

전력기기의 운전중 부분방전 진단장치에서 복합 잡음제거 적용을 위한 잡음평가 알고리즘

(Noise Evaluation Algorithm for Applying Complex Denoising Technique in On-line Partial Discharge Diagnosis System for Power Apparatus)

이상화* · 윤영우 · 추영배 · 강동식**

(Sang-Hwa Yi · Young-Woo Youn · Young-Bae Choo · Dong-Sik Kang)

요 약

최근 경제적 시간적 이유로 전력기기의 운전 중 부분방전 감시진단 장치가 많이 이용되는 추세에 있으나, 시 공간적으로 다양한 종류의 잡음의 영향이 문제시 되고 있다. 이에 여러가지 잡음제거 기법들이 개발되었으나 범용적이지 않고 설정이나 환경에 따라 성능이 상이하다. 본 논문에서는 부분방전 측정신호의 잡음포함 정도를 수치적으로 제시할 수 있는 방법을 제시하였다. 이 기법이 적용되어 개발된 알고리즘을 이용하여, 다수 잡음제거 기법의 설정에 따른 다양한 결과 중 최선의 결과를 자동적으로 선택할 수 있었다. 운전 중 부분방전 감시진단 시스템에 사용되는 세 가지 잡음제거 기법에 적용하여 성공적으로 복합화 하였고, 국내 다양한 잡음 환경의 고전압 기기들로부터 실측한 데이터에 능동적으로 적용한 잡음제거 결과를 도출할 수 있었다.

Abstract

This paper introduces an evaluation code, which can numerically express the noise possessing degree of signals. By using this code, the best kind and setting of noise suppressing techniques can be chosen automatically. This code is applied to three kinds of specific denoising techniques; those are simple noise removing method in the count versus phase distribution, fuzzy logic method based on noise type in magnitude versus phase plot, and lastly, the technique using grouping characteristics of PD pulses in 3D plot of magnitude versus phase versus cycle. The algorithm shows good performance in the various real PD signals measured from various high voltage apparatuses in Korea.

Key Words : Noise, Partial Discharges, Software

* 주저자 : 한국전기연구원 전력기기연구센터 선임연구원
** 교신저자 : 한국전기연구원 전력기기연구센터 센터장
Tel : 055-280-1556, Fax : 055-280-1490

E-mail : shyi@keri.re.kr

접수일자 : 2008년 8월 28일

1차심사 : 2008년 9월 3일, 2차심사 : 2008년 12월 19일

심사완료 : 2008년 12월 29일

1. 서 론

고전압 전력기기의 장기경년 열화에 의한 절연파괴 사고를 예방하기 위하여 고장발생 초기에 부분방전을 측정하여 진단하는 방법이 이용되고 있다. 부

분방전 진단법 중 정지중 진단법은 전력기기의 운행 중지에 의한 경제적 손실이 발생하고, 자체 부분방전이 없는 대용량의 고전압 발생장치가 필요하며, 운전중에만 발생하는 특별한 부분방전 신호를 측정하지 못하는 단점이 있다[1]. 이런 이유로 최근 운전중 진단장치가 개발되어 사용되고 있지만, 정지중 진단법에 비하여, 빈번하고 다양한 잡음에 의하여 진단의 정확성 및 신뢰성에 문제가 발생하고 있다. 이러한 잡음 문제를 해결하기 위하여 최근 몇가지 잡음제거 기법들이 개발되어 운전중 진단장치에 적용되었다[2-6]. 부분방전 신호와 잡음의 도달시간 차이 또는 주파수 스펙트럼의 차이로 잡음을 구별하여 제거하는 기술들이 개발 되었고[3-4, 6], 발전기 운전중 진단 분야에서는 외부잡음용 센서를 이용한 노이즈 게이팅 기법이 사용되기도 하였다[5]. 이러한 방법들은 다수 센서의 동시 측정환경이 필요하고, 잡음 펄스 신호에 대한 특징적인 정보를 알고 있어야 한다. 그러나 잡음펄스의 특징은 잡음원, 측정 장치와 잡음원과의 거리, 신호전파 경로의 구조, 전력기기의 시공간적 환경 등에 따른 변화가 커 그 활용이 제한된다. 최근에 추가적인 장치 없이 적용할 수 있는 소프트웨어 잡음제거기법들이 개발되어 CIGRE 데이터 포맷이 적용된 진단 시스템과 GIS 부분방전 진단에 이용되고 있다[7-8]. 이러한 기법들은 개개의 펄스파형에 대하여 신경회로망이나 웨이블렛 기법들을 이용한 것으로, 상당한 계산시간이 요구되어 운전중 진단용은 아니며, 다양한 센서나 측정환경에 대한 사전정보가 필요한 문제가 있다.

소프트웨어를 이용한 잡음제거 기법들은 대부분 잡음제거 과정에 필요한 몇가지 설정값들과 최종 판단을 위해 기준이 되는 파라미터를 갖고 있다. 이러한 기준들은 운전중 부분방전 진단시 대상기기의 종류나 이력, 진단장치의 설치 환경에 맞게 정해 주어야 한다. 만약 잡음이 포함된 하나의 원 신호에 다수의 잡음제거 기법들이나 다양한 설정값들이 동시에 적용되고, 그 중 최적의 결과를 골라서 사용할 수 있다면, 운전중 진단 시스템의 잡음제거는 더 효과적으로 실행 될 수 있을 것이며, 변화하는 잡음환경에 더 잘 적용할 수 있을 것이다. 서로 다른 잡음제거 기법이 적용된 결과를 전문가가 확인한다면, 잡음의

포함정도나 부분방전 신호의 손상정도를 고려하여 선택할 수 있다. 그러나 자동화된 운전중 감시진단 시스템에서는 이 과정을 대신할 결과비교 알고리즘이 필요할 것이다.

본 논문에서는 측정된 부분방전 신호에서 잡음이 제거 된 정도를 수치적으로 표현한 파라미터를 정의하고 이것을 계산하는 알고리즘을 제안하였다. 이것을 세 가지 종류의 잡음제거 기법들의 결과에 적용하여 적용형 복합 잡음제거 소프트웨어를 작성한 내용과, 다양한 국내 전력기기에서 실측한 데이터에 적용한 결과를 제시한다.

2. 잡음제거 결과 평가 코드

부분방전 신호가 심각한 잡음에 오염될수록 더 강력한 잡음제거 기법이 필요하다. 그러나 일반적으로 잡음제거 기법이 강해지면, 유용한 부분방전 신호를 훼손할 가능성도 높아지기 마련이다. 부분방전 펄스 신호의 보존과 잡음 펄스의 완전한 제거 사이의 균형은 언제나 어려운 문제이며, 대부분의 잡음제거 기법의 설정에 있어서 잡음환경의 변화에 따라 이 균형을 고려하여 파라미터를 설정해야 최적의 결과를 기대 할 수 있다. 따라서 잡음제거 결과에 대한 적합성을 나타내는 다음 두 식의 값을 ‘청정도’로 정의하여 이 값들을 활용하여 최적의 파라미터를 설정하는 방식을 제안한다.

$$\frac{\sum q}{\text{PD Section}} \div \left(\sum q + 0.01 \right) \text{ Noise Section} \tag{1}$$

$$\frac{\sum q}{\text{PD Section}} - \frac{\sum q}{\text{Noise Section}} \tag{2}$$

여기서, q는 측정된 펄스의 크기이고, PD section 은 5~152[°]와 180~310[°]의 위상구간이고, noise section은 PD section을 제외한 위상구간이다. PD section의 위상은 전력기기에 있어서 전통적으로 부분방전이 발생할 수 있는 구간으로 설정하였고, 회전기 고정자 권선 진단 시 필요한 권선플단 부분방전의 위상을 고려한 구간이다. 먼저 식 (1)에 의한 청

전력기기의 운전중 부분방전 진단장치에서 복합 잡음제거 적용을 위한 잡음평가 알고리즘

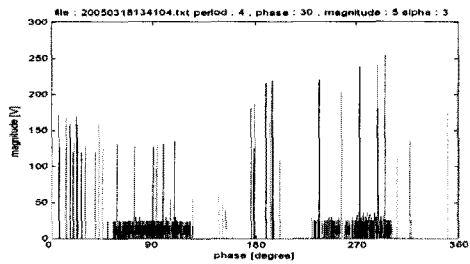
정도의 의미는 부분방전이 발생하지 않는 위상구간의 펄스 양에 대한 부분방전이 빈번한 위상구간의 펄스 양의 비율이며, 계산식 분모의 0.01은 프로그램 상에서 발산을 방지하기 위한 숫자이다. 예를 들어, 그림 1 (b)의 부분방전 신호 패턴의 청정도를 식 (1)을 통해 계산하기 위해서는 PD section인 5~152[°]의 위상구간에 존재하는 펄스들의 크기를 모두 합한다. 이 값에, noise section인 180~310[°]의 위상구간에 분포하는 모든 펄스의 크기를 더한 값에 0.01을 합한 후 나누어 주면 된다. 그 결과 값은 37로서, 그림 1 (a)의 패턴을 동일한 방법으로 계산한 결과인 4.21보다 큰 값을 나타낸다.

그림 1 (a)는 심각하게 잡음에 오염된 부분방전 측정신호의 방전량 대 위상 패턴 중 하나이다. 이것은 25년 이상 가동한 국내수력 발전소의 13[kV]급 수력 발전기의 고정자 권선에서 160[pF] 접촉식 세라믹 커패시터로 측정하여, 216[kHz]의 샘플링 주파수로

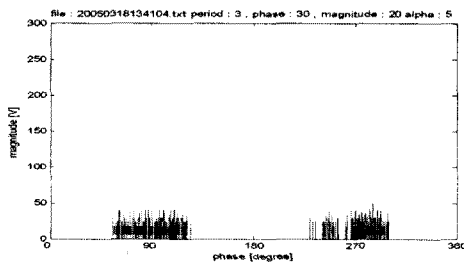
AD변환된 시스템으로 수집한 데이터를 피크 검출한 결과이다[9]. 그림 1 (b)~(d)는 이 결과에 동일한 잡음제거 기법을 세 가지의 다른 설정으로 적용한 후의 모습이다. 사용된 잡음제거 기법은 위상 대 주기 대 크기의 3차원 패턴에서 부분방전 펄스가 집중하여 나타나는 특성을 이용한 기법으로서, 개개의 펄스에 대하여 위상, 주기, 크기가 비슷한 펄스의 개수를 모두 구하고, 그 값이 특정개수 이하이면 해당 펄스를 잡음으로 간주하여 제거하는 방법이다. 이때 고려된 위상, 주기, 크기범위와 제거 기준 값에 따라 그림 1 (b)~(c)와 같이 다른 결과가 나타난다. 그림 1 (b)는 위상 30[°], 주기 4, 크기 5[V], 제거기준 3의 결과이고, 그림 1 (c)는 위상 30[°], 주기 3, 크기 20[V], 제거기준 5, 위상 30[°], 주기 3, 크기 5[V], 제거기준 5를 설정하였을 때의 결과이다. 부분방전 측정결과 패턴에 지식이 있는 사람은 한눈에 그림 1 (c)가 세 가지 중 가장 적합한 결과임을 알 수 있지



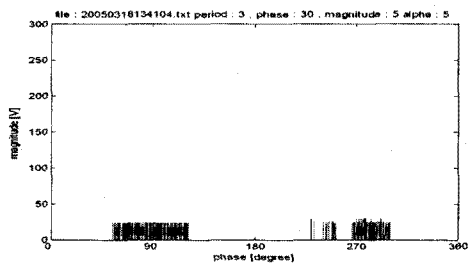
(a) 잡음제거 이전의 부분방전 신호 패턴
(a) Before noise rejection



(b) 잡음제거 결과(설정1, 불충분한 잡음제거)
(b) After noise rejection (setting 1, insufficiently rejected)



(c) 잡음제거 결과(설정2, 적절한 잡음제거)
(c) After noise rejection (setting 2, properly rejected)



(d) 잡음제거 결과(설정3, 과도한 잡음제거)
(d) After noise rejection (setting 3, over rejected)

그림 1. 측정된 부분방전 신호 패턴 및 다양한 설정에 따른 잡음제거 결과들
Fig. 1. Discharge Patterns (q-phi graph) before and after various noise rejection settings

만, 이러한 인식은 운전중 부분방전 진단시스템에서는 자동으로 수행되어야 한다. 각 패턴의 청정도를 계산하여 가장 높은 값을 가지는 패턴을 선택한다면 이러한 자동화를 이룰 수 있을 것이다. 식 (1)에 의하여 계산된 청정도는 (a) 4.3, (b) 37, (c) 4.3×10^6 , (d) 3.8×10^6 으로, 의도한 바와 같이 그림 1 (c)가 가장 높은 청정도를 나타내는 것을 확인할 수 있다.

측정된 펄스 패턴에 다수의 잡음이 존재하는 경우에, 식 (1)에 의한 계산결과가 잡음제거 이후 패턴의 청정도를 효과적으로 나타내기는 하지만, 동시에 과도한 잡음제거 시에도 적절한 잡음제거 시와 마찬가지로 높은 청정도 값을 유지하는 문제가 있다. 그림 1 (c)에서 보는 바와 같이 기본적으로는, noise section에 펄스가 전혀 존재하지 않는 경우에, 식 (1)의 분모가 0.01로 동일하게 되므로 PD section에 펄스가 많을수록 높은 청정도 값이 계산된다. 그러나 많은 경우에서, 소수의 잡음 펄스가 존재한다 하더라도, 오히려 다수의 부분방전 펄스가 손상되지 않는 것이 더 중요할 수 있다. 청정도 계산식 (2)는 이러한 약점을 보완하기 위한 것이다. 이 값의 실용개념은 그림 2의 사례를 통하여 설명한다.

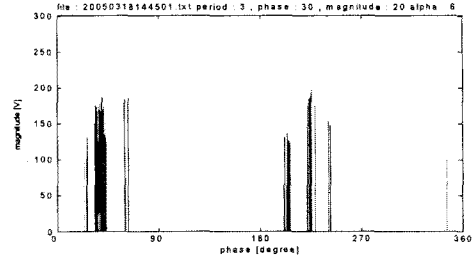
그림 2 (c)는 그림 2 (b)에 비하여 유용한 부분방전 펄스로 예상되는 신호가 더 많이 존재하지만, 식 (1)에 의해 계산된 청정도는 95로 그림 2 (b)의 145보다 더 낮다. 식 (1)에 의하여 계산된 결과가 40이상일 경우에, 즉 측정된 신호 패턴이 적은양의 잡음 펄스만 포함하고 있을 때, 두 번째 식이 부분방전 펄스신호의 손실을 막기 위하여 적용된다. 이때는 noise section의 펄스가 존재하지 않거나 매우 적은 상태이므로, 식 (1)에 의한 청정도 계산 시 분모가 매우 작아진다. 그러므로 그림 2 (b)가 그림 2 (c)보다 PD section의 펄스가 많이 손상되었더라도, noise section의 펄스인 350° 부근의 펄스가 두 개에서 한 개의 비율로 줄었으므로, 청정도 결과가 더 크게 출력된다. 그러나 식 (2)에 의해 그림 2 (b)의 청정도를 계산하면, 그림 2 (c)보다 PD section의 펄스가 손상된 양이 noise section의 펄스를 제거한 양보다 많으므로, 더 작은 청정도 결과가 출력된다. 식 (1)과 식 (2) 사용의 기준 수치인 40은 측정장치와 환경에 따라 변할 수 있지만, 기본적으로 AD변환 장치의 샘플

링울과 측정데이터의 총 주기에 가장 연관이 깊고 이것이 바뀔 때만 변화를 주어도 충분하다.



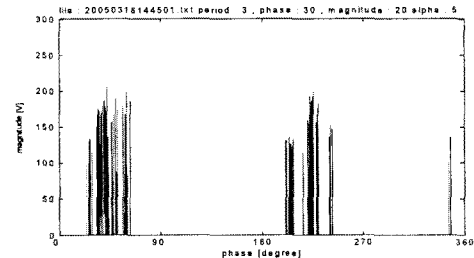
(a) 잡음제거 이전의 부분방전 신호패턴, 식 (1)에 의한 청정도 5.1

(a) Before noise rejection, purity calculated by (1) 5.1



(b) 잡음제거 결과1, 식 (1)에 의한 청정도 149, 식 (2)에 의한 청정도 14743

(b) After noise rejection 1, purity calculated by (1) 149, by (2) 14743



(c) 잡음제거 결과2, 식 (1)에 의한 청정도 95, 식 (2)에 의한 청정도 22121

(c) After noise rejection 2, purity calculated by (1) 95, by (2) 22121

그림 2. 측정된 부분방전 신호 및 잡음제거 결과들의 청정도 계산

Fig. 2. Discharge Patterns($q-\phi$ graph) and their purities

전력기계의 운전중 부분방전 진단장치에서 복잡 잡음제거 적용을 위한 잡음평가 알고리즘

식 (2)가 높은 청정도를 가진 잡음이 적은 패턴에 유용하지만, 항상 효과적인 것은 아니다. 측정신호 패턴에 부분방전 펄스가 다수 존재할 때는, 잡음신호 펄스가 충분히 제거되지 않은 신호에서도 식 (2)에 의하여 높은 청정도 값을 제시 할 가능성이 있다. 이러한 상황에서는 식 (1)이 사용되는 것이 바람직하며, 따라서 두 개의 식은 상호 보완적이라 할 수 있다. 그림 2 (b)와 (c)에서는 식 (1)에 의해 계산된 청정값이 모두 40이상이기 때문에, 둘 다 식 (2)에 의해 계산된 청정도가 사용될 것이다. 그리고 그림 2 (c)가 최종적으로 선택 될 것이다. 이제 다수의 잡음 제거 기법들을 병렬로 적용하는 방법 뿐 아니라 잡음 제거 기법의 설정용 파라미터들을 정하고 변화를 주는 것 또한 간단한 문제가 되었다. 단순히 다양한 잡음 제거 기법과 설정들의 결과에 대한 청정도를 계산하고 비교하여 선택하기만 하면 될 것이다.

3. 복잡잡음제거 알고리즘에의 적용

3.1 적용형 복잡 잡음제거 알고리즘 설계

제안한 청정도 계산법을 적용하기 위하여 세 가지 다른 특징이 있는 강력한 잡음제거 기법들을 선택하였다. 첫 번째는 위상 대 크기 패턴 기반의 퍼지로지을 이용한 기법으로 잡음의 위상분포 패턴을 기준으로 잡음을 제거한다. 이것은 일정한 크기를 가진 큰 잡음 신호에 강하고, 다른 형태의 대부분의 잡음 신호에도 효과적으로 적용할 수 있는 것이 특징이다. 두 번째는 위상 대 펄스 개수 패턴에서, 부분방전이 발생하기 힘든 위상 구간의 펄스 중 특정 개수 이하의 펄스를 고르고, 이 펄스와 동일한 크기를 갖는 펄스를 제거하는 기법이다. 위상패턴에 관계없이 간헐적으로 존재하거나, 위상 주기에 일치 하지 않으면서 개수가 적은 반복 잡음에 강하다. 마지막은 위상 대 주기 대 크기의 3차원 패턴에서 부분방전 펄스가 집중하여 나타나는 특성을 이용한 기법이다. 이것으로 다른 잡음제거 기법으로 제거하기 힘든 변화하는 크기의 주기적인 잡음을 제거할 수 있다. 그림 2가 이 기법을 사용한 결과들이다.

운전중 부분방전 진단 장치에 적용하기 위한 적용

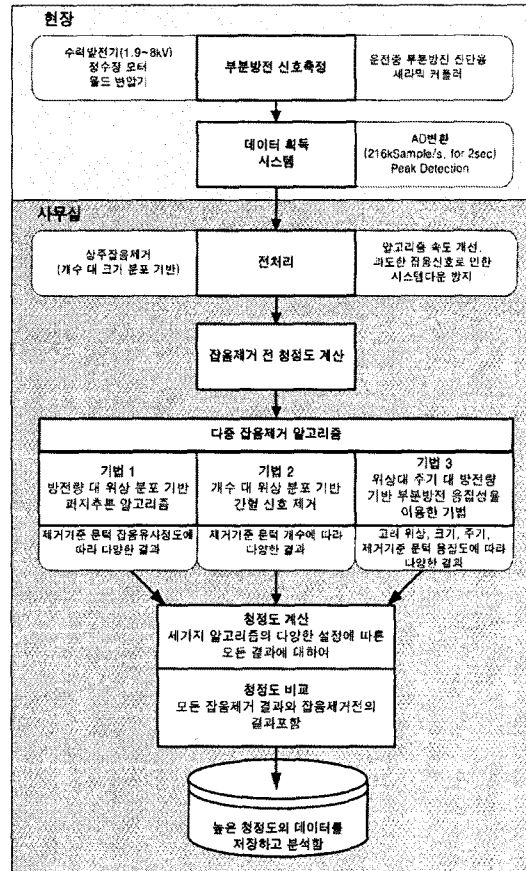


그림 3. 운전중 부분방전 감시진단 시스템을 위한 적용형 복잡잡음제거 알고리즘의 흐름도: 청정도 계산에 의하여 다수의 잡음제거 코드들이 적용될 수 있었다.

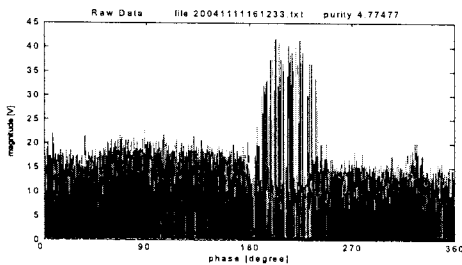
Fig. 3. Flowchart of on-line noise suppression system: multiple denoising codes with purity evaluations are applied in parallel

형 복잡 잡음제거 알고리즘을 그림 3과 같이 설계하였다. 앞서 소개한 세 가지의 메인 잡음제거 기법들이 여러 가지 설정으로 적용되고 그 결과가 비교된다. 본 복잡 잡음제거 기법은 수력발전기, 정수장 모터, 물드 변압기 등 다양한 국내 전력기기들로부터 측정된 수백 개의 부분방전 데이터를 기반으로 작성 및 시험되었다. 데이터 수집은 세라믹 커패시터형 부분방전센서와 216[k-sample/sec]로 2초 동안 AD변환된 후 피크 검출된 데이터를 수집하는 측정 시스템으로 이루어졌다. 데이터 획득 후 첫 단계에서는 상주하는 기본 잡음을 제거하고 알고리즘의 속도를

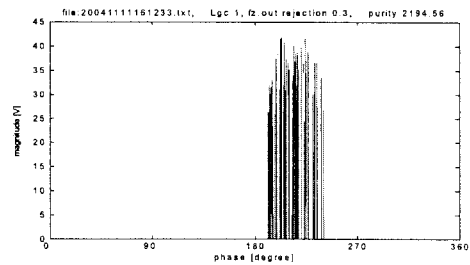
높이기 위한 전처리가 수행된다. 전처리 단계는 방전량 별로 분류된 펄스분포에서 특정 크기 이하의 방전량을 가지고, 2,000개 이상의 개수를 가진 펄스를 제거한다. 이 단계는 부분방전 신호를 손상시키지 않으며, 시스템의 다운을 유발하는 과도한 잡음 신호를 차단하는 역할 또한 수행한다. 그 이후 개발된 세 가지 메인 잡음 제거 기법들이 다수의 설정 환경에서 수행된다. 처리된 모든 잡음제거기법들의 결과에 대하여 청정도계산이 수행되고, 잡음제거 이전의 결과를 포함하여 그 값을 비교한다. 상위 청정도를 가진 결과가 선택되어 저장되고, 부분방전 진단의 데이터로 활용된다.

3.2 적용형 복합잡음제거 알고리즘의 실행결과

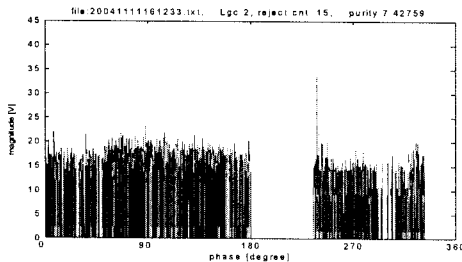
개발된 복합잡음제거 알고리즘은 대부분의 시험 데이터에서 만족할 만한 잡음제거 결과를 나타내었고, 운전 중 진단 시스템에 충분한 처리 속도를 보여주었다. 그림 8은 그 처리 결과 중 하나이다. 그림 8 (a)는 측정된 신호의 전형적인 위상-전하량 분포이고, 청정도 4.77의 값을 나타내고 있다. 그림 8 (b)는 전체 알고리즘의 출력으로서, 가장 높은 청정도 값을 가지는 잡음제거 기법의 결과이다. 잡음제거 기준으로 퍼지 인덱스 0.3이 설정된 첫 번째 잡음제거 기법이 사용되었고, 결과의 청정도는 2194로 초기 청정도에 비해 향상된 값을 나타낸다. 그림 8 (c)와



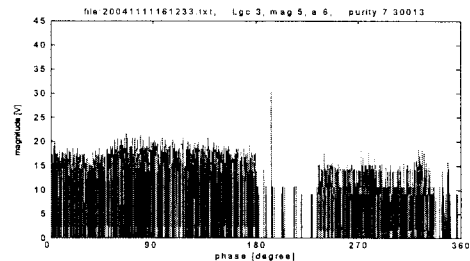
(a) 잡음제거 이전의 부분방전 신호패턴, 청정도 4.77
(a) Raw data before noise rejection, purity 4.77



(b) 최고 청정도 값의 잡음제거 결과(복합잡음 알고리즘의 출력, 잡음제거기법1의 결과, 청정도 2195)
(b) Denoised result with highest purity(final output of complex noise rejection algorithm, result of logic 1, purity 2195)



(c) 배제된 잡음제거 결과1(잡음제거 적절하지 않음, 잡음제거기법2 결과, 청정도 7.4)
(c) Denoised result with second highest purity(Not properly removed, result of logic 2, purity 7.4)



(d) 배제된 잡음제거 결과2(잡음제거 적절하지 않음, 잡음제거기법3 결과, 청정도 7.3)
(d) Denoised result with third highest purity (Not properly removed, result of logic 3, purity 7.3)

그림 4. 개발된 적용형 복합 잡음제거 알고리즘의 수행 결과

Fig. 4. Exempld processes and result of developed complex noise rejecting algorithm

(d)는 알고리즘 수행 과정 중에 배제된 잡음제거 결과이다. 두 번째와 세 번째 잡음 제거 기법이 사용되었고, 각각의 잡음제거 기법의 출력 중에 가장 높은 청정도를 가진 결과임에도 불구하고, 적절하지 못한 잡음제거 결과를 보여준다. 두 번째 및 세 번째 잡음제거 기법 자체가 입력 신호에 포함된 잡음에 효과적이지 못하였고, 첫 번째 잡음제거 기법이 가장 적절하기 때문이다. 이와 같이 잡음제거 결과를 수치로 나타낸 청정도를 이용하여 개발된 복합 잡음제거 알고리즘은 개개의 잡음제거기법의 특징 및 능력을 최대한 발휘할 수 있게 해준다.

4. 결 론

본 논문에서는 부분방전 측정패턴에서 잡음이 포함된 정도를 수치적으로 계산하여 표현할 수 있는 방법을 제시하였다. 이 기법은 잡음포함 정도에 따라 적용되는 두 개의 상호 보완적인 식으로 구성되어 있으며 실측된 다양한 환경의 국내 부분방전 신호패턴에 적절한 출력을 나타내는 것을 확인하였다. 개발된 잡음평가 코드를 이용하여 적용형 복합 잡음제거 알고리즘을 구성하여, 다양한 환경의 국내 전력기기에서 실측한 운전중 부분방전 패턴에 시험하였다. 보유한 모든 패턴에서 개발된 적용형 복합 잡음제거 알고리즘은 효과적인 잡음제거 결과선택 능력을 보여주었고, 동시에 운전중 진단 시스템에 적용가능한 처리속도를 나타내었다.

References

[1] IEEE Trial-Use Guide to the Measurement of Partial Discharges in Rotating Machinery, IEEE Std 1434-2000, 2000.
 [2] "Improved RF Monitoring," EPRI Project Record, RP232501, 1985.
 [3] S.R.Campbell, G.C.Stone, H.G.Sedding, K.S.Klempner, W.McDermid and R.G.Bussey, "Practical on-line partial discharge tests for turbine generators and motors" IEEE Trans. Energy Conversion, vol. 9, no.2, June 1994, pp. 281-287.
 [4] K. Itch, Y. Kaneda, A. Nishimura and T. Tanaka, "New Noise Rejection Techniques on Pulse-by-pulse Basis for On-line Partial Discharge Measurement of Turbine Generators," IEEE Trans. Energy Conversion, vol.11, pp. 585-594, Sep. 1996.

[5] G.C.Stone and S.R.Campbell, "Digital Methods of eliminating noise in On-line Generator Partial Discharge Measurements," IEEE Winter Power Meeting, Panel Session on Digital Techniques for Generator PD Testing, 1992.
 [6] P.Grunewald and J.R. Weidner, "On-line PD analysis in power plants - a successful tool for early fault detection," International Conference on Partial Discharge, Canterbury, September 1993, pp. 86-87.
 [7] S. Happe, H.-G. Kranz and W. Krause, "Real-time suppression of stochastic pulse shaped noise for on-site PD measurements", International Symposium on Nov. 2001 pp. 33-36.
 [8] T. Lin, R.K. Aggarwal, C.H. Kim, "Wavelet transform and artificial intelligence based condition monitoring for GIS", Sept.2003, Vol1, pp191 - 195.
 [9] 강동식 외, "고압 회전기 On-line 부분방전 측정용 Ceramic Coupler 특성", 대한전기학회 논문지, Vol. 51C No.5, pp. 205-212, 2002.

◇ 저자소개 ◇

이상화 (李相和)

1978년 1월 25일생. 2001년 고려대학교 전기전자전공 공학부 졸업. 2003년 포항공과대학교 전자전기 공학과 졸업(석사). 현재 한국전기연구원 산업전기연구본부 전력기기연구센터 선임연구원.

윤영우 (尹永祐)

1983년 7월 9일생. 2005년 한국정보통신대 공학부 졸업. 2007년 동 대학원 정보통신공학과 졸업(석사). 2007년 ~ 현재 한국전기연구원 산업전기연구본부 전력기기연구센터 연구원.

주영배 (秋榮培)

1955년 6월 23일생. 1982년 부산대 전기기계공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 거제대학 선박기술 계열 부교수.

강동식 (姜東植)

1956년 10월 13일생. 1983년 부산대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국전기연구원 전력기기연구센터 센터장.