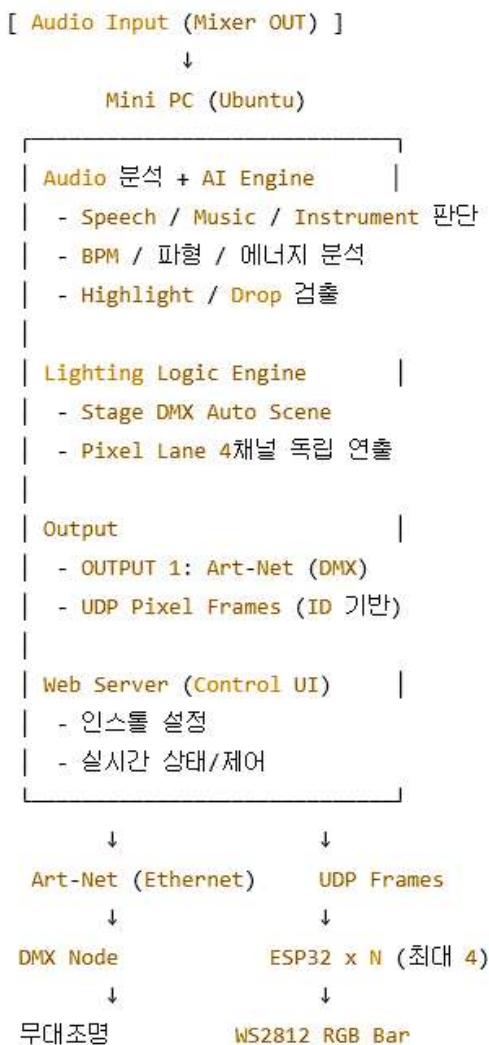


# AI\_Stage\_Lighting\_System\_Design\_Summary

## 1. 시스템 한 줄 정의

본 시스템은 Ubuntu 기반 미니PC 셋탑을 중심으로, 오디오 입력을 분석하여 무대조명(DMX)과 반응형 RGB 픽셀 바를 현장 인스톨 정보 기반으로 자동·실시간 연출하는 무인 공연용 AI 조명 컨트롤 시스템이다.

## 2. 전체 아키텍쳐 개요



### 3. 출력 시스템 구성

OUTPUT 1 – 무대조명 (DMX)

1) 전송 방식: Ethernet / Art-Net

2) 출력 단위: DMX Universe 1개 (512채널)

3) 실제 사용 채널 수: 현장 인스톨에 따라 가변 (예: 62채널)

4) 용도:

- 무대 전체 베이스 조명
- Ambient 연출
- 멘트 시 Dim to Ambient
- 음악 하이라이트 시 확장 연출

☞ 중요 개념

- 조명 개수 ≠ 전송 채널 수
- 항상 \*\*Universe 단위(512채널)\*\*로 송출
- 각 조명은 \*\*자기 DMX 시작 주소(Start Address)\*\*부터 채널 수만큼 읽음

OUTPUT 2~5 – 반응형 RGB 픽셀 바

1) 통신: UDP 네트워크 데이터

2) 노드: ESP32 / Teensy / 전용 픽셀 컨트롤러

3) 최대 채널 수: 4채널

4) 채널당 최대 픽셀 수: 1024 픽셀 프레임: 30fps 고정

5) 채널별 연출: 모두 독립 (미러 금지)

6) 픽셀 채널 개념

- 각 ESP32는 \*\*자기 Node ID(output\_id)\*\*를 가짐
- Mini PC는 프레임 생성 시 output\_id 포함
- ESP32는 자기 ID에 해당하는 데이터만 수신·출력

#### 4. 오디오 기반 AI 분석 구조

##### 1) 입력 오디오

- 믹서 메인 출력 1계통
- 멘트 / 음악 / 악기 단독 / 환경 소리 혼합 가능

##### 2) 분석 항목 (v1)

- RMS (음량)
- 주파수 대역 에너지 (Low / Mid / High)
- Spectral Flux (변화량)
- Onset Density (리듬 밀도)
- BPM / Beat (신뢰도 높을 때만 사용)

##### 3) 상황 인식(Mode)

- SPEECH: 멘트, 안내, MC
- MUSIC (Percussive): EDM, 댄스
- MUSIC (Harmonic): 발라드, 악기 단독, 클래식
- IDLE: 무신호 / 대기

##### 4) 하이라이트 / 드롭

- 특징량 기반 Highlight Score
- 일정 시간 유지 + 히스테리시스
- 하이라이트 시:

무대조명: 밝기/채도 확장

픽셀: 체이스/스파크/대비 강화

☞ v1에서는 추가 학습 불필요

- Pre-trained 모델 + DSP + 파라미터 튜닝
- 필요 시 v2에서 학습/파인튜닝 가능

## 5. 무대조명 인스톨 개념 (매우 중요)

### 1) 조명 주소 개념

- 조명은 \*\*ID가 아니라 DMX 시작 주소(Start Address)\*\*를 가짐
- RGB / RGBW / Dimmer 등 채널 수만큼 연속 채널을 읽

#### 예시

장비	채널수	Start Addr	사용 채널
RGBW 워시 1	4	1	1-4
RGBW 워시 2	4	5	5-8
RGB 바 1	3	41	41-43
디머 1	1	59	59

### 2) 인스톨 UI에서 반드시 필요한 입력

- 장비 타입 (RGB / RGBW / Dimmer 등)
- 채널 모드
- DMX Start Address (필수)
- 무대 위치 (X,Y,Z)
- 그룹 (전면/후면/측면 등)

### 3) UX 원칙

- 주소 자동 계산/추천
- 수동 수정 가능
- 중복/512 초과 시 경고
- DMX 테스트(Identify) 기능 제공

## 6. RGB 픽셀 바 인스톨 개념

### 1) 채널별 입력 정보

- Node ID / IP
- 픽셀 수 (0~1024)
- 픽셀 탑입 / 순서
- 설치 형태:

가로/세로

매트릭스

분절

U/L 형태

☞ 내부적으로 1D 인덱스  $\leftrightarrow$  2D 좌표 매핑 생성

→ 설치 형태에 맞는 자연스러운 연출

## 7. Mini PC 소프트웨어 구성

### 1) OS

- Ubuntu Server 22.04 LTS (권장)
- Headless 운영

### 2) 프로세스 구성

#### 2-1) AI Engine

- 오디오 분석
- 연출 로직
- Art-Net / UDP 송출

#### 2-2) Web Server (FastAPI)

- 설정 UI
- 실시간 상태 모니터링

#### 2-3)(옵션) File Player 제어

### 3) 서비스

- systemd 등록
- 부팅 시 자동 실행

- 장애 시 자동 재시작

## 8. Web UI 역할 (운영 핵심)

### 1) 주요 기능

- 실시간 상태 대시보드
- 모드 강제 전환(자동/수동)
- 무대조명 인스톨 설정
- RGB 픽셀 채널 설정 (최대 4)
- 파일 플레이리스트 관리
- 오디오 민감도/하이라이트 강도 조절

### 2) UX 구조

- 설치 마법사(Install Wizard)
- 현장 세팅 최소 클릭
- 모바일/태블릿 대응

## 9. 운영 원칙 (무인 기준)

- 모든 출력은 Fail-safe
- 네트워크 끊김 → 마지막 프레임 유지 → 서서히 Dim
- Art-Net과 픽셀 네트워크 분리 가능
- 주소/설정 변경은 UI에서만
- 로그/이벤트 기록 필수

## 10. 최종 핵심 요약

### 1) 무대조명

- Universe 1개
- DMX Start Address 기반
- 자동 Ambient 연출

### 2) RGB 픽셀

- 네트워크 기반
- 최대 4채널
- 채널당 1024픽셀 / 30fps
- 완전 독립 연출

### 3) AI

- 학습 없이도 실무 가능
- 하이라이트/드롭 중심

### 4) UI

- 인스톨 정보 입력이 곧 연출의 기준

### 5) 구조

- 현장 친화적
- 확장 가능
- 무인 운영 안정성 중심