

# 접지된 유전체 슬랩 위의 스트립 격자구조에서 입사파의 편파에 무관한 Bragg Blazing 현상과 Bragg 및 off-Bragg Blazing 현상

## Polarization-independent Bragg Blazing and Simultaneous Bragg and off-Bragg Blazing in a Periodic Strip Grating Structure over a Grounded Dielectric Slab

조 응 희\* · 조 영 기\*\*

U. H. Cho\* · Y. K. Cho\*\*

### 요 약

접지된 유전체슬랩 위에 주기적으로 스트립이 놓여 있는 격자구조에 대한 전자파 산란현상을 반사격자(reflection grating) 관점과 누설파안테나(leaky wave antenna) 관점에서 조사하였다. 수치해석 결과로 입사파의 편파에 무관한 Bragg blazing 현상과 동시에 Bragg 및 off-Bragg blazing 현상이 확인되는 경우를 조사하였으며 그 특성(복소전파상수, 복사패턴, 산란특성)에 대하여 논의하였다.

### Abstract

The electromagnetic scattering characteristics by a periodic strip grating on a grounded dielectric slab are examined from the viewpoints of both the reflection grating and the leaky wave antenna problems. Numerical results for polarization-independent Bragg blazing and simultaneous Bragg and off-Bragg blazing phenomena are given and some discussions on the properties such as complex propagation constants, radiation patterns and scattering characteristics are presented.

### I. 서 론

초고주파대역에서 광파대역까지의 넓은 주파수 대역에 걸쳐서 polarizer, (de)multiplexer, twist reflector, frequency scanner 등의 광범위한 분야에 반사형 회절격자(diffraction grating)구조가 널리 활용되고 있으며, 반사형 회절격자구조의 전자기 산란현상에 관한 많은 연구<sup>[1]~[5]</sup>가 이루어져 왔다. 반사형 회절격자구조 중에서 구형 홈 격자(rectangular groove

grating)구조가 많이 이용되고 있으며, 구형 홈 격자구조의 전자기 산란현상에 관한 연구로 Hessel 교수<sup>[1]</sup> 등은 임의 편파의 평면파가 입사파 되는 경우에 대해 Bragg blazing 현상을 확인하였으며, 또한 최근에 Jull 교수<sup>[2]</sup> 등은 TM 편파된 평면전자파가 입사되는 경우에서 동시에 Bragg blazing 및 off-Bragg blazing 현상을 조사하여 보고한 바 있다. 구형 홈 격자구조는 제작이 까다롭고 제작비용이 비싼 단점을 지니고 있어 최근에 이러한 단점을 극복하기 위

\* 경동정보대학 컴퓨터정보계열(Division of Computer & Information Telecommunication, Kyungdong College of Techno-Information)

\*\* 경북대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Kyungpook Nat'l Univ.)

· 논문 번호 : 20000809-093

· 수정완료일자 : 2000년 9월 7일

한 대체구조로서 유전체 슬랩 위에 주기적으로 스트립이 놓여 있는 격자구조에 대한 많은 연구<sup>[5]~[9]</sup>가 진행되고 있다.

본 논문에서는 접지된 유전체 슬랩 위에 주기적으로 스트립이 놓여 있는 격자구조에 대하여 반사격자 관점에서 구형 홈 격자구조의 산란특성과 비교하고, 입사파의 편파에 무관한 Bragg blazing 현상과 동시에 Bragg 및 off-Bragg blazing 현상이 생기는 것을 조사하여 누설파안테나 관점에서의 도파 및 복사현상과의 연관성에 관하여 기술하고자 한다.

## II. 본 론

접지된 유전체 슬랩 위에 주기적으로 스트립이 놓여 있는 격자구조를 그림 1에 도시하였다. 스트립은 완전 도체이고 두께는 무시할 만큼 얇으며 유전체슬랩은 손실이 없으며 유전율은  $\epsilon_0\epsilon_r$ , 투자율은  $\mu_0$ 이다. 유전체슬랩의 두께는  $h$ 이고 주기는  $d$ 이며 슬롯의 폭은  $a$ 이고 스트립은  $x$ 축과 평행하게 놓여 있다.

본 논문의 해석구조에 대한 수치해석은 반사격자 관점과 누설파안테나 관점에 대하여 각 경계면에서의 경계조건과 스트립에서 접선성분 자계의 불연속 조건으로부터 스트립에 유기되는 표면전기전류밀도(surface electric current density)를 미지수로 하는 선형행렬방정식을 유도하는 수치해석방법<sup>[6],[7]</sup>을 이용하였다.

반사격자 관점에서의 해석은 외부에서 인가되는 전자파에 의한 격자구조의 전자기적 산란현상을 다루는 것으로, 회절파는 격자방정식 ( $\sin \theta_n = \sin \theta_i + n\lambda/d$ )이고, 여기에서  $\theta_n$ 은  $n$ 차 회절모드의 회절각이고  $\theta_i$ 는 입사파의 입사각이며  $\lambda$ 는 입사파의

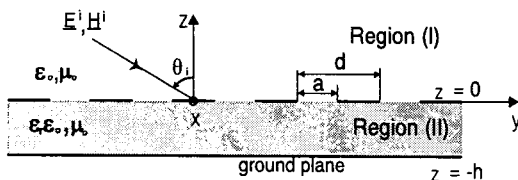


그림 1. 해석구조와 좌표계  
Fig. 1. Geometry and notations.

파장이고  $d$ 는 격자구조의 주기이다)의 지배를 받는데 입사파의 입사각과 격자구조의 주기에 의해 회절모드와 회절각이 결정된다. 반사격자 관점에서 조사되는 blazing 현상은 회절격자의 주기와 입사파의 입사각의 변화에 따라 회절모드가 2개 이상일 때 입사파의 전력이 반사파가 아닌 고차의 회절파 모드의 전력으로 변환되는 현상이며, 고차의 회절파모드가 입사파의 입사경로로 되돌아가는 현상을 Bragg blazing 현상이라 하고 고차 회절모드의 회절각이 입사각과 상이한 경우를 off-Bragg blazing 현상이라 한다. 누설파안테나 관점에서의 해석은 외부에서 인가되는 전자파가 없는 경우로 도파구조(격자구조) 공진(free resonance)시의 고유치(eigenvalues)인 복소전파상수(complex propagation constant)를 계산한 후, 수치해석과정에서의 미지수인 스트립상에서의 등가표면전류밀도(equivalent surface current density)를 구한 다음 안테나로서의 복사패턴 등을 구하는 것으로 요약 할 수 있다.

그림 2는 주기구조 파라미터가 각각  $d=1.03674\lambda_0$ ,  $a=0.75d$ ,  $h=0.24487d$  및  $\epsilon_r=2.57$ 인 경우에 TE 및 TM 편파된 평면파가 입사될 때 입사파의 입사각 변화에 따른 반사파 전력을 나타내었다. 그림에서 입사파의 입사각이 Bragg조건 ( $\theta_i = \sin^{-1}(\lambda_0/2d)$ )인  $28.83^\circ$ 에서 TE 및 TM 편파의 경우 모두에

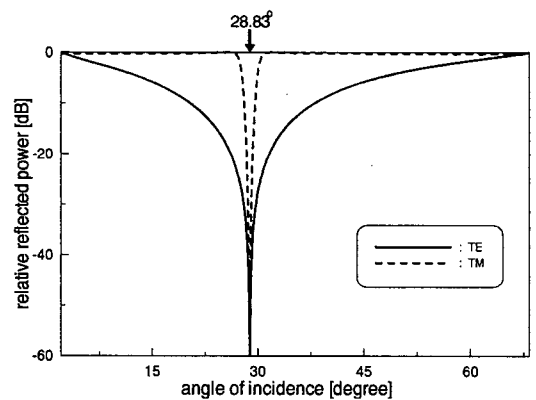


그림 2. 입사각에 따른 반사파전력 ( $\epsilon_r=2.57$ ,  $d=1.03674\lambda_0$ ,  $a=0.75d$ ,  $h=0.24487d$ )  
Fig. 2. Relative reflected powers vs angle of incidence ( $\epsilon_r=2.57$ ,  $d=1.03674\lambda_0$ ,  $a=0.75d$ ,  $h=0.24487d$ ).

서 Bragg blazing 현상을 확인할 수 있으며, 이와 같은 Bragg blazing 현상은 입사파의 편파에 무관(입의 편파)하다.

반사격자 관점의 산란현상과 누설파안테나 관점의 도파 및 복사현상과의 연관성을 조사하여 보면, 먼저 TE 편파의 경우에는 유전체슬랩의 두께가 얇아서 최저차 모드인 TE<sub>10</sub>모드의 도파가 차단(cutoff)되므로 복소전파상수(complex propagation constant)는 무의미하며, 따라서 TE편파의 경우에는 누설파안테나 관점과 무관한 비공진형(non-resonance type)의 Bragg blazing 현상이다<sup>[8]</sup>. TM편파의 경우에는 최저차 모드인 TM<sub>00</sub>모드만이 도파되며 기본모드의 복소전파상수( $\beta_0 - j\alpha_0$ )는 10 GHz에서 319.99 [rad/m] - j2.52[Np/m]이다. 누설파안테나 관점에서 공간조화모드(space harmonics)중에서 복사모드가 되기 위하여서는  $|\beta_n| \leq k_0 (= \omega_0 \sqrt{\mu_0 \epsilon_0})$ 의 조건을 만족하여야 하므로 기본모드는 복사되지 못하고 -1차와 -2차 공간조화모드만이 복사되며 복소전파상수는 각각 117.97( $\beta_{-1} = \beta_0 - 2\pi/d$ ) [rad/m] - j2.52 [Np/m]

와  $-84.04(\beta_{-2} = \beta_0 - 4\pi/d)$  [rad/m] - j2.52 [Np/m]이다. 복사모드별 주빔의 복사각은  $\theta_n = \sin^{-1}(\beta_n/k_0)$ 와 같으며, -1차와 -2차 복사모드의 주빔의 복사각도는 각각 34.28°와 -24.37°이다. TM편파의 경우에도 TE편파의 경우와 같이 누설파안테나 관점의 복사모드의 주빔의 복사각과 반사격자 관점에서 확인된 Bragg각과는 무관한 비공진형의 Bragg blazing현상이다.

다음으로 TE 또는 TM 편파된 평면파가 입사되는 경우에 있어서 입사파의 입사각의 변화에 따라 Bragg blazing 현상과 off-Bragg blazing 현상이 같이 확인되는 경우에 대하여 논의하고자 한다. 현재까지 금속도체만으로 구성된 격자구조(baer grating)에서는 TM 편파의 경우에는 off-Bragg blazing 현상이 조사되었는데 TE 편파의 경우에는 off-Bragg blazing 현상이 확인된 바 없다<sup>[2],[3]</sup>.

그림 3(a)는 주기구조 파라미터가 각각  $d=1.0\lambda_0$ ,  $a=0.5d$ ,  $h=0.458d$  및  $\epsilon_r=2.57$ 이고 TM편파된 평면파가 입사되는 경우에 입사파의 입사각의 변화

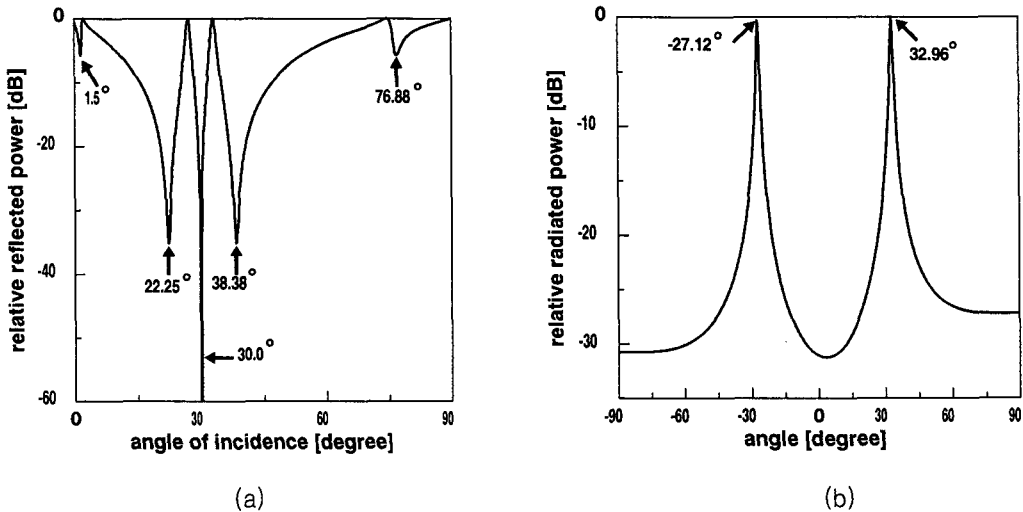


그림 3. TM 편파 경우의 반사파전력과 복사패턴( $\epsilon_r = 2.57$ ,  $d = 1.0 \lambda_0$ ,  $a = 0.5d$ ,  $h = 0.458d$ )  
(a) 입사각에 따른 반사파전력, (b) 누설파안테나 관점에서의 복사패턴

Fig. 3. Relative reflected power and radiation pattern for TM polarization case.

( $\epsilon_r = 2.57$ ,  $d = 1.0 \lambda_0$ ,  $a = 0.5d$ ,  $h = 0.458d$ )

(a) Relative reflected power vs angle of incidence

(b) Radiation pattern from the viewpoint of leaky wave

에 따른 반사파전력의 변화를 나타내었다. 그림에서 입사파의 입사각이 각각 22.25°, 30.0°와 38.38°인 세 경우에서 입사파전력이 -1차의 회절파전력으로 대부분 변환됨을 확인할 수 있다. 30.0°는 Bragg조건이 만족되는 Bragg blazing 현상이며, 22.25°와 38.38°는 off-Bragg blazing 현상으로 입사파의 입사각이 22.25°일 때 -1차의 회절파모드의 회절각 ( $\theta_{-1} = \sin^{-1}((\beta_0 - 2\pi/d)/k_0)$ )은 -38.38°가 되고, 역으로 입사파의 입사각이 38.38°이면 -1차의 회절파모드의 회절각은 -22.25°가 된다. 누설파안테나 관점에서 살펴보면 최저차 모드인 TM<sub>00</sub>모드와 TM<sub>10</sub>모드가 도파 가능하며, TM<sub>00</sub>모드의 기본모드에 대한 복소전파상수 ( $\beta_{00} - ja_{00}$ )를 구하면 323.39 [rad/m] - j2.1 [Np/m]이고 TM<sub>10</sub>모드의 기본모드에 대한 복소전파상수 ( $\beta_{10} - ja_{10}$ )는 215.62 [rad/m] - j1.02 [Np/m]이다. 여기에서 복소전파상수를  $\beta_{mn} - ja_{mn} (= a_m)$ 로 표현하였는데 첫 번째 첨자  $m$ 은 슬롯이 없는 평행판도파로에 있어서 도파로의 높이  $h$ 의 변화에 따라 도파 가능한 모드의 차수를 의

미하고 두 번째 첨자  $n$ 은 공간조화모드의 차수를 의미한다. 먼저 TM<sub>00</sub>모드의 기본모드는 복사되지 못하고 -1차와 -2차 공간조화모드만이 복사되며, 복사모드별 주빔의 복사각은 각각 32.96°와 -27.12°이며, 그림 3(b)는 누설파안테나 관점에서 구한 복사패턴이다.

반사격자 관점에서 off-Bragg blazing 현상이 확인된 각들과 누설파안테나 관점에서 구한 TM<sub>00</sub>모드의 복사모드별 주빔의 복사각들 간에는 짝을 이루는데, 이들 짝은 각각 blazing 현상이 확인된 22.25°와 -2차 복사모드의 주빔의 복사각 -27.12°의 짝과 blazing 현상이 확인된 38.38°와 -1차 복사모드의 주빔의 복사각 32.96°의 짝으로 복소전파상수의 감쇠정수가 작으면 회절파의 회절각과 복사모드의 복사각이 근접하게 된다<sup>[4]</sup>. 그림 3(a)에서 1.5°와 76.88°에서 고차모드로의 변환효율이 작은 off-Bragg 현상이 확인되며 TM<sub>10</sub>모드의 복사모드별 복사각을 구해 보면 각각 1.69°(-1차)와 -76.04°(-2차)이다. TM<sub>10</sub>모드의 감쇠정수가 TM<sub>00</sub>모드의 감쇠정수에 비해 작으므로 TM<sub>00</sub>모드의 복사각들에

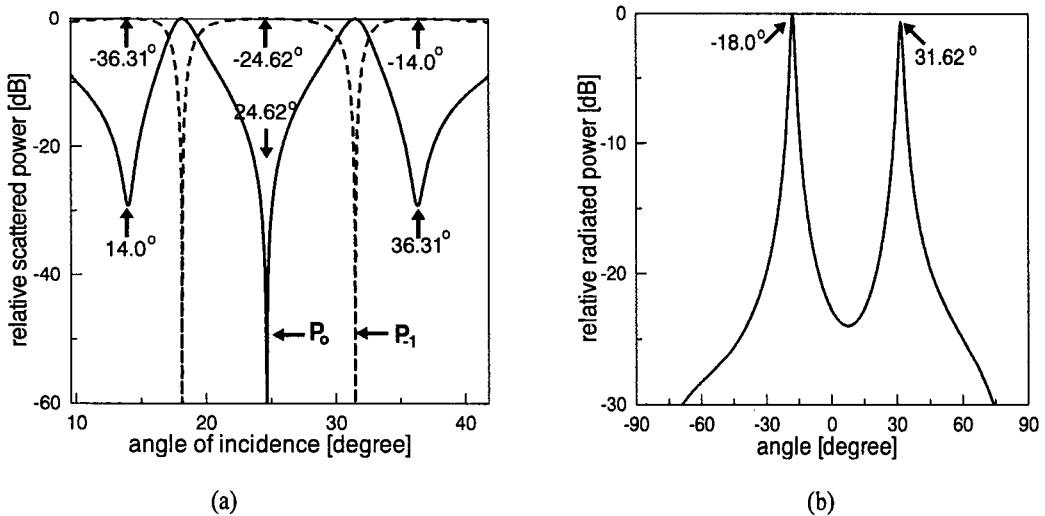


그림 4. TE 편파 경우의 입사각에 따른 산란파전력과 복사패턴 ( $\epsilon_r = 2.57, d = 1.2 \lambda_0, a = 0.65d, h = 0.4325d$ )  
 (a) 입사각에 따른 산란파전력, (b) 누설파안테나 관점에서의 복사패턴

Fig. 4. Relative scattered powers and radiation pattern for TM polarization case ( $\epsilon_r = 2.57, d = 1.2 \lambda_0, a = 0.65d, h = 0.4325d$ )

- (a) Relative scattered powers vs angle of incidence
- (b) Radiation pattern from the viewpoint of leaky wave

비해  $TM_{10}$ 모드의 복사각들이 off-Bragg 현상이 확인된 각들에 보다 근접해 있음을 확인할 수 있다. 이 경우에도 누설파안테나 관점의 복사모드의 주빔의 복사각과 반사격자 관점에서 확인된 Bragg 각과는 무관한 비공진형의 Bragg blazing 현상이다.

그림 4(a)에는 주기구조 파라미터가 각각  $d=1.2\lambda_0$ ,  $a=0.65d$ ,  $h=0.4325d$  및  $\epsilon_r=2.57$ 이고 TE편파된 평면파가 입사되는 경우에 입사파의 입사각의 변화에 따른 산란과 전력의 변화를 나타내었으며, 실선은  $n=0$ 인 반사파 전력( $P_0$ )이며 점선은  $n=-1$ 인 -1차의 회절파모드의 전력( $P_{-1}$ )이다. 그림에서  $24.62^\circ$ 에서 Bragg blazing 현상이 확인되고  $14.0^\circ$ 와  $36.31^\circ$ 에서 off-Bragg blazing 현상이 확인된다. 누설파안테나 관점에서 살펴보면 최저차 모드인  $TE_{10}$  모드가 도파 가능하며,  $TE_{10}$ 모드의 기본모드에 대한 복소전파상수( $\beta_{10} - ja_{00}$ )를 구하면  $284.33[\text{rad/m}] - j4.05[\text{Np/m}]$ 이 되고, 복사모드별 주빔의 복사각은 각각  $31.62^\circ$ 와  $-18.0^\circ$ 이다. 그림 4(b)는 누설파안테나 관점에서 구한 복사패턴이며, 누설파안테나 관점의 복사모드의 주빔의 복사각들과 반사격자 관점에서 blazing 현상이 확인된 각들 간에는 TM편파의 경우와 유사하다.

구형 홈 격자구조와 본 논문의 연구구조의 전자기적 산란특성을 비교하여 보면, Bragg blazing 현상은 두 격자구조 간에 유사한 특성을 보인다. Off-Bragg blazing 현상은 구형 홈 격자구조에서는 TM편파의 경우에는 관찰되지만 TE편파의 경우에는 관찰되지 않으며, 본 논문의 연구구조에서는 TE 및 TM편파의 경우에 모두 관찰되는 차이점이 있다.

### III. 결 론

접지된 유전체 슬랩 위에 주기적으로 스트립이 놓여 있는 격자구조에 평면전자파가 입사되는 경우에 대한 전자기적 산란현상을 반사격자 관점에서 해석하였다. 입사파의 편파에 무관한 Bragg blazing 현상의 경우와 동일한 편파(TE 또는 TM 편파의 경우)에서 입사파의 입사각에 따라 Bragg blazing 현상과 off-Bragg blazing 현상이 동시에 확인되는 경우를 확인하였으며 누설파안테나 관점에서의 복소

전파상수와 복사패턴을 계산하여 반사격자 관점과 누설파안테나 관점간의 연관성을 기술하였다. 또한 기존에 널리 사용되고 있는 구형 홈 격자(rectangular groove grating)구조와 전자기적 산란현상에 관한 유사점과 차이점을 논의하였다.

본 논문의 연구구조의 활용면을 보면 반사격자 관점의 blazing 현상(Bragg blazing 및 off-Bragg blazing 현상)을 이용하면 (de)multiplexer, polarizer, twist reflector, frequency scanner 등의 광범위한 분야에 활용할 수 있으며, 누설파안테나 관점에서는 DBR (distributed Bragg reflection) oscillator, frequency scannable 안테나 등에 활용할 수 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] A. Hessel, J. Shmoys and D. Y. Tseng, "Bragg-angle blazing of diffraction gratings," *J. Opt. Soc. Am.* vol. 65, no. 4, Apr., 1975, pp. 380-384.
- [2] W. Chen, D. G. Michelson, and E. V. Jull, "Off-Bragg TM blazing of rectangular groove gratings," *Proc. 1995 URSI International Symposium on Electromagnetic Theory*, St. Petersburg, Russia, pp. 311-313, 1995.
- [3] M. Breidne and D. Mayster, "Perfect blaze in non-Littrow mountings-a systematic numerical study," *Opt. Acta.*, vol. 28, no. 10, pp. 1321-1327, 1981.
- [4] A. Hessel and A. A. Oliner, "A new theory of the Wood's anomalies on optical gratings," *Applied Optics*, vol. 4, no. 10, pp. 1275-1279, Oct., 1965.
- [5] K. A. Jose and K. G. Nair, "Reflector-Backed perfectly blazed strip gratings simulated corrugated reflector effects," *Electron. Lett.*, vol. 23, no. 2, pp. 86-87, Jan., 1987.
- [6] 이종익, 조응희, 윤리호, 홍재표, 박진택, 조영기, 손현, "접지된 유전체층 위의 스트립격자의 Off-Bragg blazing," 전자공학회 논문지, 제 33 권 A편 제 10호, pp. 90-97, 1996.
- [7] 조응희, 김종규, 이종익, 조영기, "접지된 유전

체층 위에 위치한 주기적인 스트립격자구조에 TM편파된 평면파가 입사되는 경우에서의 산란현상”, 춘계 마이크로파 및 전파학술대회는 문집 제 21권 1호, pp. 405-408, 1998.

[8] Y. K. Cho, U. H. Cho, and J. H. Ko, “Blazing of the periodic strip grating on a grounded dielectric ; TE polarization case,” *Electron.*

*Lett.*, vol. 31, no. 23, pp. 2035-2037, Nov., 1995.

[9] Y. K. Cho, U. H. Cho, and J. H. Ko, “TM -Polarized Electromagnetic scattering from a periodic strip array on a grounded dielectric,” *Microwave and Opt. Technol. Lett.*, vol. 11, no. 1, pp. 41-45, Jan., 1996.

조 응 희



1987년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
 1989년 2월: 경북대학교 대학원 전자공학과 전파공학전공(공학석사)  
 1989년 2월~1995년 2월: 국방과학연구소 연구원  
 2000년 2월: 경북대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

현재: 경동정보대학 컴퓨터 정보 통신계열  
 [주 관심분야] 전자파산란, 안테나 이론, EMI/EMC

조 영 기



1978년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)  
 1981년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)  
 1998년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사)  
 1981년 9월~현재: 경북대학교 전자공학과 교수

[주 관심분야] 안테나 이론, 마이크로파공학, 전자기 산란 및 전자기 이론