

# 프리미엄 차량용 오디오를 위한 고도로 통합된 DSP가 운전 환경을 새롭게 정의하는 방법



**Manisha Agrawal**  
Product Marketing Manager  
Processors



# 이 백서에서는 차량용 오디오 시스템의 진화와 고집적 오디오 DSP(디지털 신호 프로세서)가 고급 차량으로 제한되어 있던 첨단 프리미엄 오디오 기술을 저가형 모델에까지 어떻게 도입하고 있는지 살펴봅니다.

## 한눈에 보기



### 차량용 오디오 시스템의 기본 사항

최신 차량의 오디오 기능, 시간에 따른 발전, 프로세싱 요구 사항에 대해 알아봅니다.

1



### 차량용 오디오 시스템의 진화와 고급 오디오 프로세싱의 필요성

프리미엄 차량용 오디오 시스템을 설계할 때 겪게 되는 과제를 알아봅니다.

2



### 프리미엄 오디오 시스템 설계에 적합한 SoC 아키텍처 선택

프리미엄 오디오 설계를 위한 SoC를 선택할 때 고려해야 할 주요 장치 고려 사항에 대해 읽어봅니다.

3



### TI DSP를 사용한 프리미엄 오디오 시스템 설계

모든 트림 모델에 프리미엄 오디오를 제공하도록 설계된 TI의 AM62D-Q1 및 AM2754-Q1 DSP 프로세서의 기능을 살펴봅니다.

4

## 머리말

출퇴근, 도로 여행, 간단한 심부름 등 그 목적이 무엇이든 차량은 우리의 생활 공간 중 하나로 확장되고 있습니다. 때문에 효과적인 잡음 제거 및 사운드 합성을 포함한 고품질 오디오 시스템 기능은 더 이상 사치가 아니라 꼭 필요한 요소가 되었습니다.

DSP는 이러한 변화의 핵심으로, 맑고 깨끗한 사운드와 몰입형 엔터테인먼트 환경을 제공하여 이동할 때 즐겁고 스

트레스를 받지 않도록 합니다. 이러한 DSP는 DSP 코어와 메모리, 입력/출력 인터페이스, 제어 장치와 같은 추가 구성 요소를 포함한 디지털 신호 처리를 위해 설계된 특화된 SoC(시스템 온 칩)입니다. 모든 종류의 차량에서 프리미엄 오디오 기술을 이용할 수 있게 하려면 이러한 유형의 오디오 시스템을 설계하는 실용적인 접근 방식이 필요합니다.

이 백서에서는 차량용 오디오 시스템의 기본 사항, 시간에 따른 다양한 오디오 기능의 진화, 이러한 기능을 위한 프로세싱 요구 사항, 모든 유형의 차량에서 SoC를 구현할 때의 고려 사항에 대해 설명합니다.

### 차량용 오디오 시스템의 기본 사항

처리 부품과 차량용 오디오 시스템의 설계 추세에 대해 논의하기 전에 차량용 오디오 시스템의 기본 구성 요소를 살펴보겠습니다. 이러한 시스템은 그림 1에 나와 있는 것처럼 헤드 유닛, 외부 증폭기, 스피커의 세 가지 부분으로 구성됩니다.

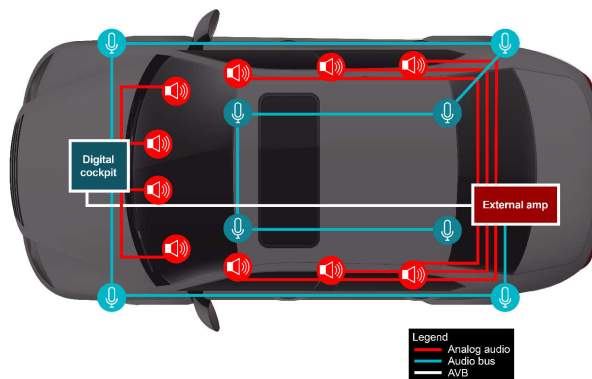


그림 1. 헤드 유닛, 외부 증폭기 및 스피커가 포함된 표준 차량용 오디오 시스템.

헤드 유닛은 인포테인먼트 시스템의 중앙 구성 요소로, 오디오, 내비게이션, 연결 및 사용자 인터페이스 기능을 관리합니다. 헤드 유닛은 스마트폰, 위성 라디오 및 고해상도

라디오와 같은 소스로부터 오디오 신호를 받아 처리한 다음 증폭기로 전송합니다.

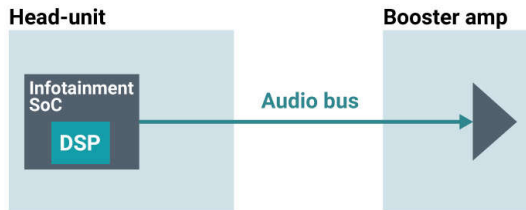
외부 증폭기는 헤드 유닛에서 처리한 오디오 신호를 강화합니다. 소리를 더 깨끗하고 크게 만드는 것입니다. 클래스 D 증폭기는 효율성과 소형 폼 팩터로 인해 최근 몇 년 동안 크게 인기를 얻었습니다.

스피커는 증폭된 신호를 사람이 들을 수 있는 음파로 변환합니다.

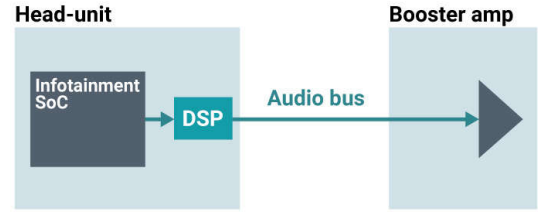
표준 차량용 오디오 시스템도 괜찮은 음질을 가지고 있지만, 오디오 처리용 DSP는 차량에서 음악을 듣는 방식에 혁신을 가져왔습니다. 이러한 DSP는 주파수, 시간 정렬 및 레벨을 미세 조정하여 음질을 향상시킵니다. 또한 DSP는 스피커의 제한 사항과 차량 음향을 보완하여 정밀한 제어를 가능하게 하고 더 균형잡히고 즐거운 청취 환경을 제공합니다.

**그림 2~그림 4**은(는) 차량용 오디오 시스템에 DSP를 배치하기 위한 세 가지 옵션을 보여줍니다.

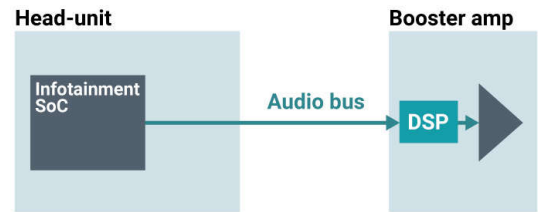
- 헤드 유닛 SoC와 통합.
- 헤드 유닛의 개별 구성 요소로 구현.
- 외부 증폭기의 개별 구성 요소로 하우징.



**그림 2.** 헤드 유닛의 메인 SoC에 통합된 DSP 코어의 간단한 다이어그램.



**그림 3.** 헤드 유닛 내부, 메인 SoC 외부에 배치된 DSP SoC의 간단한 다이어그램.



**그림 4.** 외부 증폭기에 하우징된 DSP SoC의 간단한 다이어그램.

각 옵션에는 장단점이 있습니다. 현재 차량용 오디오 시스템에서 가장 일반적인 DSP 구현은 외부 증폭기에 배치하는 것입니다. 이 접근 방식은 DSP 시스템 설계를 빠르게 진화하는 헤드 유닛 기술에서 분리하는 등 상당한 이점을 제공합니다. 또한 이 옵션은 재사용 가능성과 확장성을 극대화하고, 차량 내 인포테인먼트 ECU(전자 제어 장치) 포트폴리오 전반에서 오디오 시스템의 빠른 발전을 촉진합니다.

### 차량용 오디오 시스템의 진화와 고급 오디오 프로세싱의 필요성

차량용 오디오 시스템은 기본적인 모노 사운드 설정에서 고급 잡음 제거 기술을 갖춘 정교한 3D 오디오 환경까지 놀라운 진화를 이루었습니다. 소비자들이 향상된 엔터테인먼트 옵션, 개인에 맞춤형 편안하고 안전한 운전 환경을 점점 더 많이 요구하게 되면서, 임베디드 프로세서의 기술 발전으로 차량용 오디오 시스템을 발전시킬 수 있게 되었습니다.

여러 오디오 기능 세트의 발전과 소비자의 요구를 충족하는 데 필요한 SoC 기능에 대해 살펴보겠습니다.

### 3D 서라운드 사운드와 더 많은 스피커로 향상된 엔터테인먼트

초기에 차량용 오디오 시스템은 AM 라디오를 위한 단일 스피커 모노 설정을 가지고 있었습니다. 이후에 FM 라디오와 카세트 플레이어가 도입되면서, 두 개의 스피커로 구성된 스테레오 사운드가 차량에 장착되어 청취 환경이 향상되었습니다. 2000년대에는 서라운드 사운드 시스템의 도입으로 상당한 발전을 이루었습니다.

이제 고급 차량에는 첨단 3D 서라운드 사운드 시스템이 장착되어 있어 청취자가 콘서트홀이나 영화관에 있는 것처럼 느낄 수 있는 오디오 환경이 가능해졌습니다. 그러나 이러한 고급 오디오 경험을 위해서는 SoC의 높은 실시간 컴퓨팅 성능이 필요합니다.

3D 서라운드 사운드 또는 공간 오디오를 디코딩하고 렌더링하려면 상당한 프로세싱 기능이 필요합니다. 3차원 사운드 환경을 만들기 위해 첨단 시스템은 오버헤드 스피커를 포함한 여러 스피커를 사용합니다. 사운드 분배 및 맞춤형 오디오 영역과 같은 기능으로 인해 차량의 스피커 수가 32개 이상으로 증가하고 있습니다. 스피커가 추가될 때마다 이퀄라이저 설정, 게인, 크로소버 포인트와 같은 오디오 매개변수의 동적 튜닝을 위한 프로세싱 성능이 더 필요하게 됩니다.

### 능동 잡음 제거 기능을 갖춘 더 조용한 실내

더 조용한 실내와 같은 사용자의 편안함도 차량용 오디오 시스템을 진화시키는 주요 이유였습니다. 처음에는 고무 매트나 폼과 같은 방음 물질로 엔진, 도로 또는 기타 소음원에서 발생하는 원치 않는 소리를 흡수했습니다. 그러나 이러한 수동적 방법은 특히 저주파 소음을 처리할 때 한계가 있었고 차량이 무거워졌습니다.

현저히 발전한 ANC(능동 잡음 제거)는 마이크를 사용하여 주변 소음을 감지하고 반대 위상의 음파를 생성하여 소음을 제거합니다. **그림 5**에서 볼 수 있는 것처럼 ANC는 보다 조용하고 편안한 승차 경험을 제공하며, 엔진 소음이 없어도 도로 소음이 더 크게 들리는 전기 및 하이브리드 차량에서 매우 중요한 것으로 입증되었습니다.

RNC(도로 잡음 제거)와 같은 복잡한 ANC 알고리즘을 처리하려면 대기 시간이 매우 짧은 고성능 실시간 컴퓨팅이 필요하며, 이를 통해 잡음 제거의 효과를 줄일 수 있습니다.

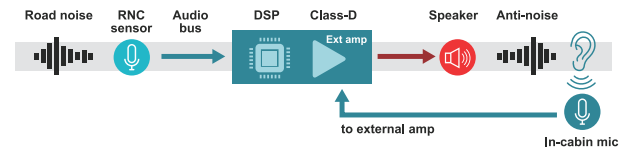


그림 5. 임베디드 프로세서에 기반을 둔 ANC 신호 체인.

### ICC 시스템을 사용한 승객들 간의 선명한 대화.

ICC(차량 내 통신) 시스템은 차량 내, 특히 더 큰 공간이나 소음이 심한 환경에서 더 쉽고 선명한 대화가 가능하게 합니다. ICC 시스템은 전략적으로 배치된 마이크와 첨단 DSP를 사용하여 음성을 포착하고 증폭시켜 승객이 목소리를 높이거나 머리를 돌리지 않고도 쉽게 대화할 수 있도록 합니다. 이 기술은 전반적인 여행 경험을 향상시킬 뿐 아니라 운전자가 도로에 집중할 수 있도록 하여 주행 안전도 강화합니다. RNC와 마찬가지로 ICC 기능은 말하고 있는 승객의 목소리 울림을 방지하기 위해 대기 시간이 매우 짧은 프로세싱이 필요합니다.

### 사운드 합성 및 알림으로 안전성 향상

하이브리드 및 전기 자동차의 경우 가까운 곳에서도 소음이 적기 때문에, 오디오 시스템에는 음향 AVAS(차량 경고 시스템)를 위한 ESS(엔진 사운드 합성)와 같은 기능이 필요합니다. 하이브리드 및 전기 자동차 제조업체는 안전 규정을 준수해야 하며, 오디오 시스템을 통해 보행자에게 차량의 존재를 알리기 위해 인공음향을 출력해야 합니다. 기능 안전의 향후 통합은 ASIL(Automotive Safety Integrity Level) A 또는 국제 표준화 기구 26262의 ASIL B 위험 분류입니다.

차량 내부의 차임벨과 경보도 간단한 신호음에서 시작하여 이제는 운전자와 승객에게 안전 벨트를 착용하도록 경고하거나 문이 아직 열려 있음을 경고하도록 진화했습니다. 차선 이탈 및 충돌 경고와 같은 첨단 운전자 지원 시스템 경고에도 오디오가 필요합니다. 차량에서 개별 차임벨과 알림 수가 증가함에 따라 고해상도 오디오 파일을 관리하고 중단 없이 원활하게 실시간 재생할 수 있도록 고속 액

세스를 통해 대용량 스토리지를 지원할 수 있는 SoC가 필요성도 커지고 있습니다.

최신 차량의 다양한 오디오 기능과 프로세싱 요구 사항이 표 1에 요약되어 있습니다.

오디오 기능 세트	고성능 실시간 컴퓨팅	자연 시간이 낮은 프로세싱	고속 외부 메모리	기능 안전 요구 사항
3D 서라운드 사운드	x			
다중 스피커 교육	x			
RNC	x	x		
ICC	x	x		
경고 및 차임 벨			x	
AVAS			x	x

표 1. 최신 차량의 다양한 오디오 기능 및 프로세싱 요구 사항.

## 프리미엄 오디오 시스템 설계에 적합한 SoC 아키텍처 선택

모든 차량 트림 유형에 프리미엄 오디오를 도입하려면 OEM(Original Equipment Manufacturer)이 확장성을 통해 차량의 전반적인 시스템 비용을 절감할 수 있는 방법을 찾아야 합니다. 예를 들어, OEM은 소형 폼 팩터에서 부품과 케이블 수를 줄이는 재사용 가능한 설계를 개발할 수 있습니다.

프리미엄 오디오 시스템을 위한 SoC를 선택할 때는 컴퓨팅 성능, 메모리 통합, 다른 시스템 구성 요소의 통합이라는 세 가지 고려 사항이 있습니다.

### 컴퓨팅 성능

오디오 신호 처리에는 다음 두 가지 유형의 코어가 널리 사용됩니다.

- **범용 CPU 코어**는 순차적 워크로드를 처리할 수 있습니다. 이러한 코어는 프로그래밍 유연성이 뛰어나며 DSP 알고리즘을 실행할 수 있지만 비용이나 전력 효율이 떨어집니다. 일반적으로 이러한 코어는 처리 요구 사항을 충족하기 위해 여러 CPU 코어가 필요한 초급형에서 중급형 오디오 시스템에 사용됩니다.
- **전문화되고 전력 효율이 높은 DSP 코어**는 수백만 개의 복잡한 수학 문제를 처리할 수 있습니다. 이러한 코어는 오디오, 비전, 레이더 및 음파 센서의 실시간 데이터를

처리하여 클럭 사이클당 처리를 극대화합니다. 벡터 기반 아키텍처를 사용하는 DSP 코어는 오디오 처리에 있어 기존의 스칼라 기반 DSP 아키텍처에 비해 더 높은 성능을 발휘하는 경우가 많습니다. 또한 초급형 디지털 증폭기부터 고급 디지털 증폭기에까지 널리 사용됩니다. DSP 코어는 프로그래밍하기가 쉽지 않으므로, 최고의 성능을 달성하려면 DSP 하드웨어 기능과 소프트웨어 최적화 기술에 익숙할 필요가 있습니다.

### 메모리 통합

처리량이 높은 오디오 처리를 위해서는 DSP 코어의 기능 유닛이 매 사이클마다 메모리에 액세스해야 합니다. 기존의 DSP 아키텍처에서 L1 캐시 메모리는 단일 사이클 메모리 액세스를 지원하지만 높은 비용 때문에 크기가 매우 제한됩니다. 설계자들은 이제 단일 사이클에서 액세스 가능한 메모리 크기가 L1 메모리 한도로 제한되는 혁신적인 DSP 메모리 아키텍처를 찾고 있습니다.

설계자들은 또한 전체 애플리케이션 메모리 요구 사항을 충족할 수 있는 충분한 SRAM(정적 임의 액세스 메모리)을 갖춘 SoC의 DDR 없는 설계를 선호합니다. 그러나 SRAM은 비용이 많이 들기 때문에 SoC는 제한된 크기의 SRAM만 통합합니다. 전체 오디오 애플리케이션을 DDR 없는 SoC에 맞추는 것이 항상 실현 가능한 것은 아닙니다. AI(인공 지능) 기반 알고리즘 또는 고해상도 오디오 파일을 사용한 사운드 합성과 같은 고급 기능 세트의 메모리 요구 사항이 증가하고 있기 때문입니다. 따라서 설계자는 SRAM과 함께 고속 저전력 DDR(두 배 데이터 속도) 동적 RAM과 같은 확장 가능한 메모리 옵션을 지원하는 SoC도 필요합니다.

### 다른 시스템 구성 요소의 통합

프리미엄 오디오 시스템에는 DSP뿐만 아니라 안전과 보안 요구 사항을 충족하고 나머지 시스템과 상호 작용하는데 필요한 추가 구성 요소가 필요합니다.

차량용 안전 기능을 준수하고 DSP와 나머지 시스템의 통합을 용이하게 하도록 설계된 개방형 표준 소프트웨어 아키텍처인 AUTOSAR(차량용 오픈 시스템 아키텍처)를 실행하려면 마이크로컨트롤러가 필요합니다.

하드웨어 보안 모듈, 암호화 가속 및 기타 구성 요소가 EVITA(E-Safety Vehicle Intrusion Protected Applications)



표준의 보안 요구 사항을 충족하는 데 도움이 될 수 있습니다.

지연 시간이 짧은 오디오 네트워크가 차량용 오디오 시스템 구성 요소 간의 정확한 통신과 오디오 신호의 동기화를 처리하게 됩니다. 추가 케이블이 필요한 여러 기술 중에서 이더넷 AVB(오디오 비디오 브리징) 표준은 완벽한 선택입니다. 다른 ECU를 연결하기 위한 이더넷 케이블이 이미 차량에 있기 때문에 배선 아키텍처를 간소화하고 전반적인 시스템 케이블 무게와 시스템 비용을 절감할 수 있습니다.

또한 확장 가능한 DSP 성능과 메모리 선택의 폭을 지원하는 핀 대 핀 호환 SoC는 프리미엄 차량용 오디오 시스템에 대한 R&D 투자를 줄임으로써 오디오 설계의 효율성을 높일 수 있습니다.

### TI DSP를 사용한 프리미엄 오디오 시스템 설계

TI는 프리미엄 차량용 오디오 시스템의 설계 과제를 해결하고 엔지니어가 경제적인 시스템 비용으로 확장 가능한 오디오 성능을 달성할 수 있도록 차량용 오디오 DSP 포트폴리오를 만들었습니다. 고도로 통합된 핀 대 핀 호환 오디오 SoC 제품군을 사용하면 프리미엄 오디오는 더 이상 고급형 차량에서만 누릴 수 있는 것이 아닙니다. 설계자는 단일 칩을 사용하여 저가형부터 고급 시스템에까지 몰입형 오디오 환경을 제공할 수 있습니다. 그 결과 실내는 더 조용해지고, 고가의 가정용 스테레오 시스템에 버금가는 고품질 사운드를 경험할 수 있습니다.

TI의 **AM2754-Q1 MCU** 및 **AM62D-Q1 프로세서**를 비롯한 이러한 고집적 SoC는 차량용 오디오 증폭기 시스템에 필요한 구성 요소 수를 줄이는 데 도움이 됩니다. 이를 위해 TI의 벡터 기반 C7x DSP 코어, 에지 AI 프로세싱을 위한 신경 처리 장치인 Arm® Cortex®-R5s MCU, 옵션인 Cortex-A53 코어, 메모리, 시간에 민감한 네트워킹을 지원하는 2 포트 이더넷 스위치, HSM(하드웨어 보안 모듈)을 ISO(국제 표준화 기구) 26262 TI 기능 안전 호환 대상 SoC에 통합했습니다. 통합 SoC를 사용하면 부품 수를 줄여 BOM을 줄일 수 있으므로 프리미엄 오디오 시스템을 더 쉽고 경제적으로 설계할 수 있습니다.

TI DSP 오디오 프로세서의 C7x DSP 코어는 기존 스칼라 기반 오디오 DSP보다 4배 이상 높은 프로세싱 성능을 자랑합니다. C7x 코어는 매트릭스 곱셈 가속기와 결합되어

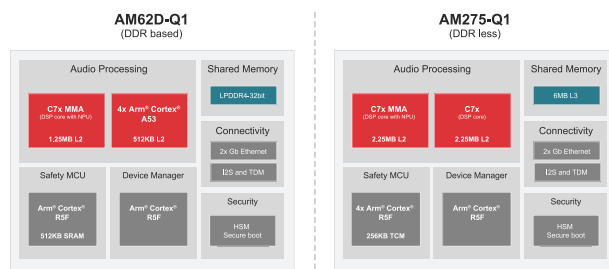
기존의 오디오 알고리즘과 에지 AI 기반 오디오 알고리즘을 모두 처리할 수 있는 온칩 NPU를 형성합니다. 이러한 성능 덕분에 여러 SoC를 사용하지 않고 단일 SoC 내에서 여러 프리미엄 오디오 기능을 관리할 수 있습니다.

또한 SoC는 확장 가능한 메모리 옵션이 있어 오디오 엔지니어가 하나의 TI 오디오 프로세싱 플랫폼으로 유연하게 다양한 시스템을 설계할 수 있습니다. AM2754는 최고의 오디오 컴퓨팅 기능을 위해 설계된 DDR 없는 단일 칩 MCU입니다. MCU의 메모리 아키텍처는 최대 4.5MB, 단일 사이클 액세스 L2 메모리와 최대 6MB의 L3 메모리를 기반으로 합니다. AM62D-Q1은 고속 외부 메모리가 필요한 프리미엄 오디오 설계를 위한 DDR 기반 프로세서입니다. AM62D의 메모리 아키텍처에는 1.25MB의 단일 사이클 액세스 L2 메모리와 고속 외부 메모리를 추가하기 위한 32비트 LPDDR4 컨트롤러가 포함되어 있습니다.

온칩 Arm Cortex-R5 MCU 코어는 AUTOSAR 소프트웨어(업계 핵심 표준인 AUTOSAR 소프트웨어는 타사에서 쉽게 받을 수 있음)를 지원하기 위한 외부 개별 MCU의 필요성을 줄입니다. ISO 26262 대상 SoC는 AVAS와 같은 기능의 점차 엄격해지는 오디오 기능 안전 요구 사항을 충족하므로 시스템 설계의 미래 대비가 가능합니다.

보안 스토리지, 암호화 하드웨어 가속, 보안 CPU, 나머지 시스템에 대한 하드웨어 인터페이스가 통합된 HSM은 Secure Hardware Extension 1.1 및 Evita 표준에 명시된 최고 수준의 요구 사항을 충족합니다.

하드웨어 지원 시간에 민감한 네트워킹 및 기타 기능을 갖춘 통합 이더넷 스위치는 오디오 네트워킹을 위한 이더넷 AVB 솔루션을 실현합니다. **그림 6**에 TI의 차량용 오디오 임베디드 프로세서의 통합 구성 요소가 나와 있습니다.



**그림 6.** AM2754-Q1 및 AM62D-Q1에서 볼 수 있는 높은 수준의 통합.

## 결론

차량용 오디오는 최소한의 기능만 가진 시스템으로 시작했지만, 긴 시간을 거쳐 운전 경험을 향상시키는 정교한 시스템으로 발전했습니다. 여러분이 무심코 음악을 듣는 사람이든 오디오 애호가이든, 우리의 일상 출퇴근과 도로 여행에 이러한 발전이 미친 영향을 부인할 수 없을 것입니다. 오디오에 적합한 SoC 아키텍처를 선택하면 모든 차량을 완벽한 선명도와 정밀도의 비트를 가진 개인 콘서트 홀로 만들 수 있습니다.

## 추가 리소스

- 기술 문서 "[고도로 통합된 프로세서를 사용한 효율적인 차량용 프리미엄 오디오 시스템 설계](#)"를 읽어보십시오.
- 증폭기, 프로세서, 컨버터 및 스위치를 비롯한 TI의 [포괄적인 오디오 솔루션](#)을 확인해 보십시오.
- TI의 차량용 오디오 DSP와 같은 첨단 반도체가 어떻게 운전 경험을 향상시키는지 TI 회사 블로그 게시물인 "[출퇴근 재정의: 주행을 혁신하는 첨단 오디오 기술](#)"에서 알아보십시오.

**중요 알림:** 이 문서에 기술된 텍사스 인스트루먼트의 제품과 서비스는 TI의 판매 표준 약관에 의거하여 판매됩니다. TI 제품과 서비스에 대한 최신 정보를 완전히 숙지하신 후 제품을 주문해 주시기 바랍니다. TI는 애플리케이션 지원, 고객의 애플리케이션 또는 제품 설계, 소프트웨어 성능 또는 특허권 침해에 대해 책임을 지지 않습니다. 다른 모든 회사의 제품 또는 서비스에 관한 정보 공개는 TI가 승인, 보증 또는 동의한 것으로 간주되지 않습니다.

Arm® and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited (or its subsidiaries) in the US and/or elsewhere.  
모든 상표는 해당 소유권자의 자산입니다.

## IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated