

승강기 사고해석



김 정 우 (KIMM 시험평가부)

- '76. 12 영남대학교 기계공학과 (학사)
- '89. 2 창원대학교 대학원 기계공학과 (석사)
- '94. 8 경남대학교 대학원 기계공학과 (박사)
- '76 - '80 삼미종합특수강(주) 플랜트설계부
- '80 - 현재 한국기계연구원 책임연구원
- '83 - '84 독일 산업안전(TÜV) 기술연수
- '84. 12 독일용접전문기술자(SFI)
- '96. 7 (사)안전생활실천시민연합 전문위원 (경남안실련 사무처장)

1. 사고발생경위

승강기 인명사고는 브레이크 제어회로의 오동작으로 브레이크 라이닝이 급속마모 되었고 이 때 플런저의 볼트가 하트접점 고정레바에 구속되었기 때문에 브레이크가 개방된 것이다.

사고 후 20여일이 경과되어 인명구출시 이미 사고현장이 훼손 되었기 때문에 사고의 1차 원인인 브레이크 제어회로의 오동작 원인은 발견하지 못했으나 코일의 단선이나, 저전압 등의 전원 이상 및 시퀀스 회로와 소자(Relay, Coil, 반도체 등)의 이상(1차원인)이 존재했다는 것은 설치시공자나 보수자 모두 인정한다. 사고발생 경위를 설명하면 그림 1과 같으며 이를 설명하면 다음과 같다.

브레이크 라이닝이 구속된 상태로 전동기가 기동하게 되면 속도 편차 검출기능(TE : Tracking error)에 의해서 비상정지가 되어야 하나, 본 사고기종의 경우에는 어떤 이유에 의해서 TE발생에 의한 비상정지 기능이 무력화(2차원인) 되어서 어느정도 이상 진행될 때 플런저의 과잉상승을 방지하기 위한 장치인 극한스위치(Limit switch)등이 있어야하나 본 사고기종에는 이러한 장치가 없어서(3차원인) 플런저의 볼트가 하트접점 고정레바에 구속 되었다. 만약 극한 스위치가 있었다면 승강기는 비상정지되고 보수요청에 의하여 라이닝을 교체함으로써 정상가동 되었을 것이다. 이렇게 플런저의 볼트가 하트접점 고정레바에 구속된 상태에서 그림2와

그림3의 사고상황도에서 보는 바와 같이 승장문에 승객의 신체일부가 끼이게 되면(4차원인) 사

고가 발생된다.

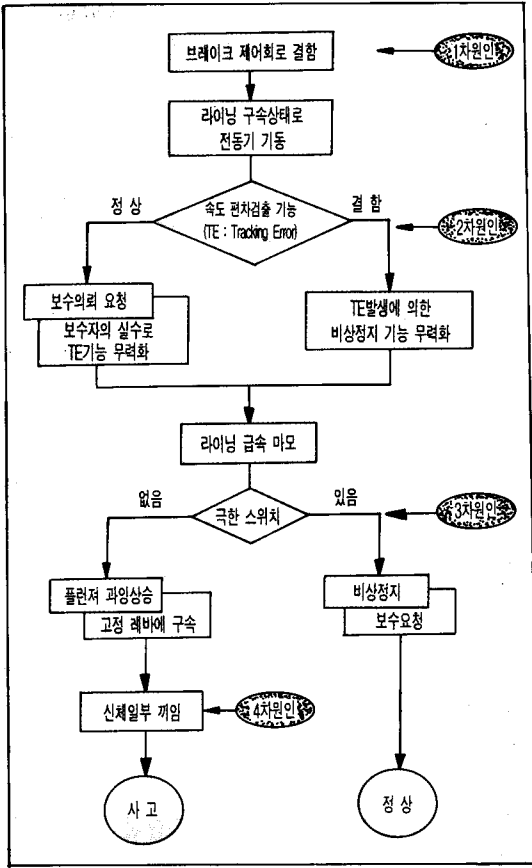


그림 1. 사고 발생 경위도

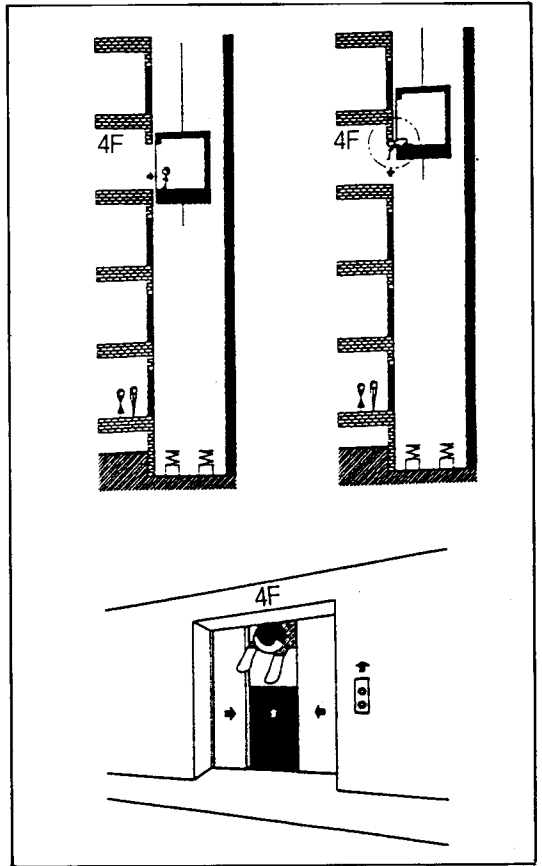


그림 2. 사고상황도

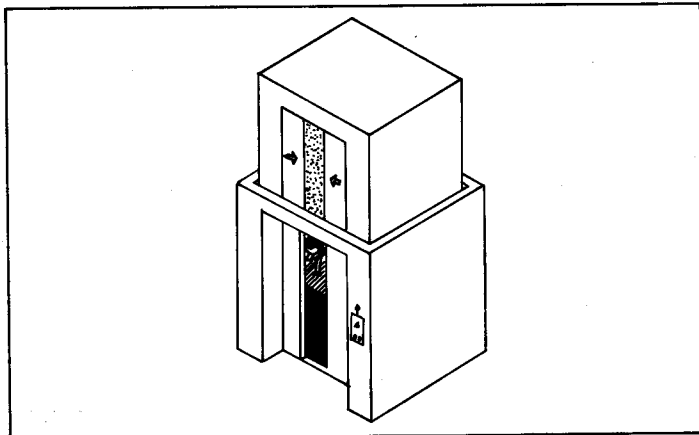


그림 3. 사고상황도(입체)

2. 사고원인 분석

2.1 브레이크 제어회로의 결함

브레이크가 동작 및 개방되는 시점과 구동전 동기가 기동 및 정지되는 시점의 순서는 다음 원칙과 같이 철저하게 제어되어야 한다.

원칙 #1. 승강기를 정지시킬 때에는 먼저 전 동기 전원을 끈(OFF)후 브레이크가 작동되어야 한다.

원칙 #2. 승강기를 기동시킬 때에는 먼저 브레이크가 개방된후 전동기가 기동되어야 한다.

위의 원칙에 위배될 때에는 제어회로에 다음과 같은 결함이 있다고 볼수 있다.

- 결함 #1. 브레이크 제어회로의 오결선
- 결함 #2. 브레이크 코일의 단선
- 결함 #3. 브레이크 코일 전원이상(저전압 등)
- 결함 #4. 제어회로와 소자의 이상

본 사고기종을 검토한 결과 결함 #1, #2, #3의 현상은 찾을 수가 없었으므로 결함 #4로 추정된다. 즉, 반도체 소자의 경우는 온도와 진동등의

환경변화에 의해서 한시적인 오동작이 일어날 수 있다.

2.2 속도편차(Tracking error) 검출기능

이 기능은 승강기 운행시점에서 마이크로 프로세서의 명령에 따라 지령속도 패턴이 발생되며 전동기 측에 달린 P/G에 의하여 실제로 승강기가 정상속도로 운행되는 지를 출발에서 정지까지 운행의 전구간을 계속적으로 감시하는 기능(Closed loop control)을 갖고 있다.

이 기능에 의한 안전운행 Cycling은 그림 4와 같다.

이러한 방식으로 브레이크 개방여부에 따른 이상속도 감지 뿐만아니라 과속검출 기능까지도 설계에 반영되어서 안전진단 운행기능을 보완하는 장치이다. 본 사고기종의 TE발생으로 인한 안전회로가 차단되면서 승강기가 운행정지(비상정지)되는지를 확인 해 보고, 설치 및 보수시 사용하는 TE기능 무력화시(S₂ 스위치 OFF)에 나타나는 현상을 각각 Mode I (정상운전), Mode II(TE기능 무력화)로 구분해서 시험 한 결과는 다음 그림 5와 같다.

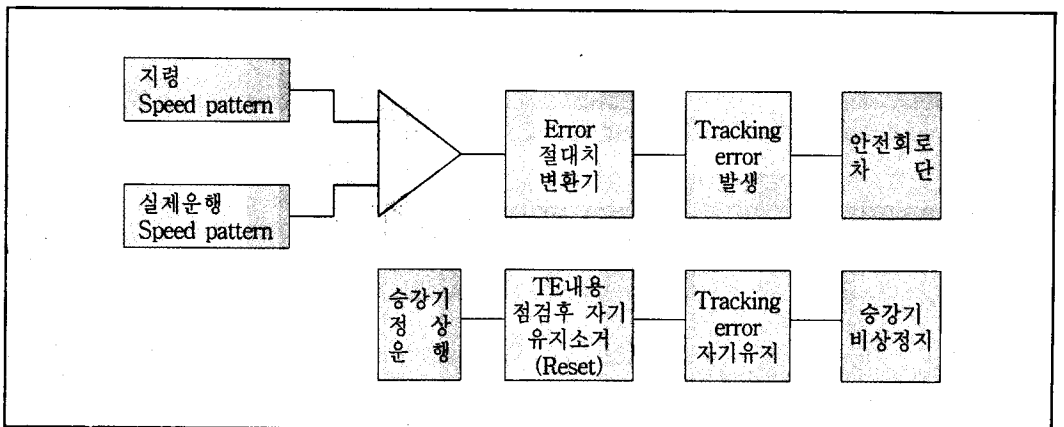


그림 4. TE 기능에 의한 안전운행 Cycling

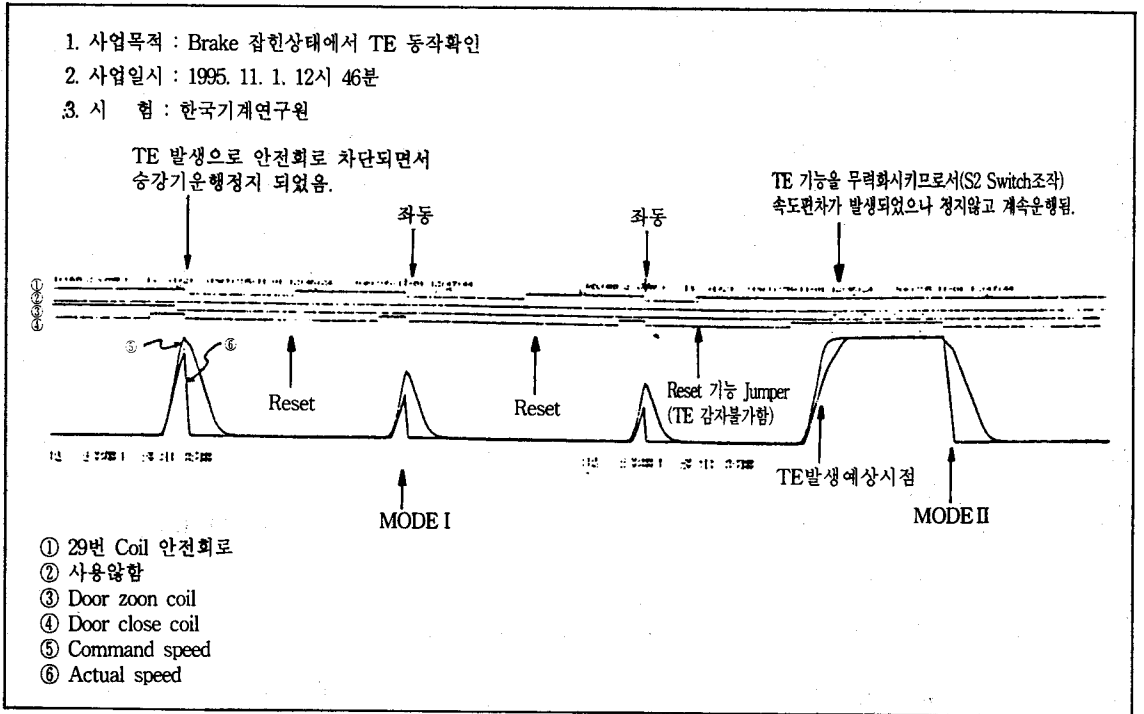


그림 5. 사고 승강기의 TE 기능 시험파형

2.3 극한 스위치 기능

브레이크 라이닝에 어느정도 이상의 마모가 진행되면 이를 감지하여 플런저의 과잉상승을 방지하는 것이 극한 스위치 보호장치이다.

이 승강기의 초기 설계도면에는 극한스위치가 설치되어있어 브레이크의 한쪽 라이닝을 포함한 양쪽 라이닝이 모두 전량 마모되더라도 제동이 되는 구조이다. 그러나 본 사고 기종에는 이러한 극한스위치가 없어 플런저의 볼트가 하트점점 고정레바에 구속되었다. 이번 사고가 바로 극한 스위치가 있었다면 승강기는 스스로 비상 정지된 후 보수요청에 의하여 라이닝을 교체함으로써 정상가동되었을 것이다. 이러한 라이닝 마모감지 장치인 극한스위치가 없어서 사고당시 극심하게 마모되었던 라이닝과 브레이크 드럼(Durm)은 라이닝을 고정하는 금속볼트의 머리

부분이 거의 마멸되었고 브레이크 드럼의 표면도 금속볼트 때문에 심하게 손상되어 있다. 외국에서는 이러한 현상을 방지하기 위하여 라이닝을 고정할 때 금속볼트체결 방식이 아닌 고속고강도 접착제를 이용한 방식을 주로 사용하고 있다.

2.4 승강기문에 신체 일부 끼임

승강기가 승장문 출구 상하 중심에서 일정 범위내를 운행 할 때에는 승강기문에 신체의 일부가 끼이게 되면 승강기 문이 자동 개방되나, 상하 일정범위를 벗어난 경우에는 개방되지 않는다.(이 경우에도 승강기 문이 개방되면 구출 및 탈출시 피트에 추락위험 있음.)

본 사고 경우는 어딘가 그 범위 밖에서 신체의 일부가 끼임을 당한(4차 원인) 상태에서 브

레이크가 개방된 승강기는 균형추와 카의 무게 차이에 의하여 상향 운전되었기 때문에 치사 사고에 이르렀다. 이러한 사고를 예방하기 위해서는 상하 일정범위 밖에서 신체의 일부가 승강기 문에 끼일 경우에는 승강기가 비상정지 되도록 설계되어야 할 것이다. 상하 일정 범위내에서는 승강기가 운행중에도 승장문이나 승강기 문이 열리게 되면 정지해야 하며 또한 승강기문에 신체의 일부나 물건이 끼인 경우에는 다시 열려야 한다. 그러나 사고 승강기의 경우 그림6에서 보는 바와 같이 폭이 좁은 신체의 일부가 끼인 경우에도 승강기 문은 열리지 않고 그대로 운행되고 있다. 따라서 승강기문 스위치의 스프링 장력을 좀더 예민하게 조정하던가, 이물질의 끼임을 감지하는 센서기구의 위치조정(현재구조는 지나치게 안으로 들어가 있음)또는 양방향 설치 등을 고려할 필요가 있음.



그림 6. 승강기 문에 신체일부가 끼었으나 다시 열리지 않고 운행되고 있음.

2.5 사고당시 라이닝 설치 후 가상 실험

사고원인 규명을 위해서 사고당시 라이닝을 실제로 부착하여서 다음과 같은 3종의 실험을 실시하였다.

2.5.1 실험 I

- 1) 조 건 : 스프링 길이 90mm

플런저 스트로크 3mm 이내.

- 2) 결 과 : 브레이크 전원 고장(OFF)시의 라이닝 슬립거리 560mm(직경) × 2.3회전 ≒ 4(m) (카 4층 기준)
- 3) 판 정 : 비정상 슬립이 발생하나 사용자가 인지하지 못 할 수도 있음.

2.5.2 실험 II

- 1) 조 건 : 스프링 길이 83mm

플런저 스트로크 3mm 이내.

- 2) 결 과 : 브레이크 전원 고장(OFF)시의 라이닝 슬립 거리 560mm(직경) × 0.8회전 ≒ 1.4(m) (카 6층 기준)
- 3) 판 정 : 정상

2.5.3 실험 III

- 1) 조 건 : 스프링길이 75mm(사고당시 측정방법이 다른 수사기록상의 스프링 길이 64mm에 해당). 플런저 스트로크 3mm이내

- 2) 결 과 : 브레이크 전원 고장(OFF)시의 라이닝 슬립 거리 상승시에는정상이나 하강시에는 TE발생됨.(카 6층 기준)
- 3) 판 정 : 하강시 TE가 발생함으로써 비상 정지 되어서 사용자는 인지한다.

2.5.4 실험결과 분석

사고 상황은 실험III의 조건과 유사한 것으로 보이며 카의 위치에 따라서 상승 혹은 하강시에 비상 정지된 상황이 발생할 수 있다.

이러한 비상 정지된 상황이 발생했을 경우에는 마땅히 자격 있는 보수요원이 정상적인 절차에 따라서 조치를 해야 한다. 만약 이러한 비상 정지상황 당시, TE검출기능에 결함이 있거나 보수자가 적절한 조치를 취하지 않을 경우에는

비상정지 상황이 계속 재연될 수 있다. 특히 그림7에서 보는 바와 같이 카의 반대편에 있는 균형추 바닥이 완충기와 충돌한 흔적을 고려해 볼 때, TE 검출 기능에 결함이 있었거나 보수자가 적절한 조치를 못한 것으로 볼수 있다.

3. 결론

사고발생 후 20여일이 경과되어 증거물이 모두 검찰에 이관되었고 인명 구출시 이미 사고현장은 훼손되어 증거인멸의 가능성이 높았으나 최대한 가능한 사고관련 시험들을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

3.1 사고원인

브레이크 제어회로의 오동작으로 브레이크 라이닝이 급속 마모되었고 이때 플런저의 볼트가 하트점점 고정레바에 구속되었기 때문에 브레이크가 개방되었음.

3.2 각 당사자별 사고 책임

3.2.1 제조 및 설치자

- 1) 브레이크 제어회로의 결함.(물증은 없으나 사고 경위로 볼 때 반드시 제어회로의 결함이 있어야만 가능한 사고임.)
- 2) HLA보드상 TE기능 무력화 조작 (S₂ 스위치 OFF)에 관한 상세한 교육도 없었고, 보수 매뉴얼상에도 기록하고 있지 않으나 실제로 현장 보수자들은 가끔 사용하고 있음.
- 3) 전자회로에 의한 TE기능이 있다고 하더라도 기계적인 극한 스위치를 설치할 필요 있음.

3.2.2 보수자

- 주민측에 의하면 이미 1차원인과 2차원인에

의한 사고가 발생했다고 주장하며 그 증거로 그림7과 같은 흔적을 발견하였다. 이에 따라 주민측은 수차례 보수요청을 했음에도 불구하고 라이닝의 급속한 마모기간 중 (약 2주일) 아무런 대응 조치를 하지 않았음.

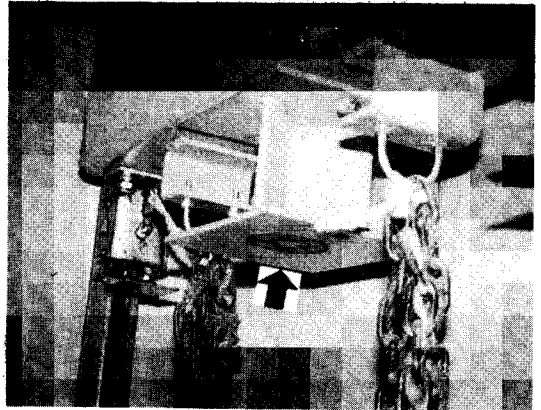


그림 7. 브레이크가 개방된 상태에서 균형추와 카의 무게차이로 균형추가 아랫방향으로 내려오면서 완충기와 충돌한 흔적.

3.2.3 시설 운영자 측

계약시 기술시방서가 보관되어 있지 않은 등 관리상 많은 문제점을 안고 있음.
또한 이번과 유사한 사고로 인한 주민들의 보수요청에도 적극적으로 대응하지 않았음.

3.2.4 검사자 측

사고전에도 이미 라이닝에 마모가 심하게 진행되었고 무엇보다도 정기검사 2주일 후에 이러한 인명사고가 발생한 것을 고려할 때 정기검사시의 실수도 있을 수가 있다. 설사 실수가 없었더라도 이러한 사고는 예방할 수 있어야 한다. 따라서 정기검사시 검사기관은 라이닝의 과다마모와 플런저의 스트로크 조정 및 슬립 정도 등에 대하여 보다 철저하고 세심한 점검이 요망됨.

3.2.5 사용자 측

사용자는 앞으로 승강기 안에서 지나치게 장난을 하지 않아야 하고 간헐을 경우에는 가만히 있으면 안전하다. 전문지식이 없는자가 탈출하려고 시도하다가 사고는 발생된다. 특히 어린이는 비상호출을 하고 구출을 조용히 기다리도록(일체 불필요한 행위는 못하도록)교육 할 것.

참 고 문 헌

- [1] 주차 승강기 사고해석. (김정우, 이경열, 손두익. 1997. 9. 대구지방 법원. 사건97 가합 14631호)
- [2] 승강기 사고해석. (김정우, 이경열, 손두익. 1995. 12. 분당경찰서 KIMM BSIA 92-2163.C)
- [3] 승강기 사고감정. (김정우, 이경열, 손두익. 1995. 3. 대구지방 법원. 사건94 가합1146)
- [4] 주차승강기 사고감정. (김정우, 손두익, 이경열. 1993. 8. 서울 고등법원. 사건 92가합 479)
- [5] 승강기 사고감정. (김정우, 손두익, 이경열. 1992. 10. 서울고등법원. 사건92나 19424)
- [6] 승강기 사고해석. (김정우, 이경열. 1992. 4. 울산경찰서 KIMM BSI854-1634.C)
- [7] 승강기 안전성 평가 기술개발(I,II). (김정우. 1992. 8. 과학기술처 KIMM UCN 342-1557.C)
- [8] 승강기 사고해석. (김정우, 이경열. 1989. 11. 창원경찰서 KIMM BSI746-1258.C)
- [9] Hyatt Regency Pusan 승강기 사고해석. (김정우, 이경열. 1989. 1. 신남개발 주. KIMM BSI715-1189.C)
- [10] Elevator mechanical design. principles and concepts. Ubomir Janovsky.
- [11] Vertical transportation : Elevators and escalators. George R. Strakosch.
- [12] 승강기관리실무. (김정우, 손두익. 1995. 1. 도서출판 세문사)
- [13] 승강기 보수기술. (김정우, 1994. 10. 크라운출판사)
- [14] 승강기 기사 교재. [승강기설계·승강기개론·일반기계공학·전기제어공학·승강기실무] (김정우, 손두익, 이경열, 1995. 3. 교연문화사)