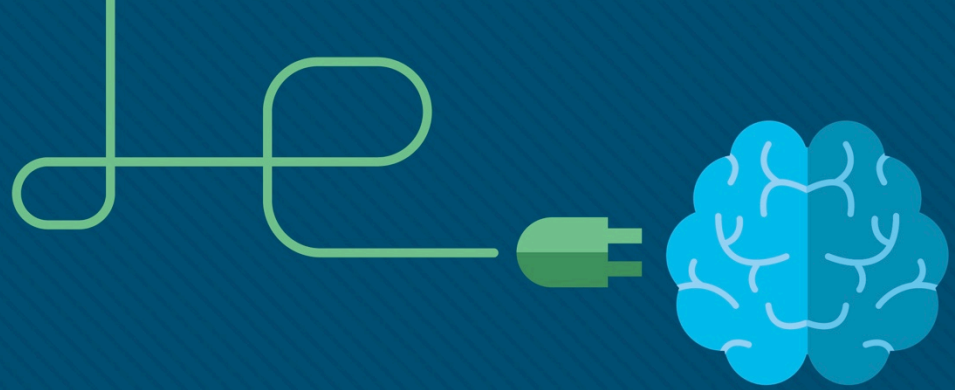


3: STP



3 - Sections & Objectives

- 3.1 Spanning Tree Concepts (스패닝 트리 개념)
 - Build a simple switched network with redundant links. (중복 링크로 간단한 교환 네트워크를 구축)
 - Explain common problems in a redundant, switched network. (중복 스위치 네트워크의 일반적인 문제를 설명)
 - Build a simple, switched network using STP. (STP를 사용하여 간단하고 교환된 네트워크를 구축)
- 3.2 Varieties of Spanning Tree Protocols (스패닝 트리 프로토콜의 종류)
 - Explain how different varieties of spanning tree protocols operate. (다양한 종류의 스패닝 트리 프로토콜이 어떻게 작동하는지 설명)
 - Describe the different spanning tree varieties. (다양한 스패닝 트리 종류 설명)
 - Explain how PVST+ operates. (PVST +의 작동 방식을 설명)
 - Explain how Rapid PVST+ operates. (Rapid PVST +의 작동 방식을 설명)

3 - Sections & Objectives (Cont.)

- 3.3 Spanning Tree Configuration (스패닝 트리 구성)
 - Implement PVST+ and Rapid PVST+ in a switched LAN environment. (교환 LAN 환경에서 PVST + 및 Rapid PVST +를 구현)
 - Configure PVST+ in a switched LAN environment. (교환 LAN 환경에서 PVST +를 구성)
 - Configure Rapid PVST+ in a switched LAN environment. (교환 LAN 환경에서 Rapid PVST +를 구성)
 - Analyze common STP configuration issues. (일반적인 STP 구성 문제를 분석)

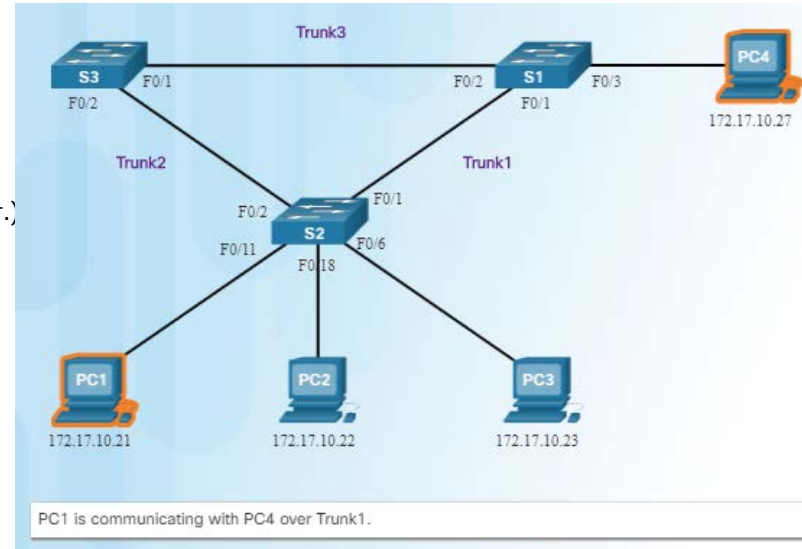
3.1 Spanning Tree Concepts

(스패닝 트리 개념)

Spanning Tree

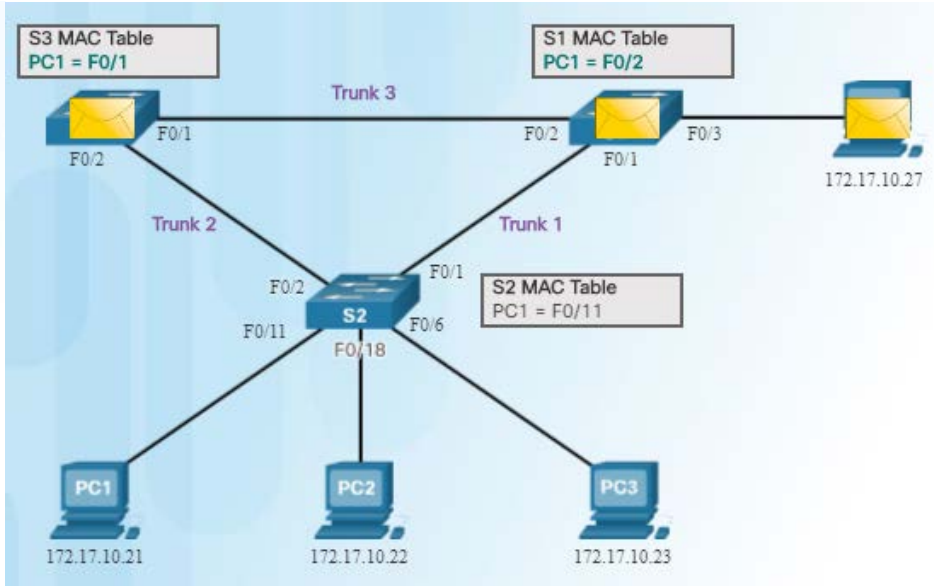
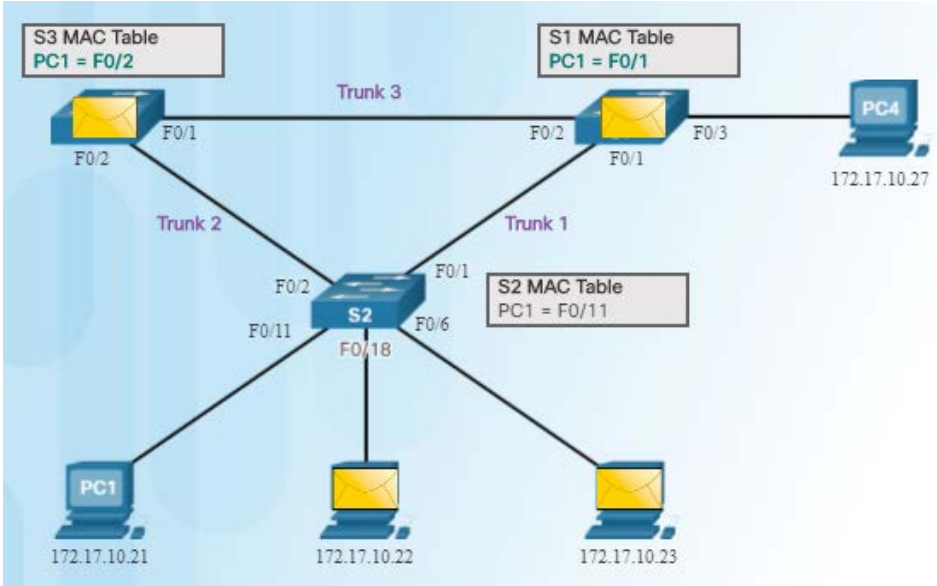
Redundancy at OSI Layers 1 and 2

- Switched networks commonly have redundant paths and even redundant links between the same two devices.
(교환 네트워크에는 일반적으로 동일한 두 장치 간에 중복 경로와 중복 링크가 있습니다.)
 - Redundant paths eliminate a single point of failure in order to improve reliability and availability. (중복 경로는 안정성과 가용성을 향상시키기 위해 단일 장애 지점을 제거합니다.)
 - Redundant paths can cause physical and logical Layer 2 loops. (중복 경로는 물리적 및 논리적 계층 2 루프를 유발할 수 있습니다.)
- Spanning Tree Protocol (STP) is a Layer 2 protocol that helps especially when there are redundant links.
(스패닝 트리 프로토콜 (STP)은 특히 중복 링크가 있을 때 도움이 되는 레이어 2 프로토콜입니다.)
- Layer 2 loop issues (레이어 2 루프 문제)
 - Mac database instability – copies of the same frame being received on different ports. (Mac 데이터베이스 불안정성 – 다른 포트에서 동일한 프레임의 사본을 수신합니다.)
 - Broadcast storms – broadcasts are flooded endlessly causing network disruption. (브로드 캐스트 스톰 – 브로드 캐스트로 인해 네트워크가 중단됩니다.)
 - Multiple frame transmission – multiple copies of unicast frames delivered to the same destination. (다중 프레임 전송 – 동일한 대상으로 전달되는 유니 캐스트 프레임의 여러 사본.)



Spanning Tree

Issues with Layer 1 Redundancy: MAC Database Instability

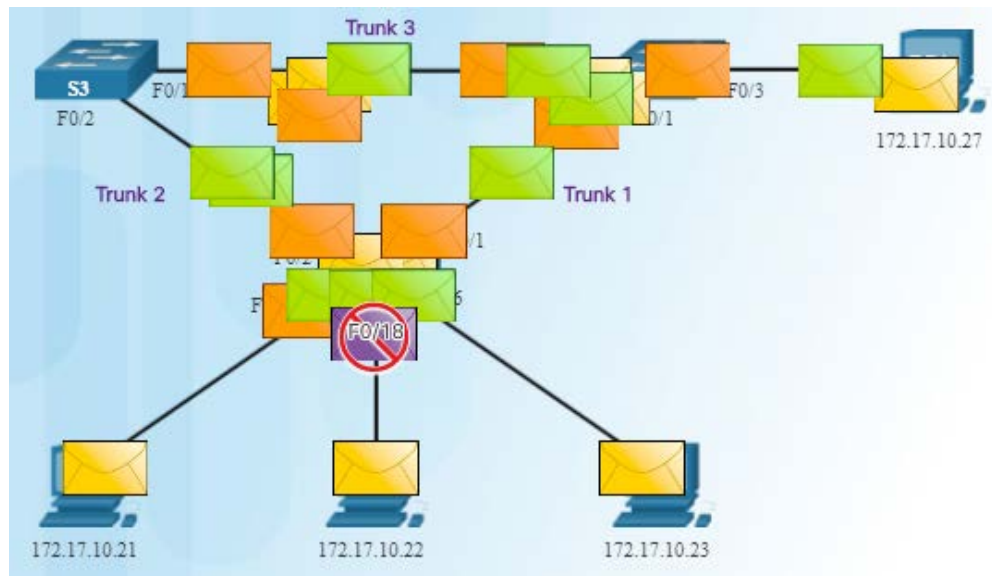


Issues with Layer 1 Redundancy: MAC Database Instability

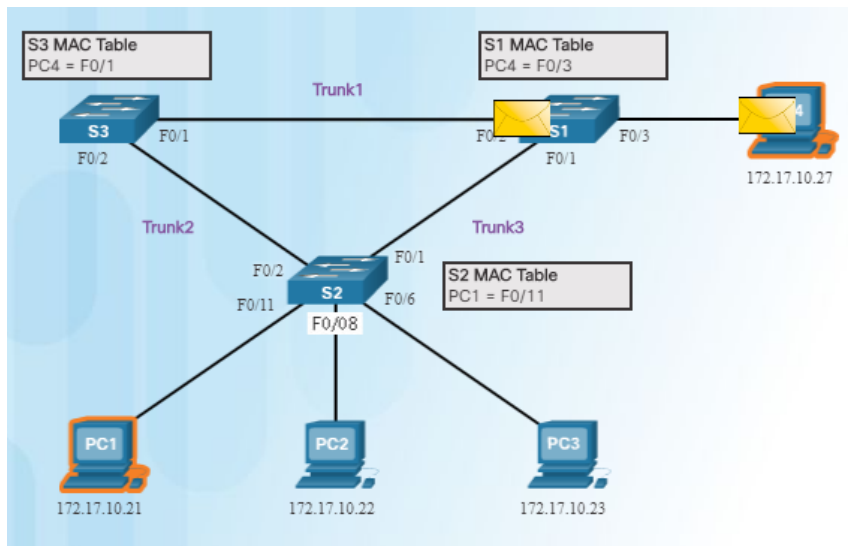
- Ethernet frames do not have a time to live (TTL) field like the Layer 3 IP header has. This means that Ethernet has no mechanism to drop frames that propagate endlessly. This can result in MAC database **instability**. (이더넷 프레임에는 레이어 3 IP 헤더와 같이 TTL (Time to Live) 필드가 없습니다. 이것은 이더넷이 끝없이 전파되는 프레임을 삭제하는 메커니즘이 없음을 의미합니다. 이로 인해 MAC 데이터베이스가 불안정해질 수 있습니다.)
 1. PC1 sends a broadcast frame to S2. (PC1은 브로드 캐스트 프레임을 S2로 보냅니다.)
 2. S2 updates the MAC address table for PC1's MAC address on port 11. (S2는 포트 11에서 PC1의 MAC 주소에 대한 MAC 주소 테이블을 업데이트합니다.)
 3. S2 forwards the frame out all ports except the port the frame came in on. S1 and S3 receive the frame on a trunk and update their own MAC address tables that PC1 is reachable through the trunk port. (S2는 프레임이 들어온 포트를 제외한 모든 포트로 프레임을 전달합니다. S1 및 S3은 트렁크의 프레임을 수신하고 트렁크 포트를 통해 PC1에 도달 할 수 있는 고유한 MAC 주소 테이블을 업데이트합니다.)
 4. S1 and S3 send the frame out all ports except the port it came in on. (S1과 S3은 들어오는 포트를 제외한 모든 포트를 프레임으로 보냅니다.)
 5. When S1 sends the frame out port 2 (Trunk 3), S3 updates the MAC address table to reflect that PC1 is now reachable through port 1. (S1이 프레임 출력 포트 2 (트렁크 3)를 보내면 S3는 MAC 주소 테이블을 업데이트하여 PC1에 포트 1을 통해 연결할 수 있음을 반영합니다.)
- A host caught in a network loop is not accessible to other hosts. (네트워크 루프에 걸린 호스트는 다른 호스트가 액세스 할 수 없습니다.)
- Due to constant changes in the MAC address table, Switches S3 and S1 do not know which port to forward frames. (MAC 주소 테이블의 지속적인 변경으로 인해 스위치 S3 및 S1은 프레임을 전달할 포트를 모릅니다.)

Issues with Layer 1 Redundancy: Broadcast Storms

- Broadcast storm – so many broadcast frames in a Layer 2 loop that use all available bandwidth and make the network unreachable for legitimate network traffic. (브로드 캐스트 스톰 – 사용 가능한 모든 대역폭을 사용하고 합법적인 네트워크 트래픽에 네트워크를 연결할 수 없는 Layer 2 루프의 수많은 브로드 캐스트 프레임.)
 - Causes a denial of service (DoS) (서비스 거부 (DoS)를 유발합니다)
 - Can develop in seconds and bring the network down (몇 초 만에 개발하고 네트워크를 중단시킬 수 있습니다)



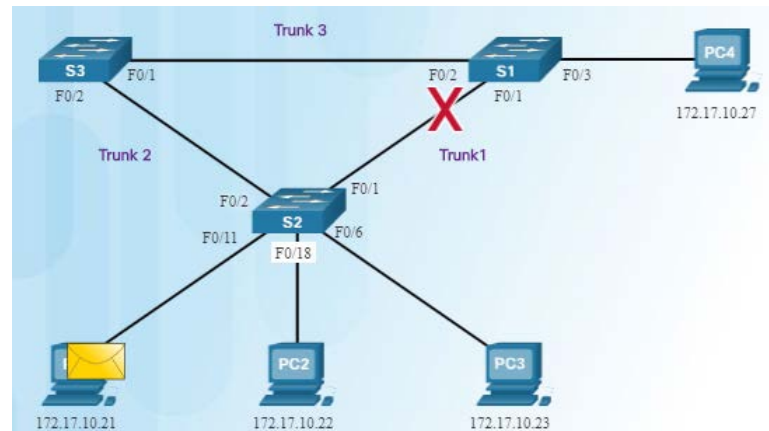
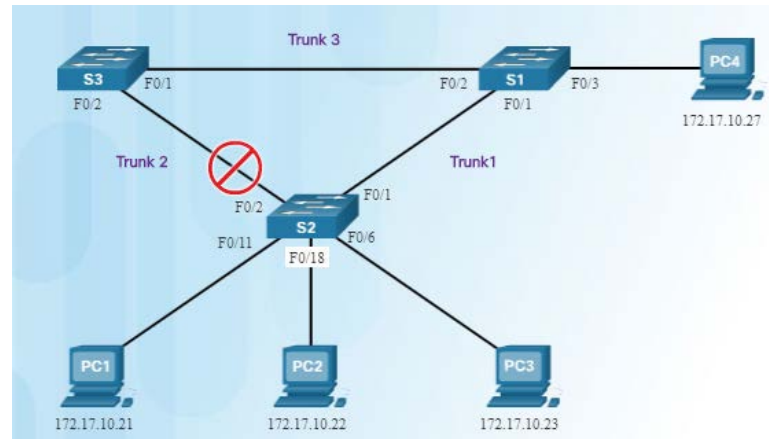
Issues with Layer 1 Redundancy: Duplicate Unicast Frames



- An unknown unicast frame is when the switch does not have the destination MAC address in its MAC address table and has to broadcast the frame out all ports except the port the frame was received on (the ingress port). (알 수 없는 유니 캐스트 프레임은 스위치의 MAC 주소 테이블에 대상 MAC 주소가 없고 프레임이 수신된 포트 (수신 포트)를 제외한 모든 포트를 프레임 밖으로 브로드 캐스트해야하는 경우입니다.)
- Unknown unicast frames sent onto a looped network can result in duplicate frames arriving at the destination device. (루프된 네트워크로 전송된 알 수 없는 유니 캐스트 프레임은 대상 장치에 중복 프레임이 도착할 수 있습니다.)
 1. PC1 sends a frame destined for PC4. (PC1은 PC4로 향하는 프레임을 보냅니다.)
 2. S2 does not have PC4's MAC address in the MAC address table so it forwards the frame out all ports including the trunks that lead to S1 and S3. S1 sends the frame to PC4. S3 also sends a copy of the frame over to S1 which delivers the same frame again to PC4. (S2는 MAC 주소 테이블에 PC4의 MAC 주소가 없으므로 S1 및 S3으로 이어지는 트렁크를 포함하여 모든 포트를 프레임 밖으로 전달합니다. S1은 프레임을 PC4로 보냅니다. S3는 또한 프레임의 사본을 S1로 보내며, 동일한 프레임을 다시 PC4로 전달합니다.)

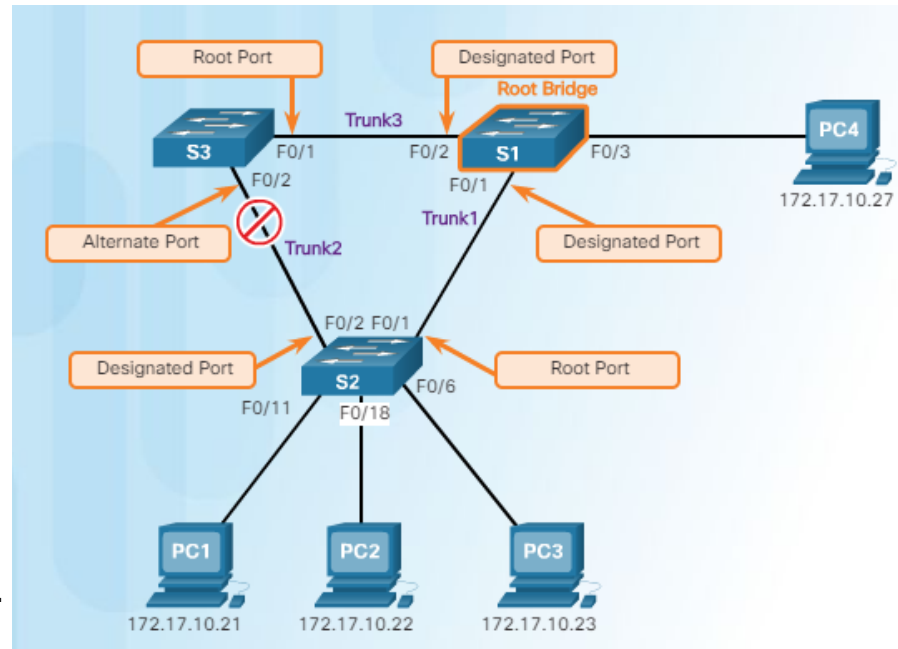
Spanning Tree Algorithm: Introduction

- The Spanning Tree Protocol (STP) creates one logical path through the switch network (all destinations on the network). (STP (Spanning Tree Protocol)는 스위치 네트워크 (네트워크의 모든 대상)를 통해 하나의 논리 경로를 만듭니다.)
- Blocks redundant paths that could cause a loop. (루프를 일으킬 수 있는 중복 경로를 차단합니다.)
- STP sends bridge protocol data units (BPDUs) between Layer 2 devices in order to create the one logical path. (STP는 하나의 논리적 경로를 만들기 위해 계층 2 장치 간에 브리지 프로토콜 데이터 단위 (BPDU)를 보냅니다.)
- A port on S2 is blocked so traffic can only flow one way between any two devices. (S2의 포트가 차단되어 트래픽이 두 장치 간에 한 방향으로만 흐를 수 있습니다.)
- When Trunk1 fails, the blocked port on S2 is unblocked and traffic can flow between S2 and S3. (트렁크 1이 실패하면 S2의 차단된 포트가 차단 해제되고 트래픽이 S2와 S3간에 흐를 수 있습니다.)



Spanning Tree Algorithm: Port Roles

- Root bridge – one Layer 2 device in a switched network. (루트 브리지 – 교환 네트워크에서 하나의 레이어 2 장치.)
- Root port – one port on a switch that has the lowest cost to reach the root bridge. (루트 포트 – 루트 브리지에 도달하는 비용이 가장 낮은 스위치의 하나의 포트.)
- Designated port – selected on a per-segment (each link) basis, based on the cost to get back to root bridge for either side of the link. (지정된 포트 – 링크의 양쪽에 대한 루트 브리지로 돌아가는 비용을 기준으로 세그먼트 (각 링크) 별로 선택됩니다.)
- Alternate port – (RSTP only) backup port for the designated port when the other side is not a root port. (대체 포트 – 다른 쪽이 루트 포트가 아닌 경우 지정된 포트의 (RSTP 전용) 백업 포트.)
- Backup port – (RSTP only) backup port for the root port. (백업 포트 – 루트 포트의 (RSTP 전용) 백업 포트.)

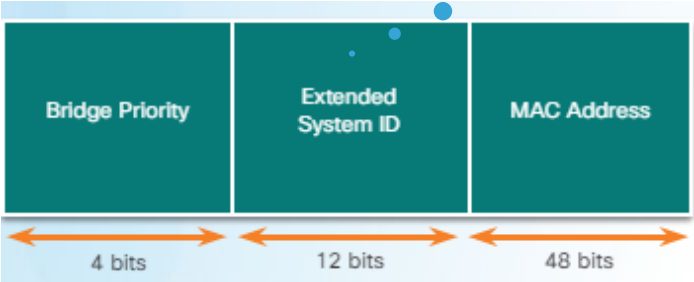
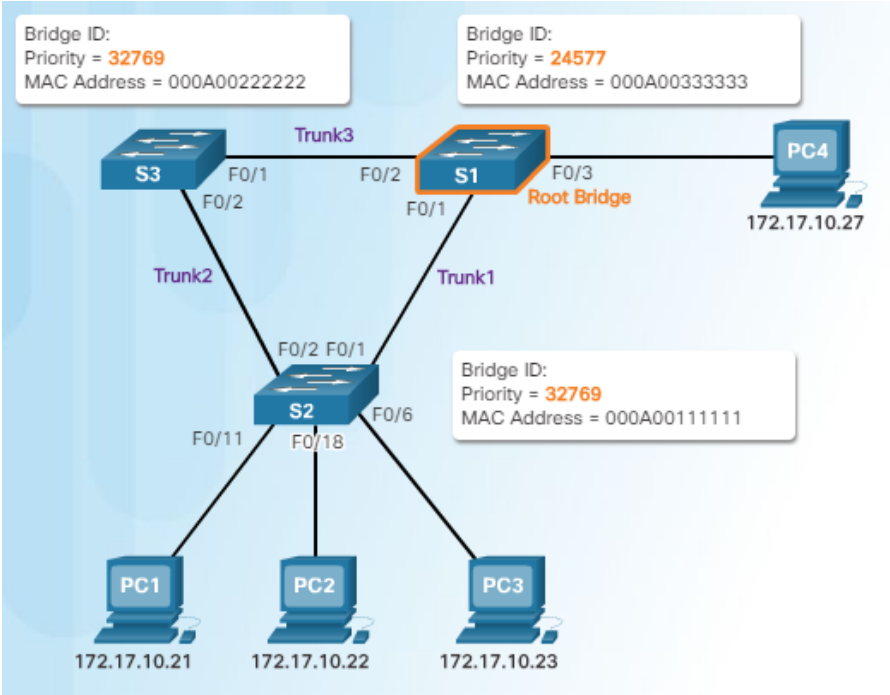


STP Operation

Spanning Tree Algorithm: Root Bridge

- **Lowest bridge ID (BID) becomes root bridge** (가장 낮은 브리지 ID (BID)는 루트 브리지가 됩니다)
 - Originally BID had two fields: bridge priority and MAC address (원래 BID에는 브리지 우선 순위와 MAC 주소라는 두 가지 필드가 있었습니다.)
 - Bridge priority default is 32,768 (can change) (브리지 우선 순위 기본값은 32,768입니다 (변경 가능))
 - Lowest MAC address (if bridge priority is not changed) becomes determinant for root bridge. (가장 낮은 MAC 주소 (브리지 우선 순위가 변경되지 않은 경우)는 루트 브리지로 결정됩니다.)

Supports per-VLAN STP operations

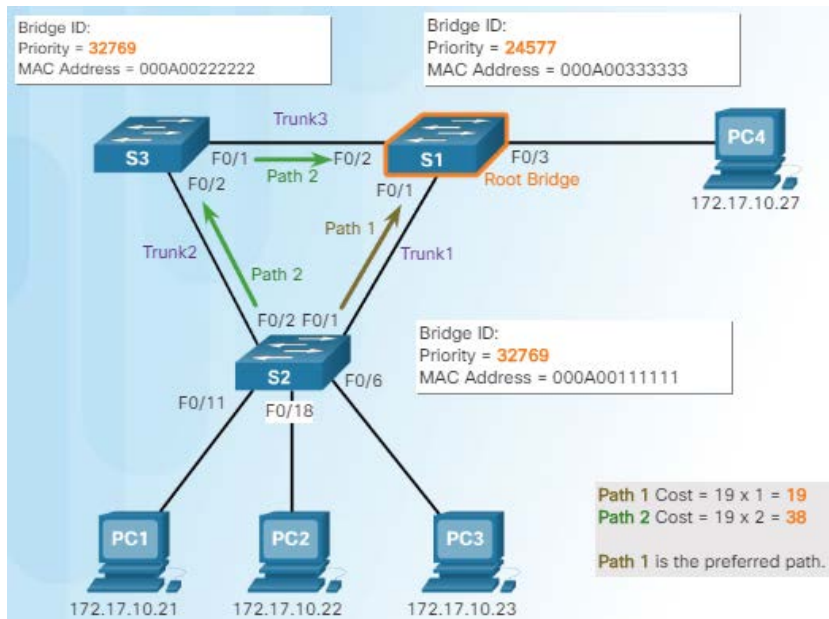


STP Operation

Spanning Tree Algorithm: Root Path Cost

Link Speed	Cost (Revised IEEE Specification)	Cost (Previous IEEE Specification)
10 Gb/s	2	1
1 Gb/s	4	1
100 Mb/s	19	10
10 Mb/s	100	100

- Root path cost is used to determine the role of the port and whether or not traffic is blocked. (루트 경로 비용은 포트의 역할과 트래픽 차단 여부를 결정하는데 사용됩니다.)
- Can be modified with the **spanning-tree cost** interface command. (spanning-tree cost 인터페이스 명령으로 수정할 수 있습니다.)



```
S2# configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
S2(config)# interface f0/1
S2(config-if)# spanning-tree cost 25
```

```
S2(config)# interface f0/1
S2(config-if)# no spanning-tree cost
```

```
S2# show spanning-tree

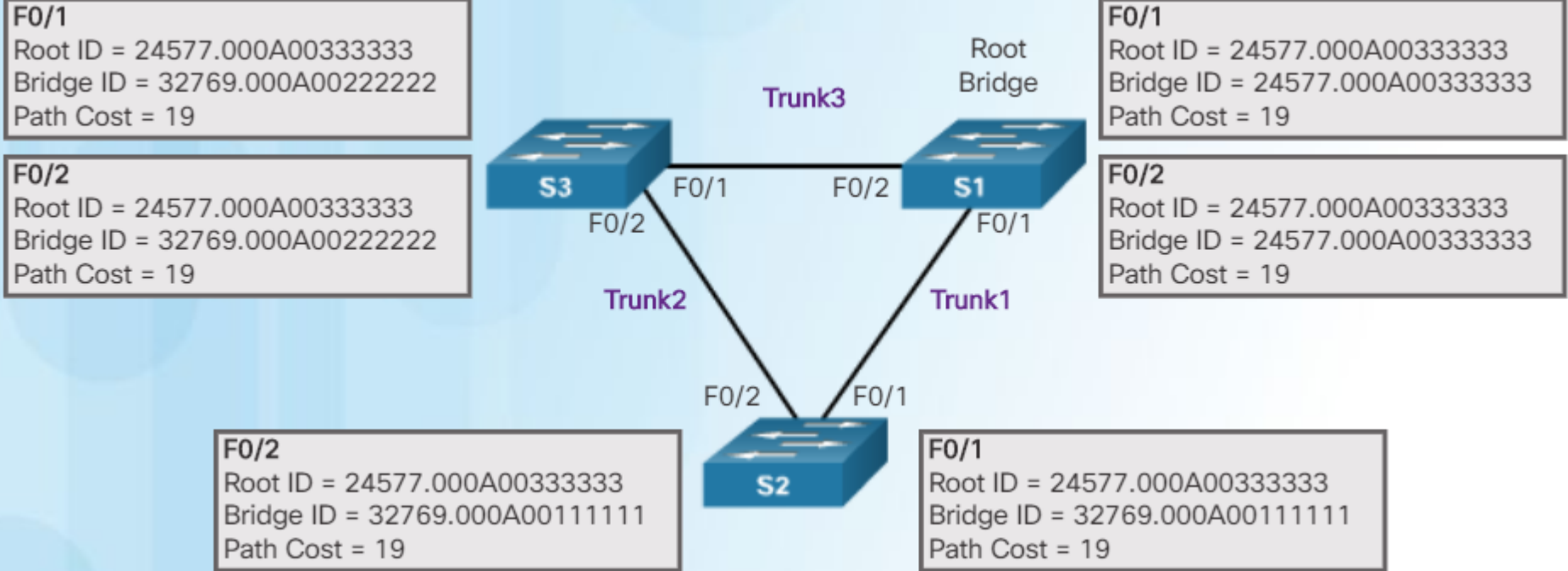
VLAN001
  Spanning tree enabled protocol ieee
  Root ID    Priority 24577
            Address 000A.0033.3333
            Cost   19
            Port   1
            Hello Time 2 sec Max Age 20 sec Forward Delay 15 sec

  Bridge ID  Priority    32769 (priority 32768 sys-id-ext 1)
            Address 000A.0011.1111
            Hello time 2 sec Max Age 20 sec Forward Delay 15 sec
            Aging Time 300

Interface Role Sts Cost Prio.Nbr Type
-----
F0/1      Root FWD 19    128.1   Edge P2p
F0/2      Desg FWD 19    128.2   Edge P2p
```

STP Operation

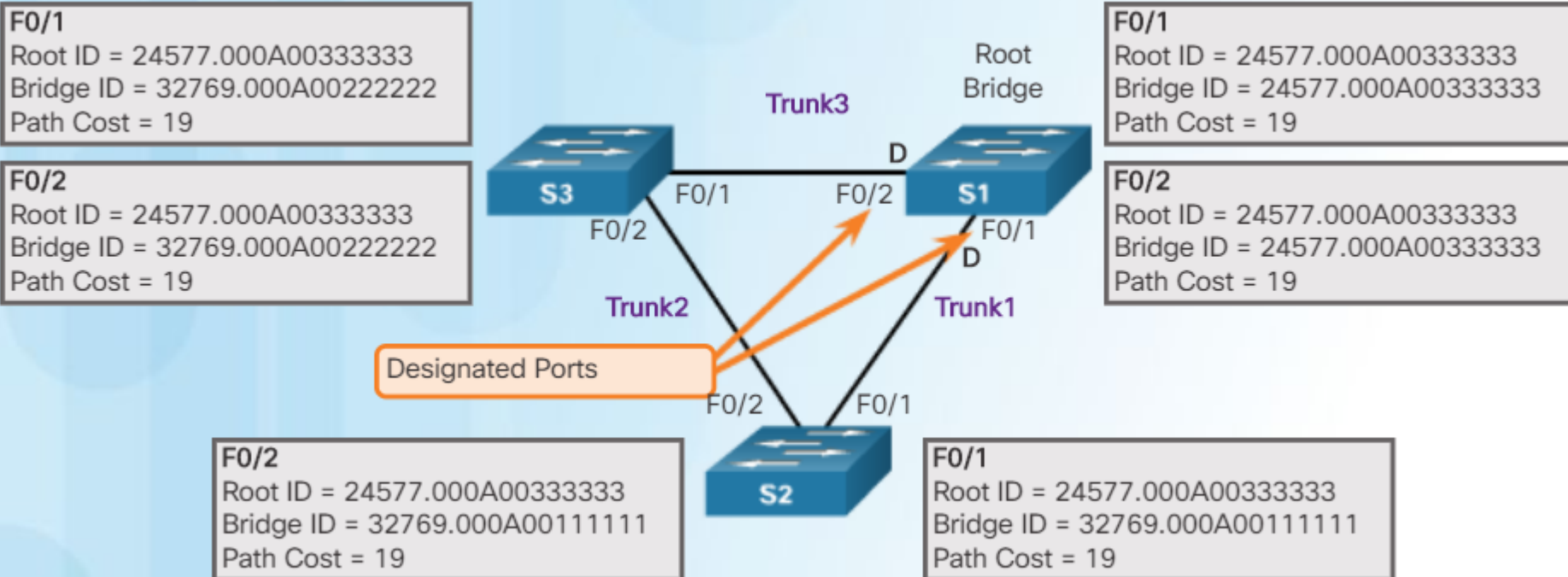
Port Role Decisions for RSTP



Switch S1 has the lowest bridge priority and is therefore the root bridge.

STP Operation

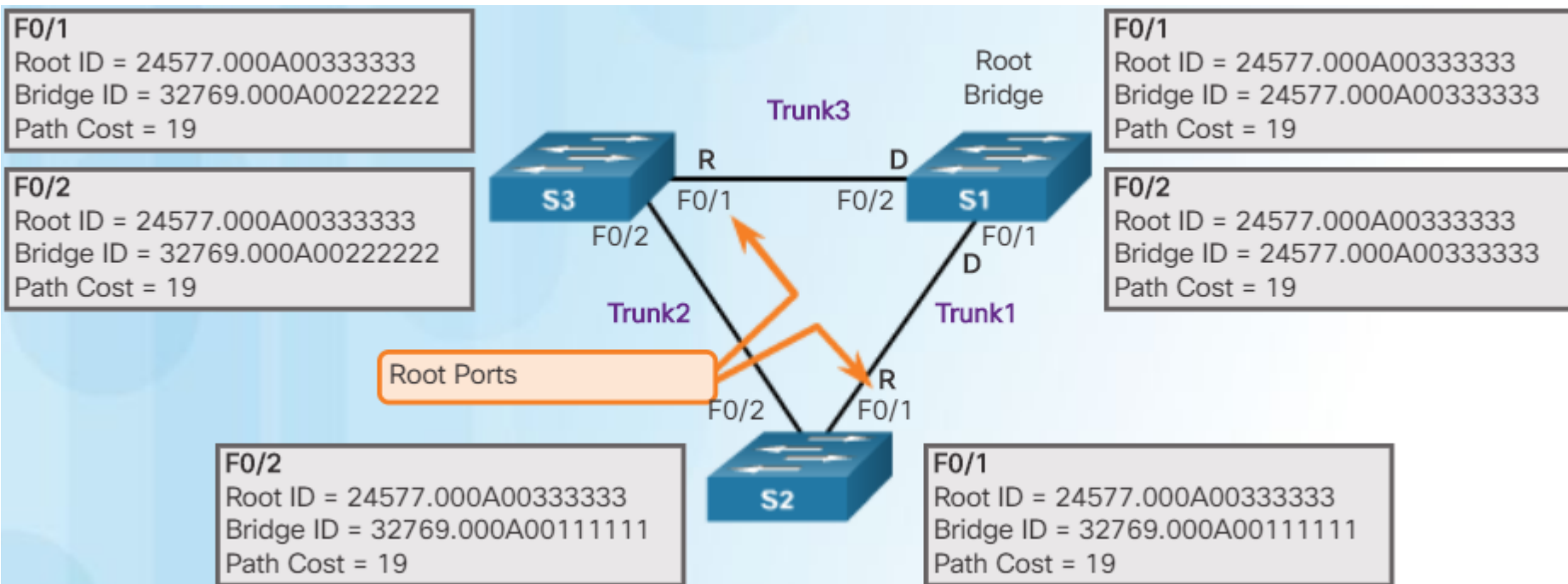
Port Role Decisions for RSTP



Switch S1 configures both of its trunk ports as designated ports.

STP Operation

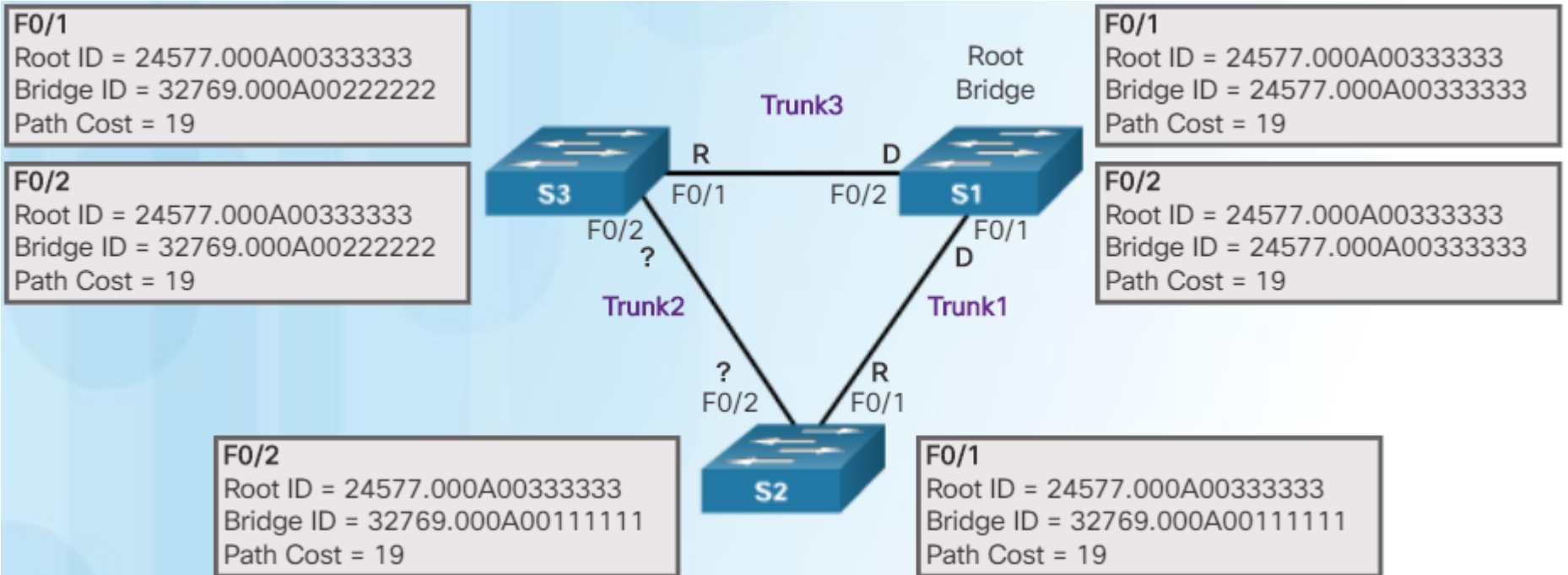
Port Role Decisions for RSTP



Switch S2 configures port F0/1 as a root port.
Switch S3 configures port F0/1 as a root port.

STP Operation

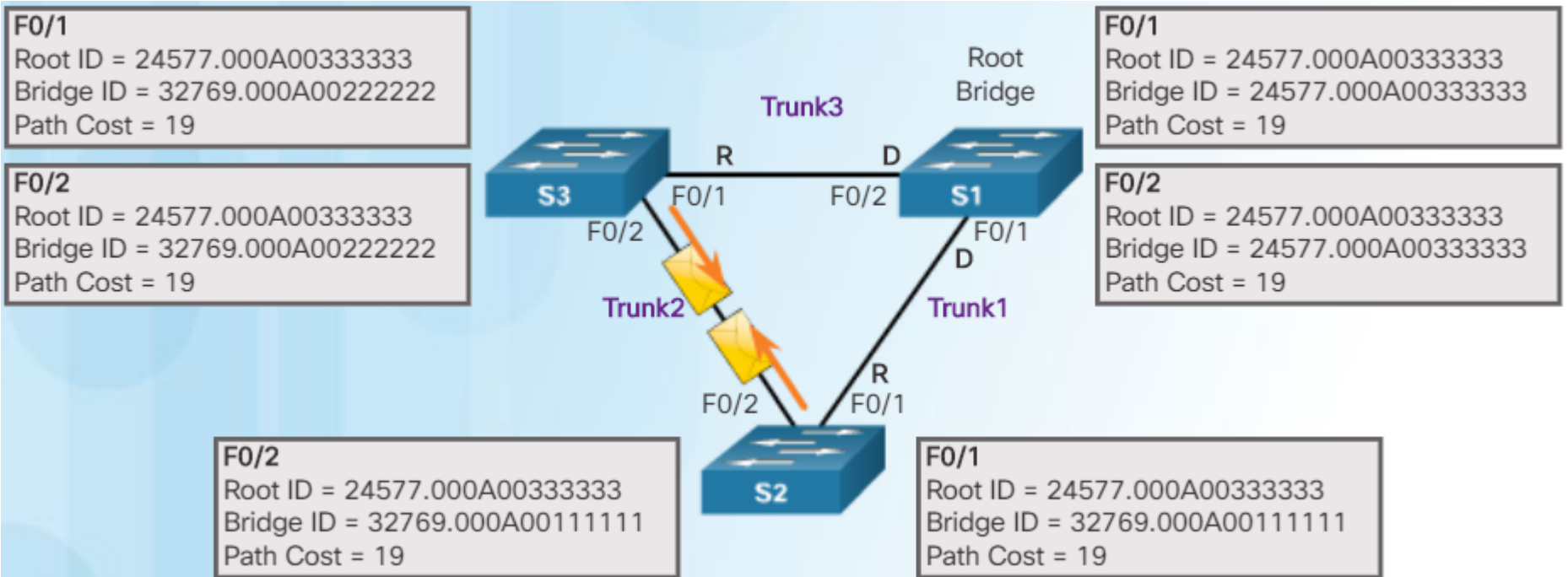
Port Role Decisions for RSTP



Switch S2 and switch S3 share a common LAN segment. They need to determine which switch has the lower BID to identify which switch can configure its port as a designated port.

STP Operation

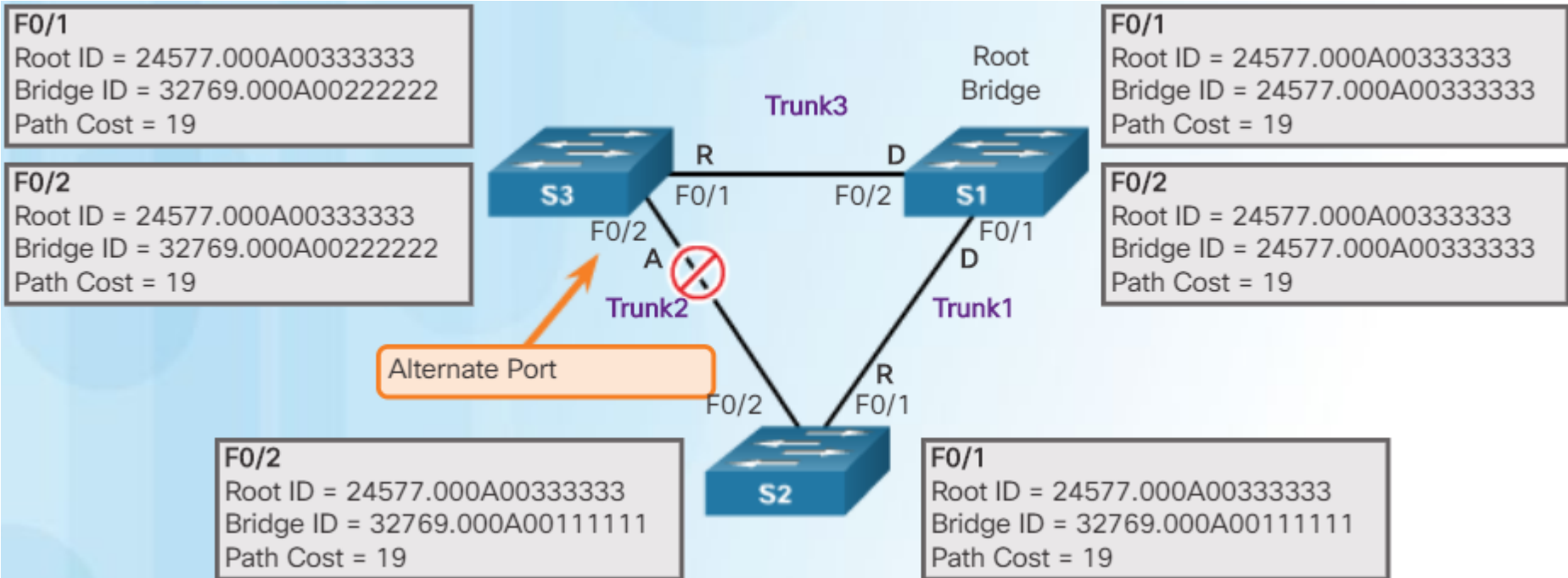
Port Role Decisions for RSTP



Switch S2 and switch S3 exchange BPDUs. Switch S3 identifies switch S2 as having a lower BID based on the lower MAC address of switch S2.

STP Operation

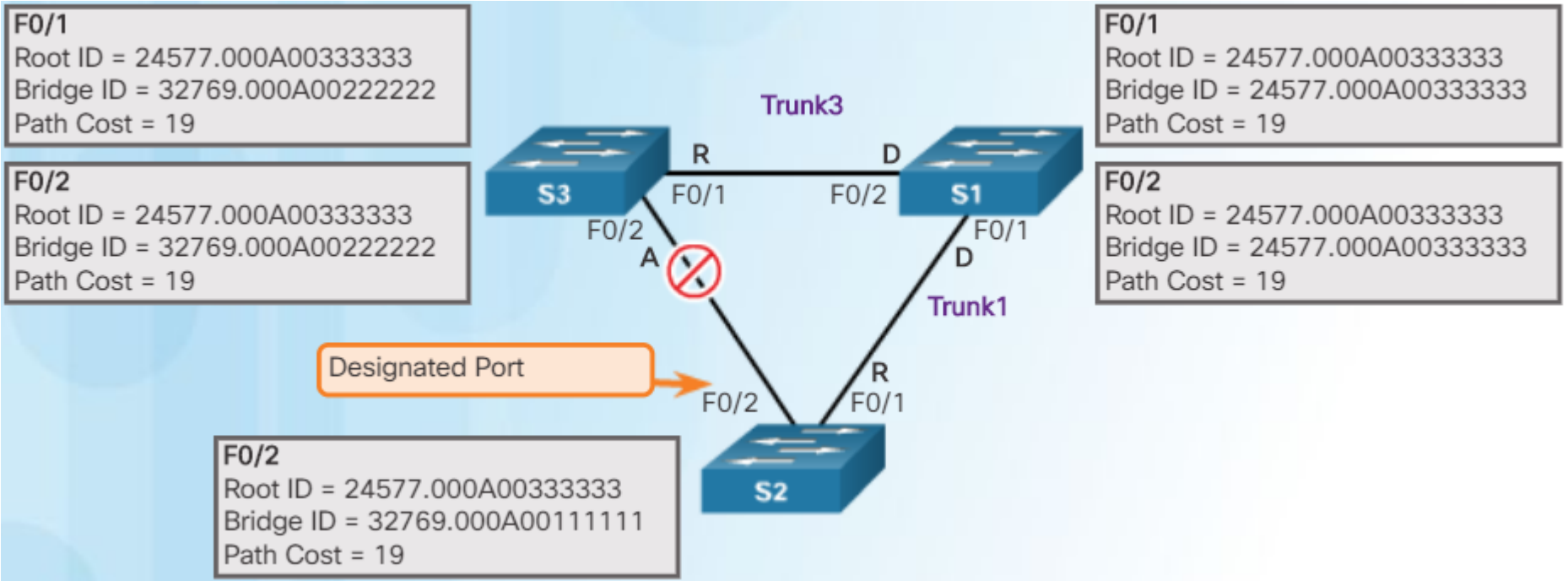
Port Role Decisions for RSTP



Switch S3 configures port F0/2 as an alternate port and enters the blocked state preventing the loop.

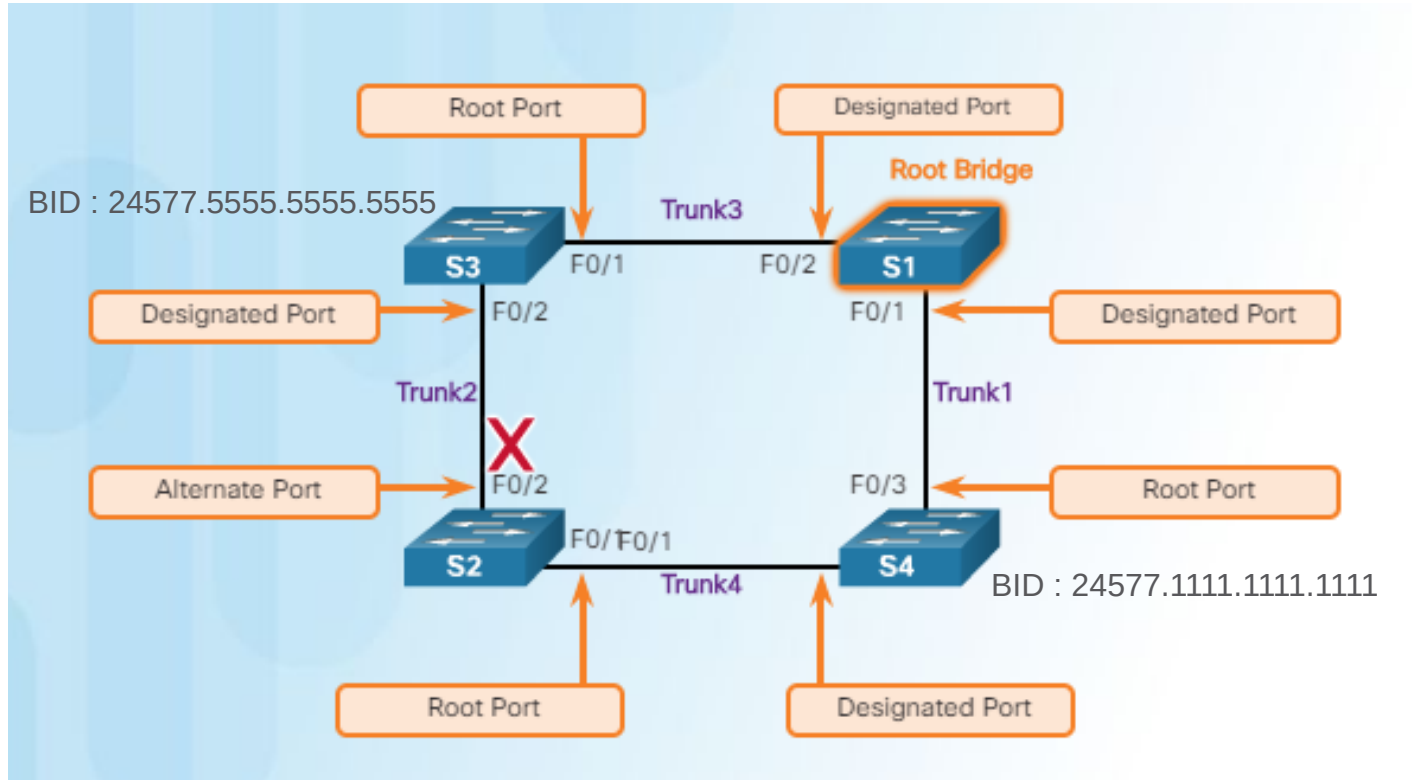
STP Operation

Port Role Decisions for RSTP



STP Operation

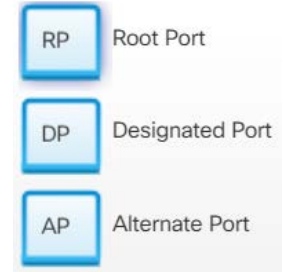
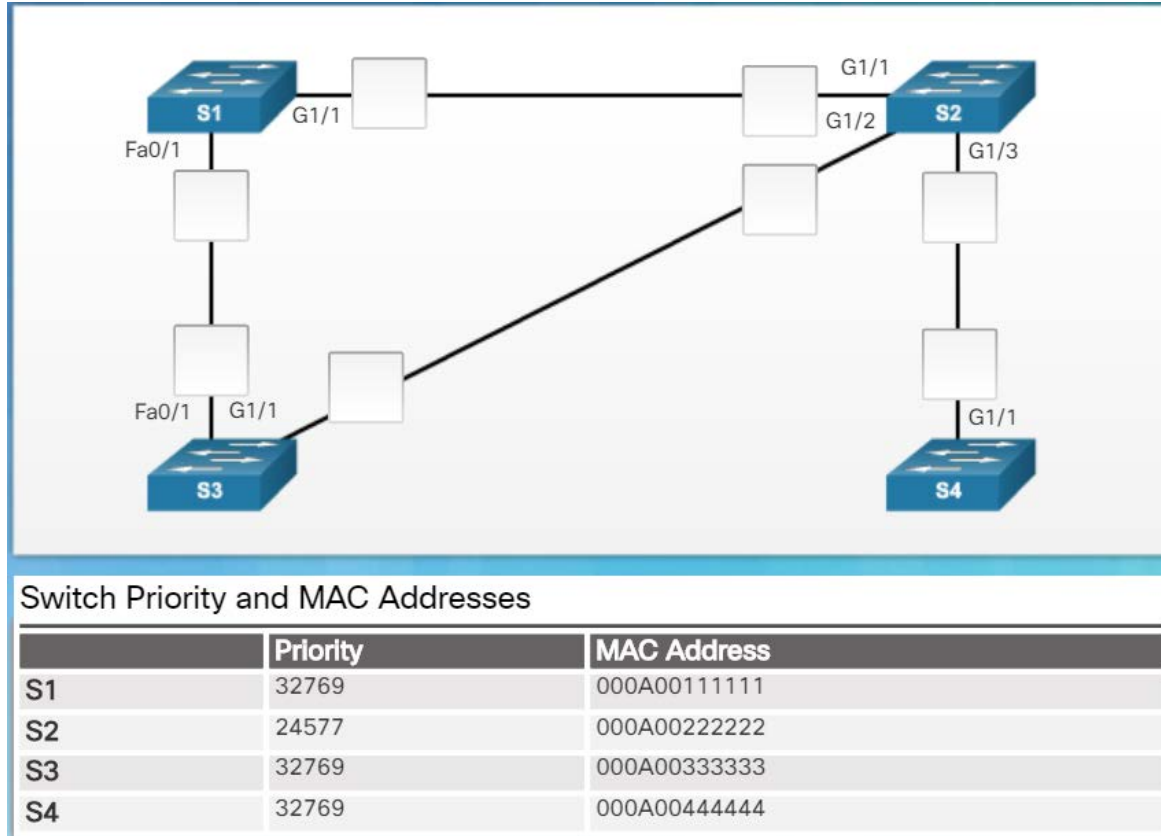
Determine Designated and Alternate Ports



Remember port states are based on path cost back to root bridge.

STP Operation

Determine Designated and Alternate Ports



STP Operation

802.1D BPDU

Frame Format

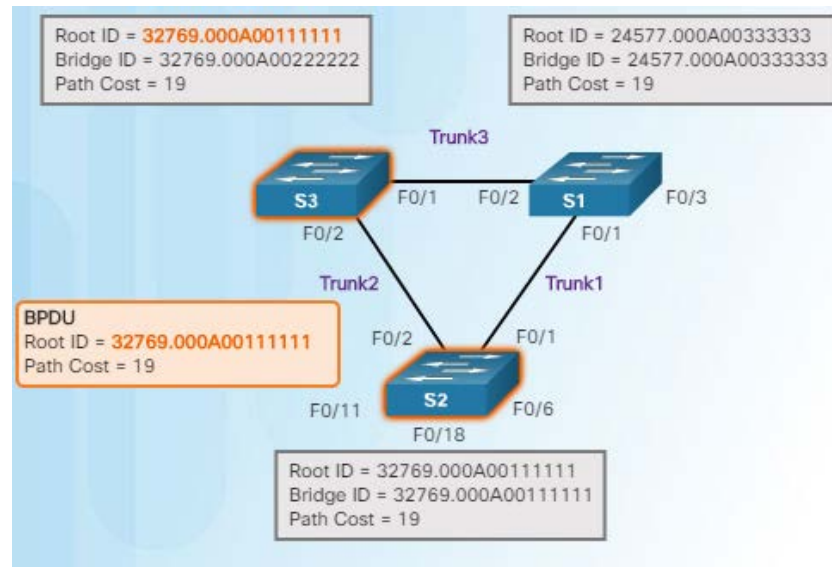
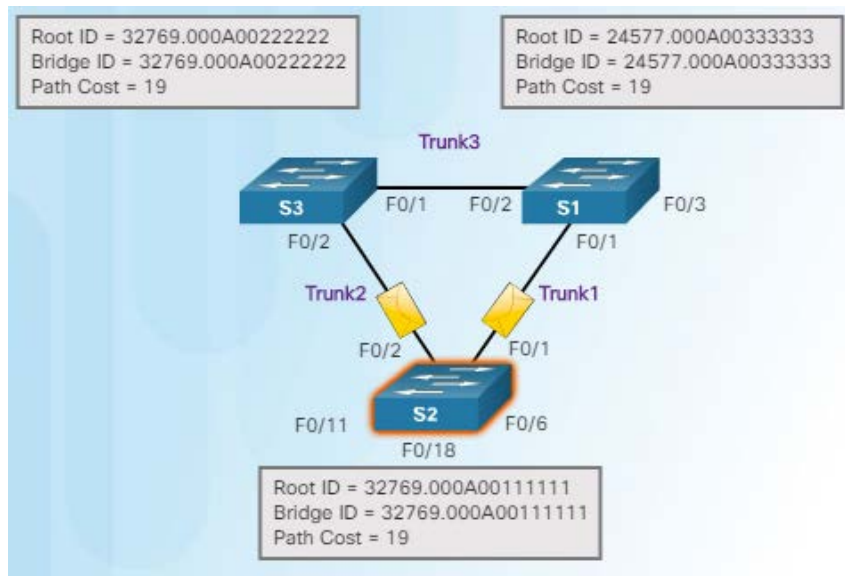
Field Number	Bytes	Field
1-4	2	Protocol ID
	1	Version
	1	Message Type
	1	Flags
5-8	8	Root ID
	4	Root Path Cost
	8	Bridge ID
	2	Port ID
9-12	2	Message Age
	2	Max Age
	2	Hello Time
	2	Forward Delay

Field	Description	
Protocol ID	Type of protocol being used; set to 0	사용중인 프로토콜 유형; 0으로 설정
Version	Protocol version; set to 0	프로토콜 버전; 0으로 설정
Message type	Type of message; set to 0	메시지 유형; 0으로 설정
Flags	Topology change (TC) bit signals a topology a change; topology change acknowledge (TCA) bit used when a configuration message with the TC bit set has been received	루트 브리지로의 경로가 중단된 경우 토폴로지 변경을 알리는 TC (Topology Change) 비트. TC 비트가 설정된 구성 메시지를 수신한 경우 사용되는 TCA (Topology Change Acknowledge)비트
Root ID	Root bridge information	루트 브리지 정보(2바이트 우선순위, 6바이트 MAC 주소)
Root path cost	Cost of the path from the switch sending the configuration message to the root bridge	스위치에서 구성 메시지를 루트 브리지로 보내는 경로 비용
Bridge ID	Includes priority, extended system ID, and MAC address ID of the bridge sending the message	메시지를 보내는 브리지의 우선 순위, 확장 시스템 ID 및 MAC 주소 ID를 포함
Port ID	Port number from which the BPDU was sent	BPDU가 전송된 포트 번호
Message age	Amount of time since the root bridge sent the configuration message	루트 브리지가 구성 메시지를 보낸 이후의 시간
Max age	When the current configuration message will be deleted	현재 구성 메시지가 삭제될 시 (BPDU 정보 저장 시간)
Hello time	Time between root bridge messages	루트 브리지 메시지 간 시간 (BPDU 전송 주기. 2초)
Forward delay	Time the bridges should wait before going to a new state	새로운 상태로 가기 전에 브리지가 기다려야 하는 시간 (listen 및 learning 상태에 머무르는 시간)

STP Operation

802.1D BPDU Propagation and Process

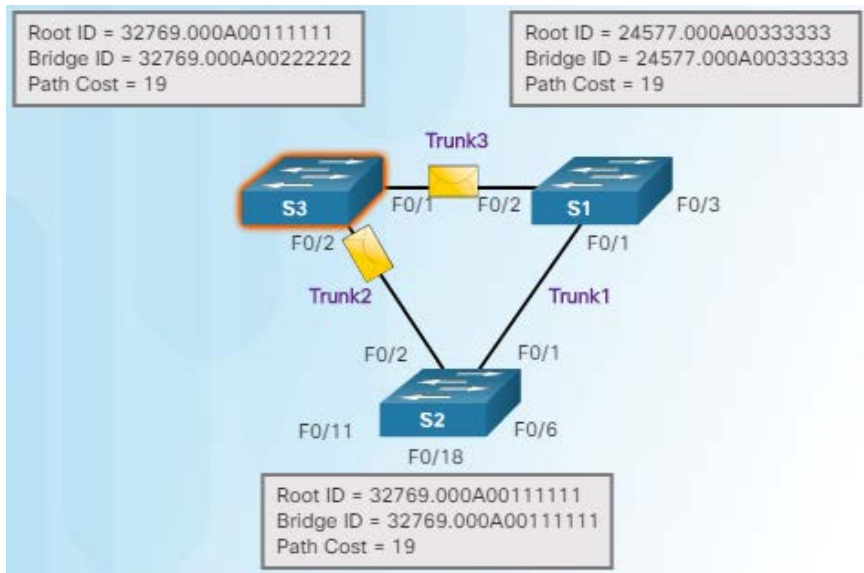
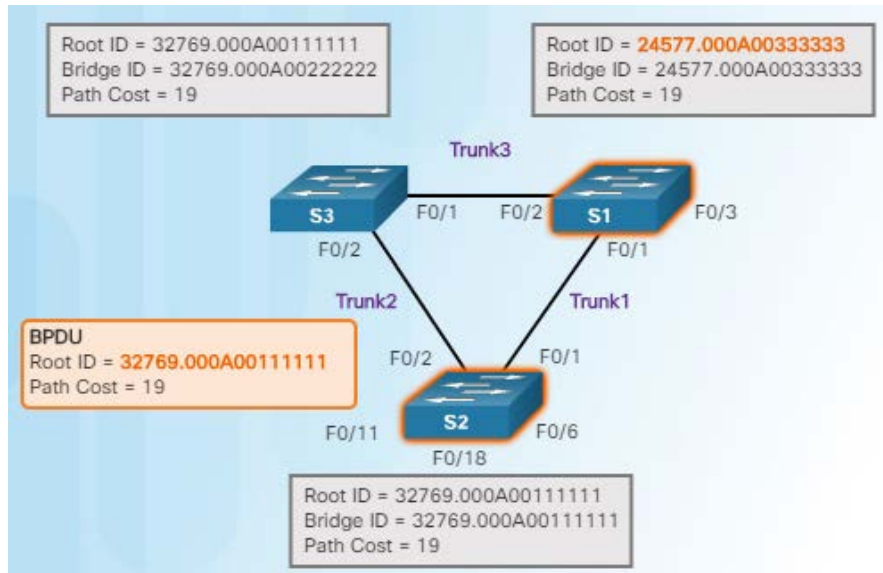
1. When a switch is powered on, it assumes it is the root bridge until BPDUs are sent and STP calculations are performed. S2 sends out BPDUs. (스위치 전원이 켜지면 BPDU가 전송되고 STP 계산이 수행될 때까지 루트 브리지라고 가정합니다. S2는 BPDU를 보냅니다.)
2. S3 compares its root ID with the BPDU from S2. S2 is lower so S3 updates its root ID. (S3는 루트 ID를 S2의 BPDU와 비교합니다. S2가 낮아 S3가 루트 ID를 업데이트합니다.)



STP Operation

802.1D BPDUs Propagation and Process (Cont.)

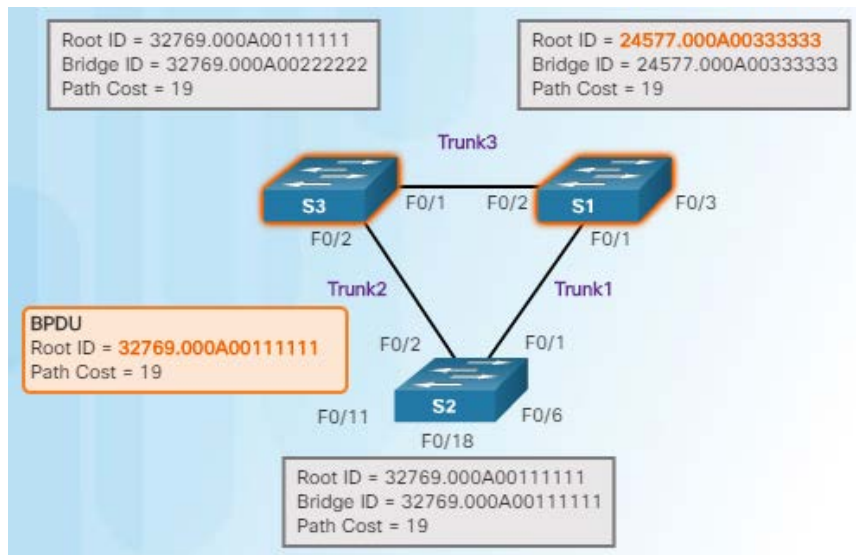
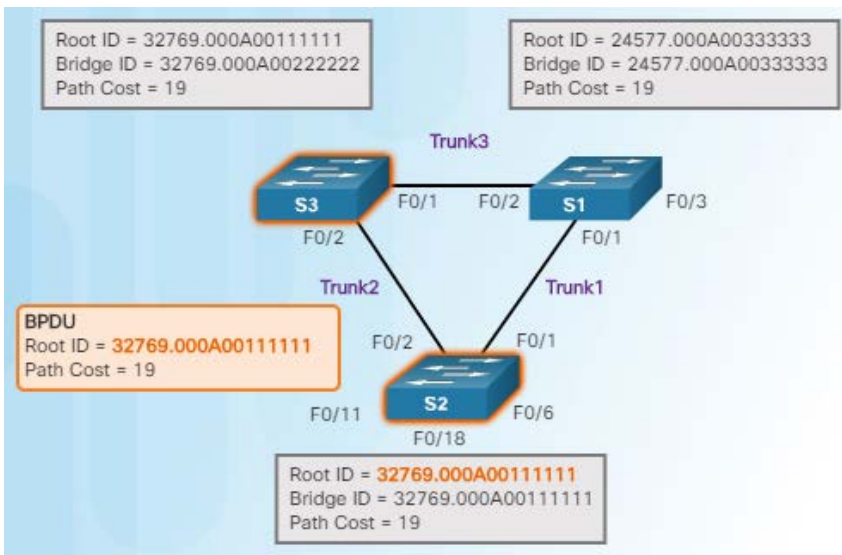
3. S1 receives the same information from S2 and because S1 has a lower BID, it ignores the information from S2. (S1은 S2로부터 동일한 정보를 수신하고 S1이 BID가 더 낮기 때문에 S2의 정보를 무시합니다.)
4. S3 sends BPDUs out all ports indicating that S2 is root bridge. (S3은 S2가 루트 브리지임을 나타내는 BPDU를 모든 포트에 보냅니다.)



STP Operation

802.1D BPDUs Propagation and Process (Cont.)

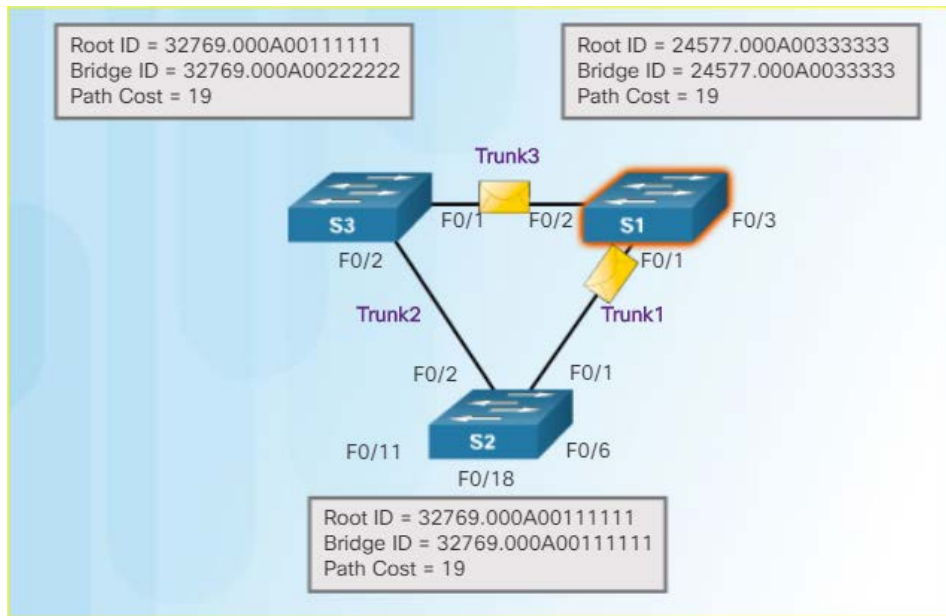
5. S2 compares the info from S3 so S2 still thinks it is root bridge. (S2는 S3의 정보를 비교하므로 S2는 여전히 루트 브리지라고 생각합니다.)
6. S1 gets the same information from S3 (that S2 is root bridge), but because S1 has a lower BID, the switch ignores the information in the BPDUs. (S1은 S3에서 동일한 정보를 얻지만 (S2는 루트 브리지 임) S1의 BID가 더 낮기 때문에 스위치는 BPDUs의 정보를 무시합니다.)



STP Operation

802.1D BPDUs Propagation and Process (Cont.)

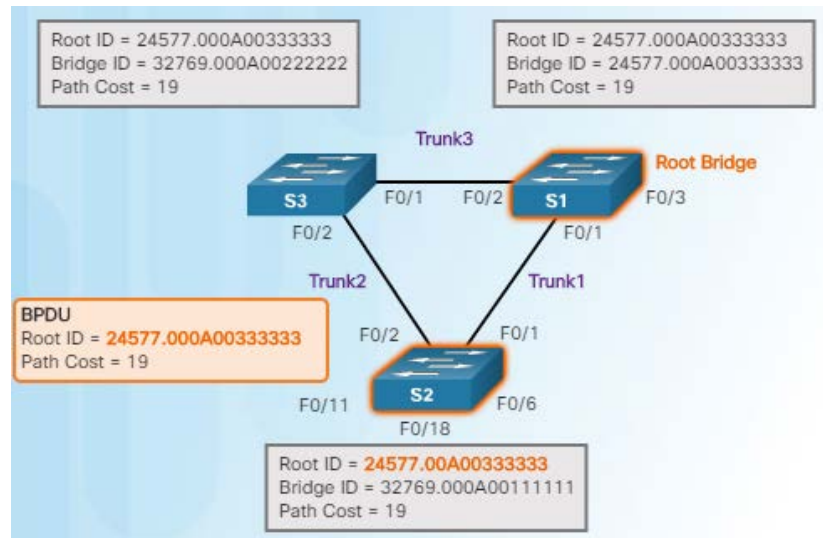
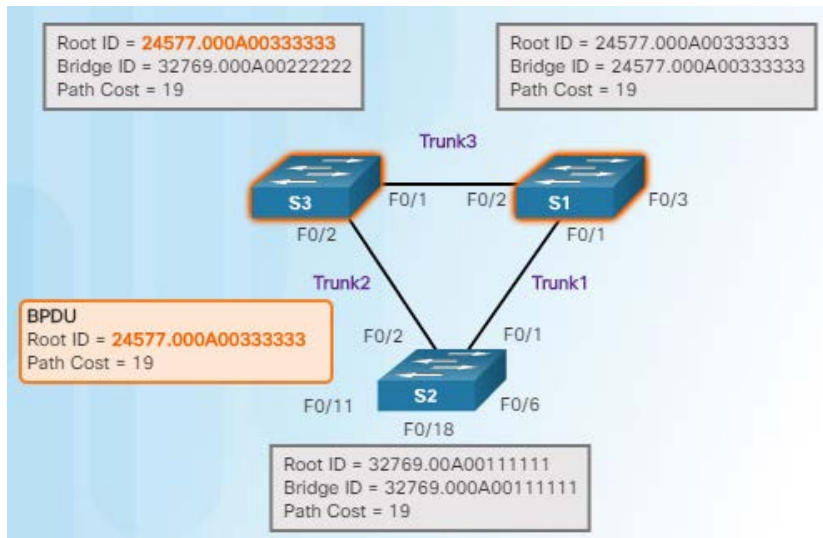
7. S1 now sends out BPDUs out all ports. The BPDU contains information designated S1 as root bridge.
(이제 S1은 모든 포트에서 BPDU를 보냅니다. BPDU에는 루트 브리지로 S1로 지정된 정보가 포함되어 있습니다.)



STP Operation

802.1D BPDUs Propagation and Process (Cont.)

8. S3 compares the info from S1 so S3 now sees that the BID from S1 is lower than its stored root bridge information which is currently showing that S2 is root bridge. S3 changes the root ID to the information received from S1. (S3는 S1의 정보를 비교하므로 이제 S3은 S1의 BID가 현재 S2가 루트 브리지임을 보여주는 저장된 루트 브리지 정보보다 낮음을 알 수 있습니다. S3은 루트 ID를 S1에서 수신한 정보로 변경합니다.)
9. S2 compares the info from S1 so S2 now sees the BID from S1 is lower than its own BID. S2 now updates its own information showing S1 as root bridge. (S2는 S1의 정보를 비교하므로 이제 S2는 S1의 BID가 자체 BID보다 낮습니다. S2는 이제 S1을 루트 브리지로 표시하는 자체 정보를 업데이트합니다.)

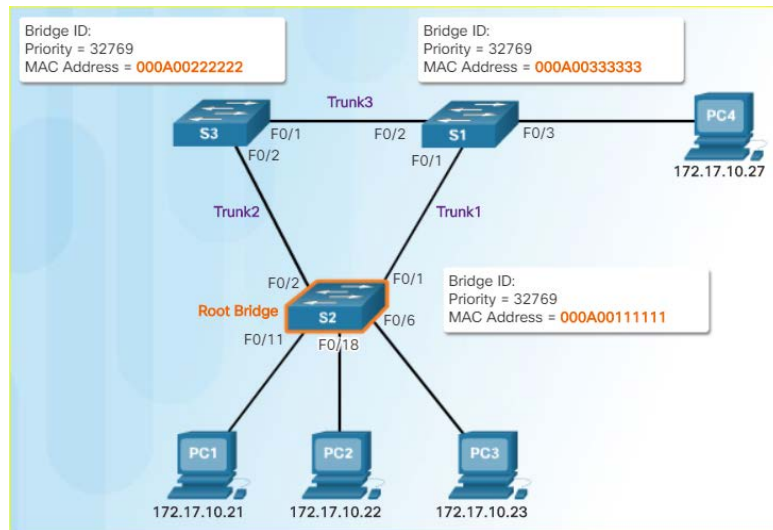
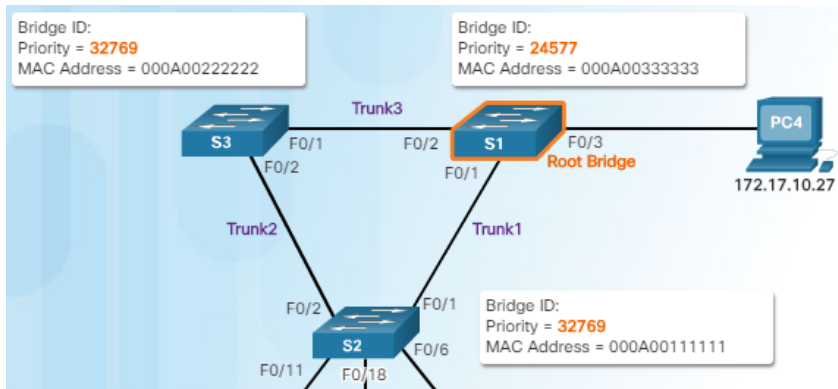
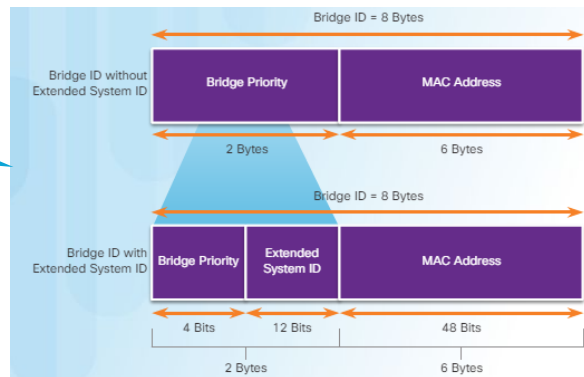


STP Operation

Extended System ID

Remember -
lowest BID
becomes root

- If priorities are all set to the default, lowest MAC address is the determining factor in lowest BID. (우선 순위가 모두 기본값으로 설정된 경우 최저 MAC 주소는 최저 BID의 결정 요소입니다.)
- The priority value can be modified to influence root bridge elections. (루트 브리지 선거에 영향을 미치도록 우선 순위 값을 수정할 수 있습니다.)



3.2 Varieties of Spanning Tree Protocols (스패닝 트리 프로토콜의 종류)

Varieties of Spanning Tree Protocols

Types of Spanning Tree Protocols

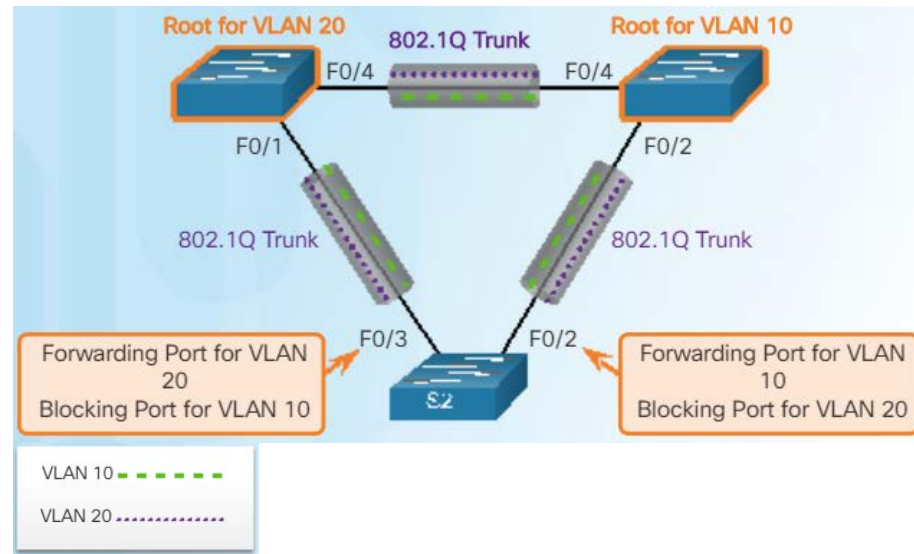
STP Type	Description	
802.1D-1998	1998 - Original STP standard	1998-원래 STP 표준
CST	One spanning-tree instance	VLAN 수에 관계없이 하나의 스패닝 트리 인스턴스를 가정
PVST+	Cisco update to 802.1D; each VLAN has its own spanning-tree instance	802.1D에 대한 Cisco STP의 향상된 기능; 각 VLAN에 별도의 스패닝 트리 인스턴스 제공
802.1D-2004	2004 – Updated bridging and STP standard	2004 – 업데이트된 브리징 및 STP 표준
802.1w (RSTP; Rapid Spanning Tree Protocol)	Improves convergence by adding new roles to ports and enhancing BPDU exchange	포트에 새로운 역할을 추가하고 BPDU 교환을 향상시켜 수렴을 향상시킵니다.
Rapid PVST+	Cisco enhancement of RSTP using PVST+	PVST +를 사용한 RSTP의 Cisco 향상 버전
802.1s (MSTP; Multiple Spanning Tree Protocol)	Multiple VLANs can have the same spanning-tree instance	여러 VLAN이 동일한 스패닝 트리 인스턴스를 가질 수 있습니다

Characteristics of Spanning Tree Protocols

STP Type	Standard (표준)	Resources Needed (필요한 자원)	Convergence (수렴)	Tree Calculation (트리 계산)
STP	802.1D	Low	Slow	All VLANs
PVST+	Cisco	High	Slow	Per VLAN
RSTP	802.1w	Medium	Fast	All VLANs
Rapid PVST+	Cisco	Very high	Fast	Per VLAN
MSTP	802.1s	Medium or high	Fast	Per instance

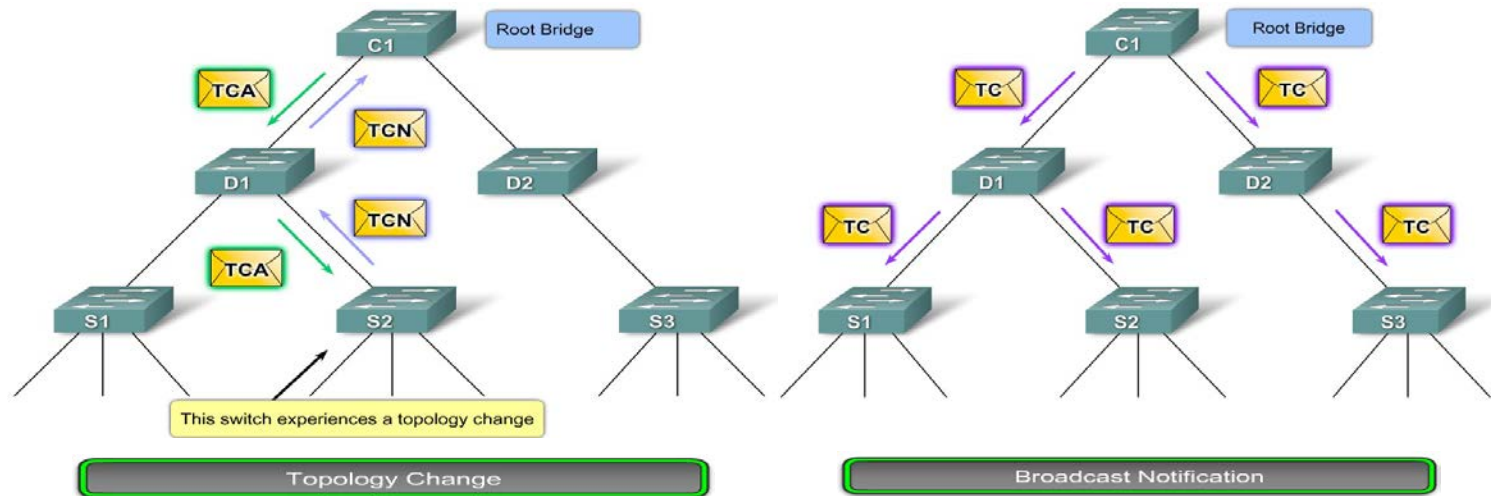
Overview of PVST+

- Original 802.1D defines a common spanning tree
(원본 802.1D는 공통 스페닝 트리를 정의합니다)
 - One spanning tree instance for the switched network (no matter how many VLANs) (교환된 네트워크에 대한 하나의 스페닝 트리 인스턴스 (VLAN 수에 상관없이))
 - No load sharing (로드 공유 없음)
 - One uplink must block for all VLANs (모든 VLAN에 대해 하나의 업 링크가 차단되어야 함)
 - Low CPU utilization because only one instance of STP is used/calculated (하나의 STP 인스턴스만 사용/계산되므로 CPU 사용률이 낮습니다.)
- Cisco PVST+ - each VLAN has its own spanning tree instance (Cisco PVST+ - 각 VLAN에는 자체 스페닝 트리 인스턴스가 있습니다)
 - One port can be blocking for one VLAN and forwarding for another VLAN (하나의 포트는 하나의 VLAN을 차단하고 다른 VLAN을 전달할 수 있습니다)
 - Can load balance (로드 밸런싱 가능)
 - Can stress the CPU if a large number of VLANs are used (많은 VLAN을 사용하는 경우 CPU에 스트레스를 줄 수 있음)



Port States and PVST+ Operation

- 스패닝 트리는 상호 연결된 스위치 간에 BPDU 프레임을 교환하여 학습한 정보를 통해 결정됨
- 스위치는 포워딩 상태에 있던 포트가 동작하지 않거나 토폴로지가 변경되면 TCN (Topology Change Notification) BPDU 를 루트 브리지에 전송
- 스위치가 TCN BPDU를 수신하면 TCA (Topology Acknowledge) BPDU를 보내 자신이 TCN BPDU를 수신했음을 통보
- 루트 브리지가 TCN BPDU를 수신하면 TC (Topology Change) 값을 가지는 BPDU를 전송
- 루트 브리지가 보낸 TC 값을 포함하는 BPDU를 수신한 스위치는 STP를 다시 계산하고 적용하여 토폴로지 변화에 유동적으로 대처함



Varieties of Spanning Tree Protocols

Port States and PVST+ Operation

- 논리적 스패닝 트리를 쉽게 익힐 수 있도록 각 스위치 포트는 5개의 가능한 포트 상태를 가짐

포트 상태	설명	BPDU	시간
차단 (Blocking)	- 프레임이 수신되더라도 폐기 - 토폴로지 변화에 대응하기 위해 BPDU 수신 - 상대 포트로부터 MAX Age 시간 동안 BPDU를 수신하지 못하면 청취 상태로 변경	수신/동작	Max Age 20초
청취 (Listening)	- 프레임이 수신되더라도 폐기 - 자신의 BPDU 및 인접 스위치의 정보 전송 - 루트 포트이거나 지정 포트일 경우에만 청취 상태로 변경 - 전송 지연 시간 동안 토폴로지 변경이 없으면 학습 상태로 전환	수신/동작/전송	전송 지연 15초
학습 (Learning)	- 프레임이 수신되더라도 폐기 - 프레임을 전송하기 위해 MAC 주소 학습하고 복제 - 토폴로지의 변화가 없을 경우 전송 지연 시간 후 포워딩으로 변경	수신/동작/전송	전송 지연 15초
포워딩 (Forwarding)	프레임 송/수신 및 주소 학습	수신/동작/전송	-
비활성화 (Disable)	프레임이 수신되더라도 폐기하고 주소 학습하지 않음	비수신/비동작	-

Varieties of Spanning Tree Protocols

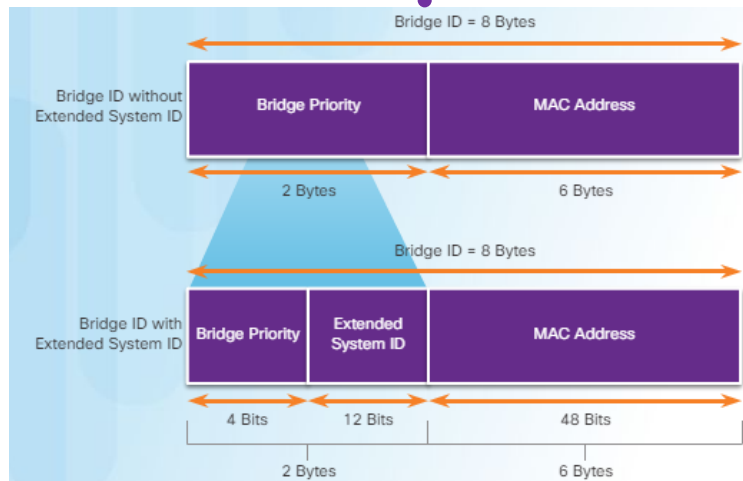
Port States and PVST+ Operation

	Port State				
Operation allowed	Blocking	Listening	Learning	Forwarding	Disabled
Can receive/process BPDUs (BPDU 수신 및 처리 가능)	Yes	Yes	Yes	Yes	No
Can forward data frames received on an interface (인터페이스에서 수신한 데이터 프레임 전달 가능)	No	No	No	Yes	No
Can forward data frames switched from another interface (다른 인터페이스에서 전환된 데이터 프레임을 전달 가능)	No	No	No	Yes	No
Can learn MAC addresses (MAC 주소 학습 가능)	No	No	Yes	Yes	No

Extended System ID and PVST+ Operation

- The extended system ID field ensures each switch has a **unique BID for each VLAN**. (확장 시스템 ID 필드는 각 스위치가 각 VLAN에 대해 고유한 BID를 가지도록 합니다.)
- The VLAN number is added to the priority value. (VLAN 번호가 우선 순위 값에 추가됩니다.)
 - Example – VLAN 2 priority is 32770 (default value of 32768 plus the VLAN number of 2 equals 32770) (예 – VLAN 2 우선 순위는 32770입니다 (기본값 32768에 VLAN 번호 2는 32770 임))
 - Can modify the priority number to influence the root bridge decision process (루트 브리지 결정 프로세스에 영향을 주기 위해 우선 순위 번호를 수정할 수 있습니다)
- Reasons to select a particular switch as root bridge (루트 스위치로 특정 스위치를 선택해야 하는 이유)
 - Switch is positioned such that most traffic patterns flow toward this particular switch (대부분의 트래픽 패턴이 특정 스위치를 향해 흐르도록 스위치가 배치됩니다.)
 - Switch has more processing power (better CPU) (더 많은 처리 능력을 가진 스위치)
 - Switch is easier to access and manage remotely (원격 액세스 및 관리가 더 쉬운 스위치)

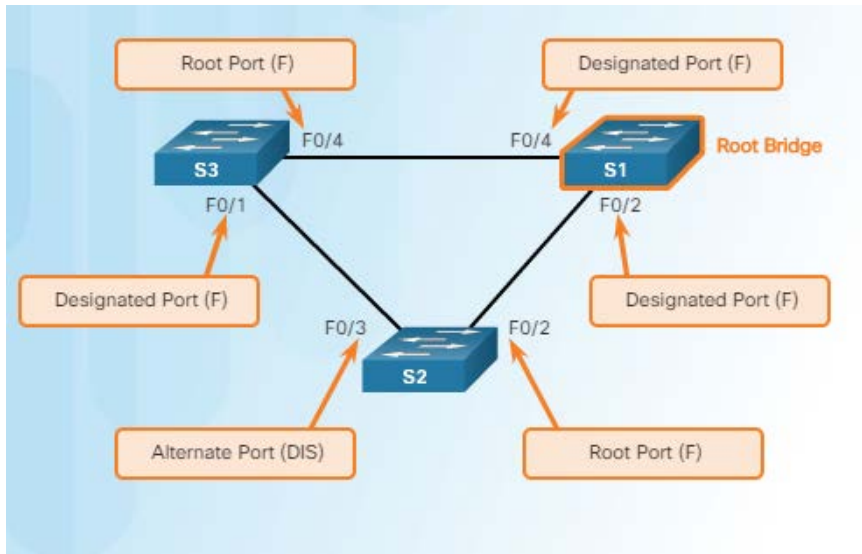
Remember that the BID is a unique ID



* 4비트 우선순위 값은 0~61440 값 중에 4096의 배수만 사용 가능

Varieties of Spanning Tree Protocols

Overview of Rapid PVST+



- Rapid PVST+ speeds up STP recalculations and **converges quicker** (빠른 PVST +는 STP 재계산 속도를 높이고 더 빠르게 수렴합니다.)
 - Cisco version of RSTP (RSTP의 Cisco 버전)
- Two new port types (두 가지 새로운 포트 유형)
 - Alternate port (DIS)
 - Backup port
- Independent instance of RSTP runs for each VLAN (각 VLAN에 대해 독립적 인 RSTP 인스턴스 실행)

Varieties of Spanning Tree Protocols

RSTP BPDUs

- RSTP uses type 2, version 2 BPDUs (RSTP는 유형 2, 버전 2 BPDU를 사용합니다.)
 - Original version was type 0, version 0 (원래 버전은 유형 0, 버전 0입니다)
- A switch using RSTP can work with and communicate with a switch running the original 802.1D version (RSTP를 사용하는 스위치는 원래 802.1D 버전을 실행하는 스위치와 작동하고 통신할 수 있습니다.)
- BPDUs are used as a keepalive mechanism (BPDU는 연결 유지 메커니즘으로 사용됩니다.)
 - 3 missed BPDUs indicates lost connectivity (BPDU 3 개가 누락되면 연결이 끊겼음을 나타냅니다.)

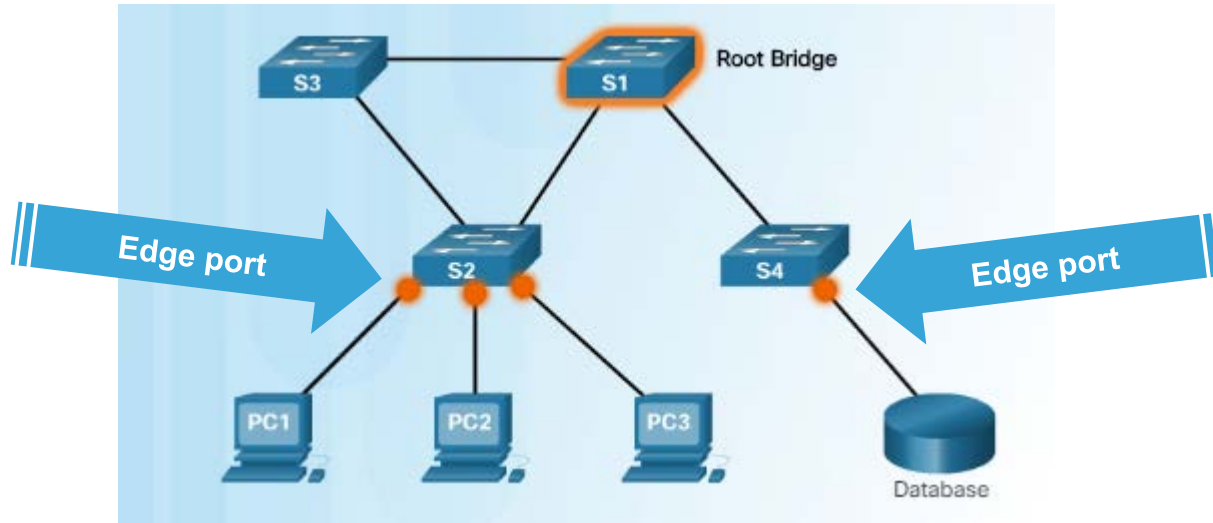
RSTP Version 2 BPDU	
Field	Byte Length
Protocol ID=0x0000	2
Protocol Version ID=0x02	1
BPDU Type=0x02	1
Flags	1
Root ID	8
Root Path Cost	4
Bridge ID	8
Port ID	2
Message Age	2
Max Age	2
Hello Time	2
Forward Delay	2

Flag Field	
Field Bit	Bit
Topology Change	0
Proposal	1
Port Role	2-3
Unknown Port	00
Alternate or Backup Port	01
Root Port	10
Designated Port	11
Learning	4
Forwarding	5
Agreement	6
Topology Change Acknowledgment	7

Varieties of Spanning Tree Protocols

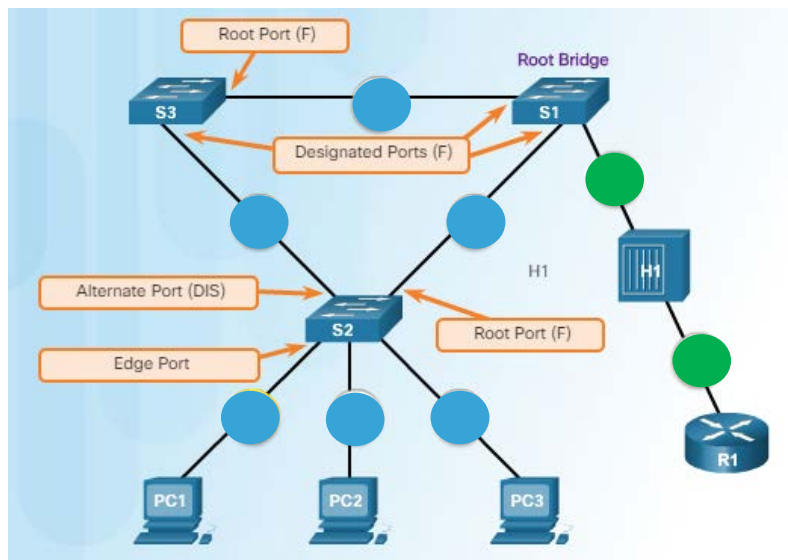
Edge Ports

- Has an end device connected – **NEVER** another switch (엔드 장치가 연결되어 있음 – 절대 다른 스위치가 아님)
- Immediately goes to the forwarding state (즉시 forwarding 상태로 전환)
- Functions similar to a port configured with Cisco PortFast (Cisco PortFast로 구성된 포트와 유사한 기능)
- Use the **spanning-tree portfast** command (spanning-tree portfast 명령 사용)



Link Types

- 포트 모드를 결정할 때 포트의 링크 타입도 영향을 미침. 링크 유형이 포트가 즉시 forwarding 상태로 전환할 수 있는지 여부를 판별 가능. Designated port는 point-to-point인 경우 forwarding 상태로 빠르게 전환 가능.
- Point-to-Point – a port in full-duplex mode connecting from one switch to another switch or from a device to a switch (포인트-투-포인트 – 한 스위치에서 다른 스위치로 또는 장치에서 스위치로 연결하는 전이중 모드의 포트)
- Shared – a port in half-duplex mode connecting a hub to a switch (공유 – 허브를 스위치에 연결하는 반이중 모드의 포트)



● Point-to-Point
● Shared

3.3 Spanning Tree Configuration

(스패닝 트리 구성)

PVST+ Configuration

Catalyst 2960 Default Configuration

Feature	Default Setting
Enable state	Enabled on VLAN 1
Spanning-tree mode	PVST+ (Rapid PVST+ and MSTP are disabled)
Switch priority	32768
Spanning-tree port priority (configurable on a per-interface basis)	128
Spanning-tree port cost (configurable on a per-interface basis)	1000 Mb/s: 4 100 Mb/s: 19 10 Mb/s: 100
Spanning-tree VLAN port priority (configurable on a per-VLAN basis)	128
Spanning-tree VLAN port cost (configurable on a per-VLAN basis)	1000 Mb/s: 4 100 Mb/s: 19 10 Mb/s: 100
Spanning-tree timers	Hello time: 2 seconds Forward-delay time: 15 seconds Maximum-aging time: 20 seconds Transmit hold count: 6 BPDUs

Configuring and Verifying the Bridge ID

- Two ways to influence the root bridge election process (루트 브리지 선거 과정에 영향을 미치는 두 가지 방법)
 - Use the **spanning-tree vlan x root primary** or **secondary** command. (spanning-tree vlan x root primary or secondary 명령 사용)
 - Change the priority value by using the **spanning-tree vlan x priority x** command. (spanning-tree vlan x priority x 명령을 사용하여 우선순위 값 변경)
- Verify the bridge ID and root bridge election by using the **show spanning-tree** command. (show spanning-tree 명령을 사용하여 브리지 ID 및 루트 브리지 선택을 확인)

```
S3# show spanning-tree
VLAN0001
  Spanning tree enabled protocol ieee
  Root ID    Priority    24577
             Address     00A.0033.3333
             This bridge is the root
             Hello Time 2 sec Max Age 20 sec Forward Delay 15 sec
  Bridge ID  Priority    24577 (priority 24576 sys-id-ext 1)
             Address     00A.0033.3333
             Hello Time 2 sec Max Age 20 sec Forward Delay 15 sec
             Aging Time 300

Interface Role Sts Cost Prio.Nbr Type
-----
Fa0/1 Desg FWD 4 128.1 p2p
Fa0/2 Desg FWD 4 128.2 p2p
```

Method 1

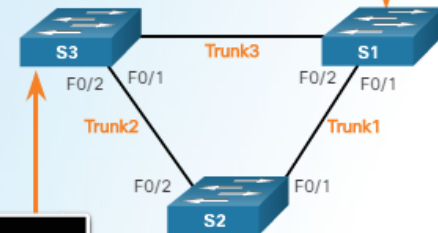
```
s1(config)# spanning-tree VLAN 1 root primary
s1(config)# end
```

Method 2

```
s3(config)# spanning-tree VLAN 1 priority 24576
s3(config)# end
```

Method 1

```
s2(config)# spanning-tree VLAN 1 root secondary
s2(config)# end
```

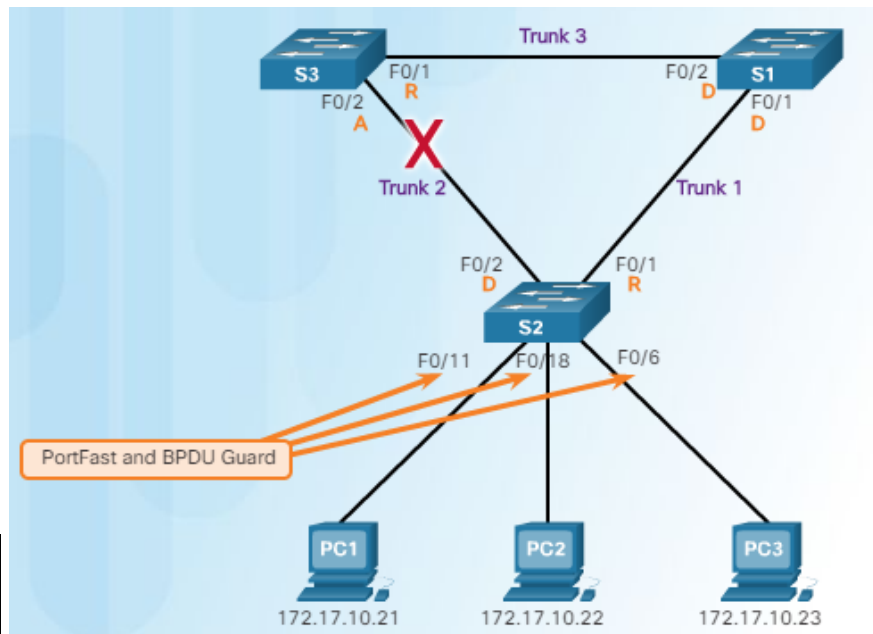


PortFast and BPDU Guard

- PortFast is used on ports that have end devices attached. (PortFast는 엔드 장치가 연결된 포트에서 사용됩니다.)
 - Puts a port in the forwarding state (포트를 전달 상태로 만듭니다.)
 - Allows DHCP to work properly (DHCP가 제대로 작동하도록 합니다)
- BPDU Guard disables a port that has PortFast configured on it if a BPDU is received (BPDU Guard는 BPDU가 수신되면 PortFast가 구성된 포트를 비활성화합니다)

```
S2(config)# interface FastEthernet 0/11
S2(config-if)# spanning-tree portfast
%Warning: portfast should only be enabled on ports connected to a single host.
Connecting hubs, concentrators, switches, bridges, etc... to this interface
when portfast is enabled, can cause temporary bridging loops.
Use with CAUTION
```

```
%Portfast has been configured on FastEthernet0/11 but will only
have effect when the interface is in a non-trunking mode.
S2(config-if)# spanning-tree bpduguard enable
```

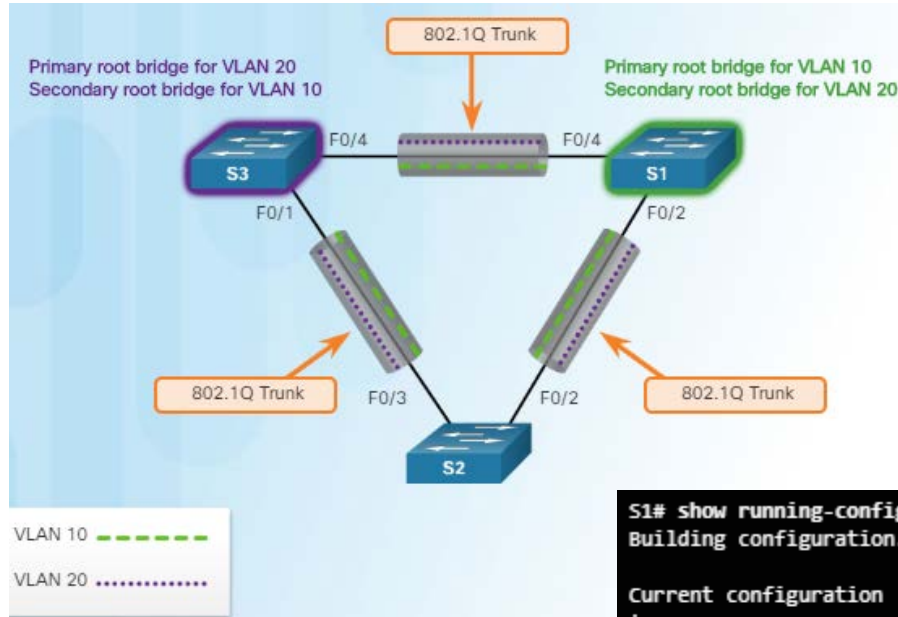


```
S2# show running-config interface f0/11
Building configuration...
```

```
Current configuration : 90 bytes
!
interface FastEthernet0/11
 spanning-tree portfast
 spanning-tree bpduguard enable
```

PVST+ Configuration

PVST+ Load Balancing



```
S1# show running-config
Building configuration...

Current configuration : 1595 bytes
!
version 12.2
<output omitted>
!
spanning-tree mode pvst
spanning-tree extend system-id
spanning-tree vlan 1 priority 24576
spanning-tree vlan 10 priority 4096
spanning-tree vlan 20 priority 28672
```

```
S3(config)# spanning-tree vlan 20 root primary
S3(config)# spanning-tree vlan 10 root secondary
```

or

```
S3(config)# spanning-tree vlan 20 priority 4096
```

```
S1(config)# spanning-tree vlan 10 root primary
S1(config)# spanning-tree vlan 20 root secondary
```

or

```
S1(config)# spanning-tree vlan 10 priority 4096
```

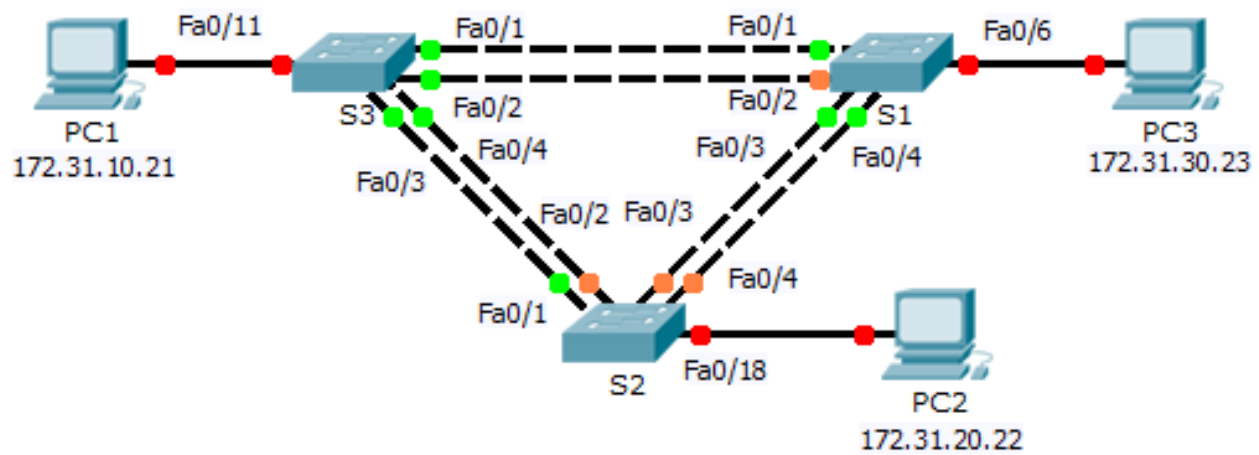
```
S1# show spanning-tree active
<output omitted>
```

```
VLAN0010
Spanning tree enabled protocol ieee
Root ID    Priority    4106
           Address    0019.aa9e.b000
           This bridge is the root
           Hello Time 2 sec Max Age 20 sec Forward Delay 15 sec
Bridge ID   Priority    4106 (priority 4096 sys-id-ext 10)
           Address    0019.aa9e.b000
           Hello Time 2 sec Max Age 20 sec Forward Delay 15 sec
           Aging Time 300
```

Interface	Role	Sts	Cost	Prio.Nbr	Type
Fa0/2	Desg	FWD	19	128.2	p2p
Fa0/4	Desg	FWD	19	128.4	p2p

PVST+ Configuration

Packet Tracer – Configuring PVST+



Device	Interface	IP Address	Subnet Mask	Default Gateway
S1	VLAN 99	172.31.99.1	255.255.255.0	N/A
S2	VLAN 99	172.31.99.2	255.255.255.0	N/A
S3	VLAN 99	172.31.99.3	255.255.255.0	N/A
PC1	NIC	172.31.10.21	255.255.255.0	172.31.10.254
PC2	NIC	172.31.20.22	255.255.255.0	172.31.20.254
PC3	NIC	172.31.30.23	255.255.255.0	172.31.30.254

Ports	Assignments	Network
S1 F0/6	VLAN 30	172.17.30.0/24
S2 F0/18	VLAN 20	172.17.20.0/24
S3 F0/11	VLAN 10	172.17.10.0/24

Packet Tracer – Configuring PVST+

- S1, S2, S3의 비활성화 상태 인터페이스를 확인하여 access mode로 변경하고 활성화하도록 설정
 - show ip interface brief 이나 show running-config 명령을 이용하여 인터페이스 상태 확인
 - 비활성화 상태 인터페이스 설정 변경
 - [예]
 - S1(config)# interface f0/6
 - S1(config-if)# switchport mode access
 - S1(config-if)# no shutdown
- VLAN 생성
 - 모든 스위치에 VLAN 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, and 99 생성
 - [예]
 - S1(config)# vlan 10
 - S1(config-vlan)# vlan 20
 - S1(config-vlan)# vlan 30
 - S1(config-vlan)# vlan 40

Packet Tracer – Configuring PVST+

- 스위치 포트에 VLAN 할당
 - VLAN 할당 표를 참고하여 스위치 포트에 VLAN 할당
 - [예]
 - S1(config)# interface f0/6
 - S1(config-if)# switchport access vlan 30
- VLAN 설정 확인
 - show vlan brief 명령을 이용하여 VLAN 할당 표와 동일하게 구성되었는지 확인
- Native VLAN 99에 trunk 모드 할당
 - 각 스위치의 F0/1 ~ F0/4를 trunk port로 구성하고 native VLAN 99 할당
 - [예]
 - S1(config)# interface range f0/1-4
 - S1(config-if-range)# switchport mode trunk
 - S1(config-if-range)# switchport trunk native vlan 99

Packet Tracer – Configuring PVST+

- 관리용 인터페이스에 IP 주소 할당
 - IP 할당표를 참고하여 각 스위치의 VLAN 99에 IP 주소 할당
 - [예]
 - S1(config)# interface vlan99
 - S1(config-if)# ip address 172.31.99.1 255.255.255.0
- 각 스위치에 STP 모드로 Spanning Tree PVST+ 설정
 - [예]
 - S1(config)# spanning-tree mode pvst
- Spanning Tree PVST+ load balancing 설정
 - VLAN 1, 10, 30, 50 및 70의 기본 루트가 되도록 S1을 구성. VLAN 20, 40, 60, 80 및 99의 기본 루트가 되도록 S3을 구성. 모든 VLAN의 보조 루트가 되도록 S2를 구성.
 - S1(config)# spanning-tree vlan 1,10,30,50,70 root primary
 - S2(config)# spanning-tree vlan 1,10,20,30,40,50,60,70,80,99 root secondary
 - S3(config)# spanning-tree vlan 20,40,60,80,99 root primary

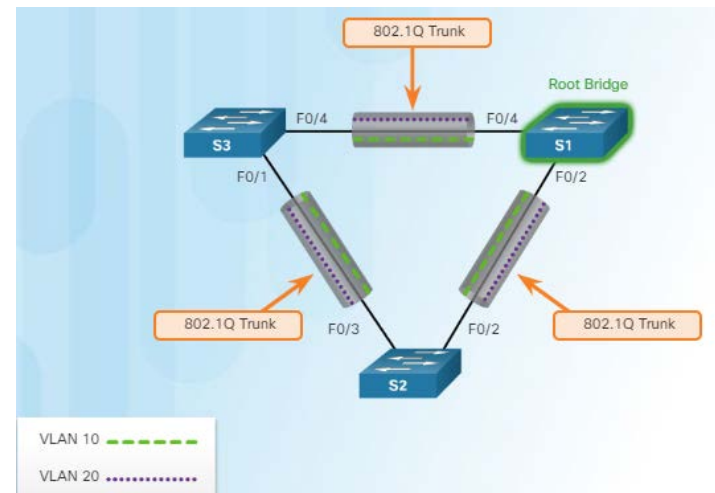
Packet Tracer – Configuring PVST+

- Edge 포트에 PortFast 및 BPDU Guard 설정
 - 각 스위치의 end device (PC)가 연결된 인터페이스에 PortFast and BPDU Guard 설정
 - [예]
 - S1(config)# interface f0/6
 - S1(config-if-range)# spanning-tree portfast
 - PortFast로 설정한 포트에 BPDU Guard 설정
 - [예]
 - S1(config)# interface f0/6
 - S1(config-if)# spanning-tree bpduguard enable
- 구성 정보 확인
 - Show running-config 명령을 이용하여 구성 정보 확인

Rapid PVST+ Configuration

Spanning Tree Mode

- Rapid PVST+ supports RSTP on a per-VLAN basis. (Rapid PVST+는 VLAN별로 RSTP를 지원합니다.)
 - Default on a 2960 is PVST+. (2960 스위치의 기본설정은 PVST+입니다.)
 - The **spanning-tree mode rapid-pvst** puts a switch into Rapid PVST+ mode. (spanning-tree mode rapid-pvst 는 스위치를 Rapid PVST+ 모드로 전환합니다.)
 - The **spanning-tree link-type point-to-point** interface command designates a particular port as a point-to-point link (does not have a hub attached). (spanning-tree link-type point-to-point 인터페이스 명령은 특정 포트를 point-to-point 링크로 지정합니다 (허브가 연결되어 있지 않음).)
 - The **clear spanning-tree detected-protocols** privileged mode command is used to clear STP. (clear spanning-tree detected-protocols 권한 모드 명령은 STP를 지우는데 사용됩니다.)



```
S1# configure terminal
S1(config)# spanning-tree mode rapid-pvst
S1(config)# interface f0/2
S1(config-if)# spanning-tree link-type point-to-point
S1(config-if)# end
S1# clear spanning-tree detected-protocols
```

```
S1# show run

<output omitted>

spanning-tree mode rapid-pvst
spanning-tree extend system-id
spanning-tree vlan 1 priority 24576
spanning-tree vlan 10 priority 4096
spanning-tree vlan 20 priority 28672
```

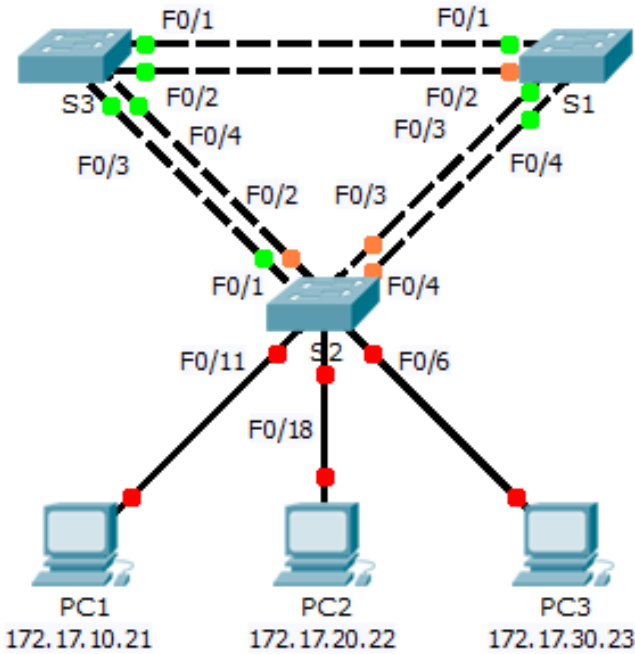
```
S1# show spanning-tree vlan 10
```

```
VLAN0010
  Spanning tree enabled protocol rstp
  Root ID    Priority    4106
             Address     0019.aa9e.b000
             This bridge is the root
             Hello Time 2 sec Max Age 20 sec Forward Delay 15 sec
  Bridge ID  Priority    4106 (priority 4096 sys-id-ext 10)
             Address     0019.aa9e.b000
             Hello Time 2 sec Max Age 20 sec Forward Delay 15 sec
             Aging Time 300

Interface Role Sts Cost Prio.Nbr Type
-----
Fa0/2 Desg LRN 19 128.2 P2p
Fa0/4 Desg LRN 19 128.4 P2p
```

Rapid PVST+ Configuration

Packet Tracer – Configuring Rapid PVST+



Device	Interface	IP Address	Subnet Mask	Default Gateway
S1	VLAN 99	172.17.99.11	255.255.255.0	N/A
S2	VLAN 99	172.17.99.12	255.255.255.0	N/A
S3	VLAN 99	172.17.99.13	255.255.255.0	N/A
PC1	NIC	172.17.10.21	255.255.255.0	172.17.10.254
PC2	NIC	172.17.20.22	255.255.255.0	172.17.20.254
PC3	NIC	172.17.30.23	255.255.255.0	172.17.30.254

Ports	Assignments	Network
S2 F0/6	VLAN 30	172.17.30.0/24
S2 F0/18	VLAN 20	172.17.20.0/24
S2 F0/11	VLAN 10	172.17.10.0/24

Packet Tracer – Configuring Rapid PVST+

- S2의 비활성화 상태 인터페이스를 확인하여 access mode로 변경하고 활성화하도록 설정
 - show ip interface brief 이나 show running-config 명령을 이용하여 인터페이스 상태 확인
 - 비활성화 상태 인터페이스 설정 변경
 - S2(config)# interface range f0/6,f0/11,f0/18
 - S2(config-if-range)# switchport mode access
 - S2(config-fi-range)# no shutdown
- VLAN 생성
 - 모든 스위치에 VLAN 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, and 99 생성
 - [예]
 - S1(config)# vlan 10
 - S1(config-vlan)# vlan 20
 - S1(config-vlan)# vlan 30
 - S1(config-vlan)# vlan 40

Packet Tracer – Configuring Rapid PVST+

- 스위치 포트에 VLAN 할당
 - VLAN 할당 표를 참고하여 스위치 포트에 VLAN 할당
 - [예]
 - S2(config)# interface f0/6
 - S2(config-if)# switchport access vlan 30
- VLAN 설정 확인
 - show vlan brief 명령을 이용하여 VLAN 할당 표와 동일하게 구성되었는지 확인
- Native VLAN 99에 trunk 모드 할당
 - 각 스위치의 F0/1 ~ F0/4를 trunk port로 구성하고 native VLAN 99 할당
 - [예]
 - S1(config)# interface range f0/1-4
 - S1(config-if-range)# switchport mode trunk
 - S1(config-if-range)# switchport trunk native vlan 99

Packet Tracer – Configuring Rapid PVST+

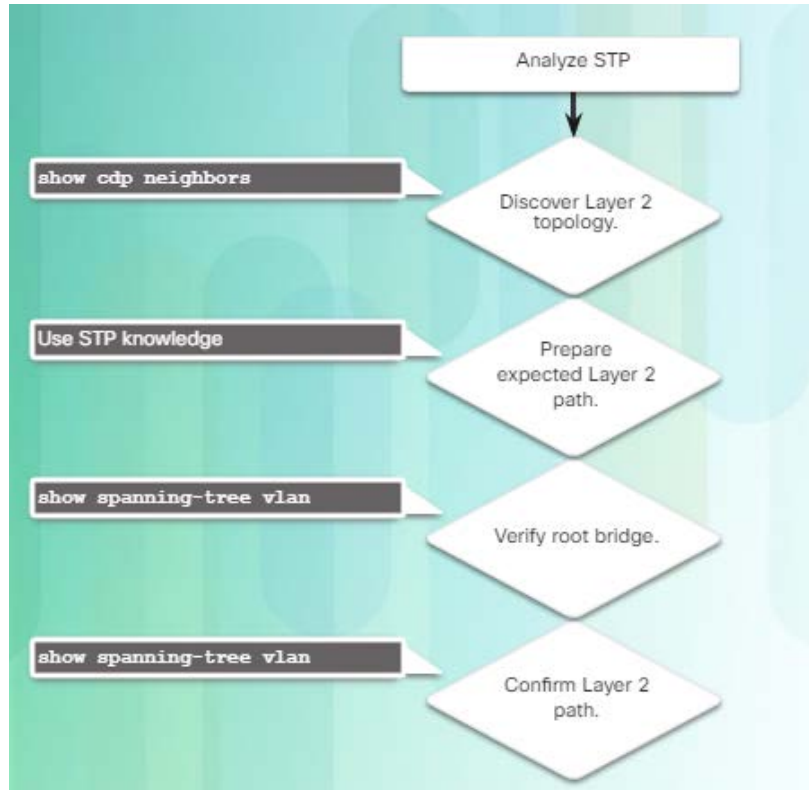
- 관리용 인터페이스에 IP 주소 할당
 - IP 할당표를 참고하여 각 스위치의 VLAN 99에 IP 주소 할당
 - [예]
 - S1(config)# interface vlan99
 - S1(config-if)# ip address 172.17.99.11 255.255.255.0
- 각 스위치에 STP 모드로 Rapid Spanning Tree PVST+ 설정
 - [예]
 - S1(config)# spanning-tree mode rapid-pvst
- Rapid Spanning Tree PVST+ load balancing 설정
 - VLAN 1, 10, 30, 50 및 70의 기본 루트가 되도록 S1을 구성. VLAN 20, 40, 60, 80 및 99의 기본 루트가 되도록 S3을 구성. 모든 VLAN의 보조 루트가 되도록 S2를 구성.
 - S1(config)# spanning-tree vlan 1,10,30,50,70 root primary
 - S2(config)# spanning-tree vlan 1,10,20,30,40,50,60,70,80,99 root secondary
 - S3(config)# spanning-tree vlan 20,40,60,80,99 root primary

Packet Tracer – Configuring Rapid PVST+

- Edge 포트에 PortFast 및 BPDU Guard 설정
 - S2의 end device (PC)가 연결된 인터페이스에 PortFast and BPDU Guard 설정
 - S2(config)# interface range f0/6 , f0/11 , f0/18
 - S2(config-if-range)# spanning-tree portfast
 - PortFast로 설정한 포트에 BPDU Guard 설정
 - S2(config)# interface range f0/6 , f0/11 , f0/18
 - S2(config-if-range)# spanning-tree bpduguard enable
- 구성 정보 확인
 - Show running-config 명령을 이용하여 구성 정보 확인

STP Configuration Issues

Analyzing the STP Topology

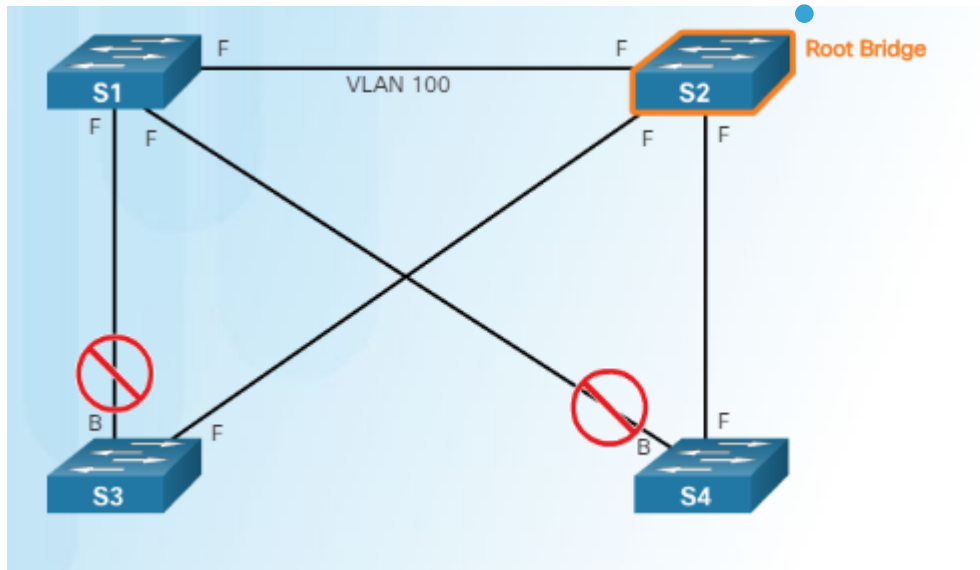


- Step 1: 계층 2 토폴로지 발견. 네트워크 문서가 있다면 사용하거나 show cdp neighbors 명령을 사용
- Step 2: 계층 2 토폴로지를 발견한 후 STP 지식을 활용하여 예상되는계층 2 경로를 판별. 어떤 스위치가 루트 브리지인지 알아야 함
- Step 3: show spanning-tree vlan 명령을 사용하여 루트 브리지 스위치 결정
- Step 4: show spanning-tree vlan 명령을 모든 스위치에서 사용하여 blocking, forwarding 상태인 포트를 확인하고 예상되는 계층 2 경로 확인

Expected Topology Versus Actual Topology

- Ensure that the spanning-tree topology matches what is expected.
(스패닝 트리 토폴로지가 예상 한 것과 일치하는지 확인하십시오.)

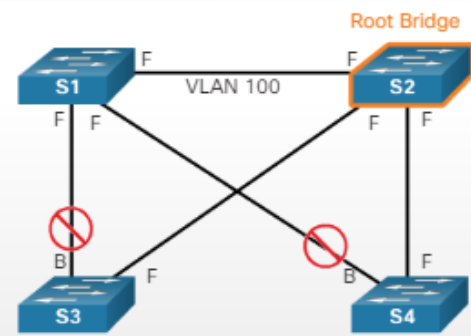
Use **show** commands to verify STP. Do not forget to verify load balancing.



STP Configuration Issues

Overview of STP Status

- Use the **show spanning-tree** and **show spanning-tree vlan x** commands to verify the STP status. (show spanning-tree 및 show spanning-tree vlan x 명령을 사용하여 STP 상태를 확인하십시오.)



```
S1# show spanning-tree vlan 100

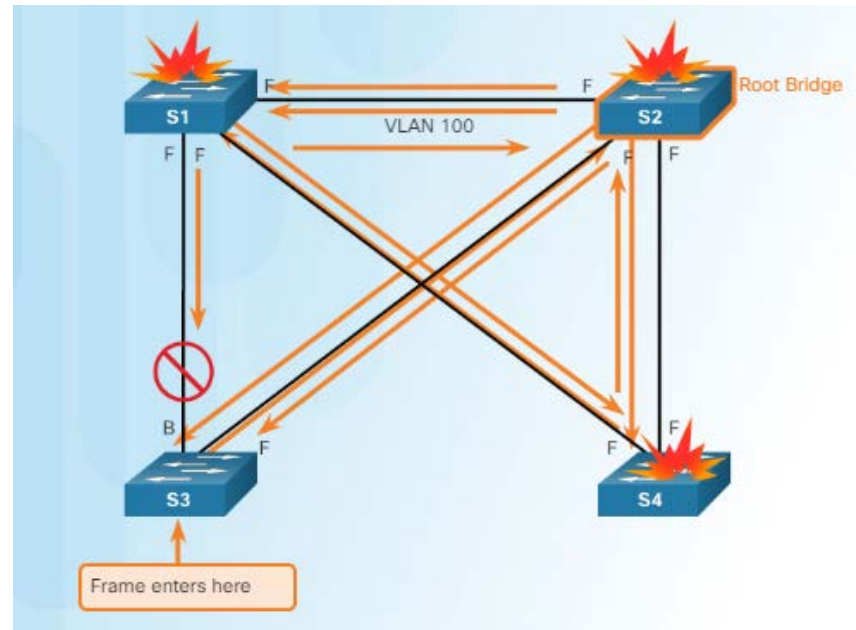
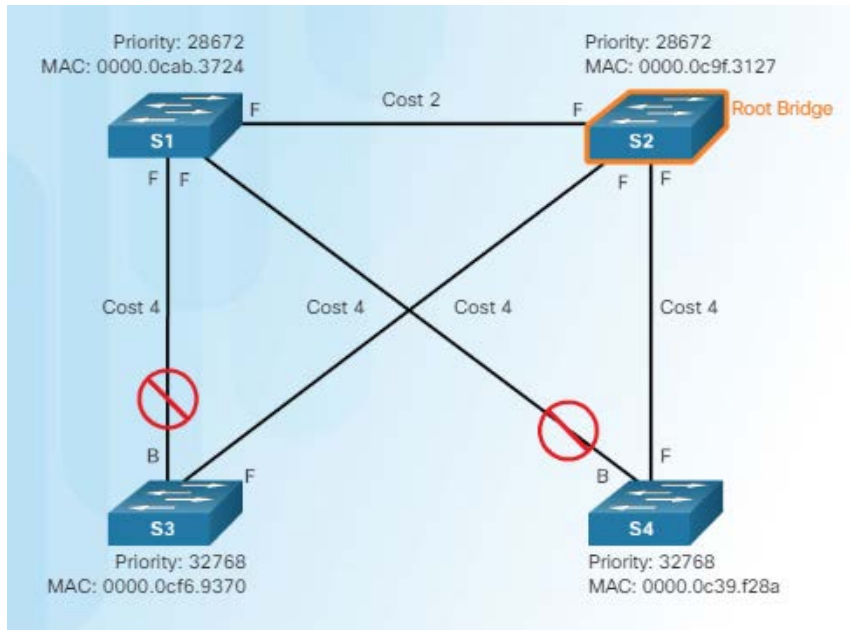
VLAN0100
Spanning tree enabled protocol rstp
Root ID    Priority    28772
           Address    0000.0c9f.3127
           Cost      2
           Port      88 (TenGigabit9/1)
           Hello Time 2 sec Max Age 20 sec Forward Delay 15 sec
Bridge ID   Priority    28772 (priority 28672 sys-id-ext 100)
           Address    0000.0cab.3724
           Hello Time 2 sec Max Age 20 sec Forward Delay 15 sec
           Aging Time 300

Interface   Role Sts Cost      Prio.Nbr Type
-----
Gi3/1       Desg FWD 4         128.72   P2p
Gi3/2       Desg FWD 4         128.80   P2p
Te9/1       Root FWD 2         128.88   P2p
```

Ten gigabit Ethernet interface

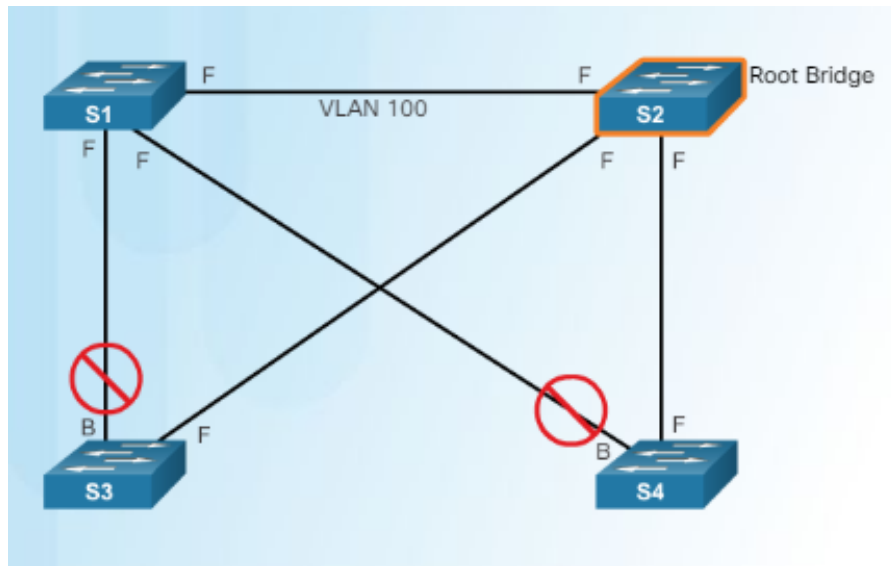
Spanning Tree Failure Consequences

- NEVER turn STP off; this can cause a switched network to be unusable – Remember that there is not a TTL mechanism at Layer 2. (STP를 절대 끄지 마십시오. 이로 인해 교환 네트워크를 사용할 수 없게 될 수 있습니다. 계층 2에는 TTL 메커니즘이 없습니다.)



Repairing a Spanning Tree Problem

- Manually remove redundant links (physically remove the cable OR through configuration, if possible).
(중복 링크를 수동으로 제거합니다 (가능하면 구성을 통해 케이블을 물리적으로 제거하십시오).)
- Determine and repair the cause of the spanning tree failure. (스패닝 트리 오류의 원인을 확인하고 복구하십시오.)
- If unable to determine the problem, reinstall cables one at a time (or re-enable the ports) to locate the issue. (문제를 확인할 수 없는 경우 케이블을 한 번에 하나씩 다시 설치하거나 포트를 다시 활성화하여 문제를 찾으십시오.)



9.4 Chapter Summary

3: STP

- Build a simple switched network with redundant links. (중복 링크로 간단한 교환 네트워크를 구축)
- Explain how different varieties of spanning tree protocols operate. (다양한 종류의 스페닝 트리 프로토콜이 어떻게 작동하는지 설명)
- Implement PVST+ and Rapid PVST+ in a switched LAN environment. (교환 LAN 환경에서 PVST + 및 Rapid PVST +를 구현)



Thank You
