

## 단면 자동측정기 및 알고리즘 개발에 관한 연구

황성진 · 김종수  
전기전자 및 자동화공학부

### <요약>

본 논문에서는 터널의 내공측정작업을 수행하는데 필요한 측정기와 알고리즘 개발에 관한 연구다. 측정기의 위치를 미리 측량하고 수작업으로 진행하여 측정자의 경험에 의존하던 종래의 방법에 비해 작업시간을 단축할 수 있었다. 측정방법은 이미 알고있는 2개의 기준점을 이용하여 자신의 위치를 계산하여 목표점의 위치와 실제의 위치를 계산하여 형상의 오차를 표시하는데, 일련의 번호를 부여하여 전과정을 간단히 처리하도록 하였다. 제어장치는 Flash Memory를 이용하여 환경변화에 따른 프로그램수정이 가능하도록 하였고, 2개의 PIC를 병렬로 구성하여 실시간 처리속도를 향상시켰다. 그 결과 측정점의 수가 많을수록 작업시간을 단축할 수 있을 뿐만 아니라 프로그램을 이용한 처리로 불규칙한 표면의 반사에 따른 오차 교정과 데이터베이스 구축으로 종합적인 분석이 가능하도록 하였다.

## Development of Flexible Automatic Measuring Systems

Sung-Jin Hwang · Jongsoo Kim  
School of Electrical Engineering and Automation

### <Abstract>

Programmability is an important feature to accommodate a variety of measuring services now. Thus, a new processing algorithm and equipment were proposed in this paper to reduce the measuring time consumed in tunneling work environment. Compared to the conventional method, which depends on the personal experience, the new approach can automatically process the whole measuring steps accurately after pointing two arbitrary reference points. The main controller was implemented with

PICs to download programs for different applications. Furthermore, the algorithm can correct distance errors resulted from the irregular surfaces, and build database for analyzing the tunneling processes.

## 1. 서 론

측량의 기원은 B.C. 3000년경 이집트의 농경지를 정리하기 위해 시작되었다고 한다. 근대적 측량은 15세기경 Compass의 발명과 삼각측량법의 고안으로부터 시작하여 그후 기계산업의 도움으로 현대화하였다. 현재 인공위성을 이용한 GPS(Global Position Systems)는 세계 어떤 곳에서도 자신의 위치를 정확히 알 수 있으며 이의 오차는 보통 1cm/100km 정도이다.

현재 터널은 공기단축을 위하여 광학적 기구와 컴퓨터를 함께 이용한 측정장비들이 이용되고 있다. 이와 같이 터널공사에 측량이 중요한 이유는 암질에 따른 변위는 안전도에 큰 영향을 미치게 되며 더욱이 제한된 공간에서 측량오차의 누적은 전혀 다른 방향으로 작업이 진행되기 때문이다[1][2][3]. 그러나 실제 측량에서는 사용법의 난이도와 신뢰도 때문에 수작업에 의존하는 경우가 많다. 일례로 거리를 측정할 때 측정하고자 하는 지점에 반사판을 설치하여야 하고 사람이 직접 장비를 그 지점에 조준하여야 한다. 더욱이 터널과 같은 토목 현장에서 그 단면을 측정하려면 각각의 측정점에 반사판을 설치하고 그 지점의 거리를 계산하여 입력하여야 함으로 2인의 작업자가 요구된다. 따라서, 측정점이 많을 경우에는 이에 비례하는 측량시간이 소요되고 이로 인하여 신속한 후속작업을 할 수가 없으므로 공기 자연과 예산낭비를 가져온다. 이와 같은 불편함을 해결하기 위하여 측정작업 및 자료를 자동으로 처리하는 시스템이 필요하다.

여기서 제시하는 터널 측정 방법은 컴퓨터, 모터 및 Encoder를 이용하여 자동으로 형상 단면을 측정하기 위한 시스템을 설계하고 이에 필요한 알고리즘을 개발하는 것이다. 사용자가 계산에 필요한 정보를 초기에 입력하고 현재 위치를 파악하기 위해 미리 표시된 두 점을 측정하면, 측정기의 현재 위치와 측량해야 할 지점의 좌표를 계산한 후 단면을 자동으로 측량하게 된다. 즉, 공간상에 위치하는 서로 다른 두 점으로부터 현재 위치를 구한 후 설계 데이터로부터 주어지는 정보를 이용하여 측량하고자 하는 지점의 단면 데이터의 GPS좌표를 계산하는 방법과 측정 후 데이터를 비교 분석하여 오차를 처리하는 알고리즘에 대한 연구다.

## 2. 측정기의 구성 및 원리

다음은 측정장비의 구성과 이를 이용하여 현재의 측정된 단면과 원하는 단면과의 차이를 계산하여 작업자에게 알려주기 전까지의 좌표변환 계산과정에 대하여 설명한다.

### 2.1 측정장비의 구성

측정장비는 기본적으로 수직 이동각도와 수평 이동각도를 읽어야 하고, 레이저 거리측정기는 일정거리 안에서는 산란현상이 없어야 한다. 또한 부품들의 정밀도는 측량의 정확도

와 밀접한 관계를 가지므로 되도록 고정밀도를 요구한다. 더욱이 기기의 기하학적 구조를 이루는 수직의 정밀도는 최종측정자료에 영향을 주나 이들은 구조물 가공시에 결정되고 수평은 작업자의 설정에 따라 좌우된다.

개발된 측정장비의 전체적인 구성은 그림 1과 같다. 위치측정은 2개의 Encoder를 이용하여 공간상의 방위각 및 고도를 파악한다. 평면을 이루는 방위각 위치를 X 및 Y로, 고도를 Z 좌표로 표시하는데 이들의 최고분해능은  $216$ 으로  $360^\circ / 2^{16} = 0.00549^\circ$  이다. 레이저 거리측정기를 움직이는 모터는 Step Motor로 1 Step의 각도는 0.0072도 또는 0.0036도이며, 레이저의 가시측정거리는 반사판 없이 100m 정도이나 현장에서는 조명관계로 30m정도의 거리 내에서 작업이 가능하다. 이보다 높은 정밀도가 요구된다면 Encoder와 모터의 분해능이 높은 부품들을 이용하면 된다[4].

## 2.2 측정기의 위치계산

자동측정의 기본원리는 다음과 같다. 먼저 자신의 GPS 좌표 값을 찾기 위해서는 이미 알고 있는 두 기준점의 좌표를 이용하여 삼각법으로 계산한다. 기준점 1의 방위각과 고도 및 거리를 Encoder와 레이저를 이용하여 측정한 후 이들의 값을 사용자가 입력시킴으로써 기준점 1의 GPS 값을 초기화한다. 동일한 방법으로 기준점 2의 위치를 지시한 후 좌표값을 입력한다. 이렇게 처리하면 그림 2의 원리로 Encoder는 방위각 및 경도, 레이저는 측정점까지의 직선거리를 얻을 수 있다. 측정기의 높이는 경도측정 Encoder가 수평에 맞추어 조절되었다면 수직 이동각과 거리를 이용하여 다음 식(1)에서 간단히 계산할 수 있다. 따라서, 측정기의 수평에 대한 경도 설정은 정확한 위치측정에 영향을 받는다. 수평에 대한 경도측정은 Inclinometer를 이용할 수 있으나 정확도가 미흡하다.

$$\text{측정기 높이 } Z = \text{기준점의 높이 } Z + \text{측정거리} \times \sin(\text{수각}) \quad (1)$$

측정기의 고도인 Z좌표를 구하였으므로 수평위치에 해당하는 좌우 X와 Y값을 구한다.

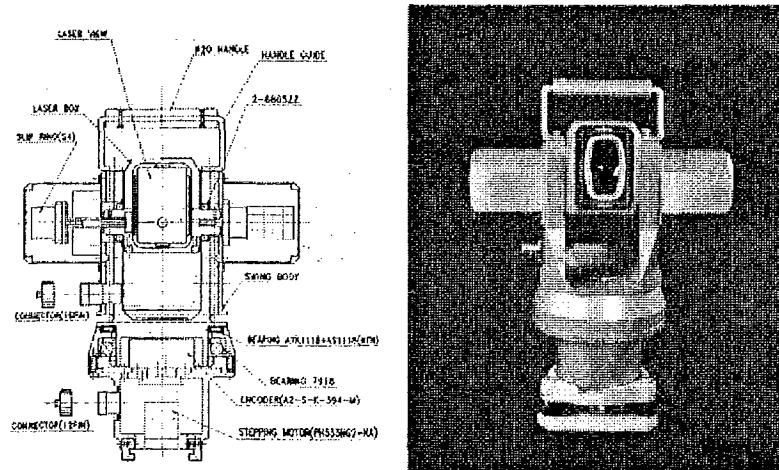


그림 1 측정기 설계도 및 실물

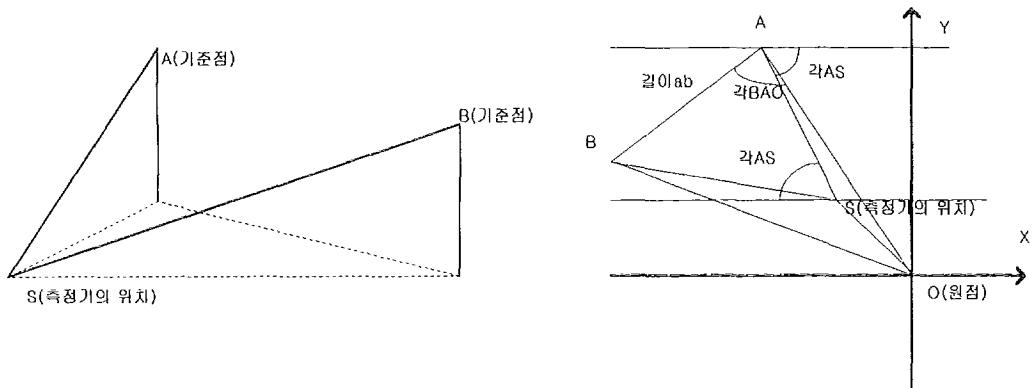


그림 2 기준점을 이용한 위치

이 수평각을 구하기 위해서는 두 기준점이 XY 평면에서 원점과 이루는 사이각을 계산한다. 이를 위해서 두 기준점을 축량한 길이를 XY 평면에 투영시킨다.  $\overline{BS}$  와  $\overline{AS}$ 의 길이는 각각 레이저에서 읽은 길이의 XY평면에 투영된 길이이며,  $\angle BSA$ 는 Encoder로부터 읽어 들인 값의 차에서 얻을 수 있다.  $\overline{AB}$ 는 두 점의 좌표의 차이로 직각삼각형의 공식에 의해 간단히 계산할 수 있다. 이와 같이 측정기와 기준점을 이용하여 삼각형 하나를 만들었다. 다음은 좌표계의 원점과 1개의 기준점 및 측정기의 위치로 구성되는 삼각형 ASO를 만든다.  $\angle AS$ 를 구하게 되면 점 S의 좌표는 삼각함수를 이용하여 구해진다.  $\angle AS$ 는 다음 과정을 거쳐 구해진다.  $\angle BAS$ 와  $\angle BAO$ 는 세변의 길이를 알고 있으므로 다음 공식 (2)와 (3)을 이용하여 구한다.

$$\angle BAS = ACOS(\overline{AB}^2 - \overline{BS}) / (2 \times \overline{AB} \times \overline{AS}) \quad (2)$$

$$\angle BAO = ACOS(\overline{A}^2 + \overline{AB}^2 - \overline{B}^2) / (2 \times \overline{A} \times \overline{AB}) \quad (3)$$

그림2에서  $\angle AS = 180 - \angle A + \angle BAS - \angle BAO$  가 된다.

따라서, 측정기의 방위위치는 식(4)(5)

$$X = A(X\text{좌표}) - \overline{AS} \cos(\angle AS) \quad (4)$$

$$Y = A(Y\text{좌표}) - \overline{AS} \sin(\angle AS) \quad (5)$$

로 계산되어 측정기의 GPS 좌표를 알 수 있으므로 공간상의 임의의 지점을 추적할 수 있다.

### 2.3 좌표계 변환

터널 설계도는 크게 세 가지로 구성되는데, (1)터널을 통과하는 도로의 중심좌표를 GPS 좌표로 나타나는 평면선형, (2)터널의 단면을 터널의 중심에 상대적인 좌표로 그린 단면도 (3)도로의 표고를 설계한 종단선형이다. 이외에, 작업현장의 진행점을 표시하기 위하여

Station Number를 이용하는데 이는 임의의 번호를 일정한 거리마다 동일한 간격으로 편의상 부여한 것이다. 자동측정을 하기 위해서는 이렇게 설계된 자료를 입력하여 단면의 상대좌표를 GPS 좌표로 표시하여야 하는데 다음과 같은 순서로 계산을 한다.

1. 평면선형 데이터를 통해 측정할 Station Number의 터널 중심 좌표를 찾는다.
2. 단면도를 이용하여 터널 중심으로부터 터널 단면상의 점들까지의 거리를 구한다.
3. 종단선형으로 구한 측정 스테이션 Number의 종단 높이를 구한다.
4. 터널 중심의 GPS 좌표와 종단선형의 종단 높이 그리고 단면도를 이용해 구한 좌표를 종합하여 최종 GPS좌표를 구한다.

### 2.3.1 평면선형

평면선형은 다시 직선, Clothoid, 원곡선 등과 같은 형태로 구분한다. 평면선형을 화면상에 표시하고 추적할 Station Number의 GPS좌표를 계산하기 위해서 직선은 시작점의 좌표와 종점의 좌표만 요구된다. 그러나 Clothoid는 시작점, 종점, 상수 A, 진입방향, Clothoid의 회전 방향, IP점을 필요로 하고 원곡선은 시작점, 종점, 반경, 회전 방향을 입력받는다. 시작점에서 임의의 거리에 있는 지점의 좌표를 찾기 위해서는 선적분(Line Integral)을 통해 점차적으로 접근하여 원하는 거리가 나왔을 때 그 지점의 좌표를 읽는 방법을 채택하였다. 곡선의 길이를 계산하기 위해 미세하게 구간을 나누고 그 구간사이의 직선 거리를 계산하여 합하는 방식을 채택해서 시작점부터 거리가 멀면 멀수록 시간이 오래 걸리게 된다. 따라서 시간을 줄이기 위해서는 자료가 입력되는 시점에서 미리 각 곡선별 길이를 계산하여 저장한다. 좌표를 찾을 때는 어느 곡선 구간에 있는지를 그 길이로부터 찾아서 그 곡선 구간의 시작점에서부터 선적분을 시작하게 하여 계산 시간을 단축시켰다. 다음은 각각의 곡선의 좌표 계산 방법에 대하여 설명한다.

- ① 직선은 간단히 시작점과 종점으로부터 직선의 기울기를 계산할 수 있다. 즉, 시작점을  $s_{p,x}, s_{p,y}, s_{p,z}$  종점을  $e_{p,x}, e_{p,y}, e_{p,z}$  라 하면 기울기 a는  $\frac{e_{p,y} - s_{p,y}}{e_{p,x} - s_{p,x}}$  이 된다. 따라서, 직선의 방정식은

$$y = a(x - s_{p,x}) + s_{p,y} \text{ 가 된다.}$$

- ② Clothoid의 기본 공식은 다음 식(6)과 같으며

$$X = L \left( 1 - \frac{L^2}{40R^2} + \frac{L^4}{3456R^4} - \frac{L^6}{599040R^6} \right) \quad (6)$$

$$Y = \frac{L^2}{6R} \left( 1 - \frac{L^2}{56R^2} + \frac{L^4}{7040R^4} - \frac{L^6}{1612800R^6} \right)$$

$$R = \frac{A^2}{L} \text{ 으로, 여기서 } L \text{은 곡선의 길이 } A \text{는 Clothoid 상수 값이다.}$$

IP 점(원곡선과 직선을 잇는 두 Clothoid 곡선의 접선이 만나는 점)이 필요한 이유는 다음과 같다[5][6]. Clothoid의 전형적인 모습이 그림 3에 있다. 그러나 실제 도면상에서는 이와 같이 나타나지 않고 축에 회전된 형태로 나타난다. 축이 얼마나 회전하였는지 알기 위해서는 시작점과 IP점을 이용하여 구해 낼 수 있다. X축의 회전 각도는 두 개의 Clothoid

의 접선이 만나는 점 IP와 시작점의 위치를 통해 직선의 기울기를 구한 것과 같이 기울기를 구할 수 있고 이 기울기에  $\tan \phi$ 이 회전각이 된다. 회전방향은 그림 3과 같이 시계방향으로 회전한 경우는 Clothoid곡선을 회전시킨 후 다시 Y 좌표 값에 음의 값을 붙여야 한다. 그러나 시계방향으로 회전한 경우는 회전만 시키고 그 값을 그대로 이용하면 된다. 마지막으로 진입 방향은 Clothoid곡선이 직선에서 곡선으로 이어주고 있는지 아니면 곡선에서 직선으로 이어지는가를 말한다. Clothoid곡선이 곡선에서 직선으로 이어주는 경우는 Clothoid곡선의 시작점이 종점으로 입력한 값이 된다. 위의 식(6)의 Clothoid 공식을 살펴보면 X나 Y의 합수가 아니라 길이와 반지름의 합수이므로 Clothoid 곡선의 길이 L을 조금씩 늘려 가면서 X, Y 좌표값을 구한다.

③원곡선은 원의 방정식을 이용하여 표현한다. 원의 방정식을 이용하여 원곡선을 그리기 위해서는 중심의 좌표가 필요하다. 그러나 입력받은 데이터는 두 점의 좌표와 반지름이므로 중심을 이것으로부터 구해야 한다. 원의 중심을 O라고 하고 시작점과 끝점을 잇는 직선과 중심으로부터 내린 수선과 만나는 지점을 C라 하며 선분 SO와 선분 SE가 이루는 각은 다음 식 (7)과 같다.

$$\phi = \arccos\left(-\frac{\text{변}SC}{R}\right) \quad (\text{R:원의 반지름}) \quad (7)$$

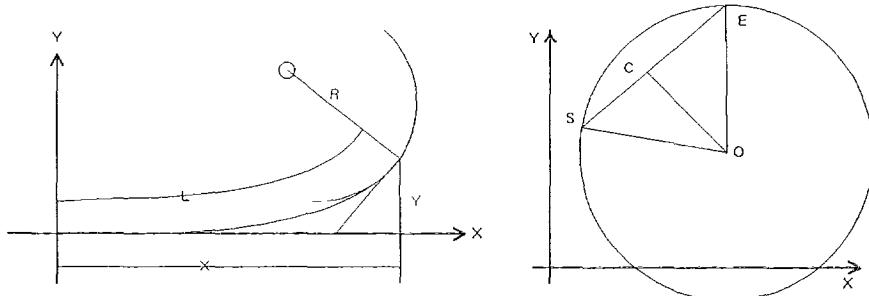


그림 3 Clothoid와 원곡선

선분 SE와 X 축과 이루는 각을  $\theta$ 라 하면 반지름 SO와 X 축이 이루는 각은  $\Omega = \theta - \phi$ 가 된다. 중심의 좌표는 반지름 R과 각  $\Omega$ 를 이용하여 삼각함수를 이용하면 간단히 구할 수 있다.

위와 같이 각 곡선의 계산 방법이 정해졌으므로 GPS 좌표로서 도로중심의 좌표를 찾기 위해서는 Station Number가 속한 구간을 먼저 찾는다. 구간이 찾아졌으면 구간의 시작점에서 점차적으로 X 좌표를 증가시키면서 Y좌표를 구한다. 이 구간을 선형화해서 곡선의 길이를 더해 Station Number와 비교하여 일치하는 지점의 X와 Y좌표를 찾는다. Clothoid 일 경우는 식에 길이를 대입하면 바로 X와 Y의 좌표를 구할 수 있다. 그러나 높이에 대한 정보는 별도의 상대좌표를 이용하는 단면도에 기술됨으로 다음과 같이 이에 대한 처리가 필요하다.

### 2.3.2 단면도

터널의 단면은 여러 원호들의 연속으로 이루어지며 주위의 환경의 따라 실제 각기 다른

단면도를 이용한다. 단면도의 원호들은 종류에 따라 중심과 반지름이 다르다. 실제 개발된 알고리즘으로 수행되는 일반적인 단면의 모양을 그림 4에서 나타내었다. 그림4는 개발된 프로그램중 단면도 입력처리 과정이다. 그림과 같이 단면의 데이터는 각 원호의 중심의 좌표, 반경, 시작 각, 끝 각 들로 구성되며 좌표를 계산하기 위한 순서는 다음과 같다.

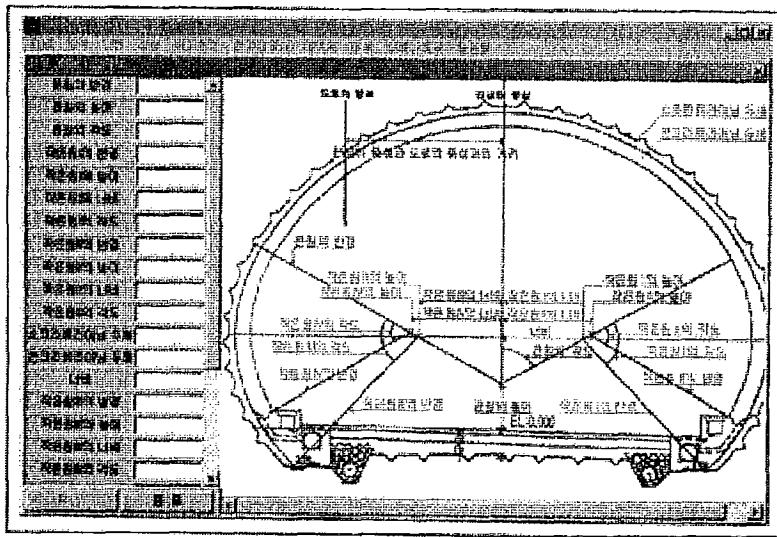


그림 4 터널 단면도

- 원호의 중심과 끝 각이 주어졌으므로 삼각함수를 이용하여 마지막 점을 구한다.
  - 원호의 중심과 터널 중심과 연결한 직선이 X축과 이루는 각을 구한다.
  - 시작 각으로부터 시작해서 일정한 각을 더하여 터널 중심과 원호의 중심을 연결한 선분과 터널중심에서 읽어 들이고자 하는 점을 연결한 선분이 이루는 각을 구한다 ( $R$ 과  $L$  이루는 각). 여기서  $R$ 은 터널의 중심과 원호의 중심을 연결한 직선이며(큰 원의 반경),  $L$ 은 터널의 중심으로부터 찾고자 하는 점이고,  $r$ 은 원호의 반지름이다 (작은 원의 반경).
  - $r$ 의 길이와  $R$ 의 길이를 알고  $R$ 과  $L$ 이 이루는 각을 알고 있으므로 길이  $L$ 을 구할 수 있다.
  - $L$ 과 X축이 이루는 각은 일정한 각도로 증가시키므로 알고 있고,  $L$ 의 길이를 구했으므로 삼각함수를 이용하여 점의 좌표를 구한다.

본 연구에서는 이용이 편리하게 그림 4와 같이 미리 여러 종류의 단면도를 표준화하여 사용자는 원하는 형태를 선택하여 반경과 각도 등과 같은 변수들만 입력하면 된다.

### 2.3.3 중심좌표의 반영

위에서 터널 중심의 GPS 좌표는 평면선형을 이용하여 계산하였다. 터널 단면을 측정하기 위해서는 터널단면 좌표의 GPS 좌표를 구해야 한다. 터널 단면의 좌표는 터널 중심으

로부터의 Offset으로 생각할 수 있다. 그러나 터널이 좌표축과 수평으로 놓이지 않기 때문에 단순히 그 값을 더 할 수 없다. 터널 단면도는 실제는 평면 선형 곡선의 접선에 수직으로 놓여진다. 따라서 실제 GPS 좌표를 구하기 위해서는 접선에 수직인 선분과 X축이 이루는 각을 구한 다음 식 (8)과 (9)의 삼각 함수를 이용하여 모든 점들의 GPS 좌표를 구한다.

w: 접선에 수직인 직선이 y축과 이루는 각

$$X\text{좌표} = \text{터널중심 } X + \text{터널단면 } X \sin(w) \quad (8)$$

$$Y\text{좌표} = \text{터널중심 } Y + \text{터널단면 } Y \cos(w) \quad (9)$$

### 3. 알고리즘

선형 데이터를 효율적으로 다루기 위해서는 서로 다른 데이터를 연결하기 위한 자료구조가 필요하다. 평면선형을 모델링 하기 위해 두 가지 부분으로 나누었다. 하나는 곡선을 표현하는 클래스와 각각의 곡선을 연결하여 통합적인 역할을 수행하는 클래스로 구분한다. 곡선을 표현하는 클래스의 객체는 세가지 곡선 중 하나만을 표현 할 수 있고 그 객체를 통해 곡선에서 얻고자 하는 정보(예를 들면 곡선의 길이, 곡선의 임의 거리상에 있는 점의 좌표등)를 얻을 수 있다. 그 객체들을 연결하여 완전한 곡선을 이루게 하는 클래스는 곡선 전체를 화면상에 그리고 평면선형의 임의 거리에 있는 좌표를 찾아낼 수 있게 구성하였다. 즉, 원호, Clothoid, 직선 중 하나만을 표현하는 클래스가 있고 이 클래스의 여러 객체를 자신의 멤버변수로서 배열구조 내에 포함시킬 수 있는 클래스 두 부분으로 나누어 작성하였다. 전체적인 프로그램의 길이는 대략 10,000 line 에 1.2Mbyte로 각 부분의 기능을 설명하기에는 너무 크므로 간단히 나타내면 그림 5와 같다

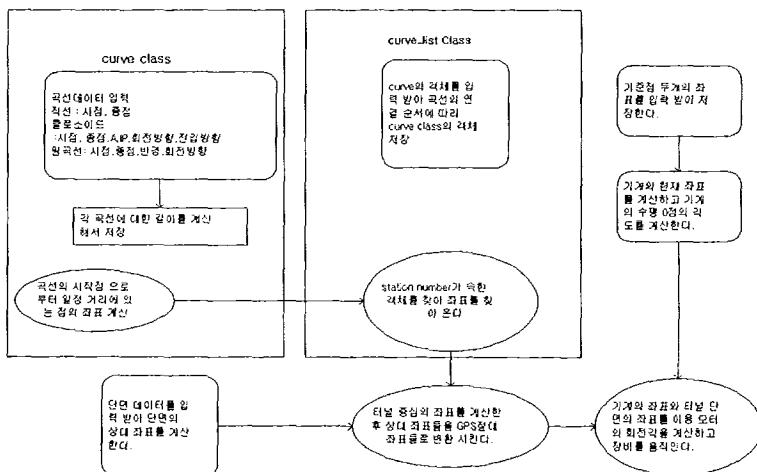


그림 5 알고리즘 Flow Chart

## 4. Multiport 제어기와 프로그램

2장에서 기술한 측정기는 그 처리량의 크기와 그래픽처리와 같은 기능 때문에 간단한 Embedded Controller에서 처리할 수 없다. 따라서 개인용 PC의 Windows와 같은 운영체제를 요구하는데 PC의 제한된 입출력 Port로는 측정기의 각 부분을 제어할 수가 없다. 이들을 제어하기 위해서는 PC의 RS232C Port를 이용하여 통신을 처리하는데, 2개의 Encoder 및 레이저는 양방향통신이 요구되나 Step Motor는 PC에서 명령만을 수신하면 된다. 그러나 각 부품의 통신 Protocol이 이미 결정되어 있으므로 이들을 유연하게 처리하기 위해서는 각각의 명령을 인지하여 상황에 맞는 Protocol을 처리하고 그 통로를 개폐하여야 한다. 이러한 작업을 처리하기 위해서 PIC를 이용하였는데 회로는 그림 6과 같이 2개의 병렬PIC로 각각의 작업을 분담하여 그 처리속도를 향상시켰다. 명령어 구분은 레이저와 Encoder에서 사용하지 않는 것을 이용하여 그 개폐를 구분한다.

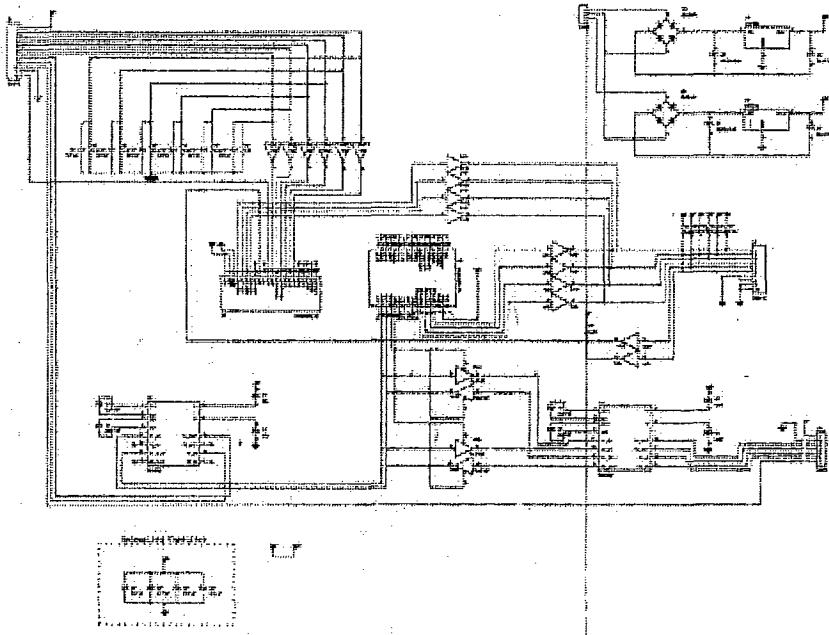


그림 6 제어기 회로도

## 5. 오차 분석

측정시 오차가 나타나는 주요한 요인은 측정기의 정밀도에 따른 오차다. 이상적인 측정기의 구조는 수평이 정확하고, 레이저 빛의 발생점이 완벽한 수직을 이루며 축의 중심에 있어야 한다. 그러나 현실적으로 이 조건을 정확히 맞추기란 대단히 어렵다. 다음에 하여야 할 고려 사항은 장비를 운용하는 작업자의 관측오차다. 측정기로부터 멀리 떨어진 기준

점에 정확히 레이저 빛을 조준하기란 쉽지 않기 때문이다. 이러한 요인으로 측정기와 측정점이 이루는 수직각과 거리를 잘못 얻게 된다. 이러한 오차가 발생하였을 경우 현재 측정기위치 계산에 어떠한 영향을 주게 되는지의 예를 표(1)에 분석하였다. 그럼 7을 보면 측량점의 위치를 잘못 계산했다고 하여도 측량기계의 위치는 변함이 없다. 그렇지만 레이저가 지시해야 할 각도를 잘못 계산할 경우 실제 우리가 목표로 하는 지점과는 다른 지점을 지시하게 된다. 그 오차는 다음과 같은 식으로 계산된다.

$\delta_v$  : 잘못 계산된 상하 각도,

$\delta_h$  : 잘못 계산된 좌우 각도

$\theta_v$  : 정확한 상하 각도,

$\theta_h$  : 정확한 좌우 각도

$$z_{\text{error}} = Y \times \tan \theta_v - Y \times \tan \delta_v, \quad x_{\text{error}} = Y \times \tan (\delta_h - \theta_h) \quad (10)$$

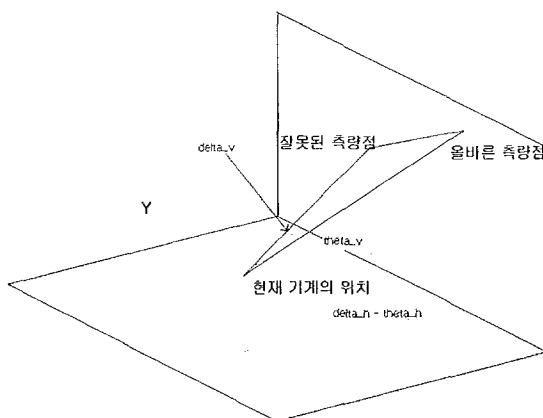


그림 7 실제 측정위치와 오차

이 그림에서 실제의 경우와 동일하게 X축과 평행인 수직평면이 가로막고 있다고 가정을 하였으며 수직 평면의 기울기가 급해 진다면 그 오차는 더 늘어나게 된다. 표1에서 X Y Z는 GPS(Global Position Systems) 좌표계의 값을 나타내며 괄호 안의 숫자는 정확한 GPS 좌표와의 오차를 나타낸다.

	각 A(오차 각도)	각 B(오차 각도)	길이 A(거리 오차)	길이 B(거리 오차)
	38.178619	38.11292	113.24751	64.80740
	X 100(좌표 오차)	Y	20(좌표 오차)	Z 30(좌표 오차)
1	38.1796(+0.001)	38.1139(+0.001)	113.2475165290612(0)	64.80740(0)
	X 99.999(-0.001)	Y	20.001(+0.001)	Z 29.999(-0.001)
2	38.1816(+0.003)	38.1159(+0.003)	113.2475165290612(0)	64.80740(0)
	X 99.998(-0.002)	Y	20.003(+0.003)	Z 29.997(-0.003)
3	38.1856(+0.007)	38.1199(+0.007)	113.2475165290612(0)	64.80740(0)
	X 99.996(-0.004)	Y	20.006(+0.006)	Z 29.993(-0.007)
4	38.1986(+0.02)	38.1329(+0.02)	113.2475165290612(0)	64.80740(0)
	X 99.990(-0.01)	Y	20.023(+0.023)	Z 29.982(+0.018)
5	38.26(+0.09)	38.2(+0.09)	113.2475165290612(0)	64.80740(0)
	X 99.956(-0.044)	Y	20.092(-0.008)	Z 29.922(-0.078)
6	38.17861936323719(0)	38.11292650207597(0)	113.257(+0.01)	64.817(+0.01)
	X 100.007(+0.007)	Y	19.995(-0.005)	Z 29.993(-0.007)
7	38.17861936323719(0)	38.11292650207597(0)	113.252(+0.005)	64.8124(+0.005)
	X 100.003(+0.003)	Y	19.997(-0.003)	Z 29.996(-0.004)
8	38.17861936323719(0)	38.11292650207597(0)	113.3(+0.06)	64.9(+0.1)
	X 100.075(+0.075)	Y	20.007(+0.007)	Z 29.943(-0.057)
9	38.178619(0)	38.11292(0)	113.4(+0.753)	65(+0.2)
	X 100.147(+0.147)	Y	19.963(-0.037)	Z 29.881(-0.119)
10	38.178(-0.0006)	38.112(-0.0009)	113.247(-0.0005)	64.807(-0.0004)
	X 100(0)	Y	19.999(-0.001)	Z 30.001(1)
11	38.2(+0.02)	38.2(+0.08)	113.3(+0.06)	64.3(-0.5)
	X 99.436(-0.6)	Y	19.542(-0.46)	Z 30.236(+0.236)

표 1 각도 측정 및 거리 측정에 따른 오차

## 6. 결 론

C++ 객체지향 모델링을 이용하여 모든 측정점의 좌표를 자동 계산할 수 있도록 프로그램을 개발하였다. 이것을 기반으로 터널 단면의 측정에서부터 데이터의 비교분석까지 수작업을 배제함으로서 측정의 자동화를 구현하여 측정 시간을 단축시킬 수 있었다. 또한 측정기를 운용하는데 있어 측량에 대한 많은 전문 지식이 필요하지 않으므로 누구나 손쉽게 측정 이용할 수 있다는 장점이 있다. 동시에 원하는 지점을 지시하는 기능이 있으므로 이를 이용하여 발파형상을 용이하게 표시할 수도 있다.

측정기의 수평이나 회전축과 레이저 빛이 나가는 지점을 일치시키는 등의 미세 설정작업이 오차 발생요인의 주요 원인으로 차후 과제는 이러한 장비의 결합을 보완 할 수 있는 오차 보정 알고리즘이 계속 연구되어야 할 것이다. 또한 2개의 기준점을 이용하지 않고 1개의 기준점의 위치에서 측정기를 설정하여 측정하는 방향으로 오차를 줄일 수 있도록 향후에 연구하여야 할 것이며, Total Station의 개념으로 전과정의 흐름을 일관되게 처리하는 프로그램 확장이 필요하다.

### 참고문헌

1. J. P. Carter, J. R Booker, "Sudden Excavation of a Long Circular Tunnel in Elastic Ground", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 27, No. 2, pp. 129-132, 1990
2. S. Wang, Z. Yang, L. Zue, "The Back-Analysis Method from Displacements for Viscoelastic Rock Mass", 2nd Int. Symp. on Field Measurement in Geomechanics, pp. 1969-1078, 1988
3. Reg-Bmstr, Arnold Eber, Gunthes, Kuspert TU Munchen, "Tolerance and Over Break During Dri-Vage Through Blasting", Tunnel, 4, Quarter, 1988
4. M. C. Pera, B. Robert, C. Goeldel "Quasiperiodicity and Chaos in a Step Motor", 8th European Conference on Power Electronics and Applications
5. 柳福模 “測量工學” 博英社 1979. 4. 10
6. 南永國, 崔漢重, “최신 도로공학총론”, 清文閣, 1997