

# 빛의 屈折이 精密水準測量에 미치는 影響에 관한 研究

A Study on the Effects of Refraction in the Precise Leveling

李 啓 鶴\*  
Lee, Kye Hak

## Abstract

This paper aims to study a refraction errors developed in the inclined leveling route.

Based on Kukkamaki's theory and morden meteorology, the author devised an experiment to test how Kukkamaki's corrections was improved the discrepancy between fore and back leveling in actual slope.

Additionally, through the repeated observation between fore and back leveling at one fixed station in the slope and experimental test of continuous inclined leveling route, the author studied the effects of refraction and its characteristics.

We carried out leveling and temperature measurements in the continuous inclined leveling route of about 1.5km, and consequently, Kukkamaki's refraction correction values using these respective  $C=-0.1$  and  $-1/3$  values could improve the similar discrepancy.

## 要 旨

本 研究는 大氣層에서 빛의 屈折로 惹起되는 refraction 이 傾斜地 leveling 에서 어떠한 影響을 미치는가를 考察하는데 目的이 있다.

筆者는 Kukkamaki 의 理論과 現代氣象學의 理論을 土臺로 하여 Kukkamaki 의 補正값이 實際 傾斜地에서 前後視 leveling 誤差에 어떠한 影響을 미치는가를 實際觀測을 通하여 試圖하여 보았다.

또한 傾斜地 1 固定測點에서 前後反復觀測과 傾斜地 連續 route 觀測 등을 通하여 빛의 屈折의 影響과 그 特性을 考察하였다.

특히 本 研究에서는 約 1.5km 의 傾斜地 連續 leveling route 에서 leveling 과 溫度觀測을 遂行하였으며 結果의으로  $C=-0.1$ ,  $-\frac{1}{3}$  을 代入하여 얻어진 Kukkamaki 의 屈折補正값은 僅少한 差異로 나타났다.

\* 正會員 · 全南大學校 工科大學 教授, 土木工學科

# 1. 序 論

本 研究은 傾斜地 leveling 에서 地上 空氣層의 屈折率 相異로 發生하는 refraction 이 水準測量에 미치는 影響을 考察하는데 그 目的이 있다.

測量에 使用되고 있는 모든 機器는 光學을 利用한 것이며 빛은 그가 通過하는 大氣層의 媒質 및 氣象의 條件에 따라 光速度 뿐만 아니라 빛의 屈折이 各各 달라진다<sup>(1)</sup>.

또한 우리가 遂行하고 있는 모든 測量은 地球를 둘러싼 大氣圈內에서 行해지고 있으므로 大氣層의 屈折率 相異로 因한 빛의 屈折을 避할 수 없다.

이와같이 水準測量의 系統誤差中 큰 原因의 하나로서 大氣中에서 빛의 屈折의 影響을 들 수 있다<sup>(2)</sup>.

따라서 本 研究은 傾斜地 leveling 에서 惹起되는 빛의 屈折의 影響을 Finland 의 Kukkamaki 理論과 現代微氣象學理論을 中心으로 考察하였다<sup>(1,2,3)</sup>.

특히 本 研究을 遂行함에 있어서는 全南大學校 campus 內 leveling 觀測 route 를 利用하였으며, 實際 觀測으로는

- (1) earth, asphalt, concrete 路上別로 實施한 氣象觀測
- (2) 傾斜地 1 測點 固定에서 前後視 反復觀測
- (3) 傾斜地 連續 route 觀測

等을 通하여 傾斜地 leveling 에서 빛의 屈折의 影響과 그 特性을 考察하였다.

## 2. 빛의 屈折에 대한 基本理論

### 2.1 媒質內에서 빛의 性質

#### (1) 빛의 屈折의 法則

Ferma 는 幾何光學의 原理를 「빛이 어느 한 點에서 다른 한 點으로 傳播될때 여러가지 可能한 經路中에서 所要時間이 最小가 되는 經路를 擇한다」라고 表現하고 있다<sup>(1)</sup>.

그림 1 과 같이 서로 다른 媒質 I, II 를 빛이 A, C, B 의 經路로 進行할때 要하는 時間  $\tau$  는

$$\tau = \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{V_1} + \frac{\sqrt{(x_2 - x)^2 + y_2^2}}{V_2}$$

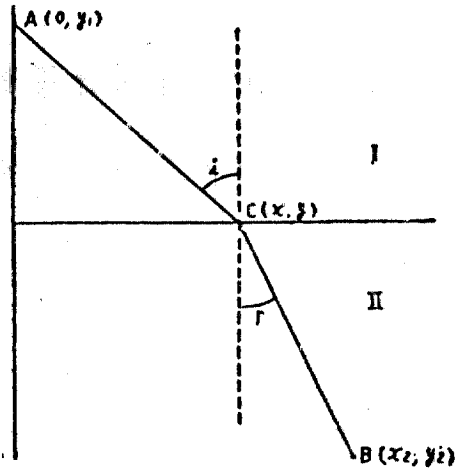


그림 1. Refraction of Light.

가 된다.

여기서  $V_1, V_2$  는 媒質 I, II 에 있어서 빛의 速度다.

Fermat 의 原理를 滿足시키기 위해서 時間  $\tau$  값이 極小가 되어야 하므로  $\frac{d\tau}{dx} = 0$  으로 하여 풀면

$$\frac{1}{V_1} \cdot \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \frac{1}{V_2} \cdot \frac{(x_2 - x)}{\sqrt{(x_2 - x)^2 + y_2^2}}$$

가 된다. 지금 入射角을  $i$ , 屈折角을  $r$  라 하면

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{12} (\text{const.}) \quad \dots (1)$$

이 成立하고 이를 「屈折의 法則」이라 한다.

여기서  $n_1$  은 媒質 I 의 屈折率,  $n_2$  는 媒質 II 의 屈折率이며, 定數  $n_{12}$  를 媒質 I 에서 媒質 II 로 進行할 때의 屈折率, 또는 媒質 I 에 對한 媒質 II 의 屈折率이라 한다.

#### (2) 大氣層에서 빛의 屈折

地表面附近에서 空氣의 屈折率을  $n$ , 觀測한 별의 方向과 天頂方向이 이룬 角을  $\alpha_1$  (觀測角) 이라 하여 正確한 별의 方向이 어느 쪽인가를 생각해 보자.

지금 地表面을 表面으로한 空氣層을 一定한 間隔으로 나누어서 各層의 平均屈折率  $n$  을 그림 2 와 같이 考察해 보면 式(1)로 부터 各 媒質間에는 다음 關係式이 얻어진다<sup>(4,5)</sup>.

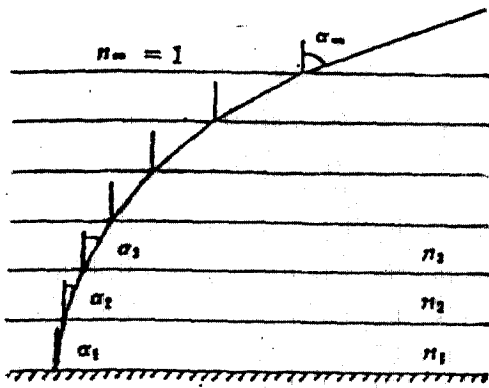


그림 2. Atmospheric Refraction.

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1}, \frac{\sin \alpha_2}{\sin \alpha_3} = \frac{n_3}{n_2}, \dots, \frac{\sin \alpha_{\infty-1}}{\sin \alpha_{\infty}} = \frac{n_{\infty}}{n_{\infty-1}} \quad \dots(2)$$

위의 全式을 各各 곱하면

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_{\infty}} = \frac{1}{n_1} \quad \therefore \sin \alpha_{\infty} = n_1 \sin \alpha_1 \quad \dots(3)$$

即  $\alpha_{\infty}$ 는 地表附近의 空氣屈折率  $n_1$ 과 觀測角  $\alpha_1$ 을 알면 求해진다.

그러나 實際 空氣層은 連續的으로 變化하므로  $n_1$ 層을 어느 程度까지 考慮할 것인가 하는 等問題點이 많고 地表로부터 上空으로 向함에 따라 屈折率이 漸漸 작게 되어 1에 가까와진다.

따라서 leveling이나 三角水準測量에서는 빛의 屈折의 影響을 크게 받는다<sup>(6)</sup>.

## 2.2 水準測量과 氣象狀況

### (1) 下層空氣와 微氣象

媒質이 相異한 곳을 빛이 通過할때 그 境界點에서 屈折하게 되고 空氣中에서 媒質이 相異하다는 것은 溫度, 濕度, 氣壓 및 炭酸 gas 含有量이 相異한데 原因이 있다. 1978年 Sweden에서 開催되었던 「빛의 屈折에 關한 Symposium」에서 Kukkamaki는 1943年에 遂行했던 水準測量 結果를 다음과 같이 記述하였다<sup>(1,6)</sup>.

即, 여름철에는 level lens에 미치는 標尺像의 動搖로 reading이 困難하고 春秋에는 이 “흔들림”이 적었다. 또한 이러한 動搖現象은 正午에 接近하면서 크고 이때 부터 時間이 지남에 따라 적어진다는 것을 發見했다.

Kukkamaki는 그때 太陽이 地平線 下에 있

으면 標尺像이 安定하다는 것을 着眼하여 水準測量을 夜間에 行하는 것을 考慮 그 첫 段階로써 地表附近의 微氣象構造를 把握하여 빛의 屈折에 對한 基本理論을 發展시켰다<sup>(6,6)</sup>.

現代微氣象學에서 地上 3m까지 地表近處의 氣象狀況을 보면 夜間에는 熱의 放射로 地面은 地上의 空氣보다 차고 그대문에 溫度는 地表에서 높이의 增加에 따라 增加하고 溫度鉛直傾斜는 plus이다.

한편 日出과 함께 地面에서는 太陽熱의 吸收로 溫度는 逆으로 높이의 增加에 따라 減小한다. 또한 實際 野外에서는 地表面의 形, 色, 日氣 등에 따라 그 값은 크게 달라진다<sup>(7)</sup>.

Kukkamaki는 leveling에서 빛의 屈折에 依한 影響을 求하기 위하여 level에서 標尺까지의 視準距離를 25, 50, 75, 100, 125, 150m로 하여 晝夜로 觀測했다.

그 結果 屈折量은 아침에서 낮으로 接어 들면서 增加하고 저녁이 되면서 減少하며 또 數式 計算에 依하면 그 量은 視準距離의 2乘에 거의 比例했다.

### (2) 溫度의 鉛直分布式

水準測量에서 빛의 屈折의 問題를 다루는 데는 空間的, 時間的인 溫度分布를 求하여 이것을 數式化할 必要가 있다. 一般的으로 地盤高  $Z$ 에서 任意時刻  $h$ 의 溫度  $t$ 는 다음 關係式으로 表示한다.

$$t = A(Z) + B(Z)f(h) \quad \dots(4)$$

위 式에서 第1項은 높이만의 函數이고, 第2項은 높이와 時間의 積에 對한 函數로서 여기에서 時間을 一定하게 하면  $t$ 에 대하여 다음 式을 考慮하게 된다<sup>(6)</sup>.

$$t = a + b \log(Z+C) \dots \dots \dots \text{Lallemand Formula}$$

$$t = a + bZ^2 \dots \dots \dots \text{Hugershoff Formula}$$

$$t = a + bZ + cZ^2 \dots \dots \dots \text{Kohlmuler Formula}$$

$$t = a + bZ^c \dots \dots \dots \text{Kukkamaki Formula}$$

여기서  $a, b, c$ 는 定數다.

近代 氣象學에서는 Kukkamaki 式이 正確하다고 說明하고 있으나 일면 이 形式을 오늘에 와서 恒時 成立한다고 보지 않는 學者도 있다.

Kukkamaki의 式에서는 未知數가 3個이고 3個所에서의 溫度의 觀測값이 있으면 이를 決

定할 수 있다.

따라서 3個의 觀測값으로부터

$$t_1 = a + bZ_1^c$$

$$t_2 = a + bZ_2^c$$

$$t_3 = a + bZ_3^c$$

을 얻는다.

여기서  $a$ 는 地表에서의 溫度이다. 이들의 式을 고쳐 쓰면

$$\theta_1 = t_1 - a = bZ_1^c$$

$$\theta_2 = t_2 - a = bZ_2^c$$

$$\theta_3 = t_3 - a = bZ_3^c$$

이 되고 여기서  $Z_1=33.3\text{cm}$ ,  $Z_2=100\text{cm}$ ,  $Z_3=300\text{cm}$ 라 하면

$$\left. \begin{aligned} c &= \log(\theta_2/\theta_1)/\log 3 \\ b &= \frac{t_2 - t_1}{Z_2^c - Z_1^c} = \frac{t_3 - t_1}{Z_3^c - Z_1^c} \end{aligned} \right\} \dots(5)$$

가 된다.

1978년에 Kukkamaki는  $c$ 의 값으로서 恒時  $-0.1$ 을 使用하는 것이 妥當하다고 主張하고 있으나, 近代氣象學에서는  $c = -\frac{1}{3}$ 로 하고 있다<sup>(6,7)</sup>.

只今 이들의 關係에서 level의 높이를  $Z_0$ 로 하고 溫度  $t_0$ 를 觀測하면 任意의 높이  $Z$ 에 있어 溫度  $t$ 는 다음 式으로 表示된다.

$$t = t_0 + dt$$

$$dt = t - t_0 = b(Z^c - Z_0^c) = \frac{t_2 - t_1}{Z_2^c - Z_1^c} (Z^c - Z_0^c) \dots(6)$$

地表近傍을 考慮해서  $P=750\text{mmHg}$ ,  $t_0=15^\circ\text{C}$ 라 하면 屈折率 變化量  $dn$ 은 다음 式으로 表示된다.

$$dn = n - n_0 = -0.952 \times 10^{-6} \times \frac{t_2 - t_1}{Z_2^c - Z_1^c} (Z^c - Z_0^c) \dots(7)$$

여기서  $n_0$ :  $Z_0$ 에서의 屈折率

$n$ : 任意高  $Z$ 에서의 屈折率

### 2.3 傾斜地 leveling에서 빛의 屈折의 理論

大氣中에서 屈折率  $n$ 은 Meggers와 Peter의 式으로부터

$$\begin{aligned} n &= 1 + \frac{0.0002923}{1 + 0.00368t} \cdot \frac{P}{760} - 0.000041 \cdot \frac{e}{760} \\ &+ 0.0000016k \cdot \frac{P}{760} \dots(8) \end{aligned}$$

로 表示된다<sup>(1,5,6)</sup>.

여기서  $t$ : 溫度( $^\circ\text{C}$ )

$P$ : 氣壓(mmHg)

$k$ : 大氣內的  $\text{CO}_2$ 量

$e$ : 水蒸氣壓(mmHg)

이 式을  $t, P, k, e$ 에 대하여 微分하여  $dt=2^\circ\text{C}$ ,  $de=2\text{mmHg}$ ,  $dk=0.02\%$ ,  $dP=0.05\text{mmHg}$ ,  $t=15^\circ\text{C}$ ,  $P=760\text{mmHg}$ 로 보고  $dn$ 을 計算하면

$$dn = 1.92 \times 10^{-6} (\text{溫度})$$

$$dn = 0.108 \times 10^{-6} (\text{濕度})$$

$$dn = 0.032 \times 10^{-6} (\text{CO}_2)$$

$$dn = 0.018 \times 10^{-6} (\text{氣壓})$$

이 되고 여기서 溫度의 影響이 가장 크며 其外는 無視할 수 있다.

따라서 溫度變化에 대한 屈折率의 變化分은 亦是 Meggers의 式으로부터

$$dn = -10^{-6} (0.933 - 0.0064(t - 20)) \frac{P}{760} \cdot dt \dots(9)$$

로 나타내어진다<sup>(7)</sup>.

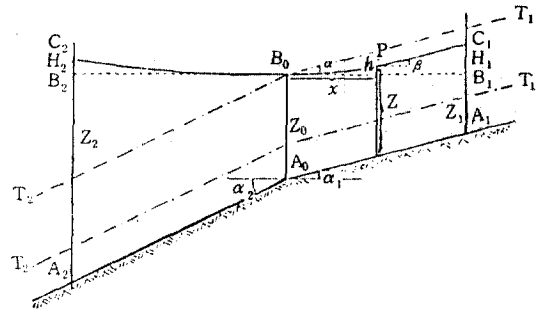


그림 3. Schematic Figure of Leveling Refraction.

只今 그림 3의  $B_0$ 에서 視準線과 等溫面과의 이룬 角을  $\alpha$ 라 하면  $n \cdot \cos\alpha = \text{const.}$ 이고 이를 微分하면  $\cos\alpha \cdot dn - n \sin\alpha \cdot d\alpha = 0$ 에서

$$d\alpha = \frac{\cos\alpha \cdot dn}{n \cdot \sin\alpha}$$

가 된다.

屈折角  $\beta$ 는  $x$ 의 곳에서

$$= \int_{n_0}^n \frac{\cot\alpha}{n} dn$$

여기서  $n_0, n$ 은  $B_0, P$ 에서의 屈折率,  $\alpha_1 = \text{const.}$ 라 하면

$$\beta = \cot \alpha_1 \cdot \log \frac{n}{n_0} = \frac{\cot \alpha}{n_0} (n - n_0)$$

가 되며, 따라서  $B_0$  부터  $P$  까지의 高低差  $h$  는

$$h = \int_0^x \beta dx = \frac{\cot \alpha}{n_0} \int_0^x (n - n_0) dx \quad \dots (10)$$

이 된다.

또한 式(7), (9)로부터

$$n - n_0 = d \cdot b (Z^c - Z_0^c)$$

여기서  $d = -10^{-6} \{0.933 - 0.0064(t - 20)\} \cdot \frac{P}{760}$

가 되므로 (10)式은

$$h = \frac{\cot \alpha_1}{n_0} \cdot d \cdot b \int_0^x (Z^c - Z_0^c) dx \quad \dots (11)$$

이 된다.  $Z = Z_0 - \tan \alpha_1 \cdot x$  되는 變數變換으로 (11)式을 積分해서  $n_0 = 1$ 로 하면 Staff I ( $A_1$ )에 대해서

$$H_1 = \cot^2 \alpha_1 \cdot d \cdot \frac{\theta}{Z_2^c - Z_1^c} \left\{ \frac{1}{c+1} Z_1^{c+1} - Z_0^c Z_1 + \frac{c}{c+1} Z_0^{c+1} \right\} \dots (12)$$

가 되고, 이와 같은 方法으로

Staff II ( $A_2$ )에 대해서도

$$H_2 = \cot^2 \alpha_2 \cdot d \cdot \frac{\theta}{Z_2^c - Z_1^c} \left\{ \frac{1}{c+1} Z_2^{c+1} - Z_0^c Z_2 + \frac{c}{c+1} Z_0^{c+1} \right\} \dots (13)$$

이 된다. 補正값  $R_1$  은  $H_1$  과  $H_2$  의 差이므로  $R_1 = H_1 - H_2$  이고  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$  라 하면

$$R_1 = \cot^2 \alpha \cdot d \cdot \frac{\theta}{Z_2^c - Z_1^c} \left\{ \frac{1}{c+1} (Z_1^{c+1} - Z_2^{c+1}) - Z_0^c (Z_1 - Z_2) \right\} (14)$$

가 된다.

여기서  $t_1, t_2$  :  $Z_1, Z_2$  에서의 溫度

$\theta$  : 溫度差

$Z_0$  : 器械高

$Z_1, Z_2$  : 視準線의 높이

前述한 式(7)  $dn = n - n_0 = -0.952 \times 10^{-6} \cdot$

$\frac{t_1 - t_2}{Z_2^c - Z_1^c} (Z^c - Z_0^c)$  를 適用하면

$$H_1' = \cot^2 \alpha_1 \cdot 0.952 \times 10^{-6} \cdot \frac{t_2 - t_1}{Z_2^c - Z_1^c} \left\{ \frac{1}{c+1} Z_1^{c+1} - Z_0^c Z_1 + \frac{c}{c+1} Z_0^{c+1} \right\} \dots (15)$$

$$H_2' = \cot^2 \alpha_2 \cdot 0.952 \times 10^{-6} \cdot \frac{t_2 - t_1}{Z_2^c - Z_1^c} \left\{ \frac{1}{c+1} Z_2^{c+1} - Z_0^c Z_2 + \frac{c}{c+1} Z_0^{c+1} \right\} \dots (16)$$

이 되고 또한 補正값  $R_2 = H_1' - H_2'$  이므로

$$R_2 = \cot^2 \alpha \cdot 0.952 \times 10^{-6} \cdot \frac{t_2 - t_1}{Z_2^c - Z_1^c} \left\{ \frac{1}{c+1} (Z_1^{c+1} - Z_2^{c+1}) - Z_0^c (Z_1 - Z_2) \right\} \dots (17)$$

이 된다. 그런데 Kukkamaki 는 連續 route 에 의한 觀測에는 近似式으로서  $Z_0 = 150, Z_1 = 50, Z_2 = 250$  cm 로 하여

$$H_0 = -\frac{5.95}{250^c - 50^c} \left\{ \frac{1}{c+1} (50^{c+1} - 250^{c+1}) - 150^c \cdot 200 \right\} \dots (18)$$

로 하고 補正값  $R_3$  를

$$R_3 = -10^{-6} \cdot H_0 (S/50)^2 \theta \cdot D \quad \dots (19)$$

로 나타냈다<sup>(6,9)</sup>.

여기서,  $S$  : 視準距離(m)

$\theta$  : 溫度差( $^{\circ}C$ )

$D$  : 比高 scale division(5mm)

여기서  $H_0$  를 표로 나타내 두면 各 測點에서 50, 250cm 의 溫度差 觀測만으로  $R_3$  를 求할 수 있다.

### 3. 빛의 屈折의 試驗觀測

#### 3.1 氣象觀測

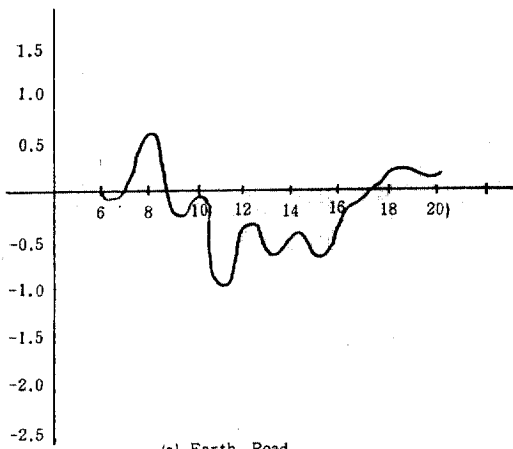
大氣中에서 屈折率  $n$  의 關係式 各 要素의 微分結果에서 leveling refraction 은 溫度의 變動에 따른 影響이 가장 크다고 보므로 本 研究의 觀測에서는 ① earth 路上, ② asphalt 路上, ③ concrete 路上 등으로 나누어 地上에서 約 30, 50, 120, 150, 200, 250cm 의 各各의 높이에서 溫度와 그때의 氣壓變動을 同時에 觀測하였다.

本 觀測에서 溫度計는 日製 Sato 精密棒溫度計(氣象臺 觀測用)를 使用했고 氣壓計는 日製 Sato barometer 를 使用했으며 angle 로 組立된 觀測臺의 前面 中央部에 staff 를 固着시켜서 各 높이에 따라 一定間隔의 時間을 두고 觀測하였다. 各 觀測 場所는

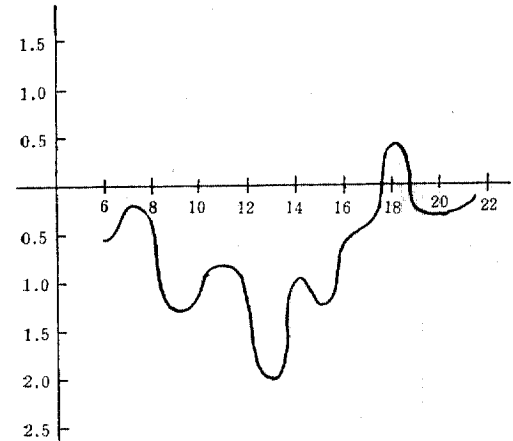
① earth 路上 觀測은 全南大學校 寄宿舍 地上(1986. 8. 18~24)

② asphalt 路上 溫度觀測에 있어서는 全南 羅州郡 南平 airstrip 의 asphalt(幅 80m, 延長 4km)路上(1986. 8. 25~31)

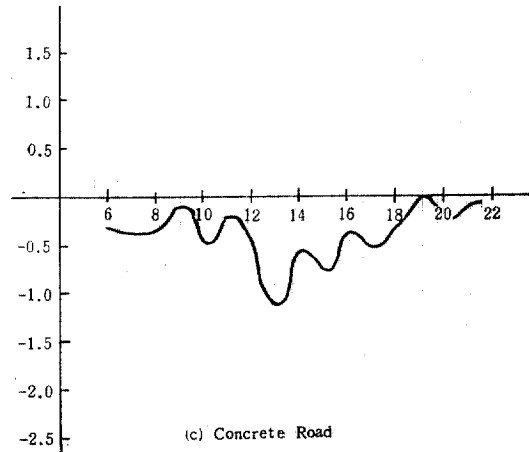
③ concrete 路上은 全南大學校 工大 土質實驗室 옆 concrete 路上 등을 아침 6時~저녁 9



(a) Earth Road



(b) Asphalt Road



(c) Concrete Road

그림 4. Hourly Variation of Temperature at earth place (Earth, Asphalt, Concrete)

시까지 連續觀測하였다(1986. 9. 7~13).

이들 各場所에 따라서 30~250cm 사이의 各 높이에 對한 溫度를 觀測하였고 特히 이들 30~

120cm에 對한 溫度差 및 溫度傾斜의 各 時間에 따른 變動狀況을 表로 作成 이를 圖示하면 그림 4의 (a), (b), (c)와 같다.

그림 4의 (a), (b), (c)에서 表示한 바와 같이 溫度傾斜曲線은 朝夕을 除外하고는 거의 (-)傾斜를 나타내기 때문에 우리가 實施하는 leveling refraction은 晝間에 實施하므로써 屈折誤差가 따르기 마련이며, 그 크기는 正午를 前後해서 顯著하다는 것을 알 수 있다.

다음은 溫度의 鉛直分布狀況을 알기 위하여 30, 50, 120, 150, 200, 250cm 別로 溫度를 觀測한 結果를 earth, asphalt, concrete 路上別로 區分하여 plotting 한 變動狀況은 그림 5와 같다.

이들의 鉛直分布曲線은 1979年 日本 國土地理院 測地部가 觀測을 通하여 作成한 鉛直分布曲線의 標準狀態와는 12時를 前後해서 거의 비슷하게 나타났으며, 地上高 30~250cm 사이에는 溫度가 그다지 큰 幅으로 變動하지 않았다.

여기서 concrete 路上은 9月中旬에 觀測하였으므로 溫度가 낮다.

또한 이들 各場所로 부터 얻어진 觀測資料를 利用 Kukkamaki의 式에 代入하여  $c$  값을 求한 結果 大概  $c = -0.2 \sim -0.4$  程度로 나타났다.

### 3.2.1 測點 前後視 反復觀測

1 測點에서 前後 30, 40, 50, 100m 間隔으로 全南大學校 工大 後庭 concrete 路上  $\frac{2}{100}$ ,  $\frac{3}{100}$  傾斜地를 擇하여  $Z_0=150$ ,  $Z_1=50$ ,  $Z_2=250$ cm 가 되도록 觀測點을 定하였다.

觀測日字는 1986年 9月 19日~11月 21日 사이에 淸명한 날을 擇하여 14日間 觀測하고 그 結果를 屈折補正값 算定式에 適用하여 計算하였다.

觀測 level은 日製 Topcon 1等 level을 使用하였고, 標尺은 最近 市販되고 있는것 中에서 가장 精密한 steel staff를 使用하였으며, staff 固定裝置는 angle로 組立한 2個의 staff 固定裝置臺를 利用하였다.

觀測日數는 各 視準距離 30, 40, 50, 100m 마다 約 3日間 連續觀測 하였으며 처음 1日은 豫備 觀測 하였고, 觀測時間은 午前 8時~午後 7時 內를 觀測時間으로 하고 15分間隔으로 하되 各 觀測值에 對한 屈折補正값 計算은 computer program을 利用하였다.

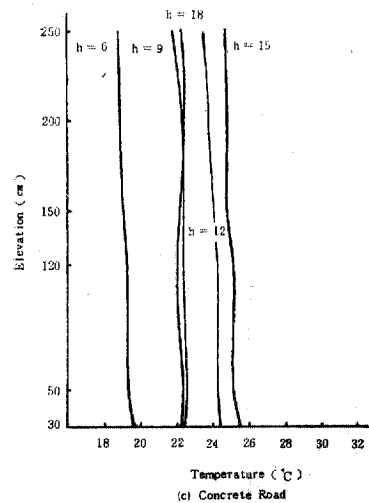
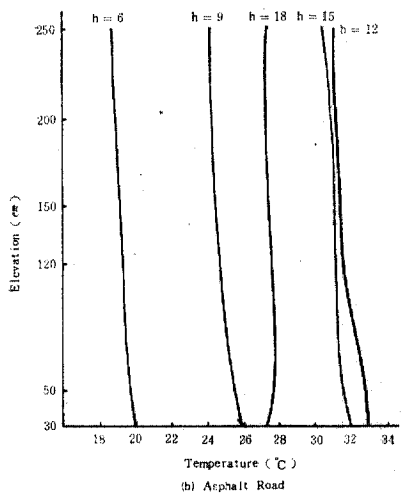
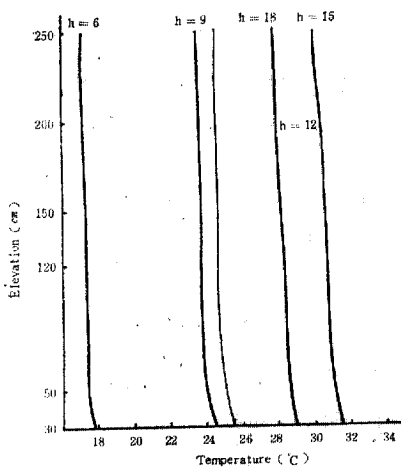


그림 5. Comparison of Vertical Distribution of Temperature by Hours.

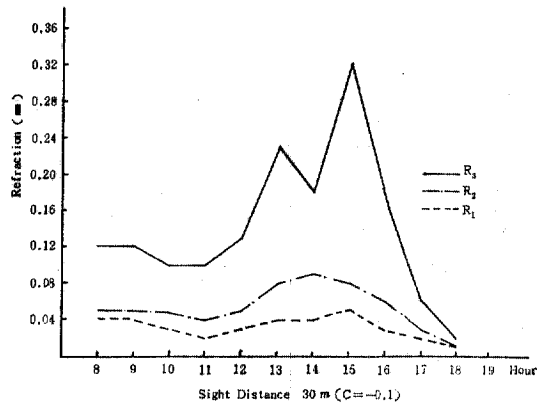


그림 6. Hourly Variation of Refraction Corrections (mean value)

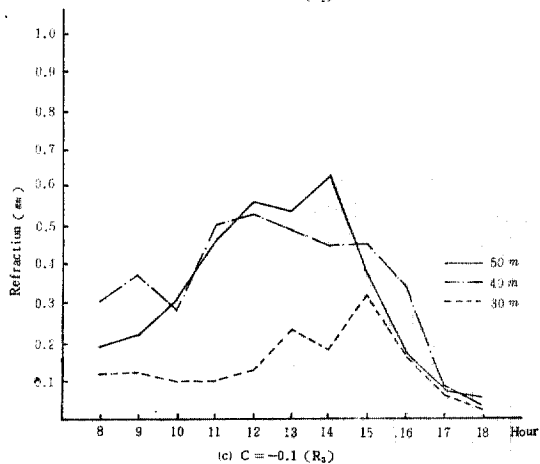
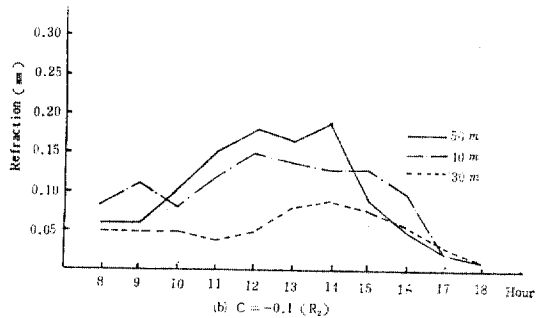
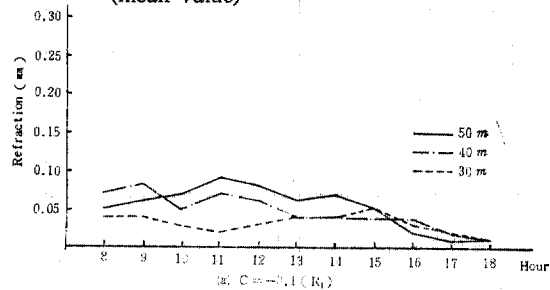


그림 7. Comparison of Hourly Refraction Corrections at each Sight Distance.

표 1. Refraction Corrections by Repeated Observation between Fore and Back Leveling at one Fixed Station in Slope.

Lat.	Sight Distance (m)	C	8~10(Hour)			11~14(Hour)			15~18(Hour)			Slope	Weather
			R <sub>1</sub> (mm)	R <sub>2</sub> (mm)	R <sub>3</sub> (mm)	R <sub>1</sub> (mm)	R <sub>2</sub> (mm)	R <sub>3</sub> (mm)	R <sub>1</sub> (mm)	R <sub>2</sub> (mm)	R <sub>3</sub> (mm)		
1986. 9.19	30	C = -0.1	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.07	0.01	0.02	0.02	2.9%	Cloudy
		C = - $\frac{1}{3}$	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.08	0.01	0.02	0.02		
9.24	30	C = -0.1	0.05	0.07	0.2	0.06	0.11	0.28	0.05	0.08	0.22	3.0%	Fine
		C = - $\frac{1}{3}$	0.05	0.07	0.2	0.06	0.1	0.33	0.05	0.08	0.26		
9.28	30	C = -0.1	0.02	0.02	0.07	0.03	0.08	0.18	0.02	0.06	0.17	2.7%	Fine
		C = - $\frac{1}{3}$	0.02	0.02	0.08	0.03	0.08	0.29	0.02	0.07	0.22		
Mean Value	30	C = -0.1	0.03	0.04	0.1	0.04	0.07	0.18	0.03	0.05	0.14	2.9%	
		C = - $\frac{1}{3}$	0.03	0.04	0.11	0.04	0.07	0.23	0.03	0.06	0.17		

표 2. Hourly Refraction Corrections(at sight distance 100m)

Date	Hour	C = -0.1			C = - $\frac{1}{3}$			P (mmHg)	Weather	Slope (%)
		R <sub>1</sub> (mm)	R <sub>2</sub> (mm)	R <sub>3</sub> (mm)	R <sub>1</sub> (mm)	R <sub>2</sub> (mm)	R <sub>3</sub> (mm)			
1986. 10.31	7	0.034	0.015	0.055	0.037	0.016	0.064	767.0	Fine	1.98
	8	0.351	0.172	0.633	0.387	0.190	0.735	767.0	Fine	1.98
	9	0.377	0.204	0.763	0.416	0.225	0.885	767.0	Fine	1.98
	10	1.215	0.769	2.868	1.339	0.848	3.329	766.8	Fine	1.98
	11	0.906	0.610	2.288	1.0	0.673	2.656	766.6	Fine	1.98
	12	1.141	0.828	3.172	1.263	0.917	3.682	766.4	Fine	1.98
	13	0.680	0.502	2.012	0.750	0.593	2.336	765.5	Fine	1.98
	14	0.365	0.299	0.103	0.402	0.329	1.281	765.0	Fine	1.98
	15	0.547	0.458	1.738	0.816	0.506	2.018	764.0	Fine	1.98
	16	0.238	0.189	0.718	0.263	0.209	0.834	764.0	Fine	1.98
	17	-0.214	-0.131	-0.497	-0.236	-0.145	-0.577	763.5	Fine	1.98
18	-0.357	-0.204	-0.774	-0.391	-0.226	-0.898	763.5	Fine	1.98	

8時 00分, 8時 15分, 8時 30分, 8時 45分 觀測값은 8時 觀測값으로 하고, 또한 이들 시간에 대하여 午前(8時~10時), 正午(11時~14時) 午後(15時~18時)로 區分하였다. 이들 各 時間別로 各各의 平均값을 算出하여 표 1에 나타냈으며 이들 各 時間과 視準距離 30m에 대해서 圖示하면 그림 6과 같다.

또한 그림 6을 土臺로한 視準距離別로 屈折補正값 比較曲線을 그림 7의 (a), (b), (c)에 나타내 보았다.

그리고 본 觀測에서 代表的인 視準距離 100m에 對해서도 가장 날씨가 淸明한 10月 31日을 擇하여 觀測한 結果값을 표 2에 그리고 그림 8의 (a), (b)에 나타냈다.

前述한 표 1, 2와 그림 6, 그림 7(a), (b) 그리고 그림 8(a), (b)에 나타낸 結果를 綜合하여 考察해 보면 refraction은 正午前後가 가장 크고 朝夕은 比較的 적은 結果로 나타났다.

또한 어느 경우나 比高가 적게 나타나는 傾向이 있고 視準距離가 멀면 멀수록, 溫度差가 甚



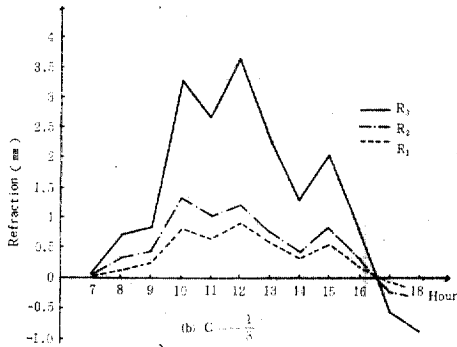
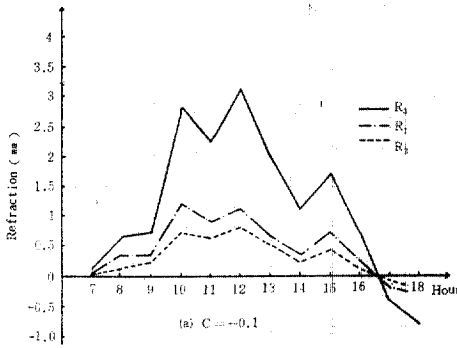


그림 8. Comparison of Hourly Refraction Corrections (at sight distance 100m)

할 수록 refraction 이 크다는 現象을 보였으며 이러한 特徵은 Kukkamaki 氏의 理論의 結果와 거의 一致함을 알 수 있었다.

傾斜  $\frac{2}{100}$   $\frac{3}{100}$  의 어느 경우에 있어서도 觀測 結果 地上 10cm 點이 refraction 의 影響을 크게 받고 있고 이것도 Kukkamaki 氏의 結論과 거의 一致하며, 그리고 溫度變化와 refraction 은 相互函數 關係를 갖고 있음을 알 수 있다.

따라서 精密水準測量에서 refraction 補正을 行하지 않으면 높은 點의 高度를 實際보다 낮게 觀測하는 結果가 된다.

그리고 補正값  $R_1, R_2$  는 時間變化에 따라 거의 같은 曲線을 維持한 反面  $R_3$  만은 큰 振幅으로 變動하는 特性을 보였다.

### 3.3 連續 Route 觀測

連續 route 觀測에서는 全南大學校 campus內 道路傾斜가 大概  $\frac{2}{100} \sim \frac{3}{100}$  이고 往復距離가 1.5

km 가 되는 concrete 路上을 擇하여 1986 年 9 月 6 日~7 日 그리고 9 月 13 日에 걸쳐 23 回 連續往復 觀測하였다. 器械에 對하여 可及的 leveling 誤差를 없애기 위하여 前後視 視準距離를 갖게하여 各各 25m 와 50m 間隔으로 視準하였다.

여기서 往復觀測의 平均 比高값  $h_0 = 12.30228$  m 를 使用하여 觀測比高  $h$  로 부터  $h_0$  를 減한 값  $\Delta h$  를 refraction 誤差로 보고 그 算定結果를 표 3 에 나타냈다.

또한 地表上의 溫度差  $\theta$  를 觀測하고 Kukkamaki 의 理論式으로 부터 refraction 의 補正값  $\Delta h'$  를 計算해서 표 3 에 表示하였으며, 그 結果 補正해서 좋지않게 나타난 것도 있으나 平均하면 1.10 으로 부터 1.07mm 로 約 0.03mm 程度 좋게 나타났다.

그러나 표 3 에 나타난 結果는 觀測日이 다소 구름이 낀 날이었기 때문에 refraction 誤差가 別差異가 없었으나, 한여름의 햇빛이 強하게 비칠때는 이보다 refraction 誤差가 크게 나타날 것으로 思料된다.

leveling refraction 은 季節, 氣候, 地方에 따라 다르므로 次後 이 問題는 더 많은 觀測을 通하여 考察하기로 한다.

## 4. 結 論

本 研究에서 氣象觀測과 leveling refraction test 를 通해서 얻어진 몇가지 特性을 간추려 보면 다음과 같다.

(1) 溫度差에 따라 refraction 誤差는 比例하므로 路面狀態에 따라 溫度差가 甚한 狀態는 ① asphalt ② concrete, ③ earth 順으로 나타났으며 asphalt, concrete 는 earth 의 約 2 倍 및 1.5 倍 程度로서, 되도록이면 asphalt 鋪裝路面에서 leveling 을 避하는 것이 좋다.

(2) leveling refraction 影響을 적게 받기 위해서는 staff 下部 reading(10cm 以下)을 避함이 좋고 比高도 되도록이면 적게 함이 좋으며, 또한 sight distances 는 25~30m 程度로 짧게 함이 理想的이다.

(3) 溫度傾斜가 正午를 中心으로 3~4 時間內에서 (一)傾斜를 나타내므로 leveling 은 溫度傾斜가 zero 가 되는 時刻 即 午前 9 時 前後, 午

표 3. Refraction Corrections at Continous leveling Route Test

No.	Date	Hours	Sight Distance (m)	Elevation Diff.	Refraction Errors $\Delta h = h - h_0$	Temperature (°C)	Temperature Diff. (°C)	Ref. Calculation ( $\Delta h$ )		$\Delta h + \Delta h'$		P (mm Hg)	Remarks
								C = -0.1	C = -1/3	C = -0.1	C = -1/3		
1	1986. 9.6	15:00~16:30	50	300.50	-1.78	25.49	-0.45	0.07	0.07	-1.71	-1.71	755.7	
2	"	17:30~18:50	"	301.50	-0.78	22.18	-0.49	0.02	0.03	-0.76	-0.75	756.0	
3	"	18:00~19:00	"	303.50	+1.22	20.42	-0.51	0.03	0.03	+1.25	+1.25	756.0	
4	1986. 9.7	09:00~10:20	25	301.50	-0.78	23.25	-0.27	0.15	0.15	-0.63	-0.63	757.4	
5	"	09:30~11:00	"	301.00	-1.28	24.99	-0.5	0.34	0.35	-0.94	-0.93	757.2	
6	"	10:00~12:00	"	301.50	-0.78	26.17	-1.35	0.57	0.59	-0.21	-0.19	755.5	
7	"	11:00~12:00	50	302.50	+0.22	26.53	-0.58	0.06	0.06	+0.28	+0.28	756.9	
8	"	13:00~14:00	"	301.50	+0.78	26.80	-0.92	0.14	0.14	-0.64	-0.64	755.7	
9	"	13:30~14:30	"	303.00	+0.72	27.56	-0.84	0.08	0.07	-0.64	-0.65	755.6	
10	"	14:30~16:00	25	304.00	+1.72	28.21	-0.39	0.07	0.08	+1.79	+1.8	755.7	
11	"	15:00~16:00	50	303.50	+1.22	28.91	-0.84	0.02	0.02	+1.24	+1.24	755.7	
12	"	16:00~17:00	"	302.50	+0.22	27.69	-0.82	0.02	0.02	+0.24	+0.24	755.7	
13	"	17:00~18:00	"	304.50	+1.72	26.32	-0.6	0.03	0.03	+1.75	+1.75	755.7	
14	1986. 9.13	09:30~10:30	"	300.50	-1.78	23.37	-0.5	0.04	0.03	-1.74	-1.75	756.5	
15	"	09:30~11:00	"	301.00	-1.28	22.79	-0.47	0.08	0.06	-1.20	-1.23	757.3	
16	"	11:00~12:00	"	304.00	+1.72	23.52	-0.75	0.25	0.29	+1.97	+2.01	757.2	
17	"	12:30~13:30	"	301.00	-1.28	25.27	-0.82	0.05	0.05	-1.23	-1.23	756.9	
18	"	13:00~14:00	"	302.50	+0.22	26.71	-1.06	0.29	0.19	+0.51	+0.41	756.5	
19	"	14:00~15:30	"	301.50	-0.78	25.77	-0.65	0.03	0.03	-0.75	-0.75	756.0	
20	"	15:00~16:00	"	304.00	+1.72	25.28	-0.87	0.13	0.12	+1.85	+1.84	755.6	
21	"	16:00~17:30	"	302.50	+0.22	25.27	-0.69	0.13	0.13	+0.35	+0.35	755.6	
22	"	17:00~18:00	"	301.00	-1.28	23.30	-0.97	0.18	0.17	-1.10	-1.11	755.7	
23	"	18:00~19:00	"	304.00	+1.72	20.97	-0.36	0.16	0.10	+1.88	+1.82	756.0	
Total Mean value				6953.5	25.22			2.94	2.80	24.66	24.56		
				302.33	1.10			0.1278	0.1217	1.07	1.07		

後 6時 前後가 바람직하다. 또한 傾斜地 leveling에서 正午때 refraction 影響으로 比高가 낮게 觀測되고 日出後 日沒前에는 그 量은 zero 가 된다.

(4) earth, concrete, asphalt 路上別로 C의 算出값은 모두가  $C = -\frac{1}{3}$ 에 거의 接近하였고, 近代氣象學에서는  $C = -\frac{1}{3}$ 을 使用하고 있어서 Kukkamaki 理論式에  $C = -0.1$ ,  $-\frac{1}{3}$ 을 各各 代入 屈折補正값을 算出하였던바 큰 差異가 없었다.

感謝의 말

本研究은 1986~1987年度 韓國科學財團의 研究費 支援에 의해 遂行하였던 研究의 一部이며, 支援해 주신 財團에 深甚한 謝意를 表한다.

參考文獻

1. Kasumi N.N., "Leveling Errors by Refraction (I, II)," *Surveying & Mapping*(Japan), vol. 20, No. 7~8, 1970, pp.22 ~29, 27~30.
2. Isao Naito, "New Observation of Leveling Refraction", *Surveying & Mapping* (Japan), vol. 34, No.11, 1984, pp.22~28.
3. Kinichi Ono, "Atmospheric Effects on the Cross-sea Leveling Observed at the Straits of Tsugaru", *Geodetic Society of Japan*, Vol. 2, No. 3~4, 1956, pp.83~39.
4. Sisuo H.N., "On the Refraction of the Cross-sea Leveling by Theodolite Method", *Geographical*

- Survey Institute*, vol. 6, 1980, pp.1~44.
5. Noriaki S.D., "Observation of Refraction in the Classical Leveling", *Surveying and Mapping* (Japan), vol. 33, No. 3, 1983, pp.17~22.
  6. Yasiro N.H., "Phenomena of Study of Refraction in the Leveling", *Surveying and Mapping* (Japan), vol. 33, No. 3, 1983, pp.23~27.
  7. Isao Naito, "A Numerical Estimation of Leveling Refraction Based on Surface Boundary Layer Data", *Geodetic Society of Japan*, vol. 31, No. 2, 1985, pp.177~188.
  8. Kinich Ono, "Atmospheric Refraction at Mt. Tsukuba", *Geographical Survey Institute*, Vol. 4, 1954, pp.59~68.
  9. Noboru Inouchi, "On the Accuracy of Precise Leveling", *Geodetic Society of Japan*, vol. 29, No. 2, 1983, pp.89~93.

(接受: 1988. 8. 12)