

# 하이퍼루프용 양측식 선형 유도전동기의 설계 변수에 따른 분석

## Analysis of Design Parameters on Double-Sided Linear Induction Motor for Hyper Loop

서교영\*, 박찬배\*, 조익현\*, 오형석\*, 김성휘\*, 이형우\*†

Kyo-Young Seo\*, Chan-Bae Park\*, Ik-Hyun Jo\*, Hyeong-Seok Oh\*, Seong-Hwi Kim\*, Hyung-Woo Lee\*†

**초 록** 최근 시속 1000km/h 급의 하이퍼루프에 대한 관심이 높아지고 있으며, 기존의 하이퍼루프용 자기부상시스템의 경우, 추진/부상/산애시스템 구조를 2가지 이상의 인터페이스를 사용하고 있는 현실이다. 본 연구는 추진/부상/안내를 2가지 이상의 인터페이스가 아닌 하나의 인터페이스에서 구현하는 일체형 All-In-One System의 후속연구로 All-In-One System에서 사용하는 NSDLIM(비대칭 양측식 선형유도전동기)의 설계 변수에 따른 영향 분석을 통한 성능 향상 방안을 제시하고자 한다.

**주요어** : 양측식, 선형유도전동기, 2차측, 매극매상 슬롯 수, 단절율

### 1. 서론

최근 시속 1000km/h로 주행하는 하이퍼루프에 대한 관심이 높아지고 있으며, 이에 따라 여러 연구들이 수행되었다. 기존의 자기부상 시스템의 추진/부상/안내 구조는 2가지 이상의 인터페이스를 사용하고 있지만[1], 최근 국내에서 기존의 방식과는 다른 NSDLIM(비대칭 양측식 선형유도전동기)을 이용한 하이퍼루프용 추진/부상/안내 일체형 All-In-One System에 대한 연구가 수행되었다.[2] 본 논문은 NSDLIM의 1,2차측 설계 변수에 따른 영향 분석에 따른 성능 향상 방안을 제시하고자 한다.

### 2. 본론

#### 2.1 NSDLIM 기초 설계

선행 연구를 통해 NSDLIM에 대한 기초 설계 사양을 기준으로 본 연구의 기초 모델 설계 및 성능 향상을 위한 파라미터들을 Fig 1, Table 1에 표기하였다[2]. 자기부상열차의 3자유도 힘(추진, 부상, 안내력)을 모두 측정하기 위해서는 3D FEM 해석이 필수적이거나 시간적 비용의 감소를 위해 추진력만을 확인할 수 있

는 2D FEM 해석을 수행하여 목표 추진력 대비 성능 향상 정도를 분석하였다.



Fig. 1 NSDLIM Reference Analysis Model

Table 1 NSDLIM 1 Module 기준 모델 설계

사양	값	사양	값
출력	15.3 [MW]	정격 주파수	386 [Hz]
정격속도	1000 [km/h]	극간격	900 [mm]
극수	2	단절율	5/6
추력	55 [kN]	기계적 공극	20 [mm]
부상력	110 [kN]	적층폭	288 [mm]
전압	6920 [V]	매극매상 슬롯 수	2
전류	7000 [A]	1차측 코어 재질	35PN230 (S08)
기동 정격 슬립	0.2	2차측 재질	Steel_Stainless

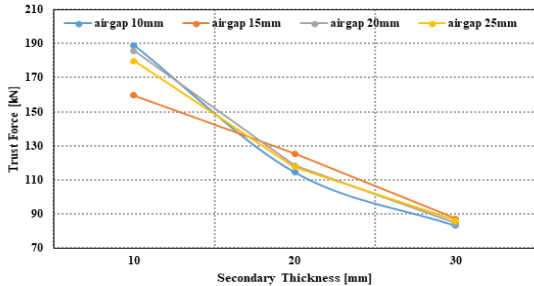
#### 2.2 설계 변수에 따른 추진력 특성 분석

Table 2는 성능 향상을 위한 파라미터 및 범위이며, 시간적 비용을 줄이기 위해 매극매상 슬롯 수 2 해석 결과를 분석한 후 파라미터의 범위를 한정하여 해석을 수행하였다.

† 교신저자: 한국교통대학교 철도대학 철도·차량시스템공학과(krhwlee@ut.ac.kr)  
\* 한국교통대학교 일반대학원 철도차량운전시스템공학과

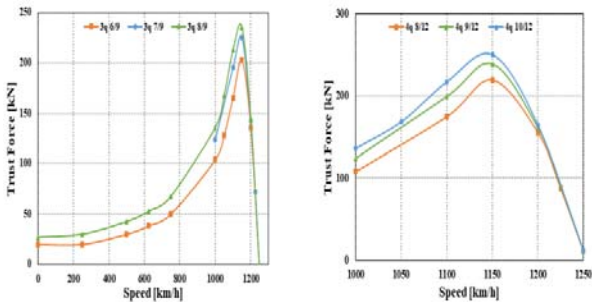
**Table 2 해석 파라미터 및 범위**

사양	값	사양	값
기계적 공극	10,15,20,25 [mm]		5/6 (q=2)
매극매상 슬롯 수(q)	2,3,4	단절을	9/6,7/9,8/9 (q=3)
2차측 두께	10,20,30 [mm]		9/12,10/12,11/12 (q=4)



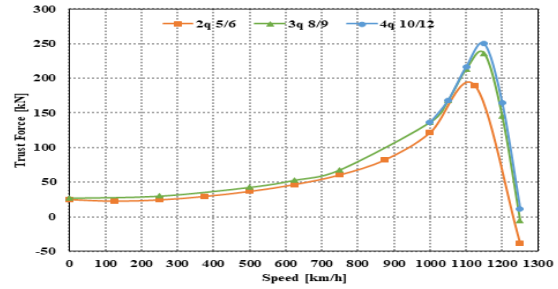
**Fig. 2 Number of slots per pole(q=2) Analysis result**

Fig. 2는 매극매상 슬롯 수 2에서 공극과 2차측 두께에 대한 해석 결과 그래프이다. 해석 결과를 분석해보면 2차측 두께 10mm, 공극 10mm에서 가장 좋은 성능을 보이며 해석의 시간적 비용 단축을 위해 추후 파라미터 해석은 공극 10mm, 2차측 두께 10mm로 고정하여 파라미터(매극매상 슬롯 수, 단절을) 해석을 수행하였다.



**Fig. 3 Number of slots per pole(q=3,4) Analysis result**

Fig. 3은 매극매상 슬롯 수(q=3,4)와 단절율에 대한 해석 결과 그래프이다. 극간격(900mm)이 고정되어 있는 상태에서 매극매상 슬롯 수를 늘렸기 때문에 인가 전류는 q=3일 경우 7kA의 2/3인 4.6kA, q=4일 경우 1/2인 3.5kA를 인가하여 해석하였으며, 정격 주파수는 동일하다. 해석 결과를 분석해보면 q=3에서 8/9, q=4에서 10/12 단절율에서 가장 좋은 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.



**Fig. 5 Final performance comparison result**

Fig. 5는 앞선 해석 결과들 중 가장 좋은 성능 모델들의 최종 비교 결과이다. 결과 분석을 통해 최종 성능 향상 모델은 매극매상 슬롯 수 4일 경우의 단절을 10/12인 모델이며, 이때의 2차측 두께는 10mm, 기계적 공극은 10mm로 선정하였다.

### 3. 결론

본 연구를 통해 NSDLIM의 성능 향상을 위한 파라미터 분석을 수행하였다. 파라미터 분석 결과 최종 모델은 매극매상 슬롯 수 4, 단절을 10/12, 2차측 두께 10mm, 기계적 공극 10mm인 모델이며, 목표 추력(55kN)대비 약 4배 이상의 추진력을 확보하였다. 향후 최종 모델에 대한 축소 회전형 시험기 제작 및 성능 시험을 수행할 예정이다.

### 4. 후기

이 논문은 2018년도 정부(국토교통부) 지원으로 진행중인 국토교통기술촉진연구사업(18CTAP-C142921-01-2차년도) 및 한국교통대학교의 지원을 받아 수행된 연구임.

### 참고문헌

[1] H. W. Lee, K. C. Kim, and J. Lee, "Review of maglev train technologies," IEEE Trans. Magn, Vol. 42, No. 7, pp. 1917-1925, 2006.

[2] Woo-Young Ji (2018) A Study of Non-Symmetric Double-Sided Linear Induction Motor for Hyperloop All-In-One System(Propulsion, Levitation, and Guidance), IEEE Transactions on Magnetics, Vol 54, Issue 11.