

델타II 로켓의 점화체계 소개

이 효 근, 윤 효 철
한라중공업(주) 우주항공사업실

서론

액체 로켓은 액체 추진제를 연소실에서 연소시켜 발생하는 고온 가스를 고속으로 분사시켜 추력을 얻는 것으로 대형 액체 로켓의 경우 추력원으로는 주엔진, 보조엔진 및 보조 고체 로켓 부스터(strap-on solid booster)를 사용한다. 주엔진은 비행 추력 제공 및 비행시 pitch 및 yaw angle을 제어하게 되며 보조 엔진은 주로 비행시 회전 모멘트를 제어하게 된다. 고체 로켓 부스터는 이륙시 추력 대 중량비(thrust-to-weight ratio)를 높여 로켓의 하중(payload) 적재 능력을 향상시킨다.

액체 추진제는 산화제와 연료로 구성되며 고체 로켓과는 달리 별도의 추진제 탱크에 저장되어 있으므로 액체 엔진의 점화를 위해서는 점화장치, 추진제 주입장치(propellant feed system), 추진제 탱크 가압장치(propellant tank pressurizing system) 및 이와 관련된 각종 밸브의 개폐를 위한 공압장치(pneumatic system)등이 필요할 뿐 아니라 그 추진 시스템에 맞는 점화 순서(starting sequence)를 필요로 하게 된다. 또한 점화 도중 정상적으로 점화가 진행되지 않을 경우 즉시 점화 과정을 중단시키는 안전장치를 고려하면 대형 액체 로켓의 점화 순서는 매우 복잡하며, 이러한 점화 체계 및 순서의 구성을 위해서는 로켓 자체의 추진 시스템 및 이와 관련된 지상 지원 장비에 대한 이해가 뒤따라야 한다.

델타II 로켓의 1단 추진 시스템은 크게 main engine, 보조 엔진으로 venier engine 및 solid rocket booster로 구성되고, 추진제 주입 장치로 turbopump system을 사용한다. 추진제 탱크 가압을 위해서는 헬륨가스를 사용하며 각종 밸브의 개폐를 위한 공압장치에는 질소 가스를 사용한다. 추력원의 점화 순서는 venier engine, main engine, solid rocket booster 순이며 세부 점화 순서는 다음과 같다.

Launch Enable

위성의 발사를 위해 발사대에 세워진 로켓은 countdown에 들어가기전 로켓의 상태를 최종적으로 점검하며 발사 range와 관련된 관제 및 통제를 위한 통신시설을 최종 점검하게 된다. 이러한 모든 준비 작업들은 blockhouse에서 이루어지며 주요 점검 사항들로는 유압 시스템, 공압시스템 및 engine regulator등의 압력과 LOX pump inlet 온도, 엔진부 온도, 터어빈기어부 윤활을 위한 윤활 계통의 온도와 각종 지상 지원 장비 및 로켓의 전기장치에 대한 전압 및 전류등이 있다.

이러한 모든 제반 사항에 대한 점검이 이루어지면 launch conductor에 의해 엔진 power bus에 전원을 공급하여 발사 준비를 하게 된다(Fig. 1).

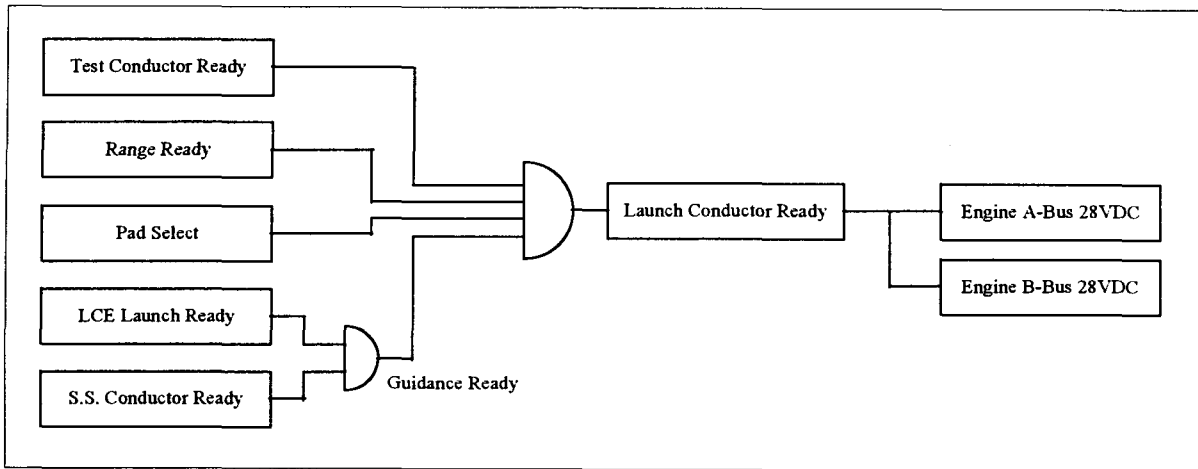


Fig. 1. Engine starting sequence block diagram - Launch Enable.

Missile Prepared

Fig. 2에서 나타낸 바와같이 추진제 주입 밸브, 추진제 밸브 및 gas generator 밸브가 닫힌 상태에서 arm igniter switch를 작동시켜 ignition link 및 gas generator igniter squib를 arming시킨다. Gas generator는 gas turbine의 구동을 위해 사용되며 igniter는 점화를 위한 squib wire 와 정상 점화 여부를 확인하기 위한 ignition detection link로 구성되어 있다 (Fig. 3). 한편 주엔진에도 정상 점화 여부를 확인하기 위해 ignition detector를 엔진하단부에 설치하게 된다(Fig. 4). 이러한 장치들에 의해 비정상적인 점화가 detect된 경우 즉시 점화 과정을 중단시키기 위한 안전장치로 delay timer를 사용하며 이를 arming 시킴으로서 발사 준비를 완료하게 된다.

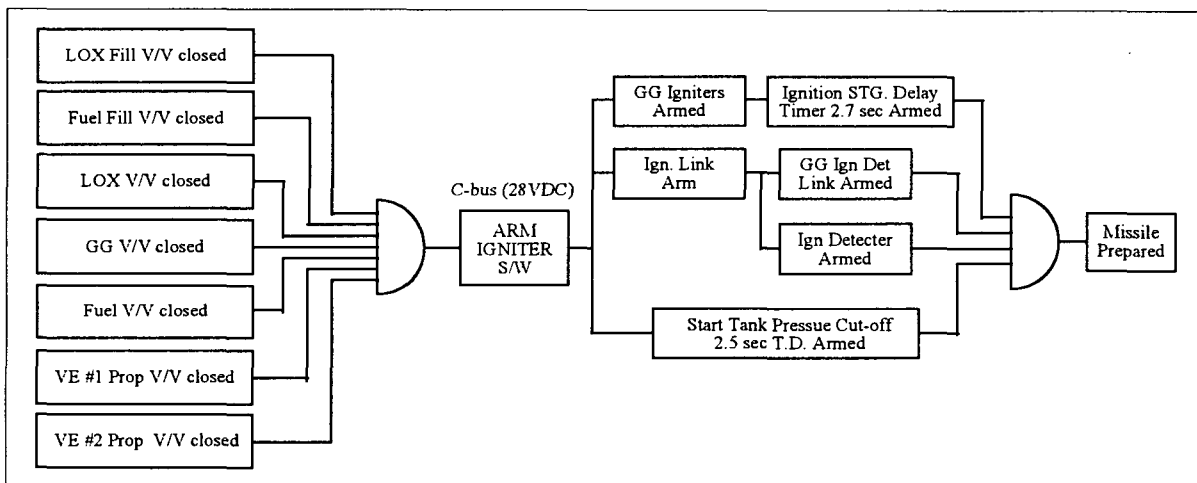


Fig. 2. Engine starting sequence block diagram - Missile Prepared.

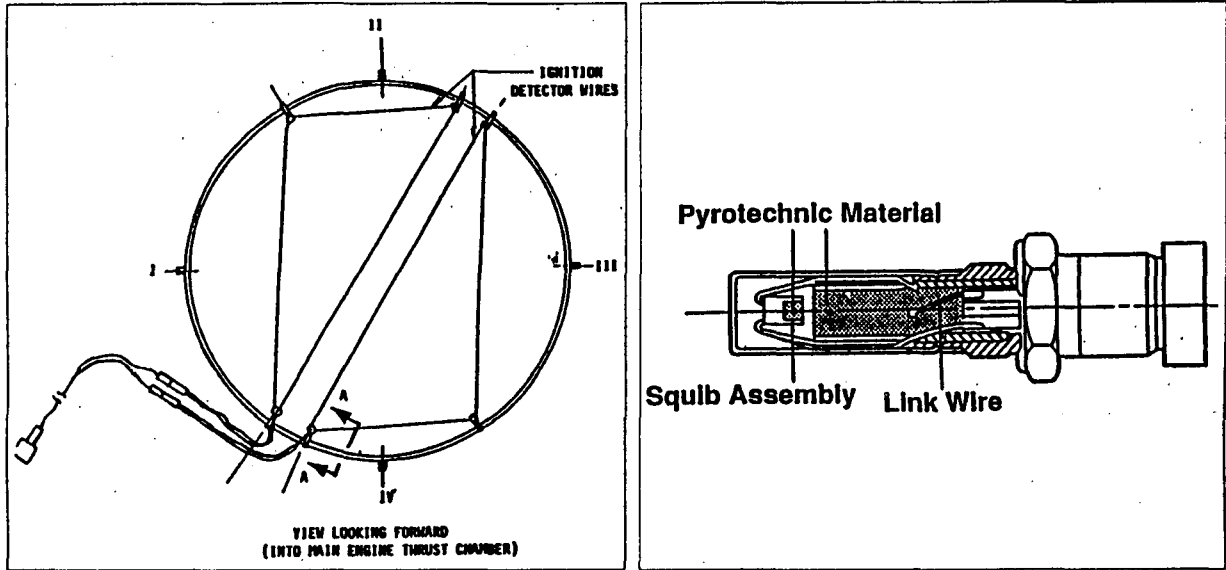


Fig. 3. Installation of Ignition detector wires. Fig. 4. Schematic diagram of gas generator igniter.

Engine Start

발사 준비가 완료된 상태에서 launch conductor는 engine start switch를 작동시키며 이후의 모든 sequence는 relay에 의해 자동으로 진행되며 수동으로 sequence를 제어할 수 없다. Start switch가 작동되면 연료 및 산화제 start tank가 질소 가스에 의해 가압되기 시작하며 동시에 start tank pressure cut-off timer가 작동한다. 연료 및 산화제 start tank에는 각각 압력 스위치가 달려 있어 가압 상태를 알 수 있으며 가압도중 leak등으로 일정 시간 내 가압되지 않으면 timer의 작동으로 점화 과정이 중단된다. 정상적으로 가압된 경우 timer는 relay에 의해 disable 된다(Fig. 5).

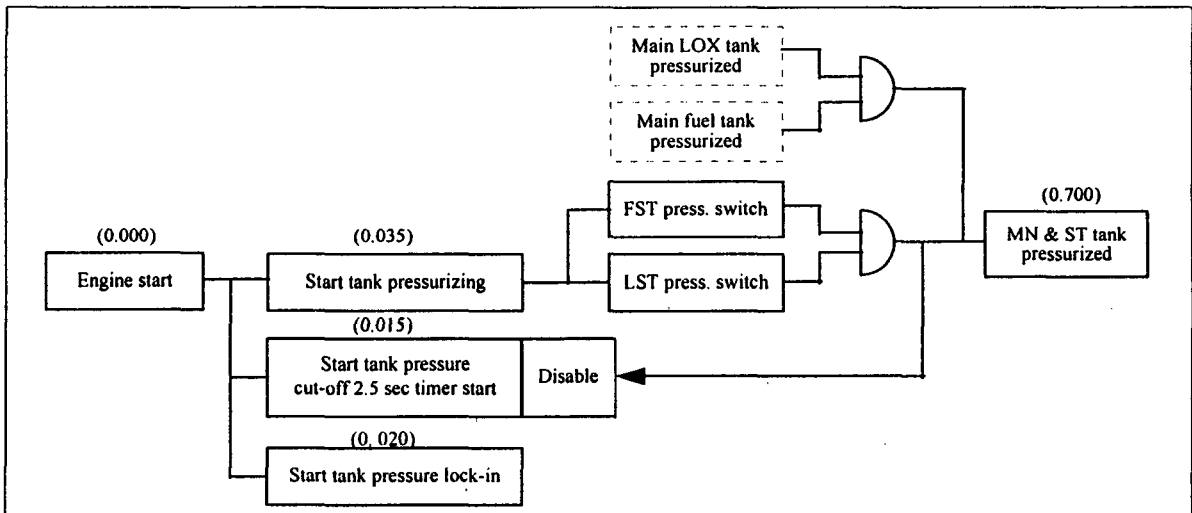


Fig. 5. Engine starting sequence block diagram - Engine Start

Engine Ignition

Start tank가 가압된 상태에서 엔진의 점화는 먼저 venier engine이 점화되고 동시에 가스 터빈 작동을 위한 gas generator igniter의 점화 및 main engine 점화를 위한 일련의 작동이 진행된다. 이때 igniter stage delay cut-off timer도 함께 작동을 시작한다(Fig. 6).

- Venier Engine Ignition

Start tank의 압력 스위치(Fig. 7)가 작동함과 동시에 venier engine propellant valve가 질소 가스 압력으로 열리게 되며 이때 start tank 내에서 가압된 연료와 산화제는 venier engine chamber로 유입되며 엔진의 점화는 injector 상단에 설치된 hypergolic에 의해 이루어진다.

- Gas Generator Ignition

Gas generator squib는 electroexplosive device(EED)로 squib에 전원이 공급되어 점화되며 main charge는 약 2초간 burning 하게된다. Main charge burning중 link wire가 끊어지게 되어 정상 점화 여부를 알 수 있게 된다.

- Main Engine Ignition

Main engine의 점화는 main LOX 밸브를 여는 것으로 시작된다. Main LOX 밸브를 열면 이와 hinge로 연결된 igniter fuel 밸브가 열리게 되며 이를 통해 fuel start tank로부터 가압된 연료가 main engine 상단에 설치된 hypergolic을 연소실로 밀고 들어가 점화되게 된다. 점화가 이루어지면 연소열에 의해 엔진하단부에 설치된 ignition detector link가 끊어지게 된다.

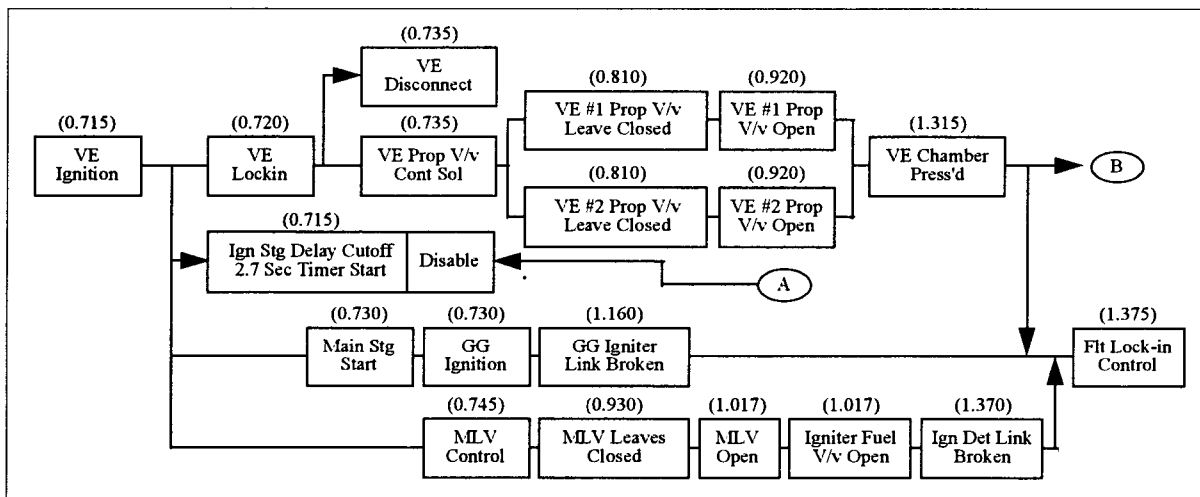


Fig. 6. Engine starting sequence block diagram - Engine Ignition.

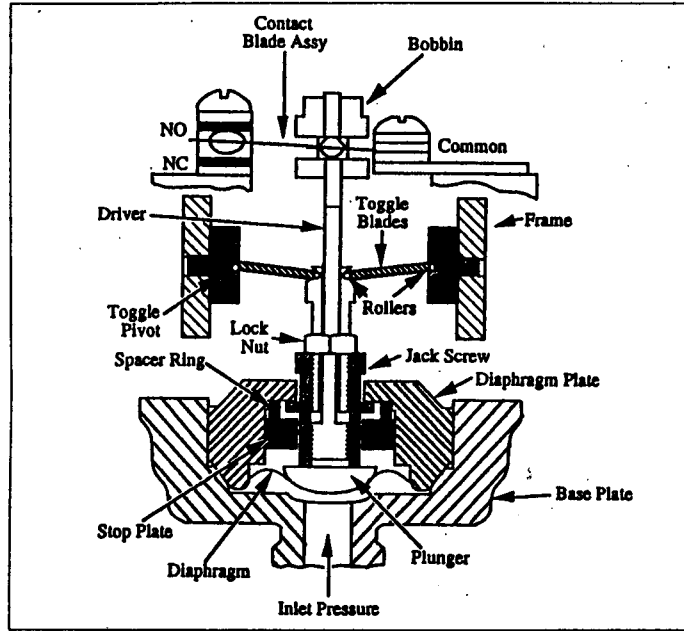


Fig. 7. Schematic diagram of pressure switch.

Flight Lock-in

Engine ignition 과정에서 venier engine이 점화되어 정상연소압에 도달하고 main engine 및 gas generator가 점화되면 다음 단계로 main engine 연소 및 gas generator 연소를 위해 main fuel valve 및 gas generator valve를 열어 주어야 한다(Fig. 8). Fuel valve가 열릴 때에 main fuel tank는 vehicle의 He tank 압력으로 가압되기 시작하며 동시에 solid motor의 점화를 위한 arming이 이루어진다. Main fuel valve 및 gas generator valve가 열리면 Ignition delay timer는 disable되어 다음 단계로 sequence가 진행된다.

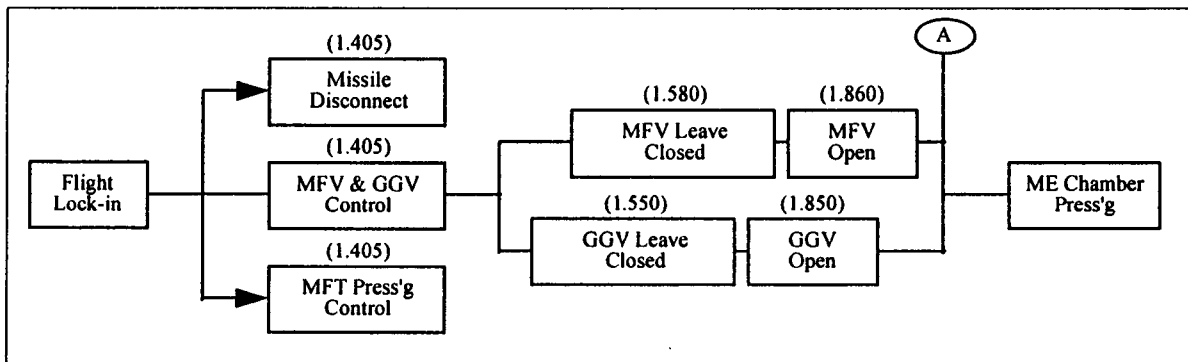


Fig. 8. Engine starting sequence block diagram - Flight lock-in.

Solid Motor Ignition & Lift-off

Main engine의 연소가 정상적으로 이루어져 연소실내의 연소 압력이 정상치에 도달하면 연소실에 설치된 압력 스위치가 작동하게 되어 solid motor의 점화를 위한 EED에 전원을 공급하게 됨으로서 solid motor의 점화가 이루어지고 로켓은 이륙하게 된다(Fig. 9).

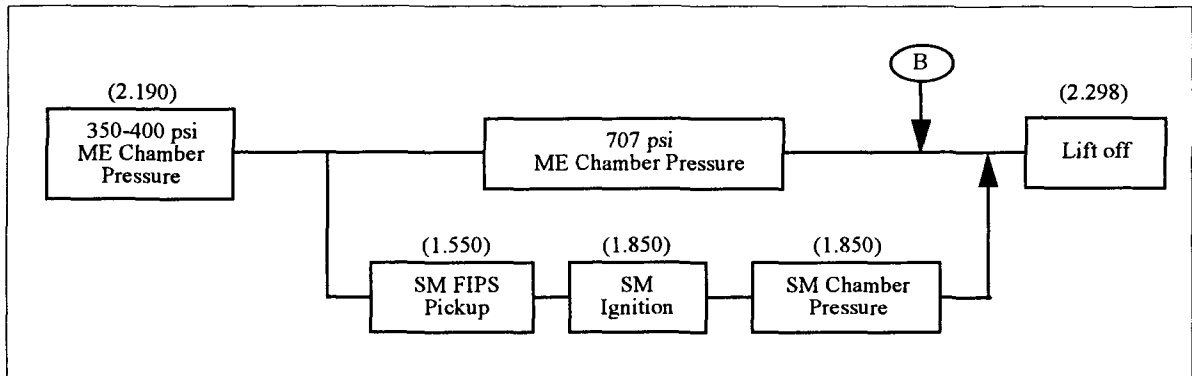


Fig. 9. Engine starting sequence block diagram - SRM ignition and lift-off.

결론

액체 로켓의 점화는 로켓 자체의 추진 시스템과 직결되어 있어 액체 로켓 추진 시스템을 설계할 때에는 점화와 관련된 제반 사항들을 반드시 고려해야 하며 이때 중요한 것은 점화시 문제가 발생했을 때 즉시 점화 과정을 중단시킬 수 있도록 sequence를 구성하여야 한다. 또한 문제가 어느 부분에서 발생하였는지를 명확히 알 수 있도록 구성해야 하며, 아울러 각종 부품의 성능 검사를 포함한 checkout 및 redundancy 개념도 함께 고려해야 한다.