

# 交通信號의 自動最適點制御를 위한 마이크로波— FM—CW 檢知系統에 관한 研究

논문  
22~1~4

## A Study on Microwave-FM-CW Detection System for the Automatic Optimal Point Traffic Control

양 흥 석\*, 김 호 윤\*\*  
(Heung Suk Yang, Ho Yoon Kim)

### Abstract

An automatic point traffic control method is recommended for more idealistic traffic flow over coarse road networks.

The automatic control apparatus recommended, consists of a transceiver, amplifier, digital-to-analog converter, signal light controller for emergency and steady state, and digital counter as monitor. The transmitter sends a signal to the target by means of Microwave-FM-CW and a diode detector picks up the echo signal. Thus the operation of the entire system will be carried out through an open loop state. Some factors necessary for an ideal detector system are rapid response, longevity and stability.

An analytical method of the Doppler effect substitutes the conventional frequency deviation into the amplitude of detector output. The changing rate of amplitude is proportional to the voltage of the detector output. Some induced formula from Maxwell's radiation field theory ensures this new method, and, new method, and proves the fact with an experimental data presentation.

Stability depends upon Klystron as an oscillator and a diode as a detector. The transceiver installation affects on the response and sensitivity of the system.

In accordance with the detector output, several targets are easily classified by amplitudes on the scope. The traffic flow, i.e., target movement which is analyzed by the amplitude method, is shown through the scope and indicates it on the digital counter. The best efficiency for the amplitude analysis can be attained through use of an antenna having the highest sensitivity.

### 1. 序 論

交通遮斷現象은 流通車輛의 臺數, 車輛速度, 車間의 間隙等을 變數로 취하는 하나의 函數關係를 갖는다고

볼수 있다. 그래서 차단현상을 研究함에 있어서는 먼저 이들 變數값을 求하여 차단현상을 미연에 防止할수 있는 方案을 강구하면 차량의 正常流通을 기대할수 있는 것이다. 이러한 방식에 알맞는 全體系統을 마이크로 波-FM-CW (Microwave-Frequency Modulation-Continuous Wave) 送受信部<sup>1)</sup> 計數型記錄部<sup>2)</sup> 正 및 非常信號自動制御部の 順으로 區分하여 構成하였다. 一般的으로 交通網組織과 道路事情이 나쁜경우에는 自動

\*정회원 : 서울대학교 공과대학 교수(공학박사)

\*\*정회원 : 단국대학교 공과대학 조교수

點制御方式이 理想的인것으로 生覺된다. 이中에서 送受信部는 檢知系統이며, 全天候用, 빠른應答速度, 작은出力으로써 壽命이 길고 아울러 感知器(monitor)用 뿐만아니라 檢知(detection), 制御 등 多目的인 面에서 테레비보다 도우푸리 効果(Doppler effect)<sup>1), 4)</sup>를 利用한 檢知器를 채택하였다. 그러나 이 檢知器의 交通制御에 있어서의 利用과 動作原理解析法에 關하여는 지금까지 도우푸리 効果의 周波數 偏移<sup>1), 7)</sup>에 依한 解析을 하여 왔으나 本論文에서는 크라이스트론(Klystron)의 發振周波數變化에 따르는 周波數 偏移가 反射電極電壓變化에 比例하는 事實에 着眼하여 마이크로波에 依한 周波數變調를 解析하고 檢知出力波의 振幅(amplitude)變化로서 檢波의 解析을 하였다. 그리고 檢知器와 目標物(여기서는 通行車輛을 말함)間의 關係로부터 얻어지는 振幅變化의 關係를 막스웰(Maxwell)의 輻射場理論式<sup>2), 3)</sup>에 依하여 解析함으로써 차량의 移動方向, 距離, 速度測定 나아가서 車輛種類식별이 可能하다는 事實을 實驗을 通하여 立證하였다. 全體系統構成에 있어서 D-A (Digital-to-Analog) 및 A-D (Analog-to-Digital) 變換器<sup>5), 6), 9)</sup>를 갖는 소위 閉루우프식이 많이 使用되고 있는데 本 研究에서는 A-D變換器를 감시용으로만 利用하여 閉루우프식으로 制御하였다.

## 2. 檢知와 制御

### (1) 送受信部

마이크로波 送受信機로써 크라이스트론 發振器를 擇하여 이出力周波數를 搬送波(carrier wave)로 삼고 오실로스코프의 스위프(sweep)발진기로부터 低周波 거치파(saw-tooth wave) [혹은 矩形波도 무방함]를 信號波로 周波數變調시킨다 이러한 變調된 持續波를 目標物(車輛)에 쏘아서 反射된 信號(reflected signal or echo)를 받아서 다이오드 檢波하여 出力을 얻고 同時に 그出力波形을 通하여 현황을 파악하는 것이다. 送受信영역이 마이크로波에 依한 周波數變調(FM)라면:

$$\text{搬送波는 } v_s = V_{t,m} \sin \omega_s t \quad (1)$$

低周波信號  $v_s$ 는

$$v_s(t) = \frac{2V}{\pi} (-\sin 2\omega_s t + \frac{1}{2} \sin 4\omega_s t - \frac{1}{3} \sin 6\omega_s t + \dots) \quad (2)$$

$\omega_s$ 가 일정할때, 각  $\phi(t) = \omega_s t + \theta$ 라 하자.

$$\omega_s \text{가 변할때, } \omega(t) = \frac{d\phi(t)}{dt} = \omega_s + k_f v_s(t) \quad (3)$$

$\omega_s$ 가  $v_s(t)$ 의 순시치에 따라 變化하는 경우를 生覺하여 (2)식에서 첫項만 고려한다면,

$$\phi = \int_0^t \omega(t) dt = \omega_s t + k_f \int_0^t v_s(t) dt$$

$$\begin{aligned} &= \omega_s t + k_f \frac{2V}{\pi} \int_0^t (-\sin 2\omega_s t) dt \\ &= \omega_s t + \frac{k_f 2V}{2\omega_s \pi} (\cos 2\omega_s t - 1) \\ &= \omega_s t + \frac{k_f V/\pi}{\omega_s} (\cos 2\omega_s t - 1) \\ &= \omega_s t + \frac{(\Delta\omega)_{max}}{\omega_s} (\cos 2\omega_s t - 1) \quad (4) \end{aligned}$$

단,  $k_f$ : 비례계수

$$(\Delta\omega)_{max} = \frac{k_f V}{\pi} : \text{最大周波數偏移(maximum frequency deviation)} \quad (5)$$

따라서 FM 결과식은 (1)식과 (4)식으로부터

$$V_{FM}(t) = V_{t,m} \sin[\omega_s t + \frac{(\Delta\omega)_{max}}{\omega_s} (\cos 2\omega_s t - 1)] \\ = V_{t,m} \sin[\omega_s t + m_f (\cos 2\omega_s t - 1)] \quad (6)$$

$$m_f = \frac{(\Delta\omega)_{max}}{\omega_s} : \text{變調指數(modulation index)} \quad (7)$$

Target로부터의 反射波  $v_r$ 는 送信波보다  $T=2r/c$ 만큼 늦어진다. 따라서

$$v_r = V_r \sin[\omega_s(t-T) + m_f (\cos 2\omega_s(t-T))] \quad (8)$$

이것을 다이오드에 依하여 檢波한다.

檢知에 關해서 Doppler 효과의 周波數解析으로만 오늘날까지 취급해왔다. 即 電波法에 依한 送信周波數를  $f_s$ , 目標物의 速度를  $v$ , Doppler 效果에 依한 周波數 偏移  $f_d$ , 電波의 空間速度를  $c$ , 送信波波長을  $\lambda_s$ 라 할때

$$f_d = \pm \frac{2v}{c} f_s \text{ 혹은 } f_d = \pm \frac{2v}{\lambda_s} \text{ 단, } c = \lambda_s f_s \quad (9)$$

이때 正, 負 부호는 目標物을 基準하여 近接, 遠隔表示로써 車輛의 移動方向을 제시한다.

本論文에서는 이러한 解析과는 달리 檢知器出力電壓值 및 그電壓波形的 變化에 依하여 交通流通現象을 해석코자한다. 檢知部分의 出力電壓變化를 주는 原因을 보면, 첫째 크라이스트론의 反射電壓  $V_r$ 을 變化하면 發振周波數가 變化하는 것으로 이에따른 周波數偏移  $\Delta f$ 는

$$\Delta f = \frac{\phi_0 f_0}{2Q_L(V_0 + V_r)} \Delta V_r \quad (10)$$

여기서  $\phi_0$ 는 反射空間을 왕복하는 電子의 走行角, 加速電壓  $V_0$ , 負荷의 Q값  $Q_L$ , 또  $V_r$ 를 크게하면 他 mode의 주파수에 轉位한다. 아울러 走行時間의 角度  $\theta$ 는 다음과 같다.

$$\theta = 2n\pi + \frac{3}{2}\pi, \text{ 단 } n=0, 1, 2 \dots (\text{mode 수}) \quad (11)$$

둘째로 일정한 送信周波數에 대하여 目標物의 材質(車體構成物로서 完全導體, 半導體, 不導體等)에 關係되고, 셋째로 目標物인 車와 送, 受信機의 相對的位置(거리 및 方向)에 따라 큰 영향을 초래한다. 이를 막스웰의 電磁輻射場理論<sup>2), 3)</sup>에 依하여 유도한식은 다음과 같다. 첫째, 전계  $E_\theta$ 와 자계  $H_\phi$ 에 關한 空間輻射場理論式은  $E_\theta = Z_0 H_\phi$ 이다.

이 식에서

$$H_\theta = \frac{jk_0 I_0 \Delta Z}{4\pi r} \sin\theta e^{-jk_0 r} \quad (12)$$

$$E_\theta = Z_0 H_\theta = \frac{jk_0 I_0 \Delta Z Z_0}{4\pi r} \sin\theta e^{-jk_0 r} \\ = \frac{jk}{r} \sin\theta e^{-jk_0 r} \quad (13)$$

$$\text{단, } k = \frac{k_0 I_0 \Delta Z Z_0}{4\pi}$$

따라서  $k$ 는 輻射場에 있어서 送信안테나의 原點에서  $Z$ 方向 미소변화  $\Delta Z$ 의 線形電流素子 實振幅係數  $I_0$  및 고유 임피던스  $Z_0$ 에 의하여 구해진다. 輻射場이 半徑  $r$ 와  $\theta$  및  $k$ 값에 依해서 定해지며, 振幅 또는 檢知出力  $A$ 는 식(13)으로부터

$$A = \frac{k'}{r} \sin\theta \quad (14)$$

와 같다. 이때  $k'$ 는 앞서 구한  $k$ 값 以外에 特別目標物의 材質에 따르는 임피던스 특성이 첨가된 계수이고 目標物을 中心으로한 送受信機의 同心圓배치에서 目標物까지의 距離  $r$ , 目標物과 送受信機의 相對的 角 $\theta$ 에 따라 다이오드檢知의 出力電壓이 求해진다. (그림 1 참고)

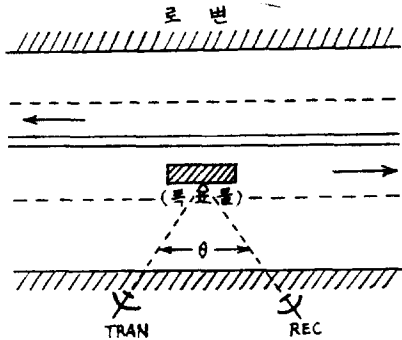


그림 1. 目標物—송수신기 위치  
Fig. 1. Target-Transceiver location.

(2) 記錄感知 및 감시

감지기인 경우 檢知器에서 얻어진 出力波形을 그대로 스코우프를 통해 直接觀측하고 Digital counting 을 目的으로 檢知된 出力을 다시 그림 2의 계수형計

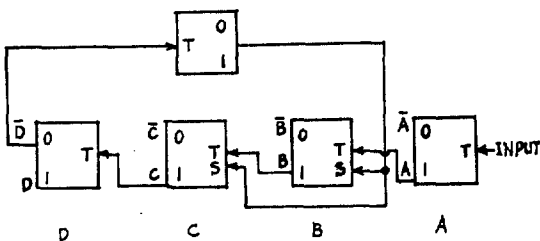


그림 2. 계산기  
Fig. 2. Decade counter.

算機 및 그 해독기 그림 4에 依하여 通行車輛 현황을 파악한다.

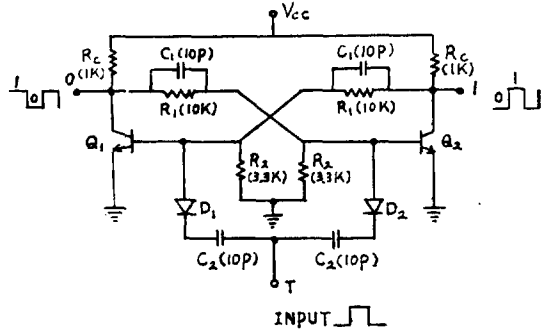


그림 3. (a) I-K프립-프롭 O,I,T  
Fig. 3. (a) Clocked J-K flip-flop O,I,T

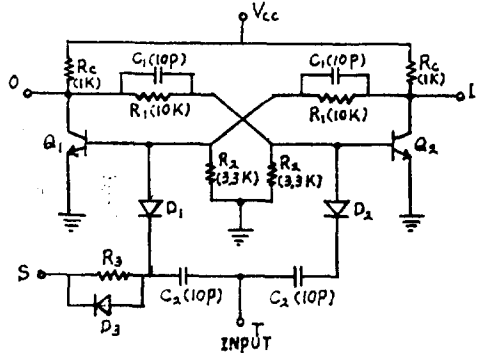


그림 3. (b) O,I,T,S  
Fig. 3. (b) O,I,T,S

그림 3. (a) 및 (b)를 그림 2의 Box 端子에 接續하고

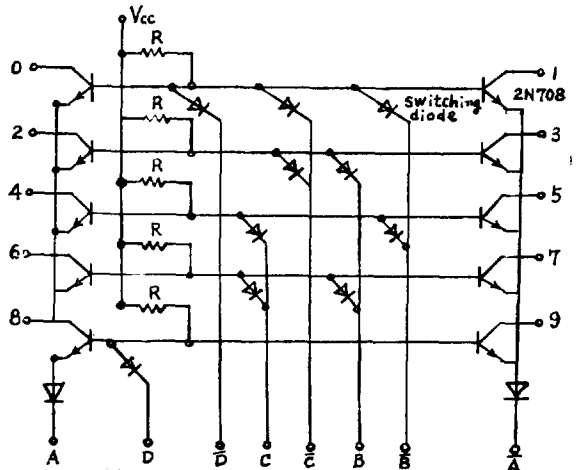


그림 4. Bi-quinary code 해독기  
Fig. 4. Decoder

各 Box의 0,1端子(A,  $\bar{A}$ ; B,  $\bar{B}$ ; C,  $\bar{C}$ ; D,  $\bar{D}$ )에 解讀器의 Bi-quinary Code端子에 연결한다. 이리하여 NIXIE tube에 의해서 현상을 파악한다. 해독기의 구조는 그림 4와 같다.

(3) 制御

그림 5를 참고하면, 첫째 正常運行時는 定周期式을 취하고 둘째, 非正常운행시(혼란)는 信號의 變換周期를 定周期때와는 달리 짧게하여 流通시키고 이러한 현상以後는 다시 正常주기식 運轉을 원칙으로 한다.

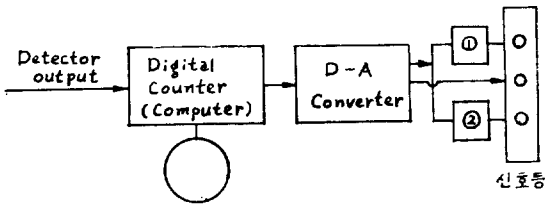


그림 5. 點制御系統圖  
Fig. 5. Point traffic control system.

신호변환주기설정판계는 그림 6에 表示되어 있다.

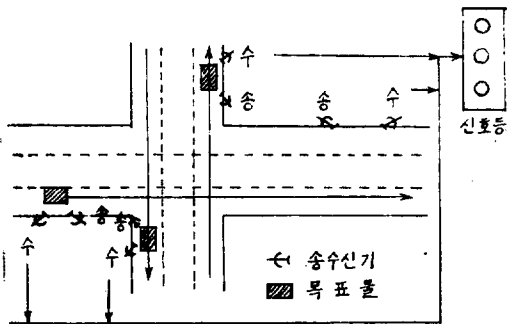


그림 6. 신호제어  
Fig. 6. Signal Light control.

3. 實驗 및 고찰

(1) 實 驗

실험에 앞서 도로설정은 그 모델을 2車線 3車線... 등으로 계획할수있겠지만 本實驗은 上行및 下行 即 2車線을 선정했으며, 目標物과 送受信器설치에 있어서 그 配置관계는 앞서 논한바와같이 車線의數에 따라 몇가지 (그림 7 참조) 方法을 들수있지만 그림 7(b)에 의거 실시했으며, 目標물(차량)로써 純金屬製 paint塗布金屬製 및 플라스틱製 모형車를 대상으로 했다.

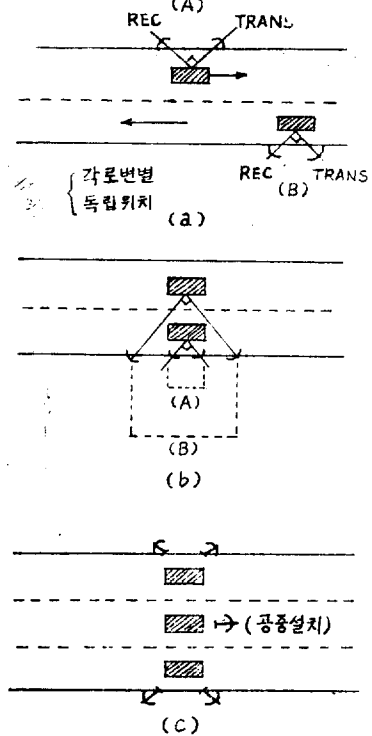


그림 7. 송수신기 배치  
Fig. 7. TRAN-REC instillation.

그림 8은 目標물이 A에 위치하고  $\theta=90^\circ$ ,  $r=45\text{cm}$  때이고, 目標物을 純金屬製를 택하였을때의 波形은 (그림 9)와 같고, 出力電壓値는 測定値中 가장 큰 값을 보여주었다.(값은 表1 data 참고)

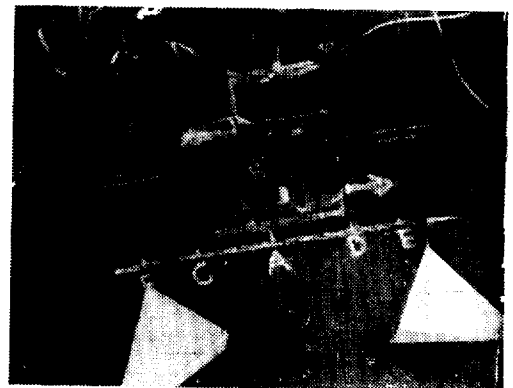


그림 8. 目標물 A 위치에서의 송수신기 배치  
Fig. 8. Target A & transceiver.

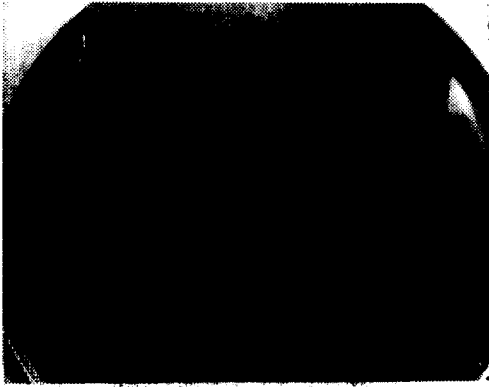


그림 9. 목표물 순금속제 그림 8의 위치  
 Fig. 9. Target-pure metal at fig.8 position.

다음에 送受信機를 固定시키고 目標物을 A의 위치로부터 左(C지점) 및 右(D지점)으로 移動한 경우 모형은 그림 10과 같고 各지점에 있어서의 出力波形은 그림 11 및 12와 같다. 이때 目標物은 페인트 칠한 金屬製이다. 以上の 波形振幅變化 및 表1의 data를 참고하면 明白한 바와같이 大體로 最大값을 갖었던 A의 位置로부터 멀리 떨어지거나 角度가 달라지면 出力이 감소한다는



그림 11. C위치 그래프  
 Fig. 11. Graph at C painted metal target.

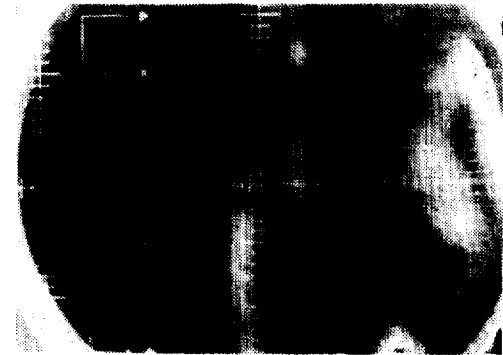


그림 12. D위치 그래프  
 Fig. 12. Graph at D, painted metal target.

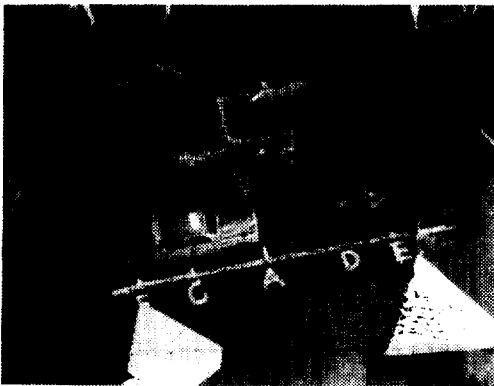


그림 10. 목표: C,D지점이동  
 Fig. 10. Target movement from A to C & from A to D.

事實을 알 수 있다. 계속해서 E,F의 위치는 그래프 上振幅이 아주작게 나타났다. 따라서 出力電壓도 낮은 값을 보였다.(그림 13 및 14 참고) 역시 목표물은 페인트 칠한 金屬제 모형차의 경우이다.

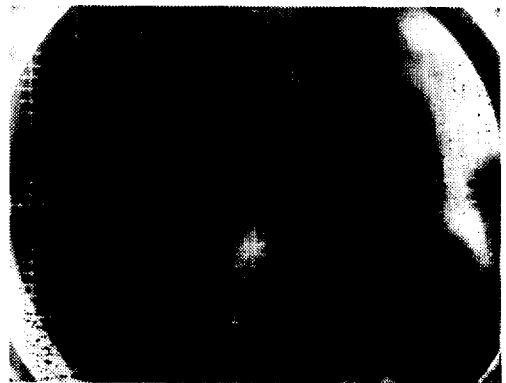


그림 13. E위치 그래프  
 Fig. 13. Graph at E, painted metal target.



그림 14. F위치 그래프  
**Fig. 14.** Graph at F, painted metal target.

目標物을 순플라스틱제 모형차를 그림 15와 같이 A의 위치에서 測定했을때 出力波形의 振幅은 그림 16과 같다.



그림 15. 目標物 플라스틱製 A위치  
**Fig. 15.** Plastic target at A.

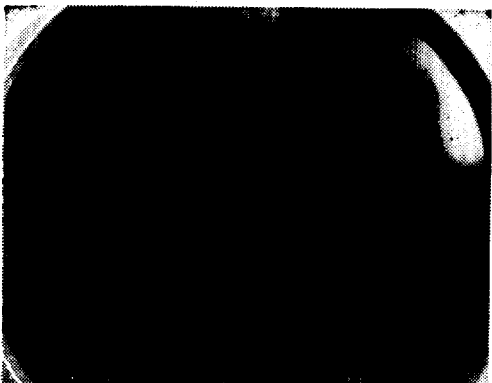


그림 16. 플라스틱제 A위치 그래프  
**Fig. 16.** Graph at A, plastic target.

他近接車線(10cm간격)에 대해서는 거의 零의 값을 보였다. 따라서 그래프도 直線으로만 나타났다.(그림 17)

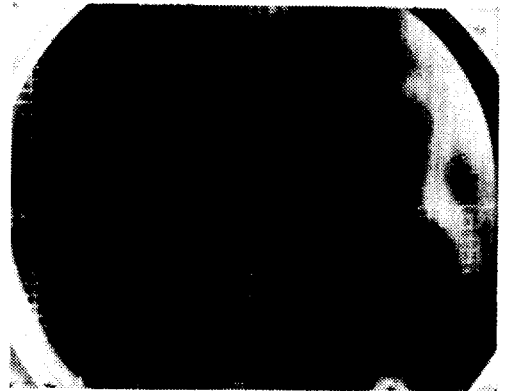


그림 17. A위치로부터 근접차선 차량검지  
**Fig. 17.** Near-by metal target detection from A.

그림 18은 Klyston에 대한 反射電極電壓變化로인한 mode상태를 보여준다.(그림 18)

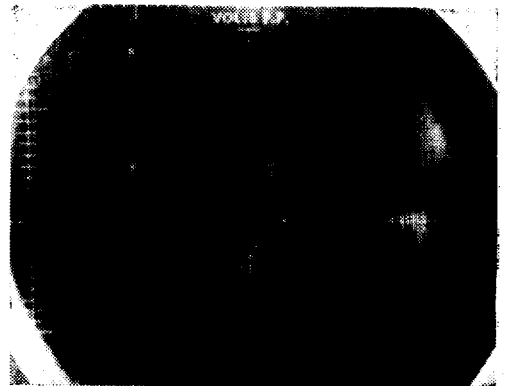


그림 18. Mode조정  
**Fig. 18.** Modes.

표 1

모형상의 위치	E, F							C, D	A	
이동거리 [cm]: A 위치기준	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
출력	순금속	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.32
DC 전압	Paint한 순금속	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.11	0.12	0.28
[V]	순플라스틱제	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.02

表1을 참고하면 목표물 A 위치기준 左, 右 移動에 대한 出力 波形은 그림 19와 같은 振幅變化양상을 보여 주며 그 出力電壓값은 左·右 對稱으로 求해진고로 모두 약하고 E, F 및 C, D 단表에 명시하였다.

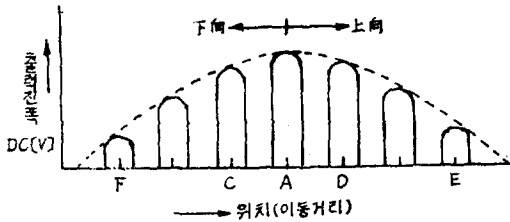


그림 19. 上·下向 移動時의 振幅變化形態  
Fig. 19. Amplitude variation with target flow.

## (2) 實驗결과 고찰

本實驗은 反射電極電壓의 變化에 따라 出力 mode가 多種生成되므로  $-125\text{VDC}$ , 電流  $10\text{mA}$ , 出力  $P_0=125\text{mW}$ , 共振空腔電壓  $300\text{VDC}$  상태에서 크라이스트론을 動作시켰을때 얻은 data이다. 檢知器에 의하여 檢知된 波形的의 모양은 마이크로파에 실는 信號入力の 種類에 따라 여러현상으로 나타나겠으나. 다만 目標物의 현황을 正確히 파악할수있고 同時에 出力電壓의 變化가 振幅에 의하여 明確히 區分되던 充分하다. Klystron과 檢波器에 있어서 다이오드 자신들의 非直線動作特性으로 因하여 多少 誤差가 있는 것이나 本實驗은 大體로 만족한 결과를 얻은 셈이다. 순수한 金屬製 모형차, 페인트(paint)칠한 金屬製 모형차 순플라스틱제 모형차 順으로 振幅 감소區分이 完연하였으며 同時에 出力의 감소가 記錄상에 나타났다.

따라서 스크우프에 나타난 出力電壓의 振幅에 關한 해석은 막스웰의 電磁輻射場理論式에 있어서의 振幅式, 式(14)와 一致된다.

## 4. 結 論

目標物인 車와 送·受信機의 位置三角關係에서 距離 角度變化에 따라 目標物反射로부터 檢知된 出力이 變化하고 아울러 振幅도 比例해서 變한다는 事實이 實驗에

依해서 立證되었으며 오실로스코프를 通해 직접 볼 수 있었다. 振幅變化모양은 比較的 波形的의 變化區分이 鮮明하고 감도가 좋았으며 速應성이 예민하였다. 또한 他走行線에 對하여 간섭을 일으키지않고 通行차량현황의 파악이 가능하였고 車의 種類別 식별에 關해서도 어느程度 區分되었다. 그러므로 좀더 出力을 크게하고 안테나의 選定을 잘하면 보다 좋은 결과를 기대할수 있을 것이다. 從來의 周波數에 依한 解析보다 實際 檢知 문제는 막스웰理論에 依한 誘導解析이 훨씬 실질적이고 용이하다는것도 實驗을 通해 알수있었다. 全體系統 制御問題는 開루우프動作法이지만 感知器로써 受信機 出力部에 잇대어 Digital Counter를 설치하였으므로 D-A 變換器에 依해서 信號燈의 알맞게 制御되고 있다. 그리고 系統組織이 간단하고 堅固한것도 本研究의 特徵이다.

## 參 考 文 獻

1. K.L. Fuller and A. J. Lambell, Traffic-Flow Analysis by Radar, Philips Technical Review, Vol.31, No.1, 1970
2. Weeks, Antenna Engineering, McGraw-Hill, 1967
3. Pronsey and Collin, Principle and Application of Electromagnetic Theory, McGraw-Hill, 1961
4. 白幡潔, 中村泰二, エレクトロニクスにすける應用裝置, 電子技術 pp.66~71, Vol. 13, No.9, Aug. 1971
5. David P. Lindorff, Theory of Sampled-Data Control Systems, John Wiley & Sons, 1965
6. B.C. Kuo, Discrete-Data Control Systems, Prentice-Hall, 1970
7. 宇田新太郎, レーグ工學演習, 學獻社, Apl, 1972
8. Denos C. Gazis, Traffic Control: From Hand Signals to Computers, the IEEE, pp.1090~1099, July, 1971
9. Jacob Millman & Herbert Taub, Pulse, Digital and Switching Waveforms, McGraw-Hill, 1965