

라만 방정식의 닫힌 적분 형태로의 확장을 통한

효율적인 라만 증폭기의 이득 디자인

박재형, 김필한, 박중환, 이한석, 박남규
서울대학교

jhpark@stargate.snu.ac.kr, nkpark@plaza.snu.ac.kr

**Closed Integral Form Expansion of Raman Equation
for Efficient Gain Optimization Process**

Jaehyoung Park, Pilhan Kim, Jonghan Park, Hansuek Lee, and Namkyoo Park
Seoul National University

Abstract

다중펌프 라만 증폭기의 이득 디자인을 하는데 있어서 복잡한 라만 방정식을 닫혀진 적분형태의 변형을 통해 일련의 행렬식으로 계산할 수 있는 방법을 제시하였다. 이러한 식을 이용해서, 단일 iteration 단계에서 라만 적분과 신호의 SRS (Stimulated Raman Scattering)를 동시에 고려함으로써 빠른 수렴 속도를 가지면서도 정확한 결과를 얻을 수 있는 라만 증폭기의 이득 디자인을 얻을 수 있다.

I. 서론

라만 광섬유 증폭기 (RFA) 의 다양한 장점 중에서, 이득 디자인에 있어서의 유연성은 다른 증폭기들이 가지지 못하는 중요한 장점이다. 하지만, 라만 증폭기를 모델링하는 가장 일반적인 방법인 *coupled ordinary differential equation (ODE)* 를 풀어서 하는 방법은 일정 수준의 정확도를 가진 이득 디자인을 하기 위해서 많은 노력과 시간이 소요된다. 라만 방정식의 효율적인 모델링 방법에 의해 시뮬레이션 계산 시간이 약 3-order까지 단축되어왔지만 [1,2], 이득 디자인을 위해서는 원하는 이득 파형을 만들어 내기 위해 필요한 펌프의 조합들 간의 긴 광섬유 내에서의 상호 작용에 의해서 펌프의 디자인을 어렵게 만드는 추가적인 어려움이 존재한다 [3]. 이러한 라만 증폭기의 이득 디자인을 위해서, a) *shooting method*와 같이 목표 파형과 신호 이득 사이의 오차의 양을 가지고 펌프 파워의 반복적인 조정을 통한 연구와 [4], b) *coupled ODE*의 *numerical* 적분을 통해 얻어진 펌프 파워에 의해 재조정된 입력 펌프 파워를 가지고 펌프의 반복적인 조정을 통한 연구 등이 있었다 [5]. 이러한 과정을 따라 요구되는 펌프의 파워와 파장을 구할 수

있어야 함에도 불구하고, 앞에 언급했던 대부분의 연구들에서는 디자인에서 사용되는 펌프와 모든 신호들을 포함해서 *coupled ODE*의 반복적인 수치적 적분을 통해서 디자인을 해야 하기 때문에, 시간이 많이 걸리는 단점이 있다.

이 연구에서는, 새롭게 유도한 *라만 적분 방정식*을 바탕으로 다중 파장 라만 증폭기의 이득 디자인에 대한 새로운 알고리즘을 제시하였다. 제한한 닫힌 적분 방정식을 가지고, *iteration* 축을 따라서 라만 이득 디자인 문제로의 접근을 통해서, 기존의 결과들에 비해 빠른 라만 이득 파형의 생성과 고도의 정확성을 가지는 펌프 파워의 예측을 하였다.

II. 수식

다음 식(1)은 일반적인 라만 증폭기의 방정식이다.

$$\pm \frac{dP_i}{dz} = -\alpha_i P_i + \sum_{j=1}^{M+N} g_{ji} P_j P_i \quad (1)$$

여기서 P_i 는 i 번째 파장에서의 파워이고, α_i 는 손실 계수, g_{ji} 는 라만 이득 계수, M 과 N 은 각각 펌프와 신호의 개수이다.