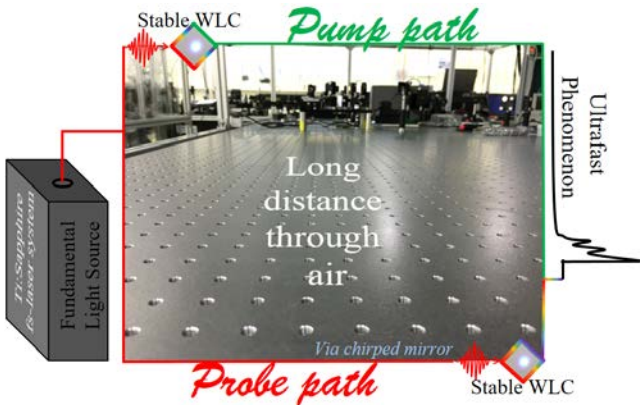


# Stable Continuum Generation at Very Long Distance

## 1. Information on Research Team

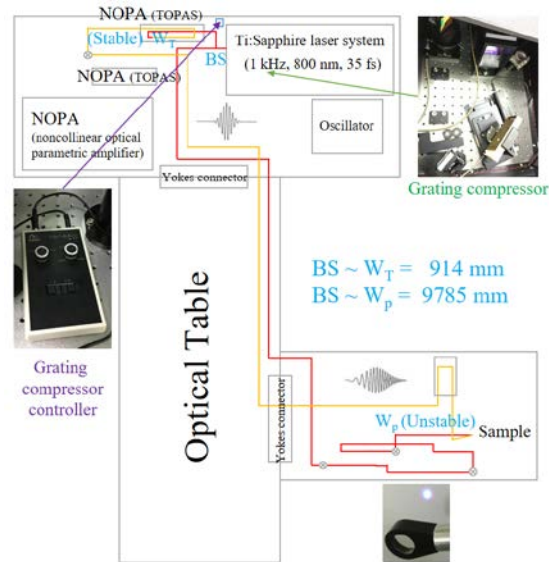
Name	Student ID	Department	Career	Role
강동구	20128109	화학과	석박통합과정	계획 및 실험

## 2. Project Summary

<p>Objective</p>	<p>본 과제에서는, ultrashort femtosecond laser pulse의 광학 경로 길이와 공기 (air) 라는 material과의 상관관계를 통해, 10 m 이상 매우 먼 거리를 통과할 때 일어나는 fs-pulse의 변형과 그로 인한 먼 곳에서 white-light continuum (WLC) generation과 같은 nonlinear effect가 불안정해지는 현상을 물리화학적 이론을 바탕으로 원인을 파악하고 다시 안정화 시킬 수 있는 방안을 연구해 보고자 한다.</p> <p>연구한 결과를 토대로 하나는 가깝고 다른 하나는 매우 먼 거리에 위치한 서로 양립할 수 없는 두 WLC들을 동시에 안정화 시킨다. 이를 증명하기 위해서 fs-pulse에 의해 유도되는 vibrational coherence 현상을 보유한 분자를 가지고 pump-probe 실험을 용액 상에서 재현하고자 한다.</p> 
<p>Description</p>	<p>Electron transfer와 같이 매우 빠른 화학 반응의 kinetics를 측정하기 위해서 fundamental light source (Ti:Sapphire laser system, 800 nm, 1 kHz, 35 fs)에서 출발하여 갈리는 2개의 femtosecond laser pulses로 real-time pump-probe 실험을 한다. 하나의 fs-pulse는 관찰하고자 하는 시스템의 특정 electronic state로 pumping 하기 위해 noncollinear optical parametric amplifier (NOPA) 방법을 사용하여 파장 변환을 하고, 다른 하나는 시간분해능을 가지고 visible 영역을 probing 하기 위해 white-light continuum (WLC)으로 변환시켜 여기 상태에서 바닥 상태로의 photo-relaxation kinetics를 구한다.</p>

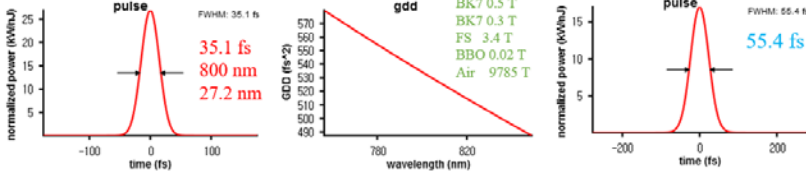
보통 sapphire plate (3 mm) 에 3  $\mu\text{J}/\text{pulse}$ 의 focused 800 nm beam을 조사하면 450-900 nm의 WLC이 발현된다. Pump path의 NOPA system과 probe pathway 두 곳 모두 sapphire plates가 위치되어 있는데 동시에 발생하는 WLC이 stable하게 유지되어야 한다. 일정 농도의 용액 샘플이 이 WLC의 electronic state에 해당하는 에너지를 흡수하고 난 뒤 투과되어 detector에 도달하고 signal을 보여주기 때문에 WLC의 안정도는 매우 중요하다.

하나의 Ti:Sapphire laser system으로 두 개 이상의 optical spectroscopy setup이 가능하여 화학 반응 현상을 다각도로 관측할 수 있다. 이 때 다양한 optics들을 지나게 되면 laser output으로부터 optical path 길이가 상당히 길어지게 된다. 실제로 광학 테스트를 해보았을 경우 가까운 지점에 sapphire plate를 두었을 때 나오는 WLC은 안정적이었지만, 10 m 지점에서는 실험이 불가능할 정도로 불안정하게 나왔다. 이러한 문제의 원인은 무엇일까? 그리고 해결할 수 있는 방법은 무엇이 있을까?



Phase가 맞는 fixed modes들의 관계가 서로 유지되는 fs-pulse는 넓은 스펙트럼 폭을 가지고 있다. 이 Gaussian-shaped pulse의 특성 중 잘 알려진 것은 material을 통과할 때, frequency component가 다른 velocity를 가지게 되기 때문에 phase가 distortion (chirp) 된다. 가까운 곳에서 WLC이 stable하지만 먼 곳에서 WLC이 unstable한 원인은 optical path가 길어지면서 생기는 chirp 때문이라 생각하여 test를 해보았다. Ti:Sapphire laser system 내부에는 이런 chirp을 조절해 줄 수 있는 grating compressor part가 존재한다. 테스트 실험을 통해 grating controller로 먼 곳의 WLC을 stable하게 만드는 position을 찾았지만 이번에는 가까운 곳의 WLC이 unstable하게 되었다.

그 결과로 원인이 material을 통과할 때 생기는 chirp이라고 예상은 되지만 lens, sapphire를 제외하고 길이가 길어질 때의 material은 공기라고 생각할 수 있다. 하지만 실제와 같은 환경으로 구성된 simulation에서 fs-pulse가 material을 통과하면서 생긴 dispersion을 반영한 output pulse는 10 m 이내의 공기 길이에 민감하게 변하지 않았다. 이로서 fs-pulse가 공기를 통과할 때, 길이에 따른 chirp의 변화를 재조사할 필요성을 느꼈고 수치화하여 기존의 이론적인 값들과 얼마나 차이가 있는지를 보고 지금 현상의 원인에 대해 정확하게 파악하기를 원한다.

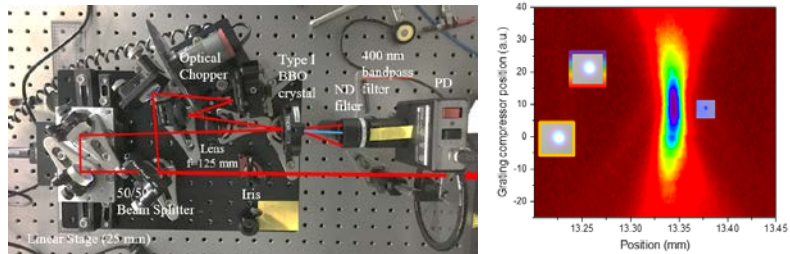
	 <p>이에 더해서 현재 서로 다른 optical setups들로 두 sapphire plates들의 위치가 서로 다르게 배치되어 있다. Pump-probe 실험의 경우, 서로 다른 경로로 이동하는 두 fs-pulses의 지나가는 실제 거리가 같아야 temporal-spatial overlap이 되기 때문에 가까운 곳과 먼 곳에서 WLC이 동시에 안정화되도록 할 수 밖에 없다. 공기로 인해 생긴 dispersion의 정보를 안다면 chirp compressed method를 통해 보정을 할 수 있어서 서로 다른 두 위치에서 안정하게 발현되어 나오는 WLC들을 볼 수 있을지도 모른다. Commercial chirp mirror pairs (800 nm) 들을 통해 compressed values들을 수치화 한다면 다양한 광학 경로 길이에서 WLC이 stable하게 유지될 것으로 여겨진다.</p>
Novelty / unusualness	<p>일반적으로 fs-laser를 바탕으로 하는 물리화학 실험의 경우, 많이 쓰이는 optics (lens, BBO crystal, beam-splitter 등) 들은 fs-pulse가 통과할 때 발생하는 dispersion value가 usual하게 많이 알려져 있다. 진공 상태에서 실험을 하지 않는 이상 분명히 공기도 refractive index가 매우 작지만 존재한다. 그런 공기로 인한 disperse 정도를 구하는 것이 이상해 보여도 현재로서 pulse의 chirp만을 생각해보면 광학 길이가 길어짐에 관련된 요소는 공기 밖에 없다. 분자의 vibration에 해당하는 sub-picosecond의 화학반응을 관찰하기 위해서, pulse의 dispersion 문제를 해결하지 못하면 측정할 수 없기 때문에 공기의 길이에 따른 dispersion 값을 구하는 것은 매우 가치 있는 일이다. 알려져 있는 값과 우리 실험실에서 측정한 값에 차이가 있을 것이라 예상되고 측정 후 관련된 논문과 비교를 통해 더 정확히 원인을 밝힐 예정이다.</p> <p>보통 고가의 fs-laser system으로 하나의 실험을 위해서만 setup 하지 않는다. 큰 에너지를 가지는 하나의 output에서 두 개 이상의 setup으로 나누어서 사용할 때 광학 테이블 위에 놓여질 optical setup의 배치를 따져보면 광학 길이에 따른 위와 같은 문제가 반드시 생길 수 있다. 지금 보다 더 advanced optical setup을 계획할 때 또한 해결해야하는 문제이기 때문에 과제가 끝난 후 포스터 발표 때 다른 학생들에게 공유할 수 있는 좋은 연구실 노하우가 될 수 있다.</p>
Scholarly profundity	<p>물질의 photo-reaction 연구를 할 때 양자 화학적 분석이 중요한 만큼 fs-pulse에 관한 정확한 이해도도 연구자에게 매우 필요로 한다. 특히 autocorrelation, nonlinear effect, group velocity dispersion과 time compression은 가장 기본이 되는 개념이다.</p> <p>Material을 통한 dispersion은 실험 시 쉽게 일어나는 현상이지만, compression은 이론적 지식과 기술적 테크닉을 요구하는 어려운 작업이다. Prism, grating compressor보다 더 값비싼 chirp mirror 보정 방법은 앞의 두 개의 방법보다 에너지의 손실이 적고 compression시 필요한 길이가 짧고 간단하다. 다룰 수 있는 기회가 드물어서 위와 같은 목적으로 다룰 때 연구자에게 optics에 대한 이해도를 증강시킬 수 있다.</p>

**최종 목표**

Fs-pulse가 공기를 통과하면서 얼마나 dispersion되는지 알아내고 광학 도구를 통해 다시 compression 시킨다. 이를 바탕으로 fs-laser output 지점을 기준으로 가깝고 먼 곳에서 동시에 안정한 WLC을 만들고 잘 알려진 reference를 테스트 실험으로 하여 먼 곳에서도 펄초 반응 현상을 관측할 수 있음을 증명한다.

**5, 6, 7월 (3개월)**

- 두 fs-pulses 간의 temporal duration을 재기 위한 diagnostic tool인 SSA (single-shot autocorrelator) 를 재정립시키고 새로 구매할 CCD-spectrograph detector로 FROG (frequency-resolved optical grating) 를 만든다.
- Ti:Sapphire fs-laser system 내부에 존재하는 grating compressor를 조절하면서 pulse가 공기만 통과하는 길이 (ex 1, 5, 10, 15, 20 m etc.)에서의 pulse duration과 compressor의 상관관계를 분석한다. 길이에 따른 air material의 dispersion을 수치화 하고 다른 reference와 비교한다.



**8, 9, 10월 (3개월)**

- 구입할 800 nm 용 chirp mirror의 사용법을 익히고 material을 통과하면서 생긴 negative chirp을 보정해주는지 test 한다.
- 측정할 각 길이 (ex 1, 5, 10, 15, 20 m) 에서 위에서 구한 air의 dispersion 값과 chirp mirror의 compensation parameter 간의 상관관계를 분석한다.
- WLC이 안정화 되는지 확인하고 얼마나 먼 곳까지 안정할 수 있는지 확인한다.

**11, 12월 (2개월)**

- Transient absorption setup을 가장 WLC이 먼 곳에서 안정화 되는 지점에 구축하고 reference 논문을 참고로 DMP-PBI sample로 difference absorption spectra를 확인한다. (*J. Phys. Chem. A*, **2015**, *119* (24), pp 6275–6282) 이 테스트 실험을 토대로 먼 길이에서도 fs reaction 실험을 관찰 할 수 있는지 증명한다.

