

네트워크 라우팅 프로토콜 입문 · 동작 심화 교재

IGP · EGP 핵심 원리, 장애 수렴, Cisco IOS/IOS XE 검증까지

기존 입문 내용 유지 + 내부 상태 머신 · 루프 방지 · 장애 해석 · 해결 절차 확장

한눈에 보는 학습 지도

[한 조직 내부]		[조직과 조직 사이]
IGP: RIP / OSPF / IS-IS / EIGRP	<-->	EGP: BGP
"도시 안 길찾기"		"국가 간 노선과 정책"
특수/기타: Babel = 동적인 유선·무선 메시망에 강한 거리 벡터		

2026.07 · 개정 증보판 · IPv4 중심 · 초급~중급

교육용 원고 / Cisco 명령은 플랫폼과 소프트웨어 릴리스별 차이가 있을 수 있음

START HERE

이 교재를 읽는 방법

명령어 범위

예제는 **Cisco IOS/IOS XE의 전통적 CLI 문법**과 IPv4를 기준으로 합니다. 인터페이스 이름은 `GigabitEthernet0/0`, `GigabitEthernet0/1`을 줄여 `G0/0`, `G0/1`로 표기합니다. 실제 장비에서는 `show version`, `router ?`, 플랫폼별 명령 참조로 지원 여부를 먼저 확인하십시오.

두 가지 중요한 예외

IGRP는 Cisco가 제거한 레거시 프로토콜이므로 현대 IOS/IOS XE에서는 보통 구성할 수 없습니다. **Babel**은 기술적으로 EGP가 아니라 내부·메시망용 거리 벡터 프로토콜에 가깝고, 일반적인 Cisco IOS/IOS XE의 네이티브 `router babel` 구성 모드도 확인되지 않습니다. 두 절의 CLI는 각각 “역사적 문법”과 “지원 상태 확인법”으로 구분합니다.

학습 목표

- **IGP와 EGP의 역할**을 교통망 비유로 설명할 수 있다.
- 거리 벡터, 링크 상태, 고급 거리 벡터, 경로 벡터의 **정보 공유 방식 차이**를 구분할 수 있다.
- 각 프로토콜의 **메트릭, 클래스풀/클래스리스, 업데이트 방식, 수렴 특성**을 비교할 수 있다.
- Cisco 라우터에서 기본 이웃 관계와 경로 광고를 구성하고 **검증 명령어로 결과를 확인**할 수 있다.
- Split Horizon, Poison Reverse, LSA flooding, DUAL Query, BGP FSM 등 **내부 상태 변화와 장애 수렴 과정**을 해석할 수 있다.
- 새로운 네트워크에서 피해야 할 레거시 기술과 실제 적용에 적합한 프로토콜을 판단할 수 있다.

권장 학습 순서

1. 1장 전체 그림에서 AS, IGP/EGP, 메트릭, AD, 수렴을 먼저 익힙니다.
2. RIP v1 → RIP v2를 비교해 **클래스풀과 클래스리스**를 체감합니다.
3. OSPF와 IS-IS로 **링크 상태 방식**을 이해합니다.
4. EIGRP에서 **후보 백업 경로와 DUAL**을 연결합니다.
5. BGP에서 “최단 거리”가 아니라 **정책과 AS 경로**가 핵심임을 확인합니다.
6. 마지막으로 Babel의 쓰임과 Cisco 지원 범위를 분리해 이해합니다.

목차

장	주제	핵심 내용
1	전체적인 개념 잡기	라우팅, AS, IGP vs EGP, 알고리즘, 공통 용어
2	RIP v1	클래스풀 거리 벡터와 홉 수
3	RIP v2	클래스리스 거리 벡터와 멀티캐스트
4	IGRP	Cisco 레거시 복합 메트릭
5	OSPF	LSDB 와 SPF, Area 구조
6	IS-IS	Level 1/2 와 TLV 기반 확장성
7	EIGRP	DUAL, Successor, Feasible Successor
8	BGP	AS_PATH 와 정책 기반 경로 벡터
9	Babel	유선·무선 메시용 루프 회피 거리 벡터
10	비교·선택·장애 점검	선택 가이드, 검증 명령, 체크리스트
11	복습 문제·정답·용어집·참고자료	심화 시나리오와 학습 마무리

FOUNDATION

1. 전체적인 개념 잡기

1.1 라우팅은 “목적지별 다음 길”을 고르는 일

라우터의 핵심 질문은 단순합니다. “이 패킷을 목적지까지 보내려면 다음으로 누구에게 넘겨야 하는가?” 라우팅 테이블은 목적지 네트워크(prefix)마다 다음 홉(next hop) 또는 출구 인터페이스를 기록한 길찾기 표입니다.

라우팅 테이블을 내비게이션의 “다음 안내”로 보기

```

사용자 PC                라우터의 판단                목적지 서버
10.10.10.10  --->  [ 20.20.20.0/24 -> 10.0.12.2, 60/1 ]  --->  20.20.20.20
                  목적지 prefix      다음 홉
  
```

- **직접 연결(Connected)**: 라우터 인터페이스에 붙어 있어 이미 아는 길
- **정적 라우팅(Static)**: 관리자가 직접 입력한 고정 길
- **동적 라우팅(Dynamic)**: 라우터끼리 정보를 교환하며 자동으로 배우는 길

초보자 핵심

라우팅 프로토콜은 실제 패킷을 운반하는 “택배 차량”이 아닙니다. 라우팅 프로토콜은 **어떤 길을 라우팅 테이블에 올릴지 결정하는 정보 교환 체계**입니다. 실제 패킷 전달은 완성된 라우팅/포워딩 테이블을 사용합니다.

1.2 AS: 하나의 운영 정책 아래 있는 “교통 행정구역”

자율 시스템(Autonomous System, AS)은 하나의 조직이나 운영 주체가 일관된 라우팅 정책으로 관리하는 네트워크 집합입니다. 기업 내부망, 통신사 백본, 클라우드 사업자 네트워크를 하나의 “교통 행정구역”이라고 생각하면 쉽습니다.

```

+----- AS 65001 -----+
| 지사 A ---- 본사 코어 ---- 데이터센터 |
|      <--- IGP: 내부 최적 경로 --->      |
+-----+
|                                     || BGP: 조직 간 경로/정책
+----- AS 65002 -----+
|                인터넷 서비스 제공자                |
+-----+
  
```

1.3 IGP vs EGP: 시내 교통과 국제선 항공

구분	IGP	EGP
쉬운 비유	시내버스·도시 내비게이션: 한 도시 안에서 빠른 길 찾기	국제선 항공·국경 통과 정책: 국가 간 연결과 허용 정책
운영 범위	하나의 AS 내부	서로 다른 AS 사이
주요 목표	빠른 장애 감지, 빠른 수렴, 내부 최적 경로	대규모 확장, 정책 제어, 루프 없는 AS 간 경로
대표 프로토콜	RIP, OSPF, IS-IS, EIGRP, Babel	현대 인터넷에서는 사실상 BGP
중요 관점	대역폭·지연·홉 등 내부 비용	AS_PATH, Local Preference, 정책, 사업 관계

예를 들어 서울 시내에서 “어느 도로가 빠른가”는 IGP의 질문입니다. 반면 서울에서 뉴욕으로 화물을 보낼 때 어느 국가와 항공사를 경유할지, 계약상 어느 노선을 우선할지는 EGP/BGP의 질문입니다.

분류 바로잡기: Babel

요청된 구성에서는 Babel을 EGP의 “특수/기타” 절에 배치하지만, **기술적으로 Babel은 AS 간 인터넷 정책 프로토콜이 아닙니다.** Babel은 유선·무선·메시 환경에서 내부 경로를 빠르게 적응시키는 **루프 회피 거리 벡터 IGP 성격**의 프로토콜입니다.

1.4 라우터는 무엇을 서로 알려 주는가?

계열	교통 비유	공유하는 정보	대표
거리 벡터	옆 마을 표지판에 “목적지까지 몇 정거장”이라고 적음	목적지까지 거리와 다음 방향	RIP, IGRP
링크 상태	모든 도로 정보를 모아 각자 전체 지도를 그림	링크와 이웃 상태를 홍수(flooding) 방식으로 공유	OSPF, IS-IS
고급 거리 벡터	실시간 길찾기 앱이 주 경로와 안전한 우회로를 함께 보관	이웃의 거리 정보 + 루프 없는 후보 경로 계산	EIGRP
경로 벡터	국제선 티켓에 경유 국가 목록을 기록하고 정책으로 선택	거쳐 온 AS 목록과 다양한 경로 속성	BGP

1.5 반드시 구분해야 할 다섯 단어

항목	핵심 내용
메트릭(Metric)	같은 프로토콜이 후보 경로끼리 비교할 때 쓰는 내부 점수 . 낮을수록 좋은 경우가 많지만 BGP 처럼 단일 숫자로 설명할 수 없는 경우도 있습니다.
Administrative Distance, AD	Cisco 라우터가 서로 다른 경로 출처 가 같은 prefix를 제안할 때 신뢰도를 비교하는 값. 낮을수록 우선합니다.
수렴(Convergence)	장애나 토폴로지 변화 후 모든 라우터가 일관된 새 경로에 합의하는 과정과 시간.
클래스풀(Classful)	라우팅 업데이트에 서브넷 마스크를 실지 않음. VLSM·CIDR·불연속 서브넷에 취약.
클래스리스(Classless)	업데이트에 prefix 길이/마스크를 포함. VLSM과 CIDR을 지원.

메트릭과 AD를 섞지 마세요

OSPF cost와 EIGRP metric은 **각 프로토콜 내부 경로 비교**에 사용됩니다. OSPF 경로와 EIGRP 경로가 같은 prefix를 제안하면 Cisco는 먼저 **AD(기본값 EIGRP 내부 90, OSPF 110)**를 비교합니다. 다만 실제 포워딩에서는 더 구체적인 prefix가 우선되는 **Longest Prefix Match**가 먼저 고려된다는 점도 기억하십시오.

1.6 Cisco 기본 AD 빠른 표

경로 출처	기본 AD	기억 포인트
직접 연결	0	인터페이스에 직접 붙은 경로
정적 경로	1	기본 정적 경로
eBGP	20	외부 AS 에서 받은 BGP 경로
EIGRP 내부	90	같은 EIGRP AS 내부 경로
IGRP	100	레거시
OSPF	110	모든 OSPF 경로 유형의 일반 기본값
IS-IS	115	통합 IS-IS IP 경로
RIP	120	RIPv1/v2
EIGRP 외부	170	재분배되어 들어온 외부 EIGRP 경로
iBGP	200	같은 AS 내부에서 받은 BGP 경로

1.7 공통 실습 토폴로지와 주소 계획

```

LAN-A 10.10.10.0/24                                LAN-B 20.20.20.0/24
PC-A --- G0/0 [ R1 ] G0/1 ----- G0/1 [ R2 ] G0/0 --- PC-B
      .1          .1 10.0.12.0/30 .2          .1

R1 G0/0 = 10.10.10.1/24      R2 G0/0 = 20.20.20.1/24
R1 G0/1 = 10.0.12.1/30      R2 G0/1 = 10.0.12.2/30

```

각 프로토콜 절은 이 토폴로지를 반복 사용합니다. 라우팅 프로세스가 달라도 인터페이스 IP 와 테스트 목표는 같습니다: **R1 이 20.20.20.0/24 를 배우고, R2 가 10.10.10.0/24 를 배우는지 확인합니다.**

모든 실습에서 먼저 쓰는 공통 검증 명령

```

! 공통 인터페이스 상태 확인
show ip interface brief
show interfaces description

! 공통 라우팅/도달성 확인
show ip route
ping 20.20.20.1 source 10.10.10.1
traceroute 20.20.20.1 source 10.10.10.1

```

1.8 프로토콜 전체 비교 지도

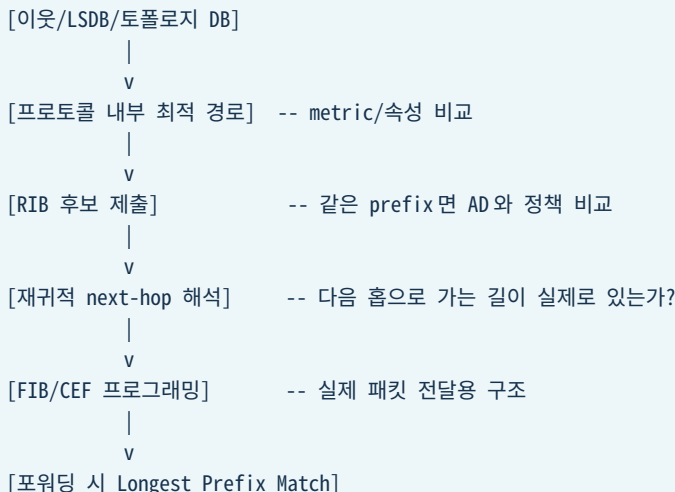
프로토콜	계열 · 범위	주요 판단 기준	클래스	운영 상태
RIP v1	거리 벡터 · IGP	홉 수	클래스풀	학습/레거시
RIP v2	거리 벡터 · IGP	홉 수	클래스리스	소규모 · 교육
IGRP	거리 벡터 · IGP	대역폭+지연 중심 복합값	클래스풀	퇴역
OSPF	링크 상태 · IGP	누적 cost	클래스리스	기업 · 캠퍼스 · DC
IS-IS	링크 상태 · IGP	누적 metric	클래스리스	대규모 코어/통신사
EIGRP	고급 거리 벡터 · IGP	대역폭+지연 중심 복합값	클래스리스	Cisco 중심 기업망
BGP	경로 벡터 · EGP	정책+경로 속성	클래스리스	인터넷/멀티호밍
Babel	루프 회피 거리 벡터 · 내부/메시	가산 링크 비용	클래스리스	동적 유 · 무선 메시

CONTROL PLANE TO DATA PLANE

1.9 경로가 실제 포워딩에 반영되는 순서

라우팅 프로토콜이 경로를 배웠다고 해서 곧바로 모든 패킷이 그 길로 나가는 것은 아닙니다. 제어 평면에서 후보를 선택하고, 다음 홉을 해석한 뒤, 포워딩 평면의 FIB/CEF 에 반영되는 여러 단계가 있습니다.

“배움”과 “설치”와 “전달”은 서로 다른 단계



항목	핵심 내용
Longest Prefix Match	실제 패킷 전달에서는 목적지와 가장 길게 일치하는 prefix 가 우선합니다. `/32`가 `/24`보다, `/24`가 `/16`보다 구체적입니다.
프로토콜 내부 비교	각 프로토콜이 자신의 metric 또는 속성으로 같은 prefix 의 후보 중 최적 경로를 고릅니다.
Administrative Distance	서로 다른 출처가 동일한 prefix 를 제안하면 Cisco RIB 가 기본 신뢰도를 비교합니다.
Next-hop Resolution	경로가 좋아 보여도 BGP next hop 처럼 다음 홉에 도달할 재귀 경로가 없으면 설치되지 않을 수 있습니다.
FIB/CEF	RIB 의 선택 결과를 실제 하드웨어/소프트웨어 포워딩 구조로 내려보냅니다. 수렴 완료 여부는 RIB 뿐 아니라 FIB 반영까지 봐야 합니다.

“라우팅 테이블에 없다”의 세 가지 뜻

① 프로토콜이 아예 배우지 못함, ② 프로토콜 DB 에는 있지만 RIB 선택에서 패함, ③ RIB 에는 있으나 FIB 프로그래밍 또는 next-hop 해석에 문제가 있음. 따라서 프로토콜 DB → `show ip route` → CEF/포워딩 순서로 좁혀야 합니다.

CONVERGENCE PIPELINE

1.10 수렴 시간을 분해해서 보기

수렴은 단순히 “프로토콜이 빠르다/느리다”로 끝나지 않습니다. 어느 단계가 지연되는지 분해하면 해결책이 달라집니다.

단계	무슨 일이 일어나는가	느려지는 대표 원인	대응 방향
1. 장애 감지	물리 링크 다운, Hello/hold timeout, BFD 등으로 실패를 인지	광 링크 LOS 미전달, 긴 Dead/Hold timer, 단방향 장애	링크 계층 신호, BFD, 적절한 타이머, 단방향 감지
2. 정보 전파	Poison/LSA/Query/Withdraw 가 관련 라우터로 전달	패킷 손실, 과도한 flooding, Query 범위, 정책 필터	안정적 제어망, 계층화, Stub/요약, QoS
3. 경로 계산	Bellman-Ford, SPF, DUAL, BGP best path 수행	큰 LSDB, 빈번한 flap, CPU 부족, 정책 복잡도	영역/레벨 설계, throttle, flap 완화, 정책 단순화
4. RIB/FIB 반영	새 경로를 설치하고 포워딩 항목을 갱신	재귀 next hop 실패, 대규모 prefix churn, 하드웨어 한계	next-hop 도달성, FIB 용량, 플랫폼 점검
5. 애플리케이션 회복	세션 재전송 또는 재연결	TCP timeout, 상태 방화벽, 비대칭 경로	양방향 경로 검증, 세션 복원 특성 고려

타이머를 줄이면 무조건 빨라질까?

아닙니다. 너무 짧은 타이머는 순간 손실을 장애로 오인해 경로 flap 과 CPU 부하를 키울 수 있습니다. 물리 감지, BFD, 프로토콜 타이머, SPF/Query 범위를 함께 설계해야 합니다.

LOOP PREVENTION TOOLBOX

1.11 루프 방지와 잘못된 경로의 확산

루프는 “이웃이 나보다 목적지를 더 잘 안다”는 잘못된 가정이 서로 맞물릴 때 생깁니다. 프로토콜마다 루프를 막는 위치와 정보가 다릅니다.

기법	핵심 생각	주 사용처	한계/주의
Split Horizon	배운 인터페이스로 그 경로를 다시 광고하지 않음	RIP, IGRP, EIGRP	허브-스피크 멀티포인트에서는 정상 전파까지 막을 수 있음
Poison Reverse	배운 방향으로 metric 무한대를 명시적으로 광고	거리 벡터	2 노드 루프 완화에 강하지만 업데이트 크기 증가, 모든 다중 루프 해결은 아님
Route Poisoning	실패한 경로 자체를 metric 무한대로 즉시 광고	RIP 계열	수신·전파 손실 시 다른 완화책과 함께 필요
Triggered Update	주기 타이머를 기다리지 않고 변화 즉시 알림	거리 벡터	연쇄 변화가 많으면 제어 트래픽 증가
Hold-down	나빠진 경로를 일정 시간 의심해 오래된 정보 재수용을 억제	고전 거리 벡터	정상 대체 경로 채택도 늦출 수 있음
LSDB + SPF	모두가 링크 상태와 시퀀스를 공유해 전체 지도에서 계산	OSPF, IS-IS	LSA/LSP 폭주와 DB 불일치 관리 필요
Feasibility Condition	이웃의 보고 거리가 현재 FD 보다 작을 때만 즉시 안전 후보	EIGRP	조건 불충족 시 Query 가 필요
AS_PATH	자신의 AS 가 경로에 이미 있으면 거부	BGP	iBGP 내부 확장에는 RR/Confed 별도 설계 필요
Seqno + Feasibility	더 최신 시퀀스 또는 더 좋은 동일 시퀀스만 채택	Babel	시퀀스 요청과 metric 안정성 관리 필요

Poison Reverse 와 **Route Poisoning** 은 같은 말이 아닙니다

Poison Reverse 는 “그 이웃에게서 배운 경로를 그 이웃 쪽으로 metric 무한대로 되돌려 알리는 규칙”이고, **Route Poisoning** 은 “실패한 경로를 모든 관련 이웃에게 metric 무한대로 알리는 사건 처리”입니다.

DESIGN FAILURE MODES

1.12 요약·재분배·Passive 의 함정

주제	발생 가능한 문제	확인 방법	해결 원칙
요약 경로	세부 경로가 사라졌는데 요약만 남아 black hole 발생	`show ip route <summary>` 와 세부 prefix 비교	요약 경계 명확화, discard/Null0 의미 이해, 추적 가능한 세부 경로 유지
상호 재분배	A→B→A 로 다시 들어오며 metric/AD 가 바뀌어 피드백 루프	route tag, 외부 경로 코드, 경로 출처 추적	재분배 지점을 최소화하고 route tag/필터/명시적 정책 사용
Passive Interface	사용자 LAN 에서 Hello/Update 를 막는 목적이지만 이웃 링크에 적용하면 adjacency 단절	`show ip protocols`, 인터페이스별 passive 상태	`passive-interface default` 후 필요한 링크만 `no passive-interface`
기본 경로	출구 장비가 실제 외부 경로 없이 default 만 광고해 black hole	기본 경로 생성 조건과 추적 객체 확인	조건부 생성, IP SLA/object tracking, 대체 출구 설계
필터링	받았지만 정책으로 버림 또는 보냈다고 생각했으나 outbound 정책 차단	프로토콜 DB 와 advertised/received 경로 비교	정책 방향(in/out), 적용 지점, implicit deny 를 문서화

변경 전 최소 캡처

`show ip protocols`, 이웃/DB/토폴로지, `show ip route`, 관련 running-config, ping/traceroute, 로그와 CPU 를 저장하십시오. 문제 발생 뒤 “무엇이 달라졌는지”를 비교할 수 있어야 합니다.

2. RIP v1

레거시 학습용 프로토콜

현대 운영망에 새로 적용하지 않는 레거시 또는 미지원 항목입니다. 분석과 마이그레이션 관점으로 심화 내용을 읽습니다.

① 비유를 통한 개념 설명

RIP v1은 길 전체 지도를 갖지 않고, 바로 옆 표지판만 보고 이동하는 여행자와 같습니다. 각 표지판은 “목적지까지 몇 정거장(hop) 남았다”만 알려 줍니다. 여행자는 가장 정거장이 적은 방향을 고릅니다.

문제는 표지판에 우편번호나 세부 주소, 즉 **서브넷 마스크가 적혀 있지 않다**는 점입니다. 따라서 10.10.10.0/24와 10.20.20.0/24처럼 같은 클래스 A 대역을 서로 다른 위치에서 세밀하게 나눠 쓰는 현대 설계와 잘 맞지 않습니다.

한 문장 기억법

RIP v1 = “마스크 없는 홉 수 표지판”

② 핵심 특징 요약

항목	핵심 내용
알고리즘/범위	거리 벡터 IGP. 이웃에게 라우팅 테이블을 주기적으로 전달합니다.
메트릭	홉 수. 라우터 한 대를 지날 때마다 1 증가합니다.
도달 한계	최대 15 홉까지 도달 가능. 16 홉은 무한대/도달 불가 로 처리합니다.
클래스 지원	클래스풀 . 업데이트에 서브넷 마스크를 포함하지 않습니다.
업데이트	기본적으로 약 30 초마다 전체 라우팅 정보를 브로드캐스트 합니다.
수렴	느린 편. Count-to-Infinity를 완화하기 위해 Split Horizon, Route Poisoning, Hold-down 등을 사용합니다.
인증	RIPv1 자체는 라우팅 업데이트 인증을 지원하지 않습니다.
Cisco 기본 AD	120
권장 용도	프로토콜 원리 교육과 매우 오래된 환경의 분석. 신규 운영망에는 권장하지 않음 .

③ 시각적 구조도

목적지 N까지의 홉 수만 이웃에게 전달

```
[N]---R4---R3---R2---R1
0      1      2      3      4
```

R1의 생각: "N까지 4홉이라는 표지판을 R2에게서 받았다."
전체 도로 지도와 서브넷 마스크는 모른다.

주기적 브로드캐스트:

R1 ---> 255.255.255.255 : "내가 아는 경로표 전체"

④ Cisco CLI 기본 설정 명령어

예제 목표: 양쪽 LAN 경로 학습

```
10.10.10.0/24 --- R1 --- 10.0.12.0/30 --- R2 --- 20.20.20.0/24
                RIP v1                RIP v1
```

R1 구성

```
! R1
configure terminal
hostname R1
interface GigabitEthernet0/0
 ip address 10.10.10.1 255.255.255.0
 no shutdown
interface GigabitEthernet0/1
 ip address 10.0.12.1 255.255.255.252
 no shutdown
router rip
 version 1
 network 10.0.0.0
 passive-interface GigabitEthernet0/0
end
```

R2 구성

```
! R2
configure terminal
hostname R2
interface GigabitEthernet0/0
 ip address 20.20.20.1 255.255.255.0
 no shutdown
interface GigabitEthernet0/1
 ip address 10.0.12.2 255.255.255.252
 no shutdown
router rip
 version 1
 network 10.0.0.0
 network 20.0.0.0
 passive-interface GigabitEthernet0/0
end
```

검증 명령

```
show ip protocols
show ip route rip
show ip rip database
show ip interface brief
```

실습에서 관찰할 점

`network` 명령은 클래스풀 major network 기준으로 동작합니다. RIPv1 업데이트에는 마스크가 없으므로 VLSM이나 불연속 서브넷에서는 경로가 잘못 요약되거나 구분되지 않을 수 있습니다.

DEEP DIVE

RIP v1 심화

⑤ 내부 동작 심화

이 페이지의 관찰 포인트

주기 업데이트, Bellman-Ford 식 거리 계산, 경로 타이머가 어떻게 결합되는지 순서대로 봅니다.

5.1 라우터가 실제로 보관하는 정보

RIP 라우터는 전체 토폴로지 지도를 보관하지 않습니다. 각 목적지에 대해 어느 이웃이 알려 줬는지, 그 이웃을 거치면 몇 홉인지, 마지막으로 언제 갱신됐는지를 기록합니다.

항목	의미	장애 분석에서 보는 이유
Destination prefix	목적지 네트워크. RIPv1 은 업데이트에 mask 를 실지 않음	수신 인터페이스의 클래스풀 문맥으로 mask 를 추론하므로 VLSM/불연속망에서 오류 가능
Next hop / source	그 경로를 알려 준 바로 옆 라우터	잘못된 이웃을 향하면 루프와 비대칭 경로가 생김
Metric	수신 metric + 1, 최대 16 으로 제한	1~15 는 도달 가능, 16 은 무한대/도달 불가
Route timer	마지막 유효 업데이트 이후 경과 시간	업데이트가 끊긴 경로가 언제 invalid/flush 되는지 결정

거리 벡터의 핵심 계산

R2 가 R1 에게: "N 까지 metric 2"
 R1 의 계산: $\min(16, 2 + 1) = 3$
 R1 의 저장: N -> next hop R2, metric 3

중요: R1 은 R2 가 N 까지 가는 전체 경로를 모른다.
 그래서 오래된 정보가 서로 되먹임되면 count-to-infinity 가 생긴다.

5.2 기본 타이머의 역할

타이머	Cisco RIP 의 일반 기본값	동작
Update	30 초	라우팅 테이블을 주기적으로 전송
Invalid	180 초	그 시간 동안 갱신되지 않으면 경로를 유효하지 않은 것으로 판단
Hold-down	180 초	나빠진 경로에 대한 오래된/의심스러운 정보를 일정 시간 억제
Flush	240 초	경로를 데이터베이스에서 완전히 제거

Invalid 180 초 + Flush 240 초의 의미

업데이트 하나를 놓쳤다고 바로 경로를 지우지 않습니다. 여러 주기 동안 소식이 없을 때 invalid 가 되고, 그 뒤 일정 기간 “도달 불가” 상태로 남아 이웃에게 실패를 전파한 후 flush 됩니다. 실제 이벤트 기반 poisoning 이 먼저 오면 더 빠르게 반응할 수 있습니다.

근거 문서: RFC 1058, RFC 1812, Cisco RIP Configuration Guide 의 timer 및 loop-control 설명

DEEP DIVE

RIP v1 심화

⑥ 발생 가능한 문제·한계와 해결법

이 페이지의 관찰 포인트

Split Horizon, Poison Reverse, Route Poisoning, Triggered Update, Hold-down 의 차이를 장애 시나리오로 구분합니다.

6.1 Count-to-Infinity: “서로가 우회로를 안다고 착각”

Count-to-Infinity 의 전형적 되먹임

N --- R1 --- R2 --- R3
1 홉 2 홉 3 홉

- 1) N-R1 링크 단절
- 2) R2 가 예전 정보로 "N은 2 홉"이라고 광고
- 3) R1 이 "R2 를 거치면 3 홉"이라고 잘못 믿음
- 4) R2 는 다시 R1 을 거치면 4 홉이라고 믿음
- 5) metric 이 5, 6, 7 ... 16 까지 천천히 증가

패킷은 R1 <-> R2 사이를 왕복하다 TTL 이 0 이 될 수 있다.

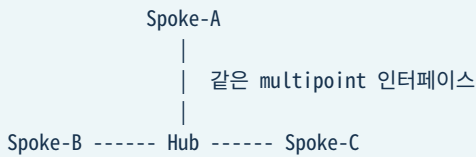
기법	라우터가 하는 행동	무엇을 막는가	한계
Split Horizon	R2 에게서 배운 경로를 R2 방향으로 다시 광고하지 않음	단순한 2 노드 되먹임	3 개 이상 노드가 얹힌 일부 루프에는 불충분
Poison Reverse	R2 에게서 배운 경로를 R2 에게 metric 16 으로 명시 광고	R2 가 R1 을 우회로로 오해하는 것을 즉시 차단	업데이트 크기가 늘고 모든 다중 루프를 해결하지는 않음
Route Poisoning	N 실패를 감지한 라우터가 N 을 metric 16 으로 광고	주기 업데이트를 기다리지 않고 실패 확산	poison 패킷 손실 시 다른 기법이 필요
Triggered Update	경로 변화 직후 업데이트 송신	30 초 주기 대기 시간 단축	연쇄 flap 시 제어 트래픽 증가
Hold-down	나빠진 경로를 일정 시간 의심하고 오래된 개선 정보를 억제	과거 정보가 다시 살아나는 현상	정상 대체 경로 수용도 늦출 수 있음
Metric 16	무한대를 작게 제한	count 가 끝없이 증가하는 것을 상한 16 에서 종료	네트워크 지름이 15 홉으로 제한됨

Poison Reverse ≠ Route Poisoning

Poison Reverse 는 특정 이웃에게 “네가 알려 준 길은 너를 통해서만 갈 수 없다”고 되돌려 말하는 광고 규칙입니다. **Route Poisoning** 은 실제 실패 경로를 metric 16 으로 만들어 관련 이웃에게 알리는 장애 처리입니다.

6.2 Split Horizon 이 오히려 정상 광고를 막는 경우

NBMA/허브-스포크에서의 Split Horizon 부작용



Hub 가 A 에게서 배운 경로를 같은 인터페이스로 B/C 에게 재광고하지 못하면 spoke-to-spoke 경로가 퍼지지 않는다.

- **우선 해결:** point-to-point subinterface 로 논리 링크를 분리하거나 OSPF/EIGRP 등 설계에 맞는 프로토콜을 사용합니다.
- **예외적 해결:** 허브 인터페이스에서만 `no ip split-horizon` 을 검토합니다. 루프 위험과 광고 방향을 먼저 도식화해야 합니다.
- **금지 습관:** “경로가 안 보인다”는 이유만으로 모든 인터페이스에서 Split Horizon 을 끄지 않습니다.

RIP Split Horizon 제어 - 설계 검토 후 적용

```
! 인터페이스별 Split Horizon 상태/제어 예시
interface Serial0/0
  ip split-horizon
!
! 허브-스포크 설계에서 정말 필요한 경우에만
interface Serial0/0
  no ip split-horizon
```

6.3 RIPv1 고유 한계와 대응

문제	왜 생기는가	현상	해결
VLSM/불연속 서브넷	업데이트에 mask 가 없음	잘못된 classful 요약, 경로 누락 또는 오해석	RIPv2/OSPF/EIGRP/IS-IS 로 전환
15 홉 제한	16 을 infinity 로 사용	중대형망에서 정상 경로도 도달 불가	계층형 링크 상태/고급 거리 벡터 사용
느린 수렴	주기 업데이트와 timer 기반 만료	장애 후 수십~수백 초의 black hole 가능	현대 IGP, 링크 감지/BFD, 적절한 설계
인증 부재	RIPv1 포맷에 인증 기능 없음	가짜 업데이트 수용 위험	RIPv2 인증 또는 다른 프로토콜과 제어 평면 보호

근거 문서: RFC 1058 의 split horizon with poisoned reverse 및 count-to-infinity 설명

DEEP DIVE

RIP v1 심화

⑦ 장애 재현·검증·출력 해석

이 페이지의 관찰 포인트

RIP에는 OSPF처럼 neighbor state table이 없으므로 프로토콜 설정, RIP DB, RIB, 디버그를 순서대로 대조합니다.

7.1 안전한 확인 순서

1. `show ip interface brief`로 광고 링크가 up/up 인지 확인합니다.
2. `show ip protocols`에서 RIP version, network, passive-interface, timer, 자동 요약 상태를 확인합니다.
3. `show ip rip database`에서 해당 prefix가 RIP DB에 들어왔는지 확인합니다.
4. `show ip route rip`에서 RIB에 실제 설치됐는지 확인합니다.
5. 필요할 때만 짧게 `debug ip rip`을 켜고 송수신 prefix와 metric을 본 뒤 `undebug all`로 종료합니다.

RIP 진단 명령

```
show ip protocols
show ip rip database
show ip route rip
show ip route 20.20.20.0

terminal monitor
show clock
debug ip rip
! 짧게 관찰 후 즉시 종료
undebug all
```

디버그에서 읽어야 할 네 가지

```
RIP: received v1 update from 10.0.12.2 on GigabitEthernet0/1
      20.0.0.0 in 1 hops
```

해석:

- received v1: 버전 일치
- source 10.0.12.2: 기대한 이웃에서 수신
- 20.0.0.0: classful major network로 보임
- 1 hops: 수신 metric, 로컬 설치 시 추가 비용 반영 여부 확인

증상	가장 먼저 의심	추가 확인	대표 해결
업데이트가 전혀 없음	passive, version, ACL, 링크 다운	`show ip protocols`, interface counter	활성화 범위와 링크/필터 수정
DB에는 있는데 RIB에 없음	더 낮은 AD 경로, 더 좋은 동일 출처 경로	`show ip route <prefix>`	정상 경쟁이면 유지, 의도와 다르면 경로 출처 수정
경로가 16으로 보임	poison 수신 또는 timeout	debug에서 광고 source와 변화 시점	실제 원인 링크 복구, 루프/플랩 분석
원격 ping만 실패	return path, classful 오해, ACL	양쪽 route/ping source/traceroute	왕복 경로와 주소 설계 수정

3. RIP v2

RIP의 클래스리스 개선판

학습 목적과 운영 목적을 구분해야 합니다. 기본 동작뿐 아니라 실패 방식과 완화책을 함께 봅니다.

① 비유를 통한 개념 설명

RIP v2도 여전히 이웃 표지판을 따라가지만, 이제 표지판에 **목적지 주소와 우편번호(prefix mask)**가 함께 적혀 있습니다. 그래서 “10번 지역” 정도가 아니라 **10.10.10.0/24**처럼 정확한 구역을 구분할 수 있습니다.

또한 동네 전체에 고함치는 브로드캐스트 대신, RIP v2를 듣는 라우터만 모인 **멀티캐스트 224.0.0.9**로 정보를 전달합니다. 그러나 길의 품질을 오직 홉 수로만 보는 한계와 15홉 제한은 그대로입니다.

한 문장 기억법

RIP v2 = “마스크가 붙은 홉 수 표지판”

② 핵심 특징 요약

항목	핵심 내용
알고리즘/범위	거리 벡터 IGP. RIPv1과 같은 기본 원리입니다.
메트릭	홉 수. 15홉까지 도달 가능, 16은 도달 불가.
클래스 지원	클래스리스. 업데이트에 서브넷 마스크를 포함하여 VLSM/CIDR을 지원합니다.
업데이트	기본 약 30초 주기. 224.0.0.9 멀티캐스트 사용.
자동 요약	구형 IOS에서는 클래스 경계 자동 요약이 기본일 수 있으므로 `no auto-summary`로 명시적으로 끕니다.
인증	평문 및 MD5 기반 인증 기능을 지원하지만, 실제 사용 가능 문법은 플랫폼/릴리스별 확인이 필요합니다.
수렴	RIPv1보다 주소 표현은 개선됐지만, 기본 거리 벡터 특성 때문에 여전히 느린 편입니다.
Cisco 기본 AD	120
권장 용도	작고 단순한 실습망 또는 호환성 목적. 현대 기업 코어에는 보통 OSPF/EIGRP/IS-IS가 적합합니다.

③ 시각적 구조도

RIPv1 표지판: "10.0.0.0까지 2홉" (마스크 없음)

RIPv2 표지판: "10.10.10.0/24까지 2홉" (마스크 포함)

224.0.0.9 멀티캐스트

```

+-----+
|               v
[R1] ----- [R2] ----- [R3]
prefix + mask + hop count
  
```

④ Cisco CLI 기본 설정 명령어

10.10.10.0/24 --- R1 --- 10.0.12.0/30 --- R2 --- 20.20.20.0/24
 RIP v2 RIP v2

R1 구성

```
! R1
configure terminal
interface GigabitEthernet0/0
  ip address 10.10.10.1 255.255.255.0
  no shutdown
interface GigabitEthernet0/1
  ip address 10.0.12.1 255.255.255.252
  no shutdown
router rip
  version 2
  no auto-summary
  network 10.0.0.0
  passive-interface GigabitEthernet0/0
end
```

R2 구성

```
! R2
configure terminal
interface GigabitEthernet0/0
  ip address 20.20.20.1 255.255.255.0
  no shutdown
interface GigabitEthernet0/1
  ip address 10.0.12.2 255.255.255.252
  no shutdown
router rip
  version 2
  no auto-summary
  network 10.0.0.0
  network 20.0.0.0
  passive-interface GigabitEthernet0/0
end
```

검증 명령

```
show ip protocols
show ip route rip
show ip rip database
show ip route 20.20.20.0
```

`network` 명령의 함정

Cisco RIP의 `network`는 인터페이스를 활성화할 **major network**를 지정합니다. RIPv2가 실제로 보내는 업데이트에는 정확한 prefix mask가 포함되므로 클래스리스 학습이 가능합니다.

DEEP DIVE

RIP v2 심화

⑤ 내부 동작 심화

이 페이지의 관찰 포인트

RIPv2 가 마스크, route tag, next-hop 필드를 추가했지만 거리 벡터의 본질과 루프 위험은 그대로라는 점을 봅니다.

5.1 RIPv2 Route Entry 가 담는 정보

필드	역할	운영 해석
Address Family	IPv4 경로 등 주소 계열 식별	잘못된 항목을 구분
Route Tag	외부 프로토콜/재분배 출처를 표시할 수 있는 16 비트 값	재분배 정책과 루프 방지 보조 수단. 자동으로 안전해지는 것은 아님
IP Address	광고 대상 네트워크	mask 와 함께 정확한 prefix 구성
Subnet Mask	VLSM/CIDR prefix 길이 전달	RIPv1 과의 가장 중요한 차이
Next Hop	수신자가 직접 사용할 더 적합한 next hop 제시	0.0.0.0 이면 보낸 라우터를 next hop 으로 사용
Metric	1~16 의 홉 수	16 은 unreachable/retraction

RIPv2 의 전송과 상태 유지

UDP 520 / 224.0.0.9

```
R1 -----> R2
prefix 20.20.20.0
mask   255.255.255.0
tag     100
next-hop 0.0.0.0
metric 1
```

RIP 는 Hello 기반 adjacency 를 만들지 않는다.
주기/triggered update 를 수신하며 경로별 timer 를 갱신한다.

RIPv2 가 빨라진 것은 아니다

마스크와 멀티캐스트, 인증 기능은 주소 표현과 전달 방식을 개선했지만 **경로 계산은 여전히 홉 수 거리 벡터**입니다. Count-to-Infinity, timer 기반 만료, 15 홉 한계는 그대로입니다.

근거 문서: RFC 2453 의 RIPv2 packet format, split horizon, triggered update 설명

DEEP DIVE

RIP v2 심화

⑥ 발생 가능한 문제·한계와 해결법

이 페이지의 관찰 포인트

RIPv2 에서 자주 발생하는 자동 요약, 재분배 route tag, 인증, NBMA 문제를 분리해서 해결합니다.

6.1 문제-원인-해결 매트릭스

문제/증상	깊은 원인	확인	해결
불연속 서브넷 경로가 이상함	classful 경계 자동 요약이 남아 있음	`show ip protocols` 의 automatic summarization	`no auto-summary`, 경계별 명시 요약/필터
RIPv2 인데도 루프/느린 수렴	주소 표현만 개선됐고 DV loop 특성은 동일	metric 증가, poison/trigger 시점	Split Horizon/poison 유지, 더 적합한 IGP 로 전환
재분배 경로가 되돌아옴	tag/필터 없이 상호 재분배	route tag 와 외부 경로 출처 추적	단일/최소 재분배점, route-map 과 tag 기반 차단
인증 불일치로 업데이트 없음	key-chain, key-id, 시간, mode 불일치	debug 및 interface RIP 설정	키 수명/ID/mode 를 양쪽 일치
허브가 spoke 경로를 전달 못함	multipoint 인터페이스 Split Horizon	허브 RIP DB 와 송신 debug 비교	P2P subinterface 우선, 필요 시 허브에 서만 해제
Next-hop 으로 도달 불가	RTE next-hop 필드가 직접 연결되지 않음	패킷 캡처와 RIB next-hop 해석	광고 장비/재분배 정책 수정

6.2 Route Tag 는 “표식”이지 자동 방화벽이 아니다

```

OSPF --redistribute--> RIP(tag 110)
  ^                      |
  |                      |
+---- 잘못된 재분배 <----+

```

RIP 에서 OSPF 로 되돌릴 때 tag 110 을 차단하면
원래 OSPF 경로가 다시 OSPF 로 유입되는 피드백을 줄일 수 있다.

Route tag 기반 재분배 피드백 차단 개념

```

! 개념 예시 - 실제 metric/정책은 설계에 맞게 조정
route-map RIP-T0-OSPF deny 10
  match tag 110
route-map RIP-T0-OSPF permit 20
!
router ospf 10
  redistribute rip subnets route-map RIP-T0-OSPF

```

재분배는 기본 설정 예제가 아니다

metric 변환, default route, AD, 요약, 필터 방향을 함께 설계하지 않으면 경로 루프나 black hole 이 생깁니다. 실습에서도 한 방향씩 적용하고 protocol DB 와 RIB 변화를 캡처하십시오.

6.3 전통적 RIPv2 인증 예시

Cisco IOS의 전통적 key-chain/MD5 문법 예시

```
key chain RIP-KEYS
key 1
  key-string ExampleSecret
!
interface GigabitEthernet0/1
  ip rip authentication mode md5
  ip rip authentication key-chain RIP-KEYS
```

보안 해석

RIPv2 인증은 허가되지 않은 업데이트를 줄이는 데 도움이 되지만, **MD5 계열은 현대 보안 설계에서 강한 암호화 채널을 의미하지 않습니다.** 플랫폼 지원과 보안 정책을 확인하고 제어 평면 ACL, 인접 링크 보호, 다른 IGP 선택을 함께 검토하십시오.

DEEP DIVE

RIP v2 심화

⑦ 장애 재현·검증·출력 해석

이 페이지의 관찰 포인트

멀티캐스트 수신, 정확한 prefix mask, 자동 요약, 인증 상태를 단계별로 확인합니다.

7.1 검증 명령과 기대 결과

```
show ip protocols
show ip rip database
show ip route rip
show ip route 20.20.20.0 255.255.255.0
show ip interface GigabitEthernet0/1
show running-config interface GigabitEthernet0/1

terminal monitor
debug ip rip
undebug all
```

RIPv2 디버그 해석

RIP: received v2 update from 10.0.12.2 on GigabitEthernet0/1
20.20.20.0/24 via 0.0.0.0 in 1 hops

좋은 신호:

- v2 수신
- /24 mask 가 명시됨
- 기대 인터페이스/이웃
- metric 1

나쁜 신호:

- v1 만 보임
- major network 만 보임
- update source 가 예상과 다름
- metric 16 이 반복됨

관찰 위치	정상	비정상 해석
show ip protocols	version 2 send/receive, no auto-summary, 올바른 network	version mismatch, passive 잘못 적용, 자동 요약 잔존
RIP database	정확한 prefix/mask 와 source	경로 자체 미수신 또는 metric 16
RIB	`R 20.20.20.0/24 [120/1] via ...`	다른 AD 경로가 있기거나 next hop 해석 실패
Packet capture	UDP 520, 224.0.0.9, RTE 에 mask 포함	ACL/멀티캐스트 처리/인증 오류

Packet capture 필터

SPAN/EPC/Wireshark 환경에서는 `udp.port == 520` 으로 RIP 를 좁히고, source IP, version, command(Response), prefix mask, metric 을 확인합니다. 운영 장비의 캡처 기능과 성능 영향은 플랫폼 문서를 따르십시오.

4. IGRP

역사적 Cisco 전용 프로토콜

현대 운영망에 새로 적용하지 않는 레거시 또는 미지원 항목입니다. 분석과 마이그레이션 관점으로 심화 내용을 읽습니다.

① 비유를 통한 개념 설명

IGRP 는 RIP 의 “정거장 수만 세는 표지판”을 개선해, **도로 폭(대역폭)**과 **소요 시간(지연)**도 함께 고려하는 오래된 길찾기 시스템입니다. 같은 3 개 교차로를 지나더라도 좁고 느린 길보다 넓고 빠른 길을 선호할 수 있었습니다.

하지만 주소 체계는 여전히 클래스풀이고, 주기적 업데이트와 오래된 수렴 방식의 한계를 가집니다. Cisco 는 이후 DUAL 을 사용하는 EIGRP 로 발전시켰고, IGRP 기능은 현대 IOS 계열에서 제거되었습니다.

한 문장 기억법

IGRP = “도로 품질까지 보는, 그러나 클래스풀인 옛 Cisco 길찾기”

② 핵심 특징 요약

항목	핵심 내용
알고리즘/범위	Cisco 가 개발한 거리 벡터 IGP. 역사적으로 Cisco 중심 환경에서 사용했습니다.
메트릭	기본적으로 최소 대역폭 과 누적 지연 을 조합합니다. 신뢰도와 부하도 선택적으로 반영할 수 있습니다.
클래스 지원	클래스풀 . VLSM/CIDR 을 직접 지원하지 않습니다.
업데이트	기본 약 90 초 주기의 라우팅 업데이트.
홉 한계	기본 최대 100 홉, 설정상 최대 255 홉까지 확장 가능했던 설계.
수렴	RIP 보다 메트릭은 정교하지만 현대 링크 상태/DUAL 프로토콜보다 느립니다.
Cisco 기본 AD	100
현재 상태	퇴역/제거됨 . 현대 IOS/IOS XE 에서는 `router igrp` 가 인식되지 않는 것이 일반적입니다.
권장 용도	CCNA 역사 학습, 오래된 설정 분석. 신규 구축에는 사용하지 않습니다.

메트릭 오해 방지

IGRP/EIGRP 설명에서 MTU 가 함께 언급되는 경우가 있지만, 기본 경로 선택 계산의 중심은 **대역폭**과 **지연**입니다. MTU 는 경로 정보로 전달될 수 있어도 기본 복합 메트릭의 핵심 가중 항목으로 보지 않는 것이 정확합니다.

③ 시각적 구조도

경로 A: R1 --(100 Mb/s, 1 ms)-- R2 --(100 Mb/s, 1 ms)-- N

경로 B: R1 --(10 Mb/s, 1 ms)-- R3 --(10 Mb/s, 1 ms)-- N

RIP 식 판단: 둘 다 2 홉 -> 같아 보임

IGRP 식 판단: 경로 A가 더 넓고 빠름 -> A 선호

단, 주소 광고 방식은 classful이며 전체 지도는 갖지 않는다.

④ Cisco CLI 기본 설정 명령어

실행 전 경고

아래 문법은 과거 **Cisco IOS**의 **역사적 예제**입니다. 현대 IOS/IOS XE 실습 이미지에서는 실패할 수 있으며, 그 실패가 정상적인 지원 상태입니다. 실제 운영 장비에 적용하지 마십시오.

역사적 기본 문법: AS 번호는 이웃 간 일치

```
! Legacy IOS example only - R1
configure terminal
router igrp 100
network 10.0.0.0
end
```

```
! Legacy IOS example only - R2
configure terminal
router igrp 100
network 10.0.0.0
network 20.0.0.0
end
```

현대 장비에서의 올바른 접근: 먼저 기능 존재 여부 확인

```
! Modern IOS/IOS XE에서 지원 상태 확인
show version
configure terminal
router ?
```

```
! 다음 명령이 오류라면 해당 이미지에서 제거된 것
router igrp 100
```

대체 선택

동일한 Cisco 내부망에서 복합 메트릭과 빠른 수렴을 원하면 **EIGRP**, 멀티벤더 표준과 Area 설계를 원하면 **OSPF**, 대규모 서비스 제공자 코어라면 **IS-IS**를 검토합니다.

DEEP DIVE

IGRP 심화

⑤ 내부 동작 심화

이 페이지의 관찰 포인트

IGRP 의 복합 metric 과 고전 거리 벡터 타이머를 이해하되, 현대 운영에서는 분석·이관 목적으로만 사용합니다.

5.1 “� 수”보다 정교하지만 여전히 거리 벡터

IGRP 는 각 경로의 전체 지도를 갖지 않고 이웃이 보고한 거리 벡터를 사용합니다. 차이는 거리 값이 단순 홉 수가 아니라 **경로의 가장 느린 대역폭과 인터페이스 지연의 누적값**을 중심으로 계산된다는 점입니다.

IGRP 기본 복합 metric 의 구성 요소

경로 A: bottleneck 100 Mb/s, 누적 delay 3000 usec

경로 B: bottleneck 10 Mb/s, 누적 delay 1500 usec

- bandwidth는 경로 중 가장 좁은 링크가 지배
- delay는 지나온 인터페이스 값이 누적
- 기본 K 값: K1=1, K3=1, K2=K4=K5=0

따라서 load/reliability는 기본 계산에 들어가지 않는다.

K 값	일반 의미	기본 사용	주의
K1	bandwidth 가중치	1	경로 bottleneck bandwidth 반영
K2	load 관련 가중치	0	동적 load 를 metric 에 넣으면 불안정해질 수 있음
K3	delay 가중치	1	누적 interface delay 반영
K4/K5	reliability 관련 항	0	기본 비활성. 이웃 간 metric 정의가 일치해야 함

대역폭 명령은 실제 회선 속도를 바꾸지 않는다

Cisco 의 `bandwidth` 인터페이스 값은 라우팅 metric 과 QoS 계산 등에 쓰이는 **논리적 참조값**입니다. 실제 물리 속도와 다른 경로 선택이 왜곡될 수 있습니다.

5.2 고전 IGRP 타이머

타이머	일반 기본값	의미
Update	90 초	주기 라우팅 업데이트
Invalid	270 초	업데이트가 없으면 경로 invalid
Hold-down	280 초	의심 경로 재수용 억제
Flush	630 초	경로 제거

DEEP DIVE

IGRP 심화

⑥ 발생 가능한 문제·한계와 해결법

이 페이지의 관찰 포인트

레거시 기능 미지원, classful 주소, K 값, 긴 타이머, 마이그레이션 루프를 중심으로 봅니다.

문제	원인	영향	현실적 해결
현대 장비에서 명령 거부	기능이 제거됨	기존 구성 재현 불가	지원되는 구형 실험 환경에서만 분석, 운영은 EIGRP/OSPF/IS-IS로 이관
VLSM/불연속망 실패	classful 업데이트	요약 오해와 경로 누락	classless 프로토콜로 전환
느린 장애 제거	90/270/280/630 초 타이머와 DV 특성	긴 black hole 및 loop 가능	현대 IGP와 링크/BFD 감지 설계
K 값/metric 불일치	동일 목적지의 비용 정의가 달라짐	경로 선택 불일치	기본 K 값 유지, 문서화된 일괄 변경만 수행
마이그레이션 중 피드백	IGRP와 새 IGP 간 양방향 재분배	루프, suboptimal, route churn	단일 재분배점, tag/필터, 단계별 cutover
대역폭 값 오류	interface bandwidth가 실제와 다름	잘못된 경로 선호	회선 속도와 설계 기준에 맞게 metadata 교정

안전한 이관의 기본 형태

```
[Legacy IGRP domain] -- R-Border -- [New OSPF/EIGRP domain]
|
+-- 재분배는 한 곳에서만
+-- route tag로 되돌아오는 경로 차단
+-- prefix별 사전/사후 RIB 비교
```

IGRP timer를 억지로 줄여 연명하지 마세요

레거시 프로토콜의 구조적 한계를 timer tuning으로 가리는 것은 안정성을 악화시킬 수 있습니다. 지원 종료, 주소 설계, 수렴 목표를 고려하면 마이그레이션이 정답인 경우가 대부분입니다.

DEEP DIVE

IGRP 심화

⑦ 장애 재현·검증·출력 해석

이 페이지의 관찰 포인트

현재 장비에서 지원 여부를 먼저 확인하고, 지원되는 구형 이미지에서만 역사적 명령을 사용합니다.

7.1 지원 여부 확인이 첫 번째 진단

```
show version
configure terminal
router ?
```

! parser 에 IGRP 가 없으면 더 진행하지 않는다.

! 지원되는 legacy 이미지에서만:

```
show ip protocols
show ip route igrp
show ip route
```

관찰	의미	조치
`router ?`에 igrp 없음	기능 제거/미지원	구성 시도 중단, 설계 변경
`router igrp` parser error	문법 문제가 아니라 기능 부재 가능성	플랫폼 feature navigator/릴리스 문서 확인
legacy 장비에서 경로 누락	classful 경계, AS 번호, network 범위, timer	`show ip protocols`와 주소 구조 검토
metric 예상과 다름	bandwidth/delay metadata 또는 K 값	인터페이스 값과 metric 정의 비교

역사적 디버그 이름 - 현대 IOS/IOS XE에서는 미지원 가능

```
! Legacy IOS에서만 존재할 수 있는 debug 예시
terminal monitor
debug ip igrp events
debug ip igrp transactions
undebug all
```

분석 보고서에 반드시 남길 문장

“IGRP 경로 문제”와 “현대 이미지에 IGRP 기능이 없음”은 다른 문제입니다. 지원 부재를 먼저 확인한 후, 과거 구성의 주소/metric/수렴 문제를 별도로 분석하십시오.

5. OSPF

기업망의 대표적인 개방형 링크 상태 프로토콜

신규 설계에서 실제 선택 가능한 프로토콜입니다. 기본 구성 뒤에 수렴 과정과 장애 해석을 심화 학습합니다.

① 비유를 통한 개념 설명

OSPF 는 각 라우터가 이웃에게 “목적지까지 몇 칸”만 묻는 대신, **도로 공사 현황과 교차로 연결 정보를 모두 수집해 전체 지도를 그리는 내비게이션**과 같습니다. 모든 라우터는 같은 Area 안에서 링크 상태 데이터베이스(LSDB)를 맞춘 뒤, 자신을 출발점으로 최단 경로 트리(SPF)를 계산합니다.

도로 하나가 끊기면 해당 변화만 링크 상태 광고(LSA)로 빠르게 퍼지고, 각 라우터가 지도를 다시 계산합니다. 네트워크가 커지면 도시를 여러 구역(Area)으로 나누고, **Area 0 을 백본**으로 사용해 정보 범위를 제어합니다.

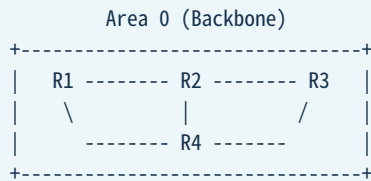
한 문장 기억법

OSPF = “모두가 같은 도로망 지도를 갖고 각자 최단 경로를 계산”

② 핵심 특징 요약

항목	핵심 내용
알고리즘/범위	링크 상태 IGP. Dijkstra SPF 알고리즘을 사용합니다.
메트릭	Cost 의 누적 합 . 일반적으로 기준 대역폭 ÷ 인터페이스 대역폭으로 계산합니다.
클래스 지원	클래스리스 . VLSM/CIDR 지원.
계층 구조	Area 0 백본과 비백본 Area. ABR 이 Area 를 연결하고 요약 경계를 제공합니다.
업데이트	초기에는 LSDB 를 동기화하고, 이후 변화 중심의 LSA 를 flooding 합니다. Hello 로 이웃 상태를 감시합니다.
수렴	일반적으로 빠름. 장애 감지 타이머, SPF 조정, 토폴로지 규모에 따라 달라집니다.
멀티캐스트	주요 IPv4 주소는 224.0.0.5(AllSPFRouters), 224.0.0.6(AllDRouters).
Cisco 기본 AD	110
장점/주의	멀티벤더 표준, 풍부한 설계 옵션. Area/네트워크 유형/DR·BDR/LSA 이해가 필요합니다.

③ 시각적 구조도



- 1) 각 링크 상태를 LSA로 공유
- 2) 같은 Area의 라우터가 LSDB를 동기화
- 3) 각 라우터가 자신을 루트로 SPF 계산

R1의 SPF 결과 예:

R1 -- R2 -- R3 (최소 누적 cost)
 \-- R4 --/

④ Cisco CLI 기본 설정 명령어

10.10.10.0/24 --- R1 --- 10.0.12.0/30 --- R2 --- 20.20.20.0/24
 OSPF Area 0 OSPF Area 0

R1 구성

```

! R1
configure terminal
interface GigabitEthernet0/0
ip address 10.10.10.1 255.255.255.0
no shutdown
interface GigabitEthernet0/1
ip address 10.0.12.1 255.255.255.252
no shutdown
router ospf 10
router-id 1.1.1.1
network 10.10.10.0 0.0.0.255 area 0
network 10.0.12.0 0.0.0.3 area 0
passive-interface GigabitEthernet0/0
end

```

R2 구성

```

! R2
configure terminal
interface GigabitEthernet0/0
ip address 20.20.20.1 255.255.255.0
no shutdown
interface GigabitEthernet0/1
ip address 10.0.12.2 255.255.255.252
no shutdown
router ospf 10
router-id 2.2.2.2
network 20.20.20.0 0.0.0.255 area 0
network 10.0.12.0 0.0.0.3 area 0
passive-interface GigabitEthernet0/0
end

```

검증 명령

```
show ip ospf neighbor
show ip ospf interface brief
show ip ospf database
show ip route ospf
show ip protocols
```

초보자 실수 3 개

① `router ospf 10`의 **process-id**는 장비 로컬 값이라 이웃과 같을 필요가 없습니다. ② **Area 번호, 서브넷, Hello/Dead 타이머**는 인접 링크에서 맞아야 합니다. ③ wildcard mask는 서브넷 마스크의 반대값입니다: `/30`은 `0.0.0.3`.

고속 링크 보정

기본 reference bandwidth가 낮으면 1Gbps와 10Gbps가 같은 cost로 보일 수 있습니다. 필요한 경우 모든 OSPF 라우터에서 동일하게 `auto-cost reference-bandwidth <Mbps>`를 설정합니다.

DEEP DIVE

OSPF 심화

⑤ 내부 동작 심화

이 페이지의 관찰 포인트

Hello 에서 Full adjacency까지의 상태 머신, 5 가지 패킷, LSDB 동기화와 SPF 계산을 연결합니다.

5.1 Neighbor State Machine

상태	무슨 일이 일어나는가	정상/비정상 해석
Down	Hello 를 아직 받지 못함	링크, OSPF 활성화, ACL, 타이머를 확인
Init	상대 Hello 는 받았지만 상대가 내 Router ID 를 보지 못함	단방향 통신, multicast/ACL 문제 의심
2-Way	양방향 Hello 확인, DR/BDR 선출 가능	Broadcast 에서 DROther 끼리는 정상 종착 상태일 수 있음
ExStart	DBD 교환의 master/slave 및 초기 sequence 협상	MTU/Router ID/패킷 손실 문제로 고착 가능
Exchange	DBD 로 LSDB 목차를 교환	MTU mismatch 나 DBD 재전송 루프 확인
Loading	필요 LSA 를 LSR 로 요청하고 LSU 로 수신	특정 LSA 손실/LSAck 문제 확인
Full	필요한 LSDB 동기화 완료	항상 경로가 있다는 뜻은 아니며 LSA/정책/RIB 를 추가 확인

OSPF 인접 관계 상태 전이

```

Down -> Init -> 2-Way -> ExStart -> Exchange -> Loading -> Full
      |                                     ^
      +-- DROther 간에는 2-Way 가 정상 -----+
          (각자 DR/BDR 와 Full)
  
```

5.2 OSPF 패킷 5 종

패킷	역할	장애 분석 포인트
Hello	이웃 발견, 타이머/Area/옵션 확인, DR/BDR 선출	Init/2-Way 단계와 parameter mismatch
Database Description	LSDB 의 요약 목차 교환	ExStart/Exchange 고착
Link-State Request	부족하거나 오래된 LSA 요청	Loading 에서 반복 요청
Link-State Update	하나 이상의 LSA 전달/flooding	sequence/age/checksum 과 재전송
Link-State Acknowledgment	LSA 수신 확인	신뢰성 있는 flooding 완료 여부

근거 문서: RFC 2328 의 Hello, DBD, LSR, LSU, LSAck 와 adjacency state machine

DEEP DIVE

OSPF 심화

⑤ 내부 동작 심화 - LSA 와 Area

이 페이지의 관찰 포인트

라우팅 테이블의 O/O IA/O E1/O E2/O N1/O N2 가 어떤 LSA 와 Area 경계를 거쳐 만들어지는지 봅니다.

LSA Type	이름/생성자	Flooding 범위	무엇을 표현
1	Router LSA / 모든 라우터	Area 내부	라우터 링크와 cost
2	Network LSA / DR	Area 내부	Broadcast/NBMA 세그먼트의 연결 라우터
3	Summary LSA / ABR	다른 Area	Inter-area prefix
4	ASBR Summary / ABR	다른 Area	ASBR 까지의 도달성
5	AS External / ASBR	Stub/NSSA 제외 도메인	외부 재분배 prefix
7	NSSA External / NSSA ASBR	NSSA 내부, ABR 에서 Type 5 로 번역 가능	NSSA 의 외부 prefix

Route code	의미	비용 해석
O	Intra-area	같은 Area 의 SPF 결과
O IA	Inter-area	ABR 을 통해 다른 Area 에서 학습
O E1	External Type 1	외부 metric + ASBR/forwarding address 까지 내부 cost 포함
O E2	External Type 2	외부 metric 중심. 기본 external type 으로 혼합
O N1/N2	NSSA External Type 1/2	NSSA Type 7 에서 파생

LSDB 가 같아도 RIB 가 다를 수 있다

각 라우터는 같은 Area LSDB 를 공유하지만 출발점이 다르므로 SPF 결과와 next hop 은 다릅니다. 또한 다른 프로토콜의 더 낮은 AD, 정책, next-hop 해석 때문에 OSPF 경로가 RIB 에 설치되지 않을 수 있습니다.

DEEP DIVE

OSPF 심화

⑥ 발생 가능한 문제·한계와 해결법

이 페이지의 관찰 포인트

Neighbor 가 멈춘 상태를 증상으로 삼아 parameter mismatch, MTU, Router ID, DR/BDR, LSDB 규모 문제를 진단합니다.

증상/상태	대표 원인	확인	해결
Down	OSPF 미활성, 링크/ACL, multicast 차단	`show ip ospf interface`, packet capture IP proto 89	network/interface 활성화와 필터 수정
Init	단방향 Hello	상대 Hello 의 neighbor list, ACL/스위치	양방향 multicast/unicast 복구
2-Way	DROther 끼리 정상 또는 adjacency 필요 링크의 network type 오류	DR/BDR role, network type	정상이면 유지; P2P 링크면 양쪽 `ip ospf network point-to-point` 검토
ExStart/Exchange	MTU mismatch, duplicate RID, DBD 손실	`show ip ospf interface`, interface MTU, 로그	MTU 를 실제로 일치. `mtu-ignore` 는 임시 진단 수단
Loading	LSR/LSU/LSAck 반복 손실, 특정 LSA 문제	neighbor detail, database, retransmission list	링크 품질/MTU/필터와 손상 LSA 원인 수정
Full 인데 경로 없음	prefix 미광고, area/filter, LSA type, AD 경쟁	database prefix 조회, `show ip route`	광고/정책/경쟁 경로 수정

6.1 DR/BDR 의 중요한 동작 특성

- Broadcast/NBMA 네트워크에서 DR 이 Type 2 Network LSA 를 만들고 adjacency 수를 줄입니다.
- 우선순위가 높은 라우터가 나중에 올라와도 **기존 DR 을 즉시 빼앗지 않는 비선점(non-preemptive)** 동작이 일반적입니다.
- `ip ospf priority 0` 은 해당 인터페이스가 DR/BDR 후보가 되지 않게 합니다.
- DR 을 바꾸려면 인접 관계 재형성이 필요할 수 있으므로 운영 영향과 LSA churn 을 고려합니다.

네트워크 유형/DR 후보/reference bandwidth 예시

```
interface GigabitEthernet0/1
 ip ospf priority 0
 ip ospf network point-to-point
!
router ospf 10
 auto-cost reference-bandwidth 100000
```

Reference bandwidth 는 도메인 전체에서 일관되게

한 라우터만 기준값을 바꾸면 각 라우터가 같은 링크를 다른 cost 로 계산해 비대칭과 예상 밖 경로가 생길 수 있습니다. 변경 전후 cost 와 SPF 경로를 전체 도메인에서 검증합니다.

6.2 규모가 커질 때의 구조적 한계

문제	왜 생기는가	완화
LSA churn/CPU	flapping 링크가 반복 flooding 과 SPF 를 유발	불안정 링크 수정, SPF/LSA throttle, Area 경계와 안정적 설계
큰 Area	모든 라우터가 동일 Area LSDB 를 저장/계산	Area 분할, ABR 위치와 요약 설계
요약 black hole	ABR/ASBR summary 는 남는데 세부 경로 소실	summary 범위/Null0 동작 확인, 장애 조건 검증
Virtual link 의존	Area 0 연결을 임시 논리 링크로 우회	근본적으로 연속된 backbone 재설계

근거 문서: RFC 2328 및 Cisco OSPF Configuration Guide 의 adjacency, DR/BDR, MTU, reference bandwidth 설명

DEEP DIVE

OSPF 심화

⑦ 장애 재현·검증·출력 해석

이 페이지의 관찰 포인트

Neighbor, interface, LSDB, RIB 를 같은 Router ID·Area·LSA 기준으로 연결해 읽습니다.

7.1 네 단계 검증

```
show ip ospf neighbor detail
show ip ospf interface GigabitEthernet0/1
show ip ospf database router self-originate
show ip ospf database network
show ip ospf database summary
show ip ospf database external
show ip route ospf
show ip route 20.20.20.0
```

`show ip ospf neighbor` 핵심 열

Neighbor ID	Pri	State	Dead Time	Address	Interface
2.2.2.2	1	FULL/DR	00:00:37	10.0.12.2	Gi0/1

해석:

- Neighbor ID: 상대 Router ID, 인터페이스 IP 가 아님
- Pri 1: DR election priority
- FULL/DR: LSDB 동기화 완료, 상대가 DR
- Dead Time: 0 이 되기 전에 Hello가 와야 함
- Address/Interface: 실제 인접 링크

질문	명령	판정
이웃이 만들어졌는가?	`show ip ospf neighbor`	상태와 role, dead timer
링크 파라미터가 맞는가?	`show ip ospf interface`	Area, network type, cost, Hello/Dead, MTU, auth
prefix LSA 가 있는가?	`show ip ospf database ...`	Advertising Router, sequence, age, LSA type
RIB 에 설치됐는가?	`show ip route ospf`	O/O IA/E/N 코드, AD/metric, next hop

MTU ignore 는 원인 제거가 아니라 임시 우회

```
! MTU 불일치의 임시 진단 예 - 영구 해결은 MTU 일치
interface GigabitEthernet0/1
 ip ospf mtu-ignore

! 정상화 후 제거
interface GigabitEthernet0/1
 no ip ospf mtu-ignore
```

6. IS-IS

대규모 코어에서 강한 링크 상태 프로토콜

신규 설계에서 실제 선택 가능한 프로토콜입니다. 기본 구성 뒤에 수렴 과정과 장애 해석을 심화 학습합니다.

① 비유를 통한 개념 설명

IS-IS 는 **철도 관제망**과 비슷합니다. 각 역은 인접 선로와 역 상태를 공유해 전체 선로 지도를 맞추고, 각자 최적 경로를 계산합니다. OSPF 와 같은 링크 상태 원리지만, 구역을 다루는 방식이 Level 1 과 Level 2 로 표현됩니다.

Level 1 은 한 지역 안의 로컬 열차, **Level 2** 는 지역을 잇는 간선 열차라고 생각하면 쉽습니다. Level 1/2 라우터는 지역과 간선 사이의 환승역 역할을 합니다. TLV(Type-Length-Value) 구조 덕분에 새로운 주소 체계와 기능을 확장하기 좋습니다.

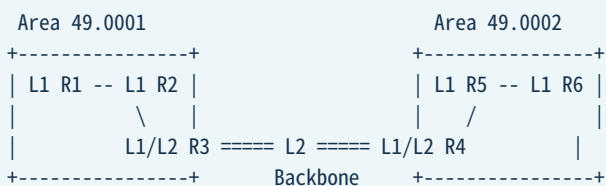
한 문장 기억법

IS-IS = “Level 1 지역선 + Level 2 간선으로 운영하는 확장 가능한 철도 지도”

② 핵심 특징 요약

항목	핵심 내용
알고리즘/범위	링크 상태 IGP. 각 Level 의 링크 상태 데이터베이스를 만들고 SPF 를 계산합니다.
메트릭	링크 metric 의 누적 합. Cisco 의 전통적 기본 인터페이스 metric 은 10 이며, 대규모 설계에서는 wide metric 을 권장합니다.
클래스 지원	통합 IS-IS(Integrated IS-IS)는 TLV 로 IPv4/IPv6 prefix 를 운반하는 클래스리스 프로토콜입니다.
계층 구조	Level 1: Area 내부, Level 2: Area 간 백본, Level 1-2: 경계 연결.
패킷 전달	IP 위의 UDP/TCP 가 아니라 CLNS 계열 프레임을 사용해 직접 인접 관계를 형성합니다.
업데이트	LSP flooding 과 Hello(IIH)로 데이터베이스 및 이웃 상태를 관리합니다.
수렴	빠르고 예측 가능하게 설계할 수 있으며, 대규모 서비스 제공자 코어에서 널리 쓰입니다.
Cisco 기본 AD	115
장점/주의	TLV 확장성, 안정적 코어 설계. NET 주소, Level, 회선 유형 개념이 초보자에게 낯설 수 있습니다.

③ 시각적 구조도



L1: 같은 Area 안에서 상세 경로 학습
 L2: Area 사이의 경로 전달
 L1/L2: 지역선과 간선을 잇는 환승역

NET 주소 읽기

`49.0001.0000.0000.0001.00`에서 `49`는 사실 AFI, `0001`은 Area ID, `0000.0000.0001`은 라우터마다 고유한 System ID, 마지막 `00`은 NSEL입니다.

④ Cisco CLI 기본 설정 명령어

10.10.10.0/24 --- R1 === 10.0.12.0/30 === R2 --- 20.20.20.0/24
IS-IS Level 2 IS-IS Level 2

R1 구성

```
! R1
configure terminal
router isis CORE
 net 49.0001.0000.0000.0001.00
 is-type level-2-only
 metric-style wide
 passive-interface GigabitEthernet0/0
interface GigabitEthernet0/0
 ip address 10.10.10.1 255.255.255.0
 ip router isis CORE
 no shutdown
interface GigabitEthernet0/1
 ip address 10.0.12.1 255.255.255.252
 ip router isis CORE
 no shutdown
end
```

R2 구성

```
! R2
configure terminal
router isis CORE
 net 49.0001.0000.0000.0002.00
 is-type level-2-only
 metric-style wide
 passive-interface GigabitEthernet0/0
interface GigabitEthernet0/0
 ip address 20.20.20.1 255.255.255.0
 ip router isis CORE
 no shutdown
interface GigabitEthernet0/1
 ip address 10.0.12.2 255.255.255.252
 ip router isis CORE
 no shutdown
end
```

검증 명령

```
show clns neighbors
show isis neighbors
show isis database
show isis topology
show ip route isis
```

DEEP DIVE

IS-IS 심화

⑤ 내부 동작 심화

이 페이지의 관찰 포인트

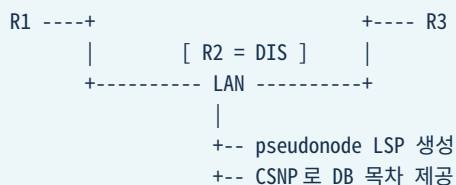
IIH, LSP, CSNP, PSNP 가 어떻게 adjacency 와 링크 상태 데이터베이스를 유지하는지 봅니다.

5.1 IS-IS PDU 4 종의 역할

PDU	역할	OSPF 와 비교하면	장애 해석
IIH	이웃 발견과 hold time, Level, area 조건 교환	Hello	이웃 자체가 없으면 IIH 수신/송신부터 확인
LSP	라우터/가상 pseudonode 의 링크 상태와 prefix TLV 광고	LSA 를 담은 LSU 와 유사	sequence, lifetime, checksum, overload bit 확인
CSNP	해당 Level DB 의 “전체 목차”를 범위로 요약	DBD 와 일부 유사	LAN 의 DIS 가 주기적으로 DB 동기화 기준 제공
PSNP	특정 LSP 의 요청 또는 수신 확인	LSR/LSAck 와 일부 유사	누락 LSP 요청과 point-to-point 확인 처리

DIS 와 pseudonode

LAN 세그먼트



중요:

- DIS 는 OSPF DR 과 비슷하지만 backup DIS 가 없다.
- 더 높은 우선순위 장비가 오면 DIS 선출은 선점될 수 있다.

DIS 변경은 단순 이름 변경이 아니다

새 DIS 가 pseudonode LSP 와 CSNP 역할을 넘겨받으면서 LSP 변화와 SPF 재계산이 생길 수 있습니다. LAN 우선순위를 설계하고 불필요한 DIS churn 을 피하십시오.

5.2 NET 의 구조

NET/NSAP 를 주소처럼 분해하기

```
49.0001.0000.0000.0001.00
| area |----- system-id ----|NSEL

49      : private AFI 예시
0001    : area address
0000.0000.0001 : 6-byte system ID
00      : NSEL, 라우터 NET에서는 보통 00
```

- **System ID** 는 도메인에서 유일해야 합니다. 중복되면 LSP 가 서로 덮이고 adjacency/경로가 불안정해질 수 있습니다.
- Level 1 adjacency 는 일반적으로 같은 area address 가 필요합니다. Level 2 는 area 를 연결하므로 area 가 달라도 형성할 수 있습니다.
- 한 라우터에 여러 area address 를 둘 수 있지만 마이그레이션 목적과 범위를 명확히 해야 합니다.

근거 문서: ISO/IEC 10589 계열 동작, RFC 1195, Cisco IS-IS Configuration Guide 의 IIH/LSP/CSNP/PSNP 및 DIS 설명

DEEP DIVE

IS-IS 심화

⑤ 내부 동작 심화 - Level, ATT, Overload, Wide Metric

이 페이지의 관찰 포인트

Level 1 라우터의 default route, Level 1-2 경계, overload bit 와 wide metric 이 실제 경로 선택에 미치는 영향을 봅니다.

```

Area 49.0001                Level 2 Backbone                Area 49.0002
[L1 R1] -- [L1/L2 R2] ===== [L2 R3] ===== [L1/L2 R4] -- [L1 R5]
                        ATT=1                                ATT=1
  
```

L1 R1 은 다른 area 의 상세 prefix 를 모두 몰라도
가장 가까운 Attached L1/L2 라우터(R2)로 default 를 사용할 수 있다.

기능	동작	유용한 이유	위험/주의
ATT bit	L1/L2 라우터가 L1 LSP 에 attached 상태를 표시	L1 라우터가 외부 area 로 default 경로 선택	L2 도달성이 실제로 없는데 ATT/default 가 남으면 black hole
Overload bit	다른 라우터에게 자신을 transit 로 쓰지 말라고 알림	재부팅 직후 BGP/RIB 가 준비되기 전 transit 회피	자기 directly connected prefix 까지 모두 사라진다는 뜻은 아님; 구현/정책 확인
Wide metric	확장 TLV 와 더 큰 metric 공간 사용	고속 링크와 traffic-engineering 확장성	도메인 전환 시 narrow/wide 호환 모드와 일관성 필요
L1/L2	별도 LSDB 와 SPF	변화 범위를 계층화	잘못된 level/circuit-type 은 adjacency 나 경로 범위를 단절

Wide metric, startup overload, circuit type 예시

```

router isis CORE
metric-style wide
set-overload-bit on-startup 120
!
interface GigabitEthernet0/1
isis circuit-type level-2-only
  
```

Startup overload 의 목적

IS-IS adjacency 만 먼저 올라왔지만 BGP full table 이나 재분배 경로가 아직 준비되지 않은 장비를 transit 로 쓰면 black hole 이 생길 수 있습니다. 일정 시간 overload bit 를 유지해 제어 평면이 안정된 뒤 transit 를 허용하는 방식입니다.

DEEP DIVE

IS-IS 심화

⑥ 발생 가능한 문제·한계와 해결법

이 페이지의 관찰 포인트

Area/Level, MTU와 Hello padding, system ID, metric style, ATT/default 문제를 증상별로 분리합니다.

증상	대표 원인	확인	해결
이웃이 전혀 없음	interface에 IS-IS 미활성, IIH 차단, Level 불일치	`show isis interface`, packet capture	`ip router isis <tag>`, circuit-type/링크 수정
L1 이웃만 안 됨	area address 불일치	양쪽 NET과 adjacency detail	같은 L1 area로 맞추거나 L2-only 설계
Init/Up 반복	MTU/padding, 단방향 링크, hold expiry	interface MTU, IIH padding, error counter	MTU 일치와 링크 품질 복구
DB가 뒤집히거나 경로 flap	duplicate system ID	LSP ID/hostname 매핑과 로그	고유 system ID 재설계 후 프로세스 재기동 계획
고속 링크 cost가 모두 같음	narrow metric/기본 metric 방치	`show isis interface detail`	wide metric과 명시적 link metric
L1 default가 black hole	Attached L1/L2가 L2 출구를 잃음	ATT bit, L2 DB, default next hop	overload/route leaking/default 조건 설계
경로는 DB에 있는데 RIB에 없음	다른 AD, next-hop, level preference	`show isis route`, `show ip route`	경쟁 경로와 설치 사유 확인

6.1 MTU와 Padding을 왜 확인하는가

일부 IS-IS 구현은 IIH를 인터페이스 MTU에 가깝게 padding해 큰 프레임이 실제로 양방향 통과하는지 확인합니다. 작은 ping은 되지만 큰 IIH/LSP가 손실되면 adjacency가 반복적으로 끊기거나 DB 동기화가 실패할 수 있습니다.

작은 ICMP 100 bytes: 통과
Padded IIH / 큰 LSP: 중간 장비 MTU 때문에 폐기
결과: "IP는 되는데 IS-IS만 불안정"하게 보일 수 있다.

Padding을 끄는 것이 첫 해결책은 아니다

Padding 비활성화는 증상을 숨길 수 있습니다. 링크 양 끝과 중간 L2장비의 MTU를 일치시키고, 실제 최대 PDU가 통과하는지 확인하는 것이 우선입니다.

근거 문서: Cisco IS-IS implementation/configuration 문서의 wide metric, overload bit, hello padding 및 Level 동작

DEEP DIVE

IS-IS 심화

⑦ 장애 재현·검증·출력 해석

이 페이지의 관찰 포인트

Adjacency, interface, database, topology, RIB 를 L1/L2 와 system ID 기준으로 연결해 읽습니다.

```
show isis neighbors detail
show clns neighbors
show isis interface GigabitEthernet0/1 detail
show isis database detail
show isis topology
show isis route
show ip route isis
show logging | include ISIS|CLNS|LSP
```

`show isis neighbors` 핵심 열

System Id	Type	Interface	IP Address	State	Holdtime	Circuit Id
R2	L2	Gi0/1	10.0.12.2	UP	23	R2.01

해석:

- System Id: NET 의 system ID 또는 dynamic hostname
- Type L2: 형성된 adjacency level
- State UP: IIH/hold 정상
- Holdtime: 0 으로 떨어지면 adjacency 종료
- Circuit Id: LAN 이면 DIS/pseudonode 식별과 연결

질문	명령	주요 필드
이웃/Level 이 맞나?	`show isis neighbors detail`	L1/L2, holdtime, SNPA, area
인터페이스가 참여하나?	`show isis interface detail`	circuit type, metric, hello, DIS priority
LSP 가 최신인가?	`show isis database detail`	sequence, checksum, lifetime, overload, TLV
SPF 결과가 있는가?	`show isis topology` / `route`	next hop, metric, level
RIB 설치됐나?	`show ip route isis`	i L1/i L2 코드, AD/metric

IS-IS 캡처 위치

IS-IS 는 일반 IP/UDP 가 아니라 L2 의 CLNS/IS-IS 프레임으로 동작합니다. IP ACL 만 보고 판단하지 말고 VLAN, EtherType/LLC, 스위치 필터와 캡처 지점을 확인하십시오.

7. EIGRP

빠른 수렴과 후보 우회로를 갖는 Cisco 중심 IGP

신규 설계에서 실제 선택 가능한 프로토콜입니다. 기본 구성 뒤에 수렴 과정과 장애 해석을 심화 학습합니다.

① 비유를 통한 개념 설명

EIGRP 는 단순 표지판보다 똑똑한 **실시간 택시 배차 앱**과 같습니다. 현재 가장 좋은 길(Successor)뿐 아니라, 조건을 만족하는 안전한 예비 길(Feasible Successor)도 미리 기억합니다.

주 경로가 끊겼을 때 안전한 예비 길이 있으면 즉시 전환합니다. 예비 길이 없으면 이웃에게 질의(Query)해 새 길을 찾습니다. 이 판단을 담당하는 알고리즘이 **DUAL(Diffusing Update Algorithm)**입니다.

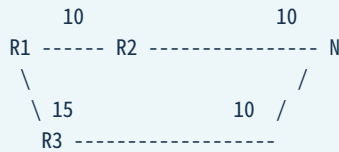
한 문장 기억법

EIGRP = “주 경로와 루프 없는 예비 경로를 관리하는 실시간 길찾기”

② 핵심 특징 요약

항목	핵심 내용
알고리즘/범위	고급 거리 벡터 또는 하이브리드 IGP 로 설명됩니다. 핵심은 DUAL 기반 루프 없는 계산입니다.
메트릭	기본 K 값에서 최소 대역폭과 누적 지연 을 조합합니다. 부하와 신뢰도는 선택적으로 반영 가능.
클래스 지원	클래스리스 . VLSM/CIDR 지원.
정보 구조	Neighbor table, Topology table, Routing table 을 구분해 관리합니다.
업데이트	전체 주기 업데이트 대신 부분적이고 경계가 있는(bounded) 변화 업데이트 를 사용합니다.
멀티캐스트	IPv4 EIGRP 는 주로 224.0.0.10 을 사용합니다.
수렴	Feasible Successor 가 있으면 매우 빠릅니다. 없으면 Query 범위와 설계에 따라 시간이 늘 수 있습니다.
Cisco 기본 AD	내부 90, 외부 170
장점/주의	간단한 운영과 빠른 수렴. 이웃 간 AS 번호와 K 값이 일치해야 하며, Query 경계를 설계해야 합니다.

③ 시각적 구조도



R1의 Topology Table

- Successor: R1 -> R2 -> N (최적 경로)
- Feasible Successor: R1 -> R3 -> N (feasibility 조건 충족 시)

주 경로 장애:

Successor X ---> Feasible Successor 로 즉시 전환

예비 경로 없음 ---> 이웃에게 Query, DUAL 이 새 경로 계산

항목	핵심 내용
Successor	현재 라우팅 테이블에 설치되는 최적 다음 홉.
Feasible Distance, FD	현재 라우터에서 목적지까지 계산한 최적 전체 거리.
Reported Distance, RD	이웃이 자신에서 목적지까지라고 광고한 거리.
Feasibility Condition	이웃의 RD 가 현재 FD 보다 작을 때 루프 없는 예비 경로로 인정하는 핵심 조건.

④ Cisco CLI 기본 설정 명령어

```

10.10.10.0/24 --- R1 --- 10.0.12.0/30 --- R2 --- 20.20.20.0/24
                EIGRP AS 100             EIGRP AS 100
  
```

R1 구성

```

! R1 - classic EIGRP mode
configure terminal
interface GigabitEthernet0/0
 ip address 10.10.10.1 255.255.255.0
 no shutdown
interface GigabitEthernet0/1
 ip address 10.0.12.1 255.255.255.252
 no shutdown
router eigrp 100
 eigrp router-id 1.1.1.1
 network 10.10.10.0 0.0.0.255
 network 10.0.12.0 0.0.0.3
 passive-interface GigabitEthernet0/0
 no auto-summary
end
  
```

R2 구성

```
! R2 - classic EIGRP mode
configure terminal
interface GigabitEthernet0/0
 ip address 20.20.20.1 255.255.255.0
 no shutdown
interface GigabitEthernet0/1
 ip address 10.0.12.2 255.255.255.252
 no shutdown
router eigrp 100
 eigrp router-id 2.2.2.2
 network 20.20.20.0 0.0.0.255
 network 10.0.12.0 0.0.0.3
 passive-interface GigabitEthernet0/0
 no auto-summary
end
```

검증 명령

```
show ip eigrp neighbors
show ip eigrp topology
show ip eigrp topology all-links
show ip route eigrp
show ip protocols
```

초보자 실수 3 개

① 이웃 링크에서 **EIGRP AS 번호가 같아야** 합니다. ② K 값이 다르면 인접 관계가 형성되지 않습니다. ③ `passive-interface`를 WAN 이웃 링크에 잘못 적용하면 Hello 가 나가지 않아 이웃이 생기지 않습니다.

문법 참고

최신 IOS XE 에는 named mode(`router eigrp <name>` + address-family)도 있습니다. 이 교재는 원리를 빠르게 익히기 위해 classic mode 를 사용하며, `no auto-summary`는 구형 IOS 호환을 위해 명시합니다.

DEEP DIVE

EIGRP 심화

⑤ 내부 동작 심화

이 페이지의 관찰 포인트

RTP, DUAL, RD/FD, Feasibility Condition, Passive/Active 상태가 빠른 수렴을 만드는 원리를 숫자 예로 봅니다.

5.1 EIGRP 패킷과 Reliable Transport Protocol

패킷	역할	신뢰성/관찰
Hello	이웃 발견과 holdtime 유지	일반적으로 multicast, ACK 요구 없음
Update	새 경로/변경 경로 전달	필요 시 reliable 전송과 sequence/ACK 사용
Query	안전한 대체 경로가 없을 때 이웃에게 질의	Reply 를 모두 받아야 계산을 마칠 수 있음
Reply	Query 에 대한 경로 유무 응답	누락되면 Active 상태 장기화/SIA 가능
ACK	reliable EIGRP 패킷 수신 확인	Hello 형식이지만 acknowledgement 의미

EIGRP 는 전체 테이블을 매 주기마다 보내는 대신, 이웃이 처음 형성될 때 필요한 정보를 동기화하고 이후 **변화된 정보만 bounded update** 로 보냅니다. 그래서 안정 상태의 제어 트래픽은 작지만, 장애 시 Query 범위가 커지면 부하가 급증할 수 있습니다.

5.2 RD, FD, Successor, Feasible Successor

FC 는 “이웃이 나보다 목적지에 더 가깝다”는 루프 없는 보증

목적지 N 에 대한 R1 의 후보

via R2: R2 의 RD=20, R1-R2 비용=10 -> total/FD 후보=30 [Successor]
 via R3: R3 의 RD=25, R1-R3 비용=20 -> total=45
 25 < 현재 FD 30 -> Feasible Successor 가능
 via R4: R4 의 RD=35, R1-R4 비용=5 -> total=40
 35 < 30 이 아님 -> 더 짧아 보여도 즉시 안전 후보 아님

Feasibility Condition: 이웃 RD < 현재 Successor 의 FD

항목	핵심 내용
Reported Distance, RD	이웃이 자신부터 목적지까지라고 보고한 metric. 과거 문서에서는 Advertised Distance 라고도 부릅니다.
Feasible Distance, FD	현재 DUAL 계산에서 로컬 라우터가 알고 있는 최저 경로 거리. 단순히 모든 순간의 total metric 과 같은 용어로 쓰지 않도록 주의합니다.
Successor	현재 라우팅 테이블에 설치되는 최적 next hop.
Feasible Successor	FC 를 만족해 현재 Successor 실패 시 Query 없이 즉시 전환할 수 있는 루프 없는 후보.
Passive	해당 prefix 의 계산이 안정된 정상 상태.
Active	안전한 successor 를 찾기 위해 Query/Reply 를 기다리는 계산 상태. “트래픽이 활발”하다는 뜻이 아닙니다.

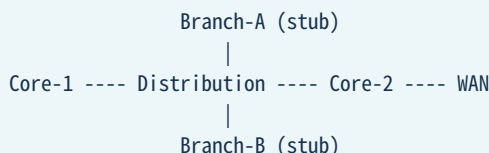
DEEP DIVE

EIGRP 심화

⑤ 내부 동작 심화 - Active 와 Query 범위

이 페이지의 관찰 포인트

Feasible Successor 가 없을 때 Query 가 어디까지 퍼지고, Stub 과 요약이 왜 수렴 경계를 만드는지 봅니다.



목적지 실패 + FS 없음

Distribution -> Query 를 보냄

- Stub 지점은 자신이 transit 경로를 제공하지 않음을 알려 Query 확산을 줄임
- Summary 경계는 세부 prefix Query 범위를 제한할 수 있음

단계	DUAL 동작	문제 발생 지점
1. Successor 실패	Topology table 에서 FS 검색	FS 가 없으면 Active 전환
2. Query 전송	관련 이웃에게 대체 경로 질의	대형 flat domain 에서 Query 가 멀리 확산
3. Reply 수집	모든 필요한 Reply 를 기다림	손실, CPU, 불안정 링크, 재귀 Query 로 지연
4. 새 Successor 결정	Reply 결과로 DUAL 계산 후 Passive 복귀	Reply 미완료 시 SIA 및 adjacency reset 가능

지점 라우터의 EIGRP Stub 개념

```

router eigrp 100
  eigrp stub connected static summary
!
! 또는 named mode 의 address-family 에서 stub 설정
  
```

Stub 는 “경로를 전혀 광고하지 않는다”가 아니다

설정한 connected/static/summary 등 허용 범주의 경로는 광고할 수 있습니다. 핵심은 자신을 다른 원격 목적지의 transit 대체 경로로 질의하지 말라는 신호입니다.

DEEP DIVE

EIGRP 심화

⑥ 발생 가능한 문제·한계와 해결법

이 페이지의 관찰 포인트

SIA, K 값/AS 불일치, Split Horizon, summary Null0, variance 를 증상과 해결 원칙으로 연결합니다.

증상/문제	깊은 원인	확인	해결
Neighbor 가 안 맺어짐	AS, K 값, 인증, subnet, passive 불일치	`show ip eigrp neighbors`, 로그, protocols	양쪽 parameter 일치와 링크/ACL 수정
Stuck-in-Active	Query Reply 지연/손실, 과도한 Query scope, CPU 문제	`show ip eigrp topology active`, neighbor detail	Stub/요약, 불안정 링크/CPU 복구, 도메인 계층화
FS 가 없음	후보 RD 가 FC 를 만족하지 않음	`show ip eigrp topology all-links`	metric 조정 전 토폴로지 자체와 FC 를 이해. 무리한 delay 조작 금지
허브가 spoke 경로 미전파	multipoint Split Horizon	hub topology/updates	P2P subinterface 우선, 필요 시 허브에서만 `no ip split-horizon eigrp`
Summary 로 black hole	summary route 가 Null0 로 유지되는데 세부 경로 부재	`show ip route <summary>` 와 topology	summary 범위/세부 경로 조건 재설계
Variance 가 경로를 안 넣음	metric 배수는 맞지만 FC 불충족	topology all-links 의 RD/FD	FC 를 만족하는 후보만 unequal load balancing 가능

6.1 K 값 mismatch 의 의미

K 값은 “경로 점수 계산 공식 자체”입니다. 이웃끼리 K 값이 다르면 같은 경로를 서로 다른 자로 재는 셈이므로 adjacency 를 형성하지 않습니다. 기본 K1=1, K3=1, 나머지 0 을 유지하는 것이 일반적이며 변경은 도메인 전체 계획이 필요합니다.

```
show ip protocols
show ip eigrp neighbors detail
show ip eigrp topology all-links
show ip eigrp traffic
```

! 허브-스피크에서 설계상 필요한 경우에만
interface Serial0/0
no ip split-horizon eigrp 100

Delay tuning 의 위험

EIGRP metric 을 맞추려고 인터페이스 delay 를 즉흥적으로 바꾸면 다른 목적지의 경로도 동시에 바뀝니다. 트래픽 엔지니어링 목표, FC, variance, 장애 경로를 전체적으로 시뮬레이션하십시오.

근거 문서: RFC 7868 및 Cisco EIGRP Configuration/Troubleshooting Guide 의 Stub, K values, Split Horizon, variance 설명

DEEP DIVE

EIGRP 심화

⑦ 장애 재현·검증·출력 해석

이 페이지의 관찰 포인트

Neighbor, topology table, Active query, RIB 를 하나의 prefix 기준으로 추적합니다.

```
show ip eigrp neighbors detail
show ip eigrp topology 20.20.20.0/24
show ip eigrp topology all-links
show ip eigrp topology active
show ip eigrp traffic
show ip route eigrp
show ip route 20.20.20.0
```

`show ip eigrp topology` 읽는 법

```
P 20.20.20.0/24, 1 successors, FD is 28160
  via 10.0.12.2 (28160/25600), GigabitEthernet0/1
```

해석:

P : Passive, 계산 안정
 1 successors : 현재 최적 next hop 수
 FD 28160 : 로컬 feasible distance
 (28160/25600) : total distance / 이웃 reported distance
 via : successor 또는 topology 후보

표시	뜻	다음 질문
P	Passive/정상	RIB 설치와 next hop 확인
A	Active/Query 진행	어느 이웃 Reply 를 기다리는지 확인
Successor	최적 경로	RIB 코드 D 와 metric 일치 여부
Feasible successor	FC 만족 안전 후보	실패 시 즉시 전환 가능한지
SIA 로그	Active 상태가 너무 오래 지속	링크/CPU/Query 범위/Stub 설계

Topology table 에 있다는 것과 RIB 설치는 다르다

EIGRP 는 feasible 하지 않은 후보도 `all-links`에서 볼 수 있습니다. 또한 EIGRP 가 고른 successor 라도 더 낮은 AD 의 동일 prefix 가 있으면 RIB 에 설치되지 않을 수 있습니다.

8. BGP

인터넷과 멀티호밍의 표준 경로 정책 프로토콜

신규 설계에서 실제 선택 가능한 프로토콜입니다. 기본 구성 뒤에 수렴 과정과 장애 해석을 심화 학습합니다.

① 비유를 통한 개념 설명

BGP는 “가장 가까운 공항”만 고르는 내비게이션이 아니라 **국제선 노선 기획자**와 같습니다. 티켓에는 거쳐 온 국가/항공사 목록에 해당하는 **AS_PATH**가 기록되고, 운영자는 계약·비용·보안·트래픽 정책에 따라 노선을 선택합니다.

따라서 AS 경유 수가 짧다고 항상 선택되는 것은 아닙니다. Local Preference, AS_PATH, Origin, MED, eBGP/iBGP 여부 등 여러 속성과 정책이 순서대로 적용됩니다. BGP의 목표는 IGP 처럼 가장 빠른 내부 우회가 아니라 **인터넷 규모에서 안정적인 정책 제어**입니다.

한 문장 기억법

BGP = “경유한 AS 목록을 기록하고 정책으로 고르는 국제선 노선표”

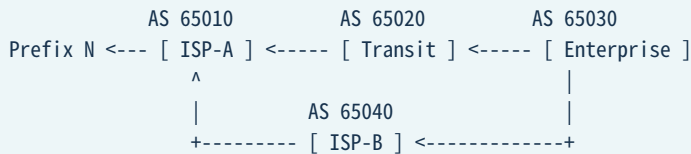
② 핵심 특징 요약

항목	핵심 내용
알고리즘/범위	경로 벡터 EGP. 서로 다른 AS 사이의 경로 교환이 주 목적입니다.
경로 판단	단일 metric 이 아니라 경로 속성과 정책 을 순차적으로 비교합니다.
루프 방지	자기 AS 번호가 AS_PATH 에 있으면 해당 경로를 거부합니다.
클래스 지원	클래스리스 . CIDR 과 경로 집약을 지원합니다.
세션	이웃을 명시적으로 설정하며 TCP 179 번 포트 로 세션을 맺습니다.
업데이트	초기에는 전체 경로를 교환하고 이후 변화분을 증분 업데이트합니다. Keepalive 로 세션을 유지합니다.
수렴	정책과 안정성을 중시하므로 IGP 보다 보수적이고 느릴 수 있습니다.
Cisco 기본 AD	eBGP 20, iBGP 200
대표 용도	인터넷 연결, 듀얼 ISP 멀티호밍, 대규모 데이터센터/클라우드의 정책 기반 라우팅.

중요: BGP의 “최적”은 가장 짧은 물리 경로가 아니다

BGP best path 는 사업 정책과 속성에 의해 결정됩니다. **Local Preference** 로 특정 출구를 우선하거나 **AS_PATH prepend** 로 외부 유입 경로를 덜 선호하게 만드는 것처럼 정책이 핵심입니다.

③ 시각적 구조도



Enterprise가 본 후보:

Path 1: 65020 65010

Path 2: 65040 65010

BGP는 AS_PATH뿐 아니라 Local Preference, MED 등 정책 속성도 비교한다.
자기 AS가 AS_PATH에 보이면 루프이므로 거부한다.

④ Cisco CLI 기본 설정 명령어

LAN-A eBGP directly connected LAN-B
10.10.10.0/24 -- R1(AS65001) === 10.0.12.0/30 === R2(AS65002) -- 20.20.20.0/24

R1 구성

```

! R1 - AS 65001
configure terminal
interface GigabitEthernet0/0
 ip address 10.10.10.1 255.255.255.0
 no shutdown
interface GigabitEthernet0/1
 ip address 10.0.12.1 255.255.255.252
 no shutdown
router bgp 65001
 bgp router-id 1.1.1.1
 bgp log-neighbor-changes
 neighbor 10.0.12.2 remote-as 65002
 network 10.10.10.0 mask 255.255.255.0
end

```

R2 구성

```

! R2 - AS 65002
configure terminal
interface GigabitEthernet0/0
 ip address 20.20.20.1 255.255.255.0
 no shutdown
interface GigabitEthernet0/1
 ip address 10.0.12.2 255.255.255.252
 no shutdown
router bgp 65002
 bgp router-id 2.2.2.2
 bgp log-neighbor-changes
 neighbor 10.0.12.1 remote-as 65001
 network 20.20.20.0 mask 255.255.255.0
end

```

검증 명령

```
show ip bgp summary
show ip bgp
show ip bgp neighbors
show ip route bgp
show tcp brief | include :179
```

`network` 명령의 의미가 다르다

RIP/OSPF/EIGRP의 `network`는 보통 어느 인터페이스에서 프로토콜을 켜지와 관련됩니다. BGP의 `network 10.10.10.0 mask 255.255.255.0`는 해당 prefix를 **BGP로 기원(origin)**시키는 명령이며, 일반적으로 라우팅 테이블에 정확히 일치하는 경로가 먼저 존재해야 광고됩니다.

BGP가 Idle/Active에 머물 때

상대 IP까지의 도달성, 양쪽 `remote-as`, TCP 179 ACL/방화벽, source interface, 다중 홉 여부를 순서대로 확인합니다. `Active`는 “정상 활성”이 아니라 TCP 세션 연결을 재시도하는 상태입니다.

DEEP DIVE

BGP 심화

⑤ 내부 동작 심화

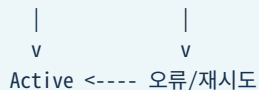
이 페이지의 관찰 포인트

TCP 세션 위의 BGP FSM 과 메시지, 경로 속성, best-path 선택을 단계별로 해석합니다.

5.1 BGP Finite State Machine

상태	의미	문제 해석
Idle	초기화 또는 오류 후 대기. 연결 재시도 준비	설정/관리 shutdown/반복 실패 확인
Connect	TCP 연결 완료를 기다림	TCP 179, route to peer, source IP 확인
Active	TCP 연결에 실패해 재시도 중	“정상적으로 active”가 아니라 세션 미성립 상태
OpenSent	TCP 후 OPEN 을 보냈고 상대 OPEN 대기	remote-as, BGP identifier, capability 오류
OpenConfirm	OPEN 수락 후 KEEPALIVE 대기	timer/capability/세션 reset 확인
Established	UPDATE/KEEPALIVE 교환 가능	세션 정상. 하지만 prefix 0 은 정책/AF 문제일 수 있음

Idle -> Connect -> OpenSent -> OpenConfirm -> Established



TCP 가 먼저 성공해야 BGP OPEN 이 시작된다.

따라서 ping 성공만으로 TCP 179/소스 주소/remote-as 가 맞다는 뜻은 아니다.

5.2 BGP 메시지 5 종

메시지	역할	관찰 포인트
OPEN	Version, ASN, Hold Time, BGP Identifier, capability 협상	remote-as/4-byte ASN/address-family capability
UPDATE	NLRI 광고/철회와 path attributes	withdrawn route, NEXT_HOP, AS_PATH, policy
KEEPALIVE	세션 유지와 OPEN 확인	hold timer 가 만료되지 않도록 주기 수신
NOTIFICATION	치명적 오류를 알리고 세션 종료	error code/subcode 가 핵심 원인
ROUTE-REFRESH	세션 reset 없이 정책 재적용을 위한 경로 재전송 요청	peer capability 지원 여부

근거 문서: RFC 4271 BGP-4 FSM/메시지와 RFC 2918 Route Refresh

DEEP DIVE

BGP 심화

⑤ 내부 동작 심화 - Best Path 와 Next Hop

이 페이지의 관찰 포인트

BGP 는 “AS_PATH 가 가장 짧은 길” 하나만 보는 것이 아니라 로컬 정책과 여러 속성을 순서대로 비교합니다.

간소화된 Cisco 비교 순서	높은/낮은 쪽 선호	운영 의미
Weight	높음	Cisco 로컬 전용. 해당 라우터에만 영향
Local Preference	높음	AS 전체의 출구 선호 정책
Locally originated	로컬 기원 선호	`network`, aggregate, redistribute 등 로컬 기원
AS_PATH length	짧음	거친 AS 수. prepend 정책에 활용
Origin	IGP < EGP < incomplete	경로 기원 코드
MED	낮음	일반적으로 동일 이웃 AS 에서 들어온 경로끼리 비교하는 조건에 주의
eBGP vs iBGP	eBGP 선호	외부에서 직접 받은 경로 우선
IGP metric to next hop	낮음	Hot-potato routing. BGP next hop 까지 내부 비용
후속 tie-break	oldest, router ID, cluster list, neighbor address 등	플랫폼/기능/경로 유형에 따라 세부 순서 확인

Best path 순서는 고정된 만능 압기표가 아니다

Cisco 플랫폼과 기능, multipath, confederation, `always-compare-med` 같은 설정에 따라 세부 비교가 달라질 수 있습니다. 실제 장비의 `show ip bgp <prefix>` 가 왜 best 인지 표시하는 이유와 공식 문서를 함께 확인하십시오.

Prefix P

path A: local-pref 200, AS_PATH 65010 65020

path B: local-pref 100, AS_PATH 65030

AS_PATH 는 B 가 짧아도 Local Preference 200 인 A 가 먼저 이긴다.

또한 NEXT_HOP 이 IGP/RIB 로 도달 불가하면 경로는 valid/best 가 될 수 없다.

5.3 AS_PATH loop 방지와 iBGP 전파 규칙

eBGP: 자신의 AS 가 AS_PATH 에 이미 있으면 거부

AS 65001 내부 iBGP
R1 ----- R2 ----- R3

R2 가 R1 에게 iBGP 로 배운 경로를 R3 에게 다시 iBGP 광고하지 않는 규칙 때문에
단순 체인으로서는 전파되지 않는다.

해결: full mesh, Route Reflector, Confederation

방식	장점	주의
Full mesh	단순한 iBGP 원칙 유지	라우터 수 n 일 때 세션이 $n(n-1)/2$ 로 증가
Route Reflector	클라이언트 간 경로 반사로 세션 감소	ORIGINATOR_ID/CLUSTER_LIST, 경로 다양성, 계층 설계 필요
Confederation	큰 AS 를 내부 sub-AS 로 분할	정책과 운영 복잡도 증가

근거 문서: RFC 4456 BGP Route Reflection 및 RFC 4271 AS_PATH loop prevention

DEEP DIVE

BGP 심화

⑥ 발생 가능한 문제·한계와 해결법

이 페이지의 관찰 포인트

세션 상태, prefix 교환, RIB 설치, 정책 누락, route leak 을 서로 다른 계층으로 나눠 진단합니다.

증상	대표 원인	확인	해결
Idle/Active 반복	peer route 없음, TCP 179 ACL, remote-as/source/update-source 오류	`show ip bgp summary`, TCP, ping source	도달성/ACL/ASN/source 수정
OpenSent 후 reset	remote-as/capability/identifier 충돌	notification code, neighbor detail	AS/AF/capability 설정 정합성
Established, Prefix 0	address-family 미활성, inbound/outbound policy, 광고 원본 없음	advertised/received routes, policy counter	AF activation 과 prefix-list/route-map/원본 RIB 수정
BGP table 에는 있으나 RIB 없음	next hop inaccessible, 더 낮은 AD, RIB-failure	`show ip bgp <prefix>`, `show ip route`	next-hop reachability 또는 정상 경쟁 여부 확인
`network`가 광고 안 됨	RIB 에 exact prefix/mask 가 없음	`show ip route <exact>`	정확한 RIB 경로 생성 또는 aggregate 정책
iBGP 내부 일부만 경로 수신	full mesh/RR 미설계, next-hop-self 누락	peer graph 와 next hop	RR/full mesh 및 경계에서 next-hop-self
세션이 max-prefix 로 shutdown	허용량 초과/route leak	neighbor 로그와 prefix count	원인 필터 수정 후 정책에 따라 세션 복구

6.1 Route Leak 방어는 “기본 연결”보다 중요

- **Prefix allow-list:** 고객/지점이 광고할 수 있는 정확한 prefix 와 최대 길이를 명시합니다.
- **AS_PATH filter:** 기대하지 않은 transit 경로 또는 자신의 고객이 제 3 자 경로를 광고하는 것을 차단합니다.
- **Maximum-prefix:** 급격한 경로 수 증가를 안전 한계에서 중단/경고합니다.
- **Bogon/default 정책:** 역할에 맞지 않는 default, private/bogon, 너무 구체적인 경로를 거릅니다.
- **사전 검증:** inbound/outbound 경로 수와 샘플 prefix 를 변경 전에 확인합니다.

교육용 최소 정책 예시 - 실제 인터넷 정책은 훨씬 엄격하게 설계

```
ip prefix-list FROM-ISP seq 10 permit 0.0.0.0/0
ip prefix-list OUR-PREFIX seq 10 permit 203.0.113.0/24
!
route-map ISP-IN permit 10
 match ip address prefix-list FROM-ISP
route-map ISP-OUT permit 10
 match ip address prefix-list OUR-PREFIX
!
router bgp 65001
 neighbor 192.0.2.2 remote-as 65002
 neighbor 192.0.2.2 route-map ISP-IN in
 neighbor 192.0.2.2 route-map ISP-OUT out
 neighbor 192.0.2.2 maximum-prefix 1000 80
```

Maximum-prefix 후 무작정 clear 하지 마세요

원인 필터나 상대 광고가 그대로면 세션을 다시 올려도 즉시 재발합니다. 받은 prefix 샘플과 정책 변경 이력을 먼저 확인하고 승인된 복구 절차를 따르십시오.

6.2 Next-hop-self 의 동작 특성

```
ISP --eBGP-- Edge1 --iBGP-- Core
```

기본적으로 Edge1 이 eBGP 에서 배운 NEXT_HOP 을 iBGP 로 그대로 전달하면 Core 가 ISP 링크 주소까지 IGP 로 도달하지 못해 BGP 경로가 invalid 할 수 있다.

```
Edge1: neighbor Core next-hop-self
-> Core 가 Edge1 을 next hop 으로 사용
```

Next-hop-self 는 경로 정책을 바꾼다

단순 “세션 해결 명령”이 아니라 트래픽의 실제 출구와 hot-potato 동작을 바꿀 수 있습니다. RR 에서의 적용 범위와 address-family 별 동작을 확인하십시오.

DEEP DIVE

BGP 심화

⑦ 장애 재현·검증·출력 해석

이 페이지의 관찰 포인트

Summary -> Neighbor detail -> Prefix path -> RIB/CEF -> 정책 순서로 한 prefix 를 끝까지 추적합니다.

```
show ip bgp summary
show ip bgp neighbors 192.0.2.2
show ip bgp neighbors 192.0.2.2 advertised-routes
show ip bgp neighbors 192.0.2.2 routes
show ip bgp 203.0.113.0/24
show ip route 203.0.113.0 255.255.255.0
show ip cef 203.0.113.1 detail
show route-map
show ip prefix-list
```

`show ip bgp summary`의 첫 판정

Neighbor	V	AS	MsgRcvd	MsgSent	Up/Down	State/PfxRcd
192.0.2.2	4	65002	1200	1180	01:20:10	742

해석:

- State/PfxRcd 가 숫자: Established, 받은 prefix 수
- Idle/Active/OpenSent: 아직 Established 아님
- Up/Down 이 자주 초기화: flap 원인과 notification 확인
- MsgRcvd/MsgSent 가 고정: keepalive/세션 정체 가능

BGP 경로 기호/문구	뜻	조치
* valid	NEXT_HOP 해석 등 기본 유효성 통과	best 여부와 정책 비교
> best	해당 prefix 의 BGP best path	RIB 설치 여부 별도 확인
i	iBGP 에서 학습 또는 origin code 문맥 주의	열/필드 위치를 정확히 읽기
r RIB-failure	BGP best 지만 RIB 에서 다른 경로가 승리	`show ip route` 와 AD 확인
inaccessible	NEXT_HOP 도달 불가	IGP/static/next-hop-self 수정
not advertised	outbound 정책/전파 규칙/AF 문제	advertised-routes 와 route-map counter

Hard clear 보다 soft/route-refresh 를 우선 검토

```
! Route Refresh capability가 있는 peer에서 정책 재적용
clear ip bgp 192.0.2.2 soft in
clear ip bgp 192.0.2.2 soft out
```

`received-routes`가 항상 보이는 것은 아니다

Inbound soft-reconfiguration 을 저장하지 않으면 raw received-routes 표시가 제한될 수 있습니다. Route Refresh capability, Adj-RIB-In 보존 방식, 플랫폼 문법을 확인하고 메모리 비용을 고려하십시오.

SPECIAL · LOOP-AVOIDING DISTANCE VECTOR

9. Babel (BABEL)

요청상 EGP 장에 배치했지만 실제로는 내부·메시망 성격

학습 목적과 운영 목적을 구분해야 합니다. 기본 동작뿐 아니라 실패 방식과 완화책을 함께 봅니다.

① 비유를 통한 개념 설명

Babel은 도로뿐 아니라 골목길, 무선 다리, 임시 우회로가 계속 바뀌는 마을에서 사용하는 **적응형 배달 앱**과 같습니다. 이웃까지 실제로 왕복 통신이 되는지 확인하고, 링크마다 비용을 매겨 목적지까지의 누적 비용이 낮은 길을 고릅니다.

단순 거리 벡터가 겪는 루프 문제를 줄이기 위해 **sequence number**와 **feasibility condition**을 사용합니다. 유선과 무선이 섞인 메시망, 링크 품질이 자주 변하는 환경, IPv4와 IPv6를 함께 다루는 소규모·중간 규모 네트워크에 잘 맞도록 설계되었습니다.

한 문장 기억법

Babel = “링크 품질 변화에 적응하고 루프를 피하는 유·무선 메시 길찾기”

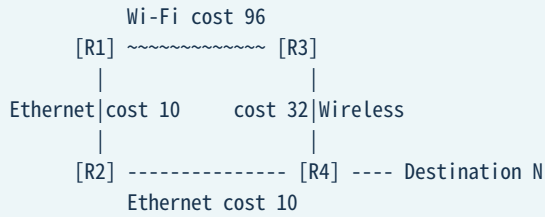
분류 다시 확인

Babel은 BGP처럼 AS_PATH와 사업 정책으로 인터넷 AS 사이를 연결하는 EGP가 아닙니다. **기술적 성격은 내부 라우팅용 루프 회피 거리 벡터**입니다. 이 교재에서는 사용자가 지정한 목록 구조를 유지하기 위해 특수/기타 절에 둡니다.

② 핵심 특징 요약

항목	핵심 내용
알고리즘/범위	루프 회피 거리 벡터. 내부망·애드혹·메시 라우팅 성격.
메트릭	링크별 비용의 누적 합. 구현은 유선/무선 품질, 지연, 패킷 손실 등을 반영할 수 있습니다.
루프 방지	Sequence number와 feasibility condition으로 오래된 경로와 루프 가능 경로를 걸러냅니다.
클래스 지원	클래스리스. IPv4와 IPv6를 하나의 프로토콜 인스턴스에서 다룰 수 있습니다.
이웃/링크 감시	Hello와 IHU(I Heard You)로 이웃의 양방향 도달성과 링크 상태를 평가합니다.
업데이트	주기적 정보와 변화 중심 업데이트를 조합하며, UDP 6696을 사용합니다.
수렴	동적 메시 환경에서 빠르게 적응하도록 설계됐지만, 실제 속도는 구현·링크·타이머에 좌우됩니다.
Cisco 기본 AD	표준 Cisco IOS/IOS XE의 네이티브 Babel 경로 출처가 없으므로 일반 기본 AD를 제시할 수 없습니다.
대표 구현	오픈소스 라우팅 스택과 메시/무선 플랫폼에서 주로 접합니다.

③ 시각적 구조도



Babel의 판단:

- 각 링크 비용을 더해 낮은 경로 선택
- Hello/IHU로 양방향 도달성 확인
- sequence number + feasibility로 루프/오래된 정보 회피
- 링크 품질이 바뀌면 경로도 빠르게 재평가

④ Cisco CLI 기본 설정 명령어

Cisco IOS/IOS XE 네이티브 구성 주의

이 교재 작성 기준으로 Cisco 공식 IOS/IOS XE 문서에서 일반적인 `router babel` 구성 모드를 확인할 수 없습니다. 따라서 존재하지 않는 명령을 만들어 제시하지 않습니다. 플랫폼별 기능 집합은 달라질 수 있으므로 CLI 도움말과 릴리스 문서를 확인하십시오.

지원 상태 확인용 Cisco CLI

```

! Cisco 장비에서 기능 존재 여부 확인
show version
configure terminal
router ?

! 일반 IOS/IOS XE 이미지에서 다음 명령은 보통 인식되지 않음
router babel
  
```

대체 프로토콜 선정 전 현재 라우팅 프로세스 확인

```

! Cisco 네이티브 장비끼리 같은 목적을 설계할 때의 후보
! - 안정적인 멀티벤더 내부망: OSPF
! - 대규모 코어: IS-IS
! - Cisco 중심 빠른 수렴: EIGRP

show ip protocols
show running-config | section ^router
  
```

실습 환경 선택

Babel 자체를 실습하려면 Babel을 구현한 오픈소스 라우팅 데몬이나 네트워크 운영체제를 사용해야 합니다. Cisco IOS/IOS XE 실습에서는 OSPF·IS-IS·EIGRP로 동일 토폴로지의 수렴과 메트릭을 비교하는 편이 현실적입니다.

DEEP DIVE

Babel 심화

⑤ 내부 동작 심화

이 페이지의 관찰 포인트

Hello/IHU 로 양방향 링크를 평가하고, sequence number 와 feasibility 로 count-to-infinity 를 피하는 과정을 봅니다.

5.1 주요 메시지와 역할

메시지/TLV	역할	장애 해석
Hello	이웃 존재와 송신 sequence 추적	Hello 손실률과 이웃 생존 판단
IHU	I Heard You. 반대 방향 수신 상태와 비용 전달	비대칭 링크에서 양방향 도달성 평가
Update	prefix, router-id, sequence number, metric 광고	feasible 여부와 선택 경로 판단
Route Request	특정 prefix 또는 전체 경로 업데이트 요청	초기/누락 경로 회복
Seqno Request	더 최신 sequence number 를 네트워크에 요청	feasibility 때문에 막힌 경로를 최신 정보로 회복
Retraction	metric 65535 로 경로 철회	도달 불가 전파

양방향 링크 평가와 경로 광고

무선 링크 A <~~~~> B

A -> Hello(seq 100)

B -> IHU("A의 Hello 를 이 정도 품질로 들음", cost)

B -> Update(prefix P, router-id X, seqno 42, metric 256)

Babel 은 단순 홉 수가 아니라 구현의 링크 비용을 더해 경로를 비교하고, seqno + feasibility 조건으로 오래된 경로 되먹임을 막는다.

5.2 Babel 의 Feasibility Distance

Babel 은 각 route source 에 대해 **sequence number 와 metric 의 쌍**을 기억합니다. 새 광고는 ① sequence number 가 더 최신이거나, ② 같은 sequence number 에서 metric 이 기존 feasibility distance 보다 더 작을 때 feasible 합니다.

저장된 FD: (seqno 42, metric 300)

광고 A: (43, 900) -> 더 최신 seqno 이므로 feasible

광고 B: (42, 250) -> 같은 seqno, 더 작은 metric 이므로 feasible

광고 C: (42, 350) -> 오래된 되먹임 가능, feasible 하지 않음

필요하면 Seqno Request 로 더 최신 광고를 유도한다.

RIP 와의 차이: Babel 은 작은 infinity 까지 metric 을 하나씩 올리는 대신 sequence number 와 feasibility 조건으로 오래된 경로를 거부하며, 도달 불가 metric 은 65535 입니다.

DEEP DIVE

Babel 심화

⑥ 발생 가능한 문제·한계와 해결법

이 페이지의 관찰 포인트

무선 비대칭, metric oscillation, sequence starvation, router-id 중복, 인증 부재와 구현 지원 문제를 봅니다.

문제/증상	깊은 원인	확인	해결
이웃은 보이지만 경로 불안정	한 방향 Hello 는 들리지만 IHU/반대 방향 품질이 나쁨	Hello/IHU loss, interface stats	양방향 링크 품질 개선, radio/channel/power 조정
경로가 자주 바뀜	비슷한 metric 사이의 작은 무선 변동	metric history 와 next-hop churn	hysteresis/metric tuning, 링크 안정화
좋아 보이는 경로를 거부	feasibility 조건 불충족, 오래된 seqno	route source seqno/metric, Seqno Request	최신 sequence 전파와 원 origin reachability 복구
prefix 가 retraction 반복	origin flap 또는 링크 비용 급등	metric 65535 와 origin/router-id 추적	원본 인터페이스/재분배 안정화
경로가 서로 덮임	router-id 중복	업데이트 router-id 비교	영구적으로 고유한 router-id 사용
가짜 업데이트 위험	core RFC 8966 자체는 인증을 강제하지 않음	패킷 출처와 보안 설정	RFC 8967 MAC 또는 RFC 8968 DTLS 지원 구현, L2 보호
Cisco 에서 구성 모드 없음	일반 IOS/IOS XE native Babel 미지원	`router ?`, feature 문서	FRRouting/지원 플랫폼 사용 또는 다른 Cisco IGP 선택

6.1 Metric 은 표준이 하나로 고정되지 않는다

Babel 은 가산 metric 프레임워크를 제공하지만 구체적인 링크 비용 계산은 구현과 확장에 따라 다를 수 있습니다. 유선 홉 비용, ETX 계열 무선 품질, 2-out-of-3 같은 방식이 사용될 수 있으므로 서로 다른 구현을 섞을 때 metric 호환성과 경로 선호를 시험해야 합니다.

Metric 을 지나치게 민감하게 만들면

작은 RSSI/손실 변화마다 next hop 이 바뀌어 경로 churn 과 패킷 재정렬이 늘어날 수 있습니다. 빠른 적응과 안정성 사이에서 hysteresis 와 update 동작을 조정하십시오.

6.2 보안 확장

문서	보호 방식	해석
RFC 8967	Babel MAC Authentication	메시지 인증과 replay 관련 보호를 제공하는 확장
RFC 8968	Babel over DTLS	DTLS 를 통해 기밀성/무결성/peer 인증을 제공할 수 있는 방식

근거 문서: RFC 8967 Babel MAC Authentication, RFC 8968 Babel over DTLS

DEEP DIVE

Babel 심화

⑦ 장애 재현·검증·출력 해석

이 페이지의 관찰 포인트

Cisco native CLI 를 가정하지 않고, FRRouting 예시와 패킷 필터로 이웃·route source·metric 을 확인합니다.

7.1 FRRouting 의 교육용 예시

FRRouting 예시 - 명령은 설치 버전에 따라 확인

```
router babel
network eth0
network wlan0
redistribute connected
!
show babel neighbor
show babel interface
show babel route
show babel database
```

Cisco IOS/IOS XE 에서는

`router babel` 을 임의로 입력하지 말고 먼저 `router ?` 와 플랫폼 feature 문서를 확인합니다. 지원되지 않으면 Cisco 장비는 L2/L3 전달 역할로 두고 Babel 은 FRR/OpenWrt 등 지원 노드에서 실행하거나, OSPF/EIGRP/IS-IS 를 선택합니다.

7.2 패킷과 출력 해석

관찰	정상 신호	문제 신호
Neighbor	Hello/IHU 가 양방향, cost 안정	한 방향만 보임, cost 급변, expiry 반복
Route	selected route 와 feasible source 가 명확	unfeasible source 만 존재, next hop churn
Database	router-id/seqno 가 일관되게 증가	router-id 중복, 오래된 seqno 고착
Retraction	장애 시 metric 65535 후 대체 경로 선택	반복 retraction/재광고로 flap

Babel 패킷 관찰 포인트

Wireshark/display filter 예:
udp.port == 6696

IPv4 multicast: 224.0.0.111
IPv6 link-local multicast: ff02::1:6
UDP destination port: 6696

확인 필드:
Hello sequence, IHU, router-id, update seqno, metric, prefix, retraction

PRACTICE

10. 비교·선택·장애 점검

10.1 한 장 비교표

프로토콜	메트릭/판단	업데이트	수렴	기본 AD
RIP v1	홉 수	30 초 전체·브로드캐스트	느림	120
RIP v2	홉 수	30 초 전체·멀티캐스트	느림	120
IGRP	대역폭+지연 중심	90 초 주기	느림~중간	100
OSPF	누적 cost	LSA 변화 flooding	빠름	110
IS-IS	누적 metric	LSP 변화 flooding	빠름	115
EIGRP	복합 metric + DUAL	부분·bounded	매우 빠를 수 있음	90/170
BGP	정책+속성	TCP 증분	보수적	20/200
Babel	가산 링크 비용	주기+변화	동적 환경에 적응	해당 없음

프로토콜	주소 표현	확장 구조	가장 잘 맞는 환경	신규 권장
RIP v1	Classful	15 홉 한계	역사 학습	아니오
RIP v2	Classless	15 홉 한계	작은 교육망	제한적
IGRP	Classful	레거시	오래된 설정 분석	아니오
OSPF	Classless	Area	기업·캠퍼스·멀티벤더	예
IS-IS	Classless	Level 1/2 + TLV	통신사·대규모 코어	예
EIGRP	Classless	Stub/요약/Query 경계	Cisco 중심 기업망	예
BGP	Classless	AS·정책·RR/Confed	인터넷·멀티호밍	예
Babel	Classless	동적 메시	유·무선 혼합 메시	지원 구현에서 예

10.2 상황별 선택 가이드

상황	우선 검토	이유	피할 선택
2~5 대 교육 토폴로지	RIPv2 → OSPF	거리 벡터와 링크 상태 차이를 쉽게 관찰	RIPv1 을 운영 설계로 착각
일반 기업·캠퍼스 멀티벤더	OSPF	표준, Area, 풍부한 운영 도구	IGRP
Cisco 중심 단일 관리 도메인	EIGRP 또는 OSPF	간편한 운영/빠른 수렴 또는 표준성	요구사항 없이 무조건 선택
통신사·대규모 IP 코어	IS-IS 또는 OSPF	확장성과 계층 설계	RIP
인터넷 듀얼 ISP	BGP + 내부 IGP	정책, 멀티호밍, prefix 제어	BGP 를 IGP 대체로 사용
무선 메시·변동 링크	Babel 지원 구현	링크 품질 적응과 루프 회피	Cisco IOS 에 없는 CLI 를 가정

실무 선택 원칙

프로토콜 이름보다 **규모, 벤더 구성, 장애 수렴 목표, 운영자 숙련도, 정책 요구, 장비 지원 범위**를 먼저 정하십시오. 그리고 인증·필터링·요약·타이머·재분배 정책을 별도 설계해야 기본 설정이 운영 설계가 됩니다.

10.3 프로토콜별 핵심 show 명령

프로토콜	이웃/세션	데이터베이스·토폴로지	설치 경로
RIP	직접 이웃 테이블 없음; `show ip protocols`	`show ip rip database`	`show ip route rip`
OSPF	`show ip ospf neighbor`	`show ip ospf database`	`show ip route ospf`
IS-IS	`show isis neighbors` / `show clns neighbors`	`show isis database` / `show isis topology`	`show ip route isis`
EIGRP	`show ip eigrp neighbors`	`show ip eigrp topology`	`show ip route eigrp`
BGP	`show ip bgp summary`	`show ip bgp`	`show ip route bgp`
공통	`show ip protocols`	`show running-config   section ^router`	`show ip route`

10.4 이웃이 맺어지지 않을 때 7 단계

- 물리·링크 상태:** `show ip interface brief`에서 두 인터페이스가 up/up 인지 확인.
- IP와 마스크:** 인접 링크가 같은 서브넷인지, 중복 주소가 없는지 확인.
- 프로토콜 활성화 범위:** OSPF wildcard, EIGRP/RIP network, IS-IS 인터페이스 명령이 실제 이웃 링크를 포함하는지 확인.
- 일치해야 하는 값:** RIP version, OSPF area/timer/auth, EIGRP AS/K 값, IS-IS Level/area 조건, BGP remote-as를 확인.
- Passive 설정:** 이웃 링크가 실수로 passive-interface가 되었는지 확인.
- 필터·인증·MTU·ACL:** 프로토콜 패킷 또는 TCP 179가 차단되거나 인증 값이 다른지 확인.
- 로그와 세부 상태:** 프로토콜별 neighbor/detail 명령과 제한적 debug를 사용. 운영망 debug는 영향도를 평가한 뒤 적용.

10.5 이웃은 정상인데 경로가 없을 때 7 단계

- 원본 prefix가 존재하는가:** 연결/정적/IGP 경로가 실제 라우팅 테이블에 있는지 확인.
- 광고 범위가 맞는가:** network 문, interface 활성화, redistribution, summary 설정을 확인.
- BGP exact match:** `network ... mask ...`와 정확히 일치하는 RIB 경로가 있는지 확인.
- 정책에 걸렸는가:** prefix-list, route-map, distribute-list, area/filter 정책을 확인.
- 더 낮은 AD의 같은 prefix가 있는가:** `show ip route <prefix>`로 후보와 출처 확인.
- 더 구체적인 경로가 있는가:** Longest Prefix Match 때문에 예상과 다른 다음 홉을 쓰는지 확인.
- return path가 있는가:** ping 실패는 왕복 경로, ACL, source 주소 문제일 수 있으므로 양방향을 확인.

10.6 저장과 변경 관리

```
! 구성 확인
show running-config
show running-config | section ^router
show ip protocols

! 저장
copy running-config startup-config

! 롤백 전 백업 예시
show running-config | redirect bootflash:before-routing-change.txt
```

운영망 주의

라우팅 프로토콜 변경은 다수 prefix의 다음 홉과 트래픽 경로를 동시에 바꿀 수 있습니다. 사전/사후 라우팅 테이블, 이웃 상태, 트래픽 경로, CPU, 로그를 비교하고 되돌리기 절차를 준비하십시오.

PACKET-LEVEL TROUBLESHOOTING

10.7 프로토콜 패킷을 계층별로 구분하기

“ACL 은 열려 있다”는 말만으로는 부족합니다. 각 프로토콜이 어느 계층과 번호/포트를 사용하는지 알아야 올바른 캡처 지점과 필터를 고를 수 있습니다.

프로토콜	전송/식별	대표 목적지	캡처·ACL 해석
RIP v1	UDP 520	IPv4 broadcast	브로드캐스트 도메인과 UDP 520, version 필드 확인
RIP v2	UDP 520	224.0.0.9	multicast 처리, mask/route tag/metric 확인
OSPFv2	IP protocol 89	224.0.0.5 / 224.0.0.6	TCP/UDP 포트가 아님. Hello/DBD/LSU 와 Area/Router ID 확인
IS-IS	L2 CLNS/IS-IS PDU	L2 multicast MAC	IP ACL 만으로 설명 불가. VLAN/LLC/MTU/IIH 확인
EIGRP	IP protocol 88	224.0.0.10	Hello/Update/Query/Reply, sequence/ACK 확인
BGP	TCP 179	peer unicast IP	3-way handshake, source/update-source, OPEN/NOTIFICATION 확인
Babel	UDP 6696	224.0.0.111 / ff02::1:6	Hello/IHU/Update/Seqno Request 와 metric 흐름 확인

제어 평면 CoPP/ACL 을 볼 때

인터페이스 ACL, control-plane policy, 중간 방화벽, 스위치 multicast 처리 중 어느 지점에서 패킷이 버려지는지 분리하십시오. 송신 카운터 증가 + 수신 카운터 0 이라면 중간 경로를, 양쪽 수신은 되지만 adjacency 가 없으면 parameter mismatch 를 우선 봅니다.

패킷 손실 지점을 찾는 공통 관찰 항목

! 플랫폼별 지원 여부를 확인한 뒤 제한적으로 사용

```
show access-lists
show policy-map control-plane
show platform hardware ...
show interfaces counters errors
```

! Embedded Packet Capture/monitor capture 문법은 플랫폼별 상이

SYMPTOM TO ROOT CAUSE

10.8 증상 기반 장애 분류표

증상	가장 가능성 높은 층	핵심 질문	대표 도구
이웃/세션 자체가 없음	L1/L2/L3 도달성 또는 parameter	패킷이 양방향인가? Area/AS/Level/K 값/auth 가 같은가?	interface, neighbor, capture, logs
이웃은 있으나 DB 에 prefix 없음	광고/정책/원본 경로	원본 prefix 가 존재하고 protocol 에 기원됐는가?	protocol DB, advertised routes, config
DB 에는 있으나 RIB 없음	경로 선택/AD/next hop	다른 출처가 이겼는가? next hop 이 reachable 인가?	`show ip route <prefix>`, path detail
RIB 에는 있으나 ping 실패	FIB/return path/ACL	CEF next hop 과 반대편 return route 가 있는가?	CEF, ping source, traceroute, ACL
장애 때만 긴 손실	감지/수렴 pipeline	어느 단계가 몇 초 걸렸는가?	timestamp logs, neighbor timer, topology event
경로가 계속 바뀜	링크 flap/metric oscillation/policy	물리 오류와 control-plane 변경이 같은 시각인가?	interface counters, logs, route history
CPU 가 치솟음	LSA/LSP/Query/Update 폭주	특정 prefix/neighbor 가 반복 이벤트를 만드는가?	process CPU, event counters, capture
일부 목적지만 black hole	summary/filter/LPM	더 구체적 경로가 사라지고 summary 만 남았는가?	route lookup, summary/discard route

한 번에 모든 debug 를 켜지 마세요

먼저 show 명령과 카운터로 범위를 줄이고, 한 프로토콜 · 한 이웃 · 짧은 시간으로 제한합니다. 출력 시작/종료 시각, 장애 발생 시각, `undebug all` 실행을 반드시 기록하십시오.

10.9 장애 시간축 기록 템플릿

T+0.000 물리 링크 down / loss 감지
T+0.050 프로토콜 neighbor down 또는 poison/LSA 생성
T+0.120 인접 라우터에서 update 수신
T+0.180 SPF/DUAL/best-path 계산 완료
T+0.230 RIB 변경
T+0.260 FIB/CEF 변경
T+0.400 ping 회복

각 단계의 실제 timestamp 를 채우면 “프로토콜이 느리다”가 아니라 어느 구간이 병목인지 설명할 수 있다.

프로토콜	시간축에서 특히 볼 이벤트
RIP	link/timeout, metric 16 poison, triggered update, invalid/flush
OSPF	neighbor state, LSA sequence, SPF start/end, route install
IS-IS	adjacency, LSP sequence/lifetime, SPF, overload/ATT 변화
EIGRP	successor loss, FS 전환 또는 Active, Query/Reply, SIA
BGP	TCP/FSM reset, withdraw/update, best path, RIB failure
Babel	Hello/IHU expiry, retraction 65535, seqno request, route switch

CHANGE SAFETY

10.10 변경 전후 검증 체크리스트

시점	필수 확인	합격 기준
변경 전	이웃/DB/RIB/FIB, 트래픽 기준선, CPU/메모리, 로그, config 백업	정상 기준선과 롤백 조건이 문서화됨
한 장비 적용	세션 유지, prefix 수, next hop, 경로 변화, 오류 카운터	예상된 변화만 발생하고 예외 prefix 가 없음
도메인 확대	수렴 시간, query/flooding 범위, ECMP/비대칭, summary	설계된 장애 시나리오에서 목표 시간 이내 회복
완료 후	원격지 왕복, 애플리케이션, backup path, route leak 방지	제어 평면과 실제 서비스 모두 정상
롤백 시	이전 세션/경로 복귀, stale route 제거, 로그 비교	원상 복구와 잔여 정책 없음

변경 전후에 같은 명령을 같은 순서로 캡처

```

show clock
show ip interface brief
show ip protocols
show ip route summary
show ip route <critical-prefix>
show ip cef <critical-destination> detail
show logging | last 100
show processes cpu sorted

```

성공 기준은 “이웃 Full/Established”가 아니다

제어 평면 상태, 예상 prefix 수, best path/next hop, 실제 왕복 통신, 장애 전환까지 모두 합격해야 변경이 완료됩니다.

WRAP-UP

11. 복습 문제·정답·용어집·참고자료

11.1 복습 문제

1. IGP 와 EGP 의 운영 범위를 각각 한 문장으로 설명해 보십시오.
2. RIPv1 이 VLSM 환경에서 문제가 되는 근본 이유는 무엇입니까?
3. RIPv2 가 RIPv1 보다 개선한 주소 표현과 전송 방식은 무엇입니까?
4. IGRP 가 신규 환경에 부적합한 두 가지 이유를 쓰십시오.
5. OSPF 에서 process-id 와 area-id 중 이웃과 반드시 맞아야 하는 것은 무엇입니까?
6. IS-IS 의 Level 1 과 Level 2 를 철도 비유로 설명해 보십시오.
7. EIGRP 의 Successor 와 Feasible Successor 의 차이는 무엇입니까?
8. BGP 가 단순히 AS_PATH 가 가장 짧은 경로만 선택한다고 말하면 왜 부정확합니까?
9. BGP `network` 명령과 OSPF `network` 명령의 의미 차이는 무엇입니까?
10. Babel 을 EGP 로 분류하면 부정확한 이유와 Cisco CLI 에서 주의할 점은 무엇입니까?
11. 라우팅 metric 과 Cisco Administrative Distance 의 역할 차이는 무엇입니까?
12. 이웃 관계는 정상인데 원격 LAN ping 이 실패할 때 확인할 항목을 세 가지 이상 쓰십시오.

11.1A 심화 시나리오 문제

1. RIP 에서 Poison Reverse 와 Route Poisoning 을 각각 한 문장으로 구분하고, Split Horizon 만으로 해결되지 않을 수 있는 상황을 설명하십시오.
2. OSPF neighbor 가 2-Way 에 머물러 있습니다. 정상인 경우와 비정상인 경우를 어떻게 구분합니까?
3. OSPF 가 ExStart/Exchange 에서 반복됩니다. MTU 외에 확인할 항목과 `ip ospf mtu-ignore`의 한계를 쓰십시오.
4. IS-IS 의 DIS 가 OSPF DR 과 다른 두 가지 특성을 쓰고, duplicate system ID 가 왜 위험한지 설명하십시오.
5. EIGRP 후보 경로의 total metric 은 작지만 RD 가 현재 FD 보다 큼니다. 왜 Feasible Successor 가 되지 않습니까?
6. EIGRP prefix 가 Active 상태에서 오래 머무는 원인과 Stub/요약이 해결에 도움이 되는 이유를 설명하십시오.
7. BGP summary 가 Established 인데 PfxRcd 가 0 입니다. 세션 계층과 경로 계층을 나눠 점검 순서를 쓰십시오.
8. BGP table 에서 best path 인데 `show ip route`에 없습니다. 가능한 원인을 두 가지 이상 쓰십시오.
9. Babel 에서 같은 sequence number 의 더 나쁜 metric 을 거부하는 이유와 Seqno Request 의 역할을 설명하십시오.
10. 라우팅 DB 에는 경로가 있으나 실제 ping 이 실패합니다. RIB, FIB, return path 관점에서 확인 순서를 쓰십시오.

11.2 정답과 해설

1. IGP 는 하나의 AS 내부 최적 경로를 계산하고, EGP/BGP 는 서로 다른 AS 사이의 경로와 정책을 교환합니다.
2. RIPv1 업데이트에는 서브넷 마스크가 없으므로 클래스 경계 밖에서 세부 prefix 를 정확히 구분할 수 없습니다.
3. RIPv2 는 prefix mask 를 포함해 클래스리스가 되었고, 브로드캐스트 대신 224.0.0.9 멀티캐스트를 사용합니다.
4. 클래스풀이어서 현대 주소 설계와 맞지 않고, Cisco 가 기능을 제거해 현대 IOS/IOS XE 에서 일반적으로 지원되지 않습니다.
5. 이웃과 맞아야 하는 것은 **area-id** 입니다. OSPF process-id 는 장비 로컬 값입니다.
6. Level 1 은 지역 내부선, Level 2 는 지역을 연결하는 간선, Level 1/2 라우터는 환승역입니다.
7. Successor 는 현재 최적 경로이고, Feasible Successor 는 feasibility condition 을 만족해 루프 없이 즉시 쓸 수 있는 후보 경로입니다.
8. BGP 는 Local Preference, AS_PATH, Origin, MED, eBGP/iBGP 등 다양한 속성과 운영 정책을 순서대로 평가하기 때문입니다.
9. OSPF `network` 는 인터페이스를 OSPF Area 에 참여시키는 선택 문이고, BGP `network` 는 RIB 의 exact prefix 를 BGP 로 기원시키는 문입니다.
10. Babel 은 AS 간 정책 경로가 아니라 내부·메시용 거리 벡터 성격입니다. 일반 Cisco IOS/IOS XE 에는 네이티브 `router babel` 이 없을 수 있으므로 지원을 먼저 확인해야 합니다.
11. Metric 은 같은 프로토콜 내부 후보를 비교하고, AD 는 Cisco 가 서로 다른 경로 출처의 동일 prefix 를 비교하는 신뢰도 값입니다.
12. 원본 prefix 존재, 광고 범위, 정책 필터, AD/더 구체적인 prefix, 왕복 경로, ACL, source 주소를 확인합니다.

11.2A 심화 시나리오 해설

- Poison Reverse** 는 배운 이웃 방향으로 그 경로를 metric 무한대로 되돌려 광고하는 규칙이고, **Route Poisoning** 은 실패한 경로 자체를 무한대 metric 으로 광고하는 사건 처리입니다. 3 노드 이상 루프나 NBMA 구조에서는 Split Horizon 만으로 충분하지 않을 수 있습니다.
- Broadcast 세그먼트의 DROther 끼리는 2-Way 가 정상입니다. Point-to-point 링크이거나 DR/BDR 와도 Full 이 되지 않는다면 network type, Area, timer, ACL 을 확인합니다.
- MTU mismatch, duplicate Router ID, DBD 손실과 단방향 문제를 확인합니다. `mtu-ignore` 는 DB 교환의 MTU 검사를 우회할 뿐 실제 MTU 불일치와 데이터 패킷 문제를 해결하지 않습니다.
- IS-IS 는 backup DIS 가 없고 DIS 선출이 선점될 수 있습니다. 중복 system ID 는 서로 다른 라우터의 LSP ID 가 충돌해 DB 가 덮이거나 flap 하게 만듭니다.
- FC 는 후보 이웃의 RD 가 현재 Successor 의 FD 보다 작아야 합니다. 이는 그 이웃이 현재 라우터를 경유해 목적지에 간다고 오해할 가능성을 배제하는 루프 없는 조건입니다.
- Reply 손실, CPU, 불안정 링크, 큰 Query scope 가 원인입니다. Stub 는 transit 후보가 아님을 알려 Query 를 제한하고, 요약은 세부 prefix 변화의 질의 범위를 경계에서 줄일 수 있습니다.
- 먼저 TCP/FSM 은 정상임을 확인한 뒤 address-family 활성화, 원본 RIB, `network` exact match, inbound/outbound prefix-list·route-map, advertised/received 경로를 확인합니다.
- NEXT_HOP inaccessible, 더 낮은 AD 의 경쟁 경로, RIB-failure, 정책/재귀 해석 문제가 가능합니다. `show ip bgp <prefix>` 와 `show ip route <prefix>` 를 대조합니다.
- 같은 seqno 의 나쁜 metric 은 오래된 경로가 되먹임되는 신호일 수 있어 feasibility 조건으로 거부합니다. Seqno Request 는 원 origin 또는 네트워크가 더 최신 sequence 를 전파하도록 유도해 경로를 다시 feasible 하게 만듭니다.
- 프로토콜 DB 에서 후보를 확인하고 RIB 설치와 경쟁 AD 를 본 뒤 next-hop 재귀 및 CEF 를 확인합니다. 마지막으로 반대편 return route, ACL, source address 와 비대칭 경로를 검사합니다.

11.3 핵심 용어집

용어	설명
Adjacency	단순히 Hello 를 본 이웃보다 더 깊게 데이터베이스를 교환할 수 있는 프로토콜 관계.
AS	하나의 운영 정책 아래 관리되는 네트워크 집합. BGP 에서 AS 번호로 식별.
CIDR	클래스 경계와 무관하게 prefix 길이로 주소 블록을 표현하고 집약하는 방식.
Convergence	변화 후 라우터들이 일관된 새 경로 상태에 도달하는 과정.
DUAL	EIGRP 가 루프 없는 최적/대체 경로를 계산하는 알고리즘.
Flooding	링크 상태 정보를 관련 범위의 모든 라우터에 신뢰성 있게 전파하는 방식.
LSA/LSP	OSPF 의 Link-State Advertisement / IS-IS 의 Link-State PDU.
LSDB	링크 상태 프로토콜이 공유하는 토폴로지 데이터베이스.
Metric	프로토콜 내부에서 경로 선호도를 계산하는 값 또는 속성 집합.
Neighbor	라우팅 프로토콜 메시지를 교환하는 직접 또는 논리적 상대 라우터.
Next Hop	목적지로 가기 위해 패킷을 다음에 넘길 라우터 주소.
Prefix	네트워크 주소와 길이의 조합. 예: 10.10.10.0/24.
RIB	Routing Information Base. 라우팅 프로세스가 선택한 경로를 담은 제어 평면 표.

용어	설명
SPF	Shortest Path First. 링크 상태 데이터베이스에서 최단 경로 트리를 계산.
VLSM	한 주소 블록에서 서로 다른 서브넷 길이를 사용하는 설계.
Wildcard Mask	OSPF/EIGRP network 문 등에서 주소 비트를 매칭할 때 쓰는 역마스크.

11.3A 심화 용어집

용어	설명
Count-to-Infinity	거리 벡터 라우터들이 서로의 오래된 정보를 우회로로 오해해 metric 을 단계적으로 올리는 현상.
Split Horizon	배운 인터페이스로 같은 경로를 다시 광고하지 않는 거리 벡터 루프 완화 규칙.
Poison Reverse	배운 이웃 방향으로 해당 경로를 무한대 metric 으로 명시 광고하는 방식.
Route Poisoning	실패 경로를 무한대 metric 으로 만들어 이웃에게 알리는 장애 전파.
Hold-down	나빠진 경로에 대해 오래된 개선 정보를 일정 시간 억제하는 안정화 타이머/상태.
DR/BDR	OSPF broadcast/NBMA 세그먼트의 Designated/Backup Designated Router.
DIS	IS-IS LAN 의 Designated Intermediate System. pseudonode LSP 와 CSNP 역할을 수행하며 backup DIS 는 없음.
Pseudonode	Broadcast LAN 을 하나의 가상 노드처럼 LSDB 에 표현해 링크 수를 줄이는 객체.
Feasibility Condition	EIGRP 에서 이웃 RD 가 현재 FD 보다 작아야 즉시 안전한 후보로 인정하는 조건.
SIA	Stuck-in-Active. EIGRP Query 에 필요한 Reply 가 장시간 완료되지 않은 상태.
RIB Failure	BGP best path 가 존재하지만 더 우선하는 RIB 경로 등으로 설치되지 않은 상태.
Route Reflector	iBGP full mesh 를 줄이기 위해 클라이언트 경로를 반사하는 BGP 구조.
ORIGINATOR_ID / CLUSTER_LIST	Route Reflection 환경의 루프 방지와 원 발신자/반사 경로 추적 속성.
Retraction	RIP/Babel 등에서 경로가 도달 불가임을 무한대 metric 으로 알리는 철회.
FIB/CEF	선택된 RIB 경로를 실제 패킷 포워딩에 최적화한 데이터 평면 구조.

11.4 공식 참고자료

아래 자료는 프로토콜 동작과 Cisco 명령어를 교차 확인할 때 우선 참고할 공식 문서입니다. 장비별 CLI 는 반드시 해당 플랫폼·릴리스의 Configuration Guide 와 Command Reference 를 함께 확인하십시오.

- **Cisco:** Configuring Routing Information Protocol / RIP Configuration Guide
- **Cisco:** Configuring OSPF / OSPF Configuration Guide
- **Cisco:** EIGRP Configuration Guide, Cisco IOS XE
- **Cisco:** Integrated IS-IS Routing Protocol Overview and Basic IS-IS Configuration
- **Cisco:** Configuring a Basic BGP Network
- **Cisco:** An Introduction to IGRP
- **Cisco:** Cisco IOS Software Feature Removal and Administrative Distance documentation
- **RFC 1058:** [Routing Information Protocol](#)
- **RFC 1812:** [Requirements for IP Version 4 Routers](#)
- **RFC 2453:** [RIP Version 2](#)
- **RFC 2328:** [OSPF Version 2](#)
- **RFC 1195:** [Use of OSI IS-IS for Routing in TCP/IP and Dual Environments](#)
- **RFC 5305:** [IS-IS Extensions for Traffic Engineering](#)
- **RFC 3277:** [IS-IS Transient Blackhole Avoidance](#)
- **RFC 7868:** [Cisco's Enhanced Interior Gateway Routing Protocol \(EIGRP\)](#)
- **RFC 4271:** [A Border Gateway Protocol 4 \(BGP-4\)](#)
- **RFC 2918:** [Route Refresh Capability for BGP-4](#)
- **RFC 4456:** [BGP Route Reflection](#)
- **RFC 8965:** [Applicability of the Babel Routing Protocol](#)
- **RFC 8966:** [The Babel Routing Protocol](#)
- **RFC 8967:** [Babel MAC Authentication](#)
- **RFC 8968:** [Babel Routing Protocol over DTLS](#)

개정 증보판 최종 요약

IGP 는 한 **AS** 내부, **BGP** 는 **AS** 사이의 정책 경로를 담당합니다. RIP/IGRP 는 이웃 표지판, OSPF/IS-IS 는 전체 지도, EIGRP 는 안전한 예비 경로, BGP 는 AS 경로와 정책이 핵심입니다. **Metric** 은 같은 프로토콜 내부 비교, **AD** 는 서로 다른 경로 출처 비교에 사용됩니다. 신규망에서는 RIPv1·IGRP 를 피하고, Babel 은 실제 구현 및 플랫폼 지원을 먼저 확인하십시오. 장애 분석은 **이웃/DB → RIB → next hop/FIB → 왕복 경로** 순서로 수행하십시오.