

원전 터빈 발전기 비틀림 진동기준 국제표준규격(ISO 22266-1) 적용 사례 Application Case of ISO 22266-1 for Establishing the Torsional Vibration Criteria of a Nuclear Turbine Generator

정혁진† · 송우석* · 이혁순*

Hyuk-Jin Chung, Woo-Sok Song and Hyuk-Soon Lee

Key Words : Turbine Generator(터빈 발전기), Torsional Vibration(비틀림 진동), Separation Margin(분리여유)

ABSTRACT

ISO 22266-1 issued in May 2009 provides guidelines for applying shaft torsional vibration criteria, under normal operating conditions, for the coupled shaft system and long blades of a turbine generator set. In case that a turbine generator vendor do not meet the separation margin of torsional natural frequencies in the technical specifications of the purchaser, this standard can present the reasonable and objective criteria about torsional vibration which both purchaser and supplier can agree on, while ensuring the integrity of turbine generator. This paper describes the application case of ISO 22266-1 for the establishment of torsional vibration criteria under retrofitting the turbine generator of 'U' nuclear power plant.

1. 서 론

1970년대부터 미국 원전의 대형 증기터빈 블레이드와 발전기 축에 균열현상이 빈번히 발생되었으며 그 원인이 축계(Shaft System)의 비틀림 진동으로 인한 피로손상이라는 것이 밝혀졌다[1]. 비틀림 진동으로 인한 설비손상은 예측이 어렵고 발생 시 대형사고를 초래하므로 터빈 발전기 설계단계에서 전력계통 주파수(60Hz) 및 그 배수 주파수(120Hz)와 터빈 발전기 축계의 비틀림 고유주파수와와의 충분한 분리여유를 확보하는 것이 비틀림 진동으로 인한 설비손상을 막는 최선책이라 할 수 있다. 하지만 비틀림 고유주파수의 분리여유 기준 선정과정에서 터빈 발전기 발주자는 보수적인 분리여유를 제작사에게 요구하고, 제작사는 자체 설계기준 준수를 주장하여 계약 시 합의점을 찾기가 어려운 경우가 종종 발생한다. 2009년 5월 제정된 50MW 이상의 증기 및 가스터빈 발전기의 비틀림 진동에 대한 국제표준규격인 ISO 22266-1은 발주자와 제작사의 비틀림 고유주파수 분리여유 값을 설정하는 객관적인 기준이 될 수 있을 것이라 판단된다.

이 논문에서는 최근에 제정된 ISO 22266-1의 내용을 소개하고, 국내 'U' 원자력발전소의 저압터빈 및 발전기 설비개선 시 비틀림 고유주파수의 분리여유 기준을 설정하는데 이 규격을 적용한 사례에 대하여 논하고자 한다.

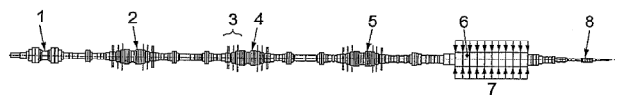
2. 본 론

2.1 ISO 22266-1 주요 내용

이 규격은 ISO 산하의 기계진동 및 충격(Mechanical Vibration and Shock)에 관한 규격을 다루는 기술위원회(Technical Committee, TC)인 TC 108 내 기계, 차량 및 구조물의 기계진동과 충격의 측정과 평가를 다루는 분과위원회(Sub-committee, SC)인 SC 2에서 제정하였다[2].

(1) 목적 및 적용범위

이 규격의 목적은 터빈 블레이드가 체결된 터빈발전기 전체 축계(그림 1 참조)에 대해 정상 운전조건에서 비틀림 진동 기준 적용에 관한 지침을 제공하는 것이며, 적용범위는 운전속도가 1,500/1,800rpm 및 3,000/3600rpm으로 발전용량이 50 MW 이상의 증기 및 가스터빈 발전기에 적용된다.



1: 고압터빈 로터, 2: 저압터빈 A 로터, 3: 블레이드, 4: 저압터빈 B 로터, 5: 저압터빈 C 로터, 6: 발전기 로터, 7: 가진 토크, 8: 여자기

그림 1. 일반적인 터빈/발전기 축계

(2) 비틀림 진동 고유주파수 분리여유 기준

이 규격에서는 블레이드를 포함한 전체 축계의 비틀림 진동 특성 평가와 관련하여 전력계통 주파수와 계산된 고유주파수 사이에 최대 주파수 분리여유 기준을 제시하고 있다. 그림 2에서 제시된 분리여유

† 교신저자; 한국수력원자력(주) 원자력발전기술원

E-mail : hjchung@khnp.co.kr

Tel : (042) 870-5675, Fax : (042) 870-5689

* 한국수력원자력(주) 원자력발전기술원

기준은 일반적인 지침이며 분리여유 설정치는 발주자와 제작자와의 계약 시 상호 협의 하에 결정된다.

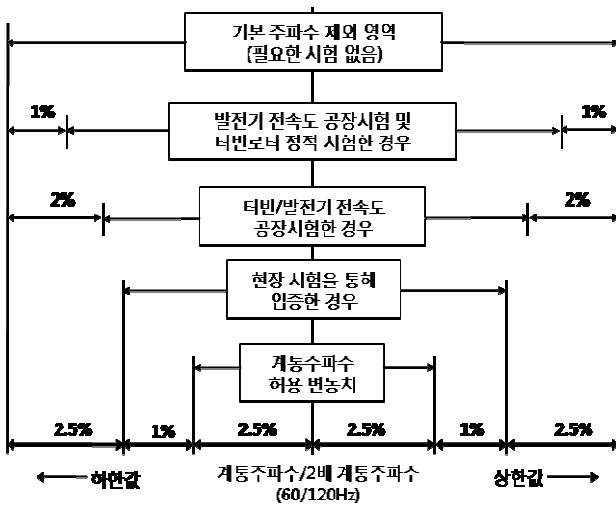


그림 2. 비틀림 고유주파수 분리여유 기준 [2]

2.2 국내 원전 터빈발전기에 ISO 22266-1 적용 사례

최근 국내 원자력발전소에서는 성능개선을 위해 터빈 및 발전기의 설비개선사업이 활발히 진행 중에 있다. 각 기기 공급자는 발주자의 기술규격서에서 제시된 규격을 만족하도록 제품을 설계, 제작하여 공급하여야 한다. 터빈 발전기의 비틀림 고유주파수의 분리기준이 발주자의 기술규격서의 한 조항으로 포함되어 있다.

이번 ‘U’ 원자력발전소의 저압터빈 및 발전기 설비개선사업과 관련하여 축계 비틀림 고유주파수의 분리여유 기준 설정 시 ISO 22266-1 을 적용한 사례에 대해 살펴보고자 한다.

(1) 국내 원자력발전소 터빈발전기 비틀림 진동

국내 원자력발전소 터빈 및 발전기 설비개선 시 비틀림 고유주파수 분리여유 기준은 표 1 과 같다. ‘U’ 원자력발전소의 경우 과거 운전이력을 바탕으로 유사발전소의 축계 비틀림 고유주파수의 분리여유 기준을 강화하여 계약을 체결하였다.

표 1. 원전 터빈발전기 설비개선 시 비틀림 고유주파수 분리여유 기준

구 분	기기	분리여유 기준	
		60Hz	120Hz
‘K’ 발전소	발전기	±5Hz	±5Hz
‘Y’ 발전소	고압터빈 발전기	±5Hz	±5Hz
‘U’ 발전소	저압터빈 발전기	±6Hz	±12Hz

(2) ‘U’ 발전소 비틀림 기준설정 타당성 검토

표 1 과 같이 ‘U’ 발전소의 120Hz 에서의 비틀림 고유주파수와 분리기준치가 다른 발전소에 비해 2 배 이상 차이가 나며, 터빈 발전기 제작사에서 이 기준을 만족시키기 위해서는 설비의 상당한 설계변경이 필요하다. 제작사에서 기술규격서의 분리여유

기준 설정 타당성 검토를 요청하여 각 터빈 발전기 제작사와 미국 전력연구원(EPRI)에서 제시하는 값[3] 을 조사한 결과(표 2 참조) ‘U’ 발전소의 120Hz 에서 비틀림 고유주파수 분리여유 기준이 일반적 산업계 기준보다 보수적으로 설정되어 있음을 알 수 있다.

표 2. 제작사 및 EPRI 비틀림 고유주파수 분리여유

구 분	분리여유 기준(계산값 기준)			
	‘A’社	‘B’社	‘C’社	EPRI
60Hz	±3Hz	±4Hz	±3.6Hz	±4Hz
120Hz	±6Hz	±5Hz	±7.2Hz	±4Hz

(3) ‘U’발전소 터빈발전기 비틀림 진동 개선방법
‘U’ 원자력발전소의 저압터빈과 발전기 설비개선을 위해 비틀림 진동해석을 수행한 결과 발전기 1 차 비틀림 고유주파수가 120Hz 에서 분리여유기준을 만족하지 못하는 결과가 나왔으며, 발전기 공급사에서 발전기 1 차 비틀림 모드 형상(그림 3 참조)을 검토한 후 해당 고유주파수를 하향 이격시키기 위해 발전기 로터의 권선 홈(Coil Slot)의 깊이를 변경하여 ISO 22266-1 에서 제시한 120Hz 에서 비틀림 고유주파수 분리기준인 ±7.2Hz 를 만족시켰다.

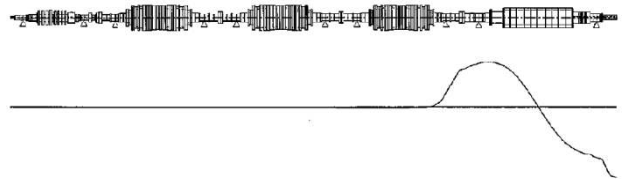


그림 3. 발전기 1 차 비틀림 모드형상

3. 결 론

그 동안 터빈발전기 축계의 비틀림 진동해석 분야는 각 제작사의 경험과 설계 개념에 따라 그 분리여유 설정 기준이 상이하여 설비 구매자의 기술규격서에 명시할 수 있는 객관적이고 합리적인 비틀림 고유주파수 분리여유 기준을 마련하는데 어려움이 있었다. 이번 ISO 22266-1 규격의 제정으로 터빈 발전기 축계의 비틀림 진동 기준에 대해 설비 구매자와 공급자 모두가 수긍할 수 있는 표준 규격이 제정되었다고 판단되며, ‘U’발전소의 비틀림 고유주파수 분리여유 기준을 설정하는데 이 규격을 적용하였다.

참 고 문 헌

(1) Na, S. S., Oh, B. Y., Lee, S. S. and Yoon, H. W., 2005, “A Study on the Coupled Shaft-torsional and Blade-bending Vibrations in the Flexible Rotor-coupling-blade System”, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering. Vol.15, No.9, pp. 1023~1029.

(2) ISO, 2009, Mechanical vibration - Torsional vibration of rotating machinery- Part 1: Land-based steam and gas turbine generator sets in excess of 50MW, ISO 22266-1.

(3) A. Grunsky, 2007, Turbine Generator Component Procurement Specifications, EPRI TR 1014729.