



Add value.
Inspire trust.

White Paper

수소열차 및 하이브리드 열차의 안전

개요

수소열차 및 하이브리드 열차는 기존 철도인프라를 활용하면서 화석연료를 대체하여 온실가스 배출을 절감할 수 있는 잠재성을 가지고 있습니다. 그러나 수소를 철도차량 시스템의 에너지원으로 적용할 때 잠재적인 안전 문제를 고려해야 합니다. 본 백서에서는 수소 및 하이브리드 열차의 안전성 위협요소를 검토하고 전체적인 위험도 평가를 통해 어떻게 안전 레벨을 향상시킬 수 있는지 논의하고자 합니다.

목차

01	P. 3	서론
02	P. 3	수소열차와 하이브리드 열차의 구성품 및 시스템은 무엇인가?
03	P. 4	수소열차와 하이브리드 열차의 구성품 및 시스템의 장점은 무엇인가?
04	P. 5	수소열차 및 하이브리드 시스템과 연관된 안전성 이슈는 무엇인가?
05	P. 5 - 6	안전성 평가는 왜 중요한가?
06	P. 6	TÜV SÜD와의 협업
07	P. 6	요약

TÜV SÜD 백서 작성자 소개



Dr. Ing. Jürgen Heyn

Head of Innovations in Public Transport, TÜV SÜD Rail GmbH

Dr. Jürgen Heyn has been with TÜV SÜD for 20 years and is an officially recognised expert on fire prevention, fire analysis, evacuation and emergency rescues in connection with railway systems, and holds several additional recognitions. Previous to his current role he was Department Manager for Fire and Worker Safety within the Rolling Stock Business Unit at TÜV SÜD Rail in Munich, and served as the Head of Business Development, as well as a key account and project manager for railway systems. During his career, he has led and conducted the safety assessment of various railway vehicles. Amongst others, he has been involved in the assessment of the world's first rail vehicle for passenger transport to use hydrogen and lithium-ion technology for propulsion.



M. Eng. Tolga Wichmann

Senior Assessor for Fire and System Safety, TÜV SÜD Rail GmbH

Tolga Wichmann brings more than a decade of railway vehicle engineering experience to his role as Senior Assessor for Fire and System Safety. He is an officially recognised expert for preventive fire protection, fire analysis, evacuation and emergency rescue. Prior to joining the company in 2018, he held several positions within the railway manufacturing industry, where he focused on onboard fire protection of regional and high-speed trains for projects throughout the EU and Asia. Mr. Wichmann is both project manager and expert on the safety assessment of hydrogen and lithium-ion systems in rail vehicles.

서론

위험원(Hazard)
식별은 거시적
안전성 평가의
필수 요소입니다.

전세계 많은 국가들이 환경을 위협하는 CO₂ 배출량 절감을 위해 노력하고 있고 정부는 대중교통수단의 동력인 화석연료를 대체하는데 초점을 맞추고 있습니다. 지난 10여년 동안 리튬-이온 배터리는 전기 자동차 및 트럭을 활성화시켰습니다. 철도 분야에서는 수소 및 기존 추진기술과 새로운 추진기술을 결합하는 하이브리드 추진 기술이 적용되고 있습니다. 수소열차 및 하이브리드 열차의 부품 및 시스템은 수소 사용과 관련된 잠재적인 위험 때문에 개발과정에서 잠재적 위험원을 식별하고 측정하기 위한 종합 안전성 평가를 필수적으로 수행해야 합니다.

수소열차와 하이브리드 열차의 구성품 및 시스템은 무엇인가?

수소열차(Hyd rail)는 수소(Hydrogen)과 열차(Railway)를 결합한 새로운 표현입니다. 이 용어는 수소를 이용한 저장장치나 전력생산 또는 기계적 추진력을 얻을 수 있는 철도 관련 장치 또는 시스템을 뜻합니다. 여기에는 압력용기, 연료전지, 수소 연소엔진과

전기적 에너지공급을 원활하게 하기위한 리튬-이온 배터리가 포함됩니다.

하이브리드 열차 시스템은 팬터그래프 혹은 디젤엔진과 같은 일반 동력과 함께 전기에너지 저장시스템을 사용하여 전차선이 없는 구간에서도 운영이 가능한 바이모달(Bi-modal) 시스템을 뜻합니다.

전기에너지 저장시스템은 리튬-이온 배터리 혹은 울트라 커패시터(Ultracap)로 구성됩니다. 수소열차와 하이브리드 열차에서 회생제동 에너지의 저장 및 사용은 운행거리를 최적화할 수 있는 중요한 요소입니다.





수소열차와 하이브리드 열차의 구성품 및 시스템의 장점은 무엇인가?

수소열차 및 하이브리드 열차 구성품 및 시스템은 전기/디젤 연료를 뛰어넘는 몇 가지 장점을 가지고 있습니다. 순수 전기 하이브리드 열차는 높은 효율은 물론 배터리가 전차선 구간에서 충전가능한 경우 별도의 충전 시설을 설치하지 않아도 되는 장점이 있습니다. 그러나 최종 운행 거리는 열차에 설치된 배터리의 개수에 의존하게 되며 배터리의 설치 가능 개수가 공간 및 무게 때문에 제한될 수 있습니다.

수소 연료전지는 연소없이 화학반응 에너지를 전류로 전환합니다. 이 과정에서 수소이온은 양극에서 전해질막을 통해 음극으로 이동하여 대기중 산소와 반응합니다. 결과적으로 수소연료전기는 수증기 외에는 어떤 부산물이나 탄소배출 없이 전력을 생산합니다. 또한 연료전지를 통해 전력을 공급하기 위해 압력용기(15°C, 35MPa)에 저장된 수소는 리튬-이온 배터리보다 총 질량의 관점에서 높은 비에너지 밀도(Specific energy density)를 갖기 때문에 장거리 여행에 이상적입니다.

수소 연료전지의 대체제는 수소 연소엔진입니다. 수소 연소엔진은 차량 추진을 위한 기계에너지를 생산하거나 일반 디젤 파워팩(Diesel

Power packs)처럼 전력을 생산하는데 사용합니다. 이런 수소 연소엔진은 기존 디젤엔진을 대체함과 동시에 EU 규격에 맞게 탄소 및 유해가스 배출을 제거할 수 있습니다. 수소 연료전지가 긴 수명을 유지하기 위해서는 고순도의 수소를 요구하지만 수소 연소엔진은 다양한 범위의 순도를 갖는 수소를 사용할 수 있습니다.

다른 전기동차 기술과 비교했을 때 수소열차와 하이브리드 열차가 가지는 또다른 잠재적 장점은 낮은 투자비용입니다. 수소열차와 하이브리드 열차 시스템은 기존 전차선 선로 연장 시 별도의 전차선 구축비용을 요구하지 않습니다. 이러한 장점은 기존 철도시설을 이용하는데 있어 장애요소가 적다는 것을 의미합니다.

최초의 수소열차는 2018년 독일에서 운영을 시작하였습니다. 현재 대부분의 유럽국가에서 향후 몇 년 안에 기존 디젤 열차를 수소열차로 대체할 계획을 갖고 있습니다. 이 기술은 철도분야에서 유해한 탄소배출량을 환경친화적으로 감소시키며 2016년 파리기후변화협정에 기여할 수 있는 유일한 방법입니다.

수소열차 및 하이브리드 시스템과 연관된 안전성 이슈는 무엇인가?

동력공급 방식과 무관하게 철도 운송 장비 및 시스템은 전 세계에서 승객과 화물을 안전하고 효과적으로 운송하는데 필수적입니다. 철도산업은 안전에 초점을 맞추는데 앞장서 왔으며 항공 운송에 이어 10억 킬로미터 당 사망자수가 두번째로 낮은 안전한 운송 수단입니다. 이러한 통계들은 철도차량 및 철도장치의 설계, 개발, 운영에 있어 안전이 중요한 관심사라는 업계 전반의 믿음을 반영합니다.

수소열차와 하이브리드 열차 장치 및 시스템에서 안전은 더 복잡한 문제입니다. 수소는 가연성이 높은 연료 공급원이며 저장 및 처리를 잘못할 경우 대기 중에 폭발할 수 있습니다. 더욱이 높은 작동압력으로 인해 파열의 위험이 있습니다. 또한 리튬-이온 배터리는 다양한 화재 위험원과 연결되며 리튬 전지의 화학성분은 연소가스 발생시 심한 독성물질을 배출합니다. 배터리의 운영을 제대로 하더라도 설계나 생산과정에서 결함으로 인한 화재, 과열, 가스누출 등의 문제가 쉽게 발생할 수 있습니다.

따라서 대체 연료 공급원의 운용 및 저장과 관련된 모든 시스템은 위험도를 고려하여 설계해야 합니다. 예를 들어 저장용기 시스템은 수소용액이나 가스의 고압에서 견딜 수 있어야 합니다. 수소열차와 하이브리드 열차 장치 및 시스템은 차량의 충돌 및 충격 시 발생하는 어떤 상황에서도 안전성을 보장해야 합니다. 안전 개념, 운영 매뉴얼, 사고 및 비상개념은 대체연료와 관련된 특수한 위험원을 반영해야 합니다.

불행하게도 안전과 관련된 산업 규격은 기술개발의 속도를 따라잡지 못하고 있습니다. 예를 들어 자동차 및 다른 산업의 수소연료 사용에 대한 규격은 존재하지만 철도차량의 수소연료전지 사용에 영향을 미치는 요소 및 운영 제한사항에 관한 규격은 아직 없습니다. 현재 TSI와 같은 유럽 및 국제 법령에도 대체 추진시스템에 대한 규격이 없는 상황입니다.

안전성 평가는 왜 중요한가?

이러한 맥락에서 안전한 수소열차와 하이브리드 열차 장비 및 시스템 개발을 위해서는 제조사 및 개발자가 대체 연료 공급원 사용과 관련된 모든 위험성을 고려할 수 있는 강력한 위험도 관리 프로세스(Risk management process)를 적용해야 합니다. 위험도 분석 프로세스(Risk analysis process)는 아래 네가지 단계로 구성해야 합니다:

위험도 식별(Risk identification)

위험성 또는 위험원 식별단계는 예측 가능한 사용 조건에서 잠재적인 모든 위험성을 식별하는 것을 목표로 하는 종합 시스템 평가를 포함합니다.

위험도 평가(Risk assessment)

위험도 평가는 1)발생빈도 및 2)발생 시 잠재적 결과에 대한 기술적 위험도를 평가하는 프로세스입니다.

우선순위 배정(Assign level of priority)

위험도 평가 결과에 따라 개별 위험도를 적용 가능한 수준으로 관리하기 위해 우선 순위를 배정해야 합니다.

위험도 관리(Risk handling)

최종적으로 위험도 관리단계에서는 위험원을 제거하거나 잠재적인 안전에 미치는 영향을 허용 가능한 수준으로 줄이기 위해 설계 변경 또는 추가적인 안전 장치 도입해야 합니다.

이러한 위험 분석의 궁극적인 목표는 표적 조치를 통해 기술적 위험을 식별하고 발생 확률을 허용 가능한 수준으로 줄이는 것뿐만 아니라 공개 및 표적 조치를 통해 피해를 제한할 수 있도록 하는 것입니다. 현재는 신규 기술에 대한 규격이 없기 때문에 포괄적인 위험도 기반 안전 검증이 필요합니다. 수소열차 및 하이브리드

열차의 검토 프로세스를 규격화하고 개발 프로세스를 좀 더 효율적으로 만들고 증가하는 수소열차 및 하이브리드 열차의 수요를 충족하기 위해서는 철도차량관련 규격 수립이 필요합니다. 중장기적으로 이를 통해 안전성 검증에 대한 위험도 기반 평가 방식에서 규격 기반 평가 방식으로 전환할 수 있습니다.

TÜV SÜD와의 협업

TÜV SÜD Rail은 50여년 동안 철도 제조사, 운영사 및 철도 기관에 종합적인 검사, 시험, 인증 및 교육 서비스 포트폴리오를 제공하여 안전하고 신뢰할 수 있고 효율적인 철도 운송을 보장해 왔습니다. 우리는 일반철도, 고속철도, 도시철도 및 경전철분야의 역량을 바탕으로 글로벌 철도제품에 대한 경력과 철도 기관 및 이해관계자와 협력했습니다. 그리고 우리는 세계적으로 인정 받은 검사기관, 시험기관, 인증기관, 공인인증기관(NoBo; Notified Body), 국가지정기관(DeBo; Designated Body) 그리고 평가기관(AsBo; Assessment Body)입니다.

TÜV SÜD는 개발 과정에서 수소열차와 하이브리드 열차 및 그 구성품과 시스템에 대하여 EN 50126-1의 요구사항 및 수명주기에 따라 독립 안전성 평가를 수행하였습니다. 이 과정에는 위험도

분석(Risk analysis)의 조정 및 평가, 검증계획(Verification plan)의 검토 및 확인, 구성품 및 조립품의 시험 및 인증, 시험 명세서의 검토, 형식시험(Type test) 동반과 안전성평가(Safety assessment) 보고서 준비작업이 포함 됩니다. 이러한 서비스 외에도 철도차량 수소 시스템 및 리튬-이온 배터리 시스템의 안전에 대한 교육과정도 제공합니다.

TÜV SÜD의 수소열차와 하이브리드 열차의 안전성 평가를 위해 TÜV SÜD Industry Service GmbH에서 수소 구성품 시험을 수행하며 TÜV SÜD 배터리 시험소에서 리튬-이온 배터리 시험을 수행합니다. TÜV SÜD는 대체 연료 시스템을 사용하는 열차 장비 및 시스템의 시험과 평가에 대한 원스톱 서비스를 제공합니다. 이를 통해 친환경 첨단 추진기술의 적용을 직접적으로 지원합니다.

요약

본 백서는 수소열차와 하이브리드 열차 장비 및 시스템의 설계, 배치 및 운영에서 잠재된 안전 위험성을 식별하는데 공식적인 위험도 평가 프로세스가 중요하다는 점을 강조하였습니다. 철저한 위험 분석은 제작사가 안전 관련 문제를 개발 프로세스 초기에 해결할 수

있도록 하여 최종 단계의 설계 변경 및 지연 가능성을 감소시키는데 효과적입니다. 중립적인 제3자 서비스 제공자와 협력을 통한 효율적인 위험도 평가는 귀사가 규제 기관이 제시한 시험 및 검증 요구사항을 달성할 수 있도록 지원합니다.

TÜV SÜD의 철도인증 서비스가 궁금하신가요?

TÜV SÜD의 철도인증 서비스 페이지

문의하기

가치를 창출합니다. 신뢰를 더합니다.

TÜV SÜD는 안전, 보안 및 지속 가능성 솔루션을 제공하는 신뢰할 수 있는 파트너입니다. 우리는 시험, 인증, 감사 및 자문 서비스를 전문적으로 수행합니다. 1,000개 이상의 지역에서 25,000명 이상의 직원을 통해 새로운 시장 접근을 가능하게 하고 프로젝트 위험을 관리함으로써 고객과 파트너의 가치를 창출합니다. 기술 발달의 기대감과 변화를 촉진함으로써 TÜV SÜD는 물리적 세계와 디지털 세계에 대한 신뢰를 통해 더 안전하고 지속 가능한 미래를 만듭니다.

티유브이 슈드 코리아(주)

서울시 영등포구 국제금융로 10
TWO IFC 29층 07326
www.tuvsud.com/ko-kr
+82 2-3215-1100
info.kr@tuvsud.com



Copyright notice

The information contained in this document represents the current view of TÜV SÜD on the issues discussed as of the date of publication. Because TÜV SÜD must respond to changing market conditions, it should not be interpreted to be a commitment on the part of TÜV SÜD, and TÜV SÜD cannot guarantee the accuracy of any information presented after the date of publication. This White Paper is for informational purposes only. TÜV SÜD makes no warranties, express, implied or statutory, as to the information in this document. Complying with all applicable copyright laws is the responsibility of the user. Without limiting the rights under copyright, no part of this document may be reproduced, stored in or introduced into a retrieval system, or transmitted in any form or by any means (electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise), or for any purpose, without the express written permission of TÜV SÜD. TÜV SÜD may have patents, patent applications, trademarks, copyrights, or other intellectual property rights covering subject matter in this document. Except as expressly provided in any written license agreement from TÜV SÜD, the furnishing of this document does not give you any license to these patents, trademarks, copyrights, or other intellectual property. ANY REPRODUCTION, ADAPTATION OR TRANSLATION OF THIS DOCUMENT WITHOUT PRIOR WRITTEN PERMISSION IS PROHIBITED, EXCEPT AS ALLOWED UNDER THE COPYRIGHT LAWS. © TÜV SÜD Group – 2022 – All rights reserved – TÜV SÜD is a registered trademark of TÜV SÜD Group.

Disclaimer

All reasonable measures have been taken to ensure the quality, reliability, and accuracy of the information in the content. However, TÜV SÜD is not responsible for the third-party content contained in this publication. TÜV SÜD makes no warranties or representations, expressed or implied, as to the accuracy or completeness of information contained in this publication. This publication is intended to provide general information on a particular subject or subjects and is not an exhaustive treatment of such subject(s). Accordingly, the information in this publication is not intended to constitute consulting or professional advice or services. If you are seeking advice on any matters relating to information in this publication, you should – where appropriate – contact us directly with your specific query or seek advice from qualified professional people. The information contained in this publication may not be copied, quoted, or referred to in any other publication or materials without the prior written consent of TÜV SÜD. All rights reserved © 2022 TÜV SÜD.