

AHP와 TOPSIS 융합 방법론을 이용한 국가 사이버 역량 강화 방안

배선하* · 박상돈* · 김소정*

요 약

ICT가 사회 주요 기반 구조로 자리매김 함에 따라 사이버 역량 강화 필요성이 대두되고 있다. 그러나 국내에 효과적인 사이버 역량 평가 방법론이 존재하지 않아 우리나라의 사이버 역량을 평가하고, 이에 기반한 역량 강화 방안 마련이 어려운 실정이다. 사이버 역량 평가는 우리의 사이버 역량 실태를 점검하여 정책 방향 수립에 활용하고 효과적인 예산 편성을 위한 근거를 제공할 수 있다. 그러나 현실적으로 사이버 역량 평가 항목이 다양하고, 각 항목의 판단 척도가 상이하여 의사 결정자가 판단하는데 어려움이 존재한다. 이에 본 논문에서는 AHP와 TOPSIS를 융합한 사이버 역량 평가 방법론을 제안하였다. AHP는 다양한 평가 항목간의 중요도 판별에 활용하고, TOPSIS는 평가 대상국 간의 순위 판별에 활용하였고, 가상 실험 데이터를 이용하여 주요 4개국에 대한 평가를 수행하였다. 실험 결과 제안한 사이버 평가 방법론은 AHP를 이용한 사이버 평가에 비해 평가 항목과 평가 대상국의 확장이 가능하고, 보다 정교한 수학적 기반을 통해 객관적인 평가가 가능한 것으로 나타났다.

The Enhancement Strategy on National Cyber Capability Using Hybrid Methodology of AHP and TOPSIS

Sunha Bae* · SangDon Park* · So Jeong Kim*

ABSTRACT

The effective cyber capability assessment methodology does not exist, it's difficult to check the current state of the our country's cyber capabilities and to establish cyber capability enhancement plan based on the result of assessment. The cyber capability assessment is necessary in order to determine the current level of the country, establish policy directions and provide the basis for effective budgeting. But assessment of national cyber capability is multi-criteria decision making problem. In this paper develops an assessment model based on the AHP and TOPSIS. AHP is used to determine weight of the criteria and TOPSIS method is used to obtain final ranking. We also introduce the result of four major nations cyber capability assessment using the proposed methodology. The experiment used the virtual experimental data. And the result show that the proposed methodology can expand the number of criteria and alternatives for assessment and provide more sophisticated mathematical base for objective assessment comparing methodology using AHP only.

Key words : MCDA, AHP, TOPSIS, Cyber Capability

1. 서 론

정보통신 기술의 발달로 사이버 공간에 대한 중요성과 의존성은 날로 커지고 있다. 사이버 공간은 우리의 삶을 획기적으로 향상 시켰지만, 반면 안전하지 않은 사이버 환경으로 인한 사이버 위협도 증가시켰다. 사이버 공격은 날로 지능화, 고도화되고 있기에 우리나라도 이에 대응할 수 있는 사이버 방어 및 대응 역량을 강화할 필요성이 대두되고 있다. 그러나 효과적인 사이버 역량 강화 방안 마련을 위해서는 정확한 실태 파악이 먼저 선행되어야 할 것이다.

국가 사이버 역량 평가는 우리나라의 사이버 공격 및 방어 능력 수준을 판별하고, 보안 정책의 방향과 공격 및 방어 능력을 종합적으로 검토할 수 있는 기회를 제공한다. 또한 보완이 필요한 부분에 대한 파악이 가능하고, 우리나라의 사이버 보안 정책 방향과 역량을 국제적인 수준과 비교하여 정립을 가능하게 한다. 이러한 사이버 역량 평가 방안에 대한 연구는 미국과 유럽 등지의 여러 나라에서 활발히 진행 중에 있다.

그러나 사이버 역량에는 다양한 항목이 영향을 미친다. 글로벌 경영 컨설팅 회사인 BAH(Booz Allen Hamilton)에서는 사이버파워 평가를 위하여 평가 항목을 법·제도 척도, 경제·사회 척도, 기술·인프라 척도 3가지로 구분하고, 세부적으로는 정부의 사이버 연구 개발, 사이버 방어 정책, 사이버 검열, 정치적 유효성, 저작권 보호, 교육 수준, 기술, 무역, 혁신환경, 정보기술 접근성, 정보기술 수준, IT 예산, 정보기술 저렴성, 보안 서버, 스마트 그리드, 전자의료, 전자상거래, 전자정부, 스마트 물류 등 다양한 항목에 대한 평가를 수행하였다[1].

유럽의 소프트웨어 연합인 BSA도 사이버 보안 평가를 위하여 항목을 법, 조직, 민관 협력, 분야별 사이버보안 계획, 교육 5가지로 구분하고, 유럽 28개국의 사이버 보안 성숙도에 대한 평가를 수행하였다[2].

또한 미국의 대표적 싱크탱크인 RAND 연구소에서도 EU 차원의 사이버 방어 능력 평가를 위하여 규정, 조직, 훈련, 무기, 인력자원의 수준, 시설 7가지 항목에 대한 평가를 수행하였고[3], 보수적인 성향의 싱크탱크인 헤리티지 재단은 과거 공격 사례 중심으로 미국의 주요 위협국에 대한 사이버 역량 평가를 수행하였다[4].

이와 같이 국가의 사이버 역량을 평가하기 위해서는 법, 제도, 경제, 사회, 기술 등 다양한 항목에 대한 종합적인 평가가 필요하다고 할 수 있겠다. 이에 평가 항목의 속성이 다양하고, 항목 간에 중요도 및 척도가 상이하여 합리적인 의사결정과 객관적 판단하기 어려울 경우 평가 항목을 분류하고, 각 항목 간의 선호도 및 가중치를 산출하여 의사결정을 돕는 다기준 의사결정방법을 사이버 역량 평가에 적용하여 보다 객관적인 평가를 수행하고자 한다.

따라서 본 논문에서는 널리 알려진 다기준 의사결정방법 5가지인 MAUT, AHP, PROMETHEE, ELECTRE, TOPSIS에 대한 이론적 고찰과 사이버 역량 평가에 적합한 방법론을 선정을 위한 분석을 수행하였다. 그 결과 AHP와 TOPSIS를 융합한 사이버 역량 평가 방법론을 제안하였다.

2. 다기준 의사결정방법

평가 항목들의 속성과 척도가 다양할 경우 이를 단순화하여 비교 우위를 결정하는 것은 현실적으로 매우 어려운 일이다.

그러나 공공 분야에서 이루어지고 있는 의사결정은 관련자 및 파급효과를 감안하면 경제적·정책적·사회적 등 다양한 차원에서 분석이 이루어진 신중한 의사결정이 필요하다.

다기준 의사결정방법은 여러 가지 항목을 고려하여 서로 다른 대상에 대해 선택 및 카테고리화 그리고 우선순위를 선정할 수 있는 방법을 제공하여 보다 복잡한 문제에 대한 최적의 의사결정을 모색할 수 있도록 한다.

Belton and Stewart는 기존의 다기준 의사결정 방법을 다음의 3가지 영역으로 분류했다. 가치측정모형, 순위선호방법, 마지막으로 목표지향 참조 수준 방법이 다[5]. 아래에서 3가지 영역의 다기준 의사결정방법에 대해서 살펴보았다.

2.1 가치측정모형

2.1.1 다속성 효용이론(MAUT: Multi Attribute Usage Theory)

다속성 효용이론은 효용함수와 평가 항목(속성)들을 모형에 구체화하고, 이와 관련한 적절한 함수 형태의 식별 문제가 의사결정자의 선호도와 효용함수 형태를 결정하게 된다[6].

먼저 개인의 목적과 속성을 구분하고, 효용함수 형태를 선택하며, 함수에서 각 속성별 가중치를 계산하고, 마지막으로 가중치와 속성을 결합하여 효용함수를 도출한다[7]. MAUT의 수행절차는 아래와 같다.

단계 1. 예비 조사를 통해 목적에 맞는 속성을 도출하고 속성 값의 범위 선정한다.

단계 2. 개별 속성에 대한 효용함수 도출한다. n 개의 서로 다른 속성(평가 항목) x_1, x_2, \dots, x_n 에 대한 개별 효용함수 U 는 아래와 같고, w_n 은 각 속성에 대한 가중치를 나타낸다.

$$U(x_1, \dots, x_n) = w_1 U_1(x_1) + \dots + w_n U_n(x_n) \quad (1)$$

단계 3. 각 속성의 가중치를 계산 방법에 따라 평가한다.

속성별 가중치 평가 방법은 다양하데, 그 중 스윙방법(Swing Weighting)은 가상의 대상을 상정하고, 의사결정자가 가상의 대상을 상호 비교 평가함으로써 속성별 가중치를 얻는 방식이다[8]. 속성에 대한 가상의 대상에 순위를 매기고, 이후 가장 선호도 별로 속성에 s_1, s_2, \dots, s_n 로 점수를 매긴다. 속성(평가 항목) j 에 대한 정규화된 가중치 w_j 는 수식(2)와 같다.

$$w_j = \frac{s_j}{s_1 + s_2 + \dots + s_n} = \frac{s_j}{\sum_{i=1}^n s_i} \quad (2)$$

단계 4. 획득된 정보를 이용하여 종합 목표에 여러 속성들이 얼마나 기여하는가를 나타내는 다속성 효용함수를 구성한다.

그러나 다속성 효용이론의 기본 가정이 완전한 합리성에 기초하여 의사결정자의 기대 효용가치가 최대한 대상을 선정한다는 것이다. 그러나 의사결정자는 제한된 합리성을 가지고 있고, 의사결정자의 효용을 수학적 함수로 표현하는 데에는 한계가 있다[9].

2.1.2 계층적 의사결정(AHP: Analytic Hierarchy Process)

AHP는 의사결정 문제를 계층구조화하고, 쌍대 비교를 기초로 평가 항목들의 가중치(상대적 중요도)와 각 평가 항목 하에서 대상들의 상대적 선호도를 도출한 후, 이를 계층구조에 따라 종합화하여 평가 대상들의 평가 순위와 종합적 선호도를 구하는 방법이다[10].

AHP의 핵심은 여러 가지 대상의 평가 항목별로 장단점이 있어, 어떤 기준으로 평가해야 하는지 모호할 때, 대상을 평가하는데 크게 영향을 미치는 평가 항목을 서로 비교 및 평가하여 수치화함으로써 평가 항목의 가중치를 산출한다. AHP의 수행절차는 아래와 같다.

단계 1. 당면한 문제 또는 대상을 평가할 수 있는 항목을 나누어 분류한다.

단계 2. 분류한 평가 항목으로 대상을 비교하는데, 주로 쌍대 비교를 사용하여 대상 a_i 가 대상 a_j 에 비해 얼마나 더 좋은지를 평가하여 비교 행렬로 나타낸다.

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$$a_{ii} = 1, a_{ji} = 1/a_{ij}, a_{ij} \neq 0$$

평가 횟수는 m 개의 대상에 대해서 n 개의 평가 항목으로 비교를 수행할 때 수식(4)와 같다.

$$\frac{1}{2} mn(n-1) \quad (4)$$

단계 3. 각 평가항목의 가중치를 계산한다. 가중치 추정 방법에는 고유치 방법(Eigenvalue Method)과 대수 최소자승법(Logarithmic Least Square Method)이 있는데, 그 중 고유치를 이용한 가중치 추정 방법은 수식(5)와 같다. A_w 는 쌍대 비교 행렬 A 의 가중치 행렬을 의미한다.

$$A_w = \lambda_{\max} w \quad (5)$$

단계 4. 산출된 비교 항목의 중요도를 세 번째 단계

에서 산출된 결과에 곱하여 최종 순위를 수치적으로 산출한다.

AHP 방법론은 중요도 산출 결과에 있어 평가자들이 내린 판단에 논리적 모순이 있는지 검증하기 위한 지표인 일관성 지수 CI (Consistency Index)와 일관성 비율 CR (Consistency Ratio)을 제공한다.

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n-1)} \quad (6)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (7)$$

RI (Random Consistency Index)는 1부터 9까지의 숫자를 임의로 뽑아 수백 개의 행렬을 만들고 이로부터 CI 값 들을 계산하여 평균화한 것이다.

AHP는 이산형과 연속형 값 모두 평가 항목의 척도로 사용이 가능하고, 분석이 직관적이고 쉽다는 장점을 가지고 있어 최근에 많이 이용되고 있는 의사결정 방법이다. 그러나 AHP의 수학적 과정은 결과가 비논리적인 결과를 내는 경우가 있으며[11], 또한 대상이 추가되거나 삭제될 경우 기존 대상의 순위역전(Rank Reversal)이 발생할 수 있다는 단점이 있다[9]. 뿐만 아니라 비교 대상의 수가 증가함에 따라 의사결정자가 판단해야할 평가 횟수가 급증하게 되고, 이 경우 일관성 있는 평가를 기대하기가 어렵다는 문제점이 있다.

2.2 순위선호(Outranking)

순위선호라는 것은 평가 대상 a 가 대상 b 에 비해 미흡하지 않은 대상이라고 판단되면, 대상 a 와 대상 b 의 수학적 지배관계가 존재하지 않더라도 대상 a 를 선택하려는 의사결정자의 주관적 선호 성향을 의미한다[12]. 따라서, 순위선호방법에서는 선호의 비추이성과 평가 대상의 비교 불가능성을 가정하고 있다.

선호의 비추이성은 의사결정자의 선호도 판별 행위에서 선호도 판별의 난해성 때문에 발생하는 자연스러운 현상으로 항목 j 에 대해서 대상 a 가 대상 b 에 비해 전반적으로 우수하다고 하여도 의사결정자가 대상 b 를 선호할 수 있다는 것이다.

비교 불가능성은 의사결정을 위한 정보가 부족하거

나 언어의 모호성, 적합한 효용함수 등의 부재로 평가 대상간 비교가 불가능한 경우를 말한다.

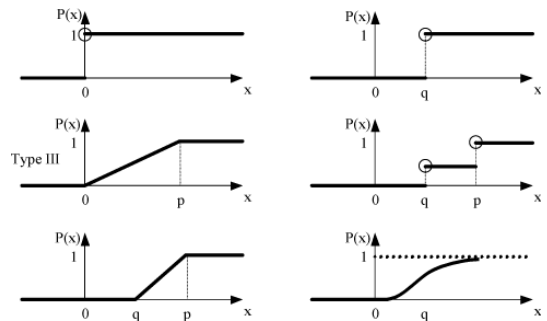
순위선호방법은 위의 가정을 통해 다속성 효용이론의 한계점으로 지적되어 온 이원적 선호구조와 수학적 모형의 비현실적 제약조건을 완화할 수 있는 방안으로 널리 알려져 있다.

2.2.1 PROMETHEE(Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation)

PROMETHEE는 선호유출량과 선호유입량 개념을 이용하여 대상의 순위선호를 도출하는 방법이다[13]. PROMETHEE 수행 절차는 다음과 같다.

단계 1. 선호함수를 결정한다.

선호함수는 (그림 1)과 같이 이분형(Usual criterion), U형(U-shape criterion), V형(V-shape criterion), 계단형(Level criterion), 선형(V-shape with indifference criterion), 가우스형(Gaussian criterion) 6가지이고, 각 선호함수에 필요한 선호 임계치를 사용한다. 선호함수와 선호임계치는 의사결정자의 주관에 의존한다[14].



(그림 1) PROMETHEE의 6가지 선호 함수

단계 2. 선호지수를 계산한다.

PROMETHEE에서 P 는 선호강도를 나타내고, 선호함수를 이용하여 선택된다. 대상 a 의 대상 b 에 대한 선호지수는 n 개의 평가 항목으로부터 산정되고, 수식 (8)과 같다. $P_j(a,b)$ 는 j 평가 항목에 대한 대상 a 와 대상 b 의 선호도의 차를 의미한다.

$$\pi(a,b) = \frac{\sum_{j=1}^n w_j P_j(a,b)}{\sum_{j=1}^n w_j} \quad (8)$$

단계 3. 선호유출량과 선호유입량을 계산한다.

Φ^+ 는 선호유입량, Φ^- 는 선호유출량을 나타낸다. 선호유입량은 평가 대상이 m 개 일 때, 해당 대상이 다른 $m-1$ 개의 대상을 지배하는 정도를 나타내며, 이 값이 클수록 우선순위가 높다는 것을 의미한다. 선호유출량은 해당 대상이 다른 $m-1$ 개의 지배를 받는 정도를 나타내며, 이 값이 클수록 우선순위가 낮다는 것을 의미한다.

$$\Phi^+(a) = \frac{1}{m-1} \sum_{x \in A} \pi(a,x) \quad (9)$$

$$\Phi^-(a) = \frac{1}{m-1} \sum_{x \in A} \pi(x,a) \quad (10)$$

단계 4. 선호 관계를 파악하여 대상별 순위를 결정한다.

대상의 평가 순위는 PROMETHEE II에 의해서 순흐름량인 Φ 에 의해 결정된다. $\Phi(a)$ 는 대상 a 의 순흐름량, $aP^I b$ 는 PROMETHEE II 방법에 의해 대상 a 가 대상 b 에 비해 선호됨을 의미하며, $aI^I b$ 는 대상 a 와 대상 b 의 선호도가 동일하여 무차별 관계임을 의미한다.

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (11)$$

$$aP^I b \text{ if } \Phi(a) > \Phi(b) \quad (12)$$

$$aI^I b \text{ if } \Phi(a) = \Phi(b) \quad (14)$$

PROMETHEE 방법은 비교 대상의 수가 많을 경우 의사결정자의 주관적 판단이 아닌 보다 객관적인 계산을 한다는 장점을 가지고 있다. 그러나 평가 항목 간의 가중치 결정과 관련한 방법을 제시하지 않기 때문에 사전에 가중치를 결정해야 하는 문제가 있다.

2.2.2 ELECTRE(ELimination Et Choice Translating REality)[15]

ELECTRE는 PROMETHEE와 동일하게 선호선위 개념을 이용하여 대상의 평가 순위를 도출하는 방법이다. 대상들 간의 선호관계를 평가하여 가장 우선순위가 낮은 평가 대상을 순차적으로 찾아내어 소거하는 방식으로 대상의 선호도를 평가한다[9].

평가 대상 간의 순위는 의사결정자로부터 얻어진 대상들의 선호도와 이를 통해 얻어진 일치성 지수(Concordance Index), 비일치성 지수(Discordance Index)의 계산에 의해 구해질 수 있다. ELECTRE 방법은 I, II, III, TRI, Is 등 다양하지만 여기서는 ELECTRE II에 대해서 소개하도록 한다. ELECTRE II는 I과 달리 열등한 평가 항목을 제거할 뿐만 아니라 평가 항목 간의 우선순위를 판별할 수 있다는 특징을 가지고 있다. ELECTRE 수행 절차는 다음과 같다.

단계 1. 일치성 지수를 계산한다. 일치성 지수는 $C(a,b)$ 는 대상 a 가 대상 b 보다 우월한 평가를 받은 평가항목들의 가중치 $w_j(j=1,2,\dots,n)$ 합을 전체 평가 항목의 가중치 합으로 나눈 비율로, 일치성 지수가 크면 클수록 대상 a 가 대상 b 보다 상대적으로 선호된다고 할 수 있다. $P_j(a)$ 는 평가 항목이 j 일 때 대상 a 의 평가 점수이다.

$$C(a,b) = \frac{\sum_{j=1}^n w_j \cdot \mathbb{1}_{P_j(a) > P_j(b) - \epsilon}}{\sum_{j=1}^n w_j} \quad (15)$$

단계 2. 비일치성 지수를 계산한다. 비일치성 지수 $D(a,b)$ 는 대상 a 가 대상 b 에 비해 전반적으로 우월한 대상임에도 불구하고, 대상 b 가 높은 평가 점수를 부여하여 대상 b 를 선택하려고 하는 의사결정자의 성향을 나타내는 수치로 수식(16)과 같이 정의된다.

$$D(a,b) = \begin{cases} 0 & \text{if } P_j(a) \geq P_j(b), \forall j \\ \max_j \left[\frac{P_j(b) - P_j(a)}{\delta_j} \right] & \text{if } P_j(a) < P_j(b), \forall j \end{cases} \quad (16)$$

$$\delta_j = \max_j |P_j(c) - P_j(d)|, \forall j$$

δ_j 는 평가 항목이 j 일 때 모든 비교 대상들의 평가 점수 값의 범위를 나타내며 척도인자(Scaling Factor)라고 한다. 불일치성 지수가 클수록 대상 b 가 대상 a 에 비해 선호된다고 할 수 있다.

단계 3. 일치성 지수 임계치와 비일치성 지수 임계치를 계산한다. 일치성 지수 임계치 \hat{c} 와 비일치성 지수 임계치 \hat{d} 는 ELECTRE의 매개변수(Preference Parameter)로 의사결정자의 주관성을 반영한다. 일반적으로는 m 개의 평가 대상에 대해서 각 지수의 평균값으로 추정하여 사용한다.

$$\hat{c} = \frac{\sum_{a=1}^m \sum_{b=1}^m C_{ab}}{m^*(m-1)} \quad (17)$$

$$\hat{d} = \frac{\sum_{a=1}^m \sum_{b=1}^m D_{ab}}{m^*(m-1)} \quad (18)$$

단계 4. 평가 대상의 우선순위를 결정한다.

선호관계 표현을 위해서 강한 순위선호와 약한 순위선호로 나누고 평가 항목 간에 순위를 부여한다. 일치성 지수 임계치는 $0 \leq c^- \leq c^+ \leq 1$, 비일치성 임계치는 $0 \leq d^- \leq d^+ \leq 1$ 라 표현하고, S^F 는 강한 순위선호, S^f 는 약한 순위선호이고, 수식(19)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} & aS^Fb \quad (19) \\ \text{if } C(a,b) \geq c^+, D(a,b) \leq d^-, \frac{P^+(a,b)}{P^-(a,b)} \geq 1 \\ & aS^fb \\ \text{if } C(a,b) \geq c^-, D(a,b) \leq d^+, \frac{P^+(a,b)}{P^-(a,b)} \geq 1 \end{aligned}$$

$P^+(a,b)$ 는 대상 a 가 대상 b 보다 선호되는 평가 항목들의 가중치의 합을 나타내고, $P^-(a,b)$ 는 대상 b 가 대상 a 보다 선호되는 평가항목의 가중치의 합을 나타낸다. 강하게 선호되는 대상들 중에서 약하게 선호되는 대상의 수가 상대적으로 많을수록 높은 순위를 할당한다.

ELECTRE 방법은 의사결정자의 주관적 선호 특성을 반영하는 매개변수를 의사결정모형에 포함시킴으로써 의사결정자에게 다양한 평가결과를 제공해주는 장점이 있어서 유럽에서는 다양한 분야에서 적용된 바가 있다. 그러나 계산 과정이 복잡하고, PROMETHEE와 마찬가지로 사전에 가중치에 대한 계산이 필요하다는 단점이 있다[9].

2.3 목표 지향 참조 수준 방법

2.3.1 TOPSIS(Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)[16]

TOPSIS 방법은 최선의 대상과 최악의 대상을 동시에 고려하는 인간의 합리적 선택이 표현 가능한 논리성을 가지고 있다[17]. TOPSIS 수행절차는 아래와 같다.

단계 1. 평가 대상과 항목으로 이루어진 의사결정행렬(Decision Matrix)의 모든 성분, 즉 성능점수(Performance Score)들을 다음과 같이 정규화한 행렬 r_{ij} 를 구한다.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^M x_{ij}^2}} \quad (20)$$

이때, m 은 평가 대상의 수를, r_{ij} 는 i 번째 대상의 j 번째 평가 항목에 대한 성능점수를 나타낸다.

단계 2. 앞에서 정규화된 결정 행렬에 다음과 같이 각 평가 항목에 대한 가중치를 곱하여 가중 정규 결정행렬 v_{ij} 을 구한다.

$$v_{ij} = w_j r_{ij} \quad (21)$$

여기서, w 는 j 번째 평가 항목의 가중치를 의미한다.

단계 3. 아래와 같이 정의된 이상적인 해 v_j^+ 와 그 반대인 해 v_j^- 를 찾는다.

$$v_j^+ = \max(v_{ij}), v_j^- = \min(v_{ij}) \quad (22)$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

단계 4. 각 평가 대상과 이상적인 해의 유클리디안 거리(Euclidean distance) D_i^+ 와 반대 해와의 유클리디안 거리 D_i^- 를 계산한다.

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_j^+ - v_{ij})^2}, i = 1, 2, \dots, m \quad (23)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, i = 1, 2, \dots, m$$

여기서, n 은 평가 항목의 수를 의미한다.

단계 5. 각 평가 대상들과 이상적인 해와의 유사성 C_i 를 계산한다. i 번째 평가 대상과 이상적인 대상의 유사성은 다음과 같이 정의된다.

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (24)$$

$$0 \leq C_i \leq 1, i = 1, 2, \dots, m$$

단계 6. 단계 5에서 구한 이상적인 해와의 유사성을 바탕으로 대상들의 순위를 결정한다. 유사성 값이 큰 대상일수록 높은 순위를 갖는다.

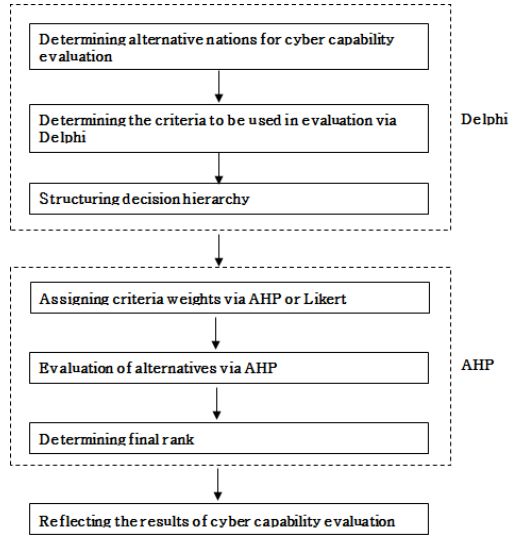
TOPSIS의 장점은 대상을 평가하는 과정에서 필요한 주관적 요소가 항목에 대한 가중치뿐이라는 것과 가중치를 생성하는 것보다 대상을 평가하는데 초점을 둔 방법이라는 것이다[18].

또 다른 장점은 간단한 계산 과정으로 인하여 다속성 관점에서 모든 대상들에 대한 평가결과를 쉽게 계산해서 최적의 대상을 빠르게 찾을 수 있다는 것이다 [19].

3. AHP를 이용한 사이버 역량 평가 모델

국가보안기술연구소는 지난 2010년부터 사이버 역량 측정 및 평가를 통해 객관적이고 정량적인 자료를 토대로 국가 사이버 안보 정책을 수립하기 위하여 국

가 사이버 역량 평가 방법론에 대한 연구를 수행해왔다. 사이버 역량 평가는 다기준 의사결정방법론 중 교육, 국방, 정책 등 다양한 분야에서 널리 사용 중에 있는 대표적인 의사결정방법인 AHP를 이용하여 수행되었고, 평가 절차는 (그림 2)와 같다[20][21].



(그림 2) AHP를 이용한 사이버 역량 평가 절차

먼저, Delphi 방법을 통해 평가 항목을 결정하고, 다음 AHP를 이용하여 항목의 가중치를 산출하였다. 마지막으로 가중치와 동일하게 AHP를 이용하여 대상 간의 평가 순위를 획득하였다. 평가 항목이 많을 경우 의사결정자가 판단해야 할 평가 횟수가 급증하는 단점을 보완하기 위해서 AHP와 Likert 중 선택하여 설문을 수행할 수 있도록 개발하였다.

국가보안기술연구소의 사이버 역량 평가 모델 개발로 주변국과 우리나라의 사이버 역량을 비교를 시도하였고, 공격과 방어 측면에서 개선점 및 강화 방안을 마련할 수 있는 기초를 마련하였다.

그러나 AHP를 이용한 사이버 역량 평가 모델은 사이버 역량 평가를 위한 평가 항목이 다양하여 평가자의 일관성 있는 평가를 기대하기가 어렵고, 평가 대상의 수가 제한적이라는 단점을 가지고 있었다[11]. 사이버 역량 평가의 특성상 다양한 국가를 대상으로 다양한 평가 항목을 반영하여 평가를 수행할 필요성이 있다. 따라서 이에 대한 개선이 필요하기 때문에 기존의

AHP를 이용한 사이버 역량 평가 모델을 개선한 AHP와 TOPSIS를 융합한 새로운 사이버 역량 평가 모델을 제안하고자 한다.

4. AHP와 TOPSIS를 융합한 사이버 방어 역량 평가

앞에서 다양한 다기준 의사결정방법에 대해서 이론적으로 고찰하고, 장단점을 비교 분석하였다. 그러나 어느 특정 기법도 모든 상황에서 우월한 방법이라고 단정 짓기는 어렵다. 이는 각 기법이 갖는 기본 가정, 공리 체계, 매개변수 등의 차이로 인하여 적용 결과가 달라지기 때문이다. 따라서, 사이버 역량 평가 모델에 적합한 다기준 의사결정방법을 모색하거나 다양한 기법을 보완하거나 통합하는 과정이 필요하다.

MAUT는 정성적인 평가 항목의 반영이 가능하고, 간결한 구조를 가지고 있지만[9], 사이버 역량 평가와 같이 평가 항목이 많을수록 효용함수의 도출이 복잡하다. 또한 의사결정의 완벽한 합리성을 가정하고 있기 때문에 현실과 괴리가 있어서 결과에 대한 객관성을 확보하기가 어렵다.

다른 다기준 의사결정방법은 가중치를 위한 다른 방법을 요하거나 의사결정자의 선호도에 의해 선정의가 필요한 반면, AHP는 평가 항목에 대한 쌍대비교를 통해 가중치를 도출할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 AHP 방법만으로 사이버 역량을 평가하기에는 의사결정자의 주관적 개입 요소가 크고, 또한 고려할 수 있는 항목의 수가 제한적이라는 문제를 가지고 있다.

PROMETHEE는 개념적이고 적용이 간편하며 평가 항목이 많은 경우에도 객관성을 유지하기가 용이하다는 장점을 가지고 있다[9]. 그러나 사이버 역량 평가에 적용하기 위해서 평가를 위해 사전에 평가 항목별로 특성을 반영하여 선호 함수를 선택하는 과정이 필요한데, 사이버 역량 평가의 특성상 평가 항목에 대한 충분한 근거 자료의 확보가 어렵기 때문에 평가 항목의 특성을 충분히 반영한 선호 함수를 선택하기 어렵다는 문제점을 가지고 있다.

ELECTRE는 사이버 역량 평가에 적용하기에는 순

위 판별 과정이 복잡하여 의사결정자가 방법론을 이해하기가 어렵고, 평가 항목 또는 평가 대상이 많을수록 많은 양의 계산을 필요로 한다는 단점이 있다.

TOPSIS는 PROMETHEE와 ELECTRE에 비해 간단한 계산 과정을 가지고 있어, 빠른 평가가 가능하다. 또한 평가 항목의 다양한 특성을 고려하여 객관적 사실에 근거한 기준값을 산출하는 것이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

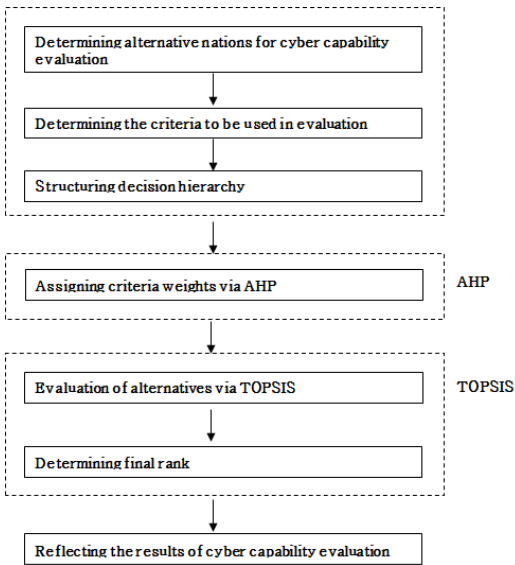
<표 1> 다기준 의사결정 방법 비교

	가정	선호함수 형태	장점	약점
MAUT	추이성 완전한 합리성	수학적 함수	정성적인 평가 항목 반영 가능 명확하고 간결한 구조	완벽한 합리성에 의한 현실과의 괴리 효용 함수 도출이 복잡
AHP	추이성 완전한 합리성	평가자의 주관적 판단	쌍대비교 행렬을 이용한 중치 도출 가능 일관성 평가 가능 개념적으로 쉽고 적용이 편리	고려할 수 있는 평가 대상의 수가 제한적 부적절할 계층 구조 형성 가능 대상의 순위 역전 발생 가능
PROMETHEE	비추이성 비교불가능성 제한적 합리성	수학적 함수	제한적 합리성을 통한 현실적 접근 가능 개념적으로 쉽고 적용이 편리	가중치 및 선호 함수 선정 기준이 주관적
ELECTRE	비추이성 비교불가능성 제한적 합리성	수학적 함수	다양한 선호 특성 반영 가능	가중치 선정의 주관성 대상의 순위 판별 과정이 복잡
TOPSIS	비추이성 제한된 합리성(최적의 해와 최악의 해를 동시에 고려하여 인간의 합리적 선택 유도)	수학적 함수	평가 대상 간의 거리를 이용한 최적해 도출 개념적으로 쉽고 적용이 편리	가중치 선정의 주관성 일관성 평가 불가능

종합적으로 분석해 본 다기준 의사결정방법의 장단점은 <표 1>과 같다. 사이버 방어 역량 평가는 평가 대상 및 항목이 다양하고, 평가 항목에 대한 충분한 근거 자료 확보가 어렵기 때문에 사전에 가중치 및 선호 함수를 결정짓기가 어렵다는 특성을 가지고 있다. 이

에 본 논문에서는 사이버 역량의 특성을 반영하여 평가 수행을 위해 AHP와 TOPSIS를 융합한 방법론을 제안한다.

AHP의 장점은 평가 항목 간의 가중치 산출이 가능하다는 것이고, AHP와 다기준 의사결정방법론과 많이 융합하여 사용되고 있다[22]. TOPSIS의 장점은 유클리디안 거리를 이용하여 평가 대상국 간의 순위를 판별하는 데 있어 정교한 수학적 기반을 제공한다는 점이다. AHP와 TOPSIS의 장점을 융합하기 위해서 AHP를 이용하여 평가 항목 간의 가중치를 산출하고, TOPSIS 절차에 AHP에 의해 산출된 가중치를 이용하여 최종 평가 대상들 간의 우선순위를 도출한다. AHP와 TOPSIS를 이용한 사이버 역량 평가 방법의 절차는 (그림 3)과 같다.



(그림 3) AHP와 TOPSIS를 융합한 사이버 역량 평가 방법론

제안한 AHP와 TOPSIS를 융합한 방법론은 세부적인 방법론은 차이가 있지만 무기 선택[23], 발전소 부지 선택[24] 등 다양한 응용 분야에서 활용되고 있다.

5. 실험

제안한 AHP와 TOPSIS를 융합한 다기준 의사결정 방법론을 사이버 역량 평가에 적용하기 위하여 다음과 같이 가상의 데이터를 이용하여 방어 역량에 평가 시험을 수행하였다.

평가 대상은 한국, 러시아, 중국, 미국 4개국으로 선정하였으며, 방어 역량을 위한 평가 항목은 국가 정보 보호 백서의 국가·공공부문 평가 항목 중 4가지 항목인 조직, 인력 역량, 교육, 예산에 대해서 실험을 수행하였다[25]. 실험은 실제 전문가 수렴 데이터 아닌 가상의 데이터로 수행되었다.

사이버 방어 역량 평가를 위한 의사결정 행렬은 기존의 사이버 역량 평가 모델에 적용되었던 AHP를 이용하여 산출되었다.

AHP에 의해 산출된 의사결정 행렬에 TOPSIS를 적용하기 위해서 아래의 단계를 수행해야 한다.

단계 1. AHP에 의해 산출된 의사결정 행렬의 모든 성능 점수를 수식(20)을 이용하여 정규화한 행렬 r_{ij} 를 구한다.

<표 2> 정규화된 의사결정 행렬 1

	organization	manpower	education	budget
Korea	0.01301881	0.00906304	0.00111556	0.34386496
USA	0.28238596	0.25755625	0.32729841	0.00434281
Russia	0.09529569	0.12652249	0.09084196	0.00434281
China	0.00209764	0.00173056	0.00868624	0.07946761
Sum	0.3927981	0.39487234	0.42794217	0.43201819
Sq.R	0.626736069	0.628388685	0.65417289	0.657280906
weight	0.5579	0.2308	0.0886	0.1227

<표 3> 정규화된 의사결정 행렬 2

	organization	manpower	education	budget
Korea	0.182054306	0.15149859	0.051056839	0.892160405
USA	0.847884822	0.807621161	0.874539451	0.100261546
Russia	0.492551834	0.56605093	0.46073447	0.100261546
China	0.073077013	0.066201065	0.142469982	0.428888162

단계 2. 정규화된 의사결정 행렬을 이용하여 가중 정규 행렬 v_{ij} 를 구한다.

<표 4> 가중 정규 결정 행렬

	organization	manpower	education	budget
Korea	0.101568097	0.034965875	0.004523636	0.109468082
USA	0.473034942	0.186398964	0.077484195	0.012302092
Russia	0.274794668	0.130644555	0.040821074	0.012302092
China	0.040769666	0.015279206	0.01262284	0.052624577

단계 3. 가중 정규 행렬 v_{ij} 에서 이상적인 해 v_j^+ 와 반대 해 v_j^- 를 찾는다.

<표 5> 이상적인 해

	organization	manpower	education	budget
v_j^+	0.473034942	0.186398964	0.077484195	0.109468082

<표 6> 반대 해

	organization	manpower	education	budget
v_j^-	0.040769666	0.015279206	0.004523636	0.012302092

단계 4. 평가 대상과 이상적인 해 D_i^+ 와 반대 해 D_i^- 와의 거리를 계산한다.

<표 7> 이상적인 해와의 유클리디안 거리

	organization	manpower	education	budget	Sum	D_i^+
Korea	0.137987617	0.022931981	0.005323243	0	0.166242841	0.407729
USA	0	0	0	0.00944123	0.00944123	0.097166
Russia	0.039299206	0.003108554	0.001344184	0.00944123	0.053193174	0.230636
China	0.186853269	0.029281972	0.004206995	0.003231184	0.22357342	0.472836

<표 8> 반대 해와의 유클리디안 거리

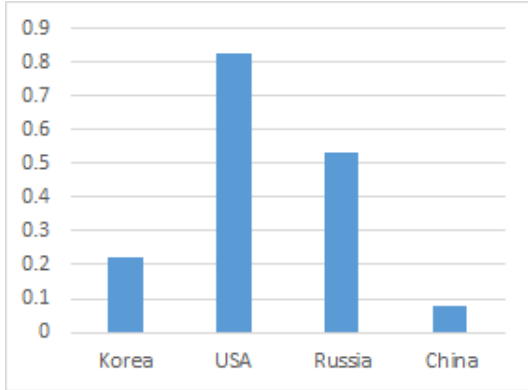
	organization	manpower	education	budget	Sum	D_i^-
Korea	0.003696449	0.000387565	0	0.00944123	0.013525244	0.116298
USA	0.186853269	0.029281972	0.005323243	0	0.221458484	0.470594
Russia	0.054767702	0.013309164	0.001317504	0	0.069394369	0.263428
China	0	0	6.55971E-05	0.001625903	0.0016915	0.041128

단계 5. 각 평가 대상과 이상적인 해와의 유사성 C_i 를 계산하고, 평가 순위를 결정한다.

<표 9> 이상적인 해와의 유사성

	Korea	USA	Russia	China
C_i	0.221931484	0.828860728	0.533185597	0.080020975
rank	3	1	2	4

가상 실험 데이터를 이용한 주요 4개국(미국, 중국, 러시아, 한국)에 대한 AHP와 TOPSIS를 융합한 방법론을 이용한 사이버 방어 역량 평가 실험 결과는 (그림 4)와 같다.



(그림 4) 사이버 방어 역량 평가 순위

6. 결 론

사이버 역량 평가는 평가 항목과 평가 대상이 다양한 다기준 의사결정 문제이다. 이에 널리 알려진 다기준 의사결정방법 5가지인 MAUT, AHP, PROMETHEE, ELECTRE, TOPSIS를 분석하고, 그 결과 사이버 역량 평가의 특성을 반영하여 AHP와 TOPSIS를 융합한 새로운 사이버 역량 평가 방법론을 제안하였다.

AHP와 TOPSIS를 융합한 방법론을 이용한 사이버 역량 평가 방법은 AHP 방법만을 이용한 사이버 역량 평가가 평가 대상이 제한적이었던 문제점을 개선하고, 평가 대상과 평가 항목이 늘어나도 보다 객관적인 평가가 가능하다는 장점을 가지고 있다. 또한 선호의 비추이성 오류를 갖고 있던 AHP의 수학적 선호 과정 계산 방법을 개선하여, AHP는 평가 항목의 가중치를 도출하는 데에 활용하고, 평가 대상국의 순위를 판별하는 데에는 TOPSIS를 활용하였다. TOPSIS는 유클리디안 거리를 이용하여 순위 판별에 AHP 보다 정교한 수학적 기반을 제공하는 것으로 분석되었다.

후후 AHP와 TOPSIS를 이용한 사이버 역량 평가

방법에 대한 실제 전문가 실험을 통하여 제안한 방법의 효용성을 입증할 필요가 있다.

세부 평가 항목 선정을 위해서는 BAH의 사이버 파워 평가 항목, BSA의 유럽 사이버 보안 평가 항목, RAND 연구소의 사이버 방어 평가 항목 등 기존의 미국과 유럽에서 사이버 역량 평가에서 활용되었던 항목을 종합적으로 분석할 필요가 있다. 그 중 국내 사이버 환경에 적합한 항목을 선별하고, 국내 정책 방향에 부합하는 국가정보보호 백서의 국가·공공 부문 평가 항목과 망 분리 여부 등을 융합하여 사이버 역량 평가를 위한 세부 평가 항목을 구체화하는 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

또한 사이버 역량 평가의 특성 상 명백한 근거 자료를 확보하기가 어렵기 때문에 의사결정자의 판단에 모호성이 존재할 수 있다. 이러한 의사결정자의 평가의 모호성을 반영하기 위해서 최근 다양하게 연구되고 있는 퍼지 다기준 의사결정방법(FMCDM : Fuzzy Multi Criteria Decision Making)에 대해서도 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] Unit, Economist Intelligence. "Cyber power index: findings and methodology." Booz Allen Hamilton, 2011.
- [2] BSA, "EU Cybersecurity Dashboard 2015," 2015.
- [3] Robinson, Neil, et al. "Stocktaking study of military cyber defence capabilities in the European Union (milCyberCAP)," 2013.
- [4] The Heritage Foundation, "2015 Index of U.S. Military Strength", Feb. 2015.
- [5] Belton, V. and T. J. Stewart, "Multiple Criteria Decision Analysis : An Integrated Approach," Kluwer Academic Publications, Boston, 2002.
- [6] Keeney, R., "Decision Analysis: An Overview, Operations Research," Vol. 30, No. 5, pp. 803-838., 1982.
- [7] Orcherding, Katrin, Thomas Eppel, and Detlof

- Von Winterfeldt, "Comparison of weighting judgments in multiattribute utility measurement," *Management science* vol. 37, no. 12, pp. 1603-1619, 1991.
- [8] 김경화, "다국적 서비스에 대한 몽골 소비자들의 인식에 관한 연구," *전략지역심층연구 논문집VI*, pp.16-17, Dec., 2011.
- [9] 봉인식, 이혜선, 좌승희. "다기준의사결정모형 (MCDM) 을 이용한 경기도 주택정책의 효율적 운영방안 연구," *경기개발연구원 기본연구*, vol. 3, no. 5, 2006.
- [10] Saaty, Thomas L. "The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resources allocation," New York: McGraw, 1980.
- [11] Linkov, I., and J. Steevens. "Appendix A: Multi-Criteria Decision Analysis," *Advances in experimental medicine and biology*, vol. 619, pp. 815, 2008.
- [12] Roy, B., "The Outranking Approach and The Foundation of ELECTRE Methods, Theory and Decision," Vol. 31, pp. 49-73, 1991.
- [13] Brans, J. and P. Vincke, "A Preference Ranking Organization method (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making)," *Management Science*, Vol. 31, No. 6, pp. 647-656, 1985.
- [14] 김길호, "PROMETHEE 기법을 이용한 댐 직하류 하천정비사업투자우선순위 결정," *대한토목학회논문집*, vol. 32, pp. 41-51. 2012.
- [15] Benayoun, R., Roy, B., and Sussmann, B., "Manuel de Reference du Programme ELECTRE, Note De Synthese et Formation," no. 25, Direction scientifique SEMA, Paris, 1966.
- [16] C.L. Hwang, K. Yoon, "Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications," Springer, Berlin Heidelberg, 1981.
- [17] 김기윤, 나관식. "연구논문: 공급업체 선정을 위한 퍼지 TOPSIS 접근방법," *기업경영연구*, vol. 38, pp. 143-159, 2011.
- [18] Olson, D.L., "Comparison of Weights in TOPSIS Models," *Mathematical and Computer Modeling*, vol. 40, pp. 721-727, 2004.
- [19] 김철현, "특허의 co-classification 분석을 이용한 기술간 연결 관계 파악: TOPSIS 기반 접근," *대한산업공학회 추계학술대회 논문집*, pp. 711-717, 2006.
- [20] Seo, H. J., SoonJa Hong, and Yoon-Cheol Choy. "A Study on the methodology to evaluate the level of nation's capability for cyber war." *The 12th International Workshop on Information Security Applications (WISA2011)*. 2011.
- [21] 강정민, "국가 사이버 역량 평가 방법론 연구," *정보보호학회논문지* vol. 22, no. 5, pp. 1039-1055, 2012.
- [22] Ghosh, Dipendra Nath. "Analytic Hierarchy Process & TOPSIS Method to Evaluate Faculty Performance in Engineering Education," *Universal Journal of Computer Science and Technology* vol. 1, no. 2, pp 63-70, 2011.
- [23] Dağdeviren, Metin, Serkan Yavuz, and Nevzat Kilinç. "Weapon selection using the AHP and TOPSIS methods under fuzzy environment," *Expert Systems with Applications* vol. 36, no. 4, pp. 8143-8151, 2009.
- [24] Choudhary, Devendra, and Ravi Shankar. "An STEEP-fuzzy AHP-TOPSIS framework for evaluation and selection of thermal power plant location: A case study from India," *Energy*, vol. 42. no. 1, pp. 510-521, 2012.
- [25] 국가정보원, "국가정보보호백서 2014," vol. 7, pp.304-321, April, 2014.

[저 자 소 개]

배 선 하 (Sunha Bae)

2007년 2월 한양대학교
미디어통신공학과 학사
2009년 1월 한국과학기술원
전기 및 전자공학과 석사
2009년~2012년 LIG 넥스원 연구원
2013년~2014년 두산중공업
기술연구원 연구원
2015년~현재 국가보안기술연구소
기술원

email : sunhabae@nsr.re.kr

박 상 돈 (SangDon Park)

2002년 2월 성균관대학교 법학과
학사
2004년 2월 성균관대학교 법학과
석사
2010년 2월 성균관대학교 법학과
박사과정 수료
2008년~현재 국가보안기술연구소
선임연구원

email : sdpark@nsr.re.kr

김 소 정 (So Jeong Kim)

1998년 2월 부산대학교 사학과 학사
2001년 2월 경희대학교 평화복지대학원
동북아학과 석사
2005년 2월 고려대학교 정보보호대학원
정보보호정책학과 박사
2001년~2002년 한국전파진흥협회
ITU-WRC 담당 연구원
2004년~현재 국가보안기술연구소
정책연구실장

email : sjkim@nsr.re.kr