

자원의 제약이 있는 R&D 프로젝트 포트폴리오 선택 문제: 프로젝트 목록이 불확정적인 경우*

김 승 겸(제1저자)

송실대학교 일반대학원 프로젝트경영학과 (박사)

백 인 섭(공동저자)

송실대학교 일반대학원 경영학과 (박사)

오 정 은(공동저자)

송실대학교 일반대학원 프로젝트경영학과 (박사과정)

안 태 호(교신저자)

송실대학교 경영학부 (교수)

Resource Constrained R&D Project Portfolio Selection Problem: Uncertain Project List Case

Kim, Seung Kyum(First Author)

The Dept. of Project Management, Soongsil University(Ph.D.)

Paek, In Soub(Co Author)

The Dept. of Business Administration, Soongsil University (Ph.D.)

Oh, Jung eun(Co Author)

The Dept. of Project Management, Soongsil University (Ph.D program)

*본고는 김승겸의 2022년도 박사학위 논문 「자원의 제약이 있는 R&D 프로젝트 포트폴리오 선택 문제: 프로젝트 목록이 불확정적인 경우」의 일부를 발췌하여 재작성한 것임.

Ahn, Tae Ho(Corresponding Author)

The Dept. of Business Administration, Soongsil University (Professor)

Abstract

Generally speaking, the expertise of researchers is the key component for a successful R&D project. Therefore, Companies in the R&D business is very important to efficiently use limited research resources. In particular, when companies prepare a project portfolio as to maximize profit, considering and allocating resources of only those projects that the occurrence is certain at the time of creation may not have optimal efficiency. In cases of probabilistic high-yielding projects that the occurrence is not determined at the time of planning, it may be more efficient to consider the allocation of resources for such projects.

Therefore, in this study, a mathematical model was developed that maximizes the profit by including not only the projects whose occurrence is confirmed in the R&D project portfolio selection problem, but also the projects where the occurrence is unknown and only probabilistic. For estimation, a method of averaging total revenue using a simulation method is presented.

According to the simulation results, allocating a certain percentage of research resources to projects with a probability of occurrence showed better results than to allocate 100% of research resources to projects with confirmed occurrence in terms of overall project portfolio return. This means that, as in the conditions of the simulation, if the profit of projects with a probability of occurrence is to be higher than those projects with confirmed occurrence, and if the distribution of the occurrence is known, it is better to allocate a certain percentage of research resources to the projects with a probability of occurrence in terms of overall return of the portfolio.

Keywords : R&D Project, Portfolio Selection, SRCPSP, Uncertain Project List Case

접수일(2022년 11월 19일), 수정일(2022년 11월 25일), 게재확정일(2022년 11월 26일)

I. 서 론

국내 기업의 비즈니스 환경은 제4차 산업 혁명으로 인해 기술의 투명성은 가속화되고 국가 간 경계의 벽도 허물어지고 있다. 이러한 경영환경은 점점 더 높은 기술 경쟁력을 요구하고 있으며, 기업은 기술 경쟁력의 극대화를 위해 연구개발(R&D)에 대한 투자를 증가할 수밖에 없다.

일반적으로 기업이 기술 경쟁력 향상을 위해 R&D 프로젝트를 수행하는 경우, 해당 기업은 보유한 연구자원의 전문성, 가용 연구자원의 수, 연구 기술의 보안, 내/외부 실행 시의 비용 등의 많은 부분을 고려해야 한다. 특히 짧은 기간 내에 확실한 결과를 필요로 하는 경우, 전문적인 인적자원의 투입을 위해 R&D 프로젝트를 전문 기업에 의뢰하는 것도 하나의 방법이다. 실제로 국내 대기업군에 속한 기업들은 해당 기술 분야에 전문적인 인력을 보유한 중소기업과 연구소에 R&D 프로젝트를 의뢰하여 진행하고 있다. 이처럼 R&D에 대한 수요를 자체적으로 충족하지 못하는 기업 등에 대한 R&D 활동의 일부 또는 전부를 대행(위탁연구)하거나 시장에서 필요로 하는 기술을 독자적으로 개발하여 타 기업에 공급하는 연구개발 업종에 속한 기업은 2019년 8월 기준 710개에 달한다(대한무역투자진흥공사, 2022년 3월 22일).

연구개발 업종과 같이 R&D 프로젝트를 수주하는 기업은 발주기업의 요구사항에 따른 R&D뿐만 아니라, 시장에서 요구하는 기술의 독자개발을 위한 R&D, 기업 내의 기술 전문성을 높이기 위한 R&D, 이미 개발되어 납품된 기술에 대한 기술지원 등 다양한 R&D 프로젝트에 대응해야 한다. 그러나 기업이 보유한 연구자원의 한계로 인해 모든 프로젝트를 수행하기는 불가능하다. 따라서 일반적인 기업의 경우 대상 프로젝트를 수행하는데 필요한 기술력의 보유 여부, 기대수익, 예상비용, 연구자원, 일정 등의 많은 사항을 고려하여 기업의 수익성을 극대화할 수 있는 프로젝트 포트폴리오를 작성한다. 이와 같은 제약조건 내에서 기업의 이익을 최대화할 수 있는 자원의 배분과 프로젝트의 선택은 기업의 성패에 큰 영향을 줄 수도 있는 중요한 의사결정이다.

특히, 이러한 기업이 수익의 최대화를 위해 프로젝트 포트폴리오를 작성하는 경우, 작성 시점에 발생이 정해져 있는 프로젝트들의 목록에서만 프로젝트를 선택하여 자원을 배정하는 것은 효율적이지 않을 수 있다. 만일 작성 시점에는 발생이 정해져 있지 않은 고수익의 프로젝트들이 확률적으로 존재하는 경우, 이의 실행을 위한 자원의 배정을 고려하는 것이 더 효율적일 수 있다. 실제로 연간 프로젝트 포트폴리오 작성 시점에서는 발생이 확정되지 않았지만, 그 이후에 발생하는 고수익의 단기 프로젝트들은 다수 있으며, 이런 프로젝트들을 실행할 수 있다면 회사의 수익을 높일 수 있으나 실행할 여유 자원이 없는 경우 수행할 수 없다. 따라서 미래에 불확정적으로 발생하는 고수익의 프로젝트들을 실행할 수 있는 자원의 여유를 주는 것이 필요하다.

본 연구에서는 프로젝트 포트폴리오 작성 시점에 발생이 확률적인 미확정 프로젝트들이라는 불확정적 요소를 추가하여 모델을 작성하고, 목적함수의 값을 최대화하는 알고리즘을 모의실험을 통해 연구하고자 한다.

II. 이론적 배경

2.1 R&D 프로젝트 포트폴리오 선택 문제

프로젝트 포트폴리오 선택 문제(PPS, Project portfolio selection problem)는 지난 20년간 많은 학자에 의해 연구되었다. R&D의 중요성으로 인해 연구의 상당 부분은 주로 R&D 프로젝트와 관련되었다. 2000년대 이전까지 PPS에 관한 연구는 매우 적었기 때문에 자세히 다루지 않았다 실제로 프로젝트 선정에 관한 연구나 포트폴리오 선정에 관한 연구와 달리 PPS연구는 2000년대 초반부터 대중화가 시작되었다. PPS에 대한 첫 번째 연구 중 하나는 Chu, Hsu & Fehling(1996)에 의해 수행되었으며, 그들은 R&D 프로젝트 포트폴리오 선택을 위한 의사결정 지원 시스템(DSS, Decision Support System)을 개발하였다. 그러나 학자들의 대부분은 PPS 연구의 전환점으로 Archer & Ghasemzadeh(1998, 1999)의 초기 작업을 언급한다. 그들은 PPS란 특정 조직 또는 관리하에 프로젝트들의 그룹을 관리하는 것이라 정의하였으며, 6단계의 PPS를 위한 새로운 프레임워크를 사용하는 DSS를 소개하고 개발하였다(Mohagheghi et al., 2019). 프로젝트 포트폴리오 선택 문제에 예산 또는 인적자원과 같은 제약은 0-1변수를 사용한 수학적 선형 모델로 적용할 수 있으며(Santhanam et al., 1989), R&D 프로젝트의 불확실성을 제한하기 위한 퍼지 R&D 포트폴리오 선택 모델도 개발되었다(Wang & Hwang, 2007). 또한, 포트폴리오 최적화에 직원의 배치와 일정을 포함하기 위한 비선형 혼합 정수 모델도 연구되었으며, Liu & Wang(2011)은 프로젝트의 선택과 일정계획을 위해 다목적 알고리즘을 제안하였다. 이들은 선택된 프로젝트들의 총 기대 이익 극대화와 연속된 기간 사이에 할당된 자원 변동의 최소화를 위한 두 가지 목적함수를 제시하였다. 프로젝트 포트폴리오 선택 문제 관련 대표적 연구를 살펴보면, 시간에 따른 자원의 제약이 있는 프로젝트의 선택 및 일정 문제를 위한 최적화 모델의 제시(Hassanzadeh et al., 2014), R&D 프로젝트 선택 및 일정 문제에서 순이익과 투자비용이 불확실한 경우 새로운 최적화 모델의 제시와 더불어 문제 해결을 위한 유전 알고리즘 설계 연구(Huang & Zhao, 2014), 자원의 관리와 수익을 고려하여 프로젝트의 선택과 일정을 계획하는 혼합 정수 프로그래밍 모델의 연구(Shariatmadari et al., 2017), 프로젝트 NPV 간의 균형을 위한 활동의 시작 시점

과 계획 및 공급업체의 선택, 주문 수량을 결정하는 프로젝트 일정 및 자재 주문 문제에 대한 연구(Habibi et al., 2019)가 있다. 최근 연구를 살펴보면 Mohagheghi et al.(2019)는 프로젝트 포트폴리오 선택에 관련한 문헌 연구를 선정 및 평가 기준(재무, 리스크, 전략, 환경, 사회, 지속가능성 등), 불확실성에 대한 접근방식(Stochastic, Fuzzy 등), PPS에 적용된 모델링 방식(Frameworks, DSSs, 최적화, 점수이론), 휴리스틱 및 메타 휴리스틱 솔루션 접근법, PPS의 적용 사례를 통한 연구의 영역 등 5가지 측면으로 분류하여 검토하였으며, Abbasi et al.,(2020)는 신제품개발(NPD) 프로젝트 포트폴리오 선택에서 다양한 선택 기준과 요소를 BSC(Balance Score Card) 프레임워크를 사용하여 해결하기 위해 다중목적 메타 휴리스틱 알고리즘을 적용하여 연구하였다. Bai et al.(2022)는 프로젝트 포트폴리오 구현을 위해 동적 시너지를 고려한 시스템 동적 모델의 방법론을 제시하였으며 자원제약에 의한 프로젝트 제외, 프로젝트 기능적 가치 결정 및 시스템 역학 점 모델링 시뮬레이션의 절차로 구성하였다. Kettunen & Lejeune(2022)은 애자일 접근방식에서의 프로젝트 포트폴리오 선택을 위한 확률적 프로그래밍 모델을 개발하였다.

2.2 SRCPSP(Stochastic RCPSP)

일반적으로 RCPSP는 확정적인 경우를 다룬다. 그러나 기업의 프로세스에는 확정적인 요소만 있는 것이 아니며, 불확정적 요소도 존재하고 있다. RCPSP의 영역에서도 불확정적 요소를 적용하기 위해 RCPSP의 확률적 확장모델인 SRCPSP(Stochastic Resource Constrained Project Scheduling Problem)에 대한 연구가 진행되고 있다(백인섭, 2019). SRCPSP에서 활동 기간은 알려진 확률분포 또는 활동의 수행 기간에 따른 임의의 변수로 모델링된다(Rostami et al., 2018). 이러한 문제의 해법으로 Stork(2001)는 엄밀한 분기 한정 알고리즘을 제시하였으며, Creemers(2015)는 엄밀한 마르코프 체인 알고리즘을 제안하였다. 또한, Chen et al.(2018)는 그의 연구에서 17가지 자원기반 우선순위 규칙 휴리스틱의 성능을 조사하였으며, Ballestin & Leus(2009)는 GRASP(Greedy Randomized Adaptive Search Procedure)의 적용된 버전을 제안했다. Fang et al.(2015)의 연구에서는 진화적 메타휴리스틱인 EDA(Estimation of Distribution Algorithm) 추정을 제안하였다. Chakraborty et al.(2017)은 활동의 수행 기간이 불확실한 RCPSP에 관해 연구하였으며, Wang & Ning(2018)의 연구에서는 프로젝트의 일정을 위한 세 가지 불확실한 선택 제약 프로그래밍 모델이 제시되었으며, Davari & Demeulemeester(2019)의 연구에서는 선택이 제한된 효율적 분기 한정법 알고리즘이 개발되었다. Creemers et al.(2010)의 연구에서는 최적의 스케줄링 정책의 결정을 위한 연속시간 마르코프 체인을 기반으로 한

SDP(Stochastic Dynamic Programming)를 사용되었으며, Raghavan, Yoon, & Srihari(2018)의 연구에서는 EMS(Electronics Manufacturing Services) 분야에서 확률적인 재작업 및 재처리시간을 가진 일정 문제의 해결을 위해 변형된 유전자 알고리즘이 개발되었다.

프로젝트 일정 문제에 있어 일정계획의 버퍼 크기는 프로젝트 기간 추정의 불확정성을 반영하고 프로젝트 일정 성과에 영향을 준다. 프로젝트 활동 간 의존성이 프로젝트 기간 성과에 미치는 영향을 분석하고, 활동 간 의존성을 가정한다. 특히 버퍼 크기를 의존도 및 의존 인자를 사용하여 버퍼 사이징을 결정하는 방법을 제시하였다(Bie, L. et al., 2012)

2.3 시뮬레이션(Simulation) 기법

몬테카를로 시뮬레이션은 반복된 무작위 추출을 이용하여 함수의 값을 수리적으로 추정하는 방법으로 불확실한 사건의 가능한 결과의 추정에 사용되며, 시뮬레이션 기법은 대부분의 산업과 생활에서 제한 없이 사용할 수 있다. 또한, 시뮬레이션 기법은 실제 상황이나 시스템과 유사한 환경을 조성하여 모방한 것이므로 구현의 유사함이 실험 성공의 핵심이며(Banks, 2005), 생산 프로젝트에서는 시뮬레이션 기법을 통해 재작업, 고장 등에 확률모델을 적용하고 이를 반복하여 실험할 수 있다(Zhang et al., 2007). 이러한 시뮬레이션 기법에 기반을 둔 최적화 기법은 피드백 루프를 사용하며, 시뮬레이션 기법을 사용하여 매개변수를 받아 사용하는 방법 등으로 적용할 수 있다(Werner et al., 2006). 프로젝트 일정 문제에 있어 시뮬레이션은 불확정성으로 인한 확률적 요인이 포함된 목적함수 값의 추정에 사용할 수 있다. PERT 시뮬레이션을 수행하려면 주요 활동을 정확하고 효율적으로 식별하는 것이 필수요소인데 그에 필요한 접근방식과 주요 활동 식별 방법을 통합하는 PERT 시뮬레이션 모델의 유도를 연구하여 고전적인 CPM/PERT의 분석 한계를 극복하고 효율성을 향상하기도 하였다(Lu & Abourizk, 2000).

III. 수학적 모형

3.1 문제의 가정

본 문제에서 가정은 다음과 같다.

- 프로젝트: 프로젝트는 최초 프로젝트 포트폴리오 산정 시점에서 확정된 프로젝트와 미확정된 프로젝트가 존재하며, 확정된 프로젝트는 그 목록과 해당 프로젝트에 필요한 자원, 기간, 매출, 비용이 미리 알려져 있다.
- 자원: 프로젝트의 수행에는 자원이 필요하며, 프로젝트가 종료되면 해당 자원의 점유도 종료된다.
- 최초 자원 배정률(): 전체 가용자원 중 최초 프로젝트 포트폴리오 산정 시점에서 확정된 프로젝트의 선택에 배정할 수 있는 자원의 비율이다.
- 자원의 종류: 자원의 종류는 상위에서 하위의 순서로 책임연구원, 선임연구원, 일반연구원의 3가지이다.
- 수행방식(모드): 필요한 자원이 확정된 프로젝트는 종류별 자원의 대체가 가능한 조합의 수만큼 수행방식을 가진다. 단, 자원은 종류별로 각각 최소 1 이상 배정되어야 하며, 책임연구원과 선임연구원, 선임연구원과 일반연구원은 각각 1:2의 비율로 대체할 수 있다. 또한, 최초 확정된 필요자원을 기준으로 상위자원이 하위자원으로 1명이 대체될 때마다 프로젝트 수행 기간이 증가하며, 하위자원이 상위자원으로 대체되는 경우 수행 기간의 감소는 없다.
- 수행방식의 진행 중 변경: 프로젝트의 수행방식은 진행 중 필요에 따라 변경될 수 있으며, 수행방식 변경에 따른 잔여기간 증가의 산정은 진행되던 수행방식을 기준으로 산정된다.
- 미확정 프로젝트의 발생: 미확정 프로젝트의 월평균 발생확률과 월평균 발생 수 및 월평균 예상 수익은 미리 알려져 있다.
- 프로젝트의 수행 기간, 필요자원, 마감기한은 발생 시점에 알려져 있다.
- 프로젝트의 비선매성: 각 프로젝트는 시작 시점부터 종료 시점까지 중단되지 않고 연속적으로 수행되어야 한다(Non-preemptive).
- 가용자원의 수: 포트폴리오 전체 산정 기간에 걸쳐 시점별로 가용한 종류별 최대 자원의 수는 알려져 있으며, 모든 시점에서 진행 중인 프로젝트들에 점유되는 종류별 자원 수의 합은 해당 시점의 최대 가용자원의 수를 초과할 수 없다.
- 마감기한(Due Date): 각각의 프로젝트는 마감기한이 있으며, 선택된 모든 프로젝트의 마감기한을 반드시 준수되어야 한다.

3.2 문제의 수식화

본 연구의 수학적 모형은 다음과 같다.

$$\text{Maximize} \quad \sum_{p \in OP} \left\{ \sum_{m=1}^{M_p} [(V_{p,m} - C_{p,m}) \times y_{p,m}] \right\} \times x_p \quad [1]$$

Subject to

$$x_p = \begin{cases} 1, & \text{if } p \in EP \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall p \in OP \quad [2]$$

$$y_{p,m} \in \{0, 1\}, \quad \forall p, m \quad [3]$$

$$\sum_{m=1}^{M_p} y_{p,m} = 1, \quad \forall p \in EP \quad [3]$$

$$st_p \geq ES_p, \quad \forall p \in EP \quad [4]$$

$$st_p + \sum_{m=1}^{M_p} [d_{p,m} \times y_{p,m}] \leq Due_Date_p, \quad \forall p \in EP \quad [5]$$

$$\sum_{p \in S_t} \sum_{m=1}^{M_p} (r_{p,m,k} \times y_{p,m}) \leq b_k, \quad \forall t, k, \forall p \in EP \quad [6]$$

$$\sum_{p \in S_t} \sum_{m=1}^{M_p} (r_{p,m,k} \times y_{p,m}) \leq (b_k \times RR), \quad \forall t, k, \forall p \in (EP \cap DP) \quad [7]$$

$$r_{p,m,k} \geq 1, \quad y_{p,m} = 1, \forall k, \forall p \in EP \quad [8]$$

Where,

- p : 집합 OP 에 속하는 프로젝트를 나타내는 인덱스이며, $p = 1, 2, 3, \dots, N$ 으로 표기한다.
- OP : 프로젝트 포트폴리오에 선택될 수 있는 모든 프로젝트의 집합을 의미한다. 이 집합에 속한 프로젝트들은 최초 포트폴리오 작성 시점에 선택할 수 있는 프로젝트들뿐만 아니라, 전체 기간 내에 발생하여 프로젝트 포트폴리오에 선택 가능한 모든 프로젝트를 포함한다.
- m : 프로젝트의 수행할 수 있는 연구자원의 조합(모드)을 나타내는 인덱스이며, $m = 1, \dots, M_p$ 로 표기한다.
- M_p : 프로젝트 p 를 수행할 때, 사용할 수 있는 자원의 조합(모드) 수이다.
- $V_{p,m}$: 프로젝트 p 가 모드 m 으로 수행되었을 때 예상되는 가치이다.
- $C_{p,m}$: 프로젝트 p 가 모드 m 으로 수행되었을 때 프로젝트 수행에 예상되는 비용이다.

- $y_{p,m}$: 프로젝트 p 가 모드 m 으로 수행되는지를 나타내는 0-1 의사결정변수이다. 프로젝트 p 가 모드 m 으로 수행되면 1의 값을 가지며, 아니면 0의 값을 가진다.
- x_p : 프로젝트 p 가 프로젝트 포트폴리오에 선택되었는지를 나타내는 0-1 의사결정변수이다. 프로젝트 p 가 선택되면 1의 값을 가지며, 아니면 0의 값을 가진다.
- EP : 프로젝트 포트폴리오에 선택된 프로젝트들의 집합을 의미하며, 이에 속한 프로젝트들의 x_p 는 1의 값을 가진다.
- st_p : 프로젝트 p 를 시작할 수 있는 시점을 의미한다.
- ES_p : 프로젝트 p 를 시작할 수 있는 가장 빠른 시점을 의미한다.
- $d_{p,m}$: 프로젝트 p 가 모드 m 으로 수행되는 경우, 프로젝트 p 가 수행되는 전체 수행 기간이다.
- Due_Date_p : 프로젝트 p 의 마감기한이다.
- S_t : 시점 t 에서 진행 중인 프로젝트들의 집합을 뜻하는 개념적인 서술로, 시점 t 에 시작하는 프로젝트는 포함되고, 종료되는 프로젝트는 제외된다.
- $r_{p,m,k}$: 프로젝트 p 가 모드 m 으로 수행되는 경우, 단위 시점별 자원 k 가 점유되는 양을 의미한다.
- k : 연구자원의 종류(책임연구원, 선임연구원, 일반연구원)에 대한 인덱스이며, 상위에서 하위의 순서대로 $k=1, 2, 3$ 으로 표기한다.
- b_k : 연구자원의 종류 k 에 대해 매 시점별 점유 가능한 가용자원의 수량이다. 본 연구에서 가용한 연구자원의 수량은 프로젝트 포트폴리오 전 기간에 걸쳐 동일하다.
- RR : 가용자원 b_k 중 최초 프로젝트 작성 시점($t=0$)에 확정된 프로젝트들에 배정할 수 있는 자원의 비율이다. 따라서 시점 0($t=0$)에 미확정된 프로젝트들은 $b_k - (\text{시점 0에 확정된 프로젝트 중 선택된 프로젝트에 배정된 자원})$ 를 프로젝트 선택에 사용할 수 있다.

식 [1]은 본 연구의 목적함수로서, 수익 최대화를 위한 프로젝트 포트폴리오 선택 문제임을 보여준다. 이 연구모형에서 $V_{p,m} - C_{p,m}$ 은 프로젝트 p 의 예상수익을 나타내며, x_p 는 프로젝트 p 의 선택을, $y_{p,m}$ 은 프로젝트 p 가 어떤 모드로 실행되는지를 나타

낸다. 따라서 이 식의 값은 선택된 프로젝트들이 어떤 자원의 조합(모드)으로 실행되는지에 따라 결정된다. 제약식 [2]에서 x_p 는 0-1 변수로 프로젝트 p 가 프로젝트 포트폴리오에 선택되었는지를 나타낸다. 이때, x_p 의 값이 1인 경우 프로젝트 p 는 포트폴리오에 선택되었음을 의미하며, 이렇게 포트폴리오에 선택된 모든 프로젝트가 속한 집합을 EP 라 한다. 제약식 [3]은 프로젝트 p 가 어떤 자원의 조합(모드) m 으로 수행되는지를 나타낸다. 제약식 [4]는 선택된 각각의 프로젝트가 각 시점에서 단 하나의 모드만을 선택할 수 있음을 나타낸다. 제약식 [5]는 프로젝트 p 의 시작 시점에 프로젝트 p 의 총 수행되는 기간 d_i 를 더한 값이 마감기한 Due_Date_p 를 초과할 수 없음을 나타낸다. 제약식 [6]은 전체 연구자원에 관련된 제약식으로 S_t 는 포트폴리오에 선택되어 시점 t 에 수행되는 모든 프로젝트의 집합을 나타낸다. 이 식에서 $\sum_{p \in S_t} \sum_{m=1}^{M_p} (r_{p,m,k} \times y_{p,m})$ 는 시점 t 에 수행되고 있는 모든 프로젝트에 필요한 연구자원 k 에 대한 점유요구량의 합계로, 모든 시점에서 연구자원 k 의 가용자원의 수량인 b_k 를 초과할 수 없음을 나타낸다. 제약식 [7]은 최초 프로젝트 포트폴리오 작성 시점에서 불확정성이 없는 확정된 프로젝트 $p(p \in DP)$ 들에 배정할 수 있는 연구자원에 관련된 제약식으로, 시점 t 에 수행되고 있는 프로젝트 $p(p \in EP)$ 중 확정된 프로젝트의 집합(DP)에 속한 프로젝트 p 들에 필요한 연구자원 k 에 대한 점유요구량이 연구자원의 종류 k 의 가용자원인 b_k 와 최초 프로젝트 작성 시점($t=0$)에 확정된 프로젝트들에 배정할 수 있는 최초 자원 배정률(RR)의 곱인 $b_k \times RR$ 을 초과할 수 없음을 나타낸다. 제약식 [8]은 선택된 프로젝트들의 연구자원의 종류 k 별 최소 필요자원에 관한 제약식으로, 선택된 프로젝트 p 가 모드 m 으로 실행되는 경우 단위 시점별 필요한 자원의 수량이 모든 종류의 k 에 대하여 1이상의 값을 나타낸다.

IV. 알고리즘

본 연구는 프로젝트 포트폴리오 선택 문제 중 제한된 자원이라는 제약조건과 선택 가능한 프로젝트 중 일부가 확률적으로 주어지는 경우 목적함수를 최대화하는 최초 자원 배정률(RR)을 찾는 문제이며, 프로젝트의 수행을 위해 점유되는 자원의 종류가 다양한 경우이다. 이는 자원의 제약이 있는 프로젝트 일정 문제(RCPSP) 중 불확정성으로 인해 확률적(Stochastic) 요소가 있으며, 다양한 수행방법(Multi Modes)을 가지고 있는 경우와 유사하다. 따라서, 본 연구는 (1) 최대 수익을 위한 프로젝트 포트폴

리오 작성을 위한 프로젝트의 선택에 RCPSP(Resource Constrained Project Scheduling Problem) 중 다양한 수행방법이 있는 RCPSPMM(RCPSP with Multi Modes)를 이용하며, (2) 최초 프로젝트 포트폴리오 작성 시점에 미확정된 프로젝트에 대한 불확정적 요소를 추정하기 위해 RCPSP의 확률적 확장모델인 SRCPSP(Stochastic Resource Constrained Project Scheduling Problem)의 시뮬레이션 기법을 사용한다.

일반적으로 다양한 수행방법이 있는 RCPSPMM의 경우 전형적인 NP-Hard Class의 문제이며, NP-Hard Class 문제는 해의 영역(Solution Space)이 커지는 경우 탐색 시간이 급격히 증가하게 된다. 따라서 모든 해를 탐색하는 최적화 기법보다 비교적 짧은 시간 내에 우수한 해를 찾을 수 있는 휴리스틱 기법을 사용하는 것이 현실적인 대안이다(Ahn & Erenguc, 1998). 따라서 본 연구에서는 최대 수익 프로젝트 포트폴리오 작성을 위한 프로젝트 선택에 휴리스틱 기법을 사용한다.

본 연구에서 불확정적인 요소는 프로젝트 포트폴리오 작성 시점에서 미확정된 프로젝트의 속성으로 미확정된 프로젝트의 발생 시점, 수행 기간, 마감기한, 기대가치, 예상비용 등이 있다. 그러나 이는 확률적으로 주어지며 미확정 프로젝트의 연평균 프로젝트 발생 수, 평균 수행 기간, 발생 시점으로부터 평균적인 마감기한, 월평균 수익(기대가치-예상비용) 등은 알려져 있다.

이처럼 미확정 프로젝트의 속성은 어느 특정 시점에서 모두 결정되지 않으며, 프로젝트 포트폴리오 전체 산정 기간에 걸쳐 미확정 프로젝트의 발생 시점마다 그 속성이 확정되며, 이에 따라 프로젝트 포트폴리오의 수익을 최대화하는 해는 달라진다. 따라서 본 연구의 모형은 미확정 프로젝트의 발생 시점마다 순차적으로 해를 구해야 하는 다단계 의사결정 문제이며, 이때 최대 수익을 위한 프로젝트 포트폴리오 재작성 방법을 정리하면 다음과 같다.

(1) 최초 프로젝트 포트폴리오 작성.

최초 프로젝트 포트폴리오 작성을 위해 작성 시점 t 를 0으로 설정한 후 선택 가능한 프로젝트들(확정된 프로젝트)을 대상으로 프로젝트의 선택(x_p)과 선택된 프로젝트의 수행 모드($y_{p,m}$)와 시작 시점(st_p)의 조합 중 최초 자원 배정률(RR)내에서 최선의 조합을 탐색한다.

(2) 프로젝트 포트폴리오 재작성 시점 t 를 탐색한다.

2-1) 시점 t 를 포트폴리오 최종 산정 시점까지 증가하여도 선택 가능한 미확정 프로젝트의 발생 가능성이 없는 경우 종료한다. 있으면 2-2로 이동.

2-2) 미확정 프로젝트의 발생 가능성이 있다면, 가장 빠른 발생 시점 t 까지 시점

을 이동하고, t 의 값을 업데이트 한다.

(3) 시점 t 에서의 프로젝트 포트폴리오 재작성.

사용 가능한 잔여 자원과 이전 시점에서 선택된 프로젝트(완료된 프로젝트 제외, 진행 중인 프로젝트는 잔여기간만 적용)의 자원 대체(모드의 변경)를 고려하여, 시점 t 에서 선택 가능한 프로젝트들(신규 발생한 프로젝트 포함)로 최선의 $x_p, y_{p,m}, st_p$ 의 조합을 탐색하고 (2)로 이동한다.

본 모형을 미확정 프로젝트의 발생 시점별로 확정되는 다단계 의사결정 문제로 제시하였으므로 남은 논점은 프로젝트 포트폴리오의 작성 문제이다. 그러나 3장에 제시한 수학적 모형의 경우 확률적 요소가 적용된 모형으로 최적의 조합을 찾는 확정적 모형에 직접 적용하기에 적절하지 않다. 따라서 본 연구에서는 연평균 프로젝트 발생 수, 평균 수행 기간, 발생 시점으로부터 평균적인 마감기한, 월평균 수익 등의 확률변수를 상수로 추정하여 확정변수로 변환하며, 이를 이용하여 프로젝트 포트폴리오 작성에 적절한 확정 모형을 만든다. 이때 프로젝트에 적용되는 매개변수(Parameter)인 프로젝트에 대한 수행자원조합(모드)의 선택, 프로젝트 마감기한 등에 따라 프로젝트별로 적절한 추정방식은 달라진다. 따라서 본 연구에서 확률변수의 추정치는 기댓값을 이용하여 추정하며, 시뮬레이션 기법을 적용하여 적절한 최초 자원 배정률(RR)을 탐색하는 절차를 제안한다.

4.1 해의 영역

본 문제의 수학적 모형에서 x_p 는 0 또는 1의 값을 갖는다. 이때 x_p 가 1이면 프로젝트 p 가 선정됨을 의미한다. 포트폴리오에 선정된 프로젝트 p 의 수행자원에 대한 선택 관련 의사결정변수를 $y_{p,m}$ 라 할 때, $st_p + \sum_{m=1}^{M_p} [d_{p,m} \times y_{p,m}] \leq Due_Date_p$ 의 제약식을 만족하는 프로젝트 p 의 시작 시점에 관한 의사결정변수 $st_{p,i}$ 는 $st_p \leq st_{p,i} \leq \left(Due_Date_p - \sum_{m=1}^{M_p} [d_{p,m} \times y_{p,m}] \right)$ 의 값을 가지게 된다. 즉, 프로젝트를 나타내는 인덱스를 $p = \{1, 2, 3, \dots, N\}$ 라하고, 프로젝트 선정에 관한 의사결정변수를 x_p 라 하며, 프로젝트 p 의 시작 시점을 나타내는 인덱스를 $i = \{1, 2, 3, \dots, N\}$ 라 하면, 프로젝트 선정 관련 해의 영역과 프로젝트 p 의 시작 시점의 해의 영역과 수행자원의 선택(모드) 관련 해의 영역은 다음과 같다.

$$\text{프로젝트선택관련: } \left\{ \begin{array}{c} \textit{Select} \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \dots \\ x_N \end{array} \right\}, \quad \text{자원선택(모드)관련: } \left\{ \begin{array}{c} \textit{ST} \\ st_{p,1} \\ st_{p,2} \\ st_{p,3} \\ \dots \\ st_{p,N} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{c} \textit{Mode} \\ y_{p,1} \\ y_{p,2} \\ y_{p,3} \\ \dots \\ y_{p,M_p} \end{array} \right\}$$

선정된 프로젝트 p 의 수익에 대한 의사결정변수인 시작 시점과 수행자원(모드)이 정해지면, 프로젝트 p 의 예상가치($V_{p,m}$)와 마감기한은 사전에 주어지므로, 예상비용($C_{p,m}$)과 수행 기간($d_{p,m}$) 및 수익($V_{p,m} - C_{p,m}$) 등은 의사결정변수의 값에 의해 결정되는 종속변수들이다. 이 문제에서 해의 영역(Solution Space)은 의사결정변수 $x_p, st_{p,i}, y_{p,m}$ 의 조합으로 이루어지며, 이 조합 중 앞에서 제시된 모든 제약조건을 만족하는 경우 실행이 가능한 해(Feasible Solution)가 되고, 하나라도 제약조건을 만족하지 못하면 실행이 불가능한 해(Infeasible Solution)가 된다.

따라서 본 연구가 확정적 모델을 다룬다면, 실행이 가능한 해 중에서 목적함수의 값을 최대화하는 최적해(Optimal Feasible Solution)를 찾는 알고리즘을 제안하거나, 본 연구가 NP-Hard Class에 해당하므로 휴리스틱 기법을 통해 가장 좋은 해(Best Solution)를 찾는 알고리즘을 제안하는 것이 좋을 것이다.

그러나 본 연구의 경우 최초 작성 시점에서 확정되어있는 프로젝트를 선택하는 경우 확정적인 요소만을 다루고 있으나, 미확정 프로젝트에 대한 부분은 확률적인 요소를 다루고 있다. 따라서 확정적인 요소만을 다루는 최초 작성 시점에서의 최초 자원배정률(RR)이 적용된 부분에 대한 휴리스틱 기법을 제안한다.

4.2 해법

4.2.1 최초 포트폴리오 작성 시점의 휴리스틱 기법 약술

최초 프로젝트 포트폴리오 작성 시점의 경우 전형적인 RCPSPMM과 유사하며, 본 연구에서는 이웃 탐색(Neighborhood Search) 기법을 기반으로 한 다수 경로(Multi-Pass) 알고리즘을 아래와 같이 제안한다.

- Step 1: [실행 가능한 해(Feasible Solution)의 생성]
실행 가능한 해를 생성한다. Step 2로 이동한다.
- Step 2: [해의 부분적인 변경을 통한 개선]
다양한 이웃 탐색 기법을 반복적으로 사용하여 현재의 실행이 가능한 해를 개선한다

다. 더 이상 해가 개선되지 않으면 Step 3으로 이동한다.

- Step 3: [진행 여부의 판단]

미리 설정된 연산 시간을 초과하였거나, 미리 설정된 새로운 실행 가능한 해의 생성 횟수의 제한을 초과하였으면 종료한다. 아니면 Step 1로 이동한다.

위에 제안한 휴리스틱 기법의 알고리즘은 Step 1 [실행 가능한 해(Feasible Solution)의 생성]으로 시작된다. 본 연구에서 실행 가능한 해의 생성이란 의사결정변수인 $x_p, st_{p,i}, y_{p,m}$ 의 조합을 모두 결정한다는 의미이며, 이 결정된 조합이 모든 제약 조건을 만족한다는 의미이다. 이렇게 Step 1에서 생성된 실행 가능한 해를 Step 2 [해의 부분적인 변경을 통한 개선]에서 다양한 이웃 탐색 알고리즘의 반복적으로 사용을 통해 개선을 시도한다. 이때 목적함수의 값이 좋아지는 경우 해를 변경하며, 그렇지 않으면 해의 변경을 취소한다. 부분적인 해의 변경을 다양하게 시도하여, 더 이상 해의 개선이 이루어지지 않는 경우 Step 3 [진행 여부의 판단]으로 이동한다. 이러한 알고리즘은 미리 연산 시간을 설정하거나 특정 Step의 진행 횟수를 제한하는 방법으로 종료할 수 있다. 본 연구의 경우 Step 3에서 Step 1로 이동하는 횟수를 제한하였다. 즉 새로운 해를 생성이 지정된 횟수를 초과하였다면 현재까지 발견한 가장 좋은 해(Best Solution)를 확정하고 알고리즘을 종료한다

4.2.2 미확정 프로젝트 선택에 대한 시뮬레이션

본 연구에서 프로젝트 포트폴리오에 최초 작성 시점에 미확정된 프로젝트를 선택하는 부분은 확률적 의사결정모형으로 그 목적함수의 값은 미확정 프로젝트의 의사결정변수 x_p 와 $y_{p,m}$ 및 st_p 가 어떤 값을 가지게 되는가에 따라 달라진다. 그러나 미확정 프로젝트의 x_p 와 $y_{p,m}$ 및 st_p 의 값은 확률변수로 모든 미확정 프로젝트가 확정되어야 최종적으로 목적함수의 값을 구할 수 있다. 즉, 본 연구에서 목적함수의 값은 시간의 진행에 따라 단계별로 값이 결정된다는 특징을 가지고 있다. 따라서 목적함수의 값을 구하기 위하여 다음의 절차를 제안한다.

- Step (1): 최초 프로젝트 포트폴리오 작성 시점에 확정된 프로젝트는 최초 자원 배정률(RR)의 제한 내에서 목적함수의 값이 최대화되는 프로젝트들을 선택하여 프로젝트 포트폴리오를 작성한다.
- Step (2): 시점을 가상으로 증가시켜서 가장 빠른 미확정 프로젝트의 발생 시점을 찾는다. 난수를 이용하여 프로젝트의 발생 여부를 판정하고, 프로젝트가 발생한 경우 필요자원, 수행 기간, 마감기한 등의 속성도 난수를 통하여 확정한다. 잔여 가

용자원 내에서 목적함수의 값을 최대화 하는 프로젝트 포트폴리오를 재작성한다.

- Step (3): 미확정 프로젝트의 발생 가능 시점이 지나지 않은 경우 (2)를 반복한다. 미확정 프로젝트가 발생 가능한 모든 시점이 지났으면 모든 미확정 프로젝트의 확정이 완료된 것이며, 이때의 프로젝트 포트폴리오가 최종 포트폴리오로 확정된다. 따라서 목적함수의 값도 최종 결정된다.

(3)의 절차에서 결정되는 목적함수의 값은 (2)의 절차에서 미확정 프로젝트의 확정 및 속성의 결정에 어떤 난수가 발생했는지에 따라 달라진다. 그러므로 본 연구에서는 목적함수의 값을 찾는 과정을 충분히 반복하여 평균을 구하고, 그 값들의 평균을 최대화하는 최초 자원 배정률(RR)의 값을 찾도록 한다.

V. 모의실험 결과

본 연구에서 모의실험의 목적은 제시한 수학적 모형에 대해 제안된 알고리즘이 실제로 작동하며 유효하다는 것을 입증하는 것이다. 본 연구에서는 불확정성이 있는 프로젝트 포트폴리오 작성에 있어 확률적 요소의 해결방법으로 시뮬레이션 기법을 통한 알고리즘을 제안하였다. 최초 프로젝트 포트폴리오 작성 시점에서 불확정적 요소로 존재하는 미확정 프로젝트들은 확률적인 요소로만 존재한다. 이의 해결을 위하여 가상의 시간을 증가시키면서 미확정된 프로젝트들을 단계별로 확정한다. 그리고 최종 시점까지 다단계로 최대 수익을 위한 프로젝트 포트폴리오의 작성을 풀어가는 것이다. 따라서 본 연구의 모형에 대한 목적함수의 값은 (1) 최초 프로젝트 포트폴리오 작성 시점에서 미확정 프로젝트에 대한 확률적 요인(알고리즘에서는 난수로 발생 값)과 (2) 최초 프로젝트 포트폴리오 작성 시점에서 확정된 프로젝트에 배정되는 최초 자원 배정률(RR)에 따라 결정된다. 그러므로 모의실험에서는 (1)의 확률적 요인에 대한 해결방법으로 충분히 많은 수의 모의실험을 통해 목표함수의 값을 평균적으로 구하고, (2)에 대한 해결방법으로 다양한 최초 자원 배정률(RR)의 값을 적용하는 방안을 수행하고자 한다. 본 연구는 (1)의 해결방법과 (2)의 해결방법의 결합을 통하여 데이터 셋에 따라 평균적으로 우월한 목적함수의 값을 가지는 최초 자원 배정률(RR)을 추정하는 방식을 파악하는데 그 의의를 가진다. 본 연구에서 평균적으로 우월한 목적함수의 값을 가지는 추정방식의 기준은 하나의 최초 자원 배정률(RR)로 실험된 결과들의 평균이며, 이는 다른 최초 자원 배정률(RR)로 실험된 결과들의 평균보다 더 큰 경우를 의미한다. 현실의 경우 본 연구에서 제안한 추정방식보다 더 좋은 방법이 있을 수 있으나, 본 연구에서는 시뮬레이션 기법을 통한 추정방식을 사용한다.

본 연구의 모의실험 결과는 두 부분으로 구성되어 있다. 첫 번째 부분은 모의실험을 위한 조건의 설정이며, 두 번째 부분은 각기 다른 3개의 데이터 셋(Data Set)에 최초 자원 배정률(RR)을 0%부터 100%까지 10%의 간격으로 총 11가지로 다르게 적용하고, 각각의 최초 자원 배정률(RR)별 모의실험을 10,000번씩 실행한 후, 최초 자원 배정률(RR)별 목적함수 값의 평균을 기술하였다.

5.1 모의실험의 조건 설정

모의실험은 같은 환경과 조건에서 생성된 데이터 셋(Data Set)을 바탕으로 진행하였다. 데이터 셋은 총 5가지로 각각의 데이터 셋은 프로젝트 포트폴리오 총 산정 기간 36개월, 최초 작성 시점에 확정된 장기 프로젝트 수 5개, 중기 프로젝트 수 60개이며, 각각의 프로젝트 수행에 필요한 연구자원의 종류는 책임연구원, 선임연구원, 일반연구원의 3종류로 설정하였으며, 가용자원 수는 각각 10, 20, 40명으로 구성되었다. 프로젝트의 종류는 프로젝트의 수행 기간에 따라 장기, 중기, 단기 프로젝트로 구분하였으며, 장기 및 중기 프로젝트에 대한 수행 기간과 마감기한 등의 계수는 기본 데이터 셋의 생성 시점에서 난수 발생을 통해 임의적으로 생성하였으며, 단기 프로젝트의 계수는 월평균 발생확률 40% 발생 시 1~3개이며, 미확정 프로젝트로 구분되어 발생이 확정되는 시점에 난수 발생을 통해 생성하였다.

확률적인 요소로 유의성을 해결하기 위해 각 데이터 셋에 대한 모의실험은 충분한 실험 횟수가 필요하며, 본 연구에서는 다음과 같은 횟수의 실험을 하였다.

- (1) 최초 프로젝트 포트폴리오 작성용 초기해 생성횟수 : 100회
- (2) 초기해 개선용 휴리스틱 개선 기법 적용횟수 : 100회
- (3) 모의실험에서 최초 자원 배정률(RR)의 적용범위: 100% ~ 0%(10% 간격)
- (4) 모의실험에서 최초 자원 배정률(RR)별 시뮬레이션 횟수: 10,000회

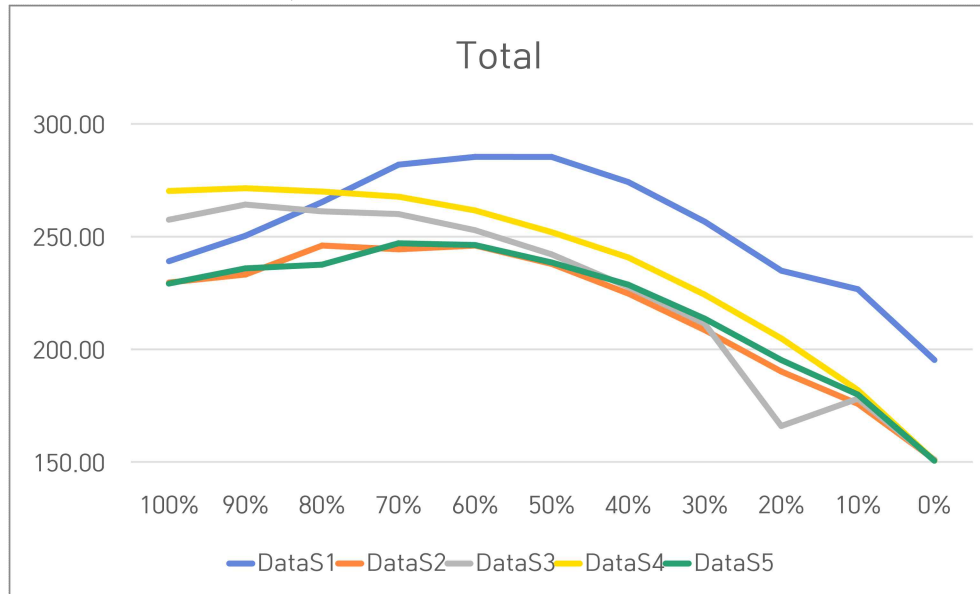
5.2 모의실험 결과

<표 1> 최초 자원 배정률(RR)별 평균 수익(억)

	RR	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	0%
Data Set 1	L&M	231.08	209.96	187.02	181.90	160.78	135.70	111.62	79.66	47.32	32.34	—
	Short	7.99	40.41	78.26	99.98	124.57	149.61	162.56	176.92	187.53	194.30	195.26
	Total	239.07	250.37	265.28	281.88	285.35	285.31	274.18	256.58	234.85	226.64	195.26
Data Set 2	L&M	208.78	190.00	173.42	158.62	142.60	119.20	95.02	70.58	45.20	25.38	—
	Short	20.83	43.16	72.59	85.70	103.38	118.63	129.68	137.90	144.90	150.39	150.99
	Total	229.61	233.16	246.01	244.32	245.98	237.83	224.70	208.48	190.10	175.77	150.99
Data Set 3	L&M	245.82	221.64	199.64	175.46	150.50	125.14	99.94	74.52	20.16	27.88	—
	Short	11.69	42.60	61.59	84.57	102.36	117.02	127.75	136.91	145.87	150.25	150.99
	Total	257.51	264.24	261.23	260.03	252.86	242.16	227.69	211.43	166.03	178.13	150.99
Data Set 4	L&M	248.28	227.94	205.58	182.18	158.38	134.30	109.10	84.80	59.32	31.96	—
	Short	21.93	43.49	64.37	85.49	103.18	117.63	131.62	139.39	145.49	149.92	150.57
	Total	270.21	271.43	269.95	267.67	261.56	251.93	240.72	224.19	204.81	181.88	150.57
Data Set 5	L&M	213.74	199.34	181.42	162.70	144.70	124.18	101.74	75.84	49.60	29.44	—
	Short	15.39	36.55	56.11	84.31	101.54	114.32	126.94	137.74	145.64	150.49	150.58
	Total	229.13	235.89	237.53	247.01	246.24	238.50	228.68	213.58	195.24	179.93	150.58

본 연구에서 확률적인 요소는 프로젝트 포트폴리오의 모든 산정 기간에 걸쳐 단단계로 확정되기 때문에 모의실험 역시 프로젝트 포트폴리오의 모든 산정에 걸쳐 실험되었다. 모의실험에서 장기 프로젝트(Long-term)와 중기 프로젝트(Mid-term)는 최초 프로젝트 포트폴리오 작성 시점에 확정된 프로젝트로 설정되었으며, 단기 프로젝트(Short-term)는 최초 프로젝트 포트폴리오 작성 시점에는 모두 미확정 프로젝트로 설정되었으나 가상 기간의 증가에 따라 산정 기간의 종료까지 순차적으로 확정되도록 설정하였다.

<그림 1> 모의실험의 RR 별 평균 수익



본 연구의 모의실험 결과에 따르면 모든 데이터 셋에서 최초 자원 배정률(RR)이 100%에서부터 0%로 감소함에 따라 평균적인 목적함수의 값이 증가하다가 다시 감소하는 볼록한(Convex) 형태로 관찰되었다. 또한, 데이터 셋에 따라 목적함수의 값을 최대로 하는 최초 자원 배정률(RR)이 각각 다를 수 있다. 본 연구에 제시된 알고리즘은 해당 데이터 셋에 최초 자원 배정률(RR)별 평균적인 프로젝트 포트폴리오의 수익을 탐색한다. 목적함수 값의 평균을 최대화하는 최초 자원 배정률(RR)을 적용하는 경우, 해당 데이터 셋에 대해 프로젝트 포트폴리오의 수익을 최대화하는 방법이 된다.

VI. 결 론

본 연구에서는 제한된 연구자원 내에서 기업의 수익을 최대화할 수 있는 R&D 프로젝트 포트폴리오 선택 문제(Portfolio Selection Problem) 중 일부 고수익 프로젝트들이 확률적으로 발생하여 불확정성이 있는 경우를 다루었다. 특히, 발생이 확정된 프로젝트들에 배정하는 연구자원과 발생이 확률적인 프로젝트들에 배정하는 연구자원의 비율이 프로젝트 포트폴리오의 전체수익에 미치는 영향을 연구하였으며, 전체수익의

최대화를 위한 적정 배정비율을 탐색할 수 있는 수학적 모형을 제시하였으며, 제시된 확률적 모형에 대한 해법으로 알고리즘을 제시하였다. 마지막으로 알고리즘을 프로그래밍하여 모의실험을 실행하였으며, 모의실험 결과를 통해 제시된 알고리즘이 실제로 작동하며, 유효하다는 것을 입증하였다.

모의실험은 확정된 프로젝트에 배정되는 자원의 비율을 최초 자원 배정률(RR)이라 할 때, 데이터 셋별로 RR 의 값을 100%부터 0%까지 10%의 간격으로 나누어 총 11가지 RR 에 대해 실험하였으며, 하나의 RR 에 대한 목적함수 값에 대한 추정치는 10,000번의 실험에 대한 평균으로 구하였다. 그 결과에 따르면 데이터 셋 1의 경우 중장기 프로젝트에 최초 자원 배정률(RR)을 60%로 적용하여 프로젝트 포트폴리오를 작성하는 것이 100%를 적용하는 것보다 46.27억 원이 더 높은 수익을 가지는 것을 알 수 있다. 데이터 셋 2, 3, 4, 5에서도 최초 자원 배정률(RR)이 100%일 때 보다 각각 80%에 16.39억, 90%에 6.72억, 90%에 1.22억, 70%에 17.87억 더 높은 결과가 나왔다. 이는 프로젝트 포트폴리오의 작성에 있어 미확정 프로젝트에 대한 여유자원을 배정하는 것이 더 좋은 결과를 얻을 수도 있다는 것을 보여주며, 본 연구에서 제시하는 모델과 알고리즘이 유효함을 보여준다.

본 연구의 결과에 따른 시사점을 제시하면 다음과 같다.

첫째, 기존의 R&D 프로젝트 포트폴리오 선택 문제 관련 연구들은 발생이 확정된 프로젝트들의 선택에 있어 예산, 인적자원, 일정, 순이익, 투자비용, NPV 등과 같은 프로젝트 내외의 속성에 대한 의사결정의 최적화를 중점적으로 다루고 있다. 일부 불확실성이 적용된 연구에서도 앞에서 언급된 속성 중 일부가 불확정적인 경우 또는 불확실성에 대한 접근방식 등에 관한 내용을 다루고 있다. 그러나 본 연구는 R&D 프로젝트 포트폴리오 선택 문제에 발생이 확률적인 프로젝트들도 포함하고자 하였다. 이를 위해 시뮬레이션 기법을 적용하였으며, 이를 통해 프로젝트 포트폴리오의 총수익을 평균적으로 산정할 수 있었다. 즉, 본 연구에서는 기존의 연구들과 다르게 R&D 프로젝트 포트폴리오 선택 문제에 확률적인 프로젝트들을 포함한 모델을 개발하였으며, 시뮬레이션 기법을 이용하여 목표함수 값을 평균적으로 산정하는 방법을 제시하였다는 측면에서 하나의 학술적 가치를 제공하였다.

둘째, R&D 프로젝트 포트폴리오 선택 문제에 발생이 확률적인 프로젝트들을 포함하여 목표함수의 값을 산정할 수 있게 됨에 따라 발생이 확률적인 프로젝트들에 대해서도 연구자원을 적용할 수 있게 되었으며, 이를 이용하여 본 연구에서는 제한된 연구자원 내에서 발생이 확정적인 프로젝트들과 발생이 확률적인 프로젝트들의 두 집단 간에 배정되는 연구자원의 비율 변화에 따른 프로젝트 포트폴리오의 평균적인 전체수익을 최대화하는 적정 배정비율을 탐색할 수 있었다. 따라서 본 연구는 R&D 프로젝트 포트폴리오 작성 시 발생이 확정된 프로젝트들과 발생이 확률적인 프로젝트들에

대한 연구자원의 효율적 배정비율을 제공함으로써 경영진에게 연구자원의 적정 여유 자원율에 대한 과학적 의사결정 방법을 제공할 수 있다는 점에서 이론적인 시사점을 가질 수 있다.

셋째, 본 연구의 모의실험 결과에 따르면 발생이 확정된 프로젝트들에 연구자원의 100%를 배정하는 경우보다 일부의 적절한 연구자원을 발생이 확률적인 프로젝트들에 나누어 배정하는 것이 프로젝트 포트폴리오 전체수익 측면에서 더 좋은 결과를 보였다. 이는 모의실험의 조건과 같이 발생이 확률적인 프로젝트들의 수익률이 발생이 확정된 프로젝트들의 수익보다 높으며, 그 발생의 분포가 알려져 있는 경우 발생이 확률적인 프로젝트들에 일정 비율의 연구자원을 배정하는 것이 R&D 프로젝트 포트폴리오의 전체수익 최대화에 유리하다는 경영학적인 시사점을 제공한다.

그러나 본 연구에 사용된 데이터들은 연구자가 정해진 범위 내에서 난수 발생을 통해 만들어진 것이며, 현실의 데이터와는 차이가 있을 수밖에 없다. 이는 모의실험의 태생적인 한계점이며, 본 연구의 결과가 현실과 차이가 있음을 뜻한다. 특히 월평균 수익의 경우 발생이 확률적인 프로젝트들의 수익은 발생이 확정적인 프로젝트들에 비해 약 200%로 설정하였다. 실제로 있어 업계 또는 기업의 크기 등에 따라 확정적 프로젝트들과 확률적 프로젝트들의 수익은 다를 것이다. 따라서, 향후 현실적인 데이터를 적용한 연구가 필요하다. 또한, 연구 분야별 연구자원 배정비율을 비교하여 분야별 특성을 파악하는 연구도 흥미로운 연구가 될 수 있을 것이다. 그리고 본 연구에서는 사용된 변수 및 계수는 프로젝트의 시작 시점, 수행 기간, 기대가치, 예상비용, 필요자원, 마감기한 등이다. 이는 적용되지 않은 변수 및 계수에 대한 한계점을 지닌다. 실제에서는 더 많은 요소를 고려하여야 할 것이다. 예를 들어 본 연구에서 이산변수로 적용한 수행 기간과 연구자원은 연속변수로 고려할 수도 있다. 특히 연구자원의 경우 연구자 1인이 여러 프로젝트에 동시 투입되어 참여율 형태로 적용할 수도 있으며, 연구자에 대한 가용량도 연구자의 휴가, 이직 또는 몸 상태 등에 따라 변수로 작용할 수 있다. 따라서 더 다양한 요소를 고려하고 다양하게 적용하는 연구도 필요하다.

또한, 본 연구는 프로젝트 포트폴리오의 수익을 산정하는 과정에 필요한 확률적 요소의 추정을 위해 시뮬레이션 기법을 이용한 평균값만을 사용하였다. 이 경우 ‘평균값이 좋으면 결과도 좋다’고 판정한다. 그러나 평균적으로 좋은 것이 모든 경우에 좋은 것은 아니다. 그러므로 본 연구의 실제 적용에 있어서 평균뿐만 아니라 분포 등 추가적인 다양한 요소들도 고려하여 면밀하게 적용해야 하며, 이와 같은 실제 적용에 관한 연구는 지속해서 요구된다.

참고문헌

- 대한무역투자진흥공사. (2022, 3 22). *연구개발서비스업*. investkorea.org.
<https://www.investkorea.org/ik-kr/cntnts/i-177/web.do>
- 백인섭. (2019). *자원 제약을 고려한 프로젝트 일정 문제 : 재작업 가능한 활동이 있는 경우*. 숭실대학교 대학원 박사학위논문.
- Abbasi, D., Ashrafi, M., & Ghodsypour, S. H. (2020). A multi objective-BSC model for new product development project portfolio selection. *Expert Systems with Applications*, 162, 113757.
- Ahn, T., & Erenguc, S. S. (1998). The resource constrained project scheduling problem with multiple crashable modes: a heuristic procedure. *European Journal of Operational Research*, 107(2), 250-259.
- Archer, N. P., & Ghasemzadeh, F. (1998). A decision support system for project portfolio selection. *International Journal of Technology Management*, 16(1-3), 105-114.
- Archer, N. P., & Ghasemzadeh, F. (1999). An integrated framework for project portfolio selection. *International Journal of Project Management*, 17(4), 207-216.
- Bai, L., Bai, J., & An, M. (2022). A methodology for strategy-oriented project portfolio selection taking dynamic synergy into considerations. *Alexandria Engineering Journal*, 61(8), 6357-6369.
- Ballestin, F., & Leus, R. (2009). Resource-constrained project scheduling for timely project completion with stochastic activity durations. *Production and Operations Management*, 18(4), 459-474.
- Banks, J. (2005). *Discrete event system simulation*. Pearson Education India.
- Bie, L., Cui, N., & Zhang, X. (2012). Buffer Sizing Approach With Dependence Assumption Between Activities In Critical Chain Scheduling. *International Journal of Production Research*, 50(24), 7343-7356.
- Chakraborty, R. K., Sarker, R. A., & Essam, D. L. (2017). Resource constrained project scheduling with uncertain activity durations. *Computers & Industrial Engineering*, 112, 537-550.
- Chen, Z., Demeulemeester, E., Sijun, B., & Yuntao, G. (2018). Efficient priority rules for the stochastic resource-constrained project scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 270(3), 957-967.

- Chu, P. Y. V., Hsu, Y. L., & Fehling, M. (1996). A decision support system for project portfolio selection. *Computers in industry*, 32(2), 141–149.
- Creemers, S. (2015). Minimizing the expected makespan of a project with stochastic activity durations under resource constraints. *Journal of Scheduling*, 18(3), 263–273.
- Creemers, S., Leus, R., & Lambrecht, M. (2010). Scheduling Markovian PERT networks to maximize the net present value. *Operations Research Letters*, 38(1), 51–56.
- Davari, M., & Demeulemeester, E. (2019). A novel branch-and-bound algorithm for the chance-constrained resource-constrained project scheduling problem. *International Journal of Production Research*, 57(4), 1265–1282.
- Fang, C., Kolisch, R., Wang, L., & Chundi, M. (2015). An estimation of distribution algorithm and new computational results for the stochastic resource-constrained project scheduling problem. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 27(4), 585–605.
- Habibi, F., Barzinpour, F., & Sadjadi, S. J. (2019). A mathematical model for project scheduling and material ordering problem with sustainability considerations: A case study in Iran. *Computers & Industrial Engineering*, 128, 690–710.
- Hassanzadeh, F., Modarres, M., Nemati, H. R., & Amoako-Gyampah, K. (2014). A robust R&D project portfolio optimization model for pharmaceutical contract research organizations. *International Journal of Production Economics*, 158, 18–27.
- Huang, X., & Zhao, T. (2014). Project selection and scheduling with uncertain net income and investment cost. *Applied Mathematics and Computation*, 247, 61–71.
- Kettunen, J., & Lejeune, M. A. (2022). Data-driven project portfolio selection: Decision-dependent stochastic programming formulations with reliability and time to market requirements. *Computers & Operations Research*, 143, 105737.
- Liu, S. S., & Wang, C. J. (2011). Optimizing project selection and scheduling problems with time-dependent resource constraints. *Automation in Construction*, 20(8), 1110–1119.

- Lu, M., & AbouRizk, S. M. (2000). Simplified CPM/PERT Simulation Model. *Journal of Construction Engineering and Management*, 126(3), 219–226.
- Mohagheghi, V., Mousavi, S. M., Antuchevičienė, J., & Mojtahedi, M. (2019). Project portfolio selection problems: a review of models, uncertainty approaches, solution techniques, and case studies. *Technological and Economic Development of Economy*, 25(6), 1380–1412.
- Raghavan, V. A., Yoon, S. W., & Srihari, K. (2018). A modified Genetic Algorithm approach to minimize total weighted tardiness with stochastic rework and reprocessing times. *Computers & Industrial Engineering*, 123, 42–53.
- Rostami, S., Creemers, S., & Leus, R. (2018). New strategies for stochastic resource-constrained project scheduling. *Journal of Scheduling*, 21(3), 349–365.
- Santhanam, R., Muralidhar, K., & Schniederjans, M. (1989). A zero-one goal programming approach for information system project selection. *Omega*, 17(6), 583–593.
- Shariatmadari, M., Nahavandi, N., Zegordi, S. H., & Sobhiyah, M. H. (2017). Integrated resource management for simultaneous project selection and scheduling. *Computers & Industrial Engineering*, 109, 39–47.
- Stork, F. (2001). *Stochastic Resource-Constrained Project Scheduling*. Ph.D. Thesis. Technische Universität Berlin.
- Wang, J., & Hwang, W. L. (2007). A fuzzy set approach for R&D portfolio selection using a real options valuation model. *Omega*, 35(3), 247–257.
- Wang, X., & Ning, Y. (2018). Uncertain chance-constrained programming model for project scheduling problem. *Journal of the Operational Research Society*, 69(3), 384–391.
- Werner, S., Horn, S., Weigert, G., & Jahnig, T. (2006). Simulation based scheduling system in a semiconductor backend facility. In *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference* (pp. 1741–1748). IEEE.
- Zhang, H., Jiang, Z., & Guo, C. (2007). Simulation based real-time scheduling method for dispatching and rework control of semiconductor manufacturing system. In *2007 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics* (pp. 2901–2905). IEEE.

*** 저자소개 ***

· **김 승 겸(unitech92@naver.com)**

승실대학교 대학원에서 경영학 박사학위를 취득하였으며, 주요관심 분야는 프로젝트 경영, 운영관리 등이다.

· **백 인 섭(insoub@gmail.com)**

승실대학교 대학원에서 경영학 박사학위를 취득하였으며, 주요관심 분야는 프로젝트 경영, 운영관리, 의사결정론 등이다.

· **오 정 은(oje@omecca.co.kr)**

승실대학교 프로젝트 경영학과 박사과정에 재학 중이며, 주요 연구 및 관심 분야는 프로젝트 경영, 운영관리 등이다.

· **안 태 호(ahnt@ssu.ac.kr)**

University of Florida(Gainesville)에서 경영학 박사학위를 취득하였다. 현재 승실대학교 경영학부 교수로 재직 중이며 주요 강의 및 연구 분야는 운영관리, 의사결정론 등이다.