

전력시스템 고조파 상태추정알고리즘 개발

왕용필^{*}, 정형환^{*}, 정종원^{*}, 한형주^{**}, 곽노홍^{***}, 전영수^{***}, 박상호^{***}
 *동아대학교, **한국전기연구원, §한국전력연구원

Algorithm of Harmonic State Estimation for Power Systems

Y. P. Wang^{*}, H. H. Chong^{*}, J. W. Chong, H. H. Han^{**}, N. H. Kwak^{***}, Y. S. Jeon^{***}, S. H. Park^{***}
 *Dong-A University, **KERI, ***KEPCO

Abstract – The design of a measurement system to perform Harmonic State Estimation (HSE) is a very complex problem. In particular, the number of harmonic instruments available is always limited. Therefore, a systematic procedure is needed to design the optimal placement of measurement points.

This paper presents a new HSE algorithm which is based on an optimal placement of measurement points using Intelligent Algorithms (IAs). This HSE has been applied to the Simulation Test Power System for the validation of the new HSE algorithm. The study results have indicated an economical and effective method for optimal placement of measurement points using Intelligent Algorithms (IAs) in the Harmonic State Estimation (HSE).

1. 서 론

최근 전력시스템에서 고조파 문제에 대하여 많은 연구가 이루어지고 있다. 이는 전력시스템에 연결된 비선형 부하들의 증가로 인한 정상상태의 전류와 전압이 비정현 전류와 전압으로 구성된 고조파의 발생으로 인해 정현파가 왜곡되기 때문이다. 전력시스템에서 고조파 와곡은 전기 설비의 과열과 파괴, 보호 장치의 오동작 그리고 통신 회로들의 간섭과 같은 연속된 문제점을 발생되어 소비자들에게 공급되는 전기의 품질을 저하시킨다. 이와 같은 고조파를 제거하거나 또는 제한하기 위해 전력시스템의 전역에 걸쳐서 고조파 위치와 크기에 대한 모든 정보를 얻을 수 있는 효과적이고 능률적인 방법에 관한 연구가 필요하다. 전력시스템에서 고조파 상태 추정(Harmonic State Estimation : HSE)은 모선과 선로의 부분 혹은 전체를 선택하여 고조파를 측정함으로써 실제시스템의 고조파 정보를 얻을 수 있는 효과적이고 경제적인 기법이다[1,2]. 따라서 고조파 상태 추정을 수행하기 위한 최적 측정위치를 선정하는 체계적인 방법이 필요하다[3].

본 논문에서는 전력시스템의 고조파 상태 추정에 있어서 지능형 알고리즘을 이용해서 최적 측정위치를 선정하는 새로운 지능형 HSE를 제안하였다. 제안한 지능형 HSE 알고리즘의 타당성을 입증하기 위해 전력시스템에 적용하여 고조파 상태 추정을 수행하였다. 이때 측정위치를 초기 측정 위치를 선정한 경우, 개선된 측정 위치를 선정한 경우 및 지능형 알고리즘을 이용하여 측정위치를 선정한 경우에 고조파 상태 추정을 수행하여 비교·검토 하였다.

2. 고조파 상태 추정

2.1 고조파 상태 추정 모델

고조파 상태 추정(Harmonic State Estimation : HSE)은 한정되어 있는 측정된 고조파 전류 및 전압의 데이터로부터 전력시스템에 대한 고조파 상태를 추정하기 위한 것이다. 그리고 고조파 상태 추정에서 고조파 변수를 선택하기 위해 성능평가 기준 및 측정위치 선택 그리고 측정된 수량을 모두 고려하여야 한다. 고조파 상태 변수 모델은 선택된 모선과 선로를 동기화되어진 측정 장비의 측정 데이터로부터 전력시스템의 고조파 정보를 추정하기 위해 시스템의 전반적인 고조파 상태 추정을 수학적으로 공식화하는 것이다.

2.2 고조파 상태 해석

관측성 해석(Observability Analysis : OA)은 고조파 상태 추정을 실행할 수 있는지 없는지를 식별하는데 필수적인 해석법이다. 따라서 관측성 해석은 고조파 상태 추정에서 측정 장비의 설치를 위해 전력시스템의 위상적 관측을 해석하는 것이다. 이는 모든 관측성 보조시스템에 대한 정보, 중복된 측정에 대한 정보 및 모든 시스템을 관측할 수 있는 새로운 측정을 추가하는 방법을 제시한다. 따라서 관측성 해석은 고조파 상태 추정 및 측정 장비의 최적화를 위해 매우 중요하다. 관측성 해석에 대한 수학적인 기본 개념은 선형 측정상태 변수 모형에서 식(1)과 같은 상태 추정 방정식을 얻을 수 있다.

$$Z = HX + e \quad (1)$$

2.2 지능형 알고리즘을 최적 측정 위치 선정

전력시스템에서 고조파 상태 추정은 모선과 선로의 부분 혹은 전체를 선택하여 고조파를 측정함으로써 실제시스템의 고조파 정보를 얻을 수 있는 효과적이고 경제적인 기법이다. 그러나 전력시스템에서 고조파 상태 추정을 수행하기 위해 측정 시스템을 설계하는 것은 매우 복잡한 문제이다. 이러한 복잡한 측정 시스템을 설계하기 위하여 측정위치 선정을 최적화하는데 지능형 알고리즘을 이용하였다. 본 논문에서 고찰되는 최적화 목적은 고조파 상태 추정에 있어서 고조파 측정 장비의 비용과 상태 추정 오차를 최소화 할 수 있는 측정위치를 최적화시키기는 것이다. 그림 1은 고조파 상태 추정 흐름도이다.

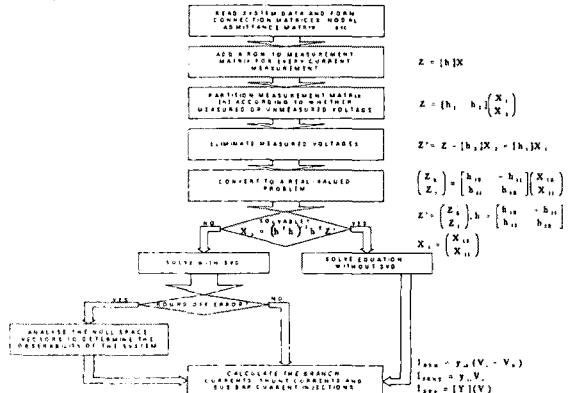


그림 1) 고조파 상태 추정의 흐름도

3. 사례 연구

본 논문에서는 전력시스템의 고조파 상태 추정에 있어서 유전압 알고리즘을 이용한 최적 측정위치 선정에 대한 유용성을 확인하기 위해 그림 2와 같은 전력시스템에 적용하였다. 이 전력시스템은 모선 9개, 선로 8개, 변압기 5개로 구성된 시스템이다. 이 시스템에 있어서 고조파 상태 추정의 수행을 위한 측정 가능한 위치는 각 상의 고조파 전압 및 입력전류가 각각 9곳이다. 그리고 가지 고조파 전류는 총 26곳이다. 따라서 총 측정 가능한 곳은 44곳이 된다.

초기 측정 위치를 선정한 경우에 48개의 측정 지점 위치를 그림 2에 나타냈다. 이상의 측정 위치를 바탕으로 전력시스템 상태 추정 결과 고조파 입력 전류 및 전압 크기를 그림 3, 4에 나타냈다. 초기 측정 위치를 선정한 경우 상태 추정오차를 최소화 할 수 있었다. 또한 시스템 전체를 측정 한 경우보다 많은 측정 위치 지점이 최소화 되었다.

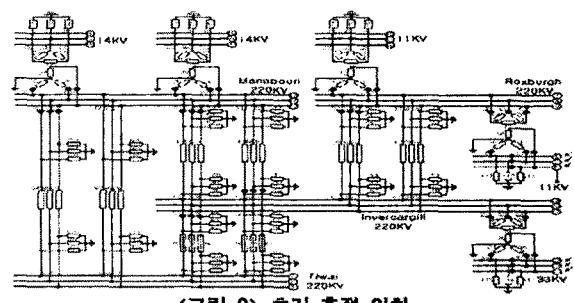
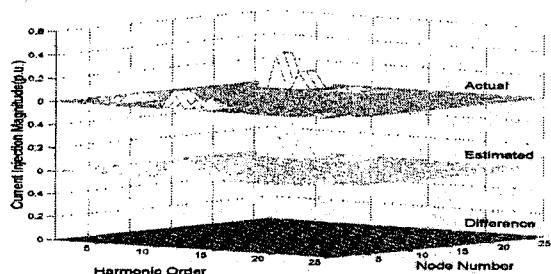
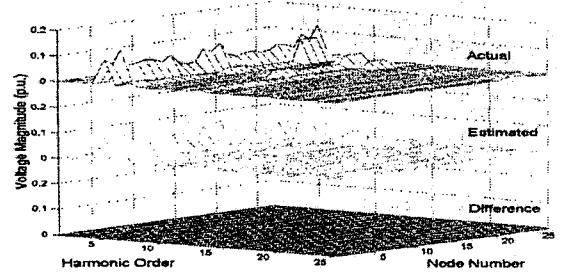


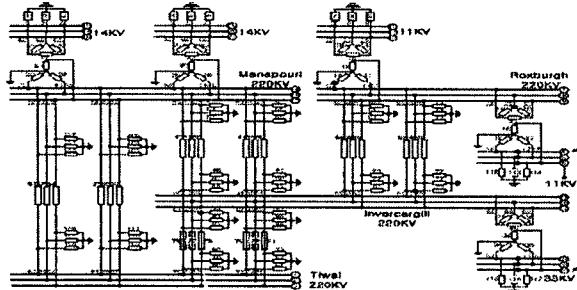
그림 2) 초기 측정 위치



<그림 3> 고조파 전류 입력 크기

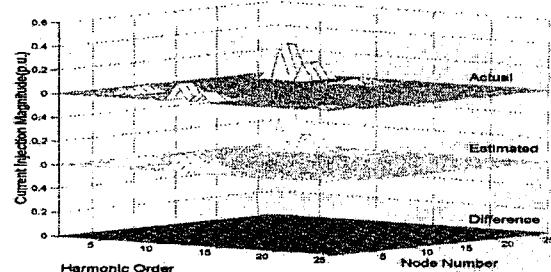


<그림 4> 고조파 전압 크기

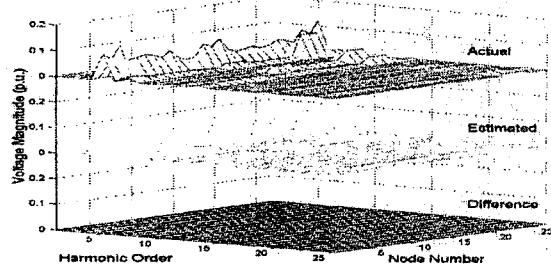


<그림 5> 개선된 측정 위치

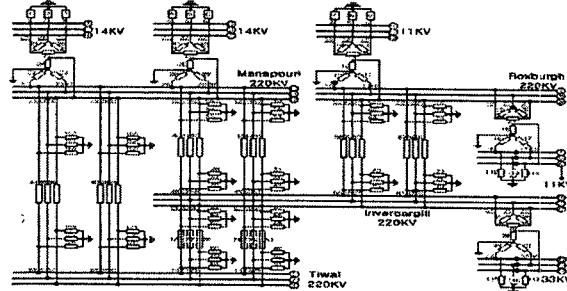
개선된 측정 위치를 선정한 경우에 12개의 측정 지점 위치를 그림 5에 나타냈었다. 이상의 측정 위치를 바탕으로 전력시스템 상태 추정결과 고조파 입력 전류 및 전압 크기를 그림 6, 7에 나타냈었다. 개선된 측정 위치를 선정한 경우 상태 추정오차를 최소화 할 수 있었다. 또한 초기 측정 위치를 선정한 경우보다 많은 측정 위치 지점이 최소화 되었다.



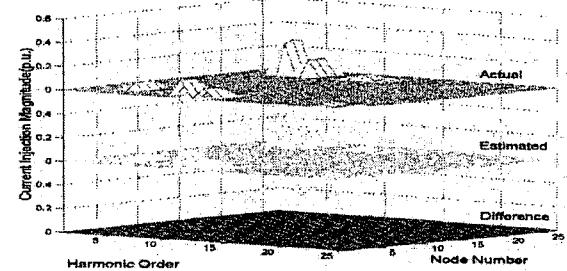
<그림 6> 고조파 전류 입력 크기



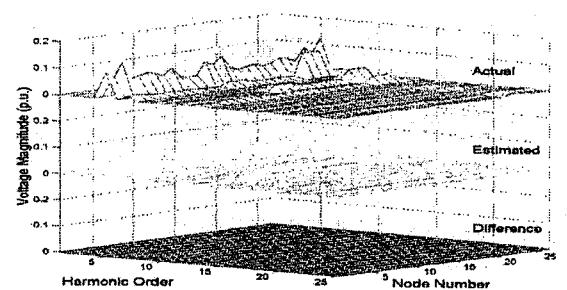
<그림 7> 고조파 전압 크기



<그림 8> 지능형 알고리즘을 이용한 측정 위치



<그림 9> 고조파 전류 입력 크기



<그림 10> 고조파 전압 크기

지능형 알고리즘을 이용한 측정 위치를 선정한 경우에 11개의 측정 지점 위치를 그림 8에 나타냈었다. 이상의 측정 위치를 바탕으로 전력시스템 상태 추정결과 고조파 입력 전류 및 전압 크기를 그림 9, 10에 나타냈었다. 개선된 측정 위치를 선정한 경우 상태 추정오차를 최소화 할 수 있었다. 또한 개선된 측정 위치를 선정한 경우보다 측정 위치가 1개를 줄일 수 있었다. 이상의 결과 재안한 지능형 알고리즘을 이용한 HSE의 우수성을 입증하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 전력시스템의 고조파 상태 추정(Harmonic State Estimation : HSE)에 있어서 최 측정위치 선정을 위하여 지능형 알고리즘을 이용하였다. 재안한 지능형 HSE 알고리즘의 타당성을 입증하기 위해 전력시스템에 적용하여 고조파 상태 추정을 수행하였다. 본 연구결과는 다음과 같이 나타났다.

1. 재안한 HSE 알고리즘은 실제값과의 오차가 최소화가 되었다. 따라서 신뢰성 있는 고조파 상태를 추정했다.

2. 재안한 HSE 알고리즘은 초기 측정위치 및 개선된 측정 위치보다 측정위치가 최소화되었다.

3. 재안한 HSE 알고리즘은 고조파 상태를 추정하기 위해 사용되는 측정 장비인 연속 실시간 고조파 해석 장비도 초기 측정위치 및 개선된 측정 위치보다 최소화되었다. 따라서 본 연구에서 제시한 전력시스템의 고조파 상태 추정에 있어서 지능형 알고리즘 이용한 측정위치 선정은 매우 경제적이고 효과적인 방법임을 나타내었다.

[참 고 문 헌]

- [1] Heydt, G.T. "Identification of harmonic sources by a state estimation technique", IEEE Trans, On Power Delivery, 4, no.1, 1989, pp.569-576
- [2] J. Arrillaga, N.R. Watson, S.Chen, "Power system quality Assessment". Jhn wiley & sons. Inc 1996.
- [3] Wang.Y.P, Watson. N.R, Arrillaga. J, Park H.C and Chong H.H. "Harmonic State Estimation : Optimal Placement of Measurements Using Genetic Algorithms", International Power Quality Conference, Vol. 2 of 2, October 2002, pp 534-544.