

# 全天候着陸施設

陳 年 鋼\*

## 1. 序 論

現在 空港進入着陸保安施設로 널리 使用하고 있는 것은 ILS(Instrument Landing System, 計器着陸施設)와 GCA(Ground Controlled Approach, 地上管制進入施設)이다. 前者는 ICAO (International Civil Aviation Organization, 國際民間航空械機)가 定한 標準計器着陸施設이고 後者는 그 補助施設이다. 이와 같은 着陸保安施設를 利用해서 着陸할 수 있는 것은 예를 들면 金浦國際空港에 設置된 ILS인 경우 雲高 200feet 以上, 視程 1/2mile 以上(이것을 Category\*I 이라 함)의 條件下에서만 着陸保安施設를 利用해서 이點까지 降下할 수 있으며 이 點에 이르면 pilot는 目視로 操縱할 수 있어야 한다. 이와 같은 일은 이點以內에서는 着陸保安施設의 精度的 問題일 뿐 아니라 航空機의 着陸 코오스가 理想的(直線)이 되지 못함으로 이 範圍內에서는 航空機의 位置에 따라 各種의 操作이 必要하기 때문에 所定進路로 부터의 偏着단으로는 自動着陸이 不可能하다.

따라서 全天候着陸를 하기 위하여는 다음과 같은 條件이 必要하다.

- (1) 航空機의 三次元位置情報를 주는 裝置
- (2) 얻은 位置情報를 토대로 必要한 指令를 計算하는 計算機
- (3) 諸情報를 토대로 動作하는 Auto pilot
- (4) 諸情報를 pilot에 알려줄 表示裝置

※ ICAO는 ILS를 Category I, II, III의 3種類로 나누었다. Category II는 高度 100 feet, 視程 1/4mile, Category III은 Zero-Zero.

\* 正會員 航空大學 電子工學科

그러나 (3), (4)에 대하여는 다른 意見이 있다 즉 英國에서는 着陸時의 安全性的 觀點에서, 全天候着陸은 Autopilot에 의할뿐, Pilot는 이것을 monitor 한다는 完全自動着陸方式(BLEU方式)의 研究를 하고 있는 反面, 美國은 充分한 情報만 얻으면 Pilot는 낮은 視界下에서도 着陸할 수 있으므로 着陸時에 Pilot에 判斷, 操作의 權限을 주자는 것이다. 이것은 높은 信賴度를 갖은 複雜한 裝置의 開發에 대한 經濟性도 고려한 것이다.

그러나 現在 美國은 BLEU를 비롯 各種의 方式를 研究하고 있다. 本解説은 ILS를 主體로 한 BLEU(Blind Landing Experimental Units)方式만을 한다

## 2. 計器着陸施設 (ILS)

ILS는 空港附近의 空中에 電波에 의한 降下路를 形成해서 이 降下路를 따라 航空機를 誘導하는 方式이다. 따라서 電波降下路를 만드는 地上施設과 降下路를 指示해주는 機上施設로 나눈다.

ILS 地上施設의 降下路란 Localizer 이라 부르는 VHF 無線裝置(108~112MHz)에 의한 垂直平面과 Glide path 이라 부르는 UHF 無線裝置(329~335MHz)에 의한 傾斜平面과의 交切線이므로 機上(Airborne)의 Localizer 受信裝置는 滑走路中心으로 부터의 偏移를, Glide path 受信裝置는 所定の 降下路에서의 偏移를 指示하므로 Pilot는 偏移가 생기지 않도록 操縱을 하면 完全한 着陸을 할 수 있고 또 Autopilot와 連動할 수도 있다. 그밖에 Marker Beacon 裝置라 부르는 VHF 無線裝置(75MHz)는 滑走路의 延長上의 定點에 設置 Pilot에게 着陸地點까지의 距離를 指示해 준다.

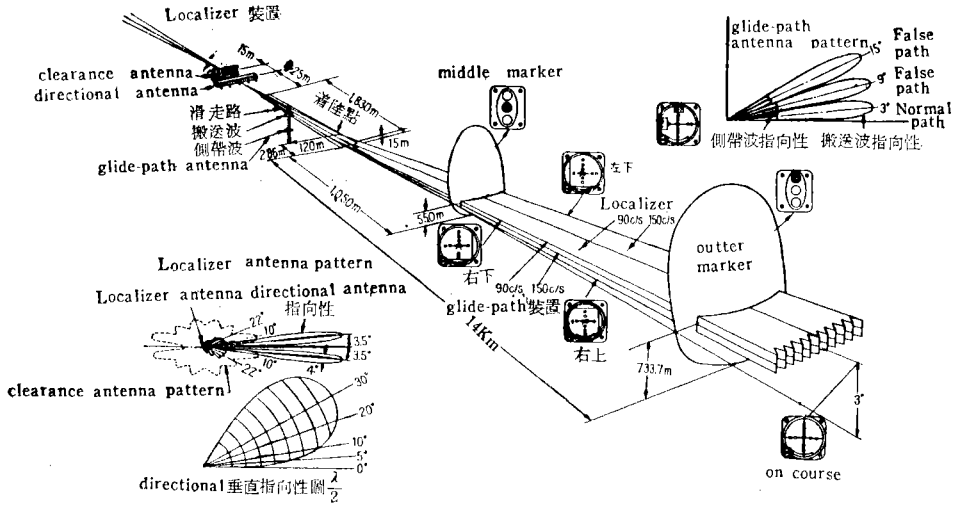


그림 1. ILS 裝置說明圖

ILS는 이와 같이 pilot가計器를 보고 自己自身의 判斷에 따라 着陸한다는 點에서 管制士의 指示에 따라 着陸하는 GCA와는 크게 다르다. 그러나 現在의 ILS는 完全着陸까지는 誘導할수 없고 어느程度의 視程이 必要하다. 그림 1은 ILS 裝置의 配置 및 機上指示器의 表示와 航空機의 位置를 圖示했다.

[1] 原理

Localizer 裝置나 Glide path 裝置는 다 같이 90Hz와 150Hz의 2信號에 의한 變調度差를 情報로 利用하는 方式이다. 이 變調度는 航空機의 所定降下路에서는 0이고 角度偏移에 比例하여 變調度差는 커져서 어느 角度에 이르르면 一定值가 된다. 90Hz信號는 Localizer 裝置에서는 왼쪽, Glide path에서는 윗쪽이 더 크고 150Hz信號는 그와 反對이다. 따라서 航空機는 90Hz信號가 크면 오른쪽 또는 아랫쪽으로 操縱하면 된다.

空間의 位置를 變調度差의 函數로 表示하기 위하여는 搬送波와 側帶波를 別個의 空中線에서 放射하여야 하며 搬送波中에는 90Hz와 150Hz信號가 同相이지만 側帶波中에는 逆位相이다.

Localizer 裝置의 搬送波는 거의 圓形으로 放射하지만 側帶波는 滑走路中心線에서 二分되는 形으로 放射한다. 150Hz成分만을 생각하면 滑走路의 오른쪽에서는 搬送波中의 150Hz와 側帶波中의 150Hz가 同相이고 90Hz는 搬送波와 側帶波中에서 逆相이 되어 150Hz成分은 커지고 90Hz

成分은 적어진다.

Glide path 裝置는 滑走路中心線의 代身에 降下路를 中心으로 二分되는 側帶波를 放射하고 搬送波는 上下의 側帶波를 包含한 電波를 放射한다. Localizer 裝置처럼 搬送波中의 150Hz와 側帶波中의 150Hz는 降下路의 아랫쪽에서 同相이므로 90Hz보다 크다.

搬送波 Antenna에서는 無指向性, 側帶波 Antenna에서는 滑走路中心線의 左右 및 降下路의 上下에 예리한 指向性의 電波를 放射하면 中心近邊의 變調度差의 變化가 커져서 작은 角偏移에도 큰 偏移를 指示器에 表示하도록 한다.

A. Localizer 裝置

이 裝置는 8개의 Alford Antenna를 使用하는 方式이 最初로 開發되었고 2개의 中心 Antenna에서는 搬送波電界를, 同位相으로  $E_c = 1.29 \cos(55^\circ \sin \theta)$ 가 되도록, 다른 3쌍의 Antenna에는 側帶波電界를, 左右逆相으로  $E_s = 1.00 \sin(190^\circ \sin \theta) + 0.5 \sin(550^\circ \sin \theta) + 0.3 \sin(800^\circ \sin \theta)$ 가 되도록 給電한다. 여기서  $\theta$ 는 滑走路中線으로 부터의 角度偏移임. 그림 2는 搬送波와 各側帶波의 和의 指向性圖 및 各側帶波의 指向性圖이다. 그림 3는 Antenna系의 DDM(Difference in Depth of Modulation)과 角度를 機上指示器로 表示한 그림이다.

$$\ast \text{ DDM ; } \frac{\text{큰信號變調度(\%)} - \text{작은信號變調度(\%)}}{100}$$

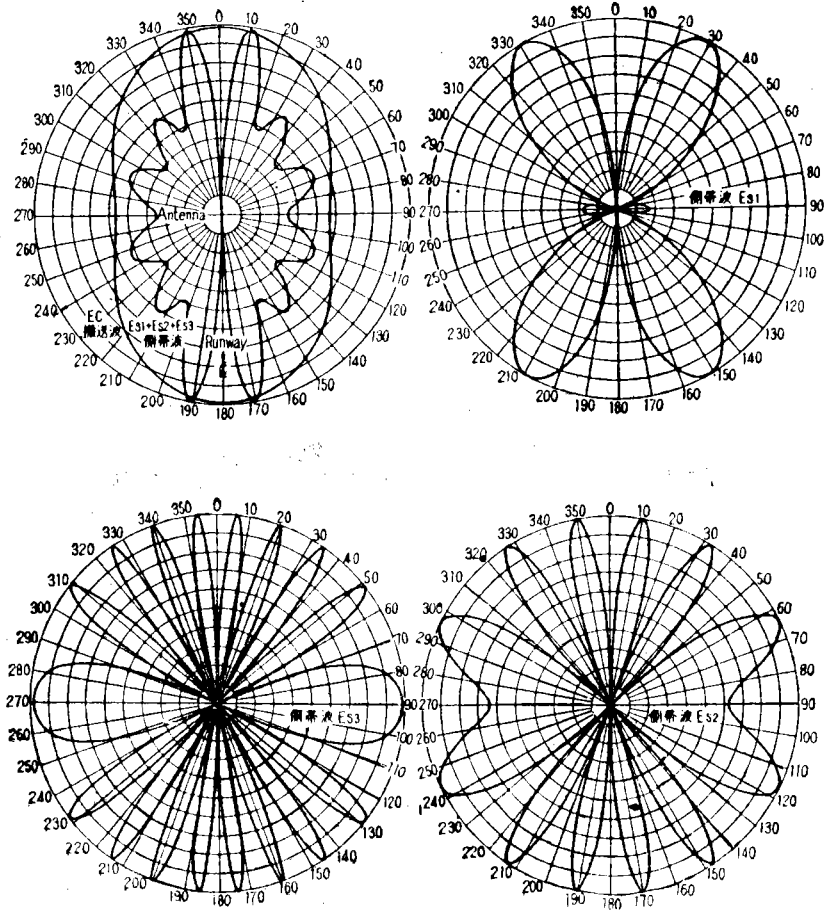


그림 2. Clearance Antenna 指向性圖

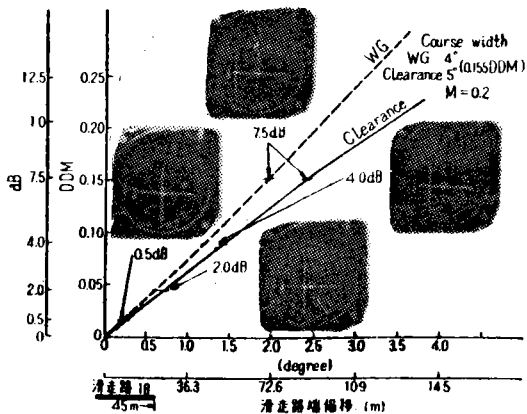


그림 3. DDM 와 角度

B. Glide path 裝置

높이  $h$  에 搬送波 dipole antenna 1개를 달고 2

$h$  의 높이에 側帶波 dipole antenna 1개를 달았으나 大地의 反射를 利用하고 있으므로 各各垂直間隔  $2h$ ,  $4h$  의 2개의 Antenna 에서 放射한다고 생각할 수 있다. Glide path 裝置는 滑走路中心에 設置할 수 없으므로 滑走路中心를 通하는 垂直面에서는 雙曲線이 되고 Glide path 는 着地點 근처에서는 直線이 되지 않는다. 그러나 航空機는 着陸點 근처에서는 直線의 으로 下降하지 않고 거의 指數函數의 으로 降下한다.

C. Localizer 電波의 散亂波의 解析

本解説에서는 ILS 의 理論的解析을 Green 定理에 의한 Helmholtz 波動方程式의 解에 근거하고져 한다.

Localizer antenna 의 부근의 電磁場의 線型分極이 거의 完全하기 때문에 다음의 假定이 可能하다.

- 1) 散亂面이 一般의으로 平滑이고
- 2) 反射面의 入射波는 平面波(antenna 와 反射體間의 거리가 멀기때문에)이고
- 3) 接地面은 平滑한 完全導體이고
- 4) 散亂面과 antenna는 Fraunhofer場에 存在함
- 5) 幾何學的인 그늘(shadow)地域은 散亂에 기여하지 못함

以上の 假定下에서 Fraunhofer 場의 近似法을 解析에 적용한다.

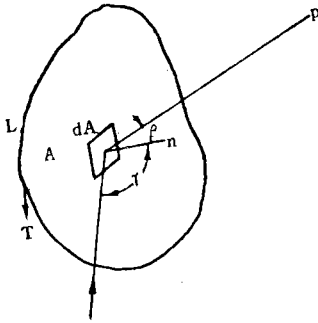


그림 4. 一般反射面

그림 4와같이 閉曲線 L로 構成된 面 A에 電磁波가 入射하였다고 하고 P點의 散亂波를 求하자 電荷가 없는 領域에서 Helmholtz 波動方程式은 Green 定理에 의하여 다음과 같이 變換된다.

$$4\pi E(p) = \int_A (E_r \frac{\partial G}{\partial n} - G \frac{\partial E_r}{\partial n}) dA \quad (1a)$$

$$+ \int_L (E_r \times T) G dL \quad (1b)$$

$$+ \frac{j}{\omega \epsilon} \int_L (H_r \cdot T) \nu G dL \quad (1c)$$

여기에서

$$G = e^{-jkr}/r$$

$n$ 는  $dA$ 에 垂直方向의 單位 vector

$E_r, H_r$ 는  $dA$ 에서 反射된 電磁波

$T$ 는 閉曲線  $L$ 의 切線成分의 單位 vector

(1c)는 境界點의 電荷의 線分布에 의한 積分式이다. Fraunhofer 領域에서는 垂直成分이 電磁波만이 存在하므로 (1c)積分値는 縱方向成分만이 되어 (1a), (1b)의 길이成分을 상쇄, 아래와 같이 된다.

$$4\pi E(p) = \int_A (\frac{\partial G}{\partial n} - G \frac{\partial}{\partial n}) E_r dA + \int_L (E_r \times T) G dL \quad (2)$$

여기서  $E_{r1}$ 는  $E_r$ 의 垂直成分이며 다음과 같이 表示된다.

$$E_{r1} = E_r - (E_r \cdot r_1) r_1 \quad (3)$$

여기서  $r_1$ 은  $r$ 방향의 單位 vector,  $(E_r \times T)_{1z}$ 는  $(E_r \times T)$ 의 垂直成分임 Fraunhofer 領域에서는

$$\frac{\partial G}{\partial n} = jkG \cos \theta \quad (4a)$$

$$\frac{\partial E_{r1}}{\partial t} = -jkE_{r1} \cos \gamma \quad (4b)$$

이며 (4)를 (2)에 代入하면

$$E(p) = \frac{j}{2\lambda} \int_A (\cos \beta + \cos \gamma) E_{r1} G dA \quad (5a)$$

$$+ \frac{1}{4z} \int_L (E_r \times T)_{1z} G dL \quad (5b)$$

面積分인 (5a)와 線積分인 (5b)는 單純하기 때문에 使用하기가 매우 쉽고 Localizer의 送受信 Antenna의 電界는 거의 水平偏波이므로 (5)의 積分은 더욱 簡單한 計算이 된다.

正六面體를 例로 들면, 上下面의  $E_r \times T$ 成分은 垂直成分이므로 水平 antenna와는 無關하게 되고 垂直面에서의  $E_r \times T$ 成分은(水平成分만이 남아  $(E_r \times T)_{1z} = 0$ 이 된다. 따라서 (5)式은 다음과 같이 簡單化할 수 있다.

$$E(p) = \frac{j}{2\lambda} \int_A (\cos \beta + \cos \gamma) E_r G dA \quad (6)$$

一般의으로 任意形態의 反射體에 대하여도 (6)式을 적용할 수 있다. 電子計算機의 計算例의 結果에 의하면 (5b)는 (5a)의 1/100 정도이므로 工學的으로 無視할 수 있다.

航空機의 着陸角度로 보통 3°程度 以下이므로  $E_{r1}$ 는 다음과 같다.

$$E_{r1} = E_r \cos(\beta - \gamma) \quad (7)$$

(7)式을 (6)式에 代入하면

$$E(p) = \frac{j}{2\lambda} \int_A E_r M_G G dA \quad (8)$$

여기서  $M_G = (\cos \beta + \cos \gamma) \cos(\beta - \gamma)$

이다. 그림 5에 Localizer Antenna, 反射面의 작은 成分  $dA$  및 航空機의 受信位置를 表示했다.

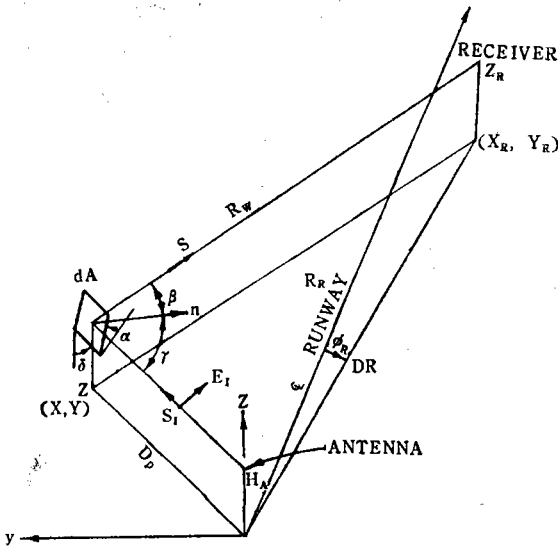


그림 5. Localizer 電流의 反射圖

大地를  $XY$  平面에 滑走路의 中心線을  $X$ 軸에 一致시켰다. 그림 5에서  $dA$ 는 格納庫, 管制塔, 停止中인 航空機 및 언덕등의 滑走路부근에 있는 住意形態를 갖은 物體에 微小한 面이다. 이들 物體는 住意形態, 方向, 크기, 材料이든  $dA$ 의 微小面積으로 分割할 수 있다.

여기서

$\delta = dA$ 와 重力方向과 이루는 角

$\alpha =$  滑走路의 中心線과  $dA$ 의 밑邊과 이루는 角

$n = dA$ 에 垂直인 單位 Vector

이라 하면

$$n = X \cos \delta \cdot \sin \alpha - Y \cos \delta \cdot \cos \alpha + Z \sin \delta \quad (9)$$

Localizer 送信 antenna로부터  $dA$ 에 入射된 波는

$$E_i = S_i 2j F \sin\left(\frac{kH_A Z}{D_i}\right) \left(\frac{e^{-jkD_i}}{D_i}\right) \quad (10)$$

여기서  $S_i$ 는 送信 antenna와  $dA$ 를 연결하는 方向의 單位 vector, 下는 反射面方向의 antenna 利得

$dA$ 에서  $S_i$ 方向으로 反射된 電界를  $E_r$ 라 하고  $dA$ 가 導體라면

$$E_r = 2(n \cdot E_i)n - E_i \quad (11)$$

이다.  $dA$ 가 導體가 아닌 경우에는, 反射波를 垂直과 水平成分으로 나누어 考慮하여야 한다. 그 成分을 다음과 같이 定하면

$E_{ih}$ 는 入射波의 入射面과 平行한  $E_i$ 의 成分

$E_{iv}$ 는 入射波의 入射面과 垂直인 成分

$U_i$ 는  $E_{ih}$ 方向의 單位 vector

$V$ 는  $E_{iv}$ 方向의 單位 vector

$$E_i = E_{ih}U_i + E_{iv}V \quad (12)$$

가 되고 다음식을 얻을 수 있다.

$$U_i = \frac{n + \cos \gamma S_i}{\sin \gamma} \quad (13a)$$

$$V = \frac{n \times S_i}{\sin \gamma} \quad (13b)$$

$$E_{ih} = \frac{E_i \cdot n}{\sin \gamma} \quad (13c)$$

$$E_{iv} = E_i \cdot V \quad (13d)$$

反射波  $E_r$ 에 관하여는  $U_r$ 를  $E_{ih}$ 方向의 單位 vector 이라 하면

$$U_r = -U_i + 2(U_i \cdot n)n \quad (14)$$

가 되고 反射波의 各成分들은 다음과 같다.

$$E_{rh} = R_v E_{ih} \quad (15a)$$

$$E_{rv} = R_h E_{iv} \quad (15b)$$

$$E_r = E_{rh}U_r + E_{rv}V \quad (16)$$

여기서

$R_v$ 는 垂直偏波成分에 대한 反射係數

$R_h$ 는 水平偏波成分에 대한 反射係數

이다.  $E_r$ 를 求하면 其의 垂直成分은 다음과 같이 求할 수 있다.

$$E_{rv} = E_r - (E_r \cdot S)S \quad (17)$$

航空機의 受信 antenna는 水平偏波用이므로 다음 成分을 受信하게 된다.

$$E_m = E_{rv} \cdot Q = E_r \cdot Q \quad (18)$$

여기서  $Q$ 는  $S$ 에 垂直한 單位水平成分이다.

(6)式으로부터 受信機가 受信하는 全散亂波는

$$E_r = \frac{1}{\lambda} \int_A (\cos \gamma + \cos \beta) E_m \cdot \sin\left(\frac{kZRZ}{RR}\right) \left(\frac{e^{-jkRw}}{RR}\right) dA \quad (19)$$

이며  $2j \sin(kZRZ/RR)$ 는 地面의 反射로 因한 것이다. Antenna와 其의 影像으로부터 直接受信한 電界는

$$E_D = 2j F(\phi_R) \sin\left(\frac{kH_A Z_R}{D_R}\right) \left(\frac{e^{-jkD_R}}{D_R}\right) \quad (20)$$

上記式은 住意의 障礙物에도 적용할 수 있다. 또 物體의 表面은 반듯이 平平하거나 그 物質이 均一할 必要는 없다. 어떤 表面도 平平하고 均一할 정도로 充分히 작은  $dA$ 로 分割할 수 있으나 計算時間이 더 많이 所要된다. 特히 대부분의 反射物의 경우에는 積分形態는 單純化되고 計算時間이 짧아지는 事實은 括目할만 하다.

그러나 反射物의 影響을 없앨 目的으로 滑走路 方向에만 指向性을 갖는 Antenna 系를 Alford Antenna 와 併用하는 경우 Alford Antenna 만을 갖은 系를 Clearance Localizer 裝置라 부르고 銳利한 指向性을 갖는 系를 Directional Localizer 裝置라 부른다. Directional Localizer 裝置의 Antenna 는 Dipole 列에 反射板을 붙인 것이나 導波管 Antenna 등이 쓰인다.

導波管 Antenna 는 18개의 slot 를 5/8λ 間隔으로 나누고 搬送波電流分布는 項數 82개의 二項級數의 中心 18 項의 크기로 分布하고 側帶波電流分布는 바로 이웃 2項의 差로 例를 들면 6項인 경우

$$\begin{array}{cccccc} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ -1 & -4 & -6 & -4 & -1 \\ \hline 1 & 3 & 2 & -2 & -3 & -1 \end{array}$$

으로 주워졌다.

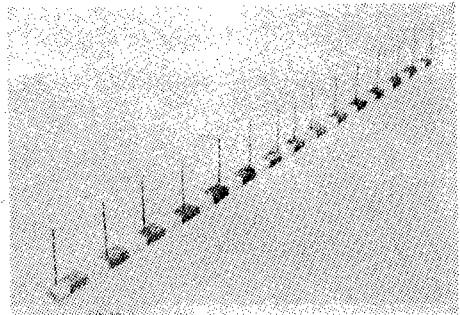


그림 6. Vee ring array antenna

이 밖에 美國에서 開發된 15개의 反射器를 붙인 V-ring 列도 있다.(그림 6 참조)

### 3. Blind Landing Experimental Units (BLEU)

가장 많은 飛行實驗을 거친 方式으로서, 여러 改良한 結果 現在에는 電波高度計와 ILS Localizer 裝置를 使用하는 方式으로 되었다(그림 7 참조).

먼저 上下方向(pitch control)에 내해서는 電波高度計로 高度  $h$  와 下降速度  $\frac{dh}{dt}$  를 測定해서

$$h + k \frac{dh}{dt} = 0$$

여기서  $k$  는 時定數임

가 되도록 航空機의 Flight control system 을 動

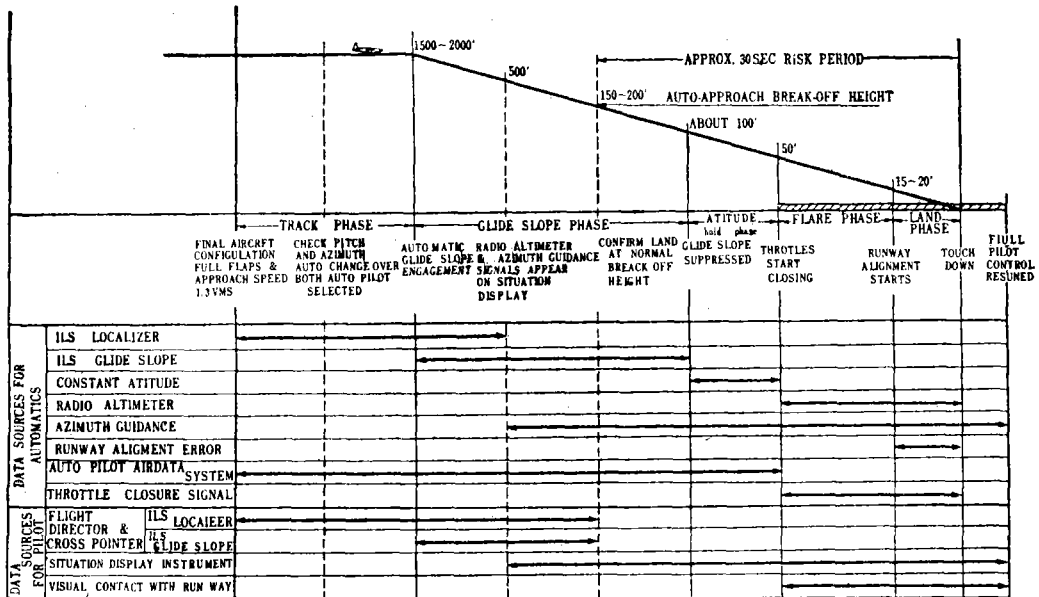


그림 7. BLEU 에 의한 Automatic Landing 의 例(Vc-10)

작하고 있으므로 이것은 着陸點에서 下降速度가  
 떨어지도록 指數函數曲線을 따라 降下함을 意味  
 한다. 이것에 使用되는 電波高度計는 대개 500  
 feet에서 2 feet(着陸時의 空中線의 높이)까지의  
 範圍를 動作하고 降下速度가 너무 늦어지지 않도  
 록 時定數가 0.25秒 以下인 Smooth한 高度信號  
 가 要求된다.

다음에 左右方向의 誘導에는 ICAD의 Cate-  
 gory II를 滿足하는 精度의 ILS가 使用되고 있  
 으며 그 精度의 向上을 위하여 研究가 계속되고 있  
 다.

이 項에서는 本 system의 信賴性에 관하여 취  
 급하기로 한다. 英國의 研究의 結果에 의하면 全  
 天候着陸方式에는  $1:10^7$  以上の 信賴性이 必要함  
 으로 이것은 pilot에 의해서가 아니고 機械에 의  
 한 自動着陸만이 可能하다는 것이다. 이와 같은  
 信賴度를 얻기 위하여 Smith社는 multiplexing  
 方式을 採用하고 있다. 이것은 完全히 獨立한 2  
 개의 裝置를 使用하여 이들의 出力에 따라 制御  
 를 하고 만약 어느 한쪽이 誤差를 일으키는 경우  
 에는(즉 2개의 裝置의 出力이 다르면) 兩者가 다  
 같이 Switchoff되어 自動操縱을 하지 못한다. 이  
 밖에는 現在에는 3개의 裝置에 의한 方式도 있어  
 이 경우에는 多數決에 따라 誤差를 이르는 裝置  
 가 發見되므로 나머지 2개에 의하여 操縱을 할 수  
 있다. 이밖에 Elliot社에서는 Duplicate moni-  
 tored system을 採用하고 있다.

이것은 System으로 2개 以上の 裝置를 使用하  
 고 그중의 1개는 制御를 하고 다른것은 待機한다  
 그리고 各己의 裝置는 monitor 回路를 通하여 故  
 障을 自動的으로 發見할 수 있으므로 만일 故障  
 이 發生하는 경우에는 즉시 待機하고 있는 豫備  
 裝置가 Switch on하게 되어 있다.

#### 4. 結 論

現用하거나 計劃하고 있는 民間航空機自動着陸  
 裝置는 ILS 裝置에 依存하고 있다. 따라서 이 裝  
 置는 0 視程下에서도 安全自動着陸할 수 있는 信  
 賴度가 極히 높은 情報를 주어야 한다. 그러나

바람에 의한 攪流. 航空機力學的인 問題, 操縱反  
 應 및 ILS 降下路의 beam bend 등의 要因으로  
 現在 美國에서도 pilot가 最終着陸進入단계에서  
 滑走路와의 視覺接近의 自身이 있을 때만 自動着  
 陸이 可能하다.

이중 특히 ILS 降下路의 beam bend는 着陸進  
 入동안에 自動着陸裝置의 所定着陸地點을 크게  
 이탈케하여 願하지 않는 操縱을 하게 함으로 操  
 縱士의 最終着陸교정을 0 視程下에서도 할 수 있  
 도록 自動操縱裝置의 正確도와 安定度の 改善과  
 beam bend를 除去할수 있는 技術의 向上에 있다  
 고 생각한다.

#### 參 考 文 獻

- 1) "Automatic Landing Special Issue", IRE Trans. ANE-6 (June, 1959)
- 2) Shayler, J. S. "Radio Guidance Elements for the B. L. E. U. Automatic Landing System for Aircraft," J. Brit. I. R. E 21, 17 (Jan 1961)
- 3) Beresford, A. N. "The Problem of Improving the British Instrument Landing System Localizer for Automatic Landing" PICEE 108 B, 59 (Jan. 1961)
- 4) "Instrument Landing System Progress", Electronic Enginr. 34, 237 (April 1962)
- 5) Garfield, W. L. "Radio Altimeter in Automatic Landing system", World Aviation Electronics (Nov. 1962)
- 6) "Look at the future of Automatic Landing System" Intervia 17, 452 (April 1962)
- 7) "New Localizer for Antomatic Landing", Aircraft Engr., 35, 53 (Feb. 1963)
- 9) "Current Development in Allweather Landing, pt. I", Aircraft Engr. 35, 48(Feb 1963)  
 "Current Development in Allweather Landing, pt. II" Aircraft Engr. 35, 74 (March 1963)
- 10) "Landing in any Weather" Intervia (May, 1965)
- 11) S. L. Shih, "ILS Localizer Multipath Analysis", IEEE Trans. AFS-7, 1 (Jan. 1971)
- 12) J. R. Fries, "Improvement of Automatic Landing through the Use of a Space Diversity ILS Receiving System", IEEE Trans. AES-7, 1(Jan. 1971)