

차동형 와전류신호의 경제적 저장법 연구

Study of Economic Storage Method for Differential ECT Signals

이창준*, 이진호**, 신영길***†

Chang-Jun Lee*, Jin-Ho Lee** and Young-Kil Shin***†

초 록 탐상신호로부터 결함에 대한 정확한 정보를 얻으려면, 검사자는 어떠한 결함에서 어떠한 신호가 발생되는지에 대한 충분한 배경지식이 있어야 하며, 이는 대부분 경험에 의해 얻어진다. 다른 방법으로 그러한 지식을 축적하려면, 여러 결함과 해당 결함신호에 대한 데이터베이스의 구축이 필요하다. 데이터베이스의 구축시 검사신호를 그대로 저장하게 되면 매우 큰 저장공간을 필요로 하게 된다. 본 논문에서는 푸리에 서술자를 이용하여 경제적으로 신호를 저장하는 방법을 연구하였다. 이 방법에서는 신호 대신 푸리에 서술자를 저장하여 저장공간을 줄이며, 저장된 서술자들을 이용하여 원래의 신호를 재생한다. 차동형 와전류신호들을 사용하여 실험한 결과, ASCII 데이터로 실제 신호로부터는 약 85 % 까지, 그리고 필터링된 신호로부터는 57 ~ 65 % 까지 저장공간을 절약할 수 있었으며, 이때 재생된 신호는 원래 신호와 매우 유사함을 확인하였다. 이러한 저장법은 차동신호 데이터베이스를 구축할 때, 매우 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

주요용어: 차동 와전류 신호, 신호 데이터베이스, 푸리에 서술자, 저장공간

Abstract To get accurate information about the defect from the test signal, NDT engineers should have a good knowledge on forward problems. Such knowledge is usually obtained by a lot of testing experiences. Another way of obtaining such knowledge is to build a database containing lots of defect information and their corresponding signals. However, the archiving of raw test data would require a lot of storage space. In this paper, an economic way of storing signals is studied by using Fourier descriptors. Instead of saving raw signal data, Fourier descriptors are saved and the storage space is reduced. Of course, the defect signal can be reconstructed from the stored descriptors. By using differential ECT signals produced by numerical modeling and experiment, the savings of 85 % from the original signal and 57 ~ 65 % from the filtered signal in the storage space were confirmed. The similarity of the reconstructed signal and the original signal was also demonstrated. This Fourier descriptor approach could contribute significantly in building differential signal databases.

Keywords: differential ECT signal, signal database, Fourier descriptor, storage space

1. 서 론

원전 증기발생기의 안전성을 평가하기 위한 비파괴검사에서는 결함의 유무, 위치 및 위험도 등을

파악하기 위하여 검사신호를 정확하게 해석할 수 있어야 한다. 검사신호의 정확한 해석은 결함의 종류 및 크기에 따라 어떤 형태 및 크기의 결함신호가 발생되는지에 대한 사전지식이 전제되어야 가능

(접수일: 2003. 12. 26. 심사완료일: 2004. 2. 9) * (주) 카이텍, ** 한국원자력안전기술원, *** 군산대학교 전자정보공학부, † Corresponding author: Faculty of Electronic & Information Engineering, Kunsan National University, Kunsan 573-701 (E-mail: ykshin@kunsan.ac.kr)

하다. 따라서 결합 및 해당 결합신호에 대한 데이터베이스가 구축될 필요가 있다. 그러나, 탐상검사 데이터를 그대로 저장하여 데이터베이스를 구축하면 매우 큰 저장공간이 요구될 것이며, 이는 데이터베이스 구축에 심각한 장애요소로 작용할 것이다. 예를 들어, 증기발생기 검사에 흔히 사용되는 와전류 탐상에서 두 코일 사이의 임피던스 차를 결합신호로 사용하는 차동형 와전류 신호는 대부분 8자 형태의 독특한 폐곡선을 형성한다[1,2]. 이러한 복잡한 신호 데이터를 저장하려면 많은 양의 저장공간이 필요하다. 따라서, 본 논문에서는 차동형 와전류 신호들을 푸리에 서술자[3-6]를 이용하여 최소한의 공간만을 사용하여 저장하는 경제적인 저장법을 연구하였다.

먼저, 차동형 결합신호를 푸리에 서술자를 이용하여 저장하고, 또한 이로부터 원래의 신호를 재생할 수 있는 프로그램을 작성하여 그 효율성을 조사하였다. 다양한 수의 푸리에 서술자로 결합신호들을 저장하고, 푸리에 서술자의 수가 결합신호의 재구성에 미치는 영향을 실제 신호와 비교해 보면서 조사하여, 적절한 서술자의 수를 결정하였다. 그 결과, 푸리에 서술자를 사용하여 신호를 저장하면 가공하지 않은 결합신호 데이터를 저장하는 것보다 저장공간을 많이 절약할 수 있음을 확인하였고, 특히 실험신호의 경우에는 그 효과가 훨씬 더 크다는 것을 알 수 있었다.

2. 푸리에 서술자 (Fourier Descriptor)

푸리에 서술자란 복소수평면상에 형성된 폐곡선의 경계를 순서대로 나타내는 점들의 수열들에 이산푸리에 변환(DFT)을 적용하여 얻은 결과를 말한다. Fig. 1에서 폐곡선상의 점 P의 좌표를 $(x(l), y(l))$ 이라 하고, l 은 임의의 시작점, P_0 로부터 점 P 까지 시계방향으로 측정한 호의 길이라 하자. 이때, 함수 $u(l)$ 을 다음과 같이 정의하고,

$$u(l) = x(l) + jy(l), \quad j = \sqrt{-1} \quad (1)$$

L 을 폐곡선의 전체 길이라 하면, 다음이 성립한다.

$$u(l + nL) = u(l), \quad n = \dots -1, 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

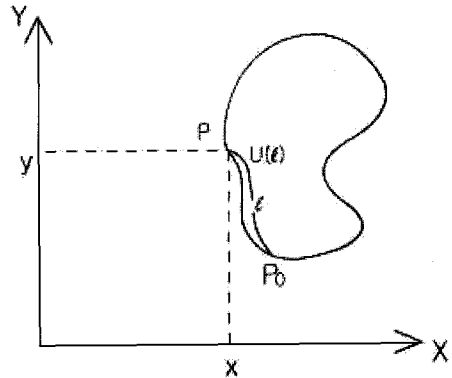


Fig. 1 Closed curve of contour function, $u(l)$

따라서, 함수 $u(l)$ 는 주기 L 을 갖는 복소수 주기함수이며, 주기적 성질을 활용하여 다음과 같이 푸리에 급수로 전개할 수 있다[4].

$$u(l) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n \exp\left[\frac{j2\pi nl}{L}\right] \quad (3)$$

여기서, 푸리에 서술자에 해당하는 계수 C_n 은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$C_n = \frac{1}{L} \int_0^L u(l) \exp\left(\frac{-j2\pi nl}{L}\right) dl \quad (4)$$

차동형 결합신호들은 임피던스 혹은 기전력 평면상에 폐곡선 형태로 나타나는데, 수치적 데이터는 곡선을 따라 이산된 평면좌표들로 주어진다. 신호 데이터의 수를 N 개라 하고, 폐곡선 형태의 신호를 Fig. 2와 같이 꼭지점이 N 개인 다각형으로 근사하면, 식 (4)는 다음의 식으로 계산될 수 있다[5,6].

$$C_n = \frac{L}{4\pi^2 n^2} \sum_{k=1}^N (b_{k-1} - b_k) \exp\left(\frac{-j2\pi nl_k}{L}\right) \quad (5)$$

여기서,

$$l_k = \sum_{i=1}^k |V_i - V_{i-1}|, \quad k > 0, \quad l_0 = 0 \quad (6)$$

$$b_k = \frac{V_{k+1} - V_k}{|V_{k+1} - V_k|}, \quad |b_k| = 1. \quad (7)$$

식 (5)의 역푸리에 변환은 식 (3)과 같은 형태로 표현되어 폐곡선 형태의 신호를 다시 생성할 수 있게 해주는데, C_n 의 모든 N 개의 값을 사용하지 않고 허용오차 내에서 다음과 같이 근사하여 사용할 수 있다.

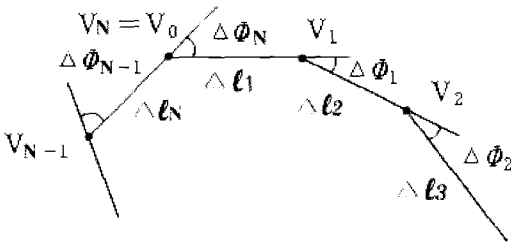


Fig. 2 Polygon of N sides approximating the signal

$$u(t) = \sum_{n=-M}^M C_n \exp\left[\frac{j2\pi n t}{L}\right], \quad n \neq 0 \quad (8)$$

여기서 M은 N에 비해 상대적으로 무척 작은 수이다. 이러한 푸리에 변환, 역변환 과정을 활용하면, N개의 데이터를 가진 차동형 결함신호를 2M개의 푸리에 서술자로 경제적으로 저장할 수 있다 ($N \gg 2M$).

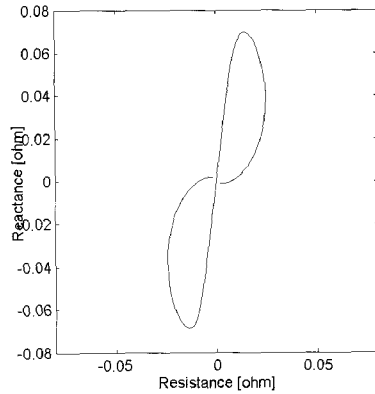
3. 사례 연구

본 연구에서는 증기발생기 전열관의 결함에 대한 유한요소 모델링과 와전류탐상 실험을 통해 생성된 차동형 와전류 신호들을 푸리에 서술자로 저장하여, 저장공간이 얼마나 절약되는지 조사하였다. 신호를 정확하게 저장하는데 필요한 푸리에 서술자의 수를 결정하기 위하여, 여러가지 수의 푸리에 서술자로 저장한 후, 신호를 재생하여 원래의 신호와 비교해 보았다.

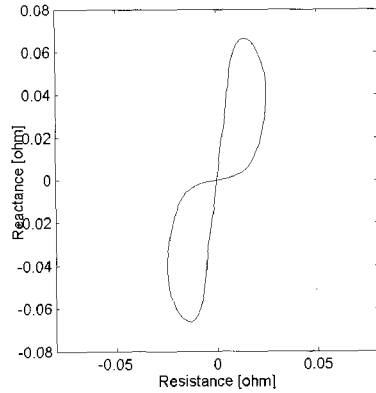
3.1. 수치모델링 결함신호

Fig. 3은 수치모델링을 통해 78개의 데이터로 예측된 결함신호를 푸리에 서술자의 수를 $M = 6, 18$ 로 증가시키면서 저장한 후, 결함신호를 재생한 것이다. M이 증가할수록 실제 신호와 거의 유사한 신호가 재생되는 것을 알 수 있으며, $M = 18$ 인 경우에는 재생된 신호가 Fig. 4에서 비교해 본 바와 같이 원래의 신호와 거의 같음을 볼 수 있다.

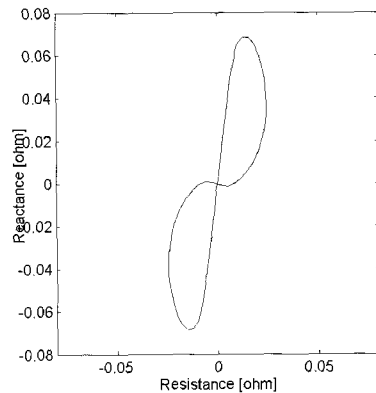
이 경우, 원래의 모델링 결함신호의 ASCII 데이터 수는 $N = 78$ 개(저장공간 = 2.4 KB)이지만, 저장된 ASCII 데이터 수는 $2M = 36$ 개(저장공간 = 1.13 KB)로 데이터 수와 저장공간이 절약되었다.



(a) original signal
(N=78)



(b) reconstructed signal
(M=6)



(c) reconstructed signal
(M=18)

Fig. 3 FEM predicted signal and reconstructed signals with different numbers of Fourier descriptors

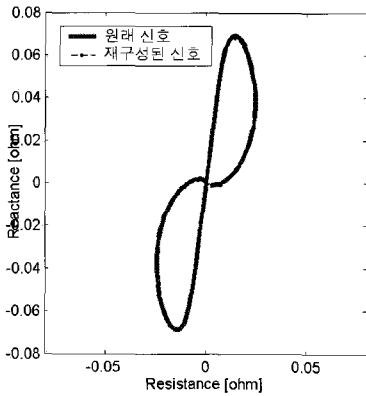


Fig. 4 Comparison of the modeled and the reconstructed signals with 18 Fourier descriptors

3.2. 와전류탐상 실험신호

실제 탐상신호들은 잡음이나 과도한 샘플링으로

인해 반복되는 데이터를 포함할 수 있으므로 신호의 필터링 과정을 삽입하였다. 차동신호는 두 코일 임피던스의 차이라는 특성을 고려하여 절대치가 작은, 정도이하의 잡음은 무시하였고, 반복되는 값들은 몇 개의 연속된 데이터 내에서 평균값을 취하였다. Fig. 5는 높은 sampling rate를 사용하여 얻어진 실험신호와 그것을 필터링한 결합신호를 보인 것이다. Fig. 6은 푸리에 서술자의 수를 $M = 6, 10, 18$ 로 증가시키면서 저장한 후 결합신호를 재생한 것으로, Fig. 7에서 비교해 본 바와 같이 $M = 18$ 인 경우에는 재생된 신호가 원래의 필터링된 신호와 거의 같아진다. 이 경우, 과도하게 샘플링된 실험신호의 ASCII 데이터 수는 901개(저장공간 = 23 KB)였고, 필터링된 결합신호의 ASCII 데이터 수는 $N = 232$ 개(저장공간 = 7.2 KB)였으며, 푸리에 서술자로 저장된 ASCII 데이터 수는 $2M = 36$ 개(저장공간 = 1.13 KB)로, 실험신호의 경우에는 데이터 수와 저장공간의 절약이 훨씬 더 효과적이었다.

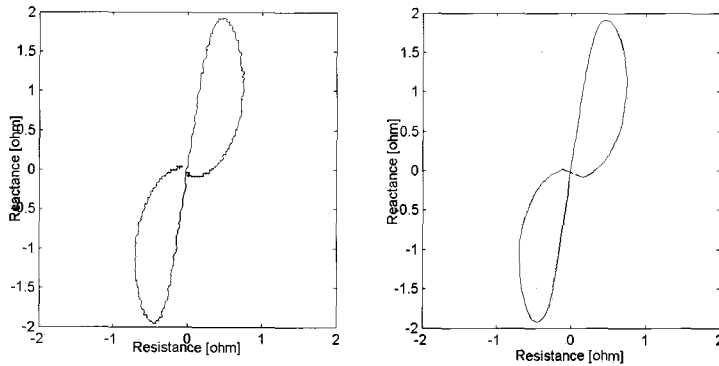


Fig. 5 Oversampled experimental signal (left) and filtered signal (right)

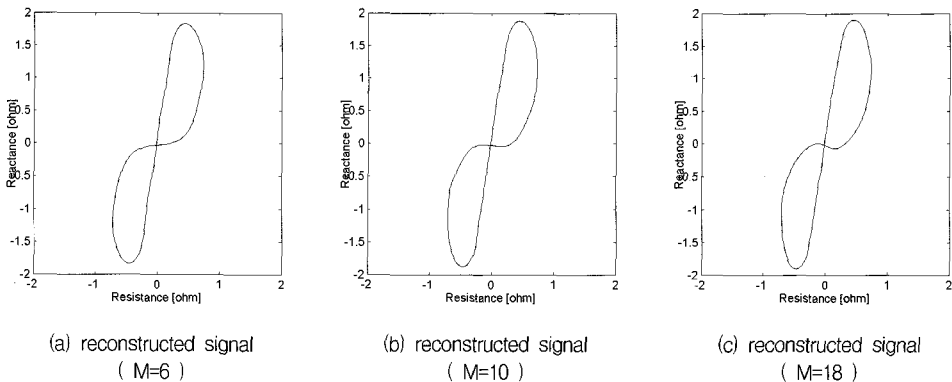


Fig. 6 Reconstructed signals with different numbers of Fourier descriptors

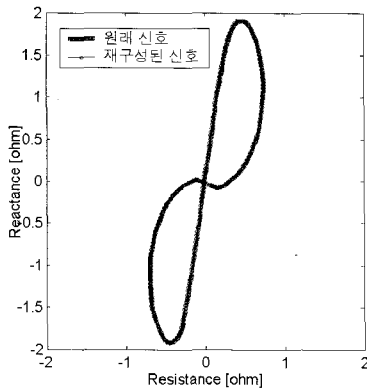


Fig. 7 Comparison of filtered experimental and reconstructed signals with 18 Fourier descriptors

결합신호 이외에 좀 더 복잡한 형태의 신호에서 푸리에 서술자의 저장공간 절감효과를 알아보기 위하여, 전열관의 결합과 지지대가 6.5 mm 떨어져 있을 때의 실험신호와 지지대 내부 중앙에 전열관의

결합이 존재하는 경우의 실험신호를 대상으로 그 효과를 조사하여 결과를 Fig. 8과 9에 보였다. Fig. 8의 경우, 실험신호의 ASCII 데이터 수는 250개(저장공간 = 8.05 KB)였고, 필터링된 신호의 ASCII 데이터 수는 $N = 82$ 개(저장공간 = 2.66 KB)였으며, 푸리에 서술자로 저장된 ASCII 데이터 수는 $2M = 36$ 개(저장공간 = 1.13 KB)였다. Fig. 9의 경우에는 실험신호의 ASCII 데이터 수는 269개(저장공간 = 8.68 KB)였고, 필터링된 신호의 ASCII 데이터 수는 $N = 99$ 개(저장공간 = 3.21 KB)였으며, 저장된 ASCII 데이터 수는 $2M = 36$ 개(저장공간 = 1.12 KB)였다. 푸리에 서술자를 저장할 때, ASCII file 뿐만 아니라 binary file 형태로도 저장하여 저장공간을 더 줄일 수 있으므로, 각각의 경우의 저장공간을 비교하여 Table 1과 2에 보였다. 신호형상이 복잡해 지더라도 푸리에 서술자로 저장을 하면 데이터 수 자체를 줄여 경제적으로 저장할 수 있으며, 또한 원래 신호의 데이터 수에 크게 영향받지 않고 일정한 용량만으로 저장할 수 있음을 알 수 있다.

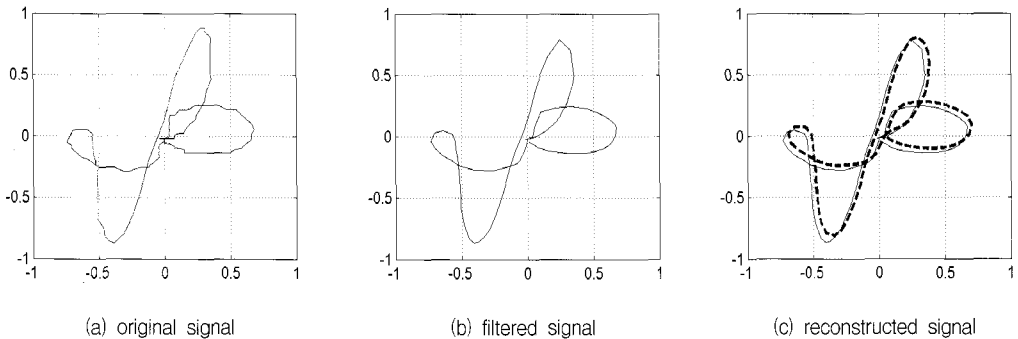


Fig. 8 Signals when a tube defect and support plate ring are separated 6.5 mm apart

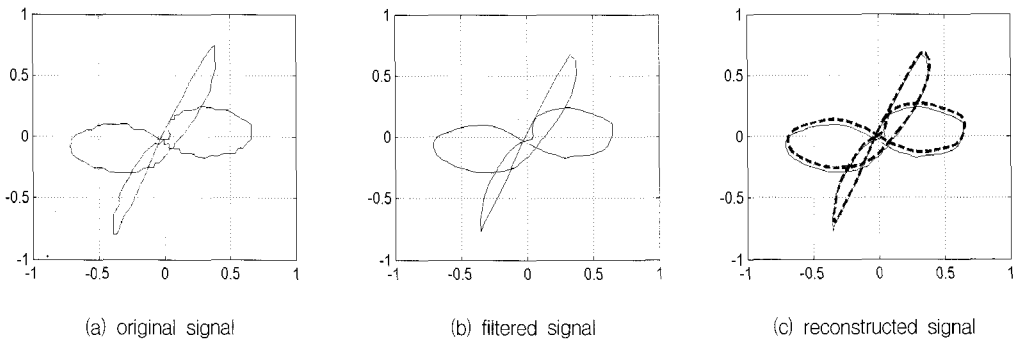


Fig. 9 Signals when a tube defect is at the center inside the support plate ring

Table 1 Comparison of storage spaces for the case of Fig. 8

	데이터 수	저장공간 용량 (ASCII)	저장공간 용량 (Binary)
실제 실험신호	250 개	8.05 KB	-
필터링된 신호	82 개	2.66 KB	-
저장공간	36 개(M=18)	1.13 KB	0.296 KB
	20 개(M=10)	0.644 KB	0.168 KB
	12 개(M= 6)	0.388 KB	0.104 KB

Table 2 Comparison of storage spaces for the case of Fig. 9

	데이터 수	저장공간 용량 (ASCII)	저장공간 용량 (Binary)
실제 실험신호	269 개	8.68 KB	-
필터링된 신호	99 개	3.21 KB	-
저장공간	36 개(M=18)	1.12 KB	0.296 KB
	20 개(M=10)	0.647 KB	0.168 KB
	12 개(M= 6)	0.390 KB	0.104 KB

4. 결 론

결합신호의 정확한 해석을 위해서는 forward problem에 대한 사전지식이 필요하며, 이를 위해 결합신호 데이터베이스를 구축하게 되는데 이때 과도한 저장공간의 필요성이 문제가 될 수 있다. 본 연구에서는 유한요소 모델링과 와전류탐상 실험을 통해 생성된 차동형 와전류 신호들을 푸리에 서술자를 이용하여 경제적으로 저장하는 방법을 연구하였다. 차동 와전류 결합신호를 푸리에 서술자를 이용하여 저장하고, 또한 이로부터 신호를 재생할 수 있는 프로그램을 개발하였으며, 이를 이용하여 실제 결합신호들을 정확하게 저장하는데 필요한 푸리에 서술자의 수를 재생된 결합신호와 실제 결합신호를 비교해 보면서 결정하였다. 차동형 신호와 같이 복잡하고 다양한 형태의 결합신호들을 저장하기

위해서는 많은 양의 저장공간이 필요한데, 본 논문에서 사용한 방법은 실제 신호의 저장공간보다 더 적은 공간에 신호정보를 저장할 수 있어 경제적인을 입증하였다. 이러한 신호 저장법은 많은 양의 결합신호들을 데이터베이스화 할 때 매우 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] S. J. Song and Y. K. Shin, "Eddy Current Flaw Characterization in Tubes by Neural Networks and Finite Element Modeling," *NDT&E International*, Vol. 33, No. 4, pp. 233-243, (2000)
- [2] 이항범, 원성연, 신영길, "3차원 관결합에 대한 와전류탐상의 유한요소해석", *비파괴검사학회지*, 제20권 3호, pp. 191-199, (2000)
- [3] C. T. Zahn and R. Z. Roskies, "Fourier Descriptors for Plane Closed Curves," *IEEE Transactions on Computers*, Vol. C-21, pp. 269-281, (1972)
- [4] G. H. Granlund, "Fourier Preprocessing for Hand Print Character Recognition," *IEEE Transactions on Computers*, Vol. C-21, pp. 195-201, (1972)
- [5] E. Persoon and K. S. Fu, "Shape Discrimination Using Fourier Descriptors," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. SMC-7, No. 3, pp. 170-179, (1977)
- [6] L. Udpa and S. S. Udpa, "Neural Networks for the Classification of Nondestructive Evaluation Signals," *IEE Proceedings-F*, Vol. 138, pp. 59-63, (1991)