

중수로용 핵연료다발 정밀 제원 측정시스템 개발
Development of Fuel Inspection System for CANDU Fuel Bundles

조창근, 조문성, 구대서, 박광준, 전지수, 정종엽, 석호천

한국원자력연구소

대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

본 연구에서는 중수로용 핵연료다발의 제원을 공기중 또는 수중에서 정밀하게 측정할 수 있는 측정시스템을 개발하였다. 본 시스템에서는 측정센서로 LVDT를 사용하였다. 제원시스템의 측정 정밀도를 만족시키기 위하여 LVDT Calibration 장비를 개발하였으며, 측정센서의 Calibration에는 7차함수를 도입하였다. 또한, 제원시스템의 기계적인 오차는 9차함수를 도입함으로써 제거하였다. 본 시스템에 대한 측정 정밀도를 분석한 결과에 따르면, 핵연료봉 Profile 및 지지체 Profile, 핵연료다발의 직경 및 길이, 핵연료다발 End Plate Waviness 측정시 본 시스템의 설계기준인 0.01mm(10 μ m)이내에서 측정이 가능함을 확인하였다.

ABSTRACT

In order to precisely measure the dimensions of the CANDU fuel bundles in atmosphere or water, a fuel inspection system was developed. The LVDT was used as measuring sensor in this system. An LVDT calibration equipment was also developed in order to satisfy the required accuracy of the system. And, polynomial functions were introduced to calibrate the LVDT and to eliminate mechanical systematic errors. The accuracy of the fuel inspection system was examined. The results show that the accuracy in dimensional measurement of fuel rod profile and bearing pad profile, diameter of fuel bundle, fuel rod length, and end plate profile using standard test equipment satisfies the design criteria, i.e., maximum measurement error of 0.01mm(10 μ m).

1. 서론

현재 국내에는 4기의 가압중수로가 가동중에 있다. 원자로에 장전된 핵연료다발은 고온, 고압, 고방사능 등의 환경에 의해서 변형이 일어날 수 있다. 특히 중수로의 경우 변형이 일어난 핵연료다발은 핵연료채널에 영향을 미칠 수 있으므로 중수로에서 조사 방출된 핵연료다발에 대한 제원 측정이 필요하며, 이러한 측정 데이터는 핵연료채널의 건전성 평가에도 이용이 가능할 것이다. 그러나, 국내에서는 경수로에서 사용된 핵연료봉에 대한 정밀제원 측정시험을 수행한 적이 있었으나[1], 중수로에서 조사 방출된 핵연료봉 및 핵연료다발에 대한 정밀제원 측정시험이 수행된 적이 없다. 따라서 중수로에서 조사 방출된 핵연료다발에 대한 제원을 측정할 수 있는 시스템의 개발이 필요하다고 생각된다.

본 연구에서는 중수로용 핵연료다발의 제원, 즉 핵연료다발 직경 및 길이, 핵연료봉 Profile 및 지지체(Bearing Pad)의 Profile, 봉단접합판(End Plate)의 Profile, 그리고 핵연료다발의 원통도 등을 공기중 및 수중에서 정밀하게 측정할 수 있는 시스템을 개발하였다. 본 정밀 제원 측정시스템의 정밀도는 공기중 및 수중에서 10 μ m 이내의 측정정밀도를 만족하도록 제작기준을 설정하였으며, 37봉 핵연료다발뿐만 아니라 CANFLEX 핵연료다발도 측정이 가능하도록 설계하였다. 또한, 본 장비는 수중에서 핵연료다발의 손상여부를 내방사선 카메라를 통해 확인할 수 있는 기능도 가지고 있다. 본 논문에서는 측정시스템의 구성, 측정센서 및 시스템 Calibration 방법 및 절차, 제원 측정시스템의 정확도 분석 결과를 제시하고자 한다.

2. 정밀 제원 측정시스템 제작

본 측정시스템은 측정센서를 이용하여 핵연료다발의 제원을 측정하고 내방사선 카메라를 이용하여 외관검사를 수행하는 측정부와 측정시스템을 제어하고 측정된 Data를 전산처리하여 출력하는 제어부로 구성되어 있다. 그림 1과 2에서는 본 연구에서 개발한 정밀 제원측정 및 외관검사 장비를 보여주고 있다. 그림 3에서는 본 시스템을 제어하는 프로그램의 main화면을 보여주고 있다.

측정부의 구성은 앞쪽에 카메라 이송 X, Y Robot에 내방사선 카메라가 설치되어 있고 뒤쪽에는 핵연료다발을 거치하여 회전시킬 수 있는 회전기구가 중간에 위치하며, 그 뒤에 핵연료봉의 Profile (이하 Rod Profile) 및 직경 측정용 측정 Robot 및 거울이 좌우에 설치되어 있다. 그리고 회전기구 좌우 양측에는 봉단접합

판의 Profile (이하 End Plate Waviness) 및 핵연료봉의 길이를 측정하는 End Plate Waviness 측정 Robot이 설치되어 있으며, 우측단 중앙에는 동력선 및 신호선을 집합 분배하는 Junction Box 및 Cable이 설치되어 있다. 제어부의 구성은 내방사선 카메라로 촬영된 영상화면이나 측정된 Data를 전산처리하여 저장하거나 출력하는 검사용 Rack과 측정요소를 측정 가능하도록 움직임을 제어하는 제어용 Rack으로 구성되어 있다. 본 시스템에서는 측정센서의 이동 또는 회전 및 외관검사용 카메라의 이동을 위해 6개의 Servo Motor를 사용하고 있다. 또한, 측정하고자 하는 핵연료다발을 기준위치에 안착시키기 위하여 로타리 실린더가 핵연료다발 회전기구 하단부 좌우 양측에 2개가 있다.

본 시스템에서 사용하고 있는 측정센서로는 LVDT(Linear Variable Differential Transformer)를 사용하였다. 사용된 센서의 성능은 Stroke $\pm 5\text{mm}$, Non-linearity 0.25%/F.S., 0~2.4V D.C.의 출력전압을 제공해 주며, 수중에서도 이용가능하다. 본 시스템에서는 모두 11개 LVDT를 이용하고 있다. 즉, 핵연료다발의 직경 및 Rod Profile을 측정하기 위해 2개를 사용되며, 핵연료봉의 길이 및 End Plate Waviness를 측정하기 위해 핵연료다발 회전기구의 좌우 양측에 4개씩 8개가 사용된다. 또한, 측정하고자 하는 핵연료다발의 측정위치 선정을 위해 1개의 LVDT가 이용된다. LVDT에서 발생한 전압은 Transducer Signal Conditioner를 통해 숫자로 변환되어 화면에 변위로 나타나게 된다.

또한, 측정센서인 LVDT의 Calibration을 위해 그림 4에서 보여주고 있는 장비를 개발하였다. LVDT Calibration 장비는 내부에 2개의 모터와 PC와의 신호전달용 케이블, 그리고 수중에서 수압보다 높은 압력을 유지하여 방수기능을 향상시킬 수 있도록 공기를 공급하는 라인으로 구성되어 있다. 본 장비 내부에 있는 2개의 모터는 각각 Rod Profile을 측정하는 LVDT를 Calibration하는 데 이용되는 Stepping Motor와 핵연료다발의 End Plate Waviness를 측정하는 LVDT를 Calibration하는 데 이용되는 Linear Actuator이다. Stepping Motor는 Calibration Disk를 8.65° 씩 회전시키면서 Disk의 반경을 좌우 각각 1mm씩 증가시킨다. 변경 1mm씩 증가량을 Rod Profile 측정용 LVDT가 측정하여 공인기관에서 측정한 기준값과 비교하여 오차를 최소화되는 함수를 구해 시스템에 적용함으로써 LVDT를 Calibration하게 된다. 또한 Linear Actuator는 Plunger Plate를 1mm씩 전진시킨다. 1mm씩 전진된 변화량을 End Plate Waviness 측정용 LVDT가 측정한 후 Rod Profile 측정용 LVDT Calibration 절차와 같이 Calibration을 수행한다. LVDT Calibration에 대한 결과 예시는 다음 절에서 제시하였다.

그리고 제원측정 시스템의 기계적은 오차를 보정하기 위하여 그림 5에서와 같

은 알루미늄 원기(이하 Aluminum Master)와 SUS 303재질로 핵연료다발의 지지체를 고려한 원기(이하 CANDU Master)를 제작하였다. Aluminum Master는 End Plate Waviness를 측정할 때의 시스템 오차를 보정하는데 이용하며, CANDU Master는 Rod Profile을 측정할 때 발생하는 시스템 오차를 보정하는 데 이용된다.

3. 측정시스템 Calibration 및 측정 정밀도 분석

3.1 LVDT Calibration

LVDT Calibration은 제원측정 센서인 LVDT가 모든 측정범위에 대하여 정확한 측정거리를 나타내게 하는 보정인자를 구하는 과정이다. LVDT Calibration은 앞 절에서 언급하 LVDT Calibration 장비를 이용하여 수행되며, Rod Profile 측정용 LVDT Calibration과 End Plate Waviness 측정용 LVDT Calibration으로 구분하여 수행한다. 먼저 Rod Profile 측정용 LVDT Calibration은 LVDT Calibration 장비의 Calibration Disk를 회전시키면서 원하는 이동거리에서의 LVDT의 전압을 측정하고, 측정된 전압과 공인기관에서 측정한 거리값의 관계를 7차함수로 모사하는 계수를 구함으로서 이루어진다. 한 예로 표 1에서는 각 단계별 측정전압과 공인기관에서 측정한 거리값을 보여주고 있다. 표 1의 전압 대 거리 관계를 아래의 식(1)의 7차 함수로 모사한 함수의 계수를 표 2에서 보여주고 있다.

$$y = \sum_{i=0}^7 a_i x^i \quad (1)$$

함수의 정확도 분석을 위해 표 2에서 구해진 함수의 계수를 프로그램에 적용 후 다시 LVDT Calibration 장비를 이용하여 다시 한번 측정을 수행하였다. LVDT의 측정전압을 Signal Conditioner를 통해 화면상에 나타난 값과 공인기관의 거리값을 표 3에서 보여주고 있다. 표 3에서 보여주는 바와같이 공인기관 거리값과 함수 적용후 측정값의 오차는 최대 0.004mm(4 μ m)이내에서 일치하고 있음을 확인하였다.

이와 같은 과정을 Rod Profile 측정용 LVDT 2개와 End Plate Waviness 측정용 8개에 대하여 모두 수행함으로써 LVDT에 대한 Calibration 수행 절차가 이루어진다.

3.2 측정시스템의 시스템 Calibration

측정시스템의 시스템 Calibration은 측정시스템이 가지고 있는 기계적인 오차를

보정하기 위한 것으로서 앞에서 언급한 바와 같이 그림 5의 시스템 교정용 Aluminum Master와 CANDU Master를 이용하여 수행한다. 시스템 Calibration도 LVDT Calibration과 같이 End Plate Waviness 측정부분과 Rod Profile 측정부분으로 나누어 수행하게 된다.

먼저 End Plate Waviness 측정부분에 대한 시스템 Calibration 과정을 설명하면 다음과 같다. Aluminum Master를 측정시스템에 장착후 End Plate Waviness 측정용 LVDT를 이용하여 Aluminum Master의 측면을 측정한다. 측정된 Data를 이용하여 아래 식(2)의 9차 함수의 계수를 구한다. 구해진 9차 함수의 계수를 프로그램에 적용함으로써 End Plate Waviness 측정부분에 대한 시스템 Calibration이 수행되게 된다.

$$y = \sum_{i=0}^9 a_i x^i \quad (2)$$

한 예로서, 그림 6과 7에서는 9차 함수가 적용되기 전 후의 Aluminum Master의 왼쪽 측면 측정값을 보여주고 있다. Aluminum Master의 측면 표면의 거칠기는 공인기관에서 측정한 결과 최대 1 ~ 2 μm 임이 밝혀졌다. 그림 6에서는 상당히 큰 시스템 오차를 포함하고 있으나 위에서 구해진 9차함수를 적용하면 그림 7에서와 같이 최대 $\pm 0.005\text{mm}(\pm 5\mu\text{m})$ 이내로 시스템 오차를 제거할 수 있음을 확인하였다.

다음으로 Rod Profile 측정부분의 시스템 Calibration에 대하여 설명하면 다음과 같다. 측정시스템에 그림 5에서 보여준 CANDU Master를 장착한 후 Rod Profile을 측정한다(그림 8). 이 때 얻어진 측정값과 공인기관에서 측정한 CANDU Master의 공인값의 차이값을 이용하여 식(2)의 9차 함수의 계수를 구하여 프로그램에 적용한다. Rod Profile 측정부분에 대한 시스템의 기계적인 오차를 제거하기 위해 구해진 9차함수를 적용함으로써 시스템의 기계적인 오차를 줄일 수 있음을 그림 9에서 보여주고 있다. 이와 같은 과정을 통해 Rod Profile 측정부분에 대한 시스템 Calibration을 수행하게 된다.

3.3 측정시스템 정밀도 분석

본 제원 측정시스템은 37봉 핵연료다발 및 CANFLEX 핵연료다발에서 이용가능하도록 설계되었다. 따라서 측정시스템의 정밀도 분석도 각각에 대하여 수행하였다. 37봉 핵연료다발에 대한 정밀도 분석은 앞에서 언급한 CANDU Master를 이용하였으며, CANFLEX 핵연료다발에 대하여는 CANFLEX 핵연료다발의 직경 및 길이와 같게 제작된 CANFLEX Master를 이용하여 수행하였다. CANDU Master

와 CANFLEX Master의 특정 위치에 대하여 국가공인기관에서 측정한 공인값과 본 측정시스템에서 측정한 측정값을 비교하였다. End Plate Waviness의 측정의 정밀도 분석을 위해 CANDU 및 CANFLEX Master의 측면에는 1mm 및 2mm 깊이의 홈을 가공하였으며, Rod Profile 측정의 정밀도 분석을 위해 각 Master의 길이방향에 1mm 및 1.4mm 깊이의 홈을 핵연료다발의 지지체(Bearing Pad) 위치에 가공하였다.

먼저, End Plate Waviness의 측정정밀도는 표 4와 표 5에서 보여주고 있다. 즉, 표 4에서는 CANDU Master에 대한 측정결과 비교를 보여주고 있으며, 표 5에서는 CANFLEX Master에 대한 측정결과 비교를 보여주고 있다. 두 표에서 보는 바와 같이 1mm 및 2mm 홈에서의 측정값과 공인기관값의 차이를 보면 0.0077mm(7.7 μ m) 이내에서 정밀도를 가짐을 알 수 있다. 본래 본 시스템을 제작시 정확도에 대한 기준을 10 μ m로 설정하고 제작하였으므로 제작요구조건을 만족하고 있음을 확인하였다.

다음으로 Rod Profile에 대한 측정정밀도는 표 6과 표 7에서 보여주고 있다. 표에서 보는 바와 같이 Rod Profile 측정정확도 또한 측정값과 공인기관값을 비교하였을 때 0.01mm(10 μ m) 이내에서 측정이 가능함을 확인하였다.

마지막으로 CANDU Master와 CANFLEX Master의 직경 및 길이에 대한 정밀도는 표 8에서 보여주고 있다. 표 8에서 보여주고 있는 바와 같이 공인기관값과 본 시스템에서 구해진 값을 비교해 보면 직경 및 길이에 대해서도 0.01mm(10 μ m) 이내에서 만족하고 있음을 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 중수로용 핵연료다발의 원자로내 조사 후의 제원변화를 정밀하게 측정할 수 있는 제원 측정시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 기준원기를 이용하여 그 정밀도를 확인하였다. 기준원기에 대한 기준값은 국가공인기관에서 공인받은 공인값을 사용하였다. 제원 측정시스템의 정확도를 만족시키기 위하여 사용되는 측정센서인 LVDT를 Calibration하는 LVDT Calibration 장비를 개발하였으며, LVDT가 제공하는 전체 Stroke에 대하여 정확한 값을 제공하도록 7차함수를 도입하였다. 또한, 제작된 시스템의 기계적인 오차를 줄이기 위하여 9차함수를 도입하였다.

결론적으로, 중수로용 핵연료다발 제원 측정시스템에 대한 정확도 분석결과 핵연료다발의 Rod Profile 및 지지체의 Profile, 핵연료봉 길이, 핵연료다발의 직경, 그리고 봉단접합관의 Profile 등을 설계 기준치인 0.01mm(10 μ m) 오차 이내에서 측정 가능함을 확인하였다. 따라서 본 중수로용 핵연료다발 제원 측정시스템은 중수로용 핵연료다발의 제원을 정밀하게 측정하는 데 이용함으로써 중수원전내 핵연료채널에서 장전 조사된 핵연료다발의 건전성 평가에 활용이 가능하며, 측정된 Data는 새로운 핵연료개발의 기초 자료로 활용이 가능할 것이다.

후 기

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발 중장기사업의 일환으로 수행되었다.

REFERENCES

1. 손영준, 김은가, 전용범, 엄성호, 권형문, “LVDT 디지털 측정법을 이용한 사용후핵연료봉의 정밀제원측정,” 2003 한국원자력학회 춘계학술발표회 논문집, 2003. 5.

표 1. LVDT를 이용한 측정 전압 및 공인기관 거리값

측정전압(V)	1.8807	1.7068	1.5332	1.3601	1.1868	1.0145	0.8416	0.6687	0.4970	0.3294	0.1747
공인기관값(mm)	0.0000	1.0055	2.0095	3.0100	4.0105	5.0120	6.0135	7.0160	8.0180	9.0195	10.0210

표 2. 7차 함수의 계수

	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7
계수	11.36819	-8.78401	7.78905	-10.8611	8.71449	-4.02281	0.99184	-0.10106

표 3. 7차 함수의 정확도 검증

공인기관값(mm)	0.0000	1.0055	2.0095	3.0100	4.0105	5.0120	6.0135	7.0160	8.0180	9.0195	10.0210
함수적용후 측정값(mm)	0.0000	1.0020	2.0080	3.0110	4.0110	5.0090	6.0130	7.0190	8.0220	9.0210	10.0230
오차	0.0000	0.0035	0.0015	-0.0010	-0.0005	0.0030	0.0005	-0.0030	-0.0040	-0.0015	-0.0020

표 4. CANDU Master End Plate 홈 깊이 측정결과

CANDU Master 측정		Left			Right		
		Inner	Inter	Outer	Inner	Inter	Outer
1mm 홈	공인기관값	-0.9921	-0.9904	-0.9839	-0.9847	-0.9780	-0.9782
	측정값	-0.9857	-0.9872	-0.9763	-0.9866	-0.9828	-0.9813
	오차	0.0064	0.0032	0.0076	-0.0019	-0.0048	-0.0031
2mm 홈	공인기관값	-1.9850	-1.9833	-1.9819	-1.9839	-1.9720	-1.9738
	측정값	-1.9897	-1.9858	-1.9783	-1.9833	-1.9665	-1.9715
	오차	-0.0047	-0.0025	0.0036	0.0006	0.0055	0.0023

표 5. CANFLEX Master End Plate 홈 깊이 측정결과

위치		Left			Right		
		Inner	Inter	Outer	Inner	Inter	Outer
1mm 홈	공인기관값	-0.9857	-0.9789	-0.9807	-0.9807	-0.9664	-0.9666
	측정값	-0.9831	-0.9831	-0.9810	-0.9849	-0.9736	-0.9714
	차이값	-0.0026	0.0042	0.0003	0.0042	0.0072	0.0048
2mm 홈	공인기관값	-1.9792	-1.9752	-1.9746	-1.9801	-1.9662	-1.9649
	측정값	-1.9830	-1.9794	-1.9823	-1.9775	-1.9660	-1.9583
	차이값	0.0038	0.0042	0.0077	-0.0026	-0.0002	-0.0066

표 6. CANDU Master의 Rod Profile 측정결과

측정위치 (mm)	측정 각도												비고
	0 도			90도			180도			270도			
	공인값	측정값	오차	공인값	측정값	오차	공인값	측정값	오차	공인값	측정값	오차	
7.65	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
64	-0.9910	-0.9940	0.0030	-0.9977	-0.9880	-0.0097	-0.9974	-0.9910	-0.0064	-0.9948	-0.9990	0.0042	1mm 흠
114	-0.0007	-0.0030	0.0023	0.0003	-0.0080	0.0083	-0.0007	0.0020	-0.0027	-0.0012	0.0000	-0.0012	
227	-0.0012	-0.0070	0.0058	0.0000	-0.0100	0.0100	-0.0008	0.0030	-0.0038	-0.0015	0.0020	-0.0035	
247.65	-1.3950	-1.3980	0.0030	-1.3983	-1.3970	-0.0013	-1.3980	-1.4030	0.0050	-1.3980	-1.4040	0.0060	1.4mm 흠
347	-0.0012	0.0020	-0.0032	0.0002	0.0000	0.0002	-0.0013	0.0000	-0.0013	-0.0017	0.0010	-0.0027	
449	-0.9970	-0.9910	-0.0060	-0.9987	-0.9920	-0.0067	-0.9975	-0.9960	-0.0015	-0.9969	-0.9930	-0.0039	1mm 흠
477.65	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0030	-0.0030	0.0000	0.0030	-0.0030	

표 7. CANFLEX Master의 Rod Profile 측정결과

측정위치 (mm)	측정 각도												비고
	0 도			90도			180도			270도			
	공인값	측정값	오차	공인값	측정값	오차	공인값	측정값	오차	공인값	측정값	오차	
7.65	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
64	-1.1088	-1.1050	-0.0038	-1.1092	-1.1050	-0.0042	-1.1155	-1.1130	-0.0025	-1.1085	-1.1110	0.0025	1mm 흠
114	-0.0020	0.0000	-0.0020	-0.0005	-0.0010	0.0005	-0.0020	0.0020	-0.0040	-0.0035	0.0050	-0.0085	
227	-0.0011	0.0000	-0.0011	-0.0015	-0.0030	0.0015	-0.0025	0.0000	-0.0025	-0.0045	0.0000	-0.0045	
247.65	-1.3988	-1.3900	-0.0088	-1.3987	-1.3950	-0.0037	-1.4032	-1.4070	0.0038	-1.3970	-1.4070	0.0100	1.4mm 흠
347	-0.0015	0.0000	-0.0015	-0.0010	-0.0030	0.0020	-0.0040	0.0020	-0.0060	-0.0037	0.0010	-0.0047	
449	-1.1136	-1.1080	-0.0056	-1.1102	-1.1130	0.0028	-1.1157	-1.1200	0.0043	-1.1087	-1.1170	0.0083	1mm 흠
477.65	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0010	0.0010	0.0000	-0.0010	0.0010	0.0000	0.0010	-0.0010	

표 8. 직경 및 길이 측정결과

항목	CANDU Master			CANFLEX Master			비고	
	공인값	측정값	오차	공인값	측정값	오차		
직경 (mm)	D1	99.712	99.712	0.000	99.188	99.188	0.000	왼쪽에서 7.65mm 위치
	D2	97.722	97.728	-0.006	96.964	96.973	-0.009	왼쪽에서 54mm 위치
	D3	99.714	99.705	0.009	99.188	99.19	-0.002	왼쪽에서 152.65mm 위치
	D4	96.918	96.911	0.007	96.384	96.391	-0.007	왼쪽에서 247.65mm 위치
	D5	99.714	99.716	-0.002	99.189	99.189	0.000	왼쪽에서 342.65mm 위치
	D6	97.717	97.726	-0.009	96.956	96.961	-0.005	왼쪽에서 441.33mm 위치
	D7	99.713	99.712	0.001	99.199	99.188	0.011	왼쪽에서 487.65mm 위치
길이 (mm)	L0	495.297	495.287	0.010	-	-	-	Center
	L1	495.284	495.288	-0.004	495.306	495.309	-0.003	반경 43.3 위치(각도180)
	L2	495.283	495.283	0.000	495.313	495.310	0.003	반경 28.765 위치(각도180)
	L3	495.283	495.287	-0.004	495.303	495.307	-0.004	반경 14.86 위치(각도180)
	L4	495.285	495.288	-0.003	495.298	495.300	-0.002	반경 43.3 위치(각도260)



그림 1. 제원 측정시스템 구성도

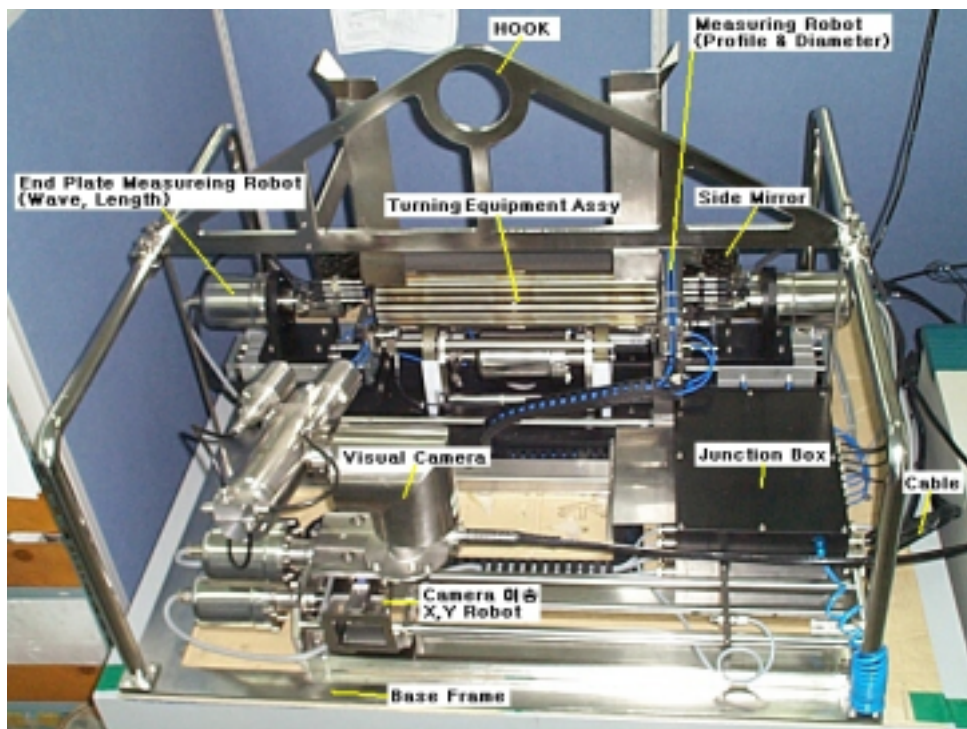


그림 2. 외관검사 및 제원측정 장비

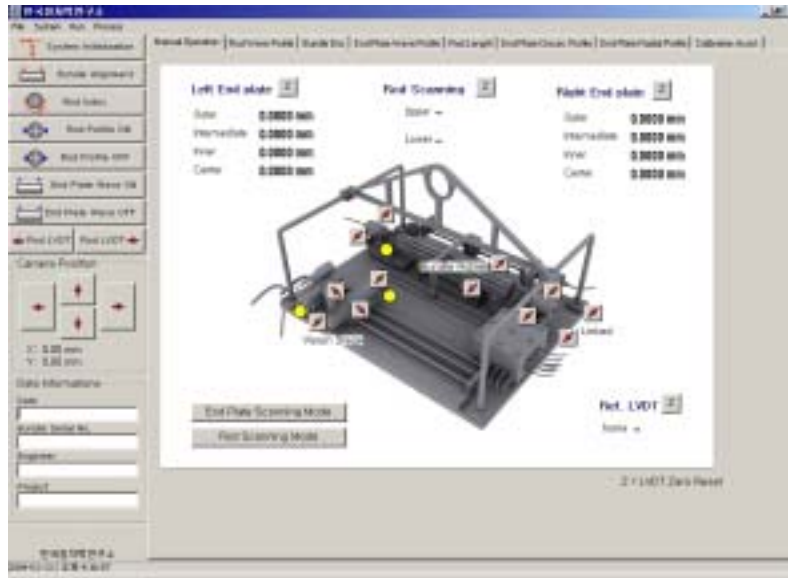


그림 3. 프로그램 Main 화면



그림 4. LVDT Calibration 장비

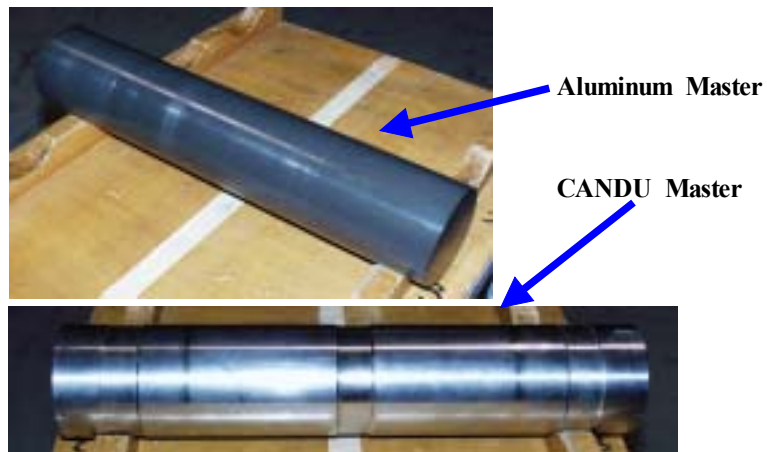


그림 5. Aluminum Master 및 CAN DU Master

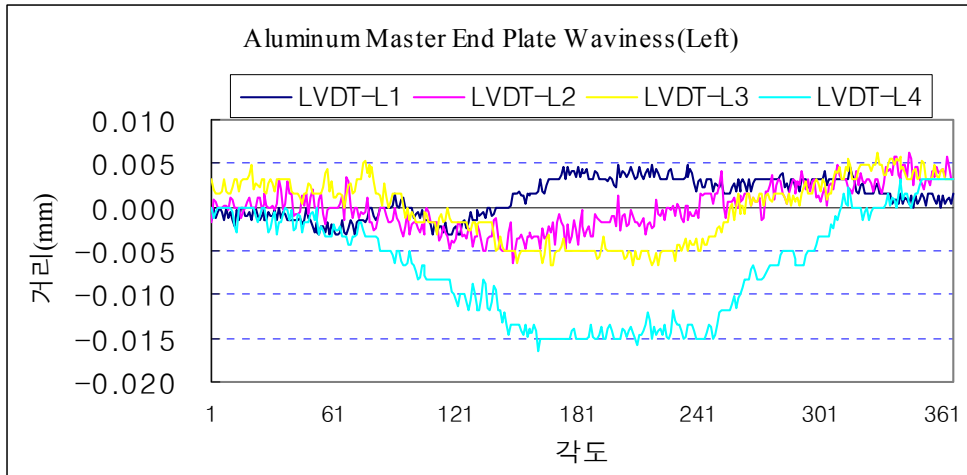


그림 6. Aluminum Master 측면 측정값(9차함수 적용전)

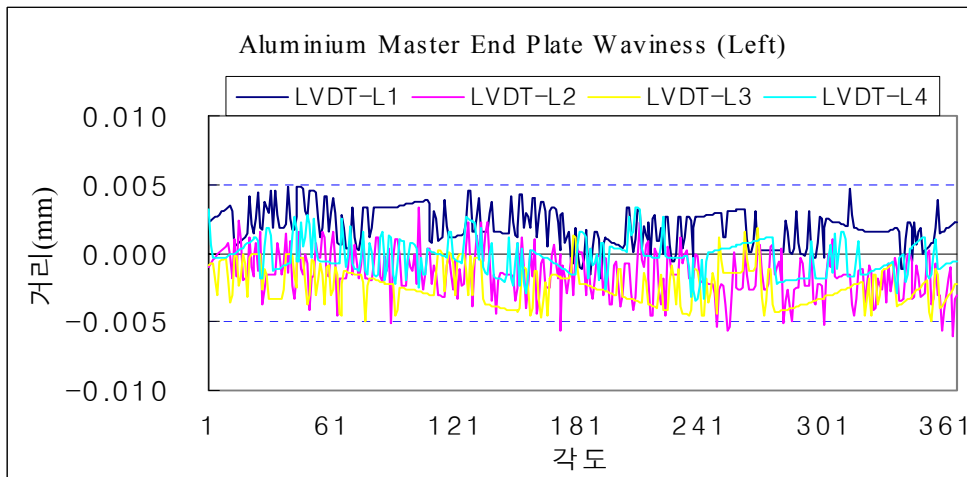


그림 7. Aluminum Master 측면 측정값(9차함수 적용후)

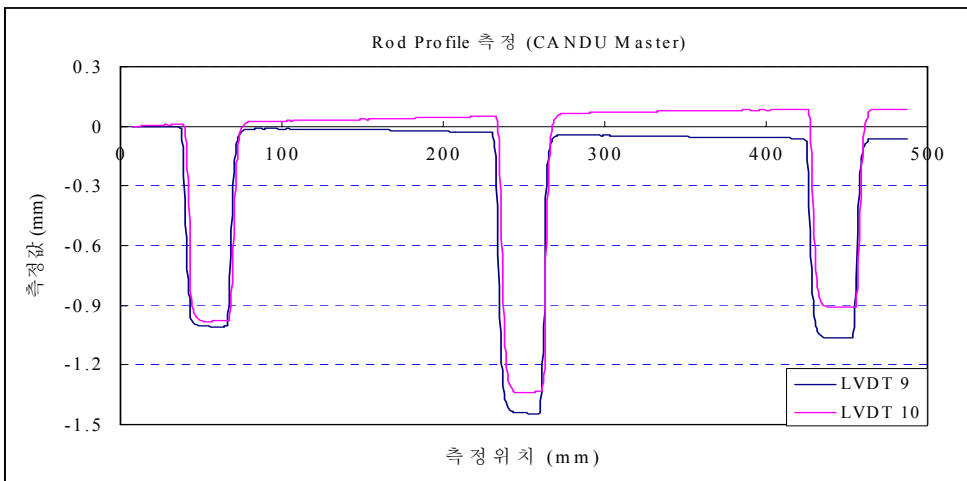


그림 8. Rod Profile 측정값(9차함수 적용전)

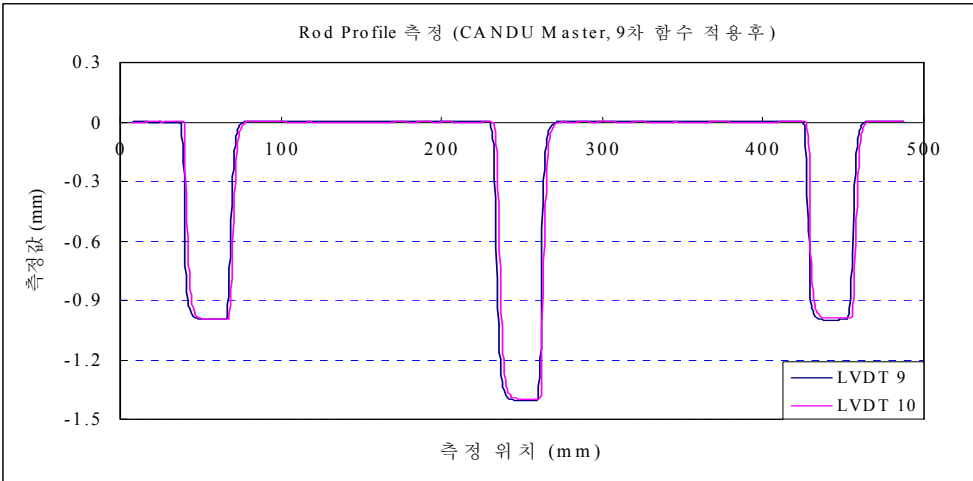


그림 9. Rod Profile 측정값 (9차함수 적용후)