

# 지하철 운전자의 전신진동평가

## Evaluation of Whole-Body Vibration of Subway Drivers

박상규\*

연정택\*\*

안동철\*\*

이택희\*\*

장재연#

### ABSTRACT

This study was performed to evaluate the whole-vibration of the subway drivers. Measurement, evaluation and assessment were based on the ISO 2631. When the vibration levels of the drivers are compared with the health guidance caution zones of the ISO 2631, those of the drivers of the rail maintenance train and the number 3 subway line exceed the limit of the health guidance zones, while those of the drivers of other subway lines drivers are below the limit. This indicates that the rail maintenance train drivers are exposed to potential health risks.

## 1. 서론

1960년대 산업화와 경기부양정책에 힘입어 서울은 한국경제성장의 중심이 되었으며 이는 인구를 서울로 집중시키는 계기가 되었고 현재 인구 1500만의 거대도시로 성장하는 계기가 되었다. 이러한 인구의 증가는 보다 많은 대중 교통수단을 요구하게 되었고 이에 서울시는 1974년 지하철 1호선을 개통한 이래 현재 8개 노선의 지하철(지하철공사, 도시철도공사, 철도청)을 운행하고 있으며 서울시의 대표적이고 편안한 대중교통수단으로 이용되고 있다. 이러한 지하철의 발달은 서울시민에게 편리함을 제공하고 있는 반면 작업환경 측면에서 지하철을 운전하는 운전자의 경우, 건강상의 문제가 야기될 가능성도 적지 않다.

장기간의 운전으로 인한 전신 진동에의 노출은 자세유지와 근육의 힘, 요추부위 신경계 전달에 문제를 일으키는 위험인자로서 목, 어깨, 심혈관계 항상성, 내분비계, 소화기계, 중추신경계, 심폐기관, 소화기계, 말초 혈관계 등의 신체전반에 걸쳐 다양한 곳에 영향을 끼친다. 그러나 현재 작업장에서 일하는 작업자들은 이러한 상관성 관계에 대해 사실상 모르고 있으며 그에 대한 중요성도 인식하고 있지 못하고 있다.

본 조사에서는 서울시 지하철공사에서 운행하는 1-4호선차량과 선로보수차량을 대상으로 현재 운행중인 차량 현황과 차량 운행 시 발생하는 진동의 크기를 조사하고 진동에 노출되는 운행근로자에 대한 건강장해 가능성을 연구하여 이를 토대로 전신진동에의 폭로와 인체영향에 대한 상관관계를 파악하는데 그 목적을 두고자 한다.

## 2. 본 문

### 2.1 전신 진동으로 인한 건강장애

전신진동에 의한 단기 노출(short-term exposure)은 생리적으로 영향이 아주 적어서 실제로 문제가 거의 없으며 노출 초기에 약간의 호흡량 상승, 심박수 증가, 근장력 증가 등의 증상이 나타나지만 이때 진동에 의한 혈액이나 내분비 조성에 대한 영향은 없다. 그러나 강한 장기 노출(long-term exposure)은 작업자에게 척추와 말초신경계에 심각한 영향을 초래하며, 강도와 노출 지속 시간에 따라 평균적으로 건강 위험이 증가하게 된다. 전신진동은 회전체 기계, 구조물 등에 의해 발생한 진동이 인체의 지지면적을 통해 인체 전반을 투과하는 진동으로 정의할 수 있는데 이러한 전신진동은 안정감

\* 연세대학교 산업환경학과 교수(정회원), \*\*연세대학교 대학원, # 아주대학교 의과대학교수

의 저하(degraded comfort), 활동의 방해(interference with activities), 건강의 악화(impaired health), 과민반응(perception of low-magnitude vibration), 멀미(motion sickness) 등을 유발한다.

이러한 전신진동 영향을 정량화하기 위해 진행된 연구 결과를 ISO2631-1997에서 설정한 세 방향의 축을 기준으로 살펴보면 좌우 방향 가속에 대한 인체의 반응은 연구된 바가 드물며, 상하방향으로 2~5G 이상의 가속에 노출되면 혈액, 림프액과 같은 유연한 성분과 조직이 상하로 유동하여 안면 울혈이 발생하며 주변 시야에서 과녁 검출 능력이 감소하는 현상이 나타난다. 또한 전후 방향의 가속을 받는 경우는 신체의 앞쪽 방향 가속에 대해서 몸을 뒤로 짓히려는 경향을 보이며 8G 이상의 가속에서는 산소 결핍으로 인한 호흡 곤란 증세를 보인다. 반면 신체 뒤쪽 방향으로서 가속에 노출되면 호흡은 쉬워지나 외향압력에 의한 불쾌감은 앞쪽으로 가속되는 때와 같다. 따라서 무중력 상태와 같은 높은 수준의 가속도에 폭로될 위험이 있는 특이한 환경, 정밀한 작업을 요하는 작업장 또는 고속주행, 대량 운송 교통수단 등에는 이에 따른 적절한 보호대책이 필요하다. 또한 전신 진동에 의한 인체의 반응은 매우 다양하므로 가속도의 크기만으로 설명이 어려우며 주파수의 효과도 동시에 고려되어야 한다. 전신 진동에 노출된 인체의 각 부위는 진동의 크기뿐만 아니라 주파수에 따라서도 각각 다르게 반응을 한다. 이와 같이 인체의 조직이 같은 크기의 진동임에도 불구하고 민감하게 반응하는 특정한 주파수를 공진 주파수라고 부르며 앉아 있는 사람의 경우 신체부위에 따른 공진 주파수는 표-1과 같다.

표-1 인체 각 부위의 공진 주파수

공진주파수	인체의 공명 부위
3~4Hz	경부골(목)
4Hz	요추골(상체)
5Hz	견대
20~30Hz	머리와 어깨 사이
60~90Hz	안구

\* Grandjean, 1988; Sanders 1994

위와 같은 주파수의 진동이 인체로 전해지면 외부 진동의 크기가 작다 하더라도 생리적으로 골격계, 근육계, 신경계, 심근계, 호흡계, 중추신경계, 내분비/신진대사 기능의 장애를 일으킨다. 또한 과업 수행의 측면에서 시각, 청각, 촉각, 자기 자극 감수(proprioception), 정신 운동의 수행(psychomotor performance), 인식수행(cognitive performance)의 방해, 불면증(vigilance) 등의 증상이 나타난다.

## 2.2 측정 대상 차량 현황

본 조사의 대상이 되었던 선로보수차량 현황을 표-2 에 나타내었으며 1호선-4호선을 운행하는 전동차의 주요 재원은 표-3과 같다.

표-2. 선로 보수차량 현황(MTT 작업차량)(공사참조)

구분	제작회사	규격	작업속도	주행속도	연료탱크용량	유압탱크용량
멀티플 1호 (08-32) '91년형	오스트리아 PLASSER사	L=17.9m H=3.3m W=2.2m T=45ton	1.5 km/h	80 km/h	1200L 경유	1200L
멀티플 2호 (08-32) '95년형	오스트리아 PLASSER사	L=17.9m H=3.7m W=2.96m T=50ton	1.5 km/h	80 km/h	1200L 경유	1200L

표-3 호선별 전동차 주요 자원 비교(공사협조)

구 분	1 호 선	2 호 선	3 호 선	4 호 선
차 종	직,교 겸용 저항차	직류 전용 CHOPPER차	직류전용 CHOPPER차	직류/직, 교겸용 VWF차
속도제어방식	저항, 계자제어, 직병렬제어	CHOPPER제어 계자제어	CHOPPER제어 계자제어	가변전압 가변주파수 제어
전기방식	직류 1,500V 교류 25,000V	직류 1,500V	직류 1,500V	직류 1,500V 교류 25,000V
차체	길이(mm)	19,500	19,500	19,500
	폭(mm)	3,120	3,120/3,160	3,160
	높이(mm)	3,800	3,750	3,750
성능	최고속도	110Km/H	100Km/H	100Km/H
	가속도	2.5Km/H/s	3.0Km/H/s	3.0Km/H/s
	감속도	3.0/4.0Km/H/s	3.5/4.5Km/H/s	3.5/4.5Km/H/s
대차방식	2축 Bogie 코일스프링 볼스터방식	2축 Bogie 1차 코일 2차 공기스프링 볼스터 방식	2축 Bogie 1차 코일 2차 공기스프링 볼스터 방식	2축 Bogie 1차 고무 2차 공기스프링, BOLSTERLESS 방식
제동방식	발전제동, 전자직통공기 제동	회생제동 및 공기제동	회생제동 및 공기제동	일괄교차형 회생제동 및 공기제동
보조전원장치	전동발전기 200V 110KVA	전동발전기 및 SIV 200V 110KVA	전동발전기 및 SIV 200V 110KVA	SIV 380V 180KVA
차체재질	MILD STEEL	MILD STEEL	MILD STEEL	STS 301L

※ 위 성능중 최고속도는 차량제원상 속도이며 실제 지하철 선로내 운행속도는 최고 80Km/H 임

## 2.3 측정 장비 및 방법

### 2.3.1 측정 장비

지하철에서 발생하는 진동의 크기를 측정하기 위하여 진동기록장치(Tape recorder( R-71, TEAC)), 전신진동용 pad형 3축 가속도계(acceleration pick up pad), 진동수준측정기(Vibration Level Meter(VM-52, RION)), 증폭기 및 전원공급장치(Amplifier & Power supply)가 사용되었으며, 녹음된 자료는 실험실에서 주파수분석기(FFT analyzer(SA-74A, RION))를 이용하여 정밀 분석하였다. 표-4는 측정장치의 목록을 나타내고 있으며, 그림-1은 이들 측정장비의 설치 및 운용모델의 개요를 나타내고 있다.

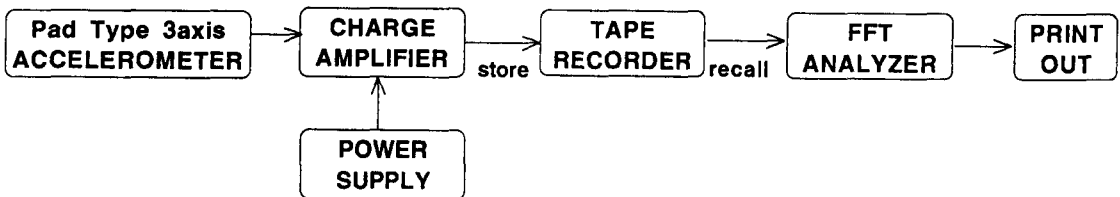


그림-1 진동측정장치의 개요

표-4 측정장비 목록

장 비 명	모델명 및 제조회사
전신진동용 패드형 3축가속도계 (Acceleration pick up pad)	KRISS
전원공급 및 증폭기(Power supplier & Amplifier)	"
기록장치(Tape recorder)	R-71, TEAC
3방향 진동측정기set(Vibration Level Meter)	VM-52, RION
- 환경진동용 3방향 가속도계 (3- axes vibration pick up)	- PV-83B
주파수분석기(FFT Analyzer)	SA-74A, RION

### 2.3.2 측정 방법

전동차 및 선로보수차량에서 발생하는 진동이 인체에 노출되는 양을 측정하기 위해 운전자가 작업을 수행하는 위치(주로 운전석)에 전신진동용 가속도계(acceleration pick up pad)를 설치하였다. 그림-2는 가속도계의 위치와 이 가속도계의 설치후 운전자가 앉아있는 모습을 나타내었다.

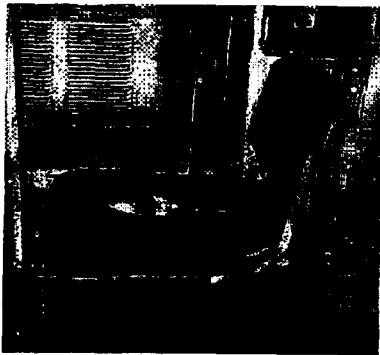


그림-2 가속도계의 위치와 이 가속도계의 설치후 운전자가 앉아있는 모습  
진동이 발생하는 각각의 방향은 ISO2631에서 제시한 자료를 근거로 차량의 진행방향인 운전자의 앞  
뒤방향을 x축, 좌우방향을 y축, 그리고 상하방향을 z축으로 설정하였으며 그림-3과 같다.

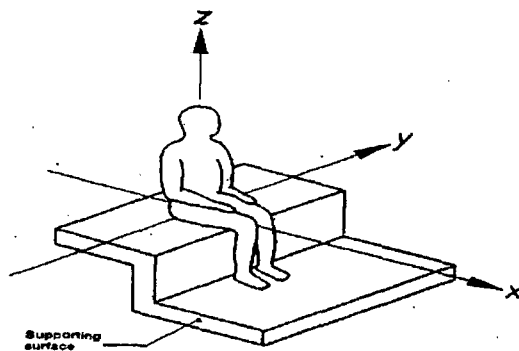


그림-3 기본중심좌표계(Basicentric Coordinate System - seated position)

### 2.3.3 평가방법 및 기준

ISO에서는 진동에 대한 노출 기준을 ISO-2631에 규정하고 있으며 part-1과 part-2로 구분하여 이동차량과 건물에서 발생하는 진동의 인체에 대한 영향을 평가하고 있다. 평가를 위한 가속값의 계산은 진동자체에서 발생한 가속도를 각 축에 해당하는 주파수가중인자(weighting factor)와 축방향보정인자(multipling factor)를 곱하여 최종적으로 가중가속도값(Total weighted acceleration)으로 환산한다. 표-5에 이러한 인자(factor)를 나타내었다. 또한 이 기준에서는 값을 적용함에 있어 기본적으로 가장 큰 가속도 값을 기준으로 폭로량을 평가하는 Dominant axis method를 이용하도록 하고 있으나 최근의 개정된 기준에 의하면 각 축의 값이 크게 차이를 보이지 않을 경우 vector sum method를 사용할 것을 권장하고 있다. vector sum method를 구하는 공식은 아래와 같다.

$$a_w = \sqrt{(1.4a_{wx})^2 + (1.4a_{wy})^2 + (1.0a_{wz})^2}$$

본 조사에서는 이 두값을 dom값과 sum값으로 나타내어 각각의 경우를 동시에 기준과 비교하였다.

표-5 Weighting Factor & Multipling Factor\*

Frequency Hz	Wz factor×1000	Wx,y factor×1000	Frequency Hz	Wz factor×1000	Wxy factor×1000
1	482	1011	10	988	212
1.25	484	1008	12.5	902	161
1.6	494	968	16	768	125
2	531	890	20	636	100
2.5	631	776	25	513	80
3.15	804	642	31.5	405	63.2
4	967	512	40	314	49.4
5	1039	409	50	246	38.8
6.3	1054	323	63	186	29.5
8	1036	253	80	132	21.1
Multipling factor k			Wz×1.0		Wx,y×1.4

\* weighting factor : 주파수가중인자, multipling factor : 축방향보정인자

ISO 2631 part-1에서는 이동차량에서 발생하는 진동의 영향에 대해 Health Guidance Caution Zone을 설정하여 이동차량에서 발생한 진동수준이 이 범위 아래 있으면 인체에 대한 어떠한 영향도 명확하게 보고되어 지지 않거나 객관적으로 관찰되어지지 않은 것으로, 이 범위 내에 있으면 진동에 대해 잠재적인 위험이 내재되어 있는 것으로, 이 범위를 넘어서면 인체건강에 대한 위험가능성이 있는 것을 의미한다.

### 2.4 연구결과 및 분석

현재 지하철공사에는 1호선~4호선의 4개 노선에 대해 총 200대의 전동차와 2대의 선로보수차량(MTT작업차량)이 운행되고 있으며 이들 차량을 대상으로 전동차의 경우 각 노선별 3회씩 총 12회, 선로보수차량의 경우 전 차량에 대해 작업과 작업현장으로의 이동에 대해 각각 3회의 측정을 하였다. 측정과 동시에 운전근로자들에게 질문을 통한 설문을 실시하였으며 이를 통해 표-6의 내용을 얻을 수 있었다.

표-6 운전근로자의 업무현황<sup>1)</sup>

구 분	평균운행시간		운행거리	휴식시간 <sup>2)</sup>
	1회	1일		
1 호 선	1~2 시간	4~5 시간	120~190Km	2~4 시간
2 호 선	1~1.5시간	4~5 시간	140~150Km	
3 호 선				
4 호 선				
선로보수차량 <sup>3)</sup> (MTT 작업)	4시간중 작업시 : 2 시간 이동시 : 2 시간		40 Km	

- 1) 측정대상차량(12대)의 운전근로자와 일부 차장을 대상으로 평균을 냄
- 2) 1일 운행회수는 2~3회로서 운행사이의 휴식을 의미함
- 3) MTT 작업자인 경우 2일 야간근무, 2일 주간근무, 2일 휴무의 주기로 근무

측정결과 지하철 각 노선에서의 주파수가중 가속도 값은 dom 값을 기준으로 3호선이  $0.64 \text{ m/s}^2$  으로 가장 높게 나타났으며 4호선  $0.41 \text{ m/s}^2$ , 1호선  $0.35 \text{ m/s}^2$ , 2호선  $0.12 \text{ m/s}^2$  의 순으로 분석되었으며 측정구간과 각 축에 대한 값을 표-7에 나타내었다.

표-7 각 전동차의 진동 가속도 값

지하철 호 선	측정구간	측정횟수	총 노출량 (Total Weighted Acceleration( $\text{m/s}^2$ )) <sup>*</sup>				
			x-axis	y-axis	z-axis	dom	sum
1호선	청량리 ~ 구 로	3회	0.35	0.11	0.25	0.35	0.44
2호선	합 정 ~ 당 산		0.13	0.13	0.18	0.18	0.24
3호선	수 서 ~ 구파발		0.64	0.13	0.16	0.64	0.68
4호선	사 당 ~ 당고개		0.41	0.10	0.32	0.41	0.53
MTT작업	.		0.72	0.18	1.49	1.49	1.67
MTT이동	.		1.76	0.13	3.65	3.65	4.05

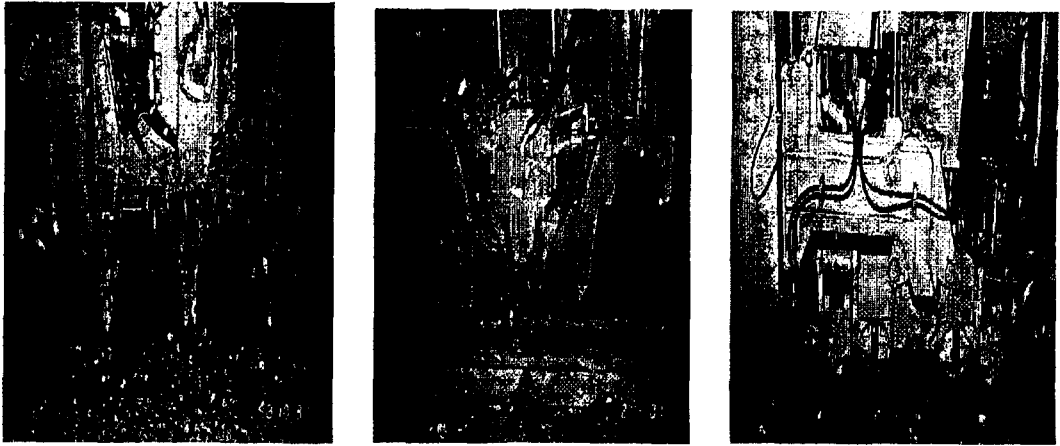
\* 측방향보정인자(k) × 주파수가중인자( $a_w, \text{m/s}^2$ )

x, y-축 : k=1.4, z-축 : k=1.0

전동차의 경우, 비교적 x 방향의 값이 높게 나타났으며 이는 차량의 진행방향으로 차량의 가속 및 감속과 이로 인한 객실차량과의 연결부위의 충돌 영향을 받은 결과로 판단된다. 또한 z방향의 경우 운전자의 상하방향으로서 가장 큰 값이 나타날 것으로 기대되었으나 전동차의 진동을 인체에 전달해주는 가장 중요한 역할을 하는 운전석의 경우 진동흡수가 큰 스폰지 재질로 되어 있었으며 운전석 구조물 자체에 상하방향 진동을 감쇠하기 위한 스프링구조가 설치되어 있어 상당한 양의 진동이 감쇠된 것으로 판단된다. y방향의 경우는 지하철노선이 거의 직선에 가까우며 곡선의 경우도 완만한 굴곡을 이루고 있어 이 방향으로의 진동은 그다지 크게 작용하지 않은 것으로 판단된다.

선로보수차량의 경우, 지반 다지기 작업과 작업현장이동시 운전석의 위치가 다르기 때문에 두가지로 분류(그림-11)하였으며 이 차량에서 발생하는 가속도 값은 일반 전동차에 비해 상당히 큰 값을 나타내고 있다. 작업 중의 값은 z방향이 가장 큰 값을 나타내고 있는데 이는 지반을 다지는 작업특성이 크램프(cramp)로 레일을 지지하여 x, y방향을 고정한 후 팬팅파인(peenting-fine)으로 고속(rpm 2300)으로 상하운동을 하면서 지반을 다지기 때문으로 판단된다.(그림-4) 이동중의 값은 일반 전동차에 비해 높은값을 나타내고 있는데 이는 전동차의 경우 전기motor에 의한 구동방식을 사용하고 있으며 승객의 승차감 측면에서 차를 편마모에 대한 정비가 정기적으로 이루어지고 있는데 반해 이 작업차량은 디젤을 사용한 실린더 회전엔에 의한 구동방식을 채택하고 있으며 승차감 측면보다는 작업에 주목적용

두므로 차량의 정기적 점검이 제대로 이루어지지 않아 차량 편마모에 의한 과도한 진동이 발생된 것으로 파악된다.



a) 팬벨트라인-작업전

b) 팬벨트라인-작업중

c) 클램프-작업중

그림-4 선로보수차량의 팬벨트라인과 클램프

## 2.5 평가

ISO 2631-part1을 기준으로 각 차량의 최종 가중 가속도값과 평균운행시간을 이용하여 그림-5에 Health guidance caution zones과 비교하였으며 이 영역과의 관계를 표-8에 나타내었다. 여기서 비교를 위한 운행시간은 1회 운행에 대한 시간과 1일 총 운행시간을 사용하였으며 가속도 값은 dom값을 사용하였다.

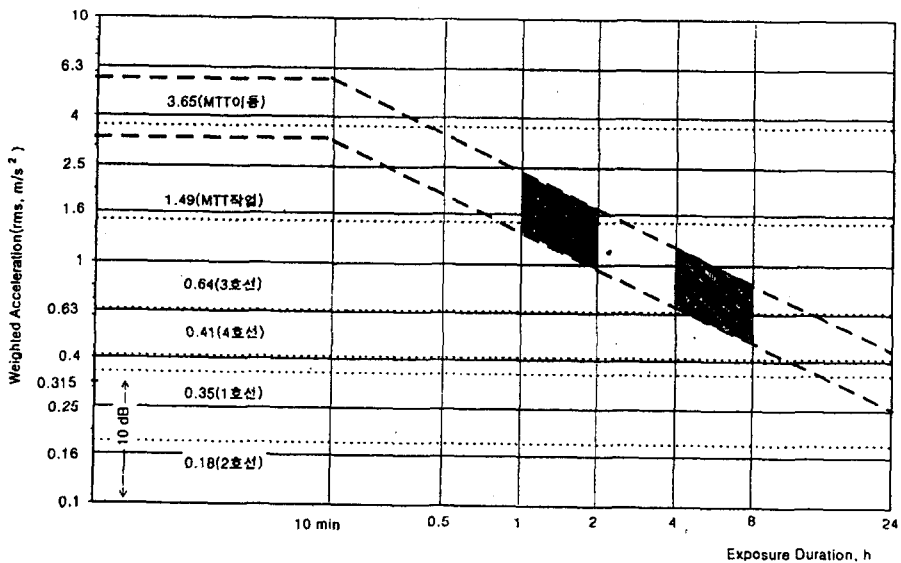


그림-5 건강지표경계영역과 폭로시간 및 가속도값과의 관계

\* 점선은 각 노선별 전동차와 선로보수차량의 가속도 값을 의미

\*\* 빗금영역은 1회 운행과 선로보수관련시간(1-2시간) 및 1일 총 운행시간에 대한 영역을 나타냄(4-8시간)

표 8 측정 대상별 최대 노출허용시간

대 상		Total weighted Acceleration <sup>1)</sup> (m/s <sup>2</sup> )		평균운영시간		노출양상비교 <sup>2)</sup>	
		dom	sum	1회	1일	1회	1일
1	호 선	0.35	0.44	1.5 시간	4.5 시간	Below	Below
2	호 선	0.18	0.24	1.25시간		Below	Below
3	호 선	0.64	0.68	1.25시간		Below	In
4	호 선	0.41	0.53	1.25시간		Below	Below
선로 보수 차량	작업	1.49	1.67	1시간		In	
	이동	3.65	4.05	1시간		Over	
	작업+이동	2.55	2.84	2시간		Over	

1) 총 노출량

2) 1회 또는 1일 운영시간에 대해 Health guidance caution zones(빗금부분)의 어느부위에 위치하는 가  
를 의미함.

- Below : 인체에 어떠한 영향도 명확하게 보고되어지지 않거나 객관적으로 관찰되어지지 않는 범위
- In : 진동에 대한 잠재적인 위험이 내재 되어 있는 범위
- Over : 인체건강에 대한 위험이 있을 가능성이 있는 범위

전동차의 경우 1회의 운영시간에 대해 전 노선에서 경계영역보다 낮은 값을 나타내어 운행중의 진동 노출로 인한 건강장애는 없을 것으로 판단된다. 1일 총 운영시간에 대한 비교에서는 3호선을 제외한 전 노선은 낮은 값을 나타내어 건강에 대한 문제가 없을 것으로 보이나 3호선은 영역내에 값이 위치하여 잠재적으로 위험에 노출될 우려가 있다고 판단된다.

선로보수차량의 경우 작업중일 때는 영역내에 값이 위치하고 있었으나 이동중에는 영역을 초과하는 것으로 나타났으며 작업+이동의 경우 역시 영역을 초과하고 있는 것으로 나타났다. 이는 선로보수작업을 수행하는 운전근로자가 진동에 의한 인체건강에 대한 위험가능성이 있음을 나타내고 있는데 실제 20년 넘게 이 작업을 수행한 운행근로자의 경우 현재 허리디스크 수술을 받은 상태이며 비슷한 경력의 동료 근로자 역시 허리통증에 관련한 질병을 많이 호소하고 있다고 한다. 본 작업의 경우 각별한 주의와 방지대책이 필요할 것으로 판단된다.

3. 참고 문헌

ISO 2631 - 1 : 1997(E) General requirements , 1997, Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration

Johanning E., 1991, Back disorders and health problems among subway train operators exposed to whole-body vibration. Scan J Work Environ Health; 17: 414-419

Bovenzi M., 1996, Low back pain disorders and exposure to whole-body vibration in the workplace. Seminars in perinatology; 20(1): 38-53

박상규 외, 1998, 소음진동학, 동화기술, 183, 213-221

Sang K. Park, Sang W. Jeong, Jeong T. Youn, 1997, Estimation of whole body vibration in a subway system, Asia-Pacific vibration '97 conference, Kyungju, Korea.

Thalheimer E., 1996, Practical approach to measurement and evaluation of exposure to whole-body vibration in the workplace. Seminars in perinatology; 20(1): 77-89

Johanning E., Wilder D. G., Landrigan P. J., Pope M. H., 1991, Whole-body vibration exposure in subway cars and review of adverse health effects. Journal of occupational medicine; 33(5): 605-612

User's manual for dual channel FFT spectrum analyzer(SA-74A/B), RION Co., LTD, Japan



표 8 측정 대상별 최대 노출허용시간

대 상	Total weighted Acceleration <sup>1)</sup> (m/s <sup>2</sup> )		평균운행시간		노출양상비교 <sup>2)</sup>	
	dom	sum	1회	1일	1회	1일
1 호 선	0.35	0.44	1.5 시간	4.5 시간	Below	Below
2 호 선	0.18	0.24	1.25시간		Below	Below
3 호 선	0.64	0.68	1.25시간		Below	In
4 호 선	0.41	0.53	1.25시간		Below	Below
선로	작업	1.49	1.67	1시간	In	
보수	이동	3.65	4.05	1시간	Over	
차량	작업+이동	2.55	2.84	2시간	Over	

1) 총 노출량

2) 1회 또는 1일 운행시간에 대해 Health guidance caution zones(빗금부분)의 어느부위에 위치하가를 의미함.

- Below : 인체에 어떠한 영향도 명확하게 보고되지 않거나 객관적으로 관찰되지 않는 범위
- In : 진동에 대한 잠재적인 위험이 내재되어 있는 범위
- Over : 인체건강에 대한 위험이 있을 가능성이 있는 범위

전동차의 경우 1회의 운행시간에 대해 전 노선에서 경계영역보다 낮은 값을 나타내어 운행중의 진동 노출로 인한 건강장애는 없을 것으로 판단된다. 1일 총 운행시간에 대한 비교에서는 3호선을 제외한 전 노선은 낮은 값을 나타내어 건강에 대한 문제가 없을 것으로 보이나 3호선은 영역 내에 값이 위치하여 잠재적으로 위험에 노출될 우려가 있다고 판단된다.

선로보수차량의 경우 작업중일 때는 영역 내에 값이 위치하고 있었으나 이동 중에는 영역을 초과하는 것으로 나타났으며 작업+이동의 경우 역시 영역을 초과하고 있는 것으로 나타났다. 이는 선로보수 작업을 수행하는 운전근로자가 진동에 의한 인체건강에 대한 위험가능성이 있음을 나타내고 있는데 실제 20년 넘게 이 작업을 수행한 운행근로자의 경우 현재 허리디스크 수술을 받은 상태이며 비슷한 경력의 동료 근로자 역시 허리통증에 관련한 질병을 많이 호소하고 있다고 한다. 본 작업의 경우 특별한 주의와 방지대책이 필요할 것으로 판단된다.

### 3. 참고 문헌

ISO 2631 - 1 : 1997(E) General requirements , 1997, Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration

Johanning E., 1991, Back disorders and health problems among subway train operators exposed to whole-body vibration. Scan J Work Environ Health; 17: 414-419

Bovenzi M., 1996, Low back pain disorders and exposure to whole-body vibration in the workplace. Seminars in perinatology; 20(1): 38-53

박상규 외, 1998, 소음진동학, 동화기술, 183, 213-221

Sang K. Park, Sang W. Jeong, Jeong T. Youn, 1997, Estimation of whole body vibration in a subway system, Asia-Pacific vibration '97 conference, Kyungju, Korea.

Thalheimer E., 1996, Practical approach to measurement and evaluation of exposure to whole-body vibration in the workplace. Seminars in perinatology; 20(1): 77-89

Johanning E., Wilder D. G., Landrigan P. J., Pope M. H., 1991, Whole-body vibration exposure in subway cars and review of adverse health effects. Journal of occupational medicine; 33(5): 605-612

User's manual for dual channel FFT spectrum analyzer(SA-74A/B), RION Co., LTD, Japan