

뉴턴법에 의한 최적전력 조류계산

황 갑 주
울산대학교 전기공학과

Optimal Power Flow Study by The Newton's Method

Kab-Ju Hwang
The University of Ulsan

Abstract - Optimal Power Flow (OPF) solution by the Newton's method provides a reliable and robust method to classical OPF problems. The major challenge in algorithm development is to identify the binding inequalities efficiently. This paper propose a simple strategy to identify the binding set. From the mechanism of penalty shifting with soft penalty in trial iteration, a active binding set is identified automatically. This paper also suggests a technique to solve the linear system whose coefficients are presented by the matrix. This implementation is highly efficient for sparsity programming. Case study for 3,5,14,118,190 bus and practical KEPCO 306 bus system are performed as well.

1. 서 론

전력계통 분야에서 꼭 필요하면서도 아직껏 실용화되지 못하고 있는 과제로 최적전력 조류계산(Optimal Power Flow; OPF)의 산법을 들 수 있다.

그동안 발표되어온 대부분의 산법들은 실계통 적용시 제어 및 제약변수의 규모가 커짐에 따라 여러가지 문제가 야기된다. 특히 목적함수와 제약조건을 한꺼번에 고려하여 비선형 계획법으로 풀때의 문제점으로 계산시간, 기억용량 과 수렴성등을 들 수 있다. [1]

일찌기 뉴턴 조류계산법을 제안한 바 있는 Tinney 등은 EPRI의 지원을 받아 실계통 적용을 위한 새로운 산법을 제안하고 소위 "The Newton's OPF" 라고 명명하였다. [2-3]

이 산법의 착상은 매 반복시 Lagrange 함수의 2차 근사화한 모든 미지수를 스퍼스 행렬기법에 의해 한 묶어

풀어 내자는 것이었다. 이러한 시도는 그동안 OPF산법의 공통적인 문제점으로 지적되어 온 계산시간과 기억량을 획기적으로 개선하였다. Sun등은 이 산법을 실계통의 무효전력 배분에 적용하였고 [4], Kwok은 샘플계통에서 뉴턴 OPF의 제반 특성을 규명하고 부하모형을 도입하였다. [5]

뉴턴 OPF는 실계통 적용시 종래의 산법에 비해 이론적으로 우수한 것이 밝혀졌지만, 부등제약 세트를 식별하는 것(Binding Set Strategy)이 문제가 된다. Sun은 제어기기를 제약세트에 추가(Enforce) 또는 해제(Release)시킬 인덱스를 사용하는 기법을 제안하였다. [4] 그러나 매 반복과정마다 적절한 인덱스를 정하는 것이 쉽지 않다. 본 연구에서는 부등제약을 고려하기 위해 페널티 함수를 부과하는 과정에서 일어나는 물리적인 현상인 속이동의 빈위로 부터 Active제약 세트를 정하는 새로운 방안을 제안한다. 이 방법은 Sun의 인덱스 기법에 비해 간단할 뿐만 아니라, 매 반복시 적절한 인덱스의 값을 모의해야 하는 어려움을 피할 수 있다. 또한 뉴턴 OPF를 상용 패키지로 개발하기 위한 효과적인 행렬식 처리 방안도 제안한다. 이 산법을 3, 5, IEEE-14 모선의 샘플계통과 IEEE-118, TPC-190 및 우리나라 308모선 계통에서 그 효율성도 검토하였다.

2. 문제의 설정

OPF 문제는 곧 일반적인 비선형 최적화 문제에서 설정된다.

$$\text{최소화 } f(u, x) \quad (1)$$

$$\text{제약 } g(u, x) = 0 \quad (2)$$

$$h(u, x) \geq 0 \quad (3)$$

식 (1)은 목적함수로는 총 발전비용 등이 도입되며, 식 (2)는 조류계산의 수급평형 제약이다. 식 (3)에는 다양한 제어기와 중속변수가 포함되는데 본 연구에서

쓰이는 식 (3)의 제어기로는

- 유효전력 PG_i
- 무효전력 QG_i
- 변압기 탭 t_{ij}
- 이상변압기 탭 ϕ_{ij}

그리고 종속변수인

- 모선전압의 크기 V_i
- 모선전압의 위상각 θ_i

가 포함된다. 식 (2)에서 선로 i, j의 조류는

$$P_{ij} = [(V_i/t_{ij})^2 - (V_i/t_{ij})V_j \cos(\theta_i - \theta_j - \phi_{ij})]g_{ij} + [(V_i/t_{ij})V_j \sin(\theta_i - \theta_j - \phi_{ij})]b_{ij} \quad (4)$$

$$Q_{ij} = [(V_i/t_{ij})^2 - (V_i/t_{ij})V_j \cos(\theta_i - \theta_j - \phi_{ij})]b_{ij} - [(V_i/t_{ij})V_j \sin(\theta_i - \theta_j - \phi_{ij})]g_{ij} - V_i^2 Y_{sij} \quad (5)$$

OPF의 해과정에서 모선의 편차방정식 모두가 Active 제약세트에 속하지는 않는다. 일례로 발전기의 무효출력은 그 값이 상·하한 제약에 걸릴때만 Active하다.

각 발전기의 연료비 특성

$$f_i = a_i + b_i PG_i + c_i PG_i^2 \quad (6)$$

의 합을 목적함수 F 로 나타내면, 등 제약식 (2)를 고려한 OPF문제의 Lagrange 함수는 다음과 같이 된다.

$$L = F - \sum_i \lambda_{pi} \Delta P_i - \sum_i \lambda_{qi} \Delta Q_i \quad (7)$$

뉴턴법에 의한 Lagrangian 최적화 행렬식은

$$\begin{bmatrix} H(y, L) & -J^T(y) \\ -J(y) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta y \\ \Delta \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -g(y) \\ -g(\lambda) \end{bmatrix} \quad (8)$$

또는 간단히

$$W \Delta z = -g \quad (9)$$

로 표현된다. 프로그래밍과 행렬의 분해를 쉽게하기 위해 행렬 W는 모선 어드미턴스와 같은 스퍼스한 구조로 배열시키는데, 그림 1의 샘플계통에서

$$y^T = [P_1, P_2, \phi_{45}, t_{24}, t_{35}, V_1, \theta_2, V_2, \theta_3, V_3, \theta_4, V_4, \theta_5, V_5] \quad (10)$$

로 들때 식 (9)는 그림 2와 같은 구조를 갖는다.

3. 행렬식 처리 기법

그림 2에서 굵은 선으로 포괄된 W_{xx}의 분해과정시, 포괄선 바깥부분의 행렬을 따로 처리하므로써 해과정의 프로그래밍과 계산효율을 높일 수 있다. 행렬식 (9)를 구조적으로

$$\begin{bmatrix} W_{uu} & W_{ux} \\ W_{ux}^T & W_{xx} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta u \\ \Delta x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -g_u \\ -g_x \end{bmatrix} \quad (11)$$

나타내어 다음의 두 행렬식을 이용하여 해를 구할 수 있다.

$$W_{uu} \Delta u + W_{ux} \Delta x = -g_u \quad (12)$$

$$W_{ux} \Delta u + W_{xx} \Delta x = -g_x \quad (13)$$

식 (12)에서 Δu 는

$$\Delta u = W_{uu}^{-1} [-g_u - W_{ux} \Delta x] \quad (14)$$

이 식을 식 (13)에 대입하면

$$[W_{xx} - W_{ux}^T W_{uu}^{-1} W_{ux}] \Delta x = -[g_x - W_{ux}^T W_{uu}^{-1} g_u] \quad (15)$$

또는

$$W_{xx} \cdot \Delta x = -g_{x'} \quad (16)$$

단

$$W_{xx}' = W_{xx} - W_{ux}^T W_{uu}^{-1} W_{ux} \quad (17)$$

$$g_{x'} = g_x - W_{ux}^T W_{uu}^{-1} g_u \quad (18)$$

이러한 기법은 부행렬인 W_{uu}, W_{ux}, W_{ux}^T의 분해가 포괄선 내의 부행렬 W_{xx}의 비영요소에만 영향을 줄 뿐이라는 데 착안하였다. 계산과정은 분해과정에서 포괄선 바깥부분의 부행렬인 W_{uu}, W_{ux}, W_{ux}^T를 따로 처리하므로써 프로그래밍의 용이는 물론이거니와 모선 최적배열시 전체적인 스퍼스티를 그대로 유지할 수 있다. 계산과정은 식 (15)에서 U의 변수를 먼저 소거한 다음 W_{xx}'의 요소들 처리한다. W_{xx}'를 U^TDU의 형으로 삼각화한 다음 전진소거, 후진대입의 과정으로 Δx를 구한 후 식 (14)에 의해 Δu를 구해 낸다.

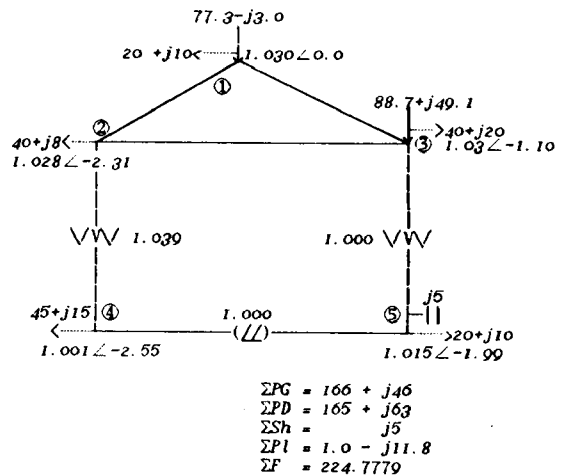


그림 1. 5모선 샘플계통과 조류계산 결과

W					Δz				
	1	2	3	4	5				
C1						ΔP1	-δL/δP1		
C2						ΔP2	-δL/δP2		
H						ΔQ45	-δL/δQ45		
H						ΔQ24	-δL/δQ24		
H						ΔQ35	-δL/δQ35		
1	H H J J	H H J J	H H J J	H H J J	H H J J	ΔS1	-δL/δS1	*	
	H J J H	H H J J	H H J J	H H J J	H H J J	ΔV1	-δL/δV1	*	
	O J J O	O J J O	O J J O	O J J O	O J J O	ΔλP1	-δL/δλP1	*	
	O J J O	O J J O	O J J O	O J J O	O J J O	ΔλQ1	-δL/δλQ1	*	
2		H H J J	H H J J	H H J J	H H J J	ΔS2	-δL/δS2		
		H J J H	H H J J	H H J J	H H J J	ΔV2	-δL/δV2		
		O J J O	O J J O	O J J O	O J J O	ΔλP2	-δL/δλP2		
		O J J O	O J J O	O J J O	O J J O	ΔλQ2	-δL/δλQ2		
3			H H J J	O O O O	H H J J	ΔS3	-δL/δS3		
			H J J O	O O O O	H H J J	ΔV3	-δL/δV3		
			O O O O	O O O O	O J J O	ΔλP3	-δL/δλP3	*	
			O O O O	O O O O	O J J O	ΔλQ3	-δL/δλQ3	*	
4				H H J J	H H J J	ΔS4	-δL/δS4		
				H J J H	H H J J	ΔV4	-δL/δV4		
				O O J J	O O J J	ΔλP4	-δL/δλP4		
				O J J O	O J J O	ΔλQ4	-δL/δλQ4		
5					H H J J	ΔS5	-δL/δS5		
					H J J H	ΔV5	-δL/δV5		
					O O	ΔλP5	-δL/δλP5		
					O	ΔλQ5	-δL/δλQ5		

그림 2. 행렬식의 스퍼스 구조

4. 제약변수의 처리기법

식 (7)의 Lagrange 함수를 최적화 해가는 반복과정 중에 어떤 부등제약 변수값은 그 제한치(상·하한)에 고정시켜야 하는데, 이들 변수의 집합을 Active제약 세트라고 한다. 따라서 올바른 Active제약 세트를 식별해 내는 것이 매우 중요하다.

또 식 (8)의 반복과정에서 얻어진 해가 최소인지 아닌지를 검증하기 위해서는 식 (9)의 W(zⁿ)행렬이 Positive Definite가 되어야 한다. 그러나 대규모 계통에서 이러한 직접적인 검증은 상당한 계산시간을 요하기 때문에 다음과 같은 간접적인 검증을 이용한다.

i) 상·하한을 침해하지 않는 모든변수(Free Variable)의 Gradient가 0 일것.

ii) Active제약 세트의 변수는 다음의 Lagrange 미정계수의 부호검증을 만족할 것;

$$y_i = y \text{ 일때 } \lambda_i^n < 0$$

$$y_i = y \text{ 일때 } \lambda_i^n > 0.$$

이러한 검증의 아이디어는 곧 부등제약 변수를 Active 세트에 포함시킬(Enforce) 것인지 또는 제외시킬(Release) 것인지를 결정하는 지표로도 쓰인다.

뉴턴 OPF에서 변수나 함수의 부등제약은 식 (7)에다 2차형 페널티 함수를 부과하는 간접적인 기법을 도입한다. 이렇게 변형된 Lagrange 함수는

$$L^* = L + \sum \mu H \tag{19}$$

로 표현할 수 있다. H 에는 u와 x의 부등제약 변수가 포함되며 μ가 이들 부등제약의 Lagrange 미정계수이다.

일레로 n 반복과정에서 변수 y_i의 현재값 y_iⁿ이 상한제약 y_i를 침해하면 다음 반복의 W Δz = -g 계산시에는

$$\Delta y_i^{n+1} = y_i^k - y_i \tag{20}$$

만큼 수정(y_i를 상한치로 고정)할 필요가 있다. 이것은 원래의 함수 L에 2차형 페널티 함수

$$P_{yi} = 0.5 S_i (y_i - y_i)^2 \tag{21}$$

을 더함으로써 이루어진다. 첫 식에서 S_i는 페널티 가중계수이다. L에 페널티 함수 P_{yi}를 더함으로써 g와 W의 δL/δy_i, δ²L/δy_i²에도 페널티함수의 미분치를 더해 주어야 한다. 표 1에 이들 페널티와 이에 따른 W와 g의 수정분을 요약하였다. 이때 W는 분해되어 있는 상태이므로 페널티의 부과로 W를 다시 분해하기 위해 부분행렬 분해법^[6]등을 이용한다.

그림 2에서 맨 오른쪽에 *로 표시한 변수는 초기에 고정되는 변수를 표시한 것이다. 즉, 기준보선의 위상각을 고정(Δθ₁=0)시키며, λ_{q1}과 λ_{q2}도 Q_{G1}과 Q_{G3}가 상·하한을 벗어나지 않는 한 λ_{q1}=λ_{q2}=0으로 고정시켜야 한다. 이를 위해서는 W의 대각항에 큰 수치(1*10²⁰ 정도)의 페널티(Hard Penalty)를 부과하는 기법을 쓴다.

식 (21)에서 페널티 가중계수 S_i를 정하는 것이 또한 문제가 된다. 상·하한에 정확하게 도달시키기 위해서는 S_i의 값이 클수록 좋으나, 큰 S_i는 수치계산에 문제를 주게 될 뿐만 아니라 Active 세트를 식별하는데 장애가 된다. 이런 문제를 해결하기 위하여 그림 3과 같이 적은 S_i를 사용하는 반면, 변수의 값이 제한치에 정확하게 도달될 때 까지 페널티 함수의 축을 이동해 가는 방법을 사용한다. 축이동 페널티 함수는

$$P_{yi} = 0.5 S_i (y_i - y_i + d_i)^2 \tag{21}$$

로 표현된다. 페널티함수의 축이동은 Gradient 벡터의 값에 영향을 주지만 W 행렬에는 변화가 없다. 본 연구에서 제안하는 Active제약 세트의 아이디어가 바로 축이동 페널티 함수를 부과하는 과정에서 얻어지는 이동

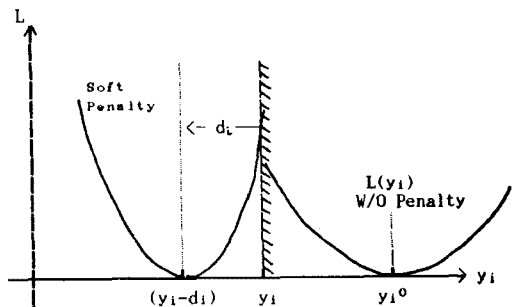


그림 3. 축이동 페널티 함수

변위의 크기를 이용하는데 있다. 즉 Active 제약 세트를 결정하는 반복단계에서 축이동 성분의 변위가 달라지게 되는데, 이 변위로 부터 Active 제약이 될 변수를 자동적으로 탐색해 낼 수 있다. 예를 들어, 식 (9)에 의해 구해진 전압이 모두 상한치를 넘었다고 하면 페널티 함수는 이들전압을 상한치에 묶이도록 작용할 것이다. 그러나 S_i 의 값이 크지 않기 때문에 축이동이 일어날 것이며, 전압은 그 상한치에 가깝게 접근할 것이다. 이러한 반복(Trial Iteration)의 진행에 따라 상한치의 접근이 어려운(상한치를 침범할 우려가 큰) 전압은 남겨 되는데, 이 전압을 갖는 변수가 자동적으로 Active 제약 세트로 식별된다.

그림 4은 뉴턴 OPF의 개략적인 흐름을 나타낸 것이다.

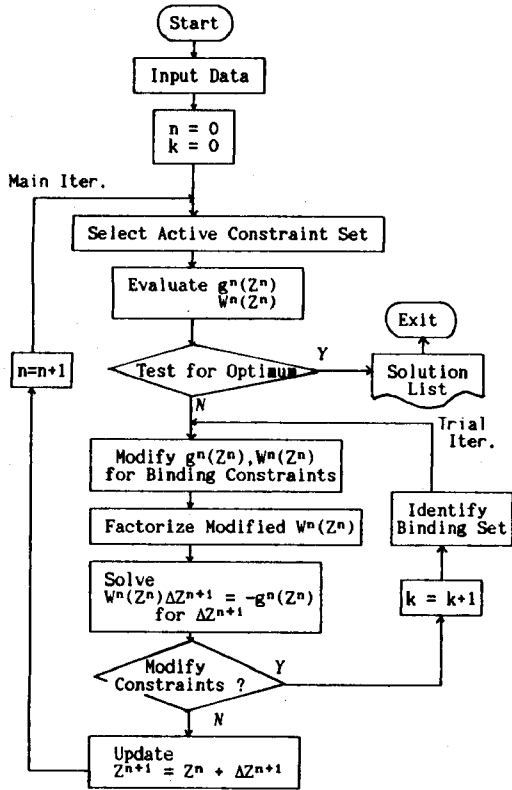


그림 4. 뉴턴 OPF의 흐름도

5. 사례검토

우선 그림 1의 5모선 계통을 사례로 OPF의 결과를 살펴 보기위해 발전기의 연료비 특성을

$$F_1 = 5.0 + 40.0 P_1 + 120.0 P_1^2$$

$$F_3 = 4.0 + 30.0 P_3 + 110.0 P_3^2$$

로 두고, 5번 모선의 부하모형을

$$P_{b5} = P_{b5} V_5^{1.1}$$

$$Q_{b5} = Q_{b5} V_5^{1.1}$$

로 가정하여

- 1) 조류계산을 위하여 종래의 등증분비법에 의해 유효전력을 배분 (표 2)

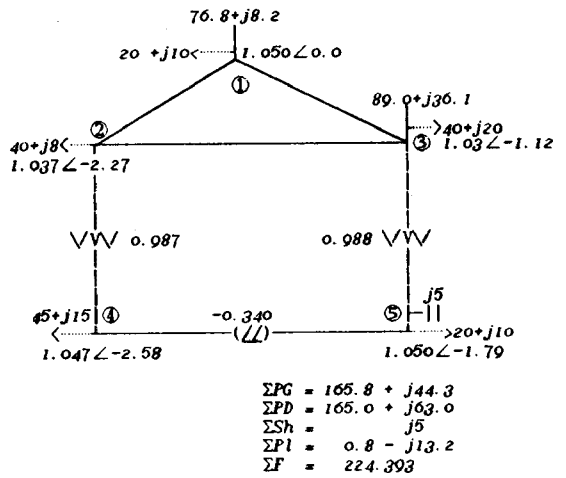


그림 5. 최적전력 조류계산 결과

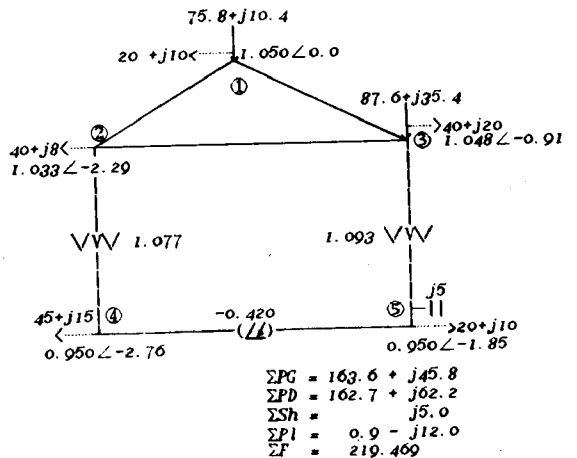


그림 6. 부하모형을 고려한 OPF 결과

- 2) 배분된 유효전력으로 조류계산 (그림 1)
- 3) 최적전력 조류계산(그림 5)
- 4) 부하모형을 고려한 최적전력 조류계산의 결과(그림 6)를 보았다.

조류계산 후의 총 발전비용이 유효전력 배분의 경우에 비해 약간 증가하는 이유는 손실이 고려(ΣP가 증가)되기 때문이다. OPF의 결과가 (조류계산+유효전력 배분)의 경우에 비해 경제적인 것은 이론적으로 당연한 귀결이다. 부하모형을 고려했을 때와 그렇지 않았을 때의 결과가 흥미로운데, 부하모선의 전압이 상한치(1.05)에서 하한치(0.95)로 바뀌게 된다. 그 이유는 부하모형이 목적함수를 최소화하기 위해 부하를 줄이려는(전압을 낮춤으로서) 의도로 풀이되는데, 이러한 결과는 전압을 올려 손실을 줄이려는 시도와는 반대되는 결과이다.

표 2 - 4는 제한한 페널티 기법에 의해 때 반복시 제약집합을 식별해 가는 과정과 수렴특성을 나타낸 것이다.

KEPCO-306 모선계통은 우리나라 1987년도 하계의 기저부하수준(11,000MW), 306모선, 521선로, 제어 발전기 37대, 제어 변압기 30대, 306개의 모든 모선전압을 감시하는 것으로 한 경우이다.

그림 7은 TPC 설계용에서 에너지 관리시스템(Energy Management System)의 급전상태(유효전력 배분 + 조류계산)를 OPF에 의해 손실 최소화를 했을 경우에 기대되는 일간 손실감소율 곡선을 그린 것이다.

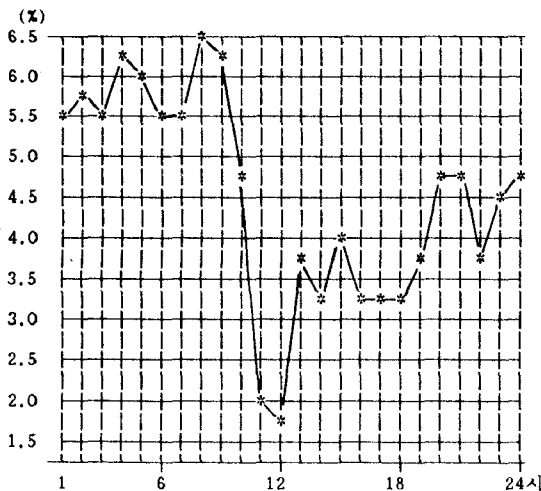


그림 7. TPC-190 모선 계통의 손실감소율

표 2. 경제성의 검토

Method	P1	P2	ΣP	f1 + f3	Remarks
ED	77.12	88.68	165.8	224.3275	
ED + SLF	77.30	88.70	166.0	224.7781	
OPF1	76.80	89.00	165.80	224.3930	W/O Load Model
OPF2	75.80	87.80	163.60	219.4090	With Load Model

표 3. 5모선 샘플계통의 수렴과정

Main Itr.	Try Itr.	Bind Lmts	Tot Cost	Maximum			
				ΔP	ΔQ	Δθ	ΔV
1	1	0	222.536	0.0004	0.0121	0.0442	0.0070
2	1	0	224.518	0.0114	0.8005	0.0069	0.0639
3	3	4	224.561	0.0691	1.1900	0.0050	0.0768
4	1	3	224.366	0.0035	1.2598	0.0006	0.0037
5	3	3	224.377	0.0965	0.1758	0.0041	0.0969
6	1	2	224.084	0.0000	0.0199	0.0005	0.0030
7	1	2	224.393	0.0000	0.0280	0.0001	0.0000
8	1	2	224.393	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000

표 4. IEEE-118 계통의 수렴과정

Main Itr.	Try Itr.	Bind Lmts	Tot Cost	Maximum			
				ΔP	ΔQ	Δθ	ΔV
1	2	0	1059475	0.0359	3.7376	0.3923	0.0707
2	8	10	1074915	0.0137	988.5401	0.0977	0.0866
3	21	25	1070481	0.0009	56.3322	0.0931	0.0251
4	2	25	1071189	0.0002	33.5471	0.0163	0.0019
5	2	25	1071213	0.0000	0.3728	0.0001	0.0000
6	2	25	1071213	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	2	25	1071213	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

표 5. KEPCO-306 모선 계통의 수렴과정

Main Itr.	Try Itr.	Bind Lmts	Tot Cost	Maximum			
				ΔP	ΔQ	Δθ	ΔV
1	2	0	2159548	0.2645	42.8232	0.7576	0.2800
2	19	29	2701189	0.0128	201.6274	223.1292	0.3416
3	19	34	2658520	0.3374	178.5262	55.5291	0.3374
4	3	33	2707238	0.0001	3.8833	0.0181	0.0161
5	2	33	2707454	0.0000	0.0866	0.0000	0.0007
6	2	33	2707454	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	12	33	2707454	0.0000	0.0000	0.0000	0.0500
8	2	34	2707454	0.0000	0.0000	0.0000	0.0061
9	2	34	2707454	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	2	34	2707454	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

표 2. 페널티 기법의 요약

Categories	Variables	Ex.	Constraints	Selective Monitoring			Penalties		Modification	
				Select	Active	Deactive	Enforce	Release	Gradients	Hessians
Unconditional Active Set	Slack Bus Angle	$\Delta\theta_i$	Constant (=0)							$\delta^2 L / \delta y_i^2$ = $\delta^2 L / \delta y_i^2 + S_{swr}$ for Swing
	PF Mismatch Eq. for Scheduled P, Q	ΔP_i ΔQ_i	0							
	PF Mismatch Eq. for Controllable P	ΔP_i ΔP_i	$P_i(y) - \bar{P}_i$							
Conditional Active Set	Active Power Generation	P_i P_i	$\bar{P}_i \leq P_i \leq \bar{P}_i$	$\mu_i = -S_i(y_i - \bar{P}_i)$ for $\mu_i < 0$	$d_i = y_i - \bar{P}_i $ if $d_i \geq ET_i$	if $\mu_i > RT_i$	$L' = L + 0.5S_i(y_i - \bar{P}_i)^2$ or $L' = L + 0.5S_i[y_i - (\bar{P}_i - d_i)]^2$	$L = L^0$	$\delta L / \delta y_i$ = $\delta L / \delta y_i + S_{swr} \cdot (y_i - \bar{P}_i)$	$\delta^2 L / \delta y_i^2$ = $\delta^2 L / \delta y_i^2 + S_{swr}$
	Phase Shift Angle	θ_{ij}	$\theta_{ij} \leq \theta_{ij} \leq \bar{\theta}_{ij}$	$\mu_i = -S_i(\bar{P}_i - y_i)$ for $\mu_i > 0$		or				
	Xformer Tap Ratio	t_{ij} t_{ij}	$\bar{t}_{ij} \leq t_{ij} \leq \bar{t}_{ij}$	then Active else Deactive	or	or				
	Bus Voltage	V_i V_i	$\bar{V}_i \leq V_i \leq \bar{V}_i$		$y_i - \bar{P}_i > a$	$\mu_i > \delta u_i$				
Functional Active Set	Reactive Power Generation	$Q_i(y)$ $Q_i(y)$	$\bar{Q}_i \leq Q_i(y) \leq \bar{Q}_i$	$\mu_i = -S_i(y_i - \bar{Q}_i)$ Same as Above			$L' = L + \lambda_{q_i}(Q_i(y) - \bar{Q}_i)$	$L = L^0 + 0.5S_i \lambda_{q_i}^2$	$\delta L / \delta \lambda_{q_i} = \delta L / \delta Q_i + S_{swr} \lambda_{q_i}$	$\delta^2 L / \delta \lambda_{q_i}^2$ = $\delta^2 L / \delta Q_i^2 + S_{swr}$

6. 결론

당초 본 연구는 전력계통의 최적화를 위한 상용 소프트웨어 패키지를 개발하는 과정에서 이루어졌다. 개발된 패키지는 조류계산(제어기가 없을 경우), 유효전력 배분(발전기 출력만을 제어기로 고려), 무효전력 배분(무효전력원만을 제어기로 고려) 등 이용자의 요구에 따라 유연성이 있는 해를 얻을 수 있다. 목적함수가 총 발전비용으로 되어 있으나 슬랙 발전기의 유효출력만을 제어기로 둔다면 송전손실을 최소화하는 해를 주게 된다.

뉴턴 OPF는 산법 자체가 실제용 적용에 유리한 특성들을 가지고 있다. 즉 지금까지 알려진 대부분의 OPF문제물 풀 수 있으며, 계산시간은 계통의 크기에 비례하며 부등제약의 갯수에 영향을 크게 받지 않는다. 스퍼스 프로그래밍에 의한 행렬의 처리로 계산량은 물론 기억량도 크게 줄일 수 있어서 사례의 118모선까지는 퍼스널 컴퓨터에서 실행시킨 결과이다.

그러나 OPF를 당장 실제용에서 조류계산 처럼 쉽게 활용하는 데는 아직도 많은 문제가 남아있다. 예로 제어기의 동작을 적게 하면서도 최적해를 얻는 방법, 제어량의 이산화, 해가 나올 수 없는 문제의 처리, 정확한 Active 제약세트를 신속하게 식별하는 방법 등을 들 수 있다.

본 산법을 그대로 On-line 으로 사용하기에는 아직 미흡하지만, Off-line 레벨에서 실제용의 운용이나 계획에 관련한 최적해를 구하는데 크게 기여할 것으로 사료된다.

7. 참고문헌

1. J. Carpentier, "Towards a Secure and Optimal Automatic Operation of Power Systems", PICA, pp. 2-37, 1987
2. D.I.Sun, B.Ashley, B.Brewer, A.Hughes, W.F.Tinney, "Optimal Power Flow Solution by Newton Approach", IEEE Trans Vol. PAS-103, No. 10, pp. 2864-2880, Oct. 1984
3. D.I.Sun, B.A.Hughes, W.F.Tinney, J.M.Bright, J.Lamont, "Optimal Power Flow Solution by Newton's Method", IEEE Tutorial Course Text 87EH0262-60PWR, pp. 35-48, 1987
4. D.I.Sun, T.Hu, G.Lin, C.Lin, C.Chen, "Experiences with Implementing Optimal Power Flow for Reactive Scheduling in the Taiwan Power System", IEEE/PES Summer Meeting Paper 87SM505-1, July 1987
5. R.Y.Kwok, "Optimal Power Flow in Power System Analysis", Energy Systems Research Center, The University of Texas at Arlington, Dec. 1987
6. W.F.Tinney, V.Brandwajn, S.M.Chan, "Sparse Vector Methods", IEEE Trans Vol. PAS-104, No. 2, pp.295-391, Feb. 1987