

# EtherCAT<sup>®</sup> 설치 가이드

## EtherCAT 네트워크의 기획, 조립과 커미셔닝 가이드라인

**문서:      ETG.1600 G (R) V1.0.3**

학명:

ETG-번호

ETG.1600

유형

G (Guide)

형태

R (Release)

버전

V1.0.3

제작:

EtherCAT Technology Group

연락:

info@ethercat.org

날짜:

2022-07-06

주의: 어떠한 경우에서도 항상 영문 문서가 공식 버전임을 알려드립니다.

## 법적 고지

### 상표 및 특허

EtherCAT® 및 Safety over EtherCAT®은 상표 및 특허기술로 등록되어 있으며, Beckhoff Automation GmbH, Germany에 허가되어 있다. 이 출판에 다른 지명을 제3자가 사용하는 것은 소유자의 권리를 침해할 수 있다.

### 부인

문서를 주의 깊게 살피고 있다. 서술된 기술은 끊임없이 개발 중에 놓여있는데, 문서가 일괄적인 성능 데이터, 기준 또는 다른 성향들을 위한 모든 경우의 수를 확인하지 못했기 때문에 우리는 언제든지 맞게 변경하도록 유지보수 할 것이다. 변동사항 없이 이미 공급된 물품들은 본 문서 안의 데이터, 다이어그램과 설명을 바탕으로 만들어져 있다.

### 저작권

© EtherCAT Technology Group.

본 문서의 복사, 분배 및 사용 또는 허가 없이 다른 이에게 관련된 내용 전파하는 행위는 금지된다. 위법자는 벌금을 물어야 하는 법적 책임을 진다. 모든 권리는 특허, 유틸리티 모델 또는 디자인 [www.ethercat.org](http://www.ethercat.org)에 소유되어 있다.

문서 변천사

버전	내용
1.0.0	첫 번째 배포
1.0.1	그림 14 와 그림 25 의 커패시턴스 값 수정
1.0.2	표 12 에 참고사항 추가
1.0.3	조항 4.2 수정. 조항 5.4.2 및 표 10 업데이트. 조항 5.8 내용 수정. 조항 6.4 M8 커넥터 확장. 조항 7.4 ETG.1000 규격에 맞게 조정된 하드웨어 오류 카운터 이름

내용

1	서문 .....	1
2	참조 .....	2
3	용어, 정의 및 단어 용법 .....	3
	3.1 용어 및 정의 .....	3
	3.2 단어 용법: shall, should, may, can .....	3
4	EtherCAT 기반 .....	4
	4.1 네트워크 구성 .....	4
	4.2 물리 매체 .....	4
	4.3 토폴로지 .....	5
	4.4 링크 탐지 및 프레임 라우팅 .....	6
	4.5 On-the-fly 프로세싱 .....	8
5	구축 .....	9
	5.1 환경 조건 .....	9
	5.2 토폴로지 정의 및 장치의 배치 .....	9
	5.3 채널의 케이블 길이 .....	10
	5.3.1 100BASE-TX 링크에 대한 채널 파라미터 .....	11
	5.3.2 100BASE-FX 링크의 채널 파라미터 .....	16
	5.4 케이블 선정 .....	17
	5.4.1 100BASE-TX 연결 케이블 .....	18
	5.4.2 100BASE-FX 연결 케이블 .....	25
	5.5 커넥터 선정 .....	25
	5.6 케이블 분리 .....	27
	5.7 접지와 그라운딩 .....	28
	5.7.1 등전위 접지 .....	28
	5.7.2 스타 접지 .....	29
	5.8 인프라 구성요소의 선정 .....	30
	5.9 EtherCAT 슬레이브 장치의 선정 .....	32
	5.1 계획단계의 기타 작업 .....	33
6	어셈블링 .....	34
	6.1 어셈블링 표준단계 .....	34
	6.2 전자기 보호 .....	34
	6.3 기계적 보호 .....	39
	6.4 커넥터 어셈블링 .....	44
	6.4.1 RJ45 커넥터 어셈블링 .....	44
	6.4.2 M12 및 M8 커넥터 어셈블링 .....	46
7	시운전 .....	51
	7.1 외관 검사 .....	51
	7.2 채널 물리적 파라미터의 측정 .....	52
	7.2.1 케이블 테스트 .....	53
	7.2.2 기능 테스트 .....	53
	7.2.3 승인 테스트 .....	54
	7.2.4 채널 측정 체크리스트 .....	57
	7.3 접지 시스템의 측정 .....	57
	7.4 EtherCAT 고유의 진단 .....	58
	7.4.1 링크 로스트 카운터 .....	59
	7.4.2 물리적 계층 오류 카운터 .....	59
	7.4.3 프레임 오류 카운터 .....	60
8	요약 .....	61

표

표 1: 데이터 전송경로(Channel)의 사양 .....	11
표 2: 100m 케이블 길이의 클래스 D 채널에 대한 기준 수치 .....	13
표 3: 광케이블 채널의 참고 파라미터 .....	16
표 4: 고정 링크로 사용하는 고정 배선 케이블의 참고 파라미터 .....	18
표 5: 고정 링크로 사용하는 유연한 케이블의 참고 파라미터 .....	19
표 6: 고정 링크에 사용되는 케이블의 예시 .....	20
표 7: 실드 코드의 예시 .....	22
표 8: 도체 직경과 AWG 코드의 관계 .....	24
표 9: 광섬유 케이블에 대한 참고 파라미터 .....	25
표 10: 구리 케이블의 표준 커넥터 .....	26
표 11: 광섬유 케이블의 표준 커넥터 .....	26
표 12: 통신 케이블과 전원 케이블 간의 최소 거리의 참고치 .....	28
표 13: 접지 전선의 단면과 길이의 관계 .....	30
표 14: 계획단계에서 가능한 추가작업 .....	33
표 15: ISO 61918 및 TIA-568-C 와 전선 색상 비교 .....	48
표 16: 네트워크 외관 검사 체크리스트 .....	51
표 17: 채널 측정 체크리스트 .....	57
표 18: 접지 시스템의 체크리스트 .....	58
표 19: 링크 로스트 카운터 레지스터 .....	59
표 20: 물리적 계층 오류 카운터 레지스터 .....	59
표 21: 프레임 오류 카운터 레지스터 .....	60

그림

그림 1: EtherCAT 네트워크에 연결된 슬레이브 수 .....	4
그림 2: EtherCAT 물리 매체 .....	5
그림 3: EtherCAT 토폴로지 .....	5
그림 4: ESC 안 내부 포트 구조 .....	6
그림 5: 물리적 링크 설정 .....	7
그림 6: 포트 상태와 물리적인 연결 .....	7
그림 7: EtherCAT 프레임 라우팅 .....	8
그림 8: ESC 내 on-the-fly 프로세싱 .....	8
그림 9: 채널 및 단말 간의 연결 구조 .....	10
그림 10: 구성가능한 데이터 전송경로의 예시 .....	12
그림 11: 파라미터 IL 과 NEXT 의 물리적 의미 .....	14
그림 12: 연결 개수 계산 .....	15
그림 13: 고정형 및 가동형 케이블의 차이 .....	19
그림 14: 사용하지 않는 케이블에 대한 종단 처리 방식 .....	21
그림 15: 추천 또는 비추천 실드 구성 .....	23
그림 16: 통신 케이블 및 전원 케이블 사이의 최소 거리 .....	27
그림 17: 금속으로 된 분리된 도관의 최소 거리 .....	27
그림 18: 등전위 접지 방식 .....	28
그림 19: 스타 접지 방식 .....	29

그림 20: 활성 인프라 구성요소의 동작 .....	31
그림 21: 활성 인프라 구성요소 내에서 ESC의 통합 .....	32
그림 22: 통신 및 전원 케이블의 교차 .....	34
그림 23: 통신 케이블의 루프 모양 방지 .....	34
그림 24: 장치 내의 쉴드와 접지 사이의 연결 .....	35
그림 25: 장치 내의 접지와 내부 RC의 연결 .....	35
그림 26: 장치 내의 쉴드 접지 측정 .....	36
그림 27: 케이블 클립을 통한 케이블 쉴드의 외부 접지 .....	37
그림 28: 적절한 크기의 케이블 클립 사용 .....	37
그림 29: 접지점에서 적절 또는 부적절한 쉴드 처리 예시 .....	38
그림 30: 금속판을 이용한 케이블 쉴드의 외부 접지 .....	38
그림 31: 벌크헤드 피드스루 커넥터 접지의 올바른 예시 .....	39
그림 32: 통신 케이블의 최소 굽힘 반경 유지 .....	40
그림 33: 통신 케이블의 경로에 따른 날카로운 부분 보호 .....	40
그림 34: 통신 케이블에 작용하는 장력 .....	41
그림 35: 인장력에 대한 통신 케이블 보호 .....	41
그림 36: 적절한 크기의 변형 방지 부품 사용 .....	42
그림 37: 비틀림에 대한 통신 케이블 보호 .....	42
그림 38: 통신 케이블의 충격 보호 .....	43
그림 39: ISO/IEC 61918 규격에 의한 쿼드 케이블 커넥터 핀 배치 .....	44
그림 40: TIA-568-C 호환 RJ45 커넥터의 배선 방법 .....	48
그림 41: 잘못된 RJ45 커넥터의 조립 .....	49
그림 42: 커넥터 케이스에서 케이블 쉴드의 올바른 연결 .....	50
그림 43: 멀티미터에 의한 간단한 케이블 테스트 .....	53
그림 44: 기능 테스트 장비에 의한 케이블의 검사 .....	54
그림 45: 승인 테스트 기기에 의한 케이블의 인증 .....	55
그림 46: 부설 부품에 대한 파라미터 측정 .....	56

약어

μC	Microcontroller
ACR	Attenuation-to-crosstalk ratio
ANSI	American National Standards Institute
AWG	American Wire Gauge
BN	Brown
BU	Blue
CP	Communication Profile
CRC	Cyclic Redundancy Check
DPRAM	Dual-Ported RAM
EM	Electro-magnetic
EN	European standard
ESC	EtherCAT Slave Controller
ETG	EtherCAT Technology Group
GN	Green
IEC	International Electrotechnical Commission
IL	Insertion Loss
ISO	International Organization for Standardization
LLF	Link Lost Forwarding
LVDS	Low Voltage Differential Signal
MAC	Media Access Controller
NEXT	Near-end crosstalk
NIC	Network Interface Card
OG	Orange
PHY	Physical Layer Chip
RJ45	Registered Jack 45
RL	Return Loss
SC	Subscriber Connector
TIA	Telecommunications Industry Association
TP	Twisted Pair
TQ	Twisted Quad
WH	White
YE	Yellow

## 1 서문

채택된 통신 기술은 패시브 배선 인프라(passive wiring infrastructure)로 연결된 기존의 필드버스와 비교해 보았을 때, 여러 이점이 있고, 현장의 산업에서 큰 비중을 차지하였다는 것을 증명해왔다.

EM 노이즈에 대한 더 나은 내성은 이더넷 전송 기술의 피어-투-피어(peer-to peer) 관계 및 차폐 케이블의 사용에서 이들의 설명을 찾을 수 있다. 이 측정들은 특정 링크상에서 오류를 분리하고, 발신자에게 수신자의 더 나은 적용을 가능하게 한다.

고정 링크 모니터링(permanent link monitoring)은 지연없이 실시간으로 잘못된 구성요소들을 찾을 수 있게 도와준다.

EtherCAT 구성요소들은 링크 활성 지표를 가지고 있다. 심지어 배선 문제는 특정 도구 없이 빨리 식별 가능하다. 마스터는 EtherCAT 슬레이브들 안에 만들어진 오류 카운터들을 활용할 수 있고, 정상 동작 시 어떠한 편차가 있더라도 빠르게 반응한다.

이러한 이유로, 고가의 케이블 진단 또는 수준 높은 테스트 절차가 필요 없어졌다. 그러나 일부 측정들은 케이블 설치와 좋지 못한 환경 조건에서 발생하는 오류, 잘못된 구성에 의한 문제들을 방지하는데 도움을 줄 수 있다.

본 문서의 정보들은 케이블 설치에 관한 특정 자동화 시스템의 추가적인 노력과 신뢰성 향상 사이의 올바른 균형을 찾을 수 있게 이끈다.

본 문서는 네 개의 주요 세션으로 구성된다.

- EtherCAT 기본: EtherCAT 네트워크의 이해와 관련된 기술적 특징의 간단한 설명을 제공한다.
- 계획: 국제표준에 명시된 참조와 함께 EtherCAT 기술 기반의 산업 통신 네트워크를 구상하는 엔지니어들을 지원하는 목적이다.
- 조립: 전 기획안을 기반으로 EtherCAT 통신 네트워크를 구현하는 기술자들을 지원하는 목적이다.
- 커미셔닝: 올바른 설치를 확인하고 EtherCAT 기술 기반 산업 통신 네트워크의 작동을 점검하는 최종 사용자 또는 기술자들을 지원하는 목적이다.

본 문서는 사양 또는 다른 ETG 문서를 대체하기 위함이 아니다. EtherCAT 네트워크의 설치 시 고려해야 할 현실적인 정보를 제공함이 목적이고, ETG 설명 문서를 보완하기 위함이다.

본 문서는 네트워크 구현이나 성능에 영향을 주는 면을 서술하며, 이는 EtherCAT 기술을 충분히 서술했다고 할 수 없다. EtherCAT 기술에 관한 완벽한 정보를 위해 EtherCAT Technology Group 과 EtherCAT 표준과 관련 있는 것들이 사양과 문서를 제공한다.

## 2 참조

아래 참조된 문서는 본 문서의 적용을 위해 없어서는 안 되는 것이다. 날짜가 적혀 있는 참조 문들에 대하여 인용된 수정본 만을 적용한다. 날짜가 적혀 있지 않은 참조들에 대하여 참조된 문서(개정본 포함)의 마지막 수정본을 적용한다.

### ETG 표준

- [1] ETG.1000.2: Physical Layer service definition and protocol specification
- [2] ETG.1000.3: Data Link Layer service definition
- [3] ETG.1000.4: Data Link Layer protocol specification
- [4] ETG.1000.5: Application Layer service definition
- [5] ETG.1000.6: Application Layer protocol specification

### 기타 참조

- [6] ISO/IEC 61918: Industrial communication networks – Installation of communication networks in industrial premises
- [7] ISO/IEC 61784-5-12: Industrial communication networks – Profiles – Part 5-12: Installation of fieldbuses – Installation profiles for CPF 12
- [8] ISO/IEC 11801: Information technology – Generic cabling for customer premises
- [9] IEC 61076-2-101: Connectors for electronic equipment - Product requirements - Part 2-101: Circular connectors - Detail specification for M12 connectors with screw-locking
- [10] IEC 61754-4: Fibre optic interconnecting devices and passive components - Fibre optic connector interfaces - Part 4: Type SC connector family
- [11] IEC 61754-24: Fibre optic interconnecting devices and passive components - Fibre optic connector interfaces - Part 24: Type SC-RJ connector family
- [12] IEC 60603-7-3: Connectors for electronic equipment - Part 7-3: Detail specification for 8-way, shielded, free and fixed connectors, for data transmission with frequencies up to 100 MHz
- [13] EN 50174-2: Cabling installation – Part 2: Installation planning and practices inside buildings
- [14] EN50288-2-1: Multi-element metallic cables used in analogue and digital communication and control - Part 2-1: Sectional specification for screened cables characterised up to 100 MHz - Horizontal and building backbone cables
- [15] EN50288-2-2: Multi-element metallic cables used in analogue and digital communication and control - Part 2-2: Sectional specification for screened cables characterised up to 100 MHz - Work area and patch cord cables
- [16] EN60793-2-10: Optical fibres - Part 2-10: Product specifications - Sectional specification for category A1 multimode fibre
- [17] EN60793-2-50: Optical fibres - Part 2-50: Product specifications - Sectional specification for class B single-mode fibres
- [18] ANSI/TIA-568-C: Generic telecommunication cabling for customer premises

### 3 용어, 정의 및 단어 용법

#### 3.1 용어 및 정의

ETG.1000 시리즈의 용어 및 정의는 별도로 정의된 경우를 제외하고 완벽히 유효하다.

#### 3.2 단어 용법: shall, should, may, can

'Shall'이란 단어는 오차가 없고 표준을 확인하기 위해 따라오는 강한 의무적인 요구를 명시한다 (shall 은 '요구된다'와 같은 말이다).

'Should'란 단어는 여러 의미가 가능한데, 하나는 언급한 것을 또는 아닌 것들을 제외하고 알맞게 적당한 것을 추천할 때이고, 또는 무조건 할 필요는 없지만 확실한 과정을 행할 때 사용하거나, 금지된 사항은 아니나 반대할 때 사용한다 ('Should'는 '권장하다'와 같은 말이다).

'May'란 단어는 일반적인 제한 사항 안에서 행동의 과정을 허락하는 목적으로 사용된다 ('May'는 '허가하다'와 같은 말이다).

'Can'란 단어는 물질, 물리 또는 원인의 가능성이나 여력 상태를 나타낼 때 사용한다 ('Can'은 '할 수 있다'와 같은 말이다).

## 4 EtherCAT 기반

### 4.1 네트워크 구성

EtherCAT 네트워크는 하나의 마스터와 하나 이상의 슬레이브로 구성된다.

- 마스터 측면에서, 표준 네트워크 어댑터는 하드웨어 단계에서 구현 가능하다.
- 슬레이브 측면에서, low-level time-critical 기능들은 EtherCAT 슬레이브 컨트롤러(ESC)로 불리는 하드웨어 구성요소에서 구현된다.

슬레이브 장치들은 16 비트 주소 영역으로 할당되어, EtherCAT 네트워크에 연결된 슬레이브 수가 65535 개까지 가능하다 (그림 1).



그림 1: EtherCAT 네트워크에 연결된 슬레이브 수

### 4.2 물리 매체

EtherCAT 은 다른 3 개의 물리 매체를 지원한다.

- 100BASE-TX, 100 Mbit/s 구리선으로 전 이중 전송(100m 까지 가능)
- 100BASE-FX, 100 Mbit/s 광 섬유로 전 이중 전송(수 km 까지 가능)
- LVDS, 백플레인 연결에서의 100 Mbit/s 전이중 전송

일부 ESC 는 ANSI/TIA/EIA-644 에 따라 매우 짧은 백플레인 연결에서 전이중 전송을 위한 LVDS 기반의 물리적 매체를 지원한다 (예: 모듈식 I/O 시스템).

네트워크 안에서 변경되는 물리 매체 수에 제한이 없다 (그림 2).

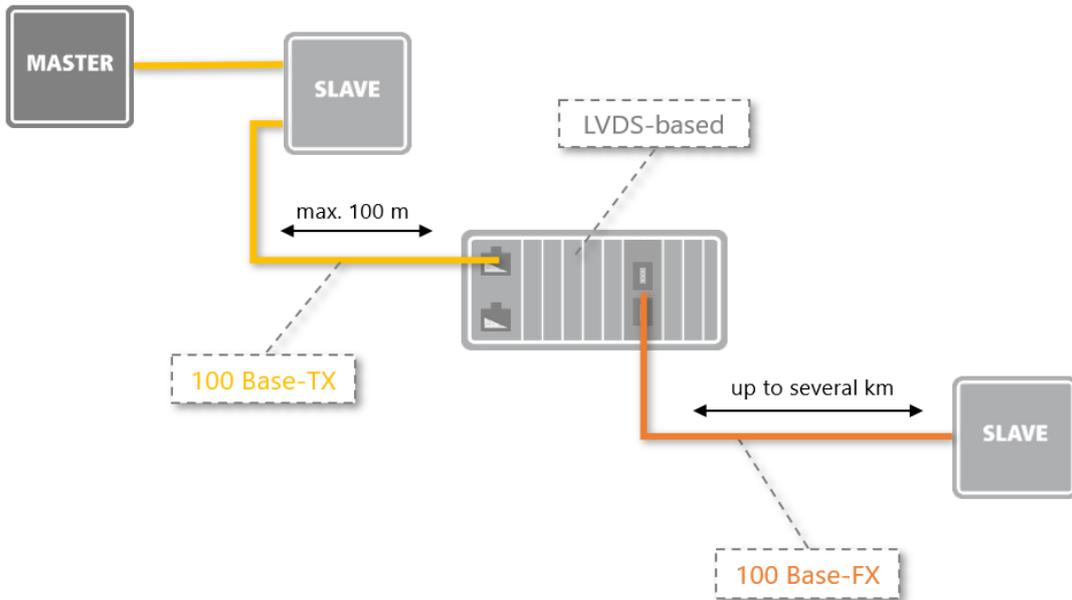


그림 2: EtherCAT 물리 매체

### 4.3 토폴로지

EtherCAT은 라인, 데이지 체인, 스타 또는 트리 등 다양한 토폴로지를 지원한다 (그림 3).

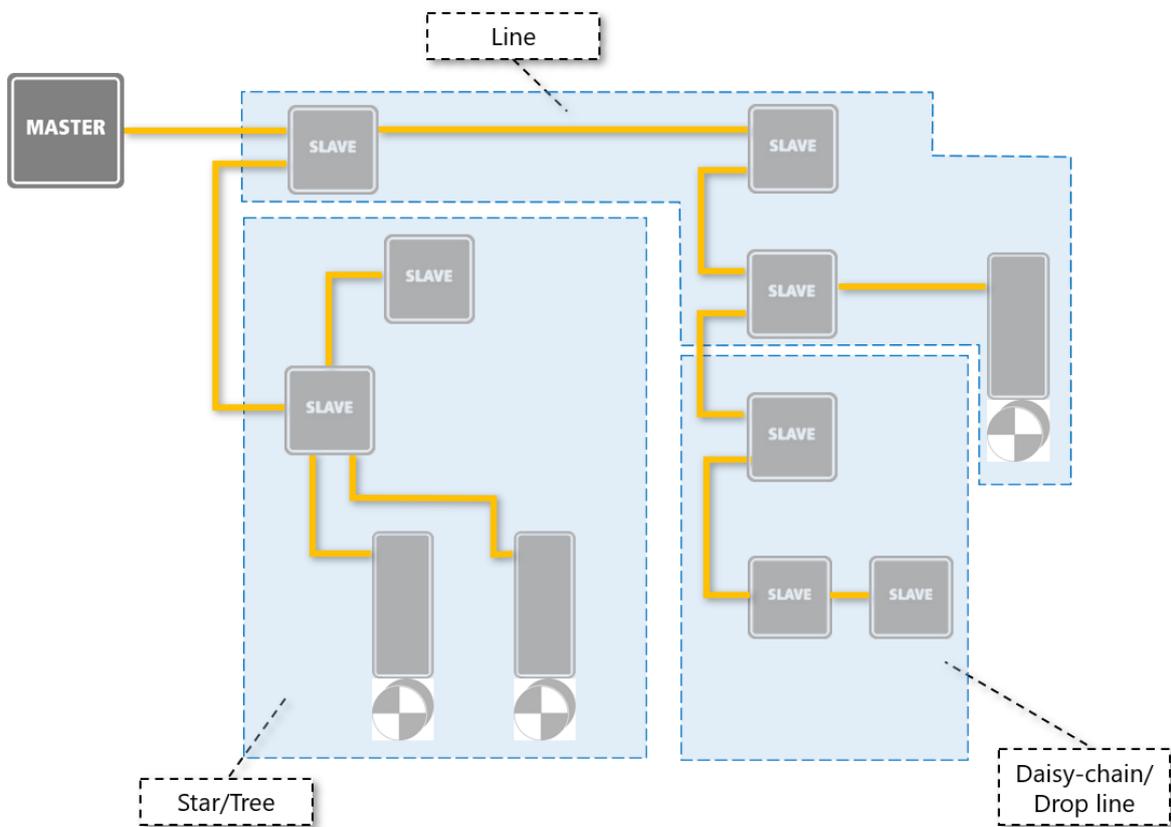


그림 3: EtherCAT 토폴로지

동기화 정도, 전파 및 처리 지연 또는 최소주기시간과 같은 네트워크 성능은 특정 토폴로지 체계와 독립적으로 분리되어 있다.

#### 4.4 링크 탐지 및 프레임 라우팅

ESC 들은 내부적으로 네 개의 통신포트를 지원하는데, 서로 링의 형태로 연결되어 있다 (그림 4):

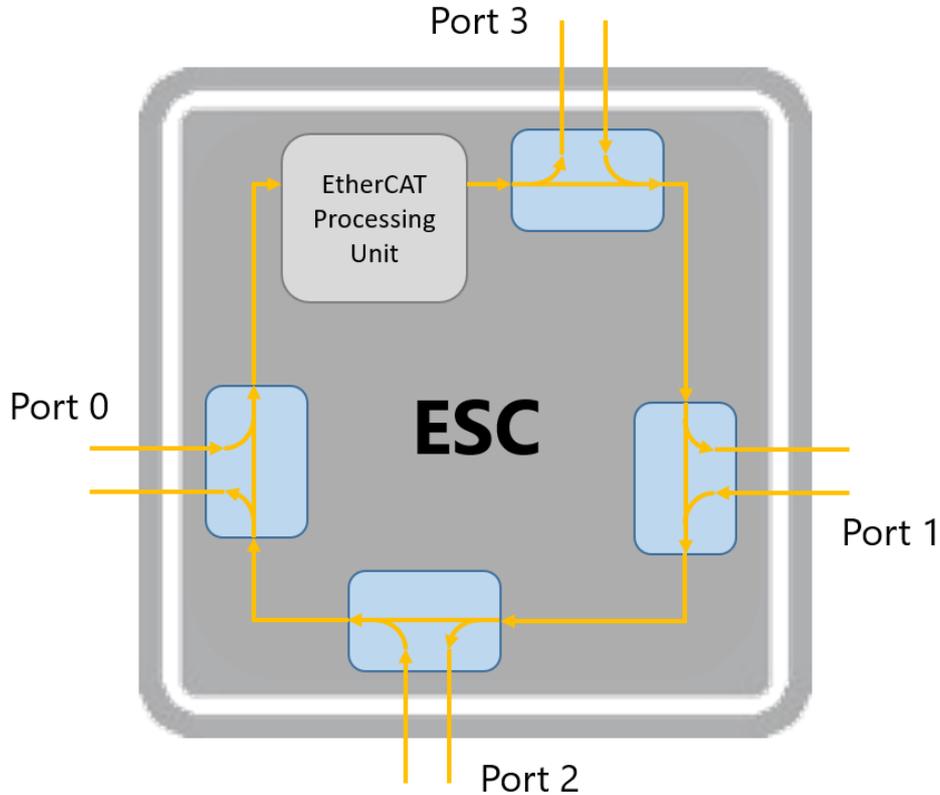


그림 4: ESC 안 내부 포트 구조

전원이 켜지거나 재시작 된 후, 슬레이브 사이에 존재하는 연결에 따라, 다른 장치에 물리적인 연결이 감지되면 포트를 열고, 닫혀 있는 동안 물리적인 연결이 나타난다면 하드웨어 레벨의 슬레이브 장치에 의해 네트워크 토폴로지가 자동적으로 만들어진다.

전기적 신호를 방해할 수 있는 모든 경우(쇠약, 반사, EMC 방해)가 발생하더라도, 두 장치 사이에 물리적 연결이 생기면, 두 디바이스는 받은 심볼 시퀀스를 정확하게 찾을 수 있다 (그림 5).

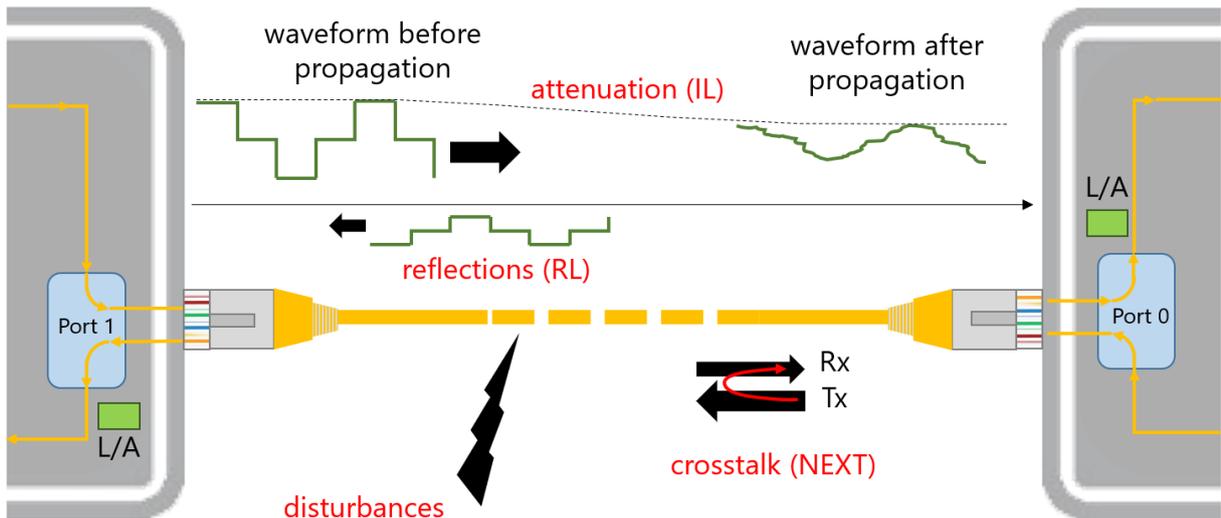


그림 5: 물리적 링크 설정

이동식 커넥터가 있는 모든 슬레이브 포트는 인위적으로 물리적 연결 상태를 나타내는 링크/액티비티 (L/A) LED 를 제공한다:

- L/A LED 꺼짐: 물리적인 연결이 없음
- L/A LED 켜짐: 물리적인 연결은 있지만 네트워크 전송은 없음
- L/A LED 깜박임: 물리적인 연결과 네트워크 전송 모두 있음

그림 6 은 슬레이브 디바이스 안의 하드웨어 연결과 연결상태 사이의 관계를 보여주는 두 가지 경우이다.

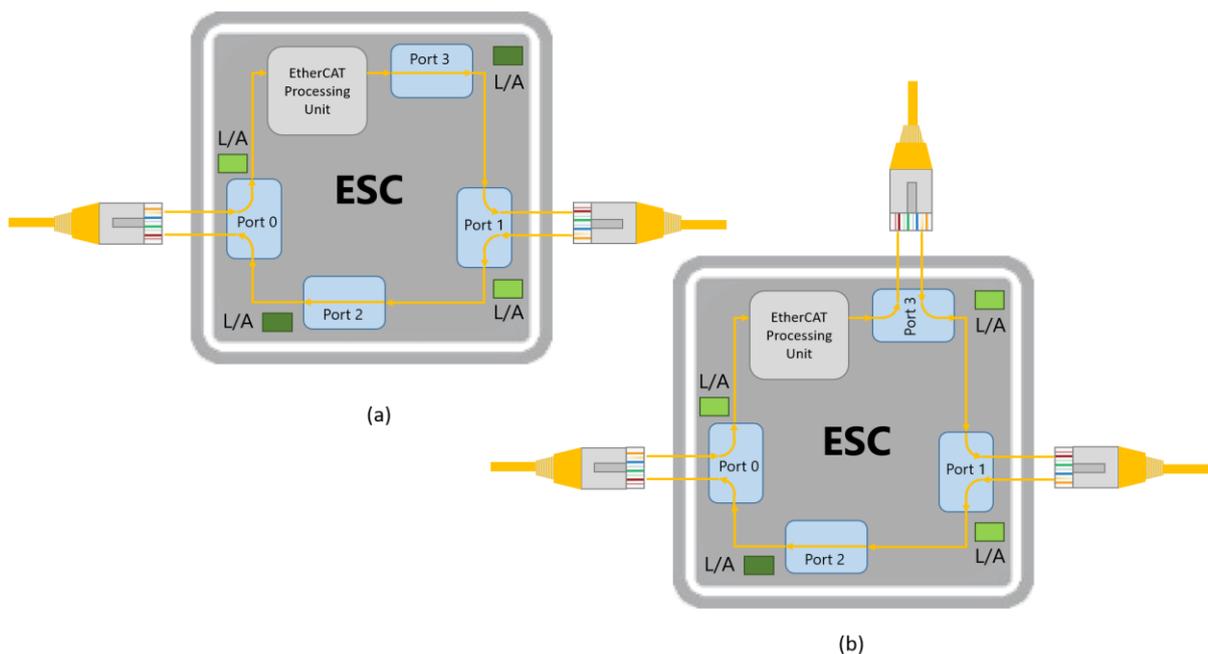


그림 6: 포트 상태와 물리적인 연결

확정된 토폴로지에서부터 독립된 네트워크는 내부 ESC 구조에서 항상 논리루프 원리에 따라 작동한다: 마스터로부터 보내진 프레임들은 슬레이브에서 슬레이브로 정해진 순서에 따라 전송되고 다시 마스터로 돌아온다 (그림 7). 이 순서는 연결된 하드웨어 포트 연결에 의해서만 결정되고 소프트웨어 할당 메커니즘은 별도로 필요하지 않다.

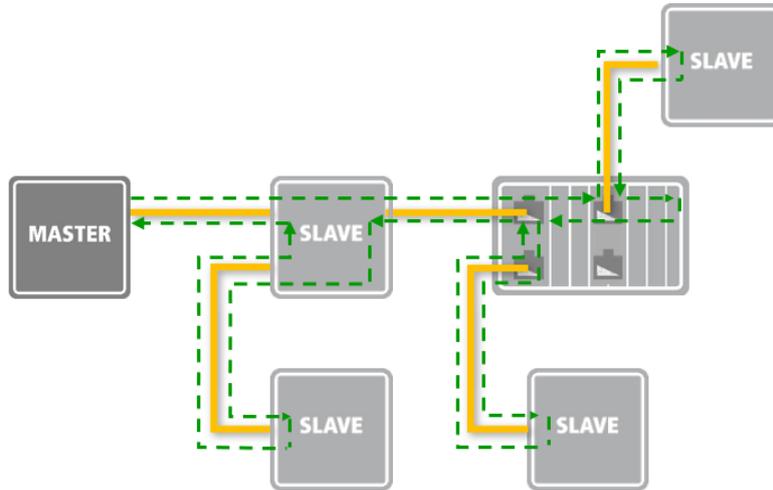


그림 7: EtherCAT 프레임 라우팅

#### 4.5 On-the-fly 프로세싱

프레임이 ESC 를 통해 전달될 때 On-the-fly 로 진행된다: 단일 비트 또는 바이트 전체의 시퀀스는 동력학적으로 추출되고, 저장이 필요하거나 전체 프레임 콘텐츠 프로세싱 없이 EtherCAT 프로세싱 유닛이라는 것을 통해 프레임에 삽입된다 (그림 8). 그러므로 소프트웨어 스택의 프로세싱으로 인하여, 네트워크 상의 하드웨어 전파 지연은 영향을 받지 않는다. 각각의 ESC 안에서 양 방향 전달 지연의 합에 대한 기준 값은 아래와 같다:

- ~ 1  $\mu$ s: 적어도 하나의 100BASE-TX 또는 100BASE-FX 포트를 지원하는 슬레이브를 위함
- ~ 300 ns: 오직 LVDS 포트만을 지원하는 슬레이브를 위함

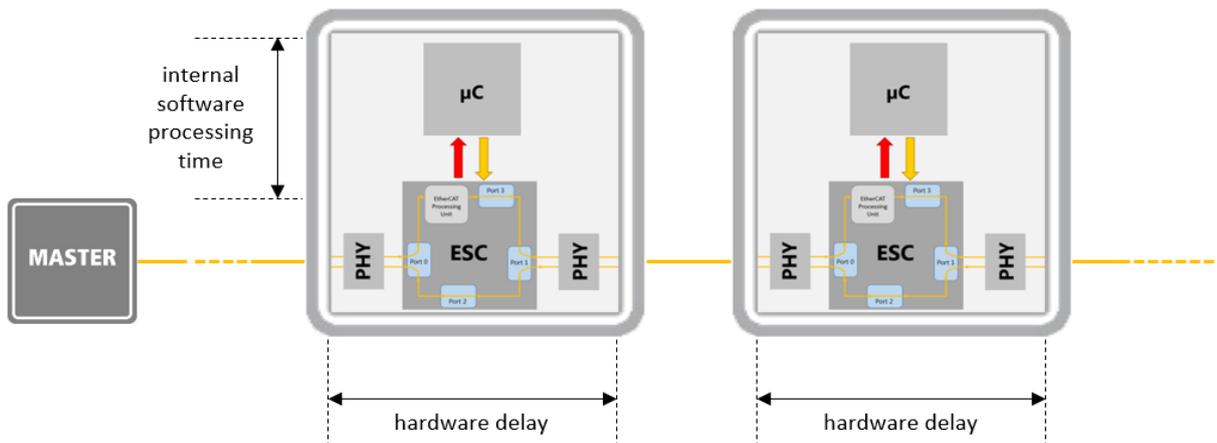


그림 8: ESC 내 on-the-fly 프로세싱

## 5 구축

기계 또는 플랜트 안의 통신 인프라의 구축범위는 작동 조건에서 장치들 간의 오류 없는 데이터를 보증하기 위해 권장하는 모든 실행측면을 사전에 정의해야 한다. 구축단계의 결과에는 장치 간 모든 상호접속이 나열되어야 한다. 각각의 상호접속을 위해, 모든 관련된 측면들은 케이블 라우팅의 필요성과 함께, 최상의 와이어링 양상과 확실한 통신 품질레벨을 보증하기 위해 필요한 행동들을 모두 결정해야 한다. 구성요소 리스트, 체크리스트와 시험항목들이 구축단계의 추가적인 결과물이 될 수 있다.

### 5.1 환경 조건

통신 인프라의 구축을 위해, 기계나 플랜트에 관한 환경 조건에 관한 정확한 지식이 요구된다. 아래는 관련 측면 있다:

- 케이블링, 길이, 벤딩과 케이블 유형의 레이아웃
- 전송경로 안의 커넥터, 미디어 컨버터 그리고 인프라 구성요소
- 현재 전력 케이블, 모터, 전력, 광원, 라디오 주파수 전송기에 의해 결정되는 전자성 조건
- 움직이는 부분, 회전식 구성요소, 장력, 진동, 충격과 같은 기계적인 제약
- 작동 온도의 최대, 최소
- 물, 먼지, 부식제와 같은 화학적 환경

MICE 의 IEC 61918 표준안에 서술된 MICE(기계, 진입, 기후와 전자성)의 도움과 같이 몇몇의 환경 조건을 분류하는데 유용하다. 이 환경 조건들은 전송 품질을 보증하기 위한 구성요소 선택뿐만 아니라 케이블 라우팅 또는 측정 채택에 영향을 주기 때문에, 전체 구축단계 상에서 염두해 두어야 한다.

명시된 환경조건에 따라, 구축단계에서 행해질 수 있는 특이적 작용의 예는 아래와 같다:

- 케이블 경로의 총 길이 확인
- 최상의 EM 환경을 인식하고 그에 맞는 적절한 보호계획
- 환경조건에 대응한 모든 구성요소들(케이블 포함)의 허용된 온도범위 확인
- 디바이스에 적절한 IP 보호 등급 선택
- 커넥터에 적절한 IP 보호 등급 선택
- 먼지, 때, 액체로부터 보호하기 위한 적절한 케이블 엔트리 시스템 사용
- 위험 액체에 대한 적합한 보호 확인
- 최대 수용 값을 벗어난 케이블의 기계적 압박을 피하고, 그에 맞는 적절한 보호 계획
- 언제라도 발생 가능한 진동의 흡수 제공
- 외부 어플리케이션의 경우, UV 저항 케이블 또는 보호 실드 사용 고려
- 지하 공간 또는 파트들이 움직이는 경우, 특별 제작된 케이블 사용 고려

### 5.2 토폴로지 정의 및 장치의 배치

**오류! 참조 원본을 찾을 수 없습니다.**에서 언급했듯이, EtherCAT 네트워크에서 사용하는 특정 네트워크 토폴로지는 네트워크의 성능에 영향을 주지 않는다.

예를 들어, 라인 또는 데이지 체인 토폴로지에서 케스케이드 가능한 장치의 수는 제한이 없다. 라인이나 데이지 체인 토폴로지에서도 주의해야 할 유일한 점은 네트워크에 있는 장치의 전원이 꺼져 있거나 네트워크가 끊기고, 케이블 이중화를 지원하지 않는 경우 해당 다운스트림 장치에는 프레임이 도달할 수

없다는 것이다. 슬레이브와 슬레이브 그룹 단위로 서로 연결되지 않은 상태에서, 전원이 꺼져 있거나 네트워크에서의 절단이 요구되는 어플리케이션의 경우 스타 토폴로지의 사용을 권장한다.

이 때문에 네트워크 토폴로지에 오류 없는 통신(EM 노이즈 원으로부터 적절한 거리를 유지하거나 기계적 손상 또는 화학적 물질에 케이블을 보호하는 것과 같은)을 보장하도록 충돌이 없이 통신 케이블 길이를 최소화할 수 있도록 특별하게 구성해야 한다.

장치의 배치 및 시운전은 장치 제조업체가 제공하는 고유의 정보 및 설치 규칙을 따르고 5.1 에서 언급한 특정 환경 조건을 준수해야 한다.

### 5.3 채널의 케이블 길이

환경 조건에 추가 장치 사이의 하드웨어 연결 성능은 다음과 같은 요인에 영향을 미칠 수 있다:

- 케이블 품질 (감쇠 전도체 수 크로스 토크 쉴드)
- 커넥터 품질 (올바른 핀 케이블 쉴드와의 적절한 연결)
- 중간 커넥터 (중간 연결, 감쇠)

ISO/IEC 11801 규격에 규정되어 있는 구조적 케이블 링의 개념을 활용하여 이러한 사항을 평가하고 계획단계에서 적절히 고려할 수 있다. 구조적 케이블 링의 범위는 두 개의 네트워크 장치 사이의 하드웨어 연결에 대한 표준 어플리케이션 독립적인 모델을 정의한다. 지원되어야 하는 최대 통신 비트 전송율에 따라 여러 링크 성능 클래스를 정의할 수 있다. 각 클래스는 물리적 링크 파라미터나 모든 동작 조건에서 오류 없는 데이터 전송을 할 수 있는 최악의 값을 정의한다.

ISO/IEC 11801 에 규정되어 있는 구조적 케이블 링 모델은 그림 9 와 같이 '채널(channel)' 및 '단말 간(end-to-end)의 연결'을 기반으로 한다:

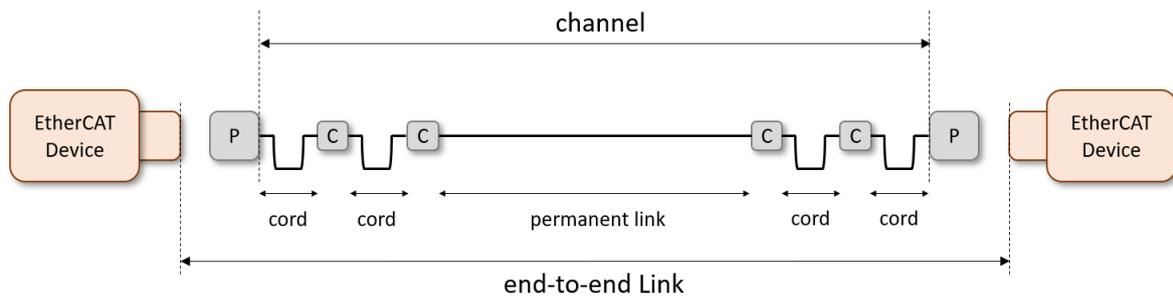


그림 9: 채널 및 단말 간의 연결 구조

이 모델에서 각 기호의 의미는 다음과 같다:

- J 는 단말 장치의 커넥터 (잭: 암컷)
- P 는 연결 엔드 커넥터 (플러그: 수컷)
- C 는 중간 커넥터

‘단말간(end-to-end)’의 개념은 연결하는 양단의 (마지막 디바이스의 잭 직전까지) 플러그 두 개를 포함하지만, ‘채널(Channel)’은 플러그를 포함하지 않는다.

채널 모델에 따라 두 개의 단말장치 사이 연결에 사용되는 케이블은 아래 두가지 유형으로 구분한다:

- 캐비닛 내부 및 외부에 설치되어 있는 고정링크 두 개로 단말장치를 연결하는 주 케이블
- (패치) 코드는 일반적으로 짧은 케이블 섹션에서 캐비닛의 단말장치와 중간 접속점 사이에서 사용한다: 벌크헤드 피드스루 커넥터(bulkhead feed-through connectors)

ISO/IEC 61918 표준은 산업용 통신 네트워크 표준인 ISO/IEC 11801 내의 일반적인 데이터 전송경로에 대한 정의를 포함하고 있는 반면에 ISO/IEC 61784-5-12 선택 규격은 데이터 전송경로에서 EtherCAT 이 요구하는 사항들에 대해서 정의한다.

### 5.3.1 100BASE-TX 링크에 대한 채널 파라미터

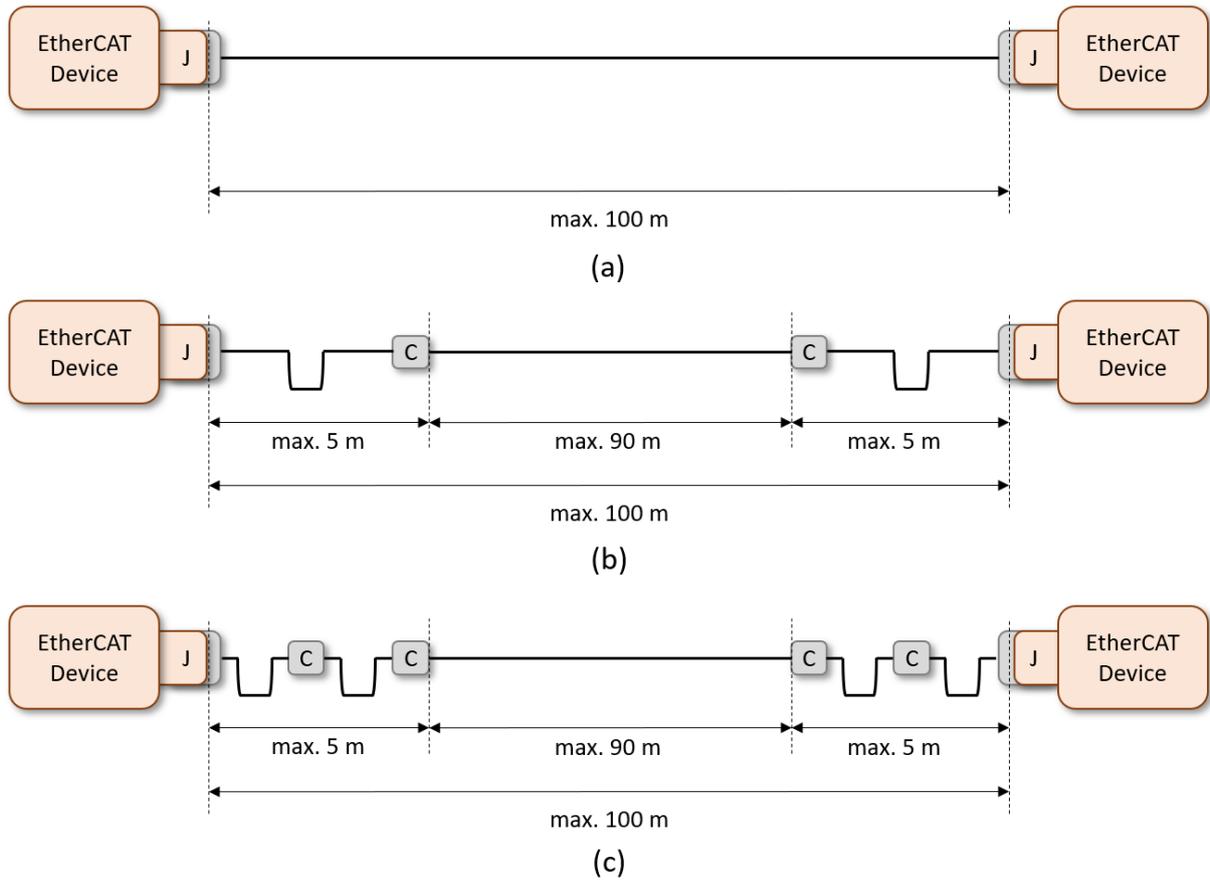
표 1: 데이터 전송경로(Channel)의 사양

특성	값
지원하는 통신속도 (Mbit/s)	100
지원하는 최대 데이터 전송경로 거리 (m)	100
데이터 전송경로내 연결부 개수 (최대)	6
ISO/IEC 24702 에 따른 데이터 전송경로 등급 (Channel class) (최소)	D
ISO/IEC 24702 에 따른 케이블 범주 (Cable Category) (최소)	5
ISO/IEC 24702 에 따른 접속부 하드웨어 범주 (Connecting HW Category) (최소)	5

ISO/IEC 11801 표준에는 최대 데이터전송경로의 길이를 정확하게 계산하기 위해서 동선케이블의 물리적인 수치와 데이터 전송경로 내에 연결개수를 이용한 함수로 대응시키는 수학적 규칙을 정의하고 있다. EtherCAT 네트워크상에서는 아래와 같은 간단한 몇 가지 규칙이 있다:

- 데이터 전송길이가 100 m 를 넘지 말아야 한다. (고정링크, 패치코드 길이 모두 포함)
- 각 데이터 전송경로 끝에 패치 코드의 전체 길이가 5 m 를 초과하지 않고, 고정링크의 길이는 이에 따라 감소하게 된다. (데이터 전송경로의 길이가 100 m 를 넘지 않기 위함)
- 데이터 전송경로 상에서 연결 가능한 최대 값은 여섯 개 (채널 엔드 커넥터도 계산하는 경우) 또는 네 개 (중간 커넥터만을 계산하는 경우)를 넘지 말아야 한다.
- 어떠한 경우에도 채널 길이는 가능한 한 짧게 하고 환경 요건에 적합해야 한다.

그림 10은 채널 구성이 다른 몇 가지 예를 보여준다:



**그림 10: 구성가능한 데이터 전송경로의 예시**

위에서 언급한 케이블 길이 규칙은 문제의 소지가 없는 환경조건 일 때 가능한 데이터 전송경로의 경우이다. 전자기의 간섭이 강한 환경에서 데이터 전송경로를 집선하는 경우, 데이터 전송경로의 길이는 전자기 강도에 따라 제한을 두어야 한다.

ISO/IEC 61784-5-12 선택 규격에 따르면 EtherCAT 데이터 전송을 100BASE-TX 규격에서 사용할 경우 클래스 D 이상이 요구된다고 나와 있다. ISO/IEC 11801 표준은 클래스 D 채널에 적합함을 보장하는 하드웨어 파라미터를 위하여 최악의 코너 값을 정의하고 있다. 이러한 수치 중 연관성 있는 부분은 표 2에 기재되어 있다.

표 2: 100 m 케이블 길이의 클래스 D 채널에 대한 기준 수치

파라미터	의미	파라미터 링크 (@100 MHz)	채널 (@100 MHz)
IL	삽입 손실, 감쇠	20,4 dB	24 dB
NEXT	근단 누화	32,3 dB	30,1 dB
ACR	감쇠와 크로스 토크의 비율	11,9 dB	6,1 dB
	전파 지연	0,491 $\mu$ s	0,548 $\mu$ s
	지연 시간 차이	0,044 $\mu$ s	0,050 $\mu$ s

계획단계에서 고려해야 할 가장 연관성 있는 채널의 수치는 삽입 손실(IL), 근단 누화(NEXT), 감쇠 대 크로스 토크 비율 (ACR)이다.

- 삽입 손실은 dB 로 나타낸 통신 채널로 인해 감소된 신호의 측정 값이다. IL 의 절대 값이 클수록 전파 중에 손실되는 신호 레벨이 커진다. 예를 들어 IL 이 20 dB 인 경우 전송되는 전압차의 10 %만이 수신자에 도달한다. 반대로 IL 값이 작다는 것은 감쇠가 작은 것을 의미하고 성능이 좋은 것을 나타낸다.
- 근단 누화는 트위스트 페어 케이블에 전송된 신호가 인접한 트위스트 페어 케이블에 미치는 영향을 측정하여 dB 로 표현한 값이다. NEXT 의 절대값이 작으면 인접한 트위스트 페어 케이블에 유도된 교란신호가 전송 신호에 미치는 영향이 커진다. 예를 들어, NEXT 가 32 dB 인 경우 트위스트 페어 케이블로 전송하는 케이블간 전압차의 2.5 %가 인접한 트위스트 페어 케이블에 영향을 주어 신호가 교란된다. 반대로 NEXT 값이 큰 것은 크로스 토크가 작은 것을 의미하고 성능이 좋은 것을 나타낸다.
- ACR 파라미터는 채널의 신호 대 잡음 비율의 측정 값이며 dB 로 표현되는 값이다. 이는 NEXT 와 IL 의 (로그) 값의 차이로 계산한다. 예를 들어, ACR 이 6 dB 이면 트위스트 페어 케이블에서 받은 신호의 감쇠가 근접한 트위스트 페어 케이블로 같은 진폭 신호를 전송하는 경우에 유도되는 누화로 인한 외란보다 50 %만큼 큰 것이다.

표 2 에 기재 되어있는 값은 전송 주파수 100 MHz 에 대한 값이다. 100BASE-TX 데이터 처리량은 4B/5B MLT3 단단계 인코딩으로 전송하기 때문에 실제 하드웨어 신호는 최대 주파수 31.25 MHz 이고, 동작 주파수의 수치 값은 100 MHz 로 표시된 값 보다 약 3~5 배 정도 좋아진다.

IL 과 NEXT 수치의 물리적인 의미는 그림 11 에 나와 있다.

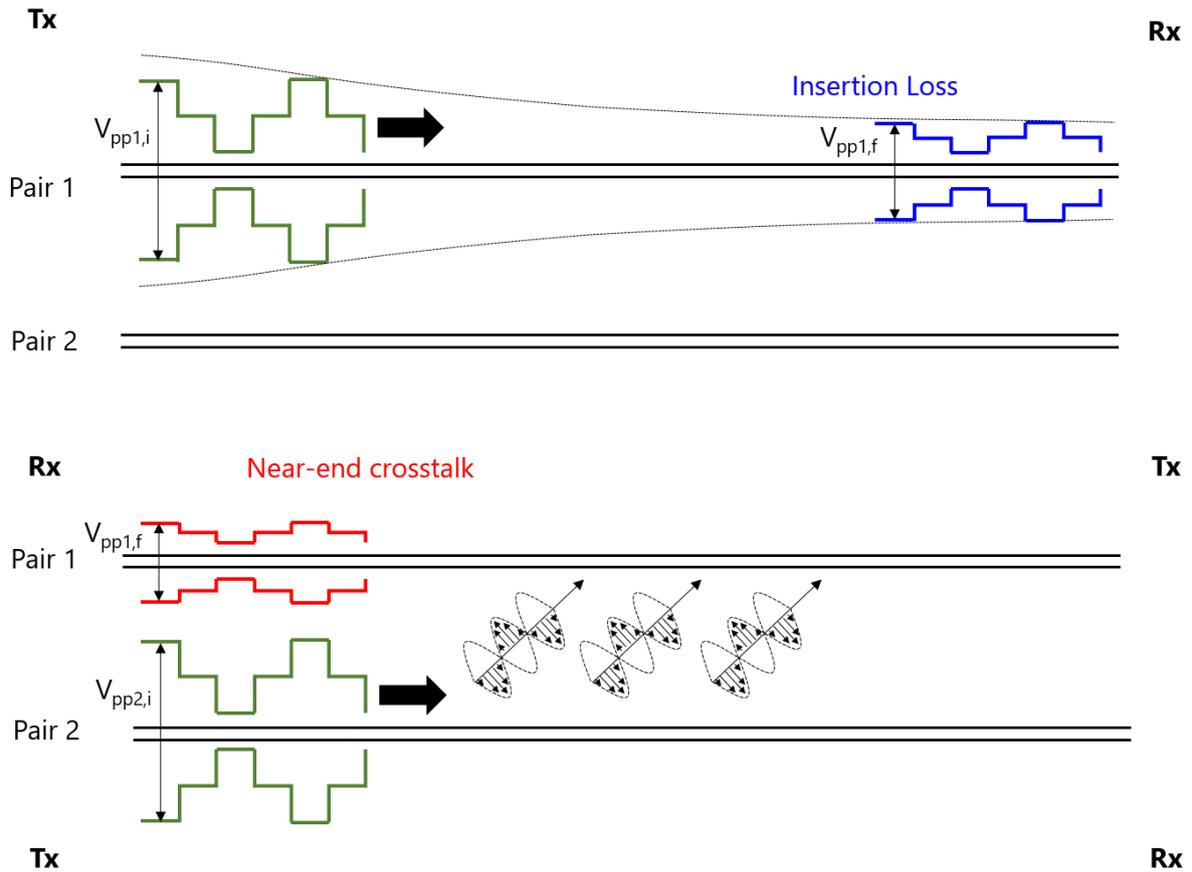


그림 11: 파라미터 IL 과 NEXT 의 물리적 의미

부품 제조사는 제품(케이블, 커넥터 등)이 ISO/IEC 11801 규격에 따른 특정 성능 클래스를 준수하고 있다는 인증을 획득할 수 있다. EtherCAT 네트워크에서 클래스 D (또는 그 이상)의 인증을 획득 한 제품의 사용은 필수이다. 그러나 그 부품을 사용한 채널이 자동적으로 동일한 성능 클래스를 만족한다는 것은 아니다. 통신 채널이 성능 클래스 D 에 부합하는지는 채널 내에서 사용하는 모든 제품을 제조업체가 제공하는 수치를 바탕으로 결정해야 한다. 연결에 사용하는 모든 제품의 수치 값을 알고 있지 않으면 채널이 성능 클래스 D (또는 그 이상)을 준수하고 있는지를 7.2 에 나와 있는 측정 방법에 따라 명시적으로 확인한다.

채널 내 각 연결부위에서 각각 감쇠 및 누화가 발생할 수 있다. 이 때문에 중간 연결개수는 어플리케이션의 요구사항의 범위 내에서 최대한 줄여야 하며 어떤 경우에도 5.3.1 에서 설명하고 있는 최대 허용 개수를 초과해서는 안 된다.

연결부위 개수를 확인하는 방법은, 그림 12 와 같이 중계 커넥터를 2 개의 분리된 연결로 계산한다:

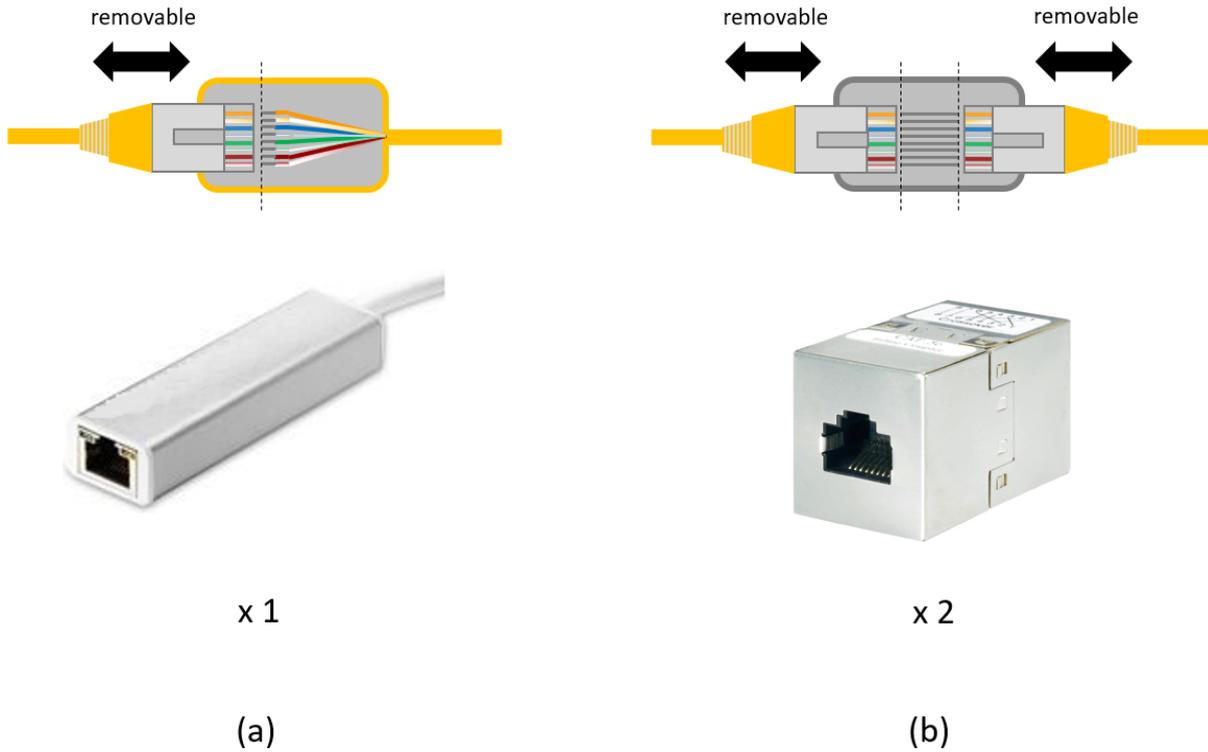


그림 12: 연결 개수 계산

ISO/IEC 11801 표준에 기재된 구조화된 케이블링 모델에 준거하는 네트워크 연결방법을 추천하지만 이를 엄격하게 만족할 필요는 없다. 구조화된 케이블링 규칙에 따른 연결은 어플리케이션에서 지정된 배선으로 연결한다. 이 경우 모든 작동조건 하에서 채널의 성능과 전송오류를 7.2 에서 기술된 적절한 측정방법을 사용하여 명시적으로 한다.

5.3.2 100BASE-FX 링크의 채널 파라미터

표 3: 광케이블 채널의 참고 파라미터

광 케이블 유형	설명	
싱글모드 실리카(silica)	규격	IEC 60793-2-50; Type B1
	정격 전송 파장 $\lambda$	1310 nm
	$\lambda$ 에 대한 감쇠 계수	$\leq 0,5$ dB/km
	차단 파장	$< 1260$ nm
	기타 파라미터	
	모드 필드 직경 ( $\mu\text{m}$ )	9...10
	클래딩(cladding) 직경 ( $\mu\text{m}$ )	125
	최소 길이 (m)	0
	최대 길이 (m)	14000
	멀티모드 실리카(silica)	규격
정격 전송 파장 $\lambda$		1310 nm
$\lambda$ 에 대한 감쇠 계수		$\leq 1,5$ dB/km
$\lambda$ 에 대한 모달 대역폭		600 MHz x km
기타 파라미터		
코어 직경 ( $\mu\text{m}$ )		60 (A1a); 62,5 (A1b)
클래딩(cladding) 직경 ( $\mu\text{m}$ )		125
애퍼처(aperture) 수		0,20 $\pm$ 0,02 or 0,23 $\pm$ 0,02 at 50/125 0,275 $\pm$ 0,02 at 62,5/125
최소 길이 (m)		0
최대 길이 (m)		2000

광 케이블 유형	설명	
POF	규격	IEC 60793-2-40; Type A4a
	정격 전송 파장 $\lambda$	650 nm
	$\lambda$ 에 대한 감쇠 계수	$\leq 160$ dB/km
	$\lambda$ 에 대한 모드 대역폭	35 MHz x 100m
	기타 파라미터	
	코어 직경 ( $\mu\text{m}$ )	980
	클래딩(cladding) 직경 ( $\mu\text{m}$ )	1000
	애퍼처(aperture) 수	$0,5 \pm 0,05$
	최소 길이 (m)	0
	최대 길이 (m)	50
플라스틱 클래드 실리카 (Plastic clad silica)	규격	IEC 60793-2-30; Type A3c
	정격 전송 파장 $\lambda$	650 nm
	$\lambda$ 에 대한 감쇠 계수	$\leq 10$ dB/km
	$\lambda$ 에 대한 모드 대역폭	70 MHz x km
	기타 파라미터	
	코어 직경 ( $\mu\text{m}$ )	200
	클래딩(cladding) 직경 ( $\mu\text{m}$ )	230
	애퍼처(aperture) 수	$0,37 \pm 0,04$
	최소 길이 (m)	0
	최대 길이 (m)	100

#### 5.4 케이블 선정

IEC 61784-5-12 프로파일에는 EtherCAT 어플리케이션에 권장하는 케이블 유형에 대해 설명 되어 있고, EtherCAT 채널 내에 벗어나지 않으며 케이블 파라미터에 대한 최악의 굽힘정도를 규정하고 있다.

설계단계에서 케이블 선정은 케이블 제조업체가 제공하는 제품 스펙을 참고하여 진행되어야 한다.

이송장치에 연결하는 경우, 케이블의 손상을 방지하기 위해 가동형 케이블을 사용해야 한다. 6.3 에서 설명한 바와 같이 이 경우 케이블의 최대 허용 가능한 굴곡반경과 최대 허용 인장 및 비틀림 등의 제품 스펙이 해당 어플리케이션의 요구사항에 적합한지 확인해야 한다.

화학적 문제가 발생하는 환경에 설치된 경우, 케이블의 손상을 방지하기 위해 특수 코팅된 케이블을 사용해야 한다.

어플리케이션의 환경과 제약이 있는 경우, 특별히 설계된 케이블은 케이블 제조업체에서 제공하는 특정정보에 따라 사용되어야 한다.

#### 5.4.1 100BASE-TX 연결 케이블

고정 링크 케이블은 표 4 와 표 5 에 정의되어 있는 최악의 굽힌정도를 준수해야 한다:

표 4: 고정 링크로 사용하는 고정 배선 케이블의 참고 파라미터

특성	A 케이블 유형 (고정형)
케이블의 정격 임피던스 (허용치)	100 Ω ± 15 Ω (IEC 61156-5)
균형/불균형	균형
DC 양단 저항 <sup>a)</sup>	≤ 115 Ω/km
도체 수	4 (2 pairs)
실드	S/FTQ
도체의 색상 코드	WH, YE, BU, OG
전달 임피던스	< 50 mΩ/m at 10 MHz
설치 유형	고정, 설치 후 움직이지 않음
케이블 외경	6,5 mm ± 0,2 mm
전선 횡단명	AWG 22/1
전선 직경 (절연체 제외)	0,64 mm ± 0,1 mm
지연시간 차이	≤ 20 ns/100 m

a DC 양단 저항: DC 루프 저항으로 불리는 DC 양단 저항은 케이블의 양단 DC 저항 값을 측정하고 계산한다. 측정할 때 케이블의 한쪽 끝에서 두 쌍의 전선을 연결하고 전선의 다른 쪽 끝에서 저항 값을 계산한다. 한 개의 전선으로 케이블 양단 사이의 저항을 측정하면 그 값은 양단 저항에서 얻은 값의 약 절반이 되며, 해당 기준 값은 57,5 Ω/km 이하로 고려되어야 한다.  
자세한 내용은 케이블 제조업체의 사양을 참고한다.

표 5: 고정 링크로 사용하는 유연한 케이블의 참고 파라미터

특성	B 케이블 유형 (가동형)
케이블의 정격 임피던스 (허용치)	100 Ω ± 15 Ω (IEC 61156-5)
균형/불균형	균형
DC 양단 저항 <sup>a)</sup>	≤ 115 Ω/km
도체 수	4 (2 pairs)
실드	S/FTQ
도체의 색상 코드	WH, YE, BU, OG
전달 임피던스	< 50 mΩ/m at 10 MHz
설치 유형	가변, 간간히 움직이거나 진동함
케이블 외경	6,5 mm ± 0,2 mm
전선 횡단명	AWG 22/7
전선 직경 (절연체 제외)	0,64 mm ± 0,1 mm
지연시간 차이	≤ 20 ns/100 m

a DC 양단 저항: DC 루프 저항으로 불리는 DC 양단 저항은 케이블의 양단 DC 저항 값을 측정하고 계산한다. 측정할 때 케이블의 한쪽 끝에서 두 쌍의 전선을 연결하고 전선의 다른 쪽 끝에서 저항 값을 계산한다. 한 개의 전선으로 케이블 양단 사이의 저항을 측정하면 그 값은 양단 저항에서 얻은 값의 약 절반이 되며, 해당 기준 값이 57,5 Ω/km 이하로 고려되어야 한다. 자세한 내용은 케이블 제조업체의 사양을 참고한다.

고정형 케이블에서 각 전선은 단심 도체로 구성되는 반면, 가동형 케이블의 전선은 작은 섹션 안에 여러 개의 꼬인 도체로 구성되어 있다 (그림 13).

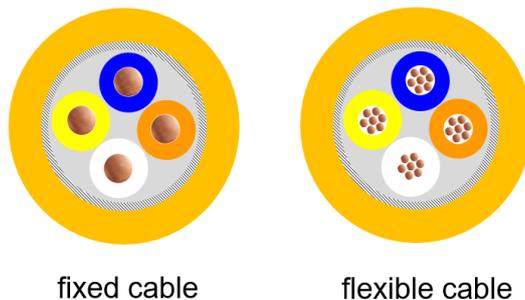


그림 13: 고정형 및 가동형 케이블의 차이

가동형 케이블의 측정된 파라미터 값 (예를 들면 삽입 손실)은 고정형 케이블 보다 좋지 않다. 이 때문에 가동형 케이블의 사용은 이동하는 장치를 연결하는 경우 같은 가동형 케이블이 정말 필요한 어플리케이션에 한정되어야 한다. 그렇지 않은 경우에는 고정형 케이블을 사용해야 한다.

표 6은 EtherCAT 어플리케이션에서 사용하고 있는 실제 케이블의 일반적인 파라미터 값을 나타낸다:

**표 6: 고정 링크에 사용되는 케이블의 예시**

	고정형	가동형
유형	AWG22/1	AWG22/7
실드	S/FTQ	S/FTQ
왕복 저항	$\leq 115 \Omega/\text{km}$	$\leq 115 \Omega/\text{km}$
삽입 손실 (@100MHz)	19,5 dB/100m	21,3 dB/100m
근단 누화 (@100MHz)	50 dB/100m	50 dB/100m

EtherCAT 통신에는 네 개의 선이 사용된다. 따라서 네 개의 선(두개의 쌍)을 가지고 있는 이더넷 케이블 사용을 권장한다.

네 쌍의 케이블도 사용될 수 있다. 삽입손실과 근단누화의 성능은 네 개의 선과 동일하며 표 4와 표 5에 나와있는 최소 허용 값을 초과하지 않도록 해야 한다. 미사용 케이블에서는 (특히 케이블의 종단 처리가 정상적으로 되지 않은 경우) 인접한 케이블에서 신호의 혼선이 발생할 수 있고, 이로 인하여 케이블의 성능이 저하될 수 있다.

## 장치 제조업체를 위한 권장 구현 방법

EtherCAT 제품 제조업체는 그림 14 처럼 75 Ω 의 저항으로 사용하지 않는 케이블의 종단을 가상 접지에 연결해야 한다.

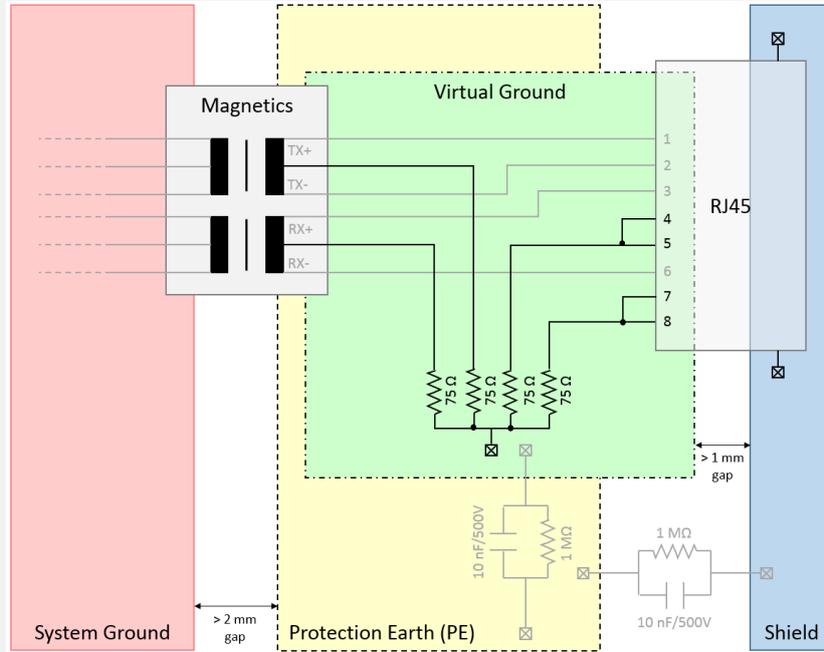


그림 14: 사용하지 않는 케이블에 대한 종단 처리 방식

네 쌍의 케이블 경우, 권장 커넥터 핀 배치는 양쪽 끝단에서 TIA-568-C 사양의 T568B 의 방식을 사용하는데 이것은 직선 케이블 구성에 해당한다. 모든 슬레이브 하드웨어의 네트워크 인터페이스는 자동 크로스오버 기능을 의무적으로 지원하기 때문에, 직선 케이블의 핀배열은 T568A 규격에 대응할 뿐만 아니라 크로스 케이블을 EtherCAT 네트워크에서도 사용할 수 있다.

고속 Hot Connect 기술을 지원하는 슬레이브의 경우는 예외이다. 이 경우에는 통신이 재설정 될 때까지 필요한 시간을 단축하기 위해 전송 속도, 전/반이중 모드 또는 스트레이트/크로스 연결 등의 하드웨어 인터페이스의 파라미터 등이 미리 결정되어 있다 (IN 포트는 MDI 사용, OUT 포트는 MDI-X 사용). 이러한 이유로 고속 Hot Connect 는 직선 케이블을 사용해야 한다.

ISO/IEC 11801 규격은 이더넷 케이블의 차폐 방식에 대한 표준화 코드를 정의하고 있다:

**xx/yTQ**      TQ = Twisted Quad (two-pairs)  
                   또는  
**xx/yTP**      TP = Twisted Pair (four-pairs)

xx = 외부 케이블 쉴드

- U = unshielded
- F = foil shielding
- S = stranded shielding
- SF = stranded + foil shielding

y = 보조 케이블 쉴드 (쿼드 케이블 용) / 페어 쉴드 (트위스트 페어 케이블)

- U = unshielded
- F = foil shielding
- S = stranded shielding

표 7 쉴드 코드의 예:

**표 7: 쉴드 코드의 예시**

ISO/IEC 11801 코드	유형	케이블 쉴드	보조/페어 쉴드
U/UTQ	twisted quad	none	none
U/UTP	twisted pair	none	none
S/UTQ	twisted quad	stranded	none
S/UTP	twisted pair	stranded	none
SF/UTP	twisted pair	stranded + foil	none
S/FTQ	twisted quad	stranded	foil
U/FTP	twisted pair	none	foil
S/FTP	twisted pair	stranded	foil
SF/FTP	twisted pair	stranded + foil	foil

EtherCAT 은 고정 링크와 패치 코드 모두 외부 차폐가 되어 있는 케이블의 사용을 권장한다 (그림 15). 외부 케이블 실드는 연선이 바람직하며 높은 기계적 안정성을 얻을 수 있다. 외부가 호일-실드로 구성되어 있는 케이블을 사용하는 경우 실드가 손상되거나 파손되지 않도록 주의가 필요하다.

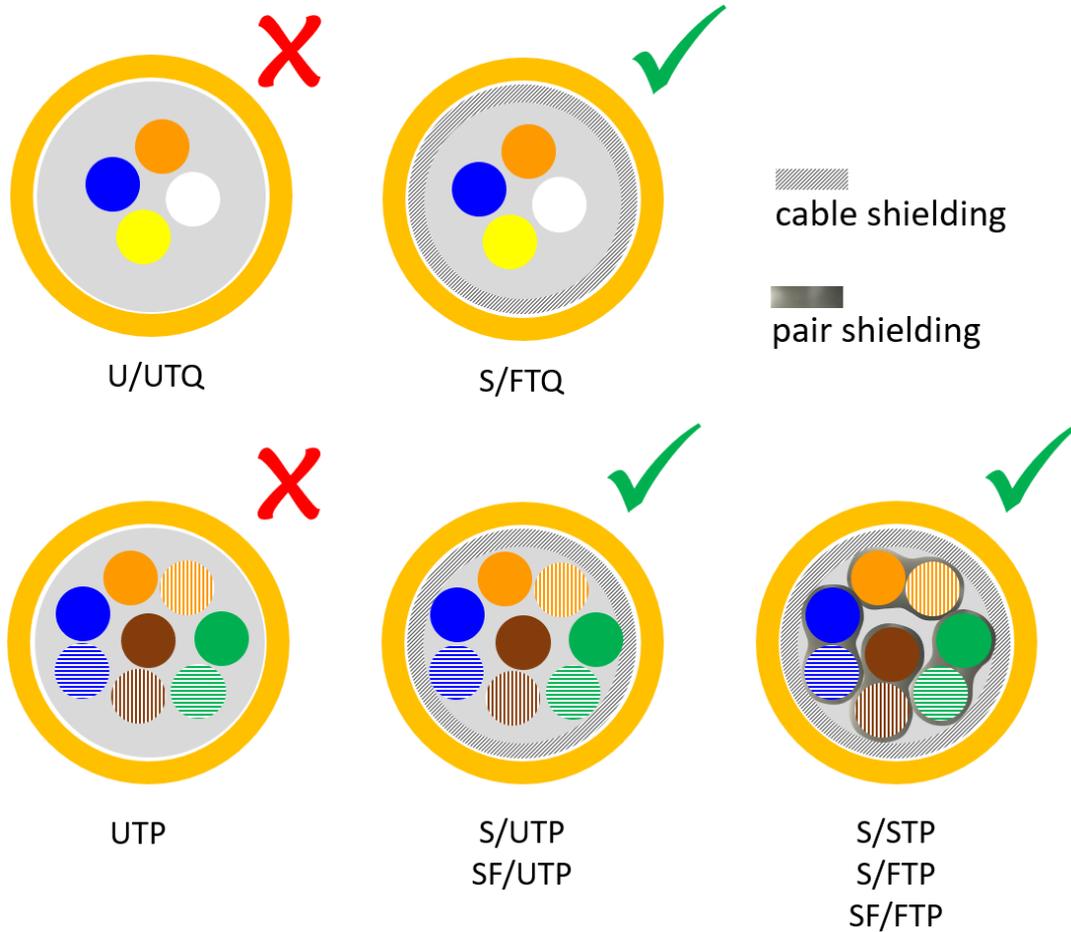


그림 15: 추천 또는 비추천 실드 구성

American Wire Gauge (AWG) 표준은 케이블의 직경에 관해 다음과 같은 코드로 정의되어 있다:

**AWGx/y**

x = AWG 카테고리 (도체 직경이 작을수록 큰 값이 된다)

y = 도체를 구성하는 전선의 수

표 8 에서 주요 AWG 코드의 예를 볼 수 있다.

**표 8: 도체 직경과 AWG 코드의 관계**

AWG 코드	전선 구조
<b>AWG 20</b>	
AWG20/1	massive
AWG20/7	7x0.320 mm
AWG20/10	10x0.254 mm
<b>AWG 22</b>	
AWG22/1	massive
AWG22/7	7x0.254 mm
AWG22/19	19x0.160 mm
<b>AWG 24</b>	
AWG24/1	massive
AWG24/7	7x0.203 mm
AWG24/10	10x0.160 mm
<b>AWG26</b>	
AWG26/1	Massive
AWG26/7	7x0.160 mm
AWG26/10	10x0.127 mm

AWG 코드 번호가 작을수록, 도체의 직경이 클수록 그리고 주어진 케이블 길이가 작을수록 신호 감쇠는 작아진다.

고정 링크를 위해 직경이 AWG22 또는 그 이상 (AWG 코드 번호가 22 이하)의 케이블을 사용하는 것이 좋다. 직경이 작은 값의 케이블 (AWG24 또는 AWG26 등)은 외부 캐비닛과 먼 거리의 연결에 사용해서는 안 된다.

캐비닛 내의 짧은 연결은 AWG24 또는 AWG26 같은 작은 직경의 패치 케이블도 사용할 수 있다. 이러한 작은 직경의 케이블은 높은 저항 값과 신호 감쇠가 큰 특성이 있다. 계획단계에서 케이블 제조업체에서 각각 제공하거나 7.2 에서 설명된 직접 측정된 AWG22 보다 직경이 작은 도체를 사용하는 케이블을 위한 하드웨어 파라미터들은 조심스럽게 확인해야 한다. 이 파라미터들은 높은 감쇠값 때문에 100 m 보다 상당히 짧아지는 거리로 전체적인 케이블 길이에 제한이 될 수 있다.

### 5.4.2 100BASE-FX 연결 케이블

표 9: 광섬유 케이블에 대한 참고 파라미터

특성	9..10/125 $\mu\text{m}$ 싱글모드 실리카	50/125 $\mu\text{m}$ 멀티모드 실리카	62,5/125 $\mu\text{m}$ 멀티모드 실리카	980/1000 $\mu\text{m}$ 단계 인덱스 POF	200/230 $\mu\text{m}$ 단계 인덱스 하드 클래드 실리카
감쇠/km (650 nm)	-	-	-	$\leq 160$ dB/km	$\leq 10$ dB/km
감쇠/km (820 nm)	-	-	-	-	-
감쇠/km (1300 nm)	$\leq 0,5$ dB/km	$\leq 1,5$ dB/km	$\leq 1,5$ dB/km	-	-
광케이블 수	2	2	2	2	2
연결 유형 (전이중/반이중)					
피복 색상의 요구사항	-				
피복 재료	-				
거친 환경의 내구성 (e.g. UV, oil resist, LSOH)	어플리케이션에 의함				
브레이크아웃	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

### 5.5 커넥터 선정

IEC 61784-5-12 프로파일은 EtherCAT 어플리케이션에 권장하는 표준 커넥터 유형을 설명하고 있다 (표 10와 표 11). IEC 61784-5-12 에 명시된 EtherCAT 커넥터 유형은 다음 문서에 추가적으로 규정되어 있다:

- IEC 60603-7-3: RJ45 쉴드 커넥터 용 (구리 케이블)
- IEC 61076-2-101, IEC 61076-2-109 및 IEC 61076-3-117: M12 커넥터 용 (구리 케이블)
- IEC 61076-2-104: M8 쉴드 커넥터 용 (구리 케이블)
- IEC 61076-2-114: P-코드 M8 커넥터 용 (EtherCAT P 를 위한 구리케이블)
- IEC 61754-4: SC 커넥터 용 (광섬유)
- IEC 61754-24: SC-RJ 커넥터 용 (광섬유)

계획 단계에서의 커넥터 선정은 커넥터 제조업체에서 제공하는 측정된 체계적인 파라미터를 항상 참고하여 실행해야 한다.

커넥터의 선정은 케이블이나 커넥터의 영구적인 손상을 방지하기 위하여 어플리케이션의 특정한 기계적인 제한을 고려해야 한다.

화학적으로 오염된 환경에 설치된 연결의 경우, 케이블이나 커넥터의 손상을 방지하기 위하여 적합하고 특수한 커넥터를 사용해야 한다.

**표 10: 구리 케이블의 표준 커넥터**

<b>IEC 60603-7-3<sup>a</sup></b>	RJ45 (shielded)	<sup>a</sup> IEC 60603-7-x, 커넥터는 채널 성능에 기반 <sup>b</sup> push-pull 커플링을 갖춘 직사각형의 보호형 하우징 <sup>c</sup> EtherCAT P에만 적용 가능
<b>IEC 61076-3-117<sup>b</sup></b>	RJ45 (shielded)	
<b>IEC 61076-2-101</b>	M12-4 with D-coding	
<b>IEC 61076-2-109</b>	M12-8 with X-coding	
<b>IEC 61076-2-104</b>	M8-4 with A-coding (shielded)	
<b>IEC 61076-2-114<sup>c</sup></b>	M8-4 with P-coding	

**표 11: 광섬유 케이블의 표준 커넥터**

<b>IEC 61754-4</b>	SC	IEC 61754 시리즈는 광섬유 커넥터의 기계적 인터페이스를 정의한다. 특정 광섬유 유형의 종단 커넥터 사양에 관한 성능 사양을 IEC 61753 시리즈에서 표준화한다.
<b>IEC 61754-24</b>	SC-RJ	

IEC 61784-5-12에 기재되어 있는 것과 다른 커넥터 유형을 사용할 때는, 7.2.3에 설명된 측정 방법을 통해 모든 작동 조건에서 성능 클래스 D (또는 그 이상) 준수를 보장해야 한다.

또한 장치 제조업체는 비표준 커넥터 형식에서 IEC 61784-5-12에 명시한 어댑터 중 하나로 적합한 어댑터를 장치와 함께 제공해야 한다. EtherCAT P 인터페이스의 경우 어댑터 사용이 허용되지 않는다.

## 5.6 케이블 분리

신호를 방해하고 통신 성능에 영향을 미치는 전자파장애를 막기 위하여 네트워크 계획은 항상 통신 케이블과 다른 유형의 케이블 특히 공급라인 또는 모터연결 같은 전원 케이블로부터 적절하고 확실하게 분리해야 한다 (그림 16).

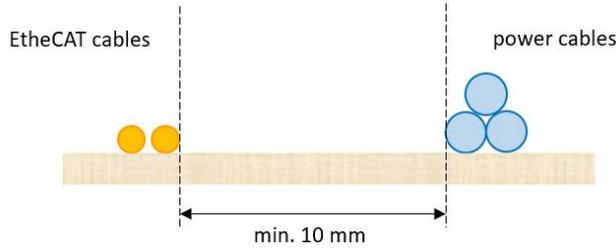


그림 16: 통신 케이블 및 전원 케이블 사이의 최소 거리

전자파 장애에 영향을 받지 않고 전원 선에서 허용 가능한 최소 거리를 줄이기 위해 EtherCAT 케이블은 그림 17 에서 보여주듯이 금속으로 된 판이나 도관을 통해 연결할 수 있다.

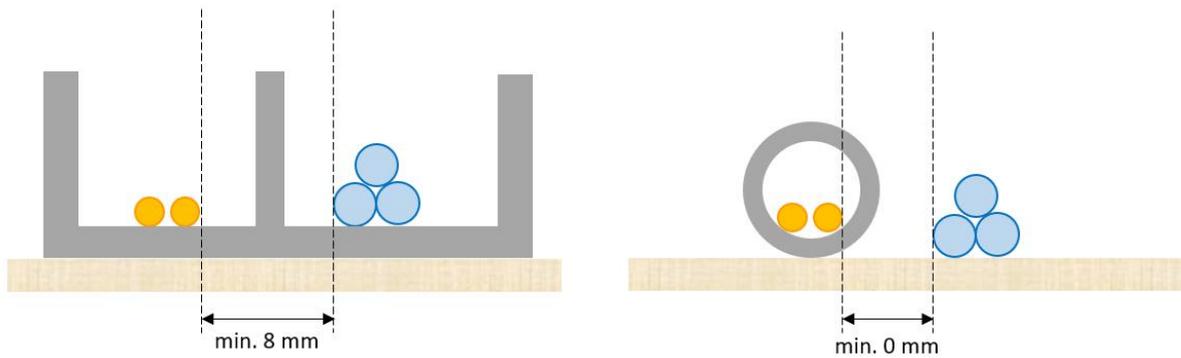


그림 17: 금속으로 된 분리된 도관의 최소 거리

제안된 구리 케이블은 5.4.1 에 정리된 파라미터 값을 갖으며, [13]의 표 3 에 설명된 분리 클래스 D 를 준수한다. 표 12 에서는 [13]의 표 3 에 따라 EtherCAT 실드 케이블과 전원 케이블 사이, 각각의 가능한 금속으로 된 분리유형들을 위한 최소 거리를 볼 수 있다.

표 12: 통신 케이블과 전원 케이블 간의 최소 거리의 참고치

분리 유형	최소 거리 <sup>a, b</sup>
금속 분리 없음	10 mm
오픈 메탈릭 케이블(Open metallic cable) 도관	8 mm
구멍이 뚫린 금속판 도관	5 mm
부피가 큰 케이블 도관	0 mm

a 최소 거리 값은 최대 300 A 및 230 V의 전원 케이블 내의 전체 전류 값에 대해 유효하다. 더 높은 전류 값에 대해서는 [13]의 표 5에 따라 감쇠 계수를 고려해야 한다.

b 5.3.1에 제시된 파라미터 값을 준수하지 않는 구리 케이블의 경우, [13]의 표 3에 따라 더 높은 이격 거리가 적용될 수 있다.

## 5.7 접지와 그라운드

전자파 장애 및 기타 노이즈에 대한 높은 내성을 제공하기 위해 모든 전기 부품과 하우징 또는 기계나 공장 내의 금속경로는 적절한 접지연결에 의하여 등전위를 유지해야 한다.

ISO/IEC 61918 표준에 따라 두 가지 유형의 접지 방법이 산업 환경에서 효과적인 것으로 입증되고 있다: 등전위 및 스타.

### 5.7.1 등전위 접지

등전위 접지는 장치의 샤시와 경로를 건물의 금속 구조물에 연결한 후 그림 18과 같이 기능적 접지 연결을 한다. 이 방식에서는 모든 EtherCAT 장치와 기반구조요소가 등전위 되도록 그물망을 제공한다.

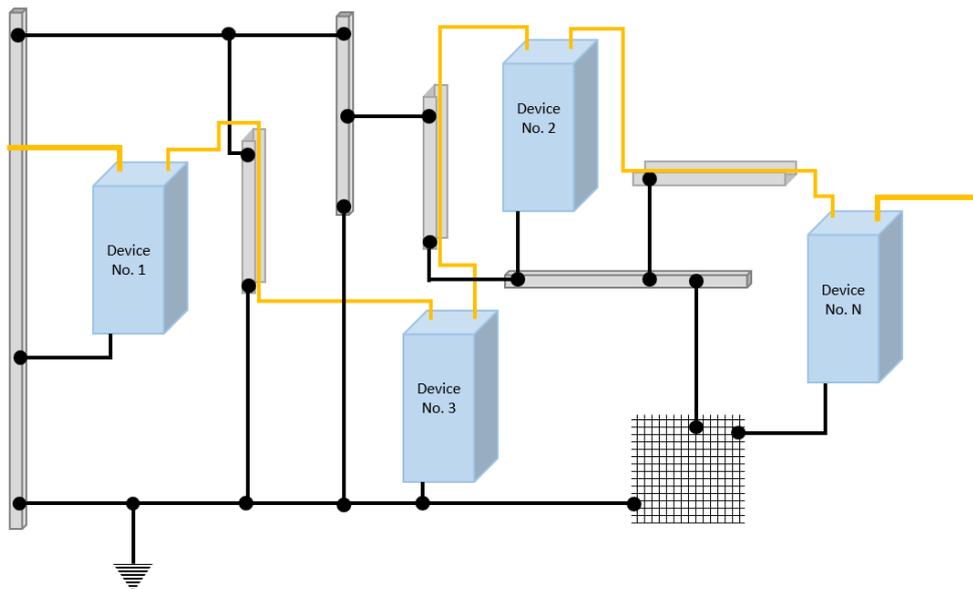


그림 18: 등전위 접지 방식

### 5.7.2 스타 접지

어플리케이션 내에서 중간 또는 높은 전류를 생성하는 경우, 접지 경로로 전류 루프가 형성되고 그 결과 네트워크 장치 간에 전위차가 발생할 수 있다. 이러한 경우 단자에 연결한 후 기능적 접지하는 스타 형 연결이 더욱 효과적인 접지 해결 방식이다 (그림 19).

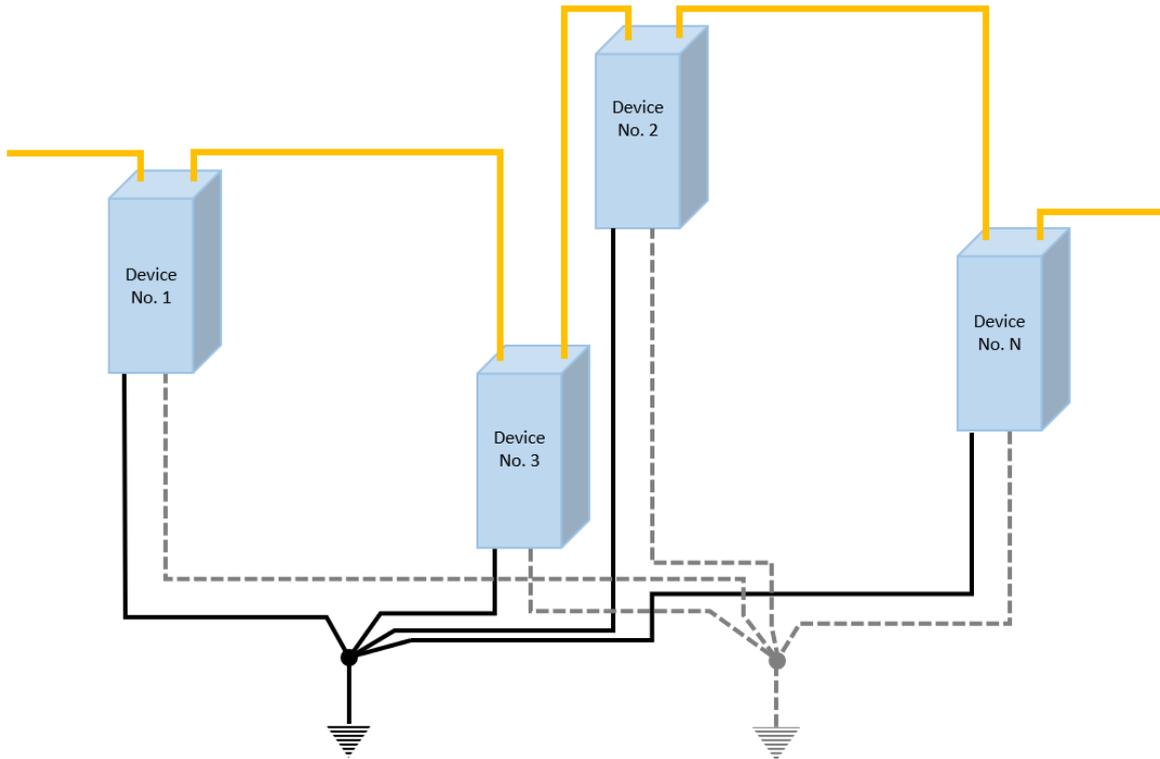


그림 19: 스타 접지 방식

장치의 샤시와 금속 접지 경로의 연결은 특별한 전용선을 사용하여 서로 다른 국가지역의 표준에 따라 적절한 색상으로 표시한다. 전자파 장애 및 기타 악영향을 주는 노이즈를 효과적으로 제거하는 접지 시스템을 위해 각 장치 또는 금속 샤시와 접지 사이의 임피던스는 가능한 낮게 해야 한다. 일반적으로  $0.6\ \Omega$  이하로, 어떠한 경우에는  $1\ \Omega$  이하로 한다.

전체 전선의 저항은 그 길이에 비례하므로 접지에 사용하는 전선의 길이는 가능한 짧게 해야 한다.

또한 전체 전선의 저항은 그 단면적에 반비례한다. 표 13은  $0.6\ \Omega$  저항을 보장하는 충분한 접지 효과를 적절히 제공하기 위한 접지선의 단면적과 접지선의 최대길이 사이의 관계를 보여준다.

표 13: 접지 전선의 단면과 길이의 관계

단면적		최대 길이 <sup>a</sup>
IEC 602228	AWG	(a)
	8,36 (8 AWG)	291 m
10 mm <sup>2</sup>		349 m
	10,5 (7 AWG)	368 m
	13,3 (6 AWG)	461 m
16 mm <sup>2</sup>		556 m
	16,8 (5 AWG)	582 m
	21,1 (4 AWG)	736 m
25 mm <sup>2</sup>		870 m

a 0.6 Ω 저항(R)을 갖는 전도체의 길이

장치는 일반적으로 로컬 접지와 RJ45 커넥터 사이의 임피던스를 보여주기 때문에 표 13에 기재된 최대 길이는 최선의 경우 값으로 간주되어야 하고, RJ45 커넥터는 자신의 임피던스를 가질 수 있다. 7.2에 기재된 바와 같이, 환경 조건에 따라 접지는 개선되거나, 실드 연결에 대한 추가적인 외부접지가 필요할 수 있다.

### 5.8 인프라 구성요소의 선정

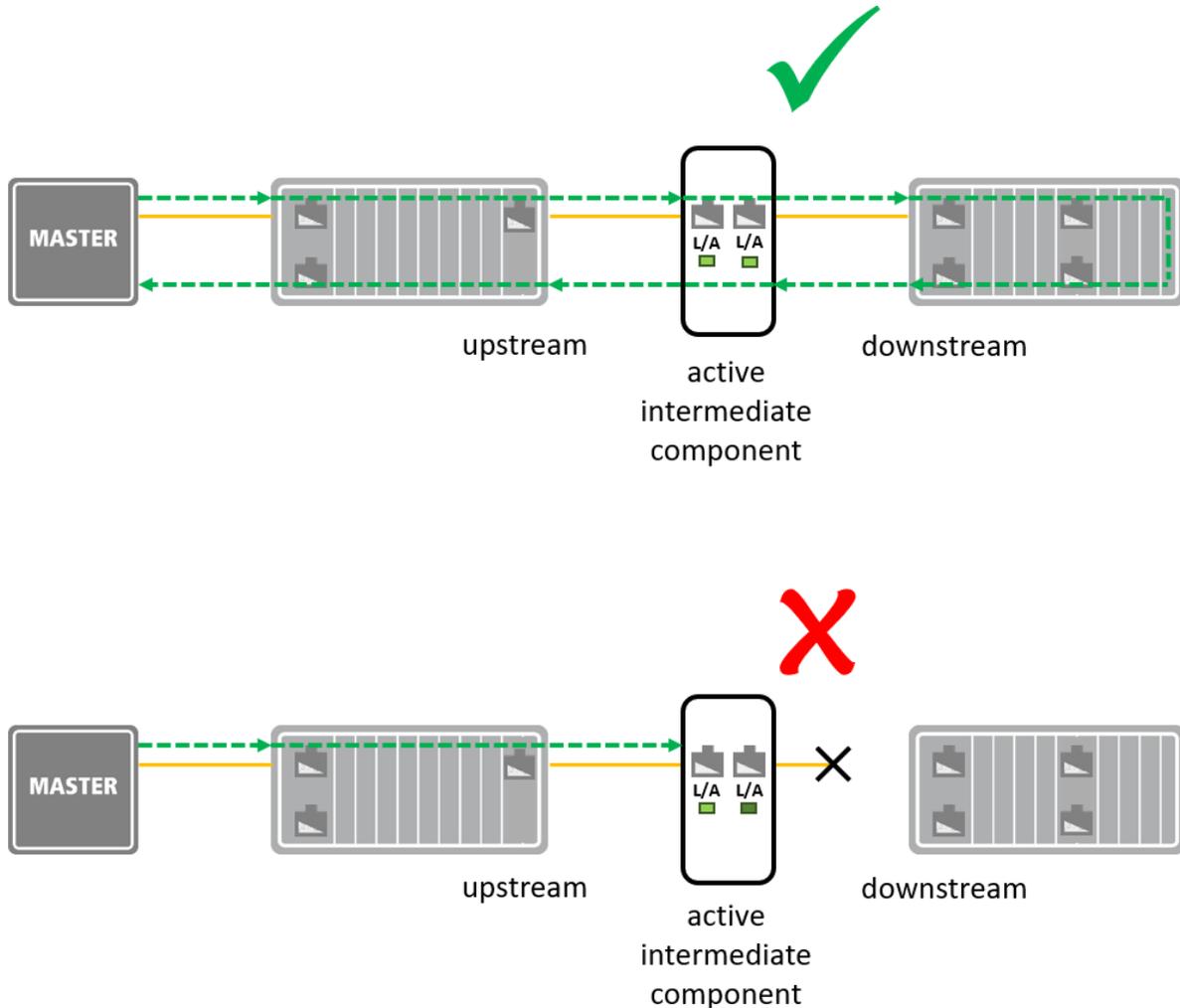
슬립 링, 광 데이터 커플러 등과 같이 케이블과 다른 인프라 구성요소를 사용하고 EtherCAT Slave Controller를 통합하지 않을 경우 (4 참조), 네트워크 성능에 영향을 주거나 프레임 손실을 유발하며 심지어 5.4에서 설명된 바와 같이 EtherCAT 기능 원리가 정상적으로 작동하지 않는 원인이 될 수 있으므로, 주의 깊게 확인되어야 한다.

5에 나타난 바와 같이 ESC는 라우팅 기능이 있고, 다양한 토폴로지를 구성할 수 있다. 스타 및 트리 구조의 토폴로지를 구현하기 위해 스위치허브와 같은 외부 라우팅 구성요소는 필요하지 않다. 스위치허브는 전송 지연, 통신 지연과 EtherCAT 프레임의 라우팅 순서 등에 악영향을 주기 때문에 EtherCAT 네트워크 내에서 스위치허브의 사용은 피해야 한다.

인프라 구성요소는 노화와 마찬가지로 모든 동작조건에 대해서도 성능클래스 D 또는 그 이상임을 입증해야 한다. 인프라 구성요소를 포함하여 각 종단간 링크는 7.2에서 설명하는 적절한 측정 방법에 따라 테스트를 실시한다. 또한 7.4에서 설명하는 EtherCAT 별 진단 정보는 항상 확인되어야 한다. 이는 시운전 단계에서 프레임의 손실이 없는지, 인프라 구성요소 자체에 의해 신호가 손상되거나 과도하게 감쇠되지 않았는지 확인하기 위함이다.

일부 슬립 링이나 미디어 컨버터와 같은 일부 인프라 구성요소는 활성 장치이며, EtherCAT 신호를 재생성한다. 이러한 구성요소를 두 EtherCAT 장치 사이에 삽입하면, 해당 업스트림과 다운스트림 장치

사이의 연결은 각 끝에서 ESC 에 의해 종료되지 않는 독립적인 물리적 연결 감지 및 설정에 따라 두 개의 다른 채널로 분할된다. 인프라 구성요소와 다운스트림 장치 사이의 물리적 연결이 중단되면 업스트림 장치와 인프라 구성요소 사이의 물리적 연결만 활성 상태로 유지될 수 있다. 이러한 경우, 내부에서 인프라 구성요소가 EtherCAT 의 논리루프를 닫는 기능을 지원하지 않기 때문에 업스트림 슬레이브 포트는 열린 상태가 되어 프레임을 손실을 일으킨다 (그림 20).



**그림 20: 활성 인프라 구성요소의 동작**

따라서 EtherCAT 네트워크에서 사용하는 활성 인프라 구성요소는 다음과 같은 메커니즘을 지원한다. 중간 인프라 구성요소와 다운스트림 슬레이브 사이의 하드웨어 연결이 끊어지면 중간 구성요소는 업스트림 슬레이브와의 연결도 닫는다. 업스트림 슬레이브 포트를 닫음으로써 EtherCAT 의 논리루프를 닫고 프레임의 손실을 방지한다. 활성 인프라 구성요소에 대한 이 동작은 링크손실전송(Link Lost Forwarding: LLF) 등에서 제공한다.

신뢰할 수 있는 연결관리 기능과 고급진단 기능을 제공하기 위해 EtherCAT 네트워크의 활성 인프라 구성요소 제조업체는 해당 장치에 ESC 를 내장할 것을 권장한다. ESC 는 업스트림 PHY 직후에 위치해야 하며, 연결이 중단될 때 EtherCAT 논리루프의 보존과 프레임 손실 방지를 항상 보장한다.

## 장치 제조업체를 위한 권장 구현 방법

위에 설명된 대로 활성 인프라 구성요소에 대한 올바른 연결관리 기능은 링크손실전송(LLF) 또는 이와 유사한 메커니즘을 구현을 통해 얻을 수 있다.

활성 인프라 구성요소에 EtherCAT 슬레이브 컨트롤러를 내장하는 방법으로(그림 21), 다른 한쪽의 연결이 끊어진 경우 고급 진단 정보를 제공하고 물리적 연결의 올바른 관리를 할 수 있다.

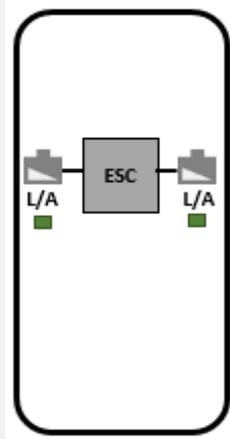


그림 21: 활성 인프라 구성요소 내에서 ESC의 통합

### 5.9 EtherCAT 슬레이브 장치의 선정

EtherCAT 제품 종류의 폭은 매우 넓으며, 최종 사용자는 다양한 제품 중에서 자신의 어플리케이션 요구사항에 가장 적합한 구성요소를 선택할 수 있다.

ETG 웹사이트의 제품 가이드 (<https://www.ethercat.org/en/products.html>)는 시중에 판매되는 다양한 제품에 대한 기술적인 특성뿐만 아니라 장치 제조업체에 의해 제공되는 상세한 정보를 참조할 수 있도록 링크를 제공한다.

이 웹 페이지에 게재되어 있는 장치의 목록은 시판 제품을 모두 포함하고 있는 것은 아니며, 제품의 품질 보증을 의미하는 것이 아니라는 점에 유의해야 한다.

모든 EtherCAT 슬레이브 제조사는 의무적으로 공식적인 적합성 테스트 툴(Conformance Test Tool: CTT)를 사용하여 장치를 테스트해야 한다. 이는 EtherCAT 사양을 준수하고 다른 장치와의 상호 호환성을 보장하기 위함이다.

또한 EtherCAT 장치는 EtherCAT 테스트 센터에 의해 테스트 및 인증을 받을 수 있다. 자체 테스트(CTT)보다 높은 수준의 사양 적합성 및 상호 호환성 여부를 확인하고 보장하기 위해 ETG는 EtherCAT 테스트 센터의 테스트를 권장한다.

EtherCAT 장치의 조립 및 시운전을 할 때는 항상 장치 제조업체에서 제공하는 기술 정보에 따라 실시해야 한다.

### 5.1 계획단계의 기타 작업

계획단계에는 전체 작동기계의 운영비용, 유지보수 또는 예기치 못한 장애발생 예방 등이 포함되어야 한다. 통신은 자동화 시스템의 중추적인 역할을 하기 때문에 케이블링 인프라 계획시 조립 및 재료 비용의 최소화는 주된 목적이 아니어야 한다.

본 문서는 계획단계에서 추가비용의 제약하에 장비와 공장의 수명주기 비용 및 시간을 절약하기 위한 합리적인 대책에 대해 설명한다.

자동화시스템 환경조건에 대한 지식이 있으면, 전체 중 특히 중요한 것을 골라 낼 수 있다. 표 14 는 계획단계에 포함될 수 있는 여러 작업 중 중요한 것을 나타낸다.

**표 14: 계획단계에서 가능한 추가작업**

추천	내용
케이블의 신뢰도 수준의 정의 및 전체 케이블 목표비용의 책정	매우 낮은 케이블 비용을 유지하기 위한 경제적 목표가 있을 경우 인식해야 한다.
중요한 케이블 경로 확인	대부분의 케이블 배선은 문제가 없지만 일부분에서 문제가 발생할 수 있다. Hot Spot 케이블 연결에 초점을 두어야 한다.
고품질의 케이블 및 커넥터의 선정	케이블 교체 시 비용이 많이 든다.
인프라 구성요소에 대한 주변온도 제어	온도의 상승은 전자 부품의 열화 및 손상을 일으켜 데이터 통신에 영향을 미친다.
케이블 테스트 계획	외관 검사로 문제를 확인할 수 있으며, 저항 측정은 문제를 파악하는데 도움이 될 수 있다.
장애 발생시 복구시간 단축	수리시간 단축은 가용성을 향상시키는 중요한 요소이며, 예비부품 및 숙련된 정비요원이 필요하다.
네트워크 구성의 문서화	문서(길이, 케이블 유형 포함)는 작업 중 오류를 확인하는데 활용된다.

## 6 어셈블링

### 6.1 어셈블링 표준단계

케이블 라우팅에 관한 기본정보는 5에 설명되어 있으며, 5.6 “케이블 분리” 및 **오류! 참조 원본을 찾을 수 없습니다.** “접지와 그라운딩”을 참조할 수 있다.

어셈블링은 숙련된 기술자가 케이블 설계에 따라 실시해야 한다.

### 6.2 전자기 보호

5.6에 명시된 바와 같이, 통신 케이블은 항상 다른 유형의 케이블(특히 전원 케이블)과 최소 거리 이상의 간격을 두고 어셈블링 해야 한다.

통신 케이블이 전원 케이블과 교차해야 하는 경우, 그림 22와 같이 반드시 90°의 각도가 되도록 한다.

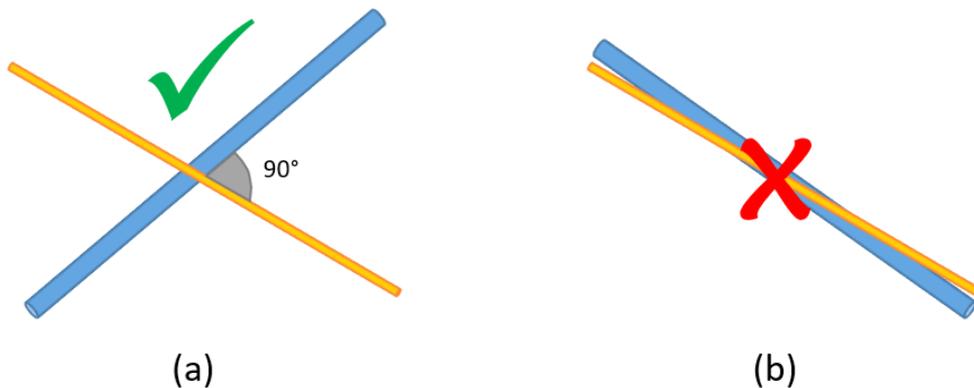


그림 22: 통신 및 전원 케이블의 교차

통신케이블의 코일이 전자파 장애가 되는 큰 범위에 속하면 네트워크 및 통신 성능에 여러가지 영향을 줄 수 있기에 그림 23과 같은 구성은 피해야 한다.

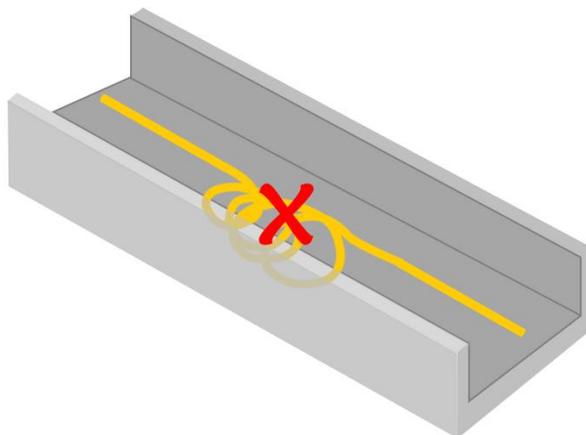


그림 23: 통신 케이블의 루프 모양 방지

EtherCAT 네트워크에는 실드된 케이블만 사용해야 하며, 특히 통신 시스템 내 노이즈 및 장애를 최소화하기 위해 케이블 실드 접지에 유의해야 한다.

케이블 실드는 채널 양단에서 접지와 연결되어야 하고, **오류! 참조 원본을 찾을 수 없습니다.**에 기술된 바와 같이 장치의 양단은 등전위가 되도록 한다.

### 장치 제조업체를 위한 권장 구현 방법

슬레이브 제조업체는 장치 내에서 케이블 실드를 접지에 올바르게 연결해야 한다 (그림 24). 그림 25와 같이 RC 연결을 권장한다. 이것이 가능하지 않을 경우, 접지에 직접 연결해야 한다.

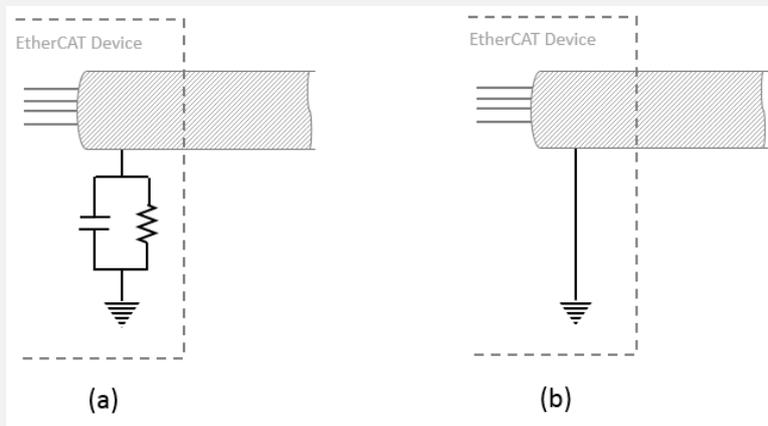


그림 24: 장치 내의 실드와 접지 사이의 연결

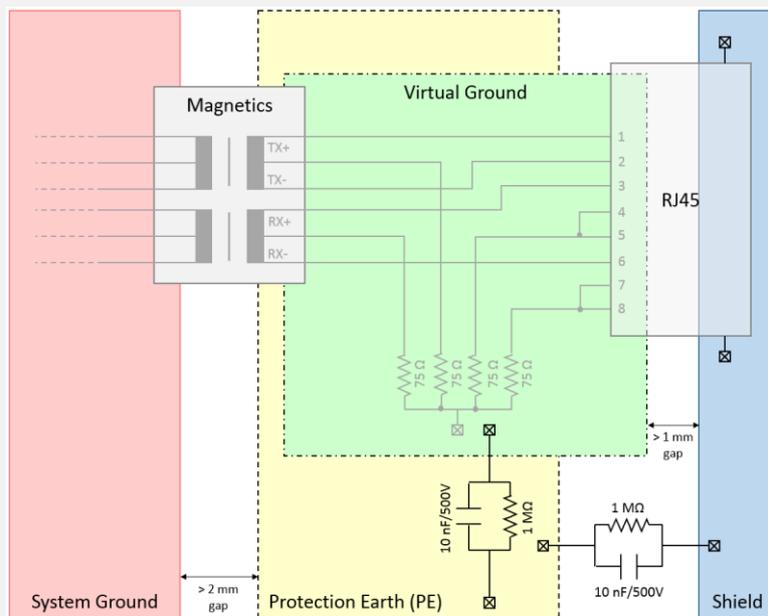
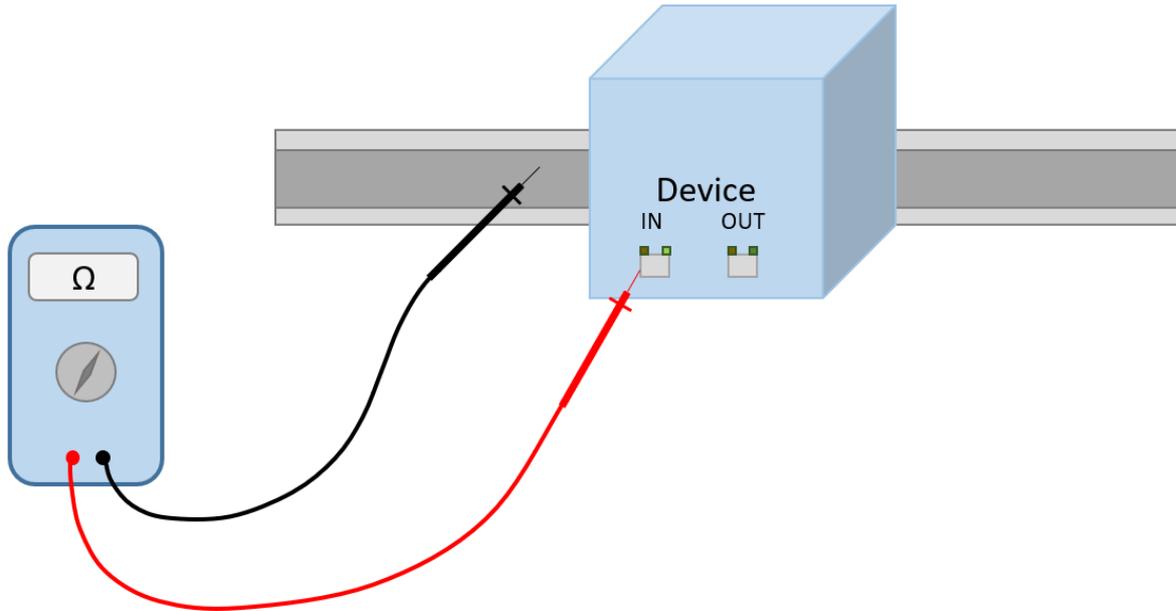


그림 25: 장치 내의 접지와 내부 RC의 연결

케이블 쉴드와 로컬 접지 사이의 연결은 일반적으로 EtherCAT 슬레이브에 의해 내부적으로 제공되며, 외부에서 케이블 쉴드를 접지에 연결하는 것은 일반적으로 필요하지 않다. 외부 쉴드의 접지 연결에 관한 구체적인 자료는 해당 슬레이브 장치의 설치 설명서를 참조할 수 있다.

슬레이브 설치 후에 각 슬레이브 장치에 사용되는 접지 방법은 커넥터의 금속부분과 로컬 접지 간의 임피던스 값을 측정함으로써 확인할 수 있다 (그림 26).



**그림 26: 장치 내의 쉴드 접지 측정**

측정된 값은 아래 결과를 따른다:

- 매우 높은 임피던스 값 ( $M\Omega$  단위의 크기). 해당 케이블 쉴드는 RC 연결을 통해 장치 안에 접지되어 있을 확률이 높다.
- 매우 낮은 임피던스 값 ( $1 \Omega$  이하). 해당 케이블 쉴드는 직접 연결을 통해 장치 안에 접지되어 있을 확률이 높다.
- 개방 회로. 케이블 쉴드는 모든 장치에서 접지되어 있지 않을 확률이 높다.

비교적 높은 임피던스 값 ( $1 \Omega$  이상)을 갖으며 케이블 쉴드가 접지에 내부적으로 직접 연결되어 있는 경우, 케이블 쉴드가 내부적으로 로컬 접지에 전혀 연결되어 있지 않은 경우, 또는 7.4 에 기재된 바와 같이 시운전 단계에서 수집된 진단 정보가 하드웨어 통신 오류를 감지하는 경우에 노이즈와 등전위

전류를 향상시키기 위해서 전용 케이블 클립을 사용하여 로컬 접지에 케이블 쉴드의 외부 연결을 추가할 수 있다 (그림 27):

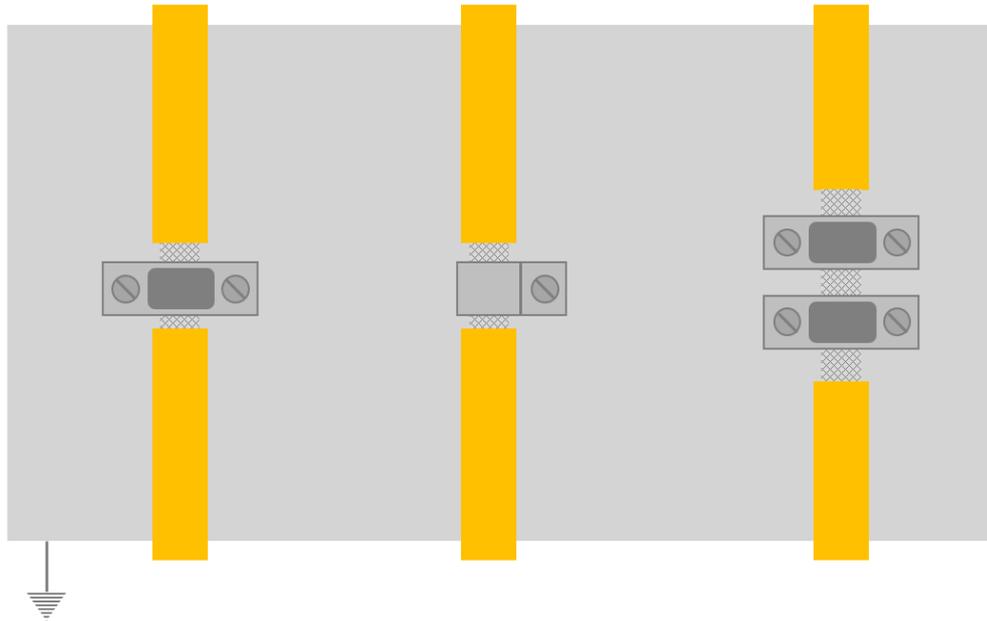


그림 27: 케이블 클립을 통한 케이블 쉴드의 외부 접지

케이블 클립을 사용하는 경우에는 다음의 방법을 따른다:

- a) 접지 경로는 매우 낮은 임피던스( $0.1 \Omega$  이하)가 되도록 한다.
- b) 케이블 클립의 크기가 케이블 직경에 정확히 일치해야 한다. 너무 작으면 케이블에 기계적으로 손상을 줄 수 있고, 너무 크면 시스템에 기타 노이즈가 혼입 될 수 있다 (그림 28).

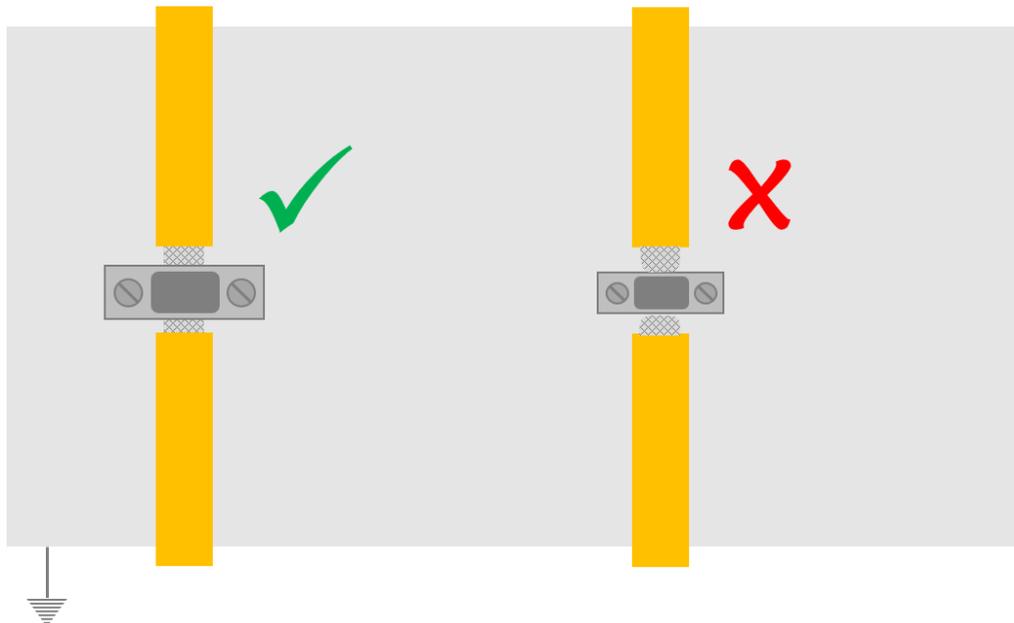


그림 28: 적절한 크기의 케이블 클립 사용

- c) 케이블의 피복을 제거할 때 케이블이 손상되지 않도록 한다. 쉴드에서 제공하는 EM 베리어가 손상될 수 있다 (그림 29).

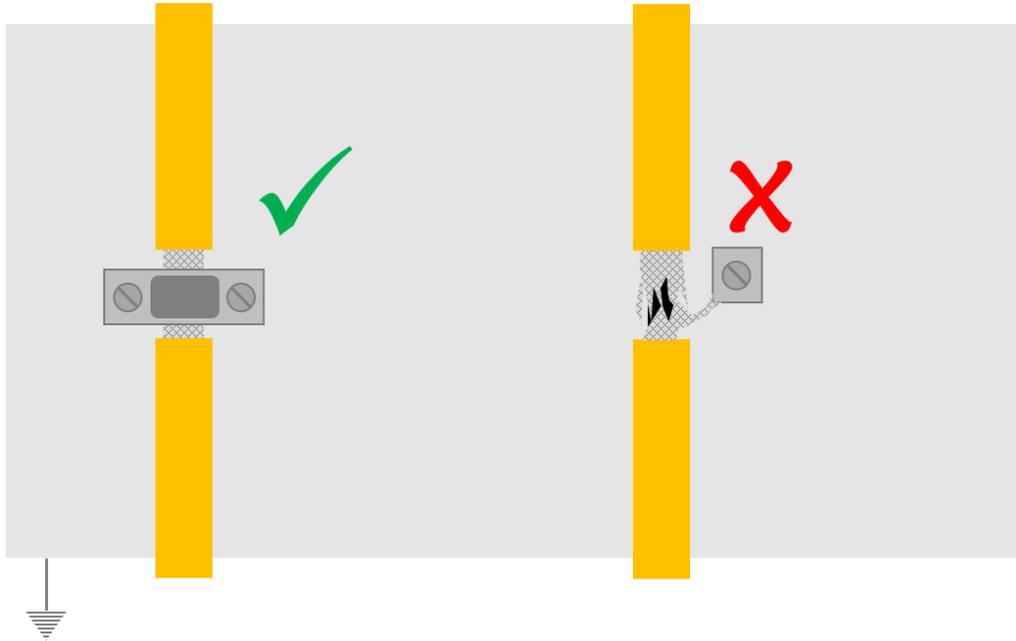


그림 29: 접지점에서 적절 또는 부적절한 쉴드 처리 예시

- d) 쉴드 접지 연결을 위한 케이블 클립은 변형 방지에 사용될 수 없다. 변형 방지가 필요한 경우 6.3에 기재된 바와 같이 전용 부품을 사용해야 한다.

케이블 클립의 대안으로, 그림 30 과 같이 통신 케이블의 금속 커넥터와 로컬 접지를 낮은 임피던스 경로(0.1 Ω 이하)를 금속판에 직접 연결할 수 있다.

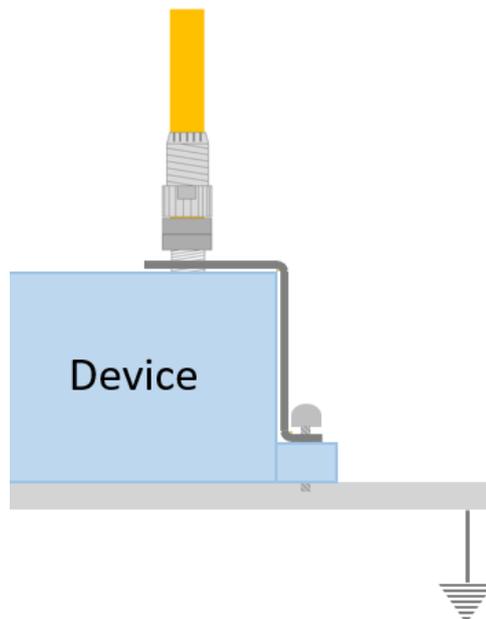


그림 30: 금속판을 이용한 케이블 쉴드의 외부 접지

벌크헤드 피드스루 커넥터(bulkhead feed-through connector)가 캐비닛 내외를 연결하는 데 사용되는 경우, 이 커넥터에도 가능한 낮은 임피던스( $0.1 \Omega$  이하)의 접지가 필요하다. 관통 형 커넥터와 캐비닛 패널의 금속 부분들이 적절한 크기의 접촉 면적이 되도록 하고 캐비닛에 프린팅 된 코팅을 제거한다.

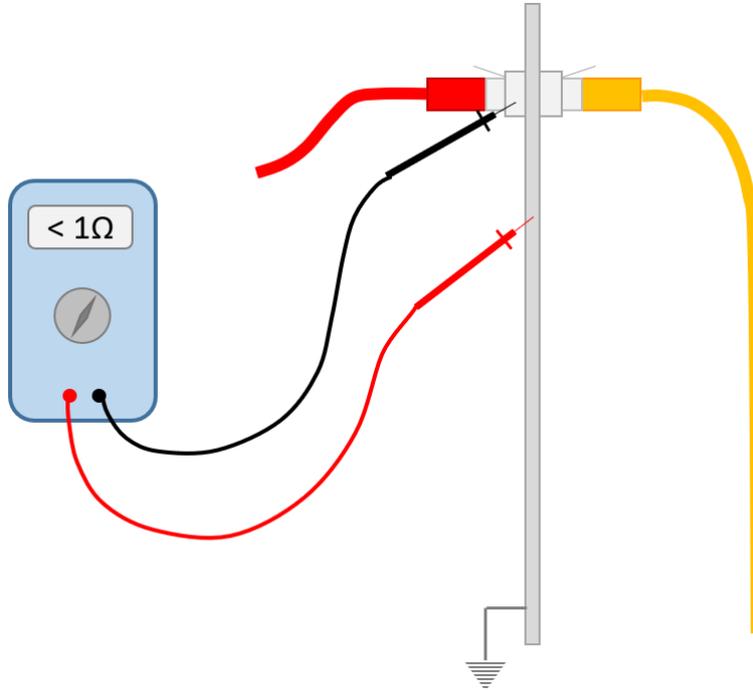


그림 31: 벌크헤드 피드스루 커넥터 접지의 올바른 예시

### 6.3 기계적 보호

통신 케이블은 임의로 구부릴 수 없다. 과도한 굽힘은 케이블의 전선 및 보호막에 회복 불가능한 손상을 입히며 통신 성능에 큰 영향을 준다. 설치할 때 케이블 제조업체가 제공하는 최소 굽힘 반경을 반드시 고려해야 한다. 대략의 기준으로(TIA-568-C 규격의 기재와 같이) 고정된 중심 케이블은 케이블 직경의 8~10 배를 최소 굽힘 반경으로 사용해야 한다.

통신 케이블의 과도한 굽힘을 방지하기 위해 전용기구를 사용한다(그림 32):

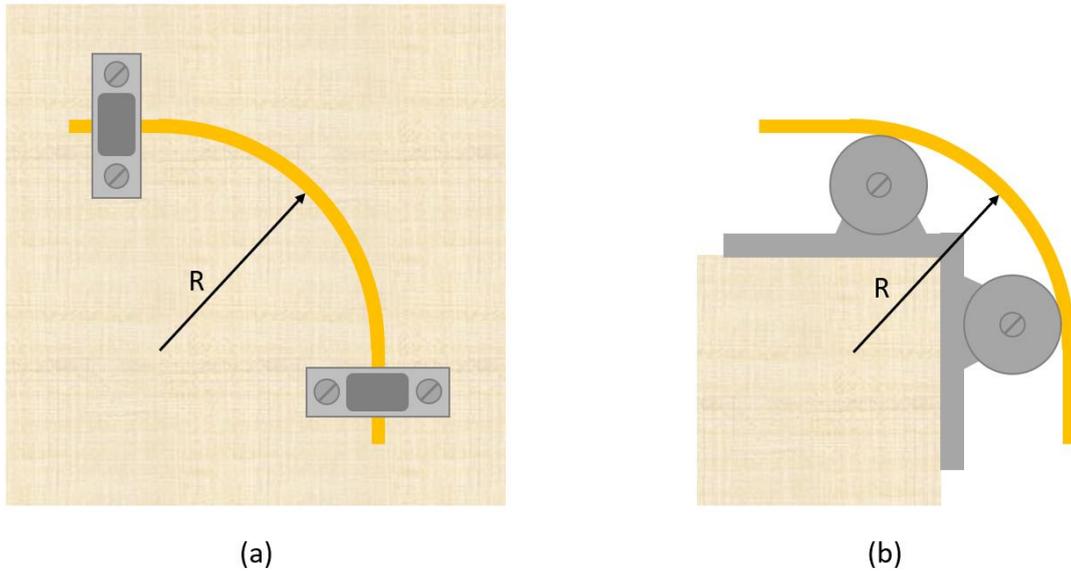


그림 32: 통신 케이블의 최소 굽힘 반경 유지

특히 서로 이동하는 부품의 경우, 날카로운 부분은 케이블 성능에 큰 영향을 미칠 수 있다. 케이블의 손상을 방지하기 위해 날카로운 부분은 부드럽게 하거나 전용기구로 보호한다 (그림 33).

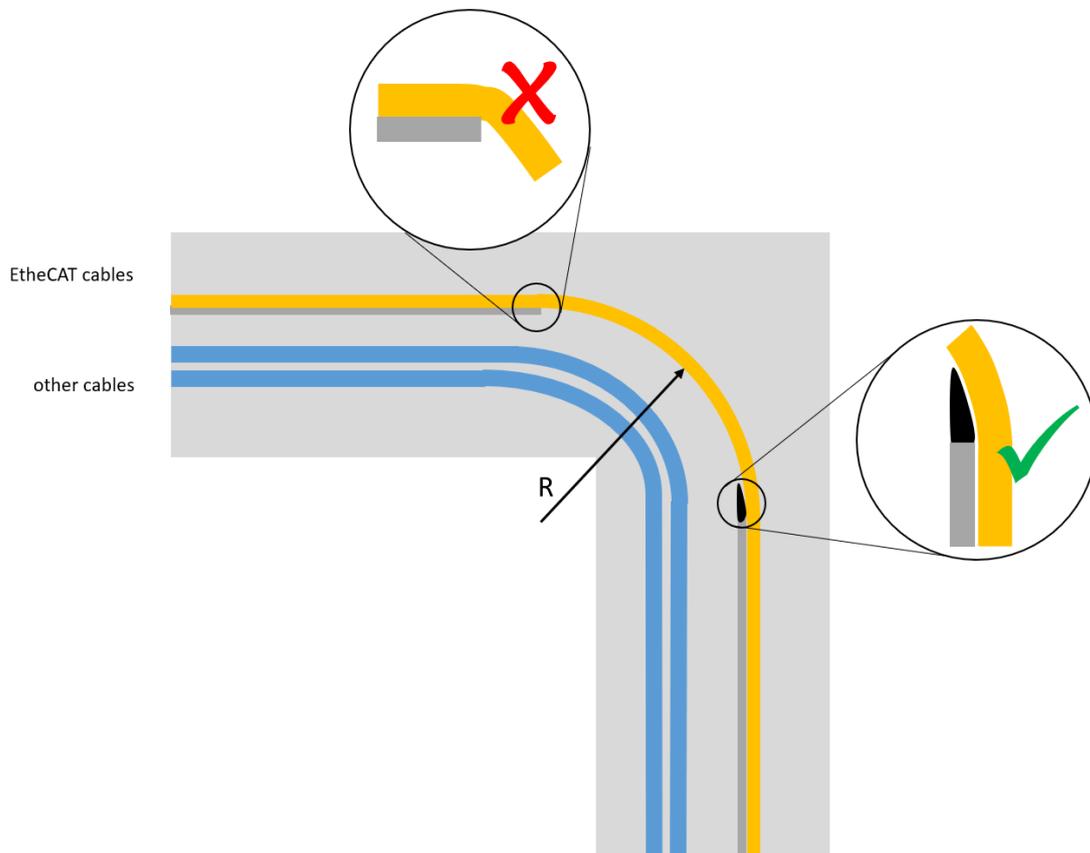
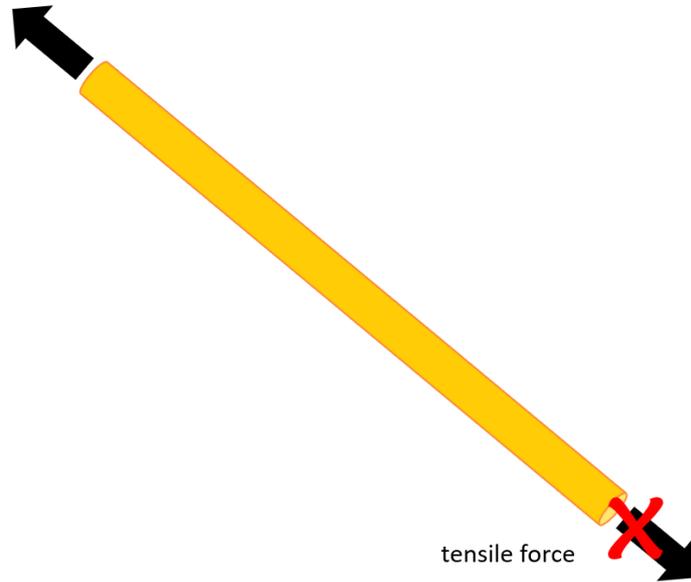


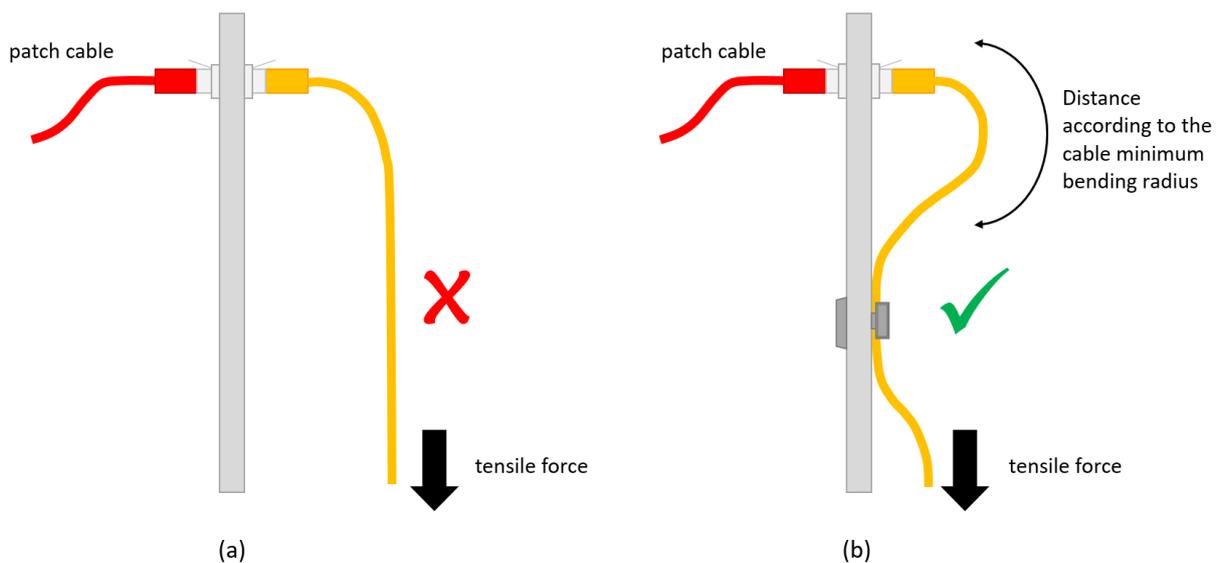
그림 33: 통신 케이블의 경로에 따른 날카로운 부분 보호

그림 34 와 같이 장력도 케이블의 성능에 영향을 미칠 수 있다. 어셈블링시에는 장력이 케이블 제조사의 최대 허용 값을 초과하여 발생하는 케이블 손상에 주의해야만 한다. 대략의 기준으로 TIA-568-C 표준에 기재된 바와 같이 고정 배선 케이블은 최대 장력인 110 N 을 초과하지 않도록 해야만 한다.



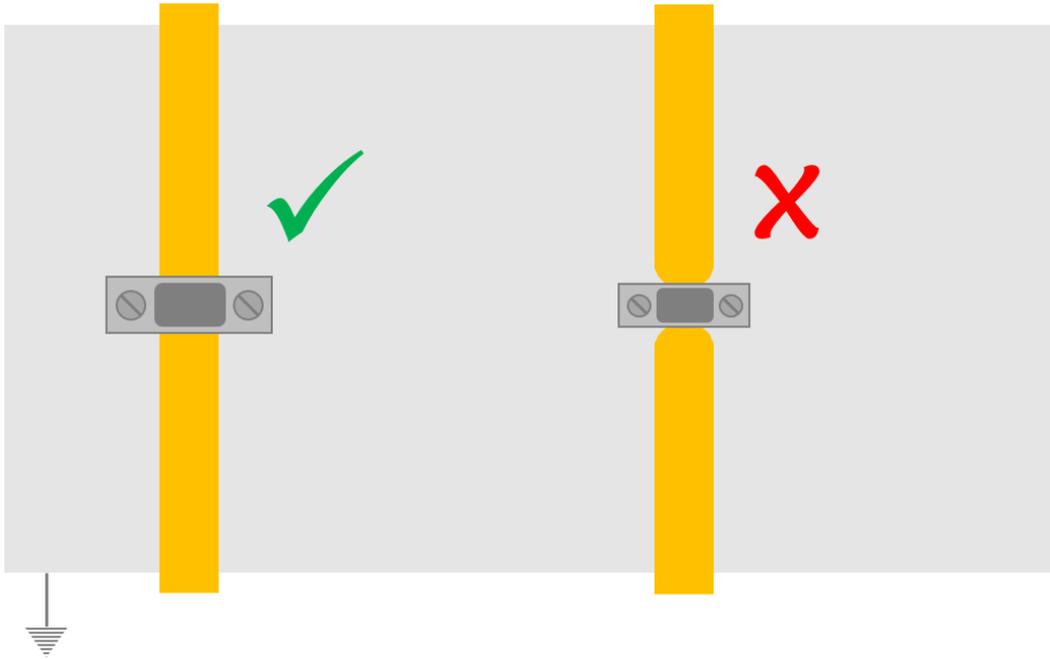
**그림 34: 통신 케이블에 작용하는 장력**

일부 또는 모든 동작 조건에서 장력이 케이블 제조사에 의해 지정된 최대 허용치를 초과할 경우 그림 35 와 같이 변형 방지 위한 전용기구를 사용한다. 스트레인 릴리프 클립은 케이블 커넥터에서 적절한 거리에 설치하여 케이블 제조업체가 제공하는 자료에 따라 케이블이 최대 굽힘 반경을 초과하지 않도록 해야 한다.



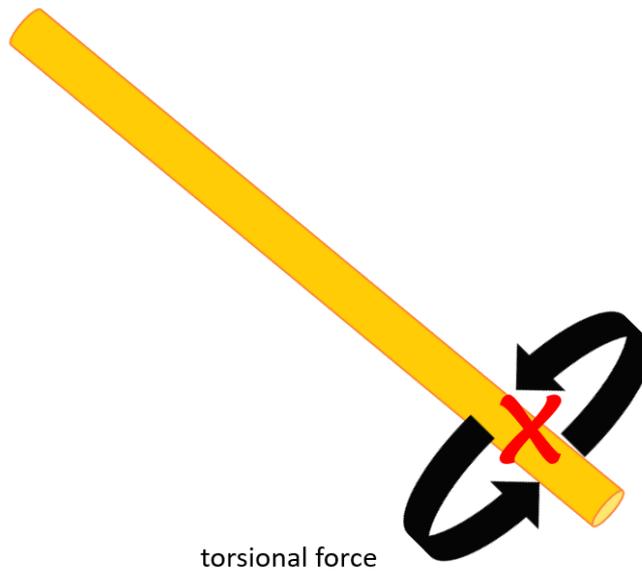
**그림 35: 인장력에 대한 통신 케이블 보호**

스트레인 릴리프 클립(Strain relief clips)은 케이블 직경과 일치하는 것을 사용해야 하며 케이블 회복이 불가능한 손상을 주지 않도록 한다 (그림 36).



**그림 36: 적절한 크기의 변형 방지 부품 사용**

그림 37 에 나타낸 바와 같이, 비틀림 힘의 영향으로 연선 전선에 차이가 발생할 수 있다. 이로 인해 연선 효과가 저하하거나 케이블 자체에 회복 불가능한 손상이 발생할 수 있다. 비틀림 힘은 가능한 발생하지 않도록 해야 한다.



**그림 37: 비틀림에 대한 통신 케이블 보호**

어플리케이션의 움직이는 부품에서 비틀림 힘이 발생할 경우, 케이블 제조업체가 제공하는 자료에 따라 가동부를 위해 설계된 유연한 케이블을 작동 부에 사용해야 한다.

케이블 충격이 발생하지 않도록 해야만 한다. 통신 케이블이 캐비닛 문 등 움직이는 부품에 의한 충격이 발생할 경우, 그림 38 과 같이 적절한 기계적 보호가 제공되어야 한다.

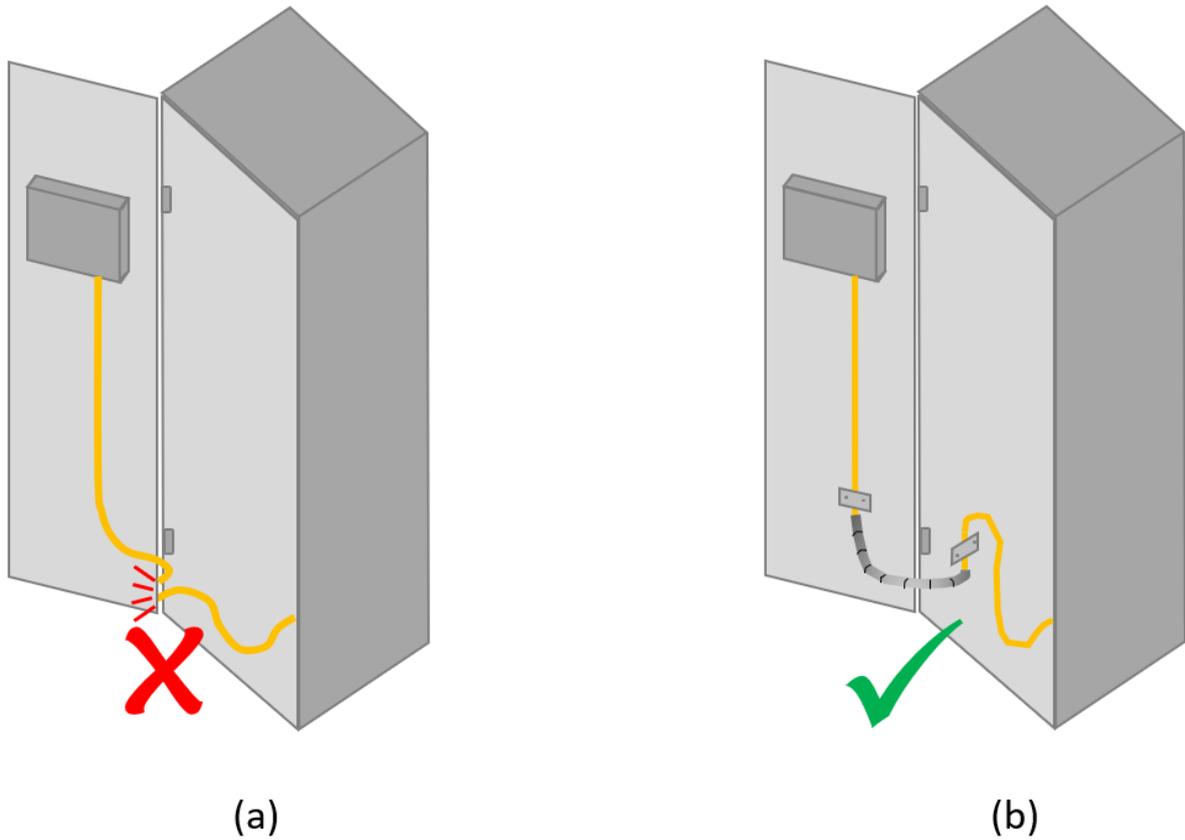


그림 38: 통신 케이블의 충격 보호

## 6.4 커넥터 어셈블링

ISO/IEC 61918 표준은 그림 39 처럼 쿼드 케이블의 선 색상 규격 및 커넥터 핀의 배치를 정의하고 있다.

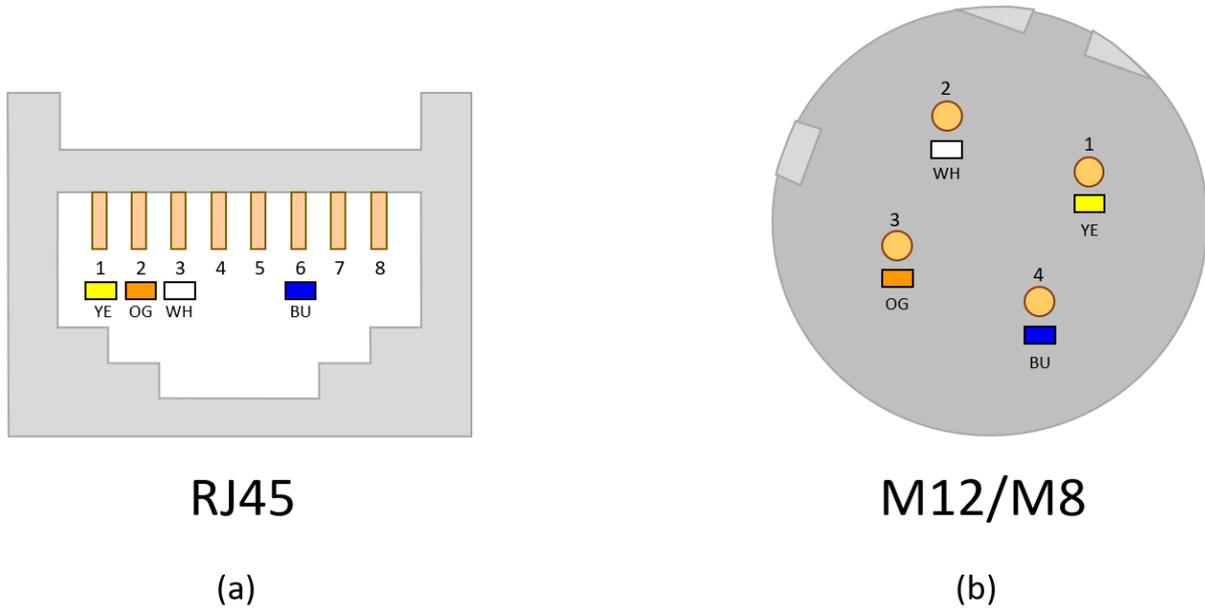


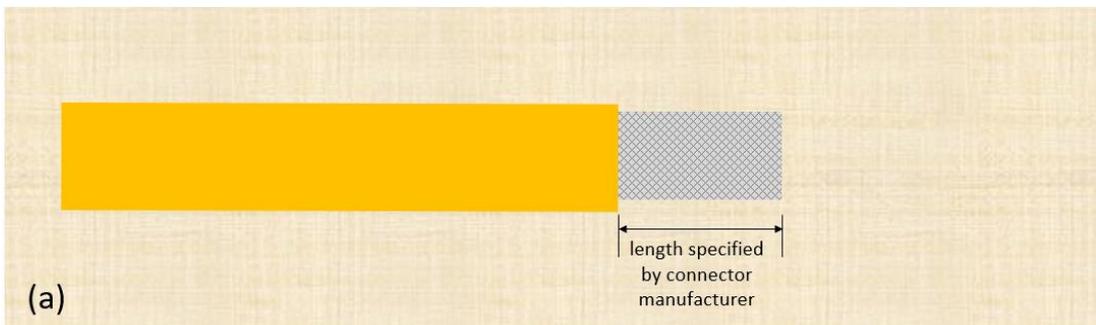
그림 39: ISO/IEC 61918 규격에 의한 쿼드 케이블 커넥터 핀 배치

현장 시공에서 케이블을 사용할 때 특별한 주의를 기울여야 한다. 전선과 커넥터의 무결성을 유지하기 위해 커넥터의 조립은 반드시 전용 공구를 사용해야만 한다. ISO/IEC 61918 규격의 부록 I 에 이더넷 구리 케이블의 커넥터 조립에 대한 일반적인 유의 사항이 기재되어 있다.

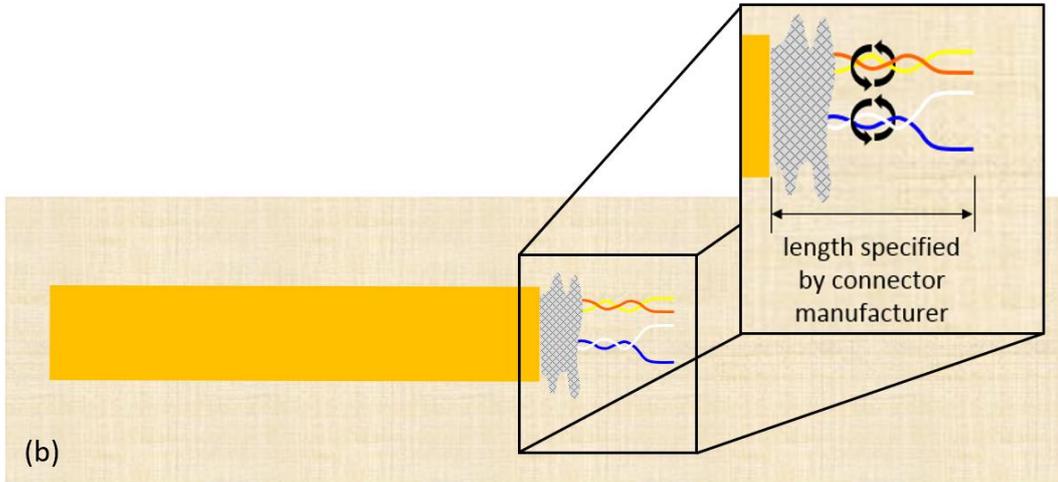
### 6.4.1 RJ45 커넥터 어셈블링

RJ45 커넥터는 다음과 같이 작업한다:

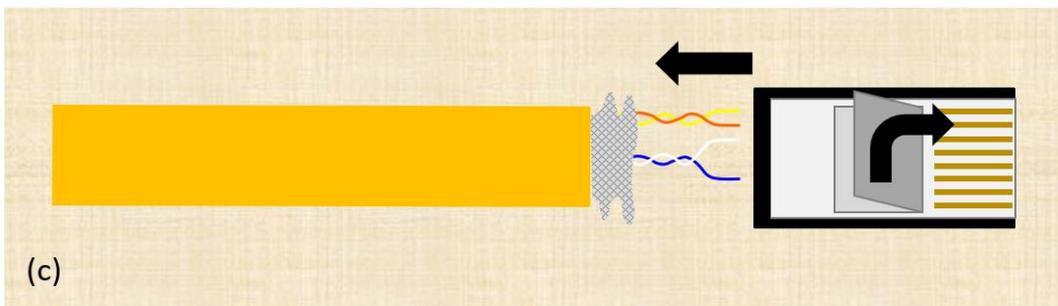
- a) 사용 설명서에 커넥터 제조사가 지정한 길이만큼 케이블의 피복을 잘라낸다:



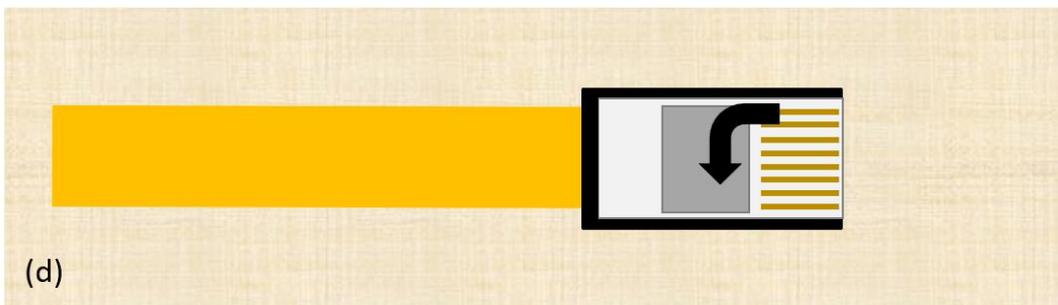
- b) 쉴드 케이블 피복 부분까지 아래의 그림과 같이 트위스트 페어 전선을 꺼내 배선 순으로 정렬한다. 이 작업 사이에 전선 끝 부분까지 꼬임이 유지될 수 있도록 쉴드에 손상을 주지 않는 것에 주의한다. 커넥터 제조사의 사용 설명서에서 지정된 길이를 초과 한 부분은 잘라낸다:



- c) 전선이 핀 배치와 일치하는지 확인한다. 이 작업을 용이하게 하기 위하여, 몇몇의 커넥터는 접합 소자 및 다음 압착 작업에 대한 올바른 위치에 하나의 전선을 안정적으로 유지할 수 있도록 다른 보조 구조를 제공한다. 자세한 내용은 커넥터의 사용 설명서를 참조한다.
- d) 전선 커넥터 본체에 삽입한다. 이 작업은 모든 전선이 커넥터의 끝 부분까지 닿았는지 확인한다:



- e) 커넥터를 압착한 후 케이블을 가볍게 당겨 확인한다:

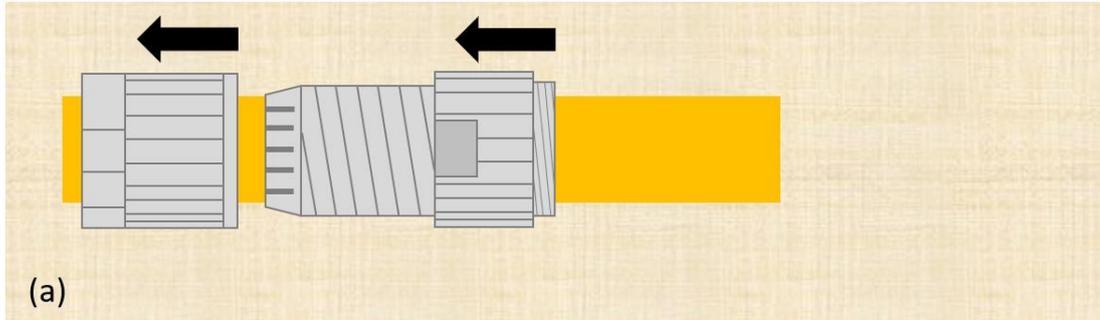


- f) 마지막으로 멀티미터 등을 사용하여 양쪽에 각 전선이 핀 사이에 연결되어 있는지 확인한다.

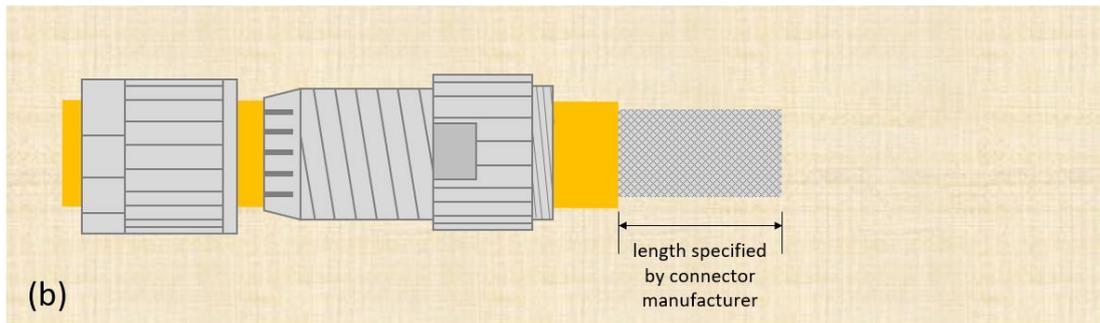
### 6.4.2 M12 및 M8 커넥터 어셈블링

M12 및 M8 커넥터의 경우 다음과 같이 작업한다:

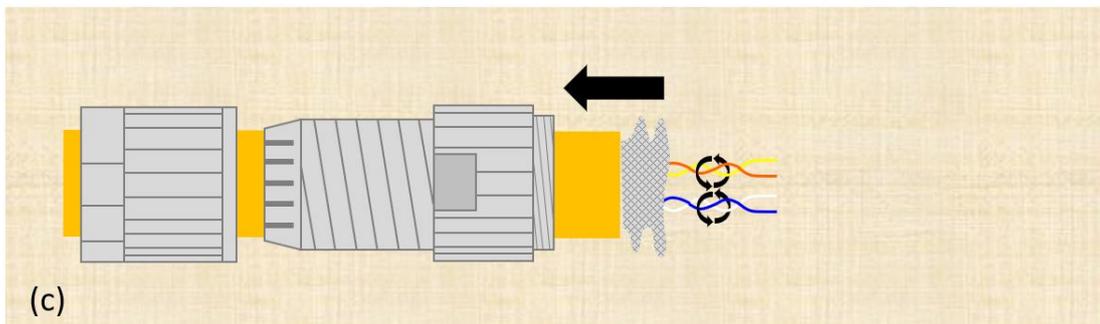
- a) 와이어 글랜드(wire gland), 너트, 커넥터 셸(connector shell)을 케이블에 장착한다:



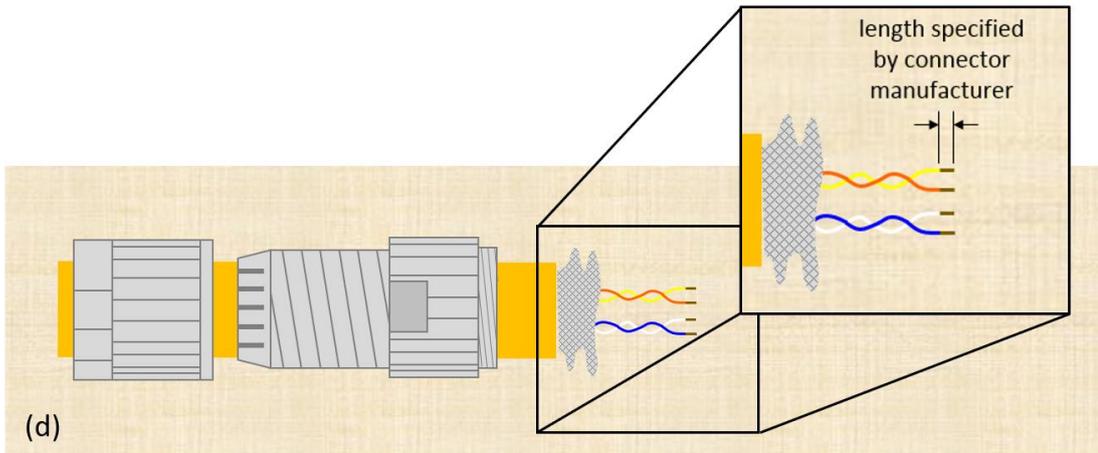
- b) 케이블의 피복을 커넥터 제조사가 사용 설명서에서 지정한 길이만큼 잘라낸다:



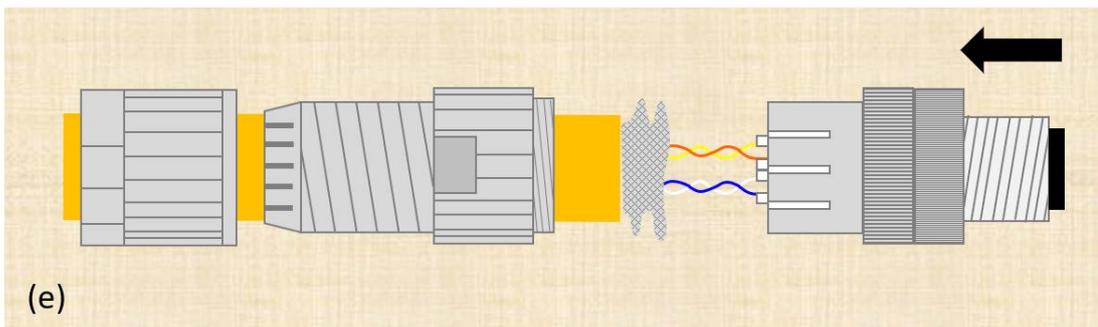
- c) 실드 케이블 피복 부분까지 아래의 그림과 같이 트위스트 페어 전선을 꺼내 배선 순으로 정렬한다. 전선 끝 부근까지 꼬임을 유지하여 실드에 손상을 주지 않도록 주의한다. 커넥터 제조사의 구현 설명서에 지정된 길이를 초과 한 부분은 잘라낸다:



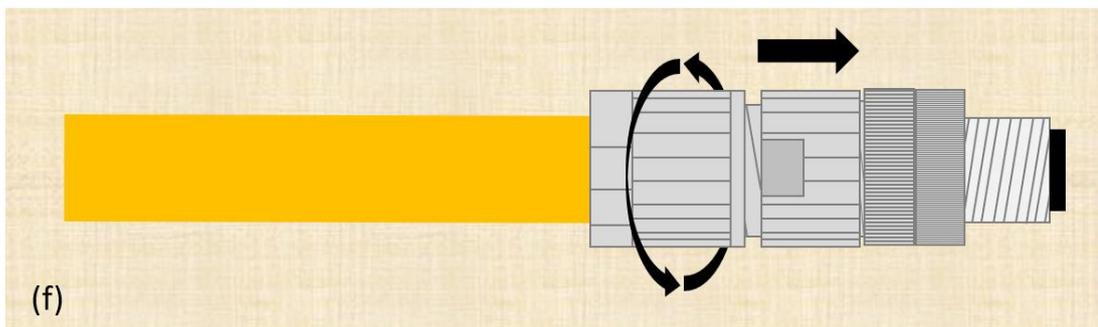
- d) 커넥터 제조사의 사용 설명서에 지정된 길이만큼 전선의 피복을 벗겨낸다:



- e) 지정된 핀 배치에 따라 커넥터 본체의 후방에 전선을 결속한다. 필요한 경우 나사로 벗겨진 전선을 조인다.



- f) 커넥터 셸을 커넥터 본체 뒷면까지 밀어, 와이어 글랜드를 커넥터 셸까지 밀어 넣고 조인다. 이 과정에서 커넥터가 손상되지 않도록 와이어 글랜드를 너무 짝 조이지 않게 주의한다:



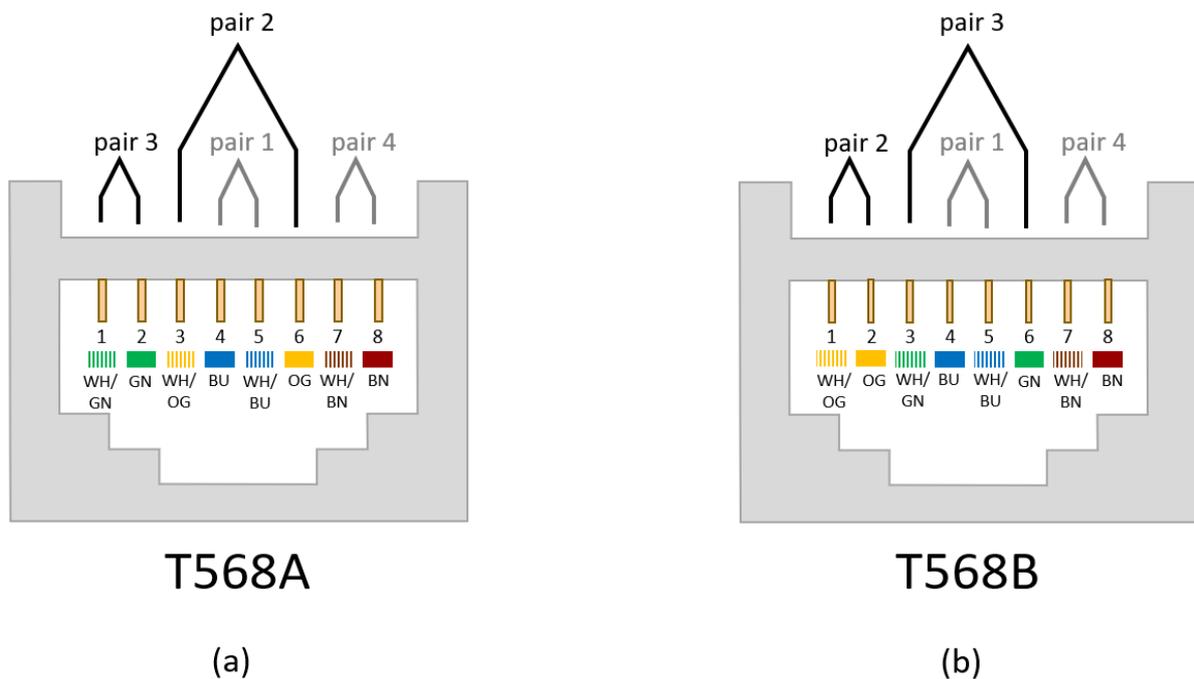
- g) 마지막으로 케이블 양단에 대응하는 핀이 제대로 연결되어 있는지를 멀티미터로 확인한다.

네 쌍 케이블의 경우, 선 색상 규격 및 커넥터 핀 배치는 TIA-569-C 표준에 정의되어 있다. 두 개의 다른 연결 방법이 T568A와 T568B에 기재되어 있다.

그림 40과 같이 ISO/IEC 61918에 설명된 TIA-568-C는 전선 색상과 커넥터 핀 배치 방법에 따라 두 가지 방법으로 나뉜다. 이 두 가지 규격의 차이는 표 15에 있다.

**표 15: ISO 61918 및 TIA-568-C 와 전선 색상 비교**

신호	RJ45	M12	IEC 61918 색상	TIA-568-C 색상 (T568A)	TIA-568-C 색상 (T568B)
TD+	1	1	YE	WH/GN	WH/OG
TD-	2	3	OG	GN	OG
RD+	3	2	WH	WH/OG	WH/GN
RD-	6	4	BU	OG	GN
	4	-	-	BU	BU
	5	-	-	WH/BU	WH/BU
	7	-	-	WH/BN	WH/BN
	8	-	-	BR	BN



**그림 40: TIA-568-C 호환 RJ45 커넥터의 배선 방법**

5.4.1에서 설명했듯이, 케이블 양단에 T568B에 따른 핀 배치를 한다. 이렇게 하더라도, 다른 케이블 끝단에 T568A과 같은 직선 케이블뿐만 아니라 크로스 케이블과 같은 기타 핀출력 방식을 사용할 수 있다 (예외로 고속 Hot Connect 기술을 지원하는 장치 사이에는 직선 케이블이 필요하다).

네 쌍 케이블의 커넥터를 조립 때 6.4.1 에 기재한 것과 동일한 단계를 수행해야 한다.

커넥터 조립 과정은 특정 케이블이나 커넥터에 의존하지 않고 다음의 규칙을 적용한다:

- 각 전선의 플라스틱 피복은 조립 중에 손상되지 않도록 한다.
- 각 쌍 전선의 꼬인 부분은 커넥터의 근접한 부분에서 분리되어야 한다. 그림 41 과 같이 너무 일찍 전선의 꼬인 부분을 분리하면 전류 루프의 발생 또는 노이즈의 영향을 받기 쉽다.

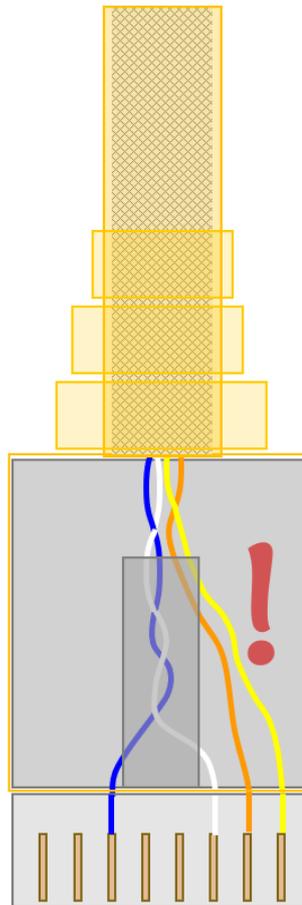


그림 41: 잘못된 RJ45 커넥터의 조립

- 그림 42 와 같이 쉴드를 조립 중에 손상시키거나 절단하지 않도록 한다. 쉴드 트위스트 페어 케이블을 커넥터까지 덮고 절단된 부분이 없는지 확인한다. 또한 커넥터의 금속 부분을 납땜한다 (이는 쉴드 커넥터 금속 부 간의 임피던스의 최소화를 위함이다).

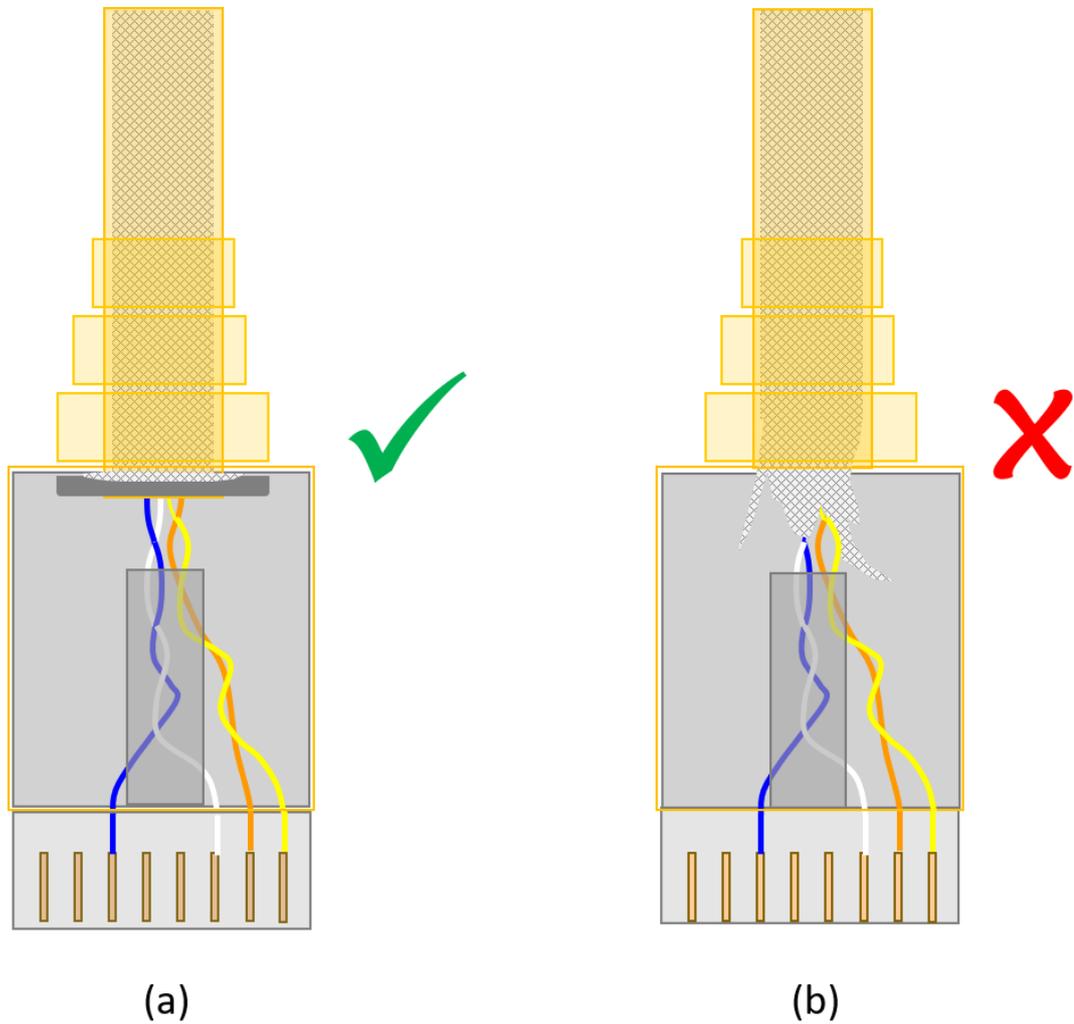


그림 42: 커넥터 케이스에서 케이블 쉴드의 올바른 연결

## 7 시운전

### 7.1 외관 검사

EtherCAT 네트워크의 시운전 단계에서 먼저 확인해야 할 것은 외관 검사이며 지금까지 설명했던 방법대로 제대로 되어 있는지 순차적으로 확인해야 한다. 외관 검사는 상세한 검사 및 특수 측정 장비를 사용하지 않고 잠재적인 장애가 있는 부분을 찾고, 필요하다면 예방까지 할 수 있는 범위 내에서 실시한다.

네트워크 설치의 외관 검사는 시운전시의 장애나 다음과 같은 문제를 감지할 수 있다:

- 네트워크 구성
- 케이블 경로
- 케이블의 완전성

외관 검사를 실시할 때 표 16의 점검 목록을 사용한다:

**표 16: 네트워크 외관 검사 체크리스트**

단계	검사내용	확인
<b>1</b>	<b>네트워크 구성</b>	
1.1	장치 간의 최대 거리가 네트워크 설계를 준수하고 있는가? (4.2에 준수)	<input type="checkbox"/>
1.2	각 링크의 양단 사이의 최대 연결 수가 네트워크 설계를 준수하고 있는가? (5.3에 준수)	<input type="checkbox"/>
1.3	네트워크 장치가 제대로 접지에 연결되어 있는가? (오류! 참조 원본을 찾을 수 없습니다.)에 준수)	<input type="checkbox"/>
<b>2</b>	<b>케이블 경로</b>	
2.1	설치된 케이블의 유형과 그 설치 위치가 네트워크 설계를 준수하고 있는가? (5.4에 준수)	<input type="checkbox"/>
2.2	통신 케이블 및 전원 케이블 사이의 최소 거리가 사용하고 있는 분리 형식을 준수하는가? (오류! 참조 원본을 찾을 수 없습니다.)에 준수)	<input type="checkbox"/>
2.3	통신 케이블과 전원 케이블의 교차 각도 90° 인가? (6.1에 준수)	<input type="checkbox"/>
2.4	루프 모양으로 통신 케이블을 묶고 있지 않은가? (6.1에 준수)	<input type="checkbox"/>
2.5	통신 케이블의 최소 굽힘 반경의 기준이 지켜지고 있는가? (6.3에 준수)	<input type="checkbox"/>

단계	검사내용	확인
2.6	통신 케이블은 장력에 의해 날카로운 부분에서 회복 불가능한 손상이 발생할 수 있을 때, 날카로운 부분에서 보호되고 있는가? (6.3 에 준수)	<input type="checkbox"/>
2.7	장력에 의해 케이블이나 커넥터에 회복 불가능한 손상을 발생하지 않도록 변형 방지의 부품을 사용하고 있는가? (6.3 에 준수)	<input type="checkbox"/>
2.8	전용 케이블을 사용하지 않은 경우 비틀림 힘에 대하여 보호되어 있는가? (6.3 에 준수)	<input type="checkbox"/>
2.9	통신케이블은 움직이는 부분들과 부딪히지 않게 보호되어 있는가? (6.3 에 준수)	<input type="checkbox"/>
<b>3</b>	<b>케이블의 완전성</b>	
3.1	케이블 피복에 손상된 부분이 없는가?	<input type="checkbox"/>
3.2	스트레인 릴리프 또는 외부 접지 클립으로 인한 통신 케이블의 손상된 부분은 없는가? (6.1 및 6.3 에 준수)	<input type="checkbox"/>
3.3	커넥터 및 접지 클립 부근에서 케이블 실드가 손상되거나 찢어진 곳이 없는가? (6.1 에 준수)	<input type="checkbox"/>
3.4	모든 장치의 전원을 켜고 인터페이스에 연결된 모든 L/A LED 들이 점등 또는 점멸하고 있는가? (4.4 에 준수)	<input type="checkbox"/>
3.5	다른 유사한 구성에 비해 연결되는데 있어 오랜 시간이 걸리는가? 혹은 짧은 케이블을 사용했을 때보다 연결 시간이 오래 걸리지 아니한가? 이러한 시간이 장치의 전원이 켜진 후 6~7 초 이상 걸리지 아니한가?	<input type="checkbox"/>

## 7.2 채널 물리적 파라미터의 측정

더 복잡하고 비싼 측정기구를 사용하여 EtherCAT 네트워크의 채널 물리적 파라미터를 다양한 단계에서 검증할 수 있다.

시운전 단계에서 얻은 측정결과는 반드시 장비와 공장 문서에 기재할 것을 권장한다. 이 측정 결과는 파라미터 값의 추후의 변화나 장비 혹은 공장 수명주기 안에서 발생할 수 있는 문제를 발견하는데 사용될 수 있다.

### 7.2.1 케이블 테스트

아주 간단한 케이블 테스트를 하기 위해서 저비용의 멀티미터를 사용할 수 있다 (그림 43). 멀티미터로 케이블의 연관되는 물리적 파라미터를 확인할 수 있다.

케이블의 측정결과를 제대로 이해하기 위해선, 전선과 쉴드의 케이블 공급자로부터 제공된 DC 저항 값을 알고 있어야 한다. 케이블의 파라미터 값이 제공되지 않거나 예상 값과 실제 값이 일치하지 않는 경우 먼저 케이블 샘플의 초기 측정을 실시한다.

간단한 케이블 테스트에서 검사할 수 있는 항목은 다음과 같다:

- 6.4 에 명시된 ISO/IEC 61918 (4 선식) 또는 TIA-568-C (4 쌍 케이블)의 핀 규격에 준거 한 케이블 양쪽 커넥터에 대한 올바른 핀의 결선 여부 확인
- 케이블 양 끝단의 해당 핀끼리 전선 연결 여부 확인
- 케이블의 저항 (케이블 길이에 의한), 케이블의 한쪽 끝에서 핀 사이의 단락을 다른 쪽 끝의 동일한 핀 사이의 저항 값과 케이블 업체의 자료에 기재 되어있는 단위 길이 당 저항 값에서 계산한 저항 값과 비교
- 케이블 길이 (케이블 저항 계산), 측정된 케이블 저항 값을 케이블 제조업체의 문서에 설명되어 있는 단위 길이 당 저항 값으로 나눔

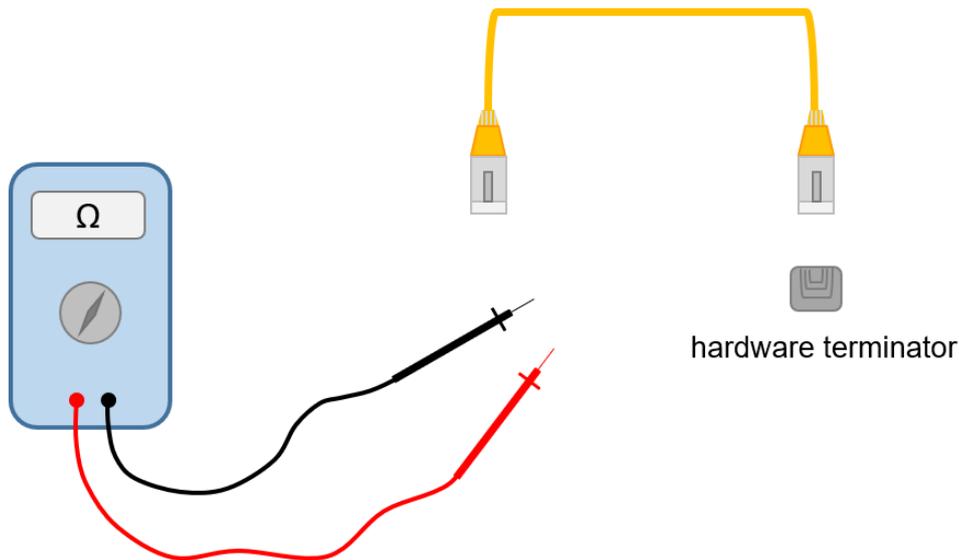


그림 43: 멀티미터에 의한 간단한 케이블 테스트

EtherCAT 네트워크의 시운전 단계에서 7.4 에 기재되어 있는 통신 장애가 발생하지 않는다면, 케이블의 전기적 파라미터와 길이가 알려진 경우에 보조 배선 문제를 확인할 수 있다.

### 7.2.2 기능 테스트

**오류! 참조 원본을 찾을 수 없습니다.** 에 명시된 시험은 주요 케이블 물리적 파라미터만을 검사할 수 있지만, 실제 통신 테스트는 실시하지 않는다. 실제로 100 Mbit/s 전이중 이더넷 통신을 수행할 때

케이블의 상태를 점검하기 위해 적절한 장비를 사용하여 기능 테스트를 실시한다 (그림 44: ). 기능 테스트는 미리 정의된 이더넷 프레임을 측정 장치에서 전송하고 원격 장치가 응답한다. 기능 테스트는 다음 항목을 확인할 수 있다:

- 전자기 간섭, 케이블 조립 불량, 사용 부품의 결함 등으로 발생할 수 있는 전송되는 데이터의 손상
- 케이블이나 중간 장치에서 발생할 수 있는 100 Mbit/s 전이중 통신에 대한 통신 대역폭의 제한
- 중간 장치에서 발생할 수 있는 채널의 과도한 감쇠 (**오류! 참조 원본을 찾을 수 없습니다.**에 명시된 케이블 테스트를 통해 평가된 케이블로 인한 감쇠)

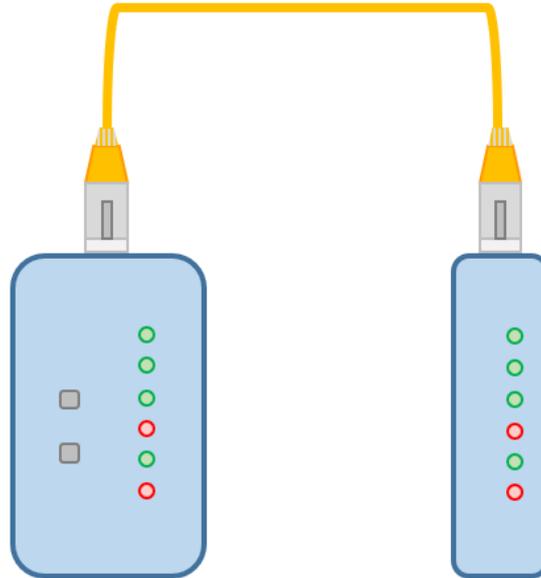


그림 44: 기능 테스트 장비에 의한 케이블의 검사

기능 테스트는 (슬립 링 및 미디어 컨버터 같은) 단순한 수동적 커넥터부터 다른 기반 구성요소를 포함한 모든 채널에 적용할 것을 권장한다. 특히 이러한 기반 구성요소는 부품 제조사에 의한 EtherCAT 어플리케이션이 테스트되지 않은 경우 필요하다. 테스트는 항상 기반 구성요소의 최악의 동작 조건에서 실시되어야 한다 (예: 대상 어플리케이션에서 예상되는 슬립 링의 최대 회전 속도).

### 7.2.3 승인 테스트

IL 이나 NEXT 같은 5.3 의 채널 파라미터는 그림 45 에 표시된 적절한 고기능 테스트 장비를 사용하여 측정할 수 있다. 이러한 테스트 장비는 다음과 같은 상세한 데이터를 얻을 수 있다:

- 채널 IL: 다른 부품 (케이블 중간 커넥터 누워 부품)에 의해 발견된 감쇠의 합
- 채널 NEXT: 인접한 케이블 쌍 사이의 영향 정도

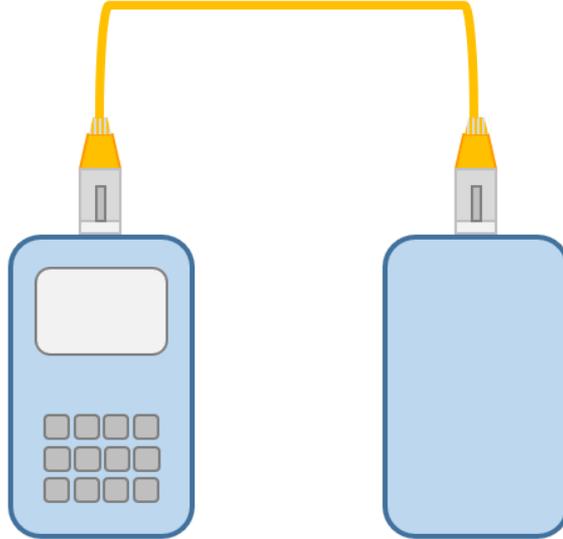


그림 45: 승인 테스트 기기에 의한 케이블의 인증

NEXT 값이 매우 높은 경우 정확한 측정이 되지 않을 수 있다. 이러한 이유로 NEXT 값이 40 dB 보다 큰 경우에는 좋은 성능 지수로 간주된다. 짧은 케이블의 경우에는 ACR 값이 30 dB 보다 크면 같은 경우로 간주된다.

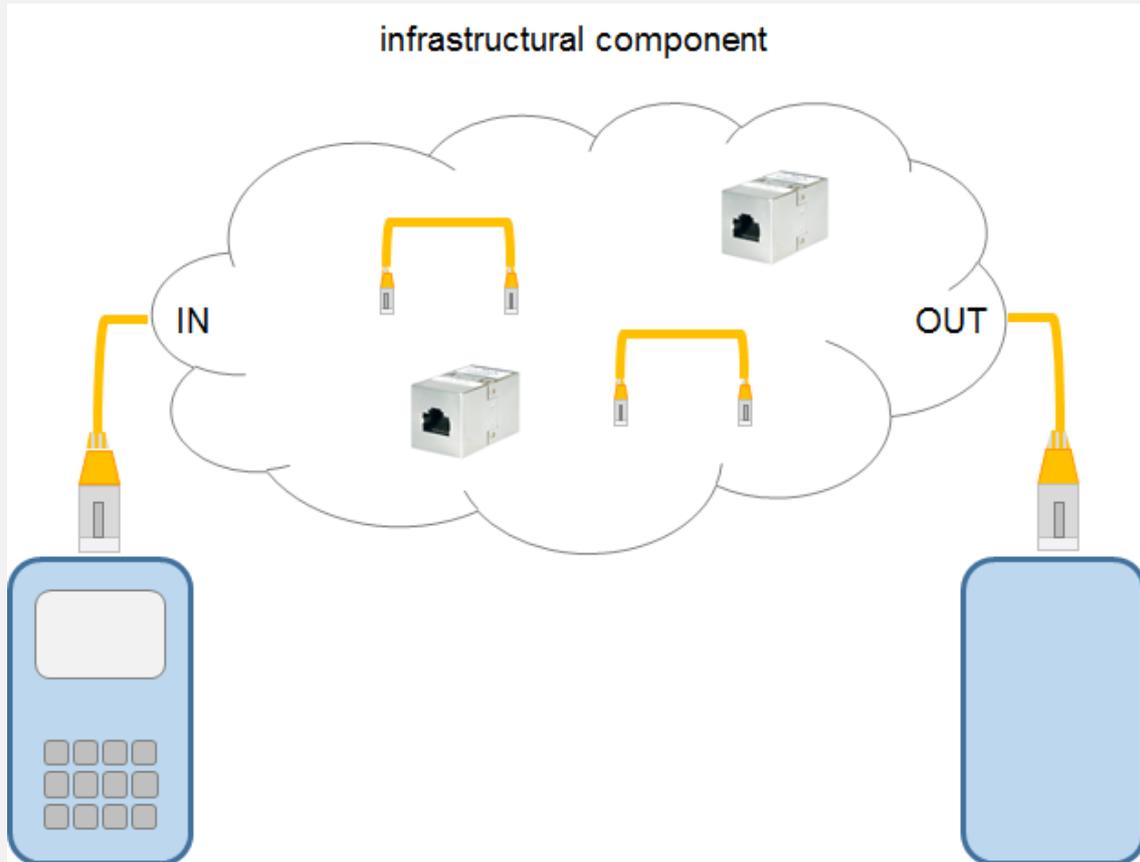
5.3 에 서술된 케이블링 설치 방법 어플리케이션과 모든 채널 부분(케이블, 중간 커넥터 기반 구성요소)의 물리 파라미터들에 대한 정확한 지식이 있다면, 일반적으로 채널 물리 파라미터들을 직접적으로 측정하지 않아도 된다. 따라서 EtherCAT 네트워크의 모든 채널에 대한 승인 테스트의 실시는 일반적으로 시운전 단계가 필요하지 않다.

EtherCAT 네트워크의 시운전 단계 중의 승인 테스트는 채널을 구성하는 부품의 물리적 파라미터가 알려지지 않거나 7.4 에 기재된 바와 같은 통신 오류가 발생하지 않는 것을 확인할 때에 실시한다.

## 장치 제조업체를 위한 권장 구현 방법

적합한 디바이스들을 사용함에 따라, 주파수의 기능으로써 물리 파라미터를 측정하는 테스트는 EtherCAT 디바이스가 아닌 모든 기반 구성요소의 제조자들에게 강력히 권장된다.

테스트는 부품 입력단과 출력 점 사이의 물리적 파라미터의 측정해야 한다. 그림 46 처럼 그 측정은 모든 중간 부품 (케이블, 금속 단자, 중간 커넥터)을 포함해야 한다.



**그림 46: 부설 부품에 대한 파라미터 측정**

테스트를 실시할 때 부품의 데이터 시트 또는 문서에 기재된 최악의 동작 조건으로 실시해야 한다.

적절한 계획이 요구되는 정보를 사용자에게 제공하기 위해서 테스트 결과는 구성 데이터 시트 또는 문서에 기록되어야 한다. 테스트의 결과는 또한 네트워크 커미셔닝 구간 동안에 기능 테스트를 할 필요 없이 채널이 적합하게 계획하기 위해 요구되는 정보를 사용자에게 제공하기 위해서 구성요소 데이터 시트 또는 문서에 기록되어야 한다.

### 7.2.4 채널 측정 체크리스트

통신 케이블의 측정할 때 아래의 표 17의 점검 목록을 사용한다:

**표 17: 채널 측정 체크리스트**

단계	검사 내용	확인
<b>1</b>	<b>케이블 테스트</b>	
1.1	케이블의 핀 배치가 정확한가? (6.4에 준거)	<input type="checkbox"/>
1.2	서로 다른 도체 사이 또는 도체와 차폐 간의 단락을 방지할 수 있는가?	<input type="checkbox"/>
1.3	케이블의 저항 값이 허용치를 만족하는가? (5.4에 준거)	<input type="checkbox"/>
<b>2</b>	<b>기능 테스트</b>	
2.1	테스트 프레임의 송신 및 수신을 오류 없이 수행할 수 있는가?	<input type="checkbox"/>
<b>3</b>	<b>승인 테스트</b>	
3.1	각 채널의 케이블 감쇠 (IL)가 지정된 값을 충족하는가? (케이블 사양 및 테스트 계획에 준수)	<input type="checkbox"/>
3.2	각 채널의 케이블의 근단 누화 (NEXT)가 지정된 값을 충족하는가? (케이블 사양 및 테스트 계획에 준수) 이 측정 값은 50 dB 이상을 요구한다.	<input type="checkbox"/>

### 7.3 접지 시스템의 측정

EtherCAT 네트워크의 시운전 단계시 반드시 접지 시스템의 어셈블링이 제대로 되어 있는지 멀티미터를 사용하여 검사해야 한다.

이 측정 범위는 통신 성능에 영향을 미칠 수 있는 EtherCAT 네트워크의 각 장치가 시스템 접지에 제대로 연결되어 있는지를 검사하는 것이다. 네트워크 어셈블링에 직접 또는 간접적으로 관련된 모든 장치의 적절한 접지는 통신에 영향을 미치는 전류 루프를 방지한다.

접지 시스템을 검사할 때 표 18의 점검 목록을 사용할 수 있다.

표 18: 접지 시스템의 체크리스트

단계	검사 내용	확인
1	각 제어반 및 로컬 접지 사이의 임피던스를 측정하라. 임피던스 값이 0.1 Ω 이하인가?	<input type="checkbox"/>
2	네트워크의 각 로컬 접지 사이의 임피던스를 측정하라. 임피던스 값이 0.1 Ω 이하인가?	<input type="checkbox"/>
3	각 장치에 PE 핀이 있는 경우 PE 핀과 로컬 접지(DIN 레일 또는 금속 마운트 부와 같은) 사이의 임피던스를 측정하라. 임피던스 값이 0.1 Ω 이하인가? PE 핀이 없는 경우, 장치가 다른 방법 (장치 뒤의 금속 고정기구 또는 고정 나사 금속 접촉부)으로 로컬 접지에 연결되어 그 임피던스가 0.1 Ω 이하인가?	<input type="checkbox"/>
4	각 EtherCAT 커넥터에서 EtherCAT 케이블을 분리하고 그 금속 부와 로컬 접지(DIN 레일 또는 금속 마운트 부와 같은) 사이의 임피던스를 측정하라. 측정된 임피던스 값이 매우 크지만(MΩ 정도의 크기) 절연이 아닌 경우, 추가 검사는 불필요하다. 측정된 임피던스 값이 작은 경우, 그 값은 1 Ω 이하이어야 한다. 그렇지 않은 경우, 제어반이나 장치 케이스의 0.1 Ω 이하의 매우 작은 임피던스 값을 갖는 적합한 케이블 클립에 케이블 쉴드가 연결되어 있는지 검사해야 한다. 측정된 임피던스 값이 절연되어 있는 것을 나타내는 경우, 제어반이나 장치 케이스의 0.1 Ω 이하의 매우 작은 임피던스 값을 갖는 적합한 케이블 클립에 케이블 쉴드가 연결되어 있는지 검사해야 한다.	<input type="checkbox"/>

#### 7.4 EtherCAT 고유의 진단

모든 EtherCAT 슬레이브 디바이스는 오류 카운터의 형태로 하드웨어 수준에서 진단 정보를 제공한다. 오류 카운터는 해당 오류가 발생할 때 증가하고, ESC의 메모리 주소를 통해 접근할 수 있다.

EtherCAT 마스터와 마스터 설정 도구는 사용자가 ESC에 의한 하드웨어 오류 카운터를 모니터링 할 수 있는 기능을 제공해야 한다. 예를 들어, 마스터 설정 도구의 창에서 모니터링하고 PLC 프로그램에서 오류 카운터 읽기 기능 블록을 호출할 수 있도록 해야 한다.

시운전 단계에서 하드웨어 오류 카운터를 특히 주의하여 모니터링하고 통신 오류, 장애 발생 위치 확인 및 장애 발생하기 쉬운 중요한 부분 등을 항상 감지해야 한다. 또한 네트워크 기획과 어셈블링 상태를 변경 한 때에도 항상 확인해야 한다. 시운전 단계의 오류 카운터 모니터링 장치나 공장에 대해 가능한 모든 동작 조건에서 실시해야 한다.

하드웨어 오류 카운터는 장비나 공장의 수명주기 동안 네트워크 통신을 시작할 때 오류가 없는지 확인해야 한다.

### 7.4.1 링크 로스트 카운터

ESC 는 해당 포트가 채널의 연결이 중단된 것을 감지할 때 링크 로스트 카운터를 증가시킨다. 링크 로스트 카운터에 관하여 표 19 에 나와 있다.

**표 19: 링크 로스트 카운터 레지스터**

메모리 주소	의미	크기
0x0310	Lost Link Counter Port 0	1 byte
0x0311	Lost Link Counter Port 1	1 byte
0x0312	Lost Link Counter Port 2	1 byte
0x0313	Lost Link Counter Port 3	1 byte

장치나 공장의 운용 중에는 물리적 미디어의 연결이 중단되어서는 안 되기 때문에, 하나 또는 그 이상의 장치가 의도적으로 전원이 끊기거나 네트워크 연결이 해제되지 않는 이상, 이러한 카운터는 증가해서는 안 된다.

### 7.4.2 물리적 계층 오류 카운터

ESC 는 각 포트의 물리적 계층 인터페이스(100BASE-TX 및 100BASE-FX 용 PHY 칩)가 심볼 오류를 통지한 경우 해당 포트의 물리적 계층 오류 카운터를 증가시킨다. 이것은 신호가 손상된 것이다.

특히 심볼 오류는 물리 계층 인터페이스에서 수신된 비트 열이 사용하는 하드웨어 인코딩으로 정의된 유효한 비트 열임을 인식하지 못했음을 의미한다. 프레임이 완전히 전송되지 않은 경우에도 물리적 미디어에서 아이들 심볼(Idle symbols)을 전송하고 있기 때문에 물리적 계층 오류는 EtherCAT 프레임 내부 및 외부 모두에서 발생한다. 물리적 계층 오류 카운터에 대해 표 20 에 나와 있다.

**표 20: 물리적 계층 오류 카운터 레지스터**

메모리 주소	의미	크기
0x0301	Physical Layer Error Counter Port 0	1 byte
0x0303	Physical Layer Error Counter Port 1	1 byte
0x0305	Physical Layer Error Counter Port 2	1 byte
0x0307	Physical Layer Error Counter Port 3	1 byte

완전히 오류가 없는(error-free) 데이터 통신은 물리적으로 불가능하다. 산업용 환경에서  $1 \cdot 10^{-12}$ 의 비트 오류율은 좋은 성능의 지표로 사용된다. 물리적 계층 오류 카운터가 부정기적으로 증가하고, 비트 오류율이 지표를 충족하는 경우 장애 발생으로 간주하지 않는다. 장애 발생시는 매우 빠르게 또는 기하급수적으로 물리적 계층 오류 카운터가 증가한다.

### 7.4.3 프레임 오류 카운터

ESC는 각 포트에서 순환 중복 검사(CRC: Cyclic Redundancy Check)를 실시하여 오류를 검출했을 때 해당 포트의 프레임 오류 카운터(CRC 오류 카운터라고도 함)를 증가시킨다.

순환 중복 검사는 각 포트가 프레임을 외부에서 받을 때 실시한다. 프레임 오류 카운터에 대해 표 21에 나와 있다.

**표 21: 프레임 오류 카운터 레지스터**

메모리 주소	의미	크기
0x0300	Frame Error Counter Port 0	1 byte
0x0302	Frame Error Counter Port 1	1 byte
0x0304	Frame Error Counter Port 2	1 byte
0x0306	Frame Error Counter Port 3	1 byte

완전히 오류가 없는(error-free) 데이터 통신은 물리적으로 불가능하다. 산업용 환경에서,  $1 \cdot 10^{-12}$ 의 비트 오류율은 좋은 성능의 지표로 사용된다. 프레임 오류 카운터가 부정기적으로 증가하고, 비트 오류율이 지표를 충족하는 경우 장애 발생으로 간주하지 않는다. 장애 발생시는 매우 빠르게 또는 기하급수적으로 프레임 오류 카운터가 증가한다.

물리적 계층 오류 카운터는 프레임 내부 및 외부 모두에서 증가할 수 있지만, 프레임 오류 카운터는 프레임내부에서만 증가할 수 있다. 외부에서 임의로 교란이 있는 경우 물리적 계층 및 프레임 오류 카운터를 장시간에 걸쳐 관찰해야 한다. 물리적 계층 오류 카운터가 빠르게 증가하는 반면, 같은 포트 프레임 오류 카운터가 전혀 증가되지 않는 경우는 슬레이브 장치의 전기 오류 발생 가능성이 높은 것을 보여준다.

## 8 요약

통신 기반 시스템은 장비 또는 공장의 핵심이다. 이 시스템은 컨트롤러와 필드 장치간에 교환할 수 있는 데이터 양, 달성 가능한 사이클 타임과 장치 사이의 동기화 성능을 결정한다.

EtherCAT 네트워크에서 통신 네트워크의 어셈블링을 다음의 세 단계로 실시한다:

- 계획: 계획 단계의 범위는 장비와 공장의 네트워크 구성을 결정하는 모든 요소를 사전에 확인하고 정의하는 것이다. 계획 단계의 업무는 환경 조건의 정의 (장애의 원인이 될 수 있는 중요한 부분에 각별한 주의가 필요), EtherCAT 장치의 선정, 하드웨어 연결의 구분, 케이블 및 커넥터의 선정 및 적절한 어셈블링 부품의 선정 등이 있다.
- 어셈블링: 어셈블링 단계는 계획 단계에서 설계 내용이 실제 네트워크에 제대로 적절하게 구현하는 것을 목적으로 한다. 주요 업무는 통신 네트워크에 기계 및 전자기적 관점에서 적절한 보호를 할 커넥터 등의 네트워크 어셈블링 부품을 정확하게 조립하는 것이다.
- 시운전: 시운전 단계에서는 설계 오류 시공 실수와 시공상의 취약한 부분을 신속하게 감지하고 통신 네트워크가 제대로 구현되어 있는지를 검사해야 한다. 네트워크 구성은 먼저 일반적인 측정 기기를 사용한 간단한 측정을 통해 확인할 수 있다. 네트워크에서 특히 중요한 부분은 고기능의 측정 장치를 사용하여 상세히 측정한다. EtherCAT 장치에서 얻을 수 있는 광범위한 진단 정보를 통해 장애 발생 위치와 네트워크 구성 주의해야 할 중요한 부분을 확인할 수 있다.

네트워크 파라미터와 상태의 변화를 즉시 파악할 수 있도록, 계획, 시공 및 시운전의 각 단계의 결과를 장비 또는 공장의 문서에 기재함으로써 장비나 공장의 수명주기 동안 유지 관리를 용이하게 할 수 있다.