

유체 커플링의 맥놀이 현상 사례 연구

⁰ 최성필* · 박종포* · 김호중*

Case Studies on Beating Phenomena of Hydraulic Couplings

Seong-Pil Choi, Jong-Po Park, and Ho-Jong Kim

ABSTRACT

Belt-conveyer driving systems, which transport coal stored in the yard of a coal-fired fossil power plant to coal silos, experienced severe vibrations. From measurement, it was found that the vibrations showed beating phenomena and arose from hydraulic couplings installed between motors and gear boxes. In the present paper, described are results of case studies on vibration troubleshooting for the belt-conveyer driving systems: 1) resonance of the system; 2) field balancing.

1. 서 론

발전 및 산업 플랜트에서 대용량 벨트 컨베이어, 고속 고압용 펌프 등과 같이 큰 초기 기동 토크가 요구되는 회전 기계에서는 충격 흡수를 위하여 유체 커플링이 많이 사용되고 있다. 유체 커플링은 두 회전 기계 사이에 위치해 구동축의 회전에 의해 발생하는 작동 유체의 운동에너지를 피동축에 전달하는 동력 전달 장치이다. 이와 같은 동력 전달은 기계적 접촉이 없이 유체를 매체로 하여 이루어지기 때문에 일체의 마모가 일어나지 않으며, 작동 기기가 과부하 되거나 순간적으로 정지하여도, 충격 흡수 능력이 뛰어나기 때문에 모터와 같은 구동축에 손상을 주지 않아 설비 보호가 요구되는 곳에 널리 사용되고 있다.

석탄 운반 구동 시스템은 일반적으로 강 구조물 위에 설치되어 구동 시스템의 진동은 자체의 진동 특성 뿐만 아니라 구조물의 특성에도 큰 영향을 받게 된다. 또한 유체 커플링을 사용하는 설비에서는 운전 조건에 따라서 구동축과 피동축 사이에

슬립(slip)에 의한 미소한 회전 속도 차이가 발생하여 맥놀이 현상이 유발되기도 한다^{(1)~(3)}.

본 논문에서는 실제 화력 발전소에서 석탄 운반 설비의 벨트 컨베이어 구동부 유체 커플링에서 발생한 맥놀이 현상에 대해 설명하였고, 맥놀이 현상이 회전 기계의 진동에 미치는 영향을 사례 연구(case study) 형식으로 소개한다.

2. 유체 커플링

그림 1은 유체 커플링의 구조를 보여주고 있으며, 구동축 휠, 피동축 휠, 작동 유체 등으로 구성되어 있다⁽⁴⁾.

유체 커플링은 두 기계의 회전축 사이에 위치해 구동축 휠의 회전에 의해 발생하는 작동 유체의 운동에너지를 피동축 휠에 전달하는 동력 전달 장치이다. 이 때 구동축 휠과 피동축 휠 사이에 슬립이 발생하며, 슬립의 크기는 부하에 따라 달라진다. 일반적으로 유체 커플링의 슬립율은 제품 사양에 따라서 조금씩 차이가 있지만 대부분 3 ~ 6% 정도로 설계되어 있다. 따라서, 유체 커플링에

* 한국중공업(주) 기술연구원 진동연구팀

서는 구동측과 피동측 사이에 미소한 회전 속도 차이가 발생하며, 회전 동기 성분의 맥놀이 현상을 발생시키는 구조를 갖는다.

3. 맥놀이 현상

맥놀이는 미소한 주파수 차이를 갖는 두 정현파의 합으로 발생하며 시간에 따라 신호의 Envelope가 일정한 주기로 변하고 아래 식(1)로 표시할 수 있다.

$$x(t) = a \sin \omega_1 t + b \sin \omega_2 t$$

$$= \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab \cos \Delta \omega t} \sin(\omega_1 t + \varphi) \quad (1)$$

여기서, $\Delta \omega = \omega_1 - \omega_2$ 이다.

식(1)은 $\Delta \omega$ 의 맥놀이 주파수로 진폭이 $(a+b)$ 와 $(a-b)$ 사이로 변동함을 나타낸다⁽¹⁾.

이와 같은 맥놀이 현상은 일반적으로 다음과 같은 조건에서 자주 발생하며, 두 개의 근접한 가진 주파수가 약 10% 이상 차이가 발생하면 맥놀이 현상을 피할 수 있다⁽²⁾.

- (1) 운전 회전수가 비슷한 두 대의 기계가 근접하여 설치된 경우
- (2) 모터와 같이 하나의 기계에서 두 개의 서로 근접한 가진 주파수로 진동하는 경우
- (3) 동력전달 장치에 의해 구동측과 피동측의 회전수에 미소한 차이가 있을 경우

(1)의 경우는 단일 기계에 대해서는 문제가 되지 않지만, 두 대의 기계가 동시에 운전되어 맥놀이 현상이 발생하는 것으로서 과도한 맥놀이 진동이 발생하였을 때, 진동 문제를 해결하는 방법은 둘 중의 어느 한 기계의 운전 회전수를 변화시키든가 진동 전달 경로를 차단하는 것이다.

(2)의 경우는 모터의 고정자 또는 회전자가 결

함이 발생하여 기계적 불평형과 line frequency가 원인이 되어 맥놀이 현상이 발생하는 경우로서, 모타의 결함을 제거하므로써 해결할 수 있다.

(3)의 경우는 본 논문에서 다루는 내용이므로 이하에서 상세히 설명한다.

4. 진동 측정 및 고찰

진동 측정은 ISO 2372에 근거하여, 모터 및 기어박스의 각 베어링 하우징에서 가속도 센서를 이용하여 수평, 수직 및 축 방향으로 측정하였다. 측정된 가속도 신호는 적분을 수행하여 변위로 나타내었다. 또한, ISO 2372에서는 맥놀이 현상이 발생하였을 경우 진동치는 다음 식으로 계산하여 Vibration Severity Criteria와 비교할 것을 권장하고 있다.

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2}(v_{max}^2 + v_{min}^2)} \quad (2)$$

여기서,

v_{max} = 맥놀이 진동치의 최대 RMS 값

v_{min} = 맥놀이 진동치의 최소 RMS 값

사례 연구 I: 공진

그림 2는 500MW 화력 발전소 석탄 운반 설비에서 유체 커플링을 사용한 컨베이어 구동부의 계략도를 보여주고 있다. 모터의 정격 회전수는 1200rpm, 정격 출력 330kW이다.

진동 현상은 정격 회전수에서 운전중 모터의 회전 동기 주파수 성분의 진동이 모터, 감속기 및 지지부 전체에서 발생하였다. 그림 3은 벨트 컨베이어를 무부하로 운전하였을 때, 모터 Out-board 측의 수평 방향에서 시간에 대한 Overall 진동치

변화를 보이며, 유체 커플링에 의해 발생한 맥놀이 현상을 관찰 할 수 있다. 이 때 최소 및 최대 peak-to-peak 진동치는 모터의 수평 방향에서 약 36 ~ 142 μmm 정도였다. 수직 방향의 진동치는 수평 방향의 진동치에 비해 매우 작았다.

이와 같은 맥놀이 진동은 모터와 유체 커플링의 불평형 질량이 매우 큰 경우나, 대상 기기의 고유 진동수와 회전 주파수가 일치하여 공진이 발생할 때 과대 진동으로 이어진다.

진동 원인을 분석하기 위해 충격 가진 시험을 실시하여 대상 기기의 고유 진동수를 추정하였다. 그림 4는 충격시험에 의한 진동 응답의 스펙트럼을 보여주고 있으며, 수평 방향에서 고유 진동수는 19.25 Hz로서 회전 주파수와 거의 일치함을 알 수 있다. 따라서, 과도한 맥놀이 진동은 모터와 커플링의 질량 불평형(허용치 이내) 응답이 공진 영역에서 증폭되어 발생한 것으로 판단되었다.

고유 진동수가 운전 회전수 보다 약간 아래에 존재하므로 지지부의 강성을 낮추는 것이 손쉬운 대책이지만, 현장 여건상 지지부의 강성을 높이는 방향으로 대책을 세웠다.

그림 5는 벨트 컨베이어 구동부의 지지부를 수평 방향으로 강성을 보강한 후 모터 Out-board 에서 Overall 진동치 및 스펙트럼을 보여주고 있으며, 여전히 맥놀이 현상을 관찰 할 수 있다. 진동치는 10 ~ 68 $\mu\text{m(p-p)}$ 로 이전보다 절반 밖에 감소하지 않은 것은 벨트 컨베이어 구동부의 지지대가 설치된 기초부(foundation)가 유연하여 강성을 보강하여도 고유 진동수가 멀리 이동되지 않은데 기인한 것으로 판단된다.

사례 연구 II: 유체 커플링의 질량 불평형

여기서 대상으로 하는 기계는 그림 2와 거의 같은 구조를 갖고, 모터의 정격 회전수는 1800rpm 이고, 정격 출력은 55kW 이다.

이 기계에서는 앞의 기계와 마찬가지로 맥놀이 현상과 함께 과도 진동이 발생하였다.

그림 6은 모터 In-board 의 수평 방향에서 측정 한 Overall 진동치, 시간파형 및 스펙트럼을 보여 주고 있다. 주파수 분석한 결과 모터 및 유체 커플링의 회전 속도 성분인 29.94 Hz와 29.69 Hz가 발생하였다. 그림 7은 정지 상태의 기계에서 충격시험에 의한 진동 응답의 스펙트럼을 보여주고 있으며, 운전 회전수 근방에 고유 진동수가 존재하지 않아 공진 문제는 아닌 것으로 판단하였고, 과대 진동은 모터 및 유체 커플링의 과도한 질량 불평형에 기인한 것으로 판단되었다. 커플링의 질량 불평형을 줄이기 위해 현장 밸런싱을 실시하였으나, 진동 신호의 진폭 및 위상이 시간에 따라 변화하여 현장 밸런싱이 거의 불가능하여 운전 중 분필을 이용하여 High spot의 위치를 찾아, High spot과 역위상(Out of phase)이 되는 위치에 적당한 수정질량을 시행착오 방법으로 취부하여 밸런싱을 수행하였다.

그림 8는 이러한 방법을 이용하여 밸런싱 수행 후 모터 In-board 에서 수평 방향의 Overall 진동치를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 맥놀이 진동 진폭이 50 $\mu\text{m(peak-to-peak)}$ 정도로 감소하였다.

5. 결 론

유체 커플링을 사용하는 회전 기계에서는 운전 조건에 따라서 맥놀이 현상이 발생할 수 있는 구조를 갖고 있으며 이로 인한 해당 기계의 진동 성

능 저하를 가져오고, 진동 진폭 뿐만 아니라 위상이 시간에 따라 함께 변화하여 현장 밸런싱 수행이 거의 불가능하므로, 유체 커플링을 사용하는 회전기계는 사전에 유체 커플링과 회전기계의 밸런싱에 많은 주의가 필요하다.

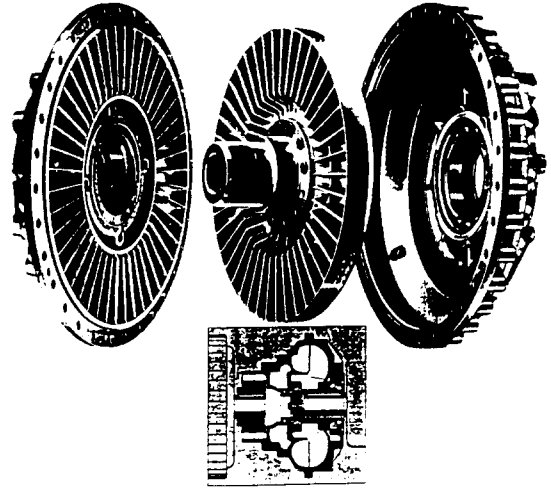


그림 1 유체 커플링의 구조

참고문헌

1. Hartog P. D, 1956, Mechanical Vibrations, McGraw-Hill, pp. 6 ~ 8.
2. Berry, J. E., 1994, Predictive Maintenance and Vibration Signature Analysis II, Technical Associates of Charlotte Incorporated.
3. 日本機械學會 振動工學研究會編, 1994, V_BASE Data Book, pp. 269 ~ 277.
4. Voith Turbo GmbH & Co. KG, Voith Turbo Coupling Catalogue.

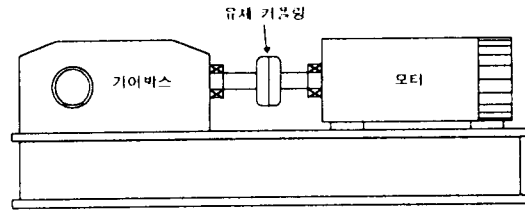


그림 2 벨트 컨베이어 구동 설비

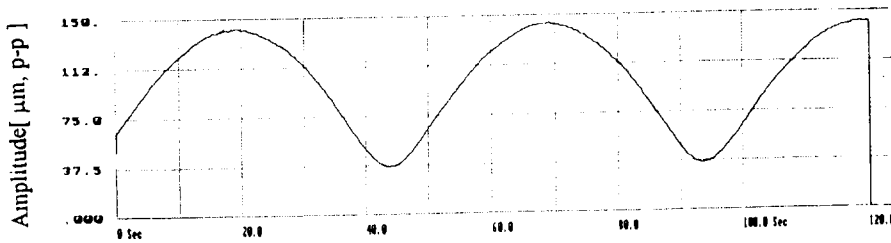


그림 3 모터 out-board 에서의 Overall 진동치 변화(수평 방향)

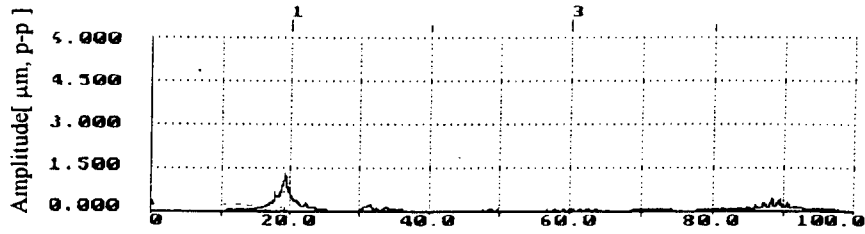
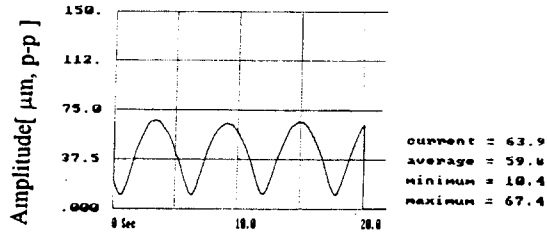
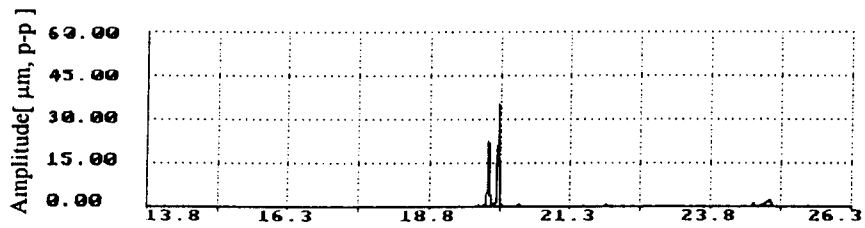


그림 4 충격 가진에 대한 스펙트럼

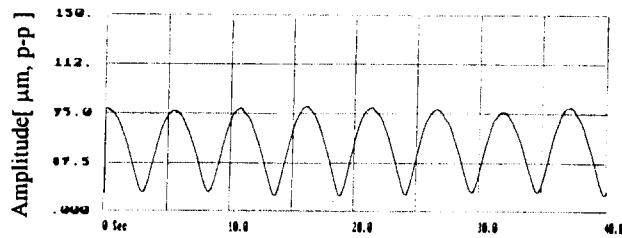


(a) Overall 진동치 변화

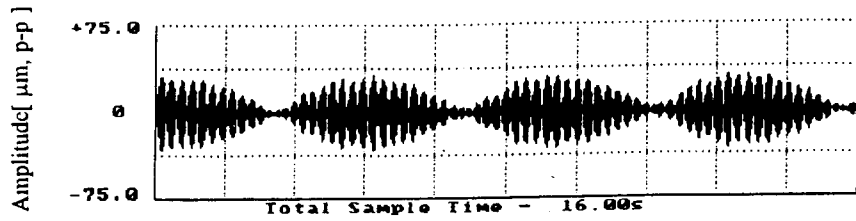


(b) 스펙트럼

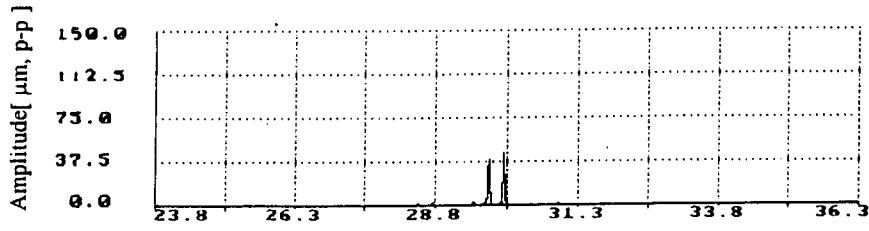
그림 5 지지부 보강 후 모터 out-board 에서의 진동(수평 방향)



(a) Overall 진동치 변화



(b) 시간파형



(c) 스펙트럼

그림 6 모터 In-board 에서 Overall 진동치, 시간파형 및 스펙트럼(수평방향)

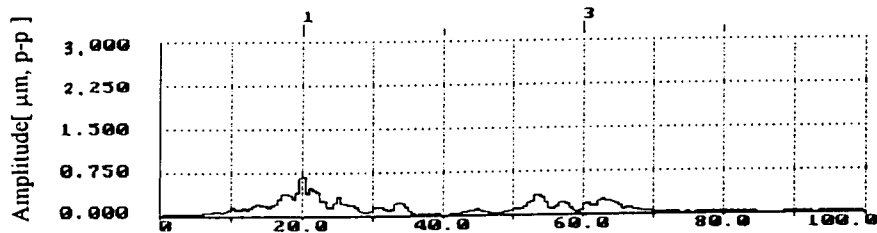


그림 7 충격가진에 대한 스펙트럼

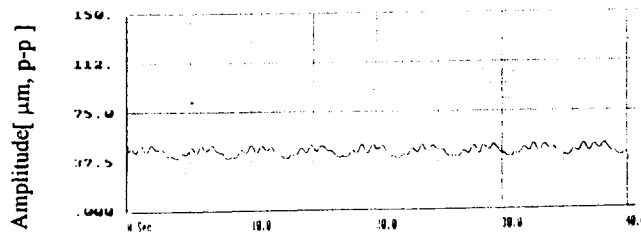


그림 8 유체 키플링 벨런싱 후 Overall 진동치 변화