

## 포항방사광가속기 저장링 Sector 챔버의 진공실험

한영진 · 최만호 · 김명진 · 이해철 · 김효윤 · 최우천

포항가속기연구소  
(1994년 9월 30일 접수)

### Vacuum test of a Sector Chamber of the PLS Storage Ring

Y. J. Han, M. H. Choi, M. J. Kim, H. C. Lee, H. Y. Kim and W. C. Choi

*Pohang Light Source Project, Pohang Accelerator Lab.*  
(Received September 30, 1994)

**요 약** - 설계변경된 sector 챔버를 제작하고, 저장링 챔버로서 성능을 알기 위하여 각종 진공실험을 하였다. 가스방출률은 낮은  $10^{-13}$  Torr.l/sec/cm<sup>2</sup>이고 누설률은  $1 \times 10^{-10}$  Torr.l/sec 이하이며 2회 bakeout과 NEG 활성화 후 얻어진 최종진공도는 낮은  $10^{-11}$  Torr이었다. 이러한 결과는 저장링 sector 챔버의 진공요구조건을 충분히 만족시킨다.

**Abstract** - A sector chamber refined design has been fabricated and tested vacuum in order to examine performance of sector chamber of storage ring. The outgassing rate is low  $10^{-13}$  Torr.l/sec/cm<sup>2</sup>. The leak rate is less than  $1 \times 10^{-10}$  Torr.l/sec and the ultimate pressure is achieved low  $10^{-11}$  Torr after twice bakeout and NEG activation. These results satisfy the terms desired of vacuum for the PLS storage ring chamber.

## 1. 서 론

포항방사광가속기는 92년에 초도품 sector 챔버를 제작하여 진공실험을 완료하고[1] 그 실험결과를 토대로 sector 챔버를 설계변경하였다. 초도품의 진공 sealing은 금속 O-링은 helicoflex seal이고 helicoflex seal은 sealing 정도가 챔버의 표면조도에 크게 의존하므로 대형 챔버를 정밀가공하기에는 여러가지 가공상의 문제점을 가지고 있다. 따라서 설계변경된 sector 챔버는 용접변형이 문제가 되는 전자빔 위치 측정 장치와 챔버 양단 연결부를 제외한 모든 port에 conflat flange가 있는 Al half nipple을 직접 용접하고 진공부품을 조립하도록 하였다.[2] Sector 챔버의 재질은 Al 5083-H321이고 half nipple은 Al 2219-T852로 제작되어 knife edge 부분은 Ti-C로 ion plating하여 표면강도를 증가시켰다. Al flange와 기존 진공부품은 Al 1050-H24로 제작된 gasket에 의해 sealing된다.

이 논문에서는 설계변경된 sector 챔버의 진공계통과 각종 성능테스트에 대해 논할 것이다.

## 2. 진공계통

포항방사광가속기의 저장링 챔버의 진공도는 낮은  $10^{-10}$  Torr를 목표로 한다. 실험할 sector chamber의 길이는 약 10 m이고 무게는 1.2 ton이며 챔버 내부의 총 면적은 약  $2 \times 10^5$  cm<sup>2</sup>이다. Specific thermal outgassing이  $1 \times 10^{-12}$  Torr.l/sec/cm<sup>2</sup>로 가정하면 total thermal gas load는  $2 \times 10^{-7}$  Torr.l/sec이고 낮은  $10^{-10}$  Torr의 압력을 유지하기 위해서는 2000 l/sec의 펌핑 속도가 필요하다. 이를 위해서 그림 1과 같이 4대의 조합펌프(combination pump)와 1대의 60 l/sec의 이온 펌프를 챔버에 설치했다. 조합펌프는 60 l/sec의 이온펌프와 NEG(Non-Evaporable Getter) modules로 구성되어 있다. 표 1에는 각 gas에 대한 1 NEG mo-

표 1. NEG 1 module당 pumping speed

| Pumping speed(l/sec)            |     |
|---------------------------------|-----|
| H <sub>2</sub> Room Temperature | 430 |
| H <sub>2</sub> 280°C            | 530 |
| CO Room Temperature             | 170 |
| CO 280°C                        | 250 |

odule의 펌핑속도를 표시하였다. 조합펌프에는 가스방출량에 따라 2 NEG modules와 3 NEG modules을 각각 2대씩 설치하였다. NEG는 noble gas와 CH<sub>4</sub>을 펌핑하지 못하는 단점이 있으므로 조합 펌프에서 이온 펌프의 역할은 이 단점을 보완하는 것이다.

진공도는 1개의 convectron gauge와 3개의 nude ion gauge 그리고 1개의 extractor gauge를 부착하여 조사하였다. 그림 2는 제작 및 조립이 완성된 챔버이다.

### 3. 챔버의 성능 테스트

저장링 진공챔버의 성능을 조사하기 위하여 챔버의 가스방출율을 측정하고 펌핑 및 bakeout을 수행한 후 최종압력을 측정하였다.

#### 3.1. 가스 방출율 측정

Throughput method로 sector 챔버의 가스방출율을 측정하였다. 챔버의 가스 방출율을 낮추기 위하여 전처리로 화학세척을 한다. 화학세척은 Diversey 909을 75 g/l의 농도로 탈이온수에 희석하여 70°C의 온도에서 화학세척하고 탈이온수로 린스한 후, Mirachem 100으로 화학세척하고 다시 탈이온수로 린스한다.

가스방출율을 측정하기 위하여 챔버상부에 그림 3과 같이 8" speed dome을 설치하였다. orifice는 직경 15 mm를 사용하였고 orifice의 conductance는 약 20 l/sec이다. 200 l/sec의 magnetically suspended turbomolecular pump로 13시간 동안 roughing하고 140°C에서 48시간 동안 bakeout 후 16시간 동안 펌핑한 결과, speed dome상단챔버의 압력은  $5 \times 10^{-9}$  Torr이고 하단 챔버의 압력은  $9.6 \times 10^{-10}$  Torr이었다. 챔버 내부의 총 면적이  $2 \times 10^6$  cm<sup>2</sup> 이므로 specific thermal outgassing rate는  $4 \times 10^{-13}$  Torr.l/sec/cm<sup>2</sup>이나 통상적으로 표면조도를 고려하여 면적을 4배정도로 환산하므로 가스방출율은  $1 \times 10^{-13}$  Torr.l/sec/cm<sup>2</sup>라고 볼 수 있다. 그림 4는 표면조도를 고려하여 시간에 따른 가스방출율을 표시한 것이다.

#### 3.2. 진공실험

진공챔버의 최종압력을 낮추기 위하여 다음과 같이 bakeout과 NEG활성화작업을 하였다.

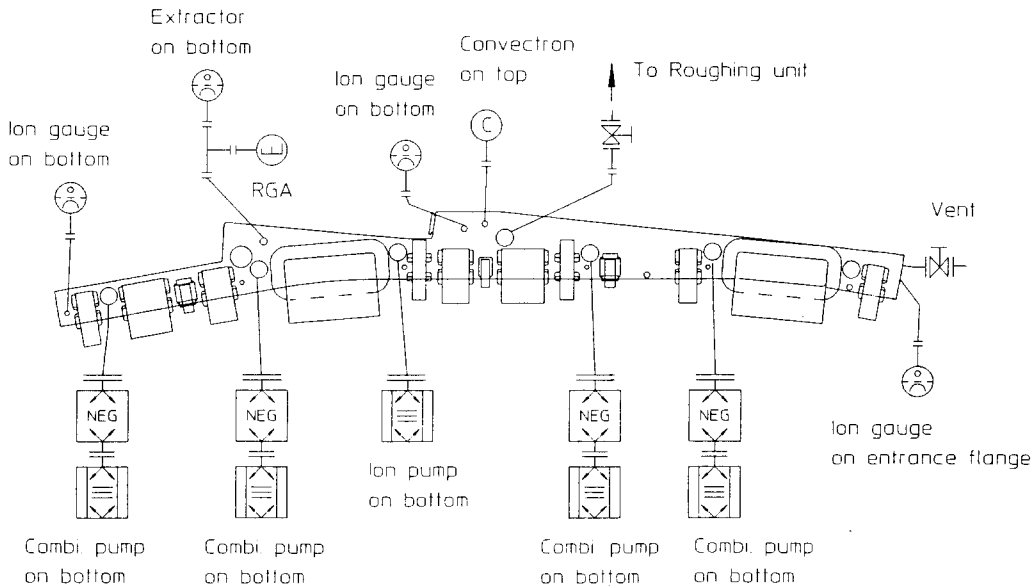


그림 1. Sector chamber의 pumping system.

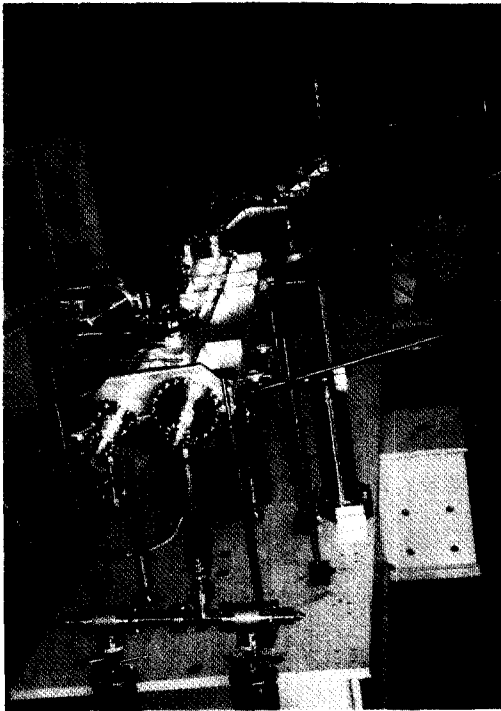


그림 2. 제작 및 조립이 완성된 Sector Chamber.

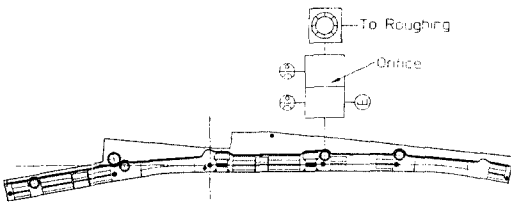


그림 3. Outgassing rate 실험장치.

**3.2.1. Bakeout**

포항방사광가속기의 sector 챔버는 bakeout 온도에 대해 2가지 제한이 있다. 첫번째는 bakeout 온도가 170°C를 넘을 수 없는데 이것은 알루미늄의 온도가 170°C를 넘으면 기계적 성질이 급격히 변하기 때문이다. 두번째는 sector 챔버를 bakeout 할 때 챔버의 횡방향의 변형이 3mm를 넘어서는 안되는데 이것은 챔버에 근접하고 있는 magnet과의 간섭을 피하기 위해서이다. 이 2가지 제한점을 고려하여 sector 챔버의 bakeout 온도를 140°C로 제한하였다.

챔버의 bakeout은 그림 5와 같이 챔버 상하판의 가공된 홈에 구리관을 삽입하고 이관에 고온수 공급

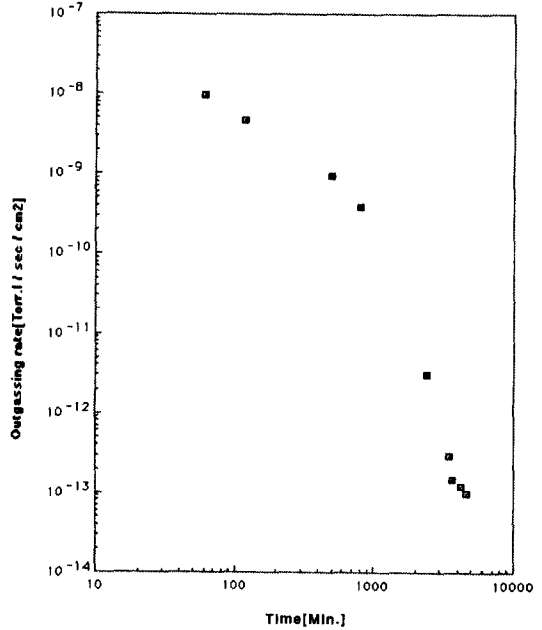


그림 4. 시간에 대한 specific thermal outgassing rate.

장치로 고온의 물을 흘려서 수행한다. 고온수 공급 장치는 10기압으로 물을 가압하여 170°C의 고온의 물을 얻는 장치로서 포항방사광가속기에서 개발한 것이다.

대형 챔버의 bakeout시, 급격한 온도상승 또는 온도하강은 각 sealing 부위에 노설(leak)을 초래한다. 따라서 100°C까지는 10분에 10°C씩 상승시키고 100°C부터는 15분에 10°C씩 온도를 올렸다. Bakeout를 off할 때에는 온도상승방법의 역순으로 한다. 이러한 방법으로 sector 챔버를 140°C로 24시간 bakeout을 2회 실시했다. Bakeout도중 챔버의 최대변형을 그림 6에 나타냈는데 챔버의 횡방향으로 최대변형은 2.4mm로 magnet과의 간섭을 피할 수 있다.

Bakeout 후, 누설시험에서 누설율은 1×10<sup>-10</sup> Torr.l/sec 이하이었다. 체결볼트의 토크시험에서 20~30%의 토크풀림이 있었으므로 bakeout 후에는 체결볼트의 재체결의 필요하다.

**3.2.2. NEG 활성화작업**

NEG를 제작할 때 공기와의 접촉을 방지하기 위하여 표면에 얇은 막을 형성시킨다. 펌핑을 하기 위해서는 이 막을 제거해야 되고 또한 펌핑과정에서 많은 가스를 흡수하면 펌핑능력이 현저히 떨어진다.

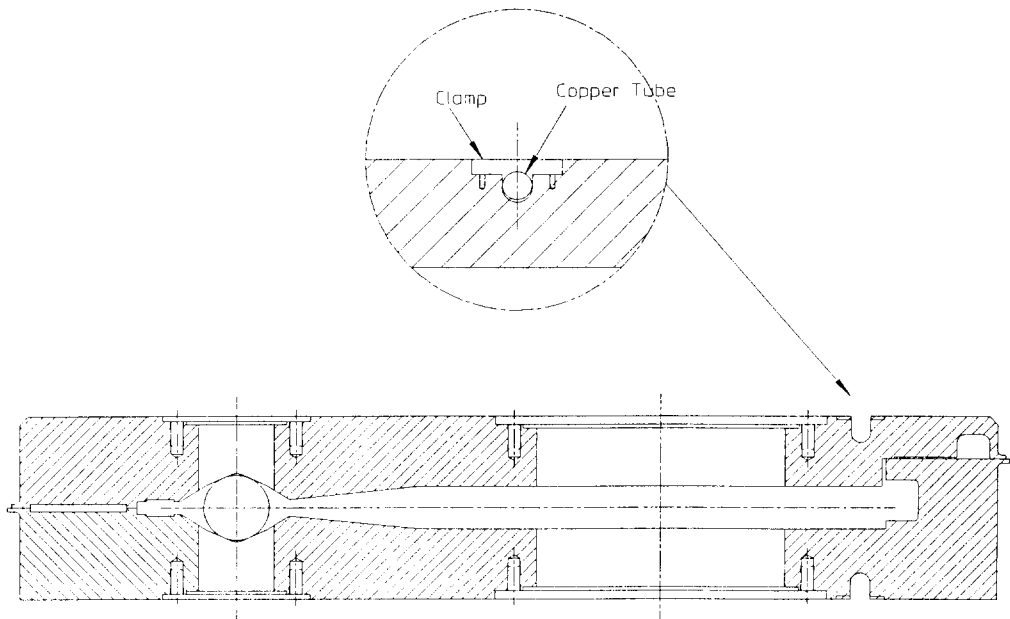


그림 5. Sector chamber의 bakeout장치도.

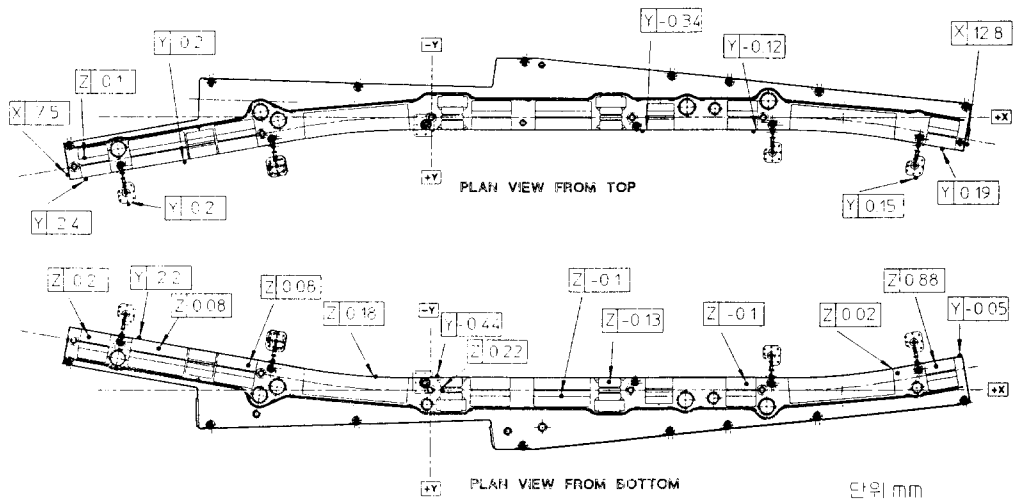


그림 6. Sector chamber의 bakeout도중의 최대 변형치.

초기에 얇은 막을 제거하거나 흡수된 가스를 방출하기 위해서 NEG를 전류로 가열하는데 이 과정이 NEG 활성화 작업이다. NEG활성화는 bakeout을 off할 때 챔버온도를 80℃를 유지하면서 실시한다. 이때 챔버 압력을 낮은 10<sup>-5</sup>Torr를 유지하는 것을 원칙으로 하나 활성화 초기에 NEG의 가스방출이 매우 많기

때문에 압력을 일정하게 유지하면서 NEG을 활성화 하는 것은 어렵다.

NEG를 활성화할 때 압력제어를 하는 것은 2가지 목적이 있다. 첫번째, NEG를 10<sup>-3</sup>Torr에서 450℃로 가열하면 NEG물질이 산화할 위험이 있다. 따라서 조함펌내부의 압력을 관측하여 10<sup>-4</sup>Torr를 넘지

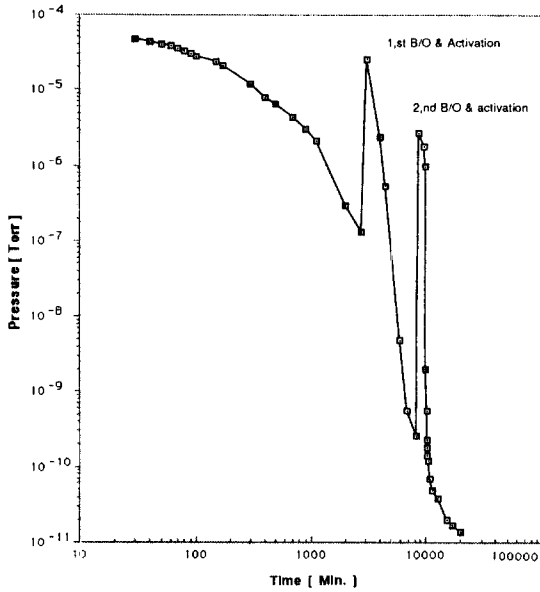


그림 7. Sector chamber의 pressure profile.

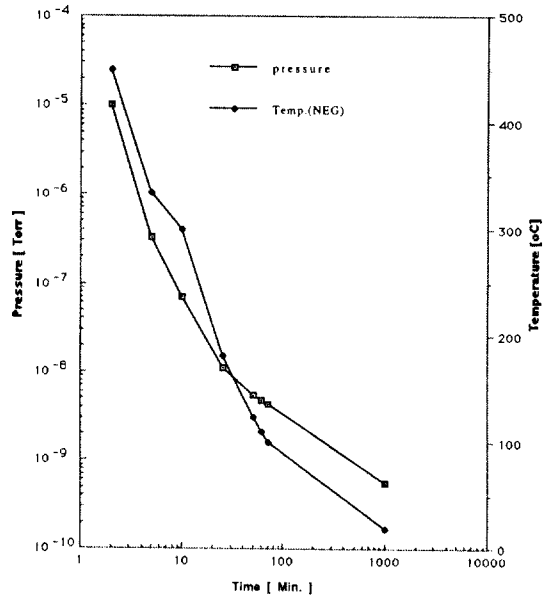


그림 8. 1단계 activation에서 NEG온도와 chamber의 pressure.

않게 하여야 한다. 이것은 이온펌프의 전류로 측정한다. 두번째, NEG는 가열함으로써 내부에 함유하고 있는 가스를 방출하는데 활성화가 끝나는 동시에 다시 가스를 흡수한다. 약 350°C 에서도 NEG는 활발히 가스를 흡수하는데 활성화과정에서 챔버압력이 낮으면 낮을수록 NEG가 초기에 흡수하는 가스량이 적어진다. NEG는 가스량이 적을수록 펌핑속도가 커지므로 활성화도중에 챔버의 압력을 낮게 한다.

본 실험에서는 활성화를 2번의 bakeout에 따라 2단계로 실시하였는데 1단계 활성화를 bakeout을 off하여 챔버온도가 80°C가 되었을 때 챔버압력이 낮은 10<sup>-5</sup> Torr가 되도록 활성화 전류를 조정하면서 최종적으로 450°C에서 45분동안 수행했다. 2단계 활성화를 bakeout을 시작하여 챔버온도가 140°C가 되었을 때 NEG온도를 400°C로 설정하여 bakeout기간 동안 이 온도를 계속 유지하다가 bakeout을 off하여 챔버온도가 80°C가 되었을 때 최종적으로 450°C에서 45분동안 활성화하였다.

### 3.2.3. 최종 진공도

그림 7은 7일동안에 2번의 bakeout과 NEG활성화를 시행한 후의 진공도 변화를 표시한 것이다. 최종 진공도는 1×10<sup>-11</sup> Torr이었다. 챔버를 42시간 roughing했을 때 진공도는 1×10<sup>-7</sup> Torr이고 첫번째 ba-

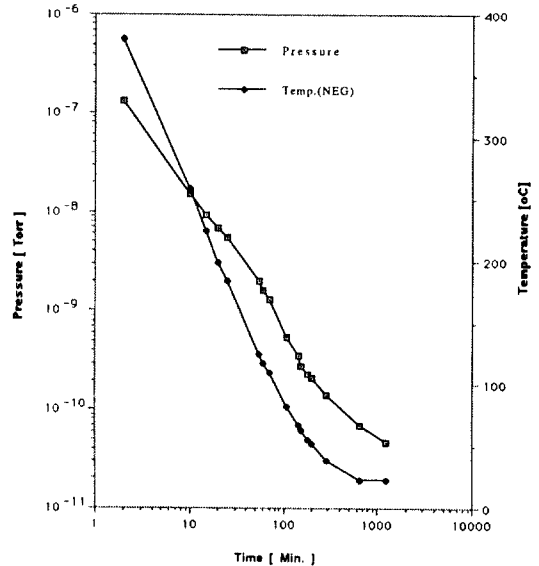


그림 9. 2단계 activation에서 NEG온도와 chamber의 pressure.

keout과 1단계 NEG활성화가 끝난 뒤 67시간후에 챔버 진공도는 2.6×10<sup>-10</sup> Torr이었다. 1단계 활성화에 따른 NEG온도와 챔버 진공도는 그림 8에 나타나 있다. 처음에는 NEG온도가 낮아짐에 따라 챔버 진

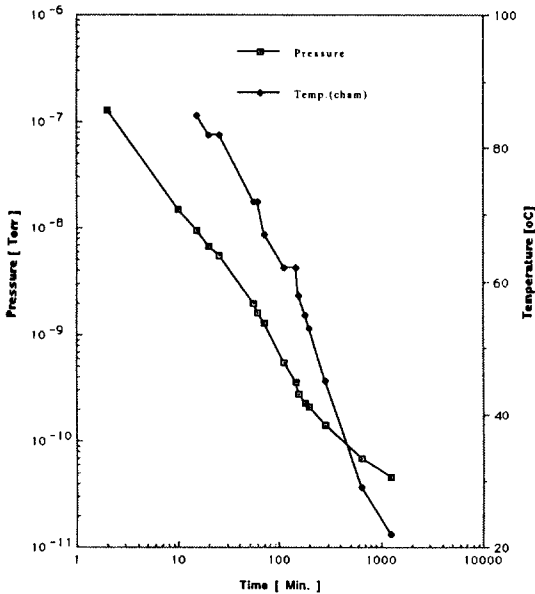


그림 10. 2단계 activation에서 chamber의 온도와 chamber의 pressure.

공도가 급격히 떨어지다가 NEG온도 250°C 이하 부터는 진공도의 하강이 둔화된다. 두번째 bakeout과 2단계 활성화가 끝난 뒤 챔버진공도는 5시간만에 low  $10^{-10}$  Torr에 도달하였고 10시간 후에는  $7 \times 10^{-11}$  Torr이었다. 그림 9는 2단계 NEG활성화에 따른 NEG온도와 챔버 진공도를 표시했다. 1단계 NEG활성화와는 달리 NEG온도가 250°C 이하로 떨어져도 챔버 진공도는 계속 급격히 하강했다. 또한 챔버 온도가 62°C 인 상태에서도 진공도는 낮은  $10^{-10}$  Torr에 도달했는데 이 관계를 그림 10에 표시했다. 2단계 NEG 활성화로 진공도를 1 order낮출 수 있었는데 NEG는 펌핑능력을 증가시키기 위해 표면에 많은

기공을 형성시키지만 역으로 기공에서 방출가스가 매우 많은 것으로 생각된다. 따라서 NEG를 400°C 로 가열하여 펌핑능력을 완전히 억제시킨 상태에서 bakeout한 후 NEG를 활성화하면 펌핑능력이 현저히 좋아지는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

설계변경된 sector챔버를 제작하여 각종 진공실험을 하였다. 챔버제작의 전처리로서 수행하는 포항방사광가속기의 화학세척은 약 3일동안에 가스방출율이 낮은  $10^{-13}$  Torr.l/sec/cm<sup>2</sup>에 도달함에 따라 매우 우수한 것으로 판정되었다. 새로 사용한 Al half nipple과 진공부품과의 sealing에 사용되는 Al gasket은 2번의 bakeout후에 검사한 누설율이  $1 \times 10^{-10}$  Torr.l/sec 이하로서 문제점이 없었다. 또한 bakeout에 의한 챔버의 횡방향이 변형은 최대 2.4 mm로 magnet과의 간섭을 피할 수 있었다. 140°C, 24시간의 첫번째 bakeout에 의해 챔버는 목표한 낮은  $10^{-10}$  Torr를 쉽게 얻었다. NEG를 400°C 로 가열한 상태에서 2번째 bakeout을 하여 챔버의 진공도는 낮은  $10^{-11}$  Torr에 도달하였다. 따라서 설계변경된 sector챔버는 포항방사광가속기의 저장링 챔버의 요구조건을 만족함으로써 본 챔버의 제작에 적용될 것이다.

#### 참고문헌

1. C. D. Park, Y. J. Han, H. J. Kim, H. S. Youn, and W. C. Choi, *J. Kor. Vac. Sci.* **1**, 336 (1992).
2. 최만호, 정상수, 김효윤, 김명진, 이해철, 한영진, 최우천, *한국진공학회지*, **2**, 275 (1993).