

<논 문>

수직형 다단축의 축 정렬 오프셋 자동 측정시스템 개발

A Study on the Development of Automatic Measuring System on the Alignment Offset of the Vertical Multistage Shaft

박 호 철* · 김 문 영** · 이 현***

H. C. Park, M. Y. Kim and H. Lee

(1998년 6월 9일 접수 : 1998년 9월 15일 심사완료)

Key Words : Automatic Alignment Offset Measuring System(축 정렬 오프셋 자동 측정시스템), Hydraulic Pump Turbine(수차), Multi-Stage Shaft(다단축), Data Acquisition Devices(데이터 취득장치)

ABSTRACT

This paper presents the automatic alignment measuring system for improving the accuracy and working time of alignment of large vertical hydraulic pump turbine. It is general practice that rotating shaft should run within acceptable vibration limit. In order to obtain better run-out data of multi-stage rotor, careful and accurate alignment approach must be established. Generally, present alignment procedure are required several iterative works and so many manpower. Therefore, the new system has been developed using a vector calculation algorithm, laser sensor and data acquisition devices. As a result of applying to actual machines, it is confirmed that manpower is saved up to an average 90%.

기 호 설 명

$\vec{a}_{①}$: CH 1에서 측정된 단위벡터
 $|\vec{c}|$: 인접축의 최대 편심량(mm)
 $|\vec{d}|$: 최대 편심량
 d : 발전기 상부축 반경(mm)
 d' : 커플링 볼트구멍의 중심반경(mm)
 $L(L)$: 기준 위치로부터 링-키이의 가공할 위치
 (조정하여야 할 볼트의 위치 : mm)
 $\vec{v}_{①}$: ①번 방향의 벡터
 $\vec{V}_{①}$: ①방향으로 기울어진 대각선 방향의

합성벡터

x : 링-키이 가공량
 x' : 커플링 볼트 조임량
 y : 링-키이 상면에서 하부 측정점 까지의
 거리(mm)
 y' : 인접축의 양쪽 커플링 거리(mm)
 θ : 회전각도 (°)

1. 서 론

여러 개의 축으로 연결되어 이루어진 수력발전소의 수차, 화력 및 원자력 발전소의 스팀터빈, 복합화력의 가스터빈 등의 축은 대형 축으로 연결되어 회전력이 전달된다. 이러한 축은 가공상의 문제로 여러 개의 단으로 제작하여, 커플링으로 연결되어 있는 다단 축으

* 한전기공주식회사

** 정회원, 한전기공주식회사 기술개발실

*** 정회원, 전력연구원 수화력발전연구실

로 되어있다. 다단축의 축 정열 방법은 크게 2가지로 구분할 수 있다. 그 하나는 축 자체가 대형이어서 자중이 크고 저속 회전하는 수력발전용 발전기의 수직 축 정열이 있고, 다른 하나는 회전수가 빠른 화력, 원자력발전소의 수평 축 정열이 있다. 다단 축은 연결상태에 따라 운전 중 진동, 베어링 부위의 온도 상승 등으로 인하여 설비 수명이 짧아질 수 있으며, 과도한 축 진동의 경우에는 설비 손상의 원인이 되기도 한다. 이러한 축 진동을 방지하기 위하여 축 정열 시에는 런-아웃 측정 및 조정 작업을 수행하여 각각의 축 중심선을 일직선으로 맞추는 작업을 반복한다.

발전설비의 축 정열 작업은 계획예방정비기간에 필수적으로 수행되는 부분으로, 축의 런-아웃 측정결과에 따라 조정하여 축 진동이 허용기준치 이내에 들도록 하여야 한다. 이러한 수력축의 축 진동의 허용치는 제작사별로 다소 차이가 있으나, VDI 7919/5(수력기계)의 규정에 의하여 회전속도 N에 대해 $1/\sqrt{N}$ 에 비례한다.⁽¹⁾

다단으로 조립된 각 단의 축은 일직선에 대하여 360°의 어느 방향으로도 벗어날 수 있다. 따라서, 수차 축 중에서도 연결 부위가 많은 양수발전기의 경우 종합적인 측정 및 조정작업이 복잡해진다. 일반적으로 런-아웃 측정방식은 먼저 축 원주를 8 등분하여 동일각도(45°마다)의 각 단에 다이얼게이지를 설치한다. 그리고 축이 저속 회전되고 있는 동안 다이얼게이지의 눈금을 수 신호(호각 또는 부자)에 의해 육안으로 읽어서 지정 양식에 값을 기록한다. 이 값의 벡터를 계산하

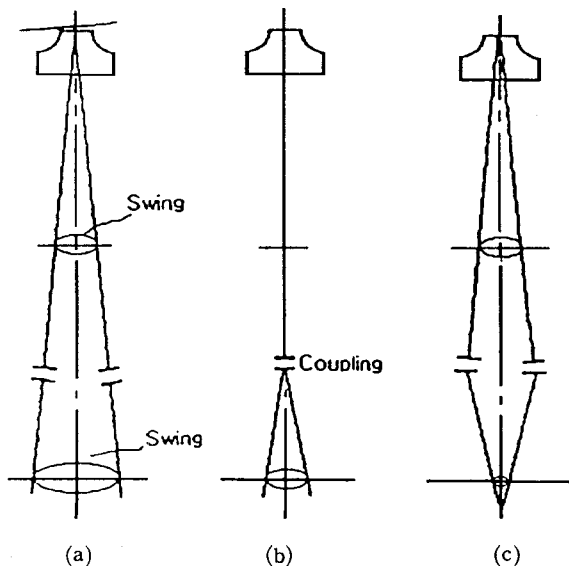
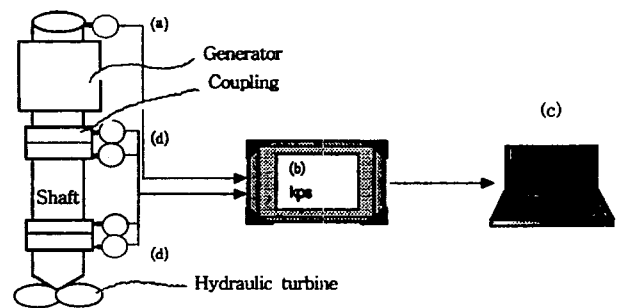


Fig. 1 Misalignment types of vertical shaft

여, 각 단의 위치가 어느 크기 및 각도로 편심 되어있는지를 판단하며, 그 값에 따라 축 조정작업을 수행한다. 축 교정작업에는 단동축(single stage shaft)의 고정체에 대하여 수직도 작업을 수행한 후 인접축을 조립해 나간다. 인접축 조립에서는 런-아웃 측정 결과에 의한 미세 어긋남에 대해서는 커플링볼트 조임량으로 커플링 면을 조정할 수 있으며 두 축 이상의 중심선이 일치하기 위해서는 커플링 면(face)이 평행하고 커플링 원주(rim)가 일치^(2,3)하여야 한다. 이 둘 커플링 원주의 높이 차 즉, 림 오프셋(rim offset)으로 부터 축 정열 상태를 판단하고, 이에 따라 각 단의 축을 상하, 좌우로 이동하여 축 정열을 하게된다.

Fig. 1에서는 수직축에서 축 정열 불량상태를 나타낸 것으로 (a)는 단동축의 수직도 작업이 제대로 되어있지 않았을 때에 발생하는 것으로 실제 현장에서 중요시하는 부분이다. (b)는 연결 커플링이 불량한 상태이고, (c)는 상부가이드와 연결 커플링 모두가 불량 정열된 형태를 보여주고 있다.⁽⁶⁾ 양수발전기의 경우, 축 정열 작업순서는 우선적으로 단동축의 수직도를 조정해 놓고 인접축을 단계적으로 조립, 측정 및 조정의 반복 작업과정을 거친 후 전체축 정열을 수행한다. 축 정열 작업에서 기본이 되는 이 수직도 측정, 조정 및 계산방식이 기계적 특성에 따라 다소 차이가 있으나, 근본원리는 비슷하다.

국내의 경우 단동축의 수직도 조정방법에는 링-키(ring-key)를 가공하여 조정하는 방법과 스러스트 베어링(thrust bearing) 하부 shim의 높이를 조정하여 단동축 정열을 하는 2가지 방식이 있으며 전체 축 정열 완료 후, 런-아웃 허용기준치는 4/100~5/100 mm이내⁽⁴⁻⁶⁾로 관리되어지고 있다. 이와 같은 런-아웃 측정의 동일 반복작업에 다수의 인력(측정위



- (a) Automatic angle divider for shaft
- (b) Interface device
- (c) Note book computer
- (d) Digital dial gauge

Fig. 2 General diagram of run-out measuring system

치마다 2명)이 필요하고, 데이터 취득시 인적오차, 벡터의 계산 및 작도에 따른 번거로움을 가지고 있다. 또한 계산상에서 발생하는 오차 및 인적실수로 작업기간이 지연될 수 있다.

이러한 문제 해결을 위하여, 본 논문에서는 Fig. 2와 같은 오프셋 데이터를 자동으로 취득하는 장치를 개발하였고, 벡터에 대한 계산과정의 이론적 해석과 그래픽을 처리하는 시스템을 구축하였으며, 데이터 취득위치의 신호전달에 따른 문제점을 해소하고자 자동으로 각도를 분할 할 수 있는 런-아웃 측정기법을 개발하였다.

2. 런-아웃 측정 및 축 정렬 방법

2.1 단동 축 정렬(링-키) 가공 조정에 의한 기준 축 정렬

Fig. 3은 단동축의 런-아웃 측정 및 조정에 의한 수직도 작업 나타낸 것이다.

그림과 같이 2개(CH 1: 링-키 부근의 상부베어

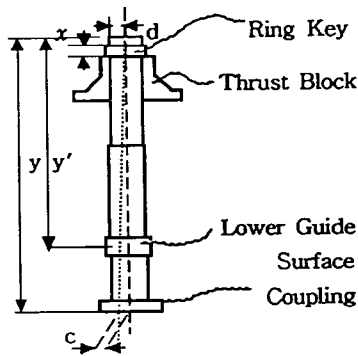


Fig. 3 Single shaft alignment for the Chungpyoung hydraulic storage power plant

링, CH 2: 하단부 커플링)의 다이얼게이지를 걸고 측정하면 Table 1과 같은 데이터가 취득되며, Table 2와 같은 벡터 성분으로 나타난다. 런-아웃 측정은 축 원주를 8등분한 동일각도에 설치된 다이얼게이지로 여러번 반복 측정하여 평균치로 계산한다.

일 예로서, CH 1과 CH 2의 다이얼게이지를 통하여 취득된 런-아웃 측정 데이터가 Table 1에 나타나 있다. Table 1의 자료를 기본으로 0° ~ 180°, 45° ~ 225°, 90° ~ 270°, 135° ~ 315° 방향의 기울기 정도를 계산할 수 있으며, 0° ~ 180° 방향에서의 합성벡터 $\vec{V}_{\text{①}}$ 는 $\vec{a}_{\text{①}}$ 을 ①번 방향벡터, $\vec{a}_{\text{⑤}}$ 을 ⑤번 방향벡터 라고 하면 식 (1)과 같이 된다.

$$\vec{V}_{\text{①}} = \frac{\vec{a}_{\text{①}} - \vec{a}_{\text{⑤}}}{2} \quad (1)$$

여기서 $\vec{V}_{\text{①}} > 0$ 면 0° 방향으로, $\vec{V}_{\text{①}} < 0$ 면 180° 쪽으로 기울어져 있다. 마찬가지로 방법으로 각 각도에서 벡터계산을 수행하면 Table 2와 같다.

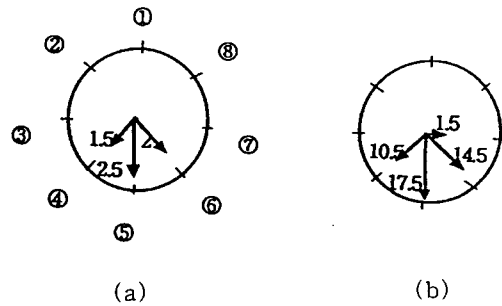


Fig. 4 The result of the vector acquired data through CH 1 and CH 2

Table 1 Run-out data acquired through CH 1 and CH 2

Angle(°)	0	45	90	135	180	225	227	315
CH 1 (mm)	11	12	14	15	16	16	14	12
CH 2 (mm)	10	15	27	40	45	44	30	19

**CH 1: Channel 1 (Digital dial gauge No. 1), CH 2: Channel 2 (Digital dial gauge No. 2)

Table 2 The result of vector calculated

Dial gauge No. vector direction	CH 1	CH 2
0° ~ 180°	11~16 / 2 = -2.5	10~45 / 2 = -17.5
45° ~ 225°	12~16 / 2 = - 2	15~44 / 2 = -14.5
90° ~ 270°	14~14 / 2 = 0	27~30 / 2 = - 1.5
135° ~ 315°	15~12 / 2 = 1.5	40~19 / 2 = 10.5

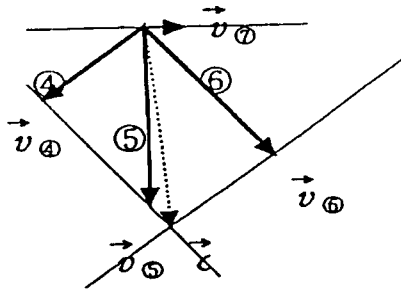


Fig. 5 The sum of vectors for CH 1 and CH 2

위 벡터성분을 다시 원주 좌표계로 그리면 Fig 4와 같은 벡터의 방향과 크기가 나타난다.

이 축의 런-아웃은 Fig. 2에서 상부(CH 1) 다이얼게이지의 벡터성분을 고정체 센터링 기준점으로 하여, 하부(CH 2)다이얼게이지의 최대 편심량으로 나타내어지고 있기 때문에, 상 하부측의 다이얼게이지의 벡터성분을 합성하여 계산하면 벡터성분은 Fig. 5와 같은 합성벡터가 된다.

이 중에서 가장 적은 벡터 \vec{v}_8 은 다른 벡터에 비하여 굉장히 적기 때문에 무시한다. 나머지 3개의 벡터 중에서 가장 큰 벡터 \vec{v}_6 를 기준으로 양쪽의 벡터 \vec{v}_4 , \vec{v}_5 를 합성하여 \vec{c} 를 구한다.

위 합성벡터 \vec{c} 와 \vec{v}_6 의 두 벡터를 비교하여 큰 쪽의 벡터를 링-키 가공에 사용되는 최대 편심량의 값으로 사용한다(여기서 합성벡터는 \vec{c} 가 \vec{v}_6 보다 크기 때문에 기준벡터로 사용한다). Fig. 3에서 최대 편심량은 식 (2)와 같이 구한다.

$$x = \frac{|\vec{c}| \times d}{y} \times 1000 \quad (2)$$

여기서 x : 링-키 가공량(μm), $|\vec{c}|$: 합성벡터(최대 편심량: mm), y : 링-키 상면에서 하부 측정 점까지의 거리(mm), d : 상부축 반경(mm)을 나타낸다.

식 (2)의 결과를 이용하여 링-키를 가공하면, 최대 편심량이 이동하여, 런-아웃 측정치가 허용치 이내로 들어오나, 우선적으로 가공위치를 찾아야 한다.

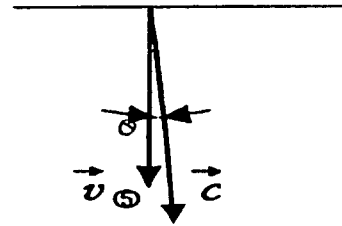


Fig. 6 The direction of composition vector

Fig 6에서 \vec{v}_6 가 \vec{c} 방향으로 θ 만큼 이동되어져 있다. 기준벡터, \vec{v}_6 로 부터 \vec{c} 의 이동각도는 식 (3)과 같이 구한다.

$$\cos \theta = \frac{\vec{v}_6 \cdot \vec{c}}{|\vec{v}_6| |\vec{c}|} \quad (3)$$

여기서, θ 는 합성벡터 \vec{c} 가 기준벡터 \vec{v}_6 로 부터 떨어진 각도이며, \vec{v}_6 는 기준 벡터이다. 식 (3)에서 계산된 각도를 원주거리로 나타내야 정확한 작업 방향을 찾기가 편리하다. 이를 위하여 라디안(radian)으로 다시 계산하면 식 (4)와 같이 된다⁽⁷⁾.

$$L = \frac{\pi \times d \times \theta}{180} \quad (4)$$

여기서 L은 링-키의 가공할 위치를 나타낸 것으로 기준 벡터로부터 반 시계 방향으로 축 원주 외경의 거리를 나타낸 것이다.

결론적으로 런-아웃 측정 후 식 (2)의 가공량을 기준벡터 \vec{v}_6 로 부터 반 시계방향으로 식 (4)의 결과만큼 떨어진 거리를 가공하면 된다. 이때 가공부위를 중심으로 양쪽 반경 방향으로 점차로 적은량을 가공하여 삽입되는 면 전체가 축 삽입 면에 고르게 접촉될 수 있도록 가공되어져야 한다.

일 예로서 현장의 다이얼게이지(CH 1, CH 2)에서 얻은 데이터가 Table 1과 같은 경우에 링-키 가공량과 벡터의 방향을 계산하면 Table 3의 결과와 같다(단 여기서 $y=9,100$ mm, $d=504$ mm이다).

이 결과치로 부터 ⑤번 방향의 벡터, \vec{v}_5 로 부터

Table 3 Grinding position and vector for ring-key on single stage shaft

Amount of the vector (\vec{c})	Direction of vector (Counter clock wise)		The amount of Ring-key grinding(μm)
	Angle° (θ)	Radian	
0.154 mm	13	61.2	28.4

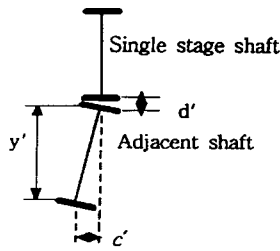


Fig. 7 Alignment for an adjacent shaft

반 시계 방향으로 61.2 mm 떨어진 곳을 28.4 μm 만큼 가공하면, 런-아웃치가 허용기준치 이내로 들어가게 됨을 알 수 있다.

2.2 인접축 조립 및 축 정렬

Fig. 7은 단동축(기준축)의 수직도 작업이 완료된 후, 인접축의 축 정렬 불량상태를 나타낸 것이다.

단동축에 인접축을 연결하여 커플링 볼트로 정격 토크의 90%⁽⁶⁾로 조인다. 각 커플링의 런-아웃치를 측정 후 단동축의 링-키 가공량을 구한 것과 마찬가지로 식 (5), (6)을 이용하여 커플링 볼트 조임량 및 조임 위치를 계산할 수 있다.

$$x' = \frac{|\vec{c}'| \times d'}{y'} \quad (5)$$

$$L' = \frac{\pi \times d' \times \theta}{180^\circ} \quad (6)$$

여기서 $|\vec{c}'|$ 은 인접축의 최대 편심량(mm), d' 은 커플링반경(mm), y' 은 상 하부 커플링 사이의 거리(mm)를 나타낸다. 위 두 식의 계산에 의한 조임량 및 볼트위치를 선정하여 정격 토크의 110%⁽⁶⁾ 범위에서 더 조여주어 c' 를 조정, 런-아웃 측정의 반복작업으로 전체 축 정렬결과가 허용 범위내에 있도록 조정한다. 만약 최대 정격 토크에서 조정이 안 될 경우 링-키 가공방식과 같은 방법으로 1차 커플링 표면을 가공한 후 볼트 조임 작업을 수행한다.

2.3 종합 축 정렬

앞 절에서 서술된 작업을 반복하여 축을 전체적으로 조립해 나간다. 전체 조립작업이 완료 된 후, 런-아웃 측정치가 제작사 허용치기준치인 4/100~5/100 mm^(4~6) 범위 내에서 운전되어야 한다.

3. 자동 런-아웃 측정시스템 구성

Fig. 1 에서와 같이 장치 구성도는 크게 ㉠각도분

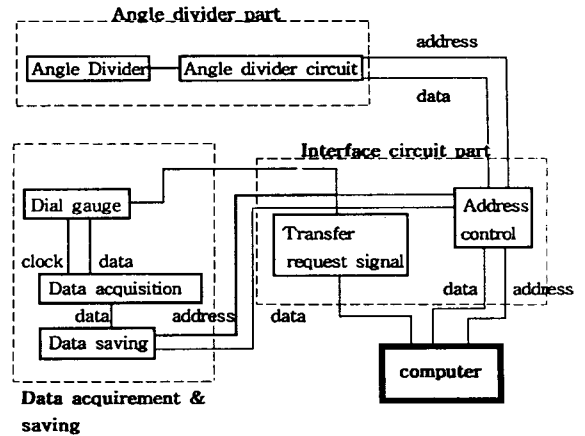


Fig. 8 General diagram of hardware system

할장치, ㉠인터페이스장치, ㉡컴퓨터, ㉢다이얼게이지로 구성되어져 있다^(8,9). 전체 하드웨어의 회로 구성도는 Fig. 8과 같으며 런-아웃 데이터 취득 및 연산을 수행하기 위한 각각의 기능은 다음과 같다.

축의 원주표면과 마찰 없이 회전하는 구멍 뚫린 원판으로 구성된 자동 각도분할장치를 통하여 자동으로 축 원주를 8등분(45°마다)한 데이터 취득 신호를 인터페이스장치를 통하여 컴퓨터로 보내지면 컴퓨터의 취득 요구신호에 의해 다이얼게이지가 데이터를 취득한다. 컴퓨터에는 취득된 데이터가 적산되므로 그때 그때의 각도를 읽을 수 있다. 각 다이얼게이지에서 보내지는 직렬전송 측정 데이터는 인터페이스 장치에서 병렬 데이터로 각각 변환, 저장되었다가 컴퓨터가 해당 다이얼게이지 데이터를 스캐닝하여 순차적으로 컴퓨터에 입력, 프로그램에 따라 연산처리 후 출력된다^(11,12). 그러므로 측정자는 측정과정에서 시스템의 아무런 조작 없이 측정이 종료 되는대로 결과를 출력하므로 비록 측정과정에 대해 경험이 부족하여도 충분히 소정의 결과를 얻을 수 있다.

4. 현장적용 결과 및 고찰

전체 시스템을 구현한 장치를 이용하여 런-아웃 측정이 가장 복잡한 양수발전소(1996. 11월: 삼랑진 양수발전기 2호기, 1997. 11월: 청평 양수발전기 1호기)의 계획예방정비 공사시에 적용하여 적은 인력으로 정확한 데이터 취득 및 작업시간 단축이라는 양호한 결과를 얻었다. 특히 현재의 시스템은 14개 지점의 데이터를 동시에 받을 수 있도록 되어있으

나, 1차로 단동축의 수직도 작업을 위해서는 최소 2개소 이상의 측정이 요구되어진다. 단계적으로 인접축을 조립하며 최종적으로 전체 축 정열 작업을 수행한다. 이러한 런-아웃 측정점을 위해 제작사에서 권고하는 런-아웃 측정점은 삼랑진양수발전소는 8개소, 청평 양수발전소는 9개소 및 무주양수발전소는 13개소로 되어있으나, 작업조건에 따라 다소 변경되어질 수 있다.

Table 4는 두 발전소의 계획예방정비공사 기간 중에 수행된 단계별 작업을 통하여 발생하는 측정개소, 소요인력 및 측정시간을 나타낸 것으로서 런-아웃 측정시 삼랑진발전소의 경우 36.91(man-hour), 청평 양수발전소의 경우는 50.63(man-hour)이 소요되었다. 이를 개발한 시스템을 적용하여

2.24(man-hour), 3.98(man-hour)으로 현저하게 줄어들었다.

자동측정 시스템을 이용하여 인력적인 측면에서는 평균적으로 6~7%선으로 줄어들었으며, 데이터 취득 후 축 조정을 위한 프로그램 연산과정을 포함하면 더 많은 인력감소와 축 조정의 반복작업 횟수를 줄여 작업시간이 단축되어진다.

결과적으로 축 정열 작업기간이 길면 길수록 정확한 런-아웃치를 얻을 수 있으나, 한정된 시간과 한정된 인력으로 런-아웃 허용 범위 안에 있도록 축을 조정하여 축 정열을 하여야 한다. 이러한 축 정열 작업과정 요소 중에 비중이 큰 부분을 개선하여 현실 접목시키는 것이 중요하다고 판단되어 런-아웃 시스템을 개발, 현장 적용하여 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

Table 4 Service manpower and time to measure run-out according to step on the site
<Samrangjin hydraulic storage power plant>

Measuring counter	Measuring points	Existing method			New method		
		mp	mm	mh	mp	mm	mh
1	2: P,C	5	30	2.50	1	22	0.37
2	4: P,C,C,L	9	45	6.75	1	25	0.42
3	4: "	9	40	6.00	1	27	0.45
4	6: P,C,C,L,U,A	13	50	10.83	1	30	0.50
5	6: "	13	50	10.83	1	30	0.50
Total		36.91 mh			2.24 mh		

<Chungpyoung hydraulic storage power plant>

Measuring counter	Measuring points	Existing method			New method		
		mp	mm	mh	mp	mm	mh
1	3: U,L,C	7	35	4.08	1	25	0.42
2	3: '	7	37	4.32	1	23	0.38
3	3: "	7	37	4.32	1	23	0.38
4	3: "	7	35	4.08	1	26	0.43
5	3: "	7	38	4.43	1	22	0.37
6	4: U,L,C,P	9	38	5.70	1	25	0.42
7	4: "	9	38	5.70	1	23	0.38
8	4: "	9	40	6.00	1	24	0.40
9	4: "	9	42	6.30	1	25	0.42
10	4: "	9	38	5.70	1	23	0.38
Total		50.63 mh			3.98 mh		

** mp: The number of measuring Person, mm: Measuring time(man-minute),
mh: Measuring time(man-hour), U: Upper, L: Lower, C: Coupling,
P : Propeller, A : Aux Shaft

5. 결 론

축 정열이 불량할 경우에는 축 진동이 과도하여 출력이 감소하고, 소음진동이 발생된다. 또한 과도한 경우에는 기기를 손상하는 사례가 발생한다. 이러한 축 진동은 근본적으로 밸런싱으로 조정되는 것이 아니기 때문에 문제가 심할 때에는 축 정열 작업을 새로 하여야 하는 번거로움이 있다. 이러한 근본적인 문제점을 해소하기 위하여 런-아웃 측정 및 연산이 동시에 수행되는 시스템을 현장에 적용하여 아래와 같은 결과를 얻었다.

(1) 정밀도 1/1000 mm 디지털 다이얼게이지로 축 회전편차길이를 측정, 노트북 컴퓨터에서 데이터를 받아 연산, 기록하는 소프트웨어를 개발하여 런-아웃측정 및 벡터계산이 동시에 수행되므로 현장에서 축 정열 단계를 간소화할 수 있다.

(2) 특히 데이터 취득각도를 위하여 광 센서가 대형 회전체의 원주를 따라 회전하는 원판의 구멍수를 계산하여 일정하게 분할함으로써 회전축의 데이터 취득 회전각도를 임의로 정확하게 구분할 수 있어 사람에게 의한 취득 오차를 줄일 수 있다.

(3) 계획예방공사중에 가장 어렵고 많은 인력이 소요되는 부분을 1사람이 간단한 시스템 운영만으로 데이터 취득 및 연산이 자동 수행되므로 90% 이상 인력 감소효과는 물론 취득, 연산오차를 최소화하여 이에 따른 반복작업의 감소로 신속 정확한 축 정열 작업을 수행 할 수 있다.

(4) 결과적으로 이러한 시스템의 현장접목이 대형 회전기계의 구동측과 피동측을 가장 이상적으로 결합하여 기계적 손실을 방지하고 운전 신뢰성을 높이며, 지속적으로 기계의 성능을 유지하는데 기여될 수 있다고 판단된다.

참 고 문 헌

- (1) 양보석, 1994, "회전기계 진동평가에 관한 동향", 한국소음진동공학회지, 제 4 권 제 3 호, pp. 278~282.
- (2) 황철호, 김정태, 이현, 이병준, 1994, "터빈계통의 축 정열(I)(II): 원리 및 방법", 한국소음진동공학회지, 제 4 권, 제 1 호, pp. 22~31.
- (3) 황철호, 김정태, 이현, 이병준, 1994, "터빈계통의 축 정열(I)(II): 원리 및 방법", 한국소음진동공학회지, 제 4 권, 제 1 호, pp. 33~42.
- (4) 한국전력공사, 1986, 삼랑진 양수발전소 건설지, pp. 1901~1903.
- (5) 한국전력공사, 1994, 무주 양수발전소 건설지, pp. 1020~1022.
- (6) 한국전력공사, 1970, 청평 양수발전소 건설지, pp. 638~646.
- (7) 한국전력보수(주), 1985, Alignment 방법, pp. 18~22.
- (8) Mitutoyo, 1996, Digimatic Indicator Operation Manual, IDC series 543 Mitutoyo Cooperation Tokyo.
- (9) Maxim, 1992, New Release Databook, MAXIM UK, LTD, 21C Horseshoe Park RG8 7JW.
- (10) Motorola, 1994, CMOS Integrated Circuit, Technical Information Center of Motorola Inc. 3501 Ed.
- (11) David, J., Kruglinski, 1996, Inside VISUAL C++ 4.x, Microsoft Pre.
- (12) Scott Stanfield, 1995, VISUAL C++ How to, The Waite Group, Inc.