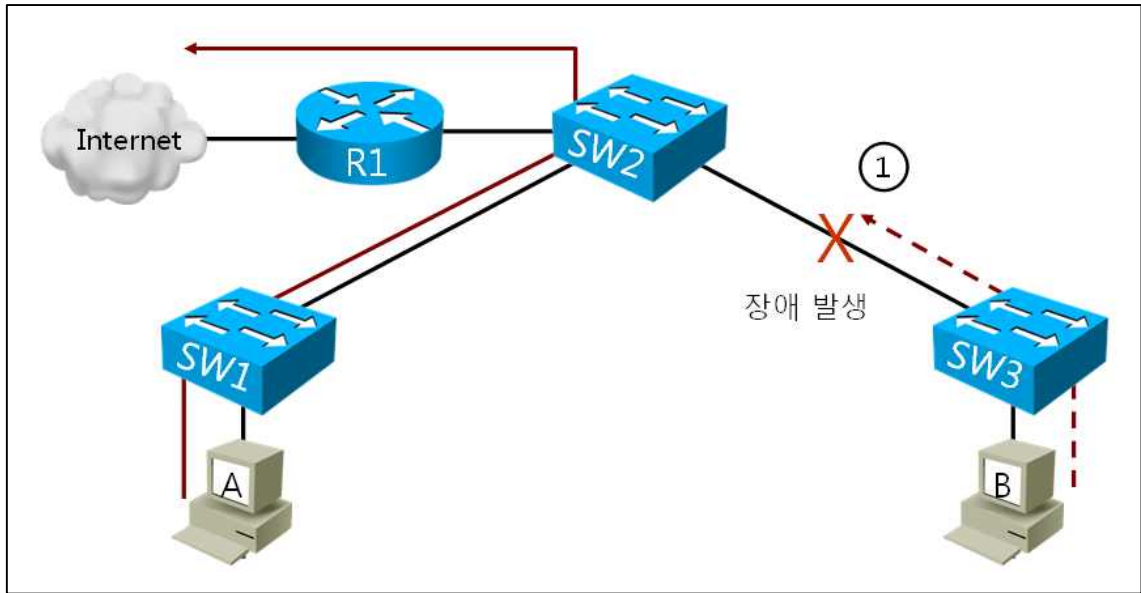


## 제21장 IEEE 802.1d STP

## 스위치 이중화 링크 필요성

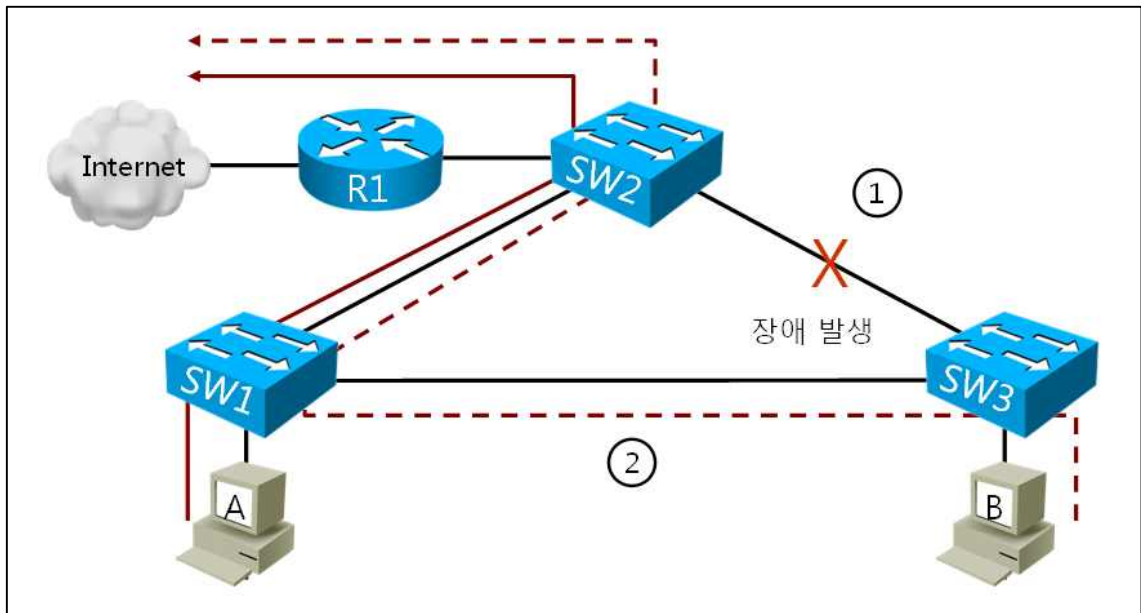
LAN 스위치 구간은 사용자 또는 서버와 직접 연결된 환경이므로 서비스 장애가 발생되면 다운되지 않고 지속적으로 사용될 필요성이 있다. 그렇기 때문에 LAN 스위치 구간에서는 좀더 안정적인 서비스를 지원하기 위해서 이중화(Redundant) 구조가 필요하다. [그림 21-1]은 이중화 링크가 구성되지 않는 환경에서 장애가 발생한 경우, 호스트 B에 대한 서비스 장애를 나타내고 있다.

[그림 21-1] 이중화 링크가 없는 환경에서 장애 발생 문제점



위의 그림을 보면 ① 구간에 장애가 발생되면 호스트 B는 인터넷 사용을 할 수 없게 된다. 만약, [그림 21-2]와 같이 이중화 링크가 구현되어 있다면, ② 구간으로 우회해서 인터넷 사용을 할 수 있다.

[그림 21-2] 이중화 링크가 구현된 환경에서 장애 처리 해결



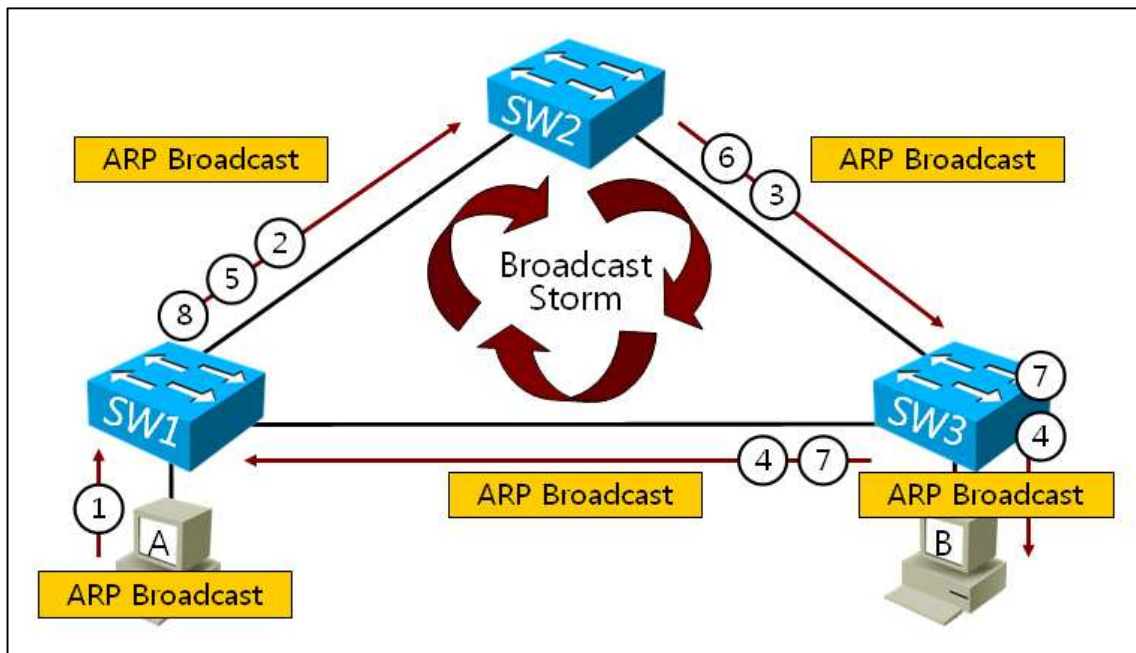
## 브리징 루프(Bridging Loop)

스위치는 브로드캐스트를 수신하면, 모든 트렁크 포트에 플러딩하기 때문에 이중화 링크를 구현한 환경에서는 브리징 루프가 발생된다. 이때, 브리징 루프는 다음과 같은 현상 때문에 발생된다.

### 브로드캐스트 스톰(Broadcast Storm)

브로드캐스트 스톰이란 호스트가 전송하는 브로드캐스트 트래픽을 스위치가 이중화 링크를 통하여 지속적으로 플러딩하여 네트워크 기능을 악화시키는 현상을 의미한다. 이처럼 브로드캐스트 스톰이 발생되면 스위치 CPU 소모는 99%까지 증가되며, 브로드캐스트 트래픽으로 인한 대역폭 고갈 문제와 시스템 과부하 현상이 발생된다. [그림 21-3]은 호스트 A가 호스트 B에 대한 MAC 주소를 학습하기 위해서 ARP 브로드캐스트 요청을 실시하면, 브로드캐스트 스톰이 발생하는 과정을 표현한 것이다.

[그림 21-3] ARP 브로드캐스트 요청으로 인한 브로드캐스트 스톰 발생



[예제 21-1]은 브로드캐스트 스톰이 발생된 경우, 스위치 CPU 사용률을 확인한 것이다.

[예제 21-1] 브로드캐스트 스톰으로 인한 스위치 과부하

```
SW1#show processes cpu
CPU utilization for five seconds: 99%/74%; one minute: 62%; five minutes: 18%
PID Runtime(ms)   Invoked      uSecs   5Sec   1Min   5Min  TTY Process
   1         0         2         0  0.00%  0.00%  0.00%   0 Chunk Manager
   2         8       19786         0  0.00%  0.00%  0.00%   0 Load Meter
~ 중간 생략 ~
   8       52212      11290      4624 23.44% 14.12%  4.02%   0 ARP Input
```

## MAC 주소 테이블 불안정(MAC Flapping)

스위치는 수신한 프레임의 출발지 MAC 주소가 자신의 MAC 테이블에 학습되지 않았다면, 출발지 MAC 주소와 프레임을 수신한 포트 번호를 MAC 테이블에 등록한다. 만약, 특정 포트로 MAC 주소가 학습되어 에이징 타이머가 동작 중일 때, 출발지 MAC 주소가 동일한 프레임을 다른 포트로 학습된다면, MAC 주소가 충돌 되는 Mac 플래핑 현상이 발생한다. 그렇기 때문에 MAC 주소 학습에 대한 일관성이 사라지며, MAC 주소 테이블을 불안정하게 운영하게 된다. [예제 21-2]는 MAC 플래핑이 발생한 스위치에서 발생하는 메시지 내용이다.

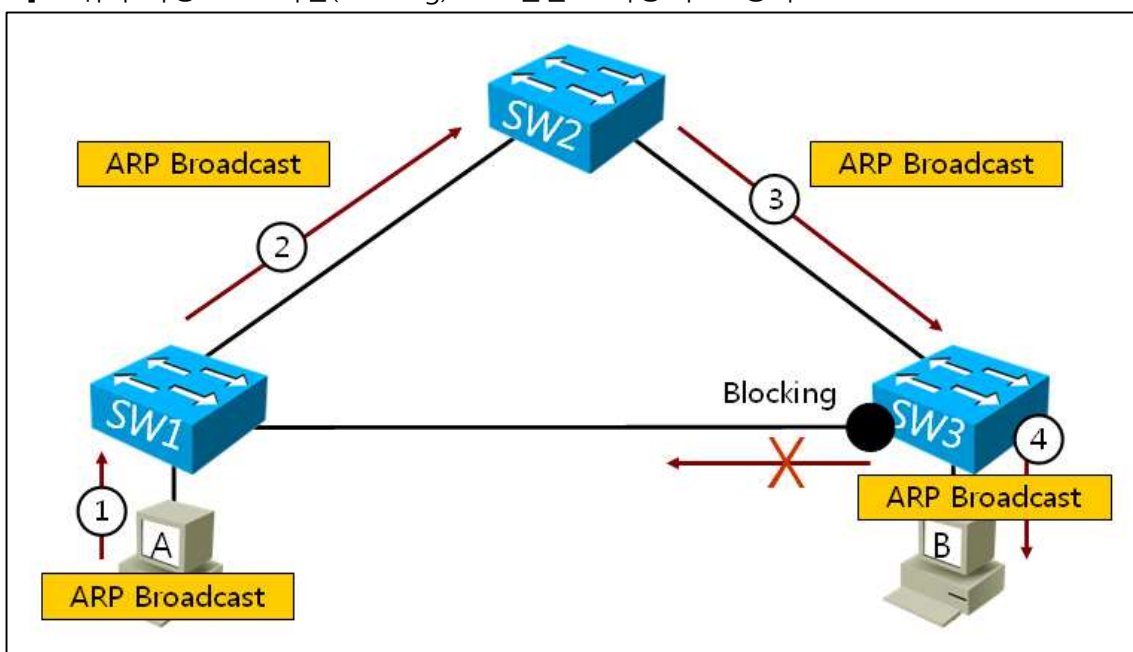
### [예제 21-2] Mac 플래핑 현상 내용

```
SW1#  
1d03h: %SW_MATM-4-MACFLAP_NOTIF: Host 0019.aaff.41c0 in vlan 1 is flapping between port Fa0/24 and port Fa0/20
```

## 유니캐스트 프레임 복제(Copy Unicast Frame)

스위치는 유니캐스트 프레임을 수신하면 자신의 MAC 주소 테이블을 참조하여 목적지 해당 포트로 프레임을 전송한다. 그러나 Unknown 유니캐스트 프레임을 수신하면, 모든 스위치 포트로 프레임을 플러딩하기 때문에 연결된 스위치 포트 개수만큼 유니캐스트 프레임을 복제한다. 이때, 유니캐스트가 여러 개로 복제된다는 것은 유니캐스트 전송 방식에 맞지 않으며, 호스트 입장에서 동일한 유니캐스트 프레임을 수신하게 되는 이더넷 프레임 루프가 발생된다. 이처럼 브로드캐스트 스톱, Mac 플래핑, 유니캐스트 프레임 복제라는 문제가 발생하는 원인은 이중화 링크 구현과 스위치의 플러딩 동작 때문이다. 이 문제를 해결하기 위한 방법으로는 [그림 21-4]와 같이 스위치 특정 포트를 논리적으로 차단(Blocking)하는 것이다.

### [그림 21-4] 스위치 특정 포트 차단(Blocking)으로 인한 브리징 루프 방지



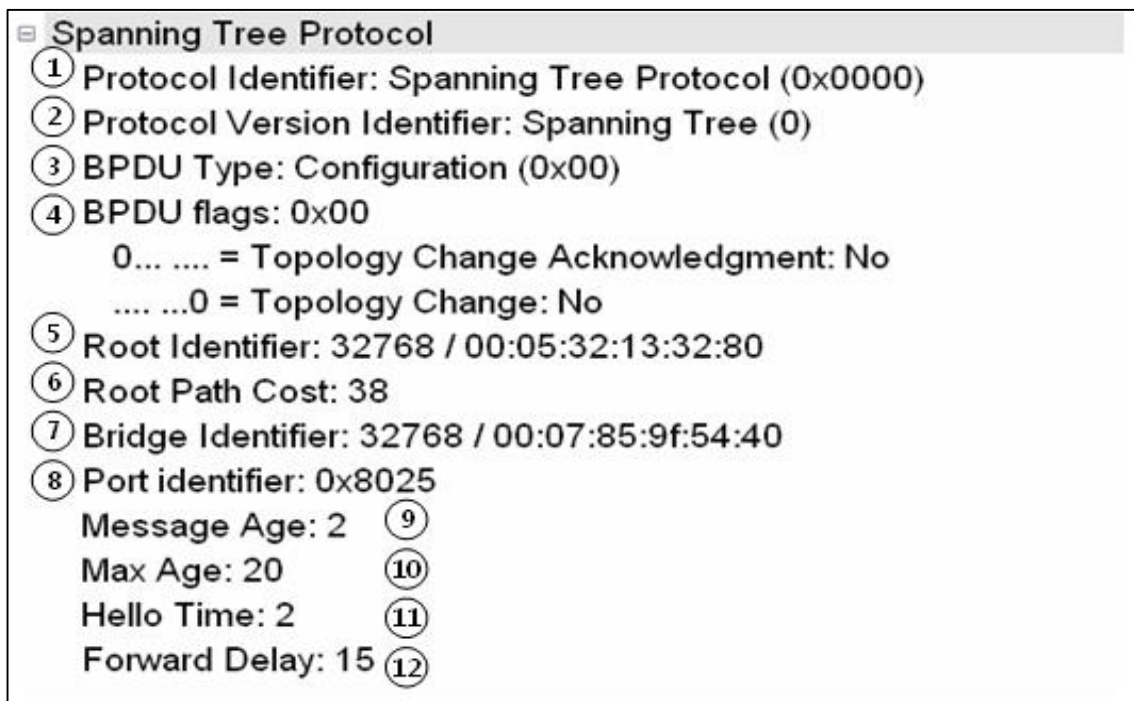
## IEEE 802.1d Spanning-Tree Protocol

IEEE 802.1d STP는 브리징 루프를 해결하기 위해 IEEE에서 정의한 표준 프로토콜이다. 이때, STP는 이중화 링크 구간에서 스위치들간에 발생하는 브리징 루프 방지하고 스위치 구간을 모니터링하여 내부 토폴로지 정보를 갱신한다. 브리징 루프를 방지하는 원리는 스위치 특정 포트를 논리적으로 차단하여 프레임 전송 처리를 못하게 하는 것이다. 만약, 대규모 LAN 스위치 환경 같은 경우, 사용자가 직접 루프의 위치를 감지하고 대체 포트를 선정하는 것은 복잡한 작업이며, 또한 내부 토폴로지 변화를 알아내는 과정도 쉽지 않을 것이다. 이런 문제를 해결하기 위해서 STP는 스위치들간에 BPDU 프레임을 멀티캐스트로 교환하여 스위치들간에 물리적인 연결 상태와 내부 토폴로지 변경 사항 및 루프의 위치를 결정하여 최종적으로 스위치 포트를 차단한다.

### BPDU(Bridge Protocol Data Unit)

BPDU는 IEEE 802.1d STP가 지원하는 스위치들 사이에서 교환되는 프레임이다. STP는 BPDU 프레임을 스위치들간에 전송하여 루프가 없는 경로를 구성하며 네트워크 토폴로지에 대한 모니터링을 실시한다. 이때, BPDU는 설정 BPDU(Configuration BPDU)와 TCN BPDU(Topology Change Notification)이라는 두가지 유형이 존재한다. [그림 21-1]은 설정 BPDU 프레임을 캡처한 내용이다.

[그림 21-1] 설정 BPDU 프레임 내용



- ① 프로토콜 아이디이며, 항상 '0'으로 설정된다.
- ② STP 버전이며, '0'이면 IEEE 802.1d, '2'이면 IEEE 802.1w RSTP, '3'이면 IEEE 802.1s MSTP이다.
- ③ BPDU 타입이며, '0x00'이면 설정 BPDU(Configuration BPDU)를 의미한다.
- ④ 토폴로지 변화를 알리는 BPDU 플래그이며, '0x01'이면 TC, '0x80'이면 TCA이다.
- ⑤ 루트 브리지로 선출된 스위치의 브리지 아이디이다.
- ⑥ 루트 브리지까지의 Cost 값을 의미한다.
- ⑦ 루트 브리지로 가는 경로 직전에 있는 스위치의 브리지 아이디이다.

- ⑧ 포트 아이디이며, BPDU를 전송한 해당 스위치의 포트 번호이다. 기본값은 '128.포트 번호'를 사용한다.
- ⑨ 루트 브리지까지 스위치 개수를 의미한다.
- ⑩ 수신한 BPDU 정보를 보관하는 최대 시간을 의미하며, 기본값은 20초로 설정되어 있다.
- ⑪ BPDU를 전송하는 주기를 의미하며, 기본값은 2초로 설정되어 있다.
- ⑫ 스위치 포트가 포워딩까지 전환되는데 걸리는 시간을 의미하며, STP Listen 단계와 Learning 단계에서 사용된다. 기본값은 15초로 설정되어 있다.

설정 BPDU를 교환하여 루트 브리지를 선출하며, 스위치 포트의 역할을 지정한다. 그리고 루트 브리지가 선출되면, 루트 브리지에서만 설정 BPDU를 생성하여 다른 스위치들에게 전송한다. 그럼 다른 스위치들은 루트 브리지로부터 수신한 BPDU를 또 다른 스위치들에게 전달하게 되면서, 내부 토폴로지에 대한 모니터링을 실시간으로 실시한다. 만약, 스위치 링크가 활성화되거나 장애가 발생하면, 네트워크 토폴로지 변화를 TCN BPDU로 생성하여 루트 브리지에게 보고한다. 이때, TCN BPDU는 [표 21-1]과 같이 설정 BPDU 앞 부분의 3개 필드(프로토콜 아이디, STP 버전, BPDU 타입)로 구성된다.

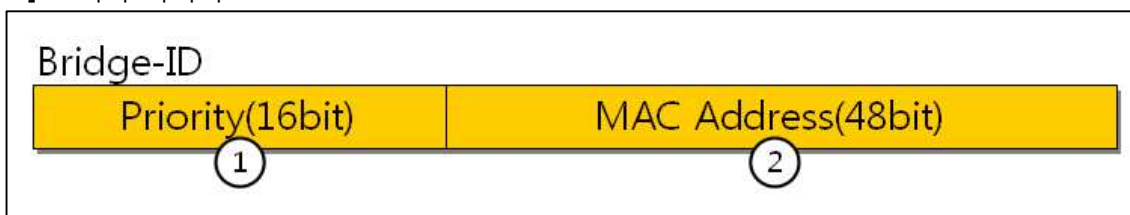
[표 21-1] TCN BPDU 프레임 내용

필드	사이즈	내용
프로토콜 아이디	2Byte	항상 '0'으로 설정됨
STP 버전	1Byte	STP 타입이 설정됨 (0 : STP, 2 : RSTP, 3 : MSTP)
BPDU 타입	1Byte	TCN BPDU인 경우, '0x80'으로 설정됨

## 브리지 아이디

브리지 아이디는 64bit 체계로 스위치를 구분하는 식별자이며, [그림 21-2]와 같이 우선순위 16bit와 MAC 주소 48bit로 구성된다. 이때, 브리지 아이디는 루트 브리지 선출과 포트 차단에서 중요한 값으로 사용된다.

[그림 21-2] 브리지 아이디



- ① 우선 순위는 16bit이며, 기본값은 32768로 설정되어 있다. 이를 16진수로 표기하면 8000으로 처리된다. STP가 동작하는 VLAN 환경에서는 우선순위 값에 VLAN-ID를 더해서 처리한다. 즉, VLAN 1에 대한 우선 순위 기본값은 32768+1로 처리된다. 만약, 우선 순위를 변경하고자 한다면, [예제 21-1]과 같다.
- ② 스위치에 미리 할당되어 있는 MAC 주소(48bit)이다.

[예제 21-1] 우선 순위 변경(0 ~ 61440까지 4096의 배수로 설정 가능)

```
Switch(config)#spanning-tree vlan 1 priority ?
<0-61440> bridge priority in increments of 4096
```



## Cost(거리 비용)

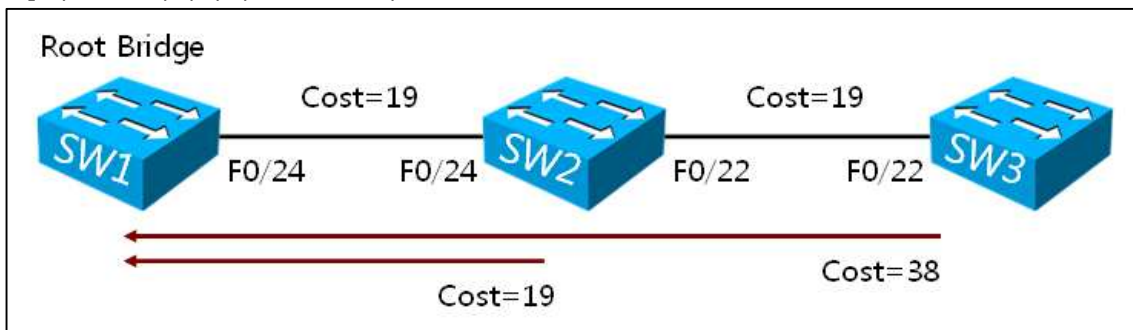
IEEE에 정의한 값을 이용하여 루트 브리지까지 거리 비용을 측정한다. [표 21-2]는 IEEE에서 정의한 Cost 값이며, Bandwidth가 높을수록 Cost 값이 작다. 즉, Cost 값이 작은 경로가 Bandwidth가 높은 구간으로 처리된다.

[표 21-2] Cost 값

Bandwidth	Cost
10Mbps (Ethernet)	100
100Mbps (FastEthernet)	19
1Gbps (GigaEthernet)	4
10Gbps (10 GigaEthernet)	2

예를 들어서 [그림 21-3]과 같은 경우, SW1~SW3까지 FastEthernet 구간이므로 SW2에서 루트 브리지인 SW1까지 Cost 값은 19로 계산되며, SW3에서는 SW1까지 38로 계산된다.

[그림 21-3] 루트 브리지까지 Cost 값 계산 방법



이때, Cost 값은 BPD를 수신하는 포트에서 자신의 스위치 포트 Cost 값을 합산하여 처리한다. 즉, SW2는 SW1로부터 BPD를 수신하면, SW2 F0/24 포트의 Cost 값을 적용하여 루트 브리지까지 Cost 값을 19로 처리한다. 그리고 SW3은 SW2로부터 BPD를 수신하면, SW3 F0/22 포트의 Cost 값을 추가하여 루트 브리지까지 Cost 값을 19+19로 처리한다. 그렇기 때문에 SW2에서는 SW1까지 Cost 값이 19가 되며, SW3에서는 SW1까지 Cost 값이 38이 되는 것이다. 만약, Cost 값을 임의로 변경하고자 한다면, [예제 21-2]와 같다.

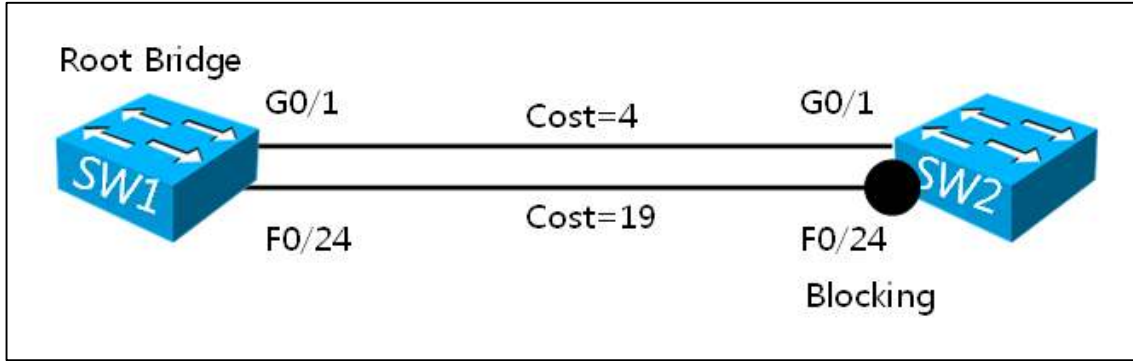
[예제 21-2] Cost 값 변경 (Cost 값을 변경하고자 하는 VLAN-ID를 지정하여 변경)

```

Switch(config)#int fa0/24
Switch(config-if)#spanning-tree vlan 1 cost ?
<1-200000000> Change an interface's per VLAN spanning tree path cost
    
```

Cost 값은 브리징 루프를 방지하기 위해서 포트를 차단하는 가장 첫번째 요소이다. [그림 21-4]와 같이 이중화 링크를 구현한 환경에서 루트 브리지와의 Cost 값이 서로 다른 경우에는 Cost 값이 높은 구간 포트를 차단하여 브리징 루프를 방지한다.

[그림 21-4] Cost 값을 이용한 포트 차단



### 포트 아이디(Port Priority)

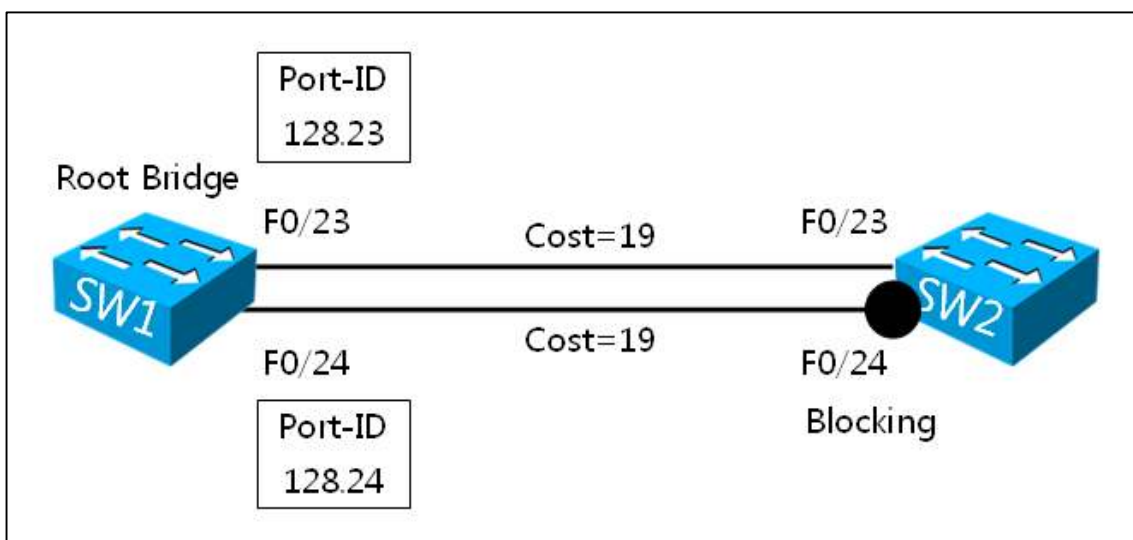
BPDU를 전송하는 스위치 포트의 우선 순위값과 포트 번호이다. 이때, 포트 우선 순위는 기본값으로 128로 설정되어 있으며, [예제 21-3]과 같이 변경할 수 있다.

[예제 21-3] 포트 아이디 값 변경 (0 ~ 240까지 16의 배수로 설정 가능)

```
Switch(config)#int fa0/24
Switch(config-if)#spanning-tree vlan 1 port-priority ?
<0-240> port priority in increments of 16
```

만약, 루트 브리지와 Cost 값이 동일한 이중화 링크가 있을 경우, [그림 21-5]와 같이 SW2는 SW1으로부터 수신한 BPDU 메시지의 포트 우선 순위가 높은 포트를 차단한다. 즉, SW1 F0/24 포트에 연결된 SW2 F0/24 포트가 차단된다.

[그림 21-5] 포트 아이디를 이용한 포트 차단



여태까지 알아봤던 브리지 아이디, Cost, 포트 아이디는 STP 환경에서 루트 브리지를 선출하고 각 포트에 대한 역할을 지정하며, 포트를 차단하기 위한 요소로 사용되는 중요한 값들이라는 것을 숙지하도록 하자..



## STP 정보 확인

'show spanning-tree' 또는 'show spanning-tree vlan [vlan-id]'를 실시하여 STP 상태 정보를 확인할 수 있다.

### [예제 21-4] STP 정보 확인

```
SW1#show spanning-tree vlan 1
VLAN0001
  Spanning tree enabled protocol ieee
  Root ID    Priority      32769 ①
             Address      0001.9608.DC2A ②
             This bridge is the root ③
             Hello Time 2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec ④

  Bridge ID  Priority      32769 (priority 32768 sys-id-ext 1) ⑤
             Address      0001.9608.DC2A ⑥
             Hello Time 2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec ⑦
             Aging Time 300 ⑧

  ⑨          ⑩    ⑪    ⑫          ⑬    ⑭
Interface    Role  Sts  Cost    Prio.Nbr Type
-----
Fa0/20       Desg FWD 19      128.20 P2p
Fa0/24       Desg FWD 19      128.24 P2p
```

- ① SW1이 알고 있는 루트 브리지의 우선 순위 값이다.
- ② SW1이 알고 있는 루프 브리지의 MAC 주소 값이다.
- ③ SW1 자기 자신이 STP 환경에서 루트 브리지를 수행하고 있다.
- ④ 루트 브리지가 사용하는 Hello 주기, Max Age 타이머, Forward Delay 타이머이다.
- ⑤ SW1 브리지 아이디의 우선 순위 값이다.
- ⑥ SW1 브리지 아이디의 MAC 주소 값이다.
- ⑦ SW1이 사용하는 Hello 주기, Max Age 타이머, Forward Delay 타이머이다.
- ⑧ MAC 주소 테이블에 등록된 MAC 주소 정보를 갱신하는 에이징 타이머이다.
- ⑨ STP 포트에 참여된 스위치 포트이다.
- ⑩ STP 포트 유형을 의미한다. 동작하는 역할에 따라서 Root 포트, Designated 포트, Alternate 포트가 있다.
- ⑪ 스위치 포트 상태를 의미한다. 상태에는 BLK(Blocking), LIS(Listening), LRN(Learning), FWD(Forwarding)이 있다.
- ⑫ 스위치 포트에 해당하는 Cost 값을 의미한다.
- ⑬ 포트 아이디를 의미한다. 기본 값으로는 '128.포트 번호'로 처리된다.
- ⑭ 상대방 스위치와 연결된 타입을 의미한다. P2P이면 Full-Duplex 모드이며, Shared이면 Half-Duplex 모드로 연결된 것이다.

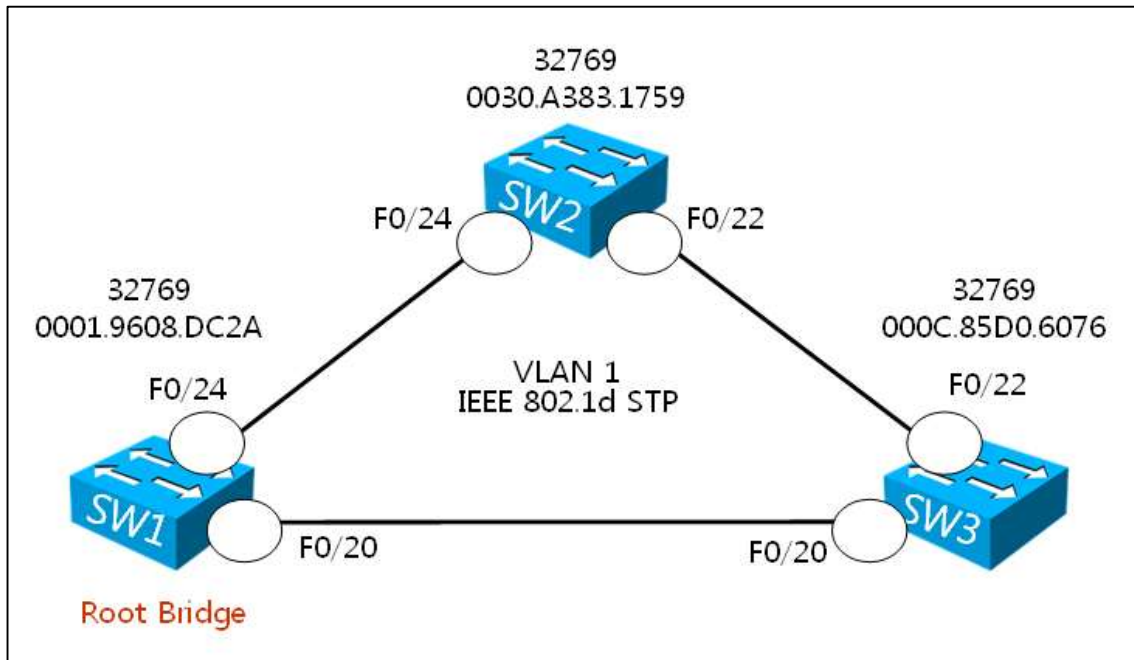
## 브리징 루프를 방지하기 위한 STP 동작 과정

STP는 브리징 루프를 방지하기 위해서 가장 먼저 루트 브리지를 선출한다. 그리고 루트 브리지가 아닌 다른 스위치에서 BPDU를 수신하는 루트 포트(Root Port)를 선정한 다음, 루트 포트와 연결된 포트를 지정 포트(Designated Port)로 지정하여 BPDU를 송신한다. 그런 다음 루트 포트와 지정 포트가 아닌 포트를 대체 포트(Alternate Port)로 선정하여 논리적으로 차단 상태를 유지한다. [그림 21-6]을 참조하여 STP 동작 과정을 알아보도록 하자.

### 루트 브리지 선출

브리지 아이디의 우선 순위 값이 가장 낮은 스위치가 루트 브리지로 선출되며, 만약 우선 순위가 동일하면 MAC 주소 값이 가장 낮은 스위치가 루트 브리지로 선출된다. [그림 21-6]을 보면 SW1, SW2, SW3의 우선 순위가 기본값으로 동일하므로 MAC 주소 값이 가장 작은 SW1이 루트 브리지로 선출된다.

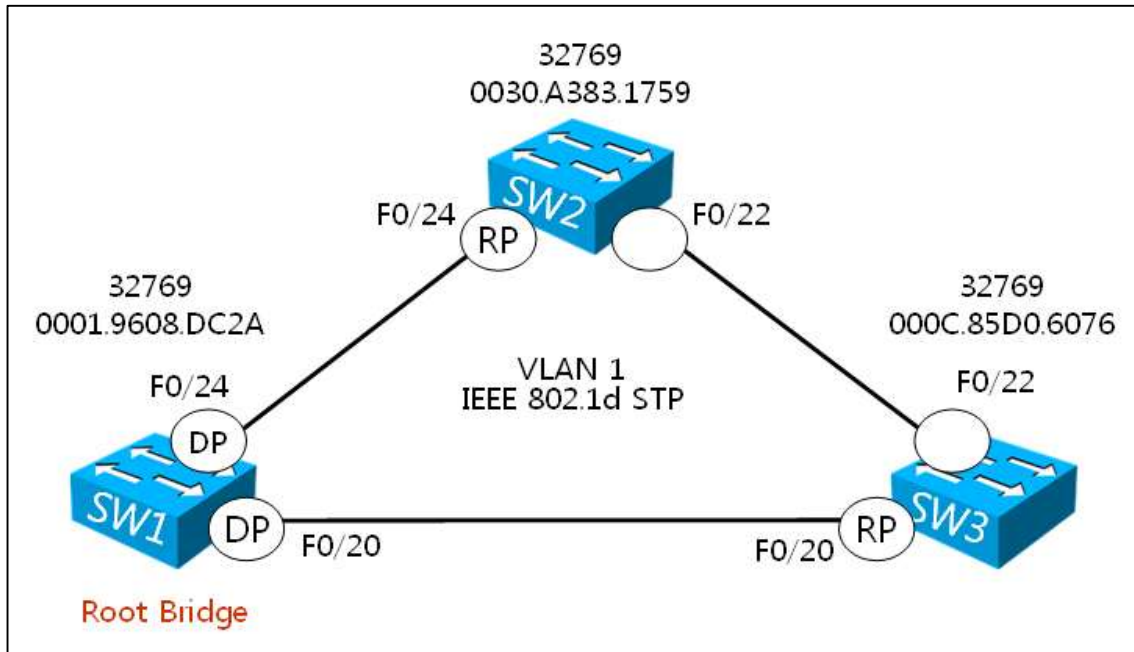
[그림 21-6] 루트 브리지 선출



### 루트 포트(RP : Root Port)와 지정 포트(DP : Designated Port) 선정

루트 브리지가 선출되면, 루트 브리지에서 설정 BPDU를 생성하여 전송한다. 이때, BPDU를 송신하는 포트가 지정 포트(DP)로 선정되며, BPDU를 수신하는 포트가 루트 포트(RP)로 선정된다. 그렇기 때문에 루트 브리지의 모든 포트는 지정 포트(DP)로 선정되며, 루트 브리지에서 송신하는 BPDU를 가장 작은 Cost 값에서 수신할 수 있는 포트를 루트 포트(RP)로 선정한다. [그림 21-7]을 보면 SW1 F0/20과 F0/24는 지정 포트(DP)로 선정된다. 그리고 SW2 F0/24(Cost 19)는 F0/22(Cost 38)보다 루트 브리지까지의 Cost 값이 작기 때문에 루트 포트(RP)로 선정되며, SW3 F0/20(Cost 19)도 F0/22(Cost 38)보다 루트 브리지까지의 Cost 값이 작기 때문에 루트 포트(RP)로 선정된다.

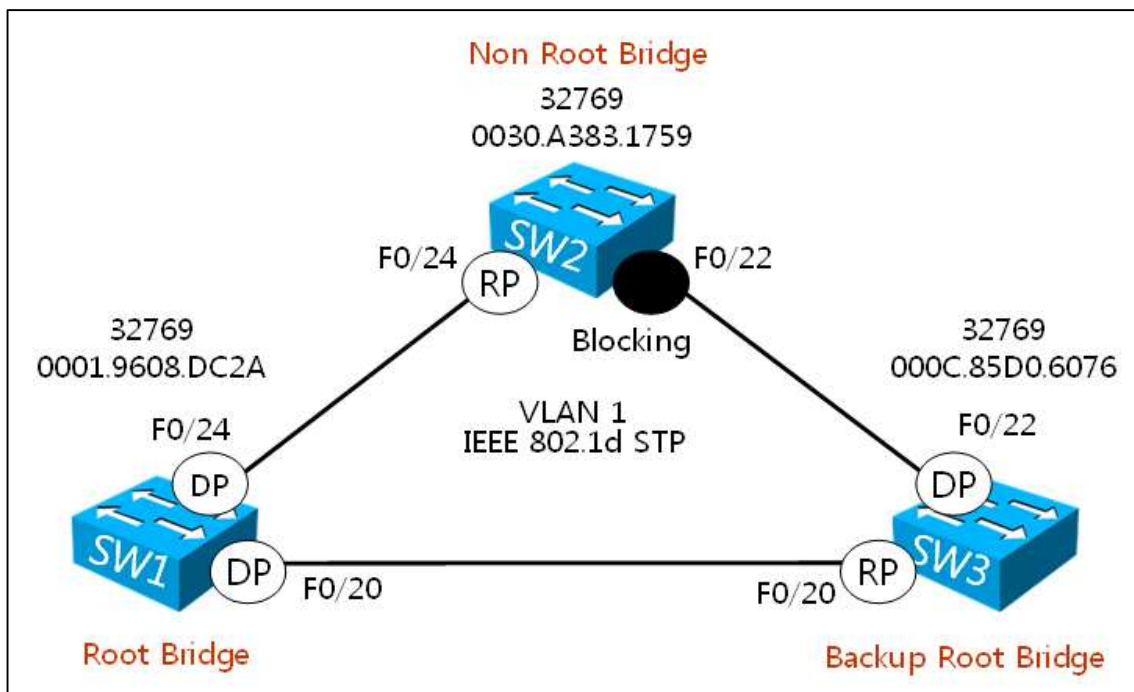
[그림 21-7] 루트 포트(RP)와 지정 포트(DP) 선정



### 대체 포트(Alternate Port) 선정

이제 SW2 F0/22와 SW3 Fa0/22 중에 하나의 포트가 차단되게 되는데, 이때, 루트 브리지까지 Cost 값이 높은 포트가 차단된다. 그러나 SW2 F0/22와 SW3 F0/22는 루트 브리지까지 Cost 값이 '38'로 동일하기 때문에 Cost 값을 이용하여 포트를 차단할 수 없다. 이런 경우, [그림 21-8]과 같이 SW2과 SW3의 브리지 아이디를 비교하여 브리지 아이디가 높은 SW2 F0/22를 차단하여 대체 포트로 선정한다.

[그림 21-8] 대체 포트(Alternate Port) 선정



SW2 F0/22는 대체 포트로 선정되어 논리적으로 차단되었기 때문에 프레임 송수신과 BPDU 송신이 불가능하다. 단, 루트 브리지로부터 전송되는 BPDU를 수신해야 하기 때문에 SW3 F0/22는 지정 포트(DP)로 선정된다. 그리고 SW2와 같이 대체 포트를 갖고 있는 스위치를 Non 루트 브리지라고 하며, SW3과 같이 루트 브리지는 아니면서 대체 포트가 없는 스위치를 백업 루트 브리지라고 한다.

## SW1 STP 정보 확인(루트 브리지)

루트 브리지로 선출된 SW1에서는 자신이 루트 브리지를 수행한다는 'This bridge is the root' 문구를 확인할 수 있다. 또한, SW1 F0/20과 F0/24는 지정 포트(DP)로 선정되어 포워딩(FWD) 상태인 것을 확인할 수 있다.

### [예제 21-5] 루트 브리지 STP 정보 확인

```
SW1#show spanning-tree vlan 1
VLAN0001
  Spanning tree enabled protocol ieee
  Root ID    Priority      32769
             Address      0001.9608.DC2A
             This bridge is the root ①
             Hello Time 2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec

  Bridge ID  Priority      32769 (priority 32768 sys-id-ext 1)
             Address      0001.9608.DC2A
             Hello Time 2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec
             Aging Time 300

Interface    Role  Sts  Cost    Prio.Nbr Type
-----
Fa0/20       Desg FWD 19      128.20 P2p ②
Fa0/24       Desg FWD 19      128.24 P2p ③
```

- ① SW1, SW2, SW3 중에 자기 자신(SW1)이 루트 브리지를 수행하고 있다는 의미이다.
- ② SW1은 루트 브리지이므로 F0/20 포트는 지정 포트(DP)가 되며, 포트 상태는 포워딩(FWD)으로 동작한다.
- ③ SW1은 루트 브리지이므로 F0/24 포트는 지정 포트(DP)가 되며, 포트 상태는 포워딩(FWD)으로 동작한다.

## SW3 STP 정보 확인(백업 루트 브리지)

백업 루트 브리지로 동작하는 SW3은 루트 브리지까지의 Cost 값과 연결 포트 정보를 갖고 있으며, 이 정보를 이용하여 루트 브리지의 위치를 알 수 있다. 또한, 백업 루트 브리지이므로 대체 포트는 선정되어 있지 않으며, F0/20는 루트 포트로 선정되어 루트 브리지로부터 BPDU를 수신하고 F0/22는 지정 포트로 선정되어 Non 루트 브리지인 SW2에게 BPDU를 전송한다. 그리고 F0/20, F0/22 포트는 포워딩 상태이므로 프레임 송

수신이 가능하다.

**[예제 21-6]** 백업 루트 브리지 STP 정보 확인

```
SW3#show spanning-tree vlan 1
VLAN0001
  Spanning tree enabled protocol ieee
  Root ID    Priority      32769
             Address      0001.9608.DC2A
             Cost         19 ①
             Port         20(FastEthernet0/20) ②
             Hello Time   2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec

  Bridge ID  Priority      32769 (priority 32768 sys-id-ext 1)
             Address      000C.85D0.6076
             Hello Time   2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec
             Aging Time   300

Interface    Role  Sts  Cost    Prio.Nbr Type
-----
Fa0/20       Root FWD 19      128.20  P2p ③
Fa0/22       Desg FWD 19      128.22  P2p ④
```

- ① SW3에서 루트 브리지까지의 Cost 값이 '19'이며, 이는 FastEthernet으로 직접 연결된 것을 의미한다.
- ② SW3 F0/20 구간 방향으로 루트 브리지가 연결되어 있는 상태를 의미한다.
- ③ SW1 F0/20으로부터 전송되는 BPDU를 수신해야 하기 때문에 루트 포트가 선정되며, 포트 상태가 포워딩으로 동작하므로 프레임 송수신이 가능하다.
- ④ 루트 브리지로부터 수신한 BPDU를 SW3에게 전송해야 하기 때문에 지정 포트가 선정되며, 포트 상태가 포워딩으로 동작하므로 프레임 송수신이 가능하다.

이때, SW3은 루트 브리지까지 Cost 값이 19이며, F0/20 구간 방향에 루트 브리지가 있으므로 'show cdp neighbors'를 실시하여 SW3 F0/20과 연결된 스위치가 어떤 스위치인지 확인하도록 하자.

**[예제 21-7]** SW3에서 CDP 정보 확인

```
SW3#show cdp neighbors
Capability Codes: R - Router, T - Trans Bridge, B - Source Route Bridge
                  S - Switch, H - Host, I - IGMP, r - Repeater, P - Phone
```

Device ID	Local Intrfce	Holdtme	Capability	Platform	Port ID
SW1	Fas 0/20	165		3560	Fas 0/20
SW2	Fas 0/22	165		3560	Fas 0/22

[예제 21-7]를 보면 SW3 F0/20과 연결된 SW1이 루트 브리지인 것을 알 수 있다.

## SW2 STP 정보 확인(Non 루트 브리지)

SW1이 루트 브리지로 선출된 다음, SW2과 SW3 중에 브리지 아이디가 높은 SW2에 대체 포트가 선정되어 SW2는 Non 루트 브리지로 선출된다. 그렇기 때문에 F0/22이 대체 포트가 선정되어 포트가 차단 상태로 동작한다. 그리고 F0/24는 SW1으로부터 BPDU를 수신해야하기 때문에 루트 포트가 선정되어 포워딩 상태로 동작한다.

### [예제 21-8] Non 루트 브리지 STP 정보 확인

```
SW2#show spanning-tree vlan 1
VLAN0001
  Spanning tree enabled protocol ieee
    Root ID    Priority      32769
              Address      0001.9608.DC2A
              Cost        19 ①
              Port        24(FastEthernet0/24) ②
              Hello Time  2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec

    Bridge ID  Priority      32769 (priority 32768 sys-id-ext 1)
              Address      0030.A383.1759
              Hello Time  2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec
              Aging Time  300

Interface      Role  Sts  Cost    Prio.Nbr Type
-----
Fa0/22         Altn  BLK  19      128.22  P2p ③
Fa0/24         Root  FWD  19      128.24  P2p ④
```

- ① SW2에서 루트 브리지까지의 Cost 값이 '19'이며, 이는 FastEthernet으로 직접 연결된 것을 의미한다.
- ② SW2 F0/24 구간 방향으로 루트 브리지가 연결되어 있는 상태를 의미한다.
- ③ SW3보다 브리지 아이디가 높기 때문에 대체 포트가 선정되어 포트가 차단된 상태이다.
- ④ SW1 F0/24으로부터 전송되는 BPDU를 수신해야 하기 때문에 루트 포트가 선정되며, 포트 상태가 포워딩으로 동작하므로 프레임 송수신이 가능하다.

SW2도 마찬가지로 루트 브리지까지 Cost 값이 19이며, F0/24 구간 방향에 루트 브리지가 있으므로 'show cdp neighbors'를 실시하여 SW2 F0/24과 연결된 스위치가 어떤 스위치인지 확인하도록 하자.

### [예제 21-9] SW3에서 CDP 정보 확인

```
SW2#show cdp neighbors
Capability Codes: R - Router, T - Trans Bridge, B - Source Route Bridge
                  S - Switch, H - Host, I - IGMP, r - Repeater, P - Phone
Device ID        Local Intrfce  Holdtme    Capability  Platform  Port ID
```



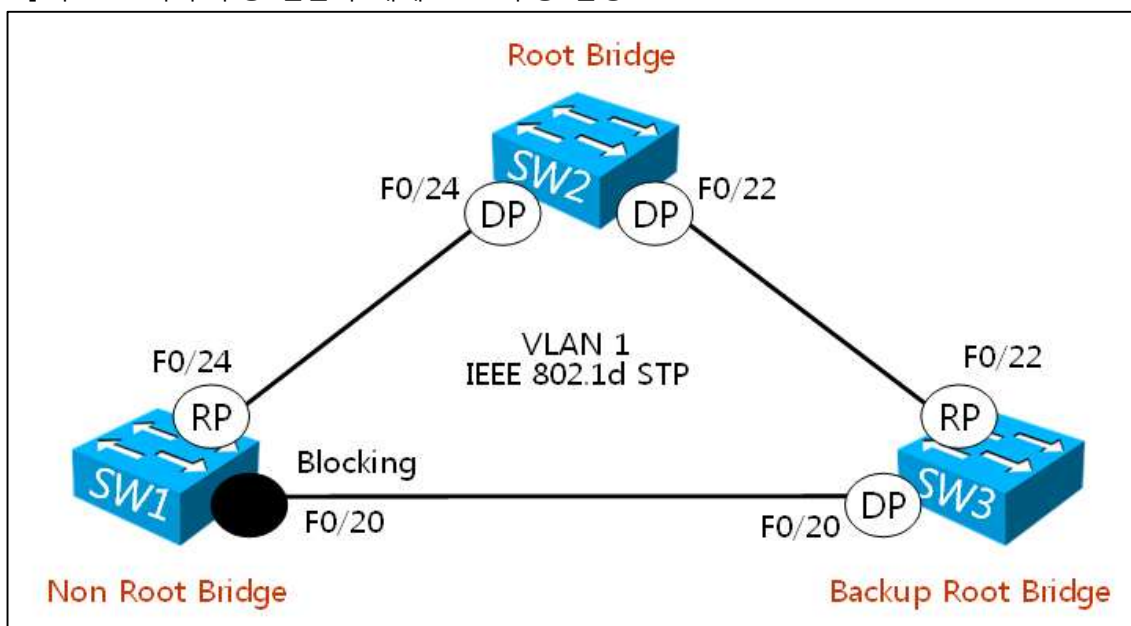
SW3	Fas 0/22	135	3560	Fas 0/22
SW1	Fas 0/24	135	3560	Fas 0/24

[예제 21-9]를 보면 SW2 F0/24과 연결된 SW1이 루트 브리지인 것을 알 수 있다.

## 루트 브리지 수동 선출

만약, 장비 사양이 좋지 않은 스위치(SW1)가 루트 브리지로 선출되거나, 프레임 전송률이 많은 링크(SW2 F0/22)가 차단될 경우, LAN 스위치 환경은 비효율적으로 운영될 것이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 장비 사양이 좋은 스위치(SW2)를 수동으로 루트 브리지로 선출해야 하고 프레임 전송률이 낮은 구간 포트(SW1 F0/20)를 수동으로 차단할 수 있어야 한다. [그림 21-9]를 보고 SW2이 루트 브리지로 선출되도록 하며, SW1 F0/20이 대체 포트로 선정되어 차단 상태가 되도록 구성하도록 하자.

[그림 21-9] 루트 브리지 수동 선출과 대체 포트 수동 선정



## 우선 순위를 이용한 루트 브리지 수동 선출

SW2 우선 순위를 가장 낮게 설정하여 루트 브리지로 선출되도록 한다. 이때, 우선 순위는 0부터 61440까지 설정할 수 있으며, 4096의 배수로 설정해야 한다. 설정은 [예제 21-10]과 같다.

[예제 21-10] SW2 우선 순위 '4096'으로 조정

```
SW2(config)#spanning-tree vlan 1 priority 4096
```

SW2에서 브리지 아이디 우선 순위를 '4096'로 조정하면, SW1, SW2, SW3 중에 우선 순위가 가장 낮게 되므로 루트 브리지로 선출된다. 그럼 다음 [예제 21-11]과 같이 SW3의 브리지 아이디 우선 순위를 '16384'로 조정하면, SW3은 백업 루트 브리지가 되기 때문에 SW1 F0/20이 대체 포트로 선정되어 포트가 차단 상태로

동작하게 된다.

**[예제 21-11]** SW3 우선 순위 '16384'로 조정

```
SW3(config)#spanning-tree vlan 1 priority 16384
```

구성이 완료되었다면, SW2가 루트 브리지로 선출되었는지 확인한 다음, SW1 F0/20이 대체 포트로 선정되어 포트가 차단 상태인지를 확인하도록 하자.

**[예제 21-12]** 루트 브리지인 SW2와 Non 루트 브리지인 SW1 STP 정보 확인

```
SW2#show spanning-tree vlan 1
VLAN0001
  Spanning tree enabled protocol ieee
  Root ID    Priority      4097
             Address      0030.A383.1759
             This bridge is the root
             Hello Time  2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec

  Bridge ID  Priority      4097 (priority 4096 sys-id-ext 1)
             Address      0030.A383.1759
             Hello Time  2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec
             Aging Time   300

Interface    Role  Sts  Cost    Prio.Nbr Type
-----
Fa0/22       Desg FWD 19      128.22 P2p
Fa0/24       Desg FWD 19      128.24 P2p

SW1#show spanning-tree vlan 1
VLAN0001
  Spanning tree enabled protocol ieee
  Root ID    Priority      4097
             Address      0030.A383.1759
             Cost          19
             Port          24(FastEthernet0/24)
             Hello Time  2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec

  Bridge ID  Priority      32769 (priority 32768 sys-id-ext 1)
             Address      0001.9608.DC2A
             Hello Time  2 sec  Max Age 20 sec  Forward Delay 15 sec
             Aging Time   300
```

Interface	Role	Sts	Cost	Prio.Nbr	Type
-----					
Fa0/20	Altn	BLK	19	128.20	P2p
Fa0/24	Root	FWD	19	128.24	P2p

정보 확인이 완료되었다면, SW2과 SW3에서 설정한 내용을 삭제하도록 하자.

**[예제 21-13]** SW2과 SW3에서 설정한 우선 순위 내용 삭제

```
SW2(config)#no spanning-tree vlan 1 priority 4096

SW3(config)#no spanning-tree vlan 1 priority 16384
```

### ‘root’ 명령어를 이용한 루트 브리지 수동 선출

‘root’ 명령어를 이용하여 루트 브리지와 백업 루트 브리지를 수동으로 선출할 수 있다. 이때, ‘primary’ 옵션 명령어를 사용하면 루트 브리지가 될 수 있도록 우선 순위를 자동으로 조정하며, ‘secondary’ 옵션 명령어를 사용하면 백업 루트 브리지가 될 수 있도록 우선 순위를 자동으로 조정한다. 설정 방법은 [예제 21-14], [예제 21-15]와 같다

**[예제 21-14]** SW2에서 ‘primary’ 옵션 명령어 적용

```
SW2(config)#spanning-tree vlan 1 root primary
```

**[예제 21-15]** SW3에서 ‘secondary’ 옵션 명령어 적용

```
SW3(config)#spanning-tree vlan 1 root secondary
```

구성이 완료되었다면, SW2가 루트 브리지로 선출되었는지 확인한 다음, SW1 F0/20이 대체 포트로 선정되어 포트가 차단 상태인지를 확인하도록 하자.

**[예제 21-16]** SW1, SW2, SW3 STP 정보 확인

```
SW2#show spanning-tree vlan 1
VLAN0001
  Spanning tree enabled protocol ieee
  Root ID    Priority      24577
             Address      0030.A383.1759
             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      0030.A383.1759
             Hello Time  2 sec    Max Age 20 sec    Forward Delay 15 sec
```

Aging Time 300					
Interface	Role	Sts	Cost	Prio.Nbr	Type
-----					
Fa0/22	Desg FWD	19	128.22	P2p	
Fa0/24	Desg FWD	19	128.24	P2p	
SW1#show spanning-tree vlan 1					
VLAN0001					
Spanning tree enabled protocol ieee					
Root ID	Priority	24577			
	Address	0030.A383.1759			
	Cost	19			
	Port	24(FastEthernet0/24)			
	Hello Time	2 sec	Max Age 20 sec	Forward Delay 15 sec	
Bridge ID	Priority	32769	(priority 32768 sys-id-ext 1)		
	Address	0001.9608.DC2A			
	Hello Time	2 sec	Max Age 20 sec	Forward Delay 15 sec	
	Aging Time	300			
Interface	Role	Sts	Cost	Prio.Nbr	Type
-----					
Fa0/20	Altn BLK	19	128.20	P2p	
Fa0/24	Root FWD	19	128.24	P2p	
SW3#show spanning-tree vlan 1					
VLAN0001					
Spanning tree enabled protocol ieee					
Root ID	Priority	24577			
	Address	0030.A383.1759			
	Cost	19			
	Port	22(FastEthernet0/22)			
	Hello Time	2 sec	Max Age 20 sec	Forward Delay 15 sec	
Bridge ID	Priority	28673	(priority 28672 sys-id-ext 1)		
	Address	000C.85D0.6076			
	Hello Time	2 sec	Max Age 20 sec	Forward Delay 15 sec	
	Aging Time	300			
Interface	Role	Sts	Cost	Prio.Nbr	Type

-----			
Fa0/20	Desg FWD 19	128.20	P2p
Fa0/22	Root FWD 19	128.22	P2p

(빈 페이지입니다.)



## 제22장 IEEE 802.1d STP 포트 상태

## IEEE 802.1d STP 포트 상태

IEEE 802.1d STP가 동작하는 스위치 포트는 Disable(비활성화), Blocking(차단), Listening(청취), Learning(학습), Forwarding(전송)이라는 5단계 상태로 동작한다.

### Disable(DIS)

포트가 동작하지 않는 상태이다. 예를 들어 포트가 shutdown 상태이거나 케이블 연결이 없는 경우이며, 또는 BPDU Guard, Port-Security에 의해서 포트가 비활성화된 경우이다. Disable 상태인 경우에는 프레임과 BPDU 송수신이 불가능하다.

### Blocking(BLK)

브리징 루프를 방지하기 위해서 포트가 논리적으로 차단된 상태이다. 이때, 포트는 대체 포트로 선정되며, 프레임 송수신과 BPDU 송신이 불가능하다. 대신, 루트 브리지로부터 전송되는 BPDU만 수신이 가능하다. 만약, 대체 포트로 Max-Age 타이머 안에 BPDU를 수신하지 못하거나, 후순위 BPDU(Inferior BPDU)를 수신하면 다음 단계인 Listening 단계로 전환된다.

### Listening(LIS)

토폴로지가 변경되어 포트 역할을 선정하기 위한 STP 컨버전스 단계이다. 그래서 Blocking 다음 단계에 시작하거나, 스위치 포트에 노드가 연결될 경우 시작한다. 이때, 해당 포트가 루트 포트로 선정되면 BPDU만 수신하고, 지정 포트로 선정되면 BPDU를 송신한다. 단, 프레임 송수신은 불가능하다. 참고로 Listening은 Forward Delay 타이머 15초 동안 진행한다.

### Learning(LRN)

스위치 포트 상태를 Forwarding 상태로 이전하는 직전 단계로써 프레임을 송수신하기 위한 MAC 주소 학습을 실시한다. Listening과 마찬가지로 Forward Delay 타이머 15초 동안 진행하며, 이 기간 동안 토폴로지 변화가 없다면 바로 스위치 포트를 Forwarding 단계로 전환시킨다.

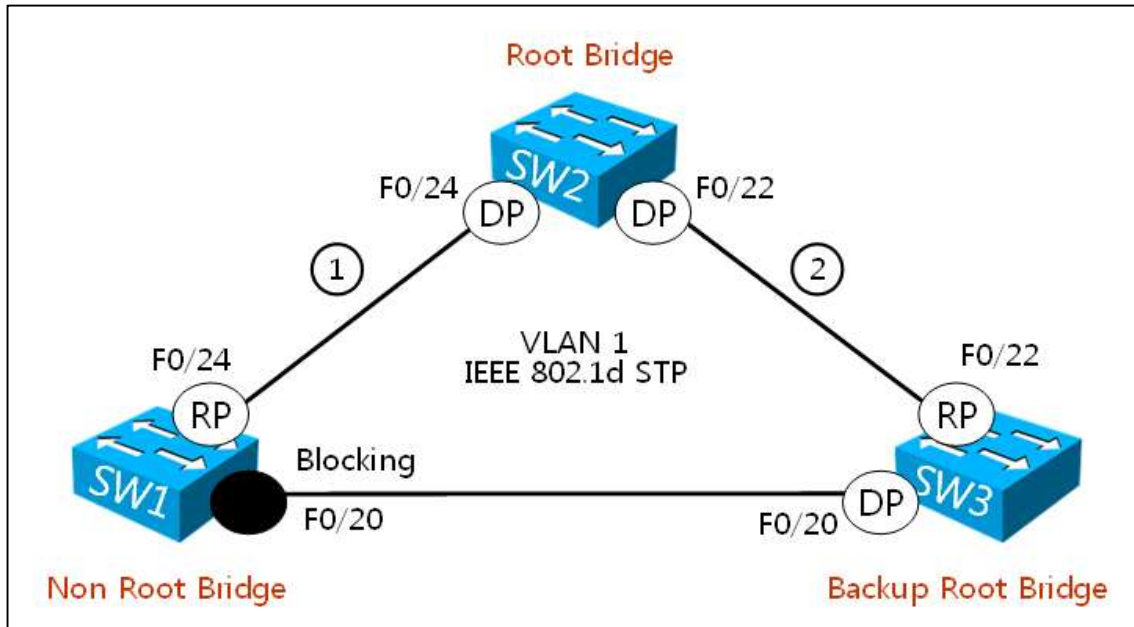
### Forwarding(FWD)

프레임 송수신이 가능한 상태이다. 일반적으로 루트 포트와 지정 포트가 Forwarding 상태로 동작한다.

## STP 포트 상태 변환

이중화 링크 환경에서 장애가 발생할 경우, Blocking 상태인 대체 포트가 Forwarding으로 이전하는 단계를 알아보도록 하자.

[그림 22-1] STP 토폴로지



### ① 구간에 장애가 발생할 경우

장애가 발생되기 이전과 이후에도 SW3과 SW2는 기존의 루트 브리지인 SW2으로부터 BPDU를 수신한다. 이런 경우 SW1 F0/20는 바로 Listening → Learning → Forwarding 순으로 진행한다. 다음 예제를 통해서 STP 포트 상태 변화를 알아보도록 하자.

#### [예제 22-1] SW1(Non 루트 브리지)에서 STP 디버깅 시작

```
SW1#debug spanning-tree events
Spanning Tree event debugging is on
```

#### [예제 22-2] SW2 F0/24 포트 'shutdown' 실시

```
SW2(config)#int fa0/24
SW2(config-if)#shutdown
```

#### [예제 22-3] SW1에서 확인한 STP 디버깅

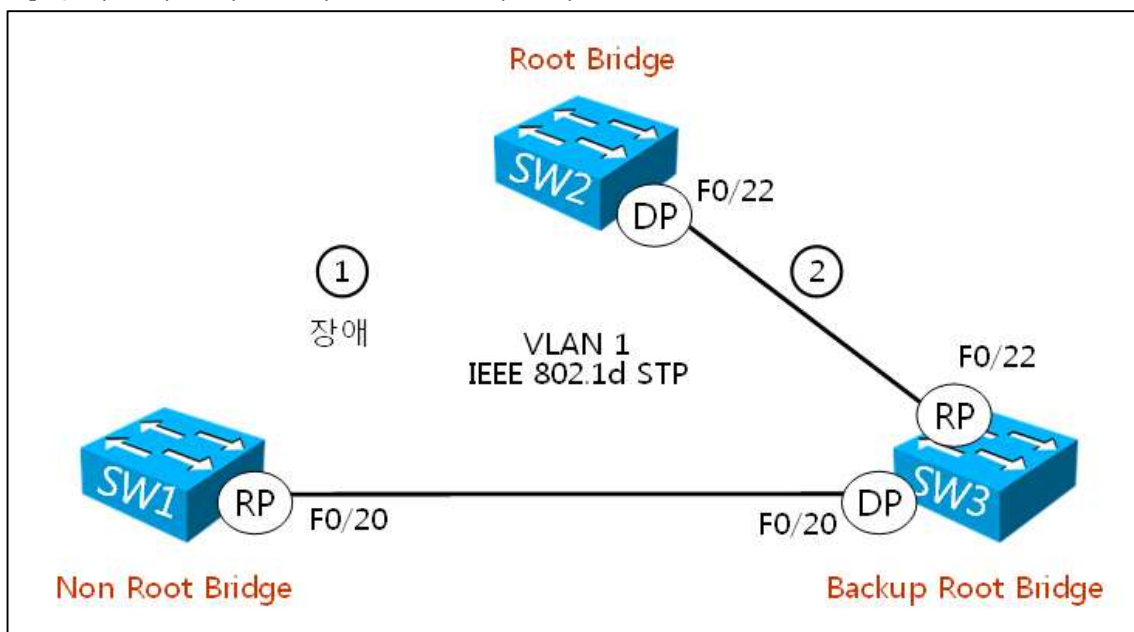
```
SW1#
22:59:00: STP: VLAN0001 new root port Fa0/20, cost 38
22:59:00: STP: VLAN0001 Fa0/20 -> listening
SW1#
22:59:02: %LINK-5-CHANGED: Interface FastEthernet0/24, changed state to
```

```
administratively down
SW1#
22:59:02: STP: VLAN0001 sent Topology Change Notice on Fa0/20
SW1#
22:59:03: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/24, changed
state to down
SW1#
22:59:15: STP: VLAN0001 Fa0/20 -> learning
SW1#
22:59:30: STP: VLAN0001 Fa0/20 -> forwarding
SW1#
SW1#show spanning-tree vlan 1

VLAN0001
  Spanning tree enabled protocol ieee
  ~ 중간 생략 ~
Interface      Role  Sts  Cost    Prio.Nbr Type
-----
Fa0/20         Root  FWD  19       128.20  P2p
```

① 구간에 장애가 발생하여 SW1 F0/20 포트는 Listening → Learning → Forwarding 순으로 이전하여 루트  
포트로 선정되었다. 이때, Listening과 Learning은 각각 15초 동안 진행되는 것을 알 수 있으며, 현재 STP 토  
폴로지 상태는 [그림 22-2]와 같다.

[그림 22-2] ① 구간에 장애 발생시 STP 토폴로지 변화



그럼 다음 STP 포트 변화를 알아보기 위해서 SW2 F0/24를 'no shutdown' 하도록 하자.

**[예제 22-4]** SW2 F0/24 포트 'no shutdown' 실시

```
SW2(config)#int fa0/24
SW2(config-if)#no shutdown
```

**② 구간에 장애가 발생할 경우**

장애가 발생되면 SW1은 기존의 루트 브리지인 SW2로부터 BPDU를 수신하지만, SW3은 BPDU를 수신하지 못한다. 그렇기 때문에 SW3은 설정 BPDU를 생성하여 SW1에게 전송함으로써 자신이 새로운 루트 브리지인 것을 광고한다. 이때, SW1은 기존의 루트 브리지인 SW2로부터 수신한 BPDU를 Max Age 타이머 20초 동안 보관하고 있기 때문에 SW3으로부터 수신하는 BPDU 정보를 비교한다. 결국 SW3으로부터 수신하는 BPDU는 기존의 루트 브리지인 SW1로부터 수신한 BPDU보다 후순위 BPDU이므로 Max Age 타이머가 종료되면, SW1 F0/20는 바로 Listening → Learning → Forwarding 순으로 진행한다. 다음 예제를 통해서 STP 포트 상태 변화를 알아보도록 하자.

**[예제 22-5]** SW1(Non 루트 브리지)에서 STP 디버깅 시작

```
SW1#debug spanning-tree events
Spanning Tree event debugging is on
```

**[예제 22-6]** SW2 F0/22 포트 'shutdown' 실시

```
SW2(config)#int fa0/22
SW2(config-if)#shutdown
```

**[예제 22-7]** SW1에서 확인한 STP 디버깅

```
23:24:48: STP: VLAN0001 heard root 28673-000e.83e8.3700 on Fa0/20
SW1#
23:24:50: STP: VLAN0001 heard root 28673-000e.83e8.3700 on Fa0/20
SW1#
23:24:52: STP: VLAN0001 heard root 28673-000e.83e8.3700 on Fa0/20
SW1#
23:24:54: STP: VLAN0001 heard root 28673-000e.83e8.3700 on Fa0/20
SW1#
23:24:56: STP: VLAN0001 heard root 28673-000e.83e8.3700 on Fa0/20
SW1#
23:24:58: STP: VLAN0001 heard root 28673-000e.83e8.3700 on Fa0/20
SW1#
23:25:00: STP: VLAN0001 heard root 28673-000e.83e8.3700 on Fa0/20
SW1#
23:25:02: STP: VLAN0001 heard root 28673-000e.83e8.3700 on Fa0/20
```

```

23:25:04: STP: VLAN0001 heard root 28673-000e.83e8.3700 on Fa0/20
SW1#
23:25:05: STP: VLAN0001 Fa0/20 -> listening
23:25:06: STP: VLAN0001 heard root 28673-000e.83e8.3700 on Fa0/20
23:25:06: STP: VLAN0001 Topology Change rcvd on Fa0/20
23:25:06: STP: VLAN0001 sent Topology Change Notice on Fa0/24
SW1#
23:25:20: STP: VLAN0001 Fa0/20 -> learning
SW1#
23:25:35: STP: VLAN0001 sent Topology Change Notice on Fa0/24
23:25:35: STP: VLAN0001 Fa0/20 -> forwarding
SW1#
SW1#show spanning-tree vlan 1
  
```

VLAN0001

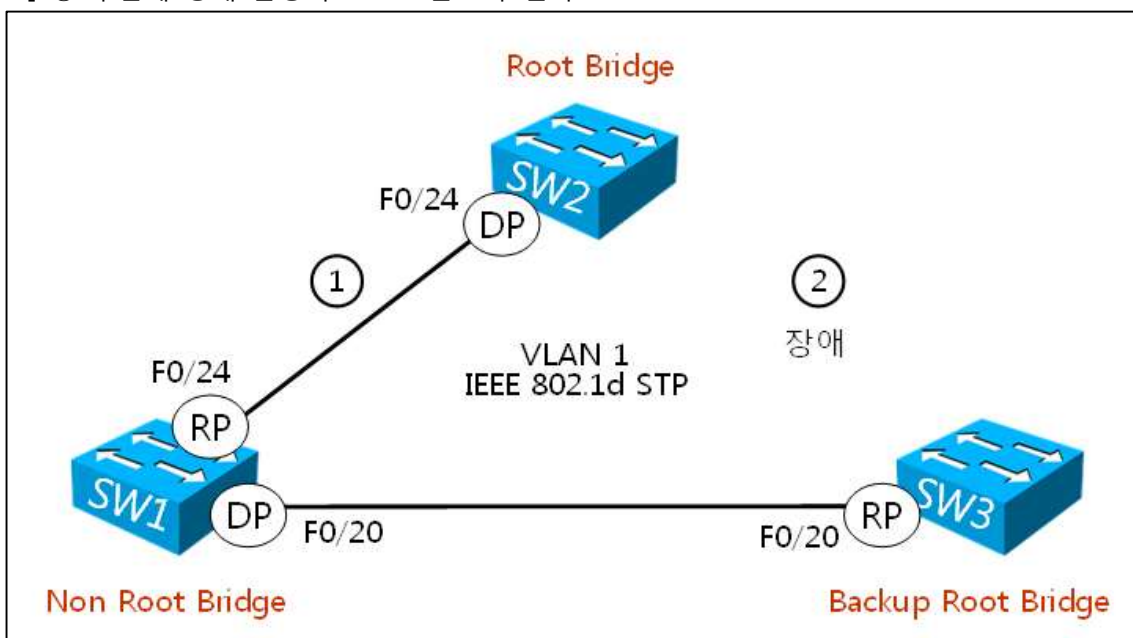
Spanning tree enabled protocol ieee

~ 중간 생략 ~

Interface	Role	Sts	Cost	Prio.Nbr	Type
Fa0/20	Desg	FWD	19	128.20	P2p
Fa0/24	Root	FWD	19	128.24	P2p

② 구간에 장애가 발생하여 SW1 F0/20 포트는 Blocking → Listening → Learning → Forwarding 순으로 이전하여 지정 포트로 선정되었다. 이때, Max Age 타이머로 인한 Blocking 20초 유지, 그리고 Listening과 Learning은 각각 15초 동안 진행되는 것을 알 수 있으며, 현재 STP 토폴로지 상태는 [그림 22-3]와 같다.

[그림 22-3] ② 구간에 장애 발생시 STP 토폴로지 변화





그럼 다음 STP 포트 변화를 알아보기 위해서 SW2 F0/22를 'no shutdown' 하도록 한다.

**[예제 22-8]** SW2 F0/22 포트 'no shutdown' 실시

```
SW2(config)#int fa0/22
SW2(config-if)#no shutdown
```

### 스위치 포트에 노드가 연결될 경우

Disable 상태인 포트가 활성화 되거나, 또는 스위치 포트에 노드가 연결되면 해당 포트는 Listening → Learning → Forwarding 순으로 이전하여 지정 포트로 선정된다. [예제 22-9]는 SW1 F0/1에 라우터가 연결될 경우, STP 포트 상태 변화를 알아보는 내용이다.

**[예제 22-9]** SW1에서 STP 디버깅 시작

```
SW1#debug spanning-tree events
Spanning Tree event debugging is on
SW1#conf t
SW1(config)#int fa0/1
SW1(config-if)#shutdown
SW1(config-if)#no shutdown
```

**[예제 22-10]** SW1 F0/1 포트 상태 변화 확인

```
SW1#
23:25:45: set portid: VLAN0001 Fa0/1: new port id 8001
23:25:45: STP: VLAN0001 Fa0/1 -> listening
23:25:46 %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/1, changed
state to up
SW1#
23:26:00: STP: VLAN0001 Fa0/1 -> learning
SW1#
23:26:15: STP: VLAN0001 Fa0/1 -> forwarding
```

만약, 스위치 포트에 연결되는 노드가 서버, 게이트웨이, IP Phone인 경우, Listening → Learning → Forwarding 순의 진행은 서비스를 받고 있는 사용자 입장에서는 상당한 지연 시간을 겪게 된다.

이처럼 스위치 포트에 노드가 연결되거나, 또는 스위치 구간에 장애가 발생되면, 기본적으로 'Listening'과 'Learning'을 실시하기 때문에 장애 처리에 대한 지연이 30초 이상 발생된다. 30초라는 시간은 네트워크 측면에서 상당히 긴 시간이기 때문에 서비스 제공 입장에서는 큰 문제가 될 수 있다. 그렇기 때문에 STP 컨버전스 시간을 단축하거나, 또는 스위치 포트가 바로 Forwarding으로 이전할 수 있도록 구성해야 한다.

(빈 페이지입니다.)