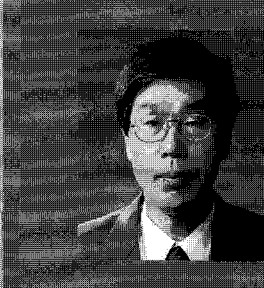


도시철도차량의 경량화 기술동향 고찰



| 박 광 복 |
(주)이산
부사장

1. 머리말

21세기는 각국에서 지구환경을 보존하기 위하여 친환경정책의 일환으로 녹색산업의 육성 활동을 활발히 추진하고 있다. 우리나라 정부도 저탄소녹색성장을 국가의 지속성장 동력으로 목표를 설정하고 사회 전체로 확산시키고 있다.

최근 철도차량은 자동차, 항공기, 선박 등의 교통수단 중에서 가장 친환경교통수단으로 각광을 받고 있으며, CO₂ 온실가스와 대기오염물질 배출 감축에 큰 역할을 하고 있다.

도시철도차량의 경량화는 추진동력 절감, 진동·소음 저감, 궤도 유지보수비 절감, 재료비 절감 등의 효과가 있는 것으로 알려져 있다.

본 고찰에서는 국내·외에서 상업운영 중에 있는 최신 도시철도차량의 경량화 기술동향에 대하여 살펴보고, 경량화를 위하여 개발이 필요한 기술과 미래기술을 고찰하여 제안하고자 한다.

2. 본문

2.1 국내외 도시철도차량 경량화 기술동향

2.1.1 우리나라의 도시철도차량 경량화 기술 현황

우리나라 도시철도차량의 경량화는 대부분은

차량 및 부품 제작사에서 제품의 원가를 낮추는 목적으로 추진되었다. 그 때문에 도시철도차량의 경량화 기술은 선진국보다 발전 속도가 더디고 뒤처지게 되었다.

주요 경량화 사례를 살펴보면, 1994년에 서울메트로 4호선 연장선인 과천선 전동차는 STS 301L 저탄소 고장력 스테인리스 강(Low Carbon High Tensile Stainless Steel)을 채용하여, 차체를 기술개발 하였다. STS 301L HT 경우는 일반 구조강재(SS400)보다 약 6배 정도 인장강도가 높다. 또한 스테인리스 강 차체는 강재차체보다 약 15~20% 정도 경량화 되었다. 이 기술은 서울메트로, 서울도시철도공사, 부산교통공사, 대구지하철공사, 서울메트로 9호선 등의 지하철 전동차에 사용되었다.

표 1에 나타나 있는 것 같이 2001년도에 기술개발된 표준전동차의 주요 경량화 기술내용은 다음과 같다. 알루미늄 합금 차체를 개발하여 약 20% 정도의 중량절감을 달성하였다. 이것은 A6005 대형 중공압출재(Aluminum Alloy Hollow Extrusion Material)의 가공기술이 개발되어 가능했다. 이 알루미늄 합금 차체기술은 광주지하철, 대전지하철, 인천공항철도 등의 지하철 전동차에 사용되었다.

의장설비의 경량화는 의자와 난방기 설치 구조를 단순화시켰고, 의자 커버는 모켓트를 사용하였

표 1. 우리나라 주요 전동차 기술현황

항목	표준전동차	서울지하철 6호선	인천공항철도	서울메트로 9호선	대전지하철
개통년도	2001	2001	2007	2009	2006
편성구성	4량(2M2T)	8량(4M4T)	6량(3M3T)	4량(2M2T)	4량(2M2T)
차체크기 (m)	L19.5×W3.12×H3.6	L19.5×W3.12×H3.6	L19.5×W3.12×H3.6	L19.5×W3.12×H3.6	L17.5×W2.75×H3.6
차량속도	100Km/h	100Km/h	120Km/h	100Km/h	100Km/h
차체재질	알루미늄 합금	스테인리스 강	알루미늄 합금	스테인리스 강	알루미늄 합금
승객정원	616명	1,576명	912명	606명	474명
추진제어	VVVF, IGBT	VVVF, IGBT	VVVF, IGBT	VVVF, IGBT	VVVF, IGBT
총출력	1,600kw	3,360kw	3,360kw	1,800kw	1,680kw
전동기	유도전동기	유도전동기	유도전동기	유도전동기	유도전동기
집전장치	교차형	교차형	교차형	교차형	교차형
대차	볼스터레스	볼스터레스	볼스터레스	볼스터레스	볼스터레스
열차중량	128.7톤	262.4톤	194.4톤	139.8톤	120톤
평균중량	32.18톤	32.8톤	33.4톤	34.95톤	30톤

으며, 내장판은 난연성 FRP를 일체 성형으로 제작하여 경량화 하였다.

대차는 볼스터레스 대차를 사용하였으며, 현가장치는 1차 고무스프링과 2차 공기스프링을 채용하여 주행성능을 향상시키고, 중량을 감소시켜 경량화 하였다.

열차추진제어는 1C4M 방식을 사용하여, 한 개의 인버터가 4개의 견인전동기를 일괄제어 함으로써 제어회로를 단순화하여 중량을 감소시켰다. 주전력변환장치의 인버터(Inverter)는 VVVF-IGBT(Variable Voltage Variable Frequency-Insulated Gate Bipolar Transistor) 제어방식을 사용하였다. 냉각방식은 히트파이프(Heat Pipe) 자연



그림 3. 대전 지하철 전동차

냉각방식을 채용하여 경량화 하였다.

유도전동기는 추진과 회생제동을 제어할 수 있도록 회로를 구성하고, 유도전동기의 냉각방식은 자기통풍방식을 사용하였다.

보조전원장치의 인버터는 VVVF 제어 시스템과 IGBT 전력소자를 채용하였고, 냉각방식은 자연냉각방식을 적용하였다.

변압기의 냉각방식은 건식자연냉각식을 사용하였다. 판도그래프는 크로스 암형(Cross Arm Type)이고, 습판체는 동계소결합금을 사용하였다.

2.1.2 외국도시철도차량 경량화 기술동향

(1) 일본 JR 동경급행철도 기술현황

일본의 동경근교철도네트워크는 근거리 교외구간을 연결하는 급행철도로서, JR 도시철도 및 사철메트로와 함께 도시철도교통으로써 중요한 역할을 담당하고 있다.



그림 1. 한국형표준전동차



그림 2. 서울메트로 9호선 전동차

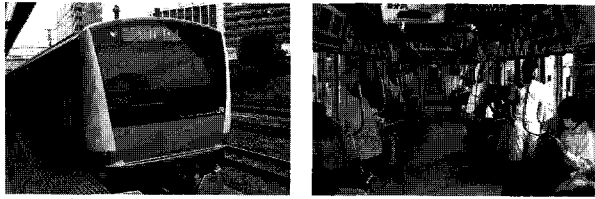


그림 4. JR 동경급행철도 E233계 전차

JR 동경급행철도 초우선(중앙선)은 도쿄(동경)에서 오츠기(대월)를 운행하는 노선으로 2006년부터 최신 차량인 E233계 전차를 운행하고 있다. 이 차량은 스테인리스 강 차체로 제작하였고, 알루미늄 합금 선반, 행선지 현시판, 현대식 실내디자인 등으로 개선하여 상업운영 하고 있다. 차량의 중량은 Tc: 32.2톤, M: 32.2톤, T: 29톤으로 기존의 E201계 및 E205계보다 경량화 하였다.

JR 동경급행철도 요코하마선(횡병선)은 오프나(대선)에서 하시모토(교본)까지 운행하는 노선으로 2004년 2월에 개통하여, Y500계 전차를 운행하고 있다. Y500계 차량은 E201계를 모델로 개발한 차량으로 스테인리스 강 차체로 제작 하였고, 전두부 형상이 개선되었으며, 전기기기의 효율화, 집중화 및 경량화한 표준차량이다. 차량의 중량은 Tc: 26.톤, M: 32톤, T: 24.5톤으로 경량화 하였다.

JR 동경급행철도 메쿠로선(목후)은 메쿠로에서 일길까지 운행하는 노선으로 5000계 전차를 운행하고 있다. 이 차량은 E231계를 모델로 개발한 차량으로 2003년 3월에 동경급행철도 전원도시선을 시작으로 7개 노선에서 운행되고 있다. 이 차량은 전장품의 고성능화, 집약화, 유지보수비 절감 및 경량화로 전력비의 40%를 감소시켰다. 차체는 스테인리스 강이고, 차체의 폭은 2,800mm이다. 차량의 중량은 Tc: 25.8톤, M: 31.8톤, T: 24.3톤으로 경량화 하였다.

(2) 그 외 국가의 도시철도차량 기술현황

(가) 홍콩 지하철

홍콩국제공항에서 홍콩역까지 운행하는 MTR(Mass Transit Railway)은 차체를 스테인리스 강으로 제작하였으며, 열차는 8량 편성으로 구동차 6량과 트레일러 2량으로 구성되어 있다. 열차의 최고속도는 140km/h 이고, 승객정원은 1,600명이다. 대차는 공기스프링 볼스터레스 대차를 사용하였으며, 차체길이는 22m이며, 차폭은

3.118m이다. 차량의 평균중량은 38.7톤이다.

(나) 그리스 아테네 지하철

그리스 아테네 지하철은 차체를 스테인리스 강으로 제작하였으며, 열차는 6량 편성으로 구동차 4량과 트레일러 2량으로 구성되어 있다. 열차의 최고속도는 120km/h 이고, 대차는 공기스프링 볼스터레스 대차를 사용하고 있다. 차체길이는 17m이고, 차폭은 2.8m이다.

(다) 터키 지하철

터키 TCDD(State Railways of the Republic of Turkey) 지하철의 차체는 스테인리스 강을 사용해 제작하였고, 열차는 3량 편성이다. 최고속도는 140km/h이고, 차체길이는 22.77m이며, 차폭은 2.95m이다.

(라) 프랑스 파리 메트로(Metro)

프랑스 파리 메트로(Metro)는 각 노선마다 다양한 차량이 운영되고 있으나, 파리 메트로 14호선은 파리 동남부의 올림피아드(Olympiade)역에서 서북부의 세인트 라자르(Saint-Lazare) 역간 총전장 9km의 노선이다. 열차는 6량



그림 5. 홍콩 지하철 MTR



그림 6. 아테네 지하철(좌) 및 터키 지하철(우)

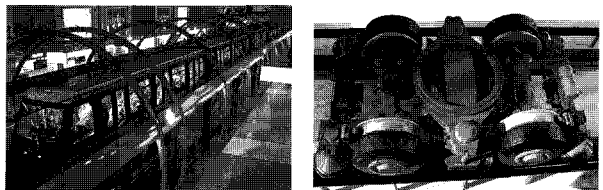


그림 7. 파리 메트로 14호선 전동차 및 대차

표 2. 외국의 도시철도차량 기술 현황

항목	동경급행 231계	동경급행 E233계	횡병고속철도 Y500계	홍콩 지하철	파리 메트로
개통년도	2002. 9	2010. 3	2004. 2	1979	1998
편성구성	10량(5M5T)	10량(6M4T)	8량(4M4T)	8량(6M2T)	6량(4M2T)
차체크기(m)	L19.7xW2.8xH4.05	L19.5xW2.95xH3.62	L19.8xW2.8xH4.05	L22xW3.118xH3.698	W2.45
차량속도	120Km/h	120Km/h	120Km/h	140Km/h	80Km/h
차체재질	스테인리스	스테인리스 강	스테인리스 강	스테인리스 강	-
승객정원	1,498명	1,564명	1,240명	1,240명	474명
추진제어	VVVF, IGBT	VVVF, IGBT	VVVF, IGBT	VVVF, IGBT	VVVF, IGBT
총출력	3,800kw	3,360kw	3,040kw	-	-
전동기	유도전동기	유도전동기	유도전동기	유도전동기	유도전동기
집전장치	싱글암형	싱글암형	싱글암형	교차형	교차형
대차	볼스터레스	볼스터레스	볼스터레스	볼스터레스	경전철 대차
열차중량	284.1톤	317.9톤	206.5톤	310톤	-
평균중량	28.4톤/량	31.8톤/량	25.8톤/량	38.7톤/량	-

편성으로 구성되어 있다. 열차의 최고속도는 80km/h이고, 차체의 폭은 2.45m이다. 승객정원은 727명이다.

열차의 신호시스템은 지멘스 CBTC (Communication Based Train Control system) 기반의 자동운전시스템이 설치되어 있다. 차량은 자동무인운전으로 운영되고 있고, 역사도 무인운영 되고 있다.

2.2 주요 시스템의 경량화 기술동향

2.2.1 차체경량화기술

1974년에 개통한 서울메트로의 1호선과 그 후에 운행을 시작한 서울메트로 2, 3, 4호선, 부산교통공사 지하철 1호선 등의 전동차는 강재차체로 제작되었다.

1994년에 개통한 코레일 과천선은 저탄소 고장력 스테인리스 강(Low Carbon High Tensile Stainless Steel) 차체를 도입하였다. 그 이후 서울도시철도공사 지하철 5, 6, 7, 8호선, 부산지하철 1, 2, 3호선, 대구지하철 1, 2호선, 인천지하철 1호선, 서울메트로 9호선 등은 스테인리스 강 차체를 사용해 약 20% 정도 경량화 하였다.

2001년에 국책과제로 기술개발 된 한국형표준전동차의 차체는 알루미늄 합금 압출재로 개발하였다. 이 알루미늄 합금 차체는 광주지하철, 대전지하철 1, 2호선, 인천공항철도 등에 사용되었다. 알루미늄 합금 차체는 저탄소 고장력 스테인리스 강 차체에 비하여 약 15~25% 정도 경량화 되었다.

도시철도차량의 차체 재료인 스테인리스 강, 알루미늄

합금 및 복합소재의 차체구조에 대한 경량화 기술 및 특징에 대하여 살펴보고자 한다.

1) 알루미늄 합금 차체

한국형표준전동차 개발 당시인 1990년도 말경에는 우리나라에 알루미늄 합금 압출재 성형기술이 도입되는 시기로써, 그림 8의 압출재 형상과 같이 차체 측골조의 상·하판 두께(t_1 , t_2)는 3mm로, 격판의 두께(t_3)는 3mm로 제작하였다. 최근에는 알루미늄 합금 압출재 성형기술이 향상되었으며, KTX II 산천호의 경우, G7 객차의 마루골조의 상하판 두께를 3mm에서 2.8mm로 개선함으로써 경량화 하였다.

일본은 알루미늄 합금 중공압출재의 가공기술이 우리나라보다 앞서 있다. 현재 차체의 측골조의 상하판 두께는 2.5mm, 격판은 1.8mm까지 얇게 제작하고 있다.

현재 알루미늄 합금의 압출재는 모두 A6005 재료를 사용하여, 차체골조의 각종 압출재로 가공하여 사용하고 있

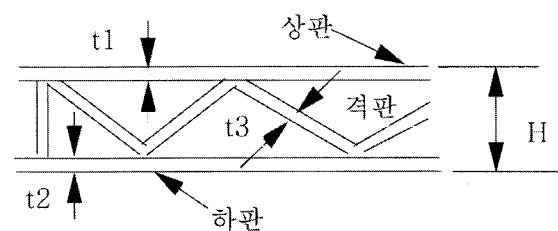


그림 8. 알루미늄 합금 압출재 형상

다. 이것을 개선시켜 높은 강도의 부재는 A7000계를 사용하고, 압출가공성, 용접성 및 내식성이 필요한 부재는 A6000계를 적용하고, 강도가 낮거나 판재는 A5000계를 사용하는 방안이 있다. 즉 알루미늄 합금 소재의 특성에 맞게 차체골조 부재를 사용하면 경량화가 이뤄지게 된다. 그러므로 소재별 압출재 성형 기술개발이 필요하다.

따라서 마루골조 및 측골조 압출재의 상하판 두께를 2.5mm, 격판을 1.6~1.8mm로 제작하는 가공기술과 차체골조에 소재별 적합한 알루미늄 합금 압출재의 성형기술을 개발하면 차체 경량화가 이뤄지게 된다.

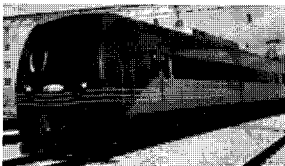
2) 저탄소 고장력 스테인리스 강 차체

STS 301L 저탄소 고장력 스테인리스 강 차체는 기존의 차체 부재별로 요구되는 강도 및 특성에 적합하게 STS 301L LT, DLT, MT 및 HT를 구분하여 적용함으로써 약 20% 정도의 경량화를 달성하였다.

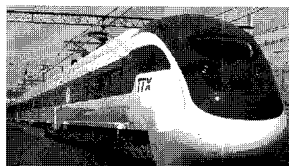
저탄소 스테인리스 강 차체에 대하여 경량화를 추진한다면 많은 연구와 노력이 필요하다. 우선 차체 부재별로 적용되는 소재를 검토하여 경량화 하는 방안이 있다. 이는 기존차량 차체의 구조해석 및 하중시험 결과를 토대로 언더프레임의 사이드실, 크로스 빔, 센터실, 측골조의 사이드포스트, 도아포스트, 엔드골조의 엔드 포스트, 지붕골조의 캔트레일 등에 대하여 강도의 적정성 등을 검토하고, 소재의 치수, 두께, 재료등급 등을 고려하여 차체를 설계하고, 구조해석 및 시험검증을 통해 경량화 하는 방안이다.

3) 복합소재

복합소재(Composite Material)를 이용하여 철도차량의 차체를 제작하는 연구는 영국, 스위스, 이탈리아, 독일 등에서 시도하였다. 독일 봄바르디아(Bombardier)사, 프랑스 알스톰(Alstom)사 등에서는 경전철의 차체를 복합소재로 제작하여 상업운행을 하고 있다. 스위스, 이탈리아,



알루미늄 합금 차체



복합소재 차체

그림 9. 차체의 사용 재질

프랑스 등에서 객차를 개발하여 운행 중에 있다. 우리나라는 2007년에 TTX 탈팅차량의 차체를 복합소재로 개발하여 실용화하였다.

복합소재 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Polymer, 탄소강화플라스틱)의 차체는 알루미늄 합금 차체보다 약 30% 정도 가볍게 제작할 수 있고, 성형성이 우수하다. 또한 차체의 용접공정이 없어 제작공수를 절감할 수 있고, 차체 손상 시 보수가 쉬운 장점을 갖고 있다. 그러나 차량이 충돌 시 쉽게 파손하거나, 중량물 설비품의 설치구조 및 일체의 복합소재차체 제작이 어렵다.

따라서 복합소재 차체의 변형 개선, 처짐 방지, 요구되는 강도의 확보, 중량물 설치 구조개선, 기밀문제 등 제작 기술에 대하여 연구개발이 필요한 상태이다.

2.2.2 대차경량화기술

도시철도에서 대부분 운영되고 있는 볼스터레스(Bolsterless) 대차에 대하여 살펴보고자 한다.

그림 11의 좌측은 볼스터 대차 이고, 우측은 볼스터레스 대차(Bolsterless Bogie)이다. 볼스터 대차는 상·하부 볼스터를 연결하는 스윙 행가장치(Swing Hanger

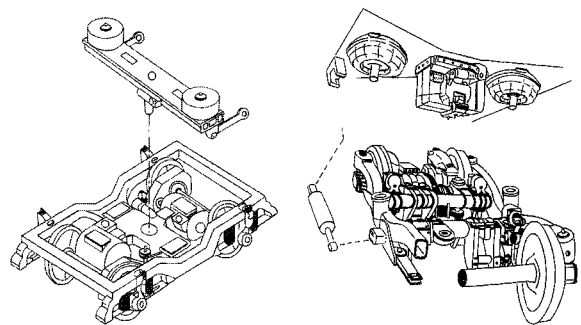


그림 10. 볼스터 대차(좌측) 및 볼스터레스 대차(우측)

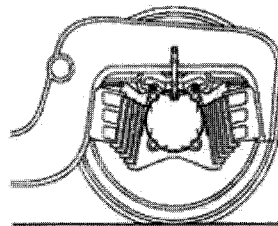


그림 11. 1차 고무스프링 현가장치

표 3. 도시철도차량 대차 경량화 기술동향

항목	기존기술 (~1980년대)	최근기술 (1990년대~현재)	미래기술
대차 형식	볼스터 대차	볼스터레스 대차	관절대차 또는 싱글 축 대차
대차 프레임	주강 프레임	압연강재 용접대차	알루미늄, 복합소재 또는 신소재
2차 현가장치	코일스프링	공기스프링	좌동
1차 현가장치	코일스프링	고무스프링	좌동
축상장치	주강구조	경량화 구조	알루미늄 합금 구조
차축	중실축	중실축	중공축
차륜	타이어드 차륜	일체 차륜	차륜 제동디스크
제동 디스크	주강구조물	강재 가공물	알루미늄 합금 구조물
디스크 라이닝	강재	레진	신티드 라이닝
모터-감속기 연결	신축연결축	유연성카플링	일체형 카플링
모터 장착	대차 프레임	대차 프레임	차체 또는 차축직결

System)가 설비되어 있다. 반면에 볼스터레스 대차(Bolsterless Bogie)는 양측의 사이드 프레임(Side Frame)을 서로 용접으로 연결하여 일체화시킴으로써 상부 볼스터, 스윙행가 등을 제거하여 경량화 하였다.

그림 12는 1차 고무스프링 현가장치(Primary Rubber Spring Suspension System)이다. 기존에 1차 현가장치는 코일스프링 방식을 사용하여 구조가 복잡하고 무거웠다. 하지만 그림 12와 같이 1차 현가장치에 고무스프링을 사용함으로써 구조가 간단하고, 전후, 좌우, 상하 방향의 진동감쇠가 가능하여 주행안정성이 향상되었다.

현재 대책과제로 기술개발하고 있는 차세대전동차의 대차는 차축에 견인전동기를 장착하는 DDM(Direct Drive Motor)방식 대차를 개발하고 있다. 이 대차는 기존의 대차보다 중량이 증가되는 것으로 보고되고 있지만, 향후에 소재 등의 혁신기술이 개발 되고, DDM 구조를 콤팩트(Compact)하게 개발한다면, 기존의 견인전동기, 감속장치 및 동력전달장치 보다 중량이 감소할 수 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 대차의 경량화가 가능한 기술이 되고 있다.

현재 각국에서 도시철도차량에 사용되고 있는 대차의 경량화 기술 동향을 살펴보면 표 3과 같은 기술의 흐름을 알 수 있다.

표 3에 나타난 것과 같이 대차의 경량화 기술은 대부분 미래기술이다. 이 기술 중에 알루미늄 합금 차축장치, DDM 차축직접구동장치, 차륜디스크, 신티드 라이닝, 중공축, 알루미늄 합금 디스크, 복합소재 대차 프레임 등은 기술개발을 계획하고 있거나, 개발 중에 있어 실용화가 가능할 것으로 보인다.

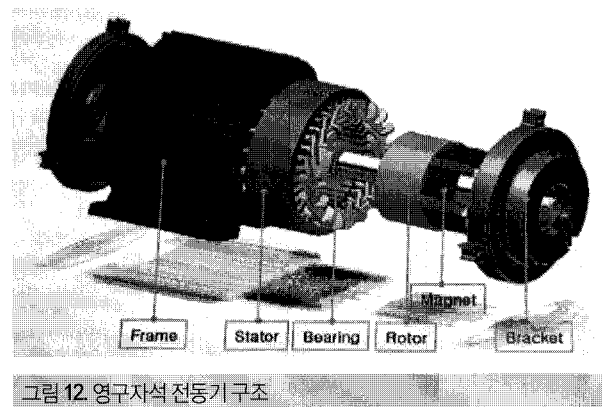
그 이외에 알루미늄 합금 대차 프레임, 신소재 대차 프레임, 관절대차, 싱글 축 대차 등은 장기간 연구개발과 많은 개발비가 투자되어야 확보가 가능한 기술이다.

2.2.3 견인전동기 경량화 기술

도시철도차량에 적용되고 있는 견인전동기(Traction Motor)는 직류전동기 및 교류유도전동기가 사용되고 있다.

표 4. 전자석 및 영구자석과 전동기 비교

구분	전자석전동기	영구자석전동기
출력	160Kw	270kw
중량	785Kg	610Kg
회전수	1,585rpm	2,960rpm
효율	90~91%	96%
소음, dB(A)	92(4,000rpm)	96(5,000rpm)
	76(4,000rpm)	79(5,000rpm)



직류전동기(DC Traction Motor)는 저항제어나 병렬 제어의 방법으로 속도제어가 용이 하고, 속도 증가 시 역기전력이 증가되며, 전력소비량이 적게 들어 경제적이다.

교류전동기(AC Traction Motor)는 직류전동기에 비하여 브러쉬(Brush)가 없어 무접점으로 회전방향을 전환할 수 있고, 경량화, 고출력 및 고속회전이 용이하다. 또한 이 전동기는 유지보수비가 적게 드는 장점이 있다. 국내외 도시철도차량에서는 대부분 교류유도전동기를 채용하여 운영하고 있다.

최근 신기술로 개발되고 있는 견인전동기는 회전자의 전자석 대신에 영구자석을 채용하고 있다. 이 견인전동기는 프랑스, 일본 등에서 개발하여 상용화 중에 있다. 표 4에 나타나 있는 바와 같이 영구자석을 이용한 견인전동기는 에너지 효율 향상, 출력증대, 중량감소, 유지보수비 절감, 저소음 등의 장점이 있는 것으로 알려져 있다.

2.2.4 주전력변환장치 경량화기술

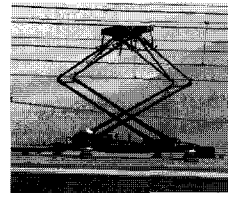
도시철도차량에서 주전력변환장치의 냉각방식은 열교환기(Heat Exchanger)의 히트 파이프(Heat Pipe)에 의한 강제냉각방식과 자연냉각방식이 사용되고 있다. 코레일의 분당선, 과천선 등은 히트 파이프(Heat Pipe)에 의한 강제냉각방식을 사용하고 있고, 광주지하철, 대전지하철, 인천공항철도, 서울메트로 9호선 등은 히트 파이프(Heat Pipe)에 의한 자연냉각방식을 사용하고 있다.

일본의 신간선 주전력변환장치의 냉각은 통풍냉각(Draft Cooling)방식을 사용하고 있다. 이것은 인버터를 통풍냉각 함으로 냉각송풍기(Cooling Blower)가 없어 경량화 되었다. 따라서 주전력변환장치 냉각방식은 선진국에서 기술개발 되어 상용화 중에 있는 드래프트 냉각(Draft Cooling)방식의 기술개발이 필요하다.

최근 추진제어시스템은 VVVF-IGBT (Gate Bipolar Transistor) 제어방식을 사용하고 있다. 이 기술은 표준전동차 개발 시에 IGBT 제어소자가 채택되었으며, 현재는 광주지하철, 대전지하철, 인천공항철도, 서울메트로 9호선 등에 사용 중에 있다.

현재 일본은 도시철도차량에 IGBT 제어소자를 사용하지만, 제어소자의 경량화를 위하여 SiC 실리콘 카바이드(Silicon Carbide) 소자의 도입을 위하여 연구개발 중에 있다.

SiC 실리콘 카바이드(Silicon Carbide) 소자의 실용화를



교차형



싱글 암형

그림 13. 집전장치 형식

위하여 관련 전력반도체 연구기관과 공동연구를 통해 기술개발이 필요하며, SiC 제어소자의 개선에 따른 중량 감소 효과는 큰 것으로 알려져 있다.

2.2.5 집전장치 경량화기술

도시철도차량에 대부분 사용하고 있는 판토히크로프(Pantograph)는 크로스 암형(Cross Arm Type)이다. 열차에 전원공급을 위한 전차선의 형식으로는 지상구간은 심플카테너리(Simple Catenary)방식을 지하구간은 강체전차선을 사용하고 있다.

일본 동경급행철도에서 운영 중인 JR 동일본 E231계, E233계 및 Y500계 전차는 고속전철에서 사용하고 있는 싱글 암형 판토히크로프(Single Arm Type Pantograph)를 개발하여 사용함으로써 경량화 하였다.

따라서 최근 국내외 판토히크로프의 기술 동향을 조사하여, 싱글 암식 판토히크로프 또는 새로운 경량 판토히크로프에 대하여 기술개발을 통해 경량화가 이뤄져야 한다.

2.2.6 실내설비 경량화기술

1) 실내 내장재

차량의 실내 내장재는 국토해양부 “도시철도차량 안전기준에 관한 규칙, 제10조 화재예방을 위한 기준”에 따라 불연재료를 사용하여야 한다.

현재 도시철도차량의 실내내장은 FRP(Fiber Glass Reinforcement Plastic), 하니콤(Honey-comb), 알루미늄 합금 판 등의 내장재를 모듈화시켜 경량화 하였다.

실내 내장재 경량화를 위해서는 하니콤, 알루미늄 판 등의 내장재를 단순 모듈화 디자인을 구현하여, 도시철도차량 안전기준에 만족하고, 불연성을 확보하면서 차량의 경량화를 추진하여야 한다.



그림 14. 실내의자 및 단부구조

2) 측출입문

도시철도차량의 실내 측출입문은 대부분 2-Leafs 슬라이딩 도어(Sliding Door)가 설비되어 있으며, 도어엔진(Door Engine)은 공압벨트(Air Belt Type)가 사용되고 있다.

차량의 경량화를 위해서는 도어엔진을 전기모터로 개선하고, 광폭의 알루미늄 합금 도어를 설비하여 경량화를 하여야 한다.

3) 차량단부 연결통로

차량단부에 연결통로문은 승객이나 승무원이 통행할 수 있도록 설비되어 있다. 최근에는 승객의 이동 편의성을 위하여 차량단부에 통로문의 폭을 크게 하고, 도아에 유리를 설비하여 미려하게 디자인 하고 있다.

광주지하철, 대전지하철, 인천공항철도, 서울메트로 9호선 등은 차량단부에 연결통로 문을 없애고, 넓게 개방함으로써 승객이 편리하게 차량 간을 이동할 수 있도록 하였으며, 객실과 객실 간에 개방감을 주어 안락하고, 편리하도록 개선하였다.

4) 의자 설비

도시철도는 도시 내를 운행하므로 승객은 대부분 짧은 거리를 이동한다. 그러므로 승객의 승하차가 편리하도록 측출입문과 중앙통로에 입석승객을 위한 공간을 확보하여야 한다. 따라서 의자배치는 창문 아래에 열차의 길이 방향으로 설비하고 있다.

의자는 실내의 색상디자인과 승객의 편의성을 고려하여, 상부커버는 모켓트로 하고 있고, 내부는 안락함을 위하여 쿠션용 재료를 설비한다. 또한 일부 도시철도차량에서는 객실 단부에 의자를 제거하여 승객의 입석 공간, 휠체어 보관설비, 자전거 보관소 등으로 활용하고 있다.

실내 의자의 경량화를 위해서는 복합소재 또는 경량 신소재를 발굴하여 의자의 경량화를 추진하여야 한다.

혁신적인 경량화를 위하여 의자의 길이 또는 수량을 축소하고, 혼잡한 시간대의 승객이 보다 쾌적하게 승차할 수 있도록 실내 입석 공간의 확대를 개선하는 연구를 수행하여 경량화를 실현하여야 한다.

2.3 경량화를 위한 개발기술 및 미래기술

최근에 상업운영 중에 있는 서울메트로 9호선, 인천공항철도, 코레일 천안선 및 춘천선, 광주/대전 지하철 등의 도시철도차량의 경량화 기술내용과 일본의 JR 동일본 동경급행철도 E231계, E233계 및 Y500계 전차에 적용된 경량화 기술을 조사하여, 표 5와 같이 현재기술, 경량화 개발기술 및 미래기술로 구분하여 정리하였다.

현재기술은 도시철도 운영기관에서 상업운영 중에 있는 기술수준이다. 경량화 개발기술은 최근에 개발된 신기술, 선진국에서 실용화 되었거나, 기술개발 중인 기술 및 경량화를 위하여 집중적으로 기술개발이 필요한 기술이다.

미래기술은 요소기술의 개발기간이 중장기로 소요되거나, 차량에 기술을 활용되기 위해서는 관련 산업에서 신기술개발이 이뤄져야 하는 핵심요소기술이다.

3. 맺음말

21세기는 인류가 지구환경보존을 위하여 많은 노력을 해야 한다. 현재 세계 각국은 친환경정책을 수립하고 적극적으로 추진하고 있다.


도시철도차량은 도시의 대중교통기관으로써 역할을 담당하고 있으며, 친환경교통기관으로써 버스, 택시, 승용차 등의 이용객의 전환수요가 늘어나고 있다.

도시철도차량이 경량화 되면 소요동력비의 절감, 소음·진동의 감소, 유지보수비 절감, 신기술개발 등의 많은 이점을 있다.

본 고찰에서는 최근에 기술개발 되어 상업운영 중에 있는 우리나라의 도시철도차량과 일본의 동경급행철도의 경량화 기술 및 신기술 도입 현황을 조사하여 분석하였다. 또한 외국의 차량 관련 업체에서 기술개발 중인 신기술 및

표 5. 도시철도차량의 경량화를 위한 개발기술 및 미래기술

시스템 별	현재기술	경량화 개발기술	미래기술
차체	- AI 대형 압출재	- AI 압출재 성형기술 향상 - 부위별로 압출재 형상 개선	- 복합소재 또는 신소재 차체 기술
내장판	- 페놀 내장재+AI판 내장재	- AI 하나몸 내장재+AI 내장재 - 고강도 복합소재	
의자	- 강재 프레임, 우레탄 폼 커버지	- AI 프레임 및 모켓트 커버지 - 경량 신소재	
냉방장치	- 강재 프레임	- 고강도 프레임 및 컴팩트화 - 소형 냉난방 시스템	- 냉난방 통합 유닛 기술
도아	- 공압식 도아엔진	- 전기식 도아엔진 - 초경량도아	
제동장치	- 제어장치 개발 설치	- 제어장치(BOU+SOU 등)통합 - 대차 단위제어	- 전기제동 100% 적용기술
대차	- 주강저널, 중실축, 주강 제동디스크, 카르단식 구동, 용접 대차프레임	- AI 저널, 중공축, AI 제동디스크, 경량 DDM 구동장치, 고강도 대차 프레임	- 관절대차 - 복합소재 대차 프레임 - AI 대차 프레임 - 세라믹 대차 프레임
추진/보조전원장치	- 전자식전동기 - VVVF-IGBT 제어소자 - Heat 수냉각 - Ni-Cd 축전지	- 영구자석 전동기 - IGBT-Si-Diode 제어소자 - Draft Cooling - AI 프레임	- Si-Carbide 제어소자 - 공진형 PWM 스위칭 - Li-ion 축전지
판토타그래프	- 교차형 판토타그래프	- 싱글형 판토타그래프	- 무선전원 공급/батери 동력
제어시스템	- 시리얼 제어	- 광통신 네트워크 제어	- 무선통신 제어시스템

경량화 활동 내용 등을 조사하여, 도시철도차량의 경량화를 위한 개발기술과 미래기술을 표 5와 같이 제안하고자 한다. 

♣ 참고 문헌

1. 도시철도차량 경량화 요건분석 연구보고서, 한국철도기술연구원, 2010. 10
2. 표준전동차 기본설계, 건설교통부, 1997
3. 철도픽토레일(The Railway Pictorial), 41~58쪽, 2003. 12
4. 철도픽토레일(The Railway Pictorial), 44쪽, 2010. 8
5. 하이전모터, 영구자석 내장형 동기전동기 공개, 마학준, 2009. 3.26, 인터넷
6. 한국철도공사, 서울도시철도공사, 대전지하철, 광주지하철, 인천공항철도공사, 서울메트로 9호선, Rotem 등의 홈페이지