

# CAN Bus 기술 가이드: 차량 내 네트워크 진단 및 분석 체계

## (Technical Guide to CAN BUS: In-Vehicle Network)

### Application Note

## Introduction / 서론: 차량 내 네트워크 시스템의 구조 및 진단 매커니즘

현대 자동차 아키텍처는 단순 기계 장치를 넘어, 수백 개의 전자 제어 장치(ECU)가 상호 유기적으로 데이터를 교환하는 정밀 네트워크 시스템으로 진화했습니다. 엔진 파워트레인 제어부터 ADAS 센서 데이터 전송에 이르기까지, 차량 내 모든 핵심 정보는 고속 통신 프로토콜을 통해 실시간으로 처리됩니다.

이처럼 복잡도가 높은 전자 시스템의 결함을 파악하고 데이터 정밀도를 검증하기 위해서는 단순한 소프트웨어 스캔 이상의 분석이 필요합니다. 이때 오실로스코프(Oscilloscope)는 물리 계층의 전기적 신호를 가시화하여, 통신 파형의 왜곡이나 전기적 간섭을 정밀하게 분석할 수 있는 핵심 하드웨어 진단 솔루션으로 활용됩니다.

본 가이드는 오실로스코프를 활용한 차량 내 네트워크 진단의 기술적 매커니즘을 상세히 다룹니다. 물리 계층(Physical Layer)의 신호 분석을 통해 시스템 결함을 식별하고, 복잡한 통신 아키텍처 내에서 정밀 진단을 수행하기 위한 핵심 방법론을 다음과 같이 제시합니다.

- 자동차의 핵심 통신 시스템인 시리얼 버스의 기본 원리
- 전기 신호를 시각화하여 오류를 진단하는 오실로스코프의 파형 분석 기능
- 복잡한 프로토콜 스택 내 원인 규명을 위한 고급 트리거링 및 디코딩 솔루션

## 1. 차량용 시리얼 버스(Serial Bus) 네트워크 정의 및 구조

차량용 시리얼 버스(Serial Bus)는 엔진, 변속기, 에어백, 인포테인먼트 시스템 등 차내 주요 전자 장치 간의 데이터 교환을 담당하는 핵심 통신 인프라입니다. 각 하드웨어 모듈은 이 통합 통신망을 통해 실시간으로 정보를 공유하며 유기적으로 동작합니다. 현대의 차량 아키텍처는 기술적 요구 사항에 따라 최적화된 다양한 버스 규격을 적용하고 있습니다. 자동차에서 주로 사용되는 대표적인 시리얼 버스는 다음과 같습니다.

- CAN (Controller Area Network): 엔진, 변속기, 브레이크 시스템 등 자동차의 핵심적인 부품 간의 안정적이고 신뢰성 높은 통신을 담당합니다. 자동차의 안전과 직결되는 중요한 데이터를 전달하는 데 주로 사용됩니다.
- LIN (Local Interconnect Network): 창문 개폐, 시트 조절, 미러 제어 등 상대적으로 속도가 중요하지 않은 편의 장치를 제어하는 데 사용됩니다. CAN보다 저렴하여 비용 효율적인 통신이 필요할 때 적합합니다.
- Automotive Ethernet: 첨단 운전자 보조 시스템(ADAS)의 카메라, 레이더 센서와 같이 대용량의 데이터를 낮은 지연 시간(low-latency)으로 빠르게 전송해야 하는 시스템에 사용됩니다. 자율주행 기술이 발전하면서 그 중요성이 더욱 커지고 있습니다.

이 외에도 더 빠른 속도를 지원하는 CAN FD, 차세대통신을 위한 CAN XL, 그리고 FlexRay, SENT와 같은 다양한 버스들이 목적에 맞게 사용되며 차량 내 통신망을 구성합니다. 본 가이드에서는 이처럼 복잡한 네트워크를 흐르는 실제 물리적 신호의 형태를 확인하고, 신호 품질의 안정성이 차량의 성능과 주행 안전에 미치는 결정적인 영향에 대해 자세히 알아보겠습니다.

## 2. 오실로스코프의 역할: 신호 가시화 및 물리 계층(Physical Layer) 검증

오실로스코프의 가장 중요한 역할은 눈에 보이지 않는 전기 신호, 즉 아날로그 신호(analog signals)를 시간의 흐름에 따른 파형으로 시각화하는 것입니다. 통신 시스템의 가장 기본적인 물리적 신호 상태를 점검한다고 해서 이를 "물리 계층(physical layer testing)"라고 부릅니다. 의사가 청진기로 몸속의 소리를 들어 내부 상태를 파악하듯, 엔지니어는 오실로스코프로 전자 회로 속의 신호를 '눈으로 보아' 그 건강 상태를 진단합니다.

단순히 통신 로그 데이터만 확인하는 것으로는 충분하지 않을 때가 많습니다. 데이터 전송이 실패하는 근본적인 원인은 신호 자체의 품질 문제일 수 있기 때문입니다. 예를 들어, 신호 파형이 깨끗하지 않고 노이즈가 섞여 있거나, 신호의 모양이 찌그러져 왜곡된다면 ECU는 데이터를 정상적으로 인식할 수 없게 됩니다.

오실로스코프는 바로 이러한 아날로그 신호의 품질을 직접 눈으로 확인하게 함으로써, 통신 오류의 근본 원인을 찾아낼 수 있도록 돕습니다. 하지만 오실로스코프는 단순히 신호를 보여주는 것을 넘어, 수많은 데이터 속에서 우리가 원하는 정보를 정확히 찾아내고 그 의미를 해석하는 강력한 기능들을 제공합니다.

## 3. 정밀 분석을 위한 오실로스코프 핵심 기술

자동차 인포테인먼트 시스템의 간헐적 중단(Intermittent failure) 같은 이슈가 발생했을 때, 방대한 데이터 중 오류를 유발하는 특정 신호를 식별하는 것은 매우 까다로운 작업입니다. 이때 오실로스코프의 핵심 기술인 아이 디어그램(Eye Diagram), 트리거링(Triggering), 디코딩(Decoding)은 문제 해결을 위한 정밀한 분석 환경을 제공합니다. 각 기술이 실제 진단 과정에서 어떤 역할을 수행하는지 살펴보겠습니다.

### 3-1. 신호 무결성 검증: 아이 다이어그램 (Eye Diagram)

아이 다이어그램은 수많은 신호 파형을 중첩(Superposition)하여 신호의 전반적인 품질을 시각화하는 기법입니다. 이를 통해 신호의 물리적 특성과 무결성(Integrity)을 한눈에 파악할 수 있습니다. 수평 축의 시간 편차와 수직 축의 전압 변동이 겹쳐지며 나타나는 형태에 따라 다음과 같이 진단합니다.

- 건강한 신호: 눈 모양이 크고 깨끗하게 열려 있으면, 신호의 품질이 매우 좋다는 의미입니다.

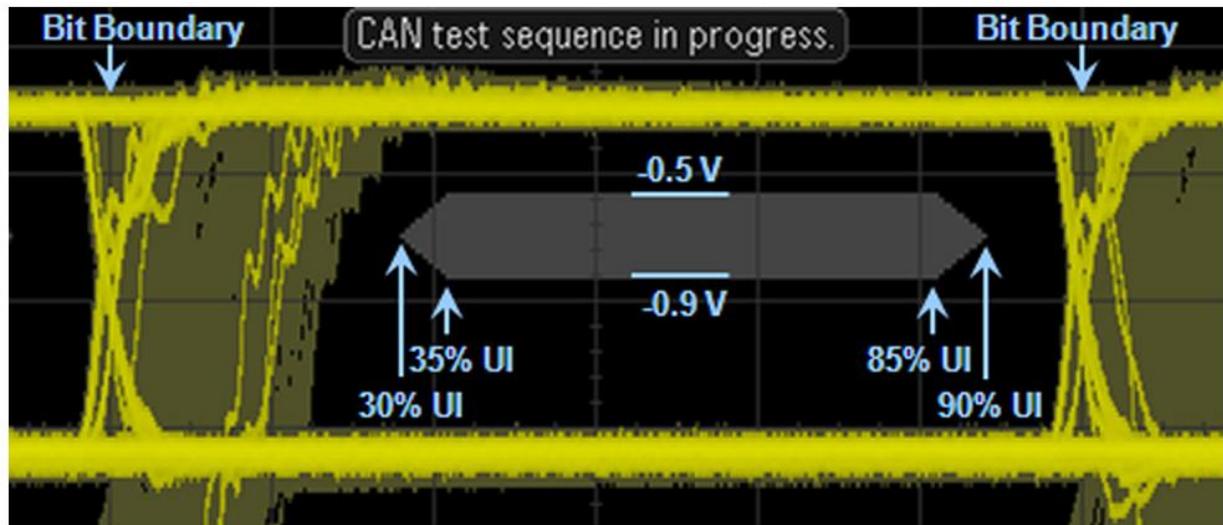


그림 1: 마스크 테스트를 통과한 건강한 CAN 버스의 아이 다이어그램. 중앙의 '눈'이 명확하게 열려 있어 신호 품질이 양호함을 보여준다

- 문제가 있는 신호: 반면 그림 2처럼 눈 모양이 찌그러지거나, 눈 안쪽으로 노이즈가 많이 보이거나, 눈의 경계선이 두껍고 불분명하다면 지터(jitter, 신호의 시간 축 떨림), 노이즈, 느린 신호 변화(slow edges) 등의 문제가 있음을 의미합니다.

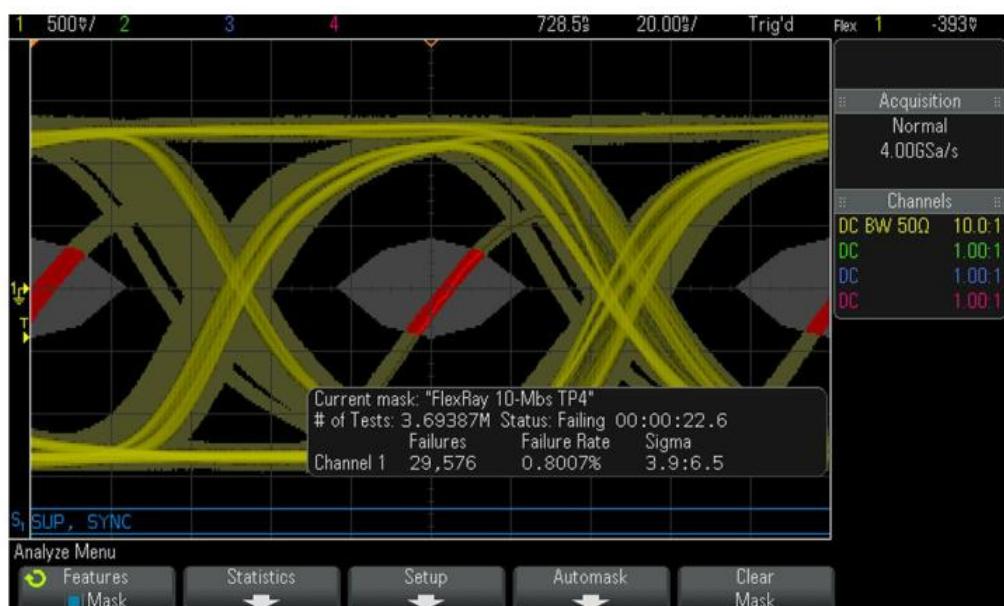


그림 2: 마스크 테스트에 실패한 FlexRay 버스의 아이 다이어그램. 붉은색 영역은 신호가 지터와 느린 신호 변화로 인해 정상 범위를 벗어났음을 보여준다.

아이 다이어그램을 통해 신호 품질에 문제가 있음을 확인했다면, 이제 그 문제를 일으키는 특정 순간을 포착해야 합니다.

### 3-2. 정밀 이벤트 포착: 트리거링 (Triggering)

트리거링은 '수많은 인파 속에서 특정 인물의 얼굴을 인식했을 때만 사진을 찍는 고성능 카메라'에 비유할 수 있습니다. 자동차 시리얼 버스에서는 초당 수천 개의 메시지가 쉴 새 없이 오고 갑니다. 트리거링은 이 중에서 우리가 원하는 특정 이벤트나 오류가 발생하는 순간만을 정확히 포착하는 기술입니다.

예를 들어, 다음과 같이 특정 조건을 설정할 수 있습니다.

- "에어백(Airbag)"이라는 ID를 가진 메시지가 전송될 때만 파형을 캡처하라.
- 통신 오류 프레임(error frame)이 감지될 때만 캡처하라.

이 기능 덕분에 엔지니어는 정상적으로 오고 가는 수백만 개의 메시지는 모두 무시하고, '에어백 오류'와 같이 문제의 핵심이 되는 특정 신호가 나타나는 그 결정적 순간만을 포착할 수 있습니다. 이렇게 문제 상황을 정밀하게 분리해 낸 다음에는, 그 신호가 대체 무슨 의미인지 해석해야 합니다.

### 3-3. 데이터 프로토콜 분석: 디코딩 (Decoding)

결정적인 순간의 파형을 포착했다면, 이제 그 파형이 담고 있는 데이터를 이해해야 합니다. 디코딩 기능은 복잡한 전기 신호 파형을 사람이 즉시 이해할 수 있는 데이터로 '번역'해주는 기능입니다.

리골의 오실로스코프는 사용자 정의 라벨링(User-defined Labeling) 및 디코딩 테이블을 통해 확인할 수 있습니다. 자동차 제조사는 각 16진수 데이터가 무엇을 의미하는지 정의해 둔 .dbc라는 형식의 파일을 사용합니다. 이 파일을 오실로스코프에 로드하면, 아래 표와 같이 암호 같은 데이터를 직관적인 정보로 번역해 줍니다.

메시지 종류	원본 데이터 (16진수 ID/값)	심볼릭 디코딩 결과 (.dbc 파일 적용)
Steering	ID: 2B0A, Data: 7717	Name: Steering, Data: Lock:Off; Angle:46.98...
Engine	ID: 4894, Data: 1170	Name: Engine, Data: Fuel:12.08gal; Temp:1...
Airbag	(ID 생략)	Right-impact:Armed; Left-impact:Deployed...
ABS	(ID 생략)	Frnt-L:Unlocked; Frnt-R:locked...

이처럼 디코딩은 마치 외국어 번역기처럼, 엔지니어가 "ID 2B0A의 데이터 7717"이 아니라 "스티어링 잠금이 해제되었고, 각도는 46.98도"라고 즉시 파악하고 문제에 더 집중할 수 있도록 돕습니다.

#### 4. 실무 환경에서의 결함 분석: 간헐적 오류 식별

차량 시스템에서 불규칙하게 발생하는 간헐적 결함(Intermittent Fault)은 원인 규명이 매우 까다롭습니다. 시동 시 가끔씩 나타나는 통신 불안정 이슈를 잡기 위해, 엔지니어가 무작정 오실로스코프 앞에 매달려 파형이 찍히기만을 기다릴 수는 없기 때문입니다.

이러한 분석의 한계를 해결하기 위해 리골(RIGOL)은 '웨이브폼 레코딩(Waveform Recording)' 기능을 제공합니다. 이 모드는 CAN BUS 오류와 같은 특정 트리거 조건이 발생한 순간의 파형만 프레임 단위로 캡처하여 저장합니다. 불필요한 대기 시간은 건너뛰고 에러 데이터 수집에만 Deep Memory를 집중 투입하기 때문에, 메모리 효율을 극대화하면서도 결정적인 결함 데이터를 놓치지 않고 확보할 수 있습니다.

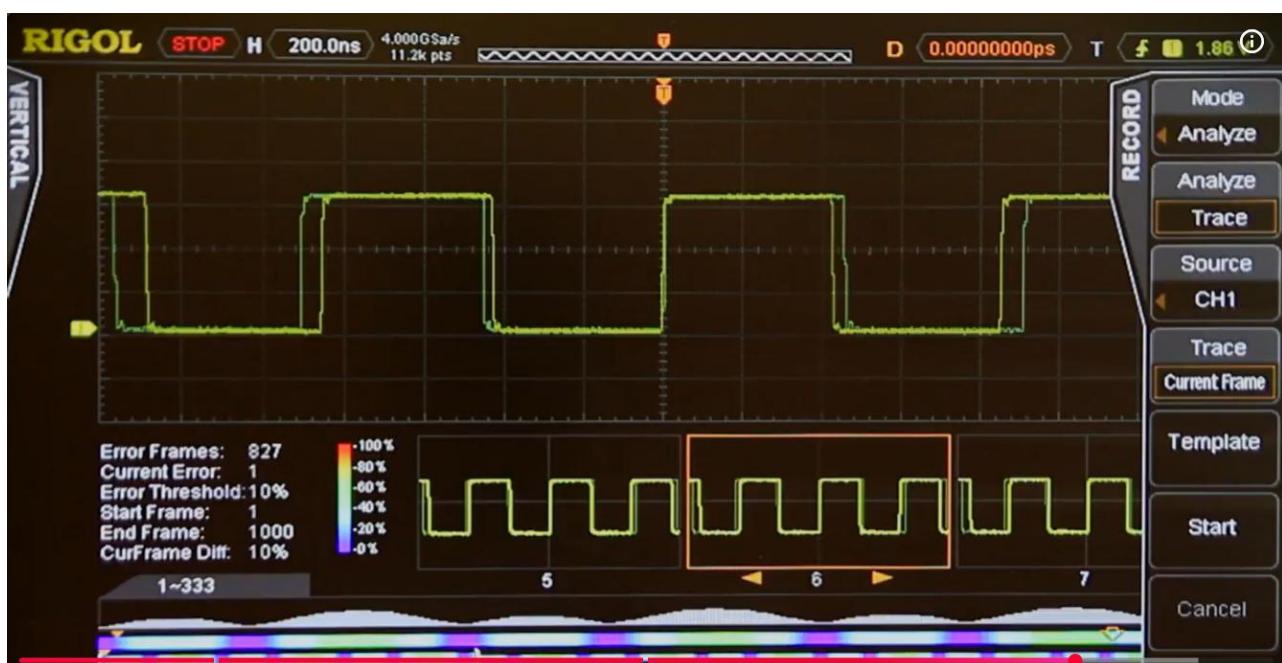


그림 3: 레코딩 모드의 예시

## 5. 결론: 차세대 모빌리티 진단의 필수 솔루션

본 가이드에서는 복잡해지는 차량 통신 시스템 진단에 있어 오실로스코프가 갖는 기술적 가치를 살펴보았습니다. 핵심 내용을 요약하면 다음과 같습니다.

- **시리얼 버스:** 자동차의 전자 장치들이 소통하는 '신경망'으로, CAN, LIN, Automotive Ethernet 등이 목적에 맞게 사용됩니다.
- **오실로스코프의 역할:** 눈에 보이지 않는 전기 신호를 시각화하여 통신의 가장 근본적인 '물리 계층'의 품질을 진단합니다.
- **핵심 분석 기술:** 아이 디어그램, 트리거링, 디코딩 등의 강력한 기능들은 복잡하고 간헐적인 문제를 빠르고 정확하게 해결하도록 돋습니다.

ADAS 및 자율주행 기술의 고도화에 따라 차량 내 데이터 트래픽은 비약적으로 증가하고 있습니다. 특히 완전 자율주행 단계에 진입하면 라이다(LiDAR)와 같은 고성능 센서가 생성하는 데이터량은 현재의 통신 대역폭을 압도할 것입니다. 이러한 환경에서 Automotive Ethernet에 대한 아이 디어그램 테스트 능력은 엔지니어의 핵심적인 기본 역량이 될 것입니다. 또한, '차선 변경 보조'와 같은 고차원적인 시스템의 치명적 결함을 식별하는 성능은 결국 정밀 트리거링과 심볼릭 디코딩 기술의 숙달도에 의해 결정될 것입니다.

<참고문헌>

Keysight - Using an Oscilloscope for Automotive Serial Bus Testing Application note