

## CAN communication 신호 분석(기초 지식)

제어시스템의 지능화, 고성능화는 많은 컨트롤러와 더불어 시스템에서 각종 센서 또는 액추에이터의 종류와 수량이 많아지면서 정보량 또한 증가하고 있는 추세이며 한편으로 각 시스템이 상호 유기적인 제어가 요구되면서 회로는 더욱 복잡해져 차량 중량 중 배선의 비중이 5~10%를 차지할 정도로 하니스(harness) 또한 증가하고 있다. 이러한 문제의 대안으로 배선을 줄일 수 있는 네트워크 기술이 도입되었으며 현재는 CAN 프로토콜이 많이 쓰이고 있다.

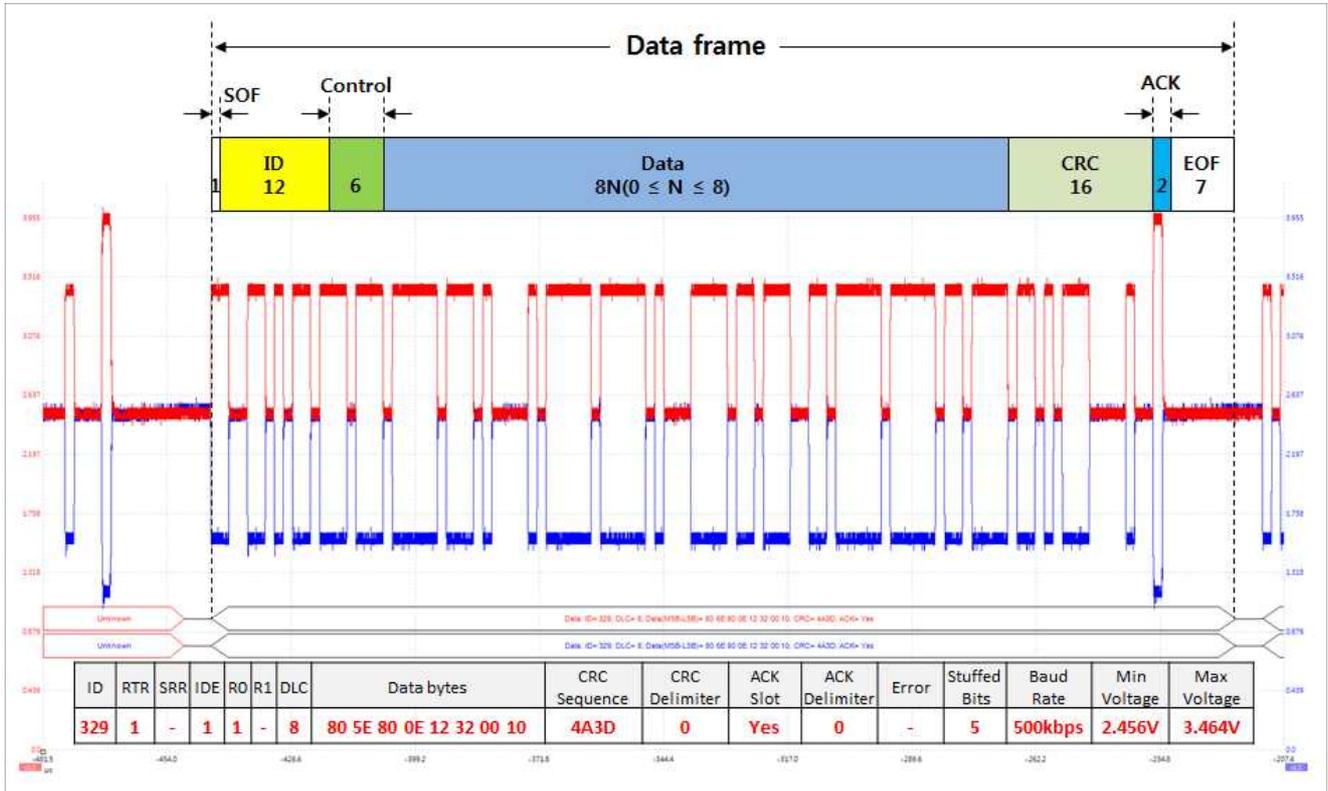


그림 1) CAN 2.0A의 데이터 프레임

### □ 임피던스(impedance)

임피던스(impedance)란 전기적인 방해물이라는 뜻으로서 저항과 비슷한 의미지만 저항기가 아니어도 빛, 온도, 습도, 재질, 주파수 등등의 조건에 따라 마치 저항기처럼 저항성분을 가지는 것을 통틀어 일컫는 개념으로 특정 구조나 회로 위치에서 전압과 전류의 비로 표현할 수 있다.

$$\text{임피던스} : Z = \frac{V}{I}$$

임피던스에 가장 크게 영향을 주는 요소는 주파수로 코일의 경우 인덕턴스(inductance)와 주파수에 따른 저항성분을 가지고 있어 주파수가 올라가면 저항도 높아지는 성질을 가진다. 이때 주파수 조건에 따른 코일의 저항을 코일의 임피던스라고 하고 코일의 임피던스에

관련한 함수는 주파수와 인덕턴스이다.

흔히 '저항' 이라고 말하는 것은 외부 조건에 영향을 받지 않는 절대적인 저항을 뜻한다. 즉 주파수를 가지지 않은 DC 에서의 저항을 말한다. 다만 도선의 저항이 1mΩ이라 할 경우 어떤 주파수에서 사용하고 도선의 모양이 어떤지, 온도는 몇 도에서 사용하는지에 따라 수백 Ω 내지는 수백 kΩ이 될 수도 있기 때문에 이때는 저항이라고 하지 않고 도선의 임피던스라는 표현을 사용한다. 저항기는 어떤 주파수에서든 변하지 않고 저항기 고유의 값을 그대로 가지는 것이 가장 이상적인 저항기 이긴 하지만 그런 절대적인 고유 값을 가지는 저항기를 만드는 것은 현실적으로 불가능하다고 한다.

한편 도선을 포함한 모든 부품은 임피던스를 가지고 있다 할 수 있고 OP AMP 자체도 역시 임피던스를 가지고 있다. OP AMP(Operational amplifier)에는 차동 입력 임피던스, 동상 입력 임피던스, 출력 임피던스라는 중요한 임피던스가 있다.

차동입력 임피던스란 반전 입력 단자와 비반전 입력 단자 사이의 저항을 말하고 동상입력 임피던스란 비반전 입력 단자와 접지 사이, 반전 입력단자와 접지 사이의 각각 저항을 뜻하며 출력 임피던스는 출력단자와 GND사이의 저항을 의미한다. 모두가 저항이라는 실질적인 부품은 없지만 온도와 주파수 그리고 사용방법에 따라 마치 내부에 저항이라는 부품이 있는 것처럼 저항성분을 가지기 때문에 임피던스라고 말한다.

임피던스는 소모와 저장, 부하의 3가지 역할로 나눌 수 있으며 도선을 따라 전류가 흐를 때, 주파수와 구조에 따라 자기장으로 에너지가 축적되는 인덕턴스(L)나 전기장으로 에너지가 축적되는 커패시턴스(C)로 에너지가 축적되면 외부에서 보기에 에너지가 사라져서 마치 소모된 것처럼 보인다. 물론 실제 소모되는 경우도 있지만, 대체로 축적 후에 교류 상황에 맞게 에너지가 재활용되게 된다. 바로 이렇게 교류에 대한 저항성 소자들로 인해 주파수에 따라 임피던스가 다르고, 이러한 것을 이용하여 부하(load)를 걸 수 있다.

## □ 차동 증폭기(differential amplifier)

연산 증폭기는 초기에 아날로그 전자계산기의 연산을 위해 소자를 이용했던 이유에서 연산

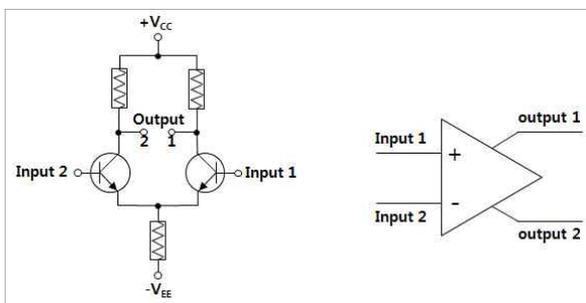


그림 2) 차동증폭기의 회로와 기호

증폭기라는 명칭이 붙여진 이 소자는 매우 큰 전압 이득을 갖는 차동 증폭기이며 전자회로 설계의 기본 소자로 광범위하게 사용된다. 최근에는 능동 필터(active filter), 미분기(differentiator), 적분기(integrator), 비교기(comparator), 신호 변환기, 함수 발생기, 서보(servo) 제어, 통신기기 등 그 응용범위가 넓다.

차동 증폭기는 두 개의 입력단자와 한 개 또는 두 개의 출력단자를 가지며 두 입력신호의

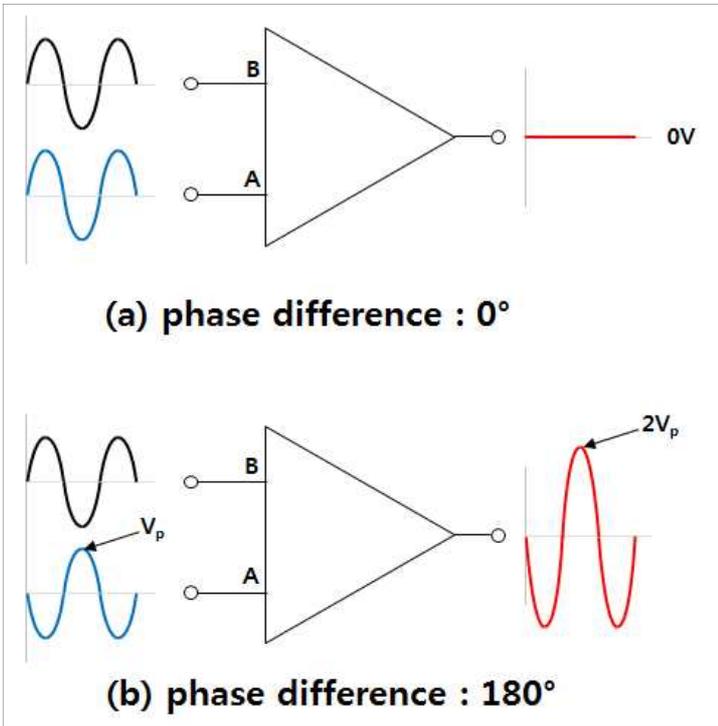


그림 3) 위상차와 차동증폭기 출력

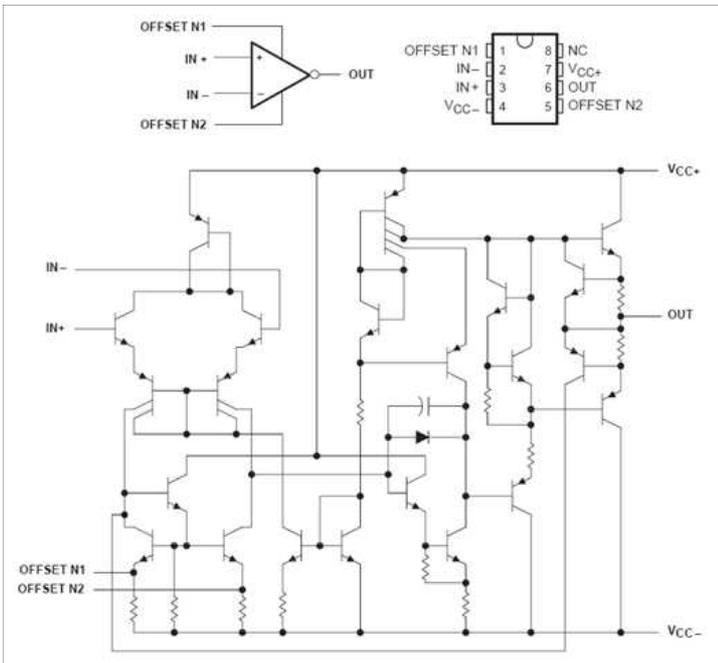


그림 4)  $\mu A741$  연산증폭기의 회로

과가 작아지므로 저항 값이 클수록 바람직하다. (b)는 동상입력 임피던스( $Z_{cm}$ )라하고 공통모드(common mode) 입력저항이라고도 하며 각각의 입력과 접지사이의 저항에 해당하여 보통의 경우 매우 큰 저항을 가진다. (c)는 출력단에서 본 저항으로 출력임피던스라 한다.

차(difference)를 증폭( $V_{out}=A-B$ ) 하는 기능을 가진 IC로 두 입력단의 전압차가 없는 경우 출력은 0V가 된다.

그림3의 (a)는 동위상의 입력인 경우로 두 입력에 대한 위상차가 없고 진폭이 같기 때문에 출력은 두 전압차가 없는 이유로 출력전압은 0V가 된다. 반면 (b)의 경우는 동일한  $V_{p-p}$ 임에도 두 입력의 위상차가 180°인 경우로 출력단의 전압은 입력단  $A-B$ 이므로 입력 진폭에 대하여 2배의 전압이 출력된다. (b)의 경우가 바로 CAN 통신의 원리로 한 쌍의 180° 위상차를 가진 입력을 받아 두 신호의 전압차로 출력되는 신호를 입력받아 logic level를 판단한다.

한편 (a)의 경우처럼 두 신호가 동위상인 경우 출력단은 마치 아무 일 없는 듯이 0V가 지시되기 때문에 노이즈에 강하다 할 수 있다. 즉 한 쌍의 CAN 라인에 노이즈가 유입된다면 두 배선 모두에 영향을 미칠 것이고 두 노이즈 신호의 위상은 동일할 것이기 때문이다.

그림4는 흔히 볼 수 있는 연산증폭기 종류의 내부 회로로 내부에는 일정 저항이 존재하고 이것을 임피던스라 한다. 그림5의 (a)는 차동임피던스( $Z_d$ )라 하고 두 입력 사이의 전체저항에 해당한다. 이 저항은 클수록 신호원에 대한 부하효

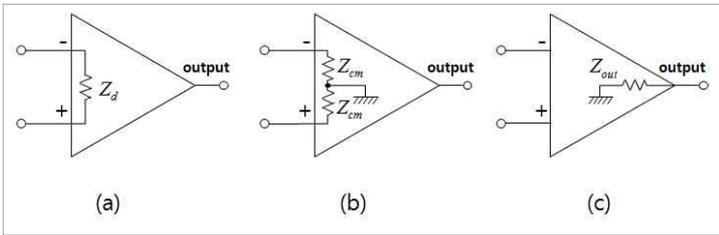


그림 5) 차동증폭기의 임피던스

□ 차동 쌍(differential pair)의 임피던스 매칭(Impedance matching)

○ 반사계수와 임피던스 매칭

그림6에서 아래층은 접지이고 중간층은 절연체, 맨 위는 신호선으로 두개 이상의 도체로

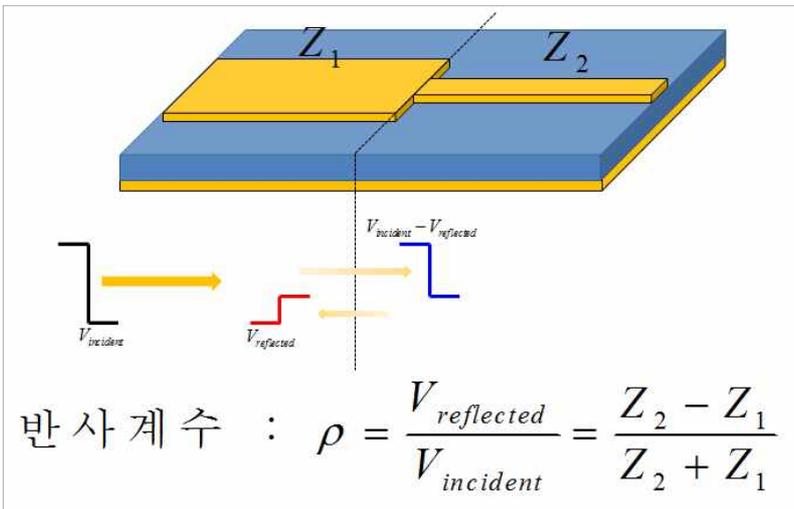


그림 6) 반사계수

구성된 신호 또는 전력 전달 선로에서 도선에 흐르는 전류에 의해 전기장이 발생하지만 한편으로는 도선과 접지간 자기장이 형성됨으로서 상호 작용에 의해 특성 임피던스가 발생하게 된다.

공기를 매질로 하는 음파는 벽을 만났을 때 그 벽의 특성에 따라 음의 투과량이 다르고 또 되돌아오는 반사량도 다르다. 전기적 신호에서도 마찬가지로 길이 방향으로 그 특성이 일정한 것이 좋으나 그림6과 같이 서로 다른 임피던스 특성을 갖는 경계를 만날 때 반사파가 발생한다. 즉, 좌측에서 우측으로 펄스 신호를 보냈을 때 임피던스 특성의 경계점에서 일정전압은 그대로 전달되지만 일정량은 원점으로 되돌아가 새롭게 전송되는 신호와 중첩된다. 이 때 진폭의 비(입사되는 전압과 반사되는 전압의 비)를 반사계수라 하며 이것은 특성 임피던스의 편차와 같다. 일정

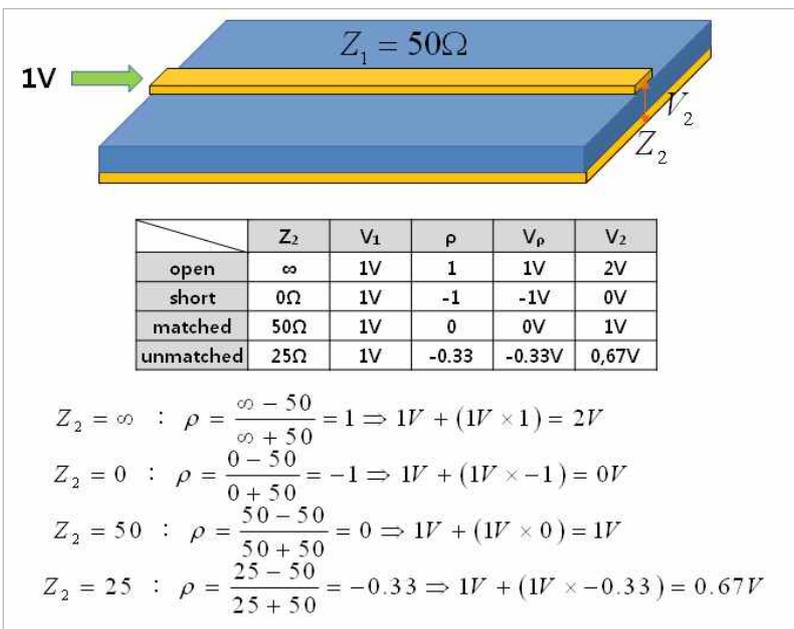


그림 7) single end line에서 반사계수와 전압

하고 연속적인 DC를 보냈을 때는 얘기가 다르지만 순간순간 on/off를 반복하는 형태의 신

호가 지날 때는 반사파의 영향으로 왜곡이 일어나 시스템의 오작동을 유발하기 때문에 이상적인 반사계수는 0이다.

그림7은 순간 전압을 인가했을 때 싱글 엔드 신호 라인에서 반사계수의 영향을 보여주고 있다. 선로의 임피던스  $Z_1$ 은  $50\Omega$ 이라하고 종단부의 임피던스  $Z_2$ 가 각각 단선, 단락,  $Z_1=Z_2$ ,  $Z_1>Z_2$  등 4가지 경우 수에 대한 종단전압  $V_2$ 가 어떻게 나타날지 설명한 것으로 우선 종단부가 단선인 경우 그림6의 공식을 이용하여 계산하였을 때 반사계수는 '1'이므로 원래의 전압 1V와 합해져 2V의 전압이 나타난다. 이것은 실제 CAN 신호라인이 단선되었을 때 확인할 수 있다. 단락의 경우는 반사계수가 '-1'이 되어 종단부의 전압은 0V를 나타낸다. 한편 두 특성 임피던스가 같은  $Z_1=Z_2$ 의 상태에서는 반사계수가 '0'되고  $V_2$ 의 전압은 원래 송신된 전압과 일치하는 1V가 된다.  $Z_1>Z_2$ 이고  $Z_2=25\Omega$ 인 경우  $V_2$ 의 전압은 0.67V가 된다.

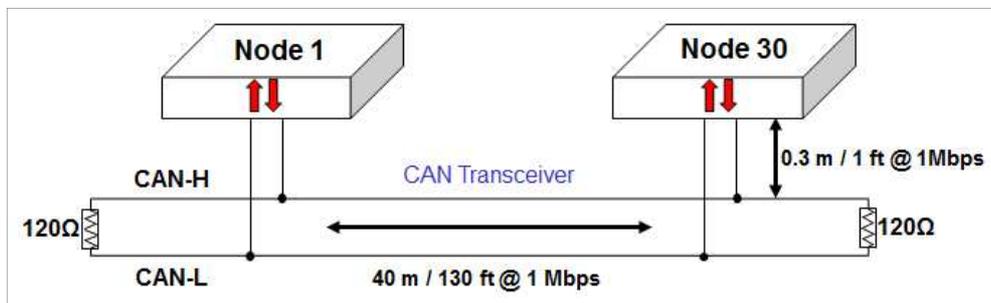
이와 같이 종단부의 임피던스가 신호라인의 임피던스와 같아야지만 원 신호의 왜곡이 없음을 알 수 있고  $Z_1=Z_2$ 의 상태를 임피던스 매칭(정합)상태라 한다. 결국 전송선로의 특성 임피던스만큼의 저항을 종단부에 연결해주어야만 반사로 인한 왜곡이 없다는 뜻이다.

현장에서 CAN 라인을 다룰 때  $90^\circ$ 이상으로 급격하게 꺾어 두거나 특성이 다른 배선으로 교환하는 일은 임피던스의 편차가 발생함으로서 신호의 반사가 유발될 수 있기 때문에 유의해야 할 것이다.

### ○ Termination

임피던스가 미스매칭(mismatching) 된 경우 선로에 전송되는 신호는 Overshoot, Undershoot, Ringing 현상, Propagation delay 등의 문제가 발생하고 이러한 문제는 다른 선로에 간섭하는 Crosstalk 문제나 전자파 방해 잡음(EMI) 등의 원인으로 작용하기 때문에 임피던스 매칭은 필수적이다.

터미네이션은 전송선로상에서 반사파의 억제를 목적으로 도선의 임피던스와 매칭 되도록 도선 끝에 저항을 붙이는 것을 종단 처리를 하고 그 저항을 터미네이터라 한다. 즉 케이블이나 선로 등 도체의 끝 부분에 반사파가 발생하지 않도록 처리하는 것을 터미네이션이라 한다.



선로에 신호를 인가하면 신호는 선을 따라 이동하면서 서서히 감쇄되지만 케이블의 끝을 만나면 임피던스의 급격한 차이로 인

그림 8) CAN 통신라인

해 신호의 반사가 일어난다. 신호별로 특성에 따라 반사 신호가 무시되어도 충분한 경우가

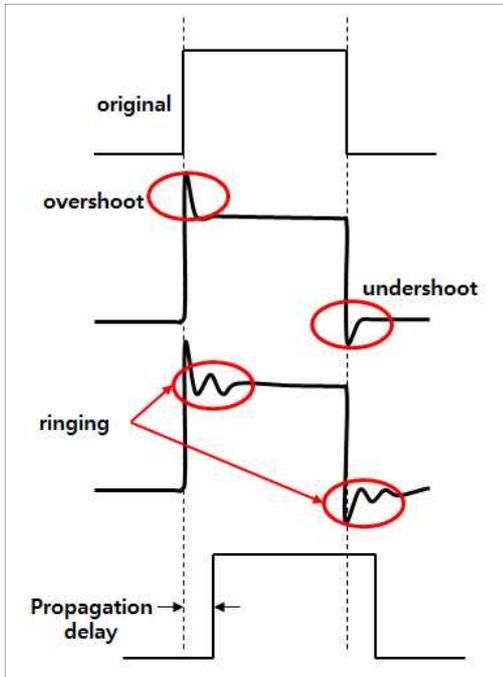


그림 9) 미스매칭(mismatching) 영향

있지만 CAN 신호와 같이 고주파인 경우 반드시 반사 신호를 억제해 주어야만 한다.

케이블이 일정한 특성 임피던스를 가지고 있고 케이블이 무한히 연장되어 있다면 케이블에 인가된 신호는 무한한 케이블을 통해 이동할 것이고 점점 신호가 감쇄한다. 만약 케이블이 무한 길다면 무한히 긴 선로를 따라 감소하다보면 결국 케이블의 끝 지점에서 보면 신호가 완전히 사라질 것이다. 케이블의 종단부에 케이블 특성 임피던스와 동일한 저항을 달아주면 케이블에 인가된 신호는 모두 종단 저항에서 소모되고 반사가 일어나지 않을 것으로 마치 케이블이 무한히 연장되어 있는 것과 같은 효과가 발생하기 때문이다.

Source Z	Load Z	EMI results	Waveform at load
Z0	Z0	None	
Z0	high	Trace-trace coupling	
Z0	low	Edge rate changes	
low	high	Trace coupling, EMI and crosstalk	

표 1) transmission line의 영향

○ 차동 쌍(differential pair)

CAN 통신라인에서 우선 눈에 띄는 것은 CAN high라인과 low라인 두 개의 통신선 Twisted pair일 것이다.

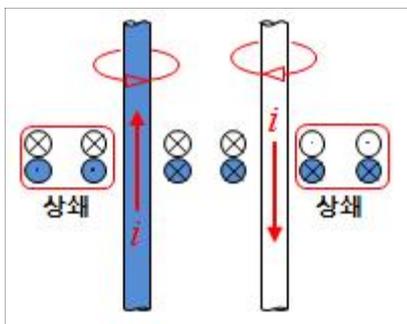


그림 10) 서로 다른 전류 방향의 영향

그림10에서 두 개의 전선이 서로 인접하고 서로 다른 방향으로 전류가 흐르고 있을 때 각각의 전류에 의해 전기장(오른나사 법칙)이 발생한다. 그림에서 파란색 전선에 흐르는 전류로 인해 발생한 전기장은 파란색으로 표시하였으며 전선의 좌측에서 전기장은 나오는 방향으로 우측에서는 들어가는 방향으로 보인다. 한편 흰색의 전선에서도 전류에 의한 전기장

이 발생하며 역시 흰색으로 표현하였다. 서로의 전류 크기가 같고 방향이 180°인 관계로 두 전선에서 발생한 전기장은 서로의 크기가 같고 방향이 반대이므로 두 전선 외부에서의 전기장은 상쇄되는 현상이 발생한다.

한편 CAN 통신은 차동전압을 인식하는 방식을 사용하고 있어 두 통신선이 가까이 있다면

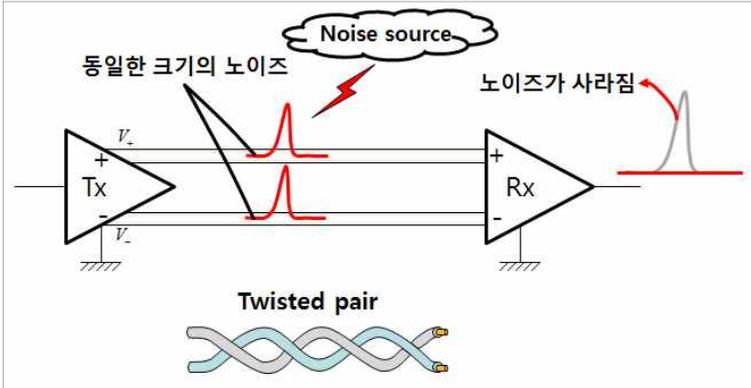


그림 11) 동일한 크기의 노이즈 영향

두 통신선에는 그림11에서와 같이 거의 동일한 노이즈가 유입된다. 두 통신선에 같은 크기의 노이즈가 유입되었다면 차동증폭기에서는 두 입력단의 전압이 동일한 관계로 출력전압은 0V가 될 것이다.

보통 차폐(shielding)의 목적은 크게 두 가지로 외부에서 유입되는 노이즈로부터 신호를 보호하는 것과 자체 라

인에서 발생하는 전자방해잡음(EMI : Electro Magnetic Interference)의 방출 방지이다. 하지만 노이즈가 유입되었다 하더라도 차동전압을 인식하는 방식이기에 동일한 크기의 노이즈라고 한다면 노이즈의 영향은 없으며, 고속 on/off 방식의 통신라인이더라도 서로간의 전류 크기가 같고 반대 방향으로 흐르는 경우라면 외부로 전자방해잡음을 방출하지 못하게 된다. 때문에 CAN 통신라인에는 굳이 쉴드 처리를 하지 않고 있다.

한편 외부 노이즈로부터의 영향을 벗어나기 위해서는 두 통신라인이 서로 가까이에 있어야

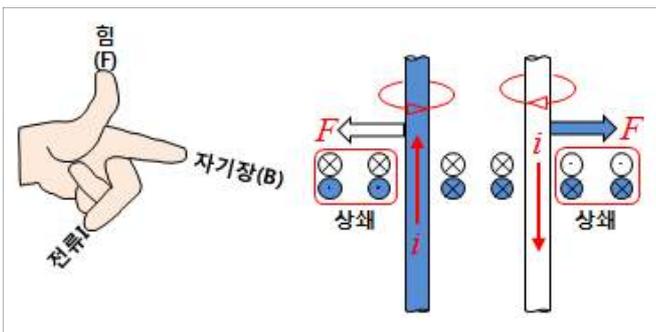


그림 12) 반대 방향의 전류로 척력 발생

만 가능하지만 두 전선이 나란하게 있고 서로 반대방향의 전류가 흐르는 경우 그림12에서와 같이 왼손 법칙(자기장 또는 전기장 내에서 전류(전하)가 받는 힘의 방향을 알 수 있는 법칙)에 의해 서로의 전선은 척력이 작용한다. 파란색 전기장은 흰색 전선에 흐르는 전류를 밀고, 흰색 전기장은 파란색 전

선에 흐르는 전류를 밀기 때문이다. 따라서 서로의 전선은 각각에 흐르는 반대 방향의 전류의 영향으로 서로 밀어내 멀어지려고 한다. 서로의 전선이 멀리 떨어진 경우 외부에서 유입되는 노이즈의 크기가 달라져 자칫 차동전압이 발생하기 때문에 통신의 에러를 유발할 수 있다. 때문에 두 통신선이 항상 붙어 있을 수 있게 그림10에서와 같이 꼬임선을 채택하고 있다.

한편 그림13에서와 같이 전기장 내에서 도선이 운동할 경우 플레밍의 오른손 법칙에 의해 운동하는 전선에서 유도전압이 발생하여 통신선 또는 신호선에 노이즈로 작용할 수 있어 가

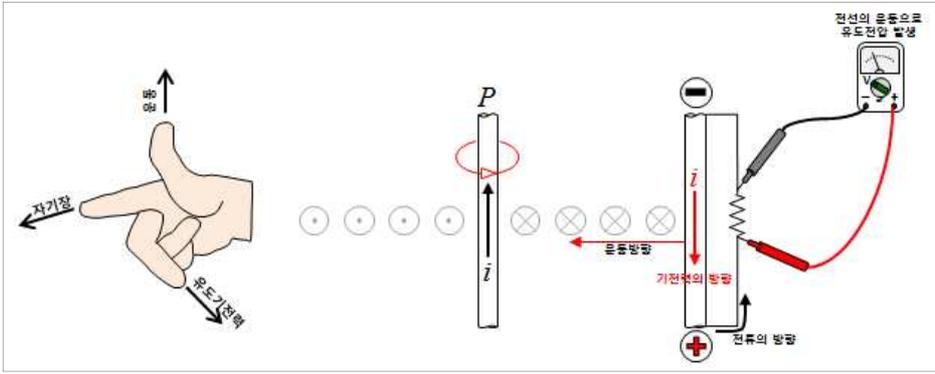


그림 13) 자기장(전기장) 내에서 도체의 운동에 의한 기전력 발생

급적 신호 또는 통신선은 고정되어져 있어야 한다. 그림에서 오른쪽의 전선이 전류가 흐르고 있는 왼쪽의 전선측으로 운동할 경우 오른손 법칙에 의해 전선 내부 아래쪽 방향으로 기전력이 발생

하며 멀어질 경우 또한 반대 방향으로 기전력이 나타나게 된다. 따라서 가급적 CAN 통신선은 전류가 흐르는 도선 근처에서 high 또는 low 통신 라인 단독으로 흔들리지 않게 하는 것이 바람직하다.

지금까지의 내용을 정리하면 CAN 통신 라인에서 노이즈가 통신라인에 유입되면 데이터 프레임을 구성하는 비트에 영향을 주어 통신 불량 및 데이터 지연을 유발할 수 있어 차폐시키는 것이 좋으나 단가측면에서 쌍 꼬임선을 사용하고 있으며 도선에 전류가 흐르면 자기장이 발생되어 통신라인에 혼선을 유발시킬 수 있으나 차동 쌍은 꼬임 방식이고 두 선이 각기 다른 방향으로의 전류흐름을 보이므로 전기장은 상쇄되어 더 이상의 혼선을 유발하지 않는 특징을 가진다.

임피던스가 일정하려면 도선의 단면적도 같아야하지만 쌍 꼬임 방식을 사용하면 두 도체 사이의 거리가 항상 일정하게 유지될 수 있어 임피던스가 일정한 상태가 되어 밸런스에 유리하고, 두 선로의 길이 역시 타임 딜레이 때문에 같아야만 한다. 이렇게 균일한 임피던스가 유지될 수 있는 상태를 컨트롤 된 임피던스라 한다. 이렇게 컨트롤 된 임피던스 상태에서는 외부 노이즈가 유입될 경우라도 동일한 영향을 받기 때문에 최종적인 차동전압에는 영향을 주지 않아 노이즈에 강하다 할 수 있다. 참고로 고속 CAN의 라인 임피던스는 120Ω이고 배선의 저항은 70mΩ/m, 송신기에 의한 출력전류는 25mA 이상이며 버스에서 명목 신호 전파 시간은 5ns/m이다.

### □ 차동전압(differential voltage)

CAN 전송라인은 차동 쌍을 사용하고 있어 노이즈 유입에 대한 영향이 적고, 각 신호 진폭의 두 배인 차동전압을 인식하는 관계로 낮은 전송 전압으로도 신호전달이 확실하다. 그림14는 송신측의 차동 신호에 대하여 수신측에서의 차동전압과 공통모드전압을 표시하고 있다. 차동전압은 실제 CAN 신호를 인식하기 때문에 중요하고 공통모드(common mode)전압은 접지와와의 관계로 인해 EMI에 직접적인 영향을 줄 수 있기 때문이다.

CAN 신호 라인의 두 입력에 대한 차동전압( $V_{diff}$ )은 열성(recessive)인 상태에서 둘 다

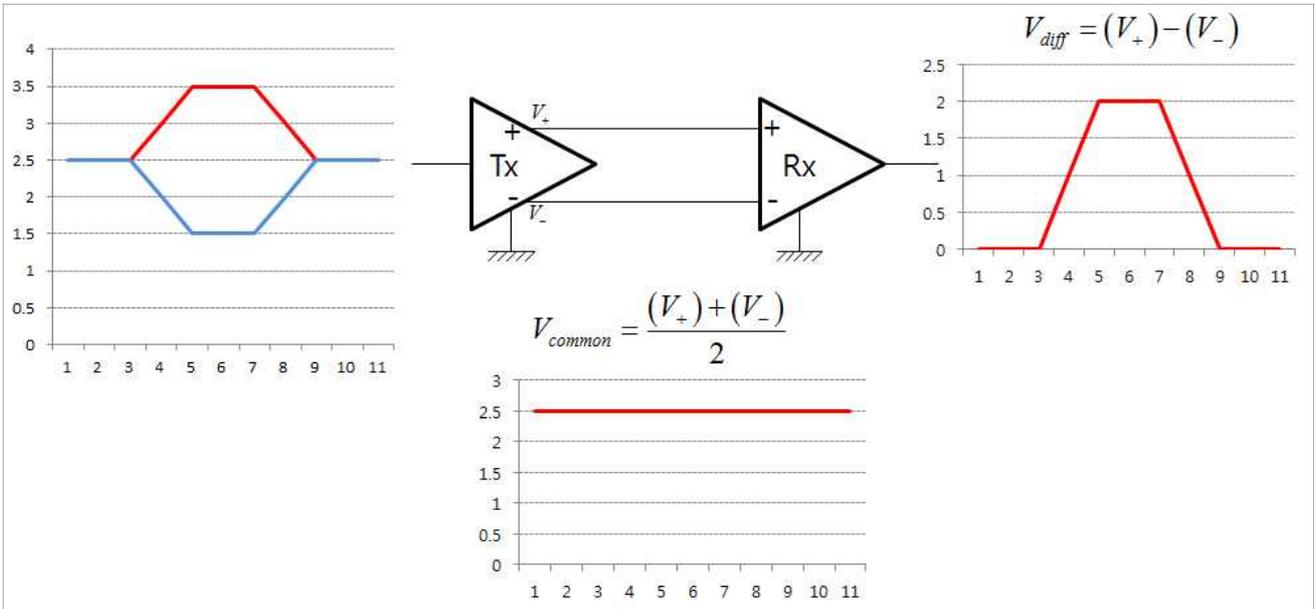


그림 14) 입력에 대한 차동전압과 공통모드 전압

2.5V인 관계로 0V가 되지만 우성(dominant) 상태에서는  $3.5V - 1.5V = 2V$ 가 되어 각 신호

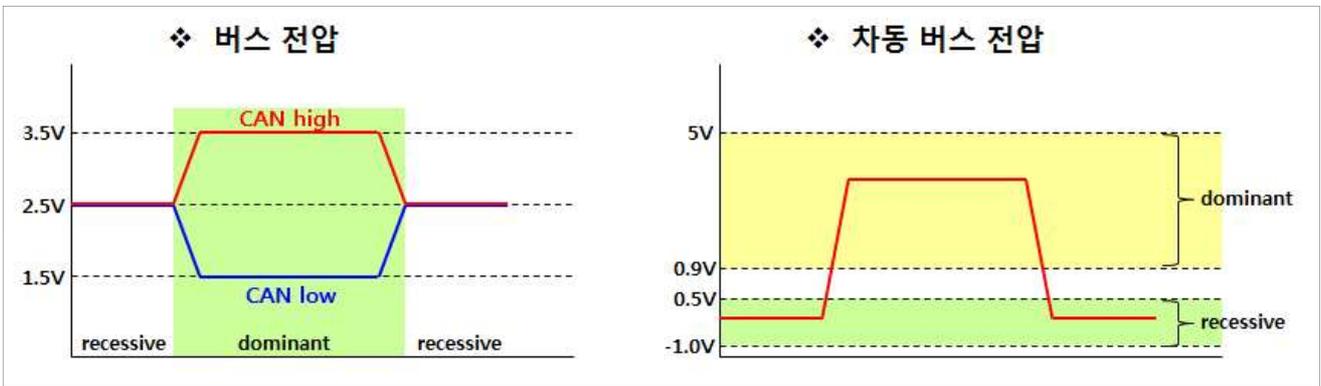


그림 15) 고속 CAN에서의 버스 전압과 차동 전압

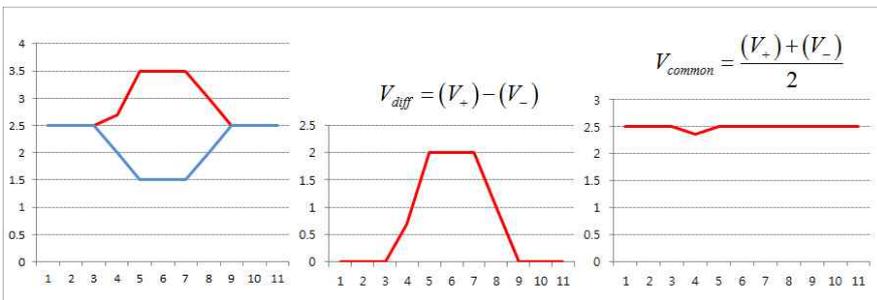


그림 16) 엣지(edge) 불일치

2.5V로 일정하다. 이 전압이 일정하다는 것은 차동증폭기 측에서의 노이즈 유발이 없다는 뜻이다.

신호 불량 상태에 따른 차동 전압과 공통모드 전압의 영향에 대하여 살펴보면 그림16은 엣지가 일치하지 않은 상태로 차동전압의 상승구간에서 다소 꺾여 보인다. 차동전압의 인식

진폭의 2배가 나타난다. 차동 전압에 대한 우성과 열성의 전압레벨은 그림15를 참고한다.

한편 공통모드전압( $V_{common}$ )은 두 신호에 대한 전압의 평균치로 그림14에서와 같이

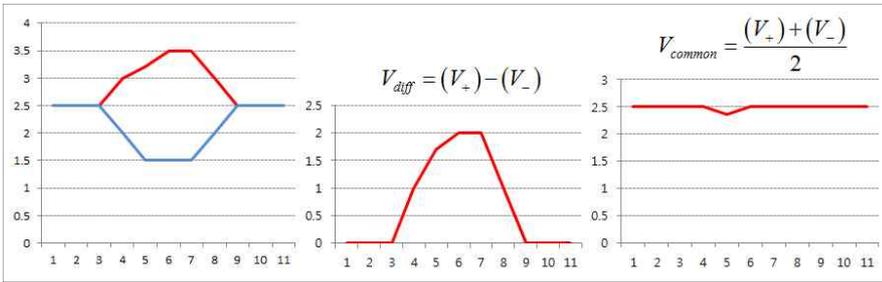


그림 17) 라인의 수치 차

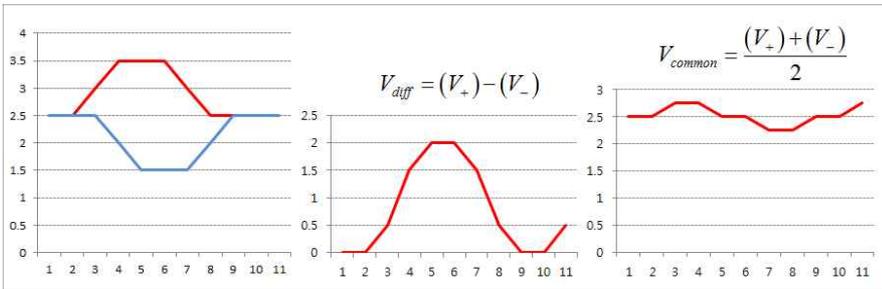


그림 18) 비틀어짐

이 정상위치보다 앞서 있는 것을 볼 수 있고 공통모드전압에서는 노이즈가 유발된다. 실제 CAN에서도 발진자의 특성 및 수신자의 위치 편차 등으로 위상차가 발생하며 이것을 주기적으로 보상해주고 있다.

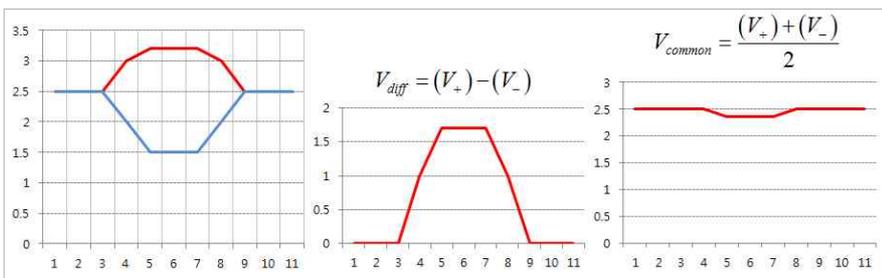


그림 19) 진폭의 변화

기에 영향을 주게 된다.

이처럼 차동전압은 두 신호의 진폭이 같고 위상차가 180°이어야만 주변 전자기기에 악영향을 끼치지 않고 정확하게 신호 전달이 가능하다.

## □ 진법 변환(Base conversion)

CAN의 모든 신호는 우성(dominant : '0')과 열성(recessive : '1')의 2진 부호로 구성되어 전송되며 NRZ(Non Return Zero) 즉 각 아이템 뒤에서 신호가 0으로 복귀하지 않는 방식을 사용하여 중성(휴지) 위치 없이 디지털 1은 하나의 진폭레벨에 해당하기 때문에 NRZ 방식은 제로 복귀(RZ) 방식에 비해 전송 속도가 빠르다.

그림20은 그림1의 앞부분을 확대한 CAN 통신 데이터로 ID 329<sub>h</sub> 데이터 프레임의 앞부분

은 정상적으로 가능하지만 자칫 지연된 신호로 판단할 수 있고 또 공통모드전압에서 노이즈를 유발할 수 있다.

그림17은 라인의 수치 차가 발생한 것으로 그림은 high 라인의 상승구간에서 꺾인 부분이 있다. 이것은 공통모드 전압에서 노이즈가 유발될 수 있다.

그림18은 두 신호 간 위상차가 발생한 것으로 우성과 열성 구간의 구분은 할 수 있지만 위상차로 인해 차동전압

적으로 보상해주고 있다.

그림19의 경우는 high 라인의 진폭이 낮아진 경우로 우성과 열성의 구분은 가능하지만 심한 경우 인식하지 못할 수 있으며 공통모드전압 또한 노이즈를 수반해 다른 전자기

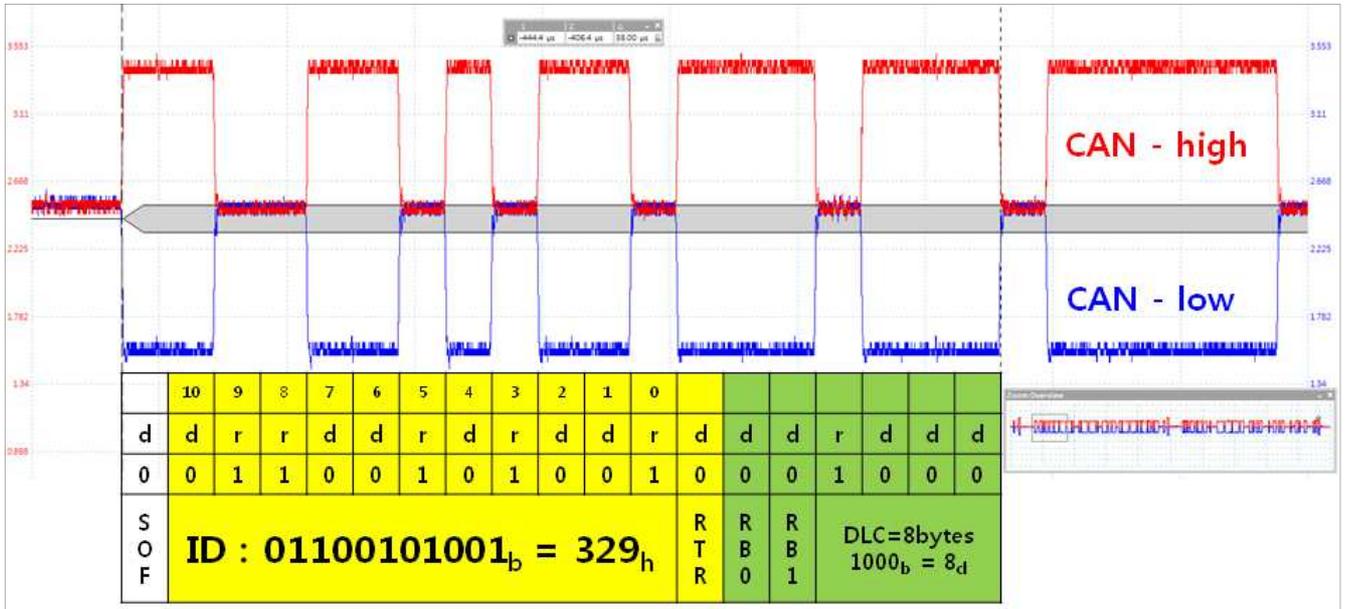


그림 20) '1'과 '0'의 2진 부호로 전송

인 SOF, ID, RTR, control field 등의 데이터를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 CAN 신호는 2진법을 이용하여 전송하지만 해석은 16진법으로 되어져있고, 스캔틀에서 나타나는 데이터는 우리가 익숙한 10진법을 적용하여 각각의 데이터를 디스플레이 하고 있어 각각의 진법에 대하여 간단하게 설명한다.

Decimal	Binary	Hexadecimal
0	0	0
1	1	1
2	10	2
3	11	3
4	100	4
5	101	5
6	110	6
7	111	7
8	1000	8
9	1001	9
10	1010	A
11	1011	B
12	1100	C
13	1101	D
14	1110	E
15	1111	F
16	10000	10
17	10001	11
18	10010	12
19	10011	13
20	10100	14

표 2) 10진법-2진법-16진법

10진법(decimal)은 표2에서 보는 바와 같이 0 ~ 9까지 존재하며 9 다음의 수는 한 자리수가 늘어난 10이 된다. 같은 방법으로 2진법(binary)은 0 다음 1이 존재하고 그 다음은 한 자리 수 늘어난 10이 된다. 한편 16진법(hexadecimal)에서는 0 ~ 9까지는 10진법과 동일하지만 10은 A, 11은 B, 12는 C, 13 ~ 15는 각각 D, E, F로 표현하고 16은 다시 한 자리 수 늘어난 10이 되고 그 다음은 11, 12 이런 식으로 증가하다가 1F<sub>h</sub>(10진법으로는 31<sub>d</sub>이 된다)이후 20이 된다.

10진법의 0은 2진법과 16진법 모두 0에 해당한다. 다만 16진법의 FF는 10진법의 255에 해당하고, 2진법으로는 '1'이 8개인 11111111이 된다. 결국 16진법에서 두 자리 수 최고의 수는 FF이고 0 ~ FF는 10진수로 0 ~ 255까지의 숫자를 의미한다. CAN의 데이터 필드에서 1바이트(byte)는 8bit로 구성되어 있어 00000000<sub>b</sub> ~ 11111111<sub>b</sub>까지 나타날 수 있으며 이것을 다시 16진수로 표현하면 0<sub>h</sub> ~ FF<sub>h</sub>로 표현된다.

긴 이진수를 16진수로 환산하는 방법은 그림21과 같이 2진수를 4자리씩 끊어 16진수의 한자리수로 표현하면 쉬워진다.

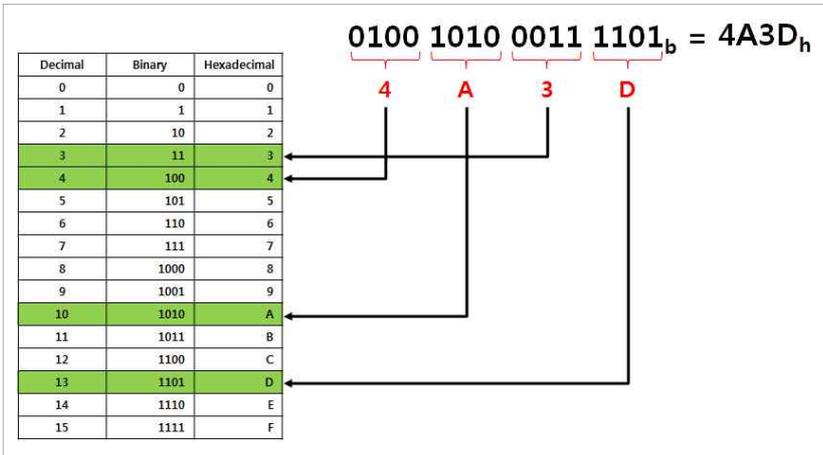


그림 2) 2진수를 4bit(자리)씩 나누어 16진수 한자리로 표현

한편 16진법으로 되어진 데이터를 다시 실제 데이터로 환산하기 위한 방법으로 표3에서 보는바와 같은 계산식을 이용해야만 한다. 지면 관계상 일부만 표현하였지만 표에서 자주 등장하는 숫자가 256이거나 255인데 바로 8bit와 16진법을 사용하기 때문이다.

표에서 한 가지만 예를 들면 맨

Mode	PID	Data bytes	Description	Value		Units	Formula
				Min	Max		
1	23	2	Fuel Rail Pressure (diesel)	0	655350	kPa	$((A \times 256) + B) \times 10$
1	4	1	Calculated engine load value	0	100	%	$A \times 100 / 255$
1	5	1	Engine coolant temperature	-40	215	°C	$A - 40$
1	0B	1	Intake manifold pressure	0	255	kPa	A
1	0C	2	Engine RPM	0	16,383	rpm	$((A \times 256) + B) / 4$
1	0D	1	Vehicle speed	0	255	km/h	A
1	0F	1	Intake air temperature	-40	215	°C	$A - 40$
1	10	2	MAF air flow rate	0	655.35	g/s	$((256 \times A) + B) / 100$
1	11	1	Throttle position	0	100	%	$A \times 100 / 255$

표 3) CAN 데이터의 환산식

아래 TPS의 경우 특정 데이터 값에 100를 곱한다. 그 이유는 단위가 %를 쓰기 때문이며 255로 나누는 이유는 TPS 값 0~5000mV를 256단계로 나뉘어 전송되어지기 때문이다.

만약 TPS 값을 나타내는 CAN 데이터가 01001101<sub>d</sub>로 전송되었다면 4D<sub>h</sub>가 되어 CAN analyzer에는 4D로 표현되지만 이 값은 다시 10진수로 77<sub>d</sub>이 되고 표2의 식에 대입하면  $(77 \times 100) \div 255 = 30.19\%$ 로 결국 TPS의 개도량은 약 30%가 된다는 뜻이다.