

경계치를 이용한 분산형 배전계통 조류계산 알고리즘

*이상성 **이송근 ***김동현 ***박종근 ***문승일 ***윤용태
*기초전력연구원, **전주대학교, ***서울대학교 전기컴퓨터공학부

Distributed Load Flow of Power Distribution System using Boundary Conditions

*S. S. Lee **S. K. Lee ***D. H. Kim ***J. K. Park ***S. I. Moon ***Y. T. Yoon
*PSRD and RERI of KESRI, **JeonJu Univ., ***Seoul National Univ.

Abstract - 향후 배전계통은 분산전원이 출현함에 따라 계획 및 운영이 더욱 복잡하게 될 것이며, 현재 송전계통에서 조류계산이 필요하듯이 향후 구조적으로 변화된 배전계통에서도 배전 조류계산이 필요하게 될 것이다. 또한 배전계통은 지역적인 특성으로 인하여 그 구조가 변전소를 중심으로 여러 개의 주 피드로 나누어짐으로 그 구조는 매우 복잡하다. 이런 분산전원의 위치는 배전선로의 중간이나 말단이 될 것이다. 이와 같은 관점에서 볼 때, 배전계통에 대한 조류계산은 그 구조상 분산 조류계산 (Distributed Computation of Load Flow) 알고리즘을 필요로 할 것이다. 배전조류계산은 분산전원이 배전계통에 추가됨에 따라 더욱 부담이 될 것이다. 본 논문에서는 배전계통을 위한 분산형 조류계산의 알고리즘을 제안한다.

1. 서 론

배전계통은 각 지사 및 지점별로 고유한 특징을 가지고 있기 때문에 회로망 토플로지가 서로 다르다. 또한, 송전계통과 배전계통은 선로 궁장이나 전선 직경에 따른 파라미터에 있어서도 차이가 있다 [1,2,3,4,5]. 배전계통과 송전계통을 이어 주는 부분이 바로 변전소라 할 수 있다. 변전소는 송전계통에서 전력을 받아 이를 배전계통으로 분배하는 역할을 하며, 전력 설비를 직접 감시 및 제어하는 설비를 갖추고 있다. 신호를 취득하는 원격소 장치(RTU)는 제어 설비(지역급전소 제어설비, 급전분소제어설비, 집중감시제어배전반등)로부터 송출되는 명령을 수신한 뒤, 그 명령을 분석하여 전력설비를 제어하고, 전력설비로 부터 취득한 상태감시 및 측정정보를 제어설비로 송출하는 기능을 하는 설비이다.

지금까지, 배전계통은 대부분 나뭇가지형(방사상) 구조를 가지고 있으며, 변전소에서 강압변압기(154kV/22.9kV)를 통하여 부하로 전력을 수전하는 역할을 해오고 있다. 현재 한전의 154kV 변전소는 4Bank 규모가 원칙이다. 초기 Bank 수는 2뱅크, 최종 3뱅크를 고려할 경우에도 송전계통과 같이 많은 단계들을 가지고 있을 필요가 없지만, 향후 지역 제어 분소나 변전소에서의 상황은 크게 달라질 것이다. 그리고, 분산전원(열연합을 포함한 소, 중 대규모 발전설비) 및 배전계통의 연계 전략으로 인하여 일부 계통이 환상형을 가진 구조가 되거나 일부 고립 계통으로 운영하는 경우가 발생하게 되어 더욱 복잡한 형태로 되는 경우가 많을 것이다.

특히 분산전원이나 인접 배전계통의 연계를 고려한 경우 구역 데이터 처리 (localized data processing)를 하는 것이 배전계통 운영이나 모니터링 및 제어를 용이하게 할 수 있다. 향후 이러한 구상으로 각 구간에서는 일명 분산 급전지령소 (distributed dispatching center)로서 역할을 하는 부분이 필요하며, 실시간 모니터링과 제어에 참고할 수 있는 조류계산도 필요할 것이다.

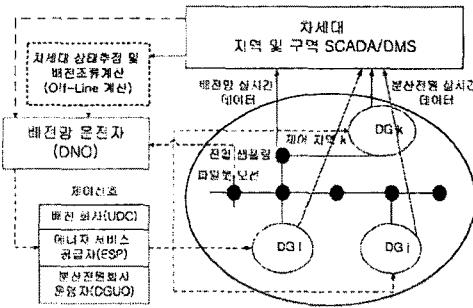
본 논문은 향후 변화하는 배전계통의 환경에 대비하여 분산형 조류계산의 알고리즘을 제안한다. 이러한 분산형 조류계산은 컴퓨터 및 IT 기술의 발달로 인하여 적용 가능하게 되었으며, 새로운 배전관리시스템(Distribution Management Systems : DMSs)을 운영하는 데 필요하다. 이 배전조류계산을 기준으로 구역 및 지역 배전계통을 효율적으로 운영하고, 배전계통을 경제적 운영시스템에 반영하여 처리할 수 있는 기능을 할 수 있을 것이다.

2. 분산전원을 가진 배전계통의 조류계산 알고리즘

그림 1은 향후 분산전원을 가진 배전계통의 연계 구성도를 예상하여 그린 블록다이어그램이다. 분산형 조류계산을 위한 수식은 다음과 같이 나타낸다[2].

$$- J(x(k))\Delta x(k+1) = \Delta S(x(k)) \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} J_{11}(x) & J_{1,N}(x) \\ J_{i,i}(x) & J_{i,N}(x) \\ J_{N,1}(x) & J_{N,N}(x) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_i \\ \Delta x_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta S_1(x) \\ \Delta S_i(x) \\ \Delta S_N(x) \end{bmatrix} \quad (2)$$



〈그림 1〉 분산전원을 가진 배전계통의 연계 구성도

$$- J_{ii}(x(k))\Delta x_i(k+1) = \gamma \Delta S_i(x(k)) \quad i = 1, \dots, N-1 \quad (3)$$

$$- J_{NN}(x(k+1)) = \gamma \Delta S_N(x(k)) \quad (4)$$

$$J_{N,1}(x)\Delta x_1 + \dots + J_{N,i}(x)\Delta x_i + \dots + J_{N,N}(x)\Delta x_N = \Delta S_N(x) \quad (5)$$

$$J_{i,i}\Delta x_i + J_{i,N}\Delta x_N = \Delta s_i, \quad i = 1, \dots, N-1 \quad (6)$$

$$J_{N,1}\Delta x_1 + \dots + J_{N,k}\Delta x_k + \dots + J_{N,N}\Delta x_N = -\Delta s_N \quad (7)$$

$$\Delta x_i = J_{i,i}^{-1}(-\Delta s_i - J_{i,N}\Delta x_N), \quad i = 1, \dots, N-1 \quad (8)$$

$$J_i = J_{N,i} J_{i,N}^{-1} \quad (9)$$

$$S_i = J_{N,i} J_{i,N}^{-1} S_i \quad (10)$$

$$\Delta x_N = \left\{ J_{N,N} \left(x^N(t) - \sum_{i=1}^{N-1} J_i(t) \right) \right\}^{-1} \left\{ -\Delta s_N + \sum_{i=1}^{N-1} s_i \right\}^{-1} \quad (11)$$

$$x^i(t) = (x_1^i(t), \dots, x_N^i(\tau_N^i(t))) \quad (12)$$

$$\Delta x_i(t+1) = \gamma J_{i,i}^{-1}(x^i(t)) \{-\Delta s_i x^i(t) - J_{i,N}(x^i(t)) \Delta x_N(\tau_N^i(t))\} \quad i = 1, \dots, N-1 \quad (13)$$

$$\Delta x_N(t+1) = \left\{ J_{N,N} \left(x^N(t) - \sum_{i=1}^{N-1} J_i(t) \right) \right\}^{-1} \left\{ -\Delta s_N \left(x^N(t) + \sum_{i=1}^{N-1} s_i(t) \right) \right\}^{-1} \quad (14)$$

$$J_i(t) = J_{N,i}(x^i(t)) J_{i,N}^{-1}(x^i(t)) J_{i,N}(x^i(t)) \quad (15)$$

$$S_i(t) = J_{N,i}(x^i(t)) J_{i,N}^{-1}(x^i(t)) S_i(x^i(t)) \quad (16)$$

분산형 조류계산 알고리즘은 비동기 분산형과 동기화 분산 알고리즘으로 분류할 수 있다. 동기 분산 알고리즘(Synchronous Distributed Algorithm)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$- J_{ii}(z(k+1))\Delta z_i = F_i(z(k)) \quad i = 1, \dots, N-1, N \leq m+1 \quad (17)$$

$$- J_{00}\Delta z_0(k+1) = F_0(z(k)) + \sum_{i=1}^m J_{i,i}\Delta z_i(k) \quad (18)$$

비동기 분산 알고리즘(Asynchronous Distributed Algorithm)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$- J_{ii}(z^i(t))\Delta z_i(t+1) = \gamma F_i(z^i(t)) \quad i = 1, \dots, N-1, N \leq m+1 \quad (19)$$

$$- J_{00}(z^0(t))\Delta z_0(t+1) = \gamma F_0(z^0(k)) + \sum_{i=1}^m J_{i,i}\Delta z_i(z^i(t)) \quad (20)$$

분산 조류 알고리즘은 다음과 같이 표시할 수 있다. $x_i = x_i(0)$, $i = 1, \dots, N$ 로 시작한다.

(i) 프로세스 i ($i = 1, \dots, N-1$)는 $J_{i,i}$, $J_{i,N}$, $J_{i,i}^{-1}$, 그리고 ΔS_i 를 동시에 계산한다.

(ii) $J_{N,i}$ 에 대하여, 프로세서 ($i = 1, \dots, N-1$)는 $J_{N,i}$, $J_{i,i}^{-1}$, ΔS_i 를 동시에 계산하고 프로세서 N 에 통신 결과를 전달한다.

(iii) 프로세서 N 은 Δx_N 을 풀고 프로세스 i ($i = 1, \dots, N-1$)에 결과를 전송한다.

(iv) 프로세스 i ($i = 1, \dots, N-1$)는 Δx_i 를 푼다.

(v) 수렴조건이 만족하는지를 검사한다. 수렴하지 않으면, 프로세서는 상태변수들을 수정하고 step (ii)로 돌아간다. 수렴하면, 계산을 종료한다.

그림 2는 송전계통과 배전계통을 연결시켜주는 변전소와 급전분소를 나타내고 있다. 그림 3과 4는 IEEE 123 모션과 IEEE 37모션을 나타내고 있으며, GUI로 작성한 화면이다. 두 계통 사이는 통신

을 통하여 정보를 교환한다.

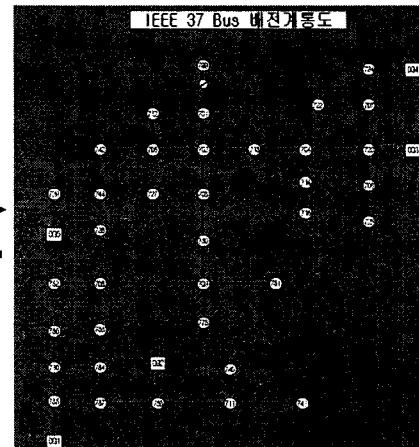
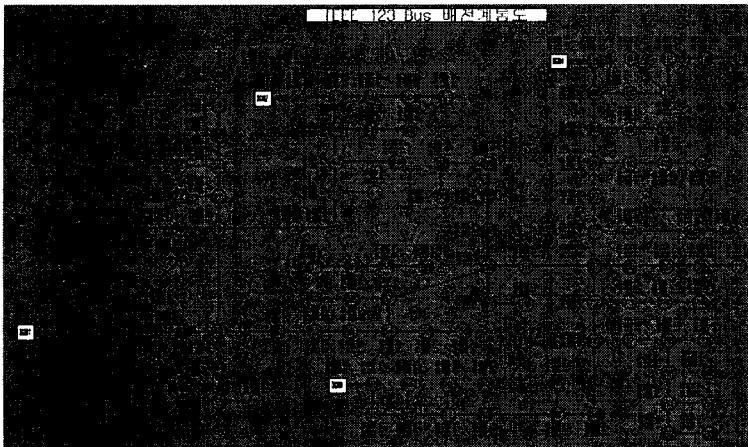
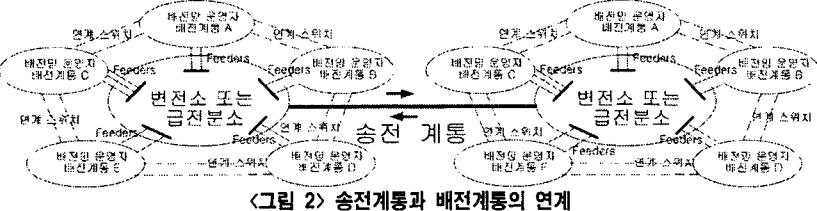
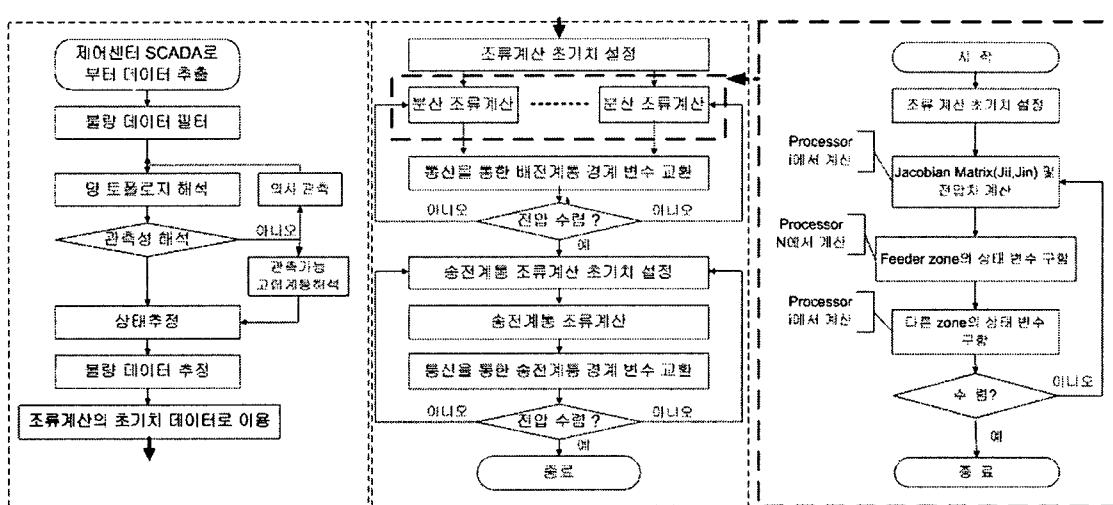


그림 5는 배전의 상태추정과 분산형 조류계산의 알고리즘을 나타내고 있다. 점선으로 나타낸 부분은 분산형 조류계산 알고리즘을 표시하는 부분이다. 구역별로 나누어진 부분의 조류계산이 분산으로 계산되면, 경계치를

통신을 통하여 전달한다. 최종적으로 배전부분이 완료되면 송전부분으로 정보를 넘겨 지역별 조류계산을 완료하게 된다.



3. 결 론

본 논문은 분산전원을 가진 배전계통의 분산형 조류계산 알고리즘을 제안하였다. 또한, 이는 배전조류계산을 기준으로 하여 구역 및 지역 배전계통을 효율적으로 운영할 수 있는 배전계통 경제적 운영시스템에 반영하여 처리할 수 있는 통합시스템의 기능을 할 수 있을 것이다. 제안된 알고리즘의 목적은 새로운 배전계통의 변화에 대하여 분산처리를 하고, 새로운 배전관리시스템(Distribution Management Systems : DMSs)에 대하여는 분산전원이나 인접 배전계통의 연계를 고려한 정보를 참조하기 위함이다. 이러한 구역 및 지역 데이터 처리 (regional or localized data processing)는 배전계통의 경제적 운영이나 모니터링 및 제어에 필요한 정보를 배전조류계산을 통해 얻을 수 있다. 향후 이러한 구상은 각 구간의 일정 분산 급전지령소 (distributed dispatching center)로서 역할을 맡으며, 실시간 모니터링과 제어에 참고할 수 있을 것이다.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원 주관으로 수행된 과제이며 관계 기관에 감사드립니다.

【참 고 문 헌】

- [1] W. F. Tinney and C. E. Hart, "Power flow solution by Newton's method", *IEEE Trans., PAS-86*, pp. 1449-1456, 1967.
- [2] M. Shahidehpour, Y. Wang, "Communication and Control in Electric Power Systems", *Wiley Inter-Science*, 2003.
- [3] D. Das, H. S. Nagi, and D. P. Kothari, "Novel method for solving radial distribution networks", *IEEE Proceedings of Generation Transmission and Distribution*, Vol. 141, No. 4, pp. 291-298, July, 1994.
- [4] A. Augugliaro, L. Dusonchet, M. G. Ippolito, and E. R. Sanseverino, "An efficient iterative method for load flow solution in radial distribution networks", *IEEE Porto Power Tech Proceedings*, Vol. 3, 2001.
- [5] Y. Zhu and K. Tomsovic, "Adaptive power flow method for distribution systems with dispersed generation", *IEEE Trans., on Power Delivery*, vol. 17, No. 3, pp. 822-827, July, 2002.