

CAN의 점검

CAN 신호의 분석과 점검은 전용 분석기를 이용하거나 CAN 신호 디코딩(decoding)을 지원하는 오실로스코프를 사용하여 분석하는 방법이 있다. 또한 물리적 고장을 점검하는 방법으로 차동 라인의 종단저항을 측정하는 방법 등이 있으나 지면관계 상 현장의 대표적 사례인 단선과 단락에 대한 고장진단 사례를 위주로 소개한다.

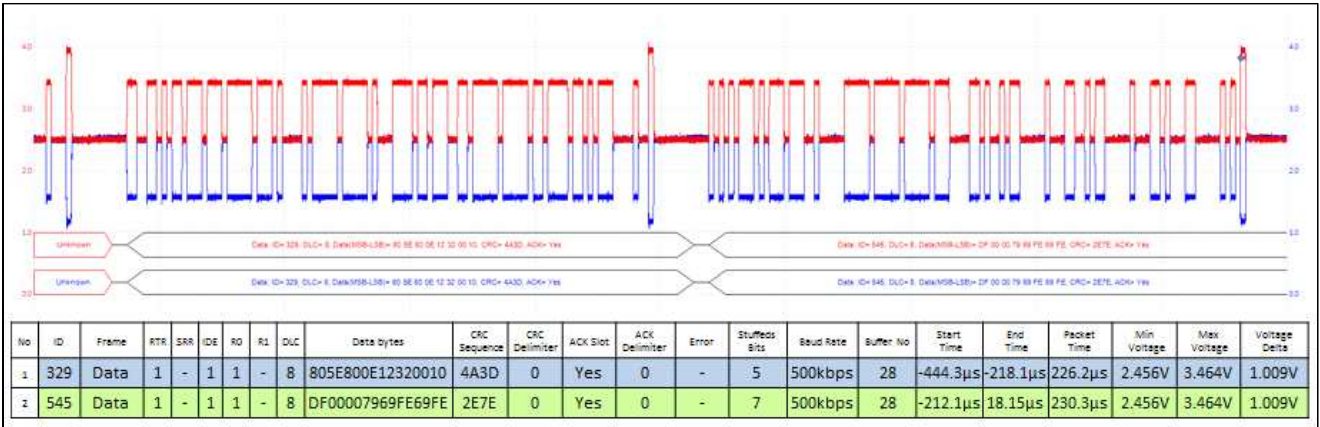


그림 1) 오실로스코프를 이용한 CAN 신호의 분석

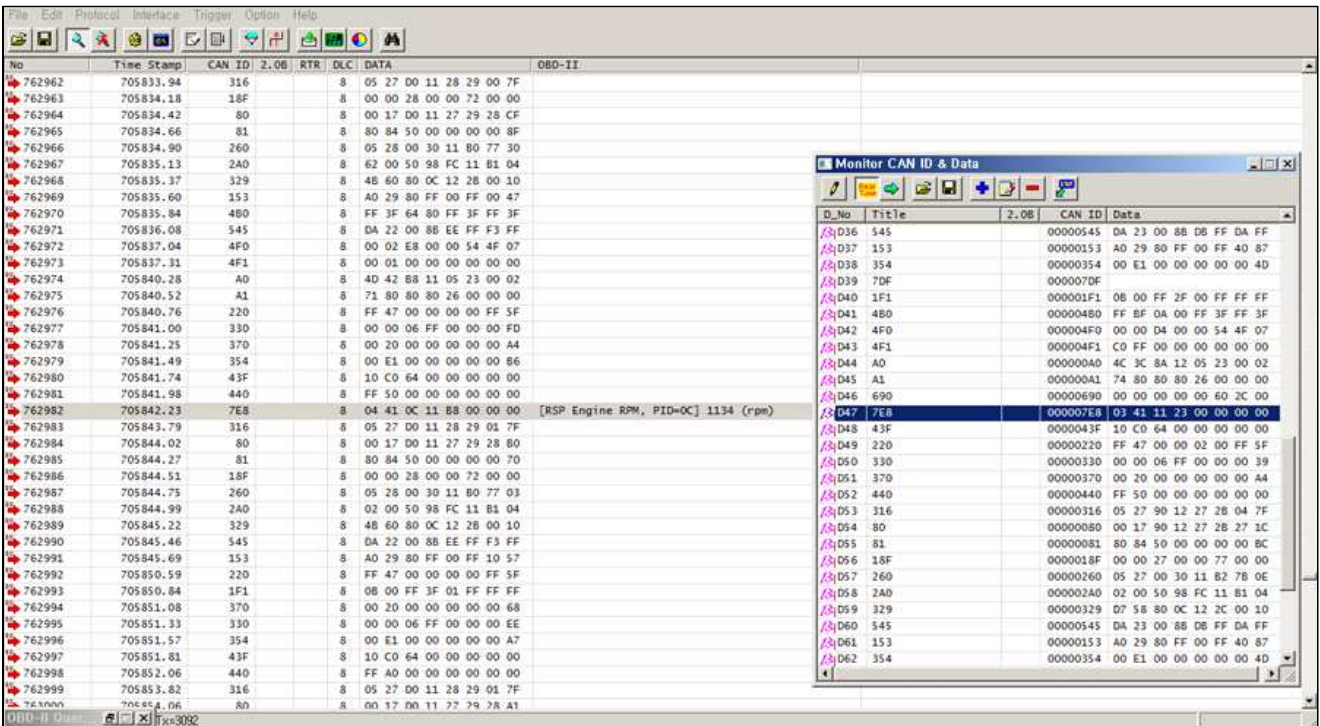


그림 2) CAN analyzer를 이용한 분석

□ 종단 저항을 활용한 차동 라인의 점검

차동 쌍을 사용하고 있는 CAN의 표준 규격은 120Ω의 종단저항을 사용하고 있다. 그림3은 두 라인의 끝에 각각 120Ω의 종단저항이 연결되어 있을 때 저항을 측정한 모습으로

실제 회로와 같다할 수 있다. 두 저항은 병렬로 연결된 관계로 그림에서와 같이 합성저항 (R_t)은 약 60Ω이 된다.

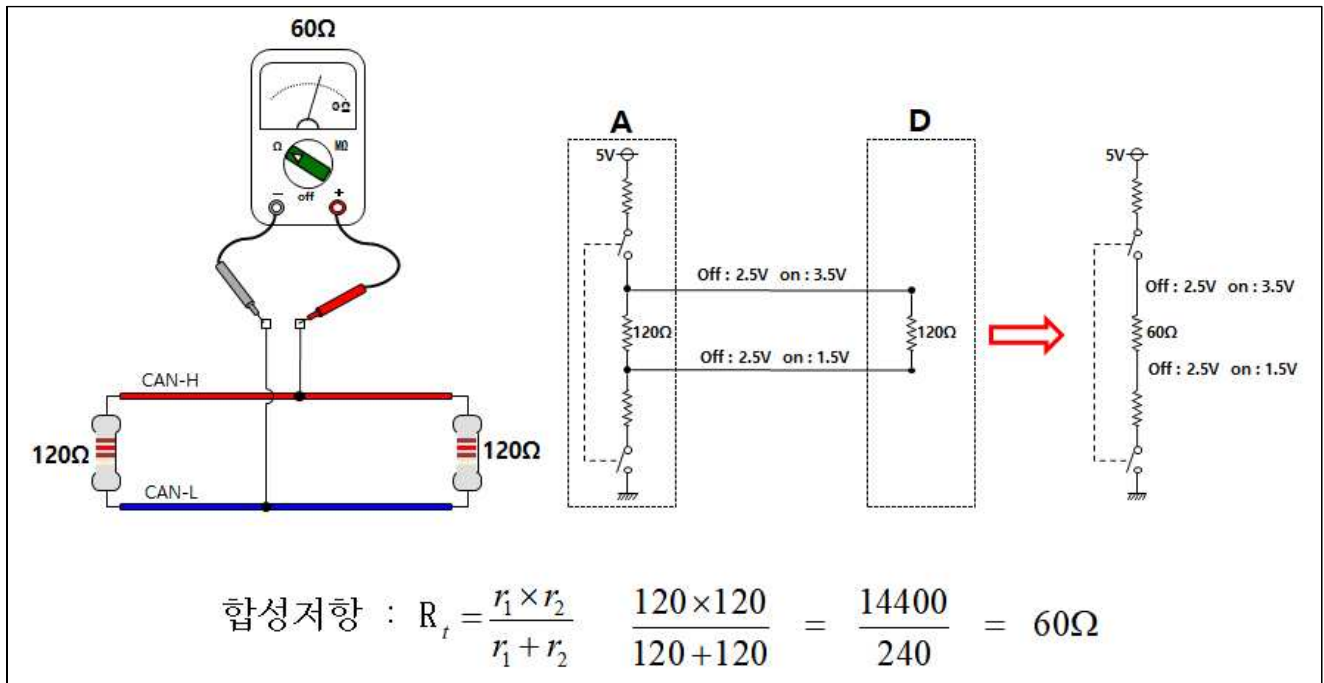


그림 3) 종단저항의 합성저항

종단저항을 내장하지 않은 노드의 저항을 측정하면 수 kΩ 이상의 저항을 가지지만 종단저항과 병렬연결인 관계로 약 60Ω의 저항 값에 큰 변화는 없다. 큰 저항과 작은 저항이 병렬로 연결된 경우 합성저항은 항상 작은 저항보다 낮아지기 때문이다.

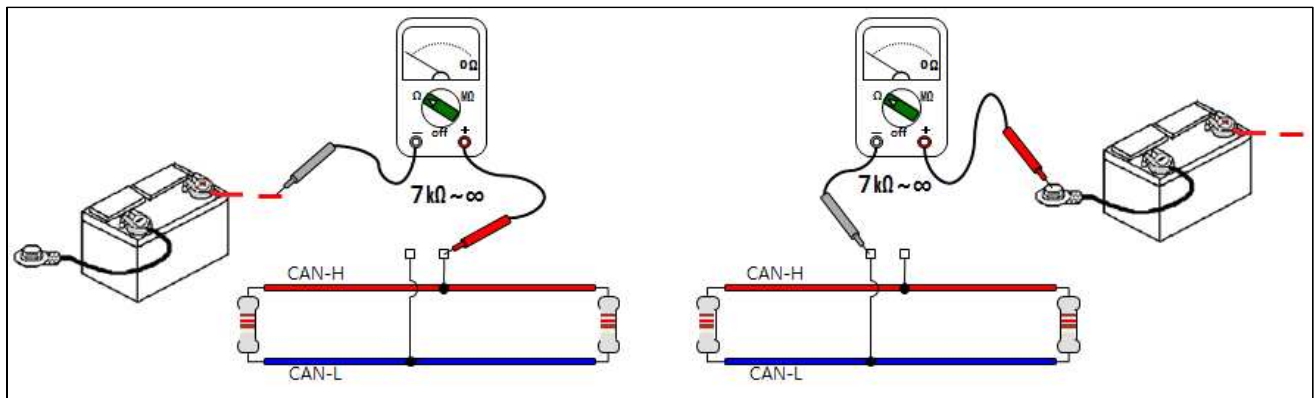


그림 4) 전원부와 차동 라인의 저항시험

실차에서 측정하여도 같은 결과를 얻을 수 있으나 주의해야 할 것은 멀티미터를 이용해 저항을 측정할 때 배터리의 연결을 차단하거나 최소한 IG off 상태이어야 한다. 멀티미터에서 저항을 측정하기 위한 전류가 출력되기 때문으로 기종에 따라 차이가 있지만 아날로그 멀티미터의 경우 3~9V, 디지털 멀티미터의 경우는 3V 미만의 작은 전압이 출력된다. 차동라인에 전압이 인가된 상태에서 저항을 측정하면 정상적인 저항을 측정하기 어려울 뿐만 아니라 기종에 따라 멀티미터의 손상을 초래한다.

CAN 통신라인에서 터미네이션(termination)은 120Ω의 저항을 사용하는 것으로 되어져 있으나 최소 85Ω, 최대 130Ω까지의 오차를 허용하고 있는 관계로 실제 종단저항의 측정 시 42.5 ~ 65Ω의 저항 범위를 정상적인 상태로 판단한다.

$$\frac{85 \times 85}{85 + 85} = 42.5\Omega \quad \frac{130 \times 130}{130 + 130} = 65\Omega$$

컨트롤러 내부의 종단저항의 값을 알고자 할 경우는 전원을 차단하고 컨트롤러 커넥터를 분리 후 CAN High 단자와 CAN Low 단자 간 저항을 측정하면 알 수 있다.

그림4는 배터리를 차단한 상태에서 차동 라인과 전원라인, 차동라인과 접지 사이의 저항을 측정하는 그림으로 대략 수 kΩ~수 MΩ 이상의 저항이 나타난다.

○ 라인의 단선과 단락

버스 라인의 단선·단락 여부의 점검은 주로 진단커넥터의 통신 단자 간 저항을 측정하여 판단하는 경우가 많다. 차동 쌍의 특성상 두 라인은 새끼줄처럼 꼬아져 있지만 한 지점에서

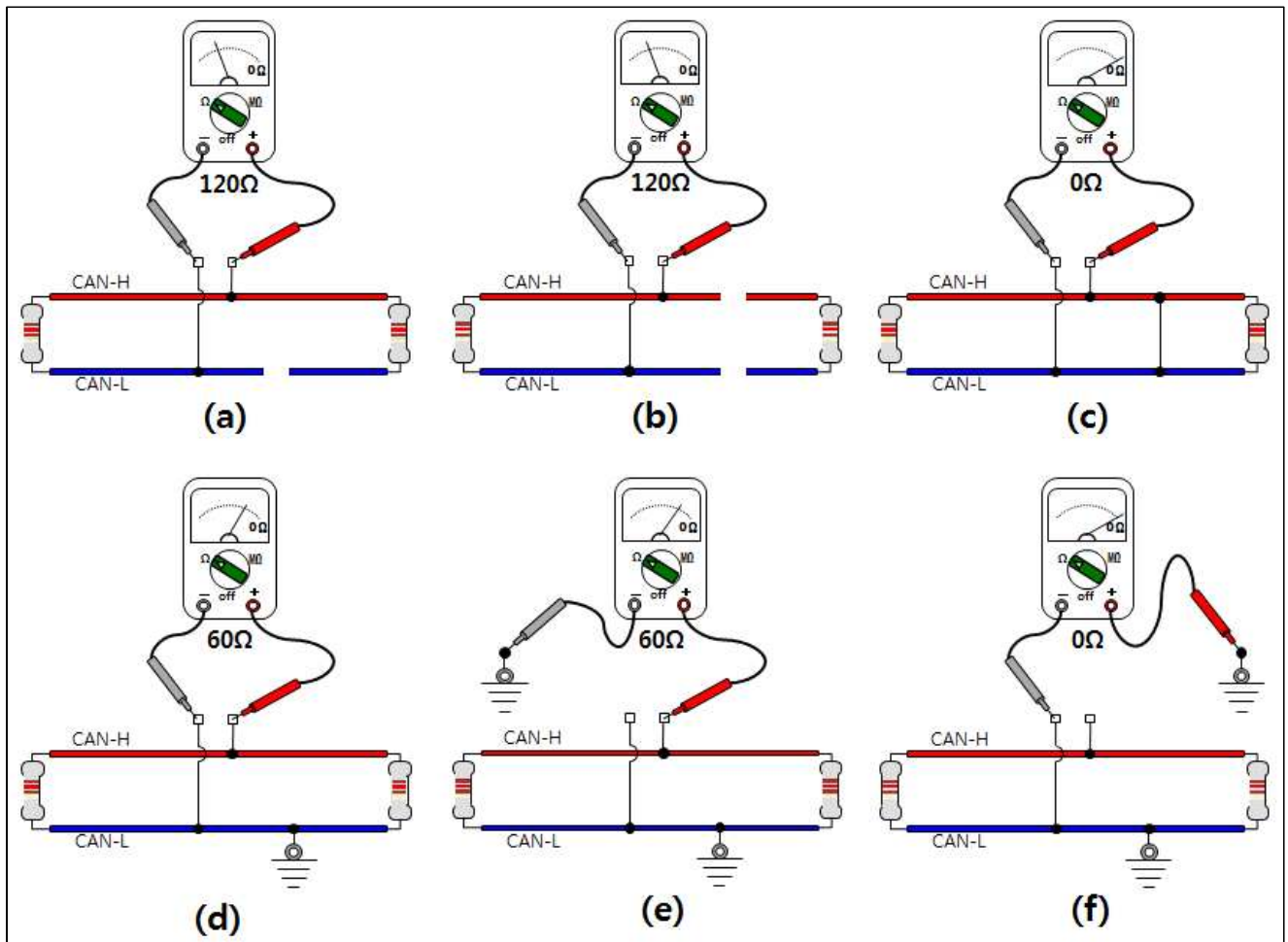


그림 5) 단선과 단락의 구분

단선 또는 단락의 고장이 발생한 경우를 살펴보면 그림 5와 같다. (a)의 경우는 두 라인 중

한 라인만 단선된 경우로 차동라인의 저항을 측정할 경우 멀티미터는 하나의 종단저항만을 측정할 수 있어 60Ω이 아닌 120Ω을 지시하게 된다. 한편 (b)에서와 같이 한 지점에서 두 라인 모두 단선된 경우 (a)와 마찬가지로 120Ω을 지시한다. 두 경우에서 알 수 있듯이 CAN의 메인 라인에서 단선이 발생한 경우 차동 라인의 저항은 어떤 경우든 120Ω이 나타난다. 반면 지선에서의 단선이 발생한 경우라면 메인 라인에서 측정되는 저항은 60Ω이 나타나지만 단선된 노드에서 저항을 측정하면 120Ω이 나타난다.

단선의 경우는 그 위치에 따라 한쪽의 종단저항만으로도 통신이 가능하거나 새로운 그룹을 형성하여 시스템에 미치는 영향은 미미할 수 있다. 특히 메인 라인이 아닌 노드로 연결된 지선의 경우는 해당 노드만 CAN 버스에서 이탈하고 나머지 노드에 큰 영향이 없다고 할 수 있다. 다만 해당 노드의 신호를 받아야만 하는 노드에서는 CAN time out의 진단이 나타날 수 있다.

쇼트의 경우는 메인 라인이든 노드로 연결된 지선이든 회로 전체에 영향을 미쳐 통신 불가 상태가 되는 특징이 있다. (c)와 같이 두 메인라인이 쇼트된 경우도 마찬가지이다. 이 경우 차동 라인의 저항은 그림에서와 같이 0Ω을 지시한다.

한편 (d), (e), (f)와 같이 한쪽라인이 차체와 쇼트된 경우 차동 라인의 저항은 정상 상태와 같은 60Ω으로 나타난다. (d)에서 보이는바와 같이 멀티미터 입장에서 종단저항의 병렬연결은 바뀌지 않았기 때문이다. 다만 쇼트가 발생하지 않은 라인에서 접지간의 저항은 (e)에서 보이는바와 같이 60Ω으로 나타나며 (f)와 같이 쇼트된 라인과 접지 사이의 저항은 0Ω이 나타나 어느 라인에서 쇼트가 발생하였는지 구분할 수 있는 중요한 힌트를 제공한다.

○ 네트워크 상태

진단코드에서 통신 불가 상태는 진단기와의 개통이 안 되는 것이지만 CAN time out은 일정시간 동안 원하는 메시지가 수신되지 않을 때 발생하는 코드로 송신측 노드의 불량일 가능성이 크다. 한편 CAN bus off는 수신 노드가 없거나 검출된 에러의 점수가 255 이상일 때를 의미하고 네트워크상에서 노드는 그림6과 같은 3가지 모드로 존재하지만 IG off 후 IG on 시 리셋 되어진다.

CAN 데이터의 송수신이 정상적으로 이루어졌는지 판단하기 위해 버스를 상시 감시하고 있으며 에러의 발생 횟수에 따라 그림6과 같이 노드의 모드를 관리한다. 오류 활성 상태(Error active)는 송신 또는 수신 에러가 127보다 작은 경우로 정상적인 버스 통신에 참가할 수 있는 상태이며 에러가 발견되면 활성 에러 플래그(error flag)를 전송할 수 있는 상태이다. 오류 수동 상태인(Error passive) 경우는 에러가 발생하는 경향이 있는 상태로 통신에 참여가 가능하지만 다른 노드들의 통신을 방해하지 않기 위해 수신 동작 중에 에러를 다른 노드에 통지 할 수 없는 상태이다. 다만 여러 차례 동안 에러 없는 송수신이 성공한 경

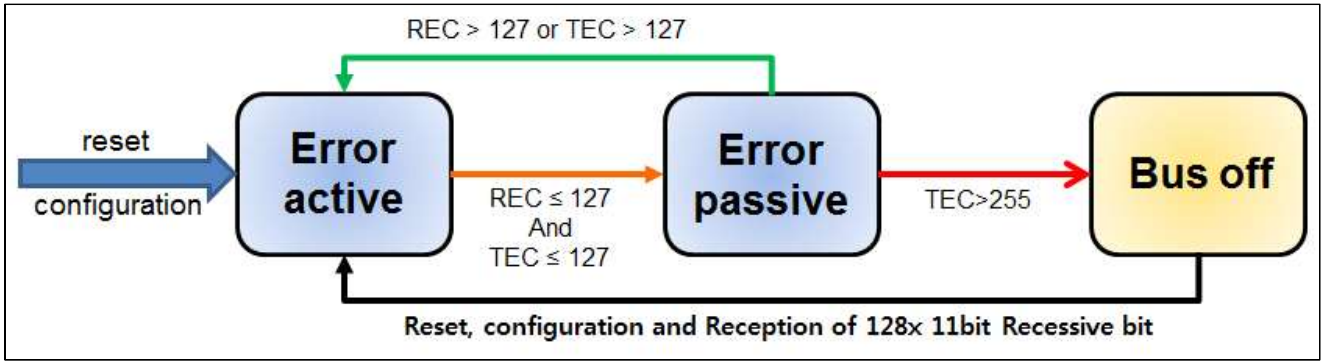


그림 6) 에러 관리

Transmit/receive error counter change conditions		Transmit error counter(TEC)	Receive error counter(REC)
1	수신 노드가 오류를 감지하였을 때 (액티브 에러 플래그 또는 과부하 플래그를 전송하는 동안 비트 단위의 오류 검출을 수신한 경우 제외)	-	1
2	수신 노드가 에러 플래그를 전송한 후 수신된 첫 번째 비트가 dominant를 검출한 경우	-	8
3	송신 노드가 에러 플래그를 송신한 경우	8	-
4	액티브 에러 플래그 또는 과부하 플래그 전송 시 송신 노드가 에러 비트를 감지한 경우	8	-
5	액티브 에러 플래그 또는 과부하 플래그 전송 시 수신 노드가 에러 비트를 감지한 경우	-	8
6	액티브 에러 또는 과부하 플래그 시작에서 14개의 dominant를 감지한 경우 (각각의 경우에서 8비트의 dominant를 감지한 경우)	For a transmit unit +8	For a receive unit +8
7	패시브 에러 플리그 후 8비트의 dominant를 감지한 경우	For a transmit unit +8	For a receive unit +8
8	송신 노드가 정상적인 메시지를 송신한 경우 (ACK신호가 받았고 EOF가 나올 때까지 오류 없음)	-1 ±0 when TEC = 0	-
9	수신 노드가 정상적인 메시지를 수신한 경우 (ACK 신호 끝날 때까지 오류 없음)	-	-1 when 1 ≤ REC ≤ 127, ±0 when REC = 0, When REC >127 value between 119 to 127 is set in REC
10	버스 off 상태에서 128번 안에 11개의 recessive 비트가 있는 경우	Cleared to TEC = 0	Cleared to REC = 0

표 1) 에러 카운트

우 노드 스스로 에러 액티브 상태로 전환한다. 송신에러 카운트가 한계를 넘은 경우 버스 오프 상태이며 노드가 버스 통신에 참가할 수 없는 상태가 된다.

에러의 종류로는 송신하는 노드 자신이 송신하고 있는 비트 값과 다른 값을 검출 했을 때 검출하는 비트에러, 채워 넣기 규칙이 어긋났을 때 검출되는 스템프(stuff) 에러, 수신 노드가 CRC를 계산한 결과 계산 값이 틀린 경우 발생하는 CRC에러, CRC ~ EOF 사이에서 수신 노드가 규정된 포맷과 다른 비트를 검출했을 때 발생하는 포맷 에러, 송신 노드가 ACK의 도미넌트 비트를 검출할 수 없을 때 발생하는 어플리케이션 에러 등 여러 종류가 존재한다.

CAN의 각 노드는 REC(Receive Error Counter)와 TEC(Transmit Error Counter)를 내장하고 있어 에러가 검출되면 그 내용에 따라 카운터 값을 증감하고 에러가 발생하면 다른

노드에게 이를 알리며 에러가 많은 경우 해당 노드가 네트워크에 영향을 주지 못하도록 스스로 네트워크에서 단절(bus off)하는 제어를 한다. 카운터 값은 에러가 발생하였을 때 8점씩 증가하지만 에러가 없을 경우 1점씩 감소시키는 방식으로 에러에 대하여 엄격하다.

한번이라도 에러가 발생한 경우 에러 액티브 모드로 전환되며 해당 노드는 6개의 우성(도미넌트) 비트(최대 12개 비트까지만 허용한다)를 전송하여 자신의 상태를 강제적으로 알리지만 데이터 송수신에는 아무런 지장이 없는 상태이다. 카운터 값이 96점인 경우 경고를 받고, 송수신 에러 카운터 값이 127 보다 높아진 경우 에러 패시브 모드로 전환하고 자신의 상태를 알리기 위해 6개의 열성(리세시브) 비트를 전송하며 이 6개의 열성신호는 다른 노드와의 경쟁에서 제압(조정) 당하기 때문에 열성 비트를 감지할 때 전송한다. 패시브 모드에서도 데이터 송수신은 가능하지만 에러 검출 시 소극적으로 대응하는 모드이다. 계속하여 에러가 발생하여 카운터 값이 256이 된 경우 노드 스스로 bus off 모드로 진입하여 네트워크에서 이탈한다. bus off 모드에서는 데이터 수신만 가능한 상태로 송신이 불가하여 다른 노드에서는 bus off된 노드의 반응이 없으므로 해당 노드의 '응답 없음' 또는 '시간초과'와 같은 메시지를 띄운다.

○ 진단 범위의 압축

CAN은 많은 노드들이 존재하기 때문에 가급적 점검범위를 축소하는 것이 효율적이다. 범위를 축소하는 방법은 진단 커넥터 위치기반으로 한 CAN과 진단기의 통신여부 그리고 진단코드를 활용하는 방법을 제안할 수 있다.

네트워크의 구성이 그림7과 같고 ①은 실내의 진단커넥터, ②는 엔진룸에 있는 커넥터라

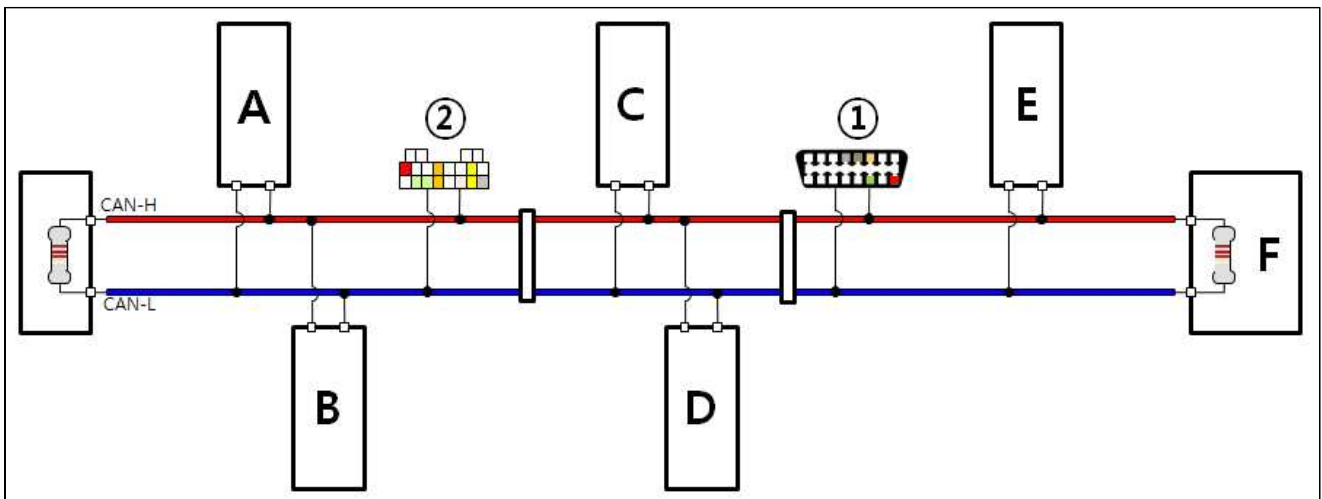


그림 7) 네트워크 구성도

했을 때 그림8과 같이 지선이 단선되었다면 A노드만 CAN에서 이탈하기 때문에 실내와 엔진룸 모두에서 A노드와 통신 어려울 것이다. 한편 A노드가 제공해야할 주요 정보를 제공받는 다른 노드에 CAN time out를 유발한다.

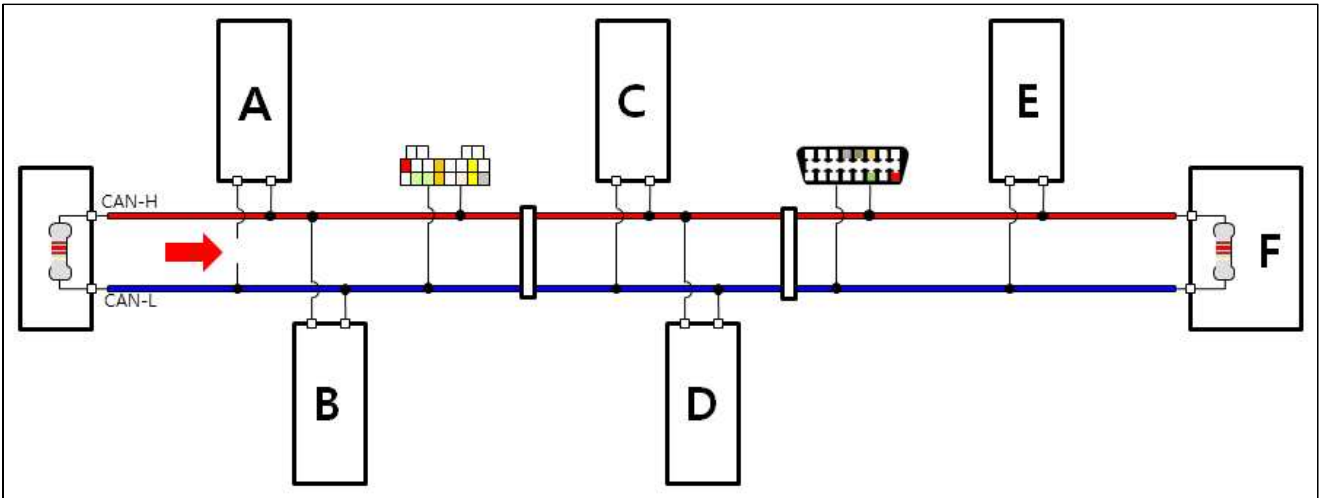


그림 8) 지선의 단선

그림9와 같이 주선이 단선된 경우는 엔진룸과 실내 모두에서 E노드와 F노드만 통신 불가능 할 것이나 한 개의 종단저항만으로 통신이 가능한 시스템인 경우 E와 F노드는 별도의 네트

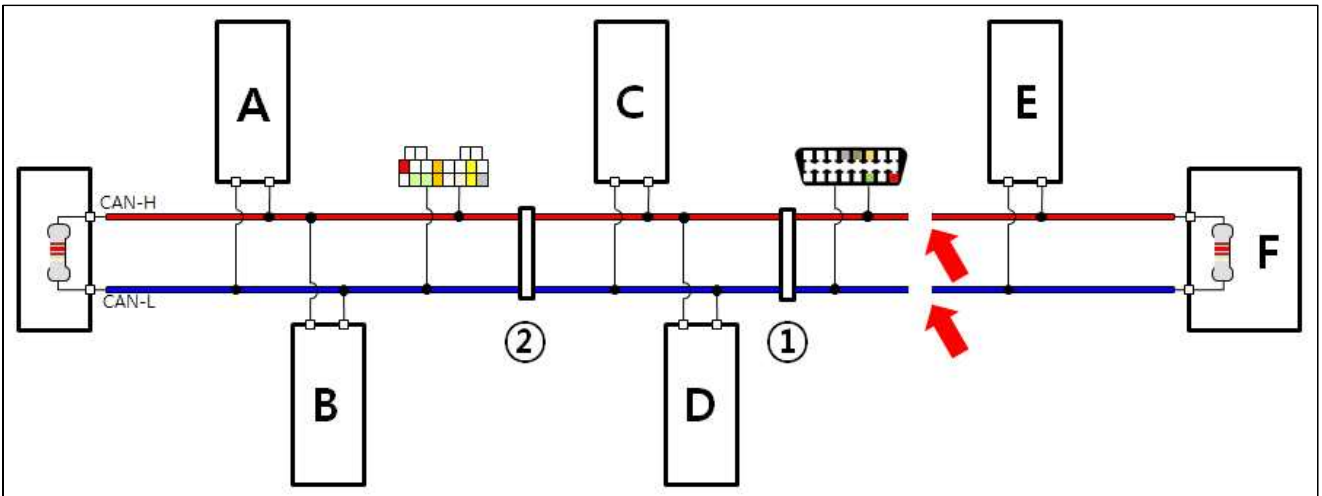


그림 9) 주선의 단선

워크를 구성할 수 있다.

그림10의 경우는 주선이 접지와 단락된 경우로 엔진룸과 실내 모두에서 진단기와 통신이 불가능하나 ①과 ②의 메인 커넥터를 차례로 단선시키면서 진단기와 통신을 시도하면 단락된 구역을 구분할 수 있다. 그림10의 경우는 ①을 단선 시켰을 때 엔진룸에서는 A와 B만 통신이 가능하지만 실내에서는 쇼트의 영향으로 어느 노드와도 통신이 불가능할 것이다. 한편 ②의 메인 커넥터만 단선 시킨 경우 엔진룸에서는 E와 F를 제외한 모두와 통신이 가능하지만 실내에서는 어느 노드와도 통신이 불가능한 상태가 된다.

그림11은 진단 커넥터간 저항을 측정하여 라인의 상태를 판단하는 방법을 보여주고 있으며 그 결과는 표2와 같다. 우선 정상적인 상태에서 엔진룸의 CAN high라인 단자와 실내의 CAN high라인 단자 간 저항 측정 시 0Ω , low 단자에서 low 단자 또한 0Ω 이지만 high 단자 ~ low 단자의 저항은 60Ω 이 나타날 것이다.

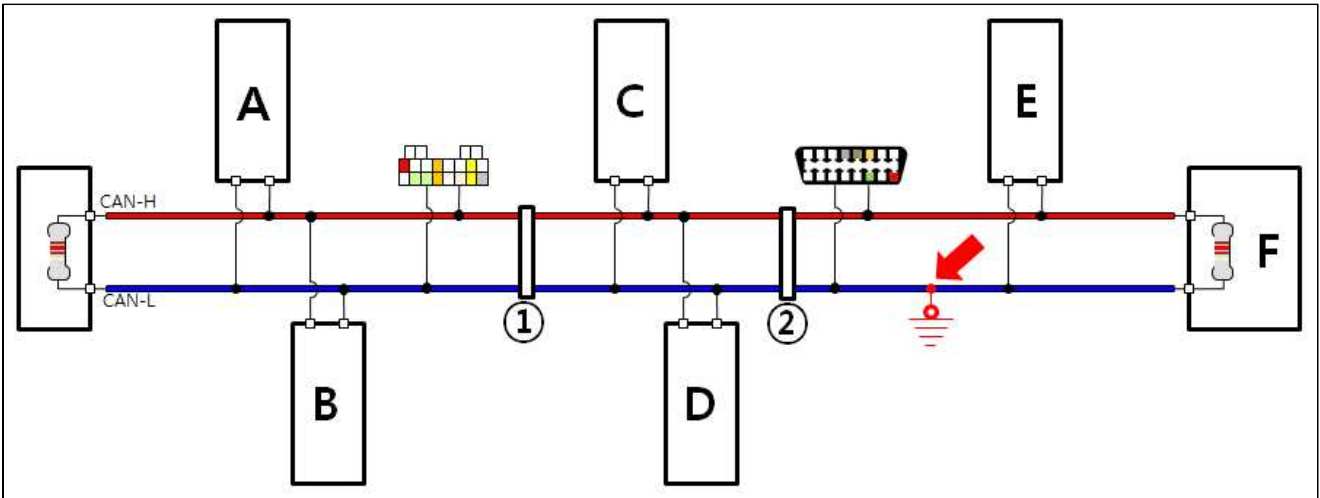


그림 10) 주선 중 하나가 접지와 단락된 경우

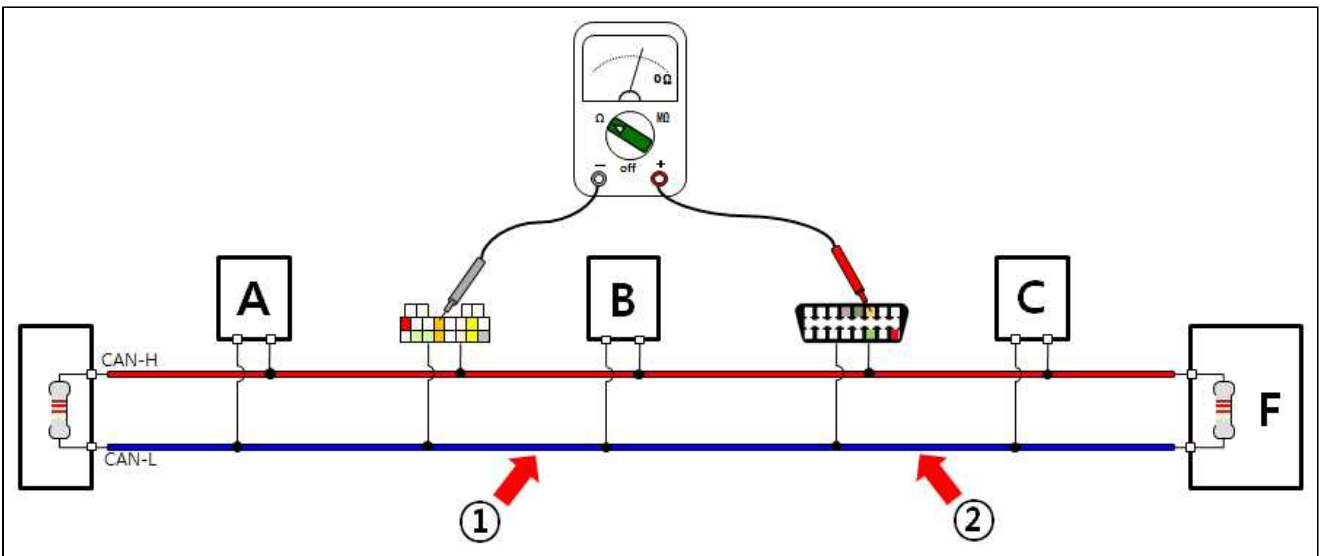


그림 11) 진단 커넥터 간 저항의 점검

①의 위치에서 단선되었다면 두 커넥터의 H ~ H는 0Ω이지만 L ~ L의 경우는 두 종단 저항이 직렬로 연결된 결과이므로 240Ω이 나타난다. 한편 H ~ L의 경우는 그림5에서와 같이 120Ω이 나타난다.

단자	정상	① 단선	② 단선	지선 단선	라인간 쇼트
H ~ H	0Ω	0Ω	0Ω	0Ω	0Ω
L ~ L	0Ω	240Ω	0Ω	0Ω	0Ω
H ~ L	60Ω	120Ω	120Ω	60Ω	0Ω

표 2) 진단 커넥터 간 저항의 점검

지면 관계상 모든 사례를 살펴보기는 어렵기 때문에 간단한 사례로 같음하기로 한다. 다만 약간의 연습만 한다면 진단기와의 통신여부와 종단 저항의 점검을 통해 복잡하게 얽여있는 CAN bus 라인의 고장 부위와 상태를 쉽게 추적할 수 있을 것이다.

□ 오실로스코프를 이용한 진단

CAN 신호 디코딩과 특정 ID 또는 필드 값에 대한 트리거 기능을 지원하는 오실로스코프를 이용하면 실제 현장에서 각각의 프레임을 보다 적극적으로 분석할 수 있으며 데이터 프레임의 파형분석은 CAN Protocol편을 참고하고 여기서는 현장에서 다 발생 사례인 단락과 단선을 위주로 다룬다.

○ 단락

그림12는 CAN High 라인이 접지와 쇼트된 경우로 High 신호와 Low 신호 모두 0V로 나타나는 것이 특징으로 이 경우는 어떤 노드와도 통신이 불가능한 상태가 된다. High는 0V이

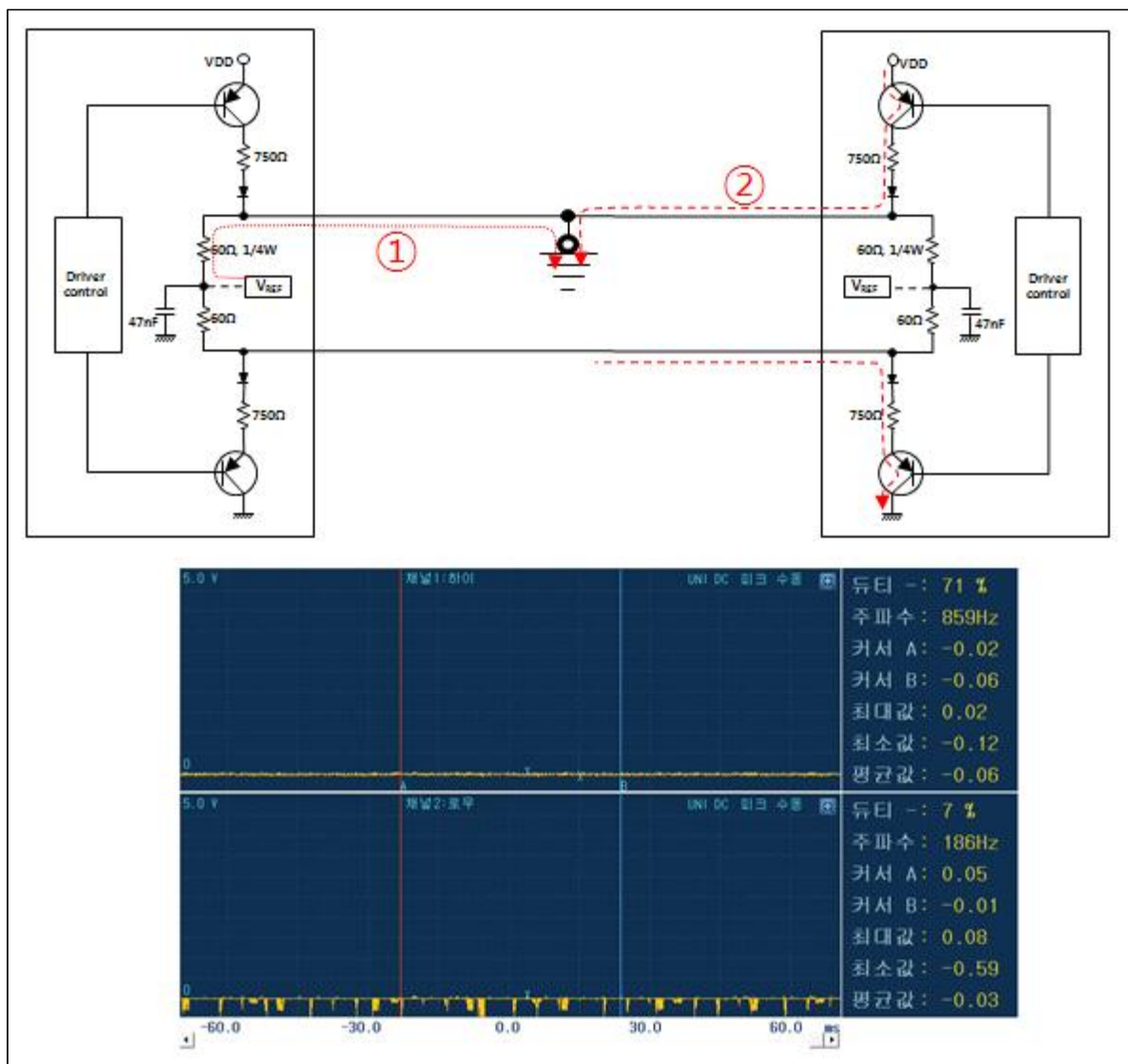


그림 12) CAN High 라인과 접지의 쇼트

지만 Low 측에서 듬성듬성 ACK 신호가 나타날 부분에서 노이즈와 같은 신호가 나타나는 경향이 있다. 그림에서 보이는 바와 같이 CAN High 라인이 접지 측과 단락이 발생하였을 때 CAN High 신호와 Low 신호 모두 0V로 나타나는 이유를 알 수 있다. 휴식기간 동안

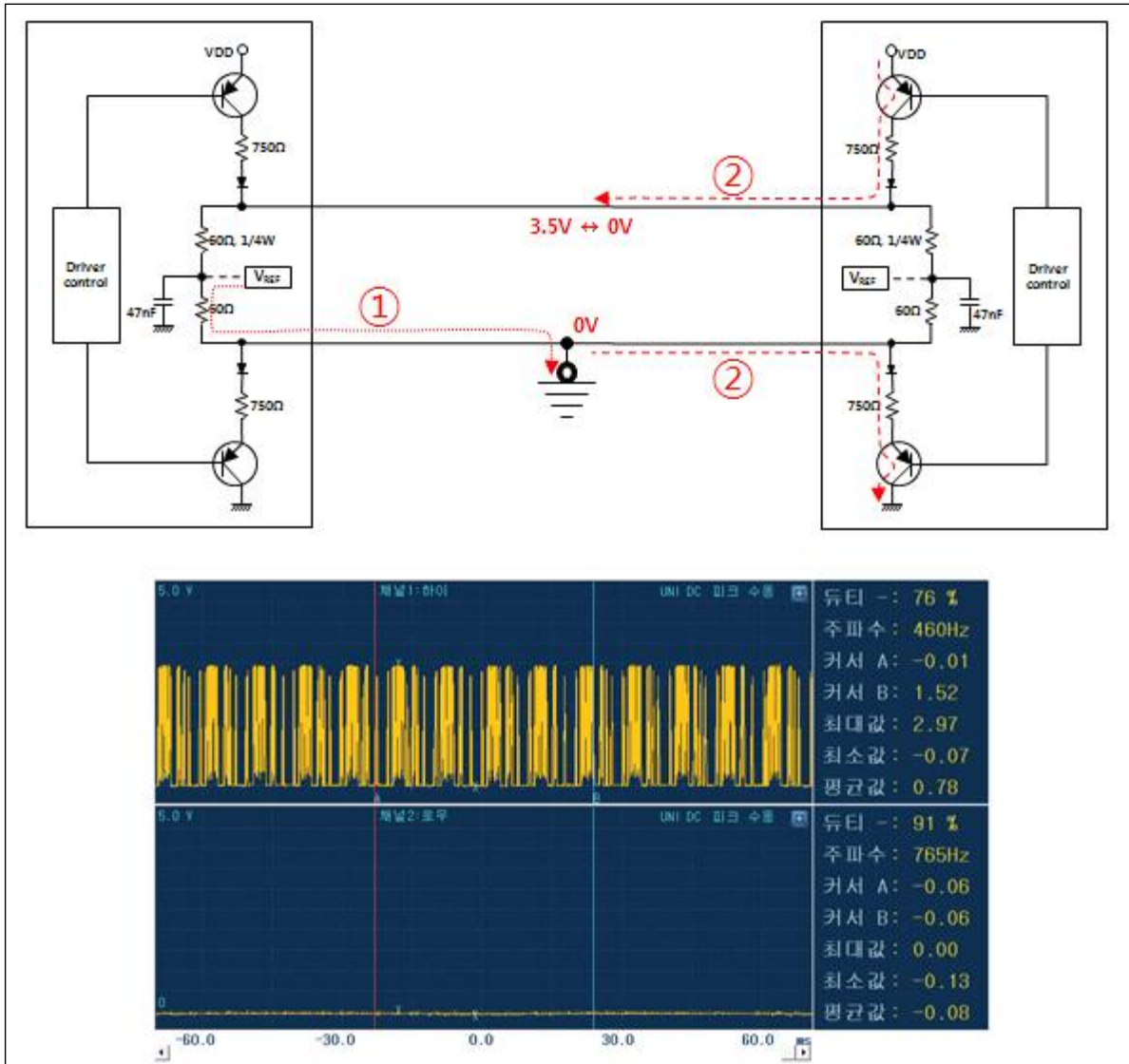


그림 13) CAN Low 라인과 접지의 쇼트

노드는 2.5V의 리퍼런스 전압(V_{REF})을 내보내고 있지만 High 라인이 접지 측과 단락된 관계로 High와 Low 모두 0V가 된다(그림12의 ①) 드라이버 구동에 의해 송신을 시도하여도 Low 라인은 접지 측으로 연결되어져 전압이 더 낮아지는 경향일 것이며 High 측은 접지와 단락되어져 있는 관계로 두 라인 모두 0V가 측정된다(그림12의 ②)

그림13의 경우는 CAN Low 라인에서 접지와 단락된 경우로 Low 라인의 신호는 0V로 나타나지만 High 신호는 3.5V와 0V를 반복하는 신호가 나타난다. 신호가 없는 휴식기간 동안은 Low 라인에서 접지와 단락관계로 2.5V가 나타나지 않고 High 라인과 Low 라인 모두 0V를 지시하다가 드라이버 구동으로 CAN 신호가 시작되면 열성(recessive)구간에서는 0V, 우성(dominant)구간에서는 3.5V이상의 전압이 나타난다. 이것은 그림14와 같이 High 라인에 3.5V의 전압을 공급하고 합성된 종단저항 60Ω의 저항을 통해 접지가 된 것과 마찬가지로의 결과이기 때문이다. 이런 특성으로 인해 그림에서 보이는바와 같이 High 라인은 정상적인 신호가 전송되어 통신이 가능할 수 있다.

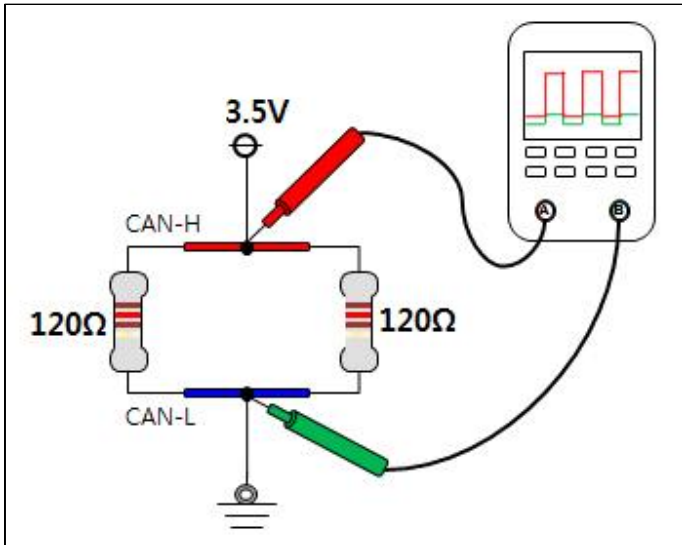


그림 14) Low 라인이 접지와 단락되어 병렬회로 구성

접지 측과의 단락은 특징적으로 0V가 나타날 것이라 예상할 수 있으나 어느 라인이 접지와 단락되었는지에 따라 각각 다른 양상을 보이니 주의 깊게 볼 필요가 있다.

그림15의 경우는 CAN High 라인과 Low 라인이 서로 단락된 경우로 이 경우 어떤 경우든 2.5V가 나타나며 통신이 불가능하다. 휴식기간 동안은 노드에서 내보내는 리퍼런스 전압에 의해 2.5V의 전압이 나타나지만 드라이버 구동에 의한 신호의 송신 시 5V(VDD)의 전압을 각각의 내부 저항

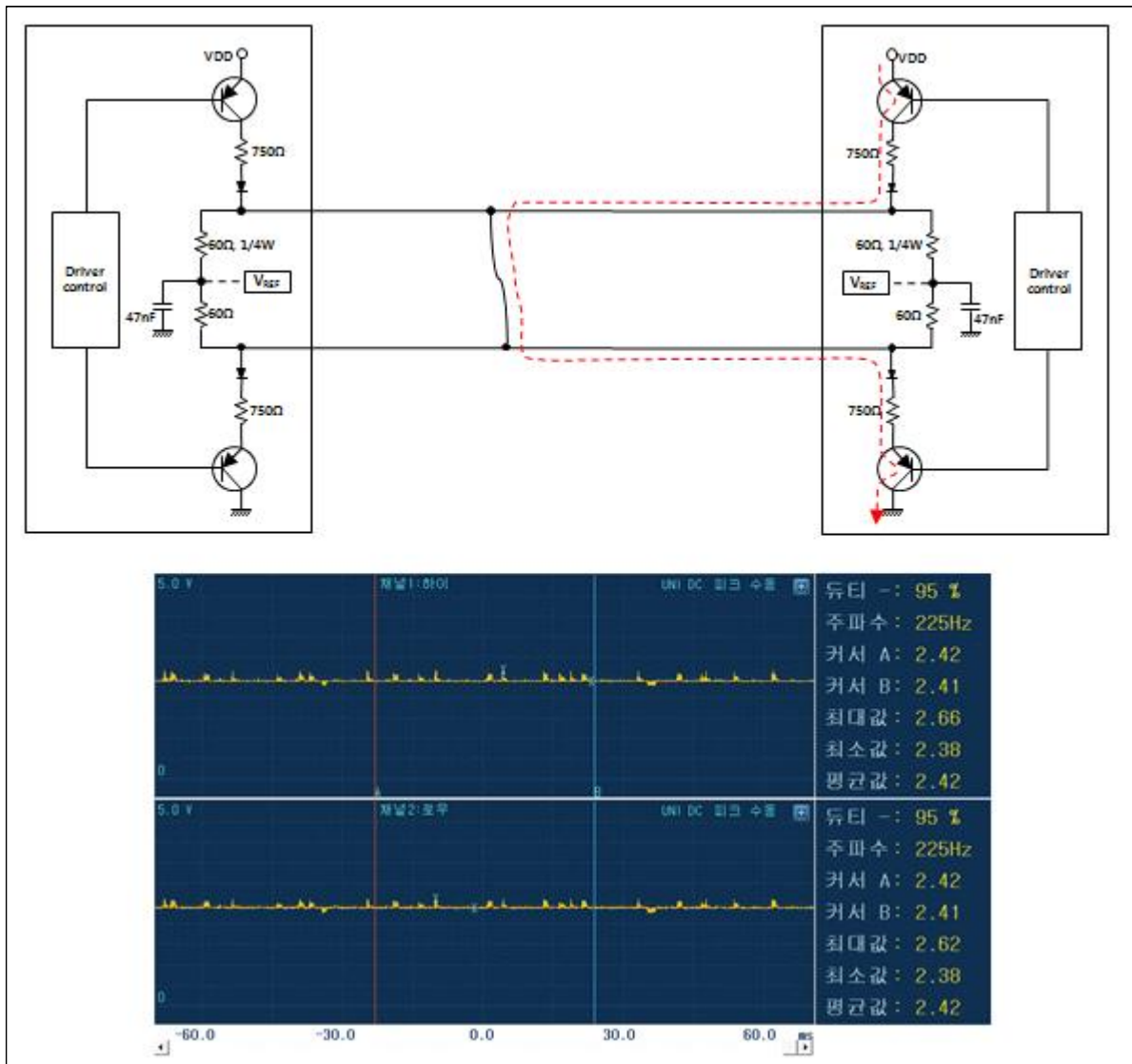


그림 15) CAN High와 Low 라인의 쇼트

(그림에서 750Ω)에 의해 분압된 형태이므로 2.5V의 전압이 나타난다.

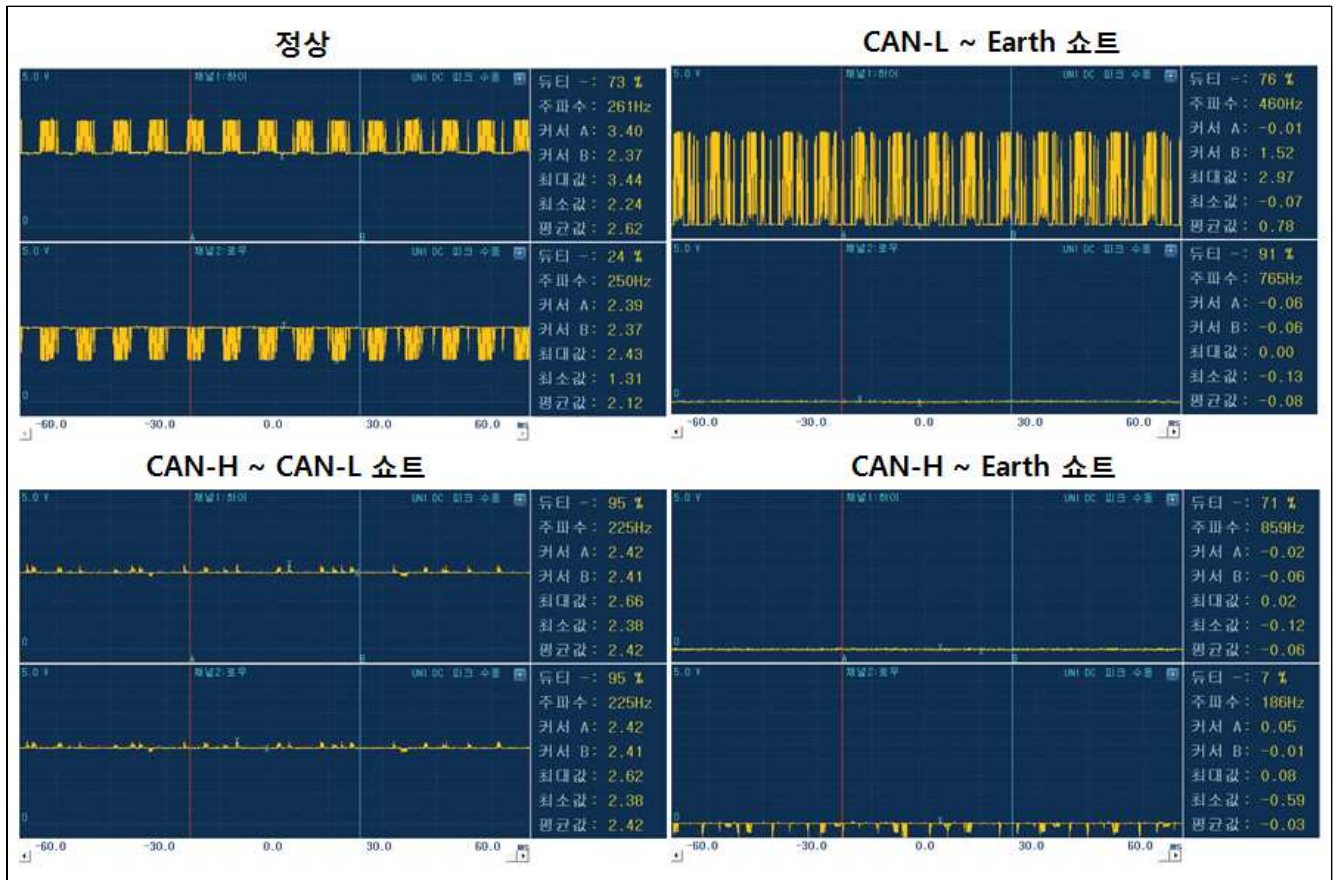


그림 16) 정상상태와 단락상태의 비교

○ 단선

CAN High 또는 Low 라인 중 하나의 라인에서 단선인 경우 단선된 그룹 또는 노드와 통신이 불가능한 것도 있지만 파형에서의 가장 큰 특징은 정상적인 통신 도중 High와 Low 라인의 파형 둘 다 위로 향하거나 아래로 향하는 것이다. 그림 17은 High 라인에서 단선인 경우로 정상적인 신호 형태가 있는가 하면 High와 Low 라인의 파형이 모두 아래로 향하는 구간이 있는 것을 확인할 수 있다. 반대로 Low 라인에서의 단선인 고장은 두 라인의 전압이 동시에 위로 향하는 특징을 가진다.

그림18과 같이 High 라인이 단선인 상태에서 A노드가 송신한다 하였을 때 실내 측 진단 커넥터에서 파형을 측정하면 정상적인 파형이 보이나 실외(엔진룸) 측 진단 커넥터에서 측정할 경우는 두 라인의 파형이 CAN Low 파형처럼 나타난다. 실외 측 커넥터의 High 단자와 Low 단자가 A노드의 Low 측 드라이버를 통해 접지 측으로 연결되기 때문이다.

반대로 D노드가 송신할 경우는 실외 측 커넥터에서는 정상적인 신호를 확인할 수 있으나 실내 측 커넥터에서는 High와 Low 두 라인의 전압이 Low라인의 신호와 같이 떨어지는 것을 볼 수 있다.

그림18과 같이 High 라인이 단선임에도 불구하고 실내 측 진단 커넥터에서 파형을 측정하



그림 17) CAN High 라인의 단선 시 파형

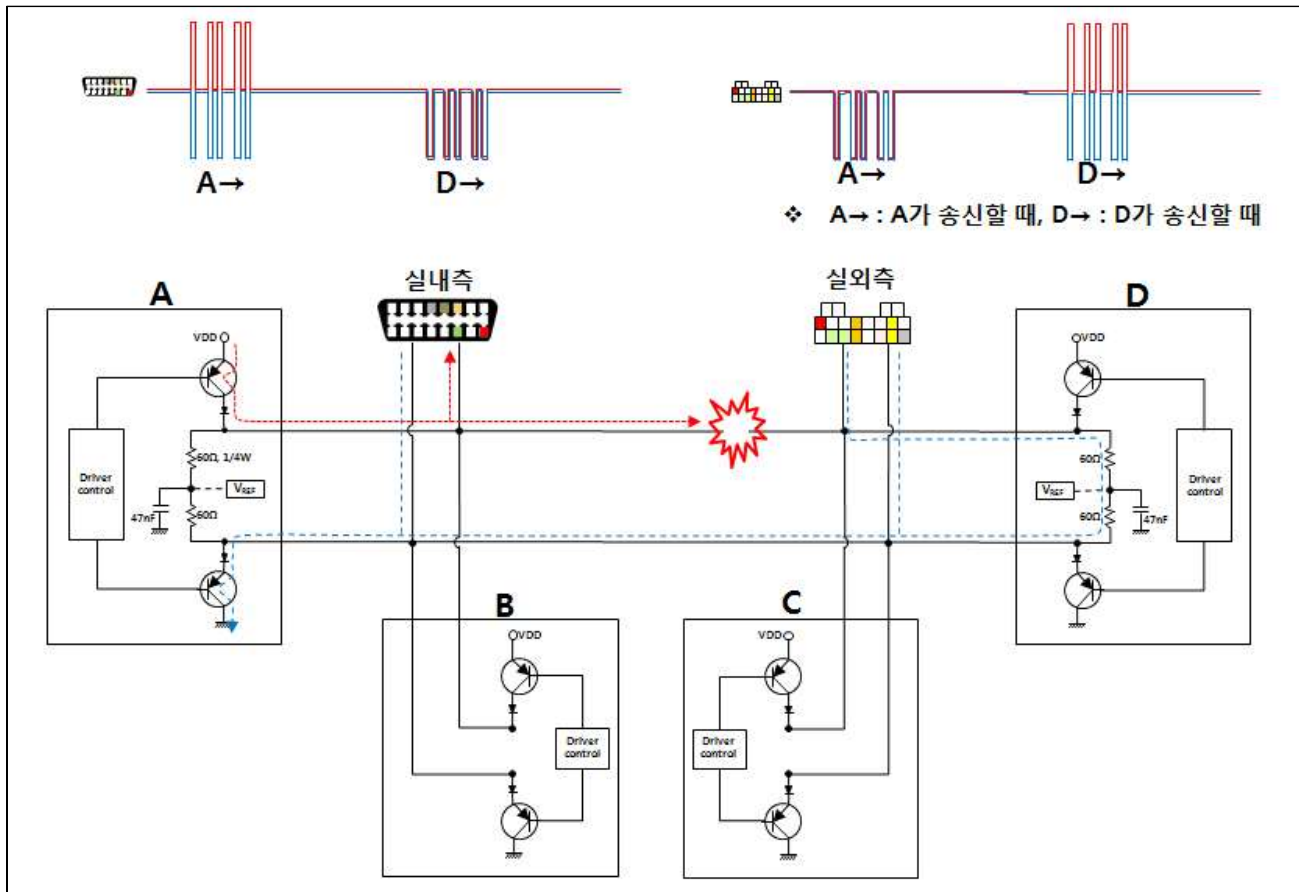


그림 18) CAN High 라인의 단선상태에서 A노드가 송신할 때는 동안 CAN 버斯拉라인을 노드 A와 B가 계속하여 점유하고 있다면 실내 측 커넥터에서는 정상적인 신호만을 검출할 수 있고 실외 측 진단커넥터에서는 두 라인의 전압이 Low라인

의 신호와 같이 떨어지는 것만 확인할 수 있을 것이다. 반대로 버스라인을 노드 C와 D가 지속적으로 점유한다면 실외 측 커넥터에서는 정상적인 신호, 실내 측에서는 Low라인의 신호와 같은 파형만을 볼 수 있고 두 신호의 편차 값인 차동전압이 없기 때문에 신호가 없는 것과 같은 결과가 된다.

한편 그림18과 같은 상황에서 그림19와 같이 중간 커넥터를 탈거한 상태인 경우 실내 측

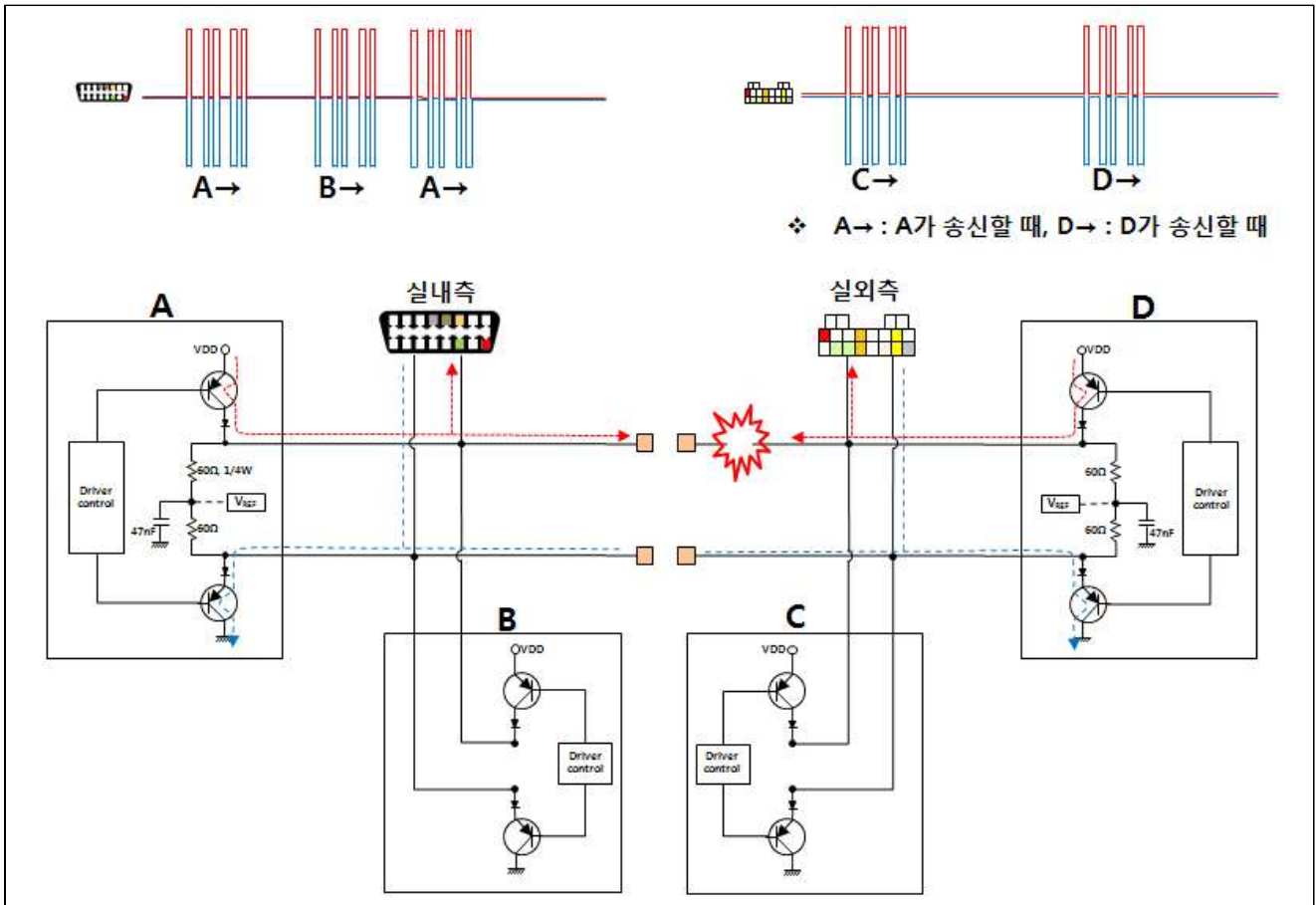


그림 19) High 라인 단선 고장진단 중 중간 커넥터 분리 시

과 실외 측 커넥터 모두에서 정상적인 파형이 검출될 수 있다. 각각 별개의 그룹이 형성되기 때문이다.

그림20은 종단저항 등이 없는 지선 노드의 High라인이 단선된 상태에서 ①또는 ②와 같은 위치에서 파형을 측정하였을 때 단선된 라인의 노드가 통신에 참여하고 있는 경우로 그림에서 ①의 위치에서는 A노드와 B노드가 송신할 경우 정상적인 파형이 나타나지만 단선된 C노드가 송신할 경우는 CAN High와 Low라인의 파형이 아래로 향하고 있게 된다. 한편 ②의 위치에서는 High가 단선된 관계로 로우만 나타나다가 C노드가 송신할 경우만 정상적인 파형이 나타난다.

그림21의 경우는 C노드가 어쩌다 한번 쯤 송신하는 노드이거나 또는 Bus off와 CAN time out 등의 이유로 통신에서 빠진 상태이다. 노드가 Bus off이거나 CAN time out 등 상태인 경우 자기진단에서는 C노드가 불량이라는 코드가 나타나지만 ①의 위치에서 파형을 측정할

경우 정상적인 파형만 검출되고 ②의 위치에서는 Low 신호만 정상적으로 나타나고 High는 0V가 지시된다.

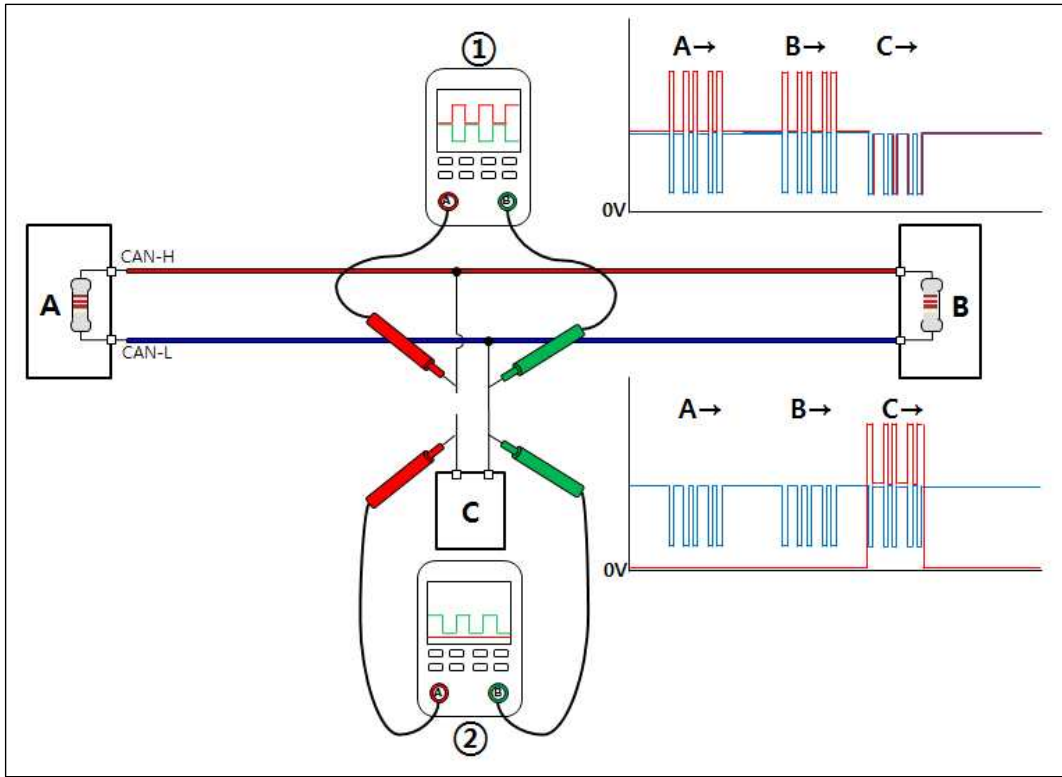


그림 20) 지선 단선 시 단선 노드가 통신에 참여했을 때

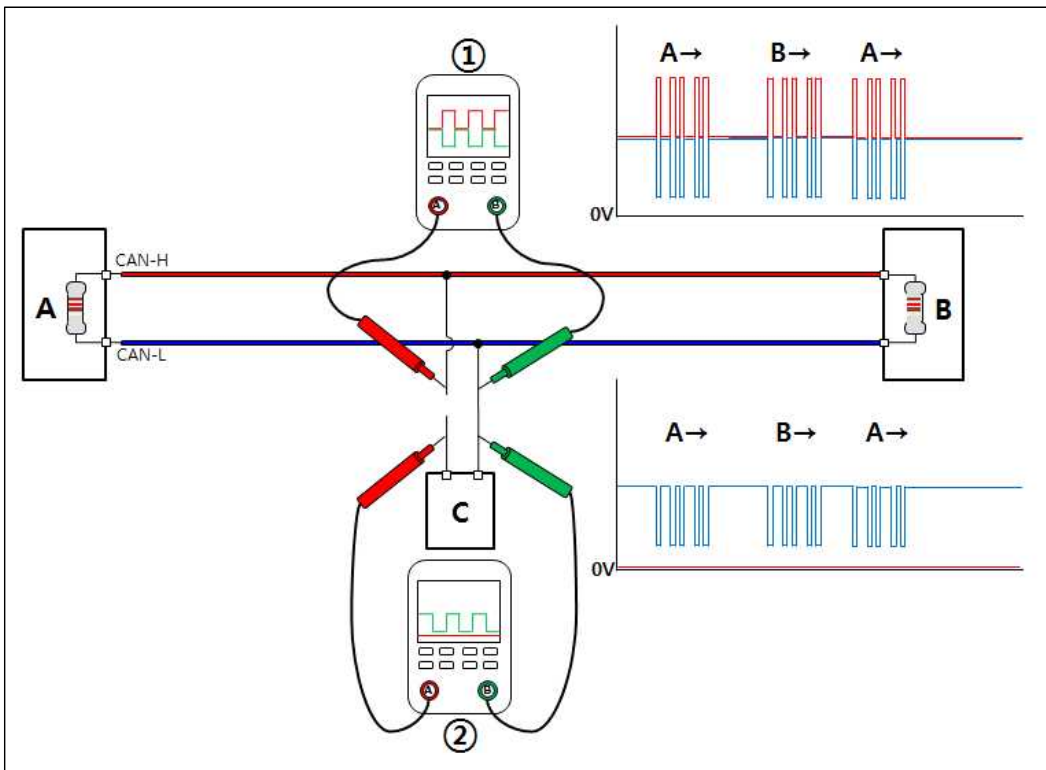


그림 21) 지선 단선 시 단선 노드가 통신에 참여하지 않을 때

□ 전류를 이용한 점검

CAN 라인은 크게 주선과 지선으로 나눌 수 있다. 주선은 터미네이션(termination) 처리가 된 라인으로 터미네이션된 노드에서 전류를 측정하면 송신이나 또는 수신이나에 따라 정상

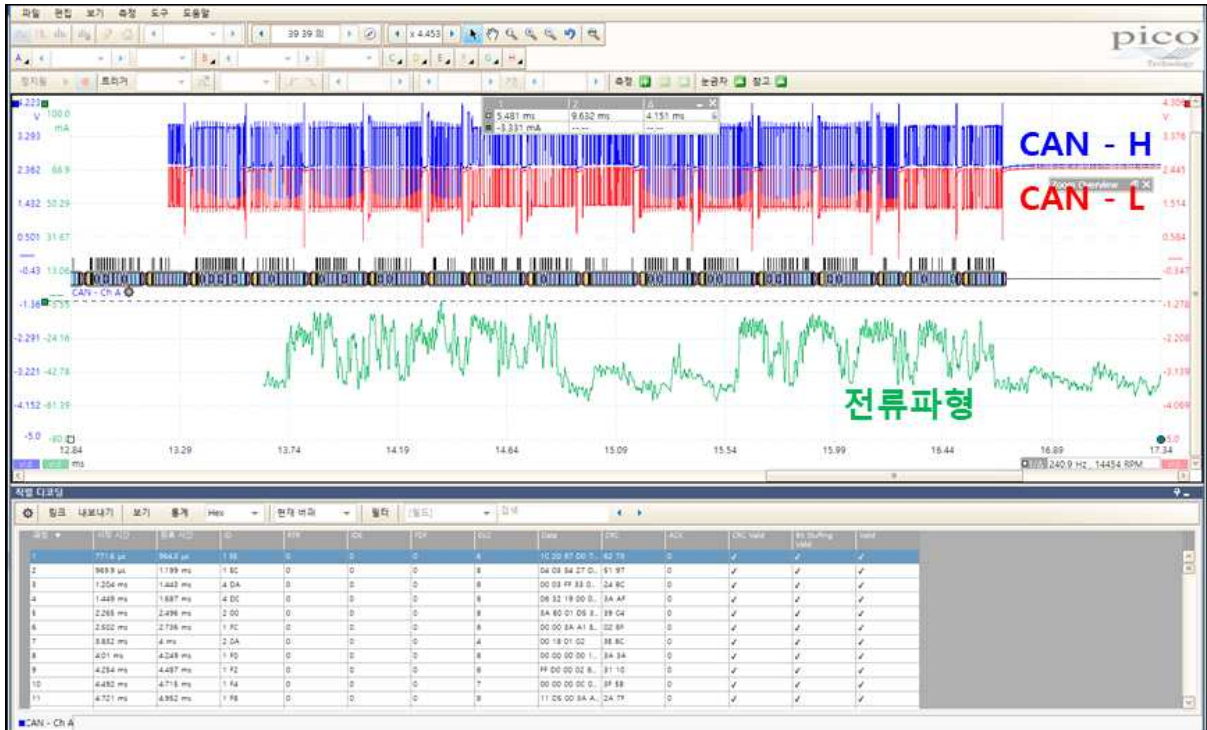


그림 22) 저주파용 전류센서 사용 시 파형이 깨짐(aliasing 현상)

과 역상의 전류파형을 확인할 수 있다. 한편 주선에서의 전류 측정 시 지선에 있는 노드가 송신할 때와 수신할 때의 모든 전류 파형이 나타난다.

터미네이션 되어진 주선은 어떤 노드가 통신을 하든 전압과 전류가 모두 나타나지만 지선은 전압 신호만을 감시하는 구조이므로 주선에서의 노드가 송신 시 지선의 CAN High 또는 CAN Low 라인에서 전류를 측정할 경우 전류가 나타나지 않는다. 이 라인에서는 오직 지선에 연결된 해당 노드에서 송신하는 경우와 수신 완료 시 ACK 필드에서만 전류가 나타난다.

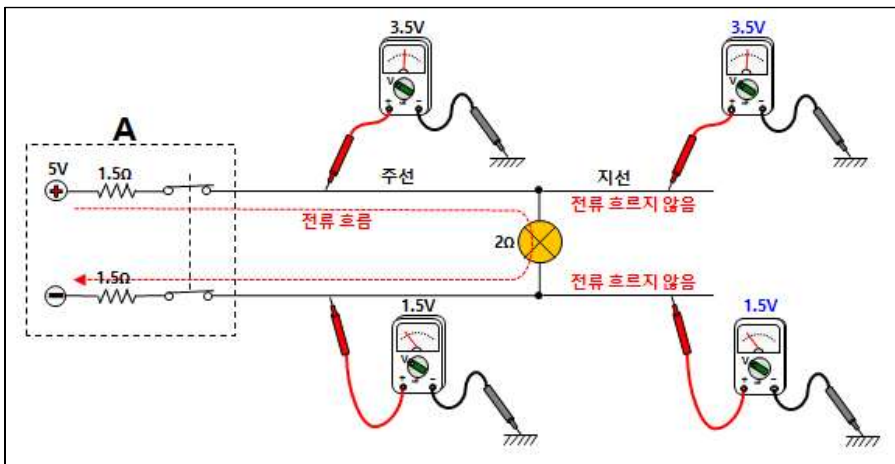


그림 23) 주선에서 통신 시 지선에서의 전류는 흐르지 않음

터미네이션 처리된 노드끼리 통신할 경우 주선에서만 폐회로가 구성되는 관계로 그림23에서의 단순회로와 같이 지선에서 전류는 나타나지 않으나 전압은 정상 측정이 가능하다. 한편 다른 지선에서의 통신 시에도 마찬가지로 또 다른 지선에서

는 전류가 나타나지 않는다.

그림23에서 5V를 사용하는 A 노드의 스위치가 on 상태이면 전체 회로의 합성저항은 5Ω 이므로 분압법칙에 따라 멀티미터에서 측정되는 전압은 3.5V와 1.5V가 나타나 2Ω 양단에는 스위치 on 상태일 때 2V의 전압강하가 발생하며 1A의 전류가 흐른다. 전구 양단 앞·뒤에 연장선을 연결한 것과 같은 지선의 경우 전류가 흐르지 않아 0A가 되지만 전압은 전구의 앞·뒤에서 측정한 것과 같으므로 주선과 동일한 전압이 나타나는 원리이다.

전류 측정 시 전류센서의 선택에서 일반형보다 고주파(최소 1MHz 이상)용을 사용해야 한다. 그림22에서와 같이 100kHz의 일반형 전류센서로 500kHz의 CAN 라인 전류를 측정한 경우 전류파형이 에일리어싱(aliasing)현상에 의해 깨지기 때문이다.

○ 주선의 전류

터미네이션 되어져 있는 노드의 CAN High 또는 Low라인의 주선에서 전류를 측정할 경우 가장 큰 특징은 그림24에서와 같이 정상과 역상의 전류가 나타난다는 것이다. 전류가 흐르는 우성(dominant) 순간 라인간 전압차(차동전압)가 약 2V이고, 병렬로 연결된 종단저항 한 라인으로만 흐르는 전류를 감지할 수 있는 관계로 약 16.67mA ($2\text{V} \div 120\Omega = 16.666\dots\text{mA}$) 또는 -16.67mA 정도의 표준 전류가 흐르게 된다. 이 전류는 라인간 전압차가 2V 고정이고 개별 종단저항이 제원에 제시된 $85 \sim 130\Omega$ 의 범위라 한다면 전류는 $15.38 \sim 23.53\text{mA}$ 정도가 정상 범위라 할 수 있다.

주선에서의 전류 파형이 정상과 역상으로 나타나는 이유는 그림25와 같다. 그림에서 A 노드와 D 노드에서 터미네이션 되어져 있고 두 종단저항은 병렬로 연결되어진 관계로 A 노드가 송신할 경우는 A 노드의 종단저항과 주선으로 연결된 D 노드의 종단저항을 통해 전류가 흐른다. 따라서 CAN High 라인에서는 A 노드에서 D 노드 방향으로 전류가 흐르고 CAN Low 라인에서는 D 노드에서 A 노드 방향으로 전류가 흐른다.

반대로 그림25의 아래 그림과 같이 D 노드가 송신할 경우는 D 노드의 종단저항과 주선으로 연결된 A 노드의 종단저항을 통해 전류가 흐르는 관계로 CAN High 라인에서는 D 노드에서 A 노드 방향으로 전류가 흐르고 CAN Low 라인에서는 A 노드에서 D 노드 방향으로 전류가 흐르기 때문이다.

터미네이션 처리된 노드 A가 송신하는 상태에서 주선의 버스 라인에서 High 또는 Low 라인 어딘가에 단선이 존재하면 내부 종단저항으로만 전류가 흐르기 때문에 컨트롤러 외부에 있는 주선에서의 전류는 흐르지 않고 전압만 검출할 수 있다. 그림26에서와 같이 주선의 High 라인이 단선인 경우 A 노드가 출력하는 전류가 흐르지 않기 때문에 전류는 각각의 주선 라인에서 나타나지 않는다. 다만 ㉠, ㉡, ㉢점에서의 전압은 검출된다.

그림26에서 A 노드가 우성(d) 신호를 출력할 때 ㉠점의 경우는 주선의 단선으로 ㉠점과

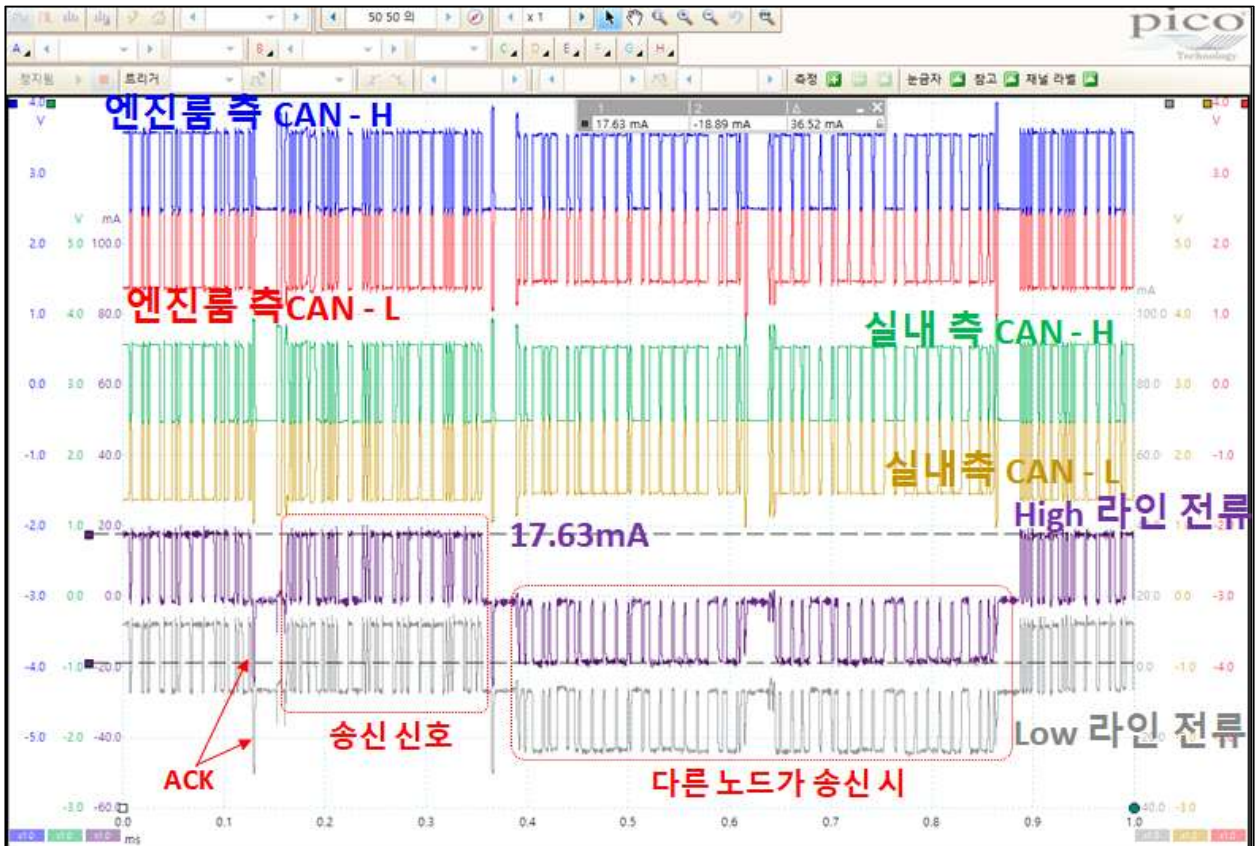


그림 24) 주선에서의 정상적인 전압과 전류파형

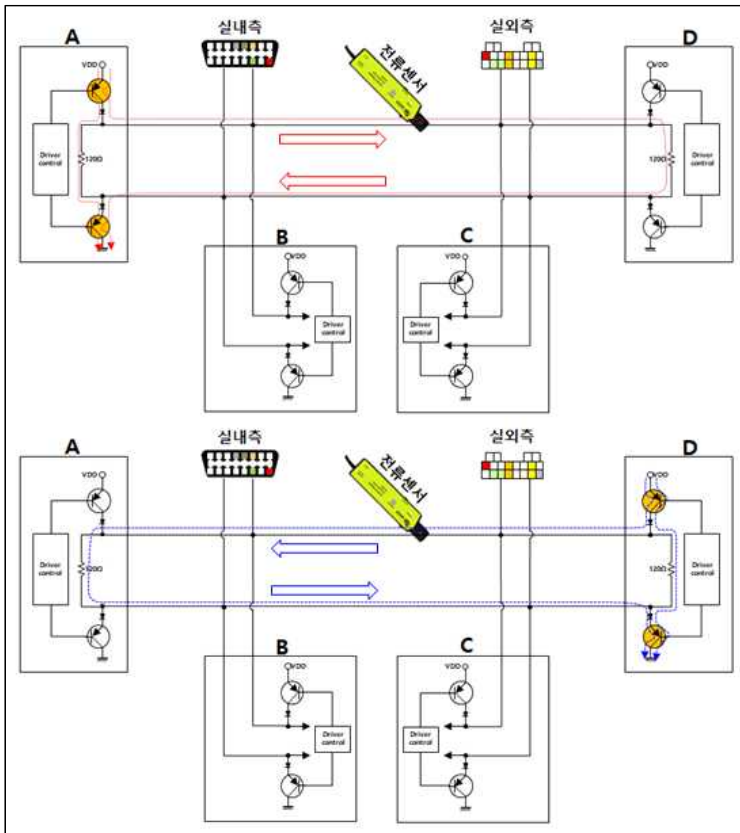


그림 25) 주선에서 송수신 시 전류 방향

©점 사이의 저항이 병렬의 60Ω에서 직렬의 120Ω으로 증가한 관계로 노드 내부로 흐르는 전류는 낮아지고, 외부에서의 전압은 정상적인 전압보다 다소 높게 나타나는 것이 특징이다. ©점의 경우는 ©점과 ©점 사이의 저항이 60Ω에서 120Ω으로 증가한 관계로 드라이버에서 접지까지 사이에 삽입된 저항(그림 12, 13, 30참조)의 비가 작아진다. 따라서 분압 법칙에 의해 정상적인 상태보다 더 낮은 전압으로 나타난다. 그 이유는 그림 27과 같은 단순 회로에서 설명이 가능하다. 5V를 사용하는 A 노드의 스위치가 on 상태이면 폐회로 전체의 합성저항은 5Ω이므로 분압법칙에 따라 멀티미터에서 측정되는 전압은 3.5V와 1.5V가 나타나 2Ω 양단에는 스위치 on 상태일 때 2V의 전압강하가 발

는 전압은 3.5V와 1.5V가 나타나 2Ω 양단에는 스위치 on 상태일 때 2V의 전압강하가 발

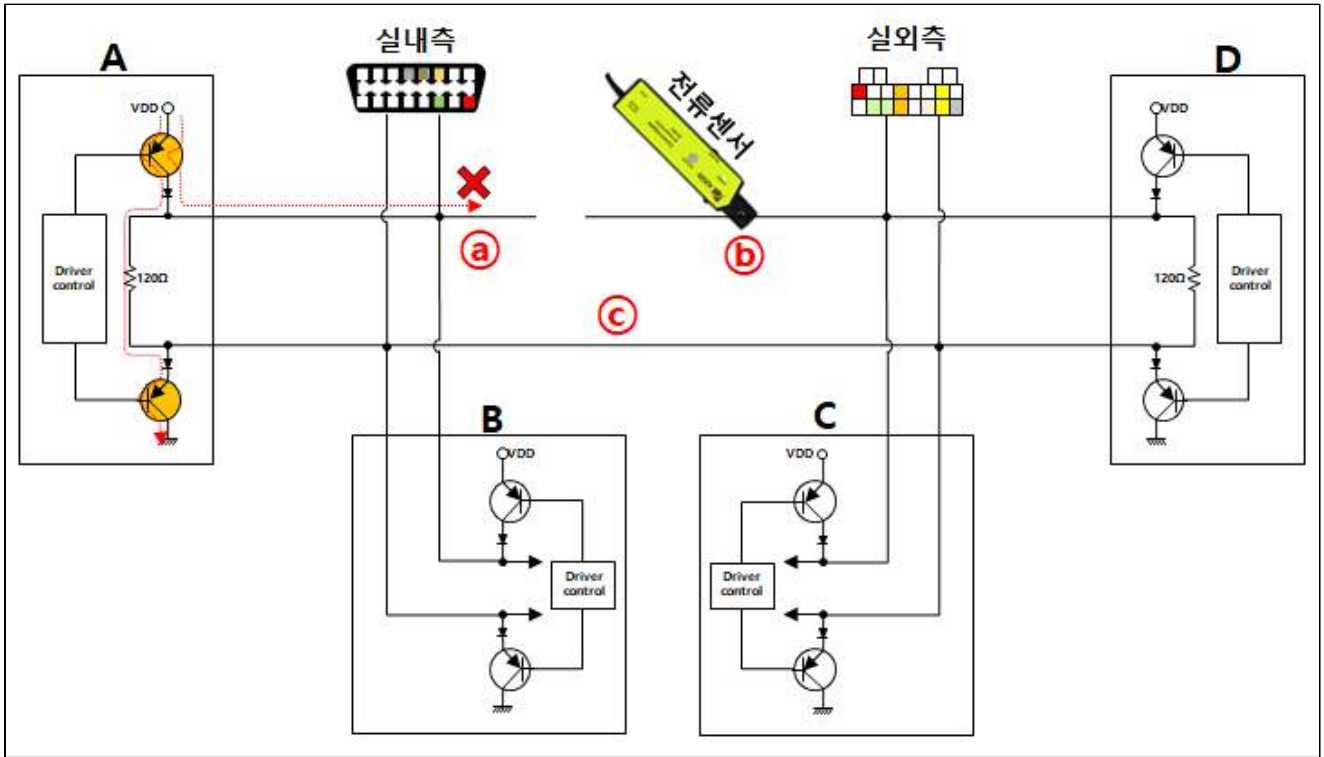


그림 26) 주선의 단선 시 전류 흐름

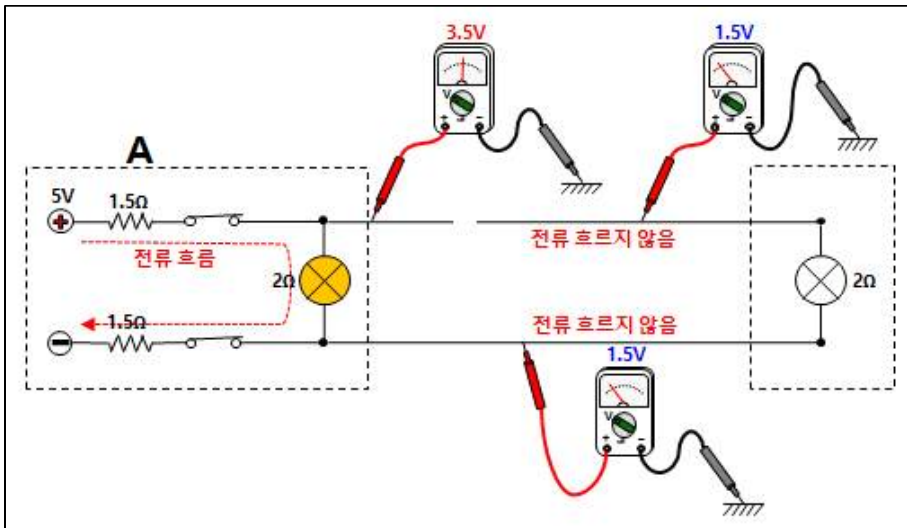


그림 27) 주선 단선 시 전류와 전압

생하며 1A의 전류가 흐른다. 점등된 전구 양단 앞·뒤에 연장선을 연결한 것과 같은 주선의 경우 전류가 흐르지 않아 0A가 되지만 전압은 전구의 앞·뒤에서 측정된 것과 같으므로 분압된 전압이 나타나는 원리이다. 한편 전구의 앞·뒤에 연장선을 연결한 경우 전류가 흐르지 않는 관계로 연

장선에 저항이 있음에도 불구하고 멀티미터는 측정 위치 안쪽에 단선인 상태이므로 전구 양단에 분압된 전압이 그대로 나타난다. 따라서 그림26에서 ⑥점의 전압은 ③점의 전압과 동일하게 나타나 그 결과 그림28에서와 같이 전류는 흐르지 않고 전압 신호만을 검출할 수 있다. 마치 전류가 흐르는 폐회로에서 멀티미터로 전압을 계측하는 원리와 같다. 전류는 폐회로에만 흐르고 멀티미터에는 흐르지 않기 때문이다. 이때 주의할 것은 단선의 위치로 그림26과 같은 경우 ①점에서 측정되는 A 노드가 송신하는 모든 ID가 ②점에서는 동일한 High 라인임에도 불구하고 ③점의 Low라인에서 측정된 파형과 같은 파형이 출력된다는 것

이다.

그림29는 주선의 Low 라인에서 접지측으로 쇼트가 발생한 상태에서의 전압과 전류 파형

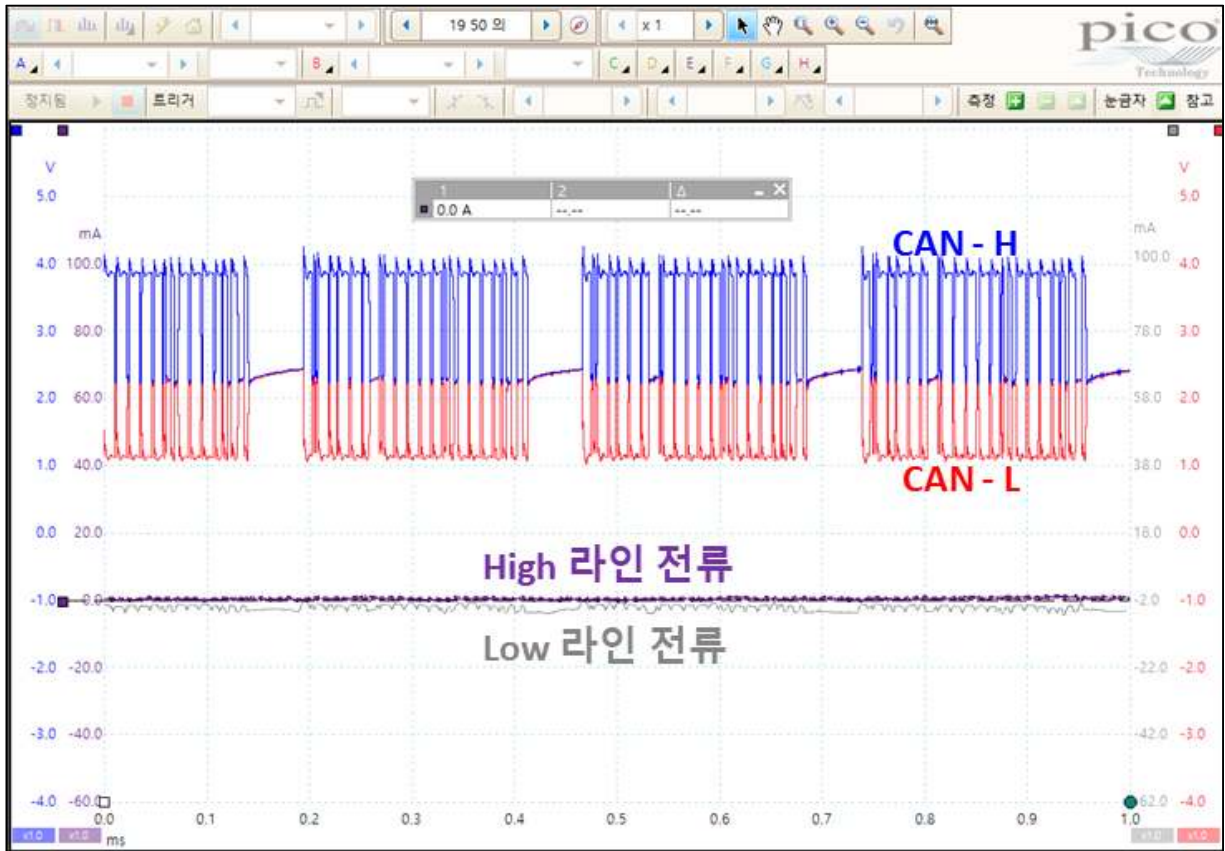


그림 28) 주선의 High 라인 단선 시 ㉠(High)점과 ㉡(Low)의 전압과 전류

이다. 그림30과 같이 Low 라인에서 접지측으로 쇼트가 발생한 상태에서 A 노드가 송신할 경우 우성(d) 신호에서 ①번 전류는 A 노드의 내부로 흐르지만 ②번 전류는 ㉠점의 저항을

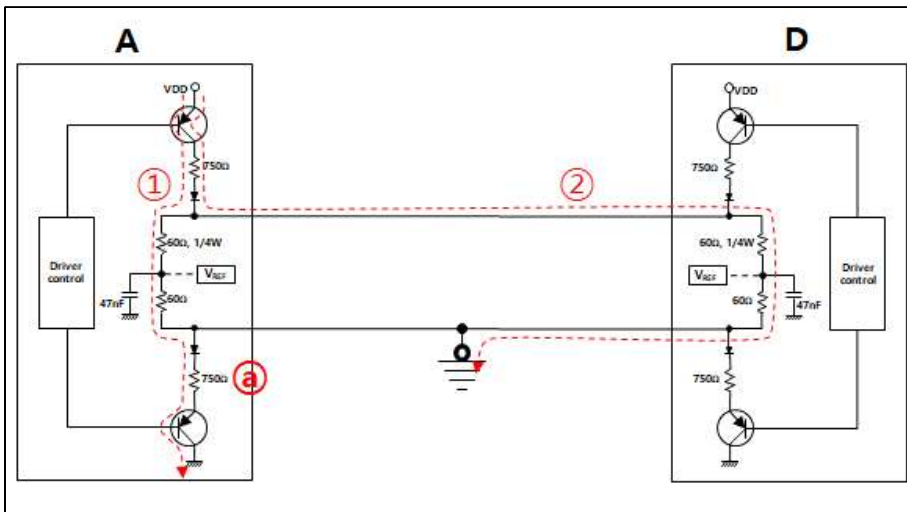


그림 30) 주선의 로우 라인에서 쇼트 시 전류 흐름

거치지 않고 D 노드 이후 직접 접지측으로 흐르기 때문에 전류량이 많아진다.

송신하는 노드, 전류센서, 쇼트된 부위의 순서로 배열된 경우라면 전류가 많아지지만, 송신하는 노드, 쇼트 부위, 전류 센서의 순으로 나열된 경우 쇼트된 부위 후단으로는 전류가 흐를 수 없으므로 전류는 측정되지

않거나 거의 나타나지 않는다.

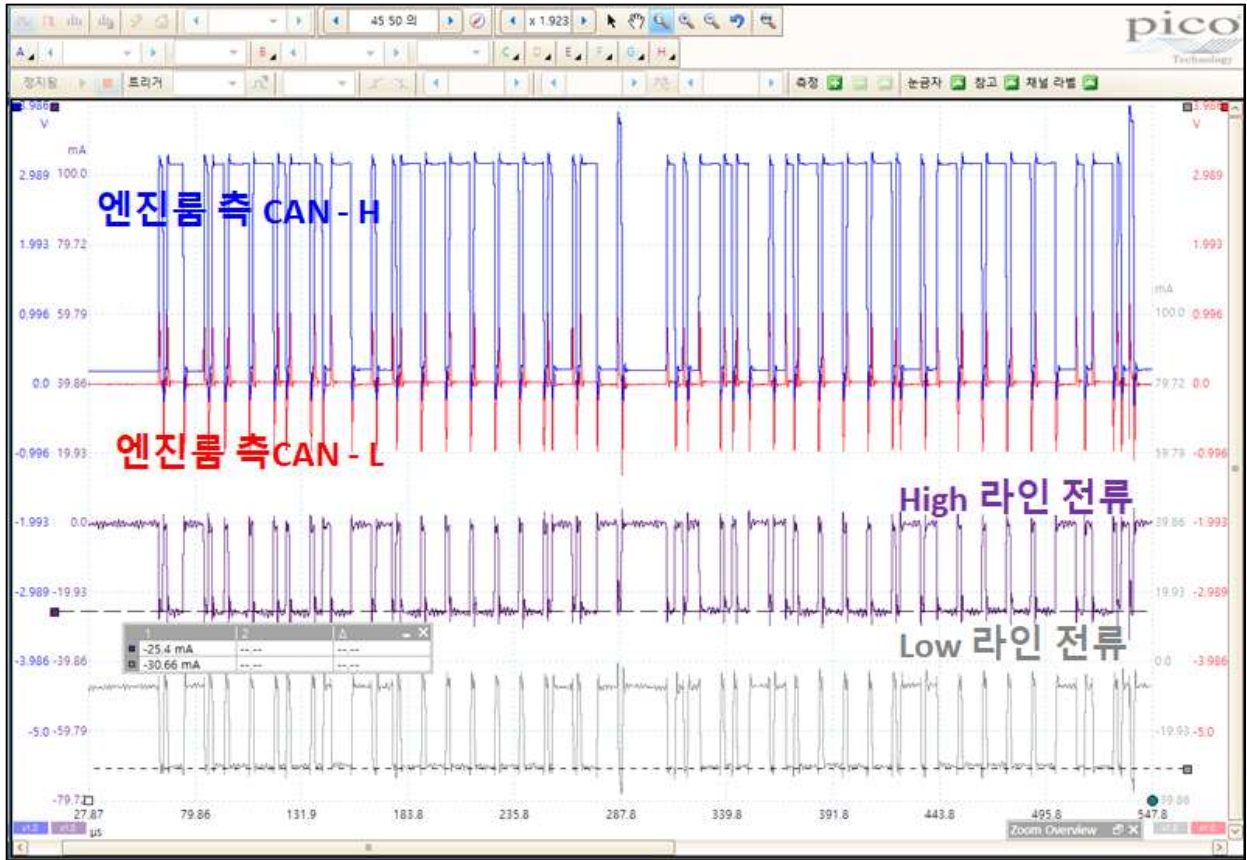


그림 29) 주선의 Low 라인이 접지측으로 쇼트 시

○ 지선의 전류

지선에 위치한 노드가 송신할 때 주선에서의 전류는 병렬로 연결된 종단저항의 영향으로 분류되어 약 16.67mA가 나타난다. 하지만 지선에 위치한 노드 측에서 전류를 측정하는 경우는 CAN High와 CAN Low 라인간 120Ω의 종단저항이 병렬로 연결되어 합성저항이 60Ω인 관계로 전류는 약 33.3mA($2V \div 60\Omega = 33.33mA$)의 전류가 흐른다. 이 전류는 라인간 전압차가 2V 고정이고 합성저항이 42.5 ~ 65Ω의 범위라 한다면 전류는 30.77 ~ 47.06mA 정도가 정상 범위라 할 수 있다.

그림24와 31은 CAN 통신라인 중 주선에서 측정한 전류파형으로 전류센서는 방향성을 가지기 때문에 특정 노드 앞에서 측정했다면 해당 노드가 송신하는 것인지 아니면 수신하는 신호인지를 쉽게 구분할 수 있고 해당 노드가 송신한 데이터를 다른 노드가 수신한 경우 ACK이 슬롯에서 전류가 송신 시와 반대의 역방향 전류가 나타나게 된다.

그림32의 경우는 지선의 노드에서 전류를 측정한 것으로 그림33과 같은 위치에서 측정한 결과이다. 그림32의 전류 파형에서 노드가 송신 시 주선에 병렬로 연결된 종단저항의 영향으로 주선에서의 전류보다 높은 것을 확인할 수 있다. 한편 화면에 나타난 전압과 전류 파형은 해당 노드가 송신하는 경우이므로 ACK 필드에서의 전류가 나타나지 않는다. 수신 시

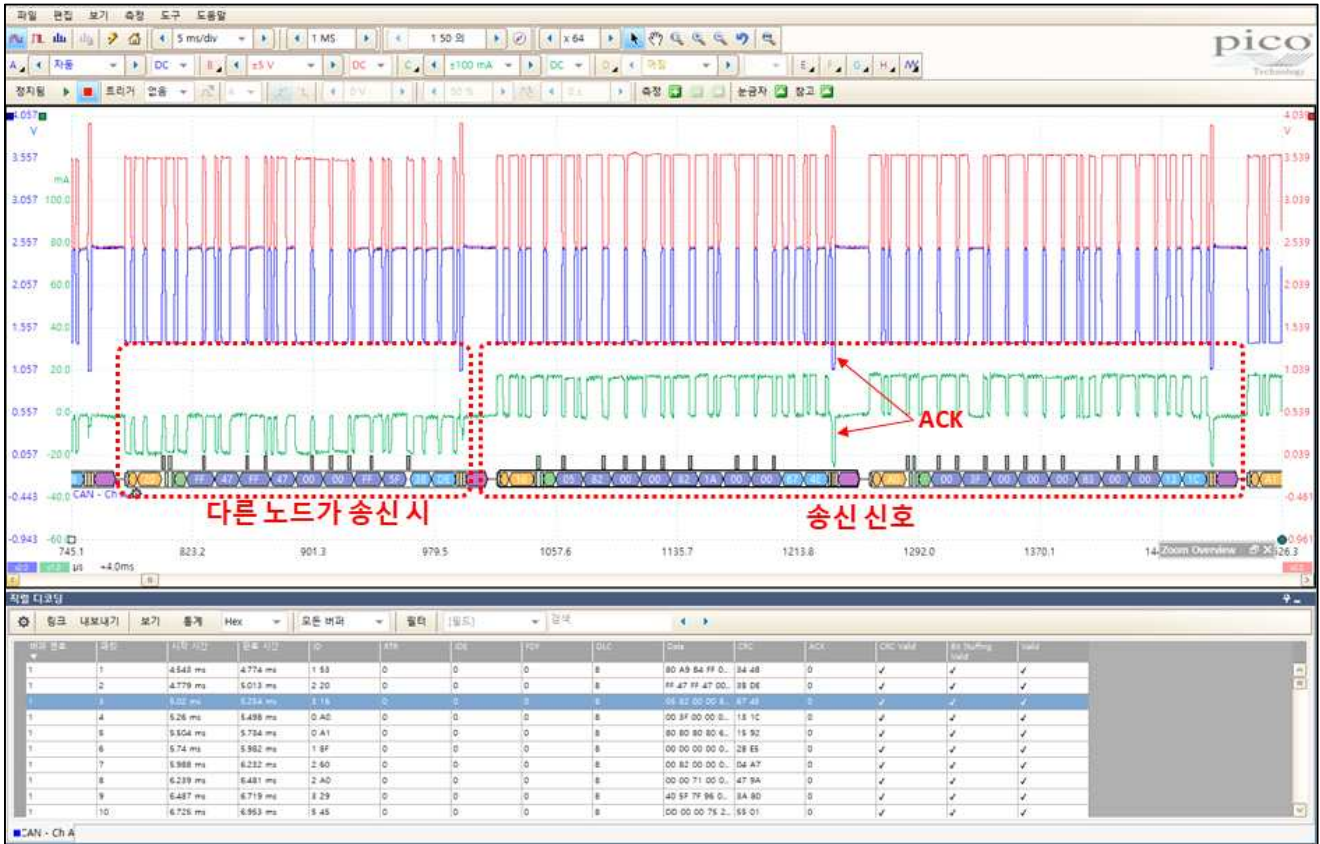


그림 31) 전압과 전류파형

의 전류는 그림34에서와 같이 송신을 하지 않기 때문에 전류가 나타나지 않다가 수신한 데이터가 정상적일 때 ACK 신호를 출력하는 관계로 ACK 슬롯과 일치되는 순간에 전류가 나타남을 볼 수 있다.

그림35는 데이터를 송신하려다 수신하는 경우로 동시에 CAN 버스를 차지하고자 할 때 ID 필드에서 어떻게 조정하는지 보여주고 있다. 지선에서 측정된 전류파형은 해당 노드가 다른 노드와 경합에서 ID가 높은 관계로 ID가 낮은 신호에 양보하여 액세스 하지 못하고 오히려 수신한 경우이다. 따라서 데이터 수신 직후 정상적으로 수신하였다는 ACK를 내보낸 경우의 파형이다.

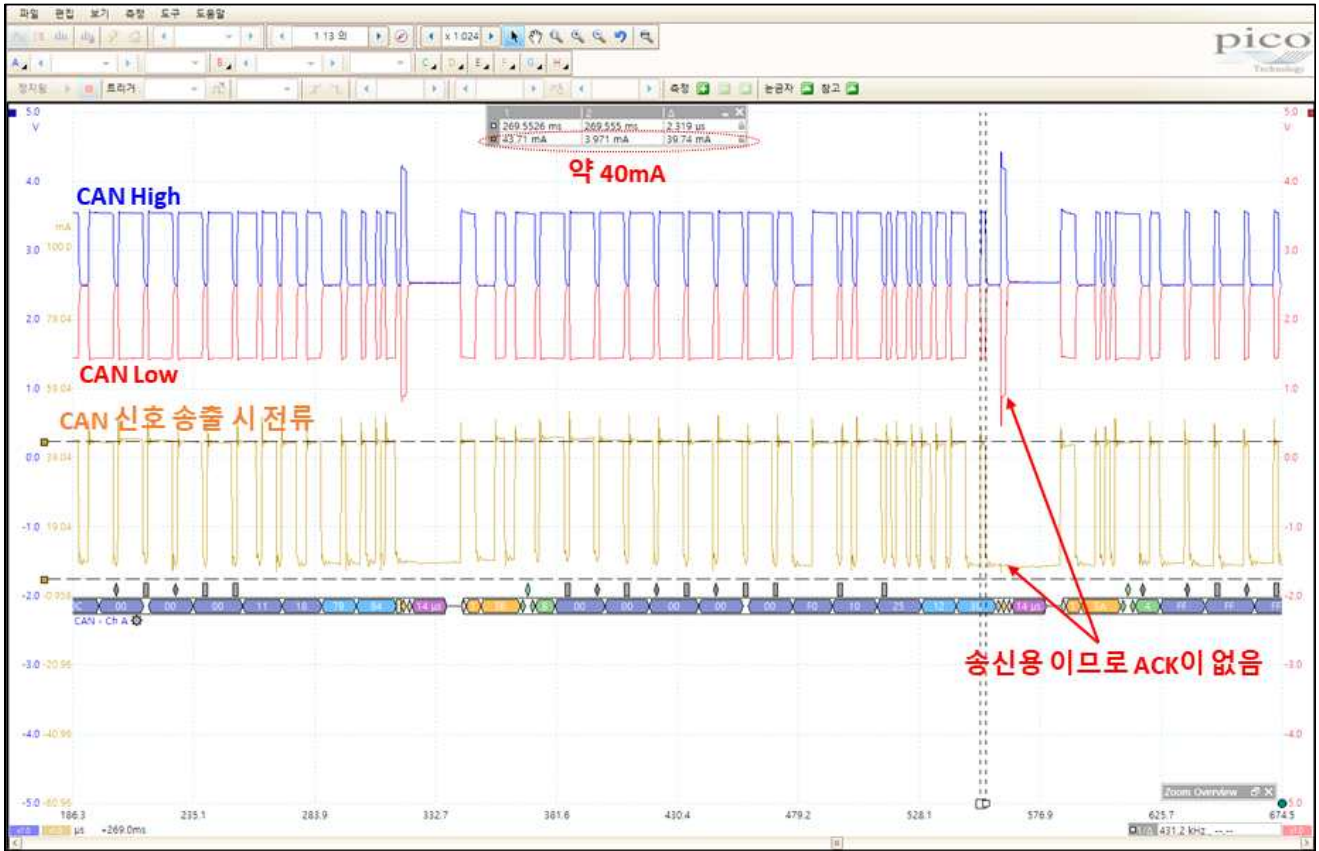


그림 32) 지선의 노드에서 송신 시 전류

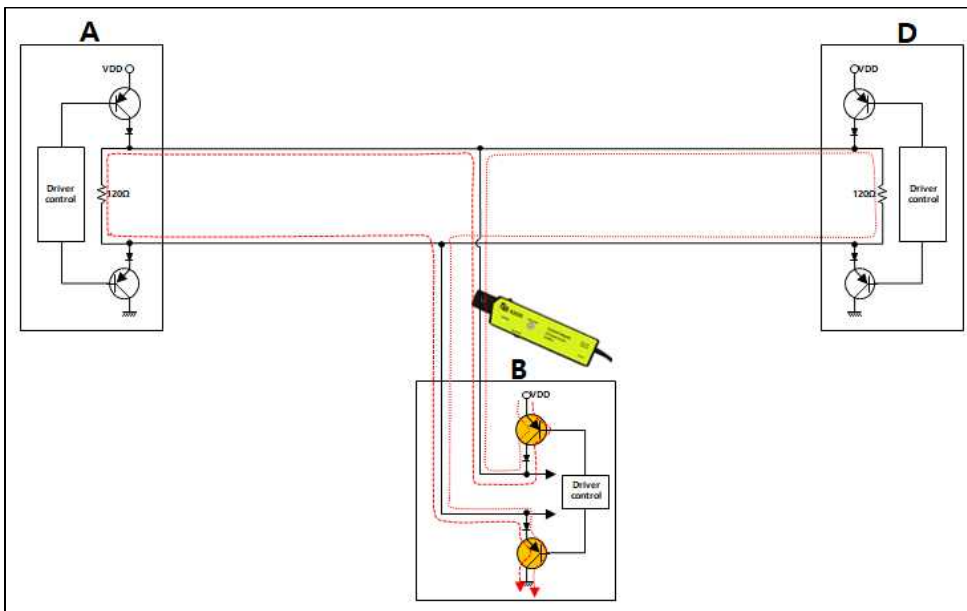


그림 33) 지선에서의 전류 흐름

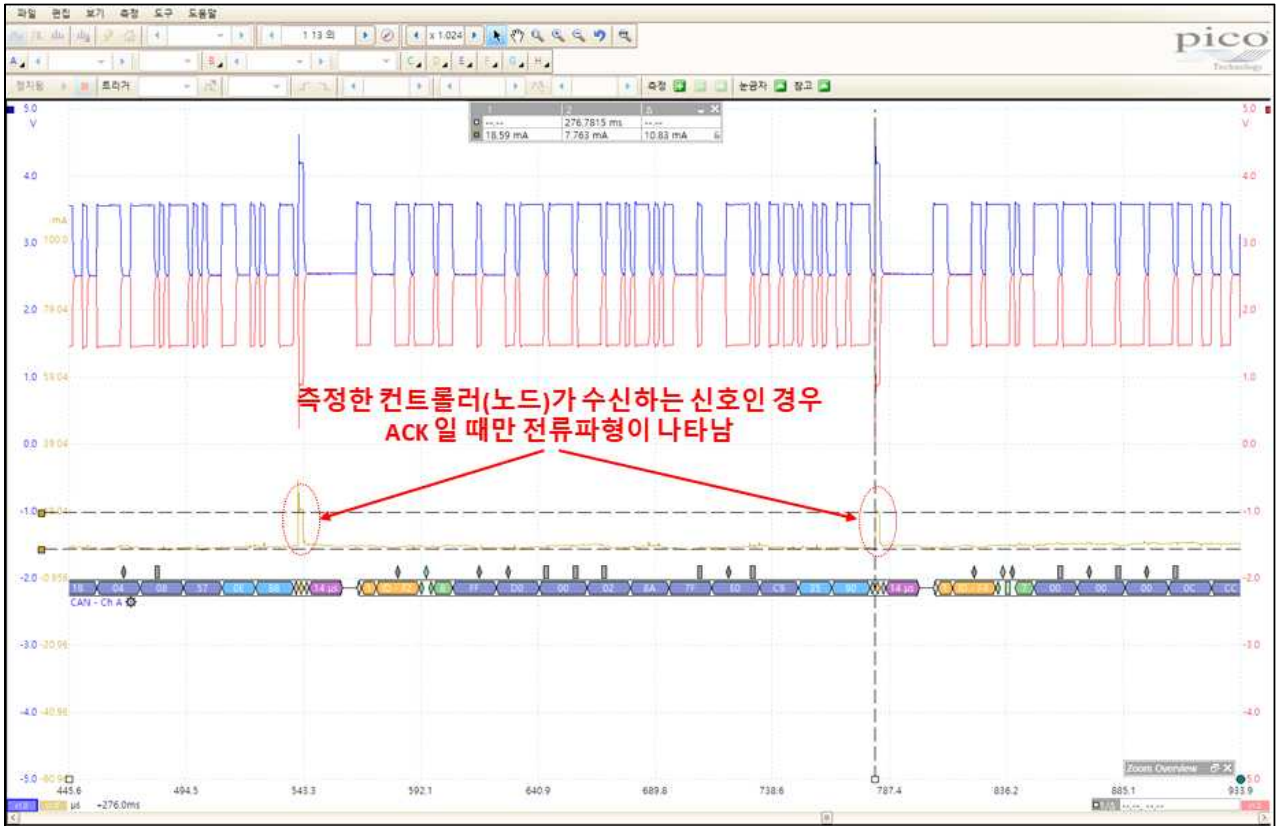


그림 34) 지선의 노드에서 타 노드의 신호를 수신한 경우

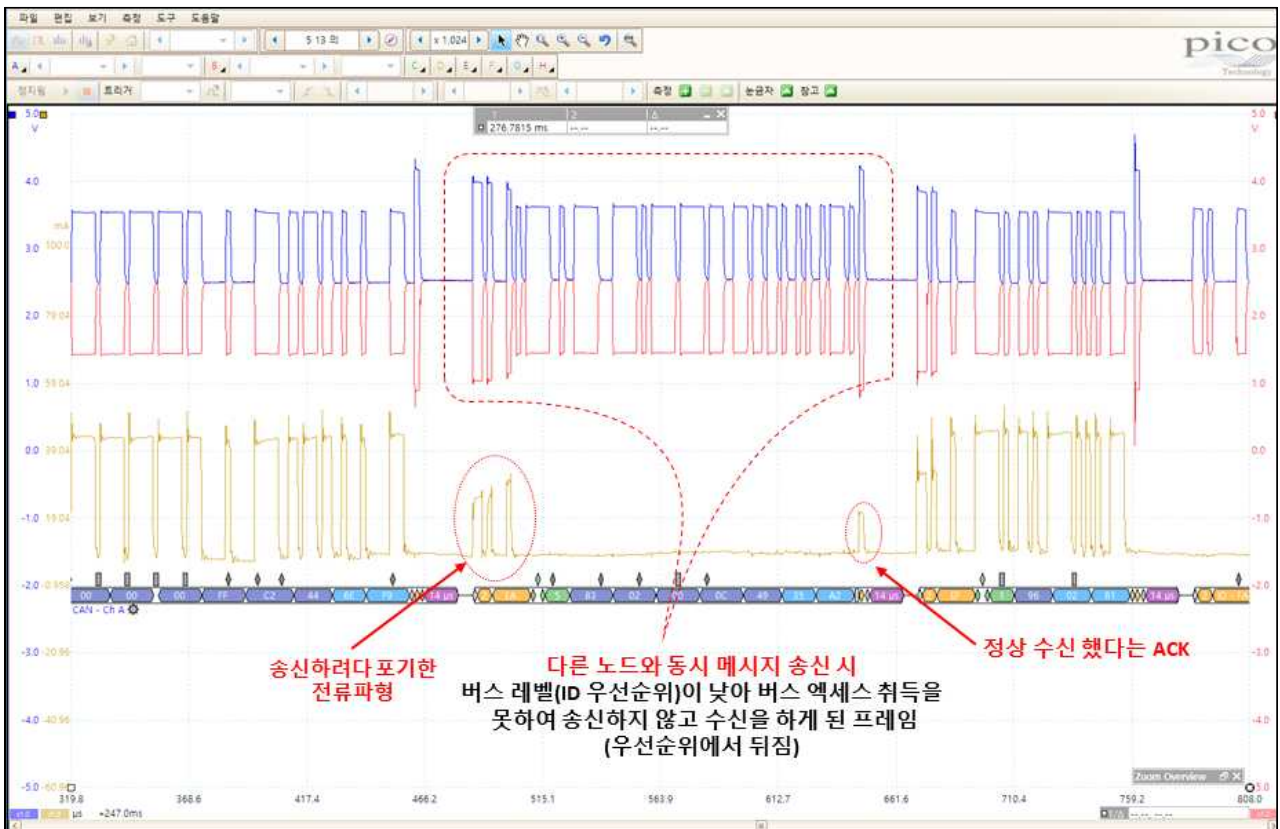


그림 35) 지선의 노드가 ID 필드에서 조정에 의해 액세스를 못한 경우 전류파형

그림36은 주선이 단선된 상태에서 지선의 노드가 송신할 때 전류 흐름을 보이고 있다. 그림에서 ㉑점과 ㉒점은 동일한 라인이라 할 수 있으므로 동일한 전류가 나타나지만 ㉓점에서는 전류가 나타나지 않는다. 한편 ㉑점의 전류값은 정상인 경우 종단저항의 합성 저항값 60Ω에 의해 약 33.3mA의 전류가 나타나야 하지만 A 노드 방향의 단선이 존재하는 관계로 D

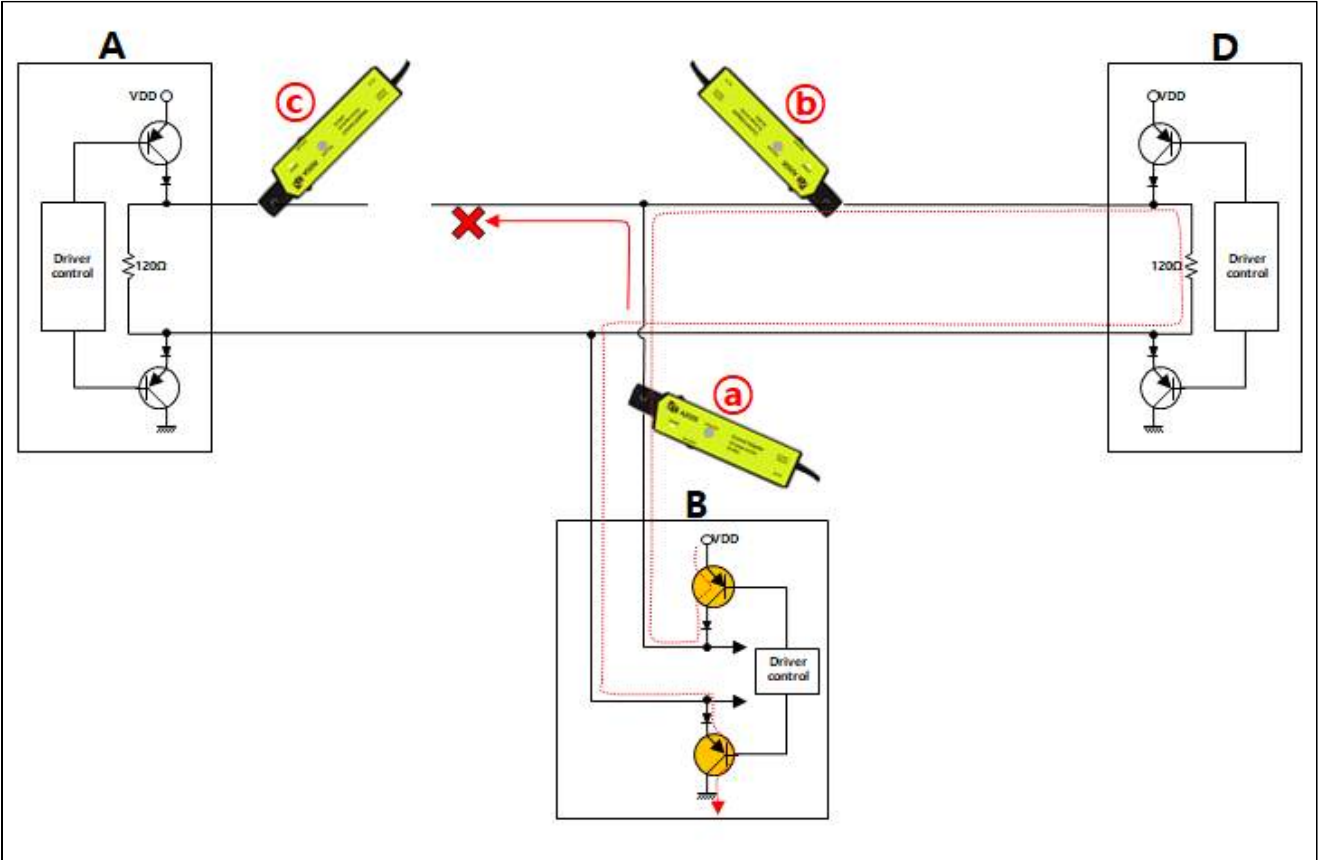


그림 36) 주선이 단선된 상태에서 지선의 노드가 송신 시 노드의 종단저항 120Ω으로만 전류가 흐른다. 따라서 B 노드가 우성(d) 신호를 출력할 때 전류는 16.67mA로 낮아진다. 이런 경우 B 노드가 송신하는 ID를 알고 있다면 해당 ID에 대한 전류를 주선에서 측정 시 16.67mA에서 0A로 낮아지는 부분을 찾으면 단선 위치를 구분할 수 있다.

만약 그림36에서 지선에 해당하는 ㉑점에서 단선이 있다면 B 노드가 송신하는 모든 ID에서 우성(d) 신호 때 전류는 거의 0A에 가깝게 나타날 것이다. 한편 지선에서 접지측과 단락이 발행한 경우 주선의 전류도 증가하지만 지선에서의 전류도 증가한다. 그림37에서와 같이 지선의 Low라인이 접지측으로 쇼트가 발생한 경우 B 노드 내부 드라이버에서 접지까지 사이에 삽입된 저항(그림12, 13, 30참조)를 거치지 않고 접지로 직접 전류가 흐르기 때문이다.

CAN 통신라인의 점검에서 전압 신호를 측정하는 경우는 네트워크 안의 어디에서든 동일한 신호가 나타나는 이유 때문에 어떤 ID가 수신되고 어떤 ID가 송신하는 것인지 쉽게 판

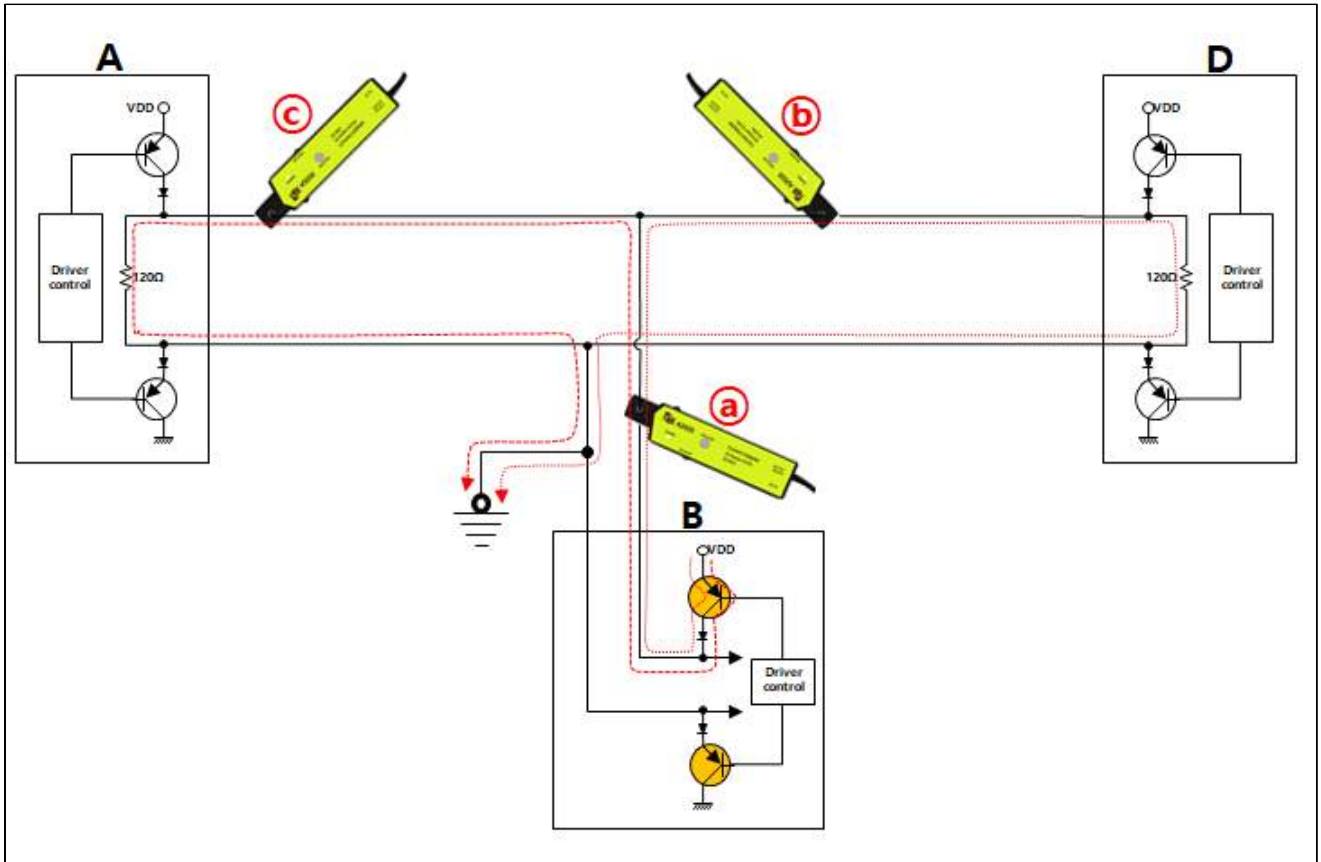


그림 37) 지선의 Low 라인이 접지측과 단락되었을 때

악하기 곤란하다. 특히 여러 노드가 수신하여 ID 데이터에 대한 ACK를 발송해야 하는 ID의 경우는 더욱더 곤란해진다. 가령 엔진의 TPS 값을 전송하는 ID와 데이터를 변속기 컨트롤러와 TCS 컨트롤러가 수신한다면 둘 중 하나의 컨트롤러만 반응해도 CAN 버스 전압에서는 정상적인 신호로 나타나기 때문이다. 하지만 전류를 측정하면 전류의 방향성을 이용하여 해당 컨트롤러에서 어떤 ID가 송출되고 어떤 ID가 수신되는지 어렵지 않게 파악할 수 있어 특정 ID에 대한 오류의 점검에서 어떤 노드의 잘못인지 구분할 때 매우 유용하다.

각 컨트롤러에서 송수신 ID를 수집되었음을 가정하고 예컨대 정상적인 신호가 나타나다 특정 컨트롤러에서 나와야 할 ID만 CAN High신호가 Low 신호와 동일하게 나타났다면 이는 곧 해당 ID를 송출할 컨트롤러의 CAN High 라인이 단선된 경우에 해당할 것이다.