

항만물류종합정보시스템의 재난복구 우선순위결정 : 퍼지 TOPSIS 접근방법*

김기윤** · 김도형***

Disaster Recovery Priority Decision of Total Information System
for Port Logistics : Fuzzy TOPSIS Approach*

Ki-Yoon Kim** · Do-Hyeong Kim***

■ Abstract ■

This paper is aimed to present a fuzzy decision-making approach to deal with disaster recovery priority decision problem in information system. We derive an evaluation approach based on TOPSIS(Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution), to help disaster recovery priority decision of total information system for port logistics in a fuzzy environment where the vagueness and subjectivity are handled with linguistic terms parameterized by trapezoidal fuzzy numbers. This study applies the fuzzy multi-criteria decision-making method to determine the importance weight of evaluation criteria and to synthesize the ratings of candidate disaster recovery system. Aggregated the evaluators' attitude toward preference, then TOPSIS is employed to obtain a crisp overall performance value for each alternative to make a final decision. This approach is demonstrated with a real case study involving 4 evaluation criteria(system dependence, RTO, loss, alternative business support), 7 information systems for port logistics assessed by 5 evaluators from Maritime Affairs and Port Office.

Keyword : MCDM(Multi-Criteria Decision-Making), TOPSIS, Fuzzy Sets Theory

논문투고일 : 2012년 03월 07일 논문수정완료일 : 2012년 07월 14일 논문게재확정일 : 2012년 07월 17일

* 본 연구는 2011년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의해 이루어졌음.

** 광운대학교 경영학과 교수, 주저자

*** 광운대학교 경영학과 교수, 교신저자

1. 서 론

정보기술 발전으로 항만물류업무의 정보화가 진행될수록 정보시스템에 대한 업무 의존도는 심화되고 있다. 만약 항만물류종합정보시스템이 중단된다면, 이와 관련된 항만물류업무를 중단시켜서 많은 손실을 발생시키기 때문에, 무엇보다도 업무 연속성계획(BCP : Business Continuity Planning)을 수립해서, 이에 대한 위협에 대비해야 한다. 항만물류종합정보시스템의 업무연속성계획(BCP)은 정보기술부문 뿐만 아니라, 인력·설비·자금 등 제반 자원을 대상으로 하는 조직생존을 위한 보다 광범위한 비상계획이다. 이러한 업무연속성계획은 긴급비상사태 발생 시에도 조직의 핵심 업무가 지속되도록 하고, 목표시간 내에 순차적으로 정상화시키기 위해 평상 시 준비하는 비상 계획이다. 기업 혹은 조직은 업무연속성을 확보하기 위해서 장애나 재해로 인해서 중단된 업무에 대한 복구전략을 수립해야하고, 이러한 복구전략 수립을 위해서는 업무영향분석(BIA : Business Impact Analysis)이 먼저 이루어져야 한다. 업무영향분석(BIA)이란 조직의 모든 업무를 대상으로 복구 우선순위를 찾아서 복구전략을 선택할 수 있도록 도와주는 업무연속성계획 분야의 의사결정 도구이다.

업무영향분석의 주요 목적은 시간에 민감한 업무를 파악하고, 각 업무에서 반드시 필요한 자원들이 무엇인지를 도출하여, 비상사태 발생 시 그 결과의 영향을 식별하고 복구에 대한 의사결정을 하기위한 기법이다. 이러한 업무영향분석에서는 주요 업무 프로세스의 식별, 업무 프로세스 별 중요도, 중단 업무에 대한 복구목표시간(RTO : Recovery Time of Objective), 복구순위, 손실평가 등을 분석하게 된다. 이들 중에서 무엇보다도 중단된 업무에 대한 복구순위 의사결정문제가 매우 중요하다. 왜냐하면, 업무중단 발생 시점 이후에 위협의 크기는 해결 시간에 비례해서 지수적으로 증가하는 경향이 있기 때문이다. 그러나 지금까지는 단순히 복구목표시간(RTO)이라는 한 가지 속성만을

이용하여 복구순위를 결정해왔고, 또한 이와 관련된 여러 가지 속성들을 평가하는 구체적인 계량적 방법에 대한 연구가 이루어지지 않았다. 여러 가지 속성을 고려해서 유한개의 대안에서 최적해를 구하는 다속성 의사결정(MADM : Multiple Attribute Decision Making) 혹은 다기준 의사결정(MCDM : Multiple Criteria Decision Making) 기법들 중에서 최근 활발하게 연구되는 것이 의사결정자의 주관적으로 모호한 판단에 대한 퍼지자료(fuzzy data)에 대한 TOPSIS(Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution) 접근방법 이다[16, 28].

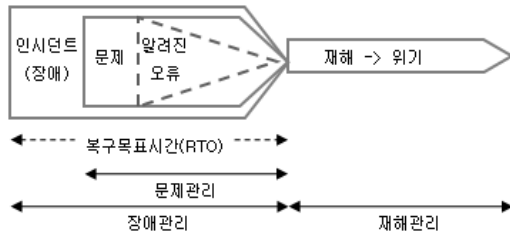
업무연속성계획(BCP)에서 업무영향분석(BIA)의 다기준 의사결정문제는 정보시스템에 대한 재난으로 인한 업무 프로세스 중단 시, 업무복구에 대한 우선순위는 복구목표시간(RTO)을 포함한 다속성(혹은 다기준) 하에서 최적 대안을 선택하는 문제이다. 따라서 본 논문의 연구목적은 구체적으로 항만물류종합정보시스템의 업무복구 우선순위를 결정하는 다기준 의사결정문제에서 의사결정자들의 주관적 모호성을 정성적으로 분석하는 퍼지 TOPSIS 방법을 적용하는 실무적 적용절차를 제시하는 것이다.

2. 정보시스템의 재난복구 우선 순위 결정을 위한 다기준 의사 결정 모형

2.1 정보시스템의 재난복구

정보기술 서비스 관리의 통제가능성 관점에서 협의의 장애(incident)는 통제 불가능한 재해(자연재해와 인적재해)를 제외한 발생원인 관점에서 직접적으로 영향을 미치는 인적장애, 시스템 장애, 기반구조 장애(운영장애, 설비장애 등 포함) 등과 같은 통제 가능한 요인들에 의한 정보시스템의 기능저하, 오류, 고장 등을 의미한다. 이에 반해서 재해(disaster)는 정보기술 외부로부터 기인하여 예방

및 통제가 불가능한 사건으로 인해 정보기술 서비스가 중단되거나, 정보시스템의 장애로부터의 예상 복구소요시간이 허용 가능한 범위를 초과하여, 정상적인 업무 수행에 지장을 초래하는 피해를 의미한다[2].



[그림 1] 장애, 문제, 재해 프로세스의 개념

[그림 1]은 프로세스 관점에서 장애, 문제, 재해 프로세스를 요약한 것이다. 구체적으로 장애접수 → 장애등급 지정 → 1차 해결 → 장애배정 → 2차 해결로 진행되며, 만약 장애가 해결되지 않으면, 문제관리 프로세스에 따라서 문제등록 → 근본원인 도출 → 해결방안 선택 → 해결방안 모니터 → 해결방안 실행 및 점검으로 실행되고, 주어진 복구목표시간(RTO) 내에 오류가 해결되지 못하면, 비상상황으로 재해 및 위기 프로세스로 진행하게 된다[1]. 프로세스 관점에서 장애 혹은 인시던트(incident)는 ‘정보기술 운영 서비스에 영향을 주는 예상치 못한 사건’이라고 정의하고 있으며, 정보시스템 운영상에서 발생하는 사건이므로 정보기술서비스에 영향을 주게 된다[1, 2]. 이와 비슷한 개념으로서 문제는 ‘단순한 사고가 원인이 되어 발생하지만 근본원인을 파악할 수 없는 사건’이라고 정의한다[1]. 또한, 알려진 오류는 ‘문제에 대한 근본원인이 밝혀져서 향후 재발생시 참조 가능한 상태의 사건’이라고 정의한다[1]. 여기서 ‘알려진 오류’란 문제에 대한 근본원인이 밝혀져서 향후 재발생 시 참조 가능한 상태에 있는 오류이다. 그러므로 근본원인이 계속 밝혀지지 않은 문제에 대한 잠재적 손실은 시간이 지날수록 지수적으로 증가되어, 장차 재해가 되고

위기로 발전할 가능성이 매우 커지게 된다.

복구시간 관점에서 장애 개념은 정보시스템 구성요소의 부분적인 기능저하, 오류, 고장으로 인한 서비스 중단 시의 복구목표시간(RTO)으로 정의한다. 장애등급이 높고 허용 시간 내 복구가 불가능해서 심각한 결과를 초래할 것으로 예상되는 경우에는 문제관리에 의해서 알려진 오류의 원인을 파악하여 문제를 해결해야 하고, 해결하지 못하는 경우에는 재해관리 및 위기관리 절차에 따라 대응하여 단순한 문제가 재해로 전환 될 가능성을 최소화시켜야 한다. 일반적인 재해 발생의 원인은 지진, 태풍, 화재, 홍수, 정전, 통신장애, 장비고장 등이 있다. 재해가 발생되면 재해선포를 하게 되고, 재해복구계획에 따라서 재해복구가 완료되면 재해종료가 됨과 동시에 정상업무가 가능한 업무재개가 가능케 된다. 주요 업무 프로세스 별 업무중단 허용시간을 평가한 것이 각 프로세스의 복구목표시간(RTO)이 된다. 현재 현업에서는 장애 및 재해관리에서 서비스가 중단되었을 때, 복구목표시간(RTO)이라는 단일 속성만을 고려하여 업무복구순위를 결정하고 있다.

2.2 우선순위 결정을 위한 다기준 의사결정 모형

Ha & Krishnan[12]은 공급업자 선택에 대한 접근방법을 다음과 같이 네 가지로 분류했다. 첫째, 수학적 방법으로 AHP(Analytical Hierarchy Process), DEA(Data Envelopment Analysis), 선형계획법, 다목표 프로그래밍, 시뮬레이션 등 이다. 둘째, 통계적 방법으로 군집분석, 다중회귀분석, 판별분석, 주성분분석 등이다. 셋째, 인공지능 방법으로 전문가시스템, 퍼지 집합이론(FST : Fuzzy Set Theory), CBR(Case Based Reasoning) 등이다. 넷째, 혼합 모형으로 예로써, AHP와 목표계획법 혹은 AHP와 퍼지 집합이론 등 여러 모형들의 혼합 모형이 있다. Shyur and Shih[26]도 공급업자 선택에 대한 접근방법을 네 가지로 분류했는데,

수학적 방법을 다속성 의사결정(MADM : Multi-Attribute Decision Making) 모형과 다목표 의사결정(MODM : Multi-Objective Decision Making) 모형으로 구분했고, 또한 통계적 방법과 인공지능 방법으로도 구분했다.

다기준 의사결정(MCDM)은 기본적으로 상충되는 다수의 기준(혹은 속성)에 대해서 최적의 대안을 선택하는 것이다. Belton and Stewart[4]는 기준 다기준 의사결정 방법들을 다음과 같이 세 가지 영역으로 구분했다. 첫째, MAUT(Multi-Attribute Utility Theory)와 AHP와 같은 가치측정모형이다. 효용이론의 기본가정은 완전한 합리성에 기초해서 기대 효용가치가 최대인 대안을 의사결정자가 선택한다는 것이다[21]. 그러나 의사결정자는 제약된 합리성을 가지고 있고, 의사결정자의 효용함수를 수학적 함수로 표현하는데 한계점이 있다. AHP는 복잡한 문제를 계층구조로 분해해서 정량적 및 정성적 평가기준 모두 고려 할 수 있다는 장점은 있으나, 대안이 추가되거나 삭제될 경우 기존 대안의 순위역전(rank reversal)이 발생할 수 있다는 단점이 있다. 또한, 비교 대상의 수가 증가함에 따라 의사결정자가 판단해야 할 평가 횟수는 급증하게 되고, 일관성 비율에 대한 타당성이 명확히 검증되지 못하였다. 둘째는 ELECTRE(Elimination and(Et) Choice Translating Reality)와 PROMETHEE(Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation)와 같은 방법들이다. ELECTRE는 A가 B보다 우위에 있다고 밝혀지지 않는으나, 의사결정자가 우위에 있다고 했을 때 발생하는 위험을 받아들일 수 있다는 순위선호(outranking) 개념 하에서 만들어졌다. PROMETHEE 역시 순위선호 개념에 기초해서 의사결정자의 주관적 정보(선호 함수와 선호 임계치)를 반영해서 비교가 곤란한 대안들을 비교 가능한 대안으로 분류해주는 장점은 있으나, 평가기준별 가중치를 사전에 결정해야 한다는 단점이 있다. 셋째는 TOPSIS와 같은 목표지향 참조 수준방법(goal aspiration and reference level method)이다. TOP

SIS 방법은 최선의 대안과 최악의 대안을 동시에 고려하는 인간의 합리적 선택을 나타내는 논리성을 가지고 있다. 또한 다속성 관점에서 모든 대안들에 대한 성과 측정을 쉽게 계산해서 나타낼 수 있다. TOPSIS는 Hwang and Yoon[14]에 의하여 처음 소개되었으며, 양의 이상적인 해(PIS : Positive Ideal Solution)로부터 가장 가까운 거리에 있고, 부의 이상적인 해(NIS : Negative Ideal Solution)로부터는 가장 먼 거리에 있는 대안을 선택하게 하는 개념을 근거로 하고 있다. 여기서 PIS는 고려하고 있는 기준이 가질 수 있는 값 중 가장 바람직한 값이며, 반대로 NIS는 가장 바람직하지 않은 값이다.

의사결정자의 판단을 표현하는 자연언어는 항상 주관적이고, 불확실하고, 모호하기 때문에, 이를 해결하기 위해서 한동안 주로 확률을 이용했었다. Zadeh[29]의 퍼지 집합 이론이 개발된 후부터는 퍼지 다기준 의사결정(FMCDM : Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making) 방법이 제시되어서 다양한 적용사례 논문들이 발표되었다. 다기준 의사결정(MCDM) 문제에 대해서 의사결정자의 주관적인 모호한 판단에 대한 퍼지자료에 대해서 퍼지 TOPSIS 방법을 적용시키는 방법을 연구했다[7, 11, 17, 20, 22, 23, 24, 28]. 또한, 의사결정자의 선호를 특정 숫자로 점 추정하기 어려운 경우가 대부분이기 때문에, 퍼지 자료는 물론 구간자료(interval data)에 대해서도 퍼지 TOPSIS 방법이 확장 연구되고 있다[9, 15, 16]. 실무적인 연구주제인 업무연속성계획(BCP) 및 재난복구 분야에 대한 퍼지 TOPSIS 적용연구는 없었으나, 최근에 퍼지 개념을 이용한 정보기술 서비스 연속성 의사결정지원시스템[27]이 연구되었다. 또한, ISP(Internet Service Provider)[3], 정보시스템 아웃소싱[18], 전자구매[25], 정보시스템 프로젝트[8], BI(Business Intelligence)[23] 등 정보시스템 관련 분야에서 퍼지 TOPSIS 방법이 연구되고 있다.

본 연구는 정보시스템 재난복구 절차에 대한 구체적인 단계를 퍼지 TOPSIS 방법으로 제시함으

로써, 단순한 사례연구에서 벗어나 정부의 정보시스템 재해복구 지침[2]을 효과적으로 단계 별로 적용할 수 있는 실무적 절차를 제시하고 있다는 데 의의가 있다. 본 연구에서는 정보시스템에 의존된 업무의 정상적인 운영을 방해하는 장애 및 재해의 위험을 평가하기 위해서 복구목표시간(RTO)이라는 단일 속성 이외에, 업무정보시스템의 의존도, 업무중단 시 대체업무 가능성도 및 피해금액 등 다속성 자료에 대해서 퍼지 TOPSIS 방법으로 분석하여 업무복구순위를 결정하고자 한다. 이를 위해서 본 논문에서는 평가기준의 중요성을 평가하고, 또한 정성적인 관점에서 대안들을 평가하기 위해서 언어적 변수(linguistic variable)를 이용했고, 의사결정자들의 주관적 판단의 모호성을 포착하기 위해서 선형 사다리꼴 소속 함수(linear trapezoidal membership functions)를 적용했다[11].

3. 퍼지 TOPSIS 방법

의사결정자가 선택해야 하는 m 개의 대안과 n 개의 평가기준, 그리고 k 명의 의사결정자에 대해서, 전형적인 퍼지 다기준 의사결정(MCDM)은 다음과 같은 행렬로 나타낼 수 있다.

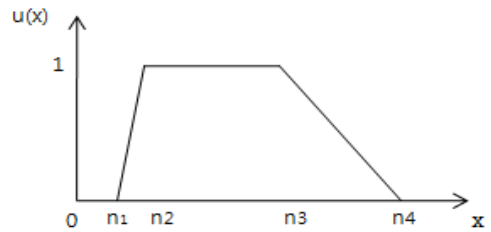
$$\tilde{D} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ A_1 & \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ A_2 & \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_m & \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{matrix}$$

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n]$$

여기서 $i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n, A_1, A_2, \dots, A_m$ 는 선택해야 할 대안들이고, C_1, C_2, \dots, C_n 는 평가기준이고, \tilde{x}_{ij} 는 k 명의 의사결정자 $D_k (k = 1, 2, \dots, K)$ 가 기준 C_j 관점에서 대안 A_i 를 평가한 성과측정치(performance ratings)이다. \tilde{w}_j 는 의사결정자의 각 평가기준에 대한 가중치이다.

본 논문에서는 성과측정치와 가중치는 소속함수 $\mu_{\tilde{R}_k}(x)$ 에서 양의 사다리꼴 퍼지 수(positive trapezoidal fuzzy number) $\tilde{R}_k (k = 1, 2, \dots, K)$ 로 나타낼 수 있다고 가정한다. 퍼지 집합이론의 사다리꼴 퍼지 수 \tilde{n} 는 [그림 2]와 같이, (n_1, n_2, n_3, n_4) 로 정의할 수 있다. 여기서 퍼지 수 \tilde{n} 의 소속함수 $\mu_{\tilde{n}}(x)$ 는 다음과 같이 정의한다[19].

$$\mu_{\tilde{n}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq n_1, \\ (x - n_1)/(n_2 - n_1), & n_1 \leq x \leq n_2, \\ 1, & n_2 \leq x \leq n_3, \\ (x - n_4)/(n_3 - n_4), & n_3 \leq x \leq n_4, \\ 0, & x > n_4 \end{cases}$$



[그림 2] 사다리꼴 퍼지 수 \tilde{n}

어떤 사다리꼴 퍼지 수 $\tilde{n} = (n_1, n_2, n_3, n_4)$ 에 대해서, $n_2 = n_3$ 이라면 \tilde{n} 은 삼각형 퍼지 수가 된다. 퍼지가 아닌 수(non-fuzzy number) r 은 (r, r, r, r) 와 같이 표현될 수 있다. 어떤 두 개의 사다리꼴 퍼지 수의 덧셈 \oplus 과 뺄셈 \ominus 의 결과도 역시 사다리꼴 퍼지 수이지만, 곱셈 \otimes 의 결과는 근사한 사다리꼴 퍼지 수(an approximate trapezoidal fuzzy numbers)가 된다. 두 개의 사다리꼴 퍼지 수인 $\tilde{m} = (m_1, m_2, m_3, m_4)$ 과 $\tilde{n} = (n_1, n_2, n_3, n_4)$, 그리고 양의 실수 r 이 주었다면, 두 개 퍼지 수의 산술계산은 다음과 같다[5].

$$\tilde{m} \oplus \tilde{n} = [m_1 + n_1, m_2 + n_2, m_3 + n_3, m_4 + n_4],$$

$$\tilde{m} \ominus \tilde{n} = [m_1 - n_4, m_2 - n_3, m_3 - n_2, m_4 - n_1],$$

$$\tilde{m} \otimes r = [m_1 r, m_2 r, m_3 r, m_4 r],$$

$$\tilde{m} \otimes \tilde{n} = [m_1 n_1, m_2 n_2, m_3 n_3, m_4 n_4].$$

또한, 두 개의 사다리꼴 퍼지 수 $\tilde{m} = (m_1, m_2, m_3, m_4)$ 과 $\tilde{n} = (n_1, n_2, n_3, n_4)$ 간의 거리는 vertex 방법에 따라서, 다음과 같이 계산한다.

$$d_v(\tilde{m}, \tilde{n}) = \left[\frac{1}{4} \{ (m_1 - n_1)^2 + (m_2 - n_2)^2 + (m_3 - n_3)^2 + (m_4 - n_4)^2 \} \right]^{\frac{1}{2}}$$

이와 같은 vertex 방법의 중요한 성질들은 Chen [6]이 증명한 바 있으며, 이러한 vertex 방법은 두 개의 사다리꼴 퍼지 수 사이의 거리를 계산하는데 다른 많은 거리측정방법 보다도 더 효과적이고 간편한 방법이다[6]. Hwang and Yoon[14]이 제안했던 TOPSIS 방법에 대해서, Chen[6]은 삼각형 퍼지 수를 가정해서 두 퍼지 수간의 유클리드 거리(Euclidean distance)를 정의해서 기존 TOPSIS 방법을 퍼지 TOPSIS 방법으로 확장시켰다. 본 연구에서는 위와 같은 퍼지 계산방법을 근거로 해서 의사결정자들의 퍼지 성과측정치에 대해서 사다리꼴 퍼지수로 가정한 퍼지 TOPSIS 방법을 단계 별로 다음과 같이 적용했다.

첫째, 모든 의사결정 집단의 퍼지 성과측정치인 사다리꼴 퍼지 수 $\tilde{R}_k = (a_k, b_k, c_k, d_k)$, $k = 1, 2, \dots, K$ 라고 하자. 그러면 총합된 퍼지 성과측정치는 다음과 같이 정의할 수 있다[3].

$$\begin{aligned} \tilde{R}_k &= (a, b, c, d), \quad k = 1, 2, \dots, K \\ a &= \min\{a_k\}, \quad b = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K b_k, \\ c &= \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K c_k, \quad d = \max\{d_k\}. \end{aligned}$$

그리고 k 번째 의사결정자의 퍼지 성과측정치와 중요도 가중치를 각각 $\tilde{x}_{ijk} = (a_{ijk}, b_{ijk}, c_{ijk}, d_{ijk})$, $\tilde{w}_{ijk} = (w_{jk1}, w_{jk2}, w_{jk3}, w_{jk4})$ 라고 하자. 그러면 각 평가기준 관점에서 대안들에 대한 총합된 퍼지 성

과측정치들(\tilde{x}_{ij})은 다음과 같이 계산할 수 있다[7].

$$\begin{aligned} \tilde{x}_{ij} &= (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij}), \\ a_{ij} &= \min\{a_{ijk}\}, \quad b_{ij} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K b_{ijk}, \\ c_{ij} &= \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K c_{ijk}, \quad d_{ij} = \max\{d_{ijk}\}. \end{aligned}$$

이와 같이 K 명의 의사결정자들이 동일한 기준 C_j 에 대해서 개인 별로 평가된 퍼지 성과측정치 x_{ij} 를 총합하기 위해서 산술평균을 사용한다. 또한, 각 평가기준에 대한 총합된 퍼지 가중치들(\tilde{w}_j)은 다음과 같이 계산할 수 있다[7].

$$\begin{aligned} \tilde{w}_j &= (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3}, w_{j4}), \\ w_{j1} &= \min\{w_{jk1}\}, \quad w_{j2} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K w_{jk2}, \\ w_{j3} &= \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K w_{jk3}, \quad w_{j4} = \max\{w_{jk4}\}. \end{aligned}$$

이와 같이 의결정자들의 평가기준에 대한 서로 다른 주관적 판단을 총합하기 위해서 산술평균을 사용한다. 결론적으로 퍼지 다기준 의사결정문제에서 성과측정치 $\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij})$ 와 평가기준에 대한 가중치 $\tilde{w}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3}, w_{j4})$ 는 양의 사다리꼴 퍼지 수로 측정 가능하다.

둘째, 다기준 의사결정문제에서 측정값의 서로 다른 척도를 정규화해야 한다. 선형척도변환에 의해서 다양한 평가기준 척도를 비교가능한 척도로 변환시켜야 한다. 평가기준은 이득기준(측정치가 클수록 더 선호되는 기준)과 비용기준(측정치가 적을수록 더 선호되는 기준)으로 구분된다. 정규화 퍼지 의사결정행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다[7].

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

여기서 B 와 C 는 각각 이득기준과 비용기준의

집합이다.

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{d_j^+}, \frac{b_{ij}}{d_j^+}, \frac{c_{ij}}{d_j^+}, \frac{d_{ij}}{d_j^+} \right), \quad j \in B,$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{d_{ij}^-}, \frac{a_j^-}{c_{ij}^-}, \frac{a_j^-}{b_{ij}^-}, \frac{a_j^-}{a_{ij}^-} \right), \quad j \in C,$$

$$d_j^+ = \max d_{ij}, \quad j \in B,$$

$$a_j^- = \min a_{ij}, \quad j \in C,$$

이와 같은 정규화방법에서는 요소 \tilde{r}_{ij} , $\forall i, j$ 가 표준화된 사다리꼴 퍼지 수가 되는 성질이 유지되도록 설계된 것이다.

셋째, 각 기준에 서로 다른 가중치가 부여된 정규화 퍼지 의사결정 행렬 \tilde{V} 는 다음과 같이 정의한다[7].

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

여기서 $\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \otimes \tilde{w}_j$ 이다. \tilde{w}_j 는 기준 C_j 에 대한 중요도를 나타내는 가중치이다.

넷째, 가중치가 부여된 정규화 퍼지 의사결정 행렬 \tilde{V} 에 따라서, 정규화 된 양의 사다리꼴 퍼지 수로서 요소 \tilde{v}_{ij} , $\forall i, j$ 를 계산할 수 있다. 퍼지 양의 이상적인 해(FPIS : Fuzzy Positive Ideal Solution, A^+)와 퍼지 부의 이상적인 해(FNIS : Fuzzy Negative Ideal Solution, A^-)는 다음과 같이 정의된다[3].

$$A^+ = \{ \tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+ \},$$

$$A^- = \{ \tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^- \}$$

여기서 $\tilde{v}_j^+ = \max\{v_{ij}\}$, $\tilde{v}_j^- = \min\{v_{ij}\}$, $i = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, n$ 이다. 이론적으로는 \tilde{v}_j^+ 의 최대값은 1이고, \tilde{v}_j^- 의 최소값은 0이므로, 일부 학자들은 이론적인 값인 $\tilde{v}_j^+ = (1, 1, 1)$, $\tilde{v}_j^- = (0, 0,$

$0)$, $j = 1, 2, \dots, n$ 로 계산하는 경우도 있으나, 본 연구에서는 실제로 측정된 값들 중에서 최대값과 최소값을 선택하는 것이 적용 사례의 현실 상황을 실증적으로 반영하므로, 측정된 값들 중 최대값과 최소값을 선택해서 FPIS A^+ 와 FNIS A^- 를 도출했다. 퍼지 방법론은 의사결정자의 선호를 정확한 수치로 추정하는 것이 아니라, 언어적 변수로 추정하는 모호성을 포함하기 때문에, 가능하면 이론적 값보다는 실증적으로 측정된 값을 이용하는 것이 실증사례의 최적 대안들의 우선순위 결정에 보다 직접적으로 영향을 줄 수 있다고 판단하였다.

다섯째, n차원 유클리디안 거리를 이용해서 각 대안에 대한 FPIS A^+ 과 FNIS A^- 으로 부터의 간격은 다음과 같이 계산할 수 있다[3].

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+), \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

$$j = 1, 2, \dots, n.$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

$$j = 1, 2, \dots, n.$$

여기서 $d_v(\cdot, \cdot)$ 는 두 퍼지 수들 간의 거리 측정치를 나타낸다. d_i^+ 는 FPIS A^+ 로부터 각 대안 A_i 로부터의 거리를 나타내고, d_i^- 는 FNIS A^- 로부터 각 대안 A_i 로부터의 거리를 나타낸다.

여섯째, 근접도 계수(CC : closeness coefficient)로 모든 대안들의 우선순위를 결정하므로, 각 대안의 상대적 근접도는 다음과 같이 정의한다[3].

$$CC_i = d_i^- / (d_i^+ + d_i^-), \quad i = 1, 2, \dots, m.$$

만약 $A_i = A^+$ 이면, $CC_i = 1$ 이고, $A_i = A^-$ 이면, $CC_i = 0$ 이다. 즉 CC_i 값이 1에 가까울수록 대안이 FPIS A^+ 에 더 가까워지고, FNIS A^- 에서 더 멀어진다. CC_i 값이 클수록 대안 A_i 의 좋은 성과를 나타낸다. 그러므로 근접도 계수에 따라서, 대안

들의 우선순위를 결정할 수 있고, 실행 가능한 대안들의 집합 중에서 최적 대안을 선택할 수 있다.

4. 사례연구

4.1 의사결정 사례의 개요

국토해양부에서는 항만물류통합정보체계를 구축하면서 <표 1>과 같은 7개의 항만물류종합정보시스템을 구축하였다.

이와 같은 7개의 항만물류 종합정보시스템에서 발생할 수 있는 비상사태에 대비한 재난복구우선순위 평가기준은 다음 <표 2>와 같다.

이와 같은 네 가지 평가기준 관점에서 다섯 명 평가자들의 주관적 중요도를 도출하고자 한다. 구체적으로 평가자들은 국토해양부 항만물류담당자, 부산 지방해양청 시스템담당자, 인천 지방해양청 시스템담당자, 여수 지방해양청 시스템담당자, 국토해양부 SP-IDC 시스템담당자 등 총 5명이다. 본 연구의 분석대상은 [그림 3]과 같이, 네 가지 다기준($C_1 \sim C_4$) 관점에서 의사결정 대안인 7개의 항만물류 종합정보시스템들($A_1 \sim A_7$)을 평가하는 계층구조이다. 이러한 계층구조의 목표는 주어진 복구목표시간(RTO) 이내에 오류가 해결되지 못해서 비상상황으로 재해가 발생했을 때, 항만물류정보시스템들에 대한 재난복구우선순위를 결정하는

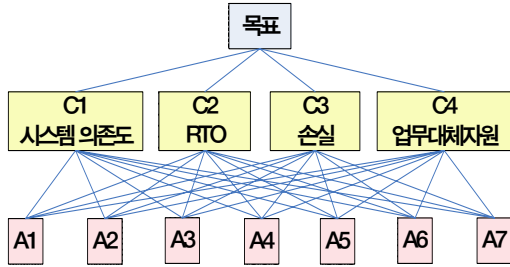
<표 1> 항만물류종합정보 시스템

시스템	개요
A_1 : 항만 운영 정보시스템 (PORT-MIS)	무역항의 선박입항, 항만 내 시설사용, 관제사항, 화물반출입, 세입징수, 선박출항 등 모든 항만운영업무를 처리하기 위한 시스템
A_2 : 글로벌 컨테이너 추적 정보 시스템(GCTS)	RFID/USN 인프라를 이용하여 컨테이너/차량의 물류거점별 반출입 및 장치/하역 결과를 자동으로 수집하여 인터넷을 통한 정보를 제공하는 시스템
A_3 : 해운 항만물류 정보시스템 (SP-IDC)	인터넷으로 민원신청이 가능하고, 수출입관련기관의 민원처리상태조회가 가능하며, 물류주체별로 산재해 있는 정보를 수집 가공하여 제공하기 위한 시스템
A_4 : 항만 물류 정보 공동 활용 시스템(POSS)	인터넷 기반에서 베이플랜, 환적관리업무 등 협업을 통해 정보를 공동 활용하는 서비스
A_5 : 항만 물류 통합 활용 시스템	인터넷 기반에서 수출입 인허가 민원상태를 처리하고, 해상화물 통합상태 조회 및 활용을 지원하며, 위험물 관리 및 수출입신고 내역을 검증 관리하는 시스템
A_6 : 검수 정보공동 활용시스템	실물컨테이너 등에 대한 검수결과정보의 공동활용과 화물반출입현황 신고 내용을 확인하기 위한 시스템
A_7 : 선원/선박 관련 정보시스템	선원/선박 정보 등록/정정/조회 업무 수행

<표 2> 평가기준

기준	개념 설명
C_1 : 시스템 의존도	항만운영 및 물류업무들이 항만운영 전산시스템에 의존하는 정도(시스템 접속시간, 접속 빈도)를 비교해서 의존도가 높을수록 높게 평가한다.
C_2 : RTO	RTO는 업무를 복구해야 하는 긴급성을 의미하며 RTO 시간이 짧을수록 높게 평가한다.
C_3 : 손실	사고 때문에 항만물류관련 시스템들이 중단되었을 경우 발생하는 손실(피해금액, 민원, 평판 등)이 클수록 높게 평가한다.
C_4 : 업무대체자원	중단된 시스템을 대신해서 업무를 가동시키기 위해 필요한 자원(인력, 시간 등)이 많을수록 높게 평가한다.

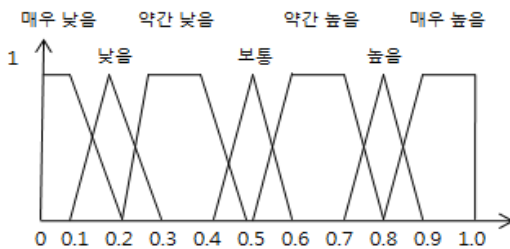
것이며, 이를 위해서 퍼지 TOPSIS 방법을 적용하고자 한다.



[그림 3] 의사결정문제의 계층적 구조

4.2 평가기준에 대한 가중치 계산

본 논문에서는 의사결정자들의 주관적 판단의 모호성을 포착하기 위해서 [그림 4] 및 [그림 5]와 같은 선형 사다리꼴 소속 함수를 적용했다[13]. [그림 4]와 <표 3>은 평가 기준의 중요성 가중치에 대한 언어적 변수를 7개(‘매우 낮음(very low)’, ‘낮음(low)’, ‘약간 낮음(very low)’, ‘보통(very low)’, ‘약간 높음(very low)’, ‘높음(very low)’, ‘매우 높음(very low)’)로 구분한 것이다.



[그림 4] 기준의 가중치에 대한 언어적 변수

<표 3> 기준의 가중치에 대한 언어적 척도

언어 변수	사다리꼴 퍼지 수
매우 낮음(VL)	(0, 0, 0.1, 0.2)
낮음(L)	(0.1, 0.2, 0.2, 0.3)
약간 낮음(ML)	(0.2, 0.3, 0.4, 0.5)
보통(M)	(0.4, 0.5, 0.5, 0.6)
약간 높음(MH)	(0.5, 0.6, 0.7, 0.8)
높음(H)	(0.7, 0.8, 0.8, 0.9)
매우 높음(VH)	(0.8, 0.9, 1.0, 1.0)

예로써, 언어적 변수 “약간 높음”은 (0.5, 0.6, 0.7, 0.8)를 나타내기 때문에, 소속 함수는 다음과 같다.

$$\mu_{\text{약간 높음}}(x) = \begin{cases} 0, & x < 0.5, \\ \frac{x-0.5}{0.6-0.5}, & 0.5 \leq x \leq 0.6, \\ 1, & 0.6 \leq x \leq 0.7, \\ \frac{x-0.8}{0.7-0.8}, & 0.7 \leq x \leq 0.8, \\ 0, & x > 0.8, \end{cases}$$

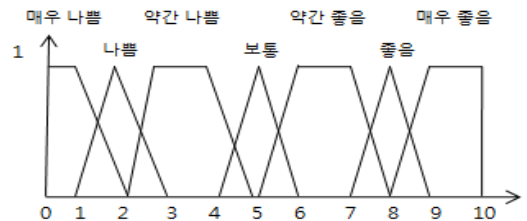
4개의 평가 기준인 시스템의존도, RTO, 손실, 업무대체자원에 대해 평가자 5명이 서로 다른 7개의 언어적 척도(VL, L, ML, M, MH, H, VH)로 평가한 주관적 가중치는 <표 4>와 같다.

<표 4> 평가기준에 대한 평가자들의 가중치

	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5
C_1	VH	H	VH	VH	VH
C_2	VH	VH	H	H	H
C_3	VH	H	H	VH	VH
C_4	VH	VH	H	H	H

4.3 퍼지 의사결정 행렬

[그림 5]와 <표 5>는 대안 평가에 대한 언어적 변수를 7개(‘매우 나쁨(very poor)’, ‘나쁨(poor)’, ‘약간 나쁨(very poor)’, ‘보통(fair)’, ‘약간 좋음(very poor)’, ‘좋음(very poor)’, ‘매우 좋음(very poor)’)로 구분한 것이다.



[그림 5] 대안 평가에 대한 언어적 변수

예로써, 언어적 변수 “매우 좋음”은 (8, 9, 10,

10)을 나타내기 때문에, 소속 함수는 다음과 같다.

〈표 5〉 대안 평가를 위한 언어적 척도

언어 변수	사다리꼴 퍼지 수
매우 나쁨(VP)	(0, 0, 1, 2)
나쁨(P)	(1, 2, 2, 3)
약간 나쁨(MP)	(2, 3, 4, 5)
보통(F)	(4, 5, 5, 6)
약간 좋음(MG)	(5, 6, 7, 8)
좋음(G)	(7, 8, 8, 9)
매우 좋음(VG)	(8, 9, 10, 10)

$$\mu_{\text{매우 좋음}}(x) = \begin{cases} 0, & x < 8, \\ \frac{x-8}{9-8}, & 8 \leq x \leq 9, \\ 1, & 9 \leq x \leq 10, \end{cases}$$

5명의 평가자들이 4개의 평가기준 관점에서 7개의 대안들을 서로 다른 7개의 언어적 척도(VP, P, MP, F, MG, G, VG)로 평가한 것이 〈표 6〉이다. 5명의 평가자들은 동일한 평가기준 및 시스템들에 대해서, 다음과 같이 서로 다른 견해를 가지고 있다.

이와 같이 평가기준 관점에서 각 대안에 대한 각 평가자 개인의 퍼지 성과측정치를 총합해서 평균을 구한 것이 〈표 7〉이다. 예로써 〈표 6〉에서 C_1 (시스템의존도) 관점에서의 A_2 (글로벌컨테이너 추적정보시스템; GCTS)에 대한 5명의 평가는 VG, MG, G, MG, F 이다. 여기서 VG = (8, 9, 10), MG = (5, 6, 7, 8), G = (7, 8, 8, 9), F = (4, 5, 5, 6) 이므로, 〈표 7〉에서 퍼지가중치 (4, 6.8, 7.4, 10)는 다음과 같이 계산한 것이다.

$$a = \min\{a_k\} = \min\{8, 5, 7, 5, 4\} = 4$$

$$b = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K b_k = 1/5(9+6+8+6+5) = 6.8$$

$$c = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K c_k = 1/5(10+7+8+7+5) = 7.4$$

$$d = \max\{d_k\} = \max\{10, 8, 9, 8, 6\} = 10$$

이와 같은 7개 대안에 대한 평가 계산은 4개 평

〈표 6〉 대안에 대한 평가결과

	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5
A_1	VG	VG	VG	VG	VG
A_2	VG	MG	G	MG	F
A_3	G	F	G	MG	MP
C_1 A_4	G	MG	VG	MG	F
A_5	MG	MG	MG	MG	MP
A_6	F	MG	MG	G	MG
A_7	VG	G	MG	VG	VG
A_1	VG	G	G	G	VG
A_2	VG	F	G	MG	MG
A_3	G	F	G	MG	MG
C_2 A_4	G	G	G	MG	G
A_5	G	MG	G	MG	F
A_6	G	MG	G	MG	G
A_7	VG	MG	G	G	VG
A_1	VG	VG	VG	VG	VG
A_2	VG	MG	G	VG	F
A_3	G	MG	G	G	MP
C_3 A_4	MG	G	VG	G	F
A_5	MG	MG	G	G	MP
A_6	MG	MG	G	G	F
A_7	VG	MG	G	VG	G
A_1	VG	VG	VG	VG	VG
A_2	VG	VG	G	VG	F
A_3	G	VG	G	VG	MP
C_4 A_4	G	VG	VG	VG	MP
A_5	G	VG	G	VG	MP
A_6	MG	F	G	VG	F
A_7	VG	G	G	G	G

가기준에 대한 가중치 계산에도 동일하게 적용된다. 예로써, 〈표 7〉에서 C_1 에 대한 가중치 계산은 〈표 4〉에서 C_1 에 대한 5명의 평가가 VH, H, VH, VH, VH이므로, 위와 같은 동일한 방법으로 계산하면(0.7, 0.88, 0.96, 1)이 도출된다.

4.4 정규화 퍼지 의사결정 행렬

정규화 삼각형 퍼지 수는 구간 [0, 1]에 존재하고 선형척도 변환함수(linear scale transform function)

$$\text{이므로, } c_j^+ = \max c_{ij}, \text{와 } \tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^+}, \frac{b_{ij}}{c_j^+}, \frac{c_{ij}}{c_j^+}, \frac{d_{ij}}{c_j^+} \right)$$

를 이용해서 계산한 정규화 행렬 $\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n}$ 이 <표 8>이다. 예로서, <표 7>에서 시스템의존도 (C_1) 관점에서 A_1 (항만운영정보시스템; PORT-MIS)에 대한 퍼지 가중치(8, 9, 10, 10)에서 $c_j^+ = \max c_{ij} = 10$ 이므로, 각 요소들을 10으로 나누어서

<표 7> 7개 대안에 대한 퍼지 가중치

	C_1	C_2	C_3	C_4
A_1	(8, 9, 10, 10)	(7, 8.4, 8.8, 10)	(8, 9, 10, 10)	(8, 9, 10, 10)
A_2	(4, 6.8, 7.4, 10)	(4, 6.8, 7.4, 10)	(4, 7.4, 8, 10)	(4, 8, 8.6, 10)
A_3	(2, 6, 6.4, 9)	(4, 6.6, 7, 9)	(2, 6.6, 7, 9)	(2, 7.4, 8, 10)
A_4	(4, 6.8, 7.4, 10)	(5, 7.6, 7.8, 9)	(4, 7.2, 7.6, 10)	(2, 7.6, 8.4, 10)
A_5	(2, 5.4, 6.4, 8)	(4, 6.6, 7, 9)	(2, 6.2, 6.8, 9)	(2, 7.4, 8, 10)
A_6	(4, 6.2, 9, 10)	(5, 7.2, 7.6, 9)	(4, 6.6, 7, 9)	(4, 6.6, 7, 10)
A_7	(5, 8.2, 9, 10)	(5, 8, 8.6, 10)	(5, 8, 8.6, 10)	(7, 8.2, 8.4, 10)
가중치	(0.7, 0.88, 0.96, 1)	(0.7, 0.84, 0.88, 1)	(0.7, 0.86, 0.92, 1)	(0.7, 0.84, 0.88, 1)

<표 8> 정규화 의사결정행렬

	C_1	C_2	C_3	C_4
A_1	(0.8, 0.9, 1, 1)	(0.7, 0.84, 0.88, 1)	(0.8, 0.9, 1, 1)	(0.8, 0.9, 1, 1)
A_2	(0.4, 0.68, 0.74, 1)	(0.4, 0.68, 0.74, 1)	(0.4, 0.74, 0.8, 1)	(0.4, 0.8, 0.86, 1)
A_3	(0.2, 0.6, 0.64, 0.9)	(0.4, 0.66, 0.7, 0.9)	(0.2, 0.66, 0.7, 0.9)	(0.2, 0.74, 0.8, 1)
A_4	(0.4, 0.68, 0.74, 1)	(0.5, 0.76, 0.78, 0.9)	(0.4, 0.72, 0.76, 1)	(0.2, 0.76, 0.84, 1)
A_5	(0.2, 0.54, 0.64, 0.8)	(0.4, 0.66, 0.7, 0.9)	(0.2, 0.62, 0.68, 0.9)	(0.2, 0.74, 0.8, 1)
A_6	(0.4, 0.62, 0.9, 1)	(0.5, 0.72, 0.76, 0.9)	(0.4, 0.66, 0.7, 0.9)	(0.4, 0.66, 0.7, 1)
A_7	(0.5, 0.82, 0.9, 1)	(0.5, 0.8, 0.86, 1)	(0.5, 0.8, 0.86, 1)	(0.7, 0.82, 0.84, 1)

<표 9> 가중치 부여된 정규화 의사결정행렬

	C_1	C_2	C_3	C_4
A_1	(0.56, 0.79, 0.96, 1)	(0.49, 0.71, 0.77, 1)	(0.56, 0.77, 0.92, 1)	(0.56, 0.76, 0.88, 1)
A_2	(0.28, 0.6, 0.71, 1)	(0.28, 0.57, 0.65, 1)	(0.28, 0.64, 0.74, 1)	(0.28, 0.67, 0.76, 1)
A_3	(0.14, 0.53, 0.61, 0.9)	(0.28, 0.55, 0.62, 0.9)	(0.14, 0.57, 0.64, 0.9)	(0.14, 0.62, 0.7, 1)
A_4	(0.28, 0.6, 0.71, 1)	(0.35, 0.64, 0.69, 0.9)	(0.28, 0.62, 0.7, 1)	(0.14, 0.64, 0.74, 1)
A_5	(0.14, 0.48, 0.61, 0.8)	(0.28, 0.55, 0.62, 0.9)	(0.14, 0.53, 0.63, 0.9)	(0.14, 0.62, 0.7, 1)
A_6	(0.28, 0.55, 0.65, 0.8)	(0.35, 0.6, 0.67, 0.9)	(0.28, 0.57, 0.64, 0.9)	(0.28, 0.55, 0.62, 1)
A_7	(0.35, 0.72, 0.86, 1)	(0.35, 0.67, 0.76, 1)	(0.35, 0.69, 0.79, 1)	(0.49, 0.69, 0.74, 1)

정규화시키면, $\tilde{r}_{ij} = (0.8, 0.9, 1, 1)$ 이 된다.

4.5 가중치가 부여된 정규화 퍼지 의사결정 행렬

$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \otimes \tilde{w}_j$ 를 이용해서 계산한 정규화 퍼지 행렬 $\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}$ 이 <표 9>이다. 예로써 <표 9>에서 시스템의존도(C_1) 관점에서 A_1 (항만운영 정보시스템; PORT-MIS)에 대한 가중치 부여된 정규화 퍼지 가중치(0.56, 0.79, 0.96, 1)는 <표 8>의 C_1 과 A_1 의 정규화 값(0.8, 0.9, 1, 1)과 <표 7>의 C_1 가중치(0.7, 0.88, 0.96, 1)의 곱으로 계산된 것이다.

4.6 FPIS와 FNIS의 결정

양의 사다리꼴 퍼지 수는 구간[0, 1] 내에 있기 때문에, 퍼지 양의 이상적인 점(FPIS, A^+)과 퍼지 부의 이상적인 점(FNIS, A^-)은 <표 9>에서 각 행 별로 최대값 및 최소값이므로 다음과 같이 정의된다.

$$A^+ = \{(1, 1, 1, 1), (1, 1, 1, 1), (1, 1, 1, 1), (1, 1, 1, 1)\}$$

$$A^- = \{(0.14, 0.14, 0.14, 0.14), (0.28, 0.28, 0.28, 0.28), (0.14, 0.14, 0.14, 0.14), (0.14, 0.14, 0.14, 0.14)\}$$

4.7 FPIS와 FNIS로 부터의 거리 계산

각 대안에 대한 퍼지 양의 이상적인 점(FPIS)과 퍼지 부의 이상적인 점(FNIS)으로 부터의 간격 d_i^+ 및 d_i^- 을 계산한다. 예로써, <표 10>의 d_1^+ 는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} d_1^+ &= \sqrt{1/4[(1-0.56)^2 + (1-0.79)^2 + (1-0.96)^2 + (1-1)^2]} \\ &= 0.244 \end{aligned}$$

<표 10> A^+ 로부터 A_i 의 거리

	0	C_1	C_2	C_3	C_4
$d(A_1, A^+)$		0.244	0.315	0.250	0.259
$d(A_2, A^+)$		0.437	0.453	0.424	0.414
$d(A_3, A^+)$		0.529	0.468	0.516	0.493
$d(A_4, A^+)$		0.437	0.407	0.434	0.484
$d(A_5, A^+)$		0.549	0.468	0.526	0.493
$d(A_6, A^+)$		0.470	0.418	0.459	0.465
$d(A_7, A^+)$		0.360	0.383	0.375	0.326

<표 11> A^- 로부터 A_i 의 거리

	C_1	C_2	C_3	C_4
$d(A_1, A^-)$	0.709	0.497	0.694	0.679
$d(A_2, A^-)$	0.569	0.430	0.583	0.596
$d(A_3, A^-)$	0.488	0.378	0.503	0.568
$d(A_4, A^-)$	0.569	0.413	0.570	0.580
$d(A_5, A^-)$	0.440	0.378	0.492	0.568
$d(A_6, A^-)$	0.470	0.402	0.508	0.538
$d(A_7, A^-)$	0.642	0.475	0.614	0.617

4.8 근접도 계수와 대안의 우선순위 결정

각 대안에 대한 FPIS A^+ 과 FNIS A^- 으로 부터의 간격인 $d_i^+ = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+)$ 와 $d_i^- = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-)$ 를 계산하여 모든 대안들의 우선순위를 결정하기 위해서, 각 대안의 상대적 근접도 계수 CC_i 를 계산한 결과가 <표 12>이다.

예로써, 두 번째 대안에 대한 근접도 계수 CC_2 는 다음과 같이 계산한다.

$$\begin{aligned} CC_2 &= d_2^- / (d_2^+ + d_2^-) \\ &= 2.178 / (1.728 + 2.178) = 0.558 \end{aligned}$$

CC_i 값이 클수록 대안 A_i 의 좋은 성과를 나타

내므로, <표 12>에서 모든 대안들의 우선순위는 $CC_1 > CC_7 > CC_2 > CC_4 > CC_6 > CC_3 > CC_5$ 가 되며, 대안들의 집합 중에서 최적 대안은 가장 큰 근접도 계수 CC_1 을 가지고 있는 대안 A_1 인 항만운영정보시스템(PORT-MIS)이다. 그러므로 국토해양부 항만물류통합정보체계를 구성하고 있는 7개의 항만물류종합정보시스템은 재해복구 시에 시스템의존도, RTO, 손실, 업무대체자원 등 네 가지 속성에 관점에서 $PORT-MIS > 선원/선박관련 정보시스템 > GCTS > POSS > 검수정보 공동활용 시스템 > SP-IDC > 항만물류통합활용시스템$ 순으로 복구되어야 한다.

<표 12> 대안에 대한 근접도 계수와 순위

기준	d_i^+	d_i^-	CC_i	순위
A_1	1.068	2.579	0.707	1
A_2	1.728	2.178	0.558	3
A_3	2.006	1.937	0.491	6
A_4	1.762	2.132	0.548	4
A_5	2.036	1.878	0.480	7
A_6	1.812	1.918	0.514	5
A_7	1.444	2.348	0.619	2

항만물류종합정보시스템 관리자의 장애 및 문제 관리에서 주어진 복구목표시간(RTO) 이내에 오류가 해결되지 못하면, 재해 발생에 의한 비상상황으로 판단하게 된다. 비상계획 프로세스는 비상상황판단 → 비상상황 선언 및 보고 → 비상상황 운영 → 재난복구 → 정상가동으로 진행된다. 영국 표준 BS 25999[5]는 물론 한국정부의 정보시스템 재해복구 지침[2]에서도 재난복구 → 정상가동에 대한 구체적인 방안을 기술하고 있지 않다. 실무적으로는 복구목표시간(RTO)이라는 단일 속성만을 판단기준으로 하고 있으나, 본 연구 결과와 같이 복구목표시간(RTO) 이외에, 시스템 의존도, 손실, 업무대체자원 등 다기준 평가방법으로 재난복구 우선순위를 결정하는 것이 항만물류종합정보시스템들

의 재난복구 절차를 효율적으로 향상시킬 것이다.

5. 결 론

최적 의사결정문제에서는 많은 주관적 혹은 모호한 자료를 가지고, 서로 다른 기준관점에서 여러 가지 대안들을 평가해야만 한다. 본 연구에서는 국토해양부 항만물류종합정보체계를 구성하고 있는 7개 항만물류종합정보시스템들에 대한 재난복구시스템의 우선순위결정을 위해서, 다기준 관점에서 퍼지 TOPSIS 방법을 적용하여 다음과 같은 이론적, 실무적 틀을 제공하였다.

첫째, 의사결정자들의 주관적 판단의 모호성을 언어변수로 표현하는 사다리꼴형 퍼지 수로 나타내는 퍼지 집합이론으로 재난복구 우선순위의 대안들을 평가 적용하는 방법을 제시했다. 재난복구 사례에서 5명의 평가자들이 4개의 평가기준들에 대해서 7개의 언어적 척도(VL, L, ML, M, MH, H, VH)와 7개 대안들에 대해서 7개의 언어적 척도(VP, P, MP, F, MG, G, VG)로 평가했다. 둘째, 업무연속성계획(BCP)의 업무영향분석(BIA)에서 정보시스템 재난으로 인한 업무 프로세스 중단 시, 업무복구 우선순위는 복구목표시간(RTO) 이외에, 시스템 의존도, 손실, 업무대체자원 등 다기준에 의한 재난복구 우선순위 결정방법을 제시했다. 셋째, 항만물류종합정보시스템의 재난복구 우선순위 결정 사례를 통해서, 정부의 정보시스템 재해복구 지침을 개선할 수 있는 구체적인 재난복구 절차 및 실행 방안을 제시했다.

끝으로 본 논문에서 제시한 퍼지 TOPSIS 방법론의 한계점은, 민감도 분석을 적용하거나 일관성 지수를 도출 할 수 없다는 점이다. 그 이유는 퍼지 TOPSIS 방법론의 경우 AHP와 같은 가치측정 모형들처럼 의사결정자의 선호를 정확한 수치로 추정하는 것이 아니라, 언어적 변수로 추정하기 때문이다. 또한, 평가자의 가중치에 대한 다양한 비퍼지화(nonfuzzification) 방법인 MOM(Mean Of Maximal), COA(Center Of Area), α -cut 등과의

비교연구를 통해 효율적인 기법을 제시하지 못했다는 점이다. 따라서 앞으로의 연구에서는 이러한 비교연구와 더불어서, 파라미터 값이 가질 수 있는 구간을 보다 세분화하여 객관적으로 등급화한다면 정보시스템의 재난복구계획수립에 보다 유용한 정보를 제공해 줄 수 있을 것이다. 또한 구간자료와 같은 다양한 측정 자료를 퍼지이론에 포함시켜서 퍼지 TOPSIS 방법으로 확장 적용시키는 연구도 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] 국무조정실과 정보통신부, 『정보시스템 장애 관리 지침』, 2005.
- [2] 국무조정실과 정보통신부, 『정보시스템 재해 복구 지침』, 2005.
- [3] Amin, S. H. and J. Razmi, “An Integrated Fuzzy Model for Supplier Management : A Case Study of ISP Selection and Evaluation”, *Expert Systems with Applications*, Vol.36 (2009), pp.8639-8648.
- [4] Belton, V. and T. J. Stewart, *Multiple Criteria Decision Analysis : An Integrated Approach*, Kluwer Academic Publications, Boston, 2002.
- [5] BSI, *Business Continuity Management, Part 1 : Code of Practice*, BS 25999-1, 2006.
- [6] Chen, C. T., “Extension of the TOPSIS for Group Decision-making under Fuzzy Environment”, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.114 (2000), pp.1-9.
- [7] Chen, C.-T., C.-T. Lin, and S.-F. Huang, “A Fuzzy Approach for Supplier Evaluation and Selection in Supply Chain Management”, *International Journal of Production Economics*, Vol.102(2006), pp.289-301.
- [8] Chen, C.-T. and H.-L. Cheng, “A Comprehensive Model for Selecting Information System Project under Fuzzy Environment”, *International Journal of Project Management*, Vol.27(2009), pp.389-399.
- [9] Chen, T.-Y. and C.-Y. Tsao, “The Interval-valued Fuzzy TOPSIS Method and Experimental Analysis”, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.159(2008), pp.1410-1428.
- [10] Dubois, D. and H. Prade, *Fuzzy Sets and Systems : Theory and Applications*, Academic Press Inc., New York, 1980.
- [11] Gumus, A. T., “Evaluation of Hazardous Waste Transportation Firms by Using a Two Step Fuzzy-AHP and TOPSIS Methodology”, *Expert Systems with Applications*, Vol.36(2009), pp.4067-4074.
- [12] Ha, S. H. and R. Krishnan, “A Hybrid Approach to Supplier Selection for the Maintenance”, *Expert Systems with Applications*, Vol.34(2008), pp.1303-1311.
- [13] Herrera, F. and E. Herrera-Viedma, “Linguistic Decision Analysis : Steps for Solving Decision Problems under Linguistic Information”, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.115 (2000), pp.67-82.
- [14] Hwang, C.-L. and K. Yoon, *Multiple Attribute Decision Making : Method and Applications*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1981.
- [15] Jahanshahloo, G. R., F. H. Lotfi and A. R. Davoodi, “Extension of TOPSIS for Decision-making Problems with Interval Data”, *Applied Mathematics and Computation*, Vol.181(2008), pp.1544-1551.
- [16] Jahanshahloo, G. R., F. H. Lotfi and M. Izadikhah, “An Algorithmic Method to Extend TOPSIS for Decision-making Problems with Interval Data”, *Applied Mathematics and Computation*, Vol.175(2006), pp.1375-

- 1384.
- [17] Kahraman, C. and I. Kaya, "A Fuzzy Multicriteria Methodology for Selection among Energy Alternatives", *Expert Systems with Applications*, Vol.37(2010), pp.6270-6281.
- [18] Kahraman, C., O. Engin, Ö. Kabak, and I. Kaya, "Information Systems Outsourcing Decisions Using a Group Decision-making Approach", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol.22, No.6(2009), pp. 832-841.
- [19] Kaufmann, A. and M. M. Gupta, *Introduction to Fuzzy Arithmetic : Theory and Applications*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1991.
- [20] Kaya, T. and Cengiz Kahraman, "Multicriteria Decision Making in Energy Planning Using a Modified Fuzzy TOPSIS Methodology", *Expert Systems with Applications*, Vol.38(2011), pp.6577-6585.
- [21] Keeney, R. L. and H. Raiffa, *Decision with Multiple Objectives : Preference and Value Trade Offs*, John Wiley and Sons, 1976.
- [22] Kutlu, A. C. and M. Ekmekçioğlu, "Fuzzy Failure Modes and Effects Analysis by Using Fuzzy TOPSIS-Based Fuzzy AHP", *Expert Systems with Applications*, Vol.39(2012), pp.61-67.
- [23] Rouhani, S., M. Ghazanfari, and M. Jafari, "Evaluation Model of Business Intelligence for Enterprise Systems Using Fuzzy TOPSIS", *Expert Systems with Applications*, Vol.39(2012), pp.3764-3771.
- [24] Shih, H.-S., H.-J. Shyur, and E. S. Lee, "An Extension of TOPSIS for Group Decision Making", *Mathematical and Computer Modelling*, Vol.45(2007), pp.801-813.
- [25] Sing, R. K. and L. Benyoucef, "A Fuzzy TOPSIS Based Approach for E-sourcing", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol.24(2011), pp.437-448.
- [26] Shyur, H.-J. and H.-S. Shih, "A Hybrid MCDM Model for Strategic Vendor Selection", *Mathematical and Computer Modelling*, Vol.44(2006), pp.749-761.
- [27] Walle, B. V. and A.-F. Rutkowski, "A Fuzzy Decision Support System for IT Service Continuity Threat Assessment", *Decision Support Systems*, Vol.42(2006), pp.1931-1943.
- [28] Wang, W.-P., "Evaluating New Product Development by Fuzzy Linguistic Computing", *Expert Systems with Applications*, Vol.36 (2009), pp.9759-9766.
- [29] Zadeh, L. A., "Fuzzy Sets", *Information Control*, Vol.8(1965), pp.338-353.

◆ 저 자 소 개 ◆

**김 기 윤 (min1203@kw.ac.kr)**

현재 광운대학교 경영학과 교수로 재직 중이다. 고려대학교에서 공학사(1976), 경영학석사(1979), 경영학박사(1985) 학위를 취득하였다. 관심분야는 정보기술위험관리(ITRM; Information Technology Risk Management)이며, The Journal of Systems and Software, Journal of Information System Education 등에 논문을 게재했다.

**김 도 형 (dhkim@kw.ac.kr)**

현재 광운대학교 경영학과 교수로 재직 중이다. 서울대학교에서 경제학학사(1982), University of Scranton에서 MBA(1988), 펜실베이니아주립대학에서 경영학박사(1995) 학위를 취득하였다. 관심분야는 관리회계, 재무회계, 원가회계 등이다.