

# 4 P - P S K 伝送時 電波干渉 影響

鄭東根 · 金在根 / 特殊通信研究室

## I. 序 論

4P-PSK Modulation 은 디지털 伝送에서 代表的으로 使用되는 伝送 變調 方式中の 하나로서, INTELSAT 5号 衛星通信에서는 TDMA 伝送에 4P-PSK만을 使用하도록 하고 있다.

따라서, 本考에서는 4P-PSK 伝送時, 干渉波의 影響이 瞬間的 또는 持續적으로 미치는 경우를 区別하여 각각의 受信 特性이 어떻게 달라지는가를 White Gaussian 雜音 分布 狀態時的 受信 誤率로서 나타내기 위하여 干渉波 存在時的 受信 誤率을 구하는 式의 誘導와 아울러 컴퓨터 電算을 試行하고, 그 結果를 提示하고자 한다.

## II. 瞬間的인 干渉波 存在時的 4 P-PSK 受信 特性

4P-PSK 信号에 同一 周波數의 干渉波가  $\theta$ 의 位相角 差로 들어온다면 그 信号 位相 벡터圖는 <그림 1>과 같이 나타낼 수 있다.

瞬間 干渉波,  $I$ 가 4P-PSK 信号,  $S_1$ 의 存在時에만 發生된다고 가정하고, 信号對 干渉波比,  $X$ 를 (1)式과 같이 定義할 때,

$$X \triangleq S^2 / |I|^2 \tag{1}$$

$S_1$  과  $I$ 의 벡터合,  $R$  및 그 크기,  $R$ ,  $R$  과  $x$ 軸과 이루는 角,  $\phi_0$ 는 (2)式과 같이 表示된다.

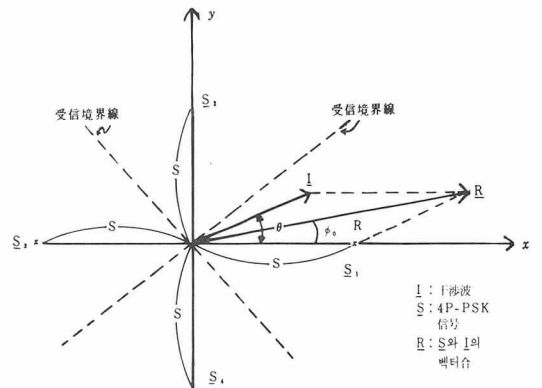
$$R = I + S_1 = (|I| \cos \theta + S)_x + (|I| \sin \theta)_y \tag{2.1}$$

여기서 添字,  $x, y$ 는 軸方向 性分 表示임.

$$R = \sqrt{(|I| \cos \theta + S)^2 + |I|^2 \sin^2 \theta} \tag{2.2}$$

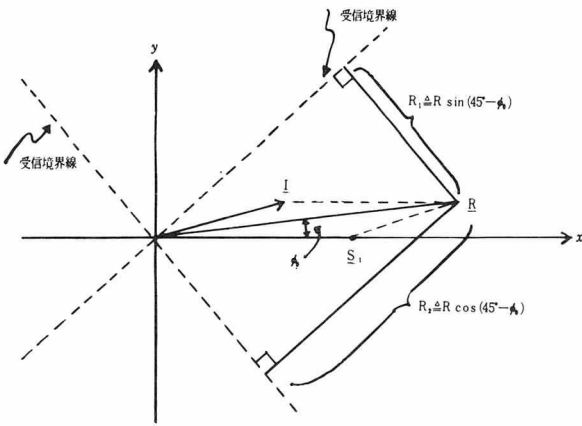
$$= S_0 \sqrt{1 + \frac{2}{\sqrt{X}} \cos \theta + \frac{1}{X}} \tag{2.2}$$

$$\phi_0 = \tan^{-1} [\sin \theta / (\sqrt{X} + \cos \theta)] \tag{2.3}$$



<그림 1> 干渉波와 4P-PSK 信号 벡터圖

$R$  이 기존 受信 境界線과 이루는 距離,  $R_1, R_2$ 는 <그림 2>와 같이 示되며,



〈그림 2〉 R 과 受信境界線이 이루는 距離

White Gaussian 雜音 分布時 joint density,  $f(x, y)$ 는  $x$ 와  $y$ 가 orthogonal 하기 때문에 (3)式과 같이 되며,

$$f(x, y) = f(x) \cdot f(y) = \frac{1}{\sqrt{\pi N_0}} e^{-\frac{x^2}{N_0}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\pi N_0}} \cdot e^{-\frac{y^2}{N_0}} \dots\dots (3)$$

따라서 White Gaussian 雜音속에서의 受信 誤率,  $P(\epsilon)$ 을 구하면 同率 發生信號에서 (4)式과 같이 表示된다.

$$P(\epsilon) = \sum_{i=1}^4 P(i) \cdot P(\epsilon/i) \dots\dots\dots (4.1)$$

$$P(i) = 1/4 \dots\dots\dots (4.2)$$

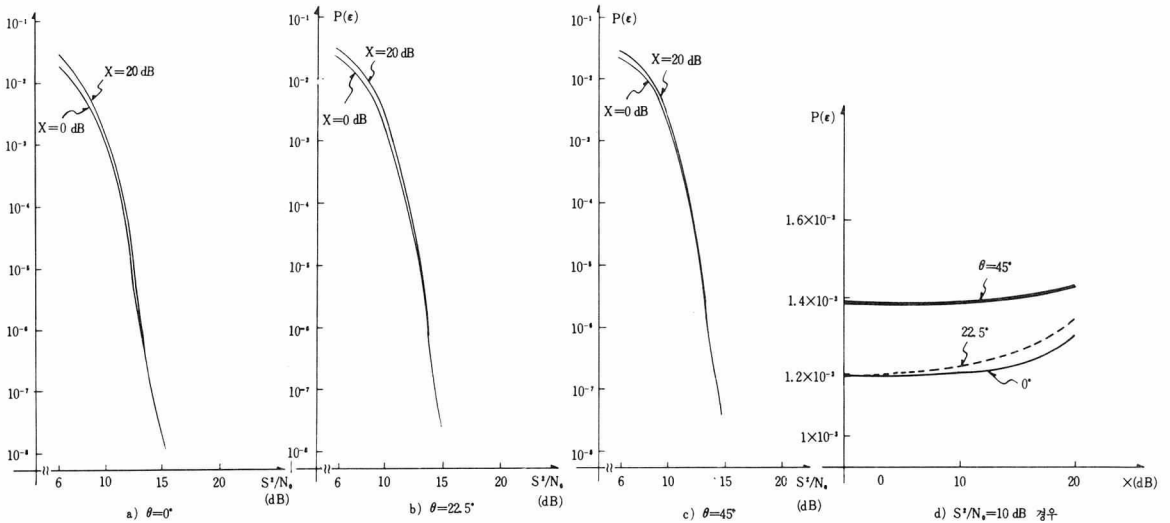
$$P(\epsilon/2) = P(\epsilon/3) = P(\epsilon/4) = 1 - \int_{-\frac{s}{\sqrt{2}}}^{\infty} \int_{-\frac{s}{\sqrt{2}}}^{\infty} f(x, y) dx \cdot dy = 1 - \int_{-\frac{1}{\sqrt{2}}}^{\infty} \frac{s}{\sqrt{\pi N_0}} \cdot e^{-\frac{s^2}{N_0} \cdot x_1^2} dx_1 \int_{-\frac{1}{\sqrt{2}}}^{\infty} \frac{s}{\sqrt{\pi N_0}} \cdot e^{-\frac{s^2}{N_0} \cdot y_1^2} dy_1 \dots\dots (4.3)$$

$$P(\epsilon/1) = 1 - \int_{-R_1}^{\infty} \int_{-R_2}^{\infty} f(x, y) dx \cdot dy = 1 - \int_{-R_1/s}^{\infty} \frac{s}{\sqrt{\pi N_0}} \cdot e^{-\frac{s^2}{N_0} \cdot x_1^2} dx_1 \int_{-R_2/s}^{\infty} \frac{s}{\sqrt{\pi N_0}} \cdot e^{-\frac{s^2}{N_0} \cdot y_1^2} dy_1 \dots\dots (4.4)$$

여기서,  $x \rightarrow s \cdot x_1, y \rightarrow s \cdot y_1$

(4)式을 信號對 干涉波比 ( $s^2/I^2$ ), 信號對 雜音比 ( $s^2/N_0$ ), 干涉波 位相角 ( $\theta$ )에 따라 컴퓨터 電算하면  $P(\epsilon)$ 는 〈表 1〉과 같으며 示하면 〈그림 3〉과 같이 比較된다.

따라서 信號對 雜音比 ( $s^2/N_0$ )가 12 dB 以上에서는 干涉波(I)의 影響을 거의 받지 않는다는것을 確認할 수가 있고 干涉波와 이루는 角이 클수록 ( $0^\circ \rightarrow 45^\circ$ ) 干涉波로 인한 受信 誤率 ( $P(\epsilon)$ )의 增加를 나타냄을 確認할 수가 있다. 또한 〈그림 3-d〉에서 表現된 바와 같이 ( $s^2/N_0$ ) 값의 適當한 值 (10 dB)에서 간섭파의 크기가 클수록 誤率 ( $P(\epsilon)$ )이 줄어드는 現象이 意外로 나타남을 볼 수가 있다.



〈그림 3〉 瞬間干涉波 存在時의  $P(\epsilon)$

\*\*\* P(E) OF 4P-PSK SIGNAL WITH INSTANT INTERFERENCE \*\*\*  
 T H E T A =0. 00DEGREE

X (dB)	S/N (dB)	P (E/1)	P (E/2)	P (E/3)	P (E/4)	P (E)
0	6.	.674D-04	.460D-01	.460D-01	.460D-01	.345D-01
	8.	.522D-06	.121D-01	.121D-01	.121D-01	.911D-02
	10.	.238D-09	.159D-02	.159D-02	.159D-02	.119D-02
	12.	.261D-10	.702D-04	.702D-04	.702D-04	.526D-04
	14.	.262D-10	.555D-06	.555D-06	.555D-06	.416D-06
10	16.	.263D-10	.265D-09	.265D-09	.265D-09	.192D-09
	6.	.874D-02	.460D-01	.460D-01	.460D-01	.367D-01
	8.	.963D-03	.121D-01	.121D-01	.121D-01	.935D-02
	10.	.323D-04	.159D-02	.159D-02	.159D-02	.120D-02
	12.	.166D-06	.702D-04	.702D-04	.702D-04	.527D-04
20	14.	.176D-10	.555D-06	.555D-06	.555D-06	.416D-06
	16.	.261D-10	.265D-09	.265D-09	.265D-09	.192D-09
	6.	.283D-01	.460D-01	.460D-01	.460D-01	.416D-01
	8.	.581D-02	.121D-01	.121D-01	.121D-01	.106D-01
	10.	.514D-03	.159D-02	.159D-02	.159D-02	.132D-02
	12.	.122D-04	.702D-04	.702D-04	.702D-04	.557D-04
	14.	.364D-07	.555D-06	.555D-06	.555D-06	.425D-06
	16.	.218D-10	.265D-09	.265D-09	.265D-09	.193D-09

\*\*\* P(E) OF 4P-PSK SIGNAL WITH INSTANT INTERFERENCE \*\*\*  
 T H E T A =22. 50DEGREE

X (dB)	S/N (dB)	P (E/1)	P (E/2)	P (E/3)	P (E/4)	P (E)
0	6.	.107D-02	.460D-01	.460D-01	.460D-01	.348D-01
	8.	.553D-04	.121D-01	.121D-01	.121D-01	.912D-02
	10.	.563D-06	.159D-02	.159D-02	.159D-02	.119D-02
	12.	.414D-09	.702D-04	.702D-04	.702D-04	.526D-04
	14.	.262D-10	.555D-06	.555D-06	.555D-06	.416D-06
10	16.	.263D-10	.265D-09	.265D-09	.265D-09	.192D-09
	6.	.123D-01	.460D-01	.460D-01	.460D-01	.376D-01
	8.	.185D-02	.121D-01	.121D-01	.121D-01	.957D-02
	10.	.113D-03	.159D-02	.159D-02	.159D-02	.122D-02
	12.	.161D-05	.702D-04	.702D-04	.702D-04	.530D-04
20	14.	.224D-08	.555D-06	.555D-06	.555D-06	.417D-06
	16.	.259D-10	.265D-09	.265D-09	.265D-09	.192D-09
	6.	.299D-01	.460D-01	.460D-01	.460D-01	.420D-01
	8.	.639D-02	.121D-01	.121D-01	.121D-01	.107D-01
	10.	.615D-03	.159D-02	.159D-02	.159D-02	.135D-02
	12.	.173D-04	.702D-04	.702D-04	.702D-04	.569D-04
	14.	.730D-07	.555D-06	.555D-06	.555D-06	.434D-06
	16.	.103D-10	.265D-09	.265D-09	.265D-09	.196D-09

\*\*\* P(E) OF 4P-PSK SIGNAL WITH INSTANT INTERFERENCE \*\*\*  
 T H E T A =45. 00DEGREE

X (dB)	S/N (dB)	P (E/1)	P (E/2)	P (E/3)	P (E/4)	P (E)
0	6.	.233D-01	.460D-01	.460D-01	.460D-01	.403D-01
	8.	.609D-02	.121D-01	.121D-01	.121D-01	.106D-01
	10.	.797D-03	.159D-02	.159D-02	.159D-02	.139D-02
	12.	.351D-04	.702D-04	.702D-04	.702D-04	.614D-04
	14.	.277D-06	.555D-06	.555D-06	.555D-06	.485D-06
10	16.	.119D-09	.265D-09	.265D-09	.265D-09	.228D-09
	6.	.252D-01	.460D-01	.460D-01	.460D-01	.408D-01
	8.	.623D-02	.121D-01	.121D-01	.121D-01	.107D-01
	10.	.799D-03	.159D-02	.159D-02	.159D-02	.139D-02
	12.	.351D-04	.702D-04	.702D-04	.702D-04	.614D-04
20	14.	.277D-06	.555D-06	.555D-06	.555D-06	.485D-06
	16.	.119D-09	.265D-09	.265D-09	.265D-09	.228D-09
	6.	.345D-01	.460D-01	.460D-01	.460D-01	.431D-01
	8.	.818D-02	.121D-01	.121D-01	.121D-01	.112D-01
	10.	.953D-03	.159D-02	.159D-02	.159D-02	.143D-02
	12.	.379D-04	.702D-04	.702D-04	.702D-04	.621D-04
	14.	.283D-06	.555D-06	.555D-06	.555D-06	.487D-06
	16.	.120D-09	.265D-09	.265D-09	.265D-09	.228D-09

〈表 1〉 瞬間干渉波 存在時の 受信誤率 P(ε)

### Ⅲ. 持続的인 干渉波 存在時의 4P-PSK 受信 特性

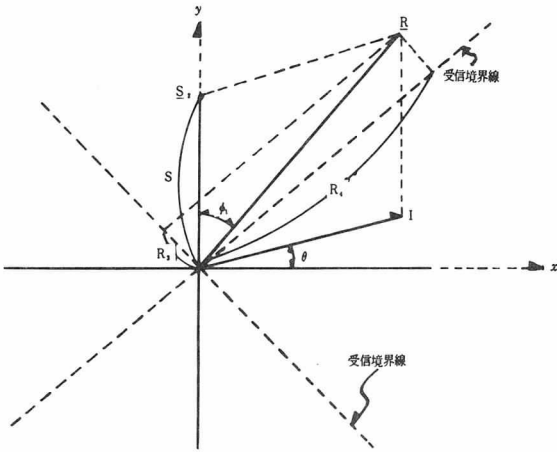
持続的인 干渉波 存在時의 P(ε/i)는 각 信号의 경우마다 모두 計算하여야 하며, 干渉波가 S<sub>1</sub>과 θ角을 이루고 있을 때의 P(ε)을 算出하여 본다.

#### 1. S<sub>1</sub> 信号인 경우

P(ε/1)은 前述한 바와 같다.

#### 2. S<sub>2</sub> 信号인 경우

干渉波와 S<sub>2</sub>, 信号의 合成 벡터, R는 <그림 3>과 같이 나타낼 수 있으며,



<그림 3> 干渉波와 S<sub>2</sub> 信号의 合成 벡터 圖

R, R 및 S<sub>2</sub>와 R가 이루는 角, φ<sub>1</sub>은 (5)式과 같이 表示되고,

$$R = I + S_2 = (|I| \cos \theta)_x + (|I| \sin \theta + S)_y \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

$$R = \sqrt{(|I| \cos \theta)^2 + (|I| \sin \theta + S)^2} \\ = S \sqrt{1 + \frac{2}{\sqrt{X}} \sin \theta + \frac{1}{X}} \quad \dots\dots\dots (5.2)$$

$$\phi_1 = \tan^{-1} \cos \theta / (\sqrt{X} + \sin \theta) \}$$

또한 R이 受信 境界線과 이루는 距離, R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub>는 (6)式과 같이 된다.

$$R_3 = R \cos(45^\circ + \phi_1) \quad \dots\dots\dots (6.1)$$

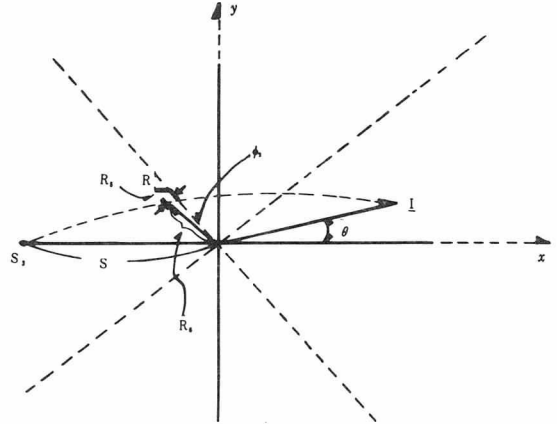
$$R_4 = R \sin(45^\circ + \phi_1) \quad \dots\dots\dots (6.2)$$

따라서 P(ε/2)는 (7)式과 같이 놓을 수 있다.

$$P(\epsilon/2) = 1 - \int_{-R_3}^{\infty} \int_{-R_4}^{\infty} f(x, y) dx \cdot dy \quad \dots (7)$$

#### 3. S<sub>3</sub> 信号인 경우

干渉波와 S<sub>3</sub> 信号의 合成 벡터 R는 <그림 4>와 같이 나타낼 수 있으며,



<그림 4> 干渉波와 S<sub>3</sub> 信号의 合成 벡터 圖

R, R 및 S<sub>3</sub>와 R가 이루는 角, φ<sub>2</sub>는 (8)式과 같이 表示되고,

$$R = I + S_3 = (|I| \cos \theta - S)_x + (|I| \sin \theta)_y \quad \dots\dots\dots (8.1)$$

$$R = \sqrt{(|I| \cos \theta - S)^2 + (|I| \sin \theta)^2} \\ = S \sqrt{1 - \frac{2}{\sqrt{X}} \cos \theta + \frac{1}{X}} \quad \dots\dots\dots (8.2)$$

$$\phi_2 = \tan^{-1} \sin \theta / (\sqrt{X} - \cos \theta) \}$$

受信 境界線과 이루는 距離, R<sub>5</sub>, R<sub>6</sub>는 (9)式과 같이 된다.

$$R_5 = R \cos(45^\circ - \phi_2) \quad \dots\dots\dots (9.1)$$

$$R_6 = R \sin(45^\circ - \phi_2) \quad \dots\dots\dots (9.2)$$

따라서 P(ε/3)는 (10)式과 같이 놓을 수 있다.

$$P(\epsilon/3) = 1 - \int_{-R_5}^{\infty} \int_{-R_6}^{\infty} f(x, y) dx \cdot dy \quad \dots (10)$$

#### 4. S<sub>4</sub> 信号인 경우

干渉波와 S<sub>4</sub> 信号의 合成 벡터, R는 <그림 5>와 같이 나타낼 수 있으며,

R, R 및 S<sub>4</sub>와 R가 이루는 角, φ<sub>3</sub>는 (11)式과 같이 表示되고,

$$R = I + S_4 = (|I| \cos \theta)_x + (|I| \sin \theta - S)_y \quad \dots\dots\dots (11.1)$$

$$R = \sqrt{(|I| \cos \theta)^2 + (|I| \sin \theta - S)^2} \\ = S \sqrt{1 - \frac{2}{\sqrt{X}} \sin \theta + \frac{1}{X}} \quad \dots\dots\dots (11.2)$$

$$\phi_3 = \tan^{-1} \cos \theta / (\sqrt{X} - \sin \theta) \}$$

\*\*\*P(E) OF 4P-PSK SIGNAL WITH CONSTANT INTERFERENCE\*\*\*  
 THETA=0.00 DEGREE

X (dB)	S/N (dB)	P (E/1)	P (E/2)	P (E/3)	P (E/4)	P (E)
0	6.	.674D-04	.502D+00	.752D+00	.502D+00	.439D+00
	8.	.522D-06	.502D+00	.752D+00	.502D+00	.439D+00
	10.	.238D-09	.502D+00	.752D+00	.502D+00	.439D+00
	12.	.261D-10	.502D+00	.752D+00	.502D+00	.439D+00
	14.	.262D-10	.502D+00	.752D+00	.502D+00	.439D+00
	16.	.263D-10	.502D+00	.752D+00	.502D+00	.439D+00
10	6.	.874D-02	.910D-01	.166D+00	.910D-01	.893D-01
	8.	.963D-03	.438D-01	.849D-01	.438D-01	.434D-01
	10.	.323D-04	.155D-01	.307D-01	.155D-01	.154D-01
	12.	.166D-06	.329D-02	.657D-02	.329D-02	.329D-02
	14.	.176D-10	.311D-03	.622D-03	.311D-03	.311D-03
	16.	.261D-10	.820D-05	.164D-04	.820D-05	.820D-05
20	6.	.283D-01	.504D-01	.720D-01	.504D-01	.503D-01
	8.	.581D-02	.149D-01	.239D-01	.149D-01	.149D-01
	10.	.514D-03	.250D-02	.449D-02	.250D-02	.250D-02
	12.	.122D-04	.179D-03	.347D-03	.179D-03	.179D-03
	14.	.364D-07	.333D-05	.663D-05	.333D-05	.333D-05
	16.	.218D-10	.700D-08	.140D-07	.700D-08	.700D-08

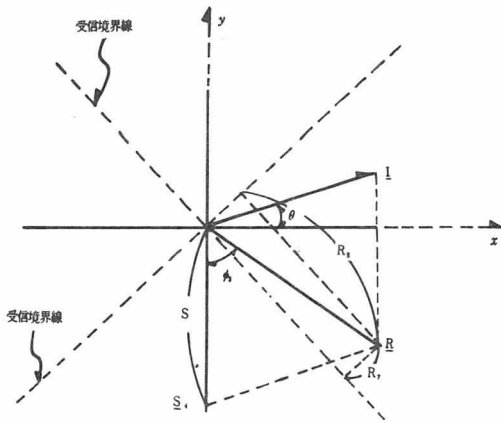
\*\*\*P(E) OF 4P-PSK SIGNAL WITH CONSTANT INTERFERENCE\*\*\*  
 THETA=22.50 DEGREE

X (dB)	S/N (dB)	P (E/1)	P (E/2)	P (E/3)	P (E/4)	P (E)
0	6.	.107D-02	.181D+00	.780D+00	.731D+00	.423D+00
	8.	.553D-04	.126D+00	.808D+00	.781D+00	.429D+00
	10.	.563D-06	.741D-01	.847D+00	.835D+00	.439D+00
	12.	.414D-09	.342D-01	.893D+00	.890D+00	.454D+00
	14.	.262D-10	.109D-01	.939D+00	.938D+00	.472D+00
	16.	.263D-10	.193D-02	.974D+00	.974D+00	.487D+00
10	6.	.123D-01	.519D-01	.165D+00	.130D+00	.900D-01
	8.	.185D-02	.191D-01	.884D-01	.724D-01	.454D-01
	10.	.113D-03	.445D-02	.364D-01	.322D-01	.183D-01
	12.	.161D-05	.493D-03	.104D-01	.987D-02	.518D-02
	14.	.224D-08	.167D-04	.168D-02	.166D-02	.839D-03
	16.	.259D-10	.875D-07	.109D-03	.109D-03	.545D-04
20	6.	.299D-01	.417D-01	.705D-01	.590D-01	.503D-01
	8.	.639D-02	.111D-01	.234D-01	.187D-01	.149D-01
	10.	.615D-03	.159D-02	.444D-02	.347D-02	.253D-02
	12.	.173D-04	.883D-04	.359D-03	.288D-03	.188D-03
	14.	.730D-07	.110D-05	.785D-05	.682D-05	.396D-05
	16.	.103D-10	.122D-08	.225D-07	.213D-07	.113D-07

\*\*\*P(E) OF 4P-PSK SIGNAL WITH CONSTANT INTERFERENCE\*\*\*  
 THETA=45.00 DEGREE

X (dB)	S/N (dB)	P (E/1)	P (E/2)	P (E/3)	P (E/4)	P (E)
0	6.	.233D-01	.233D-01	.802D+00	.802D+00	.412D+00
	8.	.609D-02	.609D-02	.853D+00	.853D+00	.429D+00
	10.	.797D-03	.797D-03	.906D+00	.906D+00	.453D+00
	12.	.351D-04	.351D-04	.951D+00	.951D+00	.475D+00
	14.	.277D-06	.277D-06	.981D+00	.981D+00	.491D+00
	16.	.119D-09	.119D-09	.996D+00	.996D+00	.498D+00
10	6.	.252D-01	.252D-01	.156D+00	.156D+00	.907D-01
	8.	.623D-02	.623D-02	.888D-01	.888D-01	.475D-01
	10.	.799D-03	.799D-03	.414D-01	.414D-01	.211D-01
	12.	.351D-04	.351D-04	.141D-01	.141D-01	.706D-02
	14.	.277D-06	.277D-06	.284D-02	.284D-02	.142D-02
	16.	.119D-09	.119D-09	.248D-03	.248D-03	.124D-03
20	6.	.345D-01	.345D-01	.660D-01	.660D-01	.503D-01
	8.	.818D-02	.818D-02	.217D-01	.217D-01	.149D-01
	10.	.953D-03	.953D-03	.416D-02	.416D-02	.256D-02
	12.	.379D-04	.379D-04	.356D-03	.356D-03	.197D-03
	14.	.283D-06	.283D-06	.891D-05	.891D-05	.459D-05
	16.	.120D-09	.120D-09	.313D-07	.313D-07	.157D-07

〈表2〉 持続的인 干渉波 存在時の 受信誤率 P(ε)



〈그림 5〉 干渉波와  $S_1$  信号의 벡터合成圖

受信境界線과 이루는距離,  $R_7$ ,  $R_8$ 는 (12)式

과 같으며,

$$R_7 = R \sin(45^\circ - \phi_3) \dots\dots\dots (12.1)$$

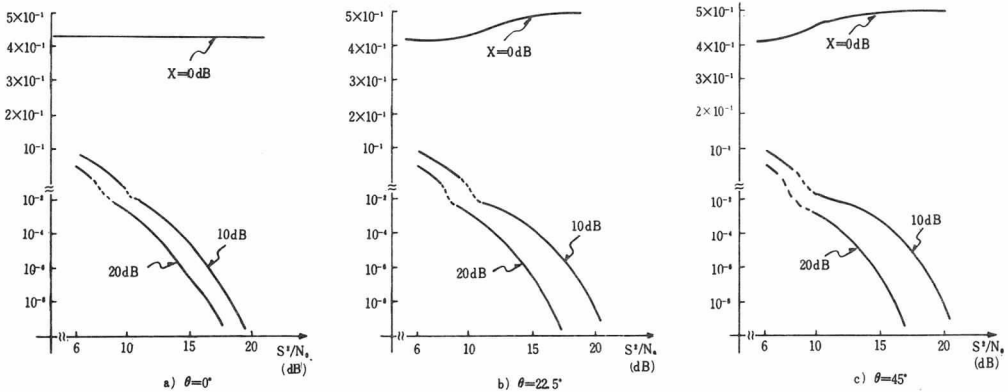
$$R_8 = R \cos(45^\circ - \phi_3) \dots\dots\dots (12.2)$$

따라서  $P(\epsilon/4)$ 는(13)式과 같이 놓을 수 있다.

$$P(\epsilon/4) = 1 - \int_{-R_7}^{\infty} \int_{-R_8}^{\infty} f(x, y) dx \cdot dy \dots (13)$$

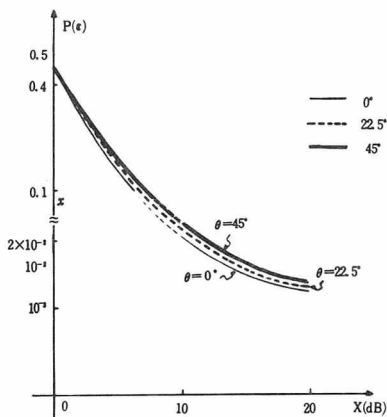
(4.1)式을 利用, 信号對 干渉波比(X), 信号對 雜音比( $S^2/N_0$ ) 임의 瞬間信号位置( $S_1$ )에 대한 干渉波와 이루는角( $\theta$ )에 따라 컴퓨터 電算하면  $P(\epsilon)$ 는 〈表2〉와 같게 되고, 圖示하면 〈그림 6〉과 같이 比較된다.

따라서 信号對 雜音比가 아무리 크게 되더라도 信号對 干渉波比(X)가 低下되면(即, 干渉波가 커지면) 受信 誤率( $P(\epsilon)$ )은 增加되어 所期の 通信品質을 보장받을 수 없음이 確認된다.



〈그림 6〉 持續的인 干渉波 存在時의 受信 誤率  $P(\epsilon)$

$$[X = S^2/|I|^2]$$



〈그림 7〉 持續的인 干渉波 存在時의 受信 誤率  $P(\epsilon)$

[ $S^2/N_0 = 10$  dB인 경우]

#### IV. 結 論

4P-PSK 伝送에서 同一 周波數의 干渉波가 瞬間的으로 存在할 時는 干渉波와 信号 搬送波와의 位相差가 적을수록 受信 誤率( $P(\epsilon)$ )은 적어지고 또한 干渉波의 크기가 클수록 受信 誤率 이 적어짐을 發見하였다.

따라서 同 位相으로 끼어드는 瞬間的인 干渉波는 受信性能을 低下시키지 않는다는 것을 確認할 수가 있다. 그러나 持續的인 干渉波는 受信性能을 低下시키게 되며, 位相差와 干渉波의 크기가 클수록 受信性能이 低下된다. 예로서 信号對 雜音比(CNR)를 16 dB로 運用中인 通信 시스템에서 信号對 干渉波가 20 dB에서는 受信

誤率이  $1.13 \times 10^{-8}$  程度지만, 10 dB 에서는  $5.45 \times 10^{-5}$  으로 急激히 低下된다.

参 考 文 献

1. Wozencraft, J. M. & Jacob, I. M., Principles of Communication Engineering, New York, Wiley, 1965.
2. Harry L. & Van Trees, Signal Detection, Estimation, & Modulation Theory, New York, Wiley, 1968.
3. Assel, F, & Betaharon, K., Computational Method for the Performance Evolution of 4-phase PSK Transmission through Linear and Non linear Channels, New York, Wiley, 1979.

