

으로부터 고정자 자속 쇄교수와 발생 추력을 추정, 기준 값과 비교하는 직접 추력 제어 알고리즘과 속도제어시에 사용되는 PI제어 알고리즘을 연산하는 DSP부, 연산을 통하여 선택되어진 전압벡터를 공급하기 위해 스위칭을 수행하고 기타 변수들의 감시를 수행하는 I/O부, 선택되어진 스위칭정보로부터 전동기에 전력을 공급하는 인버터부 등으로 구성되어있다. 그림 2는 전체적인 실험 장치 구성도이다.

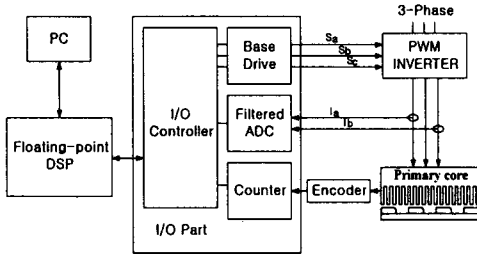


그림 2 실험 장치 구성도

2.4.1 Digital Signal Processor(DSP)

근래에 들어 빠른 연산속도를 갖고 있어 현대 제어 이론의 응용에 적합하며 경제성에 있어 많은 이점을 갖고 있는 DSP의 사용 사례가 늘고 있다. 본 실험에서는 제어 이론 및 직접 추력 제어 연산을 위해 T.I(Texas Instrument)사의 TMS320C31을 사용하였다.

2.4.2 전력 회로부

본 실험에서 전력 변환 장치는 IGBT를 스위칭 소자로 내장한 IPM(Intelligent Power Module)을 사용하여 전압형 PWM 인버터를 구성하여 직접 추력 제어를 구현하였다. 교류 전압을 정류하기 위한 정류기로는 600V, 30A의 정격을 갖는 Shindengen Electronic MFC사의 3상 브릿지 정류 다이오드 S30VT60을 사용하였다. 인버터의 Power Module로는 Mitsubishi사의PM30RSF060을 사용하였다. 이 IPM은 최대 15kHz의 스위칭 주파수와 과전류, 단락, 과열 전압 검출 및 보호, 여러 신호 발생 기능과 2.5us의 데드타임 보정치를 갖는다. 베이스 드라이버 신호는 DSP에서 인가하였는데 Toshiba사의 Photo Coupler TLP550으로 절연이 되도록 하였다.

2.4.3 I/O 부

각 제어에 필요한 상태 변수의 입력 및 제어 입력, 출력 등의 입출력 동작은 DSP에서 제어하여 얻어진다. DSP의 계산 과정이나 제어 결과들을 확인하기 위하여 DAC를 이용하여 출력하고, IPM의 베이스 구동 신호를 내부에 준다.

2.4.4 속도 검출부

속도제어를 하기 위해서는 선형 전동기의 실제 속도를 측정할 수 있는 방법을 찾아 기준 속도와 비교하여 주는 과정이 반드시 필요하다. 이때 선형 전동기의 실제 속도를 측정하기 위하여 본 실험에서는 회전형 encoder를 사용하였다. encoder의 출력은 A, B, Z상이 나타나는데, 이 pulse 수를 세어 속도 연산에 사용하게 된다. encoder의 shaft에 wheel을 장착해서 사용하였으므로, 측정 정도를 높이기 위하여 encoder의 출력을 직접 사용하지 않고, 4채배를 하여 사용하였다. 실험에 사용된 encoder는 1회전당 A, B상에서 각각 2000개의 pulse가 발생되는데 이를 4채배하여 1회전당 8000개의 pulse로 만들어 보다 정밀

도를 높였다.

2.4.5 전류 검출부 와 DAC

직접 추력 제어를 하기 위해서는 먼저 제한되는 전류로부터 고정자 자속 쇄교수를 추정하게 되고, 제한되는 전류와 추정된 자속 쇄교수로부터 추력을 추정하여 기준 추력과 비교를 하는 과정이 수행되므로 정확한 전류의 측정이 필요하다. 전류 검출기로는 ABB사의 Hall Current Transducer MP25를 사용하였다. 전압으로 변환된 전류값을 DSP내에서 연산할 수 있는 Digital 값으로 바꾸기 위해서 범용 DSP내부에 장착된 16-bit, 두 개의 채널을 갖는 Burr-Brown사의 DSP102를 사용하였다. 추정값들을 real time으로 오실로스코프에서 확인하기 위해 DSP내부에 장착된 DSP202를 사용하였다.

2.5 Detent force 고려

그림 3은 시뮬레이션 수행시 영구자석과 전동기의 위치에 따른 detent force를 고려하기 위하여 전동기를 극피치만큼 이동을 시키는 동안 유한 요소 해석에 의해서 얻어진 데이터값을 cubic spline을 통하여 보간한 파형이다.

3. 시뮬레이션 및 실험 결과

그림 4는 직접 추력 제어시 기준 추력과 추정 추력과 의 관계이다. (a)는 추력 보정계수를 연산 과정 내에서 고려하지 않았을 경우의 추정 추력 파형이고 (b)는 추력 보정계수를 고려하였을 때의 추정 추력 파형이다. 기준 추력은 70[N]의 단위 계단 입력이다. 추력 보정계수를 고려하지 않았을 경우보다 고려했을 때의 추정 추력파형 평균값이 기준 추력에 더 가까움을 알 수 있다. 그림 5는 추력 제어시의 전류응답 파형으로 (a)는 실험시의 전류 응답 파형이고 (b)는 시뮬레이션에 의한 전류응답 파형이다. 초기에는 전동기의 기계적 시정수가 크므로 전동기 동작에 따른 전류 주파수가 낮으나 정상동작상태로 감에 따라 전류의 주파수가 커짐을 볼 수 있고 기동전류가 크음을 확인할 수 있다. 그림 6은 속도제어시의 실험과 시뮬레이션의 속도응답이다. 기준 속도는 1[m/sec]로 하였다. (a)는 실험에 의하여 나타난 속도 응답 파형으로 약 0.4초 후에 기준속도에 수렴함을 확인할 수 있다. 전동기에 encoder를 장착시 encoder shaft에 wheel을 부착하여 wheel이 회전함으로써 전동기의 속도를 측정하였는데, 제작시 기계적 정확도가 낮아 속도리플이 존재함을 볼 수 있다. (b)는 시뮬레이션에 의한 속도 응답 파형이다.

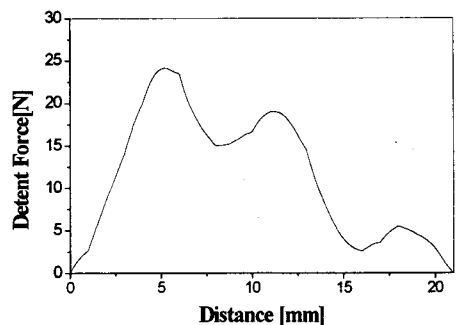
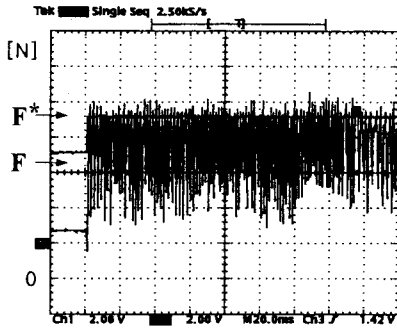
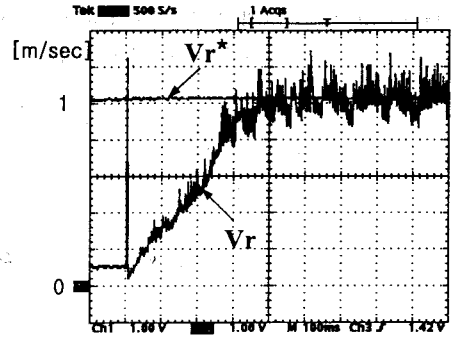


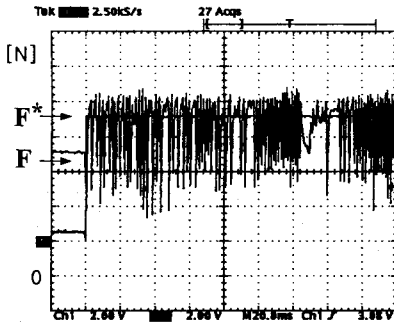
그림 3 Detent force



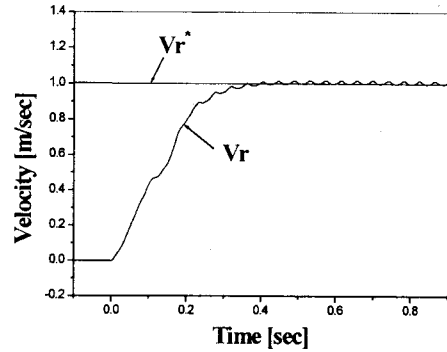
(a) 추력 보정 계수 비 고려시의 추력 응답



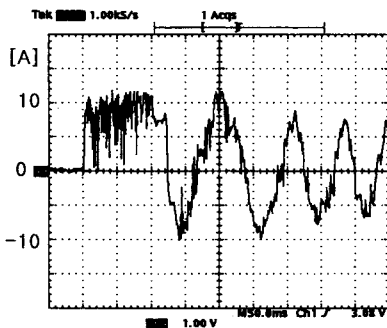
(a) 실험



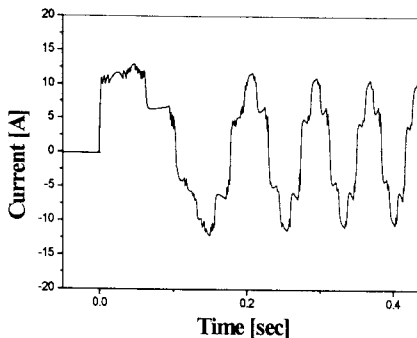
(b) 추력 보정 계수 고려시의 추력 응답
그림 4 추력 제어시의 추력 응답



(b) 시뮬레이션
그림 6 속도제어시의 속도 응답



(a) 실험



(b) 시뮬레이션
그림 5 추력 제어시 전류 응답 파형

4. 결 론

본 논문에서는, 영구자석형 선형 동기전동기의 직접 추력 제어 특성을 확인하였다. 등가회로를 이용한 시뮬레이션과 실험에 의한 결과와 비교하였으며 시뮬레이션에서는 영구자석의 존재에 의하여 발생하는 detent force를 고려하여 영구자석형 선형 동기전동기의 직접 추력 제어 특성을 확인하였고, 실험은 범용 DSP를 이용하여 직접 추력 제어 특성을 확인하였다. 직접 추력 제어에서는 정확한 실제 발생 추력값을 알아야 하는데 선형기의 경우 단부효과가 존재하므로 추력 보정계수를 도입하여 실제 발생 추력을 추정하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] L. Zhong, M. F. Rahman, W. Y. Hu, K. W. Lim, "Analysis of Direct Torque Control in Permanent Magnet Synchronous Motor Drives", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 12, No. 3, pp. 528-535, May 1997
- [2] M. R. Zolghadri, D. Diallo, D. Roze, "Direct Torque Control System for Synchronous Machine", EPE'97, Trondheim, pp. 3.694-3.699, 1997.
- [3] 우경일, 권병일, 류세현, 박승찬, "영구자석형 선형 동기전동기의 직접 추력제어", 대한전기학회 전기기기연구회 하계 학술대회 논문집, pp. 316-318, 1998.
- [4] 김덕진, 우경일, 권병일, 박승찬, "등가회로법을 이용한 PMLSM의 직접 추력 제어 특성 시뮬레이션", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, pp. 133-135, 1999.