

이 논문은 1988년도 문교부 학술연구조성비 지원에 의하여 연구되었음.

전기기기개발과 설계를 위한 유추론적 해석에 관한 연구

이 권현*

A Study on the analogical analysis for the development and design of the electrical machine

Lee Kwon-Hyun

Abstract

This paper aims at describing a series development of the electrical machine, by using the Similarity Theory. The character of the electrical machine defined as the Four Terminal Network of the electrical and mechanical energy transmission system, and the analogy theory of the modelmachine can be developed by the Four Terminal System. Also the Restriction Parameter and Disturbance Parameter can be founded by the comparative data of the developed machine that is the character of the theory and measurement.

1. 서 론

기계기구의 개발자나 설계자는 많은 수요자로부터 기능, 가격, 제작기간 등의 다양한 요구사항에 접하게 된다. 이와 같은 개발이나 설계방

법으로는 Morphological method (형태학적 기법), Synectics (창조성 기법) 및 Similarity theory (유사성 이론)의 이용 등 다양한 방법을 들 수

*) 동신공과대학 전자공학과 조교수

있다. 그러나 수요자가 개발제품의 표준 및 호환성 그리고 공작상 공기의 단축, 재료절약 등의 경제성 잇점을 우선적으로 요구하게 된다면 유추해석이 가능한 유사성 이론을 적용한 방법을 택할 수 있게 된다. 즉 주어진 어떤 모델에 대한 technical system (기계기구의 변환system과 구성요소)을 면밀하게 연구해서 이들 구성요소나 또는 구성요소의 dimension을 가변함으로써 주파수나 출력변동 등 아직 밝혀지지 않았거나 예견하고자 하는 특성을 결정 지을 수 있다. 그러나 이와 같은 일련의 작업은 기계기구 및 부품에 대한 technical system을 공동선상의 작업과정에서 계산하고 설계 되어야 하는데 이는 모델에 대한 4단자식 해석에 의한 선형적인 수학적 기술을 뒷받침으로 하게 된다. 그러나 그림 1에서 같이 비선형적 요소인 제한요소 및 방해요소로 불리는 간접매개체가 작용되고 있는바 이들 간접매개체에 대해서는 단일매개체마다 별도로 정적이고 동적인 특성해석의 보완이 요구된다.

이는 곧 유사성 technical system의 재료나 에너지 및 시그널에 관한 입력과 출력은 양적 및 질적인 제공으로부터 가장 먼저 그리고 정확하게 규정되어야 한다. 이와같은 유추해석은 기계 및 열역학은 물론 전기적인 분야에서는 변압기나 전동기 또는 Netmodel의 응용을 들 수 있다.

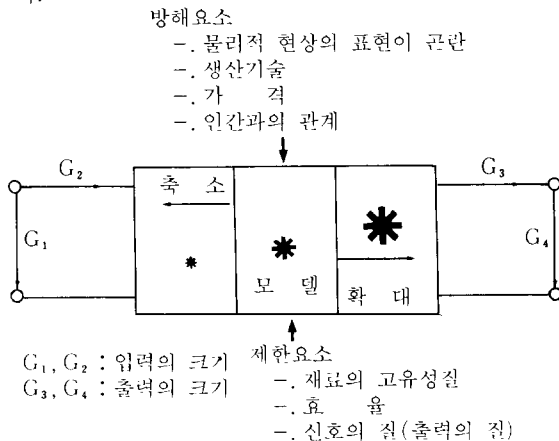


그림 1 4단자 변환 시스템.

Fig.1 Four terminal transmission system.

본 고에서는 유사성 이론을 적용한 설계방법의 제시와 이의 예로써 DC Motor에 대해서 길이축적 l^* 이 2의 크기로 대형화 해서 유사이론적 해석에 의한 추정 이론치와 실험결과를 비교하므로 유사성 이론 적용에 대한 문제점을 밝히고 소형 Computer의 도움으로 개발이나 설계작업이 이뤄질 수 있도록 방안을 제시하고자 한다.

2. 기계설계에 대한 유사성 사고 및 수학적 기술

기계기구의 종합적인 기능에 대한 체계적인 기술은 물리적 성질을 모델과 관련지워진 유사성 급수의 모든 부분에서 이뤄져야 한다. 이는 중요한 유사성 법칙(또는 변환법칙)의 특성 변환을 위해서 전체적 기능에 대한 가능한한 완벽하게 수학적으로 기술되어야 하며 기술된 system식의 모델과 개발하고자 하는 제품과의 비교로부터 유도되어 진다. 물론 모델과 개발제품의 절대적 결과에 있어서는 구별될 수 있겠지만 물리적 유사성의 과정은 모든 항목에 있어서 동일하다.

일반적으로 모델과 그것의 개발품에 대해 기술할 수 있는 두가지 물리적 과정은 다음식으로 표현할 수 있다.

$$\text{모델 (M)} : A + B + C = D$$

$$\text{개발품 (M}_1\text{)} : A' + B' + C' = D' \dots\dots\dots(1)$$

여기서 A, A', B, B', C, C', D 및 D'는 동일한 dimension에서의 복합적인 기능이며 물리적 크기 G로부터 유사성 척도 G*는

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

와 같이 임의의

제곱승으로 표시한다.
식 (1)로 부터 각 Parameter에 관한 유사성 척도 A* 및 B*는

$$A^* = \frac{|A'|}{|A|} : B^* = \frac{|B'|}{|B|} \text{가 되어}$$

유사성 척도를 이용한 개발품에 관한 식은

$$\text{모델 (M)} = A + B + C + D$$

$$\text{개발품 (M}_1\text{)} = A^* \cdot A + B^* \cdot B + C^* \cdot C = D^* \cdot D \text{가 된다.} \dots\dots\dots (2)$$

만약 한 식에 포함되는 모든 parameter가 동일한 Factor이고 분류급수가 단계적으로 높아간다면 모델과 개발제품에 관한 공식은 동일하게 되고 이들의 물리적 현상과 수학적인 계산은 각각 동일하게 기술되지 않으면 안된다.

체계적인 공식의 성립조건으로

$$A^* = B^* = C^* = D^* \text{가 되어야 한다.} \dots\dots\dots (3)$$

모든 유사한 시스템(급수적인 구성자)을 모델과 개발품에 재도입 시킬때 즉 상기의 체계적인 식의 성립이 가능하다면 유사성 변환식은 만족될 수 있다.

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

부품이나 간단한 구성요소를 위한 수학적 기술은 일반적으로 2단자식 사고에 이르게 되지만 기계·기구와 같은 다양한 기능의 특성을 위해서는 4단자 기술을 제공하거나 또는 더 많은 모델을 제공하여야 한다.

4단자망은 일반적으로 하나의 망조직으로써 표현할 수 있다. Motor와 같이 전기적 에너지를 기계적 에너지로 변환하거나 또는 이의 역으로 기계적 에너지를 이용한 전기적 에너지의 진동 기록계를 들 수 있고 전기적 에너지를 전기적 에너지로 변환하는 변압기와 연결장치(coupling)와 같이 기계적 에너지를 기계적 에너지로 변환하는 등 이들 기능의 고유성을 위해서 2단자의 입력측과 출력측의 2단자로 나타낼 수 있으며 그림 2는 이들의 대표적인 기기의 입력과 출력단의 변환시스템을 4단자식으로 표시하고 있다.

변환 시스템	4 단 자 도	4 단 자 식	유사법칙의 적용 예
전기에너지-기계에너지		$V = (RI + L \frac{dI}{dt}) + K \phi \omega$ $M = k \phi I - J \frac{d\omega}{dt}$	<ul style="list-style-type: none"> - 전기적 시정수 - 회전수-전압특성 - 출력 및 효율 - 정상운전시정수
기계에너지-전기에너지		$F = (m \frac{dV}{dt} + dV + c \int V dt) + B \ell I$ $V = B \ell V - (RI + L \frac{dI}{dt})$	<ul style="list-style-type: none"> - 기계적 진동시스템 - 자체반동 - 내부전압강화
전기에너지-전기에너지		$V_1 = (R_1 I_1 + L_1 \frac{dI_1}{dt}) - M \frac{dI_2}{dt}$ $V_2 = M \frac{dI_1}{dt} - (R_2 I_2 + L_2 \frac{dI_2}{dt})$	<ul style="list-style-type: none"> - 주파수 특성 - 전력손실 - 허용전류 - 허용온도
기계에너지-기계에너지		$M_1 = J_1 \frac{d\omega_1}{dt} + \mu_r f_a r_m \frac{\omega_1 - \omega_2}{ \omega_1 - \omega_2 }$ $M_2 = \mu_r f_a r_m \frac{\omega_1 - \omega_2}{ \omega_1 - \omega_2 } - J_2 \frac{d\omega_2}{dt}$	<ul style="list-style-type: none"> - 원심력 - 축의 비틀림 - 힘의 전달시스템

그림 2 전기적, 기계적 에너지 변환시스템

Fig.1 Electrical and mechanical energy transmission system.

유도성 및 용량성 에너지 등과 같은 비선형적 기술을 위해서 다음의 식을 쓰게 된다. (그림 3인 짜그러진 상태의 경우 4단자망의 선형적 기 참조)

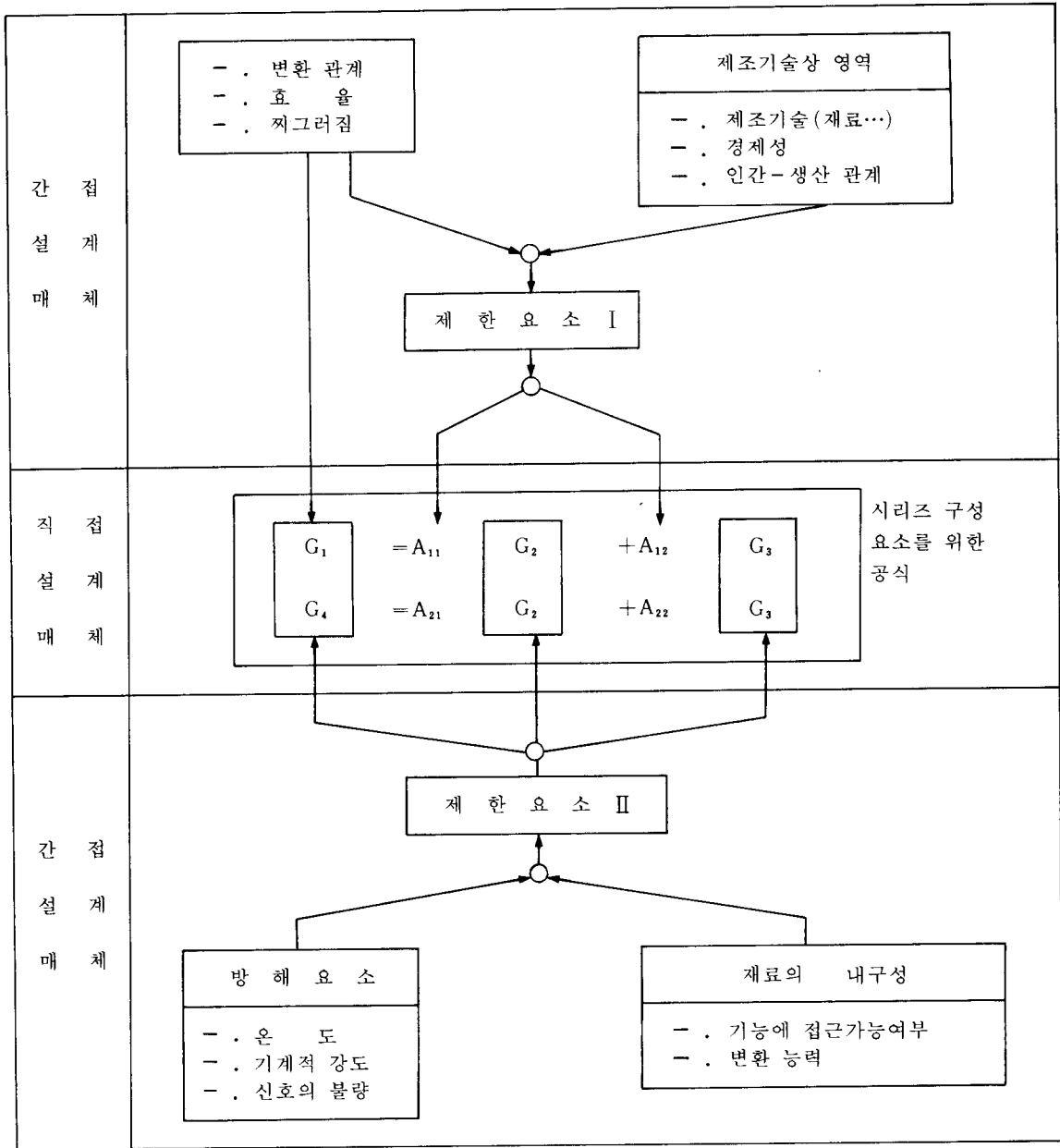


그림 3 4단자식의 제한요소와 방해요소.
Fig.3 Restriction parameter and disturbance

$$\begin{aligned} \text{모델} : G_1 &= A_{11} \cdot G_2 + A_{12} \cdot G_3 \\ G_4 &= A_{21} \cdot G_2 + A_{22} \cdot G_3 \dots\dots\dots(5a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{개발품} : G_1' &= A_{11}' \cdot G_2' + A_{12}' \cdot G_3' \\ G_4' &= A_{21}' \cdot G_2' + A_{22}' \cdot G_3' \dots\dots\dots(5b) \end{aligned}$$

복합적 4단자 파라메타 A_{ik} 는 기계적·전기적 임피던스를 표시하고 이것을 물리적인 변환효과 (A_{12} 및 A_{21} 로)와 변환자 합성(A_{11} 및 A_{22})에 의존되며 마지막으로 많게 혹은 적게는 완전한 미분방정식으로 될 수 있다.

체계적인 유사성 공식의 성립으로

$$\begin{aligned} G_1^* &= A_{11}^* \cdot G_2^* + A_{12}^* \cdot G_3^* \\ G_4^* &= A_{21}^* \cdot G_2^* + A_{22}^* \cdot G_3^* \dots\dots\dots(6) \end{aligned}$$

이로부터 4개의 주된 유사성 법칙 (임의의 약칭 기호 AG)은

$$\frac{G_1}{A_{11} \cdot G_2} = \frac{G_1}{A_{11} \cdot G_2} = AG_1 \dots\dots\dots(7)$$

$$\frac{G_4}{A_{21} \cdot G_2} = \frac{G_4}{A_{21} \cdot G_2} = AG_3 \dots\dots\dots(8)$$

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

$$\frac{A_{21} \cdot G_2}{A_{22} \cdot G_3} = \frac{A_{21} \cdot G_2}{A_{22} \cdot G_3} = AG_4 \text{ 와} \dots\dots\dots(10)$$

이외에도 더 많은 개개의 유사성법칙을 유지할 수 있다. 이와 같은 법칙으로서 비선형적인 변환시스템을 완전 선형시스템의 유사성법칙으로 이끌어 낼 수 있게 된다. 이로서 변환시스템에 대하여 유사성을 적용한 특성해석으로 주어진 모델(기기, 부품...)에 대해 4단자 이론을 이용하여 근본적인 dimension을 알고리즘화 하고 이를 기초로 간편한 설계가 가능하다. 그러기 위해서 우선적으로 다음과 같은 부분적 과제로 나눌 수 있다.

전기 및 기계적 변환자에 대해서 어떠한 경우라도 일반적인 변환시스템을 위한 통일되고 완전한 방법으로서 수학적 기술이 가능토록 유사성 4단자 공식의 설정 및 운용 확대 방안

1. 변환과정에서 나타난 설계정수 (설계파라메타) 중 간접매개체에 대한 체계적인 파악으로 측정기술 및 수학적 기술에 의한 이론적 계산
 - 발열, 냉각 등의 파라메타
 - 기계적 강도
 - 공진주파수 및 진동... 등
2. 중히 여겨지는 기술상의 한계성 (제조가능 한계기술)과 경제성 (제품가격)에 의한 변환여부의 한계점 설정 등을 들 수 있으며 그림 3은 기기의 특성을 선형 4단자 식에 의해 유추해석이 가능할 수 있도록 간접매개체를 세분화하여 적용시켰다. 여기에서 방해요소는 4단자식의 각 성분에 영향을 주는 요소로서 제조기술, 경제성 등이 될 수 있으며 또다른 제한요소로서는 입력과 출력에 영향을 미치는 조건을 의미한다.

3. 설계 및 실험적 고찰 -DC Motor를 모델로-

3-1 과제설명

모델모터는 영구자석 여자용 Cup형 Coreless Motor로서 중앙에 위치한 고정자를 실린더형 영구자석으로 빈 원통형 연철외함 한쪽면에 고정되어 있고 회전자와 0.2mm의 공극을 유지하고 있다. 회전자는 권선만으로 형성된 Coreless 원통형으로 공극사이에 조립되고 정류자편은 경인동에 은 도금한 궁형 (segment type)으로 되어 있으며 브러쉬는 금 도금한 다섯가지의 얇은 금속판으로 되어있다.

그림 4는 모델모터에 있어서 입력측 2단자인 전압(V) 및 전류(I)와 출력측의 각속도(ω) 및 토크(T)의 2단자로서 4단자형을 나타내고 있다. 손실들은 정류자와 브러쉬간의 전압강화(V_B)로 인한 손실 P_B , 전기자 권선의 저항손실 P_{cu} 가 발생하고 전기자 권선의 유도성 L의 크기는 전기

적 시정수를 결정하게 된다. 출력측의 기계적 손실 P_f 인 베어링의 마찰손, 정류자와 브러쉬간의 마찰손 및 회전자의 풍손 등은 유사이론을 적용한 4단자식 적용에 있어서 간접매개체로 작용하게 된다.

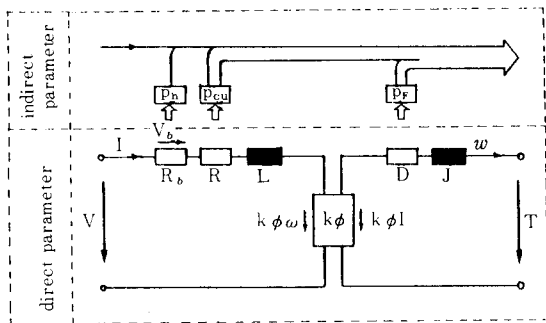


그림 4 소형 DC Motor의 4단자 구성.
Fig. 4 Four terminal topology DC Micromotor.

DC 소형모터의 많은 응용으로는 기동의 신속성, 광역 조정범위의 회전수, 고속정상회전 및 고효율 등을 요구하게 된다. 따라서 본 과제에서

- . 모델모터와 동일한 운전속도 및 시정수
- . 크기는 모델의 2배($\ell^*=2$)로 하고
- . 출력 및 효율의 증대가 이뤄질 수 있는 모터를 개발하고자 한다.

모델모터인 영구자석 여자용 DC Motor에 대한 전압과 토크 방정식은 다음 4단자식으로 쓸 수 있다.

$$V = (V_b + R \cdot I + L \frac{dI}{dt}) + k \phi \omega \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$T = k \phi I - J \frac{d\omega}{dt}$$

식(11)의 각 Parameter에 대하여 식(6)의 유사성 법칙을 적용하면

$$V^* = V_b^* = R^* \cdot I^* = L^* \cdot \frac{dI^*}{dt^*} = k^* \phi^* \omega^*$$

$$T^* = k^* \phi^* I^* = J^* \omega^* \quad \dots\dots\dots(12)$$

와 같이 쓸 수 있으며 이들로부터 개발하고자

하는 모델에 대한 전기적, 기계적 특성을 유추할 수 있게 된다.

3-2 이론적 특성고찰

신속한 기동을 판별할 수 있는 전기적 시정수 τ_e 는 식(12)의 $V^* = R^* \cdot I^* = L^* \cdot \frac{dI^*}{dt^*}$ 로부터 구해질 수 있는데 전기자 권선저항 R_w 및 전기자 인덕턴스 L_w 에 대한 유사성 척도는 다음과 같다.

$$R_w^* = \rho_e^* \cdot N^* \cdot \frac{dw^*}{d^*} \quad \dots\dots\dots(13)$$

$$L_w^* = N^{*2} \cdot \mu^* \cdot \frac{dw^*}{\ell^*}$$

- 여기서 ρ_e : 고유저항을 μ : 유전율
- N : 권선수 d_w : 권선직경
- d : 전기자 코일직경

동일한 재료 및 유사성이 일치되는 전기자 권선이라면

$$\tau_e^* = \ell^{*2} \cdot N^* \quad \dots\dots\dots(14)$$

Cup형 Coreless type 전기자는 권선의 절연도료 두께의 편차에 의해 권선수가 동일할 수 없게 될 경우도 있다.

모터의 운전정수는 식(12)로부터 구해질 수 있다.

$$V^* = k^* \phi^* \omega^* \quad \dots\dots\dots(15)$$

여기서 k^* 는 극당 권선수에 비례한 크기이며 전기자 권선용 동선의 절연도료 두께가 동선 직경에 비례한다면 $k^* = N^*$ 로 계산될 수 있으며 총 자속 $\phi = \int B \, dA$ 로부터 $\phi^* = B^* \ell^{*2}$ 와 $\omega^* = n^*$ 가 되며 운전전압과 운전속도의 관계식은 다음과 같다.

$$V^* = n^* B^* \ell^{*2} N^* \quad \dots\dots\dots(16)$$

식(16)에서 동일한 재료의 자성체와 동일한 전기자 권선수라고 한다면 $B^* = 1$, $N^* = 1$ 이 되며 개발하고자 하는 모터의 속도가 모델과 동일하므로 회전속도 $n^* = 1$ 이 되고 식(16)은

$$V^* = \ell^{*2} \quad \dots\dots\dots(17)$$

이 되어 개발모터의 운전전압 V 를 구할 수 있게 된다.

모델모터 $V = 3V$
개발모터 ($\ell^*=2$) $V = 12V$

또한 $I^* \cdot R^* = k^* \phi^* \omega^*$ 의 식으로부터 전기자의 선 이들의 관계식으로 부터 영구자석 여자용 기동 및 구속시의 전류를 유추하게 되며 표1에 DC 모터의 중요 운전정수를 나타내고 있다.

표 1 유사이론을 적용한 DC Motor의 운전정수.
Table 1 Operating data of DC Motor by using the similarity theory.

운 전 사 항	유사론적 법칙 (단 $\rho^* = 1$)	유사이론을 적용한 운전조건		
		정격 전압 $V^* = 1$	무부하 회전수 $n_o^* = 1$	기동 전류밀도 $S^* = 1$
정 격 전 압	$V^* = n_o^* \cdot \ell^{*2} [B^* N^*]$	1	$\ell^{*2} [B^* N^*]$	$\ell^* [N^*]$
무부하회전수	$n_o^* = V^* / (\ell^{*2} [B^* N^*])$	$1 / \ell^{*2} [1 / B^* N^*]$	1	$1 / \ell^* [1 / B^*]$
기동전류밀도	$S^* = I_s / \ell^{*2}$	$1 / \ell^* [1 / N^*]$	$\ell^* [B^*]$	1
부 하 전 류	$I^* = V^* / R^* = V^* \ell^* / [N^*]$	$\ell^* \cdot [1 / N^*]$	$\ell^{*3} [B^*]$	ℓ^{*2}

주) 완전한 유사성 크기 $N^*=1$ 와 $B^*=1$ 로 쓸 수 있으며 []안의 인수 역시 1로 쓸 수 있다.

또한 개발모터의 정상속도에 이르는 기계적시정수 (electromechanical time constant)

$$k^* \phi^* I^* = J^* \omega^* t^{*-1} \dots\dots\dots (18)$$

여기서 J는 회전자의 관성모멘트이고 본 모델 모터의 경우 Coreless type으로서 J의 크기의 회전체의 질량(m) 및 그 질량과 회전축과의 거리(r)에 비례한다.

$$J = \Sigma m r^2 = \Sigma \rho_m V r^2 \dots\dots\dots (19)$$

유사성 법칙에 의한 관성모멘트 J^* :

$$J^* = \rho_m^* \ell^{*5}$$

여기서 ρ_m 은 회전체에 대한 밀도

식(15), (16)으로부터

$$K^* = N^*, \omega^* = n^*, \phi^* = B^* \cdot \ell^{*2}$$

$$V^* = n^* \ell^{*2} B^* N^* \text{ 및 } R^* =$$

$\rho_e^* N^* \ell^{*-1}$ 이 되며

기계적 시정수 τ_m 은

$$\tau_m^* = \rho_m^* \cdot \rho_e^* \cdot B^{*-2} \dots\dots\dots (20)$$

식(20)에서 모델에 사용한 재료와 동일한 경우 $\tau_m^*=1$ 이 되어 정상속도에 도달하는 시간 t는

모델 모터와 일치한다.

$$\text{모델모터 } t = 10\text{ms}$$

$$\text{개발모터 } (\ell^*=2) t = 10\text{ms}$$

모터의 효율은 입력의 크기 P_1 과 총체적인 손실 P_{tot} 로서 결정되어지므로 효율 η^*

$$\eta^* = P_2^* / P_1^* = (P_1 - P_{\text{tot}})^* / P_1^* \dots\dots\dots (21)$$

의 유사성 척도로서 나타낼 수 있다.

회전속도가 일정한 $n^*=1$ 인 경우 입력 P_1 은 전압V와 전류I의 곱의 크기로서 유사성 척도의 크기는

$$P_1^* = V^* \cdot I^* = \ell^{*5}$$

손실중의 하나인 정류자(브러쉬) 마찰손 $P_c^* = f_c^* \cdot P_B^* \cdot \ell^* \cdot n^* = \ell^{*5}$ 으로써 모델에 비하여 대형인 경우 기계손이 미치는 영향은 상대적으로 적게 나타남을 알 수 있다. 이외의 각종 손실에 대한 유사성척도는 표2와 같으며 식(21)의 $\eta^* > 1$ 로 이는 효율의 개선을 의미한다.

표 2 유사이론에 의한 DC Motor의 입력과 출력.

Table 2 Input power and output power of DC Motor by using the similarity theory.

	유사성 법칙	동일한 재료를 사용하고 다음 조건에서의 유사성 척도		사용부호 설명
		동일운전전압 $V^* = 1$	동일회전수 $n^* = 1$	
입 력 $P_1 = V \cdot I$	$P_1 = V^* \cdot I^*$	ℓ^*	ℓ^{*5}	V : 전압 I : 전류
동 손 $P_{cu} = I^2 \cdot R$	$P_{cu} = I^{*2} \cdot R^*$	ℓ^*	ℓ^{*5}	R : 저항
정류자(브러쉬) 마찰손 $P_c = f_B \cdot P_B \cdot A_B \cdot V_c$	$P_c = f_B \cdot P_B \cdot \ell^{*3} \cdot n^*$	ℓ^*	ℓ^{*3}	f_B : 정류자 마찰계수 P_B : 브러쉬 탄성압력 A_B : 브러쉬 마찰계수
베어링 마찰손 $P_B = \eta \cdot \pi \cdot d_s \cdot b_b \cdot n^2 / s_b$	$P_B = \eta^* \cdot \ell^{*3} \cdot n^{*2}$	$1/\ell^*$	ℓ^{*3}	V_c : 정류자 속도 η : 공기의 점성계수 d_s : 샤프트 직경 b_b : 베어링 길이 s_b : 베어링 공극
공기 마찰손 $P_a = \frac{\pi}{4} \cdot f_a \cdot \rho \cdot I_a \cdot d_a^2 \cdot V^2$	$P_a = f_a \cdot \ell^{*5} \cdot n^{*2}$	ℓ^*	ℓ^{*5}	f_a : 공기 마찰계수 ρ : 공기 밀도 I_a : 전기자 길이 d_a : 전기자 직경

3-3 실험결과 및 분석

모델모터와 유사성 법칙을 적용하여 개발한 모터(크기 $\ell^*=2$)의 특성 곡선은 다음과 같다.

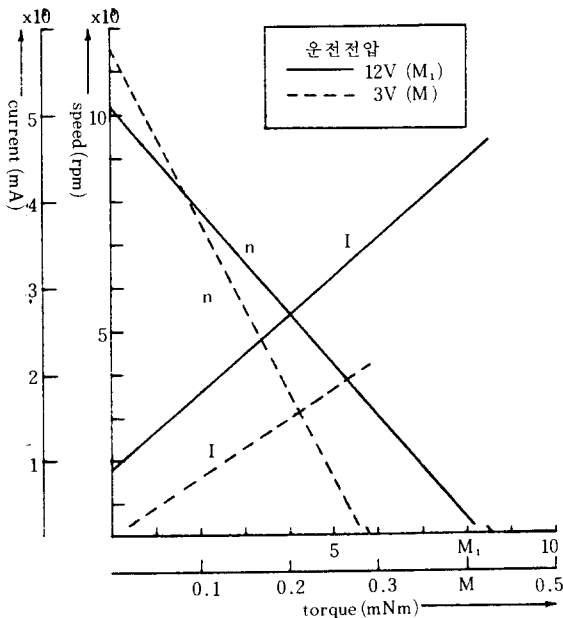


그림 5 속도-토크와 전류-토크 곡선.
Fig.5 Speed-torque and current-torque curve.

그림5는 모델모터(M)와 개발모터(M₁)의 토크 특성곡선으로 모델모터의 경우 운전전압3V에서 회전수 11600rpm 및 무부하 전류 11mA인 반면 개발모터는 운전전압 12V에서 10200rpm의 회전수와 무부하 전류 93mA로 나타나고 있다.

그림 6은 모델(M)과 개발모터(M₁)의 무부하시 기동 특성곡선으로 정상속도인 11600rpm(M)

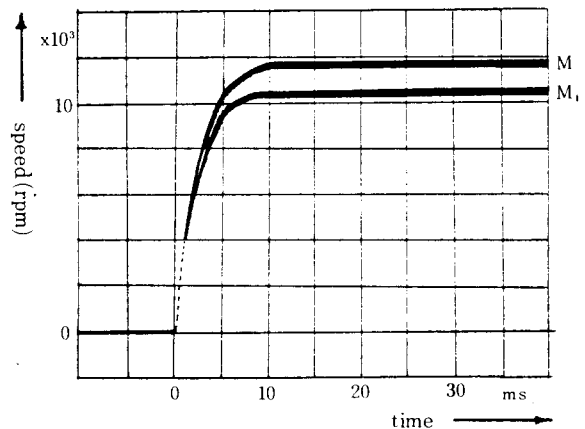


그림 6 무부하시 기동특성곡선.
Fig.6 Full speed of the unloaded motor

및 10200rpm(M_1)에 거의 일치하는 기울기 및 각각 10ms의 시간이 소요되고 있다.

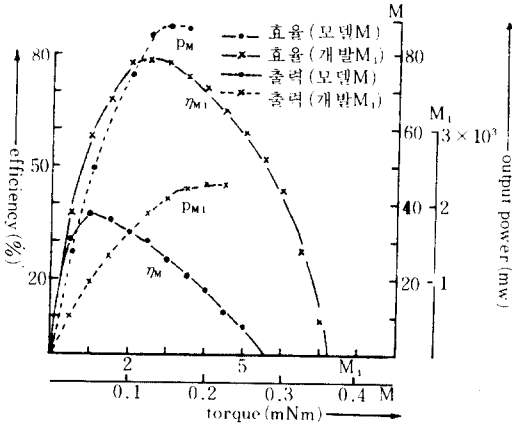


그림 7 효율 및 출력특성곡선.
Fig.7 Curve of the efficiency and output power

그림 7은 시작품의 효율특성곡선 및 출력특성곡선을 나타내고 있다. 모델모터(M)의 최대출력은 86mW인 Micromotor로서 Smallmotor에 비하여 상대적으로 큰 비율의 기계적 손실을 비롯 전체적으로 큰 손실율이 발생되어 (표2 참조) 최대효율은 37%였으나 개발모터(M_1)에서는 최대효율 78%, 최대출력 2.2W임을 알 수 있다.

표 3은 시작품의 중요 이론적 예상특성 및 실험적 결과이다. 편차에 대한 대부분 원인은 그림 3에서 밝힌 바 있는 간접매개체 부분에 있어서 이론적인 유사성에 일치할 수 없었으며 특히 부품가공 및 조립과정의 미숙(축의 완전중심, air gap의 차이, 큰 마찰계수 유발...)으로 기계적 손실이 상대적으로 큰 영향을 미쳤다고 볼 수 있겠다.

표 3 이론과 실험치에 의한 특성 정수비교.

Table 3 Comparison of characteristic data of the theory and measurement.

운 전 정 수	모델모터 운전정수	개발모터 운전정수(ϱ^{*2})	
		예상 이론 값	실험 실측 값
무 부 하 전 압(V)	3	12 $V^* = \varrho^{*2}$	12
무 부 하 속 도(rpm)	11,600	11,600 $n^* = 1$	10,200
무 부 하 전 류(mA)	11	88 $P_f = \varrho^{*3}, I^* = \varrho^{*3}$	92
정 지 모 멘 트(mNm)	0.29	9.28 $M^* = \varrho^{*5}$	8.6
기 동 시 간(ms)	1 10	10 $\tau_m^* = 1$	10

4. 결 론

상기에서 밝힌바와 같이 유사법칙을 이용한 전기기기의 설계에 있어서 이론치와 실험적 결

과와의 차이는 간접매개체에 해당되는 부문에 대한 정확한 유사이론의 이론적 적용이 어렵고

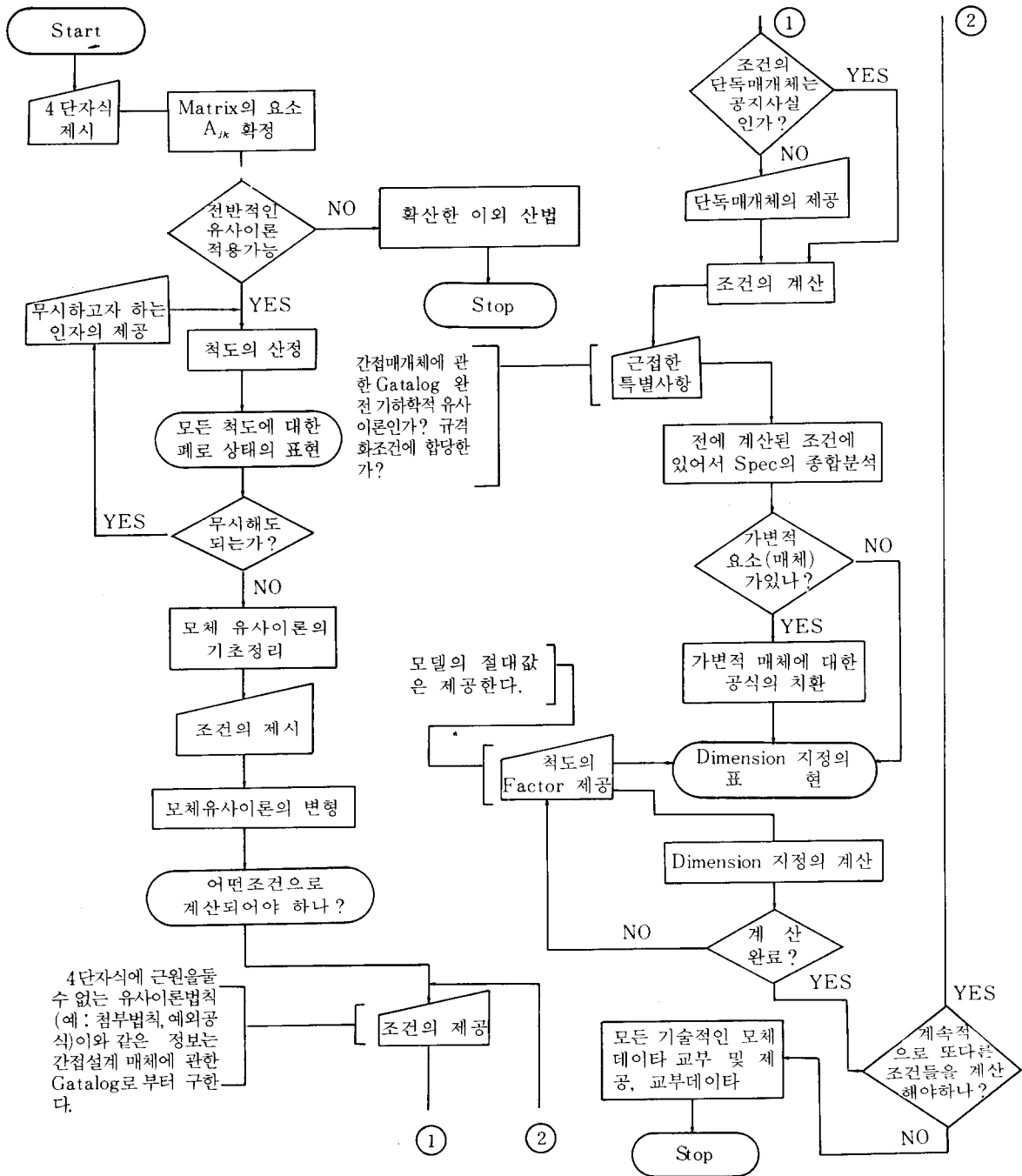


그림 8 Computer 설계를 위한 flowchart.
 Fig.8 Flowchart for the design with computer

아울러 실제의 제작과정에서의 공차와 실측과정에서의 편차에 의한 발생으로 본다.

따라서 이의 결점 보완책으로

- 모델에 대한 정확한 재반 설계정수 확보.
- 간접매개체별 최대의 자료와 이들로 부터 별도의 Data Base작성.
- 특성분석을 위한 수학적인 4단자공식 수립이 요구된다.

그림 8은 소형컴퓨터를 이용하여 계열화 설계의 가능성을 판별할 수 있는 flowchart로써 단계별 간접매개체에 대한 용이한 보완조치가 이뤄질 수 있다. 또한 계열화 설계의 실현으로 제품에 대한 사전 예측특성곡선 판별, 제품의 표준화, 생산 설비비 감축 및 기능인력의 조기숙련화로 제작공정상의 잇점이 있고 아울러 생산성향상의 기대가 이뤄지리라 본다.

參 考 文 獻

1. Bridgman, P. W., "Dimensional Analysis", Yale University Press London, 1931.
2. Angelini, A. M., "Sulla Similitudine di circuiti elettrici L'Elektrotecnica", H. 17. 1943.
3. Mark, J., "Modellversuche fur Reaktoren und Dimensionsanalyse", Dissertation TH Achen, 1960.
4. Gerhard, E., "Das Ahnlichkeitsprinzip in der Eleetrotechnik", Feinwerktechnik Heft 3, P. 133-138, 1968.
5. Gerhard, E., Entwickeln und Konstruieren mit Systemwege zur rationellen Losungsfundung, Expert-verlag Grafenau/Wurtl., 1979.
6. Lee, K-H., "Grenzen der technischen Miniaturisierung von permanentmagnetischen erregten Gleichstromkleinstmotoren mit Hilfe der Ahnlichkeitstheorie", Universitat-Duisburg, 1985.
7. Stokes, G. G., "On the effect of internal friction of fluids on the motion of Pendulums", Trans. camber. Phil. Soc. 9, 1951.
8. Klamt, J., Berechnung und Bemessung elektrischer Maschinen, Springer-verlag Berlin/Gottingen/Heidelberg, 1962.
9. Pahl, G., "Ermittlung von Herstellkosten fur ahnliche Bauteile", VDI-Bericht Nr. 347. P. 71-79, VDI-verlag Dusseldorf, 1979.
10. Mohr, A., "Die Ankerquerfeldveanspruchung von permanentmagnetsegmenten in Kleinen Gleichstrommotoren aus der Sicht von Theorie und Praxis", etz Archiv Bd. 5. p. 3-10, 1983.