

## 유추해석을 이용한 차동변압기의 계열화 설계기법 고찰

°조 경 재\*, 차 인 수\*\*, 이 권 현\*\*\*

\* 동신대학교 대학원 전기전자공학과

\*\* 동신대학교 전기전자공학부

\*\*\* 전남도립담양대학 전자과

### A Study on the Systematization Design of Differential Transformer by using Analogical Interpretation

°Kyeng-Jai Cho\*, In-Su Cha\*\*, Kwon-Hyun Lee \*\*\*

\* Dept. of Electrical & Electronic Eng. Graduate School, Dongshin Univ.

\*\* Dept. of Electrical & Electronic Eng. Dongshin Univ.

\*\*\* Dept. of Electronic Eng. Chonnam-Provincial College of Damyangl

#### Abstract

We introduce the systematization design method using similarity theory which is profitable in the compatability, the reduction of construction time and price. The design method can make us predict the characteristic experiment for the magnitude we desire as the expression equation applied continuously. we can induce the design sample the users demand with the verification of the data on optimum design previously. Therefore, in case of designing and developing the products, systematization design method is very useful for the standardization of the developed goods, compatability, the reduction of construction time and price. In this paper, we presented the analogical algorithms of systematization design using similarity theory, design factors and processing method of the restriction factors. Also, we analyzed the output voltage in terms of input voltage and displacement as choosing a differential transformer as the model.

는 Morphological method, Syntetics 및 Similarity theory 나 Brain storming 등의 다양한 방법 등을 들 수 있다. 이에 대해 설계자나 개발자는 개발 제품의 표준화 및 호환성과 제작공정의 단축, 가격저하 등의 이점을 우선적으로 요구하게 된다면 유사이론을 적용한 계열화 설계기법을 선택할 수 있겠다. 유추해석을 기초로 한 계열화 설계는 기 선정된 모델의 설계치에 운전상의 경험을 통한 가변적인 설계 정수를 수요자가 요구하는 조건에 부합될 수 있도록 모든 제 특성을 수학적으로 기술이 가능하도록 체계화하여 새로운 설계안을 찾는 것이다[1][2].

최근에 다양하게 응용되고 있는 에너지 변환장치의 일종인 변압기는 승압, 강압 특성을 이용하는 것으로 일반적으로 고정된 철심에 코일의 권수에 따라 1차측의 전압에 대해 2차측의 유기기전력에 의해 전압을 발생시키는 장치이다.

본 논문에서는 미소 변위에 따라 전압이 변하는 변압기의 일종인 차동변압기를 모델로 선정하여 물리적이고 기술적인 부분의 면밀한 분석을 통해 제품의 기능에 대한 특성과 유사이론을 적용한 계열화 설계 기법을 이용하여 차동 변압기를 설계하고 입력과 변위에 따른 출력 전압의 관계를 분석하였다.

#### 1. 서론

설계자나 개발자는 제품의 개발시 수요자로부터 제품의 기능, 가격, 제작 기간 등의 다양한 요구를 접하게 된다. 이들 요구에 대한 개발이나 설계 방법으로

#### 2. 차동변압기

##### 2.1 구조

차동변압기는 코일의 상호 유도 작용을 이용하여

직선의 변위에 따라 비례하는 전기량으로 변환하는 장치이다.

그림1은 차동변압기의 구조를 보여주고 있다.

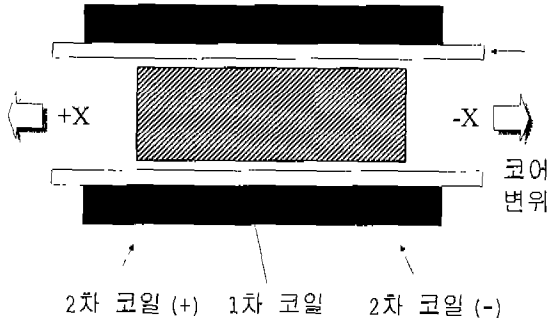


그림1. 차동변압기의 구조

1차코일, 두개의 2차 코일, 보빈, 그리고 감지하여야 할 기계적 변위량과 가동 코어의 기계적인 변위 ( $\pm x$ )에 의해 1차 코일과 두 개의 2차 코일 사이의 상호 인덕턴스가 변화하고, 이것에 의해서 2차 코일에 유도되는 전압의 차가 생기는 것을 이용하고 있다.

## 2.2. 원리

그림 2에서와 같이 1차 코일의 단자 ab에 교류전압  $V_1$ 를 걸었을 때 2차 코일의 단자 cd 및 ef간에 2차 전압  $V_2'$ ,  $V_2''$ 가 나타난다.

여기서 2차 코일의 양쪽 권수를 똑같이 하고, 코어가 중앙에 있을 때는 1차 코일과 두개의 2차 코일 사이에 나타나는 상호 인덕턴스  $M_1$ ,  $M_2$ 는 같으므로  $V_2' = V_2''$ 가 되지만 코어가 cd 단자 쪽으로 변위하면  $M_1 > M_2$ 로 되어 코일 cd 단자의 2차 전압  $V_2'$ 가 커지고 코일 ef 단자의 2차 전압  $V_2''$ 가 적어진다. 그리고 코어를 좀 더 움직여서 코어의 중앙과 코일 cd 중앙위치가 일치하였을 때,  $M_1$ 은 최대되고 전압  $V_2'$ 는 최대가 된다.

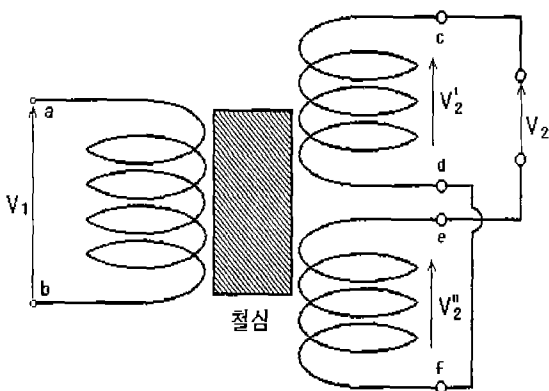


그림2. 차동변압기의 기본회로

코어를 다시 반대 방향으로 움직이면,  $M_1 < M_2$ 이 되어 코일 cd 간의 유도 전압  $V_2'$ 은 감소하고 코어가 ef 단자 쪽으로 변위하면 결과는 전압  $V_2'$ 의 형성 과정과 반대 현상으로서  $V_2''$ 가 최대가 된다. 또한 차동변압기는 매우 정밀한 기계로서 자동제어의 위치 검출기로서 널리 이용되고 있다[3].

그림 3은 변위량에 따라 2차측 출력전압  $V_2$ 의 크기를 보여주고 있다.

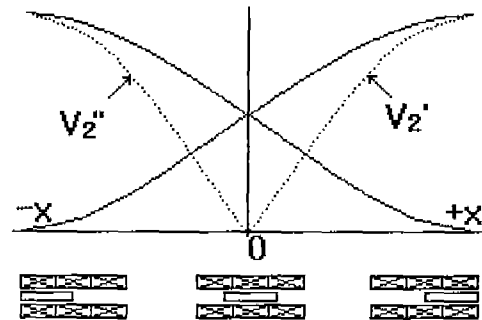


그림3. 차동변압기의 출력 파형

## 3. 계열화 설계

### 3.1 유추해석을 이용한 설계기법

설계자나 개발자가 서로 다른 크기, 주파수, 출력이나 이외의 다른 파라미터를 가지고 차동변압기의 생산을 위해 같은 작업 공정상에서 동일한 물리적 현상으로 계획하고, 설계하기 위한 기술적 시스템은 대부분 설계 요소로서 요약할 수 있다.

계열화 설계는 수학적 기술이 가능한 설계정수와 그 기술이 불가능한 설계 정수로 구분 되어져야 한다. 수학적 기술이 가능한 파라미터는 유사이론 알고리즘을 통해 개개의 현상을 프로그램화 하여 이들 프로그램이 전체적인 시스템에 적용될 수 있도록 제작 되어야 한다. 그러나 수학적 기술이 불가능한 설계 파라미터는 별도의 해설문이나 그래픽 데이터를 참고한 단계적 급수로 부분적 유사이론을 적용하여 최종 프로그램을 실현토록 한다[4].

그림4는 계열화 설계를 위한 프로그램 구성의 블록도이다. 개발 초기 프로그램을 유사이론 알고리즘으로 구성하는데는 관련 특성공식을 수학적 기술이 가능하도록 개념화 하여야 하며 주어진 조건들이 유추해석이 가능한지 고려해 보아야 한다. 다음 단계로 모델에 대한 희망하는 급수(대형화 또는 소형화의 비)의 데이터를 확정하고 각종 설계정수에 대한 완전한 규격을 산정한다. 부분적 유사이론의 적용이 요구되는 경우 초기 프로그램은 프로그램에 대한 그래픽 데이터나 설명문을 이용한 수정 프로그램으로 작성한 후 유사이론 알고리즘 단계로 작업이 이루어진다.

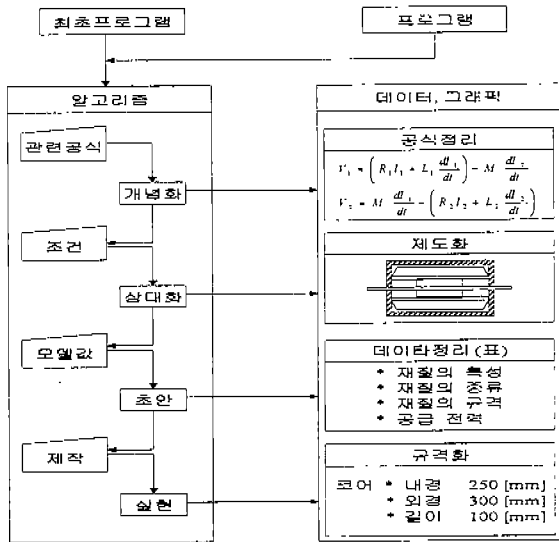


그림4. 계열화 설계 구성에 대한 블록도

차동변압기 설계 및 개발 제품의 표준화 및 호환성과 제작공정의 단축, 가격저하 등의 이점을 우선적으로 요구하게 될 때 표본 모델을 선정하여 그로부터 물리적이고 기술적인 부분에 대한 면밀한 분석을 통하여 고유한 특징을 추출하고 이에 대한 수학적인 유추해석으로 설계상의 최적 데이터를 사전에 도출하므로써 요구에 부합되는 설계표본을 이끌어낼 수 있다. 이것을 식(1) 과 같이 나타낼 수 있다.

$$I^* = \frac{\text{새로 작성할 모델의 물리적 량}}{\text{표준 모델의 물리적 량}} \quad (1)$$

차동변압기의 1차 전압과 2차 전압에 대한 식은 다음과 같다.

$$V_1 = \left( R_1 I_1 + L_1 \frac{dI_1}{dt} \right) - M \frac{dI_2}{dt} \quad (2)$$

$$V_2 = M \frac{dI_1}{dt} - \left( R_2 I_2 + L_2 \frac{dI_2}{dt} \right) \quad (3)$$

모델과 기하학적 유사성을 갖고 동일 재질로 구성된 차동 변압기의 2차측 전압에 대한 각종 특성을 찾기위한 유사성 척도는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_2^* = M^* I_1^* / t^* = R_2^* I_2^* = L_2^* I_2^* / t^* \quad (4)$$

여기에서 모델과 실행 차동 변압기의 전류를 일정하게 한다면 유사성 척도에 의해서  $I_1^*$ 과  $I_2^*$ 는 1이고, 주파수를 일정하게 한다면  $1/t^* = f^*$ 이므로 유사성 척도에 의해  $t^* = 1/f^*$ 이다. 상호인덕턴스는 1차측과 2차측의 두 코일간의 전자기 결합 상태 및 주의의 자성체 유무에 따라 결정 되므로 재질을 동일하게 한다면 상호 인덕턴스의 유사성 척도  $M^* = 1$ 이다. 또한  $R_2^* = \rho^* l^* / S^*$ 이므로 같은 재질을 사용한다면 고유저

항  $\rho^* = 1$ 이 되므로  $R^* = l^* / S^*$ 로 표현할 수 있다. 또한  $L = \mu \omega_1^2 S / l$ 에서 재질을 동일시하고 모델과 비례적으로 동일한 배수의 코일을 사용하여 턴수를 같게 하면 자기인덕턴스의 유사성 척도  $L^* = l^*$ 이 된다.

위의 관계에서 살펴본 바와 같이 유추해석에 의한 차동변압기의 2차측 전압은 저항은  $l^* / S^*$ 에 비례하고 자기 인덕턴스는  $l^*$ 에 비례함을 살펴 보았다.

### 3.2 방해요소와 제한요소

차동변압기의 특성 및 기능을 선형적인 수학으로 기술할 수 있는데 선형적인 수학으로 기술할 수 없는 방해요소와 제한요소가 따르게 된다. 수학적인 고찰을 통해 확실하게 접근되어질 수 없는 간접파라미터(제한요소, 방해요소)는 설계의 제한요소로 작용된다. 그것은 임의의 규정된 크기에서 다른 크기의 설계 작업이나 또는 개개의 크기로부터의 운전특성을 전개함에 있어 방해 요소가 되는 것이다. 이것은 차동변압기의 실현화에 중요한 요소로서 입력과 출력의 물질, 에너지, 신호 등은 양적, 질적인 면에서 면밀히 제공되어야 한다. 그러나 고객의 주요사항은 변압이 없도록 하여 일부 품목의 재질을 변경하거나 크기, 형식을 변경하여 최종적인 입·출력관계의 차동변압기의 특성을 고객이 원하는 사항에 만족하도록 하여야 한다. 즉 기하학적인 출력, 손실 또는 다른 파라미터 등을 고려하여 시작품의 특성 실험을 통하여 사전에 예측할 수 있었던 데이터 검출여부를 고찰한다[4][5].

그림 5는 계열화 설계에 의해 차동 변압기의 입출력 및 간접 매개체(방해요소, 제한요소)를 나타내고 있다.

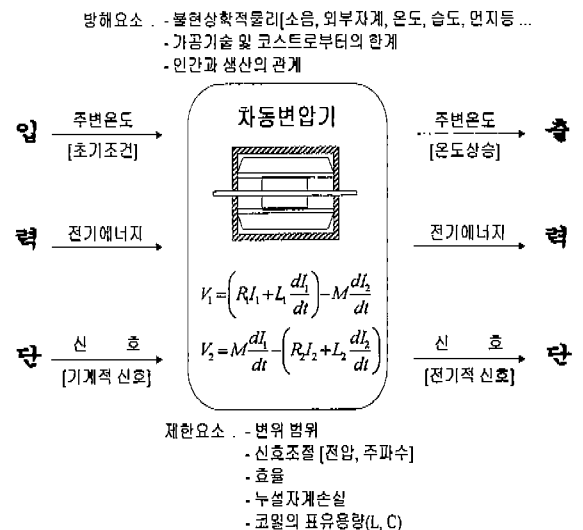


그림5. 설계를 위한 차동변압기의 입출력 및 간접파라미터

## 4. 실험결과

1차측 전압을 1~6(V)까지 변화시킴과 동시에 가동코어의 변위를 1[mm] 단위로 미소하게 변화시켜 가면서 2차측 전압을 측정하였다.

표 1은 입력전압과 가동 코어의 변위량에 따른 2차 출력 전압을 나타내고 있다.

표 1 입력전압(전류)과 변위에 따른 출력

입력 전압 (V)	변위(mm) & 출력전압 (mV)					변위(mm) & 출력전압 (mV)				
	+4.72	+3.72	+2.72	+1.72	+0.72	-0.28	-1.28	-2.28	-3.28	-4.28
6.00	224.1	176.5	132.1	83.8	37.2	15.2	68.1	113.8	162.0	206.0
5.00	189.0	155.3	116.2	73.6	31.5	11.5	55.9	97.9	140.5	179.3
4.00	160.3	129.7	96.2	63.8	26.0	9.5	46.15	84.3	116.3	149.6
3.00	121.9	99.7	73.9	46.5	20.0	8.3	36.8	63.0	90.4	116.1
2.00	81.0	66.5	49.7	31.6	13.4	5.8	25.0	43.0	61.1	77.7
1.00	41.0	33.5	24.7	15.8	7.8	2.0	12.7	20.5	29.4	38.1

그림 6은 실제 유추 해석을 이용한 설계에 의해서 제작된 차동 변압기의 입력 전압과 변위에 따른 출력 전압을 나타내고 있다.

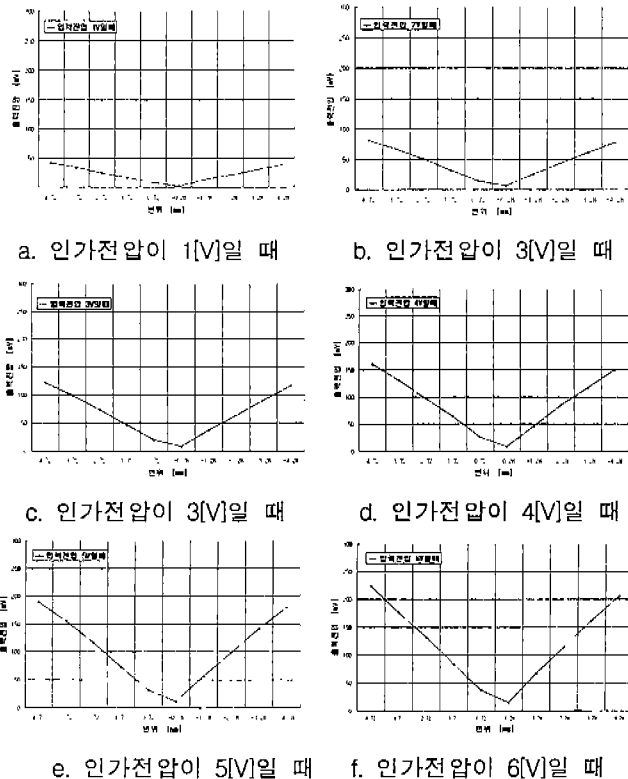


그림 6. 입력전압과 변위에 따른 출력

## 5. 결론

본 논문에서는 기기의 설계방법으로 유추해석을 이용한 계열화 설계기법에 대하여 살펴보았으며 실제 차동변압기를 모델로 선정하여 유추해석에 의해 설계 방법을 연구하였으며, 차동변압기 입력 전압 값과 변위에 따라 나타나는 출력전압의 관계를 살펴보았다.

즉 출력전압은 입력전압의 증가와 변위의 증가에 따라 증가함을 알 수 있었다. 본 연구에 이용된 모델은 동신대학교 전기기기 실험실에서 손수 제작한 것으로서 모델에 대한 출력 전압을 분석하는데 역점을 두었다.

특히 본 연구의 결과의 적용은 직접 제품 생산 관련업체에서 생산제품들에 대한 미리 수집된 각종 데이터를 이용한 설계작업과 시제품 생산 및 실험을 통해 더 한층 이론치에 일치하는 결과를 이끌어 낼 수 있으리라 기대된다.

## 참고 문헌

- [1] E. Mayer J.Eckhardt, "Vorgehensweise bei der Einführung eines CAD systems", Der konstruktur, pp 6 - 14, H. 4, 1985
- [2] E. Gerhard, "Baureihendenken in der Feinwerktechnik", Feinwerktechnik Messtechnik 88 H. 8, pp 411 - 413, 1980
- [3] 황기범, 차동변압기를 이용한 전자 MICRO METER 에 관한 연구, 아주대 산업대학원, 석사학위 논문, 1994
- [4] K-H, Lee, Grenzen der technischen Miniaturisierung von permanent magnetischen erregten Gleichstromkleinstmotoren mit Hilfe der Ähnlichkeitstheorie, Universität Duisburg, 1985
- [5] 조경재, CAE에 의한 액츄에이터의 계열화 설계 기법 및 개발, 동신대학교, 석사학위논문, 1997