

Minimum Net profit Project Deleting Algorithm for Choice of Facility Expansion Projects Problem

Sang-Un Lee*

Abstract

This paper suggests heuristic algorithm with $O(m)$ linear time complexity for choice of expansion projects that can't be obtain the optimal solution using linear programming until now. This algorithm ascending sort of net profit for all projects. Then, we apply a simple method that deletes the project with minimum net profit until this result satisfies the carried over for n -years more than zero value. While this algorithm using simple rule, not the linear programming fails but the proposed algorithm can be get the optimal solution for experimental data.

▶ Keywords : Costs, Funds, Net profit, Carried over, Benefits

• First Author: Sang-Un Lee , Corresponding Author: Sang-Un Lee

*Sang-Un Lee (sulee@gwnu.ac.kr), Dept. of Multimedia Engineering, Gangneung-Wonju National University

• Received: 2016. 02. 15, Revised: 2016. 03. 14, Accepted: 2016. 04. 06.

I. Introduction

한 회사에서 추후 n 년도의 투자 제안요청서(request for proposal, RFP)를 사내에 공모하여 m 개 프로젝트를 접수하였다. 이 경우 각 프로젝트는 n 년도의 소요비용과 n 년도 이후의 예상 이익(expected benefit)을 작성하였으며, 회사 전체로는 매년 가능한 투자금(funds)을 도출하였다. 모든 프로젝트를 실행에 옮기기에는 투자금이 부족하여 CEO는 일부 프로젝트를 선정하고자 관리자금 회의를 진행하고자 한다. CEO는 회의 결과 최대 순이익(net profit)을 남길 수 있도록 일부 프로젝트를 선정하여 n 년도 투자계획을 확정하고자 한다. 이를 시설 확장 프로젝트 선정 문제(facility expansion projects choice problem, FEPCP)라 한다[1].

이 문제는 은퇴 후 경제적으로 풍요로운 노후 생활을 위한 은행 예금, 증권과 채권 등의 자산 분산 관리를 위한 자산 포트폴리오 형성 문제[2], 일반적인 투자 결정에 따른 비용-이득 분석[3-4], 수도물 공급과 하수처리 인프라 구축 문제[5], 방학기간 중 교육과 훈련에 투자하는 경우의 비용-이득 분석과 투자자본수익률(return on investment, ROI) 문제[6] 등 다양한 분야에 적용되고 있다.

FEPCP는 순이익(기대수익-투자액)을 최대로 얻을 수 있는 프로젝트들을 선정하는 것이 목적이다. 이러한 해를 얻기 위해 일반적으로 선형계획법(linear programming, LP)을 적용하고 있다[1,7-8]. Guéret et al.[1]은 선형계획법을 적용하여 해를 구하였으나 최적 해를 구하지 못한 결과를 제시하였다.

본 논문은 FEPCP에 대해 LP보다 간단하면서도 최적 해를 구할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 단순히 최소 순이익을 갖는 프로젝트를 삭제하는 방법을 적용하였다. 2장에서는 FEPCP 개념과 Guéret et al.[1] 연구의 문제점을 고찰해 본다. 3장에서는 단지 Excel을 활용하여 프로젝트 개수 m 에 대해 $O(m)$ 의 선형시간 복잡도로 최적 해를 구할 수 있는 휴리스틱 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 제안된 알고리즘을 실제 데이터에 적용하여 알고리즘 적합성을 평가해 본다.

II. FEP Description and Related Works

본 장에서는 자동차회사에서 향후 5년간 신규투자를 하여 이득을 최대화시킬 수 있는 프로젝트들을 선정하는 문제를 고찰한다. 이 문제에서, 계획으로 제출된 m 개 프로젝트들을 P_i , ($i = 1, 2, \dots, m$), 각 프로젝트에 향후 n 년 ($j = 1, 2, \dots, n$) 간 소요비용 (invest costs, costs)을 c_{ij} 라 하자. 또한, n 년 간 활용 가능한 투자금 또는 차입금(funds)을 f_j , n 년 후 예상되는 프로젝트의 이득(expected benefit)을 b_i 이라 하면, j 번째 년도 잉여금이 $j+1$ 번째 년도로 이월되어

$j+1$ 번째 년도 이월자금(carried over, or residual funds) r_j 은 식 (1)로, 각 프로젝트의 순 이익(net profit) p_i 는 식 (2)와 같이 계산된다[1].

$$r_j = r_{j-1} + f_j - \sum_{i=1}^m c_{ij} \tag{1}$$

$$r = \sum_{j=1}^n r_j$$

$$p_i = b_i - \sum_{j=1}^n c_{ij} \tag{2}$$

$$p = \sum_{i=1}^m p_i$$

이 문제에서 우리는 식 (3)과 같이 5년간 r_j 를 모두 만족시키면서, p 를 최대로 얻을 수 있는 프로젝트들을 선정하는 것이며, 이때의 p 도 알고자 한다[1].

$$\max p \tag{3}$$

where $r_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n$

Guéret et al.[1]은 10년 이상 자동차 생산에 특화된 이탈리아 북부에 위치한 도요타 자동차회사의 향후 5년간 시설 투자계획에 대한 제안서를 접수한 결과를 표 1과 같이 제시하였다.

Table 1. Facility improving projects plan

| 단위 : €1,000,000 | | | | | | | | |
|-----------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------------|------|------|------|------|-------|
| Project | Description | Expected benefit | Future 5 years annual investing cost | | | | | |
| | | | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 | Y5 | Sum |
| 1 | Expand assembly line | 10.80 | 1.80 | 2.40 | 2.40 | 1.80 | 1.50 | 9.90 |
| 2 | Recognize the main shop | 4.80 | 1.20 | 1.80 | 2.40 | 0.60 | 0.50 | 6.50 |
| 3 | New painting facilities | 3.20 | 1.20 | 1.00 | 0.00 | 0.48 | 0.00 | 2.68 |
| 4 | Research for a new concept car | 4.44 | 1.40 | 1.40 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 6.40 |
| 5 | Reorganize the logistics chain | 12.25 | 1.60 | 2.10 | 2.50 | 2.00 | 1.80 | 10.00 |
| Funds | | | 4.80 | 6.00 | 4.80 | 4.20 | 3.50 | 23.30 |

표에서 신규로 제안된 프로젝트는 5개이며, 향후 5년간 투자비용과 예상 이득 뿐 아니라 신규 투자금을 나타내고 있다. 이 문제에서, 투자 유무를 결정하는 관리자는 5년이 경과한 이후에 실제 이익을 최대로 얻을 수 있도록 어느 프로젝트를 선정할 것인가를 결정해야 한다.

표 2에서는 단순히 4가지 경우를 고려하여 보았다. (a)는 모든 프로젝트를 수행하는 경우, (b)는 투자 대 이익을 고려하여 이익을 발생시키는 프로젝트만 수행하는 경우와 (c)는 년도 별 차입 가능 금액을 초과하지 않는 프로젝트 들 만을 수행하는 경우이다. (d)는 (c)와 유사한 방법이지만 특정 프로젝트들만을 선택하는 방식이 아니라 이월금을 최소화시키도록 5개 프로젝트들 중 해당 년도의 프로젝트를 수행하지 않는 경우이다. (a)의 경우 5개 프로젝트 모두를 수행할 경우 년도별로 2.40, 2.70, 3.70, 1.88과 1.50의 자금이 부족하여 계획대로 수행이 불가능할 뿐 아니라 만

약 이렇게 투자하였더라도 이득이 0.01로 투자 대 이득 효과가 미미함을 알 수 있다.

Table 2. Facility improving projects plan

(a) All projects perform

| Project | Future 5 years annual investing cost | | | | | | Expected advantages | Profit |
|-------------------------|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------------|-------------|
| | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | Total | | |
| P1 | 1.80 | 2.40 | 2.40 | 1.80 | 1.50 | 9.90 | 10.80 | 0.90 |
| P2 | 1.20 | 1.80 | 2.40 | 0.60 | 0.50 | 6.50 | 4.80 | -1.70 |
| P3 | 1.20 | 1.00 | 0.00 | 0.48 | 0.00 | 2.68 | 3.20 | 0.52 |
| P4 | 1.40 | 1.40 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 6.40 | 4.44 | -1.96 |
| P5 | 1.60 | 2.10 | 2.50 | 2.00 | 1.80 | 10.00 | 12.25 | 2.25 |
| Total | 7.20 | 8.70 | 8.50 | 6.08 | 5.00 | 35.48 | 35.49 | 0.01 |
| Annual borrowable funds | 4.80 | 6.00 | 4.80 | 4.20 | 3.50 | 23.30 | | |
| Carry over funds | -2.40 | -2.70 | -3.70 | -1.88 | -1.50 | -12.18 | | |

(b) Only profit projects perform

| Project | Future 5 years annual investing cost | | | | | | Expected advantages | Profit |
|-------------------------|--------------------------------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------|---------------------|-------------|
| | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | Total | | |
| P1 | 1.80 | 2.40 | 2.40 | 1.80 | 1.50 | 9.90 | 10.80 | 0.90 |
| P3 | 1.20 | 1.00 | 0.00 | 0.48 | 0.00 | 2.68 | 3.20 | 0.52 |
| P5 | 1.60 | 2.10 | 2.50 | 2.00 | 1.80 | 10.00 | 12.25 | 2.25 |
| Total | 4.60 | 5.50 | 4.90 | 4.28 | 3.30 | 22.58 | 26.25 | 3.67 |
| Annual borrowable funds | 4.80 | 6.00 | 4.80 | 4.20 | 3.50 | 23.30 | | |
| Carry over funds | 0.20 | 0.50 | -0.10 | -0.08 | 0.20 | 0.72 | | |
| Net carry over funds | 0.20 | 0.50 | 0.60 | 0.52 | 0.72 | | | |

(c) Perform only restricted annual funds

| Project | Future 5 years annual investing cost | | | | | | Expected advantages | Profit |
|-------------------------|--------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------------|-------------|
| | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | Total | | |
| P3 | 1.20 | 1.00 | 0.00 | 0.48 | 0.00 | 2.68 | 3.20 | 0.52 |
| P4 | 1.40 | 1.40 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 6.40 | 4.44 | -1.96 |
| P5 | 1.60 | 2.10 | 2.50 | 2.00 | 1.80 | 10.00 | 12.25 | 2.25 |
| Total | 4.20 | 4.50 | 3.70 | 3.68 | 3.00 | 19.08 | 19.89 | 0.81 |
| Annual borrowable funds | 4.80 | 6.00 | 4.80 | 4.20 | 3.50 | 23.30 | | |
| Carry over funds | 0.60 | 1.50 | 1.10 | 0.52 | 0.50 | 4.22 | | |

(d) Perform only minimum carry over annual funds

| 프로젝트 | Future 5 years annual investing cost | | | | | | Expected advantages | Profit |
|-------------------------|--------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------------|--------|
| | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | Sum | | |
| P1 | 1.80 | 2.40 | 2.40 | 1.80 | | 8.40 | | |
| P2 | | | 2.40 | 0.60 | 0.50 | 3.50 | | |
| P3 | | | 0.00 | 0.48 | 0.00 | 0.48 | | |
| P4 | 1.40 | 1.40 | | 1.20 | 1.20 | 5.20 | | |
| P5 | 1.60 | 2.10 | | | 1.80 | 5.50 | | |
| 계 | 4.80 | 5.90 | 4.80 | 4.08 | 3.50 | 23.08 | | |
| Annual borrowable funds | 4.80 | 6.00 | 4.80 | 4.20 | 3.50 | 23.30 | | |
| Carry over funds | 0.00 | 0.10 | 0.00 | 0.12 | 0.00 | 0.22 | | |

따라서 이 계획은 진행할 수 없다. (b)의 경우는 예상이익-투자

액>0인 프로젝트 P1, P3과 P5를 수행하고, P2와 P4는 프로젝트 수행 대상에서 제외시킨 경우이다. 이 경우 이익은 3.67을 얻으며, X3과 X4년도의 해당년도 차입금이 부족하지만 이전 년도의 이월금액을 고려하면 투자액이 부족하지 않음을 알 수 있어 타당한 계획임을 알 수 있다. (c)는년도별 투자금액이 차입금액을 초과하지 않는 프로젝트 P3, P4와 P5만을 대상으로 계획을 진행하는 경우로, 이 경우 이익은 0.81이다. (d)는 이월금은 0.22로 최소로 남길 수 있지만 P1의 X5, P2와 P3의 X1과 X2, P4의 X3과 P5의 X3, X4 년도의 사업을 수행하지 못해 어떠한 프로젝트도 종료시킬 수 없어 이익을 전혀 볼 수 없는 투자금만 손해 보는 경우로 현실성이 전혀 없는 계획이다. 따라서 실현 가능한 계획은 (b)와 (c)가 될 수 있다. 여기서는 직관적으로 볼 때 어떤 규칙을 적용하여야 최대의 이익을 남길 수 있는 최선책이 될 수 있는가를 보여주고 있다. 이들 방법 이외에도 보다 이익을 남길 수 있는 방법이 있을 수도 있으며, 본 논문에서는 이 방법을 찾고자 한다.

Guéret et al.[1]은 표 1의 문제에 대해, 선형계획법을 적용하여 표 3과 같이 향후 5년 동안 당해 연도의 f_j 조건을 만족하는

결과로 프로젝트 P_3, P_4, P_5 를 선택하여 총 이익 $b = \sum_{i=1}^m b_i$ 은

€19.89 (단위: €1,000,000)의 결과를 얻었다. 이는 표 2에서의 (c)의 경우에 해당되며, 단지 연도별 차입 금액 범위 내에 속하는 프로젝트들만을 대상으로 결정하는 방법이다.

Guéret et al.[1]의 적용 결과는 다음과 같은 문제점을 갖고 있다.

(1) 단순히 이익 b_i 만을 계산한 결과로, 순이익 p_i 는 소요비용 c_{ij} 를 제외시켜야만 한다. 따라서 총 순이익 p 는 €0.81(단위: €1,000,000)이다.

(2) 해당 년도의 소요비용이 해당 년도의 투자금을 초과하지 않

는 $f_j - \sum_{i=1}^m c_{ij} \geq 0$ 조건만을 만족시켰다. 그러나 해당년도

의 여유자금 (이월금)은 식 (1)과 같이 “전년도 이월금 + 금년도 투자금-금년도 소요비용”으로 계산되어야만 한다.

Table 3. Result of selected projects using linear programming

| Project | Description | Expected benefit | 여유자금 = 금년도 투자금-금년도 비용 | | | | | | | | |
|------------------------------|---------------------------------------|------------------|-----------------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|------------------|
| | | | 향후 5년간 소요비용 | | | | | | Sum | Net Profit | Expected Benefit |
| | | | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 | Y5 | | | | |
| 1 | Expand assembly line | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2 | Recognize the main shop | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 3 | New painting facilities | 3.20 | 1.20 | 1.00 | 0.00 | 0.48 | 0.00 | 2.68 | 0.52 | 3.20 | |
| 4 | Research for a new concept car | 4.44 | 1.40 | 1.40 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 6.40 | -1.96 | 4.44 | |
| 5 | Reorganize the logistics chain | 12.25 | 1.60 | 2.10 | 2.50 | 2.00 | 1.80 | 10.00 | 2.25 | 12.25 | |
| | Funds (투자금) | | 4.80 | 6.00 | 4.80 | 4.20 | 3.50 | 23.30 | | | |
| | 년간 총투자비용 | | 4.20 | 4.50 | 3.70 | 3.68 | 3.00 | 19.08 | | | |
| | 해당 연도 여유자금 | | 0.60 | 1.50 | 1.10 | 0.52 | 0.50 | 4.22 | | | |
| 이월자금=전년도 이월자금+금년도 투자금-금년도 비용 | | | | | | | | | | | |
| Project | Description | Expected benefit | 향후 5년간 소요비용 | | | | | | Sum | Net Profit | Expected Benefit |
| | | | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 | Y5 | | | | |
| | | | 1 | Expand assembly line | - | - | - | - | - | - | - |
| 2 | Recognize the main shop | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 3 | New painting facilities | 3.20 | 1.20 | 1.00 | 0.00 | 0.48 | 0.00 | 2.68 | 0.52 | 3.20 | |
| 4 | Research for a new concept car | 4.44 | 1.40 | 1.40 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 6.40 | -1.96 | 4.44 | |
| 5 | Reorganize the logistics chain | 12.25 | 1.60 | 2.10 | 2.50 | 2.00 | 1.80 | 10.00 | 2.25 | 12.25 | |
| | Funds (투자금) | | 4.80 | 6.00 | 4.80 | 4.20 | 3.50 | 23.30 | | | |
| | 년간 총투자비용 | | 4.20 | 4.50 | 3.70 | 3.68 | 3.00 | 19.08 | | | |
| | 이월자금 | | 0.60 | 2.10 | 3.20 | 3.72 | 4.22 | 13.84 | 0.81 | 19.89 | |

3장에서는 전년도에 투자하고 남은 이월자금을 차기년도의 투자금에 포함시키는 개념을 적용하여 표 1의 데이터에 대한 최대 순이익을 얻을 수 있는 프로젝트를 선정하는 알고리즘을 제안한다.

III. Minimum Real Profit Project Delete Algorithm

특정 회사에서 시설투자를 하려면 반드시 해당년도에 차용 가능한 가용예산 범위 내에서 투자를 해야만 한다. 여기서의 가용예산이란 해당년도 차입금과 전 년도의 잔여 이월금을 합친 비용을 의미한다.

본 장에서는 FEPCP의 최적 해를 구하기 위해 투자비용대 이익(cost-benefit)을 극대화시키는 경제성 원칙[9,10]을 적용한다. 즉, j 년도에 $r_{j-1} + f_j$ 의 가용 범위 내에서 비용 c_j 을 투자할 경우 순이익 p_j 가 최대가 되도록 한다.

이러한 경제성 원칙을 적용하여 본 장에서는 순이익을 극대화하기 위한 프로젝트들을 선정하는 경우, 순이익 p_i 가 최소인 프로젝트를 삭제하는 단순한 방법을 제안한다.

제안된 알고리즘을 최소 순이익 프로젝트 삭제 알고리즘(minimum real profit project delete algorithm, MPPDA)이라 하며, 다음과 같이 수행된다.

- Step 1. 각 프로젝트 P_i 의 실제 이익 $p_i = b_i - \sum_{j=1}^n c_{ij}$ 를 구한다. /* 수행 복잡도 : $O(m)$ */
- Step 2. p_i 오름차순으로 정렬한다.

/* 수행 복잡도 : $O(m \log m)$ */

Step 3. 5개년도에 대한 연간 총 소요비용 $c_j = \sum_{i=1}^m c_{ij}$ 를 구한다.

여 식 (1)의 이월자금 $r_j = r_{j-1} + f_j - \sum_{i=1}^m c_{ij}$ 을 구한다. /* 수행 복잡도 : $O(m)$ */

Step 4. $\forall_j, r_j \geq 0$ 가 될 때까지 $\min p_i$ 프로젝트를 계속적으로 삭제한다. /* 수행 복잡도 : $O(m)$ */

제안된 알고리즘은 Guéret et al.[1]의 5개년의 해당 년도의 가용 투자액 범위 내에 속하는 프로젝트들만을 선정하는 방법 대신 해당 년도 투자액과 전 년도 이월액까지 고려하여 프로젝트를 선택하는 방법을 적용하여 Guéret et al.[1]의 선형계획법에 비해 보다 합리적인 $O(m \log m)$ 복잡도의 규칙을 적용하였다.

IV. Applications and Evaluation

본 논문 주제와 관련된 벤치마킹 데이터 부족으로 본 장에서는 부득이 Guéret et al.[1]이 실험한 표 1의 데이터에 대해서만 제안된 알고리즘의 적합성을 검증하여 본다.

제안된 MPPDA를 표 1의 데이터에 적용한 결과는 표 4에 제시하였다.

5개 프로젝트의 순이익 p_i 를 계산하고, 오름차순으로 정렬한 결과 P_4, P_2, P_3, P_1, P_5 를 얻었다. 5개 프로젝트 모두를 선정하는 초기 결과에 대해 $\forall_j, r_j < 0$ 로 제약조건을 충족하지 못하였다.

Table 4. Result of selected projects using MPPDA

| Project | Description | Expected benefit | 향후 5년간 소요비용 | | | | | Net Profit | Expected Benefit | |
|------------------|---------------------------------------|------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|-------------|------------------|--------------|
| | | | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 | Y5 | | | Sum |
| P_1 | Research for a new concept car | 4.44 | 1.40 | 1.40 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 6.40 | -1.96 | |
| P_2 | Recognize the main shop | 4.80 | 1.20 | 1.80 | 2.40 | 0.60 | 0.50 | 6.50 | -1.70 | |
| P_3 | New painting facilities | 3.20 | 1.20 | 1.00 | 0.00 | 0.48 | 0.00 | 2.68 | 0.52 | |
| P_4 | Expand assembly line | 10.80 | 1.80 | 2.40 | 2.40 | 1.80 | 1.50 | 9.90 | 0.90 | |
| P_5 | Reorganize the logistics chain | 12.25 | 1.60 | 2.10 | 2.50 | 2.00 | 1.80 | 10.00 | 2.25 | |
| Funds (차입 투자금) | | | 4.80 | 6.00 | 4.80 | 4.20 | 3.50 | 23.30 | | |
| 연간 총투자비용 | | | 7.20 | 8.70 | 8.50 | 6.08 | 5.00 | 35.48 | | |
| 이월자금 | | | -2.40 | -5.10 | -8.80 | -10.68 | -12.18 | -39.16 | | |
| 삭제 순서: 4-2-3-1-5 | | | | | | | | | | |
| Project | Description | Expected benefit | 향후 5년간 소요비용 | | | | | Net Profit | Expected Benefit | |
| | | | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 | Y5 | | | Sum |
| P_4 | Research for a new concept car | - | - | - | - | - | - | - | 0.00 | 0.00 |
| P_2 | Recognize the main shop | 4.80 | 1.20 | 1.80 | 2.40 | 0.60 | 0.50 | 6.50 | -1.70 | 4.80 |
| P_3 | New painting facilities | 3.20 | 1.20 | 1.00 | 0.00 | 0.48 | 0.00 | 2.68 | 0.52 | 3.20 |
| P_1 | Expand assembly line | 10.80 | 1.80 | 2.40 | 2.40 | 1.80 | 1.50 | 9.90 | 0.90 | 10.80 |
| P_5 | Reorganize the logistics chain | 12.25 | 1.60 | 2.10 | 2.50 | 2.00 | 1.80 | 10.00 | 2.25 | 12.25 |
| Funds (차입 투자금) | | | 4.80 | 6.00 | 4.80 | 4.20 | 3.50 | 23.30 | | |
| 연간 총투자비용 | | | 5.80 | 7.30 | 7.30 | 4.88 | 3.80 | 29.08 | | |
| 이월자금 | | | -1.00 | -2.30 | -4.80 | -5.48 | -5.78 | -19.36 | 1.97 | 31.05 |
| Project | Description | Expected benefit | 향후 5년간 소요비용 | | | | | Net Profit | Expected Benefit | |
| | | | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 | Y5 | | | Sum |
| P_4 | Research for a new concept car | - | - | - | - | - | - | - | 0.00 | 0.00 |
| P_2 | Recognize the main shop | - | - | - | - | - | - | - | 0.00 | 0.00 |
| P_3 | New painting facilities | 3.20 | 1.20 | 1.00 | 0.00 | 0.48 | 0.00 | 2.68 | 0.52 | 3.20 |
| P_1 | Expand assembly line | 10.80 | 1.80 | 2.40 | 2.40 | 1.80 | 1.50 | 9.90 | 0.90 | 10.80 |
| P_5 | Reorganize the logistics chain | 12.25 | 1.60 | 2.10 | 2.50 | 2.00 | 1.80 | 10.00 | 2.25 | 12.25 |
| Funds (차입 투자금) | | | 4.80 | 6.00 | 4.80 | 4.20 | 3.50 | 23.30 | | |
| 연간 총투자비용 | | | 4.60 | 5.50 | 4.90 | 4.28 | 3.30 | 22.58 | | |
| 이월자금 | | | 0.20 | 0.70 | 0.60 | 0.52 | 0.72 | 2.74 | 3.67 | 26.25 |

따라서 $P_4 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3 \rightarrow P_1 \rightarrow P_5$ 순으로 삭제하면서 $\forall_j, r_j \geq 0$ 를 얻는지를 검증한 결과, P_4 삭제시 초기 치와 마찬가지로 $\forall_j, r_j < 0$ 를 얻었으며, 다음으로 P_2 삭제시 $\forall_j, r_j \geq 0$ 를 얻어 알고리즘이 종료되었다.

결국, 제안된 알고리즘을 수행한 결과 P_1, P_3, P_5 프로젝트가 선정되었으며, $p = 3.67, b = 26.25$ 을 얻었다.

제안된 MPPDA와 LP의 성능을 비교한 결과는 표 5에 제시하였다.

Table 5. Compare with algorithm performance

| 알고리즘 | 프로젝트 선정 | 단위 : €1,000,000 | | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|--------------|-------------|------------------|
| | | 이월자금 | 예상 이득 | 투자금 | 순이익 | 이익률 |
| LP $O(m^4)$ | P_3, P_4, P_5 | 13.84 | 19.89 | 19.08 | 0.81 | 4.2453 % |
| MPPDA $O(m)$ | P_1, P_3, P_5 | 2.74 | 26.25 | 22.58 | 3.67 | 16.2533 % |

MPPDA는 순이익 €3,670,000, 예상 이득 €26,250,000을 얻었다. 반면에, LP는 €810,000의 순이익과 €19,890,000의 예상 이득을 얻었다.

투자 이익률=(순이익/투자금*100%) 계산 결과 LP는 $0.81 / 19.08 \times 100 = 4.2453\%$ 인 반면 MPPDA는 $3.67 / 22.58 \times 100\% = 16.2533\%$ 으로 LP에 비해 보다 효율적인 투자 결과를 얻을 수 있었다. 즉, 제안된 MPPDA는 $O(m)$ 의 선형시간 복잡도로 LP의 $O(m^4)$ 복잡도에 비해 보다 빠르면서도 좋은 결과를 얻는 장점을 갖고 있다.

위의 사례에 대해서는 단순히 예상이익-시설투자 총액>0인 프로젝트들만을 대상으로 선정하는 표 2의 (b)와 동일한 결과를 얻었지만 보다 타당성 있는 규칙을 적용하였는데 의미가 있다. 본 주제와 관련된 다양한 벤치마킹 데이터 획득 어려움으로 보다 복잡하고 대용량의 데이터를 대상으로 실험은 하지 못하였으나, 만약, 단순히 예상 이익-시설투자 총액>0인 프로젝트들만을 대상으로 선정하는 경우에 비해 효율적인 프로젝트 선정 방법에 대해서는 제안된 방법이 보다 좋은 결과를 얻을 수도 있을 것이다.

이러한 사례를 얻기 위해, 표 1의 데이터를 약간 변형시켜 모든 프로젝트들이 이득을 얻을 수 있는 표 6의 데이터를 대상으로 제안된 알고리즘을 적용하여 보자.

Table 6. Modified facility improving projects plan

| 프로젝트 | 5년간 년도별 투자액 | | | | | | 예상 이익 | 이득 |
|--------------|-------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|------|
| | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | 계 | | |
| P1 | 1.80 | 2.40 | 2.40 | 1.80 | 1.50 | 9.90 | 10.80 | 0.90 |
| P2 | 1.20 | 1.80 | 2.40 | 0.60 | 0.50 | 6.50 | 6.70 | 0.20 |
| P3 | 1.20 | 1.00 | 0.00 | 0.48 | 0.00 | 2.68 | 3.20 | 0.52 |
| P4 | 1.40 | 1.40 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 6.40 | 7.00 | 0.60 |
| P5 | 1.60 | 2.10 | 2.50 | 2.00 | 1.80 | 10.00 | 12.25 | 2.25 |
| 계 | 7.20 | 8.70 | 8.50 | 6.08 | 5.00 | 35.48 | 39.95 | 4.47 |
| 연도별 차입 가능 금액 | 4.80 | 6.00 | 4.20 | 3.80 | 3.50 | 23.30 | | |
| 이월금액 | -2.40 | -2.70 | -4.30 | -2.28 | -1.50 | -13.18 | | |

표 6에 대해 제안된 알고리즘을 수행하는 과정은 표 7에 제시되어

있다. 제안된 알고리즘은 이득 오름차순으로 정렬시키고 매 년도의 (해당년도 투자 차입액+전년도 이월액)-시설 투자 소요비용>0이 되도록 최소 이득 프로젝트부터 삭제하는 방법으로 P2, P3와 P4 순서로 삭제하였다. 따라서 이 경우는 P1과 P5만 남게 되어 이득은 3.75를 얻을 수 있었다. 반면에, 표 2의 (b) 방법을 수행하는 경우에는 5개 프로젝트 모두를 대상으로 프로젝트를 선정해야 하기 때문에 선형 계획법 등을 적용하지 않는 한 최대 이득을 남기는 프로젝트를 결정하는 방법이 없을 것이다.

Table 7. Result of modified facility improving projects plan using MPPDA

| Project | Future 5 years annual investing cost | | | | | | Expected advantages | Profit |
|-------------------------|--------------------------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------|---------------------|--------|
| | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | 계 | | |
| P2 | 1.20 | 1.80 | 2.40 | 0.60 | 0.50 | 6.50 | 6.70 | 0.20 |
| P3 | 1.20 | 1.00 | 0.00 | 0.48 | 0.00 | 2.68 | 3.20 | 0.52 |
| P4 | 1.40 | 1.40 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 6.40 | 7.00 | 0.60 |
| P1 | 1.80 | 2.40 | 2.40 | 1.80 | 1.50 | 9.90 | 10.80 | 0.90 |
| P5 | 1.60 | 2.10 | 2.50 | 2.00 | 1.80 | 10.00 | 12.25 | 2.25 |
| Total | 7.20 | 8.70 | 8.50 | 6.08 | 5.00 | 28.98 | 33.25 | 4.27 |
| Annual borrowable funds | 4.80 | 6.00 | 4.20 | 3.80 | 3.50 | 23.30 | | |
| Carry over funds | -2.40 | -2.70 | -4.30 | -2.28 | -1.50 | -13.18 | | |
| Net carry over funds | -2.40 | -5.10 | -9.40 | -11.68 | -13.18 | | | |

| Project | Future 5 years annual investing cost | | | | | | Expected advantages | Profit |
|-------------------------|--------------------------------------|------|--------------|--------------|--------------|-------|---------------------|--------|
| | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | 계 | | |
| P2 | | | | | | | | |
| P3 | | | | | | | | |
| P4 | 1.40 | 1.40 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 6.40 | 7.00 | 0.60 |
| P1 | 1.80 | 2.40 | 2.40 | 1.80 | 1.50 | 9.90 | 10.80 | 0.90 |
| P5 | 1.60 | 2.10 | 2.50 | 2.00 | 1.80 | 10.00 | 12.25 | 2.25 |
| Total | 4.80 | 5.90 | 6.10 | 5.00 | 4.50 | 26.30 | 30.05 | 3.75 |
| Annual borrowable funds | 4.80 | 6.00 | 4.20 | 3.80 | 3.50 | 23.30 | | |
| Carry over funds | 0.00 | 0.10 | -1.90 | -1.20 | -1.00 | -4.00 | | |
| Net carry over funds | 0.00 | 0.10 | -1.80 | -3.00 | -4.00 | | | |

| Project | Future 5 years annual investing cost | | | | | | Expected advantages | Profit |
|-------------------------|--------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|---------------------|--------|
| | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | 계 | | |
| P2 | | | | | | | | |
| P3 | | | | | | | | |
| P4 | | | | | | | | |
| P1 | 1.80 | 2.40 | 2.40 | 1.80 | 1.50 | 9.90 | 10.80 | 0.90 |
| P5 | 1.60 | 2.10 | 2.50 | 2.00 | 1.80 | 10.00 | 12.25 | 2.25 |
| Total | 3.40 | 4.50 | 4.90 | 3.80 | 3.30 | 19.90 | 23.05 | 3.15 |
| Annual borrowable funds | 4.80 | 6.00 | 4.20 | 3.80 | 3.50 | 23.30 | | |
| Carry over funds | 1.40 | 1.50 | -0.70 | 0.00 | 0.20 | 2.40 | | |
| Net carry over funds | 1.40 | 2.90 | 2.20 | 2.20 | 2.40 | | | |

결론적으로, 제안된 알고리즘은 단순하면서도 정확한 방법으로 최대의 이득을 남길 수 있는 프로젝트 선정 방법을 제안하였다.

V. Conclusions and Future Researches

본 논문은 선형계획법으로 해를 얻지 못한 프로젝트 확장 선택 문제에 대해 $O(m)$ 의 선형시간 복잡도로 단순히 Excel을 활용하여 최적 해를 얻을 수 있는 알고리즘을 제안하였다.

제안된 방법은 순이익 오름차순으로 정렬하고, n 년도 이 월급이 "0" 이상인 제약조건을 만족하도록 순이익이 최소인 프로젝트를 삭제하는 단순한 기법을 적용하였다.

이와 같이 제안된 알고리즘은 단순한 기법을 적용하고, Excel을 활용하였음에도 불구하고, 실험 데이터에 적용한 결과 LP로도 얻지 못한 최적 해를 얻을 수 있었다.

결론적으로, 제안된 알고리즘은 단지 Excel을 활용하여 간단하고 쉽게 해를 구할 수 있는 관계로, 회사의 장기 발전계획을 수립하는데 있어 실제로 큰 도움을 줄 수 있을 것이다.

본 논문에서는 소량의 특정 데이터에만 제안된 알고리즘의 적합성을 보였다. 제안된 알고리즘이 일반화된 알고리즘이 되기 위해서는 보다 다양한 수많은 벤치마킹 데이터들에 적용하여 적합성을 보여야만 한다. 그러나 본 연구 주제와 관련된 벤치마킹 데이터 획득의 어려움으로 본 연구의 일반화된 알고리즘에 대한 검증의 한계가 있다. 따라서 추후 다양한 벤치마킹 데이터들을 획득하여 제안된 알고리즘의 일반화에 대한 검증을 할 예정이다.

REFERENCES

- [1] C. Guéret, X. Prins, and M. Sevaux, "Applications of Optimization with Xpress-MP: 13.6 Choice of Expansion Projects," Dash Optimization Ltd., pp. 204-205, Feb. 2005.
- [2] E. J. Elton and M. J. Gruber, "Investments and Portfolio Performance," World Scientific, pp. 416, 2010.
- [3] G. Jenkins, C. Y. Kuo, and A. C. Harberger, "Cost-Benefit Analysis for Investment Decisions: Chapter 8. The Economic Opportunity Cost of Capital," JDI Executive Program Development Discussion Papers No. 2011-02, Aug. 2011.
- [4] V. L. Sourd, "Performance Measurement for Traditional Investment - Literature Survey," EDHEC Risk and Asset Management Research Centre, Jan. 2007.
- [5] H. Alegre, D. I. C. Covas, A. J. Monteiro, and P. Duarte, "Strategic Asset Management of Water Supply and Wastewater Infrastructures: A Novel Methodology to Prioritize Investment Proposals," IWA Leading Edge Conference on Strategic Asset Management, Lisbon, IWA, Eds. Helena Alegre, Maria do Ceu Almeida, Oct. 2007.
- [6] C. Murphy, "Cost-Benefit Analysis and Returns from Additional Investment in Vocational Education and Training," Econtech Pty Ltd Trading as Independent Economics, pp. 1-143, Aug. 2013.
- [7] W. L. Winston, "Financial Models Using Simulation and Optimization: A Step-By-Step Guide With Excel and Palisade's Decision Tools Software, Chapter 19: A Portfolio Approach to Project Selection (2ed)," Palisade, pp. 131-134, Jun. 2000.
- [8] Z. A. Zenios, "Financial Optimization," Cambridge University Press, 1996.
- [9] H. F. Campbell and B. Richard, "Valuing Traded and Non-Traded Commodities in Benefit-Cost Analysis, Benefit-Cost Analysis: Financial and Economic Appraisal using Spreadsheets," Cambridge, Cambridge University Press, 2003.
- [10] R. H. Frank, "Why is Cost-Benefit Analysis so Controversial?," Journal of Legal Studies, Vol. 29, No. S2, pp. 913-930, 2000.

Authors



Sang Un Lee received the B. Sc. degree in avionics from the Korea Aerospace University in 1997. He received the M. Sc. and Ph. D. degrees in Computer Science from Gyeongsang National University, Korea, in 1997 and 2001, respectively.

He is currently Professor with the Department of Multimedia Science, Gangneung-Wonju National University, Korea. He is interested in software quality assurance and reliability modeling, software engineering, software project management, neural networks, and algorithm.