

자기부상열차 운전패턴에 따른 소비전력 분석에 관한 연구

A study on analysis of consumption of electric power
according to Maglev train operation mode마상건^{*†}, 정석완^{*}, 이경복^{*}, 이희선^{*}, 박도영^{**}Sang Kyeon Ma^{*†}, Suk Whan Jeong^{*}, Kyeong Bok Lee^{*}, Hee Sun Lee^{*}, Doh Young Park^{**}

The project of commercialization of Maglev system builds up the realization of itself based on the invention of maglev train and the construction of test track. It is expected to be a national growth engine making a creation of national wealth even in the oversea markets with knowhow and experience. A final overall test of maglev system is ongoing at the In-Cheon maglev track currently, especially, the best running condition, mode, and interval are being studied consistently for more efficient energy saving with the characteristic of maglev train power consumption. This paper has done comparative analysis in the consumption of electric power of maglev train at ATO and MCS mode and compared those to power consumption of conventional train system.

Keywords : Maglev Train, Operation Mode, electric power consumption.

자기부상열차 실용화 사업은 차량개발과 시범노선 구축 등 상용화 기반을 마련하여 국가 성장동력사업으로 육성하고 축적된 기술과 경험을 바탕으로 해외시장 진출과 더불어 국부창출을 기대하고 있다. 현재 인천국제공항 시범노선 건설을 통하여 최종 성과 검증을 위한 종합시운전을 진행하고 있으며, 특히 자기부상시스템 특성에 따른 소비전력에 대하여 최적의 운행조건, 운전패턴 및 시격조정 등 에너지 절감을 위한 시험 및 연구가 지속적으로 진행되고 있다.

본 논문은 자기부상열차 자·수동운전 모드별 운행시 소비되는 에너지 특성과 전력량을 분석하였고, 기존 철제차륜 도시철도 시스템과의 에너지 소비패턴에 대하여 비교 분석 하였다.

주요어 : 자기부상열차, 운전패턴, 전력량

1. 서론

자기부상열차 실용화 사업은 차량개발과 시범노선 구축 등 상용화 기반을 마련하여 국가 성장동력사업으로 육성하고 축적된 기술과 경험을 바탕으로 해외시장 진출과 더불어 국부창출을 기대하고 있다. 현재 인천국제공항 시범노선 건설을 통하여 최종 성과 검증을 위한 종합시운전을 진행하고 있으며, 특히 자기부상시스템 특성에 따른 소비전력에 대하여 최적의 운행조건, 운전패턴 및 시격조정 등 에너지 절감을 위한 시험 및 연구가 지속적으로 진행되고 있다.

† 교신저자: 대전광역시 도시철도공사 연구개발센터(malnara@hanmail.net)

* 대전광역시도시철도공사 연구개발센터, ** 한국기계연구원 자기부상열차 실용화사업단

본 논문은 자기부상열차 자·수동운전 모드별 운행시 소비되는 에너지 특성과 전력량을 분석하였고, 기존 철제차륜 도시철도 시스템과의 에너지 소비패턴에 대하여 비교 분석하였다.

2. 본론

2.1 전동차 운전 시스템

2.1.1 전동차 열차제어 시스템

전동차 열차 제어 시스템은 1974년 서울시 지하철 1호선 개통과 함께 점제어방식의 ATS(Automatic Train Stop) 시스템 개발 이후 연속제어 시스템 ATP(Automatic Train Protection) 시스템이 도입되어 중앙 집중 제어 시스템(CTC : Centralization Traffic Control)과 연계하여 열차의 안전을 지원하는 시스템으로 발전하게 되었다. 이후 신호 시스템의 지속적인 개발을 통해 운전자의 최소한 개입만으로 전동차를 자동으로 운행시킬 수 있는 ATO시스템을 적용하여 현재 국내 도시철도 노선에서 ATP/ATO시스템에 의한 1인 또는 무인 운전을 하고 있다.

지상 신호시스템은 열차의 안전을 위한 폐색구성, 속도제어 및 자동 운행에 필요한 정보를 차상신호장치로 전송하고 차량은 수신된 지상신호 데이터로 열차 운영을 하게 된다. 이때 차·지상 신호장치간 인터페이스가 매우 중요하다. 이러한 신호 시스템 구축을 통해 전동차는 자동으로 최적화된 운행 패턴을 이미 시험을 통해 적용된 Track정보를 기초로 전동차는 일정한 운행 패턴으로 제어하여 운행되고 있다.

2.1.2 전동차 운전모드

차·지상 신호시스템에 의한 전동차는 자동, 수동으로 운전이 가능하게 된다. ATP시스템에 의해 전동차의 운행 안전과 열차 보호를 하게 되고 ATO 시스템에 의해 고도의 운행 신뢰성을 갖고 무인, 자동운전을 수행하게 된다. 또한 ATO에 의존하지 않고 순수 ATP장치에 의한 차량 승무원의 열차신호 감시 및 제어와 운행제한 속도 등의 인지를 통해 수동으로 차량을 운행할 수 있다.

2.2 사례연구

본 논문에서는 인천공항 시범노선 자기부상열차의 운전 모드(자동/수동)에 대해 차량에서 소비되는 전력량을 비교, 분석하였다. 전력량 계측을 위해 전동차내부에 인버터(INV)와 보조 전원장치(APU), MDPS전류 및 가선전압을 측정하기 위한 계측기 설치하였다.

측정 방법은 인버터와 APUMDPS에 CT(KLL3.0-10VD), PT를 설치하여 인천공항 시범노선 중 자동운전이 가능한 일부 구간을 계측하였다. 또한, 철제차륜시스템의 운전모드별 에너지 소비량을 비교하여 분석하였다. 그림 1은 철제차륜 및 자기부상열차의 소비전력량을 계측그림이다.

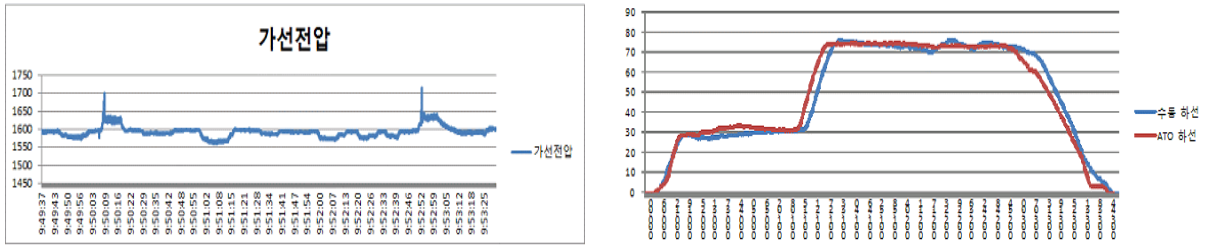


Fig. 1 Measured waveform graph(Maglev)

2.2.1 운전모드별 전력량 분석(철제차륜 전동차)

대전도시철도 1호선 철제차륜 전동차 운행시 자동운전 및 수동운전에 대한 전력량 분석을 분석자료이다. 본선 Rush/비 Rush 운행 시간대 1회 왕복 운행한 시험조건은 Table 1과 같다.

Table 1 Condition of measurement

구 분	조 건
운전 모드	ATO(자동)/MCS(수동)
운전 시간	Rush(오전, 오후)/비Rush
운행 조건	1회 왕복

전동차의 ATO에 의한 자동 운전과 승무원에 의한 수동운전의 운전 특성은 Fig. 2와 같다. ATO는 PI제어에 의한 목표 속도에 대한 Error값을 최소화하기 위하여 지속적으로 추진 및 제동 명령을 인버터와 제동장치에 전송하게 된다. 그러나 수동운전시 승무원은 목표 속도에 근접하면 Notch OFF상태 즉, 추진/제어 명령을 수행하지 않고 단순 속도 추정을 수행하게 된다.

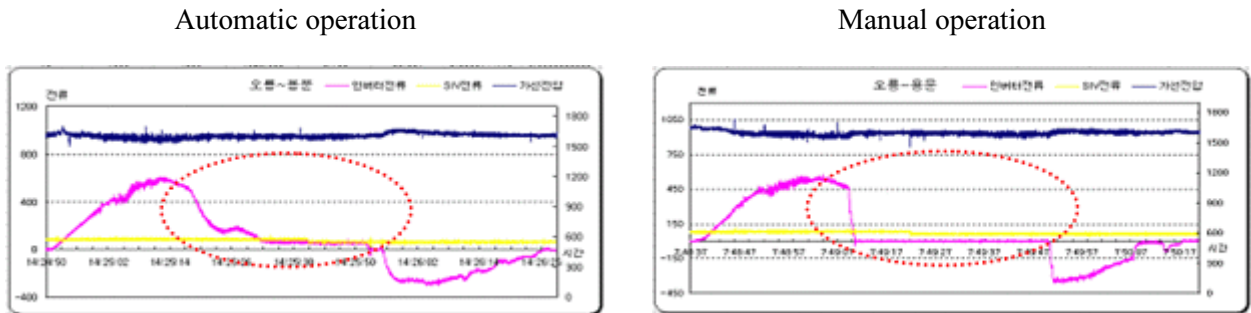


Fig. 2 Automatic/Manual operation profile

그림 3는 대전도시철도 1호선 철제차륜의 전력량 측정 결과이다.

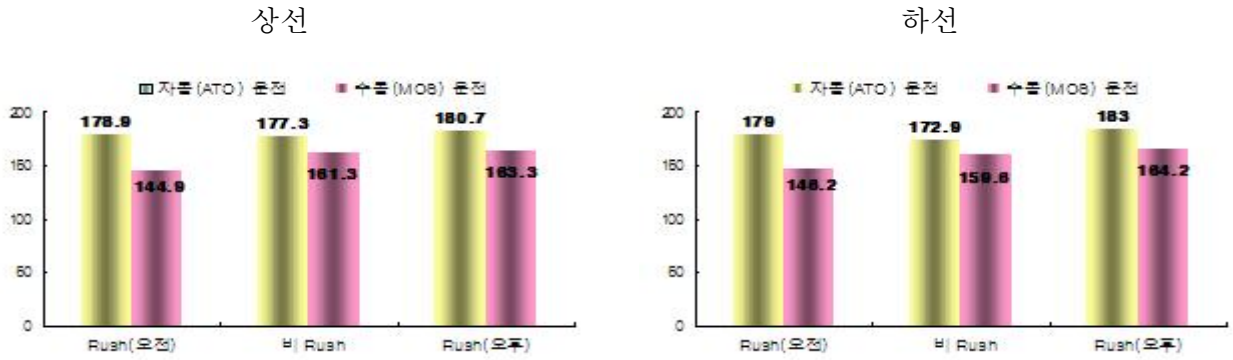


Fig. 3 Power measurement data(Unit:Kwh)

본선에서 자동(ATO)운행 시 평균 전력량은 175Kwh를 소모하고 수동운전시 평균 전력량은 157Kwh 소모로 수동운전시 약 11%의 전력량 절감 효과가 발생함을 시험을 통해 확인하였다

2.2.2 자기부상열차 소비전력량 측정

자기부상열차의 소비전력량은 현재 ATO운행이 되는 일부구간만을 측정하였고, 이때 수동운전시와 소비전력량을 비교하였다. 시험 조건과 방법은 Table 2, 그림 4와 같다.

Table 2 Condition of measurement

구 분	조 건
시험 구간	인천공항 자기부상 시범노선 104-105역 구간
측정 개소	INV, APU100/330, MDPS
운영 조건	ATO/수동운전 비교

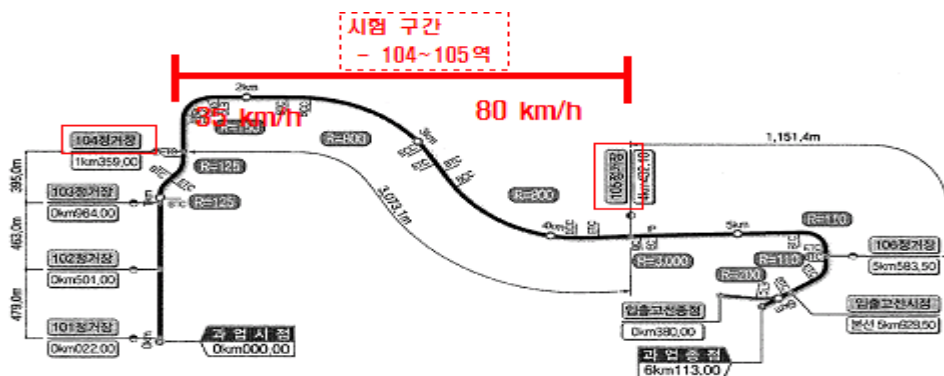


Fig. 4 Test section(Station 104-105)

2.2.3 자기부상열차 전력량 분석

본선에서 자동(ATO)운행 시 운행패턴은 그림5와 같고, 이때 자기부상열차의 인버터, 보조 전원장치(APU), MDPS장치전류, 가선전압과형은 Table 3과 같다.

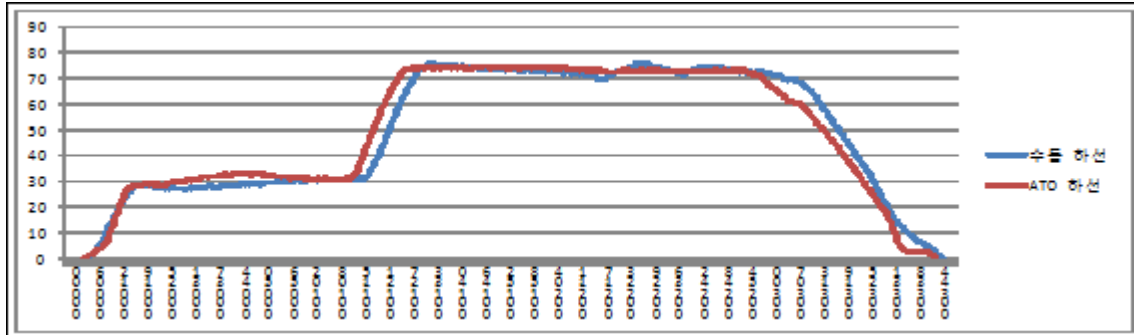


Fig. 5 Driving pattern

Table 3 Measured waveform

모드	가선전압	MDPS, APU330, APU100 전류
수동		
ATO		

Table 4은 자기부상열차 자동/수동운전시 소비전력 측정결과이다. 104-105역 운행시 수동운전은 5.25Kwh, 자동운전시 5.66kwh로 수동운전시 8% 전력량 절감효과가 있는 것으로 시험결과 확인하였다.

Table 4 Power consumption Measurements

구간	구분	추진+ 제동		전체(APU+ MDPS)	
		5.25 kwh	100%	7.91 kwh	100 %
104-105	수동운전	5.25 kwh	100%	7.91 kwh	100 %
	ATO	5.66 kwh	108%	8.42kwh	107 %

3. 결론

자동, 무인운전시스템인 도시형 자기부상열차의 소비전력량은 철제차륜시스템과 동일하게 ATO시스템에 대한 차량 운행 패턴이 수동(승무원)에 의한 소비전력이 더 많은 소비가 발생하는 결과를 시험적으로 확인하였다. 향후 에너지 측면에서 수동 운전 패턴을 접목한 ATO 추진, 제동 튜닝 기법의 적용으로 승객에 대한 안전성과 시스템 운영에 대한 효율성을 동시에 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다

후 기

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 도시형 자기부상열차 실용화 사업후속과제의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] S.Y. Chung, J.S. Lee, J.H. Cho, Y.H. Ahn, S.H. Beak, “A study on the Optimum Operating Cost of Driveless LRT System” , *Spring conference of Korean society for railway*, pp.2012-2057, 2008
- [2] Y.H. Yu, “A study of the railroad vehicles cycle and method” , *Spring conference of Korean society for railway*, pp.155-163, 2007