

右関
隆章
正田英介
권 병일*

(東京大学)
(東京大学)
(東京大学)
(東京大学)

1. 서 론

중래의 철도 - 맵에 의한 점착형 추진은 낮은 한계속도, 보수성의 과대, 진동 - 잡음에 의한 환경에의 악영향등의 일반적인 문제점을 갖고 있으며, 또한 경사진 레일 상을 주행할 경우에는 궤도의 경사, 곡선 주행시의 궤도의 곡률, 브레이크의 성능등에도 많은 제약이 따른다. 이와같은 재래형 철도의 한계를 극복하기 위한 노력으로서 주목되는 것이 선형전동기(LM)에 의한 추진방식이다. 지대,안대를 철차륜으로 운전하고, 추진장치로서는 LM을 이용하는 것만으로도 꽤 효과가 있다. 더구나, 레일과의 비접촉으로 궤도상을 주행하는 자기부상 철도로서 선형유도전동기(LIM)을 사용하게 되면 저공해, 저보수, 고속도등의 장점을 갖게 된다. 본 연구에서는 이러한 LIM 중 특히, SLIM의 3차원력에 대해서 고찰하고자 한다.

2. 자기 부상 철도

자기 부상 철도의 추진 장치의 LM

으로서는 LSM (Linear Synchronous Motor) 과 LIM 의 연구 개발이 행해져 왔으나, 그 중에서도 LSM 은 지상 1차방식, LIM 은 차상 1차방식에 유리한 것으로 판단되어 왔다. 장래의 장거리 초고속 철도용 추진장치로서는 LSM 방식이 유망하지만, 이 방식은 지상 설비가 비싸기 때문에 승객확보 등의 전망이 선형 조건으로 고려되어야 한다. 이러한 지상 설비의 간략화와 그로 인한 비용저하는 차상 1차식의 LIM 을 사용함으로써 가능하다. 특히, 경제성을 중시할 경우 중량, 중속도용 철도로서는 삼전도흡인식의 부상방법을 입체화한 LIM 을 사용하는 것이 유리하다. LIM 은 편축식 선형유도전동기(SLIM)와 양축식 선형유도전동기(DLIM)로 분류되며, DLIM은 2차레일에 대하여 1차축의 구조가 대칭이어서 수직력등이 평행인 단점이 있지만, 공극길이와 여유도가 적어서, 기계적인 제약이 많이 따르는 단점이 있다. 따라서 차양구조를 간단히 해서 경제성을 개선하기 위해서는 SLIM이 적합하다고 하겠다

이와같은 SLIM동은 추진력을 발생하는 것이 주된 목적이지만, 실제로는 추진력 이외에도 그림 1과 같은 3차원력동을 발생한다. 본 연구에서는 SLIM 이 발생하는 3차원력을 연구해 왔으며, 횡방향에 대해서는 무한대라는 가정으로서의 1차원 모델을 이용했다. 하지만, 추진력, 수직력등의 특성을 검토하는 연구에서는 이 해석방법이 유효하였으나 좌우 변위에 대한 특성해석에는 무효하다. 그래서 본 연구에서는 우선, SLIM 의 정지시 힘장치로서 좌우 변위를 Parameter 로 하는 SLIM 의 3차원력 특히, 좌우 변위에 의한 면외력의 주파수 특성을 구했다. 좌우 변위는 곡선주행시에는 언제나 발생하는 현상이므로 차량의 안내제어에 대한 영향이 큰 면외력의 특성을 파악하는 것은 중요하다.

3. 실험장치의 개요 및 실험방법

실험에 사용한 정지형 SLIM의 시험장치 및 2차레일은 그림 2, 사용제원은 표 1이다. 공극길이 $g=10\text{ mm}$ (입정)로 하였으며, 레일은 Al-Fe 복합도체로서 1차철심 폭과 같은 12 cm (레일 A) 와 2차측 철심보다 넓은 30 cm (레일 B), 두종류에 대해서 실험했다. 좌우 방향변위 d 는 레일 A 의 경우에는 0~4 cm, 레일 B 의 경우에는 0~15 cm 범위에서 측정했다. 실험은 장치의 영편상 구속시험 ($s=1$) 밖에 할 수 없으므로, 슬립주파수 (sf : s 는 slip, f 는 1차측 주파수) 입정의 속도제어의 경우를 상정하여, 속도의 변화에 대응하는 것은 1차

전류의 주파수의 변화뿐인 것으로 고려했다. 구동전원으로는 가변주파수 전원인 전동발전기를 사용했으며, 전체적인 측정회로는 그림 3이다.

4. 실험결과 및 고찰

그림 4는 레일 A 의 경우의 면외력의 주파수 특성이며, 면외력의 방향은 변위와 같은 방향을 정으로 나타냈다. 면외력은 저슬립주파수의 영역에서는 안정력, 고주파수의 영역에서는 불안정성을 나타내며, 이것은 각각 수직력의 흡인력영역, 반발력영역에 대응한다. 그러나, 좌우 변위에 대한 특성은 수직력과는 달라서, 4 cm 변위까지의 범위에서는 변위가 커짐에 따라서 면외력도 연속적으로 커진다. 또한, 전체적으로 레일 B 의 경우 발생 3차원력이 레일 A 의 경우의 발생 3차원력보다 크다. 그림 5는 레일 A 의 경우의 추진력, 수직력, 면외력을 나타내며 총합적으로 고찰할 수 있도록 했다. 그림 6은, 그림 4의 시점을 바꿔서 주파수를 Parameter 로 한 면외력의 변화특성을 나타낸다. 그림 7은 레일 B 의 경우에 대해서 주파수를 Parameter 로 한 면외력의 변화특성을 나타냈다. 이상과 같은 결과에 의해서 SLIM 의 면외력의 안정, 불안정성은 속도 제어에 의존하는 것을 알 수 있었으며, 그 정성적인 경향을 표 2에 나타냈다. 종합적인 SLIM 의 특성을 이해하기 쉽도록 3차원력을 병기했다.

5. 결론 및今后的 연구 방향

SLIM 의 정지형시험장치를 사용하여 정전류 구동시의 구속시험을 행했으며, 그 결과 3차원력의 방향 및 크기가 속도제어에 의존하는 사실과 그 경향을 알 수 있었다. 본 연구에서의 실험장치는 구속시의 3차원력의 특성 파악만이 가능하였으나, 실제로는 주행시의 SLIM 의 3차원력의 특성 해석이 요구된다. 그러기 위해서는 막대한 비용이 필요한 실험보다는 시뮬레이션에 의한 해석이 바람직할 것이다. 본 연구에서는今后, 3차원력 해석에 Fourier 급수법, 유한요소법을 병행해서 적용하고자 한다.

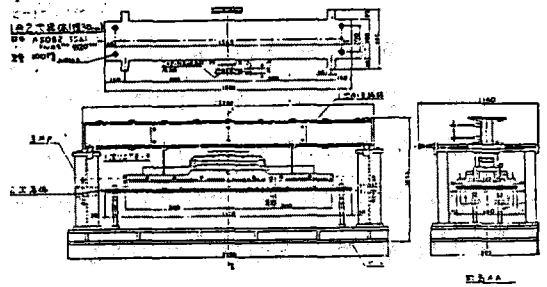


그림 2. 의 정지시험장치의 도면

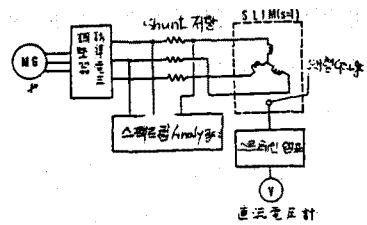


그림 3. 測定回路

참 고 문 헌

- (1) 正田, 日本電気学会全国大会, No. 11-4, 1980
- (2) 正田, 日本電気学会雑誌, 小特集, 10巻 10号, 1984
- (3) 藤崎, 正田, 日本電気学会全国大会, No. 847, 1986
- (4) K.Fujisaki, E.Masada IEEE Transaction, MAG, Vol. MAG-20, No. 5, 1984

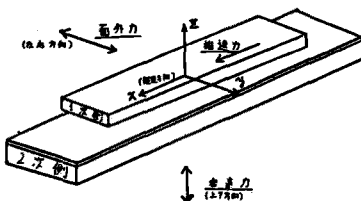


그림 1. SLIM에 있어서 3차원력과 본 연구에서 사용한 좌표축의 정의

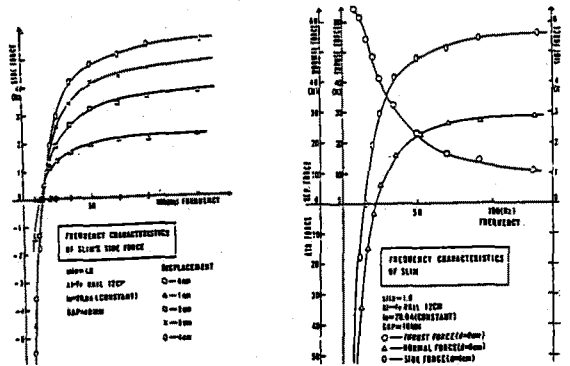


그림 4. 사의력의 주파수 특성 그림 5. 3차원력

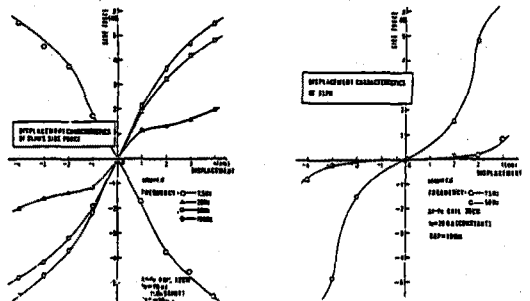


그림 6. 사의력의 변위특성(리플A) 그림 7. 사의력의 변위특성(리플B)

	記号	值	單位
《定格》			
정격전압		200	V
정격전류		288	A
정격용량		80	KVA
정격주파수		175	Hz
동기속도		196.6	km/h
《1차속》			
모터길이	L	1400	mm
상 수	m	3	
극 수	p	8	
철심의 두께			
매우매양함의 슬롯수	8		
슬롯 수		53	(48)
극 간 격	τ_p	156	mm
슬롯 간 격 (pitch)	τ_s	26	mm
슬롯 폭		13.5	mm
슬롯 깊이		40	mm
코일 권수	N_c	12	turn
결선 방식		$\Delta-Y$ 결선	
코일을 포함한 폭		300	mm
1차속 철심부의 폭폭	W_y	120	mm
1차저항 (1상당, 축직저)	R_1	0.26	Ω
1차속 수반 리액턴스	L_1		
계산치		14.8	mH
실험치		6.8	mH
《2차속》			
철심 두께	d_1	20	mm
알루미늄 두께	d	4.5	mm
공극의 길이	g_c	5~25	mm

표 1. 정지형 SLIM의 사용제한

逐段領域	吸引力領域	反発力領域
슬림周波數	小	大
推進力特性	効率양호	効率불량
垂直力	吸引力	反発力
上下動	不安定	安定
左右動	安定	不安定

표 2. SLIM의 속도영역과 안정성