

퍼지 PI 제어를 사용한 스위치드 리렐턴스 전동기의
속도제어에 관한 연구

류홍제*, 강 욱**, 김학성*, 원중연*
*성균관대학교, **오산전문대학

A Study on Speed Control of the Switched Reluctance
Motor using Fuzzy PI Controller

Ryoo Hongje*, Kang Wook**, Kim Hackseong*, Won Chungyuen*
*Sungkyunkwan Univ., **Osan Junior College.

Abstract

The paper deals with the fuzzy PI control of a switched reluctance motor drive. Fuzzy algorithm based on linguistic rules describing the operator's control strategy is applied to speed control of the SRM. Simulation and experimental results show that performance of the fuzzy PI controller is superior to that of conventional PI controller. In particular the robustness of the system is improved.

1. 서 론

SRM(Switched Reluctance Motor : 이하 SRM)은 고장자와 회전자가 모두 돌극을 갖는 간단한 구조로, 기계적으로 견고하고, 생산단가가 저렴하며, 고속운전이 용이하고, 효율이 높은 장점으로 최근의 전력전자 기술의 발달과 함께 가변속 응용 분야에 사용이 증대되고 있다. [1]-[5]

현재 가변속 제어 방법으로 널리 사용되고 있는 PI 제어(비례 미분제어)의 경우, SRM에 있어 정상상태의 수학적 모델링이 불가능한 관계로 적절한 제어상수값을 구하는데 어려움이 있고, 시스템의 파라미터 변동등에 따라 제어상수값을 알맞게 변경해 주어야 하는 단점이 있다.[6]-[8]

1965년 Zadeh교수에 의해 처음 제안된 퍼지 제어 알고리즘은 플랜트의 정확한 모델을 요구하지 않으며, 특히 SRM과 같은 비선형계의 제어에 있어서, 우수한 특성을 나타내는 것으로 알려져 있다.[7],[9][10] 본 논문에서는 SRM의 가변속 제어에 있어, 기존의 PI 제어기에 퍼지제어 알고리즘을 도입한 퍼지 PI 제어를 사용한 효과적인 방법을 제안하였다. 제안된 방식은 시뮬레이션 및 실험을 통하여 PI제어기에 비해 응답시간(response time) 및 정착시간(settling time)등에서 좋은 효과를 얻을 수 있으며, 또한 부하변동에 대한 강인성을 유지하는 우수한 특성을 나타냄을 확인하였다. 실험은 200Watt급 8/6 pole SRM을 비대칭 브릿지 컨버터를 사용하여 구동하였으며, 퍼지 제어 알고리즘은 단일 칩 마이크로 컨트롤러인 80C196KB를 통해 구현하였다.

2. 퍼지제어기의 구성.

퍼지 PI제어기의 입력변수는 오차(E)와 오차의 변화율(CE)이다. 샘플링 순간 K에서의 변수 E(K)와 CE(K)는 식 (1),(2)와 같이 정의되며, 퍼지 변수는 그림 1과 같은 삼각형 모양의 소속 함수를 사용하여, PB, PS, ZO, NS, NB의 다섯 단계로 하였다.

$$E(k) = \omega^* - \omega(k) \tag{1}$$

$$CE(k) = E(k) - E(k-1) \tag{2}$$

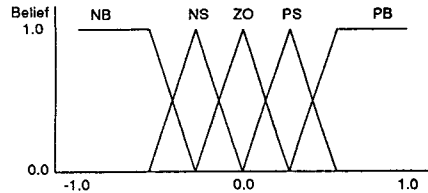


그림 1. 속도제어를 위한 소속 함수.

SRM의 가변속제어를 위한 제어규칙은 다음과 같다.

CE \ E	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NB
NS	NB	NS	NS	ZO	ZO
ZO	NS	NS	ZO	PS	PS
PS	ZO	ZO	PS	PS	PB
PB	PB	PB	PB	PB	PB

그림 2. SRM의 속도제어를 위한 제어규칙.

퍼지추론방법으로는 Max-Min합성법을 사용하였으며, 비퍼지화 과정은 무게중심법(Center of Gravity, COG)을 사용하였다. 그림 3은 Max-Min 합성법과 무게중심법에 의한 퍼지 제어기의 출력값의 생성과정을 보였다.[9]-[11]

본 논문에서는 두개의 모드(거친 제어 모드와 정밀 제어 모드)를 갖는 퍼지 제어를 사용하여 제어성능을 향상시켰으며, 실시간 제어를 위해 퍼지 입력변수 E와 CE를 각각 21단계로 양자화하여, 각각에 대한 퍼지제어기의 출력 dU값을 계산, look-up table형식으로 80C196내에 저장하여 사용하였다.

3. SRM의 가변속 시스템 구성

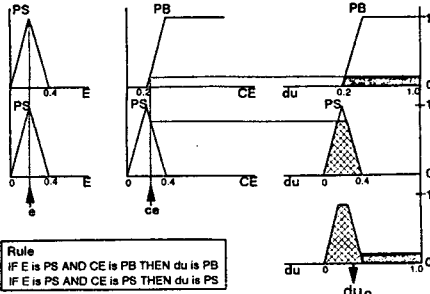


그림 3. Max-Min합성법과 무게중심법에 의한 출력값의 생성과정.

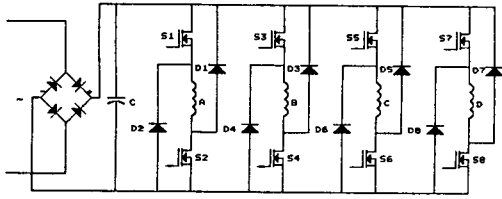


그림 4. 비대칭 브릿지 컨버터(Asymmetric Bridge Converter).

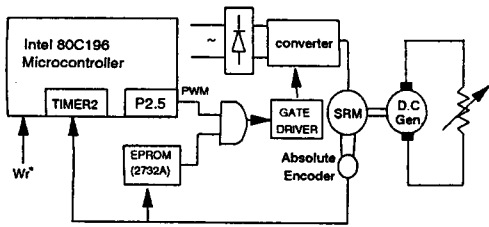


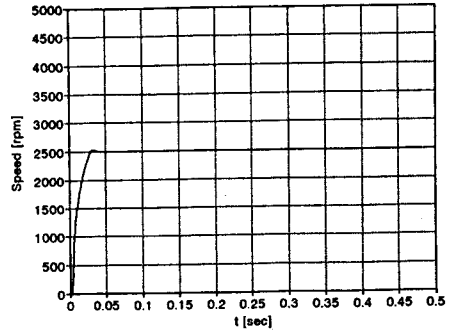
그림 5. SRM의 가변속 제어 시스템.

그림 4에 가변속 제어를 위해 본 논문에 사용할 구동용 컨버터 회로를 보였다. 이 회로는 상당 두개의 스위치와 두개의 환류 다이오드를 갖는 비대칭 브릿지 컨버터로 다양한 제어가 가능하며, 각 상의 전류제어가 독립적이어서 두상의 전류중첩이 가능하고, 정격 전압이 상대적으로 낮은 등 제어성능이 우수하여 널리 사용되고 있다.[1][2][5]

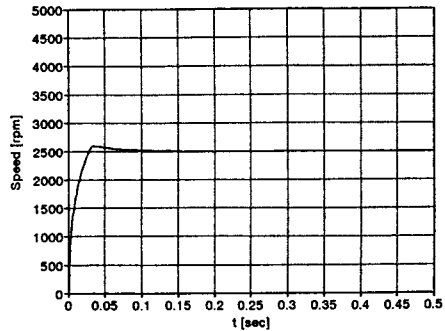
그림 5에는 SRM의 가변속 구동을 위한 전체 시스템을 보였다. SRM의 위치센서로는 8 bit Absolute Encoder를 사용하였으며, SRM의 점호각 및 도전각의 제어를 위하여 EPROM을 사용하였다. 속도 계산 및 제어 알고리즘은 80C196 단일 칩 마이크로 콘트롤러내에서 소프트웨어적으로 수행하였다. 속도계산은 엔코더의 최하위 비트를 1ms동안 Timer2로 계수하여, HSO Interrupt와 TIMER2 Capture Interrupt를 이용, M/T방식을 통해 계산하였으며, 퍼지 제어 알고리즘은 실시간 제어를 위해 look-up table방식을 사용하였다. 그 결과로 80C196내에서 발생하는 PWM의 듀티비를 변화시켜 인가전압을 초평하여 지령속도를 추종하도록 하였다.

4. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 컨버터의 스위치가 모두 이상적이라고 가정하고, fuzzy제어기와 PI제어기를 비교하였으며, 프로그램 언어는 C를 사용하였다. 그림 6에 2500rpm의 속도지령치에 대한 fuzzy제어기와 PI제어기의 응답파형을 보였다. 그림 7은 t=0.5인 시점에서 부

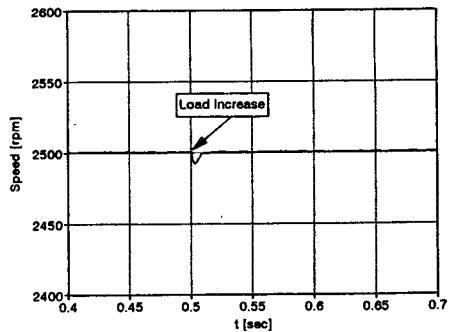


(a) fuzzy 제어를 사용한 경우.

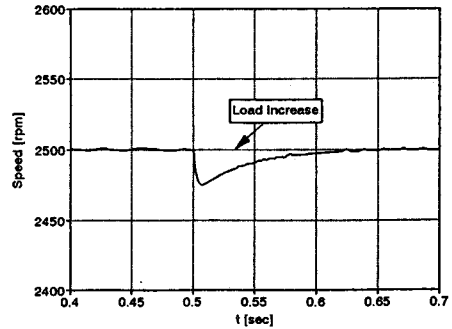


(b) PI 제어를 사용한 경우.

그림 6. 지령속도에 대한 응답파형. ($\omega_{ref} = 2500\text{rpm}$)



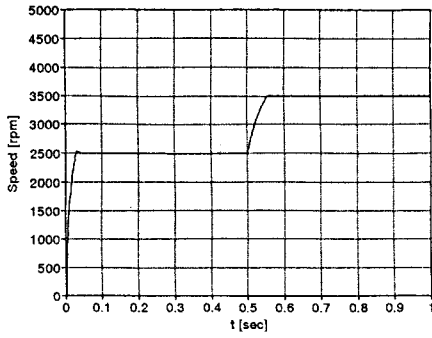
(a) fuzzy 제어를 사용한 경우.



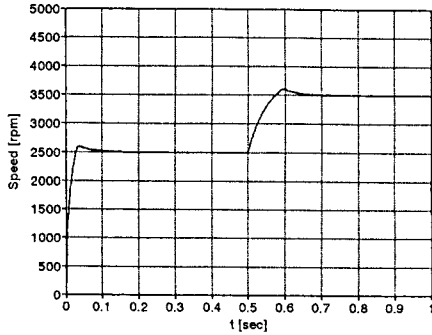
(b) PI 제어를 사용한 경우.

그림 7. 부하 변동에 대한 응답파형. ($\omega_{ref} = 2500\text{rpm}$)

하를 증가시켰을 경우의 응답파형이며, 그림 8에는 t=0.5인 시점에서 속도지령치를 3500rpm으로 증가시켰을 때의 파형을 보였다.



(a) fuzzy 제어를 사용한 경우.



(b) PI 제어를 사용한 경우.

그림 8. 지령속도 변화시 응답파형. ($\omega_{ref} : 2500\text{rpm} \rightarrow 3500\text{rpm}$)

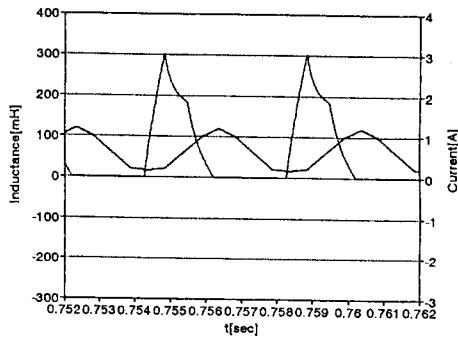


그림 9. 정상상태의 한 상의 인덕턴스 및 전류 파형.

그림 9에 정상상태에서의 한상의 인덕턴스파형 및 전류파형을 보였다.

5. 실험 결과

SRM의 인가전압은 DC 120V를 사용하였으며, SRM과 DC 발전기의 축을 연결하여, 전동부하를 사용하였다.

그림 10에 2500rpm의 속도지령치에 대한 fuzzy제어기를 사용한 SRM의 응답파형을 보였는데, 약 40ms의 빠른 시간내에 0에서 2500rpm으로 급가속되어 정상상태에 도달함을 알 수 있다. 그림 11은 정상상태 도달 후 어느 시점에서 부하를 증가시켰을 경우의 응답파형으로 부하변동에 대해 매우 강한 특성을 나타냄을 입증하였다. 그림 12에는 $t=0.5\text{인}$ 시점에서 속도지령치를 3500rpm으로 증가시켰을 때의 파형을 보였다.

실험결과에서 퍼지제어기를 사용한 SRM의 속도제어가 매우

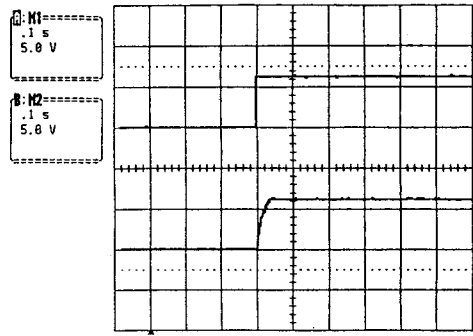


그림 10. 지령속도에 대한 응답파형. ($\omega_{ref} = 2500\text{rpm}$)

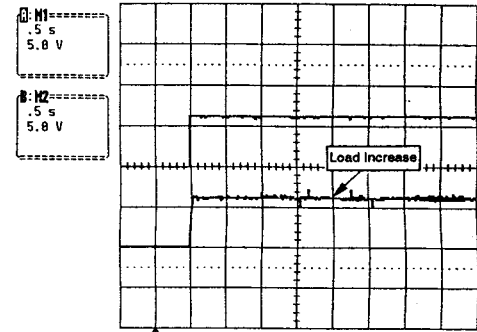


그림 11. 부하 변동에 대한 응답파형. ($\omega_{ref} = 2500\text{rpm}$)

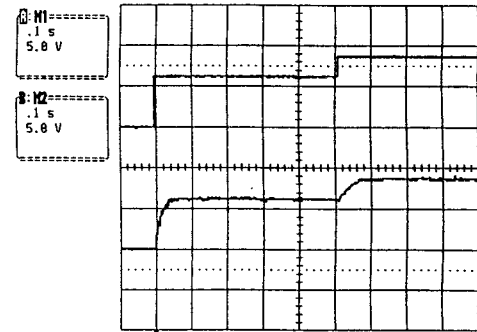


그림 12. 지령속도 변화시 응답파형. ($\omega_{ref} : 2500\text{rpm} \rightarrow 3500\text{rpm}$)

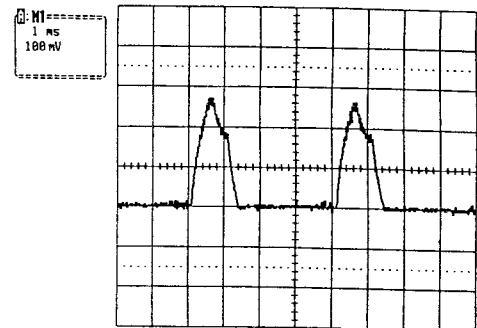


그림 13. 정상상태의 한 상의 인덕턴스 및 전류 파형. (1A/div)

효과적으로 이루어 짐을 확인할 수 있다. 그림 13에 정상상태에서의 한상의 인덕턴스파형 및 전류파형을 나타내었다.

6. 결 론

본 논문에서는 SRM의 속도제어를 위해 PI제어기 형태를 갖는 퍼지 제어를 사용하는 방법을 제안하였다. 시뮬레이션을 통하여 기존의 제어기에 비하여 우수한 특성을 나타냄을 확인하였고, 실험을 통하여 시뮬레이션 결과를 입증하였다. 제안된 방식은 응답시간 및 정정시간에서 기존의 PI제어기에 비하여 좋은 특성을 나타냄을 알 수 있으며, 부하변동에 대한 강인성면에서 우수한 성능을 나타냄을 확인하였다.

7. 참 고 문 헌

- [1] 임근희, "Switched reluctance motor의 개발 및 응용", 전기 공업 9월호, pp 29~43, 1993
- [2] A.E Fitzgerald 외 2인, "Electric Machinery", 5th Edition, McGrawHill, pp 446~487, 1992
- [3] T.J.E Miller "Switched Reluctance Motors and Their Control", Magna Physics Publishing and Clarendon press Oxford, 1993
- [4] Dr Krishnan Ramu, "Switched Reluctance Motor Drives" IEEE Proc. APEC' 91
- [5] P.J Lawrenson 외 4인, "Variable Speed Switched Reluctance Motors", IEEE Proc, vol 127, July 1980
- [6] Giuseppe S. Buja 외 2인, "Variable Structure Control of an SRM Drive." IEEE Transaction, vol 40, No1, Feb 1993
- [7] Bolognani S. Zigliotto M, "Fuzzy Logic Control of a Switched Reluctance Motor Drive" IEEE Transaction, pp 2049~2054, 1993
- [8] D.S Reay 외 2인, "Application of Associative Memory Neural Networks to the Control of a Switched Reluctance Motor", proc of IECON' 93, pp 200~pp206, 1993
- [9] Jong Sun Ko 외 2인, "Robust Position Control of BLDD Motor using Integral-Propotional plus Fuzzy Logic Controller" proc of IECON' 93 pp 213~218, 1993
- [10] C.Y Won 외 3인, "New Fuzzy Sliding mode Controller for position control of induction motor". proc of APEC Conference, pp 115~121, 1993
- [11] C.Y Won 외 2인, "Robust position control of Induction Motor using fuzzy logic Control", IEEE IAS Annu, Meet, Conf. pp 471~481, 1992
- [12] Mohammad Jamshidi 외 2인, "Fuzzy Logic And Control: Software and Hardware Application" vol 2, PrenticeHall, pp 112~148, 232~261, 1993

본 연구는 1994년도 한국전력공사의 지원에 의하여 수행된 일부입니다.