EMS NETWORK Topology 알고리즘에 대한 연구

유현정, 최영민, 김민배, 김광호, 박용조, 김성학
한국전력거래소

Analysis of EMS NETWORK Topology Algorithm

Hyun-Jung Yu, Young-min Choi, Min-bae Kim, Kwang-ho Kim, Yong-Jo Park, Sung-Hak Kim,
Korea Power Exchange

Abstract - 최근 들어 전력 계통은 점차 복잡해지고 계통의 규모 역시 빠른 속도로 성장하고 있다. 한국전력거래소는 전력계통의 안정적, 경제적 운영을 담당하고 있는 기관으로 '01년 현재의 에너지관리시스템(EMS)를 도입하여 실시간 전력계통에 대한 정확한 판단을 기반으로 전력계통의 안정성과 경제성 확보에 주력하고 있다. EMS의 대표적인 기능은 계통데이터의 수집(SCADA), 자동발전제어(AGC), 계통해석(NA) 등으로 대별되며, 이 중 계통해석 기능은 프로그램 규모면에서 가장 큰 부분을 차지하고 있다. 계통해석 기능은 또다시 상태추정(SE), 상정사고분석(CA), 안전도해석(SENH), 고장해석(SCT) 등의 프로그램으로 구성되어 다양한 실시간 계통해석을 수행하게 된다. 전력계통 해석은 먼저 대상계통을 수학적 모델로 정식화 하기 전에 계통망의 기하학적 구조를 기술하는 단계가 필요한데 이를 토폴로지 처리라고 하며, 보통 그래프이론인 노드(Node)와 마디(Branch)를 사용하여 전력계통망을 구성하는 요소들의 연결관계를 정의하게 된다. 본고는 이론적 수준을 넘어 EMS의 계통해석 기능에서 실계통을 해석하기 위해 쓰이고 있는 토폴로지 처리의 기본 알고리즘을 분석하여 국내 전력산업 기술 선진화에 기여하고자 한다.

1. 서 론

'03년 북미 대정전 사태는 비교적 작은 송전선로의 사고가 광역의 대정전으로 이어진 것으로 당시 송전선로 운영자의 감시가 원활이 이루어지지 않았던 것이 중요원인으로 밝혀져 있다. 즉, 광역계통의 감시를 위해 사용하는 상태추정이나 상정사고 등 EMS에서 전력계통 감시를 위한 응용프로그램이 제대로 동작하지 못했을 가능성이 큰 것이라 할 수 있다.

EMS의 계통해석 기능의 흐름은 발전기, 선로, 부하 등 여러 계통기기의 토폴로지(연결관계) 처리에서 시작한다. 토폴로지 정보를 처리한 이후 상태추정을 통해 계통의 수학적 모델을 작성하고 여러 상정사고를 고려하여 현재 전력계통의 안정성을 평가하는 일련의 과정을 거치게 된다. 토폴로지의 처리는 노드(Node) 또는 버스(Bus) 기반(Oriented)인지에 따라 구분할 수 있으며, PSS/E가 버스 기반의 대표적인 툴이라면 개별 차단기까지 처리해야 하는 EMS의 경우는 노드 기반의 툴로 대변된다. 노드기반의 툴은 실계통의 편단선로 운영 등 매우 세밀한 사항까지도 처리가 가능한 점 등에서 장점을 찾을 수 있으며, 버스 기반의 툴은 신속한 계통검토가 가능한 점을 장점으로 들 수 있다. EMS 토폴로지 처리의 핵심은 얼마나 잘 만들어진 자료구조로 어떤 알고리즘을 가지고 실시간으로 변경되는 계통의 연결관계를 처리하느냐를 핵심기술로 볼 수 있으며, 이에 본 고에서는 EMS에 구현된 노드기반의 토폴로지 처리기를 분석하여 여러 계통 해석기술에 기반이 될 수 있는 정보를 제공하고자 한다.

2. 본 론

2.1 네트워크 토폴로지 자료구조

EMS 네트워크 토폴로지를 설명하기 위해 토폴로지를 구성하는 주요 요소들을 분석하고, 각각의 요소들이 토폴로지 구성시 어떤 역할을 하는지 살펴보자.

2.1.1 Station(발변전소)

Station는 발전기, 변압기, 여타 기기를 포함하고 있는 발,변전소 모델링을 위해 사용한다. 각각의 Station에는 여러 전압레벨이 존재할 수 있으며, 현재 약 692개의 Station이 실계통에 존재하고 있다.

<표 1> Station의 속성

필드명	역할
ID	이름
KV	발변전소에 존재하는 전압레벨 링크

2.1.2 KV (Voltage Level/전압레벨)

KV는 Station의 하위구조로 발변전소가 갖는 전압레벨을 나타낸다.

<표 2> KV의 속성

필드명	역할
ID	전압레벨
ND	전압레벨에 속한 ND들 중 첫ND 링크
ST	전압레벨이 속해 있는 ST링크
BS	전압레벨에 속한 BS들 중 첫BS 링크

2.1.3 ND (Node/노드)

CB, LINE 등 계통의 여러 기기를 연결하는 네트워크 '접점'을 의미하며 모델링시 ID 등을 사전 정의한다.

<표 3> ND의 속성

필드명	역할
ID	이름
fchND	Foward Chain, 즉 다음 ND
CB2	ND가 접해있는 CB들 중 첫 CB 링크
BS	ND가 속한 BS 링크
UNPROC	ND가 Chain을 이루지 않음을 나타내는 Flag
primeBS	ND그룹의 PRIMARY BS 링크

2.1.4 CB (Circuit Breaker/차단기)

CB는 차단기를 표현하는 자료구조로 Open 또는 Close 두 가지 상태를 갖는다. 두 개의 Node 사이에 위치하여 실시간 계통요소들의 연결 관계를 나타낸다.

<표 4> CB의 속성

필드명	역할
ID	이름

ND1	연결된 한쪽 노드
ND2	연결된 다른 쪽 노드

2.1.5 CB2

ND를 중심으로 ND에 접한 CB의 연결관계를 나타내기 위해 ND와 연결되는 개별 CB를 구분하기 위해 CB 양단을 표현한 것이 CB2이며, CB2는 CB에 대한 링크를 갖고 있다.

<표 5> CB2의 속성

필드명	역할
ID	이름
CB	CB 객체와의 링크

2.1.6 BS

BS는 closed된 CB장치를 사이에 두고 상호 연결된 노드들의 집합이다. BS로부터 발전기에서 부하까지 전기적인 "경로"가 존재하는 경우 이를 "살아있는" 버스로 인식한다. ST, KV, ND, CB는 실재하는 물리적 개념을 자료구조화 해놓은 것인 반면, BS는 논리적 개념으로서 상기한 요소들간의 관계를 바탕으로 토폴로지 구성 알고리즘에 의해 동적으로 형성된다.

<표 6> BS의 속성

필드명	역할
ID	이름
bBS	BS Chain의 Backward
fBS	BS의 Chain의 Forward
KV	BS가 속한 KV 링크
ND	BS를 구성하는 ND들 중 첫 ND 링크
ISLAND	BS가 속한 ISLAND 링크

2.1.7 ISLAND

ISLAND는 계통에서 동일 주파수를 갖고, Reference Unit(Swing모선)을 가지고 있는 BS의 집합체를 나타낸다. ISLAND의 주요 필드는 아래와 같다.

<표 7> ISLAND의 속성

필드명	역할
ID	이름
refUN	Reference Unit 링크

2.2 네트워크 토폴로지 구성 알고리즘

Station, KV, ND, CB2 자료구조의 계층관계는 아래와 같으며, 이 구조를 바탕으로 토폴로지 구성 알고리즘을 통해 동적으로 BS와 ISLAND 관계를 결정한다.

<그림 1> ST, KV, ND, CB2의 계층적 구조

ST
└ KV
└ ND
└ CB2

2.2.1 토폴로지 기본 구조

<그림2>는 토폴로지를 구성하기 전에 초기화 되어 있는 ST, KV, ND 관계도를 나타낸다. 이들은 토폴로지 알고리즘과 상관없이 물리적인 장치를 모델링하는 과정에서 데이터를 결정된다.

<그림2> ST, KV, ND 관계도(예)

Station		
index	ID	KV
1	양주	1
2	보광	4

KV		
index	ID	ND
1	345	1
2	23	26

ND	
index	fchND
1	13
⋮	

3	서천	6
⋮		

3	66	66
4	154	75
5	6.6	137
⋮		

27	39
⋮	
75	78
⋮	

2.2.2 ND 체인 구성

ND 체인은 CB의 상태를 통해서 만들어진다. 한 CB는 여러 개의 노드에 연결되어 있으며, 한개 이상의 서로 다른 노드가 하나의 CB를 접할 수 있다. 예를 들어, 12번 노드가 속한 체인 구성시에 12번 노드의 다음 노드를 결정할 때, 그 노드의 CB를 확인, 그 CB의 양쪽에 달려있는 노드(12, 22) 를 확인하고, 그 노드들 중 자신이 아닌 노드가 바로 체인의 다음(forward)노드로 결정된다. 체인의 끝 노드가 시작노드가 될 때, <그림 4>과 같이 ND 체인구성이 완료된다

<표 8> ND체인 구성 알고리즘 Pseudo Code

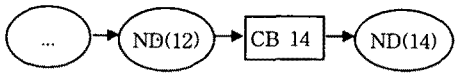
```
i = START_ND
LOOP WHILE (NOTDONE)
  LOOP k = ND(i).CB2, ND(i+1).CB2
    CB = CB2(k).CB
    IF CB is CLOSE THEN
      IF ND(i) == CB.ND1
        oppND = CB.ND2
      ELSE
        oppND = CB.ND1
      END IF
    END IF
    IF ND(oppND).UNPROC == TRUE then
      ND(oppND).fchND = ND(i).fchND
      ND(i).fchND = oppND
    END IF
  END LOOP
  i = ND(i).fchND
  IF i == START_ND then
    NOTDONE = FALSE
  END IF;
END LOOP;
```

<그림 3> ND 체인 구성 예시

ND			
index	ID	CB2	fchND
12	L4B	2	3

CB2	
index	CB
2	14

CB		
index	ND1	ND2
14	12	22



2.2.3 BS 체인 구성

구성이 완료된 ND 그룹은 토폴로지 알고리즘에 의해 하나의 BS 객체에 속하게 된다. ND그룹의 Primary BS가 아직 결정되지 않은 경우에는 해당 ND그룹의 BS를 Primary BS로 만들고 KV와의 연결을 만들어 주며, 그렇지 않은 경우에는 새로운 BS 객체를 만들어서 연결한다.

또한, 이 ND그룹이 속한 BS가 Legal BS인지 아닌지를 판단, 아닌 경우에는 OPEN BS로 판단하여 토폴로지 구성에서 제외시킨다. Legal(non-OPEN) BS로 확인되면, 이 ND 그룹을 비어있는 BS객체에 연결하여 KV와

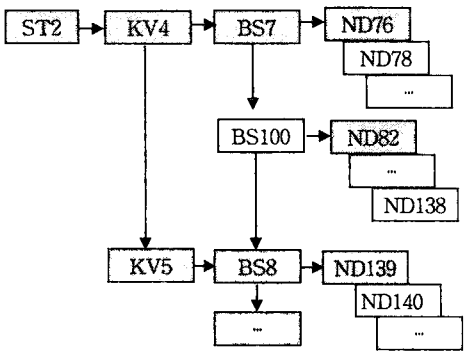
ND 사이에 삽입하고 이미 그 KV에 연결되어 있던 BS 들의 끝에 연결한다.

ND 그룹이 아래의 조건 중 하나라도 만족하면 Legal BUS로 분류한다.

1) ND그룹에 두개 이상의 Branch(선로, 변압기 등) 존재
2) ND그룹이 한개의 Branch와 두개 이상의 Shunt(발전기 또는 부하 등)존재
3) ND그룹이 발전기와 부하를 모두 포함하고 있는 경우

<그림 5>에서 BS7은 Primary BS이고, 'BS100'이 토폴로지 알고리즘에 의해 동적으로 생성·연결된 BS 객체이다.

<그림 5> ST, KV, BS, ND 구성 완성도



<표 9> BS 구성 알고리즘 Pseudo Code

```
LOOP i = 1, KV(END)
 startND = KV(i).ND
 toBS = KV(i+1).BS
 IF LEGAL_BUS > 0 THEN
   LOOP WHILE (NOTDONE)
     ND = START_ND
     IF (ND.BS is AVAIL OR CLOSED)
        ND = ND.FCH_ND
     END IF;
     IF (ND == START_ND)
        NOTDONE = FALSE
     END IF;
   END LOOP;
   BS.F_BS = TO_BS
   BS.B_BS = TO_BS.B_BS
   TO_BS.B_BS = BS
   BS.B_BS.F_BS = BS
   BS.KV= KV
 ELSE
   TP__OPENBUS(START_ND, KV, TO_B
S);
 END IF
END LOOP;
```

2.2.4 ISLAND 구성

BS 체인이 완성된 후에는 ISLAND를 구성한다. CB, LINE등의 장치를 사이에 두고 이웃해 있는 BS들을 모두 하나의 체인으로 만든 후, 이 체인이 Live ISLAND의 조건을 만족하는지 체크하여 조건에 맞으면 새로운 ISLAND로 분류한다. 반대로 Dead ISLAND 조건을 만족하면 그 ISLAND는 존재하지 않음, 즉 해당 BS체인의 ISLAND 인덱스가 0이 된다.

특정 BS체인이 Live ISLAND가 되려면 그 BS가 접한 장치들 중에서 발전기와 Shunt가 하나라도 존재하면 된다. Shunt에는 일반부하와 AUX(Auxilliary power loads), CP(Shunt Reactance)등이 있다. 현재 우리나라의 ISLAND는 두개(육지, 제주)만 존재한다.

Live ISLAND가 구성되면 이 ISLAND의 Reference Unit을 결정하는데, Unit의 상태가 Open이거나 이미 다른 ISLAND의 Reference Unit으로 셋팅되어 있지만 않으면 그 ISLAND의 Reference Unit으로 지정된다. 한 ISLAND 안에서 Reference Unit이 될 수 있는 UNIT들 간의 우선순위는 존재하지 않으며 Random하게 결정된다. 이 Reference Unit은 Slack 발전기로도 이용된다.

<표 10> ISLAND 구성 알고리즘 Pseudo Code

```
LOOP
 FIND(All Neighbors of BS);
 If Number of Unit > 0
       then UNIT = index of Unit
 If Number of Shunt >0 then
       then SHUNT= index of Shunt
 Make(Chain of BS);
 BS = Next BS;
 Continue until BS = First BS of this chain;
End Loop;
 IF Number of UNIT >0 and Number of
    SHUNT > 0 then
      Create(a Valid Island);
 END IF;
 IF Number of UNIT >0 then
   ISLAND.Reference_unit = UNIT;
 END IF;
```

3. 결 론

본 논문에서는 EMS 네트워크 토폴로지 데이터 구조 및 알고리즘을 분석하였다. 그 결과, 네트워크 토폴로지 알고리즘은 KV, ND, CB 간의 연결관계 및 상태 데이터를 바탕으로 동적으로 BS 및 ISLAND 체인을 구성하며 ISLAND의 Reference Unit을 Random하게 결정한다는 것을 알 수 있었다.

본 기초 연구를 토대로 향후 전력 네트워크 토폴로지를 구성하는 다양한 알고리즘들을 비교 연구함으로써, 우리나라 실시간 전력시스템 실정에 맞는 가장 최적화된 토폴로지 알고리즘을 도출해 내는데 기여하길 바란다.

[참 고 문 헌]