

한국철도사고에 대한 분석

-FTA기법을 중심으로-

허성관*, 임승환**, 박동은**

요약 1899년 공중의 운송수단으로 철도가 우리 생활속에 자리잡은지 100년이 지났으며, 현재는 시속 300km에 육박하는 고속철도가 준공되고 있는 실정이다. 그러나 철도기술이 발전됨에 따라 안전사고도 증가하여 많은 인명상, 재산상의 피해를 초래하고 있다. 2000년 의 철도사고는 572여건에 225명이 사망하고 347명이 부상을 입었다. 이러한 수치는 1998년을 기점으로 점차로 줄어들고 있는 추세이나 아직까지도 재해의 원인을 살펴볼 때 안전수칙 미준수나 기계기구의 취급부주의와 같은 후진국 수준의 원인이 큰 비중을 차지하고 있는 실정이다. 모든 산업사고는 재해조사표에 근거하여 재해를 분석하고 있으며, 이의 결과는 동종재해 및 유사재해의 재발방지 수립대책으로 활용되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 산업재해조사표를 기준으로 FTA분석을 실시하여 철도사고에 대한 보다 객관적이고 체계적인 원인을 규명하고자 하였다.

1. 서론










1-1 FTA의 기본개념

FTA란 시스템의 고장을 수형도(Tree Chart)로 탐색하여 어떤 부품이 고장의 원인인가를 찾아내는 연역적 해석기법으로, 시스템의 고장요인들의 관계를 Boolean Logic Gate를 이용, 도해적으로 표현하여 분석하는 기법이다.(표 1-1)

FTA는 1961년 Bell 전화연구소의 H. A. Watson이 MLCA(Minuteman Launch Control System)의 안전성을 평가분석 할 때 처음 사용되었으며, Boeing사의 분석자들은 디지털 컴퓨터를 사용하여 정량적인 측면에서 이 기법을 발전시켰다. 현재는 항공학, 원자력공학, 인간공학, 안전관리학 등 여러 분야에 널리 보급되어 연구되고 있다.

1-2 FT의 구축방법

표 1-1 FT 작성에 사용되는 기호

구분	기호	명칭	내용 설명
사		결합사상	기본 고장의 결합으로 이루어진 고장의 상태
		기본사상	추어진 시스템의 기본사상
상		기본사상II	기본사상으로서 평가되었으나 그 결과가 상위의 사상에 삽입된 사상
		이하 생략의 결합사상	더 분석이 가능하나 기본사상으로 가정된 사상
기		통상사상(집모양사상)	통상의 작업이나 기계의 상태에 재해발생 원인이 되는 요소를 나타내는 사상
		전기기호	다른 Gate로 들어오고 나가는 사상
논리기호		AND Gate	출력사상이 일어나기 위해서는 모든 입력이 일어나지 않으면 안된다는 논리조작기호
		OR Gate	입력사상의 어느 하나가 일어나도 출력사상이 일어난다고 하는 논리조작기호
		INHIBIT Gate	가정된 조건이 만족되면 입력사상이 곧바로 출력사상을 발생시키는 논리조작기호

* 대구대학교 자동차산업기계공학과 교수

** 경북 외국어 테크노대학

FT는 어떤 특정된 사상과 극단의 바람직하지 못한 사상과의 관계를 그래픽으로 표시한 것이다. 이 과정에서 시스템 전체에 심각한 영향을 미치는 특정 결함이나 고장을 목표사상으로 정한다. FT는 목표 사상에 연결되는 사상들의 일련의 연속과 가능한 조합에 의하여 구축된다. 목표사상에서 출발하여 가능한 기초적인 원인들이 논리 게이트로 연결되어 하부로 연결된다. Tree는 모든 기본사상이나 기본원인에 도달될 때까지 전개되며, 각각의 고장확률이 사례를 통하여 규정된다. 시스템 FT가 작성된 후 정성적으로 평가될 수 있다. 예를 들어 미니멀 컷셋이 발견된다. FT는 목표사상에 연관된 수치적 정보를 얻으므로써 정량적으로 평가될 수 있다.

FT는 다음과 같은 순서로 작성해 나간다.

- (1) 대상이 되는 시스템의 범위를 결정한다.
- (2) 대상시스템에 관계되는 자료를 정비해 둔다.
- (3) 상상하고 결정하는 사고의 명제(나무의 정상 사상(Top event))를 결정한다.
- (4) 원인 추구의 전제조건을 미리 생각해 둔다.
- (5) 정상사상에서 시작하여 순차적으로 생각되는 원인의 사상을 논리기호로 이어간다.
- (6) 먼저 골격이 될 수 있는 대충의 나무를 만든다.
- (7) 각각의 사상에 번호를 붙인다.

1-3 FTA의 분석절차

FTA의 분석절차는 일반적으로 (1) 시스템의 정의 (2) FT의 작성 (3) FT의 평가순으로 이루어진다. 이 분석절차를 D. R Cheriton이 제시한 순서로 하여 그림으로 나타내면 그림1-1과 같다.

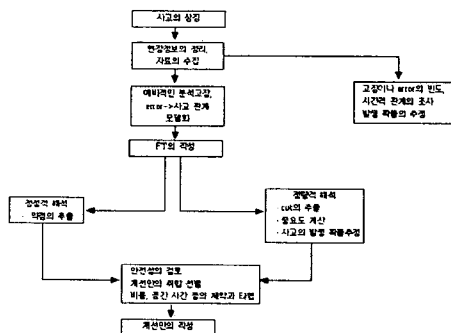


그림 1-1 FTA의 분석 절차

1-4 FT의 용도

FT는 다음과 같은 용도로 쓰여진다.

- (1) Minimal Cut sets를 이용하여 시스템의 신뢰성, 체계적인 순서, 확률 순서를 구하여 시스템의 안

전도를 파악할 수 있다. 여기서 Cut sets란 정상사상을 유발시키는 기본사상의 교집(Intersection)으로 표시되어 진다. Cut sets중 중복되어 지는 부분을 제거한 후 남은 sets를 Minimal Cut sets의 연합으로 표시한다. 이 연합에서 상향식 (Bottom up approach) 또는 하향식 (Top Down approach) 으로서 Minimum Cut sets을 구할 수 있다.

(2) 고장을 연역적으로 찾을 수 있다. 그러므로 직관적 방법이나 귀납적 방법으로 찾을 수 없는 예상되는 Cut sets를 찾을 수 있다.

(3) 시스템의 고장난 부분을 쉽게 찾을 수 있다.

(4) 그밖에도 시스템을 체계적으로 도해시켜서 면밀한 고장 연구나, 설계변경 등을 용이하게 할 수 있다.

2. 한국철도에 대한 고찰

2-1 한국철도의 현황

한국철도는 1899년 경인선을 기점으로 여객 및 화물수송의 부분에 커다란 역할을 담당하고 있다. 통계청자료 (표 2-1)의 철도수송현황에 따르면 1996년부터 2000년의 통계수치를 기준으로 여객수송인원은 1일 평균 약 2,200,000명에 달하고 있으며, 화물수송 역시 1일평균 115,000톤 내외로 추산되고 있다.

앞으로는 고속철도를 비롯하여 기존의 철도 길이의 67%가 늘어난 총 5,100km가 북한을 거쳐 유럽으로 건설될 예정이어서 그 역할 및 중요성이 더욱 커질 전망이다.

2-2 교통수단별 사고분석

철도의 편리함과 정시성에도 불구하고 철도사고는 발생시 대형참사가 불가피한 실정이며, 이에 따른 막대한 인명상, 재산상의 피해가 발생되고 있다.

1996년에서 2000년도까지의 철도사고를 그림2-1에서 보는 바와 같이 매년 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 교통수단의 다양화로 비교적 철도에 의한 여객 및 화물의 수송량의 비율이 감소한 영향이 있다고 사료된다.

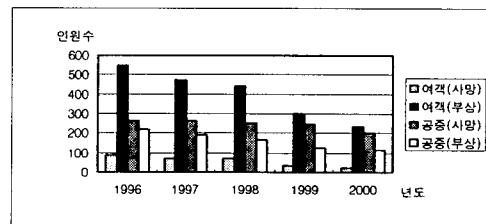


그림 2-1. 철도사고에 따른 사망, 부상자 수

표 2-1 철도수송현황 통계표

연도	여객			화물		
	총수송인원 (명)	1일평균 수송인원	인キロ (백만인/км)	수송톤수 (ton)	1일평균 수송톤수	톤キロ (100만톤/км)
1996	819,542,000	2,245,300	29,579.7	53,527,000	146,600	12,946.8
1997	832,999,000	2,282,200	30,072.8	53,827,800	147,500	12,710.1
1998	829,050,000	2,271,400	32,072.8	43,344,800	118,800	10,372.3
1999	823,563,000	2,256,300	28,605.9	42,081,000	115,300	10,372.3
2000	814,472,000		27,787.5	45,239,800		10,803.0

그러나 교통수단의 발달로 자동차, 철도, 선박, 지하철, 항공기등과의 교통수단별 통계에 의하면 사고 비교결과(그림 2-2)에서 사고건수와 사망자수가 자동차사고를 제외한 나머지 수단들중 가장 많은 건수와 사망수를 차지하고 있는 실정이다.

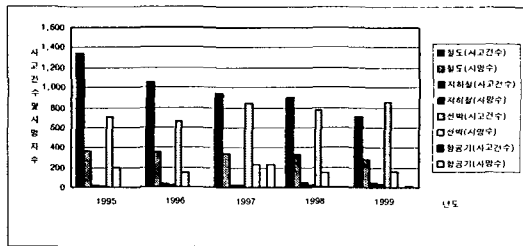


그림 2-2 교통수단별 사고발생건수 및 사망자수

이렇듯 여객 및 화물의 운송에서의 교통수단중 철도의 사고건수와 사망수는 줄고 있는 반면 전체 사고건수, 사망수에 대한 철도의 사고 및 사망건수의 비율은 다른 교통수단에 비해 현저한 차이를 보이고 있어 안전에 대한 대책마련이 시급한 상태이다.

모든 재해사고 조사는 동종재해 및 유사재해 재발 방지 차원에서 매우 중요한 의미를 갖는데 우리나라에서는 산업안전 보건법에서 제시하는 산업재해 조사표를 사용하거나 자체 제작한 사고조사표를 이용하고 있다.

그러므로 본 연구에서는 철도사고조사표를 기준으로 FTA기법을 이용하여 체계적인 원인분석을 하고자 하였다.

3. 철도사고조사표에 의한 FTA 분석

3-1 산업재해조사표와 철도사고조사표의 비교

현재의 산업안전보건법에서 제시하고 있는 산업

재해조사표는 표3-1과 같은 항목으로 이루어져 있으며, 이는 제조업이나 건설업에 치중되어 있어 특수한 업종에는 적용하기가 어려운 실정이다. 현 산업안전보건법 제 10조와 시행규칙 제 4 조에서는 사망 또는 4일 이상의 요양을 요하는 부상을 입거나 질병에 걸린 자가 발생한 때에는 28 항목의 산업재해조사표를 작성하여 제출하게 하고 있다.

표 3-1의 재해조사 항목은 사고의 세부적인 원인 분석을 하기에는 어려움이 따르며 자칫 인명상, 재산상의 큰 손실을 유발할 수 있는 철도사고의 경우 철저한 조사분석이 필요한 분야임을 감안할 때 철도 사고조사에 대한 자체적인 조사표가 필요함을 감안하여 철도청에서는 표3-2와 같은 철도사고조사표를 현재 사용하고 있다.

표 3-1 재해조사 항목

건설업	1.소속사업장 2.공사종류 3.단위공정 4.공정을 5.직종 6.근속기간 7.작업종류
기타 산업	8.고용형태 9.근무형태 10.작업형태 11.목적 자유무 12.근무작업공정 13.동시작업 14.인 적피해 15.상해종류 16.상해부위 17.휴업일 수 18.기인물 19.개인보호구 20.방호설비 21. 발생장소 22.작업환경 23.작업내용 24.재해 동작 25.불안전행동 26.불안전상태 27.발생 형태 28.기타

이와 같이 철도사고분석은 철도사고조사표를 기준하고는 있으나 서술적, 경험적으로 사고를 분석하고 있어 보다 객관적이며, 체계적인 분석이 필요하다 하겠다. 그러므로 본 연구에서는 보다 체계적이며 논리적인 FTA기법을 이용하여 철도사고를 분석하고자 한다.

3-2 FTA기법을 이용한 철도사고 분석

표3-2 철도사고 조사표

사고종류	사고원인	세부항목
열차사고 및 운전장애	취급부주의	신호취급불량, 제한속도초과, 진로확인소홀, 제동취급불량 ...
	차량결함	대차부고장, 연결장치고장, 제동부고장, 차량/선로 결함 ...
	시설결함	레일절손, 레일장출, 연동장치고장, 신호급전 ...
	외부적원인	선로내자동차침입, 장애물설치, 토사암석붕괴 ...
건널목사고	열차통과직전 횡단, 차단기통과시 자동차고장, 운전부주의	
여객사고	선로통행, 뛰어타기/내림, 추락, 투석	
공중사고	선로침입, 자살, 건널목사고	
전철사고	전동차고장	전원장치, 출입문고장, 전동차고장 ...
	송전고장	한전측장애, 변압기소손, 잔차선부식 ...
	신호보완장치고장	재질노후, 폭우/낙뢰, 신호보완장치고장 ...
	기타	열차탈선, 이선진입, 선로고장, 열차지연 ...

표 3-3. 열차정면충돌의 실제 사례

발생일시	1994년 11월 15일 15:01분경
장 소	경부선 미전신호소 구내 2A호 전철기 부근
개 요	대구발 마산행 무궁화호 제217열차가 마산방면으로 가기 위해 미전신호소로 진입 중에 있을 때 부산발 대구행 무궁화호 제 202열차가 미전신호소 건널선을 경유 경부하행선으로 진입하여 두 열차가 정면 충돌하게 됨.
피해상황	사망: 4명, 부상: 234명 (중상: 14명, 경상: 220명)

이다. 그림 3-1은 열차정면충돌사고를 Top사상으로 하는 FT도를 나타낸 것이다.

열차가 정면충돌하기 위한 조건은 열차운행의 특성상 동일선로에 진입하면서 동시에 하나의 열차라도 충돌직전 까지 정지하지 못할 경우이다. 또한 동일선로에 진입하기 위한 원인에 해당하는 하위사상 및 충돌직전까지 정지하지 못할 경우에 대한 하위사상을 논리 기호로 연결하면 취급부주의, 차량결함, 시설결함, 외부적인 원인 등으로 나타낼 수 있으며, 각각 독립적으로 상위사상을 발생시킬 수 있음을 알 수 있다.

표 3-4는 열차정면충돌에 대한 Cut Sets를 나타낸 것이다.

표 3-4 열차정면충돌에 대한 Cut Sets

NO	Cut Sets	NO	Cut Sets	NO	Cut Sets	NO	Cut Sets	NO	Cut Sets	NO	Cut Sets
1	(1, 14)	14	(3, 15)	27	(5, 16)	40	(7, 17)	53	(9, 18)	66	(11, 19)
2	(1, 15)	15	(3, 16)	28	(5, 17)	41	(7, 18)	54	(9, 19)	67	(12, 14)
3	(1, 16)	16	(3, 17)	29	(5, 18)	42	(7, 19)	55	(10, 14)	68	(12, 15)
4	(1, 17)	17	(3, 18)	30	(5, 19)	43	(8, 14)	56	(10, 15)	69	(12, 16)
5	(1, 18)	18	(3, 19)	31	(6, 14)	44	(8, 15)	57	(10, 16)	70	(12, 17)
6	(1, 19)	19	(4, 14)	32	(6, 15)	45	(8, 16)	58	(10, 17)	71	(12, 18)
7	(2, 14)	20	(4, 15)	33	(6, 16)	46	(8, 17)	59	(10, 18)	72	(12, 19)
8	(2, 15)	21	(4, 16)	34	(6, 17)	47	(8, 18)	60	(10, 19)	73	(13, 14)
9	(2, 16)	22	(4, 17)	35	(6, 18)	48	(8, 19)	61	(11, 14)	74	(13, 15)
10	(2, 17)	23	(4, 18)	36	(6, 19)	49	(9, 14)	62	(11, 15)	75	(13, 16)
11	(2, 18)	24	(4, 19)	37	(7, 14)	50	(9, 15)	63	(11, 16)	76	(13, 17)
12	(2, 19)	25	(5, 14)	38	(7, 15)	51	(9, 16)	64	(11, 17)	77	(13, 18)
13	(3, 14)	26	(5, 15)	39	(7, 16)	52	(9, 17)	65	(11, 18)	78	(13, 19)

철도사고에 대한 FTA분석을 실시하기 위해 1994년에 발생한 실례를 적용시키고자 한다.

표 3-3은 열차정면충돌의 실제사례를 나타낸 것

여기에서 모두 78개의 Cut Sets이 발견되었으며, 각각의 Cut Sets은 2개의 기본원인을 포함하는 것으로 나타났다.

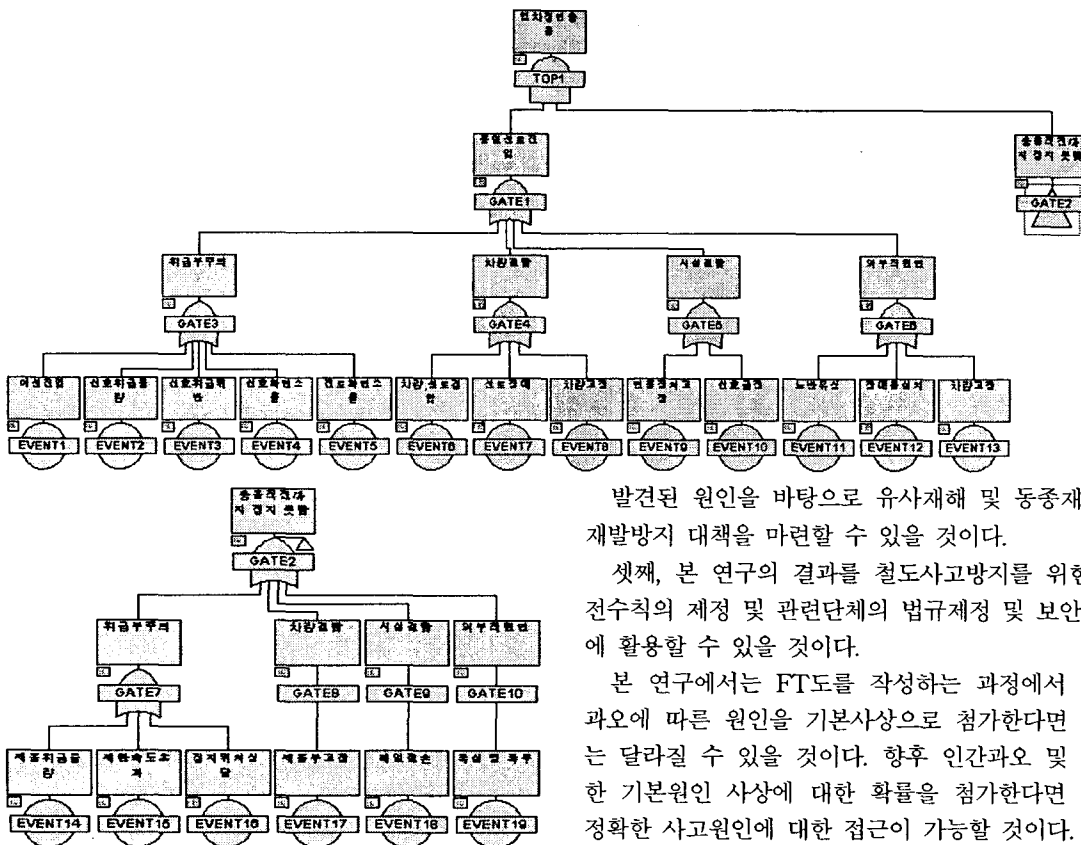


그림 3-1 열차정면충돌에 대한 FT도

발견된 원인을 바탕으로 유사재해 및 동종재해의 재발방지 대책을 마련할 수 있을 것이다.

셋째, 본 연구의 결과를 철도사고방지를 위한 안전수칙의 제정 및 관련단체의 법규제정 및 보안대책에 활용할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 FT도를 작성하는 과정에서 인간과오에 따른 원인을 기본사상으로 첨가한다면 결과는 달라질 수 있을 것이다. 향후 인간과오 및 정확한 기본원인 사상에 대한 확률을 첨가한다면 보다 정확한 사고원인에 대한 접근이 가능할 것이다.

참고문헌

여기에서 처음 두 가지 Cut Sets을 예로 들어 해석한다면, 이선진입(EVENT 1)과 제동취급불량(EVENT 14)이 동시에 이루어질 때 및 이선진입(EVENT 1)과 제한속도초과(EVENT 15)가 동시에 이루어질 때에는 TOP사상인 열차정면충돌사고가 발생함을 나타내고 있다.

이것은 향후 열차정면 충돌사고에 대한 유사재해 및 동종재해 발생의 대책마련에 중요한 정보를 담고 있다 하겠다.

즉, 이러한 Cut Sets이 발생되지 않도록 기계·기구점검 및 안전교육등 안전활동에 대한 구체적이고 계획적인 조치가 가능하다 하겠다.

이러한 결과는 열차정면충돌이외의 모든 철도사고의 원인분석에도 유효한 자료가 될수 있음을 나타내고 있다.

4. 결론 및 추후과제

첫째, 현행 철도사고에 대한 조사에 비해 FTA를 이용한 조사 방법이 보다 체계적이고 논리적인 결론에 도달할 수 있는 가능성을 시사하였다.

둘째, FTA분석을 이용한 철도사고의 조사에서

- [1] 고병인, 이승원, 임현교, 산업재해조사 코드에 기준한 철도사고의 분석. 대한인간공학회 춘계 학술대회 논문집, 2001. PP.97~100.
- [2] 김병석, FTA기법을 이용한 LPG저장탱크 폭발 원인 분석. 동아대학교 행정대학원 석사학위논문. 1989.12.
- [3] 이근희, 이동형, "Fault Tree Analysis을 활용한 집진기(Bag Filter) 고장의 체계적 분석," 공업경영과학회지, 제12권, 제20집, 1989.
- [4] 통계청 자료, 철도수송현황. 1996~2000.
- [5] Fussel, J. B, Benetts, R, G. & Powers, G, [6] J., "Fault Tree-A State of the art discussion," IEEE Trans. on Rel., Vol. R-23, April, 1974, PP.20~23.
- [7] Howard E. Lambet, George Yadigaroglu, "Fault Tree for Diagnosis of System Fault Condition", Nuclear Science and Engineering, 1977, PP.20~34.
- [8] Steven A. Lapp, Garry J, Powers, "Computer Aided Synthesis of Fault Tree", IEEE Transaction on Reliability, April, 1977, PP.2~15.