승강기 안전기술개발 현황과 전망

김 정 우 (품질인증실 선임연구원)

'76. 2. 영남대학교 공과대학 기계공학과 졸업
'89. 2. 창원대학교 대학원 기계공학과 졸업
'76－'80 삼미종합특수강(주) 플랜트설계부
'80－현재 한국기계연구소 선임연구원
'83－'84 서독 산업안전(TÜV) 기술연수
'84. 12. 서독용접기술사(SFI)

1. 서 론

최근 건축물의 고층화 현상에 따라 승강기의 수요는 급증되고 있다. 그런데 이러한 승강기에 대하여 건축법에서만 건물규모에 따라 어느 정도 크기의 승강기를 설치해야 한다는 간단한 명문 규정을 두었을 뿐 설치운행에 관한 안전규칙은 물론 보수점검에 필요한 사후 관리규정이 없어 시설과 보수가 가능한 몇개의 제조업체를 제외하고는 중소기업체들이 난립, 형식적인 점검에 그치는 경우가 많아 승강기 사고가 빈번히 발생되고 있다.

더욱이 요즈음은 고층빌딩과 호텔·공항·백화점·아파트 및 특수건물에 설치된 승강기의 안전에 대하여 일반인의 인식도 한층 고조되어 있기 때문에 인명과 직결되는 승강기는 제작 설치시 반드시 공인기관에서 시험 평가하여 안전도(신뢰도)가 충분히 확보된 다음 사용하는 것이 필요하다.

사회에 새로운 현상이나 전에는 없었거나 보편화되지 않았던 利器들이 새로이 등장하면 그에 따른 제도와 관계법령이 뒷받침 되어야 함은 두말할 것도 없다.

앞으로 모든 산업시설물들은 fail-safe의 개념으로 안전도에 대한 제도적인 뒷받침이 있어야 한다. 즉 사용자가 부주의하게 잘못하더라도 안전할 수 있도록 제작하고, 하자가 있는 승강기는 운행할 수 없도록 해야 할 것이다.

2. 승강기 안전기술의 목적과 관련연구

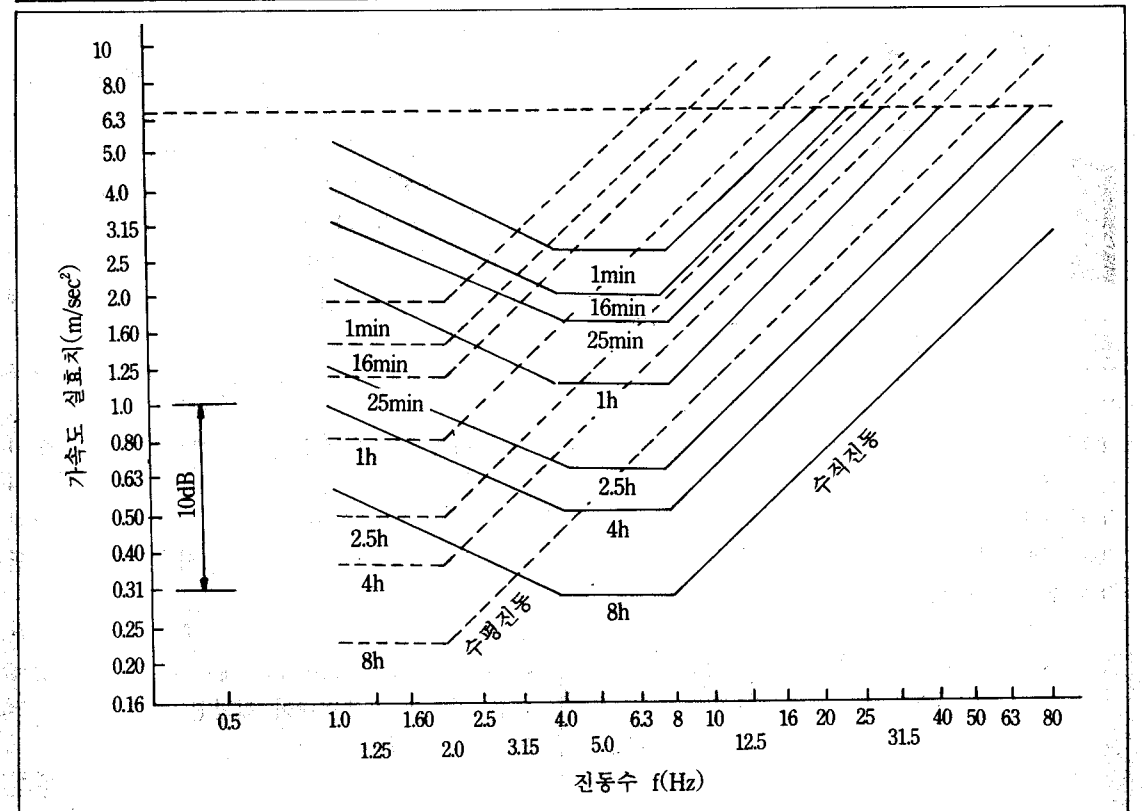
2.1. 목 적

안전기술은 승강기와 같은 모든 危害施設物로부터 인명 및 재산상의 손실을 예방하고 환경을 보호할 목적으로 각 분야의 전문가가 보편타당한 기술규정 및 절차에 의거한 관찰·시험·검사를 통하여 中立的이고, 客觀的이며, 獨立的인 현상을 파악·평가하고 문제점에 대한 적절한 해결방안을 제시하는 것이다. 따라서 안전기술은 산업안전목적 이외에도 品質認證이라는 관점에서 중요한 意義를 가진다.

승강기의 안전기술은 각종 건물 및 시설물에 설치되어 사용되는 승강기에 대하여 설계도면에서부터 제작·설치시까지 주요부품 및 안전장치들의 기능시험은 물론 설치된 승강기를 안전규정에 따라 그 성능을 시험평가 함으로써 승강기가 최대한의 안전성(신뢰성)을 갖도록 하는것이다.

뿐만아니라 현재의 승강기 상태를 면밀히 파악·분석하여 앞으로 사고를 유발할수 있는 중대한 결함사항을 찾아내어 이를 제거하거나 주의관리 하도록 함으로써 승강기의 원활한 유지보수와 아울러 안전운전을 기할수 있다.

표1) 진동의 등감각곡선(ISO·R-2631)



注) 1. 실선은 산업장에서 수직진동에 대한 폭로기준(波勞能率減退境界)이며, 점선은 수평진동에 대한 것이다.
2. 내구한계는 이 기준보다 6dB 높고, 쾌감감퇴한계는 10dB 낮은 값이다.
3. 수직진동의 8시간 폭로기준을 보정가속도레벨로 환산하면 90dB에 상당한다.

2.2. 관련연구

2.2.1. 승강기의 진동해석

승강기 등의 동적부품의 성능 및 신뢰도 평가에는 진동성능의 측정분석도 중요하다.

진동에 대한 평가는 시간에 대한 진동가속도를 측정 분석함으로써 가능하다. 진동가속도(acceleration)는 단위 시간당의 속도 변화량으로 나타내는데, 그 단위는 m/s^2 ($gal = cm/s^2$, $g = 9.8m/s^2$)이 사용된다.

진동가속도의 물리량을 dB로 나타내는 것은 진동가속도 레벨(vibration acceleration level : VAL)이라 하는데,

$$VAL = 20 \log(\frac{Arms}{Ar}) \text{ dB로 된다.}$$

여기서, Arms ; 측정대상 진동의 가속도 실효치 (m/s^2)

Ar ; 기준진동의 가속도 실효치

본 연구에서는 엘리베이터의 진동레벨의 물리량을 gal ($= cm/s^2$)의 단위로 측정기록 (1 cm = 50 gal) 되게 하였고 측정기록지의 속도는 1cm/sec로 하였다.

인체는 통상 3~6 Hz에서 공진현상이 발생된다고 알려져 있다. 즉 이 주파수 영역에서 가장 민감하게 반응된다고 할 수 있다. 진동의 등감각곡선 (ISO R-2631, 표1)에 따르면 100 gal ($= 1m/sec^2$)의 진동레벨에 1분정도 노출되면 불쾌감이 오고 1시간의 노출은 피로능률의 감퇴경계가 되고, 4시간 노출은 사람에게 수직진동에 대한 내구한계가 오는 것으로 해석된다.

또한 sine 파형의 수직진동에서 4~20 Hz의 주파수 범위에서 가속도가 0.2g를 초과하는 경우에는 인체에 해로운 결과가 나타나는 것으로 알려져 있다.

NASA에서는 진동에 대하여 인체가 느끼는 불쾌감의 정도를 DISC 단위를 사용하고 있는데, 진동에 대한 피로가 1 DISC인 것은 50%의 승객이 불쾌감을 느끼는 경우고 2 DISC는 1 DISC보다 2배의 불쾌감을 느끼는 것을 나타낸다.

즉 표2에서와 같이 DISC값이 증가할수록 불쾌감을 느끼는 승객의 빈도는 급격히 증가됨을 보여주고 있다.

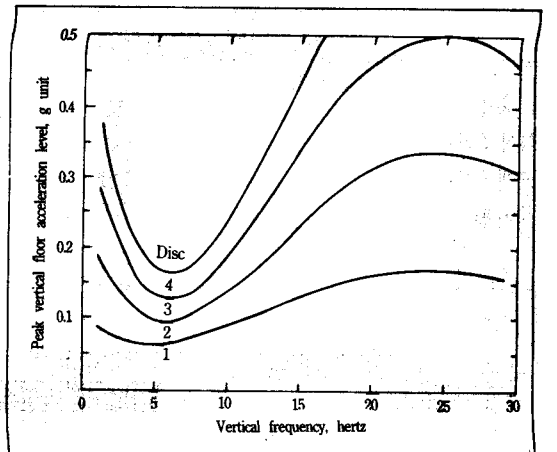
통상 승강기의 진동주파수 범위는 10 Hz이내의 경우이므로 이 범위에서 표3의 진동가속도 레벨 100 gal은 DISC값의 2에 해당됨을 알 수 있다. 즉 승강기에서 진동가속도 레벨이 100 gal정도는 사람이 사용하기는 한계치에 이른다고 할 수 있다.

표2) Passengers feeling uncomfortable at various levels of DISC

Discomfort scale,DISC	Percentage uncomfortable
1	50
2	90
3	100

Source) Leatherwood, Dempsey & Clevenson, 1980.

표3) Equal discomfort curves for seated subjects experiencing sinusoidal vertical vibration. Discomfort is expressed in DISC units

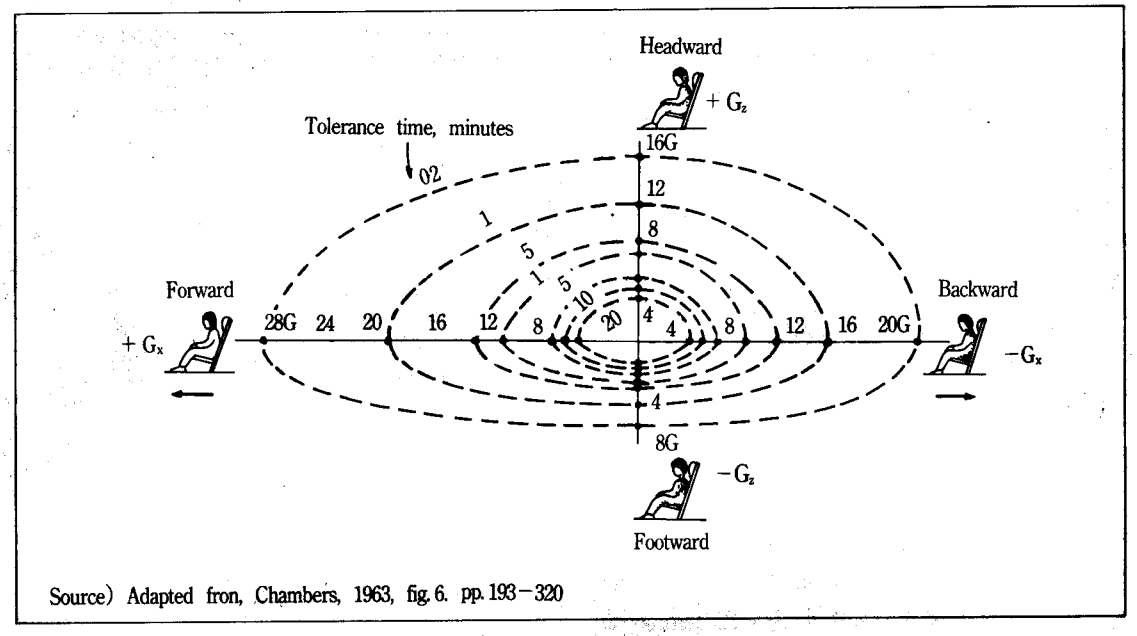


Source) Leatherwood, Dempsey & Clevenson, 1980, fig. 4a.

표4에서는 수직 진동에서 인체가 느끼는 승차감이 상부로 받는 가속도가 하부로 받는 가속도 값에 비하여 2배 이상의 내성이 있는 것으로 나타내고 있다.

즉 하부방향으로의 가속도 값을 상부방향의 가속도 값의 1/2정도로 제어하는 것이 이상적일

표4) Average levels of linear acceleration, in different directions, that can be tolerated on a voluntary basis for specified periods of time. Each curve shows the average G load that can be tolerated for the time indicated. The data points obtained were actually those on the axes ; the lines as such are extrapolated from the data points to form the concentric figures.

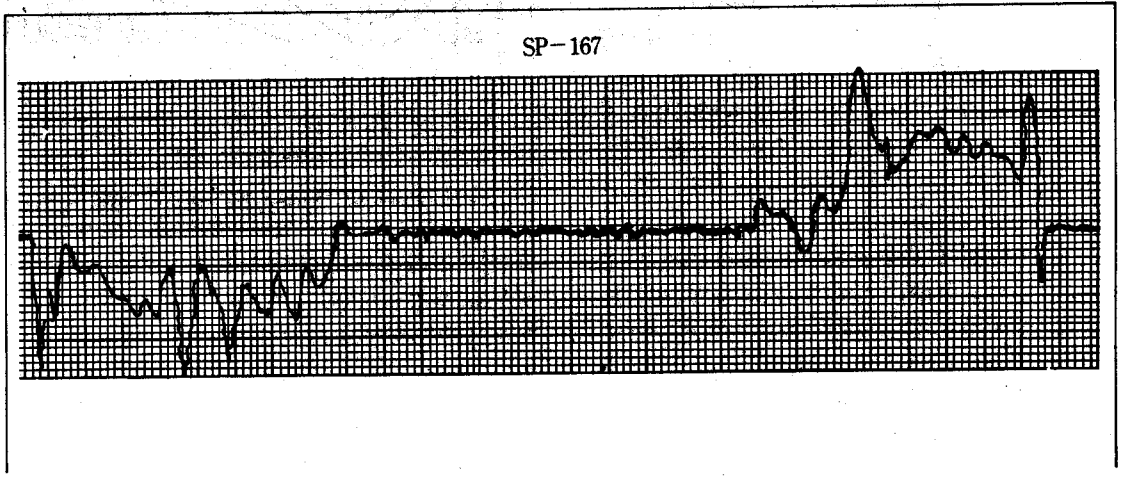


Source) Adapted fron, Chambers, 1963, fig. 6. pp. 193−320

것으로 사료된다.

승강기가 하강할때의 출발시 가속도 레벨은 적게 (작용시간은 길게), 정지시 가속도 레벨은 크게 (작용시간은 짧게) 보완하면 승차감 향상에 기여될 것으로 사료된다.

참고로 어느건물에 설치된 승강기 (3대) 의 승차감을 알아보기 위하여 승강기가 올라갈때와 내려올때의 상하진동 및 좌우진동 (speed pattern) 을 vibrometer (V−361T) 로 측정 하였고 그 결과를 그림 1~3으로 나타내었다.



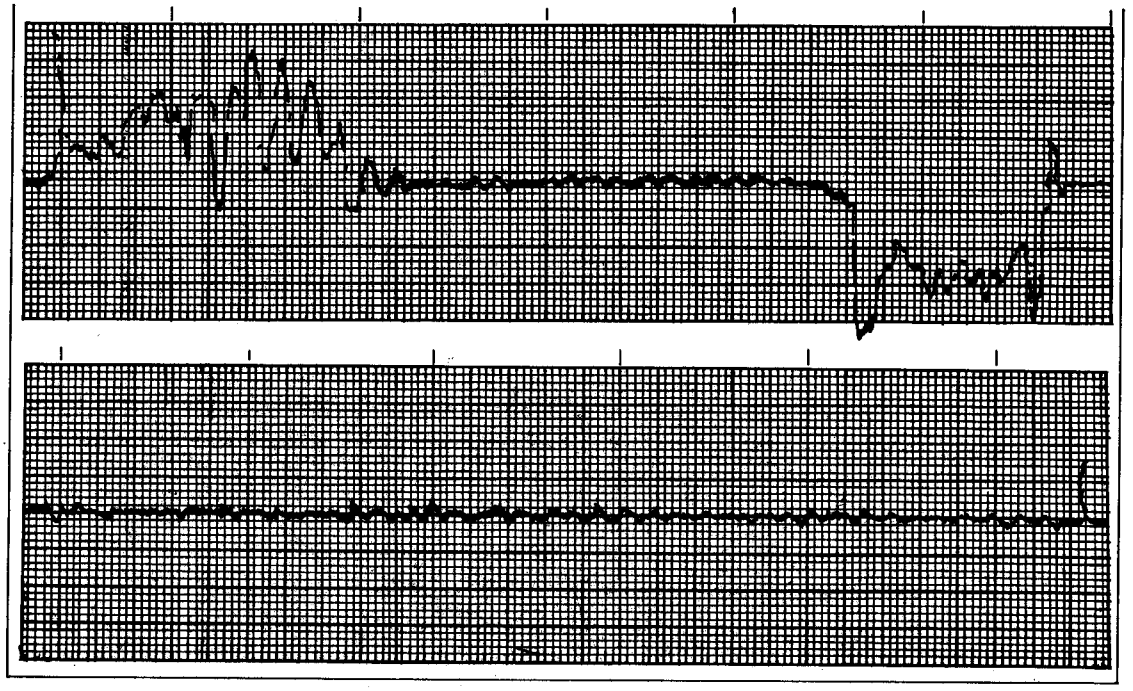
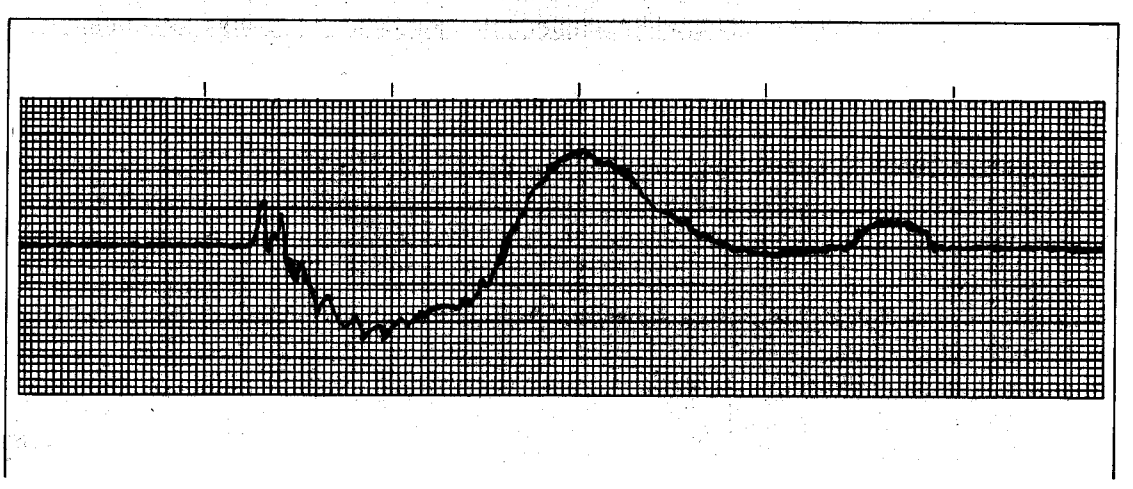


그림1) 승강기 I의 가감속 진동측정

그림1을 살펴보면 승강기I은 운행시 전후, 좌우방향의 가속도 파형은 양호(± 5 gal) 하나 출발, 정지시의 진동성능(승차감)은 좋지않음을 알 수 있다. 즉, 상승 및 하강시의 가감속의 경우에는 약70gal 정도의 떨림진동이 나타나고 있는데 이것은 기계적성능 혹은 motor부의 기동성능에 영향을 미칠수도 있다.

그림2에서도 승강기II는 하강 또는 상승 초기에 급격한 가속도의 변화가 나타나고 있으며 주행중에는 20gal정도의 공진현상이 나타나고 있음을 알 수 있다. 이것은 motor의 성능과 관계되는 것으로 볼수있기 때문에 motor의 성능검토가 요망된다.



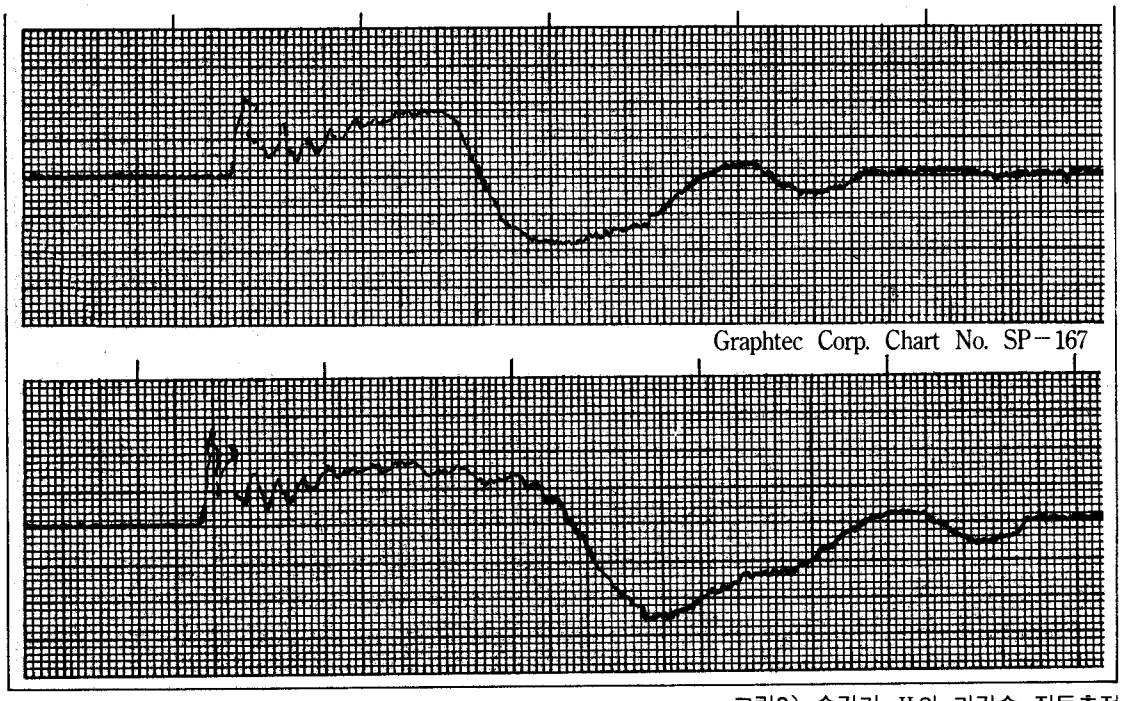
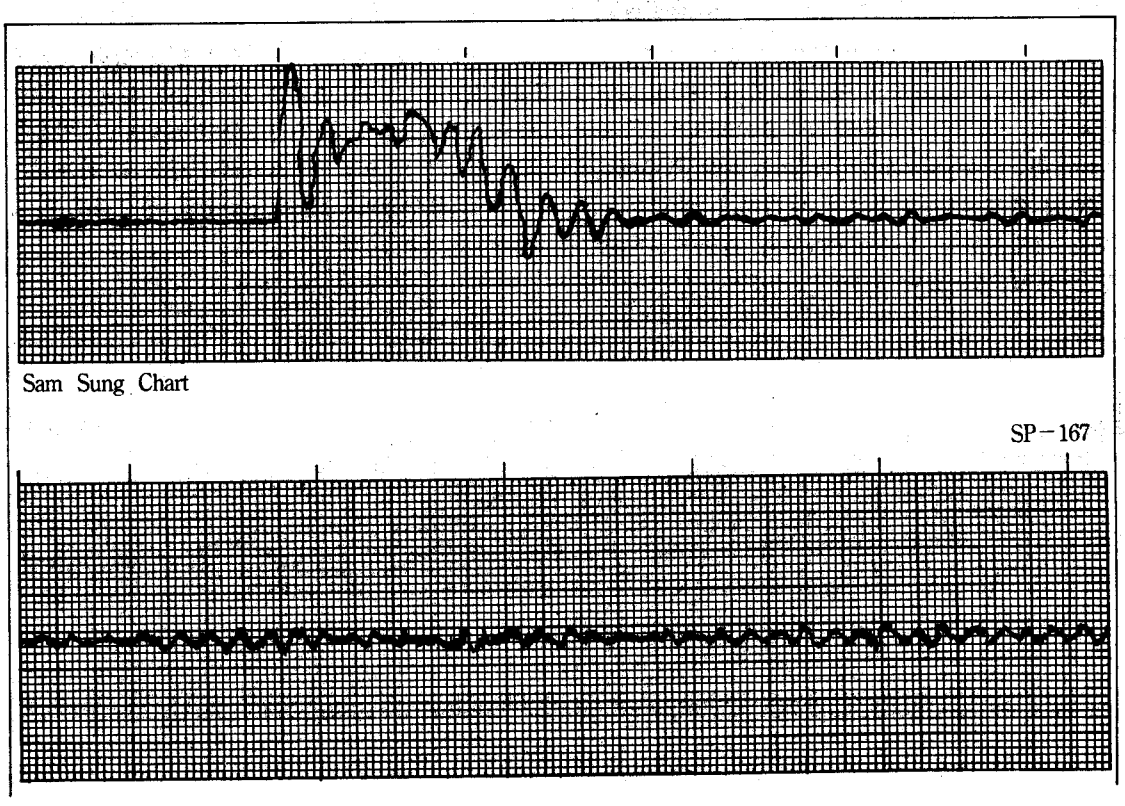


그림2) 승강기 II의 가감속 진동측정



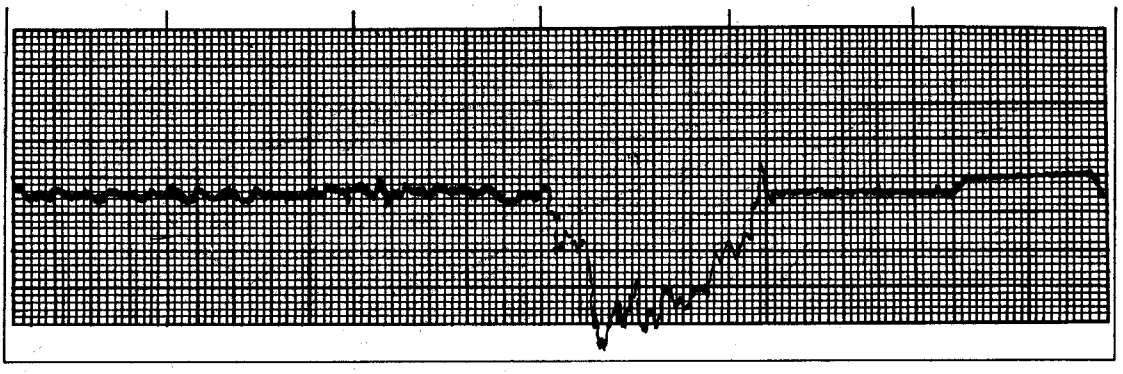


그림3) 승강기III의 가감속 진동측정

그림3에서 보는바와 같이 승강기III 의 경우에도 승강기는 주행중 20gal정도의 공진현상과 10gal정도의 좌우방향, 진동가속도가 2.5초 간격으로 나타나고 있음을 알수 있다. 또한 상승시의 감속시간은 짧고 하부방향의 가속도가 115gal정도로 나타나 있다. 이것은 레일의 연결부등에서 발생되는 것으로 보인다.

이와같이 승강기가 하강시 감속할때나 상승시 가속 또는 감속할때에, 각 notch전압이 불안정하기 때문에 정지시 shock가 심하게 나타날 뿐만아니라 승차감(ride quality)이 나쁘게된다.

따라서 이런 경우에는 notch전압을 적절히 조정함으로써 승강기의 진동성능을 향상시킬수 있다.

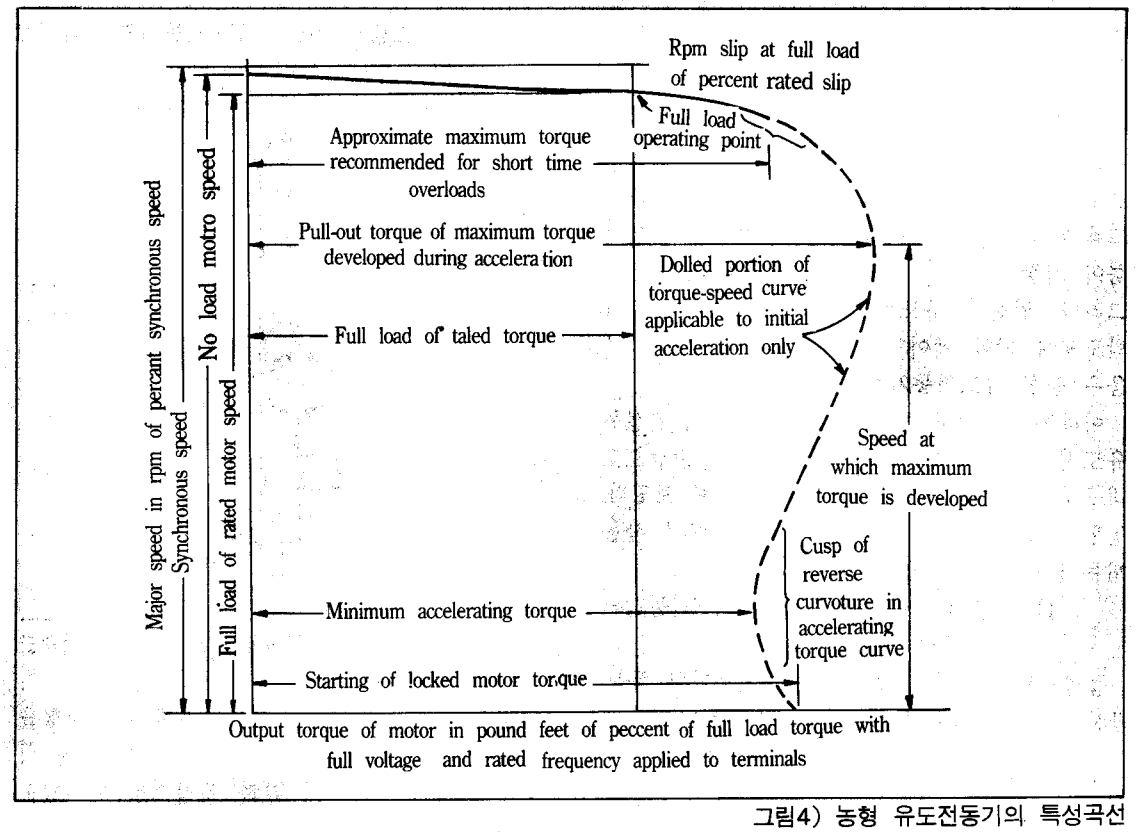


그림4) 농형 유도전동기의 특성곡선

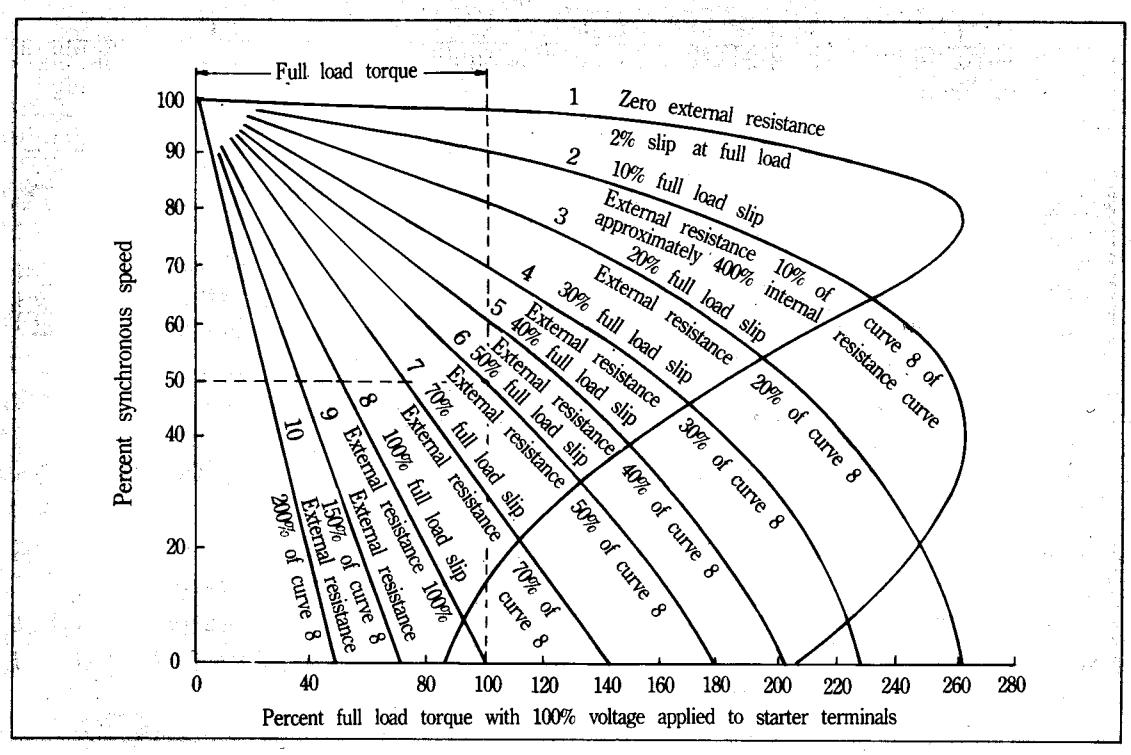


그림5) 권선형 유도전동기의 특성곡선

2.2.2. 승강기용 유도전동기의 특성해석

고전적 의미에서 권선형 유도전동기는 농형 유도전동기에 비해서 속도제어 특성이 우수하다. 그래서, 과거에는 엘리베이터 모터용으로 제어특성이 가장 우수한 직류전동기가 사용되어 왔다. 그러나, 권선형 유도전동기가 일부 사용되다가 반도체에 의한 제어기술의 발달과 더불어 요즈음은 농형 유도전동기가 주류를 이루고 있다.

이하는 엘리베이터용 농형 유도전동기와 권선형 유도전동기의 중요특성을 가감속제어를 중심으로 내구성 및 보수·유지의 면에서 비교해 보았다. 농형 유도전동기의 경우는 (주)금성사에서 사용되는 DB-60E/L을 대상으로 했다.

1) 농형 유도전동기와 권선형 유도전동기의 일반 특성 비교

농형 유도전동기와 권선형 유도전동기의 특성곡선은 각각 그림4 및 그림 5와 같다. 특히 권선형 유도전동기의 경우는 그림6과 같은 접속도에서 2차 권선의 저항크기를 조정함으로써 그림5와 같은

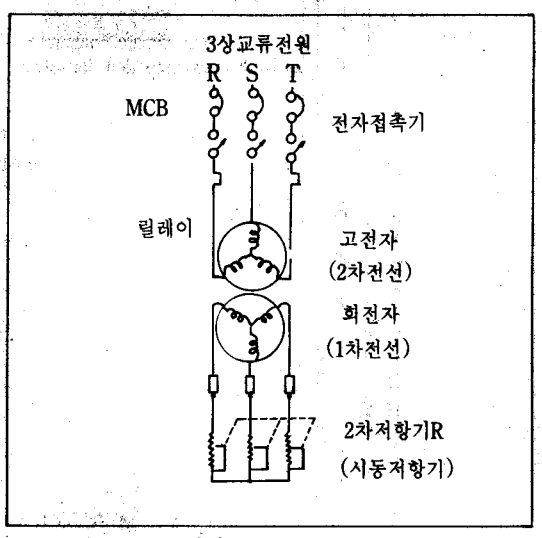


그림6) 권선형 유도전동기의 접속도

비례추이 곡선을 나타내게 된다. 즉 2차 저항을 키워 가면서 정지상태에서 최고 속도까지 전 범위에 걸쳐서 토오크가 부하 특성으로 제어될수

있다. 2차 저항의 크기로 시동 토오크를 조정함과 동시에 전류도 제한할 수 있으므로, 2차 조정 저항기로 써서 저항치 최대 위치에서 시동하여 속도가 상승함에 따라 속도를 줄여서 최후에 저항을 단락하여 운전상태에 들어간다.

2) 농형 유도전동기에의한 엘리베이터 제어

엘리베이터의 이상적인 가감속 특성곡선은 그림 7과 같다.

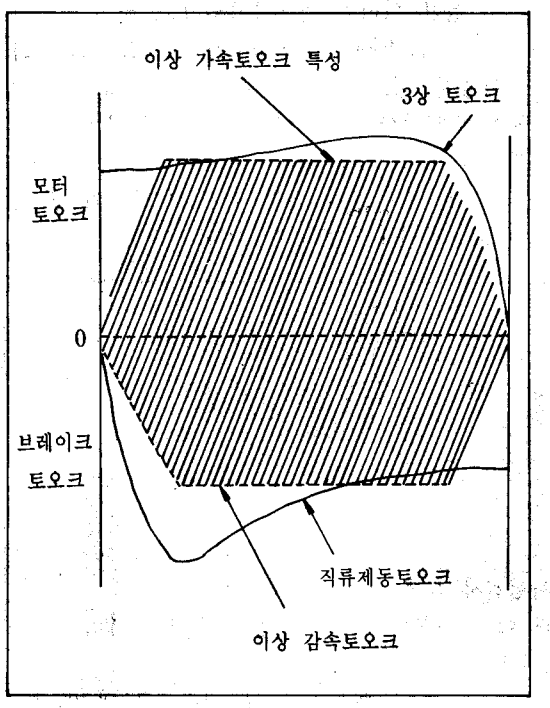


그림7) 이상적인 모터 토오크 특성

농형 유도전동기를 사용한 다이나믹 브레이킹 제어의 주회로 및 가감속 타임챠트는 그림8과 같다.

그림7의 실선은 엘리베이터 전용 유도전동기의 토오크 특성이 된다. 여기서 가속시는 기동 단부가 문제될 뿐 다른 구간에서는 이상 토오크 곡선과 거의 일치한다. 그런데 기동 단부에서는 그림8의 주회로 접점# 13을 통해서 V^2상을 1차 1상 전압 제어함으로써 그림9에서 볼 수 있듯이 도통각Q의 크기를 증가시켜 가면 점선과 같이 부드러운 기능이 가능하게 된다.

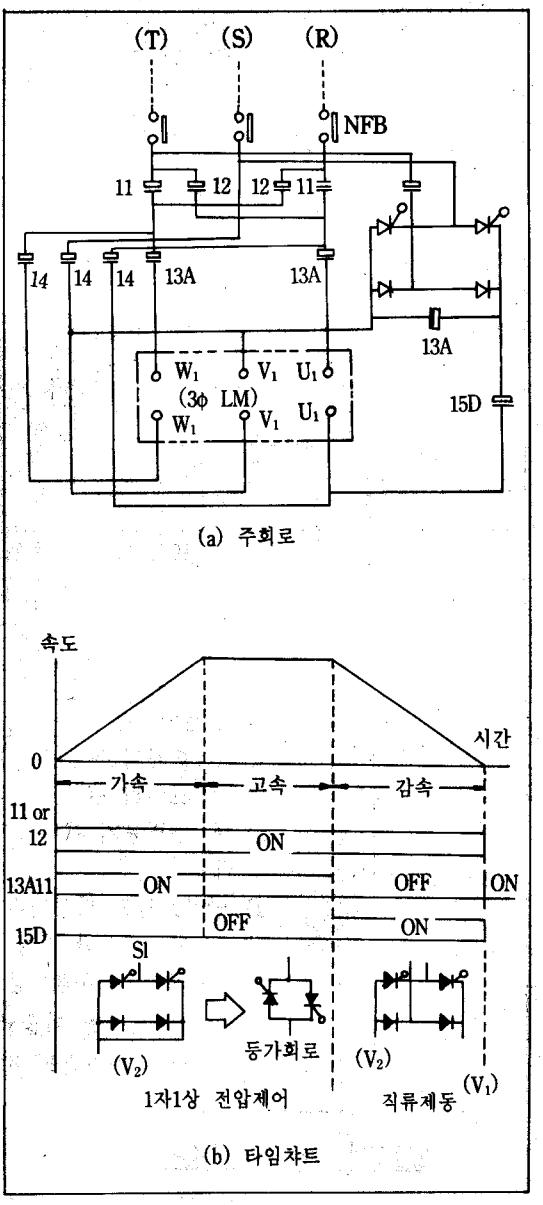


그림8) 엘리베이터 전동기제어 주회로와 타임챠트

또 제동시 즉, 감속시는 그림8의 주회로에서 접점# 13을 잡고 접점# 15를 연결함으로써 다이나믹 브레이킹 방식에 의해서 부드러운 감속이 가능하게 된다.

이상의 검토내용으로 볼때 엘리베이터용 농형 유도전동기의 가감속 제어 특성은 권선형과 대등하다고 볼 수 있다.

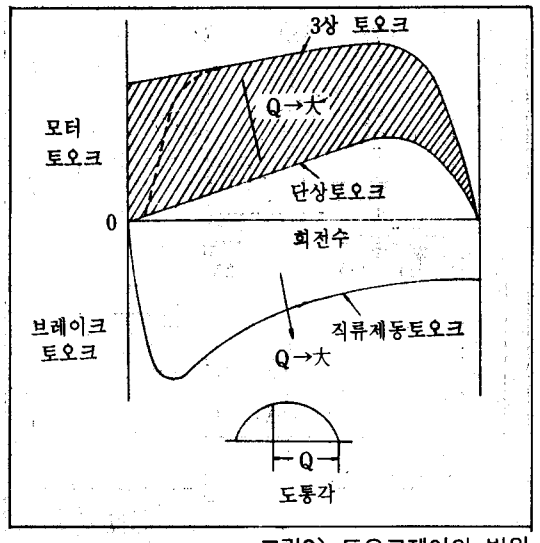


그림9) 토오크제어의 범위

3. 서독의 승강기 안전체제

서독의 승강기 안전체제는 독일연방 상공조례(GEW-O, §24)에 근거하기 때문에 법적효력이 있다.

따라서 승강기와 같이 위험시설물로 분류되는 보일러와 압력용기류도 상공조례의 안전도진단 및 시험평가 대상기기로 규정되어 있으므로 해당기기는 물론 이러한 위험기기를 다루는 사람도 규정에 의거 소정의 시험검사를 받도록 되어있다.

이렇게 함으로써 서독은 승강기 뿐만아니라 모든 위해시설물로 부터 인명 및 재산상의 손실을 미리 예방하고 아울러 환경도 잘 보호하고 있다.

참고로 승강기에 대한 안전도진단 체제를 그림으로 나타내면 다음과 같다.

독일연방 상공조례 (GEW-O, §24)

1) 안전도진단 대상기기 규정
   - 승강기 류
   - 보일러 류
   - 압력용기 류
   - ⋮

2) 안전도진단 대상기기의 시험검사 의무규정
   - 안전도진단 대상기기와 이 기기를 다루는 사람은 규정에 의거 소정의 시험·검사를 받아야 한다.
   - 각 기기별 기술규정 및 상세 규정사항에 의거 주 정부별로 안전도진단 전문기관을 지정하고 관리한다.

승강기류 규정 (Aufzv) ← 승강기위원회 구성 규정

1) 기술 규정 : TRA (Technische Regeln für Aufzüge 적용범위의 규정과 기술상의 일반적 요구사항 포함)
↓
2) 제작·설치·변경시 신고의무 규정 → 부품검사 (형식승인시험) / → 인수검사
↓
3) 사고 신고의무 규정(사고시)→사고분석 검사 →재가동 검사
↓
4) 정기검사 규정(매2년)→중간검사
↓
5) 시험성적서 규정 → 사용자 준수사항 규정 / → 비상 구호요원 규정 / → 승강기 안내원 규정

4. 승강기 안전기술 내용 및 연구실적

4.1. 안전기술 내용

1) 승강기 설계사양 및 도면 확인 검토
- 설계된 도면 및 자료를 승강기 기술 규정(KS, TRA, BS, ANSI)에 근거하여 검사(구조의 적합성, 하중능력계산, 구조물의 안전치수검토, 안전장치 확보 등)

2) 제작 공장 검사
- 주요안전장치 및 핵심부품의 기능시험·특성시험
- 형식승인된 부품의 사용여부 확인 및 형식승인 시험
- 소재특성 시험
- 제작공정 확인(도면과 비교)

3) 시험 및 평가 해석
- 성능시험 평가(하중시험, 비상 정지 시험 등)
- 사고시 승강기 사고원인 분석
- 시설물 변경시 검사
- 정기·주기 검사
- 관련기술 연구(진동해석, 유도전동기의 특성연구 등)

4.2 연구실적

No.	과 제 명	위 탁 자	연구보고서
1	김포 국제공항 국제선 여객청사 elevators와 escalators에 대한 안전도진단	교 통 부	KIMM BSI (1980. 7)
2	김포 국제공항 관제탑 elevators에 대한 안전도 진단	신영전기(주)	KIMM BSI (1983. 10)
3	김해 국제공항 escalators에 대한 안전도 진단	신영전기(주)	KIMM BSS 011-414C (1984. 4)
4	김해 국제공항 국내선 장애자용 elevators에 대한 안전감리	신영전기(주)	KIMM BSI 269-493C (1984. 12)
5	김포 국제공항 국내선 escalators에 대한 안전 감리	금 성 사(주)	KIMM USI 366-626C (1985. 12)
6	김포 국제공항 국내선 장애자용 elevators에 대한 안전감리	금 성 사(주)	KIMM BSI 459-746C (1986. 7)
7	김포 국제공항 국제선용 승강기에 대한 안전감리	교 통 부	KIMM ITC (1988. 4)
8	승강기의 진동 저감에 대한 연구	금성산전(주)	수 행 중 (1988. 11)
9	Hyatt Regency Pusan 승강기에 대한 안전도 진단	신남개발(주)	KIMM BSI 715-1189C (1989. 1)
10	김포 국제공항 신청사 loading bridge의 안전도 진단	교 통 부	KIMM BSI 603-1050C (1989. 3. 31)
11	승강기의 사고 및 안전도 진단에 관한 연구	창 원 경 찰 서	KIMM BSI IC746-1285C

5. 결 론

1889년 미국의 OTIS에 의하여 개발된 전동기를 사용한 승강기는 지금까지 정부의 국산화 시책과 각종 제어기기의 개발에 힘입어 많은 발전을 해 왔다. 산업시설물 중에서도 특히 승강기와 같이 사람의 운송에 관계되는 설비는 사고가 나면 인명과 직결되는 만큼 그 안전성은 반드시 확보·보증되어져야 한다. 따라서 승강기가 신뢰성을 확보하기 위해서는 설치하기 전에 면밀히 검토·설계·제작되어야 하며 설치후에도 철저한 성능시험을 해야한다.

또한 승강기는 권상기, wire rope, car, counter weights, guide rail, guide roller, compensation pulley 등의 부분품으로 구성되어 있어 이들 부분품들은 사용시 서로 구름접촉을 하면서 운동하게 되므로 운동중에 그 무게 및 길이가 변화하는 등 비선형적인 특성을 갖고 있다.

그러므로 완벽하게 시험평가된 승강기라 할지라도 운전중에는 정기적으로 검사·확인하면서 보수·유지 되어야함은 두말할 여지가 없다. 앞으로 운전중의 확실한 안전확보를 위하여는 서독·일본·미국에서와 같이 매 6개월마다 정기검사를 실시하고 이상이 있는 부분은 수시로 보완되어야 할 것이다.

뿐만아니라 승강기가 설치된 건물의 준공검사시에도 승강기의 안전도 진단은 물론 사고가 난 승강기는 국가공인 기관이나 전문기관에 위임한 후, 그 검사 결과에 따라서 계속 운행여부를 결정하도록 해야 할 것이다.

아울러 정부에서도 지금 昇降機 및 遊戲施設의 안전도진단에 관한 법제화를 적극적으로 추진하고 있기 때문에, 승강기 업계의 기술향상 또한 병행하여 발전되어 갈 것이다.

참고문헌

[1] 昇降機의 技術基準 및 解說(日本昇降機安全센타)

[2] 김포국제공항 엘리베이터와 에스컬레이터에 대한 안전도 진단보고서(韓國機械研究所 報告書 7卷)

[3] 昇降機 安全度 檢査에 관한 研究(交通安全振興公團)

[4] 昇降機 시스템의 安全管理에 관한 研究(韓國建設技術研究院)

[5] Lift Report 5-88 (West Germany)

[6] Technische Regeln fuer Aufzuege.

[7] Adjustment & Handling of Escalator, Elevator.

[8] Human Factors in Engineering and Design (Fifth Edition-Ernest J. Mc Cormick-Marks, Sanders)

[9] Digital Simulation of the Dynamic Travel Characteristics of an Electric Lift.

[10] An Analysis of Elevator Rope Vibration in Tall Buildings.

[11] Vibrations of a String with Time-Variable Length.