

동력장치를 중심으로 한 디젤동차의 개발 동향

Trend of Diesel Multiple Unit from the viewpoint of propulsion system

유현규*

은정일**

최성욱**

황진택**

Ryoo, Hyeon-Gyoo

Eun, Jung-Il

Choi, Seong-Wook

Hwang, Jin-Taek

ABSTRACT

The Diesel Multiple Units (DMU) is a successful mass transportation system, that is being, continuously, on demand by train operators and railway authorities around the globe. One of its advantages is the fact that a diesel engine, along with the correct propulsion and control equipment, could also be used on either Electrified or Non-Electrified Railway Lines. Currently, there are almost 12,000 DM Units being used worldwide and the demand is on the increase.

This paper describes the special features as well as the advantages/disadvantages of the different types of the DMUs according to the propulsion systems that are employed, to help establish a trend in the DMU market.

1. 서론

디젤동차(Diesel multiple unit, 이하 DMU)는 디젤 엔진을 추진 동력원으로 하여 주로 승객을 수송할 목적으로 제작, 운용되는 철도차량을 칭한다. 디젤동차에 대한 명확한 정의는 문헌상으로 정의되어 있지는 않지만 통상적으로 동력차량에 승객을 수용하느냐의 여부로 디젤 기관차와 구분하는 것이 일반적인 통례이다.

디젤동차는 국내에도 많이 보급되어 운용되고 있으며 대한민국은 약 600량의 디젤동차 (Push-pull type 포함)를 보유하고 있어 전 세계적으로 8위의 디젤동차 보유 국가이다. 과거 디젤동차는 주로 간선에서의 승객 수송용으로 사용되어 왔지만 최근의 전철화 확대 추세에 밀려 한동안 침체기를 겪어 왔다. 그러나 최근 들어 전철화 대비 경제성이 탁월한 디젤동차가 주로 지선상의 연계 교통수단으로서 다시 각광받고 있으며 이런 추세에 발맞추어 디젤동차의 개발 동향 및 신기술 등에 대해 동력장치를 중심으로 고찰 해 보고자 한다.

* 책임저자 : (주)로템 기술연구소 책임연구원

** (주)로템 기술연구소 연구원

2. 본론

2.1 디젤동차의 종류

디젤동차는 동력원으로 디젤 기관을 사용하며 디젤기관의 출력을 제어하는 방식에 따라 크게 세 가지의 방식으로 구분된다.

첫 번째는 디젤 전기식 동차로 이는 디젤 기관 후부에 발전기를 연결하여 발전기로부터 전력을 얻어 이를 전기적으로 제어하여 견인전동기로 차량을 구동하는 방식을 말한다. 최근에는 인버터 기술의 발전으로 인버터를 이용한 제어 방식이 널리 이용되고 있다.

두 번째는 디젤 기계식 동차이다. 디젤 기계식은 유체 클러치와 다관식 클러치 등을 사용하여 차량속도에 따라 변속 및 역전을 하도록 하는 형식의 디젤동차를 말한다.

세 번째는 디젤 액압식 동차로 두세 개의 토오크 컨버터와 유체 커플링을 사용하여 변속 및 역전을 하는 구조의 동력전달 장치를 갖는다. 이상의 세 가지 형식의 디젤동차들은 전 세계적으로 약 12000량 정도가 현재 운용되고 있으며 이 중 15%는 디젤 기계식, 8%는 디젤 전기식, 77%는 디젤 액압식으로 파악 되고 있다.

차량 제작비용 측면에서는 디젤 기계식, 디젤 액압식, 디젤 전기식의 순으로 경제성이 있으나 정비 면에서는 역전이 되어 디젤 기계식의 정비성이 가장 떨어진다고 할 수 있다. 이는 변속 장치에 사용하는 부품들 중 마모되는 부품들이 존재하기 때문에 이에 따른 주기적인 정비가 필요한 것으로 기인되며 이에 비해 디젤 액압식이나 디젤 전기식은 마모부위가 적어 상대적으로 정비비용은 절감이 된다.

이런 결과로 디젤 기계식은 운행거리가 상대적으로 짧고 운행시간이 적은 지역에서 이용되고 있으며 디젤 액압식 및 디젤 전기식은 상대적으로 운행시간이 긴 장거리 노선에 주로 이용된다. 통상적으로 최근에는 약 120km/h의 속도를 기점으로 하여 최고속도가 120km/h 이상이면 디젤 액압식 또는 디젤 전기식이 사용되는 추세이다. 디젤 전기식과 디젤 액압식은 최근까지 서로 우위 경쟁을 해 왔으며 수명 기간 전체의 비용인 LCC(Life cycle cost) 면에서는 비슷하나 초기 도입 비용 면에서는 디젤 액압식이 약 10 ~ 20%정도 저렴한 것으로 알려져 있다.

2.2 디젤동차의 특성

디젤동차는 디젤기관의 출력을 이용하여 차량의 추진력을 얻는 구조이며 이에 따라 디젤 기관 및 이의 동력 전달에 필요한 여러 부품들을 장착해야 한다.

디젤기관과 관련 하여는 냉각장치, 연료 관련 장치, 흡기장치, 배기장치, 오일 관련 장치 및 시동장치를 포함 한 전기적인 제어 장치 등이 필요하다. 동력 전달과 관련 하여는 전달 방식에 따라 기계식 또는 액압식인 경우에는 변속기, 추진축, 감속기어, 열교환기 및 제어장치 등이 필요하며 전기식인 경우에는 주발전기 및 보조발전기, 인버터, 견인전동기 및 구동기어 등이 필요하게 된다.

이러한 관련 장치들은 과거 차량의 경우 부품별로 각자 차량에 설치 되어왔으나 최근 들어 관련 기기들을 하나의 프레임에 설치 및 연결하여 Package 화하는 추세이며 이를 보통 Power pack 이라고 호칭한다.

디젤동차는 일반적인 동차의 특성상 동력 분산식 차량으로 분류되는데 동력 분산식의 경우 차량이 발휘할 수 있는 점착견인력을 높일 수 있어 기관차 견인 시스템에 비해 상대적으로 높은 가속도를 얻을 수 있는 이점이 있으며 특히 근교형 디젤동차의 경우에는 전동차에 버금가는 가속력을 가진 차량들도 등장하고 있다.

최근의 디젤동차들은 최적화 된 동력 장치 및 동력전달장치를 이용하여 동력 효율이 80% 이상으로 향상되었으며 또한 배기가스의 허용 기준이 강화되는 추세에 맞추어 전자제어 조속기, 직접 분사식 엔진, Common rail 방식의 연료 분사장치, 공기냉각식 과급 냉각기(Air to air type Charged air cooler) 등이 적용되어 강화되고 있는 배기가스의 배출 규정에 적합하도록 설계되고 있다.

디젤동차의 운영은 노선의 경제성에 의해 결정되며 일반적으로 단선 철도의 경우 전철화에 의한 운영방식보다 투자비용의 감소로 인해 전체적인 비용 면에서 유리하여 독일, 프랑스, 일본 등에서는 주로 지선용의 승객 운송용으로 디젤동차가 채택되고 있으며 운행 빈도가 높지 않은 간선에서도 일부 운용되고 있다.

현재 개발되거나 최근에 투입되어 운영되고 있는 디젤동차는 대부분 120km/h 및 160km/h 급이 주종이며 이는 유럽의 국제철도 규정인 UIC에서 정한 Traffic 구분을 따라 결정되기 때문인 것으로 판단된다.

2.3 세계 각 국의 디젤동차 운영

전 세계적으로 운영되고 있는 디젤동차는 약 12000량 정도이며 주로 유럽, 아시아 및 동구권에서 많이 운용되고 있다. 이 중 약 50% 는 서유럽 지역에서 운용되며 특히 영국, 독일, 프랑스 3개국이 가장 많은 디젤동차를 운용하고 있다. 이는 일찍부터 발달된 철도 노선에 기인한 것이며 특히 유럽 지역의 철도 영업망이 승객운송 중심으로 운영되어 온 데 기인한다고 볼 수 있다.

아시아권에서는 일본이 가장 많은 디젤동차를 보유하고 있으며 특히 일본은 전 세계적으로도 가장 많은 디젤동차를 보유하고 있다. 특이한 점은 일본에서 운용되고 있는 모든 디젤동차는 거의 대부분 일본이 자체적으로 개발한 엔진 및 변속기를 탑재한 형태로 이는 자국 부품 산업의 뒷받침 및 협력을 운영되는 일본 철도의 특성에 기인 한 것으로 풀이될 수 있다.

대한민국의 경우 1980년 이전에는 일본으로부터 도입해 운영하던 Niigata 디젤동차(기계식)가 대부분이었으며 1980년대 이후로 무궁화형 디젤 전기식, 디젤 액압식 등을 개발하였고 대부분 디젤 액압식을 사용하고 있으며 크게 새마을호 용 Push-pull type 및 통근형 및 무궁화형 DMU로 나눌 수 있다.

전 세계적으로는 디젤동차의 약 77%는 액압식이며 8%는 전기식, 15%는 기계식으로 구성되어 있으며 대부분이 디젤 액압식을 사용하고 있음을 알 수 있다. 이는 디젤 액압식의 장점인 초기 차량 도입 비용, 스프링 하 질량 감소에 따른 레일 부담력 감소, 비교적 간단한 전기 제어 장치 등에 기인한 것으로 보이며 이는 자동차 산업과의 연관성도 관여된다. 대부분의 제어 관련 부품들은 자동차, 특히 산업용 트럭의 부품과 공용하는 경우가 많으며 철도차량 시장의 규모 상 자동차 시장에 종속될 수밖에 없다.

2.4 철도 차량용 동력장치의 개발 동향

철도 차량용 동력장치는 앞에서 언급한 디젤동차 산업의 규모 등에 기인하여 자동차용 동력 장치의 신기술 개발과 맥을 같이하고 있다고 보아야 할 것이다. 최근의 동력장치의 개발 Trend를 보면 자동차와 유사하게 고효율/경량화, 유지보수 간소화, 친 환경 기술 등으로 요약 할 수 있다.

2.4.1 고효율/경량화 기술

최근 디젤동차에서 주력으로 사용하는 디젤 엔진의 출력 분포를 보면 300kW ~ 600kW 급이 주종을 이루고 있다. 이는 약 10년 전의 동력 분포 250 ~ 500kW 대에 비해 약 50 ~ 100kW 정도가 높아지고 있는 추세인 것을 알 수 있다. 이는 물론 엔진의 설계 및 제작 기술 발달로부터 기인 된 것이며 Double over head cam(DOHC), 와류 실을 없앤 직접 분사 방식인 Direct injection, 공기/공기 열 교환 방식의 후 냉각기(Air to Air charged air cooler), Engine Control Unit(ECU)를 통한 전자 연료 제어 방식 등 자동차 산업의 기술 발전과 유사하게 발전 되어 왔다.

최근에는 자동차용 고효율 디젤엔진에 사용되고 있는 Common rail direct injection(CRDI) 방식이 철도 차량용 엔진에도 사용되기 시작 했으며 유럽의 엔진 제작사들은 CRDI/ECU 방식에 적합한 신형 엔진들을 개발하여 철도차량용으로 시판하고 있다.

동력 전달장치는 유효 견인력을 높이기 위해 효율 경쟁을 하고 있으며 액압식의 경우는 전자 제어식 변속기 제어장치를 사용하는 추세이며 전기식의 경우는 전동차에 사용되는 Inverter를 동력 전달 방법으로 사용하고 있는 추세이다.

이런 기술의 발달로 동력 전달장치의 효율은 약 80 ~ 85% 정도까지 상승하게 되었다.

2.4.2 유지보수 간소화

철도 산업은 국가의 기간산업인 동시에 대표적인 노동 집약적 산업이며 특히 차량 및 설비의 유지 보수에 막대한 인력이 투입되어 왔다. 최근에는 이런 노동 집약적인 특성에서 벗어나기 위해 부품별로 Maintenance free 또는 획기적인 유지보수 비용을 절감하는 쪽으로 개발되고 있다.

이중에서도 유지보수 및 차량의 가용성을 획기적으로 향상시키고 있는 것은 Power pack의 도입이다. Power pack은 엔진, 동력전달장치 및 이와 관련된 부품들을 하나의 프레임에

집적하여 배치하고 정비 시에는 이를 동시에 간단한 작업으로 분리하여 별도의 준비된 장소에서 정비 작업을 수행할 수 있도록 해 주는 개념의 동력장치 모듈(Module)을 말하며 유럽에서는 1997년경부터 개발 및 사용되기 시작 하였다. 초기에는 250 ~ 350kW급의 소용량 엔진이 사용된 차량을 중심으로 개발되어 왔으나 최근에는 대부분의 상하 설치형 디젤동차에서 이 Power pack이 사용되고 있는 추세이다.

동력장치를 차량에 장착하는 방법은 엔진과 변속기 또는 발전기를 Flywheel housing을 이용하여 직접 결합한 후 차량에 장착하는 방식인 Direct mounting 방식과 이를 서로 분리하여 별도로 장착하는 Separate mounting 방식이 있으며 이는 대략 400kW를 중심으로 이보다 큰 엔진은 Separate Mounting을, 이보다 작은 엔진의 경우는 Direct mounting 방식을 사용한다.

이는 대 용량의 엔진을 Direct mounting으로 할 경우 Power pack 전체의 중량 증가 및 이에 따른 제반 문제 때문에 장착 자체가 힘들어지기 때문이며 특히 관련 부수장치를 모두 포함하는 경우에는 부피가 너무 커지는 문제도 있게 된다.

그림 1 및 2는 각각 Separate mounting 방식 및 Direct mounting 방식의 Power pack의 예를 보여준다.

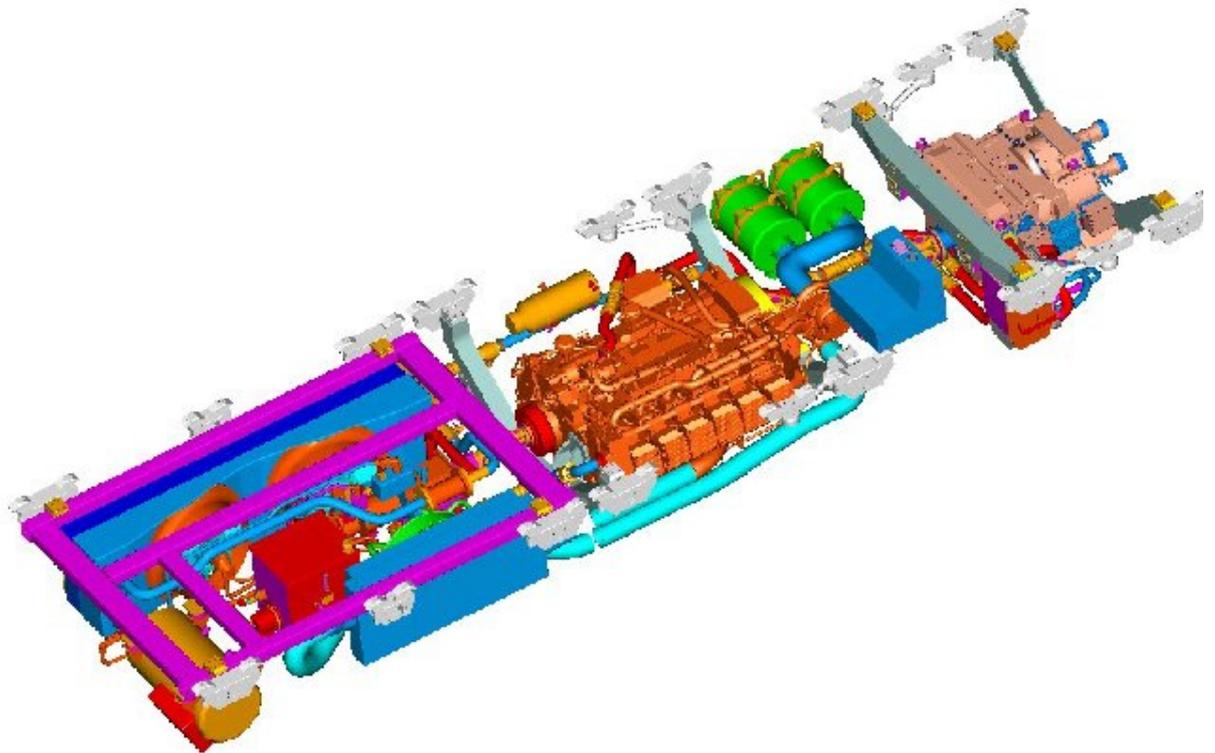


그림 1. Separate mounting 방식의 Power pack

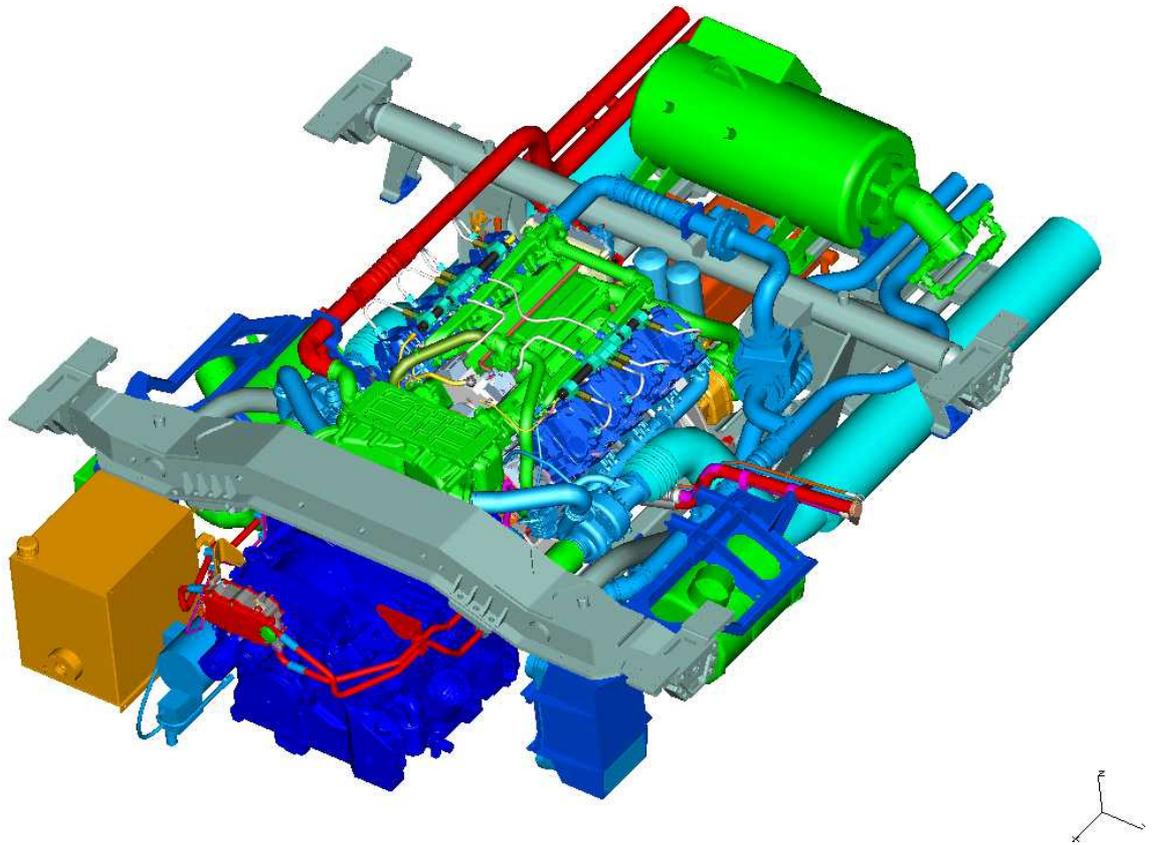


그림 2. Direct mounting 방식의 Power pack

두 경우 모두 Power pack 자체는 양쪽 단부 측면에 장착되는 Bearing housing/ V-mount라 불리는 방진고무 및 프레임 상에 설치된 Shaft의 결합에 의해 차량에 장착되며 착탈 시에는 방진고무를 차량에서 분리함으로써 쉽게 차량에서 분리할 수 있다.

Power pack을 차량에서 분리 및 재장착 하는 작업은 별도의 특수공구 없이 4시간 이내에 가능하도록 설계하고 있으며 이는 영업 운전 후 기지에 도착하여 다음 영업운전 전까지 Power pack을 교체하는 것이 가능함으로써 이론상으로는 100%가까운 운용 효율을 유지할 수 있고 이는 일반적인 기기별 설치된 차량의 운용 효율이 약 85 ~ 90%대인 것을 감안하면 획기적인 운용 효율 증대가 가능하게 해 준다. 실질적으로 Power pack을 장착하고 있는 신개발 차량의 경우 차량의 운용 효율은 95% 이상을 달성할 수 있다.

이 밖에도 전자제어 시스템을 적용하여 장치 및 부품의 상태를 실시간으로 Check함으로써 예측에 의한 최적화 된 예방정비 시기에 대한 정보를 주거나 또는 마모부위를 상대적으로 적게 설계하여 유지보수 요소를 적게 하는 등의 기술이 개발 및 적용되고 있다.

2.4.3 친환경 기술의 접목

최근 기술 개발의 한 축이 되어가고 있는 부분은 비단 철도차량의 경우만이 아니라도 친환경 기술을 빼 놓을 수가 없을 것이다. 철도차량에도 여러 가지의 친환경 관련 기술이 접목되어 가고 있으며 이는 유럽 또는 미국을 중심으로 한 환경규제의 영향에 기인한 것이라 할 수 있다.

유럽에서는 자동차산업을 중심으로 EURO 규격을 제정하여 엔진의 배기가스 중에 포함되는 유해물질의 배출량을 제한하고 있으며 철도차량의 경우 On road vehicle이 아니기 때문에 강제 조항은 아니나 각 국의 철도 운영자를 중심으로 차량 구매 시 본 규격을 적용하고 있는 추세이다. 미국도 이와 유사한 환경보호국(EPA, Environmental Protection Agency)의 규정에 따라 기간을 정하여 TIER등급으로 규정하고 있으며 배기가스의 허용량을 점차 엄격하게 줄여나가고 있는 추세이다. 2005년부터 미국 내에서는 TIER3를 적용하고 있다.

현재 상용화 된 철도 차량용 디젤 엔진의 경우 EURO 기준으로 EURO II 는 대부분의 신형 엔진에서 준수가 가능하고 최근에는 EURO III 기준의 엔진이 개발되고 있는 단계이다. 따라서 향후 몇 년 안에 EURO III 기준의 디젤엔진이 상용화 될 것으로 전망되며 디젤동차의 취약점 중 하나인 환경오염 부분에 대한 보완책으로서 의미 있는 부분이라 할 수 있다.

기술적인 측면에서 디젤엔진의 개발 방향은 사실 이런 환경 보호적인 측면이 많이 반영되었다고 할 수 있으며 특히 Air to air charger형식의 후 냉각기나 Common rail 방식의 연료 분사 방식은 배기가스 규제를 따르기 위해 개발 되었다고 볼 수 있다.

2.5 결론

이상에서 살펴 본 바와 같이 디젤동차는 전철화 노선의 경제성을 보완하기 위한 좋은 대안이 될 수 있기 때문에 최근 들어 수요가 증가하는 추세이며 여러 가지 신기술이 접목되어 고 효율, 저 유지보수 비용, 친환경성을 지향하는 새로운 형식의 디젤동차들이 개발되고 있다. 이를 위해 Common Rail Direct Injection, Charged air cooling 및 전자제어에 의한 연료의 최적 제어 기법 등이 신형 엔진에 사용되고 있으며 유지보수 비용 절감을 위하여 동력장치 전체를 package 화 하는 Power pack의 적용이 보편화 되어가는 추세이다.

향후의 DMU 시장은 이런 기술 Trend를 따르는 방향으로 나갈 것으로 예상되며 전 세계적으로 보아 DMU 시장의 규모는 현재 수준을 유지하는 경우 차량의 평균 수명을 고려하면 연간 약 500량 이상의 수준이 될 것으로 예측 할 수 있다.

참고문헌

1. "Jane's World Railways", 43 Edition(2001 - 2002), Jane's Information Group Limited
2. "Eisenbahntechnischen Rundschau", Summary of Part 3, vol.11(1982)
3. Wolfgang Paetzold, Heidenheim(2000), "Power Transmission in Dieselhydraulic Railcars and Trains"
4. "MTU Report", Winter Edition(2004/2005), Summer Edition(2005), MTU Friedrichshafen GmbH