원자력발전소 SOE 계통의 성능개선을 위한 조사연구

이병체*, 서영*, 전종선*, 이정권**, 문채주**
(* : 한국원자력연구소, ** : 한국전력기술(주))

A survey study for retrofit of SOE system in the Nuclear Power Plant

B. C. Lee*, Y. Suh*, C. S. Chun*, J. K. Lee**, C. J. Moon**
(* : KAERI, ** : KOPEC)

ABSTRACT

The Sequence Of Event (SOE) system used in nuclear power plants is a part of the Plant Data Acquisition System (PDAS). The SOE system of the existing nuclear power plant share the computer H/W and S/W, and required more complicated structure to provide the events or trip signals. Moreover, there are high potential of collision between synchronization signals and data transmitted to the Plant Computer System(PCS) when the synchronization signals are sent from PCS to the three SOE processors. When this collision happens the SOE system will break down, thus it is not possible to analyze the trend of events or trips. This paper issued the limitation items of the existing SOE system and proposed the revised SOE system.

1. 서론

발전소에 사용되는 모든 설비는 안정적으로 운전되어야 하며, 특히 원자력발전소의 경우에는 우선적으로 안전성이 확보되어야 하므로 발전소에서 발생하는 사고 또는 비상 정지상태는 반드시 그 원인과 발생장소가 규명되어야 하고 이에 대한 해결 방안이 강구되어야 한다. 이러한 문제 때문에 모든 발전소에 SOE 계통이 설치되고 있으며, 이 계통은 사고 또는 비상정지 상태가 발생한 이후에 그 장소와 시간 등에 대한 정보를 순차적으로 기록하는 기능을 갖고 있다. 최근 화력발전소에 설치되는 SOE 계통은 분산제어계통(Distributed Control System : DCS)에 포함되어 있으며, 그 성능은 분해능이 1ms로 사고시 원인규명을 위한 유용한 설비로 활용되고 있다. 원자력발전소의 경우 SOE 계통은 발전소 자료수집계통에 포함되어 있으며, 그 성능은 4ms 분해능을 갖고 있기 때문에 사고시 원인규명에 어려움을 갖는다. 따라서, 성능향상을 위해 지속적으로 연구가 진행되고 있으나 제작사 및 관련기관의 개발여유 부족으로 성능개선이 이루어지지 못하였다.[1]-[3]

한국표준형 원자력발전소의 SOE 계통은 발전소 자료수집계통(Plant Data Acquisition System : PDAS)에 포함되어 있으며, 3개로 분산된 처리 프로세서를 이용하여 동기신호에 의한 시간 비교방식으로 사고발생의 순서를 기록하고 있다. 이 방법은 발전소 자료수집계통에 쓰이는 컴퓨터와 소프트웨어를 공유하므로써 사고신호를 처리하는 과정이 복잡하고 처리능력이 4ms로 제한되며, 하나의 프로세서가 고장시 그 채널로 들어오는 사고신호는 물론 전체적인 사고신호 감지에 문제를 일으킬 수 있다. 또한, 사고기록을 발생순서대로 표시해주는 발전소 컴퓨터계통과 사고신호를 보내주는 자료수집계통간의 데이타 전송시 3개 프로세서에 대한 동기신호와 데이타 충돌이 발생할 가능성이 내포되어 있으며, 이로 인한 SOE 계통의 정지상태도 예견된다.[4] [6]

본 논문에서는 이러한 SOE 계통의 성능을 개선하기 위해 하드웨어와 소프트웨어의 구조 및 기능을 분석하고 예상되는 제약사항을 검토하였다. 그리고 이러한 문제를 해결하기 위한 성능개선 방안을 도출하고 이를 구현하기 위한 시스템의 하드웨어 구조를 제시하고자 한다.

2. SOE 시스템 구조

2.1 하드웨어 구조

가. 계통구성

한국표준형 원자력발전소에 적용되고 있는 SOE 계통은 그림 1에 나타낸 바와같이 발전소 자료수집계통의 안전 채널인 PDAS-N1, PDAS-N2, PDAS-N3 및 상태변화 (Change of State: COS) 입력카드 그리고 SOE Processor로 구성된다. 비안전계통에서 발생되는 사고신호들은 hard-wired 케이블을 통해 직접 N1, N2 또는 N3 채널로 연결되고, 안전계통에서 발생하는 SOE 신호는 격리기를 거쳐 N1, N2, N3 채널에 나누어 입력된다. 표 1에는 채널별 SOE 입력을 표시하였다. 각각의 PDAS-N 채널에서 처리된 SOE 데이타는 fiber optic modem과 광케이블 데이타 링크를 통해 발전소 컴퓨터계통(Plant Computer System: PCS)에 전달된다.

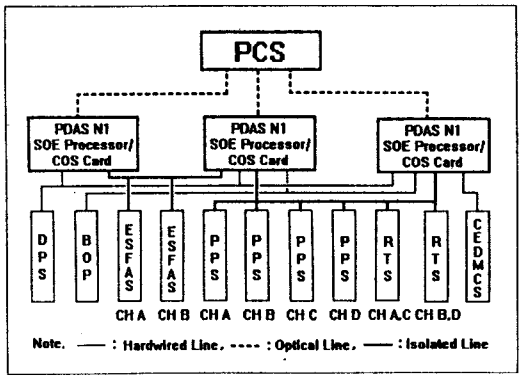

그림 1. SOE 처리계통 구성도

나. 계통기능

한국표준형 원자력발전소에 설치된 SOE 시스템은 원자로의 사고 또는 비상 정지시 이와 관련된 주요 장비에서 오는 접점입력 신호를 감지하여 기록한다. 접점입력은 채널당 한개씩 설정되며, 접점 회로카드 한개에 16개의 채널을 수용할 수 있다. 사고발생시 상태변화의 발생순서에 대한 구별능력은 4 msec 이내가 되도록 구성되어 있고, SOE 발생 시각정보는 자체 clock에 의해 기록되며, SOE 처리를 위한 3 채널의 동기화는 PCS가 생성하는 동기신호에 의해 처리된다. 상태를 변화시키는 접점신호에 대한 식별값은 종속적인 데이터처리를 위해 각 접점마다 관련된 시간기록과 함께 저장된다.

PCS는 SOE 정보처리를 위해 디지탈 신호의 천이상태를 기록하고 사고 발생시의 시간기록을 유지하기 위한 동기신호를 발생시킨다. PCS는 각각의 비안전 PDAS 채널에 있는 SOE processor로부터 data link를 통해 주기적으로 사고신호 정보를 수신하고 sorting 알고리즘을 이용하여 SOE 발생순서를 재조정 하고 이 정보를 기록 및 출력한다. SOE 신호처리 과정에 대한 하드웨어 구성을 그림 2에 나타냈다.

표1. 채널별 SOE 입력

계 통	신호 전달	SOE 처리 채널	SOE 입력		
			소계	합계	예비
발전소 보호계통 (PPS)	-->	N1	56	112	22
	-->	N2	53		
	-->	N3	3		
공학적안전설비 작동계통 (ESFAS)	-->	N1	14	28	
	-->	N2	14		
원자로정지 차단기계통 (RTS)	-->	N1	4	8	
	-->	N2	4		
다중 보호 계통 (DPS)	-->	N2	3	8	
	-->	N3	5		
제어봉 구동장치 제어계통 (CEDMCS)	-->	N3	78	78	
보조설비계통 (BOP)	-->	N1	90	147	109
	-->	N2	44		
	-->	N3	13		

채널별 SOE 처리 수량			소계	예비	합계
	N1	164	381	131	512
	N2	118			
	N3	99			

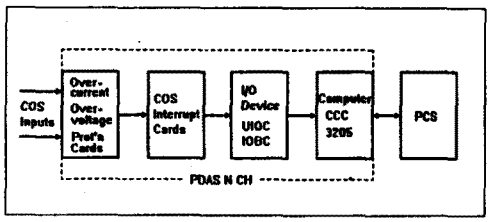

그림 2. SOE 계통의 하드웨어 구성

2.2 SOE 계통의 소프트웨어 구조

발전소 자료수집계통에서 SOE 처리를 위해 사용되는 소프트웨어는 그림 3과 같이 LINKPROC와 SOEPROC 타스크가 있고, 그외에 INSCAN, OUTSCAN 및 CONLINK가 있다. LINKPROC은 PDAS의 SOE 데이타 링크에 대한 모든 통신망을 관장하고, SOEPROC는 전반적인 SOE 를 처리하는 타스크로서 9개의 서브루틴으로 구성되어 있다. 5개의 타스크 사이에 소프트웨어적인 인터럽트 상호관계는 그림 4와 같다.

가. INSCAN

입출력 카드로부터 모든 입력신호를 읽어 들인다.

나. LINKPROC

LINKPROC는 발전소 자료수집계통과 발전소 컴퓨터계통간의 전체적인 통신을 처리하는 타스크로서 3개의 서브타스크로 구성되어 있다. LINKCPU1은 PDAS와 PCS CPU1과의 통신을 관장하고 LINKCPU2는 PDAS와 PCS CPU2를 관장한다. LINKICMS는 PDAS 안전 계통간의 데이터링크를 관장한다. 그리고 SOEPROC 타스크에서 오는 SOE 인터럽트에 대응하여 동작하는 기능을 갖고 있으며 SOE와 관련된 서브루틴은 LINKQ, LINKSCMD 및 LINKINIT가 있다.

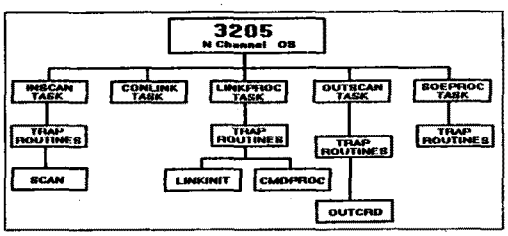

그림 3. 소프트웨어의 계층구조

다. SOEPROC

SOEPROC는 사고발생의 순서를 처리하는 타스크이다. 각 분야에서 발생하는 사고신호는 상태변환 감지카드의 입력버퍼를 ON-OFF 또는 OFF-ON으로 변환시킨다. 따라서, SOEPROC은 이들 상태변화가 처음 발생한 것을 기준으로 512개 발생하거나 또는 2분 동안 발생된 것을 처리하여 PCS에 보낸다. 만일 2분 이내에 512개의 SOE가 발생하면 SOEPROC은 그 512개 데이터가 저장된 첫번째 버퍼를 즉시 PCS 로 전송하고, 두번째 버퍼를 시작해 그 이후의 SOE를 기록한다. 즉 하나의 버퍼를 2중 버퍼로 사용한다.

라. CONLINK 및 OUTSCAN

CONLINK는 콘솔에 에러 메시지를 보내고 OUTSCAN은 출력카드를 통하여 외부 장치에 신호를 보낸다.

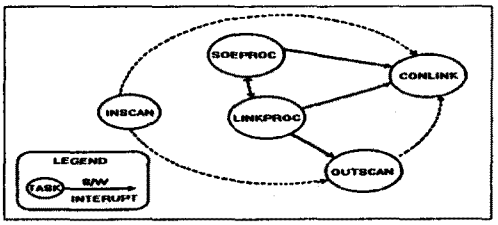

그림 4. 소프트웨어 제어흐름도

3. 제약사항 분석

3.1 데이타 충돌

aperiodic data link를 통해 SOE processor와 PCS 사이에 명령어를 주고 받을때 데이타의 충돌현상이 발생할 수 있다. 그림 5에 데이타의 충돌가능성에 대한 분석도를 나타냈다. 그림 5를 보면 N1 채널에서 SOE 신호가 발생하여 PCS에서 동기신호를 받고 N1 processor가 큰용량의 SOE 버퍼정보를 PCS로 송신하고 있는 동안에 N2 SOE processor가 버퍼정보를 송신하고 또다른 다른 SOE 신호가 발생하여 PCS에 동기신호를 요구하면 PCS는 각각의 SOE processor로 SYNC_SOE를 보낸다. 이때 N1에서 보내고 있는 SOE 버퍼신호와 PCS에서 나오는 SYNC_SOE 신호간에 충돌이 일어날 수 있다.

3.2 고장발생 및 데이타 순서상실

표 1에서 설명된 바와 같이 현장의 각계통에서 발생하는 SOE 신호가 N1, N2, N3에 분산 입력되어 3개 채널에 의한 고장확률이 높아지며, 어느 채널에 이상이 생길 경우 그 채널에 연결된 계통의 SOE 신호는 감지할 수 없다. 또한 이로 인하여 나머지 두 채널 신호에 대한 전체적인 사고추이도 혼란스럽거나 분석이 어려울 수 있다.

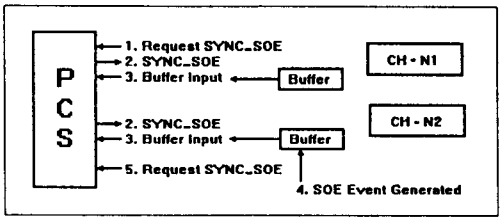

그림 5. 데이터 충돌현상 분석도

3.3 신호처리 분해능의 한계

SOE 신호를 감지하는 상태변환 인터럽트 카드는 1 MHz의 clock을 사용해 1 μsec의 처리속도를 갖고 있으므로 한 채널의 processor만 동작할 경우에는 충분히 4 msec. 이상의 SOE 정보를 처리할 수 있다. 그러나 현재 방식에서는 3개 채널에 대해 동기신호를 맞추어야 하고, 순서적으로 time-tagging을 하는데 걸리는 시간과, 신호처리를 위해 여러가지 입출력 카드를 거치는데 소요되는 시간 등으로 4 msec 이내에 SOE 정보를 처리 및 기록하는 것은 어렵다.

3.4 복잡성과 비능률성

SOE processor가 PDAS에 포함되어 있으며, PDAS에서 사용되는 여러가지 소프트웨어와 동시에 처리되고 또한 여러개의 입출력 카드를 거치서 처리되므로 그 처리과정이 복잡하여 오차발생 가능성이 높아진다. 또한 소프트웨어 구조가 모든 하드웨어 정보를 운영체제(OS/32)의 장치(device)에 정보를 저장하고 있는 방식이기 때문에 카드위치의 변경 등과 같이 자주 발생하는 수정 작업시 OS를 재생성하는 비능률성이 있다.

4. 개선안 분석

4.1 개선방안 검토

SOE 처리능력과 하드웨어 및 소프트웨어 구조를 개선하기 위한 SOE processor의 설치방법을 검토하면 다음과 같이 3가지 방법으로 그 특성이 요약된다.

가. 각 계통에 프로세서를 설치하는 방법
- 동기신호 문제가 여전히 존재한다.
- 각 계통은 4 msec 이내의 분해능을 만족시키야 하기 때문에 각 계통의 CPU에 큰 부담이 된다.
- 데이타의 충돌 가능성이 계속 존재한다.
- 안전계통에 대한 개별적인 격리가 필요하다.

나. 안전 또는 비안전 계통에 각각 processor를 설치하는 방법
- NPX80+에서 제시하고 있는 방법이며, 여전히 동기신호에 문제가 있다.
- 격리문제를 처리하기가 수월하다.
- 2개의 프로세서와 PCS 간에 데이타의 충돌 가능성이 존재한다.

다. 단일 processor를 설치하는 방법
- SOE의 처리과정이 단순화되므로 오차 발생률이 줄어든다.
- 동기신호가 자체 clock으로 해결되므로 time-tagging이 수월해지고 따라서 처리능력이 개선된다.
- 데이터 충돌이 발생하지 않고 PCS로 전송이 편리하다.
- processor 성능에 따라 분해능의 개선이 용이하다.
- 안전계통에 대한 격리가 필요하다.

4.2 검토결과

상기와 같이 개선방안을 검토한 결과 시간동기와 데이터 충돌 문제를 해결하고 처리능력을 향상시키기 위해서는 단일 processor를 사용해 독립적인 SOE 처리 시스템을 구성하는 것이 가장 좋은 방법이다. 단, 안전계통과 SOE processor 입력간의 격리문제가 고려되어야 한다. 그림 6에 단일 processor를 사용한 SOE 계통에 대한 구조를 제시하였다. 여기서 고려된 것은 processor의 고장을 대비해 다중 processor를 사용하는 방안이다.

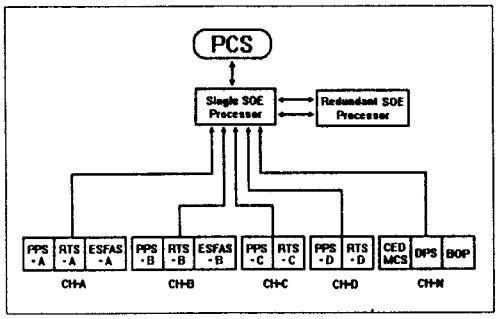

그림 6. 단일 processor를 사용한 SOE 계통구성

5. 결론

원자력발전소의 SOE 계통은 발전소 사고발생 이후에 그 사고의 원인과 사고추이를 분석하기 위하여 발전소 사고에 관련된 신호정보들의 발생시각을 감지하여 순서적으로 기록하는 계통이다. 본 논문에서는 한국표준형 원자력발전소의 SOE 계통에 대한 제약사항을 분석하여 이를 개선하기 위한 방안을 검토 및 최적의 방법을 제시하였다. 또한, 이 방법에 대한 하드웨어 및 소프트웨어 구현을 위한 하드웨어 구조를 제안하였으며, 이를 실증하기 위한 연구가 요구되고 있다. 본 논문에서 제시한 단일 processor 설치방안을 채택할 경우 제약사항을 최소화 시킬 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. "Technical Information for Distributed Digital Control System Specification of Yonghungdo Thermal Power Plant Unit 1 &2", KEPCO

2. Ben-Yaacov, et al, "Advanced Sequence of Event Monitoring Facility at the Connecticut Yankee Nuclear Power Plant", Proceedings of the Thirtieth Power Instrumentation Symposium, pp 63 - 69, 1987

3. Schwartzblat, et al, "Fault Tree/Event Sequence Methodology and Database Management Systems as a Tool for the safe Operation of Complex Systems", Proceedings of of the International Conference on Power Plant Simulation, pp 171 - 177, 1984

4. B.A. AmEnde, "Plant Data Acquisition System Design Specification for YGN 3&4", 1989

5. D.H. Kim, "Design Specification for the Plant Data Acquisition System for UCN 3&4, 1993

6. Y. Suh "Design Specification for the Plant Data Acquisition System for YGN 5&6, 1996