

화력발전 플랜트의 RBI 절차 개발을 위한 FTA 평가

최정우 · 유진환* · 고재욱* · 윤기봉

중앙대학교 기계공학부 · *광운대학교 화학공학과

1. 서론

현재 국내 전력 설비 중 화력 발전 설비는 18개 발전소에 53호기의 설비가 발전 중이다. 하지만, 수년간의 연구개발 노력으로 RBI 진단 기술이 선진국 수준을 쫓아가고 있는 국내 중화학 분야와는 달리, 화력 발전 분야는 RBI 진단 기술 개발이 국내에서는 구체적으로 진행되지 않고 있다. 이에 본 연구는 화력 발전용 기력터빈(HP, IP, LP 터빈 및 발전기) 및 보일러로 구성된 전체 화력 플랜트를 대상으로 하는 RBI 절차 중 각 설비의 정량적인 위험도 순위 결정에 FTA(Fault Tree Analysis) 기법을 적용해 보고자 한다. 그 방안으로 본 연구에서는 보일러 설비에 대해 FTA를 수행하여 각 요소의 사고 발생 빈도와 위험도 순위를 정량적으로 평가하였다.

2. 이 론

1) 화력 발전 설비

국내 화력발전 설비는 18개 발전소에 53 호기의 설비가 발전중이며, 이들이 RBI 진단기술의 적용 대상이다. 그 밖에도 산업용 보일러를 보유하고 있는 70여 개의 산업 플랜트 및 복합화력 등에도 RBI 진단 기술의 적용된다. 현재 발전설비의 유지 보수를 위해 노후 설비에 대해 주기적인 수명평가 이루어지고 있는데 500 MW급 석탄 화력의 경우 진단비용으로 3억 정도가 소요되며, 사전평가, 현장진단, 실험실평가 등 3단계 평가에 6개월 이상의 시간이 소요되고 있다. RBI진단 기법을 활용하면 설비 정지 전에 해석적인 방법 및 기본 파손빈도 데이터를 사용한 RBI해석 절차에 따라 해석적인 방법을 우선 사용하고 위험도가 큰 설비부위에 대해서만 정비기간 중에 집중적인 비파괴 진단을 수행하여 효율적이고 경제적인 수명진단 및 평가를 수행할 수 있으므로 정비기간의 단축하고 불필요한 정비 노력 및 경비를 없애면서도 설비의 사용 신뢰도를 더욱 향상 시킬 수 있으므로 전체 화력 설비의 신뢰성 향상에 의해 대형 사고의 방지, 전력공급의 안정화를 이룰 수 있다.

2) FTA(Fault Tree Analysis)

공정의 위험 및 신뢰도를 분석할 수 있는 방법 중 연역적 분석의 대표적인 방법으로 대상 시스템의 예기치 못한 사건(정상사건, Top-event)을 결정하고 시스템의 환경과

작업의 상황 하에서 시스템을 분석하여 예기치 못한 사건이 일어날 수 있는 모든 가능한 방법들을 Gate-by-Gate 방식의 Graphical 방법으로 발견하는 분석기법이다.

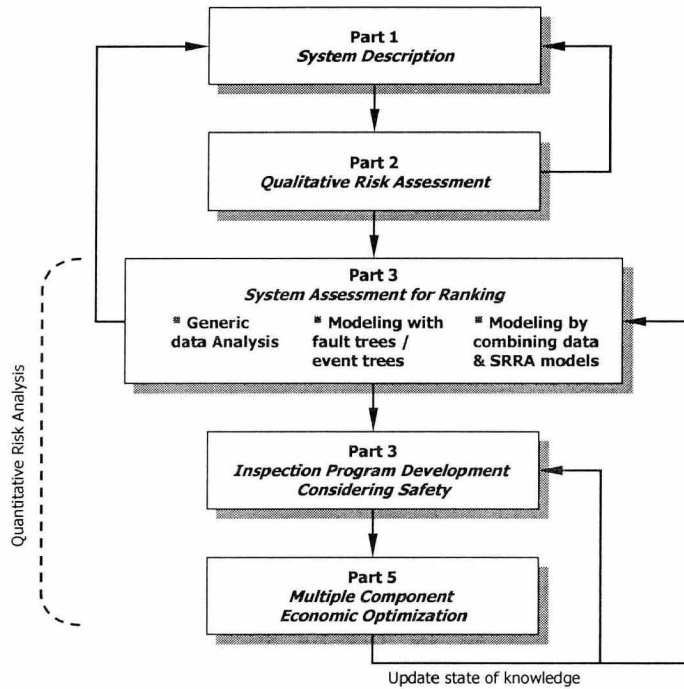


그림 1 RBI Flow Chart

3) FTA의 효과

정상사건과 원인 및 각 요소들간의 상관관계를 가시적으로 확인 할 수 있고, 분석자가 직접 시스템의 행동을 관찰할 수 있으며, 사고의 원인이 될 수 있는 가능한 모든 결함들을 추론할 수 있다. 또한, FTA를 이용한 분석결과에 정량적인 수치를 대입함으로써 사고 원인의 중요도를 알아볼 수 있고, 가장 중요한 부분을 중점적으로 관리하여 사고발생을 최대한 감소시킬 수 있다.

4) FTA의 수행절차 및 필요사항

FTA를 수행하기 위해서는 다음과 같은 절차가 필요하다.

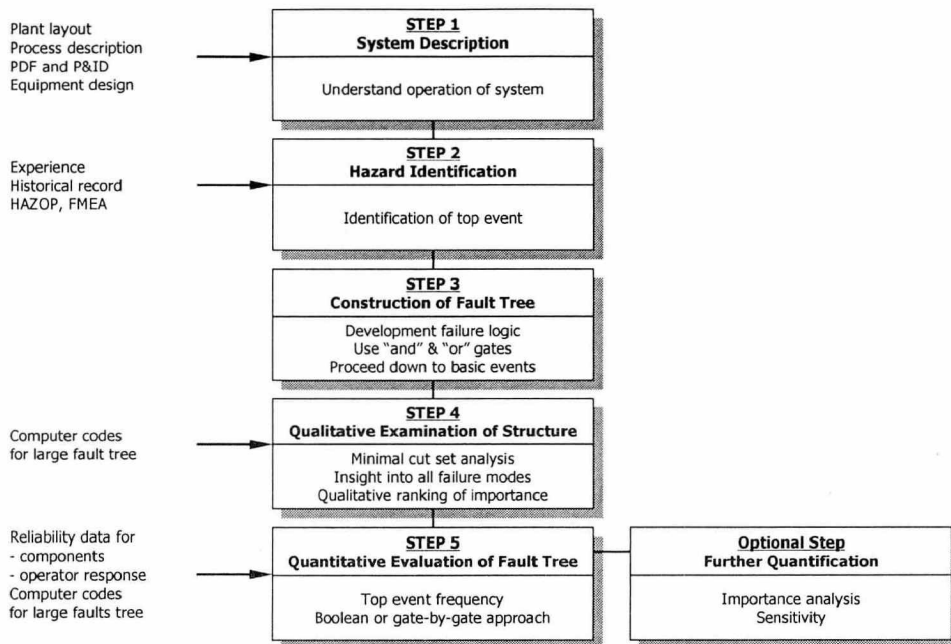


그림 2 FTA Flow Chart

FTA를 수행하기 위해서는 다음과 것들이 요구된다.

- 안전시스템에 대한 지식
- 공정/시스템 내에 있는 모든 물리적, 화학적 정보 및 공정 흐름에 대한 정보
- 전체 공정과 흐름에 대한 상세한 정보
- PFD / P&ID 및 장치 명세서
- Failure / Reliability / Human Error Data
- 장비 고장과 시스템 upset에 대한 지식
- 보통 2-4명으로 구성된 경험 있는 팀

5) Minimal Cut-set

AND gate로만 이루어진 하나의 Basic event로서 Top event가 일어날 수 있는 최소한의 경로이다. Cut-set을 결정한 후 중요도를 산출할 수 있다.

$$\langle F_T = \sum F_i \text{ or } P_T = \sum P_i \rangle$$

- F_T (or P_T) = Frequency (or Probability) of the top event
- F_i (or P_i) = Frequency (or Probability) of the cut set C_i
- C_i = Cut set number I
- **Cut set 중요도** = cut set frequency / top event frequency *100

3. 사례 연구

본 연구에서는 화력 발전 설비 중 보일러 설비를 연구대상으로 하였다.

1) 연구대상의 분석

본 연구의 대상인 화력 발전 보일러 설비는 그림 3과 증기-물 시스템과 연료-공기-연소가스(Flue Gas) 시스템으로 양분할 수 있다. 물은 보일러로 유입되어 보일러 튜브에서 열을 전달 받아 증기로 변하여 보일러를 나가며, 연료-공기-연소가스 시스템은 물에 열을 전달

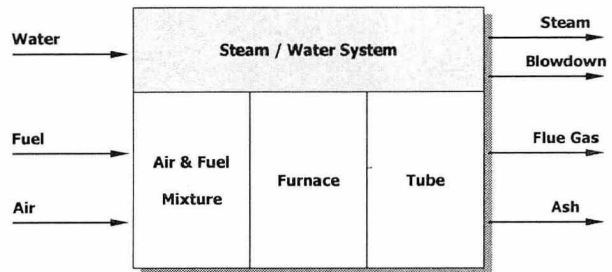


그림 3 Diagram of Boiler

하여 준다. 로(Furnace)는 연료와 공기를 혼합하여 화염을 만드는 즉, 화학 에너지를 열 에너지로 바꾸어 준다. 이러한 로내에는 보일러 튜브들이 수직으로 설치되어 화염으로부터 발생된 복사열을 물에 전달한다.

2) 연구 목적

본 사례연구의 목적은 FTA 평가를 통해 화력 발전 설비의 잠재 위험성을 분석하고, 분석결과로부터 중요도를 산출하여 화력 발전 설비의 RBI 수행에 필요한 각 설비의 위험도 순위를 정량적으로 평가하는 것이다.

3) 연구수행 절차

- 화력 발전 설비에 대한 FTA를 이용한 정량적 분석
- FTA분석 결과에서 Minimal Cut-set 확인
- Cut-set의 중요도 분석 및 결과 제시
- 위험요소 감소방안 제시

4) FTA를 이용한 정량적 분석

화력발전 설비 중 보일러 시설에 대하여 그림2와 같이 FTA를 수행하였다. 이 결과를 Easy Tree를 사용하여 Minimal Cut-set을 분석하고 각 Cut-set의 Frequency 중요도를 산출하였다. 그 결과 17개의 Cut-set이 나타났고, 그 중 가장 사고 발생률이 높은 Cut-set은 B8과 B17으로 확인되었다.

Basic Event		Frequency (횟수/year)
B1	Failure of Slag Removal Sys.	1.10e-001
B2	Failure of attemperator	1.40e-003
B3	Failure of house service water sys.	1.60e-004
B4	Loss of control air sys.	2.90e-006
B5	Balance of plant failure	1.70e-003
B6	Boiler stop V/V failure	1.55e-004
B7	Boiler safety relief V/V failure	1.57e-004
B8	Furnace tube loss of function	7.44e-002
B9	Furnace structure loss of function	1.95e-003
B10	Air heat loss of function Div.-A	3.12e-004
B11	Loss of Electric power : Breaker failure : Div.-A	4.95e-005
B12	Air heater loss of function Div.-B	3.12e-004
B13	Loss of Electric power : Breaker failure : Div.-B	4.95e-005
B14	Group 8 sootblower loss of function	4.00e-004
B15	Group 3 sootblower loss of function	1.76e-002
B16	Group 6 sootblower loss of function	2.40e-004
B17	Group 2 sootblower loss of function	5.28e-002
B18	Group 5 sootblower loss of function	2.24e-003
B19	Group 4 sootblower loss of function	7.36e-004
B20	Loss of sootblower air	1.76e-003

Table 1 장치고장률 Data

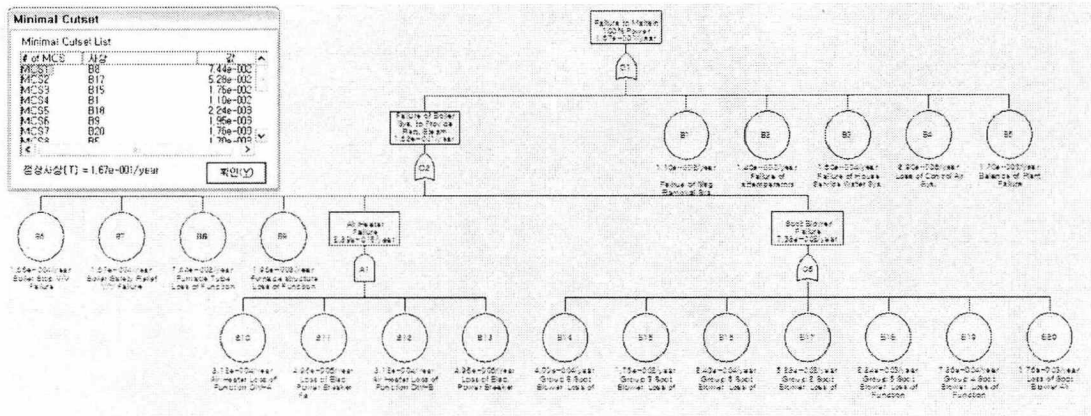


그림 4 Result of FTA

4. 결론

국내 5개 화력 발전 회사의 상호간에 발전 수익성 향상을 위한 경쟁이 발생하고 있는 현 시점에서 적은 인력과 자금으로 효율적으로 설비를 관리할 수 있는 RBI는 매우 적절한 관리 기법이다. 이에 본 연구는 화력 발전 설비에 적용 가능한 RBI 절차 연구의 일환으로 정량적 위험도 순위 결정법으로 FTA를 적용시켜 보았다. 그리고, 적용 대

상으로 보일러 설비를 선택하였다.

이상의 목적으로 FTA를 이용하여 보일러의 사고 발생 빈도를 평가한 결과 발전 플랜트의 전력 생산에 차질을 야기할 수 있는 사고가 20건이 발생하였으며, 그 중 로내의 튜브 손상과 SootBlower 손실이 가장 사고 발생 빈도가 높을 것으로 나타났다.

이러한 결과는 RBI 기법의 이후 절차인 사고 피해 분석과 합해져 대상 설비의 최종적인 위험도를 나타낼 수 있는 지표가 될 것으로 예상되며, 매우 신뢰할 수 있는 데이터로 확인되었다. 다만, 이러한 신뢰성을 확보하기 위해서는 대상설비의 사고이력에 대한 지속적인 관리가 요구되고 있다.

참고문헌

1. CCPS, Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, New York, 2000.
2. Daniel A. Crowl and Joseph F. Louvar, Chemical Process Safety : Fundamentals with Applications, Prentice-Hall, 2001.
3. ASME, Risk-Based Insepction Development of Guidelines Volume 1, New York, 1991
4. ASME, Risk-Based Insepction Development of Guidelines Volume 3, New York, 1994
5. CCPS, Guideline for Process Ekiupment Reliability Data with Data Tables, AIChE, New York, 1989.
6. 가스산업시설의 사고빈도 분석 프로그램 구축. 광운대학교 석사학위논문, 서재민, 1998
7. FTA 기법을 기법을 이용한 독성가스 이용시설의 잠재위험 분석에 관한 연구, 화공학회, 유진환, 2005