

TR-081117-01 Rev.0

터빈로터 수명평가를 위한 기술 제안서

Prepared by



3rd Floor, Research Institute of Advanced Materials
Seoul National University
Seoul 151-742, Korea

TEL: 82-2-884-8025 / FAX: 82-2-875-8018

www.frontics.com

목차

0. 요약본	3
1. 기술도입의 필요성	4
(1) 일반적인 수명평가 시스템	5
(2) 신기술을 적용한 수명평가 시스템	6
2. 신규 수명평가 시스템	7
(1) 수명 평가 시스템의 구조 변경	7
(2) 대상 부품의 주기적 모니터링	13
(3) 수명 평가 전용 소프트웨어	13
(4) 터빈 로터의 수명 평가 기준 수립	13
3. 추진방향	14
(1) 선행 단계	14
(2) 기술 도입 단계	14
4. 파급 효과	15
(1) 안전성	15
(2) 경제성	16

터빈로터 수명 평가를 위한 기술 제안서

터빈로터 수명평가를 위한 기술 제안서	
제목	신기술을 적용한 터빈 로터의 수명평가 시스템 구축
목적	- 신기술을 적용한 수명 평가 시스템의 구조 변경 - 대상 부품의 주기적 모니터링 실시 - 네트워크를 활용한 수명 평가 관리 소프트웨어 개발
필요성	기존의 수명 평가 시스템은 크게 3단계로 나뉘어 진행되었다. - 1단계 평가: 운전이력, 설계도면을 통해 이론적 평가방법 - 2단계 평가: 기초 비파괴검사를 통하여 정밀검사의 필요성 결정 - 3단계 평가: 샘플 채취를 통한 정밀 검사 실시 이러한 방법은 2단계에서 비파괴 물성평가 기술의 부재가 큰 원인으로 작용하고 있었다. 2단계에서 물성 정보를 확인할 수 있다면 3단계 이전에 이미 수명 평가를 진행할 수 있기에 3단계 진행 여부 판단이 쉬워 경제적, 인력적, 시간적인 소모를 최소화할 수 있게 된다. 또한, 기존의 장비 개발과 신기술의 도입으로 정밀도 향상과 시험 시간의 단축으로 3단계의 수직적 구조를 2단계 수평 수직적 복합구조로 변경함이 가능해 졌다. 기존 장비의 개발과 신기술의 적용으로 인하여 수명 평가 시스템에서 나아가 주기적 모니터링이 가능하여 부품의 손상시점의 조기 파악으로 장비 가동율을 극대화할 수 있게 된다. 또한, 소프트웨어 개발 기술의 발달로 인하여 수명 평가를 네트워크로 관리, 여러 대상을 한번에 처리함으로 대상 부품의 잔여 수명 관리 및 이력관리까지 쉬워지게 된다.
효과	앞서 설명한 것과 같이 가장 큰 것은 시스템의 변화라 할 수 있다. 기존의 방법을 동시에 진행하는 수평적 평가로 시간적인 효과를 얻을 수 있으며, 장비의 개발과 신기술의 도입으로 인하여 잔여 수명 평가의 신뢰도를 높일 수 있게 된다. 초기 검사에서 진행된 결과를 토대로 불필요한 시편 채취를 막을 수 있어 최종적으로 경제적 효과까지 얻을 수 있게 된다.
(주) 프론틱스	

제목:**신기술을 적용한 터빈 로터의 수명평가 시스템 구축****1. 기술도입의 필요성**

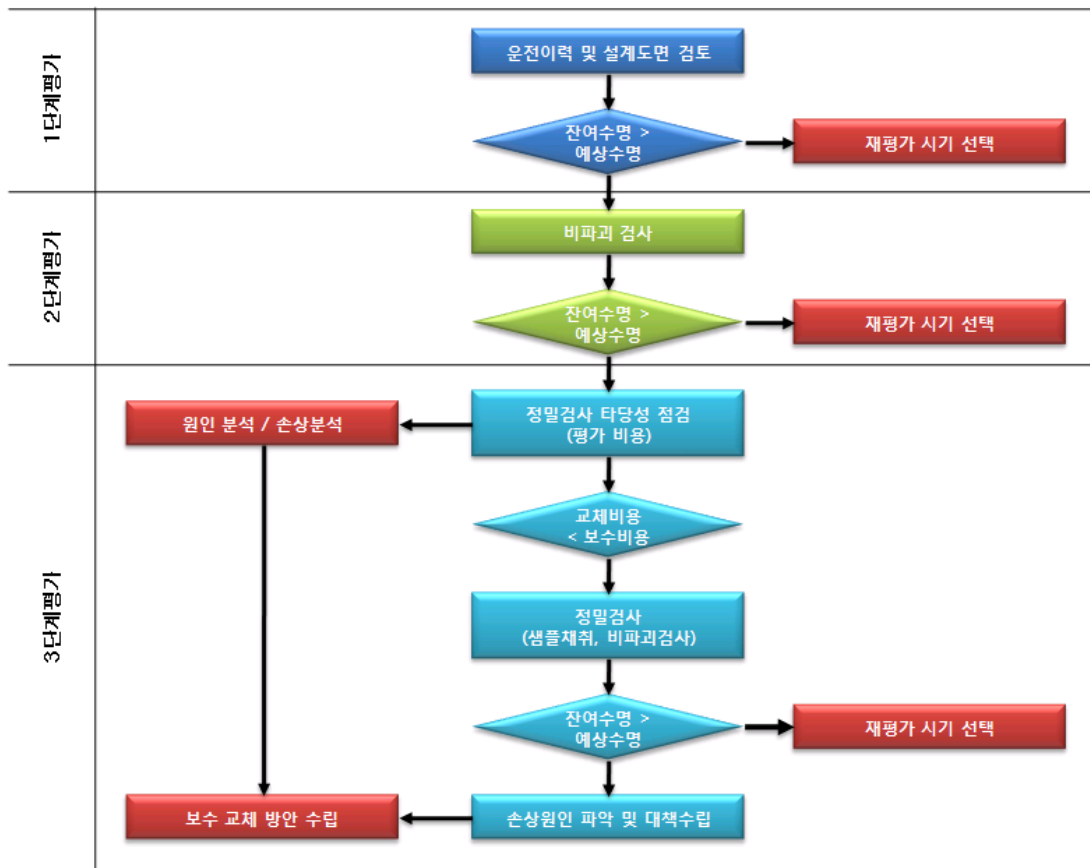
중공업의 발전과 함께 오랜 시간 동안 가동 되어 온 발전설비는 이미 설계수명을 넘은 많은 시간을 사용되어 왔다. 또한, 향후 10년간 설계수명을 초과하는 발전설비의 수가 증가할 것으로 예상된다. 이러한 설비들은 지속적인 사용을 위해서는 대상 부품의 사용 가능 판단의 기술적인 입증에 요구된다.

화력발전 설비의 수명연장에 필요한 비용은 건설비용의 20 ~ 30% 정도의 적은 비용이기 때문에, 자연히 설비 소유주는 신규 건설보다 기존의 가동중인 설비의 수명연장에 큰 관심을 갖게 된다. 대상 부품의 안정성, 신뢰성 및 수명평가를 위해 주기적인 검사가 진행되고 있다. 특히, 발전설비의 주요 부품인 발전용 가스 터빈은 효율향상을 통해 비용 절감을 위한 신기술 개발이 지속적으로 되어 현재 최신 부품들이 대량으로 운용되고 있지만, 이러한 부품들의 교체주기는 사용자의 기준이 아닌 제작사의 기준을 따르고 있어 실제 환경적인 영향으로 추가 사용 및 교체 주기를 맞추기가 힘든 실정이다. 국내에서는 이러한 부분을 보완하기 위해 수명평가 기술을 다양한 방법으로 진행하고 있으나, 아직 초보적인 단계에 미치지 못하고 방법론적으로도 다양한 방법이 적용되기에 평가 담당자에 의해 교체 시기 결정의 차이가 발생하고 있다.

대상 부품에 대한 수명평가 방법을 다양한 방법 중 한가지 방향으로 결정하는 것이 아니라, 시뮬레이션 또는 분석을 통한 예측 수명시간과 실제 부품에서 얻은 정보를 토대로 얻어진 수명시간을 이용하여 복합적으로 평가하게 된다면 정확한 잔여수명평가를 할 수 있게 된다. 또한, 일정 주기에 따라 대상을 실제 점검 결과를 토대로 교체가 아닌 보수를 통하여 경제적으로나 효율적으로 더 큰 효과를 볼 수 있게 된다.

이러한 경제적 효과를 위해 많은 시험법이 적용되고 있으나, 기존의 기술을 사용하여 적용하기에는 한계점이 많이 발견되고 있다. 가장 큰 특징으로 기존의 시험법을 사용하게 되면 사용중인 대상물에 직접적인 평가가 어렵고, 비파괴 시험과 운전이력, 설계도면 등에 의존하여 시편 채취 여부를 판단해야 하는 한계점을 가지고 있었다. 모든 대상의 정밀 평가를 위해서는 비파괴 결과나 대상의 운영 정보도 중요하지만, 현재의 물성 상태를 정확히 확인할 수 있어야 정밀한 수명평가가 이루어질 수 있게 된다.

(1) 일반적인 수명평가 시스템



수명 평가 시스템

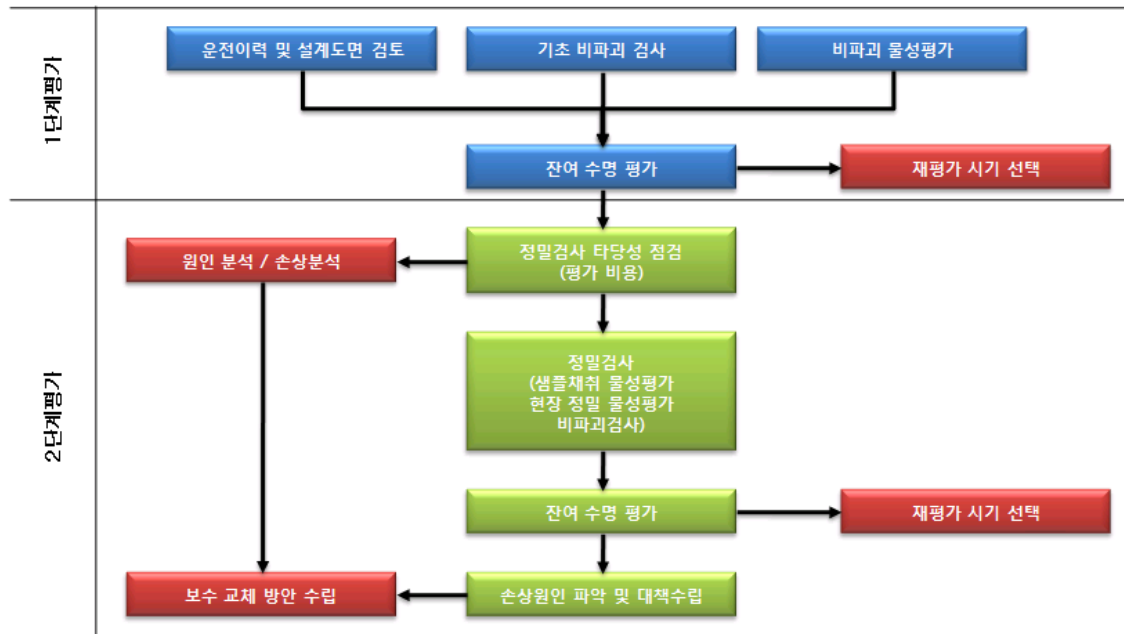
- 1단계 평가: 운전이력, 설계도면을 통해 이론적 평가방법으로 나타난 잔여 수명과 설계상의 수명과 비교 평가
- 2단계 평가: 기초 비파괴검사를 통하여 정밀검사의 필요성 결정
- 3단계 평가: 정밀검사를 위한 경제적 타당성을 결정, 샘플 채취를 통한 정밀 검사 실시

한계점

- 비파괴 물성평가 기술의 부족: 정밀검사의 물성평가를 위해 샘플 채취가 필수적
- 수직적 평가 시스템: 이론적인 평가, 비파괴검사 선행의 단계 구별과 진행으로 시간적 인력적 소모가 심함

이러한 기존의 평가 시스템은 최근 많은 기술이 개발되어 수직적인 구조가 아닌 수평 복합적 구조로 변화하고 있다. 1단계와 2단계의 평가를 동시에 진행을 하고, 3단계 평가 이전에 현장에서 진행이 가능한 물성평가 기술을 적용하여 정밀검사 단계의 비용 절감 및 지속적인 검사가 가능한 평가 시스템이 나타나고 있다.

(2) 신기술을 적용한 수명평가 시스템



특징

- 소프트웨어화된 관리 시스템: 운전이력 및 설계정보가 포함되어진 이론적인 잔여 수명평가 소프트웨어의 사용으로 인력적인 소모 축소
- 빨라진 비파괴검사 장비: 기존의 10배 이상 많은 정보 획득이 가능한 장비의 보급으로 위험 단계뿐 아니라 주기적인 평가 가능
- 비파괴 물성 평가 기술의 개발: 기존의 경도 시험법과 함께 압입 인장물성, 잔류응력, 파괴인성 평가가 가능한 비파괴 물성 평가 기술의 개발로 대상의 손상없이 물성 평가가 가능
- 평가 시험을 위한 보조 기구의 개발: 조직 검사 또는 시험을 위한 표면 연마를 위한 휴대용 전해연마 장비, 조직 검사를 위한 휴대용 디지털 현미경 등의 개발로 준비 단계에서 시간적이 소모를 최소화

장점

- 정밀한 비파괴검사: 손상 단계 이전의 작은 crack까지 확인이 가능하여 미연에 사고를 방지할 수 있게 됨
- 정확한 물성 정보: 경도 값을 환산하는 방식이 아닌 실제 물성 정보를 확인이 가능하여 LMP와 같은 수명평가 이론에 물성 정보를 직접 대입이 가능. 이를 통하여 정확한 수명 평가 진행이 가능

2. 신규 수명평가 시스템

(1) 신규 수명 평가 시스템의 특징

기존의 수명 평가 시스템에 신규 기술을 적용하여 정확하며 빠른 수명평가가 이루어질 수 있도록 구조적인 부분과 편의성의 증대 방향으로 나아가는 것이다. 주요 특징은 아래와 같다.

- 신규 기술의 도입을 통한 수명평가 시스템의 구조 변경
- 수명 평가를 위한 시험 시간 단축을 통한 주기적 관리
- 수명 평가 및 평가 결과의 관리 전용 소프트웨어
- 터빈로터의 수명 평가 기준 수립

(1) 수명 평가 시스템의 구조 변경

앞서 설명한 수명 평가 단계를 수직적이 아닌 수평, 수직의 복합적인 구조로 변경함에 따라 수명평가를 위한 시간적, 인력적인 소모를 최소화하는 목적이다. 이러한 구조 변경이 가능해진 이유로는 빨라진 비파괴검사 장비와 함께 현장에서 비파괴적인 물성평가의 진행이 가능해졌기 때문이다. 신기술인 **압입 인장물성시험법(ISO/TR29381, KS B0950, KS B0951, KEPIC MDF A370)**은 현장에서 사용 중인 부품에 직접적으로 장착하여 시험 및 평가가 가능하기에 기존 현장에서 진행한 경도 시험의 한계점을 넘어서 직접적인 물성평가가 가능해 졌다.

비파괴 시험법의 경우, 초기 장비는 1 CH을 이용하고 운용자가 그 결과를 확인 및 보고서를 작성하는 방법이 많았으나, 기술의 발달로 인하여 Multi-CH을 이용하여 많은 량을 빠르게 처리가 가능하게 되었고 또한 그 결과를 직접 PC를 통하여 저장 및 보고서 출력이 가능하게 되었다. 이러한 장비의 도입이 된다면 기존보다 인력적 시간적인 소모가 최소화하게 된다.

이를 토대로 사용이력 및 설계정보를 바탕으로 진행되는 수명평가 이론에 직접적인 물성의 적용이 가능하여 정밀 점검의 판단이 쉽게 되었다. 다양한 수명평가 이론이 있지만 널리 이용되고 있는 LMP의 경우를 보더라도 경도값을 이용한 것보다 물성값을 이용하게 되면 정밀한 수명평가가 가능하게 된다. 추정치를 통하여 정밀검사 여부를 판단하기 보다는 실측치를 통한 판단이 효율면에서 더 큰 효과를 얻을 수 있다.

압입 인장물성 시험법의 적용 사례 1

- 장소: 울산 화력발전소 (2005. 5.)
- 대상: 화력발전 설비의 교체 대상 부품
- 시험 목적: 압입 물성 평가
- 소재: Turbine casing, IP Rotor, ICV
- Attachment: Chain system, Plate-magnet system
- Remarks: 고온 환경에서 사용된 발전설비의 강도 변화 평가

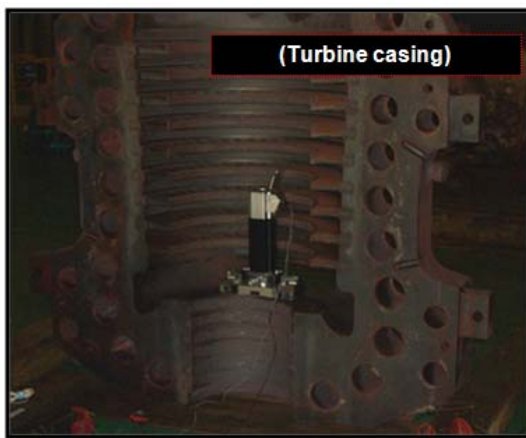


Fig. Turbine Casing

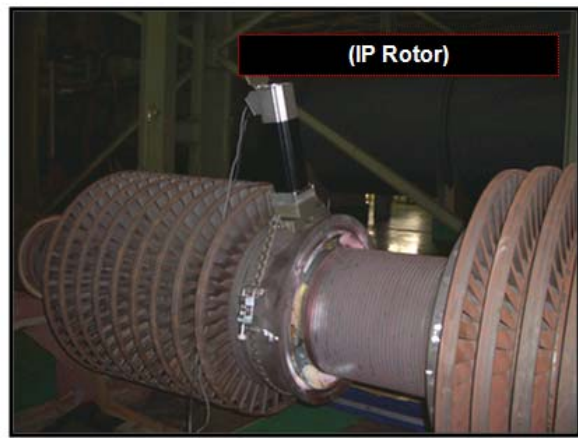
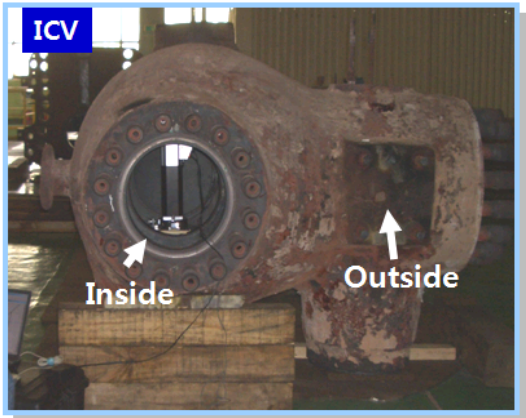


Fig. IP Rotor



Inside	YS (kg/mm ² (MPa))	UTS (kg/mm ² (MPa))
1	48.4(474)	59.4(582)
2	45.6(447)	59.3(581)
3	46.7(457)	57.4(563)
4	44.1(432)	55.3(542)
Ave.	46.2(453)	57.8(567)

Outside	YS (kg/mm ² (MPa))	UTS (kg/mm ² (MPa))
1	44.8(439)	65.6(642)
2	41.2(404)	63.4(622)
3	42.7(418)	65(637)
Ave.	42.9(420)	64.7(634)

압입 인장물성 시험법의 적용 사례 2

- 장소: 동서화력발전, 산천양수발전소 (2005. 9.)
- 대상: TBN/Thrust Bearing shaft
- 시험 목적: 압입 물성 평가
- Attachment: Chain system, Plate-magnet system
- Remarks: Bearing shaft의 건전성 평가

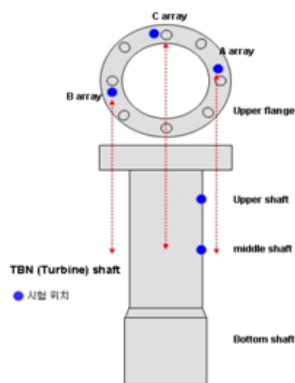
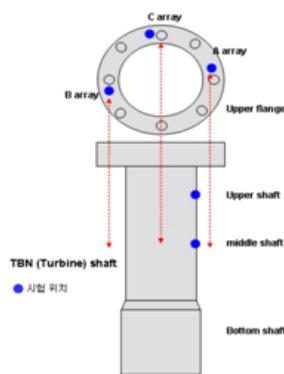
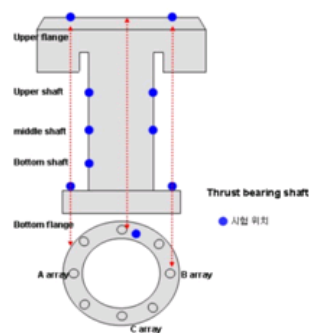


Fig. Curvature magnetic system

Test Results – TBN bearing shaftTest Results – Thrust bearing shaft

압입 인장물성 시험법의 적용 사례 3

- 장소: 보령 화력발전
- 대상: Turbine Rotor
- 조건: Dia. 36~60 inch (Rotor of operated during 22 years)
- 재료: ASTM A470 C1.8
- Attachment: Curvature magnet system
- Remarks: Safety evaluation of facilities during rotor repair

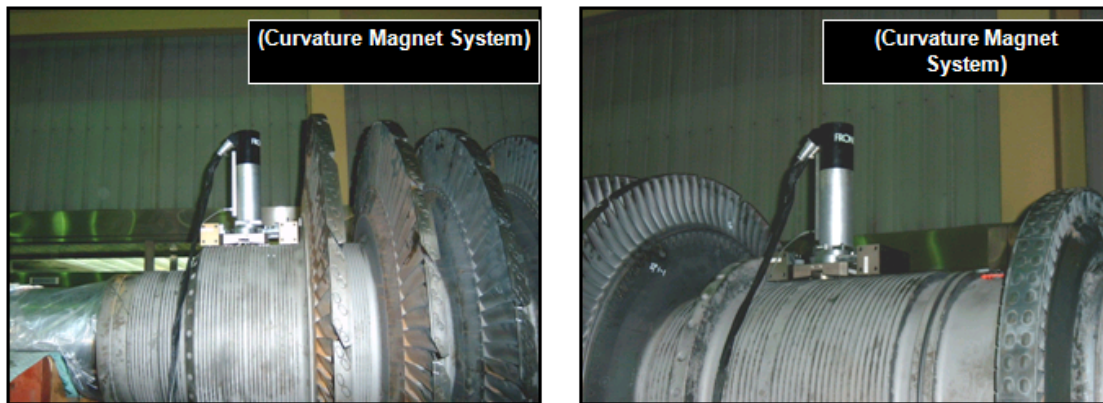
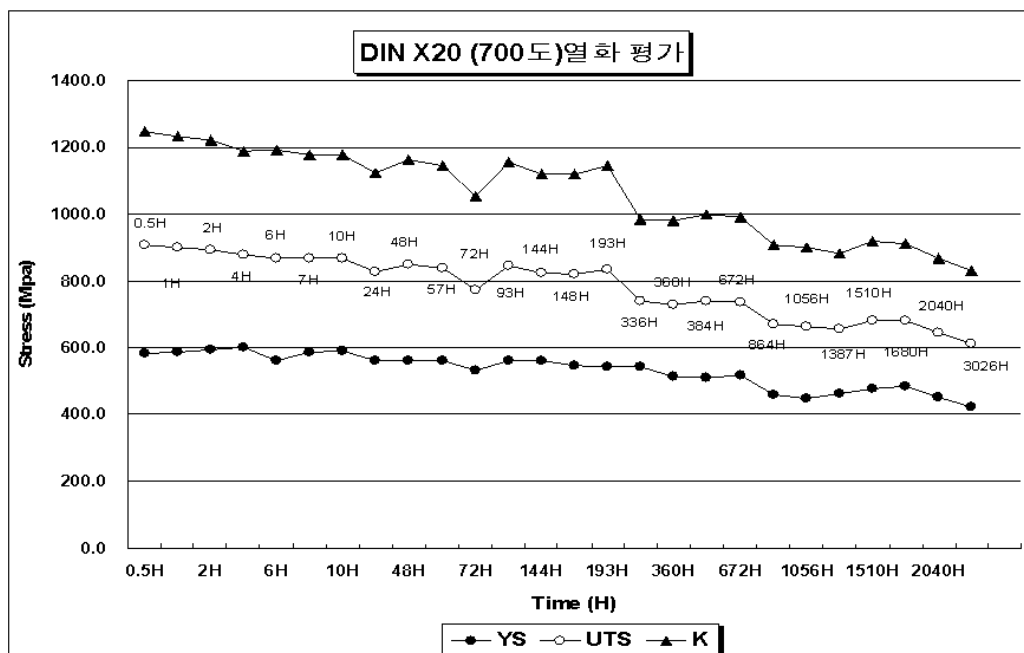


Fig. Turbine Rotor

압입 인장물성 시험법의 적용 사례 4

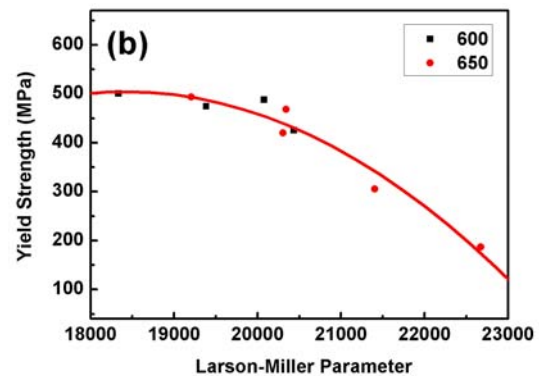
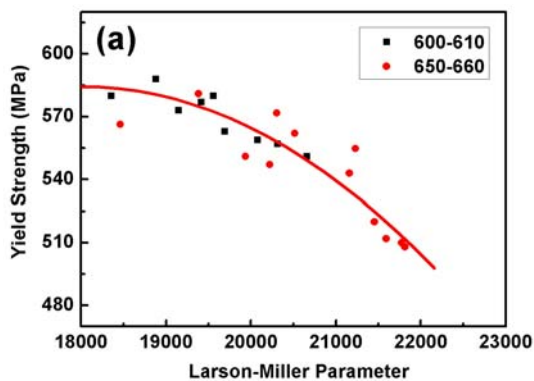
- 사용중 열화물성 DB 구축을 통한 수명 예측



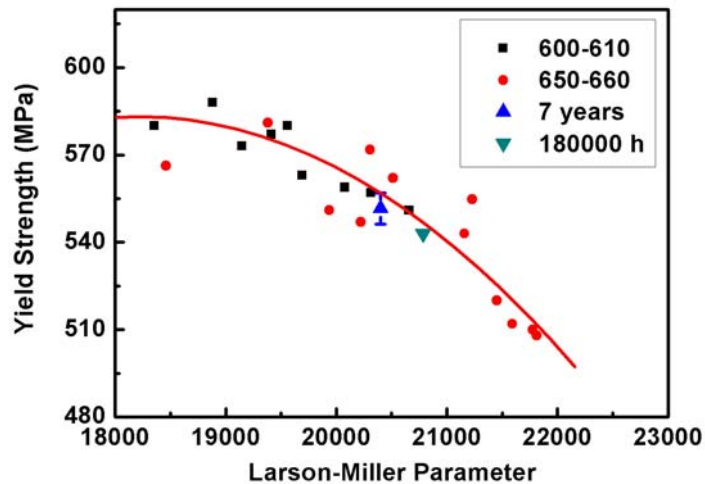
압입 인장물성 시험법의 적용 사례 5

- Larson-Miller 파라미터를 이용한 대상 소재의 수명 평가
- 적용항목을 경도 예측치에서 실측 인장물성으로 변경

- 장소: 동서화력발전
- 대상: X20 tube
- 목적: 7년 사용한 X20CrMoV12.1 tube의 수명 평가



Yield strength를 이용한 수명평가 곡선 (a) X20CrMoV12.1 (b) SA213 T23

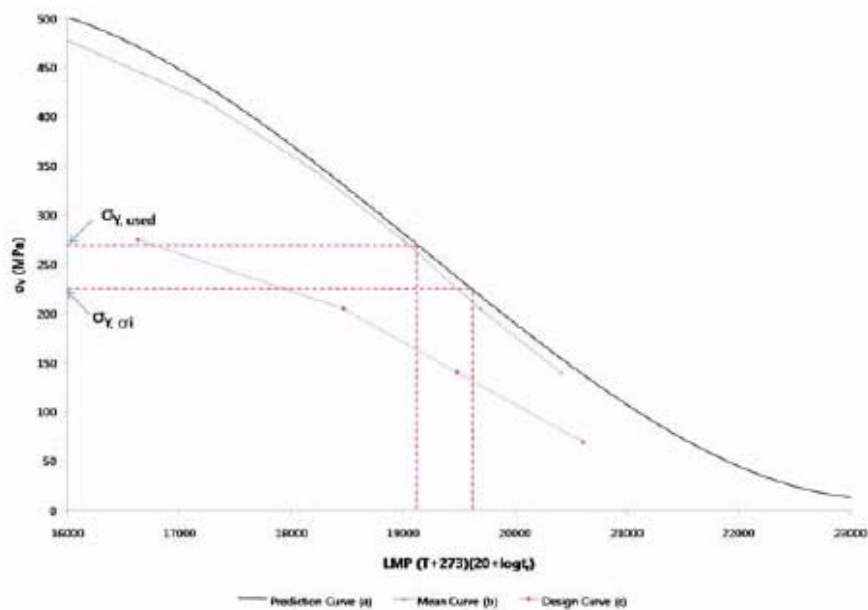


7년 사용한 X20CrMoV12.1소재의 수명평가

압입 인장물성 시험법의 적용 사례 6

- Larson-Miller 파라미터를 이용한 대상 소재의 수명 평가
- 적용항목을 경도 예측치에서 실측 인장물성으로 변경
-

- 장소: S-Oil
- 대상: ASTM A335 P9
- 목적: 열화소재의 수명 평가



- ◎ (a) S-OIL의 운전 조건(사용 이력, 소재 정보)에 따른 예상 곡선
- ◎ (b) 동종 재료(ASTM A335 P9) 600℃ 사용조건에서의 실제 곡선
- ◎ (c) 동종 재료(ASTM A335 P9) 600℃ 사용조건에서의 설계 곡선

	Strength(MPa)	LMP	Residual Life ($t_{r, cri} - t_{r, used}$)
$\sigma_{Y, used}$	270	19074	3.15 years

- ◎ $\sigma_{Y, used}$: 사용된 재료의 항복강도
- ◎ $\sigma_{Y, cri}$: 손상 기준(failure criterion)을 적용한 가상의 손상 항복강도
- ◎ LMP(Larson-Miller Parameter): $(T + 273)(20 + \log t_r)$
- ◎ t_r (파단 시간 - time to rupture): LMP와 사용온도의 관계로 산출
- ◎ Residual Life: $t_{r, cri} - t_{r, used}$
 - $t_{r, cri}$: 손상 기준에 따른 파단 시간
 - $t_{r, used}$: 사용재의 항복강도를 통해 산출된 사용시간

(2) 대상 부품의 주기적 모니터링

신규 기술 개발과 기존 기술의 발전은 수명 평가 시스템의 구조 변경과 함께 주기적 모니터링도 가능하게 되었다. 특정 기간이 되어서야 평가를 할 수 있었던 기존의 방법과 달리 가동 중지 시간에 빠르게 평가를 할 수 있기에 대상 부품의 특이 현상을 빠르게 파악하여 손상 부위를 최소화할 수 있는 장점이 있다. 또한, 이 기술은 수명 평가 목적에서 나아가 교체 후 신재에 대한 점검까지 활용할 수 있기에 그 효과가 배가 된다.

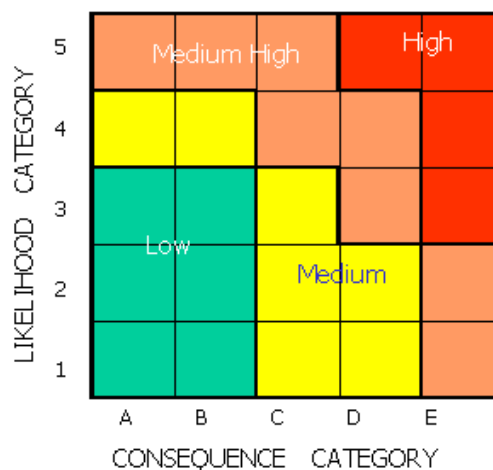
(3) 수명 평가 전용 소프트웨어

수명 평가 이론이 자리를 잡아가면서 이를 평가해주는 소프트웨어의 연구가 많이 진행되었다. 하지만, 대부분이 소프트웨어는 특정 대상에만 적용하거나 신규 대상의 적용이 어려운 연구목적의 소프트웨어가 많았었다.

이러한 문제점을 보완하여 기존의 평가 결과를 네트워크를 통하여 확인 및 관리를 하고, 또한 신규 대상물의 추가도 용이할 수 있는 소프트웨어의 개발이 가능한 기술의 발전은 이미 이루어져 있다. 이러한 기술을 기존의 관리 시스템에 포함시키면 인력 효율과 함께 결과의 활용에 많은 도움을 주게 된다.

(4) 터빈 로터의 수명 평가 기준 수립

정유 관련 가스배관에는 API 580에 기반한 정성적 위험도 평가 프로그램의 개발이 많이 진행되고 있다. 특히, 위해 물질의 누출량, 기기 파손확률, 발화에 따른 영향 및 누출 물질의 독성에 따른 영향 등을 고려 위험도 순위 행렬(risk ranking matrix, RBM)을 작성하여 각 대상 부품을 관리하는 방식이 도입되고 있다.



API의 정성적 위험도 평가 매트릭스 (Risk Ranking Matrix)

발전 설비 분야에도 이러한 평가 기준을 도입하게 되면 신규 건설 설비의 관리에 큰 효과를 얻게 되며, 추후 설비 관리 분야에서 우선 순위를 가질 수 있게 된다.

3. 추진 방향

(1) 선행 단계

시스템 도입에 앞서 선행 단계가 필요하다. 기존에 진행되어 왔던 평가 방법과 함께 그에 대한 점검, 그리고 신규 기술 점검상의 보완 사항을 먼저 확인이 필요하다.

- 기존의 기술에 대한 점검 및 보완
- 신규 도입 기술의 국제적 규격 확인
- 적용 가능성 판단 및 시스템 변경 방안 마련

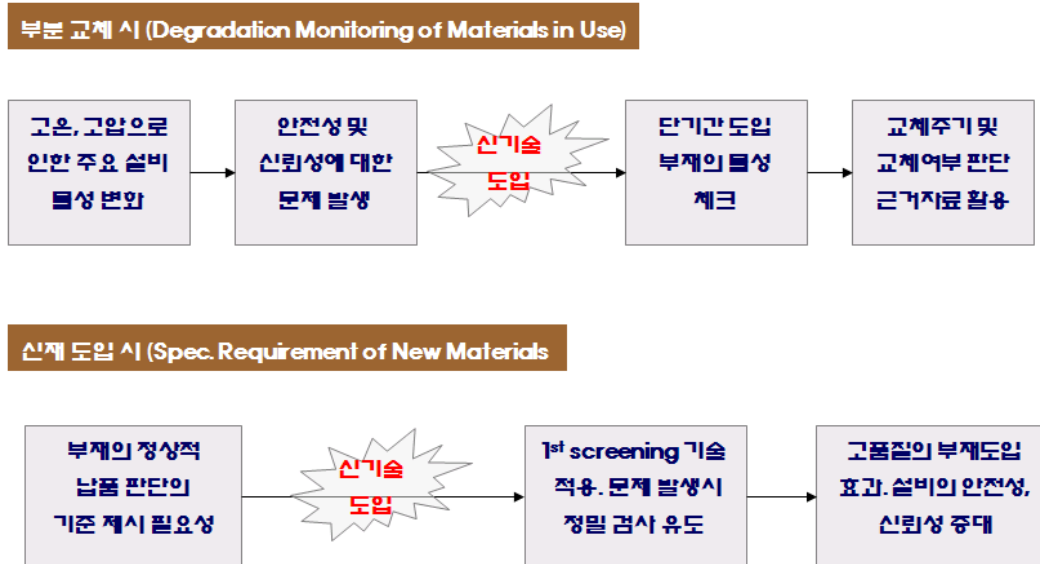
(2) 기술 도입 단계

선행 단계에서 기술 도입을 위한 자료가 수집되었으면, 신규 시스템 도입을 위한 자료 수집이 진행되어야 한다. 신규 기술을 기존의 기술에서 무조건 대체하기 보다 기존의 기술로 얻어진 결과를 토대로 신규기술에 접목, 상호 비교가 진행되어야 한다.

- 신규 기술의 접목을 위한 기존 결과 비교
- 신규 시스템 구축

4. 파급 효과

(1) 안전성



① 부분 교체 시

: 고온, 고압에서 운전되는 발전소의 주요 설비의 경우, 이로 인한 영향으로 시간의 경과에 따른 재료 물성의 변화가 예상된다. 이로 인한 안전성, 나아가서 신뢰성에 대한 문제 발생이 끊임 없이 제기되고 있는 상황이다. 따라서 이러한 문제점을 최소화하는 측면에서의 신기술의 도입 필요성이 더욱 높아져가고 있다. 신기술 도입 시, 단시간에 도입 부재의 물성을 체크함으로써 계획된 부재의 도입 효과를 극대화 할 수 있을 것으로 기대하고 있다. 특히 노후설비의 교체 주기 및 교체 여부를 판단할 근거자료로서 활용함으로써 정량적인 교체/수리 기준 설정이 가능하다.

② 신규 건설 시

: 발전소 안전 건설 기준에 합당한 금속 부재의 구입 시, 기준에 적합한 부재가 정상적으로 납품이 되어있는지의 판단을 정확하게 판단할 수 있는 기준 제시의 필요성이 대두된다. 본 기술의 적용 시, 주요 설비 소재에 대한 1st screening 기술로 적용하여, 문제 발생 시 해당 부위의 정밀검사를 유도할 수 있어, 막대한 비용 및 시간이 소요되는 전수검사과정을 생략할 수 있다. 이를 통하여 궁극적으로 고품질의 부재 도입 효과를 기대할 수 있음으로써, 발전 설비의 안전성, 나아가 신뢰성을 증대시키는 파급 효과를 기대한다.

(2) 경제성

부분 교체 시 (Degradation Monitoring of Materials in Use)**신재 도입 시 (Spec. Requirement Checking of New Materials)**

① 부분 교체 시

: 발전소 설비의 경우, 일정 시간이 지난 후에, 경년 열화에 따른 안전성 제기 문제로 인하여 교체 부분과 시기를 조절한다. 이때에 여러 가지 방법을 동원하여, 설비의 상태를 체크하며, 그 내용 중의 하나가 바로 경년 열화에 따른 물성 변화의 체크이다.

이때에 빠르고 정확한 데이터의 확보를 통해, 교체 시기를 조절하고, 이로 인해 궁극적으로 경제적인 효과를 기대할 수 있다.

② 신규 건설 시

: 현재 부재의 도입 후, 검수에 필요한 시험을 진행하고 있으나, 시간적, 경제적 이유로 인해 몇 번의 sample test를 진행하고 있음. 기존의 방법, 즉, 예를 들어 파괴적인 sampling을 통하여 시험을 수행할 경우에는 시공기간의 제약에 의해 검수 후, 판단에 필요한 충분한 데이터를 확보하는 것이 어렵다. 이에 보다 신속하게 많은 데이터를 취득함으로써, 검수 시 양적인 능력 향상과 아울러 불량 제품을 걸러내는 filtering기능을 가진 시험 법의 필요성이 대두된다. 신기술을 도입 할 경우, 이러한 점의 개선 효과를 기대할 수 있다.

예정된 부재의 이상 여부를 발전소(갑)가 1차 sample test를 통하여 1차 screen함으로써 품질 유지가 가능하며, 1차 screen의 되지 않고 도입 될 경우, 이후에 일어날 수 있는 사고 및 품질 저하를 예상할 수 있다. 저 품질의 부재 도입에 따른 사고로 인한 피해액은 연간 수억 원 이상으로 추측된다.