

그룹 Fuzzy AHP와 GRA를 이용한 식스시그마 프로젝트 선정방안

유정상*, 최성운
가천대학교 산업경영공학과 교수

Project Selection of Six Sigma Using Group Fuzzy AHP and GRA

Jung–Sang Yoo*, Sung–Woon Choi
Professor, Department of Industrial Engineering, Gachon University

요 약 식스시그마는 시장과 고객의 패러다임과 트렌드의 변화에 맞추어 모든 사업의 프로세스와 전략을 개선하는 경영 혁신운동이다. 식스시그마 프로젝트 선정에 관한 기존의 연구는 있으나 불완전한 정보환경 하에서 프로젝트 선정을 위한 연구는 거의 없다. 본 연구의 목적은 불완전한 정보 하에서 올바른 프로젝트 선정을 위해 통합 MCDM 기법을 적용 방법을 제안하는 것이다. 식스시그마 프로젝트 선정을 위해 4단계인 1) 평가기준 간 가중치 결정 2) 팀 멤버 간 전문역량의 상대적 중요도 결정 3) 프로젝트 선호도 척도 산정 4) 최종 프로젝트 우선순위 결정 등을 위해 그룹 Fuzzy AHP, 불완전한 정보환경 하에서의 비퍼지화 TrFN 변환, GRA의 통합기법을 제안하였다. 본 연구에서 제안한 식스시그마 프로젝트 선정단계의 적용방안에 대한 이해를 돕기 위해 수치예가 제시되었다.

주제어 : 식스시그마 프로젝트 선정, 하이브리드 방법, 퍼지 AHP, GRA, TOPSIS

Abstract Six sigma is an innovative management movement which provides improved business process by adapting the paradigm and the trend of market and customers. Suitable selection of six sigma project could highly reduce the costs, improve the quality, and enhance the customer satisfaction. There are existing studies on the selection of Six Sigma projects, but few studies have been conducted to select the correct project under an incomplete information environment. The purpose of this study is to propose the application of integrated MCDM techniques for correct project selection under incomplete information.

The project selection process of six sigma involves four steps as follows: 1) determination of project selection criteria 2) calculation of relative importance of team member's competencies 3) assessment with project preference scale 4) finalization of ranking the projects. This study proposes the combination methods by applying group fuzzy Analytical Hierarchy Process (AHP), an easy defuzzified number of Trapezoidal Fuzzy Number (TrFN) and Grey Relational Analysis (GRA). Both of the weight of project selection criteria and the relative importance of team member's competencies can be evaluated by group fuzzy AHP. Project preferences are assessed by easy defuzzified scale of TrFN in case of incomplete information.)

Key Words : Six Sigma Project Selection, Hybrid Methods, Fuzzy AHP, GRA, TOPSIS

*Corresponding Author : Jung Sang Yoo(jsyou@gachon.ac.kr)

Received October 22, 2019

Accepted November 20, 2019

Revised November 8., 2019

Published November 28, 2019

1. 서론

식스시그마는 시장과 고객의 패러다임, 트렌드의 변화에 맞추어 사업의 프로세스와 포트폴리오를 재편하는 경영혁신운동이다.

식스시그마 프로젝트는 수행하는 주체가 경영진, 담당자, 중간관리자에 따라 Top-Down 과제, Bottom-Up 과제, Middle Up-Down 과제로 유형화된다. Top-Down 과제는 기업의 전략실행을 위해 추진되는 다기능의(Cross Functional) 핵심중점인 CTQ(Critical To Quality) 과제로, BSC(Balance Scorecard)의 KPI(Key Performance Indicator), BPM(Business Process Management)의 대시보드와 연계하여 수행된다. Bottom-Up 과제는 담당자가 직무를 수행하는 프로세스에서 품질 및 생산성의 문제점을 개선하기 위해 운영되는 자율과제로 혁신 직무 프로세스인 CTP(Critical To Process)를 최적화하여 조직시스템의 효율성을 추구한다. Middle Up-Down 과제는 전략과 현장을 동시에 이해하는 중간관리자 또는 식스시그마 사무국에 의해 유연하게 추진되는 과제로, 중간관리자의 촉진자(Facilitator) 역할에 따라 상하조직의 원활한 커뮤니케이션에 의해 변화와 혁신을 추구하는 조직문화의 활성화가 가능하다[1].

이와 같이 시장과 고객의 요구에 의해 기업의 직무 프로세스가 변화되고 현실화 될 수 있는 식스시그마[2]의 프로젝트 설정이 제대로 되지 않는 경우 시장에서 도태되거나 수익성 있는 성장이 불가능하다.

식스시그마 프로젝트 선정은 프로젝트의 평가기준 간 가중치 산출, 프로젝트를 평가하는 팀 멤버 역량에 대한 전문가의 상대적 중요도 산정, 프로젝트별 선호도 평가를 위한 척도 결정, 다 기준 평가에 의한 최종 프로젝트 우선순위결정 등의 4가지 단계에 의해 이루어진다.

이러한 식스시그마 프로젝트의 실증사례는 다양한 분야에서 연구[3-11]되어 오고 있으며, MCDM(Multi Criteria Decision Making) 기법을 적용한 연구로는 Fuzzy AHP(Analytic Hierarchy Process) [12]를 식스시그마 프로젝트 선정에 이용한 연구[13,14,15], TOPSIS(Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), AHP, ANP(Analytic Network Process), VIKOR(Multi-Criteria Optimization and Compromise Solution), DEMATEL(Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) 등의 통합 기법을 식스시그마 프로젝트 선정에 활용한 연구[16-30]가 있다.

본 연구에서는 프로젝트 평가기준에 대한 인식과 언어 표현의 애매성으로 인한 불확실성을 나타내기 위해 소속되는 정도를 구간의 멤버집합수로 표현하는 퍼지집합을 활용하며, 평가기준 간 쌍대비교에 의한 가중치를 정교화하기 위해 모든 평가자의 의견이 반영될 수 있는 그룹 Fuzzy AHP[31,32]를 식스시그마 프로젝트 선정에 적용한다.

또한 프로젝트 평가 시에 팀 멤버 간 전문역량의 상대적 중요도가 반영될 수 있도록 그룹 Fuzzy AHP[31,32]를 이용하여 전문가에 의한 각 팀원의 역량 가중치를 결정한다.

그리고 프로젝트별 선호도 평가척도에 대한 기준과 인식의 애매성에 대한 불확실성이 존재하는 경우 전체 선호도 척도의 최솟값과 최댓값으로 표준화하여 하나의 비퍼지화 된 값으로 쉽게 변환이 가능한 TrFN(Trapezoidal Fuzzy Number)방법[31,32,35]을 식스시그마 프로젝트 선정에 적용한다.

끝으로 본 연구에서는 프로젝트 후보별 모든 평가기준에 대한 선호도 값 중 최댓값과 최솟값으로 정규화하여 목표값에 가장 관계가 깊은 그레이 상관계수를 이용하는 GRA(Grey Relational Analysis)[31,34]에 의해 최종 프로젝트를 선정한다.

2. 관련연구

2.1 평가기준의 가중치 산출

식스시그마 프로젝트 선정 시 평가기준의 가중치 선정에 관한 연구로는 각 팀 멤버의 상대적 중요도와 각 팀 멤버의 평가기준에 대한 가중치를 고려해서 팀 전체의 그룹평가 기준 웨이트를 산출한 연구[35]가 있다. 또한 평가기준 간 쌍대비교방법을 적용한 연구로는 AHP에 의한 연구[13,14,19,20], ANP에 의한 연구[21-23], 확산 퍼지 AHP에 의한 연구[15]가 있으나, 평가기준에 대한 퍼지 멤버십 함수를 정규화하기 위해 모든 평가자의 의견이 반영되는 그룹 Fuzzy AHP [31-32]를 식스시그마 프로젝트 선정에 적용한 연구는 미비한 실정이다.

2.2 팀 멤버 역량의 상대적 중요도 결정

프로젝트를 평가하는 팀 멤버 역량을 결정하는 방법에는 직접평가법, 점수배점법, 아이젠벡터 방법, LINMAP(Linear Programming Technique for Multidimensional

Analysis of Preferences)방법, 델파이방법, 전문성과 역량분석법 등이 있으나[35,36] 전문가에 의한 그룹 Fuzzy AHP[31-32]를 이용해 팀 멤버 간의 상대적 중요도를 결정한 연구는 거의 없는 실정이다.

본 연구의 차별성은 그룹 Fuzzy AHP[31,32]에 의한 평가기준 가중치와 팀 멤버 간의 상대적 중요도 결정, 비퍼지화된 TrFN[31,33]에 의한 선호도 척도 산정, GRA[31,34]에 의한 최종프로젝트 결정 방안을 3절과 같이 식스시그마 프로젝트 선정 단계에서 최초로 적용한 데 있다.

3. 연구 설계 및 모형

3.1 그룹 Fuzzy/AHP에 의한 프로젝트 평가기준의 가중치 산출

본 연구에서는 프로젝트 평가기준 간 팀 멤버의 인식과 언어에 대한 애매성을 구간의 퍼지 멤버십 함수로 나타내고 쌍대비교에 의해 가중치를 정교화 할 수 있는 그룹 Fuzzy AHP[31,32]를 적용한다.

그룹 Fuzzy AHP에 의한 프로젝트 평가기준의 가중치 산출 단계는 다음과 같다.

- ◆ **단계 1** : 식스시그마 프로젝트 선정 기준 수 $j=1,2,\dots,n$, $j'=1,2,\dots,n$ 이고 선정기준의 가중치를 평가하는 평가자 수는 $i=1,2,\dots,z$ 로 가정한다.
- ◆ **단계 2** : 평가기준에 대한 상대적 중요도 척도에 대한 평가자의 인식과 언어표현에 대한 애매성을 표현하기 위해 Table 1과 같이 TFN(Triangular Fuzzy Number)으로 나타낸다.
- ◆ **단계 3** : 다양한 평가자의 의견이 반영될 수 있도록 기하평균의 (1)식을 이용하여 TrFN을 합성한다.

$$\widetilde{tc}_{jj'} = \left(\prod_{i=1}^z a_{jj'i}, b_{jj'i}, c_{jj'i} \right)^{\frac{1}{z}} \quad (1)$$

단 $j, j' = 1, 2, \dots, n$, $i = 1, 2, \dots, z$

Table 1. Fuzzy Ratings for Linguistic Terminologies of Project Selection Factors and Team Member's Competency [31]

Linguistic Terminologies	TFN
Absolutely Important (AI)	$\left(\frac{5}{2}, \frac{6}{2}, \frac{7}{2} \right)$

Very Important (VI)	$\left(\frac{4}{2}, \frac{5}{2}, \frac{6}{2} \right)$
Strongly Important (SI)	$\left(\frac{3}{2}, \frac{4}{2}, \frac{5}{2} \right)$
Moderately Important (MI)	$\left(\frac{2}{2}, \frac{3}{2}, \frac{4}{2} \right)$
Weakly Important (WI)	$\left(\frac{2}{2}, \frac{2}{2}, \frac{3}{2} \right)$
Equally Important (EI)	$\left(\frac{2}{2}, \frac{2}{2}, \frac{2}{2} \right)$
Weakly Unimportant (WU)	$\left(\frac{2}{3}, \frac{2}{2}, \frac{2}{2} \right)$
Moderately Unimportant (MU)	$\left(\frac{2}{4}, \frac{2}{3}, \frac{2}{2} \right)$
Strongly Unimportant (SU)	$\left(\frac{2}{5}, \frac{2}{4}, \frac{2}{3} \right)$
Very Unimportant (VU)	$\left(\frac{2}{6}, \frac{2}{5}, \frac{2}{4} \right)$
Absolutely Unimportant (AU)	$\left(\frac{2}{7}, \frac{2}{6}, \frac{2}{5} \right)$

- ◆ **단계 4** : 식스시그마 선정 기준 j 에 대한 TFN의 통합한도(Extent)를 구하기 위해서 삼각 퍼지수의 나눗셈연산을 (2)식과 같이 수행한다.

$$\widetilde{S}_j = \frac{\sum_{j'=1}^n tc_{jj'}}{\sum_{j'=1}^n \sum_{j''=1}^n tc_{jj''}} = \left(\frac{\sum_{j'=1}^n a_{jj'}}{\sum_{j'=1}^n \sum_{j''=1}^n c_{jj''}}, \frac{\sum_{j'=1}^n b_{jj'}}{\sum_{j'=1}^n \sum_{j''=1}^n b_{jj''}}, \frac{\sum_{j'=1}^n c_{jj'}}{\sum_{j'=1}^n \sum_{j''=1}^n a_{jj''}} \right) \quad (2)$$

- ◆ **단계 5** : (2)식에서 구한 두 퍼지수 $\widetilde{S}_1 = (a_1, b_1, c_1)$, $\widetilde{S}_2 = (a_2, b_2, c_2)$ 의 대소의 가능성 정도를 (3)식을 이용해서 구한다.

$$\begin{aligned} \mu(\widetilde{S}_1 \geq \widetilde{S}_2) &= 1 & b_1 &\geq b_2 \\ \mu(\widetilde{S}_1 \geq \widetilde{S}_2) &= 0 & a_2 &\leq c_1 \\ \mu(\widetilde{S}_2 \geq \widetilde{S}_1) &= \frac{(a_1 - c_2)}{(b_2 - c_2) - (b_1 - a_1)}, & b_2 &\leq b_1 \text{ and } c_2 \geq a_1 \end{aligned}$$

(3)

- ◆ **단계 6** : 모든 프로젝트 선정 기준에 대해 (3)식에 의해, 비교된 값 중 최솟값을 (4)식과 같이 산출하여 선정기준의 가중치로 선정한다.

$$w(\widetilde{S}_j) = \min \mu(\widetilde{S}_j \geq \widetilde{S}_{j''})$$

단 j'' 은 j 이외의 선정기준

- ◆ **단계 7** : (4)식에서 구간 가중치 벡터를 정규화하여 (5)식과 같은 프로젝트 선정 기준의 가중치를 결정한다.

$$w_j = \frac{(w(\tilde{S}_1), w(\tilde{S}_2), \dots, w(\tilde{S}_n))^T}{\sum_{j=1}^n w(\tilde{S}_j)}$$

$$= (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$$

(5)

3.2 그룹 Fuzzy/AHP를 이용한 팀 멤버 역량의 상대적 중요도 결정

본 연구에서는 프로젝트의 선호도를 평가하는 팀 멤버 간의 전문역량에 따른 상대적 중요도를 결정하기 위해서 전문가의 역량평가 기준의 인식과 언어에 대한 모호성을 표현하기 위해 구간의 퍼지 멤버십함수로 나타내고, 모든 전문가의 의견을 반영하기 위해 그룹 Fuzzy AHP[31,32]를 적용하였다.

그룹 Fuzzy AHP를 이용한 전문가에 의한 팀 멤버 역량의 상대적 중요도 결정단계는 다음과 같다.

◆ **단계 1** : 팀 멤버 수 $l=1, 2, \dots, m$, $l'=1, 2, \dots, m$ 이고 팀 멤버 전문역량의 상대적 중요도를 평가하는 전문가 수는 $q=1, 2, \dots, r$ 로 가정한다.

◆ **단계 2** : 팀 멤버 전문역량의 상대적 중요도 척도에 대한 전문가의 인식과 언어표현에 대한 애매성을 표현하기 위해 Table 1과 같이 TFN으로 나타낸다.

◆ **단계 3** : 다양한 전문가의 의견이 반영되도록 TFN을 합성하기 위한 기하평균은 (6)식과 같다.

$$tt_{ll'} = \prod_{q=1}^r (a_{ll'q}, b_{ll'q}, c_{ll'q})^{\frac{1}{r}} \quad (6)$$

단 $l, l' = 1, 2, \dots, m$
 $q = 1, 2, \dots, r$

◆ **단계 4** : 팀 멤버 전문역량 l 에 대한 TFN의 통합한도를 구하기 위해서 (7)식과 같은 퍼지연산을 수행한다.

$$\tilde{P}_l = \frac{\sum_{l'=1}^m tt_{ll'}}{\sum_{l'=1}^m \sum_{l''=1}^m tt_{ll''}} = \left(\frac{\sum_{l'=1}^m a_{ll'}}{\sum_{l'=1}^m \sum_{l''=1}^m c_{ll''}}, \frac{\sum_{l'=1}^m b_{ll'}}{\sum_{l'=1}^m \sum_{l''=1}^m b_{ll''}}, \frac{\sum_{l'=1}^m c_{ll'}}{\sum_{l'=1}^m \sum_{l''=1}^m a_{ll''}} \right) \quad (7)$$

◆ **단계 5** : (5)식에서 구한 두 퍼지수 $\tilde{P}_1=(a_1, b_1, c_1)$, $\tilde{P}_2=(a_2, b_2, c_2)$ 의 대소 가능성 정도를 (8)식과 같이 구한다.

$$\mu(\tilde{P}_1 \geq \tilde{P}_2) = 1, \quad b_1 \geq b_2$$

$$\mu(\tilde{P}_1 \geq \tilde{P}_2) = 0, \quad a_2 \leq c_1$$

$$\mu(\tilde{P}_2 \geq \tilde{P}_1) = \frac{(a_1 - c_2)}{(b_2 - c_2) - (b_1 - a_1)}, \quad b_2 \leq b_1 \text{ and } c_2 \geq a_1$$

(8)

◆ **단계 6** : 모든 팀 멤버 전문역량의 상대적 중요도에 대해 (8)식에 의한 값 중 최솟값을 (9)식과 같이 산출하여 구한다.

$$\lambda(\tilde{P}_l) = \min \mu(\tilde{P}_l \geq \tilde{P}_{l'})$$

단 l'' 은 l 이외의 평가기준

(9)

◆ **단계 7** : (9)식에서 구한 상대적 중요도 벡터를 정규화 하여 (1)식과 같은 팀 멤버 전문역량의 상대적 중요도를 결정한다.

$$\lambda_l = \frac{(\lambda(\tilde{P}_1), \lambda(\tilde{P}_2), \dots, \lambda(\tilde{P}_m))^T}{\sum_{l=1}^m \lambda(\tilde{P}_l)}$$

$$= (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)^T$$

(10)

3.3 불완전한 프로젝트 정보 환경 하에서 TrFN을 이용한 선호도 결정

본 연구에서는 프로젝트에 대한 정보가 불완전한 경우 프로젝트 선호도 척도기준과 인식에 대한 애매함을 표현하기 위해 퍼지 멤버십 함수로 나타내고, 전체 최솟값과 최댓값으로 표준화하여 하나의 디퍼지화 된 값으로 변환이 용이한 TrFN[31,33,35]을 프로젝트 선호도 평가척도로 사용한다.

프로젝트에 대한 불완전한 정보가 존재하는 경우 TrFN에 의한 프로젝트의 선호도 평가는 다음과 같다.

◆ **단계 1** : 프로젝트 선호도 척도에 대한 전문가의 언어표현 Very Low, Low, Moderate, High, Very High에 대한 TrFN을 각각 다음과 같이 (0, 0, 1, 2), (1, 2, 3, 4), (3, 4, 6, 7), (6, 7, 8, 9), (8, 9, 10, 10)으로 나타내고 비퍼지화 된 평가등급을 각각 H_{11} , H_{22} , H_{33} , H_{44} , H_{55} 로 설정한다.

◆ **단계 2** : 퍼지구간 척도 중 최솟값 TrFN (a_1, b_1, b_1', c_1) 과 최댓값 TrFN (a_3, b_3, b_3', c_3) 을 고려하여 특정 TrFN (a_2, b_2, b_2', c_2) 를 하나의 비퍼지화 된 크리스프 값을 (11)식을 사용하여 구한다.

$$H_{vw} = \frac{[(c_2 - a_1) + (b_2' - a_1)]}{[(c_2 - a_1) + (b_2' - a_1)] - [(a_2 - c_3) + (b_2 - c_3)]} \quad (13)$$

(11)

H_{vw} 에서 전체구간의 최솟값과 최댓값이 각각 $a_1 = 0, c_3 = 10$ 일 경우 v 와 w 구하려는 퍼지등급 $\text{TrFN}(a_2, b_2, b_2', c_2)$ 중 v 는 하한의 퍼지 수 a_2, b_2 에 해당하며, w 는 상한의 퍼지 수 b_2', c_2 에 해당한다. 예를 들어 H_{23} 는 H_{22} 의 하한 퍼지수와 H_{33} 의 상한 퍼지수의 퍼지등급 $\text{TrFN}(1, 2, 6, 7)$ 을 (11)식을 이용해서 구하면 다음과 같다.

$$H_{23} = \frac{[(7-0) + (6-0)]}{[(7-0) + (6-0)] - [(1-10) + (2-10)]} = 0.433$$

(11)식은 프로젝트에 대한 불완전한 정보가 존재하는 경우 무지에 대한 선호도척도를 구하는 방법이다.

3.4 GRA에 의한 프로젝트 우선순위 결정

본 연구에서는 프로젝트 후보별 모든 평가기준에 대한 선호도 값 중에 최댓값과 최솟값으로 표준 정규화 하여, 목표 값과 가장 관계가 깊은 그레이 상관계수를 이용하여 최종프로젝트를 선정할 수 있는 GRA[31,34]방법을 적용하였다.

프로젝트 후보별 GRA를 이용한 프로젝트의 우선순위를 결정하는 단계는 다음과 같다.

◆ **단계 1** : 3.3절 (11)식의 비퍼지화 된 평가등급 $H_{vw}(v, w = 1, 2, \dots, 5)$, 3.2절 (10)식의 팀 멤버 역량의 상대적 중요도 $\lambda_l(l = 1, 2, \dots, m)$, 프로젝트 후보 $PC_k(k = 1, 2, \dots, g)$ 와 프로젝트 선정기준 $SC_j(j = 1, 2, \dots, n)$ 에서 $l(l = 1, 2, \dots, m)$ 팀 멤버에 대한 개인민음정도 $M'_{vw}(PC_k, SC_j)$ 를 합성하여 (12)식과 같이 그룹프로젝트 선호도 값을 구한다.

$$y_k[j] = \sum_{v=1}^5 \sum_{w=1}^5 \sum_{l=1}^m h_{vw} \lambda_l M'_{vw}(PC_k, SC_j) \quad (12)$$

◆ **단계 2** : (12)식에 의해 산출된 k 프로젝트 후보별 j 프로젝트 선정기준별 그룹 프로젝트 선호도 값 $y_k[j]$ 와 목표 값 $y_0[j] = 1.0$ 과의 차이를 계산하는 그레이 상관계수를 (13)식과 같이 구한다.

$$r[y_0(j), y_k(j)] = \frac{\min_k \min_j |y_0(j) - y_k(j)| + \xi \cdot \max_k \max_j |y_0(j) - y_k(j)|}{|y_0(j) - y_k(j)| + \xi \cdot \max_k \max_j |y_0(j) - y_k(j)|}$$

ξ 는 0~1의 숫자로 보통 0.5를 적용하는 식별자이다[31,34,35]. (13)식에서 선호도 $y_k(j)$ 가 목표 $y_0(j)$ 와의 차이가 작아질수록 Grey 상관계수는 커지고 프로젝트 선정 시 우선순위가 된다.

◆ **단계 3** : (5)식의 프로젝트 선정기준의 가중치와 (13)식의 Grey 상관계수를 고려하여 (14)식과 같이 관계정도를 구한다.

$$c(y_0, y_k) = \sum_{j=1}^n w_j \cdot r(y_0(j), y_k(j)) \quad (14)$$

(14)식에서 산출한 관계정도의 내림차순에 따라 프로젝트 선정의 우선순위를 정한다.

4. 실증분석 및 평가

4.1 실증모형

본 연구의 3절에서 제안된 식스시그마 프로젝트 선정의 적용 예를 위해 2008년부터 2018년까지 국가 품질경영대회에 식스시그마와 현장개선분야에 출전한 200개 품질 개선 팀을 사례[37]를 대상으로 하였다. 과제유형은 식스시그마 개선 팀인 경우는 Top-Down 프로젝트, 품질분임조 개선 팀인 경우는 Bottom-Up 과제인 것으로 조사되었다.

개선팀원은 지도사원 포함 10명 내외로 구성되었으며 과제 적합성을 위해 사용된 평가기준은 기술성, 해결가능성, 경제성 효과성, 시급성 등이었다. 그러나 전략연계성, 지속가능성, 타 분야 파급효과성 등의 평가기준이 사용된 개선 팀은 별로 없어 개선 팀 운영이 기업의 미래 핵심전략과제보다는 현장개선의 자율과제로 수행되고 있다는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 200개의 개선 팀 사례에서 적용되었던 고객과 시장의 주요 요구사항인 품질, 스피드, 가격에 대해 기업이 혁신을 수행해야 하는 프로세스의 전략연계성, 기술성, 시급성, 경제성을 프로젝트 선정의 평가기준으로 도출하였다.

또한 프로젝트 간 평가기준의 가중치와 팀 멤버 전문역량의 상대적 중요도를 결정하기 위한 평가자와 전문가는 마스터 블랙 벨트급의 경력자를 대상으로 하였다. 프로젝트 후보의 선호도를 평가하는 팀 멤버는 팀원의 실무경력, 현장경험, 교육훈련실적, 전문가격 등의 역량평가에 의해 6명이 선발되었다.

4.2 분석 및 평가

4.2.1 프로젝트 선정 평가기준의 가중치 설정

3.1절에서 그룹 Fuzzy AHP에 의한 프로젝트 평가기준의 가중치를 결정하는 적용 예는 다음과 같다.

◆ 단계 1 : Table 2에서 식스시그마 선정기준 수 j 는 S_1, S_2, S_3, S_4 , $n=4$ 이고 선정기준의 가중치를 평가하는 평가자수 i 는 $z=3$ 명이다.

◆ 단계 2 : 3명의 전문가에 의한 선정기준의 쌍대비교를 이용한 상대적 중요도의 TFN을 3.1절의 Table 1을 활용해서 구하면 Table 2의 1행 1열부터 4행 4열의 원소와 같다.

◆ 단계 3 : 3명의 평가자 의견을 3.1절의 기하평균인 (1)식을 이용해서 구하면 Table 2의 1행 1열부터 4행 4열의 괄호 값과 같다.

◆ 단계 4 : 퍼지연산에 의한 선정기준의 퍼지수를 3.1절 (2)식을 이용하면 Table 2의 5열 \tilde{S}_j 와 같다.

◆ 단계 5-단계 7 : 전략연계성, 기술성, 시급성, 경제성에 대한 가중치를 3.1절의 (3)-(5)식을 이용해서 구하면 Table 2의 6열 $w_j = (0.51, 0.35, 0.03, 0.011)^T$ 과 같다.

Table 2. Selection Factor Weight of Six Sigma Project by Group Fuzzy AHP

	S_1	S_2	S_3	S_4	\tilde{S}_j	w_j
S_1	EI, EI, EI (1, 1, 1)	AI, VI, MU (1.36, 1.71, 2.19)	VI, VI, SI (1.82, 2.32, 2.82)	SI, MI, WU (1.00, 1.44, 1.71)	(0.24, 0.36, 0.33)	0.51
S_2		EI, EI, EI (1, 1, 1)	VI, SI, MU (1.44, 1.96, 2.47)	VI, MI, MU (1.00, 1.36, 1.82)	(0.18, 0.28, 0.42)	0.35
S_3			EI, EI, EI (1, 1, 1)	MI, WI, WU (0.87, 1.15, 1.44)	(0.12, 0.17, 0.25)	0.03
S_4				EI, EI, EI (1, 1, 1)	(0.13, 0.19, 0.29)	0.11

Parenthesis : Geometric Mean from Three Experts

4.2.2 팀 멤버 전문역량의 상대적 중요도 결정

3.2절에서 그룹 Fuzzy AHP를 이용한 전문가에 의한

팀 멤버 역량의 상대적 중요도 결정을 위한 적용 예는 다음과 같다.

◆ 단계 1 : Table 3에서 팀 멤버 수 l 은 $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$, $m=6$ 명이고 팀 멤버 역량의 상대적 중요도를 평가하는 전문가 수 q 는 $r=3$ 명이다.

◆ 단계 2 : 3명의 전문가에 의한 팀 멤버 전문역량의 상대적 중요도 척도의 TFN은 3.1절의 Table 1을 이용해서 구하면 Table 3의 1행 1열부터 6행 6열까지의 원소와 같다.

◆ 단계 3 : 3명의 전문가의 의견이 모두 반영되도록 3.2절의 (6)식을 이용해서 구하면 Table 3의 1행 1열부터 6행 6열까지의 괄호 값과 같다.

◆ 단계 4 : 팀 멤버 전문역량의 상대적 중요도에 대한 퍼지수를 3.2절의 (7)식을 이용해서 구하면 Table 3의 7열 \tilde{P}_i 과 같다.

◆ 단계 5-단계 7 : 팀 멤버 전문역량의 상대적 중요도를 3.2절의 (8)식-(10)식을 이용해서 구하면 Table 3의 8열 $\lambda_j = (0.29, 0.19, 0.19, 0.07, 0.16, 0.16)^T$ 와 같다.

Table 3. Relative Importance of Team Member's Competency by Group Fuzzy AHP

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	\tilde{P}_l	λ_e		
P_1	EI, EI, EI	AI, AI, SI	SI, SI, MI	SI, SI, MI	MI, MI, WI	WI, WI, MU	(0.15, 0.24, 0.38)	0.29		
	(1, 1, 1)	(2.11, 2.62, 3.13)	(1.31, 1.82, 2.32)	(1.31, 1.82, 2.32)	(1.00, 1.31, 1.82)	(0.79, 0.87, 1.31)				
		EI, EI, EI	AI, SI, WU	SI, MI, MU	VI, MI, WU	VI, MI, MU			(0.11, 0.18, 0.27)	0.19
		(1, 1, 1)	(1.36, 1.82, 2.06)	(1.00, 1.44, 1.71)	(0.87, 1.19, 1.44)	(1.00, 1.36, 1.82)				
			EI, EI, EI	VI, VI, SI	SI, MI, MU	MI, WI, WI				
		(1, 1, 1)	(1.82, 2.32, 2.82)	(0.63, 1.26, 1.71)	(1.00, 1.14, 1.65)					
P_4				EI, EI, EI	WI, WU, MU	MI, WI, MU	(0.08, 0.12, 0.19)	0.07		
				(1, 1, 1)	(0.69, 0.87, 1.14)	(0.79, 1.00, 1.44)				
P_5					EI, EI, E	MI, MI, WI	(0.09, 0.15, 0.26)	0.16		
					(1, 1, 1)	(1.00, 1.31, 1.82)				
P_6						EI, EI, EI	(0.08, 0.14, 0.21)	0.10		
						(1, 1, 1)				

Parenthesis : Geometric Mean from Three Experts

4.2.3 프로젝트별 선호도 척도 결정

3.3절에서 불완전한 프로젝트 정보환경에서 TrFN을 이용한 프로젝트별 선호도 척도 결정의 적용 예는 다음과 같다.

◆ **단계 1** : 프로젝트 선호도 척도의 전문가별 언어표현과 TrFN에 대한 H_{vw} 와 디퍼지화 된 값은 Table 4와 같다.

◆ **단계 2** : 3.3절의 (11)식을 이용해서

$H_{vw}(v, w = 1, 2, \dots, 5)$ 를 구하면

$H_{11} = 0.130, H_{12} = 0.259, H_{13} = 0.394, H_{14} = 0.459,$

$H_{15} = 0.500, H_{22} = 0.292, H_{23} = 0.433, H_{24} = 0.500,$

$H_{25} = 0.541, H_{33} = 0.500, H_{34} = 0.567, H_{35} = 0.606,$

$H_{44} = 0.708, H_{45} = 0.741, H_{55} = 0.870$ 이다.

Table 4. Fuzzy Ratings for Linguistic Terminologies of Project Preferences[31,33,35]

Linguistic Terminologies	TrFN	H_{vw}	Defuzzified Value
Very Low	(0, 0, 1, 2)	H_{11}	0.130
Low	(1, 2, 3, 4)	H_{22}	0.292
Moderate	(3, 4, 6, 7)	H_{33}	0.500
High	(6, 7, 8, 9)	H_{44}	0.708
Very High	(8, 9, 10, 10)	H_{55}	0.870

4.2.4 최종 프로젝트 우선순위 결정

3.4절에서 GRA에 의한 최종 프로젝트 우선순위 결정을 위한 적용 예는 다음과 같다.

◆ **단계 1** : 3.3절의 (11)식에 의한 평가등급 H_{vw} , 3.2절 (10)식에 의한 팀 멤버 전문역량의 상대적 중요도 λ_l , 프로젝트 수는 PC_k , 프로젝트 선정기준 SC_j 에서 l 팀 멤버에 대한 개인 믿음 정도 $M_{vw}^l(PC_k, SC_j)$ 가 Table 5와 같으며 이를 H_{vw} 별로 정리하면 Table 6과 같다.

◆ **단계 2** : Table 6을 3.4절의 (12)식을 이용해서 그룹 프로젝트 선호도 값 $y_k[j]$ 을 구하면 Table 7의 원소와 같으며 목표 값 $y_0[j] = 1.0$ 과의 차이인 비교수열(Comparative Series)을 구하면 Table 7의 괄호 값과 같다. 3.4절의 (13)식과 (14)식을 이용해서 그레이 상관계수와 관계정도를 구하면 Table 8과 같다. 식스시그마 선정 기준 S_1, S_2, S_3, S_4 인 전략연계성, 기술성, 시급성, 경제성 등으로 5개의 프로젝트 후보에 대한 평가를 할 경우 $PC_2 > PC_3 > PC_5 > PC_1 > PC_4$ 의 우선순위를 갖게 된다.

Table 5. Decision Information of Project Preferences on Five Project Candidates from Six Team Members

PC_k	λ_l	S_1	S_2	S_3	S_4
PC_1	λ_1 (0.29)	H_{11}	H_{22}	H_{22}	H_{11}
	λ_2 (0.19)	H_{22}	H_{24}	H_{22}	H_{23}
	λ_3 (0.19)	H_{11}	H_{22}	$H_{12} : 0.5,$ $H_{23} : 0.5$	H_{24}
	λ_4 (0.07)	H_{12}	H_{23}	H_{22}	$H_{12} : 0.7,$ $H_{24} : 0.3$
	λ_5 (0.16)	H_{22}	$H_{25} : 0.5,$ $H_{35} : 0.5$	H_{23}	H_{23}
	λ_6 (0.10)	$H_{15} : 0.95,$ $H_{12} : 0.05$	H_{15}	H_{22}	H_{11}

PC_2	λ_1 (0.29)	H_{44}	$H_{23} : 0.9,$ $H_{34} : 0.1$	H_{22}	H_{22}
	λ_2 (0.19)	H_{44}	H_{22}	H_{11}	$H_{14} : 0.8,$ $H_{15} : 0.2$
	λ_3 (0.19)	H_{33}	H_{33}	$H_{12} : 0.3,$ $H_{15} : 0.7$	H_{22}
	λ_4 (0.07)	$H_{24} : 0.9,$ $H_{15} : 0.1$	H_{44}	H_{22}	H_{23}
	λ_5 (0.16)	H_{33}	H_{33}	H_{23}	H_{12}
	λ_6 (0.10)	H_{44}	H_{44}	H_{22}	H_{23}
PC_3	λ_1 (0.29)	H_{44}	H_{33}	H_{22}	H_{22}
	λ_2 (0.19)	$H_{34} : 0.8,$ $H_{15} : 0.2$	H_{44}	H_{12}	H_{23}
	λ_3 (0.19)	H_{33}	$H_{34} : 0.7,$ $H_{24} : 0.3$	H_{22}	H_{11}
	λ_4 (0.07)	H_{44}	H_{33}	$H_{12} : 0.4,$ $H_{23} : 0.6$	H_{23}
	λ_5 (0.16)	H_{34}	H_{44}	H_{22}	$H_{12} : 0.6,$ $H_{13} : 0.4$
	λ_6 (0.10)	H_{44}	H_{44}	H_{11}	H_{22}
PC_4	λ_1 (0.29)	H_{22}	H_{11}	H_{22}	H_{11}
	λ_2 (0.19)	H_{12}	H_{22}	$H_{12} : 0.3,$ $H_{23} : 0.7$	H_{12}
	λ_3 (0.19)	H_{11}	H_{12}	H_{22}	H_{22}
	λ_4 (0.07)	$H_{23} : 0.4,$ $H_{12} : 0.6$	H_{22}	H_{11}	H_{22}
	λ_5 (0.16)	H_{11}	$H_{23} : 0.5,$ $H_{13} : 0.5$	H_{22}	H_{22}
	λ_6 (0.10)	H_{22}	H_{22}	H_{22}	$H_{12} : 0.4,$ $H_{23} : 0.6$
PC_5	λ_1 (0.29)	H_{33}	$H_{23} : 0.4,$ $H_{34} : 0.6$	H_{11}	H_{22}
	λ_2 (0.19)	$H_{34} : 0.5,$ $H_{23} : 0.5$	H_{34}	H_{12}	H_{22}
	λ_3 (0.19)	H_{22}	H_{33}	$H_{11} : 0.7,$ $H_{22} : 0.3$	H_{12}
	λ_4 (0.07)	H_{23}	H_{22}	H_{11}	$H_{22} : 0.2,$ $H_{15} : 0.8$
	λ_5 (0.16)	H_{33}	H_{23}	H_{22}	H_{12}
	λ_6 (0.10)	H_{23}	H_{33}	H_{11}	H_{22}

Parenthesis : Comparative Series Value

Table 6. Group Evaluation of the Project Team on the Five Project Candidates

$S_j \backslash PC_k$	S_1	S_2	S_3	S_4
PC_1	$H_{11} : 0.480$ $H_{12} : 0.075$ $H_{15} : 0.095$ $H_{22} : 0.350$	$H_{15} : 0.100$ $H_{22} : 0.480$ $H_{23} : 0.070$ $H_{24} : 0.190$ $H_{25} : 0.080$ $H_{35} : 0.080$	$H_{12} : 0.095$ $H_{22} : 0.650$ $H_{23} : 0.255$	$H_{11} : 0.390$ $H_{12} : 0.049$ $H_{23} : 0.350$ $H_{24} : 0.211$
	$H_{15} : 0.007$ $H_{24} : 0.063$ $H_{33} : 0.350$ $H_{44} : 0.580$	$H_{22} : 0.190$ $H_{23} : 0.261$ $H_{33} : 0.350$ $H_{34} : 0.029$ $H_{44} : 0.170$	$H_{11} : 0.190$ $H_{12} : 0.057$ $H_{15} : 0.133$ $H_{22} : 0.460$ $H_{23} : 0.160$	$H_{12} : 0.160$ $H_{14} : 0.152$ $H_{15} : 0.038$ $H_{22} : 0.580$ $H_{23} : 0.070$
	$H_{15} : 0.038$ $H_{33} : 0.190$ $H_{34} : 0.160$ $H_{44} : 0.460$	$H_{24} : 0.057$ $H_{33} : 0.360$ $H_{34} : 0.133$ $H_{44} : 0.450$	$H_{11} : 0.100$ $H_{12} : 0.218$ $H_{22} : 0.640$ $H_{23} : 0.042$	$H_{11} : 0.190$ $H_{12} : 0.096$ $H_{13} : 0.064$ $H_{22} : 0.460$ $H_{23} : 0.190$
	$H_{11} : 0.130$ $H_{12} : 0.232$ $H_{22} : 0.390$ $H_{23} : 0.433$	$H_{11} : 0.290$ $H_{12} : 0.190$ $H_{13} : 0.080$ $H_{22} : 0.380$ $H_{23} : 0.080$	$H_{11} : 0.070$ $H_{12} : 0.057$ $H_{22} : 0.740$ $H_{23} : 0.133$	$H_{11} : 0.290$ $H_{12} : 0.230$ $H_{22} : 0.420$ $H_{23} : 0.060$
$H_{22} : 0.190$ $H_{23} : 0.265$ $H_{33} : 0.450$ $H_{34} : 0.095$	$H_{22} : 0.070$ $H_{23} : 0.276$ $H_{33} : 0.290$ $H_{34} : 0.364$	$H_{11} : 0.593$ $H_{12} : 0.190$ $H_{22} : 0.217$	$H_{12} : 0.350$ $H_{15} : 0.056$ $H_{22} : 0.594$	

Table 7. Group Assessment of Information for Comparative Series of GRA

$PC_k \backslash S_j$	S_1	S_2	S_3	S_4
PC_1	0.279 (0.721)	0.407 (0.593)	0.325 (0.675)	0.320 (0.680)
PC_2	0.621 (0.379)	0.480 (0.520)	0.310 (0.690)	0.330 (0.670)
PC_3	0.617 (0.383)	0.373 (0.627)	0.275 (0.725)	0.291 (0.709)
PC_4	0.232 (0.768)	0.258 (0.742)	0.298 (0.702)	0.225 (0.775)
PC_5	0.449 (0.551)	0.446 (0.554)	0.190 (0.810)	0.292 (0.708)

Table 8. Grey Relational Grades and Project Priority Raking

PC_k	S_1 $w_1 = 0.51$	S_2 $w_2 = 0.35$	S_3 $w_3 = 0.03$	S_4 $w_4 = 0.11$	Degree of Relation	Priority Raking
PC_1	0.696	0.786	0.726	0.723	0.731	4
PC_2	1.000	0.848	0.716	0.729	0.908	1
PC_3	0.995	0.760	0.694	0.704	0.872	2
PC_4	0.668	0.684	0.708	0.664	0.674	5
PC_5	0.820	0.818	0.645	0.704	0.801	3

5. 결론

본 연구에서는 식스시그마 프로젝트 선정을 위한 4가지 단계인 i) 평가기준 간 가중치 선정 ii) 팀 멤버 간 상대적 중요도 결정 iii) 프로젝트 선호도 평가척도 선정 iv) 최종 프로젝트 선정을 위해 그룹 Fuzzy AHP, 비퍼지화 된 TrFN 변환, GRA 등의 MCDM 통합기법의 적용 방법을 최초로 제시하였다.

식스시그마 프로젝트 평가기준 간 가중치 설정과 프로젝트를 평가하는 팀 멤버 간 전문 역량에 대한 상대적 중요도를 평가할 경우, 그룹 Fuzzy AHP를 이용하여 기준에 대한 인식과 언어에 대한 애매함을 표현하고 소속되는 정도를 구간의 퍼지 멤버십함수로 나타내어 다양한 평가자와 전문가의 의견을 반영하였다.

불완전한 프로젝트 정보 환경 하에서 프로젝트의 선호도를 평가하거나, 제한된 평가 기준 하에서 최종프로젝트를 선정할 경우 전체 평가기준의 최댓값과 최솟값으로 표준 정규화 하는 비퍼지화 된 TrFN 변환법과 GRA방법을 사용하는 것이 바람직하다.

본 연구에서 제안한 식스시그마 프로젝트 선정을 위한 단계별 MCDM 통합 기법은 불확실한 R&D 전략, 경영 전략, 영업 전략을 실행하기 위한 프로젝트 선정의 여러 분야에 활용이 가능하며, 이러한 응용융합 연구에 대한 후속 연구가 기대 된다.

REFERENCES

[1] S. Choi. (2006). Classification of Six Sigma Innovation Process. *Journal of the Korea Safety and Management Science*, 8(4), 239-247.

[2] S. Lee, Y. Jo & Y. Kim. (2010). A Study on the Recognition Difference of the Success Factors of Six Sigma on the Line of Size. *Journal of Digital Convergences*, 8(2), 177-188.

[3] R. Banuelas, C. Tennant, I. Tuersley & S. Tang. (2006). Selection of Six Sigma Projects in the UK. *The TQM Magazine*, 18(5), 514-527. DOI : 10.1108/09544780610685485

[4] T. Yang & C. Hsieh. (2009). Six-Sigma Project Selection Using National Quality Award Criteria and Delphi Fuzzy Multiple Criteria Decision-Making Method. *Expert Systems with Applications*, 36, 7594-7603. DOI : 10.1016/j.eswa.2008.09.045

[5] S. Sharma & A. R. Chetiya. (2016). Six Sigma Project Selection : An Analysis of Responsible Factors. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(4), 280-292. DOI : 10.1108/20401461011096069

[6] K. Mittal, P. C. Tewari & D. Khanduja. (2017). On the Right Approach to Selecting a Quality Improvement Project in Manufacturing Industries. *Operations Research and Decisions*, 1, 105-124., DOI : 10.5277/ord170106

[7] B. Kornfeld & S. Kara. (2013). Selection of Lean and Six Sigma Projects in Industry. *International Journal of Lean Six Sigma*, 4(1), 4-16. DOI : 10.1108/20401461311310472

[8] P. S. Mueller & J. A. Cross. (2018). Factors Impacting Individual Six Sigma Adoption. *International Journal of Lean Six Sigma*. DOI : 10.1108/IJLSS-04-2018-0040

[9] S. Ray & P. Das. (2010). Six Sigma Project Selection Methodology. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(4), 293-309. DOI : 10.1108/20401461011096078

[10] S. Sadi-Nezhad. (2017). A State-of-Art Survey on Project Selection Using MCDM Techniques. Factors Impacting Individual Six Sigma Adoption. DOI : 10.5267/j.jpj.2017.6.001

[11] R. Padhy. (2017). Six Sigma Project Selections : A Critical Review. *International Journal of Lean Six Sigma*, 8(2), 244-258. DOI : 10.1108/IJLSS-06-2016-0025

[12] J. Oh & S. Lee. (2019). A Movie Recommendation System Processing High-Dimensional Data with Fuzzy-AHP and Fuzzy Association Rules. *Journal of Digital Convergences*, 17(2), 347-353. DOI : 10.14400/JDC.2019.17.2.347

[13] B. Ahadian & A.G.M. Abadi. (2012). Six Sigma Pilot Project Selections Using an MCDM Approach. *Management Science and Engineering*, 6(1), 34-43. DOI : 10.3968/j.mse.1913035X20120601.1999

[14] M. Kumar, J. Antony & B. R. Cho. (2009). Project Selection and its Impact on the Successful Deployment of Six Sigma. *Business Process*

- Management Journal*, 15(5), 669–686.
DOI : 10.1108/14637150910987900
- [15] S. K. Tiwari, R. K. Singh & S. C. Srivastava. (2013). Six Sigma Project Selection Using Extent Fuzzy AHP : An Empirical Study, *International Journal of Research in Industrial Engineering*, 2(2), 47–60.
- [16] I. Otay & C. Kahraman. (2017). Six Sigma Project Selection Using Interval Neutrosophic TOPSIS. *Proceedings of EUSFLAT–2017–The 10th Conference of the EUROPEAN Society for Fuzzy Logic and Technology*, 83–93.
- [17] A. Hadi–Vencheh & A. Yousefi. (2018). Selecting Six Sigma Project : A Comparative Study of DEA and LDA Techniques. *International Journal of Lean Six Sigma*, 9(4), 506–522.
DOI : 10.1108/IJLSS–11–2016–0067
- [18] U. D. Kumar, H. Saranga, J. E. Ramirez–Marquez & O. Nowicki. (2007). Six Sigma Project Selection Using Data Envelopment Analysis. *The TQM Magazine*, 19(5), 419–441.
DOI : 10.1108/09544780710817856
- [19] S. Percin & C. Kahraman. (2010). An Integrated Fuzzy Multi–Criteria Decision–Making Approach for Six Sima Project. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 3(5), 610–621.
DOI : 10.1080/18756891.2010.9727727
- [20] P. Pangri. (2015). Application of the Multi Criteria Decision Making Methods for Project Selection. *Universal Journal of Management*, 3(1), 15–20.
DOI : 10.13189/ujm.2015.030103
- [21] M. A. Ortiz, H. A. Felizzola & S. N. Isaza. (2015). A Contrast Between DEMATEL–ANP and ANP Methods for Six Sigma Project Selection : A Case Study in Healthcare Industry. *BMC Medical Information & Decision Making*, 15(Suppl 3), 1–12.
DOI : 10.1186/1472–6947–15–S3–S3
- [22] F. Wang, C. Hsu & G. Tzeng. (2014). Applying a Hybrid MCDM Model for Six Sigma Project Selection. *Mathematical Problems in Engineering*, 1–13.
DOI : 10.1155/2014/730934
- [23] G. Buyukozkan & D. Ozturkcan. (2010). An Integrated Analytic Approach for Six Sigma Project Selection. *Expert Systems with Applications*, 37, 5835–5847.
DOI : 10.1016/j.eswa.2010.02.022
- [24] S. Vinodh & V. Swarnakar. (2015). Lean Six Sigma Project Selection Using Hybrid Approach Based on Fuzzy DEMATEL–ANP–TOPSIS. *International Journal of Lean Six Sigma*, 6(4), 313–338.
DOI : 10.1108/IJLSS–12–2014–0041
- [25] R. K. Padhy & S. Sahu. (2011). A Real Option Based Six Sigma Project Evaluation and Selection Model. *International Journal of Project Management*, 29, 1091–1102.
DOI : 10.1016/j.ijproman.2011.01.011
- [26] V. Kalashnikov, F. Benita, F. Lopez–Ramos & A. Hernandez–Luna. (2017). Bi–Objective Project Portfolio Selection in Lean Six Sigma. *International Journal of Production Economics*, 186, 81–88.
DOI : 10.1016/j.ijpe.2017.01.015
- [27] A. S. Rayarikar. (2016). *Using Big Data Analytics for Effective Six Sigma Project Selection*. Master Thesis, Purdue University.
DOI : open_access_theses/989
- [28] R. Rathi, D. Khanduja & S. K. Sharma. (2015). Six Sigma Project Selection Using Fuzzy TOPSIS Decision Making Approach. *Management Science Letters*, 5, 447–456.
DOI : 10.5267/j.msl.2015.3.009
- [29] R. Rathi, D. Khanduja & S.K. Sharma. (2016). Efficacy of Fuzzy MADM Approach in Six Sigma Analysis Phase in Automotive Sector, *Journal of Industrial Engineering International*, 12, 377–387.
DOI : 10.1007/s40092–016–0143–0
- [30] A. Jafarian, M.S. Nikabadi & M. Amiri. (2014). Framework for Prioritizing and Allocating Six Sigma Projects Using Fuzzy TOPSIS and Fuzzy Expert System. *Scientia Iranica Transactions E : Industrial Engineering*, 21(6), 2281–2294.
- [31] S. Choi. (2019). Implementation Strategy of Risk Evaluation Using Fuzzy DST/AHP, TOPSIS and Grey Theory in FMEA Under Uncertain Environment. *Journal of the Korea Management Engineers Society*, 24(3), 65–87.
- [32] D.Y. Chang. (1996). Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95, 645–655.
DOI : 10.1016/0377–2217(95)00300–2
- [33] C. B. Chen & C. M. Klein. (1997). A Simple Approach to Ranking a Group of Aggregated Fuzzy Utilities. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics, Part B*, 27(1), 26–35.
DOI : org/10.1109/3477.552183
- [34] S. Liu & Y. Lin. (2010). *Grey Systems : Theory and Applications*. Berlin Heidelberg : Springer Verlag.
DOI : 10.1007/978–3–642–16158–2
- [35] H. C. Liu, L. Liu, Q. H. Bian, Q. L. Lin, N. Dong & P. C. Xu. (2011). Failure Mode and Effects Analysis Using Fuzzy Evidential Reasoning Approach and Grey Theory. *Expert Systems with Applications*, 38, 4403–4415.
DOI : 10.1016/j.eswa.2010.09.110
- [36] K. Chin, Y. Wang, G. K. K. Poon & J. Yang. (2008). Failure Mode and Effects Analysis Using a Group–Based Evidential Reasoning Approach. *Computers & Operations Research*, 36, 1768–1779.
DOI : 10.1016/j.cor.2008.05.002
- [37] Korean Standards Association. (2018). *Case of Excellent Quality Circle*, Korean National Quality Award [Online]. <http://Knqa.ksa.or.kr/knqa/2294/subview>

유 정 상(Jungsang Yoo) [정회원]



- 1993년 8월 : 한양대학교 산업공학과(박사)
- 2007년 9월 ~ 2008년 8월 : SIUE (Southern Illinois University Edwardsville) 방문교수
- 2016년 2월 ~ 2017년 1월 : St. Louis University 방문교수
- 1996년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 산업경영공학과 교수
- 관심분야 : 기술경영, 서비스공학, 신뢰성공학, 지능정보, TPM
- E-Mail : jsyou@gachon.ac.kr

최 성 운(Sungwoon Choi) [정회원]



- 1989년 12월 : 한양대학교 산업공학과(박사)
- 1994년 3월 ~ 1995년 2월 : University of Minnesota, Post Doc.
- 2002년 3월 ~ 2003년 6월 : University of Washington, 방문교수
- 1989년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 산업경영공학과 교수
- 관심분야 : 신뢰성설계, Business Analytics, 지능정보, TRIZ, MCDM
- E-Mail : swchoi@gachon.ac.kr