論文 8-3-6

직류서보모터의 고효율 수요관리를 위한 전문가 시스템

(An Expert System for Demand Side Management of High Efficient in DC Servo Motor)

金 光 憲*
(Kwang-Heon Kim)

요 약

본 연구는 여러 종류의 직류서보모터에서 적용목적에 대해 최상의 성능을 발휘하면서 가장 높은 효율을 갖는 서보모터를 선정하기 위한 인간 전문가의 지식, 경험과 추론 능력을 갖는 전문가 시스템 개발에 관한 것이다.

제안한 프로그램은 비전문가가 적용시스템의 성능조건과 기계적 데이터만을 입력함으로써 고효율 서보모터가 선정되도록 하였다. 전문가 시스템의 추론기관과 지식베이스는 C 언어로 구현하였으며, 데이터베이스는 제조회사에서 제공한 직류서보모터의 카다로그로부터 구성하였다. 서로 다른 정격을 갖는 직류서보모터의 효율을 비교하는데 있어서는 속도-토크의 운전패턴에 따른 평균효율을 기준으로 하였다. 그리고, 서보모터 선정에 관한 수요관리의 전문가 시스템을 실제 사용되고 있는 여러 적용시스템에 대해 검증하여 신뢰성을 확인하였다.

Abstract

This paper describes the development of an Expert System that has the man expert knowledge, experience and inference. This program is helpful for selecting the high efficient DC servo motor which is best fit for the application.

The proposed program of this paper makes a selection of the most reasonable motor, only if a semi-skilled engineer inference the performance criteria and mechanical driven system for applications. The inference engine and knowledge-base of the Expert System are implemented by C programming language. The data-base was implemented from manufacturer's catalogues for DC motors. Efficiencies of the various motors with different rating are compared reference on the average efficiency depends on the operating profiles. And, the Expert System in this paper was tested in various of applications to verify the reliability, quick and easy selecting of the motor.

* 正會員 : 全南大 工大 電氣工學科 專任講師 · 工博
接受日字 : 1994年 3月 17日

1. 서 론

범 세계적으로 환경에 대한 관심이 고조되면서 에너지자원에 대한 공급관리 측면의 소극적인 자세에서 탈피하여 수요관리 측면에서의 고밀도화, 고효율화 에너지 사용이 절실히 요청되고 있다. 우리나라의 90년대 전기에너지 소비량중 동력용의 약 80[%](전체 전기에너지 소비량의 64[%] 정도)가 모터류에에서 소비되고 있으므로, 고효율 모터를 개발하여 사용하므로써 가장 효율적으로 전기에너지를 절약할 수 있다[1]. 고효율 모터의 수요관리 방법으로는 고효율 모터의 개발, 보급 및 사용으로 대별할 수 있다. 외국에서는 미국의 NEMA 규격(MEMA MG-1, MG-10), 캐나다 전력청 규격, 일본의 JEM, JIS규격(JIS C 4210) 등으로 보통 유도모터의 고효율값을 규정하여 수년전부터 고효율 모터의 개발과 보급을 추진하고 있으며, 미국과 캐나다의 경우 더욱 적극적으로 고효율 모터 구입시 효율에 따른 보상제도를 실시하여 지원하고 있다. 그러나, 국내의 고효율 모터 개발에 대한 자체 기술은 거의 축적되어 있지 못한 실정이며, 한국공업규격(KS C 4202)에 3상 유도전동기의 50[Hp]이하에 대하여 고효율값이 규정되어 있는 정도이다. 특히 서보모터는 효율보다는 서보 응답성을 위주로 설계제작되어 사용하고 있으며, 국내는 거의 전량 수입에 의존하여 사용하고 있는 실정이다. 따라서, 고효율 모터의 개발과 보급도 시급하지만, 현재 국내의 현실적인 고효율 모터의 수요관리 전략은 신뢰성 있는 고효율 모터 선정방법의 개발과 보급 및 이에 의한 적극적인 고효율 모터의 사용에 있다고 할 수 있다. 따라서 적용시스템의 요구성능을 만족하면서 고효율인 직류서보모터의 선정방법을 개인용 컴퓨터의 프로그램으로 개발 보급할 필요가 있다.

서보모터의 선정을 위한 전문가 시스템의 프로그램 개발에 관한 연구[2), 3)]는 최근에 국제 학술회의에 보고되었다. 그러나 발표된 연구 보고는 적용부하에 따라 인버터의 최대 과전류 정격을 계산하고, 이 값을 만족하는 인버터를 선정하는 연구로 범위를 국한시키고 있다. 그리고 모터의 특성과 구동시스템의 조합에 의한 운전특성을 각종 서보모터 시스템에 대해 비교 검토한 연구[4)-7)]가 보고되었다. 이러한 연구는 이상적인 구동시스템 조건하에서 운전되는 경우 모터의 설계 파라미터로 표현되는 동작특성을 정상적으로 분석한 것으로, 비전문가가 이 연구 결과를 컴퓨터 프로그램화하고, 모터 구동시스템의 특성을 평가하거나 고효율 서보모터를 선정하기 위해 이용하는 것은 어렵다.

따라서, 본 연구에서는 최적성능과 최대효율의 직류서보모터를 선정하는 인간 전문가의 방법과 지식을 개인용 컴퓨터의 프로그램으로 구성한다. 개발된 전문가 시스템의 지식베이스와 추론에 의한 직류서보모터의 선정 프로그램은 현재 개발되어 시판중인 직류서보모터 중에서 사용자 요구에 대해 최적의 성능을 만족하면서 고효율 서보모터를 선정하도록 한다.

2. 고효율 직류서보모터의 선정방법

2.1 직류서보모터의 성능조건과 속도-토크

직류모터는 유도모터에 비해 효율이 높으며, 우수한 서보 응답성 때문에 수치제어선반, 산업용 로보트 등에서 그림 1과 같은 운전패턴으로 빈번한 가감속운전과 정밀한 구동력 제어를 얻기 위해서 널리 사용되고 있다. 카다로그로부터 직류서보모터를 선정할 때 고려하여야 되는 일반적인 조건[8)]으로는,

① 부하구동방식, 속도-토크의 운전패턴으로부터 모터측 환산 부하의 관성모멘트를 계산하고, 모터측 환산 부하 관성모멘트가 모터 관성모멘트의 3배 보다 작아야 한다.

② 선정 서보모터의 정격토크는 운전에 요구되는 실효토크보다 커야되고, 최대토크는 부하가속토크와 부하토크의 합보다 큰 것을 선정한다.

③ 적용시스템에서 필요로 하는 속도보다 선정모터의 최대 허용속도가 큰 것을 선정한다.

④ 전기적 시정수, 기계적 시정수, 파워레이트(power rate), 출력밀도 등이 적용시스템의 요구성능조건을 만족하여야 한다.

⑤ 속도, 위치 센서의 제어 분해능과 제어 정

밀도가 적용시스템의 요구 성능조건을 만족하여야 한다.

⑥ 감속기, 브레이크 등은 내장형으로 요구되는지 검토하여야 한다.

⑦ 구동장치의 보호기능, 경보기능 등을 사용자가 요구하는지 검토하여야 한다.

등이다. 본 연구에서는 이러한 일반적인 선정조건 외에 직류서보모터의 온도상승을 고려한 실효출력과 운전주기의 평균효율을 계산하여, 직류서보모터를 선정하는 방법을 컴퓨터 프로그램화 한다.

실효출력이란 '어떤 운전패턴으로 운전하였을 때 발생되는 온도상승과 같은 크기의 온도상승을 일으키는 연속운전상태의 출력'으로써 식 (1)과 같이 환산한 것이다. 선정되어야 할 서보모터의 정격출력은 식 (2)와 같이 적용시스템에서 요구하는 실효출력보다 커야 하며, 최대출력은 여유출력을 고려하여 정격출력보다 1.5배 이상 큰 모터를 선정하도록 한다[9]. '실효출력<정격출력'의 조건은 '운전패턴에 따른 발열이 서보모터의 허용온도 상승보다 작아야 한다'는 조건과 같은 의미로 해석할 수 있다. 식 (2)의 조건을 만족하면, 직류서보모터의 일반적인 속도-토크 곡선을 나타내는 그림 2에서 동작점이 연속운전영역내의 a점에 존재하거나, 또는 순시운전영역내의 b점 또는 c점 등에 존재하는 것으로 가정할 수 있다. 따라서, 앞서 설명한 직류서보모터의 일반적인 선정조건 외에 식 (2)를 만족하면, 제안한 프로그램에서는 적용시스템에 대해 선정되어야 할 모터의 속도와 토크의 조건을 만족하는 것으로 간주한다.

$$P_{rms,\ rq} = \frac{\sum_n P^2_n t_n}{t_n} \qquad (1)$$

여기서,

$P_{rms,\ rq}$: 적용시스템에서 요구되는 실효출력[W]

n : 운전패턴에서의 n번째 구간

p_n : 구간 n에서의 출력[W]

t_n : 구간 n의 기간[sec]

식(1)과 같이

$$p_{rms,\ rq} < p_{rt,\ sl} \qquad (2)$$

$$p_{mx,\ sl} > 1.5 p_{rt,\ sl}$$

여기서, $p_{rt,\ sl}$: 선정 모터의 정격출력[W]

$p_{mx,\ sl}$: 선정 모터의 최대출력[W]

2.2 고효율 운전을 위한 운전패턴

직류서보모터의 운동방정식은 다음 식 (3)과 같으며, 속도 ω와 위치 θ와의 관계는 다음 식 (4)와 같다.

$$J\frac{d\omega}{dt} + T_L = K_T I_a \qquad (3)$$

여기서, $J = J_m + J_L$[kgms^2]

J_m : 모터의 관성 모멘트[kgms^2]

J_L : 부하의 관성 모멘트[kgms^2]

ω : 모터의 회전 각속도[rad]

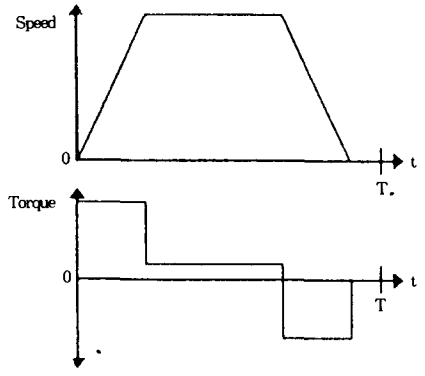

그림 1. 운전패턴의 일반적인 예

Fig. 1. Simple case in operation patterns

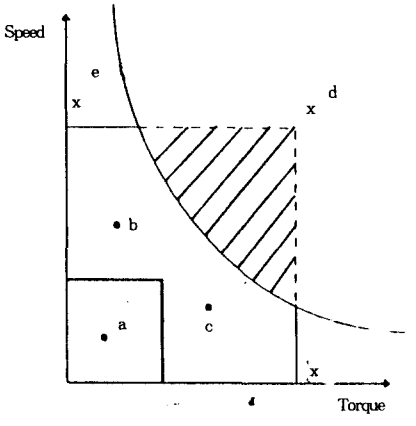

그림 2. 직류서보모터의 일반적인 속도-토크 곡선

Fig. 2. Typical speed-torque curve of DC servo motor

T_L : 부하토크[Nm]

K_T : 토크정수[Nm/A]

I_a : 전기자 전류[A]

$$\theta = \int_0^{t_c} \omega(t)dt \quad (4)$$

여기서, θ : 회전자 위치[rad]

t_c : 운전주기[sec]

직류서보모터의 주요 손실은 동손, 철손, 기계손 및 풍손 등이다. 그러나, 철손, 기계손 및 풍손 등은 카다로그의 데이터로부터 구할 수 없다. 이러한 손실의 크기는 서보모터 설계 데이터로부터 계산할 수 있으나 이런 데이터는 일반적으로 공개되지 않으므로 서보모터 효율계산에 고려하기 어렵다. 따라서 철손, 기계손, 풍손은 비슷한 출력의 서보모터에서는 거의 같으며, 손실의 상당 부분이 동손에 기인 한다고 가정할 수 있으므로, 서보모터의 발열에 의한 저항 상승분을 고려한 동손만을 서보모터의 손실로 식 (5)와 같이 고려하였다. 온도 상승치는 서보모터의 카다로그에 제시되어 있는 서보모터 권선의 허용 최대 온도값 또는 절연계급으로부터 구하였다.

$$P_C = R_H \int_0^{t_c} I_a^2(t)d(t) \quad (5)$$

여기서, R_H : 온도 상승시 전기자 저항[Ω]

식 (3)과 (4)를 만족하면서 식(5)의 동손을 최소로 하는 운전패턴 $\omega_0(t)$는 식 (6)으로 표현되는 포물선 형태이다.

$$\omega_0(t) = 6\theta \frac{t_c - t}{t_c^3} t \quad (6)$$

운전패턴이 포물선인 경우 동손이 가장 적으나, 위치제어장치에서 실제 구현하기 힘들어 일반적으로 사다리꼴 운전패턴으로 운전한다. 따라서, 위치제어를 목적으로 운전하는 경우 운전패턴의 선정은 가속, 등속 및 감속기간이 똑같은 사다리꼴 형태로 가정한다. 식 (6)으로부터 운전패턴에 따른 동손 P_{c0}는 식 (7)과 같이 일반화된 식으로 정리할 수 있다.

$$P_{c0} = \frac{R_H}{K_T^2}\left[\frac{12}{\gamma}\frac{J^2\theta^2}{t_c^3} + T_L^2 t_c\right] \quad (7)$$

여기서, γ : 운전주기 $t_c/2$에서 최대값을 갖는 포물선의 운전패턴이면 1,

γ : 운전주기 $t_c/2$ 동안 가속, $t_c/2$ 동안 감속하는 삼각형 운전패턴인 경우는 0.75,

γ : 운전주기의 $t_c/3$ 동안 가속, $t_c/3$ 동안 등속, $t_c/3$ 동안 감속하는 사다리꼴 운전패턴인 경우는 0.889

2.3 고효율 운전을 위한 부하구동방식

부하의 구동방식으로 대표적인 기어 부하구동방식, 벨트/풀리 부하구동방식 및 리드스크류 부하구동방식에서 고효율 운전을 위한 기어비, 풀리의 반경 및 리드스크류 피치의 선정에 대해서 고려한다.

1) 기어 부하구동방식

기어로 모터와 부하를 연결한 경우의 위치, 관성모멘트, 부하토크의 관계는 다음 식 (8)과 같으며, 이 때의 동손 P_c는 식 (3)과 식 (4)로부터 식 (9)로 정리할 수 있다. 그리고, 동손을 최소로 하는 기어의 연결비 No는 식 (10)과 같다.

$$\theta = N\theta_L \quad (8)$$

$$J = J_m + \frac{J_L}{N^2}$$

$$T_L' = \frac{T_L}{N}$$

여기서, θ_L : 부하의 회전위치[rad]

$N = \theta/\theta_L$: 기어비

T_L' : 모터측 환산 부하토크[Nm]

$$P_c = \frac{R_H}{K_T^2}\frac{12}{\gamma}\frac{\theta_L^2 J_L^2}{t_c^3}\left[N^2\left(\frac{J_m}{J_L^2} + \frac{1}{N^2}\right)^2 + \frac{\beta_g}{N^2}\right] \quad (9)$$

여기서, $\beta_g = \frac{\gamma}{12}\left[\frac{T_L t_C}{\theta_L J_L}\right]^2$

$$N_0 = \left[\frac{J_L}{J_m}(1+\beta_g)\right]^{1/2} \quad (10)$$

2) 벨트/풀리 부하구동방식

벨트/풀리에 의해 부하를 구동하는 경우의 위치, 관성모멘트, 부하토크의 관계는 다음 식 (11)과 같으며, 이 때의 등손 P_C은 식 (12)로 정리할 수 있다. 그리고, 동손을 최소로 하는 풀리의 반경 r_0는 식 (13)과 같다.

$$\theta = x/r$$

$$J = J_m + mr^2 \quad (11)$$

$$T_L = Fr$$

여기서, x : 직선 운동거리[m]

r : 모터측 풀리의 반경[m]

m : 부하의 질량[kg]

F : 부하에 걸린 외력[N]

$$P_c = \frac{R_H}{K_T^2}\ \frac{12}{r}\ \frac{m^2x^2}{t_c^3}\left[G^2\left(\frac{J_m}{m}+\frac{1}{G^2}\right)^2+\frac{\beta_0}{G^2}\right] \quad (12)$$

여기서, $G=\frac{1}{r}$

$$\beta_0=\frac{r}{12}\left[\frac{F\,t_c^2}{x\,m}\right]^2$$

$$r_0=\left[\frac{J_m}{m\,(1+\beta_0)}\right]^{1/2} \quad (13)$$

3) 리드스크류 부하구동방식

리드스크류에 의해 부하를 연결하는 경우에 동손을 최소로 하는 리드스크류의 피치 P_0는 앞서 설명한 바와 같이 구하면 식 (14)와 같다.

$$p_0=\left[\frac{1}{2\pi}\ \frac{m}{J_m}\ (1+\beta_0)\right] \quad (14)$$

따라서, 적용시스템에 따른 부하구동방식을 선정하여야 되는 경우에는 기어비, 풀리의 반경 또는 리드스크류의 피치는 각각 앞서 설명한 동손을 최소로 하는 식 (10), (13), (14)에 의해 결정한다.

2.4 직류서보모터의 고효율 기준

직류서보모터는 정속운전용으로 사용하는 경우보다는 가변속운전용으로 사용하는 경우가 많다. 따라서, 서로 다른 정격을 갖는 직류서보모터의 효율을 비교하는 데 있어서, 정격점과 같은 어느 한 운전점에서의 효율을 비교하는 것보다는

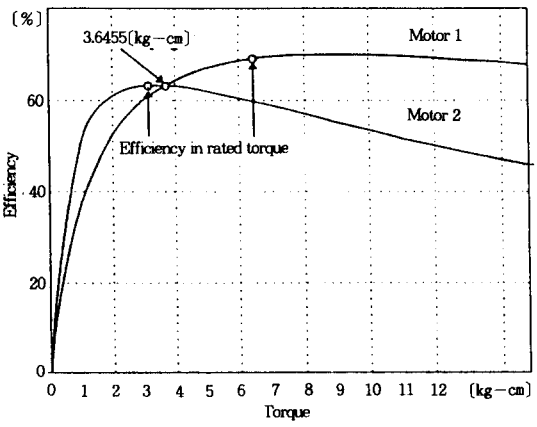

그림 3. 부하토크에 따른 효율 곡선의 예

Fig. 3. Example of efficiency curve according to load torque

운전패턴으로 운전할 때 운전주기의 평균효율을 비교기준으로 하는 것이 더욱 합리적이다. 그림 3은 정격속도 3,000[rpm]을 갖는 직류서보모터에서의 부하토크에 따른 효율을 나타낸 것이다. 그림 3에서 3.65[kg-cm]이상에서는 'Motor 1'의 효율이 'Motor 2'에 비해 크지만, 3.65[kg-cm]이하에서는 'Motor 2'의 효율이 더 크다. 따라서, 그림 1과 같은 운전패턴에 따라 주기적으로 서보모터가 운전되는 경우에는, 이들 서보모터의 효율을 비교하는 기준으로 운전주기의 평균효율을 고려한다. 그림 1과 같은 운전패턴에서의 평균효율 η_{ave}은 다음 식 (15)와 같이 정리할 수 있다.

$$\eta_{ave}=\frac{\Sigma 출력\cdot t}{\Sigma 출력\cdot t+\Sigma 손실\cdot t}\times 100 \quad (15)$$

$$=\frac{P_a\Delta t_a+P_e\Delta t_e+P_d\Delta t_d}{(P_a\Delta t_a+P_e\Delta t_e+P_d\Delta t_d)+(l_a\Delta t_a+l_e\Delta t_e+l_d\Delta t_d)}\times 100$$

여기서, η_{ave} : 운전패턴 주기의 평균효율[%]

P_a : 가속운전시 출력[W]

$$P_a=\frac{1}{\Delta t_a}\int_0^{t_a} T_{total}\left(\frac{\Delta\omega}{\Delta t_a}\right)t\,dt$$

$$=\frac{\Delta\omega}{2}\ T_{total}$$

Δt_a : 가속기간[sec]

T_{total}=가속토크+부하토크[Nm]

$\Delta\omega$: 속도 가속분[rad/sec]

P_e : 등속운전시 출력[ω]

P_d : 감속운전시 출력[ω]

l_a : 가속운전시 손실[ω]

l_e : 등속운전시 손실[ω]

l_d : 감속운전시 손실[ω]

Δt_e : 등속기간[sec]

Δt_d : 감속기간[sec]

3. 고효율 직류서보모터 선정을 위한 전문가 시스템의 구성

전문가 시스템이란 인간 전문가의 지식과 경험을 컴퓨터의 프로그램으로 재구성하고 이를 토대로 추론하여 정보를 판단하고 습득하는 시스템이다[10]. 전문가 시스템은 지식베이스, 추론기관, 사용자 인터페이스 및 설명보조 시스템 등으로 구성된다. 전문가 시스템은 문제 영역의 지식과 시

스템의 다른 지식들 즉, 문제를 어떻게 해결할 것인가 또는 사용자와 어떻게 접촉할 것인가 등을 구분하여 저장한다. 문제 영역의 지식을 저장하는 것은 지식베이스라 하고, 일반적인 문제 해법에 관한 지식을 저장하는 것을 추론기관이라 한다.

일반적으로 전문가 시스템을 개발하기 위해서는 인공지능 언어인 LISP이나 PROLOG를 사용하면 유연성은 있으나, 복잡한 계산을 처리하는 데는 효율적이지 못하다. 고효율 직류서보모터의 선정은 관성모멘트, 실효토크, 가감속토크, 발열량 및 효율 등의 많은 계산을 필요로 하기 때문에 추론기관과 지식베이스를 C언어로 구성하여 복잡한 계산을 효율적으로 처리하도록 하였다.

3.1 지식베이스

지식이란 컴퓨터 프로그램이 지능적으로 행동하는 데 필요한 정보를 의미하며, 데이터가 되는 사실(데이타베이스)과 이 사실을 근거로 사용하여 의사결정을 내리는 규칙(규칙베이스)으로 구성된다. 지식베이스는 가장 일반적인 유형인 규칙에 의한 지식 표현 방법을 사용하였다.

1) 데이타베이스

데이타베이스는 5개 제작회사 250여종, 5[W]-6[kW] 범위의 직류서보모터의 카타로그[8), 11)-15)]로 부터 얻은 모터와 구동시스템의 데이터가 저장되어 있다. 그리고, 사용된 고효율 서보모터 선정에 관한 사실의 몇 가지 예는 다음과 같다.

(사실 예 1) 부하구동방식은 기어-리드스크류 구동방식이다.

(사실 예 2) 부하토크는 20[kg-cm]이다.

(사실 예 3) 리드스크류의 마찰계수는 0,3이다.

(사실 예 4) 기어의 전달효율은 0.9이다.

(사실 예 5) ABS845-BM003HXR 모델의 서보모터 정격은 3,000[rpm], 3.2[kg-cm]이다.

(사실 예 1)은 전문가 시스템의 사용자로부터 입력된 사실의 일례이며, (사실 예 2)는 주어진 여러 사실과 규칙의 적용을 통해 얻어진 서보모터의 적용시스템에 대한 새로운 사실로서 첨가된 예이다. 그리고, (사실 예 3)~(사실 예 5)는 전문가 시스템의 데이터베이스에 저장되어 있는 부하구동방식 및 서보모터에 관한 사실들이다.

2) 규칙베이스

규칙베이스에는 각종 경험적 탐색규칙과 사용자-컴퓨터 인터페이스 등을 위한 제반 규칙 등이 저장되어 있다. 전문가 시스템에서 규칙의 의미는 어떤 결정을 내리기 위해서 이용되는 법칙으로서, 권고(recommendation), 명령(direction), 전략(strategies) 등을 표현하는 형식적인 방법을 제공해 준다. 제안한 전문가 시스템에서의 규칙은 'IF[조건] THEN[동작, 명령]'의 형식으로 표현한다. 즉, 'IF[ ], THEN[ ]' 형식에서 현재의 문제 상황이 규칙의 'IF'이하의 전건부와 일치되면, 규칙의 'THEN'이하의 후건부에 기술된 동작 또는 명령을 수행한다. 'IF[ ] THEN[ ]' 규칙에 의해 서보모터를 선정하는 지식을 예로 들면 다음과 같다.

(규칙 예 1) IF [부하 관성<(3×서보모터의 관성)] THEN [최적성능의 모터로 선정]

(규칙 예 2) IF [최대토크>(가속토크+부하토크)] THEN [최적성능의 모터로 선정]

(규칙 예 3) IF [정격출력>실효출력] THEN [최적성능의 모터로 선정]

(규칙 예 4) IF [허용 한계 온도 >온도상승] THEN [최적성능의 모터로 선정]

(규칙 예 5) IF [최적성능 서보모터 중에서 운전효율이 1[%] 미만의 차이가 있는 경우] THEN [정격효율이 가장 높은 것을 고효율 모터로 선정]

(규칙 예 6) IF [최적성능을 만족하는 서보모터 중에서 회수기간이 모터수명의 1/2이상] THEN [사용자가 모터를 선정]

(규칙 예 7) IF [최적성능 서보모터 중에서 운전효율은 최대이지만, 정격효율은 낮은 경우] THEN [사용자로부터 운전패턴의 계속적인 사용여부를 입력받아 운전효율 최대와 정격효율 최대라는 관계에서 모터를 선정]

(규칙 예 1)은 서보모터 선정을 위해 서보모터 제작회사(즉, 인간 전문가)로 부터 제시된 경험을 규칙으로 이용한 것이다. 보통 부하와 서보모터의 연결을 유연한 커플링(flexible coupling)으로

연결하고 있어, 부하의 관성이 서보모터의 관성보다 지나치게 크면 서보모터 구동시스템의 불안정을 유발하기 때문이다. (규칙 예 5)는 최적성능을 만족하는 서모보터 중에서 운전효율이 그다지 차이가 없는 경우에는 정격효율, 정격 속도와 토크, 최대 속도와 토크 등을 고려하여 선정되도록 하였다. (규칙 예 6)은 일반적으로 정격출력이 크면 구입단가가 크므로, 본 연구의 지식베이스에는 운전효율 증가에 의한 유지비 감소분과 구입가격간의 관계 즉, 다음 식 (16)으로 표현되는 회수기간[8]에 의해 서보모터를 선정하는 규칙을 사용하였다. (규칙 예 7)은 최적성능의 서보모터 중에서 운전효율은 가장 크지만, 정격효율이 가장 낮은 경우, 운전패턴에 따라 계속적으로 사용된다면 정확한 선정이 이루어졌다고 할 수 있으나, 적용된 운전패턴 이외의 운전영역에서 사용되는 경우에도 운전효율이 항상 최대라고 할 수 없다. 따라서, 사용자로부터 운전패턴의 계속적인 사용여부를 입력받아 운전효율 최대와 정격효율 최대라는 관계를 검토하여 서보모터를 선정하도록 하였다.

$$P_{by}=\frac{C_H-C_L}{C_S} \qquad (16)$$

여기서, P_{by} : 회수기간〔년〕

C_H : 고효율 모터 구입가격〔원〕

C_L : 일반용 모터 구입가격〔원〕

C_S : 년간절전 요금〔원/년〕

$$C_S=C_P\times\dot{P}_D\times H\left(\frac{100}{E_L}-\frac{100}{E_H}\right)$$

C_P : 전력요금〔원/kWh〕

P_D : 부하의 소요동력〔kW〕

H : 년간 운전시간〔h/년〕

E_H : 고효율 모터의 효율〔%〕

E_L : 일반용 모터의 효율〔%〕

3.2 추론기관

지식베이스에 축적된 지식을 이용하여 주어진 문제를 해결하는 것이 추론기관의 기능으로서, 시스템의 사고 과정을 제어한다. 즉, 추론기관은 지식베이스에 저장된 지식 또는 사용자로부터 제공된 정보를 사용하여 추론 및 최적해의 탐색을 실행하는 핵심부분이다. 추론기관은 새로운 지식을 추론하기 위해서 규칙들을 어떻게 적용할 것인가를 결정하는 인터프리터(interpreter)와 선택된 규칙들을 어떤 순서로 결정할 것인가를 결정하는 스케듈러(scheduler)로 구성된다. 제안한 전문가 시스템에서는 순차적으로 데이터를 처리하면서 문제의 최적해를 추론 및 탐색하도록 순방향 추론방식을 사용하였다.

3.3 사용자 인터페이스와 설명 보조시스템

사용자 인터페이스는 사용자와 전문가 시스템과의 정보교환을 지원하는 기능을 갖고 있으며, 이를 통하여 사용자가 상황에 대한 적절한 사실들을 입력시키도록 되어 있다. 설명 보조시스템은 전문가 시스템의 처리 중간결과나 결론을 사용자에게 제시해 줌으로써, 사용자로 하여금 현재 어떻게 문제의 해결이 진행되고 있는지를 예측할 수 있도록 이해력을 제공해 준다.

4. 고효율 직류서보모터 선정을 위한 전문가 시스템의 적용과 검토

실제 사용되고 있는 여러 적용시스템에 대하여 제안한 전문가 시스템을 검증한 결과는 다음과 같다. 운전패턴은 각 구동방식에 대해 모두 그림 1의 운전패턴을 적용하였다. 입력은 실제 사용되고 있는 적용시스템의 기계적 데이터이다[11]. 본 논문에서는 적용시스템, 부하구동부의 기계적 데이터와 요구되어지는 성능조건으로부터 최적성능을 만족하는 서보모터들의 선정과 이들 모터 중에서 최대효율을 갖는 서보모터의 선정에 대해서만 비교 검토하였다. 즉, 구동시스템 또는 서보모터를 알고 있으면서 각각 서보모터 또는 구동시스템을 선정하고자 하는 경우에는 그에 직접 대응하는 구동시스템 또는 서보모터를 카다로그로부터 쉽게 선정할 수 있는 것으로 간주하였다.

4.1 기어 부하구동방식의 예

표 1은 기어 부하구동방식인 경우 부하측의 기계적 데이타 및 운전패턴의 데이터를 나타내고 있으며, 또한 이에 대한 요구성능의 계산 결과 및 최적성능 모터들의 주요 데이터가 정리되어

있다.

표 1에서 최적성능을 만족하는 모터들의 운전효율과 정격효율을 비교하여 보면, 정격효율이 운전효율보다 작음을 알 수 있다. 즉, 최고효율이 정격점에서 발생되지 않는 경우로서, 운전주기의 평균효율을 고효율 모터의 선정기준으로 적용한 타당성을 확인할 수 있다. 고효율 모터로 선정된 37번 모터는 36번 모터와 운전효율을 비교하여 볼때 그다지 차이가 없으나, 정격효율이 다소 큼을 알 수 있다. 이것은 최적성능을 만족하는 모터 중에서 운전효율이 1[%] 미만인 경우에는 추론 기관에 의해 정격효율이 큰 모터를 선정하도록 하였기 때문이다.

4.2 리드스크루 부하구동방식의 예

표 2에서 고효율 모터로 선정된 7번 모터는 84번 모터에 비해 운전효율과 정격토크가 2배정도이다. 일반적으로 정격출력이 크면 구입단가가 비싸므로, 운전효율 증가에 의한 유지비 감소분과 구입단가간의 관계에 의해 회수기간이 모터수명의 1/2보다 큰 경우에는 사용자로 하여금 원하는 모터를 최종적으로 선정하도록 하였다.

표 1. 기어 부하구동방식
Table 1. Gear load driven method

부하구동방식			운전패턴			
부하의 무게	5.0	[kg]	등속속도		1500	[rpm]
부하의 반경	2.0	[cm]	기간	가속	1	[sec]
모터측기어의 무게	2.0	[kg]		등속	10	
모터측기어의 반경	4.0	[cm]		감속	2	
부하측기어의 무게	3.0	[kg]		정지	5	
부하측기어의 반경	6.0	[cm]				
기어비	0.5					
외력	10.0	[kg]				

요구성능의 계산결과		
모터측 환산 부하의 관성모멘트	159.33	[kg-cm]
모터측 환산 부하토크	66.67	[kg-cm]
가속토크	92.20	[kg-cm]
실효토크	58.61	[kg-cm]
모터의 최대 회전속도	1500.00	[rpm]
기어의 전달 효율	0.90	

최적 성능 및 고효율 모터의 데이터(* : 고효율 모터로 선정된 모터)

요구성능 / 모터	정격속도 [rpm]	정격토크 [kg-cm]	최대속도 [rpm]	최대토크 [kg-cm]	운전효율 [%]	정격효율 [%]
36번	1000	83	2000	800	96.38	80.31
* 37번	1000	83	1500	800	96.37	80.66
88번	1000	65	2000	250	88.09	78.23
97번	2000	90	6000	330	91.80	80.24
107번	1500	65	6000	250	87.00	73.76
108번	1500	90	5000	250	93.04	79.57

5. 결 론

적용시스템에 대해 최적성능과 고효율을 갖는 직류서보모터의 수요관리를 위한 전문가 시스템의 개발에 관한 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 서보모터 선정방법에 대한 전문가의 지식과 추론을 컴퓨터 프로그램화함으로써 비전문가의 편향된 지식에 의한 선정을 배제하고 신뢰성과 신속성을 높였다.

2) 운전주기의 평균효율을 고효율 서보모터의 선정기준으로 적용하였다.

3) 본 연구의 전문가 시스템의 지식베이스는 다음과 같은 규칙을 포함하고 있다.

(1) 최적성능을 만족하는 서보모터 중에서 운전효율이 그다지 차이가 없는 경우에는 정격효율이 가장 큰 것이 선정되도록 하는 규칙을 갖고 있다.

표 2. 리드스크류 부하구동방식
Table 2. Leadscrew load driven method

리드스크류 부하구동방식			운전패턴			
부하의 무게	90.72	[kg]	등속속도		600	[rpm]
리드스크루의 무게	8.03	[kg]	기간	가속	0.1	[sec]
리드스크루의 반경	1.90	[cm]		등속	5.0	
리드스크루의 피치	0.50	[cm]		감속	1.0	
외력	14.51	[kg]		정지	5.0	

요구성능의 계산결과		
모터측 환산 부하의 관성모멘트	20.50	[kg-cm^2]
모터측 환산 부하토크	2.82	[kg-cm]
가속토크	15.96	[kg-cm]
실효토크	2.57	[kg-cm]
모터의 최대 회전속도	600.00	[rpm]
리드스크류의 마찰계수	0.30	
리드스크류의 효율	0.90	

최적 성능 및 고효율 모터의 데이타(* : 고효율 모터로 선정된 모터)

요구성능 / 모터	정격속도 [rpm]	정격토크 [kg-cm]	최대속도 [rpm]	최대토크 [kg-cm]	운전효율 [%]	정격효율 [%]
* 7번	3000	6.5	5000	56	50.63	65.57
84번	3000	3.2	6000	20	21.80	66.33

(2) 고효율 서보모터 사용에 의한 유지비 감소분과 구입단가간의 회수기간에 의해 서보모터를 선정하는 규칙을 갖고 있다.

4) 고효율 서보모터의 선정과 사용으로 인하여 유지비를 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다.

5) 유도모터의 지식베이스와 데이터베이스를 구성하고, 운전특성과 선정에 관한 경험, 지식 등을 추론기관에 추가하므로써, 본 연구 결과를 유도모터의 고효율 수요관리에도 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1) 김택수, 홍성일, "고효율 진동기 기술동향 및 개발전망", 대한전기학회지, VOL. 42, No.12, pp.34-42, 1993.12.

2) Daoshen Chen and Bimal K. Bose, "Expert System Based Automated Selection of Industrial AC Drive," Conference Record on IAS '92 of IEEE, pp.387-392, 1992.

3) Suni M. Chhaya and Bimal K. Bose, "Expert System Based Automated Design Technicque of a Technique of a Voltage-fed Inverter for Induction Motor Drive", Conference Record on IAS '92 of IEEE, pp.770-778, 1992.

4) R.Krishnan and A.S. Bharadwaj, "A Comparative Study of Various Motor Drive System for Aircraft Applications", Conference Record on IAS '91 of IEEE, pp.252-258, 1991.

5) R.Krishnan, et al., "Design and Development of a User-Friendly PC-based CAE Softwar for the Analysis of Torque/Speed/Position Controlled PM Brushless DC Motor Drive System Dynamics", Conference Record on IAS '91 of IEEE, pp.1388-1394, 1991.

6) Shigeo Morimoto, et al, "Design and Control System Permanent Magnet Synchronous Motor for High Torque and High Efficiency Operation", Conference record on IAS '91, Vol.1, September 28-October 4, 1991.

7) P.Krishnan, "Selection Criteria for Servo Motor Drivers", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. IA-23, No.2, pp. 270-275, March/April, 1987.

8) 동영전기주식회사, Servo System 선정 메뉴얼, 동영전기주식회사, Japan.

9) Ruth E. Andreas, Energy-Efficient Electric Motors, Marcel Dekker, Inc. 1992.

10) 이윤배, Expert Systems, 홍릉과학출판사, 1992.

11) Paker Co., Catalogue of CompuMotor, 8,000, Paker Co., USA, 1990.

12) Tamagawa Seiki Co., DC 서보모타, T12-1384NT, Tamagawa Seiki Co., Japan.

13) Sanyo Denki Co., DC Servomotors(Super series), 507-2, Sanyo Denki Co., Japan.

14) 동영전기주식회사, DC 서보모타(VELCONIC-DS Series), 83H-300H, 동영전기주식회사, Japan.

15) Oriental Motor, ORIENTAL MOTOR CATALOGUE, 87002, Oriental Motor, Japan.

◇ 著者紹介 ◇

김 광 헌 (金壙憲)

1960年 12月 27日生. 1983年 全南大 工大 計測制御工學科 卒. 1992年 서울大 大學院 電氣工學科 卒(博士). 現在 全南大 工大 電氣工學科 專任講師.