

산업용 차량에서 인체진동에 관한 유럽의 규제 동향

장 한 기

(고등기술연구원 자동차기술연구실)

1. 머리 말

유럽 18개 국가¹⁾의 표준제정기구가 회원으로 구성되어 있는 유럽 규격제정 위원회(CEN: Comité européen de Normalisation 또는 European Committee on Standardization)는 유럽 내에서 시판, 사용되는 모든 제품이 만족해야 할 규격 또는 규제안(regulation)을 제정하는 일을 담당하고 있다. 이들이 제정하는 규격의 기본적인 내용은 국제규격이나 각 나라의 규격과 대동소이하지만 그 내용에 있어서 구체적인 제품을 지정하기 때문에 보다 세분화되어 있으며 상충적인 성격을 띤다는 측면에서 ISO, DIN, JIS 등의 국제표준규격과 성격을 달리한다고 할 수 있다. 특히, 이 위원회에서 공동으로 제정된 사안은 각 회원국에서 수정 없이 그대로 국가 인증규격으로 사용하므로 산업계에서는 상당한 영향력을 지닌 기구라고 할 수 있다.

이들은 표면적으로 제품에 대한 규격을 통일하여 생산 효율을 높이고 사용자의 안전을 추구하는 긍정적인 목적을 표방하지만, 이면에는 유럽이라는 하나의 거대한 경제 블록에 대한 무역보호막을 형성하는 역할도 하고 있다. 따라서 유럽 국가에 제품을 수출하는 국외의 해당업체는 관련규격의 제정 현황을 수시로 파악하고 정보를 입수하는 일을 게을리할 수 없다. 더군다나 무역 당사국간에 인증

내용을 서로 인증하는 '국제 다자간 상호인정 협정(MLA)' 올해초 36개 회원국이 서명하였으며 우리나라도 신청한 상태이기 때문에, 2~3년후에 다칠 무역상 불이익을 사전에 대비해야 하겠다.

본 글에서는 산업용 차량에서의 작업자를 보호하기 위해 새로이 도입되고 있는 규격에 관해 소개하고자 한다. 이 위원회 조직의 하나인 '산업용 차량분야 기술위원회'는 표 1에 정리한 것과 같이 산업용 차량에 대한 안전규격 제정활동을 수행하고 있다. 이 표를 보면 현재 사용중인 규격이외에도 새로운 내용의 규격이 계속 제정되고 있음을 알 수 있는데, 이는 유럽시장에 판매를 위한 제품의 개발시 충족시켜야 할 사항이 지속적으로 증가함을 의미한다. 이들 관련규격에서는 작업자에게 전달되는 진동량을 규제하고 있는데, 이들 규격을 적용함에 있어서 주목할 사항이 있다. 즉 인체가 받는 전신진동(whole body vibration)의 수준이 0.5m/s^2 이상인 경우에 한해서만 지정된 지점에서의 진동을 측정하고 제품사용 설명서(instruction manual)에 관련 사항을 명시하도록 규정하고 있다. 결국 운전석에서 인체로 전달되는 진동량이 권고치 이내로 들어오도록 유도함을 알 수 있다. 따라서 이 조건을 충족시킬 경우, 인체진동에 관한 인증을 회피할 수 있을 뿐만 아니라 좌석에서의 진동을 저감시킴으로써 차량의 품질(ride quality)을 향상시키고 상업적인 측면에서의 경쟁력을 제고할 수 있다는 것이다. 두 번째 주목할 사항 역시 인체진동에 관련된 사항인데, 표에서 10번째 항목인 시각의 인지능력에 관련된 규격이다. 진동환경에 노출된 인체에 있어서 계기판에 대한

1) 오스트리아, 벨기에, 덴마크, 핀란드, 프랑스, 독일, 그리스, 아이슬란드, 아일랜드, 이탈리아, 룩셈부르크, 네덜란드, 노르웨이, 포르투갈, 스페인, 스웨덴, 스위스, 영국

시각의 인지능력을 평가하는 해당규격은 아직 완료되지 않았으나 제정 작업 중에 있으므로 해당기술의 확보가 요구된다. 시각과 관련된 인지능력에' 영향을 미치는 중요한 사항은 바로 계기판과 눈 사이의 상대진동의 특성이다. 차량의 진동은 계기판의 진동을 유발하는 동시에 좌석을 통해 인체로 전달되고 이 진동은 다시 머리로 전달되어 시선에서의 병진운동과 회전(pitch)운동을 유발시킴으로써 계기판의 인지능력을 떨어뜨린다. 이 진동은 몸통에서 머리로 이어지는 인체의 동특성과 눈 자체의 공진현상과도 깊은 관련

이 있다.

위에서 언급한 두 가지 규격의 목적은 물론 작업자에게 보다 안락한 작업환경을 제공하는데 있다. 현재까지 인체진동에 관련된 사항은 주로 권장사항(recommendation)에 그쳤으나 차츰 규제안(regulation)으로 강화되는 추세이다. 따라서 향후 인체진동과 이에 의해 유발되는 시각의 인지능력 저하에 관련된 개선기술의 확보가 매우 중요하다. 시각과 인체진동과의 상관관계는 추후 논하기로 하고, 본 고에서는 최근 도입되고 있는, 산업용 차량에서 인체의 전신진동을 측정하

표 1 산업용 차량에 대한 유럽규격위원회(CEN)의 안전관련 규격 제정 현황

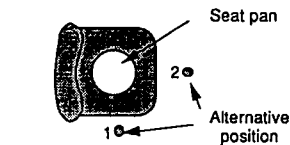
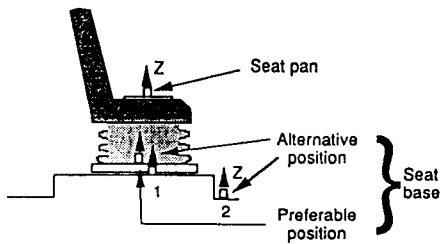
관련 규격	대상 차량 및 해당 내용
*prEN 1726	Self propelled trucks up to 10,000 kg capacity and tractors with a draw bar pull up to 20,000 kg *prEN1726-1 Part 1 : 일반적인 요구사항 *prEN1726-2 Part 2 : 운전자의 지상고가 높은 경우와 부하의 위치가 높은 경우의 요구사항.
prEN 1551	Self propelled trucks over 10,000 kg
prEN 1459	Self propelled variable reach trucks
*prEN 1757	Pedestrian propelled trucks prEN1757-1 Part 1: Stacker trucks prEN1757-2 Part 2: Pallet trucks with lift height up to 300mm prENxxxx-3 Part 3: Platform trucks prENxxxx-4 Part 4: Scissor lift pallet trucks
prEN 1525	Driverless industrial trucks and their system
prEN 1175	Electrical requirements for trucks prEN 1175-1 Part 1 : 충전지에 의해 구동되는 트럭 prEN 1175-2 Part 2 : IC 엔진에 의해 구동되는 트럭에서의 일반적 요구사항 prEN 1175-3 Part 3 : IC 엔진 사용차량에서 전기력으로 작동하는 변속기가 장착된 차량에서의 일반적인 요구사항
prEN 1526	Automated functions for industrial trucks
*prEN 1755	Operation in potentially explosive atmosphere
*prEN 12053	Test method for measuring noise emissions
*prEN xxxx	Test method for measuring visibility from self propelled trucks
*prEN xxxx	Test methods for measuring vibration

(* 표는 현재 제정준비 또는 수정 중에 있는 규격임)

는 인증 규격에 대해 소개하기로 하겠다.

2. 산업용 차량에서 인체 피폭진동 측정 규격

여기서 필자가 소개하고자 하는 규격은 유럽규격제정위원회(CEN)에 의해 1998년에서 2000년 사이에 발효되는 개선안으로서 산업용 차량에서 인체에 전달되는 진동을 측정하는 시험 코드의 하나이다. 기존에도 인체진동을 측정하는 관련규격(CEN/prEN1032)이 있었으나 본 규격에서는 보다 세분화되고 체계화되었다. 이 규격의 제정에는 유럽의 산업용 차량업체인 Linde, BIA, Fiat-OM 등 21개 업체가 주도적으로 참여하고 있으며 DIN, BS 등 13개 국가표준기관도 참여하고 있다. 이 규격에서는 차량의 바퀴 직경, 타이어의 종류, 하중 용량, 차량의 종류 등을 고려하여 7개의 범주로 나누어서 시험 방법을 지정하고 있다. 각 차량의 종류에 따라 시험 주행로의 길이, 차량의 속도, 그리고 장애물에 대한 규격은 달라지지만 기본적인 진동 측정 방법은 동일하다. 전신 피폭진동의 측정 규격은 측정방법, 신호처리 방법, 시험 주행로, 차량의 조건, 그리고 운전자의 작업방식 등에 대한 내용으로 구성되어 있다. 이를 사 인별로 소개하면 다음과 같다.



1 - Forward facing seat
2 - Side facing seat

그림 1 전신진동에 대한 가속도의 측정 방향과 위치

2.1 전신 피폭 진동의 측정방법

(1) 측정 방향과 위치

전신 피폭진동의 측정은 좌석에 앉아서 작업하는 경우와 서서 작업하는 경우 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째 경우인, 작업자가 좌석에 앉아 있는 경우에는 그림 1에서 보는 바와 같이 좌석과 좌석에 가장 인접한 부위에서 지면에 수직인 방향으로 각각 측정하도록 되어 있다. 좌석의 방향에 따라 새시(chassis)부분에서의 측정위치가 다를 수 있다. 새시부분에서의 측정점 선정시 유의할 사항으로는, 인체가 진동에 민감한 영역인 1~80 Hz 이내에 구조물의 국부적인 모드, 즉 공진주파수가 없어야 한다. 두 번째는 작업자가 서있는 경우인데, 이 경우에는 작업자의 발에서 가장 인접한 부위에서 측정하되 가능하다면 두 발 사이에서의 측정을 권장하고 있다.

(2) 측정장비

산업용 차량에서의 전신피폭진동을 측정하기 위한 장비에 대한 요구사항은 관련규격(CEN/prEN1032)에 명시되어 있는데 주된 내용을 살펴보면 우선 1~80 Hz에서의 가속도 측정 성이 확보되어 있어야 하고, 둘째는 좌석에서의 진동측정에 사용되는 디스크형상의 seat pan에 부착이 가능한 소형 가속도계이어야 함을 알 수 있다. 최근에는 piezo-electric 형태의 가속도계도 1 Hz 정도의 저주파수 진동측정이 무난하지만, 인체진동의 측정이 목적이라면 소형이면서 d.c.값까지의 측정이 가능한 piezo-resistive 방식 또는 capacitive 방식의 가속도계가 바람직하다고 하겠다. 그리고 좌석표면과 좌골사이에 놓고 진동을 측정하도록 고안된 seat pad는 우리에게 SAE pad로 많이 알려져 있는데, 가속도계를 장착할 보강판이 삽입되어 있는 것이 특징이다⁽¹⁾.

2.2 신호처리 방법

(1) 주파수 가중치

관련규격인 prEN 1032에는 인체 피폭진동에 대한 band-limiting 필터와 전신진동의 각 방향에 대한 주파수 가중치가 명시되어 있다. 먼저 band-limiting 필터에서는 인체가 민감하게 반응하는 주파수 범위를 지정

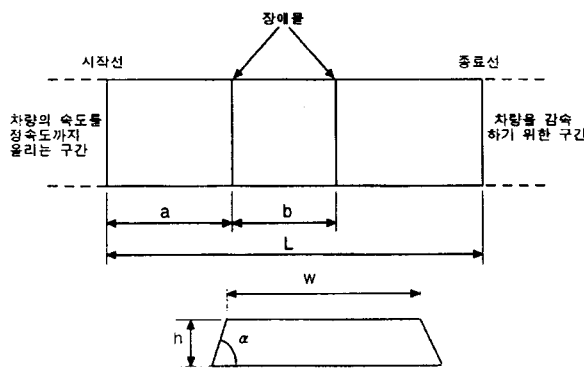


그림 2 시험주행로와 장애물의 형상

해주도록 되어 있는데 해당 규격에서는 1~80 Hz범위의 주파수 성분을 통과시키도록 되어 있다. 주파수 가중치의 경우, 3축 방향에 대해 각각 다른 특성을 갖고 있으나, 본 규격에서는 수직방향의 성분만 측정하므로 이에 대한 주파수 가중치 함수만 알면 된다. CEN에서는 인체의 반응을 대변하는 주파수 가중치 함수를 영국규격(BS 6841)에서 사용하는 형태를 채택하고 있으나 관련 상수에는 약간의 차이가 있다⁽²⁾. 주파수 가중치

에 대한 상세한 수식은 관련문헌 10장에 상세하게 수록되어 있다⁽³⁾.

(2) 가속도의 적분

최종적으로 구해야 하는 가속도 값은, 정해진 길이의 주행로를 달리면서 측정된 가속도를 평균한 형태인 rms(root mean square)값이다. 가속도의 rms값 계산은 주파수 영역에서도 수행할 수 있으므로, 매회 주행시마다(시작점에서 끝점까지) 측정된 신호의 주파수 스펙트럼을 구하고 band-limiting 필터와 주파수 가중치를 각각 곱한 뒤 스펙트럼의 면적을 환산하면 Parseval 정리에 의해 시간영역에서의 rms값을 구할 수 있다⁽⁴⁾.

2.3 시험 주행로

시험을 위한 주행로의 형상은 그림 2에 나타난 바와 같다. 이 주행로는 수평하고 평탄한 노면이어야 하고 두 개의 장애물이 있어야 한다. 장애물의 재질은 금속 또는 hard wood등과 같이 매우 강한 재질을 사용해야 한다. 노면의 평탄성(smoothness)에 대한 충족조건은, 장애물이 없는 동일한 길이의

표 2 차량의 종류에 따른 주행시험조건

항목	범주 1	범주 2	범주 3	범주 4	범주 5	범주 6	범주 7
바퀴 직경 (ϕ , mm)	$\phi \leq 200$	$\phi \leq 450$	$\phi \leq 650$	$650 < \phi \leq 900$	$900 < \phi \leq 1200$	$1200 < \phi \leq 2000$	$700 < \phi \leq 1200$
타이어의 종류	non rubber solid tires	non rubber solid tires-cushion tires	solid or pneu	solid or pneu	pneu	pneu	pneu
하중용량 (kgf)	3,000 이하	모든 용량	3,500 이하	3,500이상 8,000이하	8,000이상 18,000이하	18,000이상	
궤도의 전체길이 (L, m)	15	25	25	25	25	25	30
장애물의 높이 (h, mm)	5	5	8	10	10	15	30
장애물의 경사각 (α , degree)	90						
장애물의 길이 (w, cm)	15						
장애물의 갯수	2						
시작점으로부터 장애물의 위치 (a와 b, m)	4 m와 6 m			5 m와 10 m			
차량속도 (km/h)	5	7	10				

주행로를 주행하면서 좌석에서 측정된 rms 가속도 값이 장애물이 있는 경우에 측정된 값의 50%미만이 되도록 해야 한다. 시험주행로의 전체길이와 장애물의 위치, 그리고 장애물의 크기는 7가지로 분류된 차량의 범주에 따라 각각 다르다. 표 2에는 용량 8톤 미만의 일반 차량(범주3, 4)에 대한 시험주행로 관련치수를 일례로 정리하였다.

2.4 차량의 운전 조건

전신진동을 측정하기 위해 차량의 주행속도는 시작선부터 종료선까지 일정하게(±5%이내) 유지시키는 것이 중요한데 이 규격에서는 가속 페달 뒷면에 공간의 조정이 가능한 stopper를 설치하여, 페달을 끝까지 밟은 상태로 요구하는 속도가 나오도록 설정하여, 정속 주행할 것을 권장하고 있다. 차량의 부하는 대부분의 차량에 대해 최대부하의 60%(+0, -10%)를 유지하도록 하고 있다. 그러나 표 2의 범주 6에 해당하는 차량은 무부하 상태에서 실험하도록 되어 있다. 많은 모델의 차량들이 진동 절연된 floating cab과 그렇지 않은 경우로 병용 생산되는 경우가 있는데, 이와 같은 경우에는 두 가지 경우에 대해 모두 진동을 측정해야 한다.

2.5 작업자와 관련된 조건

본 규격의 목적은 작업자가 받는 진동을 규제하는데 목적이 있으므로 작업자와 관련된 조건들이 비교적 상세히 정리되어 있다. 첫 번째는, 작업자의 작업방식인데, 앉아서 작업하는 경우와 서서 작업하는 경우의 진동 측정위치가 각각 다르다. 앞서 언급했듯이 서있는 경우는 발에 가장 인접한 부분에서의 측정된 진동을, 좌석에 앉아 있는 경우에는 그림 1에 나타낸 바와 같이, 좌석과 사람의 좌골사이에서 규격화된 디스크 모양의 pad(SAE pad)를 삽입하여 pad에서 측정된 결과를 대표값으로 사용하게 된다. 바닥과 좌석에서의 측정 대표값은 각각 $a_{w,zf}$ 와 $a_{w,zs}$ 로 정의한다. 여기서 a 는 가속도 a 의 rms값을, w 는 주파수 가중치 함수가 곱해진 것을 의미하고, z 는 측정(수직)방향을, F와 S는 각각 바닥(floor)과 좌석(seat)을 의미한다. 바닥진동의 경우는 측정된 진동을 그대로 대표

값으로 사용하지만, 좌석진동의 경우 체중이 서로 다른 두 명의 운전자에 대해서 측정하도록 하고 있다. 운전자의 신체조건(주로 체중)에 따라 좌석-운전자로 이루어지는 계의 공진주파수가 바뀌고 측정진동의 패턴과 크기도 바뀔 수 있기 때문이다. 따라서, 이 규격에서는 중량이 가벼운 사람(55 kg)과 무거운 사람(98 kg), 각각 두 경우에 대해 별도로 측정하여 다음과 같이 산술 평균하여 대표값으로 제시하도록 되어 있다.

$$a_{w,zs} = \frac{1}{2}(a_{w,zs1} + a_{w,zs2}) \quad (1)$$

여기서 하첨자 끝의 1과 2는 체중이 가벼운 사람과 무거운 사람을 의미한다. 위의 식 (1)은 좌석진동의 전달율을 의미하는 SEAT (Seat Effective Amplitude Transmissibility)를 이용하여 다음과 같이 표현할 수도 있다⁽³⁾.

$$a_{w,zs} = \frac{1}{2} a_{w,z, \text{seat base}} \times (SEAT_1 + SEAT_2) \quad (2)$$

위의 식 (2)는, 장착되는 좌석의 진동전달 특성인 SEAT를 알고 있는 경우에 별도로 좌석진동을 측정할 필요 없이 좌석 장착지점의 진동값만을 측정함으로써 좌석진동의 대표값인 $a_{w,zs}$ 를 결정할 수 있음을 보여준다.

SEAT는 다음의 식과 같이 주파수의 함수로 정의되는 값이다.

$$SEAT = \left[\frac{\int G_{ss}(f) \cdot W^2(f) df}{\int G_{ff}(f) \cdot W^2(f) df} \right]^{1/2} \quad (3)$$

여기서,

$G_{ss}(f)$: Seat pad에서 측정된 가속도의 파워스펙트럼,

$G_{ff}(f)$: 바닥에서 측정된 가속도의 파워스펙트럼,

$W(f)$: 인체의 특성을 고려한 해당 가중치 함수이다.

3. 나가는 말

본 글에서는 현재 유럽에서의 산업용 차량

에 대한 안전규격 강화 동향의 일환으로서 인체진동을 제한하는 규격에 대해 간략히 소개하였다. 이들 규격은 유럽의 주요 산업용 차량 생산업체와 인체진동 관련 전문가들에 의해 제정되고 있는데, 2~3년의 유예기간을 거쳐 발효되는 것이 일반적이다. 이들 안전규격 제정에 있어서 가장 큰 특징은 바로 산업 환경에서의 작업자의 보호, 즉 안전이라는 측면이 상당히 강화되고 있다는 사실이다. 표 1에서 소개한 관련 규격들 중에서 특히 사항으로는 머리말에서 언급했듯이, 좌석에서의 피폭진동의 제한과 시각인지능력의 확보에 관한 것이다. 이 두 가지 문제는 인체진동과 밀접한 관계가 있다. 현재 승용차량에서의 인체진동 측정에 대해서는 국내에 이미 소개되어 있으며⁽⁵⁾, 관련제품의 국산화도 상당량 진전되어 있다. 그러나 강화되는 규격에 능동적으로 대비하기 위해서는 관련 연구의 진행이 한층 요구된다. 특히 신제품 개발을 위해서는, 인체진동의 객관적-주관적 평가기술을 접목시킴으로써 사용자의 요구를 만족시키는 seat를 개발할 수 있는 능력의 확보가 중요하다.

본 글에서는 다루지 않았으나 진동환경속에서 시각의 인지능력 확보문제도 좌석 진동량이 클 것으로 예상되는 차량들-산업용 차량, 전투차량 등-에서 향후 이슈가 될 것으로 예상된다. 진동에 의한 시각의 인지능력 저하는 눈과 대상물의 상대진동에 의해 결정

되는 사항으로서 그 메카니즘이 전신진동의 경우보다 복잡하고 사람의 주관적인 평가를 통해서만 그 정도를 정량화할 수 있다. 따라서 이와 관련하여 인체진동의 주관평가기술의 확보도 요구된다고 하겠다. 이들 관련 기술의 확보여부는 향후 강화된 인증규격이 발효되었을 때 이를 통과하기 위한 제품 개발 및 시스템 개선능력과도 직결되기 때문이다.

참고 문헌

- (1) International Organization for Standardization, ISO7096: Earth Moving Machinery-Operator Seat-Measurement of Transmitted Vibration, 1982.
- (2) British Standard Institution, BS6841 : Measurement and Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Mechanical Vibration and Repeated Shock, 1987.
- (3) M. J. Griffin, Handbook of Human Vibration, Academic Press, 1990.
- (4) S. Braun ed., Mechanical Signature Analysis, Academic press, 1986.
- (5) 조영건, 정완섭, 박세진, 윤용산, 1997. "내구력 도로와 요철도로에서 승용차의 승차감 지수 평가," 한국소음진동공학회지, 제 7 권, 제 6 호, pp. 1025~1033.