

## 포항가속기 저장링 Chamber의 용접변형

최만호\* · 김효윤\*\* · 한영진\*\* · 최우천\*\*

### Welding Deformation of The PLS Storage Ring Chamber

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

#### 1. 서 론

포항가속기 연구소에서는 제 3 세대형 방사광 가속기를 건설하고 있다. 가속기는 길이 168 m의 선형가속기와 둘레가 280 m인 저장링으로 구성 된다. 저장링은 12 superperiod로 구성되며 1 superperiod는 2개의 sector chamber와 1개의 straight chamber로 구성되어 있다. Sector chamber는 7 m 길이의 sector I 과 10 m 길이의 sector II로 되어 있고 챔버 재료로는 A1 5083-H321이다. 각 sector chamber는 상하판으로 구성되고, 상하판을 겹쳐놓고 외주를 따라 TIG용접을 하는 이 저장링 챔버(chamber)는 전자빔(electron beam)을 5시간 이상 저장하기 위해  $10^{-10}$  Torr 이하의 초고진공으로 유지되어야 한다<sup>1)</sup>

초도품 sector chamber에서는 helicoflex gasket를 사용하여 씰링(sealing)하였다<sup>2)</sup>. 이 씰일은 씰링할 재료가 달라도 씰링할 수 있는 장점을 갖고 있으나, 완벽한 씰링을 하기 위해서는 두 접촉면의 표면조도가 상당히 좋아야 하는 단점을 갖고 있다. 챔버를

가공하는 대형 CNC 가공기로 충분한 면조도를 가공하는 것과 챔버 취급시 작은 흠이 생기면 씰링이 되지 않은 어려움으로 표면조도에 상관없는 씰링 방법을 찾게되었고, 하나의 방법으로 TiC coating된 알루미늄 플랜지(Al flange)를 직접 챔버에 용접하는 것으로의 설계변경을 검토하게 되었다. 용접에서의 난점은 용접시 발생하는 용접열에 의한 변형이다.

포항가속기는 정밀한 기계라고 할 수 있으므로 가속기의 핵심요소인 진공챔버는 정밀하게 제작되어야 한다. 따라서 용접열에 의한 열변형이 챔버의 정밀도를 저해할 수 있다.

본 보고에서는 용접으로서의 가능성과 열변형을 최대한 줄여서 챔버의 정도를 보증하는 것을 검토한다.

#### 2. 용접홈(welding groove)의 검토

Fig. 1에는 sector chamber I, II의 형상과 포트(port)크기가 나타나 있다. 챔버에 여러 진공 부품을 조립하기 위해서 챔버에 여러 포트를 가공하여야 한다. Sector I에는 27개, II에는 36개가 가

\* 정회원, 포항공대 가속기 연구소

\*\* 비회원, 포항공대 가속기 연구소

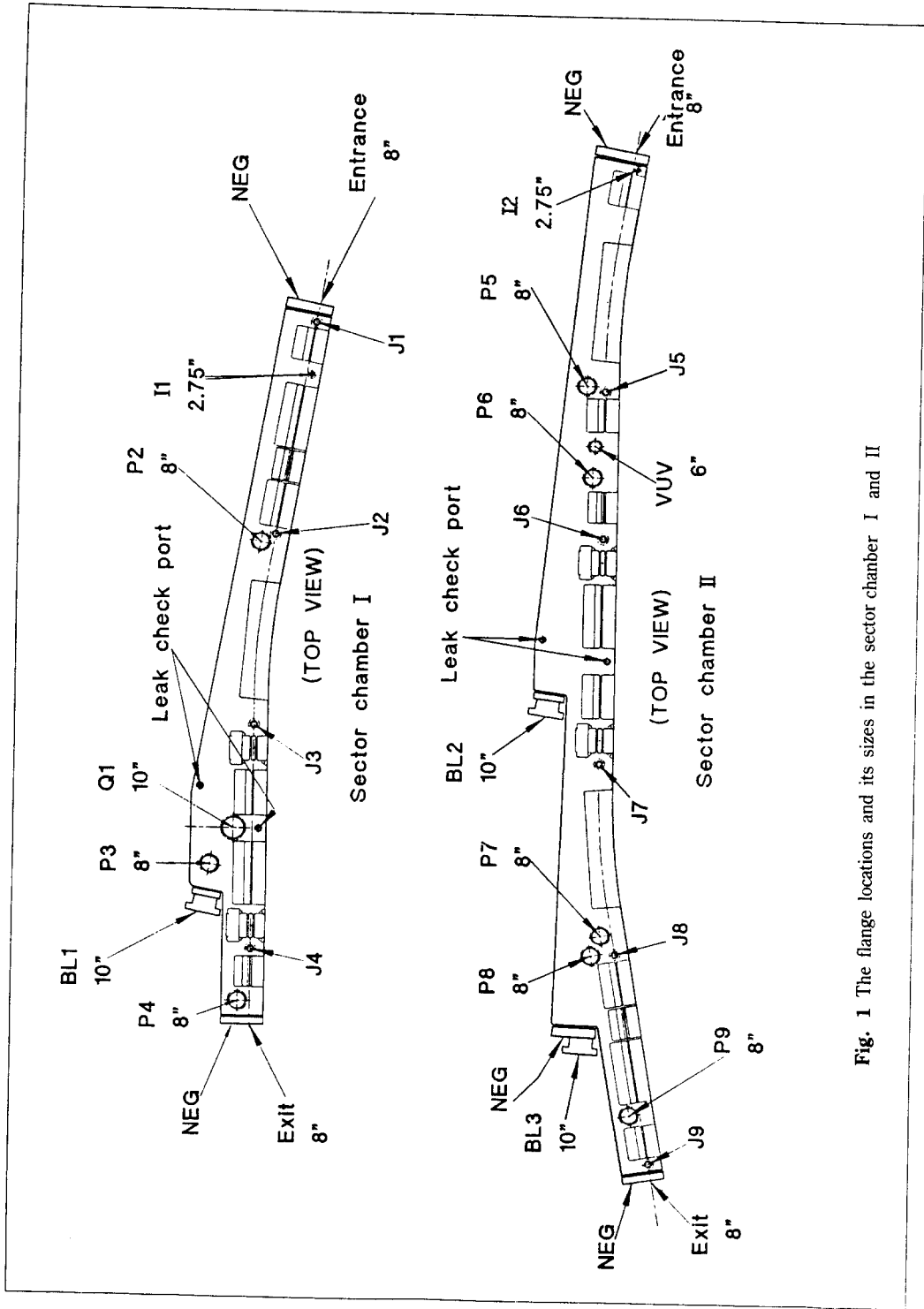


Fig. 1 The flange locations and its sizes in the sector chamber I and II

**Table. 1** The different flange sizes and quantities of the sector chamber I and II

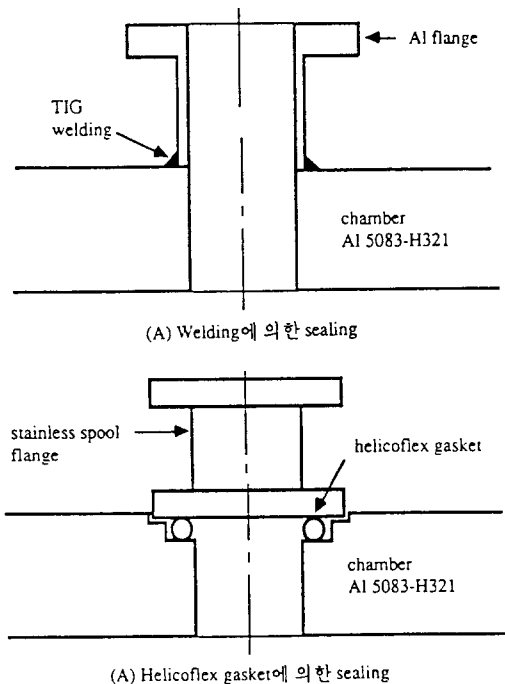
port size/name	10"	8"	6"	4.5"	2.75"	입/출구	leak check	BPM	NEG	계
sector I port 수량(개)	3	6	1	1	2	2	2	8	2	27
sector II port 수량(개)	2	10	4	0	3	2	2	10	3	36

공되어 있으며 이들의 크기와 종류는 Table. 1에 나타나있다. 이 포트들은 설계 변경전에는 Fig. 2(A)와 같이 helicoflex gasket를 이용하여 씰링 하였으나 (B)와 같이 용접을 하는 것으로 변경되었다. 이들중에서 BPM port, leak check port, 입/출구 port, NEG포트는 용접으로는 정밀도를 보증할 수 없거나 용접할 수 없는 설계이므로 제외 하였다.

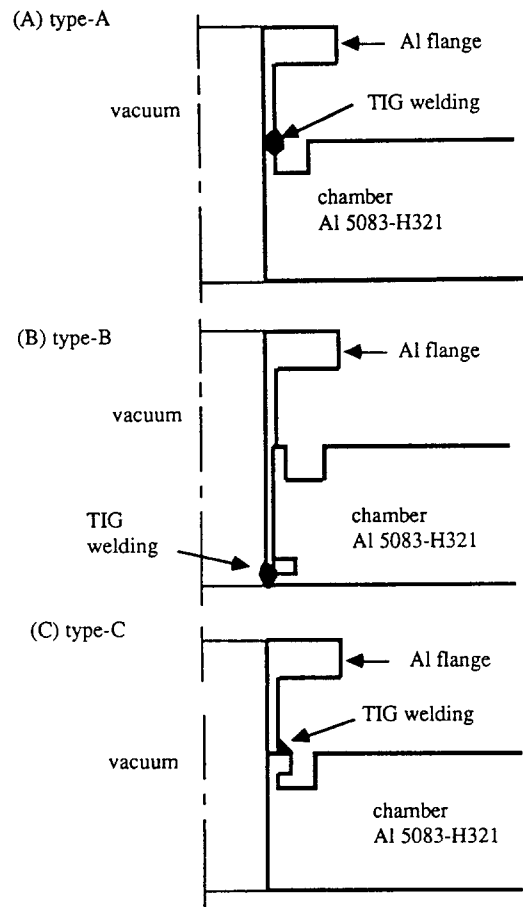
저장링 챔버는 정밀도가 요구되고 있기 때문에 일반적으로 적용하는 용접후의 변형교정은 할 수가 없다. 따라서, 변형을 경감하는 시공법을 적용하여야 한다<sup>3)</sup>. 그것은, (1) 용착금속의 량을 작게 할 것, (2) 용접부의 구속을 작게하고 적당한 용접방법과

용접순서를 선택할 것 등이 저장링 챔버 용접시공법으로 적용할 수가 있다.

용접을 해야 하는 포트들은 기밀이 유지되고 열 변형을 최소화하는 초고진공 용접을 하여야 한다. 즉, 열전도량을 최대한 줄여야 하기 때문에 챔버에



**Fig. 2** The schematic diagram for the sealing method.



**Fig. 3** Three different methodes applied to TIG welding

trench를 가공한다. 이렇게 하면 (1) 용접이 쉽고, (2) 누설검사(leak test)가 쉽고, (3) 용접후 누설이 있을때 보수하기가 쉽다. Fig. 3은 초고진공 용접을 하기 위해서 여러형태의 trench를 비교검토한 것이다. 용접홈(A)는, 용접에 상당한 어려움이 있고 이면 비이드(back bead)가 형성되기 쉽고 또한 0.5 mm이상 형성되면 전자빔 차단장치(photon-stop)를 조립할 수 없게 된다. 용접홈(B)는, 용접은 진공측에 하게 되므로 용접후 누설검사를 할때 누설의 위치를 정확히 알아 내기가 불가능하다. 또한, 누설이 존재하게 되면 대기측에서 용접하게 된다. 이렇게 양면 용접이 되면 틈새에 가스가 trap되어 virtual leak를 만들어 진공배기(vacuum pumping)를 할때 많은 시간이 걸리고 최종 도달압력에 이르지 않게 된다. 용접홈(C)는, 용접이 가장 쉬운 형태가 된다. 그러나, 이중으로 trench를 가공하는 것이기 때문에 가공에 어려움이 있고, 가공시 over-cut이 되었는지를 측정하기가 용이하지 않다. over-cut이 되면, chamber bottom쪽의 이온펌프(ION pump)와 같은 무거운 부품을 조립하였을때 용접부분에 지

나친 응력이 생길 수 있다. 따라서, (A)에서와 같이 용접의 어려움, (B)에서와 같이 누설이 있을때 수정의 어려움, (C)에서와 같이 가공의 어려움등을 고려하여 Fig. 4(A)와 같은 형상의 용접홈을 검토하게 되었다.

### 3. 용접홈 test

Fig. 1에서 보는 바와 같이 전자빔을 감시하는 BPM(beam position monitor ; J port)은, sector II에서 플랜지 가까이 위치한 J5, J8 BPM은 용접열에 의해서 변형이 문제가 된다. 용접후 BPM 조립면의 변형량(뒤틀림)이 50  $\mu\text{m}$ 이내여야만이 전자빔의 궤적을 정확히 monitoring할 수 있기 때문이다.

Fig. 4(B)에서 보는 바와 같이 변형량과 trench와는 비례관계에 있다. 여기서  $\delta$ (변형량)를 0으로 하기 위해서 y(trench)를 0으로 하는 것은 불가능하다. 따라서 변형량을 최소화 하면서, 강도를 저하시키지 않고, 초고진공에 적합한 용접홈을 정해야 한다.

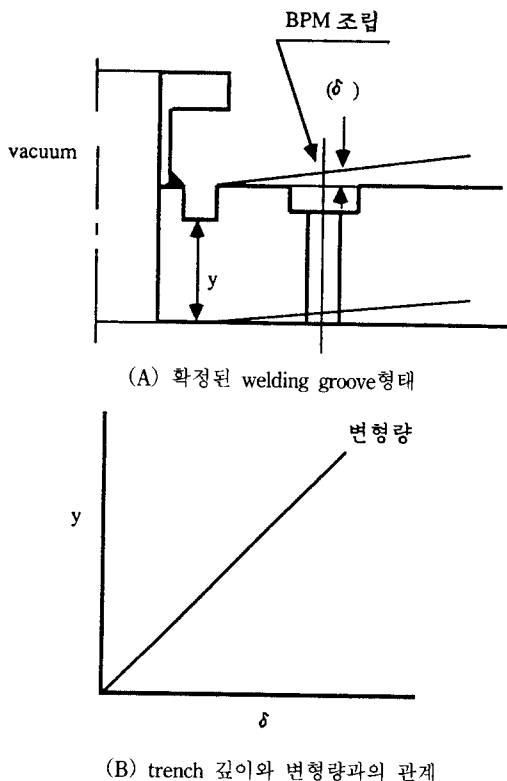


Fig. 4 The dependance of the deformation on the shape of welding groove

#### 3.1 시험재료

본 test에 사용한 챔버 재질로는 Al 5083-H321이고, 플랜지는 Al 2219-T852이고, 용접봉은 균열을 최소화하기 위해 ER 4043-2.4 mm를 사용하였다.

#### 3.2 시험방법

Test횟수에 따른 시험챔버(test chamber)를 각각 달리 제작하여 용접홈 변화에 따른 변형량을 조사하였다.

##### - 1차 test

Sector chamber II에서 변형이 가장 우려되는 단면의 일부를 Fig. 5와 같이 시험 챔버로 제작하였다. 플랜지 두께 5 mm, trench 깊이 9 mm이고, 용접 방법은 BPM에서 가장 먼 반대쪽에서부터 1/4씩 용접한다. 용접후 height master로 BPM변형량을 용접전, 후로 측정한다.

##### - 2차 test

Sector chamber II에서 포트와 BPM이 가장 가

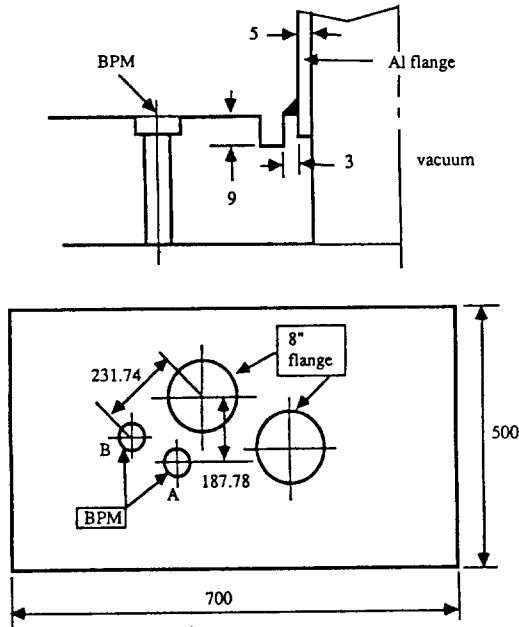


Fig. 5 Cross section of the 1<sup>st</sup> test chamber

까운 것과 2번째로 가까운 것을 각각 2배 거리에 위치하도록 하는 시험챔버를 Fig. 6과 같이 제작하였다. 플랜지 두께 4 mm, trench깊이 10 mm이었으며 용접방법은 1차 test와 같다. 용접전, 후 3차원 측정기로 측정한다. 이 test의 목적은 BPM을 용접부 위로 부터 가능한 멀리 옮길 수 있는지를 알아보기 위함이었지만 BPM이동은 불가능하다.

- 3차 test

실제와 같은 sector chamber I, II를 시험 챔버로 하였으며, 플랜지 두께 4 mm, trench 깊이 15 mm이었다. 용접후 height master로 sector II top에서 P<sub>5</sub>포트를 용접할때 J5변형량을 P7, P8포트를 용접

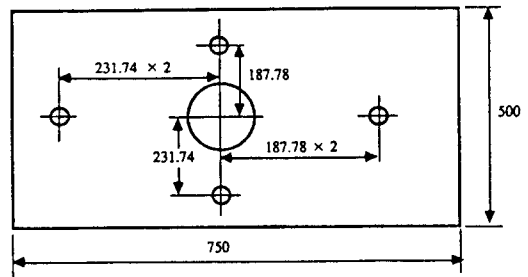
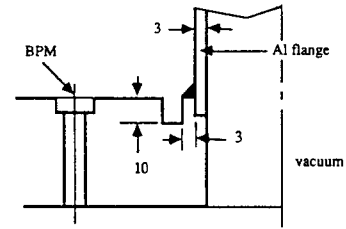


Fig. 6 Cross section of the 2<sup>nd</sup> test chamber

할때 J8의 변형량을 용접전, 후 측정하였다. sector chamber에는 많은 포트가 있기 때문에 전체적인 용접 열변형을 줄이기 위한 용접방법을 채택하였다<sup>4)</sup>.

4. test 결과

Table. 2에는 1, 2, 3차 test시 용접조건을 나타내었다.

- 1차 test 결과

height master로 Fig. 7과 같은 위치를 용접전, 후 측정하였을때, 가장 가까운(A) BPM은 72 μm, 2번째(B) BPM은 65 μm이었다. 조금 더 멀리 있는 BPM의 변형량은 적었으나 목표값 50 μm을 넘었다.

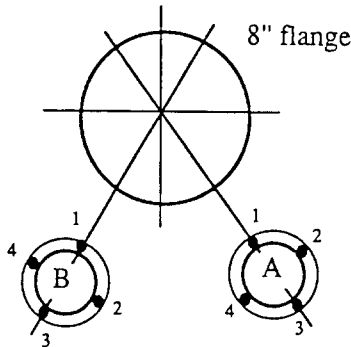
Table. 2 The welding condition applied to this work

	base metal	Filler rod	Current	Voltage	Ar shield flow	Electro rod	welding speed
1 차 test	Al 5083-H321 Al 2219-T852	ER 4043 -2.4mm	165- 170 A	20-22V	15l/min	Zr 3.2mm	140mm/ 30-55 sec
2 차 test	〃	〃	130- 140 A	18-20V	〃	〃	〃
3 차 test	〃	〃	130- 150 A	19-20 V	〃	〃	〃

단위 :  $\mu\text{m}$

	측정 위치				최대면 변형량
	1	2	3	4	
BPM A	88	64	16	17	72
BPM B	80	29	15	15	65

(a) deformation date



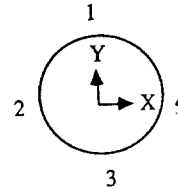
(b) 측정위치

Fig. 7 The results for the 1<sup>st</sup> deformation test

단위 :  $\mu\text{m}$

	측정 위치				최대면 변형량
	1	2	3	4	
J 5	33	8	17	17	28
J 8	67	30	47	46	36

(a) deformation date



(b) 측정위치

Fig. 8 The results for the 3<sup>rd</sup> deformation test

Table. 3 The performed status for three different tests

	welding groove		Deformation	측정 방법
	flange 두께	trench 깊이		
1 차 test	5	9	72 $\mu\text{m}$	Height master
2 차 test	3	10	-	3차원 측정기
3 차 test	4	15	36(28) $\mu\text{m}$	Height master

- 2차 test 결과

1차 test보다도 용접전류가 25-40A 정도가 낮았기 때문에 전체 용접 입열량도 적어서 변형량은 1차 test보다도 작았을 것으로 생각되었기에 변형량 측정은 하지 않았다.

- 3차 test 결과

Sector chamber II를 height master로 J5, J8 BPM을 Fig. 8과 같이 측정하였을때, 변형량은 top에서

각각 28  $\mu\text{m}$ , 36  $\mu\text{m}$ 이었고 bottom에서는 18  $\mu\text{m}$ , 14  $\mu\text{m}$ 이었으며, sector I에서는 이 값 보다도 적었다. 따라서, 목표하는 50  $\mu\text{m}$ 보다 적은 값이므로 용접 type으로도 BPM의 정밀도를 보증할 수 있다. 이상의 test결과를 정리하면 Table. 3과 같다. Fig. 9는 용접하기전의 각종 플랜지이며, Fig. 10은 용접 type으로 제작된 sector chamber II의 최종 조립상태이다.

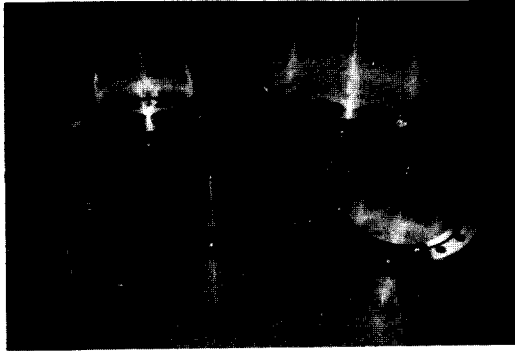


Fig. 9 Various Al-flanges

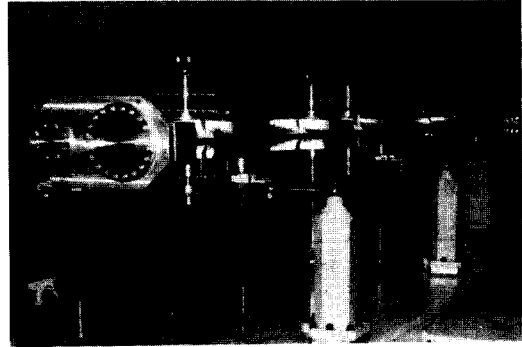


Fig. 10 Sector chamber II fabricated by the welding type method

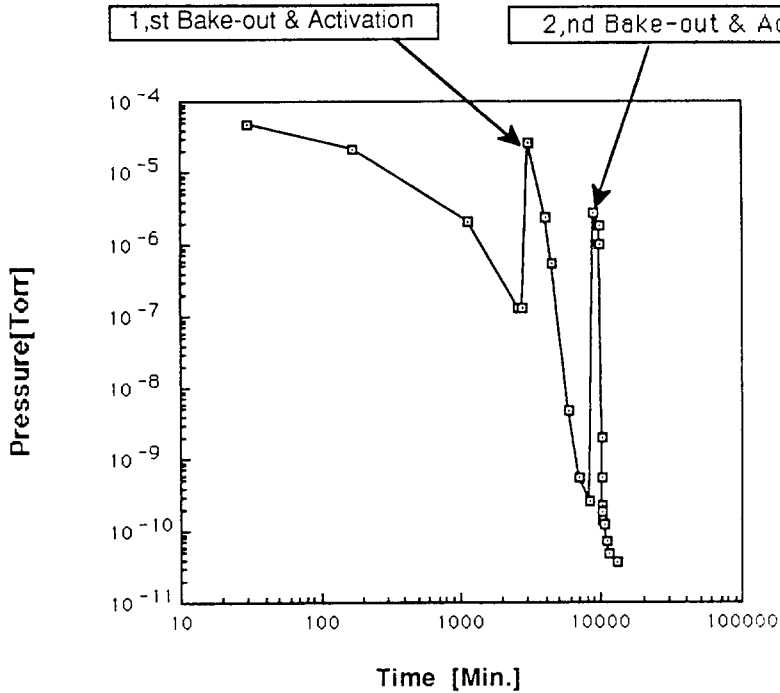


Fig. 11 Pumping down curve for the 2<sup>nd</sup> prototype vacuum test

#### 4. 요약

1) sector chamber II에서 가장 우려되었던 J5, J8의 변형량이 28 μm, 36 μm이었으므로 목표값 50 μm을 충분히 보증할 수 있다.

2) Helicoflex gasket type으로 제작된 초도품 챔

버에서는 140°C bake-out후 이온 펌프만으로 20시간 진공배기후의 진공도는 2×10<sup>-9</sup> Torr에 도달하였으며, 용접 type으로 제작된 챔버에서는 Fig. 10<sup>1)</sup>에서는 보는 바와같이 2×10<sup>-10</sup> Torr에 도달하여서 진공도도 우수하였다.

3) 표면조도에 민감한 Helicoflex gasket를 사용하지 않고 알루미늄 플랜지를 용접하여 Al gasket

를 이용할 수 있기 때문에 초도품챔버에서와 같이 알루미늄 챔버와 스텐레스 스틸 부품을 연결하는 stainless spool piece가 필요하지 않게 된다.

4) 고가의 helicoflex gasket을 쓰지 않으므로 가격절감을 할 수 있다.

### 참고문헌

1. C. K. Kim, K. H. Kil, W. C. Choi and S. Y. Park : Vacuum Chamber Design for The PLS Storage Ring. Korean vacuum society, Vol. 1, No.1, (1992), pp. 24~27
2. C. D. Park, Y. J. Han, H. S. Yoon and W. C. Choi : Performance of a Prototype Sector chamber of The PLS Storage Ring. Korean vacuum society, Vol. 1, No. 3, (1992), pp. 336~340
3. 김영식 : 용접잔류 응력과 용접변형의 발생기구와 그 대책, Korean welding society, Vol. 7, No. 1, (1989). pp. 17~27
4. ManHo Choi, Sang Soo Jeong and Woo Chun Choi : TIG welding for The PLS sector chamber, TR/SR(VA)-93-003, April, (1993)
5. PLS, Vacuum group Report : 2<sup>nd</sup> Evaluation for 2<sup>nd</sup> Prototype Sector II Chamber, (1992) 12. 9