

USB 타입-C 및 PD(Power Delivery) 애플리케이션 기초 입문 ①

이 글에서는 USB 타입-C™ 및 PD(Power Delivery)의 기초 개념, 다양한 애플리케이션, 데이터 및 전력 요구사항 등을 알아본다.

글/네이트 에노스(Nate Enos), 브라이언 고슬링(Brian Gosselin)
아날로그 필드 애플리케이션 / 북미 영업 및 마케팅
텍사스 인스트루먼트

이 글에서는 USB 타입-C™ 및 PD(Power Delivery)의 기초 개념, 다양한 애플리케이션, 데이터 및 전력 요구사항 등을 알아본다.

기술이 진화함에 따라서 USB(universal serial bus) 표준이 한계에 다다르고 있다. 갈수록 더 작고, 얇고, 가벼운 디자인이 요구되어 기존의 USB 인터페이스로는 이러한 요구를 충족하기가 어려워졌다. 그리하여 최신 플랫폼 및 디바이스 진화의 요구를 충족하기 위해서 USB 타입-C™ 커넥터 에코시스템이 새롭게 등장했고 애플리케이션들의 전력 요구량이 갈수록 높아짐에 따라서 USB Power Delivery(PD) 규격은 타입-C 커넥터에 맞게 수정되었다.

머리말

타입-C의 가장 큰 특징은 케이블의 어느 쪽으로든 위아래 구분 없이 꽂을 수 있다는 것이다. 하지만 기능이 편리한 것과 그 기능을 위한 특정시스템 차원에서 어떤 것들이 요구되느냐 하는 것은 또 다른 새로운 문

제이다.

이 글에서는 비교적 초기 단계에 있는 타입-C를 소개한 뒤 다양한 애플리케이션과 요구사항에 대해 알아본다. 가장 기본적인 형태의 타입-C 애플리케이션에서부터 시작해서 모든 기능을 갖춘 타입-C 및 PD 애플리케이션까지 살펴볼 예정이다. 먼저 USB 데이터가 USB 1.0에서부터 USB 3.1 Gen 2에 이르기까지 어떻게 진화했는지 살펴보자. 표 1은 USB 데이터 전송 관련 규격의 최대 전송 속도를 보여준다. 이 표를 보면 USB 1.x가 1.5Mbps(low speed) 및 12Mbps(full speed)였던 것에서부터 시작해서 USB 3.1 Gen 2에 이르러서는 최고 10Gbps(SuperSpeed+)를 지원하도록 진화했다는 것을 알 수 있다.

그러면 이번에는 USB 전력이 USB 2.0에서부터 USB PD 3.0에 이르기까지 어떻게 진화했는지 살펴보자. 표 2를 보면 플랫폼 및 디바이스들의 갈수록 높아지는 요

표 1. USB 규격과 최대 전송 속도

Specification	Data Rate Name	Maximum Transfer Rate
USB 1.0 and USB 1.1	Low Speed	1.5 Mbps
	Full Speed	12 Mbps
USB 2.0	High Speed	480 Mbps
USB 3.0	SuperSpeed	5 Gbps
USB 3.1	SuperSpeed+	10 Gbps

표 2. USB 규격과 최대 전압, 전류, 전력

Specification	Maximum Voltage	Maximum Current	Maximum Power
USB 2.0	5 V	500 mA	2.5 W
USB 3.0 and USB 3.1	5 V	900 mA	4.5 W
USB BC 1.2	5 V	1.5 A	7.5 W
USB Type-C 1.2	5 V	3 A	15 W
USB PD 3.0	20 V	5 A	100 W

구량을 충족하기 위해서 시간이 지날수록 최대 치의 전력으로 증가되었다는 것을 알 수 있다. 이 글에서는 USB 타입-C 와 USB PD 3.0에 초점을 맞춰서 설명한다. PD 를 사용하지 않으면 타입-C만으로 최대 5V 3A(15W)를 지원한다. PD를 사용하는 경우 타입-C 에코시스템을 통해서 최대 20V 5A(100W)를 지원 가능하다.

데이터 및 전력 역할

애플리케이션을 살펴보기에 앞서, 애플리케이션의 데이터와 전력 전송 역할과 관련된 몇 가지 용어들을 알아보자. USB가 연결되었을 때의 데이터 흐름과 관련해서는, DFP(downstream facing port), UFP(upstream facing port), DRD(dual-role-data)라고 하는 용어가 있는데 DFP는 다운스트림(하위) 데이터 전송을 뜻하며, 통상적으로 호스트 상의 포트이거나 또는 허브 상에서 디바이스로 연결되는 포트를 말한다. DFP는 V_{BUS} 전력(호스트와 디바이스 사이의 전력 경로)을 소싱하며 V_{CONN} 전력도 소싱한다. DFP를 포함하는 애플리케이션 예로는 도킹 스테이션을 들 수 있다.

데이터를 수신하는 포트는 UFP라고 하는데 UFP는 디바이스나 허브 상의 포트로서 호스트나 허브의 DFP로 연결된다. 이러한 포트들은 V_{BUS} 를 싱크한다. UFP를 포함하는 애플리케이션 예로는 모니터/디스플레이를 들 수 있다.

끝으로, DRD 포트는 DFP(호스트)로도 동작할 수 있고 UFP(디바이스)로도 동작할 수 있다. 포트가 처음에 취하는 역할은 연결 시의 포트의 전력 역할에 의해서 결정된다. 소스 포트는 DFP의 데이터 역할을 취하며, 싱크 포트는

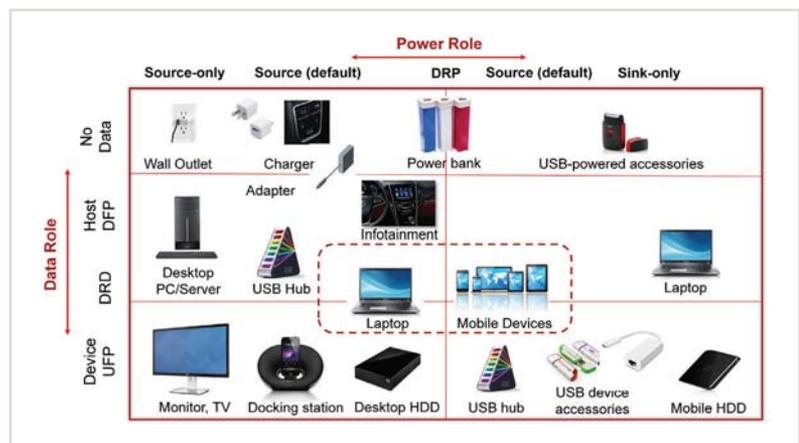
UFP의 데이터 역할을 취한다. 하지만 USB PD 데이터 역할 전환을 사용하면 포트의 데이터 역할은 동적으로 변환된다. DRD 포트를 포함하는 애플리케이션으로는

랩톱, 태블릿, 스마트폰 등등 다양한 것들이 있다.

USB 연결 시의 전력 흐름과 관련해서는 싱크(sink), 소스(source), DRP(dual-role-power)라는 용어가 사용된다. 싱크는 연결되었을 때 V_{BUS} 에서 전력을 소모하는 포트를 말하며, 대개가 디바이스이다. 이러한 예로는 USB 구동 조명이나 팬 같은 USB 장치를 들 수 있다. 소스는 연결되었을 때 V_{BUS} 를 통해서 전력을 공급하는 포트이다. 소스는 주로 호스트나 허브 DFP이다. 소스 애플리케이션 예로는 타입-C 벽면 충전기를 들 수 있다.

DRP 포트는 싱크로도 작동하고 소스로도 작동하는 두 상태 사이를 전환할 수 있는 포트다. DRP가 처음에 소스로 동작하면 이 포트는 DFP의 데이터 역할을 취한다. DRP가 처음에 싱크로 작동하면 이 포트는 UFP의 데이터 역할을 취한다. 그렇지만 USB PD 전력 역할 전환을 사용하면 DRP의 전력 역할이 동적으로 전환될 수 있다. 예를 들어서 랩톱으로 DRP 포트를 포함하면 이 포트는 랩톱의 배터리를 충전하도록 전력을 수신할 수도 있고 외부 액세서리를 충전하도록 전력을 공급할 수도 있다.

그림 1. USB 타입-C 버전 1.2 애플리케이션 예



DRP는 소싱하는 디바이스(sourcing device)와 싱크하는 호스트(sinking host) 다시 두 가지의 하위 범주로 구분할 수 있다. 소싱 디바이스는 전력을 공급할 수 있으나 DFP로 동작할 수는 없다. 예를 들면 타입-C 와 PD 호환 모니터는 랩톱의 DFP로부터 데이터를 수신하면서 랩톱도 충전한다. 싱크 호스트는 전력을 소모할 수는 있으나 UFP로 동작할 수는 없다. 다른 예로는 허브의 DFP가 액세서리로 데이터를 전송하면서 그 액세서리로부터 전력을 공급받는 것을 들 수 있다.

PD를 사용하지 않는 타입-C UFP USB 2.0

가장 간단하면서 가장 일반적인 애플리케이션은 PD를 사용하지 않는 UFP USB 2.0이다(≤15W). 마우스, 키보드, 웨어러블, 여타 소형 전자기기를 비롯해서, 오늘날 USB로 구동되면서 SuperSpeed 데이터를 필요로 하지 않는 모든 것은 여기에 속한다.

그림 2는 이러한 타입-C UFP USB 2.0 시스템의 필요한 기능 블록을 보여준다.

지금부터는 독자들이 USB 타입-C 커넥터 핀아웃과 리버서블한 특성에 대해서는 이해하고 있는 것으로 간주하겠다. 다만 필요하다면 이에 관한 좀더 자세한 내용은 부록에서 살펴 볼 수 있다. 이 USB 2.0 PHY는 타입-A나 타입-B 커넥터를 사용하는 이전 USB 2.0 디바이스와 별반 다르지 않다. 이 PHY는 USB의 D+ 및 D- 라인에서부터 ULPI(UTMI+ low pin interface)까지 사이에 물리층으로 동작함으로써 애플리케이션 프로세서

가 관리를 할 수 있도록 한다. 흔히 USB 2.0 PHY는 프로세서나 마이크로컨트롤러를 통합하지만 필요하다면 TUSB1210 같은 디스크리트 PHY를 사용할 수도 있다. 또한 타입-C 규격에서는 CC(configuration channel) 로직 블록을 도입하였다. 이 로직 블록은 케이블 검출, 방향, 전류 용량을 결정한다.

CC 블록은 다음과 같이 동작한다:

1. 그림 3에서 보듯이 2개 CC 라인 중의 하나가 풀다운되면 케이블 검출이 이루어진다. DFP는 저항 Rp를 사용해서 두 CC 핀 모두를 풀업하고, UFP는 저항 Rd를 사용해서 두 CC 핀 모두를 풀다운한다 [1]. 그러다가 DFP가 CC 라인 중의 하나가 풀다운된 것을 감지하면 연결이 이루어졌다는 것을 알 수 있다.
2. 방향은 어느 CC 라인이 풀다운되었느냐에 따라서 결정된다(다시 말해서 CC1이 풀다운되었으면 케이블이 뒤집히지 않은 것이다. CC2가 풀다운되었으면 케이블이 뒤집힌 것이다). 능동 케이블이 아니면 남은 한 CC 라인은 개방 상태로 있다. 능동 케이블이면 남은 한 CC 라인은 Ra를 사용해서 풀다운된다.
3. 전류 용량은 Rp의 값에 따라서 결정된다. 앞서 언급했듯이 USB 타입-C는 1.5A나 3A를 지원할 수 있다. DFP는 특정한 값의 풀업 저항을 사용해서 전류 전달 용량을 광고(advertise)할 수 있다. UFP는 고정적 값의 풀다운 저항 Rd를 사용해서 연결이 이루어졌을 때 Rp와 전압 분할기를 형성한다. 이

그림 2. PD를 사용하지 않는 타입-C UFP USB 2.0의 블록 다이어그램

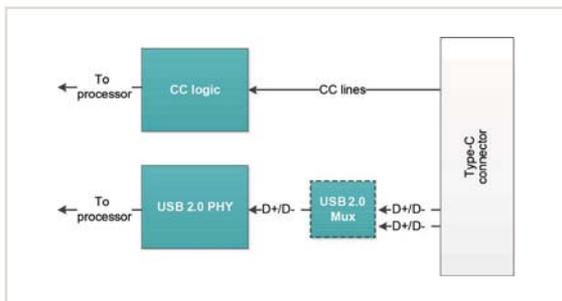
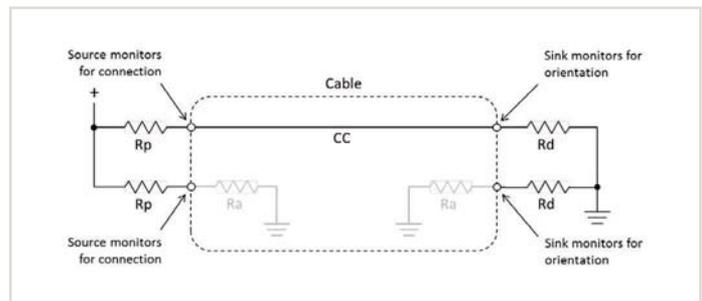


그림 3. CC 로직 풀업/풀다운 중단. (출처: USB 타입-C v1.2, 그림 4-5 CC 풀업/풀다운 모델)



전압 분할기의 중심 탭에서의 전압을 검출함으로써 UFP는 DFP의 광고된 전류를 검출할 수 있다.

끝으로 또 다른 블록은 USB 2.0 맥스이다(흔히 고속(HS) 맥스라고 한다). 점선 표시는 타입-C 규격에서 요구되지 않은 선택적 블록이라는 뜻이다. 이 맥스의 용도를 이해하기 위해서는 먼저 케이블 뒤집힘이 데이터 플로우에 어떻게 영향을 미치는지 이해해야 한다. 타입-C 리셉터클(소켓)에서는 단일 채널 USB 2.0 데이터에 대한 2개의 D+/D- 라인 쌍을 포함한다. 어떤 한 방향일 때는 데이터가 이 쌍 중의 한 쌍을 통해서 흐른다. 그런데 이것의 뒤집힘 방향일 때는 다른 한 쌍을 통해서 데이터가 흐른다. USB 타입-C 규격에서는 D+는 D+로 및 D-는 D-로 이들 쌍을 쇼트시키고 스텐브(stub)를 형성하는 것은 허용된다. 의무적이지는 않으나 설계자에 따라 신호 무결성을 향상시키고자 자신의 시스템으로 USB 2.0 맥스를 선택 할 수도 있다.

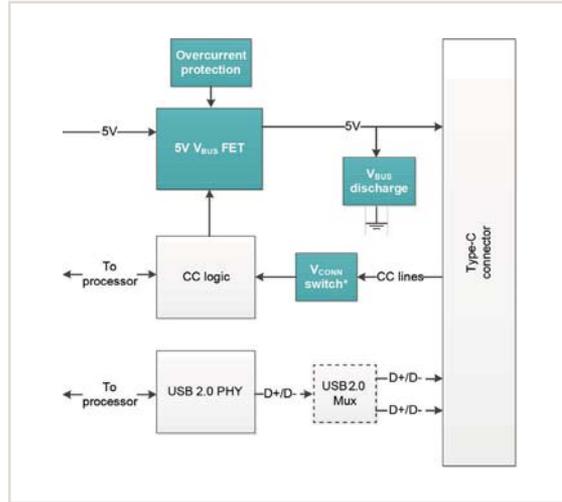
TI의 TUSB320은 USB 2.0 데이터에 PD를 사용하지 않는 UFP 애플리케이션에 사용하기에 적합하다. 이 디바이스는 케이블 검출, 방향, 전류 용량을 결정하는 CC 로직용으로 컴팩트한 솔루션을 제공한다.

PD를 사용하지 않는 타입-C DFP USB 2.0

또 다른 간단하면서 널리 사용되는 애플리케이션은 그림 4에서 보는 것과 같이 DFP USB 2.0에 PD를 사용하지 않는 것이다. 대표적인 예가 5V AC/DC 어댑터이다.

그림 4는 타입-C DFP USB 2.0에 PD를 사용하지 않을 때 필요한 블록들이다. 그림 2와 거의 비슷하지만 몇 개 블록들이 추가되었으며 CC 로직 블록은 동일하다. 다만 DFP의 경우에는 디바이스가 R_p 를 제시하고 R_d 에서 야기된 폴다운을 모니터링한다. R_p 가 폴다운을 검출하면 DFP가 디바이스가 연결되었다는 것을 인식하고 5V를 제공한다. 5V를 항상 공급하는 것이 아니라 디바이스를 검출한 후에야만 VBUS 라인으로 5V를 공급하는 것(콜드 플러깅 기능)은 USB 타입-C의 새롭게 도입된 기능이다.

그림 4. PD를 사용하지 않는 타입-C UFP USB 2.0 블록 다이어그램. * V_{CONN} 스위치는 선택적이다.



USB 2.0 ULPI PHY는 위 디자인에서 설명한 것과 같다. 5V 월 어댑터 같이 데이터를 전송하지 않는 애플리케이션에서는 설계상에서 USB 2.0 ULPI PHY를 뺄 수 있다.

USB 타입-C에서는 콜드 플러깅(cold-plugging)을 도입하기 위해서 그림 4에서 보면 5V V_{BUS} FET을 추가했다는 것을 알 수 있다. 그러므로 이 설계는 5V 레일로 스위치를 필요로 한다. 뿐만 아니라 USB 타입-C 규격에서는 모든 소스들이 전류를 모니터링하고 싱크가 자신이 공급할 수 있는 것보다 과도한 전류를 인출하려고 할 때 스스로를 보호하도록 설정되어 있다[2]. 바로 이 때가 과전류 보호 블록의 역할이 필요한 시점이다. 이 두 블록은 PoL(point-of-load) 전원 컨버터로 통합되거나 또는 타입-C 디바이스로 통합될수있다.

그림 4에서는 또한 V_{BUS} 방전 블록이 추가된다. 어떤 디바이스도 연결되어 있지 않을 때 V_{BUS} 는 0V로 있어야 한다. 그러므로 USB 타입-C 규격에서는 싱크의 연결이 끊어지고 650ms 이내에 소스가 V_{BUS} 를 방전되게 한다 [3]. V_{BUS} 방전은 대개 USB 타입-C 디바이스로 통합되거나 블리더 저항에 통합될수있다.

끝으로, V_{CONN} 스위치는 많은 경우에 선택적으로 사용한다. V_{CONN} 을 사용해서 5V를 사용하지 않는 CC 라

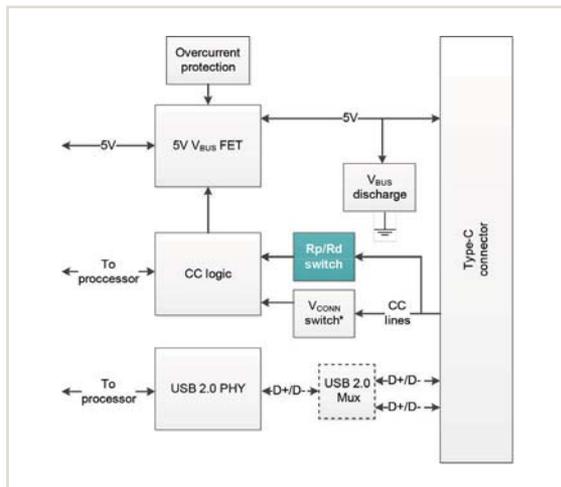
인으로 스위칭해서 수동 ‘electronically-marked’ 케이블 또는 능동 케이블을 구동할 수 있다(부록 참조). ‘electronically-marked’ 케이블은 USB PD 통신을 지원하고 케이블 특성을 판단할 수 있는 방법을 제공하는 케이블이다. 그림 3에서 보듯이, 타입-C 케이블의 한 CC 라인은 Rp에서 Rd로 연결하고, 다른 하나는 부동(floating)으로 두거나(수동 케이블) 또는 Ra(수동 ‘e-marked’ 케이블 또는 능동 케이블)를 사용해서 접지로 풀다운한다. V_{CONN}은 USB 3.1 속도를 지원하거나 3A 이상의 전력 공급을 지원하는 모든 애플리케이션에 필요하다[4]. 능동 케이블을 지원하고자 할 때 V_{CONN} 스위치가 필요하다. 예를 들면 리드라이버나 리타이머 같은 것을 사용해서 신호 컨디셔닝을 필요로 하는 긴 거리의 케이블 같은 경우이다.

텍사스 인스트루먼트의 TPS25810은 PD를 사용하지 않는 DFP USB 2.0 데이터 애플리케이션에 사용하기 적합한 컨트롤러 제품이다. 이 디바이스는 CC 로직, 5V V_{BUS} FET, 과전류 보호, V_{BUS} 방전, V_{CONN} 스위치 등의 기능을 통합하고 있다.

PD를 사용하지 않는 타입-C DRP/DRD USB 2.0

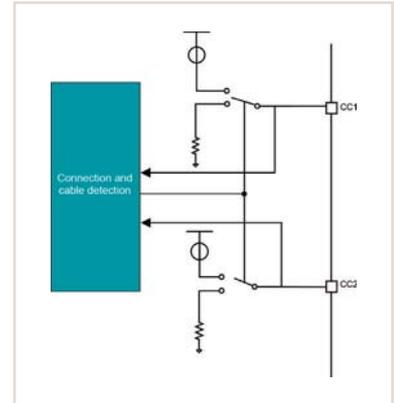
PD를 사용하지 않는 마지막 USB 2.0 애플리케이션은

그림 5. PD를 사용하지 않는 타입-C DRP/DRD USB 2.0 블록 다이어그램. *V_{CONN} 스위치는 선택적이다.



DRP/DRD이다. PD를 사용하지 않는 애플리케이션에서는 DRD와 DRP가 같다. 대표적인 예로는 저속 랩톱 포트가 전력을 충전해주는 자신이 충전되든

그림 6. Rp/Rd 스위치 개략도



어느 방향으로든 전력을 전송할 수 있고 호스트나 디바이스로도 동작할 수 있다. 태블릿과 스마트폰도 이러한 애플리케이션들이다. 이 설계 블록 다이어그램은 그림 5와 같다.

그림 4에서 유일하게 달라진 것은 Rp/Rd 스위치를 추가한 것이다. DRP/DRD는 자신을 UFP로든 DFP로든 나타낼 수 있다. 그러므로 이 디자인은 Rp를 사용해서 CC 라인을 풀업하거나 Rd를 사용해서 풀다운(고갈된 배터리일 때 충전을 하기 위한 디폴트)할 수 있는 방법을 가져야만 한다(그림 6). 스위치가 CC 라인을 풀업하고(이 경우에는 전류 소스가 Rd 상으로 특정한 전압 형성) CC 라인을 GND로 풀다운하는 것 사이를 어떻게 전환하는지 확인할 수 있다.

텍사스 인스트루먼트의 TUSB32x 제품군은 PD를 사용하지 않는 DRP/DRD USB 2.0 애플리케이션 용의 다수의 디바이스 제품들을 제공한다. 이들 디바이스들은 CC 로직, Rp/Rd 스위치, 그리고 디바이스에 따라서 V_{CONN} 스위치를 포함한다. **SN**

참고 문헌

1. USB 타입-C 사양 v1.2 for standard values of Rp and Rd, Tables 4-15 and 4-16
2. USB 타입-C 사양 v1.2, section 4.6.2.1
3. USB 타입-C 사양 v1.2, V_{BUS} and V_{CONN} Timing Parameters, Table 4-20
4. USB 타입-C 사양 v1.2, USB 타입-C Source Port's V_{CONN} Requirements Summary, Table 4-3