

## 화력 발전소의 기동 시퀀스 진행 모니터링을 위한 자료구조 개발

(Development of a Data Structure for Effective Monitoring of Power Plant Start-up Sequences)

이승철\* · 한승우 · 김승진

(Seung-Chul Lee · Seung-Woo Han · Seung-Jin Kim)

### 요 약

화력발전소를 기동하기 위해서는 수많은 기기조작들이 수동 및 자동으로 또한 순차적 및 병렬로 정확하게 진행되어야 한다. 따라서 발전소의 기동 중 긴박하게 이루어지는 수많은 기기 조작들이 모두 제대로 진행되고 있는지의 여부를 실시간으로 감시하는 일은 매우 복잡하고 긴장을 요하는 임무(task)이다. 본 논문에서는 화력 발전소의 기동시퀀스의 정상 진행 여부를 효과적으로 감시하기 위하여 Event Sequence Monitoring Graph(ESMG)라는 자료구조(Data Structure)를 제안하고 그 구현 기법에 대하여 논하고자 한다. 제안하된 ESGM는 용량 500MW 급의 국내 전형적인 표준형 화력발전소의 주 급수펌프 시스템의 기동 시퀀스의 진행 감시에 적용하기 위한 예를 들었으며 향후 유용하게 활용될 수 있는 가능성을 보였다.

### Abstract

Power plant start-up is a complicate process involving hundreds of operations that should be performed either automatically or manually. Several major operations should be proceeded in parallel and each major operation is again broken down into detailed operations that must be carried out in a strict sequence. Even though most of the operations are automated, still substantial portions of the operations are carried out manually and the operational status should be monitored by the crew members, which are quite stressful tasks to be performed in real time. In this paper, a data structure called an Event Sequence Monitoring Graph(ESMG) is proposed for monitoring a sequence of events involved in the power plant start-up process. The ESGM is currently being applied to a thermal power plant with a rated output of 500MW. An application example is shown with the boiler feed water pump system start-up process, which exhibits a good potential for future applications.

Key Words : ESGM(Event Sequence Monitoring Graph), Power Plant Monitoring, Start-up Sequence, Power Plant Operation

\* 주저자 : 중앙대학교 전자전기공학부 교수

Tel : 02-820-5325, Fax : 02-826-1103

E-mail : sclee@cau.ac.kr

접수일자 : 2009년 11월 18일

1차심사 : 2009년 11월 18일

심사완료 : 2009년 11월 27일

## 1. 서 론

화력발전소를 기동하기 위해서는 수많은 기기조작들이 수동 및 자동으로 또한 순차적 및 병렬로 정확하게 진행되어야 하며 각 기기의 조작도 조작 전에 만족되어야 할 선행 조건들이 모두 충족되었는지의 여부를 확인한 후에 수행하여야 한다. 주요 기기들의 경우는 인터록 로직(Interlock Logic)이 구성되어 기동전에 만족되어야 할 조건들이 모두 충족되어야만 기동이 가능하도록 하고 있으나 인터록 로직이 구성되어 있더라도 입력으로 사용되는 각종 리미트(limit) 스위치의 위치 조정 오차나 불량, 각종 센서들의 고장이나 센서값들의 오차, 제어 신호 회로의 고장 등이 발생할 경우에는 운전 담당자들이 판단하여 수동으로 조작하여야 하는 경우도 자주 발생하고 있다. 특히 발전소 기동이나 고장 발생 시와 같이 비교적 짧은 시간 동안에 수많은 상황변동이 일어날 경우 운전 담당자들의 스트레스가 가중된다 [1]. 화력발전소가 기동되어 운전을 하고 있는 동안 운전 상황을 감시하고 고장 진단을 하며 운전 담당자들을 지원하기 위한 연구[2-5]와 발전소를 최적의

성능으로 운전하기 위한 성능감시 기법들의 개발에 관한 연구[6-8]들이 이루어진 바 있고 발전소의 기동과 관련하여서는 신경망 이론과 유전 알고리즘을 적용한 전문가 시스템을 이용하여 기동 시간을 단축하여 경제적인 운영을 하기 위한 연구[9]가 수행된 바 있으나 발전소의 기동과 같이 긴박하게 진행되는 상황에서 각종 조작 시퀀스들이 정확하게 진행되는지의 여부를 감시하여 운전담당자들의 부담을 줄여주기 위한 기법의 개발은 아직까지 제대로 이루어지지 않고 있다. 본 논문에서는 화력발전소의 기동 과정에서 특정기기 조작이 누락되거나 필요한 선행조작들이 완료되지 않은 상태에서 진행되는 기기조작이 있을 경우 이를 즉시 발견하여 발전 엔지니어들에게 알려줌으로서 보다 큰 고장이나 사고로 진행되는 것을 방지하고 전체적인 운전진행 상황을 취합하여 발전엔지니어들에게 기동 시퀀스의 진행상황을 신속히 알려주기 위한 자료구조(Data Structure)로서 Event Sequence Monitoring Graph (ESMG)를 제안하고 그 구현 기법에 대하여 설명하고자 한다.

ESMG는 방향성을 가진 그래프(Directed Graph)로서 노드는 조작노드와 상태노드로 구분되며 노드

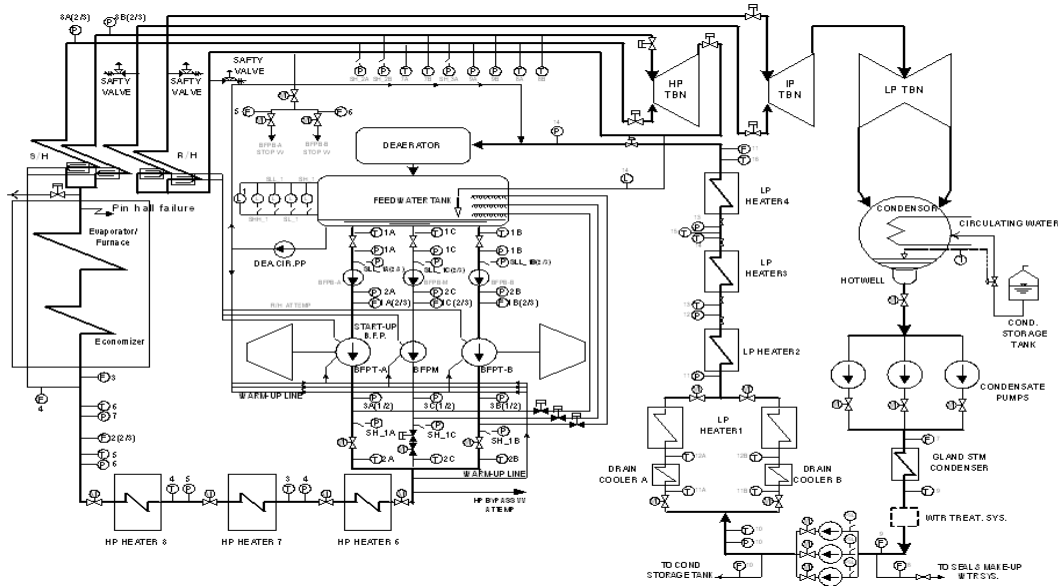


그림 1. 화력발전소의 급수 및 주증기 계통  
Fig. 1. Functional flow diagram of thermal power plant

를 연결하는 방향성을 가진 에지(edge), 즉 아크는 노드들 간의 선행 및 후속관계를 나타낸다. 즉 선행 노드에 해당하는 기기조작이 완료되거나 기기상태가 도달되어야만 비로써 후속노드에 해당하는 기기조작이 가능하거나 또는 기기상태에 이를 수 있다. 각 노드는 진행상태에 따라 진행상황을 나타내는 색상으로 채워지며 진행이 완료되면 노드전체가 완료 색상으로 바뀌게 된다. 본 연구에서 개발된 ESMG를 사용하여 그림 1에 보이는 용량 500MW 급의 전형적인 우리나라 표준 화력발전소의 주 급수펌프 시스템의 기동 시퀀스 진행 감시를 위한 ESMG를 구성하여 그 구현 예를 보였다.

## 2. ESMG의 구현

ESMG는 AND-OR 그래프 형태의 자료구조로서 노드(Node) 및 노드를 연결하는 아크(Arc)들의 세트와 노드의 진행값(Progress Value) 산정과 같은 그래프에 행해지는 조작(Operation)들로 구성된다.

ESMG는 발전소 전체의 조작시퀀스를 나타내는 Main-ESMG와 Main-ESMG를 구성하는 각 노드들 중 다시 상세한 조작시퀀스로 세분되어 행해져야 하는 노드에 해당하는 상세 시퀀스를 나타내는 부속 ESMG(Sub-ESMG)들로 구성된다. 따라서 ESMG는 전체적으로 계층구조를 갖는다. 그림 2에 ESMG의 구성 예를 보였다.

### 2.1 ESMG의 노드의 구현

ESMG의 노드는 다음과 같은 속성을 갖는다.

#### 2.1.1 노드의 종류(Kind)

ESMG는 다음과 같은 두 종류의 노드를 가진다.

- ① 상태노드(State Node) : 특정기기나 부속시스템(Subsystem)의 현재의 상태를 나타내며 그 자체로는 아무런 조작도 수반하지 않는 노드이다. 현재의 상태는 하나 또는 복수의 선행노드들에서 행해진 각종 기기조작들의 결과로 자연스럽게 도달된 상태이다.
- ② 조작노드(Operation Node) : 해당 단계에서 수

행해야할 기기나 부속시스템의 운전 조작을 수반하는 노드를 나타낸다. 자동이나 수동으로 조작신호나 명령을 내려 보내는 단계와 실제로 조작이 이루어진 것을 확인하는 단계로 이루어진다.

#### 2.1.2 노드의 명칭

노드가 나타내는 기기의 상태나 조작내용을 알 수 있는 간단한 이름을 사용한다. 모든 ESMG는 각각 하나의 시작노드(Start Node)와 종료노드(End Node)를 가지며 두 노드 모두 상태노드이다.

#### 2.1.3 노드의 복잡도(Complexity)

노드가 나타내는 상태나 기기조작들의 복잡도에 따라 다음과 같이 구별한다.

- ① 단순노드(Simple Node) : 단순한 한가지의 상태나 조작만을 나타낸다. ESMG의 표현에서 단순노드는 원을 사용하여 나타낸다.
- ② 복합노드(Compound Node) : 다수의 상태나 기기조작 시퀀스를 나타낸다. ESMG의 표현에서 복합노드는 직사각형으로 나타낸다. 복합노드는 다시 그에 해당하는 부속 ESMG(Sub-ESMG)를 갖는다. 조작노드는 단순한 조작만으로 끝날 경우에는 단순노드로 표시하고 조작의 결과로 이르게 되는 상태를 확인할 필요가 있을 경우에는 복합노드로 표시한다.

복합노드 중 특히 단순한 하나의 조작과 조작의 결과로 이르게 되는 상태를 나타내는 노드를 단순복합노드(Simple Compound Node)라 칭한다. 예를 들면 특정 밸브의 “open” 노드 중 “open 조작” 노드와 open 조작의 결과로 이루어 지는 밸브의 “open 상태”를 확인할 필요가 있을 경우에는 단순복합노드가 된다. 단순복합노드의 경우는 따로 부속 ESMG를 갖지 않는다.

#### 2.1.4 노드의 비중(Weight)

노드가 속한 ESMG내에서의 조작노드들의 비중을 나타내며 조작에 걸리는 시간과 해당 조작의 중요도를 감안하여 산정한다. 상태노드는 비중 값을 0으로 한다. 총 노드수가 n인 ESMG에 속하는 노드들

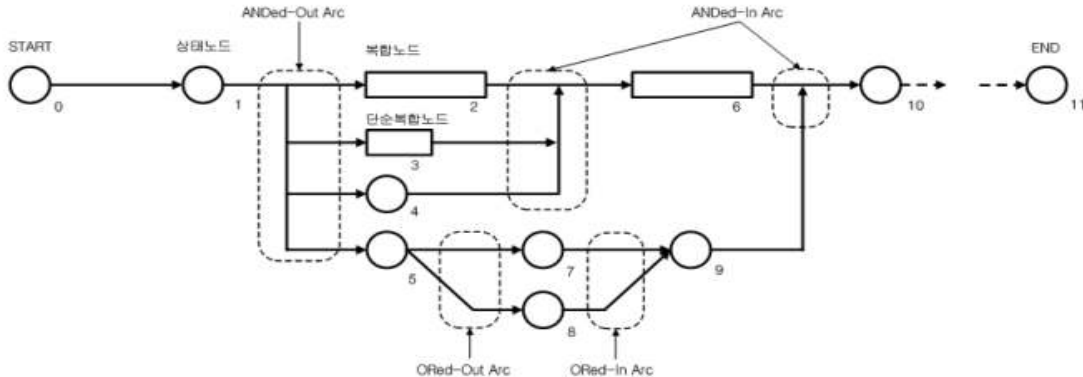


그림 2. ESMG의 노드 및 아크 표현  
Fig. 2. Representation of Node and Arc for ESMG

의 비중의 전체 합은 1.0이 되어야 한다. 즉  $\sum_{i=1}^n W_i = 1.0$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  이고,  $W_i$ 는 노드  $N_i$ 의 비중값을 나타낸다.

2.1.5 노드 및 ESMG의 진행값(Progress Value) 산정

각 노드는 로컬 진행값(Local Progress Value)과 전체 진행값(Global Progress Values)의 두가지 진행값을 갖는다.

- ① 로컬 진행값( $PL_i$ ) :  $PL_i$  노드 자체의 진행 상황을 나타내며  $0 \leq PL_i \leq 1.0$ 의 값을 갖는다.
- ② 전체 진행값( $PG_i$ ) :  $PG_i$  노드가 속한 ESMG 전체 진행값에 대한 기여값을 나타내며,  $PG_i = PL_i \times W_i$ 로부터 산정한다. 소속 ESMG 전체의 진행값은  $\sum_{i=1}^n PG_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  이 되고, 0 ~ 1.0의 사이의 값을 갖는다.

2.2 ESMG의 아크

ESMG에서 아크는 노드들간의 선행 및 후속 관계를 나타낸다. 따라서 모든 아크는 출발노드(Departing-Node)와 도착노드(Arriving-Node)를 가진다. 한 노드에 해당하는 조작이나 상태가 완료되면 여러 아크가 동시에 출발될 수 있고 또한 노드에는 여러 아크가 도착할 수 있다.

2.2.1 아크의 활성화

모든 아크는 자기의 출발노드가 나타내는 상태나 조작이 완료되면 활성화된다. 아크의 활성화는 해당 아크의 도착노드가 상태노드일 경우에는 노드가 나타내는 상태의 도달여부를 판단하거나 도착노드가 조작노드일 경우에는 노드에 해당하는 조작의 시작 가능 여부를 판단하는 근거가 된다.

2.2.2 아크 집합의 종류

특정노드로부터 출발하는 아크들과 특정노드에 도착하는 아크들은 출발과 도착 조건에 따라 다음과 같은 아크집합의 종류를 갖는다(그림 2 참조).

- ① ANDed-Out 아크 : 특정노드에서 출발하는 아크들 중 노드에 해당하는 상태나 기기조작이 완료되면 동시에 활성화되는 아크들의 집합이다.
- ② ORed-Out 아크 : 특정노드에 해당하는 기기 상태나 기기 조작이 완료되면 해당노드에서 출발될 수 있는 선택 가능한 경로들을 나타내는 아크들의 집합이며 실제 기동시퀀스가 진행되는 동안에는 이중 하나의 아크만이 실제 상황에 따라 선택되어 활성화 된다.
- ③ ANDed-In 아크 : 특정노드에 해당하는 기기 상태에 도달하거나 기기 조작이 시작되기 위해서 동시에 만족되어야 하는 선행조건 노드들로부터 출발하여 도착되는 아크들의 집합으로

화력 발전소의 기동 시퀀스 진행 모니터링을 위한 자료구조 개발

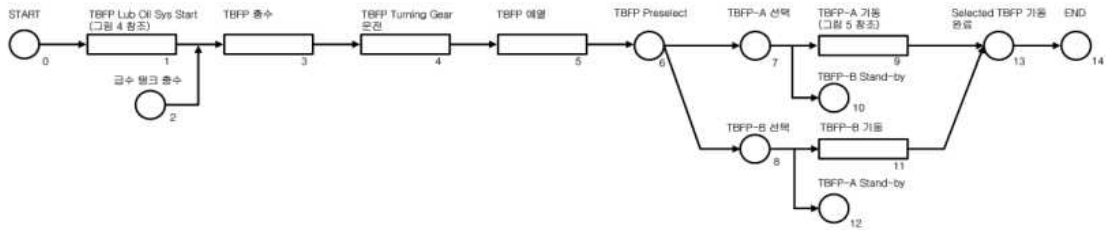


그림 3. TBFP 시스템 기동 ESGM  
Fig. 3. ESGM of TBFP System Start-up

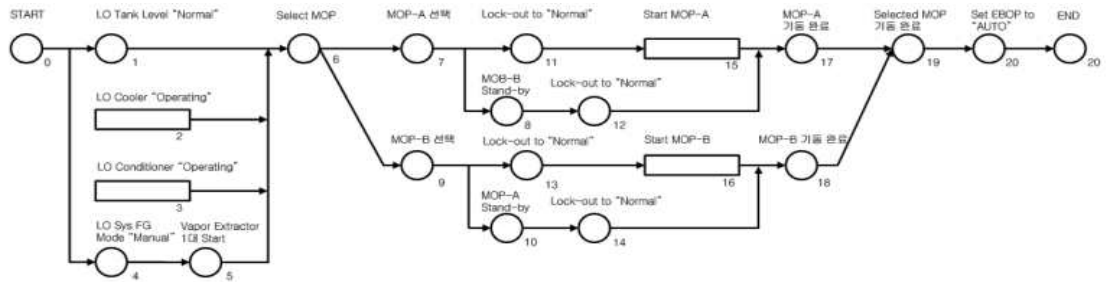


그림 4. TBFP 윤활유 계통 기동 ESGM  
Fig. 4. ESGM of TBFP Lub Oil System Start

서 집합내의 아크가 모두 활성화 되어야만 도착노드는 해당 기기 상태에 도달하거나 기기 조작을 시작할 수가 있다.

- ④ ORed-In 아크 : 특정노드에 해당하는 기기 상태에 도달되거나 기기 조작을 시작하기 위해서는 이중 최소한 하나는 만족되어야 할 도착 아크들의 집합으로서 어느 한 아크만 활성화 되면 도착노드가 나타내는 상태에 이르거나 기기 조작을 시작할 수 있다.

2.2.3 도착아크가 없는 노드

시작노드를 비롯하여 노드들 중 도착되는 아크가 없는 노드는 해당 ESGM의 상위 ESGM에서 선행된 조작들에 의해 이미 그 상태에 도달되어 있어야 하는 노드이거나 특별한 선행조건 없이 간단한 조작만으로 완료되는 노드를 의미한다.

2.2.4 출발아크가 없는 노드

종료노드를 비롯하여 출발하는 아크가 없는 노드는 해당 ESGM 내에서는 더 이상의 후속 조작이 필요 없고 상위 ESGM의 후속 복합노드들의 선행조건

으로도 요구되지 않는 노드들이며 단지 상위 ESGM의 후속 복합노드들의 하위 ESGM에서 도착되는 아크가 없는 상태노드들의 상태 조건을 만족시키는데 기여할 수 있는 노드이다

3. ESGM의 진행상태 표시

ESMG는 플랜트의 운전 엔지니어들에게 각종 기기 조작시퀀스가 정확하게 이루어지고 있는지의 여부를 신속하게 알려주기 위한 목적으로 구성하므로 노드간의 선행 및 후속관계와 노드의 현재 진행상황을 편리하게 나타낼 수 있어야 한다.

3.1 노드의 표현

3.1.1 노드의 표현 형태

모든 단순노드는 원으로 나타내고 모든 복합노드는 직사각형으로 나타낸다. 복합노드 중 하위 ESGM를 갖지 않는 단순 복합노드는 여타 복합노드의 1/2 길이의 직사각형으로 나타낸다. 그림 2의 노드 No. 1은 단순노드이고 노드 No. 2는 복합노드이

며 노드 No. 3은 단순 복합노드이다.

3.1.2 노드의 진행 상태의 종류 및 표시

각 노드에 해당하는 기기 조작이나 기기 상태가 진행된 정도는 다음과 같이 구분하여 표시한다.

- ① 미 시작상태(Prestart State) : 필요한 선행노드들이 모두 완료상태에 이르지 못하여 아직 시작이 안 되었거나 시작을 할 수 없는 상태에서 노드에 아무런 색도 채우지 않는다.
- ② 시작상태(Start State) : 필요한 선행노드들이 모두 완료되어 현 노드의 시작이 가능한 가능해진 상태로서 초록색을 부여하며 노드 사각형의 좌변을 초록색으로 굵게 표시한다.
- ③ 진행상태(Progressing State) : 현 노드가 나타내는 기기 조작이 현재 진행 중인 상태로서 적색을 부여하며 전체 직사각형의 면적 중 현 노드의 하위 부속 ESMG 내의 조작노드들 중 완료된 조작노드들의 비중을 합한 값 만큼에 비례하는 면적을 적색으로 채운다. 상태 노드

는 선행조건 노드들이 모두 완료되면 자동으로 완료되며 따라서 진행 상태 표시는 하지 않는다.

- ④ 완료상태(Completed State) : 현 노드가 나타내는 상태에 도달했거나 조작이 완료된 상태에서 청색을 부여하며 노드 전체를 청색으로 채운다. 상태노드는 미 시작상태와 완료상태만을 갖는다. 시작노드는 해당 ESMG에 해당하는 조작이 시작되면 완료상태가 되고 종료노드는 해당 ESMG에 해당하는 조작이 종료되면 완료상태가 된다.

3.1.3 예외 상태 노드의 표현

잘못 진행되거나 진행상태의 확인이 제대로 안 되는 노드들은 다음과 같이 표시한다.

- ① 선행조건이 모두 만족되지 못한 상태에서 진행이 확인된 노드 : 진행상태를 나타내는 적색으로 채워진 부분을 깜빡거리게 한다. 상위 ESMG에서는 현 진행 상태를 나타내는 색상으

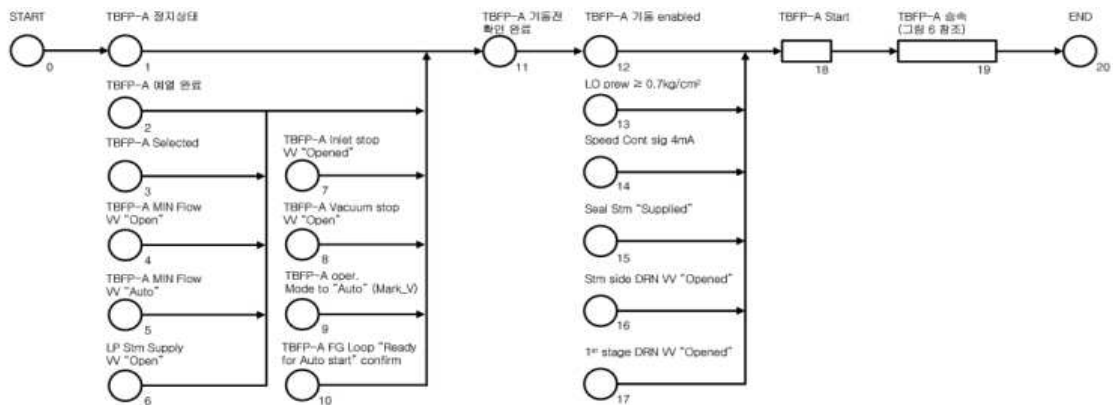


그림 5. TBFP-A 기동 ESMG  
Fig. 5. ESMG of TBFP-A Start-up

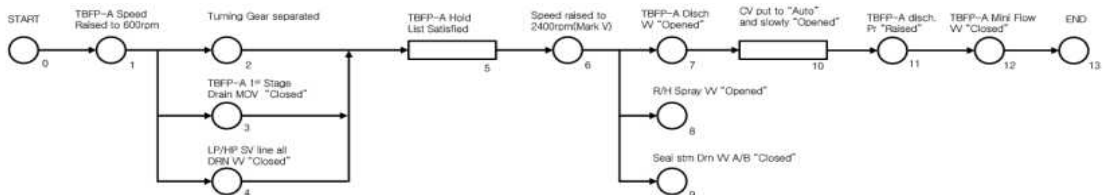


그림 6. TBFP-A 승속 ESMG  
Fig. 6. ESMG of TBFP-A

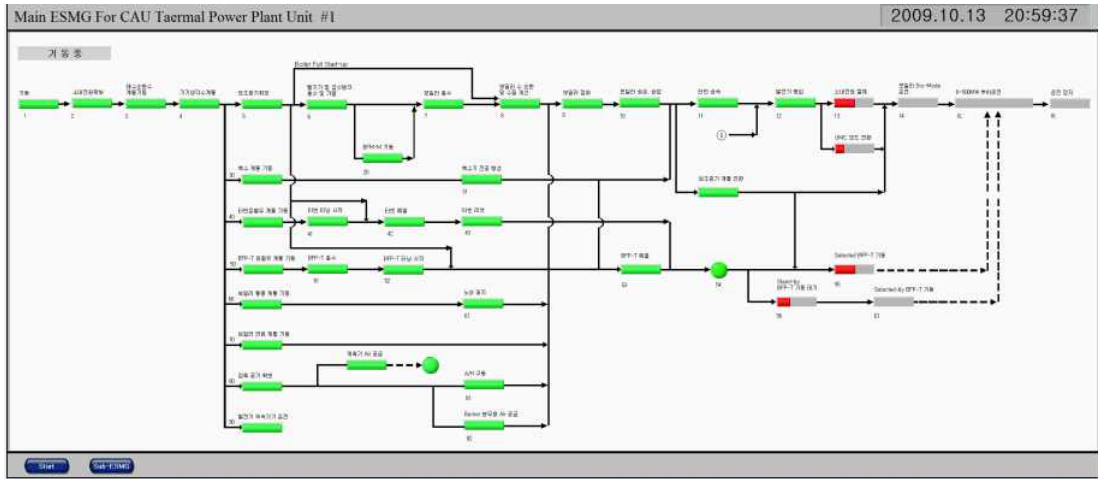


그림 7. T Termal Power Plant Unit #1 의 Main ESMG  
Fig. 7. Main ESMG For T Termal Power Plant Unit #1

- 로 그림 4로 채운부분이 깜빡거리도록 한다.
- ② 조작명령이나 신호를 발생시켰으나 실제조작이 일어나지 않은 상태의 노드 : 해당 노드의 1/2만 진행 상태로 채우고 깜빡거리도록 한다.
  - ③ 조작명령이나 신호를 발생시켰으나 실제조작여부가 확인이 되지 못하는 노드 : 조작명령이나 신호를 발생시켰으나 실제 기기가 조작되었는지를 확인할 수 없는 경우로서 해당노드의 1/2은 진행상태를 나타내는 적색으로 채우고 나머지는 연한 적색으로 채우며 이후 확인이 되는대로 노드 전체를 완료색상인 청색으로 채운다.

### 3.2 아크 집합의 표현

그래프 표시의 간편화를 위하여 각 아크의 집합은 다음과 같이 나타낸다.

- ① *ANDed-Out* 아크 : 첫 번째 출발 아크의 중간 임의의 점에서 분기하여 표시한다. 예를 들면 그림 2의 노드 No. 1에서 출발하는 아크의 집합이 *ANDed-Out* 아크이다.
- ② *ANDed-In* 아크 : 첫 번째 도착 아크의 중간 임의의 점에 연결하여 표시한다. 예를 들면 그림 2의 노드 No. 6에 도착하는 아크의 집합이 *ANDed-Out* 아크이다

- ③ *ORed-Out* 아크 : 출발노드에서 각각 출발하도록 표시한다. 예를 들면 그림 2의 노드 No. 5에서 출발하는 아크의 집합이 *ORed-Out* 아크이다.
- ④ *ORed-In* 아크 : 도착노드에 각각 따로 도착하도록 표시한다. 예를 들면 그림 2의 노드 No. 9에 도착하는 아크의 집합이 *ANDed-Out* 아크이다.

### 4. 적용 예

본 논문에서 제시한 기동시퀀스 진행 감시를 위한 자료구조로서의 ESMG를 그림 1에 보인 화력발전소의 급수 펌프 기동 시퀀스 감시에 적용하는 예를 보인다. 급수펌프 계통은 모터구동 펌프와 두 개의 터빈구동 펌프(Turbine-driven Boiler Feed-water Pump: TBFP)로 구성되어 있다. 발전소의 기동 시는 먼저 모터 구동 급수펌프를 사용하여 발전소의 출력을 120[MW]내외까지 증가시킨 후 증기를 이용한 두 대의 터빈 구동 펌프를 이용하여 정격 출력까지 증발시키게 된다. 기동 과정에서 터빈 구동 급수 펌프들의 기동 시퀀스 진행을 감시하기 위한 ESMG(ESMG Name: "TBFP 시스템 기동 ESMG")를 그림 3에 보였다. 여기서 "TBFP 시스템 기동 ESMG"는 발전소의 "Main ESMG"의 "TBFP 시스템 기동" 복합노드의 Sub5-ESMG이다.

#### 4.1 TBFP 시스템 기동 ESMG

TBFP System의 기동이 시작되면 “START” 노드(Node No. 0)는 그대로 완료상태로 되고 TBFP의 윤활유계통의 기동이 시작된다(Node No. 1 “Lub Oil Sys. Start”). 윤활유계통의 기동을 위해서는 다시 많은 기기 조작과 상태확인이 필요하므로 Node No. 1은 복합노드가 되고 따라서 Sub-ESMG인 “TBFP Lub Oil Sys Start ESMG”를 갖는다.

윤활유계통의 기동이 완료되고 급수탱크에 급수가 채워져 있으면(Node No. 2: “급수탱크 충수”) TBFP에 급수를 채우게 된다(Node No. 3: “TBFP 충수”).

TBFP 충수가 완료되면 TBFP를 start하기 전에 먼저 펌프전체의 온도를 균일하게 올려주기 위하여 Turning Gear를 사용하여 TBFP를 서서히 회전시켜 준다(Node No. 4: “TBFP Turning Gear 운전”).

TBFP를 서서히 회전시켜주면서 TBFP를 예열한다(Node No. 5: “TBFP 예열”).

TBFP의 예열이 끝나면 A와 B 두 펌프 중 어느 펌프를 먼저 start할 것인지 선택한다(Node No. 6: “TBFP Preselect”).

선택 결과에 따라 ORed-Out 아크가 Node No. 6로부터 출발된다. 이어서 선택된 펌프가 기동되고(Node No. 9: “TBFP-A 기동” 또는 Node No. 11: “TBFP-B 기동”) 다른 펌프는 기동대기 상태(Stand-by)로 된다(Node No. 10: “TBFP-B Stand-by” 또는 Node No. 12: “TBFP-A Stand-by”).

선택된 펌프가 기동 완료되면(Node No. 13: “Selected TBFP 기동 완료”) TBFP 시스템 기동 ESMG는 종료되고 상위의 “Main ESMG”의 “TBFP 시스템 기동” 복합노드는 완료색상인 청색으로 채워지게 된다.

#### 4.2 ESMG의 계층구조

4.1에서 설명한 “TBFP 시스템 기동 ESMG”는 “Main ESMG”의 “TBFP 시스템 기동” 복합노드를 나타내는 하위 ESMG이다. 마찬가지로 “TBFP 시스템 기동 ESMG”의 복합노드들은 각각 노드가 나타

내는 기기 조작을 완료하기 위해 필요한 상세 기기 조작과 상태 확인 시퀀스를 나타내는 하위 부속 ESMG들을 갖는다.

그림 3의 “TBFP 시스템 기동 ESMG”의 Node No. 1인 “TBFP Lub Oil Sys Start” 복합노드의 부속 ESMG인 “TBFP Lub Oil Sys Start ESMG”를 그림 4에 나타내었다(이하 노드의 상세 명칭의 표시는 해당 그림 참조). Main Oil Pump A 또는 B를 선택하여 기동하기 전에 4가지 선행 기기 조작이나 상태 확인이 필요하며(Node No. 1-4) Pump A 또는 B를 선택하여 기동함에 따라(Node No. 6과 10 또는 Node No. 8과 12) 선택되지 않은 펌프는 대기상태로 들어감을 알 수 있다(Node No. 7 또는 9). 선택된 Main Oil Pump의 기동이 완료되면 비상 베어링 윤활유 펌프를 “AUTO” 위치로 놓아 비상시에 자동으로 start되도록 세팅하면 “TBFP 시스템 기동 ESMG”가 종료되고 그림 3의 해당 “TBFP Lub Oil Sys Start” 복합노드 전체가 완료색상으로 바뀌게 된다.

다시 그림 3의 “TBFP 시스템 기동 ESMG”에서 TBFP-A가 선택된 경우를 가정하여 Node No. 9인 “TBFP-A 기동” 복합노드의 부속 ESMG인 “TBFP-A 기동 ESMG”를 그림 5에 나타내었다. 선택된 TBFP-A를 기동하기 전에 확인해야 할 상태나 간단한 조작들 10개 항목의 점검이 이루어져야 함을 나타내고 있다. 이들 항목 중 9개 항목(Node No. 2-10)은 TBFP-A 기동이 시작되기 이전의 기기조작에서 이미 이루어져 있어야 하거나 또는 “BFPT-A 기동 ESMG”의 시작노드와 특별히 후속 관계가 성립되어야 할 필요성이 없는 노드들로서 따로 선행노드가 없음을 알 수 있다.

TBFP-A의 기동이 enable된 후(Node No. 12) 추가로 5개 항목의 점검이 이루어지면(Node No. 13-17) TBFP-A의 기동 스위치를 눌러 TBFP-A를 start 시킨다(Node No. 18). TBFP-A는 주요 펌프로서 제대로 start된 상태로 되었는지의 여부를 반드시 확인하여야 하므로 Node No. 18은 단순복합노드가 되어 크기가 여타 일반 복합노드의 1/2크기로 표시되었다.

TBFP-A는 start되는 대로 정상 운전속도까지 승



화력 발전소의 기동 시퀀스 진행 모니터링을 위한 자료구조 개발

속시켜야 하며(Node No. 19), 이를 위하여는 다시 많은 기기 조작과 상태 확인이 필요하므로 Node No. 19은 복합노드로 표시되었다.

그림 6에 “TBFP-A 승속” 복합노드의 하위 부속 ESMG인 “BFPT-A 승속 ESMG”를 보였다. 다른 상위의 ESMG와는 달리 최 하위 ESMG로서 대부분의 기기 상태나 조작이 단순노드로 표현되었음을 알 수 있다. 그림 7에 최상위 Main ESMG의 실제 구현 화면을 보였다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 수많은 기기 조작과 상태의 확인이 순차적으로 이루어져야 하는 화력 발전소의 기동 시퀀스가 제대로 진행되는지를 편리하게 감시하고 이상 발생 시 운전 담당자에게 즉시 알릴 수 있는 자료 구조서의 ESMG를 개발하고 그 적용 예를 보였다. 제안한 ESMG는 현재 본 연구실에서 개발 중인 국내의 500MW급 화력발전소의 안정운전 지원을 위한 지능 시스템의 일부로서 기동 시 운전 엔지니어들의 신속 정확한 기동 시퀀스의 진행상황 파악을 지원하기 위한 목적으로 개발되었다. 향후 발전소는 물론 기동 절차가 복잡한 각종 대규모 플랜트의 경우에도 운전 중 실시간으로 입력받는 센서값들을 사용하여 ESMG의 각 노드에 해당하는 기기조작들이 선행과 후속 조건들을 만족하며 기동이 정상적으로 진행되어 가는지를 판별 할 수 있는 지능 운전 감시시스템의 구현에 요긴한 구성 요소로서 활용될 것을 기대한다.

본 논문은 한국서부발전(주)의 지원에 의하여 기초전력 연구원 주관으로 수행된 것임.

## References

- [1] Desaulniers, D.R, “Global Perspectives of Human Factors in Power Generation”, Human Factors and Power Plants, Proceedings of the 1997 IEEE Sixth Conference on 8-13 June 1997, pp.14/1-14/5.
- [2] Garduno-Ramirez, R, Ibarguengoytia, P.H, “On the development of industrial-grade intelligent supervisory systems for power plant operation”, Power Engineering

Society General Meeting, 2006.

- [3] Shing-Chiang Tan, Chee-Peng Lim, “Application of an Adaptive Neural Network With symbolic rule Extraction to fault Detection and diagnosis in a Power Generation Plant”, IEEE Transactions on Energy Conversion, VOL.19, NO.2, June pp.369 -377.
- [4] Seung-Chul Lee, Soon-Gyo Lee, “Power Plant Fault Monitoring and Diagnosis based on disturbance Interrelation Analysis Graph”, 전기학회논문지, 제 51D권 9호, pp.413-422, Sept, 2002.
- [5] 이승철, 박경배, “화력발전 플랜트의 신뢰도 산정기법에 관한 기초연구”, 대한전기학회 1999년도 추계학술대회 논문집 학회본부 A, pp.178-180, Nov. 1999.
- [6] Garduno-Ramirez, R, “Multiobjective optimal power plant operation through coordinate control with pressure set point scheduling”, Energy Conversion, IEEE Transaction on Volume 16, Issue 2, June,2001, pp.115-122.
- [7] Prasad G, Swidenbank E, Hogg B.W, “A novel performance monitoring strategy for economical thermal power plant operation”, Energy Conversion, IEEE Transaction on Volume 14, Issue 3, Sept. 1999 pp.802-809.

## ◇ 저자소개 ◇

### 이승철 (李承哲)

1946년 6월 16일생. 1969년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1974년 재무부 전매청 신탄진 연초제조창 전력 과장. 1980년 현대엔지니어링 기전사업부 차장. 1982년 미국 Univ. of Florida 전기공학과 석사. 1985년 동 대학원 박사. 1995년 미 테네시대 항공우주대학원 전기 및 컴퓨터 공학과 교수. 현재 중앙대 공대 전자전기 공학부 교수  
Tel : (02)820-5325  
Fax : (02)826-1103  
E-mail : sclee@cau.ac.kr

### 한승우 (韓勝宇)

1981년 9월 20일생. 2007년 강원대 제어계측공학과 졸업. 2009년 중앙대 공대 전자전기공학부 석사 과정 중.  
Tel : (02)826-2614  
Fax : (02)826-1103  
E-mail : hsw-7@hanmail.net

### 김승진 (金承鎭)

1982년 1월 3일생. 2008년 중앙대 전자전기공학부 졸업. 2009년 중앙대 공대 전자전기공학부 석사 과정 중.  
Tel : (02)826-2614  
Fax : (02)826-1103  
E-mail : seungjin.kim.cau@gmail.com