

# 차세대 비휘발성 메모리 기반 운영체제 연구의 필요성

한양대학교 | 원유집\* · 강수용\*

## 1. 서론

최근 들어 전 세계적으로 PRAM, MRAM, FRAM 등 나노소자 기반의 차세대 비휘발성 저장 소자에 대한 연구 투자가 매우 활발하게 진행되고 있으며, 국내에서도 정부의 전폭적인 연구투자에 힘입어 나노 소자 기반의 비휘발성 메모리 기술이 빠르게 발전하고 있다. 나노 저장소자들의 집적도 증가 추세로 볼 때, 향후 10여년 내에 단일 칩이 수 GByte 용량을 보유할 것으로 예상되며(그림 1), 모듈화를 통해 단일 컴퓨터에 수십 GByte의 바이트 단위 접근이 가능한 비휘발성 메모리 저장소자를 장착할 수 있게 될 것이다.

메모리는 바이트 단위의 고속 접근성을 가지고 있으며 저장장치는 대용량의 자료를 경제적으로 영구히 저장하는 성질(비휘발성)을 가진다. 현대의 컴퓨터는 이들 매체의 특성을 효과적으로 결합하여 메모리와 스토리지가 분리되어 존재하는 계층적 구조를 가지고 있다. 대용량 비휘발성 나노 저장 소자는 비휘발성, 대용량성, 고속성을 모두 갖추고 있어, 주기억 장치의 역할과 대

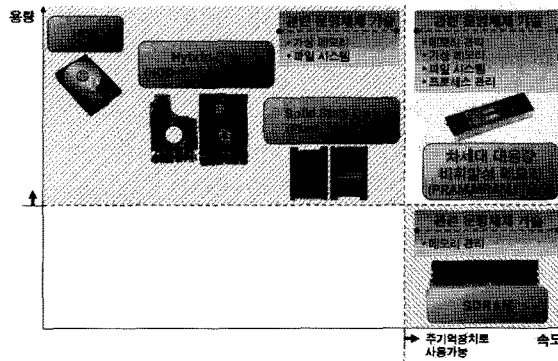


그림 2 매체의 속도와 용량에 따른 저장장치의 종류와 용도

용량 저장장치의 역할을 동시에 수행할 수 있다(그림 2).

비휘발성 대용량 나노저장소자의 등장은 전통적인 컴퓨터 하드웨어의 구성에 대변혁을 가져올 것이다. 기존의 컴퓨터 하드웨어는 크게 CPU, 메모리(주기억장치), 저장장치(보조기억장치), 그리고 입출력 기기들로 구성되어 있다. 현대 운영체제는 프로세스 관리부(process management), 메모리 관리부(memory management), 저장장치 관리부(file system and storage management), 입출력 장치 관리부(I/O subsystem management)로 크게 네 부분으로 구성되어 있으며, 메모리와 저장장치를 근본적으로 다른 시각에서 접근/관리하고 있다. 주기억장치와 보조기억장치의 요구조건을 모두 만족시키는 대용량 나노 저장소자의 등장은 기억장치 분리의 필요성을 없애게 되어, 궁극적으로 주기억장치(메모리)와 보조기억장치(저장장치)를 융합시킬 것이다.

메모리와 스토리지가 융합된 컴퓨터 구조의 효율성을 극대화하기 위해서는, 기존의 저장장치 관련 운영체제 기술(가상기억장치, 파일시스템)과 메모리관리 관련 운영체제기술(프로세스 관리, 메모리 관리)이 유기적으로 융합되어야 한다. 따라서 메모리와 저장장치의 융합을 위한 운영체제의 핵심 요소기술들을 도출하고 개발하여, 메모리와 저장장치가 융합된 컴퓨터 구조에 최적화된 운영체제를 개발하는 것이 필요하다.

### NVRAM Technology Trend

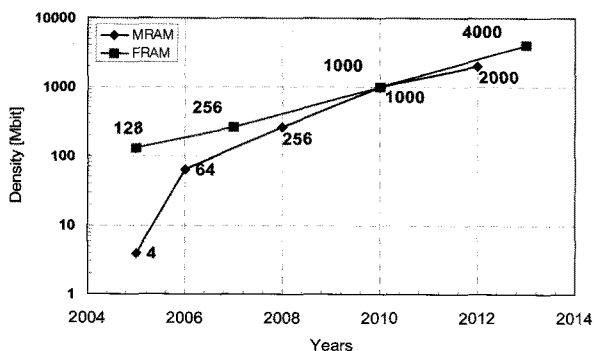


그림 1 FRAM과 MRAM의 집적도 현황 및 증가 추세(출처: FRAM: Nikkei Electronics, 2001, MRAM: NEDO (신 에너지 산업기술 종합개발기구) 보고서)

\* 종신회원

† 본 연구는 국가지정연구실사업(Grant No. R0A-2007-000-20114-0)의 지원을 받아 수행되었음.

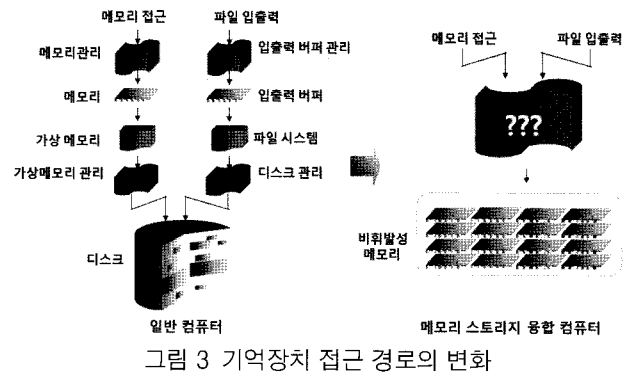
기존 운영체제에서 메모리 접근과 파일 입출력을 통합하여 기억장치 접근 방법을 단일화하고, 주기억장치의 휘발성으로 인해 제공하지 못했던 새로운 혁신적인 기능들(예: 문맥 지속성 지원 기능)을 제공하며, 기존의 컴퓨터 시스템에 비해 획기적으로 높은 성능을 보장하는 운영체제를 개발하기 위한 핵심 기술을 선점하는 것이 어느 때보다 중요한 시점이라 할 수 있다.

## 2. 새로운 운영체제의 필요성

### 2.1 기술적 측면

현대 운영체제는 기억장치(혹은 저장장치) 계층 간의 접근 속도차이를 극복하고 컴퓨터의 전반적인 성능을 향상시키기 위하여 각 부분에 적합한 관리 방식을 사용하고 있다. 메모리 입출력의 경우는 메모리, 가상 메모리, 디스크의 순으로, 파일 입출력의 경우는 버퍼캐쉬, 디스크의 순으로 제어가 전달된다(그림 3). 메모리 스토리지 융합 운영체제의 경우 이 두 가지 독립적인 제어의 흐름이 다시 정의되어야 한다. 주기억장치 주소에의 접근과 파일시스템 데이터 블록에의 접근이 융합될 경우, 버퍼 캐쉬, 저널링[13] 등 계층 간의 속도향상과 시스템 안정성을 위해 소개되었던 많은 현존 기법들이 존재의미를 잃게 된다. 프로세스의 주소공간과 파일공간을 통합 관리하기 위한 새로운 메모리 관리기법과 기존의 주기억장치 공간보다 훨씬 큰 공간을 효율적으로 관리하기 위한 기법이 개발되어야 한다.

메모리-스토리지 융합구조의 등장은 해당 구조의 효율성을 극대화 시킬 수 있는 새로운 운영체제 기술의 등장을 필요로 한다. 새로운 융합 운영체제는 융합 기억장치 소자의 특성을 극대화하여, 성능, 결합내성, 시스템 신뢰성, 문맥지속성 등 '휘발성 주기억장



치'를 가정한 기존의 운영체제가 제공하지 못하는 혁신적인 기능들을 제공할 수 있게 된다. 시스템 '종료'와 '재가동'의 의미를 다시 정의하며, 그것을 바탕으로 다양한 형태의 컴퓨팅 모델이 개발되어야 한다. 기억장치 융합 구조의 운영체제는 그 자체적으로 연구개발의 필요성이 매우 크다. 융합 구조 컴퓨터가 가져올 파급효과를 고려할 때, 운영체제 개발 이후에 나타날 수많은 기술적 활동들의 토대가 된다는 측면에서 그 기술의 핵심성과 기반성이 크다고 할 수 있다.

### 2.2 경제·산업적 측면

이동형 단말기 시장의 크기와 비휘발성 메모리에 대한 수요는 폭발적으로 증가하고 있다(그림 4).

이와 더불어 차세대 비휘발성 메모리에 대한 수요 역시 기하급수적으로 증가할 것으로 예측되고 있으며(그림 5), 2009년도부터 비휘발성 나노저장소자의 일종인 PRAM 기반 MP3 재생기가 등장할 것으로 예측되고 있다[12].

반도체는 우리나라의 수출 주력상품이며, 국내 반도체 기술 역시 전 세계 1위를 차지하고 있다. 비휘발성 나노 저장 소자 분야의 경우 시장에서 우위를 확보하기 위해서 해당 메모리 저장소자의 물리적 특성

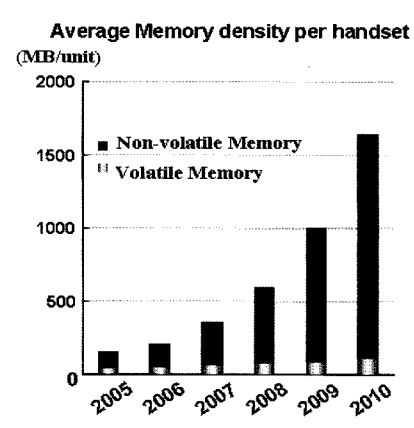
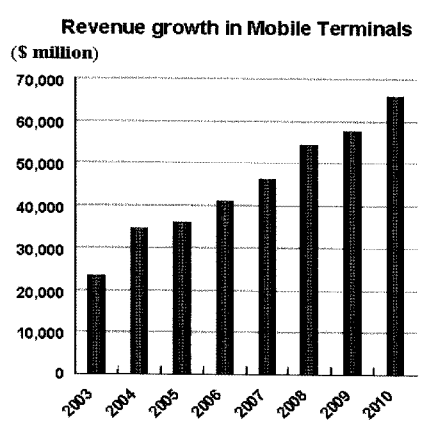


그림 4 이동단말기의 수요 증가와 그에 따른 비휘발성 메모리의 수요 증가: 이동단말기의 연 평균 수입 증가율은 12.9% (Gartner 2006, Aug.)로 조사되었고, 이동단말기 하나 당 평균적인 비휘발성 메모리 반도체의 크기는 연평균 73.8% (iSUPPLi, 2006, 3분기)의 성장률을 보이는 것으로 조사되었다.

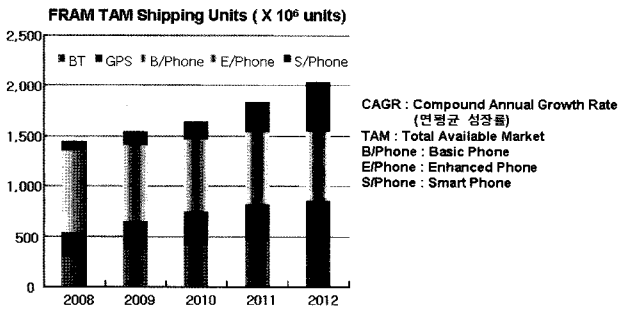


그림 5 차세대 비휘발성 메모리의 하나인 FRAM의 모바일 단말기 용 수요 예측: 모바일 단말기를 위한 FRAM 수요는 2008년 이후 연평균 9.6%의 성장률을 보일 것으로 예상된다(출처: Gartner, ABI, Instat).

을 효율적으로 활용하는 소프트웨어 모듈을 함께 제공하고 관련 지적재산권을 선점하는 것이 매우 중요하다. 반도체 산업이 국내 전체 수출에서 차지하는 비중, 차세대 국내 IT 기술 분야를 이끌어갈 핵심 산업 소재로서의 비휘발성 나노 저장소자의 중요성을 견지해 볼 때, 해당 소자의 물리적 특성을 극대화 시킬 수 있는 소프트웨어 기술의 개발은 필수적이다.

새로운 메모리 소자가 시장에 성공적으로 진입하기 위해서는 해당 소자를 위한 소프트웨어 개발의 선행이 필수이다. 과거 역사를 분석해 볼 때, 소프트웨어 개발 시점은 해당 소자의 대중화 시점보다 약 10여년 선행해왔다. 하드디스크는, 1980년대 중반의 IBM PC 등장 시기를 본격적 대중화 시점으로 볼 수 있고, 하드디스크를 위한 파일시스템 연구는 이미 70년대 중반에 시작되었다[5]. 플래시메모리 소자를 위한 파일

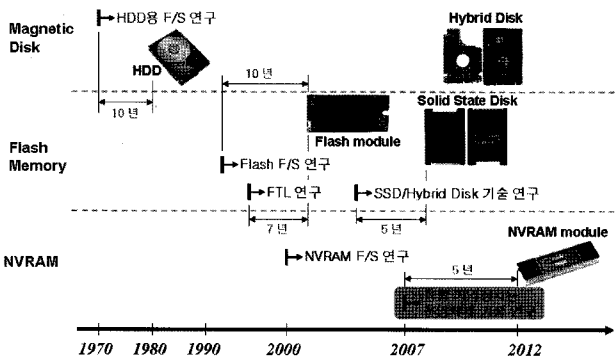


그림 6 저장 장치의 기술 개발 시점과 본격적인 시장 형성 시점 비교: 각 저장장치를 위한 파일시스템 연구는 시장 형성 10여년 전부터 시작되었고, 저장장치의 활용 범위 확대에 따른 신기술 개발은 새로운 활용에 따른 시장이 형성되기 5-7년 전부터 시작된다는 것을 알 수 있다. 이러한 추세를 볼 때, 차세대 대용량 비휘발성 저장장치가 시장을 형성할 것으로 예상되는 2012년을 기준으로 5년 전에 2007년부터 융합 운영체제에 대한 연구가 시작되어야만 기술을 선점할 수 있다[4,5,10].

시스템 연구는 1990년대 초에 최초로 발표되었으나 [4], 플래시메모리(NAND 혹은 NOR)의 수요는 2000년대 초반부터 급격하게 증가하였다. 그림 6은 이를 도식적으로 표현하고 있다. 현재 바이트 단위 접근이 가능한 비휘발성 메모리소자의 소용량 시제품이 등장하고 있으며, 2014년까지 그 집적도가 수 GByte에 이를 것으로 예측되고 있다. 따라서 새로운 소자를 위한 관련 소프트웨어 기술의 선행 연구 개발이 시급히 진행되어야 한다.

이러한 대규모 선도 연구는 연구자들에게 많은 시간과 노력을 요구할 뿐만 아니라, 정부차원의 정책적 지원이 필수적이다. 국내의 경우 2004년부터 과학기술부, 산업자원부, 정보통신부를 중심으로 차세대메모리, SoC, 나노전자소자 등 하드웨어 개발에 대한 집중적인 지원이 이루어지고 있다. 그러나 이러한 투자가 진정한 결실을 맺기 위해서는 상대적 부가가치가 큰 관련 소프트웨어 기술에 대한 투자가 반드시 선행/수반되어야 한다.

### 2.3 사회·문화적 측면

최근 들어 정부차원에서 유비쿼터스 환경을 갖추고자 하는 노력에 따라 다양한 분야에서 유비쿼터스 관련 기술 개발이 이루어지고 있다. 유비쿼터스 시대의 진입에 따른 컴퓨팅 환경의 변화는 인프라 측면과 사용자 측면 모두에서 소형 컴퓨팅 시스템을 필요로 하게 된다. 모바일 기기를 위한 비휘발성 메모리의 수요 증가와 그에 따른 최적 기술 개발의 중요성이 점차 증대할 것이다. 현재의 모바일 기기용 운영체제가 기존의 범용 운영체제를 축소 개발한 형태에 지나지 않는다는 점을 고려할 때, 새로운 형태의 모바일 기기에 최적화된 운영체제를 개발할 필요성이 높아질 것이며, 이는 하드웨어의 발전에 의해 견인될 것으로 예상된다. 하드웨어의 발전 토대를 갖추고 있는 우리나라에서 이러한 상황에 대비하는 것은 필요 불가결한 일이다.

### 3. 현재의 기술 수준

비휘발성 메모리를 활용하는 현재의 기술들은 대부분 파일시스템 개발에 그 목적이 있다. 표 2는 각 저장 매체를 위해 현재까지 개발된 파일시스템 기술들을 정리한 것이다.

#### • 디스크용 파일시스템

전통적인 파일시스템들(UFS[15]/EXT3[3]/NTFS[7]등)은 하드디스크 저장장치를 가정하고, 하드디스크의 접근 지연시간(seek and rotational latency) 개선을 위

표 1 저장장치를 위한 파일 시스템

	저장 소자				접근 경로		비고
	RAM	NV-RAM	Flash	HDD	주소 공간	입출력 공간	
UFS[15]/EXT3[3]/NTFS[7]				○	x	○	· 하드 디스크 기반의 전통적인 파일 시스템
Conquest[2]		○		○	x	○	· 소형 NVRAM을 캐쉬로 이용함 · 작은 파일들과 파일 시스템 메타데이터를 NVRAM에 위치
eNVy[6]			○		x	○	· 플래시메모리 기반 파일시스템
CompulsiveFS[4]		○		○	x	○	· NVRAM을 이용하여 시스템의 보호/복구를 지원하기 위한 파일시스템
PRAMFS[11]		○			x	○	· NVRAM 전용 파일시스템
MRAM-FS[8]		○		○	x	○	· 소형 NVRAM을 가정 · 메타데이터(bitmap, inode등)를 압축하여 MRAM에 위치
tmpfs[10]	○			○	x	○	· 가상 메모리 위에서 정의되는 파일 시스템
ramdisk[9]	○				x	○	· 주기억 장치의 일부 영역을 블록디바이스로 인식시켜 파일 시스템을 위치시킴
yaffs[1]			○		x	○	· 플래시 전용 파일 시스템

하여 Look-Ahead Read, 버퍼 캐쉬, 각종 메타데이터 구조 및 검색 알고리즘 등의 다양한 기법들을 사용하고 있다. 이들 파일 시스템은 DRAM과 같이 균일하고 매우 빠른 접근지연시간을 가지는 차세대 비휘발성 나노저장소자 기반 저장장치에는 적합하지 않다.

• 플래시용 파일 시스템

최근 플래시메모리가 점차 대용량화됨에 따라, 플래시메모리를 대상으로 하는 파일시스템들이 등장하고 있다[1,16]. 이들은 주로 다양한 모바일 기기를 위해 제작되었다. 플래시 기반 파일시스템은 플래시메모리 소자의 삭제 오버헤드를 개선하는 것이 핵심 사안이며, 따라서 DRAM과 같이 읽기/쓰기 속도가 동일하고 in-place update가 가능한 차세대 비휘발성 나노저장소자 기반 저장장치용으로는 적합하지 않다.

• 주기억장치용 파일 시스템

주기억장치용 파일 시스템으로는 RAM disk[9]와 RAM 파일시스템(tmpfs[10])이 있다. RAM disk는 주기억장치 주소공간의 일부를 블록 디바이스로 할당하고, 할당된 부분에 대한 접근은 블록 디바이스 접근과 동일하게 이루어진다. 따라서 각종 파일 입출력 시 파일에 관한 메타데이터들이 주기억장치(블록 디바이스 영역으로 할당되지 않은 부분)에 복제되어야 하는 단점이 있다. RAM 파일시스템은 VFS 캐시 위에 정의되며 주기억장소의 공간을 동적으로 할당받는다. 이들은 주기억장치를 사용한다는 측면에서 본 연구에서 사용하고자 하는 파일시스템과 유사하다 할 수 있겠

다. 그러나 이들은 주 기억 공간에 정의됨에도 불구하고 블록디바이스로 인식됨에 따라 자료 읽기 시에 중복 복사가 발생하며, 기존의 VFS 계층[14] 자료구조를 사용하므로 look-ahead read나 버퍼 캐쉬의 사용 등 불필요한 작업과정을 통해 입출력을 수행한다.

• 혼합형 파일 시스템

최근 들어 소형 NVRAM을 하드디스크와 함께 파일 시스템의 일부로 사용하여 파일 시스템의 성능을 높이고자 하는 기법들이 주창되었다. MRAM-FS[8]는 MRAM을 파일 시스템에 사용하여 주로 메타데이터와 비트맵 등을 저장하는 데 사용하고자 하였으며, 특히 많은 메타데이터를 저장하기 위하여 온라인 압축방법을 제시하고 있다. Conquest[2]는 NVRAM을 가정하고 소형 파일이나 메타데이터를 NVRAM에 탑재하는 방법을 제시하고 있다. 이들 파일 시스템들은 소형 NVRAM을 비휘발성 캐쉬로 사용하고 있다. 이들 기법들은 대용량 NVRAM 출현의 이전단계를 위한 일종의 과도기적 파일 시스템이라 할 수 있다.

위에서 기술한 모든 기법들은 ‘파일 시스템’이라는 근본적인 한계를 가지고 있다. 즉, 기존의 VFS[14] 위에서 혹은 블록 장치 인터페이스를 사용하고자 하는 목적에서 설계되었기 때문에, 차세대 대용량 비휘발성 나노 저장 소자의 등장에 따른 “메인 메모리”와 “스토리지”의 융합, 즉 (운영체제의 입장에서 볼 때) 메모리 관리부(Memory Management Unit)와 파일시스템 관리부(File System Management)의 융합을 다루기에는 근본적으로 무리가 있다. 이를 위해서는 메모리

표 2 임베디드 소프트웨어 수요기업의 라이선스/로열티 국산화율: 임베디드 소프트웨어 산업 협의회(KESIC) 자체 실태조사

	전체	주력 사업 분야						기술 분야			
		유선통신	무선통신	정보/가전기기	자동차 제어	산업 자동화	의료장비	OS 및 시스템 S/W	개발 도구	미들웨어	응용 S/W
(응답자)	(226)	(27)	(77)	(75)	(4)	(34)	(5)	(104)	(71)	(27)	(24)
▪ 국산	12.9	3.7	14.3	16.0	-	17.6	20.0	8.7	4.2	18.5	50.0
▪ 외산	85.8	96.3	84.4	80.0	100.0	82.4	80.0	88.4	95.8	81.5	50.0
▪ 무응답	1.3	-	1.3	4.0	-	-	-	2.9	-	-	-

주소공간의 제어흐름과 파일 시스템 제어 흐름을 구체적으로 분석하고 이를 효과적으로 연동할 수 있는 운영체제가 필요하다.

#### 4. 국내 관련 기술 수준의 취약성

표 2는 국내 임베디드 소프트웨어 시장에서의 라이선스/로열티 국산화율을 조사한 것이다. 표에서 볼 수 있듯이, 응용소프트웨어 분야를 제외한 모든 분야에서 국산 소프트웨어의 비중은 매우 낮은 실정이다. ‘운영체제 및 시스템소프트웨어’ 분야의 국산화율은 8.7%로 나타나 있으나, 실제로 그 중 운영체제가 차지하는 비중은 없으며, 대부분을 하드웨어 구동 소프트웨어가 차지한다.

임베디드 소프트웨어 기술 수준을 우수, 보통, 미약, 전무로 나누었을 때, 운영체제 분야는 ‘전무’로 분석되었다(그림 7). 임베디드 소프트웨어 시장에서 매우 큰 비중을 차지하는 운영체제 기술을 확보하지 않고서는 전체적인 소프트웨어 기술의 발전을 기대하기 어렵다. 이미 시장을 선점한 외산 운영체제가 있는 상태에서, 국내 기술로 새로운 운영체제를 개발하고 상품화한다고 해도 시장에 성공적으로 진입하는 것은 어렵다. 메모리-스토리지 융합 운영체제와 같은 미개

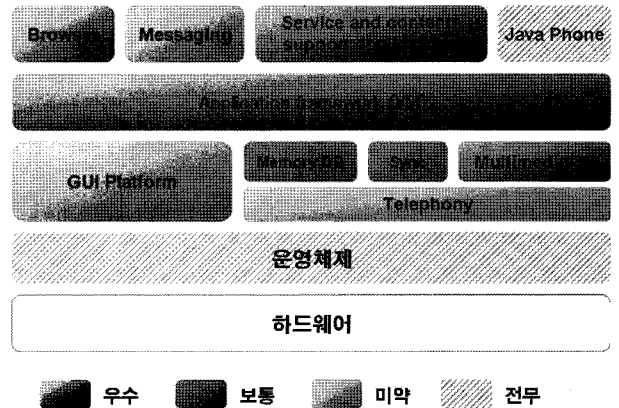


그림 7 국내 임베디드 S/W 솔루션의 경쟁력 파악(핸드폰 분야): 솔루션맵, KIPA & KESIC, 2005

척 분야의 기술 확보와 시장 선점이 경제·산업적 측면에서 반드시 필요하다.

운영체제 기술을 제외한 분야에서의 국내 기술은 세계 최고 또는 최고에 근접한 수준이나, 운영체제 기술의 국내 수준은 여타 관련 기술의 국제적 수준에 비해 매우 낮은 실정이다(표 3). 뿐만 아니라, 컴퓨터 소프트웨어 분야에서 운영체제 기술이 가지는 기반성에 의해, 운영체제 기술의 부족은 응용 소프트웨어 기술의 부족으로 이어지게 된다. 여기서 주목해야 할 점

표 3 본 연구와 관련된 기술의 세계적 현황 및 국내 기술 수준

	기술 분야	세계 최고 수준 기술 현황	국내 기술 수준
메모리 반도체 기술	DRAM	삼성전자에서 2006년 50nm 공정 개발 완료, 2007년 1 GB 상용화	세계 최고 수준
	플래시메모리	삼성전자에서 2007년 51nm 공정 16 Gb 상용화	세계 최고 수준
	차세대 NVRAM	삼성전자에서 2006년 512 Mb PRAM 발표	세계 최고 수준
저장 장치 기술	HDD	Seagate(미국)에서 750 GB 출시, 삼성전자에서 500 GB 출시	세계 최고 수준에 근접
	Hybrid Disk	삼성전자에서 2006년 개발 완료, 2007년 시장출시	세계 최고 수준
	SSD	삼성전자에서 2007년 1.8 " 64 GB 출시, MTRON(한국)에서 3.5 " 128 GB 출시	세계 최고 수준
시스템 S/W 기술	메모리반도체용 시스템 S/W	삼성전자: 플래시메모리용 FTL 기술 확보	세계 최고 수준
	저장장치용 시스템 S/W	삼성전자: HDD 구동 S/W, Hybrid Disk 구동 S/W, SSD 구동 S/W 기술을 모두 확보	HDD를 제외한 저장 장치용 S/W는 세계 최고 수준
	운영체제	Windows, Solaris, Linux 등 외국 기술이 주도	절대적으로 부족

## TIMELINE // EVOLUTION OF SOLID-STATE STORAGE

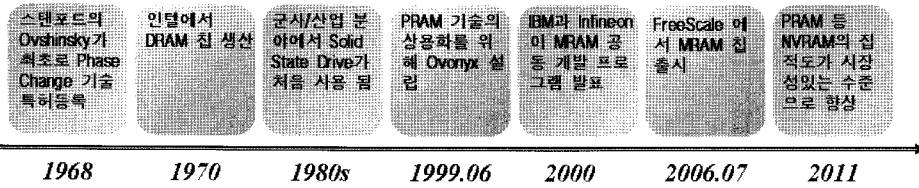


그림 8 메모리 반도체의 발전 과정 (ByteandSwitch, "In Depth: Solid State Storage", June 2006)

은, 국내 소프트웨어 기술의 전반적인 부족에도 불구하고, 메모리 반도체용 시스템 소프트웨어와 저장장치용 시스템 소프트웨어 기술은 세계 최고 수준의 기술을 확보하고 있다는 점이다. 이는 새로운 하드웨어 기술이 해당 분야 시스템 소프트웨어 기술을 견인하는 효과를 발휘하고 있다는 점을 시사한다. 차세대 비휘발성 메모리를 이용한 새로운 컴퓨터 구조(하드웨어) 기술을 우리나라가 선점한다면, 그를 위한 운영체제의 요소 기술 수준 역시 세계 수준으로 성장할 수 있다는 것을 의미하며, 우리나라의 메모리반도체 기술과 저장장치 기술의 수준을 볼 때, 컴퓨터 구조 기술과 운영체제 기술 분야에서도 이러한 기술 견인 효과가 나타날 수 있을 것으로 예상된다.

### 5. 향후 전망

비휘발성 메모리 반도체는 1968년 최초로 기술이 개발된 이후 꾸준한 연구 과정을 거쳐, 최근 들어 집적도 향상이 급격하게 진행됨에 따라 2011년경에는 집적도가 시장성을 가지는 수준으로 향상될 것으로 전망되고 있다(그림 8).

최근에 등장하고 있는 새로운 플래시메모리 활용방안은 플래시메모리를 이용하여 저장 장치의 속도를 향상시키는 것이다(그림 9).

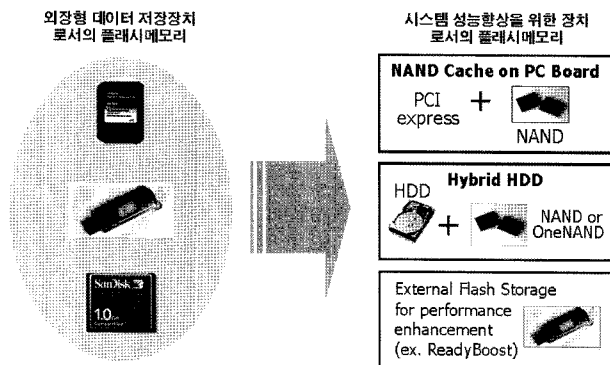


그림 9 플래시메모리 활용 범위의 확장: 외장형 데이터 저장장치로 활용되던 플래시메모리를 최근 들어 컴퓨터 시스템의 성능향상을 위한 장치로 활용하고자하는 시도가 이어지고 있다.

이는 주로 이동형 저장 장치 또는 이동형 기기의 저장 장치로 사용되어오던 플래시메모리를 캐쉬 용도로 활용하고자 하는 것이다. 이러한 맥락에서 볼 때, 대용량 차세대 비휘발성 메모리 역시 주기억장치 혹은 보조기억장치로 사용될 뿐 아니라, 주기억장치와 보조기억장치를 통합한 기억 장치로 사용될 것으로 예상된다.

주기억장치와 보조기억장치의 통합은, '주기억장치의 휘발성'으로 인해 컴퓨터에 가해졌던 제약들로 인해 컴퓨터가 제공하지 못했던 새로운 혁신적인 기능들을 사용자에게 제공할 수 있을 것이다. 이러한 혁신적인 기능들의 실현은 새로운 운영체제 기술에 근간할 것이므로, 관련 운영체제 핵심 기술을 선점하기 위한 기업간/국가간 경쟁이 치열할 것으로 예상된다.

### 6. 연구의 기대효과

#### • 컴퓨터 소프트웨어 핵심 기술 선점

운영체제는 컴퓨터 소프트웨어의 근간이며, 응용소프트웨어 개발을 위한 기술적 토대를 제공한다. 따라서 새로운 운영체제 핵심 기술의 선점은 컴퓨터 소프트웨어 분야 전체의 경쟁력 제고에 매우 중요한 역할을 한다. 따라서, 새로운 운영체제의 기본 구조를 정립하고, 운영체제 개발을 위한 핵심 기술을 조기에 도출함으로써 새로운 운영체제 개발에 있어 기술적 선점 효과를 기대할 수 있을 뿐만 아니라, 그에 바탕을 둔 응용소프트웨어의 개발 기술 확보도 기대할 수 있다.

#### • 컴퓨터 하드웨어 핵심 기술 선점

미래 컴퓨터 시스템의 기본 구조는 기존의 컴퓨터 하드웨어 구조에 대한 상당 부분의 변화를 요구하게 될 것이다. 이러한 변화를 위해서는 하드웨어 기술의 확보가 필수적이고, 결과적으로 이 과정을 통해 컴퓨터 하드웨어 기술 발전을 견인해 나갈 수 있을 것으로 예상된다. 컴퓨터 시스템 구조와 관련된 핵심 기술의 확보는 추후 하드웨어 관련 기술 전체의 기술 확보를 위해 필수적이라 할 수 있고, 차세대 운영체제 연구

의 결과가 이를 위한 토대가 될 수 있을 것으로 기대된다.

• **소프트웨어 산업 경쟁력 강화**

운영체제의 핵심 기술 확보는 컴퓨터 소프트웨어 전체의 기술 향상에 엄청난 파급효과를 불러 올 것으로 예상할 수 있다. 응용 소프트웨어가 운영체제에 크게 의존한다는 사실로 인해, 운영체제 시장을 장악하고 있는 마이크로소프트는 전체 소프트웨어 시장에서 독과점에 가까운 시장 지배력을 유지하고 있다. 또한, 운영체제의 후발업체들은 우수한 기술력을 바탕으로 한 훌륭한 신제품을 출시하더라도 응용소프트웨어의 부족으로 인해 시장 진출에 어려움을 겪고 있는 실정이다. 결과적으로, 운영체제 기술의 선점이 전체 소프트웨어 시장에서의 지위를 결정하게 되고, 그것이 다시 운영체제 시장의 공고화로 이어지게 된다는 것이다. 따라서 메모리-스토리지 융합 운영체제의 연구 결과를 토대로 국내 소프트웨어 산업의 경쟁력은 크게 강화될 수 있을 것이다.

• **핵심 소프트웨어 수입 대체**

컴퓨터 소프트웨어의 핵심인 운영체제는 현재 국산이 전무한 상황에서 모두 외국 제품을 수입하거나 공개소프트웨어를 사용하는 상황이다. 실제로, 국내 PC 운영체제 시장의 99.73%와 서버 운영체제 시장의 61.5% (2005년 기준)를 마이크로소프트 윈도우즈 운영체제가 장악하고 있다. 또한, 서버 운영체제의 24.5%만이 공개소프트웨어인 리눅스를 사용하는 점을 볼 때, 결국 약 70%의 서버 운영체제 시장이 수입 운영체제에 의존하고 있다. 이런 상황에서 새로운 개념의 운영체제 기술이 국내 연구진에 의해 확보되어 국산 운영체제가 먼저 개발될 경우 기대할 수 있는 운영체제 수입 대체 효과는 실로 막대하다 할 수 있다.

• **반도체 산업의 신규 수익 창출**

나노 저장 소자를 단순한 디스크 대체/보조용 또는 휴대용 저장장치로 사용하는 것 뿐 아니라 컴퓨터 시스템의 주기억장치로 활용하는 시스템 구조를 제시함으로써, 나노 저장 소자의 활용 범위가 넓어지게 되고, 그에 따라 신규 수익이 창출될 수 있을 것으로 기대된다.

• **휴대용 컴퓨팅 시스템의 대용량화로 인한 정보 교류의 활성화**

미래에 등장하게 될 새로운 휴대용 시스템에 차세대 나노 저장 장치가 사용될 경우, 사용자들은 현재의 시스템에 비해 훨씬 빠르면서 대용량의 데이터를 저장할 수 있는 휴대용 시스템을 사용할 수 있게 된다.

사회구성원간에 새로운 교류의 형태가 등장할 수 있으며, 사회·문화적 행태의 변화를 일으킬 수 있다. 따라서 이러한 변화에 앞서 대비함으로써 미래를 위한 새로운 정보·문화 서비스 창출에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

• **시스템 소프트웨어 개발 인력 양성**

심도 있는 운영체제 연구 활동의 결과로 고급 시스템 프로그래머와 운영체제 소프트웨어 인력들이 배출될 것이다. 이를 통하여 국내 시스템 소프트웨어 및 임베디드 소프트웨어 기술력 제고에 공헌할 수 있을 것으로 예상된다.

## 7. 결론

최근 나노 저장소자들의 집적도 증가 추세로 볼 때, 향후 10여년 내에 단일 칩이 수 GByte 용량을 보유할 것으로 예상되며, 모듈화를 통해 단일 컴퓨터에 수십 GByte의 비휘발성 나노 저장 소자를 장착할 수 있게 될 것이다. 주기억장치와 보조기억장치의 요구조건을 모두 만족시키는 대용량 나노 저장소자는 궁극적으로 주기억장치(메모리)와 보조기억장치(저장장치)를 융합시킬 것이다. 메모리 스토리지가 융합된 컴퓨터의 효율성을 극대화하기 위해서는 운영체제의 각 요소기술들이 융합 컴퓨터의 구조에 최적화되어 설계 구현되어야 한다. 이를 위해서는 시스템 정상구동 상태 시의 메모리-스토리지의 융합구조에 최적화된 프로세스, 메모리, 파일 시스템의 관리기술 개발과 함께 시스템 비정상 종료 시 시스템을 효율적으로 보호/복구하기 위한 기술 개발이 필요하다. 이러한 요구는 이미 공고해진 운영체제 분야의 국가 간 기술력 격차를 해소할 수 있는 기회로 볼 수 있으며, 이러한 기술 개발을 통해 차세대 운영체제의 핵심 기술을 선점하고, 상대적으로 뒤떨어진 국내 시스템 소프트웨어 분야의 기술력을 향상시킬 수 있도록 해야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] Aleph One, "YAFFS: Yet another flash filing system," Electronic document available online at <http://www.aleph1.co.uk/yaffs/index.html>, Cambridge, UK.
- [2] An-I Andy Wang, Geoff Kuenning, Peter Reiher, and Gerald Popek, "The Conquest File System: Better Performance Through a Disk/Persistent-RAM Hybrid Design". ACM Transactions on Storage, 2(3), pp. 1-40, 2006.
- [3] Introducing ext3 - IBM developerWorks Advanced

filesystem implementor's guide, Part 7, <http://www-128.ibm.com/developerworks/linux/library/l-fs7.html>

[4] Kevin Greenan, Ethan L. Miller, "CompulsiveFS : Making NVRAM Suitable for Extremely Reliable Storage", Work in Progress at The 5th USENIX Conference on File and Storage Technologies (FAST '07) January 2007

[5] Marshall Kirk McKusick, William N. Joy, Samuel J. Leffler and Robert S. Fabry (August 1984). "A Fast File System for UNIX". ACM Transactions on Computer Systems 2 (3): 181-197.

[6] M. Wu, "The Architecture of eNvy, A Non-Volatile, Main Memory Storage System", Technical Report, Rice COMP TR94-229, April 1994.

[7] Nagar, Rajeev (1997). Windows NT File System Internals: A Developer's Guide. O'Reilly. ISBN 978-1-56592-249-5.

[8] Nathan K. Edel, Deepa Tuteja, Ethan L. Miller, Scott A. Brandt, "MRAMFS: A compressing file system for non-volatile RAM," In Proceedings of MASCOTS 2004, Volendam, Netherlands, October 2004.

[9] Paul Gortmaker, "Using the RAM disk block device with Linux," Documentation in Linux Source

[10] P. Snyder, "tmpfs: A virtual memory file system." In Proceedings of the Autumn 1990 European UNIX Users' Group Conference, pages 241 - 248, Nice, France, Oct 1990.

[11] PRAMFS, <http://pramfs.sourceforge.net/>

[12] Scott M. Fulton, III, BetaNews, "Samsung PRAM Could Replace Flash Memory", September, 2006

[13] Seltzer, M. et al. (2000). "Journaling Versus Soft Updates: Asynchronous Meta-data Protection in File Systems." USENIX Annual Technical Conference. 71-84.

[14] S.R. Kleiman., "Vnodes: An Architecture for Multiple File System Types in Sun Unix," USENIX Association: Summer Conference Proceedings, Atlanta, 1986.

[15] Thompson, K., "UNIX Implementation", Bell System Technical Journal, Jul.-Aug. 1978, Vol. 57, No. 6, Part 2, pp.1931-1946

[16] Woodhouse, D., "JFFS: The journaling flash file system," Presented in the Ottawa Linux Symposium, July 2001 (no proceedings); a 12-page article is available online at <http://sources.redhat.com/jffs2/jffs2.pdf>.



#### 원유집

1990 서울대학교 계산통계학과 학사(졸업)  
 1992 서울대학교 계산통계학과 석사 졸업  
 1997 University of Minnesota 박사 졸업  
 1997~1999 Intel 연구원  
 1999~현재 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 부교수

관심분야 : 운영체제, 컴퓨터네트워크, 성능평가  
 E-mail : yjwon@ece.hanyang.ac.kr



#### 강수용

1996 서울대학교 수학과(학사)  
 1998 서울대학교 전산학과(석사)  
 2002 서울대학교 전기컴퓨터공학부(박사)  
 2003~현재 한양대학교 정보통신학부 조교수  
 관심분야 : 운영체제, 멀티미디어 시스템, 분산시스템, 저장시스템

E-mail : sykang@hanyang.ac.kr