

차세대 고속열차 제동시스템 개요

전체 6차년도 중 2단계 1차년도(3차년도) 연구 일정으로 개발을 진행 중인 차세대 고속열차의 제동시스템 구성 및 안전모드에 대해 간략히 소개한다.

김석원 한국철도기술연구원, 책임연구원

e-mail : swkim@krri.re.kr

철도차량의 제동시스템

철도차량은 주어진 궤도 위를 주행하는 교통수단으로 레일과 차륜 사이의 점착력이 작아 타 교통수단에 비하여 매우 긴 제동거리를 가지고 있다. 철도차량의 제동시스템은 철도차량을 정상적인 운행방법에 따라 승객의 불편함이 없이 원하는 위치에 정지시키거나 요구하는 속도로 감속시켜야 할 뿐만 아니라 돌발적인 사태 발생으로 신속히 열차를 최단거리 이내에서 정지시켜야 할 경우가 있다. 후자의 경우에는 신호체계, 열차방호체계 등을 수립하는데 필요한 결정적인 고려사항이며 설정된 제동거리 이내에 정지시키지 못하면 선로사상사고를 초래할 수 있다. 고속철도의 경우 열차 운행속도가 증가함에 따라 제동장치에 대한 요구조건은 더욱 강화되고 있는 상황으로 이를 만족시키기 위하여 여러 가지 기술을 개발하고 있다.

철도차량에서 사용되는 제동 형태는 크게 전기제동과 기계제동으로 구분할 수 있다. 전기제동은 견인 전동기에 의하여 발생하는 전기를 가선을 통하여 변전소로 되돌려주는 회생제동과 차량 내에 설치되는 저항을 통하여 열로서 소산시키는 저항제동으로 구분할 수 있으며, 기계제동은 기계적인 마찰을 이용하여 제동력을 인가하는 방법으로 디스크와 패드에 의한 디스크 제동과 차륜 담면과 제동슈 사이의 마찰제동인 담면제동

이 일반적으로 사용되고 있다. 일부의 경우에는 전자석을 이용한 와전류제동과 레일을 이용한 마찰제동 등의 방법이 추가적으로 채용되기도 한다.

짧은 제동거리와 제동시간을 확보하기 위하여 큰 제동력을 확보할 수도 있으나, 이것이 지나칠 경우 감속도가 크게 되거나 급격한 제동력의 변화에 따른 감속도 변화율인 저크(Jerk)의 값이 크게 되어 승객에 대한 불편함을 초래하거나 레일과 차륜 간의 점착력보다 큰 제동력이 작용하게 될 경우 차륜 활주가 발생되어 차륜과 레일의 찰상을 초래하게 됨으로써 차량의 운행에 지장을 가져올 수 있다. 따라서 제동제어는 열차 운행시 환경조건(눈, 비, 낙엽 등)에 따라 금속 바퀴와 궤도의 점착력을 인지하여 제동력을 지능제어하고, 차량 무게 및 주행속도에 따라 제동력을 변화시키며 제동거리를 단축하는 중요한 기술이다.

접촉 제동은 공기압축기 및 주변장치, 공기제동 제어 및 기초 제동장치(디스크 제동 및 담면 제동)로 구성되며 각각의 구성부품이 고도성과 신뢰성, 내구성을 요하는 정밀기계장치 또는 첨단 소재로 이루어져 있다. 제동제어 기술은 공압 및 메카트로닉스, 트라이볼로지의 복합기술로서 제동력과 그에 따라 발생하는 힘과 변형에 착안하고 접촉부에 발생하는 다양한 물리적 현상 규명을 필요로 한다.

차세대 고속열차 제동시스템 구성

국내에서 운행되는 고속열차(KTX, KTX-II)는 동력집중식이며, 관절대차의 형식으로 구성되어 있으나 차세대고속열차는 설계최고속도 400km/h급으로 동력분산식이며 일반대차의 형식으로 구성되어 있다. 열차편성은 영업열차는 동력차 6량과 객차 2량으로 구성되는 8량(6M2T) 1편성으로 구성되며, 시제열차 편성은 동력차 5량과 객차 1량으로 구성되는 6량(5M1T) 1편성으로 계획하고 있다. 편성 측면에서는 전동차의 형태와 동일하나 운행속도가 고속임에 따라 제동시스템 측면에서는 기존 전동차의 시스템과는 전혀 다른 새로운 형태의 기술개발이 필요하다.

제동시스템의 구성을 위하여 고려하여야 하는 가장 중요한 사항은 요구 제동거리를 확보하는 것으로 제동거리에 대한 기준은 국내의 경우 철도안전법에서 300km/h의 속도에서 3,300m 이내로 정의하고 있으며, 유럽의 경우 유럽 국가 간의 상호 운용을 위한 상호 운용성기술사양(TSI: Technical Specifications of

Interoperability)에서 속도 구간별 감속도와 이에 따른 제동거리를 제시하고 있다. TSI에서 제시하는 제동거리는 300km/h의 속도에서 3,650m이며, 350km/h의 속도에서는 5,360m를 초과하지 않도록 하고 있다. 따라서 비상제동을 체결하는 경우에 철도안전법에서 제시한 제동거리 기준을 만족하기 위한 제동시스템을 구성하였다.

제동지령 방식은 공기지령 방식과 전기지령 방식이 있으나, 차세대 고속열차는 일본의 신간선에서 사용하고 있으며 한국형 고속열차 및 KTX-II에서 사용하는 전기지령 방식을 채택하였다. 전기지령 방식은 운전실에서 제동지령이 차량 인통선을 통하여 제동제어장치로 전달되어 필요한 제동력을 인가하도록 구성된다.

차세대 고속열차에서 사용하는 제동 모드는 정상적인 운행상태에 사용하는 상용제동, 열차 운행 중 비상상황 발생 시 최단 제동거리를 확보하기 위하여 사용되는 비상제동, 비상제동 시 각 차량의 제동제어장치에서 고장 검지가 되는 경우 해당 차량에 체결되는 긴

급제동, 주차 목적으로 사용되는 주차제동, 기관사 1인에 의한 제동시험을 안전하게 수행하기 위한 정차제동 및 차량의 운행이 불가능할

경우에 구원을 위한 구원제동으로 구분된다. 상용제동의 경우에는 기계제동장치의 사용을 최소화하기 위하여 전기제동을 우선적으로 투입하기 위한 혼합제어 방식을 적용하고 있으며, 혼합제어는 KTX의 경우 동력대차 단독으로 혼합을 수행하는 로컬 혼합방식을 벗어나 차량 전체의 전기제동과 기계제동을 사용하는 차량 전체의 일괄 혼합방식을 적용하였다. 구원제동의 경우에는 차세대고속열차가 전기지령 방식이므로 공기지령 방식의 차량과 상호 구원 운전이 가능할 수 있도록 구원제동장치 내에 전기제동지령과 제동관(BP) 압력을 상호 변환할 수 있는 기능을 가지고 있다.

동력대차에는 견인전동기에 의한 전기제

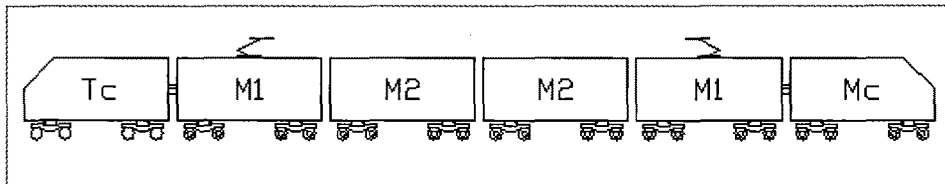


그림 1 차세대 고속열차 시제열차 편성(5M1T)

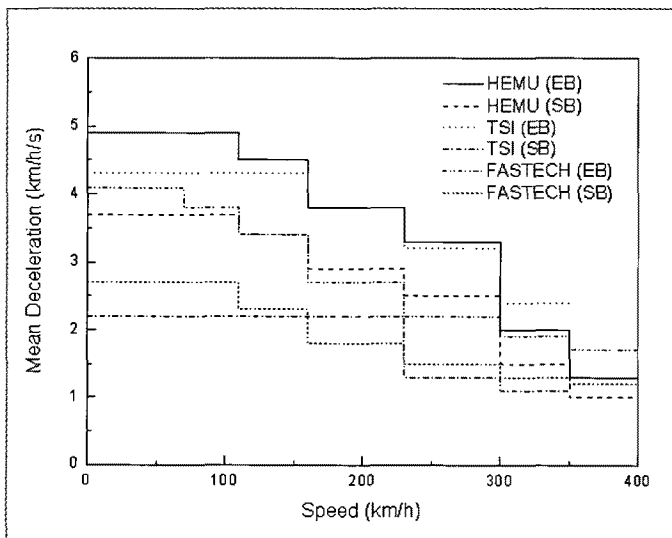


그림 2 고속열차에 대한 감속도 비교(HEMU:차세대 고속열차, EB:비상제동, SB:상용제동)

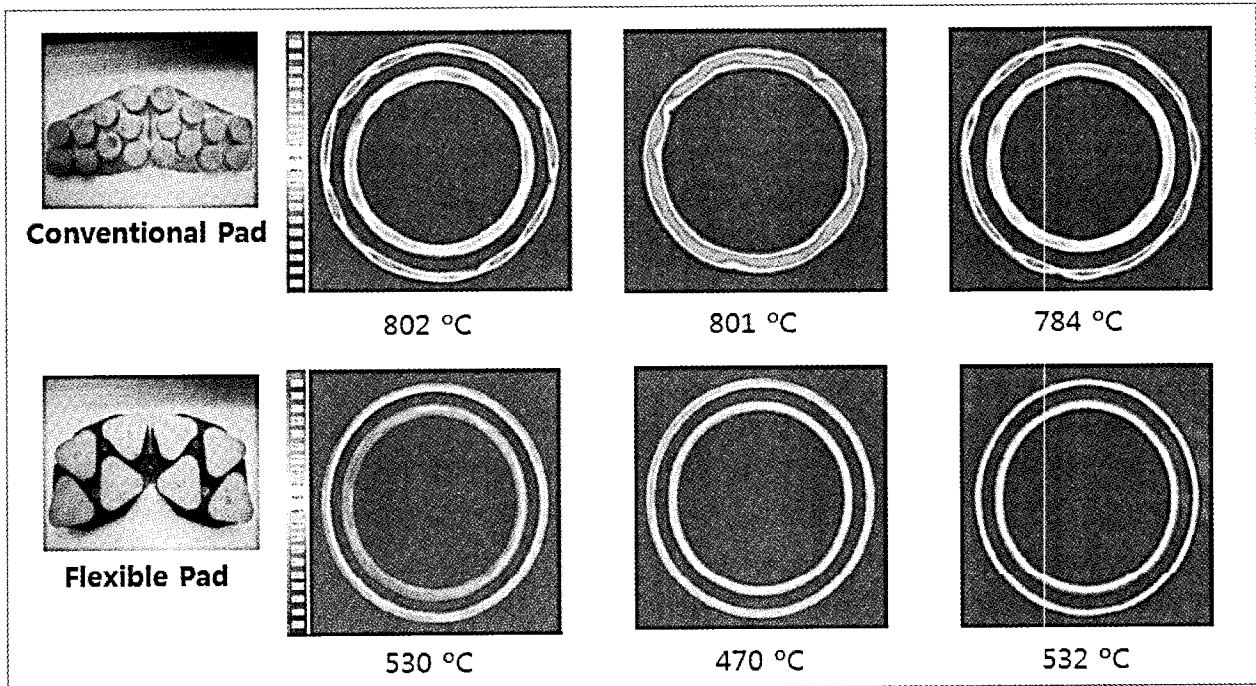


그림 3 Conventional 패드와 Flexible 패드의 디스크 표면에서의 온도분포 모습

동뿐만 아니라 각 차륜에 차륜디스크가 설치되어 기계제동이 작용되며, 객차대차에는 각 차축에 3개의 축 디스크가 설치되어 기계제동이 작용된다. 차축에 설치되는 디스크는 공기순환 방식으로 제동 과정에서 냉각효율이 향상되도록 하였으며, 패드는 탄성을 가진 것을 사용하여 디스크와의 접촉이 균일하게 하고 마찰면적을 최대한 확장하여 제동의 효율성을 높이고 열점(Hot Spot) 현상을 최소화하는 등 열에너지를 균일하게 부담할 수 있도록 하였다.

차세대 고속열차 제동시스템의 안전 모드

철도차량의 제동시스템은 안전과 직결된 주요한 시스템으로 시스템의 안전성을 반드시 확보하여야 한다. 따라서 차세대 고속열차에서도 기존의 고속열차에서 요구하는 안전성을 확보하기 위하여 활주방지제어장치, 긴급제동, 보조제동 등의 안전과 관련된 장치를 설치하고 있다.

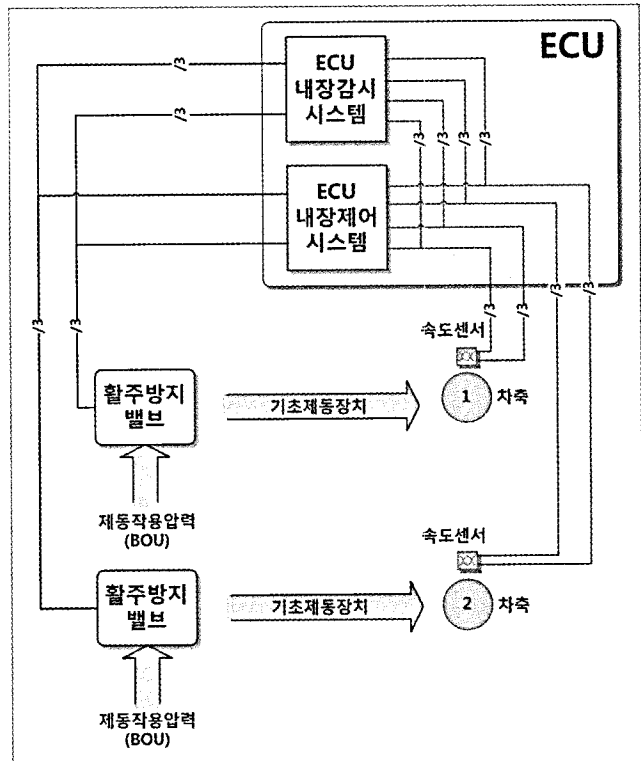


그림 4 활주방지제어 다이어그램

활주방지제어(Wheel Slide Protection)
공기 제동 제어장치(BCU: Brake Control)

Unit) 모듈 내부에 설치된 제동전자제어장치는 기능상으로 크게 활주방지제어 부분과 제동실린더 압력제어부분으로 구성되어 있어 차륜과 레일 간의 활주가 발생하는 경우 이를 방지하기 위한 활주방지제어기능을 수행한다. 각 대차의 활주방지제어장치는 해당 대차의 차축속도와 이웃대차의 차축속도(또는 기준속도)를 기준으로 활주판단 및 활주방지전자밸브를 제어하도록 구성되어 있다. 해당대차의 활주방지제어장치의 고장 발생을 고려하여 제동전자제어장치에 이중계로 서로 독립된 2개의 활주방지제어장치로 활주방지제어 밸브를 제어할 수 있는 Fail-Safe 시스템이 적용되어 있다.

또한, 활주방지제어용 전자밸브는 그 동작 특성상 순간적으로 고 전류를 소비하는 특징이 있어 장시간 지속적으로 동작신호가 인가될 경우, 온도상승으로 인한 전자밸브코일 손상 등의 부작용을 수반할 수 있어 이를 차단하기 위해 자체 구동 소프트웨어에서 연속통전 시간 제한기능을 두어 고장에 대비하고 있다.

긴급제동모드(Urgency Braking Mode)

차량의 비상제동 중 제동전자제어장치의 고장 시 긴급제동모드로 자동전환 작동되는 백업시스템으로 긴급제동전자밸브에 의해 작동되는 긴급제동 모드를 반영하고 있다. 긴급제동의 투입은 비상제동 모드로 작동하던 제동전자제어장치의 고장으로 인하여 전기신호가 차단되면 공기포트가 열려서 상시 대기하고 있던 공기압력이 제동통으로 투입되는 구조로 되어 있다. 이때, 상시 대기하고 있는 압력은 고/저압 절환 압력제어밸브에 의해 고압과 저압 두 가지 단계로 출력될 수 있으며, 고/저압의 선택은 활주방지제어장치에서 명령하는 디지털 신호에 의해 결정된다. 이는 고속영역에서 고압의 제동통 압력인가로 인한 차륜과 레일 간의 점착 제동력 한계 초과로 차륜의 찰상 등을 방지하기 위한 백업제어 개념을 적용한 것이다.

보조제동모드(Auxiliary Braking Mode)

상용제동 계통의 지령체계인 PWM 하드와이어 제동명령 신호선의 단선, 구간제어기의 고장 또는 구간제어기신호처리장치의 고장으로 인해 각 대차의 제동제

어장치로 제동명령 신호가 전달되지 않는 고장이 발생하는 경우에 대비하여 백업제동을 가능하게 하기 위한 안전장치이다. 보조제동레버와 보조제동지령 인통선으로 구성된 별도의 제동지령이 인가되는 보조제동시스템이 동작하도록 제안되어 있다. 보조제동레버의 조작에 의한 제동지령은 보조제동제어장치에 의해 전기적인 PWM 신호의 형태로 변환되어 인통선을 통해 각 대차의 제동제어장치 내의 제동전자제어장치까지 전송된다. 보조제동명령신호를 수신한 제동전자제어장치는 구간제어기로부터의 제동명령을 무시하고 보조제동지령에 따라 제동력을 연산하고 구간제어기의 제동 명령과 동일한 계통으로 제동을 체결한다.

제동불완해검지(Non-Release Brake Detect)

제동완해조건에서 공기압 배관상의 문제 또는 밸브제어회로의 오류로 인해 제동통으로 투입된 공기압력이 배출되지 않아 발생하는 불완해 상태를 감지하는 기능이며, 공기제동제어장치 공압판넬상의 제동실린더 압력센서를 통한 압력 상태 값과 운전모드를 논리적으로 판단해 제동불완해 여부를 검출한다. 추진모드 조건에서 3초 이상 1bar 이상의 압력이 지속될 경우 제동전자제어장치는 제동불완해로 인식하고, 제동불완해 검지신호를 열차진단제어장치에 전송하고 제어로직신호를 출력하도록 구성된다. 이때, 제동불완해가 검지된 대차에 한해서 기관사 조작에 의해 강제완해 명령이 입력될 경우 독립적으로 구성된 강제완해밸브를 구동하여 제동압력을 배기시키는 강제완해 기능을 함께 갖추고 있다.

향후 추진 계획

차세대 고속열차의 제동시스템의 기본 구성 계획을 완료하고 세부적인 구성품의 개발을 진행하고 있다. 향후 개발품에 대한 시제품의 제작 및 시험을 통하여 구성품에 대한 성능을 확인하고 차량시스템과의 인터페이스를 확정할 계획이다. 향후 연구 추진 일정에 따라 세부 사항의 확정에 따라 보다 안전하고 신뢰성이 있는 설계최고속도 400km/h급의 동력분산식 고속철도의 제동시스템을 개발할 계획이다.