

## 지상궤도전투장비의 비파괴검사 최적설계방안에 대한 연구

### A Study on the Nondestructive Test Optimum Design for a Ground Tracked Combat Vehicle

김병호\*, 서재현\*, 길현준\*, 김선형\*\*, 서상철\*\*\*†

Byeong Ho Kim\*, Jae Hyun Seo\*, Hyeon Jun Gil\*, Seon Hyeong Kim\*\* and Sang Chul Seo\*\*\*†

**초 록** 본 논문에서는 자주포, 전차 및 장갑차 등 지상궤도전투장비에 적용되는 비파괴검사 방안 검토 및 설계방안에 대해서 연구하였다. 비파괴검사 방안 중에서 지상궤도전투장비 비파괴검사사의 기량검증 요건은 미군규격에서 최초로 언급 되었으며, 이후 국내 지상궤도전투장비 무기 개발시 국방규격에도 적용되었다. 그러나 민·군 규격통일화사업을 통해 방산용 비파괴검사사의 자격은 기존 항공분야에서 적용중이던 NAS410이 항공/방산 공용규격으로 통합화 되었다. 본 연구에 대한 설계방안의 검증은 자주포에 사용되는 AI 단조폼에 대해 최적설계된 액체침투탐상검사 방법을 적용하여 제품의 신뢰성 및 건전성을 확인하였다.

**주요용어:** 지상궤도전투장비, 비파괴검사, 건전성 평가

**Abstract** In this study, a nondestructive test (NDT) is performed to inspect the optimal design of a ground tracked combat vehicle for self-propelled artillery, tank, and armored vehicles. The minimum qualification required for personnel performing the NDT of a ground tracked combat vehicle was initially established in US military standards, and then applied to the Korean defense specifications to develop a ground tracked combat vehicle. However, the qualification standards of an NDT inspector have been integrated into NAS410 through the military and commercial specifications unification project that were applied in the existing aerospace/defense industry public standard. The design method for this study was verified by applying the optimal design to the liquid penetrant testing AI forging used in self-propelled artillery. This confirmed the reliability and soundness of the product.

**Keywords:** Ground Tracked Combat Vehicle, Nondestructive Test, Integrity Assessment

#### 1. 서 론

산업사회의 발전이 다양하고 고도화됨에 따라 다양한 산업설비 및 구조물이 복잡화·대형화되고 있다. 최근 고도의 안전성과 신뢰성이 요구되는 항공우주산업과 더불어 방위산업 분야에서도 최신 비파괴검사(NDT: nondestructive testing) 기술 및 사회적인 관심이 급증하고 있는 추세이다 [1-4]. 방위산업에서 육군의 주요 핵심 무기체계인 자주포, 전차, 장갑차 등 지상궤도전투장비 분야는 개발 및 제작에 상당한 기간이 소요되고 또

한 다양한 재료와 부품들이 사용되기 때문에 이에 대한 안전성과 신뢰성이 엄격히 요구되고 있다. 이들 재료나 부품의 제작공정, 완성품 및 운용중인 장비에 대한 안전성과 신뢰성을 확보하기 위해 적용되는 핵심기술이 비파괴검사 기술이다. 비파괴검사의 가장 큰 목적은 원재료나 부품 및 최종 완성품을 손상시키지 않은 상태에서 표면·내부의 불연속, 결함 등을 검출함으로써 검사체의 건전성과 완결성을 확보하는데 있다. 또한, 제품의 설계 및 제조단계에서부터 미리 발생 가능한 결함을 예측 및 예방함으로써, 최종 완성품에

[Received: October 12, 2015, Revised: October 20, 2015, Accepted: October 21, 2015] \*국방기술품질원, \*\*한화테크윈, \*\*\*장원대학교, †Corresponding Author: Changwon National University, Changwon 641-773, Korea (E-mail: sironman@naver.com)

서의 품질 신뢰성을 제고하고 제조원가의 절감에 기여하는데 그 목적이 있다.

최근의 비파괴검사는 센싱(sensing)기술과 함께 발전하고 있으며, 고감도 센싱기법, 극한 환경하의 센싱기법 그리고 비접촉식 센싱기법 등이 중요하다[5]. 기존의 방위산업 등에 적용되는 비파괴검사 방법으로는 방사선투과검사(RT), 초음파탐상검사(UT), 와전류검사(ET), 자분탐상검사(MT), 액체침투탐상검사(PT), 음향방출검사(AE) 등이 있으며 주로 RT, MT, PT가 많이 사용되었으나, 향후 기술개발 방향은 UT, ET, AE방법을 중심으로 비접촉·고감도·실시간 광역시험·무선통신기술 등으로 나아가고 있다. 또한 산업분야의 통일된 품질관리와 표준화된 품질을 관리하고자 품질시스템 부문에서는 ISO(International Organization for Standardization) 라는 조직으로 국제표준이 구축되었으며, 미국 정부 및 산업계 공동투자자로 설립된 SAE산하 비영리기관인 PRI(Performance Review Institute)에서 NADCAP(National Aerospace and Defense Contractors Accreditation Program)을 추진하고 있다. 이 NADCAP은 1990년대 초반부터 미국에서 시작되어 2000년에는 유럽, 2003년에는 아시아 지역에도 확대 시행되고 있으며, 항공우주 및 방위산업업체의 공정, 제품, 서비스 능력에 대한 인정을 추진하여 항공업체들의 중복감사에 따른 비용, 시간, 노력을 절감하고 국제적인 상호인정을 통해 업체의 품질관리에 효율을 향상하고자 하는 프로그램이다. 현재 NADCAP에서 인정하는 비파괴검사 분야는 PT, MT, UT 및 RT에 한정되어 있다[6-8].

한편 국내 방산품에 대한 비파괴검사는 20세기 후반까지는 국방규격(KDS)에 따른 비파괴검사 기능사, 기사 및 MIL/ASNT 규격에 따른 SNT-TC-1A NDT Level-2, -3에 의해 검사가 수행되어 왔으며, 민수품의 경우는 발주처의 자격 요구조건에 따라 ASNT, BINDT, EN473 및 ISO9712의 NDT Level-2, -3 인증검사원이 검사 업무를 수행하였다. 하지만, 최근 방산품에 대한 안전성 및 품질 신뢰성에 대한 요구가 점차 지속적으로 증가됨에 따라 항공/방산 통합규격인 NAS410 "NAS Certification & Qualification of Nondestructive Test Personnel[9]"에 따른 자격검정(qualification)과 인증(certification)을 받은 검사원

Table 1 The applicable NDT standards of military supplies

Standards Number	Title
KS W 4041	Inspection Process of Magnetic for Aerospace Use
KS W 0914	Liquid Penetrant Inspection for Aerospace Use
KS W 0913	Radiographic Inspection for Aerospace Quality Materials
KS W 0915	Aerospace Nondestructive Inspection Personnel Qualification and Certification
KDS 0110-0003	Inspection Process of Magnetic Particle
KDS 0110-0002	Inspection of Liquid Penetrant
KDS 0910-0001	Inspection of Radiographic
MIL-I-6868	Inspection Process, Magnetic Particle
MIL-I-6866	Inspection, Liquid Penetrant
MIL-I-6865	Inspection, Radiographic
MIL-STD-410	Nondestructive Testing Personnel Qualification and Inspection
NAS410	NAS Certification & Qualification of Nondestructive Test Personnel

이 검사 업무를 수행하도록 요구되고 있다. 그러나 아직까지 항공우주산업[1] 및 원자력[10]에 대해서는 검사 방안 및 검사원 기량인정기준 등에 대한 활발한 연구는 진행 중이지만 자주포, 전차, 장갑차 등 방위산업 지상궤도전투장비에 대한 검사 및 설계 등에 대한 연구는 미미하다고 할 수 있다.

본 연구를 통해 자주포, 전차 및 장갑차 등 국내 방위산업중 지상궤도전투장비에 적용되는 검사 방법, 절차, 적용규격, 판정기준, 최적설계방안에 대한 연구 및 체계 장비 신규 개발시 설계상의 오류를 최소화하기 위한 최신 NDT 설계 가이드를 제시하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1. 지상궤도장비에 적용되는 NDT 방법 검토

자주포, 전차 및 장갑차 등 지상궤도전투장비에 적용되는 NDT의 범위에는 크게 표층부 검사와 내부 검사로 나누어지며, 주로 차체 용접구조

Table 2 The NDT methods and characteristics of ground tracked combat vehicle

Methods	Positions	Applications	Characteristics
Visual Testing (VT)	Surface	Welding/Casting/Forging/ Machining	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visual testing requires adequate illumination of the test surface and proper eye-sight of the tester.</li> <li>- It requires training (knowledge of product and process, anticipated service conditions, acceptance criteria, record keeping, for example)</li> <li>→It has its own range of equipment and instrumentation.</li> </ul>
Liquid penetrant Testing (PT)	Surface	Welding/Casting/Forging/ Machining	<ul style="list-style-type: none"> <li>These processes are applicable for the detection of discontinuities, such as lack of fusion, corrosion, cracks, laps, cold shuts, and porosity.</li> <li>→ Open or connected to the surface of the component under examination.</li> <li>* It is available for all the materials except of porous metal</li> </ul>
Magnetic particle Testing (MT)	Surface/ Subsurface	Ferromagnetic material: → Fe, Ni, Co, etc	<ul style="list-style-type: none"> <li>- The magnetic particle testing method is used to detect cracks, laps, seams, inclusions, and other discontinuities on or near the surface of ferromagnetic materials.</li> <li>- Magnetic particle testing may be applied to raw material, billets, finished and semi-finished materials, welds, and in-service parts.</li> <li>* It is not applicable to non-ferromagnetic metals and alloys such as austenitic stainless steels.</li> </ul>
Radiography Testing (RT)	Inner part	Welding/Casting/Forging/ Machining/Complex assemblies, etc	<ul style="list-style-type: none"> <li>- The requirements expressed in this practice are intended to control the quality of the radiographic images</li> <li>- And are not intended to establish acceptance criteria for parts and materials.</li> <li>→It is applicable to all types of materials.</li> <li>→It is possible to detect of micro crack size and figure.</li> </ul>
Ultrasonic Testing (UT)	Inner part	Welding/Casting/Forging/ Machining/Rolling/Thickness of Coating, etc	<ul style="list-style-type: none"> <li>- It uses high frequency sound waves (typically in the range between 0.5 and 15 MHz) to conduct examinations and make measurements.</li> <li>- Ultrasonic testing is based on the capture and quantification of either the reflected waves (pulse-echo) or the transmitted waves.</li> <li>→Ultrasonic inspections for crack detection, corrosion testing, and thickness testing.</li> </ul>

물에 대한 VT, PT, MT, RT 및 부품류의 검사에 적용하는 PT, MT, RT 및 UT가 있다. 특히, 이 중 방호력을 요구하는 장갑판재 및 용접구조물 등 주요 기능부에 대해서는 RT가 필수적으로 반영되어 검사가 이루어지고 있다. 또한, 이들 대부분은 개발 초기 미군의 설계와 도면을 도입하여 제작 및 생산하였으므로, MIL(미군)규격에 의해 검사가 진행되었다가 점차로 KDS(국방규격) 및 KS규격으로 공용적용 되었다. Table 1은 현재 방산품에 적용되고 있는 NDT에 대한 적용규격의 현황을 나타내고 있다. 본 연구에서는 지상궤도 전투장비에 적용되는 대표적인 NDT 방법을 검토

하였으며 각 검사 방법별 특징은 Table 2와 같다.

NDT 방법의 선정은 시험 대상물의 재질, 형상, 불연속부의 위치, 불연속의 종류/형태, 검사자/장비의 검출 능력, 측정 정확도 및 경제성 등 여러 요인을 고려하여 결정하는데, 일반적으로 불연속 지시의 발생 위치에 따라 표층부와 내부부 크게 나눈다. 표층부 검사의 대표적 방법으로는 표면 불연속 검출을 위한 VT, PT, MT가 있으며, 표면에 근접한 표면하 불연속 검출에는 MT 및 ET가 적용되고, 내부 불연속의 검출을 위해서는 RT와 UT가 있다. 이중 ET는 지상용 방산장비에서는 그 사용빈도가 극히 적으므로 본 연구과제에서

제외키로 한다. 또한, RT는 시험 대상물의 재질 및 형상에 관계없이 검사가 가능하지만 대상물 양쪽에서 접근이 가능하여야만 검사가 되는 단점이 있으며, UT는 RT에 비해 상대적으로 두께가 두껍고 시험 대상물의 내부 조직이 미세할 경우에 적합하고, 한쪽 방향에서도 검사가 가능하지만 내부조직이 조대할 경우 초음파 신호의 해석 및 판독이 까다로운 단점이 있다. 또, 예상되는 내부 불연속의 형태와 방향에 따라서도 나눌 수 있다. 예를 들어, 나타난 불연속이 대상물의 표면과 평행한 방향일 경우에는 UT가 적합하고 표면과 수직한 방향의 불연속 검출에는 RT가 적합하다. 따라서 NDT 방법을 선정시에는 설계자는 시험 대상물에서 예상되는 결함 발생 부위 및 각각의 NDT 검사 방법별 검출 능력과 특성들을 충분히 고려한 다음, 최적의 검사 방법을 선택하는 것이 극히 중요하게 된다.

## 2.2. NDT 적용 절차(Process)

비파괴검사를 통해 사용되는 제품의 안전성과 신뢰성을 확보하기 위해서는 설계 이전 단계에서부터 명확한 검사 계획을 수립하여야 하고 설계 단계에서는 수립된 계획에 따른 비파괴검사를 수행하여야 한다. 일반적인 NDT의 적용 절차는 다음과 같다.

### 2.2.1. NDT 계획 수립

제품 설계 초기단계에서 비파괴검사가 요구되는 모든 구성품에 대해 비파괴검사를 통해 건전성을 보증할 수 있는 전체적인 NDT 계획을 수립하여야 하며, 이때 비파괴검사의 검출 능력과 요구 조건 또한 고려되어야 한다.

### 2.2.2. 사용 재료 및 부품의 분류(Classification)

모든 구조품(structural component)에 대한 완전성을 확보하기 위해서는 관련 규격에 따라 사용 재료 및 부품의 분류를 하여야 한다. 복잡한 구성품은 영역별로 나누어 등급을 분류하거나 신뢰성 요구 조건에 따른 각각의 영역별로 품질등급을 나누어야 한다. 분류 및 등급은 도면상이나 기타 기술자료에 반드시 명시하여야 한다.

### 2.2.3. NDT 적용 적합성 검토 조직 운영

제품 설계 및 운용시의 건전성을 보증하기 위해서는 적합한 능력의 NDT전문가를 포함한 설계 타당성 검토 조직이 구성되어야 하며, 이때 비파괴검사 방법, 절차, 계획 또한 포함되어져야 한다.

### 2.2.4. 설계 검토 결과의 문서화(Documentation)

설계 검토 조직의 검토와 승인 결과를 기술자료(도면 등)에 문서화 하여야 한다. 즉, 합격 가능한 결함의 크기, 주요 검사부위와 방향을 도면이나 기타 기술문서에 명시하여야 한다. 비파괴 검사에 대한 합부판정은 신뢰성 및 재현성이 요구되기 때문에 구체적으로 명시하는 것이 필수적이다. 지상궤도전투장비에서 적용되는 비파괴 검사의 합부판정 기준은 검사 부위/적용 재질/기능(중요도)에 따라 분류되며 차체구조물 용접부의 육안검사(VT) 판정기준은 TACOM12479550(철강), TACOM12472301(알루미늄)에 원자재/가공품/완성품, 침투탐상(PT)/자분탐상검사(MT)는 MIL-STD-1907 및 구조품 판정기준은 SAE AMS 2175의 해당 등급(grade)을 기준으로 대부분이 적용된다.

### 2.2.5. NDT 적용 규격(Specification)의 선정

지상궤도전투장비의 NDT 적용 규격은 일반적으로 군사표준인 MIL규격, 국방규격 및 국가표준인 KS규격을 사용하였으나, 민·군 규격통일화사업으로 인해 최근에는 단체표준인 ASTM(American Society for Testing and Materials) 등으로 통합되어 적용되는 추세이다. MT의 경우 ASTM E1444(standard practice for magnetic particle testing)이며, PT는 ASTM E1417(standard practice for liquid penetrant testing), RT는 ASTM E1742(standard practice for radiographic examination)로 적용되고 있다. 또한, 그외 특정 검사 규격을 적용할 경우에는 해당 검사의 최소요건을 명시하는 내용이 규격 내에 언급되어 있어야 하고, 필요시 특정한 검사 장비, 시험 설비 및 인증검사원에 대한 내용이 포함되어 있어야 한다.

Table 3 The qualification and certification of personnel for the NDT by the SNT-TC-1A and NAS410

Method	Experience (h)		Specific Examination (n)		Practical Examination	
	Minimum Requirements for Level 2					
	SNT-TC-1A	NAS410	SNT-TC-1A	NAS410	SNT-TC-1A	NAS410
RT	840	1600	20	30	Inspecting at one test samples of differing configurations for each method.	Inspecting at least 2 test samples of differing configurations for each method, with at least one test sample for each technique for which certification is sought.
UT	840	1600	20	30		
MT	280	530	20	30		
PT	210	400	20	30		

Table 4 The differences of quality assurance by the SNT-TC-1A and NAS410

Standards	Procedures	Work Instruction
SNT-TC-1A	No a written general “how to” instruction for conducting a given process (MT, PT, RT, etc).	There is no such requirement.
NAS410	A written general “how to” instruction for conducting a given process (MT, PT, RT, etc). Procedures are then used to develop work instructions.	A document detailing the NDT technique and testing parameters to be used for the inspection of a specific component, group of parts (e.g. “aluminum extrusions” or “steel brackets”), or assembly. These are sometimes referred to in the industry as “technique sheets” or “data cards”.

### 2.2.6. NDT 절차의 표준화/문서화

해당 검사 방법 및 관정규격에 따라 검사를 수행하고 NDT를 수행하는 검사원(Inspector)에 대한 자격현황/인증기록, 검사절차서(procedure), 작업문서(work instruction), 장비 및 사용 자재에 대한 사용기록/관리, 검사결과(성적서) 등이 표준화/문서화 되어서 유지되어야 한다.

### 2.3. NDT 검사원 자격(Qualification & Certification)

비파괴검사는 검사의 정확성과 검사 결과의 신뢰성 확보가 매우 중요하므로 이를 위해서는 검사를 수행하는 인원이나 검사절차를 작성하는 인원 모두 해당 검사장비, 검사방법 및 피검사체의 특성과 한계 그리고 재료 등에 대한 충분한 지식을 가지고 있어야 한다. 기존에는 지상궤도전투장비 설계시 비파괴검사원에 대한 최소 자격요건을 국가가 인정하는 비파괴검사 기능사에 한해서 인정하였지만, 최근 신뢰성 및 안전성에 대한 사

회적인 이슈의 대두로 그 기준이 점차 고도의 전문적인 지식을 요구하는 수준으로 변화되고 있다. 즉, 지상궤도전투장비 비파괴검사원의 자격이 항공우주산업에서 요구하는 NAS410 "NAS Certification & Qualification of Nondestructive Test Personnel"으로 통합되어 더욱 엄격하게 규정되어지고 있다. 비파괴검사원 자격은 Level I, Level II, Level III로 크게 구분되며, 해당 분야에 대해서 독자적으로 검사를 수행하기 위해서는 Level II 또는 Level III 자격을 필히 확보하여야 한다. Table 3, 4는 SNT-TC-1A(ASNT) 및 NAS410 자격의 차이에 따른 검사원 요구조건 및 품질보증 절차상의 차이점에 대해 기술하고 있다.

### 2.4. NDT 설계 반영 기준

모든 제품은 최초 설계/개발 초기단계에서 제품의 특성, 기능 및 중요도에 따라 해당 제품(원자재 포함)의 건전성을 평가하기 위해 비파괴검사의 적용유무를 결정하여야 하며, 원자재 상태

Table 5 The methods and techniques of the NDT

Methods	Techniques		
Liquid penetrant Testing (PT)	Visible dye	Water washable Solvent-removable Post-emulsifiable (lipophilic/hydrophilic)	Water suspendable Developer Nonaqueous Developer
	Fluorescent dye		Water suspendable/soluble Developer Dry powder Developer Nonaqueous Developer
Magnetic particle Testing (MT)	Wet Particle	(longitudinal/circular magnetization) Fluorescent Continuous Fluorescent Residual	Yoke
			Coil, Central Conductor Method
	Dry Particle		Induced Current Magnetization Fluorescent Dry Particle
	Non-fluorescent Particle	Non-fluorescent Magnetization Particle	
Radiography Testing (RT)	X-ray Generator	Conventional X-ray Inspection Industrial X-ray film use (KODAK, Fuji, etc)	
	Radioisotope	Radio-isotope (Ir-192, Co-60, etc)	
Ultrasonic Testing (UT)	Pulse Reflection	Vertical beam method Angle beam method	Flat-Bottomed Hole Back-Wall Reflection
	Transmission		
	Resonance		

에서 검사할 것인지 가공/완성품 상태에서 할 것인지 또는 양쪽 모두에서 검사를 할 것인지를 명확히 규정해주어야 한다. 특히, 사용될 제품이 고하중/고기능부인 경우에는 반드시 원자재 및 완성품 상태에서 비파괴검사를 실시하여 예상되는 결함을 사전에 검출하여 제거토록 하여야 한다.

또한, 재질별, 기능 및 중요도별로 적합한 비파괴검사 방법을 선정하고, 검사방법(method)이 선정되면 검사규격(Spec.), 시험절차(procedure) 및 합격판정기준(acceptance level)을 결정해야 한다. 또한, 특별관리가 요구되는 부위는 설계 반영시 해당 검사부위를 별도 구분/반영하고, 합격판정기준은 재질 및 기능/중요도별로 관련 NDT판정규격에 의거 평가토록 도면에 필히 반영하여야 한다. Table 5는 군수품에 적용되는 비파괴검사 방법별 적용되는 기법(techniques)을 기술하고 있다.

재질별 비파괴 검사방법이 선정되면 기능/중요도별로 검사등급(중 및 등급)을 선정한다. 군수품에 적용하는 구조품에 대한 중(class)과 기능/중요도별 판정등급(grade)을 Table 6과 Table 7에서 나타내고 있다.

## 2.5. NDT 분석 결과

앞서 기술한 비파괴검사의 설계반영기준을 적용하여 검증을 위해, 실제 자주포에 사용되는 동력장치 팬 구동장치용 구동용 판 부품인 KSD 6770 A2014 알루미늄 단조품(직경: 272.0 mm, 두께: 21.5 mm) 19개에 대해 형광액체침투탐상검사를 실시하였다.

이때, 적용된 액체침투탐상검사 규격은 ASTM E1417, 합격판정기준 및 허용등급은 일반적인 하중을 받고 있는 제품이기 때문에 MIL-STD-1907, Grade C를 적용하였다. 방산용 제품이기 때문에 NAS410 자격을 취득한 비파괴검사요원이 시험을 수행하였고, 검사절차는 다음과 같이 실시하였다.

먼저, NAS410 자격요구에 따라 문서화된 절차서를 작성하였으며, Fig. 1은 검사품에 대한 비파괴검사 절차를 순서대로 나열하였다.

검사품 표면청정처리를 위한 전처리는 알칼리 세척액(blue gold)에 약 10분간 침지하였고, 중화처리, 세척 및 건조 순으로 진행하였다. 침투처리를 위해 검사품을 침투액조에 4분간 침지시키고, 8분간 배액(drain) 처리하였다. 침투액이 표면에

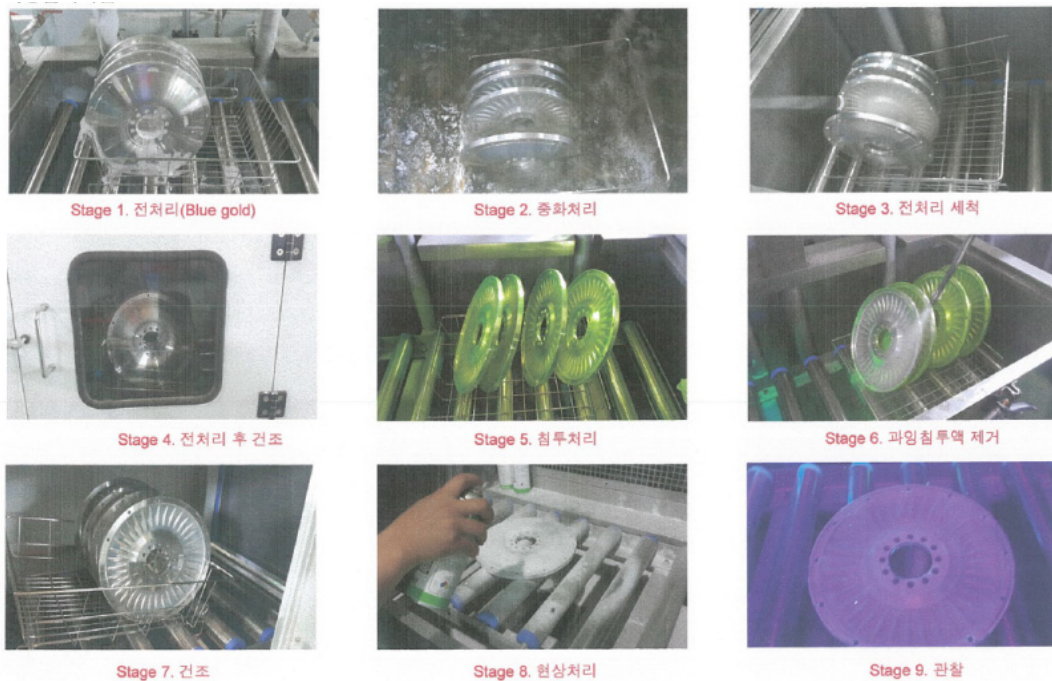


Fig. 1 The procedure of water washable fluorescent penetrant testing method by optimum design

균일하게 도포되었는지를 확인한 다음 과잉의 침투액을 water spray를 이용하여 제거한다. 그 다음 순환열풍식 건조로에서 약 60℃에서 20분간 건조후 꺼낸 다음, 에어로졸캔 타입의 속건식 현상제를 검사품에 도포하여 현상처리를 한다. 현상시간은 최소 10분에서 최대 1시간 이내로 설정하였다.

판독은 현상제를 적용하자마자 관찰을 시작하여야 하며, 최소현상시간이 경과한 후 판독 및 합부판정을 실시하였다. 판정기준은 MIL-STD-1907, Grade C는 Table 4와 같으며, 시험 결과 19개 검사품 모두 Grade B 이상으로 규격을 충족하였다.

Table 6 The classes of casting for NDT

Classes	Classification
1	A casting, the single failure of which would endanger the lives of operating personnel or cause the loss of a missile, aircraft or other vehicle.
2	A casting, the single failure of which would result in a significant operational penalty. In the case of missiles, aircraft, and other vehicles, this includes loss of major components, unintentional release or inability to release armament stores, or failure of weapon installation components.
3	Castings not included in Class 1 or Class 2 and having a margin of safety of 200% or less.
4	Castings not included in Class 1 or Class

Table 7 The grades of function / items for NDT

Grades	Classification
A	The highest quality grade of casting, or area of a casting, with minimum allowable discontinuities and very difficult to produce except in local areas.
B	The second highest quality grade of casting, or area of a casting, which allows slightly more discontinuities than grade A, and difficult to produce, except in local areas.
C	A high quality grade of casting, or area of a casting, that can be consistently produced.
D	The lowest quality grade of a casting, or area of a casting, that is easily produced and is used primarily for low stress or noncritical areas adjacent to the higher graded areas.

Table 8 The acceptance criteria for PT (MIL-STD-1907, forging)

Type Discontinuity		Grade A	Grade B	Grade C
Rounded Inclusion	Surface	0.8 dia DD-2*	1.2 dia D-3*	1.6 dia D-3*
Stringers Inclusion	Surface	3.2 long DD-1*	9.5 long DD-1*	19.1 long DD-1*
Seam or Laps	Unmachined surfaces	12.7 long DD-1*	25.4 long DD-1*	38.1 long DD-1*
	Machine surfaces	0	0	6.4 long DD-1*
Propagating Discontinuities	Cracks, Flakes, Lamination, etc	0	0	0

\* Discontinuities designations signify the following:

D-3: Discontinuities no closer to each other than three times the maximum size.

DD-1: Discontinuities no closer to each other than 12.7 mm linearly and 6.4 mm in a parallel direction.

DD-2: No more than two indications.

본 실험을 통해 NAS410(검사원 자격), ASTM E1417(시험 절차) 및 MIL-STD-1907(합격판정기준) 규격을 NDT 설계 기준으로 적용하여 지상 계도 전투장비 기운용 부품에 적용해 본 결과, 모든 기준을 충족하였으며, 본 연구에서 제시한 NDT 최적설계방안에 대한 입증 또한 충분하였다.

한편, 지금까지는 한국형 지상계도전투장비의 개발시 NDT에 적용되는 규격은 MIL(미국 군사) 규격과 ASTM 등이 적용되어 왔지만, 앞으로의 변화 추세는 국제표준인 ISO로의 통합이 확실하므로, 향후에는 국내의 방위산업에 적용되는 규격을 미국규격에 국한하여 적용하는 것보다는 앞으로의 NDT 국제화, 통일화 추세로 볼 때 향후의 지상계도전투장비 NDT 설계방안 연구시에는 MIL(미국 군사)규격과 더불어 국제표준규격(ISO)에 대한 호환성 검토 등 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

### 3. 결론

본 연구에서는 지상계도전투장비에 적용되고 있는 NDT에 대한 동향을 조사하였고, 최신 규격 적용을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 지상계도전투장비에 적용되는 비파괴검사는 KDS 국방규격이나 KS규격 그리고 미국 군사 규격인 MIL Spec.을 적용하고 있었으나, MIL

규격은 민군규격사업 통일화에 따라 ASTM 규격으로 적용되는 추세이다.

- 2) MIL규격의 비파괴검사원의 자격 또한 ASNT의 SNT-TC-1A 검사원 자격에서 항공/방산에서 적용되는 NAS410 자격으로 전환되었다.
- 3) 비파괴검사의 설계 및 적용을 위해서는 제품의 재질, 기능/중요도에 따른 적절한 검사방법(method)의 선정이 선행되어야 하고, 이에 따른 적합한 검사기법(technique), 시험절차(procedure & instruction) 및 합격판정 기준(acceptance criteria)이 수립되어야 한다.
- 4) 최적설계방안을 적용한 비파괴시험 결과 작업 문서에 준한 검사로 검사 결과의 신뢰도가 우수하게 나타났으며, 검사 결과에 대한 검증/반복성/재현성이 향상된 것으로 나타났다.

본 연구는 방산분야의 비파괴검사 설계방안에 대한 내용으로 실제 적용을 위한 지속적인 연구가 추가로 필요하며, 향후 지상무기 설계시 비파괴검사의 설계 방안의 참고자료로 적용될 것으로 기대된다.

### 후 기

이 논문은 국방기술품질원의 지원을 받아 수행된 연구입니다.



## 참고문헌

- [1] K. K. Park, "NDT for aircraft maintenance," *Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing*, Vol. 13, No. 2, pp. 81-93 (1993)
- [2] W. S. Song, S. G. Kim, H. J. Ahn, K. H. Kim and D. G. Kwon, "A study on utilizing instrumented indentation technique for evaluating in-field integrity of nuclear structures," *Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing*, Vol. 33, No. 2, pp. 165-172, (2013)
- [3] N. Y. Kim, "Assessment of multiple delamination in laminated composites for aircrafts using X-ray backscattering," *Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing*, Vol. 30, No. 1, PP. 46-53 (2010)
- [4] J. M. Choi, Y. H. Kwon, H. S. Choi, S. H. Yang, S. W. Woo, S. M. Cho and S. J. Lee, "Statistical Analysis for NDI Results of Aircraft Engine Component for Determining Crack Initiation Period", *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A*, Vol. 33, No. 12, pp. 1482-1487 (2009)
- [5] S. S. Lee and K. B. Kim, "Recent Research Trend for Nondestructive Testing Technology," *Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing*, Vol. 24, No. 1, pp. 64-85 (2004)
- [6] ASTM E1417 "Standard Practice for Liquid Penetrant Testing"
- [7] ASTM E1444 "Standard Practice for Magnetic Particle Testing"
- [8] ASTM E1742 "Standard Practice for Radiographic Examination"
- [9] NAS 410 "National Aerospace Standard - NAS Certification & Qualification of Nondestructive Test Personnel"
- [10] N. D. Jung, Y. S. Moon and S. P. Lee, "Study on Performance Demonstration Test Result of Ultrasonic Examination in Nuclear Power Plant," *Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing*, Vol. 34, No. 5, pp. 384-389 (2014)