 알고리즘이 연구·개발되고 있다⁵⁾.

이들 알고리즘 중 연관규칙이나 클러스터링과 같이 완전하게 데이터 마이닝 알고리즘으로 정착해 사용되는 것을 데이터 마이닝 지향(data mining-oriented) 알고리즘으로 구분하며, 이에 반해 신경망(neural network)이나 의사결정 트리(decision tree), 유전자 알고리즘(genetic algorithm), 베이시안 알고리즘(bayesian algorithm)처럼 근원을 기계 학습 이론에 바탕을 두고 마이닝 문제에 적용된 것을 기계 학습 지향(machine learning-oriented)으로 구별된다.

특히 데이터 마이닝 지향 알고리즘들은 불확실하거나 누락된 데이터를 포함하기도 하고 수십만 개의 동적인 데

4) <http://ko.wikipedia.org/wiki>, 외판원문제 정의

5) 유동하, <http://cafe.naver.com/tomasworld/19>, 지식발견 프로세스의 필수, 데이터 마이닝

이터를 처리하여 유용한 정보를 추출해 내는 만큼 끊임없이 성능개선을 위해 알고리즘이 개발되어 오고 있는 추세이다.

연구의 목적인 최소 운영관리비 산정을 위한 번들 구성 방안 도출을 위해, 본 연구에서는 군집 작업을 위한 클러스터링 알고리즘을 이용하도록 한다.

3.4 클러스터링 알고리즘 : Clustering Algorithm

클러스터링 알고리즘이란 존재하고 있는 데이터 중에서 비슷한 속성끼리 동일 군집(클러스터 : cluster)으로 묶는 알고리즘⁶⁾을 말한다. 데이터 클러스터링의 개념을 도해하면 다음의 <그림 5>(유동하, 2007⁷⁾)와 같다.

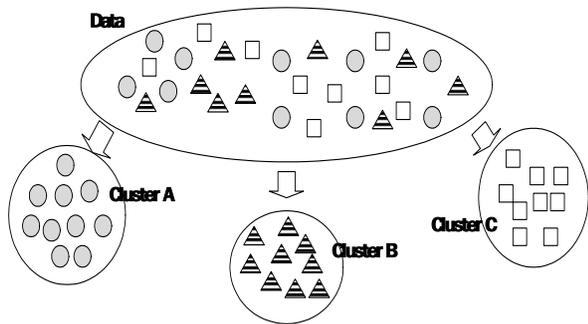


그림 5. Data Clustering의 개념

클러스터링은 크게 분할 접근(partitioning clustering)과 계층 접근(hierarchical clustering)의 두 가지 방식이 있으며, 분할접근 방식은 K-평균 알고리즘(K-means algorithm), 계층 접근 방식은 링크지 알고리즘(Linkage algorithm)으로 발전되어 왔다.

K-평균(K-means) 알고리즘은 몇 개의 그룹으로 나누기를 원하는지 목표 값 K를 입력한 후, 각 점들간의 거리에 대해 유클리디안 거리계를 가중치로 사용하여 목표 군집 개수 K가 완료될 때까지 클러스터링을 하는 알고리즘이다.

계층 군집 알고리즘은 점과 점간에 가중치 매트릭스를 작성하여 각 매트릭스 상의 가중치 크기를 바탕으로 각각의 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 된다⁸⁾.

6) <http://wikipedia.org/wiki>, 클러스터링 알고리즘의 정의
 7) 유동하, <http://cafe.naver.com/tomasworld/19>, 지식 발견 프로세스의 필수, 데이터 마이닝 (<그림 2> 클러스터링의 개념)
 8) 이것은 계층 응집 클러스터링(agglomerative hierarchical

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) |

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

본 연구의 대상인 BTL 사업의 시설물은 유클리디안 좌표를 설정할 수 없는 공간에 위치하고 있으며, 각 시설물과 시설물간의 거리는 위도나 경도를 축으로 하여 유클리디안 거리계를 적용하는 것은 정확한 시설물간의 거리를 추정할 수 없다.

따라서 본 연구에서는 계층군집 알고리즘을 적용하도록 한다.

클러스터링 알고리즘에 사용되는 표현 방법은 다음과 같다. 일반적으로 p개의 변수를 서로 다른 두 개체 Xi와 Xj를 각각 다음과 같이 표현할 경우 $X_i = (X_{i1}, X_{i2}, \dots,$

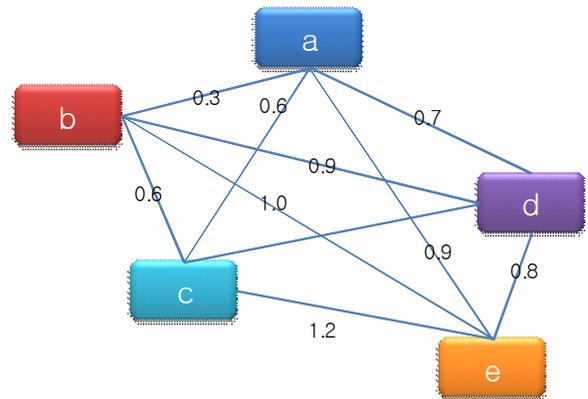


그림 6. 컴플리트 링크지 알고리즘을 이용한 군집계산의 예

clustering)이라 하며, ‘가까운’ 객체끼리 군집화시키는 방법으로, 이 알고리즘에서는 모든 n개의 데이터가 n개의 서로 다른 그룹이라 가정된 후, 그룹간의 유사성(similarity)을 보고 가장 유사한 두 개의 그룹을 합병해(merge) 그룹 수를 줄여가는 과정을 전체 그룹 수가 K개가 될 때까지 반복함으로써 K개의 그룹을 찾아낸다. 또한, 군집의 병합 또는 분리되는 과정은 이차원 도면의 덴드로그램(dendrogram)을 사용하여 간략히 표현되며 군집화 과정에서 어떤 개체가 일단 다른 군집에 속하면 다시는 다른 군집에 속하지 못하게 된다.

$X_j = (X_j 1, X_j 2, \dots, X_j p)$ 라고 하며, 두 개체 사이의 거리 d_{ij} 는 $d_{ij} = d(X_i, X_j)$ 으로 표현하고, 다음의 조건 $d_{ij} \geq 0, d_{ij} = 0 \iff d_{ji} = 0, d_{ij} = d_{jik} + d_{jk} \geq d_{ij}$ 를 만족한다.

예를 들어 다음의 그림 8과 같은 점들 간의 거리 중에서 클러스터가 2개가 될 수 있도록 컴플리트 링키지 알고리즘을 적용하면 다음 <그림 6>과 같다.

이는 다음의 <표 5>와 같은 매트릭스로 변환된다.

표 5. 예제의 거리 매트릭스

| 시설물 | a | b | c | d | e |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| a | | 0.3 | 0.6 | 0.7 | 0.9 |
| b | 0.3 | | 0.5 | 0.9 | 1.0 |
| c | 0.6 | 0.5 | | 0.7 | 1.2 |
| d | 0.7 | 0.9 | 0.7 | | 0.8 |
| e | 0.9 | 1.0 | 1.2 | 0.8 | |

링키지 알고리즘은 거리가 가장 가까운 점 2개의 거리를 하나의 군집으로 묶는 것에서 작업을 시작한다. 따라서 본 예제에서는 거리가 가장 가까운 a와 b를 1번 군집으로 묶게 된다.

표 6. 첫 번째 군집 생성

| 시설물 | a | b | c | d | e |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| a | | 0.3 | 0.4 | 0.7 | 0.9 |
| b | 0.3 | | 0.5 | 0.9 | 1.0 |
| c | 0.4 | 0.5 | | 0.7 | 1.2 |
| d | 0.7 | 0.9 | 0.7 | | 0.8 |
| e | 0.9 | 1.0 | 1.2 | 0.8 | |

a와 b를 하나의 군집(이하 Bundle의 약자인 B로 표시함) B1으로 묶게 되며, B1과 다른 점들간의 거리에 대해 새로운 거리 매트릭스를 작성하게 된다.

이때, 컴플리트 링키지 알고리즘은 점과 점 사이의 거리 중 먼 거리를 군집간의 거리로 인식하기 때문에, B 1과 나머지 점 사이의 거리는 a와 다른 점들간의 거리, b와 다른점들간의 거리 중 먼 거리를 측정하여 매트릭스에 포함시키게 된다.

$$d \{(C1, C2)\} = \max \{ d(x, y) \mid x \in C1, y \in C2 \}$$

$$d \{(c), (a, b)\} = \max \{ d_{ca}, d_{cb} \} = d_{cb} = 0.5$$

$$d \{(d), (a, b)\} = \max \{ d_{da}, d_{db} \} = d_{db} = 0.9$$

$$d \{(e), (a, b)\} = \max \{ d_{ea}, d_{eb} \} = d_{eb} = 1.0$$

표 7. 군집생성 결과 및 새로운 매트릭스 작성

| 시설물 | B1 | c | d | e |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| B1 | | 0.5 | 0.9 | 1.0 |
| c | 0.5 | | 0.7 | 1.2 |
| d | 0.9 | 0.7 | | 0.8 |
| e | 1.0 | 1.2 | 0.8 | |

이러한 프로세스를 지속적으로 수행하면 B1이 c점을 포함하며 확장하게 되고, d와 e가 B2로 합쳐지게 된다. 이러한 프로세스를 매트릭스로 표현하면 다음의 <표 8>~<그림 11>과 같다.

표 8. B1의 확장

| 시설물 | B1 | c | d | e |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| B1 | | 0.5 | 0.9 | 1.0 |
| c | 0.5 | | 0.7 | 1.2 |
| d | 0.9 | 0.7 | | 0.8 |
| e | 1.0 | 1.2 | 0.8 | |

표 9. B1'의 생성

| 시설물 | B1' | d | e |
|-----|-----|-----|-----|
| B1' | | 0.9 | 1.2 |
| d | 0.9 | | 0.8 |
| e | 1.2 | 0.8 | |

표 10. d, e의 군집화

| 시설물 | B1 | d | e |
|-----|-----|-----|-----|
| B1 | | 0.9 | 1.2 |
| d | 0.9 | | 0.8 |
| e | 1.2 | 0.8 | |

표 11. B2의 생성 및 최종 군집생성 결과

| 시설물 | B1 | B2 |
|-----|-----|-----|
| B1 | | 1.2 |
| B2 | 1.2 | |

컴플리트 링키지를 이용하여 산출한 군집작업의 최종결과를 도식화하면 다음의 <그림 7>과 같다.

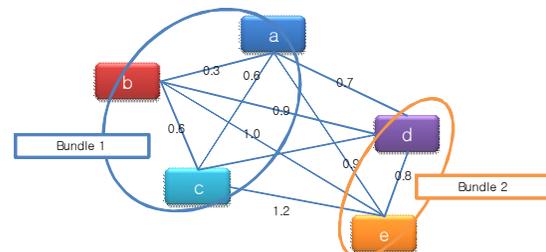


그림 7. 컴플리트 링키지를 이용한 군집작업 최종결과

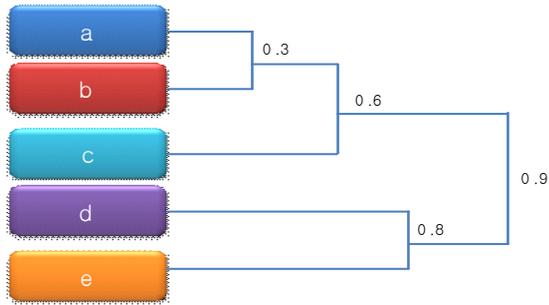


그림 8. 콤플리트 링키지 알고리즘 덴드로그램

링키지 알고리즘을 활용하여 군집을 구성하게 되면 덴드로그램을 생성하게 된다. 덴드로그램은 알고리즘이 군집을 묶어나간 순서를 도식화해서 보여주는 것이다.

본 사례에서 작성된 덴드로그램은 다음의 <그림 8>과 같다.

<그림 8>의 덴드로그램을 통해 링키지 알고리즘이 군집을 만든 process는 다음과 같다.

최소거리를 가지고 있는 점 a와 b를 1번 번들(B1)으로 생성하게 되며, 생성된 B1은 다시 B1과 나머지 점들 간의 최소거리에 있는 c를 포함시켜 B1'로 확장하게 된다. B1'과 d, e 세 점간의 거리 중 가장 최소거리는 d와 e의 거리인 0.8이므로, B1'이 확장하지 않고 B2를 생성하게 된다.

<그림 8>의 덴드로그램은 최종적으로 1개의 군집으로 확장하는 것을 보여주고 있는데, 이는 링키지 알고리즘에서 제한조건을 주지 않으면 1개의 통합번들이 구성될 때까지 작업이 된다는 것을 보여주는 것이다.

본 사례를 콤플리트 링키지 알고리즘이 아닌 싱글 링키지 알고리즘을 이용할 경우는 다음의 <그림 9>와 같은 덴드로그램이 형성되게 된다.

<그림 8>과 <그림 9>의 차이에서 나타나듯이, 새로운 그룹을 형성하는 것에는 콤플리트 링키지 알고리즘이 다른 링키지 알고리즘보다 유리하다.

이는 싱글링키지를 비롯한 다른 링키지 알고리즘들은 생성된 군집과 다른 점들간의 거리를 가장 짧은 거리 또

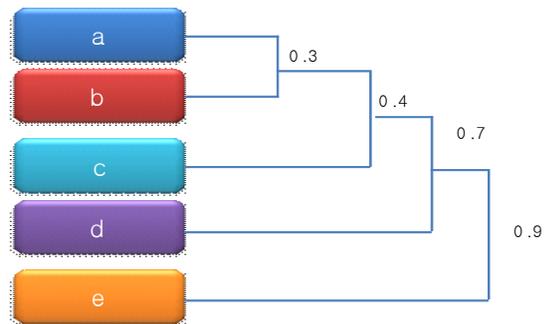


그림 9. 싱글 링키지 알고리즘 덴드로그램

는 평균거리로 환산하는 것에 반해 콤플리트 링키지 알고리즘은 가장 먼 거리로 환산하는 특징에서 기인하는 것이며, 이를 통해 생성된 군집들간의 거리는 가장 먼 거리를 유지하는 것으로 인식하게 됨으로써 기존의 군집이 확장하는 것 보다는 새로운 군집을 생성하는 쪽으로 프로세스가 진행되기 때문이다.

따라서, 본 연구에서는 여러 종류의 링키지 알고리즘 중 점과 점 사이의 거리가 먼 거리를 측정하는 콤플리트 링키지 알고리즘을 적용하도록 한다.

3.5 최적경로 탐색 : Branch and Bound algorithm

앞서 언급한 바와 같이 교육시설물 BTL 사업을 위한 번들의 구성은 Heuristic TSP에서 변형된 문제라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 최적 순환경로를 찾기 위한 알고리즘으로 Branch and Bound Algorithm을 사용하고 자 한다.

브랜치 앤 바운드 알고리즘(Branch and Bound Algorithm : 이하 B&B)⁹⁾은 분기한정법이라 하며, 어떤 최소(최대)화 문제를 직접 풀기가 곤란한 경우, 그것을 일련의 부분 문제로 분해하여 각 부분 문제를 풀어서 원래의 문제를 푸는 방법을 의미한다.

각 부분 문제는 다시 분해되기 때문에 전체로써 나무 구조로 분해 조작을 표시할 수 있다. 부분 문제로 분해할 때 그 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 방법¹⁰⁾이다.

TSP의 분기한정법은 1954년 Dantzig와 Fullkerson & Johnson의 논문에서 제일 처음 제시되었으며, 1963년 Little, Murty, Sweeney & Karel의 논문에서 제일 처음 branch and bound란 용어를 사용하였다¹¹⁾. B&B 방식은 문제를 더 작은 집합으로 나누어 각 서브 집합의 목적함수(object Function)의 한계값(Bound)을 계산한다. 즉, 주어진 문제에 대해 한계값을 더 작게 또는 더 쉽게 (relaxed) 바꾸는 과정을 계속 반복하여 쉽게 해를 구할 수 있을 때까지 계산하게 된다¹²⁾.

9) Branch and bound algorithm for TSP, <http://members.pcug.org.au/~dakin/tsppb.htm>

10) 분기한정법의 정의, 두산동아사전

11) T. B. Boffey, "Graph Theory in operations research", Macmillan Press Ltd., Hongkong, pp.148~157, 1982

12) 김태우 외, TSP 알고리즘의 이기종 컴퓨팅 기법, 누리미디어, 2005

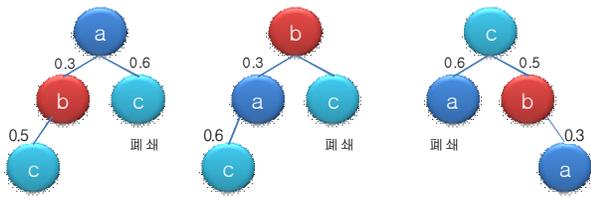


그림 10. Branch and Bound 연산결과

3.4절에서 제시된 예제에 대한 경로계획을 B&B 알고리즘을 이용하면 다음과 같이 구성이 되게 된다.

상단의 <그림 10>에서 나타나듯이, 가장 최소의 값이 나오는 경로는 a->b->c, 또는 c->b->a의 경로로써, 소요시간은 0.8 hr 이다.

3.6 번들 내 최소인원의 산출

교육시설물 BTL 사업에서 위생관리원을 산정하는 방법은 앞의 3.1절에서 언급한 바와 같이 모두상주, 일부상주 일부이동, 모두 이동의 세 가지 방식으로 구분할 수 있으며, 3.4장에 언급된 사례를 이론적으로 검증해보기 위해 한국위생관리협회¹³⁾의 위생관리원(청소원) 1일 업무량(8시간)은 기준 면적 1322.22m²이나, 본 예제에서는 1,000m²로 적용하였다. 또한, 해당 시설물의 면적을 다음의 <표 14>와 같이 구성할 경우 다음의 방법으로 계산이 될 수 있다.

다음의 <표 12>에서 알 수 있듯이, 현행 유지관리 방식과 동일하게 각 학교별 청소인원을 모두 상주시키는 방식으로 유지할 경우, 부족인원의 소수점 값은 모두 올림하여 정수화 시키게 된다.

표 12. 인원산출 예제

| 연면적 | 시설물 | a | b | c | d | e | 고정 인원 | 부족 인원 |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|
| 1,050 | a | | 0.3 | 0.4 | 0.7 | 0.9 | 1 | 0.05 |
| 1,800 | b | 0.3 | | 0.5 | 0.9 | 1.0 | 1 | 0.80 |
| 1,050 | c | 0.4 | 0.5 | | 0.7 | 1.2 | 1 | 0.05 |
| 850 | d | 0.7 | 0.9 | 0.7 | | 0.8 | 0 | 0.85 |
| 1,050 | e | 0.9 | 1.0 | 1.2 | 0.8 | | 1 | 0.05 |

즉, 각 시설물별로 필요한 위생관리원의 총 수는 a학교 2명, b학교 2명, c학교 2명, d학교 1명, e학교 2명의 9명이 필요하게 된다.

표 13. 소요인원의 산출

| 연면적 | 시설물 | 고정 인원 | 부족 인원 | 고정 인원 작업량 | 부족 작업량 | 번들별 부족 작업량 | 추가 투입 인원 |
|-------|-----|-------|--------|-----------|--------|------------|----------|
| 1,050 | a | 1 | 0.05 | 1,000 | 50 | | 1.00 |
| 1,800 | b | 1 | 0.80 | 1,000 | 800 | | 1.00 |
| 1,050 | c | 1 | 0.05 | 1,000 | 50 | | 1.00 |
| 850 | d | 0 | 0.85 | 0 | 850 | | 1.00 |
| 1,050 | e | 1 | 0.05 | 1,000 | 50 | | 1.00 |
| 위생관리원 | | 4 | 추가투입인원 | | 5.00 | 총인원 | 9.00 |

B1 생성 이후의 소요인원은 다음의 <표 14>와 같이 산출되게 된다.

표 14. B1 생성 후 소요인원 산출

| 연면적 | 시설물 | 고정 인원 | 부족 인원 | 고정 인원 작업량 | 부족 작업량 | 번들별 부족 작업량 | 추가 투입 인원 |
|-------|-----|-------|--------|-----------|--------|------------|----------|
| 2,850 | B1 | 2 | 0.85 | 2,000 | 850 | 850 | 1.00 |
| 1,050 | c | 1 | 0.05 | 1,000 | 50 | - | 1.00 |
| 850 | d | 0 | 0.85 | 0 | 850 | - | 1.00 |
| 1,050 | e | 1 | 0.05 | 1,000 | 50 | - | 1.00 |
| 위생관리원 | | 4 | 추가투입인원 | | 400 | 총인원 | 8.00 |

이때, B1에서 소요되는 작업시간은 총 0.85 day가 산출되며, 이를 시간으로 환산할 경우 1일 작업시간은 8hr이기 때문에 0.85 day x 8 hr = 6.8 hr이 된다. B1 내부의 이동 소요시간은 a점과 b점간의 이동시간인 0.3hr이 소요된다. 따라서, B1의 총 위생관리 소요시간은 작업시간인 6.8hr과 이동소요시간 0.3hr의 합인 7.1hr이 성립된다.

초기 제한조건인 작업시간 + 이동시간 ≤ 8hr이 성립되기 때문에 a, b점을 B1으로 묶는 것은 허용되는 번들구성이라 할 수 있다.

동일한 방법으로 번들구성에 따른 인원을 산출해보면 다음과 같이 산출될 수 있다.

표 15. B1 확장 후 소요인원 산출

| 연면적 | 시설물 | 고정 인원 | 부족 인원 | 고정 인원 작업량 | 부족 작업량 | 번들별 부족 작업량 | 추가 투입 인원 |
|-------|-----|-------|--------|-----------|--------|------------|----------|
| 3,900 | B1' | 3 | 0.90 | 3,000 | 900 | 900 | 1.00 |
| 850 | d | 0 | 0.85 | 0 | 850 | | 1.00 |
| 1,050 | e | 1 | 0.05 | 1,000 | 50 | | 1.00 |
| 위생관리원 | | 4 | 추가투입인원 | | 3.00 | 총인원 | 7.00 |

B1이 c를 포함하여 확장한 후의 위생관리 작업시간은 7.2hr(0.9day)이며 총 이동소요시간은 0.8hr이다. 따라서 총 작업시간이 8hr보다 작거나 같아야 한다는 조건을 만족하므로, B1의 확장은 허용되는 번들구성이라 할 수 있다.

13) 건축물 용도별 1인작업 평수 기준, 한국위생관리협회, 2007

표 16. B2 생성 후 소요인원 산출

| 연면적 | 시설물 | 고정 인원 | 부족 인원 | 고정 인원 작업량 | 부족 작업량 | 변들별 부족 작업량 | 추가 투입 인원 |
|-------|-----|-------|--------|-----------|--------|------------|----------|
| 3,900 | B1' | 3 | 0.90 | 3,000 | 900 | 900 | 1.00 |
| 1,900 | B2 | 1 | 0.90 | 1,000 | 900 | 900 | 1.00 |
| 위생관리원 | | 4 | 추가투입인원 | 2.00 | 총인원 | 6.00 | |

B2 생성 후 B2 내의 작업시간 및 이동소요시간의 총합은 8.0hr로써, B2는 허용되는 변들구성이 된다. 여기서 작업을 멈추지 않고 B1'과 B2 생성 이후 1개 통합변들로 확장하게 될 경우의 결과는 다음의 <표 17>과 같으며, 총 작업소요시간이 10시간이 산출되게 된다.

표 17. 통합변들 B 생성 후의 소요인원 산출

| 연면적 | 시설물 | 고정 인원 | 부족 인원 | 고정 인원 작업량 | 부족 작업량 | 변들별 부족 작업량 | 추가 투입 인원 |
|-------|-----|-------|--------|-----------|--------|------------|----------|
| 5,800 | B | 4 | 1.80 | 4,000 | 1,800 | 1,800 | 2.00 |
| 위생관리원 | | 4 | 추가투입인원 | 2.00 | 총인원 | 6.00 | |

따라서, 상단의 <표 17>에서의 소요인원은 총 작업시간이 8시간보다 작거나 같아야 한다는 초기조건을 만족하지 못하므로 기각하여야 하며, 이를 해결하기 위해서는 위생관리원을 1명 추가하여 작업소요시간을 확보해야 한다.

위생관리원을 1명 추가하여 산출한 통합변들 B의 소요인원 산출결과는 다음의 <표 18>과 같다.

표 18. 통합변들 소요인원 최종산출 결과

| 연면적 | 시설물 | 고정 인원 | 부족 인원 | 고정 인원 작업량 | 부족 작업량 | 변들별 부족 작업량 | 추가 투입 인원 |
|-------|-----|-------|--------|-----------|--------|------------|----------|
| 5,800 | B | 4 | 1.80 | 4,000 | 1,800 | 1,800 | 3.00 |
| 위생관리원 | | 4 | 추가투입인원 | 3.00 | 총인원 | 7.00 | |

따라서, 사례에서의 최소인원 산출결과 및 변들구성은 다음의 <표 19>와 같다.

표 19. 최종산출 결과

| 구분 | 변들 2개 | 변들 1개 |
|----------------|-----------------|--------------|
| 변들갯수 | 2 | 1 |
| 변들구성 | a,b,c | d,e |
| 인원수(이동) | 3(1) | 4(3) |
| 변들내이동순서 (이동시간) | a->b->c (0.8hr) | d->e (0.9hr) |
| 변들내 청소소요시간 | 7.2hr | 4.8hr |
| 총 인원 수 | 6명 | 7명 |

4. 사례 적용 및 검증

본 장에서는 본 연구에서 제안하는 컴플리트 링키지 알고리즘과 B&B 알고리즘을 이용하여 실제로 BTL 발주가 된 사례학교에 적용하는 경우 유지관리 변들구성에 어떠한 방식으로 적용되는지를 살펴봄으로써 알고리즘의 적용에 대한 효용성을 검증하도록 한다.

4.1 알고리즘 적용 사례학교 선정

본 절에서 적용하는 사례는 2006년도 충청남도 교육청에서 발주한 시설물으로써, 신축 6개교, 증개축 5개교의 총 11개교 중 유지관리를 실시하는 대상학교인 10개교만을 이용하도록 한다.

사례 시설물의 위치와 각 시설물간 시간거리(단위 : 분)를 정리하면 다음의 <표 20>, <그림 11>과 같다.

본 연구에서는 교육시설물 BTL 운영관리비 항목 중 가장 인건비 의존비율이 높은 청소관리원 산정에 대해 본 연구에서 개발된 알고리즘을 적용하여 그 인원수 및 최소 이동 변들을 산정하도록 한다.

표 20. 사례대상 학교간 거리 및 공용면적

(거리단위 : 분, 면적단위 : m²)

| 학교명 | 공용면적 | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
|-----|-------|-----|-----|-----|-----|----|----|----|---|---|---|
| A | 2,951 | 0 | | | | | | | | | |
| B | 1,357 | 104 | 0 | | | | | | | | |
| C | 4,431 | 127 | 168 | 0 | | | | | | | |
| D | 3,425 | 123 | 150 | 19 | 0 | | | | | | |
| E | 3,449 | 110 | 144 | 29 | 10 | 0 | | | | | |
| F | 3,445 | 100 | 134 | 40 | 17 | 12 | 0 | | | | |
| G | 3,341 | 25 | 74 | 110 | 105 | 84 | 77 | 0 | | | |
| H | 3,746 | 100 | 133 | 39 | 20 | 14 | 2 | 79 | 0 | | |
| I | 3,333 | 98 | 132 | 41 | 19 | 12 | 1 | 77 | 3 | 0 | |
| J | 3,097 | 100 | 133 | 43 | 22 | 13 | 1 | 79 | 2 | 1 | 0 |

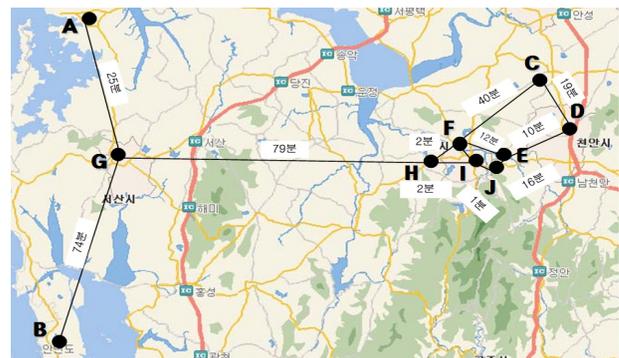


그림 11. BTL 사업 사례 대상 학교

표 21. 사례대상학교 조건분석표

| 학교명 | 공용면적 | 관리소요시간 | 총필요인원 | | | | 총업무량 | | 잔여업무필요인원 | 잔여업무소요시간 | 학교간거리 Matrix(단위 : min) | | | | | | | | | | 이동소요시간 |
|-----|-------|--------|-------|------|------|------|----------|--------|----------|----------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| | | | 업무시간 | 검증 | 상주인원 | 부족인원 | 상주인원 업무량 | 잔여 업무량 | | | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | |
| A | 2,951 | 17.85 | 2.23 | 2.23 | 2.00 | 0.23 | 2,644 | 307 | 1 | 0.23 | 0 | 104 | 127 | 123 | 110 | 100 | 25 | 100 | 98 | 100 | 0 |
| B | 1,357 | 8.21 | 1.03 | 1.03 | 1.00 | 0.03 | 1,322 | 35 | 1 | 0.03 | 104 | 0 | 168 | 150 | 144 | 134 | 74 | 133 | 132 | 133 | 0 |
| C | 4,431 | 26.81 | 3.35 | 3.35 | 3.00 | 0.35 | 3,967 | 464 | 1 | 0.35 | 127 | 168 | 0 | 19 | 29 | 40 | 110 | 39 | 41 | 43 | 0 |
| D | 3,425 | 20.72 | 2.59 | 2.59 | 2.00 | 0.59 | 2,644 | 781 | 1 | 0.59 | 123 | 150 | 19 | 0 | 10 | 17 | 105 | 20 | 19 | 22 | 0 |
| E | 3,449 | 20.87 | 2.61 | 2.61 | 2.00 | 0.61 | 2,644 | 805 | 1 | 0.61 | 110 | 144 | 29 | 10 | 0 | 12 | 84 | 14 | 12 | 13 | 0 |
| F | 3,445 | 20.84 | 2.61 | 2.61 | 2.00 | 0.61 | 2,644 | 801 | 1 | 0.61 | 100 | 134 | 40 | 17 | 12 | 0 | 77 | 2 | 1 | 1 | 0 |
| G | 3,341 | 20.21 | 2.53 | 2.53 | 2.00 | 0.53 | 2,644 | 697 | 1 | 0.53 | 25 | 74 | 110 | 105 | 84 | 77 | 0 | 79 | 77 | 79 | 0 |
| H | 3,746 | 22.66 | 2.83 | 2.83 | 2.00 | 0.83 | 2,644 | 1,102 | 1 | 0.83 | 100 | 133 | 39 | 20 | 14 | 2 | 79 | 0 | 3 | 2 | 0 |
| I | 3,333 | 20.17 | 2.52 | 2.52 | 2.00 | 0.52 | 2,644 | 689 | 1 | 0.52 | 98 | 132 | 41 | 19 | 12 | 1 | 77 | 3 | 0 | 1 | 0 |
| J | 3,097 | 18.74 | 2.34 | 2.34 | 2.00 | 0.34 | 2,644 | 453 | 1 | 0.34 | 100 | 133 | 43 | 22 | 13 | 1 | 79 | 2 | 1 | 0 | 0 |

본 사례에 적용되는 제한조건은 다음과 같다.

- 1) 청소관리원의 1일 청소관리면적은 1322.22m²이다.
- 2) 1일 업무시간은 8시간을 기준으로 한다.
- 3) 학교와 학교간의 거리는 이동소요시간으로 정한다.
- 4) 학교간 거리가 같을 시 거리 매트릭스 상에서의 작은 것부터 우선적으로 번들링을 실시한다.
- 5) 번들 내에 구성되는 학교의 [청소업무 소요시간 + 번들 내 이동 소요시간 < 8시간]이 성립되어야 한다.

4.2 알고리즘 적용 및 검증

사례대상학교의 조건들을 알고리즘 검증을 위한 형태로 바꾼 표는 다음의 표 15와 같다.

상단의 표 21에서 관리소요시간이란 청소관리원 1인당 1일 8시간 작업을 기준으로 총 작업량이 1,322.22m²를 시간당 업무량으로 환산하여 공용면적에 대해 소요되는 총 시간을 계산한 것이며, 총 필요인원은 공용면적을 청소관리원 1인당 1일 소요업무량으로 나누어준 것이다.

상주인원은 업무시간 내 총 필요인원에서 정수부분이며, 부족인원이란 업무시간 내 총 필요인원에서 상주인원 수를 제한 소수점 이하 필요인원수를 계산한 것이다.

총 업무량은 상주인원이 1일 내 소화할 수 있는 청소관리 업무량이며, 잔여업무량은 공용면적에서 상주인원 업무량을 제한 업무량으로써, 이동을 실시하는 청소관리원이 해당 학교에서 담당해야하는 업무량을 계산한 것이다.

잔여업무 필요인원은 해당 학교의 잔여업무량을 청소관리원 1인당 업무량으로 나누어준 후 올림하여 계산한 값이며, 잔여업무 소요시간은 잔여업무량을 잔여업무 필요인원의 1일 청소관리 업무량으로 나누어준 것이다.

상단의 표 16에서 알 수 있듯이, 사례대상 10개교에 유지관리원이 모두 상주를 할 경우 총 소요인원은 30명이 된다.

(1) 1번들의 구성

각 학교와 학교의 거리 중 가장 짧은 거리를 가지는 학교는 크게 F->I, F->J, I-J 의 세 학교들이며, 4.1에서 정한 초기조건에 의해 알파벳 순서가 빠른 F, I 2개교를 1번들(이하 BN1 : Bundle No. 1)로 구성을 해준다.

표 22. BN 1의 구성

| 학교명 | 학교간거리 Matrix(단위 : min) | | | | | | | | | |
|-----|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
| A | 0 | 104 | 127 | 123 | 110 | 100 | 25 | 100 | 98 | 100 |
| B | 104 | 0 | 168 | 150 | 144 | 134 | 74 | 133 | 132 | 133 |
| C | 127 | 168 | 0 | 19 | 29 | 40 | 110 | 39 | 41 | 43 |
| D | 123 | 150 | 19 | 0 | 10 | 17 | 105 | 20 | 19 | 22 |
| E | 110 | 144 | 29 | 10 | 0 | 12 | 84 | 14 | 12 | 13 |
| F | 100 | 134 | 40 | 17 | 12 | 0 | 77 | 2 | 1 | 1 |
| G | 25 | 74 | 110 | 105 | 84 | 77 | 0 | 79 | 77 | 79 |
| H | 100 | 133 | 39 | 20 | 14 | 2 | 79 | 0 | 3 | 2 |
| I | 98 | 132 | 41 | 19 | 12 | 1 | 77 | 3 | 0 | 1 |
| J | 100 | 133 | 43 | 22 | 13 | 1 | 79 | 2 | 1 | 0 |

이때, 컴플리트 링키지 알고리즘은 F, I 점과 다른 점들의 거리 중 점과 점의 거리가 먼 거리를 BN 1과 다른 점간의 거리로 설정한다.

이 때, B&B 알고리즘은 2개 점 사이에서는 알고리즘에서 분기점을 생성하지 않으며, 따라서 BN 1을 구성하고 이동시간 및 이동순서를 계산하는 것에 적용이 되지 않는다.

컴플리트 링키지 알고리즘과 인원수 산정 식에 의해 BN 1을 구성한 이후의 결과를 매트릭스로 표현하면 다음의 <표 23>과 같다.

표 23. BN 1 생성 결과 매트릭스

| 학교명 | 학교간거리 Matrix(단위 : min) | | | | | | | | | |
|-----|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| | A | B | C | D | E | G | H | BN1 | J | |
| A | 0 | 104 | 127 | 123 | 110 | 25 | 100 | 100 | 100 | |
| B | 104 | 0 | 168 | 150 | 144 | 74 | 133 | 134 | 133 | |
| C | 127 | 168 | 0 | 19 | 29 | 110 | 39 | 41 | 43 | |
| D | 123 | 150 | 19 | 0 | 10 | 105 | 20 | 19 | 22 | |
| E | 110 | 144 | 29 | 10 | 0 | 84 | 14 | 12 | 13 | |
| G | 25 | 74 | 110 | 105 | 84 | 0 | 79 | 77 | 79 | |
| H | 100 | 133 | 39 | 20 | 14 | 79 | 0 | 3 | 2 | |
| BN1 | 100 | 134 | 41 | 19 | 12 | 77 | 3 | 0 | 1 | |
| J | 100 | 133 | 43 | 22 | 13 | 79 | 2 | 1 | 0 | |

BN 1을 생성한 이후 청소관리 필요인원은 총 30명으로써, BN 1을 생성하지 않은 모두상주 방식과 동일하다.

(2) BN 1의 확장

상단의 표 24의 매트릭스에 콤퍼리트 링키지 알고리즘을 적용하면, 각 점들 간의 거리 중 최단거리인 BN 1과 J 점을 묶어 BN 1이 J를 포함하는 구조로 확장하게 된다.

표 24. BN 1의 확장

| 학교명 | 학교간거리 Matrix(단위 : min) | | | | | | | | |
|-----|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | A | B | C | D | E | G | H | BN1 | J |
| A | 0 | 104 | 127 | 123 | 110 | 25 | 100 | 98 | 100 |
| B | 104 | 0 | 168 | 150 | 144 | 74 | 133 | 132 | 133 |
| C | 127 | 168 | 0 | 19 | 29 | 110 | 39 | 41 | 43 |
| D | 123 | 150 | 19 | 0 | 10 | 105 | 20 | 19 | 22 |
| E | 110 | 144 | 29 | 10 | 0 | 84 | 14 | 12 | 13 |
| G | 25 | 74 | 110 | 105 | 84 | 0 | 79 | 77 | 79 |
| H | 100 | 133 | 39 | 20 | 14 | 79 | 0 | 3 | 2 |
| BN1 | 100 | 134 | 41 | 19 | 12 | 77 | 3 | 0 | 1 |
| J | 100 | 133 | 43 | 22 | 13 | 79 | 2 | 1 | 0 |

BN 1이 확장하게 되면 B&B 알고리즘은 2개의 분기점을 생성하며, 생성된 분기점의 한계값을 계산하여 최소 이동시간을 도출하게 된다.

따라서, 인원수 산정 수식까지 적용한 확장된 BN 1의 최종 매트릭스는 다음의 <표 25>와 같다.

표 25. 확장된 BN 1의 결과 매트릭스

| 학교명 | 학교간거리 Matrix(단위 : min) | | | | | | | | |
|-----|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | A | B | C | D | E | G | H | BN1 | J |
| A | 0 | 104 | 127 | 123 | 110 | 25 | 100 | 100 | 100 |
| B | 104 | 0 | 168 | 150 | 144 | 74 | 133 | 134 | 134 |
| C | 127 | 168 | 0 | 19 | 29 | 110 | 39 | 43 | 43 |
| D | 123 | 150 | 19 | 0 | 10 | 105 | 20 | 22 | 22 |
| E | 110 | 144 | 29 | 10 | 0 | 84 | 14 | 13 | 13 |
| G | 25 | 74 | 110 | 105 | 84 | 0 | 79 | 79 | 79 |
| H | 100 | 133 | 39 | 20 | 14 | 79 | 0 | 3 | 3 |
| BN1 | 100 | 134 | 43 | 22 | 13 | 79 | 3 | 0 | 0 |

BN 1을 확장한 이후 청소관리 필요인원은 상주 20명 + 이동 9명의 총 29명으로써, 모두상주 방식보다 1명이 줄게 된다.

(3) BN 1의 2차 확장

상단의 <표 26>의 매트릭스에 콤퍼리트 링키지 알고리즘을 적용하면, 각 점들 간의 거리 중 최단거리인 BN 1과 H 점을 묶어 BN 1이 H를 포함하는 구조로 2차 확장을 하게 된다.

BN 1이 2차 확장하게 되면 B&B 알고리즘은 F, H, I, J의 각 점에 대해 각각 다음의 <그림 12>와 같은 분기점을 생성하며, 생성된 분기점의 한계값을 계산하여 최소 이

표 26. BN 1의 2차 확장

| 학교명 | 학교간거리 Matrix(단위 : min) | | | | | | |
|-----|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | A | B | C | D | E | G | BN1 |
| A | 0 | 104 | 127 | 123 | 110 | 25 | 100 |
| B | 104 | 0 | 168 | 150 | 144 | 74 | 134 |
| C | 127 | 168 | 0 | 19 | 29 | 110 | 43 |
| D | 123 | 150 | 19 | 0 | 10 | 105 | 22 |
| E | 110 | 144 | 29 | 10 | 0 | 84 | 14 |
| G | 25 | 74 | 110 | 105 | 84 | 0 | 79 |
| BN1 | 100 | 134 | 43 | 22 | 14 | 79 | 0 |

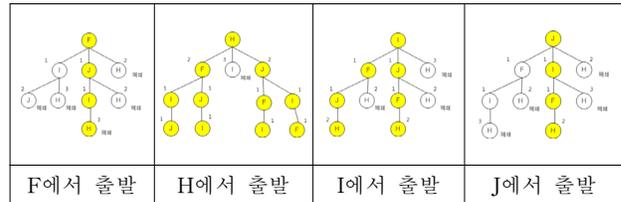


그림 12. BN 1 2차 확장 Branch and Bound

동시간을 도출해준다.

상단의 <그림 12>에서 나타나듯이, 2차 확장된 BN 1에 B&B를 적용할 경우 F에서 출발할 경우 F->J->I->H의 순서로 가는 것이 가장 짧은 이동시간을 가지며, 이때의 이동시간은 총 5분이 걸린다. H에서 출발하는 경우 H->F->I->J, H->F->J->I, H->J->F

->I, H->J->I->F의 네 가지 경로가 동일하게 총 4분의 이동시간을 가진다. I, J에서 출발한 경우도 상단의 <그림 12>에서와 동일한 총 4분의 이동시간을 소요하는 경로가 존재하며, 2차 확장한 BN 1에 B&B 알고리즘을 적용한 결과를 정리하면 다음의 <표 27>과 같다.

표 27. 2차 확장된 BN 1에 B&B 알고리즘을 적용한 결과

| 출발위치 | 경로 | 소요시간 | 사용여부 |
|------|------------|------|------|
| F | F->J->I->H | 5 | 폐쇄 |
| H | H->F->I->J | 4 | 사용 |
| | H->F->J->I | 4 | 사용 |
| | H->J->F->I | 4 | 사용 |
| | H->J->I->F | 4 | 사용 |
| I | I->F->J->H | 4 | 사용 |
| | I->J->F->H | 4 | 사용 |
| J | J->I->F->H | 4 | 사용 |

따라서 2차 확장된 BN 1의 번들 내 최소 이동 소요시간은 4분으로 도출되며, 인원수 산정 수식까지 적용된 2차 확장된 BN 1의 최종 매트릭스는 다음의 <표 28>과 같다.

BN 1을 2차 확장한 이후 청소관리 필요인원은 상주 20명 + 이동 9명의 총 29명으로써, BN 1의 1차 확장때와 동일한 청소관리원이 필요하다.

표 28. 2차 확장된 BN 1의 결과 매트릭스

| 학교명 | 공용면적 | 관리 소요시간 | 총필요인원 | | | | 총업무량 | | 잔여업무 필요인원 | 잔여업무 소요시간 | 학교간거리 Matrix(단위 : min) | | | | | | |
|-----|-------|------------|----------|------|----------|----------|--------------|-----------|--------------|--------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | | 업무 시간 | 검증 | 상주 인원 | 부족 인원 | 상주 인원 업무량 | 잔여 업무량 | | | A | B | C | D | E | G | BN1 |
| A | 2,951 | 17.85 | 2.23 | 2.23 | 2.00 | 0.23 | 2,644 | 307 | 1 | 0.23 | 0 | 104 | 127 | 123 | 110 | 25 | 100 |
| B | 1,357 | 8.21 | 1.03 | 1.03 | 1.00 | 0.03 | 1,322 | 35 | 1 | 0.03 | 104 | 0 | 168 | 150 | 144 | 74 | 134 |
| C | 4,431 | 26.81 | 3.35 | 3.35 | 3.00 | 0.35 | 3,967 | 464 | 1 | 0.35 | 127 | 168 | 0 | 19 | 29 | 110 | 43 |
| D | 3,425 | 20.72 | 2.59 | 2.59 | 2.00 | 0.59 | 2,644 | 781 | 1 | 0.59 | 123 | 150 | 19 | 0 | 10 | 105 | 22 |
| E | 3,449 | 20.87 | 2.61 | 2.61 | 2.00 | 0.61 | 2,644 | 805 | 1 | 0.61 | 110 | 144 | 29 | 10 | 0 | 84 | 14 |
| G | 3,341 | 20.21 | 2.53 | 2.53 | 2.00 | 0.53 | 2,644 | 697 | 1 | 0.53 | 25 | 74 | 110 | 105 | 84 | 0 | 79 |
| BN1 | 3,097 | 18.74 | 2.34 | 2.34 | 2.00 | 0.34 | 2,644 | 453 | 1 | 0.34 | 100 | 134 | 43 | 22 | 14 | 79 | 0 |

표 29. 최종으로 도출된 최적경로 결과

| 번들 | 출발위치 | 경로 | 소요시간 | 사용여부 |
|---------------------|---------------------|---------------------|------|------|
| BN1 | C | C->D->E->F->I->J->H | 45 | 사용 |
| | | C->D->E->I->F->J->H | 45 | 사용 |
| | | C->D->E->I->J->F->H | 45 | 사용 |
| | D | D->E->F->I->J->H->C | 65 | 폐쇄 |
| | | D->E->I->J->F->H->C | 65 | 폐쇄 |
| | | D->E->I->F->J->H->C | 65 | 폐쇄 |
| | E | E->D->F->I->J->H->C | 65 | 폐쇄 |
| | | E->D->I->F->J->H->C | 65 | 폐쇄 |
| | | E->D->I->J->F->H->C | 65 | 폐쇄 |
| | F | F->I->J->H->E->D->C | 47 | 폐쇄 |
| | H | H->F->J->I->E->D->C | 45 | 사용 |
| | | H->J->F->I->E->D->C | 45 | 사용 |
| H->J->I->F->E->D->C | | 45 | 사용 | |
| I | I->J->F->H->E->D->C | 47 | 폐쇄 | |
| | I->F->J->H->E->D->C | 47 | 폐쇄 | |
| J | J->I->F->H->E->D->C | 47 | 폐쇄 | |
| | J->F->I->H->E->D->C | 47 | 폐쇄 | |
| BN3 | A | A->G->B | 99 | 사용 |
| | B | B->G->A | 99 | 사용 |
| | G | G->A->B | 129 | 폐쇄 |

이러한 방식을 반복하여 최종적으로 산출되는 번들결과는 다음의 <표 29>와 같다.

따라서, 사례 대상학교에 위생관리원이 모두 상주할 경우 총원은 20명이 되며, 일부상주 일부이동할 경우 인원은 25명으로 알고리즘을 적용하여 계산할 경우 5명의 청소관리원을 절감할 수 있음을 알 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 BTL 방식으로 발주되는 교육시설물의 운영관리 번들구성에 대한 제안으로써 컴플리트 링크지 알고리즘과 브런치 앤 바운드 알고리즘을 사용하는 것을 제시하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) BTL로 발주되는 교육시설물의 운영관리 번들을 구성하는 형태로써, 운영관리원이 모두 상주하는 방식, 일부 운영관리원이 해당 학교에 상주하고 일부 운영관리원이 이동을 하는 일부상주 일부이동방식, 운영관리원 전체가 이동을 실시하는 모두 이동방식의 세 가지 방식을 제안하였다.

(2) 데이터 마이닝 알고리즘 중 컴플리트 링크지 알고리즘을 사용하여 각 학교간의 번들을 구성하는 방법을 제안하였다.

(3) 컴플리트 링크지 알고리즘으로 구성되는 번들 내부에서의 최소이동거리와 이동소요시간을 계산하기 위하여 브런치 앤 바운드 알고리즘을 사용할 것을 제안하였다.

(4) 적절한 청소관리원의 이동인원 산정을 위해 학교별로 고정되어야 하는 인원과 부족인원으로 구분하였으며, 부족인원을 컴플리트 링크지 알고리즘과 브런치 앤 바운드 알고리즘에서 산출된 결과와 1일 작업 한계시간 조건에 의해 검증하는 것을 통해 최소인원이 산출될 수 있는 방법을 제시하였다.

(5) 제시된 최소인원 산출방법에 대해 실제 BTL로 발주된 10개교에 적용함으로써 얼마의 인원절감효과가 나타나며, 번들 내부에서의 이동소요시간이 어떻게 산출되는지를 증명하였다.

본 연구에서는 인원산출 방법과 이동소요시간 최적화라는 것에 초점을 맞추어 알고리즘을 적용하였으며, 알고리즘 적용 결과 BTL 사업의 운영관리비용 산출 시 객관적이고 정량적인 평가에 이용될 수 있을 것으로 예상된다.

향후 진행되는 연구에서는 본 알고리즘의 적용을 통한 BTL 운영관리 비용 절감이 정량적으로 얼마가 이루어질 수 있는지에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 갈원모 외 5명, 인간공학, 1판, 신광출판사, p.68, 2001

2. 경기도 교육청 BTL 사업 운영관리 성과수준 요구서, 2006. 7
3. 교육시설 BTL 사업 계획안, 교육인적자원부, 2007
4. 교육시설물 BTL 사업의 표준매뉴얼, 교육인적자원부, p.195, 2007. 1
5. 교육인적자원부 통계시스템, 학급당 학생수 및 OECD교육 자료, cesi.kedi.re.kr, 2007
6. 대전시교육청 BTL 사업 운영관리 성과수준 요구서, 2006. 10
7. 문곤성, 보행속도 변화에 따른 하지의 운동역학적 분석과 근활동의 근전도 분석, 연세대학교, p.17, 2004. 8
8. 보행자 보행속도 조사, 도로교통안전협회, p.392, 1983
9. 손재호 외 1명, 합리적 교육시설물 유지보수 및 공사비에 측을 위한 BTL 적격성 평가시스템 개발에 관한연구, 건설관리학회 논문집, p.112, 2006
10. 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 지침, 건설교통부고시 제 2006-148호, pp.7~11, 2006. 5
11. 양성환 외 2명, 인간공학, 1판, 형설출판사, 서울, p.86, 2004
12. 유지관리비용 분석을 통한 BTL 사업의 합리적인 번들링 방안 연구용역, 충청남도교육청, p.15, 2007. 2
13. 이은동, 교육시설물 BTL사업 VFM 평가항목의 운영비 중 위생관리비 산정 기준 및 시스템 개발에 관한연구, 홍익대학교, pp.54~88, 2007. 2
14. 임중훈, 횡단보도와 지하보도에서의 보행자 편의도 비교 연구, 단국대학교, p.75, 1992. 2
15. 장진희, 색채학을 응용한 디지털 사진 출력 매체의 비교 연구, 중앙대학교, p.14, 2005. 6
16. 충청남도교육청 BTL 사업 운영관리 성과수준요구서, 2006. 7