

디젤동차의 동력장치 관련 설계 고려 사항

Considerations on Design

with related to Propulsion System of Diesel Multiple Unit

고동우*
Ko, Dong-Woo

염규학**
Yeom, Gue-hak

유현규**
Ryu, Hyeon-Gyoo

ABSTRACT

The Diesel Multiple Units (DMU) can be classified into three types by the type of the transmission. One of those is a Diesel Hydraulic Multiple Unit which is operated with a hydraulic transmission and its propulsion system consists of a diesel engine, transmission, cooling unit, fuel system, intake air and exhaust system, etc. In designing and integrating the propulsion system components, the operation and environment conditions should be considered as well as related standards.

This paper describes points to be considered on design with related to propulsion system of Diesel Hydraulic Multiple Unit that is now being developed for Turkish Republic State Railway -TCDD.

1. 서론

디젤 동차(Diesel multiple unit, 이하 DMU)는 디젤 엔진을 추진 동력원으로 하여 주로 승객을 수송할 목적으로 제작, 운용되는 철도차량을 칭하며 동력 전달 방식, 즉 출력을 제어하는 방식에 따라 디젤 기계식 동차(Diesel Mechanical Multiple Unit), 디젤 액압식 동차(Diesel Hydraulic Multiple Unit) 및 디젤 전기식 동차(Diesel Electric Multiple Unit)로 분류되어질 수 있다. 또한 디젤동차에 대한 명확한 정의는 문헌상으로 정의되어 있지는 않지만 통상적으로 동력차량에 승객을 수용하느냐의 여부로 디젤 기관차와 구분하는 것이 합당하다고 판단된다.

최근 들어 디젤동차는 생애주기비용(Life Cycle Cost, LCC)을 고려하여 주요 구성요소들의 모듈화 설계(Modular design) 및 전자 제어 시스템(Electronic Control System) 등을 적용하여 개발되어지고 있는 추세이다. 이에 현재 개발 중인 디젤 액압식 동차인 터키 동차를 중심으로 동력 장치에 관련된 설계 인자들에 대하여 고찰 해 보고자 한다.

* 저자 1 : (주)로템 기술연구소, 제품개발팀, 비회원

E-mail : dwko@rotem.co.kr

TEL : (031)460-1374 FAX : (031)460-1789

** 저자 2 : (주)로템 기술연구소, 제품개발팀, 비회원

2. 본론

2.1 설계 사양

디젤동차의 견인 성능 및 설계 사양은 시행청에서 발행된 기술 사양서에 기술된 부품별 사양과 환경 및 운용 조건 등을 반영하여 결정한다. 아래 표 1은 터키 동차에 적용되는 사양이다.

항 목	사 양	비 고
열차 편성	- Mc-Mc	Mc: 운전실부동력차
차량 중량	- 공차 중량: 59 톤 - 승객 중량: 67.16 톤	
축중	- 18 톤	
환경 조건	- 온도: -30℃ ~ 45℃ - 상대 습도: 최대 90% (salty sea weather) - 환경: 먼지 - 고도: 1500m (해수면 기준)	
디젤 엔진	- 4행정 기관 - 수냉식 냉각 장치 - 방진 구조 - 터보과급장치 - 규격: UIC623-1 OR, UIC623-2 OR, UIC623-3 R - 축전지에 의한 기동 - 전기식 예열기 - Intake Air Filter	
변속기	- 방진 구조 - 최고 속도에서 충분한 Dynamic Brake 성능 확보 - 냉각 장치 설치 - 과속, 과온 및 저유압에 대한 보호 장치	
차량 속도	- 최고 속도 :140 km/h	최대 허용 속도

표 1 디젤동차 설계 사양

2.2 설계 컨셉

디젤 기관 관련하여 냉각 장치, 연료 관련 장치, 흡기 장치, 배기 장치, 오일 관련 및 시동 장치를 포함한 전기적인 제어 장치 등이 필요하고 동력 전달 장치는 디젤 액압식 동차의 경우에 변속기, 추진축, 감속기어, 열교환기 및 제어장치 등으로 구성된다.

이러한 관련 장치들을 유지보수 및 차량의 가용성을 향상시키기 위하여 기기별 중량 및 취부 구조를 고려하여 엔진 모듈, 변속기 모듈 및 냉각 장치 모듈을 하나의 프레임에 설치 및 연결하는 방식으로 설계하고자 한다.

또한 환경 조건을 고려하여 원심분리식(Cyclone Type)의 Primary Air Filter를 사용하여 엔진에 흡입되는 공기를 여과하고 저온의 외기 조건에서 장시간 주정차 후 기동 시, 엔진 기동

모터의 구동을 용이하게 하기 위하여 전기식 예열기를 설치한다. 또한 엔진의 상태 및 고장을 표시하고 기록하기 위하여 electronic monitoring system을 적용하였다.

2.3 설계 고려 사항

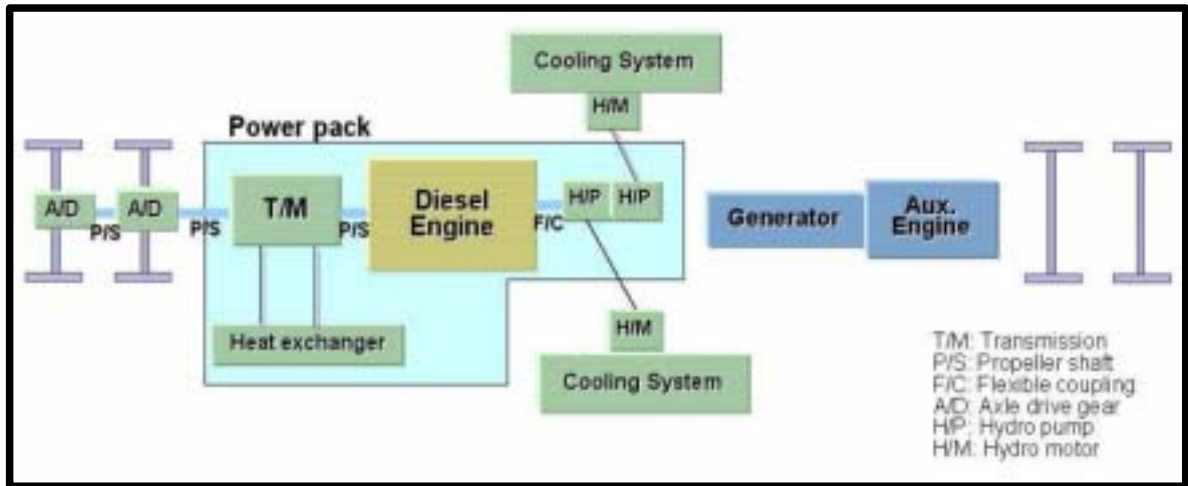


그림 1 Schematic Diagram of Propulsion System

디젤 엔진에서 발생하는 추진력은 1차 추진축을 통해 자동 변속기에 전달되어지고, 이 후 2차 및 3차 추진축을 거쳐 구동 기어를 통해 최종적으로 차륜에 전달된다. 엔진의 출력은 운전실의 power/brake controller의 견인 명령 신호(Traction Demand Singnal)를 변속기가 받아 엔진의 전자식 연료 제어 장치(Electromagnetic Injection Regulator)를 제어하는 방식으로 조절된다. 엔진 출력은 운용 노선, 운행 거리 및 목표 속도 등을 기준으로 UIC 623-1을 준수하여 설계되어지는데 통상적으로 열차 중량을 고려하여 근거리 통근 열차의 경우에는 톤당 8 ~ 10HP, 간선에서 운용되는 열차의 경우에는 톤당 5 ~ 8HP의 동력을 내도록 설계한다. 터키 동차의 경우에는 변속기의 냉각팬 구동을 위한 동력 인출과 운행 노선이 산악 지역임을 고려하여 간선형 열차임에도 불구하고 톤당 8.4HP를 갖도록 설계하였다. 그리고 차륜이 1/2 마모되는 조건에서 최고 속도 사양을 만족시킬수 있도록 감속기의 감속비를 3.5648로 선정하였다.

항목	사양
엔진 타입	Turbocharged and After-cooled, Horizontal inline
사이클	4-stroke
실린더 수	6
정격 출력	559 kW @ 2100 rpm
제어 방식	Electronic fuel control
배기 가스	EURO II 준수
냉각 장치	Air to air charge and water jacket

표 2 디젤 엔진 사양

디젤동차의 견인 성능(Tractive Effort)은 출발 견인력, 최대 견인력, 최소 연속 속도 및 개방 운전 성능 등과 관련이 있다. 정지 상태의 열차를 기동하기 위해서는 차륜과 레일 사이의 정지마찰력 이상의 구동력이 요구되는데 이 힘을 출발 견인력이라고 한다. 그러나 출발 견인력이 과도할 경우에는 차륜에 공전이 발생할 수 있으며 이 현상은 동륜에 작용하는 하중과 출발 견인력의 비인 점착 계수(adhesion coefficient)와 관련이 있다. 일반적으로 점착 계수를 0.25로 가정하여 계산한 점착력보다 출발 견인력이 작을 경우에는 공전 제어를 하지 않지만 그렇지 않을 경우에는 출발 견인력을 제한할 필요성이 있다. 또한 점착력을 높이기 위하여 살사 장치를 장착한다. 이 경우 살사 장치는 변속기와 연계되어 견인 모드일 경우에는 살사되지 않도록 설계하여야 한다. 최대 견인력은 열차가 구배 선로에서 균형 속도로 운행될 때의 견인력으로써 도시형 통근 열차의 경우에는 10 ~ 15, 간선에서 운행되는 열차의 경우에는 5 ~ 7의 구배 조건에서 만족되도록 설계된다. 냉각 장치는 변속기의 효율이 70 ~ 80% 범위에서 배출되는 변속기 및 엔진의 폐열을 냉각시킬 수 있게 설계되는데 이 경우 열차가 운행될 수 있는 속도를 최소 연속 속도라고 한다. 또한 최급 구배에서 열차의 기동이 가능하고 최소 연속 속도에 도달 할 수 있는 개방 운전 성능을 가지도록 설계해야 한다.

아래의 그림 1과 2는 TCDD DMU의 견인력 곡선도와 가속도 곡선도이며, 표 1은 시뮬레이션 조건이다.

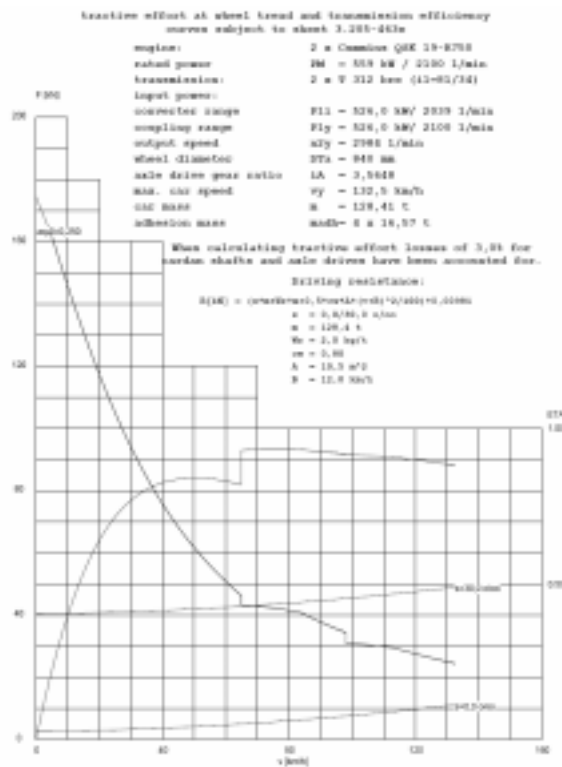


그림 2 견인력 곡선도

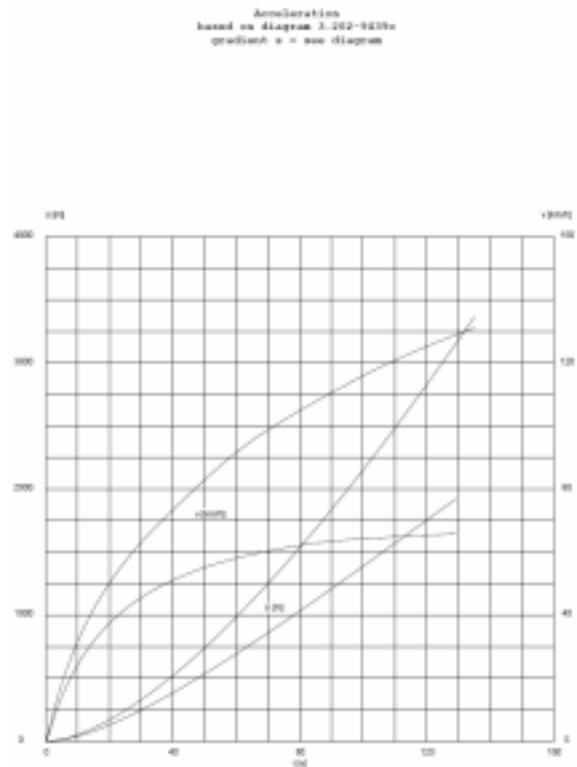


그림 3 가속도 곡선도

항목	조건
환경	SAE J1995 condition - 기압: 100kPa @ 고도: 91m - 기온: 25°C
선로	평탄 직선 선로
연료	ASTM No.2 Diesel fuel
열차 중량	128.41 톤
차륜	1/2 마모
변속기 입력 전력	526kW
공전	고려하지 않음

표 3 견인력 시뮬레이션 조건

항 목	특성치	비고
출발 견인력	약 165kN	
최대 견인력	38kN	구배: 15% 균형 속도: 약 115km/h
최소 연속 속도	23km/h	변속기 효율: 70%

표 4 TCDD DMU 견인 성능

동력장치 모듈의 장착 구조는 착탈이 용이하도록 모듈 프레임 상에 설치된 Shaft에 Resilient 타입의 Bearing housing/V-Mount라 불리는 방진고무를 결합하는 구조로 설계하였으며 Mount가 탈락되는 경우를 대비하기 위하여 Safety Bracket 또는 Saddle Type Mount를 추가 설계하였다. 동력 장치 모듈을 차량에서 분리 및 재장착 하는 작업은 별도의 특수공구 없이 4시간 이내에 가능하도록 설계함으로써 영업 운전 후 기지에 도착하여 다음 영업 운전 전까지 동력 장치 모듈을 교체할 수 있도록 설계함으로써 95%이상의 운용 효율을 확보하도록 하였다. 방진고무의 Stiffness는 동력장치 모듈의 질량, 질량 관성 모멘트, Mount 위치 및 동특성 고려하여 진동감쇄율 및 허용 Deflection을 비교 선정해야 한다. 아래 표 5는 터키 동차에 적용된 방진고무의 Stiffness 사양이다.

항 목	K_{lon}	K_{lat}	K_{vert}
변 속 기	4130	23	1440
엔 진	2440	140	850

표 5 변속기 및 엔진 용 방진고무 Stiffness

흡기 시스템에는 dry type air cleaner를 적용하였으며, 엔진에서의 허용 압력 손실 범위 내에서 흡입 라인을 구성하였다. 그리고 환경 조건을 고려하여 Cyclone Filter를 설치하고 흡입구의 상하에 위치시켰다.

실린더에서 배출되는 고온 고압의 배기가스는 소음과 진동 문제를 발생시키기 때문에 소음기(Silencer)를 설치하여 배기가스의 압력과 온도를 낮춰 배기의 급격한 팽창을 방지하였다. 소음기의 소음 감쇄율은 엔진의 배기 소음과 요구 소음 조건에 의해서 결정되며 일반적으로 약

25dBA 정도를 감소시킬 수 있게 설계한다. 배기관은 허용 배압(背壓) 범위를 기준으로 설계하여 유동 해석 및 차압시험으로 검증한다. 또한 차체에 진동이 전달되는 것을 방지하기 위하여 전체 배기시스템은 차체에서 분리시켰으며 유지 보수 시 안전 문제와 주위 부품에 열적 영향을 미치지 않도록 단열(Insulation) 구조로 설계하였다. 배기 굴뚝(Exhaust Stack)은 빗물, 모래 및 눈 등의 운송 라인의 환경 조건을 반영하여 설계하여야 한다.

냉각 시스템은 엔진 및 변속기의 열용량을 고려하여 냉각 용량을 결정해야 한다. 다시 말해 엔진의 발열량, 변속기의 효율이 70 ~ 80% 인 경우의 발열량 및 Retarder 제동 시 발생하는 발열량을 모두 고려해야 하며, 견인 모드와 Retarder 제동 모드를 각각 계산하여 큰 값으로 선정해야 한다. 터키 동차의 경우, 견인 시 발열량이 375kW로 Retarder 제동 시 발열량인 355kW보다 큰 값을 가진다. 앞서 언급하였듯이 냉각 장치 용량에 의해 열차의 최소 연속 속도가 계산된다. 구동 시스템은 신뢰성과 제어성이 우수한 Hydrostatic drive를 적용하였는데 Variable Displacement Pump, 유압 모터, Electronic Linear Controller 및 오일 탱크로 구성된다. 배관의 경우는 내부식성의 재질로 최대 압력 손실 범위 내에서 설계해야 하며 냉각수 내 기포 생성을 방지하기 위한 Vent line과 Compensating line을 고려해야 한다. 그리고 Header Tank의 용량은 전체 냉각수 용량의 30% 수준에서 결정하면 된다. 마지막으로 냉각 장치를 보호하기 위하여 Front Mesh Protector와 Heat Barrier를 필요성을 검토할 필요도 있다.

연료 시스템은 연료 탱크, 연료 필터와 Hand primer, 연료 펌프 및 연료 배관으로 구성된다. 연료 탱크의 체적은 운행 거리 및 시간, 최저 잔유량 및 10%의 여유치를 고려하여 결정되며 일반적으로 1일 1회 주유를 기준으로 결정한다. 열차 운행 중 연료의 출렁임을 방지하기 위하여 배플(Baffle)을 설치하여야 한다. 연료 필터는 엔진 요구 사양에 따라 설치하며 Hand Primer는 가능한 한 연료 탱크 측에 가깝게 설치하는 것이 유리하다. 연료 펌프(Primary Pump)는 엔진 실린더에 연료를 분사하기 위해 요구되는 허용 압력 범위를 만족시킬 수 있도록 설계하며 최저 잔유량을 기준으로 릴리프 밸브(Relief Valve)를 설치하여 잉여 연료를 연료 회귀관을 통해 연료 탱크로 회귀도록 설계하거나 별도의 보조 탱크를 설치하여 회귀시키기도 한다. 회귀되는 잉여 연료에 의해 발생하는 기포가 연료 공급관에 유입되는 것을 방지하기 위해서 가능한 한 연료 회귀관과 연료 흡입관을 이격시켜야 한다. 연료 배관은 인산염 처리가 된 탄소강(Carbon Steel)관을 적용한다. 그리고 회귀관에 차단밸브(Isolating Valve)가 설치되는 경우에는 엔진의 제어가 불가능한 문제가 발생할 수 있기 때문에 공급관에만 설치해야 한다.

엔진 윤활 시스템은 엔진 자체에 설치되기 때문에 특별하게 고려되어야 할 사항은 없으며 엔진 오일 교환이 용이하도록 주유구를 연장하거나 별도의 주유구를 설계하는 정도로 고려하면 된다.

동력 시스템 관련 제어 입력으로는 냉각수량(Coolant Level), 냉각수 온도(Coolant Temperature), 오일 압력(Oil Pressure) 및 과속(Over Speed) 정보가 있다. 즉 냉각수가 일정 수준 이하이거나, 오일압력일 일정 수준 이상이거나 과속 신호에 대해서는 열차를 즉시 정지시키도록 설계하며 일정 수준 이상의 냉각제 온도 신호에 대해서는 공회전 후 정지하도록

제어된다. Train Monitoring System(TMS)을 운전실 내에서 설치하여 엔진의 상태 및 고장 정보를 확인할 수 있도록 하였다.

3. 결론

이상에서 살펴 본 바와 같이 디젤동차 관련 동력 장치 및 동력 전달 장치를 설계하기 위하여 여러 가지 설계 요소들을 살펴보았다. 디젤 엔진은 운용 노선, 운행 거리, 목표 속도 및 UIC623-1을 만족하도록 설계하였으며, 변속기는 냉각 장치의 냉각 용량을 고려하여 출발 견인력, 최소 연속 속도 및 개방 운전 성능 등을 산출하였다. 또한 디젤 기관 관련 하여 냉각 장치, 연료 관련 장치, 흡기 장치, 배기 장치, 오일 관련 및 시동 장치를 포함한 전기적인 제어 장치와 동력 전달 장치 관련하여 감속기, 추진축, 감속기어 및 제어장치 등이 고려되어 설계하였다.