

화력발전소 제어시스템 신뢰도 향상을 위한 전자카드 운영 방법 연구

Research on the Maintenance Method to Improve the Reliability of Control System in Thermal Power Plant

신영진, 박두용, 김호열
Youngjin Shin, Dooyong Park, Hoyol Kim

Abstract - The inspection method, which is used to inspect the electronic system for the control system of the fossil-powered thermal power plant, has the technical restrictions based on its primary application area, whereas the reliability is requested more and more by the plant operators to minimize the shutdown of a plant. This paper reviews the inspection methods currently used by the thermal power plant and how to adopt the condition based maintenance to increase the availability of power plant.

Key Words : 제어시스템, 시스템 진단, 전자카드 검사, RCM

1. 서 론

고집적화되어가는 반도체의 패키징 기술과 표면 실장 기술이 화력발전소 제어 시스템용 전자 카드의 제작에 반영되는 추세에 따라 사용자가 선택할 수 있는 제어 시스템용 전자 카드의 검사 방법과 범위가 제한되고 이에 따른 예방 정비의 한계가 존재하게 된다. 이와 함께 화력발전소의 준공 이후 장기 사용 기간에 진입함에 따라 제어 시스템의 고장 발생률은 점차 증가한다. 이에 화력발전소에서는 제어 시스템용 전자 카드의 정밀 진단과 고장 수리 용역을 통해 제어용 전자 카드의 예방 정비에 노력하고 있음에도 불구하고 제어설비의 기종과 제작사가 다양하고 제어 시스템용 전자 카드의 수량이 수 천 장에 이르며 제작 기술의 발달을 반영하지 못한 제한적 진단 장비의 한계와 제어 시스템용 전자 카드 정밀 진단 시험 데이터의 해석 및 활용 기술의 미흡 등으로 인해 지속적으로 고장 및 발전정지 문제가 발생하고 있다. 따라서 복잡한 제어 시스템용 전자 카드의 관리를 위한 새로운 기준을 확립하고 기존 제어 시스템용 전자 카드의 정밀 진단 방법에 대한 검토와 새로운 검사 방법에 대한 필요성이 증가하고 있다. 본 논문에는 이런 문제에 대해 현재 화력발전소에서 시행되고 있는 제어 시스템용 전자 카드 검사 방법의 한계와 이를 기초로 한 향후 검사 방법에 대해 논한다. 또한 장기적인 관점에서 CBM의 도입의 필요성에 대한 언급한다.

2. 제어용 전자 카드 검사

전자 카드의 결함 혹은 고장은 특성 혹은 동작이 설계 규격에서 수용될수 없는 정도로 벗어난 것을 의미한다. 전자카드 검사를 위해 사용되는 방법을 설명하기 위해서는 전자카

드의 결함에 대한 분류가 필요하다. [4]는 전자카드 검사 방법의 분류를 위해 검사 방법이 검사할 수 있는 결함의 범위를 포괄적으로 분류하고 있다. 제어 시스템용 전자 카드의 모든 결함은 이러한 분류 체계로 분류될 수 있다.

기본적 검사는 즉각적으로 전자카드의 동작에 영향을 미치는 요인들이며 질적 검사는 직접적이거나 즉시 영향을 끼치지 않지만 사용 시간의 누적에 따라 전자카드의 동작에 영향을 끼치는 요인을 포함한다.[4]

2.1 일반적인 검사 방법

전자카드 혹은 전자시스템에 대한 검사는 제작사를 기준으로 MVI(Maual Visual Inspection), AXI(Automatic X-Ray Inspection), AOI(Automatic Optical Inspection) 등의 육안검사, 회로 검사(In-Circuit Test), 기능 검사의 순으로 진행된다. 육안검사는 부품 존재 유무, 부품 적합성, 부품 방향, 연결 개방, 연결 단락 등을 검사할 수 있다. 회로 검사는 육안 검사를 통과한 전자카드의 특성을 검사하는 것으로, 전자카드의 특성 검사가 주를 이룬다. 각각의 단계에서 검사를 통과하지 못한 전자카드는 수리 보수 과정을 거쳐 해당 결함이 설계의 오류인지 제작 공정상의 오류인지를 추적한다. 또한 고가의 전자카드 혹은 시스템은 수리 과정을 거친 후 다시 검사 과정을 거쳐 제품으로 생산된다.

2.2 결함의 검사 범위

어느 종류의 검사 하나만으로 모든 종류의 결함을 검사할 수는 없다. 따라서 결함에 대해 다양한 종류의 검사 방법이 조합되어 순차적으로 적용되지만, 그럼에도 불구하고 모든 결함을 발견하는 것은 현실적으로 불가능하다. 회로 검사와 육안 검사를 병행할 경우 발견되는 결함의 수는 증가한다. 하지만 다양한 검사 방법의 적용은 비용의 과도한 상승을 초래하며 이에 따라 생산자 혹은 사용자는 어느 정도의 결점을 인정하여야만 하며 이 때는 결국 결함 발생이 유발하는 손해

저자 소개

* 한국전력공사 전력연구원 수화력발전연구소

비용의 결정이 문제의 핵심이 된다.

3. 향후 전자 카드 검사 운용 방안

3.1 부품 기술의 발달과 시험의 제한

ICT(In-Circuit Test)는 부품에 검사 장비를 직접 접촉하고 시험 대상 PCB에 전원을 인가하지 않은 상태에서 이루어지는 비파괴 검사 방법으로 오랜 시간 동안 제작 공정에서 사용되어져 왔다. 하지만 반도체의 고집적화, 패키지의 소형화 기술, 다층 기판의 사용 등으로 동일한 PCB 크기에 검사 노드의 집적도는 증가하고 있으며 복잡한 PCB를 검사하는 시간도 회로의 집적도에 따라 증가하고 있어 검사 비용이 상승하고 있다. 지금은 위의 문제로 인하여 검사 가능 노드수가 20% 미만으로 떨어질 것으로 예상되고 있다.[4] 따라서 ICT-ASA(Analog Signature Analysis)를 이용한 시험으로 모든 부품을 검사하여 올바른 결과를 얻기란 사실상 불가능하다. 대부분의 직접 회로 시험은 실제로 회로 내부 노드에서의 시험 결과가 아닌 입출력핀의 특성을 보여준다. 또한 실제로 발생하는 대부분의 집적 회로 고장은 입출력 부분에서 정전기, 순간적인 전압 상승 등에 의한 보호 회로 고장이 대부분이다.[5] 따라서 집적회로의 내부 고장인 경우에도 ICT-ASA의 검사에 의해 입출력부 보호 회로가 정상인 경우 해당 집적회로는 정상으로 오판될 수 있다. 따라서 Flying probe에 의한 검사 방법은 그 검사 범위를 제한해야 한다.

3.2 사용자의 제한된 정보와 이에 의한 검사의 제한

ICT는 PCB 제작사에서 생산되는 자사의 생산품에 대해 시험을 하기 위한 방법의 하나로 육안검사 및 기능 검사와 함께 사용되어 불량률을 최소화하기 위한 방법이다. 이 때 사용되는 ICT는 Bed-of-Nail Fixture를 이용하여 대량의 검사 대상을 단시간에 처리하는 방법이며, 발전소에서 사용되는 FT-100과 같은 형태의 Flying probe를 갖는 검사 장비는 적은 투자로 소량의 PCB에 대한 검사가 필요한 곳, 즉 불량품에 대한 재검사와 Trouble shooting, 그리고 이에 의한 오류의 수정을 위한 곳에서 사용되어지는 것을 목적으로 하는 것으로 Bed-of-Nail Fixture를 이용한 장비의 보조 장비이다.

ICT는 회로 설계자에 의해 검사 범위와 검사 방법, 표준 입출력 등이 정해지는 검사로 이러한 과정은 설계자가 가지고 있는 설계 자료와 회로의 Netlist, BOM, Part list 등을 이용해 검사 과정을 설계하도록 되어 있다. 발전소와 같은 일반 사용자가 이러한 시험 방법을 전면적으로 도입하기에는 가지고 있는 정보가 제한적이고, PCB를 리버스 엔지니어링하기에 너무 많은 시간과 비용이 요구되며, 이를 효과적으로 수행할 전문 인력이 부족하다.

3.3 기능 검사의 병행

기능 검사를 수행하여 결점의 발견률을 높여야 한다. 기능 검사는 부품 수준의 기능 검사뿐만 아니라, 보드 수준의 기능 검사까지 그 범위가 매우 넓다. 최근에는 IEEE 1149 시리즈의 Boundary-Scan Architecture를 도입하여 기능 검사를 용이하게 하는 경우도 있지만 이러한 개념이 발전소 제어 설비의 제작에 도입된 경우는 없다.

기능 검사를 수행하는 방법은 제작사에서 가지고 있는 기

능 검사 전용 기기를 도입하는 방법과 검사용 시뮬레이터를 구성하는 방법이 있다. 제작사의 기능 검사 전용 기기는 구입이 불가능하다. 검사용 시뮬레이터의 구성은 발전소 제어 시스템을 소형으로 구성하고 모의 시험을 통해 검사 대상이 되는 모듈의 기능을 검사하는 방법으로 현실적으로 가장 가능성이 있는 방법이며 현재 일본 베일리에서 사용하는 방법이기도 하다.

4. CBM과 RCM

회로의 결함 진단과 마찬가지로 정비와 관련된 주요 작업 역시 Fault Detection, Fault Location and Identification 그리고 Fault Prediction으로 나눌 수 있다.[1] Fault Detection과 Fault Location and Identification은 기기의 고장 후 작업과 연관이 있는 것들로 고장 발생 후 이러한 고장을 인지하고 고장점을 찾아 원인파 수리 방법을 찾는 일련의 행위를 포함한다. Fault Prediction은 고장 발생의 잠재적 가능성이 있는 기기를 검사하여 고장 직전에 정비함으로써 고장을 방지하는 개념으로 정비는 다시 예방 정비(Preventive Maintenance)와 예측 정비(Predictive Maintenance)로 구분된다.

일반적으로 정비는 사후 정비(Corrective maintenance), 예방 정비(Preventive maintenance), 예측 정비(Predictive maintenance), Proactive Maintenance로 구분된다. Proactive Maintenance는 고장의 근본 원인 파악과 기기의 재설계를 의미한다.

4.1 예방 정비와 예측 정비

예방 정비는 고장을 예방하기 위한 정비의 일반적인 개념으로 실제 고장의 발생 가능성과 무관하게 진행되는 정비를 모두 포함한다. 따라서 제어 시스템용 전자 카드의 제작사나 타 기관에서 미리 정하거나 권고한 일정에 맞추어 해당 전자 카드의 건전성에 관계없이 무조건 전자 카드를 교체하여 시스템의 신뢰성을 확보한다. 그러나 시스템의 신뢰성이 반드시 경제성을 동반하지는 않아 예방 정비는 시스템 신뢰성을 향상시키지만 건전한 혹은 거의 건전한 기기를 무조건 교체함으로 발생하는 비용에 의해 실제로는 비효율적인 방법이 될 수도 있다. 시스템 단가가 상대적으로 저렴한 제어 시스템은 예방 정비를 쉽게 적용할 수 있다.

예측 정비는 제어 시스템용 전자 카드의 요구 사항과 우선 순위에 의해 정비 기간을 유연하게 설정한다. 이러한 정비와 교체 기간의 산정을 위해서 전자 카드의 상태에 대한 정보를 사용하며 이러한 정보는 발전소 운영자에 의해 지속적으로 체계적으로 수집되고 관리되며, 기간의 산정은 이러한 정보를 기초로 별도의 의사 결정 과정을 거쳐 결정된다. 따라서 시스템 신뢰성을 최대한 확보하며 동시에 유지 정비 비용을 최소화하는 방법으로 사용된다.

이러한 개념과 대응하여 지금까지 발전회사에서 취할 수 있는 정비의 방법은 CM(Corrective Maintenance), Scheduled Maintenance, CBM (Condition-Based Maintenance), RCM (Reliability Centered Maintenance)으로 분류된다. CM은 위에서 언급된 Fault Detection과 Fault Location and Identification으로 구성된 방법으로 이는 사실 발전소의 신뢰성 확보에는 크게 도움이 되지 않는다. Scheduled Maintenance는

예방 정비와 동일한 개념이다. CBM과 RCM은 비파괴적 방법으로 기기를 검사하고 기기의 상태를 기초로 하여 정비 기간을 필요에 따라 결정하는 것으로 가장 발전된 개념이며 발전소의 정비 및 운영에 가장 효과적이라고 이야기되어지지만 미국과 중국 등의 일부 발전소를 제외하고 아직 채택된 곳이 적은 방법이기도 하다.[2]

4.2 CBM과 RCM

정비의 목적은 기기의 수명을 늘리는 것이 목적으로 인식되지만, 실제로는 수리비를 최소화하기 위해 고장 시점을 연기하는 것으로 받아들여져야 한다. 이러한 개념은 정비를 통한 신뢰성의 향상으로 해석된다. 정비와 신뢰성은 서로 영향을 미치는 관계로 잦은 정비는 신뢰성은 향상시키지만 정비 비용과 이익은 감소라는 비용 측면에서 불리함을 유발하며, 적은 횟수의 정비는 비용의 유리함과 배치되는 고장 발생의 증가로 인해 결과적으로 비용의 유리함을 상쇄한다. 따라서 정비의 횟수 및 정도는 요구되는 신뢰성과 균형을 맞추도록 설계되어야 한다.

과거 정비는 제작사나 혹은 기타 기준이 정하는 기간을 기초로 설계되어 진행되었다. 그러나 이러한 방법은 비용측면에서 매우 비효율적이며 양호한 상태의 기기를 점검한다는 것이 결국 기기의 신뢰성을 향상시키지도 않는다. 따라서 발전소에서는 기기의 상태에 기초하여 정비 기간을 유연하게 선택하길 원해왔다.

일반적인 발전소의 기기들을 중심으로 하는 CBM은 Scheduled maintenance의 단점인 과도하거나 너무 적은 수의 정비를 최적화하고 운영비를 최소화하는 동시에 기기의 신뢰도를 향상시켜 결국 발전소의 가동 시간(Availability)을 늘리고 이익을 최대화하는 기법으로 인식되어져 왔다.

4.3 CBM 혹은 RCM 도입을 위한 준비

CBM이나 RCM을 위한 제어 시스템용 전자 카드의 관련 자료는 반드시 온라인 감시 데이터일 필요는 없다. 현재 발전소에서 사용 가능한 데이터는 운전 이력, 운전자 매뉴얼, 정비 매뉴얼, 제작사 권장 사항의 최소 확보 스페어 목록 및 수량이며, 부분적으로 확보 가능한 데이터는 검사 이력, 정비 및 교체 이력이다. 반면 확보 불가능한 데이터는 도면 등 설계 자료로 이 부분이 기계 분야와 다른 점이다.

단위 전자 카드의 상태를 평가하고 고장을 예상하는 것은 매우 경험적인 문제이다. 명확하게 고장이 예상되는 문제는 CBM이나 RCM의 적용 없이도 찾을 수 있는 문제로 오직 타이밍만이 문제될 뿐이다. 하지만 신뢰성을 기초로 하는 정비 계획에서 현재 운전 상태로 기기의 고장을 예상하는 것은 매우 부정확한 결과를 가져 올 수 있어, 결국 이러한 문제를 해결하기 위해 사용자는 아주 장기간 동안 수집되어온 자료를 기초로 하여야 하며, 또한 수학적 모델을 도입하여 정비 시기를 결정한다.

여기서 발생하는 문제는 수학적 모델의 부정확성이다. 대부분의 수학적 모델은 온라인 감시나 기기 검사를 통해 사용자가 기기의 상태를 완벽하게 파악할 수 있다는 가정이 있다. 하지만 이것은 현실적으로 불가능하다.

3. 결론

화력발전소 제어시스템의 신뢰성 확보를 위해 지금까지 시행한 Flying Probe 방식의 PCB 시험은 검사 범위의 제한과 제어 시스템용 전자카드 제작 기술의 발달 및 관리자와 검사자가 이용할 수 있는 정보량의 제한으로 인해 적용과 기대 효과가 과거에 비해 상당히 감소되었다. 또한 기계 분야에서 이미 실시간 상태 감시를 통한 CBM을 적용하기 시작한 것과 달리 전자 회로 시스템에 이러한 개념을 적용하기 용이하지 않으며 더불어 RCM을 도입하기 위한 경영 관리 시스템의 도입도 아직 미정인 상태이다.

따라서 현재 전자 카드의 상태를 감시하고 관리하여 성능 저하로 인한 발전 정지와 손해를 최소화하기 위해서는 전자 카드에 대한 계획 예방 정비 시스템을 도입해야한다. 또한 전자 카드에 대한 제한적인 CBM을 도입하기 위해 발전소 건설 이후 전자 카드 시스템을 관리하기 위한 관리자용 시스템을 도입해야 한다. 더불어 제어 시스템의 신뢰성 확보를 위해 관리자에 대한 해당 분야 교육도 실시되어야 한다.

제어용 전자카드의 관리 방법과 검사 방법에 대한 절차와 기술을 제시하고 이를 제어 시스템의 중장기 운용계획 및 교체 계획 수립 자료로 활용함으로써 제어용 전자카드의 신뢰성을 확보하고 예방 정비를 통해 발전설비의 불시정지 및 출력 감발을 방지하는데 기여할 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] John W. Bandler, Aly E. Salama, "Fault Diagnosis of Analog Circuits," Proceedings of The IEEE, Vol. 73, No.8, pp1279-1325, 1985. 8.
- [2] Yu-Liang Dong, Yu-Jiong Gu, Kun Yang, "Research on the condition based maintenance decision of equipment in power plant," Proceedings of 2004 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Vol.6, pp3468 - 3473, 2004. 8.
- [3] Hewlett Packard, "Safeguard In-Circuit," Hewlett Packard, 1985. 9
- [4] Kathy Hird, et al., "Test Coverage: What Does It Mean when a Board Test Passes," Proceedings of International Test Conference, pp1066-1074, 2002. 10.
- [5] Polar Instruments Ltd, "Simplify faultfinding by storing alternate vendor signature"
- [6] IEEE, "IEEE Standard Methodology for Reliability Prediction and Assessment for Electronic Systems and Equipment," IEEE Std 1413-1998, 1998. 12.
- [7] IEEE, "IEEE Guide for Selecting and Using Reliability Prediction Based on IEEE 1413," IEEE Std 1413.1-2002, 2003. 2.
- [8] Department of Defense, "MIL-HDBK-217F, Military Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment," Department of Defense, 1991. 12