

주차(駐車)승강기 사고해석



김 정 우(KIMM 공인시험평가부)

- '76 영남대학교 공과대학 기계공학과 (학사)
- '89 창원대학교 대학원 기계공학과 (석사)
- '94 경남대학교 대학원 기계공학과 (박사)
- '76 - '80 삼미종합특수강(주) 플랜트설계부
- '80 - 현재 한국기계연구원 책임연구원
- '83 - '84 독일 감리기관(TÜV) 기술연수
- '84. 12 독일융접전문기술자(SFI)
- '96. 7 (사)안전생활실천시민연합 전문위원
(경남안실련 사무처장)

1. 사고발생 경위

1.1 전동기 입력 전원(인버터 출력) 제어용 MLM(magnetic contactor)의 접점 불량과 결상에 의해 주차승강기는 비정상 제어 상태에 돌입.

1.2 빈 카가 지상층(GF)과 25번 팔레트 사이에서 균형추와의 중량 차이에 의하여 자유낙하 상태에 돌입함으로써 브레이크를 제어하기 위한 소요시간(약 0.8m/sec)이내에서 제동 명령지점(25번 팔레트, 32번 팔레트)을 통과함.

(이때는 32번 팔레트와 주행로 천정사이에서 브레이크가 작동했다 하더라도 제동이 불가능한 가속상태임.)

1.3 빈 카가 주행로의 천정을 치면서 체인이 절단되었고 구동부의 축(shaft)이 파괴됨과 동시에 균형추가 피트로 추락됨.(이때 체인이 이탈되고 피트의 시설물들이모두 파손되었음.)

1.4 위 과정과 같은 비정상 고속운전시(추락)에는 반드시 작동되어야 할 조속기(over speed governor)와 비상정지장치(safety wedge)가 없었으므로 주차승강기는 2차적인 보호기능없이 빈 카가 주행로의 천정에 충돌하게 됨.

1.5 카와 주행로 천정과의 충돌 충격에 의해 체인이 절단되었고, 구동축이 파손됨.(이때에도 체인절단시의 보호장치가 없어 카와 균형추는 자유낙하 하였고, 체인은 이탈되었음)

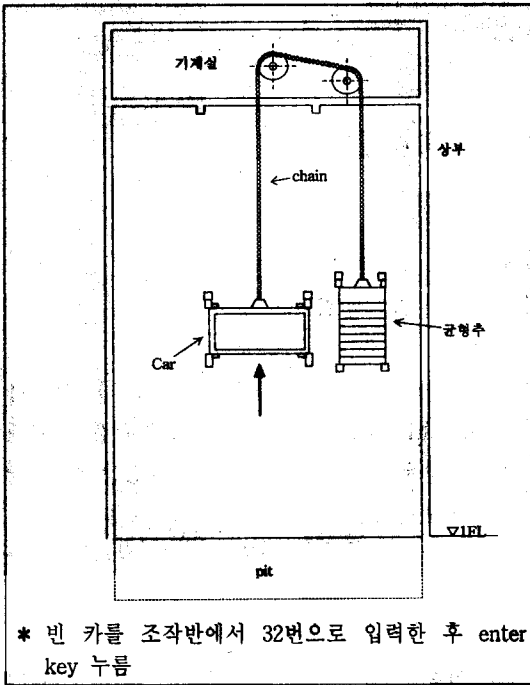


그림 1. 사고현황 I

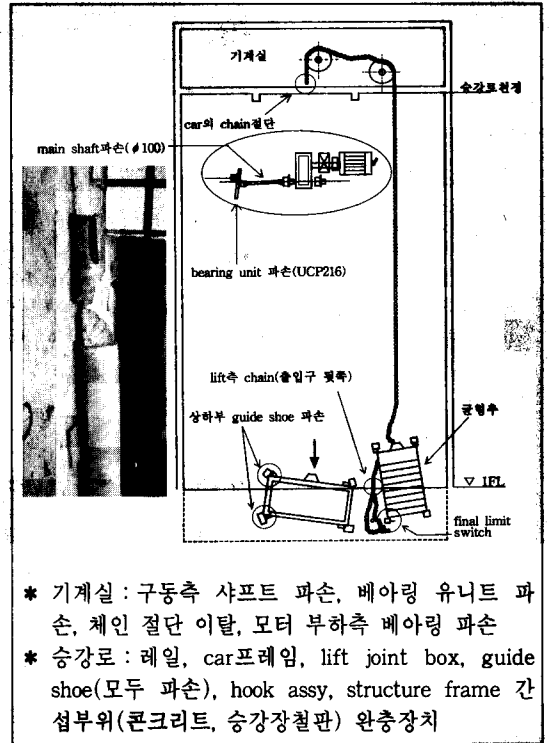
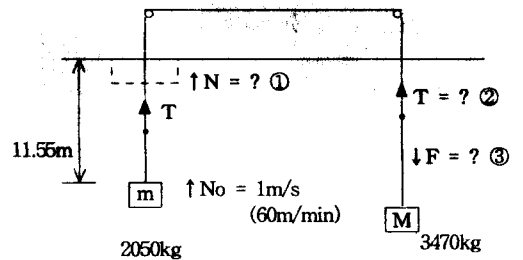


그림 3. 사고현황 III

1.6 피트에 설치된 마지막 보호장치인 완충기마저 규격미달의 제품이었고 더구나 견고하게 설치되지 않아 주차설비는 치명적인 손상을 입었음.

2. 사고 원인 분석

2.1 체인절단 원인분석



컨트롤러의 고장으로 카의 질량 m 과 균형추의 질량 M 이 등가속도 운동을 시작하면

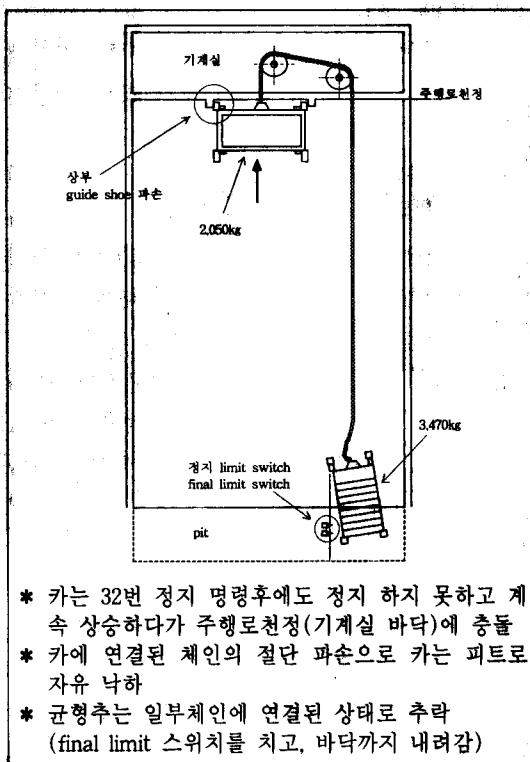


그림 2. 사고현황 II

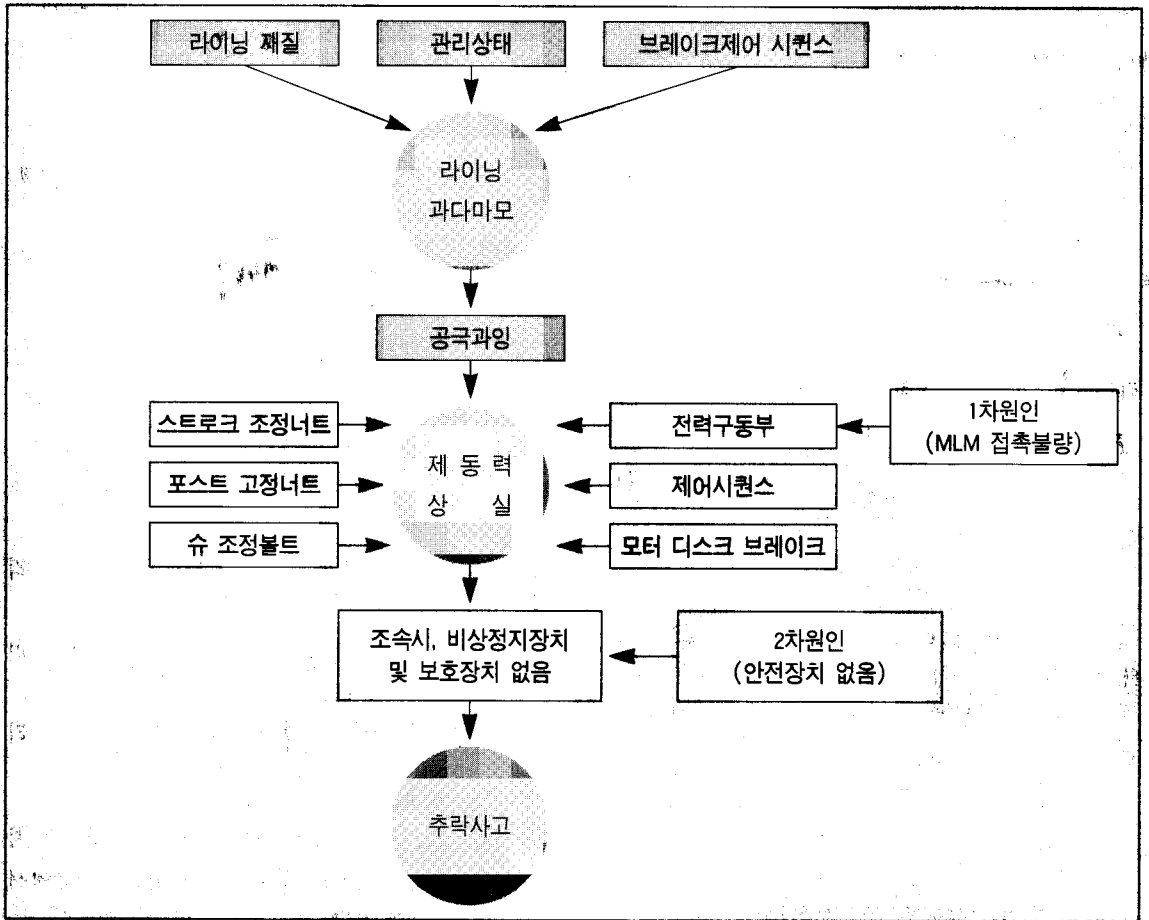
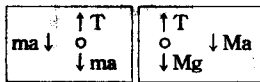


그림 4. 사고발생 경위도

운동 방정식 에서



$$ma = T - mg \dots \textcircled{A}$$

$$Ma = Mg - T$$

$$a = \frac{M - m}{m + M} g = 2.521 \text{ (kg} \cdot \text{m/sec}^2 \text{)} \dots \textcircled{B}$$

카의 질량 m이 천장에 부딪힐 때 속도 v는

$$v_2 = v_0^2 + 2aS$$

여기서, $v_0 = 1 \text{ [m/sec]}$

$$a = 2.521 \text{ [kg} \cdot \text{m/sec}^2 \text{]}$$

$$S = 11.55 \text{ [m]}$$

$$\text{따라서, } v = 7.696 \text{ [m/sec]} \dots \textcircled{1}$$

∴ 충격량 (m가 천장을 때릴 때)

$$F \cdot t = m\Delta v = m(v - 0) = 15777.69 \text{ (kg} \cdot \text{m/sec)}$$

균형추의 질량 M은 카의 질량 m이 천장에 부딪치면서 균형추의 질량 M의 속도가 순간적으로 변하게 되며, 이로 인하여 chain에 충격을 주게 된다.

따라서 chain이 받는 힘은 장력(등가속도로 움직이고 있을 때)과 충격에 의한 힘을 동시에 받게 된다.

이때 총 chain이 받는 힘

$$F = T + f \text{ (충격에 의한 힘)가 된다.}$$

장력 T는 식 ①과 ②에서

$$T = \frac{2mM}{M + m} \cdot g \text{가 된다} \dots \textcircled{2}$$

충격에 의한 힘 f 는 순간적으로 속도가 v 에서 v_1 로 되었다면

M 의 운동량의 변화량과 충격량과의 관계

$f \cdot \Delta t = M(v - v_1)$ 에서

$$f = \frac{M(v - v_1)}{\Delta t} \text{ 이 된다.}$$

따라서 chain이 받는 힘은

$$F = T + \frac{M(v - v_1)}{\Delta T} \text{ 이 되며, 속도변화에 걸}$$

리는 시간 Δt 를 0.1초라 가정하면

$$\begin{aligned} F &= 25258 \text{ kg} \cdot \text{m} / \text{sec}^2 \\ &+ \frac{347 \text{ kg} [7.696 \text{ m/s} - (0.27.696 \text{ 사이})]}{0.1} \\ &= 267051.2 \text{ kg} \cdot \text{m} / \text{sec}^2 \end{aligned}$$

여기에서 구동 chain의 파단강도는 23000kgf(225,400kgm/sec²)이다.

따라서 chain이 받는 힘은 구동 chain의 파단 강도보다 크므로 chain은 사진 1과 같이 절단되었다.

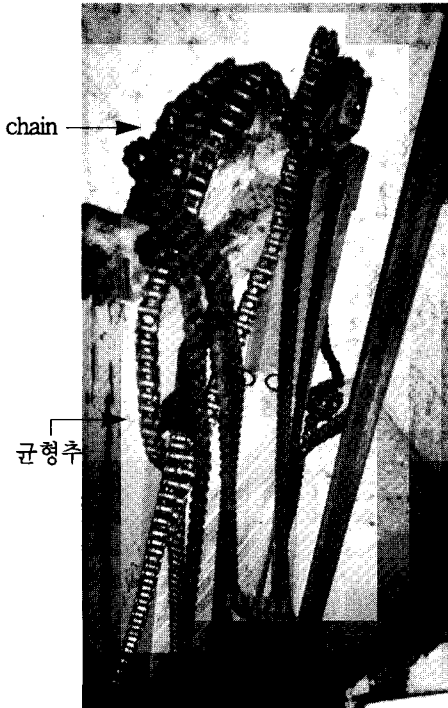
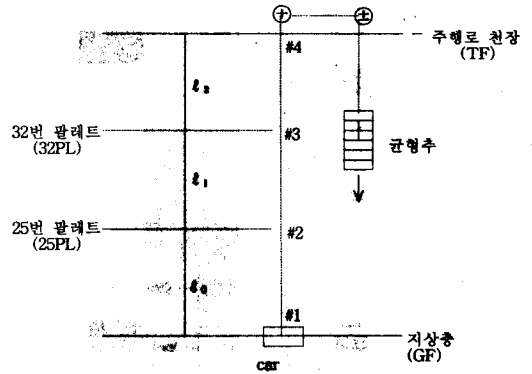


사진 1. 절단된 chain과 추락된 균형추

2.2 균형추의 자유낙하시 소요시간 계산

2.2.1 구간별 통과시간



l_0 : 지상층 GF에서 25번 팔레트 사이 거리 (7.875m)

l_1 : 25번 팔레트에서 32번 팔레트 사이 거리 (11.550m)

l_2 : 32번 팔레트에서 꼭대기까지 거리 (19.375m)

Δt_{23} : 25번 팔레트에서부터 카/균형추사이 자유낙하하는 경우의 l_1 과 l_2 구간에서 카의 통과 소요시간

Δt_{13} : 지상층에서부터 카/균형추 사이 자유낙하하는 경우의 l_1 과 l_2 구간에서 카의 통과 소요시간

$v_2 = 2gh$ 이고 $v = at$ 이므로

$$t = \sqrt{\frac{2gh}{a^2}} \text{ 가 된다.}$$

여기서 자유낙하시 $a = g$ 이고 각 구간별 높이 $h = l_0, l_1$ 에 대하여 구간별 통과시간은 다음과 같다.

(경우 1)

GF에서부터 가속시작한 경우

$$\bullet V_{14}^2 = 2 \times 9.8 \times 38.80 = 760.48, V_{14} = 27.58$$

$\Delta t_{14} = 2.81(\text{sec})$

• $V_{13}^2 = 2 \times 9.8 \times 19.43 = 380.73, V_{13} = 19.51$

$\Delta t_{13} = 1.99(\text{sec})$

• $V_{12} = 2 \times 9.8 \times 7.88 = 154.45, V_{12} = 12.43$

$\Delta t_{12} = 1.23(\text{sec})$

$\Delta t_{34}^1 = 0.82(\text{sec})$

$\Delta t_{23}^1 = 0.76(\text{sec})$

(경우 2)

25PL에서부터 가속시작한 경우

• $V_{24}^2 = 2 \times 9.8 \times 30.93 = 606.13, V_{24} = 24.62$

$\Delta t_{24}^1 = 2.51(\text{sec})$

• $V_{23}^2 = 2 \times 9.8 \times 11.55 = 226.38, V_{23} = 15.05$

$\Delta t_{23}^1 = 1.54(\text{sec})$

$\Delta t_{34} = 0.97(\text{sec})$

$\Delta t_{23} = 1.54(\text{sec})$

표 1. 각 경우 소요시간 비교표

구간 구분		32PL→ TF	25PL→ 32PL	GF→ 25PL	비 고
거리(m)		19,375	11,550	7,875	
자유낙하 소요시간 (sec)	경우1	0.82	0.76	-	GF에서 가속시작
	경우2	0.97	1.54	-	25PL에서 가속시작
전기제어소요 시간(sec)		0.8	0.8	-	reactor성분 고려안함
정상운전시 (sec)		45이상	30이상	-	

표 1에서 보는바와 같이 카가 지상층(GF)과 25번 팔레트(25PL) 사이에서 균형추와의 중량차이로 자유낙하 상태로 돌입할 때 브레이크를 제어하는데 소요되는 시간(0.8초) 이내에서 이미 제동 명령지점(25번 팔레트, 32번 팔레트)을 통과하였다. 이때는 32번 팔레트와 주행로 천장(TF) 사이에서 브레이크가 작동하였다 하더라도 제동이 불가능한 가속상태였다.

2.3 스프링 완충기 분석

2.3.1 스프링 완충기(Spring buffer)의 허용응력

$$\tau = K \cdot \frac{8 C^2}{\pi D^2} \cdot P$$

(D : 평균 직경 = 140 mm

C : $\frac{D}{d} = \frac{140}{15} = 9.33$ (스프링 지수)

K : (와달 계수)

$$= \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C}$$

$$= \frac{4 \times 9.33 - 1}{4 \times 9.33 - 4} + \frac{0.615}{9.33}$$

$$= 1.15$$

i) 카 축

$$P = \frac{4250}{4} = 1062.5 \text{ kg}$$

$$\tau = 1.15 \times \frac{8 \times 9.33^2}{\pi \times 140^2} \times 1062.5$$

$$= 13.818 \text{ kg/mm}^2$$

$$\tau = 13.818 < 30 \sim 55$$

ii) 균형추 축

$$P = 3470 \text{ kg}$$

$$\tau = 1.15 \times \frac{8 \times 9.33^2}{\pi \times 140^2} \times 3470$$

$$= 45.130 \text{ kg/mm}^2$$

$$\tau = 45.130 < 30 \sim 55$$

여기에서 탄소강 압연재의 압축코일 스프링의 허용응력은

코일선경이 13mm 이상일 경우에는 35~55kg/mm²의 값을 취하고,

코일선경이 13mm 이하에서는 45~65kg/mm²의 값을 취하므로

허용응력의 문제는 없다. 즉, 카축과 균형추축 모두 안전율은 고려되었다.

2.3.2 작용하는 중량에 대한 압축량 δ

i) 카 측

$$\delta = \frac{8n C^4}{GD} \cdot W$$

$$= \frac{8 \times 10 \times 9.33^4}{8 \times 10^3 \times 140} \times 1062.5$$

$$= 575.07 \text{ mm}$$

spring 상수 $K = 43.7 = \frac{GD}{8n C^4}$

\therefore 카 측의 정수 $K = 43.7 \times 4$
 $= 174.8 \text{ kg/mm} = 1748 \text{ kg/cm}$

ii) 균형추 측

$$\delta = \frac{8n C^4}{GD} \cdot W$$

$$= \frac{8 \times 10 \times 9.33^4}{8 \times 10^3 \times 140} \times 3470 = 1878 \text{ mm}$$

spring 상수 $K = 43.7 = \frac{GD}{8n C^4}$

\therefore 균형추 측의 정수 $K = 43.7 \text{ kg/mm}$
 $= 437 \text{ kg/cm}$

카측 총중량은 4250kg이고, 카운트측 총중량은 3470kg이다. 그런데 법규상 스프링 완충기는 정하중의 2배(카측 : 8,500kg, 균형추측 : 6,940kg)에는 완전(full)압축되지 않고 정하중의 3배(카측 : 12,750kg, 균형추측 : 10,410kg)에서는 완전압축되어야 한다. 이것을 표로 나타내면 다음과 같다.

표 2에서 보는바와 같이 카측 총중량 4250kg, 균형추측 총중량 3470kg의 경우 4개의 완충기를 사용한다면 최소한의 코일경은 30mm, 직경 147mm, 코일 총 높이 503mm 총권수 13.5 이상이어야 하나, 본 설비의 경우 설계값보다 작은 코일경은 15mm, 직경 140mm, 코일 총 높이 300mm, 총권수 10을 사용하였기 때문에 추락시 완충기 역할을 다하지 못하였다. 사고당시의 완충기 상태를 사진 2로 나타내었다.

표 2. 사용수량에 따른 카측과 균형추측의 완충기 사양

완충기수량	카 측	균형추측
4개 사용할 경우	총 권 수 : 13.5 외 경 : 147mm 스프링정수 : 43.7kg 코일선경 : 30mm 높 이 : 503mm	총 권 수 : 13.5 외 경 : 147mm 스프링정수 : 43.7kg 코일선경 : 30mm 높 이 : 503mm
1개 사용할 경우	총 권 수 : 6.5 외 경 : 220mm 스프링정수 : 87.5kg 코일선경 : 40mm 높 이 : 503mm	총 권 수 : 6.5 외 경 : 220mm 스프링정수 : 87.5kg 코일선경 : 40mm 높 이 : 503mm

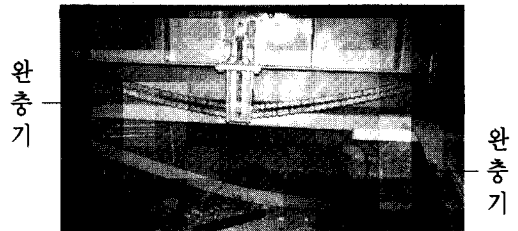


사진 2. 리프트가 추락했을 때 완충기의 작동상태

2.4 비상정지장치와 기계적 안전장치 검토

체인(chain)은 사용하다보면 길이가 늘어나게 되고 또한 운전시 진동이 심하게 되면 체인이 풀리(pulley)로부터 이탈하는 경우가 있다. 이때 체인의 이탈을 방지하여 주는 것이 체인가이드(chain guide) 이탈방지장치이다. 그러나 이 설비에는 체인가이드(이탈방지) 장치가 설치되어 있지 않았다. 또한 시방서에 낙하 방지장치의 역할로 설명된 후크(hook)장치도 카가 제 위치에 왔을 때 단순히 카를 고정시켜주는 기능만 할뿐 추락을 방지할 수 있는 이른바, 강제정지 장치의 기능은 아니다.

그런데 관련기술 규정(기계식 주차장치 안전기준 등에 대한 규정. 건설교통부 고시 1996-201호)에는 chain이탈 방지장치를 설치하도록 되어 있고, 로프나 체인이 끊어지는 경우에는 반드시 비상정지 장치를 설치하여 추락을 방지해야하는 것으로 명시되어있다. 따라서 이번사고에서 설치명적인 전기적인 결함이 있었다 하더라도 체

인 이탈방지 장치나, 강제정지 장치가 설치되어 있었다면 추락사고는 막을 수 있었다. 그리고 카가 추락할 때 이상속도를 가장먼저 감지하여 강제정지 장치를 작동시켜 카를 레일위에 안전하게 정지 하도록하는 조속기(over speed governor)도 설치되어 있지 않았을 뿐만 아니라 완충기 또한 설치는 되어 있으나 제대로 작동 할 수 없는 규정하중 미달의 제품을 사용하였기 때문에 설비의 손상이 더욱 컸다.

즉 이번사고는 관련 기술 규정을 제대로 준수 하지 않았고 설치 상태도 지극히 불량하여 발생 된 사고였다.

3. 결론

3.1 사고원인

3.1.1 전동기 입력전원 제어용 MLM(magnetic contactor)의 점점불량(그림 3)에 의한 정상적 제어가 불가능 함에 따라서 카와 균형추가 무게차이로 자유낙하 및 상승 (free run) 상태에 돌입하여 사고가 시작 됨.

(보수유지자는 제어용 MLM 부품의 점점 상태를 수시로 확인하여 이번사고처럼 점점불량이 나타나면 즉시 교환 하여야 함.)

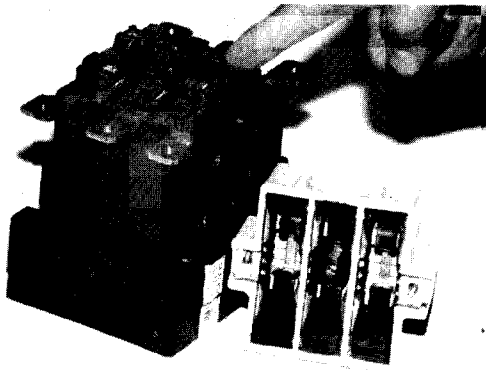


사진 3. 전동기 입력전원 제어용 MLM(magnetic contactor)의 점점상태

3.1.2 이때, 기계적 안전장치인 비상정지장치, 조속기, 체인절단 감지 및 보호장치, 체인 이탈감지장치가 기술규정에 명시되었음에도 불구하고 설치되어 있지 않았기 때문에 카는 추락하였고, 완충기는 규격 미달의 제품을 사용하였고 그것도 견고하지 않게 설치하였기 때문에 설비는 크게 손상되었다.(즉, 기계적 안전장치만 제대로 설치되어있어도 이번 사고는 발생하지 않았음.)

3.2 안전미달 사항

3.2.1 모터 디스크 브레이크를 강제로 개방시켜서 사용하였기 때문에 사고시 브레이크가 작동되지 않았음.(즉, 사고방지 기능이 상실 되었음.)

3.2.2 주된 동력 전달축은 사고이전에 이미 소재의 피로 파손(fatigue)으로 균열이 심각한 상태 였으나, 유지보수시 이를 전혀 발견하지 못하였음.(이 경우에는 원제품 능력의 1/12정도의 충격에도 파손됨.)

3.2.3 구조해석 결과 최대응력이 발생하는 가이드레일과 I - beam과의 연결부 취약 (보강요망)

참 고 문 헌

- [1] 승강기공학.(김정우, 손두익, 1998. 3. 도서출판 세화)
- [2] 주차승강기 사고해석.(김정우, 이경열, 손두익, 1997. 9. 대구지방 법원. 사건97 가합 14631호)
- [3] 승강기 사고해석.(김정우, 이경열, 손두익, 1995. 12. 분당경찰서 KIMM BSIA 92-2163.C)

- [4] 승강기 사고감정.(김정우, 이경열, 손두익. 1995. 3. 대구지방 법원. 사건94 가합1146)
- [5] 주차승강기 사고감정.(김정우, 손두익, 이경열. 1993. 8. 서울 고등법원. 사건92 가합 479)
- [6] 승강기 사고감정.(김정우, 손두익, 이경열. 1992. 10. 서울고등법원. 사건92나 19424)
- [7] 승강기 사고해석.(김정우, 이경열. 1992. 4. 울산경찰서 KIMM BSI854-1634.C)
- [8] 승강기 안전성 평가 기술개발.(I, II. 김정우. 1992. 8. 과학기술처 KIMM UCN 342-1557.C)
- [9] 승강기 사고해석.(김정우, 이경열. 1989. 11. 창원경찰서 KIMM BSI746-1258.C)
- [10] Hyatt Regency Pusan 승강기 사고해석. (김정우, 이경열. 1989. 1. 신남개발 주. KIMM BSI715-1189.C)
- [11] Elevator mechanical design, principles and concepts. Ubomir Janovsky.
- [12] Vertical transportation : Elevators and escalators, George R. Strakosch.
- [13] 승강기 관리실무.(김정우, 손두익. 1995. 1. 도서출판 새문사)
- [14] 승강기 보수기술.(김정우, 1994. 10. 크라운 출판사)
- [15] 승강기 기사 교재.[승강기설계 승강기개론 일반기계공학 전기제어공학 승강기실무] (김정우, 손두익, 이경열. 1995. 3. 고연문화사)