	<h2 style="text-align: center;">진동 상태 감시 및 진단 기술자의 훈련과 인증</h2> <p style="text-align: center;">양 보 석* (부경대학교 기계공학부)</p>
---	--

1. 머리말

기계의 상태를 감시하고 결함을 진단하기 위해 진동신호의 측정과 분석기술은 대부분의 산업현장에서 예지보전프로그램이 중요하고도 기본적인 활동으로 인정되어왔다. 이외에도 적외선 온도기록, 음향방출(acoustic emission), 윤활제 분석, 전동기 전류분석(current analysis) 등의 다른 기술들이 진동기술의 보완적인 상태분석 도구로 또한 사용되고 있다.

본 글에서는 ISO 18463 시리즈 규격 중에서 제 2편(2003년 11월 출판)으로 우리 학회와 관련이 깊은 진동을 이용한 상태감시 및 진단 기술자의 훈련과 인증에 필요한 요구사항을 정리하였다. ISO 18463 규격은 기계의 상태감시 및 진단: 요원의 훈련 및 인증을 위한 요구사항이라는 제목 하에 국제표준화기구(ISO) 산하의 기술위원회 TC 108(기계진동 및 충격)의 부분위원회 SC 5(기계의 상태감시 및 진단)에 의해 준비되고, 다음과 같은 여러 편으로 구성된다.

- 제 1편: 인증기관 및 인증절차를 위한 요구사항
- 제 2편: 진동 상태감시 및 진단
- 제 3편: 훈련기관을 위한 요구사항
- 제 4편: 윤활 관리 및 분석

- 제 5편: 온도기록(thermography)
- 제 6편: 진단 및 예지(prognostics)
- 제 7편: 상태감시 전문가(specialists)

요원 인증(certification of personnel)이란 사람의 기량이 어느 특정 기술에 대한 규격(예로 ISO 18436)에 비추어 적격임을 제 3자인 인증기관이 심사하고 이를 증명하는 적합성평가 활동의 하나이다. 특수한 기량이 요구되는 일을 하는 사람(요원)에 대해 그 사람이 적합한 기량을 가지고 있다는 것을 제 3자가 증명하는 것은 그 일의 결과를 이용하는 고객에게 신뢰를 제공할 수 있기 때문에 매우 중요하다. 이러한 요원 인증도 국제적인 규칙 또는 기준에 준거하여 이루어지지 않으면 한 나라에서 자격이 인정된 사람이 수행한 일의 결과가 다른 나라에서는 받아 드려지지 않는 일이 일어날 위험이 있기 때문에, 상호인정협정(MLA)을 체결하여 서로 인정하도록 하고 있다.

인증절차는 업무에 기계의 진동 감시와 진단에 적절한 이론적이고 실제적인 지식을 필요로 하는 요원의 능력을 훈련시키고 평가하기 위하여 개발되었다. 이 규격은 진동분석과 관련된 기계의 상태감시 및 진단기술에 대한 요원을 인증하고 이들 요원의 훈련방법에 대한 일반적인 요구사항을 정의하고 있다. 이 규격에 대한 인증은 휴대용 및 영구적으로 설치된 센서와

* E-mail : bsyang@pknu.ac.kr / Tel : (051)620-1604

장비를 이용하여 기계의 진동측정과 분석을 수행하기 위한 개인의 자격(qualification)과 능력의 승인을 제공한다. 요원의 적합성평가는 ISO 18436-1의 요구사항에 대해 인정된 인증기관에 의해 수행된다.

2. 요원의 분류

ISO 18436-2에 따라 인증된 개인의 자격은 4개의 영역(category) 중 하나로 분류된다. 그들은 부속서 A의 훈련과정과 부속서 B에 제시된 규격에 따라 기계의 기계진동 상태감시 및 진단의 개념에 대한 능력을 증명하여야 한다.

2.1 영역 I

최하위영역인 영역 I에 대한 요구사항을 만족하는 개인은 ISO 17359 및 ISO 13373-1에 따른 간단한 1채널의 기계진동 상태감시 및 진단 활동의 범위를 수행할 수 있는 자격이 있는 것으로 인정된다. 미리 설정된 경보 설정치들에 대한 경보 상태의 확인을 제외하고는, 예로 센서 선택, 분석, 시험결과의 평가에 대한 책임이 없다.

영역 I의 기술자는 다음 사항에 대해 자격이 있어야 한다.

- ▷ 사전에 정해진 또는 사전에 프로그램이 된 순서로 휴대용 장비의 작동
- ▷ 영구히 설치된 장비로부터 기록의 취득
- ▷ 데이터베이스에 결과의 입력 및 컴퓨터로부터 순서의 다운로드
- ▷ 사전에 정의된 절차에 따라 정상상태 운전조건 하에서 시험 실시
- ▷ 신호가 나타나지 않는 것을 인지할 수 있는 능력
- ▷ 사전 설정된 경보에 대한 overall 또는 단일 값의 진동측정을 비교할 수 있는 능력

2.2 영역 II

영역 II로 인증된 개인은 확립되고 인정된 절차에 따라 위상 트리거 신호가 있거나 또는 없는 1채널 측정을 사용하여 산업 기계의 진동측정과 기본적인 진동분석을 수행하기 위해 인증된 자격이 있다. 영역 II로 인증된 요원은 영역 I에서 요구되는 모든 지식과 기술이 필요하고, 또한 다음 사항에 대해 자격이 있어야 한다.

- ▷ 적절한 기계진동 측정기술의 선택
- ▷ 진폭, 주파수 및 시간의 기본적인 분해능에 대한 측정 장비의 설정
- ▷ 스펙트럼 분석을 이용한 축, 베어링, 기어, 펌프 및 전동기와 같은 기계와 부품의 기본적인 진동분석의 수행
- ▷ 결과와 경향(trend)들의 데이터베이스 유지
- ▷ 고유진동수들을 결정하기 위한 기본적인 (1 채널) 충격시험 수행
- ▷ 적용 가능한 사양과 규격들에 따라 시험 결과(승인시험 포함)를 분류, 설명 및 평가
- ▷ 사소한 수정조치의 권고
- ▷ 기본적인 단면 현장 평형잡기 개념의 이해
- ▷ 부적당한 측정데이터의 몇 가지 원인과 효과의 감지

2.3 영역 III

영역 III으로 인증된 개인은 영역 I 및 영역 II로서 분류된 요원에게 요구되는 모든 지식과 기술들이 필요하고, 또한 다음 사항에 대해 자격이 있어야 한다.

- ▷ 적절한 기계진동분석기술의 선택
- ▷ 휴대용 및 영구설치 시스템에 대한 적절한 진동측정장비 하드웨어와 소프트웨어 지정
- ▷ 위상 트리거를 가지거나 또는 가지지 않



- 고 정상 및 비정상 운전상태에서 파형, 궤도(orbit)와 같은 시간영역선도뿐만 아니라 1채널 주파수스펙트럼의 측정과 진단 수행
- ▷ 주기적/연속적 감시, 시험 주파수, 순서 계획을 위한 기계의 결정을 포함한 진동감시프로그램의 수립
- ▷ 새로운 기계에 대한 진동레벨의 사양과 허용기준을 위한 프로그램의 수립
- ▷ 기본적인 운전처짐형상(operating deflection shapes)의 측정과 분석
- ▷ 음향방출, 온도기록, 전동기 진류 및 오일 분석과 같은 대체 상태감시기술의 사용을 이해하고 지도할 수 있는 능력
- ▷ 평형잡기, 정렬(alignment) 및 기계부품의 교체와 같은 현장 수정조치의 권고
- ▷ 가속도 enveloping(복조)의 사용 능력
- ▷ 기본적인 단면 평형잡기의 수행
- ▷ 프로그램의 목적, 예산, 비용의 정당성 및 요원 개발에 대해 경영자에 보고
- ▷ 기계 상태에 대한 보고서 준비, 수정조치의 권고 및 수리의 유효성에 대한 보고
- ▷ 진동 피훈련자(trainee)를 위한 훈련과 기술적인 지도의 제공

2.5. 평형성

영역Ⅳ로 인증된 개인은 영역Ⅰ, 영역Ⅱ 및 영역Ⅲ으로 인증된 요원에게 요구되는 모든 지식과 기술이 필요하고, 다음 사항에 대해 자격이 있어야 한다.

- ▷ 주파수응답함수, 위상 및 coherence와 같은 다채널 스펙트럼 결과의 측정과 해석을 포함한 진동이론과 기술의 적용
- ▷ 주파수 및 시간영역 처리의 이해와 궤도를 포함한 신호분석의 이해와 실행
- ▷ 시스템, 부품 및 조립체의 고유진동수, 모드형상 및 감쇠의 결정

- ▷ 기계와 연결된 구조물의 운전처짐형상 결정 및 수정을 위한 수단의 권고
- ▷ 진동분석, 파라미터 동정 및 결함진단을 위한 일반적으로 인정된 진보된 기술의 사용
- ▷ 진동진단에 로터-베어링 동역학(rotor-bearing dynamics)의 기본원리의 적용
- ▷ 기본적인 2면 평형잡기의 수행
- ▷ 진보된 2면 영향계수 또는 정적/우력 평형잡기의 권고
- ▷ 부품 교체 또는 수리, 절연(isolation), 감쇠, 강성 변경 및 질량 변경을 포함하는 수정조치의 권고/설계 변경
- ▷ 진동 피훈련자를 위한 기술적인 지도 제공
- ▷ 출판된 ISO 규약(code), 국제규격 및 사양의 해석 및 평가
- ▷ 왕복기계, 스크류 압축기 등의 기계에서 가스 맥동(pulsation)에 의한 진동의 인지, 필요 파라미터의 측정과 수정을 위한 수단 권고
- ▷ 탄성마운트, 기타 절연장치 및 기초 문제를 위한 수정조치의 권고

3. 시험 자격

인증 후보자는 기계 진동측정과 분석에 적용할 수 있는 원리와 절차들을 이해한다는 것을 보증하기 위해 교육, 훈련 및 경험을 겸비하여야 한다.

3.1. 교육

인증을 받고자 하는 후보자는 자격을 입증하기 위해 정규교육의 증명을 제출할 필요는 없다. 그러나 영역Ⅰ과 Ⅱ의 후보자는 적어도 중등교육(secondary school) 졸업장이나 이에 상응하는 것을 가질 것이 권고된다. 영역Ⅲ과 Ⅳ의 후보자는 단순한 대수방정식의 처리, 삼각

함수와 로그함수를 포함한 기본적인 과학계산용 계산기의 사용 및 퍼스널 컴퓨터의 조작에 친숙할 수 있어야 한다. 영역Ⅲ과 Ⅳ의 인증을 받고자 하는 후보자는 공인된 대학(college), 대학교(university) 또는 공업학교(technical school)에서 기계기술이나 기계공학의 2년 또는 그 이상 성공적으로 수료할 것을 매우 권고된다.

3.2 훈련

(1) 기본 훈련

인증을 신청하기 위한 자격이 되기 위해서, 후보자는 부속서 A의 요구사항에 기초한 인증기관에 의해 승인된 훈련의 성공적인 수료에 대한 증거를 제출해야 한다. 권장되는 훈련의 최소기간은 표 1과 같다. 승인된 훈련은 강의, 실연(demonstration) 및 실습(practical exercise)의 형태로 이뤄진다. 기술적인 정보원은 참고문헌에 나열하였다. 훈련은 주제가 이해되었다는 것을 확인하기 위한 시험을 포함할 것을 권고한다. 과정의 성공적인 수료에 대한 이수증명(credit)을 얻기 위해, 후보자는 다음 사항에 대해 인증기관을 만족시켜야 할 것을 권장한다.

▷ 훈련의 성공적인 완료

▷ 각 제목(topic)에 기울인 시간이 부속서 A에 명기한 것과 같고, 추구하는 인증영역과의 일치 또는 표 1과 부속서 A에서 요구하는 노력과 일치하는 자습(self-study) 시간과 제목의 일치(log) 제시

▷ 인증기관에 의해 승인된 훈련자(trainer)에 의해 제공된 훈련과정 시험의 완료

(2) 기계 지식에 대한 부가적인 훈련

표 1에 보이는 훈련시간과 부속서 A의 상세한 내용에 부가하여, 후보자는 표 1에 보이는 시간의 적어도 1/2 시간의 기계와 부품 훈련에 참석할 것이 권장된다.

표 1 누적 훈련의 권장 최소기간

영역 I	영역 II	영역 III	영역 IV
32시간	70시간	110시간	174시간

표 2 누적 경험의 권장 최소기간

영역 I	영역 II	영역 III	영역 IV
6개월	18개월	36개월	60개월

3.3 경험

인증을 신청하기 위한 자격이 되기 위해, 후보자는 기계 상태 감시 및 진단의 현장에서의 경험을 증거로 제출하여야 한다. 최소 권장경험의 요구조건은 표 2에 보인다. 영역 I의 사전인증이 영역 II의 인증에 필수조건은 아니다. 그러나 영역 III과 영역 IV의 인증은 보다 낮은 영역에서의 사전인증이 요구된다. 각각의 보다 높은 인증영역에서 경험의 폭과 깊이가 이전의 낮은 영역에서보다 더욱 클 것이 기대된다. 표 2는 인증을 위한 경험의 전체 누적 개월 수를 나타내며, 월 작업경험시간은 통상 40시간/주(175시간/월)에 기초한다.

4. 자격시험

4.1 시험 내용

각 인증영역에 대해, 후보자들은 표 3에 보이는 것과 같은 예와 유사한 특정 시간동안에 인증기관에 의해 지정된 문제 수를 답변하도록 요구되는 것을 권장한다. 부속서 A에 보이는 제목들을 망라하는 문제들이 시험 시간에 있는 문제의 데이터베이스로부터 선택되어 질 것이다. 문제들은 실질적인 성격이면서도, 기계 진동분석을 수행하기 위해 요구되는 개념과 원리들에 대해 후보자들을 테스트하여야 한다. 문제들은 차트와 선도들의 분석을 포함할 수 있다. 기본적인 과학계산용 계산기(calculator)를 이용하여 단순한 수학기산을 하는 것이 요구되

표 3 시험 세부항목 예

분류	문제 수	시간(hr)	합격성적(%)
영역 I	50	2	75
영역 II	100	3	75
영역 III	100	4	75
영역 IV	60	5	75

고, 이때 일반 공식들의 요약이 시험 문제들과 함께 제공될 것이다. 이들 문제는 적절한 인증 기관의 기술위원회(technical committee)에 의해 만들어지거나 인정된 것이다.

4.2 재시험

인증을 위해 요구되는 합격성적을 얻지 못한 후보자는 얼마든지 재시험을 칠 수 있으나, 재시험은 이전 시험 후 30일 이후에 개최되도록 제공된다. 인증기관은 관련된 인증기관이 허용할 수 있는 그 이상의 훈련을 책임지우는 결과로 조기 재시험을 허용하는 자유재량이 사용될 수 있다. 비윤리적인 행위의 이유로 배제된 후보자는 재응시 전에 최소 12개월을 기다려야 한다.

5. 부속서 A: 훈련과정 요구사항

표 4 주제에 따른 훈련시간의 개요

제목(subject)	영역 I	영역 II	영역 III	영역 IV
1. 진동의 원리	6	4	2	4
2. 데이터 취득	8	4	2	2
3. 신호처리	2	4	3	8
4. 상태감시	2	4	3	1
5. 결합분석	2	4	8	6
6. 수정조치	2	4	6	16
7. 장비지식	8	4	4	-
8. 승인시험	2	2	2	-
9. 장비시험과 진단	-	2	3	4
10. 참조 규격	-	2	2	2
11. 보고서와 서류	-	2	2	4
12. 결합 심각도 결정	-	2	3	3
13. 회전체/베어링동역학	-	-	-	14
훈련영역 당 총 시간	32	38	40	64


표 5 주제의 상세한 목록과 교육 시간

제 목	영역			
	I	II	III	IV
1. 진동의 원리	6	4	2	4
기초 운동	*	*	*	
주기, 주파수	*	*	*	
진폭: peak, peak-peak, r.m.s.	*	*	*	
매개변수: 변위, 속도, 가속도	*	*	*	
단위, 단위 변환	*	*	*	
시간과 주파수 영역	*	*	*	
벡터, 변조			*	*
위상		*	*	*
고유진동수, 공진, 위험속도	*	*	*	*
힘, 응답, 감쇠, 강성			*	*
불안정성, 비선형 계				*
2. 데이터 취득	8	4	2	2
측정장비 사용	*	*	*	*
동적 범위, SN 비			*	*
변환기	*	*	*	
센서 설치, 설치 고유진동수	*	*	*	
Fmax, 취득 시간	*	*	*	
변위계 conventions	*	*	*	
트리거			*	*
시험 계획		*	*	*
시험 절차	*	*	*	*
데이터 형식			*	*
컴퓨터 DB upload/download	*			
빈약한 데이터 인식	*	*	*	*
3. 신호처리	2	4	3	8
r.m.s/peak 검지(detection)				*
아날로그/디지털 변환				*
아날로그/디지털 샘플링		*	*	*
FFT 계산			*	*
FFT 응용	*	*		
시간창: uniform/Hanning/flat-top	*	*		
필터: 저역/고역/대역/트랙킹		*	*	
Anti-aliasing		*	*	*
대역폭, 분해능(resolution)		*	*	*
잡음 감소, Hilbert 변환				*
평균화: 선형/동기시간/지수	*	*	*	*
동적 범위	*		*	*
신호 대 잡음 비				*
스펙트럼선도			*	*
4. 상태감시	2	4	3	1
컴퓨터 DB 설정, 유지	*	*		
장비평가와 우선순위		*	*	*
감시프로그램 설계			*	*
경고 설정: 협대역, envelope			*	*
기준선 평가, 경향(trending)	*	*	*	*
경로(route) 계획		*	*	
대체기술: 유분석, 온도기록, 전동기 전류분석, 음향방출			*	*

제 목	표준			
	I	II	III	IV
6. 수정조치	2	4	6	16
축 정렬(alignment)		*	*	
현장 평형잡기(field balancing)		*	*	*
기계부품의 교체			*	*
유동 제어			*	*
절연 및 감쇠			*	*
공진제어			*	*
기본적인 정비활동	*	*	*	
7. 장비지식	8	4	4	-
전동기, 발전기 및 구동기	*	*	*	
펌프, 웬	*	*	*	
증기 터빈, 가스 터빈		*	*	
압축기	*	*	*	
양복 기계		*	*	
압연기, 제지기계, 기타 장비	*	*	*	
공작기계	*	*	*	
구조물, 배관	*	*	*	
기어상자	*	*	*	
구름요소베어링	*	*	*	
저널베어링		*	*	
기어		*	*	
커플링, 벨트		*	*	
8. 허용 시험	2	2	2	-
시험절차	*	*		
사양 및 규격		*	*	
보고서		*	*	
9. 장비시험과 진단	-	2	3	4
충격시험		*	*	*
강제응답시험		*	*	*
과도 해석			*	*
전달함수				*
감쇠 평가				*
Cross channel phase/coherence				*
운전처짐형상			*	*
모드해석				*
비틀림 진동				*

6. 맺음말

본 글에서는 국제적인 적합성 평가 활동의 일환으로 국제표준화기구에서 제정 중인 기계의 진동 상태감시 및 진단에 관련된 기술자(요원)의 훈련과 능력을 인증(certification)하는 ISO 18436-2:2003에 대해 소개하였다. 인증기

관 및 인증절차에 관한 요구사항을 다루는 제1편은 현재 최종 투표 중으로 금년에 정식 공표될 예정이다. WTO 체제하에서 시장의 급속한 글로벌화, 기술자의 능력 인증과 국제적인 상호인증(MLA) 등의 환경변화에 대응하고 국내 관련 산업과 기술자의 권리 보호를 위해 정부, 업계 및 학계가 긴밀하게 협조하여 대응하여야 할 것으로 생각된다. 이를 위해 우리 학회는 준비위원회(2003. 1. 1~8. 30)를 구성하여 관련 분야의 조사·연구 활동을 수행하였으며, 앞으로도 지속적으로 노력할 것이다. 

참고 문헌

- (1) ISO/FDIS 18436-1, Condition monitoring and diagnostics of machines- Requirements for training and certification of personnel- Part 1: Requirements for certifying bodies and the certification process
- (2) ISO 18436-2:2003, Condition monitoring and diagnostics of machines- Requirements for training and certification of personnel- Part 2: Vibration condition monitoring and diagnostics
- (3) 상태감시 및 진단기술자 인증을 위한 인증기관 설립 준비위원회 활동 보고서, 한국소음진동공학회, 2003. 9
- (4) ISO/IEC 17024:2003, Conformity assessment - General requirements for bodies operating certification of persons
- (5) ISO 17359, Condition monitoring and diagnostics of machines- General guidelines
- (6) ISO 13373-1, Condition monitoring and diagnostics of machines- Vibration condition monitoring- Part 1: General procedures.