

Optical Soliton Equation and Its Application in Optical Devices Design For High Speed Communication

C. Taepanich and P.P. Yupapin

Lightwave Technology Research Center, Department of Applied Physics, Faculty of Science

King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520

Tel: 7373000 ext. 6271/6213, Fax: 3269981

E-mail: s0065005@kmitl.ac.th or Yupapin.Preecha@kmitl.ac.th

ABSTRACT: The study of nonlinear Schrodinger equation is used to describe the propagation of optical signals in single mode optical fiber that is represented a model of transmission light pulse signals in an optical fiber. Basic soliton equation is briefly reviewed for the explanation of signals group velocity dispersion (**GVD**) and self-phase modulation (**SPM**) which effect the required optical transmission signals. The modeling of soliton pulses travelling into two or three coupling fibers are modeled then input into the soliton wave equations. The input optical signal parameters such as light pulse width, input signal bit rate, light source wavelength and bandwidth, and coupling power are employed in the soliton equation. The coupling output signals obtained are described for the use in optical transmission devices such as optical filter, switching and multiplexer. The physical behaviors of the optical output signals obtained by numerical technique are associated with the optical device parameters.

Keywords: Optical Communication , Optical Devices.

บทคัดย่อ: การศึกษานี้พิจารณาสมการชเรอดิงเงอร์แบบไม่เชิงเส้นในการใช้อธิบายการแพร่ของสัญญาณแสงในใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว ซึ่งเป็นระบบหรืออุปกรณ์ที่แทนที่ด้วยระบบสมการที่สามารถอธิบายการส่งผ่านสัญญาณพัลส์แสงได้ โดยสมการนี้เรียกว่าสมการโซลิตอนได้ถูกนำมาใช้อธิบายปรากฏการณ์ของการกระจายความเร็วกลุ่ม และปรากฏการณ์เซลเฟสมอดูเลชัน ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่มีความสำคัญของพัลส์โซลิตอนในใยแก้วนำแสง การศึกษานี้จะพิจารณาลักษณะของพัลส์โซลิตอนที่เดินทางไปในคัปเปิลอร์ใยแก้วนำแสงชนิด 2 และ 3 แกน และผลของสัญญาณเอด์พุดจากการคัปปลิงระหว่างกัน นอกจากนั้นยังได้พิจารณาค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณแสง ดังเช่น ความกว้างของพัลส์แสง อัตราการส่งข้อมูล หรือ ความเร็ว ความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสง แบนด์วิดท์ และกำลังจากการคัปปลิงแสง สัญญาณเอด์พุดที่ได้จากการคัปปลิงนี้สามารถนำไปใช้พิจารณาในการออกแบบอุปกรณ์ทางแสง เช่น อุปกรณ์กรองสัญญาณ สวิตช์ ออสซิลเลเตอร์ และ มัลติเพลกเซอร์ โดยลักษณะของพารามิเตอร์และสัญญาณเอด์พุดหาได้โดยวิธีการทางตัวเลข

1. บทนำ

ในระบบการสื่อสารทางแสงนั้นค่าของอัตราการส่งข้อมูล (bite rate) จะถูกจำกัดโดยคุณสมบัติของการกระจาย (dispersion) ของใยแก้วนำแสง ดังนั้นเพื่อเป็นการชดเชยผลที่วุ่นนี้ได้มีการใช้ลักษณะความไม่เชิงเส้น (nonlinearity) ที่มีผลที่ทำให้พัลส์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear pulse) มีความเสถียรและเคลื่อนที่ได้อย่างไม่มีการกระจายหรือเปลี่ยนรูปร่างซึ่งถูกเรียกว่า “โซลิตอน” (solitons) [1-6] ในการแพร่ของเอนเวลอปของโซลิตอน (envelope soliton) ในใยแก้วนำแสงจะอธิบายได้ด้วยสมการการชเรอดิงเงอร์แบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Schrodinger Equation, NLSE) สมการนี้สามารถหาคำตอบ

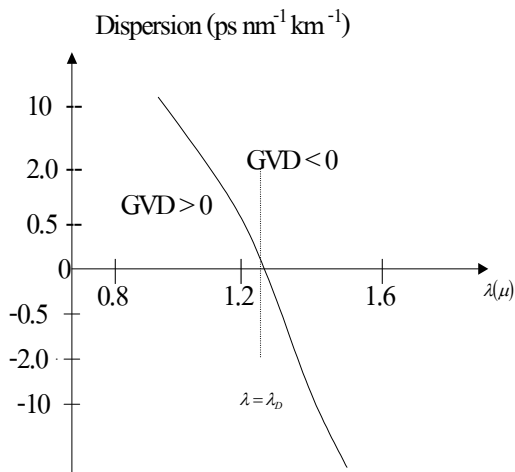
ได้ทั้งโดยวิธีการกระเจิงกลับ (inverse scattering technique, IST) และโดยวิธีทางตัวเลข (numerical method) ปรากฏการณ์ที่สำคัญของพัลส์ที่เคลื่อนที่ในใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยวที่ทำให้เกิดโซลิตอนก็คือการกระจายความเร็วกลุ่ม (group velocity dispersion, GVD) และเซลเฟสมอดูเลชัน (self phase modulation, SPM) เนื่องด้วยข้อดีของคุณสมบัติของโซลิตอนดังกล่าวจึงทำให้มีการนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะในอุปกรณ์สวิตช์สำหรับการสื่อสารความเร็วสูง เป็นต้น

2. การกระจายความเร็วกลุ่ม

ในใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยวนั้นการกระจายที่สำคัญที่สุดคือการกระจายความเร็วกลุ่มซึ่งเป็นผลจากความเร็วในการเดินทางของแสงมีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงดังแสดงในรูปที่ 1

โดยเริ่มพิจารณาจากเลขคลื่น(k) ดังนี้

$$k(\omega) = n(\omega) \frac{\omega}{c} = k_0 + \left(\frac{\partial k}{\partial \omega} \right) (\omega - \omega_0) + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 k}{\partial \omega^2} \right) (\omega - \omega_0)^2 + \dots$$



รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของการแพร่กระจาย

โดยที่ $k(\omega)$ เป็นเลขคลื่น $n(\omega)$ เป็นดัชนีหักเห และ ω เป็นความถี่เชิงมุม และจาก

$$\frac{\partial k}{\partial \omega} = \frac{1}{V_g} = k', \quad \frac{\partial^2 k}{\partial \omega^2} = k'' = \lambda^2 \frac{D}{2\pi c}$$

เมื่อ V_g เป็นความเร็วกลุ่ม และ k'' สอดคล้องกับการกระจายความเร็วกลุ่ม (GVD) เมื่อ D คือค่าพารามิเตอร์การกระจาย จากกราฟในรูปที่ 1 แสดงการกระจาย (D) จะมีค่าต่ำเมื่อ $\lambda = \lambda_0 \approx 1.3 \mu\text{m}$ และเมื่อ $\lambda < \lambda_0$ จะได้การกระจายปกติ (normal GVD) ซึ่งมีค่า k'' เป็นบวก ในทางตรงกันข้ามเมื่อ $\lambda > \lambda_0$ จะได้การกระจายไม่ปกติ (anomalous GVD) ซึ่งมีค่า k'' เป็นลบ ผลจากการกระจายนี้ทำให้พัลส์ขยายกว้างออก ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องใช้ปรากฏการณ์ของความไม่เป็นเชิงเส้นที่จะทำการชดเชยการกระจายออกของพัลส์ได้

3. ลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นของตัวกลาง

ในการตอบสนองของตัวกลางสารไดอิเล็กตริกที่มีต่อสนามไฟฟ้าความเข้มสูงนั้น จะเริ่มแสดงคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นเมื่อเกิดจากการเปลี่ยนแปลงดัชนีหักเหของแสง มีความสัมพันธ์กับความเข้มของแสงดังนี้

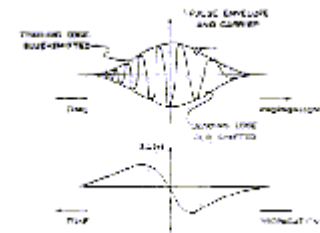
$$n = n_0 + n_2 I$$

โดยที่ n_0 เป็นดัชนีหักเหเชิงเส้น I แทนความเข้มแสง n_2 เป็นสัมประสิทธิ์ของเคอร์ (Kerr coefficient)

จากสมการนี้ทำให้ทราบว่าค่าดัชนีหักเหของแสงขึ้นอยู่กับค่าความเข้มแสง ซึ่งเป็นผลให้เกิดการเลื่อนเฟส (phase shift) เป็นดังนี้

$$\Delta \phi = \frac{2\pi}{\lambda} L n_2 I$$

โดยลักษณะการเลื่อนเฟสที่เกิดขึ้นในทิศทางกันข้ามกับการกระจายแบบไม่ปกติซึ่งเรียกลักษณะการเลื่อนเฟสกรณีนี้ว่าเซลเฟสมอดูเลชัน และจากรูปที่ 2 เป็นการแสดงการเชิฟ (chirp) ของความถี่ซึ่งเนื่องจาก SPM ผลก็คือ มีความถี่สูงขึ้นที่บริเวณขอบของพัลส์ ซึ่งลักษณะของการเชิฟนี้จะแตกต่างกันกับการเชิฟที่เกิดจากการกระจายความเร็วกลุ่ม ดังนั้น SPM จะช่วยทำให้ที่ความยาวคลื่นยาวถูกหน่วงโดยผลการกระจายความเร็วกลุ่มแบบไม่ปกตินั้นสามารถทำให้สัญญาณกลับสู่สภาพที่ไม่มีการกระจายได้เพราะว่าปรากฏการณ์ทั้งสองเป็นปฏิกิริยาที่หักล้างกัน ส่วนที่ความยาวคลื่นสั้นนั้นก็เกิดขึ้นในลักษณะคล้ายกันซึ่งผลลัพธ์ก็คือได้พัลส์โซลิตอนที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง



รูปที่ 2 แสดงเชิฟ(chirp) ความถี่เนื่องจาก SPM

4. สมการชเรอดิงเงอร์ไม่เชิงเส้น

พิจารณาสมการที่ใช้อธิบายการแพร่ของเอนเวลลอปของพัลส์โซลิตอนโดยคิดมาจากผล GVD และ ความไม่เป็นเชิงเส้นคือ

$$j \frac{\partial U}{\partial \xi} - \text{sgn}(k'') \frac{1}{2} \frac{\partial^2 U}{\partial \tau^2} + N^2 |U|^2 U = 0 \quad (1)$$

เมื่อ U เป็นแอมพลิจูดของพัลส์ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ ξ เป็นโคออร์ดิเนต τ เป็นเวลาของพัลส์สัญญาณที่เคลื่อนที่ในกรอบอ้างอิงของความเร็วกลุ่ม และ j เป็นตัวแปรเชิงซ้อน และโดยที่ $\text{sgn}(k'')$ ให้ค่า 1 เมื่อ k'' เป็นบวก (normal GVD) และให้ค่าเป็น -1 เมื่อ k'' เป็นลบ (anomalous GVD) และพารามิเตอร์ N คืออันดับ (order) ของโซลิตอน

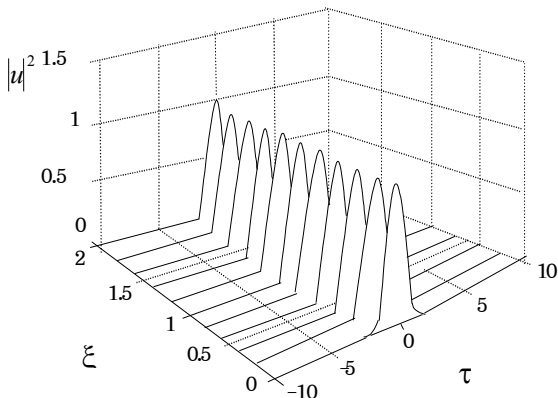
5. โซลิตอนพื้นฐาน และในอันดับสูงขึ้น

สมการ NLS สามารถแก้หาคำตอบได้อย่างถูกต้องด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีวิเคราะห์ที่เรียกว่าวิธีการการกระเจิงกลับ (IST) ทั้งสำหรับกรณีที่เป็นการกระจายแบบปกติ หรือไม่ปกติก็ตาม โดยที่ค่า $k'' < 0$ ซึ่งเป็นการกระจายแบบไม่ปกติเรียกว่า “โซลิตอนด้านสว่าง” (bright soliton) ส่วนกรณี $k'' > 0$ หรือการกระจายแบบปกติเรียกว่า “โซลิตอนด้านมืด” (dark soliton) ในทางปฏิบัติมักสนใจแต่ bright soliton เท่านั้นและมักสนใจในกรณีที่ $\lambda = 1.5 \mu\text{m}$ ซึ่งเป็นย่านที่ตรงกับการสูญเสียที่ต่ำที่สุดและการขยายสัญญาณด้วยเส้นใยแก้วนำแสงได้เป็นอย่างดี

5.1. โซลิตอนพื้นฐาน

ในการหาคำตอบโซลิตอนพื้นฐานนั้นได้จากการแก้สมการที่ (1) โดยวิธีวิเคราะห์ (analytical method) ซึ่งมีคำตอบเป็นฟังก์ชันลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3

$$u(\xi, \tau) = \text{sech}(\tau) \exp(j\xi/2)$$



รูปที่ 3 แสดงการเคลื่อนตัวของโซลิตอนพื้นฐาน

จากรูป 3 จะเห็นว่าในกรณี $N = 1$ นี้ พัลส์จะไม่เปลี่ยนรูปร่างตลอดการแพร่ของโซลิตอน

5.2. โซลิตอนอันดับสูง

กรณีนี้ค่า N เป็นจำนวนเต็มที่มีค่ามากกว่า 1 ขณะที่พัลส์เดินทางไปบนเส้นใยแก้วนำแสงนั้นพัลส์จะหดตัวและแตกออก และก็จะกลับมารวมกันอีกครั้งเหมือนกับพัลส์เริ่มต้นที่มีลักษณะเป็นคาบ 2π ตำแหน่งซึ่งเหมือนเดิมนี้คือ $\xi = m\pi/2$ เมื่อ m เป็นจำนวนเต็ม ลักษณะรูปคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไปดังกล่าวเป็นผลมาจากความต่างเฟสระหว่างโซลิตอน

6. สมการการคับปลิง

พิจารณาระบบสมการ NLS ที่มีการคับปลิงด้วยการพิจารณาสมการที่ได้จากพัลส์แสงในใยแก้วนำแสงโหมดเดียว 3 แกน โดยของแต่ละแกนที่มีการกระจายความเร็วกลุ่มแบบไม่ปกติที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นเป็นบวก คือ [1]

$$j \frac{\partial u_1}{\partial \xi} = -\frac{1}{2} \frac{\partial^2 u_1}{\partial \tau^2} - K(u_2 + u_3) - |u_1|^2 u_1$$

$$j \frac{\partial u_2}{\partial \xi} = -\frac{1}{2} \frac{\partial^2 u_2}{\partial \tau^2} - K(u_1 + u_3) - |u_2|^2 u_2$$

$$j \frac{\partial u_3}{\partial \xi} = -\frac{1}{2} \frac{\partial^2 u_3}{\partial \tau^2} - K(u_1 + u_2) - |u_3|^2 u_3$$

เมื่อ K คือสัมประสิทธิ์ในการคับปลิงเชิงเส้น u_1 , u_2 และ u_3 คือแอมพลิจูดของพัลส์แสง

7. วิธีการทางตัวเลข

สมการที่ 1 เป็นสมการ NLS ซึ่งเป็นสมการที่ไม่คิดผลของการรบกวน (Perturbation) ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยใช้วิธีการการกระเจิงกลับ แต่ถ้าเราต้องการคิดผลจากการรบกวนด้วยแล้วจะไม่ใช่การง่ายที่จะใช้วิธีการวิเคราะห์ ดังนั้นวิธีที่ดีและสะดวกกว่าก็คือวิธีการทางตัวเลข โดยเฉพาะกับการแก้ระบบสมการ NLS ซึ่งมีวิธีทางตัวเลขอยู่หลายวิธี เช่น วิธีการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (Finite Difference Method, FDM) วิธีการบีมพรอพเกชัน (Beam Propagation Method, BPM) และวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method, FEM) ซึ่งในที่นี้จะขอกกล่าวแต่เพียงวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เท่านั้น พิจารณาสมการ NLS ซึ่งคิดผลของการสูญเสียในใยแก้วนำแสง และ SSFS เข้าไปด้วยมีสมการเป็น [3]

$$-j \frac{\partial q}{\partial \xi} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 q}{\partial \tau^2} + |q|^2 q - j\Gamma q - R \frac{\partial |q|^2}{\partial \tau} q = 0 \quad (2)$$

จากสมการที่ (2) ถ้าเราตัดผลของการสูญเสียของใยแก้วนำแสง และ SSFS ($\Gamma = R = 0$) ออกแล้วสมการที่ 2 จะลดรูปเป็นสมการ NLS ดังสมการ (1) นั่นเอง เมื่อ u และ q เป็นค่าเดียวกัน และในการคำนวณโดยมีเงื่อนไขเริ่มต้นคือ

$$q(\tau) = A \text{sech}(\tau) \quad (3)$$

สมการไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มต้นด้วยการแบ่ง τ ออกเป็นคอดรามาตริกไลน์เอลิเมนต์ (quadratic line elements) จำนวนมาก และเขียน q ในแต่ละเอลิเมนต์เป็นดังนี้

$$q(\xi, \tau) = \{N(\tau)\}^T \{q(\xi)\}_e \quad (4)$$

โดยการใช้วิธีการทาง FEM กับสมการ (2) จะได้

$$-j[M]\frac{d\{q\}}{d\xi} + [K]\{q\} = \{0\} \quad (5)$$

เมื่อ

$$[K] = \sum_c \int_c \left[-\frac{1}{2} \{N_c\} \{N_c\}^T + |q|^2 \{N_c\} \{N_c\}^T - j\Gamma \{N_c\} \{N_c\}^T - R \frac{\partial |q|^2}{\partial \tau} \{N_c\} \{N_c\}^T \right] d\tau$$

$$[M] = \sum_c \int_c \{N_c\} \{N_c\}^T d\tau$$

โดยใช้ FDM กับสมการ 5 จะได้สมการเมตริกซ์ ภายในช่วง $i \Delta \xi \leq \xi < (i+1)\Delta \xi$ คือ

$$-j[M]\{q\}_{i+1} - \{q\}_i / \Delta \xi + [K]_i [\theta \{q\}_{i+1} + (1-\theta)\{q\}_i] = \{0\}$$

ซึ่งสามารถสรุปได้เป็น

$$[L(\theta)]_i \{q\}_{i+1} = [L(\theta-1)]_i \{q\}_i$$

เมื่อ

$$[L(\theta)]_i = -j[M] + \theta \Delta \xi [K]_i$$

โดยที่ θ คือตัวควบคุมความเสถียรในการคำนวณโดย $0 \leq \theta \leq 1$ โดยที่ $\theta = 1/2$ สำหรับวิธีการ แครง์-นิโคลสัน (Crank-Nicolson, CN) ที่ใช้ขั้นตอนสปริต (split-step procedure, SSP) ต่อไปนี้จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการคำนวณได้

Step 1 (dispersion effect) :

$$-j[M]\frac{d\{q^{(1)}\}}{d\xi} + [K_0]\{q^{(1)}\} = 0 \quad (6)$$

เมื่อ

$$[K_0] = \sum_c \int_c \left[-\frac{1}{2} \{N_c\} \{N_c\}^T \right] d\tau$$

Step 2 (nonlinear effect) :

$$\{q^{(2)}\} = \{q^{(1)}\} \exp(-j \int k d\xi) \quad (7)$$

เมื่อ

$$k = |q|^2 - j\Gamma - R \partial |q|^2 / \partial \tau$$

โดยที่ตัวเลข 1 และ 2 แทนขั้นตอน step ที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และโดยใช้ FDM กับสมการ 6 จะได้

$$[L(\theta)] \{q^{(1)}\}_{i+1} = [L(\theta-1)] \{q^{(1)}\}_i \quad (8)$$

โดยที่

$$[L(\theta)] = -j[M] + \theta \Delta \xi [K_0]$$

จากสมการ 7 เขียนอีกรูปได้เป็น

$$\{q^{(2)}\}_{i+1} = \{q^{(1)}\}_{i+1} \exp(-jk_i \Delta \xi) \quad (9)$$

โดยการแทนสมการ 8 ลงในสมการ 9 สุดท้ายเราจะได้

$$\{q\}_{i+1} = [L(\theta)]^{-1} [L(\theta-1)] \{q\}_i \times \exp(-jk_i \Delta \xi) \quad (10)$$

สมการเหล่านี้เป็นสมการที่จะถูกนำไปประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยวิธีการทาง FEM ต่อไป ขั้นตอนดังกล่าวมาทั้งหมดนี้เป็นเพียงแค่สมการที่พร้อมนำไปประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์เท่านั้น และขั้นตอนต่อไปจะต้องนำไปเขียนผังงานและในท้ายสุดก็ทำการเขียนโปรแกรม โดยในการที่จะเริ่มจากการใช้แบบจำลองของโซลิตอนพื้นฐานก่อน และหลังจากนั้นก็ทำการเพิ่มเป็นระบบสมการในการคำนวณทั้งในแบบ 2 และ 3 แกนเพื่อนำไปพิจารณาออกแบบอุปกรณ์ใยแก้วนำแสงเป็นสวิตช์ มัลติเพลกเซอร์และฟิลเตอร์ เป็นต้น

8. สรุป

คำตอบที่ได้จากระบบสมการการคำนวณนั้นสามารถนำไปใช้ในการพิจารณาออกแบบอุปกรณ์สื่อสารความเร็วสูงทางแสงได้มากมายเช่น อุปกรณ์สวิตช์ กรองสัญญาณ และมัลติเพลกซ์ เป็นต้น ตัวอย่างนี้เป็นเพียงบางตัวอย่างของการประยุกต์ใช้โซลิตอนเท่านั้น ซึ่งคาดว่าในอนาคตอันใกล้โซลิตอนคงเข้ามามีบทบาทอย่างมากแน่นอน และในส่วนของข้อมูลนั้นผู้เขียนยังอยู่ในขั้นตอนการทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับการคำนวณของใยแก้วนำแสงโดยใช้ NLS ซึ่งจะได้นำผลของข้อมูลสำหรับออกแบบอุปกรณ์เสนอต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] ปรีชา ยุพาพิน, พรทิพย์ อนุรัตน์, ลลิตา มั่นยานนท์ และ ภักกนิชิตสกุล, "การสื่อสารโซลิตอน", วารสารวิทยาศาสตร์ มข., ปีที่ 24 ฉบับที่ 2, 2539, หน้า 91-99.
- [2] Hasagawa, A. and Kodama, Y., Soliton in Optical Communications, 1995, Clarendon Press, Oxford, pp.7-42.
- [3] Masanori, K., Optical Waveguide Theory by the Finite Element Method, Tokyo, KTK Scientific Publishers, 1992.
- [4] Maytevarunyoo, T., "Soliton in Optical Fibers", *J. Engineering Transaction*, Mahanakorn University of Technology, vol. 3, 2000, pp. 45-52.
- [5] Newell, A.C. and Moloney, J.V., Nonlinear Optics. ATIMS, California, 1992.
- [6] Scheuer J. and Orenstein, M., "Interaction and Switching of Spatial Soliton Pairs in the Vicinity of a Nonlinear Interface", *Opt. Lett.*, vol.24, no. 23, pp.1735-1737.



Mr. Chainarong Taepanich He was born in 1973 in Chonburi, Thailand. He received B.Sc. in Physics, from Burapha University, Chonburi, in 1996. He is a lecturer in the Department of Physics, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi, in 1999. He is a M.Sc.

student in the Department of Applied Physics, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. His research interests are soliton communication and optical signal processing. He is a member of Thai Institute of Physics (**TIP**).



Assoc. Professor Dr. Preecha P. Yupapin

He was born in 1958 in Bangplama District, Suphanburi Province, Thailand. He received B.Ed. in Physics, M.Sc. in Mathematical Physics, and Ph.D. in Electrical Engineering from Srinakharinwirote University, Bangkok, Mahidol University, Bangkok and City

University, London in 1981, 1983 and 1993 respectively. He was a post doctoral research fellowship at the City University in 1995, researching in fiber optic devices for sensor and communication use. He is an associate professor in applied physics in the Light-wave Technology Research Center (**LTRC**), Department of Applied Physics, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand. He has authored/co-authored either research journals of 100 papers which have been published worldwide, he has also written 5 textbooks. His research interests are either experimental or theoretical works in fiber optic devices for sensors and communication, wavelength division multiplexing (WDM) and signal processing, optical soliton and communication, and optical metrology. Dr. Yupapin is a member of Thai Institute of Physics (**TIP**) and Optical Society of America (**OSA**).