

기력 및 수력발전 설비의 비파괴시험 기술

장흥근*, 조정식*, 정민화**, 김광호***

Nondestructive Testing Techniques for the Inspection of Fossil and Hydraulic Power Plant Components

Hong Keun Chang*, Kyung Shik Cho*, Min Hwa Chung**, Kwang Ho Kim***

1. 서 론

경제 규모의 확대로 전력 수요가 증가함에 따라 발전 설비의 규모도 대형화되고 발전 방식도 다양화되는 추세에 있으므로 양질의 전력 생산과 공급의 필요성이 높아짐에 따라 고도의 운용 기술과 설비의 시험·검사기법 보수 관리 기술이 요청되고 있다.

산업 시설의 원동력인 전력 생산에는 수력, 기력, 원자력, 내연력 등이 이용되고 있는데 수력이나 내연력을 이용하는 발전 설비중에는 가동년수가 50년이 경과된 설비도 있으며 기력발전 설비는 unit의 대용량화에 따라 점차 고온, 고압화되는 추세로 이에 따라 각 부분을 구성하는 재료는 매우 엄격한 것이 요구된다. 특히 steam turbine을 구성하고 있는 rotor나 blade 등의 주요 부품들은 장기간 사용함에 따라 경년열화나 균열이 발생되어 나아가서는 기기가 파괴되어 대형 사고를 유발하는 경우도 있어 발전 설비의 보수, 유지 관리를 위한 점검은 필수적이다. 비정기적인 발전 중단의 회수를 감소시키

고 주요 부품의 교체작업 등 발전소의 preventive maintenance를 위한 비파괴시험 방법은 발전소의 안전 운용을 위하여 적절한 대책 수립의 진단 수단일 뿐만 아니라 수명 예측의 주요 자료로서도 널리 활용되고 있다.

본 고에서는 가동중인 기력 및 수력발전소를 구성하고 있는 주요 components에 대한 비파괴시험기법(nondestructive testing techniques)에 대하여 기술한다.

2. 화력발전 설비의 비파괴시험

기력발전소에서 발전 효율을 저하시키는 요인으로는 boiler, condenser, feed water heater tube의 손상 및 turbine rotor, turbine blade, turbine disc 등의 손상 등을 들 수 있다.

비정기적인 발전 중단의 회수를 감소시키고 보수를 위한 중요부품의 교체작업 등 발전소의 preventive maintenance program의 일환으로 비파괴시험은 발전소의 boiler, condenser 및 feedwater

* : 한국기계연구원(Korea Institute of Machinery & Metals)
** : 한국전력공사 기술연구원(Research Center, Korea Electric Power Corp.)
*** : 부일공업검사(주) (Booil Industrial Testing Co., Ltd.)

Table 1. Application of NDT method to fossil power plant components.

NDT Method	Boiler Heat Transfer Tubes		Condenser ID Tubes	Feed Wtr.Heater ID Tubes	Turbine/Generator Rotors		Turbine Blades
	ID	OD			Outside	Boreside	
VT	Fiberoptics & CCTV through access windows cut into tubes.	Visual exam. for sagging, distortion of tube wall	Usually not used. Small CCTV for special problems	Usually not used	Visual exam. for cracks.	Rigid borescope	Mirror-aided visual exam. for defects/ fiberoptics thru access parts. Limited use
PT	Not used	Used to detect cracks	Not used	Not used	Limited used. Supplement to MT	Limited PT using remote system	Used for non-ferromagnetic areas of blades & supplement to MT
MT	Not used	Limited use for cracks in welds	Not used	Not used	Major surface exam;draped & bucking field techniques	Major surface exam;central conductor & yoke methods	Major surface exam;draped coil, bucking field & yoke.
UT	Used from steam & mud drum penetrations for wall thickness measurements	Used for wall thickness & detecting cracks	Usually not used;however can supplement to ET in analysis in/near tube support area	Used for carbon steel tubing & supplement to ET for flaw analysis, slow	Supplement to bore or when bore in unaccessible	Used for detecting service-induced subsurface-cracks	Limited use. Used for cracks in shroud area
RT	Not used	Limited use to detect cracking & inspect repair welds	Normally not used	Normally not used	Normally not used	Normally not used	Limited used in blade-to-blade attachments
ET	Not used	Not used	Used to determine wall-thinning & detect cracks	Used determine wall-thinning & detect cracks in non-ferromagnetic tubing; not applicable to ferromagnetics	Not used	Limited use surface defects only	Limited use highly sensitive to small surface cracks. Remote inspection is possible through access parts

tube의 손상, turbine blade에 존재하고 있는 stress corrosion crack의 탐상, turbine rotor의 건전성 진단 및 life time prediction 등의 자료로서 광범위하게 이용이 되고 있다. 발전소의 주요 components에 대한 포괄적인 preventive maintenance program은 보수 작업을 위한 기간 단축 뿐만 아니라 귀중한 인명의 피해와 재산의 손실을 미연에 방지할 수 있어 많은 발전소에서 자체적으로 계획을 수립하여 실시하고 있다.

Fossil power plant의 maintenance에 적용되는 비파괴시험은 숙련된 기능원이나 경험이 풍부한 NDT engineer가 특수한 visual aids를 사용하는 경우도 있지만 대개는 육안검사후 여러가지 비파괴시험방법 중 적절한 방법을 선택, 적용한다.

Fossil power plant에 이용되는 비파괴시험방법은 Table 1과 같다. 일반적으로 비파괴시험법은 surface

inspection과 volumetric inspection method로 구분한다.

1) Surface inspection method

표면 및 표면직하에 존재하는 불연속(discontinuities)을 탐상하는 시험방법으로 육안검사를 포함하여 액체침투탐상시험(PT)과 자분탐상시험(MT) 및 와류탐상시험(ET)이 이에 속한다.

2) Volumetric inspection method

표면으로부터 1.3mm이상의 거리에 존재하는 discontinuities를 탐상하는 시험방법으로 방사선투과시험(RT)과 초음파탐상시험(UT)이 있다. RT는 발전소의 건설시 주로 이용이 되며 UT는 maintenance inspection시 광범위하게 이용되고 있다.

2. 1. Boiler

Boiler tube의 결함은 발전소에서 비정기적 발전

중단의 주원인이 된다. 발전 중단은 발전 효율을 저하시킴으로서 때때로 계획된 전력 생산을 하기 위하여 발전 용량을 최대로 올려야 하는 계기가 되며, 결과적으로 전력 생산 단가를 상승시키는 요인이 되는 것이다.

계획된 발전 중단 기간중 boiler tube의 손상은 비파괴적으로 조기 발견할 수 있다.

Boiler의 손상은 erosion을 포함해서 expoliation, fatigue cracking, hydrogen damage 등을 들수 있으며 tube의 교체 여부를 결정한다. UT는 tube의 두께 측정에 주로 이용이 되고 있으며 crack 및 hydrogen damage 탐상에도 널리 활용된다.

종파(longitudinal wave)를 이용한 두께 측정 방법과 횡파(shear wave)를 이용한 tube 내면에 발생한 crack의 탐상 방법을 Fig. 1에 도시하였다. Boiler의 결함 탐상에는 UT가 주로 이용되지만 MT나 PT를 병행함으로써 효과적으로 결함을 탐상할 수 있다.

UT법은 큰 구조물의 시험에는 시간이 많이 소요되며, operator는 고도의 숙련된 기술자가 아니면 시험 결과에 대한 신뢰성이 낮은 것이 단점이다.

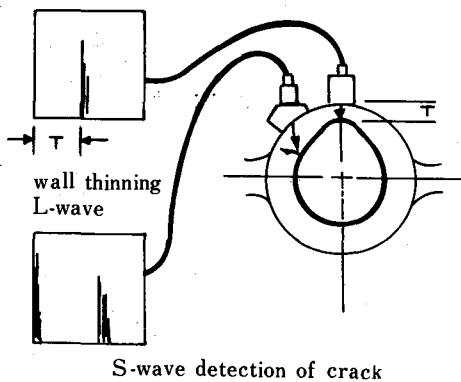


Fig. 1. Ultrasonic testing of boiler tubes for wall thinning and inside surface cracks.

Tube외에 steam drum 및 mud drum도 boiler의 critical components로서 주기적인 maintenance inspection이 요구되며, 이들 Components에 대한 비파괴시험은 UT, MT, PT 및 borescope를 이용한 VT method가 이용된다.

2.2. Condenser 및 feedwater heater

발전소의 steam plant에서 condenser tube의 손상은 이를 보수하기 위하여 가동을 중단해야 하기 때문에 발전 생산 단가를 상승시키는 요인이 된다. 손상된 condenser tube로부터 물의 누설은 steam generator와 turbine 등의 주요 components에 손상을 끼치는 원인이 된다.

Feedwater heater tube 손상의 경우에는 보수시 turbine를 분리하기 어렵기 때문에 unit별로 교체해야 하는 문제점을 안고 있어 보수가 계획된 공정보다 흔히 지연되는 경우가 많다.

이들 tube의 손상으로 인한 물의 누설을 방지하기 위하여 정기 보수가 적용되는 비파괴시험법으로는 ET method가 주로 많이 이용된다.

내삽형 probe를 사용하여 tube의 내면에서 crack이나 pitting 등의 결함을 탐상한다. ET법은 일반적으로 표면 및 표면직하 결함탐상에 적용되며 재료의 conductivity, permeability 및 사용되는 frequency에 따라 표면으로부터 탐상 가능한 침투 깊이가 달라지게 된다.

Tube의 재질이 carbon steel의 경우에는 탐상 결과의 해석이 난해하기 때문에 특수하게 고안된 transducer를 tube 내면에 삽입하여 시험하는 UT법이 이용된다. 최근에 ferromagnetic material에 대한 ET시험장비가 개발되어 판매되고 있다.

2.3. Deaerators

발전소의 deaerator system은 보통 water storage tank와 deaerator로 구성되는데 deaerator는 수조 tank 상부에 설치된 작은 가압 tank를 지칭한다.

Deaerator는 가열 및 냉각용 순환수의 산소를 제거하는 기능을 갖고 있다. 특히 산소는 boiler나 turbine 등 주요 components에 부식을 가속화 시키는 경향이 있다. 과거에는 중요시하지 않았으나 최근에 와서 제지공업에서 deaerator의 catastrophic failure가 발생된 사례가 있어 발전소에서도 deaerator system에 대한 비파괴시험이 요구되고 있다.

Deaerator에 대한 비파괴시험법으로는 tank 내면에서 용접부위 nozzle reinforcement, inner radius

및 열이나 기계적인 응력이 집중되는 기타 부위에 대한 surface inspection method로 MT를 이용한다. MT method로는 arc strike를 방지하기 위하여 prod법은 적용하지 않고 yoke법으로 시험한다. Deaerator system에 대한 volumetric inspection의 경우에는 RT나 UT법을 이용한다.

2.4. Turbine rotor, generator rotor

발전용 turbine rotor나 generator rotor는 forging process에 의하여 제조한다. 제조시 voids나 non-metallic inclusion 등의 제조결함은 Fig. 2-A와 같이 중심에 집중하거나 산재하게 된다. 중심에 집중된 결함은 대개 70-125mm 또는 그 이상의 크기로 중심에 구멍을 파서 제거한다. 이렇게하여 만든 rotor를 bore rotor라고 한다.(Fig. 2-B)

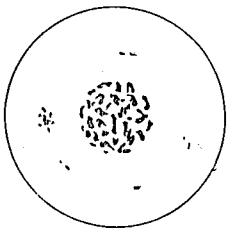


Fig. 2-A. Blind rotor.

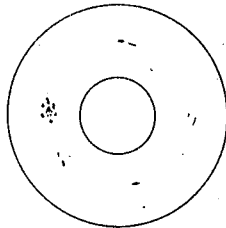


Fig. 2-B. Bore rotor.

2.4.1. Manufacturing inspection

Rotor shaft에 대한 결함 탐상은 rotor외부에서 UT로 시험하며, rotor 중심에 집중된 결함을 제거한 후 bore 내면에서 VT, MT 및 UT 시험을 병행

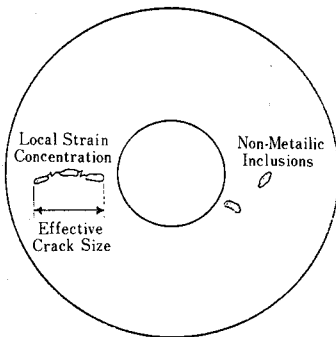


Fig. 3. Cracks caused by local strain concentration.

한다. 중심에 집중된 결함은 시험 결과 사용상 지장을 초래할 수 있는 큰 결함일 경우는 폐기하고 다시 제조하지만 voids나 non-metallic inclusions 등의 작은 flaws는 사용에 큰 지장을 초래하지 않으므로 그대로 사용한다. 제조시 발생된 작은 flaws는 사용중 장기간 동안 열이나 기계적인 응력이 가해지게 되므로 Fig. 3과 같이 local strain이 집중되어 crack으로 진전하게 된다.

2.4.2. In-service inspection

미국의 TVA Gallatin Unit #2의 사고사례등 steam turbine rotor의 손상으로 인하여 발전소가 가동 중지된 경우는 세계도처에서 발생되고 있다. 이러한 사고들은 예측하기가 아주 어려울 뿐만 아니라 대형사고를 야기하여 발전소의 수명 단축에 결

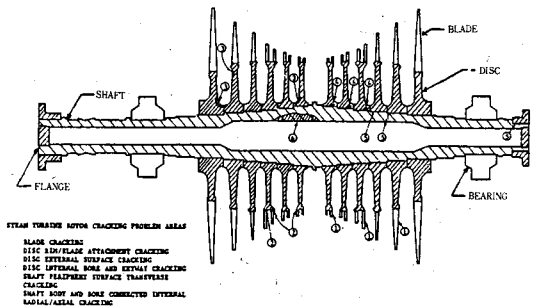


Fig. 4. Steam turbine rotor cracking problem area.

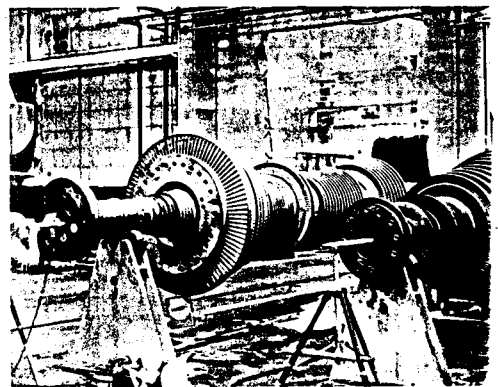


Fig. 5. Photograph of borescope being used to visually examine the bore of turbine rotor

정적 역할을 할 수 있다. 이러한 사고를 예방하기 위하여 turbine rotor에 대한 제작 검사 및 가동중 검사는 매우 중요시 되고 있다. Steam turbine rotor에서 crack의 발생으로 자주 문제가 되고 있는 부위와 turbine rotor를 구성하고 있는 각 부위의 명칭을 Fig. 4에 표시하였으며 turbine rotor bore inspection 장면을 Fig. 5에 각각 나타내었다. 모든 발전용 rotor는 다음의 경우 비파괴시험을 실시하여야 한다.

- ① 제조시 UT를 하지 않는 모든 rotor
- ② Inlet temperature가 482℃(900°F)이상으로 사용 개시 10년이 초과된 모든 rotor
- ③ 시험 결과 결함이 존재하고 있는 rotor로서 결함의 성장 여부를 점검할 필요가 있다고 판단되는 모든 rotor

2.4.2.1. 시험 방법

(1) Turbine rotor interior inspection

① Diameter측정

Rotor의 diameter측정에는 일반적으로 star gauge나 이와 유사한 gauge를 사용하여 bore 내면에 삽입하여 측정한다.

② Visual testing(VT)

Bore 내면 VT에는 특수하게 고안된 borescope로써 내면의 상태를 CCTV camera, video tape recorder 및 TV monitor를 이용하여 기록한다.

③ 자분탐상시험(MT)

Bore 내면의 표면 및 표면직하에 존재하는 crack-like indications 탐상하기 위하여 blind bore의 경우에는 yoke type의 자분탐상기를 사용하며 그외의 경우에는 yoke type를 사용하기도 하지만 일반적으로 중심 도체 (central conductor)를 사용한 MT method가 이용된다. 자분은 감도가 우수한 형광자분이 사용되며 black light를 borescope에 연결하여 나타난 indications을 관찰한다.

④ 초음파탐상시험(UT)

Bore내부에 transducer를 삽입하여 bore의 전 표면으로부터 내부에 존재하는 결함을 탐상한다. Rotor bore의 UT에는 2-3 channel의

ultrasonic flaw detector를 사용하여 수직(종파)45° 및 60° (횡파) transducers를 동시에 전진, 회전시켜 전내면을 scanning한다. Recordable indication은 CRT screen과 CCTV camera를 통하여 video tape recorder에 기록한다. 나타난 indication은 사용된 calibration block으로부터의 signal과 비교하여 분석한다. UT data를 분석하기 위하여 다음 인자들의 경향을 고려하여야 한다.

- Calibration reflector의 크기와 형태(SDH/FBH)
- Signal amplitude의 percentage (recording threshold)
- Scan increment
- 종파 및 횡파의 신뢰성

시험결과 사용상 지장을 초래할 수 있는 결함이라고 판단되면 기계가공 등으로 이 결함을 제거하여야 하는데 접근이 불가능하여 결함을 제거할 수 없거나 접근할 수 있다하더라도 구조적인 한계 때문에 제거할 수 없는 경우에는 일반적으로 rotor는 폐기 처리하거나 운전 부하를 낮추어 사용한다.

결함으로 인한 계속 사용 여부는 다음 사항을 고려하여 결정하여야 한다.

- 용접을 포함한 이력(cold start, load follower, base loaded, etc)
- 과거 운전 이력(cold start, load follower, base loaded, etc)
- Stress analysis
- 초기 시험 기록과 가동중 시험 기록(결함의 생성 및 성장)

(2) Turbine rotor exterior inspection

Rotor의 외부시험은 rotor body의 dimension check, body와 rotating parts에 대하여 비파괴시험을 실시한다.

① Dimension check

Rotor와 journal의 diameter를 측정한다.

② Body 및 rotating parts에 대한 비파괴시험

Rotor의 body의 형상이 복잡하고 blade를 제거하는데 장기간이 소요되기 때문에 UT는 적용하기 어렵다. Cable을 사용한 습식 형광 자분탐상 시험(MT)을 적용하는 것이 일반적인 시험방법이다. Rotating parts로는 journal 부위에 대한 마

모, 균열 여부를 점검한다.

2.5. Turbine blade

기력발전소에서 발전 중단의 주요 원인은 50% 이상이 turbine blade의 손상으로 손상의 원인으로는 corrosion, erosion, wear, 설계 잘못 및 제작 불량 등을 들 수 있으나 corrosion fatigue 및 stress corrosion cracking이 큰 비중을 차지하고 있는 것으로 알려지고 있다. Blade 손상의 특징으로는 blade에 발생하는 결함의 종류, 위치 및 빈도를 Table 2 및 Fig. 6에 나타내었다. Table 3에 나타난 바와같이 결함의 종류로서는 crack이 68.1%로써 가장 높은 빈도를 차지하고 있고 그 다음 erosion이 20%를 차지하고 있다. 결함이 가장 많이 발생하는 부위는 lashing wire를 벗어난 위치로부터 shroud를 포함하는 부위로 전체의 55%를 차지하고 있음을 볼 때 blade 점검시 이 부위를 특히 유의하여 점검할 필요가 있다. Turbine blade의 NDT method중 가장 널리 이용되는 방법은 MT이나 root section, attachment area는 적절히 자화를 할 수 없기 때문에 최근에는 point vector technique을 이용한 ET법이 다른 방법에 비하여 효과적으로 이용되고 있다. ET법은 blade에 발생된 fatigue crack, stress corrosion crack 등의 균열탐상에 타방법에 비하여 sensitivity가 우수하다.

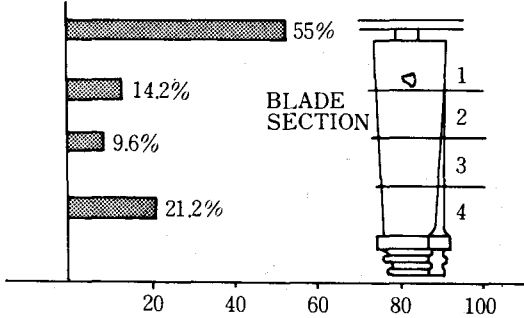


Fig. 6. Percentage of blade defects reported per section.

Table 3. NDT methods used for turbine blade:

NDT methods (%)						
Visual (VT)	Liquid Penetrant (PT)	Magnetic Particle (MT)	Eddy Current (ET)	Ultrasonics (UT)	Radiography (RT)	Other
45.80	13.8	35.7	14.	1.4	1.2	0.7

Turbine blade의 자분탐상시험에는 일반적으로 습식형광자분을 사용하며 자화 방법으로는 yoke법, draped coil법 및 저전류와 고전류를 사용하는 bucking field법이 적용되고 있다.

① Yoke법

철심에 coil을 감아서 자화하는 방법이며 감도는 매우 좋으나 검사 속도가 느리고 blade의 위치에 따라 시험이 불가능한 경우가 많다.

② Draped coil법

가장 널리 적용되고 있는 방법으로 coil의 직경에 따라 자장 강도가 달라지며 coil의 직경이 크게 되면 위치에 따라 자장의 분포가 크게 변화하므로 너무 큰 coil을 사용해서는 안된다. Draped coil법은 한번 자화하여 여러개의 blade를 시험하는 방법으로 coil간의 거리에 따라 적절한 자장 강도가 형성되어 있는가를 측정하여 시험을 하여야 한다.



Fig. 7. Yoke method of magnetic particle testing of turbine blade.

Table 2. Percentage of reported defect types and location of defects by area

Defect Types (%)					Location of Defects by Area (%)							
Cracks	Erosion	Loose Protective Strips	Pits	Other	Trailing Edge	Leading Edge	Shroud	Tenon	Platform	Blade Root	Disk Root	Lashing Tie Wire
68.1	20	3.64	4.16	3.98	12.7	22.9	11.67	19.85	4.38	11.38	2.33	14.74

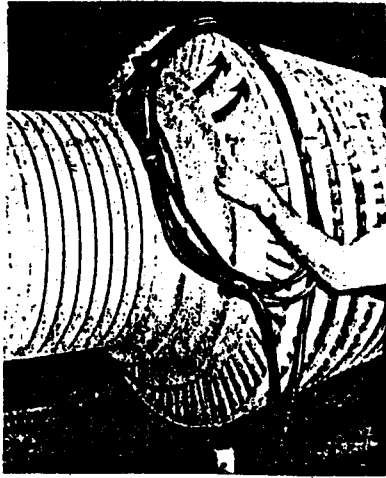


Fig. 8. Draped coil method of magnetic particle testing of turbine blade.

③ Bucking field method

Fig. 7과 같이 rotor에 서로 반대 방향으로 통전 cable을 설치하여 직류(DC)전류를 이용하여 blade에는 길이 방향으로 자장이 형성되도록 자화하는 방법이다. 이 경우에도 시험 부위에 따라 충분한 자장 강도가 형성되어 있는가를 측정해야 하며 test piece를 사용하여 지시의 선명도를 측정한 후 시험해야 한다. Blade의 자분탐상시험중 가장 간편하고 빠른 시험 방법이다.

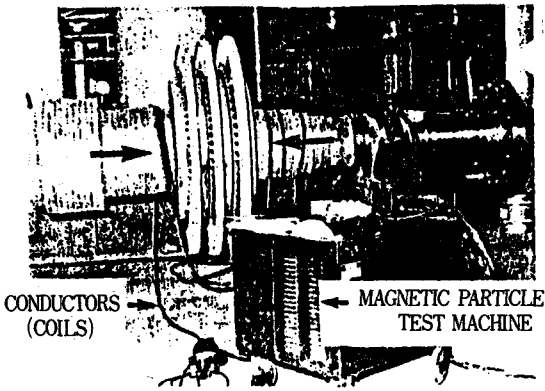


Fig. 9. Bucking field method of magnetic particle testing of turbine blade.

2.6. Turbine disc

저압 turbine disc의 균열 발생은 stress corrosion cracking, hydrogen induced cracking 및 corrosion fatigue 등이 주원인이며, 그중에서 stress corrosion cracking이 가장 많은 것으로 보고되고 있다. 저압 터빈의 균열은 거의 대부분이 입계균열이고 많은 branch를 가지며 그 orientation은 axial-radial 방향인 것이 특징이다.

Turbine disc의 rim이나 web 부위는 접근이 용이하기 때문에 MT나 PT로 탐상이 가능하나 hub이나 keyway, bore surface 부위는 disc를 rotor에서 분리하지 않는 한 접근이 불가능하기 때문에 초음파탐상시험에 의존할 수 밖에 없다.

이 부위에 대한 초음파탐상시험은 형상과 구조의 복잡성 때문에 시험 방법, 신호 해석 및 결함의 평가에 많은 어려움이 뒤따르고 있다.

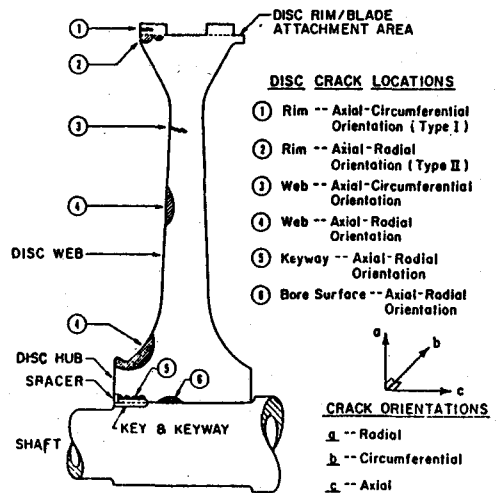


Fig. 10. Typical crack locations and orientations of LP turbine disc.

3. 수력발전 설비의 비파괴시험

수력발전소는 수압이 걸리는 casing이나, 입구 vane 등과 용력보다는 구조상 강성이 요구되는 상하 cover나 축수대 및 runner, shaft 같은 회전체와 수량을 조절하는 guide vane 등으로 구성된다.

수력발전 설비의 가동중 검사 주기는 일반적으로 10

년으로 주요 검사 부위는 형상 급변부, 고응력부 및 용접부로 주요 설비에 대한 비파괴시험 방법으로는 Table 4와 같다.

Table 4. Application of NDT methods to hydraulic power plant components.

대상품목	시험방법 재질	VT	UT	MT	PT	RT	WT
		Runner	PBC2	○			○
Shaft	SF55	○	○	○			○
Guide vane		○		○	○		
Speed ring		○		○			
Fly wheel		○	○				

3.1. Runner(회전차)

Shaft(축)과 runner(회전차) 같은 회전 부위에는 비틀림, 인장, bending, 충격 등 여러가지 응력이 걸리며 계속 반복 하중을 받기 때문에 피로 균열이 일어나기 쉽다. 특히 펠톤 수차 bucket의 선단부나 stem부, Kaplan 수차, 사류 수차 및 사류 펌프, 수차 blade의 stem부에는 피로파괴에 유의하여야 한다.

Runner는 주강을 주로 사용하며 주강인 경우에는 MT와 UT, 청동 주물이나 기타 비자성체인 재질일 경우에는 PT 및 UT로 결함을 선출한다.

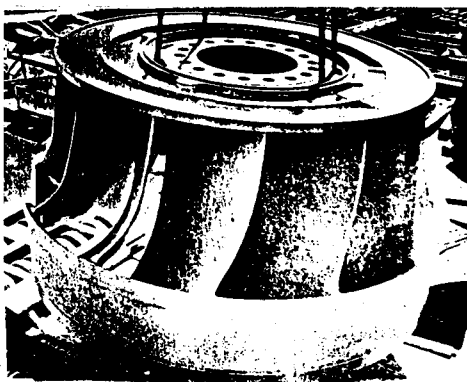


Fig. 11. Photograph of Francis runner.

3.2 Shaft (축)

축에는 종축과 횡축이 있으며, 종축에는 축이 찬

soild shaft와 blade의 각도 조정을 위하여 축이 빈 bored shaft가 있다. 축의 취약 부위는 flange의 R부와 runner와의 감합부, 볼트구멍 주변 등을 들 수 있으며 횡축의 경우에는 반복적인 bending stress가 계속 걸리므로 특히 단이 진 부위에 피로균열이 발생하기 쉽다. 표면이나 표층부의 결함은 MT법으로 쉽게 결함의 검출이 가능하며 내부결함은 UT법으로 탐상한다.

3.3. Speed ring (stay ring)

축과 generator 중간에 체결되어 있는 fly wheel과 같은 부위에는 형상 급변부나 key 홈 등에 균열이 발생할 가능성이 높다. 이러한 형태의 부위를 시험하는 방법으로는 축통전법이나 중심도체법, 전류유도법 등 여러가지 방법이 있으나, 고가의 전용시험 장비가 필요하므로 다소 시간이 많이 소요되더라도 현장에서 간편하게 시험할 수 있는 방법으로는 Prod나 Yoke 법을 이용한 자분탐상시험법이 효과적이다.

4. 결 론

가동중에 발생하는 결함은 가동시 설계 조건과 상이한 환경 등에 기인하며 방치할 경우 결함이 성장하여 파괴에 이르게 된다. 기력발전 설비중 steam turbine은 고온, 고압하에서 고속으로 회전하는 주요 component 로써 장기간 사용하는 동안 rotor, blade, disc 등의 부위에는 취화, 응력, 부식, 피로부식 등의 결함 발생 가능성이 높은 곳으로 이 부위는 형상과 구조의 복잡성 및 검사 기술의 미확립 등으로 인하여 검사 방법, 결함의 평가, 신호 해석 등에 많은 어려움을 안고있다.

현재 국내에서는 disc형 turbine인 고리 및 영광 원전 turbine에 대해 균열의 탐지 및 건전성 평가를 외국 기술에 의존하고 있는 실정으로 막대한 검사비용이 소요될 뿐만 아니라 다양한 기종의 설비를 보유하고 있는 국내 발전설비의 실정을 감안할 때 발전설비의 노후화, 고온, 고압화, 대용량화 및 장주기 운전에 대처하기 위해서는 결함 탐지 및 건전성 평가 등의 국내 기술 확립을 위한 많은 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고 문헌

1. 張洪根 外, 發電設備의 診斷技術開發(汽力), 한국전

- 력공사 기술연구원, (1985. 8)
2. Eugene R. Reinhart, The use of Nondestructive Testing in Fossil Plant Maintenance, (1984)
 3. Joseph. L. Mcparlan, How to Nondestructive Testing Aids Power Station Maintenance, (1958)
 4. Plant の 損傷事例 と 經年劣化 壽命豫測法, 總合技術 Center, (1984)
 5. 火力, 原子力 および 化學 アラト 機器, 構造材 の 經年劣化 と 壽命豫測 Realize Inc, (1994)
 6. Bruce M Jacobs, Gerald A. Lamping, Glenn M. Light, G.P. Singh Recent Developement in Turbine Rotor Examination Technology
 7. G.P.Singh, R.A.Cervantes, R.A.Spinks, Ultrasonic Nondestructive Testing Techique for the Examination of Low-Pressure Turbine Disc Rims.
 8. Nondestructive Evaluation of Steam Turbine Rotors, EPRI, NP 744, (1978)
 9. A.F. Armar, J/P.Porter, E.R/Reinhart, Inspection Techniques for the Detection of Corrosion Related Cracks in Steam Turbine Blades, (1982)
 10. 박대영 외, 터빈 Blade Root부 결함탐지 기술 개발, 한국전력공사 기술연구원, (1992. 8)
 11. 張洪根 外, 發電設備의 診斷技術開發(水力, 內燃力), 한국전력공사 기술연구원, (1986. 5)
 12. Kuniharu Uchida, Tatsuo Seguchi, Nondestructive Examination in life Assessment Technique for Hydraulic and Fossil Power Plant Components, JSNDI, Vol. 42, No.4.