대한기계학회 2001년도 추계학술대회논문집 A pp. 495~500 KSME 01F082

IPB 덕트의 진동저감과 기초에 대한 동특성 고찰

양 경 현*, 조 철 환*

Investigating Dynamic Characteristics on Support Base for IPB Duct System and Reducing Vibration for IPB Duct

Yang Kyeong-Hyeon, Cho Chul-Hwan

Key Words: 상분리모선(IPB; Isolated Phase Bus), 가진력(Exciting Force), 유한요소(Finite Element), 진동형(Mode Shape)

Abstract

Because of resonance between natural frequency of the second floor base for IPB(Isolated Phase Bus) duct supports in a power plant and operation frequency of the turbine, there was high amplitude vibration on IPB duct.

To reduce vibration of IPB duct, Firstly it was set a FEM model to seek the mode shape for the concrete structure. Secondly, it was carried out dynamic analysis for the FEM model. Lastly, because the natural frequency of the concrete structure could not be changed, it was changed supports position for the IPB duct near to beams. It resulted in reducing vibration of IPB duct.

1. 서 론

에너지 관련 산업의 플랜트는 고용량화, 대형화를 추구하고 있다. 따라서 대형기기나 배관류 등을 설치하거나 지지함에 있어서 구조물과의 역학적인 관계는 매우 중요하다. 특히, 진동 측면에서 기기와 구조물과의 관계를 살펴보면 기기에서 발생한 가진력 혹은 진동의 영향이 구조물에 전달되어 다른 기기에도 영향을 크게 미치는 경우가 많이 발생하기 때문에 이에 대한 해석과 그 적용에 대한 충분한 논의가 필요하다.

본 논문에서는 소형발전소의 IPB duct를 지지하는 콘크리트 구조물에서 상당한 진동이 발생하고, 이것이 IPB duct를 비롯하여 주변의 기기에 진동의 영향을 미치기 때문에 안정적인 전력생산에 문제를 발생할 소지가 있어, 구조물에 대한 동특성 해석과 더불어 유한요소모델을 구축하여 주변 기기에 대한 진동저감을 위해 수행하였던 과정을 기술하고자 한다.

* 한전 전력연구원

2. 진동발생의 메카니즘

2.1 대상설비의 개요

IPB(Isolated Phase Bus) duct는 발전기로부터 저전압·대전류의 대전력을 주변압기로 전송시키는 매우 중요한 설비이다.

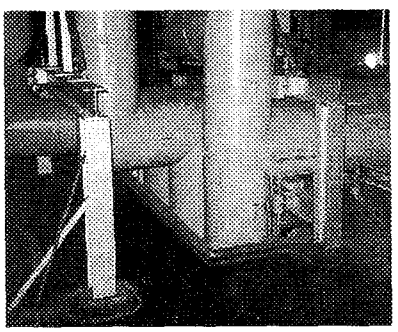

Fig. 1 IPB Duct

총 3개의 duct속에 각각 1개의 도체가 설치되어 있고, duct로부터 반경방향으로 지지되며, 내부는 공기로 절연되고 있다.

또한, 발전기로부터 연결된 IPB duct는 2층의 콘크리트 기초구조물에 지지되고, 여기서 L자 형태로 굴절되어 건물 외부로 연결되는 구조이다.

2.2 진동 측정 및 분석

IPB duct가 2층 구조물에서 지지되는 부위를 중심으로 상당한 진동이 발생되고 있었기 때문에 진동 특성을 파악하여 가진력의 성질을 먼저 알아보기로 하였다.

먼저 IPB duct의 지지부 주변에 대하여 Fig. 2와 같이 측정될 위치를 정하였다.

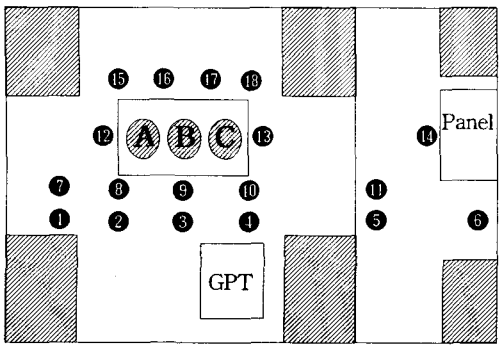

Fig. 2 Measuring Points

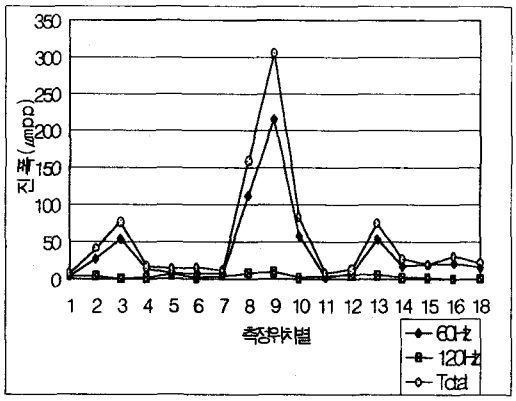

Fig. 3 Measurement Results

Fig. 3은 IPB duct 지지부 기초에 대한 진동측정 결과를 위치에 따른 진동성분별 진폭으로 나타낸 것이다. 진폭의 크기는 60Hz의 성분에서 대부분을 차지하고 있고, 특히 duct 지지점과 관련이 있는 '9'의 위치에서 60Hz 성분이 216㎛pp로 가장 높게 나타나고 있기 때문에 지지점 부근('8'~'10'의 위치)에서 IPB duct에 전달되는 진동의 영향을 아래와 같이 살펴보았다.

Table 1. Measuring results for IPB duct

진동특성 / 위치/방향		주파수별 60Hz	주파수별 120Hz	Total
IPB duct #A	X	23.8	1	35.36
	Y	48	5.2	69.01
	Z	50	6.8	71.56
IPB duct #A	X	26.8	0.8	38.75
	Y	88.2	5.4	126.15
	Z	35.2	2.2	50.35
IPB duct #A	X	21.4	2.4	36.77
	Y	69.2	4	98.43
	Z	21.4	2.4	36.77

< Unit : ㎛ p-p >

Table 1은 IPB duct 굴절부에서 방향별로 측정한 결과이다. 여기서, X는 터빈의 길이방향이고, Y는 지면과 평행하면서 X방향에 직각방향이고, Z는 지면에 대하여 수직한 방향을 의미하고 있다.

전체적으로 IPB duct의 진동상태 또한 매우 높게 나타나고 있었다. 일반적으로 IPB 시스템은 duct 자체 혹은 주변으로부터 진동의 영향으로 문제가 발생하였다는 사례가 거의 없었기 때문에 이번의 경우 적용할 만한 명확한 기준을 정하기 모호하였다. 그러나, 배관으로 구성된 duct계에 대하여 배관진동에 관한 기준치와 비교하는 것만으로도 50㎛pp/60Hz의 설계기준(ASME OM Part 3)을 초과하고 있었다.

앞에서 수행한 진동특성을 정리하면 주요 가진력은 60Hz성분이며, 3층의 터빈-발전기 시스템으로부터 구조물의 beam을 통해 가진력이 전달된 것으로 판단할 수 있다.

2.3 가진성분과 구조물과의 관계

터빈의 가진력이 콘크리트 구조물에 미치는 영향을 살펴보기 위해 진동측정 결좌중에서 최고의 진폭을 나타낸 위치(Fig. 2의 '9' 위치)에서 고유

진동수를 측정 분석하였다.

콘크리트 구조물의 고유진동수는 57.8Hz로 나타났으며, 이것은 터빈-발전기 시스템에서 발생되는 60Hz성분이 구조물의 고유특성과 근접하면서 높은 진동이 유발된 공진현상의 원인임을 알 수 있었다.

따라서, 정리해보면 콘크리트 구조물에서 발생하였던 높은 진동의 메카니즘은 다음과 같이 정리할 수 있다. 구조물의 beam을 통해 터빈-발전기의 가진력이 전달되어 IPB duct 지지부 기초를 가진하게 되었고, 이 때 구조물의 고유특성이 가진력 성분과 근접하여 높은 진동을 유발하게 된 공진현상이었다.

3. 유한요소 모델구축 및 동특성 고찰

3.1 유한요소 모델구축

Fig. 2는 2층 바닥에 대한 평면도이다. 이것을 기반으로 실제적용을 위한 유한요소 모델을 구축하였고, 일반적인 콘크리트 구조물의 조건을 모델에 적용하였다. 완성된 모델은 Fig. 4와 같다.

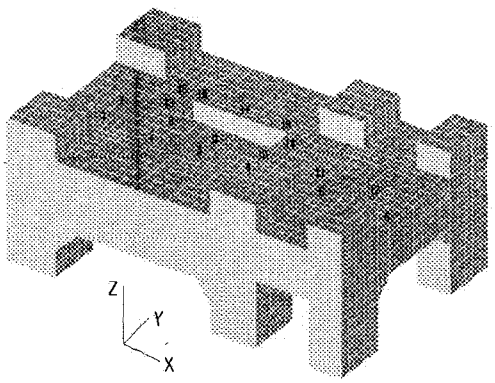

Fig. 4 Finite element model for the second floor base

3.2 기초모델의 동특성 고찰

기초모델의 mode를 해석하여 그 결과를 통해 현장 조건에 맞도록 기초의 변형없이 고유진동수를 현재보다 낮추기 위해 지지점 위치를 변경시켜가면서 최적의 위치를 설정하기로 하였다.

3.2.1 진동형 분석

실제 현장에서의 고유진동수 측정결과와 비교를 위해 고유진동수와 진동형을 분석하였다.

해석결과는 Fig. 5에서와 같이 57.5Hz 성분의 진동형이 나타났으며, 이것은 현장에서 측정하였던 57.8Hz의 고유진동수와 거의 일치하는 것이었다. 또한 진동형을 살펴보면 모드가 2층 바닥의 중앙부위에서만 거동하는 것을 알 수 있다. 따라서, 중앙부 콘크리트 구조 변경에 의한 고유진동수 변경방법이나 IPB duct 지지부에 전달되는 진동을 차단함으로써 진동에 의한 영향을 최소화하는 방안 등이 있겠다.

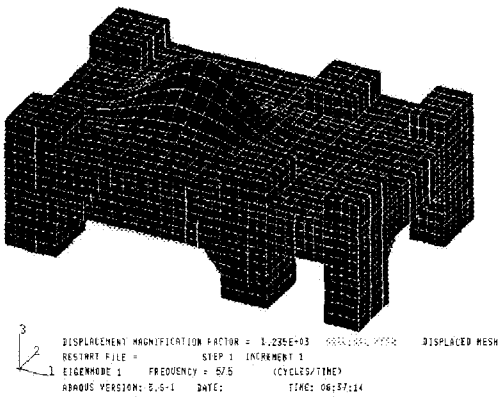

Fig. 5 Mode shape of the finite element model

3.2.2 기초의 고유진동수 변경에 대한 고려

기초의 고유진동수를 변경하는 것이 공진현상을 제거하는데 가장 효과적인 방안이므로 다음과 같이 시험을 실시하였다.

현장조건에 맞추어 구조물을 변형시키지 않으면서, 고유진동수를 낮추는 방안으로 지지점에 대한 하중을 고려하여 지지점의 위치를 이동시켜줌으로써 구조물의 고유진동수 변화 여부를 관찰하기로 하였다.

Fig 6은 기존의 IPB duct의 지지부에 대한 위치를 표시한 그림이고, Fig. 7은 여러번의 시험끝에 고유진동수의 변화를 가장 크게 가져온 상태의 지지점 위치를 나타낸 것이다. 그러나 그 변화는 너무 미미하여 0.5Hz 정도의 변화였기 때문에 기초의 변형없이 고유진동수를 낮추는 것은 불가능 하였다. 근본적으로는 구조물의 질량부가방법이나 beam의 추가설치로 강성증가 방법을

통해 고유진동수를 변경시키는 방안이 있겠으나 현장 여건상 불가능한 방안이었다.

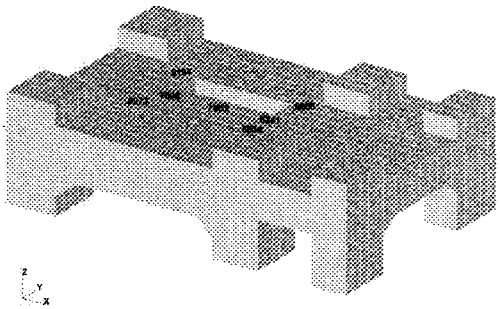

Fig. 6 Supports position

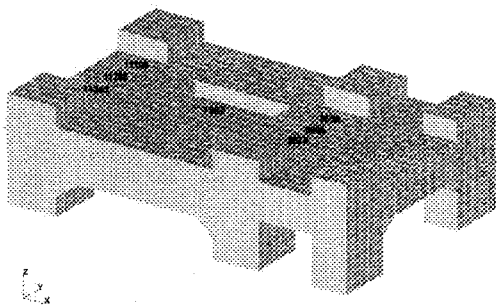

Fig. 7 Modified position for supports

3.2.3 지지부 변경전·후의 가진력에 대한 응답성

기초모델의 beam 주변에 60Hz의 가진력을 변화시켜가며 Fig. 6과 Fig. 7에 표시된 각각의 위치에서 상하방향으로 변위의 거동을 살펴보았다. 앞에서 수행하였던 모드해석 결과에서 나왔듯이 구석의 beam에 가까울수록 진폭의 크기는 상당히 줄어드는 경향을 보였다. 따라서 IPB duct의 지지점을 변경하여 진동전달을 최소화하는 것이 문제해결을 위해 가장 접근할 수 있다는 결론을 얻었다.

3.3 개선작업을 위한 방안 설정 및 수행

3.3.1 개선작업을 위한 방안 설정

앞에서 수행하였던 고유진동수 변경에 대한 시도는 실제 개선작업에서는 적용할 수 없게 되었기 때문에 IPB duct에 대한 진동저감만을 고려하면 지지점 변경의 방안과 지지점을 방진하는 방안으로 압축할 수 있다. 발전소 현장에서 요구하는 신속성과 경제성을 고려할 때 지지점 변경방법이 좀 더 합리적이라는 결론을 내려 개선작업을 수행하게 되었다.

3.3.2 개선작업 수행내용

Fig. 8은 기초모델에서 지지부의 변경전·후로 설정하였던 위치를 같이 표시하고 있고, Fig. 9는 IPB duct를 지지하는 beam의 개선전·후를 같이 표시하고 있는 그림이다. 상부지지점(●)은 기존의 모양을 그대로 유지하면서 개선위치로 옮기고, 기초는 Anchoring을 실시하였다. 그리고 하부의 지지점(1층 천장 : Surge Absorber부위;◎)도 기존의 모양을 유지하면서 위치를 변경하였고, 발전기 수소 배관이 간섭받지 않도록 Beam을 추가로 설치하였으며, 기존의 beam보다 두께가 2배이면서 크기는 같은 규격으로 설치하였다.

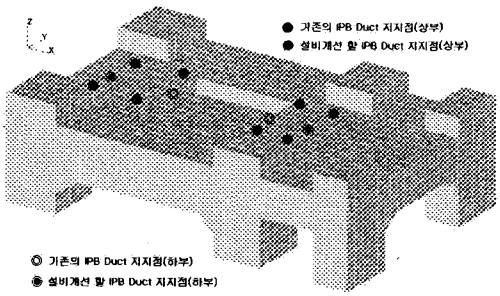

Fig. 8 Comparison the position of the old model with the position of the modified model

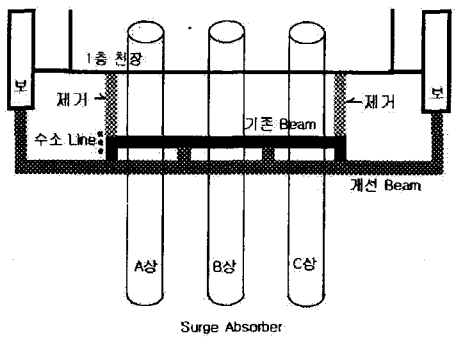

Fig. 9 Modification for IPB duct support

3.4 개선 결과

지지부의 개선결과 Table 2에서 나타난 것처럼 IPB Duct의 진동은 지지점 이동에 의해 현저히 감소하였다

Table 2. Measruing results of IPB duct

Phase	A		B		C		비 고
개선 방향	전	후	전	후	전	후	
X	23.8	19.6	26.8	10.4	21.4	8.7	터빈축 직각
Y	48	29.7	88.2	30	69.2	18	터빈축 평행
Z	50	8.0	35.2	13.4	21.4	11.1	상하

< 단위 : μm-pp >

그러나 변경전 지지부의 기초에 대한 진동 측정결과는 Table 3과 같이 효과가 미미한 수준이었다. 현장의 여건이 기초를 변형시킬 수 있는 조건이었다면 고유진동수를 낮추어 기초의 진동상태까지도 저감하는 것이 가장 이상적인 방법이었으나, 본 논문의 수행목적에 비추어 IPB duct의 진동을 기준치(배관진동에 대한 설계기준치 : 50μmpp/60Hz) 이내로 완전히 낮출 수 있었던 것으로 만족해야 했다.

Table 3. Measuring results of the second base

측정위치	8	9	10
개선전진동값	159.52	305.47	83.16
개선후	134	297	79

< 단위: μm-pp >

개선작업 이후, 기초의 고유진동수 변화를 정확히 측정하기 위하여 터빈-발전기의 기동운전부터 정상운전까지 운전속도에 대한 진동의 경향을 살펴보았다(Fig. 10). 그 결과 고유진동수는 기초의 고유진동수가 3455rpm과 3675rpm의 두 곳에 존재하고 있었고, 진동이 상승하는 구간은 3250rpm ~ 3750rpm이므로 고유진동수를 저감시키기 위해서는 3200rpm(53.3Hz)이하로 감소시켜야 한다는 결론을 얻었다.

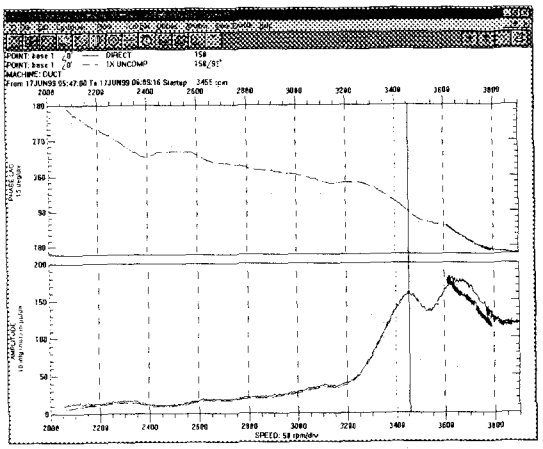

Fig. 10 vibration trend from start operation to normal operation

4. 결론

본 논문에서는 IPB duct의 지지부 기초에서 공진이 발생하여 IPB duct가 높은 진동이 발생하는 원인이 되고있기 때문에 이를 최소화하기 위하여 수행하였던 과정을 논술하였다. IPB duct 지지부에 대한 실제 현장과 유한요소 모델을 통한 동특성 해석수행, 이를 참고로 개선방안을 수립하여 IPB duct의 진동을 안정적인 범위로 저감시킬 수 있었다. 다만 콘크리트 구조물은 자체의 고유진동수를 변경시키기에 현장의 여건과 맞지않아 가진력을 줄이는 정도까지 개선의 노력을 기울였다.

위의 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 구조물과의 공진현상은 주변에 설치되어 있는 기기에 진동의 영향을 미쳐 안정적인 운전에 장애로 작용하게 되므로 이것을 최소화 하기 위해서는 구조물 자체의 구조변경이 어려울 경우 가진력의 경로와 기초의 진동형을 파악하여 최소지점으로 지지점을 변경하게 되면 진동의 영향이 상당히 감소하는 효과를 가져온다.

(2) 진동을 저감시킨다는 개념에서 위에서 사용되었던 것처럼 지지점 변경 방법과 방진의 방법

은 현장의 조건과 경제성을 고려하여 선택할 때 최적의 결과를 가져올 수 있다.

(3) 유한요소 해석을 위해서는 경계조건과 초기 조건에 대한 입력이 실제와 가깝게 될수록 결과에 대한 기대치가 높아지게 된다. 그러나 현장의 조건이 간단한 경우는 매우 드물기 때문에 입력의 단순화로 인해 오차가 발생하므로 실험적인 방법과 병행하는 것이 수행하는 것이 바람직하다.

(3) 구조물의 기초와 같이 비교적 질량이 큰 구조물의 고유진동수를 변경시키기 위해서는 강성부가 방법보다 질량부가 방법이 좀 더 확실한 효과를 얻을 수 있다.

참고문헌

(1) R. B. Randall, B. Tech. B. A., 1987, "Transient Analysis", Frequency Analysis, pp.185-210

(2) Cyril M. Harris, 1987, "Experimental Modal Analysis", Shock Vibration, pp. 21-1~34

(3) Daniel J. Inman, 1994, "Virbration Testing, Experimental Modal Analysis", Engineering Vibration, pp. 469-512

(4) Joseph E. Bowles, 1985, "Design of Foundations for Vibration Control", Foundation Analysis and Design, pp. 732~763