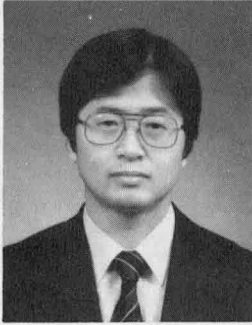


軍用 컴퓨터 설계 방향



金 淵 哲 / 국방과학연구소
선임연구원, 공학박사

이 글에서는 군용 환경하에서 높은 신뢰성을 유지하며 요구되는 규격을 만족시키는 컴퓨터(하드웨어)를 설계하기 위한 방향을 제시하고 각 단계별로 보다 세부적인 설계 지침에 대하여 설명하였다

군용 환경사양을 만족시키기 위하여 설계 초기단계인 부품 선정단계에서부터 모듈 설계 및 기구물 설계, 그리고 설계 인증을 위한 환경시험단계까지 상용의 경우와는 달리 수많은 요소들이 고려되어야 하며 설계에 반영되어야 한다

비록 이 글에서 다루어지지는 않았으나 소프트웨어 측면에서의 군용 환경도 그 중요성이 하드웨어 못지 않을 것이며, 소프트웨어의 신뢰성과 정확성등의 중요성도 간과해서는 안될 부분이다 (필자 주)

현대전

및 미래전에서의 무기체계는 최근의 걸프전에서도 입증되었듯이 정밀성과 지능성의 측면에서 크게 발전되고 있으며 정밀 지능형 무기 개발은 컴퓨터 기술의 발전없이는 불가능하다는 것이 주지의 사실이다.

현재 우리나라 민수 분야의 컴퓨터 기술은 정부를 비롯한 관련 산·학·연에서의 지속적인 투자와 노력으로 어느 정도 수준에 와있다고 볼수 있다.

이에 반해 군용 컴퓨터 기술은 국과연 주도로 연구개발 활동이 수행되고 있으며, 유도탄 내장 컴퓨터, 발사통제용 컴퓨터, 사격제원 계산기등 일부 마이크로프로세서 응용기술과 관련된 내장형 소프트웨어 기술이 거의 전부라 할수 있을 것이다.

따라서 현재 개발되고 있는 무기체계는 물론 앞으로 고정밀 지능형 무기체계 개발을 위해서는 초고속 계산기술, 컴퓨터의 소형화 및 견고화 기술, 高신뢰도화 기술, 소프트웨어 개발 기술, 그리고 인공지능 응용기술 등이 확보되어야 한다.

이러한 기술들은 하루 아침에 확보되어질 수 있는 기술이 아니므로 긴밀한 산·학·연간의 협동체제를 유지하고, 지속적인 국가 차원의 지원이 있어야 가능할 것이다.

컴퓨터의 설계란 소프트웨어와 하드웨어의 설계를 통틀어 말하는 것이나, 군용과 상용의 차이는 소프트웨어보다는 하드웨어 측면에서 더 많은 차이점을 나타내기 때문에 이 글에서는 기본적인 군용 컴퓨터의 하드웨어 설계시에 상용과 다르게 고려되어야 할 사항에 대해 살펴보고자 한다.

전자회로 설계

군용 장비와 상용 장비의 차이점은 우선 사용환경이 다르다는 것에 특징이 있고 그에 따라서 전기적, 기구적인 설계 요구조건이 달라진다.

이러한 조건들은 설계단계부터 부품선정, 적용기술, 조립방법등 여러가지 면에서 선택의 제한을 가져오는 물론, 때에 따라서는 환경조건을 만족시키기 위해 목표성능의 희생도 감수해야 하는 경우도 있다.

상용 컴퓨터의 경우, 진동은 일반 수송환경에서 견딜수 있으면 되고 동작 주위온도 10°C~40°C, 상대 습도 20%~80%를 만족하도록 설계되며, 핵폭발에 의한 방사선의 영향이나 염수, 모래 환경 등은 고려되지 않는다.

이에 반해 군용 컴퓨터의 경우는 상용의 경우보다 훨씬 심한 모든 조건들이 고려되어야 한다. 예를 들면 동작 온도 -54°C~71°C, 상대습도 5%~95% 등을 들수 있다.

상용장비와 군용장비에서 서로 다른 전기적 설계요구조건 가운데 중요한 것은 전원공급기의 주어진 전압 변동이 보다 넓은 범위에서 정상 동작하도록 설계되어야 한다는 것과 전자파 간섭(EMI)에 관한 규제조건이다.

즉 상용 전자장비에서는 전자부품들이 전원공급기의 5% 이내 전압 변동범위에서 정상 동작하면 되나, 군용 전자부품들은 10% 내의 전압 변동에서도 정상 동작해야 된다.

또한 전자파 간섭 측면에서는 상용 전자장비의 경우 일반적으로 FCC의 규정을 따르면 되나, 군용 전자장비의 경우에는 보다 엄격한 MIL-STD-461의 요구조건은 물론 때에 따라서 Radiation에 의한 정보 누출을 막기 위한 TEMPEST 사양까지도 만족시켜야 한다.

● 부품선정

군용 환경이라는 것이 부품 선정을 까다롭게 할 뿐만 아니라 대부분 프로젝트별로 우선 사용 부품 리스트(PPL: Preferred Parts List)를 만들고 그에 따라 설계 사양을 만족시키는 부품을 선정하게 된다.

만약 필요로 하는 부품이 PPL에 없을 경우에는 MIL-M-38510의 사양을 만족하는 부품, MIL-STD-883의 표준에 따라 시험검사를 거친 부품, 또는 군사규격 온도범위를 만족시키는 부품 순으로 선정할수 있다.

새로 나온 부품을 규격에 합격시키기 위해서는 많은 비용과 기간, 그리고 노력이 필요하기 때문에 수요가 많아져야 표준 부품 리스트에 올리는 작업이 행해지는 것이 보통이다. 따라서 최첨단 부품은 대부분 군용 부품으로 쓰지 못하게 된다.

부품 선정에서 또 한가지 중요한 요소는 보급성이다. 군사무기체계의 생명주기(Life Cycle)는 적어도 10년 이상이며 15년 내지 20년 되는 것이 일반적이다.

따라서 아주 낡은 기술의 부품을 사용하여 개발하는 경우 생산 배치후에 부품이 단종되어 수리부속을 구할수 없게 되는 경우가 발생하게 된다. 여기서 가능한한 최신 기술의 부품을 선정하고, 또한 제2생산자가 있는 부품을 선정하는 것이 바람직하다.

또다른 주의할 사항은 군용환경에서 견디기 위하여 부품자체가 밀봉된 형이려야 한다. 군용환경하에서는 동작 온도 특성이 좋지 않은 플라스틱 Package나 대형 Leadless Package를 사용하여야 할때에는 세심한 주의가 필요하다. 왜냐하면 온도 변화가 클때 열팽창 계수가 다름으로 인해 접합부분에 손상이 생길수 있기 때문이다.

● 회로설계

군용 환경이 열악한 군용 장비를 설계할 때 또하나의 중요한 문제로 대두되는 것은 잡음(Noise)과 간섭(Crosstalk)현상이다. 간섭현상은 신호의 주파수에 비례하며 PCB(Printed Circuit Board)의 패턴 설계의 질에 따라 영향을 많이 받게 된다. 따라서 이러한 점을 초기에 고려, 설계하여야 한다.

고속의 CMOS 기술과 같이 Signal Edge의 경사가 급한 신호의 경우 Edge의 경사가 급할수록 Termination 등이 잘 되어 있지 않은 신호선에서의 반사파에 의하여 Ringing, Undershoot, 또는 Overshoot 등이 발생되어 신호의 질을 나쁘게 만들수 있으므로 이상적인 Settling Time을 두고, 동기시키지 않는 신호선의 대부분은 적당한 Termination이 필요하다.

회로 설계시 고려되어야 할 또다른 사항은 군용 부품의 동작 속도이다. 일반적으로 군용 부품의 동작 속도는 넓은 온·습도 범위에서 오류없이 동작하게 하기 위하여 상용 칩에 비해 느린것이 보통이다.

동작 속도 외에 군용 컴퓨터의 MTBF(Mean Time Between Failure)를 높이기 위하여, 사용되는 부품이나 회로 특성의 극한치에 달하지 않도록 설계하게 된다.

예를 들면 상용에서 250mW 저항이 군용에서는 고온에서의 성능을 보장하기 위하여 125mW의 저항으로 표시되고, 설계목적으로 이 저항은 다시 62.5mW로 간주된다.

따라서 군용장비의 설계시에는 상용 설계시보다 용량이 큰 부품, 더 많은 갯수의 부품, 또는 더 많은 Buffer등을 사용하는 경우가 많다. 특히 저항이나 축전기 등의 경우는 거의 대부분이 그렇다. 그리고 진동이나 기계적인 충격에 견디기 위하여 상용에서 많이 쓰고있는 소켓을 사용치 않게 된다.

특히 프로그램용 기억소자(ROM)의 경우 소켓을 쓰지 않으면 프로그램 증가 또는 수정이 필요할때 교환이 어렵게 된다. 그러나 신뢰도를 높이기 위해서는 어쩔수 없게 된다.

규격 문제가 심각하지 않을 경우 최근에는 기억 밀도가 낮은 EEP ROM을 사용하여 위와 같은 문제를 해결할수 있다.

●PCB 설계

PCB 설계에서 맨처음 결정되어야 할 사항은 운용환경과 전체 시스템의 크기에 따라 결정되는 전자모듈의 크기이다.

상용의 경우에는 크기 문제 때문에 기능면에서의 제약을 감수하지 않지만, 군용의 경우 때에 따라서는 컴퓨터의 크기가 가장 우선적인 조건이 될수 있다.

예를 들면 전투기나 유도탄 등과 같이 제한된 공간에서 운용되는 경우 냉각 문제와 제작상의 어려움이 허용하는한 소형으로 설계되어야 하며, 이러한 크기 조건은 다음 단계의 설계조건에 연속적으로 영향을 미치게 된다.

PCB 설계는 크게 부품 배치와 신호선 Routing 문제로 나눌수 있다. 부품은 Routing이 쉽게 될수 있도록 배치되어야 함은 물론, 고온 환경에서의 신뢰도를 높이기 위하여 방열 문제를 고려하여 배치되어야 한다.

그리고 신호선의 Routing 설계시에 신호간섭(Crosstalk) 문제를 고려하여 가능하면 길게 평행으로 가지 않도록 하여야 하며, 조립후 시험이 가능하도록 설계되어야 한다.

즉 다층기판의 경우 내층의 중요 신호들의 시험요소들이 마련되어야 하고 시험장비의 테스트 Probe들이 접촉될수 있도록 공간이 유지되어야 한다. 최근에는 이러한 모든 작업들을 돕기 위한 CAE공구들이 많이 등장하여 쉽게 최적의 설계가 가능하다.

기구물 설계

군용 환경에서 강우나 습도보다 더욱 심각한 것은 기계적인 충격과 진동 그리고 넓은 온도 변화 범위이다. 진동과 충격 사양은 장비의 운용환경에 따라 다르게 된다.

예를 들면 제트 항공기의 경우 진동의 PSD(Power Spectral Density)가 3백Hz~1천 Hz 사이에서 강하게 나타나지만, 궤도차량의 경우에는 15Hz~3백Hz 사이에서 더높게 나타난다. 그러나 실제 상황에서의 진동주파수의 범위는 매우 넓기 때문에 일반적으로 무작위 진동 시험 방법을 염두에 두고 설계를 하게 된다.

군용환경에서의 온도변화(-55°C~71°C)는 오랜기간 사용시 장비의 신뢰도에 영향을 주게 되며, 높은 고도에서의 운용환경의 경우에는 대기 밀도의 감소로 인한 열전도 문제가 대두되므로 공기의 공급조건도 따르게 된다.

그리고 모래, 먼지, 안개 및 강우 등은 기계적인 충격이나 진동 그리고 온도의 극심한 변화와 같이 심각한 문제는 아니나 장기적인 신뢰도 유지를 위하여 적당한 개스킷이나 필터등을 이용하여 설계해야 한다.

● 기구함 설계

기구함의 설계조건은 주로 요구되는 기능과 장착되어질 공간의 제약으로부터 결정된다. 그러나 열악한 환경조건일 경우 MIL-C-172에 규정되어 있는 표준화된 기구함으로 설계하게 되는데 대부분 ATR(Airborne Transmission Rack) 설계가 보통이다.

ATR은 과거 군용환경에서 수많이 사용되어 충격이나 진동에 대한 성능이 충분히 입증되었으며, 적당한 개스킷으로 먼지나 강우, 모래 등으로부터 내부 전자장치를 안전하게 보호할수 있다.

표준 ATR을 사용하는 경우 진동이나 충격으로부터 보호하기 위하여 Hard Mount와 Shock Mount 2가지의 장착 방법을 사용할수가 있다. 어느 방법을 택할 것이냐 하는 것은 예상되는 진동 뿐만 아니라 실제 장착될 공간의 여유에 따라 결정된다.

장착 공간이 여유가 없을 경우 Hard Mounting 방법을 택하게 되는데 견고한 장착대를 설계해야 되기 때문에 비용이 많이 들게 된다. 그러나 Shock Mounting 방법은 보다 여유있는 공간을 필요로 하게 되는데 그 이유는 장착대에 충격 격리체(Shock Isolator)가 부착될 뿐만 아니라 진동으로 인한 흔들림을 고려해야 되기 때문이다.

● 냉각

기구물 설계에 있어서 또하나의 고려사항은 내부에서 발생하는 열을 적당히 냉각시킬수 있어야 된다는 것이다. 대부분의 경우 순수한 전도에 의한 것이나 순수한 대류에 의한 냉각 방법은 불가능하며 일반적으로 2가지 방법을 같이 사용하게 된다.

표준 ATR을 사용하는 경우 내부 회로카드의 열을 ATR 외벽으로 전도시키고 냉각팬을 이용한 대류에 의해 샷시 밖으로 열을 내보내게 된다. 그러나 대개 열전도성의 부족 또는 냉각팬의 용량 부족등으로 방출에 한계가 있기 때문에 회로기판 설계 초기 단계부터 열분석을 철저히 하는 것이 바람직하다.

기구함 외벽으로의 전도방법은 내부 전자물질을 외부의 먼지나 모래 또는 강우등으로부터 보호할수 있으며 EMI/EMC 요구조건도 쉽게 만족시킬수 있는 설계 방법이다.

● 회로카드 설계

약 10여년 전부터 개발되기 시작한 SMT(Surface Mount Technology) 기술은 군용 전자장비 개발에 많은 변화를 가져왔다.

SMT 기술을 사용하게된 가장 큰 이유는 Through-hole Mounting 방법에 비하여 부품 밀도를 크게 하기 위함이나 부수적으로 극심한 진동이나 충격에도 잘 견딜수 있기 때문이다. 어떠한 기술을 사용하든지 효과적인 방법으로 부품에서 발생하는 열을 없애주어야 하는 문제는 항상 남아있기 마련이다.

전체 시스템을 냉각시키는데 있어서 열전도 저항이 가장 큰 곳은 IC의 접점과 PCB 표면 사이이다.

부품 배치가 잘 되었다 하더라도 PCB에서의 열방출을 돕기 위하여 금속 프레임을 이용하는 Thermal Rib와 Thermal Compound를 사용하게 되는데, 이는 PCB가 기구함에 장착되었을 때 기계적인 충격을 견디는데 도움을 주게 된다.

Thermal Rib는 대개 알루미늄이나 구리를 쓰게 되는데 구리는 알루미늄에 비해 약 2배의 열전도율을 가지는 대신 무게는 약 3배정도 무겁다. 따라서 어느 재질을 선택하느냐 하는 것은 열전도 효율과 무게를 고려하여 절충(Trade-off)해야 한다.

또한가지 열방출을 돕는 방법은 부품 배치시 많은 열을 발생시키는 부품을 PCB가 장착되었을 때 샷시에 가깝도록 배치하여 열전도를 쉽게 하는 것이다. 회로카드 설계에서 마지막으로 고려되어야 할 사항은 고유진동 주파수에 대한 분석이다.

이 주파수는 주위의 샷시나 카드 가이드 등의 공진 주파수와 서로 다르게 설계되어야 한다. 만약 그렇지 못하면 회로카드 자체나 또는 납땜 부분에 손상을 가져올수 있다.

● 정비성

어떠한 군용 전자장비든지 MTTR을 작게 하는 것은 매우 중요한 설계조건 중의 하나다. 정비성을 좋게하기 위해서는 문제가 발생하였을 때 전자조립체를 쉽게 빼내고 교환할 수 있게 설계되어야 한다.

또한 설계시에 Snap-in형이나 Self-Clinching형의 하드웨어를 사용하도록 약간만 신경을 써도 실제 운용 환경에서는 분해와 조립에서 시간을 절약할 수 있으므로 MTTR을 줄이는데 큰 역할을 하게 된다.

결국 정비성을 좋게하기 위해서는 표준화와 모듈화 설계가 이루어져야 한다.

설계 인증

컴퓨터 시스템의 복잡도가 날로 증가함에 따라 철저한 설계인증과 품질보증은 필요 불가결한 것이 되었다. 아무리 정밀한 설계방법을 써서 설계하더라도 설계 오류를 완전히 배제하기는 어렵기 때문이다. 따라서 기능적이고 기계적인 시스템 레벨의 요구조건을 만족시키기 위해서는 전개발순기에 걸쳐 총체적인 시험이 이루어져야 한다.

컴퓨터 시스템은 일반적으로 하나 또는 그 이상의 Bus를 통하여 공유되는 여러개의 각각 다른 기능의 모듈들로 이루어진다. 이 모듈들이 바로 SRU(Shop Replaceable Unit) 또는 LRU(Line Replaceable Unit)가 된다.

따라서 설계 인증은 각각 모듈의 고유한 기능을 시험하는 것으로 나누어질 수 있으며 기능시험, 환경시험, 신뢰도/정비성 시험 등으로 구분할 수 있다.

● 기능시험

과거에는 설계인증단계부터 시제품을 제작하여 기능 확인시험을 하였으나 최근에는 CAE 도구들을 사용하여 설계된 회로를 모의 실험을 통해 기능을 확인한다든가, 기계적인 스트레스 분석기와 열분석기를 통해 올바른 설계 여부를 확인할 수 있게 되었다.

그러나 모의실험을 통하여 요구되는 모든 기능을 완전히 확인하기는 어려우므로 최종적으로 시제품을 제작하여 실제 기능시험에 임하게 된다.

이때 시제품은 제작전 모의실험을 거쳐 많은 부분의 오류 가능성이 제거된 최종 제품에게 가깝게 제작된 것이다.

일단 제작된 시제품이 동작을 하게 되면 단계적인 소프트웨어에 의하여 완전한 기능을 시험하게 된다. 설계 단계부터 BIT(Built-In-Test) 기능을 부가함으로써 기능시험시는 물론 환경시험 및 신뢰도 시험시에도 유용하게 이용될 수 있다.

일반적으로 ROM Based Diagnostic Program으로 되어 전원인가시 자체점검기능도 겸하게 된다. 이 프로그램은 아주 기본적인 기능의 시험을 하는 것이 보통이며, 프로세서로부터 시작하여 메모리 및 I/O 인터페이스까지의 완전한 시험을 위해서는 보다 복잡한 소프트웨어가 필요하게 된다.

마지막으로 Clock 주파수라든가 동작 온도 범위내에서의 전원공급등의 중요 요소들의 Drift나 오차가 허용 범위내에 들어오는지 또는 중요한 신호선에서의 잡음정도가 허용한계 내에 있는지 등이 확인되어야 한다.

● 환경시험

환경시험은 제작된 컴퓨터가 군용 환경 사양을 만족시키는가를 확인하는 과정으로 육안검사로부터 시작하며 운용환경 및 수송, 저장환경에 따른 기후시험, 진동 및 충격 시험, 그리고 EMI 시험 등을 MIL-STD-810을 비롯한 관련 규격서 및 표준서에 의해서 실시하게 된다.

환경시험시 반조립 부품이나 모듈별로 하는 경우도 있으나 최종적으로 전체 시스템에 대하여 수행해야 하며, 어떤 환경시험을 하든지 시험이전과 시험후의 장비 상태 및 작동 결과가 일치해야 한다. 만약 그렇지 못한 경우에는 그 결과가 검토 분석되어 설계에 다시 반영되어야 한다.

● 신뢰성·정비성 시험

군용 컴퓨터의 신뢰도는 MIL-HDBK-217에 의거 계산할수 있으며 적어도 수천시간대의 MTBF를 가져야 한다. 신뢰도에 대한 시험은 보통 온도와 전원 그리고 진동이 변화되는 환경에서 여러대의 컴퓨터를 오랜시간 동안 작동시키면서 발견된 고장 횟수와 MTBF와의 상관관계를 가지고 MTBF를 예측하는 방법을 쓴다.

그러나 이러한 방법은 시기적으로 개발순기중 맨 나중 단계이고, 시험 또한 시간이 많이 걸리기 때문에 설계에 다시 반영시키기는 매우 어렵게 된다.

최근에는 TAAF(Test, Analyze And Fix) 방법을 많이 쓰게 되는데, 이는 동작되는 시제품이 만들어지면 바로 하드웨어를 열악한 환경하에서 점진적으로 작동시키면서 취약한 부분을 찾아 수정하는 방법이다. 이렇게 함으로써 개발이 끝날 즈음에는 상당히 높은 신뢰도를 갖는 컴퓨터가 만들어지게 된다.

정비성 시험은 일반적으로 실제 장비에 일부러 고장을 일으켜서 실시한다. 잘 훈련된 기술자로 하여금 고장이 어느 부분인가를 찾아 해당 부분을 교체하도록 하고 각각의 고장에 대한 발견 및 수리시간에 대한 데이터를 모두 기록하며 심지어는 고장이 장비 자체점검에 의하여 발견되었는지까지 기록한다.

각각의 모듈들을 쉽게 교환할수 있는가 하는 점도 정비성 시험의 일부로 수행된다.

맺는 말

우리나라의 현실정과 기술수준에서 이러한 모든 절차를 거쳐 컴퓨터를 개발한다는 것은 아직 많은 어려움이 따르리라 판단되며 위의 내용에도 누락된 중요한 부분이 많을 것으로 생각된다.

예를 들면 ILS(Integrated Logistic Support) 측면에서도 많은 것이 설계 초기단계부터 고려되어야 할 것이다.

따라서 앞으로 요구되는 군용 전산기술의 확보 및 발전을 위해서는 전산 전문인력을 확보하고 급속도로 발전되는 민수산업의 전산 기술 및 학계의 연구 결과를 군용화하면서 군용 컴퓨터 기술의 특수성을 감안한 소형화, 견고화, 초고속계산, 고신뢰도의 소프트웨어 및 하드웨어 개발 기술 등을 점진적으로 확보 발전시켜야 될것이다.

특히 군용 소프트웨어는 민수 분야와 달라 일단 개발 완료되면 변경이나 수정이 어려운 환경이므로 소프트웨어의 표준화와 형상관리 등의 중요성은 물론 개발시 그 품질에 대한 보증이 크게 요구된다 하겠다. *

참 고 자 료

- ▲ Military Standar, MIL-STD-461C, Electromagnetic Emission and Susceptibility Requirements for the Control of Electromagnetic Interface, Department of Defense, U.S.A., 1986
- ▲ Military Specification, MIL-M-38510H, Microcircuits, General Specification for, Department of Defense, U.S.A., 1988
- ▲ Military Standard, MIL-STD-883, Test Methods and Procedures for Microelectronics, Department of Defense U.S.A.
- ▲ Military Specification, MIL-E-11991E, Electronic, Electrical, and Electromechanical Equipment, Guided Missile and Associated Weapon Systems, General Specification for Us Army Missile Command, 1983
- ▲ Military Standard, MIL-STD-454L, Standard General Requirements for Electronic Equipment, Department of Defense, U.S.A., 1988
- ▲ Military Standard, MIL-STD-1562U, List of Standard Microcircuits, Dept. of Defense, U.S.A., 1989
- ▲ Military Standard, MIL-STD-810E, Environmental Test Methods and Engineering Guidelines, Dept. of Defense, U.S.A., 1989
- ▲ Military Handbook, MIL-HDBK-217D, Military Standardization Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment, Dept. of Defense, U.S.A., 1982