IT 인프라 아키텍처 설계

Session 8
HA · 용량 · 관찰성 · 장애 · 자동화

Day 2 · TA의 운영 종합 세션

고가용성 · SLA · 클러스터링 · 용량 산정 · 관찰성 3대 축 · 장애 대응 · IaC · SRE

강사 박수현 · 🚀 젠아이랩스(GenAI Labs)

데이터센터 · 서버·OS·DB·GPU · 가상화·컨테이너 · 네트워크 L1~L7 · 스토리지 · 백업·DR · 보안 6대 도메인 · HA · 용량·성능·관찰성 · 설계 워크숍 · RFP · 5종 실전 케이스

왜 HA·용량·장애인가 — *국내 서비스 장애 3선*

💥 ① KT 라우팅 마비

2021.10.25 (월)

야간 승인 작업을 **주간**에 진행하던 중 라우팅 명령어 한 단어 누락 → 전국 **89분 인터넷 마비**. 결제·증권 HTS·POS 동시 정지.

- 작업관리자 부재 (협력업체 단독 작업)
- 변경 윈도우(승인 시간) 위반
- 통신사 BGP 라우팅 SPOF

💡 **교훈 — 변경관리 SOP(CR·CAB·승인 윈도우)·작업관리자 의무·BGP 라우팅 격리 시험**

> 참고: 과기정통부 「KT 네트워크 장애 원인분석」 보도자료

💥 ② LG U+ 디도스·고객정보 유출

2023.01.29 / 1~2월

1.29 새벽·오후 3회·총 63분 인터넷 마비 (DDoS). 별건으로 1월 **29만 명 가입자 정보** 다크웹 유출 — 18만 명 현행, 11만 명은 **해지 고객 보관 데이터**.

- 분리 보관 중인 해지 고객 DB까지 노출
- DDoS 방어·관찰성·격리 모두 부족
- 과징금 68억 + 과태료 2,700만 (방통위)

💡 **교훈 — DDoS 방어(BGP Blackhole·세션 외부화)·관찰성(NW 알람)·개인정보 보존 정책·해지 데이터 격리**

> 참고: 정책브리핑 「LGU+ 고객정보 유출·디도스 원인분석」

💥 ③ 정부24 개인정보 오발급

2024.04~05

납세증명서 서식 변경 시 **소스코드 수정 후 핵심 테스트 누락** → 교육증명서·납세증명서 발급 시 **타인 정보 1,233건 노출**. 한 달간 미공개로 추가 비판.

- 변경 테스트 SOP 누락 (단위·통합·회귀)
- 한 달간 사실 은폐
- 행안부에 과징금 2.7억

💡 **교훈 — CI/CD 회귀 테스트·캐시·세션 격리·변경 후 모니터링·장애 보고 SOP(공개 의무)**

> 참고: 경향신문 「정부24서 1200건 문서 오발급」

📌 **이번 세션의 시각** — 위 3건은 **「변경관리 SOP 부재」「관찰성·격리 부족」「테스트·자동화 누락」**. 본 세션의 **HA 패턴·SLA·용량 산정·관찰성·장애 5종·IaC**가 직접 해법.

Day 2 · TA의 운영 종합 세션

Session 8 — *회차 메타데이터*

📋 세션 정보

- **회차**: **9 / 15**
- **소속**: Day 2 — HA·운영·관찰성 통합
- **카테고리**: operations-architecture
- **예상 분량**: 본문 86 슬라이드 + 이미지 16장
- **강의 시간**: 60분
- **강사**: 박수현 — 젠아이랩스(GenAI Labs) **CEO / CTO**

🎯 핵심 메시지

> TA는 **멈추지 않게(HA) · 감당하게(용량) · 보이게(관찰성) · 회복하게(장애 대응) · 반복 가능하게(자동화)** 만든다. 다섯 축은 따로가 아니라 **한 묶음의 운영 시스템**.

🧭 학습 목표

1. **HA 패턴 5종** — N+1·N+M·2N·2N+1·Active-Active의 비용·복잡도·가용성 비교
2. **SLA 매트릭스** — 99~99.9999% 6단계의 다운타임·비용·적용 영역 환산
3. **클러스터링 5계층** — App·DB·OS/HW·Storage·Network 대표 솔루션과 동작 원리
4. **용량 산정 5단계** — 요구사항→TPS→CPU/Mem/IOPS/NW→마진→검증 수행
5. **관찰성 3대 축** — Metrics·Logs·Traces 역할 분담과 대표 스택 설계
6. **장애 대응 5단계** — Detection→Containment→Investigation→Recovery→Postmortem + RCA 5기법
7. **SRE·IaC** — SLI/SLO·Error Budget·Toil 자동화·IaC 도구 체계 도입

PART A

HA 패턴 · SLA — *서비스 무중단을 보장하는 SLA*

> 무중단 서비스 = **SLA로 정의한 가용성 목표** + **HA 패턴으로 구현한 이중화 구조**.

HA — *왜 필요한가*

🚨 다운타임의 비용

- **이커머스 1시간 다운** — 매출 손실 + 평판 + 환불·보상
- **금융 코어 1시간 다운** — 거래 정지·집단민원·금감원 보고
- **공공 LMS 1시간 다운** — 시험·강의 중단, 민원 폭주
- **통신 코어 1분 다운** — 119·112 영향, 사회 인프라
- 평균 비용 — **분당 수백만~수억 원** (산업별 상이)

🎯 HA가 보장하는 것

- **계획된 다운** (패치·업그레이드) 중에도 서비스 유지
- **HW·SW·NW 단일 고장(SPOF)** 발생 시 자동 회복
- **사이트 재해**(화재·정전·랜섬웨어) 발생 시 DR 사이트로 절체

🧱 HA = 3계층 동시 설계

1. **인프라 계층** — 전원 A/B·UPS·발전기·이중 회선·이중 스위치
2. **HW·OS 계층** — PSU 이중화·NIC Bonding·HBA Multipath·RAID
3. **App·DB·MW 계층** — LB+다중 노드·DB 클러스터·세션 공유·MQ 클러스터

⚠️ TA의 흔한 오해

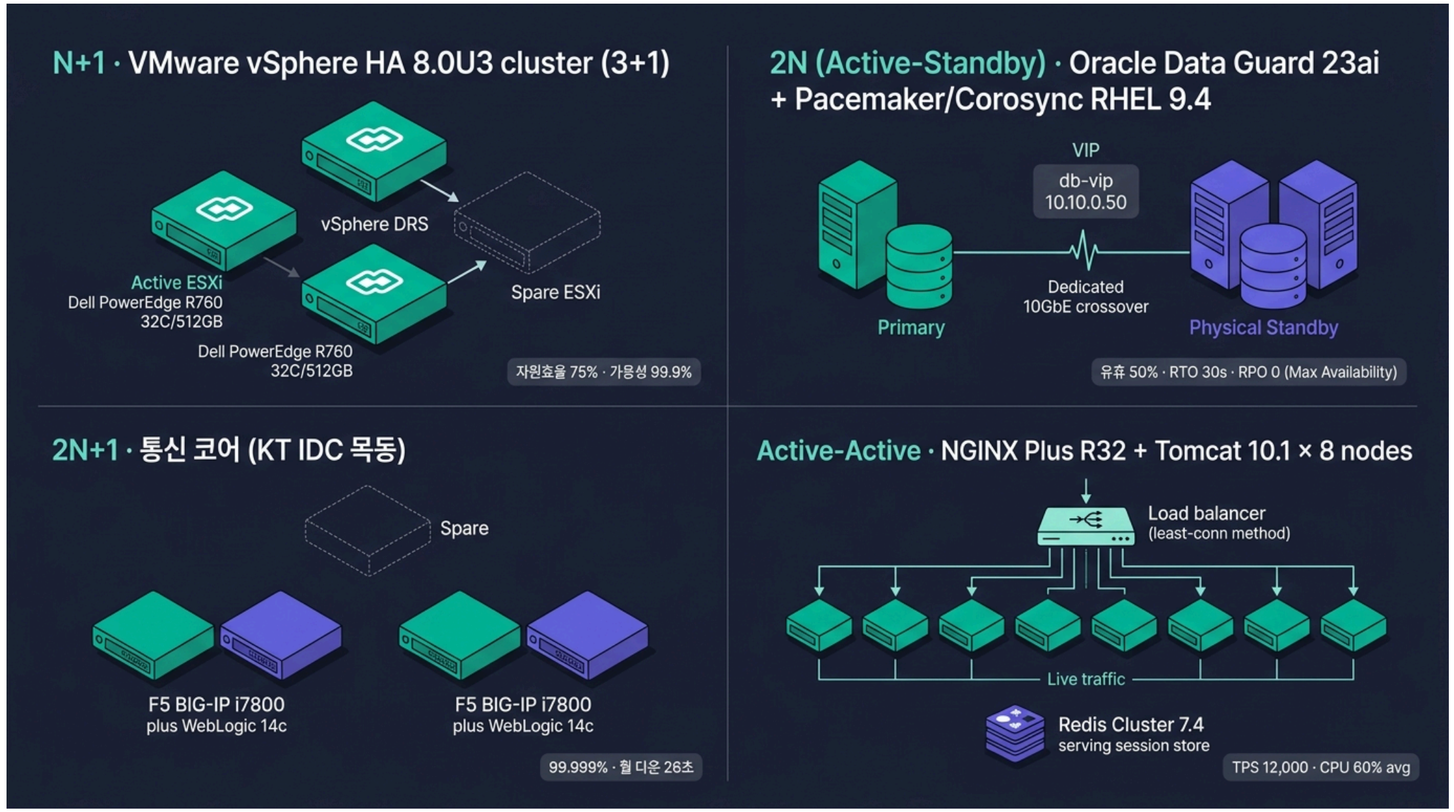
- "이중화만 하면 가용성이 100%" — **틀림**. 가용성은 **곱셈으로 감소**
- "Active-Active가 무조건 우수" — **틀림**. 정합성·운영 복잡도가 비싸짐
- "DR 사이트가 있으니 충분" — **틀림**. **훈련 안 된 DR**은 거의 작동 안 함

> **HA는 "장비를 더 사는 것"이 아니라 "장애를 견디는 구조를 설계하는 것"** — 가장 약한 고리가 전체를 결정한다.

HA 패턴 — *N+1 · N+M · 2N · 2N+1 · Active-Active*

패턴	구성	자원 효율	비용	가용성	적합
N+1	N대 운영 + 1대 예비	높음 (N/(N+1))	**낮음**	중간 (단일 노드 장애만)	VMware HA·K8s 클러스터
N+M	N대 운영 + M대 예비	높음	중간	높음 (M개 동시 장애)	대규모 클러스터·HPC
2N (Active-Standby)	1:1 페어 (전체 이중화)	50% (유휴)	중간	**높음**	DB Standby·FW HA·전원 A/B
2N+1	2N + 1대 예비	낮음	**높음**	**최고**	통신 코어·미션 크리티컬
Active-Active	양쪽 모두 운영, 부하 분산	**최고**	중간	매우 높음	Web·WAS·NoSQL·Geo

선택 기준: 자원 효율(N+1) ↔ 가용성(2N+1) 사이의 **트레이드오프**. TA는 **시스템 등급(BIA) × 라이센스 비용 × 운영 복잡도** 3축으로 결정한다.



HA 패턴 다이어그램 (삽화)

Active-Active vs Active-Passive — *언제 어느 쪽?*

🟢 Active-Active

- 두 노드 모두 **요청 처리**
- **부하 분산** (LB·DNS·Anycast)
- **자원 100% 활용**
- 장애 시 잔존 노드가 **전 부하 인수** → 사전 용량 마진 필수
- **세션 공유** (Redis·Memcached·Sticky)
- **데이터 정합성** 부담 (Conflict resolution)
- 적합: **무상태 Web/WAS**, NoSQL, K8s, Web Cache

🔵 Active-Passive (Active-Standby)

- 한 노드만 **운영**, 다른 노드는 **대기**
- **단순한 구조** · 정합성 부담 없음
- **자원 50% 유휴** (비용 부담)
- 절체 시 **수십 초~수 분** 다운 (RTO)
- 적합: **RDBMS** (Oracle DG·MSSQL AG), 파일 서버, MQ, **Stateful** 일반

> **TA의 결정 규칙**: 무상태(Web·API) → A/A 우선. 상태 보유(DB·MQ·파일) → A/S 우선. 단, **읽기 부하**가 큰 DB는 **Read Replica** 패턴으로 A/A 흉내 가능.

Geographic Redundancy — *HA를 사이트 단위로 확장*

📐 거리 설계 원칙 (HA 관점)

- **동기 복제 한계** ≈ **100km 이내** (RTT 2ms 부담)
- **동일 도시 50~100km 분리** — 지진·정전 동시 영향 회피
- **비동기 복제** — 거리 제약 없음, RPO 존재
- **3-Site (Tri-Site)** — 동기 1조 + 비동기 1조 = 통신·금융 핵심
- HA 패턴(2N·Active-Active)을 **사이트 간**으로 확장한 형태

> 📚 **Multi-Site 패턴 본문(Cold DR · Pilot Light · Warm · Hot) 은 Session 6 `## DR 5단계` 참조** — RTO/RPO·비용 표와 등급별 채택 패턴 포함.

🇰🇷 한국 사례 — *동기 복제 한계 100km*

- **금융권** — 본사(서울) + DR(천안·대전·세종) — 거리 100~150km, 100km 이내 구간은 동기 복제
- **공공** — 정부세종청사 + 광주·대구 DR
- **이커머스** — 자가 IDC + AWS 멀티 리전
- **재난 통신** — 본사 + 부산 + 제주 3-Site

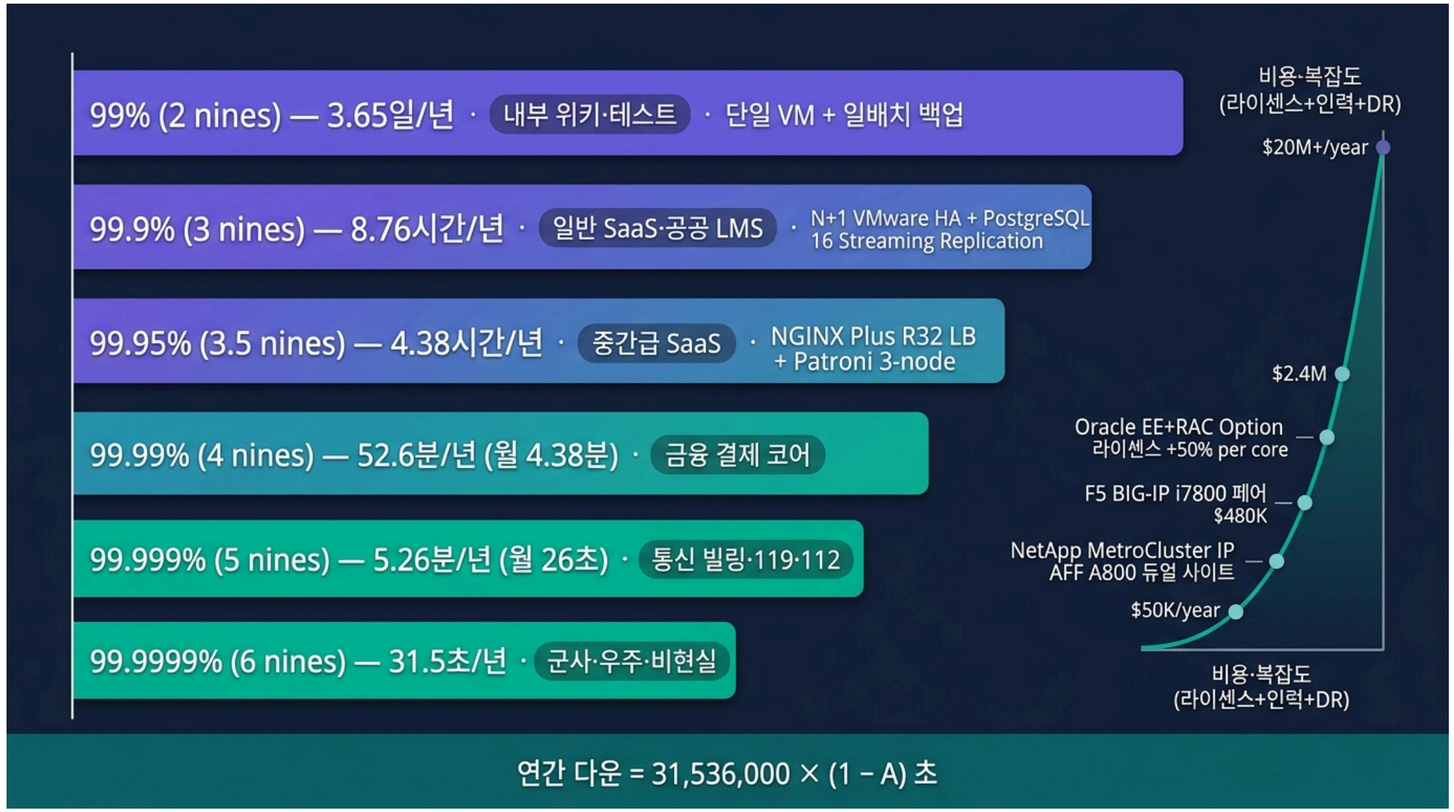
⚠️ HA 함정 (사이트 단위)

- **DR 사이트 = 평시 미사용** → **훈련 부족** → 실제 재해 시 작동 안 함
- **DR 회선 단일** → 사이트 절체 시점에 회선도 동시 절단 사례
- **DB만 복제**·App·MW 미동기화 → 절체 후 부정합

SLA 매트릭스 — *9의 개수로 환산하는 다운타임*

가용성	9 개수	연간 다운	월간 다운	주간 다운	일일 다운	적용 영역
99%	2 nines	**3.65일**	7.2시간	1.68시간	14.4분	내부 위키·테스트
99.9%	3 nines	**8.76시간**	43.8분	10.1분	1.44분	일반 업무·중소 SaaS
99.95%	3.5 nines	4.38시간	21.9분	5.04분	43.2초	중간급 SaaS
99.99%	4 nines	**52.6분**	4.38분	1.01분	8.64초	**금융·결제·코어 업무**
99.999%	5 nines	**5.26분**	26.3초	6.05초	0.86초	**통신·119·112**
99.9999%	6 nines	**31.5초**	2.63초	0.6초	0.09초	군사·우주·비현실

환산 공식: 연간 다운(초) = 31,536,000 × (1 - 가용성). 이 표는 TA가 외워야 하는 핵심.



SLA 등급 차트 (삽화)

SLA 위반 — *계약 페널티의 구조*

📜 표준 SLA 계약 조항

- **가용성 약정** — 월간 99.9% 이상
- **응답시간 약정** — 평균 1초 이내, p95 3초 이내
- **장애 통지** — 5분 이내 1차, 30분 이내 상세
- **복구 약정** — RTO 4시간, RPO 1시간
- **위반 페널티** — 월 사용료의 5%·10%·25% 단계 환불

🚨 실제 위반 사례

- **AWS S3 2017** — 4시간 다운, 다수 SaaS 동반 장애
- **Facebook 2021** — 6시간 BGP 설정 오류
- **카카오 2022** — 데이터센터 화재 9시간+
- **MS Azure 2024** — CrowdStrike 패치 8.5M 시스템 다운

💰 페널티 구조 예시

- 월 가용성 99.9% 약정 → 99.5% 실측
- 위반 시간 = (99.9 - 99.5)% × 30일 = **약 2.88시간**
- 단계별 환불:
- 99.9 → 99.0%: 5% 환불
- 99.0 → 95.0%: 10% 환불
- 95.0% 미만: 25% 환불

⚠️ TA의 관심사

- **SLA 측정 주기** — 월·분기·연 (분기가 가장 흔함)
- **계획된 점검 제외** 약정 — 사전 통지 시 다운타임 제외
- **불가항력 제외** — 재해·국가 비상사태
- **연쇄 장애 책임 한계** — 3rd party 의존 시 분리

가용성 공식 — *직렬·병렬·MTBF·MTTR*

🧮 기본 공식

- **가용성 A = MTBF / (MTBF + MTTR)**
- **MTBF** (Mean Time Between Failures) — 고장 간 평균 시간
- **MTTR** (Mean Time To Repair) — 평균 복구 시간
- MTBF↑ + MTTR↓ → 가용성↑

🔗 직렬 시스템 (Series)

- 두 컴포넌트가 직렬 연결 → **곱셈으로 감소**
- $A_{total} = A_1 \times A_2 \times A_3$
- 예: 99.9% × 99.9% × 99.9% = **99.7%** (8.76시간 → 26시간)
- **약한 고리가 전체를 결정**

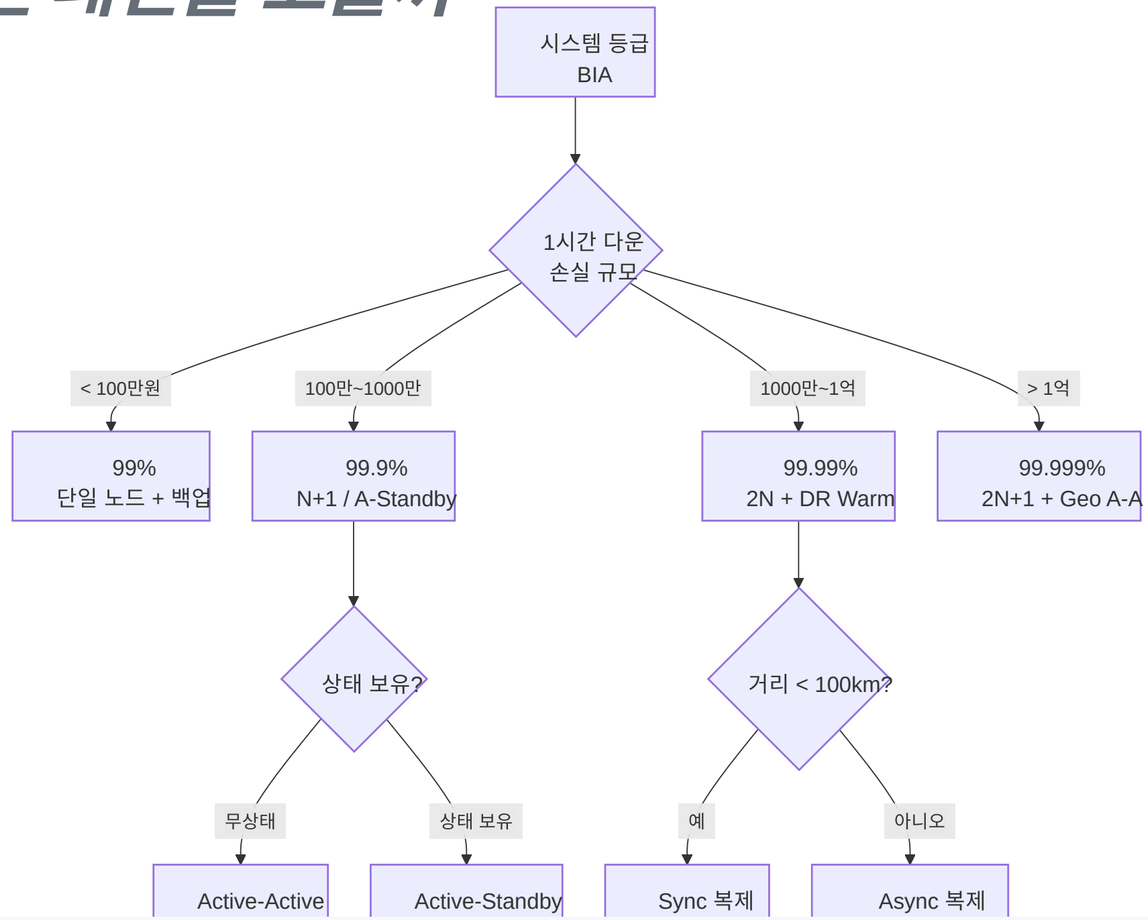
🟰 병렬 시스템 (Parallel·이중화)

- 두 컴포넌트가 병렬 → **장애 확률 곱셈**
- $1 - A_{total} = (1 - A_1) \times (1 - A_2)$
- 예: 99% × 99% 병렬 = **99.99%** (3.65일 → 53분)
- **이중화의 수학적 위력**

📐 복합 예시

- DB Active-Standby (각 99.9%) → **병렬 → 99.9999%** (이론)
- 그 위에 NW·App 직렬 → **현실은 99.95~99.99%**
- 결국 **NW·App이 병목**이 되는 경우가 가장 흔함

HA 결정 트리 — *어떤 패턴을 고를까*



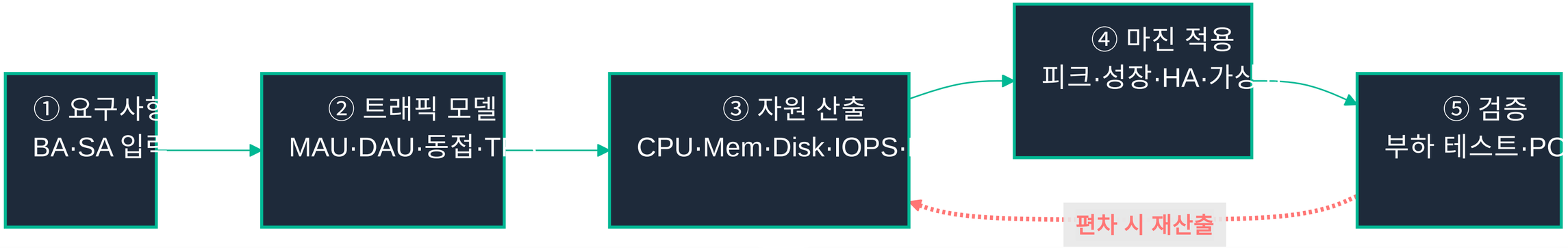
결정 입력값: 시스템 등급(BIA) · 상태 보유 여부 · 라이센스 비용 · 운영 인력 · DR 거리 — 5개를 항상 함께 본다.

PART C

용량 산정 5단계 — *요구사항부터 검증까지*

> "감으로 사이징"이 아니라 **공식 + 가정값 + 마진**의 조합.

용량 산정 — *5단계 워크플로*

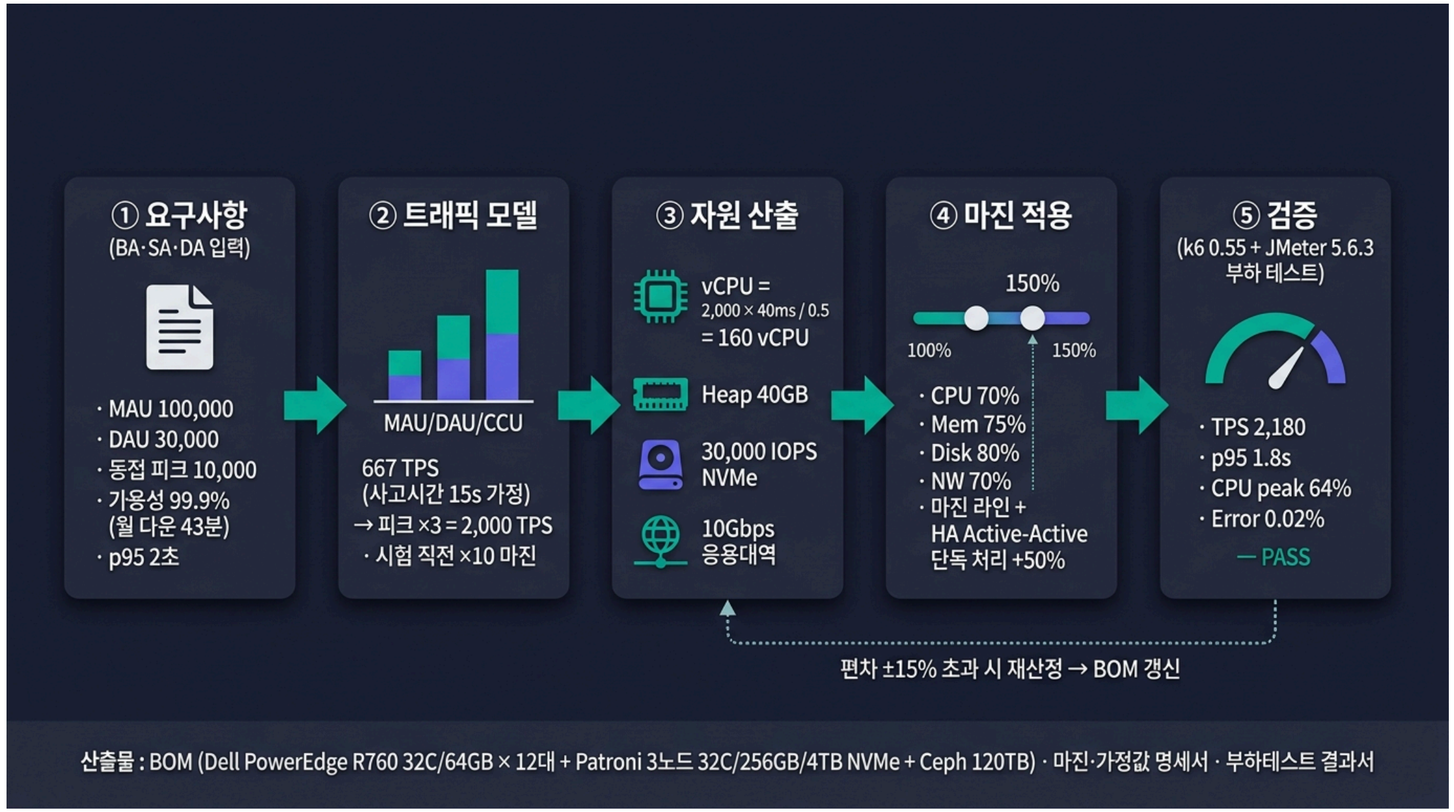


📥 1단계 입력값 (BA·SA·DA로부터)

- **사용자 규모** (MAU·DAU·동접)
- **트래픽 패턴** (피크 시간·평균 vs 피크 비율)
- **트랜잭션 종류** (조회·등록·결제·배치)
- **응답시간 SLA** (평균·p95·p99)
- **데이터 규모** (현재·5년 증가율)
- **HA 요구** (가용성 등급·RPO·RTO)

📤 5단계 출력물 (TA 산출물)

- **자원 산정서** — CPU·Mem·Disk·IOPS·NW
- **BOM** — 모델·수량·라이센스
- **부하 테스트 결과서** — 실측 TPS·응답시간
- **마진·가정값 명세** — 재산정 가능성 확보
- **확장 계획** — Scale-up·Scale-out 시점



용량 산정 흐름 (삽화)

TPS 산정 — *MAU·DAU·동접·세션*

📊 사용자 지표 변환

- **MAU** (Monthly Active User) — 월간 활성
- **DAU** (Daily Active User) ≈ MAU × **10~30%**
- **MAUR** (Monthly Active Use Ratio)
- **동접** (Concurrent User) ≈ DAU × **5~15%** (피크 시점)
- **세션 수** ≈ 동접 × **1.2~1.5** (멀티 디바이스)

🧮 TPS 공식

- **사용자당 TPS** = 1 ÷ 평균 **사고시간(Think Time, 초)**
- **사고시간(Think Time)** = 사용자가 한 화면에 머무는 시간 *(accident 아님)*
- **총 TPS** = 동접 × 사용자당 TPS
- **피크 TPS** = 평균 TPS × **2~3배** (이벤트 마진)

📈 사고시간(Think Time) 표준값

시스템 유형	사고시간(Think Time)	사용자당 TPS
일반 업무·인트라넷	30~60초	0.02~0.03
포털·게시판	10~30초	0.03~0.1
이커머스·금융	5~15초	0.07~0.2
게임·실시간	1~5초	0.2~1.0
결제·인증 API	즉시	1+

📐 예시 산정

- **공공 LMS** — MAU 10만 → DAU 2만 → 동접 2,000 → TPS = 2,000 × (1/30) = **67 TPS**
- 피크 마진 3배 → **200 TPS** 목표

TPS — *평균·피크·이벤트 분리*

⏰ 시간대별 분포

- **업무 시스템**: 09~11시·14~16시 더블 피크
- **이커머스**: 12시 점심·20~22시 저녁 피크
- **공공 민원**: 09~10시 단일 피크
- **공공 LMS**: 학기 초·시험 직전 폭증 (10배+)
- **결제·세금**: 분기말·연말 폭증

📊 마진 계수

- **일중 피크/평균 비율** — 2~5배
- **연간 이벤트 피크** — 5~20배 (공공 시험·블랙프라이데이)
- **HA 절체 마진** — Active-Active 한쪽 죽었을 때 단독 처리 가능

🎯 산정 등급별 목표

- **평균 부하 처리** — CPU 30~40%
- **피크 부하 처리** — CPU 50~60%
- **이벤트 부하 처리** — CPU 70~80%
- **HA 단독 처리 시** — CPU 80~90%

⚠️ 함정

- 평균만 산정 → 피크에 다운
- **피크만 산정** → 평소 자원 낭비
- **이벤트 무시** → 시험 직전 폭증 시 사고
- **HA 절체 마진 0** → 한쪽 죽으면 동반 다운

> **TA의 관행**: **평균 산정 후 피크 ×3배 마진 + HA 절체 마진 +50%** = 안전한 사이징.

CPU 산정 — *SPECint · TPC-C · TPS/Core*

🧠 CPU 성능 지표

- **SPECint / SPECfp** — 정수·부동소수점 벤치마크
- **SPECjbb** — Java 비즈니스 벤치마크
- **CoreMark** — 임베디드 멀티코어
- **TPC-C / TPC-H / TPC-E** — DB OLTP·DSS·증권
- **TPS/Core** — 실제 트랜잭션 처리량 (가장 직관적)

🧮 산정 공식

- **필요 vCPU** = TPS × (트랜잭션당 CPU ms) ÷ 1000 ÷ 목표 사용률
- 목표 사용률 — **50~60%** (피크 마진)
- 예: 100 TPS × 40ms ÷ 1000 ÷ 0.5 = **8 vCPU**

📊 트랜잭션당 CPU ms 표준값

트랜잭션 유형	CPU ms
단순 조회 (SELECT)	5~20ms
일반 업무 트랜잭션	20~50ms
복잡한 보고서·집계	100~500ms
결제·인증 (암호화 포함)	50~200ms
배치·ETL	초~분

⚠️ 추가 가산

- **가상화 오버헤드** +5~10%
- **컨테이너 오버헤드** +3~5%
- **암호화 (TLS·DB TDE)** +10~30%
- **세션 인증** +5~10%

CPU 사이징 — *6단계 실무 절차*

🔁 사이징 6단계 절차 (실무 워크플로)

1. **워크로드 분류** — OLTP·OLAP·WAS·캐시·AI
2. **TPS·동접·세션 도출** — 현행 운영 메트릭
3. **단위 처리당 vCPU** — PoC·과거 데이터 환산
4. **평균/피크 사용률** — 평균 50~60%·피크 ≤80%
5. **라이센스 영향** — Per-Core SKU 역산 (Compute 회차 참조)
6. **BOM 확정 + 마진** — 증설·HA 여유 20~30%

🎯 단계별 산출물

- ① → 워크로드 매트릭스 (시스템별 분류표)
- ② → TPS 산정표 (현행/목표/피크)
- ③ → 단위 vCPU 환산표 (트랜잭션당 CPU ms)
- ④ → 사용률 목표 (평균·피크·HA 절체)
- ⑤ → SKU 후보군 (Per-Core 라이센스 역산)
- ⑥ → 최종 BOM (모델·수량·라이센스 합계)

💡 단계별 핵심 결정

- **① 워크로드 분류** — OLTP는 코어 수보다 클럭(IPC) 중시, OLAP는 코어 수 우선
- **② TPS 도출** — 평균이 아닌 피크 기준, 마진 ×3 적용
- **③ vCPU 환산** — PoC 측정값 없으면 트랜잭션당 40ms (일반 업무 관행)
- **④ 사용률 목표** — 평균 50~60%·피크 ≤80% 유지 (HA 절체 시 단독 처리 마진)
- **⑤ 라이센스 영향** — Oracle DB EE·MS SQL EE·VMware vCF Per-Core, SKU 선택이 비용 수억 좌우
- **⑥ BOM 확정** — 증설·HA 여유 20~30% 마진 포함, 향후 3년 증가율 반영

⚠️ 흔한 실수

- ⑤ 단계 생략 — 같은 성능이면 **코어 적고 클럭 높은 SKU**가 라이센스비 수억 절감
- "코어 많을수록 좋다" 논리 금물 — Per-Core 라이센스 시 비용 폭증

라이센스가 SKU를 결정 — Oracle DB EE·MS SQL EE·VMware vCF가 모두 **Per-Core** 라이센스라, 같은 성능이면 **코어 수가 적고 클럭이 높은 SKU** (예: Xeon Gold 6444Y 16C @ 4.0 GHz)가 라이센스비를 수억 원 단위로 줄인다. 산정 6단계 ⑤에서 SKU가 뒤집히는 사례 잦음 — 자세한 라이센스 비교는 Session 3 `## CPU 산정 (라이센스)` 참조.

Memory 산정 — *Working Set·OS 캐시·DB 버퍼풀·세션*

🧮 OS·App 메모리

- **OS 기본** — Linux 2~4GB·Windows 4~8GB
- **JVM Heap** — 동접 × 세션메모리 (1MB~수MB)
- **JVM Non-Heap** + Native = Heap × 0.5~1.0
- **컨테이너 베이스 이미지** — Alpine 50MB·Ubuntu 200MB
- **Working Set** — 평소 활성 영역 (RSS)
- **OS Page Cache** — 파일 IO 캐시

🧮 DB 메모리

- **Oracle SGA** — 데이터 크기의 20~50%
- **Oracle PGA** — 동시 세션 × 5~20MB
- **MySQL InnoDB Buffer Pool** — 데이터의 50~70%
- **PostgreSQL shared_buffers** — 시스템의 25%
- **MSSQL Buffer Pool** — 가용 메모리의 70~80%

📊 산정 예시 (LMS WAS)

- 동접 2,000명, 세션 4MB
- Heap = 2,000 × 4MB = **8GB**
- Non-Heap + OS = 8GB × 1.5 = **12GB**
- 컨테이너 2개 운영 → 노드당 **24GB**
- 마진 30% → **32GB RAM**

📊 산정 예시 (PostgreSQL DB)

- 데이터 200GB, shared_buffers 25% → **50GB**
- work_mem × 동접 100 × 64MB = **6.4GB**
- effective_cache_size = 시스템의 50% = **100GB**
- 마진 → **128GB RAM** 권장

> **격언**: "DB는 메모리가 곧 성능" — RAM 부족하면 SAN 성능 무관하게 응답 지연.

IOPS 산정 — *Random vs Sequential · Block · Queue Depth*

⚡ IOPS 핵심 파라미터

- **Block Size** — 4KB(DB)·64KB(가상화)·1MB(백업)
- **R/W 비율** — OLTP 70:30·DW 95:5·로그 0:100
- **Random vs Sequential** — Random이 5~50배 부담
- **Queue Depth** — 1·8·32 (높을수록 처리량 ↑)
- **Latency** — µs~ms (NVMe < 0.1ms, HDD 5~10ms)

🧮 산정 공식

- **DB IOPS** = TPS × (트랜잭션당 IO 수)
- 일반 OLTP 트랜잭션 — **10~30 IO/TX**
- **백업 IOPS** = 데이터량 ÷ 백업 윈도우
- **로그 IOPS** = TPS × 1~3 (Sequential)

📊 매체별 IOPS·Latency

매체	Random R IOPS	Latency
HDD 7.2K SATA	75~100	8~12ms
HDD 10K SAS	130~150	4~7ms
HDD 15K SAS	175~200	3~5ms
SSD SATA	50,000~100K	0.1~0.5ms
SSD SAS	100K~200K	0.1ms
NVMe Gen 4	500K~1M	<0.1ms
NVMe Gen 5	1M~3M	<0.05ms

📐 예시

- 100 TPS × 20 IO/TX = **2,000 IOPS** 필요
- 마진 ×2 = **4,000 IOPS**
- HDD로 충당 = 40+ 디스크 / NVMe 1대로 충분

네트워크 대역 — *Concurrent × bps · 피크 마진*

🌐 산정 공식

- **응용 대역** = TPS × (트랜잭션당 페이로드 bytes) × 8 (bit)
- **세션 동시 대역** = 동접 × 평균 bps
- **클라이언트 ↔ Web** = 평균 페이지 1~3MB × TPS
- **Web ↔ WAS** = 200KB ~ 1MB × TPS
- **WAS ↔ DB** = 50~200KB × TPS

📊 표준 대역

- **사무실 단말** — 1Mbps 평균, 10Mbps 피크
- **VDI** — 200Kbps~5Mbps (PCoIP·Blast)
- **Voice (VoIP)** — 80~100Kbps/세션
- **영상 회의 HD** — 1~2Mbps/세션
- **4K 스트리밍** — 25Mbps

🔗 백본·서버 NIC

- **사무실 액세스 스위치** — 1Gbps × 포트
- **분산층 업링크** — 10Gbps
- **코어 스위치** — 40/100Gbps
- **서버 NIC 표준 (2026)** — 25Gbps (2장 LACP)
- **GPU 클러스터** — 100Gbps RoCE / IB NDR 400G

📐 산정 예시

- 100 TPS, 페이지 평균 500KB
- 100 × 500KB × 8 = **400 Mbps** 응용 대역
- 피크 마진 × 3 = **1.2 Gbps**
- → **10G NIC + 25G 백본** 충분

스토리지 용량 — *저장량 · 증가율 · 보관기간 · 압축*

🧮 운영 용량 공식

- **운영 = 현재 + (일증가 × 365일 × 5년)**
- **인덱스 가산** — 데이터의 30~50%
- **임시·로그** — 데이터의 20~30%
- **메타데이터** — 5~10%
- **여유 마진** — 30~50%
- 운영 디스크 사용률 70% 이내 유지

🧮 백업 용량 공식

- **백업 = (Full × 세대) + (Incremental × 일수)**
- **압축률** — 일반 데이터 2~3:1, DB 4~5:1
- **중복제거** — 백업 10~20:1
- **WORM/Object Lock** — 추가 5~10%

📐 산정 예시 (학사 정보 DB)

- 현재 200GB
- 일증가 500MB → 5년 = **900GB**
- 인덱스 +50% → 1.35TB
- 임시·로그 +30% → 1.75TB
- 마진 +50% → **2.5TB 운영**

📐 백업 산정

- 일 Full 5세대 + 30일 Incremental
- = (1.35TB × 5) + (50GB × 30) = **8.25TB**
- 압축 2:1 + Dedup 5:1 → **0.8TB 실제**
- 마진 +50% → **1.2TB 백업**

📐 비정형 (영상·이미지)

- 일증가 폭증 위험 — 별도 산정
- **Tiering** (Hot·Warm·Cold) 설계

산정 사례 — *동접 10,000 LMS 5년 운영*

📥 입력값

- MAU 100,000명·DAU 30,000명·**동접 피크 10,000명**
- 트랜잭션 — 강의 시청·과제·시험
- 사고시간 — 평균 15초 (LMS 표준)
- 응답시간 — p95 2초
- 가용성 99.9% (월 다운 43분)
- 데이터 — 강의 영상 + 학습 로그
- 보관기간 5년

🧮 산정 결과

- **TPS** — 10,000 × (1/15) = **667 TPS**
- 피크 마진 3배 = **2,000 TPS**
- **CPU** — 2,000 × 40ms ÷ 0.5 = **160 vCPU**
- 노드 분산 (32C × 10대) + HA = **12대**

🧮 메모리·스토리지·NW

- **WAS Memory** — 10,000 × 4MB = 40GB Heap × 12노드 = 64GB/노드
- **DB Memory** — 200GB 데이터 × 50% = 100GB Buffer + 마진 = **256GB RAM**
- **DB IOPS** — 2,000 × 15 IO = **30,000 IOPS** → NVMe 필수
- **스토리지 (영상)** — 일증가 50GB × 5년 = **90TB** + 마진 → **120TB Object**
- **네트워크** — 영상 1Mbps × 10,000 = **10Gbps** → 25G NIC × LACP

📋 BOM

- **App** — 32C/64GB × 12대 (Web/WAS)
- **DB** — Patroni 3 노드 (32C/256GB/4TB NVMe)
- **Object** — Ceph 120TB (Erasure 8+3)
- **NW** — Spine 100G × 4, Leaf 25G × 12

산정 사례 — *동접 500 학사 행정 시스템*

📥 입력값

- MAU 2,000명·DAU 800명·**동접 500명 (수강신청 기간 5,000명 폭증)**
- 트랜잭션 — 학적·성적·등록
- 사고시간 평균 30초·수강신청 1초
- 응답시간 p95 3초
- 가용성 99.9%
- 데이터 50GB·일증가 20MB

🧮 평시 산정

- TPS = 500 × (1/30) = **17 TPS**
- 피크 마진 ×3 = **50 TPS**
- CPU = 50 × 40ms ÷ 0.5 = **4 vCPU** → **8C 권장**

🧮 수강신청 폭증 산정

- 동접 5,000 × (1/1) = **5,000 TPS** (10배+ 폭증)
- 5,000 × 40ms ÷ 0.6 = **333 vCPU**
- → 평시 분리 운영 권장 (Auto-Scale 또는 분리 인스턴스)

📋 BOM

- **WAS** — 평시 16C/32GB × 2대 + 폭증 시 32C × 8대 (Cloud Burst)
- **DB** — Active-Standby PostgreSQL 16C/64GB
- **스토리지** — 1TB NVMe + 백업 NAS 4TB
- **NW** — 10G NIC

🎙️ 결정 포인트

- **수강신청 폭증** = 별도 인스턴스 운영 (메인 분리)
- 또는 **Cloud Burst** (하이브리드)
- 평소 자원 낭비 방지

PART D

성능 도구·부하 테스트 — *측정 없이 산정 없다*

> 산정은 가정 + 공식 + **실측 검증**. 부하 테스트 도구 없이 산정은 추측에 불과.

부하 테스트 도구 — *애플리케이션 부하*

🛠️ Java/Heavy

- **Apache JMeter** — 가장 흔한 표준, GUI·CLI, 플러그인 풍부
- **Gatling** — Scala 기반, 코드형 시나리오, 리포트 미려
- **Tsung** — Erlang 기반, 대규모 분산

🛠️ 경량·CLI

- **wrk / wrk2** — C, 초경량
- **hey** — Go, Apache Bench 후속
- **vegeta** — Go, 일정 RPS 테스트
- **Apache Bench (ab)** — 단순 벤치 표준

🛠️ 현대·DevOps

- **k6 (Grafana)** — JavaScript, 모던 표준, CI 통합
- **Locust** — Python, 분산 부하, 직관적
- **Artillery** — Node.js, YAML 시나리오
- **Drill** — Rust, HTTP 부하

🛠️ DB·내부

- **HammerDB** — TPC-C·TPC-H 표준 DB 부하
- **sysbench** — MySQL·PostgreSQL 표준
- **pgbench** — PostgreSQL 전용
- **fio** — IO 직접 부하 (스토리지)
- **iozone** — 파일시스템 IO

🛠️ 상용

- **LoadRunner** (OpenText·구 HPE)
- **NeoLoad** (Tricentis)
- **BlazeMeter** (Perforce, JMeter as a Service)
- **LoadView** (Dotcom-Monitor)

🎯 선택 기준

- **개발팀 친화** — k6·Gatling (코드)
- **표준·교과서** — JMeter
- **대규모** — Tsung·Locust
- **DB 단독** — HammerDB·sysbench
- **CI/CD 통합** — k6 (CLI·Cloud)

시스템 모니터링 CLI — *perf · sar · iostat · vmstat · top*

🔍 CPU·프로세스

- **top / htop / btop** — 실시간 프로세스
- **pidstat** — PID별 상세
- **mpstat** — CPU 코어별
- **perf** — 커널 프로파일링
- **strace / ltrace** — 시스템콜·라이브러리
- **uptime / w** — 부하 평균

💾 메모리

- **free -h** — 사용량
- **vmstat 1** — VM·스왑·CPU·IO
- **smem** — 프로세스별 PSS
- **slabtop** — 커널 슬랩
- **/proc/meminfo** — 상세

💿 IO·디스크

- **iostat -x 1** — 디스크 통계 (await·svctm·util)
- **iotop** — 프로세스별 IO
- **dstat** — 통합 (CPU·IO·NW)
- **blktrace** — 블록 IO 추적
- **fio** — IO 부하 도구
- **df / du / ncdu** — 사용량

🌐 네트워크

- **ss / netstat** — 소켓
- **iftop / nload** — 인터페이스
- **nicstat** — NIC 상세
- **ethtool** — NIC 설정·통계
- **tcpdump / tshark** — 패킷
- **ip / ifconfig** — 인터페이스

📊 통합·연속 측정

- **sar (sysstat)** — 모든 자원 시계열 기록·재생
- **collectl** — 통합 측정
- **dstat** — 실시간 통합
- **atop** — 프로세스 + 시스템
- **glances** — Python 통합 대시보드
- **nmon (AIX·Linux)** — 시계열 리포트

🎙️ TA의 사용 습관

- **장애 시** — top/iostat/vmstat 3종 우선
- **상시** — sar로 시계열 저장
- **GUI 분석** — kSar·collectl reader

네트워크 도구 — *iperf3 · Wireshark · MTR · tcpdump*

🌐 처리량·연결

- **iperf3** — TCP/UDP 처리량 측정 (대역폭 표준)
- **ntopng / nProbe** — NetFlow·sFlow 시각화
- **bmon** — 대역폭 실시간

🕵️ 패킷 분석

- **Wireshark / tshark** — 패킷 분석 표준
- **tcpdump** — CLI 패킷 캡처
- **ngrep** — grep 스타일 패킷 검색
- **httpry** — HTTP 트래픽 전용

🛤️ 경로·연결

- **ping** — ICMP 도달
- **traceroute / tracepath** — 경로 추적
- **MTR (My Traceroute)** — ping + traceroute 통합
- **mtr --report** — 지속 모니터링
- **dig / nslookup** — DNS 조회
- **nmap** — 포트 스캔 (TA 진단 용)

🎙️ TA의 진단 시퀀스

1. **ping** — 도달 여부
2. **MTR** — 경로 지연·손실
3. **iperf3** — 실측 대역폭
4. **tcpdump → Wireshark** — 페이로드 분석

부하 테스트 시나리오 — *5종 표준 패턴*

📈 테스트 종류

1. **Smoke Test** — 최소 부하로 동작 확인 (5~10분)
2. **Load Test** — 예상 평균 부하 (1~2시간)
3. **Stress Test** — 한계까지 증가 (점진 증가)
4. **Spike Test** — 갑작스러운 폭증 (이벤트 대응)
5. **Soak Test** — 장시간 (8~24시간, 메모리 누수)

⏱️ 워크플로 구간

- **Ramp-up** — 부하 점진 증가 (10~20분)
- **Plateau** — 목표 부하 유지 (30분~수시간)
- **Ramp-down** — 부하 감소
- **Recovery** — 시스템 복귀 관찰

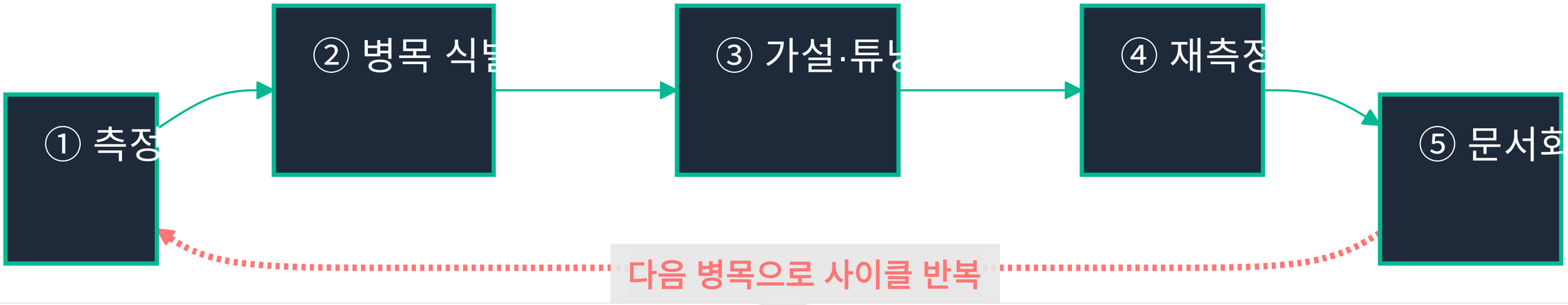
📊 측정 지표

- **TPS·RPS** — 처리량
- **응답시간** — 평균·p50·p95·p99
- **에러율** — 5xx·timeout·connection refused
- **자원 사용률** — CPU·Mem·IO·NW
- **포화점** (Knee) — 응답시간 급증 지점

⚠️ 흔한 실수

- **테스트 환경 ≠ 운영 환경** — 결과 신뢰성↓
- **외부 의존 미목업** — 실제 NW·DB 부하 거의 없음
- **단일 시나리오만** — 복합 시나리오 누락
- **로컬 부하기** — NIC 병목, 분산 부하기 필요

성능 튜닝 — *5단계 사이클*



🔍 튜닝 대상 계층

- **App 코드** — 알고리즘·캐싱·async
- **JVM** — Heap·GC·MetaSpace
- **DB** — 인덱스·쿼리·풀
- **OS** — sysctl·ulimit·sched
- **HW** — CPU 코어·NIC·디스크 매체

⚠️ 튜닝 원칙

- **한 번에 하나만 변경** — 효과 측정 가능
- **Baseline 확보** — 비교 기준
- **변경 사항 문서화** — 롤백 가능
- **Premature Optimization 회피** — 측정 후 튜닝
- **80/20 법칙** — 병목 20%가 80% 효과

PART E

관찰성 3대 축 — *Metrics · Logs · Traces*

> 모니터링은 "정해진 것을 본다", 관찰성은 "모르는 것을 캐낼 수 있다".

Observability vs Monitoring — *무엇이 다른가*

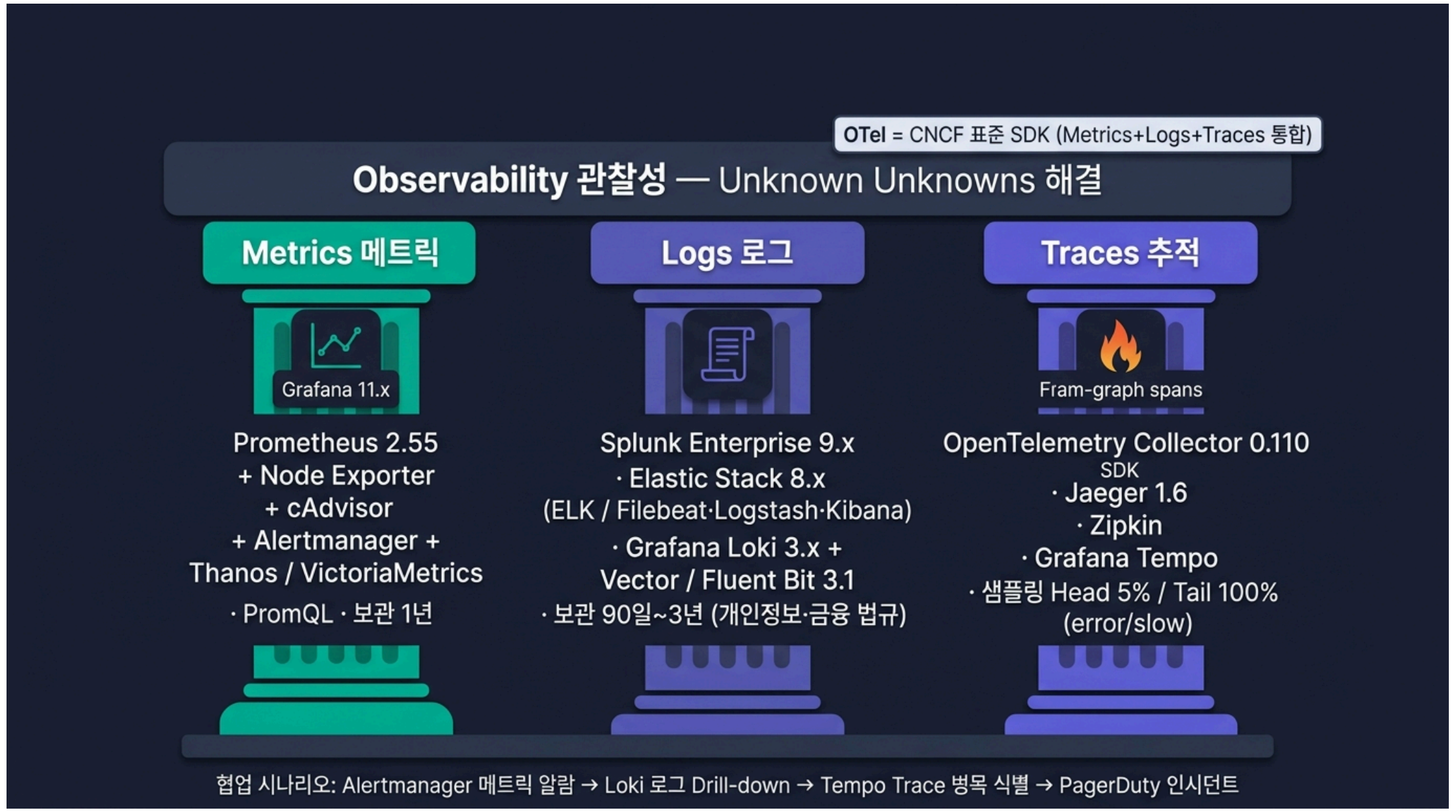
📊 Monitoring (전통)

- **사전 정의된 메트릭** 수집
- **임계치 기반 알람** (CPU > 80%)
- **What's wrong?** (무엇이 문제인가)
- **Known unknowns** 대응
- 대시보드 중심
- 예: Zabbix·Nagios·PRTG

🔬 Observability (현대)

- **시스템 상태를 외부에서 추론 가능**
- **임의 질문**에 답할 수 있음 ("왜 이 요청만 느리지?")
- **Why?** (왜 그런가)
- **Unknown unknowns** 대응
- 탐색 중심 (Drill-down)
- 3대 축: **Metrics · Logs · Traces**

> **관찰성은 모니터링의 상위 개념** — 모니터링이 가능한 시스템 + 임의 질문에 답할 수 있는 시스템.



관찰성 3대 축 (삽화)

Metrics · Logs · Traces — *역할 분담*

📈 Metrics (메트릭)

- **숫자 시계열** — 시간별 값
- 예: CPU% · 메모리 · TPS · 응답시간 · 에러율
- **집계·평균·트렌드**
- 저장 효율 — 매우 높음 (시계열 DB)
- 보관 — **장기** (수개월~연)
- 알람·SLO 지표 산출 기반
- 도구: Prometheus·VictoriaMetrics·InfluxDB·Datadog

📜 Logs (로그)

- **이벤트 기록** — 텍스트·JSON
- 예: 액세스 로그·에러·감사·디버그
- **특정 시점 상세 정보**
- 저장 효율 — 낮음 (텍스트 풍부)
- 보관 — **법규 단기·중기** (3개월~3년)
- **누가·언제·무엇** 검색
- 도구: ELK·Loki·Splunk·Graylog

🔗 Traces (분산 추적)

- **요청 흐름 추적** — Span 트리
- 예: 단일 요청이 거친 모든 서비스·DB·API
- **MSA·분산 시스템의 핵심**
- 저장 효율 — 중간 (샘플링)
- 보관 — **단기** (수일~주)
- **병목 위치·연쇄 장애** 분석
- 도구: OpenTelemetry·Jaeger·Zipkin·Grafana Tempo

3축 협업 예: Metrics 알람("응답시간 급증") → Logs 검색("어떤 요청이?") → Traces 분석("어디서 지연?")

NMS — *Network Management System 카탈로그*

🛠️ 오픈소스·표준

- **Zabbix** — 한국 표준 오픈소스, 강력·복잡
- **Nagios / Nagios XI** — 전통 표준
- **LibreNMS** — Observium 후속, SNMP 자동발견
- **Observium** — 무료/상용 분리
- **Cacti** — RRDtool 기반 그래프
- **Icinga** — Nagios 포크, 모던 UI
- **Checkmk** — 오픈소스 + Enterprise

💼 상용

- **SolarWinds NPM** — 글로벌 표준
- **PRTG (Paessler)** — 센서 단위 라이센스
- **ManageEngine OpManager** — 한국 점유율 높음
- **LogicMonitor** — SaaS·자동발견
- **Datadog Infrastructure** — SaaS 종합
- **Auvik** — MSP 친화
- **Cisco DNA Center** — Cisco 통합

🎙️ TA의 결정

- **공공·SI 표준** — Zabbix · SolarWinds
- **클라우드** — Datadog · LogicMonitor
- **소규모** — PRTG · LibreNMS

📸 **NMS 대시보드 reference** - Zabbix 공식 데모 — zabbix.com/demo - Nagios XI Dashboard — nagios.com/products/nagios-xi - SolarWinds NPM 스크린샷 — solarwinds.com/network-performance-monitor - PRTG 데모 — paessler.com/prtg/demo - ManageEngine OpManager — manageengine.com/network-monitoring

NMS — Network Management System 카탈로그

APM — *Application Performance Monitoring*

🇰🇷 한국 APM

- **Pinpoint** — Naver 오픈소스, Java 강점
- **Scouter** — LG CNS 오픈소스, 한국 SI 표준
- **Jennifer** — 제니퍼소프트 상용, 한국 1위 점유율
- **WhaTap** — SaaS 형태 한국 APM

🌍 글로벌 상용 APM

- **New Relic** — SaaS 표준
- **AppDynamics** — Cisco 인수, 엔터프라이즈
- **Datadog APM** — 종합 플랫폼
- **Dynatrace** — AI 기반 자동 분석 (Davis AI)
- **Instana** — IBM, 자동 발견
- **Splunk APM (Observability)** — Splunk 통합

📊 APM 측정 항목

- **응답시간** — 평균·p95·p99
- **TPS·에러율**
- **트랜잭션 분해** — 단계별 시간
- **DB 쿼리 분석** — Slow Query
- **외부 API 호출** — 지연 분포
- **JVM** — Heap·GC·Thread·CPU
- **사용자 경험** (RUM) — 실제 브라우저 측정
- **Synthetic Monitoring** — 가짜 사용자 시뮬레이션

🎙️ TA의 결정

- **공공·금융 (한국)** — Jennifer · Scouter
- **신규 SaaS** — Datadog · New Relic
- **자동화 강점** — Dynatrace
- **오픈소스** — Pinpoint + Elastic APM

📸 **APM 콘솔 reference** - Pinpoint (Naver) — github.com/pinpoint-apm/pinpoint (스크린샷 풍부) - Scouter (LG CNS) — github.com/scouter-project/scouter - Jennifer (제니퍼소프트) — jennifersoft.com - Datadog APM Service Map — docs.datadoghq.com/tracing/services/service_map - Dynatrace Smartscape — dynatrace.com/platform

APM — Application Performance Monitoring

로그 통합 — *ELK · Splunk · Loki · Fluentd*

🟢 ELK Stack (Elastic Stack)

- **Elasticsearch** — 검색 엔진 (Lucene 기반)
- **Logstash** — 수집·가공 파이프라인
- **Kibana** — 대시보드·검색 UI
- **Beats** (Filebeat·Metricbeat) — 경량 수집기
- **무료 → Open Distro · OpenSearch (AWS Fork)**

🟪 상용 로그

- **Splunk Enterprise / Cloud** — 압도적 표준, 비싼 라이센스
- **Sumo Logic** — SaaS 표준
- **Graylog** — 오픈/상용
- **Datadog Logs** — 통합 플랫폼

🟦 수집기·파이프라인

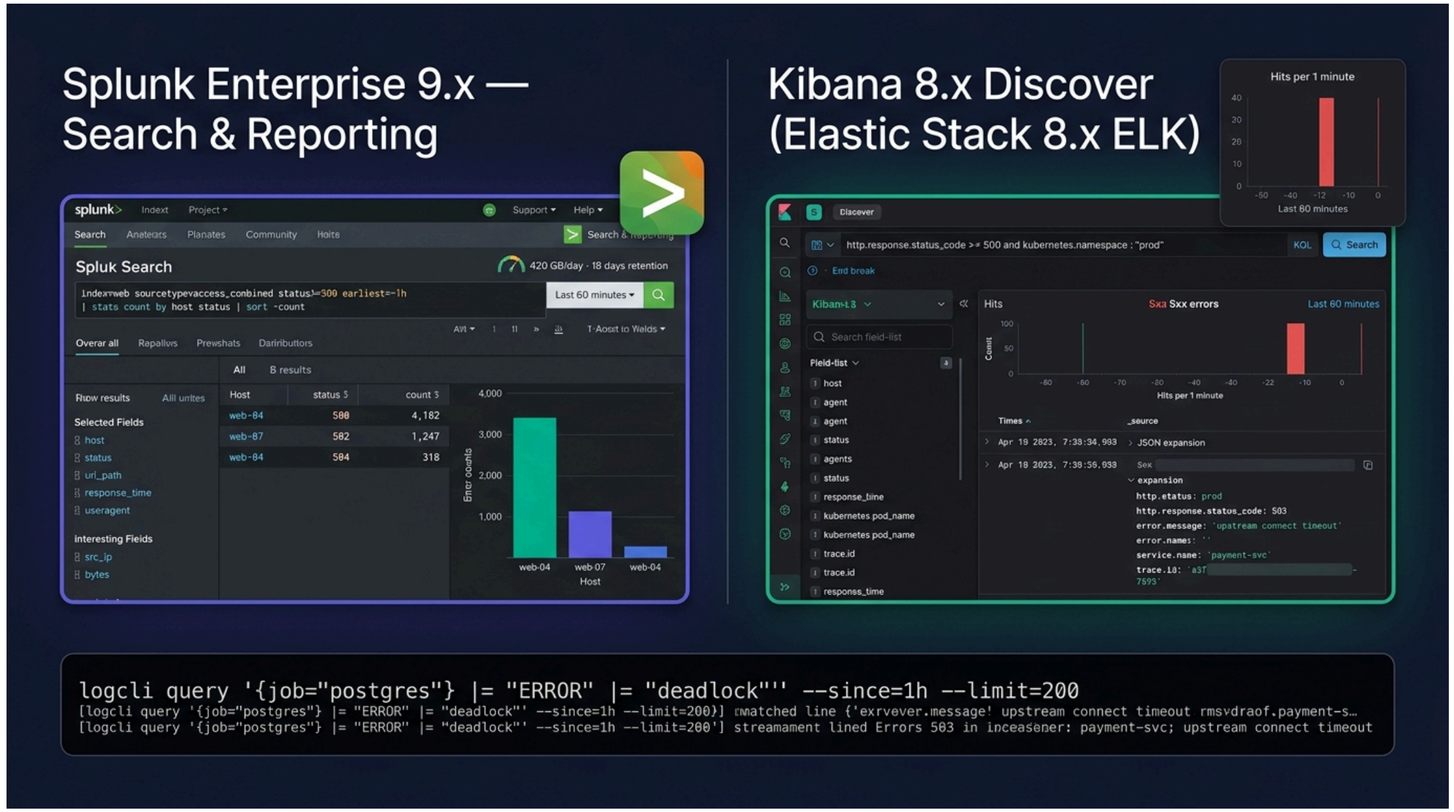
- **Fluentd** — CNCF, Ruby
- **Fluent Bit** — 경량, C
- **Vector** — Rust, 빠름
- **Logstash** — Elastic
- **rsyslog · syslog-ng** — 전통 syslog

🆕 클라우드 네이티브

- **Loki (Grafana)** — Prometheus 스타일 로그, 저렴
- **Tempo (Grafana)** — Trace 통합
- **AWS CloudWatch Logs**
- **GCP Cloud Logging**
- **Azure Monitor Logs**

2026 추세: 비용 부담 큰 ELK·Splunk → **Loki + Grafana** 또는 **Vector + ClickHouse** 이전.

📸 **로그 통합 콘솔 reference** - Splunk Search & Reporting — splunk.com/en_us/products/splunk-enterprise.html - Kibana Discover — elastic.co/kibana - Grafana Loki + Explore — grafana.com/oss/loki - Graylog — graylog.org - Datadog Logs Explorer — docs.datadoghq.com/logs



로그 통합 — ELK · Splunk · Loki · Fluentd

메트릭 — *Prometheus · Grafana · InfluxDB · Thanos*

📊 Prometheus 생태계

- **Prometheus** — CNCF, Pull 방식 표준
- **Node Exporter** — 시스템 메트릭
- **cAdvisor** — 컨테이너
- **Pushgateway** — 배치 작업
- **Alertmanager** — 알람 라우팅·중복 제거
- **PromQL** — 표준 쿼리 언어

📊 장기 저장·확장

- **Thanos** — 멀티 클러스터·장기 저장
- **Cortex** — 멀티 테넌시·장기 저장
- **Mimir (Grafana)** — Cortex 후속
- **VictoriaMetrics** — 고성능 대안
- **M3DB (Uber)** — 대규모 분산

📊 시계열 DB (TSDB)

- **InfluxDB / InfluxDB Cloud**
- **TimescaleDB** — PostgreSQL Extension
- **OpenTSDB** — Hadoop 기반
- **Graphite** — 전통 표준
- **QuestDB** — 신규 고성능

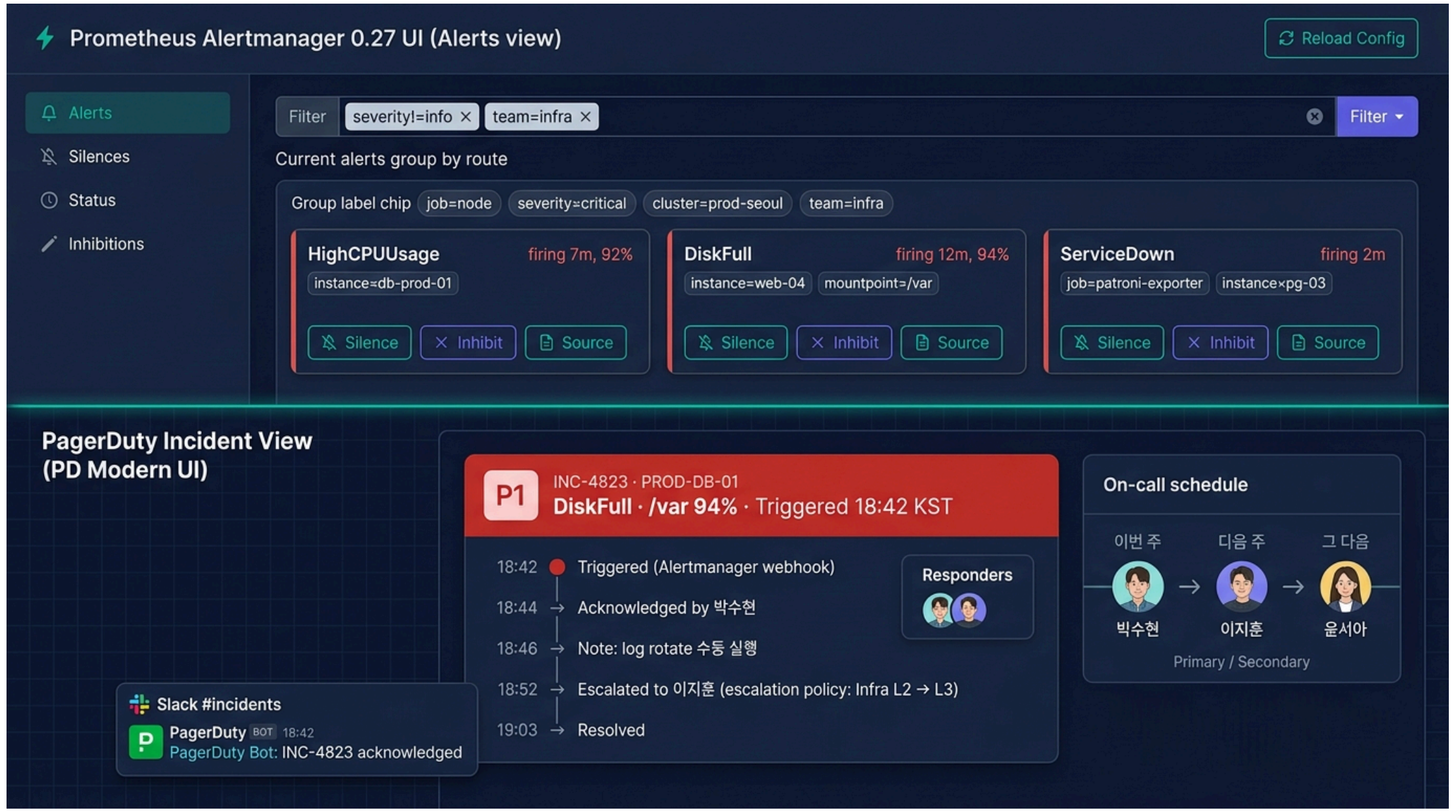
🖼️ 시각화·대시보드

- **Grafana** — 압도적 표준
- **Kibana** — Elastic 통합
- **Chronograf** — InfluxDB 통합
- **Datadog 대시보드**

🎙️ TA의 결정

- **표준 조합** — Prometheus + Grafana + Alertmanager
- **장기 보관** — Thanos · VictoriaMetrics
- **상용 SaaS** — Datadog · New Relic

📸 **메트릭·알람·APM 대시보드 reference** - Grafana 공식 dashboards — grafana.com/grafana/dashboards - Prometheus Alertmanager UI — prometheus.io/docs/alerting/latest/alertmanager - PagerDuty Incident Console — pagerduty.com/platform/incident-management - Datadog APM Service Map — docs.datadoghq.com/tracing/services/service_map - Dynatrace Smartscape (Davis AI) — dynatrace.com/platform - New Relic One — newrelic.com/platform - VictoriaMetrics — victoriametrics.com



메트릭 — Prometheus · Grafana · InfluxDB · Thanos

알람·On-Call — *PagerDuty · OpsGenie · 알람 피로*

🚨 알람 도구

- **PagerDuty** — 글로벌 표준, on-call 로테이션
- **OpsGenie (Atlassian)** — Jira 통합
- **Splunk On-Call (구 VictorOps)**
- **Squadcast · Better Stack · Grafana OnCall**
- **Slack·Teams·Webhook** — 가벼운 통보
- **카카오톡·SMS·전화** — 한국 NOC 운영

🔁 라우팅·중복 제거

- **Alertmanager (Prometheus)** — Group·Inhibit·Silence
- **PagerDuty Event Rules**
- **에스컬레이션 정책** — 5분 미응답 → 다음 사람

😴 알람 피로 (Alert Fatigue)

- 알람이 너무 많으면 **무시·번아웃**
- 진짜 장애 알람 놓침
- **사라져야 할 알람**:
- 자동 회복하는 일시 장애
- 임계치 너무 낮음
- 중복·반복
- 실행 불가 (Actionable 아님)

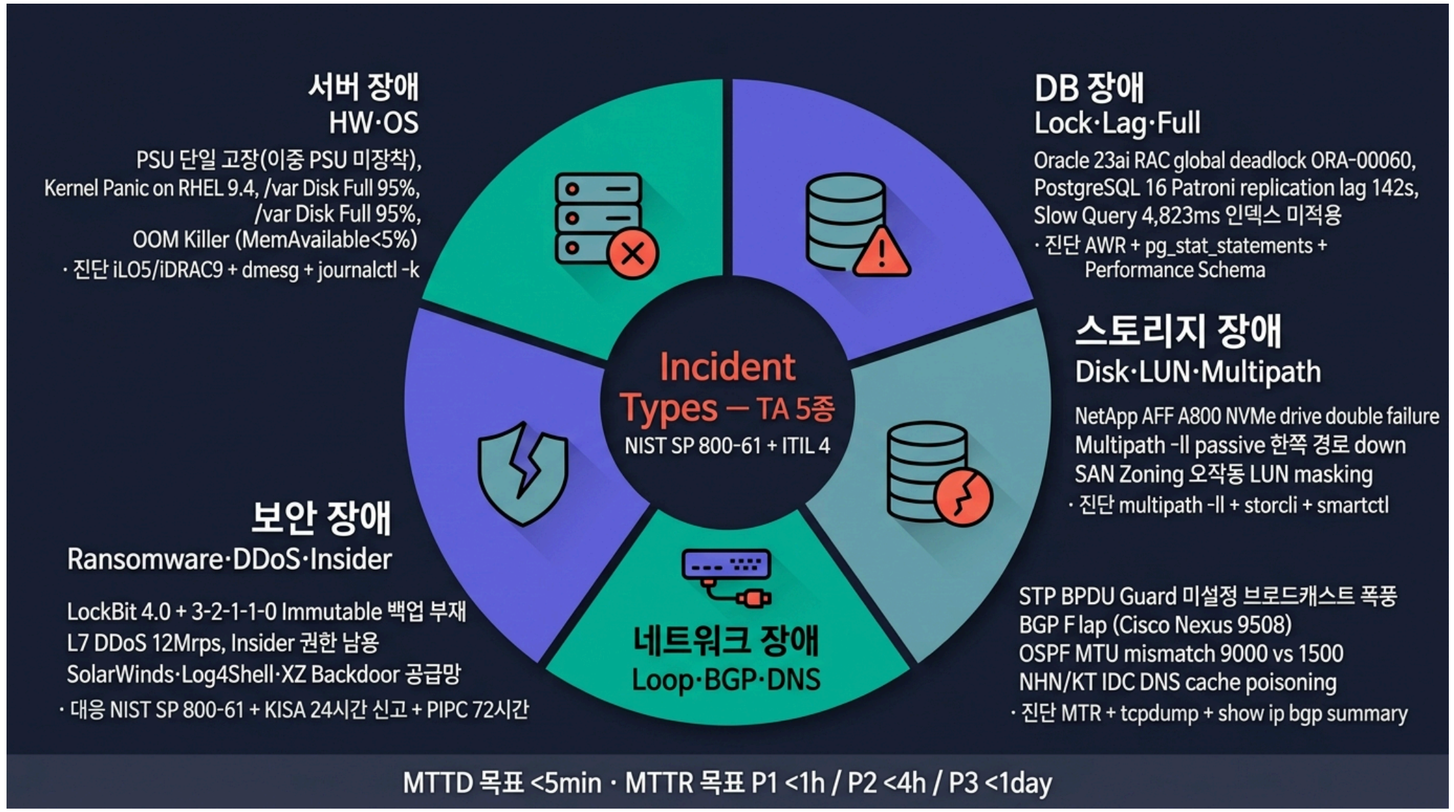
🎯 알람 설계 원칙

- **Actionable** — 받은 사람이 행동 가능
- **사람 알람 + 자동 복구** 분리
- **SLO 기반** — Error Budget 소진 시 알람
- **심각도별 라우팅** — P1 즉시·P3 다음날

PART F

장애 시나리오·대응 — *5종 장애 · 5단계 절차 · RCA 5기법*

> 모든 시스템은 결국 망가진다. **얼마나 빨리 회복하고 배우는가**가 TA의 진짜 실력.



장애 5종 wheel (삽화)

서버 장애 — *HW · OS · 메모리 · 디스크*

🔥 HW 장애

- **PSU (Power Supply)** — 전원 끊김, 이중 PSU 필수
- **Fan 고장** — 발열 → 자동 정지
- **메모리 ECC 정정** — 경고 → 교체 예고
- **메모리 Uncorrectable** — 즉시 정지
- **CPU 손상** — 매우 드뭄
- **디스크 SMART 경고** — 사전 교체 (예방 정비)
- **NIC/HBA 고장** — Bonding/Multipath로 회피

🛡️ OS 장애

- **Kernel Panic** (Linux) — 커널 충돌, 자동 재부팅
- **BSOD** (Windows) — Blue Screen
- **메모리 누수** — OOM Killer 발동
- **디스크 풀 (/var·/tmp)** — 로그 폭증
- **Zombie/Defunct 프로세스 폭증**

🔍 진단 시퀀스

1. **iLO/iDRAC 콘솔** 접근 — HW 상태 확인
2. **SEL (System Event Log)** — HW 이벤트
3. **dmesg / journalctl -k** — 커널 메시지
4. **/var/log/messages·syslog** — 시스템 로그
5. **top·iostat·vmstat** — 자원 상태
6. **df -h·du** — 디스크 사용량
7. **SMART (smartctl)** — 디스크 건강

📋 사전 예방

- **iLO/iDRAC 알람** → NMS·SIEM 연동
- **디스크 SMART 임계** 자동 발주
- **메모리 ECC 카운터** 임계 알람
- **디스크 사용률 80% 알람**
- **세션 누수 모니터링**

DB 장애 — *Lock · Slow Query · Replication Lag*

🚨 흔한 DB 장애

- **테이블 락 (Deadlock·Lock Wait)** — 트랜잭션 충돌
- **Slow Query** — 인덱스 누락·통계 오래됨
- **Replication Lag** — Standby 뒤처짐
- **Standby 깨짐** — 복제 끊김
- **TEMP·UNDO 풀** — 대용량 정렬·트랜잭션
- **Connection Pool 고갈** — 연결 누수·과다 요청
- **Disk Full** — 로그·아카이브 미회수
- **Statistics Stale** — 옵티마이저 오판
- **Index Bloat** — 재구성 필요

🛠️ 진단 도구

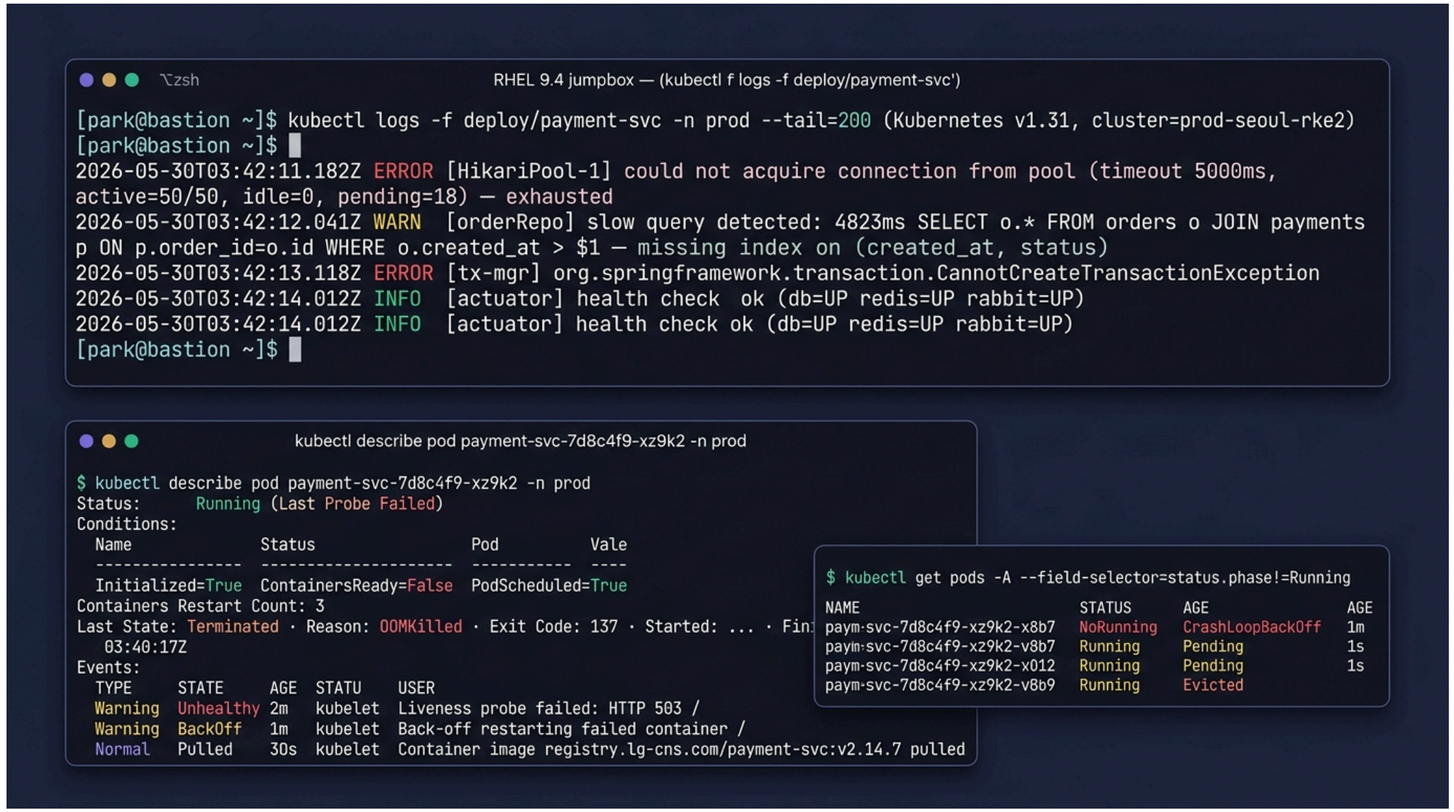
- **AWR / Statspack** (Oracle)
- **pg_stat_statements** (PostgreSQL)
- **Performance Schema** (MySQL)
- **DMV** (MSSQL)

🚑 대응 절차

1. **활성 세션** — `v$session·pg_stat_activity·sp_who2`
2. **Lock 분석** — Holder vs Waiter
3. **Slow Query** — TOP-N 쿼리·실행 계획
4. **Replication Status** — Lag·last_replay_time
5. **Resource** — CPU·IO·메모리
6. **즉시 조치** — Lock Holder Kill·Standby 재구성
7. **사후** — 인덱스 추가·통계 갱신·튜닝

📋 예방

- **Slow Query 알람** — > 3초 알람
- **Lock Wait 임계** — 30초 알람
- **Replication Lag 임계** — 60초 알람
- **Connection Pool 사용률 80%** 알람



DB 장애 — Lock · Slow Query · Replication Lag

스토리지 장애 — *Disk · LUN · Multipath · Snapshot*

💾 흔한 스토리지 장애

- **디스크 단일 고장** — RAID로 회피, 재구성
- **다중 디스크 고장** — RAID 6도 위험
- **LUN Masking 오류** — 호스트 접근 차단
- **WWN 변경 미반영** — HBA 교체 후
- **Multipath 실패** — 한쪽 경로만 사용 → 성능↓
- **Zoning 오류** — SAN 패브릭 격리
- **Snapshot Full** — Snapshot 영역 포화
- **Replication 끊김** — Primary-Secondary
- **Controller Failover** — 짧은 IO 지연

🛠️ 진단 도구

- **multipath -ll** (Linux)
- **storcli·megacli** (RAID 컨트롤러)
- **smartctl** (디스크 SMART)
- **vendor CLI** — NetApp `sysstat` ·Dell `solutions enabler`

🚑 대응 절차

1. **알람 확인** — NMS·벤더 콘솔
2. **경로 점검** — Multipath 양쪽 활성
3. **RAID 상태** — Degraded·Rebuilding
4. **Snapshot 영역** — 용량·자동 회수
5. **벤더 콜** — H/W 교체 (Hot Spare)
6. **재구성 모니터링** — Rebuild 시간 (시간~일)
7. **사후** — Hot Spare 재배치·정기 점검

📋 예방

- **다중 RAID 1+0·6 + Hot Spare** 설계
- **Multipath 양쪽 정상 알람**
- **Snapshot 영역 80% 알람**
- **Replication Lag 알람**
- **벤더 자동 콜홈 (Phone Home)**

네트워크 장애 — *Loop · BGP · MTU · ARP · DNS*

🌐 흔한 NW 장애

- **케이블 단선** — 물리적·뽑힘
- **STP Loop** — 미설정 포트 → 브로드캐스트 폭풍
- **BGP Flap** — Peer 다운·정책 오류
- **OSPF Adjacency** — 인증·MTU 불일치
- **MTU Mismatch** — Jumbo Frame 부분 적용
- **ARP Storm** — Proxy ARP·Gratuitous ARP
- **DNS 장애** — 외부 DNS·Cache 오염
- **NTP 어긋남** — 인증서·로그 시간 오류
- **DDoS** — 외부 폭주
- **VLAN 누락** — Trunk 미허용
- **Asymmetric Routing** — 응답 경로 불일치

🚑 진단 시퀀스

1. **인터페이스 상태** — `show interface·ethtool`
2. **CDP/LLDP 이웃** — 연결 확인
3. **STP 상태** — Root·Blocked Port
4. **MAC 학습** — `show mac addres6-table`
5. **ARP 캐시** — `arp -an`
6. **라우팅 테이블** — `show ip route`
7. **MTU·DF bit** — `ping -M do -s 8972`
8. **DNS·NTP** — `dig·chronyc·ntpq`
9. **패킷 캡처** — `tcpdump·SPAN`

📋 예방

- **BPDU Guard·Root Guard·Loop Guard**
- **포트 모니터링·LLDP 의무화**
- **DNS 이중화 (Primary + Secondary)**
- **NTP Stratum 1 + Stratum 2 이중화**

보안 장애 — *Ransomware · DDoS · Insider · Supply Chain*

🔐 흔한 보안 장애

- **랜섬웨어** — 파일 암호화·금전 요구
- **DDoS** — 외부 트래픽 폭주
- **내부자 유출** — 권한 남용·실수
- **계정 탈취** — 피싱·비밀번호 재사용
- **공급망 공격** — 3rd party SW 침해 (SolarWinds·Log4Shell·XZ Backdoor)
- **APT** — 장기간 잠복·표적
- **악성 코드** — 트로이·웜·키로거
- **웹쉘 업로드** — 파일 업로드 취약점
- **SQL Injection** — DB 직접 접근

🛠️ 탐지 도구

- **EDR / XDR**
- **SIEM 룰·이상행위**
- **WAF / Anti-DDoS**
- **NDR (Network Detection & Response)**

🚑 인프라 운영 관점 — *감지·격리 2축*

- **감지** — SIEM·EDR·이상 트래픽·NDR 룰 → 자동 알람을 NOC/SOC 통합 채널로
- **격리** — 망 차단(VLAN/ACL)·계정 잠금(IAM)·VM 스냅샷·세션 강제 종료

> 📚 **NIST SP 800-61 6단계 (Preparation·Detection·Containment·Eradication·Recovery·Lessons Learned) 본문은 Session 7 `## 침해사고 대응` 참조** — KISA 72시간 신고 등 한국 절차 포함.

📋 사전 예방

- **Immutable 백업 (3-2-1-1-0)**
- **MFA 의무화**
- **권한 최소화 (PoLP)**
- **공급망 SBOM 관리**
- **모의 침투·취약점 진단 정기**

장애 대응 5단계 — *Detect · Contain · Investigate · Recover · Postmortem*

탐지 → 격리 → 조사 → 복구 → 회고의 **사이클**. 회고에서 도출된 개선이 다음 사이클의 탐지 역량으로 환류된다.

장애 대응 — *단계별 행동 가이드*

① Detection (탐지)

- 알람·로그·고객 신고
- 영향 범위 1차 확인
- 등급 판정 (P1·P2·P3)

② Containment (격리)

- 영향 확산 차단
- 트래픽 차단·계정 정지
- 백업·증거 보존

③ Investigation (조사)

- 원인 분석·재현
- 로그·트레이스·메트릭 협업
- 5 Why·Fishbone

④ Recovery (복구)

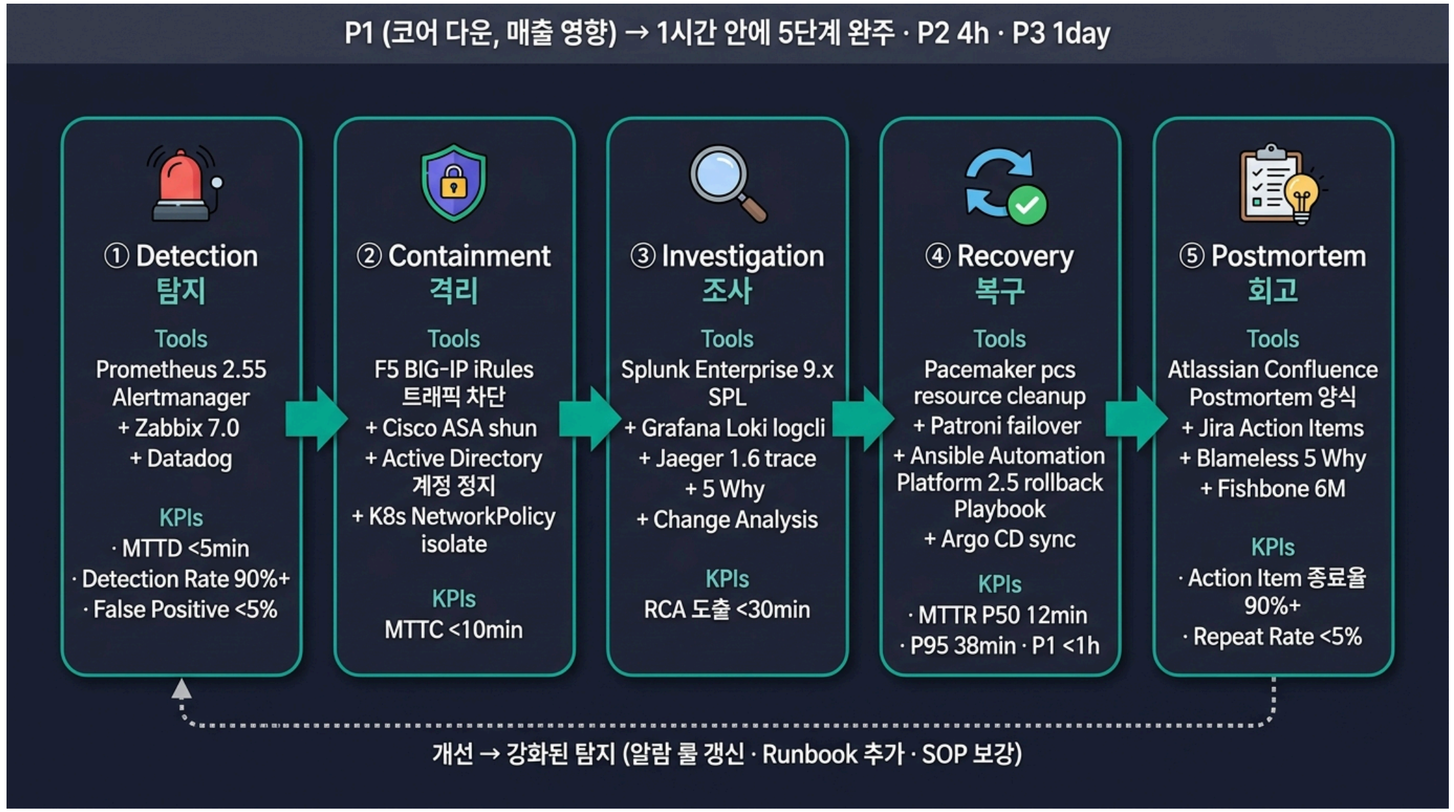
- 정상 상태 복귀
- 데이터 정합성 확인
- 모니터링 강화

⑤ Postmortem (회고)

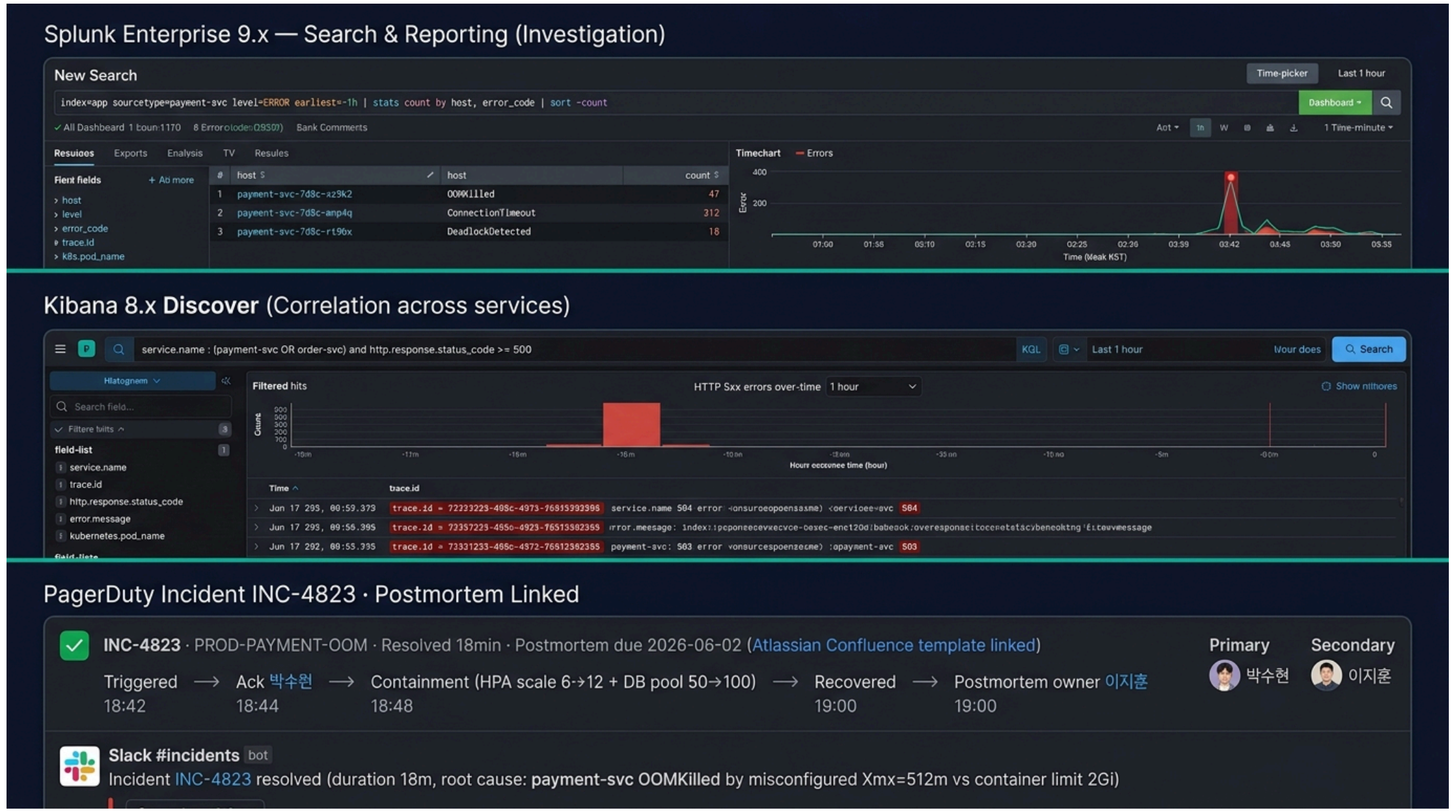
- **Blameless** — 사람 비난 금지, 구조 개선
- 타임라인·원인·교훈
- Action Item 추적
- 개선 사항 → 다음 Detection 강화

🎯 KPI

- **MTTD** (Mean Time To Detect) — 탐지까지
- **MTTR** (Mean Time To Recover) — 복구까지
- **MTBF** — 장애 간 평균
- **MTBI** — 사고 간 평균



장애 대응 5단계 흐름 (삽화)



장애 대응 콘솔 사이클 (삽화)

RCA — *Root Cause Analysis 5기법*

🤔 5 Why

- **왜?를 5번 반복**하여 근본 원인 도달
- 가장 단순·강력
- 예: "사이트 다운 → DB 다운 → 디스크 풀 → 로그 미회수 → 회수 스크립트 미작동 → cron 권한 변경"
- 마지막 Why가 **구조적 원인** = 진짜 RCA

🐟 Fishbone (특성요인도·이시카와)

- 6M (Man·Machine·Material·Method·Measurement·Environment)
- 또는 4P (Policy·Process·People·Plant)
- 시각적 가지치기
- 협업·브레인스토밍에 적합

🌳 Fault Tree Analysis (FTA)

- **Top Event** (장애) → 하위 원인 트리
- AND·OR 게이트로 논리 결합
- 항공·원자력·의료 표준
- 확률 계산까지 가능

📊 Pareto Analysis

- 80/20 법칙 — 20% 원인이 80% 장애
- TOP-N 빈도 분석
- 우선순위 결정

🔄 Change Analysis

- **변경 전후 비교** — "무엇이 바뀌었나?"
- 80% 이상 장애는 **변경 직후** 발생
- 변경관리 (CR·CAB) 기록 필수

> **격언**: "장애 원인의 80%는 직전 변경" — Change Analysis가 가장 빠른 RCA.

장애 KPI — *MTTR · MTBF · Detection Rate*

📊 핵심 KPI

- **MTTD** (Mean Time To Detect) — 발생 → 탐지
- 목표: < 5분 (자동 알람)
- **MTTA** (Mean Time To Acknowledge) — 탐지 → 인지
- 목표: < 5분 (on-call)
- **MTTR** (Mean Time To Recover) — 탐지 → 복구
- 목표: 등급별 (P1 1시간·P2 4시간·P3 1일)
- **MTBF** (Mean Time Between Failures) — 장애 간격
- **MTBI** (Mean Time Between Incidents) — 사고 간격

📈 부가 KPI

- **Detection Rate** — 자동 탐지 비율 (목표 90%+)
- **False Positive Rate** — 오탐 비율 (목표 < 5%)
- **Auto-Remediation Rate** — 자동 복구 비율
- **Repeat Rate** — 동일 원인 재발률
- **SLO 위반 빈도**

🎯 산업 표준 목표

- **공공·금융 코어** — MTTR < 1시간
- **일반 업무** — MTTR < 4시간
- **저관심 시스템** — MTTR < 1일

PART G

IaC · SRE · 자동화 — *반복 가능한 운영*

> 한 번 손으로 한 작업은 두 번부터 자동화한다 — **Toil은 SRE의 적**.

IaC — *Infrastructure as Code · 왜 필요한가*

💡 IaC가 해결하는 문제

- **수동 설정 → 환경 차이 (Snowflake)**
- **재현 불가 → 장애 시 복구 어려움**
- **기록 없음 → 변경 추적 불가**
- **인력 의존 → 속인화·휴가 시 정지**
- **확장 한계 → 노드 추가 시 시간 소요**

🎯 IaC 핵심 원칙

- **선언적 (Declarative)** — "어떤 상태인지" 선언
- **버전 관리 (Git)** — 변경 추적·롤백
- **멱등성 (Idempotent)** — 여러 번 실행해도 같은 결과
- **자동화 (CI/CD)** — 사람 개입 최소

📊 도구 분류

- **구성 관리** — 기존 서버 설정 (Ansible·Puppet·Chef·SaltStack)
- **프로비저닝** — 신규 자원 생성 (Terraform·Pulumi·CloudFormation)
- **컨테이너 오케스트레이션** — K8s·Helm·Kustomize
- **GitOps** — Argo CD·Flux

⚠️ IaC 함정

- **State 파일 충돌** — Terraform state lock 필수
- **Secrets 관리** — Git에 평문 금지 (Vault·SOPS)
- **Drift** — 손으로 변경 → IaC와 불일치
- **테스트 부족** — IaC도 코드, 테스트 필요

구성 관리 — *Ansible · Puppet · Chef · SaltStack 비교*

🛠️ 4대 도구 비교

도구	언어	Agent	학습
Ansible	YAML	**Agentless (SSH)**	**쉬움**
Puppet	DSL	Agent	중간
Chef	Ruby DSL	Agent	어려움
SaltStack	YAML	Agent (ZeroMQ)	중간

🎯 한국 SI 표준

- **Ansible** — 압도적 1위 (Agentless 편의)
- **Puppet** — 글로벌 엔터프라이즈 잔존
- **Chef** — 게임·웹 일부
- **SaltStack** — 대규모 분산 일부

⚠️ 도구 선택 기준

- 1000+ 노드 → Pull 모델 (Puppet·Salt) 유리
- 비동기 작업 → 별도 Job 큐 필요
- 신규 도입 → Ansible 우선

🏆 Ansible (Red Hat) — *깊이 + 사용 사례*

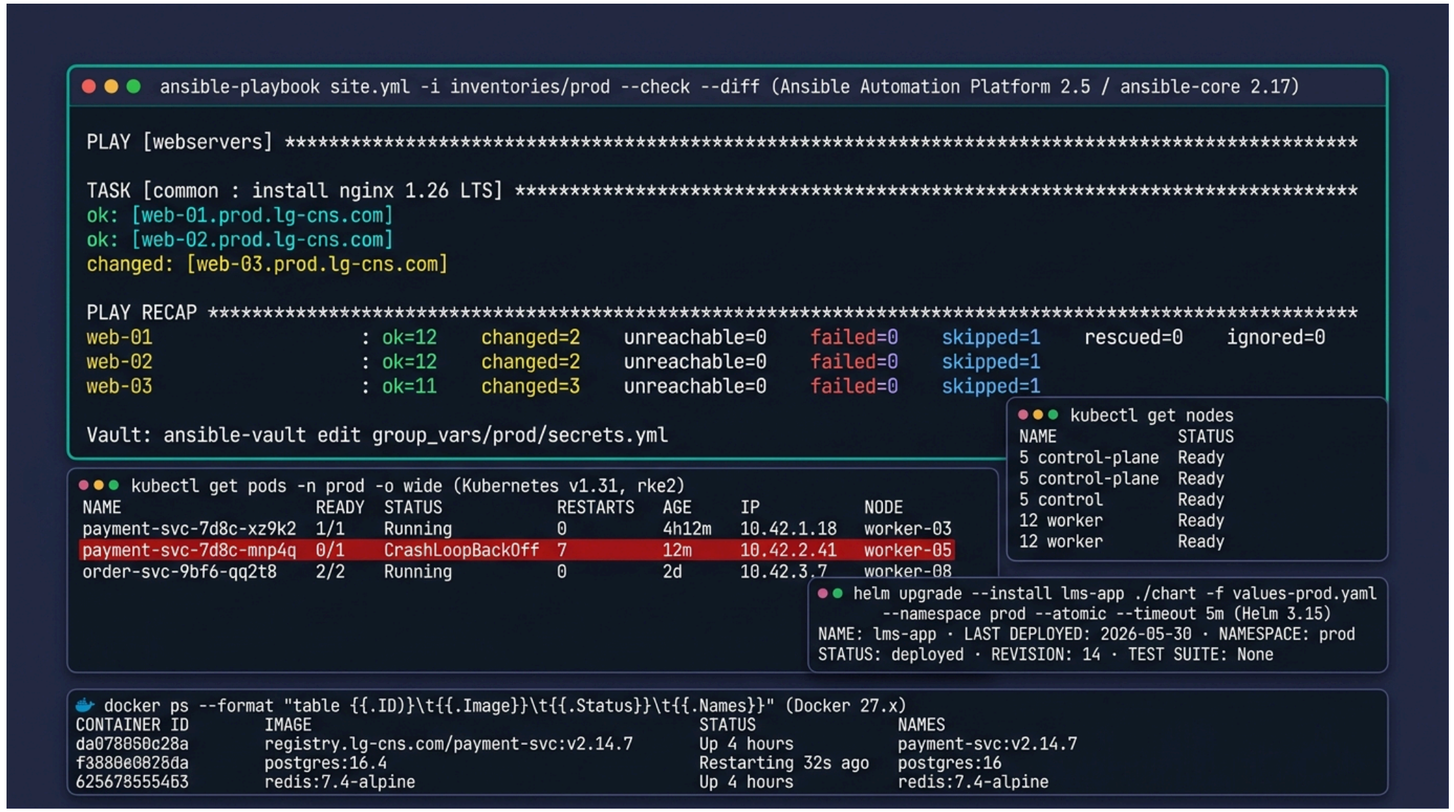
🏆 Ansible 핵심 개념

- **Agentless** — SSH만 있으면 동작
- **Playbook** — YAML 선언적 정의
- **Inventory** — 호스트 그룹 관리
- **Module 풍부** (3,000+)
- **Roles** — 재사용 표준화
- **Ansible Vault** — 비밀 암호화
- **AWX / Tower / AAP** — Red Hat Web UI

📋 한국 SI 운영 사용 사례

- **OS 표준화** — 초기 설정·정기 패치
- **App 배포** — 멀티 노드 동시 배포
- **DB 스키마 변경** — 정형 작업 자동화
- **NW 장비 설정** — Cisco·Juniper 모듈
- **컴플라이언스 체크** — CIS Benchmark
- **장애 대응 Runbook** — Playbook으로 코드화

📸 **Ansible·kubectl·Helm·docker CLI / 콘솔 reference** - Ansible 공식 문서 — docs.ansible.com - Red Hat Ansible Automation Platform (구 Tower) / AWX — ansible.com/products/automation-platform - kubectl Cheat Sheet — kubernetes.io/docs/reference/kubectl/cheatsheet (`kubectl get pods · kubectl describe pod · kubectl logs -f`) - Helm — helm.sh (`helm install · helm upgrade · helm list`) - Docker / Docker Compose — docs.docker.com (`docker ps · docker-compose up`) - Rundeck Runbook UI — rundeck.com



구성 관리 — Ansible · Puppet · Chef · SaltStack

프로비저닝 — *Terraform · Pulumi · CloudFormation*

🌍 Terraform (HashiCorp → IBM)

- **HCL** (HashiCorp Configuration Language)
- **Multi-Cloud** — AWS·Azure·GCP·NCP·VMware
- **State 파일** — 원격 백엔드 (S3·GCS·Consul)
- **Module** — 재사용
- **2023 라이센스 변경** (BSL) → **OpenTofu 포크**

🐍 Pulumi

- **실제 프로그래밍 언어** (Python·TS·Go·.NET)
- 로직·조건문 자유로움
- 학습 곡선 가파름

☁️ 클라우드 네이티브

- **AWS CloudFormation** — JSON/YAML
- **AWS CDK** — 코드 기반 (TS·Python)
- **Azure ARM / Bicep** — JSON DSL
- **GCP Deployment Manager**

🔀 Crossplane (CNCF)

- **K8s 네이티브 IaC**
- CRD로 클라우드 자원 관리
- K8s + Multi-Cloud 통합

🆕 OpenTofu (Linux Foundation)

- Terraform 1.5 포크
- MPL 라이센스 유지
- 2024+ 채택 증가

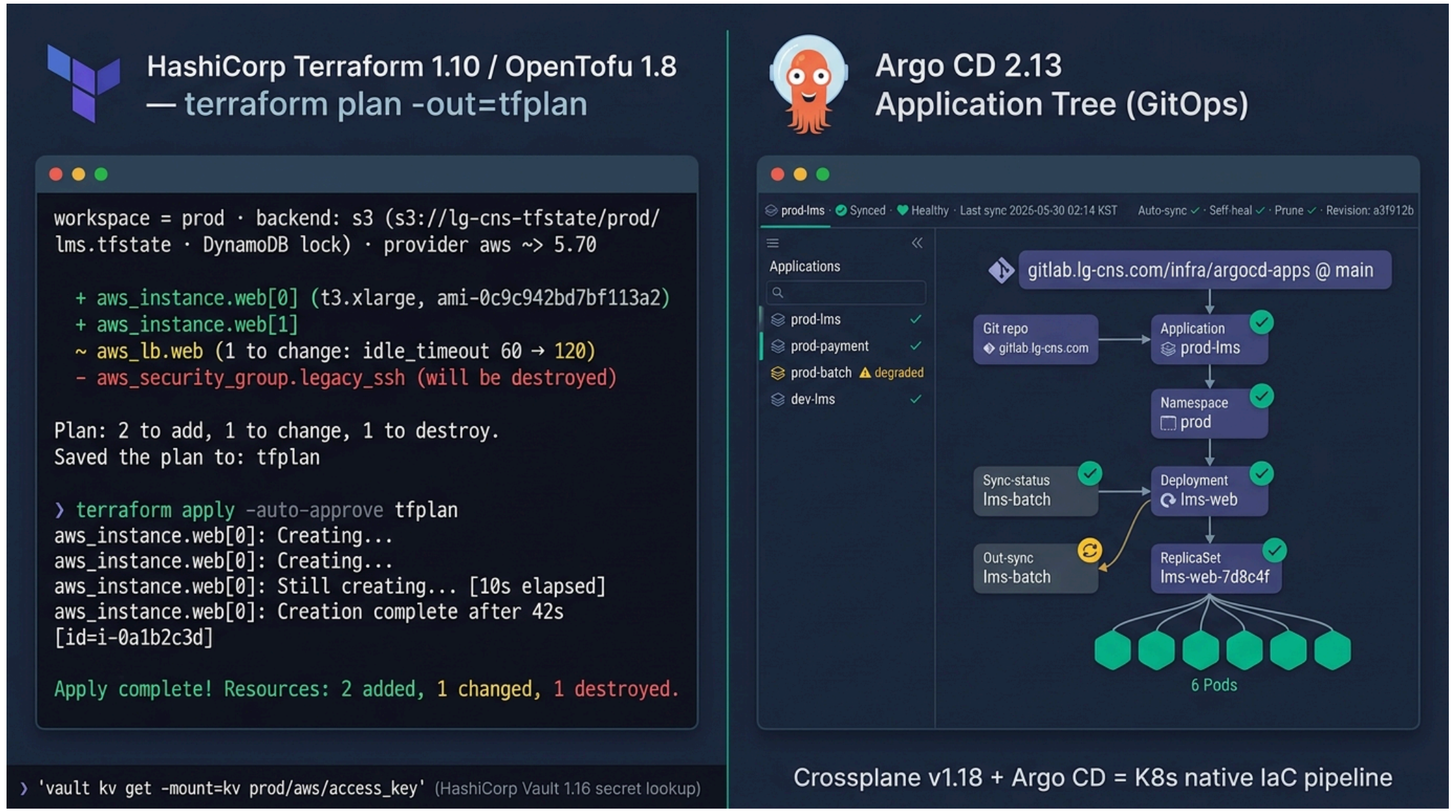
🎯 한국 환경

- **공공·하이브리드** — Terraform + Ansible 조합
- **단일 클라우드** — 네이티브 도구 (CloudFormation·Bicep)
- **K8s 중심** — Crossplane·Argo CD

📋 사용 패턴

- **Terraform** → VM·NW·스토리지 프로비저닝
- **Ansible** → OS 설정·App 배포
- **Argo CD** → K8s 매니페스트 GitOps

📸 **IaC·GitOps 콘솔 reference** - Terraform / OpenTofu CLI — developer.hashicorp.com/terraform/cli · opentofu.org (`terraform plan · terraform apply -auto-approve`) - HashiCorp Terraform Cloud UI — app.terraform.io - Argo CD UI — argo-cd.readthedocs.io - Flux CD — fluxcd.io - Spinnaker — spinnaker.io - HashiCorp Vault UI (시크릿 관리 참조) — vaultproject.io



프로비저닝 — Terraform · Pulumi · CloudFormation

CI/CD — *Jenkins · GitLab · GitHub Actions · Argo CD*

🔄 CI (Continuous Integration)

- **Jenkins** — 가장 흔한 표준, 플러그인 풍부, 복잡
- **GitLab CI** — GitLab 통합, YAML
- **GitHub Actions** — GitHub 통합, Marketplace 풍부
- **Tekton (CNCF)** — K8s 네이티브
- **Drone CI** — 컨테이너 네이티브
- **CircleCI · Travis CI** — SaaS

🚀 CD (Continuous Deployment)

- **Argo CD** — K8s GitOps 표준
- **Flux** — K8s GitOps (CNCF)
- **Spinnaker** — 멀티 클라우드 (Netflix·Google)
- **Harness** — 상용 SaaS
- **AWS CodeDeploy / Azure DevOps**

🎯 배포 전략

- **Recreate** — 전체 중지 후 새 버전 (간단·다운타임)
- **Rolling Update** — 점진 교체 (K8s 기본)
- **Blue/Green** — 동시 운영 → 스위치
- **Canary** — 일부 트래픽 → 점진 확대
- **Feature Flag** — 기능 토글 (LaunchDarkly·Unleash)
- **A/B Testing** — 사용자 그룹 분리

🎙️ TA의 관심사

- **무중단 배포** — Rolling·Blue/Green
- **롤백 시간** — < 5분 목표
- **승인 단계** — 운영 환경 수동 승인 (한국 SI)
- **변경관리 (CAB) 연동**

SRE — *Site Reliability Engineering 원칙*

🎯 SRE 핵심 원칙 (Google SRE Book)

1. **신뢰성은 가장 중요한 기능**
2. **SLO 기반 운영** (SLA가 아닌 SLO)
3. **Error Budget** — SLO 여유 = 새 기능 개발 가능
4. **Toil 자동화** — 반복 수작업 50% 이하
5. **Blameless Postmortem**
6. **점진적 변경 + 빠른 롤백**
7. **공유 책임** — 개발 + 운영 공동
8. **자동 복구 + Human-in-the-loop**

🔢 SLI · SLO · SLA

- **SLI** (Indicator) — 측정값 (응답시간·에러율·가용성)
- **SLO** (Objective) — 내부 목표 (99.9%)
- **SLA** (Agreement) — 외부 계약 (99.5%로 더 낮게)

💰 Error Budget

- **Error Budget = 1 - SLO**
- SLO 99.9% → Budget = **0.1% = 월 43분**
- Budget 남음 → **새 기능 배포 OK**
- Budget 소진 → **새 기능 중단**, 신뢰성 작업만
- **개발팀과 운영팀의 공통 언어**

😩 Toil (반복 수작업)

- **수동·반복·자동화 가능·진행성 없는** 작업
- 목표: **50% 이하** (나머지는 개발·개선)
- 예: 수동 배포·수동 알람 처리·수동 사용자 추가
- 자동화 → 코드·도구로 흡수

SRE vs DevOps vs 운영팀 — *어떻게 다른가*

👷 전통 운영팀 (Ops)

- **개발 ↔ 운영 분리**
- 수동 배포·수동 패치
- 알람 받고 대응 (Reactive)
- 변경관리·CAB 중심
- 안정성 중시·변화 회피
- **KPI**: 다운타임·MTTR
- 흔한 한국 SI 형태

🔄 DevOps (문화·실천)

- **개발 + 운영 통합 문화**
- CI/CD·IaC·자동화
- "You build it, you run it"
- 협업·도구 중심
- 빠른 배포·실험
- **KPI**: Deployment Frequency·Lead Time
- 도구가 많이 보이는 형태

🛡️ SRE (직무·역할)

- **신뢰성을 코드로 보장**
- SLO·Error Budget 운영
- Toil 자동화
- 사고 후 Blameless 회고
- 개발자급 코딩 스킬
- **KPI**: SLO·Error Budget·Toil%
- Google·대규모 SaaS 출신

관계: DevOps는 **문화**, SRE는 **그 문화를 구현하는 직무**, 운영팀은 **전통 모델**. SRE = 코드로 운영을 자동화하는 DevOps의 한 형태.

운영 자동화 사례 — *Toil 제거 5가지*

🤖 자동화 적용 영역

1. **사용자 계정 관리** — Self-Service Portal + LDAP
2. **인증서 갱신** — Cert-Manager·Let's Encrypt
3. **백업 검증** — 자동 복구 테스트
4. **OS 패치** — 정기 Ansible Playbook
5. **알람 → 자동 조치** — Runbook 자동화
6. **DB Slow Query 자동 알림 + 인덱스 제안**
7. **디스크 풀 자동 회수** — 로그 압축·이동
8. **Failover 자동화** — Pacemaker·Patroni

🛠️ 자동화 도구

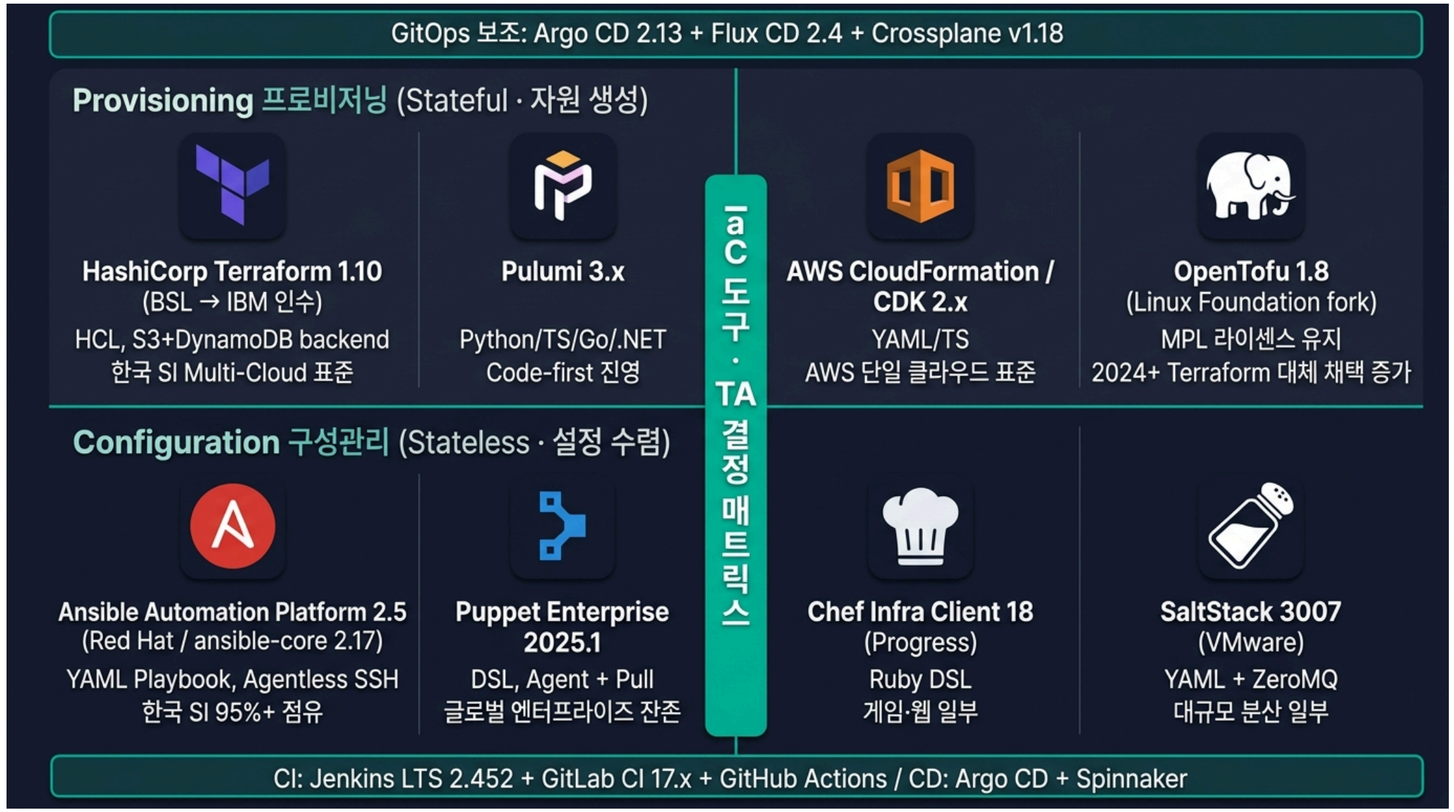
- **Ansible Tower / AWX** — 작업 스케줄링
- **Rundeck** — Runbook 자동화
- **StackStorm** — 이벤트 기반 자동화
- **n8n / Zapier** — 워크플로 자동화

📊 자동화 ROI 계산

- **Toil 시간** — 작업당 시간 × 빈도 × 인원
- **자동화 비용** — 개발 시간 + 유지
- **ROI** — Toil 절감 ÷ 자동화 비용
- 손익분기 < 12개월 → **자동화 OK**

🎯 자동화 우선순위

1. **고빈도·고리스크** — 즉시 자동화 (계정·인증서)
2. **고빈도·저리스크** — 점진 자동화 (백업 검증)
3. **저빈도·고리스크** — 절차서 + 훈련 (DR Failover)
4. **저빈도·저리스크** — 그대로 (1년 1회 작업)



IaC 도구 매트릭스 (삽화)

PART H

산출물·결정·정리 — *TA가 결정해야 할 12가지*

> 이 세션이 끝나면 TA는 **12개 결정 포인트와 6대 산출물**을 정리해 두어야 한다.

TA의 12 결정 — *HA · 운영 설계에서*

🎯 HA·SLA 결정

1. **시스템 등급** — BIA 기반 SLA 매기기
2. **HA 패턴 선택** — N+1·2N·Active-Active
3. **DR 모드** — Cold·Pilot Light·Warm·Hot
4. **DR 거리** — 동기 가능 여부 (100km)

📐 용량·자원 결정

5. **TPS 가정값** — 사고시간 표준
6. **CPU 마진 비율** — 평균·피크·이벤트
7. **DB 메모리 비율** — 데이터의 30~50%
8. **스토리지 유형** — Block·File·Object·Tape

🔬 관찰성·운영 결정

9. **관찰성 스택** — Prometheus·Datadog·Splunk
10. **알람 정책** — Actionable·SLO 기반
11. **장애 대응 등급** — P1~P4·에스컬레이션
12. **자동화 우선순위** — Toil ROI 계산

📋 산출물 6종

1. **HA 매트릭스** — 패턴별 비용·가용성
2. **SLA 정의서** — 가용성·페널티
3. **용량 산정서** — 5단계 + 가정값
4. **관찰성 설계서** — 3축 + 도구
5. **장애 대응 SOP** — 5단계·등급·통신
6. **자동화 계획서** — Toil 분석·로드맵

산출물 템플릿 — *6대 문서 구조*

📊 1. HA 매트릭스

시스템	등급	HA 패턴	DR	SLA
결제 코어	1	2N+1	Hot	99.99%
LMS	2	Active-Active	Warm	99.9%
내부 위키	4	단일	Backup	99%

📊 2. SLA 정의서

- 가용성 목표·측정 방법
- 페널티 단계
- 제외 조항 (점검·재해)

📐 3. 용량 산정서

- 1장. 입력값·가정값
- 2장. 5단계 산출
- 3장. CPU·Mem·IOPS·NW 표
- 4장. 마진 적용
- 5장. 검증 결과
- 6장. BOM·라이센스

🔬 4. 관찰성 설계서

- Metrics 스택·메트릭 목록
- Logs 스택·보관 정책
- Traces 스택·샘플링
- 알람 매트릭스

🚨 5. 장애 대응 SOP

- 등급 정의 (P1~P4)
- 에스컬레이션 매트릭스
- 5단계 절차
- 통신 템플릿
- Postmortem 양식

🤖 6. 자동화 계획서

- Toil 분석 (현황)
- 우선순위 매트릭스
- 도구 선정
- 로드맵 (분기별)
- ROI 계산

부록 — *핵심 용어 정리*

HA·SLA

- **HA** — High Availability
- **DR** — Disaster Recovery
- **SLA** — Service Level Agreement
- **SLO** — Service Level Objective
- **SLI** — Service Level Indicator
- **MTBF** — Mean Time Between Failures
- **MTTR** — Mean Time To Recover
- **MTTD** — Mean Time To Detect
- **RPO** — Recovery Point Objective
- **RTO** — Recovery Time Objective

클러스터링

- **RAC** — Real Application Cluster
- **AG** — Always On Availability Group
- **VCS** — Veritas Cluster Server

용량·성능

- **TPS** — Transactions Per Second
- **IOPS** — Input/Output Per Second
- **MAU·DAU** — Monthly/Daily Active User
- **SPECint** — Standard Perf Eval Corp int
- **TPC-C** — TPC Benchmark C

관찰성

- **NMS** — Network Management System
- **APM** — Application Performance Monitoring
- **SIEM** — Security Info & Event Management
- **OTel** — OpenTelemetry

SRE·IaC

- **SRE** — Site Reliability Engineering
- **IaC** — Infrastructure as Code
- **CI/CD** — Continuous Integration/Delivery
- **CAB** — Change Advisory Board
- **CR** — Change Request

장애·RCA

- **RCA** — Root Cause Analysis
- **FTA** — Fault Tree Analysis
- **NIST SP 800-61** — Incident Handling Guide

도구

- **ELK** — Elasticsearch·Logstash·Kibana
- **EFK** — Elasticsearch·Fluentd·Kibana
- **PLG** — Prometheus·Loki·Grafana
- **GitOps** — Git 기반 운영

한국 SI 단골

- **JEUS·WebtoB·Tibero** — TmaxSoft 3종
- **Pinpoint·Scouter·Jennifer** — APM 3종
- **Zabbix·SolarWinds** — NMS 표준

부록 — *9의 개수별 다운타임 환산표*

가용성	9 개수	연간	분기	월간	주간	일일
90%	1	36.5일	9.13일	3.04일	16.8시간	2.4시간
95%	1.5	18.25일	4.56일	1.52일	8.4시간	1.2시간
99%	2	**3.65일**	21.9시간	**7.2시간**	1.68시간	14.4분
99.5%	2.5	1.83일	10.95시간	3.6시간	50.4분	7.2분
99.9%	3	**8.76시간**	2.19시간	**43.8분**	10.1분	1.44분
99.95%	3.5	4.38시간	1.10시간	21.9분	5.04분	43.2초
99.99%	4	**52.6분**	13.15분	**4.38분**	1.01분	8.64초
99.995%	4.5	26.3분	6.57분	2.19분	30.2초	4.32초
99.999%	5	**5.26분**	1.31분	**26.3초**	6.05초	0.86초
99.9999%	6	**31.5초**	7.88초	2.63초	0.6초	0.09초

TA의 기준값 외우기: 99.9% = **월 43분**·99.99% = **월 4.38분**·99.999% = **월 26초**.

부록 — *용량 산정 체크리스트 (20개 항목)*

✅ 입력값 확보 (1~10)

- [ ] MAU·DAU·동접 산정 기준
- [ ] 사고시간 가정값 (시스템 유형별)
- [ ] 평균 vs 피크 비율 (시간대별)
- [ ] 이벤트 폭증 계수 (수강신청·할인)
- [ ] 응답시간 SLA (평균·p95·p99)
- [ ] 데이터 현재량·일증가율
- [ ] 보관기간·법규 요구
- [ ] HA 등급·DR 모드
- [ ] 라이센스 모델 (Core·Socket·User)
- [ ] 가상화·컨테이너 오버헤드

✅ 산출·검증 (11~20)

- [ ] TPS 산정 (평균·피크·이벤트)
- [ ] CPU 산정 (트랜잭션 ms × 마진)
- [ ] Memory 산정 (WAS·DB·OS)
- [ ] IOPS 산정 (DB·로그·백업)
- [ ] NW 대역 산정 (응용·세션·백업)
- [ ] 스토리지 용량 (운영·백업·DR)
- [ ] 마진 적용 (피크·성장·HA)
- [ ] 부하 테스트 실측
- [ ] 가정값·산정 근거 문서화
- [ ] 1년차 재산정 일정

부록 — *장애 대응 통신 템플릿*

📢 1차 통지 (탐지 5분 이내)

```
[장애 발생] {시스템명} 일부 영향
- 발생 시각: YYYY-MM-DD HH:MM
- 영향 범위: {서비스명·기능}
- 상태: 조사 중
- 다음 업데이트: 30분 후
- 담당자: {이름·연락처}
```

📢 2차 통지 (30분 이내)

```
[장애 업데이트] {시스템명}
- 원인 가설: {1차 가설}
- 임시 조치: {차단·우회}
- 영향: {업무·사용자}
- ETA: 복구 예상 {시각}
- 다음 업데이트: 1시간 후
```

📢 복구 완료 통지

```
[장애 복구] {시스템명}
- 복구 시각: YYYY-MM-DD HH:MM
- 다운타임: {합계}
- 원인: {요약}
- 조치: {요약}
- 사후 분석: Postmortem 작성 중
- 보고서: 1주 이내
```

📢 Postmortem 양식

1. **개요·타임라인**
2. **영향 분석** (사용자·매출)
3. **근본 원인** (RCA)
4. **무엇이 잘 되었나**
5. **무엇이 잘못 되었나**
6. **Action Items** (담당자·기한)
7. **재발 방지 항목**

부록 — *관찰성 알람 매트릭스 표준*

🚨 인프라 알람 (CPU·Mem·Disk·NW)

자원	경고	위험	조치
CPU 5분 평균	70%	85%	부하 분산·증설
Memory	80%	90%	누수 조사
Disk Used	80%	90%	회수·증설
Disk IO Wait	20%	40%	IO 병목 분석
NW 대역	70%	85%	트래픽 분석
NW 패킷 손실	0.1%	1%	NW 진단

🚨 응용·DB 알람

항목	경고	위험	조치
응답시간 p95	1초	3초	APM 트레이스
에러율	0.5%	2%	로그 분석
DB Connection %	70%	90%	Pool 조사·증설
Slow Query	1초	3초	인덱스·튜닝
Replication Lag	30초	60초	복제 점검
GC Pause	1초	3초	JVM 튜닝

부록 — *Ansible·Terraform 미니 예제*

🛠️ Ansible Playbook 예제

```
- name: Install Nginx
  hosts: webservers
  become: yes
  tasks:
    - name: Install Nginx package
      apt:
        name: nginx
        state: present
        update_cache: yes
    - name: Start Nginx service
      service:
        name: nginx
        state: started
        enabled: yes
    - name: Deploy config
      template:
        src: nginx.conf.j2
        dest: /etc/nginx/nginx.conf
      notify: Reload Nginx
  handlers:
    - name: Reload Nginx
      service:
        name: nginx
        state: reloaded
```

🛠️ Terraform 예제 (AWS)

```
provider "aws" {
  region = "ap-northeast-2"
}

resource "aws_instance" "web" {
  count         = 2
  ami           = "ami-0c9c942bd7bf113a2"
  instance_type = "t3.medium"
  tags = {
    Name = "web-${count.index}"
    Env  = "prod"
  }
}

resource "aws_lb" "web" {
  name               = "web-lb"
  load_balancer_type = "application"
  subnets            = var.subnets
  tags = {
    Env = "prod"
  }
}
```

부록 — *Prometheus 알람 룰 예제*

```
groups:
  - name: infrastructure
    interval: 30s
    rules:
      - alert: HighCPUUsage
        expr: 100 - (avg by(instance) (rate(node_cpu_seconds_total{mode="idle"}[5m])) * 100) > 85
        for: 5m
        labels:
          severity: warning
        annotations:
          summary: "High CPU on {{ $labels.instance }}"
          description: "CPU usage is {{ $value }}% (>85%) for 5min"
      - alert: DiskFull
        expr: 100 - ((node_filesystem_avail_bytes / node_filesystem_size_bytes) * 100) > 90
        for: 10m
        labels:
          severity: critical
        annotations:
          summary: "Disk almost full on {{ $labels.instance }}"
      - alert: ServiceDown
        expr: up == 0
        for: 1m
        labels:
          severity: critical
        annotations:
          summary: "Service {{ $labels.job }} is down"
```

부록 — *SLO 정의서 예제*

📋 LMS 강의 시청 서비스 SLO

- **서비스**: 강의 동영상 재생
- **SLI #1 가용성**:
- HTTP 2xx/3xx ÷ 전체 응답
- 측정: Prometheus blackbox_exporter
- **SLO**: 30일 99.9%
- **Error Budget**: 월 43분
- **SLI #2 응답시간**:
- p95 < 2초
- 측정: APM 트레이스
- **SLO**: 30일 95% 요청 충족
- **SLI #3 영상 시작 시간**:
- 첫 프레임 < 3초
- **SLO**: 30일 90%

📊 알람·조치

- **Error Budget 50% 소진** → 경고
- **Error Budget 75% 소진** → 신기능 배포 중단
- **Error Budget 100% 소진** → 신뢰성 작업만
- **연속 5분 5xx > 5%** → P1 알람
- **응답시간 p95 > 5초** → P2 알람

🔄 검토 주기

- **월간**: Error Budget 잔여 검토
- **분기**: SLO 임계값 재조정
- **연간**: SLA 재협상

부록 — *Blameless Postmortem 양식*

```
# Postmortem: [장애 제목] (YYYY-MM-DD)

## 1. 요약
- 장애 시점: YYYY-MM-DD HH:MM ~ HH:MM (총 X분)
- 영향: {서비스·사용자 수·매출 영향}
- 등급: P1·P2·P3
- 책임자: {이름}

## 2. 타임라인
- HH:MM — 알람 발생
- HH:MM — 1차 대응 시작
- HH:MM — 원인 파악
- HH:MM — 임시 조치
- HH:MM — 영구 복구
- HH:MM — 정상화 확인

## 3. 근본 원인 (RCA)
- 직접 원인: {기술적 원인}
- 기여 요인: {프로세스·모니터링·문화}
- 5 Why 결과

## 4. 잘 된 점
- {탐지 빠름·협업 원활 등}

## 5. 잘못된 점
```

> **Blameless 원칙**: "누가 잘못했나" 대신 **"어떤 시스템·프로세스가 이 실수를 가능케 했나"** — 학습 조직의 핵심.

Session 8 최종 정리 — *오늘 정리한 핵심*

5
HA 패턴
N+1·N+M·2N·2N+1·A/A

6
SLA 등급
99~99.9999%

5
클러스터 계층
App·DB·OS·Storage·NW

5
용량 산정 단계
요구→TPS→자원→마진→검증

3
관찰성 축
Metrics·Logs·Traces

5
장애 대응 단계
Detect·Contain·Invest·Recov·Post

12
TA 결정 카탈로그

6
산출물 6대 문서

다섯 축(HA·용량·관찰성·장애·자동화)을 **한 묶음의 운영 시스템**으로 정리했다.

Session 8 종료

무중단 운영 · 정량 산정 · 관찰성 · 신속 복구 · 자동화

HA · 용량 · 관찰성 · 장애 대응 · IaC/SRE — 다섯 축의 운영 시스템

> 다섯 축은 따로가 아니라 한 묶음의 운영 시스템. TA의 12 결정 · 6대 산출물이 모두 정리됐다.