

논문 2004-41SD-8-8

WDM/SCM 시스템에서 Cascaded FBG를 이용한 OADM의 Out-band 분산 특성

(Characteristics of out-band dispersion of OADM using cascaded FBG
in WDM/SCM systems)

원 훈 재*, 전 금 수*, 반 재 경*

(Hun-Jae Won, Keum-Soo Jeon, and Jae-Kyung Pan)

요 약

Cascaded FBG(fiber Bragg grating)의 1차 분산과 2차 분산을 해석한 뒤 cascaded FBG의 2차 분산이 WDM/SCM (wavelength division multiplexing/subcarrier multiplexing) 시스템에서 발생한 왜곡 성분에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 아날로그 CATV의 최대 허용 왜곡 레벨인 $IM_2 < -60$ dBc, $IM_3 < -95$ dBc를 적용하여 최대 허용 왜곡 레벨에 도달하게 되는 값을 구하였고, 이 값을 통하여 왜곡의 허용 레벨 아래를 유지하기 위한 조건들을 제시하였다. Cascaded FBG-OADM을 사용한 WDM/SCM 시스템에서 공통주파수가 600 MHz, 광파장의 채널 간격이 50 GHz인 경우 FBG의 3dB 반사 대역폭은 채널 간격의 18 % 미만이 되어야 하며, 동일 조건에서 직접 변조 방식인 경우 18 %, 외부 변조 방식인 경우 70 % 미만이 되어야 한다는 제한을 받았다. 채널 간격이 50 GHz인 경우 공통주파수는 310 MHz 미만이 되어야 하며, FBG의 길이가 8 cm인 경우 2차 혼변조 왜곡이 20 dB 이상 증가하였다.

Abstract

We have analyzed the effect of out-band dispersion in the cascaded fiber Bragg grating(FBG) based optical add-drop multiplexers(OADM) when bypassed wavelengths contain SCM signals. In order to compute this impairment, the dispersion characteristics of FBG have been analytically calculated by solving their coupled wave equations, and the Fourier method is applied to IMD analysis. The out-band dispersion effects over WDM/SCM signals are analyzed under different and common system situations as: ITU channel spacing(100, 50, 25 GHz), channel density parameter, frequency extension of the SCM plan, modulation characteristics, FBG length, etc. From this results, the transport of WDM/SCM signals in future DWDM transport networks could be limited by this effect which has to be taken into account for designing future networks.

Keywords: fiber Bragg grating, optical add-drop multiplexers, subcarrier multiplexing

I. 서 론

DWDM(dense wavelength division multiplexing)방식을 적용한 광전송 네트워크 시스템은 광통신 분야의

중요한 관심 사항이다. 또한 단일 광섬유를 효율적으로 이용하기 위해서는 광주파수 영역에서 다중화가 이루어져야 한다. SCM(subcarrier multiplexing) 방식은 아날로그 및 디지털 신호를 동시에 전송할 수 있는 장점을 가지고 있으며 여러 채널을 전송할 수 있어 광의 광대역을 효과적으로 이용할 수 있고, 현재의 초고주파 기술을 그대로 적용할 수 있어 WDM 기술과 결합하여 사용된 파장만큼 전송 용량을 증가시킬 수 있다^[1].

WDM/SCM 방식에서 전송 선로의 중간 지점에 신호를 분기 또는 삽입하기 위해 OADM(optical add/drop

* 정회원, 전북대학교 전자정보공학부,
전북대학교 공학연구원 정보통신연구센터 연구원
(School of Electronics and Information Engineering
Chonbuk National University)

※ 본 연구는 정보통신연구진흥원의 기초기술연구지원 사업(과제번호: 03-기초-0096)의 지원으로 수행되었습니다.

접수일자: 2004년2월16일, 수정완료일: 2004년6월18일

multiplexer)을 사용하고 있으며 이 OADM에는 광섬유 격자인 FBG(fiber Bragg grating)가 사용된다. 그러나 FBG의 필터 응답에서 대역의 모서리 근처에서 강한 분산 특성을 갖기 때문에 통과된 신호의 전송 거리를 제한할 수가 있다^[2]. 따라서 광 신호가 FBG를 통과하면서 FBG의 분산으로 인하여 시스템에 악영향을 초래하며 특히 OADM이 cascaded FBG로 구성된 경우 두 개의 FBG의 반사 대역 사이에 위치하는 전송된 채널에서의 out-band 분산이 시스템에 미치는 영향을 고려해 볼 필요가 있다^[3]. 이때 out-band 분산으로 인하여 아날로그 SCM 신호가 영향을 받고, 곧 SCM 신호의 왜곡과 혼변조 성분들을 증가시키는 원인이 된다^[4-5].

따라서 본 논문에서는 cascaded FBG의 2차 분산값과 FBG를 통해 전송된 채널의 출력단에서 광전류 계산식을 이용하여 2차 혼변조(IM₂)와 3차 혼변조(IM₃)의 크기를 구한 다음 왜곡의 허용 레벨 이하가 되기 위한 기준값으로 RF 신호의 크기 범위, 파장의 채널폭, 변조 지수의 영향 및 FBG의 길이를 제시하였다

II. Cascaded FBG의 분산

최근 채널간격이 매우 근접한 DWDM 시스템에서 단일 FBG로 OADM을 구성할 때 FBG를 통해 전송된 이웃한 채널에 대한 out-band 분산에 관하여 이론적으로 많이 연구되고 있다^[4]. 본 논문에서는 cascaded FBG를 통하여 두 개의 반사 대역(add/drop된 채널) 사이에 위치하는 전송된 채널에서의 out-band 분산에 대한 분석과 아날로그 SCM 시스템에서 cascaded FBG의 분산에 대한 영향에 대하여 분석한다.

FBG의 분산을 해석하기 위해서 먼저 FBG를 등간격 주기 구조의 분산형 매질과 apodising grating이라고 가정을 하면 반사 대역에서의 사이드로브(sidelobe)와 발진 형태의 분산 문제를 무시할 수 있게 된다^[6]. 그러면 주기적인 구조의 분산 관계식을 사용하여 결합 모드 방정식에 적용한 뒤 다음 식과 같은 해석적인 표현으로 두 개의 FBG의 반사 대역 사이에서 GVD(group velocity dispersion) 계수 β_2^g 와 2차 분산 계수 β_3^g 를 나타낼 수 있다^[7].

$$\beta_2^g(\delta) = \left(\frac{n}{c}\right)^2 \left[\frac{1}{(\delta + 2\Delta)^2} \frac{\kappa^2 / (\delta + 2\Delta)^2}{[1 - \kappa^2 / (\delta + 2\Delta)^2]^{3/2}} - \frac{\kappa^2 / \delta^2}{\delta^2 (1 - \kappa^2 / \delta^2)^{3/2}} \right] \text{sign}(\delta) \quad (1)$$

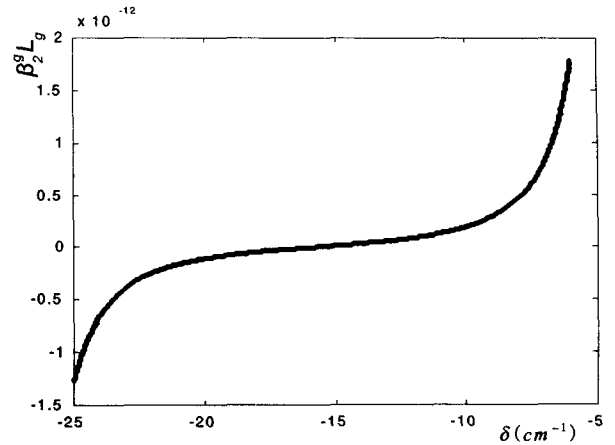


그림 1. 1차 분산 계수(GVD)

Fig. 1. First order dispersion coefficient (GVD).

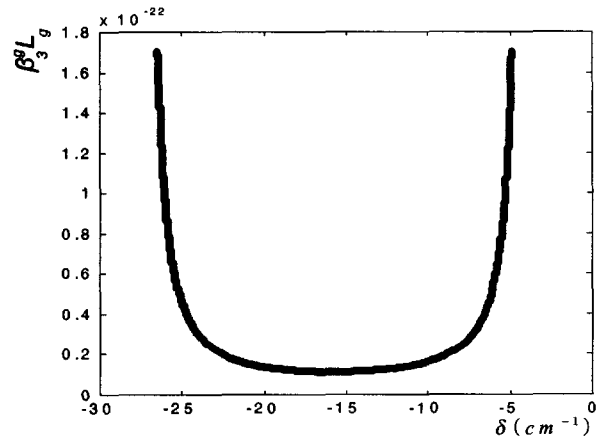


그림 2. 2차 분산 계수

Fig. 2. Second order dispersion coefficient.

$$\beta_3^g(\delta) = 3 \left(\frac{n}{c}\right)^3 \left[\frac{1}{(\delta + 2\Delta)^2} \frac{\kappa^2 / (\delta + 2\Delta)^2}{[1 - \kappa^2 / (\delta + 2\Delta)^2]^{5/2}} + \frac{\kappa^2 / \delta^2}{\delta^2 (1 - \kappa^2 / \delta^2)^{5/2}} \right] \quad (2)$$

여기서 κ 는 결합 계수, δ 는 브래그 공진 주파수로부터 채널의 주파수 w 에 대한 detuning이며 $\delta = n(w - w_B)/c$ 이고 cascaded FBG의 브래그 주파수를 각각 ν_1, ν_2 라고 하면 $\nu_1 - \nu_2 \equiv \Delta\nu$ 이며 $\Delta = 2\pi n\Delta\nu/c$ 이다. 그림 1과 그림 2에 cascaded FBG의 1차 분산과 2차 분산을 각각 나타내었다. 이를 통해 각각의 FBG의 밴드의 모서리 영역에서는 분산값이 무한대로 발산하며 그 때의 경계는 $\delta = -\kappa$, $\delta = \kappa - \Delta$ 가 됨을 알 수 있다. 여기서 사용한 파라미터는 $\kappa = 4 \text{ cm}^{-1}$, $\Delta\nu = 100 \text{ GHz}$ (31.4 cm^{-1})이다.

이 그림을 통해서 cascaded FBG의 형태에는 zero-GVD가 존재하게 되며 또한 2차 분산 계수가 항상 0

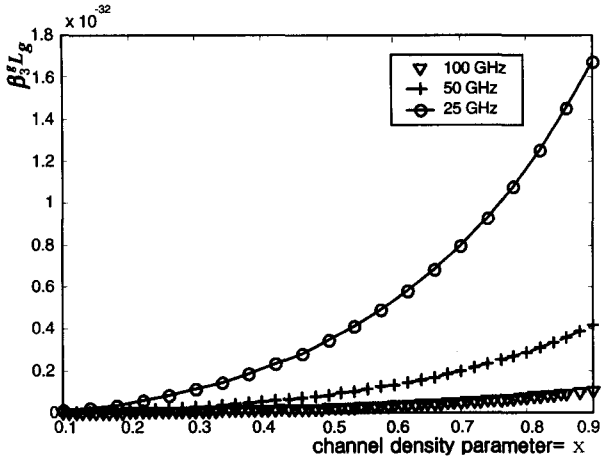


그림 3. 파장의 채널 밀도 x에 대한 2차 분산 계수
Fig. 3. Second order dispersion coefficient versus channel density parameter x.

보다 큰 값을 갖고 있다는 사실을 알 수 있다.

일반적으로 FBG는 반사 대역의 모서리 부근에서 강한 GVD 특성을 갖는다. 이와 같은 문제로 FBG는 대부분의 채널 대역폭에서 flat-top 채널 스펙트럼을 갖고, 매우 낮은 (>25 dB) 누화를 갖도록 해야 한다^[6]. 따라서 이웃한 전송된 채널에 영향을 미치는 out-band 분산의 문제를 분석하기 위한 지표가 될 파라미터로 파장의 채널 밀도를 나타내는 x를 사용하며 $x = \Delta V_B / \Delta V_C$ 이다. 여기서 ΔV_C 는 채널의 간격, ΔV_B 는 FBG의 3 dB 반사 대역폭을 나타낸다. 이를 이용하면 식 (2)는 다음과 같이 된다.

$$\beta_2^g(\Delta) = 6 \left(\frac{n}{c} \right)^3 \frac{\kappa^2 / \Delta^2}{\Delta^2 (1 - \kappa^2 / \Delta^2)^{5/2}} \quad (3)$$

식 (2)에서 $\kappa = (\pi n \Delta V_B) / c$ 와 Δ , 채널 밀도 x를 사용하면 $\kappa / \Delta = x / 2$ 이며 grating의 길이를 곱하면 식 (3)은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \beta_2^g L_g &= 6 \left(\frac{n}{c} \right)^3 [1 / (2\pi (n/c) \Delta V_C)^2] f(x) \cdot L_g \\ &= \left(\frac{3}{2} \right) \left(\frac{n}{c} \right) \left(\frac{1}{\pi^2 \Delta V_C^2} \right) f(x) \cdot L_g \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 $f(x) = (x/2)^2 / [1 - (x/2)^2]^{5/2}$ 이다. 식 (4)를 통해서 광파장의 채널 밀도에 대한 FBG의 길이의 영향을 받는 2차 분산 계수 $\beta_2^g L_g$ 의 값을 알 수 있다.

그림 3은 파장의 채널 밀도에 대한 2차 분산 계수를 나타내며, x값이 증가할수록 또한 파장의 채널 간격이 좁아질수록 분산이 커짐을 알 수 있다. 그림 4는 아날로그 SCM 시스템에서 cascaded FBG의 분산에 대한

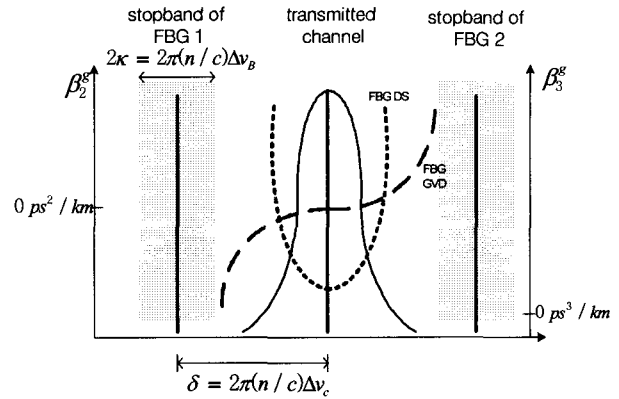


그림 4. 아날로그 SCM 시스템에서 cascaded FBG의 분산 영향
Fig. 4. Dispersion effect of cascaded FBG in analog SCM system.

영향을 나타내며, 이로부터 1차 분산 계수인 β_2^g 가 같은 진폭이지만 서로 부호가 반대로 되어 상쇄되기 때문에 β_2^g 가 0에 가깝게 되므로 zero-GVD가 존재하게 되지만 2차 분산인 DS(dispersion slope)가 두개의 FBG 사이에서 양의 값을 갖고 서로 대칭으로 합해지게 되어 2차 분산 계수인 β_3^g 는 항상 0보다 큰 값을 갖게 되어 cascaded FBG인 경우 가장 큰 영향을 미치는 값으로 고려해 주어야 한다. 이와 같은 분산이 고조파와 혼변조 왜곡을 야기시켜 시스템에 심각한 패널티로 작용하는 원인이 된다. 따라서 다음절에 cascaded FBG의 분산으로 인해 야기된 혼변조 왜곡 성분의 크기를 계산한다.

III. 혼변조 왜곡 계산 및 분석

Cascaded FBG의 2차 분산 계수 $\beta_2^g L_g$ 로 인해 야기된 혼변조 왜곡 성분의 크기를 계산하기 위해 먼저 광신호는 IM-FM(intensity-frequency modulation) 변조 되었다고 가정하면 변조된 신호의 전개는 다음과 같다^[9].

$$e = [1 + m_i \cos(w_m t)]^{1/2} \sqrt{2} \cos[w_o t + m_f \sin(w_m t)] \quad (5)$$

여기서 w_o 는 광신호의 주파수이며, w_m 은 SCM 신호의 주파수이고, m_i 와 m_f 는 각각 광세기와 주파수 변조 지수이다. 만일 m_f 가 0이라면 순수한 광세기 변조이며, m_i 가 0이라면 순수한 주파수 변조가 될 것이며, m_i 와 m_f 가 0이 아니라면 광세기와 주파수가 결합된 일반적인 레이저의 직접 변조 방식이라고 생각할 수 있다. 혼

변조 왜곡 성분을 계산하기 위해서는 식 (5)에서 바로 계산할 수 없으므로 두 개의 부 반송파를 포함하는 SCM 시스템으로 표현하면 전계는 다음과 같다.

$$e = [1 + m_a \cos(w_1 t) + m_b \cos(w_2 t)]^{1/2} \cdot \sqrt{2} \cos[w_0 t + m_f \sin(w_1 t) + m_p \sin(w_2 t)] \quad (6)$$

간단한 계산을 위하여 다음과 같이 가정한다.

$$m_a = m_b = m_i \quad (7)$$

$$m_f = m_p = m_j$$

$$w_1 = m w_u \quad (8)$$

$$w_2 = n w_u$$

여기에서 m 과 n 은 정수이며, w_u 는 공통 주파수 ($T = 2\pi/w_u$)이다. 만약 800 MHz와 1 GHz의 두 RF신호의 혼변조 왜곡 성분에 대해서 표현하고자 한다면 m 은 4, n 은 5이며, w_u 는 200 MHz가 된다. 한편 수신측에서 광전류 I 는 전계의 세기 e^2 에 비례하게 된다. 식 (6)을 푸리에 급수 전개를 통해 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} e^2 = & a_0^2 + 2a_0 \sum_{i=1}^{\infty} a_i \cos(i^2 \varphi_2) \cos[i(w_m t - \varphi_1)] \\ & + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} (a_i a_j - b_i b_j) \cos[(i^2 - j^2) \varphi_2] \\ & \quad \cdot \cos[(i+j)(w_m t - \varphi_1)] \\ & + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} (a_i a_j - b_i b_j) \cos[(i^2 - j^2) \varphi_2] \\ & \quad \cdot \cos[(i-j)(w_m t - \varphi_1)] \\ & - \sum_{i=0j=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} a_i b_j \sin[(i^2 - j^2) \varphi_2] \\ & \quad \cdot \sin[(i+j)(w_m t - \varphi_1)] \\ & + \sum_{i=0j=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} a_i b_j \sin[(i^2 - j^2) \varphi_2] \\ & \quad \cdot \sin[(i-j)(w_m t - \varphi_1)] \end{aligned} \quad (9)$$

그리고 식 (9)을 다음 식과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} I(t) = & C_0 + \sum_{k=1}^{\infty} \{C_{ck} \cos[k(w_m t - \varphi_1)] \\ & \quad + C_{sk} \sin[k(w_m t - \varphi_1)]\} \\ = & C_0 + \sum_{k=1}^{\infty} C_k \cos[k(w_m t - \varphi_1 + \phi_k)] \end{aligned} \quad (10)$$

여기서 $C_k^2 = C_{ck}^2 + C_{sk}^2$, $\phi_k = \tan^{-1}[C_{sk}^2/C_{ck}^2]$ 이다. 이제 cascaded FBG의 분산으로 인한 왜곡 성분들을 계산

하기 위해서 광섬유의 2차 분산으로 발생한 위상 천이값을 FBG의 분산으로 인한 위상 천이값으로 바꾸면 다음과 같다.

$$\varphi_3 = \beta_3(x) L_g w_m^2 / 6 \quad (11)$$

식 (10)을 통해 dc항 C_0 와 계수들을 얻게 되며 고조파 및 왜곡 성분들을 찾을 수 있다.

$$dc = C_0 = a_0^2 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{\infty} (a_i^2 + b_i^2) \quad (12-a)$$

$$\begin{aligned} C_{ck} = & 2a_0 a_k \cos(k^3 \varphi_3) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{k-1} (a_i a_{k-i} - b_i b_{k-i}) \\ & \cdot \cos[(k^3 - 3ik^2 + 3ki^2) \varphi_3] \\ & + \sum_{i=1}^{\infty} (a_i a_{i+k} + b_i b_{i+k}) \cos[(k^3 + 3ik^2 + 3ki^2) \varphi_3] \end{aligned} \quad (12-b)$$

$$\begin{aligned} C_{sk} = & 2a_0 a_k \sin(k^3 \varphi_3) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{k-1} (a_i a_{k-i} - b_i b_{k-i}) \\ & \cdot \sin[(k^3 - 3ik^2 + 3ki^2) \varphi_3] \\ & + \sum_{i=1}^{\infty} (a_i a_{i+k} + b_i b_{i+k}) \\ & \cdot \sin[(k^3 + 3ik^2 + 3ki^2) \varphi_3] \end{aligned} \quad (12-c)$$

그러면 식 (11)에서 얻은 cascaded FBG의 분산값을 식 (12)에 대입하면 2차 혼변조 왜곡과 3차 혼변조 왜곡에 대하여 계산할 수 있으며, cascaded FBG의 out-band 분산이 시스템에 어떤 영향을 주는지 해석할 수가 있다. 본 논문에서는 두 개의 RF신호를 각각 $w_1 = 4w_u$, $w_2 = 5w_u$ 로 가정을 하였고, 2차 혼변조 왜곡을 $w_{IM2} = w_1 + w_2 = 9w_u$ (C_9), 3차 혼변조 왜곡을 $w_{IM3} = 2w_2 - w_1 = 6w_u$ (C_6)로서 정의하였다.

일반적인 아날로그 CATV의 최대 왜곡 레벨이 $IM_2 < -60$ dBc, $IM_3 < -95$ dBc로서 규정^[10]하고 있으므로 허용 왜곡 레벨에 도달할 때의 WDM 파장 채널 간격, 공통 주파수(왜곡의 영향을 받지 않기 위한 RF 신호의 범위), FBG의 길이, 세기와 주파수 변조 지수의 영향에 관하여 분석하였다.

그림 5(a)는 공통 주파수가 200 MHz인 경우와 600 MHz인 경우에 대하여 채널 밀도 x 에 대한 2차 혼변조 왜곡의 크기를 나타내었다. 즉 RF 신호가 각각 2.4 GHz와 3 GHz 그리고 800 MHz와 1 GHz에 대한 2차 혼변조 왜곡의 크기를 나타내었다. 공통 주파수가 600 MHz일 때 광파장의 채널 간격이 50 GHz인 경우 최대

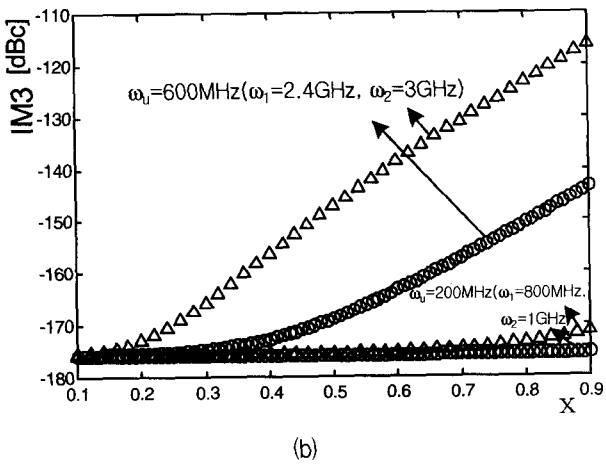
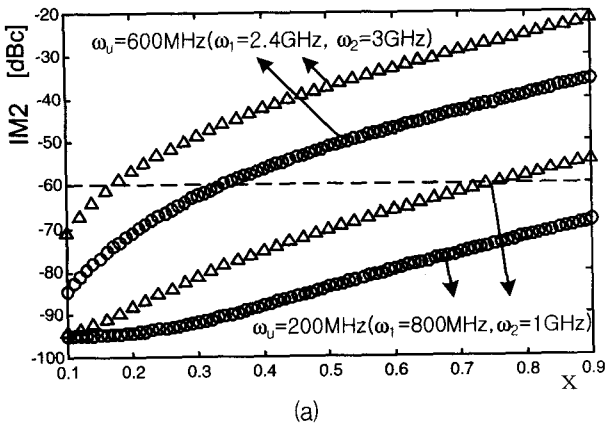


그림 5. 파장의 채널 밀도에 대한 혼변조 왜곡의 크기 (a) 2차 혼변조 왜곡의 크기. (b) 3차 혼변조 왜곡의 크기 (grating 길이: 2 cm, ΔV_c : 100 GHz(\circ), 50 GHz(Δ))
 Fig. 5. IM_2 and IM_3 versus the density parameter x (a) IM_2 (b) IM_3 (grating length: 2 cm, ΔV_c : 100 GHz(\circ), 50 GHz(Δ)).

허용 왜곡 레벨에 도달하지 않기 위해서는 FBG의 3 dB 반사 대역폭이 채널 간격의 18%, 광 파장의 채널 간격이 100 GHz인 경우 35%를 넘어서는 안된다. 또한 공통 주파수가 200 MHz인 경우 최대 허용 왜곡 레벨에 도달하지 않기 위해서는 FBG의 3 dB 반사 대역폭이 채널 간격의 75%로 제한을 받았다. 그림 5(b)에서 3차 혼변조 역시 RF신호가 높은 경우 채널 밀도 x 가 증가함에 따라 허용 왜곡 레벨을 향해 급격히 증가했다.

그림 6은 채널 간격을 세 개의 ITU 채널 간격 (100, 50, 25 GHz)에 대하여 채널 밀도를 50%로 고정시켰을 때 공통 주파수를 2 GHz까지 증가시켰을 경우에 대한 결과를 나타내며 그림 6(a)에서 만일 채널 간격이 25 GHz이고 FBG의 3 dB 반사대역이 12.5 GHz 일 때 공통 주파수가 200 MHz 이하가 되어야만 왜곡의 영향을 받지 않게 된다. 마찬가지로 채널 간격이 50 GHz인 경

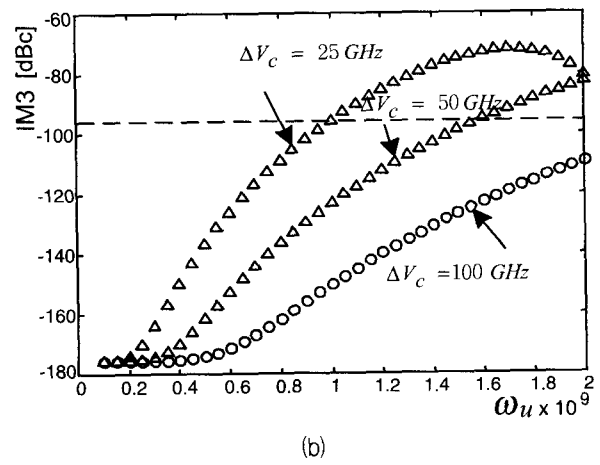
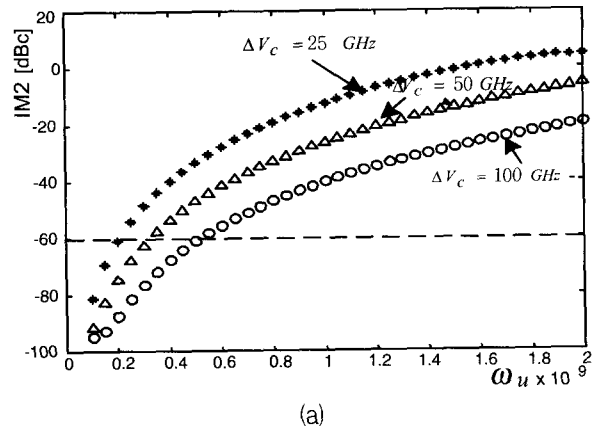


그림 6. 공통 주파수 w_u 에 대한 혼변조 왜곡의 크기 (a) 2차 혼변조 왜곡의 크기. (b) 3차 혼변조 왜곡의 크기 ($x=0.5$, grating 길이: 2 cm)
 Fig. 6. IM_2 and IM_3 versus the common frequency w_u (a) IM_2 (b) IM_3 ($x=0.5$, grating length: 2 cm).

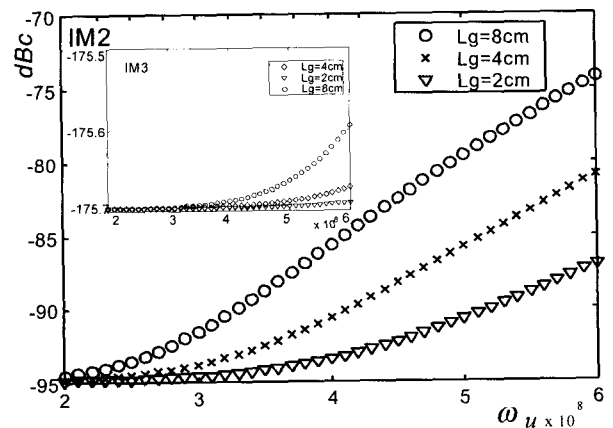


그림 7. Grating 길이 및 공통 주파수 w_u 에 대한 2차 혼변조 왜곡 신호의 크기(내부: 3차 혼변조 왜곡의 크기)
 Fig. 7. IM_2 versus grating length of FBG and common frequency w_u (inset: IM_3 versus grating length and common frequency w_u).

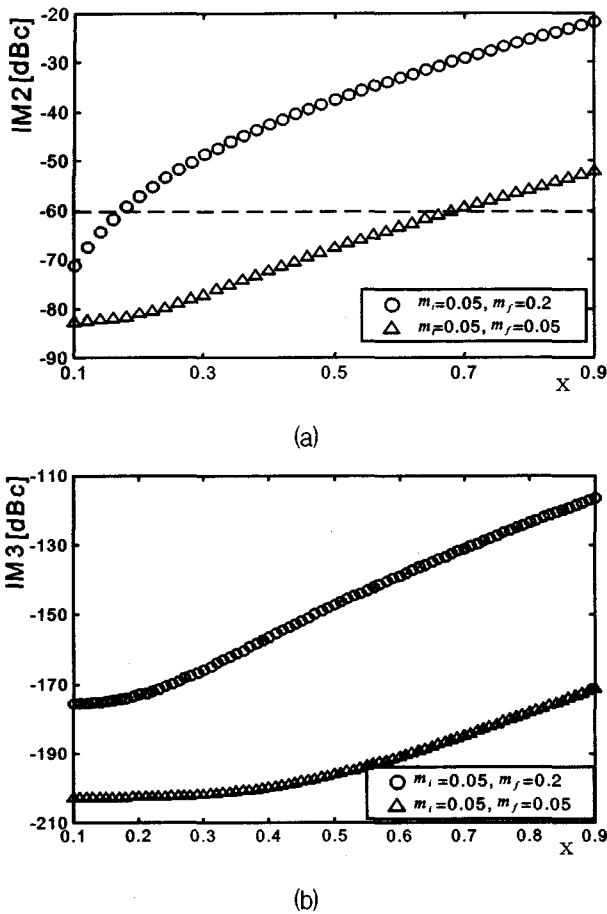


그림 8. 변조 지수 및 채널 밀도에 대한 혼변조 왜곡 크기. (a) 2차 혼변조 왜곡의 크기. (b) 3차 혼변조 왜곡의 크기 (grating 길이: 2 cm, ΔV_C : 50 GHz, ω_u : 600 MHz), (직접 변조 방식인 경우 ($m_i=5\%$, $m_f=20\%$), 외부 변조 방식인 경우($m_i=5\%$, $m_f=5\%$))

Fig. 8. IM_2 and IM_3 versus the modulation index and density parameter x . (a) IM_2 (b) IM_3 (grating length: 2 cm, ΔV_C : 50 GHz, ω_u : 600 MHz), (case of direct modulation($m_i=5\%$, $m_f=20\%$), case of external modulation($m_i=5\%$, $m_f=5\%$)).

우는 공통 주파수가 310 MHz, 채널 간격이 100 GHz인 경우 510 MHz 이하가 되어야만 왜곡의 영향을 받지 않게 된다. 그림 6(b)에서 3차 혼변조 역시 채널 간격이 25 GHz인 경우 공통 주파수가 1 GHz 이하가 되어야만 왜곡의 영향을 받지 않으며 50 GHz인 경우 공통 주파수는 1.6 GHz 이하가 되어야 한다는 제한이 따른다.

그림 7은 채널 간격이 100 GHz이고 채널 밀도가 10 %인 경우 grating 길이를 달리 했을 때 공통 주파수 ω_u 에 대한 2차와 3차 혼변조 왜곡의 크기를 나타내었다. 2차 혼변조 왜곡의 크기는 공통 주파수가 200 MHz에서 600 MHz까지 증가함에 따라 20 dB 이상 왜곡이

증가하였으며 3차 혼변조 역시 8 cm 이상인 경우에 왜곡의 크기가 상대적으로 증가하였다.

그림 8은 전형적인 직접 변조 방식($m_i = 5\%$, $m_f = 20\%$)과 외부 변조 방식($m_i = 5\%$, $m_f = 5\%$)에 대한 2차와 3차 혼변조 왜곡의 크기를 나타내었다. 전자의 경우 2차 혼변조 왜곡의 영향을 받지 않기 위해서는 FBG의 3 dB 반사 대역폭이 채널 간격의 18 % 미만이어야 하고, 후자의 경우 70 % 미만이어야 한다. 즉 직접 변조 방식이 외부 변조 방식보다 허용 왜곡 레벨에 더 빨리 도달하며 2차와 3차 혼변조 왜곡 성분에 대해 FBG의 분산에 민감하게 반응하고 시스템에 더욱 심각한 영향을 줄 것이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 cascaded FBG의 1차 분산과 2차 분산을 해석한 뒤 cascaded FBG의 2차 분산이 WDM/SCM 시스템에서 발생한 왜곡 성분에 미치는 영향에 대하여 분석하였다.

광파장의 채널 밀도에 대한 FBG의 길이의 영향을 받는 2차 분산 계수 $\beta_2^2 L_g$ 의 값을 구하였고, 채널 밀도가 증가할수록, 파장의 채널 간격이 좁아질수록 분산이 커짐을 알 수 있었다. 2차 분산 계수값을 이용하여 왜곡의 영향을 받지 않기 위한 RF 신호는 채널 간격이 50 GHz인 경우 310 MHz, 채널 간격이 100 GHz인 경우 510 MHz 이하가 되어야 하며, 채널 간격이 100 GHz 이고, 채널 밀도가 50 %인 경우 FBG의 길이가 8 cm 일때 2차 혼변조 왜곡의 크기는 공통 주파수가 210 MHz에서 600 MHz까지 증가함에 따라 20 dB 이상 왜곡이 증가하였다. 또한 파장의 채널 밀도가 증가함에 따라 혼변조 왜곡 성분의 증가를 확인하였다. 특히 공통 주파수가 600 MHz일 때 광파장의 채널 간격이 50 GHz인 경우 최대 허용 왜곡 레벨에 도달하지 않기 위해서는 FBG의 3 dB 반사 대역폭이 채널 간격의 18 %로 제한을 받았다.

변조 방식에 따라 왜곡 성분이 미치는 영향이 달랐으며, 직접 변조 방식인 경우 2차 혼변조 왜곡 성분은 채널 간격이 50 GHz이고 공통 주파수가 600 MHz일 때 FBG의 3 dB 반사 대역폭은 채널 간격의 18 % 미만이어야 하며, 외부 변조 방식인 경우 70 % 미만이어야 한다. 따라서 DWDM 광 네트워크 시스템에서 아날로그 SCM 신호의 전송시 이와 같은 결과값을 고려하여 설계해야만 한다.

참 고 문 헌

[1] B. Wilson, Z. Ghassemlooy, and I. Darwazeh, Analogue Optical Fibre Communications, IEE Telecommunications series 32, 1995.

[2] B. J. Eggleton, G. Lenz, N. Litchinitser, D. B. Patterson, and R. E. Slusher, "Implications of Fiber Grating Dispersion for WDM Communication Systems," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 9, No. 10, Oct. 1997.

[3] L. R. Chen, "Relative intensity noise enhancement due to out of band dispersion in cascaded fibre Bragg gratings," Opt. Commun. 184, pp. 157-160, Oct. 2000.

[4] D. Pastor, A. Martinez, J. Capmany, and B. Ortega, "Impact of Fiber Bragg Grating Based OADM Outband Dispersion in DWDM-SCM Systems," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 14, no. 4, Apr. 2002.

[5] K. Kitayama, T. Kuri, K. Onogara, T. Kamisake, and K. Murashima, "Dispersion Effects of FBG Filter and Optical SSB Filtering in DWDM Millimeter-wave Fiber-Radio Systems," J. Lightwave Technol., vol. 20, no. 8, pp. 1397-1407, Aug. 2002.

[6] N. M. Litchinitser, B. J. Eggleton, and D. B. Patterson, "Fiber Bragg Gratings for Dispersion Compensation in Transmission: Theoretical Model and Design Criteria for Nearly Ideal Pulse Compression," IEEE J. Lightwave Technol., vol. 14, no. 8, pp. 1303-1313, Aug. 1997.

[7] N. M. Litchinitser, B. J. Eggleton, and G. P. Agrawal, "Dispersion of cascaded fiber gratings in WDM lightwave systems," IEEE J. Lightwave Technol. vol. 16, no. 8, pp. 1523-1529, Aug. 1998.

[8] A. Othonos and K. Kalli, Fiber Bragg Gratings :fundamentals and applications in telecommunications and sensing, Artech House, INC., 1999.

[9] Charles S. Ih and Wanyi Gu, "Fiber Induced Distortions in a Subcarrier Multiplexed Light-wave System," IEEE J. Selec. Areas Comm., vol. 8, no. 7, pp. 1296-1303, Sep. 1990.

[10] 한국정보통신 기술협회, "디지털 유선 방송 송수신 정합 표준," TTAS. KO-07. 0020, 2002.

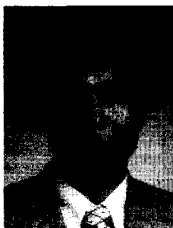
저 자 소 개



원 훈 재(정회원)
 2002년 2월 우석대학교 정보통신 공학과(공학사).
 2004년 2월 전북대학교 대학원 전기공학과(공학석사).
 현재 (주)APEX 근무,
 <주관심분야: WDM/SCM 시스템, fiber Bragg grating>



전 금 수(정회원)
 1995년 2월 전북대학교 전기공학과(공학사)
 1997년 2월 전북대학교 대학원 전기공학과(공학석사).
 2004년 2월 전북대학교 대학원 전기공학과(공학박사).
 <주관심분야: Microwave photonics, 광섬유 색분산 측정, WDM/SCM 시스템>



반 재 경(정회원)
 1980년 2월 연세대학교 전자공학과(공학사).
 1982년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사).
 1987년 8월 연세대학교 대학원 전자공학과(공학박사).
 1987년 5월 ~ 현재 전북대학교 전자정보공학부 교수, 전북대학교 공학연구원 정보통신 연구센터 연구원.
 <주관심분야: 광통신용 광소자, 광/무선 통신 시스템, Microwave photonics, WDM/SCM 시스템>

