

## 유전자 알고리즘을 이용한 프로젝트 포트폴리오 투입인력 최적화 모델에 관한 연구\*

김동욱\*\* · 이원영\*\*\*

### A Study on the Optimization Model for the Project Portfolio Manpower Assignment Using Genetic Algorithm\*

Dong-Wook Kim\*\* · Won-Young Lee\*\*\*

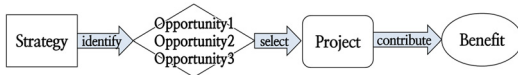
#### ■ Abstract ■

Companies are responding appropriately to the rapidly changing business environment and striving to lead those changes. As part of that, we are meeting our strategic goals through IT projects, which increase the number of simultaneous projects and the importance of project portfolio management for successful project execution. It also strives for efficient deployment of human resources that have the greatest impact on project portfolio management. In the early stages of project portfolio management, it is very important to establish a reasonable manpower plan and allocate performance personnel. This problem is a problem that can not be solved by linear programming because it is calculated through the standard deviation of the input ratio of professional manpower considering the uniformity of load allocated to the input development manpower and the importance of each project. In this study, genetic algorithm, one of the heuristic methods, was applied to solve this problem. As the objective function, we used the proper input ratio of projects, the input rate of specialist manpower for important projects, and the equal load of workload by manpower. Constraints were not able to input duplicate manpower, Was used as a condition. We also developed a program for efficient application of genetic algorithms and confirmed the execution results. In addition, the parameters of the genetic algorithm were variously changed and repeated test results were selected through the independent sample t test to select optimal parameters, and the improvement effect of about 31.2% was confirmed.

Keyword : Genetic Algorithm, IT Project, Portfolio, Manpower Assignment

# 1. 서 론

기업은 경쟁력 강화와 전략 목표 달성을 위한 수단으로 <Figure 1>과 같이 프로젝트 수행을 통해 기회를 실현하고 이익을 창출하고 있다. 이런 기업의 전략 목표 달성을 위하여 동시에 병행 추진되는 프로젝트의 수가 많아짐에 따라 경영통제 상의 어려움을 겪고 있다. 특히, 프로젝트의 성공적인 수행을 위한 가장 중요한 자원인 인적자원의 배치 및 관리에 대한 효율성에도 지속적인 문제가 제기되고 있다(Kerzner, 2005; Levine, 2005).



<Figure 1> Value Creation Framework

기업 전략의 효과적인 실천수단으로 수행되는 프로젝트 관리는 복수의 프로젝트를 효율적으로 관리할 수 있도록 프로젝트 포트폴리오 관리 관점으로 그 개념이 확대되어 그 필요성이 증대되고 있다(Oh and Kim, 2015). 프로젝트 포트폴리오의 관리 개념 중에서도 인적자원 관리는 프로젝트의 성공적인 수행을 위해 필수적인 요건이다. 인력과 같은 핵심자원들의 수급을 관리하는 활동을 통해 고객 만족과 최적의 이익 창출을 목표로 한다. 하

지만 다수의 프로젝트에 투입될 인력자원의 배치 문제는 대부분 과거의 경험에 의존한 수작업으로 진행되어지고 있다. 이로 인해 특정 프로젝트에 핵심 인력이 배치되어 전체 프로젝트 포트폴리오의 성공을 담보할 수 없는 위험에 빠지고 있다. 또한 핵심 인력의 과도한 프로젝트 투입으로 인해 기업의 발전과 함께 성장해야 할 인재를 혹사시켜 이직을 부추이고 있기도 하다. 한편으로는 비즈니스 연속성 담보를 위해 주요 고객의 프로젝트인 경우 영업적으로 특별 관리를 위한 전문 인력 배치가 필요하나 다수의 프로젝트를 수행하다보면 오히려 형평성을 유지해야 하는 문제로 프로젝트 품질이 떨어지고 고객 만족도를 저하시키는 비즈니스 위험을 초래하기도 한다. 이러한 프로젝트 포트폴리오 관점의 효과적이고 효율적인 투입인력의 최적화 문제는 기업전략 목표 달성을 위해서 반드시 관리되어야 할 부분이다.

본 연구에서는 어려운 문제를 쉽게 다룰 수 있을 뿐 아니라 많은 제약사항을 동시에 고려할 수 있는 메타휴리스틱의 방법 중 유전자 알고리즘을 적용하여 해결하였다(Kim, 2000). 메타 휴리스틱 방법은 Tabu Search, Simulated Annealing, 유전자 알고리즘과 같은 방법이 있으며 그 특징 및 장단점은 <Table 1>과 같다. 유전자 알고리즘은 자연계의 생물 유전학에 기반 이론을 두고 있으며, 병렬적이고

<Table 1> Feature Comparison of Meta-Heuristics

Method	Feature	pros and cons
Genetic Algorithm	To develop a chromosome by applying the evolutionary principle of the natural world and to find the global optimal solution through genetic computation.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Performance depends on the representation of the solution.</li> <li>- If the number of genes constituting the chromosome is large, the convergence time of the solution is long, and if the number of genes is reduced, the diversity of the solution is reduced and the performance is not guaranteed.</li> </ul>
Simulated Annealing	Similar to Local Search, there is a way to improve the solution by searching for neighboring solutions, and to accept a bad solution to get out of a local optimal solution. The cooling schedule reduces the probability of accepting a bad solution over time.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- It is difficult to consider various solutions because it considers only the neighboring solutions of the solution.</li> <li>- Perturbation requires a function to find a completely different solution and a form combined with Local Search is desirable.</li> </ul>
Tabu Search	How to improve the solution by searching for neighboring solutions similar to Local Search, and how to constrain the search space so as not to find a certain solution by creating a tabu list.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Expert knowledge can be reflected through the tabu list, and the computation time can be shortened by reducing unnecessary search of the solution.</li> <li>- There is no guarantee that the solution is better than random searches like genetic algorithms.</li> </ul>

전역적인 탐색 알고리즘으로서 기계학습의 탐색 방법 중 진화연산(evolutionary computation)에 속한 방법이다. 이에 투입인력 최적화를 위한 방법으로 다양한 제약조건과 목적함수를 수식화하여 적용할 수 있는 유전자 알고리즘을 선택하여 적용하였다. 본 논문은 제 1장에서 연구의 배경과 필요성에 대하여 문제를 제기하고, 제 2장에서는 기존 연구의 한계에 대해 선행 연구를 검토하여 제시하였다. 제 3장에서는 유전자 알고리즘을 위한 수리모델을 제시하고, 제 4장에서는 구체적인 유전자 알고리즘의 모델을 설계하고 최적의 파라미터 값을 설정하였다. 제 5장에서는 실제 사례에 적용하여 그 실효성을 검증하였고, 마지막 제 6장에서는 연구의 결론과 향후 연구 과제에 대해 논의하였다.

## 2. 이론적 배경

기업전략 목표 달성을 위한 프로젝트 관리와 한정적 자원의 효율적 관리를 위한 사전연구를 살펴 보았다. 또한 다중 프로젝트 수행을 위하여 프로젝트 포트폴리오 관리에 대한 선행연구 결과와 본 연구의 차별성을 정리하였다.

### 2.1 프로젝트의 기업전략 연계

그 동안 기업들이 프로젝트 관리를 바라보는 시선은 개별 프로젝트의 비용, 납기, 품질을 고객이 원하는 수준에 맞추는 것이라는 정도에 머물러 왔다. 그러나 이제 기업들은 프로젝트 관리의 중요성에 더 관심을 갖고 돌아보아야 할 시점에 이르렀고, 프로젝트는 기업에 변화를 가져다 줄 수 있는 강력한 수단이며 기업이 변화를 대비하기 위한 기업 전략의 유용한 실천 수단이라는 사실을 깨닫기 시작하였다(Oh and Kim, 2015). 기업의 경영전략이 수립되었으나, 이 전략들이 효과적으로 수행되지 못한 원인들에 대한 해결방안으로서 제기된 것이 바로 프로젝트를 통한 전략과제의 수행이다(Lee, 2012).

국가기술표준원의 프로젝트관리 표준(ISO 21500) 이행가이드(KATS, 2013)에 따르면 “조직은 전략을 통해 기회식별과 발전의 지침을 제공하며, 프로젝트는 전략목표를 달성하는 수단으로써 선택된 기회를 실현하는데 목표가 있다.”라고 얘기하고 있다. Milosevic and Srivannaboon(2007)은 기업전략과 프로젝트 관리 요소의 연계 수준을 측정하는 이론적 프레임워크를 제시하였다. Lee(2012)는 단일 프로젝트에서 시작한 프로젝트 관리가 프로젝트의 수와 복잡성이 크게 증가되고 점차 기업에서 차지하는 비중도 함께 늘어나고 있다고 말한다. 이는 프로젝트가 기업의 전략목표 달성과 직접적인 연관 관계를 맺기 때문에 벌어지는 필연적인 경영현상이라고 언급하고 있다. 살펴본 바와 같이 기업은 프로젝트를 통해 경영목표를 달성하고 이익을 실현하기 위해 노력하고 있으며, 그 만큼 프로젝트 관리의 중요성이 더욱 커지고 있다.

### 2.2 프로젝트 자원관리

일반적으로 프로젝트는 자원의 투입을 통해 수행되어 진다. 프로젝트 자원은 프로젝트 관리자의 직접 또는 간접적인 통제 하에 다양한 프로젝트에 투입되는 인력, 장비, 자금, 지식, 프로젝트 관리스킬, 도구 및 방법론, 비즈니스 지식 등록상표, 특수 전문가 등으로 구성된다.

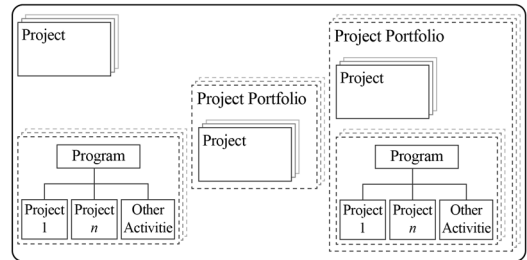
프로젝트에서 사용되는 자원에는 인력, 자금, 장비, 원자재 등이 있으며, 인력은 프로젝트에서 가장 중요한 자원 중의 하나이며 사람들은 지식, 경험, 기술수준에 따라 나누어지고, 각자의 능력에 따라 적합한 임무가 배정된다(Oh and Kim, 2015). 원자재의 부족은 프로젝트 일정에 심각한 지장을 초래할 수 있으며, 특히 외부에서 공급되어야 하는 원자재는 공급시기가 지연되면 프로젝트의 완료일정에 심각한 차질을 초래할 수 있다. 장비는 크기와 종류가 다를 수 있고 프로젝트 팀이 보유하거나 외부에서 조달할 수도 있다. 자금 또한 중요한 자원 중의 하나이며 시간에 따른 현금 흐름이 원활해야 프로젝트 수행이 순조롭게 진행될 수 있다.

Killen(2008)에 따르면 프로젝트 자원이 프로젝트에 할당된 자원(인력, 기술, 지식, 자금 및 설비)과 간접적으로 프로젝트 활동을 지원하는 자원 및 역량(고객, 조직문화, 관리 역량)으로 구성된다고 하였다. 프로젝트에 투입되는 자원 중 가장 중요한 자원은 역시 인적자원이다. 인적자원은 기업 구성원의 기술, 노하우, 관계, 관행, 학습, 혁신 능력 및 전문적 지식을 말한다(Heo, 2011). 결국 프로젝트의 성패를 결정하는 가장 중요한 요인은 인적자원 일수 밖에 없다.

지금까지 투입인력에 대한 문제는 일정계획 문제로 간주되어 PERT/CPM 기법을 응용한 연구(Lee et al., 2010)와 퍼지 PERT를 사용하여 시스템 개발의 모호성을 극복하려는 방법(Yoo and Lee, 2006) 등 많은 관련 연구가 있었다. 복수의 프로젝트를 자원 제약 아래 수행하기 위한 일정 계획 방법 대한 연구는 휴리스틱을 이용한 방법, Constraint Programming을 이용한 방법(Lee and Chung, 1999)이 있다. Tabu Search와 제약 만족 기법을 적용한 Job Shop 일정계획 방법(Yun and Lee, 2002)이 있다. 프로젝트 일정계획에 대한 연구는 오랫동안 지속되고 있지만 실제 상황을 고려하여 프로젝트의 중요도나 인력들의 투입인력 편중에 대한 복합적인 문제를 해결할 수 있는 연구가 필요하다.

### 2.3 프로젝트 포트폴리오 관리

프로젝트 포트폴리오는 <Figure 2>와 같이 다수의 프로젝트, 프로그램의 모임이라고 할 수 있다. PMI(Project Management Institute)에서 출간한 포트폴리오 관리 표준(The Standard for Portfolio Management, 2017)은 기업의 전략목표를 달성하기 위하여 다수의 프로젝트 식별, 우선순위 부여, 자원 배제 및 조정 등과 같이 관리, 통제하는 것이라고 정의하였다. APMG(Association of Project Management Group)의 포트폴리오 관리(MoP, 2011)에서는 조직 변화 요소(Organizational Change)와 일상 업무 사이에 가장 효율적인 균형을 취할 수 있는 전략적인 프로세스와 의사결정의 조율된 집합



<Figure 2> Project, Program and Project Portfolio

이라고 정의하였다. Lee(2014)는 변화하는 상황에서 연속적으로 제안되는 프로젝트의 기회와 위협을 고려하여 선정하는 프로젝트 포트폴리오 방법론을 제안하였고, Ringuest(2000)는 휴리스틱 기법을 사용하여 프로젝트 포트폴리오 선정과 기존 포트폴리오에 새로운 프로젝트를 추가하였을 경우 선택방법에 대한 연구를 진행하였다. Ghasemzadeh(2000)는 계층화 분석법(AHP), 선형 목표 계획법(LGP)을 사용하여 포트폴리오 선정에 필요한 변수들을 고려하여 포트폴리오 선정모형을 제시하였다. Oh and Kim(2015)는 동적역량이론을 근거로 프로젝트 포트폴리오 관리의 도입이 제한된 자원과 프로젝트를 더욱 효율적으로 활용할 수 있게 되어 기업의 경쟁우위를 가져다 줄 것이라고 주장하였다.

Stummer(2001)는 휴리스틱 기법을 활용하여 선정된 프로젝트에 대하여 포트폴리오 선정에 관련된 검증 방법을 제시하였다. Chen과 Askin(2009)은 프로젝트의 자원 할당을 위하여 프로젝트의 우선순위를 기준으로 포트폴리오 선정 방법을 제시하였다. 하지만 기존 연구에서는 포트폴리오 관리의 목적이 주로 자원제한 조건에서 자원 활용의 최대화를 위해 진행되었으나 실제 프로젝트 자원 중 가장 중요한 인적자원의 최적 배치와 관련된 내용은 다루지 못하였다.

앞선 선행 연구조사에서 살펴본 바와 같이 IT 프로젝트 포트폴리오의 투입인력 문제를 해결하기 위하여 최적화되고 효율적인 휴리스틱이나 수학적 방법은 아직 제시되지 않았다. 그리고 투입인력에 할당된 업무 부하 균등과 프로젝트별 최적 기술인력 투입문제는 표준편차를 이용하여 계산되어

지기 때문에 선형계획법으로는 해결할 수 없다. 때문에 주어진 지식이 부족한 환경에서 효율적으로 적용이 가능한 유전자 알고리즘을 이용하여 문제 해결을 할 수 있는 연구가 필요하다.

### 3. IT프로젝트 투입인력 최적화 문제

IT프로젝트의 투입인력 최적화는 프로젝트의 특성, 투입 인력의 기술요소, 그리고 업무 전문성을 모두 고려하여 결정이 되어야 한다. 그뿐 아니라 다수의 프로젝트를 동시에 수행할 경우에는 더욱 많은 요인을 동시에 고려하여야 한다. 특히 수행 프로젝트의 영업적 중요도를 고려한 기술 인력별 전문 업무 영역과 내부역량을 고려한 인력 투입, 프로젝트 기간과 비용을 고려한 적정 투입공수 할당, 그리고 투입 인력의 업무 부하를 복합적으로 고려한 최적화된 인력 할당은 본 연구의 문제이다. 특히 투입 인력 입장에서는 프로젝트에서 발생하는 업무량과 난이도, 그리고 투입기간 등을 업무부하로 볼 수 있으며 프로젝트의 기간에 대비한 업무량과 시스템의 복잡도를 고려한 난이도는 주요 기술 인력의 평일 업무 강도를 높일 뿐 아니라 야근과 주말근무를 해야 할 가능성을 높여 근속기간을 줄일 수 있는 개연성이 충분하다. 그러므로 투입된 프로젝트의 업무량과 난이도를 고려하여 투입 인력 간 업무부하를 최소화하는 것은 형평성 면에도 중요하다. 일반적으로 공공기관이나 기업은 회계연도에 맞춰 1년 단위로 프로젝트를 진행하기 때문에 본 연구에서는 12개월 동안 수행해야 하는 프로젝트에 기술 인력을 지정한다.

### 3.1 목표 및 제약조건

프로젝트별 투입인력 지정 문제는 제한된 인원으로 고객 만족과 최대의 프로젝트 성과를 달성하는 것을 목표로 한다. 하지만 무조건 적은 인력으로 프로젝트를 수행하게 될 경우에는 투입 인력의 업무과중으로 인한 피로누적과 그로 인한 프로젝트의 품질 저하로 이어질 것이다. 그렇기 때문에 프로젝트에 적절한 투입인력 배분이 필요하며 이는 단순히 프로젝트의 개수와 기간만으로 산정할 수는 없다. 프로젝트의 업무량, 복잡도와 투입기간을 고려한 적절한 균등 배분이 필요하다. 또한 프로젝트의 업무영역과 투입되는 전문 인력의 업무영역이 같을 경우에는 프로젝트 수행에 시너지 효과를 낼 수 있기 때문에 해당 분야 전문가를 우선 할당하는 것이 중요하다. 또한 거래처와 프로젝트의 영업적 특성을 고려하여 매출 규모가 크고 중요도가 높은 거래처의 프로젝트 경우에는 업무 경험과 전문성이 풍부한 기술 인력을 지정하여 프로젝트의 위험을 줄이고 품질을 높일 수 있는 효과적인 방법일 것이다. 또한 프로젝트의 적정 이익을 고려하여 프로젝트별 요구공수에 부합하는 적정 공수를 투입하는 것이 중요하다. 그 외에도 기술 인력이 프로젝트에 중복 투입되지 않도록 하여야 하며, 프로젝트 수행 기간 중에는 1명 이상의 기술 인력이 투입되어야 한다. 프로젝트에 투입된 기술 인력은 프로젝트의 품질 보증과 안정성 확보를 위해 지속적인 투입을 보장받아야 한다. 이것 들을 정리하면 <Table 2>와 같이 프로젝트 별 기술인력 지정을 위해 우선 고려해야할 목적함수와 패널티 조건인

<Table 2> Criteria of Assigning Manpower

Division	Criteria	Description
Objective functions	Assigning professional manpower	appointment of professional in relevant fields
	Appropriate number of manpower	minimizing the difference between the project requirement and the actual manpower
	Equal workload	adjustment to avoid leaning the workload against specific technical manpower
Constraints	No redundant placement	no placement of the manpower to more than one project during the same time period
	No spaces allowed	At least one person must be assigned during the project period
	Continuous placement	Continuous placement into the project once assignment

제약조건으로 구분할 수 있다.

이는 실제 산업현장에서 프로젝트 수행을 위한 투입인력 산정 시 가장 중요하게 고려되는 사항들이다.

### 3.2 수리모델

유전자 알고리즘은 검색체를 비교하고 평가하여 우수한 검색체를 선택하기 위한 적합도 함수와 그에 대한 수리모델이 필요하다. 본 연구에서 적합도 함수는 전문 인력 배정, 적정 투입공수, 그리고 업무 부하 균등의 세 가지 조건으로 구성된 목적 함수와 중복 투입 불가, 투입공백 불가, 지속 투입의 제약조건으로 구성된다. 적합도 함수의 값은 서로 다른 특성을 가진 변수를 고려하여 적절하게 정규화(Normalization) 과정을 거치게 되며, 변수들 간의 중요도에 따른 가중치도 반영되어야 한다.

#### 3.2.1 상수 정의

수리모델에서 사용되는 변하지 않는 값을 가지는 상수는 프로젝트 정보와 인력 정보로 구성된다. 프로젝트 정보에 대한 상수 정의는 <Table 3>과 같이 프로젝트의 시작 월, 프로젝트의 수행기간, 그리고 프로젝트를 완료하는데 필요한 요구공수를 비용대신 추가하였다. 그 외에도 프로젝트의 업무 영역은 5단계로 구분할 수 있도록 하였으며, 프로젝트의 난이도와 업무량은 담당자의 업무부하를 계산할 수 있도록 3단계로 구분하였다. 프로젝트의 중요도는 고객과 프로젝트의 영업적 가치를 구분할 수 있도록 3단계로 구분하여 정의하였다.

투입인력에 대한 상수 정의는 <Table 4>와 같다. 기술 등급은 5단계의 기술등급 외에 내부등급을 3단계로 구분하여 실질적인 기술자의 역량을 관리할 수 있도록 하였다. 이는 프로젝트의 전문 인력 투입을 계산 시 단순 기술 등급만을 적용하지 않고 기술자의 실질 역량을 감안하여 기술등급과 내부등급을 반영한 투입율을 계산하여 반영하기 위함이다. 투입인력의 전문영역은 프로젝트 수행경험을 통해 가지고 있는 업무영역의 전문성을

<Table 3> Constants for Project Information

Constant	Description	Data	Remark
$S_i$	Start of Project $i$	1~12	Month
$P_i$	Period of project $i$	1~12	Month
$M_i$	Required manpower for project $i$	Num	Man Month
$B_i$	Work area of project $i$	1~5	Domain
$D_i$	Level of technical difficulty of project $i$	1~3	Difficulty (1 is the most difficult)
$W_i$	Quantitative scale of project $i$	1~3	Workload (1 is the highest)
$I_i$	Business importance of project $i$	1~3	Importance (1 is the most important)

<Table 4> Constants for Manpower

Constant	Description	Data	Remark
$e_j$	Identifier of engineer $j$	STR	Engineer
$l_j$	Technical level of engineer $j$	1~5	Level (1 is the best)
$g_j$	Rating of engineer $j$ within the organization	1~3	Rating (1 is the best)
$b_j$	Specialty domain of engineer $j$	1~5	Domain

구분할 수 있도록 하였고, 그 값은 프로젝트의 업무 영역과 같도록 정의하였다.

#### 3.2.2 목적 함수

목적함수는 프로젝트별 기술 인력 할당 시 핵심 평가 기준으로 IT프로젝트의 기술인력 투입 문제를 본 연구목적에 맞게 <Table 5>와 같이 새롭게 정의하였다. 목적함수는 중요 프로젝트에 가장 적합한 전문 인력을 우선 배치하여 프로젝트의 리스크를 줄이는 것과 프로젝트에서 요구하는 공수에 부합하는 적정 투입 공수의 배치, 그리고 서로 다른 프로젝트에 투입되는 기술 인력별 업무 부하량의 편차를 최소화하여 업무 불평등을 해소하는 것이다.

<Table 5> Objective Function

Objective	Description
Assigning professional manpower ( <i>il</i> )	Considering the technical level( <i>l<sub>j</sub></i> ) and internal rating( <i>g<sub>j</sub></i> ) when the appropriate professional workforce( <i>B<sub>j</sub></i> ) is put into operation, it is judged that the smaller the standard deviation of the total number of manpower and the required number, the larger the manpower.
Appropriate number of manpower ( <i>om</i> )	The smaller the standard deviation of the required manpower( <i>M<sub>i</sub></i> ) and the actual manpower, the more suitable the manpower.
Equal workload ( <i>wl</i> )	The smaller the workload value due to the project assignment by the technical personnel, the more the work load (workload( <i>W<sub>i</sub></i> )×difficulty( <i>D<sub>i</sub></i> )) is distributed equally.

3.2.3 제약 조건

제약 조건은 <Table 6>과 같이 프로젝트별 기술인력 할당 시 고려되어야 할 부분으로 중복 투입 불가, 투입공백 불가, 그리고 지속 투입이 되었는지를 평가한다.

<Table 6> Criteria for Constraints

Constraint	Description
No redundant placement ( <i>te</i> )	no placement of the manpower to more than one project during the same time period
No spaces allowed ( <i>pt</i> )	At least one person must be assigned during the project period
Continuous placement ( <i>cm</i> )	Continuous placement into the project once assignment

3.2.4 수리 모형

목적함수는 식 (1)~식 (3)으로, 제약조건은 수식 (4)~식 (6)으로 표현된다. 식 (1)은 프로젝트의 중요도를 반영하여 투입된 전문 인력 투입 공수와 프로젝트 요구공수에 대한 표준편차를 구하여 그 값을 최소화하도록 하였다. 전문 인력 투입은 프로젝트 업무영역(*B<sub>j</sub>*)과 투입인력의 전문 업무영역(*b<sub>j</sub>*)가 같을 경우에 기술 인력의 기술등급(*l<sub>j</sub>*)과 내부등급(*g<sub>j</sub>*)을 고려하여 투입율을 산정하여 사용한다.

Minimize

$$il = \sqrt{\frac{\sum_i (M_i - \sum_i il_i)^2}{k}} \times I_i \tag{1}$$

$$il_i = \sum_j \sum_t (\alpha \times (x_{ijt} \times (al_i + bg_i + c)/100))$$

$$\alpha = IIF(B_i = b_j, 1, 0)$$

$$x_{ijt} = \begin{cases} 1, & \text{프로젝트 } i \text{의 시점 } t \text{에} \\ & \text{기술인력 } j \text{가 투입되었을 경우} \\ 0, & \text{프로젝트 } i \text{의 시점 } t \text{에} \\ & \text{기술인력 } j \text{가 투입되지 않았을 경우} \end{cases}$$

식 (2)는 프로젝트별 적정 투입공수 투입을 위한 목적함수로 프로젝트별 요구공수 대비 실제 투입공수의 표준편차를 계산하여 그 값이 작을수록 해당 프로젝트에 적정 공수가 투입된 것으로 판단하였다.

Minimize

$$om = \sqrt{\frac{\sum_i (M_i - \sum_i om_i)^2}{k}} \tag{2}$$

$$om_i = \sum_j \sum_t x_{ijt}$$

식 (3)은 인력별 업무부하가 균등하게 분배될 수 있도록 하기 위한 목적함수로 인력별로 프로젝트 투입여부와 해당 프로젝트의 난이도(*D<sub>i</sub>*)와 업무량(*w<sub>i</sub>*)을 반영하여 업무부하를 산정하였다. 투입 인력별 업무부하의 표준편차를 계산하여 표준편차가 작을수록 업무부하가 균등하다고 판단할 수 있다.

Minimize

$$wl = \sqrt{\frac{\sum_j (wl_j - \frac{\sum_j wl_j}{n})^2}{n}} \tag{3}$$

$$wl_j = \sum_i \sum_t (W_i \times D_i \times x_{ijt})$$

식 (4)는 기술자 j가 특정시점 t에 다수의 프로젝트에 중복투입 되었는지를 비교한다. 예를 들면 1월에 프로젝트 A에 투입되었는데 프로젝트 B에도 투입되었다면 t = 1인 시점의 te값은 1보다 클 것이다. 이럴 경우 약속된 페널티 값을 부여한다.

식 (5)는 프로젝트 수행기간 중 투입 인원이 없을 경우 패널티를 부여하는 식이며, 식 (6)은 프로젝트에 투입된 기간 동안 철수와 투입이 반복되는 일이 없도록 연속 투입을 보장할 경우 그 값이 0이 된다.

Subject to

$$te = \sum_j \sum_i P_1 \times x_{ijt} \leq 1 \tag{4}$$

$$pt = \sum_i \sum_t x_{ijt} > 0 \tag{5}$$

$$cn = \sum_i \sum_j P_2 \times INSTR(t_1, t_2, 0) \leq G_1 \tag{6}$$

$i$  = 프로젝트 수

$j$  = 투입인력 수

$t$  = 기간(1~12)

$P_1$  = 특정 시점에 중복 투입된 경우 패널티 값

$P_2$  = 연속투입이 안될 경우 패널티 값

$G_1$  = 연속 투입 허용 기준

$t_1$  = 프로젝트 투입 시점

$t_2$  = 프로젝트 철수 시점

본 연구에서 유전자 알고리즘을 해결 방법으로 선택한 이유는 프로젝트 포트폴리오 투입인력 문제를 해결하기 위한 수리모델을 살펴보면 목적함수와 제약조건을 표현하는 수식이 표준편차와 절대값 등을 포함하고 있기 때문에 일반적인 선형계획법이나 비선형계획법으로 접근하기 어렵기 때문이다. 그렇기 때문에 유전자 알고리즘을 사용하여 그 해법을 찾고자 한다.

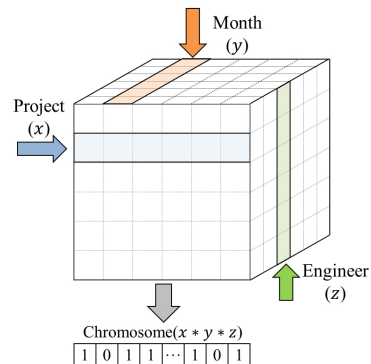
### 4. 유전자 알고리즘 설계

유전자 알고리즘은 1975년에 개발된 적자생존 이론을 기본 개념으로 하는 전역 최적화 기법(Global Optimization Method)이다. 환경에 잘 적응한 개체가 좀 더 많은 자손을 남기는 ‘자연선택 과정’과 유전 시의 변화를 통해서 개체가 좋은 방향으로 발전해 나간다는 ‘자연진화’ 과정을 모방하여 컴퓨터 프로그램으로 모의 수행을 하는 최적화 알고리즘이

다(Kim, 2006). 유전자 알고리즘은 초기 해 집단으로부터 세대 반복을 통해 최적 해를 구하는 구조로 이루어져 있다(Chen and Cruz, 2003).

#### 4.1 염색체(Chromosome) 정의

프로젝트 포트폴리오 기술인력 투입은 다수의 프로젝트가 동시에 진행될 경우 프로젝트의 중요성과 업무 연관성 등을 고려하여 어떤 프로젝트에 인적자원을 배치하는가가 결정변수이므로 그것을 염색체(Chromosome)로 표현하였다. 단, 기간은 1년(12개월) 동안에 수행해야 하는 프로젝트를 대상으로 하였다. 염색체의 유전자는 프로젝트, 투입 시기(월), 그리고 기술자의 정보를 표현하기 위해서 <Figure 3>과 같이 3차원 배열을 사용하여야 하나 이를 1차원 배열로 축소하여 적용하였다. 예를 들어 12개월 동안 10개의 프로젝트를 10명의 기술 인력으로 수행하여야 할 경우 Gene의 개수는 10(프로젝트 수)×10(명)×12(월)로 총 1,200개가 되며, Gene의 값은 해당 프로젝트의 해당 월에 기술 인력이 투입될 경우 1의 값을, 투입되지 않을 경우 0의 값을 갖게 된다.



<Figure 3> A Structure of Chromosome

#### 4.2 정규화와 적합도 함수

목적 함수 및 제약 조건의 각 값은 특성이 다르기 때문에 값의 범위도 모두 다르다. 개별 값들을 모두 더하여 적합도 함수를 만들어야 하기 때문에 개별



값에 대한 정규화가 필요하다. 본 연구에서는 자료 해석의 안정성을 확보하기 위해 Min-Max 방법을 사용하여 각 값들을 정규화하였다(Nam, 2012). 본 연구에서는 정규화 결과에 대한 최소값과 최대값인 Min'와 Max' 값은 0과 100으로 설정하여 정규화를 수행하였다. 각 변수의 최대값은 10,000번 이상의 염색체 생성을 통해 가장 큰 값으로 산정하였고, Min 값은 0을 설정하였다.

$$v' = \frac{v - Min}{Max - Min} \times (Max' - Min') + Min'$$

$v$  = 원래 값

$v'$  = 정규화된 값

$Min$  = 원래 값의 최소값

$Max$  = 원래 값의 최대값

$Min'$  = 정규화된 값의 최소값

$Max'$  = 정규화된 값의 최대값

수리 모형의 식 (1)부터 식 (6)을 적합도 함수로 만들기 위해 정리하면 식 (7)과 같이 모든 식에 대한 합의 최소값을 구하는 식으로 변환할 수 있다. 여기서 각 값의 '는 정규화된 값을 의미한다.

$$Minimize(il' \times w_1) \quad (1)'$$

$$Minimize(om' \times w_2) \quad (2)'$$

$$Minimize(wl' \times w_3) \quad (3)'$$

$$Minimize(te' \times w_4) \quad (4)'$$

$$Minimize(pt' \times w_5) \quad (5)'$$

$$Minimize(cm' \times w_6) \quad (6)'$$

$$Minimize(w_1 il' + w_2 om' + w_3 wl' + w_4 te' + w_5 pt' + w_6 cm') \quad (7)$$

$w_1$  = 전문 인력 배정( $il$ )의 가중치

$w_2$  = 적정 투입 공수( $om$ )의 가중치

$w_3$  = 업무 부하 균등( $wl$ )의 가중치

$w_4$  = 중복 투입 불가( $te$ )의 가중치

$w_5$  = 투입 공백 불가( $pt$ )의 가중치

$w_6$  = 연속 투입( $cm$ )의 가중치

### 4.3 초기해 생성

초기 해 집단은 지정된 모집단 개수만큼 염색체의 유전자를 랜덤하게 0과 1값으로 모두 채우는 Binary Encoding 방식을 사용하였다. 모든 염색체에 유전자 값을 랜덤하게 채우고, 염색체에 대한 적합도 함수 값을 평가하고 그 값에 따라 정렬하여 초기해 집단 생성이 완료된다. 초기해가 생성되면 정해진 비율에 맞춰 유전자 연산을 수행하여 다음 세대를 생성하고 적합도 함수 값을 평가하여 최적 해를 찾는다.

### 4.4 선택(Selection)

유전자 알고리즘은 우수한 염색체를 발굴하기 위하여 어떤 선택 전략을 사용하느냐가 중요한 관건이다. 본 연구에서는 Roulette Wheel Selection 방식과 Elitist Preserving Selection 방식을 적용하여 모집단을 생성하였다. Roulette Wheel Selection 방식은 적합도가 높은 염색체가 선택될 확률이 상대적으로 높은 장점이 있다. Elitist Preserving Selection 방식은 군집 속에 적합도가 높은 염색체들이 특정 비율 무조건 선택됨으로써 다음 세대에 좋은 적합도를 가지는 염색체가 생성될 확률이 높아진다(Choi et al., 2002).

### 4.5 교배(Crossover)

교배는 부모의 형질을 자손에게 적절히 계승하기 위한 방법으로 새로운 개체를 생성할 때 부모 세대의 염색체를 조합하여 새로운 염색체를 생성한다. 일반적으로 유전자 알고리즘은 1점 교배장식인 Single Point Crossover를 기본으로 사용하지만 염색체의 크기가 큰 경우에는 한 곳을 기준으로 교배가 일어날 경우 설계 변수의 변화가 적어지게 되고 알고리즘의 속도가 떨어지는 단점이 있다. 본 연구에서는 이런 단점을 보완하기 위해 교배 위치를 두 군데 이상으로 정할 수 있는 Two Point Crossover를 사용하여 교배를 진행하였다.

본 연구에서는 다수의 반복 실험을 통해 최적의 Elitist Preserving Selection의 비율과 교배 비율을 결정하였다.

#### 4.6 돌연변이(Mutation)

유전자 알고리즘은 세대 반복을 통해 적합도가 높은 보다 우수한 염색체를 생산한다. 그러므로 군집이 가지는 해공간의 제한성을 극복하고 보다 다양한 탐색 후보들을 얻기 위한 연산이 필요하다. 돌연변이 연산은 임의적으로 염색체의 유전자 값을 다른 값으로 바꾸어 국지 최적해로 조기 수렴하는 위험을 최소화 시킨다. 돌연변이 연산은 교배가 완료된 염색체에 대해서 0과 1사이의 임의의 값을 뽑아 그 값이 약속된 돌연변이 비율보다 작으면 연산을 수행한다. 돌연변이 연산은 교배가 완료된 염색체 중 돌연변이 연산 대상으로 선정된 염색체에 대해서 임의의 유전자에 임의의 값을 입력하는 방식으로 동작된다.

#### 4.7 유전자 알고리즘 전체 흐름도

본 연구에서 사용된 유전자 알고리즘의 전체 흐름도는 <Figure 4>와 같다. 유전자 알고리즘을 설계할 때 최적해의 값이나 패턴을 알 수 없기 때문에 목표 적합도를 추정하거나 최대 반복 횟수를

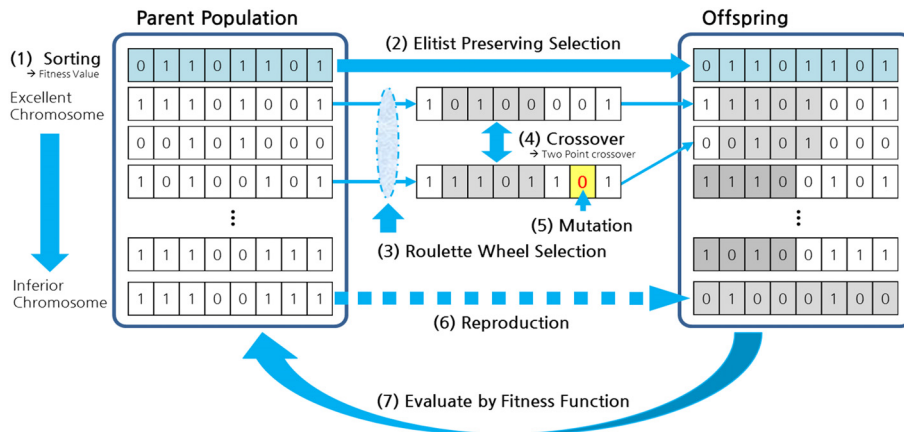
지정하여 세대 반복을 진행한다. 본 연구에서는 다수의 반복된 실험을 통하여 최적의 세대 반복 횟수를 결정하였다.

### 5. 연구 결과

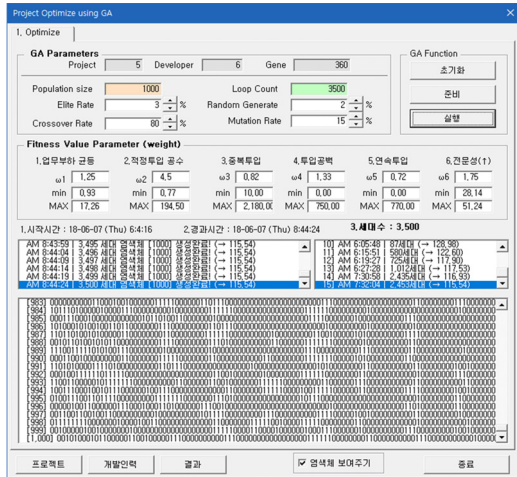
본 연구의 유전자 알고리즘은 Excel 기반의 Visual Basic for Applications 7.1을 사용하여 프로그램을 구현하였으며, 세대 반복 중 최적 염색체를 디스플레이하여 그 결과를 확인할 수 있도록 하였다. 유전자 알고리즘 프로그램과 테스트는 Intel Core i7-6700 CPU, DDR3 8GB RAM, 512GB SSD, Windows 10 Professional 기반 컴퓨팅 환경에서 진행되었다.

#### 5.1 유전자 알고리즘 파라미터 설정

유전자 알고리즘의 파라미터로는 해집단의 크기, Elitist Preserving Selection을 위한 엘리트 보존 비율, 교배비율, 돌연변이 비율 등이 있다. 유전자 알고리즘은 알고리즘의 특성상 파라미터 값에 따라 최적해의 값과 소요시간이 변한다. 또한 파라미터를 동일하게 하여도 실험의 결과 값이 일정하지 않고 유동적이다(Ryu and Kim, 2014). 그렇기 때문에 다수의 반복 실험을 통하여 최적 파라미터 값을 도출하여야 한다. 본 연구에서는



<Figure 4> Design of Genetic Algorithm

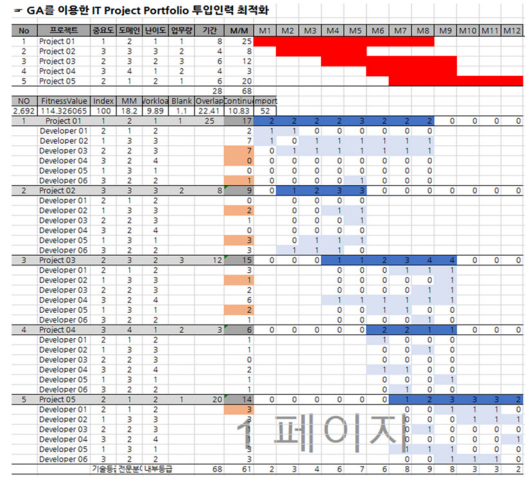


<Figure 5> Genetic Algorithm Implementation Screen

<Figure 5>와 같이 파라미터 값을 변경하여 반복 테스트를 진행할 수 있도록 프로그램을 구현하였다. 프로그램은 세대별 반복시간과 최적 염색체 발견 시 시간을 디스플레이하여 세대 간 진화 현상을 확인할 수 있도록 구현하였다. 프로젝트 정보와 기술인력 정보는 각각 해당 시트(Sheet)에서 정보를 받아 그 결과는 세대별 최적 유전자를 육안으로 식별할 수 있도록 <Figure 6>과 같이 프로젝트별 투입인력 현황을 Excel 시트에 출력하여 확인할 수 있도록 하였다.

### 5.1.1 해집단(Population)의 크기

유전자 알고리즘을 적용하기 위해서 해집단의 크기는 염색체의 해공간을 충분히 표현할 수 있을 만큼 커야 하지만(Rho, 1998) 연산 속도와 수행시간 등을 고려하여 다수의 테스트를 통해 적절한 수의 해집단의 크기를 선정하였다. 해집단 설정을 위한 실험에서는 세대수와 엘리트 선정 비율, 교배 비율, 돌연변이 비율을 고정된 상태에서 해집단의 크기만을 변경하면서 테스트를 10회씩 반복 시행한 결과 <Table 7>과 같이 해집단의 크기가 1,000일 때 최적 적합도 함수 값의 평균값이 제일 작아지는 것을 확인할 수 있다. 그리고 해집단의 크기가 커질수록 평균 적합도 함수 값의 변화가 통계적으



<Figure 6> Output of the Best Chromosome

<Table 7> Results of Population Size Test

Population Size	100	500	1,000	1,500
Fitness Value	110.54	107.86	101.40*	106.85

\*p-value ≤ 0.05

로 의미가 있는 것인지 확인하기 위하여 독립표본 t-검정을 실시하였다.

해집단의 크기가 100일 때와 500일 때 적합도 함수 값의 평균은 110.54와 107.86이다. 두 실험의 결과에 대한 통계적 검증을 위하여 독립표본 t-검정을 실시하고 두 집단의 분산을 비교하여 F-검정의 p-value가 0.39로 0.05보다 크므로 두 집단은 등분산이 아님을 확인하였다. 이에 이분산 가정 유의확률이 0.36으로 귀무가설인 H0를 채택하여 두 평균은 통계적으로 유의미한 차이가 없음을 확인하였다. 해집단의 크기를 1,000, 1,500으로 늘렸을 경우에도 적합도 값이 유의미한 차이를 찾지 못했지만 해집단의 크기가 1,000일 때 가장 적은 값을 가지므로 1,000일 때를 가장 최적값으로 선정하였다.

### 5.1.2 엘리트 보존 비율

엘리트 보존 비율은 반복된 실험을 통해 5%, 10%, 15%, 20%로 설정하여 각각 평균 최적 값의 변화를 측정하였고, <Table 8>과 같이 그 결과

15%일 때가 가장 작은 값으로 관측되었다. 그러나 독립표본 t-검정결과 5%일 때와 10%일 때가 통계적으로 유의미한 차이가 있다고 확인되었다. 그 결과를 반영하여 엘리트 보존비율은 5%일 때를 최적 값으로 선정하였다.

<Table 8> Results of Rate of Elite Preserving

Rate of Elite preserving	5%	10%	15%	20%
Fitness Value	104.3*	110.7*	103.9	104.6

\*p-value ≤ 0.05

5.1.3 교배(Crossover) 비율

돌연변이 비율은 일반적으로 80%에서 95%를 적용하지만, 본 연구에서는 다른 연산과의 효율적 적용을 위하여 50%, 60%, 70%, 80%로 설정하여 각각 평균 최적 값의 변화를 측정하였고, 그 결과 <Table 9>와 같이 80%일 때가 가장 작은 값으로 관측되었으나 독립표본 t-검정결과 통계적으로 유의미한 변화가 없어 최소값인 60%일 때를 최적 값으로 선정하였다.

<Table 9> Results of Rate of Elite Preserving

Rate of Crossover	50%	60%	70%	80%
Fitness Value	104.0	98.7	104.0	104.3

\*p-value ≤ 0.05

5.1.4 돌연변이(Mutation) 비율

돌연변이 비율은 일반적으로 1% 이하를 적용하나, 본 연구에서는 로컬 최적화에 빠지지 않기 위하여 충분히 큰 값을 적용하여 실험을 진행하였다. 적용한 돌연변이 비율은 5%, 10%, 15%, 20%로 바꾸어 설정하고 각각 평균 최적 값의 변화를 측정하였다. 그 결과 <Table 10>과 같이 20%일 때가 가장 작은 값으로 관측되었으며 독립표본 t-검정결과도 5%일 때와 20%일 때가 통계적으로 유의미한 차이가 있다고 확인되었다. 그 결과를 반영하여 엘리트 보존비율은 20%일 때를 최적 값으로 선정하였다.

<Table 10> Results of Rate of Elite Preserving

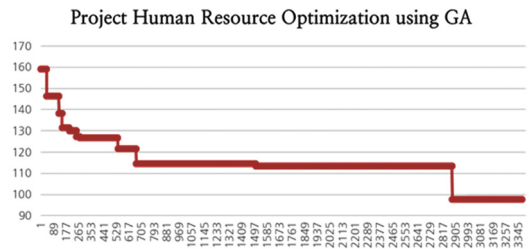
Rate of Elite preserving	5%	10%	15%	20%
Fitness Value	106.67	102.81	104.63	97.49*

\*p-value ≤ 0.05

5.3 유전자 알고리즘의 사례 적용

앞의 실험에서 도출된 유전자 알고리즘의 최적 파라미터를 기반으로 하여 실제 SI 업체의 프로젝트에 반영하여 알고리즘의 우수성을 검증하였다. 공공기관 및 민간기업의 IT 프로젝트를 수행하는 SI 업체인 G사의 부서 중 특정 부서에서 수행하는 프로젝트와 기술인력 정보를 표본 추출하여 입력 데이터로 등록하였다. 프로젝트는 3영역의 프로젝트 5개를 선정하였고, 각 프로젝트의 중요도는 고객사의 매출 비율과 영업적 사항을 고려하여 3등급으로 적용하였다. 가장 중요한 프로젝트의 중요도 값을 1로 설정하였고, 3이 가장 일반적인 프로젝트로 구분 하였다. 프로젝트 난이도도 실제 구현해야할 시스템의 기술적 어려움을 고려하여 3등급으로 분류하여 가장 난이도가 높은 프로젝트에 1을 부여하였다. 프로젝트의 요구 공수는 프로젝트 예가를 기준으로 하여 한국소프트웨어산업협회(KOSA)의 SW 노임단가를 기준으로 1,000만 원을 1MM로 산정하여 적용하였다.

유전자 알고리즘의 실행 결과는 <Figure 7>과 같이 세대가 진화할수록 적합도 함수의 값이 작아지면서 우수한 해를 도출하는 것을 확인할 수 있다. 실제 1,500세대까지는 최적 적합도 함수 값의 변화가 많이 발생하지만 3,000세대가 넘어가면 적합도 함수 값의 변화가 거의 없어 안정화 단계에 접어든 것으로 추정할 수 있다.



<Figure 7> Result of Genetic Algorithm Execution

〈Table 11〉 Comparison Traditional and GA

Division	Traditional	GA	Improvement(%)
Assigning professional manpower( <i>il</i> )	40.20	37.73	6.1
Appropriate number of manpower( <i>om</i> )	20.80	22.98	-10.5
Equal workload( <i>wl</i> )	45.20	1.27	97.2
No redundant placement( <i>te</i> )	6.00	6.12	-2.0
No spaces allowed( <i>pt</i> )	0.00	1.33	-
Continuous placement( <i>cm</i> )	18.00	20.12	-11.8
Value of fitness function	130.2	89.55	31.2

본 연구의 목표는 기존의 경험적으로 진행했던 프로젝트 포트폴리오 투입인력 문제를 유전자 알고리즘을 이용하여 효과적으로 해결하는 것이다. 기존의 경험적 프로세스에 의한 투입인력 배정과 유전자 알고리즘을 이용한 투입인력 배정의 경우를 목표함수 및 제약조건 별로 결과를 정리해보면 <Table 11>과 같다. 전문인력 배정은 6.1%가 개선되었고, 업무부하 균등은 97.2%나 개선되는 효과를 보여주었다. 특히 업무부하 균등 부분에서 월등한 개선이 된 이유는 다수의 프로젝트에 다수의 인력을 배정할 경우 기존 경험적 프로세스로는 인력 개개인의 투입인력을 관리할 수 없기 때문이다. 전체적인 적합도 기준으로는 유전자 알고리즘을 적용한 방법이 31.2% 향상되었음을 알 수 있다. 하지만 적정 투입 공수, 중복 투입불가, 그리고 지속투입 부분은 기존 경험적 프로세스가 유전자 알고리즘을 사용한 방법보다 다소 나은 결과를 보여주었다. 그 이유는 사례연구에 적용한 염색체가 <Figure 3>와 같이 420개(= 5개 프로젝트×7명 투입인력×12개월)의 유전자(Gene)로 구성되어, 각 유전자 값이 투입 인력공수로서 랜덤한 값을 반복적으로 만들어내는 유전자 알고리즘은 각 제약조건과 목적함수의 전체 합이 최소가 되는 전역 최적(Global Optimum) 해를 찾아냈기 때문이다.

## 6. 결 론

본 연구는 기업의 중요한 이슈 중 하나인 IT프로젝트 포트폴리오 기술인력 투입문제를 해결하기

위해 유전자 알고리즘을 이용하여 모델을 수립하고 이에 대한 실제 사례 기반의 적용을 통해 기존에 연구되지 않았던 문제에 대한 해법을 제시하고자 했으며 아래와 같은 의미를 가질 수 있다.

이론적 관점에서는 첫 번째로 IT프로젝트 포트폴리오의 투입인력 할당 시 필요한 정량적인 평가 방안을 수학적으로 모델링하고 정의하였다. 두 번째로 기존 연구에서 찾을 수 없었던 IT프로젝트 포트폴리오의 기술인력 투입문제에 대한 해결 방안을 제시하였다. 마지막으로 유전자 알고리즘의 최적 파라미터를 구하기 위하여 반복적인 실험을 통해 계산된 적합도 함수 값을 독립표본 t-검정을 통해 검증하고 실험의 효용성을 증명하였다. 실무적 관점에서는 정의된 수학적 모델을 유전자 알고리즘을 통해 구현하고 개발된 유전자 알고리즘이 기존 수작업 결과에 비해 효과적이라는 것을 실제 SI 업체의 프로젝트를 기반으로 투입인력 지정 문제에 적용하여 확인하였다. 특히 비즈니스 연속성을 고려하여 프로젝트의 중요도를 반영한 전문 인력 우선 배정과 인력 간 업무부하를 고려한 인력 배치는 실제 인력 투입시 큰 도움이 되리라 판단된다. 본 연구의 내용은 프로젝트 포트폴리오의 투입인력 할당 시 전체적인 인력 투입 전략을 수립하고 인력 배정을 위한 근거 자료로 활용될 수 있을 것이라고 판단된다.

본 연구의 한계와 향후 연구가 필요한 부분은 다음과 같다. 첫 번째, 실질적으로 프로젝트 포트폴리오에 투입되는 기술인력 들이 느끼는 업무 부하 균등에 따른 프로젝트 투입에 대한 만족도가 향상되었는지에 대한 부분은 조사가 이루어지지

않았다. 두 번째, 실제 프로젝트에서 개발된 시스템의 품질이 향상되고 프로젝트가 성공적으로 완료되었는지에 대한 조사도 이루어지지 않았다. 마지막으로 본 연구에 적용한 IT프로젝트 포트폴리오 기술인력 투입 문제의 요구조건이 비교적 소규모라 모든 기업이나 IT 업체에 공통적이라고 할 수 있는 부분에 대한 검증은 아직 진행되지 않았으며 향후 지속적인 연구가 필요한 부분이다.

## References

- Chen, G. and J.B. Cruz, "Genetic algorithm for task allocation in UAV cooperative control", *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit, CD-ROM*, 2003.
- Chen, J. and R.G. Askin, "Project selection, scheduling and resource allocation with time dependent returns", *European Journal of Operational Research*, Vol.193, No.1, 2009, 23-34.
- Choi, J.M., J.S. Lee, and O.K. Lim, "A Study on Improvement of Genetic Algorithm Operation Using the Restarting Strategy", *Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea*, Vol.15, No.2, 2002, 305-313.
- (최정묵, 이진식, 임오강, "재시동 조건을 이용한 유전자 알고리즘의 성능향상에 관한 연구", *한국전산구조공학회논문집*, 제15권, 제2호, 2002, 305-313.)
- Ghasemzadeh, F. and N.P. Archer, "Project Portfolio Selection through Decision Support", *Decision Support System*, Vol.29, No.1, 2000, 73-88.
- Heo, Y.H., "Determinants of Dynamic Capability and Its Relationships with Competitive Advantage and Performance in Foreign Markets", *The Graduate School Sogang University*, 2011.
- (허영호, "동적역량의 결정요인과 경쟁우위 및 해외 시장 성과와의 관계 : 한국의 중소수출 제조기업을 중심으로", *서강대학교 박사학위논문*, 2011.)
- KATS, Korea Agency for Technology and Standards, *Guidance on Project Management*, 2013.
- (국가기술표준원, *프로젝트관리 표준(ISO 21500) 이행가이드*, 2013.)
- Kerzner, H., *Using the project management maturity model(2<sup>nd</sup> ed.)*, Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, Inc, 2005.
- Killen, C.P., "Project portfolio management for product innovation in service and manufacturing industries", *Ph.D. dissertation, Macquarie University*, 2008.
- Kim, K.S., "Optimization of Spot Weldment and Fatigue Life using Genetic Algorithm", *Master's degree thesis, Department of Precision Mechanical Engineering Graduate School of Chonbuk National University*, 2006, 6-13.
- (김규상, "유전자 알고리즘에 의한 접용접 최적화 및 피로특성", *전북대학교 석사학위논문*, 2006.)
- Kim, S.C., "Development of a Genetic Algorithm for Flexible Job Shop Scheduling", *The Graduate School Dong-a University*, 2000.
- (김상천, "유연 Job Shop 일정계획 수립을 위한 유전 알고리즘 개발", *동아대학교 박사학위논문*, 2000.)
- Lee, H.K. and J.W. Chung, "Resource Constrained Dynamic Multi-Projects Scheduling Based by Constraint Programming", *Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol.12, No.3, 1999, 362-373.
- (이화기, 정제원, "Constraint Programming을 이용한 자원제약 동적 다중프로젝트 일정계획",

- IE interfaces*, 제12권, 제3호, 1999, 362-373.)
- Lee, J.H., "Development of a Sequential Project Portfolio Selection Method Using Monte-Carlo Simulation", *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 2014, 663-715.
- (이지혜, "몬테칼로 시뮬레이션을 이용한 연속적 프로젝트 포트폴리오 선정 방법 개발", *대한산업공학회 추계학술대회 논문집*, 2014, 663-715.)
- Lee, J.H., P.S. Kim, and I.K. Moon, "A Study on Project Scheduling under Multiple Resource Constraints", *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol.36, No.4, 2010, 219-229.
- (이정훈, 김판술, 문일경, "다수 자원제약 하에서의 프로젝트 일정계획에 관한 연구", *대한산업공학회지*, Vol.36, No.4, 2010, 219-229.)
- Lee, J.S., "A study on VRIO characteristics of project management assets", *The Graduate School Hanyang University*, 2012.
- (이재성, "기업의 프로젝트관리 자산이 VRIO 특성에 미치는 영향", *한양대학교 박사학위논문*, 2012.)
- Levine, H.A., *Project Portfolio Management*, San Francisco, Ca : Jossey-Bass, 2005.
- Milosevic, D.Z. and S. Srivannaboon., "A theoretical framework for Aligning Project Management with Business Strategy", *Chapter 3 in Linking Project Management to business strategy*, Project Management Institute, 2007.
- MoP, *Management of Portfolio 2011 Edition*, UK : Office of Government Commerce.
- Nam, B.Y., "A Suggestion of a Model of Needs Analysis By Using Max-Min", *Journal of the Korea Academia Industrial Cooperation Society*, Vol.13, No.5, 2012, 2030-2037.
- (남보열, "Max-Min을 이용한 요구분석 모형 제안", *한국산학기술학회논문지*, 제13권, 제5호, 2012, 2030-2037.)
- Oh, S.H. and S.C. Kim, "A Study of the Effects of Project Portfolio Management on the Competitive Advantage with Dynamic Capability Theory in the Defense Industry", *Journal of Academic Society of Global Business Administration University*, Vol.12, No.4, 2015, 579-604.
- (오석현, 김승철, "동적역량이론을 이용한 프로젝트 포트폴리오 관리와 기업 경쟁우위와의 영향관계 분석 : 방위산업을 중심으로", *글로벌경영학회지*, 제12권, 제4호, 2015, 579-604.)
- Ringuest, J.L., "Conditional Stochastic Dominance in R&D Portfolio Selection", *IEEE Transaction on Engineering Management*, Vol.47, No.4, 2000, 478-484.
- Rho, S.K., "Variable Selection using Genetic algorithm", *Korean Business Journal, Institute of Management Research, SNU*, Vol.32, No.4, 1998, 108-122.
- Ryu, K.D. and W.J. Kim, "A Study of an Optimization Model of the IT Service Engineer Regional Assignment Using Genetic Algorithm", *Journal of Korean Institute of Information Technology*, Vol.12, No.12, 2014, 101-114.
- (류기동, 김우제, "유전자 알고리즘을 이용한 IT서비스 담당자 권역할당 최적화 모델 연구", *한국정보기술학회논문지*, 제12권, 제12호, 2014, 101-114.)
- Stummer, C., "Interactive R&D Portfolio Selection Considering Multiple Objective, Project Interdependencies, and Time : A Three-Phase Approach", *Management of Engineering and Technology*, Vol.2, 2001, 423-428.
- The Standard for Portfolio Management 4<sup>th</sup> Edition*, Project Management Institute, 2017.
- Yoo, W.S. and H.K. Lee, "Project Scheduling

Using Fuzzy PERT and Risk Assessment”,  
*Journal of the Architectural Institute of  
Korea Structure & Construction*, Vol.22,  
No.4, 2006, 145-152.

(유위성, 이학기, “퍼지 PERT에 의한 프로젝트  
Scheduling과 리스크 평가”, *대학건축학회* 논  
문집, 제22권, 제4호, 2006, 145-152)

Yun, J.J. and H.K. Lee, “Job Shop Scheduling

by Tabu Search Combined with Constraint  
Satisfaction Technique”, *Journal of the So-  
ciety of Korea Industrial and Systems Engi-  
neering*, Vol.25, No.2, 2002, 92-101.

(윤종준, 이학기, “Tabu Search와 Constraint Satis-  
faction Technique를 이용한 Job Shop 일정  
계획”, *한국산업경영시스템학회*, 제25권, 제2  
호, 2002, 92-101.)



## ◆ About the Authors ◆



**Dong-Wook Kim (shaikan@msn.com)**

Dong-Wook Kim received the B.S. degree in Computer Science from Korea National Open University in 2002. He received the M.S. degree in Industrial and Information Systems Engineering from Seoul National University of Science and Technology in 2013. He is currently a Ph.D. Candidate in Industrial and Information Systems Engineering at SeoulTech (Seoul National University of Science and Technology). His areas of interest are project management, software engineering, and IT service.



**Won-Young Lee (wonylee@seoultech.ac.kr)**

Professor Won-Young Lee received the B.S. degree in Industrial Engineering from Seoul National University, the M.S. degree in Industrial Engineering from The Ohio State University, and Ph.D. degree in Industrial Engineering from University of Louisville. He is currently a Full Professor of the Department of Industrial and Information Systems Engineering at Seoul-Tech (Seoul National University of Science and Technology). His areas of interest are Artificial Intelligence, Database and Management Information Systems.