

## 범용 인버터에 의한 선형유도 전동기의 펄스폭 제어 방식에 관한 연구

오성현,\* 김은수, 김용주, 김요희  
한국전기연구소

### A Study on Closed Loop Control of a Linear Induction Motor Using General Purpose Frequency Inverter

Sung Chul Oh, Eun-Soo Kim, Yong-Joo Kim, Yo-Hee Kim

K E R I

#### ABSTRACT

Constant slip frequency operation of linear induction motor is essential for the stable levitation. Control scheme for the constant slip frequency with general purpose frequency inverter is proposed. Speed sensing scheme with proximity switch for the speed feedback is also proposed. Optimal slip frequency, at which normal force is equal to 0, is selected by the experiment. This slip frequency is a comand to the controller.

It shows good characteristic during acceleration and deceleration.

#### 1. 서론

흡인식 자기부상 열차의 추진에는 차상 1차식 편속 선형 유도 전동기가 주로 쓰이고 있다. 선형 유도 전동기의 구동을 위해서는 VVVF 인버터가 주로 쓰이는데 주로 급전의 편이성을 위해서 인버터가 차상에 설치된 방식이 주로 쓰인다. 차상의 인버터는 추력 제어를 위하여 전류 제어와 또, 선형 유도 전동기의 고유 특성인 추력과 동시에 발생하는 수직력을 제어하기 위하여 슬립 주파수 제어가 필수적이다.

특히 추진시 발생하는 수직력은 부상 제어 시스템에 직접 영향을 주므로 이를 최소화 시키는 슬립 점에서 운전하여야 한다. 본 논문에서는 기존의 범용 인버터를 이용하여 추진 제어를 구성하여 슬립 주파수를 제어하는 방식에 대하여 고찰한다. 특히 기존의 인버터는 주어진 v/f 특성에 의해서 운전되므로 인버터의 주파수 명령 연산 및 속도 Sensing과 Feedback에 대하여 주로 다룬다.

#### 2. 선형 유도 전동기의 제어 방식

일반적인 선형 유도 전동기의 제어 방식에 다음 4가지를 열거할 수 있다.

- ① Open Loop에서의 v/f 일정 Pattern 운전
- ② v/f 일정 Pattern에서의 슬립 주파수 일정 제어
- ③ 전 전류에서의 슬립 주파수 일정 제어
- ④ Vector 제어 방식

v/f Pattern 일정 제어 방식은 기존의 유도 전동기 구동에 있어서 Flux를 일정하게 유지시키기 위한 제어 방식으로서 기존의 인버터에 의해 구현 가능한 제어 방식이다. 그러나 이 방식에 의한 선형 유도 전동기의 제어에 있어서는 가·감속시에 선형 유도 전동기의 수직력 성분에 영향을 미치므로 자기부상 열차의 추진용으로는 적합치 않다.

그러므로 범용 인버터로서 자기 부상 열차의 추진용으로 쓰기 위해서는 속도 Feedback에 의한 슬립 주파수 일정제어가 바람직하다. 시스템 구성은 그림 1과 같다. 인버터의 주파수 명령을 슬립 주파수 명령과 속도에 합에 의해 결정한다.

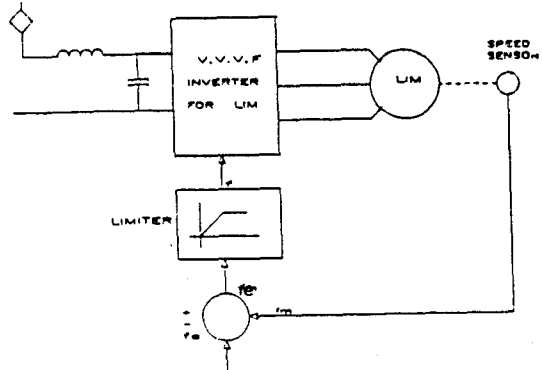


그림 1. 슬립 주파수 제어 Block도

한편, 전류 제어 및 Slip 주파수 일정 제어 방식은 현재 일본 HSST-05에서 쓰이고 있는 방식이며 이에 따라 추력 제어도 가능하다. 선형 유도 전동기의 벡터 제어 방식은 아직 사용되고 있지 않고 논문 발표 실적이 거의 없다.

### 3. 최적 슬립 주파수의 선정

최적 슬립 주파수는 주어진 운전 조건에서 여러가지 점을 고려하여 결정되어야 한다. 일반적으로 유도 전동기의 구동 방식에 있어서는 효율을 최대로 하는 점에서 운전되지만 자기 부상 열차의 추진을 위해서는 부상의 안정성을 위해서 수직력이 최소로 되는 점을 동작점으로 정한다.

한국 전기 연구소에서 개발된 KOMAG-01용 선형 유도 전동기에 대하여 구한 추력 수직력 특성은 그림 2과 같다. 실험에는 원판형 시험 장치가 쓰였으며 선형 유도 전동기 및 사용 인버터의 사양은 부록 표 1, 2과 같다. 그림 3은 인버터의 구조도이다.

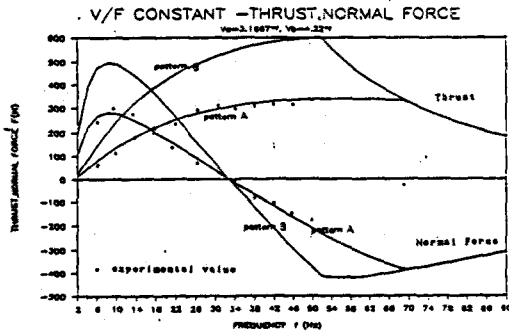


그림 2. v/f Pattern에 따른 추력, 수직력

그림 2는 v/f Pattern에 따른 추력 수직력 특성이다. Pattern A의 v/f = 3.166, Pattern B의 v/f = 2.997 이며 입력 전압이 200V까지는 일정 비율을 유지한다. 기동 추력은 주파수 증가에 따라 증가하다가 일정전압 200V이 걸리는 지점부터 감소하고 수직력은 낮은 주파수 범위에서는 흡인력으로 작용하다가 34Hz 부분에서 0이 됨을 알수 있다. Pattern A와 Pattern B에 따른 비교는 추력 측면에서는 Pattern B, 수직력 측면에서는 Pattern A가 유리하므로 부상 제어기의 강인성이 크다면 Pattern B가 추력 측면에서 양호하다. 이 특성 곡선으로부터 최적 슬립 주파수를 결정할 수 있는데 여기서는 수직력이 0이 되는 지점인 34Hz를 최적 슬립 주파수로 결정하였다.

v/f pattern에 의한 인버터 주파수 명령으로는 최적 슬립 주파수에 선형 유도 전동기의 속도를 더한 값이 된다.

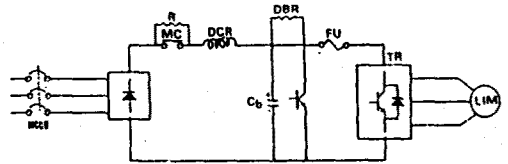


그림 3. 인버터의 Block도

### 4. 제어 시스템의 구성

제어시스템의 구성은 그림 4와 같다. 슬립 주파수 일정 제어를 위한 Controller는 16 bit Microprocessor 8797H로 구성되어 있다.

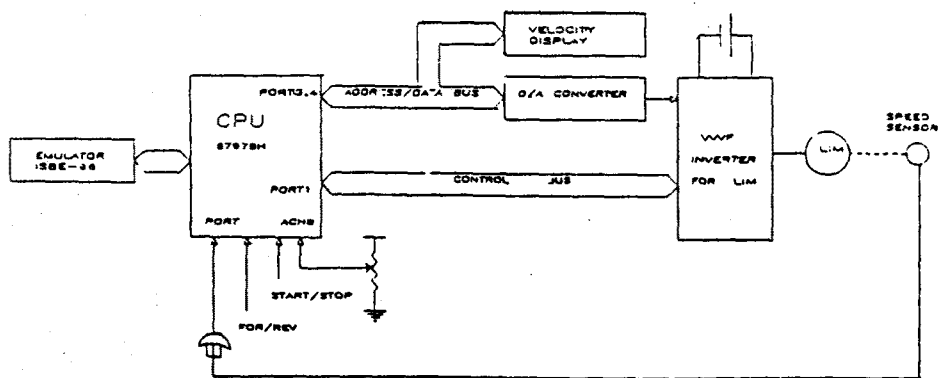


그림 4. 제어 시스템 Block도

모든 연산은 Microprocessor 처리된다. 연산된 속도 (Km/h) 는  $v = 2\tau f$  ( $\tau$ : Pole Pitch) 공식에 의해서 그림 1에서의 주파수  $f_m$ 으로 변환되며 미리 명령된 슬립 주파수 명령  $f_s$ 와 더해져서 인버터의 출력 주파수 명령  $f_e$ 로 주어진다. (그림 1 참조) 이는 ADDRESS/DATA BUS와 D/A Converter를 통하여 이루어지며 속도 Display도 동시에 이루어진다. 또, Control Bus를 통하여 인버터 운전에 관한 명령 즉 Start/Stop Forward/Reverse등의 명령도 Controller에서 주어질수 있다.

### 4.2 Software의 구성

Software의 구성은 3개의 Interrupt로 구성되어 있다.

Interrupt 0는 Overflow의 개수를 Check하며 일정 기간 동안 Reset Signal이 검지되지 않으면 Stop으로 판정한다. Interrupt 4는 속도를 연산하는 부분으로서 Marker 통과할때의 시간으로 속도를 연산하고 선형 유도 전동기의 Pole Pitch  $\tau$ 에 따라 주파수로 변환시키는 Routine 이다.

Interrupt 7은 인버터 출력 주파수 명령 Routine으로서 가속 시에는 양의 슬립 주파수, 감속시에는 음의 슬립 주파수 명령으로서 인버터 출력 주파수 명령을 연산하여 D/A Converter를 통하여 인버터에 출력한다. Main Program은 속도 Display와 각종 Interrupt를 관리한다.

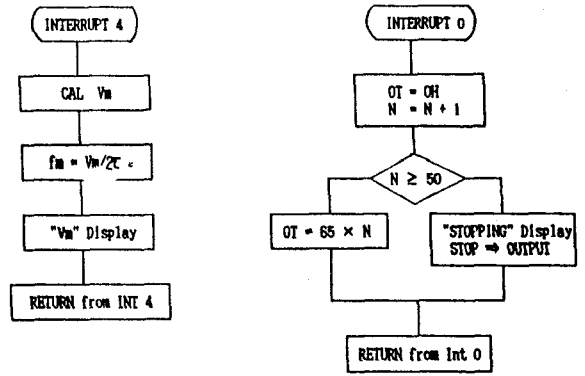


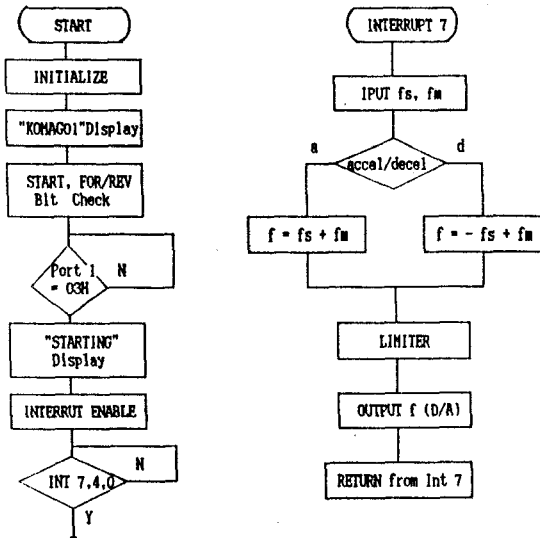
그림 5. 슬립 주파수 제어 Program Flow Chart

### 5. 결론

범용 인버터에 의한 슬립 주파수 일정 제어를 위한 Controller가 구성되었다. 제안된 Controller는 원판 회전형 시험장치를 이용하여 Open-Loop 특성과의 비교 검토를 행할 예정이다. 속도 Sensing에 있어서는 특히 저속에서 Resolution이 문제가 되는데 이에 대한 보완책이 계속 연구되어야겠다. 또, 자기 부상 열차의 추력 제어를 직접 할수 있는 전류 제어형 인버터의 개발에 대한 연구도 계속 되어야겠다.

### 참고문헌

1. Sakataro NONAKA, "Characteristic and Speed Control of Linear Induction Motor for Urban Transit", MAG-88-188, 1988.
2. Kinichi Nagata, "Linear Motor Drive System for the Normal Conductivity Maglev Vehicle HSST-05", IEE Japan, Vol, 110-D, 1990.
3. 한국전기연구소, "자기부상 열차의 기반 기술 개발을 위한 연구", 1991.
4. I. Myashita, Y. Ohmori, "New Modulation Method for VVVF Inverter for HSST-05", Maglev-89, 1989.



부록. 실험용 선형 유도 전동기 및 인버터의 계원

명 칭	치 수	명 칭	치 수
1차측 전압 (V)	3상 220(V)	1차측 폭	140 (mm)
주 파 수 (f)	0-120 (HZ)	슬롯수/극수 /상수 (q)	2
정격 속도 (Vn)	40 (km/h)	슬롯 피치(St)	16 (mm)
동기 속도 (Vs)	62.2 (km/h)	슬롯 폭 (Zt)	10 (mm)
1차측 길이 (L)	0.47 (m)	슬롯 깊이 (ds)	39 (mm)
극 수 (p)	4 극	코일 피치 (p)	5/6
기계적 공극 (g)	0-14 (mm)	2차측 Al 두께 (d <sub>2</sub> )	4 (mm)
Al 저항율 (α)	1.97 × 10 <sup>-8</sup> [Ω m <sup>2</sup> ]	2차측 Al 폭 (h')	200 (mm)
Back iron 비투자율 (μi)	500	Back iron 두께 (d <sub>2</sub> )	15 (mm)
		Back iron 폭 (h')	200 (mm)

표 1. 선형 유도 전동기 계원

항 목	성 능 및 특 성
1. 일반 특성 - 주 회로 - 구조 - 용량 - 정격 전류	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3상 전압형 인버터</li> <li>• Indoor, Self-Standing Type</li> <li>• 25KVA</li> <li>• 30A</li> </ul>
2. 전기적 특성 ○ Input - 정격 전압 - 정격 주파수 - 전압 변동 범위 - 주파수 변동 범위 ○ Output - 주파수 제어 범위 - 주파수 정확도 - 주파수 분해능 - 과하부 내력 - Soft Start/Stop Time - 운전 모드 - Control System ○ Protection Functions ○ V.f 독립 제어 기능	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3φ, 3W, 380V AC</li> <li>• ± 60Hz</li> <li>• ± 15%</li> <li>• ± 5%</li> <li>• 2 ~ 320Hz</li> <li>• ± 0.01% (Max. Freq)</li> <li>• 0.004Hz</li> <li>• 150% 1분</li> <li>• 0.5~120sec</li> <li>• Auto/Manual</li> <li>• PWM Control</li> <li>• Over Current, Voltage</li> <li>• Over Load Protection</li> <li>• Current Limitation</li> <li>• 각 Step 방식</li> </ul>

표 2. 인버터 사양