

Eddy current 동력계의 부하와 와전류의 직진성 관련 연구

문 병 수*, 이 응 석*, 이 형 석**

Linearity study for the field coil current and the load of eddy current dynamometer

Byung Su Mun*, Eung Suk Lee*, Hyung Seok Lee**

* 충북대학교 기계공학부

** 주성대학 자동차공학과

Abstract

Commercial eddy current dynamometers control the torque of rotating body (power supply machine) with the field coil current being operated as a braking force. In this paper, we studied about the relation between the field coil current and the torque load of eddy current dynamometer. By the torque measuring analysis of eddy current dynamometer, it is linear relation between the brake force measured from the torque meter (e.g. load cell, strain gage or spring balance etc.) which is installed at the case of dynamometer and the multiply of shaft rpm by the square of field coil current ($N \times I_a^2$). To prove the relation, it was experimented and showed that the torque operated by the rotating body can be measured with the shaft rpm and the field coil current of eddy current dynamometer. This result shows a possibility that eddy current dynamometer can measures the torque of rotating body without special torque measuring devices.

Nomenclature

- A : 자장의 단면적[m²]
- B : 코일의 자속밀도[Wb/m²]
- i : 도체에 흐르는 전류[A]
- I : 회전판에 흐르는 전류

- I_a : 계자코일의 전류[A]
- h : 도체의 유효길이[m]
- L : 회전판과 계자의 자극과 겹치는 폭[m]
- n : 계자코일을 감은 횟수
- N : 회전판의 회전수[rpm]
- r : 회전판과 자극이 겹치는 폭 중심 반경[m]
- R : 회전판의 저항[Ω]
- v : 도체의 회전속도[m/s]
- Φ : 계자코일 자속[Wb]
- v : 회전판과 계자 자극과 겹치는 폭 중심에서의 회전속도[m/s]

주요기술용어

와전류 동력계(Eddy current dynamometer), 토크 감출센서(Load cell), 3차 자연 스플라인 함수(Natural cubic spline function), 계자코일(Field coil), 히스테리시스(Hysteresis), 직진성(Linearity), 제동력(Braking force)

1. 서론

동력계(dynamometer)는 엔진 및 모터 등과 같이 회전동력 발생장치의 토크를 측정하는 설비로 동력흡수 방법 및 토크반력 계측방법에 따라 여러 가지로 분류된다¹⁾. 동력 흡수방법에 따라 마찰동력계, 수동력계, 공기동력계, 전기동력계로 나누어지며, 다시 전기동력계는 직류동력계, 교류동력계, 와전류(eddy current) 동

릭계로 나누어진다. 여기서 와전류 전기동력계는 요동자부(moving part)에 여자권선(filed coil)을 설치하여 자계 중에서 회전자를 회전시킬 때에 발생하는 와전류에 의해 제동력을 얻는 것이다. 이 여자전류를 제어하는 것에 의해 속도제어, 토크제어 등의 회전저항제어가 가능하다. 이때 회전판에서 발생하는 회전저항력 F는,

$$\begin{aligned}
 F &= f(B, L, I) \\
 &= f(Ia^2, n^2, r, N, R) \\
 &= K \cdot f(Ia^2, N) \quad \text{단, } K = f(n^2, r, R) \quad (1)
 \end{aligned}$$

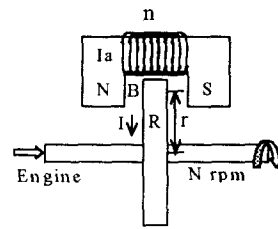
와 같은 관계가 있다²⁾. 따라서 동력계로부터 계자코일 전류량과 회전수를 측정하여 제동력(F)과의 상관관계를 규명하여 동력계 외부에 부착된 제동력 계측기의 동적계측능력을 확인하는 것이 가능해진다. 와전류 동력계에서 흡수동력을 측정하기 위해 현재 사용되고 있는 로드셀(load cell) 또는 스프링저울 등의 제동력 측정장치(sensor) 정밀도 확인 방법은 동력계가 정지된 상태에서 동력계 몸체에 교정용 표준 바(bar)를 조립한 후 바의 끝 부분에 무게가 다른 몇 종류의 교정용 추(weight)를 매달아 기계적으로 구한 토크값과 그때 제동력 측정장치로부터 구한 토크값을 비교하는 방법을 이용하고 있다. 그러나 이러한 방법은 측정포인트가 다양하지 못해 센서 출력값의 직진성(linearity)을 확인하는데 다소문제가 있으며, 또한 이와 같은 제동력 센서 측정정도 확인 작업이 동력계가 정지상태에서 행해지므로, 동력계가 작동상태에서 나타날 수 있는 센서의 히스테리시스(hysteresis)에 의한 오차량 등의 동적변화요인을 반영하지 못하고 있다.

따라서 본 연구에서는 위의 식(1)의 관계를 이용하여 동력계의 제동력 측정장치로 쓰이는 로드셀이나 스프링 저울의 동적정도를 확인하고자 한다. 즉 동력계가 동력원에 가하는 부하량(Ia²N)과 제동력과의 관계를 정의하고, 부하량 값으로부터 동력계 외부에 부착된 제동력 계측기의 동적계측능력을 검증하는 자료로 활용할 수 있는 가능성을 검토하고자 한다. 또한, 동력계에서 여자전류와 회전수만을 측정함으로써 별도의 제동력 측정장치가 없이도 제동력을 예측할 수 있는 가능성

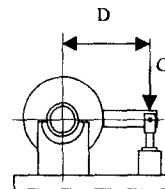
과 예측할 수 있는 조건을 검토하고자 한다.

2. 와전류(渦電流) 동력계의 회전부하 제동원리

토크는 외부로부터의 저항을 이기고 물체를 회전시키는 모멘트를 말하는 것으로, 동력발생원으로부터 전달받은 동력축에 부하를 걸어주고 흡수된 토크를 측정하는 것이다. 이러한 동력계에는 토크 측정원리는 모두 동일하다. 토크 측정원리는 토크 흡수방식에 따라 여러 가지 방식이 있으나 회전체에 어떤 제동하중(load)을 가하면서 동력계 중심에서부터 일정거리(동력계 암의 길이)에서 이에 대한 반력을 측정함으로써 토크를 측정한다.



(a) Torque measuring principle



(b) Dynamometer structure

Fig.1 Torque measuring principle and structure of eddy current dynamometer

Fig.1는 와전류 동력계의 토크측정원리를 간단히 나타낸 것으로 동력계 내부 회전체의 반경 r 위치에서 회전저항력 F가 작용할 때, 이를 측정하기 위한 동력계 암의 길이를 D[m], 그곳에서 측정된 반력을 G라 하면 토크 T는 다음과 같다.

$$T = F \cdot r = G \cdot D [N \cdot m, \text{kgf} \cdot m] \quad (2)$$

한편 1회전당 일 W는 $2\pi G \cdot S [N \cdot m, \text{kgf} \cdot m]$ 가 되며, 회전체의 회전수가 N(rpm)일 때 축 출력 P는 다음과 같다.

$$P = \frac{2\pi T \cdot N}{60 \alpha} \quad (3)$$

여기서, α 는 환산계수로 T의 단위가 N·m이고 P의 단위가 kw일 때는 α 는 1000이며, T의 단위가 kgf·m이고 P의 단위가 ps일 때는 α 가 75이다.

와전류 제어형 전기동력계의 구조는 위의 Fig.3b에서 보는 바와 같이 크게 흡수 동력량을 측정하기 위한 요동자부와 전자유도 작용을 위한 회전판으로 되어 있다. 요동자부에 여자권선을 설치하고 여기에 직류전류를 통과시켜 폐회로의 자속을 만들고, 이 자속의 자력선과 직각방향으로 도체로 만들어진 전자유도 회전판을 설치한 후 원동기 등을 이용하여 회전시키 기계적 에너지를 공급하면, 이 회전판에 있는 전자로 로렌츠 힘(Lorentz's force)의 영향으로 Fleming의 오른손법칙에 따르는 방향으로 기전력이 유도되어 전류가 흐르게 된다. 이 유도전류는 원판중의 저항이 가장 적은 부분을 통하여 댐돌이를 이루며 흐르게 되어, 이를 와전류(eddy current)라 한다. 이 와전류가 흐르고 있는 회전판에는 그 회전판의 저항에 해당하는 열이 발생하여 회전판의 온도는 점차 상승하게 된다. 와전류에 의해 발생한 열 에너지는 냉각수에 의해 외부로 방출하기 때문에 동력흡수 용량에 따라 냉각수를 공급하는 설비가 필요하다. 냉각방식은 회전자와 요동자 사이 공극에 물을 흐르게 하는 직접냉각 방식과 요동자 내부에 수로를 만들어 냉각하는 간접냉각 방식이 있다.

또한 회전판 내부 유도전류와 자극사이에는 Fleming 왼손법칙에 의한 전자력이 회전판에 작용하게 되어, 회전판의 운동이 저지된다. 이때 회전판의 제동력은 계자코일이 형성하는 폐자로 자속량에 비례하는데, 이 자속량은 코일에 흐르는 전류량에 비례하므로, 회전판의 제동력제어는 계자코일의 전류량을 제어 함으로서 가능해진다. 한편 회전판에 제동력이 발생할 경우, 계자코일 설치부위(요동부)에는 회전판의 회전방향과 반대방향으로 회전판의 제동력과 같은 크기에 힘을 받게 되며, 그 결과 요동부가 원판의 회전방향과 반대방향으로 회전하게 된다. 따라서 앞에서 설명한 바와 같이 이 요동부에 암(arm)을 설치하고 그 끝에 스프링저울이나 계측장치를 설치하여 회전력을 측정함으로써 흡수 토크량을 측정하게 된다.

여기서 자속밀도가 B인 자장속에 유효길이가 h인 도체가 속도 V로 자력선과 각 θ 방향으로 움직일 때 도체에 발생하는 유도기전력 E와 또한 도체에 전류 i가 흐를 때 도체에 작용하는 전자력 F의 관계를 정

리하면 다음과 같다.

$$E = B \cdot \ell \cdot v \cdot \sin \theta \quad [V] \quad (4)$$

$$F = B \cdot \ell \cdot i \cdot \sin \theta \quad [N] \quad (5)$$

위 식을 와전류 동력계에 적용하면 식(4)에서의 유효길이 h은 동력계 회전판이 여자권선과 겹치는 폭(L)이 되며, 도체가 자력선에 대해 회전판이 직각으로 설치되므로 즉 $\theta = 90^\circ$ 가 되어 $\sin \theta$ 항이 식에서 빠지게 된다. 그러나 도체의 회전속도 V는 회전판의 반경에 따라 변함으로 회전판과 여자권선이 겹치는 폭 중심에서의 회전속도[m/s]로 대치된다. 또한 회전판의 회전수를 N[rpm]일 때 코일의 자속밀도 B와 회전판에 흐르는 전류 I는 다음 식과 표현된다.

$$B = \frac{\Phi}{A} = \frac{\Phi}{2\pi r \cdot L} = \frac{Ia \cdot n}{2\pi r \cdot L} \quad (6)$$

$$I = \frac{E}{R} = \frac{B \cdot L \cdot v}{R} = \frac{Ia \cdot n}{2\pi rL} \cdot \frac{L \cdot v}{R} \\ = \frac{Ia \cdot n}{2\pi rL} \cdot \frac{L}{R} \cdot \frac{2\pi rN}{60} = \frac{Ia \cdot n \cdot N}{60R} \quad (7)$$

여기서 전자석의 경우 자속 $\Phi = Ia \cdot n$ [AT]가 된다. 따라서 식(6,7)을 식(5)에 대입하여 정리하면 다음과 같이 된다.

$$F = \frac{Ia \cdot n}{2\pi r \cdot L} \cdot L \cdot \frac{Ia \cdot n \cdot N}{60R} \\ = \frac{Ia^2 \cdot n^2 \cdot N}{120\pi rR} = \frac{n^2}{120\pi rR} \cdot Ia^2 \cdot N \quad (8)$$

$$\therefore F = K \cdot Ia^2 \cdot N \quad (\text{단, } K = \frac{n^2}{120\pi rR}) \quad (9)$$

식(9)는 동력계에서 작용하는 제동력 F가 계자코일 전류와 회전수의 함수임을 나타내고 있다. 즉 동력계의 제동력은 내부의 구조적인 특성으로 결정되는 상수K 값을 구하고 그때의 계자코일 전류와 회전수를 측정한다면 동력계 외부에 제동력 측정을 위해 부착하는 계측기 없이도 측정 가능함을 나타내고 있다. 따라서 본 실험에서는 외부에서 측정되는 힘 G값이 Ia^2N 값과 선형적 관계가 있는지 확인하고자 하였다. 이를 위해 식(8)을 위의 식(2)에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$T = F \cdot r = K \cdot Ia^2 \cdot N \cdot r = G \cdot D \quad (10)$$

$$G = \frac{K \cdot r}{D} \cdot I a^2 \cdot N$$

$$= K'' \cdot I a^2 \cdot N \quad [\text{N, kgf}] \quad (11)$$

$$\text{(단. } K'' = \frac{K \cdot r}{D} = \frac{G}{I a^2 \cdot N} = \frac{n^2}{120 \pi D \cdot R} \text{)} \quad (12)$$

또한 식(9)을 식(3)에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$P = \frac{2\pi T \cdot N}{60 a} = \frac{2\pi K}{60 a} \cdot I a^2 \cdot N^2$$

$$= K'' \cdot I a^2 \cdot N^2 \quad (13)$$

$$\text{(단. } K'' = \frac{2\pi K}{60 a} = \frac{P}{I a^2 \cdot N^2} = \frac{n^2}{3600 a R} \text{)} \quad (14)$$

식(11)는 흡수동력을 구하기 위해 동력계 외부에 계측기를 부착하여 측정하는 힘(G)이 제자코일전류 Ia 와 회전수 N 의 함수임을 나타내고 있다. 여기서 식(12)의 K 는 전자유도 회전판의 저항 R 의 함수이나, 회전판의 냉각수온도를 일정하게 유지할 경우 R 은 상수처리가 가능하여 K 값이 상수가 된다. 또한 식(13)는 동력계 흡수동력 P 값도 같은 방법으로 $Ia^2 N^2$ 값의 측정에 의해 구할 수 있음을 나타내고 있다. 따라서 본 연구에서는 동력계에서 $Ia^2 N^2$ 값과 G 값을 측정하여 데이터 사이의 상관관계를 분석하고자 한다.

3. 토오크 측정 실험 및 장치

실험에 사용한 동력계는 일본 동경메타 주식회사의 와전류 제동형 전기동력계(eddy current brake dynamometer)로써 세부사양은 Table 1에 표시하였다.

동력계의 구조는 Fig.2와 같으며, 회전동력원으로는 최고출력 40Ps의 2164cc의 디젤엔진을 사용하였다. 동력계의 권선코일에 소요되는 전류량은 Fluke 97 scope meter를 사용하여 측정하였다.

Table 1 Specification of eddy current dynamometer for the experiment (Tokyo meter Co., Model GW(DW)E -30(40) -100 -GS -DVU)

Max. absorption power	100 Ps
Max. revolution of shaft	7000Rev/min
Torque indicator	Spring balance
Tachometer	Electric tachometer
Arm length (D)	0.331m

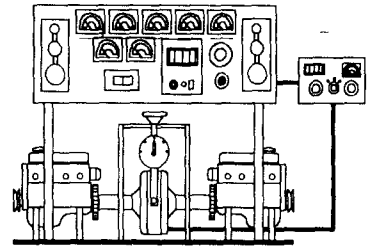


Fig.2 Schematic diagram of the dual shaft eddy current dynamometer for the experiment

토오크 실험은 일정부하 모드에서 행하고, 미 측정 구간의 데이터 예측을 위한 보간법(interpolation)으로 실험 데이터구간 $x_{\{j-1\}} \leq x \leq x_{\{j\}}$ 에 대해 식(15)과 같이 표현되는 3차 자연 스플라인 함수(natural cubic spline function)를 이용하였다. 이 식에서 y 는 식(11)의 G 값이고, x 는 $Ia^2 N^2$ 값을 나타낸다.

$$y(x) = \frac{(x_j - x)^3 M_{j-1} + (x - x_{j-1})^3 M_j}{6(x_j - x_{j-1})}$$

$$+ \frac{(x_j - x) y_{j-1} + (x - x_{j-1}) y_j}{(x_j - x_{j-1})}$$

$$- \frac{[(x_j - x) M_{j-1} + (x - x_{j-1}) M_j]}{6}$$

$$\times (x_j - x_{j-1}) \quad (15)$$

위 식에서 M_i 는 각 구간의 연결점에서 연속이기 위해 $y(x)$ 의 2차 도함수 값으로, 식 (16)과 같이 정의되며 이 M_i 값들은 식(17)의 선형연립방정식을 풀어서 구할 수 있다.

$$M_i \equiv y''(x_i), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (16)$$

$$\frac{(x_j - x_{j-1}) M_{j-1}}{6} + \frac{(x_{j+1} - x_{j-1}) M_j}{3}$$

$$+ \frac{(x_{j+1} - x_j) M_{j+1}}{6}$$

$$= \frac{y_{j+1} - y_j}{x_{j+1} - x_j} - \frac{y_j - y_{j-1}}{x_j - x_{j-1}} \quad (17)$$

$$j = 2, 3, \dots, n-1$$

이와 같은 M_i 대한 선형연립 방정식은 M_i 의 미지수에 숫자에 비해 방정식이 2개 부족하게 된다. 따라서 아래 식(18)과 같이 x 와 y 의 관계그래프에서 곡선의 양 끝단에서의 곡률(2차 도함수 값)을 영(zero)으로 가정하면,

$$M_1 = Mn = 0 \quad (18)$$

이 되어 M_i 값의 풀이가 가능해진다. 이와 같이 만들어진 M_i 에 대한 선형 대수방정식을 행렬로 풀어 각각의 M 값을 구해 식(15)에 대입하면 각각의 구간별로 함수 $y(x)$ 를 구할 수 있게 된다.

4. 결과 및 분석

4.1 실험 결과

측정 데이터의 예로서 초기 회전수 1300 rpm를 Table 2에 나타내었다. 실험에서 데이터 측정은 초기 무부하 조건에서 일정 rpm을 맞추고 부하량을 약간씩 증가시키면서 동력계의 계자코일 전류와 제동력과 회전수를 측정하였다. 또한 이와 같은 방법으로 엔진에 어느 정도 부하가 가해진 뒤에는 앞의 실험과 반대로 부하를 약간씩 낮추어 가면서 무부하 상태까지 데이터를 측정하였다. Fig.4-9는 이와 같은 측정 데이터로부터 부하량(Ia^2N)을 계산하여 제동력과 관계를 그래프로 나타낸 것이다. 각각의 측정점으로 부터 최소자승법(least squares method)을 이용하여 평균 기울기(직선식)를 구하여 부하의 증가 및 감소에 대하여 나타내었다. 그래프 식에서 Y_i 는 부하증가시 직선식이고 Y_d 는 부하감소시 직선식을 나타낸 곳이다. Fig.4-6은 각 rpm 별로 부하 증가 및 감소시킬 때 나타난 상태를 그린 것이고, Fig.7은 각 rpm에서 부하 감소 할 때 나타난 현상만을 그린 것이고 Fig.8은 부하증가시 상태를 나타낸 그림이다.

Table 2. Measured brake power for field coil current at the initial condition, 1300rpm

Increasing load			Decreasing load		
I(mA)	F(kg)	N(rpm)	I(mA)	F(kg)	N(rpm)
4.7	4.7	1305	7.5	4.7	1329
24.4	5.2	1285	26.0	5.5	1314
34.4	5.6	1270	35.7	6.2	1298
44.6	6.5	1255	46.1	6.4	1285
54.3	7.25	1246	55.3	7.7	1272
64.2	8.75	1242	64.9	9.25	1271
76.1	10.7	1235	77.4	11.3	1263
90.1	13.1	1223	90.7	14.1	1255
103.2	15.6	1213	104.0	16.75	1247
116.9	18.7	1220	117.3	19.7	1245
130.1	21.7	1224	130.1	22.5	1234
142.5	24.2	1207	142.5	24.5	1207

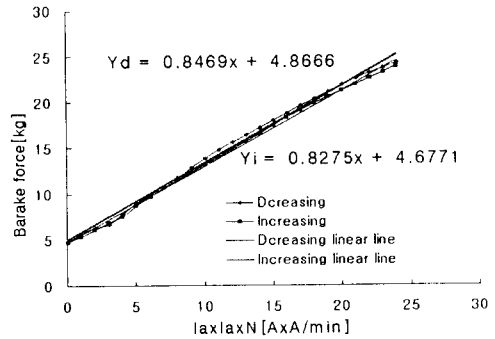


Fig.4 Brake power graph for field coil current at the initial condition, 1300rpm

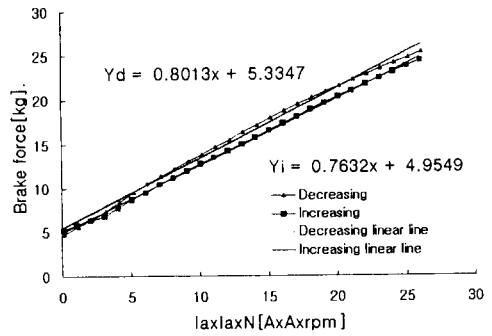


Fig.5 Brake power graph for field coil current at the initial condition, 1400rpm

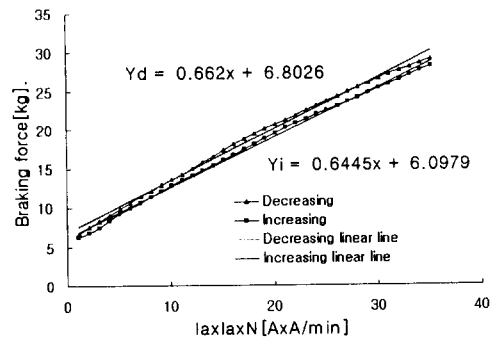


Fig.6 Brake power graph for field coil current at the initial condition, 1600rpm

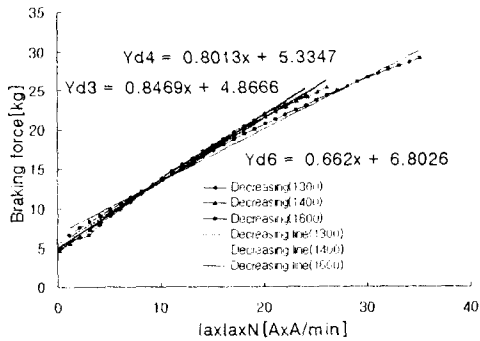


Fig.7 Brake power graph for decreasing load at the initial condition, 1300-1600rpm

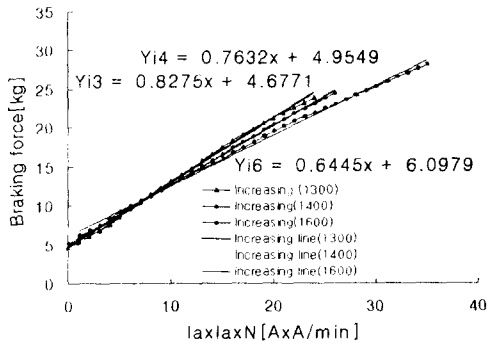


Fig.8 Brake power graph for increasing load at the initial condition, 1300-1600rpm

4.2 부하량(I_a^2N)과 제동력의 선형성

각 rpm 별로 부하량과 제동력과의 관계를 나타낸 그래프인 Fig.4-6을 전체적으로 살펴보면 부하량과 제동력이 1차 함수의 직선관계를 유지하고 있어 식(8)이 성립함을 알 수 있다. 이것은 본 연구의 목적과 일치하는 것으로 즉, 와전류 동력계의 경우 계자코일의 흐르는 전류와 회전속도를 측정하여 동력계에서 제동하는 동력을 동력계 외부에 계측기를 부착하지 않고 측정 가능함을 알 수 있다. 다만 초기 부하시 즉 I_a^2N 값이 $4[A^2/min]$ 부근에서 그래프에 약간의 굴곡이 발생하는데 이것은 모든 rpm 영역에서 공통적으로 발생하는 것으로 실험장치의 제동력 측정기의 기계적 결함에서 오는 현상으로 예측된다.

4.3 측정기 히스테리시스(hysteresis)

Fig.4-6을 보면 같은 부하량(I_a^2N)에 대해 부하의 증

가방향에서 보다 감소방향에서 제동력 값이 크게 나타나고 있어 계측기의 히스테리시스(hysteresis)가 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 이러한 히스테리시스는 가하는 부하량이 클수록 그 폭이 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 여기서 부하 증·감시 제동출력의 차이가 출력값에 영향을 미칠 수 있는 다른 요인인 동력계 내부 온도변화에 의한 회전판의 저항을 고려할 수 있으나 저항이 변할 경우에는 식(11)의 K값이 달라지던 그래프의 기울기가 달라지게 되나 여기서는 그래프가 부하증감시 대체적으로 평행선을 이루고 있어 Fig.4-6 그래프의 두 그래프 사이의 폭은 K값의 영향 보다는 계측기의 히스테리시스에 의한 차이임을 알 수 있다.

따라서 동력계 계측기 종류에 의한 정도 차이는 있겠으나 동력계의 제동력 측정을 동력계 외부에 부착한 계측기에만 의존할 경우 계측기의 히스테리시스에 의한 측정오차가 있음을 나타내고 있다. 그러나 본 연구에서 실험한 계자코일의 전류와 회전수로 제동력을 측정하여 제동력 계측기 출력특성에 맞게 보정할 경우 제동력 측정오차를 줄일 수 있을 것으로 추정된다.

4.4 온도변화에 의한 제동력 영향

Fig.7-8에서 보면 초기rpm에 따라 기울기가 조금씩 다르게 나타나고 있음을 알 수 있다. 같은 rpm에서의 그래프 기울기는 크게 차이가 없으나, 초기 rpm이 달라지면 기울기 즉 K값이 0.1정도 차이가 나며 그 차이는 감소시 보다 부하 증가시에 좀더 크게 나타나고 있다. 또한 부하증가 및 감소시 모두 초기 rpm이 클수록 K값이 작아지고 있음을 알 수 있다.

이와 같은 원인으로 추정되는 것은, 식(8)에서 K의 함수값에 미루어 볼 때 동력계 내부의 온도의 변화에 의한 회전판의 저항변화가 예상된다. 와전류 동력계에서 회전판은 도체로 만들어져야 함으로 급속으로 제작되고, 일반적인 급속은 온도가 상승할수록 저항값이 상승한다. 따라서 동력계의 온도가 상승할수록 Fig.7-8의 그래프의 기울기를 K값은 작아져 기울기가 완만해진다.

본 실험의 경우에서와 같이 동력계 내부 회전판의 냉각을 위해 일정한 온도의 냉각수를 일정유량으로 공급할 경우 부하량을 증가 시킴에 따라 동력계에서 흡수하는 열량도 많아져 회전판의 온도가 점차 상승하였을 것으로 예측된다. 따라서 그림 8에서 rpm별로

그래프의 기울기가 다른 것은 초기 rpm이 높을수록 그만큼 온도상승이 되었을 것으로 추정된다.

Fig.7과 Fig.8을 비교하여 보면 부하 증가시에 비해 부하 감소시 기울기 차이가 적은 것은 냉각효과의 차이로 추정된다. 초기 rpm을 Setting하고 부하를 증가시키며 실험할 경우에 rpm차이에 의한 회전판의 온도차이에 비해, 일단 부하가 가해진 상태에서 부하량 감소시키면서 실험할 경우 초기 rpm차이에 의한 회전판의 온도차이 적게 나타났을 것으로 추정된다. 또 다른 요인으로는 회전수 상승에 따른 회전판의 회전관성력의 차이에 의한 rpm의 순간적인 반동을 예측할 수 있으나, 본 실험에서는 급한 회전변동은 없었으므로 관성력에 의한 영향은 거의 없으리라 예상된다.

이상과 같이 부하량(Ia^2N)과 제동력과 선형성 기울기 K값에 대해 검토하였다. 검토결과 선형성은 비교적 만족하나 기울기 K값은 rpm별로 조금씩 차이가 있음을 알 수 있다. 이러한 차이를 일으키는 요인으로 추측하는 것은 위에서 언급한 바와 같이 동력계 내부온도 변화가 영향을 주었을 것으로 생각한다. 그러나 동력계 내부의 온도를 일정하게 유지하는 것은 어려움이 많으므로 더 많은 실험을 통해 동력계 내부의 온도변화가 그래프의 기울기에 끼치는 영향정도를 명확히 분석할 필요가 있다. 또한 이와 같은 실험이 제자코일을 전류를 고정된 상태에서 스톱밸브(throttle valve) 개도를 조정하는 토크 제어모드와 회전수를 고정한 상태에서 스톱밸브 개도를 조정하는 회전수 제어모드에서도 행해져 부하량과 제동력과 선형성 관계를 확인할 필요가 있다.

이와 같이 부하량과 제동력과의 관계를 명확히 규명하여, 부하량 값은 동력계가 작동상태에서 외부에 부착된 제동력 계측기의 동적계측능력을 검증하는 자료로 활용할 수 있다. 또한 더 나아가서 동력계 내부 온도에 대한 영향을 적절히 보정할 경우 동력계에서 여자전류와 회전수만을 측정하므로써 별도의 제동력 측정장치가 없이도 동력계의 제동력, 토크 및 회전체의 동력(power)을 구하는 것이 가능할 것이다.

5. 결 론

본 연구에서는 먼저 와전류 동력계가 동력원(원동기)의 동력을 흡수하는 원리로부터 그 관계를 수식화하여, 동력계의 부하량(Ia^2N)과 제동력 간의 상관관계를 규명하고자 하였다. 이렇게 하여 부하량 값으로

동력계 외부에 부착된 제동력 계측기의 동적계측능력을 검증하는 자료로 활용 가능성을 검토하였다. 또한 부하량 값으로 동력계의 제동력을 예측할 수 있는 가능성을 검토하여 요약된 결론은 다음과 같다.

1) 와전류 동력계의 동력흡수량 제어는 제자코일의 전류량 제어로 이루어진다.

2) 와전류 동력계가 동력원에 가하는 제동력의 크기(F)는 동력계 제자코일 전류량(I)과 2차 함수관계가 있으며, 동력계의 부하량과는 1차 함수관계가 있음을 알 수 있다.

3) 동력계 내부의 온도가 변할 경우 동력계의 제동력(F)과 부하량과 1차 함수관계의 기울기가 달라질 수 있다.

4) 부하량 값으로 동력계 외부에 부착된 제동력 계측기의 동적계측능력을 검증하는 자료로 활용하기 위해서는 동력계 내부의 온도에 대한 영향을 조사하여 부하량에 보정해야 한다.

5) 동력계 내부의 온도가 제동력에 미치는 영향을 파악하여 부하량 값으로 동력계의 제동력을 예측할 수 있다.

참 고 문 헌

1. 조진호, 자동차 기술핸드북 제 3권 시험평가편, 한국자동차 공학회, pp.35-40,1996
2. 김재휘, 자동차 전기전자, 중원사, pp.87-93, 1995
3. Kendall E. Atkinson, An introduction to numerical analysis, second edition, John Wiley & Sons,1986
4. Ernest O. Doebelin, Measurement systems Forth edition, Mcgraw-hill, 1999
5. Djoko Suharto, Arliadi Hadid Mahadi, "Automation of Friction Brake Dynamometer for Measuring Net Power Rating of internal Combustion Engine", The World International Pacific Conference on Automotive Engineering, 971419(Abstract code 189), 1997.11