

論文

운용유지단계에서 ANP를 이용한 무기체계 소프트웨어 품질 평가 방법 연구

김홍주*, 박찬현**, 김의환***

A Study on the Evaluation Method of the Quality of the Weapons System Software Using ANP in the Operation/Support Phase

Hong Ju Kim*, Chan Hyeon Park**, Euiwhan Kim***

ABSTRACT

In this study the weapons system software quality assessment model is developed using the network analysis method in the operation/Support phase. Of the quality characteristics of ISO/IEC 25010, 6 main features and 18 subfeatures were derived in accordance with the view of quality improvement. Based on ISO/IEC 25023, the metrics for the quality assessment were established and the importance among the quality characteristics was calculated through network analysis. The quality evaluation model developed was verified by applying it to the real case. To conclude, the quality level indicating the results and importance of each quality characteristic was derived along with quantitative scores, and based on these findings improvement priority and counter measures were also presented.

초 록

본 연구에서는 운용유지단계에서 네트워크 분석법을 이용하여 무기체계 소프트웨어 품질 평가 모델을 개발한다. ISO/IEC 25010의 품질 특성 중 품질 개선의 관점에 부합한 6개의 주특성과 18개의 부특성을 도출했다. 그리고 ISO/IEC 25023을 바탕으로 품질 평가에 대한 측정 기준을 수립했으며 네트워크 분석법을 통해 품질 특성 간의 중요도를 산정했다. 개발한 품질 평가 모델은 실제 사례에 적용함으로써 검증했다. 그 결과 각 품질 특성의 평가 결과와 중요도를 반영한 품질 수준을 정량적인 점수로 도출했고 이를 통해 개선의 우선 순위와 대응방안을 제시 할 수 있었다.

Key Words : Analytic Network Process(네트워크 분석법), Analytic Hierarchy Process(계층적 분석법), Software Quality Assessment(소프트웨어 품질평가)

1. 서 론

무기체계 소프트웨어 개발 과정은 ‘무기체

계 소프트웨어 개발 및 관리 매뉴얼’에 따라 품질보증 활동을 수행하도록 규정하고 있다. 이 활동은 전체 수명주기 중에서 분석, 설계, 구현, 획득 시 까지 소프트웨어 검토회

논문접수:

논문확장:

*김홍주, DAEATI 철도기술연구소 RAMS팀, E-mail: hjkim@daeati.co.kr

<http://journal.kadis.or.kr/>

**박찬현, 아주대학교 시스템공학과 석사과정

ISSN 1738-6144

***김의환, 아주대학교 시스템공학과 교수

의, 검증, 확인, 감리 등의 활동들로 이루어져 있다. 세부적으로는 요구사항 검증, 설계 검증, 코드 검증, 통합 검증, 문서화 검증, 시험평가와 감리의 활동이 있으며 프로세스 보증과 제품 보증 품질보증 활동으로 구분된다. 특히 기능적인 부분들은 개발시험평가와 운용시험평가를 통하여 집중적으로 수행된다. 그러나 무기체계 소프트웨어 획득 이후에 품질에 대한 구체적인 지침은 존재하지 않는다. 따라서 운용유지단계에서의 품질 확보 및 개선을 위해서 품질보증 활동에 대한 지침 또는 정의가 필요하며 그 중에서도 품질평가에 대한 기준과 방법에 대한 정의가 선행되어야 한다.

본 논문에서는 무기체계 운용유지 단계에서 소프트웨어의 품질 평가 모델을 개발한다. 이를 위하여 ISO/IEC 25010에 제시된 품질특성을 바탕으로 운용유지단계에서 적용 가능한 품질특성으로 재구성한다. 그리고 ISO/IEC 25023의 품질 측정 메트릭을 국내 무기체계 소프트웨어 운용환경에서 측정 가능한 기준으로 적용한다. ANP 기법을 활용하여 품질 측정 메트릭에 의해 측정된 결과를 각 품질 특성들의 중요도에 따라 배분한다. 위의 결과를 바탕으로 품질 개선 우선순위를 산정하고 향후 피드백을 결정 가능한 판단기준을 수립한다.

II. 이론적 고찰

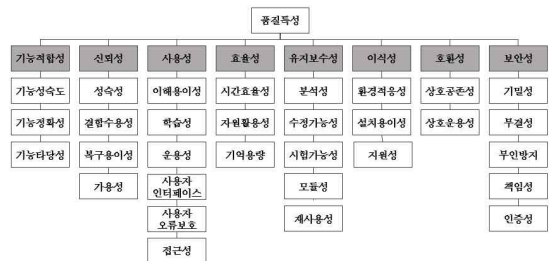
2.1 무기체계 소프트웨어 품질

무기체계 소프트웨어 품질의 특성은 일반 상용 소프트웨어와 차이가 존재한다. 본 연구에서는 품질 평가 이전에 운용유지단계 무기체계 소프트웨어 특징에 부합하는 품질 특성을 ISO/IEC 25010을 바탕으로 파악 및 재구성한다.

2.2 ISO/IEC 25010

ISO/IEC 25010은 ISO/IEC 25000문서의 일부이다. 소프트웨어 품질 평가를 위해 품

질 모델을 정의한 국제 표준문서이다. 이 모델은 기존 ISO/IEC 9126의 개정된 버전으로 8개의 주특성과 하위 31개의 부특성을 정의하고 있다.¹⁾²⁾³⁾이 품질 특성은 일반적인 소프트웨어의 다양한 특성을 고려한 구성으로 평가하려는 소프트웨어의 특성에 따라 선택적으로 적용 할 필요가 있다. <그림 1>은 ISO/IEC 25010 품질 모델 표준의 품질 특성이다.



<그림 1> ISO/IEC 25010 소프트웨어 품질 특성

2.3 ISO/IEC 25023

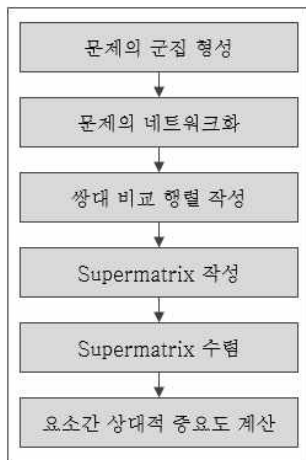
표준은 ISO/IEC 25000 시리즈 중에서 품질 특성에 대한 평가 메트릭에 대한 표준이며 소프트웨어 산업은 전반적으로 ISO/IEC 9126로 대체하고 있다. ISO/IEC 25023에서는 기존의 ISO/IEC 9126-2에서 가지고 있던 6가지 품질 주특성을 8가지(기능적합성, 신뢰성, 사용성, 효율성, 유지보수성, 이식성, 호환성, 보안성) 품질 주특성으로 확장하여 평가 메트릭을 제시하고 있다.

2.4 ANP 기법

ANP기법은 1996년에 Thomas Saaty교수가 개발한 기법이다. Thomas Saaty교수는 이보다 약 25년 전인 1971년에 AHP기법

- 1) ISO/IEC, "International Standard Information Technology Software Evaluation", ISO/IEC 9126, 1991.
- 2) ISO/IEC, ISO/IEC 9126-1, Product Quality-Part 1 : Quality model, 2001.
- 3) ISO/IEC, ISO/IEC 25010, Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - System and software quality models, 2011.

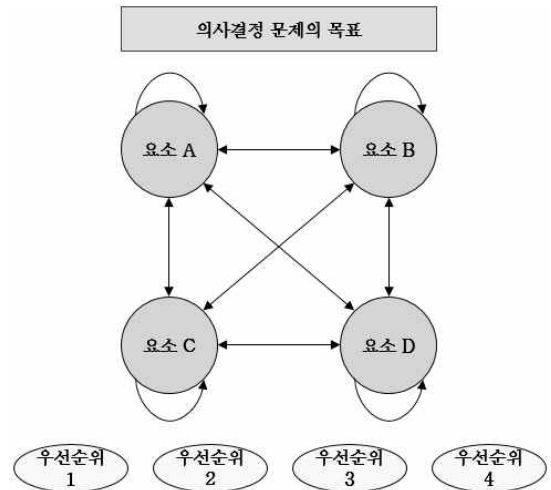
을 개발했다. AHP는 의사결정의 계층구조를 구성하고 있는 요소간의 쌍대비교를 통해 평가자의 지식, 경험 및 직관을 포착하는 의사결정 방법론이다.⁴⁾ 계층구조로 나타내어지는 AHP는 대안과 결정기준이 서로 독립적이라고 간주되기 때문에 비교대상의 상호종속성을 고려하지 못하고, 피드백이 불가능하다는 큰 단점을 가지고 있다. 이와 같은 단점을 보완하기 위해 개발된 ANP는 네트워크 구조를 적용하여 상호종속성을 고려하고 피드백을 위한 분석방법을 제시한다. 본 연구에서는 AHP를 일반화하여 적용할 수 있도록 네트워크 구조로 발전시킨 ANP를 적용해서 품질 특성 간에 상호종속성을 반영하고 소프트웨어 품질 특성의 중요도를 산출하는데 활용한다. 이를 통해 각 품질 특성이 전체에 미치는 영향을 반영함으로써 타당한 평가 결과를 도출 할 수 있다.



<그림 2> ANP 프로세스

<그림 2>는 Thomas, L, Saaty가 제안한 ANP 기법의 수행 절차다.⁵⁾ ANP 기법의 적용 첫 순서는 문제의 군집형성과 문제의 네트워크화를 통한 네트워크 모형의 구축이다. 사용자는 당면한 의사결정 문제의 목표를

여러 군집과 대응하는 여러 개의 요소를 가진 네트워크 구조로 구축한다. 상관관계를 가진 군집과 요소의 상관관계를 화살표를 이용하여 표현할 수 있다. 상관관계는 전문가의 견해, 설문조사 등의 방법으로 분석한다.



<그림 3> ANP의 일반적 네트워크 구조

<그림 3>은 구축된 네트워크 구조의 일반적인 예시이다. 네트워크 구조를 구축하면 각 군집 간에 그리고 군집내의 요소 간에 쌍대비교를 한다. 쌍대비교는 j 요소에 대한 i 요소의 상대적 중요도인 a_{ij} 의 값을 1점에서 9점 사이의 값으로 표현한다. 쌍대비교 시 각 중요도에 대한 의미는 <표 1>과 같다.

<표 1> 쌍대비교 시 상대적 중요도

중요도	의미
1	동일하게 중요
3	약간 더 중요
5	상당히 더 중요
7	매우 더 중요
9	절대적으로 더 중요
2,4,6,8	인접한 척도들의 중앙값

상대적 중요도에 대한 설문 또는 조사를 바탕으로 군집 간, 요소 간에 쌍대비교 행렬을 구성한다. 만약 a_{ij} 를 행렬의 값이라고 한

4) T.L.Satty, The Analytic Hierarchy Process, McGrawHill, New York, 1980.
 5) Thomas L. Saaty, "The Analytic Network Process", RWS, 2006.

다면, 행렬을 구성하는 요소의 중요도는 식 (1)에 의해서 구할 수 있다.

$$Aw = \lambda_{\max} w \quad (1)$$

식(1)에서 λ_{\max} 는 A의 최대 고유치이며, w 는 요소의 중요도로 표준화를 통한 식(2)를 통하여 계산한다.

$$w_i = \left[\frac{\sum_{j=1}^n (a_{ij} / \sum_{i=1}^n a_{ij}) \right] / n \quad (2)$$

쌍대비교를 통해 각 요소와 대안간의 가중치를 구하고 일관성비율(6)을 측정하여 쌍대비교의 결과가 모델에 적용할 정도로 일관성을 가지고 있는지 판단한다. 일관성비율은 식 (4)에 정의된 것으로 일관성지수(7)를 랜덤지수(8)로 나눈 값이다. 일관성지수는 λ_{\max} 가 n 에 근접할수록 일관성 있는 판단을 내렸다고 보는 것으로 이는 식(3)으로 정의된다. <표 2>는 랜덤지수이다.

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)} \quad (3) \quad CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

<표 2> 랜덤지수

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R.I	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.51

Saaty는 일관성 비율이 0.1 미만이면 합리적인 일관성을 갖는다고 판단했다. 일반적으로 연구의 신뢰성을 높이기 위해 일관성 비율은 0.1 미만을 목표로 한다. 쌍대비교에 대한 일관성 검증이 끝나면 쌍대비교를 통해 도출한 각 요소의 중요도를 열벡터로 구성하여 초기 초행렬을 구성한다.

초기 초행렬의 행은 영향을 받는 요소, 열

은 영향을 주는 요소를 나타낸다. 영향관계가 없는 경우에는 교차점에 0이 나타나고, 영향관계가 있는 경우에는 영향의 정도가 교차점에 나타난다. 초기 초행렬을 행렬 W 의 형태로 나타내면 다음 식(5)와 같다.

$$W = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} e_{11} \dots e_{1b_1} \\ e_{21} \dots e_{2b_2} \\ \vdots \\ e_{n1} \dots e_{nb_n} \end{matrix} & \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1n} \\ W_{21} & W_{22} & \dots & W_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{n1} & W_{n2} & \dots & W_{nn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (5)$$

초기 초행렬(9)이 구성되면 앞서 산출한 군집 간의 가중치를 초기 초행렬 각 열의 해당 부분의 원소에 곱하여 가중 초행렬(10)을 산출한다. 가중 초행렬이 도출되면 네트워크 구조 내의 각 요소의 영향 정도를 알기 위해 극한 초행렬을 산출해야 한다. ANP는 Markov chain process(11)의 극한확률 개념을 적용한 기법으로 가중 초행렬을 멱승하여 일정한 값으로 수렴시켜 가중치를 산출하게 되는데 이를 극한 초행렬(12)이라 한다. 이를 식으로 표현하면 다음 식(6)과 같다.

$$\lim_{k \rightarrow \infty} W^k \quad (6)$$

극한 초행렬은 각 행을 기준으로 열의 값이 모두 동일한 값으로 수렴하며 따라서 각 행의 값이 그 요소의 중요도가 된다.

III. 소프트웨어 품질 평가 모델 개발

3.1 무기체계 소프트웨어 품질

9) 초기 초행렬 : Unweighted Super Matrix

10) 가중 초행렬 : Weighted Super Matrix

11) Markov Chain Process : 어떤 한 실험을 반복 할 때 각 실험의 결과는 직전 실험의 결과에만 영향을 받는 것을 연속적인 시간의 흐름에 대하여 일반화시킨 것

12) 극한 초행렬 : Limit Super Matrix

6) 일관성비율 : Consistence Ratio(CR)

7) 일관성지수 : Consistence Index(CI)

8) 랜덤지수 : Random Index(RI)

운용유지단계에서 무기체계 소프트웨어의 품질 평가 모델 개발 및 적용 프로세스는 크게 네 단계로 구분 할 수 있다.

첫 번째는 품질 평가 항목의 선정 및 네트워크 구조 구축이다. 운용유지단계에서의 무기체계 소프트웨어 품질 평가에 적합한 품질 특성 선정 및 상관관계를 파악하고, 이를 바탕으로 ANP 기법을 적용하기 위한 네트워크 구조를 구축한다.

두 번째는 품질 평가 항목의 측정 기준을 수립한다. 이 측정 기준은 ISO/IEC 25023과 전자장부사업 품질관리 매뉴얼을 활용하고, 무기체계 소프트웨어 운용 간 테스트 환경을 고려하여 특정 사건의 횟수나 시간과 같은 측정 가능한 객관적인 기준을 기반으로 수립함으로써 객관성을 확보한다.

세 번째는 첫 번째 단계에서 파악한 상관관계를 바탕으로 상대적인 중요성과 각 품질 특성들의 영향력에 대한 평가를 수행하고 ANP 기법을 활용하여 각 품질 특성의 상대적 중요도를 도출한다. 이 중요도는 품질 특성 간 상호종속성이 반영된 상대적 중요도를 나타내게 되며 측정된 평가 값을 중요도에 따라 배분하는 기준이 된다.

네 번째는 위의 과정들을 거쳐 도출된 품질 평가 모델에 용한다. 이를 통해 정량적이고 객관적인 품질 평가 값을 산출하고, 품질 개선 우선순위 도출과 대응 방안을 수립하는데 활용한다.

3.2 ISO/IEC 25010 기반 품질 모델 수립

ISO/IEC 25010는 모든 소프트웨어 품질 특성을 포함하기 때문에 이를 운용유지단계 무기체계 소프트웨어에 적합한 품질 특성으로 재구성하는 것이 필요하다.

본 논문에서 품질 특성 항목의 재구성을 위한 방법으로 전문가 설문과 중요도 평가를 통한 품질 특성 분류를 선택했다. 설문은 무기체계 소프트웨어 개발 업무에 대해 유관경력 10년 이상인 개발자 3명(30대 1명, 40대 2명)과 15년 이상인 관리자 2명(40대 2명)에게 배포하고 일관성이 검증된 설문지만을 활용했다. 이 설문은 ISO/IEC25010의 품질 모델

을 기반으로 운용유지단계 무기체계 소프트웨어에서 품질 개선 중요성이 높은 항목과 품질 개선 가능성이 높은 품질 주특성을 조사하고 이 결과에 따라 일정 임계치(0.05)에 도달하지 못한 특성을 평가항목에서 제외함으로써 품질을 평가할 주특성을 선정하는 목적으로 활용했다.

평가 설문지 5부에서 평가치를 종합하는 방법은 '수치통합방법'을 사용했다. 이는 그룹 멤버가 행한 각각의 쌍대비교행렬을 수집하고 그룹전체의 평가치를 수치통합하여 가중치를 구하는 방법으로 기하평균을 이용하는 방법, 고유벡터를 이용하는 방법, 고유벡터 값의 기하평균을 이용하는 방법이 있다.

위의 3가지 방법 중 어떠한 방법을 써도 결과에 큰 차이가 없는 것으로 알려져 있으나 두 번째와 세 번째 방법은 최종 통합 결과 간에 때때로 순위의 변동이 발생하기 때문에 특별한 경우를 제외하고는 기하평균을 이용한다. 기하평균을 이용한 방법은 전체 평가자들의 평가치를 기하평균을 이용하여 통합 후 이를 원소로 하는 쌍대비교 행렬을 구성하는 방법이다. 기하평균을 사용하는 이유 중 하나는 행렬의 역수성¹³⁾을 유지시키는 유일한 방법이기 때문이며, 이는 Aczel&Satty(1983)의 연구에서 증명되고 있다.¹⁴⁾

<표 3>, <표 4>는 중요도와 개선가능성에 대한 설문 결과를 나타난 표로 일관성이 검증된 설문지 5부에 대해 기하평균을 이용해 통합한 결과이다. 설문 결과에 대한 쌍대비교를 수행하여 <그림 4>, <그림 5>의 결과를 도출했다. 일관성 비율이 0.1 이하이므로 조사의 결과가 일관성을 갖는다고 판단했다. 그리고 <그림 4>, <그림 5>의 두 결과에서 모두 임계치 0.05 이하인 항목을 식별 및 제외하고 기능적합성, 보안성, 사용성, 신뢰성, 유지보수성, 효율성의 품질 특성을 품질 평가 주특성으로 선정했다.

13) 역수성 : 선호의 강도는 역 조건이 성립해야 하는 것(A가 B보다 X배 중요하다면, B는 A보다 1/X배 중요)

14) 조근태 외 2인, 『앞서가는 리더들의 계층분석적 의사결정』, 동현출판사, 2003, pp.89-94.

8가지의 품질 주특성을 모두 고려하지 않은 것은 품질수준과 비용의 관계 때문이다. 품질 개선 초기에는 적은 비용으로 품질 개선이 가능하지만 일정 수준에 이르면 약간의 품질 개선을 위해 천문학적인 비용이 지출될 수도 있다.¹⁵⁾ 대다수 프로젝트는 한정된 자원과 시간의 효율을 고려해야하기 때문에 품질 개선 중요도가 높지 않고, 개선 가능성도 낮은 품질 특성에 대해서는 임계치 0.05를 기준으로 제외하였다. 따라서 이식성과 호환성을 제외한 6가지 품질 주특성이 선정되었다.

<표 3> 운용유지단계에서 품질 특성별 개선 중요도에 대한 설문 결과

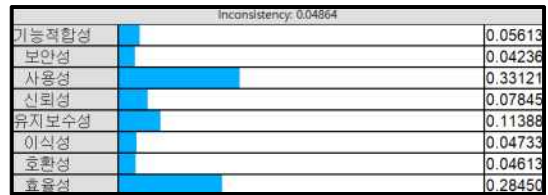
평가기준	중요 < ----- > 중요	평가기준
기능적합성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	보안성
기능적합성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	사용성
기능적합성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	신뢰성
기능적합성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	유지보수성
기능적합성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	이식성
기능적합성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	호환성
기능적합성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	효율성
보안성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	사용성
보안성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	신뢰성
보안성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	유지보수성
보안성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	이식성
보안성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	호환성
보안성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	효율성
사용성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	신뢰성
사용성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	유지보수성
사용성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	이식성
사용성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	호환성
사용성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	효율성
신뢰성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	유지보수성
신뢰성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	이식성
신뢰성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	호환성
신뢰성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	효율성
신뢰성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	효율성
유지보수성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	이식성
유지보수성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	호환성
유지보수성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	효율성
이식성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	호환성
이식성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	효율성
호환성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	효율성

Inconsistency: 0.05863	
기능적합성	0.27484
보안성	0.09822
사용성	0.07987
신뢰성	0.30291
유지보수성	0.12022
이식성	0.03389
호환성	0.04175
효율성	0.04823

<그림 4> 운용유지단계 무기체계 소프트웨어의 품질 특성별 개선 중요성

<표 4> 운용유지단계에서 품질 특성별 개선 가능성에 대한 설문 결과

평가기준	중요 < ----- > 중요	평가기준
기능적합성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	보안성
기능적합성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	사용성
기능적합성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	신뢰성
기능적합성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	유지보수성
기능적합성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	이식성
기능적합성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	호환성
기능적합성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	효율성
보안성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	사용성
보안성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	신뢰성
보안성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	유지보수성
보안성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	이식성
보안성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	호환성
보안성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	효율성
사용성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	신뢰성
사용성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	유지보수성
사용성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	이식성
사용성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	호환성
사용성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	효율성
신뢰성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	유지보수성
신뢰성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	이식성
신뢰성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	호환성
신뢰성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	효율성
유지보수성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	이식성
유지보수성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	호환성
유지보수성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	효율성
이식성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	호환성
이식성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	효율성
호환성	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	효율성



<그림 5> 운용유지단계 무기체계 소프트웨어의 품질 특성별 개선 가능성

상기의 품질 주특성에 대한 평가 결과와 운용유지단계에서의 무기체계 소프트웨어 특징을 바탕으로 품질평가 모델에 적용할 품질 부특성을 식별한다.

1) 기능적합성

기능적합성은 규정된 조건에서 요구되는 기능을 만족시키는 정도로 기능성속도, 기능정확성, 기능타당성의 부특성을 가진다. 운용유지단계에서의 무기체계 소프트웨어는 체계개발단계에서 여러 검토회의와 요구사항 분석, 검증과 시험평가를 통해 기능성속도와 기능타당성에 대한 획득 기준을 충족시켰다. 따라서 기능성속도와 기능타당성은 새로운 요구사항이 규명되기 전에는 개선의 여지가 없다. 따라서 본 연구에서는 운용유지단계 기능

15) 안천의, “품질향상과 품질비용에 관한 연구”, 『단국대학교 석사학위 논문』, 1994, pp.34-39.

적합성 평가를 위한 품질 특성으로 기능정확성을 부특성으로 식별한다.

2) 신뢰성

신뢰성은 규정된 환경에서 결함 없이 의도된 기능 및 작업을 수행할 수 있는 능력을 나타내며 성숙성, 결함수용성, 복구용이성, 가용성의 4가지 부특성을 가진다. 신뢰성은 운용유지단계에서 무기체계 소프트웨어 품질 개선 중요성이 가장 큰 주특성 중 하나이다. 신뢰성은 개발 단계에서 코드 확인과 개발 및 운용 테스트를 통해 검증이 어느 정도 확보되었다. 하지만 실제 운용 시 테스트 환경과 운용환경의 차이가 발생 할 수도 있으며 이에 따라 운용 마진이 변경되고 테스트 시 발생하지 않았던 문제가 새롭게 도출 될 수 있다. 신뢰성은 운용유지단계에서 품질에 가장 큰 영향을 줄 수 있는 특성이기 때문에 모든 신뢰성 부특성을 식별한다.

3) 사용성

사용성은 사용자가 이해하고 배우기 쉬운 정도를 나타내는 척도이다. 이 주특성은 타당성 식별력, 학습성, 운용성, 사용자 인터페이스, 사용자 오류보호, 접근성의 6가지 부특성을 가진다. 본 연구에서 무기체계 소프트웨어의 품질을 평가 할 운용유지단계에서는 요구 사항에 대한 검증이 끝나있는 상태기 때문에 타당성 식별력은 평가에서 제외한다. 학습성은 운용성에 포함되는 개념으로 평가에서 제외한다. 접근성은 무기체계 소프트웨어의 사용자가 운용능력이 있는 군 관계자로 한정되어 있기 때문에 평가에서 제외한다. 따라서 사용성에서는 운용성, 사용자 오류보호, 사용자 인터페이스를 부특성으로 식별한다.

4) 효율성

효율성은 규정된 조건하에서 적절한 자원의 사용 및 적절한 반응시간의 정도를 나타낸다. 이 주특성은 시간효율성, 자원 활용성, 용량의 3가지 부특성을 가진다. 요구 기능들이 모두 구현되어 있고, 소프트웨어 신뢰성이

일정 수준 이상에 도달했을 때에도 효율성은 항상 개선의 여지를 가진다. 무기체계 소프트웨어의 성능은 처리율, 메모리 사용률, 대역폭 등 효율성의 증가를 통해 직접적으로 개선된다. 이를 위해 시간효율성, 자원활용성, 용량을 부특성으로 식별한다.

5) 유지보수성

유지보수성은 소프트웨어의 수정, 개선과 같은 변경을 수용하는 정도이다. 이 주특성은 분석성, 수정가능성, 시험가능성, 모듈성, 재사용성의 5가지 부특성을 가진다.

일반 COTS¹⁶⁾소프트웨어와 달리 GOT S¹⁷⁾소프트웨어인 무기체계 소프트웨어의 경우 사용연한이 매우 길고, 개발비용이 높기 때문에 유지보수성의 중요성이 매우 크다. 다만 수정가능성은 운용유지단계에서는 앞서 산정한 신뢰성의 복구용이성과 중복성을 가지기 때문에 평가에서 제외한다. 따라서 유지보수성에서는 분석성, 시험가능성, 모듈성, 재사용성을 부특성으로 식별한다.

6) 보안성

보안성은 데이터나 프로그램을 권한이 없는 이용자가 사용할 수 없도록 하는 것으로 정보 및 데이터를 보호하는 능력이다. 이 주특성은 기밀성, 무결성, 부인방지, 책임성, 인증성의 5가지 부특성을 가진다. 무기체계 소프트웨어는 실행에 대한 책임이 존재하는 군용 소프트웨어이다. 다만 책임성과 인증성, 부인방지는 행동에 대한 행위자라 추적·증명하는 특성으로 중복성을 띄기 때문에 평가항목의 구별성과 유의미성의 확보 측면에서 인증성, 부인방지를 제외한다. 따라서 기밀성, 무결성, 책임성을 부특성으로 식별한다.

3.3 ISO/IEC 25023 품질 평가 메트릭

본 절에서는 정의된 품질 특성 요인에 적용할 메트릭을 제시한다. 이는 ISO/IEC 25010과

16) COTS : Commercial Off The Shelf

17) GOTS : Government Off The Shelf

무기체계 소프트웨어 개발 및 관리 매뉴얼을 근거로 정의한 주특성 6가지, 부특성 18가지를 포함한다. 각 항목별 측정기준은 ISO/IEC 25023와 행정안전부의 품질관리 매뉴얼¹⁸⁾을 기반으로 무기체계 소프트웨어 운용 환경에서 적용 가능한 측정기준을 선택했다. <표 5>는 품질 평가 모델에 적용하기 위해 본 논문에서 제시하는 각 품질 부특성 항목에 대한 평가 측정 기준이다. 이처럼 객관적으로 확인 가능한 횟수나 시간 등을 통한 평가는 측정값에 대한 정량화가 가능하게 한다.

<표 5> 무기체계 소프트웨어 품질 부특성별 측정 기준

항목	측정기준	
기능정확성	A 사용자 요구사항 기준에 부합한 항목 수	A/B
	B 사용자 요구사항 전체 항목 수	
성숙성	A 테스트 동안 운용시나리오에 따라 정확하게 실행된 수	A/B
	B 요구사항을 반영할 수 있도록 실행된 테스트 수	
결합수용성	A 고장패턴 테스트 시 치명적 고장 발생 수	1 - A/B
	B 테스트 동안 실행된 고장패턴 테스트 사례 수	
복구용이성	A 오류 발생 시 문제가 복구된 기능 수	A/B
	B 오류 발생 시 문제가 발생한 기능 수	
가용성	A 실제 운용테스트 시 사용한 시간	A/B
	B 운용테스트 시 명시된 조건에서 사용가능 시간	
운용성	A 쉽게 이해되는 메시지의 수	A/B
	B 구현된 전체 메시지의 수	
사용자 오류보호	A 부정확한 운용으로 인한 오작동 방지기능 구현 수	A/B
	B 부정확한 운용 패턴의 전체 수	
사용자 인터페이스	A 커스터마이징 된 인터페이스 구성요소 유형의 수	A/B
	B 인터페이스 커스터마이징 요청 건수	
시간효율성	A 실제 운용테스트 시 시간당 작업 처리 수	A/B ≤ 1
	B 명시된 조건에서 시간당 작업 처리 수	
자원활용성	A 명시된 조건에서 사용되는 메모리 공간량	A/B ≤ 1
	B 실제 운용테스트 시 사용된 메모리 공간량	
용량	A 실제 운용테스트 시 데이터 전송 최대량	A/B ≤ 1
	B 명시된 조건에서 데이터 전송 최대량	
분석성	A 구현된 진단 기능 수	A/B
	B 명세서에 요구된 진단기능 수	
시험가능성	A 명세서대로 구현된 테스트 기능 수	A/B
	B 요구된 테스트 기능 수	
모듈성	A 다른 요소의 변화에 영향을 받지 않는 구성요소 수	A/B
	B 전체 개별 구성요소 수	
재사용성	A 재사용된 자산의 수	A/B
	B 재사용 라이브러리의 전체 자산의 수	
기밀성	A 정확하게 암호화/해독된 데이터 아이템 수	A/B
	B 암호/해독하도록 요구된 데이터 아이템 수	
무결성	A 실제 데이터 손상이 발생된 접속 수	1 - A/B
	B 데이터 손상이 발생할 것으로 예상되는 접속 수	
책임성	A 시스템 로그에 기록된 시스템과 데이터 접속 수	A/B
	B	

본 논문에서는 각 특성 항목별 평가 결과 뿐만 아니라 항목별 가중치를 반영한 전체 무기체계 소프트웨어의 평가 결과를 확인 하고 이에 대한 기준선을 할당하여 품질 개선 우선 항목을 선정하기 때문에 정량화된 평가 결과를 얻는 것이 전제되어야 한다. 상기의

18) 행정안전부, 『전자정부사업 품질관리 매뉴얼』, 2013, pp.181-207.

측정기준들은 이러한 정량화를 위한 방법으로 제시되었다. 다만, 이러한 측정기준은 해당 소프트웨어의 특징, 테스트 및 개발환경에 따라 변경 및 보완하여 사용해야 한다.

3.4 ANP 기법을 통한 품질 평가 항목의 중요도

1) 품질 평가 항목의 상대적 중요도

무기체계 소프트웨어의 전체 품질을 평가 하기 위해서는 평가 매트릭 측정 결과에 각 평가 항목에 대한 중요도(가중치)를 반영하는 과정이 필요하다. 선행연구에서 살펴본 바와 같이 중요도를 반영하지 않거나 임의로 중요도를 부여한 경우에 각 평가 대상 항목이 전체 시스템의 품질에 미치는 영향을 정확히 파악할 수 없고, 따라서 시스템 수준의 품질 평가 결과 또한 신뢰할 수 없게 된다.¹⁹⁾

본 연구에서는 각 특성 항목의 전체 시스템 품질에서의 중요도를 파악하기 위한 방법으로 ANP기법을 활용했다.²⁰⁾ 무기체계 소프트웨어의 품질 특성들은 서로 영향을 주는 복합적인 상관관계를 가지고 있다. 예를 들어, 군집 간에 성숙성이 기능정확성에 영향을 미치기도 하고, 군집 내에서 복구용이성이 가용성에 영향을 미치기도 한다. 이렇게 군집 내·외부의 상관관계가 존재하는 경우에 기존의 AHP와 같은 계층 구조의 중요도(가중치)산정 방식은 왜곡된 결과를 가져올 수 있다. 이러한 상관관계와 피드백을 고려하기 위해 개발된 방식이 ANP기법이며 기존의 선행 연구에서도 AHP와 ANP적용 시에 서로 다른 결과가 도출 되는 것을 확인 할 수 있었다.²¹⁾ 따라서 상호종속성의 간과는 본 평가

(19) 최철림 외, “ANP를 이용한 소프트웨어 품질 평가 매트릭스 구성과 각 품질 속성의 상대적 중요도 결정”, 한국정보기술학회논문지, 2011, pp.174-175.

(20) Thomas L. Satty, Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in Mathematics for the measurement of intangible factors the Analytic Hierarchy/Network Process, 2008.

모델의 최종 산출물이라 할 수 있는 품질 개선 우선순위와 대응방안을 선정하는데 있어 잘못된 판단의 원인이 될 수 있다.

따라서 상호종속성을 고려할 수 있는 중요도 결정 기법으로 네트워크 구조와 초행렬을 통해 각 항목들의 상관관계를 반영할 수 있는 강력한 기법인 ANP기법이 필요하다.

ANP기법을 적용하기 위해서는 품질 특성 간 상호종속성을 파악하여 네트워크 구조를 구축해야 한다. 먼저, 품질 특성 항목에 대한 상관관계를 설문을 통해서 조사하였다. 상관관계에 대한 설문은 3.2절에서 언급한 대상과 같은 인원에게 조사했으며, 이를 통해 ANP 기법을 적용하기 위한 네트워크 구조를 구축하였다. <표 6>, <표 7>은 품질 주특성, 품질 부특성의 상관관계에 대한 결과이다.

<표 6> 주특성의 상관관계 설문결과

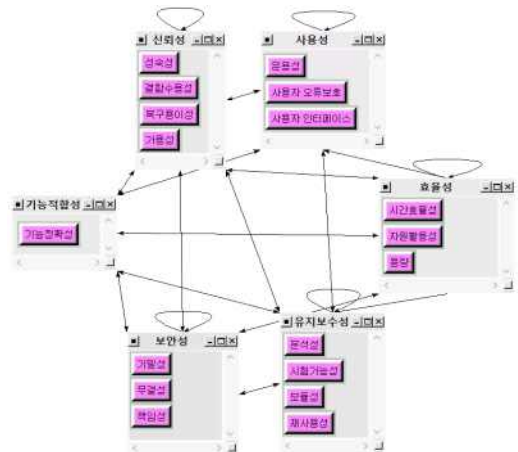
	I	II	III	IV	V	VI
기능적합성(I)		○	○	○	○	○
신뢰성(II)	○		○	○	○	○
사용성(III)	○	○		○	○	○
효율성(IV)	○	○			○	
유지보수성(V)	○	○	○	○		○
보안성(VI)	○	○			○	

<표 7> 하위 품질특성의 상관관계 설문 결과

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
기능정확성(A)		○	○		○			○	○	○	○	○				○	○	○
성숙성(B)	○		○		○						○	○	○					○
결함수용성(C)	○	○		○	○			○	○	○								
복구용이성(D)			○		○						○	○						
가용성(E)	○	○	○			○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
운용성(F)							○											
사용자오류보호(G)	○	○	○	○				○				○	○					
사용자인터페이스(H)	○					○	○					○	○					
시간효율성(I)	○	○	○	○	○					○	○				○			
자원효율성(J)	○	○	○		○				○	○					○			
용량(K)	○	○	○						○	○								
분석성(L)	○	○		○	○	○								○	○			○
시험가능성(M)	○	○		○	○	○							○	○	○			
모듈성(N)				○	○		○	○			○	○			○			
재사용성(O)						○					○	○						
기밀성(P)	○	○			○													○
무결성(Q)	○	○			○													○
책임성(R)	○	○			○													○

(21) 박현순, “AHP 및 ANP기법을 이용한 물류 거점 평가 모델 구축에 관한 연구”, 『명지대학교 석사 학위논문』, 2013.

<그림 6>은 위의 상관관계를 근거로 Super Decisions를 활용하여 구성한 품질 모델의 네트워크 구조이다. Super Decisions는 AHP와 ANP를 구현하는 유일한 무료 교육용 소프트웨어로 이 방법론을 만든 Thomas L.Saaty의 팀이 개발했다. Super Decisions는 단일 네트워크에서 2계층 네트워크, 다중 레벨 복합 네트워크에 이르기까지 다양한 모델을 구축할 수 있다. 이러한 모델 구축은 군집의 단순한 네트워크, 군집 내 요소를 작성하고 요소 사이에 링크를 설정하는 것으로 시작되며 이를 통해 링크가 시각적으로 군집을 연결하는 것처럼 보이게 한다.

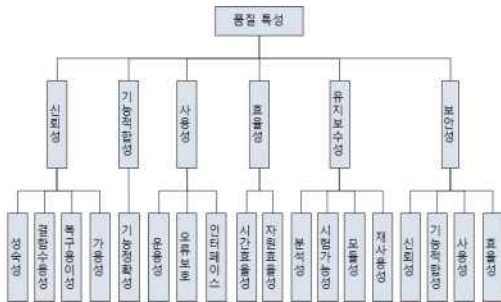


<그림 6> 운용유지단계 무기체계 소프트웨어의 품질 특성 네트워크 구조

<그림 6>과 <그림 7>의 구조를 비교해보면 <그림 7>의 계층구조는 AHP기법 적용시에 활용할 수 있는 상호 독립적인 구조로 각 품질 특성이 다른 품질 특성과 연관관계가 없는 것을 볼 수 있다. ANP는 이러한 계층 구조에서 탈피하여 <그림 6>과 같이 네트워크 구조를 구성함으로써 품질 특성간의 상호종속성을 고려했다. <그림 6>에서는 화살표의 방향성을 통해 특정 품질 특성이 다른 품질 특성에 영향을 주는 것을 나타내고 있다. ANP기법은 이를 바탕으로 설문조사와 쌍대비교, 초행렬의 연산을 통해 중요도를 산출하는 프로세스를 가지고 있다.

따라서 네트워크 구조 구축의 다음 단계는 각 종속관계에서 영향력의 정도를 알아보는 것이며 이를 ANP기법에 적용하여 특성별 중요도를 파악할 수 있다. 이를 위해 6개의 품질 주특성과 18개의 품질 부특성에 대한 중요도와 영향력 평가를 실시했다.

중요도와 영향력 평가에 대한 설문은 <표 6>, <표 7>에서 정의된 품질 특성의 상관관계를 바탕으로 주특성의 중요도에 대한 평가 문항과 부특성의 영향력에 대한 평가 문항으로 수행되었다. 본 논문에서는 설문결과 중 '기능적합성' 결과만을 나타내었다. 이 평가 설문은 이전 설문대상과 동일한 인원에게 배포하고 일관성이 검증된 설문지만을 활용했다. 설문 결과의 통합은 각 항목별로 기하평균을 이용하였고 통합결과에 대한 일관성을 검증했다. 일관성 검증 및 ANP 적용은 Super Decisions 프로그램을 활용하여 수행했다.



<그림 7> 운용유지단계 무기체계 소프트웨어의 품질 특성 계층 구조

(1) 품질 주특성 영향 비교

다음 <표 8>은 기능적합성의 영향 비교 설문 결과의 일부이다.

<표 8> 기능적합성의 중요도 비교 설문 결과

기능적합성에 대해 다음 비교 대상 중 어느 것이 얼마나 더 중요하다고 생각하십니까?																		
평가기준	중요 < ----- > 중요					평가기준												
보안성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	사용성
보안성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	신뢰성
보안성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	유지보수성
보안성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	효율성
사용성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	신뢰성
사용성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	유지보수성
사용성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	효율성
신뢰성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	유지보수성
신뢰성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	효율성
유지보수성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	효율성

(2) 품질 부특성 영향 비교

<표 9>은 품질 부특성 영향 비교 설문의 일부로서 기능정확성의 각 품질 주특성의 세부 특성에 대한 영향 비교 설문 결과이다.

<표 9> 기능정확성의 각 품질 주특성의 세부 특성에 대한 영향비교 설문 결과

기능정확성에 대해 보안성의 세부요소 중 각각 어느 것이 얼마나 더 영향을 준다고 생각하십니까?																		
평가기준	중요 < ----- > 중요					평가기준												
기밀성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	무결성
기밀성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	책임성
무결성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	책임성
기능정확성에 대해 신뢰성의 세부요소 중 각각 어느 것이 얼마나 더 영향을 준다고 생각하십니까?																		
평가기준	중요 < ----- > 중요					평가기준												
가용성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	결함수용성
가용성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	성숙성
결함수용성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	성숙성
기능정확성에 대해 유지보수성의 세부요소 중 각각 어느 것이 얼마나 더 영향을 준다고 생각하십니까?																		
평가기준	중요 < ----- > 중요					평가기준												
분석성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	시험가능성
기능정확성에 대해 효율성의 세부요소 중 각각 어느 것이 얼마나 더 영향을 준다고 생각하십니까?																		
평가기준	중요 < ----- > 중요					평가기준												
시간효율성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	용량
시간효율성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	자원활용성
용량	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	자원활용성

본 설문에 대한 일관성 검증결과 일관성 지수는 0.1 이하를 만족했다. 위의 영향력 평가에 대한 설문결과를 통해 초기 초행렬을 산출하고, 품질 부특성의 상대적 중요도에 품질 주특성의 중요도(가중치)를 곱하면 주특성에 대한 부특성들이 미치는 영향도가 나타난다. 이 행렬이 가중 초행렬이 되며 다시 이 가중 초행렬에 역수를 취하면 일정한 값으로 수렴하게 되는데 이 행렬이 극한 초행렬이 된다. 이 극한 초행렬의 열의 값이 최종 품질 평가 항목들의 중요도를 나타내게 된다. <표 10>은 주특성의 쌍대 비교 결과이다.

<표 10> 품질 주특성의 쌍대비교 결과

품질 주특성	기능적합성	보안성	사용성	신뢰성	유지보수성	효율성
기능적합성	0.0000	0.2636	0.3474	0.3268	0.3173	0.2014
보안성	0.0878	0.0679	0.0000	0.0945	0.0780	0.0830
사용성	0.3252	0.0000	0.1549	0.0638	0.1707	0.1471
신뢰성	0.2644	0.1611	0.3768	0.3423	0.3304	0.2343
유지보수성	0.1385	0.1042	0.1209	0.1234	0.1036	0.0538
효율성	0.1841	0.4032	0.0000	0.0492	0.0000	0.2804

2) Super Decisions를 통한 ANP분석

본 항에서는 ANP 연산과정의 복잡성 완화와 실수 방지를 통한 신뢰성 확보를 목적으로 3.4.1절에 기술한 ‘Super Decisions’라는 프로그램을 이용했다. 먼저, 품질 주특성에 대한 중요도를 Super Decisions의 Pairwise Comparisons 기능을 통해 쌍대비교 하였다.

다음으로 초기 초행렬을 구성하기 위해 앞서 조사한 영향력 평가에 대한 설문 결과를 Super Decisions에 적용했다. <그림 8>은 도출된 초기 초행렬의 일부이다.

Cluster Node Labels	기능적합성				보안성				사용성				신뢰성		
	기능정확성	기밀성	무결성	책임성	사용자 오류보호	사용자 인터페이스	운용성	가용성	신뢰성	신뢰성					
기능적합성	기능정확성	0.000000	1.000000	1.000000	1.000000	0.000000	1.000000	0.000000	1.000000	0.000000	1.000000	0.000000	1.000000	0.000000	1.000000
보안성	기밀성	0.163424	0.000000	0.666667	0.500000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.500000	0.000000	0.500000	0.000000	0.500000
	무결성	0.539615	0.666667	0.000000	0.500000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.250000	0.000000	0.250000	0.000000	0.250000
	책임성	0.296961	0.333333	0.333333	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.250000	0.000000	0.250000	0.000000	0.250000
사용성	사용자 오류보호	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.666667	0.000000	1.000000	0.000000	0.000000	1.000000	0.000000	1.000000
	사용자 인터페이스	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000	0.000000	0.000000	1.000000	0.000000	1.000000	0.000000	1.000000	0.000000	1.000000
	운용성	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.333333	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
신뢰성	가용성	0.539615	0.666667	1.000000	0.666667	0.467296	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

<그림 8> 초기 초행렬의 일부

도출된 초기 초행렬에 상위 요인의 중요도를 곱하면 상위요인에 대한 각 하위 요인들의 영향력을 나타내게 되는데 이 행렬을 가중 초행렬이라 한다. <그림 9>는 도출된 가중 초행렬의 일부이다.

Cluster Node Labels	기능적합성				보안성				사용성				신뢰성		
	기능정확성	기밀성	무결성	책임성	사용자 오류보호	사용자 인터페이스	운용성	가용성	신뢰성	신뢰성					
기능적합성	기능정확성	0.000000	0.526662	0.285951	0.450919	0.000000	0.557487	0.000000	0.326768	0.000000	0.326768	0.000000	0.326768	0.000000	0.326768
보안성	기밀성	0.011672	0.000000	0.055881	0.066090	0.000000	0.000000	0.000000	0.047257	0.000000	0.047257	0.000000	0.047257	0.000000	0.047257
	무결성	0.038541	0.102921	0.000000	0.066090	0.000000	0.000000	0.000000	0.023628	0.000000	0.023628	0.000000	0.023628	0.000000	0.023628
	책임성	0.021210	0.051461	0.027940	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.023628	0.000000	0.023628	0.000000	0.023628	0.000000	0.023628
사용성	사용자 오류보호	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.666667	0.000000	1.000000	0.000000	0.000000	1.000000	0.000000	1.000000
	사용자 인터페이스	0.195107	0.000000	0.000000	0.000000	0.237432	0.000000	0.000000	1.000000	0.000000	1.000000	0.000000	1.000000	0.000000	1.000000
	운용성	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.082871	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
신뢰성	가용성	0.194736	0.212638	0.173178	0.182057	0.269810	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

<그림 9> 가중 초행렬의 일부

도출된 가중 초행렬의 역수를 취하면 그

값이 일정한 값으로 수렴하게 되며 이를 극한 초행렬이라 한다. <그림 18>은 도출된 극한 초행렬의 일부분이며 각 열의 값은 상위 요인들의 가중치가 반영된 하위 요인의 상대적 중요도이면서, 동시에 상호종속성을 고려한 가중치이다.

Cluster Node Labels	기능적합성				보안성				사용성				신뢰성		
	기능정확성	기밀성	무결성	책임성	사용자 오류보호	사용자 인터페이스	운용성	가용성	신뢰성	신뢰성					
기능적합성	기능정확성	0.231873	0.231873	0.231873	0.231873	0.231873	0.231873	0.231873	0.231873	0.231873	0.231873	0.231873	0.231873	0.231873	0.231873
보안성	기밀성	0.016244	0.016244	0.016244	0.016244	0.016244	0.016244	0.016244	0.016244	0.016244	0.016244	0.016244	0.016244	0.016244	0.016244
	무결성	0.023118	0.023118	0.023118	0.023118	0.023118	0.023118	0.023118	0.023118	0.023118	0.023118	0.023118	0.023118	0.023118	0.023118
	책임성	0.016787	0.016787	0.016787	0.016787	0.016787	0.016787	0.016787	0.016787	0.016787	0.016787	0.016787	0.016787	0.016787	0.016787
사용성	사용자 오류보호	0.050590	0.050590	0.050590	0.050590	0.050590	0.050590	0.050590	0.050590	0.050590	0.050590	0.050590	0.050590	0.050590	0.050590
	사용자 인터페이스	0.079109	0.079109	0.079109	0.079109	0.079109	0.079109	0.079109	0.079109	0.079109	0.079109	0.079109	0.079109	0.079109	0.079109
	운용성	0.016891	0.016891	0.016891	0.016891	0.016891	0.016891	0.016891	0.016891	0.016891	0.016891	0.016891	0.016891	0.016891	0.016891
신뢰성	가용성	0.145277	0.145277	0.145277	0.145277	0.145277	0.145277	0.145277	0.145277	0.145277	0.145277	0.145277	0.145277	0.145277	0.145277

<그림 10> 극한 초행렬의 일부

<표 11>는 앞의 Super Decisions를 통한 ANP기법 적용 결과 산출된 각 품질 부특성들의 중요도이다.

<표 11> 무기체계 소프트웨어의 품질 부특성별 중요도

품질 주특성	품질 부특성	중요도	
기능적합성	기능정확성	0.2319	0.2319
신뢰성	성숙성	0.0904	0.3280
	결함수용성	0.0667	
	복구용이성	0.0256	
	가용성	0.1453	
사용성	운용성	0.0169	0.1466
	사용자 오류보호	0.0506	
	사용자 인터페이스	0.0791	
효율성	시간효율성	0.0702	0.1283
	자원활용성	0.0372	
	용량	0.0209	
유지보수성	분석성	0.0618	0.1092
	시험가능성	0.0314	
	모듈성	0.0099	
	재사용성	0.0061	
보안성	기밀성	0.0162	0.0561
	무결성	0.0231	
	책임성	0.0168	
중요도 합		1.0000	

중요도 산출 결과 주특성에서는 신뢰성, 기능적합성, 사용성 순으로 중요한 것으로 나타났고 부특성에서는 기능정확성, 가용성, 성숙성 순으로 중요한 것으로 나타났다.

3) AHP와 ANP의 적용 결과 및 비교 분석

중요도 산출시 활용한 ANP기법의 실효성을 확인하기 위해 상호종속성을 고려하지 않는 AHP기법을 적용했을 때의 결과와 비교분석한다. <표 12>은 AHP와 ANP를 각각 적용하여 산출한 품질 특성들의 중요도이다.

<표 12>의 결과에서 AHP대비 ANP의 품질 주특성의 중요도를 보면 기능적합성이 약 10% 낮게 산출되었다. 사용성은 약 8% 높게, 효율성은 약 8% 높게 산출되었다.

<표 12> AHP와 ANP 적용 시 산출된 품질 특성별 중요도

품질 주특성	품질 부특성	AHP 중요도	ANP 중요도
기능적합성	기능정확성	0.3296	0.2319
신뢰성	성숙성	0.0955	0.0904
	결함수용성	0.0548	0.0667
	복구용이성	0.0326	0.0256
	가용성	0.1609	0.1453
사용성	운용성	0.0146	0.0169
	사용자 오류보호	0.0336	0.0506
	사용자 인터페이스	0.0127	0.0791
	시간효율성	0.0274	0.0702
효율성	자원활용성	0.0137	0.0372
	용량	0.0068	0.0209
	분석성	0.0575	0.0618
유지보수성	시험가능성	0.0361	0.0314
	모듈성	0.0121	0.0099
	재사용성	0.0192	0.0061
	기밀성	0.0151	0.0162
보안성	무결성	0.0502	0.0231
	책임성	0.0276	0.0168
	중요도 합	1.0000	

<표 13>에서는 품질 부특성을 중요도 순으로 나열했다. <표 13>의 결과를 보면 순위

측면에서 1~3위까지는 동일한 순위지만 이후부터는 큰 차이를 보인다. AHP 적용 시 16위인 사용자인터페이스가 ANP에서는 4위로 그 중요도가 증가하는 것을 확인할 수 있다.

이외에도 시간효율성, 자원 활용성, 용량, 무결성 등에서 순위 역전이 나타나고 있다. 가중치 측면에서도 기능정확성이 9%감소, 인터페이스가 7%증가, 시간효율성이 7%증가 등 상호종속성을 고려하지 않는 AHP기법과 다수의 차이가 발생했다. 이를 통해 상호종속성을 반영하여 중요도를 산정한 ANP기법의 유효성을 확인할 수 있다.

<표 13> AHP와 ANP적용 시 품질 부특성의 중요도 순위

항목	AHP		ANP	
	품질 특성	중요도	품질 특성	중요도
1	기능정확성	0.3296	기능정확성	0.2319
2	가용성	0.1609	가용성	0.1453
3	성숙성	0.0955	성숙성	0.0904
4	분석성	0.0575	인터페이스	0.0791
5	결함수용성	0.0548	시간효율성	0.0702
6	무결성	0.0502	결함수용성	0.0667
7	시험가능성	0.0361	분석성	0.0618
8	오류보호	0.0336	오류보호	0.0506
9	복구용이성	0.0326	자원활용성	0.0372
10	책임성	0.0276	시험가능성	0.0314
11	시간효율성	0.0274	복구용이성	0.0256
12	재사용성	0.0192	무결성	0.0231
13	기밀성	0.0151	용량	0.0209
14	운용성	0.0146	운용성	0.0169
15	자원활용성	0.0137	책임성	0.0168
16	인터페이스	0.0127	기밀성	0.0162
17	모듈성	0.0121	모듈성	0.0099
18	용량	0.0068	재사용성	0.0061

4) 품질 평가 모델 도출

품질 평가 모델은 총 3개의 표로 구성되어 있다. 첫 번째 표는 '품질 측정 기준표'로 각 품질 특성과 이에 대한 측정기준이 제시되어 있다.

이는 <표 5>와 같다. 두 번째 표는 '품질 평가 결과표'로 '품질 측정 기준표'를 통해 산출된 결과를 적용하여 품질 점수와 개선잠재

력, 개선 우선순위를 확인 할 수 있는 표이다. <표 14>는 ‘품질 평가 결과표’이다.

<표 14> 품질 평가 결과표

평가항목	평가값 (A)	중요도 (B)	품질 점수 (A·B)·100	개선 잠재력 (B·(1-A))·100	개선 우선순위
기능정확성		0.2319			
성숙성		0.0904			
결함수용성		0.0667			
복구용이성		0.0256			
가용성		0.1453			
운용성		0.0169			
사용자 오류보호		0.0506			
사용자 인터페이스		0.0791			
시간효율성		0.0702			
자원활용성		0.0372			
용량		0.0209			
분석성		0.0618			
시험가능성		0.0314			
모듈성		0.0099			
재사용성		0.0061			
기밀성		0.0162			
무결성		0.0231			
책임성		0.0168			
종합 품질 점수					

세 번째 표는 ‘품질 종합 평가 및 대응 기준표’로 ‘품질 평가 결과표’의 종합 품질 점수의 구간에 따라 품질 수준에 대한 선언적 평가와 대응방침을 제시하는 표이다. <표 15>는 ‘품질 종합 평가 및 대응 기준표’이다.

<표 15> 품질 종합 평가 및 대응 기준표

종합 품질 점수	평가	대응 방안
95 ~ 100	매우 양호	선택적 품질 개선
90 ~ 95	양호	점진적 품질 개선 필요
80 ~ 90	보통	품질 개선 필요
70 ~ 80	미흡	적극적 품질 개선 필요
~ 70	매우 미흡	품질 개선이 매우 시급

IV. 품질 평가 모델 적용

4.1 품질 평가 모델 적용 결과

측정기준과 중요도를 반영하여 개발한 품

질 평가 모델을 개발 중인 0000사업에 적용했다. 본 연구의 평가 범위는 운용유지단계에서의 평가이지만 개발 중인 체계도 각 특성에 대한 평가 기준의 적용결과를 보기에는 부족함이 없다 판단하여 개발 중인 체계를 통해 검증하였다. <표 16>은 품질 특성별 측정결과와 중요도를 반영한 결과이다.

<표 16>의 평가 결과 중 종합 품질 점수 97.57점을 <표 15>와 대조하여 품질 수준에 대해서는 매우 양호의 평가를 내릴 수 있다. 대응 방안으로는 선택적 품질 개선의 필요성을 제시할 수 있다. 또한 개선 우선순위를 파악함으로써 품질 개선의 방향성을 확인 및 제시할 수 있다.

<표 16> 품질 평가 모델을 0000에 적용한 결과

평가항목	평가값 (A)	중요도 (B)	품질 점수 (A·B)·100	개선 잠재력 (B·(1-A))·100	개선 우선순위
기능정확성	1.00	0.2319	23.19	0	
성숙성	0.95	0.0904	8.59	0.45	4
결함수용성	1.00	0.0667	6.67	0	
복구용이성	1.00	0.0256	2.56	0	
가용성	0.96	0.1453	13.95	0.58	2
운용성	0.98	0.0169	1.66	0.03	6
사용자 오류보호	1.00	0.0506	5.06	0	
사용자 인터페이스	0.90	0.0791	7.12	0.79	1
시간효율성	1.00	0.0702	7.02	0	
자원활용성	1.00	0.0372	3.72	0	
용량	1.00	0.0209	2.09	0	
분석성	0.92	0.0618	5.69	0.49	3
시험가능성	1.00	0.0314	3.14	0	
모듈성	0.91	0.0099	0.90	0.09	5
재사용성	1.00	0.0061	0.61	0	
기밀성	1.00	0.0162	1.62	0	
무결성	1.00	0.0231	2.31	0	
책임성	1.00	0.0168	1.68	0	
종합 품질 점수			97.57	2.43	

세부적으로 살펴보면 개선잠재력이 가장 높은 사용자 인터페이스가 개선 우선순위 1순위에 랭크되었다. 가용성은 비 만점 항목 6개 중 2위의 높은 점수를 개선 우선순위가 낮아야 함에도 불구하고 상대적 중요도가 높아 개선 우선순위 2위에 랭크되었다. 모듈성

은 비 만점 항목 6개 중 5위의 낮은 점수를 받아 개선 우선순위가 높아야 함에도 불구하고 상대적 중요도가 낮아 개선 우선순위 5위에 랭크되었다. 이와 같이 평가 값에 중요도가 반영됨으로써 개선 우선순위의 변동이 나타나는 것을 확인 할 수 있으며 이는 합리적 중요도 산정의 중요성을 뒷받침하는 것이라 볼 수 있다.

이 품질 평가 모델은 운용유지단계에서 무기체계 소프트웨어의 품질 개선을 위한 의사결정을 도울 수 있다. 먼저 ‘품질 측정 기준표’에서 품질 수준을 평가 할 때 정성적인 부분을 배제함으로써 객관성을 확보하였고 이로 인해 결과에 대한 신뢰도를 증가시켰다.

그리고 ‘품질 평가 결과표’에서 평가 항목의 평가 값이 1에 미치지 못한 만큼의 차이 값과 평가 항목의 중요도를 곱하여 도출된 개선잠재력은 그 크기 순서에 따라 품질 개선 특성의 우선순위를 확인함으로써 직관성을 높였다.

또한 평가 결과가 정량화되어 도출되기 때문에 ‘품질 평가 종합 및 대응 기준표’와 같은 판단기준을 수립하여 평가 결과에 따른 대응 반응에 대한 제시가 가능하다. 이를 적용하고 발전시킨다면 향후 지속적으로 활용 영역이 증가하고 있는 무기체계 소프트웨어에서의 품질 평가와 무기체계 소프트웨어, 나아가 해당 체계의 품질 개선에 기여할 수 있을 것이다.

V. 결론

본 연구에서는 운용유지단계 무기체계 소프트웨어의 품질 개선을 위한 선행 활동으로 종합적인 품질을 평가해야 할 때 적용 가능한 품질 평가 모델을 개발했다. 국제표준 ISO/IEC 25010의 품질특성을 기반으로 무기체계 소프트웨어에 적합한 품질 주특성과 품질 부특성을 선정하고, ISO/IEC 25023을 기반으로 품질 특성을 평가하기 위한 측정 기준을 제시했다. 평가항목의 측정 기준을 특정 사건의 발생 횟수나 시간을 근거로 함으로써 정성적인 평가가 아닌 객관적인

평가가 가능하게 했다. 그리고 Super Decisions를 통한 ANP기법을 적용하여 품질 특성 간 상관관계를 고려한 상대적 중요도를 산출하였으며, AHP와 ANP의 적용 결과를 비교하여 상호중속성의 반영 효용성을 확인했다. 또한 품질 매트릭을 통한 측정결과에 산출된 품질 특성의 상대적 중요도를 반영하여 종합적인 품질 평가 결과를 도출하는 품질 평가표를 제시했다. 제시한 품질 평가표를 개발 중인 무기체계 소프트웨어에 적용하여 해당 체계의 품질에 대해 97.57점이라는 정량적인 결과를 도출했다. 이러한 수치화 된 결과를 통하여 개선 잠재력이 큰 항목을 식별하여 사용자 인터페이스, 가용성, 분석성 순으로 개선 우선순위를 파악했다. 추가적으로 품질 점수 구간에 따라 대응 방안을 결정하는 기준표를 제시했다. 앞으로 운용유지단계 무기체계 소프트웨어의 품질을 평가할 때에는 본 평가 모델을 적용하여 객관적이고 정량적인 평가결과 도출과 품질 개선 우선순위 파악 및 피드백 결정에 도움을 줄 수 있다. 또한 이는 무기체계 소프트웨어의 품질 개선뿐 아니라 관련된 무기체계의 품질을 개선하는데 기여할 것이라 기대한다.

본 연구의 한계점으로는 우선 비용효율적 관점에서 품질 개선 중요도와 개선 가능성에 대해 평가 후 가중치가 임계치 0.05이 아닌 항목을 제외한 것이다. 그러나 이것은 비용효율성보다 시스템의 완전한 평가를 우선 목표로 둔다면, 제외시키는 특성 없이 모든 특성을 고려하는 품질 평가 모델 연구에 대한 여지를 남긴다. 그리고 평가 모델의 검증에 있어서 운용유지단계의 체계가 아닌 개발 중인 체계에 적용하여 검증하였다. 측정 기준의 유효성을 판단함에 있어서는 개발 중인 체계로도 검증가능하나 운용유지단계의 체계로 검증한다면 검증에 대한 타당성을 높일 수 있다. 또한 각 품질 부특성별 평가 측정 기준을 설정하는데 있어서 다양성이 적었다. 예를 들어, 기능정확성 같은 하나의 부특성 내에도 기능정확성을 평가할 수 있는 여러 가지 방법이 존재하지만 본

연구에서는 한 특성 당 하나의 평가 측정기준을 수립하였다. 따라서 각 평가 특성별로 여러 가지 객관적인 평가 측정기준을 수립하고 이 측정결과에 따른 적절한 가중치를 부여함으로써 보다 발전된 품질 평가 모델에 대해 연구할 여지가 있다. 마지막으로 품질 개선 잠재력이 큰 항목을 기준으로 개선 우선순위로 선정하였는데 이 때 개선 시 투입해야 할 비용에 대한 고려는 하지 않았다. 이는 비용효율 관점에서 2가지 주특성을 평가 대상에서 제외한 관점과 상이한 판단일 수 있으나 각 개선에 대한 비용을 고려하기에는 연구의 범위가 지나치게 커지는 바, 본 연구에서는 개선비용 부분은 배제하고 평가 특성의 선정에서만 비용적인 부분을 고려하였다. 그러나 개선 잠재력과 더불어 개선비용까지 종합 및 고려하여 개선 우선순위를 도출할 수 있는 방안에 대해서도 추가적으로 연구한다면 더욱 목적적합하고 강력한 운용유지단계 무기체계 소프트웨어의 품질 평가 모델이 될 것이다.

참고문헌

[1] 박현순, “AHP 및 ANP 기법을 이용한 물류 거점 평가 모델 구축에 관한 연구”, 『단국대학교 석사학위 논문』, 2013.

[2] 안천의, “품질향상과 품질비용에 관한 연구”, 『단국대학교 석사학위 논문』, 1994, pp.34-39.

[3] 조근태, “앞서가는 리더들의 계층분석적 의사결정”, 『동현출판사』, 2003, pp.89-94.

[4] 최철립, 송영재, “ANP를 이용한 소프트웨어 품질 평가 매트릭스 구성과 각 품질 속성의 상대적 중요도 결정”, 『한국정보기술학회』, 2011, pp.174-175.

[5] 행정안전부, 『전자정부사업 품질관리 매뉴얼』, 2013, pp.181-207.

[6] ISO/IEC, “International Standard Information Technology Software Evaluation”, ISO/IEC 9126, 1991.

[7] ISO/IEC, ISO/IEC 9126-1, Product Quality-Part

1 : Quality model, 2001.

[8] ISO/IEC, ISO/IEC 25010, Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - System and software quality models, 2011.

[9] Thomas L. Satty, The Analytic Hierarchy Process, McGrawHill, New York, 1980.

[10] Thomas L. Saaty, “The Analytic Network Process”, RWS, 2006.

[11] Thomas L. Satty, Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in Mathematics for the measurement of intangible factors the Analytic Hierarchy/Network Process, 2008.