

시-공간 혼돈 제어에서의 잡음의 긍정적 역할

Positive role of noise in controlling spatio-temporal chaos

임정구*, 박금철+, 이태용, 이만기, 임동건

고려대학교 물리학과

*:jklopt@lycos.co.kr, +:kkwak@qopt.korea.ac.kr

유영훈

제주대학교 물리학과

yyhyoung@cheju.cheju.ac.kr

자연계에 존재하는 잡음은 대부분의 경우에 있어서 그 부정적인 면이 부각되어 왔고, 따라서 이를 없애거나 줄이려는 노력들이 이루어져 왔다. 하지만 최근 들어 비선형계에서 나타나는 비선형 공명 (stochastic resonance), 특히 생체계에서 이루어지는 정보의 전달에서의 잡음의 긍정적인 역할은 많은 관심을 끌고 있고 많은 연구가 이루어지고 있다[1,2]. 또한 잡음이 비선형 비평형 동역학계의 행동에 영향을 미쳐서 원하는 상태로 이끌어 가거나 원하는 상태를 유지하는데 결정적인 역할을 하는 것이 알려지고 있다[3].

또한 시공간 혼돈(난류)의 제어는 매우 중요한 문제로서 최근 들어 활발한 연구가 진행되고 있는데, 특히 광학계에서 일어나는 시공간 혼돈을 Fourier 공간에서의 섭동에 의해 제어하는 방법이 발표되고 나서 시공간 혼돈의 제어 연구에 활기를 띄고 있다.

본 연구에서는 비선형 광학계에서 나타나는 시공간 혼돈을 줄문양이나 육각문양등의 다양한 정적인 문양이나 동적임 문양으로 제어하는 과정에서의 잡음의 긍정적인 역할에 대한 연구 결과를 발표하고자 한다. 이를 위하여 일종의 광변조기인 Liquid crystal light valve(LCLV)를 이용하여 2차원 되먹임이 있는 비선형 광학계를 구성하고 이 계를 약한 혼돈이나 강한 혼돈으로 만든 다음 공간적 Fourier 공간에서의 섭동에 의해서 다양한 문양으로 제어를 했다. 이 때 잡음이 주는 효과를 보기 위하여 Gaussian white 잡음에 대하여 잡음의 세기에 따른 영향을 연구했다. 잡음이 주는 여러 가지 긍정적인 결과를 보인다.

(1) 실험 계

반사형 LCLV는 일종의 광변조기인데, 쓰기면 쪽에서 입사하는 빛의 공간적 분포에 대한 정보가 광전도층과 액정층에서의 굴절을 변화에 의한 위상변화로 변환되고 이를 읽기빛이 읽고 나온다.

되먹임회로 (feedback loop, 그림1)의 기본 아이디어는 위상변화를 읽은 읽기빛이 편광기(P2)를 통과하고 난 후 자유공간을 거리 L만큼 진행하면서 회절을 한 후에 쓰기빛이 되어서 쓰기면에 입사되는 것이다. 이때 일어나는 회절이 불안정성의 주원인이 된

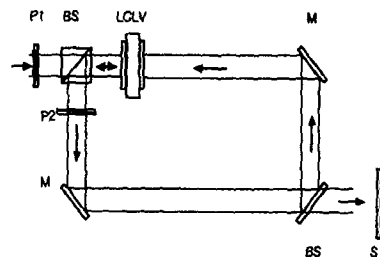


그림 1 LCLV 로 이루어진 비선형 광학계

다. LCLV 에 가해주는 전압의 세기와 주파수 그리고 입력빛의 세기가 계의 매개변수이다. 시공간적 LCLV의 분해능을 고려한 경험 방정식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\tau \frac{\partial \phi}{\partial t} - l^2 \nabla_1^2 \phi + \phi = \phi_{\max} \begin{cases} 1 & (\text{for } \mu_s I_w + J_b < 0) \\ 1 - \tanh^2(\mu_s I_w + J_b) & (\text{for } \mu_s I_w + J_b \geq 0) \end{cases}$$

ϕ 는 읽기빛의 위상이고, τ 는 계의 유효 시간상수, l 은 유효 분산길이 (effective diffusion length)이다. 확산은 PC층에서의 전하 운반자의 밀도의 확산을 말한다.

(2) 결 과

먼저 계를 약한 혼돈이나 강한 혼돈상태로 만든 다음 그 계를 Fourier 공간에서의 조작에 의한 섭동에 의해 제어를 해서 매우 다양한 문양으로의 제어를 했다. 백색 가우시안 잡음을 계에 가했을 때 (Additive White Gaussian Noise), 매개변수에 따른 전산시뮬의 결과는 다음과 같다.

적당한 세기의 잡음이 혼돈을 제어하는 시간을 단축시켰으며, 제어하는데 걸리는 시간과 잡음의 세기 사이에 함수관계를 갖는 것을 알았고, 적당한 크기의 잡음에 의하여 불안정한 문양들이 안정화되었으며 다중해를 갖는 매개변수 구간에서 초기조건과 관계없이 문양(target pattern)이 결정되는 것을 보았고, 불안정 문양과 안정 문양이 동시에 존재하는 경우에 안정한 문양으로의 전이가 쉽게 이루어지는 등의 매우 흥미로운 결과를 보였다.

그림2는 잡음의 세기에 따른 제어하는데 걸리는 시간을 보인다. 그림3은 그림2를 In-In 로 그린 것이다. 잡음의 세기와 제어 시간사이의 함수관계를 잘 보여주고 있다.

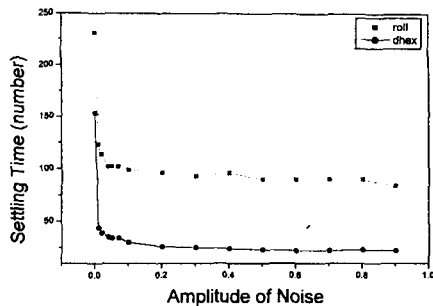


그림 2 잡음의 세기에 따른 제어 시간

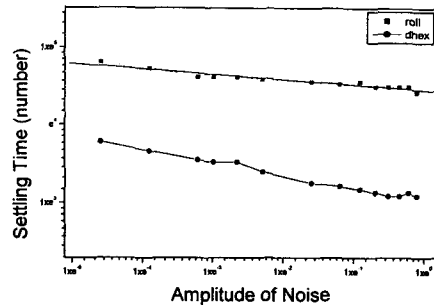


그림 3 잡음의 세기에 따른 제어시간(In-In)

시-공간혼돈을 보이는 비선형광학계에서의 시-공간 혼돈의 제어과정에서의 잡음의 역할에 대한 연구를 통해서 잡음이 주는 다양한 긍정적인 기여에 대한 결과를 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] Hou Zhonghuai et. al., Phys. Rev. Lett. **81**, 2854 (1998)
 [2] H. Hempel et. al., Phys. Rev. Lett. **82**, 3713 (1999)
 [3] P. Jung et. al. Chaos, **8**, 567 (1998).
 [4] 박금철, 고려대학교 대학원 이학박사 학위논문 (1999).