

# 고무차륜 AGT 경량전철 차량의 고장관리 계획

## Failure Management Plan of the Rubber-Tired AGT Light Rail Vehicle

김연수*	박성혁*	이안호**	한석윤***
Kim, Y.S.	Park, S.H.	Lee, A.H.	Han, S.Y.

### ABSTRACT

This study was aimed to establish failure management plan of the rubber-tired AGT light rail vehicle for its safety case, which was developed according to the Korean standardized specifications for the light rail vehicle. Vehicular 9 failure modes anticipated during the system operation were considered, which are single malfunction of redundant equipment, malfunction of train radio, public address and air compressor, battery, main circuit NFB trip, on-board ATO control device malfunction, on-board ATP control device malfunction, fail of brake release, flat tire, train emergency door open.

### 1. 서 론

경량전철시스템은 버스와 지하철의 중간규모 수송능력(시간·방향당 5,000~30,000명)을 가지며, 무인운전으로 운행되는 첨단 도시철도이다. 따라서 기존의 도시철도(지하철)에 비해 시스템의 고장 및 오작동에 대한 대비가 매우 엄격하게 수립되어야 한다. 특히 우리나라의 경우 무인운전 운영에 대한 경험이 부족하고, 더구나 경량전철은 현재 기술개발 과정에 있으므로 예상되는 고장모드에 대한 철저한 대책 수립과 이들이 실제 시스템 설계에 반영되는 것이 매우 중요하다.

개발되고 있는 고무차륜 AGT 시스템과 유사한 무인운전 경량전철을 운영 중인 일본, 영국, 프랑스 등에서는 시스템과 승객의 안전성 확보를 위해 고유의 안전운영규정을 제정하여 운용하고 있으며, 정기적으로 이를 개정함으로써 새로운 기술개발 추이를 반영하고 있다. 국내에서는 경량전철시스템 기술개발사업의 일환으로 개발 중인 고무차륜 AGT 시스템 특성을 반영하여 안전운영규정을 작성하였다. 이렇게 작성된 안전운영규정에서는 시스템의 안전성 확보를 위해 필요한 운영조직과 각 담당자의 역할, 운전방식(무인운전, 수동운전)에 따른 사고 발생 시의 시스템 운영방안, 사고 및 자연재해 발생시 연락, 조사, 보고, 복구체계, 예상되는 위험항목에 따른 대처요령 등을 제시하였다.

본 논문에서는 무인운전으로 운행되는 고무차륜 AGT 경량전철 시스템에 대한 안전운영규정의 일부로서 차량에서 발생 가능한 오작동 및 고장을 위험의 정도에 따라 9종류로 분류하고, 이에 대한 계약적인 관리계획 및 대책을 수립하여 제시하였다.

\* 한국철도기술연구원, 선임연구원, 정회원  
\*\* 한국철도기술연구원, 시스템기술개발팀장, 정회원  
\*\*\* 한국철도기술연구원, 도시철도기술개발사업단장, 정회원

## 2. 안전운영규정

### 2.1 정 의

안전운영규정(safety case)은 승객 및 시스템의 안전을 확보하고 위험항목의 효과적인 제거와 제어를 위해 수행되어야 하는 일련의 행위(activity) 및 작업(operation)에 대한 정의이다. 따라서 안전운영규정은 시스템의 기술적 특성과 운영방식을 고려하여 결정되어야 하고, 주기적인 검토 및 개정이 요구된다. 또한 동일한 시스템을 적용하였더라도 노선에 따라 달라질 수 있으며, 구체적으로는 계획, 지시, 과정, 기준, 보고, 안전관리시스템 등을 포함한다.

### 2.2 내 용

무인운전으로 운행되는 고무차륜 AGT 경량전철 시스템의 안전운영규정 내용을 요약하면 다음과 같다.

#### 1) 운영조직

시스템 및 승객의 안전을 확보하기 위해 필요한 운영조직과 각 담당자의 권한과 책임을 규정한다. 위험 및 사고가 발생할 경우 이에 따라 사고의 대책 및 수습을 수행하게 된다.

#### 2) 비상사태 발생시 시스템의 운영

무인운전 또는 수동운전에 따라 안전운영 방안을 규정하고, 사고 또는 자연재해가 발생한 경우 연락, 대응조치, 복구, 조사, 보고 등의 체계를 규정한다.

#### 3) 위험항목 및 대처요령

시스템의 운영에 따라 발생 가능한 시스템 오동작, 차량의 오동작, 지상설비 오동작, 지진, 강풍, 강설, 화재, 응급환자의 발생 등에 따른 상세한 대처요령을 정의한다.

### 2.3 예상되는 위험항목 및 대처요령

개발된 고무차륜 AGT 경량전철시스템을 운영할 경우 각종 사고 및 자연재해 등의 위험상황이 발생될 수 있다. 따라서 이러한 예상되는 위험항목에 대해 상세한 대처요령을 마련하여 안전한 시스템 운영과 향후 상업운전에 대비해야 한다. 예상되는 위험항목은 크게 시스템 오동작, 자연재해, 응급환자의 발생, 화재로 분류할 수 있다. 또한 시스템의 오동작은 다시 운영 사고, 시스템 사고, 차량의 오동작, 지상설비의 오동작으로 분류할 수 있으며, 본 논문은 이들 중 차량과 관련하여 예상되는 고장모드와 이에 대한 대책수립이다.

## 3. 차량의 오동작(고장)에 대한 대처요령

고무차륜 AGT 경량전철 차량의 오동작은 위험의 정도에 따라 이중화된 장치의 오동작, 통신장치, 방송장치, 공기압축기, 축전지 등의 오동작, 주회로 NFB의 trip 오동작, ATO 제어장치의 오동작, 주회로 2개 유닛 이상의 오동작, 제동불완해, 고무타이어 손상, 차량 비상탈출구의 열림 등 9개 항목으로 분류하였고, 각각에 대해 계약적인 대책이 수립되었다.

### 3.1 이중화된 장치(redundant equipment)의 오동작

견인전동기, 제동장치(상용제동과 보안제동)과 같이 이중화 된 장치들은 일부가 고장이나 오동작을 일으켜도 그 자체로는 위험하지 않고, 병렬 또는 직렬로 배열된 다른 장치가 그 기능을 완전히 또는 일부분을 담당하게 된다. 이중화로 구성된 장치의 고장은 차량에서 가장 낮은 단계의 위험도를 가지게 되며, 이에 대한 계약적인 대책은 그림 1과 같다. 차상의 모니터링 장치를 리셋하여도 정상상태가 되지 않으면 해당 열차를 가능한 신속하게 차량기지로 회송시켜야 하며, 특히 차상 신호장치(자동열차제어장치, 열차검지장치 등)의 오동작 또는 고장은 연동역에서 즉시 운행을 중단시켜야 한다.

### 3.2 무선통신장치, 방송장치, 공기압축기, 축전지 등의 고장

차량의 무선통신장치, 방송장치, 공기압축기, 축전지 등 이중화로 구성되지 않은 장치의 고장에 해당되는 경우이며, 이에 대한 계략적인 대책은 그림 2와 같다. 주공기압축기 또는 축전지의 오동작일 경우 해당열차를 다음 연동역에서 즉시 회송시키고, 타 장치일 경우에는 가능한 신속하게 해당열차를 회송시킨다.

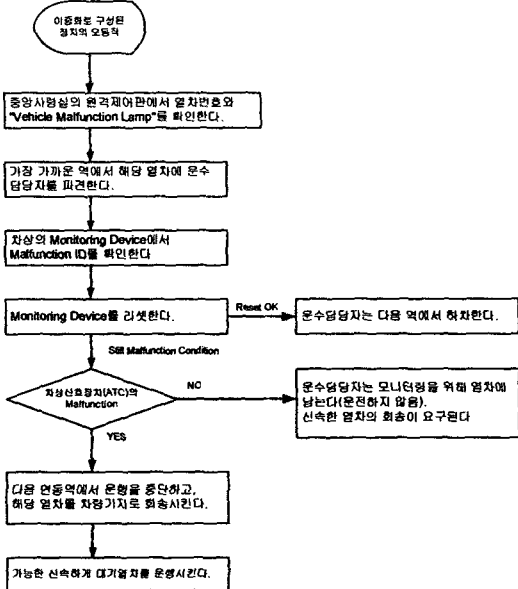


그림 1 이중화된 장치에 대한 고장대책

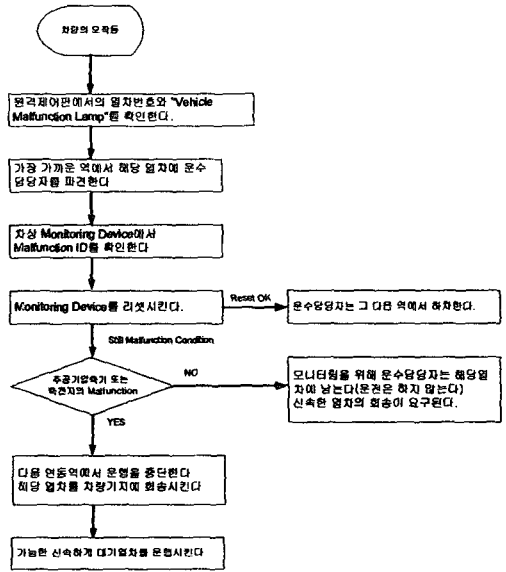


그림 2 통신방송장치, 압축기 등의 고장대책

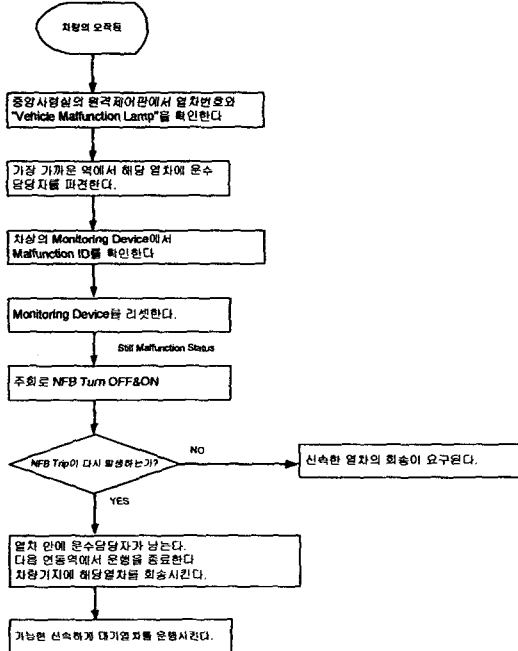


그림 3 주회로의 NFB Trip에 대한 고장대책

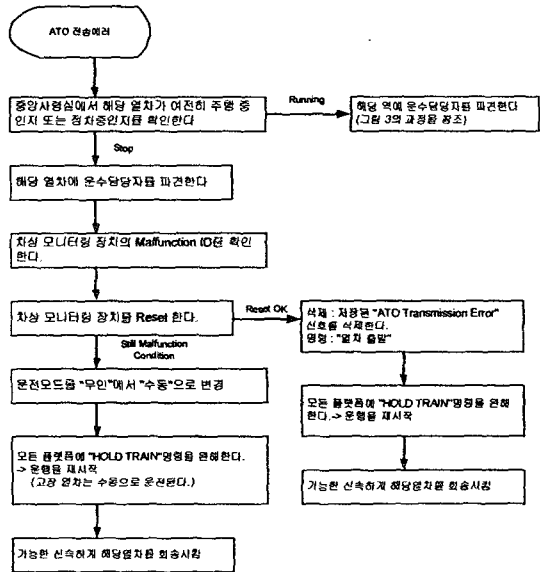


그림 4 ATO 제어장치의 고장대책

### 3.3 주회로의 NFB Trip

차량의 주회로 NFB(No Fuse Breaker)가 차단(trip)된 경우 이에 대한 계약적인 대책은 그림 3과 같다. 차상 모니터링 장치를 리셋하고 주회로의 NFB를 강제 On/Off시킨 이후에도 계속적으로 차단이 될 경우에는 즉시 해당열차를 회송시킨다.

### 3.4 ATO 제어장치의 오동작

속도와 가속도를 명령받아서 열차의 추진과 제동장치를 제어하는 ATO 제어장치의 오동작이 발생한 경우로서 노선에서 운행 중인 모든 열차를 정거장에서 출발억제시킨다. 또한 해당 열차가 주행 중인 경우는 그림 3과 같은 과정으로 대처하고, 열차가 정차 중인 경우는 그림 4와 같은 대응조치를 수행해야 한다.

### 3.5 ATP 제어장치의 오동작

열차의 위치결정, 열차관리, 속도 제한요인 관리, 열차속도제어, 연동, 운행방향의 전환, 출발제어, 운전모드 변환 등을 수행하는 ATP 제어장치의 오동작이 발생한 경우는 그림 5와 같은 대응조치를 수행해야 한다.

### 3.6 주회로 2개 유닛 이상의 오동작

열차 내에 2개 이상의 주회로 유닛이 있고, 2개 이상에서 오동작이 발생한 경우 그림 6과 같은 대응조치를 수행해야 한다. 30분 이상 장시간의 복구시간이 요구될 경우 승객을 최근접역까지 비상대피 시킨 후 해당 열차를 견인한다.

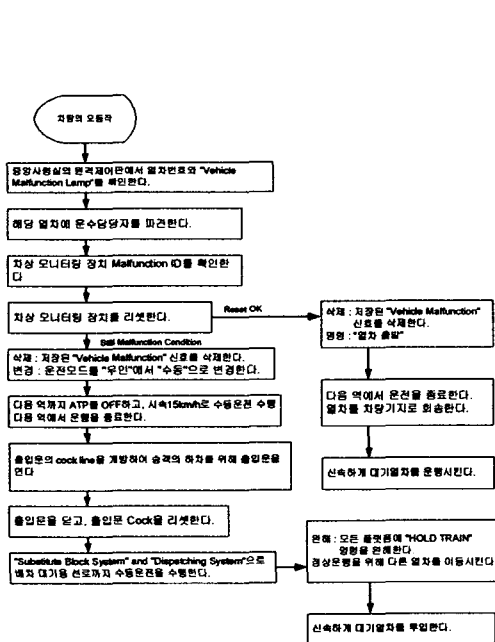


그림 5 ATP 제어장치의 고장대책

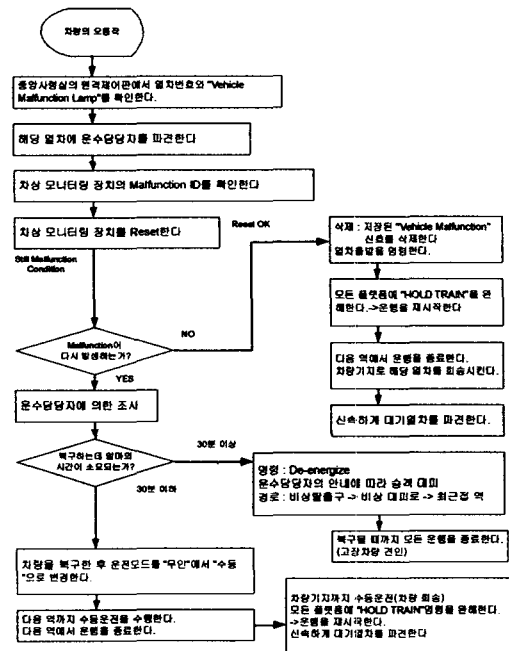


그림 6 주회로 2개 유닛 이상의 고장대책

### 3.7 제동 불완해

제동장치의 불완해 신호가 발생하면 해당열차의 출발이 불가능하므로 노선 전체의 열차를 정거장에서 출발 억제시키고, 그림 7과 같은 대응조치를 수행해야 한다.

### 3.8 고무타이어의 손상(파손) 신호

주행 중인 고무타이어의 손상 신호가 발생하면 실제 손상 여부에 따라 그림 8과 같은 대응 조치를 수행해야 한다.

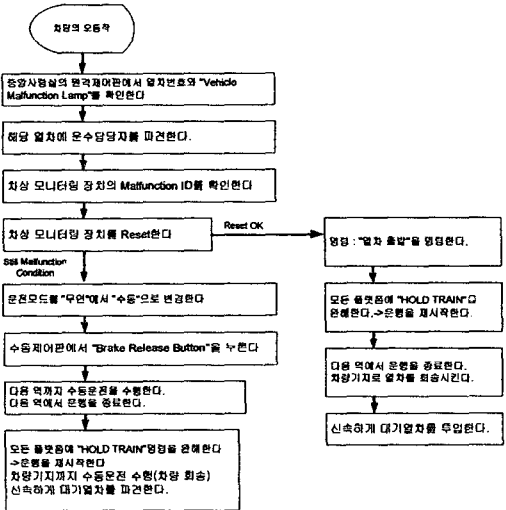


그림 7 제동 불완해에 대한 대책

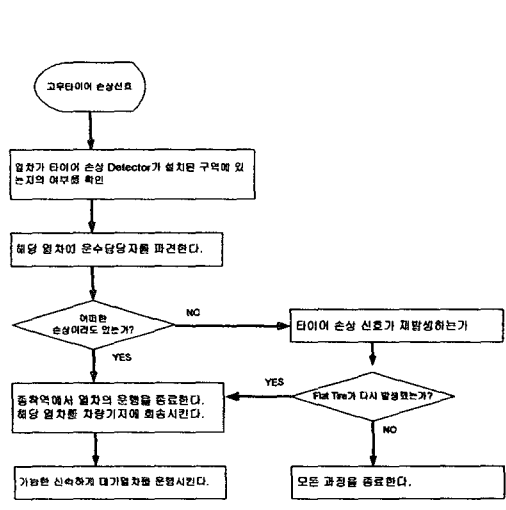


그림 8 고무타이어의 손상신호에 대한 대책

### 3.9 차량의 비상신호 : 차량의 비상탈출구 열림

차량의 비상탈출구가 열렸다는 차량 비상신호가 발생한 경우 승객의 하차여부에 따라 그림 9와 같은 대응조치를 수행해야 한다.

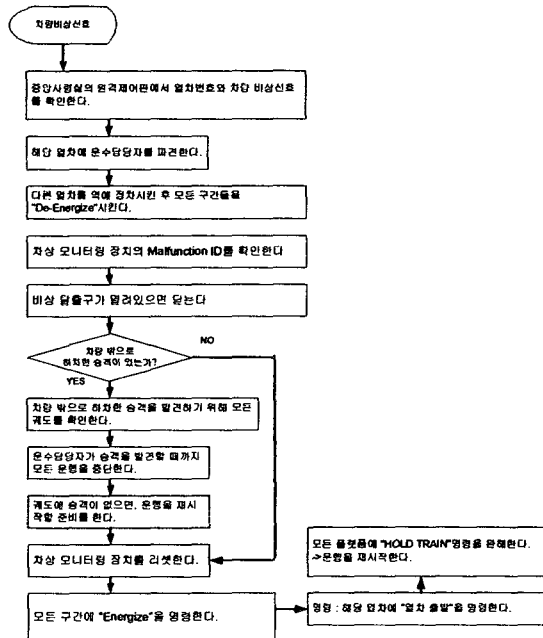


그림 9 차량의 비상탈출구 열림신호에 대한 대책

### 3. 결 론

무인운전으로 운행되는 고무차륜 AGT 경량전철 시스템에 대한 안전운영규정의 일부로서 차량에서 발생 가능한 오작동 및 고장을 위협의 정도에 따라 이중화된 장치의 오동작, 통신 장치, 방송장치, 공기압축기, 축전지 등의 오동작, 주회로 NFB의 trip 오동작, ATO 제어장치의 오동작, 주회로 2개 유닛 이상의 오동작, 제동 불완해 신호 발생, 고무타이어 손상신호 발생, 차량 비상탈출구의 열림신호 발생 등 9개 항목으로 분류하였고, 각각에 대해 제각각의 대책이 수립하였다. 또한 고장의 정도와 위험도에 따라 해당열차의 회송 또는 견인, 타 열차의 출발억제, 승객의 비상대피 등 적절한 대책을 제안하였다.

#### 참고문헌

- [1] Chris Edwards, "Railway Safety Cases," Safety and Reliability of Software Systems 20th CSR Workshop, pp 317-322, 1999.
- [2] David DImS, "Rail Safety," Reliability Engineering and System Safety, pp 291-297, 2001.
- [3] National Transportation Safety Board(US), "Special Study of Rail Rapid Transit Safety," Research Report(NTSB-RSS-71-1), 1971.
- [4] London Underground Limited, "Railway Safety Case," 2001.
- [5] 日本東京臨海新交通, "運轉取扱心得," 1995.
- [6] 한국철도기술연구원, "경량전철시스템 기술개발사업 3차년도 결과보고서(분야 : 종합시스템엔지니어링), 2001.
- [7] 우진산전, "경량전철시스템 기술개발사업 3차년도 결과보고서(분야 : 차량시스템), 2001.
- [8] 한국철도기술연구원, "경량전철시스템 기술개발사업 4차년도 결과보고서(분야:종합시스템 엔지니어링), 2002.
- [9] 우진산전, "경량전철시스템 기술개발사업 4차년도 결과보고서(분야 : 차량시스템), 2002.