

대형열진공 챔버 제어로직

서희준*, 문귀원**, 이상훈***, 조혁진****, 조창래*****, 최석원*****

Control Logic of Large Thermal Vacuum Chamber

Hee-Jun Seo*, Guee-Won Moon**, Sang-Hun Lee***, Hyok-Jin Cho****,
Chang-Lae Cho*****, Seok-Weon Choi*****

Abstract

Due to the future of a large size satellite like Geo-stationary orbit satellite, KARI has progressed the construction of Large Thermal Vacuum Chamber(LTVC) with $\Phi 8m \times L10m$, which simulates the orbit environment at space. The space environment can be characterized as very harsh conditions. Once the spacecraft is launched and enters its orbit, the satellite is exposed to this space environment. The continuous exposure to such space environment could cause malfunction of major parts of the spacecraft, which could lead to the failure of the entire mission. Due to the fact that space environment is completely different from that of the ground, the satellite that functioned normally on the ground could show some unexpected malfunction in space environment. For this reason, the performance of the spacecraft must be confirmed under the simulated conditions of the space environment. This document includes LTVC control logic, Interlock by which the LTVC can be controlled more safely and efficiently.

초 록

정지궤도위성과 같은 차세대 대형위성의 우주궤도환경 모사를 위해 한국항공우주연구원은 유효직경 $\Phi 8m$, 유효길이 $L10m$ 의 대형 열진공챔버를 구축해오고 있다. 우주환경은 고진공 환경이며 태양 복사열에 의한 고온 환경 및 극저온이 반복되는 가혹한 환경으로 특징지어진다. 가혹한 우주환경에 의해서 위성체의 주요부품에 기능장애가 초래되기도 하고 이는 결국 임무의 실패로 이어지기도 한다. 위와 같은 이유들로 인하여 위성체는 지상에서 우주환경시험을 거쳐 기능 및 작동상태를 점검해야 하며, 이를 위해서는 우주환경을 모사할 수 있는 우주환경 모사장비가 필요하다. 본 논문에서는 대형 열진공 챔버를 효율적이고, 안정적으로 구동을 위한 모든 제어로직이 포함되어 있다.

키워드 : 대형 열진공 챔버(large thermal vacuum chamber), 우주환경(space environment), 인터락(inter lock), 제어로직(control logic)

* 우주시험그룹/seohj@kari.re.kr
*** 우주시험그룹/leesh@kari.re.kr
**** 우주시험그룹/clcho@kari.re.kr

** 우주시험그룹/aeromoon@kari.re.kr
**** 우주시험그룹/wittycho@kari.re.kr
***** 우주시험그룹/schoi@kari.re.kr

1. 서 론

국가 우주개발 중장기 계획에 따르면 2003년부터 2015년 까지 다목적 위성 7기, 과학위성 4기, 정지궤도 위성 4기등 총 15기의 위성 개발 계획을 갖고 있다. 이러한 위성들은 지구의 대기, 해양, 기상 등을 관측하고, 우주환경의 측정 및 각종 실험 등을 수행하며, 안정적인 통신 방송 서비스를 제공하는 역할을 하게 된다[1].

우주환경은 고진공 환경이며 태양 복사열에 의한 고온 환경 및 극저온이 반복되는 가혹한 환경으로 특징지어진다. 위성체는 지상에서 발사되어 우주궤도에 진입한 순간부터는 계속해서 우주 환경에 노출되며 이러한 가혹한 우주환경에 의해서 위성체의 주요부품에 기능장애가 초래되기도 하고 이는 결국 임무의 실패로 이어지기도 한다. 즉, 우주환경은 지상 환경과는 판이하게 다르기 때문에 지상에서는 제대로 작동하는 것으로 관찰되는 위성체가 우주환경에서는 예상하지 못한 기능장애를 보이기도 하고, 이는 때때로 임무성공에 치명적인 영향을 미치기도 한다. 위와 같은 이유들로 인하여 위성체는 지상에서 우주환경시험을 거쳐 기능 및 작동상태를 점검해야 하며, 이를 위해서는 우주환경을 모사 할 수 있는 우주 환경 모사장비가 필요하다[2].

본 논문에서는 정지궤도 위성과 같은 대형 위성체의 우주환경 모사에 필요한 대형 열진공 챔버를 효율적이고 안정적으로 구동하기 위한 모든 제어로직 설계에 필요한 요소들을 살펴보고자 한다.

2. 본 론

2.1 Vacuum system

대형 열진공챔버는 1×10^{-5} torr 이하의 고진공 환경을 모사하도록 설계 되었으며, 이와 같은 고진공 환경을 모사하기 위해서는 저진공 시스템과 고진공 시스템으로 이루어진 진공 시스템을 통하여 모사할 수 있다. 위성체 시스템의 지상검증 시험시 진공환경의 파괴로 인해 위성체에 치명적

인 영향을 줄 수 있다. 이에 따라 안전하고 안정적인 프로그램 (인터락 기능 포함)을 구성하여야 한다.

2.1.1 Low vacuum system

대형 열진공챔버의 저진공 시스템은 드라이타입 펌프를 선정하였으며, 드라이 펌프 1대, 부스퍼 펌프 2대로 구성된 2개의 체인으로 챔버 내부를 1×10^{-2} torr로 감압하는데 사용된다.

그림 1은 저진공 시스템의 제어계통도를 보여 주고 있다.

(1) Start condition

- cooling water temperature & pressure check
- Air, GN2, LN2 pressure check

(2) Low vacuum gate valve open condition

- Low vacuum system ready status
- Door limit signal check (door closed)
- Venting valve closed
- Air circulation gate valve closed
- High vacuum gate valve closed

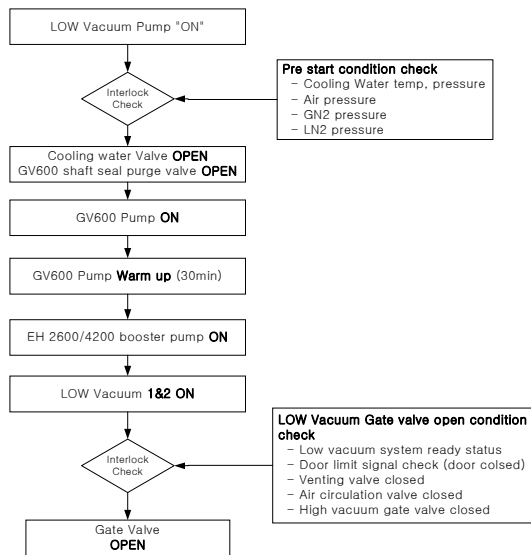


그림 1. Low Vacuum system process

(3) Emergency procedure

저진공 시스템이 가동중에 다음과 같은 알람이 발생되면, 챔버 내부의 진공이 파괴되는 상황을 피하기 위해 항상 게이트 밸브가 닫힌 후 펌프가 가동이 중지된다.

Pump fail case

- GV 600 dry body temp. high alarm
- GV 600 motor temp high
- GV 600 dry motor overload
- EH 2600 motor overload
- EH 4200 motor overload

2.2 High vacuum system

대형 열진공챔버 내부의 진공도를 1×10^{-5} torr 이하의 고진공환경을 모사하기 위해 turbo molecular 펌프와 CRYO 펌프로 구성된 고진공 시스템이 사용된다.

2.2.1 Turbo pump system

터보펌프의 구동 및 게이트밸브의 open은 (1), (2)와 같은 조건을 만족하였을 경우에만 동작하게 된다. 또한 위성체 및 펌프의 안전을 위해 알람발생시의 (3)과 같은 제어로직에 따라 펌프의 가동이 중단된다.

(1) pre start condition

- cooling water temperature & pressure check
- Air, GN2, LN2 pressure check

(2) gate valve open condition

- system ready status
- Chamber Low vacuum level check
- Chamber Low vacuum gate valve closed

(3) Emergency Case

- Turbo pump fail, Backing pump fail

위와 같은 알람 발생시 최우선적으로 게이트 밸브가 닫히고, 이후에 펌프의 구동이 중단된다.

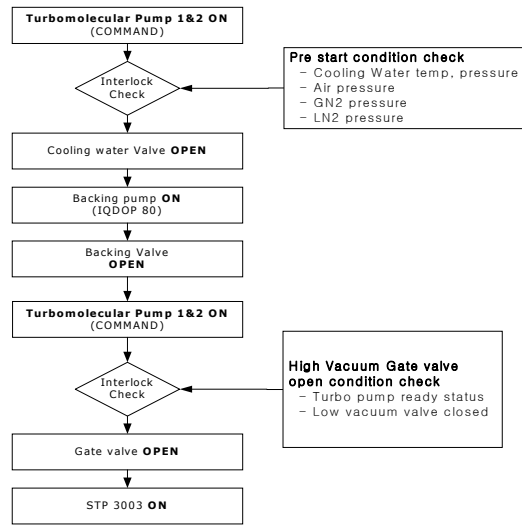


그림 2. Safety Interlock of Turbo molecular pump system

그림2는 터보펌프의 제어계통도와 펌프의 구동 및 게이트밸브의 open시 인터락 확인사항에 대해서 보여주고 있다.

2.2.2. CRYO pump system

CRYO펌프의 구동 및 게이트밸브의 open은 (1), (2)와 같은 조건을 만족하였을 경우에만 동작하게 된다. 그림3은 CRYO펌프의 제어계통도와 펌프의 구동 및 게이트밸브의 open시 인터락 확인사항에 대해서 보여주고 있다.

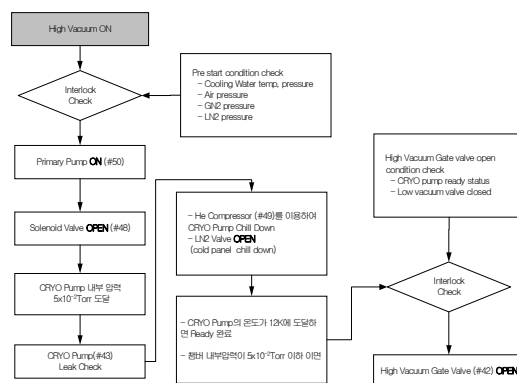


그림 3. Operation process & safety interlock for the CRYO pump system

- (1) CRYO pump system pre start condition
 - cooling water temp & pressure check
 - Air, GN2, LN2 pressure check

- (2) High vacuum gate valve open condition
 - CRYO pump system
 - system ready status
 - Chamber Low vacuum gate valve closed

- (3) CRYO Pump Ready Process
 - High Vacuum ON
 - Primary Pump ON & Low Vac Valve Open
 - CRYO Pump의 압력이 5×10^{-2} Torr에 도달하면 Low Vacuum Valve Close (CRYO Pump의 압력이 5×10^{-2} Torr에 도달하면 LN2 supply valve open, -170도 유지)
 - CRYO Pump의 Leak Check (Low Vacuum Valve) Open & Close 약 3회 반복)
 - CRYO Pump의 Leak이 없다고 판단되면 He Compressor ON (Leak의 판단은 Control System에서 정해진 압력값을 넘지 않으면 된다.)
 - CRYO Pump Chill Down ($< 12K$)
 - CRYO Pump의 온도가 12K 이하가 되면 CRYO Pump Ready 완료

2.3 Overall Vacuum Process

그림 4는 열진공 챔버 내부를 고진공의 진공 환경으로 모사하기 위한 process를 보여주고 있다. 이 process는 저진공과 고진공 두단계로 이루어져 있으며, 각 단계에 따라 각각 safety를 고려할 수 있도록 interlock을 확인한 후에 다음단계로의 진행이 이루어 질 수 있도록 PLC 하드웨어와 소프트웨어가 구성된다.

2.4 Thermal control system

대형 열진공챔버는 -190°C 이하의 극저온환경 및 150°C 의 고온환경을 모사할 수 있도록 설계되었다. 극저온 환경은 LN2 pump, Phase phase separator, control valve등으로 구성이 되며, 고온환경은 할로겐 램프를 이용하여 모사할 수 있도록 설계 되었다. 펌프, 밸브, 할로겐 램프등은 슈라우드 표면의 열전대를 기준으로 PID제어가 이루어진다. 그림 5는 대형열진공 챔버의 thermal system의 개략도를 보여주고 있다.

Thermal system의 구동은 초기조건, shroud 및 LN2 line purge, 램프 제어등으로 구성이 된다. 저온 및 고온의 초기조건은 동일하며, 초기조건을 만족하지 못할 경우 thermal system의 가동이 중단된다.

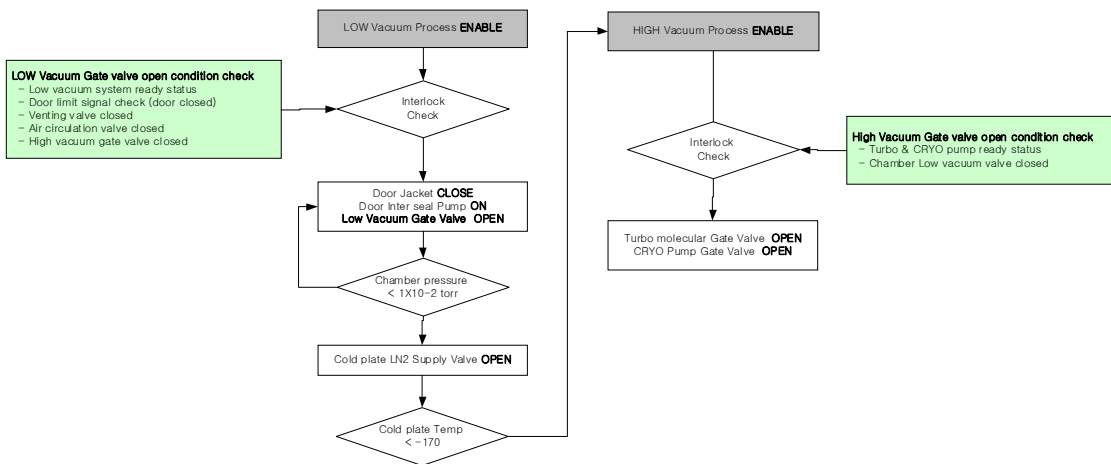


그림 4. Overall Vacuum process

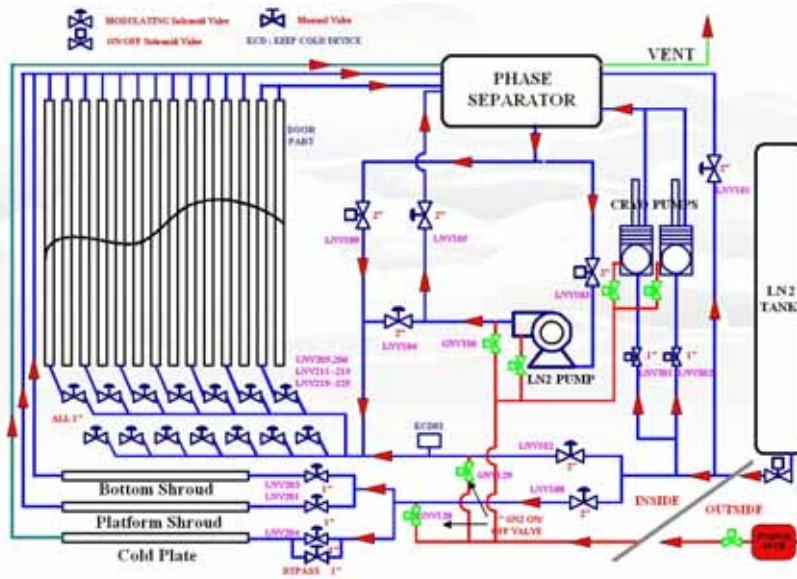


그림 5. Thermal control system

2.4.1 Thermal system start condition

Thermal system의 초기조건은 다음과 같다.

- vacuum pressure should reach the Thermal control start set point
- the shroud purging should be preformed more than 3 times
- cold plate temperature should be less than $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$
- All GN2 purging valve except for LN2 pump shaft seal purge valve shroud be closed

그림 6, 7은 thermal system의 start 및 stop시의 제어계통도를 보여주고 있다.

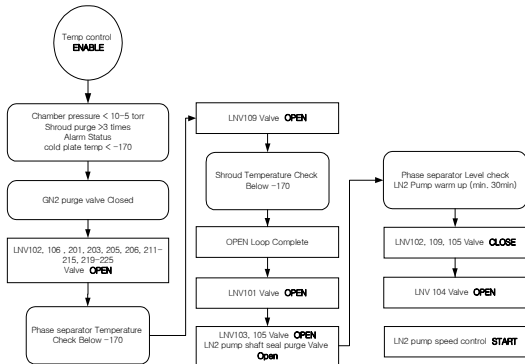


그림 6. Thermal control Start process

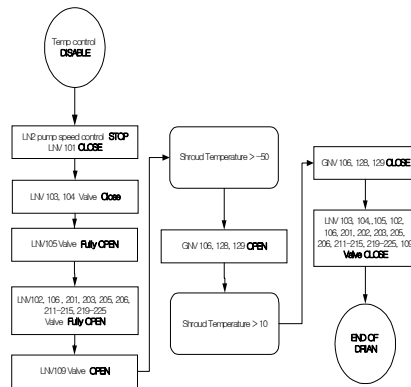


그림 7. Thermal control STOP process

2.4.2 Shroud & Line purge process

Shroud & Line purge process는 shroud, LN2 line, phase separator 내부의 수분으로 인해 저온 시험중 수분의 응결 방지 목적으로 수행된다.

Shroud & Line purge process는 3회 이상 실시하며, 그림 8과 같은 절차를 통해 수행된다.

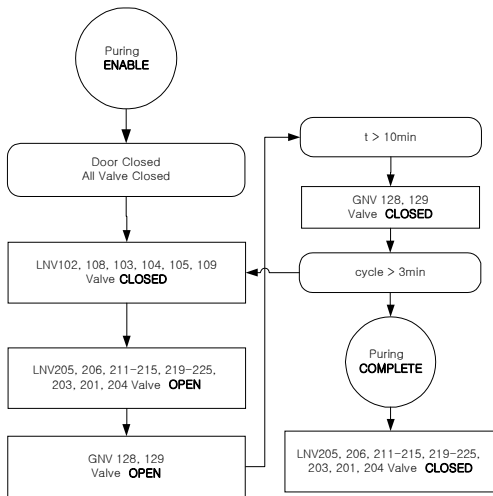


그림 8. Shroud & Line purge process

2.4.3 Bake-out Process using the halogen lamp

Bake-out process는 챔버 내부의 오염물질을 제거하기 위한 과정으로, shroud 표면에 부착된 할로겐 램프를 이용한다. 할로겐 램프는 총 336 개, 42그룹으로 구성되며, SCR을 이용하여 제어 된다. 할로겐 램프의 제어는 파워 또는 shroud 표면의 온도에 의하여 조절된다.

그림 9는 할로겐램프를 이용한 Bake-out process의 제어계통도를 보여주고 있다.

할로겐램프 조절시 반드시 over temperature, over voltage & current에 대한 알람을 설정 할 수 있도록 인터락을 설정하여야 하며, 이와 같은 알람이 발생하였을 경우 할로겐램프의 동작은 중단되어야 한다.

2.5 Cold plate control process

위성체는 오염에 민감한 광학카메라 및 각종 센서들이 부착되어 있으며, 위성의 지상검증시험 시 오염방지가 필수적이다. 이에 따라 대형 열진공챔버에는 오염을 방지할 수 있는 cold plate가 설치되어 있으며, cold plate는 열진공 시험시 -170℃ 이하로 유지된다.

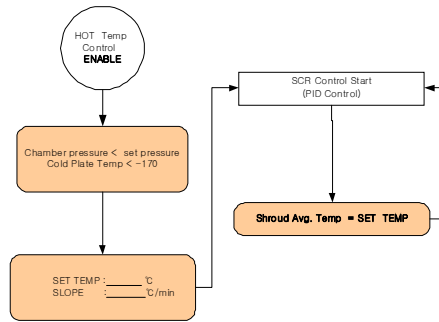


그림 9. Bake-out Process using the halogen lamp

(1) Pre start condition

- Alarm status
- Bypass Valve closed

(2) Cold Plate Control Start Process

- Chamber pressure check (measure pressure < set pressure)
- Cold plate LN2 supply Valve OPEN (LNV108, 204)
- Cold plate Temp check (measure Temp < set Temp)
- Cold plate LN2 supply Valve CONTROL (LNV204)

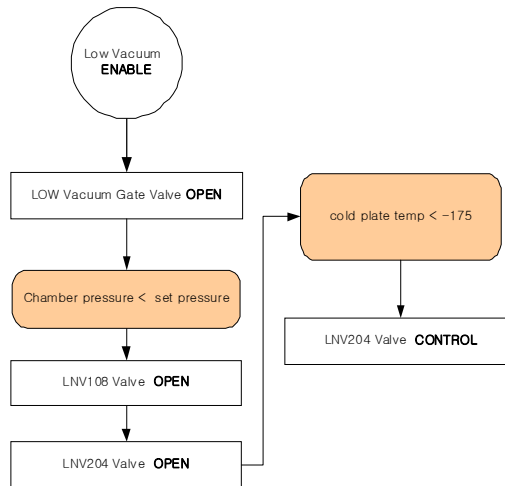


그림 10. Cold plate control start process

(3) Cold Plate Control stop Process

- Chamber venting ENABLE
- Chamber Venting Valve OPEN
- Chamber pressure check
(measure pressure > set pressure)
- 1st Venting stop
- Chamber Venting Valve CLOSE
- Cold plate LN2 supply Valve CLOSE
- Cold plate GN2 Purge Valve OPEN
- Cold plate Temp check
(measure Temp > set Temp)
- Cold plate GN2 Purge Valve CLOSE
- 2nd Venting start

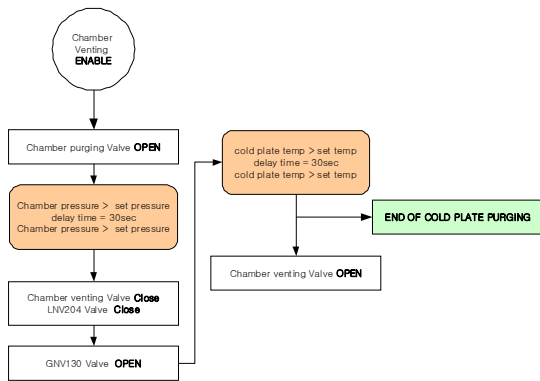


그림 11. Cold plate purging process

2.6. Chamber venting process

챔버 venting process는 열진공 시험이 종료된 후 챔버 내부의 압력을 상압으로 회복하는 process로 급격한 진공의 파괴는 위성체의 손상을 가져올 수 있으며, cold plate가 상온으로 온도가 상승하는 과정에서 위성체에 오염이 발생될 수 있다. 이에 따라 챔버 venting process는 대형 열진공 챔버의 중요한 process중 하나이므로, 아래와 같은 구동 초기 조건, 인터락, 제어계통도를 정확하게 분석해서 프로그래밍 하여야 한다.

Venting pre start Condition

- Low Vacuum gate valve closed

- High vacuum gate valve closed (Turbo & CRYO)
- Shroud temperature (set point)
- Door jacket opened

그림 12는 제어계통도를 보여주고 있고, 그림 13은 챔버 venting시 챔버 내부의 압력과 cold plate의 온도에 대한 상관관계를 보여주고 있다.

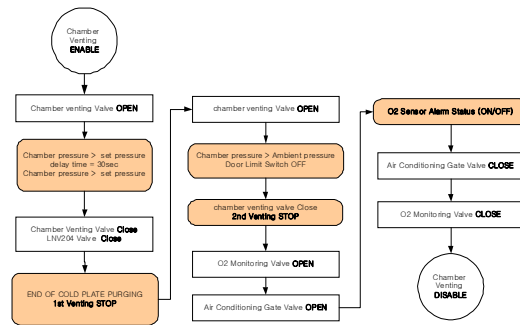


그림 12. Chamber venting process

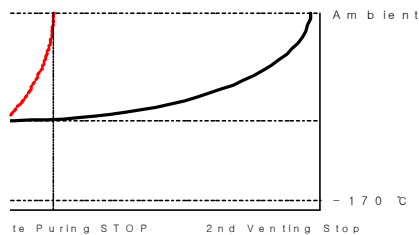


그림 13 Chamber Pressure & Cold plate Temperature during the Chamber Venting process

2.7. Door operation process

Door는 다음과 같은 순서에 따라 동작한다.

(1) Pre start condition

Alarm check main power supply alarm
Door operation 시 Utility alarm은 무시한다.

(2) 1st speed control

챔버의 flange 에서 가장 먼곳 설치된 stopper 에서부터 약 10m 에 떨어진 곳에 설치된 limit switch 의 신호를 통해 속도가 조절된다.

(3) 2nd speed control

1st limit switch로부터 chamber flange 하단에 부착된 limit switch의 신호를 통해 속도가 조절된다.

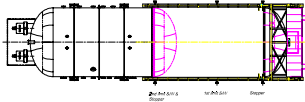


그림 14. Door speed control location

(4) Stop

chamber flange 하단에 부착된 limit switch의 신호를 통해 Door가 정지된다.

- Door의 전면에 부착된 safety bar의 물체 접촉 신호발생시 Door는 반드시 정지해야 한다.
- Pendant의 정지신호에 따라 door는 반드시 정지해야 한다.
- Emergency STOP이 ON인 경우 door의 작동은 불가능 해야 한다.

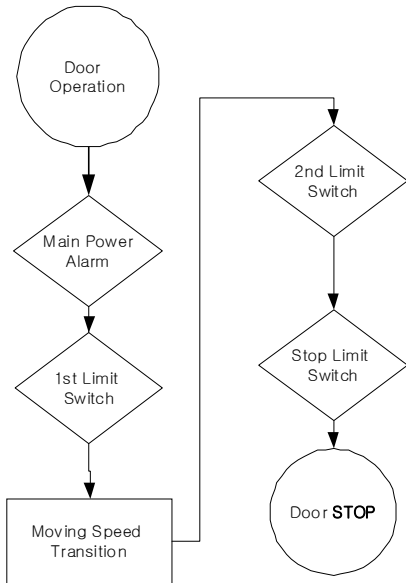


그림 15. Door operation process

2.8. LTVC command summary

LTVC의 제어는 크게 Vacuum control, thermal control, Venting, door operation등으로 구분된다. 모든 명령의 수행은 alarm, interlock 확인 후에 수행된다. 그림 16은 챔버의 구동 전반에 대한 제어계통도를 보여주고 있다.

그림 17은 챔버의 stop 전반에 대한 제어계통도를 보여주고 있다.

3. 결 론

대형 열진공 챔버는 고진공 및 극저온 환경을 모사하여, 위성체의 열진공 환경하에서의 성능을 검증하는데 사용된다. 이러한 고진공 및 극저온 환경을 모사를 위해 펌핑 시스템, 열제어 시스템 등 많은 시스템들로 구성이 되는데, 이러한 시스템들을 안정적으로 구동하기 위해서는 인터락을 포함한 제어시스템이 반드시 필요하다. 이러한 제어시스템은 하드웨어를 직접 연결하여 구동하기전 시뮬레이션 과정을 통해 제어로직과 인터락을 검증 한 후 실제 하드웨어에 적용하여야 한다.

참 고 문 헌

1. Wiley J. Larson/James R. Wertz(1992), "Space Mission Analysis and Design," Space Technology Library.
2. The Proceedings of a Symposium(1975), "Space Simulation," NASA Sp-379.
3. David G. Gilmore(1994), "Satellite Thermal Control Handbook," The Aerospace Corp. Press.
4. 서희준, "정지궤도 위성용 대형열진공 챔버 설계", 2003 춘계 학술대회.
5. 문귀원, "SHROUD SYSTEM DESIGN FOR A LARGE THERMAL VACUUM CHAMBER", 2003 IEST conference.

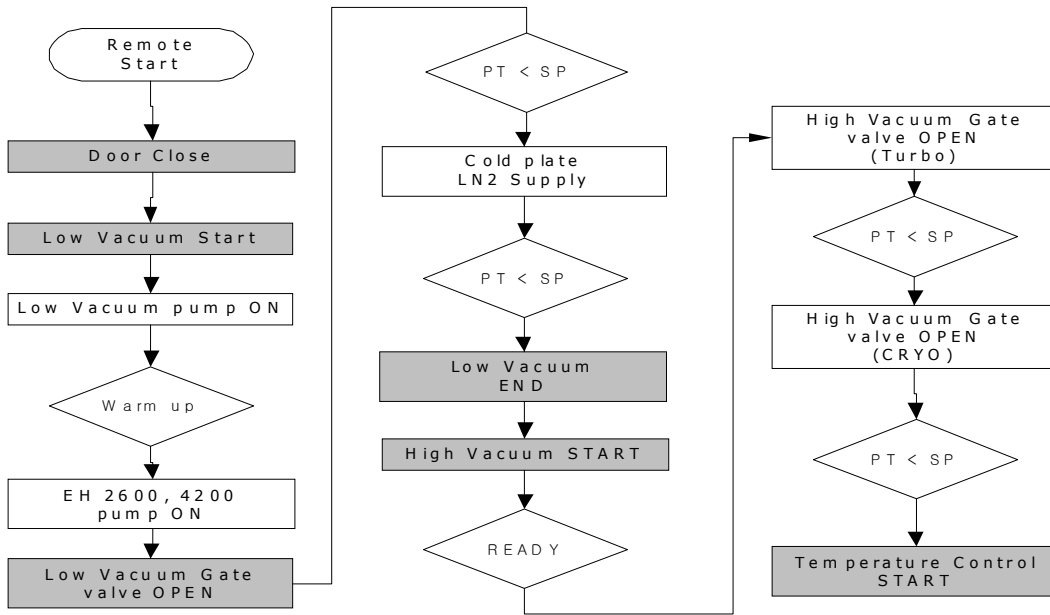


그림 16. LTVC Control Process (Start)

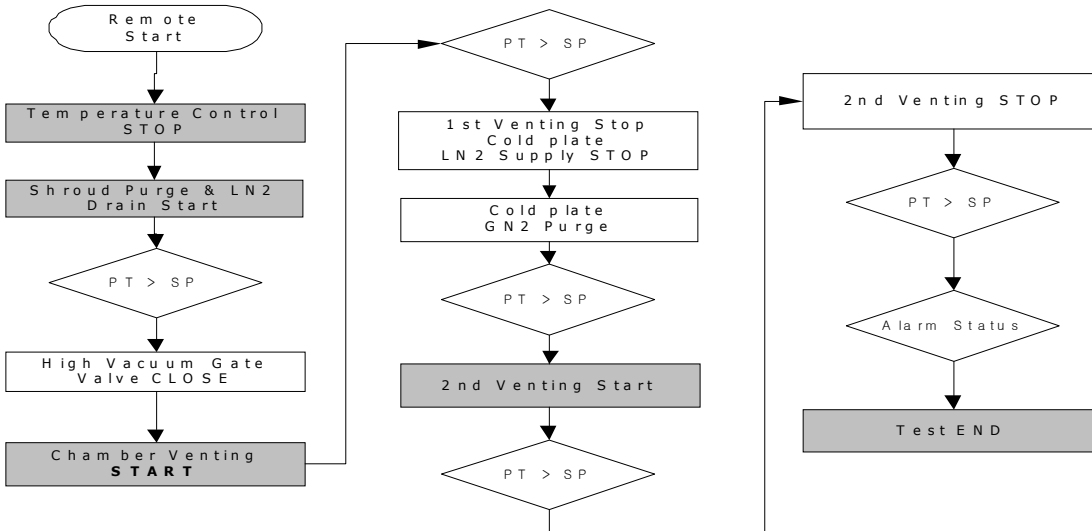


그림 17. LTVC Control Process (End)