

인터모달 화물수송시스템의 효율적인 견인전동기 설계에 관한 연구.

The Study for Effective Traction Motor Design of Intermodal Freight Transport System

박광복*†, 장병희*, 김원경*, 조한욱**, 이을재***

Kwang-Bok Park*†, B. H. Jang*, W. K. Kim*, H. W. Joe**, U. J. Lee***

초 록 인터모달 화물수송시스템은 정거장에서 신속하게 컨테이너 트레일러를 차량에 적재하여, 전용노선에서 안전하게 운행하도록 효율적이고, 경제적으로 구축하는 물류수송시스템이다. 인터모달 차량은 컨테이너 트레일러를 용이하게 적재할 수 있도록 설계하였으며, 열차가 본선에서 일렬로 주행하여 정거장으로 진입 시에는 전·후부의 대차가 서로 다른 레일로 주행하도록 본선과 정거장 사이에 천이구간을 설치하여, 정거장에서 차량을 약 70도 경사시켜 정차하도록 하였다. 본 논문은 인터모달 차량시스템의 요구추진성능을 달성하기 위하여, 제3레일에서 공급받은 DC750V 전력으로 최대출력을 얻기 위한 효율적인 AC 견인전동기 설계 및 제어방안을 연구하였다.

주요어 : 인터모달, 견인전동기, 추진력, 펄스제어, 정형파제어, VVVF 인버터

1. 서 론

본 연구는 인터모달 화물수송시스템에서 DC750V의 공급전력으로 운영되는 차량의 요구 추진성능을 달성하기 위하여 수행한 연구로서 AC 견인전동기를 최대출력으로 운영할 수 있도록 효율적인 AC 견인전동기 설계 및 제어방안에 대한 연구내용을 기술한다.

2. 본 론

2.1 차량시스템 구성 및 요구사항

인터모달 차량시스템은 자동무인운전으로 운영되며, 차량에는 차체, 대차, 추진장치, 제동장치, 열차제어장치 등이 설비되어 있다. 또한 열차의 회전정렬 주행을 위한 연결기, 선로 분기를 위한 가이드 휠과 가이드레일, 전원공급을 위한 집전장치, 자동운전제어를 위한 신호/통신시스템 등이 설비되어 있다.

차량시스템의 주요 요구사항은 아래와 같다.

- 운행속도(V): 40km/h(최고속도 60km/h)
- 가속도(a): 0.416m/s²
- 중량: 자중(W₁) 34톤, 하중(W₂) 31톤
- 추진력: $T_f = [(W_2 + W_1) \times a] + \gamma_r / \eta$
= 33,000kN
- 요구출력: $P = (T_f \times V) / 3.6 = 368kW / 량$
- 대당 회전력: $\tau = (P \times 60) / 2\pi \times N = 475N.m$
- 추진시스템 : PWM VVVF 인버터
- 제3 레일 공급전원 : DC750V

2.2 Sin Wave 제어 전동기 설계

DC750V의 전원을 공급받는 Sine Wave 제어에서 상전압 최대값(V_m)은 V_{dc}/√3이므로 AC430V 정도이다. 그림 1의 AC 유도전동기 사양은 고정자 외경 500mm와 48슬롯, 회전자 외경 297mm와 38슬롯, 간극 1.5mm, Stack 길이 210mm, 회전속도 1850rpm 등 이다

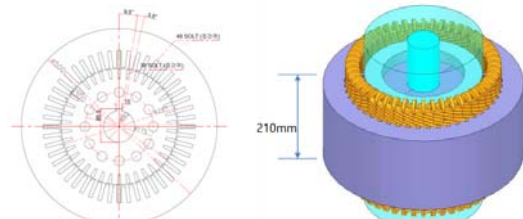


그림 1 AC 회전형 유도전동기 외형도

*† 교신저자 : (주)성신알에스티 기술사업화연구실 (kbpark@ssrst.com)

* (주)성신알에스티 기술사업화연구실

** 충남대학교

*** 이을재 이경산전(주)

표 1에 2병렬회로-9코일턴과 4병렬회로-8코일턴 전동기 성능 비교에 나타나 있듯이 2병렬회로-9코일턴은 출력이 대당 46kW로 낮게 나타났으며, 4병렬회로 9와 8코일턴은 출력이 대당 231kW와 186kW로 나타났다.

표 1 전동기 사양과 Sin Wave 모드 성능 비교

항목	2병렬-9턴	4병렬-9턴	4병렬-8턴
회전속도	1850rpm	1850rpm	1850rpm
피크전압	AC430V	AC430V	AC370V
입력전류	58.08A	298.03A	285.48A
회전자 전류밀도	2.56A/mm ²	7.51A/mm ²	-
고정자 전류밀도	2.97A/mm	6.57A/mm ²	7.01A/mm
Torque	238N.m	1,196N.m	962.15N.m
출력	46.08kW	231kW	186.4kW
입력	-	-	196.27kW
효율	94%	96%	94.97%
슬립	0.005	0.007	0.0067
입력 주파수	62Hz	62Hz	62Hz
저항	-	-	14.8mΩ
자화인덕턴스	-	-	5.47mH
Power Factor	-	-	0.863

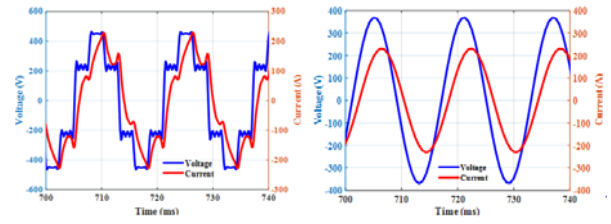
표 1의 Sine Wave 모드 4병렬회로-9와 8코일턴 전동기는 대당 186kW 이상으로 요구성능을 충족하였으나, 전동기 자화인덕턴스가 5.47mH로 낮아 PWM VVVF 제어가 어렵고, 무부하시 전류가 높아 구동과 제어가 문제되었다.

2.3 성능향상을 위한 전동기 설계

표 2와 같이 코일형식은 4병렬-14코일턴수로 늘리고, 입력전압은 AC550V로 승압하고, 전동기는 량당 2대에서 4대 설치로 변경하였다.

표 2 정격출력 및 무부하시 전동기 성능 비교

항목	정격출력		무부하	
	4병렬-14턴			
코일형식	9P	480P	9P	480P
회전속도	1850rpm	1,850rpm	1870rpm	1870rpm
피크전압	DC316V	DC269V	DC317V	DC270V
입력전류	139A	168A	41A	28A
전류밀도	4.4A/mm ²	5.3A/mm ²	(3.2A/mm ²)	0.85A/mm ²
회전력	550N.m	550N.m	-	0.34N.m
출력	106.5kW	106.7kW	10.9kW	8.1kW
효율	95.93%	95.75%	86.8%	91.75%
슬립	0.0118	0.0173	0.011	0.0011
입력 주파수	62.4Hz	62.75	62.4Hz	62.4Hz
저항	(0.041Ω)	-	-	(0.043Ω)
자화인덕턴스	-	-	-	(23.7mH)
역률	0.94	0.88	0.21	0.38
동손	2.9kW	4kW	0.28kW	0.13kW
회전자손	1.63kW	1.6kW	0.24kW	0.01kW



(a) 펄스 모드 (b) 사인파 모드

그림 2 펄스모드와 사인파모드 운전특성곡선

표 2에는 정격출력시 펄스모드로 전동기가 대당 정격출력이 106kW, 토크는 550N.m, 회전속도는 1,850rpm으로 차량이 만차시 40km/h 주행이 가능하다. 또한 무부하시 자화인덕턴스가 23.7mH로 높아 정상적인 구동이 가능한 것으로 나타났다.

2.4 효율적인 전동기 제어

그림 3에 인터모달 차량용 전동기를 효율적으로 제어를 위한 인버터의 PWM 동작패턴을 설정하였다. 40km/h(주파수 0.1~38Hz까지는 480 펄스, 40~60km/h(38~62Hz)까지는 15펄스 및 60km/h 이상은 1P로 제어하도록 하였다.

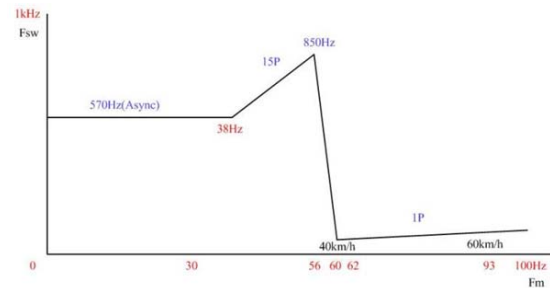


그림 추진제어장치 PWM 동작패턴

3. 결론

인터모달 화물수송시스템의 차량 전동기는 4병렬-14코일턴, 공급전압 AC550V로 PWM VVVF 제어하여, 정격출력 106kW과 토크 550N.m를 얻었다. 무부하시 자화인덕턴스를 높여 제어가 가능하도록 하였고, 0~40km/h에서는 480펄스, 40~60km/h에서는 15펄스, 60km/h 이상은 1펄스로 제어하여 전동기 효율을 향상시켰다.

참고문헌

- [1] 인터모달 차량시스템 기술요구사항서, ㈜성신알에스티, 2018. 10. 29
- [2] 인터모달 추진시스템 유도전동기 설계 사양서, 충남대학교, 2018. 5. 2 및 2018. 11. 11
- [3] 인터모달 차량전기 상세설계 및 기술자료, 이경산전, 2018. 9