

# 머리진동측정용 ICP형 바이트-바(Bite-bar)의 교정방법에 관한 연구

°최병재\* · 정완섭\* · 홍동표\*\*\*

\* Study음향진동 그룹 (한국표준과학연구원), \*\* 기계공학부 (전북대학교)

## Study on the Calibration of a ICP Type Bite-bar designed to measure head vibration

°Choi Byung-Jae\*, Cheung Wan-Sup\*, Hong Dong-Pyo\*\*\*

**Key Words :** Bite-bar (바이트-바), Calibration(교정), head vibration(머리진동)

### ABSTRACT

본 논문은 인체의 머리진동 측정용 Bite-bar에 관한 연구이며, 머리진동의 관심주파수 영역인 0.5~30Hz 범위의 주파수 범위에서 ICP형 가속도계를 이용한 바이트-바(Bite-bar)의 공진특성에 관한 실험결과와 공진특성의 보상 방법에 대해 기술하고 있다. 또한 바이트-바(Bite-bar)의 회전비교교정에 관한 방법과 절차 그리고 실험결과를 제시하고 바이트-바(Bite-bar) 교정의 중요성과 오차(error)와 설계 제작에 있어서의 주의사항에 대해 간략히 소개한다.

### 1. 서 론

우리가 교통수단을 이용하거나 작업을 할 때 인체에 전달되는 진동은 진동의 크기와 주파수 피폭시간에 따라 불쾌감, 멀미(motion sickness), 더 나아가 고통을 호소하기도 하고 심지어 병으로 이어질 수도 있다. 그리고 각종 운송수단의 승차감과도 밀접한 관계가 있다. 이러한 이유에서 인체의 거의 모든 감각기관(시각, 청각, 미각, 후각, 평형감각 등)이 밀집해있는 머리에 직접 혹은 간접적으로 전달되는 진동은 매우 중요하다. (1)

머리의 진동(Head vibration)은 대부분 탑승자와 직접적인 접촉이 이루어지는 의자의 진동에 의해 발생되므로 의자의 좌판 및 등판에서의 인체 진동과의 상관관계(seat-to-head transmissibility: 전달률)를 파악하는 것이 매우 중요하다. 이 상관관계를 설명하기 위해서 머리진동 측정에는 많은 실험 들어서 수행 되어져 왔다. 그러나 인체의 머리에 전달되는 머리진동은 일반적인 가속도센서(Accelerometer)나 회전센서를 사용해서는 측정이 곤란하다. 과거부터 대부분의 인체진동실험에서 머리진동측정을 위한 특수한장치(Bite-bar, Helmet)를 고안하여 사용하였다. 현재 개발된 바이트-바(Bite-bar)모델로는 1975년에 센서내부Offset을 고려하지 않은 9축 바이트-바

(Bite-bar)와 (4) Paddan & Griffin의 6축 바이트-바(Bite-bar)가 개발되었다. 이를 이용한 수많은 실험이 수행되어졌다. 이러한 실험은 인체의 머리에 전달되는 진동의 측정 및 영향 평가의 기초 자료를 중 하나로 많은 실험된 보고가 있어왔다. (1) 최근의 연구로는 Paddan & Griffin은 12명을 대상으로 바이트-바(Bite-bar)를 이용한 실험을 통해 머리진동전달률을 측정 했다. (5) Paddan은 6개의 선형가속도계(6축 Bite-bar)를 사용하여 머리의 특정 위치에서의 전달률을 계산하였다. (6) 본 연구팀의 박용화, 정완섭은 6축 바이트-바(Bite-bar)를 이용해 한국인의 앉은 자세에 대한 의자진동의 머리전달에 대해 실험하였다. (2)-(3) 머리진동 측정용 ICP형 바이트-바(Bite-bar)의 동적특성에 관한 연구 본 연구팀이 발표했던 (7)-(8)논문에서 이어 본 논문에서는 바이트-바(Bite-bar)의 공진특성과 공진영향에 의한 회전운동량의 변화와 그 보상방법을 제시 하고자 한다. 또한 그간의 연구결과를 정리하여 ICP형 Bite-bar의 회전에 관한 비교 교정 방법과 순서에 대하여 기술하고자 한다.

### 2. 공진실험 및 그 결과

#### 2.1 공진실험

바이트-바(Bite-bar)의 구조적인 공진주파수를 찾고 그

에 관한 특성을 분석하기 위하여 실험 장치는 Fig. 1과 같다. HP사의 35670A (Dynamic Signal Analyzer)를 사용해 주파수 Sweep을 4~350Hz범위로 실험을 수행하였다. Fig. 3의 결과는 바이트-바(Bite-bar)의 Block-0의 x축을 기준으로 Block-Y와 Block-Z의 각각의 Block의 x축 신호를 나누어 크기와 위상을 분석하였다. 공진은 바이트-바(Bite-bar)의 Block-0의 x축을 기준으로 Block-Y와 Block-Z의 각각의 Block의 x축의 위상이 180° 차이를 보이는 168Hz에서 공진하는 결과를 보였다.

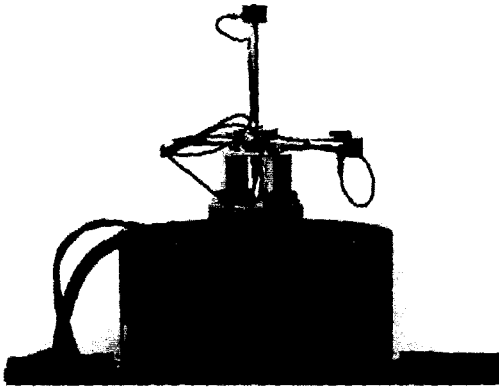


Fig. 1 A bite-bar resonance test setting for measuring resonance frequency

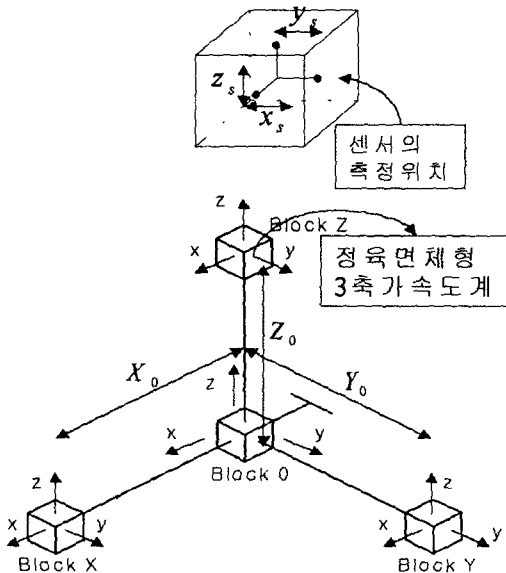


Fig. 2 Bite-bar coordinates and ICP sensor in side coordinates

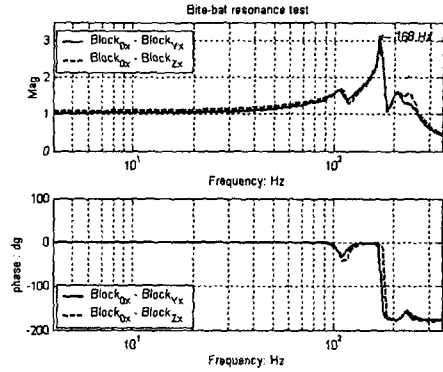


Fig. 3 A bite-bar resonance test result

### 2.2 공진영향에 의한 감도 증가율

위의 결과를 이용해 바이트-바(Bite-bar)의 공진영향에 의해 증가하는 회전 비교교정의 고주파 부분의 오차 (error)값들의 보상을 위해 바이트-바(Bite-bar)의 각의 Block들의 3축에 대한 주파수에 따른 단축 비교교정값들을 공진실험data와 반대로 Block-0의 각각(x, y, z)의 축에 대하여 각각의 Block의 3축의 감도를 주파수에 따라 나누어 공진실험 data와 곱해 순수 공진에 의한 감도증가율( $R_r$ )을 얻는다.  $R_r$ 을 각각의 Block의 각축(x, y, z)의 감도 값에 곱하여 공진에 따른 감도증가를 보상한다.

$$\frac{S_{Block-X, Y, Z-x, y, z}^R}{S_{Block-0-x, y, z}^R} \times \frac{RS_{Block-0-x, y, z}}{RS_{Block-X, Y, Z-x, y, z}} = R_r \quad (1)$$

( 공진실험 data ) ( 각각의 단축 비교교정 data )  
Fig. 4은 공진영향에 의해 증가한 감도증가율의 계산결과이다.

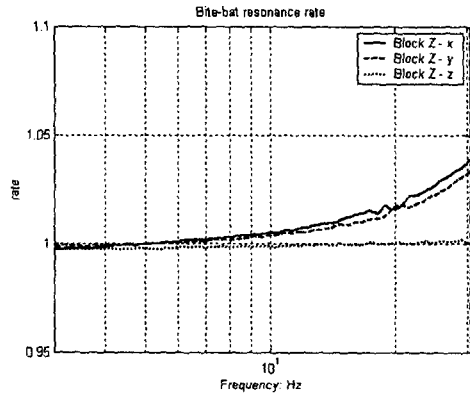


Fig. 4 A Bite-bar resonance rate result for etch block etch axis resonance compensation of etch block etch axis

### 2.3 바이트-바(Bite-bar) 회전교정의 공진 영향 보상

Bite-bar의 5Hz에서부터 나타나기 시작하는 공진영향에 의한 오차(error)가 증가한다. 이에 대한 보상을 위해 각축의 감도 값에 공진영향에 의한 감도증가율을 곱하여 보상해주었다. 본 연구팀의 실험한 결과 ICP형 바이트-바(Bite-bar)의 고주파 부분인 30Hz에서 3.5%의 회전비교교정 오차(error)율에 공진영향을 보상해줌으로써  $\pm 0.5\%$ 까지 감소하는 것을 확인하였다. Fig. 5는 저주파영역(0.5~5Hz)의 고주파 통과필터(High-pass filter)의 특성과 공진영향은 보상한 결과이다.

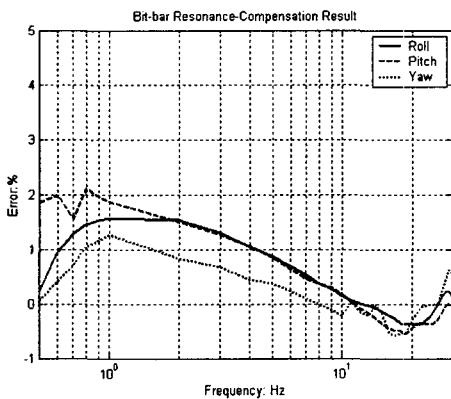


Fig. 5 A Bite-bar rotational test result including hi-pass filter characteristic and resonance-rate compensation in hi frequency(5~30Hz)

## 3. ICP형 바이트-바(Bite-bar) 교정절차

### 3.1 센서내부의 Offset을 고려한 바이트-바(Bite-bar)수식 유도

바이트-바(Bite-bar)의 교정에 있어서 센서내부 Offset을 고려한 수식은 매우중요하다. 3.3절 회전교정에서 각가속도가 계산되어질 때 센서내부 Offset은 회전중심으로부터 거리 'r'값의 결정에 직접적으로 영향을 줄 수 있는 인자들 중 하나이기 때문이다. 또한 센서내부Offset의 영향을 받지 않기 위해 각각의 Block의 내부Offset을 양의 방향이나 음의 방향으로 동일하게 맞추어 정렬할 경우 센서내부Offset의 영향은 본 연구팀이 작년 춘계에 제시한 12축 바이트-바(Bite-bar) 수식에서 서로 상쇄 되어진다. 바이트-바(Bite-bar)의 설계에 있어서는 센서내부Offset영향의 상쇄가 고려된 설계가 선행되어야 하겠다.

Fig. 2는 본 연구팀이 개발한 바이트-바(Bite-bar)의 계략도이다. 위의 작은 그림은 센서내부Offset을 나타내고 있다. 아래의 그림은 ICP형 바이트-바(Bite-bar)의 Block들과 각 Block-x, y, z축을 정렬한 그림을 나타내고 있다.

### 3.2 바이트-바(Bite-bar)각축에 대하여 비교교정

바이트-바(Bite-bar)의 각각의 Block에 사용되는 가속도센서의 각각의 축에 대하여 머리진동(Head vibration) 관심범위인 0.5~30Hz구간에서 주파수별 감도를 기준센서(Reference accelerometer)와 비교교정을 수행한다.

본 연구팀은 HP사의 35670A(Dynamic Signal Analyzer)를 이용하여 주파수 sweep(0.5~30Hz)하여 ICP형 3축 가속도계(ENDEVOCO : 638-100)를 기준가속도계(Alliedsignal : QA1400-AA01-1)와 비교교정 하였다. 이때 써보형(Servo Type)저주파 기준가속도계는 레이저 간섭계를 이용한 절대교정을 통해 얻어진 감도를 사용하였다. 비교 교정을 통해 머리진동(Head vibration)의 관심주파수 구간의 고주파 통과필터(High-pass filter) 특성을 구하였다. 이 결과는 Fitting을 통해 회전운동 계산에 적용되었다.

### 3.3 바이트-바(Bite-bar)의 회전비교교정(Roll, Pitch, Yaw)

바이트-바(Bite-bar)는 머리의 회전운동을 여러 축의 선형가속도로 측정해 머리의 회전운동을 계산하기 위해 제작되어진다. 바이트-바(Bite-bar)와 회전센서의 회전비교교정을 통하여 3.2절에서 비교교정 된 각각의 감도 값들은 앰프를 거쳐 출력되는 전기적신호를 가속도로 환산해준다. 3.1에서 유도한 수식을 이용해 각축에 측정된 가속도량을 가지고 회전운동량을 계산해 회전센서(COLUMBIA SR-207 HP)의 회전운동량과 비교해 바이트-바(Bite-bar)의 회전비교교정을 수행한다. 본 연구팀의 실험결과 단일 주파수의 감도(10Hz)만을 사용해 회전운동을 계산할 경우의 결과를 Fig. 6에서 보여준다. 기준 회전센서와 8%의 오차(error)를 보이고 있다. Fig. 7는 ICP형 가속도 센서의 고주파 통과필터(Hi-pass filter)특성을 보상해주었을 때의 결과이다. 기준 회전센서의 회전운동량과 약 3.5%의 오차(error)를 보이고 있다.

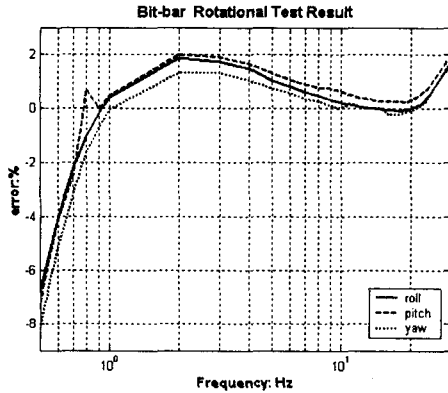


Fig. 6 A Bite-bar rotational test result including fixed sensitivity at 10Hz

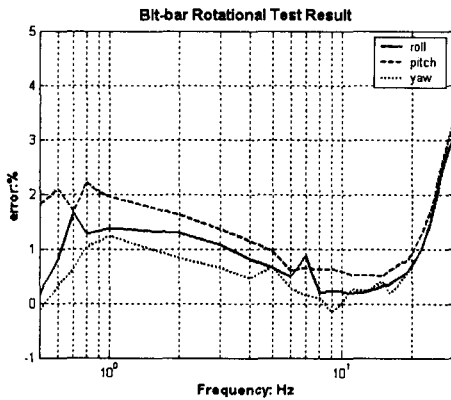


Fig. 7 A Bite-bar rotational test result including hi-pass filter characteristic

### 3.4 Bite-bar 공진실험 및 공진영향 보상

바이트-바(Bite-bar)의 공진실험 및 공진영향의 보상은 위의 2절에 자세히 나와 있다.

본 연구팀이 수행한 실험에서의 결과는 Fig. 7에 이어 공진영향을 보정한 결과는 Fig. 5이다. 기준 회전센서와 비교교정오차(error) 2.5%의 오차(error)를 보이고 있다.

## 4. 결론

바이트-바(Bite-bar)를 이용한 실험수행 전 반드시 교정을 하여 사용해야 한다. 즉 바이트-바(Bite-bar)의 하드웨어적인 구성(setup)이나 유도한 수식의 검증을 위해 교정 과정은 중요하다. 수식을 유도할 때 반드시 센서내부의 offset을 고려하여 유도해야 하며, 센서내부Offset의 영향을 제거하기 위해서 사용되는 센서내부의 Offset이 모두 같아야 한다. 또한 Offset방향을 같은

방향으로 정렬(setup)함으로써 제거할 수 있다. 또한 ICP형 센서를 사용할 때는 반드시 저주파 부분의 고주파 통과필터(High-pass filter) 특성을 고려하여 보상해주어야 한다. 또한 바이트-바(Bite-bar)의 구조적인 특성을 고려해 공진실험 및 필요할 경우 그에 대한 보상을 해주어야 한다. 본 연구팀은 ICP형 센서를 이용해 바이트-바(Bite-bar)를 구성하여 3축 회전(Roll, Pitch, Yaw)운동에 관해서 회전센서와 회전비교교정을 통해 오차(error)를 2.5%까지 발생하는 것을 확인하였다.

## 참고문헌

- (1) M.J. Griffin, 1990. "Handbook of Human Vibration", Academic Press, London: UK,
- (2) 박용화, 정완섭, 2001. "한국인 앉은 자세에 대한 의자 진동의 머리 전달에 관한 실험적 연구," 한국소음진동 공학회지, vol 11 (1), pp. 76-81,
- (3) W.S. Cheung, Y.H. Park, H.J. Eun, 2000 "Measurement of head vibration and its error analysis," inter-noise 2000, vol. 2, pp. 729-734, Nice: France,
- (4) A. I. PADGAONKAR and K. W. BRIEGER and A. I. KING, 1975. "Measurement of angular acceleration of a rigid body using linear accelerometers", The transactions of ASME, Journal of Applied Mechanics 42(3), 552-556,
- (5) G. S. PADDAN and M. J. GRIFFIN, "The transmission of translational seat vibration to the head-I. Vertical seat vibration" Journal of Biomechanics 21, 191-197
- (6) G. S. PADDAN and M. J. GRIFFIN, 1992 "The transmission of translational seat vibration to the head : the effect of measurement position at the head" proceedings of the Institute of Mechanical Engineers, Part H : Journal of Engineering in Medicine, Vol. 206, pp.159-168.
- (7) 최병재, 정완섭, 홍동표 2001. "머리진동 측정용 Bite-bar의 동적 특성에 관한 연구" 2001 한국소음진동 공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 1105-1110,
- (8) Wan-Sup Cheung, Byung-Jae Choi, Hyu-Sang Kwon, Hee-Joon Eun, 2001, "Head Vibration Measurement Devices and Their Uncertainty Characteristics" : inter noise 2001 paper number 243