

## 광학기구기법을 이용한 가속기 진공챔버의 변형관측

Deformation Measurement of Accelerator Vacuum Chamber  
Using Optical Tooling Technique

金 秉 國\*

Kim, Byung Guk

## Abstract

Deformations of a prototype vacuum chamber for the Storage Ring of the Pohang Light Source Project, due to both welding and baking, have been measured using the Optical Tooling Technique. The measurements aim for the acquisition of data for inspection of the chamber design and for the establishment of positional relationship with the components surrounding the chamber. The effectiveness of the Optical Tooling Technique, as a replacement for the conventional mechanical precision measurement, has been proved by the successful measurements of the vacuum chamber deformations.

## 要 旨

광학기구기법을 이용하여, 浦項放射光加速器 本體의 일부인 진공챔버의 시제품 上下板의 용접에 의한 변형과 超高眞空을 위한 Baking에 의한 변형을 觀測하였다. 이 변형의 觀測은 진공챔버 본 제품의 설계와 주변 설치물과의 간섭상태 파악 및 상대적 위치 관계를 정립하는데 기본자료를 제공함을 그 목적으로 하였다. 챔버의 변형觀測을 성공적으로 수행함으로써, 광학기구기법은 機械的 正밀觀測의 代替案으로서 그 효용성이 입증되었다.

## 1. 序 論

浦項加速器研究所(Pohang Accelerator Laboratory)에서 건설중인 放射光加速器(Synchrotron Radiation Source)는 E-Gun이라 불리는 입자발생장치에서 발생된 입자를 선형가속기(Linear Accelerator: Linac)에서 빛의 0.99999997배의 속도로 가속하고, 이를 저장링(Storage Ring)에 주입시켜 원운

동을 계속하게 하는 장치이다. 이 원운동은 실체는 10°씩 36회의 입자의 꺾임으로 이루어지는데, 이 꺾임때 발생하는 빛을 放射光(Synchrotron Radiation)이라고 하며, 이 放射光을 만드는 장치를 放射光加速器라고 한다. 放射光은 적회선에서 X-線에 이르는 광범위한 파장대를 가지는 인공의 빛으로서, 이 빛은 재료 및 시소재, 의학 및 생명과학, 반도체, 공해물질 처리 등 그 적용의 범위가 매우 넓은 것이 특징이다.<sup>(1)</sup>

\* 正會員 · 浦項加速器研究所 測量研究室長, 責任研究員

放射光加速器는 약 165 m 직선의 선형가속기와 원둘레가 약 280 m인 저장링, 그리고 이 두 장치를 잇는, 길이 약 100 m의 Beam Transfer Line(BTL)으로 구성된다. 저장링의 구성부품中 진공챔버(Vacuum Chamber)는 입자가 지나가는 길로서, 원주 약 280 m의 도우넛형의 속이 빈 알루미늄 板이라고 설명할 수 있는데, 이 알루미늄 上, 下板을 길이 10 m 정도로 분할하여 제작, 가공하여 이를 용접하고, 용접된 板들을 길이방향으로 연결하는 방법으로 설치하여 간다. 그림 1은 진공챔버 上下板과, 그 두 板을 조립, 용접하였을 때의 진공챔버의 단면이다. 진공챔버의 내부는 약  $10^{-11}$  Torr(mbar)의 超高眞空상태를 유지하여야 하는데, 이 超高眞空에 이르게하는 여러 처리과정의 하나로 'Baking'이라고 하는 절차가 있다. Baking은 고온고압의 액체를 진공챔버 외부표면으로 순환시키며 진공챔버 자체를 150°C 이상의 고온상태로 유지시킴으로써, 그 내부표면의 유기물질이 산화되게 하는 효과를 가진다.

이러한 용접, Baking 등의 처리과정에서 진공챔버에 불가피한 변형이 일어나는데, 本 研究에서는 정밀 가공된 진공챔버 시제품의 上下板의 용접 前後, 그리고 Baking 前後의 변형을 '광학기구기법'을 利用, 觀測하여, 진공챔버 本 제품의 설계보정을 위한 자료를 수집하고, 변형의 진행에 따른 챔버의 주변 설치물과의 간섭상태와 상대적 위치관계를 정립하는데 기본자료를 제공함을 그 목적으로 하였다. 아울러 다이얼 게이지(Dial Gauge)에 의한 변형측정도 병행하여 그 결과의 비교를 시도하였다.

'광학기구기법'이란 機械的 측정장치의 정확도를 유지하면서, 대상물의 크기와 형상으로 인하여 機械的 측정장치를 사용할 수 없는 곳에 代替 使用되는 光學的, 비접촉식 정밀측량의 기법을 말한다.<sup>(2)</sup> 本 研究와 관련된 例로서, 어떤 기계구조물의 직진도, 편평도, 직각도 등의 측정에 사용되어 오던 Straight Edge, Surface Table, Square 등의 代替品으로 Alignment Telescope, 경독식 레벨(Tilting Level), Jig Transit 등의 사용을 들 수 있다.

먼저, 진공챔버 변형觀測의 方法을 설명하였으며, 용접에 의한 변형觀測, Baking 변형觀測의 결과 및 結論의 順으로 기술하였다.

## 2. 진공챔버 변형觀측의 方法

그림 2에서 보는 바와 같이 진공챔버 시제품을 실험실의 가운데에 위치시키고 챔버의 Beam Position Monitor(BPM) 삽입을 위한 관측공 5개소(J5, J6, J7, J8, J9)와 남쪽 끝단 1개소(I2), 그리고 Z방향 끝단 4개소(FS, FN, RS, RN)를 변형의 觀測點으로 정하였다. 點 J5, J6, J7은 一直線上에 있도록 설계 되었으며, 點 J8, J9는 J7에서 821.40 mm 떨어진 點 G3에서 J5-J6-J7이 형성한 直線으로부터 10°가 꺾인 또 다른 直線上의 點들이다.

좌표계는 그림에서 보인 바와 같이 남쪽방향을 Z+로, 동쪽방향을 X+로 하고, 重力의 반대방향을 Y+로 하였는데, 이는 가속기분야에서 사용하는 좌표계(전자의 진행방향을 Z+로 하는)와 일관성을 유지하기 위함이다. 觀測點의 원위치로부터의 변형된 方向과 量만을 얻고자 하였으므로 좌표계 原點의 개념은 고려되지 않았으나, 觀測點들의 위치를 Z방향 거리로 표시하기 위하여 點 J7을 Z방향 원점으로 하였다.

觀측의 정확도와 소요시간을 고려하여 각 觀측을 6회 반복하는 것을 원칙으로 하고, 간단한 자료수집 프로그램을 장치한 Laptop Computer에 직접 읽음값을 입력하였다. 장비들에 부착되어 함께 사용된 Optical Micrometer의 최소눈금은 2 μm이지만, 장비들의 분해능이 1/200,000인 것을 감안하여 10 μm까지를 읽음값의 유효숫자로 하였다.

### 2.1 Y 방향 변형觀측의 方法

진공챔버의 중간위치인 D의 지점에 경독식 레벨을 세우고, 챔버 上板의 윗면보다 약간 높게 機械高(水平面)가 형성하도록 그 높이를 정하고 고정한다. 광학눈금자(Optical Scale)에 원형수준기를 부착하여 觀測點 상단에 垂直으로 세우고, 경독식 레벨로 형성한 水平面으로부터의 支距를 觀測한다. Y 방향 변형觀측을 위한 觀測點으로 點 J5~J9를 사용한다.

변형의 前과 後는 상당한 시간이 경과되므로, 조성하여둔 水平面을 그대로 유지, 복원할 수 있도록 視準線 中の 하나를 실험실의 건물벽체에 표시하여 두고, 觀測 作業中의 기준으로 사용하며, 만일 그 水平面을 상실하였다면 'Buck-In'을 하여야 한다.

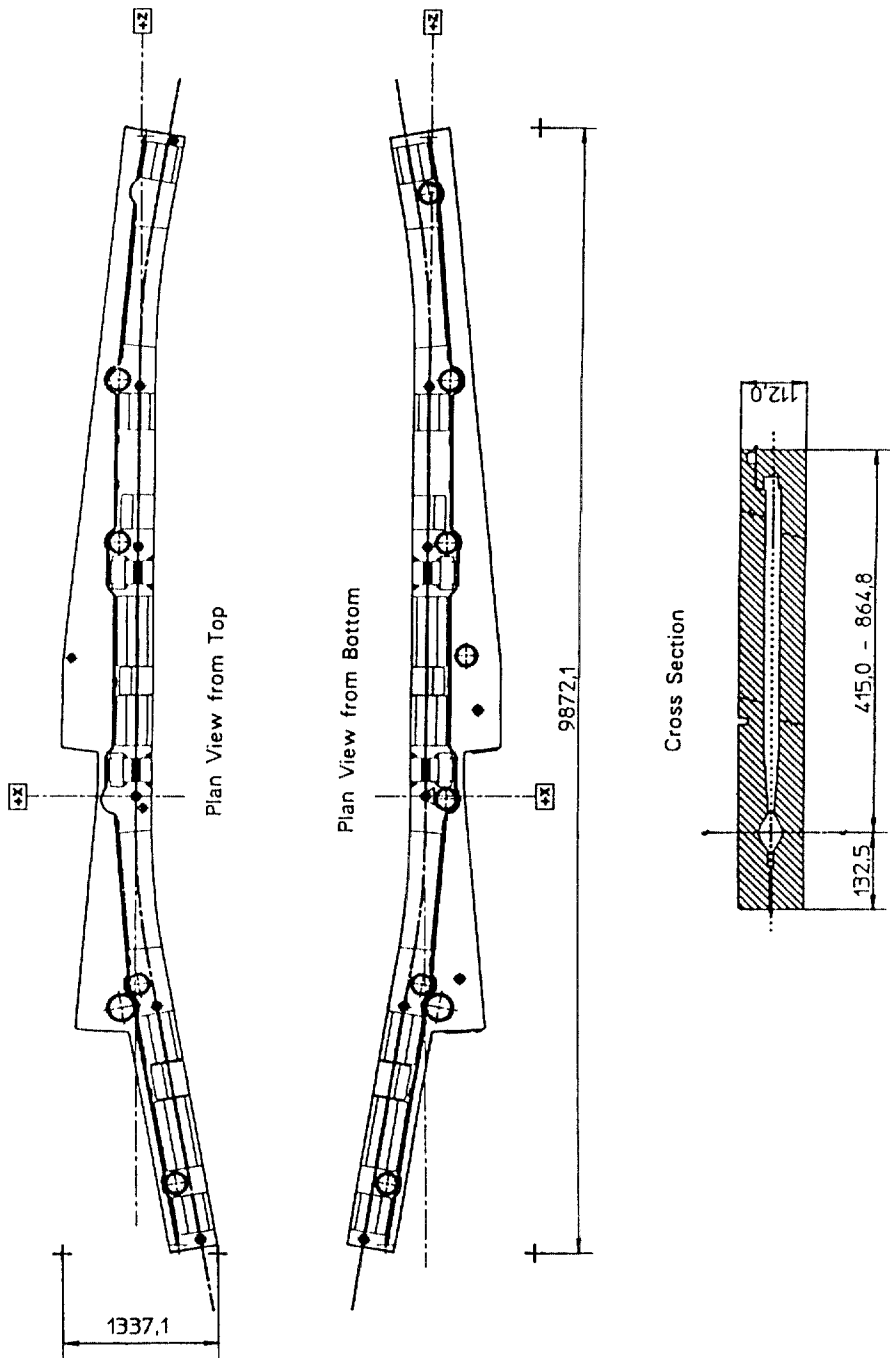


그림 1. Prototype Vacuum Chamber (Unit: mm)

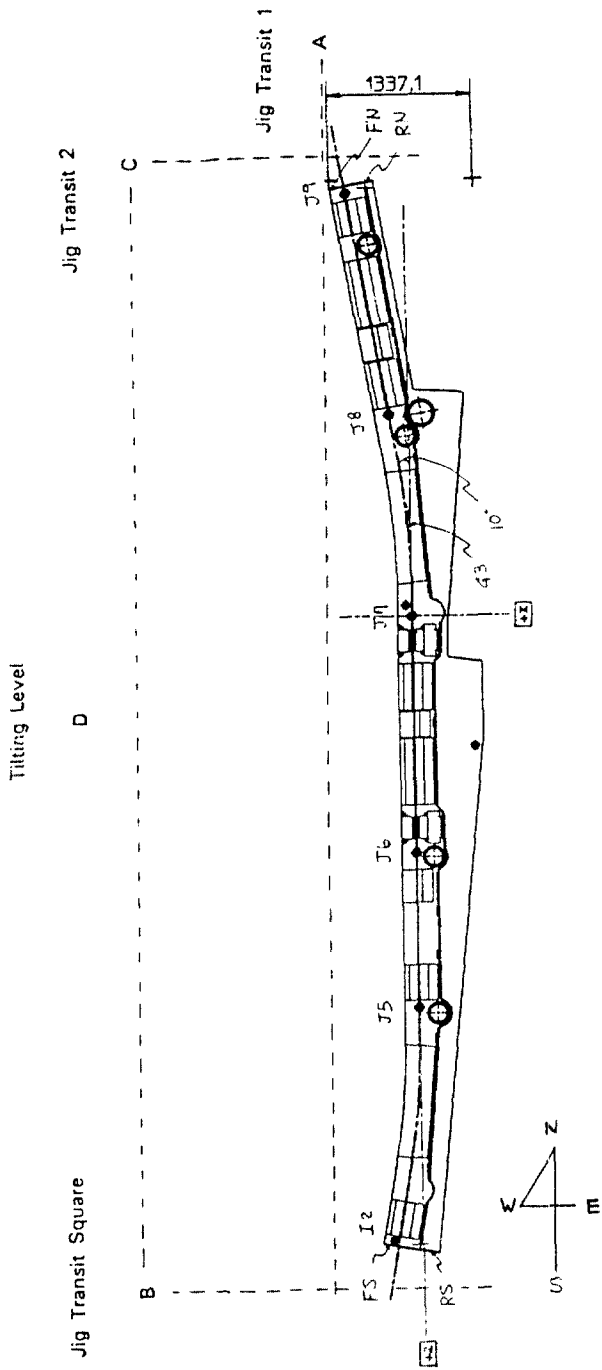


그림 2. Plan View of Deformation Measurement Scheme

Buck-In이란 망원경(Telescope)의 視準線을 어떤 직선에 일치되게, 혹은 어떤 면에 속하게 장비를 설치하는 것을 말하는데, 시행착오(Trial and Error) 이외의 다른 방법은 거의 없다.<sup>(3)</sup>

### 2.2 X 방향 변형觀測의 方法

Jig Transit 1을 북쪽끝단의 A지점에 세우고, 점 J5, J6, J7을 잇는 직선과 거의 평행되게 垂直面을 형성하도록 트랜시트를 고정시킨다. 변형前後의 觀測點의 위치는 直線 J5-J6-J7을 기준으로 Line Fitting될 것이므로, 트랜시트가 조성한 垂直面이 直線 J5-J6-J7에 완벽한 평행일 필요는 없다. 광학눈금자를 觀測點 옆면에 水平으로 대고 垂直面으로부터의 X 방향 支距를 觀測할 것이므로, 광학눈금자의 길이와 視準線의 간섭 등을 고려하여 그 위치를 선정하여야 한다. Y 방향의 경우와 마찬가지로, 그 垂直面의 視準線 中の 하나를 앞뒤의 실험실 벽체에 표시하여 둔다.

### 2.3 Z 방향 변형觀測의 方法

다음으로 Z 방향 변형을 觀測하기 위해서는 Jig Transit Square 1대와 Jig Transit 1대를 사용한다. Jig Transit Square를 B지점에 세우고 보조망원경(Cross-axis Telescope)의 視準線이 X 방향 觀測용 Jig Transit 1이 조성한 垂直面과 거의 평행되게 고정한다. 이때 主망원경(Main-Telescope)이 형성하게 되는 垂直面은 Z 축과 거의 직교하게 되는데, 광학눈금자의 길이를 고려하여 진공챔버의 끝단의 바깥쪽을 시준하게 트랜시트를 위치시켜야 한다. Jig Transit 2는 C지점에 세우고 Jig Transit Square의 보조망원경과 Auto-Collimation을 시켜, Jig Transit 2의 망원경이 형성하게 되는 垂直面이 Jig Transit Square의 主망원경의 垂直面과 평행되게 고정한다. 觀測點으로는 Z 방향 끝단 4點(FS, FN, RS, RN)을 사용하였다. X, Y 방향의 경우와 마찬가지로, 각 트랜시트에 대하여 그 垂直面의 視準線 中の 하나를 앞뒤의 실험실 벽체에 표시하여 觀測작업 中の 기준으로 한다.

## 3. 진공챔버 용접변형 觀測의 結果

진공챔버 시제품의 용접을 前後하여, 위의 章에서

설명한 方法으로 그 변형의 量을 觀測한 結果는 다음과 같다.

### 3.1 Y 방향 변형

경도식 레벨로 관측한 각 觀測點(J5, J6, J7, J8, J9)의 광학눈금자 읽음값은 표 1-1(용접前: 자료수집 프로그램의 결함으로 3회분의 자료를 상실하였음)과 표 1-2(용접後)에 정리되어 있다. 표에 보인 수치의 단위는 mm이다. 진공챔버가 정확하게 水平으로 고정되었다고 가정할 수가 없으므로(이 자료의 경우는 용접 前後의 機械高度 변하였음) 각 觀測點의 읽음값의 평균을 Least Square Line Fitting하여 표 1-3에 보인 값을 구하였다. 표 1-4의 둘째 行(Column)은 용접前 광학눈금자 읽음값의 Fitting 값과의 차이를 나타내었는데, 읽음값이 클수록 챔버는 Y 축의 (-) 방향으로 위치해 있으므로, 認知의 편리를 위하여 그 부호를 바꾸었다. 즉, 변형이 Y 축 (-) 방향으로 일어났다면, 변형 結果의 수치도 (-)로 표현되게 하기 위하여, (읽음값-Fitting값)으로 하지 않고 (Fitting값-읽음값)으로 하였다. 표 1-4의 세째 行은 용접 後의 읽음값과 Fitting 값과의 차이이며, 용접 後의 용접 前에 대한 변형량이 표 1-4의 마지막 行에 나타나 있다. 이 변형량을 나타낸 것이 그림 3이다. 최대 60 μm의 변형이 Y축의 (+) 방향으로 일어났다.

(Y-Direction, AFT WLD-BFR WLD)

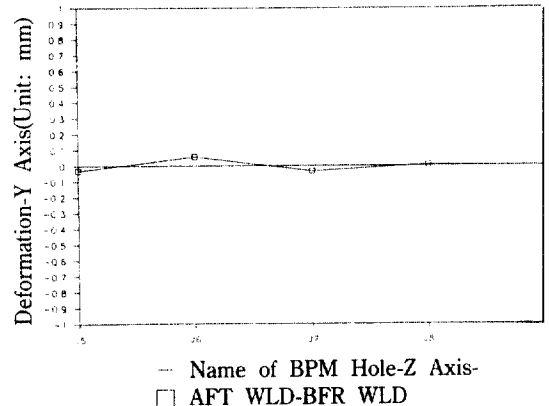


그림 3. Vacuum Chamber Deformation Measurement

㉟ 1. Y-Direction Welding Deformation Measurement

(Unit: mm)

㉟ 1-1. Level Measurement (Before Welding: 3/30/92)

No.							Average	Std.Dev.
	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th		
J5	249.96	249.96	249.93	--	--	--	249.95	0.014
J6	249.80	249.96	249.81	--	--	--	249.86	0.073
J7	249.02	249.02	249.10	--	--	--	249.05	0.038
J8	248.92	248.94	248.90	--	--	--	248.92	0.016
J9	247.65	247.68	247.62	--	--	--	247.65	0.024

㉟ 1-2. Level Measurement (After Welding: 4/4/92)

No.							Average	Std.Dev.
	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th		
J5	146.74	146.73	146.76	146.78	146.72	146.70	146.74	0.026
J6	146.64	146.62	146.58	146.57	146.55	146.60	146.59	0.030
J7	145.92	145.99	145.97	145.91	145.90	145.93	145.94	0.032
J8	145.82	145.80	145.74	145.85	145.90	145.80	145.82	0.049
J9	144.62	144.54	144.50	144.64	144.68	144.70	144.61	0.072

㉟ 1-3. Y-Fitted Values (J5~J9)

No.	Z-Value			Remarks
		Before Welding	After Welding	
J5	3597.0	250.14	146.90	Fit Curve
J6	2180.0	249.73	146.52	Fit Curve
J7	0.0	249.09	145.94	Fit Curve
J8	-1858.8	248.54	145.45	Fit Curve
J9	-3929.9	247.93	144.89	Fit Curve

㉟ 1-4. Fitted Value-Measured Value

No.			AF WD-BF WD
	Before Welding	After Welding	
J5	0.19	0.16	-0.03
J6	-0.13	-0.07	0.06
J7	0.04	0.00	-0.04
J8	-0.38	-0.37	0.01
J9	0.28	0.28	-0.00

Ⅱ 2. X-Direction Welding Deformation Measurement

(Unit: mm)

Ⅱ 2-1. Transit Measurement (Before Welding: 3/30/92)

No.							Average	Std.Dev
	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th		
J5	-206.77	-206.77	-206.74	-206.83	-206.83	-206.79	-206.79	0.014
J6	-95.85	-95.89	-95.94	-95.99	-95.98	-95.98	-95.94	0.037
J7	74.07	74.05	74.08	74.10	74.11	74.08	74.08	0.012
J8	37.82	37.81	37.82	37.81	37.79	37.78	37.81	0.005
J9	-162.41	-162.38	-162.41	-162.35	-162.35	-162.35	-162.38	0.014

Ⅱ 2-2. Transit Measurement (After Welding: 4/4/92)

No.							Average	Std.Dev
	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th		
J5	-207.60	-207.61	-207.62	-207.59	-207.62	-207.61	-207.61	0.011
J6	-96.58	-96.57	-96.58	-96.57	-96.55	-96.57	-96.57	0.010
J7	74.11	74.12	74.11	74.12	74.09	74.09	74.11	0.012
J8	37.33	37.30	37.29	37.29	37.29	37.31	37.30	0.015
J9	-162.45	-162.44	-162.45	-162.45	-162.43	-162.43	-162.44	0.009

Ⅱ 2-3. Y-Fitted Values (J5~J9)

No.	Z-Value			Remarks
		Before Welding	After Welding	
J5	3597.0	-206.71	-207.59	Fit Curve
J6	2180.0	-96.07	-96.61	Fit Curve
J7	0.0	74.13	74.13	Fit Curve
J8	-1858.8	37.71	37.96	Calculated
J9	-3929.9	-162.36	-161.61	Calculated

Ⅱ 2-4. Measured Value-Fitted Value

No.			AF	WD-BF	WD
	Before Welding	After Welding			
J5	-0.08	-0.02			0.06
J6	0.13	0.04			-0.09
J7	-0.05	-0.02			0.03
J8	0.10	-0.66			-0.76
J9	-0.02	-0.83			-0.81

㊦ 3. Y-Direction (During) Baking Deformation Measurement

(Unit: mm)

㊦ 3-1. Level Measurement (Before Baking: 5/9/92)

No.							Average	Std.Dev.
	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th		
J9	155.00	154.98	155.03	155.00	155.03	155.04	155.01	0.021
J8	154.97	154.98	154.97	154.97	154.97	154.98	154.97	0.005
J7	154.99	154.99	154.98	154.98	155.00	155.00	154.99	0.008
J6	155.05	155.04	155.05	155.04	155.01	155.02	155.04	0.015
J5	154.99	154.99	155.04	155.03	155.00	154.99	155.01	0.021
I2	154.98	154.98	154.99	155.00	154.99	155.00	154.99	0.008

㊦ 3-2. Level Measurement (During Baking: 5/11/92)

No.							Average	Std.Dev.
	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th		
J9	154.58	154.54	154.53	154.54	154.58	154.58	154.56	0.022
J8	154.52	154.52	154.50	154.52	154.52	154.52	154.52	0.007
J7	154.24	154.24	154.25	154.25	154.27	154.27	154.25	0.012
J6	154.58	154.60	154.60	154.60	154.58	154.59	154.59	0.010
J5	154.47	154.46	154.51	154.50	154.48	154.48	154.48	0.017
I2	154.38	154.37	154.38	154.36	154.44	154.40	154.39	0.026

㊦ 3-3. Y-Fitted Values (I 2~J9)

No.	Z-Value			Remarks
		Before Baking	During Baking	
		J9	-3929.9	
J8	-1858.8	155.00	154.49	Fit Curve
J7	0.0	155.00	154.47	Fit Curve
J6	2180.0	155.00	154.45	Fit Curve
J5	3597.0	155.00	154.44	Fit Curve
I2	5734.9	155.01	154.42	Reference

㊦ 3-4. Fitted Value-Measured Value

No.			DR BK-BF BK
	Before Baking	During Baking	
	J9	-0.01	
J8	0.03	-0.03	-0.06
J7	0.01	0.22	0.21
J6	-0.04	-0.14	-0.10
J5	-0.01	-0.04	-0.03
I2	0.02	0.03	0.01



㊦ 4. Y-Direction (After) Baking Deformation Measurement

(Unit: mm)

㊦ 4-1. Level Measurement (Before Baking: 5/9/92)								
No.							Average	Std.Dev.
	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th		
J9	155.00	154.98	155.03	155.00	155.03	155.04	155.01	0.021
J8	154.97	154.98	154.97	154.97	154.97	154.98	154.97	0.005
J7	154.99	154.99	154.98	154.98	155.00	155.00	154.99	0.008
J6	155.05	155.04	155.05	155.04	155.01	155.02	155.04	0.015
J5	154.99	154.99	155.04	155.03	155.00	154.99	155.01	0.021
I2	154.98	154.98	154.99	155.00	154.99	155.00	154.99	0.008

㊦ 4-2. Level Measurement (After Baking: 5/13/92)								
No.							Average	Std.Dev.
	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th		
J9	155.77	155.79	155.78	155.79	155.83	155.82	155.80	0.021
J8	155.81	155.81	155.80	155.79	155.82	155.82	155.81	0.011
J7	155.84	155.85	155.85	155.84	155.86	155.86	155.85	0.008
66	155.87	155.87	155.87	155.88	155.85	155.85	155.87	0.011
J5	155.84	155.84	155.87	155.86	155.84	155.84	155.85	0.012
I2	155.87	155.86	155.87	155.86	155.86	155.86	155.86	0.005

㊦ 4-3. Y-Fitted Values (I2~J9)				
No.	Z-Value			Remarks
		Before Baking	After Baking	
J9	-3929.0	155.00	155.81	Fit Curve
J8	-1858.8	155.00	155.82	Fit Curve
J7	0.0	155.00	155.83	Fit Curve
J6	2180.0	155.00	155.85	Fit Curve
J5	3597.0	155.00	155.86	Fit Curve
I2	5734.9	155.01	155.87	Reference

㊦ 4-4. Fitted Value-Measured Value			
No.			AF BK-BF BK
	Before Baking	After Baking	
J9	-0.01	0.01	0.02
J8	0.03	0.01	-0.02
J7	0.01	-0.02	-0.03
J6	-0.04	-0.02	0.02
J5	-0.01	0.01	0.02
I2	0.02	0.01	-0.01

㉟ 5. X-Direction (During) Baking Deformation Measurement

(Unit: mm)

㉟ 5-1. Transit Measurement (Before Baking: 5/9/92)

No.							Average	Std.Dev.
	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th		
J9	77.57	77.56	77.58	77.57	--	--	77.57	0.007
J8	378.99	379.03	379.01	379.03	--	--	379.02	0.017
J7	503.08	503.09	503.09	503.09	--	--	503.09	0.004
J6	439.28	439.26	439.26	439.30	--	--	439.28	0.017
J5	397.47	397.49	397.50	397.50	--	--	397.49	0.012
I2	109.99	109.99	110.00	110.00	--	--	110.00	0.005

㉟ 5-2. Transit Measurement (During Baking: 5/11/92)

No.							Average	Std.Dev.
	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th		
J9	73.26	73.28	73.29	73.31	--	--	73.29	0.018
J8	379.56	379.58	379.57	379.58	--	--	379.57	0.008
J7	505.60	505.58	505.56	505.58	--	--	505.58	0.014
J6	440.72	440.71	440.72	440.70	--	--	440.71	0.008
J5	396.16	396.16	396.16	396.17	--	--	396.16	0.004
I2	104.64	104.60	104.58	104.58	--	--	104.60	0.024

㉟ 5-3. X-Fitted Values (I2~J9)

No.	Z-Value			Remarks
		Before Baking	During Baking	
J9	-3929.0	76.07	82.84	Calculated
J8	-1858.8	376.14	380.84	Calculated
J7	0.0	503.14	505.95	Fit Curve
J6	2180.0	439.16	439.76	Fit Curve
J5	3597.0	397.57	396.74	Fit Curve
I2	5734.9	334.82	331.82	Reference

㉟ 5-4. Measured Value-Fitted Value

No.			DR BK-BF BK
	Before Baking	During Baking	
J9	1.50	-9.55	-11.05
J8	2.88	-1.27	-4.15
J7	-0.05	-0.37	-0.32
J6	0.12	0.95	0.83
J5	-0.08	-0.58	-0.50
I2	-224.82	-227.22	-2.40

Ⅱ 6. X-Direction (After) Baking Deformation Measurement

(Unit: mm)

Ⅱ 6-1. Transit Measurement (Before Baking: 5/9/92)

No.							Average	Std.Dev.
	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th		
J9	77.57	77.56	77.58	77.57	—	—	77.57	0.007
J8	378.99	379.03	379.01	379.03	—	—	379.02	0.017
J7	503.08	503.09	503.09	503.09	—	—	503.09	0.004
J6	439.28	439.26	439.26	439.30	—	—	439.28	0.017
J5	397.47	397.49	397.50	397.50	—	—	397.49	0.012
I2	109.99	109.99	110.00	110.00	—	—	110.00	0.005

Ⅱ 6-2. Transit Measurement (After Baking: 5/13/92)

No.							Average	Std.Dev.
	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th		
J9	75.10	75.09	75.09	75.09	—	—	75.09	0.004
J8	377.53	377.54	377.54	377.54	—	—	377.54	0.004
J7	502.46	502.47	502.47	502.47	—	—	502.47	0.004
J6	438.57	438.58	438.57	438.57	—	—	438.57	0.004
J5	396.73	396.74	396.75	396.75	—	—	396.74	0.008
I2	107.15	107.16	107.16	107.15	—	—	107.16	0.005

Ⅲ 6-3. X-Fitted Values (I2~J9)

No.	Z-Value			Remarks
		Before Baking	After Baking	
J9	-3929.0	76.07	75.59	Calculated
J8	-1858.8	376.14	375.59	Calculated
J7	0.0	503.14	502.52	Fit Curve
J6	2180.0	439.16	438.45	Fit Curve
J5	3597.0	397.57	396.81	Fit Curve
I2	5734.9	334.82	333.98	Reference

Ⅲ 6-4. Measured Value-Fitted Value

No.			AF BK-BF BK
	Before Baking	After Baking	
J9	1.50	-0.50	-2.00
J8	2.88	1.95	-0.93
J7	-0.05	-0.05	0.00
J6	0.12	0.12	0.00
J5	-0.08	-0.07	0.01
I2	-224.82	-226.82	-2.00

### 3.2 X 방향 변형

Jig Transit 1으로 관측된 X 방향의, 용접前後의 광학눈자 읽음값이 표 2-1과 표 2-2에 각각 나타나 있다. 관측점 J5, J6, J7은 그 평균값들을 Least Square Line Fitting한 값이 표 2-3에 나타나 있고, 점 J8과 J9는 점 J5, J6, J7을 잇는 Fitted 直線에서 10°를 굴절시켜 계산한 값을 기록하였다. (2章 觀測點 설명 참조) 위의 Y 방향 자료에서와 마찬가지로, 표 2-4에는 용접前後의 읽음값과 Fitting 값과의 차이, 그리고 변형량이 나타나 있다. Graph로 표현된 변형량이 그림 4에 나타나 있다. 점 J5, J6, J7을 잇는 直線을 기준으로 하였을 때, J9에서의 용접後 최대변형량이 X축의 (-) 방향으로 810 μm인 것으로 나타났다.

### 3.3 Z 방향 변형

용접으로 인한 Z 방향의 변형은, 챔버의 길이 방향으로 약 1.2 mm가 늘어났다. 용접前後의 광학눈자 읽음값의 단순비교에 의한 수치이므로 자료의 제시는 생략한다.

## 4. 진공챔버 Baking변형 觀測의 結果

Baking변형 觀測을 위한 觀測點은 용접변형 觀測때의 觀測點에 점 I2를 더하여 6개소로 하였다. 결과분석의 방법은 용접변형의 것과 동일하지만, 이때에는 변형前後의 읽음값을 단순 비교하여 보기 위하여 장비의 기준點과 기준面을 Baking前, 中,

後에 변하지 않게 유지하였다.

진공챔버 시제품의 Baking에 의한 변형觀測의 결과는 다음과 같다.

### 4.1 Y 방향 변형

Baking에 의한 Y 방향 변형觀測 자료가 표 3 및 4에 나타나 있다. 표 3은 Baking을 하는 동안 진공챔버가 150°C 로 가열되었을 때의 변형을 보이며, 표 4는 Baking後 진공챔버가 다시 室溫으로 돌아왔을 때의 Baking前에 대한 변형(잔류변형)을 보여 주고 있다. Baking 동안의 최대변형은 표 3-4에 나타난 바와 같이 점 J7에서 Y 축의 (+) 방향으로 210 μm이며, Baking後는 점 J7에서 Y 축의 (-) 방향으로 변하지 않게 유지하였다.

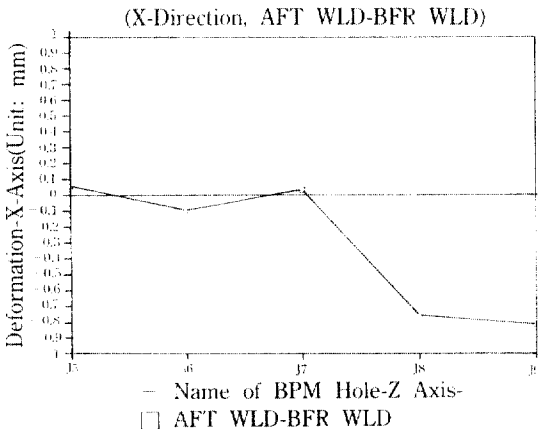


그림 4. Vacuum Chamber Deformation Measurement

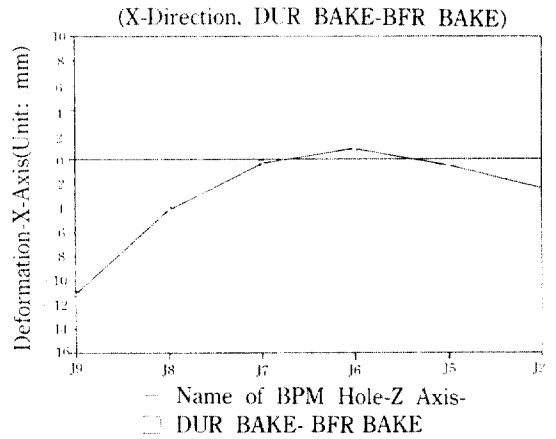


그림 5. Vacuum Chamber Deformation Measurement

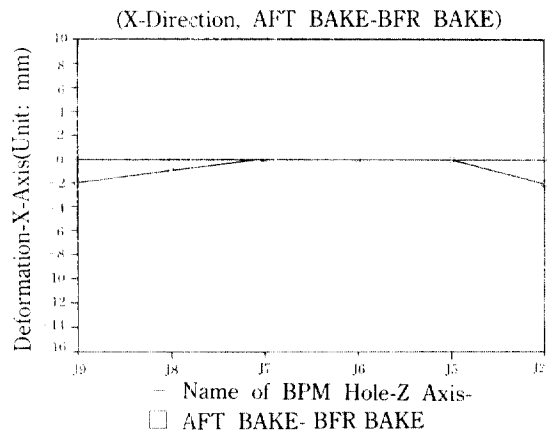


그림 6. Vacuum Chamber Deformation Measurement

방향으로 30  $\mu\text{m}$ 이다. 읽음값 단순비교에 의한 결과와 Line Fitting에 의한 결과는 서로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

#### 4.2 X 방향 변형

X 방향의 Baking 변형觀測 자료가 표 5와 표 6에 나타나 있으며, 그림 5와 6는 그 변형량을 Graph로 보여주고 있다. 자료에 대한 설명은 용접변형의 것과 위의 Y 방향의 것으로 대신한다. Baking中の 최대 변형은 點 J5, J6, J7을 잇는 直線을 기준으로 하였을 때 點 J9에서 X 축의 (-) 방향으로 약 11 mm에 이르고 있으며 (그림 5), Baking後의 잔류변형량이 X축의 (-) 방향으로 약 2 mm이다.(그림 6) 읽음값의 단순비교에 의한 결과와 Line Fitting에 의한 결과는 서로 큰 차이가 없었다.

#### 4.3 Z 방향 변형

Z 방향의 변형은 Jig Transit 2와 Jig Transit Square에서 읽은 광학눈금자의 읽음값을 단순비교하여 觀測하였다. Baking中에는, 觀測點 FN에서 Z 축의 (-) 방향으로 7.09 mm, FS에서 Z 축의 (+) 방향으로 13.81 mm, 총 20.90 mm의 伸張이 챔버 圓弧 안쪽 부분에서 일어났으며, 觀測點 RN에서 Z축의 (-) 방향으로 8.31 mm, RS에서 Z축의 (+) 방향으로 14.27 mm, 총 22.58 mm의 伸張이 챔버 圓弧 바깥쪽 부분에서 일어났다. Baking後는 FN에서 Z+로 2.14 mm의 收縮, RS에서 Z+로 0.29 mm의 伸張이 있었는데, 이는 X방향의 잔류변형때문에 Z 방향으로는 오히려 收縮된 것처럼 보이는 결과로 나타난 것이라고 생각된다.

### 5. 結 論

광학기구기법을 이용하여 浦項加速器研究所 진공 챔버 시제품의 용접변형 및 Baking변형을 觀測한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

#### 5.1 광학기구기법의 효용성

機械的 정밀측정의 代替方案으로, 혹은 새 영역으로서의 정밀觀測의 方法으로 광학기구기법의 효용성이 충분히 입증되었다. 약 10 m 거리의 點에 대한 반복된 관측의 結果, 10~20  $\mu\text{m}$ 의 정밀도를

보여주고 있어(표의 읽음값 표준편차 참조) 일정 규모 이상의(한 변의 길이가 1 m 이상) 靜的 기계 구조물의 觀測에는 매우 적합한 것으로 판단되었다.

本 研究에서는, 광학기구기법을 이용한 변형觀測과 機械的 정밀측정에 의한 변형觀測을 비교하기 위하여, 진공챔버 주위의 약 30개소에 다이얼 게이지를 부착하여 광학기구들과 함께 동시觀測을 시도하였다. 그러나 그 변형이 X, Y, Z 방향의 3차원으로 동시에 일어남으로써, 다이얼 게이지 Probe의 접촉점이 Probe의 接面上에서 고정되어 있지 못하여 자료의 신뢰성에 문제가 있는 것으로 판명되었다. 즉, 예를 들어 點 J9에 장착된 다이얼 게이지의 Probe가 J9의 Z-방향으로의 伸張으로 인하여 챔버의 변형동안 그 觀測點 J9에 머물지 못하고 안쪽으로 이동함으로써, 실제 J9의 X 방향으로의 변형량보다 적은 量의 변형을 감지하는 결과로 나타났다.

#### 5.2 용접변형 觀測의 結果

진공챔버의 용접에 의하여, Y 축의 (+) 방향으로 최대 60  $\mu\text{m}$ , X 축의 (-) 방향으로 (點 J5, J6, J7을 잇는 直線을 기준으로 하였을 때) 點 J9에서 최대 810  $\mu\text{m}$ , 챔버의 길이 방향 (Z 방향)으로 약 1.2 mm 伸張의 변형이 일어난 것으로 나타났다. BPM 관측공 등 위치의 정확도가 중요한 부분들의 진공챔버 상의 위치를 설계대로 유지하기 위해서는 이 용접 변형의 결과를 중시, 챔버 본 제품의 설계에 반영시켜야 할 것이다.

#### 5.3 Baking변형 觀測의 結果

Baking에 의한 변형의 量은, Baking 中の 변형량과, Baking後 진공챔버가 다시 室溫으로 돌아왔을 때의 Baking前에 대한 변형량(잔류변형량)으로 나타내었다. Baking 동안은, Y축의 (+) 방향으로 최대 210  $\mu\text{m}$ , X축의 (-) 방향으로(點 J5, J6, J7을 잇는 直線을 기준으로 하였을 때) 點 J9에서 최대 약 11 mm, 챔버의 길이방향으로 약 22 mm 以上の 伸張의 변형이 일어난 것으로 나타났다. Baking後는, Y 축의 (+) 방향으로 최대 30  $\mu\text{m}$ , X 축의 (-) 방향으로 (點 J5, J6, J7을 잇는 直線을 기준으로 하였을 때) 點 J9에서 최대 약 2 mm의 변형이 일어난 것으로 나타났다.

Baking 동안의 변형관측이 진공챔버 변형觀測의 가장 중요한 부분이라고 할 수 있는데, 주변 설치물과의 간섭상태 또는 상대적 위치관계 확인과 함께, 觀測된 변형의 量을 챔버의 설계변경 및 설치물의 위치보정 등에 심각히 고려하여야 할 것이다.

### 감사의 말

本 研究의 수행에 도움을 준, 浦項加速器研究所 測量研究室의 李承燦, 徐光源, 孟愛姬, 金鎮洪, 文炳 壬 研究員과 Vacuum Group의 여러 研究員들께 감사를 드린다.

### 참 고 문 헌

1. Pohang Accelerator Laboratory, *Pohang Light Source Design Report (Revised Edition)*, PAL/POSTECH, Pohang, Korea, 1/1992.
2. Rank Taylor Hobson Limited, *Optical Alignment*, Rank Taylor Hobson Limited, Leicester, England, 1984.
3. Cubic Precision, Inc., *Optical Alignment Manual*, Cubic Precision, Inc., New Jersey, U.S.A., 1986.  
(接受 : 1992. 5. 30)