

論 文

## 光波測距儀의 器械定數에 관한 研究

李 龍 熙\* · 文 斗 烈\*\*

### A Study on Mechanism Stated Number of Electro-Optical Distance Measuring Instrument

*Y. H. Lee · D. Y. Mun*

**Key Word :** 光波測距儀(Electro-Optical Distance Measuring Instrument), 器械定數(Mechanism Stated Number) 補間法(Interpolation), 푸리에 급수(Fourier Series), 周期誤差(Periodic Error), 反射体(Reflector)

#### Abstract

This paper is compared with fourier series and least square polynomial fit and interpolation to mechanism stated number in electro-optical distance measuring instrument.

Systematic instrumental errors occuring in electro-optical systems include uncertainties in the position of the electrical center of the transmitter, uncertainties in the effective center of the reflectors, frequency drift, and instrument nonlinearity.

Microwave systems are affected by uncertainties in the electrical centers of the master and remote units and by a phenomenon called ground swing or reflection.

As the result of this study, mechanism stated number will be used as verification of electro-optical measuring instrument to distance measurement.

#### I. 序 論

최근에 모든종류의 測量에 光波測距儀가 널리 사용되고 있다. 일반적인 測距儀의 公稱精度는  $\pm 5\text{mm}$ 이며, 장거리 측정에서는 光路의 기온, 기압을 정확하게 測定하고 기상보정을 하여 精度를 높여야 한다. 固有精度는  $\pm 5\text{mm}$ 와 더불어 대기

굴절률의 오차가 큰 문제 이므로 단거리 특히 50~100m 前後를 測距儀로서 測定하는 경우 그 精度는 Tape 측거 이하로 될 수도 있다. 測距儀에 의한 測定誤差의 요인은 발광 및 수광 다이오드의 감도, 기온, 기압의 측정방법과 정수의 취급방법등이다. 이들중 근거리 측정에서 제일 문제가 되는 것이 정수의 취급방법등이다. 보통 기계정

\* 定會員, 韓國海洋大學校 講師

\*\* 東義大學校 土木工學科 副教授

수를 구하는 경우에는 인바 Tape 또는 리바스돈 Tape 등을 사용하고 정확한 위치를 측정한 점에서 일정간격(1m) 마다 반사체를 설치하면서 測距儀로서 측정을 행한다. 이때 光波의 중심은 반사체의 중심에 정확히 일치시키는 것이 중요하다. 그래서 Tape값과 測距儀에 의한 실측값과의 차를 형으로 그은 선상에 Plot하여 두고 반과형등에 오차를 파형이 나타나도록 하면 그 상한과 하한과의 차는 약 10mm 이내로 된다. 단거리 측량에서 이 정수를 더하면 公稱精度 以上の精度가 얻어지므로 더 정확한 거리 측량을 할 수 있다.

실측값은 Plot하여 기계정수를 구할 때 실측값이 주기적으로 변화하므로 近似函數를 후리에 급수로서 곡선점검을 하여 최적곡선을 구한다. 그런데 補間法은 어떤함수를 보간다항식이라 불리는 함수로 근사하는 방법으로서 실측값이 비교적 정확한 값일 경우에는 근사함수를 구하는 방법이 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 光波測距儀의 주기오차를 실험에 의해 구하며 그 보정값 즉, 기계정수를 최소제곱 5차 다항식과 Newton보간법 그리고 3차 Spline 보간법과 Fourier 급수로 곡선 점검한 후 비교하여 보기로 한다.

## II. 補間法

### 1. Lagrange 補間法

區間 間隔이 같지 않은 n+1개의 데이터(x<sub>0</sub>, y<sub>0</sub>), (x<sub>1</sub>, y<sub>1</sub>), ..., (x<sub>n</sub>, y<sub>n</sub>)가 주어질 때 任意의 x(x<sub>0</sub> < x < x<sub>n</sub>)에서의 函數값 y가 x의 n次 多項式

$$P_n(x) = c_0 + c_1x + c_2x^2 + \dots + c_nx^n$$

으로 주어진다면 n+1개의 區間點에서는

$$P_n(x_k) = y_k \quad (k=0,1,2,\dots,n) \quad \dots\dots\dots (1)$$

가 成立하여야 한다.

n차의 Lagrange 多項式 L<sub>k</sub>(x)를 다음과 같이 定義한다면

$$L_k(x_i) = \begin{cases} 0 & i \neq k \\ 1 & i = k \end{cases} \quad \dots\dots\dots (2)$$

로 되므로 P<sub>n</sub>(x)는 다음과 같은 형으로 고쳐 쓸 수 있다.

$$P_n(x) = L_0(x)y_0 + L_1(x)y_1 + \dots + L_n(x)y_n \\ = \sum_{k=0}^n L_k(x)y_k \quad \dots\dots\dots (3)$$

식 (3)에서 x대신 x<sub>k</sub>를 대입하고 식 (2)를 適用하면 식 (1)을 滿足시킨다.

Lagrange 多項式 L<sub>k</sub>(x)만 計算되면 函數값 y는 식 (3)으로부터 얻을 수 있다. 식 (2)를 만족하는 L<sub>k</sub>(x)를 계산하기 위하여 다음 식을 가정하면

$$L_k(x) = A_k(x-x_0)(x-x_{k-1})\dots(x-x_{k-1}) \\ (x-x_{k+1})\dots(x-x_n) \quad \dots\dots\dots (4)$$

식 (4)는 식 (2)도 만족하여야 하므로

$$A_k = \frac{1}{(x_k-x_0)(x_k-x_1)\dots(x_k-x_{k-1})(x_k-x_{k+1})\dots(x_k-x_n)} \quad \dots\dots\dots (5)$$

가 成立되어야 한다.

식 (5)를 식 (2)에 대입하여 L<sub>k</sub>(x)를 구하여 식 (1)에 대입하면 Lagrange 補間公式를 얻는다.

$$P_n(x) = \sum_{k=0}^n L_k(x)y_k \\ = \sum_{k=0}^n \frac{(x-x_0)\dots(x-x_{k-1})(x-x_{k+1})\dots(x-x_n)}{(x_k-x_0)(x_k-x_1)\dots(x_k-x_{k-1})(x_k-x_{k+1})\dots(x_k-x_n)} y_k \\ = \sum_{k=0}^n \left[ \prod_{\substack{i=0 \\ i \neq k}}^n \left\{ \frac{x-x_i}{x_k-x_i} \right\} \right] y_k \quad \dots\dots\dots (6)$$

### 2. 3次 Spline 補間法

區間[a, b]에서 정의된 函數를 f(x)로 하고 區間을 a=x<sub>1</sub><x<sub>2</sub><...<x<sub>n</sub><x<sub>n+1</sub>=b로 등분하여 n개의 小區間 (x<sub>i</sub>, x<sub>i+1</sub>)에서 3次 多項式을 y<sub>i</sub>(x)=a<sub>0i</sub>+a<sub>1i</sub>(x-x<sub>i</sub>)+a<sub>2i</sub>(x-x<sub>i</sub>)<sup>2</sup>+a<sub>3i</sub>(x-x<sub>i</sub>)<sup>3</sup>(i=1,2,...,n) ..... (7)

로 하면 1계 및 2계의 導函數는

$$y'_i(x) = a_{1i} + 2a_{2i}(x-x_i) + 3a_{3i}(x-x_i)^2 \quad \dots\dots (8)$$

$$y''_i(x) = 2a_{2i} + 6a_{3i}(x-x_i) \quad \dots\dots\dots (9)$$

로 된다. 주어진 分割點을 통과하므로 식 (7)로부터

$$y_i(x_i) = f(x_i) \quad (i=1,2,\dots,n) \quad \dots\dots (10)$$

$$y'_i(x_{i+1}) = f'(x_{i+1}) \quad (i=1,2,\dots,n) \quad \dots\dots (11)$$

를 얻는다. 또, 주어진점에서 1계, 2계의 미계수가 일치하는 것으로부터 식 (8), (9)는

$$y_i'(x_i) = y_{i+1}(x_i) = f'(x_i) \quad (i=1,2,\dots,n) \quad \dots (12)$$

$$y_i''(x_{i+1}) = y_{i+1}''(x_i) \quad (i=1,2,\dots,n) \quad \dots (13)$$

로 된다.

다음에,  $y_i(x)$ 의 係數  $a_{0i}, a_{1i}, a_{2i}, a_{3i}$  사이의 관계를 조사하여 보자. 지금

$$f(x_i) = f_i, \quad f'(x_i) = s_i \quad (i=1,2,\dots,n) \quad \dots (14)$$

으로 놓으면, 식 (10), (11)에 의해

$$a_{0i} = f_i, \quad a_{1i} = s_i \quad (i=1,2,\dots,n) \quad \dots (15)$$

이 얻어지므로, 식 (7), (8)은 각각

$$y_i(x) = f_i + s_i(x-x_i) + a_{2i}(x-x_i)^2 + a_{3i}(x-x_i)^3 \quad \dots (16)$$

$$y_i(x) = s_i + 2a_{2i}(x-x_i) + 3a_{3i}(x-x_i)^2 \quad \dots (17)$$

로 된다. 식 (16), (11)에서  $\Delta x_i = x_i - x_{i-1}$ 로 놓으면

$$y_i(x) = f_i + s_i \Delta x_{i+1} + a_{2i} \Delta x_{i+1}^2 + a_{3i} \Delta x_{i+1}^3 \Phi 1 \equiv f_{i+1}$$

을 얻는다. 이로부터 係數  $a_{2i}$ 는

$$a_{2i} = \frac{f_{i+1} - f_i}{\Delta x_{i+1}^2} - \frac{s_i}{\Delta x_{i+1}} - a_{3i} \Delta x_{i+1} \quad \dots (18)$$

로 된다. 또, 식 (17), (14)에 의해서

$$y_i'(x_{i+1}) = s_i + 2a_{2i} \Delta x_{i+1} + 3a_{3i} \Delta x_{i+1}^2 \equiv s_{i+1}$$

윗식의  $a_{2i}$ 에 식 (18)를 대입하여, 정리하면 係數  $a_{3i}$ 는

$$a_{3i} = \frac{s_{i+1} + s_i}{\Delta x_{i+1}^2} - 2 \frac{f_{i+1} - f_i}{\Delta x_{i+1}^3} \quad \dots (19)$$

를 얻는다. 그러므로, 전체의  $s_i (i=1,2,\dots,n)$ 이 얻어지면  $y_i(x)$ 의 係數가 전부 구해지는 것이 된다.

그러면  $s_i$ 를 구하는 방법을 살펴보자. 식 (13), (9)에 의해서

$$2a_{2i-1} + 6a_{3i-1} \Delta x_i = 2a_{2i} \quad (i=1,2,\dots,n) \quad \dots (20)$$

로 된다. 윗식의  $a_{2i-1}, a_{2i}$ 에 대하여 식 (13), (19)

을  $a_{3i-1}$ 에 대해서 식 (9)를 대입하여,  $s_i, f_i$ 로 표현하면, 다음  $s_i$ 에 관한 점화식을 얻는다.

$$\begin{aligned} & \Delta x_{i+1} s_{i-1} + 2(\Delta x_i + \Delta x_{i-1})s_i + \Delta x_i s_{i+1} \\ & = \left[ \frac{f_i - f_{i-1}}{\Delta x_i} \Delta x_{i+1} + \frac{f_{i+1} - f_i}{\Delta x_{i+1}} \Delta x_i \right] \\ & \quad (i=1,2,\dots,n) \quad \dots (21) \end{aligned}$$

윗식은 兩端의 조건

$$y'(a) = s_i, \quad y'(b) = s_{i+1} \quad \dots (22)$$

또는

$$y''(a) = 0, \quad y''(b) = 0 \quad \dots (23)$$

을 주면 풀 수가 있다. 후자는 이론적으로 가장 적합한 것을 알 수 있으나, 실용상 兩端의 기울기를 주는 전자 쪽이 일반적이다.

따라서, 식 (23)은  $n-1$ 개의 未知數  $s_2, \dots, s_n$ 을 포함한 聯立 1次方程式이므로 聯立方程式의 해법을 적용하므로써 단일한 해를 구할 수 있다.

### 3. Newton 補間法

(1) Newton의 前向內插公式 (Newton's forward interpolation formula)

$n$ 개의 等區間點(중분  $h$ )  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 에 대하여 離散  $y_1, y_2, \dots, y_n$ 이 주어질 때 이 데이터로부터 얻어지는  $m$ 차 다항식은

$$\begin{aligned} y &= y_0 + \frac{\Delta y_0}{h} (x-x_0) \\ &+ \frac{\Delta^2 y_0}{2h^2} (x-x_0)(x-x_{0+1}) + \dots \\ &+ \frac{\Delta^m y_0}{m! h^m} (x-x_0)(x-x_{0-1})(x-x_{0+2}) \\ &\dots (x-x_{0+m-1}) \quad \dots (24) \end{aligned}$$

이 식을 Newton의  $m$ 차 前向補間公式이라 부른다. 여기서  $x_0$ 는 補間域의 기점으로서, 제  $m$ 階差項까지 계산할 경우 보간역은  $m+1$ 개의 구간점  $x_0, x_{0+1}, \dots, x_{0+m}$ 이다. 基點  $x_0$ 는 일반적으로 다음과 같이 정한다.  $k = (x-x_1)/h + 1$ 의 整數部라 할 때,  $n \geq k+m$ 이면  $x_0 = x_1 + (k-1)h$ ,  $n < k+m$ 이면  $x_0 = x_{1+(n-m-1)h}$ 이다. 식 (24)에

$$p = \frac{x - x_0}{h}$$

라 놓으면 Newton의  $m$ 차 前向補間公式은 다음과 같이도 쓸 수 있다.

$$y = y_0 + p\Delta y_0 + \frac{p(p-1)}{2!} \Delta^2 y_0 + \frac{p(p-1)(p-2)}{3!} \Delta^3 y_0 + \dots + \frac{p(p-1)\dots(p-m+1)}{m!} \Delta^m y_0 \dots \quad (25)$$

여기서  $\Delta^k y_0$ 는  $y_0$ 로부터 파생하는  $k$ 階差 前向差分이다.

(2) Newton의 後向内插公式(Newton's backward interpolation formula)

다항식 식 (24)의 우변을 고쳐 쓰면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$y = y_0 + \frac{\Delta y_{0-1}}{h} (x - x_0) + \frac{\Delta^2 y_{0-2}}{2! h^2} (x - x_0)(x - x_{0-1}) + \dots + \frac{\Delta^m y_{0-m}}{m! h^m} (x - x_0)(x - x_{0-1}) \dots (x - x_{0-m+1}) \quad (26)$$

이 식을 Newton의  $m$ 차 後向内插公式이라 말한다. 식 (26)에

$$p = (x - x_0)/h$$

라고 놓으면 Newton의  $m$ 차 後向内插公式은 다음 식으로 주어진다.

$$y = y_0 + p\Delta y_{0-1} + \frac{p(p+1)}{2!} \Delta^2 y_{0-2} + \dots + \frac{p(p+1)\dots(p+m-1)}{m!} \Delta^m y_{0-m} = y_0 + p\nabla z y_0 + \frac{p(p+1)}{2!} \nabla^2 y_0 + \dots + \frac{p(p+1)\dots(p+m-1)}{m!} \nabla^{2m} y_0 \dots \quad (27)$$

後向補間公式은 계산하고자 하는 함수값이 주어진 데이터의 끝 부분일 때 사용한다.

여기서  $x_0$ 는 補間域의 終端點으로서 일반적으로  $k = (x - x_1)/h + 1$ 의 整數部( $x$ 가 위치하는 구간의 좌측 구간점)를  $k_0$ 라 할 때  $k_0 > m$ ( $m$ 은 次數)

이면  $x_0 = x_1 + k_0 h$ ,  $k_0 \leq m$ 이면  $x_0 = x_1 + m h$ 로 택한다.

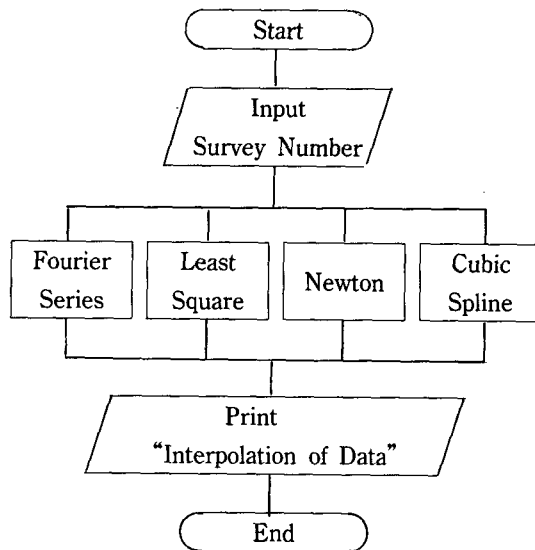


Fig. 1 Flow chart of mechanism stated number.

### III. 實驗方法 및 適用

#### 1. 實驗方法

주기오차를 구하는 방법으로서 인바 Tape 또는 점정할 테이프를 사용하고 정확한 測距儀에서 위치를 측정된 점에서 일정간격(1m)에 프리즘등의 반사체를 정확히 설치하면서 測距儀의 측정을 행한다. 이 경우 근거리에서 光波의 중심에 합치시키는 것이 중요하다. Tape 값과 測距儀에 의한 실측값과의 차를 거리에 횡으로 그은 선상에 Plot하여 두고 반과형등에 오차를 파형이 나타나도록 하면 그 상한과 하한의 차는 약 10mm 이내로 된다. 이 때 파형의 하한 또는 상한의 위치가 결정되기 때문에 그 위치의 정수를 기준을 하면 다른 위치에서는 이 정수에 파형의 정도를 더하여 보정하면 보다 정확한 거리를 측정할 수 있다. 리바스톤 Tape의 양측에 10kg의 중량을 주어 피치를 0.4m와 1m로 하고 기종이 같은 2대의 測距儀를 사용하여 측거리를 2대회 행할 때마다 미

동나사에 의해 반사광량이 최대로 되는 방향에 사용하는 정준반도 치심오차에 주의한다.

ton보간법 3차 Spline보간법으로 근사시킨 결과이다.

2. 適用

本 研究에서 적용할 실측정수는 리바스돈 Tape로 측정한 거리와 검정할 測距儀의 거리의 차이다. Table은 1m 간격의 거리에 대한 실측정수를 최소제곱 5차 다항식과 후리에 급수 New-

IV. 考 察

Table. 1에서 후리에 급수, Newton보간법, 3차 Spline보간법 그리고 최소제곱 5차 다항식의 계산결과를 비교하면 Fig. 2와 같다.

Table. 1 Comparison on survey number and approximate function.

(m) Distance	(mm) Survey number	(mm) Fourier series	(mm) Least square	Interpolation	
				Newton(mm)	Cubic spline(mm)
35	7.2	7.0	7.2	7.200000000E+00	7.200000000
				6.8706931201E+00	6.9961723077
				6.6440716800E+00	6.7883015385
				6.4648204800E+00	6.5723446154
				6.2926515200E+00	6.3442584616
36	6.1	6.2	6.12	6.100000000E+00	6.100000000
				5.8698867201E+00	5.8355692308
				5.5939468800E+00	5.5471384616
				5.2706252800E+00	5.2309230770
				5.9035379200E+00	4.8831384616
37	4.5	4.4	4.46	4.500000000E+00	4.500000000
				4.0697203210E+00	4.0807507693
				3.6236620801E+00	3.6367446155
				3.1730700801E+00	3.1823630770
				2.7286643200E+00	2.7319876923
38	2.3	2.4	2.36	2.300000000E+00	2.300000000
				1.8949939201E+00	1.8982276924
				1.5196172801E+00	1.5282830770
				1.1777548800E+00	1.1892246154
				8.7123072001E-00	0.8801107692
39	0.6	0.6	0.56	5.999999999E-01	0.6000000000
				3.6250752005E-01	0.3487384616
				1.5621248003E-01	0.1293230770
				-2.1720319977E-02	-0.0544615384
				-1.7356287999E-01	-0.1988307692

(m) Distance	(mm) Survey number	(mm) Fourier series	(mm) Least square	Interpolation	
				Newton(mm)	Cubic spline(mm)
40	-0.3	-0.3	-0.28	-3.000000000E+01 -3.9893887999E-01 -4.6415231999E-01 -4.8375551999E-01 -4.3851647999E-01	-0.3000000000 -0.3563815385 -0.3751753846 -0.3657784615 -0.3375876923
41	-0.3	-0.3	-0.3	-2.999999998E-01 1.0007969483E+00 1.5210716569E+00 1.6859363942E+00 1.7620746547E+00	-0.3000000000 -0.0335573806 0.5687254161 1.0071147613 1.4503360710
42	1.9	2.0	1.84	1.9000000000E+00 2.1682162380E+00 2.5803401625E+00 3.1161640038E+00 3.7375535923E+00	1.9000000000 1.3585065482 2.8314130965 3.3250663706 3.8458130965
43	4.4	4.3	4.58	4.4000000000E+00 5.0605671115E+00 5.6829051800E+00 6.2399309414E+00 6.7147083059E+00	4.4000000000 4.9876164260 6.1550197558 6.1550197558 6.6712115427
44	7.1	7.1	6.85	7.1000000000E+00 7.3968998092E+00 7.6128972697E+00 7.7596717671E+00 7.8508610355E+00	7.1000000000 7.4182277469 7.6372981132 7.7772546060 7.8581407325
45	7.9	7.9	8.02001	7.9000000000E+00 7.9187797709E+00 7.9157333914E+00 7.7596717671E+00 7.8508610355E+00	7.9000000000 7.9194725860 7.9195853496 7.7772546060 7.8602255272
46	7.8	7.9	7.92	7.8000000000E+00 7.7139676365E+00 7.5905969050E+00 7.4196613223E+00 7.1917535028E+00	7.8000000000 7.7166819090 6.0629726971 7.4324981132 7.2041571587
47	6.9	6.9	6.69	6.9000000000E+00 6.5416992461E+00 6.1197175706E+00 5.6434671719E+00 5.1292817203E+00	6.9000000000 6.5129997781 6.0629726971 5.5764457270 5.0799458380

(m) Distance	(mm) Survey number	(mm) Fourier series	(mm) Least square	Interpolation	
				Newton(mm)	Cubic spline(mm)
48	4.6	4.6	4.73	4.599999998E+00	4.6000000000
				4.0835656396E+00	4.1577189790
				3.6104515483E+00	3.7525487237
				3.2097211492E+00	3.3785189790
				2.9035449137E+00	3.0296594895
49	2.7	2.6	2.66	2.6999999997E+00	2.7000000000
				2.5839930572E+00	2.3841243064
				2.5061613970E+00	2.0788324085
				2.3696258141E+00	1.7814783574
				2.0144893225E+00	1.4894162042
50	1.2	1.3	1.2	1.1999999998E+00	1.2000000000
				1.2954124800E+00	1.3540553846
				1.4453811200E+00	1.5145969230
				1.6354931200E+00	1.6881107692
				1.8558284800E+00	1.8810830769
52	3.6	3.7	3.58	3.6000000000E+00	3.6000000000
				3.9525132799E+00	3.9576984615
				4.3212467199E+00	4.3281107692
				4.7042675200E+00	4.7096738561
				5.0985676800E+00	5.1008246154
53	5.5	5.4	5.53	5.5000000000E+00	5.5000000000
				5.9033036799E+00	6.9043446461
				6.3022195199E+00	6.3058338461
				6.6896947199E+00	6.6951507692
				7.0851772800E+00	7.0629784615
54	7.4	7.4	7.38	7.4000000000E+00	7.4000000000
				7.7078540800E+00	7.6985230768
				7.9753523200E+00	7.9753538461
				8.1976819200E+00	8.1769230769
				8.3723468800E+00	8.3576615384
55	8.5	8.4	8.51	8.5000000000E+00	8.5000000000
				8.5853644800E+00	8.6055630769
				8.6382451200E+00	8.6055630769
				8.6749291200E+00	8.7331569230
				8.7178764800E+00	8.7703753864

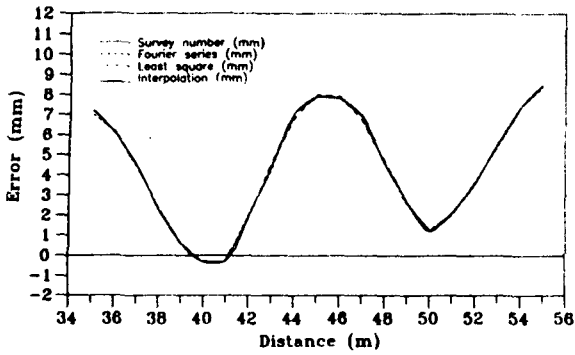


Fig. 2 Approximate function and mechanism state number by distance measuring.

Fig. 2에서 Newton 보간법과 3차 Spline 보간법은 같은 값을 나타내었다.

후리에 급수의 중등오차는  $\pm 0.099\text{mm}$ 로서 후리에 급수의 근사함수가 최소제곱 5차다항식 보다 실측정수에 더욱 근접하였다.

Newton 보간법과 3차 Spaline 보간법에 의한 근사함수는 실측정수와 비슷하므로 주기함수를 점점시키는 경우 보간법의 적용이 가능해 진다.

## V. 結 論

지금까지 測距儀의 기계정수를 구할 때 실측정수의 값을 근사함수로 곡선점검을 하는데 후리에 급수와 최소제곱 5차 다항식 그리고 Newton보간법을 적용해본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 실측정수를 근사함수로 곡선점검할 때 Newton보간법과 3차 Spline 보간법의 적용이 가능하다.

2. 최소제곱 5차 다항식이나 후리에 급수는 실측값에 대해 대표곡선을 점검하지만 보간법은 실측값을 반드시 지나가므로 오차가 큰 실측값은 적용이 불가능 해지나 그 실측값이 비교적 정확한 값들일 경우는 Fig. 2 처럼 거의 같은 결과를 나타낸다.

3. 최소제곱 5차 다항식보다 후리에 급수가 실측정수에 가까우므로 주기곡선을 점검할 경우 후리에 급수가 더욱 정확하며 후리에 급수에 의한 Computer 계산은 타방법에 비해 프로그래밍이 간단하므로 후리에 급수도 좋은 방법이 될 수 있다.

보간법에 의해 등고선을 그릴 수 있으므로 앞으로 지형측량에 대한 보간법의 연구를 하고져 한다.

## 參考文獻

1. 유복모, "측량학 원론(I)", 개문사, 1986, pp. 70~75.
2. 김창효, "수치해법과 전산프로그래밍", 교학사, 1984, pp. 54~120.
3. 손병진, "수치해법의 컴퓨터 응용", 회중당, 1984, pp. 459~479.
4. 한상영, 오해석, "수치해석", 방한출판사, 1987, pp. 248~298.
5. 西沢修一, "短距離測量における 週期誤差の影響, 測量, 1986, pp. 19~22.
6. 안철호, 최재화, "일반 측량학", 문운당, 1987, pp. 634~635.
7. 赤坂隆, "數値計算", コロナ社, 昭和42년, pp. 61~122.