

## PSS/E의 IPLAN을 이용한 국내전력계통 자동 발전 배분 계산 프로그램 개발

송민준\*, 박철우\*, 방민재\*\*, 이백석\*\*, 윤부현\*\*, 안광원\*\*, 김세겸\*\*, 김재훈\*\*  
한국전력공사 전력연구원\*, 한국전력공사\*\*

### Development liked OPF success program by IPLAN Language of PSS/E

Song,I.J\*, Park,C.W\*, Bang,M.J\*\*, Lee,B.S\*\*, Youn,B.H\*\*, Kim,S.K\*\*, Kim,J.H\*\*  
KEPRI\*(Korea Electric Power Research Institute), KEPCO\*\*(Korea Electric Power Corporation)

**Abstract** - 전력계통을 계획, 운영, 검토, 해석하는데 있어서 가장 필요한 OPF(Optimal Power Flow)는 현재 다방면에서 새로운 알고리즘과 많은 수리적 방법을 통하여 접근하고 있다. 이들의 기반이 되는 조류계산은 많은 신뢰성들을 얻었지만, 현재 실무자 중심으로 구성되고 직접적으로 적절한 발전배분 상태를 계산하는 부분에서는 일부 한계성이 나타나고 있다. 이에 대해서 계속된 반복계산에 의한 최적의 계통 발전 배분상태에 근접한 값을 제시할 수 있는 프로그램을 PSS/E의 IPLAN을 통하여 개발하였다.

## 1. 서 론

한해의 계통을 미리 계획하고 운영하는데 있어서 수많은 계통에 대한 검토와 해석을 해야 한다. 또한, 전력경제 시장으로 접어들면서 그 양은 더욱 많아지고 있다. 하지만, 이러한 검토와 해석은 거의 수작업으로 진행되고 있기 때문에 그 양에 한계가 발생하게 된다. 이 한계를 줄일 수만 있다면 계통을 계획하고 운영하는데 있어서 발생하는 손실을 최소한으로 줄일 수 있게 된다.

이러한 한계를 줄이기 위하여 여러 가지 방법들이 개발되고 있으며 그중 가장 많이 접근하고 있는 방법이 OPF(Optimal Power Flow)와 반복조류계산법이며 많은 알고리즘과 이를 구현하고 있는 여러 가지 Tool 들이 존재하고 있다. 하지만 이런 방법들의 대다수는 사용법이 복잡하고 국내계통을 해석하는데 적합한 값을 제시해주지 못하고 있었다. 예를 들어 복합발전 BANK에 대해서 OPF는 각각을 독립된 발전기로 계산하기 때문에 복합발전기의 단독운전을 초래하게 되고 이는 전체 발전비용을 증가하는 원인으로 작용된다. 다른 예로 국내 계통의 구성 중 고장전류 등의 이유로 모선을 분리하여 운전하고 있는 지역이 많이 발생하고 있다. 이에 대한 상정 사고 해석을 하는데 있어서 모선분리를 하나의 루트 사고로 처리하여 해석할 수도 있어야 한다.

OPF를 개발하기 위해서는 기반환경부터 많은 투자, 시간, 기술, 노하우, 피드백 등이 필요하다. 하지만, 국내 계통에 적합한 OPF가 개발될 때까지는 실무자의 부담을 덜어줄만한 적합한 프로그램이 필요하다.

이러한 이유로 한국전력공사 주관, 전력연구원 수행기관에서 "송전계통 제약 운전량 산정기준 및 제약비용 부담주체 타당성 및 산정기법 개발" 과제진행 중 PSS/E<sup>1)</sup>를 이용한 반복조류계산법으로 제약성분을 포함하여 최적의 발전배분에 가까운 발전상태를 계산할 수 있도록 하는 IPLAN<sup>2)</sup>을 개발하여 본 논문에서 소개하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 계통 특성

국내 계통은 전체 부하의 약 40% 정도가 수도권에 밀집되어 있고, 기저발전을 하는 원전 및 화력 발전소들은 지리적 특성상 바닷가에 위치하여 원거리 송전을 하고 있다. 따라서 수도권으로 유입되는 전력의 공급이 불안정해 질 경우 전 계통에 문제가 발생하게 되므로 수도권 용통전력 선로제약은 무시할 수 없게 되었다. 또한, 수도권을 둘러싸고 있는 송전선로에서도 전력수급 및 전압안정도를 위하여 제약이 필요하다. 앞으로 전력경제 시장이 점차 커지면서 새로운 발전사업자 및 발전기들이 국내 계통에 참여하려 하고 있지만 발전소 입지들의 조건 때문에 일반적으로 부하밀집 지역인 수도권 인근이 아닌 원전, 화력발전소 인근으로 고단가 복합발전기들이 투입될 전망이다. 이 경우 현재보다도 더 큰 제약이 발생하면서 부하 중심지인 수도권을 포함한 전국의 제약이 증가되면서 혼잡이 더욱 커지게 되고 전체 발전 비용도 같이 증가하게 된다. 그러므로 계통을 미리 분석하고 해석하기 위하여 자동화된 발전배분 프로그램이 필히 필요하다.

### 2.2 발전 배분 상태와 발전 비용

발전 계획으로 정해진 양수발전기와 수력발전기의 출력을 제외한 저단가 원자력 발전기부터 투입하여 수급 및 전압안정도를 만족시킬 경우 그 계통의 최저 발전비용을 갖게 된다. 하지만 계통 운영 규칙상 항상 규정된 예비력 (G.F(Governor Free), AGC(Automatic Generator Control))이 확보되어야 하기 때문에 이보다는 발전비용이 증가하게 된다. 또한, 각 선로의 과부하, 수도권에 유입되는 용통전력 및 주요 선로의 단일 1회선, 단일 1루트 상정사고, 기준전압을 위한 무효전력 제어 등의 제약 성분 때문에 변경되는 발전 상태는 이보다도 더 큰 발전비용이 발생한다.

비 제약 상태에서 최적의 발전배분은 이론상 하나의 해가 존재할 수 있고, 제약 상태에서 최적의 발전배분은 하나 이상이 존재할 수 있다. 따라서 본 프로그램에서는 제약 상태에서 어느 하나의 계산 안을 제시하는 것이 아니라 존재할 수 있는 많은 해 집합 중에서 제약 성분을 만족하고 발전비용이 적으면서 전압안정도, 예비력을 만족할 수 있는 최적의 발전배분상태에 가까운 몇 개의 계산된 발전배분 안을 제시하고 있다. 단, 발전비용은 발전기 운전특성을 이용한 2차 곡선 값을 사용하지 않고 제시된 고정 상수값을 사용하여 계산함을 전제로 하였다.

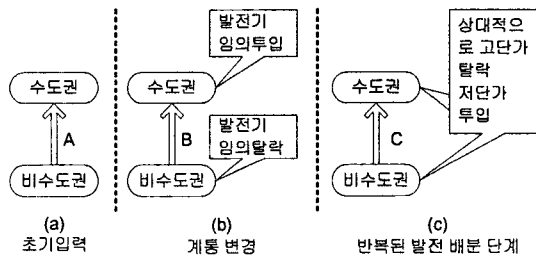
### 2.3 발전 배분 방법

초기 발전 상태를 가지는 임의의 계통에서 선로제약 및 수도권 유/무효 전력 확보를 위하여 임의로 수도권 발전기를 투입한 변경된 상태로 계산을 시작한다. 주어진 발전단가표를 이용하여 상대적으로 고단가와 저단가 발전기 및 BANK 단위 복합발전기를 1:1 또는 2:1로 투

1) PSS/E : Power System Simulator for Engineering

2) PSS/E에서 사용할 수 있는 내부 스크립트 언어

입/탈락을 교환하여 제약 상태를 만족하면서 현재 제외될 수 있는 발전기와 투입될 수 있는 발전기, 제약에 의해 투입, 유지되어야 할 발전기를 판단하면서 계속 전체 발전 비용을 최소화 하도록 반복 적인 조류계산을 하였다. 1:1, 2:1로 한정된 것은 그 외의 비율까지 고려하여 계산 할 경우 계산할 경우의 수가 기하급수적으로 늘어나게 되므로 최소한 고려해야 할 비율로 경우의 수를 줄여서 계산량을 줄이고자 하였다. 그러므로 초기 발전 상태의 조건에 따라서 계산되는 값이 서로 달라질 수 있다. 따라서 이러한 점을 감안하여 미리 계통을 해석하고자 하는 사용자가 임의의 발전기에 대하여 출력을 지정할 수 있도록 하였다.



[그림 1] 발전 배분 과정

위 [그림 1]에서 입력된 계통에 (b)처럼 용통전력 제약을 줄이기 위한 목적으로 수도권 발전기를 임의로 투입하고 비수도권 발전기를 임의로 탈락 시킨다(A>B). 변경된 상태에서 수도권내의 제약과 용통전력 제약을 만족하는 범위에서 상대적으로 고단가 발전기를 탈락시키고, 상대적으로 저단가 발전기를 투입하는 과정을 반복시킨다. 반복되는 과정에서 최소한으로 투입되어야 할 발전기가 남게 되면서 최적의 발전 배분 상태에 가까운 최소 운전비용 계통을 사용자에게 제공하게 된다(C>B). 단, 발전기 용량과 발전기 운전비용이 서로 다르기 때문에 최종 계산된 결과가 항상 전체 발전비용의 최소화는 아니다.

### 2.4 계통 제약

본 프로그램에서는 발전 배분을 하는 전 과정에서 사용자가 크게 세 가지 제약을 줄 수 있도록 하였다. 첫 번째로 전 지역의 유지전압을 제약할 수 있다. 즉, 발전 모선을 제외한 전 지역의 유지전압을 사용자가 제시하여 일부 국지 전압을 제외하고는 전 지역의 전압을 일정하게 유지할 수 있도록 하였다. 두 번째로 단일 상정사고 제약을 할 수 있도록 하였다. 1루트 1회선, 1루트 2회선, 1루트 다회선, 1루트 모선분리 회선을 사용자가 지정할 수 있도록 하여 상정사고에 만족하는 계산결과를 구할 수 있도록 하였다. 이것을 응용하면 사용자는 상정사고 비제약을 하여 그 계통의 최소 운전비용을 계산 할 수 있게 된다. 세 번째로 사용자의 발전기 선 제약이 있다. 임의의 발전기에 대하여 계산과정에서 투입금지, 임의의 고정출력 및 복합발전기의 단독운전 등을 미리 제시하여 계산할 수 있다. 이렇게 할 경우 임의의 발전기에 대하여 투입/비 투입에 대한 전체 발전비용을 손쉽게 계산할 수 있게 된다. 위와 같이 가장 기본적인 세 가지 제약을 계산과정에서 할 수 있도록 하여 본 프로그램의 응용범위를 무한하게 늘릴 수 있도록 하였다.

### 2.5 예비력 확보

예비력을 확보할 경우 F-V, P-V, Q-V 곡선 등을 이용하여 한계점에서 일정한 Margin을 확보하여 예비력을 주는 것이 일반적이다. 이렇게 계산할 경우 예비력은 확실하게 확보되지만 정확하게 각각의 발전기가 분담해야 할 예비력을 계산할 수 없다. 정해진 예비용량에 대하여

일정한 규칙에 의하여 예비력을 확보한다면, 각각의 발전기가 분담해야 할 예비력이 명확해 질 수 있고 전체 발전 비용 또한 명확하게 제시되어 보다 낮은 전체 발전 비용을 계산할 수 있다. 본 프로그램에서는 G.F와 AGC를 운전 중인 고단가 발전기부터 차례대로 확보 가능한 용량까지 자동으로 계산할 수 있도록 하였다.

계산 방법은 다음의 간략식과 같이 적용하였다.

$$G.F: (\text{확보할 용량})(MW) \geq \sum_x [G(\max)_x \times 0.05]$$

st 1 - n : 운전되고 있는 최대- 최소 발전비용 발전기 복합 발전기 경우 한 BANK 단위 계산

$G_x$  : 발전기의 현재 출력

$G.F_x$  : 발전기의 G.F 용량

$G(\max)_x, G(\min)_x$  : 발전기의 최대 최소 유효 용량

즉, 현재 운전 중인 발전기 중에서 최대 발전비용을 갖는 발전기부터 가능한 많은 예비력을 갖게 하여 전체 발전 비용을 가능한 최소화 하였다.

다음의 [표 1]은 하나의 예이다. 전체 발전기는 10기이나 복합발전 BANK를 하나의 단위로 하여 7기로 가상 구성하였다. 발전비용은  $G_1, G_2, \dots, G_7$  순서로, 상대적인 비용은  $G_1, G_2 \gg G_6, G_7$  으로 가정한다.

[표 1] 예비력 확보 예

	최대 용량	최소 용량	확보 가능한 G.F	확보할 G.F 50	확보 가능한 AGC	확보할 AGC 70	현재 출력
$G_7$	500	450	25	-	150	-	500
$G_6$	400	300	20	-	100	-	400
$G_5$	300	250	15	5.5	44.5	-	294.5
$G_4$	200	180	10	10	10	9.5	180.5
$G_3$	200	180	10	10	10	10	180
$G_2$	150	125	7.5	7.5	17.5	17.5	125
	75	60	3.75	3.75	11.25	11.25	60
$G_1$	125	100	6.25	6.25	18.75	18.75	100
	70	65	3.5	3.5	1.5	1.5	65
합	2,090	1,665	104.5	50	365	70	1,970

모든 계산과정은 전 지역의 유지전압을 만족시키도록 전압안정도를 유지하기 때문에 무효전력의 예비력을 계산하지는 못하지만 잠재적은 무효전력의 최소한의 예비력이 계산과정에서 남게 된다. [그림 1]과 같이 상대적으로 고단가 발전기를 탈락하면서 최소한의 발전기가 남게 되고 위의 [표 1]과같이 유효전력의 예비력을 계산하게 되면 수도권 용통전력의 F-V, 각 지역의 P-V의 한계점에 가까운 값으로 계통의 발전배분을 할 수 있게 된다. 따라서 계산이 완료된 계통은 거의 한계점에 가까운 발전 상태를 갖게 되고 또한 전체 발전비용도 최소화 할 수 있다.

### 3. 비제약과 제약 상태 실계통 적용 결과

다음의 [표 2]는 2009년도 90% 계통에서 모의한 임의

의 결과이다. 상정사고를 고려하지 않은 비계약 상태의 계산결과와 용통전력선로 상정사고 제약에 대하여 분당 복합발전기 하나의 BANK를 최소운전으로 고려할 경우와 미운전을 고려할 경우에 대하여 비교한 임의의 결과이다. 제시된 결과는 특정 상태에 대한 계산 결과 이므로 절대적으로 항시 다음과 같은 결과를 얻는 것이 아니라 다음처럼 비교할 수 있음을 제시하는 것이다.

[표 2] 2009년 90% 계통 비교의 예

	용통전력 (MW)	발전비용 (천원/H)	G.F (MW)	AGC (MW)
상정사고 비계약발전	13,257.65	880,997.6	500	725
분당복합 미운전	12,488.08	900,568.3	500	616
상정 제약 발전	13,035.46	902,053.1	500	724

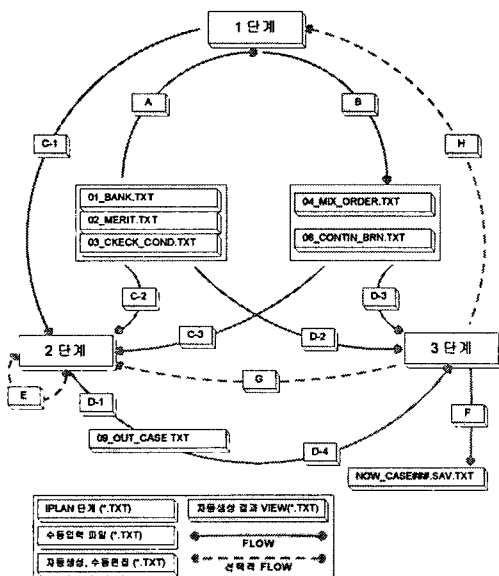
\* G.F와 AGC는 각각 입력된 용량(500MW) 이상을 확보하도록 계산함.

\* G.F의 경우 일정하게 계산할 수 있지만 AGC의 경우 전체 발전용량을 유지하기 위하여 일정한 용량으로 고정시킬 수 없음.

위의 [표 2]와 같이 첫 번째로 상정사고 비계약을 계산하여 계통의 최대 용통전력과 최소 발전비용을 계산할 수 있다. 두 번째로 상정제약만을 고려하여 계통의 운전 가능한 최소 한계를 계산할 수 있고, 세 번째로 임의의 발전기-분당복합-의 출력을 제약하여 계산하여 발전기의 투입에 따른 비용을 비교할 수 있다. 이 경우는 분당복합을 최소운전으로 고정하였을 경우 비용이 약간 증가되는 것으로 나왔지만, 이것은 경우에 따라 서로 다르게 나타날 수 있다.

#### 4. 프로그램 구성 및 순서도

다음의 [그림 2]는 프로그램에 필요한 입력 파일과 순서도를 나타낸 것이다. 현재 프로그램은 3단계로 분리시켰고, 첫 번째 단계는 입력된 계통의 기본 재구성 및 계산 환경 구성, 두 번째 단계는 반복 조류계산에 의한



[그림 2] 프로그램에 필요한 파일 및 구동 Flow Chart

발전 배분 계산, 마지막 단계는 G.F와 AGC의 예비력 확보단계이다.

[표 3] Flow 설명

순서	설명
A	기본 수동편집 파일을 작성 후 IPLAN 1단계 수행
B	1단계 수행 후 자동 생성되는 데이터의 사용자 수정
C	1 IPLAN 2단계 수행
	2 기본데이터 로딩
	3 자동생성 데이터 로딩
D	1 IPLAN 3단계 수행
	2 기본데이터 로딩
	3 자동생성 데이터 로딩
	4 발전배분 계산과정 생성
E	2단계 수행 중 옵션 및 사용자에 의한 반복 재실행
F	3단계 수행 후 계산된 계통 데이터 최종확인
G	3단계 수행 후 다른 결과를 검토하기 위해 옵션수정 후 2단계 재실행
H	3단계 수행 후 다른 결과를 검토하기 위해 옵션수정 후 1단계부터 재실행

[표 4] 입력 및 자동 생성/수동 조작 파일 설명

입력 파일	설 명
01_BANK.TXT	복합 발전기 BANK 구성
02_MERIT.TXT	각 발전기의 발전비용
03_CHECK_COND.TXT	용통전력 선로와 프로그램 옵션
04_MIX_ORDER.TXT	통합된 발전 비용표
06_CONTIN_BRN.TXT	상정사고 선로 목록

#### 5. 결 론

본 프로그램은 “송전계통 제약 운전량 산정기준 및 제약비용 부담주체 타당성 및 산정기법 개발” 과제 수행 중 국내 계통의 제약 운전량을 계산하기 위한 목적으로 시작하였다. 제약 운전량을 계산하는데 있어서 국내 계통의 발전배분을 자동적으로 계산할 수 있는 프로그램의 부재와 수많은 계통해석을 수작업으로 해야 하는 부담이 증가 하게 되면서 보다 편리한 방법으로 쉽게 접근할 수 있는 PSS/E의 IPLAN을 이용하여 반복적인 접근 방법으로 계통의 발전배분을 쉽게 계산할 수 있도록 프로그램 하였다.

하지만 계속되는 반복 계산법을 사용하여 최소 부하계통의 해석에 10분정도, 최대 부하계통의 경우 최대 1시간 정도 계산시간이 소요된다. 또한, 일반적인 계통이 아닌 특정 계통에 대하여 일부 계산하지 못하는 경우가 발생하고 있다. 따라서 향후 국내 계통을 연구하는 관심 있는 사람들의 조언 및 경험을 바탕으로 보다 나은, 보다 빠른 프로그램으로 수정하고자 한다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] “송전계통 제약 운전량 산정 기준 및 제약비용 부담주체 타당성 및 산정기법 개발” 최종 보고서, 전력연구원
- [2] 전력시장운영규칙 세부운영기준
- [2] “데이터 구조론”