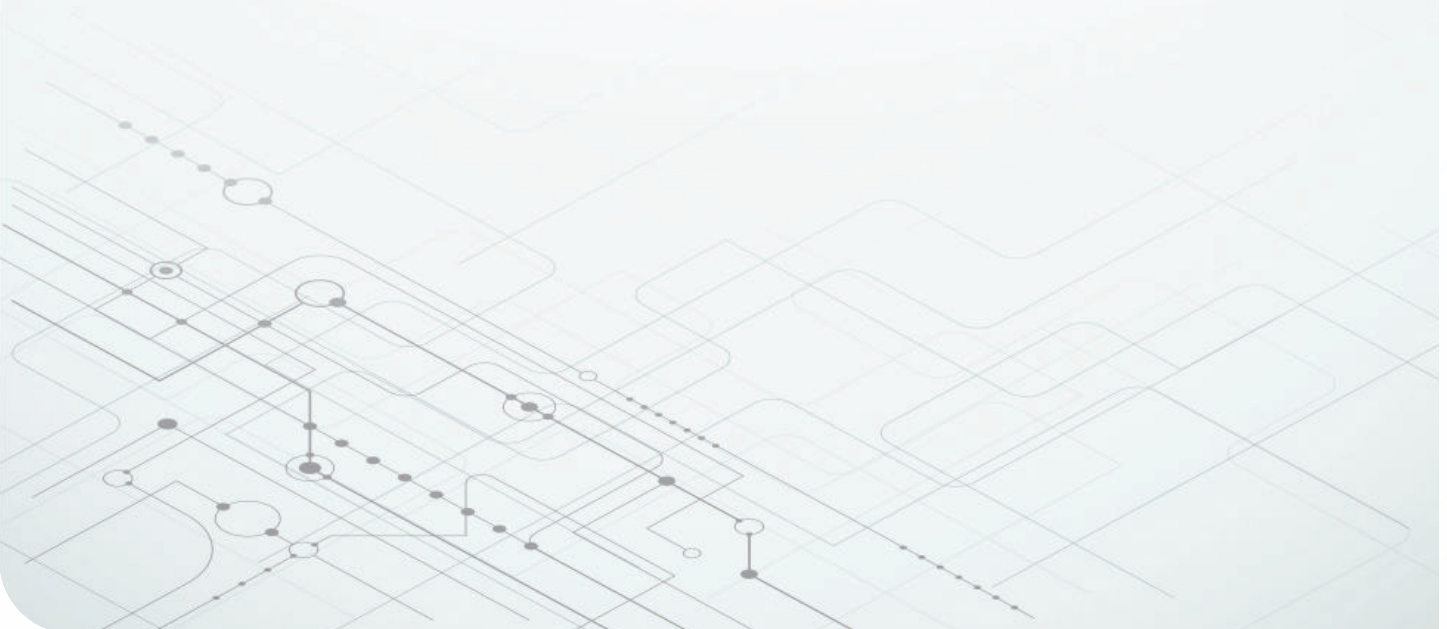


# TI Sitara™ 프로세서의 PROFINET®



Assila Ayed, Kamil Alkhouri, Bharath Kartha



# 핵심 요약

TI(텍사스 인스트루먼트)는 자사의 Sitara™ Arm® 기반 프로세서에 **PROFINET® 산업용 이더넷 표준**을 성공적으로 통합했으며, 이 PROFINET 구현은 Siemens의 ERTEC® 스택을 기반으로 합니다. 이 통합으로 고성능, 안정성, 효율성을 갖춘 산업용 자동화 시스템의 구현이 가능해졌습니다.

Sitara 프로세서의 ICSS(산업용 통신 서브시스템)는 TI의 PRU(프로그램머블 실시간 유닛) 기술을 기반으로 하며, 이 기술은 PROFINET의 실시간 처리 요구사항에 대응할 수 있는 전용 플랫폼을 제공합니다. ICSS에는 2포트 PROFINET 컷스루 스위치가 있어, Arm 코어의 PROFINET 처리 부담을 덜어주고 프로세서 리소스 활용을 최적화합니다. 이러한 아키텍처 설계 방식은 Arm 코어의 처리 성능 대부분을 산업용 애플리케이션 실행에 사용할 수 있도록 보장하며, 이를 통해 시스템 성능과 효율이 향상됩니다.

## PROFINET 소개

### 개요

PROFINET은 공장 자동화, 프로세스 자동화, 건물 자동화 등 다양한 산업용 애플리케이션에 필요한 고속, 결정론적 통신을 위한 실시간 이더넷 표준입니다. 원래는 Siemens AG의 주도로 널리 사용되던 PROFIBUS® 필드버스 기술의 네트워크 확장으로 개발되었지만, 지금은 PROFIBUS & PROFINET International에서 PROFINET을 지원하고 있습니다. 2003년에는 PROFINET이 IEC 61158 및 IEC 61784 표준에 통합되었습니다. PROFINET 아키텍처는 70개 이상의 기업을 대표하는 구성원들로 구성된 30개의 작업 그룹에 의해 개발되었습니다.

산업용 애플리케이션을 지원하도록 이더넷을 수정하면 TCP/IP 및 XML과 같은 친숙한 기술을 이용해 기업 IT와 공장 생산 현장을 잇는 기술적 가교가 마련됩니다. 표준 이더넷은 IT 중심적인 기업 환경에는 훌륭한 솔루션이지만, 공장 자동화용으로는 여러 가지로 미흡한 부분이 있습니다. 예를 들어, 표준 이더넷은 공장 자동화에서 일반적으로 이루어지는 소량의 데이터 교환에 효율적이지 않습니다. 또한 결정성이 부족하여 모터 드라이브 제어나 기타 산업용

실시간 애플리케이션에 필요한 실시간 동작을 지원할 수 없습니다. PROFINET은 이러한 과제들을 해결하여 이더넷을 실시간 산업용 애플리케이션에 적응시킬 수 있게 한 대표적인 사례입니다.

### 기술

PROFINET의 시스템 모델은 PROFIBUS 필드버스 시스템과 매우 유사합니다. 이 모델은 하나 이상의 IO-Controller가 하나 이상의 장치 IO-Device와 통신하는 컨트롤러-장치 통신 패러다임에 기반합니다. PROFINET 네트워크를 통해 통신하는 트래픽에는 두 가지 유형이 있습니다.

1. 하나는 네트워크에서 IO-Controller와 IO-Device 간에 주기적으로 교환되는 실시간 프로세스 데이터(IO 데이터)이고,
2. 다른 하나는 IO-Controller와 IO-Device 사이에서 비주기적 레코드 형식으로 교환되거나, 또는 서로 다른 IO-Device들 사이에서 직접 교환되는 비실시간 트래픽입니다.

### OS/ISO 모델의 장치 모델 PROFINET

PROFINET은 계층 7 기술로, 장치 구성 및 매개 변수 설정, 진단 및 경보 처리, 엔지니어링과 시운전 등의 애플리케이션 서비스를 제공합니다. 또한 사용자 정의 애플리케이션이 네트워크 전체에서 실제 정보를 생성하고 소비할 수 있도록 인터페이스도 제공합니다. 그럼에도 불구하고, 실시간 통신(I/O 데이터)의 효율적이고 결정론적이며 저지연 성능을 보장하기 위해, PROFINET은 표준 TCP/IP 계층을 우회하여 Ethertype 0x8892로 계층 2에서 직접 통신하며, 선택적으로 높은 우선순위의 VLAN 태그를 함께 사용할 수 있습니다.

### 적합성 클래스

PROFINET 표준은 상위 클래스가 하위 클래스의 기능을 확장하는 네 가지 적합성 클래스를 정의하며, 서로 다른 애플리케이션 및 사용 사례를 위해 설계되었습니다.

- **CC-A(적합성 클래스 A):** 표준 이더넷 하드웨어로 구현 가능하며, 기본 PROFINET 기능을 지원합니다. 지원 기능으로는 업데이트 시간 1~512ms의 주기적 실시간 (RT) 통신, 비주기적 레코드 교환, 매개 변수 설정, 진단, 경보, 이웃 감지(LLDP), 그리고 네트워크에서 TCP/IP 통신과 병렬로 수행될 수 있는 기능이 포함됩니다.
- **CC-B(적합성 클래스 B):** CC-A를 확장하여 SNMP를 통한 네트워크 진단, 두 개의 IO-Controller를 이용한 시스템 이중화(PA(프로세스 자동화) 프로필에 한해 정의됨)를 추가로 지원합니다. 선택적 기능으로는 장치 교체 시 자동 주소 할당, CiR(운영 중 구성), FSU(빠른 시동), MRP(미디어 이중화 프로토콜)를 통한 네트워크 이중화 등이 있습니다. CC-B는 또한 IO-Device 기능을 갖춘 네트워크 스위치를 도입하여 더 포괄적인 네트워크 진단을 제공합니다.
- **CC-C(적합성 클래스 C):** CC-B를 확장하여 주기적 IRT(동시성 실시간) 통신을 지원합니다. 업데이트 시간은 250us 미만이며, 하드웨어에 따라 31.25us까지 단축할 수 있습니다. 이러한 성능은 추가 하드웨어 지원을 통해 네트워크 전역의 시간 동기화와 대역폭 예약을 달성함으로써 구현됩니다. 또한 CC-C는 다음과 같은 선택적 기능도 정의합니다. DFP(동적 프레임 패킹) 및 MRPD(계획된 이중화를 위한 미디어 이중화) 프로토콜을 통한 끊김 없는 이중화
- **CC-D(적합성 클래스 D):** 가장 진보한 PROFINET 클래스입니다. TAS(시간 인식형 셰이퍼) 및 프레임 선점과 같은 TSN(시간에 민감한 네트워킹) 기능을 활용해 매우 높은 결정론적 특성과 짧은 지연 시간을 실현합니다. 또한 CC-D는 RSI(원격 서비스 인터페이스)를 도입하여 비주기적 비실시간 통신은 물론 주기적 실시간 통신에서도 TCP/IP 계층을 우회할 수 있도록 합니다.

## 통신

IO-Controller와 IO-Device 간에 설정해야 하는 통신 경로는 엔지니어링 시스템의 구성 데이터에 기반해 시스템 시동 중에 IO-Controller가 설정합니다. 이 과정을 통해 데이터 교환이 명시적으로 지정됩니다.

모든 데이터 교환은 AR(애플리케이션 관계) 내에 포함됩니다. AR 내에서 CR(통신 관계)이 데이터를 명시적으로 지정합니다. 일반 통신 매개 변수를 포함한 장치 모델링의 모든

데이터가 IO-Device로 다운로드됩니다. IO-Device 하나에는 여러 IO-Controller가 각각 설정한 AR들이 동시에 존재할 수 있습니다. 주기적 데이터 교환(IOC), 비주기적 데이터 교환(레코드 데이터 CR), 경보(경보 CR)용 통신 채널이 동시에 설정됩니다.

여러 IO-Controller를 사용할 수 있으며, 여러 IO-Controller가 IO-Device의 동일한 데이터에 액세스해야 할 경우, 이러한 데이터 공유는 IO-Device 구성 시 반드시 지정되어야 합니다.

하나의 IO-Controller가 여러 IO-Device와 각각 하나씩의 AR을 설정할 수 있습니다. AR 내에서는 데이터 교환을 위해 여러 IOC와 API를 사용할 수 있습니다. 이런 기능은 둘 이상의 사용자 프로필(PROFdrive, 인코더 등)이 통신에 관여하고 서로 다른 서브슬롯이 필요한 경우에 유용합니다. 지정된 API는 IOC 내에서 데이터 통신을 구분하는 역할을 합니다.

## 주소 지정

PROFINET에서는 모든 필드 장치에 고유하게 할당된 이름이 IP 주소 할당 시 사용됩니다. 이 용도로 모든 IO-Device에 DCP(동적 구성 프로토콜)가 통합되어 있습니다.

IP 주소는 장치 이름에 따라 DCP 프로토콜을 사용해 할당됩니다. DHCP(동적 호스트 구성 프로토콜)가 전 세계에서 널리 사용되기 때문에, PROFINET은 DHCP 또는 제조업체별 메커니즘을 통한 선택적 주소 설정도 제공합니다. 필드 장치가 지원하는 주소 지정 옵션은 각 필드 장치의 GSD 파일에 정의됩니다.

선택 사항으로, 이웃 감지에 기반한 지정된 토폴로지를 통해 IO-Device에 이름을 자동으로 할당할 수도 있습니다. PROFINET IO-Device는 직접 데이터 교환을 위해 MAC 주소를 통해 지정됩니다.

## 적합성 클래스

PROFINET IO는 서로 기반을 이루며 확장되는 세 가지 적합성 클래스로 나뉘며, 각각 일반적인 애플리케이션을 대상으로 합니다.

- **CC-A(적합성 클래스 A):** 표준 이더넷 하드웨어로 구현 가능하며, 기본 PROFINET 기능을 지원합니다. 지원 기능으로는 업데이트 시간 1~512ms의 주기적 실시간

(RT) 통신, 비주기적 레코드 교환, 매개 변수 설정, 진단, 경보, 이웃 감지(LLDP), 그리고 네트워크에서 TCP/IP 통신과 병렬로 수행될 수 있는 기능이 포함됩니다.

- **CC-B(적합성 클래스 B):** CC-A를 확장하여 SNMP를 통한 네트워크 진단, 두 개의 IO-Controller를 이용한 시스템 이중화(PA(프로세스 자동화) 프로필에 한해 정의됨)를 추가로 지원합니다. 선택적 기능으로는 장치 교체 시 자동 주소 할당, CiR(운영 중 구성), FSU(빠른 시동), MRP(미디어 이중화 프로토콜)를 통한 네트워크 이중화 등이 있습니다. CC-B는 또한 IO-Device 기능을 갖춘 네트워크 스위치를 도입하여 더 포괄적인 네트워크 진단을 제공합니다.
- **CC-C(적합성 클래스 C):** CC-B를 확장하여 주기적 IRT(동시성 실시간) 통신을 지원합니다. 업데이트 시간은 250µs 미만이며, 하드웨어에 따라 31.25µs까지 다룰 수 있습니다. 이러한 성능은 추가 하드웨어를 통해 네트워크 전역의 시간 동기화와 대역폭 예성함으로써 구현됩니다. 또한 CC-C는 다음과 같은 선택적 기능도 정의합니다. DFP(동적 프레임 패킷 MRPD(계획된 이중화를 위한 미디어 이중화) 프로를 통한 끊임 없는 이중화
- **CC-D(적합성 클래스 D):** 가장 진보한 PROFINET 스텝입니다. TAS(시간 인식형 셰이퍼) 및 프레임과 같은 TSN(시간에 민감한 네트워킹) 기능을 활용 높은 결정론적 특성과 짧은 지연 시간을 실현한 CC-D는 RSI(원격 서비스 인터페이스)를 도입 비주기적 비실시간 통신은 물론 주기적 실시간 서도 TCP/IP 계층을 우회할 수 있도록 합니다.

## 표준 장치

PROFINET 표준에서는 세 가지 유형의 장치를 정의합니다. IO-Controller, IO-Device, IO-Supervisor입니다. 공장 내부의 간소화된 네트워크 아키텍처 예시를 **그림 1**에 나타냈습니다.

### IO-Controller

보통 센서, 액추에이터, 드라이브 또는 분산형 I/O와 같이 물리적 프로세스와 상호 작용을 하는 필드 장치입니다. PROFINET의 장치와 비슷합니다. 하나 이상의 IO-Controller에서 수신되는 연결 요청에 응답하고, 장치별 매개 변수와 구성 옵션을 제공하며, 진단 정보와 경보를 생성

합니다. IO-Device가 생성하는 프로세스 데이터를 “입력 데이터”라고 합니다.

### IO-Supervisor

시운전, 진단 및 유지 관리 용도로 사용되는 프로그래밍 장치, PC(개인용 컴퓨터) 또는 HMI(휴먼 머신 인터페이스) 장치입니다. PROFINET의 클래스 2 컨트롤러에 해당합니다. IO-supervisor는 PROFINET 장치와 연결을 설정하여 구성 데이터 읽기/쓰기 작업을 할 수 있고, 진단 정보를 요청할 수 있으며 IO-Controller와 IO-device 간 주기적 통신을 중단하지 않고 엔지니어링 작업을 수행할 수 있습니다. IO-Supervisor는 IO-Controller와 달리 시운전이나 문제 해결 목적으로 네트워크에 일시적으로 연결되는 것이 일반적이며, 또한 주기적 실시간 데이터 교환에 참여하지 않습니다.

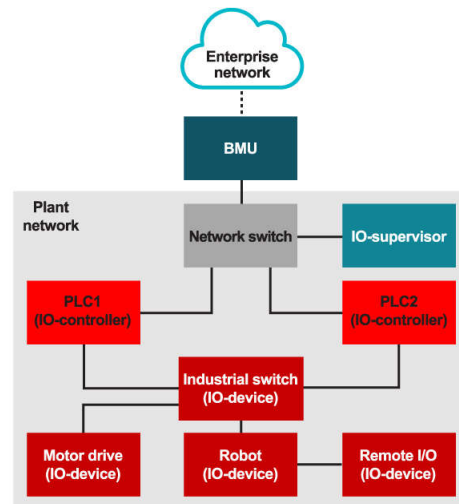


그림 1. 공장 네트워크의 PROFINET

## IO-Device 개요

IO-Device에서 실행되는 각 애플리케이션 프로세스는 API(애플리케이션 프로세스 식별자)를 통해 식별됩니다. IO-Device는 애플리케이션 프로세스 내에서 모듈, 서브모듈, 채널의 계층 구조로 구성됩니다. 이러한 요소는 하드웨어 구성 요소나 가상 기능 유닛을 나타낼 수 있습니다. 모듈은 하나 이상의 슬롯에 설치할 수 있습니다. 각 모듈에는 하나 이상의 서브모듈이 있어야 하고, 각 서브모듈은 서브슬롯에 설치됩니다. 서브모듈 하나에는 하나 이상의 채널이 포함되며, 각 채널은 프로세스(예: 센서)와의 단일 연결을 나타냅니다. **그림 2**에 IO-device의 계층 구조를 표시했습니다. 이 구조는 보통 DAP(장치 액세스 포인트) 모듈부터 시작합니다.

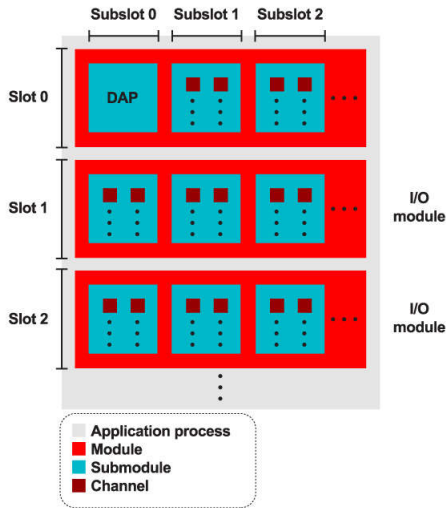


그림 2. IO-Device 계층 구조

DAP 모듈은 장치 전체의 인터페이스입니다. 보통 번에 장착되며, 0x8i00으로 번호가 매겨진(0x8000 0x8F00까지) 서브슬롯에 장착된 특수 인터페이스들을 최대 16개 포함할 수 있습니다. 이러한 각 인터페이스 서브모듈에는 최대 255개의 포트 서브모듈이 할당된 포트 서브모듈은 0x8ijj 번호의 서브슬롯에 장착(예: 0x8000의 인터페이스 서브모듈의 경우 0x8000 0x80FF까지).

PROFINET은 콤팩트 필드 장치(확장성이 제조업체 이미 고정되어 사용자가 변경할 수 없음)와 모듈식 장치(시스템 구성 시 특정 애플리케이션에 맞춰 확장성을 사용자 지정 가능)로 구분합니다.

### 장치 설명

모든 IO-Device에는 GSD(General Station Description, 일반 스테이션 설명) 파일이 함께 제공됩니다. 이 파일은 XML 기반 GSD 파일(GSDML이라고도 함)이며, 여기에 구성 및 시스템 엔지니어링에 필요한 각종 장치별 정보가 모두 포함됩니다. 이 파일은 장치의 기능, 매개 변수, 모듈, 통신 속성을 설명합니다. 이 파일은 장치 제조업체가 제공하며, GSDML 사양에 따른 정규화된 형식이 있습니다.

### 통신

시스템 시작 전에 IO-Device에 MAC 주소, IP 주소, 스테이션 이름이 있어야 합니다. MAC 주소는 보통 장치 제조업

체가 할당하며, 스테이션 이름은 PROFINET 엔지니어링 툴이 DCP(검색 및 기본 구성 프로토콜)를 사용해 구성합니다. IO-Controller는 이 두 가지 정보와 ARP(주소 결정 프로토콜), 그리고 선택적으로 DHCP(동적 호스트 구성 프로토콜)와 같은 IP 서비스를 활용해 IO-Device에 고유한 IP 주소를 할당하여, 시스템 시작 단계를 준비합니다.

장치 주소가 올바르게 구성되면, IO-Controller가 연결 설정 시퀀스를 시작합니다. 이 절차에는 주로 AR(애플리케이션 관계) 및 관련 CR(통신 관계) 설정과, IO-Device에 구성된 서브모듈의 매개 변수 설정이 포함됩니다. 그림 3에 PROFINET 시작 시퀀스를 표시했습니다.

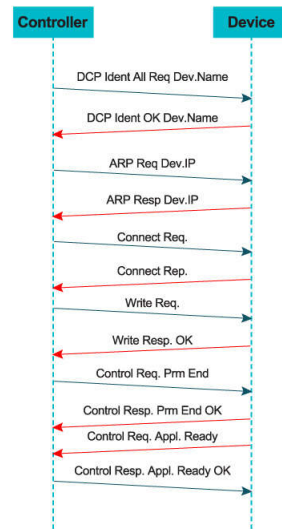


그림 3. PROFINET 시작 시퀀스

## TI의 PROFINET 솔루션

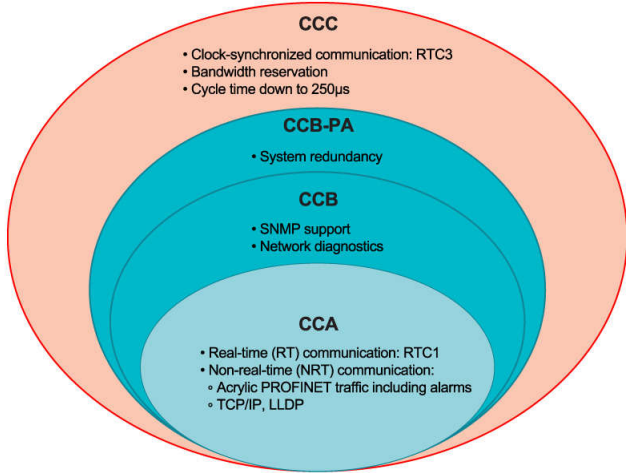
TI에서는 이미 Sitara 프로세서에 PROFINET 기능을 통합했습니다. Sitara 프로세서는 Arm 코어와 PROFINET을 보완하는 다양한 주변 기기 및 인터페이스를 결합하여, 산업용 자동화 장비에 매력적인 장치입니다.

### 지원되는 적합성 클래스 및 특징

TI의 유연한 PROFINET 스택은 PROFINET 적합성 클래스를 모두 지원합니다(그림 4 참조). 이러한 PROFINET 전체 통합은 적합성 클래스 C 인증을 취득했으며, AM243x, AM64x, AM261x에 대해 레거시, FSU, MRP, 시스템 이중화(S2), 공유 장치 등의 기능을 지원합니다.



TI의 PRU 펌웨어는 **그림 4**에서 언급한 적합성 클래스 외에 적합성 클래스 D도 이미 지원합니다(6.8 단락에서 자세히 설명함). PROFINET 스택 등의 전체 지원은 현재 준비 중입니다.



**그림 4.** TI PROFINET 솔루션이 지원하는 적합성 클래스

### 고가용성

TI의 Sitara 프로세서에 통합된 PROFINET 스택은 MRP, 시스템 이중화(S2) 및 동적 재구성(Dynamic Reconfiguration) 지원을 통해 장치 고가용성을 보장합니다.

### 공유 장치 및 공유 입력

TI의 Sitara 프로세서 기반 통합형 PROFINET 솔루션은 다수의 컨트롤러를 통한 다중 AR 동시 연결을 지원합니다. 한 번에 최대 8개의 AR, 8개의 IOCR을 설정할 수 있습니다. 한 컨트롤러와 I/O 데이터를 교환하는 동안에도 다른 컨트롤러가 연결을 설정하거나 종료할 수 있습니다. 공유 입력을 지원하여 여러 컨트롤러가 한 장치의 같은 슬롯에 액세스할 수 있습니다.

### 성능

Sitara 프로세서에는 완전한 기능을 갖춘 ERTEC 기반 PROFINET 솔루션이 포함되어 있어, 최소 250µs의 전송 클럭 시간 또는 위상 기간을 지원할 수 있습니다. 이를 통해 높은 수준의 타이밍 정밀도와 동기화를 보장하여 요구 조건이 까다로운 산업용 자동화 애플리케이션에 적합합니다.

다. 이 솔루션은 감소 비율(Reduction Ratio) 1부터 512까지의 모든 유효 값을 지원합니다. 내장 스위치의 컷스루 지연은 프레임 크기와 관계없이 1~2µs 범위입니다. 하나의 컨트롤러 AR로 1ms 사이클 시간에서 측정된 CPU 부하는 5%입니다. 장치는 전원 투입부터 첫 유효 출력 데이터까지 약 470ms가 소요되어, 신속한 초기화 및 데이터 교환 기능을 보장합니다.

### 안정성

완전 통합형 Sitara PROFINET 솔루션은 PROFINET 트래픽을 표준 TCP/IP 트래픽에서 분리하기 때문에 매우 안정적입니다. 호스트 및 포트 인터페이스에는 네 개의 우선순위 큐가 있습니다. 우선순위가 가장 높은 두 개의 큐는 PROFINET 프레임용으로, 나머지 두 개는 TCP/IP 프레임용으로 예약됩니다. 큐 하나가 꽉 차면 해당 큐로 향하는 프레임은 드롭됩니다. TCP/IP 트래픽이 너무 많더라도 PROFINET 트래픽과 다른 큐를 사용하기 때문에 PROFINET 트래픽에는 영향이 없습니다. 이렇게 트래픽을 PROFINET QoS에 따라 별도의 큐로 분리하면 장치가 대규모 네트워크에서 어떤 트래픽이든 안정적으로 처리하는데 도움이 됩니다.

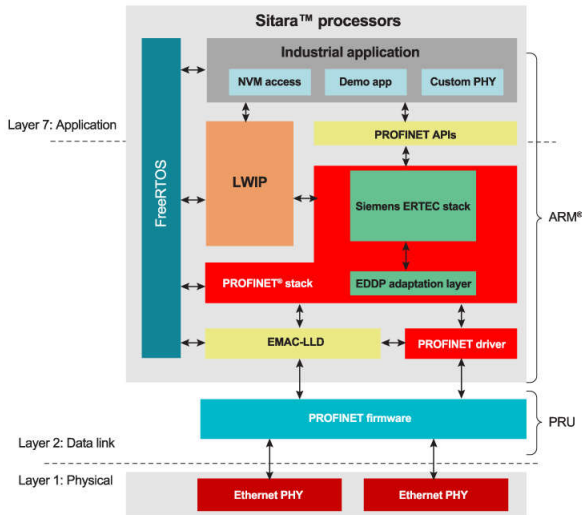
### 주기적 데이터 전용 저지연 인터페이스

Sitara 프로세서에 통합한 PROFINET은 애플리케이션과 PRU 간 주기적 I/O 데이터 교환을 위해 저지연 실시간 인터페이스를 구현합니다. 주기적 데이터 프레임은 각각 호스트 큐와 포트 큐를 통해 수신 및 전송되지 않습니다. PROFINET 주기적 데이터 프레임은 PRU-ICSS에서 중단되며 데이터는 트리플 버퍼를 통해 애플리케이션에 직접 제공됩니다. 주기적 데이터 교환에는 트리플 버퍼 관리를 사용하기 때문에 호스트와 PRU-ICSS가 항상 데이터를 저장할 버퍼를 찾을 수 있습니다.

### PROFINET 소프트웨어 아키텍처

Sitara 프로세서에 통합된 PROFINET 장치 구현에는 세 가지 중요한 소프트웨어 구성 요소가 있습니다. 첫 번째는 마이크로코드로, 장치의 PRU-ICSS에 계층 2 기능을 구현합니다. 두 번째는 Arm 코어에서 실행되는 PROFINET 장치 스택이며, 세 번째는 산업용 애플리케이션입니다. TI는 Sitara 프로세서를 지원하는 소프트웨어 개발 키트를 통해

프로토콜 적응 계층 및 장치 드라이버와 같은 추가적인 구성 요소를 제공합니다. 아키텍처를 **그림 5**에 표시했습니다. 조정하려면 TI의 PROFINET API 가이드를 참조하십시오.



**그림 5.** Sitara 프로세서의 PROFINET 장치 소프트웨어 아키텍처

### 애플리케이션 프로세서 오프로드

**그림 5** 및 **그림 6**에 표시한 것과 같이, Sitara 프로세서에는 TI의 PRUICSS(프로그램머블 실시간 유닛 산업용 통신 서브시스템)가 있어 MII 인터페이스와의 매우 낮은 수직 지연을 지원합니다. PRU-ICSS는 PROFINET과 수 통신 프로토콜을 간편하게 구현할 수 있습니다.

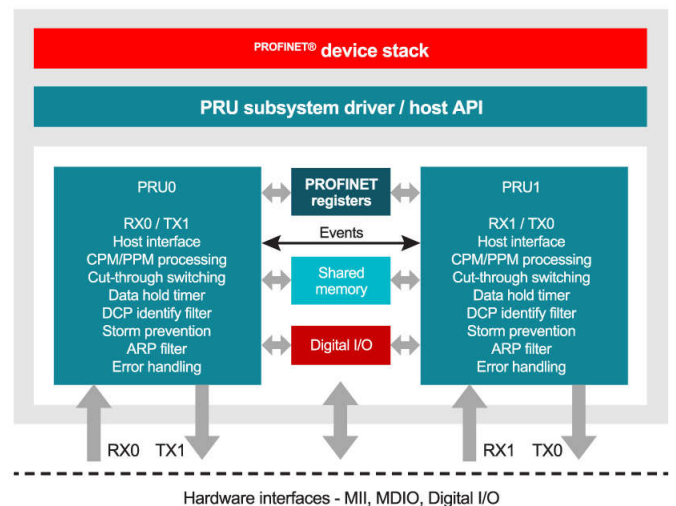
**AM261x, AM243x, AM64x**의 통합형 PROFINET 스위처와 같이, 펌웨어를 통해 PROFINET 스위치 전체를 PRU-ICSS에 캡슐화할 수 있어 Arm 코어는 스택과 애플리케이션 처리에 전념할 수 있습니다. CPM(소비자 프로토콜) 프레임 구문 분석과 PPM(공급자 프로토콜 머신 임 생성은 전적으로 PRU가 처리합니다. PROFINET으로 향하지 않는 모든 프레임은 TI가 PROFINET 프

통합한 Sitara 프로세서의 PROFINET PRU 펌웨어된 스위치에 의해 다음 노드로 컷스루됩니다. 이 경우라면 분산형 I/O와 같이 단순하고 비용 제약이 있는 리케이션에 Arm 코어의 저속 버전을 사용할 수 있는 PROFINET 스택(계층 7)과 산업용 애플리케이션을 실행하는 Arm 코어와의 통신에는 인터럽트를 사용합니다. PRU-ICSS는 역방향 프레임 전달도 수행할 수 있습니다. TI의

**DP83826, DP83867** 또는 **DP83869** 등의 이더넷 PHY 장치를 사용하여 TI Sitara PROFINET 솔루션이 완성됩니다. DP83826은 짧고 결정론적인 지연 시간과 저전력을 제공하며, 10BASE-Te, 100BASE-TX 이더넷 프로토콜을 지원하여 실시간 산업용 이더넷 시스템의 엄격한 요구 사항을 충족합니다. DP83867과 DP83869는 MII, RMII 또는 RGMII 인터페이스 중에서 선택하여 MAC에 연결할 수 있는 유연성을 제공하며, 마찬가지로 지연 시간이 짧습니다. DP83826, DP83867, DP83869는 케이블 진단 기능도 제공하여 케이블 결함 위치를 신속하게 찾을 수 있습니다. 이 솔루션은 고객이 다른 PHY 장치를 사용할 수 있는 유연성도 제공합니다.

### 펌웨어

**그림 6**에 표시한 펌웨어 아키텍처는 PRU-ICSS에 통합된 PROFINET 장치 기능을 나타냅니다. PROFINET 계층 2에서 PRU는 CPM/PPM 처리, DHT(데이터 홀드 타이머), DCP 식별 필터, ARP 필터, 컷스루 스위칭, 오류 검출, 호스트 인터페이스 처리 등의 작업을 수행합니다. PRU-ICSS는 내부 공유 메모리에 사용이 간편한 PROFINET 레지스터 공간을 제공합니다. PRU의 결정론적 실시간 처리 기능 덕분에 PROFINET 프레임은 일관되고 예측 가능한 지연 시간으로 처리됩니다.



**그림 6.** PROFINET 장치 스택

## CPM/PPM 처리

CPM 프레임은 펌웨어가 구문 분석하여 호스트 프로세서에 알려야 할지 여부를 확인합니다. 수신된 CPM 프레임의 프레임 ID가 활성 IOCR의 구성된 프레임 ID와 일치할 때에만 호스트에 인터럽트가 발생합니다. 펌웨어가 CPM 프레임을 사전 정의된 버퍼에 저장하므로, 호스트에 인터럽트가 발생하기 전에 데이터가 호스트에서 소비할 수 있도록 완전히 준비됩니다. 모든 활성 IOCR의 PPM 프레임은 PRU-ICSS에서 실행 중인 펌웨어가 생성합니다. 호스트는 TI의 PROFINET API를 사용하여 모든 IOCR의 PPM 프레임 생성에 필요한 정보를 초기에 한 번만 구성하면 됩니다. 매 위상의 시작 시점에, 펌웨어는 해당 위상에서 어떤 PPM 프레임들을 전송해야 하는지 결정한 후 호스트의 개입 없이 전송합니다.

## DHT(데이터 홀드 타이머)

데이터 홀드 타이머는 PRU-ICSS 펌웨어에 구현되며, DHT가 만료될 때마다 PROFINET 스택을 실행하는 Arm 코어에 인터럽트가 발생합니다. 펌웨어는 IOCR 또는 CPM 연결마다 DHT를 하나씩 유지 관리합니다. CPM 프레임이 수신될 때마다 펌웨어가 관련 IOCR의 데이터 홀드 시간을 업데이트합니다. 특정 CPM에 대하여 DHT가 만료되면 펌웨어가 해당 IOCR과 관련된 PPM을 모두 종료합니다. DHT가 만료될 때에만 호스트 프로세서에 인터럽트가 발생합니다. 여러 IOCR이 동시에 존재할 수 있다는 점을 고려하면, 펌웨어에 DHT를 구현하면 Arm 코어 처리 부담을 크게 덜 수 있습니다.

## DCP 식별 필터

Arm 코어에 도달하는 DCP 식별 요청 프레임의 수를 줄이기 위해 PRU-ICSS 펌웨어에 DCP 식별 필터를 구현하여 호스트로 향하지 않는 DCP 식별 프레임을 모두 걸러냅니다. 드라이버에는 스택이 스테이션 이름과 길이를 구성할 수 있도록 API가 제공되며, 이 값은 펌웨어가 필터링에 사용합니다.

## 폭주 방지 및 ARP 필터

스택은 PRU-ICSS 펌웨어의 폭주 방지 기법을 통해 netload 조건에서 안정성을 제공합니다. 폭주 방지는 크레딧 시스템 기반으로 수행됩니다. 기본적으로 100ms마다 브로드캐스트 또는 멀티캐스트 프레임이 100개만 허용되

고 그보다 많은 프레임은 모두 드롭됩니다. 이 프레임 레이트는 사용자가 애플리케이션에서 구성할 수 있습니다.

ARP 프레임은 브로드캐스트 프레임이므로, 폭주 방지 기능은 높은 네트워크 부하 상황에서 대량의 ARP 프레임이 수신될 경우 이들이 드롭되도록 보장합니다. PRU-ICSS 펌웨어에서 ARP 필터를 사용하면 그와 같이 트래픽이 물리는 상황에서 DUT로 향하는 ARP 프레임에 대하여 폭주 방지를 비활성화할 수 있습니다. 이 필터를 사용하면 특정 netload 테스트 중에 스택의 규정 준수가 지원됩니다.

## 통합형 컷스루 스위치

통합형 컷스루 스위치는 비실시간 트래픽을 처리하며 PROFINET 및 호스트에서 실행되는 TCP/IP 스택과 인터페이스할 수 있습니다. 멀티캐스트 주소에 대하여 PROFINET FDB(필터 데이터베이스)를 구현하며, 호스트 및 포트 인터페이스에서 4개의 우선순위 큐를 사용해 PROFINET QoS(Quality of Service)도 구현합니다. 스위치의 학습 부분은 호스트 측에서 구현됩니다.

## 간편한 PROFINET 통합

TI는 PROFINET을 Sitara 프로세서에 통합하는 과정을 간소화했습니다. PROFINET 장치를 통합하는 데 필요한 모든 툴과 소프트웨어 코드는 **산업용 통신 소프트웨어 개발 키트(IND-COMMS-SDK)**의 일부분으로 제공됩니다. 즉, PROFINET 펌웨어, 드라이버, IP 스택, PROFINET 스택, PROFINET API 및 인증된 즉시 사용 가능한 예제까지 제공되어 고객의 출시 기간을 단축하는 데 도움이 됩니다. 지원 문서를 활용하면 애플리케이션을 수정하고 새로운 기능을 추가할 수 있습니다.

## 완제품에 통합된 PROFINET

산업용 장비에 PROFINET 장치를 통합하려면 Sitara 프로세서에 통합된 TI의 PROFINET 스택을 TI.com에서 다운로드하여 사용하면 됩니다. TI는 다양한 고객 지원 패키지도 제공하며, 맞춤형 PCB 설계를 포함하여 고객의 맞춤형 프로젝트를 지원할 수 있습니다. PI 웹사이트에서 제공되는 PROFINET 테스트 번들 중 최신 버전을 사용해야 모든 적합성 테스트를 통과할 수 있습니다. TI는 사전 인증된 PROFINET 개발 키트를 제공하기 때문에 이 과정이 간편합니다. 또한 PROFINET Plugfest에서 더 폭넓은 상호 운



용성 테스트를 수행할 수도 있고, PI Test Laboratory에서 제품을 인증받을 수도 있습니다.

## PROFINET 개발 톨

TI에서는 고객의 구현 작업을 지원하기 위해 종합적인 문서를 갖춘 산업용 하드웨어 개발 플랫폼을 다수 제공합니다. 이러한 하드웨어 플랫폼의 설계 데이터(회로도, 레이아웃 등)를 활용하면 고객의 설계 속도를 크게 높일 수 있습니다.

## 요약

TI는 Sitara 프로세서에 완전히 통합된 PROFINET 장치 기능을 제공합니다. 강력한 저전력 Arm 코어와 PROFINET의 통합으로 기능이나 작동 요구 사항을 저해하지 않으면서 원가를 낮춘 완제품을 구현할 수 있습니다. 또한 TI는 EtherCAT®, EtherNet/IP™, PROFIBUS®와 같은 산업용 통신 인터페이스를 위한 절연 기능이 내장된 트랜시버도 제공합니다. 고객은 종합적인 소프트웨어 및 하드웨어 개발 톨, 전 세계적인 PROFINET 지원 및 활발한 활동이 이루어지는 [TI E2E™ 개발자 커뮤니티](#) 등을 통해 훨씬 간소화된 PROFINET 통합을 기대할 수 있으며, 비용도 대폭 절감된다는 추가적인 혜택도 누릴 수 있습니다.

**중요 알림:** 이 문서에 기술된 텍사스 인스트루먼트의 제품과 서비스는 TI의 판매 표준 약관에 의거하여 판매됩니다. TI 제품과 서비스에 대한 최신 정보를 완전히 숙지하신 후 제품을 주문해 주시기 바랍니다. TI는 애플리케이션 지원, 고객의 애플리케이션 또는 제품 설계, 소프트웨어 성능 또는 특허권 침해에 대해 책임을 지지 않습니다. 다른 모든 회사의 제품 또는 서비스에 관한 정보 공개는 TI가 승인, 보증 또는 동의한 것으로 간주되지 않습니다.

Sitara™ is a trademark of Texas Instruments.

Arm® is a registered trademark of Arm Limited.

PROFINET® is a registered trademark of PROFIBUS Nutzerorganisation e.V..

ERTEC® is a registered trademark of Siemens Aktiengesellschaft.

모든 상표는 해당 소유권자의 자산입니다.

## IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATASHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you fully indemnify TI and its representatives against any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#), [TI's General Quality Guidelines](#), or other applicable terms available either on [ti.com](#) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products. Unless TI explicitly designates a product as custom or customer-specified, TI products are standard, catalog, general purpose devices.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may propose.

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

Last updated 10/2025