ISSN 1229-1889(Print)
ISSN 2287-9005(Online)
J Korean Soc Qual Manag Vol. 49, No.1: 47-60, March 2021
https://dx.doi.org/10.7469/JKSQM.2021.49.1.47

캐비닛 엑스선 검색장비 이미지품질평가 고도화 방안 연구

윤연아* · 정진형* · 김용수**†

* 경기대학교 일반대학원 산업경영공학과
** 경기대학교 산업경영공학과

Improving Imaging Quality Assessment of Cabinet X-Ray Security Systems

Yeon Ah Yoon* · Jin Hyeong Jung** · Yong Soo Kim**†

* Department of Industrial and Management Engineering, Kyonggi University Graduate School
** Department of Industrial and Management Engineering, Kyonggi University

ABSTRACT

Purpose: This study proposes methods and procedures for evaluating imaging security systems quality of cabinet x-ray screening system to enhance performance certification technology. Also, conducted a comparative analysis of the literature of test-kit for imaging security quality evaluation.

Methods: Comparative analysis of the test-kits and related documents for image quality assessment of cabinet x-ray screening equipment. This allows assessment items were selected and the methods for each assessment item were proposed. In addition, the configuration method of the assessment team was established by applying the technology readiness assessment(TRA).

Results: Four of the assessment items were selected when estimate image quality by a comparative analysis of literature. For each assessment item, the evaluation method and minimum level of availability were determined. Finally, this paper proposes an imaging quality assessment of cabinet X-ray imaging security systems.

Conclusion: Development of imaging security systems evaluation procedures for cabinet X-ray screening systems can be help improve performance certification of aviation security equipment.

Key Words: Aviation Security Equipment, Cabinet X-ray Screening System, Imaging Security

● Received 13 January 2021, 1st revised 26 January 2020, accepted 18 February 2021
† Corresponding Author(kimys@kgu.ac.kr)
ⓒ 2021, Korean Society for Quality Management
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-Commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
※ 본 연구는 국토교통부 빅데이터 기반 항공안전관리 보안인증 기술개발사업의 연구비지원(21BDAS-C151631-03)에 의해 수행되었습니다.

1. 서 론

항공기를 통한 국제테러의 위협은 기술의 발달로 테러 유형 및 수법이 다양해짐에 따라 지속적으로 증가하고 있으며, 국가적 안보위협 수준 또한 높아지고 있다. 이러한 항공테러 대응을 위하여 각 국가에서 각별한 노력을 기울이고 있다(Lee and Hwang 2018). 세계 각국은 공항보안을 강화하고 국가 전반의 보안을 강화하기 위하여 국토안보부를 설치하고 대 테러 관련 정책을 강도 높게 추진하고 있는 추세이다(Kang and Kang, 2008). 주요국들은 항공보안장비의 성능이 보안정책 요구에 적합한지 검증하기 위한 성능인증제도를 운영하기 시작하였으며, 최근 국내에서도 성능인증제도 도입을 위한 기반 구축 및 일부 시행하고 있다. 전 세계적으로 항공환경은 급격한 변화를 겪고 있으며 이러한 변화에 선제적으로 대응하기 위하여 여러 가지 대안들이 필요해지고 있다(Bae et al., 2019). 미국은 의회의 주도로 여러 분산된 관련 기관들을 통합하면서 국토안보부(United States Department of Homeland Security, DHS) 및 그 산하에 교통보안청(Transport Security Administration, TSA)을 설치하여 항공보안 및 안전에 대한 책임을 지고 항공보안 전략을 수립하였다(Chun and Shin, 2011). 유럽연합(European Union, EU)은 유럽민간항공위원회(European Civil Aviation Conference, ECAC)을 설립하였다. ECAC에서는 인증, 규제 및 표준화를 수행하며 안전 데이터, 초안을 수집 및 분석하고, 안전 법규 및 세계 다른 지역의 유사 조직과의 조율에 대한 정책 제안을 진행하고 있다. 또한 공항 승객과 수하물의 보안 검색에 대한 방법에 대해 규정하고 있으며, 항공보안장비에 대한 최소성능 인증의 기술적인 사양을 정립하고 있다(Lee et al., 2020). 또한 중국의 중국민간항공국(Civil Aviation Administration of China, CAAC) 인증도 내수시장을 기반으로 부상하고 있다. 최근 국내에서도 항공보안 위협 요소 대비를 위해 2018년 10월부터 공항에서 사용되기 위한 항공보안장비의 성능이 보안정책에서 요구하는 수준 이상임을 입증하는 성능인증을 통과하여야하는 항공보안 장비 국내 성능인증제를 시행하고 있다(Kim et al., 2020).

국토교통부고시 제 2020-456호 항공보안장비 성능 인증 및 성능 검사 기준에 의거하여 “항공보안장비”란 엑스선 검색장비(X-ray screening system), 폭발물탐지장비(Explosive detecting system), 폭발물흔적탐지장비(Explosive trace detector), 문형금속탐지장비(Walk-through metal detector), 휴대용금속탐지장비(Hand-held metal detector), 신발검색장비(Shoe metal detector), 원형검색장비(Whole body scanner) 등 보안검색에서 사용되는 장비를 의미한다. 즉, 공항 이용 승객과 휴대수하물, 위탁수하물 및 화물의 위해물품 또는 위험물질 포함여부를 검색하고 이를 차단하여 공항과 항공기내 사고를 방지하기 위해 사용되는 검색장비를 통칭한다(Jung et al., 2020).

이 중 수하물 검색 후 영상이미지를 제공하는 항공보안장비(엑스선 검색장비, 폭발물탐지장비 등)는 현시되는 이미지의 품질이 왜곡되거나 판독에 영향을 미치지 않도록 일정 수준 이상의 품질이 보장된 이미지 제공이 상시로 이루어져야한다(Jung et al., 2020). 제공된 이미지의 품질이 낮은 경우, 스크리너의 관능 검사 시 수하물 내 모든 물품에 대해 현시 여부를 확인 및 정확한 위해물품 검출에 어려움을 야기할 수 있다. 또한 최근 4차 산업혁명으로 인한 인공지능 기반 위해물품 자동탐지기술이 적용된 경우 수하물 내 물품에 대해 자동탐지를 위한 특징 추출 및 분류에 한계가 있을 수 있다. 따라서 별도의 이미지품질평가가 필요하며, 현재 국내 국토교통부고시 2019-54호에 따라 규정된 8종 장비 중 엑스선 검색장비와 폭발물 탐지장비에 이미지품질평가가 요구된다.

주요 국가들의 경우 항공보안장비 성능인증시험 중 이미지품질평가에 대한 인증 절차, 방법, 범위 등을 보안상의 목적으로 명확하게 공개하지 않고 있다. 현재 국토교통부고시의 경우 이미지품질평가용 전문 테스트키는 지정되어 있으나, 최소 성능 기준이 명확하게 명시되어 있지 않으며 세분화 및 고도화가 필요한 부분이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 엑스선 검색장비 중 캐비닛 엑스선 검색장비에 한하여 이미지품질평가 항목 및 평가방법을 제안하고자 한다. 국내 항공보안장비 성능인증제 중 이미지품질평가를 고도화하기 위해 캐비닛 엑스선 검색장비의 이미지품질

평가 시 요구되는 테스트키트와 관련 규격 및 법령 등을 비교 분석하여 평가항목을 재정의하고, 평가항목별 최소가용성능을 재수립하였다. 이미지품질평가의 경우 테스트키트의 투과된 이미지를 보고 사람이 주관적으로 판정하여 평가가 이루어지므로 이를 보완하기 위한 평가팀 구성방안 및 항목별 평가방법을 제안한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 국내 및 국외의 이미지품질평가 관련 문헌을 비교 분석하고 3장에서는 캐비닛 엑스선 검색장비의 범위를 설명하고 본 연구에서 제안하고자하는 이미지품질평가 항목 및 절차, 그리고 제안하는 최소가용성능을 소개한다. 마지막으로 4장에서 결론 및 추후 연구 과제를 제시한다.

2. 연구 배경 및 선행연구

2.1 이미지품질평가 관련 국내 법령 및 규격 현황 파악

엑스선 검색장비의 이미지품질평가 관련 국내 법령 현황 파악을 위해 국내 국토교통부고시 제 2019-52호 항공보안장비 성능 인증 및 성능 검사기준을 확인하였다. 항공보안장비는 총 8종으로 구성되어있으며, 이 중 엑스선 검색장비 및 폭발물탐지장비에 이미지품질평가가 요구된다. 본 연구에서 다루는 엑스선 검색장비는 이미지품질평가 기준을 만족하여야하며, 그 기준은 Table 1과 같다.

Table 1. Image quality evaluation criteria of X-ray Screening System

Classification	Evaluation category	Acceptable performance	Usable Test kit
Equipment that searches things for cross- section area of 1m × 1m or less	Wire display	Bidirectional : 30AWG Unidirectional : 24AWG	ASTM F792 Test kit or STP Test kit
	Simple penetration	Bidirectional : 30AWG Unidirectional : 24AWG	
Equipment that searches things for cross- section area exceeding 1m × 1m	Wire display	24AWG	ANSI N 42.46 Test kit
	Simple penetration	30mm	

검색장비를 통과하는 방향의 단면적이 1m × 1m 이하인 물품만을 검색하는 장비에는 ASTM(American society for testing materials) F792 테스트키트 또는 STP(Standard test piece) 테스트키트 중 하나를 적용하며, 이는 캐비닛 엑스선 검색장비로 볼 수 있다. 단면적이 1m × 1m 초과인 물품을 검색하는 장비에는 ANSI N 42.46 테스트키트를 사용하며, 해당 장비는 화물용 엑스선 검색장비로 분류되어 본 연구에서 배제하였다. 이미지품질평가는 장비의 제조사가 제시한 평시 운전조건에서 수행하며, 시험 중 테스트키트는 컨베이어벨트 중앙에 위치하도록 한다.

엑스선 검색장비의 성능인증 기준에는 엑스선 검색장비의 기본 성능에 대한 내용은 상세히 명시되어 있으나, 이미지품질평가를 위한 테스트키트의 활용방법 및 명확한 합격 기준점 등 구체적으로 명시되어 있지 않으므로, 이에 대한 내용이 보완될 필요성이 있다. 또한 지정된 테스트키트(ASTM F792, STP) 규격 확인 결과 현재 평가항목으로 지정된 와이어탐지 및 단순투과능 외에도 해당 테스트키트별 평가항목이 존재함을 알 수 있다. 따라서 최소 성능 기준 및 평가방법, 평가항목의 세분화 및 고도화가 필요하며 이에 대한 기준의 재정의가 필요하다.

2.2 이미지품질평가법 관련 해외 법령 및 규격 현황 파악

대부분 엑스선 검색장비들의 경우 미국 교통보안청(TSA) 또는 유럽민간항공위원회(ECAC)의 항공보안장비 인증을 받고 있는 현황이다. 따라서 국내 기준을 확립하기 위해 TSA와 ECAC에서 사용하는 테스트키트의 규격에 대한 이해가 선행되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 국토교통부고시에 언급되는 ASTM F792 테스트키트와 이를 활용하는 규격인 ANSI N 42.44(American national strandard for the performance of checkpoint cabinet X-ray imaging security systems), 그리고 STP 테스트키트에 대한 규격을 분석하였다.

2.2.1 ASTM F792 테스트키트 파악

ASTM F792는 보안 엑스선 시스템의 이미지 성능 평가를 위한 표준으로 미국 TSA 인증 획득 시 사용하는 ASTM 규격에서 요구하는 테스트키트이다. 해당 테스트키트는 최대 폭 1m, 최대 높이 1m의 터널을 가진 일반 엑스선 시스템, 또는 해석을 위해 영사/산란 이미지를 제공하는 폭발물감지시스템을 비롯한 모든 엑스선 기반 스크리닝 시스템에 적용된다. 엑스선 시스템의 성능을 평가하고 해당 시스템의 성능을 검증하는데 사용되는 것을 목적으로 하며 정량적 및 정성적 방법을 제시한다. 특정 용도에 대한 최소 성능 요건을 지정하지 않으며 총 9가지 영역에 대한 엑스선 스크리닝 시스템의 이미지 품질을 평가하기 위해 개발되었다. 9가지 평가 영역에 대한 내용은 Table 2에 명시하였다.

Table 2. Test object of ASTM F792

Classification	Details of test object
Wire display	To determine how well an X-ray system display wires, the test object incorporates a set of unobstructed wires. These wires are laid out on the test object in a sinusoidal pattern.
Useful penetration	To determine the useful penetration of an X-ray system, the test object incorporates a set of wires placed under aluminum that varies in thickness. The wires shall be laid out on the test object, under an aluminum step wedge in a sinusoidal pattern.
Spatial resolution	To determine the spatial resolution of an X-ray system, the test object incorporates a set of narrowly spaced wires. The gauge of these wires and the spacing between them provieds sufficient range to characterize the system's Spatial Resolution.
Simple penetration	To determine the simple penetration of an X-ray system, the test object incorporates lead digits placed on top of steel that varies in thickness.
Thin organic imaging	To determine the thin organic imaging capability of an X-ray system, the test object incorporates plastic of various thicknesses. The thickness of the plastic provides sufficient range to characterize the system's ability to image thin organic material.
Image-quality-indicator(IQI) sensitivity	To determine the IQI sensitivity of an X-ray system. the test object incorporates a set of flat-bottom holes drilled into steel and plastic samples that vary in thickness. IQI sensitivity means the minimum discernible image and the designated hole in the plaque type or the designated wire image in the wire type IQI.
Organic/inorganic differentiation	To determine the organic/inorganic differentiation capability of an X-ray system, the test object incorporates a steel and plastic sample.

Classification	Details of test object
Organic differentiation	To determine the organic differentiation capability of an X-ray system, the test object incorporates various samples of plastic.
Useful organic differentiation	To determine the useful organic differentiation of an X-ray system the test object incorporates various samples of plastic placed on top of steel that varies in thickness.

2.2.2 ANSI N 42.44 표준평가법 파악

검색대 캐비닛 엑스선 검색 시스템에 적용할 시 ASTM F792의 9가지 검사에 대한 최소 성능 요구사항을 규정한 표준으로, 보안검색대와 검사 현장에서 검사를 위해 사용되는 캐비닛 엑스선 촬영 시스템의 기술적 성능에 대한 표준을 규정한다. 엑스선 촬영 성능에 대한 최소 요구사항과 검사절차, 방사선 제한 요구사항, 전기 기계 및 환경 요구사항을 지정하여 위협 탐지성능이 아닌 기술적 이미지품질 성능을 다룬다. 또한 엑스선 촬영 성능에 대한 최소 요구사항과 검사절차, 방사선 제한 요구사항, 전기 기계 및 환경 요구사항을 지정하며 위협 탐지성능이 아닌 기술적 이미지품질 성능을 다룬다. 해당 규격의 적용범위는 캐비닛 엑스선 검색장비로 제한되어있으며 최소 성능 기준 및 표준 검사환경조건이 명시되어있다.

2.2.3 STP 테스트키트 파악

STP 테스트키트는 ECAC 인증 획득 시, 사용되는 테스트키트로 여객에 대한 엑스선 검색장비의 이미지품질평가 시 사용되며 총 6가지 항목을 평가한다. 2018년도 1월 이후 WG EWSTP(Exposed Wire Standard Test Piece)로 대체되었으며 기존 STP와 평가항목은 동일하나 양방향 장비 기술에 특화되도록 설계되어 2개의 테스트키트를 모듈형으로 활용 가능하다. STP의 평가항목은 Table 3과 같다.

Table 3. Test object of STP

Classification	Details of test object
Wire display	To determine how well an X-ray system display wires, seeing copper wire of different thickness.
Useful penetration	To determine the useful penetration of an X-ray system, seeing copper wire of different thickness behind aluminium of different thickness.
Spatial resolution	To determine the spatial resolution of an X-ray system, seeing slots cut into a copper plate, both parallel to and perpendicular to the direction of X-ray belt travel.
Thin organic imaging	To determine the thin organic imaging capability of an X-ray system, seeing a steel sheet of different thicknesses.
Simple penetration	To determine the simple penetration of an X-ray system, seeing a lead bar concealed behind steel of different thicknesses(stepped wedge).
Organic/inorganic differentiation	To determine the organic/inorganic differentiation capability of an X-ray system, seeing salt&sugar(organic)

2.2.4 21 CFR 1020.40 평가법 파악

CFR(Code of federal regulation)은 미국연방규정집으로 미국 관보에 발표된 관련 규정을 기록한 것이며, 각 장은 여러 특별한 규제 영역의 내용을 수록하고 있다. 이 중 21 CFR 1020.40은 캐비닛 엑스선 시스템에 대한 조건을 규정하고 있으며 이를 통해 캐비닛 엑스선 검색장비의 범위를 지정하였다. 본 규정은 제조 또는 조립된 캐비닛 엑스선 시스템에 적용되며 이 중 수하물 검사를 위해 설계된 엑스선 시스템에 해당하는 내용을 조사하였다. 캐비닛 엑스선 시스템의 정의는 캐비닛에 엑스선관을 설치한 엑스선 시스템을 의미하며 주로 항공사, 철도 및 버스터미널 및 유사한 시설에서 수하물 검사를 위해 설계된 모든 엑스선 시스템이 포함된다. 단, 건물의 차폐된 부분에 사용되는 엑스선관 또는 휴대용 차폐물이 부착된 상태의 엑스선 검색장비는 캐비닛 엑스선 시스템에서 배제된다. 해당 법령에는 캐비닛 엑스선 시스템에 필요한 정의 및 요구사항이 명시되어 있다.

미국 ANSI N 42.44 표준 규격에는 ASTM F792 테스트키트의 평가항목 및 시험절차가 명시되어 있으며, 최소 성능 기준 또한 명시되어 있다. 그러나 STP의 경우 최소 성능 기준 및 시험절차에 대해 명시되어 있지 않다. 공통적으로 구체적인 평가방법 및 절차에 대한 정보가 공개되어있지 않으므로, 국내 항공보안장비의 이미지품질평가를 위해 시험평가방법 및 평가 기준을 수립해야한다. 덧붙여 현재 국토교통부고시에 명시된 엑스선 검색장비의 이미지품질평가 항목에는 와이어탐지 및 단순투과능만 포함되어 있으며, ASTM F792와 STP의 평가항목이 상이하므로 평가항목의 세분화 및 고도화가 필요하다.

3. 이미지품질평가 절차 구축

3.1 절차 구축 프로세스

캐비닛 엑스선 검색장비의 이미지품질평가 절차 구축을 위해 진행한 연구 프로세스는 Figure 1과 같다. 본 시험의 목적은 엑스선 검색 장비의 최소 촬영성능 요구사항을 확인하기 위한 것으로 엑스선 검색장비의 성능이 아닌 엑스선 시스템을 통해 도출된 이미지 자체의 이미지품질을 평가하기 위한 시험이다. 먼저 시험에 적용되는 캐비닛 엑스선 검색장비의 범위를 정의한다. 그 후 앞서 진행한 관련문헌 연구를 토대로 평가항목을 선정하고, 평가항목별 평가방법을 수립한다. 이미지품질평가 시 필요한 평가팀 구성안을 제안하고 평가항목별 판정기준을 제안하였다. 최종적으로 세부사항들이 도출된 시험평가 절차를 제안한다. 본 프로세스를 통해 캐비닛 엑스선 검색장비의 이미지품질평가방법을 보다 명확하게 제안하고자 하였다.

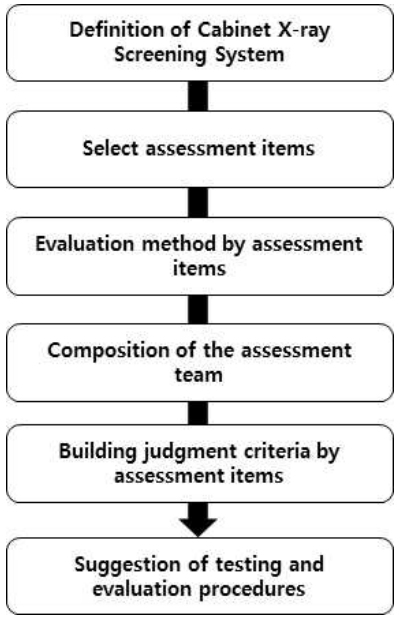

Figure 1. Research process

3.2 캐비닛 엑스선 검색장비 적용범위 정의

엑스선 검색장비란 엑스선 발생장치를 이용하여 검색대상물에 엑스선을 조사하고 그 내용을 모니터에 영상으로 표시하는 검색장비를 의미한다. 보안검색대와 기타 검사 현장에서 수하물 검색을 위해 사용되는 캐비닛 엑스선 촬영 시스템을 의미하며, 항공 수하물 검사에 사용하기 위한 엑스선 시

스템을 포함한다. 건물의 차폐된 부분에 사용하는 엑스선관 또는 휴대용 차폐물이 부착된 상태의 엑스선 검색장비는 캐비닛 엑스선 시스템에서 배제된다.

캐비닛 엑스선 검색장비의 요구조건은 국토교통부고시 및 21 CFR 1020.40과 ANSI N 42.44를 참조하여 지정하였다. 장비 자체의 일반적인 요구사항으로 먼저 24시간 동안 연속적으로 작동되어야하며, 일정한 성능을 유지해야한다. 재검사의 용이성을 위해 컨베이어 벨트를 전진 및 후진시킬 수 있어야하며 양방향 또는 단방향 장비 모두 허용한다. 원자력안전기술원의 방사선 발생장치기술기준에서 정하는 방사능 노출 요건 등을 충족해야하며, 기기 표면 방사선 누출량 5~10cm 거리에서 0.5mR/h 이하로 관리되어야한다. 또한 인체의 어떤 부분을 조리개 안으로 삽입하는 것이 불가능한 구조여야하며, 검색장비 운용 중 엑스선 발생장치 등에서 비정상적인 상태가 발생하는 경우 즉시 장비 운영을 중단시킬 수 있는 비상차단 장치가 있어야한다.

해당 연구에서 다루는 캐비닛 엑스선 검색장비의 경우 다음과 같은 특성 중 하나 이상이 있는 경우에는 배제한다. 첫째 120kV 미만의 전위에서 작동하는 경우, 둘째 캐비닛 시스템이 아닌 경우, 셋째 직접 투영 이미지를 제공하지 않는 경우, 넷째 주로 컴퓨터 단층 촬영(computed tomography, CT)을 기반으로 사용하는 경우, 다섯째 의료 진단 촬영에 사용되는 경우, 마지막으로 비파괴평가 또는 비파괴검사, 산업품질관리, 재생 용품과 같은 산업분류, 과학 연구 목적에 사용되는 시스템인 경우이다.

위의 일반적인 요구사항을 만족하며 엑스선 검색 장비 중 터널 규격 1m × 1m 이하의 장비를 해당 연구에서 제안하는 이미지품질평가의 적용 장비 범위로 선정하였다.

3.3 평가항목 선정 및 평가항목별 평가방법 수립

현재 국토교통부고시에 의해 엑스선 검색장비의 경우 ASTM F792 또는 STP 테스트키트를 사용하며 평가항목은 와이어탐지 및 단순투과능으로 구성되어 있다. 그러나 ASTM F792 및 STP를 통해 평가할 수 있는 영역은 더욱 세분화되어 있으며, 이를 비교분석하여 엑스선 검색장비 이미지품질평가 시 요구되는 총 4가지 평가항목을 지정하였다(Table 4). 선정한 평가항목은 와이어탐지(가용투과율), 공간해상도, 유기물/무기물 구분, 단순투과율이며 평가항목별 평가목적과 평가방법에 대한 상세한 설명은 다음 절을 따른다.

Table 4. Comparison of assessment items

ASTM F792	STP	Selection of assessment items
Wire display	Wire display	Wire display(Useful penetration)
Useful penetration	Useful penetration	Spatial resolution
Spatial resolution	Spatial resolution	Organic/inorganic differentiation
Simple penetration	Thin organic imaging	Simple penetration
Thin organic imaging	Simple penetration	
Image-quality-indicator(IQI) sensitivity	Organic/inorganic differentiation	
Organic/inorganic differentiation		
Organic differentiation		
Useful organic differentiation		

3.3.1 와이어탐지 (가용투과율) 평가법 파악

와이어탐지 평가는 엑스선 시스템이 와이어를 얼마나 잘 탐지하는지 확인하기 위해 수행된다. 와이어 게이지는 시스템의 와이어 표시 능력을 묘사하기 위한 충분한 종류를 제공하며 와이어 유형, 수량 및 게이지, 간격에 대한 내용을 포함한다.

가용투과율의 경우 와이어탐지와 동일한 테스트개체를 통해 성능이 평가되며 와이어 두께에 따른 투과율을 확인하는 시험으로 와이어 탐지와 항목을 통일하여 하나의 평가항목으로 선정하였다. 두 평가항목을 확인하기 위한 테스트개체는 다양한 두께의 알루미늄 뒤에 와이어가 'S'자 곡선 형태로 배치되어 있으며, Figure 2에 표시된 부분이다. 와이어의 지름에 따라 와이어와 와이어의 주변부를 얼마나 잘 구분하는지 측정하며, 와이어 길이의 절반 이상이 보이는 것을 확인하고 여부를 판정하여 각 체크박스에 표기한다. 와이어가 명확하게 탐지되는 경우 가용투과율 또한 만족한다고 볼 수 있다.

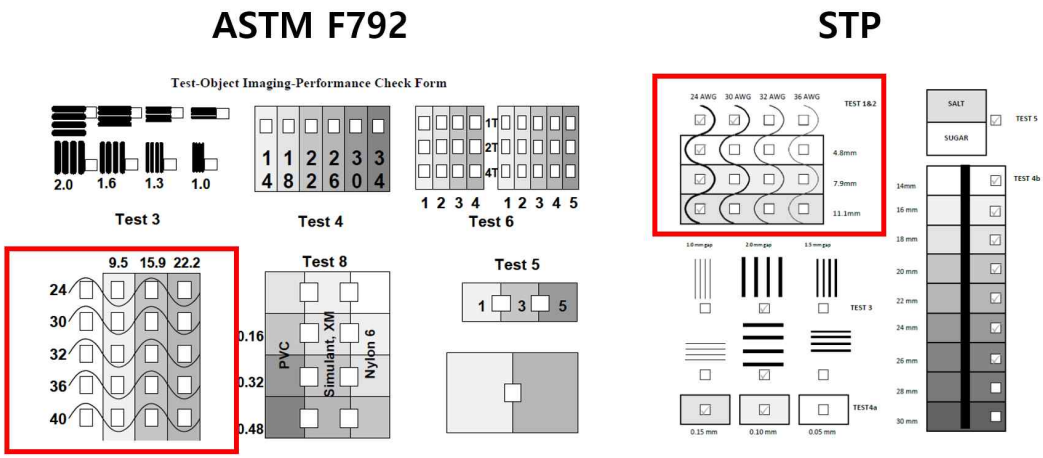

Figure 2. Test object of Wire display and Useful penetration (ASTM F792, STP)

3.3.2 공간해상도 평가법 파악

공간 해상도 평가는 엑스선 시스템이 모니터 상에서 고 대비 선재를 선재 직경별로 표시할 수 있는 능력을 평가하기 위해 수행된다. 엑스선의 입사 각도의 영향으로 인해 겹치지 않고 나란히 있는 물체가 겹쳐보이는 현상이 발생하는 경우가 존재하므로 이를 확인하는 평가항목이다.

Figure 3은 공간해상도를 평가할 수 있는 테스트개체를 표시한 것이다. ASTM F792의 경우 전선의 게이지와 그 사이 간격을 통해 시스템의 공간해상도를 파악하며, STP의 경우 철판의 구멍 사이 간격을 측정하는 방식으로 엑스선 시스템의 공간해상도를 파악한다. 개량형 ASTM 및 EW STP 또한 철판 사이의 구멍을 측정한다. 가로와 세로의 공간해상도가 상이할 수 있으므로 두 방향 모두 측정해야한다. 와이어 또는 철판의 구멍이 모두 구분되며 간격이 명확하게 파악되는 경우 해당 체크박스에 표기한다.

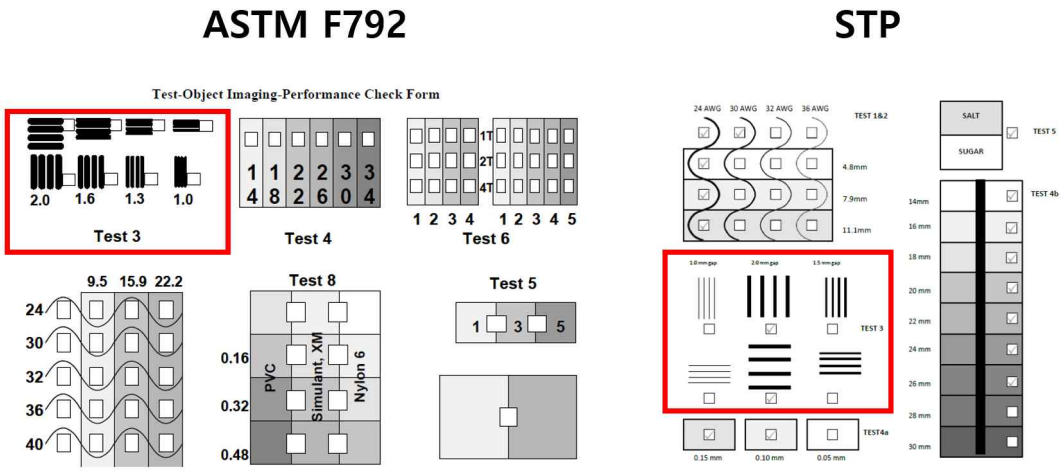

Figure 3. Test object of Spatial resolution (ASTM F792, STP)

3.3.3 유기물/무기물 구분 평가법 파악

해당 평가항목은 엑스선 시스템의 유기물/무기물 구분 능력을 확인하기 위해 수행된다. ASTM F792의 해당 테스트개체의 경우 두꺼운 플라스틱과 얇은 강철을 나란히 배치하여 이를 유기물과 무기물로 구분되는지를 확인하며, 인접한 플라스틱과 강철이 다른 색으로 보이는 경우 유기물/무기물 구분 성능이 양호하다 판정한다. STP의 해당 테스트개체는 설탕 및 소금 샘플을 사용하며 원자번호가 다른 재료를 구분하는지를 확인한다. Figure 4는 유기물/무기물 구분을 평가하기 위한 테스트개체를 표시한 것이며, 두 가지 샘플이 다른 색으로 보이는 경우 해당 체크박스에 표기한다.

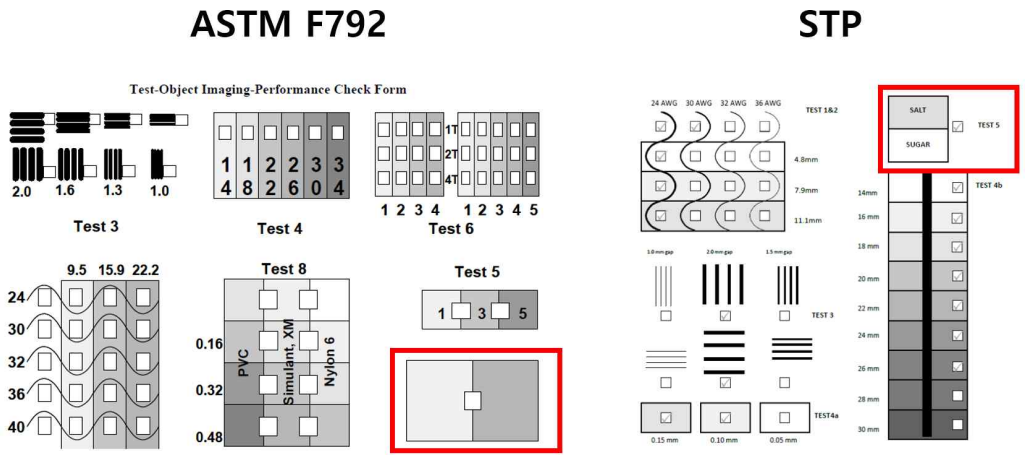

Figure 4. Test object of Organic/inorganic differentiation (ASTM F792, STP)

3.3.4 단순투과능 평가법 파악

해당 평가항목은 엑스선 시스템의 단순투과능을 결정하기 위해 수행된다. 단순투과능의 경우 두께가 상이한 강철 위에 놓인 것을 확인하며, 강철의 두께는 단순 침투 특성을 파악할 수 있는지에 대한 정보를 제공한다. ASTM F792

의 해당 테스트개체의 경우 다양한 두께의 강철 위에 납 숫자가 놓이도록 구성되며 강철 두께는 단순 투과능을 세부적으로 알 수 있는 범위로 지정된다. 납 숫자의 절반 이상이 보이는 경우 투과한 것으로 판정한다. STP의 해당 테스트개체의 경우 다양한 두께의 강철 뒤에 납 띠(bar)를 놓고 엑스선이 강철을 투과하여 납과 구분이 가능한지를 확인한다. Figure 5에 단순투과능을 확인하기 위한 테스트개체를 표시한 것으로, 납 띠의 절반 이상이 보이는 경우 투과한 것으로 판정한다. 투과한 것으로 판정된 경우 해당 체크박스에 표기한다.

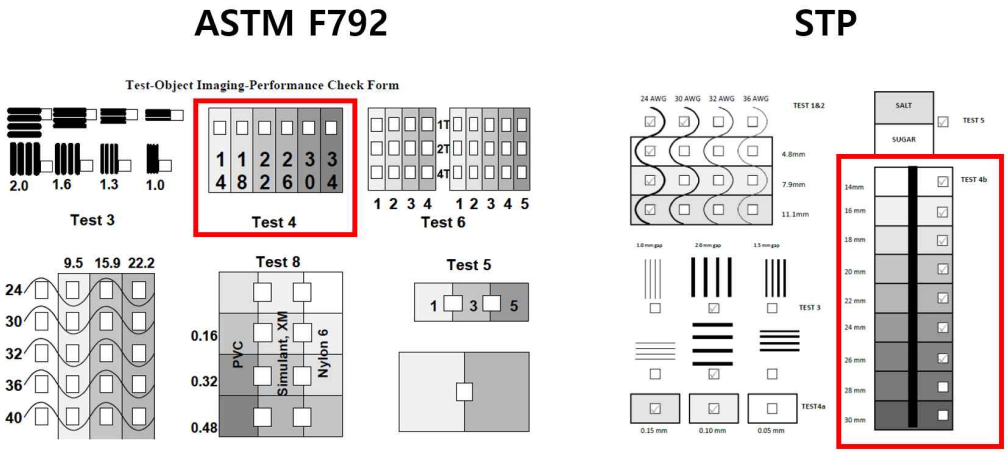

Figure 5. Test object of Simple penetration (ASTM F792, STP)

3.4 시험 평가팀 구성안 수립

캐비닛 엑스선 검색장비의 이미지품질평가는 각 테스트키트가 투과되어 산출된 이미지를 확인하고, 사람이 주관적으로 체크박스에 표기하는 방식으로 이루어진다. 즉, 체크리스트 기반 하에 사람이 판단하여 주관적으로 평가가 이루어진다. 따라서 이미지품질평가를 위한 별도의 평가팀을 구성할 필요성이 있다. 본 연구에서는 평가팀을 구성하는 방법으로 기술성숙도 평가(Technology readiness assessment, TRA) 방법을 응용하였다. TRA는 무기체계에 적용되는 핵심소요기술(Critical technology element, CTE)에 대해 계량적 지표로 평가하는 공식적인 지표기반 프로세스이다(Lee and Park, 2011). CTE의 성숙도를 평가하는 정량적인 지표료 기술성숙도(Technology readiness level, TRL)이 사용되며, 성숙도는 1부터 9단계로 구분된다(Yu, Lim, and Seol, 2018). 미성숙 기술 및 미성숙 제조능력으로 인해 유발되는 문제점의 심각성은 점점 커지고 있으며(Woo, Lee, and Lim, 2014) 무기체계가 아닌 항공보안 시스템에 또한 이러한 문제점이 존재한다 볼 수 있다. 현재 다양한 분야의 체계개발 사업에서 기술성숙도 평가는 대부분 체크리스트를 이용하여 이루어지고 있으며, 평가자의 배경지식 및 경험이 반영될 수 있으므로 체계개발 사업의 성격 및 평가팀 구성원의 능력을 고려하여 평가방법을 선정하는 것이 필요하다(Kim, Ko, and Chung, 2015).

TRA의 경우, 체크리스트 기반으로 사람이 평가하는 프로세스로 캐비닛 엑스선 검색장비의 이미지품질평가를 위한 평가 방법론 구축에 응용할 수 있다. 본 연구에서 제안하는 평가팀 구성안은 다음과 같다. 먼저 평가 팀은 평가팀장과 평가팀원으로 구성된다. 해당 구성원들은 법규와 윤리규정을 성실히 준수할 수 있는 자들로 4가지 자격요건들 중 하나만 충족하여도 평가팀원 대상으로 선정될 수 있다. 4가지 자격요건은 다음과 같다:

1) 시험평가기관 소속자 및 연구원

2) 해당분야 사업 또는 기술분야 3년 이상 경력보유자

3) 해당분야 박사학위 소지자 또는 대학 전임강사

4) 스크리닝 교육과정(항공보안검색요원 자격인증평가)를 이수한자

평가팀장의 경우 연구책임자 또는 선임급 이상 연구원으로 지정되며, 평가팀의 인원수는 5명 이상의 홀수로 구성하는 것을 제안한다. 평가팀은 캐비닛 엑스선 검색장비가 산출한 ASTM F792 또는 STP의 이미지를 확인하고, 평가항목별 체크박스에 표기하는 방식으로 이미지품질평가를 진행한다.

3.5 이미지품질평가항목별 판정 기준 수립

현재 국내 국토교통부고시의 경우 와이어탐지 및 단순투과능에 대한 기본 성능에 대한 수치는 명시되어 있으나, 이에 대한 상세한 내용이 명시되어 있지 않으며 추가적으로 선정된 평가항목들에 대한 정량적이고 표준화된 최소가용성능에 대한 기준을 수립할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 국토교통부고시와 ANSI N 42.44 및 STP 관련 문헌을 참조하여 선정한 평가항목들의 최소가용성능을 Table 4와 같이 수립하였다.

Table 4. Minimum acceptable performance

Assessment items	Largest tunnel dimension	
	above 70cm	70cm or less
Wire display and Useful penetration: Smallest wire noted under 0 mm AI Smallest wire noted under 9.5 mm AI Smallest wire noted under 15.9 mm AI Smallest wire noted under 22.2 mm AI	 32 AWG 30 AWG 30 AWG 30 AWG	 32 AWG 30 AWG 24 AWG 24 AWG
Spatial resolution : Vertical wire resolution Horizontal wire resolution	 1.6 mm 1.6 mm	 1.6 mm 1.6 mm
Simple penetration :	26 mm	26 mm
Organic/inorganic differentiation	O	O

치수, 너비 또는 높이가 70cm 초과 및 70cm 이상인 터널로 구분하여 각각 다른 최소가용성능을 정의하였다. 가용투과율의 경우 와이어탐지와 동일한 테스트개체를 통해 성능이 평가되며, 와이어 두께에 따른 투과율을 확인하는 시험으로 같은 항목으로 최소가용성능을 제시하였다. 가용투과율과 단순투과능의 경우 국토교통부고시와 ANSI N 42.44를 참조하여 기준을 수립하였으며, 공간해상도의 경우에는 ANSI N 42.44와 STP 관련 문헌을 참조하여 기준을 수립하였다. 유기물/무기물 구분의 경우 별도의 수치가 산출되는 것이 아닌 구분 가능 여부에 따라 판정이 이루어지므로, 구분이 가능해야하는 것을 최소가용성능 기준으로 수립하였다.

3.6 시험 절차 구축

앞서 비교 분석한 관련 문헌들을 기반으로 캐비닛 엑스선 검색장비의 시험평가 절차를 수립하였다. 이미지품질평가의 시험절차는 엑스선검색장비의 컨베이어 벨트의 지정된 위치에 테스트키트를 배치하고, 장비를 가동하여 테스트키트 이미지를 산출한 후 평가팀이 이미지를 보고 평가하는 방식으로 이루어진다. 테스트키트 배치 시 테스트키트

의 한 표면이 엑스선 검색장비의 컨베이어 벨트와 접촉해야하며, 컨베이어 중심선에서 ±2cm 이내의 범위인 컨베이어 벨트 중앙에 위치시켜야한다. 각 테스트개체들의 주축이 컨베이어 벨트의 운동 방향과 평행하도록 배치되어야한다. 단, 엑스선 빔이 주로 수직으로 아래를 지향하는 시스템인 다운 슈터(down shooter)에 대해서는 예외가 허용되며, 이러한 경우 테스트키트를 컨베이어 표면과 평행하도록 바닥면에 배치하되, 수직 터널 치수의 최대 1/4인 컨베이어 벨트 위의 높이로 상승시킬 수 있다. 테스트키트는 전면이 먼저 장비 안으로 진입해야하며, 산출되는 이미지는 장비의 표준 작동모드를 통해 도출되는 이미지여야 한다. 만약 추가적인 이미지 강화 기능을 사용한 경우에는 이미지품질평가 시, 배제된다. 또한, 각 방향에 따라 이미지가 상이하게 나오는 경우가 존재하므로, 최소 2장 이상의 이미지가 필요하며 각 이미지는 테스트키트를 컨베이어 벨트에 배치시킬 시, 방향이 다르게 지정된 이미지여야 한다. 마지막으로 지정된 평가팀이 산출된 이미지를 보고 평가를 진행한다. 해당 평가 결과를 통해 엑스선 검색장비의 이미지품질을 판정할 수 있다.

4. 결론 및 추후 연구과제

본 연구에서는 캐비닛 엑스선 검색장비의 이미지품질평가 시 사용되는 테스트키트에 관련된 문헌들을 비교분석하고, 이미지품질평가를 위한 세부사항들을 수립하여 이미지품질평가 방법 및 절차를 제안하였다. 먼저 국내 국토교통부고시에 명시되어 있는 ASTM F792와 STP 규격을 비교분석하여 캐비닛 엑스선 검색장비의 이미지품질평가 시 평가할 항목을 총 4가지로 선정하였다. 선정된 평가항목은 와이어탐지(가용투과율), 공간해상도, 유기물/무기물 구분, 단순투과능이며 각 항목별로 평가하는 방법 또한 명시하였다. 이미지품질평가의 경우 별도의 평가팀 구성이 필요하므로 평가팀 구성안을 수립하고, 상세한 시험 절차 및 평가항목별 최소가용성능 기준 또한 제안하였다.

이미지품질평가의 경우 각 테스트키트에 따라 제조사가 제시하는 평가방법이 상이하므로 모든 테스트키트에 대한 평가방법 및 평가기준을 제시하기에는 한계가 존재한다. 또한 해외 인증제 운영국은 시험평가 기술과 세부절차, 표준시료 제조기술 등을 보안상의 목적으로 외부 공개를 하지 않으므로 국제 표준 또는 연구 논문 등 공개된 연구 자료를 통한 시험기술 확보가 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 기존에 공개되어 있는 법령 및 규격들을 기반으로 이미지품질평가 프로세스를 제안하였다. 이를 통해 국내 항공보안장비 성능인증제 중 캐비닛 엑스선 검색장비의 이미지품질평가를 고도화하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

본 연구는 국내 항공보안장비의 이미지품질평가를 위한 법령 및 규격을 분석하고, 이에 대한 평가 방법을 제안한 것에 의의가 있으며, 향후 추가적으로 캐비닛 엑스선 검색장비 외에 화물용 엑스선 검색장비, 폭발물탐지장비 등 이미지품질평가가 필요한 항공보안장비의 이미지품질평가에 관한 연구가 필요하다.

REFERENCES

American National Standards Institute. 2008. American National Standard for the performance of Checkpoint Cabinet X-ray Imaging Security Systems. ANSI N42.44-2008. Institute of Electrical and Electronics Engineers, USA, New York.

ASTM International. 2008. Standard Practice for Evaluating the Imaging Performance of Security X-Ray Systems. ASTM F792-08. United States.

Bae, J. H., Park, J. H., Lee, H. N., and Choi J. 2019. A study of Factors Affecting Intention to Use of Using Technology-based Self-services for Smart Ariport. Journal of Korean Society for Quality Management 47(4):795-806

Chun, J. L. and Shin, T. S. 2011. Research on suggestions obtained from The U.S. Strategy for combatting terror threats to the aviatin domain. Journal of the aviation management society of Korea 2011:455-475.

Jung, J. H., Kim, K.-Y., Yoon, Y. A., Kim, N. Y., Sim, H. S., Lee, S. H., Ha, D.S., Seol, E.-S., Han, S. J., Park, S.-H., Yu, S. W., and Kim, Y. S., 2020. Improving Performance Certification of Aviation Security Equipment. Journal of Korean Society for Quality Management 48(1):187-199.

Kang, M. J. and Kang, J. W. 2008. Ground Security Activities for Prevention of aviation terrorism - centered on San Fransisco International Airport of the U.S.A-. The Journal of the Korea Contents Association 8(2):195-204.

Kim, H. W., Ko, J. H., and Chung, E. S. 2015. A study on the effective technology readiness assessment method for system development project. Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers 41(2):144-179

Kim, K-Y, Jung, J. H., Yoon, Y. A., and Kim, Y. S. 2020. Designing a Performance Certification Test for Automatic Detection Equipment based on Artificial Intelligence Technology. Journal of Applied Reliability 20(1):43-51.

Korea Ministry of Government Legislation. 2019a. Air Security Equipment Performance Certification and Performance Inspection Criteria. No. of Infrastructure and Transport Notice of Ministry of Land 2019-52. Enforce a Law 2019.

Korea Ministry of Government Legislation. 2019c. Standards for Aviation Security Equipment Types, Operation and Maintenance, etc.. No. of Infrastructure and Transport Notice of Ministry of Land, Infrastructure and Transport 2019-54. Enforce a Law 2019.

Lee, J. G., and Park, Y. W. 2011. A study on the application way of technology readiness assessment for the enhance-ment of reliability of defense. Institute of Control, Robotics and Systems 1(1):345-357.

Lee, J-H. and H, H-W. 2018. The study on the implementation of ICAO global aviation security plan - Review and propose the implementation plans of global aviation security plan in republic of Korea-. Journal of aviation management society of Korea 16(3):73-92.

Lee, W. J., Yu, S. W., Park, S. H., Kim, K. H. et al. 2020. Aviation security equipments certification system in Korea: Suggestions for improvement., The Journal of Korean Society for Quality Management 48(3):395-408.

Overseas Territories Aviation Circular. 2020. Testing of Security Equipment. OTAC 178-12. Air Safety Support International. United Kingdom.

US Food and Drug Administration HHS. 2011. Cabinet x-ray systems. No. of Law 21 CFR § 1020.40.

Woo, S,. Lee J. H., and Lim J. S. 2014. A study on the system readiness assessment procedure development through a case stufy in defence R&D programs. Journal of Korean Society for Quality Management 42(1):111-128

Yu, D. H., Lim, D. G., and Seol, H. J. 2018. A framework for deriving investment priority in national defense R&D - Using DEA based on TRA-. Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology 21(2):217-224.

저자소개

윤연아 경기대학교 산업경영공학과를 졸업하고, 동 대학원 데이터공학연구실에서 석사과정에 재학 중이다. 주요 관심분야는 데이터분석, 신뢰성공학 등이다.

정진형 경기대학교 산업경영공학과에서 학사학위를 취득한 후 동 대학원 석사과정에 재학 중이다. 전공분야는 신뢰성 공학 및 데이터 마이닝으로 관련 연구를 수행하고 있다.

김용수 교신저자, KAIST 산업공학과에서 학사, 석사, 박사를 취득한 후 SK텔레콤에서 근무하였다. 현재 경기대학교 산업경영공학과 교수로 재직 중이며, 품질 및 신뢰성, 기능안전, 통계 및 데이터마이닝 분야를 연구하고 있다.