

## บทที่ 4

### การแผ่คลื่นของคอร์รูเกตเต็ดฮอร์น

เนื่องจากสายอากาศแบบคอร์รูเกตเต็ดฮอร์น สามารถใช้เป็นอุปกรณ์ป้อนสัญญาณไมโครเวฟปฐมภูมิ (PRIMARY FEED) สำหรับจานสายอากาศแบบแคสซีเกรน (CASSEGRAIN) ได้ ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งอุปกรณ์ป้อนสัญญาณไมโครเวฟดังกล่าว จะออกแบบให้พลังงานส่วนใหญ่มีลักษณะแผ่ออกแบบลำแสงไปยังจานสะท้อนรอง (SUB REFLECTOR) ซึ่งเป็นรูปร่างเป็นไฮเพอโบลอยด์ (HYPERBOLOID) และสะท้อนคลื่นไปยังจานสะท้อนหลัก (MAIN REFLECTOR) ซึ่งมีรูปร่างเป็นพาราโบลอยด์ (PARABOLOID) ซึ่งจะป้อนคลื่นไปยังทิศทางที่ต้องการได้ กล่าวคือเป็นสายอากาศแบบจานสะท้อนคู่ (DUAL REFLECTOR ANTENNAS) ของระบบสายอากาศแบบช่องเปิด (APERTURE ANTENNA) ชนิดแคสซีเกรน

ในบทนี้จะเป็นการศึกษารายละเอียดความสัมพันธ์ระหว่างสนามที่ช่องเปิด (APERTURE FIELD DISTRIBUTION) ของสายอากาศแบบคอร์รูเกตเต็ดฮอร์นกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่บริเวณจานสะท้อนรองซึ่งอยู่ไม่ห่างจากปากฮอร์นมากนัก

#### 4.1 วิธีการหาสูตรการกระจายของสนามบนช่องเปิดของท่อนำคลื่นแบบคอร์รูเกต

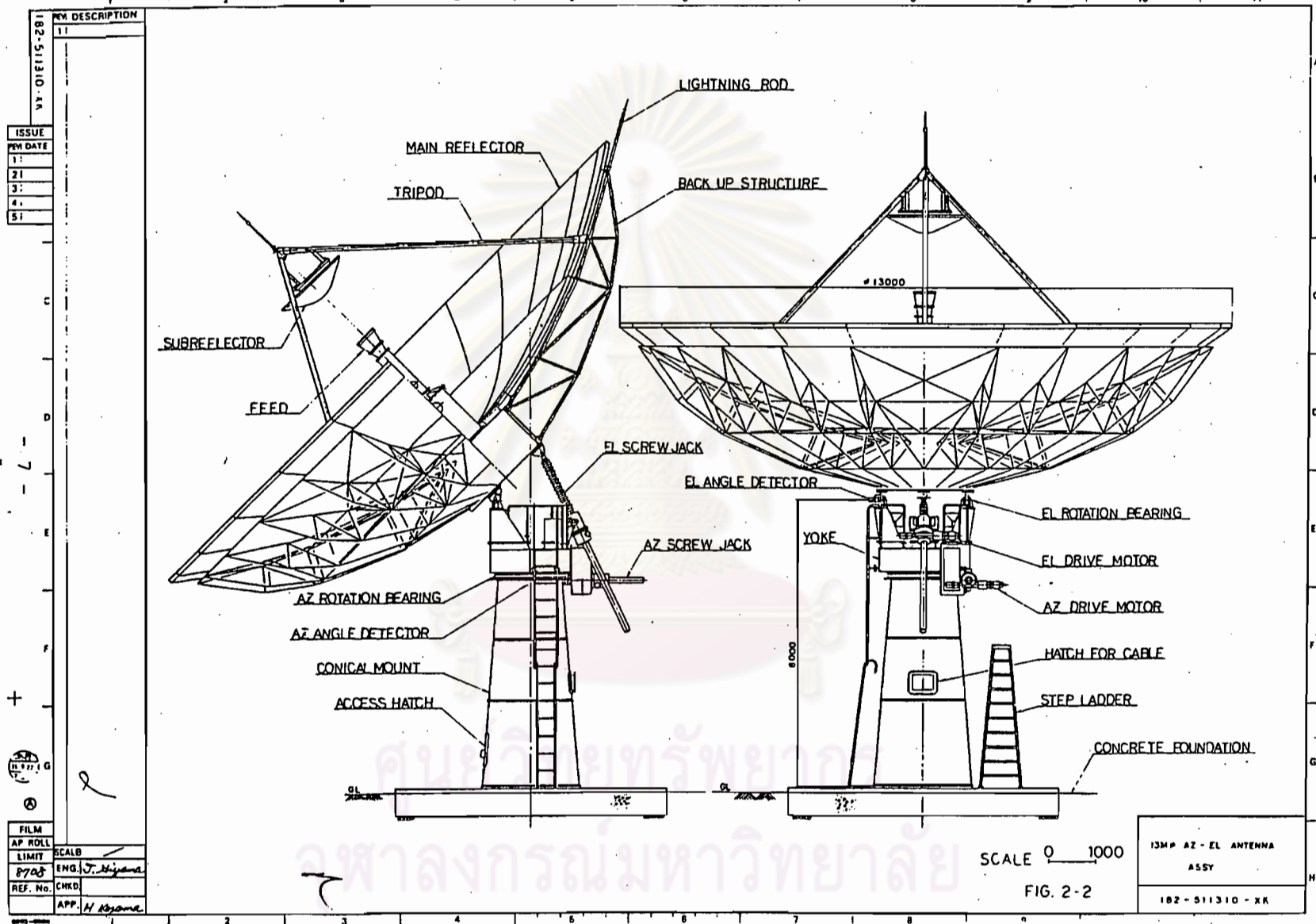
ลักษณะการแผ่คลื่นของสายอากาศแบบช่องเปิดแสดงได้จากการกระจายเชิงขนาด (AMPLITUDE DISTRIBUTION) และการกระจายเชิงเฟส (PHASE DISTRIBUTION) ของสนามที่ช่องเปิด

##### 4.1.1 การกระจายเชิงขนาดของสนามที่ช่องเปิด

จากสมการ (3.1 ข) พิจารณาเฉพาะองค์ประกอบสนามไฟฟ้า  $E_r(k_{cm} r)$  และ  $E_\theta(k_{cm} r)$  จะได้ว่า

$$E_r(k_{cm} r) = E_o \left\{ J'_n(k_{cm} r) - C_m \frac{n J_n(k_{cm} r)}{k_{cm} r} \right\} \quad (4.1)$$

$$E_\theta(k_{cm} r) = -E_o \left\{ \frac{n J_n(k_{cm} r)}{k_{cm} r} - C_m J'_n(k_{cm} r) \right\} \quad (4.2)$$



ITEM DESCRIPTION	
11	
ISSUE	
REV	DATE
1	
2	
3	
4	
5	
FILM	
AP ROLL	SCALE
LIMIT	ENG. J. Nijana
8708	CHKD
REF. No.	APP. H. Kijana

13MP AZ - EL ANTENNA  
ASSY  
182-511310-XX

SCALE 0 1000

FIG. 2-2



รูปที่ 4.1 การติดตั้งสายอากาศระบบแคสซีเกรน

$$\text{ในขณะที่ } E_o = -j\beta_m/k_{cm}$$

$$C_m = k_o \alpha / \beta_m$$

พิจารณาการกระจายของสนามบนช่องเปิดโดยจัดสนามไฟฟ้า  $E_r, E_\theta$  ให้อยู่ในรูปออร์ทอกอนอลขององค์ประกอบแบบคาร์ทีเซียน (Cartesian Component) ดังนี้

$$E_x = E_r \cos \theta - E_\theta \sin \theta \quad (4.3)$$

$$E_y = E_r \sin \theta + E_\theta \cos \theta \quad (4.4)$$

เมื่อ  $E_x$  และ  $E_y$  เป็นองค์ประกอบสนามในทิศทาง  $x$  และ  $y$  ตามลำดับ

แทนสมการ (3.1 ก) และสมการ (4.1) และ (4.2) ในสมการ (4.3) และ (4.4) และใช้

$$\begin{aligned} \text{ความสัมพันธ์ } J_{n-1}(k_{cm}r) + J_{n+1}(k_{cm}r) &= 2J'_n(k_{cm}r) \text{ และ } J_{n-1}(k_{cm}r) - J_{n+1}(k_{cm}r) \\ &= \frac{2n}{k_{cm}r} J_n(k_{cm}r) \text{ จะได้ว่า} \end{aligned}$$

$$E_x = \frac{E_o}{2} \{ J_{n-1}(k_{cm}r) (1 - C_m) \cos((n-1)\theta) + J_{n+1}(k_{cm}r) (1 + C_m) \cos((n+1)\theta) \} \quad (4.5)$$

$$E_y = \frac{E_o}{2} \{ J_{n-1}(k_{cm}r) (1 - C_m) \sin((n-1)\theta) + J_{n+1}(k_{cm}r) (1 + C_m) \sin((n+1)\theta) \} \quad (4.6)$$

พิจารณาสมการ (4.5) และ (4.6) ถ้า  $n = 1$  จะเห็นว่าเทอมแรกของสมการ (4.5)

เป็นฟังก์ชันที่ไม่ขึ้นกับมุม  $\theta$  ส่วนเทอมที่สองของสมการ (4.5) และ (4.6) เป็นฟังก์ชันที่ขึ้นกับ

มุม  $\theta$  ดังนั้นให้  $n = 1$  แล้วจัดเทอมใหม่ดังนี้

$$E_x = \frac{E_o}{k+1} \{ J_0(x\rho) + \kappa J_2(x\rho) \cos(2\theta) \} \quad (4.7)$$

$$E_y = \frac{E_o}{k+1} \{ \kappa J_2(x\rho) \sin(2\theta) \} \quad (4.8)$$

$$\kappa = \frac{1 + c_m}{1 - c_m} \quad \text{เมื่อ } \alpha = 1 \text{ จะได้ } \kappa = \frac{J_0(x)}{J_2(x)} \quad \text{และ}$$

$$\alpha = 1 \text{ จะได้ } \kappa = \frac{J_2(x)}{J_0(x)}$$

$$x = k_{cm} a$$

$$\rho = r/a$$

พิจารณา  $E_x$  และ  $E_y$  โดยการแปรค่าตัวแปร  $x$  จะเห็นว่าเมื่อ  $x = 2.405$  จะได้ว่า  $k = 0$  เมื่อ  $\alpha = 1$  ดังนั้น

$$E_x = E_0 J_0(x\rho) \quad , \quad E_y = 0 \quad (4.9)$$

สมการ (4.9) นี้แสดงสนามที่ช่องเปิดอยู่ในรูปขั้วคลื่นเชิงเส้น (LINEAR POLARIZED FORM) จะเห็นได้จากเงื่อนไข  $n = 1$  และ  $x = 2.405$  นี้ขั้วคลื่นในแนวไขว้ (CROSS POLARIZATION) ถูกขจัดออกไปอย่างสมบูรณ์ หากกระจาย  $J_0(x\rho)$  ในรูปของอนุกรมกำลัง สามเทอมแรก จะมีการกระจายของฟังก์ชัน ดังนี้

$$J_0(x\rho) = 1 - \frac{(x\rho)^2}{4} + \frac{(x\rho)^4}{32} \quad (4.10)$$

เปรียบเทียบการกระจายนี้กับฟังก์ชันเกาสเซียน (GAUSSIAN FUNCTION)  $\exp(-(x\rho/2)^2)$  เมื่อ

$$\exp\{- (x\rho/2)^2\} = 1 - \frac{(x\rho)^2}{4} + \frac{(x\rho)^4}{16} \quad (4.11)$$

จะเห็นได้ว่าฟังก์ชันทั้งสองแตกต่างกันเพียง 1.7 เปอร์เซ็นต์ ที่ค่า  $x\rho = 1$  ดังนั้น  $E_x$  จึงประมาณได้ว่าเป็นฟังก์ชันเกาสเซียน และไม่ขึ้นกับมุม  $\theta$  ซึ่งจากความสัมพันธ์การแปลงฟูเรียร์ (FOURIER TRANSFORM) ระหว่างแพทเทิร์นสนามที่ระยะไกล (FAR FIELD PATTERN) กับการกระจายสนามที่ช่องเปิด จะได้ว่าการแปลงฟูเรียร์ของเกาสเซียนฟังก์ชันยังคงเป็นเกาสเซียนฟังก์ชัน จึงอาจคาดได้ว่าแพทเทิร์นการแผ่คลื่นของท่อนำคลื่นแบบคอร์รูเกตเมื่อ  $n = 1$  ,  $x = 2.405$  เป็นเกาสเซียนโดยประมาณ ดังนั้นแพทเทิร์นสนามที่ระยะไกลจึงมีลักษณะสมมาตร และโลปด้านข้าง (SIDELOBE) มีระดับต่ำ สำหรับกรณี  $x = 1.841$  ซึ่งสอดคล้องกับโหมดเด่น (DOMINANT MODE) ของท่อนำคลื่นทรงกระบอกกลมธรรมดา คือ โหมด  $TE_{11}$  ในท่อนำคลื่นแบบคอร์รูเกตโหมด  $TE_{11}$  จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อความลึกของสล๊อตมีค่าเท่ากับ  $n\pi/2$  โดย  $n$  เป็นค่าจำนวนเต็มบวกซึ่งสอดคล้องกับเงื่อนไข  $E_z = 0$  ที่ผิวขอบเขต ซึ่งเงื่อนไขดังกล่าวใช้สำหรับการแมทซ์สนามที่ช่องต่อจากท่อนำคลื่นธรรมดาไปสู่ท่อนำคลื่นแบบคอร์รูเกต ดังนั้นสำหรับท่อนำคลื่นแบบคอร์รูเกตเมื่อให้  $x$  แปรค่าจาก 2.405 ถึง 1.841 แพทเทิร์นการ

แผ่นคลื่นจะเปลี่ยนจากแพทเทิร์นที่มีลักษณะสมมาตรมาเป็นแพทเทิร์นที่มีลักษณะไม่สมมาตร ในการหาความกว้างแถบคลื่นของท่อนำคลื่นแบบคอร์รูเกตจะพิจารณาจากการแปรค่า  $x$  ในช่วง 1.841 ถึง 2.405 นี้

$$x_1 \leq x \leq x_2 \quad (4.12)$$

เมื่อ  $x_1 = 1.841$  และ  $x_2 = 2.405$

#### 4.1.1.1 วิธีการคำนวณ

จากสมการ (4.7) และ (4.8) นำมาทำโปรแกรมหาผลการกระจายสนามที่ช่องเปิดของท่อนำคลื่นแบบคอร์รูเกต โดยกำหนดให้  $x$  มีค่าเท่ากับ 1.841, 2.1 และ 2.405 ตามลำดับ และที่ค่า  $x$  แต่ละค่าจะหาค่าตอบของการกระจายสนาม เมื่อมุม  $\theta$  เท่ากับ 0 องศา และ 90 องศา สำหรับสนามไฟฟ้าในระนาบ E และระนาบ H ตามลำดับ (ดูภาคผนวก จ.)

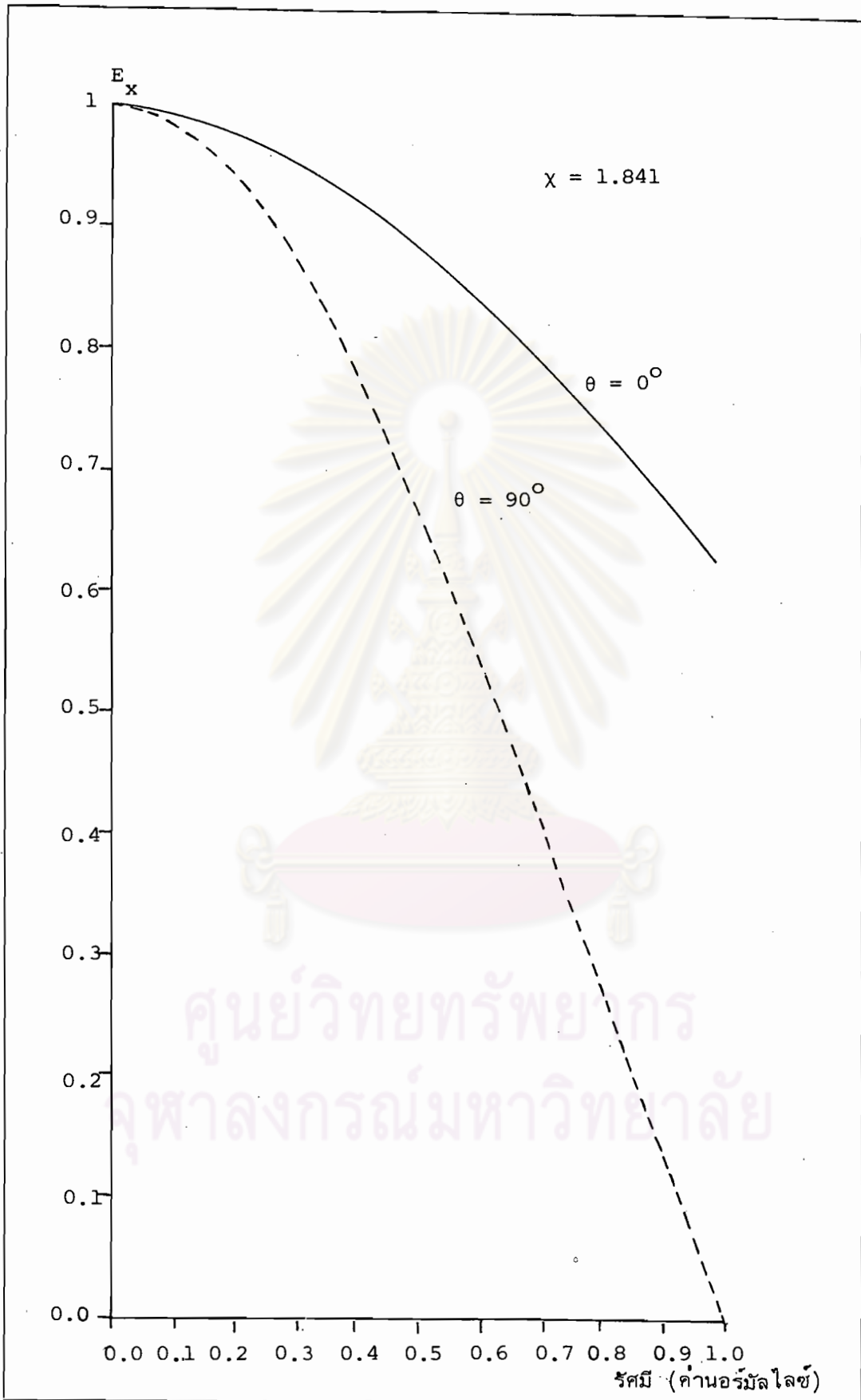
#### 4.1.1.2 ผลการคำนวณ

ผลการคำนวณแสดงในรูปที่ 4.2 , 4.3 และ 4.4 แสดงการกระจายของสนามบนช่องเปิดของท่อนำคลื่นแบบคอร์รูเกตที่ค่า  $x$  เท่ากับ 1.841 , 2.1 และ 2.405 ตามลำดับ ลักษณะการกระจายของสนามบนช่องเปิดนี้มีผลต่อสนามเลี้ยวเบนในระนาบที่ไกลออกไปมากเนื่องจากสนามบนช่องเปิดทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดของสนามเลี้ยวเบนที่ไกลออกไป และจะสังเกตได้ว่าการกระจายของสนามบนช่องเปิดของท่อนำคลื่นแบบคอร์รูเกต เมื่อ  $x = 1.841$  การกระจายสนามในระนาบ E และระนาบ H มีลักษณะอสมมาตร (ASYMMETRY) ค่อนข้างมาก จะดีขึ้นเมื่อค่า  $x$  เท่ากับ 2.1 และเข้าสู่สมมาตร (SYMMETRY) เมื่อค่า  $x$  เท่ากับ 2.405

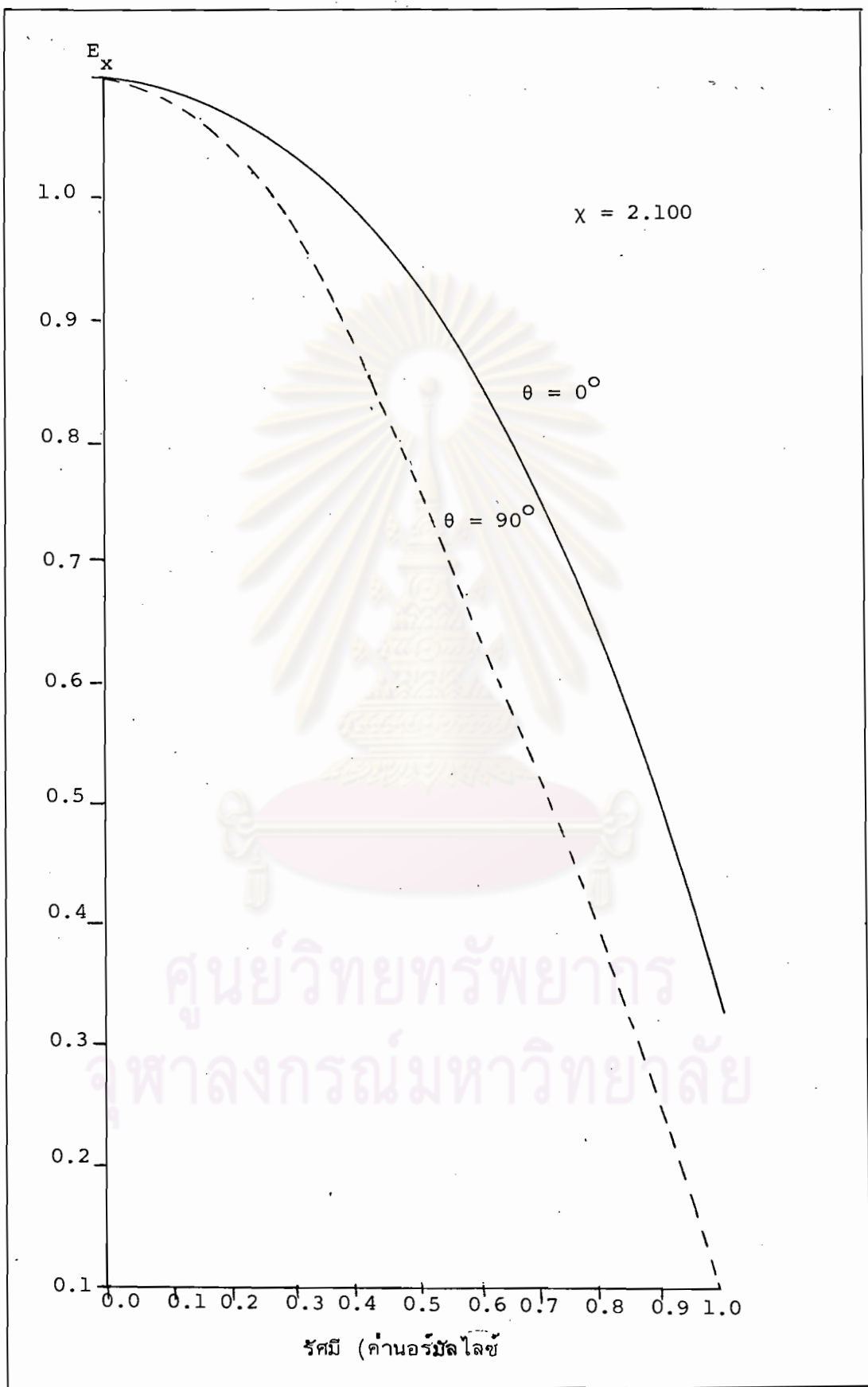
#### 4.1.2 การกระจายเชิงเฟสของสนามที่ช่องเปิด

สำหรับสายอากาศแบบฮอร์น (รูปที่ 4.5) ถ้าความยาว  $l$  มีจำกัด เฟสของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าบนช่องเปิดจะไม่สม่ำเสมอ ถ้าความยาว  $l$  ยาวมากๆ ผลดังกล่าวจะมีน้อย แต่ในกรณีคอร์รูเกตฮอร์นที่ใช้เป็นอุปกรณ์บ่อนสัญญาณปฐมภูมิของจานสายอากาศชนิดแคสซีเกรน ความยาว  $l$  ยาวไม่มากนัก จะต้องนำผลอันเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของเฟสมาพิจารณาด้วยการหาความแตกต่างของเฟสจะใช้จุดศูนย์กลางของช่องเปิดเป็นจุดอ้างอิง

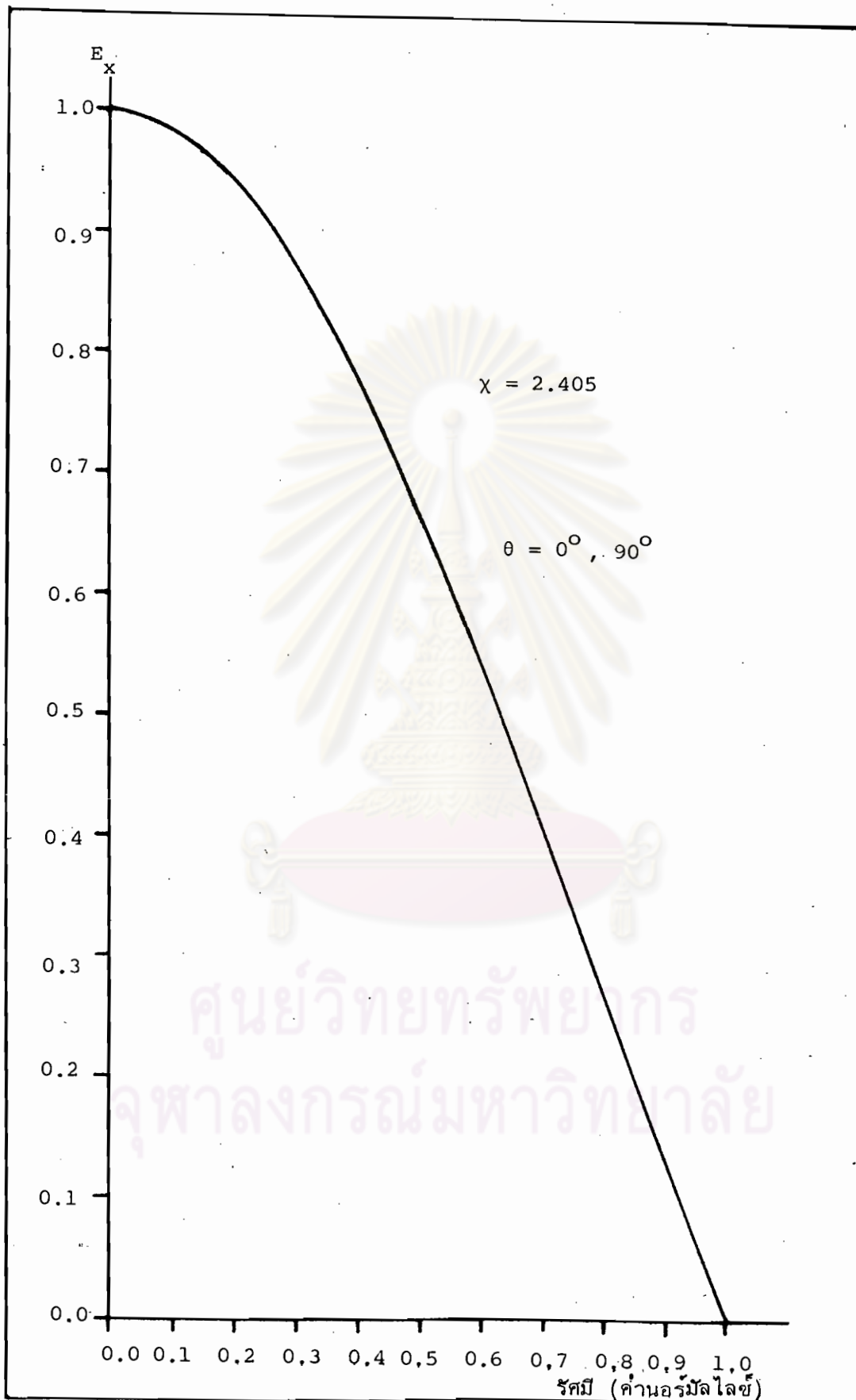




รูปที่ 4.2 การกระจายของสนามบนช่วงเปิด เมื่อ  $\chi = 1.841$

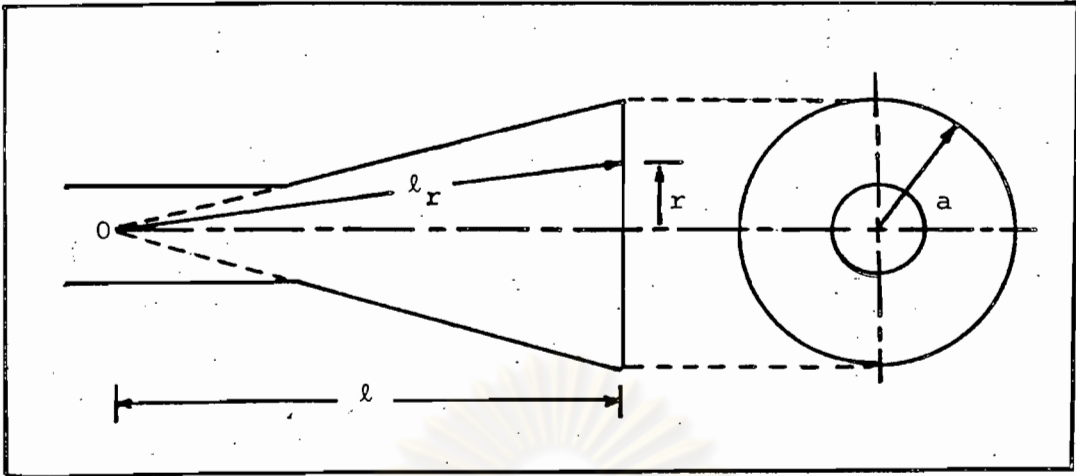


รูปที่ 4.3 การกระจายของสนามบนช่องเปิด เมื่อ  $\chi = 2.100$



รูปที่ 4.4 การกระจายของสนามบนช่องเปิด เมื่อ  $\chi = 2.405$





รูปที่ 4.5 ความแตกต่างของเฟสบนช่องเปิดของฮอร์นรูปกรวยกลม

จากรูปที่ 4.5 ระยะทางจากจุดศูนย์กลางถึงตำแหน่ง  $r$  จะเป็นดังนี้

$$l_r = \{l^2 + r^2\}^{1/2}$$

ในกรณี  $r < l$  สามารถประมาณค่าโดยใช้อนุกรมของมาคลอรีน (Maclaurin Series) สำหรับการประมาณค่าที่สอง

$$l_r = l \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{r}{l}\right)^2 - \frac{1}{8} \left(\frac{r}{l}\right)^4 \right\}$$

หาความแตกต่างระหว่าง  $l$  กับ  $l_r$  โดยให้  $\Delta l_r = l_r - l$

จะได้ว่า  $\psi_a = k \cdot \Delta l_r$

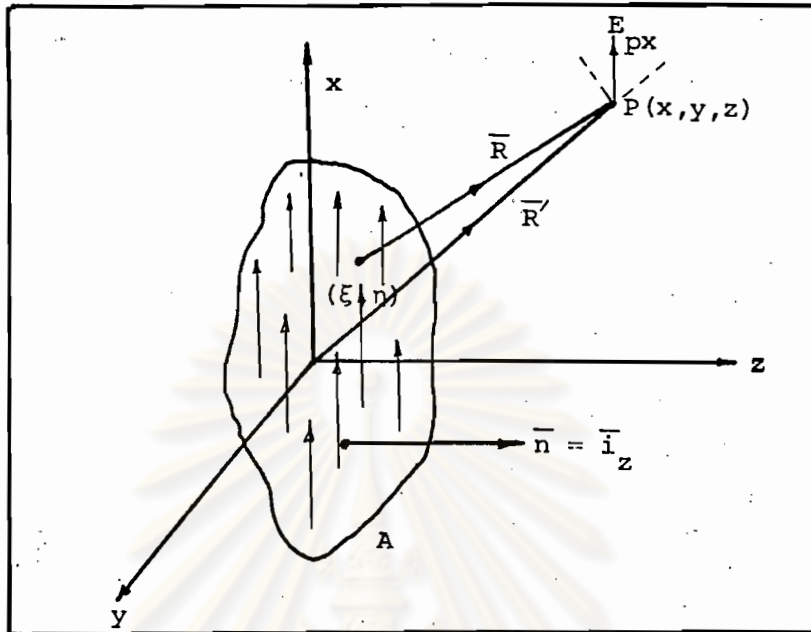
$$\doteq \frac{\pi}{\lambda} \frac{a^2}{l} \rho^2$$

(4.13)

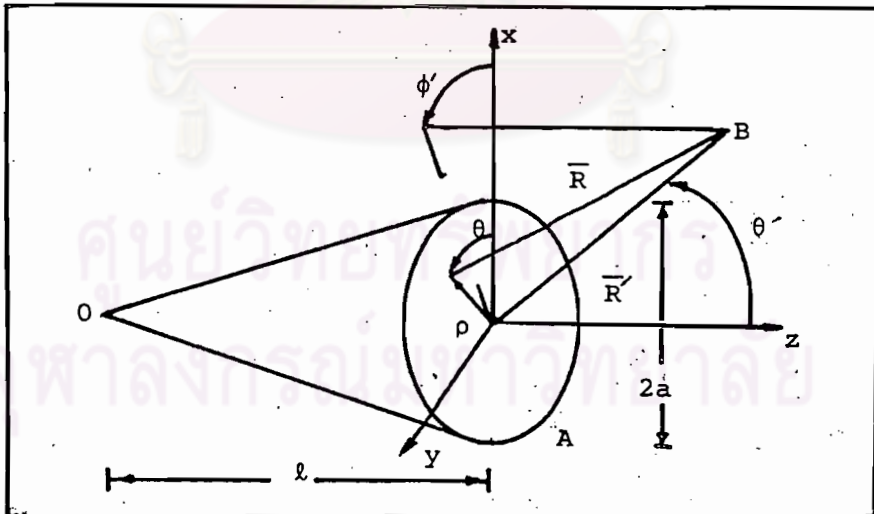
เมื่อ  $\psi_a$  เป็นการกระจายเชิงเฟสที่ช่องเปิดของฮอร์น

#### 4.2 วิธีหาลูกราคำนวณแพทเทอรันการแผ่คลื่น

โดยทั่วไปโครงสร้างของสายอากาศแบบแคลสซีเกรนบริเวจงานสะท้อนรองและจุดโฟกัสของงานสะท้อนหลักจะอยู่ไม่ไกลจากปากฮอร์นมากนัก ในเงื่อนไขเช่นนี้สนามที่แผ่กระจายจากปากฮอร์นที่บริเวณดังกล่าวจะเป็นสนามเลี้ยวเบนที่อยู่ในโซนเฟรสเนล



รูปที่ 4.6 แสดงการประมาณด้วยสนามสเกลาร์



รูปที่ 4.7 แกนประสานอ้างอิงสำหรับหาแพทเทอร์นการแผ่คลื่น

ในกรณีที่เรากำลังพิจารณานี้สนามบนช่องเปิดเกือบจะมีขั้วคลื่นเป็นแบบเชิงเส้นอย่างสมบูรณ์ มีพลังงานเพียงส่วนน้อย เท่านั้นที่อยู่ในสนามตามแนวขั้วคลื่นไซวี และได้ตรวจสอบในหัวข้อ 4.1 แล้วว่าการกระจายสนามบนช่องเปิดประมาณได้ว่าเป็นการกระจายแบบเกาเซียน ซึ่งหมายความว่าแพทเทิร์นการแผ่คลื่นมีลักษณะสมมาตรรอบแกน  $z$  และพลังงานส่วนใหญ่เกาะกลุ่มอยู่ใกล้แกน  $z$  ทำให้เราสามารถหาสนามเลี้ยวเบนในโซนเฟรสเนล โดยใช้การประมาณในรูปสนามสเกลาร์ (SCALAR FIELD APPROXIMATION) ได้ กล่าวคือ จะจำกัดให้การกระจายของสนามบนช่องเปิดเป็นสนามระนาบ โดยสมมติให้สนามบนช่องเปิดมีขั้วคลื่นสม่ำเสมอในทิศทางหนึ่ง ในที่นี้คือ ทิศทาง  $x$  และสนามบนช่องเปิดอยู่ในระนาบ  $x-y$  (รูปที่ 4.6) โดยจุดบนช่องเปิดที่เราพิจารณา คือ  $(\xi, \eta)$  และจุดสังเกตคือจุด  $p(x, y, z)$  ให้สนามบนช่องเปิดเป็น  $F(\xi, \eta)$

$$\text{โดย } F(\xi, \eta) = A(\xi, \eta) \exp(-j\psi(\xi, \eta)) \quad (4.14)$$

เมื่อ  $A(\xi, \eta)$  เป็นการกระจายเชิงขนาดของสนามบนช่องเปิด

และ  $\psi(\xi, \eta)$  เป็นการกระจายเชิงเฟสของสนามบนช่องเปิด

ใช้แกมมาอ้างอิงตามรูปที่ 4.7 โดย

$\bar{R}$  เป็นเวกเตอร์หน่วยในทิศทางจากจุด  $(\xi, \eta)$  บนช่องเปิดไปยังจุดสังเกต  $P$

และ  $\bar{R}'$  เป็นเวกเตอร์หน่วยในทิศทางจากจุดกำเนิดไปยังจุดสังเกต  $P$

จะได้สนามเลี้ยวเบนในโซนเฟรสเนลดังนี้<sup>9</sup>

$$E_p = \frac{j}{2} \frac{\exp(-jkR)}{R'} \int_A F(\xi, \eta) \exp(-jkr_p) (\cos\theta + \bar{i}_z \cdot \bar{S}) \rho d\rho d\theta \quad (4.15)$$

$$\text{โดย } F(\xi, \eta) = E_a \exp(-j\psi_a)$$

เมื่อ  $E_a$  เป็นการกระจายสนามบนช่องเปิด

$$\psi_a \doteq \frac{\pi}{\lambda} \frac{a^2}{l} \rho^2 \text{ เป็นความคลาดเคลื่อนเฟสบนช่องเปิด}$$

และ  $\bar{n}$  เป็นเวกเตอร์หน่วยที่ตั้งฉากกับผิว ในกรณีการประมาณด้วยสนามสเกลาร์  $\bar{n} = \bar{i}_z$

โดย  $\bar{i}_z$  เป็นเวกเตอร์หน่วยในทิศทางเทอม  $\bar{i}_z \cdot \bar{S}$  เกิดขึ้นจากการกระจายเชิงเฟสที่ไม่สม่ำเสมอบนช่องเปิด ซึ่งแทนการเบี่ยงเบนไปจากค่าคงตัวเฟสมาก ซึ่งจะเกิดขึ้นสำหรับคลื่นที่มีลักษณะ

กระจัดกระจาย (DISPERSION) สูง ซึ่งเงื่อนไขนี้หมายถึง กรณีที่พลังงานในสนามเลี้ยวเบนไม่

เกาะกลุ่มในบริเวณแกน  $z$  ในกรณีที่การเบี่ยงเบนของเฟสดังกล่าวมีไม่มากนัก เทอม  $\bar{i}_z \cdot \bar{S}$

ประมาณได้ว่าเป็นค่าคงตัวให้เท่ากับ 1 และในส่วนที่เป็นฟังก์ชันของขนาดที่ขึ้นกับมุม  $\theta$  พิจารณาได้ว่า  $\theta$  มีค่าใกล้เคียงศูนย์ สำหรับ  $r_b$  โดยทั่วไปหาได้ดังนี้

$$r_b = \{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + z^2\}^{\frac{1}{2}} \quad (4.16)$$

สำหรับแกนประสานทรงกลมจะได้ว่า

$$\begin{aligned} x &= R' \sin \theta' \cos \phi' = R\alpha \\ y &= R' \sin \theta' \sin \phi' = R\beta \\ z &= R' \cos \theta' \end{aligned} \quad (4.17)$$

แทนความสัมพันธ์เหล่านี้ในสมการ (4.16) จะได้

$$\begin{aligned} R &= R' - (\alpha\xi + \beta\eta) + \frac{\xi^2 + \eta^2 - (\alpha\xi + \beta\eta)^2}{2R'} = R' + r_b \\ &\doteq R' - \rho \sin \theta' \cos(\theta - \phi') + \frac{\rho^2}{2R'} \end{aligned}$$

โดยตัดเทอมกำลังสองทิ้งไป

$$\text{เพราะฉะนั้น } r_b = R - R' = -\rho \sin \theta' \cos(\theta - \phi') + \frac{\rho^2}{2R'} \quad (4.18)$$

จะได้สนามเลี้ยวเบนในโซนเฟรสเนลดังนี้

$$E_p = \frac{j}{\lambda} \frac{\exp(-jkR)}{R'} \int_0^{2\pi} \int_0^1 E_a \exp(-j\psi_a) \cdot \exp\{jk(a \rho \sin \theta' \cos(\theta - \phi') - \frac{a}{2R'} \rho^2)\} \rho d\rho d\theta \quad (4.19)$$

แทนค่า  $E_a$  สำหรับการกระจายสนามในแนวแกน  $x$  และ  $y$  จากสมการ (4.7) และ (4.8) ตามลำดับ และแทน  $\psi_a$  สำหรับการกระจายเชิงเฟสสมการ (4.13) ในสมการ (4.19) และใช้ความสัมพันธ์

$$\int_0^{2\pi} \frac{\exp\{j x \cos(\theta - \phi')\}}{\sin} (\theta) d\theta = 2\pi j^n \frac{\cos}{\sin} (n \phi') J_n(x)$$

หาสนามเลี้ยวเบนในโซนเฟรสเนลในแนวแกน  $x$  และ  $y$  ได้ดังนี้

$$E_{px} = \frac{j2\pi \exp(-jkR) a^2 E_0}{\lambda R'(\kappa+1)} \{I_1 - \kappa I_2 \cos \phi'\} \quad (4.20)$$

$$E_{py} = \frac{j2\pi \exp(-jkR) a^2 E_0}{\lambda R'(\kappa+1)} -\kappa I_2 \sin 2\phi' \quad (4.21)$$

เมื่อ  $u = \kappa a \sin \theta'$

$$I_1 = \int_0^1 J_0(\chi\rho) J_0(u\rho) \exp(-j2\pi t\rho^2) \rho d\rho$$

$$I_2 = \int_0^1 J_2(\chi\rho) J_2(u\rho) \exp(-j2\pi t\rho^2) \rho d\rho$$

$$t = \frac{a^2}{2\lambda} \left( \frac{1}{\ell} + \frac{1}{R} \right)$$

#### 4.3 วิธีการคำนวณ

จากสมการ (4.20) และ (4.21) จะเห็นได้ว่าสนามเลี้ยวเบนแสดงในรูปของอินทิกรัล (FIELD INTEGRAL) ซึ่งในเชิงวิเคราะห์กระทำได้ยาก ทั้งนี้เนื่องจากอินทิแกรนด์มีลักษณะสลับซับซ้อน อินทิกรัลดังกล่าวจำเป็นต้องหาโดยวิธีการเชิงเลขและใช้เครื่องคำนวณ<sup>10</sup> ซึ่งวิธีการเชิงเลขที่ใช้มีได้หลายวิธี โดยในที่นี้จะใช้การอินทิเกรตด้วยกฎสี่เหลี่ยมคางหมู (TRAPEZOIDAL INTEGRATION) ที่ใช้วิธีนี้เนื่องจากมีข้อดีที่อัลกอริทึม (ALGORITHM) ง่ายไม่ซับซ้อนและลักษณะของอินทิแกรนด์เป็นฟังก์ชันที่สามารถหาค่าได้จากตารางค่าฟังก์ชัน (ในที่นี้ใช้ตารางค่าของฟังก์ชันเบสเซล\*) และฟังก์ชันคณิตศาสตร์ภายในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ (ในที่นี้คือ  $\sin$  และ  $\cos$ ) แต่วิธีนี้ใช้เวลาคอมพิวเตอร์ (COMPUTER TIME) มาก เนื่องจากค่าความแม่นยำของคำตอบขึ้นอยู่กับการแบ่งอันตรภาคชั้น (INTERVAL) ของขนาดชั้น (STEP SIZE) เมื่อดูจากคำตอบเชิงเลขสำหรับการหาแพทเทิร์นการแผ่คลื่น ซึ่งแบ่งถึง 800 อันตรภาคชั้นได้ความแม่นยำของเลขนับสำคัญ 3 ตำแหน่งหนึ่งคำตอบใช้เวลา 270 วินาที (ดูจากภาคผนวก จ.)

\* ตารางค่าของฟังก์ชันเบสเซล ดูได้จากเอกสารอ้างอิงที่ 8 หน้า 390-396



#### 4.4 ผลการคำนวณ

การทำแพทเทิร์นการแผ่คลื่นแสดงได้โดยพิจารณาจากพารามิเตอร์  $\chi$ ,  $u$  และ  $t$  เมื่อ  $u$  เป็นพารามิเตอร์ซึ่งแสดงค่าของความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่น  $\lambda$ , รัศมีของปากฮอร์น  $a$ , และมุมของแพทเทิร์น (RADIATION PATTERN ANGLE)  $\theta'$  และ  $t$  เป็นพารามิเตอร์ซึ่งแสดงค่าของความสัมพันธ์ของขนาดของฮอร์น ความยาวคลื่น และระยะห่างจากจุดสังเกตมายังปากฮอร์น. โดยเราจะศึกษาผลกระทบของ  $\chi$  และ  $t$  ต่อแพทเทิร์นการแผ่คลื่นของสายอากาศแบบคอร์รูเกตเท็คฮอร์น

##### 4.4.1 ผลกระทบของ $\chi$ ต่อแพทเทิร์นการแผ่คลื่น

เมื่อความยาวของฮอร์น  $l$  และระยะทางจากจุดสังเกต  $R$  มีค่ามาก ประมาณได้ว่า  $t = 0$  ตามรูปที่ 4.8, 4.9 และ 4.10 แสดงแพทเทิร์นการแผ่คลื่นเมื่อคำนึงถึงผลกระทบเนื่องจาก  $\chi$  เมื่อให้  $\chi$  มีค่า 1.841, 2.100 และ 2.405 ตามลำดับ จะพบว่าแพทเทิร์นการแผ่คลื่นจะมีลักษณะเข้าสู่สมมาตร และโลปข้างเคียงมีระดับต่ำลงเมื่อ  $\chi$  เข้าสู่ค่า 2.405

##### 4.4.2 ผลกระทบของ $t$ ต่อแพทเทิร์นการแผ่คลื่น

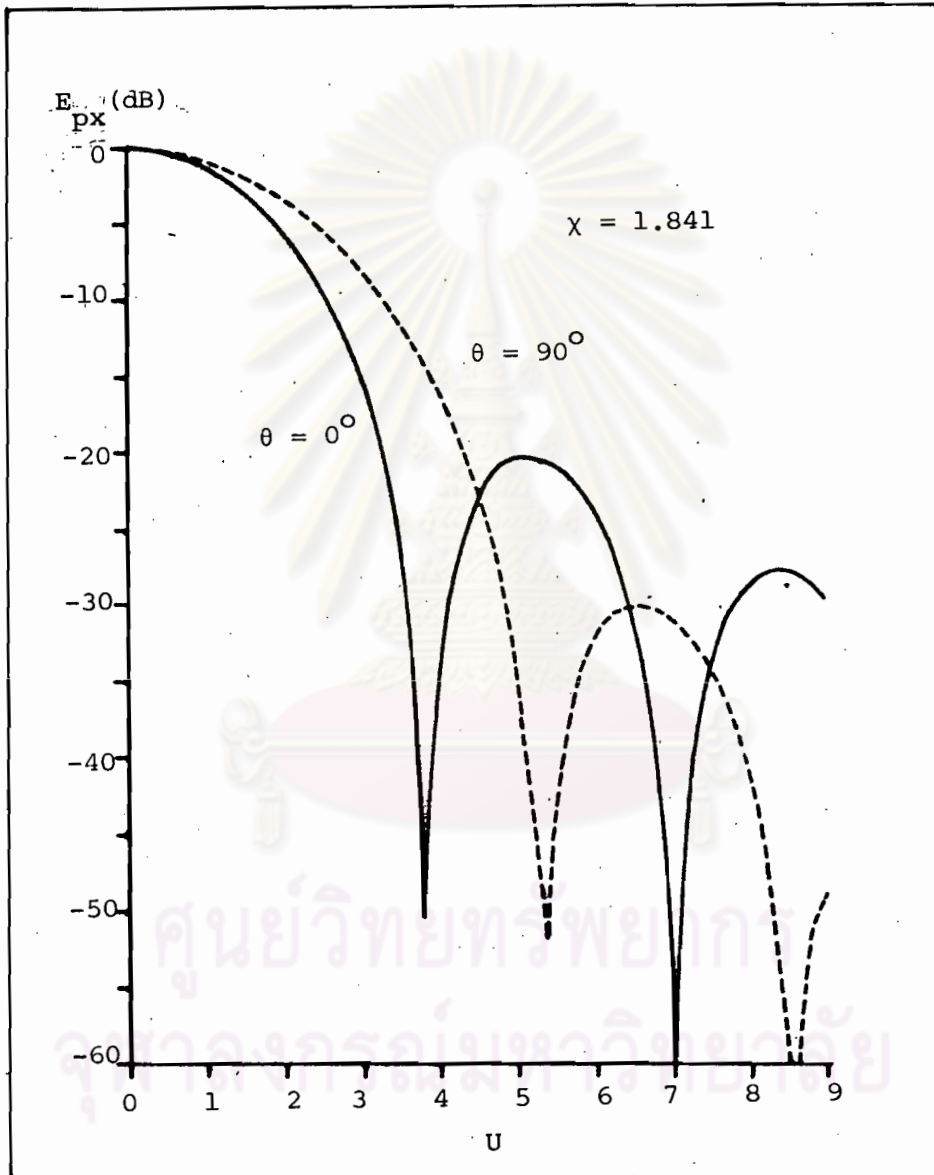
เมื่อความยาวของฮอร์น  $l$  และระยะทางจากจุดสังเกต  $R$  มีค่าไม่มากนักเมื่อเทียบกับกำลังสองของเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องเปิด จะได้ว่า  $t$  มีค่ามากกว่าศูนย์ เพื่อที่จะศึกษาผลกระทบของ  $t$  ต่อแพทเทิร์นการแผ่คลื่น ดังนั้นจะแปรค่า  $t$  ให้มีค่าเท่ากับ 0.3, 0.4, 0.5, 0.9 และ 1.0 เมื่อ  $\chi = 2.405$  และมุม  $\phi = 0$ . ดังรูปที่ 4.11 เมื่อสังเกตแพทเทิร์นผลลัพธ์ที่ได้เทียบกับแพทเทิร์นการแผ่คลื่นรูปที่ 4.10 เมื่อ  $\chi = 2.405$ ,  $t = 0$  และมุม  $\phi = 0$  จะเห็นว่าแพทเทิร์นการแผ่คลื่นมีลักษณะโค้งลาดลงเรื่อยๆ เมื่อ  $u$  เพิ่มมากขึ้น ความกว้างของลำคลื่น (BEAMWIDTH) ของลำคลื่นหลัก (MAINBEAM) กว้างขึ้นและโลปข้างเคียงมีระดับสูงขึ้น ขณะที่  $t$  มีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนเฟสกำลังสอง (QUADRATIC PHASE ERROR) ซึ่งแสดงในรูป  $\psi_a(\rho) = 2\pi t \rho^2$  เป็นความคลาดเคลื่อนเฟสกำลังสองซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวของฮอร์น รัศมีของช่องเปิดและระยะจากจุดสังเกต โดยแสดงการแปรผันของเฟสเมื่อ  $t$  มีค่าต่างๆ ไว้ด้วย. ซึ่งสังเกตได้ว่าเมื่อ  $t = 0.3$  เฟสจะเปลี่ยนแปลงน้อยกว่ากรณีเมื่อ  $t$  มีค่ามากกว่านี้ ในบริเวณที่  $u$  มีค่าไม่มากนักแต่เฟสจะเปลี่ยนแปลงรวดเร็วกว่า หาก  $u$  มีค่ามาก และในรูปที่ 4.12 แสดงผลกระทบของ  $t$  ที่แปรผันตามความถี่อย่างเดียวก่อนกำหนดให้ขนาดของ



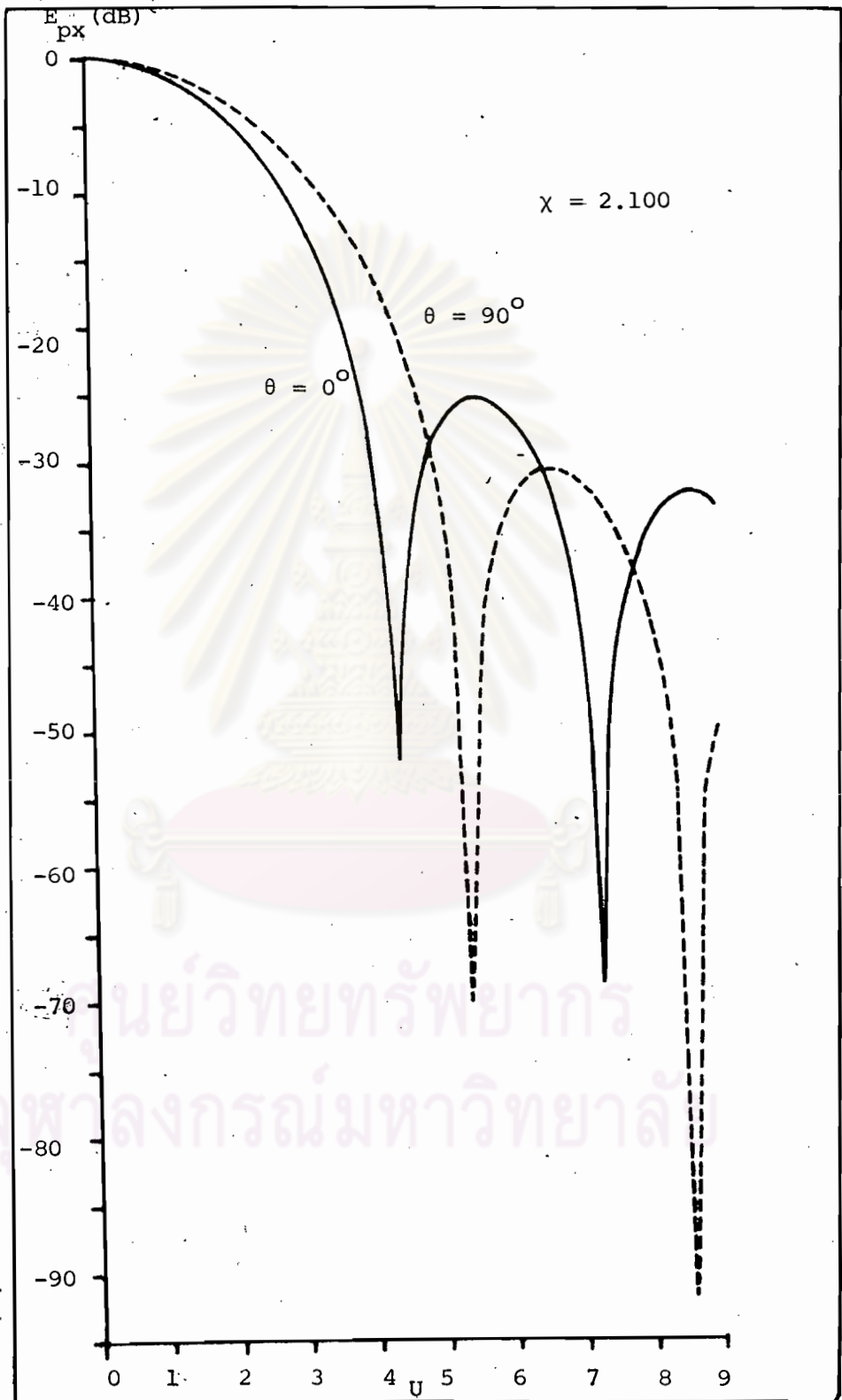
ฮอรั่นคองที และมุม  $\theta$  คองที โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงความถี่ในช่วง 1 ออกเตฟ โดยค่า  $t$  เปลี่ยนจาก 0.5 เป็น 1.0 และเปลี่ยนจาก 1.0 เป็น 2.0 พิจารณาการเปลี่ยนแปลงของเฟสจะพบว่าเมื่อระดับความแรงสัญญาณมีขนาด  $-10$  dB ที่  $t = 0.5$  จะมีความคลาดเคลื่อนเฟสสัมพันธ์ 40 องศา เทียบกับเฟสที่  $n = 0$  หากเพิ่มความถี่ขึ้น 1 ออกเตฟ คือ  $t = 1.0$  ความคลาดเคลื่อนเฟสจะลดมาอยู่บริเวณใกล้ศูนย์และเมื่อเพิ่มความถี่ขึ้นอีก 1 ออกเตฟ คือ  $t = 2.0$  ความคลาดเคลื่อนเฟสจะยิ่งน้อยลง ในกรณีที่  $t < 0.5$  เช่นที่  $t = 0.4, 0.3$  และ  $0.25$  เป็นต้น จะเห็นว่าจะเกิดความคลาดเคลื่อนเฟสมากขึ้นเมื่อ  $t$  มีค่าน้อยลง โดยจะมีความต่างเฟสเมื่อเทียบกับ  $t = 0.5$  อยู่ 9.747, 20.4, 25.39 องศา เมื่อ  $t = 0.4, 0.3$  และ  $0.25$  ตามลำดับ ซึ่งในการเลือกขนาดของฮอรั่นควรใช้ค่า  $t$  ไม่ต่ำกว่า 0.4 เมื่อใช้งานในแถบความถี่กว้าง



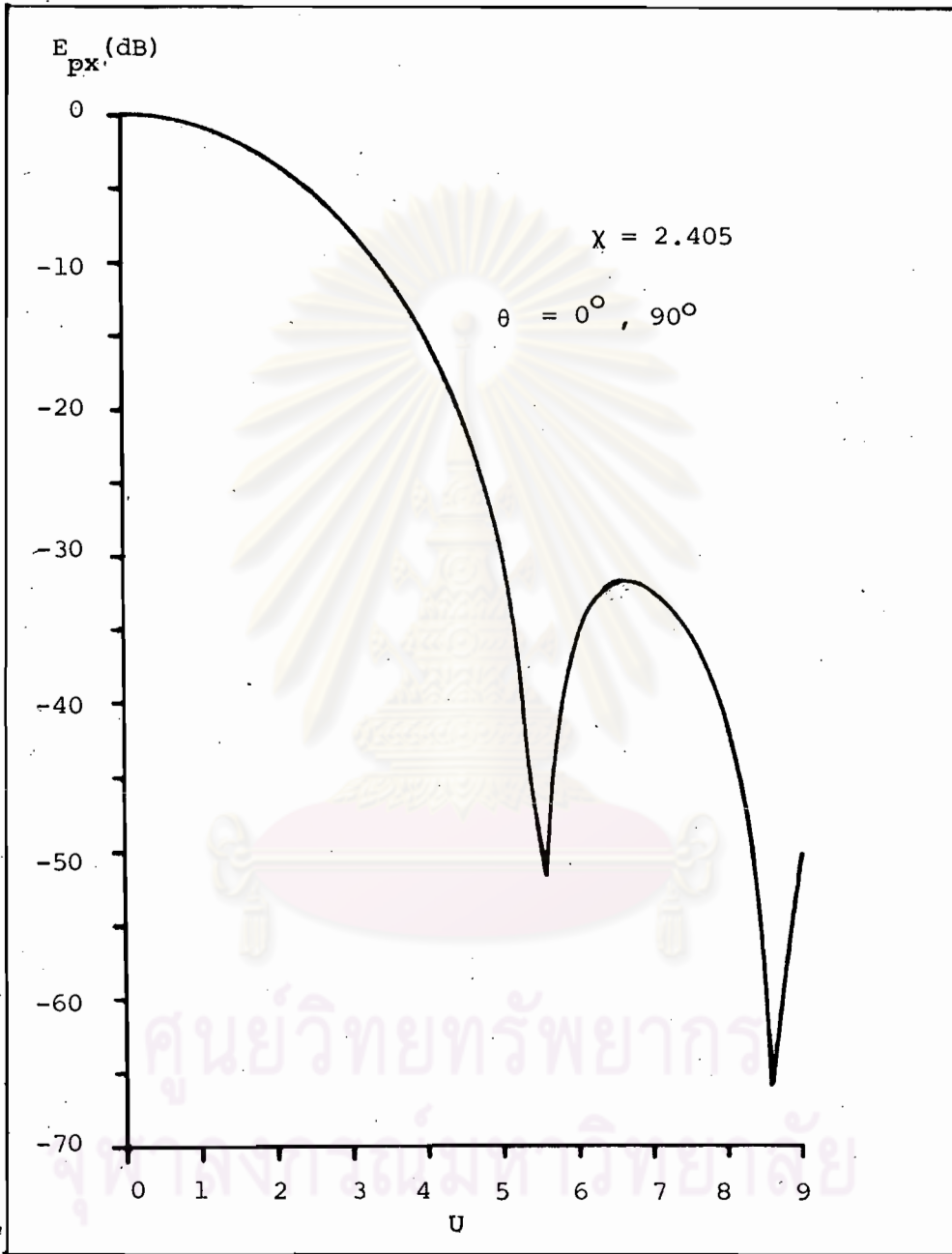
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



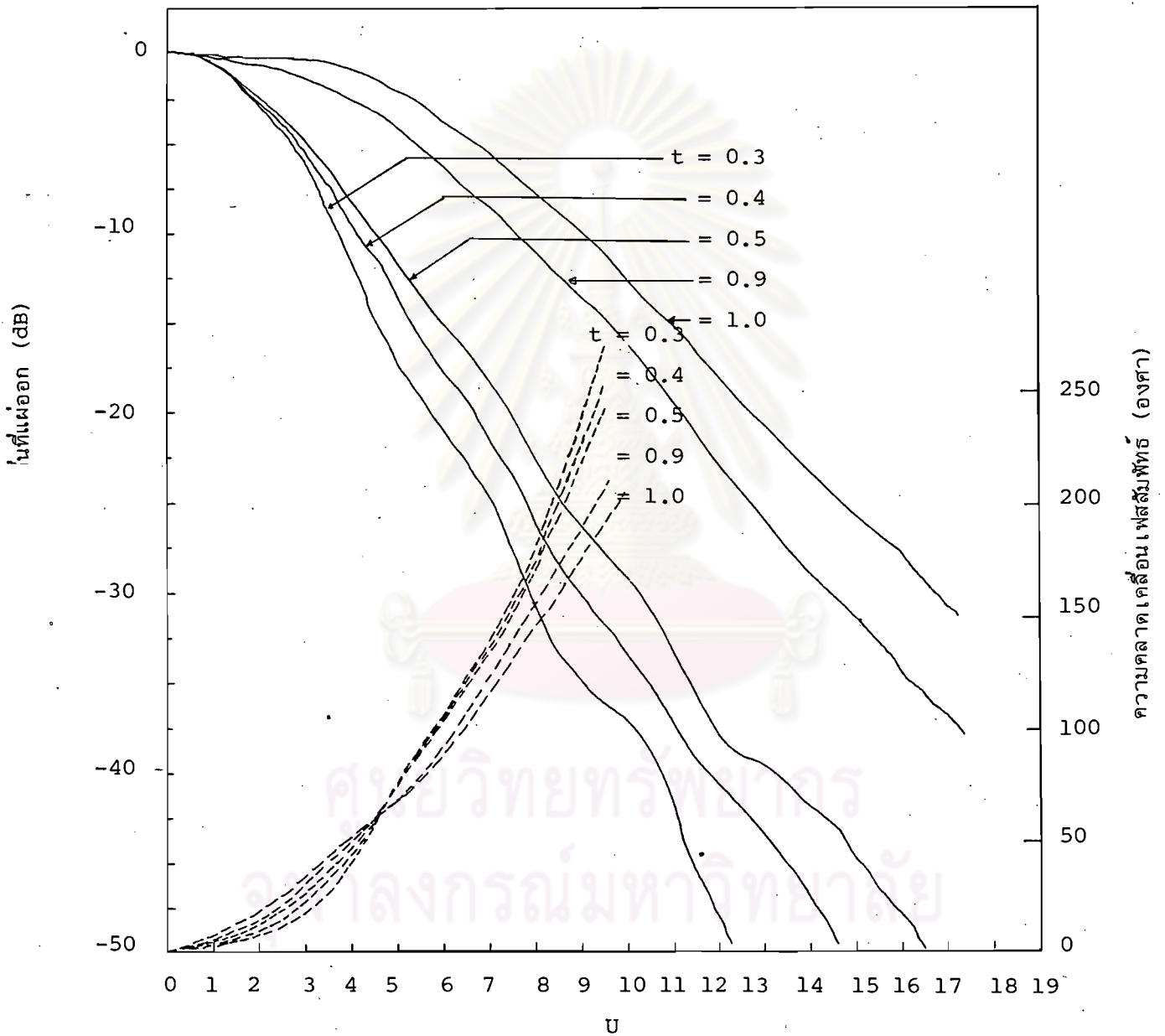
รูปที่ 4.8 แพทเทิร์นการแผ่คลื่นเมื่อคำนึงถึงผลกระทบ เนื่องจาก  $\chi = 1.842$



รูปที่ 4.9 แพทเทิร์นการแผ่คลื่นเมื่อค่า  $\chi$  คงที่ถึงผลกระทบเนื่องจาก  $\chi = 2.100$

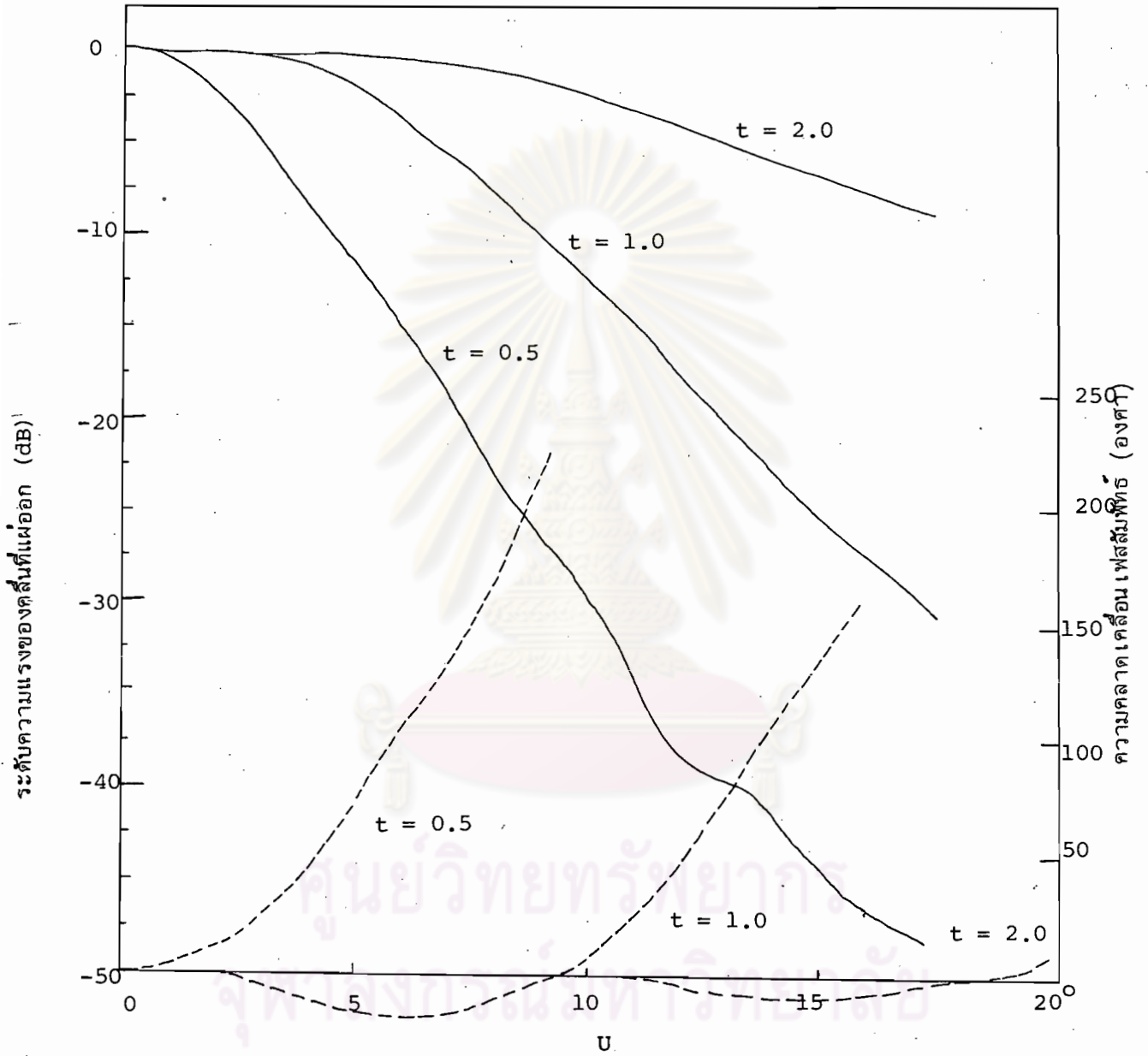


รูปที่ 4.10 แพทเทอรันการแผ่คลื่นเมื่อคำนวณถึงผลกระทบเนื่องจาก  $\chi = 2.405$



รูปที่ 4.11 แพทเทิร์นการแผ่คลื่นเมื่อคำนึงถึงผลกระทบเนื่องจาก

- ขนาดของความแรงของคลื่นที่แผ่ออก
- ความคลาดเคลื่อนเฟสสัมพัทธ์



รูปที่ 4.12 แพทเทิร์นการแผ่คลื่นเมื่อคำนึงถึงผลกระทบเนื่องจาก  $t$  เมื่อ  $t$  แปรผันตามความถี่

\_\_\_\_\_ ขนาดของความแรงของคลื่นที่แผ่ออก

----- เฟสที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับหน้าคลื่นที่  $t = 0.5$