

다목적하에서 지역 산업의 최적 구조조정을 위한 의사결정지원시스템의 개발

Development of Decision Support System for Optimal Structure Control of Local Industry under Multiobjective

남 현 우*, 이 상 완**

Abstract

In this study, we have developed algorithms to find more effective solutions for compensatory decision-making problems in the case of the decision maker with fuzziness which can occur in a real world fuzzy environment.

We have applied the algorithm to the problems related to the structural reform of the capital and the number of workers in the local industry. We have selected Taegu city for this study. In this study, we have determined the capital and the number of workers, satisfying maximum productivity and minimum air and water pollution under the constraints such as capital-labor ratio, the demand for land and water and the fluctuation of the capital and the number of workers. The determined capital and the number of workers could improve the competitive advantage of Taegu city and could be utilized as criteria for the compilation of the budget, determination of policy for supporting plan of companies, the forecast of number of workers and the training plan of workers.

1. 최적 산업구조 조정을 위한 모형 구축

지방자치 시대를 맞이하여 각 지방들이 갖는 목표들은 그 지방의 현실적 사정에 따라 다양하게 나타날 것이다. 또한 지방자치장이 실현하려는 정책도 자신의 선호에 따라 환경친화적으로 수립할 수도 있고 생산성위주로 수립할 수도 있을 것이다. 예를들어 관광산업을 특성화시키려는 지방과 공단 유치를 통하여 지역을 활성화시키려는 지방간에는 중점을 두어야 할 목표들이 다르게 표현된다.

특정지방이 그 지방의 실정과 정책입안자의 선호구조에 부합되는 산업구조를 결정하는 것은 대외적인 경쟁력향상은 물론, 예산편성, 인력수요예측 및 양성계획, 기업육성 및 지원계획 등과 같은 지방 산업정책결정을 위한 기준적인 자료로서 활용될 수 있다. 그러나 다수의 목적들을 만족시키는 특정 지방의 산업구조를 결정하기 위해서는 방대한 자료가 요구되고 이를 모형화하여 문제를 해결할 수 있는

적절한 수학적인 도구가 필요하게 된다. 이에 본 연구에서는 대구광역시를 적용 대상지역으로 선택하여 수질오염의 지표인 화학적 산소요구량 (chemical oxygen demand ;COD)과 대기오염의 지표인 아황산가스(SO₂)는 줄여가면서 생산량을 최대로 하는 것과 같은 다목적들과 그 지방의 자본집약도, 토지와 물의 요구량, 산업구조의 변화폭 등과 같은 제약들을 고려하여 의사결정자의 선호구조가 반영되는 대구광역시 각 산업의 자본금과 노동자수를 결정하고자 한다. 대구광역시의 자본금과 노동자수를 결정함에 있어 의사결정자가 각 목표들에 대하여 정확한 값을 부여하기는 현실적으로 어렵기 때문에 각 목표들에 대하여 다양한 구성함수로 의사결정자의 선호도를 반영하고 본 연구에서 개발한 알고리즘을 이용하여 주어진 제약에서 다수의 목표들을 최상으로 절충시키는 절충해를 산출한다. 물론 본 연구에서 고려하지 못한 목표들과 제약들이 추가적으로 부가될 경우 보다 정확한 만족해를 유도할 수 있겠지만 자료의 한정으로 인하여 상기의 목표들과 제약들만을 고려한다. 먼저 생산량을 높이기 위한 목적함수로서 모든 투입물이 가변인 장기 생산이론에 이용되는 Cobb-Douglas형의 생산함수를 이용한다. 이 목적함수는 최대화가 고려된다.

$$f_1 = \sum_{j=1}^n A_j K_j^{1-b_j} L_j \quad (0 \leq b_j \leq 1) \quad (1)$$

$j=1, \dots, n$

여기서 K_j 는 산업 j 의 자본금(유형 고정자산 총액)이고 L_j 는 산업 j 의 노동자수이며 각각 결정 변수들이다. 환경오염의 요인으로서 수질오염의 지표 COD량 및 대기오염의 지표 SO₂량은 될 수 있는 한 적게 하기 위하여 산업 j 의 단위출하액에 대한 환경요인의 방출량 ω_{ij} ($i=1: \text{COD}, i=2: \text{SO}_2$)와 산업 j 의 단위출하액에 대한 자본금 k_j 를 이용하여 다음 2가지 목적함수의 최소화를 고려한다.

$$f_2 = \sum_{j=1}^n (\omega_{1j}/k_j) \cdot K_j \quad (2)$$

$$f_3 = \sum_{j=1}^n (\omega_{2j}/k_j) \cdot K_j \quad (3)$$

제약식으로써 산업구조의 급속한 변화를 바랄 수 없으므로 자본금과 노동자수에 대한 상하한의 제약을 부여한다.

* 경동정보대학 산업안전관리과

** 동아대학교 산업공학과

$$\alpha K_{j0} \leq K_j \leq \beta K_{j0} \quad j=1,2,\dots,n \quad (4)$$

$$\alpha' L_{j0} \leq L_j \leq \beta' L_{j0} \quad j=1,2,\dots,n \quad (5)$$

여기서 K_{j0} 와 L_{j0} 는 각각 대구광역시 산업 j 의 1996년 자본금과 노동자수이고 $\alpha, \beta, \alpha', \beta'$ 는 자본금과 노동자수의 이동에 대한 마찰계수이다. 또한 이용할 수 있는 토지와 물은 제한이 있기 때문에 산업 j 의 단위출하량에 대한 토지($i=1$)와 물($i=2$)의 요구량 ρ_{ij} 에 대한 제약식을 고려한다.

$$\sum_{j=1}^n (\rho_{ij}/k_j) \cdot K_j \leq \Gamma_i, \quad i=1,2 \quad (6)$$

더욱이, 기술제약으로서 전체 자본집약도의 상한치 g_1 과 하한치 g_2 를 이용한 식 (7)의 제약식을 고려한다.

$$g_2 \leq \left(\frac{\sum_{j=1}^n K_j}{\sum_{j=1}^n L_j} \right) \leq g_1 \quad (7)$$

각 산업의 분류형태가 Table 1에서 보여진다. Table 1에 나타나는 제조업의 산업분류는 재정경제원에서 재정한 한국 표준산업 분류원칙에 따르고 적용 대상산업의 자본금과 노동자수는 상장회사와 등록법인의 1996년 결산일을 기준으로 고려한다.

$$\Gamma_1 = 1220000, \Gamma_2 = 2020000, g_1 = 70,$$

$$g_2 = 50, \alpha = \alpha' = 0.7, \beta = \beta' = 1.3$$

으로 주어지고 1996년 대구광역시 각 산업의 자본금과 노동자수가 Table 2에서 나타난다.

Table 1. Classification of Manufacturing industry

code	industry
1	foods and beverages
2	manufacture of textiles
3	wood and products
4	paper products
5	chemicals and chemical product
6	basic metals
7	non-metallic
8	fabricated metal products
9	machine and equipment
10	electrical machinery
11	motor vehicles and trailers

Table 2. The capital and number of workers of Taegu city in 1996

industry code	1996	
	capital	number of workers
1	277,815	5,606
2	2,069,595	31,456
3	42,615	1,210
4	166,860	2,070
5	389,403	4,916
6	261,673	3,629
7	173,311	1,746
8	297,975	3,733
9	225,964	5,565
10	136,761	4,170
11	595,632	11,467

이상에서 언급된 자료들을 기초로 목적들과 제약들을 정식화하면 대상으로 하는 문제는 식 (8)과 같다.

$$\begin{aligned} \max f_1 = & 23.97348 K_1^{0.563782} L_1^{0.436218} \\ & + 32.71214 K_2^{0.685395} L_2^{0.314605} \\ & + 74.91598 K_3^{0.88667} L_3^{0.113333} \\ & + 107.8407 K_4^{0.903759} L_4^{0.096241} \\ & + 41.15545 K_5^{0.739121} L_5^{0.260879} \\ & + 14.90708 K_6^{0.459055} L_6^{0.540945} \\ & + 39.60976 K_7^{0.679931} L_7^{0.320069} \\ & + 30.17561 K_8^{0.716852} L_8^{0.283148} \\ & + 29.2813 K_9^{0.625899} L_9^{0.374134} \\ & + 24.2852 K_{10}^{0.629586} L_{10}^{0.370414} \\ & + 23.57375 K_{11}^{0.610624} L_{11}^{0.389376} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \min f_2 = & 0.082 K_1 + 0.22311 K_2 \\ & + 0.00087 K_3 + 0.29201 K_4 \\ & + 0.0322 K_5 + 0.00193 K_6 \\ & + 0.00023 K_7 + 0.00018 K_8 \\ & + 0.00073 K_9 + 0.00054 K_{10} \\ & + 0.00214 K_{11} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \min f_3 = & 0.00856 K_1 + 0.16028 K_2 \\ & + 0.00046 K_3 + 0.09093 K_4 \\ & + 0.02355 K_5 + 0.00703 K_6 \\ & + 0.00836 K_7 + 0.00122 K_8 \\ & + 0.003 K_9 + 0.00125 K_{10} \\ & + 0.0034 K_{11} \end{aligned}$$

subject to

$$\begin{aligned} & 0.02541 K_1 + 0.51492 K_2 \\ & + 0.06249 K_3 + 0.0656 K_4 \\ & + 0.01937 K_5 + 0.02543 K_6 \\ & + 0.00969 K_7 + 0.00921 K_8 \\ & + 0.04099 K_9 + 0.01208 K_{10} \\ & + 0.20602 K_{11} \leq 1220000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & 0.04238 K_1 + 0.92657 K_2 \\ & + 0.01977 K_3 + 0.21066 K_4 \\ & + 0.02704 K_5 + 0.01849 K_6 \\ & + 0.01021 K_7 + 0.00458 K_8 \\ & + 0.0114 K_9 + 0.00684 K_{10} \\ & + 0.07836 K_{11} \leq 2020000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 50 \leq & \frac{K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5 + K_6 + K_7 + K_8}{L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 + L_7 + L_8} \\ & \frac{K_9 + K_{10} + K_{11}}{L_9 + L_{10} + L_{11}} \leq 70 \end{aligned}$$

$$194470.5 \leq K_1 \leq 361159.5$$

$$1448716.5 \leq K_2 \leq 2690473.5$$

$$29830.5 \leq K_3 \leq 55399.5$$

$$116802.0 \leq K_4 \leq 216918.0$$

$$272582.1 \leq K_5 \leq 506223.9$$

$$183171.1 \leq K_6 \leq 340174.9$$

$$121317.7 \leq K_7 \leq 225304.3$$

$$208582.5 \leq K_8 \leq 387367.5$$

$$158174.8 \leq K_9 \leq 293753.2$$

$$95732.7 \leq K_{10} \leq 177789.3$$

$$416942.4 \leq K_{11} \leq 774321.6$$

$$3924 \leq L_1 \leq 7288 \quad , \quad 22019 \leq L_2 \leq 40893$$

$$847 \leq L_3 \leq 1573 \quad , \quad 1449 \leq L_4 \leq 2691$$

$$3441 \leq L_5 \leq 6391 \quad , \quad 2540 \leq L_6 \leq 4718$$

$$1222 \leq L_7 \leq 2270 \quad , \quad 2613 \leq L_8 \leq 4853$$

$$3896 \leq L_9 \leq 7235 \quad , \quad 2919 \leq L_{10} \leq 5421$$

$$8027 \leq L_{11} \leq 14907$$

이후부터 제약조건 부분은 X(A)로 표시한다.

2. 결과 분석 및 고찰

본 연구에서 제시된 모형을 분석하여 지역실정과 정책입안자의 선호구조에 부합되는 산업구조를 결정하기 위한 처음 단계는 파레토 최적해 집합을 확인하는 것이다. 각 목적함수에 대한 최대목적함수값 f_i^{\max} 와 최소목적함수값 f_i^{\min} 은 다음과 같다.

$$f_1^{\min} = 34024642 \quad f_1^{\max} = 47108855$$

$$f_2^{\min} = 383603.36 \quad f_2^{\max} = 554067.05$$

$$f_3^{\min} = 255562.21 \quad f_3^{\max} = 358064.36$$

이 값들을 기초로 파레토 최적해 집합을 구한 후 의사결정자에게 제공하면 의사결정자는 자신의 선호구조를 보다 명확하게 제시할 수 있을 것이다. 의사결정자가 각 목적에 대하여 자신이 만족하는 구성함수형태를 Table 3과 같이 선택한 것으로 가정한다.

Table 3. The membership function of each objective function

	type	evaluate value
f_1	linear	$(f_1^{\min}, f_1^{\max})=(34024642, 47108855)$
f_2	hyperbolic	$(f_2^{\min}, f_2^{(0.2)}, f_2^{(0.25)}, f_2^{\max})=(383603.36, 400000, 430000, 554067.05)$
f_3	exponential	$(f_3^{\min}, f_3^{(0.3)}, f_3^{\max})=(255562.21, 270000, 358064.36)$

이 정보를 구성함수형태로 정식화하면 다음과 같다.

$$\mu_{f_1} = \begin{cases} 0, & \text{만약 } f_1 \leq 34024642 \\ (f_1 - 34024642)/13084213 \\ & , \text{만약 } 34024642 \leq f_1 \leq 47108855 \\ 1, & \text{만약 } f_1 \geq 47108855 \end{cases}$$

$$\mu_{f_2} = \begin{cases} 1, & \text{만약 } f_2 \leq 383603.36 \\ 0.5 \tanh((f_2 - 400000) \times (-0.0000183)) \\ & + 0.5, \text{만약 } 383603.36 \leq f_2 \leq 554067.05 \\ 0, & \text{만약 } f_2 \geq 554067.05 \end{cases}$$

$$\mu_{f_3} = \begin{cases} 1, & \text{만약 } f_3 \leq 255562.21 \\ (-0.0076(1 - \exp(4.867(358064.36 - f_3))) \\ & / 102502.15, \text{만약 } 255562.21 \leq f_3 \leq 358064.36 \\ 0, & \text{만약 } f_3 \geq 358064.36 \end{cases}$$

상기 식에 나타나는 구성함수형태를 γ -연산자로 통합하면 식 (9)와 같이 되고 γ 값의 모수변화에 의한 절충해들이 얻어진다. 해의 산출은 일반감소경사법(generalized reduced gradient method)에 의하여 해결된다.

$$\max \left(\prod_{i=1}^3 \mu_{f_i} \right)^{1-\gamma} (1 - \prod_{i=1}^3 (1 - \mu_{f_i}))^\gamma \quad (9)$$

subject to

$$\mu_{f_1} \leq (f_1 - 34024642) / 13084213$$

$$\mu_{f_2} \leq 0.5 \tanh((f_2 - 400000) \times (-0.0000183))$$

$$+ 0.5$$

$$\mu_{f_3} \leq -0.0076(1 - \exp(4.867(358064.36 - f_3)))$$

$$/ 102502.15$$

X(A)

$$\mu_{f_1}, \mu_{f_2}, \mu_{f_3} \in [0, 1]$$

식 (9)를 해결하면, 각 목적의 성취수준이 전체의 만족수준까지 도달하는, 즉 의사결정과정에서 발생하는 불확실성이 제거된 상태에서 퍼지목표들의 좋은 균형을 이루는 최적 절충값은 $\gamma=0.46$ 일 때이다. 이때의 각 산업에 대한 자본금과 노동자수가 Table 4에서 보여진다.

Table 4. Capital and number of workers by compromise solution(unit:million won)

industry code	suggestion	
	capital	number of workers
1	208,439	5,378
2	1,465,959	24,716
3	42,909	1,472
4	135,904	2,640
5	286,704	5,112
6	196,527	3,558
7	134,841	2,019
8	222,086	3,879
9	171,599	5,354
10	109,020	4,140
11	430,426	9,689

Table 4에서 보면 대부분의 산업에서 자본금은 줄어들고 있음 볼 수 있다. 이는 의사결정자가 환경보전을 중시하려는 하는 의식이 활동하고 있는 것으로 보인다. 유일하게 자본금이 증가하는 산업은 나무 및 목재제품으로 이 산업은 다른 산업들에 비하여 단위 출하에 대한 환경요인의 방출량이 적기 때문에 환경보전의 입장에서 고려하면 비교적 양호한 산업이기 때문이다. 만약 의사결정자가 생산성을 중요시 한다면 이 결과들은 변하게 될 것이다. 본 연구에서 고려한 의사결정자의 선호구조하에서는 음식료산업, 섬유산업, 1차 금속산업, 기계장비산업, 전자기기산업, 자동차 및 트레일러산업의 노동자수는 줄이고 가구 및 목재산업, 제지산업, 화학물산업, 비금속산업, 조립금속산업의 노동자수는 늘여야 하는 것으로 나타난다. 결정된 자본금과 노동자수는 대구광역시의 대외경쟁력을 향상시킴은 물론 예산편성 및 지원정책결정, 기업체 육성계획, 인력수요예측 및 양성계획등에 다양하게 이용될 수 있는 기본적인 자료로서 활용될 수 있을 것이다. 본 연구에서는 자료의 부족 때문에 한정된 목적과 제약만을 고려하였지만 특정지역이 요구하는 목표와 제약이 바뀔 경우 간단한 수정만 통하면 유연하게 적용이 가능하므로 전 지역으로 확장을 고려할 수 있다.

참 고 문 헌

1)Bellman,R. E. and Zadeh, L. A., "Decision-Making in a Fuzzy Environment", *Management Science*, Vol. 16, pp. 357-369, (1985).
 2)Chankong, V. and Haimes, Vacov Y., *Multiobjective Decision Making*. Elsevier Science Publishing Co., (1983).
 3)Dubois, D. and Prade, H., *Fuzzy Sets and System Theory and Application*, Academic Press, New York, (1980).
 4)Goicoechea, A., Hans, D. R. and Duckstein, L., *Multiobjective Decision Analysis with Engineering and Business Applications*, John Wiley and Sons, New York. pp. 40-91, (1992).
 5)James, L. and Joe, H. M., *Optimization Techniques with Fortran*, McGraw-Hill, New York, pp. 412-463,

(1973).

6)Lee, S. W., Nam, H. W. and Yun, Y. G., "Decision of Compensatory Aggregation Operator in Interactive Fuzzy Multiobjective Nonlinear Programming", *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, Vol. 19, No. 39, pp.75-80, (1996).
 7)Lee, S. W., Nam, H. W. and Yun, Y.G., "Multiobjective Nonlinear Programming with Fuzzy Parameters and Fuzzy Equal Goals", *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, Vol. 20, No. 41, pp. 41-50, (1997).
 8)Lee, S. W. and Nam, H. W., "Compensatory Decision-Making for Multiobjective Nonlinear Programming Problems in a Fuzzy Environment", *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 23, No. 1, pp. 163-175, (1997).
 9)Lee, S. W. and Nam, H. W., "Compensatory Decision-Making for Multiobjective Nonlinear Programming Problems with Fuzzy Parameters", *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 23, No. 2, pp. 307-321, (1997).
 10)Lee, S. W. and Nam, H. W., "Two-Phase Approach to Solve Multiobjective Nonlinear Programming Problem", *Journal of the Korean Institute for Industrial Safety*, Vol. 12, No. 1, pp. 122-128, (1997).
 11)Lee, S. W. and Nam, H. W. "An Interactive Fuzzy Approach for Multiobjective Nonlinear Programming Problems with Fuzzy Parameters", *Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society*, Vol. 22, No. 2, p.67-78, (1997).
 12)Sakawa, M., "Interactive Computer Programs for Fuzzy Linear Programming with Multiple Objectives", *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol. 18, pp. 489-503, (1983).
 13)Sakawa, M. and Yano, H., "Interactive Fuzzy Decision Making for Multiobjective Nonlinear Programming Problems with Fuzzy Parameters", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 29, pp. 315-326, (1989).
 14)Slowinski, R., "A Multicriteria Fuzzy Linear Programming Method for Water Supply Systems Development Planning", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 19, pp. 217-237, (1986).
 15)Zeleny, H., "A Concept of Compromise Solutions and the Method of the Displaced Ideal", *Computers and Operations Research*, Vol. 1, No. 4, pp.479-496, (1974).
 16)Zimmermann, H. J., "Fuzzy Programming and Linear Programming with Several Objective Functions", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 1, pp.45-55, (1978).
 17)Zimmermann, H. J., "Fuzzy Sets Theory and Mathematical Programming", *Fuzzy Sets Theory and Applications*, pp. 99-114, (1986).
 18) 매일경제신문사, 회사연감, (1997).