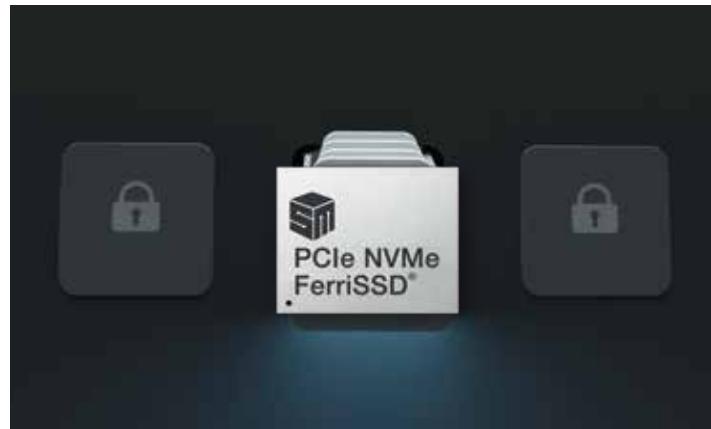


# Silicon Motion's FerriSSD®

## 오랜 작동 수명에 걸쳐 비트 오류를 제거하는 진보된 FerriSSDs® 기술

솔리드 스테이트 디스크(SSD)는 현대 임베디드 컴퓨팅의 핵심 중 하나입니다. 최신 3D TLC(Triple-Level Cell) NAND 플래시 메모리 기술은 탁월한 저장 밀도를 제공하여 Silicon Motion의 FerriSSD® 스토리지 장치와 같은 SSD 제품은 크기가 20mm x 16mm에 불과한 BGA 칩 패키지에 480GB에 이르는 저장 공간을 제공할 수 있습니다.

그러나 임베디드 SSD의 기반 기술인 고급 NAND 플래시 기술에도 단점은 존재합니다. NAND 플래시 기술이 점점 더 작은 프로세스 노드로 이동함에 따라 메모리의 데이터 보존 성능은 점진적으로 악화되고 있습니다. (데이터 보존이란 플래시 메모리가 손실 또는 손상 없이 데이터를 저장할 수 있는 기간입니다.) 이는 자동차, 산업 및 의료 분야의 응용 임베디드 컴퓨팅 시스템 제조사들에 잠재적인 문제가 됩니다. 이러한 분야에서는 최대 10년에 달하는 확장된 데이터 보존 성능이 핵심 요건이 될 수 있기 때문입니다.



따라서 현재 SSD 제조사는 가장 효과적인 메모리 관리 기술을 개발하고자 경쟁하고 있으며 이를 통해 TLC 및 QLC NAND 셀의 데이터 보존 성능 감소 문제를 해결하고 고밀도 NAND 메모리 사용 시에도 고객이 요구하는 장기적으로 안정적인 데이터 저장 능력을 보장하기 위해 노력하고 있습니다.

SSD 메모리 관리 분야의 최신 기술은 이제 복잡한 데이터 향상 및 오류 교정 기술을 통합하고 있습니다. 이 글에서는 SSD 기술이 고급 NAND 메모리와 연동하여 높은 메모리 밀도와 긴 데이터 보존 성능을 결합하는 방식을 설명합니다.

### 사용자의 데이터 보존 실패 경험

데이터 비트가 저장된 셀의 전자 누출은 노화에 따라 데이터 비트의 손실을 일으키는 전기적 과정입니다. 전자 누출이 셀 전압을 특정 임계 수준 이하로 떨어뜨리게 되면 해당 비트는 더 이상 안정적으로 읽을 수 없습니다(그림 1 참조).

호스트 프로세서에서 볼 때 이러한 데이터 손실은 비트 오류의 경험에 해당합니다. 비트 오류의 원인은 전자 누출로 인한 노화만이 아닙니다. 비트 오류는 프로그래밍 중에도, 데이터를 저장 매체에 쓸 때에도, 메모리에서 데이터를 읽을 때에도 발생할 수 있습니다.

물론 자동차, 의료 및 산업 분야의 SSD 사용자는 그 수명에 걸쳐 비트 오류가 거의 없는 SSD를 바랍니다. SSD 제조사의 입장에서 볼 때 이러한 비트 오류 제로화의 요구는 비트 오류의 모든 원인을 관리하고 교정할 수 있는 기술의 구현 필요성을 의미합니다.

최신 TLC 및 QLC NAND 플래시 메모리와 관련된 데이터 보존 문제는 특히 중요한 비트 오류의 원인이며 제거 또는 감소하기가 특히 까다롭습니다.

### 데이터 보존에 영향을 미치는 요소

NAND 플래시 메모리 어레이에 대한 실험실 테스트에 따르면 데이터 보존에 영향을 미치는 두 가지 노화 요인이 확인되었습니다.

### 프로그램/지우기 사이클링

- 데이터 비트를 메모리 셀에 쓰고 지우는 과정은 셀의 마모를 일으켜 전하 보유 용량이 감소하게 됩니다.
- 메모리 셀이 더 많은 프로그램/지우기(P/E) 사이클에 노출될수록 셀의 데이터 보존 기간은 더 감소하게 됩니다.

### 높은 작동 온도

- 더 높은 온도에서 NAND 플래시 메모리 셀은 더 빨리 노화되며 따라서 데이터 보존 성능은 더 빨리 감소하게 됩니다. 이러한 효과는 그림 3에서 설명합니다.
- P/E 사이클링과 극한의 온도라는 두 가지 효과가 결합할 경우에도 데이터 보존 성능은 더욱 감소하게 됩니다.
- 최대 정격 수준을 경험한 MLC(Multi-Level Cell) NAND 장치의 데이터 보존 기간은 85°C 조건에서 최악의 경우 2일까지 단축될 수 있습니다.

### 데이터 보존 문제의 해결을 위한 일반적인 접근

SSD 업계에서는 일반적으로 동일한 광범위한 전략을 채택하여 데이터 보존 문제에 대응합니다. 이는 두 개의 개별 기술 세트를 결합한 것입니다.

이 접근법의 첫 번째 기술은 NAND 플래시의 노화 효과로 인해 비트가 손실될 때 발생하는 비트 오류를 처리합니다. 이러한 비트 오류의 감지 및 교정에는 다양한 유형의 오류 수정 코드(ECC)가 사용됩니다.

두 번째 기술은 감지하고 수정해야 할 비트 오류의 수를 최소화합니다. SSD 제조사들은 메모리 셀의 상태를 모니터링하며 더 이상 신뢰할 수 없는 셀은 폐기하고 노화된 셀의 데이터 비트를 새로 고쳐 전자 누출이 발생한 셀의 전하량을 재충전하는 기법을 구현하게 됩니다.

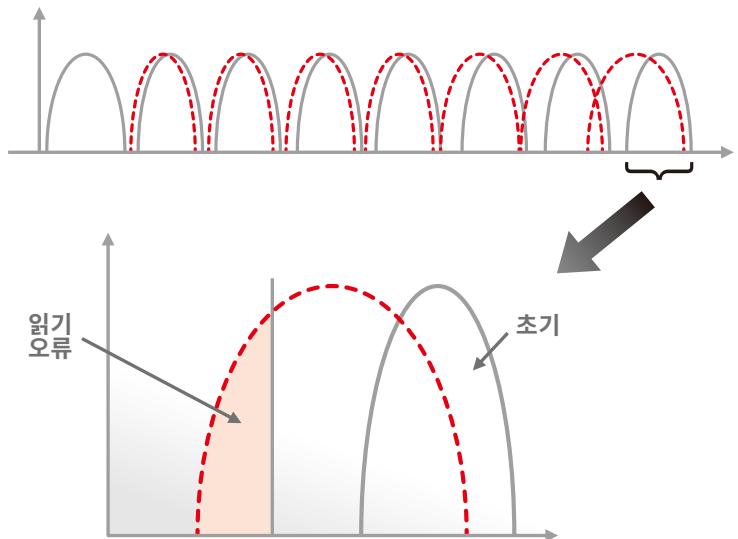


그림 1. 시간이 지나면서 전자는 프로그래밍 된 플래시 셀에서 빠져나와 임계 전압 손실을 일으킬 수 있습니다.

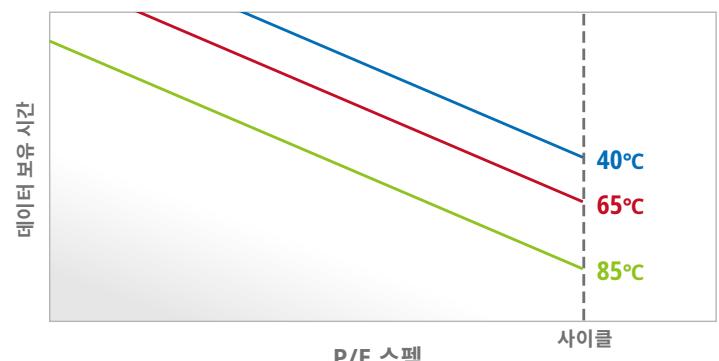


그림 3: NAND 플래시 셀의 데이터 보존 성능은 온도 상승 시 급격히 감소합니다. (이미지 출처: Silicon Motion)

## 우수한 오류 교정 기술은 데이터 스토리지의 비트 오류를 최소화합니다

SSD 제조사들이 데이터 무결성 유지를 위해 사용하는 핵심 기술은 성숙하며 수년간 사용되어 왔습니다. 최초로 보급된 ECC 알고리즘인 Hamming 코드는 1950년대에 개발되었으며, 뒤이어 Reed-Solomon(RS)과 Bose-Chaudhuri-Hocquenghem (BCH) 코드가 개발되었습니다. 보다 최근에는 진보된 오류 교정 코드인 LDPC(저밀도 패리티 검사)가 하드 및 소프트 비트 오류를 모두 교정하는 기능 덕분에 인기를 끌었습니다.

엔지니어들은 더 많은 오류를 탐지/교정하거나 알고리즘 구현의 연산 부담을 줄이며 읽기와 쓰기 작업의 레이턴시를 감소시키는 새로운 기법을 개발하였으며 이에 따라 다양한 ECC 알고리즘이 등장하였습니다.

따라서 기본적인 기술은 모든 SSD 제조업체에서 보편적으로 사용할 수 있지만, 선택된 기술과 선택된 그 구현 방법에 따라 SSD 모델 간에는 데이터 보존 성능 및 읽기/쓰기 속도에 있어 큰 차이가 발생할 수 있습니다.

이는 데이터 보존 효과가 각 SSD 장치마다 고유하며 개별적인 특성을 갖기 때문입니다. 따라서 ECC 구현 및 데이터 관리 시스템의 효율성은 SSD 장치에 대한 그 적응 정도에 따라 달라진다고 할 수 있습니다.

데이터 보존 효과의 변화는 부분적으로 사용자의 행동에 기인합니다. 일부 장치는 다른 장치보다 더 높은 작동 온도 또는 더 많은 수의 P/E 주기에 노출됩니다.

더불어 NAND 플래시 디자인에 있어서의 사소한 차이는 동일 NAND 플래시 제조사의 제품 사이에는 물론 특정 노드에서 제작된 동일 NAND 플래시 제조사의 생산 배치 사이에도 존재합니다.

또한 데이터 저장 작업의 유형은 애플리케이션마다 상이합니다. 일부 데이터는 지속적으로 지워지고 새로운 데이터로 대체되는 반면, 다른 애플리케이션에서는 저장된 데이터가 수년 동안 변경되지 않은 상태로 유지되기도 합니다.

적응형 ECC 작업을 수행하는 SSD는 장기간의 데이터 보존(장기 저장 데이터의 경우) 또는 대기 시간(상시 교체 데이터의 경우)에 대한 최적화를 위해 작업을 조정할 수 있습니다.

## 데이터 보존 기술의 지속적 개선

FerriSSD® 계열의 임베디드 스토리지 제품 제조사인 Silicon Motion은 이제 TLC NAND 플래시 기술을 통해 더 큰 메모리 밀도를 활용하면서 긴 데이터 보존 기간과 빠른 읽기 및 쓰기 속도를 필요로 하는 산업, 자동차 및 의료 장비 제조 분야의 요구에 부응하고 있습니다.

Silicon Motion은 검증된 NANDXtend® 데이터 보존 시스템을 기반으로 구축됩니다. NANDXtend 기술은 다양한 ECC 알고리즘을 활용합니다(그림 4 참조). 더 적은 P/E 또는 온도 사이클을 경험하고 더 낮은 무작위 비트 오류 위험을 가진 SSD는 표준 BCH 알고리즘을 적용하여 낮은 대기 시간과 빠른 성능을 유지합니다. SSD는 노화에 따라 지속적으로 더 강력한 ECC 체계인 LDPC(저밀도 패리티 검사) ECC와 그룹 페이지 RAID를 적용합니다.

이제 최신 6세대 데이터 복구 기술의 도입에 따라 사용자들은 ECC 애플리케이션을 보다 세분화하여 최적화할 수 있게 되었습니다. 이 6세대 기술은 새로운 인공 지능(AI) 및 기계 학습 기술을 사용하여 각 개별 SSD가 ECC 작업을 애플리케이션의 온도 사이클링 및 데이터 사이클링 결합과 NAND 플래시 셀 특성에 적응시킬 수 있도록 합니다. 6세대 기술의 이점은 일반적인 무작위 비트 오류율이 0.6%에 달하는 SSD의 수명이 다할 때까지 계속되며 이를 위해서는 일반적으로 읽기 및 쓰기 작업을 느리게 만드는 강력한 ECC 알고리즘을 적용해야 합니다. NANDXtend 기술은 경쟁 SSD 제품과 비교할 때 수명 말기 시점의 데이터 처리량이 약 2배 더 높습니다.

이러한 개선된 ECC 작업은 데이터 무결성과 SSD의 수명을 추가로 보호하는 다른 시스템으로 지원됩니다.

- 엔드-투-엔드 방식의 데이터 경로 보호는 SSD 내부의 모든 데이터 전송 지점에 ECC 알고리즘을 적용합니다(그림 4 참조). 앞서 언급했듯이 사용자의 목표는 가능한 한 오류율을 0으로 만드는 것입니다. NANDXtend 기술은 노화로 인한 비트 오류를 해결하며 엔드-투-엔드 데이터 경로 보호 기능은 내부 데이터 전송에 따른 비트 오류를 해결합니다.

- IntelligentScan과 DataRefresh 기술을 결합하여 메모리 셀의 전압 및 온도 상태를 모니터링할 수 있으며, 위험에 처한 셀의 데이터를 복구합니다(그림 5 참조). 이 기술은 NAND 플래시 어레이 수명을 해당 플래시 제조사가 명시한 공칭 P/E 사이클 수명을 훨씬 초과하는 수준으로 연장할 수 있습니다(그림 6 참조). IntelligentScan 기능에 포함된 인텔리전스는 또한 온도에 대한 자동 반응을 제공하며 고온 작동 시 더 빈번한 스캔을 실시합니다.

전지 산화층의 과도한 열화로 충분한 충전이 더 이상 불가할 경우 IntelligentScan 기능을 이용하면 가능할 경우 전지를 복구할 수도 있으며 불가능할 경우에는 폐기하여 데이터 무결성의 위험을 방지합니다.

Ferri 계열 제품의 컨트롤러는 또한 고급 전역 마모 균등화(wear leveling) 기능을 제공하여 P/E 작업과 마모를 전체 어레이에 걸쳐 균등하게 분산시킵니다.

### 까다로운 응용 조건에서도 입증된 지속성

그런 다음 ECC 기술 및 데이터 관리 시스템을 SSD에 구현하여 데이터 무결성을 유지하고 고급 TLC 및 QLC NAND 플래시 메모리 사용에 따른 내재적인 데이터 보존 문제를 극복할 수 있습니다. Silicon Motion의 NANDXtend와 같은 기술의 성능은 가장 가혹한 환경을 포함한 실제 운영 경험을 통해 검증되었습니다.

특히 Silicon Motion의 Ferri® 계열 제품은 AEC-Q100 표준에 따른 자동차 분야의 응용에 적합합니다. 모든 제품은 고온 조건에서 엄격한 가속 수명 테스트를 통과한 다음 결함 없이 높은 읽기 및 쓰기 성능과 데이터 보존을 유지할 수 있는 경우에만 승인됩니다.

Ferri 계열의 자동차 등급 제품과 산업 및 의료 시장 고객의 실제 경험은 모두 가장 발전된 NAND 플래시 메모리 기술을 토대로 한 임베디드 SSD가 이러한 응용에서 요구되는 신뢰성과 긴 작동 수명의 요건을 충족할 수 있다는 사실을 보여줍니다.

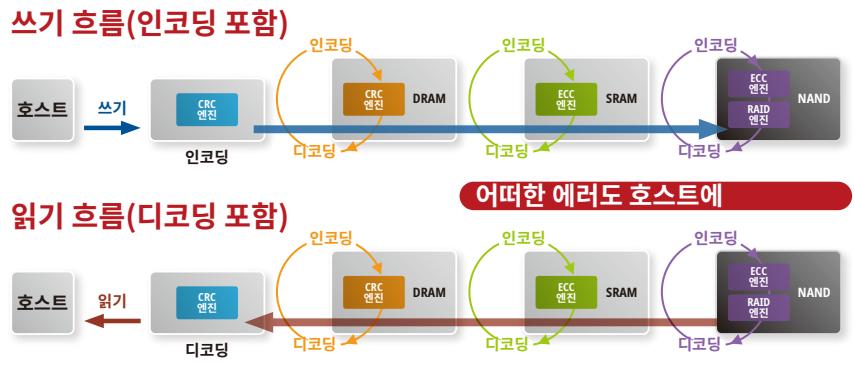


그림 4: 엔드-투-엔드 데이터 경로 보호 기능이 내부 데이터 전송으로 인한 비트 오류를 제거합니다.

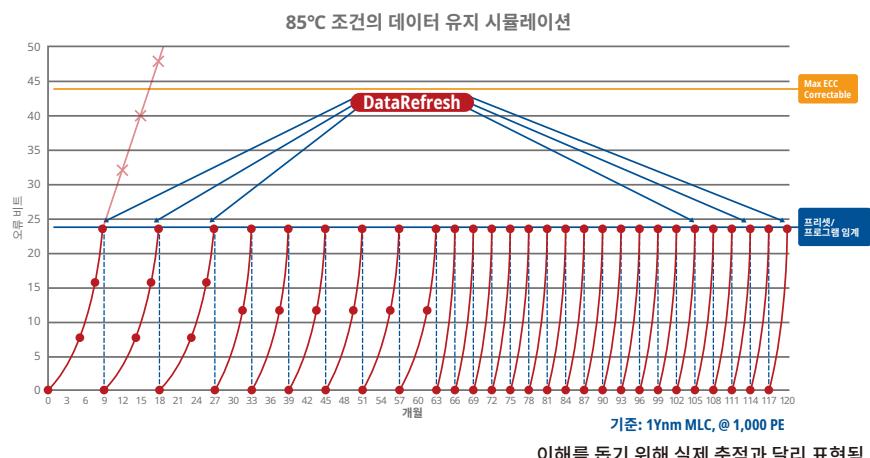


그림 5: DataRefresh 기능은 NAND 플래시 셀 노화에 따른 충전 빈도를 증가시킵니다. (이미지 출처: Silicon Motion)

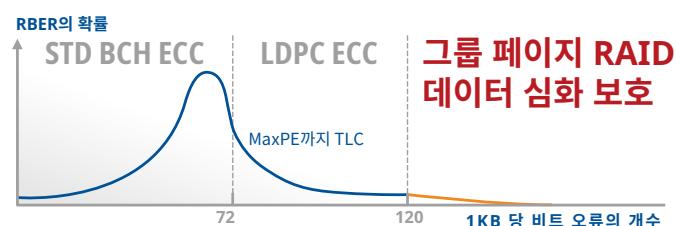


그림 6: FerriSSD 장치는 ECC 알고리즘 선택을 최적화합니다

세계 최고의 SSD 컨트롤러 공급업체인 Silicon Motion은 스토리지 장치 내 NAND 플래시 어레이를 관리한 수십 년 간의 경험을 보유하고 있습니다. Silicon Motion의 하드웨어 엔지니어와 펌웨어 개발자는 최신 NAND 플래시 기술과 관련하여 회사가 축적한 심층적인 지식을 활용하여 고성능의 응용 지향적 ECC 기능을 개발하고 있습니다.

대부분의 산업, 자동차 및 의료 전자 시스템의 수명이 연장되고 있음을 고려할 때, 임베디드 분야에 있어 데이터 보존 성능은 SSD의 선택에 결정적인 요인이 됩니다. 임베디드 시스템 제조사라면 Silicon Motion에게 맡기십시오. FerriSSD 제품에 내장된 가장 효과적인 데이터 보존 기술을 활용하여 선택된 스토리지 장치가 그 수명이 다할 때까지 안정적으로 데이터를 저장할 수 있다는 확신을 가질 수 있습니다.

Ferri 제품군에 관한 더 많은 정보를 확인하려면  
[www.siliconmotion.com](http://www.siliconmotion.com)에 방문하시거나  
이메일([ferri@siliconmotion.com](mailto:ferri@siliconmotion.com))로 문의해 주십시오