

시스템 설계를 고려한 최적 투자할당방법

조규갑*, 문병근**

초 록

투자성과평가에서 주요 이슈 중 하나는 최적의 투자규모, 즉 자원할당을 결정하는 것이다. 기존연구에서는 서열모델, 평점모델, 경제성 모델, 포트폴리오 모델, 위험 분석 및 의사결정모델, 조직 의사결정모델 등 많은 모델들이 연구자들에 의해 제안되어 왔다. 시스템에서 성과측정은 시스템 설계와의 일치가 요구되므로, 자원할당도 시스템 설계와 연계되어 결정되어야 한다. 그러나 자원할당방법에 대한 기존 연구는 대부분 자원할당모델의 개발에 중점을 두고 있으며, 모델 개발시에 시스템 설계에 대해 고려하고 있는 문헌은 거의 없다. 본 논문은 투자목표를 최대로 하기 위한 최적 자원할당방법에서 시스템 설계를 고려하기 위하여 시스템 설계분해개념에 기초한 자원할당방법의 절차와 유전자 알고리즘을 이용한 자원할당방법을 제안한다.

Keywords: 자원할당방법, 시스템 설계분해, 유전자 알고리즘

* 부산대학교 산업공학과 교수

** 부산대학교 산업공학과 박사과정, bkmoon@pusan.ac.kr

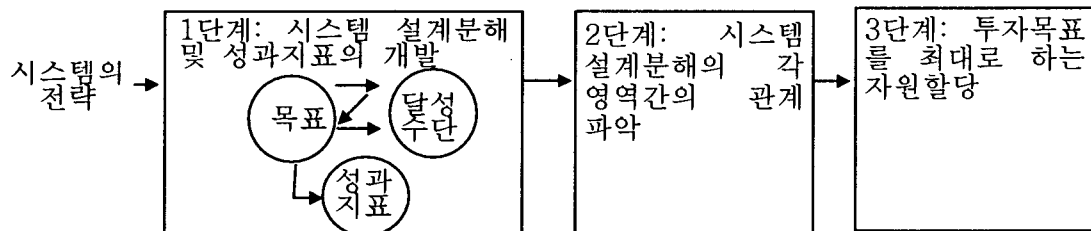
I. 서론

투자를 기업의 생산성 향상과 연계하려면 투자를 엄격히 통제할 필요가 있다. 투자성과평가는 이를 위한 기본과정으로서 투자성과평가에서 주요 이슈 중 하나는 최적의 투자규모, 즉 자원할당을 결정하는 것이다[서한준 (2003)]. 기존연구에서는 서열모델, 평점모델, 경제성 모델, 포트폴리오 모델, 위험 분석 및 의사결정모델, 조직 의사결정모델 등 많은 모델들이 연구자들에 의해 제안되어 왔다[서창교 외 (1999)]. 시스템에서 성과측정은 시스템 설계와의 일치가 요구되므로[Duta (2000)], 자원할당도 시스템 설계와 연계되어 결정되어야 한다. 그러나 자원할당방법에 대한 기존연구는 대부분 자원할당모델의 개발에 중점을 두고 있으며, 모델 개발시에 시스템 설계에 대해 고려하고 있는 문헌은 거의 없다. 본 논문은 투자목표를 최대화하기 위한 최적 자원할당방법에서 시스템 설계를 고려하기 위하여 시스템 설계분해 개념에 기초한 자원할당방법의 절차와 유전자 알고리즘을 이용한 자원할당방법을 제안한다.

II. 시스템 분해개념에 의한 자원할당방법의 절차

2.1 자원할당방법의 절차

본 논문에서 제안하는 시스템 설계를 고려한 자원할당방법의 절차는 그림 1과 같이 (1)시스템의 전략을 고려한 시스템 설계분해 및 성과지표의 개발, (2) 개발된 시스템 설계분해에서 각 영역간 관계의 파악, (3) 투자목표를 최대화 하는 자원할당 단계로 구성된다.



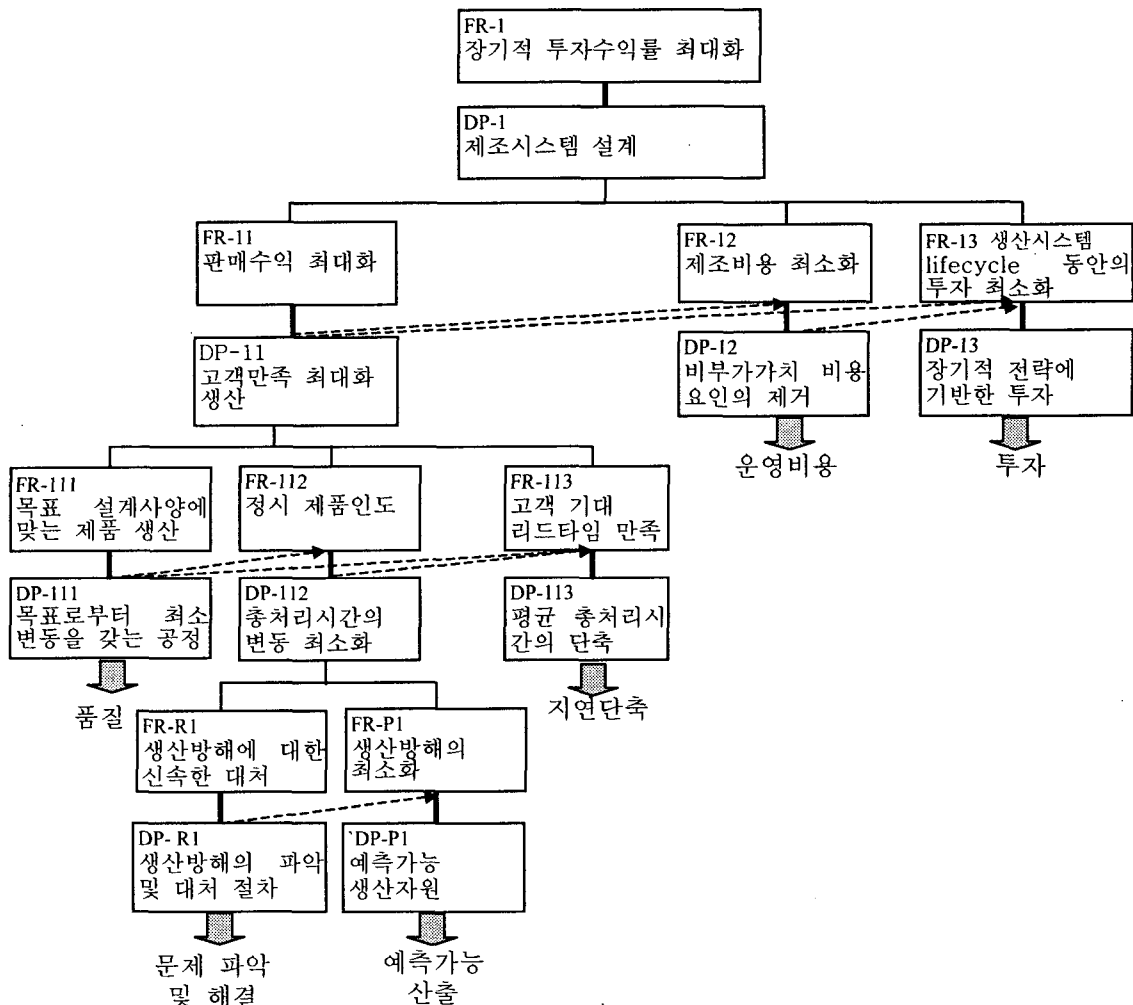
[그림 1] 시스템 설계를 고려한 자원할당방법의 절차

2.2 시스템 설계분해 및 성과지표의 개발

시스템은 ‘미리 결정된 기능을 협동적으로 수행하기 위하여 설계된 상호관련성이 있는 요소의 집합’으로, 시스템 설계는 시스템에 관한 여러 가지 과학적 법칙과 공학적 경험규칙을 사용해서, 명시된 평가기준 하에서 새롭고, 유용한 시스템(구조나 운용절차)를 만드는 것이다[조규갑 역 (1986)]. 공리적 설계는 시스템 설계를 위한 이론으로서 시스템 설계의 구조를 표현하는 효과적인 방법을 제공한다. 공리

적 설계를 이용한 시스템 설계분해의 적용의 예는 제조시스템, SCM(Supply Chain Management) 설계, 제품 설계, 소프트웨어 설계 등이 있다[Suh (2001)].

공리적 설계에 기반한 시스템 설계분해의 일반적 표현은 기능적 요구사항 (Functional Requirements, FRs)과 설계 매개변수(Design Parameter, DPs)간의 계층적 구조를 가지며, 성과지표(Performance Measures, PMs)는 시스템 설계분해에서 FR로부터 도출한다. 그림 2는 제조시스템에 대한 공리적 설계의 개념을 도입하여 시스템을 분해한 제조시스템 설계분해(Manufacturing System Design Decomposition)의 상위 레벨을 표현한 것으로써, FR 과 DP를 하나의 쌍으로 도식적으로 표현한 것이다.



[그림 2] 제조시스템 설계분해의 상위 레벨의 예[Linck (2000)]

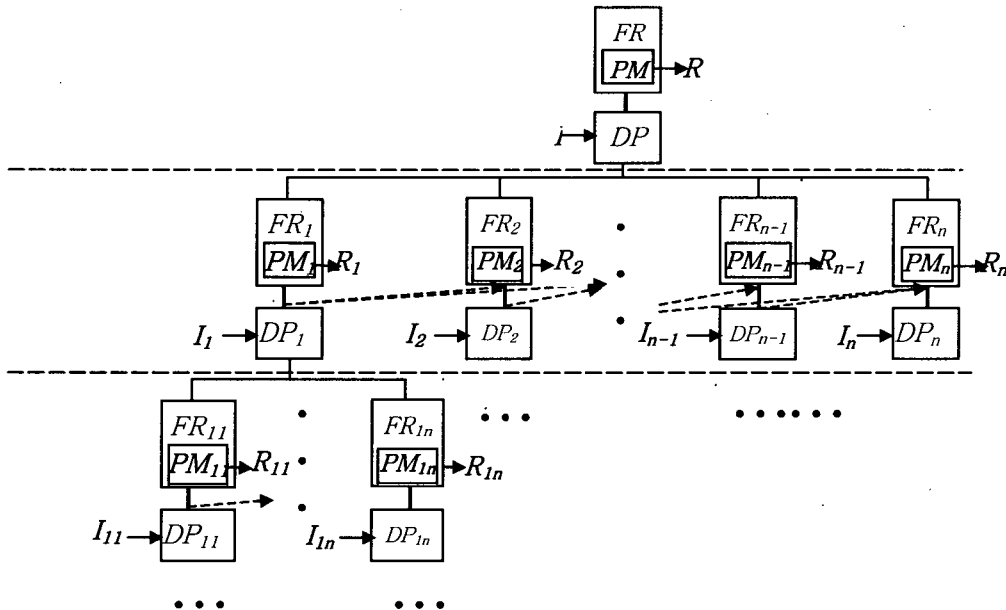
제조시스템의 영역에서 Duta(2000)는 제조시스템 설계분해에 기반한 성과지표 개발이 효과적인 성과지표 집합의 품질인 '일관성', '호환성', '완전성'을 만족하기 위한 유효한 접근임을 보였으며, 문병근 외(2004)은 효과적인 성과지표 집합의 품질 및 효과적인 개별 성과지표의 품질을 만족하기 위한 방법으로 제조시스템 설계분해에 기반한 성과지표 선정에서의 의사결정방법을 제안하였다. 표 1은 제조시스템 설계 분해로부터 도출된 성과지표 예에 대해 보여준다.

<표 1> 성과지표의 예

Functional Requirement (FRs)	Performance Measures (PMs)
FR-1: 장기적 투자수익률 최대화	PM-1: 생산시스템 라이프 lifecycle 동안의 투자수익률
FR-11: 판매수익 최대화	PM-11: 판매수익
FR-111: 목표 설계사양에 맞는 제품 생산	PM-111: 공정능력
FR-112: 정시 제품인도	PM-112: 정시 인도의 비율, 지연의 양
FR-R1: 생산방해에 대한 신속한 대처	PM-R1: 생산방해의 발생과 해결시간간의 차이
FR-P1: 생산방해의 최소화	PM-P1: 생산방해의 발생수, 생산방해에 낭비된 시간의 양
FR-113: 고객의 기대 리드타임 만족	PM-113: 평균 총처리시간과 고객 기대 리드 타임간의 차이
FR-12: 생산비용 최소화	PM-12: 생산비
FR-13: 생산시스템 lifecycle 동안의 투자 최소화	PM-13: 생산시스템 lifecycle 동안의 투자비

2.3 시스템 설계분해에서 각 영역간의 관계 파악

본 논문에서는 시스템 설계분해에서 분해레벨이 L 이고, 각 $FR-DP$ 쌍의 분해결과가 n 개의 $FR-DP$ 쌍으로 이루어진 시스템 설계분해 모델을 대상으로 각 영역간의 관계에 대해 표현하며, 투자성과평가의 분석을 위하여 시스템 설계분해의 일반적 표현에 수익(Revenue, R), 투자(Investment, I)의 영역을 추가한다.



[그림 3] 시스템 설계분해에 대한 도식적 표현

시스템 설계분해의 동일 레벨 및 상하 계층 레벨에서의 $R-PM-DP-I$ 의 관계를 표현하면 다음과 같다.

(1) 동일 레벨에서 관계

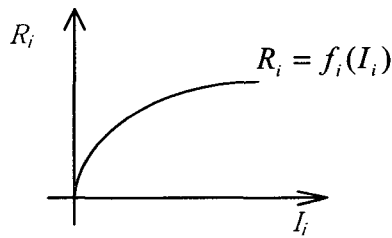
동일한 레벨에서 R 과 PM , PM 과 DP , 그리고 DP 와 I 의 관계를 수식적으로 설명하면 다음과 같다.

◆ R 와 PM 의 관계

R_i 와 PM_i 는 1:1의 대응관계로 표시할 수 있으므로 R 과 PM 의 관계의 일반적인 표현은 식 (1)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} R_1 &= f_1(PM_1) \\ R_2 &= f_2(PM_2) \\ &\Lambda \\ R_n &= f_n(PM_n) \end{aligned} \tag{1}$$

R_i 와 PM_i 의 관계를 도식적으로 표현하면 그림 4와 같다. 그림 4에서는 R 가 I 에 따라 증가하다가 어떤 지점부터는 더 이상 증가하지 않는 것을 가정한다.



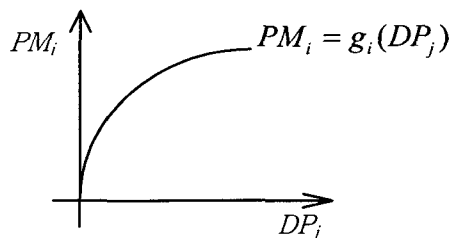
[그림 4] R_i 와 PM_i 간 관계의 도식적 표현

◆ PM 과 DP 의 관계

PM 은 DP s의 함수로 표시할 수 있으므로, PM 과 DP 의 관계에 대한 일반적인 표현은 식 (2)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} PM_1 &= g_1(DP_1) \\ PM_2 &= g_2(DP_1, DP_2) \\ &\Lambda \\ PM_n &= g_n(DP_1, DP_2, \dots, DP_n) \end{aligned} \tag{2}$$

PM_i 와 DP_j 의 관계를 도식적으로 표현하면 그림 5와 같다. 그림 5에서는 DP 가 증가함에 따라 PM 이 증가하다가 어떤 지점부터는 더 이상 증가하지 않는 것을 가정한다.



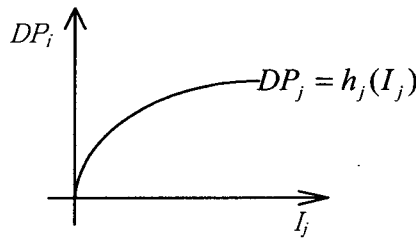
[그림 5] PM_i 와 DP_j 간 관계의 도식적 표현

◆ DP와 I의 관계

I_i 와 DP_i 는 1:1의 대응관계로 표시할 수 있으므로 DP와 I의 관계의 일반적인 표현은 식 (3)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} DP_1 &= h_1(I_1) \\ DP_2 &= h_2(I_2) \\ &\Lambda \\ DP_n &= h_n(I_n) \end{aligned} \quad (3)$$

DP_j 와 I_j 의 관계를 도식적으로 표현하면 그림 6과 같다. 그림 6에서는 I가 증가함에 따라 DP가 증가하다가 어떤 지점부터는 더 이상 증가하지 않는 것을 가정한다.



[그림 6] DP_j 와 I_j 간 관계의 도식적 표현

(2) 상하 계층 레벨간의 관계

그림 3의 시스템 설계분해에서 R, PM, I의 상하 계층 레벨간의 관계는 부분합의 관계로서 하위 레벨에서 상위 레벨로 bottom-up 방식에 의해 계산되며, 식 (4), (5), (6)과 같이 표현된다.

◆ R의 경우

$$\begin{aligned} 1^{st} \sim 2^{nd} \text{ 레벨: } R &= \sum_{i=1}^n (R_i) \\ 2^{nd} \sim 3^{rd} \text{ 레벨: } R_i &= \sum_{j=1}^n (R_{ij}) \quad \forall i \\ 3^{rd} \sim 4^{th} \text{ 레벨: } R_{ij} &= \sum_{k=1}^n (R_{ijk}) \quad \forall i, \forall j \\ \dots & \end{aligned} \quad (4)$$

◆ PM의 경우

$$\begin{aligned} 1^{st} \sim 2^{nd} \text{ 레벨: } PM &= \sum_{i=1}^n (x_i \times PM_i) \\ 2^{nd} \sim 3^{rd} \text{ 레벨: } PM_i &= \sum_{j=1}^n (x_{ij} \times PM_{ij}) \quad \forall i \\ 3^{rd} \sim 4^{th} \text{ 레벨: } PM_{ij} &= \sum_{k=1}^n (x_{ijk} \times PM_{ijk}) \quad \forall i, \forall j \\ \dots & \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, x_i 는 하위 레벨에서의 PM_i 의 차원이 상위 레벨의 PM 과 다를 경우 PM_i 의 차원을 PM 의 차원으로 변환하기 위한 변환계수(conversion factor)이다.

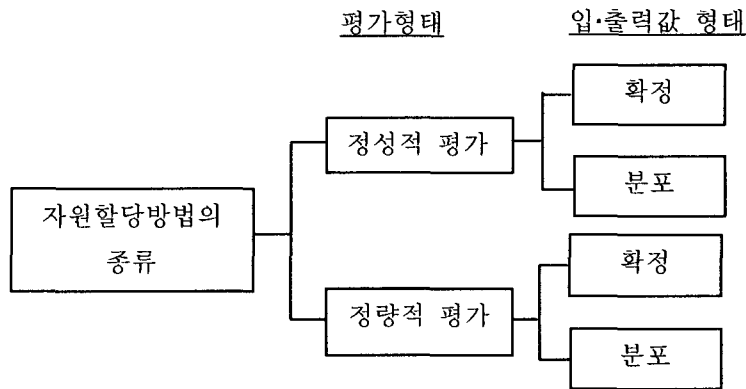
◆ I의 경우

$$\begin{aligned}
 &1^{st} \sim 2^{nd} \text{ 레벨: } I = \sum_{i=1}^n (I_i) \\
 &2^{nd} \sim 3^{rd} \text{ 레벨: } I_i = \sum_{j=1}^n (I_{ij}) \quad \forall i \\
 &3^{rd} \sim 4^{th} \text{ 레벨: } I_{ij} = \sum_{k=1}^n (I_{ijk}) \quad \forall i, \forall j \\
 &\dots
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

이상과 같이 시스템 설계분해에서 표현된 동일 레벨과 상하 레벨의 관계는 시스템 설계분해에 기반한 최적 자원할당의 결정을 위한 기초자료로서 이용된다.

2.4 투자목표를 최대로 하는 자원할당 결정

투자의사결정의 판단척도로 사용되는 투자목표에는 투자수익률(Return On Investment, *ROI*) 최대화, 순현재가치(Net Present Value, *NPV*) 최대화, 수익 최대화 등이 있으며, 자원할당방법의 종류는 평가형태와 평가를 위한 입·출력값의 형태에 따라 그림 7과 같이 구분한다. 본 논문에서 대상으로 하는 자원할당방법의 종류는 정량적 평가 및 확정형 입·출력값의 형태로서 3장에서 구체적인 자원할당방법에 대해 서술한다.



[그림 7] 자원할당방법의 종류

III. 유전자 알고리즘을 이용한 자원할당 방법

3.1 유전자 알고리즘의 개요

유전자 알고리즘은 자연 생태계의 돌연변이와 적자생존의 원리에 기초한 진화 과정을 모방한 확률적인 탐색기법으로 넓은 해 공간을 효과적으로 탐색할 수 있는 기법이다. 유전자 알고리즘은 염색체(chromosome)라 불리는 후보해의 표현으로 이

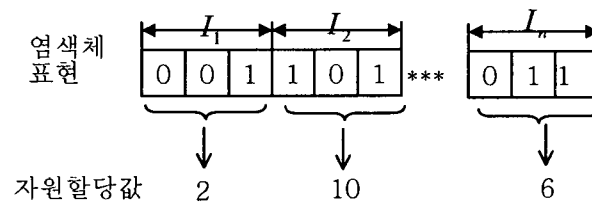
투어된 개체군의 크기(population size)만큼 모집단을 생성하여, 각 세대에서 개체군에 포함된 개체들의 적합도(fitness)를 평가하고, 평가 값에 따라 개체들을 선택(selection)하고 교차(crossover)하여 개체군의 크기만큼 자손들을 생성한다. 이 교차과정에서 유전자(gene)의 상속이 이루어지고 확률적으로 돌연변이(mutation)가 발생한다. 새롭게 생성된 개체군들의 적합도를 평가하고 종료조건을 만족할 때까지 반복한다[김여근 외(1997)].

3.2. 유전자 알고리즘의 적용

본 대상문제에 대해 유전자 알고리즘을 적용하기 위한 염색체 표현과 평가함수는 아래와 같다.

3.2.1 염색체 표현

유전자 알고리즘의 적용에서 염색체 표현으로는 각 유전자에 대해 이진수를 십진수의 값으로 사상(mapping)하는 Binary to Decimal 염색체 구조를 가진다. 그림 8은 염색체에서 각 유전자의 길이를 3 bit로, 자원할당의 범위의 최소값과 최대값을 0과 14로 정의할 때의 각 투자영역에 대한 자원할당(I_i)을 표현하는 예를 보여준다.



<Binary to Decimal 사상과정의 예>

Binary 값	사상과정	Decimal 값
(0,0,0) → 0	→	0 (=최소값)
(0,0,1) → 1	→	2
...
(1,1,1) → 7	→	14 (=최대값)

[그림 8] Binary to Decimal 염색체 표현과 사상과정의 예

3.2.2 평가함수

유전자 알고리즘에서 평가함수는 염색체의 적합도(F)를 평가하기 위한 것으로 본 논문에서는 $F = R - I$ 를 염색체의 적합도로 정의하며, 자원할당에서의 제약조건을 고려하기 위해 염색체의 적합도는 식 (5)를 이용하여 계산한다.

$$F = \begin{cases} R - I, & I \leq M \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (5)$$

여기서, R 과 M 은 각각 평가대상 시스템 설계분해에서 최상위 분해레벨에서의 수익 및 할당 가능 자원량이며, I 는 더 이상 분해되지 않는 시스템 설계분해의

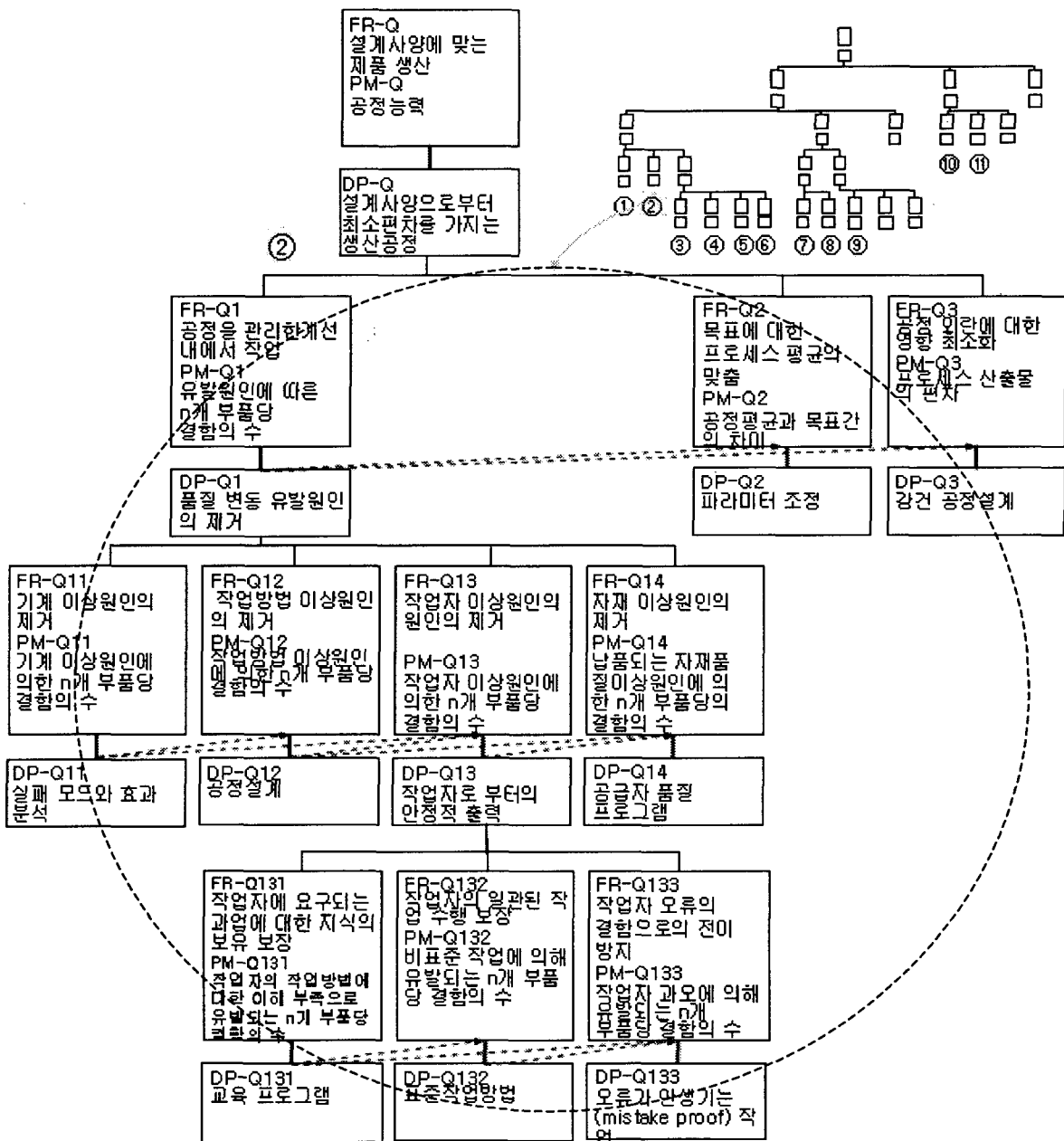
FR-DP 쌍에 할당된 자원량의 총합이다.

IV. 적용 예제

본 적용 예제는 제조시스템 설계에서 품질영역에 대한 설계분해의 예를 대상으로 한다.

4.1 시스템 설계분해에서의 각 영역간의 관계 파악

그림 9는 제조시스템에서 품질영역에 대한 공리적 설계의 예이다.



[그림 9] 품질 영역에 대한 설계분해의 예 [조규갑 (2003)]

본 적용 예제의 품질영역 설계분해에 대한 각 영역간의 관계 파악에서 두번째 레벨에서는 R 과 I 의 관계로 표현하고, 이하 레벨에서는 PM 과 I 로 동일 및 상하 레벨간의 관계를 표현한다.

FR/DP-Q1, FR/DP-Q2, FR/DP-Q3 에 대해 R 과 I 의 관계는 식 (6)과 같이 가정한다.

$$\begin{bmatrix} R_Q1 \\ R_Q2 \\ R_Q3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.9 & 0 & 0 \\ 0.2 & 1.5 & 0 \\ 0.1 & 0 & 1.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_Q1 \\ I_Q2 \\ I_Q3 \end{bmatrix} \quad (6)$$

FR/DP-Q11, FR/DP-Q12, FR/DP-Q13, FR/DP-Q14 에 대해 PM 과 I 의 관계는 식 (7)과 같이 가정한다.

$$\begin{bmatrix} PM_Q11 \\ PM_Q12 \\ PM_Q13 \\ PM_Q14 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.95 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.1 & 1.2 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0.1 & 1.2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_Q11 \\ I_Q12 \\ I_Q13 \\ I_Q14 \end{bmatrix} \quad (7)$$

FR/DP-Q131, FR/DP-Q132, FR/DP-Q133 에 대해 PM 과 I 의 관계는 식 (8)과 같이 가정한다.

$$\begin{bmatrix} PM_Q131 \\ PM_Q132 \\ PM_Q133 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.05 & 0 & 0 \\ 0.15 & 1.2 & 0 \\ 0.1 & 0.1 & 1.3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_Q131 \\ I_Q132 \\ I_Q133 \end{bmatrix} \quad (8)$$

이상과 같이 입력된 시스템 설계분해에서의 각 영역간의 관계정보는 최적 자원 할당을 결정하기 위한 기초자료로서 사용된다.

4.2 유전자 알고리즘을 이용한 자원할당

유전자 알고리즘의 구현에서는 유전자 알고리즘의 라이브러리 함수로서 GAlib 2.45를 사용하였으며, 평가함수는 C로 구현하였다.

4.2.1 입력정보

자원할당을 위한 입력정보는 아래와 같다.

- (1) 시스템 설계분해의 각 레벨에서의 각 영역간의 관계: 식 (6)~(8)
- (2) 자원할당(I_i)의 범위 및 대응하는 각 gene을 위한 bit의 길이

	Q11	Q12	Q131	Q132	Q133	Q14	Q2	Q3
I_i 의 범위	10~30	5~14	5~14	5~14	5~14	10~20	20~40	10~30
bit의 길이	8	5	5	5	5	5	8	8

- (3) 할당 가능 자원량 (M)의 값: 120

4.2.2 실험결과

표 2는 유전자 알고리즘을 이용한 자원할당의 결과를 나타낸다.

<표 2> 자원할당의 결과

Code		자원할당량(I_i)	
Q		120	
	Q1	87.6	
	Q2*	21.1	
	Q3*	11.3	
	Q11*	Q11*	30
		Q12*	14
		Q13	23.6
		Q14*	20
	Q131*	Q131*	6.1
		Q132*	9.9
		Q133*	7.6

<유전자 알고리즘의 실험조건>

- 모집단의 수 =50
- 세대수 = 5000
- 교차연산자: two-point crossover
- 교배확률=0.8
- 돌연변이확률 = 0.01

* 더 이상 분해되지 않는 FR-DP의 쌍

표 2에서 Q11, Q12, Q14의 경우 할당범위의 최대값까지 할당되었으며, 나머지 FR-DP 쌍에 대한 자원할당은 표 2와 같이 결정되었다.

V. 결론

본 논문에서 제안한 자원할당방법은 시스템 설계를 고려하여 최적 자원할당을 결정하는 것으로 투자생산성을 향상하면서 시스템의 성과를 통제하고, 시스템 성과 지표의 목표값을 설정하는 데 이용될 수 있는 유용한 접근이다. 시스템 설계분해에 기초한 자원할당은 설계분해의 각 영역간의 관계에 기초해서 결정되므로 향후 연구에서는 시스템 설계분해에서 각 영역의 관계를 나타내는 설계행렬의 값을 합리적으로 파악하고, 설계행렬값의 불확실성을 고려하여 분석하는 기법이 필요하다.

참고문헌

- 김여근, 윤복식, 이상복 공저, *메타 휴리스틱*, 영지문화사, 1997.
- 문병근, 조규갑, 김준효, "분해접근법에 기반한 제조시스템에서 성과지표 설계," 춘계 IE & MS 공동학술대회, 2004.
- 서창교, 박정우, "정책목표와 연계한 전략적 R&D 투자재원배분 및 연구과제 선정방안연구," *경영과학*, 제 16권 2호, pp. 61~77, 1999.
- 서한준 (2003), "정보화 투자성과 평가의 이론 및 방법론", 시사컴퓨터 Tech Report, (<http://www.itdata.co.kr/column/200312/tech/tr04.asp>).
- 조규갑 역, *생산시스템 공학*, 희중당, 1986.
- 조규갑, *프로젝트 가치평가시스템 개발*, 연구보고서, 부산대학교 기계기술연구소, 2003.
- Cochran D.S., J. F. Arinez, J.F., J. W. Duda, and L. Linck (2001), "A Decomposition Approach for Manufacturing System Design," *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 20 , No. 6, pp. 371-389.
- Canada, J. R., W. G. Sullivan, and J. A. White (1996), *Capital Investment Analysis for Engineering and Management*, Prentice Hall Inc.
- Duta, J. (2000), *A Decomposition-Based Approach to Linking Strategy, Performance Measurement, and Manufacturing System Design*, Ph. D Thesis, Massachusetts Institute of Technology.
- Linck, J. (2001), *A Decomposition-Based Approach for Manufacturing System Design*, Ph. D Thesis, Massachusetts Institute of Technology.
- Suh, N.P. (2001), *Axiomatic Design: Advances and Applications*, Oxford University Press, New York.
- GALib, <http://lancet.mit.edu/ga/>