

# 컴퓨터 응용기술(CAE)을 이용한 기기특성의 유추해석과 계열화 설계

## Systematization design and the analogical interpretation of machinery character by use CAE

조 경 재<sup>\*</sup>(동신대 대학원), 조제황(동신대 공대), 이 권 현(동신대 공대)

Kyeng-Jai, CHO(Dongshin Graduate School, Dongshin Univ), Che-Hwang, CHO (Dongshin Univ)  
Kwon-Hyun, LEE(Dongshin Univ)

< Abstract >

In this paper, we introduce the design method using CAE(Computer Aided Engineering) which is profitable in the compatability and standardization of the developed product, and the reduction of construction time and price to develop and design a machine equipment.

Particularly, we select the standard model to design or develop from the large machinery to the super precision one, extract the peculiar characters of the model by the close analysis of the physical and technical part, the experiment for the characteristics of objective dimensions by analogical mathematical analysis for previous results, and can induce the design model demanded by user investigating optimal data in the design previous

We present the analogical algorithms and process method of design factors and restriction factors in the systematization design with computer. Then we analyze step functions for each systematization equipment and induce the process of technical data with actuator model.

Key Words : 유추해석(Analogical Interpretation), 전산응용공학(Computer Aided Engineering)  
제한요소(Restriction Parameter), 선형액추에이터(Linear Actuator),  
계열화설계(Systematization Design), 4단자망(Four Terminnal Network)  
표준화설계(Standardization Design), 유사이론(Similarity Theory)

### 1. 서 론

기계기구의 설계자나 개발자는 수요자로부터 기  
능, 가격, 제작기간 등의 다양한 요구사항에 접하게  
된다. 이에 대한 설계 방법으로는 형태학적 기법  
(Morphological method), 창조성 기법(Synetics), 유  
사이론(Similarity theory)을 이용한 방법들을 들 수  
있지만 개발제품의 표준화 및 호환성, 공기의 단축,  
가격저하 등의 이점을 우선적으로 요구하게 된다면  
유추해석을 적용한 설계기법인 전산응용공학(CAE)  
이 의한 체계적인 설계기법을 택할 수 있겠다.

유추해석에 의한 설계는 연속적으로 반복하여 적  
용되는 알고리즘의 표현식으로 Numerical처리방법  
을 사용하는데 계산기는 논리적인 처리과정을 통해  
서 수집된 데이터 및 중요 정보를 저장해 두었다가  
사용자 또는 설계자가 요구하는 프로그램에 따라 이  
들 자료를 넘겨주게 된다. 유추해석을 기초로 한  
계열화 설계는 이미 선정된 모델의 설계치에 운전상

의 경험을 통한 가변적인 설계정수를 수요자가 요구  
하는 조건에 부합될 수 있도록 모든 체특성을 수학  
적으로 기술이 가능하도록 체계화하여 새로운 설계  
안을 찾는 것이다[1][2].

본 논문에서는 설계자나 개발자가 동일한 설계 및  
제조 기술에 바탕을 둔 제품의 표준화로 국제화규격  
에 쉽게 적용할 수 있는 설계기술과 유사이론을 설  
계기술에 적용하는 방법을 익히고 액추에이터를 모  
델로 선정하여 유사이론의 적용에 따라 소형화로 설  
계한 후 유사이론 알고리즘에 의해 사전에 예측한  
기기의 특성과 시작품의 개발로 그 특성을 통한 결  
과와 오차에 대한 보정 방안을 찾는 데 있다.

### 2. 유사성설계 사고 및 수학적 기술

기계기구의 종합적인 기능에 대한 체계적인 기술  
은 물리적 성질을 모델과 관련 지워진 유사성 급수

의 모든 부분에서 이뤄져야 한다. 이는 중요한 유사성법칙의 특성 변환을 위해서 전체적인 기능에 대해 가능한 한 완벽하게 수학적으로 기술되어야 하며 기술된 시스템 식의 모델과 개발하고자 하는 제품과의 비교로부터 유도되어진다.

물론, 모델과 개발제품의 절대적 결과(출력, 효율, 회전수 등)에 있어서는 구별될 수 있겠지만 물리적 유사성의 과정은 모든 항목에 있어서 동일하다.

일반적으로 모델과 그것의 개발품에 대해 기술할 수 있는 두 가지 물리적과정을 다음 식으로 표현할 수 있다[3].

$$\text{모 델}(M) : A + B + C = D$$

$$\text{개발품}(M_1) : A' + B' + C' = D' \quad (1)$$

여기서  $A, A', B, B', C, C', D$  및  $D'$ 는 동일한, dimension의 부합적인 기능이며 물리적 크기  $G$ 로부터 유사성척도  $G^*$ ( $G$ 에 \*승을 취한 형태 로 표기한다)는

$$G^* = \frac{\text{개발 모델의 물리적 크기 } G'}{\text{모델의 물리적 크기 } G}$$

제공승으로 표시한다.

식(1)로 부터 각 Parameter에 관한 유사성 척도  $A^*$  및  $B^*$ 는

$$A^* = \frac{|A'|}{|A|} ; \quad B^* = \frac{|B'|}{|B|} \text{ 로써}$$

$A' = A^* \cdot A$  ;  $B' = B^* \cdot B$  등으로 유사성 척도를 이용한 개발품에 관한 식은

$$\text{모 델}(M) = A + B + C = D \text{ 와}$$

$$\text{개발품}(M_1) = A^* \cdot A + B^* \cdot B + C^* \cdot C = D^* \cdot D \quad (2)$$

가 된다. 만약 한 식에 포함되는 모든 Parameter가 동일한 Factor이고 계열화급수가 단계적으로 옮겨 간다면 모델과 개발제품에 관한 공식은 동일하게 하고 이들의 물리적현상과 수학적인 계산은 각각 동일하게 기술 되어야 한다. 체계적인 공식의 성립 조건

$$\text{으로는 } A^* = B^* = C^* = D^* \quad (3)$$

가 되어야 한다. 모든 유사한 시스템(계열화의 구성자)을 모델과 개발품에 도입시킬 때, 즉 위의 체계적인 식의 성립이 가능하다면 유사성 변환식은 만족될 수 있다.

$$\frac{A' \cdot B}{A \cdot B'} = 1; \quad \frac{A' \cdot C}{A \cdot C'} = 1; \quad \frac{A' \cdot D}{A \cdot D'} = 1 \quad (4)$$

부품이나 간단한 구성요소를 위한 수학적기술은 일반적으로 2단자식 사고에 이르게 되지만 기계·기구와 같은 다양한 기능의 특성을 위해서는 4단자식 기술을 제공하거나 또는 더 많은 모델을 제공하여야 한다. 그림 1에서와 같이 비선형적 요소인 제한요소

및 방해요소로 불리는 간접매개체가 작용되고 있는 바 이들 간접매개체에 대해서는 단일매개체마다 별도로 정적이거나 또는 동적인 특성 해석의 보완이 요구된다. 이는 곧 유사성 technical system의 재료나 에너지 및 신호에 관한 입력과 출력은 양적, 질적인 제공으로부터 가장 먼저 그리고 정확하게 규정 되어져야 한다. 제한요소 I로서 표기된 간접 설계매체는 유사이론으로 유도된 값으로부터 4단자 파라미터의 편차  $A_{ik}$ 를 정의하게 되는데 기능적 영역과 제조 기술상의 영역으로 세분화 하게 된다. 제한요소 II는 4단자식의 입·출력단을 통한 변환시스템상의 제한적 크기로서 각기 다른 방해요소와 재료의 내구성이 문제가 되어 시스템 전반에 대하여 유사이론의 적용이 곤란하다. 이들 제한요소 I와 II를 고려한 유사성 법칙의 체계화는 다음과 같이 표현된다.

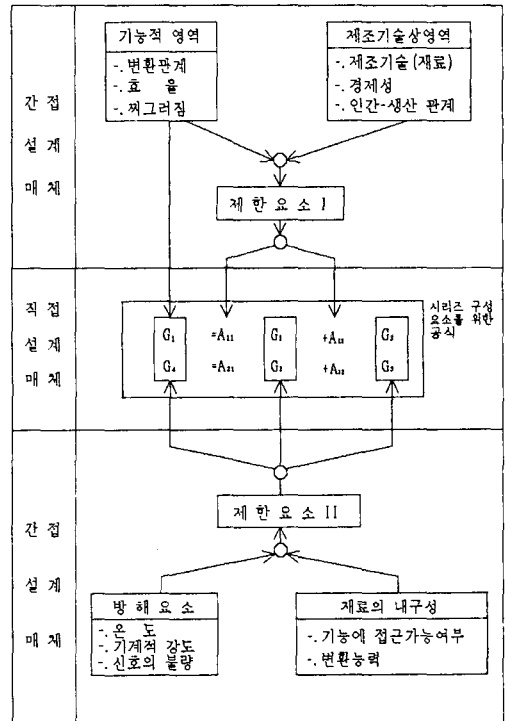


Fig. 1. Four Network Restriction Factor and Disturbance Factor

$$\text{모 델} : G_1 = A_{11} \cdot G_2 + A_{12} \cdot G_3$$

$$G_4 = A_{21} \cdot G_2 + A_{22} \cdot G_3 \quad (5 a)$$

$$\text{개발품} : G_1' = A_{11}' \cdot G_2' + A_{12}' \cdot G_3'$$

$$G_4' = A_{21}' \cdot G_2' + A_{22}' \cdot G_3' \quad (5 b)$$

복합적 4단자 파라메타  $A_{ik}$ 는 기계적·전기적 임피던스를 표시하고 이것을 물리적인 변환효과( $A_{12}$  및  $A_{21}$ )와 변환자 ( $A_{11}$  및  $A_{22}$ )에 의존되며 마지막으

로 많게 혹은 적게는 완전한 미분 방정식이 될 수 있다.  
체계적인 유사성 공식의 성립으로

$$G_1^* = A_{11}^* \cdot G_2^* + A_{12}^* \cdot G_3^* \quad (6)$$

$$G_4^* = A_{21}^* \cdot G_2^* + A_{22}^* \cdot G_3^* \quad (6)$$

이로부터 4개의 주된 유사성 법칙(입의의 약칭 기호. AG)은

$$\frac{G_1^*}{A_{11}^* \cdot G_2^*} = \frac{G_1}{A_{11} \cdot G_2} = AG_1 \quad (7)$$

$$\frac{G_4^*}{A_{21}^* \cdot G_2^*} = \frac{G_4}{A_{21} \cdot G_2} = AG_3 \quad (8)$$

$$\frac{A_{11}^* \cdot G_2^*}{A_{12}^* \cdot G_3^*} = \frac{A_{11} \cdot G_2}{A_{12} \cdot G_3} = AG_2 \quad (9)$$

$$\frac{A_{21}^* \cdot G_2^*}{A_{22}^* \cdot G_3^*} = \frac{A_{21} \cdot G_2}{A_{22} \cdot G_3} = AG_4 \quad (10)$$

으로 표현 할 수 있다.

### 3 설계 및 실험적 고찰 - 액츄에이터를 모델로

#### 3.1 과제 설명

모델 모터는 영구자석 여자형이며 cup형 코일가동자로서 빈원통형 황동의 함에 실린더형 영구자석이 고정되어 있고 영구자석 내경 안으로 cup형 코일가동자와 cup형 코일가동자 내에 자로를 형성하도록 순철 실린더로 형성되어 있다 (그림. 2의 가동 코일형 리니어 가동 액츄에이터 참조)[4].

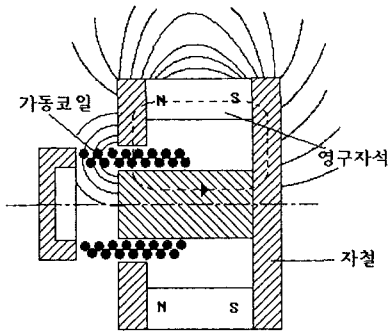


Fig. 2. Moving Coil Type Linear Actuator

가동자 코일에 전류가 흐르면 가동자 코일은 프레딩의 왼손법칙에서 추력  $F = BIl$ 에 의해 이동하게 된다. 반대로 전류 방향을 바꾸어 주면 가동자 이동 방향은 반대로 된다. 이렇게 가동자의 전류 방향을 교대로 바꾸어 주면 가동자는 왕복 운동을 규칙적으로 계속한다. 그림 3은 이와 같은 철심 가동력 액츄에이터의 기능의 과정을 나타내고 있다.

진동 액츄에이터는 전기적, 전기기계적, 기계적 과정으로 연결 지어진 에너지 변환 기기이다.

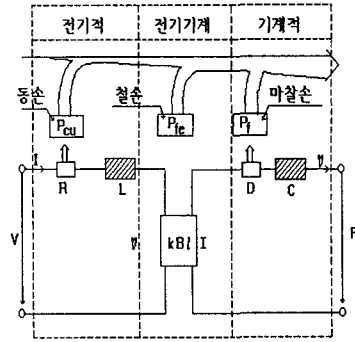


Fig. 3. Function Process of Moving Core Type Actuator

입력단으로 부터 전압V는 가동자 권선에 전류를 흐르게 한다. 권선수 N을 갖는 가동자권선은 저항 R과 인덕턴스 L를 통하여 저항손  $P_{cu}$ ,  $P_{cu} = I^2 \cdot R$ 와 정상전류 도달시간(또는 전기적 시정수)  $\tau_e = \frac{L}{R}$ 를 이룬다. 자속밀도 B인 자장내에서 가동자의 움직임이 시작되면 전압을 일정하게 유지하기 위한 역기전력  $kBlv$ 가 가동자 권선에 유도된다.

가동자 권선에 전류 I가 흐르면 자장내에서는 축에 전달되는 추력 F와 기계적 손실에 해당되는 양의 에너지  $kBIl$ 가 생산된다.

이 때 발생하는 철손  $P_{fe}$ 는 가동자가 철 성분을 포함하는 물질로 이루어졌을때에만 성립된다.

액츄에이터에서는 베어링과 공극내 진동자의 풍손 등이 진동 횟수에 비례하여 기계손으로 작용하게되는데 소형일수록 이의 역할은 중요하게 작용한다[5].

소형 리니어 진동 액츄에이터의 전압과 추력에 관한 공식은 다음식처럼 4단자식으로 기술할 수 있다.

$$V = kBlv + \left( RI + L \frac{dI}{dt} \right) \quad (11)$$

$$F = kBIl - \left( m \frac{dv}{dt} + D \cdot v + c \int v dt \right) \quad (12)$$

윗 식에서 마찰을 통한 제동력  $F_D = D(v) \cdot v$ 의 크기이며 소형의 경우 제동함수 D는 속도 v에 비례한다.

#### 3.2 유추론적 특성 고찰

가동자 코일에 전류 I가 흐름으로서 나타나는 가동자의 진동현상에 대한 유추론적 해석은 식(12)로부터 유도된다. 모델과 기하학적 유사성을 갖고 동일재질로 구성된 주실형 액츄에이터에대한 각종 특성을 찾기위한 유사성척도는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F^*/v^* = k^* B^* l^* I^*/v^* = m^*/t^* = D^* = c^* t^* \quad (13)$$

액츄에이터의 특성중 가장 중요한 특성의 하나인 추력  $F$ 와 정상속도에 도달하기 까지의 기계적 시정수를 예측하기 위해서 유사해석을 통해 찾도록 한다.

여기서 스프링과 진동체 질량은 이들간의 주파수 관계를 결정하며 시간  $t^* = \frac{1}{f^*}$ 의 식으로부터 식(13)

의 변형식  $m^* f^* = c^*/f^*$ 를 유도하고 이로부터 고유주파수  $f_0$  ;

$$f^{*2} = \frac{c^*}{m^*} = f_0^{*2} \quad (14)$$

감쇄정수 factor  $\delta$  (식(13)의 변형식) ;

$$f^* = \frac{D^*}{m^*} = \delta^* \quad (15)$$

여기서 추력  $F$ 는  $m^* f^* = F^*/v^*$  식과  $v^* = f^* l^*$ 로부터

$$F^* = f^{*2} \cdot m^* \cdot l^* \quad (16)$$

등을 구하게 된다.

이때 기계적 시정수는 표1에서와 같이 운전조건에 따라서 각각 다른값을 예측하게 된다. 즉 소비자의 요구조건에 의해 종속적인값을 갖게 된다.

만약 가동자의 진동 주파수가 일정하도록 설계되어야 한다면  $f^* = 1$ 로 설정되어야 하고 식(16)으로부터  $f^* = 1$ ,  $F^* = m^* l^*$  이 되어야 한다.

즉 이 의미는 모델과 동일한 재질로 체적의 비가 기하학적으로 유사하게 변하게 된다면 이때 발생되는 추력  $F^* = l^{*4}$ 의 유사성 척도량을 갖게된다.

그러나 식(14)의 스프링 경직계수  $c$ 는 소형화의 경우에는 재질 및 가공상의 한계점에 의해 완전 유사성을 보장하기엔 어려움이 있다.

그러므로  $f^* = 1$ 대신  $f^* = \sqrt{\frac{c^*}{m^*}} = \frac{1}{l^*} \sqrt{\frac{E^*}{\rho^*}}$  식을 적용하여 구하도록 한다[2].

여기에서  $E^*$ : 탄성계수,  $\rho^*$ : 체적밀도이다.

또한 제동합수  $D^*$ 는 축의마찰, 철심의 와류손, 가동자의 공기저항 등으로부터 발생하는 함수로서 기계손, 와류손, 저항 등의 factor에 대해서는 모델에 대한 실험 데이터와 각 손실 인자에 대한 개별적인 유사성 척도  $l^*$ 를 구한 다음 graphic의 프로그램을 통해 전체 시스템에 적용토록 한다.

정상속도에 이르기까지의 기계적 시정수  $\tau_m$ 은 식(13)로부터

$$m^* v^* t^{*-1} = k^* B^* l^* I^* \quad (17)$$

여기에서  $k^*$ 는 상수이므로 유사성 척도  $k^* = 1$ 로 취급한다면 식(17)으로부터  $\tau_m^* = m^* v^*/B^* l^* I^*$ 가 된다.

만약 정상속도  $v^* = 1$  인 경우라면 기계적 시정수

$$\tau_m^* = \frac{l^{*3}}{B^* l^* I^*} = l^{*2} B^{*-1} I^{*-1} \quad (18)$$

이된다.

모델에 사용한 재료와 동일한 재료를 사용하고 기하학적으로 유사성을 갖춘 실험 액츄에이터라면  $R^* = l^{-1}$ 식이고  $B^* = 1$ 로서 식(18)에서

$$\tau_m^* = l^{*2} B^{*-1} I^{*-1} \text{로서 정상속도 } v^* \text{가 일정할 때 } I^* = l^{*2} [B^*] \text{가 된다. 그러나 액츄에이터에서 소형화의 경우 } R^* = 1/l^{*0.93} \text{이므로 전류의 변화량 } I^* = l^{*1.86} \quad (19)$$

의 값을 갖게 된다.

식(19)을 식(18)에 대입하면 기계적 시정수  $\tau_m^* = l^{*2} \cdot l^{*-1.86} = l^{*0.14}$ 로 모델모터를 소형화 할 경우 길이척도  $l^*$ 에 비례해서 약간의 짧은 시간 내에 정상속도에 도달하고 대형화 할 경우  $l^{*0.14}$ 에 비례한 시간이 걸려서 정상속도에 이르게 된다.

또한 운전전압  $V$ 를 일정하게 할 경우 즉  $V^* = 1$ 인 운전조건에서  $I^* = l^*$ 이므로 이때의 기계적

Table. 1. Important Data of Actuator by Operating Tens Applying Similarity Theory

운전 데이터	유사성 법칙 ( $\rho^* = 1$ )	소비자의 요구조건 충족시		
		$V^* = 1$ (전 압)	$v^* = 1$ (무부하 속도)	$I^* = 1$ (부하 전류)
운전 전압	$V^* = k^* B^* l^* v^*$	1	$l^* [k^* B^*]$	$\frac{1}{l^*} [k^*]$
부하 속도	$v^* = \frac{V^*}{k^* B^* l^*}$	$\frac{1}{l^*} \left[ \frac{1}{B^* k^*} \right]$	1	$\frac{1}{l^{*2}} \left[ \frac{1}{B^*} \right]$
부하 전류	$I^* = \frac{V^*}{R^*} = \frac{V^* l^*}{k^*}$ [ $k^* = N^*$ ]	$l^* \left[ \frac{1}{k^*} \right]$	$l^{*2} [B^*]$	1

시정수  $\tau_m$ 은 식(18)로부터  $\tau_m = l^{*2} \cdot l^{*-0.93} = l^{*1.07}$ 의 시간에 비례한 성장곡선이 됨을 알 수 있다.

만약 운전전류  $I$ 가 일정하도록 한 것이 소비자의 요구 사항이라면 식(18)의  $\tau_m = l^{*2}$  이 될 것이다.

이와 같이 각 운전 조건에 따라서 액추에이터가 정상속도에 도달하는 시간을 예측해 본다면 그림 4에 서와 같이 그래픽화 할 수 있다.

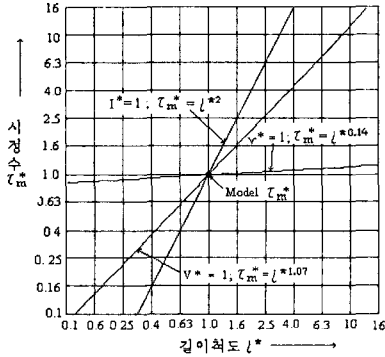


Fig. 4 The Transition Curve of Mechanical Time Constant  $\tau_m$  for reach by normal Speed by Operating Term

식(16)에서는 추력  $F^* = f^{*2} \cdot m^* \cdot l^*$ 로 가동자의 진동주파수가 일정하게 유지되는 경우였지만 실제로 가기회소상의 자속(또는 자속밀도)은 소형화시 공극니 자속감소율  $\delta^* \ll 1$ 이 되므로서 추력에 절대적인 영향을 미치게 된다. 그러므로 식(13)의 관계중  $F^* = B^* l^*$ 에 대한 유사성 관계가 정의 되어야 한다.

$$\text{즉 } F^* = \frac{\phi^*}{A_M^*} \cdot l^* \cdot I^* \quad (20)$$

로 표기하겠다.

여기서  $A_M^* = l^{*2}$ 이므로  $F^* = \phi^* l^{*-1} I^*$ 가 되며 속도  $v$ 가 일정하도록 운전하고자 한다면 이 때 전류  $I^* = l^{*2} [B^*]$  값을 적용해야 한다.

자속척도  $\phi^* = l^{*2}$ 의 값을 유지할 수 있다면 이 때  $v^* = 1$ 인 경우 추력  $F^* = l^{*3}$ 인 값을 갖게 되고 운전전압  $V^* = 1$ 인 경우  $F^* = l^{*2}$ 에 비례하는 실행값을 갖게 된다.

만약 개발자가 주 실행기기를 초소형화 하고자 한다면 자속  $\phi^*$ 는  $\phi^* = l^{*3}$ (단  $\zeta^* \ll 1$ 인 경우)을 적용해야 한다.

그러므로 이때의 추력  $F^*$ 는  $F^* = l^{*4}$  이 되지만  $\zeta^* = 1$ 인 경우  $\phi^* = l^{*2}$ 에 비례하여 변하게 되므로  $F^* = l^{*3}$ 이 되므로써 소형화 할수록 추력  $F^*$ 는 더욱 강한 수직하강 직선으로 되는데 이는 추력 길이

척도  $l^*$ 에 비례하여 크게 약화됨을 알 수 있다. (그림 5참조)

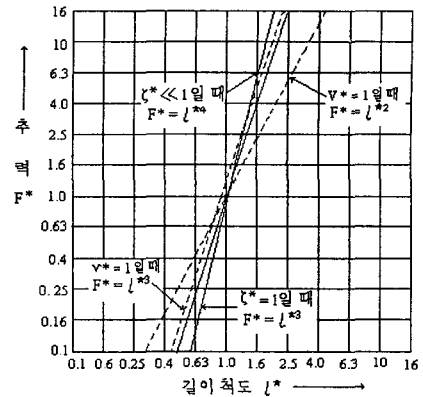


Fig. 5 The Value of Similarity Measure  $F^*$  for Growth Rule's Thrust as Main Action Length Measure of Actuator

### 3.3 실험고찰 및 분석

그림6은 모델 액추에이터와 실행 액추에이터 ( $l^* = 0.6$ )에 대한 인가전압 - 진동수의 특성곡선이다. 표 1에서 인가전압이 일정 ( $V^* = 1$ )한 경우 진동수(속도)는  $\frac{1}{l^*} \left[ \frac{1}{B^* k^*} \right]$ 에 비례한다. 모델과 실행 액추에이터는 완전한 유사성을 갖는 조건으로 제작되었으므로  $B^* = 1, k^* = 1$ 이 되어서  $\frac{1}{l^*}$ , 즉 모델 속도의  $\frac{1}{0.6}$ 에 해당되는 값을 갖게 되는데 그림의 특성곡선에서는 이론치에 거의 일치된 결과를 나타내고 있으나 약간의 비선형적인 요소와  $\frac{1}{0.65}$  배에 달하는 속도값을 갖게 되었으나 이는 제작상의 기술적 문제점(제한요소)이 포함된 결과로 보아진다.

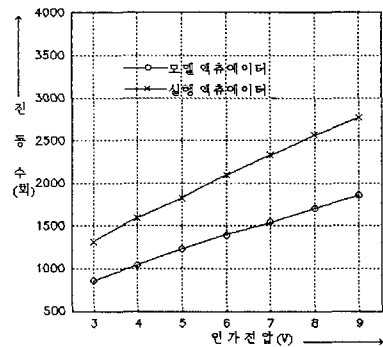


Fig. 6 Curve of the Voltage and Oscillation

또한 그림7은 모델 및 실험 액추에이터의 무부하 기동시 정상속도에 이르기까지의 특성곡선으로 모델에 비하여 소형화( $l^* = 0.6$ )한 경우가 상대적으로 짧은 시간에 정상속도에 이르고 있지만 이는 이론적인 예측값 3ms에 비하여 0.6ms 정도의 오차를 발생했다. 이 문제 또한 진동축의 마찰계수 등 제작상의 유사성이 일치하지 못해던 점이라 하겠다.

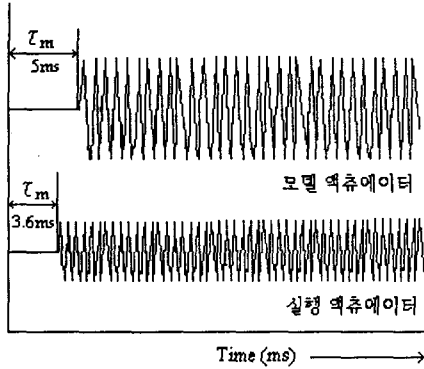


Fig. 7. Full Speed of the Unloaded Actuator

그림 8은 일정전압( $V^* = 1$ )에서의 운전전류와 추력간의 특성곡선으로 전류 상승비에 비례한 추력의 세기가 증가됨을 알 수 있다.

추력  $F^* = l^{*2}$ 에 비례하는 이론치에 약간의 편차가 있으나 거의 유사성을 갖는 값을 나타내고 있다.

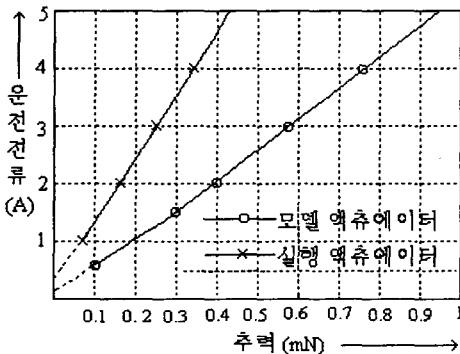


Fig. 8. Current and Thrust Character Curve

#### 4. 결론

이상에서 밝힌 바와 같이 유사법칙을 적용한 설계로 컴퓨터를 이용한 설계가 가능함을 구현하였고 이의 결과를 토대로 원하는 크기의 실험기기에 대한 예상 특성을 사전에 예측 할 수 있었다.

그러나 제조기술상의 문제점 등 간접 매개체에 해당되는 설계요소로 인하여 예상 특성 곡선과 실험기

기를 통한 실측 특성결과에는 약간의 차이가 있었으나 이들에 대한 사항은 별도의 catalog나 data base화를 통하여 구체적인 프로그램이 주어진다면 더욱 정확한 예측 특성을 밝힐 수 있겠다.

특히 본 연구 결과의 적용은 직접 제품생산 관련 업체에서 생산제품들에 대한 기 수집된 각종 데이터를 이용한 설계작업과 시제품 생산 및 실험을 통해서 더 한층 이론치에 일치하는 결과를 이끌어 낼 수 있으리나 기대된다. 또한 체계적인 설계로 제품의 표준화와 그로인한 생산설비비 감축과 기능 인력의 조기 숙련화 등 생산성향상이 이뤄질 수 있겠고 중소기업 등 충분한 기술인력을 확보하지 못했다 하더라도 PC를 이용한 설계기법으로 자사 제품에 대한 임의 설계기술을 개발할 수 있겠다.

#### 후 기

본 연구는 1995년도 기초전력공학 공동연구소의 신청연구과제(95-26) 지원을 받아 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### ◆ 참고문헌 ◆

- 1) Mayer, E., J.Eckhardt : Vorgehensweise bei der Einführung eines CAD systems. Der konstrukteur, 1985, H. 4, pp 6 - 14
- 2) Gerhard, E. : Baureihendenken in der Feinwerktechnik. Feinwerktechnik Messtechnik 88(1980) H. 8, pp 411 - 413
- 3) Lee, K-H. : "Grenzen der technischen Miniaturisierung von permanent magnetischen erregten Gleichstromkleinstmotoren mit Hilfe der Ähnlichkeitstheorie" Universität Duisburg, 1985
- 4) Mendrela, E. A. : Performance of RotaryLinear Induction Motor with Rotating, Electr. Mach, Power Syst. vol.9 (1984). PP 171 - 178
- 5) Rudy, M. : "Force constant linearity optimization technique as applied to a long gap, short coil Linear actuator", IBID, vol. 22 (1979). PP 780 -781