

# NLMS 적응필터를 이용한 배전선 반송통신 시스템의 잡음 저감

(Noise Reduction of the Distribution Line Communication  
System using NLMS Adaptive Filters)

鄭源鎔\* · 崔泰源\*\* · 金錫舜\*\* · 李壽欽\* · 高義石\*  
(Won-Y.Chong · Tai-W.Choi · Seoug-S.Kim · Soo-H.Lee · Hee-S. Koh)

## 요 약

컴퓨터나 정밀기기의 빈번한 운용으로 배전선 반송통신 시스템의 신뢰도는 그 어느 때보다 크게 요구된다. 배전선에 나타나는 여러 종류의 잡음은 반송통신 정보를 쉽게 오염시켜 전체 시스템에 큰 영향을 미치게 된다. 본 논문에서는 평활 잡음과 60 [Hz] 전원 주파수에 동기된 고조파 잡음제거를 위해 LMS와 NLMS알고리즘을 이용한 적응필터를 사용하였고 컴퓨터 시뮬레이션을 수행해 본 결과 신호 대 잡음비의 관점에서 LMS보다 NLMS의 탁월한 효과를 확인하였다.

## Abstract

Higher reliability of the power distribution line communication system is required because of the use of the computers and precision devices. In the presence of all kind of noises in the power distribution line, an information of the power line carrier communication systems is corrupted easily. In this paper, we dealt with the 60 Hz harmonic noise and uniformly smoothing noise. From the viewpoint of S/N ratio, adaptive normalized least mean square(NLMS) filters are shown to be effective in reducing harmonic noise synchronous with 60Hz power frequency and noise with a smooth spectrum.

### 1. 서 론

배전 자동화 시스템을 구성하기 위해서는 각 시스템 사이의 정확하고 신속한 정보통신이 요구된다. 그러나 각 배전기기 간의 정보통신 중 내외부의 환경에서 발생된 여러 종류의 잡음은 전력선 반송방식의 통신신뢰도를 크게 저하시키며

로 우선 배전계통에 존재하는 잡음종류와 그 특성을 분석함으로써 잡음 저감대책을 세워보기로 한다.<sup>1)</sup>

배전선 반송시스템에서 가장 심각한 잡음중의 하나가 60[Hz]고조파 잡음이며 이는 60[Hz]에 동기 되어 개폐되는 부하에 그 원인이 있다고 볼 수 있다. 이러한 고조파 잡음은 통계적으로 잘 특성지워지므로 이에 대한 필터를 설계하는것은 가능하며 고정 대역차단 필터나 변조방식을 사용하여 고조파 스펙트럼을 없애기도 하지만 이 방법의 심각한 결점은 60[Hz]의 공칭 주파수를 중

\*正會員 : 경남대학교 전기공학과  
\*\*正會員 : 경남대학교 대학원 전기공학과  
接受日字 : 1994年 12月 日

심으로 미세한 주파수의 변화가 발생하게 될 때는 이 방법들을 사용할 수 없다.<sup>2)</sup>

따라서 이런 미세한 주파수 변동에 대하여도 그 효과가 탁월한 적응잡음제거(Adaptive Noise Cancellation, ANC)방식을 간단히 소개하고, 수 년 동안 소나, 레이더 반향제거 등에 많이 사용한 ANC를 본 연구에서는 배전선 반송통신 시스템 고조파 잡음제거에 적용하고자 한다. ANC의 기본 구조는 그림 1과 같다.

목적 신호,  $s_k$ 와 잡음 간섭,  $n_k'$ 으로 구성된 하나의 신호에,  $n_k'$ 와 같지 않으면서 서로 상관된 잡음 간섭,  $n_k$ 가 ANC의 또다른 하나의 신호원으로 작용한다. 만약 입력신호,  $x_k$ 와  $n_k'$ 이 서로 상관되어 있으면, 출력 신호,  $e_k$ 를 귀환시켜 적응필터의 강도를 조정함으로써 서로의 상관관계를 제거시킨다.

$x_k$ 의 잡음성분,  $n_k'$ 의 가장 적합한 추정값,  $\hat{n}_k'$ 을 필터가 적응적으로 추정함으로써 출력신호  $e_k$ 가 원하는 신호,  $s_k$ 로 된다.

여러 가지 적응 알고리즘 중 랜덤 경도(random gradient)에 근거한 알고리즘들 중 Least Mean Square (LMS)알고리즘을 적응 필터에 도입, 고조파 잡음 제거에 적용하는 가장 큰 이유 중의 하나는 그의 단순성에 있다. 즉, 상관관계 함수의 측정이나 역행렬 계산을 필요로 하지 않기 때문이다. 또한, LMS알고리즘은 그의 단순성 때문에 마이크로프로세서 등의 하드웨어를 가지고 비교적 간단하고 경제적인 필터를 구성할 수 있다.

LMS 알고리즘의 경도 추정치(gradient esti-

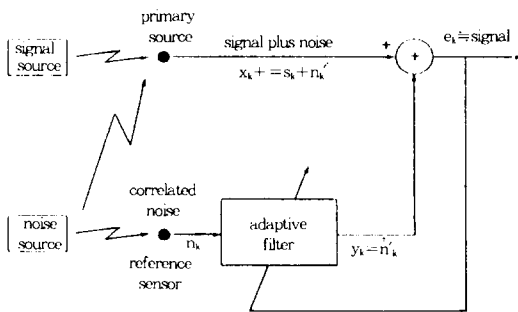


그림 1. 적응 잡음 제거 필터 기본 구조도  
Fig. 1. Basic structure for adaptive noise canceling

mate),  $\hat{\nabla}(n)$ 은 탭입력신호,  $U(n)$ 에 직접 비례하므로 탭강도 갱신시 적응필터의 평균자승오차함수(MSE)의 표면경도를 정확히 따르지 못할 때는 경도 추정이 부정확하여 적응과정에서 잡음이 나타나게 된다. 더욱이 강도갱신 정정항이 입력 벡터  $U(n)$ 에 비례하므로 입력값이 큰 경우, 경도 추정치가 큰 잡음성분을 가질 수 있는 소위 경도 잡음 증폭현상(gradient noise amplification problem)을 접하게 된다.

탭강도,  $\hat{W}(n)$ 을  $\hat{W}(n+1)$ 로 갱신하는 과정에  $U(n)$ 이 크면 이의 유클리드 노름(squared Euclidean norm),  $\|U(n)\|$ 으로 나누어서 정규화 시켜 줌으로서 경도잡음 증폭현상을 방지할 수 있는 하나의 방법으로 “정규화”라는 용어를 사용한 정규화 LMS(Normalized LMS, NLMS)가 널리 사용되고 있다.

## 2. 잡음의 종류

일반적으로 배전계통에서 관측되는 잡음은 다음 4가지로 크게 구분된다.<sup>3)</sup>

1) 60Hz 전원주파수에 동기된 잡음.

SCR(Silicon Controlled Rectifier)과 같은 스위칭 소자가 60[Hz] 전원 주파수에 동기 되어 스위칭 (switching)됨으로서 60[Hz]나 그의 배수 주파수의 고조파 잡음을 발생시키며 60[Hz] 전원주파수에 주로 동기 되어 존재한다. SCR은 배전선의 말단 부하소자로서 뿐만 아니라 전력변환기 자체의 소자로서 사용되므로 60[Hz] 전원주파수에 동기된 고조파 잡음이 배전선의 1, 2차를 막론하고 전력 시스템의 도처에 발생하게 되고, 그림 2

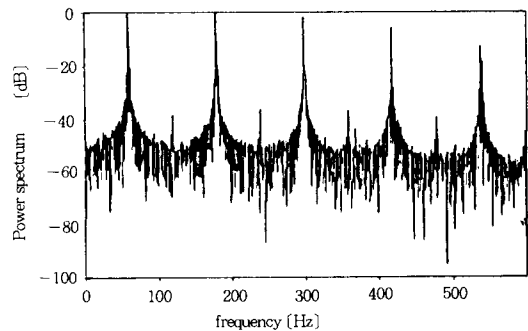


그림 2. 60Hz 전원 주파수에 동기된 잡음  
Fig. 2. Noise synchronized to 60Hz power frequency

에서 이를 확인할 수 있다.

또한, DC전력 변환기, 조광기 등도 날카로운 전압, 전류를 발생시키므로 스위칭(switching)시에 전원 주파수에 동기된 고조파 잡음이 나타나게 된다. 고조파 잡음은 그림 2의 스펙트럼에 보이는 것처럼 60[Hz]의 배수인 고조파성분뿐만 아니라 고조파 사이에 평활하게 분포된 잡음성분도 나타나는 특징이 있으며, 이 현상의 주요 원인은 배전선로의 삼상(three phases)사이의 결합(coupling)과 스위칭 소자의 구동(triggering)시간의 편차에 기인한다. 왜냐하면, 전력 신호의 양, 음의 반 사이클 동안 스위칭에 어떤 시간적 변이가 일반적으로 나타나므로 스위칭 소자가 정확히 구동되지 못하고 미소한 시간적 편차가 발생하기 때문이다.

고조파 잡음의 또 하나의 주요 특징은 기본 주파수가 실제로 미세하게 변화하므로 이에 고조파 성분도 따라서 변이가 생김을 4[kHz]이상의 전력선 반송주파수에서 확인할 수 있다.

2) 평활 스펙트럼을 가진 잡음

전력 주파수에 비동기적으로 운용되는 전력선의 부하가 종종 이러한 잡음을 발생시키고 있다. 전기 드릴에 사용되는 만능 전동기가 그 좋은 예이다. 이 전동기는 브러시를 가져서 임의의 구간에서 전류 스위칭(commutation switching)이 일어나며, 전류 구간이 전동기 속도에, 즉 부하에 따라 변화함을 알 수 있다. 실제 경우로서, 이 잡음을 정지 스펙트럼(stationary spectral lines)을 가지지 않은 평활 스펙트럼으로 생각할 수 있으며, 배전선로 통신시스템에 사용하는 작은 주파수 대

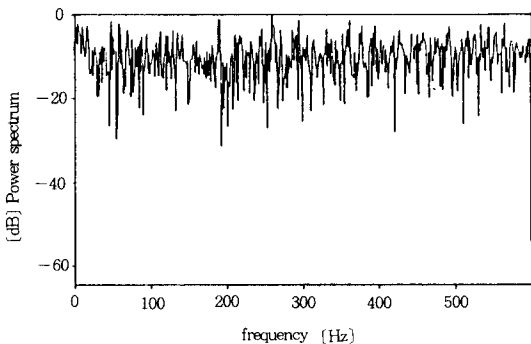


그림 3. 평활 잡음  
Fig. 3. Uniform noise

역폭에서는 백색 잡음으로 모델링할 수 있음을 그림 3에서 알 수 있다.

3) 충격 잡음

번개, 서머스택, 다른 스위칭 현상들로 단일성 충격잡음이 발생되기도 하며, 또한 역률 보상용 콘덴서의 개폐로서 충격잡음이 발생된다.

4) 비동기 주기 잡음

60[Hz]전원주파수와 비상관된 스펙트럼을 가진 잡음으로서 15,734[Hz]의 수평 주사선 주파수의 고조파를 발생시키는 텔레비전 수상기가 그 주요 발생원으로 알려져 있다.

이 외에 발생원이 분명치 않는 돌발잡음(burst noise)도 관측되어지나 이에 대한 분석은 현실적으로 매우 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 4가지 잡음중 평활 스펙트럼을 가진 잡음과 60[Hz] 전원주파수에 동기된 잡음에 대한 저감대책을 다음절에서 논의하고자 한다.

3. Least Mean Square(LMS)적응필터

적응 필터의 기본구성은 그림 4와 같으며 이는 기본적으로 두 부분, 즉, 시간에 따라 값이 조정되는 가변 탭 강도(tap weight),  $W_i(i=1,2,\dots,M)$ 를 가진 transversal필터와 적응적으로 이들 탭 강도를 조정하는 적응제어 알고리즘으로 나누어져 있다. 필터링 과정에 목적 응답,  $d(n)$ 이 탭 입력,  $U(n)$ 과 함께 인가된다. (4~6)

적응필터의 최급강하법(steepest descent)알고리

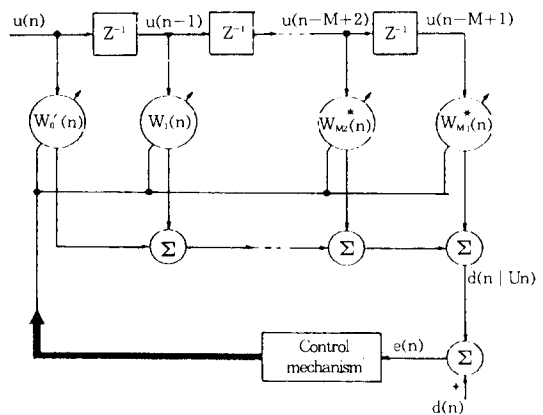


그림 4. 적응필터의 구성도  
Fig. 4. Structure of adaptive filter

증은 다음과 같다.

$$W(n+1) = W(n) + \frac{1}{2} \mu \{-\nabla(n)\} \quad (1)$$

$$J(n) = E[e(n)e^*(n)]$$

$$= \sigma_e^2 - W^T(n)P - P^T W(n) + W^T(n)RW(n) \quad (2)$$

$$\nabla(n) = \frac{\partial J(n)}{\partial W(n)} = -2P + 2RW(n) \quad (3)$$

$$W(n+1) = (I - \mu R)W(n) + \mu P \quad n=0,1,2,\dots \quad (4)$$

여기서

$$R = E[U(n)U^T(n)] \quad (5)$$

$$P = E[U(n)d(n)] \quad (6)$$

이다.

LMS 알고리즘은 아래와 같이 최급강하법 알고리즘에서 기대치 연산자,  $E[\cdot]$ 를 제거한 순시 추정치를 취함으로써 그 단순성을 강조하고 있다.

$$\hat{R}(n) = U(n)U^T(n) \quad (7)$$

$$\hat{P}(n) = u(n)d(n) \quad (8)$$

식 (7), (8)을 식(3), (4)에 대입함으로써 LMS

의 정도 벡터 순시 추정치는

$$\hat{\nabla}(n) = -2U(n)d(n) + 2U(n)U^T(n)\hat{W}(n) \quad (9)$$

으로 되고,

LMS의 탭 강도 갱신식은

$$\hat{W}(n+1) = \hat{W}(n) + \mu \hat{J}(n)[d(n) - U^T(n)\hat{W}(n)] \quad (10)$$

이 된다.

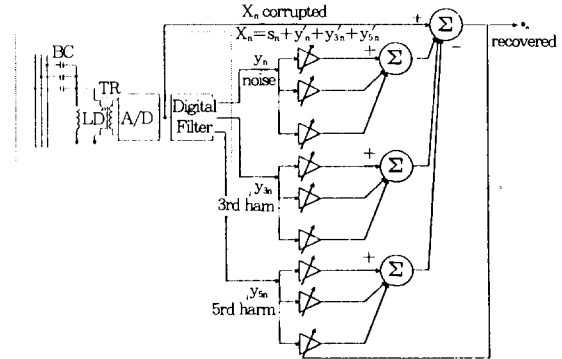


그림 5. 시뮬레이션의 필터구조

Fig. 5. Filter structure of computer simulation

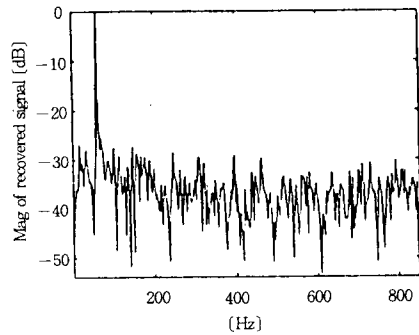
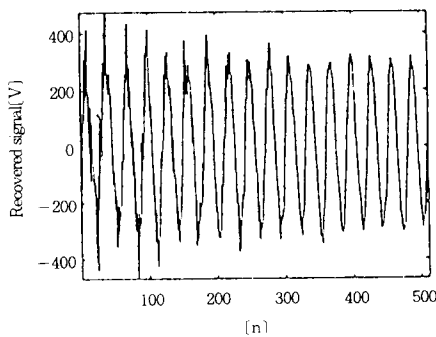
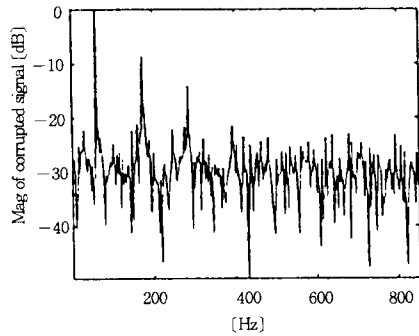
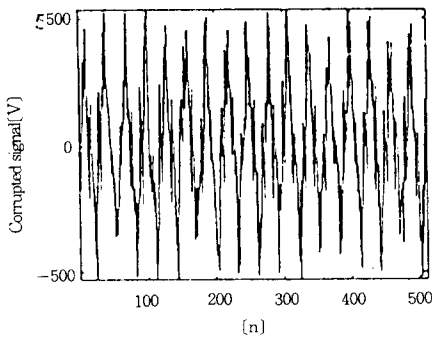


그림 6. 큰 입력의 NLMS결과

Fig. 6. Results of NLMS (large input+noise+3rd+5th)

#### 4. 정규화 LMS(NLMS) 알고리즘

LMS 알고리즘에서는  $n+1$  회째 탭 강도  $\hat{W}(n+1)$ 에 인가한 정정항,  $\mu U(n)e(n)$ 은  $U(n)$ 에 직접적으로 비례하다. 따라서,  $U(n)$ 이 크면 LMS는 정도 잡음 증폭현상을 접하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 정규화된 LMS(Normalized LMS, NLMS)알고리즘을 사용한다.  $n+1$ 회째  $\hat{W}(n)$ 에 인가한 정정항이  $n$ 회째  $U(n)$ 의 유클리드 노름에 관해서 정규화된다는 의미에서 정규화라는 용어를 사용한다.

따라서, NLMS 알고리즘 탭 강도 갱신식은 아래와 같이 표시할 수 있고

$$\hat{W}(n+1) = \hat{W}(n) + \frac{\tilde{\mu}}{\|U(n)\|^2} U(n)e(n) \quad (11)$$

$U(n)e(n)$ 은  $\|U(n)\|$ 에 관하여 정규화 되었음을 알 수 있어 정규화된 LMS라고 부를 수 있는 근거를 명확히 제시하고 있다. <sup>4)</sup>

시간  $n$ 에서 새로운 입력 데이터,  $U(n)$ 과 목적 응답,  $d(n)$ 이 주어지면,  $(n+1)$ 시간 때의  $\hat{W}(n+1)$ 의 값이  $\hat{W}(n)$ 에 대하여 “유클리드 노름”의 의미에서 최소 변화를 가지도록 탭 강도 벡터를 갱신한다는 점이 NLMS 알고리즘의 주목할 점이다.

그래서 NLMS는 LMS에 비하여 최소 교란 원칙에 따른다고 볼 수 있다. 즉, 최소 교란 원칙에 의하면 새로운 입력 데이터가 들어오면 적응 시스템의 매개변수는 단지 최소 형태로만 교란된다는 것이다.

다음에 NLMS를 LMS와 좀 더 자세히 비교하여 본다.

i) LMS의 적응 상수,  $\mu$ 는 역전력의 차원을 가지고 있는데 반하여 NLMS의  $\tilde{\mu}$ 는 차원이 없이 그저 상수이다.

ii) NLMS를 아래의 시변 적응 상수를 가진 LMS로 볼 수 있다.

$$\mu(n) = \frac{\tilde{\mu}}{\|U(n)\|^2} \quad (12)$$

iii) NLMS 알고리즘  $\tilde{\mu}$ 가 아래의 조건을 만족하면 최소 자승 의미로서 수렴한다.

$$0 < \tilde{\mu} < 2 \quad (13)$$

NLMS는 LMS의 정도 잡음 증폭현상은 훌륭히 해결하였으나 탭 입력 벡터,  $U(n)$ 이 적은 경우에는 노름 자승  $\|U(n)\|^2$ 이 더욱 적어져 어떤 수

를 나눌 때 치명적인 수치 불안정을 초래할 가능성이 있어 식(11)을 아래와 같이 약간 수정하여서 사용한다.

$$\hat{W}(n+1) = \hat{W}(n) + \frac{\tilde{\mu}}{a + \|U(n)\|^2} U(n)e(n) \quad (14)$$

여기서  $a > 0$ 이다.

#### 5. 시뮬레이션 및 고찰

배전 전력계통에 존재하는 여러가지 잡음과 고조파 중, 기본파의 제 3, 5고조파성분,  $y_{3n}'$ ,  $y_{5n}'$  및 평활잡음  $y_n$ 에 상관된  $y_n'$ 으로 구성된 잡음이 정현파 신호,  $s_n$ 을 오염시켜 만든 오염신호,  $x_n$ 을 기준 입력신호,  $y_n$ ,  $y_{3n}$ ,  $y_{5n}$ 을 사용하여 정현파 신호  $s_n$ 을 적응적으로 복원하는 필터구조를 그림 5에 나타내고 점선 내의 회로는 실제 신호 주파수 주변 잡음의 제거 시에 배전선으로 부터 신호원(오염신호),  $x_n$  및 기준신호 즉, 고조파 성분  $y_n$ ,  $y_{3n}$ ,  $y_{5n}$ 을 추출하는 개념도로 본 논문에서는 시뮬레이션된 오염신호 및 기준신호를 사용하였으며 이의 시뮬레이션 결과를 각각의 경우에 따라 고찰하여 본다.

(1) 큰 입력에 평활 잡음과 제3, 5고조파가 있는 경우 NLMS결과 (이득상수=0.05)

(2) 작은입력에 평활잡음과 제3, 5고조파가 있는 경우

그림 6, 7에 사용한 데이터와 조건 등을 표 1에 요약한다.

그림 6은 큰 입력에 평활 잡음과 제3, 5고조파가 있는 경우의 NLMS 결과를 보여준 것으로 상단의 오염된 입력신호와 그에 해당하는 스펙트럼 및 하단의 복원된 신호와 그의 스펙트럼을 살펴보면 제3, 5 고조파 성분은 현저히 감소함을 알 수 있으나 평활 잡음은 그와 같은 비율로는 감소하지 않았으며 약간의 개선만 이루어졌음을 알 수 있다.

한편, 그림 6과 똑같은 조건에서 LMS를 실행해 본 결과는 알고리즘의 발산으로 인하여 그림으로 표시할 수가 없었다. 그림 7-(a)는 작은 입력에 평활잡음과 제3, 5고조파가 있는 오염된 신호와 그 스펙트럼이며, 그림 7-(b)은 그림 7-(a)에 대해 이득상수 0.05인 경우의 LMS결과

를 보여준 것으로 똑같은 이득상수 0.05에 대하여, 그림 6과 비교하면 기대한 복원신호를 얻을 수 없었다.

그래서 이득상수를 0.005로 감소시켜본 결과 그림 7-(c)에서 보는 것과 같이 그림 7-(b)보다는 훨씬 양호한 복원신호를 얻을 수가 있었다. 다음에 그림 7-(b)와 같은 조건에서 NLMS알고리즘을 적용하여 본 결과 LMS 경우에 비하여 훨씬 개선된 고조파 잡음 제거효과를 그림 7-(d)에서 확인할 수 있었다. 또한, 표 1에서 보는 바와 같이 신호대잡음비(S/N ratio)의 현저한 개선을 확인할 수 있었다.

이상의 실험결과로부터, 평활 잡음과 60[Hz] 전원주파수에 동기된 고조파로 오염된 큰 입력신호에 LMS를 시도하여 본 결과 이득상수 0.05로서는 결과 수치가 발산하여 그림으로 표시할 수 없었으나, NLMS는 탁월한 효과를 보여주었음을 그림 6에서 알 수 있다. 한편, 작은 입력에 대해서도 NLMS는 그림 7-(d)에서 보는 바와 같이 우수한 결과를 보여주고 있다. LMS 필터의 입력

표 1. 시뮬레이션 결과

Table 1. Results of simulation

구분	알고리즘 (이득상수)	입력전압[V]	주파수[Hz]	전력[W]	*S/N비[dB]		
					오염신호	복원신호	
그림 6	NLMS (0.05)	기본파	200	60	40,000.00	0.8045	10.6533
		3고조파	100	180	10,000.00		
		5고조파	50	300	2,500.00		
		잡음		백색잡음	20,073.60		
그림 7-(b)	LMS (0.05)	기본파	1	60	1.00	-1.0037	0.3569
		3고조파	0.5	180	0.25		
		5고조파	0.3	300	0.09		
		잡음		백색잡음	0.92		
그림 7-(c)	LMS (0.005)	그림7-(b)과 동일				-1.0037	3.6572
그림 7-(d)	NLMS (0.05)	그림7-(b)과 동일				-1.0037	6.0529

\*오염신호 S/N비

$$= 10 \log \frac{\text{기본파전력}}{3\text{고조파전력} + 5\text{고조파전력} + \text{잡음전력}}$$

복원신호 S/N비

$$= 10 \log \frac{\text{기본파전력}}{E[\text{복원신호} - \text{기본파}]^2}$$

$$\text{잡음전력} = E[\text{잡음}^2] - (E[\text{잡음}])^2$$

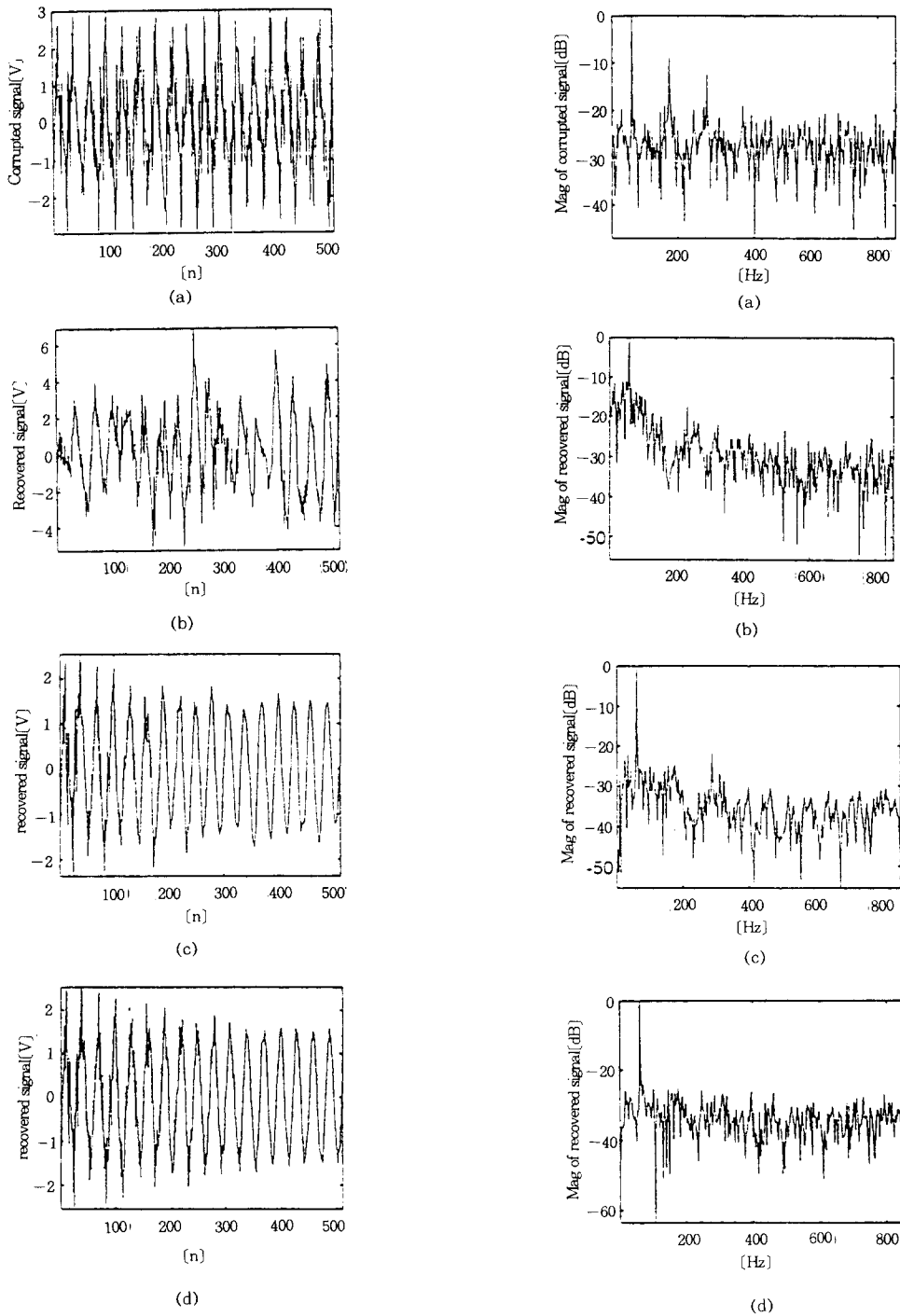
탭에 적은 신호가 인가되더라도 이득상수,  $\mu$ 의 변동에 따라서 현저한 결과의 차이가 발생함을 그림 7-(b), (c)가 보여주고 있다. 따라서 LMS의 경우, 작은 신호를 취급하는 경우라도  $\mu$ 의 영향이 심각하나, NLMS의 경우도  $\mu$ 의 변화에 따라 물론 알고리즘이 영향을 받으나 LMS보다는 변화의 폭이 적었다.

적용 필터의 order M을 증가시키면 일반적으로 크기 응답에 날카로운 공진 첨두가 발생하여 그만큼 출력신호의 개선으로 나타나지만 수렴과정에 더 많은 시간이 소요된다. 이득상수  $\mu$  필터 order M, 입력 노음  $\|U(n)\|$  등의 인자들이 모두 수렴해의 정확도 뿐 만 아니라 수렴속도에도 영향을 미친다. A/D, D/A 변환기를 가진 데이터 획득 보드로부터 실시간으로 얻는 데이터를 처리하기 위해 적응필터의 탭 강도를 실시간적으로 조정하는 실시간 처리(on-line processing) 문제에서는 이들 인자의 결정에 각별한 주의가 요망되나, 컴퓨터 기억장치에 데이터 파일로서 이미 저장된 데이터를 처리하는 경우 적응 필터의 탭 강도를 비 실시간적으로 조정하는 비 실시간 처리(off-line processing)에서는 적응 수렴해가 만족스럽지 못하면 다시 새로운 매개변수로 조정하여 수행할 수 있기 때문에 최적치 결정에는 무리가 없다.

## 6. 결 론

대전력 계통에서 전력전달이라는 관점에서 보면 소신호 잡음은 실제로 크게 중요한 요소라고 볼 수 없다. 그러나 전력선을 소신호 정보전달을 전제로 하는 전력선 반송 시스템으로 생각하면 아주 중요한 요소라고 볼 수 있다. 참고자료들에 의한 결과를 보면 크게 4종류의 잡음이 소개되고 있으며, 이 중에서 60[Hz]전원 주파수에 동기된 잡음과 평활 스펙트럼을 가진 잡음에 관하여 알아 보았다. 아울러 다양한 특성을 가진 배전선로를 전력선 반송 시스템으로 사용할 경우 이의 운용주파수를 낮게는 3[kHz], 높게는 12[kHz]로 제한함이 바람직하다는 것을 알 수 있다.

본연구에서 시도한 잡음 저감대책의 한 방법으로 LMS, NLMS 적응 필터를 사용하였으며 이에



(a) 오염된 신호와 스펙트럼, (b) LMS(이득상수=0.05) 결과,  
 (c) LMS(이득상수=0.005) 결과, (d) NLMS(이득상수=0.05) 결과  
 그림 7. 작은 입력의 LMS, NLMS 결과  
 Fig. 7. Results of LMS, NLMS (small input + noise + 3rd + 15th)

작은 교류입력과 큰 교류입력을 인가하여 그 특성을 조사하여 본 결과 작은 교류입력일 경우에는 LMS, NLMS 공히 좋은 결과를 보여주었으나 큰 교류입력에 대하여는 NLMS만 기대한 결과를 나타내 주고 있다.

이득상수  $\mu$  필터 order M, 입력 노음  $\|U(n)\|$  을 어떻게 결정하느냐에 따라 알고리즘들의 특성이 상당히 변화하므로 이를 실시간 처리에 적용하는 데는 상당한 연구가 필요하여 다음의 연구 과제로 생각되어 진다.

### 참 고 문 헌

1) K. R. George, "Load Management and Feeder Automation

through the Use of Power Line Carrier", Pennsylvania Electric Association Spring Meeting, Meter Committee, May. 15, 1981.

2) H. J. Trussell, J. D. Wang, "Cancellation of Harmonic noise in Distribution Line Communications", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-104, No.12, Dec. 1985.

3) R. M. Vines, H. J. Trussell, L. J. Gale, "Noise on Residential Power Distribution Circuits", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, vol. EMC-26, No.4, Nov. 1984.

4) S. Haykin, "Adaptive Filter Theory", Prentice-Hall 1991.

5) B. Widrow and S. D. Stearns, "Adaptive Signal Processing", Prentice-Hall 1985.

6) S. Orfanidis, "Optimum Signal Processing", McGraw-Hill 1988.

### ◇ 著者紹介 ◇



정 원 몽(鄭源鎔)

1949년 7월 22일 생. 1975년 부산대학교 전기공학(학사) 1977년 부산대학교 전기공학(석사). 1983년 Florida Inst. of Tech. 전기공학과(석사). 1988년 Georgia Inst. of Tech. 전기공학과 박사과정 수료 1991년 영남대학교 전기공학과(박사). 1978년~현재 경남대학교 부교수.



이 수 흠(李壽欽)

1946년 5월 1일 생. 1969년 영남대학교 전기공학과 졸. 1975년 영남대학교 대학원 전기공학과 졸(석사). 1975년 경북대 대학원 전자공학과 졸(박사). 1988년~1989년 일본 동경대 공학부 계수공학과 연구교수. 현재 경남대 공대 전기공학과 교수.



최 태 원(崔泰源)

1943년 5월 21일 생. 1969년 부산대학교 공대 전기공학과. 1969년 한국 전력 근무. 1978년 동의공업 전문대학 조교수. 1991년 경남대학교 전기공학과 박사과정.



고 희 석(高羲石)

1942년 8월 21일 생. 1966년 부산대학교 전기공학과 졸업. 1984년 중앙대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 경남대학교 전기공학과 교수. 대한전기학회 학술이사 및 평의원.



김 석 순(金錫舜)

1966년 2월 24일 생. 1993년 경남대학교 공대 전기공학과 졸. 1994년 경남대학교 전기공학과 석사과정.