



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

승강기 종류별 진동 분석을 활용한  
승차감에 관한 연구



濟州大學校 大學院

메카트로닉스工學科

金 俸 贊

2011 年 2 月

승강기 종류별 진동 분석을 활용한  
승차감에 관한 연구

指導教授 崔 劉 賢

金 俸 贊

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2011 年 02月

金俸贊의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審 查 委 員 長 \_\_\_\_\_ (인)

委 員 \_\_\_\_\_ (인)

委 員 \_\_\_\_\_ (인)

濟州大學校 大學院

2011 年 02月

A study on Comfort Using Elevator Type  
Vibration Analysis

Bong-Chan Kim

(Supervised by professor Kyung-Hyun Choi)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the  
degree of Master of Engineering

2011. 02.

This thesis has been examined and approved.

Department of Mechatronics Engineering  
GRADUATE SCHOOL  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

# 목 차

<b>I. 서 론</b>	1
1. 연구 배경	1
2. 연구 목표	2
3. 연구 동향	3
<b>II. 승강기 기술의 개요</b>	4
1. 승강기 정의 및 발달사	4
2. 승강기의 분류	5
<b>III. 승강기 승차감에 관한 이론적 개요</b>	12
1. 가속도(Acceleration)와 가가속도(Jerk)	12
2. 생리정수와 승차감	12
3. 주행 중 진후, 좌우 진동(Vibration)	15
4. 소음(Noise)	15
5. 진동 · 소음 기준	17
<b>IV. 승강기 진동 분석을 위한 데이터 수집</b>	18
1. 측정 장비	18
2. 측정항목 및 정의	19
3. 데이터 정리 방법	20
4. EVA Software에서 데이터 수집 방법	21
4.1 기동 쇼크(shok)	21
4.2 정지 쇼크(shok)	21
4.3 가속도	22
4.4 감속도	22
4.5 주행중 상하, 진후, 좌우 진동	23

4.6	가속도, 감가속도(Jerk)	23
<b>V.</b>	<b>승강기 종류별 진동 데이터 측정</b>	<b>24</b>
1.	측정대상 승강기	24
2.	속도별 진동 데이터 측정	26
3.	하중(인승)별 진동 데이터 측정	30
4.	사용연수별 진동 데이터 측정	33
5.	제어방식별 진동 데이터 측정	36
<b>VI.</b>	<b>측정데이터 분석 결과</b>	<b>39</b>
1.	속도별 진동 데이터 분석	39
2.	하중(인승)별 진동 데이터 분석	41
3.	사용연수별 진동 데이터 분석	43
4.	제어방식별 진동 데이터 분석	46
<b>VII.</b>	<b>결론</b>	<b>49</b>
<b>VIII.</b>	<b>참고문헌</b>	<b>51</b>

## List of Figures

- Fig. 2.1 Alternating One-stage Velocity Control Circuit
- Fig. 2.2 Alternating Two-stage Velocity Curve
- Fig. 2.3 Alternating Two-stage Velocity Control Circuit
- Fig. 2.4 Alternating Two-stage Velocity Curve
- Fig. 2.5 Alternating Return Control Circuit
- Fig. 2.6 Inverter Control Circuit
- Fig. 3.1 Ideal velocity feature
- Fig. 3.2 Velocity feature curve by displeasure of Acceleration/Deceleration
- Fig. 4.1 EVA Hardware
- Fig. 4.2 EVA Software
- Fig. 4.3 Composition of EVA Software
- Fig. 4.4 EVA Unit & Analysis Setting
- Fig. 4.5 Start shock graph
- Fig. 4.6 Stop shock graph
- Fig. 4.7 Acceleration graph
- Fig. 4.8 deceleration graph
- Fig. 4.9 Moving to-and-fro, left-right, up-down vibration graph
- Fig. 4.10 Jerk graph
- Fig. 5.1 Start & stop shock by velocity
- Fig. 5.2 Acceleration & deceleration by velocity
- Fig. 5.3 Moving to-and-fro, left-right, up-down vibration by velocity
- Fig. 5.4 Jerk by velocity
- Fig. 5.5 Start & stop shock by load
- Fig. 5.6 Acceleration & deceleration by load
- Fig. 5.7 Moving to-and-fro, left-right, up-down vibration by load
- Fig. 5.8 Jerk by load

Fig. 5.9 Start & stop shock by use years  
Fig. 5.10 Acceleration & deceleration by use years  
Fig. 5.11 Moving to-and-fro, left-right, up-down vibration by use years  
Fig. 5.12 Jerk by use years  
Fig. 5.13 Start & stop shock by control method  
Fig. 5.14 Acceleration & deceleration by control method  
Fig. 5.15 Moving to-and-fro, left-right, up-down vibration by control method  
Fig. 5.16 Jerk by control method  
Fig. 6.1 Comparison Start & Stop shock & Comfort  
Fig. 6.2 Comparison Acceleration & deceleration & Comfort  
Fig. 6.3 Comparison Moving to-and-fro, left-right, up-down vibration & Comfort  
Fig. 6.4 Comparison Jerk & Comfort  
Fig. 6.5 Comparison Start & Stop shock & Comfort  
Fig. 6.6 Comparison Acceleration & deceleration & Comfort  
Fig. 6.7 Comparison Moving to-and-fro, left-right, up-down vibration & Comfort  
Fig. 6.8 Comparison Jerk & Comfort  
Fig. 6.9 Comparison Start & Stop shock & Comfort  
Fig. 6.10 Comparison Acceleration & deceleration & Comfort  
Fig. 6.11 Comparison Moving to-and-fro, left-right, up-down vibration & Comfort  
Fig. 6.12 Comparison Jerk & Comfort  
Fig. 6.13 Comparison Start & Stop shock & Comfort  
Fig. 6.14 Comparison Acceleration & deceleration & Comfort  
Fig. 6.15 Comparison Moving to-and-fro, left-right, up-down vibration & Comfort  
Fig. 6.16 Comparison Jerk & Comfort



## List of Tables

Table. 3.1 middle speed(60~105m/min) vibration, noise standard of elevator

Table. 4.1 Measurement item & definition

Table. 5.1 List of measurement elevator

Table. 5.2 Elevator number by velocity

Table. 5.3 Elevator moving pattern by velocity

Table. 5.4 Elevator number by load

Table. 5.5 Elevator moving pattern by load

Table. 5.6 Elevator number by use years

Table. 5.7 Elevator moving pattern by use years

Table. 5.8 Elevator number by control method

Table. 5.9 Elevator moving pattern by control method

## Summary

The more there are high-rise buildings in every direction, the more comfortable and much safer we need a High-speed Elevator. Nowadays it is the decisive factor to be comfortable to take an elevator with safety. As it is going up and down, the speed is faster, and its control method is changed on the situation, there are lots of the vibration and the noise from it. So we should study for them completely. The research on them using the measuring equipment is about analyzing "The Cause of the Vibration and the Noise". We measure factors effecting on a comfortable ride to take an elevator. The samples and data are therefore stratified to include the cause of them. We also can judge the strength of the vibration on a case-by-case basis. Thus we can find out the root cause of the problem and do our best to alter the design of controls to minimize those adverse effects. This is the most important factor in passengers to take a high-speed elevator with both comfort and safety. Therefore we must study for them widely and accurately.

# I. 서론

## 1. 연구의 배경

최근 건물이 고층화됨에 따라 엘리베이터의 고속화에 대한 필요성이 증대되고, 이와 아울러 안전성과 정숙한 승차감에 대한 요구도 날로 증가하고 있는 실정이다. 이로 인하여 최근 설치되는 엘리베이터는 안전성을 바탕으로 운행시 발생하는 진동에 따라 좌우되는 승차감이 매우 중요한 요소로 대두되고 있다. 현재 승강기 운행에 바탕이 되는 안전성을 위해 승강기시설안전관리법에 의해 국가공인 검사기관에서 최초 완성검사를 실시하고 매년 정기검사를 실시하고 있으며, 매월 유지보수업체에서 자체점검을 실시하는 등 안전운행을 위한 제도가 마련되어 있다.[1] 따라서 승강기의 안전성은 사회적으로도 많은 보장이 되고 있다고 볼 수 있다. 한편 성능 면에 있어서는 고속화에 의한 수송능력이 향상되고, 반도체 기술의 응용에 의한 제어성능이 향상되고 있으나, 고속화와 반도체의 이용 기술은 한편으로는 엘리베이터의 소음 진동을 증가시키는 원인이 될 수 있고 승강기의 노후화에 따른 소음 진동이 증가할 수 있는 원인이 된다. 이는 현대인이 가장 중요하게 생각하는 조용하고 부드러운 승강기 운행에 악영향을 주는 요인으로 나타날 수 있다. 실제 승강기를 이용하는 승객들은 승강기의 안전성보다 직접 피부로 와 닿는 승차감을 중요하게 생각하고 있는 실정이다. 얼마 전 고층아파트가 보급 될 초기에는 아파트에 엘리베이터가 설치되는 자체만으로 충분한 장점이 되어 다소의 진동·소음문제는 큰 불만거리가 되지 않았지만 엘리베이터가 보편화된 지금은 엘리베이터의 편리성만으로는 점증하는 정숙성의 요구에 보상이 되지 않을 뿐만 아니라 큰 불만의 소재가 되고 있는 실정이다. 이렇듯 인류의 편의를 위해 엘리베이터 시스템이 날로 발전함에 따라 필연적으로 진동 및 소음 문제도 크게 대두되고 있다. 승강기를 타는 사람들은 문의 개폐 속도, 카의 운행속도, 가감속도 및 정지속도에 민감하다. 이러한 속도는 소음과 진동을 동반하

며, 이는 승차감을 결정하는 요소이기도 하다. 그러나 소음과 진동은 승차감에만 영향을 미치는 것이 아니라, 승강기의 노후도와 연결하여 생각하는 사람들이 많으며, 탑승자에게 막연한 불안감을 주기도 한다. 이렇듯 엘리베이터의 용량과 운행속도가 증가하고 제어방식의 변화로 발생하는 진동·소음 문제에 대하여 체계적인 연구가 필요하다.

## 2. 연구의 목표

우리나라에는 다양한 건물에 여러 종류의 승강기가 설치되어 있다. 따라서 승강기 승차감에 대한 연구를 하기 위해서는 승강기의 종류를 각 제원에 맞게 분류를 하여 데이터를 측정할 필요가 있다. 종류가 다른 64개의 현장의 승강기를 선정하고 속도별, 하중별, 사용연수별, 제어방식별로 구분을 하여 실험 및 측정하여 데이터를 수집한다. 현재 승강기의 소음과 진동을 측정할 수 있게 출시된 표준계측기 「EVA-625」 장비를 활용하여 데이터를 측정한다. 또한 승강기의 승차감에 영향을 주는 요인들을 이론적으로 분석하고 각각의 승차감 기준을 설정한다. 기동 및 정지쇼크, 최대 가속도 및 최대 감속도, 상하·좌우·전후진동, 가가속도 및 가감속도등의 요인들을 승강기를 이용하는 승객들이 느낄 수 있는 승차감에 대해 기준을 정한다. 진동 장비를 이용하여 승강기 운행시 진동 데이터를 측정하고 데이터를 이용하여 진동값을 분석할 수 있다. 이 값들을 승차감 기준과 비교하여 승차감에 영향을 주는 요인들을 확인하는데 목적이 있다고 할 수 있다. 향후 승차감에 악영향을 주는 요인들을 최소화하여 승객들이 편한 승차감으로 승강기를 이용할 수 있고, 안전성과 편리함을 동시에 모색할 수 있다는 것이 이번 연구의 목표라고 할 수 있다.

### 3. 기존 연구 동향

우리나라에서는 1980년대 6층 이상의 고층아파트에 승강기를 설치하는 것이 일반화됨에 따라 설치대수가 급격히 증가하였으며, 2010년 현재 우리나라에 설치되어 현재 가동 중인 승강기의 대수는 약40만대이다.[2] 한편 성능 면에 있어서는 고속화에 의한 수송능력이 향상되고, 반도체 기술의 응용에 의한 제어성능이 향상되었다. 그러나 고속화와 반도체 이용 기술은 한편으로는 엘리베이터의 소음 진동을 증가시키는 원인이 되었으며, 특히 최근 일조문에 의한 인동간격 확보 및 건물스페이스의 이용확대 등으로부터 승강기 승강로가 침실에 인접하는 경우가 많게 되었고, 경량화에 따라 건물이 진동 소음 측면에서 불리하게 되었다. 이러한 사회적인 추세에 따라 국내에서는 1993년 국내 최초로 대한주택공사에서는 약 3개월간 “PC 주택의 엘리베이터 운행소음 저감방안 연구”[3]를 수행하여, PC 주택 턴키 설계 지침을 마련하고 공법 개선을 통한 저감 대책을 마련하였다. 위 연구는 일본 및 구미의 승강기 소음 기준치를 비교한 후 국내 승강기 소음 진동 실태 등을 고려하여 승강기의 설계목표치 설정하였으며, 승강로 벽체 설계, 교류 귀환 방식과 인버터 방식의 소음 진동 비교, 기계실의 방진설계등에 대하여 연구하였다. 한편 일본 및 구미에서는 1983년 成田正夫등에 의한 “엘리베이터의 진동해석-거실소음 저감에의 응용”[15]연구에 의해 기계대의 강성증가에 의한 건물 진동 응답, 권상기의 특성 영향 등을 파악하였으며, 1988년 立林昌弘에 의한 “집합주택 엘리베이터 설비 소음 대책 연구”[16]에 의해 권상기 설치 위치 및 방법 등의 영향이 조사되었고, 건축 계획상, 건물 구조상 대책이 제시되었다. 체코의 Lubomir Janovsky교수는 승강기 기계실 바닥의 진동을 실험에 의해 조사하고 뜬 바닥 구조에 대한 디테일을 제시하였다.[10] 승강기 소음 진동에 관한 연구는 우리나라와 같이 좁은 국토에 고층 아파트를 많이 건설하는 환경에서 보다 심층적으로 이루어 질 필요가 있다고 판단되며, 현재 40만대 이상에 이르는 승강기 유지 관리 측면에서도 소음 진동 개선을 위한 연구는 의의가 있다고 판단된다.[4]

## II. 승강기 기술의 개요

### 1. 승강기의 정의 및 발달사

#### 1) 승강기의 정의

인간은 2층 이상의 건물을 점유하기 시작한 이래 여러 형태의 수직운송수단을 개발해왔다. 최초의 형태로는 사다리, 계단, 동물의 힘을 이용한 도르래, 그리고 수동으로 돌리는 권양기가 있었다. 고대 로마유물은 일종의 견인식 플랫폼 타입의 도르래가 설치되었던 승강로의 흔적을 보여주고 있다. 이에 기초한 가이드 또는 수직 레일은 모든 현대식 승강기의 특징이기도 하다. 일반적으로 승강기의 정의는 “건축물이나 공작물에 부착되어 일정한 승강로를 통하여 사람이나 화물을 운반하는데 사용되는 시설”[7]을 말한다. 승강기의 일반적 정의는 “전용 승강로 내를 레일을 따라 동력에 의해 상하로 움직이는 카로 사람 또는 물건을 운반하는 기계장치”라고 할 수 있다. 또한 현대적 의미로 볼 때 승강기는 “사람 또는 자재를 수직으로 올리기 위해 고안된 운송장치”라고 정의된다. 그 운송 장치에는 올리는 수단이나 연결 장치가 고장 날 경우, 추락을 막는 장치가 포함되어야 한다.

#### 2) 승강기의 발달사

초기의 동력에 의한 승강기는 물(펌프)을 이용한 「수압식」이고, 이것은 현재 사용하고 있는 「유압식 승강기」의 기원이기도 하다. 승강기 공업이 현재와 같은 산업으로 발전하게 된 것은 19세기 후반부터이다. 미국의 오티스는 1852년 낙하방지장치를 발명하였고, 1853년 자신의 인체실험을 실시하여 그 안전성을 입증하였다. 이후 트래クション(Traction)형 권양기의 개발, 점진식 비상정지장치 개발, 층상선택기의 발명, 직류 가변전압 제어장치 도입 및 신호제어방식의 발명 등 기술의 진보가 계속되었다. 또한 여러 대의 승강기를 하나의 군으로 통합하여 유기적 운행 및 관리하는 「군관리 방식」[12]의 개발과 반도체를 엘리베이터에 사

융합으로써 급속한 발전이 이루어졌다. 이와 함께 건물의 고층화에 따라 승강기의 고속화가 요구되어 1978년에는 600m/min, 1993년에는 750m/min 고속 승용 승강기가 개발되기에 이르렀다. 또한 근래에는 공공주택이나 아파트의 건축이 늘어나게 됨에 따라 엘리베이터가 우리들의 일상생활에서 밀접한 시대가 되었다. 승강기의 기술발전을 전동기 구동제어 기술측면에서 살펴보면, 직류전동기 구동 제어기술은 워드레오나드에서 정지형(싸이라스터) 레오나드로 발전하였고, 교류전동기 구동제어기술은 교류전압제어에서 교류귀환제어를 거쳐 현재 엘리베이터의 주력기종인 인버터 제어로 발전하였으며, 인버터 제어기술의 상용화로 교류전동기를 사용하여 직류전동기 이상의 성능을 발휘할 수 있게 됨에 따라 1990년 이후에는 직류전동기를 더 이상 사용하지 않게 되었다. 전동기 구동 제어기술의 발전과 함께 기어형 권상기도 워밍기어에서 헬리컬기어로 바뀌어 운전효율이 크게 개선되었다.[5]

## 2. 승강기의 분류

### 2.1 구동방식에 의한 분류

#### 1) 로프식 승강기[13]

로프로 카를 매달거나 밀어 올리는 2가지 방법이 있다. 현재의 승강기는 대부분이 현수식(매다는 방식)이다.

(1) 권상식 : 한쪽에는 카, 다른 쪽에는 균형추를 매단 와이어로프를 권상기의 도르래에 걸어 와이어로프와 도르래 사이의 마찰력에 의해 구동하는 방식으로 승강기로서는 가장 일반적인 것이다.

(2) 권동식 : 권상기에 권동(드럼)을 사용하여 로프를 권동에 감거나 또는 풀거나하여 카를 승강시키는 방식으로 소형, 저속, 저양정인것의 일부에 사용된다.

## 2) 유압식 승강기

유체의 압력에 의해 피스톤을 통하여 카를 움직인다. 현재의 유압식에서는 거의 전동 펌프에 의한 기름의 흐름을 이용하고 있다. 플런저의 움직임을 어떻게 카에 전달하느냐에 따라 크게 나누어 보면 다음의 3가지 종류가 있다.

- (1) 팬터그래프식 : 유압피스톤으로 팬터그래프를 개폐하여 팬터그래프의 꼭대기부분에 설치되어 있는 카를 승강시키는 방식으로 극히 일부의 소형화물용에 사용되고 있다.
- (2) 직접식 : 카를 플런저로 직접 상승시키는 방식이다
- (3) 간접식 : 플런저의 선단에 도르래를 놓고 로프 또는 체인을 통해 카를 올리고 내린다.

## 2.2 속도에 의한 분류

명확하게 정의된 것은 없지만 일반적으로 다음과 같이 구분하고 있다.

- (1) 저속 : 45m/min 이하
- (2) 중속 : 60m/min~105m/min
- (3) 고속 : 120m/min~300m/min
- (4) 초고속 : 360m/min 이상[8]

분속 300m를 초과하는 승강기는 대개 높이가 100m를 초과하는 초고층 건물에 설치되고, 여기에 설치되는 것을 초고속승강기라고 하는 경우가 많다.

## 2.3 제어방식에 의한 분류

속도제어방법에 의하여 분류하면 로프식에서는 전동기의 제어방식에 의하여 또, 유압식에서는 밸브의 제어방식 등에 의하여 다음과 같은 종류가 있다. 로프식에는 교류전동기로 구동하는 것, 직류전동기로 구동하는 것이 있지만, 각각 교류 승강기 및 직류 승강기라고 부르고 있다. 과거에는 교류 승강기는 중저속 승강기에, 직류 승강기는 고속, 초고속 승강기에 적용되지만, 1980년대 전반에 가변전압 가변주파수 제어방식(VVVF 방식)이 개발된 이래 저속에서 초고속에 이르기까지 급속하게 가변전압 가변주파수화가 추진되어 현재 직류 승강기는 거의 생산이 되지 않고 있는 추세이다.



1) 로프식

(1) 교류 승강기[9]

교류 승강기란 유도전동기를 사용하는 승강기의 총칭이다. 유도전동기는 구조적으로 간단하고 경제적인 이점이 있어 현재 운행되는 대부분의 승강기는 교류 승강기이다. 교류 승강기의 제어에는 다음 4가지 종류가 있다.

① 교류 1단 속도제어방식

가장 간단한 제어방식으로 3상교류의 단속도 모터에 전원을 공급하는 것으로 기동과 정속운전을 하고, 정지는 전원을 끊은 후 제동기에 의해 기계적으로 브레이크를 거는 방식이다. 대표적인 회로도를 Fig. 1에, 속도곡선은 Fig. 2에 표시하였다.

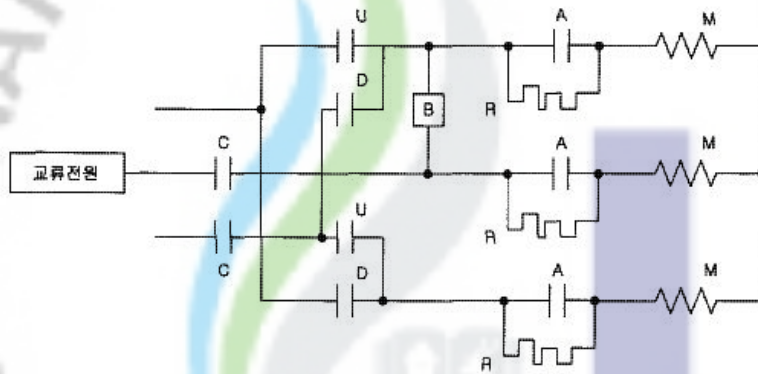


Fig. 2.1 Alternating One-stage Velocity Control Circuit

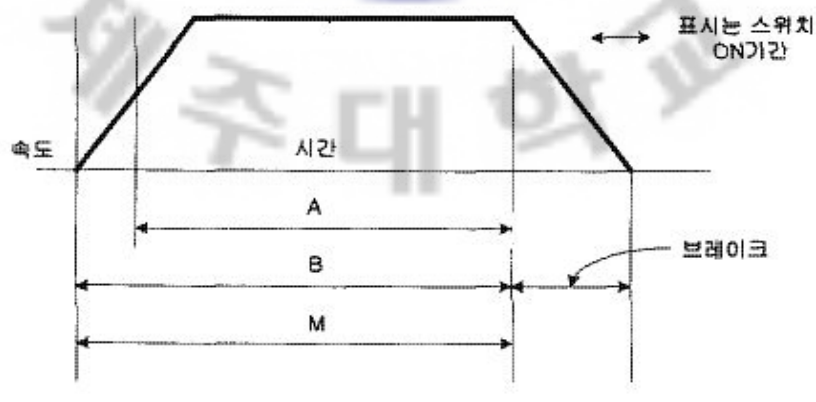


Fig. 2.2 Alternating Two-stage Velocity Curve

목적은 기동 전류를 낮게 하고 모터의 기동토크를 내려서 카의 가속도를 사용 가능한 속도로 내리는 것이다. 이 기동저항은 어느 정도 모터가 가속되면 점점 A에 의해 단락된다. 교류 1단 속도제어는 구조가 간단한 것이 이점이지만, 착상 오차가 크므로 최고 30m/min이하에만 적용이 가능하다. 즉 정지는 기계적 브레이크에 의한 것이지만 정지할 부하 토크는 오버밸런스율을 40%로 하여도 +60%에서 -40%까지 변하는 것과 브레이크 라이닝의 마찰계수가 변동하는 수도 있어서 30m/min의 승강기에서는  $\pm 30\text{mm}$ 의 착상오차가 생기는 수가 있다. 착상오차는 속도의 2승에 비례하여 증가한다고 볼 수 있다.

② 교류 2단 속도제어방식

1단 속도에서는 착상오차가 크므로 중속의 승강기에서 이것을 감소시키기 위해 2단 속도 모터를 사용하여 기동과 주행은 고속권선으로 하고, 감속과 착상을 저속권선으로 행하는 카의 제어이다. 가령, 60m/min의 엘리베이터를 4:1의 속도 비로 착상시키면 15m/min의 교류 1단 속도제어와 같은 착상오차가 되어 충분히 실용화할 수 있는 방식이 된다. 2단 속도 모터의 속도비는 여러 비율이 있지만 착상오차 이외에 감속도, 감속시의 저크(감속도의 변화 비율), 크리프시간(저속으로 주행하는 시간), 전력회생 등을 감안한 4:1이 가장 많이 사용된다. Fig. 3에 이 방식의 대표적인 회로도를, Fig. 4에 속도곡선을 나타낸다.

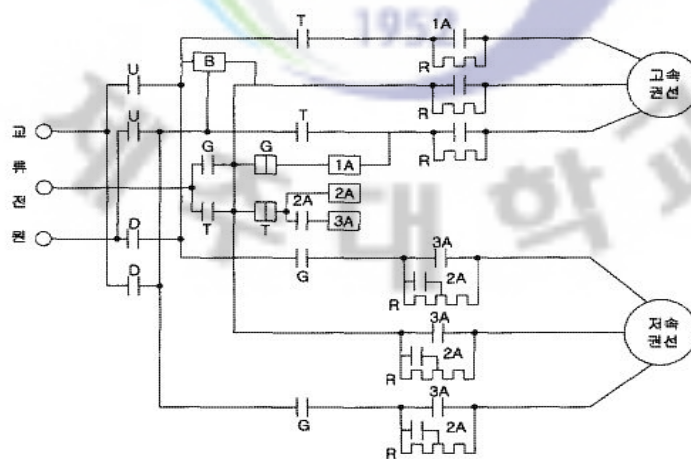


Fig. 2.3 Alternating Two-stage Velocity Control Circuit

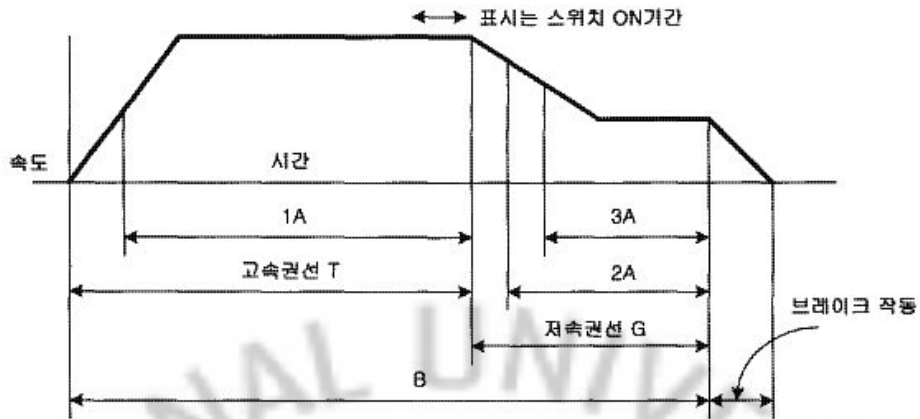


Fig. 2.4 Alternating Two-stage Velocity Curve

③ 교류 귀환 전압제어방식

교류 귀환 제어는 반도체의 발달로 인해 실용화되어 45m/min에서 105m/min까지의 승용 승강기에 주로 적용되고 있다. 그 전까지는 45~60m/min은 교류 2단 속도제어를 적용하고, 90~105m/min은 직류제어를 적용하였다. 이 방식은 카의 실속도와 지력속도를 비교하여 사이리스터의 점호각을 바꿔 유도전동기의 속도를 제어하는 방식이다. 대표적인 회로를 Fig. 5에 나타내었다.

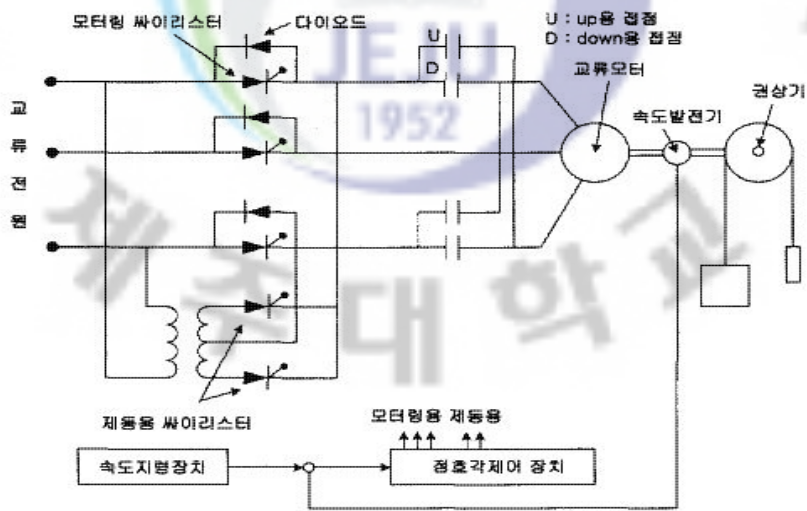


Fig. 2.5 Alternating Return Control Circuit

가속 및 감속시도 카의 실속도를 속도발전기에서 검출하고, 그 전압과 속도지령 장치로부터의 전압을 비교하여 지령 값보다 카의 속도가 작은 경우는 역행 싸이리스터를 점호하여 증속시키고, 반대로 지령 값보다 카의 속도가 큰 경우는 제동용 싸이리스터를 점호하여 감속시킨다. 전속 주행 중은 귀환제어를 하지 않고, 보통 교류모터로서 카를 일정속도로 주행시키는 예가 많다. 이와 같이 교류 귀환 제어방식의 엘리베이터에서는 미리 정하여진 지령속도에 따라 정확하게 제어되므로 승차감 및 착상정도 모두가 종래의 교류 승강기에 비하여 크게 개선되었다. 교류 2단 속도와 같은 저속주행시간이 없으므로 운전시간이 짧다.

④ 가변전압 가변주파수 제어방식(Variable Voltage Variable Frequency)

인버터제어라고도 불리며, 유도전동기에 인가되는 전압과 주파수를 동시에 변환시켜 직류전동기와 동등한 제어성을 얻을 수 있는 방식이다. 이 방식의 채택에 의해 종래의 직류전동기를 사용하고 있던 고속승강기에도 유도전동기를 적용하여 보수가 용이하고, 에너지소비가 적어지는 효과를 얻게 되었다. 교류 귀환 제어를 채택하였던 중, 저속 승강기에서는 승차감 및 성능이 크게 향상됨과 동시에 저속영역에서의 손실을 줄여 소비전력을 약 반을 줄였다. Fig. 6은 고속 등강기용 인버터제어회로의 대표적인 예를 표시한 것이다.

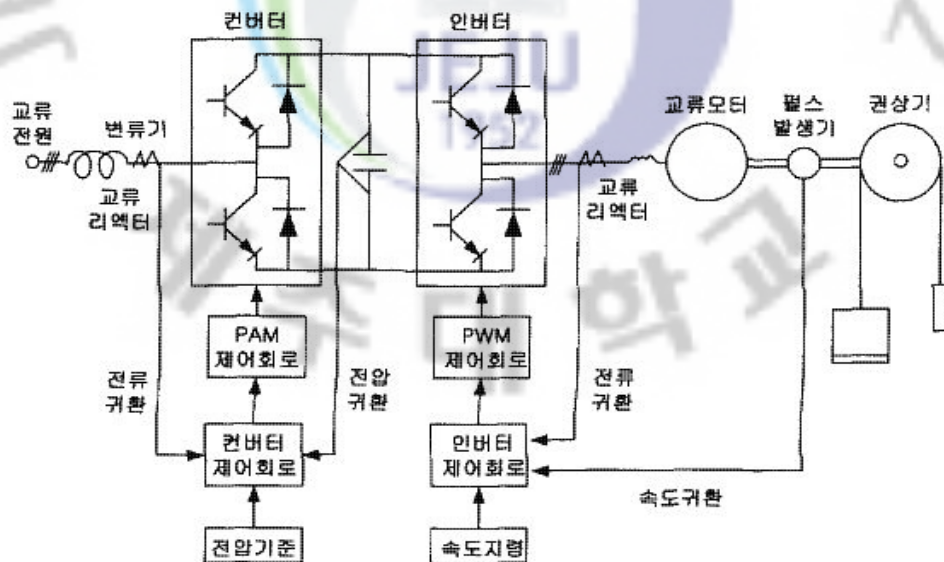


Fig. 2.6 Invertor Control Circuit

3상의 교류는 컨버터로 일단 DC전원으로 변환하고, 인버터로 재차 가변전압 및 가변주파수의 3상교류로 변환하여 전동기에 급전한다. 이때 인버터는 정현파 PWM(펄스 폭 변조)제어에 의해 정현파에 근접된 임의의 전압, 주파수를 출력한다. 컨버터는 인버터와 같이 트랜지스터와 다이오드로 구성되어 전동기가 부하에 의해 돌러지면 인버터로서 동작하고, 엘리베이터 부하 측으로부터 교류전원에 전력회생을 한다. 인버터나 컨버터의 제어에는 복잡한 연산이 필요하기 때문에 고성능 마이크로프로세서가 사용되고 있다.

## (2) 직류 승강기

직류 승강기는 90,105m/min의 기어부착(g geared) 승강기와 120m/min이상의 기어 없는(gearless) 승강기에 적용되는 것이 보통이다. 일반적으로 직류분권 모터의 제어에 전기자 회로나 계자회로에 저항을 삽입하여 컨트롤하는 방법이 있으나, 직류 승강기제어에는 전동발전기(M·G : Motor-Generator)의 계자를 제어하여 행하는 워드레오나드(Ward Leonard)방식이 대부분이다. 최근에는 전력전자기술의 발달로 전동발전기 대신에 싸이리스터로 구성된 정류기로 점호각을 제어하여 전압을 변환하는 정지형 레오나드(Static Leonard)방식이 주로 고속승강기에 적용된다.[5]

- ① 직류 가변전압 기어부착 제어방식(직류기어식)
- ② 직류 가변전압 무기어 제어방식(직류무기어식)

## 2) 유압식

- (1) 유압유량제어방식
- (2) 인버터제어방식

### Ⅲ. 승강기 승차감에 관한 이론적 개요

#### 1. 가속도(Acceleration)와 가가속도(Jerk)

일반적으로 승강기에 있어서는 60[m/min]의 경우, 가속하여 최고속도에 달하는데 1.3초정도 걸리기 때문에 일정 가속도로 가속하였다면,

$$60[\text{m/min}] = 1[\text{m/sec}] = 100[\text{cm/sec}]$$

$$100[\text{cm/sec}]/1.3[\text{sec}] = 78[\text{cm/sec}^2] = 78[\text{gal}] \text{이 된다.}$$

일반적으로 상하방향 가속의 경우 +G가 되는 상승의 가속 또는 하강의 감속에서는 150[gal], -G가 되는 하강의 가속 또는 상승의 감속에서는 100[gal]을 넘으면 불쾌감으로서 느껴지기 시작한다.

또한,  $1[\text{m/sec}^3] = 1[\text{m/sec}^2]$ 의 가속도에 달하는데 1초의 시간이 걸리는 경우. 직류승강기와 교류승강기의 승차감을 비교하는 경우, 최대가속도가 크게 되면 일반적으로 직류승강기의 경우가 승차감이 좋다. 이것은 최대가속도에 달하는데 시간을 요하게 되고, 급격한 속도의 변화가 없기 때문이다. 직류승강기 가속시의 가가속도는  $0.8 \sim 1.3[\text{m/sec}^3]$ 인데 반하여, 교류승강기는 기동 시에  $3 \sim 7[\text{m/sec}^3]$ 으로 급격한 가속도 변화율을 나타낸다. 일반적으로  $5[\text{m/sec}^3]$ 을 넘으면 쇼크(shock)라고 느껴진다.[14] 가가속도가  $1.3[\text{m/sec}^3]$ 이하이면, 최대가가속도가  $200 \sim 250[\text{gal}]$ 에 달하여도 이렇다 할 불쾌감은 느끼지 못한다.[6]

#### 2. 생리정수와 승차감

위에서 기술한 가가속도 $[\text{m/sec}^3]$ 는 무명수(無名數)로 한 것을 승차감의 불량을 나타내는 생리정수[K]로서 나타낸다. 승차감은 가속도의 대소, 가가속도의 대소

및 주행 중의 상하, 전후, 좌우 진동의 대소에 의해 결정된다.

## 2.1 가속도에 따른 승차감

가속도가 적을수록 승차감이 향상되지만, 너무 적으면 최고속도에 도달하는 시간이 길어져 비능률적이 된다. 또한, 가속에 요하는 주행거리도 길어지게 되며, 가속하는 도중에 감속이 시작되는 경우도 생겨 역으로 승차감이 떨어지는 경우도 있다. 그러므로 가속도는 80~150[gal]을 선정한다. 예를 들면, 90[m/min]의 최고속도에 도달하는데 1.5초가 소요되었다고 하면, 가속도는

$$90[\text{m/min}] = 1.5[\text{m/sec}] = 150[\text{cm/sec}]$$

$$150[\text{cm/sec}] / 1.5[\text{sec}] = 100[\text{cm/sec}^2] = 100[\text{gal}]$$

이며, 이때의 주행거리  $S[\text{cm}]$ 는 최고속도  $v_1[\text{cm/sec}]$ , 초기속도  $v_0[\text{cm/sec}]$ , 소요시간  $t[\text{sec}]$ 라고 하면, 평균속도는  $\frac{v_1 - v_0}{2}$ 이므로

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{2}(v_1 - v_0) \times t = \frac{1}{2}(150[\text{cm/sec}] - 0[\text{cm/sec}]) \times 1.5[\text{sec}] \\ &= \frac{1}{2} \times 150[\text{cm/sec}] \times 1.5[\text{sec}] = 112.5[\text{cm}] \text{ 를 요하게 된다.} \end{aligned}$$

하지만, 만일 가속하는데 3초를 소요한다고 하면,

$$150[\text{cm/sec}] / 3[\text{sec}] = 50[\text{cm/sec}^2] = 50[\text{gal}]$$

가속에 요하는 거리  $S$ 는

$$S = \frac{1}{2} \times 150[\text{cm/sec}] \times 3[\text{sec}] = 225[\text{cm}] \text{가 된다.}$$

또한, 가속도의 변화는 작을수록 승차감은 향상된다. 즉, 가속 중에 가속비율이 크게 되거나 작게 된다면, 불쾌감을 느끼게 되고, 이것이 심해지면 승강기 자체에 대한 불안감을 느끼게 된다. 일반적으로는 일정 가속도(등가속도)가 좋지만, 정지부터 가속을 시작, 가속 종료하여 등속도로 이전할 때의 변화를 작게 하기 위해서 이것의 양단에 경사를 주는 방법이 좋다. 이 상태에 대한 이상적인 속도 특성 곡선을 Fig. 7에 도시하였고 Fig. 8는 가감속시 불쾌감을 느끼는 속도 특성곡선을 도시하였다.

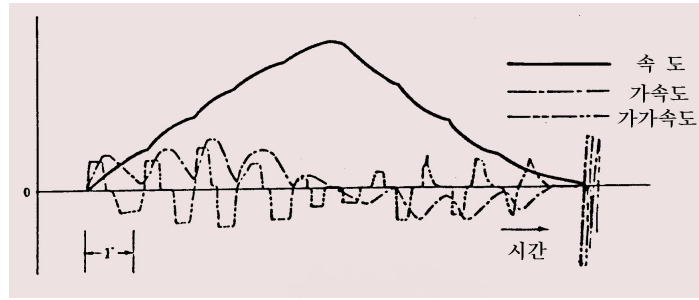


Fig. 3.1 Ideal velocity feature

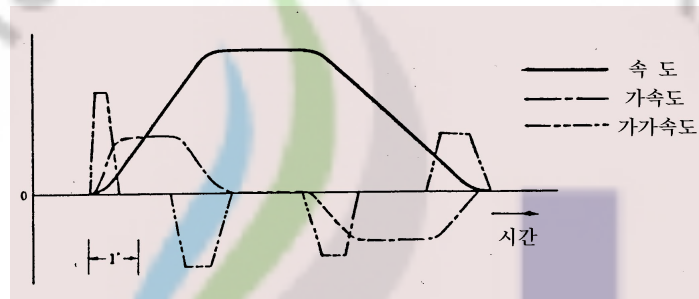


Fig. 3.2 Velocity feature curve by displeasure of Acceleration/Deceleration

## 2.2 주파수에 따른 승차감

상하진동에는 비교적 낮은 주파수대역( $2\sim 6[\text{Hz}]$ )의 진동과 높은 주파수 대역( $16\sim 25[\text{Hz}]$ )의 진동이 있다.

### (1) Low Frequency

낮은 주파수대역의 진동은 로프와 카상의 심별로드(Thimble Rod)의 스프링이 어떤 가진원에 의해 흔들려 카의 자중 및 하중의 합과, 로프의 장력, 길이(승강기의 위치)에 의해 결정되어지는 하나의 고유진동수에 의한 동기의 진동으로, 일반적으로  $3\sim 4[\text{Hz}]$ 의 주파수를 가지며, 무부하의 최상단에서 주파수가 가장 높고, 무거운 부하가 걸렸을 때는 저층단에서 가장 높게 일어난다. 이러한 상하진동에 있어 저주파대역의 진동이 일어나는 원인은 정상 주행 시에 레일의 단차, 가이드 슈의 인장 등에 의해 일어난다. 이 진동은  $0.6\sim 6[\text{Hz}]$ 의 범위 내에서



는 가가속도의 크기로 불쾌감의 대소가 결정되지만, 승강기에 있어서는 위에서 기술한 바와 같이, 3~5[Hz]의 주파수를 갖기 때문에 가속도의 크기로 나타내어도 큰 차를 보이지 않으므로 가감속시 50[gal], 고속 주행 시 25[gal]이 된다.

## (2) High Frequency

주행 중에 상하방향의 높은 주파수 진동은 주로 전동기 및 권상기(Traction Machine)의 회전체에ダイナ믹 언밸런스가 어느 순간에 발생하는 것이고, 이것은 전동기의 매초의 회전수가 그대로 진동주파수가 되어 로프로부터 카내부까지 전달된다. 그 주파수는 전동기의 회전수를 1200[rpm]으로 하면,  $1200 / 60 = 20[\text{rps}]$ 가 되고, 1초간에 20회전하기 때문에 1회전에서 1회의 진동을 발생할 때, 20[Hz]의 진동이 되어 승강기의 바닥에 전달된다. 일반적으로 6[Hz]를 넘어 20[Hz] 정도가 되면, 인체에는 진동 가속도의 크기에 비례하여 불쾌감을 느끼기 시작하기 때문에 15[gal]을 한도로 하고 있다. 그 이상의 주파수의 진동은 2배, 3배, 4배의 고조파(harmonics)를 발생시켜 카의 바닥 면을 가진시키지만 인체는 진동속도의 대소로서 불쾌감을 느끼며, 승강기의 소음이 동반되지 않는 한 문제되지 않기 때문에 진동을 측정할 때, 32~40[Hz]정도가 측정되어도 별로 큰 문제는 되지 않는다.[6]

## 3. 주행 중 전후, 좌우 진동(Vibration)

가이드 슈로부터 전달되는 진동 중에서 거의 대부분이 레일조인트의 불량 또는 레일의 큰 휨 등의 원인에 의해 발생한다. 승차감도 마찬가지로 진동력, 가속도의 크기에 비례한다. 규격형에서는 15[gal]을 한도로 하고 있다.

## 4. 소음(Noise)

승강기의 승차감 불량을 결정하는 요소의 하나로서 주행 중 및 도어개폐시의 소음이 있다. 소음은 정확히 설계도면대로 제작, 설치되었다더라도 그 기계자체의 설계 성능에 의해 발생하는 것과 기계의 고장에 의해 발생하는 것이 있다. 설계 성능에 의해 발생하는 소음은 부하조건에 의해 변하기 때문에 언제나 측정치가 최대치로 되지는 않는다. 그러나 이 소음이라는 것은 건물의 설계환경이 극히 조용하거나 사용자의 기대치가 아주 큰 경우에는 성능이 규격 내에 있어도 문제가 될 수 있으며, 진동보다는 외적조건에 좌우되기 쉽다.

#### 4.1 주행 중의 소음

주행 중 카내부에서는 들을 수 있는 소음으로는 다음과 같은 것들이 있다.

- (1) 승강기 기동 시에 전자개폐기 동작음, 브레이크 동작음이 순간적으로 들리고, 계속해서 권상기가 가속중의 회전음이 연속음이 되어 들린다.
- (2) 승강기가 고속으로 주행 시에는, 권상기의 회전음은 경쾌한 음으로 바뀌어 거의 들리지 않게 된다. 일반적으로 레일과 가이드슈의 마찰음이 연속음으로 들리고 조인트 등의 단차가 있는 경우, 불규칙한 순간음으로 들린다. 또한 권상기의 회전체가 불균형을 이루고 있는 경우, 이 진동이 주로프를 가진하게 되고, 카의 크로스헤드에 부착된 TFS(마찰좌)와 심벌로드가 닿아 소음을 일으키는 경우도 있다. 그리고 비상정지장치의 레버가 가이드에 닿아 소음이 발생하는 경우도 있으나, 이것은 모두 정상음이 아니기 때문에 레일의 오염상태와 단차오차 등을 수정하면, 이러한 소음은 줄일 수 있다.
- (3) 감속시 소음은 전기제어를 하기 때문에 60[Hz]에서 120[Hz]의 전기소음이 들릴 수 있다. 정지할 때 전자접촉기와 브레이크 동작음이 들릴 경우도 있다.
- (4) 승강기 상승운전시에는 풍음이 크게 발생한다.

#### 4.2 도어개폐시의 소음

도어개폐시 카 내부에서 들릴 수 있는 소음에는 다음과 같은 것들이 있다.

- (1) 카 도어가 열리는 초기, 승강장 도어를 물고, 가속하기 시작할 때의 체결음
- (2) 고속개폐중 행거롤러의 회전소음, 기어전동기의 회전음, 기어전동기축의 스프라켓과 체인의 치합음 등이 생길 수 있다.[6]

## 5. 진동 · 소음 기준

지금까지 기술한 진동, 소음의 기준을 요약하여 Table. 1 에 정리하였다.

Table. 3.1 middle speed(60~105m/min) vibration, noise standard of elevator

항 목	규정치	기준 요소의 정의
기동시의 가속도(gal)	80이하	기동단에서 가속도 변화율이 $5\text{m/sec}^3$ 을 넘는 부분의 가속도
가속도(gal)	150이하	가속시의 최대 가속도
감속개시의 가속도(gal)	80이하	감속개시의 가속도변화율이 $5\text{m/sec}^3$ 을 넘는 부분의 가속도
감속도(gal)	100이하	감속시의 최대가속도
감속종단의 가속도(gal)	80이하	감속종단의 가속도변화율이 $5\text{m/sec}^3$ 을 넘는 부분의 가속도
정지 쇼크(gal)	80이하	감속종단에서 가속도변화 방향에 역행하는 3~6Hz 정도의 가속도
가감속시의 상하진동(gal)	50이하	가감속시 1~6Hz의 가속도
상하주행시의 덜컥진동(gal)	25이하	정상 주행시 1~6Hz의 가속도 상하진폭
주행 시의 드르르진동(gal)	15이하	정상 주행시 10~50Hz의 가속도 상하진폭
카의 전후좌우 진동(gal)	15이하	정상 주행 시 카 전후좌우의 가속도 상하진폭
착상오차(mm)	±5이하	부하 및 전압에 의한 착상 오차의 변화 (절댓값)
주행음(dB)	50이하 (A scale)	카내부바닥중앙에서 1.5m위치에서 측정
주행 중 기계실 소음(dB)	70이하 (A scale)	전동기 프레임으로부터 1m떨어진 곳, 1m 높이에서 측정
주행 중 최상층 승강장(dB)	55이하 (A scale)	최상층 승강장 도어전방 1m, 바닥에서 1m 높이에서 측정

## IV. 승강기 진동 분석을 위한 데이터 수집

### 1. 측정 장비

표준계측기로 Physical Measurement Technologies 사의 EVA 625와 EVA Elevator Vibration Analysis Software를 사용한다. 아래 Fig. 9와 Fig. 10과 같이 Hardware와 Software로 구성되어 있다. 이 장비는 엘리베이터와 에스컬레이터의 진동을 측정하고 분석이 가능한 장비로 쉬운 조작으로 많은 정보를 얻을 수 있는 장점이 있다.[11]



Fig. 4.1 EVA Hardware

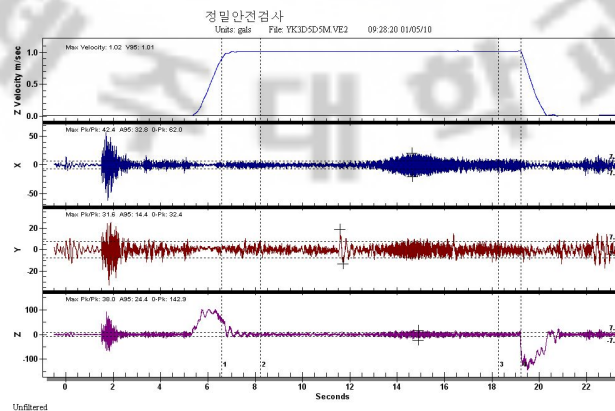


Fig. 4.2 EVA Software

## 2. 측정항목 및 정의

본 연구에서 측정할 항목과 정의는 아래 Table. 2와 같다. 또한 각 항목별 승차감 기준을 제시하였다. 이 데이터를 기준으로 종류별 승강기의 승차감을 분석할 수 있다.

Table. 4.1 Measurement item & definition

측정항목	측정값	승차감 기준	단위
기동 쇼크(shock)	기동시 최대 가속도의 peak-to-peak 치	80	gal
정지 쇼크(shock)	정지시 최대 감속도의 peak-to-peak 치	80	gal
가속도	가속시 최대 가속도(진폭 : 0-peak)	150	gal
감속도	감속시 최대 감속도(진폭 : 0-peak)	100	gal
주행 중 진동	ISO Filter 처리후 가속도의 peak-to-peak 치	15	gal
주행 중 좌우 진동	ISO Filter 처리후 가속도의 peak-to-peak 치	15	gal
주행 중 상하 진동	ISO Filter 처리후 가속도의 peak-to-peak 치	15	gal
가가속도	단위 시간당 가속도의 변화율	5	m/sec <sup>3</sup>
감가속도	단위 시간당 가속도의 변화율	5	m/sec <sup>3</sup>

### 3. 데이터 정리 방법

#### 3.1 EVA Software의 구성

기본적으로 소음과 3방향의 가속도를 아래 Fig. 11과 같이 동시에 측정한다.

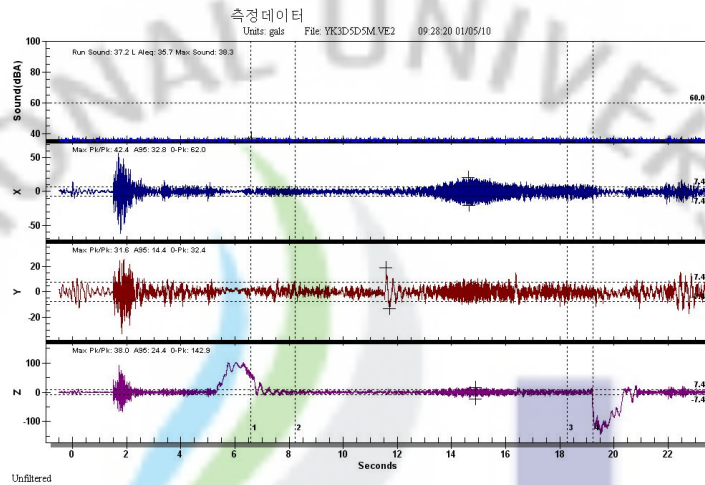


Fig. 4.3 Composition of EVA Software

#### 3.2 데이터 처리시 표준 setting

EVA의 Software에서 Unit & Analysis Setting은 아래의 Fig. 12와 같다.

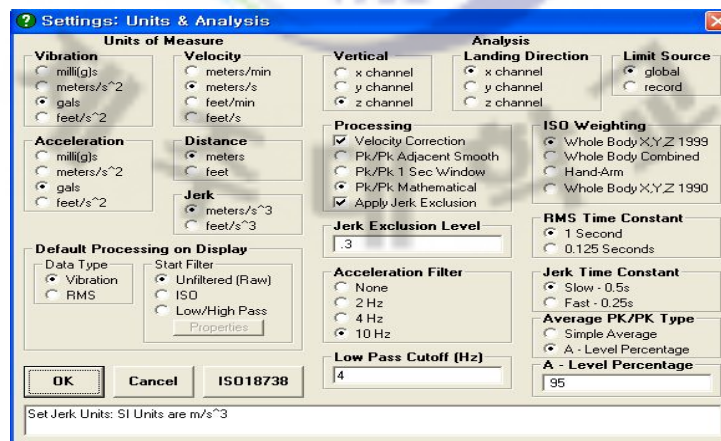


Fig. 4.4 EVA Unit & Analysis Setting

## 4. EVA Software에서 데이터 수집 방법

### 4.1 기동 쇼크(start shock)

상하 방향의 데이터에서 아래 Fig. 13과 같이 가속구간 시작 순간의 쇼크에 대한 peak to peak 값을 읽는다.

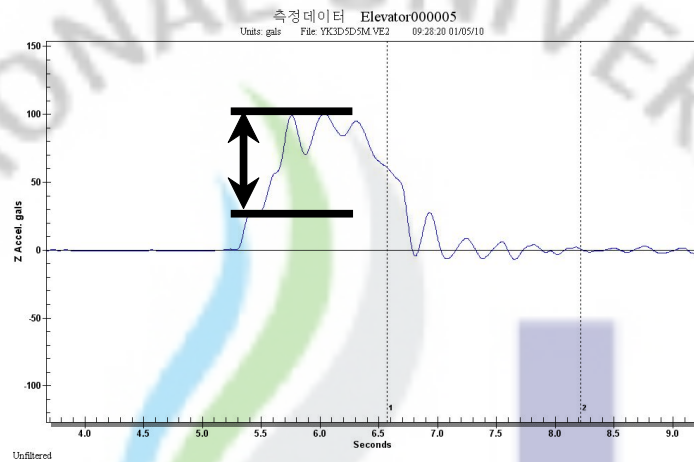


Fig. 4.5 Start shock graph

### 4.2 정지 쇼크(stop shock)

상하 방향의 데이터에서 아래 Fig. 14와 같이 감속구간 종료 순간의 쇼크에 대한 peak to peak 값을 읽는다.

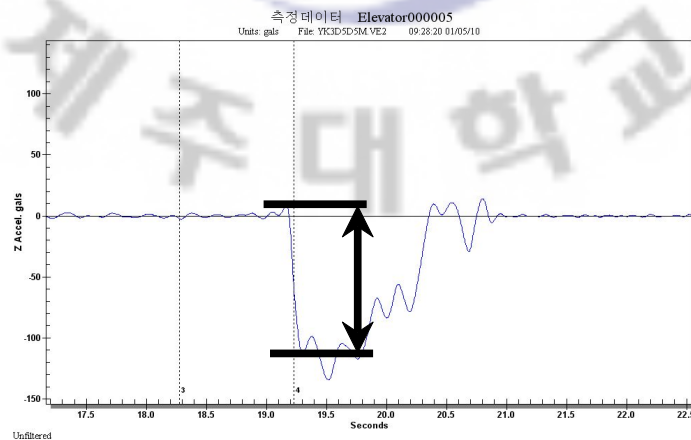


Fig. 4.6 Stop shock graph

### 4.3 가속도(Acceleration)

상하 방향의 데이터에서 아래 Fig. 15와 같이 Zero to Peak 값을 읽는다.

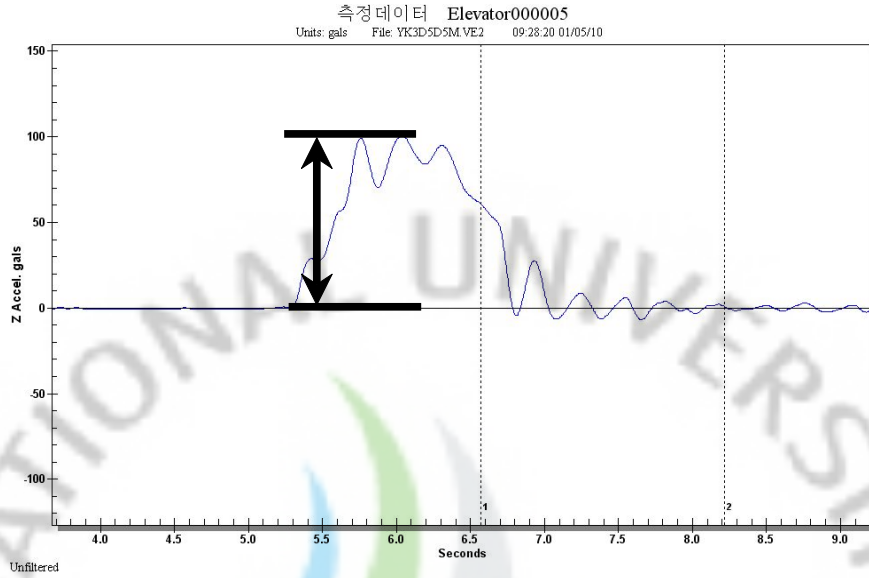


Fig. 4.7 Acceleration graph

### 4.4 감속도(deceleration)

상하 방향의 데이터에서 아래 Fig. 16과 같이 Zero to Peak 값을 읽는다.

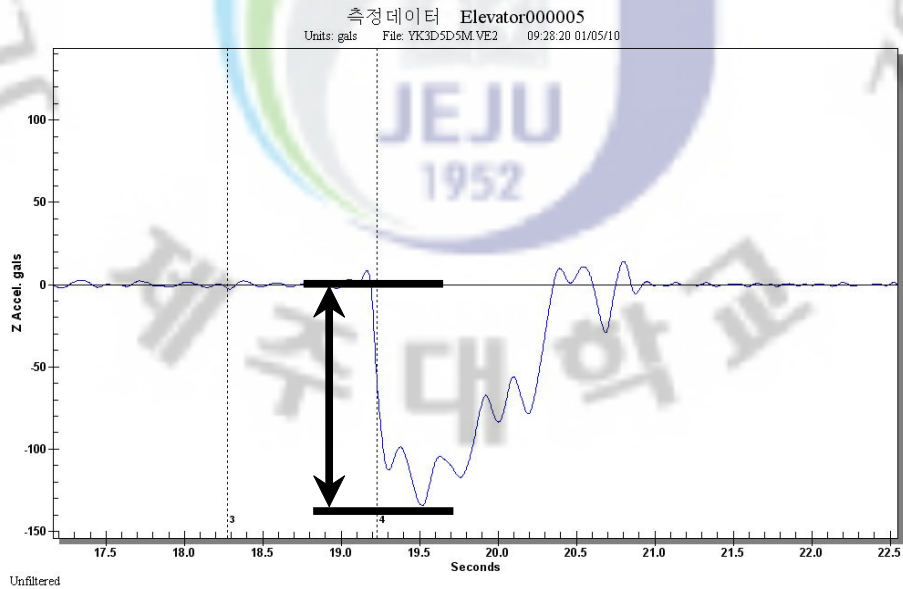


Fig. 4.8 deceleration graph



#### 4.5 주행 중 전후, 좌우, 상하 진동

ISO Filter를 사용한 데이터에서 아래 Fig. 17과 같이 정속 구간내의 Peak to Peak 최댓값을 읽는다.

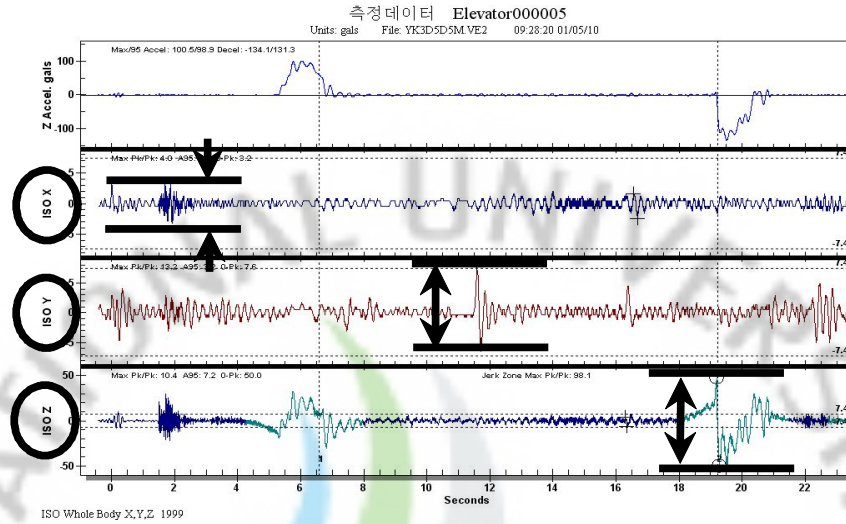


Fig. 4.9 Moving to-and-fro, left-right, up-down vibration graph

#### 4.6 가가속도, 가감속도(Jerk)

상하 방향의 데이터인 아래 Fig. 18에서 최댓값을 읽는다. Unit 선택 시 Landing Direction을 Z방향, Jerk Time Constant를 0.5s로 설정.

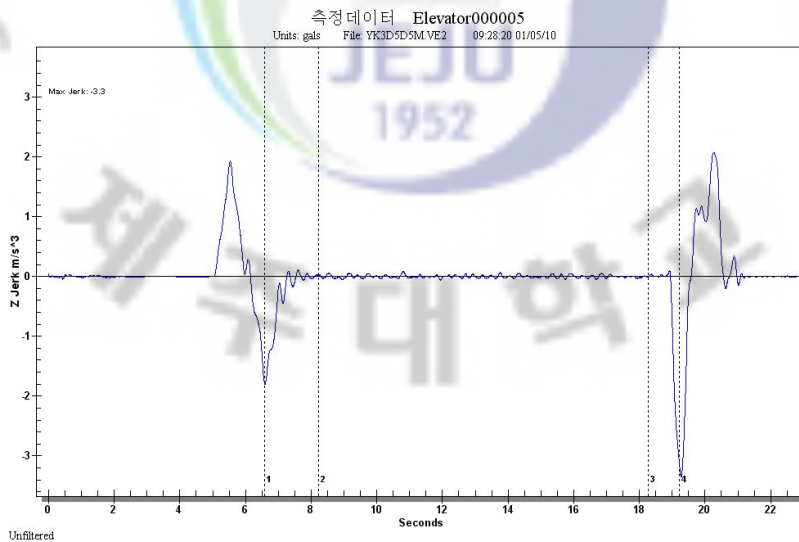


Fig. 4.10 Jerk graph

## V. 승강기 종류별 진동 데이터 측정

### 1. 측정대상 승강기

측정대상승강기는 속도, 하중, 사용연수, 제어방식별로 구분하여 수집하였다. 속도는 중속엘리베이터를 대상으로 하여 60m/min, 90m/min, 105m/min로 구분되며 하중은 450Kg~1350Kg, 사용연수는 1년~28년, 제어방식은 직류제어, 교류제어, 인버터제어로 구분하여 수집하였다. 측정대상승강기의 개요는 아래 Table. 3과 같다.

Table. 5.1 List of measurement elevator

현장	속도	하중(인승)	사용연수	제어방식
T호텔	105	1000(15)	18	직류제어
K호텔	105	1000(15)	5	인버터제어
K빌딩	105	900(13)	4	인버터제어
D타워빌	105	1150(17)	5	인버터제어
N호텔	105	1150(17)	12	인버터제어
P호텔	105	1150(17)	4	인버터제어
R호텔	105	1000(15)	16	인버터제어
G공단	105	1000(15)	4	인버터제어
J빌	105	900(13)	6	인버터제어
K생명	105	1150(17)	19	교류제어
D지점	90	900(13)	3	인버터제어
O호텔	90	1150(17)	8	인버터제어
H병원	90	1000(15)	3	인버터제어
G회관	90	900(13)	15	인버터제어
S호텔	90	1000(15)	17	인버터제어
R호텔	90	1050(16)	28	직류제어

H오피스텔	90	1150(17)	3	인버터제어
J센터	90	1150(17)	12	인버터제어
S지사	90	1150(17)	14	인버터제어
J오피스텔	90	1000(15)	20	교류제어
G생활관	60	550(8)	24	교류제어
N빌딩	60	450(6)	20	교류제어
N아파트3차	60	550(8)	16	교류제어
N아파트5차	60	550(8)	15	인버터제어
N아파트6차	60	550(8)	15	인버터제어
Y1차아파트	60	550(8)	16	인버터제어
E1차아파트	60	610(9)	16	인버터제어
D빌딩	60	1000(15)	18	교류제어
D맨션	60	550(8)	19	교류제어
M빌딩	60	610(9)	16	인버터제어
B아파트	60	550(8)	16	인버터제어
B빌딩	60	550(8)	15	인버터제어
B1차아파트	60	550(8)	17	교류제어
S빌딩	60	450(6)	17	인버터제어
S2차아파트	60	550(8)	21	교류제어
S빌라	60	1150(17)	16	교류제어
S빌딩	60	550(8)	16	인버터제어
S빌딩	60	550(8)	18	교류제어
A오피스텔	60	750(11)	3	인버터제어
A빌딩	60	680(10)	16	인버터제어
C빌딩	60	550(8)	16	인버터제어
P맨션	60	1000(15)	19	교류제어
HD아파트	60	550(8)	15	교류제어
J병원	60	750(11)	16	인버터제어
H리조트	60	900(13)	1	인버터제어
J희망원	60	1000(15)	1	인버터제어
S센터	60	1000(15)	1	인버터제어
TRG	60	1350(20)	1	인버터제어

S호텔	60	550(8)	1	인버터제어
K월	60	550(8)	1	인버터제어
Y아파트	60	900(13)	1	인버터제어
A시설	60	750(11)	1	인버터제어
D빌딩	60	750(11)	1	인버터제어
H코리아	60	1000(15)	1	인버터제어
J빌딩	60	550(8)	1	인버터제어
H빌딩	60	1000(15)	1	인버터제어
E하우스	60	1000(15)	1	인버터제어
Y3차	60	900(13)	1	인버터제어
S빌딩	60	550(8)	2	인버터제어
B빌딩	60	750(11)	2	인버터제어
N빌딩	60	1000(15)	2	인버터제어
D타운	60	1150(17)	2	인버터제어
E하우스	60	900(13)	2	인버터제어
D빌라	60	900(13)	2	인버터제어

## 2. 속도별 진동 데이터 측정

아래의 그래프는 각 현장별 승강기의 데이터를 속도별로 합산하여 평균한 값이며, 총 측정 승강기의 대수는 64대이며 속도별 승강기 대수는 Table. 4와 같다.

Table. 5.2 Elevator number by velocity

속도(m/min)	60	90	105
대수	44	10	10

Table. 5.3 Elevator moving pattern by velocity

속도	현장	운행패턴
60m/min	N아파트6차	<p>N아파트6차 Units: gals File: YK3FFG4E VE2 11:45:49 03/15/10</p> <p>Max/95 Accel: 58.8/52.2 Decel: -84.0/82.0 Max Pk/Pk: 12.4 ABS: 7.2 O-Pk: 37.8</p> <p>Unfiltered</p>
90m/min	J오피스텔	<p>J오피스텔 Units: gals File: YK3BNM6Q VE2 15:58:29 11/23/09</p> <p>Max/95 Accel: 80.1/78.1 Decel: -84.1/78.5 Max Pk/Pk: 62.0 ABS: 39.2 O-Pk: 74.5</p> <p>Unfiltered</p>
105m/min	K생명	<p>K생명 Units: gals File: YK3BRM95 VE2 16:01:23 11/27/09</p> <p>Max/95 Accel: 65.6/53.2 Decel: -85.7/66.9 Max Pk/Pk: 10.0 ABS: 6.8 O-Pk: 67.6</p> <p>Unfiltered</p>

## 2.1 속도별 기동 및 정지쇼크

속도별 평균 기동 및 정지쇼크

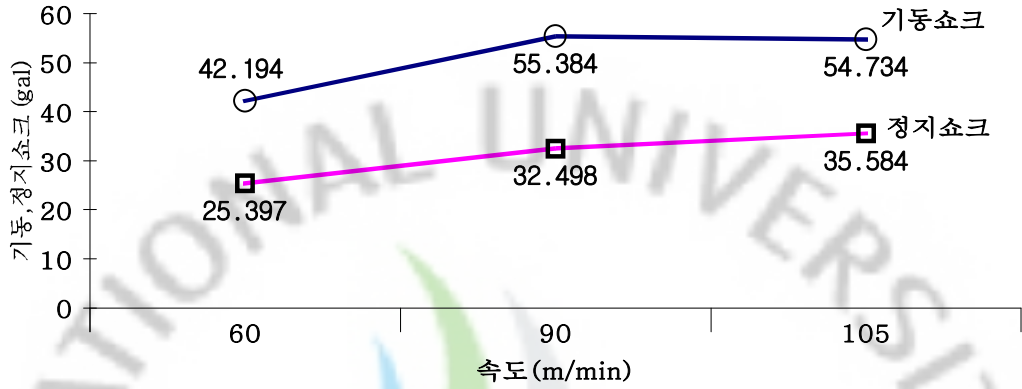


Fig. 5.1 Start & stop shock by velocity

## 2.2 속도별 가속도 및 감속도

속도별 가속도 및 감속도

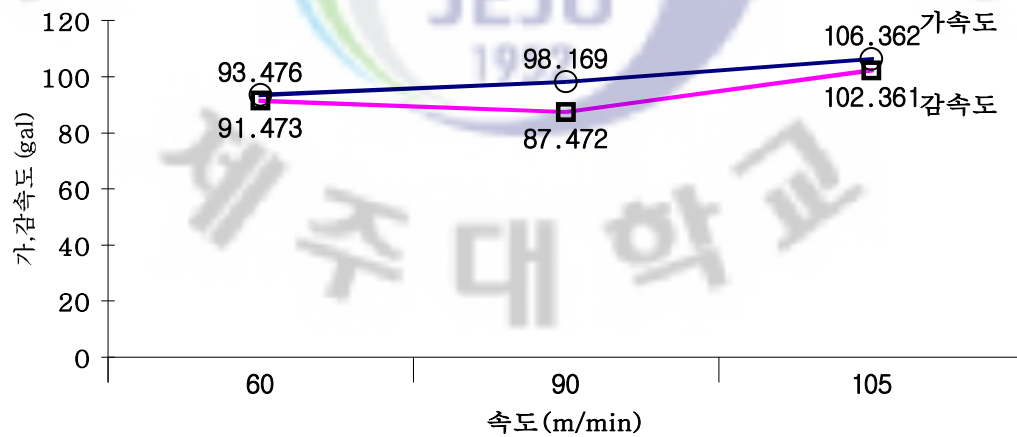


Fig. 5.2 Acceleration & deceleration by velocity

### 2.3 속도별 주행 중 상하, 전후, 좌우 진동

속도별 상하, 전후, 좌우 진동

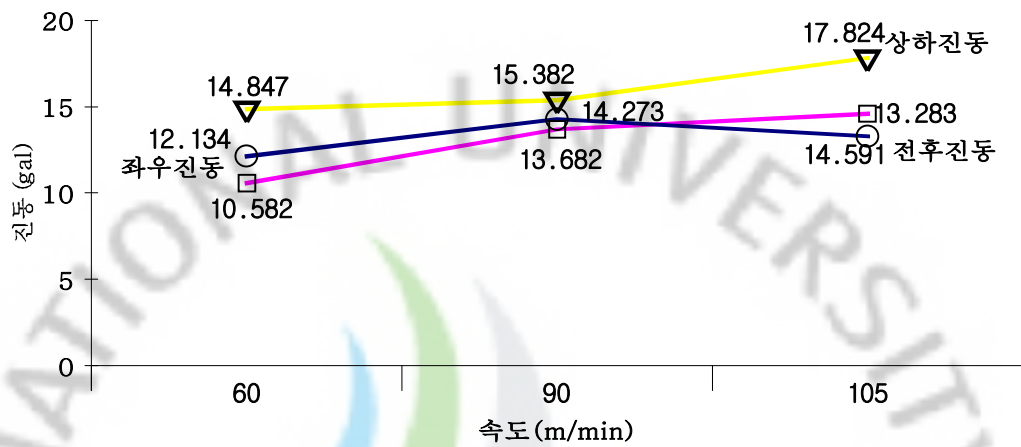


Fig. 5.3 Moving to-and-fro, left-right, up-down vibration by velocity

### 2.4 속도별 가가속도 및 가감속도

속도별 가가속도 및 가감속도

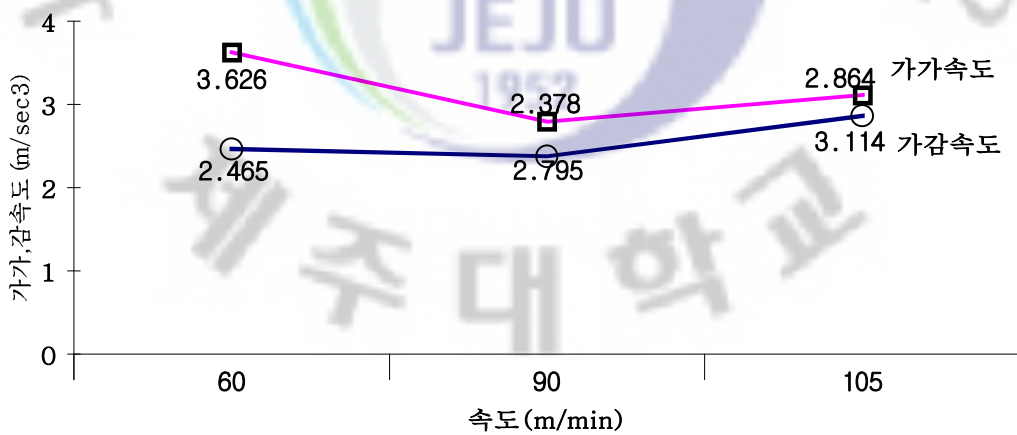


Fig. 5.4 Jerk by velocity

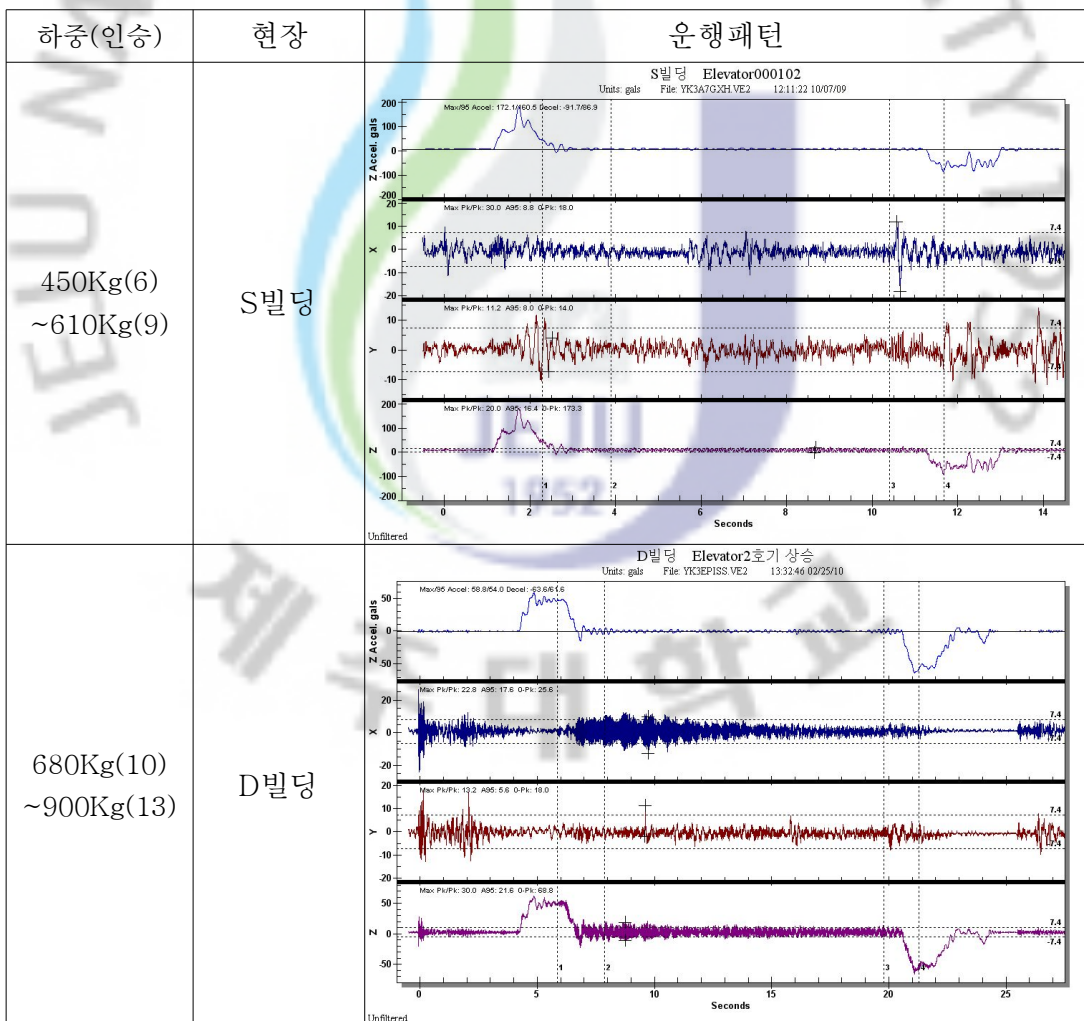
### 3. 하중(인승)별 진동 데이터 측정

아래의 그래프는 각 현장별 승강기의 데이터를 속도별로 합산하여 평균한 값이며, 총 측정 승강기의 대수는 64대이며 속도별 승강기 대수는 Table. 6과 같다.

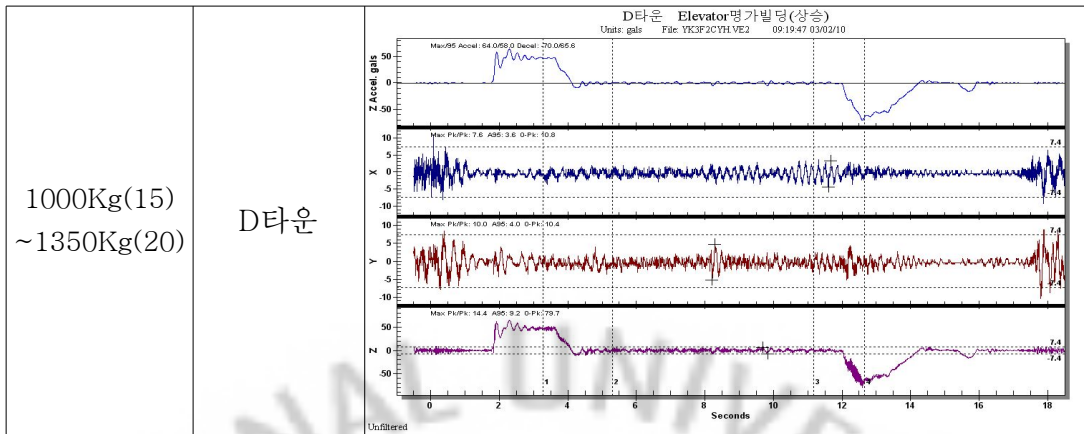
Table. 5.4 Elevator number by load

하중(인승)	450Kg(6)~610Kg(9)	680Kg(10)~900Kg(13)	1000Kg(15)~1350Kg(20)
대수	22	15	27

Table. 5.5 Elevator moving pattern by load







### 3.1 하중별 기동 및 정지쇼크

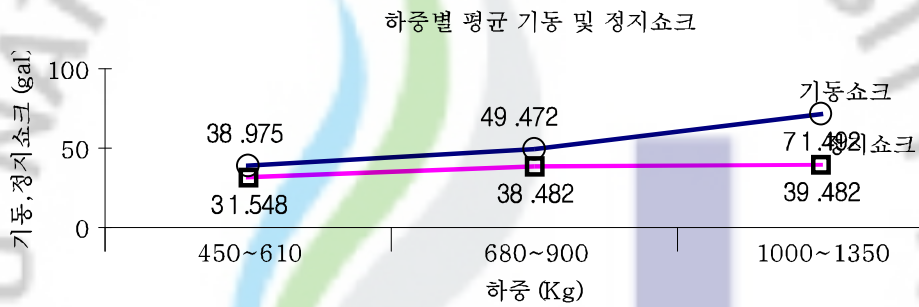


Fig. 5.5 Start & stop shock by load

### 3.2 하중별 가속도 및 감속도

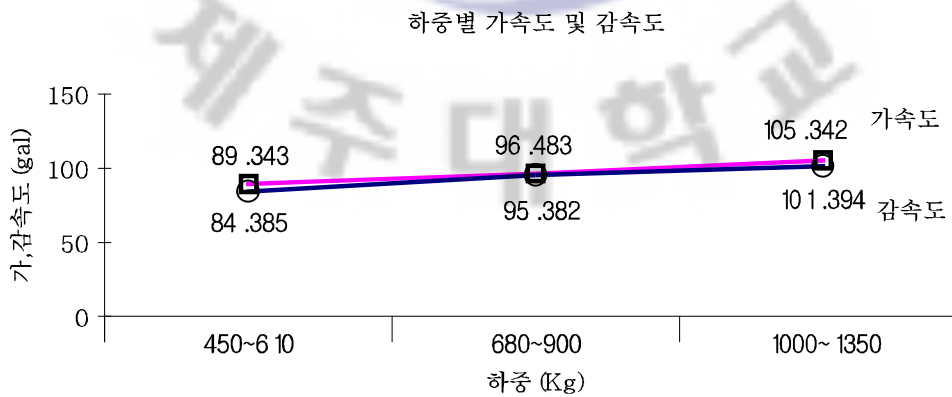


Fig. 5.6 Acceleration & deceleration by load

### 3.3 하중별 주행 중 상하, 전후, 좌우 진동

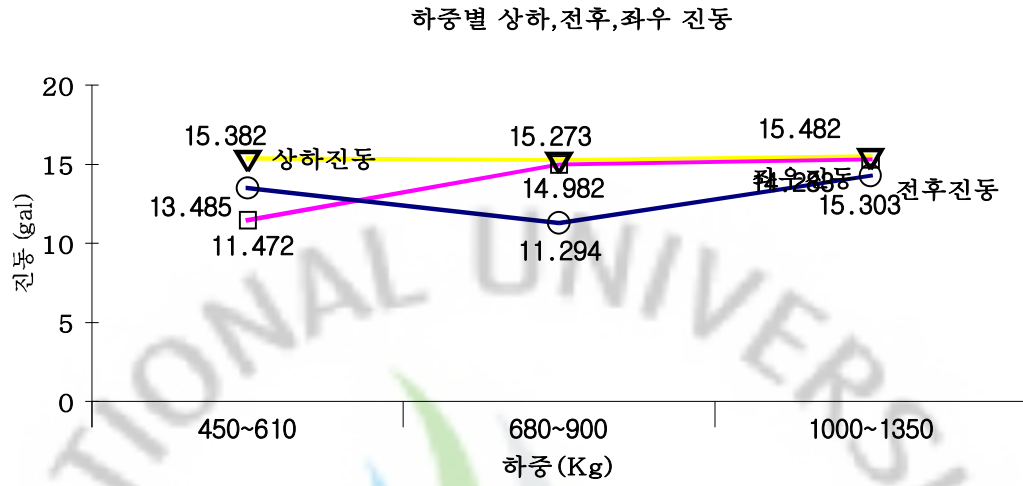


Fig. 5.7 Moving to-and-fro, left-right, up-down vibration by load

### 3.4 하중별 가가속도 및 가감속도

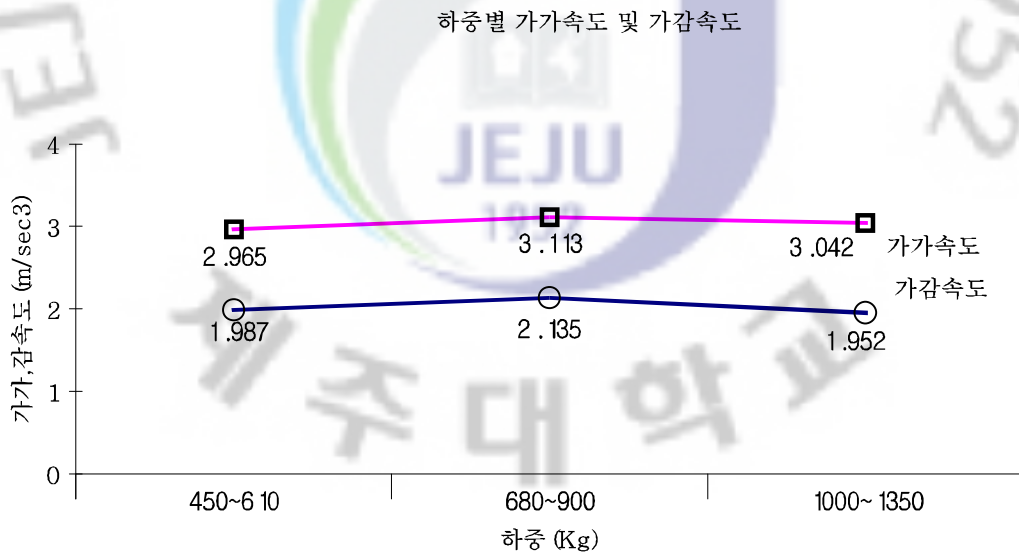


Fig. 5.8 Jerk by load

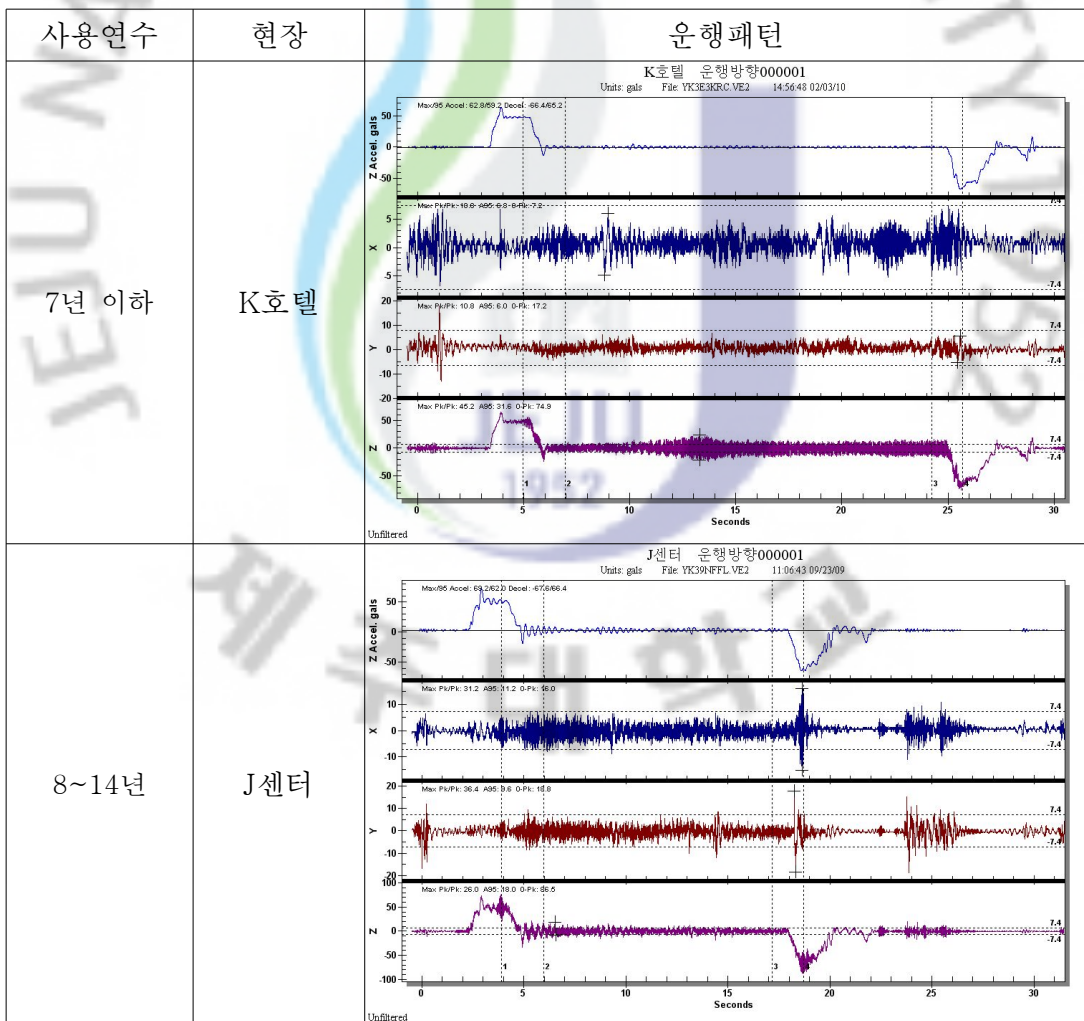
#### 4. 사용연수별 진동 데이터 측정

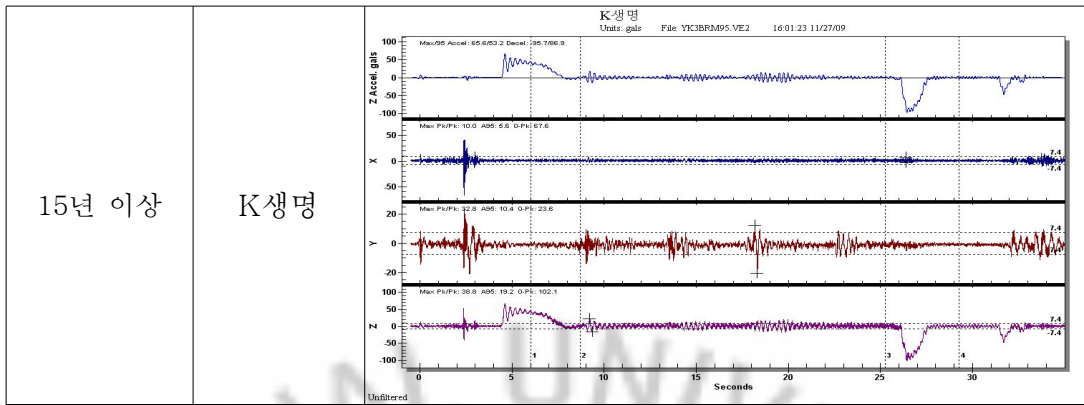
아래의 그래프는 각 현장별 승강기의 데이터를 속도별로 합산하여 평균한 값이며, 총 측정 승강기의 대수는 64대이며 속도별 승강기 대수는 Table. 8과 같다.

Table. 5.6 Elevator number by use years

사용연수	7년 이하	8~14년	15년 이상
대수	29	10	25

Table. 5.7 Elevator moving pattern by use years





#### 4.1 사용연수별 기동 및 정지쇼크

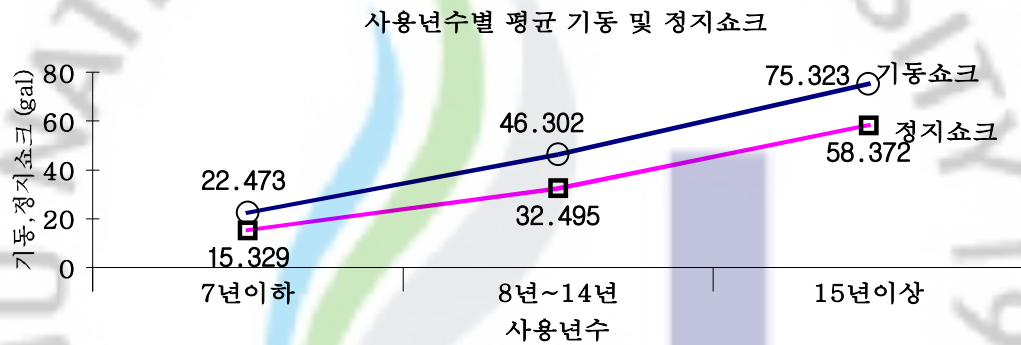


Fig. 5.9 Start & stop shock by use years

#### 4.2 사용연수별 가속도 및 감속도

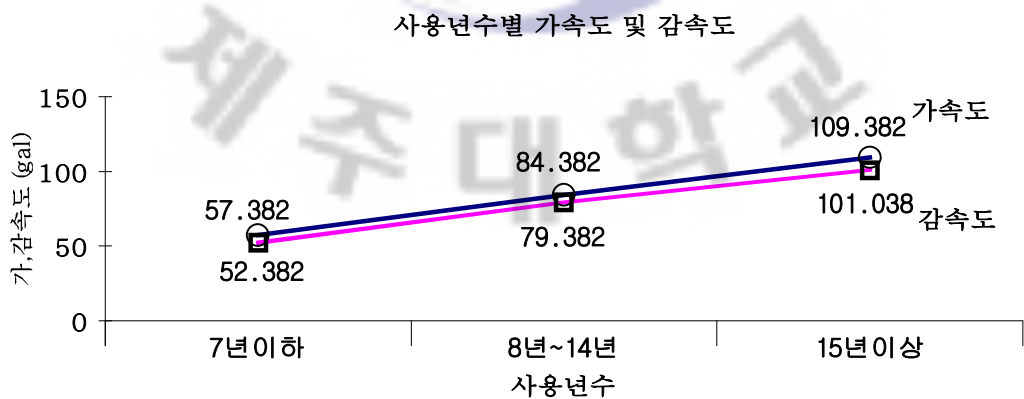


Fig. 5.10 Acceleration & deceleration by use years

#### 4.3 사용연수별 주행 중 상하, 전후, 좌우 진동

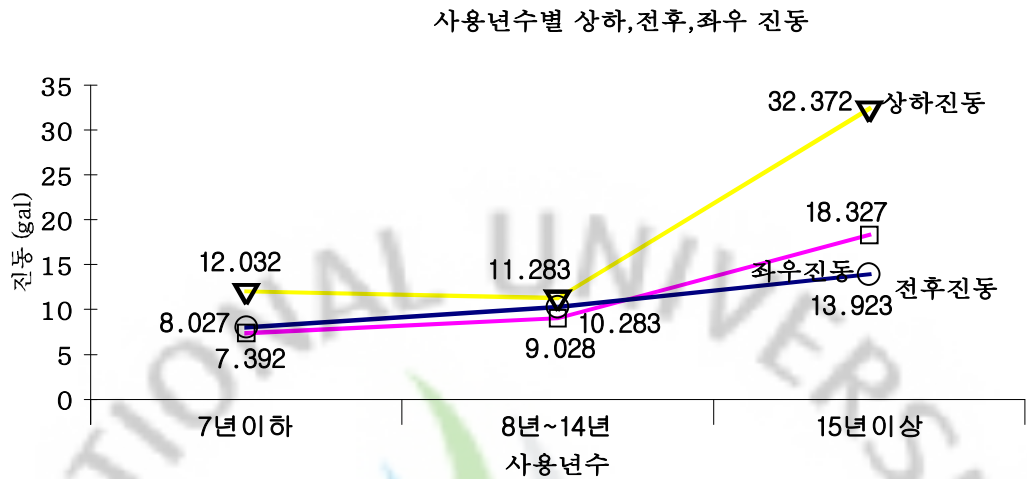


Fig. 5.11 Moving to-and-fro, left-right, up-down vibration by use years

#### 4.4 사용연수별 가가속도 및 가감속도

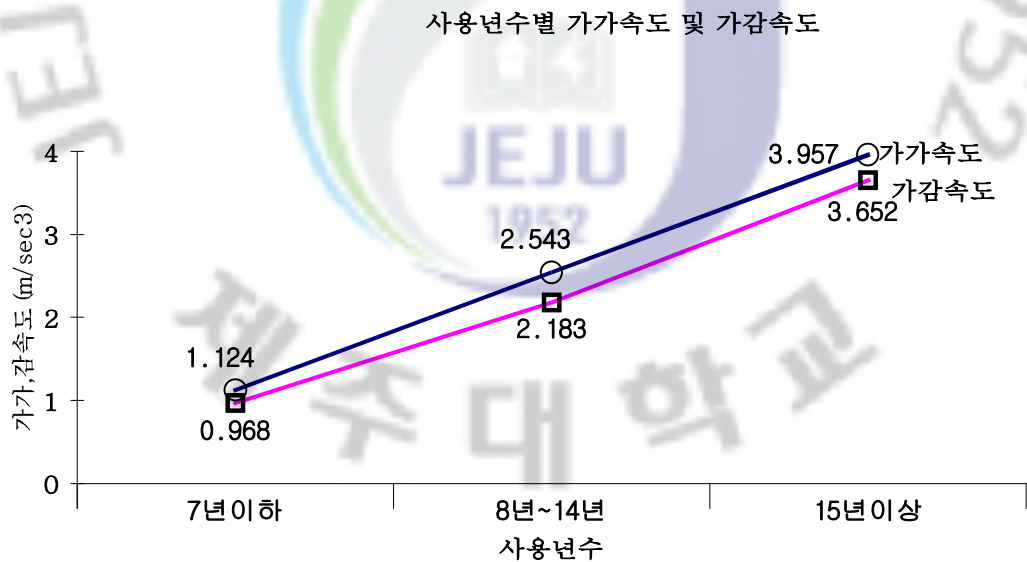


Fig. 5.12 Jerk by use years

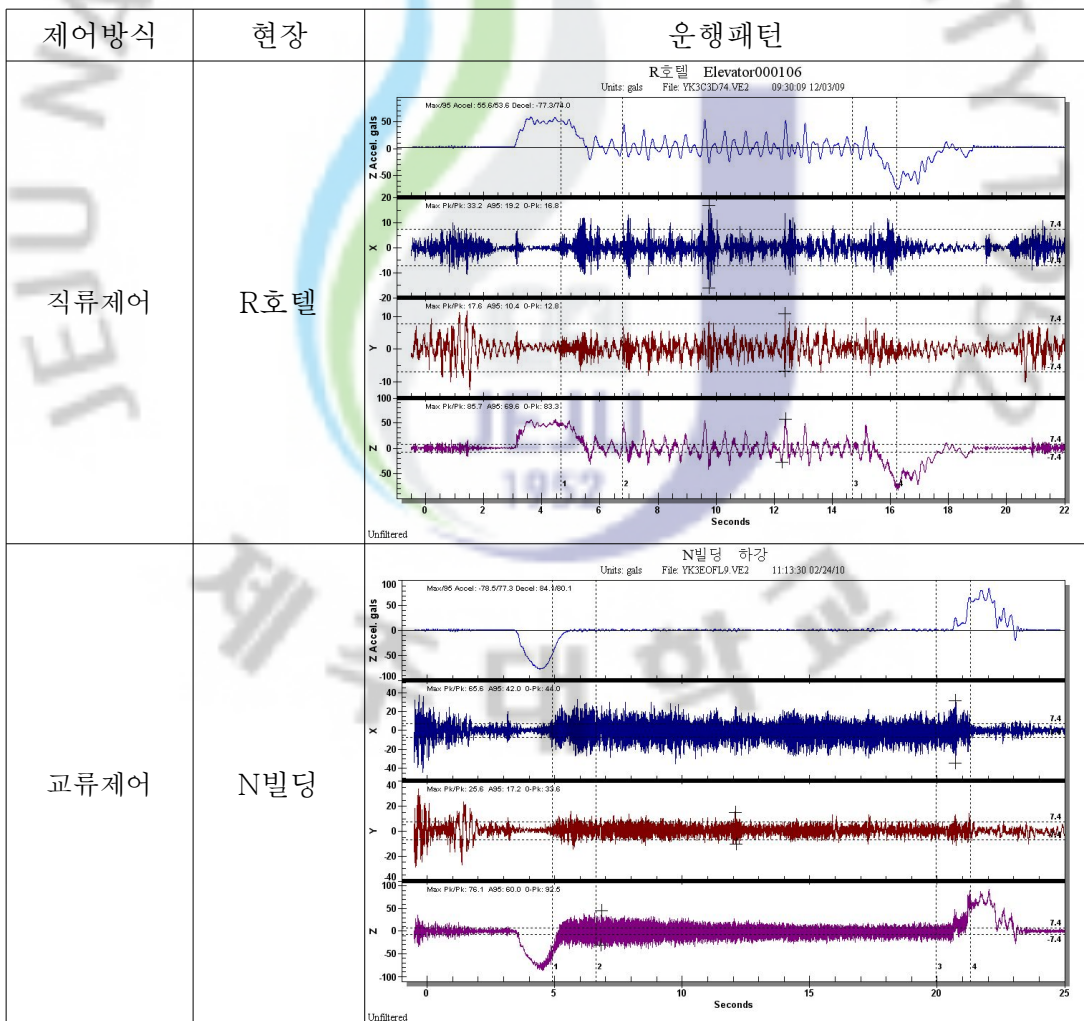
## 5. 제어방식별 진동 데이터 측정

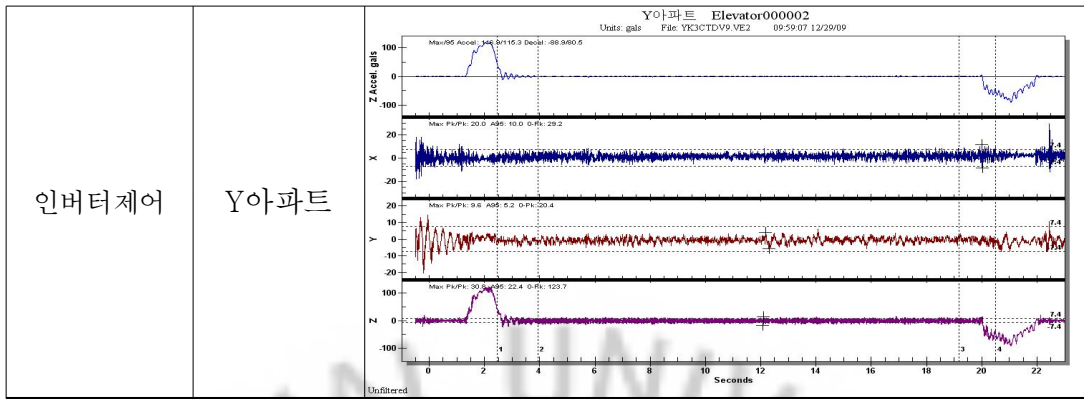
아래의 그래프는 각 현장별 승강기의 데이터를 속도별로 합산하여 평균한 값이며, 총 측정 승강기의 대수는 64대이며 속도별 승강기 대수는 Table. 10과 같다.

Table. 5.8 Elevator number by control method

제어방식별	직류제어	교류제어	인버터제어
대수	2	13	49

Table. 5.9 Elevator moving pattern by control method





5.1 제어방식별 기동 및 정지쇼크

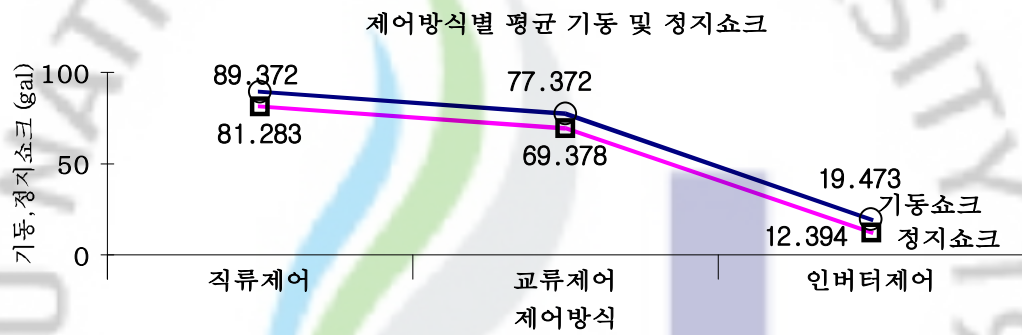


Fig. 5.13 Start & stop shock by control method

5.2 제어방식별 가속도 및 감속도

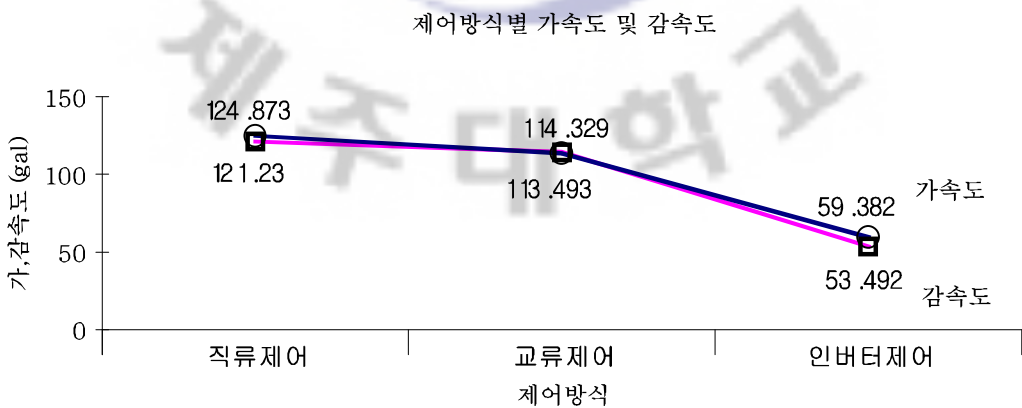


Fig. 5.14 Acceleration & deceleration by control method

5.3 제어방식별 주행 중 상하, 전후, 좌우 진동

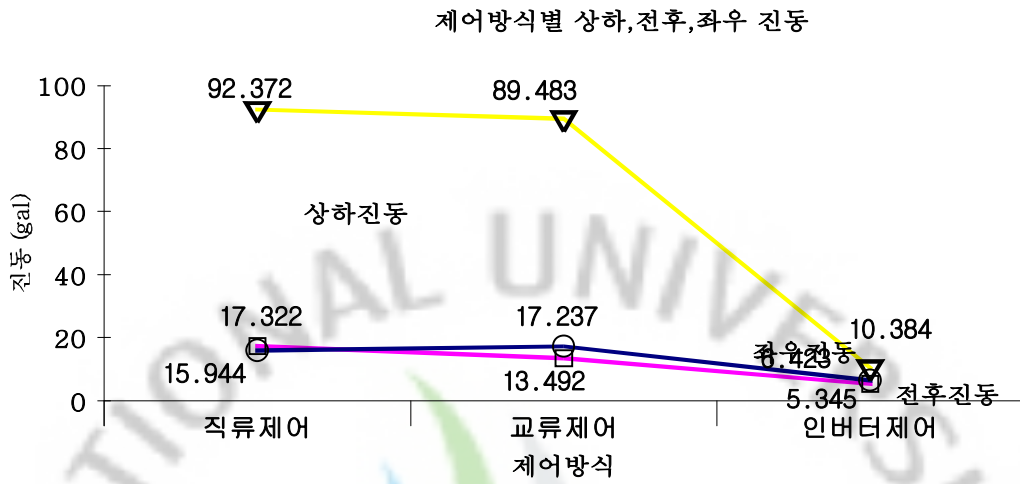


Fig. 5.15 Moving to-and-fro, left-right, up-down vibration by control method

5.4 제어방식별 가가속도 및 가감속도

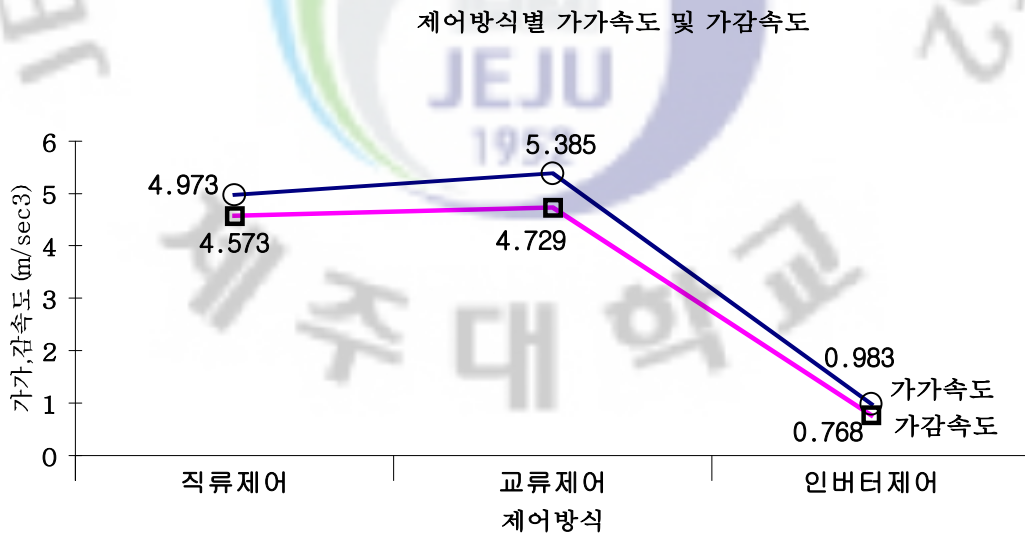


Fig. 5.16 Jerk by control method



## VI. 측정데이터 분석 결과

### 1. 속도별 진동 데이터 분석

#### 1.1 기동 및 정지 쇼크

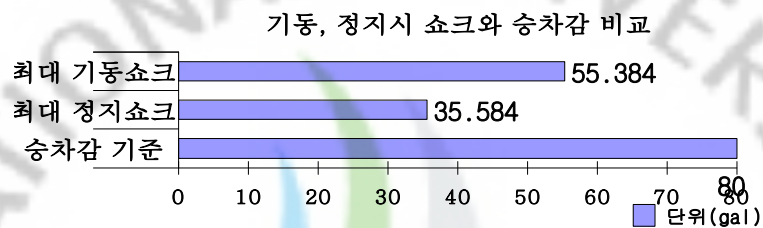


Fig. 6.1 Comparison Start & Stop shock & Comfort

속도가 60m/min인 경우 가장 낮았으며, 오히려 속도가 105m/min인 경우가 90m/min인 경우보다 낮은 값이 나타나는 것을 볼 수 있다. 속도가 빠른 기종일 지라도 이에 따른 정밀제어(precision control)가 필요하므로 오히려 높은 속도일 때 기동 및 정지 쇼크가 낮게 나타나는 것을 볼 수 있다. 또한 기동시 최대가 속도의 측정값은 55.384gal로 나타나고 있고 정지시 최대감속도 측정값은 35.584gal로 나타나고 있어 승차감에 영향을 줄수 있는 승차감기준 80gal 보다 낮은 값이 나타나므로 속도의 증가는 승차감에 영향이 없음을 알 수 있다.

#### 1.2 가속도 및 감속도

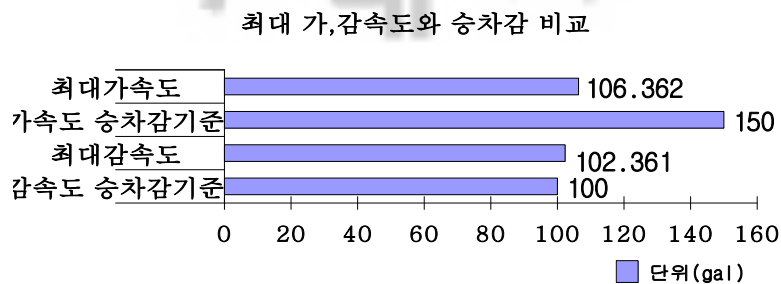


Fig. 6.2 Comparison Acceleration & deceleration & Comfort

큰 차이는 아니지만 속도가 증가하면 가속도도 같이 증가하는 것을 볼 수 있다. 하지만 감속도는 속도가 90m/min이 60m/min보다 낮게 나타났다. 정지쇼크에서 나타난 데이터처럼 고속이지만 그에 따른 정밀제어(precision control)로 인해 낮은 데이터가 나타나는 현상이라 볼 수 있다. 위의 Fig. 36과 같이 속도에 따른 가속도의 최대측정값은 106.362gal로 승차감 기준인 150gal보다 낮게 나타나고 있고, 감속도의 최대측정값은 102.361gal로 속도가 90m/min일때 승차감 기준인 100gal보다 2.361gal 높게 나타나고 있다.

### 1.3 상하, 전후, 좌우 진동



Fig. 6.3 Comparison Moving to-and-fro, left-right, up-down vibration & Comfort

전후 진동의 최대 측정값은 14.591gal, 좌우 진동의 최대 측정값은 14.273gal로 나타나며 진동의 패턴의 큰 특징을 보이지 않고 측정값도 승차감기준인 15gal 보다 낮게 나오므로 속도의 증가가 전후, 좌우 진동에 큰 영향을 주지 않는 것으로 볼 수 있다. 하지만 상하진동의 최대 측정값은 17.824gal로 속도가 높을수록 측정값이 높게 나타나는 경향을 볼 수 있다. 특히 그래프의 패턴을 보면 착상구간(leveling section)에서 상하진동이 많이 발생하는 특징을 볼 수 있다. 따라서 속도는 상하진동과 상관관계가 있는 것으로 볼 수 있다.

### 1.4 가가속도 및 가감속도

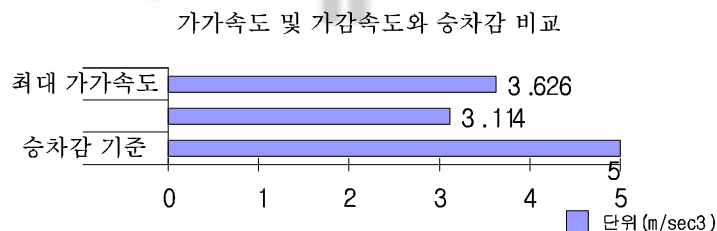


Fig. 6.4 Comparison Jerk & Comfort

가가속도 및 가감속도는 가속도의 변화율을 나타내므로 이 값이 작아야 승차감이 좋다고 볼 수 있다. 가가속도는 속도가 90m/min인 경우 가장 낮은 값인 2.378gal로 나타났고, 가감속도는 속도가 60m/min인 경우 가장 낮은 값인 2.465gal로 나타났다. 속도와 가가속도 및 가감속도의 상관관계는 크게 없는 것으로 볼 수 있다. 그리고 가가속도 및 가감속도가  $5\text{m/sec}^3$ 가 넘으면 쇼크(Shock)가 발생하여 승차감에 문제가 발생하지만, 위의 그래프와 같이 최대 가가속도의 측정값이 3.626gal, 최대가감속도의 측정값이 3.114gal로 나타나고 있어 승차감에는 크게 영향을 주지 않는 것을 알 수 있다.

## 2. 하중별 진동 데이터 분석

### 2.1 기동 및 정지쇼크

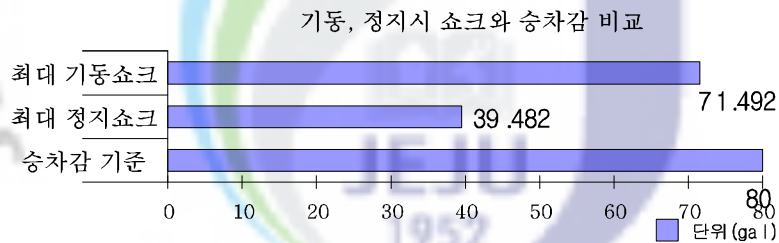


Fig. 6.5 Comparison Start & Stop shock & Comfort

하중이 증가하면 측정값이 증가하는 것을 볼 수 있다. 하지만 정지쇼크는 하중이 680~900Kg인 경우와 1000~1350Kg인 경우의 측정값이 큰 차이가 없는 것을 볼 수 있다. 위의 Fig. 39와 같이 기동쇼크의 최대 측정값은 71.492gal, 정지쇼크의 최대 측정값은 39.482gal로 나타나고 있다. 승차감기준 80gal보다 모든 값이 낮게 측정이 되어 하중이 증가하더라도 기동 및 정지쇼크시 발생하는 승차감과는 큰 영향이 없는 것으로 볼 수 있다.

## 2.2 가속도 및 감속도

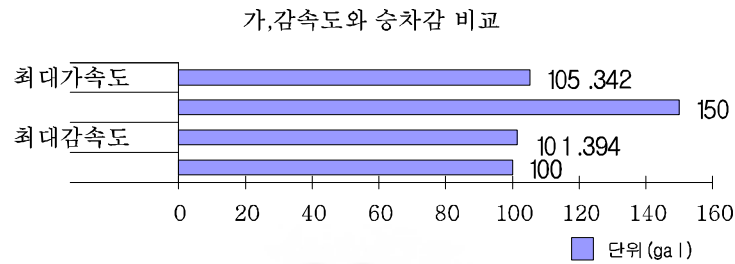


Fig. 6.6 Comparison Acceleration & deceleration & Comfort

최대 가속도의 측정값은 105.352gal로 승차감기준보다 낮게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 최대 감속도의 값은 101.394gal로 승차감기준과 비슷하게 측정되고 있다. 하중이 증가할수록 측정값이 증가하는 것을 볼 수 있으나 아주 작은 차이로 분수 있어, 하중의 증가가 가속도 및 감속도에 큰 영향을 주지 않는 것을 알 수 있다.

## 2.3 상하, 전후, 좌우 진동

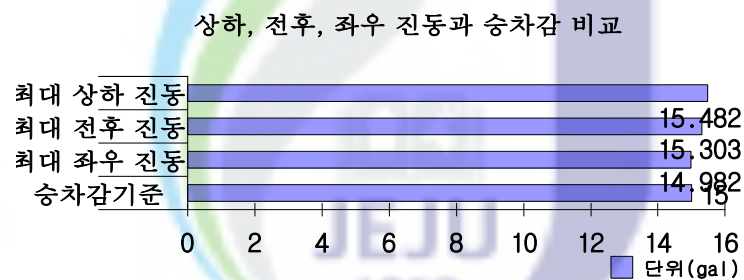


Fig. 6.7 Comparison Moving to-and-fro, left-right, up-down vibration & Comfort

상하 진동이 전후, 좌우 진동보다 대체적으로 측정값이 높게 분포됨을 알 수 있다. 상하 진동의 최대 측정값은 15.482gal로서 승차감기준 15gal보다 높게 측정되고 있으나 큰 폭이 아님으로 하중은 크게 상하, 전후, 좌우 진동에 영향을 주지 않는 것으로 알 수 있다. 또한 전후, 좌우 진동의 경우 가이드슈(guide shoe) 마모 등의 다른 원인으로 진동에 영향을 줄 수 있다. 설계하중(planning load)이 증가하면 그에 따라 모터용량(motor capacity), 로프(rope), 도르래직경(sheve diameter)등이 같이 증가하므로 하중이 증가하였다고 하여 진동이 발생하는 것은 아니다.

## 2.4 가가속도 및 가감속도

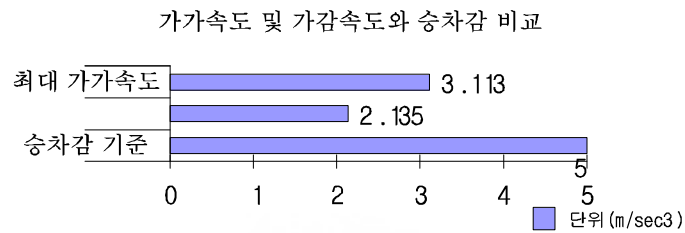


Fig. 6.8 Comparison Jerk & Comfort

가가속도가 가감속도보다 대체적으로 측정값이 높게 나타났다. 가가속도의 최대 측정값은  $3.113\text{m/sec}^3$ 이며, 가감속도의 최대 측정값은  $2.135\text{m/sec}^3$ 이다. 높은 하중일수록 측정값이 높게 나타난다고 판단하기 힘들며, 모든 값이 승차감기준보다 낮게 나타났다. 하중과 가가속도 및 가감속도와는 큰 상관관계가 없는 것으로 볼 수 있다.

## 3. 사용연수별 진동 데이터 분석

### 3.1 기동 및 정지쇼크

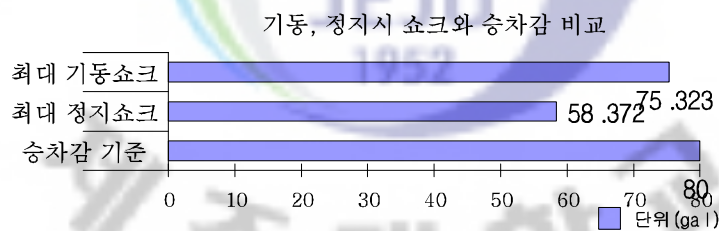


Fig. 6.9 Comparison Start & Stop shock & Comfort

기동쇼크와 정지쇼크가 동일하게 사용연수가 많을수록 측정값이 높게 나타나는 것을 볼 수 있다. 특히 사용연수가 15년 이상 되는 승강기가 현저하게 측정값이 높게 나타나고 있다. 최대 기동쇼크가  $75.323\text{gal}$ , 최대 정지쇼크가  $58.372\text{gal}$ 로 나타나 승차감기준보다 높게 나타나지는 않아 크게 승차감에 영향을 주지 않고 있음을 알 수 있다. 15년 이상 사용하면서 부품의 노후화와 과거

제어방식이 적용되어 출발과 정지시 가속도 값이 높게 나타나고 있다. 그리고 7년 이하의 승강기에서는 출발과 정지시 가속도 값이 현저하게 낮게 나타나고 있어 최근 설치된 승강기는 출발과 정지시 좋은 승차감을 보이고 있다. 따라서 사용연수와 기동 및 정지쇼크와는 상관관계가 있는 것으로 확인할 수 있다.

### 3.2 가속도 및 감속도

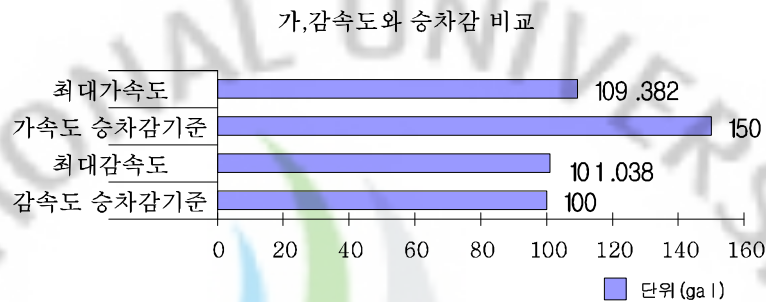


Fig. 6.10 Comparison Acceleration & deceleration & Comfort

사용연수가 많을수록 가속도 및 감속도 값이 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 최대 가속도의 측정값은 109.382gal로 승차감기준보다 작게 나타났으며, 최대 감속도의 측정값은 101.038gal로 승차감기준 비슷하게 나타났다. 가속도와 감속도는 사용연수가 증가할수록 측정값이 많은 차이를 보이고 있어 서로 상관관계가 있음을 알 수 있다. 하지만 사용연수가 오래되더라도 승객이 느끼는 승차감에는 큰 문제가 되지 않음을 알 수 있다.

### 3.3 상하, 전후, 좌우 진동

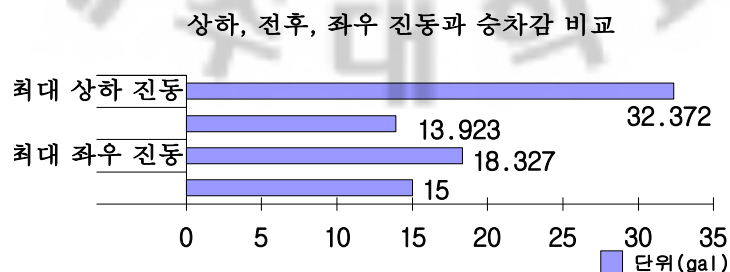


Fig. 6.11 Comparison Moving to-and-fro, left-right, up-down vibration & Comfort

14년 이하의 승강기에서는 측정값이 큰 차이 없이 나타나고 있고, 최대 진동 측정값이 15년 이상인 승강기에서 나타나는 것을 확인할 수 있다. 최대 상하 진동값은 32.372gal로 승차감기준인 15gal보다 2배 이상인 것을 알 수 있다. 최대 전후 진동값은 13.923gal, 최대 좌우 진동값은 18.327gal로 확인 되었다. 15년 이상이 되어 가이드슈(guide shoe)등의 부품이 노후화와 마모가 진행되어 좌우, 전후 진동도 생기는 것을 볼 수 있다. 상하진동은 그 외 진동보다 전체적으로 높게 측정되고 있다. 7년 이하의 승강기보다 8년에서 14년의 승강기의 상하진동이 낮게 나타나고 있다. 처음 승강기가 현장에서 설치가 되면 승강기가 안정화되는 시간이 발생한다. 따라서 최초 설치되고 어느 정도 시간이 지나면 진동값이 줄어 승차감이 개선되는 것을 알 수 있다. 상하, 전후, 좌우 진동 모두 승강기 사용연수와 큰 상관관계를 가지고 있다.

### 3.4 가가속도 및 가감속도



Fig. 6.12 Comparison Jerk & Comfort

7년 이하 승강기의 평균가가속도는 1.124 m/sec<sup>3</sup>이고 평균가감속도는 0.968 m/sec<sup>3</sup>로 매우 양호한 승차감을 보이고 있다. 그리고 사용연수가 증가함에 따라 측정값이 증가하는 것을 알 수 있다. 15년 이상 승강기의 최대 가가속도는 3.957m/sec<sup>3</sup>이고 최대 가감속도는 3.652m/sec<sup>3</sup>로 7년 이하 승강기보다 3배 이상 높게 나타나고 있다. 사용연수가 증가할수록 가가속도 및 가감속도의 승차감이 크게 증가하여 큰 상관관계를 가지고 있음을 알 수 있다.

## 4. 제어방식별 진동 데이터 분석

### 4.1 기동 및 정지쇼크

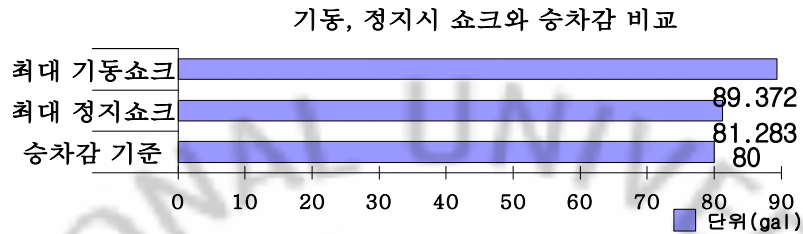


Fig. 6.13 Comparison Start & Stop shock & Comfort

인버터제어에서는 기동시 가속도 값이 19.473gal, 정지시 가속도 값이 12.394gal로 매우 낮게 나타나고 있고 직류제어(DC control)와 교류제어(AC control)에서는 이보다는 매우 높게 나타나고 있다. 특히 교류제어(AC control)보다 직류제어(DC control)에서 측정값이 높게 나타나고 있다. 직류제어방식에서 최대 기동쇼크 89.372gal, 최대 정지쇼크 81.283gal이 측정되었다. 승차감기준보다 높게 측정되어 직류제어에서는 기동시와 정지시 승차감에 큰 영향을 주는 것으로 확인 되었다. 제어방식과 기동 및 정지쇼크는 큰 상관관계를 가지고 있음을 알 수 있다. 또한 최근 설치되는 승강기는 거의 대부분 인버터제어(VVVF)를 사용하고 있으며 이는 승객의 승차감요구와 맞물려가고 있음을 보여주고 있다.

### 4.2 가속도 및 감속도

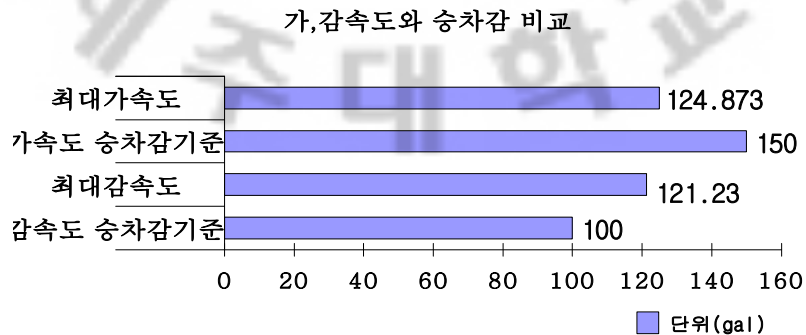


Fig. 6.14 Comparison Acceleration & deceleration & Comfort



가속도가 59.382gal, 감속도가 53.492gal로서 인버터제어에서 가장 낮은 측정값을 나타내고 있다. 직류제어와 교류제어에서는 미세한 차이로 비슷한 측정값을 나타내고 있으며 직류제어, 교류제어에서 인버터제어로 제어방식의 변화하는 것과 가속도 및 감속도와의 상관관계가 있다는 것을 알 수 있다. 직류제어에서 최대 가속도 및 감속도 값이 측정되었으며, 최대 가속도는 124.873gal, 최대감속도는 121.23gal로 확인할 수 있다.

### 4.3 상하, 전후, 좌우 진동

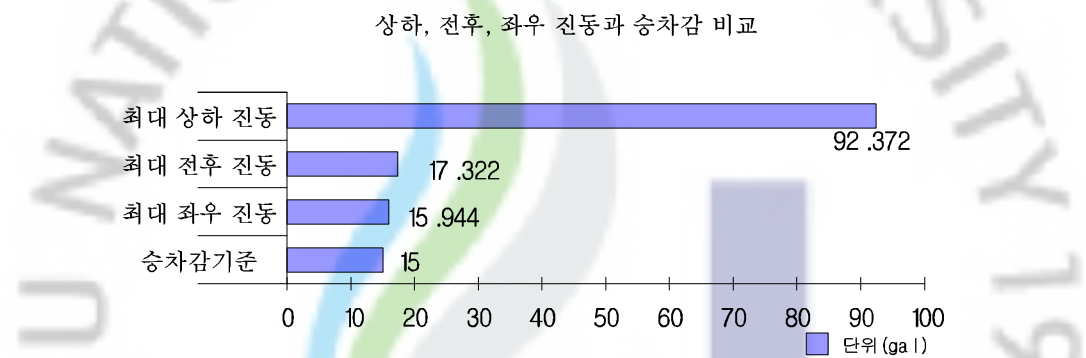


Fig. 6.15 Comparison Moving to-and-fro, left-right, up-down vibration & Comfort  
 모든 제어방식에서 동일하게 상하진동이 전후, 좌우 진동보다 높게 나타나는 것을 볼 수 있다. 전후진동과 좌우 진동은 제어방식에 큰 영향을 받지 않고 있고 직류제어에서 상하진동이 92.372gal로 가장 크게 나타나고 있어 직류제어일때 상하 진동에서 가장 좋지 않은 승차감이 나타나고 있다. 또한 교류제어에서도 89.483gal로 나타나고 있어 승차감이 좋지 않게 나타나고 있다. 제어방식이 직류제어나 교류제어일때 승차감이 떨어지는 것을 알 수 있고 인버터제어에서는 상하, 전후, 좌우 진동 모두 승차감기준보다 낮게 측정값이 보이고 있어 좋은 승차감을 보여주고 있다.

#### 4.4 가가속도 및 가감속도

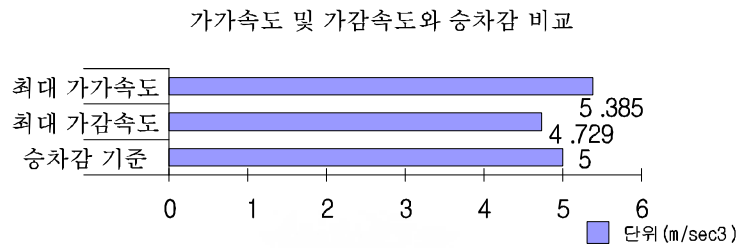


Fig. 6.16 Comparison Jerk & Comfort

교류제어에서 측정값이 가장 높게 나타나고 있다. 인버터제어에서 평균 가가속도는  $0.983\text{m/sec}^3$ 이고 평균 가감속도는  $0.768\text{m/sec}^3$ 이다. 인버터제어에서 좋은 승차감을 보여주고 있으며 직류제어, 교류제어순으로 승차감이 떨어지고 있음을 알 수 있다. 최대 가가속도는  $5.385\text{m/sec}^3$ , 최대 가감속도는  $4.729\text{m/sec}^3$ 로 측정되었다. 제어방식이 승차감과 상관관계를 가지고 있음을 알 수 있다.

## VII. 결론

최근 전 세계적으로 초고층 빌딩이 급속도로 생겨나고 있다. 이런 흐름에 맞춰 초고속 승강기가 설치되고 있으며 승강기 속도가 빨라지면서 승차감이 설계상 가장 중요한 요인으로 부각되고 있다. 따라서 이번 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻어 낼 수 있다.

승강기를 설치함에 있어 속도는 원하는 만큼 증가시킬 수 있지만 이런 승강기에 사람이 안전하게 탈수 있을지는 중력가속도(acceleration of gravity)에 따른 편안한 승차감을 위한 설계를 어떻게 하느냐가 중요하다고 할 수 있다. 따라서 승강기 제조업체에서는 고속(high speed)기종을 설계하면서 승객이 편안한 승차감을 느낄 수 있도록 정밀제어가 필요하게 되었다. 점차 기술력 연구와 개발에 박차를 가하고 있으며 고속기종이 설치되더라도 이런 기술력을 바탕으로 승객의 승차감은 크게 문제가 되지 않고 있다. 속도는 승차감에 영향을 주는 요인으로 볼 수 없다.

승강기 하중도 승강기 진동에 거의 영향을 주지 않아 승차감과 큰 상관관계가 없는 것으로 볼 수 있다. 설계하중이 증가하면 그에 따라 모터용량(motor capacity), 로프(rope)가닥수, 도르래직경(sheve diameter), 균형추무게(count-weight load)등 다른 설계요인들이 같이 변화하기 때문에 운행에 최적으로 맞는 조건으로 설계를 하게 된다. 따라서 하중이 증가하더라도 운행패턴(moving pattern)이 크게 변화하지 않아 좋은 승차감을 유지하는데 큰 문제가 되지 않는다. 상하, 전후, 좌우 진동을 분석해 보았을 때 전후, 좌우 진동보다 상하진동이 현저하게 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 승강기 운행 특성상 상하로 수직 운행하는 수단으로 상하진동이 많이 발생하게 된다. 전후, 좌우 진동은 레일(rail)에 따라 움직이는 가이드슈(guide shoe)가 설치되어 적정 간격을 유지하며 운행이 되고 있으므로 진동 발생을 억제하는 역할을 한다고 볼 수 있다. 하지만 사용연수가 많아지고 노후화가 진행되는 가이드슈의 마모상태도 진행된다. 이는 전후, 좌우 진동을 증가시키는 원인이 될 수 있으므로 적절한 시기에 교체를

함으로써 좋은 승차감을 유지할 수 있다. 또 하나의 특징으로 설치된 지 얼마 되지 않은 승강기보다 운행이 지속된 승강기에서 좋은 승차감이 나타나는 것을 알 수 있다. 처음 승강기가 설치되면 승강기가 구조적인면과 제어, 성능적인면에서 안정화되는 시간이 발생한다. 승강기는 최초 공장에서 완제품으로 출하되는 것이 아니고 각각의 부품을 현장에서 조립(assembly)하는 방법으로 설치된다. 따라서 좋은 승차감을 유지하기 위해서는 어느 정도의 시간이 필요하게 된다. 이 시간동안 승강기 보수요원이 점검이 같이 이루어지고 있기 때문에 설치시점에서 3년에서 5년 정도 지나면 좋은 승차감을 유지할 수 있게 된다. 따라서 최초 설치된 승강기보다 어느 정도 운행을 지속해온 승강기가 좋은 승차감을 나타내고 있다.

이번 연구를 통해 승강기 승차감에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 사용연수가 증가하여 발생하는 승강기 노후화와 최초 설계된 제어방식인 것으로 알 수 있다. 가이드슈 마모, 로프와 도르래의 마모, 방진고무(vibration-proof-rubber)의 마모, 권상기 기어(traction machine gear)의 마모, 제어부 소자(control element)의 열화(heat deterioration) 및 노후화 등은 승강기 승차감에 크게 영향을 미치는 요인들이다.

제어방식의 변화 흐름을 보면 초반 직류제어로 시작하여 교류제어에서 인버터 제어로 발전하고 있다. 이는 승강기 운행에 필요한 제어를 어떤 식으로 하는가에 따라 분류된다. 최근 생산되는 승강기는 거의 대부분이 인버터제어를 적용하고 있다. 인버터 방식은 제어반 내에 컨버터(converter)와 인버터(inverter)로 주파수(frequency)와 전압(voltage)을 제어하기 쉽게 변화시키면서 최상의 조건으로 제어할 수 있는 환경을 만들어 준다. 이런 제어는 승객의 승차감과 가장 크게 연관이 되어 있다고 볼 수 있다. 최근에는 승강기를 설치하여 운행하는데 있어 가장 중요한 안전성은 기본으로 바탕이 되어있고 점점 승차감에 대한 승객의 요구가 증대되고 있다. 본 연구에서는 승강기 승차감에 영향을 미치는 요인을 종류별로 분류하여 운행시 발생하는 진동을 통하여 분석하였다. 향후 분석을 통해 나타나는 원인들을 해결하고 좀 더 안전하고 승차감이 향상될 수 있는 방향을 연구할 필요가 있다. 또한 한 지역에 국한되지 않고 측정대상 승강기의 표본을 좀 더 많고 다양하게 선정하여 정확성과 신뢰성을 향상할 필요성이 있다.

## VIII. 참고문헌

- [1] 행정안전부, 2009, “승강기시설 안전관리 법규집”
- [2] <http://www.kesi.or.kr/06-elevator>, 한국승강기안전관리원
- [3] 김하곤, 1993, “엘리베이터 운행소음 저감방안 연구”, 대한설비공사협회
- [4] 김명준, 2000, “공동주택 승강기 운행소음, 진동저감대책 연구” 대한주택공사  
주택연구소
- [5] 특허청, 2003, “신기술 동향 조사 보고서” pp.25~29, pp.65~72
- [6] <http://www.kest.or.kr/data/pdf/s9.pdf>, 한국승강기안전기술원 pp.222~229
- [7] 한국승강기관리원, 1994, “승강기공사실무” pp.7
- [8] 김정우, 1991, “승강기 안전성 평가 기술 개발”, 한국기계연구원
- [9] 정민영외 4명, 2002, “승강기 설치 감독 실무”, 대한주택공사
- [10] Janovsky Lobomir, 1999, “Elevator MechanicalDesign”
- [11] Marlborough, NH 03455 USA, 2001, “EVA-625 System Operations  
Manual” pp.1~5
- [12] 한국승강기관리원, 1993, “昇降機教育教材” pp. 8
- [13] 한국승강기관리원, 1995, “昇降機設計指針” pp.8
- [14] 강도영, “승강기 부하보상장치가 승차감에 미치는 영향” pp.9
- [15] 成田正夫, 1983, “엘리베이터의 진동해석-거실소음 저감에의 응용”
- [16] 立林昌弘, 1988, “집합주택 엘리베이터 설비 소음 대책 연구”

## 감사의 글

어느덧 대학원 과정이 끝나갑니다. 학사 졸업 후 5년 동안 사회생활을 하고 대학원을 다니려다 보니 어려움도 있었고 보람도 많았던 것 같습니다. 2년이라는 짧은 시간이었지만 대학원과정을 보내는 시간동안 많은 도움을 주신 분들께 고마운 마음을 전하고 싶습니다.

우선, 바쁜 시간 중에도 부족한 점이 많은 저를 지도해주시고 조언과 많은 가르침을 주신 최경현교수님께 고마움을 전하고 싶습니다. 대학원 과정에서도 많은 도움이 되었지만 앞으로 사회생활을 하는데 있어 큰 밑거름이 될 것입니다. 그리고 조경호교수님, 임종환교수님, 강철웅교수님, 김상재교수님, 전자공학과 도양희교수님께도 고마운 마음을 전합니다. 저에게 주신 큰 가르침은 앞으로 살아가는데 많은 힘이 될 것입니다. 또한 후배이자 조교인 양형찬, 박근현선생님에게 고마움을 전하고 싶습니다. 항상 옆에서 많이 챙겨주어 무사히 대학원을 마치는데 큰 도움이 되었습니다. 마지막으로 바쁜 회사생활이지만 많은 배려와 관심으로 큰 도움을 주신 임성용지원장님이하 회사 동료들과 가족들에게도 깊은 감사의 마음을 드립니다. 감사합니다.