

FTA기법을 통한 가전제품의 안전성 평가

이광원 · 이필호 · 임현교* · 이용희** · 강성기*** · 강인호*** · 박익철 · 윤석범

호서대학교 환경안전공학부 · *충북대학교 · **원자력연구소 · ***주식회사부방테크론

1. 서 론

2002년 7월 1일부터 시행되는 제조물 책임법에 대비하여 기업에서 준비하여야 하는 사항중에 가장 어려움을 느끼는 부분중의 하나가 제품의 안전성 평가 부문이다

제품의 안전성 평가는 과거의 성능검사나 특성검사가 아니라, 사용자의 오사용으로 야기될 수 있는 위험성의 평가까지도 고려하여야 한다. 이에 대표적인 정량적 안전성 평가기법인 FTA(Fault Tree Analysis)를 사용하여 전기 밥솥에 대한 정량적 평가를 실시하여 보았다. 전기밥솥에서의 잠재위험 중 가장 피해가 클것으로 생각되는 화재를 정상사상으로 하고 이에 대하여 m.cutset 분석과 빈도분석 등을 시행하여 제품안전성평가의 과정과 분석방법들을 설명한다.

2. 이 론

위험성 평가를 보다 상세하게 그리고 필요에 따라 정량적으로 수행하는데 가장 널리 사용되고 있는 방법이 바로 FTA이다. FT는 관찰하고자 하는 정상사상이 일어나는 결과 및 기초사상들과의 논리적 관계를 그래프로 표현한 것이다.

FT에 있어서 시스템의 상태는 변수의 상태를 포함하여 사상에 따라 정의된다. 혹 시스템에서의 변수가 흐름과 같이 본질적으로 연속적인 것이라고 해도, 그 상태는 Tree에 있어 "유량 大(Flow High)"와 같은 불연속적인 상태로 표현되게 된다. FT의 표현은 시간지연이나 시간의 순서와 같은 특징에는 직접 적용되지 않는다. 하지만 FTA는 장치 이상뿐만 아니라 운전자/인간 실수원인까지 모두 포함한다.

정량적 도구로서의 FTA의 장점은 정상사상을 기본적인 장치 이상과 운전자 실수로 분석하는 능력이다. 이것은 안전평가자로 하여금 정상사상의 발생 확률을 줄이기 위해 이러한 기본적인 장치이상과 운전자 실수에 대한 상대적 중요성, 보수정책수립에 도움을 준다.

FT는 정상사상을 정의하고, 다음에 원인사상, 그리고 이러한 원인사상간의 논리적 관계를 분석하는 것이다. 따라서 Tree의 주요한 요소는 사상의 정의와 logic gate이다. 주요한 logic gate는 AND gate와 OR gate이다. AND gate는 모든 입력이 존재하는 경우에만 출력이 존재하며 OR gate는 적어도 하나의 입력이 있으면 출력이 된다. FT에서 볼수 있는 사상간의 관계는 부울대수(Boolean algebra)나 시스템함수로 표현되어진다.

3. 밥솥의 기능 및 분류 체계

3.1) 밥솥의 기능 및 구조

밥솥은 전기에너지를 이용하여 취사하는 전기제품으로서 일반화되어 있다. 이 밥솥은 보통 기계식, 전자식 등으로 나눌 수 있으며 기계식 전기밥솥은 보통 그림 1, 그림 2와 같은 구조를 가진다. 이 밥솥은 보통 i) 취사모드 ii) 보온모드 등 2개의 운전모드를 갖는다. 취사모드는 물과 쌀을 oven에 넣고 밥이 완료되기까지를 말하며 취사종료 후 보온모드로 바뀌게 된다. 취사시 전기의 흐름은 power code(1)를 통하여 온도 휴즈(6)를 통한 후 neon lamp assembly (28)를 거쳐 switch lever assembly(36)를 거쳐 주 열원인 heating plate(38)로 가게된다. 즉 취사를 시작하기 위하여 사용자가 switch knob(27)을 누르면 switch lever assembly(36)에 있는 magnet switch 가 on 상태가 되면서 가열이 되기 시작된다. 취사가 끝나면 oven의 온도가 상승하고 이에 따라 center thermo(37)가 작동되면서 스프링 힘에 의하여 27번의 switch knob을 보온상태로 환원시키면서 동시에 36번의 magnet switch 역시 off상태로 변하며 주 열원인 heating plate(38)의 열량을 감소시키며 동시에 보조열원인 side heater(9)와 top heater(35)를 동작시켜 보온에 필요한 온도(72~77℃)를 유지하기 위한 열을 공급하게 된다. 밥솥의 온도가 허용치(184℃) 이상으로 상승하는 경우에는 온도휴즈(6)의 작동으로 전원이 모두 차단되어 화재 등의 위험으로부터 보호된다.

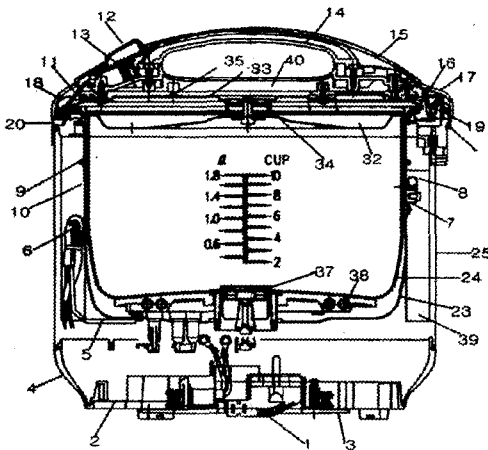


그림 1 : 밥솥의 구조도와 부품명

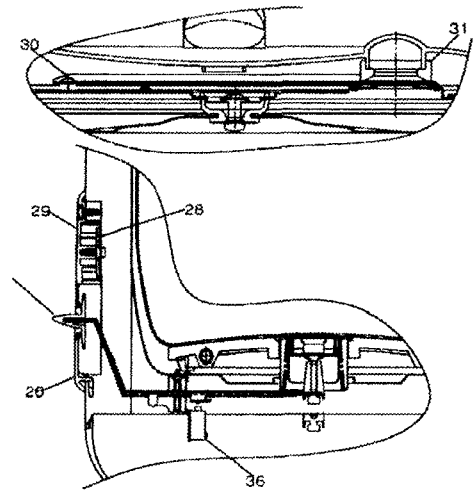


그림 2 : 레버부 상세도

밥솥에서 발열되는 부품은 3개의 부품이며 주 열원인 heating plate(38)와 보온을 위한 보조열원인 side heater(9)와 top heater(35)가 있다. 밥솥에서 화재위험은 결국이 3개의 부품 control이 실패하였을 때 일어나게 된다. 이밖에 부품들에 대한 간략한 설명은 표1에 수록하였다

표 1 각 부품의 명칭, 역할 및 재료

NO	부품명	부품의 역할	재료
1	power cord	전원 공급	VCFT
2	base plate	하단부 이물질 이입방지용 판	PP
3	cord reel	제품 보관시 power cord를 감아놓음	PP
4	base cover	외면 바닥면	PP
5	fuse folder	온도 fuse를 장착함.	SBHG1
6	온도 fuse	이상 과열시 전원을 차단함	184℃
7	TRS holder	TRS asm. 장착함	SBHG1
8	TRS asm.	보온온도를 on/off 제어	75℃ ± 2℃
9	side heater	보온시 측면 가열함	NCHW1
10	al. tape	side heater를 oven case에 부착	AL
11	clamp lever	뚜껑과 body의 locking함	STS304
12	clamp knob	뚜껑 열 때 사용하는 버튼	PP
13	clamp spring	clamp lever동작 시켜 줌	STS304
14	handle	운반용 손잡이 상(외관)	PP
15	handle cover	운반용 손잡이 하(외관)	ABS
16	lower packing	취사시 증기누설 방지	SR
17	top cover	외관(뚜껑)	PP
18	lower cover	뚜껑 내측	PP(H)
19	hinge pin	뚜껑과 body 연결 pin	STS
20	ring case	oven case와 뚜껑 체결 부품(외관)	NY6(20)
21	dew dish	취사/보온시 방생되는 물받이	GPPS
22	D-D-holder	물받이 체결	ABS
23	oven case	heating plate 및 side heater 장착	ALCOSTR
24	oven	밥을 짓는 내솥	AL(3004)
25	out case	외관 중앙부 cover (외관)	Cr강판
26	control box	control 표시부 cover(외관)	ABS
27	switch knob	s/w lever의 버튼(외관)	PP
28	neon lamp asm.	취사/보온 표시 PWB asm.	PF
29	name plate	control box에 붙이는 명판 (외관)	PC
30	lower support	취사시 top cover asm.의 변형 방지	STS304
31	S-G-packing	증기가 빠지는 내부와 외관 연결	SR
32	oven cover	내솥 뚜껑으로 밥물넘침 및 보온시 단열	AL
33	top plate	top heater 부착함	AL
34	s/w lever asm.	내솥과 내솥cover와의 압착	SR
35	top heater	보온시 상부 가열 함	NCHW1
36	micro switch	취사/보온모드 변환 s/w	SECC
37	center thermometer	취사시 온도감지 및 주전원 off	140℃
38	heating plate	취사시 주발열 / 보온시 보조 발열 함	AL2BS
39	side woll-p	보온시 측면 단열	PE
40	top woll-P	보온시 상부 단열	PE

3.2) 정상사상의 분석 및 Fault Tree 작성

전기밥솥에서의 잠재위험은 화재, 화상, 감전, 기계적 상해 등으로 생각할 수 있다. 이 중에서 화재에 대하여 FTA기법을 사용하여 분석하여 본다. 정상사상을 “화재”로 하면 이 화재는 주열원인 heating plate가 어떤 이상에 의하여 연속 가열되고, 화재발생 전에 발생하는 연기나 밥타는 냄새 등을 사용자가 미인식한 경우에 발생하게 된다. heating plate의 연속가열은 다시 “비정상취사상태유지”라는 사상과 “온도휴즈의 고장” 사상이 동시에 발생되어야 가능하다. “온도휴즈의 고장”사상은 이상온도(178℃)상승시 휴즈의 단락으로 인하여 주전원이 차단되어야 하나 휴즈의 “부품결함”, “작렬연결” 또는 열감지부가 보온재 속에 잘못 위치하여 열감지를 못하는 경우에는 주전원을 차단시키지 못하게 된다.

비정상 취사 상태유지는 온도가 상승함에도 불구하고 취사모드에서 보온모드로 바뀌지 않는 상태로서 크게 “center thermo고장”, “micro s/w고장”, “s/w lever고장”등으로 원인을 분석할 수 있다.

정상시에는 일정한 온도이상 상승시 heating plate 정 가운데 위치한 center thermo의 작동으로 내재되어 있는 스프링이 s/w lever를 밀게되며 이 때 s/w lever중간부위에 있는 micro s/w를 off 시키면서 heating plate의 전원공급을 보온에 필요한 만큼만으로 줄이게 된다. 결국 비정상 취사상태유지를 어떤 결함에 의하여 위의 과정이 방해받으면 일어나게 된다. 즉 “center thermo고장”, “center thermo부품결함”과 center thermo가 정상작동을 하였음에도 불구하고 “s/w lever의 기계적 결함”에 의하여 미 작동되는 사상을 의미한다. 또한 “micro s/w고장”사상은 부품자체의 고장 또는 “s/w lever기계적 결함”시에 일어나고 “s/w lever 고장”은 “s/w lever 기계적 결함”과 “고의적 오용(강제취사)”로 나눌 수 있다. “고의적 오용(강제취사)”는 사용자가 취사목적 이외에 국 끓임 등을 하며 자동 보온상태로 넘어가는 것을 방지하기 위해 젓가락 등으로 s/w lever 부위를 강제 취사상태로 유지하는 행위를 말하며 “s/w lever 기계결함”은 “s/w lever 부품결함”과 “s/w lever 조립불량”으로 다시 나누어 생각된다. “s/w lever 부품결함”은 s/w lever 부품자체의 결함에 의하여 보온모드로 바뀌지 않는 것을 의미하며, “s/w lever 조립불량”은 조립시 나사의 헐거움이나 오체결로 center thermo의 정상작동에도 불구하고 보온모드변환이 실패하는 것을 의미한다.

위에서 설명한 내용을 Fault Tree로 도시하면 그림 2와 같다. 이 Fault Tree는 2개의 and gate와 7개의 or gate, 2개의 전이 gate 그리고 9개의 기초사상으로 구성된다. 여기서 “s/w lever 기계적 결함”gate는 3번 나타나게 되며, 중복을 피하고 단순화하기 위하여 전이gate를 사용하였다.

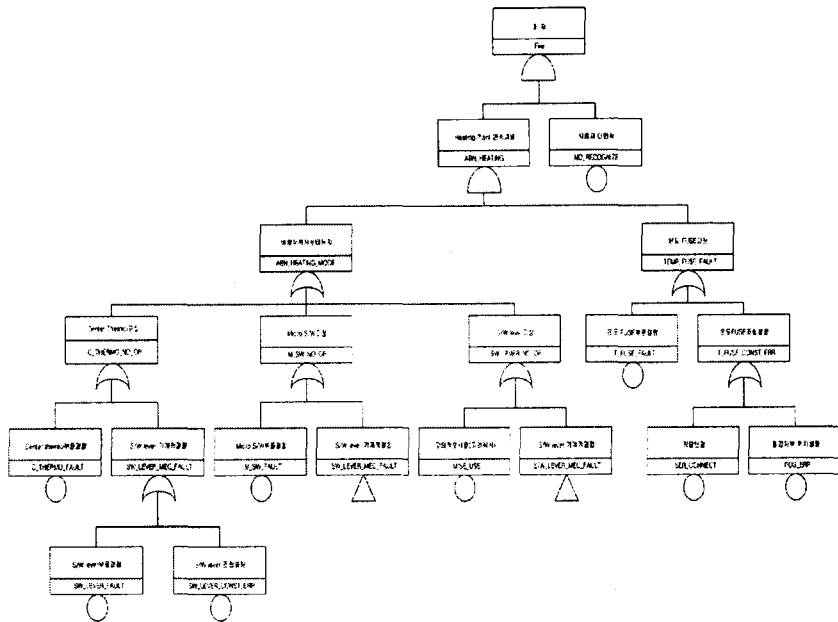


그림 3 : 전기밥솥의 FT도

3.3) FT의 분석

FT도가 완성되면 다음의 단계로서 최소 절단 집합들을 산출한다. 하나의 최소 절단 집합에 포함되는 기초사상들이 동시에 발생한다면 정상사상인 화재가 발생하게 된다. 산출된 최소 절단 집합들은 다음과 같이 15개가 산출되며 이들 최소 절단 집합들을 살펴보면 화재가 발생할 수 있는 모든 사상의 조합을 확인할 수가 있다.

이제 9개의 기초사상에 대한 확률값을 주게 되면 정량적 평가, 즉 화재가 발생하는 빈도와 각 최소 절단 집합의 발생빈도 등을 계산할 수 있게 된다. 기초사상에 대하여 임의로 주어진 확률값은 다음 표3과 같다.

기초사상	기초사상식별코드	확률값
사용자 미인식	NO_RECOGNIZE	0.1
온도 fuse 부품결함	T_FUSE_FAULT	1.0e-4
center thermo 부품 결함	C_THERMO_FAULT	1.0e-3
s/w lever 부품결함	SW_LEVER_FAULT	1.0e-4
s/w lever 조립불량	SW_LEVER_CONST_ERR	1.0e-5
micro s/w 부품결함	M_SW_FAULT	1.0e-4
고의적 오용(강제취사)	MISE_USE	1.0e-2
직렬연결	SER_CONNECT	1.0e-5
열감지부 위치 불량	POS_ERR	1.0e-5

표 3 : 기초사상과 확률값

FTA를 수행하기 위한 tool은 많이 개발되어 있으며, 이들을 사용하면 FT기법을 수행

하기가 매우 수월하여 진다. 아래의 결과값은 tool에 의하여 분석된 결과를 보여준다.

 Reporting for FIRE

value = 1.345e-007

Final Cut Sets

no	value	f-v	acc	cut sets
1	1.000e-007	0.7434	0.7434	NO_RECOGNIZE T_FUSE_FAULT MISE_USE
2	1.000e-008	0.0743	0.8177	NO_RECOGNIZE MISE_USE POS_ERR
3	1.000e-008	0.0743	0.8921	NO_RECOGNIZE MISE_USE SER_CONNECT
4	1.000e-008	0.0743	0.9664	NO_RECOGNIZE C_THERMO_FAULT T_FUSE_FAULT
5	1.000e-009	0.0074	0.9738	NO_RECOGNIZE C_THERMO_FAULT POS_ERR
6	1.000e-009	0.0074	0.9813	NO_RECOGNIZE T_FUSE_FAULT M_SW_FAULT
7	1.000e-009	0.0074	0.9887	NO_RECOGNIZE SW_LEVER_FAULT T_FUSE_FAULT
8	1.000e-009	0.0074	0.9961	NO_RECOGNIZE C_THERMO_FAULT SER_CONNECT
9	1.000e-010	0.0007	0.9969	NO_RECOGNIZE SW_LEVER_CONST_E T_FUSE_FAULT
10	1.000e-010	0.0007	0.9976	NO_RECOGNIZE SW_LEVER_FAULT POS_ERR
11	1.000e-010	0.0007	0.9984	NO_RECOGNIZE M_SW_FAULT POS_ERR
12	1.000e-010	0.0007	0.9991	NO_RECOGNIZE SW_LEVER_FAULT SER_CONNECT
13	1.000e-010	0.0007	0.9999	NO_RECOGNIZE M_SW_FAULT SER_CONNECT
14	1.000e-011	0.0001	0.9999	NO_RECOGNIZE SW_LEVER_CONST_ERR POS_ERR
15	1.000e-011	0.0001	1.0000	NO_RECOGNIZE SW_LEVER_CONST_ERR SER_CONNECT

Execution time 0 seconds (gen:0, exp:0, abs:0), Return Code = 1

End of CUT Run

4. 결 론

위 데이터에서 알수 있듯이 화재라는 정상사상의 빈도값은 1.345e-007 이다. 이는 년을 약 10,000시간으로 환산하였을 때 1000대당 화재가 일어날 확률이 1년에 약 1.345번이라는 것을 뜻한다. 또한 1번 최소 절단 집합(사용자 미인식,s/w lever 부품결함, 온도 fuse 부품결함)의 f-v값이 0.7434라는 것은 1번의 최소 절단 집합의 비중을 의미한다.

즉 화재의 발생 중 “s/w lever 부품결함”과 “온도 fuse 부품결함”, 그리고 “사용자 미인식”이 원인이 되어 일어나는 것이 전체화재의 74.34%이라는 것을 의미한다. 상위4개의 최소 절단 집합이 차지하는 f-v누적값, 즉 상위4개의 최소 절단 집합에 의해 일어나는 화재가 96.64%를 차지하므로 이들 상위4개의 최소 절단 집합들에 포함되는 기초사상들에 대하여 철저한 품질관리를 하여야 함을 알 수 있다.