

A Multi-Phase Decision Making Model for Supplier Selection Under Supply Risks

Jun-Su Yoo · Yang-Byung Park[†]

Department of Industrial and Management Systems Engineering,
College of Engineering, Kyung Hee University

공급 리스크를 고려한 공급자 선정의 다단계 의사결정 모형

유준수 · 박양병[†]

경희대학교 공과대학 산업경영공학과

Selecting suppliers in the global supply chain is the very difficult and complicated decision making problem particularly due to the various types of supply risk in addition to the uncertain performance of the potential suppliers. This paper proposes a multi-phase decision making model for supplier selection under supply risks in global supply chains. In the first phase, the model suggests supplier selection solutions suitable to a given condition of decision making using a rule-based expert system. The expert system consists of a knowledge base of supplier selection solutions and an “if-then” rule-based inference engine. The knowledge base contains information about options and their consistency for seven characteristics of 20 supplier selection solutions chosen from articles published in SCIE journals since 2010. In the second phase, the model computes the potential suppliers’ general performance indices using a technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) based on their scores obtained by applying the suggested solutions. In the third phase, the model computes their risk indices using a TOPSIS based on their historical and predicted scores obtained by applying a risk evaluation algorithm. The evaluation algorithm deals with seven types of supply risk that significantly affect supplier’s performance and eventually influence buyer’s production plan. In the fourth phase, the model selects Pareto optimal suppliers based on their general performance and risk indices. An example demonstrates the implementation of the proposed model. The proposed model provides supply chain managers with a practical tool to effectively select best suppliers while considering supply risks as well as the general performance.

Keywords : Supply Risks, Supplier Selection, Rule-based Expert System, TOPSIS, Pareto Optimal Suppliers

1. 서 론

글로벌 공급사슬에서 양질의 자재를 최소의 비용으로 정해진 시간에 공급받는 일은 비용, 시간, 수요 등의 불확

실성과 공급 리스크로 인해 매우 어려운 과제이다. 공급 리스크는 예상치 못한 시기에 일시적으로 발생하는 인재 및 자연재해로 인해 공급능력, 품질, 수송능력의 급격한 저하 현상으로 나타난다. 또한, 환율, 재무, 정책, 경쟁의 급격한 악화현상으로도 나타난다. 공급 리스크의 발생으로 인한 구매활동 차질이 기업의 생산활동에 치명적 영향을 미친 사례는 많다. 2000년 부품 공급업체인 Royal Philips 공장

Received 20 September 2017; Finally Revised 3 November 2017;
Accepted 6 November 2017

[†] Corresponding Author : ybpark@khu.ac.kr

의 화재로 인한 Ericsson의 대규모 손실[6], 2011년 일본 후쿠시마 원전사고로 인한 주변공장들의 부품생산 중단으로 8개 토요다 자동차 공장의 조업중단[22] 등을 들 수 있다. 불확실성의 글로벌 공급사슬 환경에서 공급자의 리스크를 고려해 최적의 공급자를 선정하는 일은 기업의 지속 가능한 경쟁력 유지를 위해 매우 중요한 의사결정문제이다.

지난 수십 년 동안 일반능력만을 평가해 공급자를 선정하는 연구는 많이 수행되었다. Ho et al.[15]은 2000년 이후 발표된 공급자 선정 해법을 조사하여 DEA(data envelopment analysis), 수리모형, AHP(analytic hierarchy process)와 같은 분석기법에 따라 분류하였다. Chai et al.[3]은 2008년부터 2012년까지 발표된 공급자 선정 해법을 조사하여 다 기준 최적화, 수리모형, AI와 같은 분석기법에 따라 분류하였다. Wetzstein et al.[33]은 1990년부터 2015년까지 발표된 공급자 선정 해법을 조사하여 접근방법, 평가 기준, 환경 및 지속가능성, 전략적 연계, R&D 통합, 품질의 6가지 주제에 따라 분류하였다.

리스크를 고려한 공급자 선정 연구는 비교적 최근에 들어 수행되고 있다. Christopher et al.[7]은 구매의 리스크 형태를 공급능력, 환경, 프로세스 및 통제, 수요의 4가지로 분류하였다. Tang and Musa[30]는 구매의 리스크 형태를 단일 공급자, 소싱 유연성, 제품품질, 공급능력, 공급자 선정, 아웃소싱으로 분류하고, 공급자 선정의 최신 정성적 및 정량적 해법을 정리하였다. Cavusgil and Deligonul [2]은 글로벌 공급사슬에서 국가수준의 외생 리스크가 기업 수준의 리스크로 확산되는 과정을 이론적으로 분석하고, 이를 토대로 공급자와 구매자간 밀접한 파트너십의 중요성을 입증하였다. Ohmori and Yoshimoto[22]는 구매자의 공급 리스크에 대한 완화전략을 stabilization, absorption, duplication의 3개 범주로 나누고, 네트워크 신뢰성 분석을 통해 각 전략을 공급자 선정에 반영할 수 있는 방안을 모색하였다. Ruiz-Torres et al.[27]은 다수 공급자, 다수 구매자, 상이한 비용 및 신뢰성의 공급사슬 상황에서 공급 리스크를 확률적으로 표현한 의사결정나무 방법을 이용해 최적 공급자를 선정하는 해법을 개발하였다. Sawik[28]는 공급사슬의 붕괴 리스크가 존재하는 상황에서 공급자 선정과 주문일정계획을 통합한 확률적 혼합정수계획을 제시하였다. Hammami et al.[14]은 환율변동의 불확실성과 가격할인이 존재하는 다 공급자, 다 구매자의 글로벌 공급사슬 상황에서 시나리오 기반의 확률적 혼합정수 모형을 이용해 공급자 선정과 주문량 결정을 동시에 해결하는 해법을 제시하였다. Ha[13]는 공급자 선정문제에서 리스크 및 불확실성을 고려한 몬테칼로 시뮬레이션과 통계적 의사결정의 두 단계로 구성된 확률적 DEA를 제안하였다. Hosseini and Barker[16]는 공급자 선정문제에서 공급자의 리스크 회복과 관련된 여러 평가기준을 개발하고, 이들의 정량화를 위한 Bayesian 네트워크를 제안하였다. Prasanna

Venkatesan and Goh[24]는 공급사슬의 붕괴 리스크가 존재하는 상황에서 공급자 선정과 주문량 결정을 통합한 다 기준 혼합정수 선형계획 모형을 구축하고, 이를 토대로 퍼지 AHP와 다 기준 개체군집 최적화를 연속으로 적용하는 2단계 해법을 제안하였다.

리스크를 고려한 공급자 선정의 기존연구는 리스크의 완화전략 차원에서 개념적으로 다루거나 공급자의 붕괴 리스크를 주로 반영한 수리모형 해법에 집중하고 있다. 하지만 수리모형 해법은 여건에 따라 사용이 제한될 뿐만 아니라, 여러 형태의 공급 리스크를 개별적으로 평가할 수 없는 한계가 존재한다. 이에 따라 본 연구는 글로벌 공급사슬에서 공급자의 다 기준 일반능력과 다양한 형태의 리스크를 복합적으로 평가해 최적의 공급자를 선정하는 다단계 의사결정 모형을 제안한다. 제안된 모형의 단계별 과정은 예제풀이를 통해 확인한다.

제 1장의 서론에 이어, 제 2장에서는 공급자 선정의 의사결정 모형을 단계별로 설명한다. 제 3장에서는 예제풀이를 통해 의사결정 모형의 단계별 과정을 확인한다. 마지막으로, 결론 및 향후 연구 과제를 제 4장에 기술한다.

2. 공급자 선정의 의사결정 모형

2.1 단계 1 : 공급자 선정 해법의 제시

규칙 기반 전문가 시스템(rule-based expert system)을 이용해 주어진 여건에 가장 적합한 공급자 선정 해법(들)을 제시한다. 전문가 시스템은 공급자 선정 해법들과 그들의 특성 및 특성별 옵션의 일치성(consistency) 정보로써 구축된 지식베이스와 <If..., then...> 규칙의 추론엔진으로 이루어진다. 일치성은 해당 해법이 특성의 각 옵션에 부합 정도를 나타내며, 시스템 개발자가 0~1의 실수를 부여한다. 값이 클수록 더 부합한다. 지식베이스는 2010년 이후 SCI급 저널에 출판되어 빈번히 인용되고 있는 20개 공급자 해법을 기반으로 구축되며, <Table 1>과 같다. ‘Methodology’에서 ‘MP’(수리모형) 옵션은 최적 해를 구해주나, 엄격한 가정이 충족되어야 하며 고가의 소프트웨어가 필요하다. ‘AI’(인공지능)는 모델링이 어려울 때 적합하나, 과거자료가 충분해야 하며 소프트웨어가 필요하다. ‘MCDM’(다 기준 의사결정)은 정성적 평가기준의 포함이 용이하나 상세 정량적 분석이 미흡하다. ‘MX’(혼합)는 MCDM과 MP를 함께 사용하므로 개별 기법과 비교해 효과는 높아질 수 있으나, 개별 기법의 단점을 복합적으로 내포할 수 있다. ‘Number of suppliers’에서 ‘Small’ 옵션은 5개 이하, ‘중 Medium’은 6~10개, ‘Large’는 11개 이상으로 분류된다. ‘Details of criteria’에서 ‘Basic’ 옵션은 Ho et al.[15]의 7가지 기준의 일부 혹은 전체, ‘Subdivision’는 세분화된 기준을 포함한다. 모든 옵션 옆 괄호 속 수치는 일치성을 나타낸다.

<Table 1> Supplier Selection Solutions and their Characteristics Stored in Knowledge Base

Reference	Characteristic						
	Methodology	Type of criteria	Number of DMs	Number of suppliers	Details of criteria	Alteration of criteria	Accuracy of input data
Amin et al.[1]	MCDM(1.0)	Hybrid(1.0)	Group(1.0)	Small(1.0) Medium(0.6)	Subdivision(1.0)	Possible(1.0)	Uncertain(1.0)
Chai et al.[4]	MCDM(1.0)	Quantitative(1.0)	Group(1.0)	Medium(1.0) Small(0.6)	Basic(1.0)	Possible(1.0)	Uncertain(1.0)
Chen[5]	MX(1.0) MCDM(0.8)	Hybrid(1.0)	Group(1.0)	Large(1.0) Medium(0.8)	Subdivision(1.0) Basic(0.6)	Possible(1.0)	Uncertain(1.0)
Deng et al.[8]	MCDM(1.0)	Hybrid(0.8)	Group(0.8)	Small(0.8)	Subdivision(1.0)	Possible(1.0)	Uncertain(1.0)
Deng and Chan[9]	AI(1.0)	Hybrid(1.0)	Group(1.0)	Medium(1.0) Small(0.6)	Basic(1.0) Subdivision(0.6)	Possible(1.0)	Uncertain(1.0)
Dursun and Karsak[10]	MCDM(1.0)	Quantitative(1.0)	Group(1.0)	Medium(1.0) Large(0.8)	Basic(1.0)	Impossible(1.0)	Uncertain(1.0)
Ferreira and Borenstein[11]	AI(1.0)	Qualitative(1.0)	Group(1.0)	Small(1.0) Medium(0.6)	Subdivision(1.0)	Possible(1.0)	Uncertain(1.0)
Golmohammadni et al.[12]	MCDM(1.0)	Qualitative(1.0)	Group(1.0)	Medium(1.0)	Basic(1.0)	Possible(1.0)	Uncertain(1.0)
Jadidi et al.[17]	MP(1.0)	Quantitative(1.0)	Single(1.0)	Small(1.0)	Basic(1.0)	Impossible(1.0)	Uncertain(1.0)
Kumar et al.[18]	MP(1.0)	Quantitative(1.0)	Group(1.0) Single(0.6)	Large(1.0)	Basic(1.0)	Possible(1.0)	Certain(1.0)
Kuo and Lin[19]	MX(1.0) MP(0.6)	Hybrid(1.0)	Group(1.0)	Large(1.0)	Subdivision(1.0)	Possible(1.0)	Certain(1.0)
Lee et al.[20]	AI(1.0)	Quantitative(1.0)	Single(1.0)	Small(0.8)	Basic(0.7)	Impossible(1.0)	Certain(1.0)
Lin[21]	MX(1.0) MCDM(0.6)	Hybrid(1.0)	Group(1.0)	Small(1.0) Medium(0.8)	Subdivision(1.0) Basic(0.8)	Possible(1.0)	Uncertain(1.0)
Omurca[23]	AI(1.0)	Qualitative(1.0)	Single(1.0)	Large(1.0)	Basic(1.0)	Possible(1.0)	Uncertain(1.0)
Ravindran et al.[25]	MX(1.0) MCDM(0.8)	Hybrid(1.0)	Group(1.0)	Large(1.0) Medium(0.6)	Subdivision(1.0)	Impossible(1.0)	Uncertain(1.0)
Roostae et al.[26]	MCDM(1.0)	Quantitative(1.0)	Group(1.0)	Small(1.0)	Basic(1.0) Subdivision(0.6)	Possible(1.0)	Uncertain(1.0)
Shaw et al.[29]	MX(1.0) MP(0.6)	Hybrid(1.0)	Group(1.0)	Small(1.0)	Basic(1.0)	Possible(1.0)	Uncertain(1.0)
Vahdani et al.[31]	AI(1.0)	Quantitative(1.0)	Single(1.0) Group(0.8)	Large(1.0)	Basic(1.0) Subdivision(0.8)	Possible(1.0)	Certain(1.0)
Ware et al.[32]	MP(1.0)	Quantitative(1.0)	Single(1.0)	Small(1.0)	Basic(1.0)	Impossible(1.0)	Certain(1.0)
Yücel and Güneri[34]	MP(1.0)	Quantitative(1.0)	Single(1.0)	Small(1.0)	Basic(1.0)	Possible(1.0)	Uncertain(1.0)

추론엔진은 시스템의 연속된 질문에 대한 의사결정자의 응답을 토대로 If 조건식을 충족하는 공급자 선정 해법(들)을 지식베이스에서 찾아, 그 결과를 적합도(fitness)와 함께 제시하는 기능을 수행한다. 추론엔진은 해법의 7가지 특성을 기반으로 탐색나무 구조로 구축되며, 진행 상 전진 또는 후진을 제어한다. 후진은 시스템이 제시할 수 있는 해법집단이 비어 있는 경우에 발생한다. 적합도는 추론엔진에 의해 최종적으로 제시된 해법이 의사결정 여건에 비추어 어느 정도 적합한지를 나타내는 척도이다. 적합도의 하한 값을 설정하면 그 이상의 해법들을 제시한다. 적합도는 의사결정자가 입력한 특성의 중요도, 특성의 선택옵션에 대한 만족도, 선택된 옵션의 일치성을 이용해 계산된다. 특성의 중요도는 1~9의 정수로 입력되며(중요

성이 높을수록 높은 값), 0~1의 특성 가중치로 변환된다. 선택옵션의 만족도는 <Table 2>의 7가지 언어 중 하나로 입력되며, 상응하는 삼각분포의 퍼지 점수로 변환된다.

<Table 2> Verbalism and Fuzzy Scores for the Satisfaction Levels of Selected Options

Verbalism	Fuzzy score
Very low	(0, 0, 0)
Pretty low	(0, 0.1, 0.2)
A little low	(0.2, 0.3, 0.4)
Ordinary	(0.4, 0.5, 0.6)
A little high	(0.6, 0.7, 0.8)
Pretty high	(0.8, 0.9, 1.0)
Very high	(1.0, 1.0, 1.0)

두 퍼지 수 $X = (x_1, x_2, x_3)$ 와 $Y = (y_1, y_2, y_3)$ 의 합, $X \oplus Y = (x_1 + y_1, x_2 + y_2, x_3 + y_3)$ 로 표현하면, 해법 j 의 적합도 F_j 는 다음과 같이 계산된다.

$$(b^*, m^*, c^*) = w_1 u_1 a_1 \oplus w_2 u_1 a_1 \oplus \dots \oplus w_n u_n a_n \quad (1)$$

$$F_j = \frac{b^* + m^* + c^*}{3} \quad (2)$$

여기서 n 은 응답과정에서 사용된 특성 수, w_i 는 특성 i 의 가중치, u_i 는 특성 i 의 선택옵션의 퍼지점수, a_i 는 특성 i 의 선택옵션의 일치성이다.

2.2 단계 2 : 공급자의 일반능력 평가

전문가 시스템에 의해 제시된 여러 해법들을 적용해 공급자 후보의 일반능력을 평가한다. 평가기준으로는 Ho et al.[15]이 제시한 품질(불량률), 납기(정시충족률), 가격(판매가 및 변동률), 공급능력(상한 및 변동률), 서비스(고객관계), 유연성(수요변동 대처능력), 평판(시장인식)을 사용한다. 해법에 따라 평가기준의 변경은 가능하다. 수리모형 외의 해법들은 공급자의 평가점수를 결과물로 제공한다. 수리모형의 경우는 공급자에 대한 주문량을 결과물로 제공하므로, 주문량 크기를 평가점수로 대신 사용한다. 각 공급자의 평가점수는 다음과 같이 TOPSIS를 적용해 일반능력 지수로 나타낸다.

- (1) 벡터 정규화에 의한 공급자의 해법별 정규화 점수에 해법의 가중치를 곱해 해법 j 에서 공급자 i 의 가중 정규화 일반능력 점수 θ_{ij} 를 계산한다.

$$\theta_{ij} = \frac{w_j e_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m e_{ij}^2}} \quad \forall i, j \quad \left(\text{단, } w_j = F_j / \sum_{j=1}^m F_j \right) \quad (3)$$

여기서 w_j 는 해법 j 의 가중치, F_j 는 해법 j 의 적합도, m 은 해법 수, e_{ij} 는 해법 j 에서 공급자 i 의 평가점수, l 은 공급자 후보 수이다.

- (2) 공급자의 해법점수 벡터공간에서 최선과 최악 점으로부터 공급자 i 의 거리 d_i^+ 와 d_i^- 를 구한다.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_j (\theta_{ij} - \max_i \theta_{ij})^2} \quad \forall i \quad (4)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_j (\theta_{ij} - \min_i \theta_{ij})^2} \quad \forall i$$

- (3) d_i^- 의 상대적 근접도를 공급자 i 의 일반능력 지수 $E_i(A)$ 로 정한다.

$$E_i(A) = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad \forall i \quad (5)$$

2.3 단계 3 : 공급자의 리스크 평가

공급 리스크를 7가지 형태로 분류한다. 이들은 공급자의 공급물량, 품질, 납기, 구매비용 등에 직접 영향을 미친다. 7가지 공급 리스크 형태의 발생원인과 결과가 <Table 3>에 정리되어 있다. 공급자의 리스크 평가는 과거와 미래에 대해 각각 실시해 그것들의 결과를 통합하는 방법을 따르며, 그 절차는 다음과 같다.

- (1) 리스크 형태의 중요도 입력을 토대로 각 리스크 형태의 가중치를 계산한다. 중요도는 1~10의 정수이며, 가중치 합은 1.0으로 한다.
- (2) 과거자료를 토대로 리스크 형태별로 공급자의 리스크 발생확률(P_{ij}), 리스크 영향(L_{ij}), 리스크 대응력(V_{ij})을 평가한다. P_{ij} 는 공급자 i 에서 리스크 형태 j 가 발생한 확률이며, 과거 해당 리스크 형태가 발생한 기간의 비율로 정한다. L_{ij} 는 과거 공급자 i 에서 리스크 형태 j 의 발생으로 인해 구매자가 수취물량, 납기, 비용의 3가지 요소에 대해 입은 손실을 의미한다. 수취물량은 수취물량 대비 주문량의 비율, 납기는 도착지 연율, 비용은 예상비용 대비 실제비용의 비율로 계산된다. 각 요소에 대해 공급자 후보 전체의 최소와 최대 비율 범위를 균등하게 5개 구간으로 나누어 공급

<Table 3> Seven Supply Risk Types

Type	Cause	Effect
Capacity	Facility breakdown, Inventory shortage, Material shortage, Labor strike, Disaster	Supply reduction
Transportation	Transit system breakdown, Transport capacity shortage, Clearance delay, Labor strike, Disaster	Delivery delay
Exchange rate	Political/economic instability, Fiscal degradation, Policy failure	Price increase
Finance	Financial failure, Bankruptcy	Supply disability
Quality	Defective raw materials, Failure in quality management	Defective products
Policy	Regulation increase, Rigorous regulation enforcement, Regulation violation	Supply delay or suspension
Market	Rapid demand increase	Supply shortage, Price increase

자별로 비율을 토대로 1~5의 정수 점수를 부여한다. 높은 비율에 높은 점수를 부여한다. 손실이 없는 요소에는 0점을 부여한다. 공급자의 리스크 영향은 세 요소의 점수 중 가장 큰 값으로 정한다. V_{ij} 는 과거 공급자 i 에서 발생한 리스크 형태 j 의 회복기간으로 평가한다. 공급자 후보 전체의 최소치와 최대치 범위를 균등하게 5개 구간으로 나누어 공급자별로 평균 회복기간을 토대로 1~5의 정수 점수를 부여한다. 긴 회복기간에 높은 점수를 부여한다. 공급자 i 의 리스크 형태 j 에 대한 과거 리스크 점수 R_{ij}^1 을 구한다.

$$R_{ij}^1 = P_{ij}(L_{ij} + V_{ij}) \quad \forall i, j \quad (6)$$

- (3) 리스크 형태별로 미래에 공급자의 리스크 발생확률(\widehat{P}_{ij}), 리스크 영향(\widehat{L}_{ij}), 리스크 대응력(\widehat{V}_{ij})을 평가한다. 과거자료를 토대로 통계적으로 예측하거나 공급자에 대한 정보와 출판물을 참고한다. \widehat{P}_{ij} 는 미래에 공급자 i 에서 리스크 형태 j 가 발생할 확률의 예측치로 정한다. \widehat{L}_{ij} 는 미래에 공급자 i 에서 리스크 형태 j 의 발생으로 인한 구매자 손실을 의미하며, 손실규모는 예상 리스크 강도에 비례한다는 가정 하에 1~5의 정수 점수를 부여한다. 큰 강도에 높은 점수를 부여한다. \widehat{V}_{ij} 는 미래에 공급자 i 의 리스크 형태 j 에 대한 사전 또는 사후 대응력을 의미하며, 1~5의 정수 점수를 부여한다. 낮은 대응력에 높은 점수를 부여한다. 공급자 i 의 리스크 형태 j 에 대한 미래 리스크 점수 R_{ij}^2 를 구한다.

$$R_{ij}^2 = \widehat{P}_{ij}(\widehat{L}_{ij} + \widehat{V}_{ij}) \quad \forall i, j \quad (7)$$

- (4) 공급자 i 의 리스크 형태 j 에 대한 과거와 미래의 가중 합 리스크 점수 R_{ij} 를 구한다.

$$R_{ij} = \lambda R_{ij}^1 + (1-\lambda)R_{ij}^2 \quad \forall i, j \quad (8)$$

여기서 $\lambda(0 < \lambda < 1)$ 는 R_{ij}^1 의 가중치이다.

- (5) 제 2.2절의 절차 (1)~(3)과 동일하게 TOPSIS를 적용해 가중 합 리스크 점수를 리스크 지수로 나타낸다. 절차

에서 w_j 는 리스크 형태 j 의 가중치, d_i^+ 와 d_i^- 는 각각 최악과 최선의 점수로부터 공급자 i 의 거리를 뜻하며, e_{ij} 는 R_{ij} 로 대체된다. d_i^+ 의 상대적 근접도를 공급자 i 의 리스크 지수 $E_i(B)$ 로 정한다.

$$E_i(B) = \frac{d_i^+}{d_i^+ + d_i^-} \quad \forall i \quad (9)$$

2.4 단계 4 : 공급자 선정

공급자 후보들의 일반능력 지수와 리스크 지수를 이용해 파레토 최적(즉, non-dominated) 공급자를 선정한다. 공급자의 일반능력과 리스크의 평가는 상호 배타적이기 때문에 효용성 경계이론(utility boundary theory)을 적용할 수 있다. 먼저, 2차원 그래프에서 x 와 y 축을 각각 공급자의 일반능력 지수와 리스크 지수로 정하고 그래프 상에 모든 공급자 후보의 두 지수 쌍을 좌표 점으로 표기한다. 다음, 그래프 위의 외각 점들을 직선으로 연결하고 그 선 위의 공급자들을 파레토 최적 공급자로 선택한다. 만약 수가 너무 많으면, 원점에서 직선거리가 먼 공급자를 우선 선택한다. 간혹 한 지수는 매우 높지만 다른 지수가 매우 낮은 공급자가 선택될 수 있다. 이러한 경우를 방지하도록 각 지수에 하한 값을 설정한다.

3. 적용 예제

제안된 의사결정 모형을 단계별로 적용해 한 개의 제조업자, 한 개의 모듈부품, 10개의 잠재적 공급자로 구성된 예제를 풀어본다.

■ 단계 1 : 공급자 선정 해법의 제시

전문가 시스템의 실행에 필요한 7가지 특성의 중요도, 옵션선택, 옵션선택 만족도 입력은 <Table 4>와 같다. 해법 적합도의 최저 기준은 0.7로 설정한다. 전문가 시스템을 실행하면 Chen[5], Amin et al.[1], Lin[21]의 해법이 선정되며, 그들의 적합도는 각각 0.752, 0.743, 0.743으로 구해진다. 편의상, 차례로 해법 1, 해법 2, 해법 3으로 칭한다.

<Table 4> Responses to the Inquiry from the Expert System in the Example

Characteristic	Methodology	Type of criteria	Number of DMs	Number of suppliers	Details of criteria	Alteration of criteria	Accuracy of input data
Importance	5	7	1	5	9	6	9
Option selection	MCDM	Hybrid	Group	Medium	Subdivision	Possible	Uncertain
Satisfaction	Ordinary	A little high	Very high	Pretty high	Pretty high	Ordinary	Very high

■ 단계 2 : 공급자의 일반능력 평가

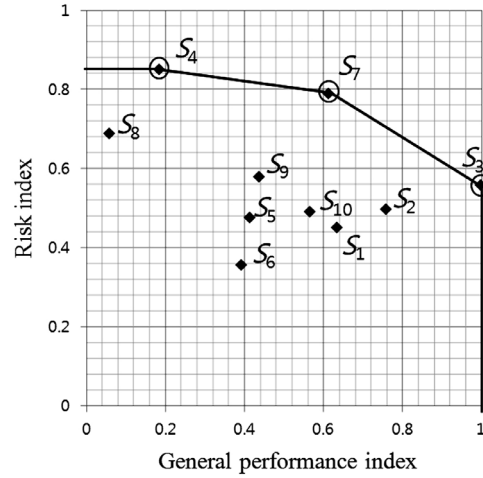
7가지 일반능력 평가기준의 가중치는 모두 같게 설정한다. <Table 5>는 10개 공급자의 해법별 가중 정규화 일반능력 점수와 일반능력 지수의 계산결과를 보여준다. 해법 가중치는 세 해법의 적합도를 토대로 계산된다.

■ 단계 3 : 공급자의 리스크 평가

7가지 리스크 형태의 중요도는 각각 7, 8, 3, 4, 9, 5, 6으로, 과거와 미래의 리스크 가중치는 같게 설정한다. 과거 및 미래의 리스크 형태별 리스크 발생, 리스크 영향, 리스크 대응력의 평가에서 예로서 능력 리스크 형태에 대한 세 항목의 과거 및 미래의 수치를 <Table 6>에 정리한다. 각 셀에서 상하의 수치는 각각 과거와 미래의 비율 또는 수준을 나타낸다. <Table 7>은 리스크 형태별로 공급자의 가중 정규화 리스크 점수와 리스크 지수의 계산결과를 보여준다.

■ 단계 4 : 공급자 선정

10개 공급자 후보의 효용성 경계 그래프는 <Figure 1>과 같다. 이를 토대로 파레토 최적 해인 S_3, S_4, S_7 을 구매대상 공급자로 선정한다.



<Figure 1> Utility Boundary Graph in the Example

4. 결론

본 연구에서는 글로벌 공급사슬에서 공급 리스크를 고려한 공급자 선정문제에 사용할 수 있는 4단계 의사결정 모형을 제안하였다. 첫째 단계에서는 규칙 기반 전문가

<Table 5> Outcomes of Ten Suppliers' General Performance Indices in the Example

Supplier	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}
Solution 1	0.051	0.059	0.061	0.030	0.051	0.036	0.052	0.028	0.039	0.053
Solution 2	0.040	0.051	0.061	0.043	0.040	0.042	0.046	0.030	0.040	0.058
Solution 3	0.063	0.059	0.071	0.025	0.037	0.049	0.054	0.029	0.050	0.041
General performance index	0.642	0.763	1.000	0.178	0.398	0.411	0.618	0.057	0.438	0.565

<Table 6> Evaluation of Ten Suppliers for the Capacity Risk Type in the Example

Supplier	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}
Probability	0.2 0.1	0.12 0.08	0.23 0.16	0.11 0.17	0.21 0.22	0.05 0.11	0.14 0.04	0.16 0.08	0.23 0.13	0.09 0.14
Influence level	2 3	3 4	2 3	1 2	5 4	4 5	5 2	1 1	4 3	3 4
Responsiveness level	3 1	4 4	1 3	2 4	4 2	5 3	1 4	5 1	3 5	2 2

<Table 7> Outcomes of Ten Suppliers' Risk Indices in the Example

Supplier	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}
Capacity	0.015	0.016	0.018	0.014	0.034	0.014	0.012	0.012	0.027	0.014
Transportation	0.021	0.017	0.007	0.004	0.031	0.036	0.006	0.011	0.017	0.038
Exchange rate	0.008	0.006	0.007	0.004	0.006	0.015	0.008	0.007	0.012	0.015
Finance	0.010	0.008	0.027	0.009	0.013	0.008	0.015	0.016	0.010	0.013
Quality	0.052	0.044	0.028	0.018	0.036	0.030	0.009	0.021	0.031	0.022
Policy	0.017	0.020	0.023	0.017	0.026	0.013	0.012	0.007	0.010	0.022
Market	0.009	0.017	0.024	0.013	0.016	0.024	0.021	0.026	0.012	0.019
Risk index	0.440	0.484	0.548	0.804	0.349	0.469	0.800	0.678	0.566	0.485

시스템을 이용해 주어진 상황에 적합한 공급자 선정 해법들을 제시한다. 둘째 단계에서는 공급자 선정 해법들을 적용해서 구한 공급자의 일반능력 점수를 토대로 TOPSIS를 이용해 공급자의 일반능력 지수를 구한다. 셋째 단계에서는 리스크 평가 알고리즘에 의해 구한 공급자의 과거 및 미래 리스크 점수를 토대로 TOPSIS를 이용해 공급자의 리스크 지수를 구한다. 넷째 단계에서는 공급자의 일반능력 및 리스크 지수를 토대로 효용성 경계 이론을 이용해 파레토 최적 공급자를 선정한다. 제안된 모형을 위해 공급자의 일반능력 및 리스크 평가척도를 설계하고, 공급자 선정 해법의 전문가 시스템을 위한 지식베이스와 추론엔진을 구축하고, 공급 리스크 평가 알고리즘, TOPSIS, 퍼지연산 알고리즘을 개발하였다. 그리고 예제를 통해 제안된 모형의 단계별 과정을 확인하였다. 본 연구에서 제안된 모형은 글로벌 공급사슬에서 일반능력과 공급 리스크를 함께 고려한 공급자 선정을 가능하게 함으로써 기업의 공급사슬 리스크 관리에 도움을 줄 것이다.

향후, 제안된 의사결정 모형의 개선을 위해 공급자 선정 해법의 전문가 시스템에 대한 지식베이스 보충이 필요하다. 즉, 최신의 우수한 해법들을 추가하고, 해법을 보다 명확히 구분할 수 있는 특성을 보충하고, 해법과 특성옵션의 일치성 결정을 위한 보다 정확한 분석방법을 개발하는 것이다. 추가연구를 통해 완성된 의사결정 모형이 글로벌 공급사슬의 공급자 선정 및 리스크 관리에 효과적으로 사용될 수 있기를 기대한다.

Acknowledgement

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning(NRF-2013R1A1A2005302).

References

- [1] Amin, S.H., Razmi, J., and Zhang, G., Supplier selection and order allocation based on fuzzy SWOT analysis and fuzzy linear programming, *Expert Systems with Applications*, 2011, Vol. 38, No. 1, pp. 334-342.
- [2] Cavusgil, S.T. and Deligonul, S., Exogenous risk analysis in global supplier networks : Conceptualization and field research findings, *Information Knowledge Systems Management*, 2012, Vol. 11, No. 1-2, pp. 131-149.
- [3] Chai, J., Liu, J.N., and Ngai, E.W., Application of decision-making techniques in supplier selection : A systematic review of literature, *Expert Systems with Applications*, 2013, Vol. 40, No. 10, pp. 3872-3885.
- [4] Chai, J., Liu, J.N., and Xu, Z., A new rule-based SIR approach to supplier selection under intuitionistic fuzzy environments, *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 2012, Vol. 20, No. 3, pp. 451-471.
- [5] Chen, Y.J., Structured methodology for supplier selection and evaluation in a supply chain, *Information Sciences*, 2011, Vol. 181, No. 9, pp. 1651-1670.
- [6] Chopra, S. and Meindl, P., *Supply chain management : strategy, planning, and operation*, fourth ed., Pearson, 2009.
- [7] Christopher, M., Mena, C., Khan, O., and Yurt, O., Approaches to managing global sourcing risk, *Supply Chain Management : An International Journal*, 2011, Vol. 16, No. 2, pp. 67-81.
- [8] Deng, X., Hu, Y., Deng, Y., and Mahadevan, S., Supplier selection using AHP methodology extended by D numbers, *Expert Systems with Applications*, 2014, Vol. 41, No. 1, pp. 156-167.
- [9] Deng, Y. and Chan, F.T., A new fuzzy dempster MCDM method and its application in supplier selection, *Expert Systems with Applications*, 2011, Vol. 38, No. 8, pp. 9854-9861.
- [10] Dursun, M. and Karsak, E.E., A QFD-based fuzzy MCDM approach for supplier selection, *Applied Mathematical Modelling*, 2013, Vol. 37, No. 8, pp. 5864-5875.
- [11] Ferreira, L. and Borenstein, D., A fuzzy-Bayesian model for supplier selection, *Expert Systems with Applications*, 2012, Vol. 39, No. 9, pp. 7834-7844.
- [12] Golmohammadi, D. and Mellat-Parast, M., Developing a grey-based decision-making model for supplier selection, *International Journal of Production Economics*, 2012, Vol. 137, No. 2, pp. 191-200.
- [13] Ha, C.H., Efficient supplier selection with uncertainty using monte carlo DEA, *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2015, Vol. 38, No. 1, pp. 83-89.
- [14] Hammami, R., Temponi, C., and Frein, Y., A scenario-based stochastic model for supplier selection in global context with multiple buyers, currency fluctuation uncertainties, and price discounts, *European Journal of Operational Research*, 2014, Vol. 233, No. 1, pp. 159-170.
- [15] Ho, W., Xu, X. and Dey, P.K., Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selec-

- tion : A literature review, *European Journal of Operational research*, 2010, Vol. 202, No. 1, pp. 16-24.
- [16] Hosseini, S. and Barker, K., A bayesian network model for resilience-based supplier selection, *International Journal of Production Economics*, 2016, Vol. 180, pp. 68-87.
- [17] Jadidi, O., Zolfaghari, S., and Cavalieri, S., A new normalized goal programming model for multi-objective problems : A case of supplier selection and order allocation, *International Journal of Production Economics*, 2014, Vol. 148, pp. 158-165.
- [18] Kumar, A., Jain, V., and Kumar, S., A comprehensive environment friendly approach for supplier selection, *Omega*, 2014, Vol. 42, No. 1, pp. 109-123.
- [19] Kuo, R.J. and Lin, Y.J., Supplier selection using analytic network process and data envelopment analysis, *International Journal of Production Research*, 2012, Vol. 50, No. 11, pp. 2852-2863.
- [20] Lee, A.H.I., Kang, H.Y., Lai, C.M., and Hong, W.Y., An integrated model for lot sizing with supplier selection and quantity discounts, *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 37, No. 7, pp. 4733-4746.
- [21] Lin, R.H., An integrated model for supplier selection under a fuzzy situation, *International Journal of Production Economics*, 2012, Vol. 138, No. 1, pp. 55-61.
- [22] Ohmori, S. and Yoshimoto, K., A framework of managing supply chain disruption risks using network reliability, *Industrial Engineering and Management Systems*, 2013, Vol. 12, No. 2, pp. 103-111.
- [23] Omurca, S.I., An intelligent supplier evaluation, selection and development system, *Applied Soft Computing*, 2013, Vol. 13, No. 1, pp. 690-697.
- [24] Prasanna Venkatesan, S. and Goh, M., Multi-objective supplier selection and order allocation under disruption risk, *Transportation Research Part E : Logistics and Transportation Review*, 2016, Vol. 95, pp. 124-142.
- [25] Ravindran, A.R., Ufuk Bilsel, R., Wadhwa, V., and Yang, T., Risk adjusted multicriteria supplier selection models with applications. *International Journal of Production Research*, 2010, Vol. 48, No. 2, pp. 405-424.
- [26] Roostae, R., Izadikhah, M., Lotfi, F.H., and Rostamy-Malkhalifeh, M., A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making method for supplier selection with VIKOR method, *International Journal of Fuzzy System Applications*, 2012, Vol. 2, No. 1, pp. 1-17.
- [27] Ruiz-Torres, A.J., Mahmoodi, F., and Zeng, A.Z., Supplier selection model with contingency planning for supplier failures, *Computers & Industrial Engineering*, 2013, Vol. 66, No. 2, pp. 374-382.
- [28] Sawik, T., Joint supplier selection and scheduling of customer order under disruption risks : Single vs. dual sourcing, 2014, *Omega*, Vol. 43, pp. 83-95.
- [29] Shaw, K., Shankar, R., Yadav, S.S., and Thakur, L.S., Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming for developing low carbon supply chain, *Expert Systems with Applications*, 2012, Vol. 39, No. 9, pp. 8182-8192.
- [30] Tang, O. and Musa, S.N., Identifying risk issues and research advancements in supply chain risk management, *International Journal of Production Economics*, 2011, Vol. 133, No. 1, pp. 25-34.
- [31] Vahdani, B., Iranmanesh, S.H., Mousavi, S.M., and Abdollahzade, M., A locally linear neuro-fuzzy model for supplier selection in cosmetics industry, *Applied Mathematical Modelling*, 2012, Vol. 36, No. 10, pp. 4714-4727.
- [32] Ware, N.R., Singh, S.P., and Banwet, D.K., A mixed-integer non-linear program to model dynamic supplier selection problem, *Expert Systems with Applications*, 2014, Vol. 41, No. 2, pp. 671-678.
- [33] Wetzstein, A., Hartmann, E., Benton Jr., W.C. and Hohenstein, N.O., A systematic assessment of supplier selection literature-state-of-the-art and future scope, *International Journal of Production Economics*, 2016, Vol. 182, pp. 304-323.
- [34] Yucel, A. and Guneri, A.F., A weighted additive fuzzy programming approach for multi-criteria supplier selection, *Expert Systems with Applications*, 2011, Vol. 38, No. 5, pp. 6281-6286.

ORCID

Jun-Su Yoo | <http://orcid.org/0000-0003-0819-1991>

Yang-Byung Park | <http://orcid.org/0000-0003-4745-132X>