

# 소형·저 전력 프로세서를 이용한 소화기 사격통제장치 주제어보드 설계기법 연구

Research about Design Techniques of A Fire Control System Main Control Board  
for Individual Combat Weapons using a Small and Low power Processor

곽 기 호\*

Kwak, Ki-Ho

## ABSTRACT

In this paper, we propose how to design a fire control system main control board for individual combat weapons using a small and low power processor. To design an electric board of small weapon systems, Size and power consumption are very important factors. We solved the problem using selection of an adaptive processor, introduction of MicroChipPackaging method, and separate design of a main board. Also we applied these methods to make the fire control system for small arms.

주요기술용어(주제어) : ARM processor(ARM 프로세서), DSP processor(DSP 프로세서), Fire Control System(사격 통제장치), MultiChipPackaging(다중 칩 패키징)

## 1. 머리말

최근 무인 전투체계와 사격통제 탑재형 화기와 같은 소형 무기체계의 개발이 활발해지면서 시스템의 크기와 전력소모가 설계에 매우 큰 비중을 차지하고 있다. 따라서 이러한 무기체계에 적용되는 전자보드의 소형화 및 저 전력화 설계가 매우 중요한 요소로 작용하고 있다. 일반적으로 무기체계의 사격통제장치에는 프로세서의 신뢰성과 수치 연산 및 알고리즘의 빠른 처리를 위해 PowerPC와 DSP(Digital Signal Processor)를 주 프로세서로 많이 사용해 왔다. 하

지만 소화기의 경우에는 단일 프로세서로서 제어와 연산을 동시에 수행해야하고, 전력 소모 또한 작아야 한다. 특히 장시간 개인이 휴대를 해야 함으로 전자보드의 크기와 전력소모는 배터리와 시스템 전체의 크기 및 무게에도 많은 영향을 미치게 된다. 이러한 문제에 대한 대안으로 가장 많이 고려되는 것이 전자보드 시스템에 사용되는 구성품들을 ASIC(Application Specific Integrated Circuit : 주문형 반도체)화하여 설계하는 것이다. 하지만 일반적으로 무기체계는 상용제품처럼 대량 생산이 목적이 아니기 때문에 실제 투자 비용 대비 성과가 크지 않다. 그리고 보드의 안정성이 완벽하게 검증이 되지 않은 상태에서 주문형 반도체를 설계할 경우 수정과 재설계에 많은 시간과 예산이 소요된다는 단점이 있다. 물론 전자보드의 소형화 및 저 전력화는 단순히 보

† 2005년 5월 6일 접수~2005년 6월 7일 게재승인

\* 국방과학연구소(ADD)

주저자 이메일 : khkwak@add.re.kr

드의 설계만으로 이뤄지지 않는다는 점이다. 먼저 주 프로세서는 소형이고 전력 소모가 작아야 하며, 주변 장치가 다양해서 디바이스의 추가가 필요하지 않아야 한다. 이러한 기본 조건을 전제로, 많은 프로세서들 가운데 주제어보드에 가장 적절한 프로세서로 삼성의 S3C2410이라는 ARM(Advanced RISC Machine) 프로세서를 선정하였다. 그리고 주제어보드를 설계하는데 있어서 서 하우징 또는 시스템의 형상에 적절히 조화가 될 수 있도록 주 프로세서와 FPGA(Field Programmable Gate Array)의 기능에 따라 보드를 분리 설계하는 방법을 적용 했을 때와 분리 설계를 기본으로 상용 프로세서의 라이프 사이클이 짧은 단점을 보완하고, FPGA의 프로그램 디버깅이 가능한 MCP(MultiChipPackaging : 다중 칩 패키징) 방법을 동시에 적용 했을 때 장·단점을 비교 분석하였다. 이러한 설계 방법을 통해서 우리는 소화기용 사격통제 장치의 요구조건을 만족할 수 있는 전자보드를 설계하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 머리말에서는 최근 무기체계에서 사용되는 전자보드의 설계 문제점과 대안에 대해서 알아보고, 본문에서는 대상 시스템의 사격통제장치의 주제어보드용 프로세서를 비교 분석하여 선정하고, 시스템에 가장 적합한 최적 전자보드를 설계하는 방법들에 대해서 알아본다. 마지막으로 맺음말에서는 제안한 설계 방법에 대해 정리를 하고 결론을 맺는다.

## 2. 소화기용 프로세서의 소개

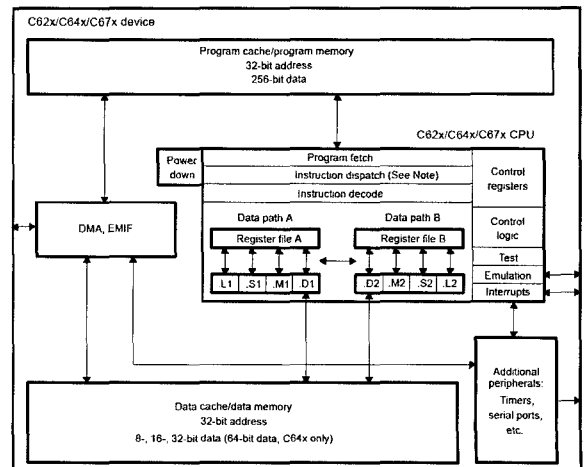
소화기용 사격통제장치의 역할을 수행하기 위해서는 기본적으로 운전자 인터페이스, 영상처리 및 화면전시, 센서 입력처리, 탄도계산, 그리고 거리 측정등의 다양한 기능을 구현할 수 있어야 한다. 그리고 소화기의 특성상 저 전력으로 구동 가능해야 하며 전자보드의 크기 역시 작아야한다. 이러한 조건을 만족시키기위해 본 논문에서는 현재 무기체계에서 사용 빈도가 높은 TI사의 DSP(Digital Signal Processor) 시리즈중에서 부동 소수점 연산이 되는 TMS320C6000계열의 TMS320C6711-150과

ARM920T 코어를 사용하는 삼성의 32bit RISC 프로세서인 S3C2410의 기본적인 특징들에 대해서 표 1에서 비교해 보았다.

첫 번째 비교 대상인 TMS320C671X DSP의 중앙처리장치에 대해 살펴보면 기본적인 구조는 그림 1과

[표 1] DSP와 ARM 프로세서 비교

구분	DSP C6711B-150	S3C2410
동작속도	150MHz	203MHz
연산성능	약 900MFLOPS	약 1.5 CPI
소비전력	1100mW	200mW
메모리	- 32KB L1P과 L1D - 64KB L2	- 16KB Inst. - 16KB Data
MMU	무	유
구조	Harvard	Harvard
패키징	256 BGA	272 FBGA
전압	- 코어 : 1.8V - I/O : 3.3V	- 코어 : 1.8V - I/O : 3.3V
개발환경	- Code Composer - JTAG	- ADS - Multi-ICE
특징	Floating Point 연산	Fixed Point 연산
가격	25\$ 내외	10\$ 내외



[그림 1] TMS320C671X의 블록 다이어그램

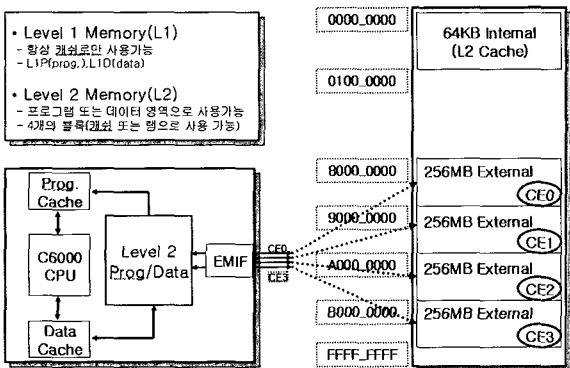
같다.

TMS320C6000계열 DSP의 큰 특징 중 하나는 2개의 레지스터 셋에 각 4개의 명령어처리 유닛을 가지고 있다는 것이다. 이것은 프로그램 데이터버스가 256비트이므로 1사이클에 8개의 유닛들이 각각 32비트x1개의 명령을 수행하도록 할 수 있다는 것이다. 그리고 다음은 6711 DSP가 내부에 가지고 있는 주변장치들이다.<sup>[1~2]</sup>

- EMIF(External Memory Interface)
- HPI(Host Port Interface)
- McBSP(Multichannel Buffered Serial Bus)
- DMA/EDMA(Direct Memory Access/Enhanced DMA)
- Timer/Counter

6711의 메모리 구조는 그림 2와 같다. 이것은 내부 메모리를 사용자가 원하는 형태로 사용할 수 있다는 것을 보여주는 것이다. 즉, L1 메모리는 항상 프로그램과 데이터 캐시로 사용지만 L2 메모리는 프로그램 또는 데이터 영역으로 사용자가 자유롭게 사용할 수 있다. 이러한 특징 때문에 연속되는 수치계산은 외부 메모리를 사용하지 않고 내부 메모리를 사용해서 훨씬 더 빠른 계산 결과를 얻을 수 있다.

일반적으로 ARM은 다른 프로세서들과 달리 코어의 설계와 프로세서의 설계가 각각 다르게 설계된다. 즉 코어는 영국의 ARM사에서 설계하고 이것에 반도체 업계의 목적에 따라 주변장치와 버스를 설계해서 프로세서를 생산하는 것이다. 따라서 동일 코어



[그림 2] TMS320C671X의 메모리 구조

이지만 다양한 종류의 주변장치를 가진 ARM 프로세서들이 많은 이유가 이것 때문이다. 기본적인 ARM 코어의 특징은 다음과 같다.<sup>[3~5]</sup>

- 32bit RISC 프로세서(내부 32bit 어드레스/데이터 버스)
- Little/Big 엔디안 동시 지원
- 1.5 instruction per clock
- Fast 인터럽트 요청 지원
- C/C++ 지원
- DSP 및 RISC 명령지원(MAC, Barrel 쉬프터)
- DPLL, EDO-DRAM, SDRAM 지원
- 코어에 따라 8(Java)/16(Thumb)/32(ARM) 비트 명령어 지원
- 5 stage 파이프라인

ARM 코어는 기본적으로 User, Supervisor, System, FIQ, IRQ, Abort, 그리고 Undefined 모드와 같이 총 7개의 운용 모드를 가지는데 각 모드의 전환은 Exception 즉 예외처리에 의해 이뤄진다. 이것은 ARM 프로세서 자체가 단순 펌웨어에 치중한 것이 아니라 O/S에 최적화 되도록 설계되어있다는 것을 보여주고 있다. 이러한 모드들은 ARM에서 예외처리 이벤트가 발생할 경우 전환된다. 표 2는 예외처리 이벤트의 발생순서, 발생 시 운용모드, 그리고 점프하는 벡터 어드레스를 보여준다.

16KB의 명령어 및 데이터 캐시, 가상의 메모리

[표 2] 예외처리 이벤트와 운용모드

우선 순위	Exception type	모드	어드레스
1	Reset	Supervisor	0x00000000
2	Data Abort	Abort	0x00000004
3	FIQ	FIQ	0x00000008
4	IRQ	IRQ	0x0000000C
5	Prefetch Abort	Abort	0x00000010
6	Undefined Inst.	Undefined	0x00000018
	S/W Interrupt	Supervisor	0x0000001C

관리 유닛인 MMU(Memory Management Unit), LCD(Liquid Crystal Display) 콘트롤러, NAND 플래시 부트로더, 3채널의 UART, 4채널의 DMA와 PWM(Pulse Width Modulation) 타이머, 16bit 워치독 타이머, I/O 포트, RTC(Real Time Clock), 8채널의 10bit ADC(Analog to Digital Converter), 터치스크린 인터페이스, IIC와 IIS 버스 인터페이스, USB 호스트, USB 디바이스, SD 호스트와 멀티 미디어카드 인터페이스, 2채널의 SPI(시리얼 프로토콜 인터페이스)와 클럭 발생을 위한 PLL등을 가지고 있고, AMBA(Advanced Microcontroller Bus Architecture)라는 새로운 내부 버스 아키텍처로 설계된 S3C2410은 ARM920T를 코어로 하는 프로세서이다. 그림 3은 S3C2410의 내부 블록 다이어그램이다.

### 3. 소화기용 주제어보드의 설계

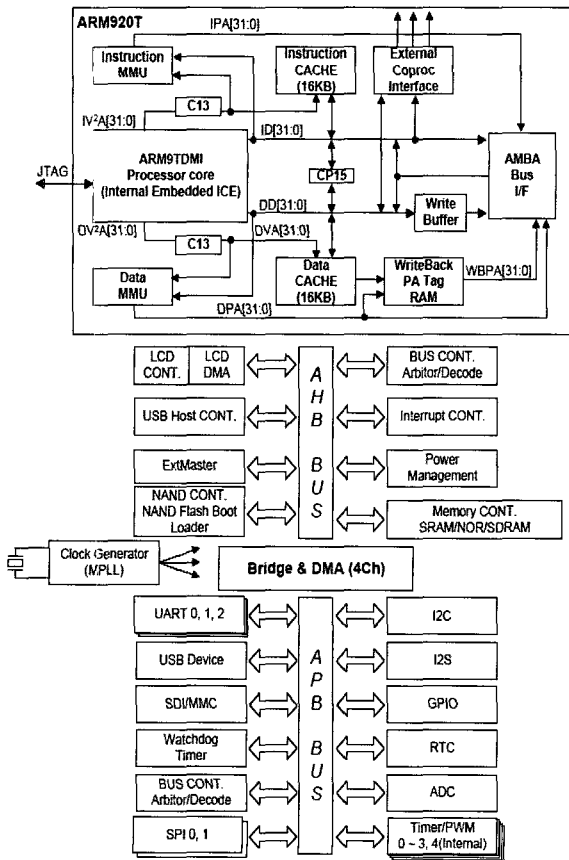
#### 가. 프로세서 선정

본 논문에서 설계한 주제어보드에 사용되는 프로세서는 최소 100ms 안에 1000번 이상의 거리 값을 누적하고 목표물과의 거리를 측정할 수 있어야 하며, 영상의 실시간성을 보장하기 위해서는 초당 60 프레임의 SVGA(Super VGA) 영상을 처리하여야 한다. 그리고 100ms안에 최소 4번이상의 미분 방정식을 계산하는 탄도계산과 조준선 전시를 끝마쳐야하고 2ms안에 주변장치로 아날로그 신호를 전송할 수 있어야 하며, 운용자 인터페이스, 센서 값 처리, 키와 스위치 입력 처리등 다양한 기능을 구현 할 수 있어야 한다. 그리고 개인이 휴대하는 소화기이므로 배터리로 구동하여야 함으로 소모 전력을 최소화해야 한다. 이러한 조건을 만족시키기 위해서는 빠른 수치 연산과 신호 처리가 가능한 32비트 RISC(Reduced Instruction Set Computer) 프로세서이며 풍부한 주변장치를 가지고 있고 운용자 인터페이스 및 외부 인터럽트 처리가 필요한 마이크로프로세서이면서 마이크로컨트롤러 인 것이 필요하다.

일반적으로 DSP는 고속 수치연산이 주목적이므로 전력 소모량이 상당히 높는데 비해 ARM은 모바일 장치를 타겟으로 하기 때문에 전력 소모가 DSP 6711의 약 1/5 밖에 되지 않는다. 그리고 ARM은 화면 전시를 위한 액정화면 전시장치, 외부 영상을 처리할 수 있는 카메라 인터페이스(S3C24A0에 포함되어 있음), USB 호스트 및 디바이스 등과 같은 소화기용 사격통제 시스템에 필요한 많은 주변 장치들이 있다. 따라서 32비트 RISC 프로세서로서 빠른 연산이 가능하고, 저 전력이며 풍부한 주변장치를 필요로 하는 소화기의 사격통제시스템에는 ARM이 가장 적합한 것으로 판단된다.

#### 나. 주제어보드 설계

소화기용 사격통제시스템에 가장 적합한 프로세서로 선정한 ARM을 프로세서로 사용하는 주제어보드를 기존에 개발된 보드와 비교하면 표 3과 같다. 따라서 적절한 프로세서의 선정만으로도 보드의 크기와 전력 소모를 획기적으로 줄일 수 있다는 것을 알 수



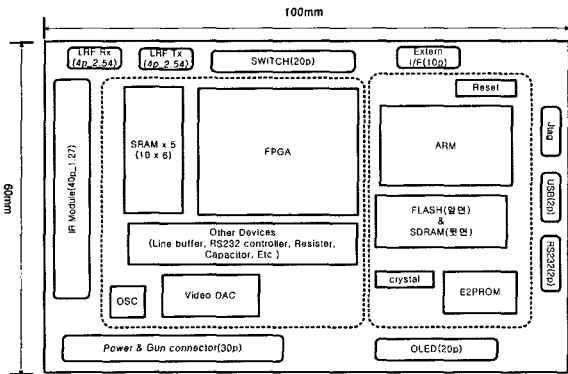
[그림 3] S3C2410 블록 다이어그램

[표 3] 기존 보드와 향상된 보드 비교

구분	기존 보드	향상된 보드
CPU	TMS320C33	S3C2410
보드소비전력	1400mW	600mW
보드사이즈	170×120mm	100×60mm
보드유연성	분리설계 불가	분리설계 가능
특징	LCD controller 등 추가장치 요구	대부분 내부장치 사용

[표 4] ARM 프로세서와 FPGA의 기능

구분	기능
ARM 프로세서	1. 주변 장치 초기화 및 제어
	2. 탄도계산 알고리즘 계산
	3. 인터럽트 처리
	4. 거리 측정 알고리즘 처리
	5. 신관 설정 알고리즘 처리
	6. 열상 영상 알고리즘 제어
	7. 폰트 및 조준선 전사
	8. EEPROM 제어
FPGA	1. 열상 영상처리
	2. 전시기 제어
	3. 버튼 및 스위치 인터럽트 발생
	4. 거리 측정기 제어
	5. 신관 설정기 제어
	6. 센서 처리



[그림 4] 100×60 크기의 전자보드

당되는 공간이 매우 협소함으로 분리 설계를 하되 보드 크기를 더욱 축소할 수 있는 방법이 요구되어진다. 보드의 축소를 위해서는 먼저 각 프로세서의 기능을 최적화 하고, 이 기능을 구현하기위한 최적화된 보드 설계가 이뤄져야한다.

현재 2단계 개발이 진행 중인 소화기용 사격통제장치는 1단계에서 개발된 것에 비해 부피가 감소하였고 전자보드를 배치할 수 있는 공간이 더욱 협소해졌다. 따라서 1단계의 보드를 그대로 적용하는 것은 거의 불가능했고 2장으로 분리해서 실장을 해도 공간 활용이 어려웠다. 그래서 2단계에서 개발에서는 전체 보드의 크기를 60×40mm으로 정하고 하우징의 형상 변경을 대비하여 주제어보드를 분리 설계하였다. 그리고 100×60mm크기의 보드를 60×40mm크기로 줄이기 위해 주문형 반도체 설계와 다중 칩 패키징 방법의 장·단점을 비교 분석하였고, 그 결과 개발 비용, 기간, 전력소모, 그리고 전체 보드 크기등 전반적인 면에서 장점이 많은 다중 칩 패키징 방법을 적용하였다. 다음의 표 5는 다중 칩 패키징 방법과 주문형 반도체 설계 방법을 비교분석한 것이다.

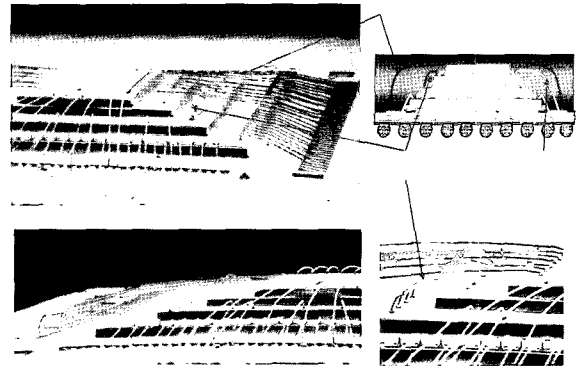
있다.

향상된 보드의 경우 EEPROM과 같이 ARM 프로세서가 동작하는데 요구되는 부품들은 ARM 영역에 배치하고 비디오 신호처리 장치, 센서, 그리고 영상처리용 랩 등은 FPGA에 영역에 배치해서 두 영역을 나눠서 두 장의 보드로 제작해도 아무런 문제가 없도록 설계·제작하였다. 실제 제작된 보드의 부품 배치 및 구성도는 그림 4와 같다. 이렇게 분리 설계된 보드를 마이크로 커넥터를 이용하여 60×60mm과 40×60mm 크기의 두 장의 보드로 만들어서 기능을 시험한 결과 전력 소모면에서 5~10mW가 증가하였고 기존 보드에서 구현된 기능에는 전혀 문제가 없었다. ARM 프로세서와 FPGA에서 구현되고 있는 상세 기능들을 살펴보면 표 4와 같다.

분리 설계 방법만을 적용할 경우 하우징이나 시스템의 형태 변화에 유동적으로 적용할 수 있어서 많은 장점이 있지만 소형화기의 경우 전자보드를 위해 할

[표 5] 소형·저 전력 보드 설계방법 비교분석

구 분	장 점	단 점
다중 칩 패키징 (ARM +FPGA +메모리)	<ul style="list-style-type: none"> <li>개발비용 저렴 (2~3억)</li> <li>개발기간 단축 (2~3개월)</li> <li>보드크기(상용대비 40~50% 축소)</li> <li>안정성확보용이</li> <li>성능 향상 및 개발 환경 구축용이</li> <li>설계변경 비용 저가</li> <li>Mil. Spec.으로 제공</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ASIC 대비 전력소모가 많음</li> </ul>
ASIC (ARM +FPGA +메모리)	<ul style="list-style-type: none"> <li>저 전력 보드 설계 용의(MCP대비 20%이상 감소)</li> <li>보드크기(40~50% 축소)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>개발비용 고가 (코어 추가시 9억이상)</li> <li>설계변경 비용 고가</li> <li>개발기간 장기 (9~10개월)</li> <li>Mil. Spec. 맞춰 주문자가 선정 후 사용가능</li> <li>안정성 확보 곤란</li> <li>성능 향상 및 개발 환경 구축 어려움</li> </ul>
상용부품 사용	<ul style="list-style-type: none"> <li>개발비용 최저</li> <li>개발기간 단축</li> <li>보드 안정성 확보 매우 용이</li> <li>성능 향상 및 개발환경 구축 아주 용이</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>전력소모 매우 많음</li> <li>보드 크기 축소 매우 힘들</li> </ul>



[그림 5] MCP 방법을 이용한 칩 설계

장치의 경우 저 전력을 소모하고 크기가 작은 전자보드를 만드는 일이 쉬운 것은 아니다. 또한 무기체계의 경우 기본 양산 기간이 10~30년 이상으로 전자부품의 원활한 공급이 이루어질 수 있어야한다. 이러한 이유로 보드의 분리 설계와 다중 칩 패키징 방법을 통합 적용하는 것이야말로 소형 무기체계에 사용되는 전자보드를 설계하는데 최적의 방법이다.

표 6은 기존에 전자보드를 설계하는데 사용되는 방법과 소화기용 사격통제장치의 2단계 개발에 적용된 분리 설계와 다중 칩 패키징 방법을 통합해서 적용한 경우에 대해 장·단점을 비교 분석하였다.

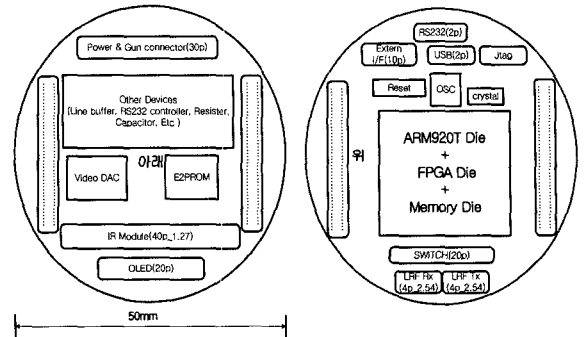
다음 그림 6은 본 논문에서 제안하는 방법으로 설계된 보드의 구성도이다. 이 보드는 현재 2단계 소화기용 사격통제장치 개발을 하는데 있어서 주제어보드로 사용되고 있으며, 이것은 분리 설계방법과 다중 칩 패키징 방법을 통합 적용하여 설계하였다. 기존보드에 비해 전체 크기는 1/2정도 줄었으며, ARM프로세서와 FPGA, 그리고 메모리 간의 연결선들이 모두 하나의 칩 안에서 구성되어 있으므로 실제 소모 전력이 600mW에서 450mW로 약 25%정도 감소하였다. 그리고 이 보드는 1단계 개발에서 사용된 소프트웨어를 100% 그대로 활용 할 수가 있어서 2단계 개발의 기간을 단축 시켰다. 그리고 그림 7은 소화기용 사격

다중 칩 패키징은 여러 개의 칩 다이를 층으로 쌓거나 또는 펼쳐서 하나의 칩으로 다시 패키징하는 방법으로 다양한 기능을 단일 칩화 할 수 있고 칩과 칩 사이의 라인이 없으므로 전력 소모 또한 감소시킬 수 있다. 그림 5는 다중 칩 패키징 방법으로 칩을 설계하는 것을 보여주고 있다.<sup>[6]</sup>

상용 제품에 사용되는 소형·저 전력 전자보드를 만드는 것은 그렇게 어려운 일이 아니다. 하지만 사격 충격량이 30g 이상이 되고 -40~80℃ 이상의 온도에서 견뎌야하며 휴대가 가능해야하는 소화기용 사격통제

[표 6] 기존설계 VS 통합설계 방법 비교분석

구분	장점	단점
기존 설계 방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>분리설계만 적용시 보드 설계를 작게 설계 가능</li> <li>양산 보드 적용 시 큰 효과를 낼 수 있음.</li> <li>재 설계 비용 많이 요구됨</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>분리 시 불필요한 커넥터 공간이 요구됨</li> <li>제품 외형 변화 시 마다 재설계</li> <li>부품의 기능 구분이 확실치 않아 개발단계의 하드웨어 디버깅에 어려움이 있음.</li> </ul>
분리 설계와 다중 칩 패키징 설계 적용	<ul style="list-style-type: none"> <li>제품 외형의 변화에 유동적</li> <li>부품의 기능 구분을 확실히 할 수 있음.</li> <li>재 설계 비용 저가</li> <li>보드크기 축소 용이</li> <li>다이만 공급된다면 언제든 양산가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>분리 시 불필요한 커넥터 공간이 요구됨</li> </ul>



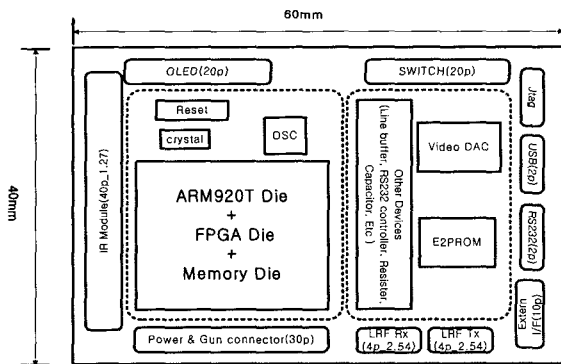
[그림 7] φ50mm의 2층 전자보드

던 보드와 달리 전혀 전력 소모가 증가하지 않았다. 그리고 소화기용 사격통제장치에 사용되고 있는 광학계와 크기와 형태가 비슷해서 광학계와 전자보드를 같은 축 상에 배치하는 것이 가능해졌다.

#### 4. 맺음말

소형의 무기체계나 무인 무기체계를 설계하는데 있어서 주제어용 전자보드는 기존의 대형 무기체계에서 여러 종류의 프로세서가 나눠서 하던 일을 단일 프로세서로 처리해야만 하는 복잡한 시스템이다. 그리고 개인이 휴대 하여야하고 부착된 배터리로 기동을 하여야하므로 시스템의 크기와 전력 소모는 시스템의 설계에 있어서 아주 중요한 요소가 된다.

따라서 본 논문에서는 소화기용 사격통제 시스템의 주제어보드를 설계하는데 있어서 소형의 유연한 저전력 보드를 설계하는 방법을 제안하였다. 일반적으로 무기체계에 사용하는 전자보드들이 전체적인 성능 향상을 위한 보드 설계방법을 제시하지 못하고 특정 프로세서에 의존한 보드 설계방법을 고수하였고, 또한 전자보드에 맞게 외형을 설계함으로써 장비의 부피를 증가시키고 형상을 왜곡시키는 경우가 있었다. 하지만 본 논문에서 제시하는 적절한 프로세서의 선정과 다중 칩 패키징 방법, 그리고 보드의 분할 설계를 적용 할 경우 소화기의 사격통제 시스템뿐 아니라 다양한 소형의 무기체계에서 적용 할 수 있을 것이며 기존의 설계방법에 비해 시간과 예산을 절감할 것으로 기대된다.



[그림 6] 60×40mm 크기의 전자보드

통제장치가 등근 형태로 설계될 경우 직사각형 형태의 전자보드보다는 2층으로 쌓아서 다른 전자보드와 같이 다층의 전자보드 패키지를 꾸미기위해 시험제작한 것으로 그림 6의 전자보드를 분리 설계한 구성도이다. 이 보드는 전력소모와 다른 기능들은 그림 6의 보드와 차이가 없고 단지 보드의 형상만 바뀐 것이다. 현재 이 보드에 부품을 실장해서 시험을 한 결과 그림 6의 보드와 성능에서는 1단계 개발에 사용되었

참 고 문 헌

- [1] SPRU190D, TMS320C6000 Peripherals Reference Guide, Texas Instruments, 2000.
- [2] SPRU189F, TMS320C6000 CPU and Instruction Set Reference Guide, Texas Instruments, 2000.
- [3] Andrew N. Sloss, ARM System Developer's Guide, Morgan Kaufmann Publishers, 2004.
- [4] Steve Furber, ARM System-On-Chip Architecture, Addison-Wesley, 2000.
- [5] David Seal, ARM Architecture Reference Manual, Addison-Wesley, 2001.
- [6] 노명래, 2000Xilinx FPGA를 이용한 Digital System 설계 실습 및 Programmable ASIC Design, Ohm사, 2000.