

신경망을 이용한 TSRM의 정지 시 회전자 위치 검출법

Detection of Rotor Position at Standstill for a TSRM Using Neural Network

양형열* · 유영재** · 임영철*

Hyong-Yeol Yang, Young-Jae Ryoo, Young-Cheol Lim

* 전남대학교 전기공학과

** 목포대학교 제어시스템공학과

요 약

본 논문에서는 신경망을 이용한 토로이달 스위치드 릴럭턴스 모터(TSRM : Toroidal Switched Reluctance Motor)의 새로운 회전자 초기 위치 검출을 제안한다. 회전자의 초기 위치검출을 하기 위하여 서치 코일을 사용하는 경우 센서비용감소, 부피감소, 강인성 증대, 사용범위의 확대 등 많은 장점이 있다. 그러나 모터의 회전자가 초기에 회전하지 않기 때문에, 서치코일에 유기되는 기전력이 존재하지 않아 회전자의 초기 위치검출에 어려움이 있었다. 본 논문에서는 신경망을 사용하여 초기에 회전자가 정지해 있을 경우에도 회전자의 위치를 정확하게 추정하는 방법을 제안하였다. 위치추정 실험을 실시하여 회전자의 실제 위치와 추정위치를 비교함으로써 제안한 방법의 정확성과 유용성을 입증하였다.

Abstract

In this paper, detection of rotor position at standstill of toroidal switched reluctance motor(TSRM) with built-in search coils using neural network is proposed. When search coils are used as a position sensor, it has many advantages like low cost, decrease in the volume, high robust characteristics and wide applications. However, the initial rotor position detection is very difficult because the search coil's EMF doesn't exist at standstill. In this paper, detection of initial rotor position of TSRM with built-in search coils using neural network is suggested. The experiment for the proposed method are presented. As a result of that, the accuracy and validity of the proposed method is verified.

Key words : TSRM, Search coil, EMF, Neural network

1. 서 론

스위치드 릴럭턴스 전동기(SRM)는 가변속 전동기로 개발된 가변 릴럭턴스 전동기(VRM)와 구동 전원장치인 인버터를 결합한 것으로 고정자와 회전자가 모두 풀극형으로 되어 있고, 고정자에만 권선이 감겨있어 고정자에 전류를 흘리면 고정자와 회전자간의 자기 회로의 자로가 최소가 되는 방향으로 회전자가 움직이는 암페어의 전자기 이론에 근거하여 힘이 발생하는 원리를 이용한 것이다[1].

SRM은 회전자에 권선이 없고 고정자에 슬롯이 없는 간단한 구조이기 때문에 제작이 용이하며 주울열에 의한 발열이 고정자 권선에만 나타나므로 냉각이 빠르고 용이하다. 또한 속도 제어가 용이하고 광범위한 변속 범위와 초저속 운전시 우수한 특성을 갖고 있으며 각 상이 분리되어 있어 인버터 통전 사고에 대한 부담이 적어 SRM 구동이 용이하다.

이러한 SRM 구동의 다양한 장점은 전기 자동차, 산업용 전동기와 드라이브, 의료용과 항공기 응용분야, 냉장고, 세탁기, 자동화 시스템 및 응용 분야와 같은 폭넓은 영역들을 포

함할 수 있게 되었으며 상업적인 응용을 위한 적절한 AC와 DC구동 선택이 가능하도록 하였다. 이는 SRM의 조합과 적절하게 제어된 컨버터가 효율적인 구동 시스템을 위해 요구되는 많은 부분을 제공하기 때문이다. 따라서 SRM은 단순성, 저비용, 안전한 동작 그리고 자동차나 항공기와 같은 열악한 환경에서도 효율적으로 동작할 수 있는 강인한 구동 특성 등에 의해 많은 주목을 얻고 있다[1].

이와 같은 장점에 반하여, 일반적으로 SRM의 제어를 수행하기 위해서는 레졸버, 엔코더, 혹은 Hall 센서와 같은 회전자 위치 센서가 필요하게 된다. 하지만 회전자 위치 센서는 비용을 증가시키며, 충격에 약하며, 압축기 등과 같은 고온 및 고압의 환경에서 신뢰성을 저하시킨다. 그래서 기존의 위치 센서들의 많은 단점들을 해결할 수 있는 여러 가지 방법들이 연구되어지고 있다[2-5].

기존의 위치 센서들의 단점인 고속 회전의 제약, 고온고압의 환경에서 신뢰성 저하, 고장 시 별도의 보수 필요, 충격에 약함, 센서 부착 시 모터 부피 증가, 비용의 증가라는 문제점을 해결할 수 있는 방법으로 서치 코일을 내장한 SRM이 연구되어지고 있다[6]. 이것은 순차적으로 상을 여자시키면서 일정한 속도(정상상태)로 가속되어야만 고정자극과 회전자극이 겹쳐지는 시점(토크 시작점)을 검출함으로써 회전자의 위치를 파악하는 방법이다. 하지만 이 방법은 회전자가 고정되어있는 초기 기동 시에는 회전자의 위치를 정확히 알지 못한다는 단점을 가지고 있다.

접수일자 : 2004년 3월 5일

완료일자 : 2004년 8월 3일

감사의 글 : 본 연구는 한국과학재단 지정 전남대 고품질전기전자부품 및 시스템 연구센터의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

따라서 본 논문에서는 전동기가 정지해 있는 상태에서 정확한 위치 추정이 가능한 방법을 제안하였다. 서치코일은 모터가 회전 시에만 회전자의 위치정보를 제공하므로 SRM의 기동에 많은 문제점을 가지고 있다. 서치코일을 이용한 구동뿐 아니라 다른 증가형 엔코더를 사용하는 경우도 마찬가지로 초기 위치를 알지 못하므로 모터가 출발하는 데 애로사항을 가지고 있다. 흔히 사용되는 방법으로는 한 상을 여자시켜 회전자를 그 상에 정렬한 후 그 위치를 기준으로 다음 상을 여자시키는 방법이 있다. 하지만 이 경우는 부하가 있을 경우 기동하기 어려울 뿐만 아니라 역회전이 금지되어있는 곳에서는 절대로 사용할 수가 없다.

따라서 본 논문에서는 고정자의 돌극에 감겨있는 서치코일이 내장된 TSRM을 신경망(neural network)을 이용해서 정지 시에도 회전자의 위치를 추정하는 방법에 대해서 연구하였다.

2. 서치코일이 내장된 TSRM

2.1 토로이달 SRM(Toroidal SRM)

본 논문에서 사용된 서치코일이 내장된 TSRM의 구조를 그림 1에서 보여주고 있으며, 기존의 고정자 돌극에 권선이 감긴 구조의 스위치드 릴럭턴스 모터(Conventional SRM)는 구조상 권선을 고정자 돌극 부위에만 감을 경우, 공간 활용율이 한계가 있으며 또한 실제 양산에 있어서 많은 부분 새로운 설비투자를 필요로 한다. 그러나 토로이달 SRM(Toroidal SRM)의 경우는 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

토로이달의 본뜻은 도넛츠 형태란 말로 상권선(Phase winding)이 고정자(Stator)의 돌극(Pole)이 아닌 요크(Yoke)에 감겨지는 것을 특징으로 한다. 따라서 권선의 공간 활용율이 매우 높다. 또한 기존의 유도기용 권선기를 그대로 사용할 수 있는 장점이 있다. 더불어 기존의 SRM 컨버터 토플로지만 아니라 범용 Full-bridge형의 인버터의 적용이 가능하며 구동방식이 BLDC모터와 비슷하므로 BLDC모터의 컨트롤러를 직접 사용할 수 있는 여러 가지 장점을 지닌 모터이다[7].

2.2 서치코일

그림 1에서와 같이 총 3개의 0.16mm 직경을 가진 서치코일이 각 고정자 돌극에 10턴씩 장착되어 있다. A상과 B상 상의 서치코일을 AB상 서치코일이라 하면, B상과 C상 사이의 서치코일은 BC상 서치코일, 나머지는 CA상 서치코일이라 한다.

위치센싱을 위하여 서치코일을 사용하면 기존의 위치 센서들의 단점인 고속 회전의 제약, 고온고압의 환경에서 신뢰성 저하, 고장 시 별도의 보수 필요, 충격에 약함, 센서 부착 시 모터 부피 증가, 비용의 증가라는 많은 문제점들을 해결할 수 있다. 이와 같은 장점들을 가지므로 서치코일을 이용한 방법은 SRM의 적용 분야를 확대시킬 수 있다.

서치코일을 이용한 방법에서는 센서리스 구동과는 달리 SRM의 특성분석을 위한 복잡한 계산을 필요로 하지 않는다. 그리고 운전 시 파라미터의 변동 등에도 민감하지 않으므로 센서리스 구동방법보다 안정된 운전이 가능한 장점을 가지고 있다. 뿐만 아니라 구동할 전동기의 인덕턴스 프로파일을 정확하게 알지 못해도 운전이 가능하며, 일반적인

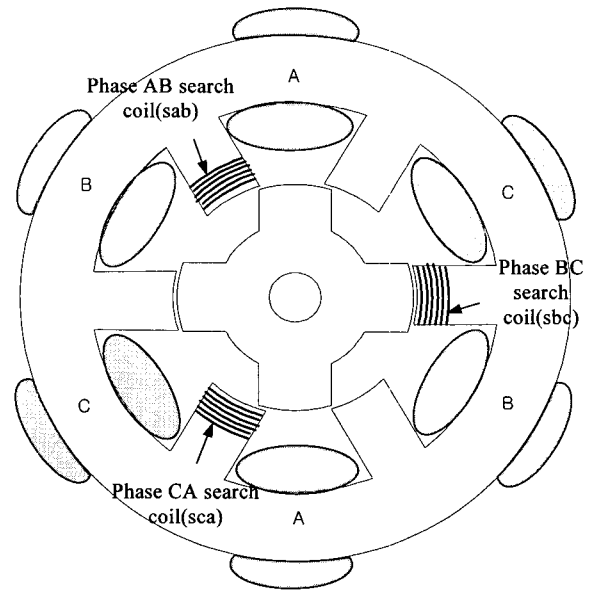


그림 1. 서치코일이 장착된 TSRM의 구조
Fig. 1 Structure of the TSRM with search coils

SRM의 구동에는 모터에 대한 분석이 따로 필요 없고, 구동 모터의 여러 파라미터들을 알지 못해도 운전이 가능하므로 훨씬 간단히 구동할 수 있다. 그리고 입력전압 및 전류 피드백을 받지 않아도 구동이 가능하다는 장점을 가진다.

3. 초기위치 검출 배경

3.1 기존의 초기 기동법

서치코일이 내장된 구동방법은 서치코일을 고정자의 돌극에 장착함으로써 회전자가 회전할 때 고정자 및 회전자 사이의 릴럭턴스의 변화를 감지하여 위치검출에 이용한다. 즉 회전자극과 고정자극의 서치코일 부분이 겹쳐지는 시점을 검출함으로써 회전자의 위치를 파악하는 방법이다. 그러나 이 방법은 회전자가 고정되어있는 초기 기동 시에는 회전자의 위치를 정확히 알지 못한다는 단점을 가지고 있다.

SRM이나 TSRM을 기동(starting)하기 위해서는 정지 상태에서 회전자의 초기 위치를 반드시 알아야 구동이 가능하다. 초기 기동문제는 센서리스 구동에 있어서 또 하나의 연구할 대상이며, 이러한 문제는 엔코더를 사용하는 경우에서도 존재한다. 그리고 기동과정에서는 보다 신뢰성있고 정밀한 기동 알고리즘이 요구된다[8]. 증분형 엔코더를 사용할 경우나, 회전자의 초기 위치를 알 수 없는 센서리스 구동 방법의 경우 강제 정렬법을 이용해 회전자를 원하는 위치에 놓고 초기 기동을 시키는 경우가 있다[9-11]. 이런 강제정렬의 방법은 정밀제어를 해야 하는 곳이나 부하가 역회전을 하지 않아야 하는 곳에서는 치명적인 문제를 발생한다. 따라서 정지 시 회전자의 초기 위치검출은 고성능 SRM에서는 필수적인 요소이며 매우 중요한 부분이라 할 수 있다.

3.2 제안하는 초기위치 검출법

본 논문에서는 회전 시에 위치를 검출하는데 사용한 서치

코일을 이용하여 정지 시 회전자의 초기 위치를 추정하기 위한 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 회전자의 위치에 따라 서치코일의 유기기전력이 다르다는 특성을 기반으로 하며, 회전 시 사용한 서치코일을 사용함으로써 추가적인 센서가 필요치 않은 장점도 얻게 된다.

이 방법은 두 단계를 거치게 되는데 먼저 회전자의 위치 (θ_R)와 서치코일 유기 기전력(V_s)의 관계인 $V_s-\theta_R$ 기준값 획득단계, 저장된 기준값과 측정된 기전력값을 이용하여 위치 추정 알고리즘에 의해 회전자의 위치를 추정하는 예측단계로 구분된다.

먼저 전 처리 단계로 서치코일의 유기기전력(V_s)과 위치 (θ_R)의 관계를 맵핑한 $V_s-\theta_R$ 기준값의 획득이 필요하다. 회전자가 정지해 있을 때 매 1° 마다 각 상에 짧은 시간 동안 펄스를 인가하여 서치 코일에 유기되는 기전력을 측정한다. 이때 3상을 연속적으로 전류의 확립이 이루어지지 못하는 짧은 시간 간격으로 매우 빠르게 스위칭한다. 순간적인 단일 펄스 전압을 인가하면 모터는 계속 정지해 있고 전류는 미세하게 인가된다. 측정된 유기기전력은 위치에 종속적인 관계를 가지므로 기준값으로 활용할 수 있다.

한편 서치 코일에서는 상호 인덕턴스의 크기, 즉 고정자 돌극과 회전자 돌극이 겹쳐있는 정도에 따라 3상의 서치 코일에 기전력이 유기된다. 이 유기기전력은 크기가 다르며 회전자와 고정자의 위치에 따라 각각 결정된다. 이때 모터가 정지 상태에 있으므로 서치 코일의 기전력은 식 (1)과 같이 변압기 형태의 기전력만 유기된다. 이 유기기전력은 정지상태에서 회전자의 위치정보를 내포하고 있다. 따라서 서치코일의 유기기전력을 통해 회전자의 위치정보 예측이 가능해진다.

$$e = -(M_{as} \frac{di_a}{dt} + M_{bs} \frac{di_b}{dt}) \quad (1)$$

M_{as}, M_{bs} : 주권선과 서치코일의 상호 인덕턴스
 i_a, i_b : 여자되고 있는 두개의 상전류

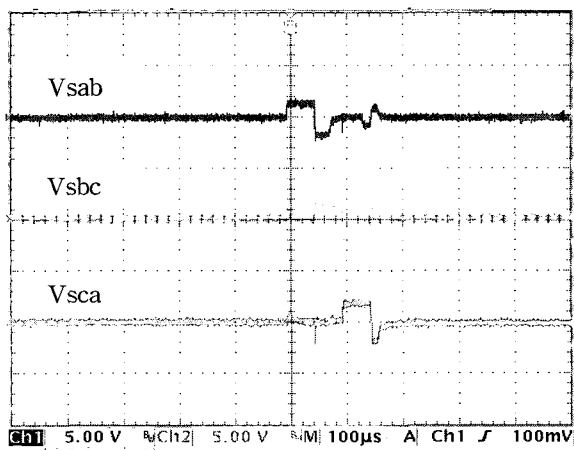


그림 2. 정지 시 단일펄스 입력에 대한 서치코일 유기기전력
 Fig. 2. Measured search coil EMFs when impulse voltage is applied at standstill

그림 2는 TSRM의 회전자가 정지 상태일 때, 연속적으로 단일 펄스 전압을 인가 시 AB상 서치코일, BC상 서치코일, CA상 서치코일에 유기되는 기전력의 파형을 나타낸다.

회전자의 위치에 따라 서치 코일의 유기 기전력의 크기는 변화된다. 위치에 따른 기전력의 분포를 얻기 위하여 회전자의 위치에 대해 각각 파형의 크기를 1° 단위로 측정하였다. 회전자가 기계적으로 0° 에서 90° 로 회전하면 전기적으로 0° 에서 360° 에 해당된다. 따라서 실제 $V_s-\theta_R$ 기준값은 90° 까지만 측정하면 된다. 하지만 여러 가지 실험을 위해 360° 까지 측정하였고 경우에 따라서 90° 까지만 사용할 수도 있다. 측정된 유기전압은 DC링크단의 전압에 따라서 그 크기가 달라진다. 따라서 전압변동에 대해 안정된 위치검출을 위하여 입력된 값들의 합에 대한 비율을 적용한다. 즉 다음 식에 의해서 그 값이 수정된다.

$$V_{sab}' = \frac{V_{sab}}{(V_{sab} + V_{sbc} + V_{sca})}$$

$$V_{sbc}' = \frac{V_{sbc}}{(V_{sab} + V_{sbc} + V_{sca})}$$

$$V_{sca}' = \frac{V_{sca}}{(V_{sab} + V_{sbc} + V_{sca})}$$

V_{sab}' : 수정된 ab 서치코일 유기전압
 V_{sbc}' : 수정된 bc 서치코일 유기전압
 V_{sca}' : 수정된 ca 서치코일 유기전압

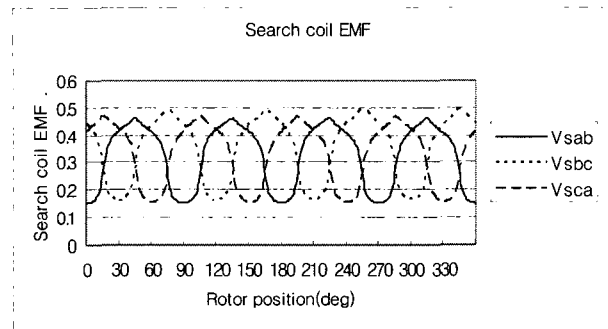


그림 3. 회전자 위치에 따른 서치코일의 유기기전력
 Fig. 3. Search coil EMFs according to rotor position

수정된 유기 기전력의 $V_s-\theta_R$ 기준값 분포는 그림 3과 같다. 실용적인 측면에서, 그림 3과 같은 기전력 분포는 회전자 위치검출에 직접 사용할 수 없다. 왜냐하면 회전자가 회전하여 동일한 위치에 도달하더라도 측정된 서치코일의 유기기전력은 $V_s-\theta_R$ 기준값과 동일하게 재현되지 않기 때문이다.

즉, A/D 변환기의 측정오차, 회전자 및 고정자의 불균일, 유기 기전력의 미세한 진동 등에 의해 다른 기전력이 측정되는 것이다.

따라서 측정된 기전력에 해당하는 위치를 검출하기 위해서는 $V_s-\theta_R$ 기준값에서 가장 근접하는 위치를 추론하기 위한 과정이 필요하다.

본 논문에서는 신경망을 이용하여 정지 시 회전자의 위치를 추정하는 방법을 제안하고 시뮬레이션을 통해 도출하였다. 위와 같이 실험에서 얻은 결과를 바탕으로 추정 오차를 평가하는 함수로 다음과 같이 정의하였다.

$$J = \sum_{p=0}^{359} (e_{pm})^2$$

e_{pm} : Rotor Position Error at Position

4. 신경망에 의한 위치추정

신경망을 이용하여 초기 기동 시 회전자의 위치를 추정하기 위하여 3가지 방법에 의해 위치검출이 시도 되었다. 첫 번째로 입력 3개 출력 1개인 경우, 두 번째로 입력 3개 출력 90개인 경우, 그리고 세 번째는 두 개의 신경망을 사용하는 경우로 나뉘어 진다.

입력으로 서치코일 유기전압, 출력으로 회전자 위치를 사용하며, 일반적으로 많이 사용되는 역전파 신경망(back-propagation neural network)을 이용하였다[12].

입출력의 패턴 데이터는 정규화하였고, 입력뉴런과 출력뉴런의 활성화함수는 시그모이드(sigmoid) 함수를 사용하였다. 학습을, 은닉뉴런, 반복횟수에 따른 추정 성능을 다양한 방법으로 실험하여 비교하였다. 다양한 실험 결과를 바탕으로 위치 추정에 가장 적합한 신경망의 구조를 제시한다. 이때 학습종료 후 신경회로망의 학습능력은 학습에 포함되지 않았던 서치코일 유기전압도 입력에 포함하여 평가되었다.

4.1 3x20x1 신경망의 경우

다층 신경회로망의 구조를 입력뉴런 3개, 은닉뉴런 20개 그리고 출력뉴런은 1개의 세포로 구성된 그림 4와 같은 신경망을 적용하였다. 신경회로망의 학습율은 0.01로 하였으며 50,000회 반복 학습하였다.

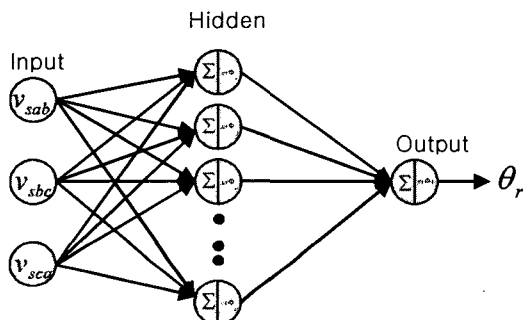


그림 4. 신경망의 구조
Fig. 4. Structure of the Neural Network

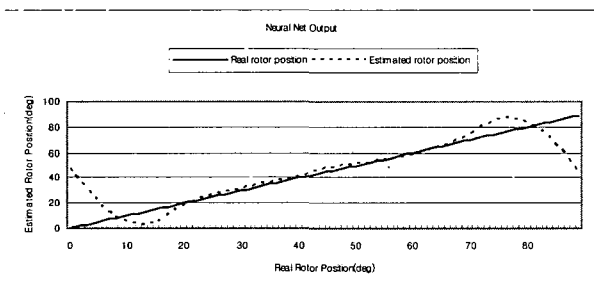


그림 5. 추정된 회전자 위치
Fig. 5. Estimated rotor position

이와 같은 구조의 신경망은 나쁜 추정 성능을 나타내었다. 이 원인은 회전자 위치 0° 부근의 서치코일 유기전압과 89° 근처일 때의 입력값이 유사한 반면 출력은 전체 출력영역에서 완전히 반대되는 값을 가지기 때문이다. 즉, 비슷한 입력값에 다른 출력으로 학습을 시키게 되므로 제대로 학습이 되지 않는다. 따라서 이 신경망 구조는 위치추정에 적합하지

않다고 판단된다.

그림 5에 학습에 의해 출력된 회전자의 위치를 나타내었다. 0°와 90° 근처로 가면 전혀 학습이 이루어지지 않는다는 것을 알 수 있다.

4.2 3x30x90 신경망의 경우

그림 6과 같이 다층 신경회로망의 구조를 입력뉴런 3개, 은닉뉴런 30개 그리고 출력뉴런은 1개의 세포로 구성하였다. 신경회로망의 학습율은 0.01로 하였으며 50,000회 반복 학습하였다.

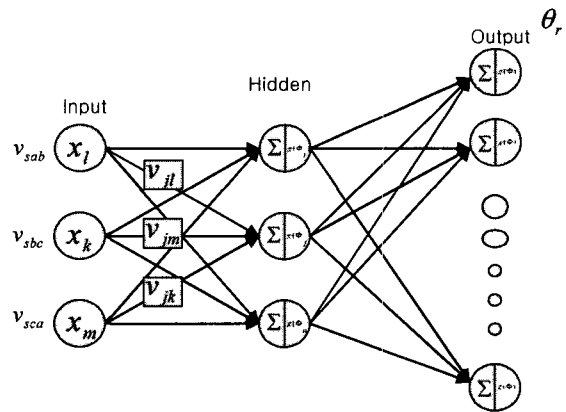


그림 6. 출력 90개의 신경망 구조
Fig. 6. Architecture of the 90 output Neural Network

이 신경망의 구조는 매우 정확한 추정 성능을 발휘하였다. 그러나 출력세포 90개, 입력층 연결강도 120개, 출력층 연결강도 2790개의 많은 메모리 공간이 요구된다. 이는 실용화 단계에서 사용되는 소용량 마이크로 컨트롤러에 응용이 어려우므로 실용적이지 못한 문제점이 있다.

4.3 제안하는 분할 신경망

서치코일의 유기전압은 0°근처와 90°근처의 값이 유사하므로 함께 학습시킬 수 없음을 위에서 알 수 있다. 따라서 그림 7과 같이 적절한 부분에서 분리시켜 두개의 신경망을 이용해서 학습하는 방법을 채택한다. 먼저 V_sca와 V_sbc를 비교하여 두 영역으로 분리한다. 즉, 그림 8에서 보듯이 V_sca > V_sbc 인 경우는 제 1 신경회로망(N.N.1), V_sca < V_sbc 인 경우는 제 2 신경회로망(N.N.2)을 사용하는 것이다. 이 방법은 메모리는 비교적 적게 차지하면서도 정확한 위치를 추정할 수 있으므로 이 방법을 채택하기로 한다.

4.4 신경망의 구조 결정

4.4.1 제 1 신경망(N.N.1)의 구조

신경회로망은 입력 3개, 출력 뉴런은 1개의 세포로 구성하였다. 신경망의 학습횟수, 은닉 뉴런 개수, 그리고 학습율에 따른 최적 구조를 선정하기 위하여 다음과 같은 실험을 행하였다.

그림 9는 학습 횟수에 따른 유효 위치추정 개수를 나타낸다. 학습 횟수를 200,000번 까지 실시했지만 120,000번 이상부터는 더 이상 회전자의 위치각도(1°~44°)를 추정하는 개수가 증가하지 않고 포화된 것을 확인할 수 있다. 이때 은닉층 뉴런 개수는 학습율과 함께 계속해서 변동되고 있으며 은닉층의 개수가 변동되더라도 학습 횟수가 120,000번을 넘으면 포화되고 있다.

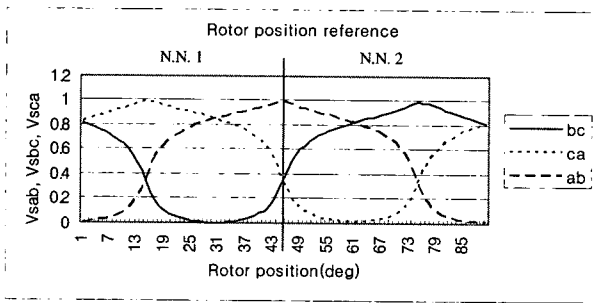


그림 7. 2개의 신경망에 의한 영역분할
Fig. 7. Divided sections by two Neural Networks

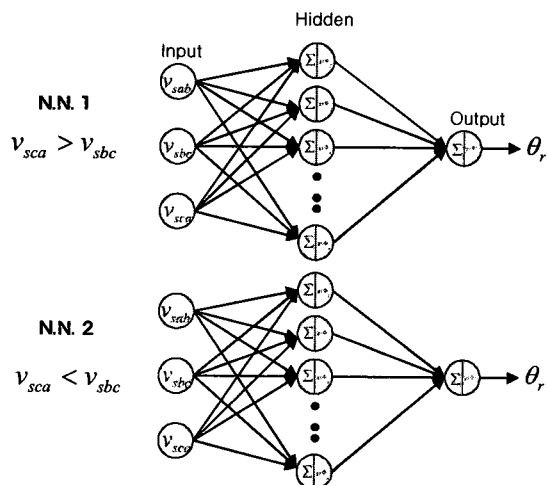


그림 8. 신경망의 구조
Fig. 8. Structure of the Neural Network

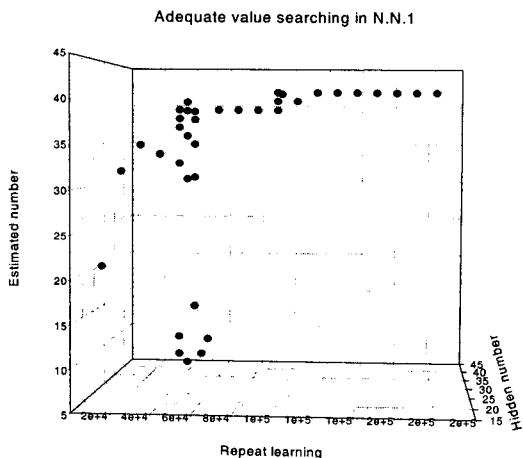


그림 9. 제 1 신경회로망의 적절한 학습 횟수 검색
Fig. 9. Searching the proper number of learning iteration in NN1

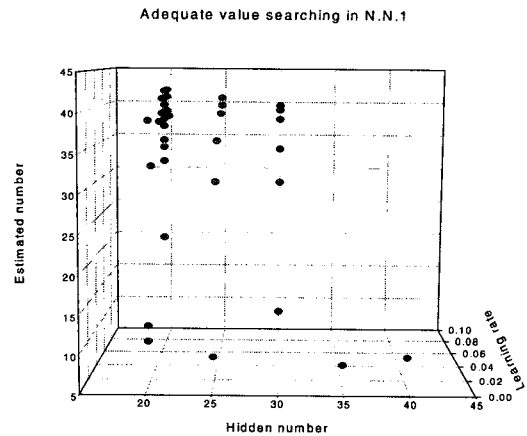


그림 10. 제1 신경회로망의 적절한 은닉 뉴런 수 검색
Fig. 10. Searching the proper hidden number in NN1

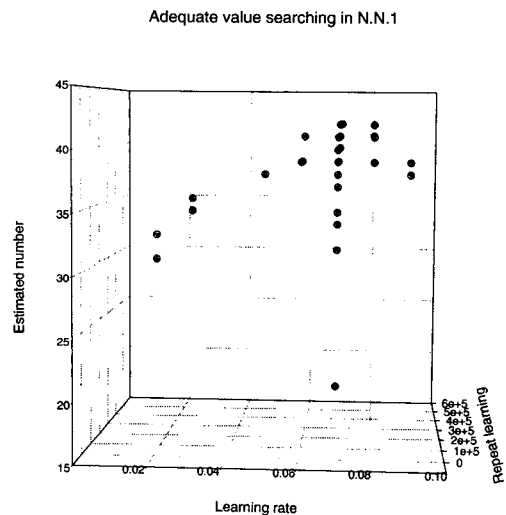


그림 11. 제 1 신경회로망의 적절한 학습율 검색
Fig. 11. Searching the proper learning rate in NN1

그림 10은 은닉층 뉴런 개수와 학습율의 증가에 따른 학습에 의한 유효 위치 추정 결과를 나타낸다. 은닉 뉴런 개수를 각각 20, 25, 30개 등 5개씩 증가시키고, 학습율을 0.01부터 0.09까지 증가시킨 결과, 은닉 뉴런이 20개일 때 추정 개수가 제일 많다가 은닉 뉴런 개수를 증가시킬수록 계속 감소하고 있다. 많은 경우의 학습회수에 대해 시도하였고 그림 10에 나타난 경우는 가장 결과가 좋은 경우의 학습회수에 대한 결과 값이다.

그림 11은 학습율에 따른 학습 성능 결과를 나타낸다. 반복학습 회수를 200,000번까지 반복하고 학습율을 0.01에서 0.09까지 증가시킨 결과 반복회수가 120,000번일 때와 학습율이 0.07일 때가 가장 많이 추정하고 있다.

결론적으로 제 1 신경망은 학습율 0.07, 은닉뉴런 20개, 반복횟수 120,000회일 때 회전자의 위치 추정 성능이 가장 우수함을 확인할 수 있었다.

4.4.2 제 2 신경망(N.N.2)의 구조

제 1 신경망의 구조 결정과 동일한 방법으로 제 2 신경망도 다양한 구조에 따른 성능을 평가하여 최적의 구조를 선정하였다.

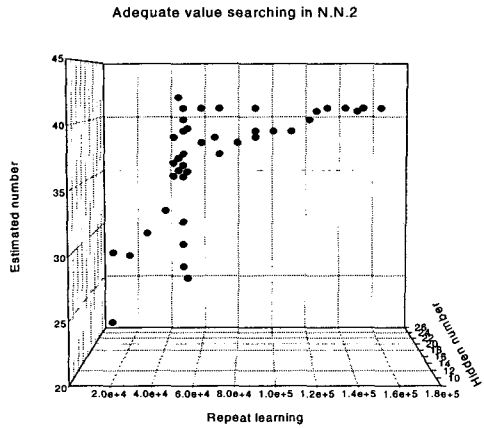


그림 12. 제 2 신경회로망의 적절한 학습 횟수 검색
Fig. 12. Searching the proper number of learning iteration in NN2

그림 12를 보면 은닉 뉴런의 개수가 변하더라도 학습 횟수가 50,000번까지는 회전자의 위치각도(45°-90°)를 추정하는 개수가 증가하다가 그 이상부터는 증가 하지 않음을 볼 수 있다.

그림 13은 은닉 뉴런 개수를 각각 10, 15, 20, 25개로 증가시켜 줄때 각각이 일정하다가 은닉 뉴런이 20개에서 회전자 위치 각도의 추정개수가 가장 많음을 확인할 수 있다. 이 경우에도 NN1에서와 마찬가지로 반복회수는 결과가 가장 좋은 경우의 반복회수이며 학습율은 0.01부터 0.09까지 변경되고 있다.

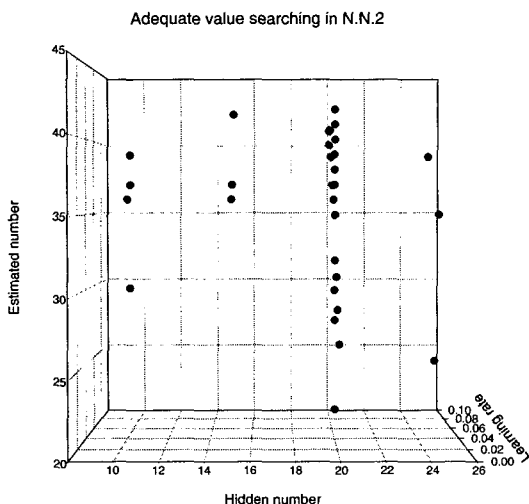


그림 13. 제 2 신경회로망의 적절한 은닉 뉴런 수 검색
Fig. 13. Searching the proper hidden number in NN2

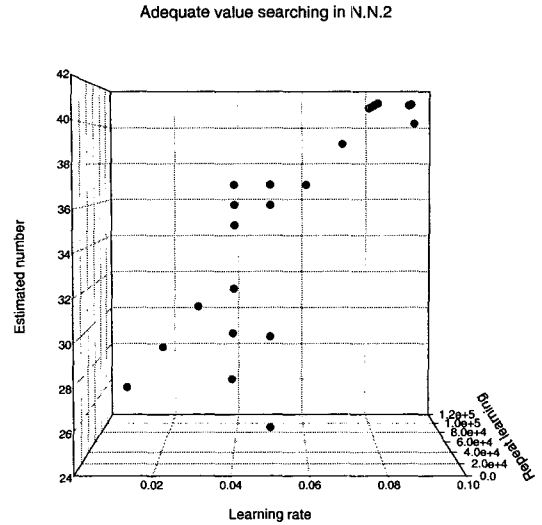


그림 14. 제 2 신경회로망의 적절한 학습을 검색
Fig. 14. Searching the proper learning rate in NN2

그림 14는 적절한 학습율을 찾는 과정이며 0.01에서 0.09까지 증가시켰을 때 각각의 추정개수를 나타내주고 있다. 반복회수가 변하더라도 학습율이 0.08까지는 추정 개수가 계속 증가하다가 그 값을 초과하면서부터는 더 이상 증가하지 않음을 알 수 있다.

따라서 제 2 신경망은 학습율 0.08, 은닉뉴런 20개, 반복 학습 50,000회일 때 회전자의 위치 추정이 가장 적절함을 판단할 수 있다.

5. 위치추정 실험결과

그림 15는 위치 추정 실험 결과를 나타낸다. 그림 15 (a)는 엔코더에 의해서 측정된 회전자 위치를, (b)는 신경망을 통해 추정된 회전자의 위치를 나타낸다. (c)는 회전자의 실제 위치와 신경망을 통해 추정된 회전자 위치의 오차를, (d)는 식(3)에 의해 계산된 평가함수 결과를 나타내고 있다. 평가함수 계산 결과 254를 기록하였고, 최대 1°에서 2°의 오차 범위 내에서 위치 추정이 가능하였다. 따라서 제안된 방법이 TSRM의 초기 구동에 매우 유용한 방법임을 입증 하였다.

한편 오차가 발생하는 원인은 공극의 불균일로 인해서 전기적으로 같은 각도에서 기준값이 모두 같지 않고 그 이웃하는 각과 비슷해지는 경우가 발생하기 때문으로 추정된다. 향후 모터의 공극이 일정하고 회전자와 고정자가 균일하게 제작된다면 모든 위치에서 정확한 결과를 얻을 수 있을 것이라 판단된다.

6. 결 론

그동안 서치코일 내장형 토로이달 스위치드 릴럭턴스 모터(TSRM)는 초기 기동 시 회전자가 회전할 때 서치코일에 발생되는 유기전압이 발생하지 않기 때문에 회전자의 위치를 정확히 알지 못한다는 단점을 가지고 있다.

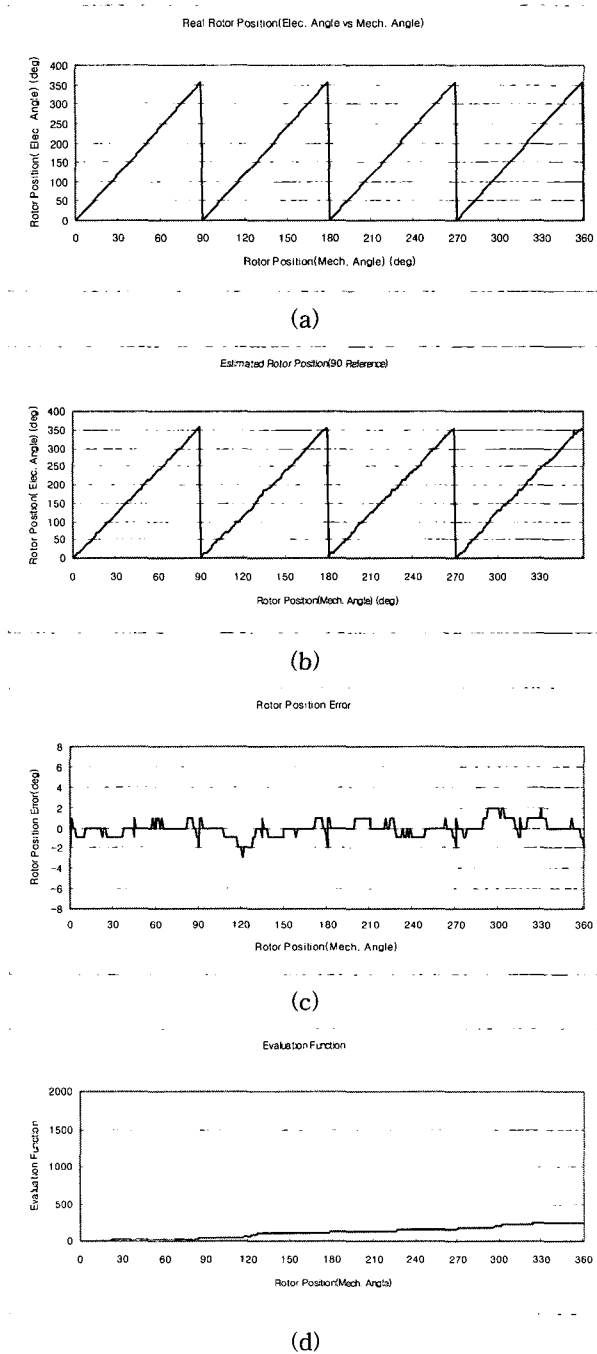


그림 15. 시뮬레이션 결과

(a) 측정된 회전자 위치, (b) 추정된 회전자 위치, (c) 추정된 회전자 위치의 오차, (d) 평가 결과

Fig. 15. Result of simulation

(a) Measured rotor position, (b) Estimated rotor position, (c) Position error, (d) Evaluation value

본 논문은 모터 정지 시에 순간적인 펄스전압을 이용하여 서치코일에 전압을 유기시킨 다음 그 진폭을 측정하여 회전자의 위치를 추정하는 방법을 제시하였다. 또한 위치 추정에 적합한 신경망을 다양한 구조에 대하여 적용 실험함으로써 최적의 신경망 구조를 제시하였다. 더불어 제안된 신경망 구조를 이용하여 위치검출에 관한 실험을 실시하고 회전자의 실제 위치와 추정위치를 비교함으로써 제안한 방법의 정확성

과 유용성을 입증하였다.

향후 제안된 방법을 SRM에 적용하면 기존의 강제정렬 방식이 갖고 있던 문제점인 기동 시에 진동을 제거하고 역회전의 문제점을 해결함으로써 정밀한 회전자 위치 검출이 가능해 기동성능이 보다 향상될 것으로 예상된다.

참고 문헌

- [1] T. J. E. Miller. "Switched Reluctance Motors and Their Control", Clarendon Press. 1993
- [2] D. S. Reay, Y. Dessouky and B. W. Williams, "The use of neural networks to enhance sensorless position detection in switched reluctance motors", IEEE International Conf. on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 2, pp. 1774-1778, Oct. 1998
- [3] E. Mese and D. A. Torrey, "An approach for sensorless position estimation for switched reluctance motors using artificial neural networks", IEEE Trans.l on Power Electr., Vol. 17 Issue: 1,
- [4] A. Bellini, F. Filippetti, G. Franceschini, C. Tassoni and P. Vas, "Position sensorless control of a SRM drive using ANN-techniques", The Thirty-Third IAS Ann. Mtg. Ind. Appl. Conf., IEEE, Vol. 1, pp. 709-714, Oct. 1998
- [5] P. Jinupun and P. Chi-Kwong Luk, "Direct torque control for sensorless switched reluctance motor drives", Seventh International Conf. on (IEE Conf. Publ. No. 456) Power Electr. and Variable Speed Drives, pp. 329-334, Sept. 1998
- [6] 양형열, 김종건, 임영철, "서치 코일을 이용한 토로이달 스위치드 릴럭턴스 모터의 회전자 위치 검출", 전력전자학회 논문지 7(5), pp. 537-545, 2002.12
- [7] K. B. Kim, "Toroidal switched reluctance motor part 1. fundamentals", Korea-Germany symposium, pp. 135-141, Nov. 1998
- [8] M. Ehsani, and B. Fahimi, "Elimination of position sensors in switched reluctance motor drives: state of the art and future trends", IEEE Trans. on Ind. Electr., Vol. 49 Issue: 1, pp. 40-47, Feb. 2002
- [9] I.-W. Yang and Y.-S. Kim, "Rotor speed and position sensorless control of a switched reluctance motor using the binary observer", IEE Proc.-Electr. Power Appl., Vol. 147, No. 3, pp. 220-226, 2000
- [10] Gabriel Gallegos-Lopez, Philip C. Kjaer and J. E. Miller, "A New Sensorless Method for Switched Reluctance Motor Drives", IEEE Trans. on Ind. Appl., Vol. 34, No. 4, pp. 832-840, 1998
- [11] C. C. Chan, Quan Jiang, "Study of Starting Performances of Switched Reluctance Motors", PEDS 95, pp. 174 - 179, 1995
- [12] James A. Freeman, David M. Skapura, "Neural Networks Algorithms, Applications, and Programming Techniques", Addison-Wesley Publishing Company, 1991년

저 자 소개



양형열(Hyong-Yeol Yang)
1969년 5월 27일생. 1993년 전남대 전기공학과 졸업. 1993년~1994년 (주)현대자동차 근무. 1998년 전남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국과학재단 지정 전남대 고품질 전기전자부품 및 시스템 연구센터 연구원.

관심분야 : 모터제어, 인공지능, 마이크로 컨트롤러 응용

e-mail : sfish@chonnam.ac.kr



유영재(Young-Jae Ryoo)
1968년 1월 9일생. 1991년 전남대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1999년 미국 NCA&T대 Visiting Researcher, 현재 목포대 제어시스템공학과 조교수.

관심분야 : 지능제어, 지능형교통시스템, 자율주행시스템, 이동로봇, 원격계측

e-mail : yjryoo@mokpo.ac.kr



임영철(Young-Cheol Lim)
1953년 4월 23일생. 1975년 전남대 전기공학과 졸업. 1977년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1997년 호주 모나시대학 Visiting Scholar. 현재 전남대 전기공학과 교수. 한국과학재단 지정 전남대 고품질 전기전자부품 및 시스템 연구센터 소장.

관심분야 : 계측제어, 전기자동차 자율주행 시스템, Random PWM, SRM제어

e-mail : yclim@chonnam.ac.kr