

## 論 文

# 直接檢波, 光通信에 이용되는 Point-detector Array의 解析

正會員 成 平 植\* 正會員 金 暎 權\*\*

## Direct-Detection, Analysis of the point-detector arrays used in optical communication

Pyung Shik SUNG\*, Yung Kwon KIM\*\* *Regular Members*

**要 約** 本 論文은 大氣 空間에서 信號場과 雜音場을 處理하기 위하여 point-detector array 檢波 시스템을 構成한 것이다. 또 variance 및 covariance Circuit도 구성했다. 이것들을 이용하여 測定한 直接檢波 最大出力은 理論値와 잘 一致함을 確認하였고 또한 實驗値는 joint-Gaussian 理論曲線과 一致하였다.

**ABSTRACT** This paper describes the point-detector arrays system to processes the fields of signal and noise of the turbulent atmosphere or variance and covariance circuit. By using the aboves, the maximum output of direct-detection shows a little differences between experimental datas and theoretical datas. As a whole the experimental datas are agreed with the joint Gaussian theoretical curves.

### I. 序 論

Laser光을 利用하여 大氣 空間을 통과하는 光通信의 直接 光檢波 受信에 관한 研究가 많이 보고 되고 있다<sup>(1)~(9)</sup>.

本 論文은 空間的으로 變化하지 않는 信號場

\*大憲工業專門大學電子科  
Dept. of Electronic DAE HUN Technical College  
Inchon-Si, 160 Korea.

\*\*建國大學校工科大學電子工學科  
Dept. of Electronic Engineering, Kon Kuk University.  
Seoul, 133 Korea.

論文番號: 87-43(接受 1987. 1. 10)

$S_j$  의 합과 雜音場  $n(t, x)$ 을 處理하기 위해  $n$ 個의 同一한 特性을 갖는 Point-detector array를 構成하고 檢波 시스템을 考察하기 위해 最適 Point-detector array와 Covariance回路를 構成하였다. 이것들을 利用하여 測定한 直接 檢波 最大 出力은 理論値와 잘 一致함이 確認되었고, 實驗値는 joint Gaussian理論曲線과 一致함을 確認하였다.

이러한 결과는 大氣 空間 領域에서 Optical Coherent RADAR, COAT(Coherent Optical Adaptive Techniques) 시스템, 기타 大氣 空間通信의 解析에 유용하게 應用될 것으로 期待할 수가 있다.

## II. 受信機의 理論

受信機 시스템은 空間的으로 同一 方向(x축 평면 array에서)에 위치한 n개의 point-detector로 構成하고, 受信 입력  $y(t, x)$ 는 既知의 信號  $S_j(t)$ 와 백색 가우스 雜音  $n(t, x)$ 와의 합이다. (9)

$$y(t, x) = S_j(t) + n(t, x) \quad (1)$$

雜音場은 次數가 같고 空間的으로 同一 方向이므로 雜音 Covariance는 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} E[n(t_1, x_1) n(t_2, x_2)] &= C_n(t_2 - t_1, |x_2 - x_1|) \\ &= \sigma_n^2 C_t(t_2 - t_1) C_x(|x_2 - x_1|) \end{aligned} \quad (2)$$

雜音源이 時間 間隔에 대해서 適當한 time-stationary가 되고 array軸上의 範圍가 같은 次數라면 結果的으로 생기는 雜音場은 같다. 雜音場은 array軸에서 方向性을 가지고 있지 않다면 空間的으로 同一한 方向이다. 이상에서 생기는 문제점인 noise-covariance, 또는 joint-spectrum에 관한 식은 다음과 같다.

$$C_n(f, \eta) = 2\pi \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty C_n(\tau, r) \cdot \exp(-i2\pi f\tau) J_0(2\pi\eta r) r dr d\tau \quad (3)$$

스펙트럼이 分析的이고 모든 信號 에너지가 周波數 狹帶域( $f_0 - \delta/2, f_0 + \delta/2$ )에 집중되어 있다면 joint-spectrum은 모든  $\eta$ 에서 周波數가 一定하다고 생각되어 이 帶(Band)에서 周波數를 분리할 수 있게 된다. 그러므로, 雜音의 joint-spectrum covariance는 모든 周波數를 분리할 수 있다고 가정할 수 있다. 특히 信號와 雜音 모델에 대한 雜音의 空間的 covariance 函數는 다음 식과 같다.

$$C_x(|\Delta X|) = (1 + \rho^2)^{-1} \left[ \rho^2 \delta_{|\Delta X|} + \int_{-\pi/2}^{\pi/2} P(\phi) J_0(2\pi\eta_0 |\Delta X| \cos \phi) d\phi \right] \quad (4)$$

만약,  $|f - f_0| < \delta/2$ 라면 point-detector 출력은 時間으로 표분화할 수 있으며 j번째 point-detector出力은 列(column) 벡터,  $y(x_j)$ 로 表現할 수 있다. K번째 成分은 다음 식과 같다.

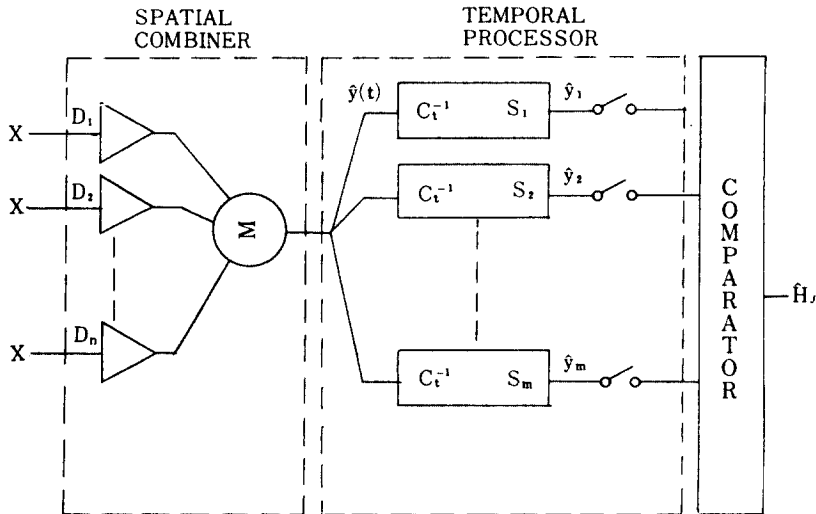


그림 1 최적 수신기의 블럭도  
The Block diagram of optimum detector.

$$[y(x_j)]_k = y[t_k, x_j] \quad (5)$$

모든 point-detector 出力 列(column) 벡터는 다음 식과 같다.

$$y = \begin{bmatrix} y(x_1) \\ \vdots \\ y(x_n) \end{bmatrix} \quad (6)$$

Kronecker 산출의 轉位性和 分配性的 간단한 擴張을 使用하면 다음 식과 같다.

$$\frac{l_j(Y)}{g_n^2} = \left[ \sum_{k=1}^n a_k Y(X_k) \right]^* \sigma_n^{-2} C_x^{-1} S_j - \frac{1}{2} S_j^* C_x^{-1} S_j - \frac{1}{2} g_n^{-2} l_n \pi_j \quad (7)$$

여기서 자송 array 利得은  $g_n^2 = \psi_0^* C_x^{-1} \psi_0$  이고  $a_k$ 는 n次數 weight vector의 k번째 成分이다. 또 最適受信機의 構造는 그림 1과 같다. 空間的 結合機(combiner)에 대한 n개의 point-detector 출력은 다음 식과 같다.

$$\hat{y}(t) = \sum_{k=1}^n a_k y(t, X_k), \quad (8)$$

또 array 利得은 다음 식과 같다.

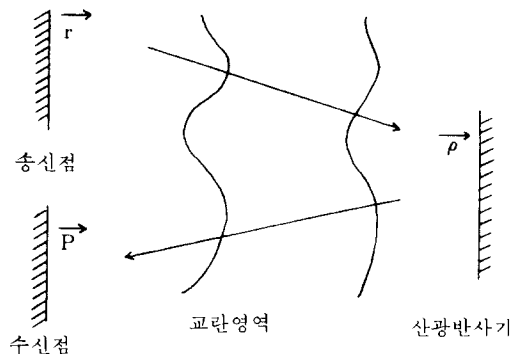


그림 2 송수신지점  
Illustrator, target and receiver Configuration.

$$g_n = |\psi_0^* C_x^{-1} \psi_0|^{1/2} \quad (9)$$

따라서, 신호 point-detector로 구성된 檢波 시스템에 있어서 j번째와 k번째 과정 사이의 거리와 積으로 분리할 수 있음을 알았다. 그러므로, j와 K에 무관한 array 利得을 最大化함과 동시에 n개 처리 사이의 確率 誤差를 最小化하여 雜音의 空間的 covariance函數 point-detector의 數와 point-detector 위치의 array 利得을 最大化할 수가 있다.

### Ⅲ. 光波에 대한 理論

#### 가. Irradiance의 세기

광원, 표적, 수신단에 대한 구성도를 그림 2에 나타냈다.  $r, \rho, P$ 는 각각 광원, 표적, 수신단에서의 좌표이다.

광원 진폭 분포는 다음 식과 같다<sup>14)</sup>.

$$u_o(\mathbf{r}) = u_o \exp \left[ -\frac{r^2}{2\alpha_o^2} - \frac{ikr^2}{2F} \right] \quad (10)$$

$\alpha_o$ : 빔 반경

F: 초점거리

이때, 표적에서 산란되기 직전의 field 분포는 extended Huygens-Fresnel 원리<sup>15), 16)</sup>에 의해 다음 식과 같이 된다<sup>17)</sup>.

$$u_s(\mathbf{p}) = \frac{k}{2\pi_1 L} \exp \left[ ik \left( L + \frac{\rho^2}{2L} \right) \right] \int u_o(\mathbf{r}) \exp \left[ \frac{ik(r^2 - 2\mathbf{r} \cdot \rho)}{2L} + \psi_1(\rho, \mathbf{r}) \right] d\mathbf{r} \quad (11)$$

$\psi_1$ : 광원과 표적 사이의 구면파 전파에서의 랜덤 물질에 의한 효과

표적에서의 field에 extended Huygens-Fresnel 원리를 다시 적용시키면 수신단에서의 field가 얻어지며 그 결과식은 다음과 같다.

$$u(\mathbf{p}) = \frac{k}{2\pi i L} \exp \left[ ik \left( L + \frac{P^2}{2L} \right) \right] \int u(\rho) \exp \left[ \frac{ik(\rho^2 - 2\rho \cdot \mathbf{p})}{2L} + \psi_2(\mathbf{p}, \rho) \right] d\rho$$

$u(\rho)$  : 산란된 직후의 표적에서의 field (12)  
 $\psi_2$  : 표적과 수신단 사이의 구면파 전파에서의 랜덤 물질에 의한 효과.

이상의 결과식들은 focused ( $L=F$ ) 또는 colimated ( $F \rightarrow \infty$ ) 빔인 경우에도 적용된다<sup>[14]</sup>.

나. 시간 지연 Correlation 함수

수신점  $P_1, P_2$ 에서의 intensity에 대한 시간 correlation 함수는 다음 식과 같다.

$$B_1(\mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2, \tau) = \langle I(\mathbf{P}, 0) I(\mathbf{P}_2, \tau) \rangle \\ = \langle I(\mathbf{P}_1, 0) U^*(\mathbf{P}_1, 0) U(\mathbf{P}_2, \tau) U^*(\mathbf{P}_2, \tau) \rangle \\ = \left( \frac{k}{2\pi L} \right)^4 \iiint \iiint d\rho_1 d\rho_2 d\rho_3 d\rho_4 \langle U(\rho_1, 0) U^*(\rho_2, 0) XU(\rho_3, \tau) U^*(\rho_4, \tau) \rangle \\ \exp\{i(k/2L)[\rho_1^2 - \rho_2^2 + \rho_3^2 - \rho_4^2 - 2\mathbf{P}_1 \cdot (\rho_1 - \rho_2) - 2\mathbf{P}_2 \cdot (\rho_3 - \rho_4)]\} \times H(\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4; \mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2; \tau) \quad (13)$$

여기서  $H$ 는 구면파의 4차 mutual coherence 함수<sup>[13]</sup>이며 다음 식과 같다.

$$H = \langle \exp[\psi(\mathbf{P}_1, \rho_1, 0) + \psi^*(\mathbf{P}_1, \rho_2, 0) + \psi(\mathbf{P}_2, \rho_3, \tau) + \psi^*(\mathbf{P}_2, \rho_4, \tau)] \rangle \\ = \exp \left[ - (1/2) (D_{12} - D_{13} + D_{14} + D_{23} - D_{24} + D_{34}) + 2C_{x13} + 2C_{x24} \right] \quad (14)$$

여기서 波構造 函數와 對數 진폭 covariance 함수는 다음 식과 같다<sup>[16], [18]</sup>.

$$D_{ij} = \frac{2.91}{2} Lk^2 \int_0^1 C_n^2(t) |t(\mathbf{P}_j - \mathbf{P}_i) - \mathbf{V}(t_j - t_i) + (1-t)(\rho_j - \rho_i)|^{5/3} dt \quad (15)$$

$$C_{xij} = 0.132 \pi^2 k^2 L \int_0^1 dt C_n^2(t) \int_0^\infty du u^{-8/3} \times \sin^2 \left( \frac{u^2 t (1-t)L}{k} \right) J_0[ut(\mathbf{P}_j - \mathbf{P}_i) - \mathbf{V}(t_j - t_i) + (\rho_j - \rho_i)(1-t)] \quad (16)$$

$C_n^2(t)$  : 굴절 구조 함수

$\mathbf{V}$  : 풍속도 벡터

$t$ 는  $L$ 을 정규화시킨 광원과 field 점 사이의 거리이고

$$\mathbf{P}_2 = \mathbf{P}_1; \mathbf{P}_3 = \mathbf{P}_2; \mathbf{P}_4 = \mathbf{P}_2; t_1 = t_2 = 0$$

$$t_3 = t_4 = \tau$$

이다.

표적으로부터 산란된 후의 field는 jointly Gaussian 분포를 가지며, 따라서 이상적인 확산 표적인 경우에는

$$\langle U(\rho_1, 0) U^*(\rho_2, 0) U(\rho_3, \tau) U^*(\rho_4, \tau) \rangle \\ = (4\pi/k^2)^2 \langle I(\rho_1, 0) \rangle \langle I(\rho_3, \tau) \rangle \delta(\rho_1 - \rho_2) \\ \delta(\rho_3 - \rho_4) + (4\pi/k^2)^2 \langle U(\rho_4, 0) U^*(\rho_4, \tau) \rangle \\ \langle U(\rho_2, \tau) U^*(\rho_2, 0) \rangle \times \delta(\rho_1 - \rho_4) \delta(\rho_3 - \rho_2) \quad (17)$$

으로 되며 식 (16)을 식 (12)에 대입하여  $d\rho_1, d\rho_3$ 에 대해 적분하면 시간 지연 correlation 함수는 다음과 같다<sup>[17]</sup>.

$$B_1(\mathbf{P}, \tau) = \frac{1}{\pi^2 L^4} \iint d\rho_2 d\rho_4 \langle I(\rho_2, 0) \rangle$$

$$\begin{aligned} & \langle I(\rho_1, \tau) \rangle H_1(\rho_2, \rho_1, \mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2) \\ & + \frac{1}{\pi^2 L^4} \iint d\rho_2 d\rho_1 \langle U(\rho_1, 0) U^*(\rho_1, \tau) \rangle \\ & \langle U(\rho_2, \tau) U^*(\rho_2, 0) \rangle \\ & \times \exp[i(k/L) \mathbf{P} \cdot \rho] H_2(\rho_2, \rho_1, \mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2) \end{aligned} \quad (18)$$

여기서,

$$H_1 = H |_{\mathbf{P}_1 = \rho_2; \rho_3 = \rho_1; \mathbf{P}_2 = \mathbf{P}_1; \mathbf{P}_3 = \mathbf{P}_2; \mathbf{P}_4 = \mathbf{P}_2} = e^{i C_x(\mathbf{P}, \rho, \tau)} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} H_2 &= H |_{\rho_1 = \rho_1; \rho_3 = \rho_2; \mathbf{P}_2 = \mathbf{P}_1; \mathbf{P}_3 = \mathbf{P}_2; \mathbf{P}_4 = \mathbf{P}_2} \\ &= \exp\{- (1/2) [ 2 D_\psi(0, \rho, 0) \\ & - D_\psi(\mathbf{P}, -\rho, \tau) + 2 D_\psi(\mathbf{P}, 0, \tau) \\ & - D_\psi(\mathbf{P}, \rho, \tau) ] + 2 C_x(\mathbf{P}, -\rho, \tau) + \\ & + 2 C_x(\mathbf{P}, \rho, \tau) \} \end{aligned} \quad (20)$$

$$\mathbf{P} = \mathbf{P}_2 - \mathbf{P}_1,$$

$$\rho = \rho_1 - \rho_2,$$

여기서 파구조 함수와 대수 진폭 코바리언스 함수는 식(15), (16)에 주어져 있으며 식(15), (16)에서  $\mathbf{P}_j - \mathbf{P}_i = \mathbf{P}$ ;  $\rho_j - \rho_i = \rho$ ;  $t_j - t_i = \tau$  이다.

광원과 표적에서의 field식에 extended Huygens-Fresnel 원리를 적용시키면 표적에서의 field에 대한 autocorrelation 함수를 얻을 수 있으며 그 결과식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \langle U(\rho, 0) U^*(\rho, \tau) \rangle &= \left( \frac{k}{2\pi L} \right)^2 U_0^2 \iint d\mathbf{r}_1 d\mathbf{r}_2 \\ & \langle \exp[ \psi(\rho, \mathbf{r}, 0) + \psi^*(\rho, \mathbf{r}_2, \tau) ] \rangle \\ & \times \exp \left[ - \left( \frac{r_1^2 + r_2^2}{2\alpha_0^2} \right) + i \frac{k}{2L} \left( 1 - \frac{L}{F} \right) \right. \\ & \left. (r_1^2 - r_2^2) - i \frac{k}{L} \rho \cdot (\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2) \right] \end{aligned} \quad (21)$$

여기서

$$\begin{aligned} & \langle \exp[ \psi(\rho, \mathbf{r}, 0) + \psi^*(\rho, \mathbf{r}_2, \tau) ] \rangle = \\ & = \exp \left[ - \frac{1}{2} D_\psi(0, \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1, \tau) \right] \end{aligned}$$

이다.

식(21)에서  $\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2 = \mathbf{r}$ ,  $\mathbf{r}_1 + \mathbf{r}_2 = 2\mathbf{R}$  로 변수 변환하고  $\theta_R$ 과 R에 대해 적분하면<sup>(13)</sup>

$$\begin{aligned} \langle U(\rho, 0) U^*(\rho, \tau) \rangle &= \frac{U_0^2 k^2 \alpha_0^2}{4\pi L^2} \int d\mathbf{r} \\ & \exp \left[ - \frac{r^2}{4\alpha_0^2} - i \frac{k}{L} \rho \cdot \mathbf{r} - \frac{1}{2} D_\psi(0, -\mathbf{r}, \tau) \right. \\ & \left. - \left\{ \frac{k}{L} \cdot \frac{\alpha_0}{2} \left( 1 - \frac{L}{F} \right) \right\}^2 r^2 \right] \end{aligned} \quad (22)$$

이 얻어지고, 공액 복소수를 취하면 다음 식이 얻어진다<sup>(17)</sup>

$$\begin{aligned} \langle U^*(\rho, 0) U(\rho, \tau) \rangle &= \frac{U_0^2 k^2 \alpha_0^2}{4\pi L^2} \int d\mathbf{r} \\ & \exp \left[ - \frac{r^2}{4\alpha_0^2} + i \frac{k}{L} \rho \cdot \mathbf{r} - \frac{1}{2} D_\psi(0, -\mathbf{r}, \tau) \right. \\ & \left. - \left\{ \frac{k}{L} \cdot \frac{\alpha_0}{2} \left( 1 - \frac{L}{F} \right) \right\}^2 r^2 \right] \end{aligned} \quad (22)$$

식(22)로부터 표적에서의 평균 intensity는 다음 식과 같이 된다<sup>(7)</sup>.

$$\begin{aligned} \langle I(\rho, 0) \rangle &= \frac{U_0^2 k^2 \alpha_0^2}{2L^2} \int r dr J_c \left( \frac{k r}{L} \rho \right) \\ & \exp \left[ - \frac{r^2}{4\alpha_0^2} - \frac{1}{2} D_\psi(0, -\mathbf{r}, 0) \right. \\ & \left. - \left\{ \frac{k}{L} \cdot \frac{\alpha_0}{2} \left( 1 - \frac{L}{F} \right) \right\}^2 r^2 \right] \quad (24) \\ \langle I(\rho, \tau) \rangle &= \frac{U_0^2 k^2 \alpha_0^2}{2L^2} \int r dr J \left( \frac{k r}{L} \rho \right) \end{aligned}$$

$$\exp \left[ -\frac{r^2}{4\alpha_0^2} - \frac{1}{2} D_\psi(0, -\mathbf{r}, 0) \right] \times \left\{ \exp[4C_x(\rho, \mathbf{p})] - 1 \right\} J_0 \left( \frac{k}{L} \gamma \rho \right) f_2(\mathbf{r}) \quad (29)$$

$$- \left\{ \frac{k}{L} \frac{\alpha_0}{2} \left( 1 - \frac{L}{F} \right) \right\}^2 r^2 \quad (25)$$

그리고, 수신단에서의 평균 intensity는 다음 식과 같다.

$$\langle I(\mathbf{P}, \tau) \rangle = \frac{1}{\pi L^2} \int d\mathbf{r} \langle |U(\mathbf{r})|^2 \rangle = \frac{U_0^2 \alpha_0^2}{L^2} \quad (26)$$

따라서, 수신단에서의 평균 intensity는 교란에 무관함을 알 수 있다.

다. 시간 지연 Covariance 함수

두 수신점  $\mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2$ 에서의 시간 지연 Covariance 함수는 다음 식과 같다.

$$C_I(\mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2; \tau) = \frac{1}{\pi^2 L^4} \iint d\rho_2 d\rho_1 (e^{4C_x(\mathbf{P}, \rho, \tau)} - 1)$$

$$\langle I(\rho_2) \rangle \langle I(\rho_1) \rangle + \frac{1}{\pi^2 L^4} \iint d\rho_2 d\rho_1 H_2(\mathbf{P}, \rho, \tau)$$

$$\exp(i(k/L) \mathbf{P} \cdot \rho$$

$$\times \langle U(\rho_1, 0) U^*(\rho_1, \tau) \rangle \langle U(\rho_2, \tau) U^*(\rho_2, 0) \rangle$$

$$= C_{I1} + C_{I2} \quad (27)$$

라. 數值 解析

수신된 intensity에 대한 시간 지연 Covariance 함수의 이론적 공식에서 수치 해석을 위해  $|\mathbf{P}_2 - \mathbf{P}_1| = P, \rho_1 - \rho_2 \approx \rho, \tau = 0$ 로 놓은 후  $\mathbf{Q}_R$ 에 대해 적분하면, 일정한 攪亂인 경우의 covariance 함수는 다음 식과 같다.

$$C_I(\mathbf{P}) = C_{I1}(\mathbf{P}) + C_{I2}(\mathbf{P}) \quad (28)$$

여기서,

$$C_{I1}(\mathbf{P}) = \langle I \rangle^2 \frac{1}{2\pi} \left( \frac{k}{L} \right)^2 \iiint d\theta d\mathbf{r} d\rho r \rho$$

$$C_{I2}(\mathbf{P}) = \langle I \rangle^2 \frac{1}{2\pi} \left( \frac{k}{L} \right)^2 \exp \left[ -2 \left( \frac{P}{\rho_0} \right)^{5/3} \right]$$

$$\times \iiint d\theta d\mathbf{r} d\rho r \rho f_1(\rho \cdot \mathbf{p}) J_0 \left( \frac{k}{L} \gamma \rho \right) f_2(\gamma) \quad (30)$$

$$f_1(\rho, \mathbf{p}) = \exp \left\{ i \frac{k}{L} \rho \cdot \mathbf{p} - 2 \left( \frac{\rho}{\rho_0} \right)^{5/3} + \frac{8}{3} \frac{1}{\rho_0^{5/3}} \right.$$

$$\times \left[ \int_0^1 dt |pt + (1-t)\rho|^{5/3} + \int_0^1 dt |pt - (1-t)\rho|^{5/3} \right]$$

$$\left. + 2C_x(\rho, \mathbf{p}) + 2C_x(\rho, -\mathbf{p}) \right\} \quad (31)$$

$$f_2(\mathbf{r}) = \exp \left( -\gamma^2 \left\{ \frac{1}{2\alpha_0^2} - 2 \left[ \frac{k}{L} \frac{\alpha_0}{2} \left( 1 - \frac{L}{F} \right) \right]^2 - 2 \left( \frac{r}{\rho_0} \right)^{5/3} \right\} \right) \quad (32)$$

적분을 간단히 하기 위해서  $f_2(\gamma)$ 을 Fourier-Bessel 급수로 전개시키고 다음 식을 이용한다<sup>13)</sup>.

$$\int_0^\infty \gamma J_0(\alpha\gamma) J_0(\beta\gamma) d\gamma = \frac{2\delta(\alpha-\beta)}{\alpha+\beta} \quad (33)$$

$$f_2(\gamma) = \sum_m b_m J_0 \left( \frac{P_m}{A} \gamma \right) \quad (34)$$

여기서

$$b_m = \frac{2}{A^2 J_1^2(P_m)} \int_0^A x f(x) J_0 \left( \frac{P_m}{A} x \right) dx \quad (35)$$

$$J_0(P_m) = 0 \quad (36)$$

이다.

### IV. 실험

본 실험에서 코바리언스의 측정을 위한 실험 시스템을 그림에 나타냈다.

### V. 결과 고찰

실험을 위하여 대기 공간의 터버런스 현상과 같은 turbulence simulator로 터버런스 탱크를

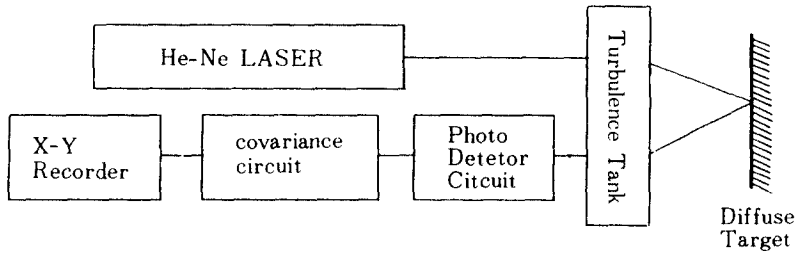


그림 3 실험구성도  
Experimental configuration.

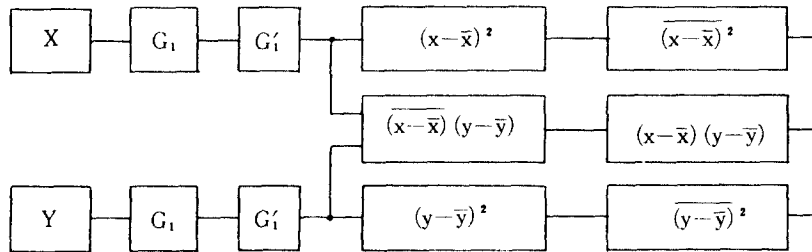


그림 4 바리언스와 코바리언스 블럭도  
The Block diagram of variance and covariance.

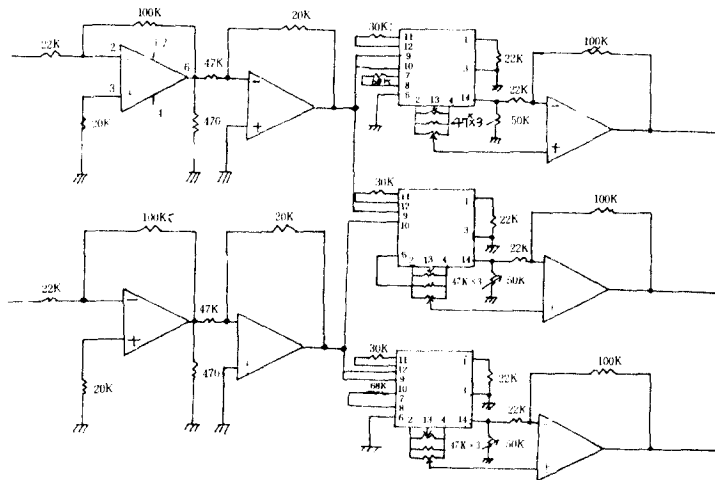


그림 5 바리언스와 코바리언스 회로  
The circuit of variance and covariance.

제작했고 코바리언스를 측정하기 위해서는 covariance 회로를 설계 제작하였다.

터버런스 탱크에서는  $C_2H_5OH$ 와  $H_2O$  물질을 각각 가열하여 빔의 전파 방향에 대하여 수직 방

향으로 터버런스 준위를 발생시켰다.

교란 현상을 측정하기 위해서 He-Ne Laser ( $\lambda = 6328\text{\AA}$ ) 빔을 교란대기 영역을 통과하여 확산 표적에 전파하고 다시 speckle field (斑點場)

표 1 L=30cm, 매질:  $C_2H_5OH$ 인 경우, 수신 intensity의 이론값과 실험값  
The theoretical and experimental value of received intensity. (L=30cm,  $C_2H_5OH$ ).

		L=30cm, $C_2H_5OH$						
		P(mm)	0	1	2	3	4	5
$Cn^2 = 10^{-16}$	이론값	9	8.82	8.55	7.02	5.31	4.41	
	측정값	12	11.88	11.64	9.72	7.32	6	
$Cn^2 = 10^{-14}$	이론값	9	8.28	6.12	3.78	2.16	1.35	
	측정값	12	11.28	8.28	5.16	3.12	1.44	
$Cn^2 = 10^{-12}$	이론값	8	0.64	0.08	0.04	0.024	0.016	
	측정값	10	0.9	-	-	-	-	

표 2 L=60cm, 매질:  $C_2H_5OH$ 인 경우, 수신 intensity의 이론값과 실험값  
The theoretical and experimental value of received intensity (L=60cm,  $C_2H_5OH$ ).

		L=60cm, $C_2H_5OH$						
		P(mm)	0	1	2	3	4	5
$Cn^2 = 10^{-16}$	이론값	8.9	8.54	8.1	6.5	5.16	4.09	
	측정값	11.2	10.86	10.30	8.4	6.61	5.38	
$Cn^2 = 10^{-14}$	이론값	8.4	5.71	2.87	0.77	0.42	0.17	
	측정값	10	6.9	3.6	1	0.6	0.3	
$Cn^2 = 10^{-12}$	이론값	7.8	0.062	0.047	0.045	0.039	0.03	
	측정값	8.3	0.08	-	-	-	-	

표 3 L=30cm, 매질  $H_2O$ 인 경우, 수신 intensity의 이론값과 실험값  
The theoretical and experimental value of received intensity (L=30cm,  $H_2O$ ).

		L=30cm, $H_2O$						
		P(mm)	0	1	2	3	4	5
$Cn^2 = 10^{-16}$	이론값	10	9.8	8.9	7.7	6.2	4.8	
	측정값	14	13.86	12.74	11.06	9.1	7.14	
$Cn^2 = 10^{-14}$	이론값	10	9.6	8.7	7.2	5.6	3.9	
	측정값	14	13.72	12.46	10.22	7.98	5.74	
$Cn^2 = 10^{-12}$	이론값	10	8.8	6.2	4.1	2.3	1.4	
	측정값	13	11.57	8.32	5.46	3.25	1.95	



표 4 L=60cm, 매질: H<sub>2</sub>O 인 경우, 수신 intensity 의 이론값과 실험값  
The theoretical and experimental value of received intensity. (L=60cm, H<sub>2</sub>O).

Cn <sup>2</sup>	L=60cm, H <sub>2</sub> O						
	P (mm)	0	1	2	3	4	5
10 <sup>-16</sup>	이론값	9.8	9.6	8.92	7.25	5.68	4.8
	측정값	13.5	13.37	12.42	10.13	7.97	6.62
10 <sup>-13</sup>	이론값	9.7	8.83	7.08	5.53	3.59	2.72
	측정값	13	8.84	9.62	7.67	4.94	3.77
10 <sup>-12</sup>	이론값	9.5	5.3	2.07	0.86	0.48	0.19
	측정값	12.6	7.06	3.15	1.26	0.88	0.38

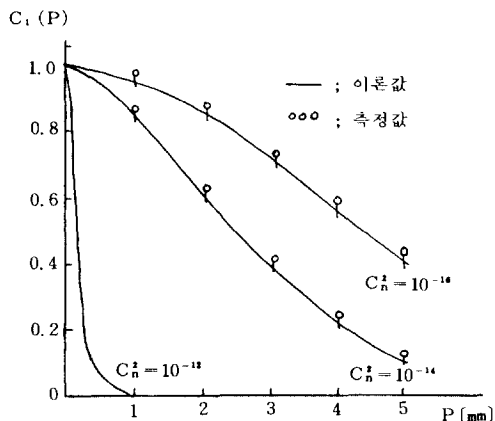


그림 6(a) C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH, λ=6328Å, L=30cm, α<sub>0</sub>=3.97  
수신된 intensity 에 대한 정규화 코바리언스  
Normalized covariance of the received intensity.

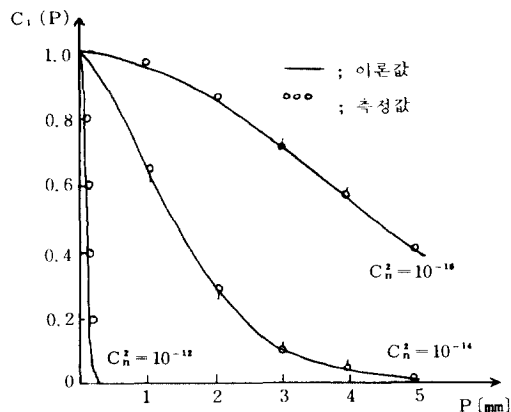


그림 6(b) C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH, λ=6328Å, L=60cm, α<sub>0</sub>=3.97  
수신된 intensity 에 대한 정규화 코바리언스  
Normalized covariance of the received intensity.

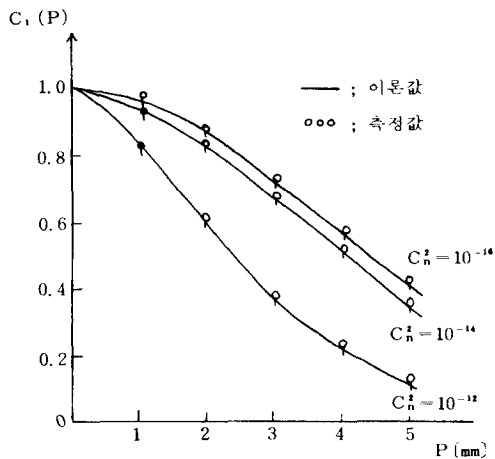


그림 7(a) H<sub>2</sub>O, λ=6328Å, L=30cm, α<sub>0</sub>=3.97  
수신된 intensity 에 대한 정규화 코바리언스  
Normalized covariance of the received intensity.

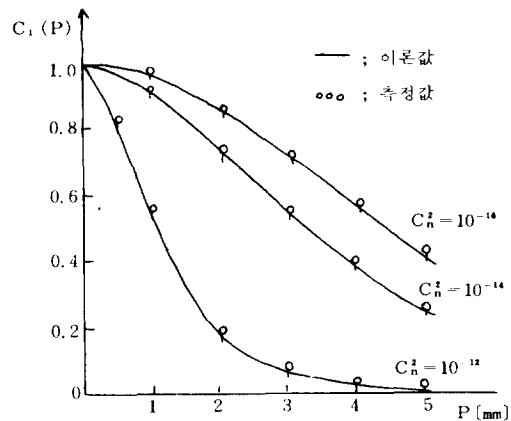


그림 7(b) H<sub>2</sub>O, λ=6328Å, L=60cm, α<sub>0</sub>=3.97  
수신된 intensity 에 대한 정규화 코바리언스  
Normalized covariance of the received intensity.

가 수신단으로 되돌아 올 때, 수신된 레이저 빔 신호는 covariance 회로의 입력단에 연결하여 레이저 빔의 코바리언스를 측정하였다.

이 때, 터버런스의 세기는 온도 변화에 따라 세기가 달라지며 코바리언스의 세기를 정규화하고 point detector 간격을 변화시킨것을 측정하여 실험값을 얻었고 측정값을 그림 6 (a), (b), 그림 7 (a), (b)에 표시한 결과 컴퓨터 (VAX-11/780)를 이용한 시뮬레이션 결과치와 실험값이 일치함을 보였다.

## VI. 결 론

1. 교란 대기를 통해서 생긴 optical speckle field의 통계적 특성을 조사 하였다.
2. 터버런스 준위를 조정하기 위하여 터버런스 탱크를 설계 제작하였으며 터버런스 세기를 조정하기 위하여 가열기를 터버런스 탱크 밑바닥에 부착하여 가열 온도를 조절할 수 있도록 설치 하였다.
3. 코바리언스 회로를 설계하여 2개의 point detector Array로 교란 상태의 변화에 따른 정규화된 코바리언스를 관찰했다.
4. 수신된 광휘(光輝)의 정규화 코바리언스 분포는 Gaussian 곡선과 시뮬레이션 결과치와 실험값이 일치함을 보였다.
5. 터버런스 준위와 레이저 빔의 전파에 대한 해석과 실험은 대기를 전파매체로 한 광신호 해석이나 point detector array 설계 및 제작 시스템의 최적 설계에 유용할 것이다.

## 參 考 文 獻

- (1) H. C. Martel and M. V. Mathews, "Further results on the detectability of known signals in Gaussian noise," Bell sys. Tech. J., Vd, 40, pp. 423~451, March 1961.
- (2) D Middleton and D. Van Meter, "On optimum multiple-alternative detection of signals in noise," IRE Trans. on Information Theory, vol IT-1, pp. 1~9, September 1955.
- (3) R Bellman, "Introduction to matrix analysis." New York: Mc Graw-Hill, pp. 223~239 1960.

- (4) "Two-position, two-frequency mutual-coherence function in turbulence." Ronald L. Fante. J. opt. SDC. Am/vol, 71. no. 12s December 1981.
- (5) Kim, yune -Knon. "Direct detection, photon counting receivers for use in optical communication through Turbulent Atmosphere." KON-KUK University. journal of academic affairs natural sciences, vol. 8, pp. 151~167, 1983.
- (6) Estil V. Hoversten, "Direct-detection optical communication receivers." IEEE. Trans. vol. COM-22, no 1 pp. 17~26 january, 1974.
- (7) E. V. Hoversten, R. S. Kennedy; "Efficient optical communication with the earth's atmosphere." AGARD conference Proceeding. 50, 5~1, 1970.
- (8) M. C. Teich, S. Rosenberg: "Photo counting array receivers for optical communication through the log normal atmosphere channel I." optimum and suboptimum receiver structures." Appl. opt. vol. 12. no. 11, Nov., pp. 2616~2624, 1973.
- (9) M. C. Teich, S. Rosenberg: "Photo counting array receivers for optical communication through the log normal atmospheric channel II. optimum and suboptimum receivers performance for binary signalling." Appl. opt. vol. 12, no. 11, Nov., pp. 2625~35, 1973.
- (10) Review by J. B. Thomas of Detection, Estimation and Modulation Theory, part 11, H. L. Van Trees. IEEE Trans. Inform. Theory, vol. IT-18, pp. 450, May 1972.
- (11) Kim yung-Kwon, "Analysis of crossed laser beams in turbulent media for optical communication." journal of academic affairs. natural sciences. vol. xxvi. no. 2. KON KUK university, 1982.
- (12) V. I. Tatarski, "Wave propagation in a turbulent medium," Mc Graw-Hill, 1961.
- (13) J. F. Holmes et al., "Experimental pulsed laser. remote crosswind measurement system-feasibility study and design (Part V), u. s. Army Armament command. Research and Development Contractor Report ARSC-D-CR-79-007 (Fire control and small Coliber Weapon Systems Lab., Dover, N.J., 1978)
- (14) A. Ishimaru, "Wave propagation and scattering in random media (vol. 1, 2)," Academic Press, 1978.
- (15) R. F. Lutomirski and H. T. Yura, "Propagation of finite optical beam in an inhomogeneous medium", Appl. Opt. 10, 1652-1658, 1972.
- (16) H. T. Yura, "Mutual coherence function of a finite cross section optical beam propagating in a turbulent medium", J. opt. Soc. Am, 1164-1172, 1976.
- (17) M. H. Lee and J. E. Holmes, "Effect of the Turbulent atmosphere on the autocovariance function for a speckle field generated by a laser beam with random pointing error," J. Opt. Soc. Am. 71, 559-565, 1981.
- (18) M. H. Lee, J. F. Holmes, and J. R. Kerr, "Generalized spherical Wave mutual coherence function", J. Opt. Soc. An. 67, 1279-1281, 1977.



金 暎 權(Yung Kwon KIM) 正會員  
1936年1月9日生

- 延世大學校(工學博士)
- 延世大學校 理工大學 教授
- 光云電子工科大学 學長
- 現在：建國大學校 工科大学 教授



成 平 植(Pyung Shik SUNG) 正會員  
1947年8月7日生

- 1975年2月：建國大學校 工科大学 電子工學科(工學士)
- 1979年2月：建國大學校 大學院 電子工學科(工學碩士)
- 1985年2月：建國大學校 大學院 電子工學科 博士過程 修了
- 1979年3月～現在：大憲工業專門大學助教授