

인체 진동소음의 인체영향에 대한 국내외 기술조사 :인체 진동

⁰정 완섭*, 권 휴상*

* 음향진동 그룹 (한국표준과학연구원)

investigation on Human Effects of Vibration and Noise Exposed on Human: I. Human Vibration

⁰Wan-Sup Cheung*, Hyu-Sang Kwon*

Key words: Human vibration and Noise (인체 진동 소음), Whole-body vibration (전신 진동), Hand-arm Vibration (수완계 진동), Vibration & Shock Exposure (진동 및 충격 피폭), Human effects (인체 영향)

ABSTRACT

The recent national contract (Ecotechnopia 21) supported by the ministry of environment puts much significance on new issues for the assessment of human effects arising from vibration and noise exposed to human. This paper focuses only on hand-arm vibration since it has been a major problem in protecting vibration exposure to human. To set up a systematic way of assessing adverse effects of hand-arm vibration, surveys were made on recent international standards and researches related to hand-arm vibration. The measurement and evaluation methods of hand-arm transmitted vibration, the relationship between vibration exposure and effects on health, and the assessment methods of nerve dysfunctions are addressed in this paper. Those methods are linked into a logical way of assessing effects of hand-arm vibration on human. Finally, the current activities and achievements in this work are briefly summarised.

1. 서론

인체 진동은 기계의 진동이 인체와 접촉하는 부위를 통하여 전달되는 진동으로 정의되며, 소음은 기계의 진동이 공기를 통하여 양 귀를 전달되는 음압으로 정의된다. 본 논문은 인체 접촉부를 통하여 전달되는 진동에 최근 국내외적 연구 동향을 소개한다. 인체 진동에 대하여 국제적으로 가장 활발한 학회 활동은 매년 영국에서 열리는 “Human Response to Vibration: xx-th Meeting of the UK”로 이미 영국지역 학술회의라기 보다는 국제 학술회의로 확장된 상태이다. 2000년 약 100 여 편의 논문이 발표되었으며, 세분된 연구 분야는 수 공구 및 손 작업 시 손과 팔로 전달되는 수완계 진동 (Hand transmitted vibration), 누운 자세 앉은 자세 그리고 서 있는 자세에서 각각 발/엉덩이/등 부위로 전달되는 진동을 전신 진동(Whole-body vibration), 그리고 멀미 (motion sickness)로 구성되어 있다. 본 논문에서 최근의 연구 주요 내용 내용을 고찰한다. 그리고, 부분적이지만 inter-noise 국제 학술회의에서 소개된 인체진동의 최근 연구를 분석 고찰한다.

이러한 학술회 연구활동과 함께 최근 많은 인체 진동 분야의 측정 및 평가에 대한 표준화에 대한 활동이 ISO TC 108 / SC 4 인체진동 및 충격 (human vibration and shock) 분야에서 매우 급속히 진척되고 있다. 본 논문에서는 이러한 분야의 내용의 체계화를 통한 접근 방안을 제시한다.

2. 진동에 대한 인체 반응: UK Group Meeting

최근 3년 동안의 UK Group Meeting에서 연구된 내용은 세 부분으로 구분된다. 우선 전신진동에 대하여 가장 활발하게 연구되고 있는 분야가 인체 진동 주파수 전달특성의 시험연구로 단축에 의한 수직, 수평, 회전 운동과 동시 다 축에 의한 모델의 실험적 연구내용이 소개되어 있다. 인체 모델의 구체적인 내용으로는 동적 질량, 기계적 impedance, 그리고 머리까지의 진동전달 특성이 각각 포함된다. 그리고, 차량용 의자 들에 대하여는 SEAT 평가 및 예측 모델 개발, 그리고 비도로 차량용 현가장치 부착형 시트의 승차감 연구도 소개되어 있다. 최근에 전신 진동의 인체 영향에 대한 기초 자료 조사 및 운송체계에서 전달되는 인체 피폭 진동의 실태 조사에 대한 실험적 고찰도 소개되어 있다. 특히 가장 전신 피폭 진동의 노출이 심한 승무원들에 대한 설문지 조사 및 분석에 대한 연구 결과도 소개되고 있으며, 특히 인체 영향 인자로 척추 디스크에 연구 초점을 맞추고 있다.

전신 피폭의 영향 중 가장 많은 연구가 지속되어 오고 있는 분야가 멀미 (motion sickness)로 머리의 자세에 대한 민감도 뿐 아니라 수평 진동과 roll 그리고 pitch 운동에 대한 연구 결과 또한 소개되고 있다. 구토 증상의 조기 탐지를 위하여 머리 상부의 피부 색깔 (창백함)에 따른 진척 정도에 대한 연구 결과도 소개되고 있다. 그리고, 0.1 ~ 0.63 Hz 진동 성분의 피폭 진동량에 멀미 예측 모델의 연구 결과도 새로이 소개되어 있다. 물론, 최근의 가상환경 등에 적용되는 시각적 감응에 의한 멀미의 연구 결과 또한 소개하고 있다.

인체 진동 분야 중 가장 인체 영향을 심하게 미치는 진동은 동력을 갖는 수 공구등에서 전달되는 진동 (hand transmitted vibration)이다. 현재 유럽과 미국 등지에서는 수완계 진동에 의한 직업병을 산재로 구분하고 있으며, 피해 당사자는 재산적 보상을 받도록 하고 있다. 최근 영국에서 수행한 수완계 진동의 실태 조사에서 약 1.2 백만의 남자 고용자 그리고 4.4만 여자 고용자가 수완계 진동 의한 피폭량의 권장 한계치 2.8 m/s^2 을 초과하고 있다는 점과 이들 피폭자들 중 11 % 이상이 손의 혈관계에 이상 증상이 발견되고 있다고 보고하였다. 영국의 수완계 진동 피폭 실태조사 내용은 국내 사전조사 연구에 매우 시사하는 바가 크다고 사료된다. 수완계 진동에서 인지 역치(perception threshold)에 대한 연구 내용이 많이 소개되고 있으며, 진동 피폭에 의한 인지 역치 변화는 인체 피해 정도의 판단에도 매우 유용한 정보를 제공한다는 점을 강조하고 있다. 국내 수완계 진동에 대한 감응 역치 연구는 보고된 바가 없으며 향후 연구의 필요성이 매우 시급하다고 판단된다. 수완계 진동 방지를 위한 방진 장갑의 연구 또한 매우 현실적 문제로 몇몇 기업의 신 기술들이 소개되어 있다. 수완계 진동에 의한 손의 혈관계 장애 혹은 감각 기능 장애를 방지하기 위하여 유럽 몇몇 국가에서 시행하고 있는 보건 및 안전 관리 방안에 대한 정부측의 자료 또한 소개되고 있다.

3. 진동에 대한 인체 반응: inter-noise 2001

금년 inter-noise는 네덜란드 헤이그 시에서 개최되었으며 “human effects of vibration”이란 주제로 인체진동에 대한 최근 연구[4]가 소개되었다. 주요 내용으로는 전신 진동의 자세에 대한 인지 극치의 특성 연구, 인체 진동의 환산 방법, 의자류의 SEAT 평가 방법, 충격에 의한 인체 영향 평가, 머리진동의 새로운 측정 기법, 전신 진동의 이론적 모델링 등에 대한 연구 내용이 포함되어 있다. 이들 내용은 2000년 “Human Response to Vibration: 35-th Meeting of the UK”에서 발표된 논문과 많은 부분이 중복되고 있었다. 그러나, 소음에 대한 인체영향에 대한 논문은 약 8 session 들에서 방대한 최근 연구 논문들이 소개되었다. 이들 소음에 대한 영향은 본 Session에서 소개될 논문[5]에서 자세히 소개할 예정이다.

4. 진동에 대한 인체 반응: ISO 규격 안들

국제표준규격(ISO)에서 인체진동에 대한 표준 안은 ISO TC 108 / SC 4 (human vibration and shock)에서 관리하며 약 40종 이상[6,7]이 출판되어 있으며 대표적인 내용은 Table 1과 같이 요약된다. 본 규격의 체계는 (1) 전신 및 수완계 피폭 진동량의 객관적 측정 및 환산, (2) 전신 및 수완계로 전달 되는 간헐적 혹은 반복 충격 측정 및 환산, (3)수직 진동에 대한 인체의 진동 전달 특성, (4) 수완계 장애 평가 기법, 그리고 (5) 개인용 방진 기구의 성능평가 등의 내용을 포함하고 있다. 전신진동에 대하여는 ISO 2631(1997)-Part 1과 수완계 진동에 대하여는 ISO 5349 (2001)-Part 1이 가장 일반적인 측정, 환산 및 평가에 대한 일반절차를 담고 있다. 전신진동 대한 ISO 2631(1997)의 1차 개정안이 2001년 심의를 거친 상태이며, 인체 위해성 평가를 위한 방안을 새로이 제시[8]하고 있다. 그러나, 위해성 평가에 대한 유용성은 검증을 필요로 한다. ISO 2631안의 사용은 안락도 평가, 안전 및 보건, 멀미 등에 대한 환산 지침을 제시 하고 있으나 각각 같지 않은 측정 조건과 환산 절차들을 사용하고 있다는 점에 유의를 요한다. 이와는 달리 1998년 제정된 BS 6841은 하나의 평가절차를 규정하고 있으나, 현 국제표준안과 같지 않다는 점이다. 국제적 이견 조정을 거쳐 향후 개선될 예정이나 현재 사용 시 많은 문제점과 평가 결과의 일관성을 얻기가 매우 힘든 상태이다.

Table 1. ISO standards related to human vibration

번호 (발행연도)	내용	참고
ISO 5805 (1997)	어휘 (인체 진동 피폭)	기계 진동 및 충격
ISO 13090 (1995)	사람을 대상으로 하는 진동 시험의 지침서	
ISO 10227 (1996)	인체의 단일 충격 실험 (기술적 지침)	
ISO 8727 (1997)	인체 동력학적 좌표계 (인체 진동 피폭)	
ISO 9996 (1996)	사람 활동성 및 업무 방해에 대한 지침 (인체진동)	
ISO 8041 (1993)	인체의 진동 응답 - 측정장치에 대한 지침 방안	
ISO 7962 (1987)	인체의 상하방향 (z-축) 진동 전달율	
ISO 5982 (1981)	인체의 기계적 진동 특성 (mechanical impedance)	
ISO 10068 (1998)	손/팔의 기계적 진동 특성 (mechanical impedance)	기계 진동 및 충격
ISO 2631 (1997)	전신 피폭진동의 측정 및 평가 (발, 엉덩이, 등 부위) - Part 1 (일반), Part2 (건물), Part 4(철도차량)	Part 3, Part 4는 개정 중
ISO 5349 (2001)	전동 수공구로부터 전달되는 손/팔 진동 측정 및 평가 Part 1: 일반, Part2: 현장 시험 지침	개정 중
ISO 10919 (1996)	방진 장갑의 진동 전달율 측정 및 평가	손/팔 진동
ISO 13753 (1998)	손/팔 진동 차단용 방진재의 진동 전달율 측정 평가	
ISO 7096 (1994)	운전자 의자의 진동 특성 시험: 실험실 평가	건설용 장비
ISO 10326 (1992)	차량용 의자 진동의 평가 방법: 실험실 평가	일반 기계

수완계 진동에 대한 ISO 5349는 금년 표준 안으로 심의를 선정되었으며 최근의 연구 결과 들이 충실하게 반영되어 있다. 특히, 최근 ISO 수완계 진동에 대한 자세한 내용은 금번 학술회 별도 논문 [9]으로 자세히 고찰할 예정이다. 가장 중요한 변경 내용으로 수완계 피폭 진동은 동시 3축 측정, 개정된 주파수 가중함수(Wh) 적용, 8-시간을 기준으로 한 피폭진동 환산치를 새로이 규정하고 있다. 그리고, 수많은 종류의 수 공구 들에 대한 측정 점의 선정과 측정 시 유의 사항을 자세히 규정하고 있다. 수완계 피폭 진동량과 보건에 대한 새로운 관계, 즉 전체 피폭 그룹 중 10% 이상이 수완계 장애 (vibration white finger)를 유발할 수 있는 한계와 년도별 누적 진동 레벨을 각각 정의하고 있다. 또한, 수완계 장애를 객관적으로 평가 하기위한 방법을 새로운 표준 안으로 제정하기위한 작업이 진행 중이다. 예를 들어, 손의 혈관계 기능 시험을 위한 냉온 반응 측정 및 평가 방안 (ISO/WD 14835-1) 그리고 손가락의

혈압 측정 및 평가 방법 (ISO/WD 14835-2)를 각각 구축하고 있다. 그리고, 수완계 진동에 의한 손의 감각기관 장애 평가를 위하여는 감촉진동 감응 역치 (vibrotactile perception threshold)에 대한 시험과 평가 방안(ISO/CD 13091- 1 and 2)을 2002년에 완성 보급할 예정이다.

그리고, 수완계 진동 방지용 방진 장갑의 성능 평가, 작업자의 손에 전달되는 힘의 측정 및 환산, 그리고 손의 진동 전달 특성(mechanical impedance) 시험에 대한 방안들도 제정 중에 있다.

5. 맺음말

본 논문에서는 진신 피폭 진동과 수완계 진동으로 구분되는 인체 진동에 대한 최근 국내외 연구에 대한 조사 결과를 소개하고 있다. 우선 인체 진동 연구 중 가장 폭 넓은 연구 결과를 국제적으로 소개하고 있는 영국 인체반응 학술대회의 최근 3년의 주요 연구내용을 비교 분석한 내용을 소개하고 있다. 그리고, 부분적이지만 inter-noise 2001에서 소개된 연구 내용 또한 고찰 정리 소개하고 있다. 그리고, 인체 진동 측정, 환산, 그리고 평가에 대한 국제표준 방안들에 대한 체계에 대한 내용을 자세히 언급하고 있다. 금번 연구에서는 단순 물리량적 전달량의 측정 및 환산 방법 보다는 인체 영향을 어떻게 평가할 것인가에 보다 많은 가중치를 두고 있다. 이러한 접근은 현재 국내 환경부에서 주관하고 있는 환경 진동과 소음에 대한 인체 위해성 평가 방안의 체계화에 대한 필요성 때문이다.

금번 사전연구에서 연구에서 가장 명확한 사실은 인간에 유해하지 않은 피폭 진동한계가 얼마 인지를 모르기 때문에 가능한 피폭 진동량의 저감으로 건강과 안전을 보호해야 한다는 점이다. 그리고, 피폭 진도에 대한 인간의 1차 반응은 활동성(먹기, 듣기, 보기, 일기, 잠자기 등)의 방해에 따른 불쾌감의 호소라 판단된다. 이러한 진동 불쾌감에 대한 평가 절차의 개발이 또한 물리량적 측정 방법만 큼이나 중요하다는 점을 강조한다. 이러한 인간의 1 차적 반응의 정량화 방법 연구를 본 연구팀은 수행할 예정이다. 이러한 방법은 현재 EC의 표준 안으로 채택한 소음 불쾌감 평가 방안에서 찾을 수가 있다고 판단된다.

참고문헌

- [1] Proceedings of Human Response to Vibration: 33-th Meeting of the UK, Hosted by Health and Safety, BuxtonL England, 1998.9
- [2] Proceedings of Human Response to Vibration: 34-th Meeting of the UK, Hosted by Ford Motor Co., Essex: England, 1999.9
- [3] Proceedings of Human Response to Vibration: 35-th Meeting of the UK, Hosted by ISVR, Hamshire: England, 2000.10
- [4] R. Roone (ed.), Proceeding of inter-noise 2001, The Hauge: the Netherlands, 2001.8
- [5] 권 휴상, 정 완섭, “진동소음의 인체영향에 대한 국외기술 조사: 인체 소음 h 한국소음진동공학회 추계학술대회 논문집, 2001.11
- [6] 정 완섭, 최 재본, “인체 진동에 대한 ISO 와 KS 표준 안의 비교 분석”, 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, 2000.5
- [7] 정 완섭, “인체 진동관련 ISO 표준안들의 국내 규격 적용,” 한국소음진동공학회 추계학술대회 논문집, 2000.11
- [8] 정 완섭, “반복 충격에 대한 인체 영향 평가의 새로운 방안,” 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, 2001.6
- [9] 정 완섭, 권 휴상, “수완계 진동에 대한 인체 영향 평가 기법의 비교 분석,” 한국소음진동공학회 추계학술대회 논문집, 2001.11