

그림1의 O-RAN 구조에서 나타내는 것과 같이 O-RAN Alliance는 AI 인터페이스를 통해 non-RT RIC과 near-RT RIC 간 정책(Policy) 전달, AI/ML 모델 관리(Model Management), 성능 피드백 교환(Feedback)을 정의한다. 이러한 메시지는 JSON 기반으로 작성되며, 표준 문서에서 구조적 일관성, 필수 필드 존재, 데이터 타입 일치 등을 엄격하게 요구한다. 그러나 실제 운용 환경에서는 메시지 구조 오류, 데이터 불일치, 파라미터 누락 등이 빈번하게 발생할 수 있으며, 이는 RIC 간 정책 적용 실패, 모델 업데이트 지연, 네트워크 불안정성으로 이어질 수 있다. 이러한 문제를 완화하기 위해 O-RAN은 AI Mediator를 정의하였다[3]. AI Mediator는 non-RT RIC과 near-RT RIC 사이의 메시지 교환을 중재하며, 메시지 전달 전후 단계에서 형식적(validity) 검증과 에러 처리를 수행해야 한다. 따라서 AI Mediator의

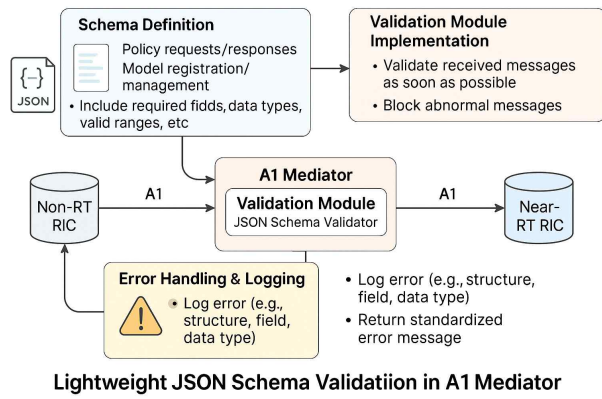


그림 2 A1 인터페이스 메시지 경량 검증 과정

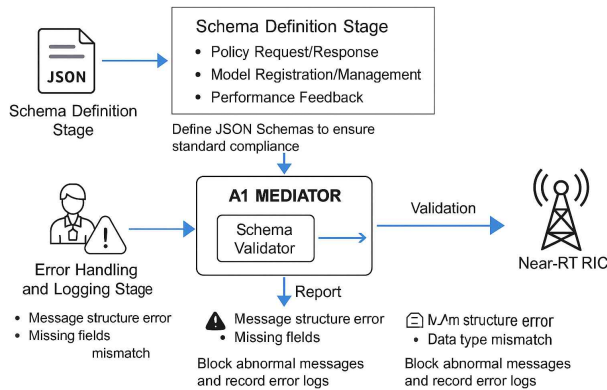


그림 3 A1 Mediator 기반 메시지 실시간 검증 절차
lightweight validation 성능은 O-RAN 전체 신뢰성과 직결된다.

본 연구에서는 A1 Mediator 내에서 메시지를 실시간으로 검증하기 위해 JSON Schema 기반 경량 검증 기법을 설계하였다. 그림2와 3에 나타난 제안 기법의 주요 특징은 다음과 같다. 스키마 정의 단계에서는 O-RAN

표 1 A1 Mediator 기능 비교표

구분	기존 A1 Mediator (O-RAN SC 기본)	JSON Schema 확장 Mediator (제안 기법)
주요 역할	Non-RT RIC ↔ Near-RT RIC 간 메시지 중재 (Policy/EI/Model 전달)	중재 + 메시지 실시간 경량 검증 (Policy/EI/Model 전달)
메시지 포맷	OpenAPI/Swagger 기반 JSON	JSON Schema 기반 상세 정의 (RFC 8259, draft-07 준수)
검증 범위	- 필수 필드 존재 여부- 자료형 불일치(예: string vs int)- REST API 경로 유효성	필수 필드/자료형 검증, 값 범위 제한 (예: latency < 10ms), 필드 간 제약 관계, O-RAN Release별 확장 필드까지 검증
오류 처리	- 잘못된 요청 시 HTTP 400 반환- 상세 오류 정보 부족	메시지 차단 (Near-RT RIC 전달 전), 세부 오류 코드/위치 리포트, 관리자/Non-RT RIC에 표준화된 에러 반환
로그 관리	기본 서버 로그에 단순 기록	상세 로그 (오류 유형, 필드, 값)을 영자용 모니터링/분석 활용 가능
성능 특성	경량 (중재 위주) 검증은 최소 수준	경량 구조 유지추가 연산은 JSON Schema Validator 수준 (낮은 오버헤드)
의의	A1 인터페이스 참조 구현체 (메시지 전달 중심)	Mediator를 Lightweight Validator로 확장 → 표준 준수성 확보 및 신뢰성 강화

A1 표준 명세를 기반으로 정책 요청/응답, 모델 등록/관리, 성능 피드백 메시지에 대한 JSON Schema를 정의한다. 각 메시지 타입별 필수 필드, 데이터 타입, 허용 값 범위를 포함하여 표준 준수 여부를 자동 판별할 수 있도록 설계한다. Mediator 내 검증 모듈 구현 단계에서는 Mediator가 메시지를 수신하면 JSON Schema Validator를 통해 즉시 형식 검증을 수행한다. 비정상 메시지는 near-RT RIC에 전달되기 전에 차단되며, 오류 코드와 함께 관리자 또는 non-RT RIC에 리포트된다. 오류 처리 및 로깅 단계에서는 메시지 구조 오류, 필드 누락, 데이터 타입 불일치가 탐지되면 Mediator는 오류 로그를 기록하고, 표준화된 에러 메시지를 반환하여 빠른 복구가 가능하도록 한다. 표1의 비교를 통해 이 방식은 Mediator가 단순한 메시지 중재를 넘어서, 가벼운 구조의 실시간 검증기(lightweight validator) 역할을 수행하도록 한다는 점을 알 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 O-RAN 아키텍처에서 핵심적인 역할을 수행하는 A1 인터페이스 메시지의 안정성과 신뢰성을 확보하기 위해, A1 Mediator 내 JSON Schema 기반 경량 검증 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 기존 파서 기반 검증 방식의 복잡성과 높은 연산 자원 소모 문제를 해결하면서도, 표준 명세에 부합하는 유효성 검증을 수행할 수 있도록 설계되었다. 이를 통해 O-RAN 환경에서 실시간 정책 전달, 모델 관리, 성능 피드백 과정의 안정성과 효율성을 동시에 달성할 수 있음을 파악할 수 있다. 본 연구의 기여는 다음과 같이 요약된다. O-RAN A1 인터페이스 메시지 구조와 표준 요구사항을 분석하고 Mediator 기반 검증의 필요성을 명확히 하였다. JSON Schema를 활용하여 경량화된 메시지 검증 기법을 설계하고 A1 Mediator에 통합하였다. 향후 연구에서는 본 연구에서 제안한 경량 검증 기법을 확장하여, 메시지의 보안성 검증(예: 위·변조 탐지, 인증 메커니즘 연계) 및 RIC 테스트베드 적용 검증을 수행할 계획이다. 또한, AI/ML 모델 업데이트와 정책 최적화 과정에서 발생하는 동적 요구사항을 반영할 수 있는 적응형(validation-aware) Mediator 아키텍처를 개발하는 것이 향후 과제로 남아 있다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2025년도 정부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2018R1A6A1A03024003, 25%), 이 논문은 과학기술정보통신부 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (IITP-2025-RS-2020-II201612, 25%), 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터사업의 연구결과로 수행되었음(IITP-2025-RS-2024-00438430, 25%). 본 연구는 과학기술정보통신부 및 한국지능정보사회진흥원의 오픈랜 상용망 실증단지 조성 사업의 연구결과로 수행되었음 (25%).

참고 문헌

- [1] M. Polese, L. Bonati, S. D'Oro, S. Basagni and T. Melodia, "Understanding O-RAN: Architecture, Interfaces, Algorithms, Security, and Research Challenges," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 25, no. 2, pp. 1376-1411, 2023.
- [2] 류원재, 권영준, 신희재, 이재민, 김동성, "ORAN 네트워크에서 간섭 및 QoS xApp 간 충돌해결을 위한 심층 강화 학습 활용 RIC 연구," 2024 한국통신학회 추계학술대회, 2024.
- [3] K. Thimmaraju, A. Shaik, S. Flück, P. J. F. Mora, C. Werling, and J.-P. Seifert, "Security testing the O-RAN near-real time RIC & A1 interface," in Proc. 17th ACM Conf. Security Privacy Wireless Mobile Netw., 2024, pp. 277 - 287.