

V/F 일정 운전시의 편측식 선형유도전동기 특성의 실험적 고찰

조유현*, 신판석, 김용주
한국 전기연구소 전력기기 연구실

An experimental examination of SLIM characteristics under the condition of V/F constant

Yun-Hyun Cho*, Pan-Seok Shin, Yong-Joo Kim
Power apparatus Lab., KERI

ABSTRACT

In order to determine an operating pattern of SLIM in an experimental MAGLEV vehicle, operating characteristics of SLIM are obtained using a disk type test facility. The test results are compared with the pre-estimated values. It is found that a closed loop control is required for operating at a constant slip-frequency condition which makes the normal force minimum.

1. 서론

자기부상열차의 추진 장치로 사용되는 편측식 선형유도전동기의 출력 및 속도제어는 일반적으로 VVVF 방식의 인버터를 사용하여 입력전원을 조절하여 제어한다.

본 연구에서 VVVF 방식의 인버터 출력을 구동원으로 V/F 일정조건의 open loop 제어시에 SLIM의 기동특성과 운전특성을 제시함으로써 실험용 자기부상열차의 운전 pattern를 결정하고자 한다.

SLIM의 운전특성을 검토하기 위하여서는 직경 1.4m의 원판형 실험장치를 제작하여 인버터의 각 pattern 따른 추력, 수직력, 속도 및 전류를 검출하여 특성을 분석하고자 한다.

또, 선정된 SLIM의 운전 패턴을 1.5급 자기부상열차에 적용하여 유용성과 타당성을 고찰하고자 한다.

2. SLIM의 시험기와 실험장치

본 연구를 위하여 설계, 제작된 편측식 선형유도전동기의 시험기는 그림 1과 같다.

그림 1의 SLIM의 이론치와 실험치를 비교, 검토하고 운전특성을 실험하기 위한 실험장치로는 그림 2와 같이 구성하

였다. 그림에서 실험기의 1차축은 원판형 회전자 축면이 수직으로 고정하여 공극 길이의 조절이 가능하게 구성하였으며, 2차축은 회전자 원판에 10(mm)두께의 back iron과 3(mm)두께의 알루미늄 도체판을 폭200mm로 접합시킨 것으로서 직경 1400mm으로 되어 있다.

추력과 수직력을 측정하기 위해서는 1차축 고정자에 1개의 인장, 압축형 load cell(2000Kgf)과 입구단과 출구단의 수직력의 차이에 따른 돌진현상을 보기위하여 2개의 load cell(500Kgf)을 설치하였다.

1차축의 온도 특성을 검토하기 위하여서는 1차축 고정자 슬롯의 상측, 하측 및 중앙의 3곳에 열전대를 취부하여 검출, 가능하게 하였다.

공극길이 변화에 따른 특성을 검토하기 위해서는 공극길이 30(mm)까지 변경할수 있게끔 하였으며, 2차축의 토크와 SLIM의 속도는 2차축 reaction rotor축에 직접 연결된 토크 메타로부터 검출가능하게 하였다.

계측기특기는 MT8800의 다중채널의 recorder로 선형유도전동기의 추력, 입구단과 출구단의 수직력, 속도, 전압 및 전류를 2.5mm/s로 측정가능하게 그림3과 같이 결선하였다.

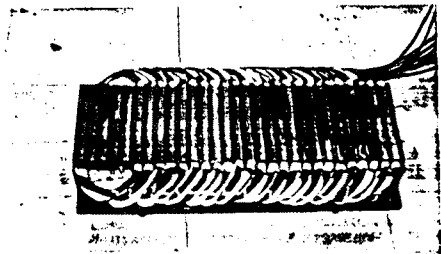


그림 1 편측식 선형유도전동기
Fig. 1 Single-sided Linear Induction Motor

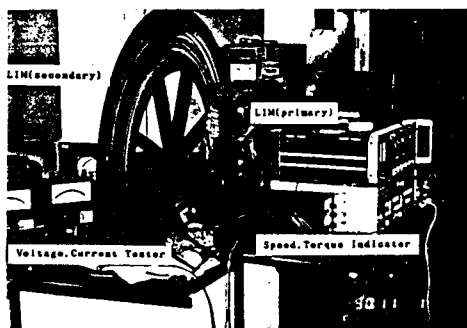


그림 2 disk wheel 형태의 SLIM 실험장치
Fig. 2 A test facility of SLIM with a disk wheel type

3상4극기의 SLIM의 구동용 전원으로는 용량 25KVA의 정현 파PWM 전압형 인버터로 전압(0-380V), 주파수(0-120Hz) 가 변의 VVVF방식을 사용하였으며, SLIM 실험장치의 결선도는 그림 3과 같다.

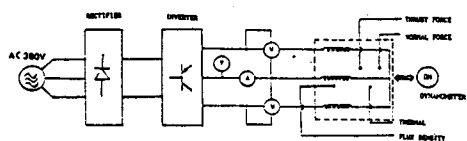
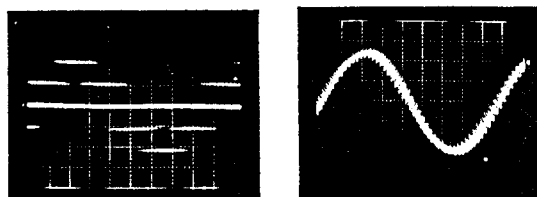


그림 3 실험장치의 결선도
Fig. 3 Connection diagram of tester device

인버터의 V/F 운전패턴의 설정 최대전압은 530V이며, 최대 주파수는 30(Hz)부터 120(Hz)까지 16단계로 구성되 있으며, 출력의 주파수의 상승시간(rise time)을 조절하게 하여 SLIM의 가속, 감속시간을 조절가능하게 하였다.

추진용 인버터의 출력은 고조파 전류가 포함되어 있으므로 SLIM의 실험치와 시뮬레이션값을 비교할 경우에는 이와 같이 VVVF방식의 인버터로 출력에 따라 특성이 고려되어야 한다.

그림 4는 주파수 22Hz, 전압 140(V)일때 1차속의 순시치의 상전압과 상전류의 파형으로 출력파형은 정현파를 나타내지 않는다. 그림 5는 상전압과 상전류의 실효치로서 VVVF 방식의 인버터의 출력이 주파수변화에 따라 전압이 직선을 증가하지 않는 것은 인버터의 출력이 PWM구형파의 펄스열로 왜형율이 변화하기 때문이다.



a) voltage waveform b) current waveform
그림 4 인버터의 순시치 전압과 전류 파형 (f=22Hz)
Fig.4 Voltage and current waveform of inverter(f=22Hz)

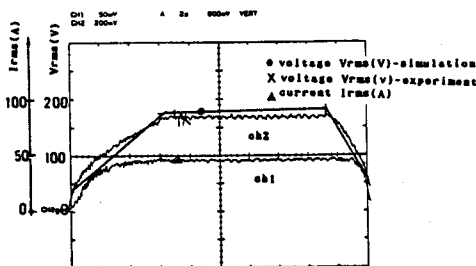


그림 5 인버터의 출력 전압과 전류 특성
Fig. 5 Output voltage and current characteristics of inverter

3. 실험결과치와 이론치의 비교분석

본절에서는 그림 2의 원관형 실험장치를 이용하여 속도, 추력등의 게부제어로 인버터의 전압/주파수의 관계를 일정하게 유지하면서 가속, 감속 및 역행할때의 추력,수직력 등을 기동시와 운전시에 실측, 검토하였다.

그림 6는 주파수를 변화했을 때 기동시의 pattern에 따른 전류곡선으로 주파수가 증가하면 입력전압이 200(V)까지 거의 일정값으로 증가하다가 200(V)이상에서는 감소함을 볼수 있는데, 이는 주파수의 증가로 2차속의 임피던스가 증가하기 때문이다.

그림 7은 공극길이 g=10(mm)일때 그림 6의 운전pattern A (V=3.166xf)와 pattern B(V=2.997xf)로 입력전압이 200(V)까지 일정비율을 유지한 상태에서 기동시의 추력,수직력의 특성을 계산치와 실험치를 나타낸다.

그림에서 주파수를 증가함에 따라 기동추력은 계속 증가하다가 일정전압 (200(V))이 가해지는 지점부터는 오히려 감소함을 볼수 있다. 또 수직력은 저주파수에서는 흡인력으로 작용하다가 34(Hz)에서 부터는 반발력을 발생하며 일정전압 영역에서는 더이상 추력과 반발력이 증가하지 않고 오히려 주파수의 증가에 따라 감소하는데, 이는 그림 6에서 입력전류가 2차속 리액턴스의 증가로 감소하기 때문이다.

따라서 저주파수에서의 기동시는 수직력이 거의 흡인력으로 작용하기 때문에 VVF방식의 인버터를 동력원으로 사용할 경우 운전 pattern의 전압과 주파수의 비율 잘 조절하여 초기 운전상태에서 부터 수직력성분이 반발력이되도록 V/F의 비가 낮은 운전점을 선택하여야만 양호한 운전특성을 얻을 수 있음을 알수 있다.

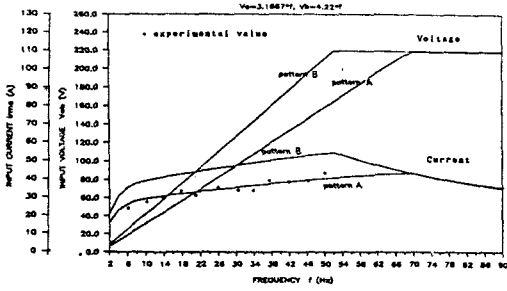


그림 6 V/F 패턴에 따른 전류특성 (기동시)
Fig. 6 Current curve due to V/F pattern (S=1)

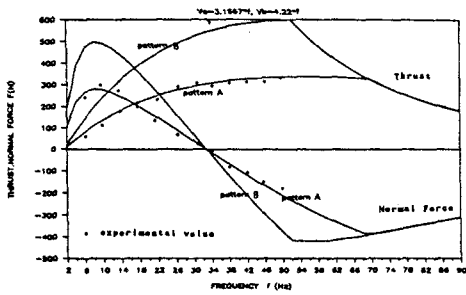


그림 7 V/F 패턴에 따른 추력, 수직력(기동시)
Fig. 7 Thrust, normal force due to V/F pattern (S=1)

그림 8, 그림 9는 전압과 주파수의 비율 일정하게 유지하면서 주파수를 0(Hz)에서 30(Hz)까지 증가했을 때 시동, 가속, 역행, 제동운전시의 실험치를 나타낸다.

그림 8은 인버터의 가속시간을 t=3.2초로 주어졌을 경우의 전압 pattern A(V/F=380/120)과 pattern B(V/F=380/100)일 때의 추력, 입구단과 출구단의 수직력, 속도, 상전압 및 상전류의 실험치를 나타낸다.

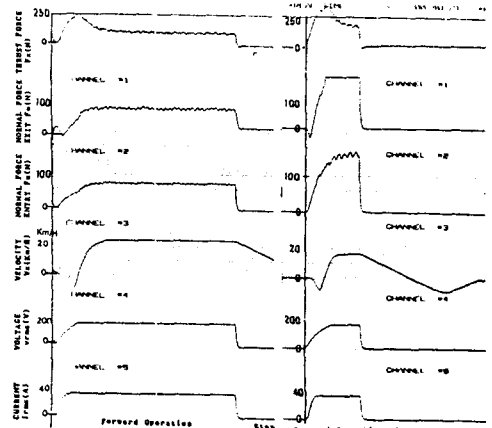
운전시의 각 전압의 최대치는 200(V)로 pattern B의 경우의 V/F기술기가 pattern A경우 보다 크므로 기동시의 추력이 급격히 상승하여 수직력(흡인력)이 pattern A는 260(N)인데, pattern B는 500(N)로 상당히 증가함을 알 수 있다.

속도는 오히려 pattern A로 운전할때보다 보다 최대속도

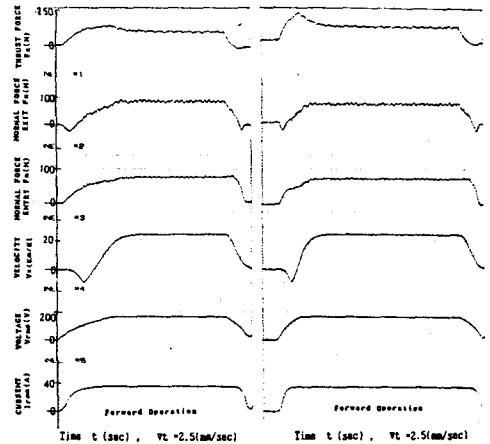
가 낮은데, 이는 동일전압에 대한 주파수가 pattern A는 63(Hz)이나 pattern B는 52(Hz)로 동기속도가 낮기 때문이다. 전류는 기술기가 크수록 빨리 최대치에 도달하나 크기는 약 2(A)정도로 큰 차이는 볼수 없었다. 따라서 급가속을 요구되지 않는 한 전압/주파수의 비율 낮게 설정하여 운전함으로써 흡인력을 줄일수 있다.

그림 9는 가속시간의 변화에 따른 가속, 역행시의 실험치로 그림 9(a)의 가속시간은 16초이며, 그림 9(b)는 3.2초로 가속시간이 짧을수록 추력이 초기에 크게 over shoot가 일어나며, 수직력, 속도 및 전류는 빨리 최고치에 도달함을 알 수 있다.

따라서 SLIM을 자기부상열차나 반송시스템의 추진장치로 적용할 경우 승차감이나 이송물에 따라 가속시간을 잘 조정하여야만 흡인력등 왜란의 영향을 줄일수 있다.



a) pattern A (V/F=3.16) b) pattern B (V/F=3.8)
그림 8 운전패턴에 따른 가속운전 특성
Fig. 8 Acceleration and deceleration characteristics



a) time = 16(sec) b) time = (3.2sec)
그림 9 가속시간 변화에 따른 운전특성의 실험치
Fig. 9 Operating characteristics due to rising time

4. 자기부상열차의 추진용 SLIM 적용에

4절에서는 3절에서 얻은 V/F일정 운전패턴을 실험실 규모의 자기부상열차에 적용하여 운행특성을 고찰하고자 한다.

그림 10은 1.5톤급 실험실 규모의 자기부상열차의 측면도로서 편속식 선형유도전동기의 1차축은 차상에 설치하고, 2차축 알루미늄 도체판과 back iron은 레일의 중앙에 설치하는 차상 1차방식을 택하였다. 부상방식으로는 상전도 전자석을 사용하고 차량의 진행방향으로 자극이 구성되는 중축형방식을 택했다.

그림 11은 1.5ton급 실험실 규모의 자기부상열차에 적용한 실예로 길이 20(m)의 track 중앙에 2차축 reaction 레일을 설치하고, 차상에 2대의 SLIM을 질철로 1차축 차량에 설치하여 VVVF방식의 인버터 (용량 100KVA)로 개루프제어로 가속, 역행, 정지 운행실험 가능하게 제작하였다.

부상방식은 차량의 진행방향으로 자극이 구성되는 중축형 부상방식으로 양쪽레일에 4개씩 8개의 전자석을 사용하였으며, 운전중에 차량의 안내를 위해서는 전자석 위치를 6(mm)씩 stagger배열하였다. 이에 대한 제원은 표1과 같다.

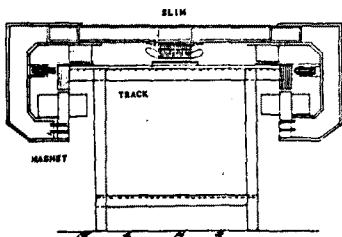


그림 10 자기부상열차의 측면도
Fig. 10 End view of MAGLEV Vehicle

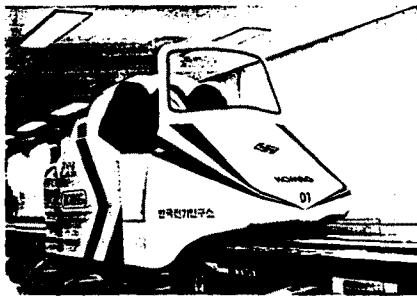


그림 11 실험용 자기부상열차
Fig. 11 Experimental MAGLEV Vehicle

5. 결론

본 연구에서는 VVVF방식의 Inverter를 구동원으로 V/F일정 조건으로 open loop 제어시의 기동시의 운전시의 특성을 원관형 실험장치를 사용하여 이론치와 실험치를 비교, 분석하였다. 그 결과 V/F일정 운전패턴에 따른 추력 및 수직력 특성은 주파수가 낮은 운전패턴에서 수직력(흡인력)이 상당히 발생하여 차량의 무게를 증가케 하며, 부상 시스템의 의란으로 작용함을 알수 있었다.

따라서 자기부상열차의 운전시에는 최적의 V/F운전 패턴이 결정되어야 하며, 수직력(흡인력)이 최소로 되는 슬립 주파수 일정운전을 위한 페루프 제어가 필요함을 알수 있었다.

참고문헌

- [1] 野中, 藤井, 渡井, 小島, "新都市交通用リニア誘導モータの特性に関する實驗的研究, Trans. IEE of Japan, Vol.109 -D, No.5, pp.477-484, May, 1988
- [2] 野中, 藤井, 小島, "新都市交通用リニア誘導モータ의 V/F 일정운전시의 동특성, Trans. IEE of Japan, Vol.109-D, No.7, pp.493-499, May, 1989
- [3] 順田忠治, "磁氣浮上式鐵道の時代가来る?", 電氣車硏會

표. 1 자기부상열차 실험장치 제원
Table.1 The Specification of Experimental MAGLEV

항 목	사 양
차량 부상 방식	상전도 흡인식 부상방식
차량 추진 장치	편속식 선형 유도전동기
차량의 크기 (가로×세로)	1400 × 2400 (mm)
전원 공급 장치	수직용 Inverter . 최대전압: 550(V) . 주파수 변환범위: 0 - 120(Hz) 부상용 Chopper . DC 전압: 60 - 120 (V) . Chopping 주파수: 4 (KHz)
차량 무게	1.5 TON
차량 성능	최대운행속도: 70(Km/h) 가속도: 1(m/s ²)
레일의 폭 및 높이	1100 × 700 (mm)
전자석의 크기	330 × 200 × 50 (mm)
전자석 정격전류	40 (A)
부상력	250(N) × 8 = 2000(N)
표준 부상 공기 길이	10(mm)
SLIM의 정격 추력	250(N) × 4 = 1000 (N)
SLIM의 정격전류	35 (A)