

유압식 선로전환기의 Cause-consequence 분석에 관한 연구

A Study on Cause-consequence analysis of Hydraulic Switch machine

이종규*, 최승호†

Jong-Kyu Lee*, Seung-Ho Choi†

Abstract The types of switch machine are electric motor, pneumatic and hydraulic. When the switch machine, which is the critical component of railway system, has a problem and does not work exactly, it results in enormous hindrance. The hydraulic switch machine of Hydrostar is installed at Gyeong-bu High-speed Railway Project Phase II (Dongdaegu - Pusan) and it is now operating. Cause-consequence analysis is required to maintain performance of hydraulic switch machine. This paper proposes a FTA analysis method that use the functional analysis of hydraulic point machine and presents Cause-consequence diagram by performing Cause-consequence analysis for each function.

Keywords : Hydraulic, switch machine, FTA, Cause-consequence analysis

초 록 선로전환기는 전기 모터식, 공압식 및 유압식 등이 있다. 선로전환기는 철도시스템의 핵심부품으로 고장이 발생하여 기능을 정확하게 동작하지 않을 경우 철도운용에 막대한 지장을 초래한다. 경부고속철도 2 단계(동대구-부산)에 Hydrostar의 유압식 선로전환기가 설치되어 운용되고 있다. 이 유압식 선로전환기의 요구된 성능을 유지하기 위해서 Cause-consequence 분석을 필요로 한다. 본 논문에서는 유압식 선로전환기의 기능분석을 통한 모델링, FTA를 수행하였으며, 각 기능에 대한 Cause-Consequence 분석을 수행하여 Cause-consequence diagram을 도출하였다.

주요어 : 유압식, 선로전환기, FTA, Cause-consequence 분석

1. 서론

열차의 진로를 변경해 주는 장치인 선로전환기는 철도신호시스템의 중요한 시스템 중 하나이다. 고속철도와 고속으로 주행하는 노선의 분기기의 텅레일은 기존 철도보다 길기 때문에 여러 개의 선로전환기를 사용하여 전환을 한다.

현재 사용되는 선로전환기의 종류는 전기식과 유압식이 있다. 경부고속철도에 사용되는 선로전환기는 첨단부와 크로싱 부분이 움직이는 노스가동 분기기에 전기식인 MJ81과 유압식인 Hydrostar를 사용되고 있다. 경부고속철도 2 단계 구간에 유압분기기가 설치되어 운용되고 있어, 이에 고장분석이 필요하다. 유압식 선로전환기의 기능분석을 통한 모델링, FTA(Fault Tree Analysis)를 수행하였으며, 각 기능에 대한 Cause-consequence 분석을 수행하여 Cause-consequence diagram을 도출하였다.

† 교신저자: 서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과 교수(shchoi@seoultech.ac.kr)

* 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도시스템학과 석사과정

2. 유압식 선로전환기

2.1 분기기 및 유압식 선로전환기

유압식 선로전환기는 ‘Fig. 1’과 같이 침단부 레일 분기기를 위한 침단부 선로전환기와 가동 선로전환 크로싱부를 위한 크로싱부 선로전환기, 침단부 레일간 밀착을 검지하기 위한 밀착검지기로 구성된다.[1]

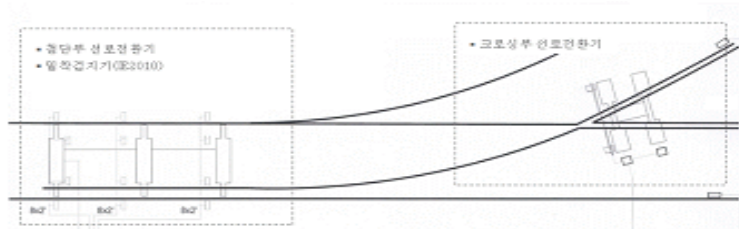


Fig. 1 Turnout and hydraulic Switch machine configuration

선로전환기나 가동 크로싱부의 설정장치는 유압장치에 의해서만 작동된다. 선로전환장치에 연결된 유압전송 라인을 통하여 다양한 설정장치들을 동작시킨다.

2.2 유압식 선로전환기 구성요소

‘Fig. 2’와 ‘Fig. 3’ 는 유압식 선로전환기 구성도이며, ‘Fig. 4’와 ‘Fig. 5’는 유압식 선로전환기의 유압회로도 이다.[2]

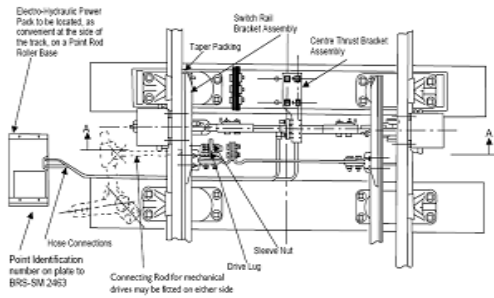


Fig. 2 Hydraulic Switch configuration 1



Fig. 3 Hydraulic Switch configuration 2

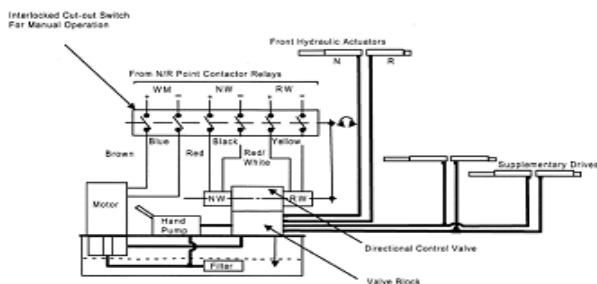


Fig. 4 Hydraulic circuit 1

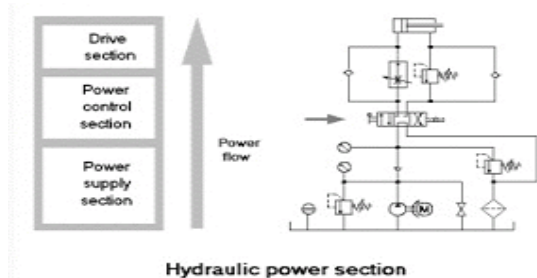


Fig. 5 Hydraulic circuit 2

2.3 유압식 선로전환기의 기능

선로전환기의 구동은 유압회로를 통하여 오일을 펌핑 하며, 동작은 5 단계로 구성된다.

1. 초기의 무가압 상태에서 최첨단 유압 실린더의 하나는 스위치레일의 접촉 및 쇄정의 상태를 유지하기 위해 확장 동작된다. 제어밸브들은 중앙 위치에 놓고, 오일 흐름과 회수라인을 차단하고, 이 동작은 확장된 유압 실린더를 쇄정한다. 포인트를 정위에서 반위로의 전환요구에 따라 펌프모터와 역방향 밸브를 동시에 동작시킨다.
2. 밸브들은 유압 실린더 공급 및 회수 라인을 개방하고, 고압상태의 오일은 반위 실린더에 공급된다.
3. 반위 유압 실린더는 확장하고, 구동쇄정 슬라이드 사이의 연결바의 동작에 의해서 정위 유압 실린더가 수축한다. 수축되는 유압 실린더의 오일은 탱크로 회수된다.
4. 전환의 끝과 포인트의 위치검지가 완료될 때, 검지릴레이는 모터와 솔레노이드 제어밸브의 에너지를 차단한다.
5. 파워팩의 에너지를 차단할 때, 콘트롤 밸브 핸들은 중앙위치로 되어 유압 실린더를 쇄정하게 된다.

3. 유압 선로전환기 고장분석

3.1 Cause-consequence diagram 방법

Cause-consequence diagram 방식은 중요 사건의 발생을 근거로 하며, 그 사건은 위험한 결과를 발생시킬 수 있는 부품 혹은 서브시스템의 고장 등을 포함한다. 중요 사건이 발생되었을 때, 타당한 원인과 잠재적 결과들은 FTA(Fault tree analysis)와 ETA(Event tree analysis) 두 가지의 형식적 신뢰성 분석 방법을 이용하여 밝혀내었다. [3]

FTA 는 원하지 않는 사건의 원인을 설명하는 데 사용되고, ETA 는 시스템이 정상 동작하지 않는 중요한 이벤트가 발생할 경우 중요 이벤트의 결과를 보여준다. 두 신뢰성 방법 사이의 관계는 'Fig. 6' 과 같다.

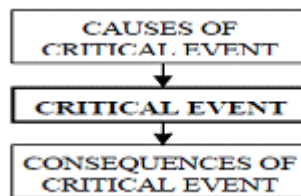


Fig. 6 Cause-consequence diagram representation

Cause-consequence diagram 의 구성에 쓰이는 주요 기호는 시스템 조건을 포함하는 의사결정 박스이다. 이 'YES-NO' 의사결정 박스는 Event tree 에서 보여지는 동일한 표현이다. 의사결정 박스의 YES 와 NO 출력 가치에 따라 Cause-consequence diagram 이 나타난다. 시스템 고장의 원인은 FTA 를 사용하여 나타낸다. Cause-consequence diagram 는 결과 박스로 종료된다.[4]

3.2 Cause-consequence 분석

Cause-consequence diagram 의 목적은 중요 사건으로부터 나오는 각 결과의 가능성과 빈도를 평가하는 것이다. Cause-consequence diagram 에서 결정 박스들의 확률들이 독립적일 때, 다음 단계에 따라 정량화 한다.

1. 결정 박스에서 생기는 각 분기 가지의 확률을 할당(적절한 Fault tree 를 정량화) 한다.
2. 어떤 순서의 확률은 그 순서 안의 각 결정 박스 출로와 관련된 적절한 확률들을 곱하여 얻는다.
3. 어떤 결과의 확률은 그 결과에서 종료되는 각 순서의 확률들을 합하여 얻는다.

순서에서 각 결정 박스의 고장들이 독립적이지 않다면 이 과정은 쓰일 수 없다. 반복적, 일관성이 없는 사건은 Cause-consequence diagram 에 존재할 수 있으며, 이는 정량화 전에 다뤄져야 한다.

반복적인 오류 이벤트는 Cause-consequence diagram 의 동일한 경로에 있는 적어도 한 개 이상의 Fault tree 구조에 존재한다. 이 오류 이벤트를 다루기 위해 다음의 Andrews 와 Ridley 알고리즘을 이용한 다음과 순서로 수행한다.[5, 6]

1. Fault tree 구조에서 반복적인 오류 이벤트를 추출하고 이 오류 이벤트를 포함하는 첫 결정 박스에서 선행하여 새로운 결정 박스에 놓는다.(새로운 이벤트는 반복적인 오류 이벤트의 발생이다)
2. 새로운 결정 박스에서 나오는 각 분기 가지에 있는 기존의 Cause-consequence diagram 를 복제한다.
3. 새로운 결정 박스의 NO 분기 가지에서 오류 이벤트가 발견되면 TRUE 로 설정한다.
4. YES 출력 가지에 반복적인 오류 이벤트가 발견되면 FALSE 로 설정한다.

위의 과정이 성공적으로 마쳤다면, Cause-consequence diagram 에서 발생하는 반복적인 오류 이벤트는 다른 시간, 상태에서 서로 다른 기능을 수행 할 수 있다.

4. 유압식 선로전환기 FTA 와 Cause-Consequence 분석

4.1 유압식 선로전환기 FTA(Fault Tree Analysis)

유압식 선로전환기는 동력을 생성하는 파워팩, 전환을 실행하는 쇄정장치, 피스톤을 연결하는 파이프와 호스 및 제어장치로 구성되며[1], 유압식 선로전환기의 고장모드를 ‘Table 1’에 분석 정리 하였다.

Table 1 Hydraulic Switch Failure mode

장치	부품	기능	고장모드	발현현상
제어 장치	제어 계전기	모터구동	기기 불량 접점 불량 접속 불량	모터 구동 불능

	케이블	전원 연결	단선 누전	모터 구동 불능
	전기 분배기	전기정보전달	기기 불량 접속 불량	전환 확인 불능
유압 파워팩 (Power-pack)	모터	전환력 생성	기기 불량	유압 발생 불능
	축압기	오일 압력 보상	기기 불량 공기 유입 이완	유압 유지불능 압력 불량 누유
	압력제어 스위치	오일 압력회로 차단	기기 불량	유압 제어 불능
	감압 밸브	압력 조절	기기 불량 이완	유압 유지불능 누유
	스로틀 밸브	유량 압력차 보상	기기 불량 이완	유압 유지불능 누유
쇄정 장치	유압설정 실린더	팅레일 전환 기계적 쇄정	파손 기기 불량 내부 간격 설정 이완 불량	팅레일 전환 불량 팅레일 전환 불량 팅레일 전환 확인 불능 팅레일 전환 불량 누유
	쇄정 로드	실린더 보호	파손 간격 설정 불량	팅레일 전환 불량 팅레일 전환 불량
	압력 조절 밸브	압력 조절	기기 불량 공기 유입 이완	유압 유지불능 압력 불량 누유
	고정 플레이트	쇄정장치 고정	파손 이완	팅레일 전환 불량 팅레일 전환 불량
	볼트/나사/핀	쇄정장치 고정	파손 이완	팅레일 전환 불량 팅레일 전환 불량
유압호스	호스/파이프	유압 전달	손상 이완	누유 누유
	연결 밸브	오일회로구성	이완	누유

유압식 선로전환기의 전환불능에 대한 Fault Tree 는 'Fig. 7'과 같다.

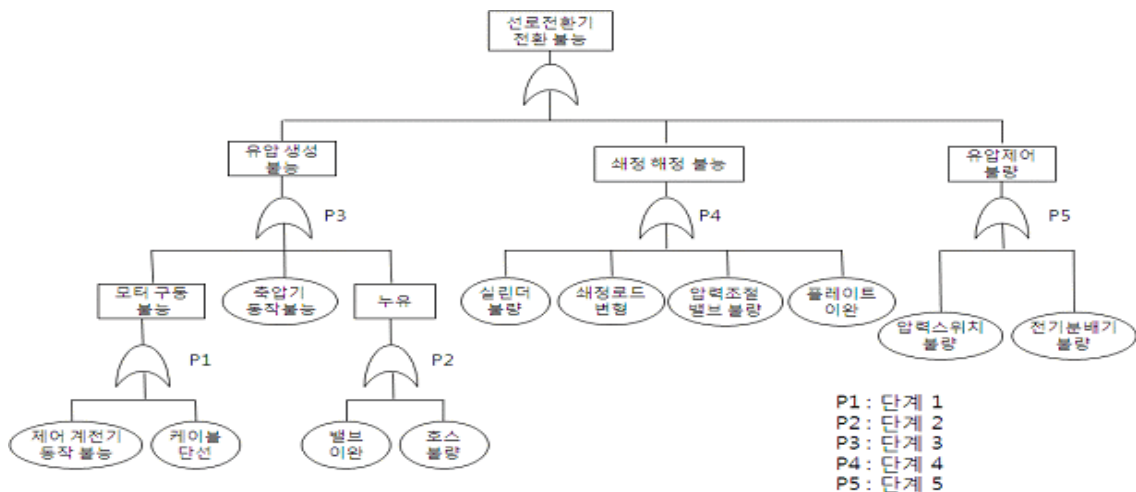


Fig. 7 Hydraulic Switch Fault Tree

4.2 유압식 선로전환기 Cause-consequence 분석

유압식 선로전환기의 Cause-consequence diagram 은 'Fig. 8'과 같다

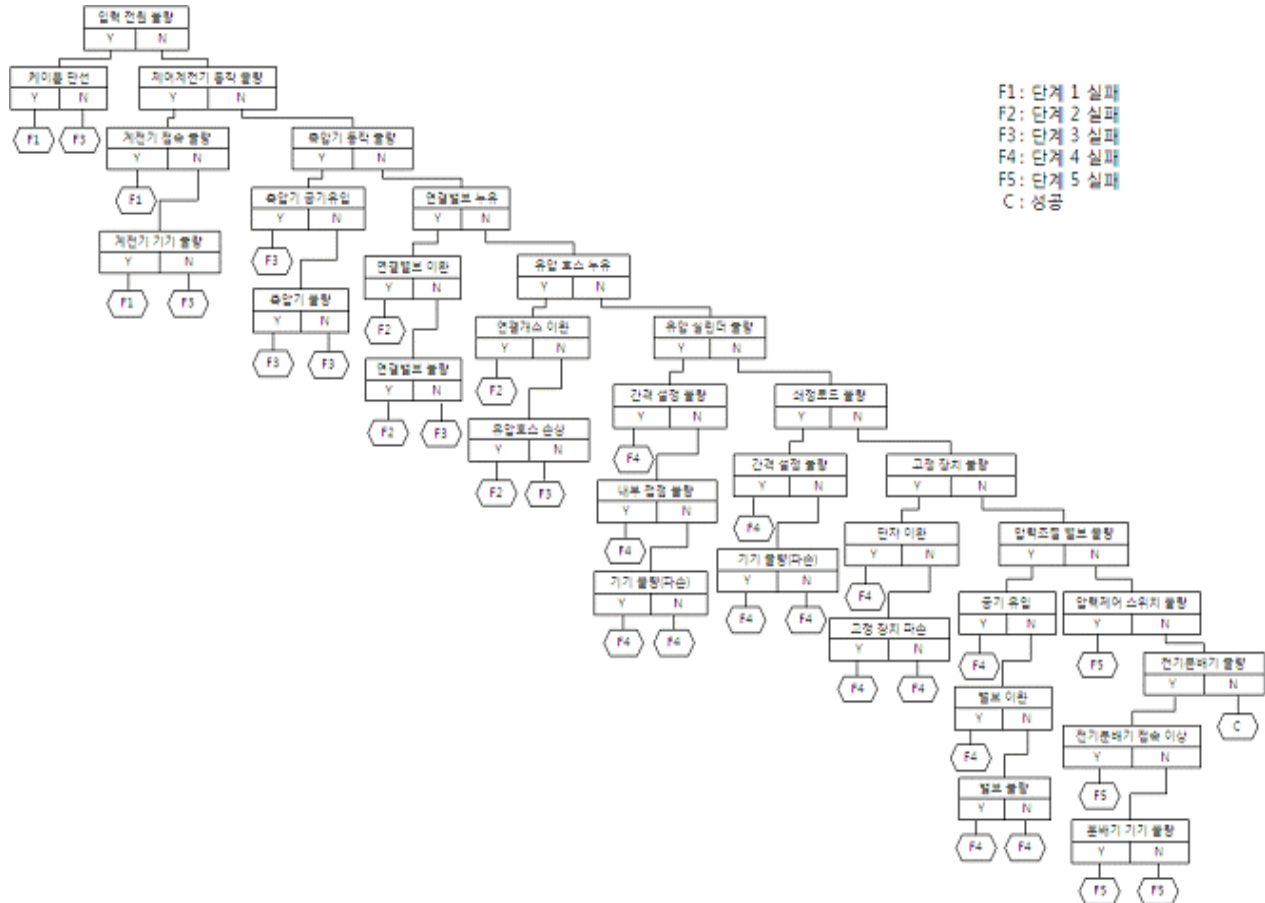


Fig. 8 Hydraulic Switch Cause-consequence diagram

5. 결론

본 논문에서는 유압식 선로전환기에 대한 FTA 와 Cause-consequence 분석을 시도하였다. FTA 와 Cause-consequence 분석을 위해서는 유압식 선로전환기의 기능을 명확하게 설정할 필요가 있으며, 각 기능을 구현하기 위해서 동작되는 각 서브시스템을 명확하게 명시해야 한다. 본 연구에서는 가장 기본적인 기능을 이용하여 FTA 와 Cause-Consequence 분석을 통하여 정성적인 분석을 하였다. 이 정성적인 분석은 자세한 시스템 기능분석에 의해서 보다 상세한 FTA 와 Cause-consequence 분석을 수행할 수 있도록 서브시스템의 상세한 분류가 필요하다. 향후 연구는 각 서브 시스템의 고장에 대한 데이터를 수집하여 고장률을 설정하여 유압식 선로선로전환기 시스템의 동작에 대한 정량적인 분석이 필요하다.

참고문헌

- [1] 한국철도공사 (2009) *하이드로스타 매뉴얼*
- [2] 서울과학기술대학교 산학협력단 (2011) *분기기 관리운영시스템 개발 기획연구*, pp.102-104
- [3] Nielsen D.S. (1971) The Cause/consequence Diagram Method as a Basis for Quantitative Accident Analysis, *Danish Atomic Energy Commission*, RISO-M-1374
- [4] Gintare Vyzaite, Sarah Dunnett and John Andrews (2006) Cause-Consequence Analysis of Non-repairable Phased Missions, *Reliability Engineering and System Safety*, Volume 91, Issue 4, pp 398-406
- [5] Andrews J.D. and Ridley L.M. (2002) Application Of Cause-Consequence Diagram Method To Static Systems, *Reliability Engineering and System Safety*, 75[1], pp.47-58
- [6] Andrews J.D. and Ridley L.M. (2001) Reliability of Sequential Systems Using the Cause-Consequence Method, *Proc Instn Mech Engrs Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 215[3], pp207-220