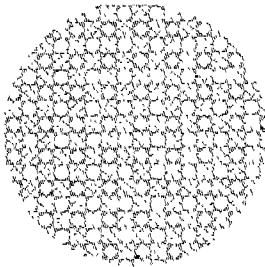


制御系統 駆動用 小型電動機の活用技術

(下)

Application Technology for Small Electric Motors in Control System



李 承 院

서울대학교 工科大学 教授

(2) 磁性材料

자성재료의 진보에 의해 새로운 구조의 전동기가 탄생할 가능성이 크다. 또 기존 자성재료를 사용한 모우터들이 그 사용 자성재료의 향상에 따라 그 성능이 크게 향상될 것도 틀림없다. 자성재료의 발달과 그것의 새로운 적용 기술 또 이 방향성 고투자율 재료의 발달과 그 적용 기술의 개발 또 고효율저항, 고투자율 재료의 발달과 그 적용 기술의 개발은 새로운 성능의 모우터를 탄생시킬 것으로 예측된다.

(3) 各種모우터의 將來

현재 제어용에 사용되고 있는 모우터는 거의 영구자석으로 만들어지고 있다. 이것은 그 형태가 작아지면 작아질수록 공극에 자속을 통과시키기 위한 전력의 비율이 커지기 때문에 전력을 필요로 하지 않는 영구자석을 사용함으로써 효율이 향상되기 때문이다. 즉 영구자석을 사용함으로써 전력을 효율 좋게 기계동력으로 변환할 수 있기 때문이다.

그러나 영구자석은 그 가격이 비교적 비싸기 때문에 이것을 저렴한 가격으로 만드는 방법이 개발되어야 더욱 발전할 것으로 사료된다.

즉 싼 원자재, 저렴한 제조비로 만들 수 있는 영구자석이 개발되어 그의 이용기술이 발달할 것 같으면 영구자석의 사용범위는 확대될 것이고 또 새로운 성능의 모우터가 탄생될 것이다.

동손을 감소시키는 또 다른 방법은 공극장을 더욱 좁게하는 방법이 있다. 즉 쉽고 값싸게 이룩할 수 있는 정밀 가공법을 개발하는 것이다. 이 방법이 달성되면 회전자와 고정자가 자기 요철성을 갖게 하는 고투자율 재료로 구성되는 리액턴스모우터 리액턴스 스텝모우터, 리액턴스 브러쉬레스 모우터 및 리액턴스정류자전동기가 저렴하게 생산되어 그 수요가 크게 신장될 것이다. 또 고효율저항이 큰 고투자율 재료가 개발되면 철심 패를 사용함으로써 고정자를 간단하게 할 수가 있어 히스테리시스 모우터의 용도가 크게 신장될 것으로 사료된다.

영구자석 회전자 전동기와 리액턴스 전동기의 토오르크를 비교해 볼 것 같으면 그 공극자속 밀도가 같을 경우 최대 토오르크를 발생하는 각 $\pi/4$ 에 있어서의 리액턴스 전동기의 자속 밀도는 영구자석 회

전자의 경우의 $\text{Cos}\pi/4=1/\sqrt{2}$ 배가 된다.

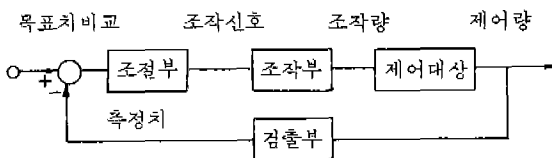
따라서 최대 리터턴스 토크는 영구자석 회전자의 경우의 $\text{Cos}(\pi/4) \cdot \text{Sin}(\pi/4)=1/2$ 배가 된다. 또 히스테리시스 모터의 최대 토크 작은 보통 $\pi/6$ 정도이지만, 이상적인 B·H 특성을 가질 경우 공극 고조파와 공극장을 무시할 것 같으면 영구 자석 동기전동기와 같은 정도의 토크를 얻을 수가 있다.

즉 현재 수요가 그리 많지 않은 리터턴스모터 및 히스테리시스 모터의 수요가 신장될 것으로 사료된다.

VI. 모터制御 技術의 發達

(1) 모터制御

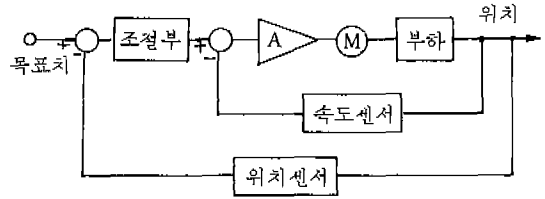
관성체로 구성되는 기구에 있어서의 위치, 속도 등의 기계량의 제어를 정보처리가 가장 뛰어난 전자기술에 의해서 행할 경우 조장기로서는 에너지 변환이 가장 뛰어난 전동기를 사용한다. 이 중 위치 제어에 사용되는 전동기를 서어보 모터라고 부르고 있으며 특출한 제어 성능을 갖도록 설계되어 있다. 이 경우 정속 제어 장치를 부가한 모터를 조속기라고 한다. 이들 전동기들은 목표 기계량이 다를 뿐 그 기계량을 얻기 위해서 필요한 제어기능을 높이도록 제작된다. 이와 같이 모터와 전자기기가 일체가 되어 제어하는 기구를 전자 서어보 기구라고 한다. 이 전자 서어보기구는 그림 6 과 같이 제어 대상의 위치 속도인 제어량이 목표치와 일치하도록 동작한다. 즉 목표치와 제어량이 검출, 비교되어 위치와 속도의 편차를 검출, 그 편차가 0이 되도록 서어보 기구를 구성한다.



〈그림-6〉 전자서어보기구

이 경우 조절부(가버너)는 속응성을 높이기 위한 비례 동작, 잔류 편차를 없애기 위한 적분동작 및 안정도를 높이기 위한 미분 동작 등의 연산이 행해진다.

위치 제어의 경우 안정성을 높이기 위한 미분 연산은 그림 7 과 같이 속도 센서로 속도를 검출, 부귀 환함으로써 치환할 수가 있어 서어보 기구의 성능을 향상시킬 수가 있다.



〈그림-7〉 위치서어보계

(2) 位置制御 技術의 動向

(가) 서어보 모터의 종류

서어보 모터를 대별하면 비동기 서어보 모터와 동기서어보 모터로 나누어 지는데 이것은 서어보 모터의 전달함수에 의해서 구분된다. 즉 어떤 정적 여자 상태에서 서어보 모터의 회전자 위치가 어긋났을 경우 본 귀력이 생기느냐 안 생기느냐에 따라 비동기 서어보에 속하느냐 동기서어보에 속하느냐가 정해진다. 다시 말해서 동기화력($\partial T/\partial \theta$)이 있느냐, 없느냐에 따라 구분된다. 위치 제어에서는 동기화력에 상당한 감성 계수가 꼭 필요하다. 예를 들면 비동기 서어보 모터에서는 그 감성 계수를 위치센서, 비교요소, 서어보 증폭기, 서어보 모터 등으로 구성되는 서어보루우프를 구성한다. 즉 위치에 비례한 반대방향의 회전력이 발생하도록 전자 루우프는 페루우프로 구성되어야 한다 이에 반해 동기서어보 모터에서는 동기화력이 존재하기 때문에 페루우프로서 위치 제어가 가능하다 단 동기 서어보 모터에 속하지만 비동기 상태에서 사용하기에도 하는 히스테리시스 서어보 모터에서는 페루우프를 구성할 필요가 있다.

(a) 비동기 서어보 모터

비동기 서어보 모터로서는 전자 서어보 기구가 사용되기 시작했을 당시에 주류이었던 2상 서어보 모터, 근래에 주류를 이루고 있는 적류 서어보모터 또 최근에 새로 등장한 브러쉬 레스 서어보모터 및 유도 서어보 모터등이 있다.

(b) 동기서어보 모터

동기서어보 모터로서는 가히 서어보 기구에 주

로 사용되고 있는 스텝 서어보 모우터, 진동을 감속시키기 위해서 사용되고 있는 영구자석 동기 서어보 모우터라든가 리력턴스 동기서어보 모우터, 장래 쓰게 될 것으로 추측되는 히스테리시스 서어보모우터 등이 있다.

(나) 위치 제어 기술

종전의 서어보 기구는 전부 아날로그 기구였다. 즉 목표위치에 비례하는 크기의 직류 또는 교류 전압을 지령 신호로 하여 현 위치에 비례하는 크기의 직류 또는 교류 전압과 비교하는 방식이 많았다.

그후 신호 대 잡음비를 향상시켜 신뢰도를 높이기 위해 목표 위치에 대응하는 위상변조전압을 지령전압으로 하는 방식이 증가하고 있다.

즉 온도 변화, 잡음등이 전압의 크기에 미치는 영향이 큰 반면 위상에 미치는 영향은 적기 때문이다. 그림 6에서 비교부에는 지령전압의 위상과 현재 위치에 대응한 위상을 갖는 위치 센서 출력 전압의 위상과 비교하여 그 위상차, 즉 위상 편차를 검출한다. 위상 편차가 0이 되도록 부귀환이 이루어 지도록 구성되고 있다. 이 전자루우프는 지령전압의 위상에 모우터 회전 위치에 대응한 위상을 동기화 하기 위해서 위상동기화 제어 루우프라고도 한다. 그래서 위치 센서로서는 출력전압의 위상을 위치로 변조하는 것 즉 리슬바가 잘 사용된다. 그 후 디지털전자계산기로 대표되는 디지털전자 기술이 진보해서 디지털위상 수가 증가하고 있다. 여기서 디지털 제어라는 것은 위치제어계의 중심부인 비교부가 디지털 요소로 되어 있는 것을 말하며 모든 요소가 디지털화 된 것을 의미하는 것은 아니다.

이 디지털 제어를 대별하면 두가지로 나누어지는데, 그 하나는 디지털요소가 소프트웨어를 사용하지 않는 디지털 소프트웨어로 구성되는 하드방식이며 또 다른 하나는 디지털 요소에 소프트웨어를 이용한 소프트방식이다. 이 소프트방식은 디지털전자 계산기적 연산이 행해지므로 컴퓨터제어라고도 부른다.

마이크로 컴퓨터에 의한 제어방식도 이 소프트방식인 것이다. 마이크로 컴퓨터의 발전에 따라 이 제어방식이 급격히 증가되고 있다. 초기에는 마이크로 컴퓨터의 연산속도가 느렸기 때문에 서어보 루우프의 외측에서만 사용되었었다.

소치제어 공장 기계의 경우를 볼 것 같으면 전력

반의 시퀀스제어직선보간이라든가 원호보간등의 보간연산, 지령치 및 현재위치의 표시등이다.

그후 마이크로 컴퓨터의 발달에 따라 연산 및 처리 속도가 향상되어 위치제어 루우프의 비교부, 조절부등의 연산처리에도 사용되고 있다. 그뿐 아니라 맵핑 루우프의 비교부 전력증폭부에도 마이크로 컴퓨터가 사용되기 시작하고 있다. 다시 말해서 아날로그 제어에서 디지털 제어로 디지털제어에서도 하드방식으로 부터 소프트방식으로 소프트방식에 있어서도 서어보루우프의 외측에서 내측으로 내측에서도 깊숙히 소프트화가 침투되어 가고 있다.

(다) 고정도 위치제어기술

아날로그 제어에서 디지털제어로 이항해가고 있는 추세에 있기는 하나 현시점에 있어서는 아날로그 제어쪽이 위치결정 정도가 높은 경우가 많은 점에 유의해야 한다. 일반적으로 긴 행정의 경우에 있어서의 위치 결정은 디지털제어가 정도가 높지만 수십μ정도의 짧은 행정에서는 아날로그 제어의 경우가 정도가 높다. 그 이유는 전자 회로의 포화 때문에 전압범위에 한정이 있기 때문이다. 행정이 짧으면 짧을수록 아날로그 위치센서의 출력전압대 거리를 크게할 수 있기 때문에 아날로그제어에 있어서의 전압변화분에 대한 거리오차의 절대치가 작아지기 때문이다.

이에 반해서 디지털제어에서는 예로서 회전 인코터의 슬릿트의 1피치 간격은 가공정도 때문에 한계가 있다. 그래서 1피치에 대응하는 거리 이내의 위치결정은 불가능하다. 그러나 긴 공정의 경우에도 1피치 간격은 불변하기 때문에 전장에 대한 피치간격의 비가 작아진다.

그러나 긴 공정의 아날로그제어에 있어서는 일정한 전압 변화분에 대한 거리 오차의 절대치가 커진다. 따라서 긴 공정의 고정도 위치제어에 있어서는 먼저 디지털제어로 목표치 근처에 위치 결정을 하고 한 피치 이내에 도달한 후에 아날로그 제어를 전환함으로써 고정도 제어를 행하고 있다. 또 소프트화에 의해 고신뢰화, 저가격화를 기할 수가 있다.

그뿐만 아니라 제어 정도를 높일 수도 있다. 즉 부하가 변화해서 제어 대상의 전달 함수가 변화한 경우 최적 제어계를 구성하려면 루우프 이득을 변화시켜야 한다. 이때 마이크로 컴퓨터를 사용할 것 같으면 비교적 쉽게 루우프 이득을 변화시킬 수가

있다. 그래서 항상 제어 대상의 변화를 추종해서 최적제어제를 구성할 수가 있다. 다시 말해서 부하 상태에 항상 적응할 수 있는 제어제를 구성할 수가 있다. 이것이 소위 “적응제어”인 것이다.

또 서어보 기구에 비선형성이 들어 있을 경우에는 그 점의 신호 레벨에 따라 전달함수가 변화하기 때문에 항상 최적제어가 되는 제를 구성한다는 것은 불가능하다. 이 경우에도 마이크로 컴퓨터를 사용할 것 같으면 비선형성을 보상해서 선형화 함에 의해 항상 최적 제어를 할 수가 있다. 이것이 즉 “비선형 보상 제어”이다. 그리고 지정한 용량의 서어보 모우터를 사용할 경우 선형계에 있어서는 응답에 한계가 있다.

그래서 고의적으로 비선형성을 이용하여 속응성을 높일 수가 있다. 이것이 소위 “비선형 최적 제어”라고 하는 것이다. 이것도 마이크로 컴퓨터를 사용함으로써 쉽게 이를 수 있다.

(라) 위치제어에 의한 고성능 속도제어

정속도를 얻기 위해서는 일반적으로 속도 지령에 의한 속도제어를 한다. 때로는 일정 주파수 일정위상의 기준 신호에 모우터 회전위상을 동기시키는 동기화 제어를 한다. 그러나 일정 위치의 범위에서 일정 속도를 얻고자 할 때는 위치 제어제를 구성해 놓고 위치 지령치를 일정 속도로 변화시키는 방법을 채택함으로써 더욱 고성능으로 정속도를 제어할 수가 있다. 그리고 위치 제어부의 비교부에 위상점파기를 사용한 위상변조 지령 방식의 위치 제어계에 있어서는 시간에 관계없이 일정 속도를 얻을 수가 있다.

그 이유는 지령 전압의 위상을 일정한 속도로 변화시키는 것은 그에 상당한 주파수를 일정치만큼 어긋나게 하는 것과 같아 시간에 관계없이 위상을 일정속도로 변화시킬 수 있기 때문이다. 요컨대 전자 회로내에는 포화성이 있지만 위상에는 포화가 없기 때문이다.

(마) 위치 제어용 모우터의 동향

현재 위치 제어에 사용되는 전동기 즉 서어보 모우터로서는 고성능 위치 제어계에 있어서 페루우프 제어로서 사용하는 모우터는 직류 서어보 모우터가 주류이며 간이 제어계에 있어서는 페 루우프 제어가 가능한 스텝서어보 모우터가 주류이다. 그리고 새로운 동향으로 페루우프 제어에 사용되는 브러쉬

레스 서어보 모우터와 유도 서어보 모우터가 있다.

이들 경우의 결점을 살펴볼 것 같으면 직류 서어보 모우터는 브러쉬가 있는 것이 결점이고 브러쉬레스 서어보모우터는 영구 자석이 비싼 것이 흠이다. 그리고 유도 서어보 모우터는 효율이 낮다. 이런 점에 입각해서 생각할 때 리액턴스 브러쉬레스 모우터가 유리함을 알 수 있다. 이 경우에 직선성의 결여가 문제인데 이것은 마이크로 컴퓨터 연산과 토오크 각 제어에 의해서 보충할 수가 있다. 그리고 스텝 서어보 모우터는 진동이 큰 것과 스텝각이 큰 것이 결점인데 이의 보완을 위해서는 스텝화 정현파에의 마이크로 스텝을 사용하고 있는데 이 경우 스텝 수를 무한대로 할 것 같으면 영구 자석 또는 리액턴스 서어보 모우터가 된다. 그리고 진동의 관점에서 볼때는 히스테리시스 서어보 모우터가 우수하다. 그러나 효율이 낮은 결점이 있다. 그러나 회전자제를 사용한 서어보모우터는 다극 구조의 경우는 한개의 단권 코일로서 여러개의 극을 여자할 수가 있어 동손이 적어져 직류 서어보 모우터 보다 효율이 좋게할 수도 있다. 그리고 인버터 기술의 발달과 더불어 동기 서어보 모우터의 수요도 증가해 갈 것으로 예상된다.

(3) 速度制御 技術

(가) 속도제어 모우터의 종류

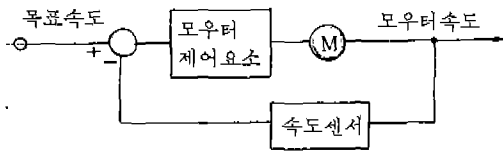
정속 제어용 모우터를 대별하면 비동기 모우터와 동기모우터로 구분된다. 이 구분은 모우터의 전달 함수에 의한다. 어떤 회전상태에서 모우터의 회전 위상이 어긋났을 경우 동기화력이 발생하느냐, 발생치 않느냐에 따라 동기 모우터, 비동기 모우터로 구분된다. 정속 제어는 동기 화력에 상당하는 회전 위상각에 관한 감성계수가 꼭 필요한 것은 아니다. 단 속도 ω 에 관한 관성계수는 반드시 필요하다. 비동기 모우터라 할지라도 이 관성 계수는 다소나마 가지고 있다. 그래서 전원전압 부하 토오크동만 일정하면 정속도로 운전할 수가 있다. 그러나 더욱높은 정속성을 갖게 하려면 전자 루우프를 부가시켜야 한다. 이것이 동기 모우터에서는 주파수만 일정하면 일정속도로 운전할 수 있는 것과 다른 점이다. 비동기 모우터로서는 오래 전부터 범용 모우터의 주류를 이루고 있는 유도 모우터 영구자석의 발달과 더불어 그 수요가 증가하고 있는 직류 모우터,

또 가정용 전기 기기에 널리 사용되고 있는 유니버설 모터, 그리고 전자기술의 진보와 더불어 널리 쓰이기 시작한 브러쉬리스 모터 등이 있다. 동기 모터로서는 시계나 타이머에 쓰이는 영구자석 동기모터, 아날로그 수전시계를 비롯 연속 지송기 등에 쓰이고 있는 스텝모터, 오래전부터 고급 정속기에 쓰이고 있는 히스테리시스 모터 및 가격이 저렴한 특징을 가지고 있는 리덕턴스 모터 등이 있다.

(나) 정속제어기술

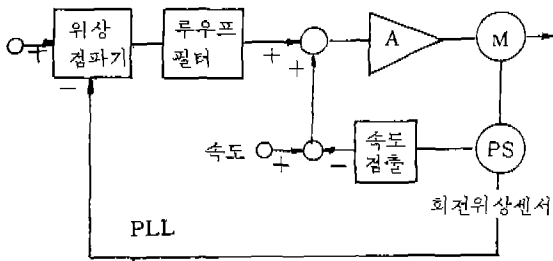
정속제어방식은 위치 제어방식과 개루우프 방식을 제외하면 속도 지령방식과 동기화 제어방식의 2 방식이 주 방식이 된다.

전기한 속도지령 방식은 그림 8 과 같이 목표 속도의 비례에 비례하는 설정전압을 속도 제어 루우프에 지령하는 방식으로서 종래 사용해진 비교적 간단한 구성이다.



(그림-8) 속도지령 방식

그러나 주위 온도의 변화등에 의해 속도가 느리게 변화하는 소위 드리프트가 발생하는 결점이 있다. 이에 비하면 후자인 동기화 방식은 그림 9와 같이 기준 신호의 위상에 모터의 회전 위상을 동기화 하기 위해서 기준 신호로서 온도 변화에 대해서도 주파수가 안정한 출력을 내는 수정 발진기를 사용 함으로써 온도 변동을 저감시킬 수가 있다. 이것이 바로 크리스탈록 동기화 제어방식이다.



(그림-9) 크리스탈록 동기화제어방식

그리고 제어 성능을 향상 시키기 위해서 위상 동기화 제어루우프의 내측의 서어보 루우프로서 속도 제어 루우프를 병용할 경우가 많다.

크리스탈록에 의한 동기화 제어 외에 속도지령 방식에 디지털 제어를 가미함으로써 드리프트를 저감시킬 수가 있다. 이것은 속도 지령치 및 속도 검출치를 디지털화 하는 방법으로서 신호대잡음비를 이전법 부호로 기록시킴으로써 온도 변화에 따라 지령 전압의 변화가 생기지 않도록 할 수 있기 때문이다.

이 경우의 디지털 제어에 있어서도 마이크로컴퓨터가 사용되어 연산처리 속도를 향상시킴과 동시에 더 높은 주파수를 갖는 속도 변화분 즉 와우영역의 속도도 안정시키는 방향으로 소프트 방식이 확장되어 가고 있다.

속도 루우프 내부에 있어서도 모터에 더욱 가까이 까지 소프트가 침투되어 모터 특성의 보상까지 하게 하고 있다. 또 속도를 안정시킬뿐 아니라 고효율 운전을 하기 위해서 부하 회전력의 변동에 따라 유도 모터의 전압을 변화시켜 역률을 제어한다든가 직류분권모터의 고정자 및 회전자 전류를 제어하는 방법도 사용된다. 또 부하 특성에 따라 공급동력에 대응해서 속도지령치를 변화시키는 가변속 정속 제어제를 구성할 필요가 있을 경우도 있는데 이 경우에는 주로 펄스폭 변화 정현파를 출력으로 하는 인버터가 사용된다.

제어제가 소프트화 하는 경향이기는 하나 가격문제등으로 인해 아날로그제어가 적당한 경우도 많다. 속도 지령 방식에 있어서도 기계 가버너식 직류 마이크로 모터를 사용하는 경우도 많고 이외에 전라 가버너식, 다고 제너레이터 방식등이 있다. 동기화제어방식에 있어서도 스칼라 입출력에 의한 1입·출력 제어방식보다 2입·출력제어에 의한 2상 위상 검출기를 비교부에 사용하는 방식이 더 고급 제어방식이다.

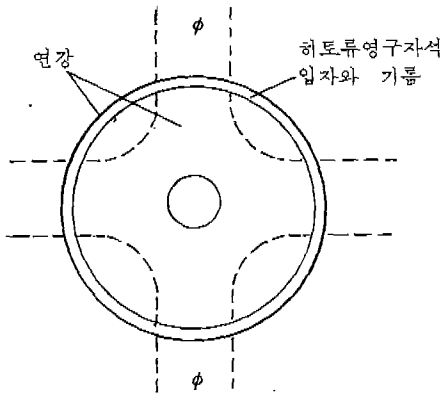
(다) 정속용 모터

현재 정속용 모터로 사용되는 것로서는 오디오 및 비디오분야에 있어서는 직류 모터 및 브러쉬리스 모터, 가정용 기기에 대해서는 유도모터 및 유니버설 모터, O. A. 관계 기기에서는 스텝 모터, 브러쉬리스 모터 및 리덕턴스 동기모터, 계측 기기에 있어서는 직류모터, 브러쉬리스

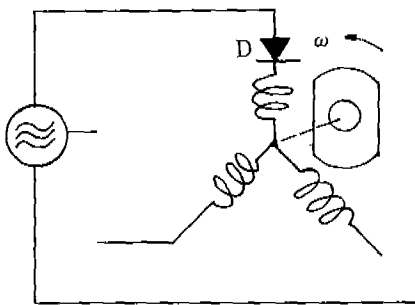
스 모터 및 스텝모터, 정밀기에 있어서는 영구자석 동기모터 및 스텝 모터, 산업용 기기에 있어서는 유도 모터 및 직류모터, 우주항공 기기에 있어서는 히스테리시스 모터 및 유도모터가 사용되고 있다.

이 부문에 사용되는 모터들에는 상기한 바와같이 영구자석회전자모터가 주로 사용되고 있으며 히스테리시스 모터, 리덕턴스 스텝모터, 리덕턴스 브러쉬레스 모터는 그 사용이 감소되고 있다. 앞으로 정밀가공기술이 발달해서 공극의 길이를 아주 짧게 할 수 있게 되면 히스테리시스모터 및 리덕턴스 회전자 모터의 효율도 향상시킬 수가 있어 이들도 널리 사용되리라 생각된다.

예를 들면 비교적 생산성이 높은 웨이트 자석 원반을 사용한 액살에어갯의 히스테리시스 모터라든가 히트류 영구자석 입자간의 고체 마찰을 이용한 그림10과 같은 히스테리시스 모터들이 널리 사용될 것으로 사료된다.



(그림-10) 히스테리시스 모터



(그림-11) 리덕턴스 반속 모터

또 리덕턴스 회전자 모터에 속하는 것으로서는 자기 요철성만으로 동기토크를 발생하며 고속도의 무부하속도를 갖는 그림11과 같은 리덕턴스 반속모터라든가 리덕턴스 비동기모터 등이 개발되고 있다. 그리고 리덕턴스 정류자 전동기도 사용될 가능성도 있다.

VII. 結 論

우리는 지금 고도공업 사회로부터 정보 산업시대로 돌입하고 있다. 이는 컴퓨터의 발달과 디지털통신기술 및 광통신과 인공위성에 의한 정보전송기술 및 각종 자동기기들의 발달에 기인한 것으로서 이 시대가 되면 인간은 현재에 비해서 엄청나게 많은 물자를 소비하게 될 것이므로 그 생산시스템은 복잡다단하게 될 것이어서 그 제어가 자동화되지 않고서는 도저히 물자를 수요에 공급할 수가 없게 될 것이 예상된다. 그뿐만 아니라 정보산업시대가 되면 인간의 지적활동도 기계가 대신하게 될 것인데 이에 사용되는 기계도 작게 크게 자동화 기능을 갖게 될 것이다. 그래서 본 논문에서는 이럴 때에 이용되리라 생각되는 제어기술을 살펴보고 또 이에 적용될 전동기의 종류와 특성을 조사해 보았다.

그런데 이에 소요되는 서어보 모터의 국내 생산상태는 아주 미비하다. 그것마저도 선진국으로부터 그 부품을 수입하여 조립, 내수에 응하고 있고 수출도 하는 형편이어서 외국의 임가공식 생산단계에 있다.

그래서 조속히 이런 현실로부터 벗어나 국산화를 이룩하여야 하겠는데 이와 같은 결실을 위한 참고자료로서 본고가 이용되기를 희망하면서 끝맺음을 하는 바이다.

*