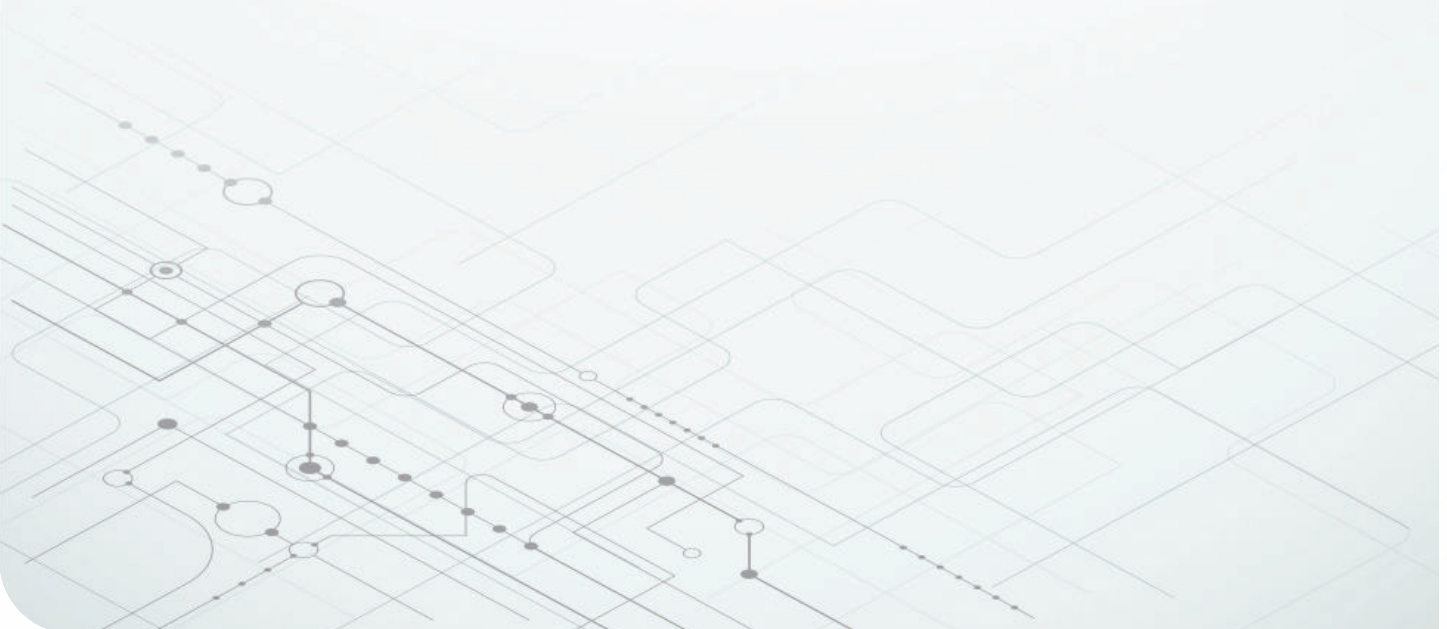


# 위치 센서가 차량용 및 산업용 애플리케이션의 혁신을 구현하는 방법



Manny Soltero



# 이 백서에서는 차량용 및 산업용 애플리케이션의 위치 센서 및 관련 설계 과제 및 솔루션의 추세를 살펴봅니다.

## 한눈에 보기



1

### 추세 1번: 시스템의 전기화

위치 센서는 전자 모터 및 EPS(전자 전원 스티어링) 시스템을 비롯한 진화하는 차량용 시스템 전체에서 높은 정확도로 복잡한 각도를 측정합니다.



2

### 추세 2번: 신뢰성 및 안전에 대한 요구

기계 시스템에서 자기 센서로 전환하여 마손이 줄어들고 기능 안전의 필요성이 증가합니다.



3

### 추세 3번: 전반적인 완제품 폼 팩터의 소형화

고감도 자석과 높은 통합으로 낮은 정확도와 해상도를 포함하여 소형화의 절충점을 해결합니다.



4

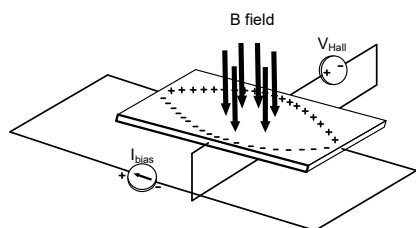
### 추세 4번: 희토류 물질에서 철로 전환

페라이트는 자기 센서의 희토류 물질을 대체할 수 있는 풍부하고 비용 효율적인 소재이지만, 자기장 및 온도 드리프트 감소를 보완할 수 있는 기능이 필요합니다.

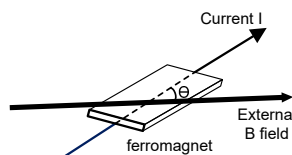
한동안 운전대를 잡았다고 해도 차량마다 스티어링 휠이나 제동 시스템에서 큰 차이를 느끼지 못했을 것입니다. 이는 설계에 따른 것입니다. 향상된 기능을 사용하면 운전자가 더 쉽게 처리할 수 있지만, 일반적으로 이러한 시스템의 느낌은 연식에 관계없이 동일한 사용자 환경을 유지하기 위해 비교적 동일하게 유지되고 있습니다.

그러나 이러한 시스템에 사용되는 기술은 시간이 지남에 따라 발전해 왔으며, 위치 센서는 이러한 발전의 큰 부분을 차지했습니다.

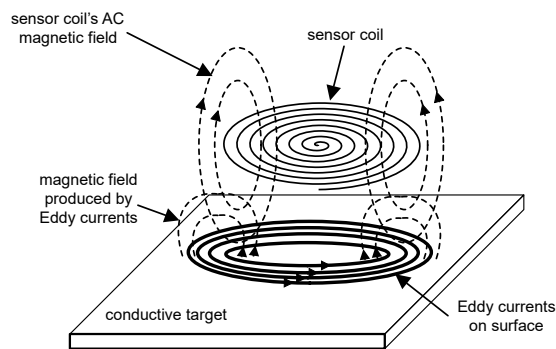
현재 초음파, 광학, 자기, 정전식 및 유도성을 비롯한 여러 유형의 위치 센서가 제공됩니다. 위치 감지 집적 회로(IC)는 물체의 움직임을 감지하고 입력 신호를 마이크로컨트롤러(MCU) 처리 및 제어에 적합한 전기 신호로 변환합니다. 이 문서의 맥락에서 위치 센서를 언급할 때 IC 센서가 홀 효과, 이방성 자기 저항(AMR) 또는 인덕티브 기술을 사용한다고 가정할 수 있습니다. **그림 1**은 이러한 세 가지 센서 유형의 기본 기능을 보여줍니다.



Hall-effect



AMR



Inductive

그림 1. 홀 효과, AMR 및 인덕터 센서 기능.

홀 효과 기술에서는 전류가 강자성 물질로 유도됩니다. 자기장을 적용하면(B 필드로 레이블 지정, **그림 1** 참조) 전류 흐름에 수직인 홀 전압이 생성됩니다.

AMR 센서의 저항은 자기장이 적용되면 감소합니다. 또한 이방성 측면은 AMR 센서가 적용되는 자기장의 방향에 따라 달라진다는 것을 의미합니다.

인덕티브 센서는 센서 코일(인덕터)을 사용하여 자기장을 생성합니다. 이 자기장은 금속 대상에 대해 개발된 와상 전류에 의해 생성되는 자기장과 결합되어 있습니다.

이 백서에서는 시스템의 전기화, 신뢰성 및 안전에 대한 요구, 전반적인 완제품 폼 팩터의 소형화, 희토류 물질에서 철로 전환 등 위치 감지 분야의 4가지 현재 추세에 대해 설명합니다. 설계자는 훨씬 더 정확하고 민감하며, 더 높은 해상도와 더 많은 기능을 제공하고, 이전보다 더 작은 패키지로 제공되면서도 전력을 덜 소비하는 최신 IC 센서의 개선 사항을 이해함으로써 이점을 얻을 수 있습니다.

## 추세 1번: 시스템의 전기화

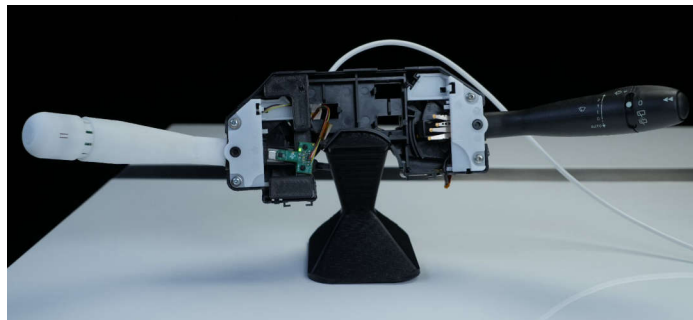
자율 주행, 더 나은 사용자 경험에 대한 요구, 온실가스 배출량 감축에 대한 노력으로 인해 차량의 전기화가 증가하면서 위치 센서를 비롯한 더 많은 반도체 디바이스가 자동차에 탑재되고 있습니다. 이것이 우리의 첫 번째 추세입니다.

열 효율성은 전기 자동차(EV)에서 가장 중요합니다. 전기 펌프는 오일 및 물 글리콜과 같은 냉각제를 차량 전체에 순환시켜 다양한 시스템 수준 온도를 지속적으로 점검합니다. 여러 ECU(전자 제어 장치)가 이러한 시스템을 제어합니다. EV가 켜지면 MCU는 온도를 모니터링하여 충분한 냉각수가 특정 시스템으로 공급되었는지 확인할 수 있습니다. 전기 펌프 증분 회전식 인코더에 사용되는 고해상도 홀 효과 센서를 통해 마이크로프로세서가 열 이벤트에 훨씬 더 효율적으로 응답할 수 있습니다. 고대역폭

**TMAG5110-Q1**과 같은 디바이스는 낮은 지연 시간의 출력을 제공하는 동시에 고감도 기능을 제공하여 설계자가 센서 배치를 더욱 유연하게 할 수 있습니다.

스티어링 컬럼 설계는 한 OEM(Original Equipment Manufacturer)부터 다른 장치까지 다양하지만 가장 인기 있는 구현은 여러 제어 모듈을 연결하고 방향등, 헤드라이트, 와이퍼, 크루즈 컨트롤 및 스크롤 휠과 같은 여러 스위

치 및 버튼 제어 기능을 관리합니다. 이전에는 자율 주행이나 편의성을 위해 기계적으로 구현된 이러한 기능이 이제 는 자기 기능을 통합한 전기 솔루션이 되었습니다. 대부분의 애플리케이션에서 **TMAG5170D-Q1** 및 **TMAG5173-Q1**은 높은 정확도로 복잡한 각도를 측정할 수 있는 기능이 있어 차량용 안전 무결성 수준(ASIL) B 또는 ASIL D 시스템 수준 호환을 가능하게 합니다. **그림 2**에서는 기계적 접촉 부를 3D 홀 효과 센서 개발 보드로 대체하기 위해 리트로 피팅된 OEM 스티어링 컬럼 컨트롤 모듈을 보여줍니다.



**그림 2.** TI 3D 센서 평가 모듈이 보강된 스티어링 컬럼.

모터 위치 센서는 전기 모터 설계의 기본 측면으로, 최적의 효율로 실행되도록 보장하는 것입니다. 전력 효율성 요구 사항이 증가함에 따라 모터 샤프트의 정확한 회전 위치를 정확하게 모니터링하는 위치 센서의 성능 기대도 증가합니다. 모터의 위치를 알면 트래క్ష 인버터 내의 마이크로프로세서와 전력계가 모터 코일에 정확한 양의 전류를 제공하여 토크를 더 효율적으로 관리할 수 있습니다. 모터가 최고 속도(100,000rpm 이상)로 작동하는 동안 최대 정격 온도 범위에서 가능한 가장 높은 정확도(약 0.5°)로 각도를 측정해야 합니다. **LDC5072-Q1** 유도성 센서(유도성 리졸버라고도 함)는 스트레이 자기장에 대한 고유의 내성을 가진 이 작업에 적합합니다. 이 기술의 또 다른 이점은 자석이 필요하지 않는다는 것입니다. **그림 3**은 상단에 트래క్ష 인버터가 장착된 전기 모터를 보여줍니다.

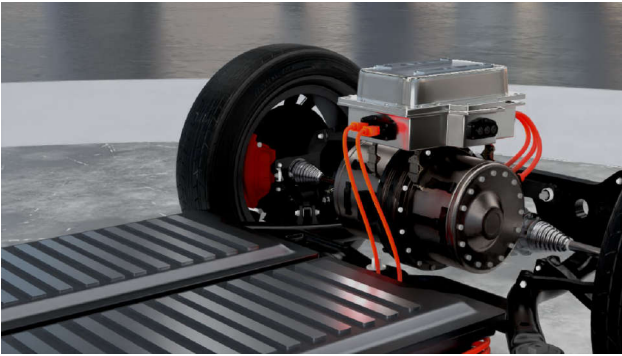


그림 3. 전기 모터 및 트랙션 인버터.

차량 전기화는 전자 파워 스티어링(EPS)을 사용하여 위치 센서에 대한 많은 사용 사례를 만들었습니다. EPS가 계속 발전함에 따라 모터 위치 센서와 휠 위치 센서의 정확도와 해상도 요구 사항이 높아졌습니다. EPS 시스템에서 **TMAG6181-Q1**은 모터 로터 위치를 최소 각도 오차 0.4°와 2μs 미만의 지연 시간으로 최대 100,000rpm을 지원할 수 있으며, **TMAG5170D-Q1**은 스티어링 휠의 3D 위치를 결정하는 데 도움이 될 수 있습니다. 스티어링 휠 각도 센서는 최적의 차량 작동 및 제어를 위해 데이터를 ECU로 전송합니다.

전기화에는 자동차뿐 아니라 전기 자전거, 페달 전기 주기 및 전기 스쿠터와 같은 수송 시스템도 포함됩니다. 이러한 제품은 수년 동안 사용되어 왔지만 위치 센서가 필요한 모터 정류, 케이던스 및 휠 속도 감지에 대한 새로운 발전이 있었습니다. 전기 자전거의 새로운 추세는 몇 가지 주목할 만한 가치가 있습니다.

- 이전에 3래치 브러시리스 DC 모터 구현에서 발생했지만 대부분의 전기 자전거 모터 공급자는 고속, 고정밀 각도 센서로 모터를 모니터링합니다. **TMAG6180-Q1** AMR 센서는 고정밀 각도 측정(실온에서 0.1°) 때문에 이 애플리케이션에 매우 적합합니다.
- 휠 속도 및 케이던스 모니터링에 **TMAG5115**와 같은 홀 효과 래치를 사용하여 낮은 지터와 빠른 응답 시간을 제공하여 더 정밀한 속도 및 방향 측정을 가능하게 합니다. 과거에는 홀 효과 스위치가 주로 휠 속도 감지에 사용되었습니다.

### 추세 2번: 신뢰성 및 안전에 대한 요구

산업용, 개인용 전자 제품 및 차량용 시스템을 개발하는 동시에, 설계자는 제품 수명 범위를 늘리기 위해 설계를 더 안정적으로 만드는 방법을 생각할 수 있습니다. 위치 센서의 최근 추세에는 기계 시스템에서 자기 센서로 이동하고 기능 안전 규정 준수의 가속화라는 목표를 달성하기 위한 몇 가지 다른 방법이 포함됩니다.

자기 센서는 마찰로 인한 지속적인 기계적 마모를 방지합니다. 예를 들어 무선 전동 공구에서는 기계식 트리거 설계가 가장 널리 사용되는 고장 모드이며, 제조업체는 일반적으로 제품 수명 기간 동안 200,000회 이상의 사이클을 목표로 삼고 있습니다. 수명 주기 목표는 최종 제품에 따라 다르지만 자기 기반 솔루션이 제품 수명을 연장할 수 있는 잠재력이 있다는 것을 예상합니다. 표 1에 이러한 예 몇 가지만 요약되어 있습니다.

적용 분야	기존 기술	기계식 센서에 비해 위치 센서 사용의 이점	권장 기술
무선 전동 공구 및 의료용 전동 드릴용 트리거	기계식 전위차계 설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 트리거 메커니즘의 수명 주기 증가</li> <li>• 외부 모듈 없이 센서를 메인 회로 보드에 직접 배치할 수 있습니다.</li> </ul>	홀 효과 및 유도
냉장고 도어 개폐 감지	마이크로스위치	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 스위치가 보이지 않는 미려한 디자인의 도어 인터페이스를 제공합니다.</li> </ul>	홀 효과

적용 분야	기존 기술	기계식 센서에 비해 위치 센서 사용의 이점	권장 기술
게임용 컨트롤러 및 키보드	기계 설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>특정 버튼이나 트리거에 사용되는 힘의 양을 감지하는 기능을 제공합니다.</li> <li>게임용 컨트롤러의 경우 시간이 지남에 따라 드리프트를 방지하는 데 도움이 됩니다.</li> </ul>	홀 효과 및 유도
스티어링 시스템: 스티어링 레버 시프터, 스티어링 컬럼, 노브 및 E-시프터	기계 설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>마모와 손상 없이 전기 위치 신호를 사용하여 전자식 조향 방식을 제공합니다.</li> </ul>	홀 효과, 인덕티브 및 AMR
제동 시스템	기계식 유압 설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>전자식 전기 브레이크는 빠른 응답 시간으로 더 뛰어난 안전성을 제공합니다.</li> </ul>	홀 효과 및 유도

표 1. 비접촉 방식으로 이동하는 산업용, 개인용 전자 제품 및 차량용 시스템 애플리케이션의 예.

차량 전기화의 도입과 거의 모든 전기 동력화에 더 많은 전자 장치를 추가함에 따라 기능 안전의 필요성이 가속화되었습니다. 자동차 산업은 자동차 제품에 대한 국제 표준화 기구(International Organization for Standardization) 26262를 따르고 있으며, 산업 부문은 국제 전기 표준 회의(International Electrotechnical Commission) 61508을 따릅니다. 기능 안전은 전자 시스템의 오작동으로 인한 불합리한 위험을 제거하여 사용자를 보호하는 것을 목표로 합니다. 시스템에 장애가 발생하면 기본적으로 예측 가능하고 알려진 상태로 설정됩니다.

자동차 및 산업 기능 안전 표준에는 심각성 또는 결과(부상 발생 가능성), 노출 또는 가능성(발생 가능성), 제어 가능성(사용자가 얼마나 제어할 수 있는지)에 따라 여러 범주로 나뉩니다. 최고의 기능 안전 등급이 필요한 차량용 시스템의 몇 가지 예로는 EPS 또는 시프터 시스템(E-시프터)이 있습니다. 두 시스템 모두 고장과 관련된 위험을 고려할 때 가장 높은 차량용 등급(ASIL D)을 필요로 하는 경우가 많습니다.

ASIL D 요구 사항을 준수하기 위해 시스템 개발자는 일반적으로 서로 내부적으로 격리된 두 개의 동일하지만 독립적인 센서를 가진 중복 센서 또는 솔루션을 사용합니다. 두 센서가 모두 실패할 확률은 매우 낮습니다. 이러한 유형의 고성능 시스템에는 고정밀 각도 감지도 필요합니다.

**TMAG5170-Q1** 3D 센서와 이중 다이 등가 **TMAG5170D-Q1**에는 장치와 시스템 수준 모두에 대한 진단 기능이 내장되어 있습니다.

### 추세 3번: 전반적인 완제품 폼 팩터의 소형화

세 번째 추세는 자기 시스템 설계의 소형화와 관련이 있습니다. 제품의 크기를 줄이는 이유는 비용, 더 나은 사용자 경험, 더 세련된 디자인 등 다양하며, 이를 위해 자석 크기를 줄이거나 다축 센서를 사용하는 경우가 많습니다. 위험이 없는 또 다른 접근 방법은 제조 흐름에서 허용하는 가장 작고 가장 통합된 부품으로 마이그레이션하여 보드 크기를 줄이는 것입니다. 이러한 문제를 해결하기 위해 텍사스 인스트루먼트는 초소형 아웃라인 무연(X2SON)(1.1mm<sup>2</sup>x 1.4mm<sup>2</sup>) 및 웨이퍼 칩 스케일 패키징(WCSP)(0.8mm<sup>2</sup> x 0.8mm<sup>2</sup>)으로 소형 솔루션을 제공합니다. 작은 패키지에 높은 집적도를 자랑하는 하나의 예는 WCSP에서 사용할 수 있는 3D 선형 솔루션인 **TMAG3001**입니다.

자석 크기를 줄이면 자기장이 더 약해지기 때문에 민감도가 높은 자기 센서가 필요하기 때문에 문제가 발생합니다. **TMAG5231**과 같은 고감도 솔루션으로 더 작은 자석을 사용할 수 있습니다. 또는 고감도 솔루션 없이 정확한 측정을 위해 자석을 센서에 더 가까이 배치할 수 있습니다. 약한 자기장의 경우 높은 SNR(신호 대 잡음비)을 가진 장치를

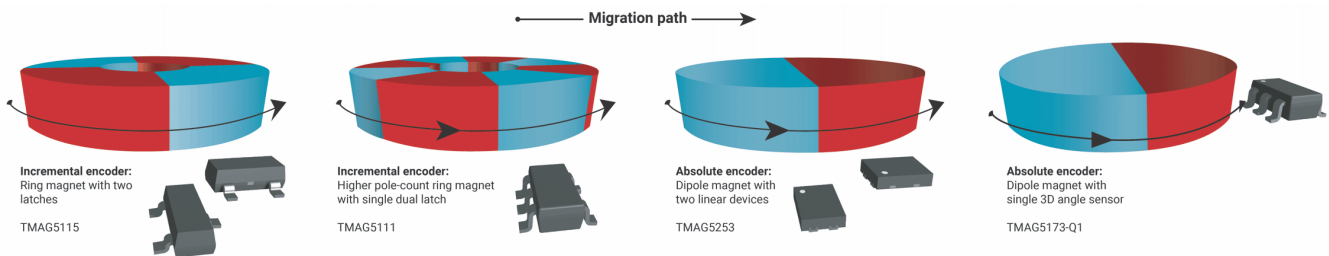
통해 가능한 가장 정확한 측정을 보장할 수 있습니다. **DRV5055**와 **TMAG5253**은 최대 70dB의 SNR을 제공할 수 있습니다.

최종 장비의 크기를 줄이는 일반적인 추세는 기술에 관계 없이 모든 위치 센서에 도전적인 과제입니다. 유도 센서는 금속 타겟을 사용하여 물체의 위치나 존재를 감지하며, 데이터 시트에 명시된 지침을 충족하면 피트니스 손목 밴드의 측면 버튼만큼 작은 폼 팩터를 구현할 수 있습니다. 인덕티브 센서의 주요 시스템 수준 요구 사항은 감지 코일의 크기가 대상과 동일하며 코일의 직경의 10%~20% 이내여야 합니다. 소형화 추세에 있는 애플리케이션의 예로는 의료용 인슐린 펌프, 수술용 내시경 도구, 공장 자동화에 사용되는 공압 실린더 등이 있습니다.

또한 부품 수를 줄여 소형화를 달성할 수도 있습니다. 예를 들어, 전자 계량기(또는 스마트 전자 잠금 장치 및 도어 및 창문 센서)에 변조 감지 기능을 구현하려면 전자 계량기가 전기 사용량을 정확하게 측정할 수 없게 만드는 대형 외부 자석의 변조를 감지하기 위해 3개의 홀 효과 스위치 또는 선형 장치 대신 단일 3D 선형 센서를 사용해야 합니다. 설계자는 3D 자기 센서를 사용하여 저전력 작동과 **TMAG5273**과 같은 조정 가능한 외부 자기장 감지 장치를 통해 전자 계량기 설계를 개선하고 있습니다. 이러한 장치를 사용하면 여러 개의 출력 대신 단일 디지털 인터페이스, 인쇄 회로 기판 조립 비용 절감, 자기 감도의 높은 구성 가능성 등 더 적은 수의 부품으로 소형화할 수 있는 다른 이점이 있습니다.

더 적은 부품으로 시스템을 소형화할 때 증분 및 절대 인코더 설계자가 가진 한 가지 과제는 디지털 또는 아날로그 출력 솔루션 중에 선택하는 것을 포함하여 제품 해상도를 개선하는 것입니다. 증분 인코더는 자석이 움직이는 속도 또는 비율과 방향도 모니터링합니다. 절대 인코더는 이 작업을 수행할 수 있으며 고해상도로 항상 정확한 위치를 알 수 있습니다.

증분 인코더 설계자가 디지털 출력 홀 효과 래치를 사용할 때 분해능은 시스템의 자기 극 수에 따라 엄격하게 달라집니다. 더 높은 해상도를 달성하려면 더 높은 폴 수가 있는 링 자석이 필요하며, 폴 크기가 작아지면 자석에 의해 생성되는 자기장이 본질적으로 취약하기 때문에 설계자가 센서를 자석에 더 가까이 배치하거나 더 높은 민감도의 센서를 사용해야 합니다. 이 시점에서 대부분의 설계자는 **TMAG5111**과 같은 듀얼 통합 래치를 지원하는 단일 칩 솔루션으로 전환합니다. 듀얼 래치 솔루션에는 2D 래치가 내장되어 있어 3D 공간에서 두 축을 매우 유연하게 모니터링할 수 있습니다. 고해상도 설계에는 선형 센서를 사용하는 절대 인코더가 필요합니다. 각도 측정 기능을 갖춘 단일 3D 선형 센서는 고해상도 절대 인코더를 위한 최종 마이그레이션 단계입니다. 이 구현은 두 개의 축만 측정하지만 대부분의 3D 선형 센서는 두 개의 축을 유연하게 구성할 수 있습니다. 3D 센서를 사용하면 푸시 기능을 감지할 수 있는 기능이 추가됩니다. **그림 4**에서는 인코더 설계의 추세를 보여줍니다.



**그림 4.** 인코더의 더 높은 해상도 추세.

### 추세 4번: 희토류 물질에서 철로 전환

희토류 물질 생산은 전 세계적으로 소수의 국가에 집중되어 있습니다. 이러한 물질은 무한한 것이 아니며, 재활용이 없는 현재의 소비 속도로는 21세기 후반에 전 세계 매장량이 고갈될 것으로 예상됩니다[1].

일부 기업은 자석 소비량의 일부를 페라이트 물질로 전환하여 의존성과 지정학적 위험을 줄이기 시작했습니다. 페라이트 자석은 네오디뮴 페라이트 봉소와 같은 희토류 자석에 비해 가격이 저렴하고 페라이트 재료가 풍부하기 때문에 가격도 안정적입니다. 페라이트 자석을 사용할 때의

단점은 생성되는 자기장이 최대 10배까지 크게 감소하고 온도 드리프트가 0.2%/°C라는 점입니다.

텍사스 인스트루먼트의 **TMAG5170** 및 **TMAG5273** 자기 센서는 세라믹 페라이트 또는 희토류 자석으로 작동하며 이러한 자석 유형에 특화된 온도 드리프트 보정 기능을 갖추고 있습니다.

## 마무리

혁신은 산업용 및 차량용 시스템의 필수적인 부분으로, 위치 센서는 선형 또는 회전 동작의 정확한 측정이 필요한 애플리케이션에 매우 중요합니다. 업계가 최신 기술을 도입 하면서 안전 및 사용자 환경의 발전에 대한 시장 수요는 계속 증가하고 있고 정확한 센서 기술에 대한 필요성도 커지고 있습니다. 텍사스 인스트루먼트의 위치 센서는 이러한 4가지 추세를 지원하고 있으며, 앞으로도 차세대 추세를 지원할 수 있는 위치 센서를 개발할 것입니다.

## 참고 자료

1. Britannica. n.d. "**Abundance, Occurrence, and Reserves.**" 2023년 10월 24일에 액세스함.

## 추가 리소스

1. **비접촉 회전 인코딩 및 노브 애플리케이션에 홀 효과 센서 사용** 백서를 읽어보세요.
2. 설계 가이드 **1 LDC1314 인덕턴스-디지털 컨버터 설계 가이드**를 이용한 1KiDial 사용 설명서를 읽어보세요.
3. 기술 문서 **계량기 변조 방지: 성가신 계량기 조작자 차단하기**를 읽어보세요.
4. 애플리케이션 노트 **2D 홀 효과 센서를 사용한 증분 회전식 인코딩의 직교 오류 줄이기**를 읽어보세요.
5. **TMAG5115 평가 모듈 사용 설명서**를 확인하세요.

**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.

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 © 2024, Texas Instruments Incorporated