

공리적설계 기반의 내부종속 AHP를 이용한 국방무기 해외 구매사업의 무기성능 평가방법 개발

조현기* · †김우제**

Development of Evaluation Method for Performance of Weapon System using Axiomatic Design based Inner Dependence AHP

Hyunki Cho* · †Woo-Je Kim**

■ Abstract ■

Test and evaluation of weapon system is an important task to evaluate the performance of overseas weapon system purchasing project. Especially, quantitative evaluation of performances is hardly completed in defense projects where multiple criteria are conflicted each other. In order to solve this problem, we apply Axiomatic Design (AD) and Inner Dependence AHP method. First, finite functional requirements (FRs) are categorized in hierarchy structure by selecting proper design parameters (DPs) to implement their corresponding FRs. If there are no ways to select DPs when design is coupled between FRs and DPs, then inner dependence is allowed to overcome the strict rule of independence in AHP. Second, the weights of DPs are calculated by applying both Inner Dependence AHP method for coupled design and normal AHP method for uncoupled or decoupled design. Finally, information axiom of AD is applied to the proposed weapon systems by calculating information contents for all parameters. Weapon system with minimum sum of information contents is considered as the best solution. The proposed method in this study should be used in multiple criteria decision making problems involving various conflicting criteria.

Keywords : Axiomatic Design, Analytic Hierarchy Process, Inner Dependence AHP, Test and Evaluation, Final Source Selection

논문접수일 : 2012년 05월 03일 논문수정일 : 2012년 08월 30일 논문게재확정일 : 2012년 09월 20일

* 방위사업청 분석시험평가국

** 서울과학기술대학교 글로벌융합산업공학과

† 교신저자

1. 개요

방위력개선사업에서의 시험평가는 무기체계 개발 및 획득과정의 한 분야이며 사업관리의 도구(tool)로서 시험과 평가의 합성어이다. 시험이란 개발 및 운용측면에서 무기체계의 객관적인 성능을 검증하고 평가하는데 필요한 기초 자료를 획득하는 과정이며, 평가는 시험을 통하여 수집된 자료와 기타 수단으로 획득된 자료를 근거로 사전에 설정된 판정 기준과 비교분석함으로써 대상 무기체계가 사용자 요구에 일치하는지를 검증하고 운용목적에 부합하는지의 적합성을 판단하는 과정이다[2, 4].

연구개발의 경우 시험평가는 기술적 개발목표 충족 여부를 결정하기 위해 수행되는 개발 시험평가와 작전운용성능의 충족여부와 군 운용의 적합성, 무기체계 전력화배치에 수반되는 각종 지원요소의 실용성 등을 종합적으로 확인하고 판정하는 운용시험평가가 있다. 하지만 무기체계를 완제품 형태로 구매하는 사업의 경우에는 시험평가를 3가지 형태로 수행한다. 첫 번째 유형은 제안업체에서 제공하는 성능자료, 개발경위, 제작국의 시험평가 결과, 해당국의 군 사용 여부 등 각종 자료를 기초로 제안요청서에 명시된 요구사항의 충족 여부를 평가하는 자료에 의한 시험평가와 두 번째 유형은 해외 또는 국내에서 실제 제안장비를 이용하여 각종 성능의 충족성을 확인하는 실물에 의한 시험평가, 세 번째는 자료와 실물에 의한 시험평가를 복합적으로 사용하는 유형이다[4].

연구개발에 의해 수행되는 시험평가는 무기체계 획득사업 착수 단계부터 시스템 엔지니어링 프로세스에 기초하여 요구사항의 분석과 개발목표 수립, 설계검토, 검증 방법 결정, 시험평가 계획 수립 및 수행, 결과 판정 등의 절차에 의거 체계적인 시험평가가 가능하다. 하지만 구매사업의 경우에는 해외에서 완제품의 형태로 무기체계를 구매해야 하기 때문에 군에서 요구하는 성능의 충족여부와 운용 적합성을 평가하는 시험평가는 구매사업의 중요한 의사결정이라고 볼 수 있다.

그동안 구매사업에서의 시험평가는 제안서 평가 단계에서 성능을 포함한 기본적인 요구사항의 충족여부를 확인하기 때문에 연구개발 사업에 비해 중요성이 상대적으로 낮게 인식되어 왔다. 실제 대부분의 구매사업에서는 ‘요구조건충족시 최저 비용에 의한 방법’을 무기체계 기종결정을 위한 의사결정 방법으로 적용해왔기 때문에 시험평가는 제안요청서에서 명시하고 있는 요구사항이 충족될 경우 ‘전투용 적합’ 판정을 하는 형태로 수행되었다. 하지만, 무기체계가 System of systems의 형태로 발전되고, 다수의 다른 무기체계와의 상호운용성이 강조되고 있으며, 첨단 기술의 적용 등으로 단순히 요구조건을 충족한 경우 최저가의 기종을 무기체제로 선정하는 의사결정은 적용에 한계가 있기 때문에 구매사업에 있어서 새로운 성능 평가 방법 적용을 통한 시험평가의 개선이 필요하다.

무기체계 성능 평가는 서로 상충되는 다양한 평가기준이 존재하는 가운데 수행되어야 하고, 오랜 시간과 노력, 전문적인 경험을 필요로 하는 분야이다. 또한 군사보안 문제로 인하여 이 분야에 대한 연구결과는 매우 제한적으로 찾아볼 수 있다. Cheng[13]은 퍼지 AHP(analytic hierarchy process) 기법과 퍼지 순위 부여에 의한 함정용 미사일체계에 대한 평가를 실시하였다. Cheng et al.[14]은 언어적 척도에 의한 AHP 방법을 이용하여 속성에 대한 가중치를 부여하고 이를 공격용 헬기 평가에 적용하였다. Chen and Lin[12]은 전자 성능을 평가하기 위해 퍼지 델파이 방법을 이용하여 평가분야별 가중치를 도출하고, 각 분야별 평가항목에 대해 대상장비별 퍼지 개념에 의한 평가를 실시하여 이를 통합하는 방법을 적용하였다. Dağdeviren et al.[16]은 퍼지 환경에서 AHP 적용에 의한 무기체계 성능 평가 요소 도출과 가중치를 부여하고, 이상적 해를 기준으로 대안비교에 의한 성능 순위를 부여하는 TOPSIS(technique for order performance by similarity to ideal solution)를 적용하는 방법을 제시하였다. Lee et al.[25]은 AHP와 PCA(principal component analysis)에 의한 가중치를 도출하고 이

를 통합하여 Goal Programming의 목적함수에 대한 가중치로 적용하여 AHP 단독에 의한 방법의 단점을 보완하였다. 지금까지 소개된 대부분의 방법들은 평가분야와 항목에 대한 도출 절차와 방법 제시가 미흡하고 분야와 항목간 영향성을 고려하지 않은 가운데 무기체계 성능을 평가함으로써 평가요소 상호간의 영향성이 클 경우에는 의사결정의 오류를 가져올 수 있다.

본 연구에서는 무기체계 성능 평가를 위해 평가분야 및 요소를 도출하는 방법과 평가 분야 및 요소간 영향성 여부에 따른 가중치 도출 방법을 제시하고, 이를 이용하여 객관적이고 정량화된 의사결정 지원 자료를 제공할 수 있는 의사결정 방법론을 제시하고자 한다. 이를 위하여 현재까지 설계, 제조공정, 생산, 분석 등 다양한 영역에서 활용되고 있는 공학적 기법인 공리적 설계(Axiomatic Design) 방법을 이용하였다.

무기체계 성능 평가의 경우 정량적 평가요소와 정성적 평가요소가 복합적으로 포함된 대표적인 다기준 의사결정 문제라고 볼 수 있다. 공리적 설계는 의사결정 목적을 달성하는데 필요한 요구사항과 이를 구현하기 위한 수단인 평가요소 간의 관계를 지그재그(zigzagging) 과정을 통해 사상(mapping)시켜 요구사항과 이에 해당하는 평가요소를 상위수준부터 하위수준으로 계층구조로 설계할 수 있다[15]. 이러한 Top-Down 설계 과정에서 상위계층의 요소에 대하여 각각의 계층별 요소의 배타적 독립성(Mutually Exclusive : ME)을 직관적으로 평가할 수 있는 장점이 있다[8]. 또한 공리적 설계는 도출된 요소를 이용하여 요구사항에 대한 제안 무기체계의 충족도를 정량적으로 표현할 수 있기 때문에 구매사업의 무기체계 기종결정 단계에서 필요로 하는 중요한 정보를 제공할 수 있다.

무기체계 성능 평가의 경우 방위사업관리규정에 명시된 작전운용성능의 충족성과 군 운용의 적합성, 전력화지원요소의 실용성 분야를 기준으로 제안요청서에 명시된 요구사항을 평가해야 하기 때문에 모든 평가요소를 ME할 수 있게 구조설계하

는 것은 제한된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 상호간의 영향관계를 일정부분 허용하는 내부종속 AHP 방법을 적용하고자 한다. 즉, 무기체계 시험평가에 필요한 구성요소는 공리적 설계 이론에 기초하여 계층구조로 설계하되, 이 과정에서 특정 계층에서의 반복적인 설계에도 불구하고 ME를 충족하지 못하는 경우에는 해당 수준에서 연성설계를 허용하고 대신 내부종속 AHP 기법을 이용한 가중치를 도출하였다. 반면에 비연성 또는 비연성화 설계와 같이 ME가 충족될 경우에는 정상적인 AHP 기법을 이용하여 가중치를 도출하고 계층별 도출한 가중치를 의사결정 목표에 대하여 최하위수준의 평가요소 가중치로 통합하였다. 또한 대상장비에 대한 평가는 공리적 설계의 정보공리를 이용하여 평가하는 방법을 제시하였다. 평가요소별 이상적 기준이 되는 시스템 영역에 대하여 대상장비의 설계영역이 얼마나 근접한지를 평가하여 가중치가 반영된 정보량의 합으로 최상의 성능을 보유한 무기체계를 평가하였다.

이를 위하여 제 2장에서는 공리적 설계와 내부종속 AHP에 의한 의사결정 관련 이론적 배경을 제시하였으며, 제 3장에서는 기존의 공리적 설계 이론을 기초로 무기체계 시험평가에 필요한 의사결정 모델을 구축하였다. 제 4장에서는 사례를 이용한 제안된 방법의 실질적인 활용 가능성을 확인하였으며, 제 5장에서는 본 연구의 결과와 시사점을 제시하였다.

2. 이론적 배경

2.1 공리적 설계

공리적 설계는 설계공학의 창의적이며 체계적인 설계이론으로 주(主) 목적은 보다 창의적이며 임의의 조사 프로세스를 줄이고, 반복적인 시행착오를 최소화하여 제안된 설계 중에서 최선의 대안을 결정할 수 있도록 하는데 있다[3].

공리적 설계에서는 기능적 요구사항(FRs)의 독

립성을 유지하는 독립공리와 설계요소(DPs)가 기능적 요구사항에서 제시하는 설계 목표에 얼마나 부합되는지를 평가하는 정보공리를 충족해야 한다 [1]. 독립공리는 주로 FRs 간에 중복성 여부를 평가하는 것으로, FRs과 DPs 간의 관계를 나타내는 설계행렬 평가를 통하여 독립공리 충족여부를 확인할 수 있다[7, 27]. FRs의 선정은 상위수준의 목표 달성을 위해 집합적 완결성과 배타적 독립성(mutually exclusive and collectively exhaustive : MECE)을 유지하여야 하며, MECE가 되지 않을 경우 연성설계 또는 독립공리를 위반하게 된다[8, 9].

공리적 설계는 FRs과 DPs가 항상 계층구조로 분해될 수 있는데, 먼저 i 번째 단계의 FRs에서 그 하위단계의 FRs로 분해하기 위해서는 물리적 영역의 i 번째 단계로 이동하여 해당 FRs를 만족하는 DPs를 선정하여야 한다[7, 15]. 이러한 과정을 통하여 최종적으로 선정된 FRs과 DPs의 관계를 다음과 같이 설계방정식으로 구축할 수 있다.

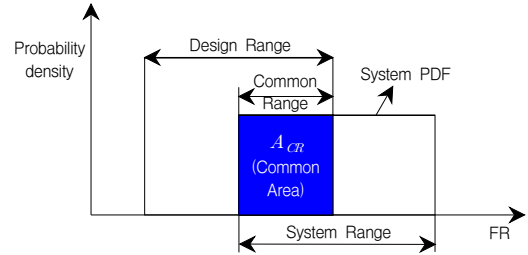
$$\{FR\} = [A] \{DP\} \quad (1)$$

$$[A] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

식 (1) 및 식 (2)에서 {FR}은 기능적 요구사항 벡터, {DP}는 설계요소 벡터, [A]는 설계행렬이다. 만약 [A]가 대각행렬이나 삼각행렬이 되면 독립공리를 충족하기 때문에 바람직한 설계가 되며, 그렇지 않은 경우에는 연성관계가 되어 독립공리를 충족하지 못하는 바람직하지 않은 설계가 된다[6].

공리적 설계에서 정보량(Information Content, I)은 정의된 기능적 요구사항을 달성할 수 있는 성공 확률로 기능적 요구사항을 위한 설계범위(Design Range)와 시스템 범위(System Range)간 겹치는 공통영역을 결정함으로써 계산될 수 있다[6]. <그림 1>에서 A_{CR} 는 설계범위와 시스템범위가 서로 겹치는 공통범위(Common Range)이며, 요구사항에 대한 설계를 달성하기 위한 설계 성공확률과 동일하

기 때문에 아래와 같이 나타낼 수 있다.



<그림 1> 설계범위, 시스템범위, 공통범위, 확률 밀도함수[23]

$$A_{CR} = \frac{\text{공통범위}}{\text{시스템범위}} \quad (3)$$

$$= P$$

정보공리 충족을 위한 정보량은 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$I = \log_2 \frac{1}{A_{CR}} \quad (4)$$

$$= \log_2 \frac{1}{P}$$

만약 식 (4)에서 모든 FRs에 대해 성공확률이 0이면 정보량은 무한대가 되며 바람직하지 않은 설계가 되지만, 1이 되면 정보량은 0이 되어 기능적 요구사항을 충족하는 설계가 된다. 본 연구와 같이 무기체계 시험평가의 경우 성능을 포함한 제반 요구사항에 대해 제안장비가 얼마나 충족하느냐에 따라 정보량은 0에 가깝게 되며, 충족하지 못하는 경우에는 무한대가 될 수 있는 것이다.

따라서 공리적 설계에 의한 최적 무기체계 최종 결정은 특정한 문제를 해결하는데 필요한 다수의 독립공리를 충족하는 설계 대안에 대해 요구되는 시스템 영역과 대안별 달성할 수 있는 설계 영역을 계산하여 시스템 영역에 가장 근접한 대안을 최적의 해로 선정할 수 있는 것이다[11, 22, 24].

공리적 설계 이론을 기반으로 한 연구는 생산공정, 제품 설계, 시스템 설계, 소프트웨어 설계, 의사결정 문제 등 다양한 영역에서 이루어지고 있으며,

최근에는 설계행렬 평가나 설계 영역 계산을 위해 퍼지 개념과 결합한 연구가 일부에서 수행되고 있다[10, 20, 21]. 또한 공리적 설계 방법을 엄격한 MECE 충족에 의한 계층구조 설계에 적용한 사례가 있으며[3, 6], 설계행렬 평가 결과 연성설계인 경우에 대한 재설계 과정 즉, DP의 변경, FRs의 재정의, 하위수준으로 분해를 통한 상위 수준의 비연성화설계 충족 등의 방법도 제시되고 있다[27].

하지만 경영이나 공공의 의사결정 문제의 경우 포괄적인 의미의 평가요소로 구성된 경우가 많기 때문에 연성설계를 비연성화설계로 만들기 위해 기존에 제시된 방법을 적용할 경우 DP의 변경에 필요한 적절한 후보 DP가 없거나 FRs를 재정의 하여도 연성설계가 되지 않는 경우가 발생할 수 있다. 이 경우에는 최상위 수준인 의사결정 목표로부터 재설계해야 하는 문제가 발생하거나 특정 요소의 경우 과도한 깊이의 분해나 다수의 평가요소로 구성되는 비정상 설계로 인하여 문제해결의 복잡성만 증가하는 경우가 발생하게 된다. 따라서 이러한 문제를 방지하기 위해서는 일정 수준에서는 연성설계를 허용하는 방안을 고려할 수 있다.

2.2 내부종속 AHP

AHP 기법은 1970년대 Saaty[26]에 의해 개발되었으며 다수의 목표·평가기준·의사결정 주체가 포함되어 있는 의사결정 문제를 계층화하여 해결하는 다기준 의사결정기법중 하나이다. AHP는 평가자의 지식과 경험 그리고 직관을 이용하여 계층구조를 구성하고 있는 동일 계층 내 요소간의 쌍대 비교(pairwise comparison)를 통하여 구성요소의 상대적 중요도를 결정하며 궁극적으로는 최하위 계층에 있는 대안들의 가중치 또는 우선순위를 구하는 방법이다[26]. AHP 기법은 산업공학을 포함한 제 분야에 다양한 형태로 활용되고 있으며 아직도 적용 분야는 계속 확대되고 있다[28]. 또한 AHP 기법 단독에 의한 활용보다는 다른 기법들과의 복합적 형태로 적용되고 있어 의사결정 문제해결을

위한 응용의 다양성을 확인할 수 있다[18].

AHP 기법에서 중요하게 고려하는 요소는 MECE의 충족 문제이다. 일반적으로 우리가 접하게 되는 많은 의사결정 문제들은 그 평가요소들끼리 상호작용하고 종속적이기 때문에 MECE를 충족하도록 계층구조를 설계하는 것은 현실적으로 한계를 나타낼 수 있는데 이를 극복하기 위해 개발된 방법이 내부종속 AHP 기법이다[29].

내부종속 AHP 기법은 동일 그룹의 평가요소에 대하여 상호간의 영향관계에 의한 종속성을 반영할 수 있는 AHP 기법의 확장된 형태로 수행절차는 다음과 같다.

첫째, 각각의 평가요소에 대한 중요도를 식 (5)와 같이 정상적인 AHP 기법을 이용하여 쌍대비교하고, 식 (6)과 같이 부분 우선순위 벡터 W_C 로 나타낼 수 있다.

$$\begin{matrix} & C_1 & C_2 & \cdots & C_n \\ C_1 & 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ C_2 & 1/a_{12} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_n & 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \cdots & 1 \end{matrix} \quad (5)$$

$$W_C = [w_1 \ w_2 \ \cdots \ w_n]^T \quad (6)$$

둘째, 각각의 평가요소에 대해 동일 그룹내 평가요소와의 영향관계를 정상적인 AHP 기법을 이용하여 식 (7)과 같이 도출하여 식 (8)과 같이 C_1 평가요소에 대한 영향관계는 부분 우선순위 벡터 f_{C1} 로 나타낼 수 있으며, 나머지 평가요소도 동일한 방법으로 부분 우선순위 벡터로 나타낼 수 있다. 이들 부분 우선순위 벡터들은 식 (9)와 같이 종속행렬 F_C 로 구성한다.

$$\begin{matrix} C_1 & C_1 & C_2 & \cdots & C_n \\ C_1 & 1 & a_{12}^{C_1} & \cdots & a_{1n}^{C_1} \\ C_2 & 1/a_{12}^{C_1} & 1 & \cdots & a_{2n}^{C_1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_n & 1/a_{1n}^{C_1} & 1/a_{2n}^{C_1} & \cdots & 1 \end{matrix} \quad (7)$$

$$f_{C1} = [w_1^{C1} w_2^{C2} \dots w_n^{Cn}]^T \quad (8)$$

$$F_C = [f_{C1} f_{C2} \dots f_{Cn}] \quad (9)$$

셋째, 각각의 평가요소에 대한 중요도 W_C 와 종속행렬 F_C 를 식 (10)과 같이 곱함으로써 내부종속에 의한 가중치 W_D 를 구할 수 있다.

$$W_D = F_C \times W_C \quad (10)$$

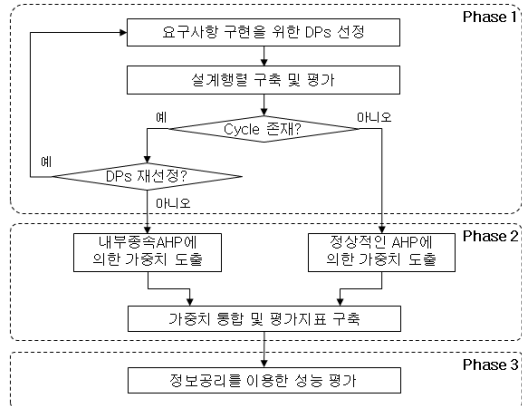
3. 무기체계 성능 평가 방법론 개발

3.1 평가방법론 개발의 Framework

무기체계 성능 평가의 경우 이미 평가해야 하는 요소가 분야별로 제시된 상태이기 때문에 요구사항을 도출하고 이를 구조화하는 것은 불필요한 부분이라고 할 수 있다. 대신 요구사항에 대한 구현 수단을 정의하고 이들에 대한 관계를 평가하여 연성설계와 비연성설계에 따른 가중치 도출 방법을 구분 적용하는 것이 필요하다.

제안요청서에 제시된 요구사항은 공리적 설계의 FRs이 되며, 이에 대해 평가하는 수단은 DP가 된다. 따라서 무기체계 성능 평가를 위해서는 공리적 설계 과정에서 제안요청서상의 모든 FRs을 구현할 수 있는 적절한 DP를 도출하고, 각각의 계층 그룹별 FRs-DPs에 대한 관계를 설계행렬 평가 방법을 적용하여 연성설계 여부를 확인하도록 하였다.

설계행렬 평가 결과 해당 계층 그룹의 FRs-DPs가 연성설계인 경우는 내부종속 AHP 기법, 그렇지 않은 경우는 정상적인 AHP로 가중치를 도출하고 각각을 통합하여 무기체계 성능 평가를 위한 최종 가중치를 도출하였다. 평가요소와 이에 대한 가중치 도출이 완료되면 이를 이용하여 무기체계에 대한 성능 평가를 공리적 설계의 정보공리를 이용하여 수행하였다. 평가 결과 최소의 정보량을 사용하는 무기체계가 최적의 성능을 보유하게 된다. <그림 2>는 본 연구에서 적용한 전체적인 의사결정 모델의 Framework이다.



<그림 2> 성능평가방법론 개발 Framework

3.2 Phase 1 : 공리적 설계를 이용한 평가 요소간 영향성 평가

3.2.1 FRs에 대한 DPs 선정

제안요청서에서 제시하는 성능관련 FRs은 무기체계 성능 평가를 위한 집합체로 이를 구현하기 위한 수단은 물리적 영역으로 이동하여 FRs에 대응하는 DPs를 선정하여야 한다. 하나의 FR을 구현하기 위한 DP는 다수 존재할 수 있기 때문에 의사결정 문제와 관련된 FR을 가장 잘 구현할 수 있는 요소로 선정하여야 한다.

3.2.2 설계행렬 구축 및 평가

설계행렬은 의사결정 문제 해결을 위한 요구사항인 FRs과 이에 대한 수단인 DPs와의 상호관계를 나타낸 것으로 설계행렬 구축 방법은 설계자나 전문가에 의해 FRs과 DPs의 관계를 이진형 또는 관계 정도에 따라 [0, 1]사이에서 수치형으로 나타내는 방법이 있다.

특히 경영이나 공공의 의사결정 문제에 적용하기 위해서는 FRs과 DPs의 관계를 명확히 정할 수 없기 때문에 Fuzzy 개념에 의한 직접적인 관계 정의나 Buckley의 Fuzzy AHP와 가중치의 정규화에 의한 방법으로 결정할 수 있다[10]. 의사결정 문제의 특성과 직관적 판단에 의한 평가가 가장 보편적으로 고려될 수 있기 때문에 본 연구에서는 [0, 1]사이에서

Fuzzy 개념을 적용한 언어적 척도를 수치적으로 전환하여 평가하는 직접적인 평가 방법을 적용하였다. <표 1>은 본 연구에서 적용한 FRs과 DP의 관계를 평가하기 위해 적용된 언어적 척도이다.

<표 1> Fuzzy 개념에 의한 언어적 척도

구분	언어적 척도	수치
절대적 영향관계에 있다.	E	(1, 1, 1)
영향관계가 매우 높다.	VH	(0.7, 0.9, 1)
영향관계가 높다.	H	(0.5, 0.7, 0.9)
영향관계가 보통이다.	M	(0.2, 0.5, 0.8)
영향관계가 낮다.	L	(0.1, 0.3, 0.5)
영향관계가 매우 낮다.	VL	(0, 0, 0.2)
영향관계가 없다.	N	(0, 0, 0)

<표 1>을 이용하여 FRs과 DP의 영향관계를 k 번째 전문가에 의해 평가한 결과를 A_k 라고 정의하고 이를 설계행렬로 다음과 같이 표현할 수 있는데,

$$A_k = \begin{bmatrix} \widetilde{a}_{11} & \widetilde{a}_{12} & \cdots & \widetilde{a}_{1n} \\ \widetilde{a}_{21} & \widetilde{a}_{22} & \cdots & \widetilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \widetilde{a}_{n1} & \widetilde{a}_{n2} & \cdots & \widetilde{a}_{nn} \end{bmatrix} \quad (11)$$

n 은 FRs과 DP의 수이며, \widetilde{a}_{ij} 는 설계행렬의 i 번째 행과 j 번째 열의 퍼지수를 의미한다. 전문가에 의한 설계행렬 평가 결과는 각각의 요소에 대해 산술 평균하여 종합하였으며, A_C 라고 정의하였다[11].

$$A_C = \frac{1}{k}(A_1 \oplus A_2 \oplus \cdots \oplus A_k) \quad (12)$$

\oplus : 퍼지 산술연산자

A_C 행렬의 각 요소는 비퍼지화수(Defuzzification Number)로 전환하여야 한다. 비퍼지화수로 전환된 요소를 행렬(A_C^{def})로 표현하면 다음과 같으며,

$$A_C^{def} = \begin{bmatrix} a_{11}^{def} & a_{12}^{def} & \cdots & a_{1n}^{def} \\ a_{21}^{def} & a_{22}^{def} & \cdots & a_{2n}^{def} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1}^{def} & a_{n2}^{def} & \cdots & a_{nn}^{def} \end{bmatrix} \quad (13)$$

where

$$a_{ij}^{def} = \frac{a_{ij}^l + 2a_{ij}^m + a_{ij}^u}{4}, \quad i, j=1, \dots, n$$

$a_{ij}^l, a_{ij}^m, a_{ij}^u$ 는 각각 \widetilde{a}_{ij} 의 하위, 중간, 상위 부분값을 의미한다.

FRs과 DP의 관계가 연성인지 여부를 평가하기 위해서는 피드백 루프가 존재하는지를 확인함으로써 평가할 수 있다[17]. 즉, 특정 DP는 이에 대응하는 FR에만 영향을 주어야 하나, 식 (14)와 같이 다른 FR에도 영향을 줄 경우 FR을 구현하기 위한 유일한 해가 존재하지 않게 되는데 이러한 경우가 피드백 루프가 존재하는 경우가 된다.

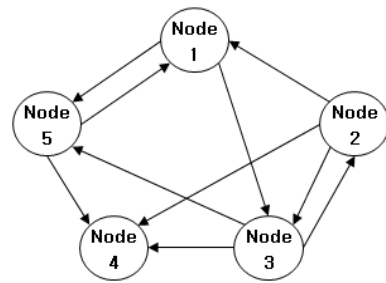
$$FR_i = \widetilde{a}_{i1}DP_1 + \widetilde{a}_{i2}DP_2 + \cdots + \widetilde{a}_{in}DP_n \quad (14)$$

for $i = 1, 2, \dots, n$

먼저 설계행렬을 다음과 같이 평가하였다고 가정하자.

$$A_C^{def} = \begin{bmatrix} 1 & X & 0 & 0 & X \\ 0 & 1 & X & 0 & 0 \\ X & X & 1 & 0 & 0 \\ 0 & X & X & 1 & X \\ X & 0 & X & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

FRs과 DP의 상호관계를 그래프로 표현하기 위하여 FR_1-DP_1 쌍은 Node 1, FR_2-DP_2 쌍은 Node 2, FR_3-DP_3 쌍은 Node 3, FR_4-DP_4 쌍은 Node 4, FR_5-DP_5 쌍은 Node 5로 나타내면 상호 연결관계는 <그림 3>과 같다.



<그림 3> FR-DP쌍 연결관계

<그림 3>에서 Cycle이 Node 1→Node 3→Node 2→Node 1, Node 1→Node 3→Node 1, Node 2→Node 3→Node 3, Node 1→Node 5→Node 1과 같이 4개가 존재하는데 이러한 모든 Cycle은 공리적 설계에서 피드백 루프가 되기 때문에 설계행렬은 연성설계가 된다.

식 (11)과 같이 설계행렬을 계량화하여 평가한 경우에는 DP의 영향성에 대한 현실성 여부를 결정할 수 있는 기준값(γ)을 설정하여야 한다. 이러한 기준값은 설계행렬 평가 결과에서 전문가에 의해 설정될 수 있다. 따라서 A_C^{def} 행렬의 각 요소 a_{ij}^{def} 에 대하여 $a_{ij}^{def} < \gamma$ 인 경우에는 $a_{ij}^{def} = 0$ 으로 적용하여 <그림 3>과 같은 FRs-DPs의 연결관계를 그래프로 나타내어 설계행렬의 연성관계를 평가할 수 있겠다.

3.2.3 재설계

공리적 설계에서의 재설계는 새로운 DP를 선정하거나 FRs의 재정의, 하위 수준으로 분해가 있으나 본 연구에서는 유한개의 FRs에 대한 설계이기 때문에 DP를 새롭게 선정하는 방법만 적용하였다. 이를 위하여 먼저 새로 선정이 필요한 대상 DP를 결정하여야 하는데 전체적으로 영향력이 가장 높은 DP가 선정 대상이 된다.

예를 들면 다음과 같다. <그림 3>에서 Cycle이 있는 노드는 Node 1, Node 2, Node 3, Node 5가 있으나, 이중 Node 1과 Node 3이 각각 3개의 Cycle에서 통과하는 Node가 된다. 만약 이 Node들이 연결되지 않는다면 다른 모든 Cycle이 발생하지 않기 때문에 가장 영향력이 있는 DP는 DP_1 과 DP_3 이 되어 다른 가능한 DP로 선정함으로써 연성설계를 제거할 수 있다. 하지만, 다른 DP로 선정을 하여도 연성설계를 제거할 수 없는 경우에는 이를 허용하고 내부중속 AHP 기법에 의한 가중치를 산정하여야 한다.

3.3 Phase 2 : 가중치 도출 및 평가지표 구축

가중치는 크게 2가지를 대상으로 수행한다. 공리

적 설계의 설계행렬 평가 결과 비연성/비연성화 설계인 경우는 MECE가 보장되기 때문에 정상적인 AHP 기법에 의한 가중치 도출이 가능하다. 그러나 연성 설계인 경우에는 평가요소 상호간에 영향관계가 존재하기 때문에 내부중속 AHP 기법에 의한 가중치 도출이 필요하다.

가중치는 요구사항에 해당하는 FRs를 충족시키기 위한 수단(지표)인 DP를 대상으로 도출하여야 한다. 즉, 수단에 대한 가중치를 부여하여 측정 또는 동작함으로써 궁극적으로는 의사결정 목적에 해당되는 최상위수준의 FR을 달성할 수 있는 것이다.

3.4 Phase 3 : 공리적 설계의 정보공리를

이용한 성능 평가

정보공리를 이용한 성능 평가를 위해서는 먼저 시스템 영역에 대한 정의가 필요하다. 일반적으로 시스템 영역은 기능적 요구사항에 의해 표현할 수 있으나, 무기체계 성능 평가와 같은 경우에는 이미 요구사항을 충족한 가운데 최상의 무기체계 성능을 평가하는 것이기 때문에 상대적 성능평가 개념 적용이 필요하다. 즉, 성능이 수치적으로 표현되는 경우에는 평가 항목별 가장 좋은 무기체계의 성능을 시스템 영역으로 설정하고 나머지 대상장비의 성능을 설계영역으로 적용하여야 상대적 평가가 가능하다. 이 경우 편익 유형의 성능과 비용 유형의 성능으로 구분할 수 있는데, 편익 유형은 성능을 나타내는 수치가 높으면 높을수록 유리하게, 비용 유형은 성능을 나타내는 수치가 낮으면 낮을수록 유리하게 평가하여야 한다.

성능을 수치적으로 표현할 수 없는 경우에는 평가 기준을 절대적 수치 '1'을 기준으로 대상장비의 성능을 평가할 수 있다. 이 경우 시스템 영역은 1이 되고 설계영역은 평가 결과가 된다. 정성적 평가항목의 경우에는 일반적으로 Fuzzy 개념에 의한 언어적 척도를 이용하여 평가하고 이를 계량화하는 방법을 적용한다. 본 연구에서는 <표 2>의 퍼지 개념에 의한 언어적 척도를 이용하였다. 자료의

충분성이나 요구 성능에 대한 구현 가능성이 충분한 경우에는 유형 1을 적용하고, 제안 성능이 요구 성능의 구현을 위해 적절하게 설계되었는지 등을 평가할 경우에는 유형 2를 적용한다. 또한 요구 성능에 대한 표현이나 자료의 명확성 등을 평가할 경우에는 유형 3을 적용하며, 이에 상응하는 퍼지 수치는 구간별 동일하게 적용하였다. 정성적 평가항목의 경우에는 평가의 객관성을 유지하기 위해 다수의 전문가가 참여하여 평가를 하게 되는데 이때 전문가 평가결과를 종합하는 방법은 식 (12)에 의한 퍼지산술평균을 적용하고, 퍼지 수치를 비퍼지화하기 위해서는 식 (13)의 방법을 적용하였다.

$$I_i^k = \begin{cases} \log_2\left(\frac{\text{시스템영역}}{\text{설계영역}}\right), \text{ 편의 유형} \\ \text{및 정성적 평가항목} \\ \log_2\left(\frac{\text{설계영역}}{\text{시스템영역}}\right), \text{ 비용 유형} \end{cases}, \quad (16)$$

for $i = 1, 2, \dots, n$

$$I_i^{wk} = I_i^k w_{C_i} \text{ for } k = 1, 2, \dots, m \quad (17)$$

$$I_T^k = \sum_{i=1}^n I_i^{wk} \text{ for } k = 1, 2, \dots, m \quad (18)$$

$$\min(I_T^1, I_T^2, \dots, I_T^m) \quad (19)$$

<표 2> Fuzzy 개념에 의한 언어적 척도

구 분	유형 1	유형 2	유형 3	퍼지 수치
VH	매우 충분	매우 적절	매우 명확	(0.8, 1.0, 1.0)
H	충분	적절	명확	(0.5, 0.7, 0.9)
M	중간	중간	중간	(0.3, 0.5, 0.7)
L	미흡	부적절	불명확	(0.1, 0.3, 0.5)
VL	매우 미흡	매우 부적절	매우 불명확	(0.0, 0.0, 0.2)

평가 대상 무기체계가 m 개 있을 경우 k 번째 무기체계에 대한 정보량(I_T^k)은 다음과 같이 계산할 수 있다. 먼저, 식 (16)과 같이 각각의 시스템 영역에 대해 설계영역으로 나누고, 이를 로그함수를 취하여 평가요소별 정보량(I_i^k)을 구한다. 단, 정량적 평가항목 중 비용 유형은 수치가 낮으면 낮을수록 유리하게 평가되어야 하기 때문에 설계영역을 시스템 영역으로 나누어야 한다. 각각의 평가요소에 대한 정보량은 식 (17)과 같이 가중치(w_{C_i})로 곱하여 가중정보량(I_i^{wk})을 구하고, 이를 모두 더하게 되면 식 (18)과 같이 k 번째 무기체계에 대한 최종 정보량(I_T^k)이 되며, 식 (19)에 의해 가장 적은 정보량을 제시한 무기체계가 최상의 성능을 발휘하게 되는 것이다.

4. 해외구매 무기체계 성능 평가 사례연구

4.1 사례연구 개요

해외구매 무기체계에 대한 성능 평가 사례연구에서는 본 연구에서 제안한 성능 평가 의사결정 모델의 적용 방법을 단계별로 제시하기 위해 방위사업청에서 2006년에 착수하여 2007년에 최종 기종 결정을 수행한 대포병탐지레이더 사업을 사례로 적용하였다. 대포병탐지레이더 사업은 북한군의 장사정포 위협과 변화하는 국내 작전환경에 대응하기 위하여 해외로부터 구매에 의하여 장비를 도입한 사업이다. 대포병탐지레이더 구매를 위하여 사업 제안요청서에 명시한 무기체계 성능 요구사항은 크게 작전운용성능분야와 기술적·부수적성능분야, 기타 요구성능 분야를 기준으로 제시된다. 무기체계 성능 평가는 시험평가에 의해 전투용 적합 판정을 받은 대상장비 중에서 최상의 성능을 보유한 장비에 대한 의사결정 지원 자료를 제공하는 것이 주목적이다.

본 연구의 사례연구에 사용된 자료는 <표 3>에 제시하였으며, 군사보안 문제, 제안업체의 사업비밀 등으로 인하여 무기체계 구매사업에서 사용된 실제 자료가 아닌 Jane's 자료[19] 및 인터넷에서 공개된 성능자료를 사용하였으며, 군사보안 목적상

〈표 3〉 대상장비의 제원 및 성능

평가항목	A사	B사	C사
최대 탐지거리	00km	00km	00km
최대 탐지범위	000도	000도	000도
탐지 정확도	000m CEP	000m CEP	000m CEP
탐지율	00%	00%	00%
동시추적능력	00개	00개	00개
분당 처리능력	000개	000개	000개
설치시간	0분	0분	0분
철수시간	0분	0분	0분
위치 정확도	00m CEP	00m CEP	00m CEP
표고 정확도	00m PE	00m PE	00m PE
망위각 정확도	0.0mil PE	0.0mil PE	0.0mil PE
디지털지도	지도변환도구 활용/제공	탑재 가능	탑재 가능
표고정보자료(DTED-II)	지도변환도구 활용/제공	탑재 가능	탑재 가능
지상전술 C4I와 연동	가능	한국군에서 이미 적용	가능
BTCS와 연동	가능	한국군에서 이미 적용	가능
전술통신체계로 데이터 전송	가능	한국군에서 이미 적용	가능

수치자료는 명시하지 않았다.

4.2 Phase 1 : 공리적 설계를 이용한 평가

요소간 종속성 평가

무기체계 시험평가의 궁극적 목표는 다양한 성능 요구사항을 고려하여 제안 무기체계를 평가함으로써 추후 기종결정 단계에서 의사결정의 종합적 판단 자료로 활용하기 위한 것이다. 또한 이를 위한 수단으로 평가지표를 적용할 수 있기 때문에 상위수준에 대한 FR 정의와 DP 선정은 다음과 같다.

- FR_Top : 최상의 성능을 보유한 무기체계를 계량적으로 평가하여야 한다.
- DP_Top : 무기체계 성능 평가지표

〈표 3〉의 모든 성능 요구사항에 대해 〈표 4〉와 같이 그룹화하여 각 계층그룹별 FRs를 정의하였으며, 이를 구현할 수 있는 수단(측정지표)인 DPs를 〈표 5〉와 같이 선정하였다.

무기체계 시험평가의 경우 유한개(finite number)의 요구사항에 대한 성능 평가에 해당되기 때문에 일반적인 공리적 설계에 의한 분해 과정은 적용하지 않고 설계행렬에 대한 평가결과 연성인 경우에 한하여 해당 수준에서 DPs를 재선정하되 반복적인 재선정에도 불구하고 연성관계가 지속될 경우에는 이를 허용하도록 하였다. 본 연구에서는 레이더 분야 평가 및 운용에 대한 지식과 경험이 있는 12명의 전문가에 의해 설계행렬 평가를 수행하도록 하였으며, DPs 영향성에 대한 기준값(γ)은 전문가의 합의에 의해 0.1을 적용하였다. 실무지식과 전문적 경험이 있는 집단이 선발된 경우에는 그 집단의 특성이 동질적일 때 설문 규모는 10~15명 이면 충분하다고 볼 수 있으므로 설계행렬 평가 전문가 규모는 적절한 것으로 판단하였다[5]. 〈표 1〉을 이용한 1단계 하위수준에 대한 설계행렬의 연성설계 여부에 대한 평가 결과는 〈표 6〉에 제시하였으며, 2단계 하위수준에 대한 설계행렬의 연성설계 여부에 대한 평가 결과는 동일한 방법에 의해 수행되기 때문에 〈부록 A〉에 수록하였다.

<표 4> 계층 그룹별 FRs 정의 결과

1단계 하위 수준 FRs	2단계 하위 수준 FRs
FR ₁ : 레이더의 탐지능력은 소요군의 작전운용에 지장이 없어야 한다.	FR ₁₁ : 00km PE (Probable Error) 이상 떨어진 로켓을 탐지하여야 한다.
	FR ₁₂ : 레이더의 탐지범위는 좌우 00도 이상이어야 한다.
	FR ₁₃ : 레이더가 탐지한 표적의 정확도는 000m CEP (Circular Error Probable) 이내이어야 한다.
	FR ₁₄ : 대상 표적의 00% 이상을 탐지하여야 한다.
FR ₂ : 레이더는 소요군이 필요로 하는 작전반응요소를 충족하여야 한다.	FR ₂₁ : 레이더의 동시 표적 추적능력은 0개 이상이다.
	FR ₂₂ : 레이더는 분당 00개 이상의 표적을 처리할 수 있어야 한다.
	FR ₂₃ : 레이더는 00분 이내에 설치하여 임무수행 가능하여야 한다.
	FR ₂₄ : 레이더는 00분 이내에 철수할 수 있어야 한다.
FR ₃ : 레이더는 자신의 위치 및 표고, 방위각 정보를 제공할 수 있어야 한다.	FR ₃₁ : 레이더 자체의 위치 정확도는 00m CEP이내이어야 한다.
	FR ₃₂ : 레이더 자체의 표고 정확도는 00m PE이내이어야 한다.
	FR ₃₃ : 레이더의 지향 방위각 정확도는 0.0mil PE이내이어야 한다.
	FR ₃₄ : 디지털 지도 내장이 가능하여야 한다.
	FR ₃₅ : 표고정보자료(DTED-II) 내장이 가능하여야 한다.
FR ₄ : 레이더는 다른 무기 체계와 연동이 가능하여야 한다.	FR ₄₁ : 지상전술C4I체계와 연동 가능하여야 한다.
	FR ₄₂ : BTCS와 연동 가능하여야 한다.
	FR ₄₃ : 육군의 전술통신체계로 데이터 전송이 가능하여야 한다.

FR_s-DP_s쌍에 대한 설계행렬 평가 결과 <그림 4>에서 보는 바와 같이 Node 1과 4사이를 제외한 모

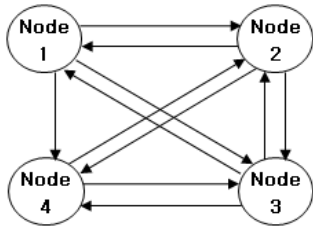
<표 5> 계층 그룹별 DP_s 선정 결과

1단계 하위 수준 DP _s	2단계 하위 수준 DP _s
DP ₁ : 레이더 탐지능력	DP ₁₁ : 레이더 최대 탐지거리
	DP ₁₂ : 레이더 탐지범위
	DP ₁₃ : 레이더 탐지 정확도
	DP ₁₄ : 표적 탐지율
DP ₂ : 작전 반응요소	DP ₂₁ : 동시 표적 추적능력
	DP ₂₂ : 분당 표적 처리능력
	DP ₂₃ : 임무수행을 위한 레이더 설치 소요시간
	DP ₂₄ : 레이더 철수 소요시간
DP ₃ : 레이더 측지 및 자세 도출 수단	DP ₃₁ : 레이더 자체 위치 정확도
	DP ₃₂ : 레이더 자체 표고 정확도
	DP ₃₃ : 레이더 지향 방위각 정확도
	DP ₃₄ : 디지털 지도 내장 형태 및 용이성
	DP ₃₅ : 표고정보자료(DTED-II) 내장 형태 및 용이성
DP ₄ : 타 무기 체계와의 연동성	DP ₄₁ : 지상전술 C4I 체계와의 연동 가능성 및 이에 필요한 추가소요
	DP ₄₂ : BTCS와의 연동 가능성 및 이에 필요한 추가소요
	DP ₄₃ : 전술통신체계로 데이터 전송 능력

든 Node 상호간에 Cycle이 존재하기 때문에 연성설계가 된다. 레이더는 탐지능력과 동시 표적추적 능력이 설계 측면에서 상호 연관관계가 가장 크고 나머지 요소도 영향관계가 존재하기 때문에 현재의 DP_s 선정은 적절하며, 연성설계를 허용하도록 하였다.

<표 6> FRs-DPs 설계행렬 평가 결과

A_C^{def}	DP ₁	DP ₂	DP ₃	DP ₄
FR ₁	1	0.532	0.141	0.045
FR ₂	0.443	1	0.182	0.236
FR ₃	0.155	0.173	1	0.109
FR ₄	0.109	0.282	0.109	1



〈그림 4〉 1단계 하위 수준 FR-DP쌍 연결 관계

4.3 Phase 2 : 가중치 도출 및 평가지표 구축

공리적 설계를 이용한 설계 결과는 가중치 도출을 위한 AHP 계층구조로 변환을 하여야 한다. 의사결정의 궁극적인 목표는 FR_TOP을 달성하기 위한 것이며, 이를 위하여 하위 수준에서의 요구사항 정의와 이를 구현하기 위한 수단인 DP를 선정하는 과정이다. 따라서 AHP 계층구조의 목표는 공리적 설계의 FR_TOP이 되어야 하며, 하위 수준에서의 Criteria 및 Sub-criteria는 측정 수단인 DP가 되어야 한다. 변환 결과는 <표 7>과 같다.

〈표 7〉 AHP 계층구조 변환 결과

목표	Criteria	Sub-criteria
기종 결정의 종합적 판단 자료로 활용할 수 있도록 무기 체계 성능을 평가	레이더 탐지 능력 (C ₁)	레이더 최대 탐지거리(C ₁₁)
		레이더 탐지범위(C ₁₂)
		레이더 탐지 정확도(C ₁₃)
		표적 탐지율(C ₁₄)
	작전 반응 요소 (C ₂)	동시 표적 추적능력(C ₂₁)
		분당 표적 처리능력(C ₂₂)
		임무수행을 위한 레이더 설치 소요시간(C ₂₃)
		레이더 철수 소요시간(C ₂₄)
	레이더 측지 및 자세 도출 수단 (C ₃)	레이더 자체 위치 정확도(C ₃₁)
		레이더 자체 표고 정확도(C ₃₂)
		레이더 지향 방향각 정확도(C ₃₃)
		디지털 지도 내장 형태 및 용이성(C ₃₄)
		표고정보자료(DTED-II) 내장 형태 및 용이성(C ₃₅)
	타 무기 체계와의 연동성 (C ₄)	지상전술 C4I 체계와의 연동 가능성 및 이에 필요한 추가소요(C ₄₁)
BTCS와의 연동 가능성 및 이에 필요한 추가소요(C ₄₂)		
전술통신체계로 데이터 전송 능력(C ₄₃)		

가중치 도출은 설계행렬 평가 결과에 따라 연성 설계인 경우는 내부종속 AHP 기법을 적용하고 그렇지 않은 경우에는 정상적인 AHP 기법을 적용하였다. 설계행렬 평가 결과 연성설계에 해당되는 C_i (i=1, 2, 3, 4)와 C_{1i} (i=1, 2, 3, 4), C_{4j} (j=1, 2, 3)는 내부종속 AHP 기법에 의한 가중치를 도출하고 나머지는 정상적인 AHP 기법에 의한 가중치를 도출하였다.

내부종속 AHP 기법에 의한 C_i (i=1, 2, 3, 4)와 C_{1i} (i=1, 2, 3, 4), C_{4j} (j=1, 2, 3)의 가중치 도출 결과는 <표 8>로부터 <표 10>까지 제시하였으며, 정상적인 AHP 기법에 의한 가중치 도출 결과를 포함한 최종 가중치 도출 결과는 <표 11>에 제시하였다.

〈표 8〉 C_i (i=1, 2, 3, 4) 가중치 (W_D)

	W _C	F _D				W _D
		f _{C1}	f _{C2}	f _{C3}	f _{C4}	
C ₁	0.351	0.338	0.228	0.196	0.141	0.247
C ₂	0.351	0.401	0.380	0.214	0.232	0.341
C ₃	0.109	0.143	0.295	0.518	0.232	0.254
C ₄	0.189	0.118	0.097	0.072	0.395	0.158

〈표 9〉 C_{1i} (i=1, 2, 3, 4) 가중치 (W_D)

	W _C	F _D				W _D
		f _{C11}	f _{C12}	f _{C13}	f _{C14}	
C ₁₁	0.330	0.377	0.347	0.260	0.198	0.315
C ₁₂	0.330	0.347	0.383	0.194	0.239	0.316
C ₁₃	0.140	0.155	0.142	0.447	0.168	0.194
C ₁₄	0.200	0.121	0.128	0.099	0.395	0.175

〈표 10〉 C_{4j} (j=1, 2, 3) 가중치 (W_D)

	W _C	F _D			W _D
		f _{C41}	f _{C42}	f _{C43}	
C ₄₁	0.540	0.474	0.163	0.332	0.381
C ₄₂	0.163	0.150	0.540	0.140	0.211
C ₄₃	0.297	0.376	0.297	0.528	0.408

<표 11> 최종 가중치 도출 결과

Level 1	Level 2	최종 가중치
C ₁ (0.247)	C ₁₁ (0.315)	0.034
	C ₁₂ (0.316)	0.034
	C ₁₃ (0.194)	0.021
	C ₁₄ (0.175)	0.019
C ₂ (0.341)	C ₂₁ (0.415)	0.062
	C ₂₂ (0.293)	0.043
	C ₂₃ (0.185)	0.027
	C ₂₄ (0.107)	0.016
C ₃ (0.254)	C ₃₁ (0.169)	0.019
	C ₃₂ (0.144)	0.016
	C ₃₃ (0.144)	0.016
	C ₃₄ (0.288)	0.032
	C ₃₅ (0.255)	0.028
C ₄ (0.158)	C ₄₁ (0.381)	0.026
	C ₄₂ (0.211)	0.014
	C ₄₃ (0.408)	0.028

4.4 Phase 3 : 공리적 설계의 정보공리를 이용한 성능 평가

정보량을 계산하기 위한 평가 항목별 평가 유형과 시스템 영역에 대한 정의는 <표 12>에 제시하였다. 정량적 평가 항목의 정보량 계산 결과는 <표 13>과 같으며, 정성적 평가 항목은 12명의 전문가에 의해 평가하였으며, 정보량 계산 결과는 <표 14>와 같다. 정량적 평가 항목의 정보량과 정성적 평가 항목의 정보량을 합한 결과는 <표 15>에 제시하였는데 정보량 계산 결과 C사의 대상장비에 대한 정보량이 가장 적어 성능이 가장 우수한 것으로 평가되었다.

6. 결 론

국방무기 구매사업에 있어서 시험평가는 대상 무기체계가 사용자 요구를 충족하는지와 군 운용목적에 부합하는지를 판단하는 중요한 과정이다. 특히, 첨단 복합무기체계를 해외로부터 구매하는 사업

<표 12> 평가항목별 평가유형과 시스템 영역 정의

평가항목	평가유형	시스템 영역
레이더 최대탐지거리(C ₁₁)	정량적 평가 (편익)	00km
레이더 탐지범위(C ₁₂)	정량적 평가 (편익)	000도
레이더 탐지 정확도(C ₁₃)	정량적 평가 (비용)	000m CEP
표적 탐지율(C ₁₄)	정량적 평가 (편익)	00%
동시 표적 추적능력(C ₂₁)	정량적 평가 (편익)	00개
분당 표적 처리능력(C ₂₂)	정량적 평가 (편익)	000개
임무수행을 위한 레이더 설치 소요시간(C ₂₃)	정량적 평가 (비용)	0분
레이더 철수 소요시간(C ₂₄)	정량적 평가 (비용)	0분
레이더 자체 위치 정확도(C ₃₁)	정량적 평가 (비용)	00m CEP
레이더 자체 표고 정확도(C ₃₂)	정량적 평가 (비용)	00m PE
레이더 지향 방위각 정확도(C ₃₃)	정량적 평가 (비용)	0.0mil PE
디지털 지도 내장 형태 및 용이성(C ₃₄)	정성적 평가 (유형 1)	1
표고정보자료(DTED-II) 내장 형태 및 용이성(C ₃₅)	정성적 평가 (유형 1)	1
지상전술 CAI 체계와의 연동 가능성 및 이에 필요한 추가 소요(C ₄₁)	정성적 평가 (유형 3)	1
BTCS와의 연동 가능성 및 이에 필요한 추가소요(C ₄₂)	정성적 평가 (유형 3)	1
전술통신체계로 데이터 전송 능력(C ₄₃)	정성적 평가 (유형 2)	1

의 경우 시험평가는 최상의 의사결정 지원을 위하여 무기체계 성능을 나타내는 다양하고 상충되는 다수의 기준에 의한 정량화된 결과를 도출하는 것이 필요하다.

이를 위하여 본 연구에서는 공리적 설계를 이용하여 성능 평가에 필요한 지표를 설계하고 AHP 및 내부중속 AHP를 이용하여 평가요소에 대한 가중치를 도출하였다. 또한 성능 평가는 공리적 설계의

〈표 13〉 정량적 평가항목 정보량 계산 결과

평가항목	가중치	A사			B사			C사		
		성능	I_i^k	I_i^{wk}	성능	I_i^k	I_i^{wk}	성능	I_i^k	I_i^{wk}
C ₁₁	0.078	00km	0.115	0.004	00km	0.379	0.013	00km	0.000	0.000
C ₁₂	0.078	000도	0.000	0.000	000도	0.415	0.014	000도	0.000	0.000
C ₁₃	0.048	000m CEP	0.000	0.000	000m CEP	0.415	0.009	000m CEP	0.000	0.000
C ₁₄	0.043	00%	0.000	0.000	00%	0.000	0.000	00%	0.000	0.000
C ₂₁	0.142	00개	1.907	0.118	00개	1.585	0.098	00개	0.000	0.000
C ₂₂	0.100	000개	1.000	0.043	000개	2.737	0.118	000개	0.000	0.000
C ₂₃	0.063	0분	0.000	0.000	0분	3.907	0.105	0분	3.644	0.098
C ₂₄	0.036	0분	0.000	0.000	0분	3.322	0.053	0분	3.322	0.053
C ₃₁	0.043	00m CEP	0.000	0.000	00m CEP	0.000	0.000	00m CEP	0.000	0.000
C ₃₂	0.037	00m PE	0.000	0.000	00m PE	0.000	0.000	00m PE	0.000	0.000
C ₃₃	0.037	0.0mil PE	0.000	0.000	0.0mil PE	0.000	0.000	0.0mil PE	0.000	0.000

정보공리를 이용하여 수행하는 방법을 제시하였다.

본 연구를 통하여 개발된 방법론을 기존의 국방 무기 성능 평가 방법과 비교하면 다음과 같은 차이점을 제시할 수 있다. 첫째, 기존 방법은 성능 요구사항에 대해 기준 충족여부만을 평가할 수 있는 반면, 제안 방법은 정량적 평가에 의한 장비별 성능 우열을 정량적으로 제시할 수 있다.

둘째, 기존 방법은 평가 대상 장비들이 모든 성능 요소에 대해 기준을 충족하였다 할지라도 우수한 성능을 보유한 장비에 대한 평가 기회가 없는 반면, 제안 방법은 정량적 평가를 통하여 우수 성능을 보유한 장비가 유리하게 평가되도록 기회를 부여할 수 있다.

셋째, 기존 방법은 성능과 관련하여 최종 기종결정 과정에서 활용할 수 있는 유용한 정보를 제공할 수 없는 반면, 제안 방법은 성능요소별 정량적 점수를 부여함으로써 최종 기종결정 과정에서 의사결정을 지원할 수 있는 정보를 제공할 수 있다.

넷째, 기존 방법은 사용자가 중요하게 고려하는 성능 요소에 대한 평가가 제한되는 반면, 제안 방법은 성능요소별 가중치 부여를 통하여 사용자가 중요하게 고려하는 성능 요소에 대해 정량적 평가에 의해 반영이 가능하다.

따라서 본 연구에서 제시한 방법은 성격이 다른 다수의 평가요소를 이용한 정량적 평가가 필요한 경우 적절히 활용할 수 있으며, 특히 상충되는 다수의 기준이 존재하는 복합 무기체계에 대한 성능 평가에 더욱 효과적으로 적용할 수 있겠다.

〈표 14〉 정성적 평가항목 정보량 계산 결과

평가항목	가중치	A사		B사		C사	
		I_i^k	I_i^{wk}	I_i^k	I_i^{wk}	I_i^k	I_i^{wk}
C134	0.073	0.143	0.005	0.255	0.008	0.333	0.011
C135	0.065	0.119	0.003	0.255	0.007	0.260	0.007
C141	0.060	0.322	0.008	0.143	0.004	0.375	0.010
C142	0.033	0.293	0.004	0.192	0.003	0.399	0.006
C143	0.064	0.431	0.012	0.288	0.008	0.431	0.012

〈표 15〉 정보량 종합(I_T^k) 결과

구분	A사	B사	C사
정량적 평가항목	0.380	0.946	0.349
정성적 평가항목	0.032	0.030	0.045
정보량 합계(I_T^k)	0.412	1.976	0.394*

평가 방법론 개발 측면에서는 기존의 공리적 설계는 평가요소 상호간에 독립관계만 허용하는 가운데 구조설계를 제시한 반면, 본 연구에서는 중속관계를 허용하는 대신 가중치는 내부중속 AHP에 의해 도출하는 구조설계 방법론을 제시함으로써 평가지표 개발을 보다 단순화하였으며, 현실 문제 적용이 용이하도록 하였다.

무기체계의 성능은 다양한 형태로 표현될 수 있으나 본 연구에서는 이를 단순히 편익유형과 비용유형으로 분류하여 이에 대한 평가 방법을 제시하였다. 성능은 특성별로 다양하게 평가될 수 있으며, 이에 따른 평가 결과도 상이하게 나타날 수 있다. 따라서 향후에는 무기체계 성능요소별 특성과 평가 목적에 맞게 다양한 평가 방법에 대한 연구가 필요하겠다.

추가로 공리적 설계의 설계행렬 평가는 이미 다수의 전문가에 의해 각 평가요소에 대한 집단의사가 반영된 의미 있는 결과라고 볼 수 있다. 이러한 결과를 평가요소별 가중치를 도출하는데 적용할 경우 AHP 또는 내부중속 AHP에 의한 가중치 도출을 생략할 수 있겠다. 그러나 지금까지의 대부분의 공리적 설계에서는 설계행렬 평가 결과를 평가요소의 중요도 도출에 적용하고 있지 않아 만약 이에 대한 수리모형의 개발과 결과에 대한 타당성이 입증된다면 공리적 설계의 활용 영역은 보다 확대될 것으로 예상하며, 각 요소별 가중치 도출에 대한 효율성과 일관성 있는 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단한다.

참 고 문 헌

- [1] 강영주, 황윤동, 차성운, 정대진, 문용락, “공리적 설계에서 FRs의 상호 독립성을 정량적으로 측정하기 위한 도구의 개발”, 『한국정밀공학회지』, 제18권, 제3호(2001), pp.122-130.
- [2] 김상훈, “현대무기체계 시험평가제도 개선요인과 발전방안에 관한 연구”, 박사학위논문, 서울산업대학교, 2008.
- [3] 김찬수, 조규갑, “국방핵심기술 연구개발의 제안서 평가를 위한 평가지표 개발에 관한 연구”, 『IE Interfaces』, 제21권, 제1호(2008), pp. 96-108.
- [4] 방위사업청 훈령 제170호 방위사업관리규정, 방위사업청, 2012.
- [5] 이창효, 『집단의사결정론』, 세종출판사, 2000.
- [6] 조현기, 김우제, “공리적설계/AHP를 이용한 해외무기체계 구매사업 제안서 평가지표 개발에 관한 연구”, 『한국군사과학기술학회지』, 제14권, 제3호(2011), pp.441-457.
- [7] 차성운, 박경진 공역, 『공리적 설계(1)』, Suh, N.P.저, 동명사, 2009.
- [8] Brown, C.A., “Teaching Axiomatic Design to Engineers—Theory, Applications and Software,” *Journal of Manufacturing Systems*, Vol.24, No.3(2005), pp.186-195.
- [9] Brown, C.A., “Decomposition and Prioritization in Engineering Design,” *Proceedings of ICAD2011, The Sixth International Conference on Axiomatic Design*, Daejeon-March 30-31, ICAD-2011-07, (2011), pp.41-47.
- [10] Cebi, S. and C. Kahraman, “Extension of Axiomatic Design Principles under Fuzzy Environment,” *Expert Systems with Applications*, Vol.37, No.3(2010), pp.2682-2689.
- [11] Cebi, S. and C. Kahraman, “Indicator Design for Passenger Car using Fuzzy Axiomatic Design Principles,” *Expert Systems with Applications*, Vol.37, No.9(2010), pp.6470-6481.
- [12] Chen, C.H. and Y. Lin, “Evaluating the best main battle tank using fuzzy decision theory with linguistic criteria evaluation,” *European Journal of Operational Research*, Vol.142, No.1(2002), pp.174-186.
- [13] Cheng, C.H., “Evaluating naval tactical missile systems by fuzzy AHP based on the grade value of membership function,” *Euro-*

- pean *Journal of Operational Research*, Vol. 96, No.2(1996), pp.343-350.
- [14] Cheng, C.H., K.L. Yang, C.L. Hwang, "Evaluating attack helicopters by AHP based on linguistic variable weight," *European Journal of Operational Research*, Vol.116(1999), pp.423-435.
- [15] Cochran, D.S., J.F. Arinez, J.W. Duda, and J. Linck, "A Decomposition Approach for Manufacturing System Design," *Journal of Manufacturing Systems*, Vol.20, No.6(2001), pp. 371-389.
- [16] Dağdeviren, M., S. Yavuz, and N. Kilin, "Weapon selection using the AHP and TOPSIS methods under fuzzy environment," *Expert Systems with Applications*, Vol.36(2009), pp.8143-8151.
- [17] Guenov, M.D. and S.G. Barker, "Application of axiomatic design and design structure Matrix to the decomposition of engineering systems," *Systems Engineering*, Vol.8, No.1 (2005), pp.29-40.
- [18] Ho, W., "Integrated analytic hierarchy process and its applications-A literature review," *European Journal of Operational Research*, Vol.186(2008), pp.211-218.
- [19] IHS Jane's Internet Homepage, www.janes.com, 2012.
- [20] Kahraman, C. and S. Cebi, "A New Multi-attribute Decision Making Method : Hierarchical Fuzzy Axiomatic Design," *Expert Systems with Applications*, Vol.36(2009), pp. 4848-4861.
- [21] Kulak, O., "A Decision Support System for Fuzzy Multi-attribute Selection of Material Handling Equipment," *Expert Systems with Applications*, Vol.29, No.2(2005), pp.310-319.
- [22] Kulak, O., S. Cebi, and C. Kahraman, "Applications of Axiomatic Design Principles : A Literature Review," *Expert Systems with Applications*, Vol.37(2010), pp.6705-6717.
- [23] Kulak, O. and C. Kahraman, "Multi-attribute Comparison of Advanced Manufacturing Systems using Fuzzy vs. Crisp AD Approach," *International Journal of Production Economics*, Vol.95(2005), pp.415-424.
- [24] Kulak, O. and C. Kahraman, "Fuzzy Multi-attribute Selection among Transportation Companies using AD and AHP," *Information Sciences*, Vol.170(2005), pp.191-210.
- [25] Lee, J.W., S.H. Kang, J. Rosenberger, S.B. Kim, "A Hybrid Approach of Goal Programming for Weapon Systems Selection," *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 58(2010), pp.521-527.
- [26] Saaty, T.L., *Decision Making with Dependence and Feedback : The Analytic Network Process*, RWS Publications, Pittsburgh, 1996.
- [27] Suh, N.P., "Axiomatic Design Theory for Systems," *Research in Engineering Design*, Vol.10(1998), pp.189-209.
- [28] Vaidya, O.S. and S. Kumar, "Analytic hierarchy process : An overview of applications," *European Journal of Operational Research*, Vol.169(2006), pp.1-29.
- [29] Ohnishi, S., T. Yamanoi, H. Imai, "On a weight representation for inner dependence method AHP," *ISCI 2009 4th International Symposium on Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, (2009), pp.113-117.

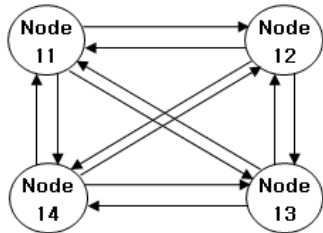
〈부록 A〉 2단계 하위 수준 설계 행렬 구축 및 평가 결과

A.1 FR_{1s}-DP_{1s} 설계행렬 구축 및 평가 결과

FR_{1s}-DP_{1s}쌍에 대한 설계행렬 평가 결과는 <표 A.1>에 제시되었으며, 모든 Node에서 Cycle이 존재하기 때문에 연성설계가 된다. FRs에 대한 수단인 DP가 명확하여 다른 DP의 선택이 제한되기 때문에 연성설계를 허용하는 것으로 결정하였다.

〈표 A.1〉 FR_{1s}-DP_{1s} 설계행렬 구축 및 평가 결과

A_C^{def}	DP_{11}	DP_{12}	DP_{13}	DP_{14}
FR_{11}	1	0.664	0.65	0.534
FR_{12}	0.645	1	0.595	0.586
FR_{13}	0.614	0.543	1	0.568
FR_{14}	0.555	0.611	0.516	1



〈그림 A.1〉 FR_{1s}-DP_{1s}쌍 연결관계

A.2 FR_{2s}-DP_{2s} 설계행렬 구축 및 평가 결과

FR_{2s}-DP_{2s}쌍에 대한 설계행렬 평가 결과는 <표 A.2>에 제시되었으며, Cycle이 존재하지 않기 때문에 비연성설계가 된다.

〈표 A.2〉 FR_{2s}-DP_{2s} 설계행렬 구축 및 평가 결과

A_C^{def}	DP_{21}	DP_{22}	DP_{23}	DP_{24}
FR_{21}	1	0.086	0	0
FR_{22}	0.064	1	0	0
FR_{23}	0	0	1	0.045
FR_{24}	0	0	0.045	1

A.3 FR_{3s}-DP_{3s} 설계행렬 구축 및 평가 결과

FR_{3s}-DP_{3s}쌍에 대한 설계행렬 평가 결과는 <표 A.3>에 제시되었으며, Cycle이 존재하지 않기 때문에 비연성설계가 된다.

〈표 A.3〉 FR_{3s}-DP_{3s} 설계행렬 구축 및 평가 결과

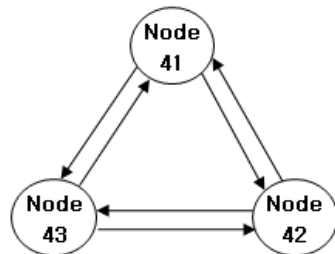
A_C^{def}	DP_{31}	DP_{32}	DP_{33}	DP_{34}	DP_{35}
FR_{31}	1	0.045	0	0	0
FR_{32}	0.045	1	0	0.005	0
FR_{33}	0.027	0	1	0	0
FR_{34}	0	0	0	1	0.005
FR_{35}	0	0	0.005	0.005	1

A.4 FR_{4s}-DP_{4s} 설계행렬 구축 및 평가 결과

FR_{4s}-DP_{4s}쌍에 대한 설계행렬 평가 결과는 <표 A.4>에 제시되었으며, <그림 A.2>에서 보는 바와 같이 모든 Node에서 Cycle이 존재하기 때문에 연성설계가 된다. 이 경우에도 다른 DP의 선택이 가능하지 않기 때문에 연성설계를 허용하도록 하였다.

〈표 A.4〉 FR_{4s}-DP_{4s} 설계행렬 구축 및 평가 결과

A_C^{def}	DP_{41}	DP_{42}	DP_{43}
FR_{41}	1	0.100	0.343
FR_{42}	0.123	1	0.343
FR_{43}	0.207	0.220	1



〈그림 A.2〉 FR_{4s}-DP_{4s}쌍 연결관계

〈부록 B〉 내부종속 AHP 설문지

1. 설문지 작성방법

- 가. 평가요소에 대한 중요도를 판단하여 > 또는 = 로 표기하십시오.
- 나. 중요도 판단 결과를 기준으로 설문표 좌측의 <기준항목>과 우측의 <비교대상항목>을 상호 비교하여 상대적인 중요도에 따라 적절하다고 생각하는 곳에 “√”로 표시하십시오.
- 다. 중요도 판단(예)

평가 항목	① 사업관리	② 개발관리	③ 업체능력
중요도 순위	③ > ① = ②		

라. 항목별 중요도 쌍대비교

기준항목	매우 중요 ← → 약간 중요								대등	약간 중요 ← → 매우 중요								비교 대상항목
	9	8	7	6	5	4	3	2		1	2	3	4	5	6	7	8	
① 사업관리									√									② 개발관리
① 사업관리														√				③ 업체능력
② 개발관리														√				③ 업체능력

- 1) 사업관리는 개발관리와 “대등”하다고 판단하였음.
- 2) 업체능력은 사업관리보다 “중요”하다고 판단하였음.
- 3) 개발관리보다는 업체능력이 “중요”하다고 판단하였음.
- ※ 설문을 작성할 때 항목 비교에 대한 일관성을 유지하도록 유의하여야 합니다. 특히, 항목간 우열이 뒤바뀌지 않도록 하시기 바랍니다. 아울러 중요도의 판단도 유의하시기 바랍니다.

<잘못된 예>

- 1) A보다 B가 중요하다. (A < B)
- 2) B보다 C가 약간 중요하다. (B < C)
- 3) C보다 A가 약간 중요하다. (C < A)
- ☞ 1), 2)에 의하면 A < B < C가 되어야 하는데, 3)에 의해 C < A < B가 되므로 모순이 됨.

2. 설문지 평가

가. Criteria 영역

1) 레이더 탐지능력 관점에서 중요도 쌍대비교

① 레이더 탐지능력 (C ₁)	② 작전반응요소 (C ₂)	③ 레이더 측지 및 자세 도출 수단(C ₃)	④ 타 무기체계와의 연동성(C ₄)
------------------------------	----------------------------	--------------------------------------	---------------------------------

기준항목	매우 중요 ← → 약간 중요								대등	약간 중요 ← → 매우 중요								비교 대상항목
	9	8	7	6	5	4	3	2		1	2	3	4	5	6	7	8	
C ₁																		C ₂
C ₁																		C ₃
C ₁																		C ₄
C ₂																		C ₃
C ₂																		C ₄
C ₃																		C ₄

2) 작전반응요소 관점에서 중요도 쌍대비교

① 레이더 탐지능력 (C ₁)		② 작전반응요소 (C ₂)		③ 레이더 측지 및 자세 도출 수단(C ₃)		④ 타 무기체계와의 연동성(C ₄)												
기준항목	매우 중요 ← → 약간 중요								대등	약간 중요 ← → 매우 중요								비교 대상항목
	9	8	7	6	5	4	3	2		1	2	3	4	5	6	7	8	
C ₁																	C ₂	
C ₁																	C ₃	
C ₁																	C ₄	
C ₂																	C ₃	
C ₂																	C ₄	
C ₃																	C ₄	

3) 레이더 측지 및 자세 도출 수단 관점에서 중요도 쌍대비교

① 레이더 탐지능력 (C ₁)		② 작전반응요소 (C ₂)		③ 레이더 측지 및 자세 도출 수단(C ₃)		④ 타 무기체계와의 연동성(C ₄)												
기준항목	매우 중요 ← → 약간 중요								대등	약간 중요 ← → 매우 중요								비교 대상항목
	9	8	7	6	5	4	3	2		1	2	3	4	5	6	7	8	
C ₁																	C ₂	
C ₁																	C ₃	
C ₁																	C ₄	
C ₂																	C ₃	
C ₂																	C ₄	
C ₃																	C ₄	

4) 타 무기체계와의 연동성 관점에서 중요도 쌍대비교

① 레이더 탐지능력 (C ₁)		② 작전반응요소 (C ₂)		③ 레이더 측지 및 자세 도출 수단(C ₃)		④ 타 무기체계와의 연동성(C ₄)												
기준항목	매우 중요 ← → 약간 중요								대등	약간 중요 ← → 매우 중요								비교 대상항목
	9	8	7	6	5	4	3	2		1	2	3	4	5	6	7	8	
C ₁																	C ₂	
C ₁																	C ₃	
C ₁																	C ₄	
C ₂																	C ₃	
C ₂																	C ₄	
C ₃																	C ₄	

나. Sub-criteria 영역 : 레이더 탐지능력

1) 레이더 최대 탐지거리 관점에서 중요도 쌍대비교

① 레이더 최대 탐지거리 (C ₁₁)		② 레이더 탐지범위 (C ₁₂)		③ 레이더 탐지 정확도(C ₁₃)		④ 표적 탐지율 (C ₁₄)											

기준항목	매우 중요 ← → 약간 중요								대등	약간 중요 ← → 매우 중요								비교 대상항목
	9	8	7	6	5	4	3	2		2	3	4	5	6	7	8	9	
C ₁₁																		C ₁₂
C ₁₁																		C ₁₃
C ₁₁																		C ₁₄
C ₁₂																		C ₁₃
C ₁₂																		C ₁₄
C ₁₃																		C ₁₄

2) 레이더 탐지범위 관점에서 중요도 쌍대비교

① 레이더 최대 탐지거리 (C ₁₁)	② 레이더 탐지범위 (C ₁₂)	③ 레이더 탐지 정확도(C ₁₃)	④ 표적 탐지율 (C ₁₄)

기준항목	매우 중요 ← → 약간 중요								대등	약간 중요 ← → 매우 중요								비교 대상항목
	9	8	7	6	5	4	3	2		2	3	4	5	6	7	8	9	
C ₁₁																		C ₁₂
C ₁₁																		C ₁₃
C ₁₁																		C ₁₄
C ₁₂																		C ₁₃
C ₁₂																		C ₁₄
C ₁₃																		C ₁₄

3) 레이더 탐지 정확도 관점에서 중요도 쌍대비교

① 레이더 최대탐지거리 (C ₁₁)	② 레이더 탐지범위 (C ₁₂)	③ 레이더 탐지 정확도(C ₁₃)	④ 표적 탐지율 (C ₁₄)

기준항목	매우 중요 ← → 약간 중요								대등	약간 중요 ← → 매우 중요								비교 대상항목
	9	8	7	6	5	4	3	2		2	3	4	5	6	7	8	9	
C ₁₁																		C ₁₂
C ₁₁																		C ₁₃
C ₁₁																		C ₁₄
C ₁₂																		C ₁₃
C ₁₂																		C ₁₄
C ₁₃																		C ₁₄

4) 표적 탐지율 관점에서 중요도 쌍대비교

① 레이더 최대 탐지거리 (C ₁₁)	② 레이더 탐지범위 (C ₁₂)	③ 레이더 탐지 정확도(C ₁₃)	④ 표적 탐지율 (C ₁₄)

