

CUOCC

제10호
2007년 8월

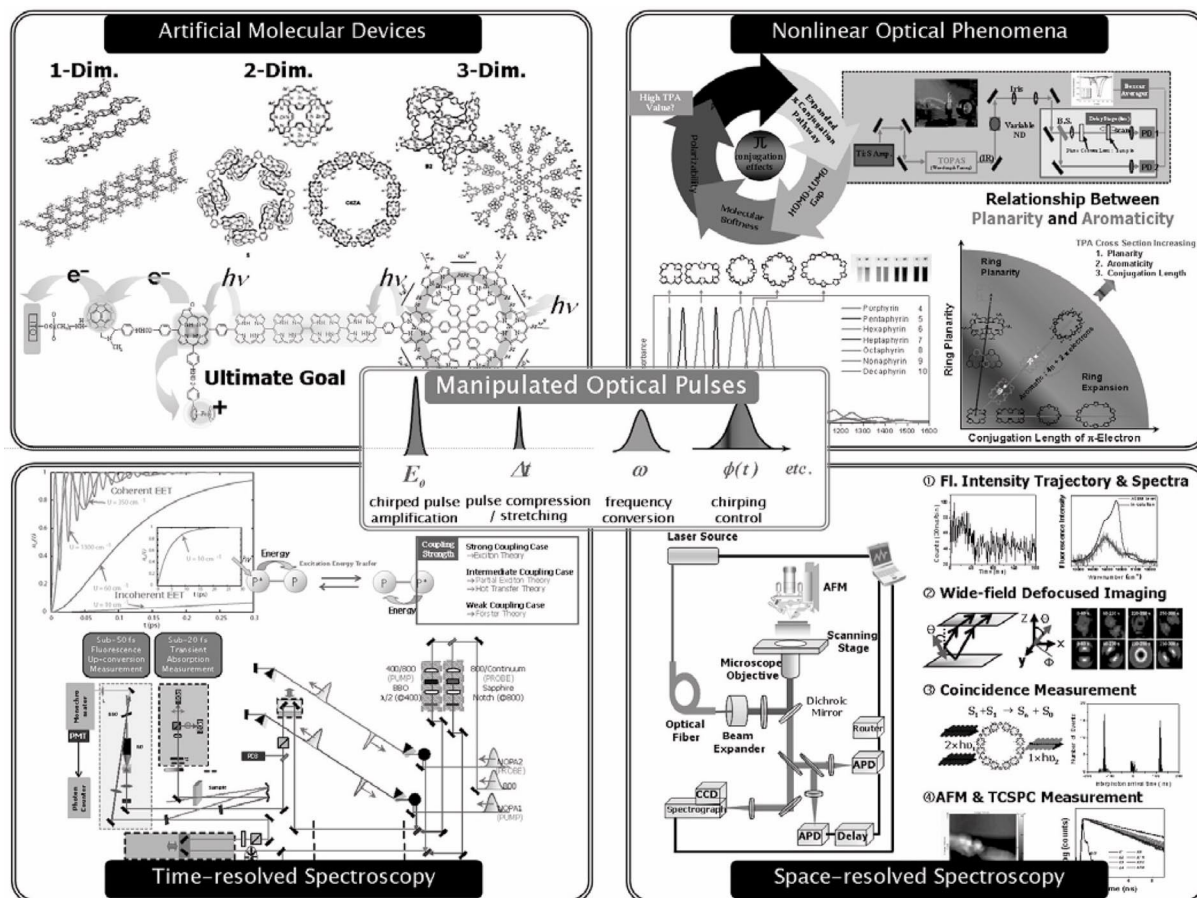
초고속광물성제어연구단

Center for Ultrafast Optical Characteristics Control

<http://chem.yonsei.ac.kr/~CUOCC>



Main Strategy for Investigation of Molecular Devices



분자 광학 소자를 제작하는데 있어 사용되는 주요 전략은 집광, 에너지 전달, 광유도 전자 전달 과정과 같은 단일방향의 연속적인 반응으로 구성된 고효율의 자연계의 광합성 과정을 모방하는 것이다. 분자 소자가 갖고 있는 전자상태 특성에 따라 들뜬 상태 동역학, 들뜬 에너지 및 광유도 전자 전달 과정과 양자 수율이 결정되기 때문에 들뜬 전자상태에 있는 분자 어레이의 엑시톤의 상호작용을 이해하는 것은 분자 소자 개발을 위한 기초가 된다. 관심 있는 초고속 광학 현상을 관찰하고 능동적으로 제어하기 위해 에너지, 파장, 파동 벡터, 편광, 펄스 폭, 위상과 같은 변수를 인위적으로 조절할 수 있어야 하며, 광학 펄스 제어를 이용한 초고속 분광법의 응용은 분자 시스템의 광물성을 밝히는데 이바지하고 광 소자와 광학 조절 기술, 특히 특수한 분자 광소자를 개발하는 기술에 큰 진보를 가져올 것이다. 분자 시스템의 성질을 밝혀내기 위해서 초단파 레이저 펄스의 변수를 조절하는 초고속 결맞음 비선형 분광법을 이용하였다. 분자 시스템 내에서 일어나는 에너지 전달 현상을 연구하기 위해 레이저를 이용해 엑시톤을 형성시키고 들뜬 전자상태에서 일어나는 이중극자의 공간적 배향의 변화를 펄스초 비등방성 형광과 순간흡수감쇠 측정을 이용했다. 엑시톤 상호작용의 동역학을 조사하기 위해서 구성 단위체간의 연결 길이와 이면각을 변화시킨 여러 homo-/hetero-dimer에 대한 연구를 수행했고, 분자간 상호작용으로 인해 변형되는 전자상태에서 빠른 에너지 이완과 전달과정을 관찰되었다. 이를 통해 분자간 엑시톤 상호작용을 이해하는데 있어서 1차원, 2차원, 3차원(선형, 원형, 상자 등)의 분자 어레이 단위체에 대한 체계적인 해석이 가능하게 되었다. 방향성을 갖는 분자 시스템에서 π -공액경로와 분자간 상호작용 조절을 통해 달라지는 이광자 흡수와의 상관관계를 밝혔고, 다양한 포피린 어레이 시스템과 확장된 포피린 분자들에 적용시켜 이론적 계산, 3차원적 분자 구조, 방향성, 그리고 비선형 광학 성질과의 관계를 밝혀내고 있다. 끝으로 단분자 분광 연구를 통해 원형 포피린 어레이에 비해 선형 포피린 어레이에서는 더욱 많은 구조적 이성질체가 존재하며, 이는 비발광을 유도해 형광수명을 단축시키는 효과를 나타낸다는 것을 밝혀 용액실험에서는 밝히지 못했던 선형 분자의 특이성을 밝혀냈다. 이러한 분자 수준의 에너지 전달과 전자 전달 과정의 기본적인 이해를 바탕으로 중합체, 나노입자, 자기 조립된 단층막, 분자 aggregate, 초분자 dendrimer와 같은 여러 시스템으로의 이해를 확장시켰다. 이러한 여러 시스템에 대한 분자적인 접근은 공간분해 분광학에서 morphology, domain structure, polymer interchain-interaction, size distribution, orientation과 관련된 기본적인 특성을 이해할 수 있도록 해 준다.

Construction of Femtosecond Stimulated Raman Spectrometer

자연계에서 일어나는 매우 빠른 광화학적 반응들은 광여기된 분자의 구조적 변화를 유발시키므로, 극초단 영역에서의 분자구조에 대한 정보를 얻는 것은 매우 중요하다. 일반적으로 피코초 레이저를 이용한 시간분해 라만 분광법을 이용하여 극초단 진동분광학이 연구되어졌지만, 최근들어 펨토초의 시간분해능을 가진 다양한 라만분광법이 개발되어졌다. 펨토초 유발라만 분광법은 수 피코초의 라만 여기레이저로 분자를 **virtual state**로 여기시킨 후 Stokes 라만 신호에 해당하는 파장의 라만 조사레이저를 주입하여 신호가 증가된 라만 신호를 얻는 방법이다. 여기에 들뜬상태로 만들어 주는 또다른 레이저 (**actinic** 여기레이저)를 추가하면 여기상태의 구조적 변화를 100 펨토초 시간대의 시간분해능으로 관찰할 수 있다.

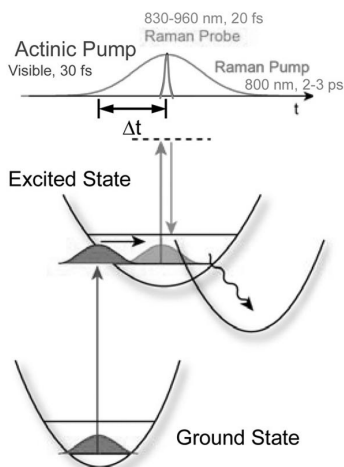
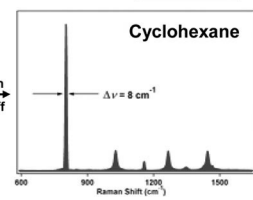
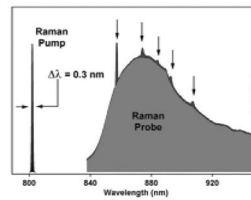
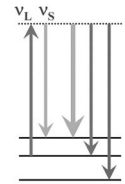
fs Broadband Stimulated Raman

Raman pump

$$\nu_L = 800 \text{ nm}, \sim 2 \text{ ps} (8 \text{ cm}^{-1})$$

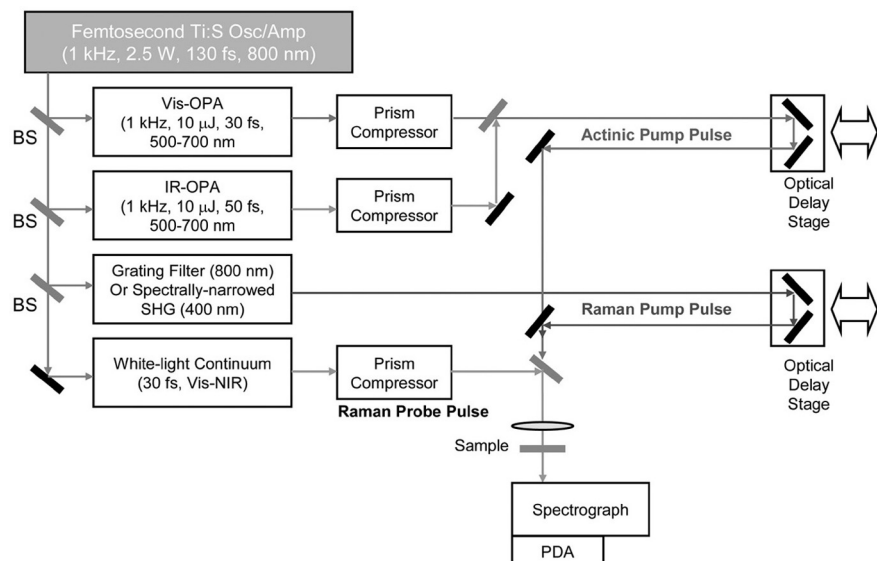
(Stokes) Raman probe

$$\nu_S = 830\text{-}960 \text{ nm}, 20 \text{ fs}$$

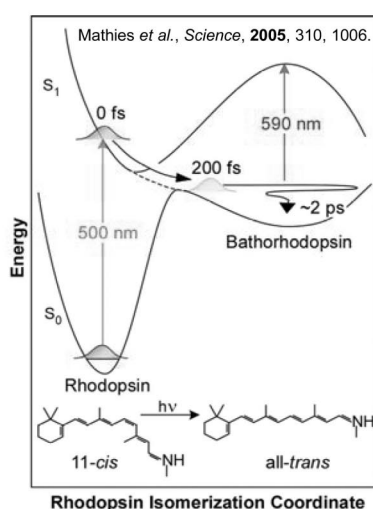
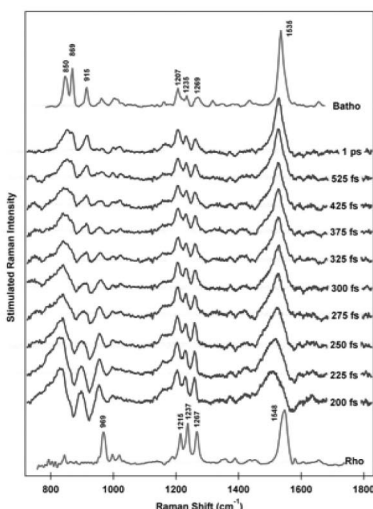


Time resolution is determined by "Actinic Pump" and "Raman Probe": $< 100 \text{ fs}$.

Frequency resolution is determined by "Raman Pump": $\sim 10 \text{ cm}^{-1}$.



펨토초 라만유발 분광법의 전체적인 시간분해능은 **actinic** 여기광과 라만 조사광의 펄스 폭에 의존 (< 100 펨토초)하며, 스펙트럼의 분해능은 라만 여기광의 스펙트럼 분해능 ($< 20 \text{ cm}^{-1}$)에 의존한다. 시료의 다양한 흡수밴드를 여기시키기 위해 가시광선 및 적외선영역의 독립적인 광매개증폭기를 제작 중에 있으며,

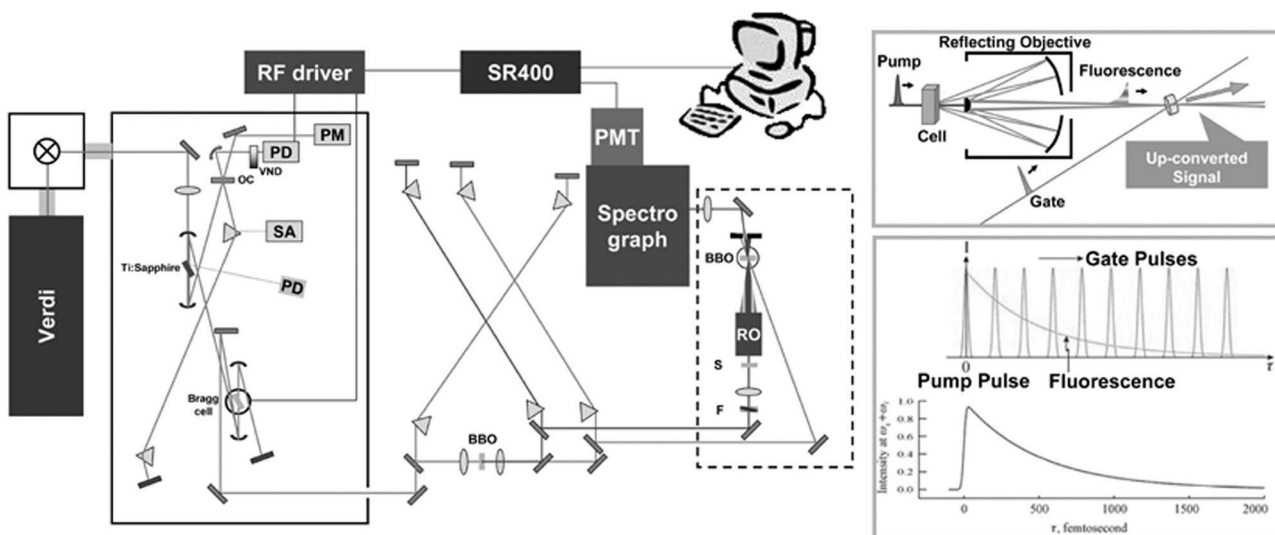


스펙트럼 선평이 좁은 라만 여기광을 만들기 위해 회절발 (또는 프리즘) 필터와 이차조화파 생성을 이용하고자 한다.

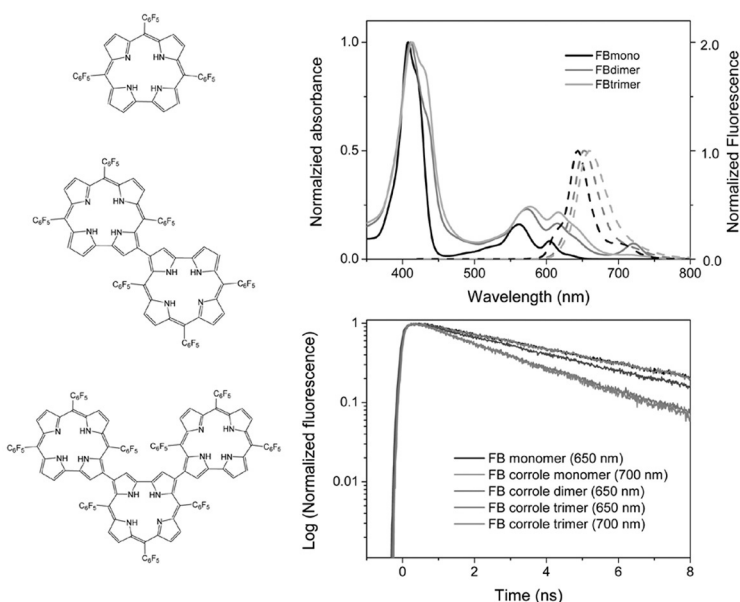
버클리대학의 R. A. Mathies group은 펨토초 유발라만 분광법을 최초로 고안하였고 로돕신의 광반응에 적용시켰다. (Science, 2005, 310, 1006) 로돕신은 광여기된 후 200 펨토초 동안 bathorhodopsin의 전자적 바닥상태로 가서 2 피코초 내로 소멸되며, 이러한 펨토초 이성질화 반응은 **out-of-plane** 진동모드가 관여함을 밝혔다. 본 연구단은 펨토초 유발라만 분광법을 이용하여 포피린 및 분자배열, 그리고 확장포피린 분자의 광여기 후 구조변화의 메커니즘을 밝힐 예정이다.

New Oscillator & Femtosecond Fluorescence Up-conversion Technique

형광 상위 전환 측정방법(fluorescence up-conversion technique)은 형광과 펄스 레이저 펄스를 비선형 결정을 이용해 frequency conversion을 일으켜 펄스 시간 분해능을 가능하게 하는 기술이다. 이 기술의 시간분해능은 gate 펄스의 지속시간과 비선형 결정 내에서의 그룹속도차이 (Group Velocity Mismatch)에 의해 결정되므로 최대 50 펄스초 분해가 가능하다.



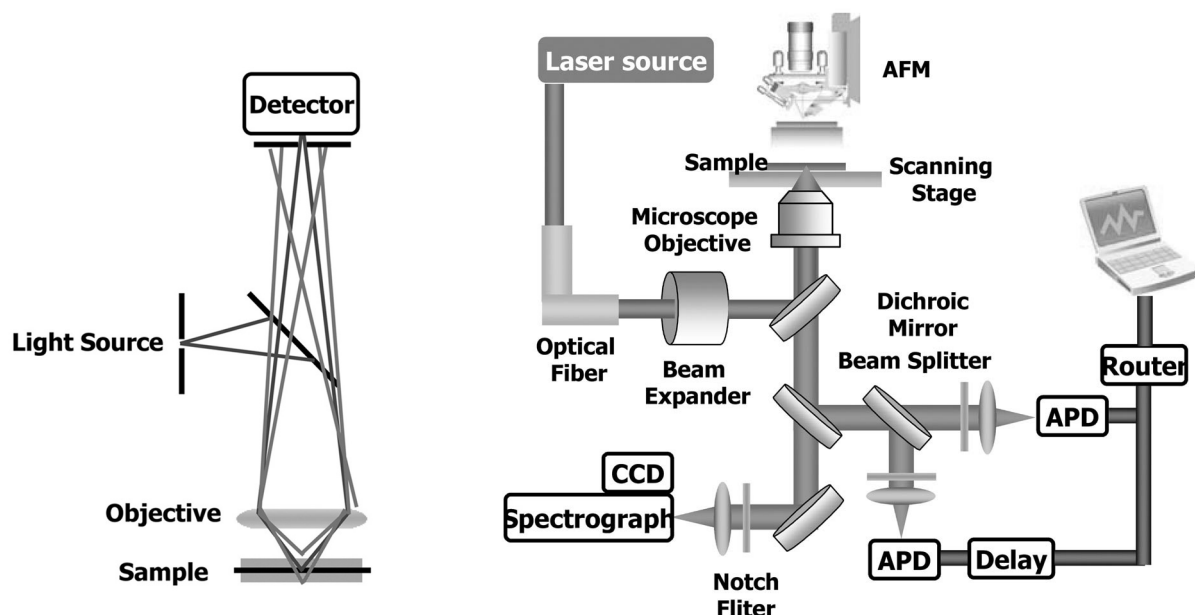
하지만, 이 기술은 비선형 결정을 이용한 frequency conversion efficiency가 낮고 형광 수명이 적은 들뜬 상태에서의 형광을 주로 측정하기 때문에 신호 세기가 약하다는 단점을 가지고 있다. 이를 극복하기 위해 gate 펄스 세기를 증가시키는 것이 가장 효과적인 방법이지만, 시간 분해능을 유지하기 위해서는 고출력 공진기가 반드시 필요하다. 따라서 본 연구실에서는 공진기의 업그레이드를 통해 공진기 출력을 40~50 nJ로 향상시켰고, 이를 이용해 높은 신호 증폭을 기대할 수 있게 됐다.



이 장비를 이용해 Free-Base corrole series에 대한 연구 계획을 하고 있다. Corrole은 4개의 pyrrole로 구성된 aromatic molecule로서 porphyrin과 비교해 meso-carbon이 하나 부족한 3개로 구성되어 있고, pyrrole이 직접 연결된 부분에서는 B-hydrogen 사이에 반발력으로 인해 symmetry가 porphyrin에 비해 낮다 ($D_{4h} \rightarrow C_{2v}$). 따라서 forbidden Q-band가 allowed transition이 되면서 형광 수율이 porphyrin에 비해 약 5배 높다. 따라서 corrole은 고효율의 에너지 전달 혹은 전자 전달 분자체를 만들기 위한 좋은 단위체가 될 수 있고, 또한 분자간 상호작용을 연구하기에도 좋은 분자가 된다. 이를 위해 outer beta-carbon linked corrole series를 대상으로 상호작용의 크기에 비례해 달라지는 들뜬 상태 동역학을 형광 실험을 이용해 밝히려 한다.

Confocal Laser Scanning Microscopy

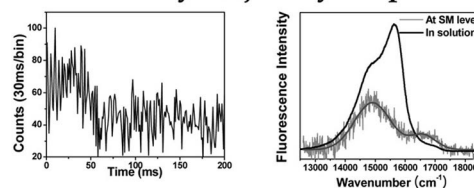
개별적인 분자소자는 미세한 구조적 이질성이나 대상 시스템 주변의 나노 환경에 따라 다른 광물리적 특성을 발현한다. 이러한 이유 때문에 평균화된 데이터를 제공하는 앙상블 실험의 한계점을 극복하고 개별적인 분자 시스템의 광물리적 특성을 측정하기 위하여 레이저 조사 공초점 현미경법이 널리 이용되고 있다.



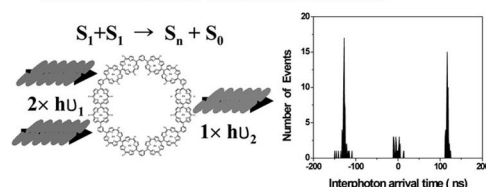
우리 연구실의 공초점 현미경 시스템은 XE 120 모델 (PSIA, Nikon TE2000-U with AFM)을 모체로 하고 있다. 레이저 광원(Picoquant, 470 nm, 2.5~40 MHz, ~70 ps pulse width)는 이색성 렌즈에 의해 반사되고 대물렌즈 (Nikon, X100, N.A. 1.3, PlanApo)를 통과하여 초점화되어 시료에 조사된다. 시료로부터 방출되는 형광은 동일한 대물렌즈와 이색성 렌즈를 통과하여 적당한 필터들을 거친 후, 빔 분배기에 의해 두 갈래로 나누어져 두 개의 APD 검출기(PerkinElmer, SPCM-AQR-16-FC, 40~60% photon counting efficiency, ~600 ps IRF)에 의해 각각 검출된다.

이러한 공초점 현미경 시스템을 이용한 단분자 형광 실험을 통하여 시간에 따른 형광 세기의 추이, 형광 스펙트럼을 얻으면 분자 소자의 구조에 대한 정보를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 시간상관 단일광자 계수법 실험을 수행하면 수백 피코초 수준에서 분자소자의 형광 수명을 측정할 수 있다. 이러한 형광 수명의 시간에 따른 변화 양상은 분자소자의 구조적 동역학에 대한 정보를 제공하며 이를 통해 소자 주변의 나노 환경을 예측하는 일이 가능해진다. 또한 여기 공초점 동시성 측정법을 이용하면 단분자 시스템에서 방출되는 광자 효율에 대한 정보를 얻을 수 있다. 상대적으로 센 펄스 레이저 광원을 이용하여 여러 개의 형광체를 가지는 단분자를 여기 시키면 분자내에 두 개 또는 그 이상의 엑시톤이 형성된다. 발광 광자를 빔 분배기를 이용하여 반으로 나누어 주고 이를 두 개의 검출기로 각각 검출하면 광자가 두 검출기에 도달하는 시간차에 대한 분포를 얻게 된다. 이러한 분포를 이용하여 여러 개의 형광체를 가지는 단분자 시스템에서 일어나는 Singlet-Singlet Annihilation 과정을 예측할 수 있고 이로부터 분자내의 여기 에너지 전달 효율에 대한 정보를 얻을 수 있다.

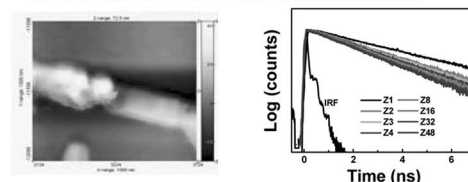
• Fl. Intensity Trajectory & Spectra



• Coincidence Measurement

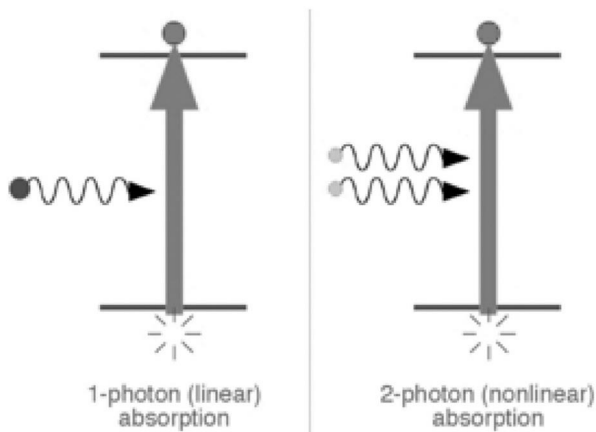


• AFM & TCSPC Measurement



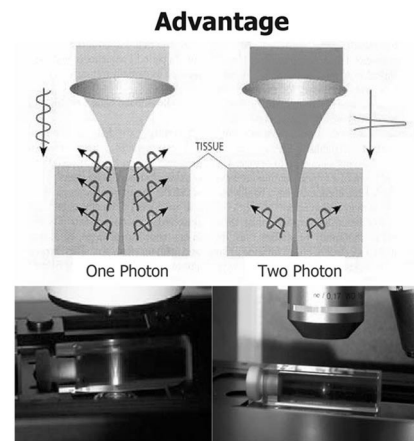
Comparative Study for Two Photon Absorption Properties of Various Porphyrin Arrays and Expanded Porphyrins

최근 이광자 흡수 효율을 높이는 유기 물질들에 대한 비선형 광학 성질 연구는 빠른 시간 분해능을 갖는 빛을 이용하여 활발히 이루어지고 있다.

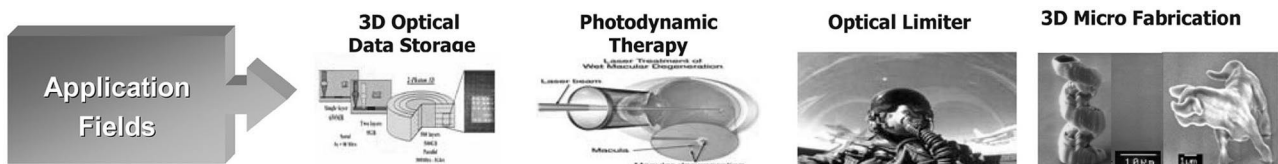


이광자 흡수 효율이 높은 유기 물질은 3차원 정보저장, 광 역학 치료, 광 세기 제한, 3차원 나노 미세물 제작 등 다양한 응용분야에 가능성을 높이고 있어 그 연구에 대한 집중도가 매우 높다. 이광자 흡수현상이란 3차 비선형 공명 과정으로 대부분의 물질에서 관찰되는 단일광자 흡수 현상(강한 레이저 빔을 물질에 조사할 때 바닥상태에서 한 개의 광자를 흡수하여 여기 상태가 되고 다시 같은 파장의 빛을 내며 바닥상태로 되돌아오는 현상)과는 달리 두 개의 광자를 동시에 흡수하여 여기 상태가 되고 약간의 에너지를 잃은 후에 흡수될 때의 에너지보다 더 높은 에너지의 광자를 방출 (형광)하며 바닥상태로 돌아오는 현상을 말한다. 강한 에너지를 갖는 단파장의 빛을 어느 세포 조직에 조사하게 될 때 그 에너지로 인하여 피부 조직에 손상을 입힐 수 있지만 보다 낮은 에너지의 장파장의 빛을 사용하게 되면

조직에 손상을 줄임은 물론 선택적으로 초점거리를 조절함은 물론 세포 표면을 더 쉽게 통과할 수 있고 정확하고 원하는 위치의 암세포를 제거할 수 있다는 장점이 있다. 또한 빛을 이용한 저장장치에 이광자 흡수 현상을 이용하면 정보의 저장면적이 기존의 2차원에서 3차원으로 확장 되면서 1 cm³의 공간에 수 테라 바이트의 큰 정보 저장용량을 실현할 수 있다. 본 연구단은 비선형광학 특성을 보이는 물질을 개발하기 위해 위와 같은 open aperture z-scan 장치를 자체 기술로 구현하였다. 본 장치는 Ti:sapphire 레이저 증폭기를 이용한 5kHz 반복율과 130 fs pulse 를 갖는 800 nm의 광원을 사용하며(Spectra Physics, Hurricane) X TOPAS (Travelling-wave Optical Parametric Amplifier of Superfluorescence)를 통하여 다양한 파장(600~2400nm)으로 변환이 가능하다.

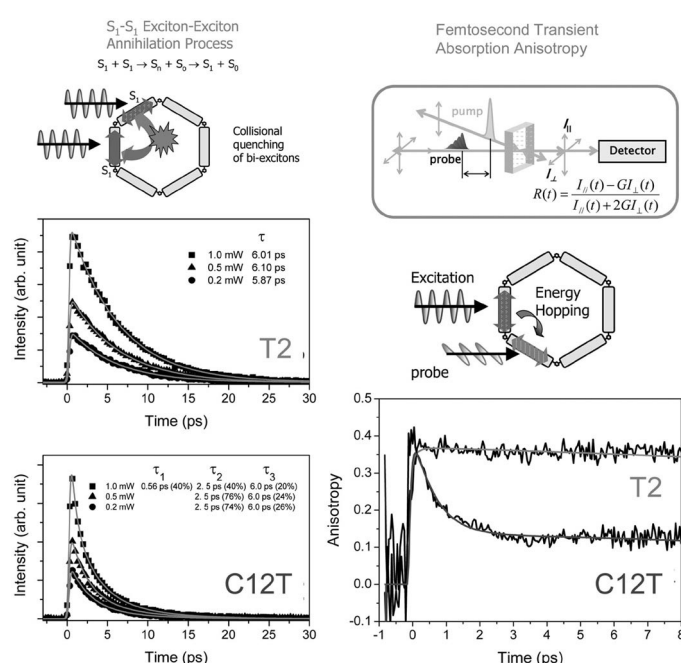
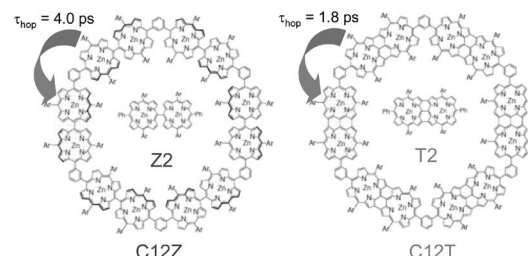


이러한 다양한 파장 조절 기술은 초기에는 UV/Vis 영역에서 많은 흡수를 보이던 초기 비선형 광학 물질을 넘어서 최근 많이 합성되고 있는 포피린을 중심으로 한 근적외선 영역에서 흡수를 보이는 다양한 분자 까지도 알맞은 파장으로 비선형 광학적 특성을 밝히는데 아주 유용하다. 최근에는 단일 포피린을 중심으로 다양한 포피린 배열을 갖춘 유기물이 합성되어지고 4개의 피롤링을 시작으로 피롤링을 하나씩 늘려감에 따른 구조적 변화와 π -전자 공액길이에 따른 aromaticity(방향성)와 anti-aromaticity(반방향성)의 확장된 포피린의 종류가 다양하게 합성되어짐으로 그에 관한 비선형광학 성질과 여기상태에서의 광동역학적 성질을 비교함으로써 포피린을 통한 연구가 좀더 응용 가능성에 가깝게 다가갈 수 있도록 본 연구단에서는 다양한 연구를 실행하였다.



Excitation Energy Hopping Processes in Hexagonal Prismatic Porphyrin Array

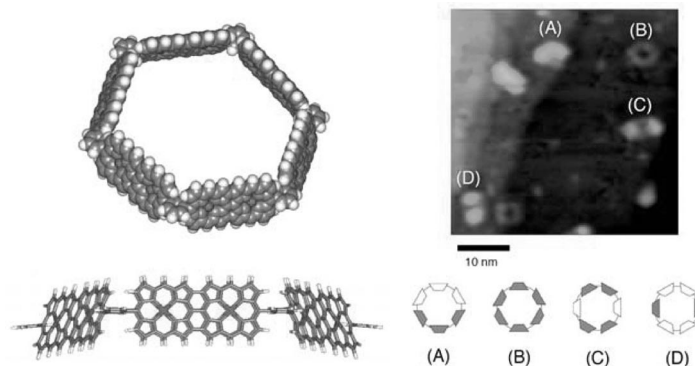
자연계의 광합성 빛-모으개 (light-harvesting) 안테나 분자 시스템은 매우 효율적이고 빠른 에너지 전달현상을 나타내고 있으며 이를 모방하여 인공광합성 분자를 고안하는 연구는 분자전자소자의 개발에 있어 매우 중요한 역할을 한다. 이런 인공 광합성 분자 시스템은 공유 결합성 연결과 비공유 결합성 연결을 이용한 두 가지 방법으로 합성되었고, 해당 시스템에서 일어나는 에너지이동의 속도와 구조 및 엑시톤 상호작용과의 관계에 대해 연구하였다.



meso-meso, beta-beta, beta-beta 상 중연결된 포피린 이합체 (T2)와 6개의 T2가 meta-phenylene으로 연결된 원형 포피린 (C12T)에서 일어나는 들뜬 에너지 이동 (EEH)에 대한 실험을 여기광 세기 변화에 따른 펄스초 순간 흡수 분광법과 비등방성 소멸 실험으로 연구하였다. 전자의 경우 여기광의 세기를 증가시키면 흡광체가 하나인 T2의 경우 순간흡수 소멸 시간은 변하지 않으며 단지 신호의 세기가 커지지만 한다. 반면에 흡광할 수 있는 유닛이 6개인 C12T의 경우 여러 개의 들뜬 엑시톤이 형성될 수 있고, 들뜬 상태의 수명 내에서 분자내에서 이동하면서 충돌을 하여 그 결과 부가적인 소멸 과정 (2.5 피코초)이 나타난다. 순간 흡수 비등방성 실험에서는 전이 쌍극자 모멘트의 변화를 실시간으로 관측할 수 있는데, 분자의 크기가 크므로 회전확산 (나노초 이상)은 관측되지 않으며, 다흡광체인 C12T에서는 에너지이동에 의한 변화 (0.63 피코초)만이 관측가능하다.

그러나 이러한 현상은 단량체인 T2에서는 관측할 수 없다. 두가지 실험을 통해 얻은 소멸시간을 이론적인 모델링을 하면 에너지이동 시간은 대략 1.8 피코초로 얻어지며, 서로 상이한 두 분광학적 방법이 같은 결과를 예측하여 준다. 이전에 연구하였던 meso-meso 단일결합된 포피린 원형배열 (C12Z)에서는 4 피코초가 얻어졌는데 이보다는 두배 이상 빠른 결과이다. 이는 Förster가 제안한 공간이동을 통한 에너지 전달과 함께, Dexter가 제안한 화학결합을 통한 에너지 전달이 매우 효율적으로 일어나고 있음을 알려주며, 정상상태 흡수 스펙트럼에서 보인 추가적인 밴드이동과도 부합하는 결과이다.

양자계산을 통한 구조에서도 평면적으로는 육각형이지만 옆에서 보면 사다리꼴인 매우 이상적인 단단한 구조체로서, T2 유닛간 phenyl group을 통한 전자적 상호작용이 있음을 알 수 있고, 주사전자 현미경을 통한 이미지로서 다양한 구조 이성질체가 존재함을 알 수 있었다. C12T는 근적외선영역에서 분자내 에너지 전달이 매우 효율적이고 빠르게 일어나기 때문에, 근적외선 영역의 빛-모으개 및 에너지 전달용 분자전자소자로서의 응용가능성이 매우 높으리라 사료된다.



Interrelation between Biradical Corrole dimer and Nonlinear Optical Property

Doubly-linked free-base corrole dimer는 내부에 cyclooctatetraene (COT)을 중심으로 두 개의 corrole이 연결된 구조를 하고 있다. Hückel rule을 만족하는 각각의 corrole은 anti-aromatic COT를 경계로 두 개의 구분된 전자 궤도를 보이는데, oxidized form이 되면서 두 corrole의 전자 궤도가 변형되며 하나의 분자로 행동하게 된다.

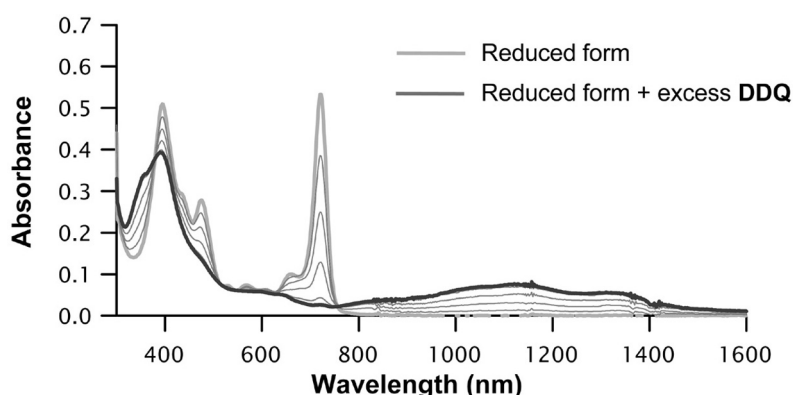
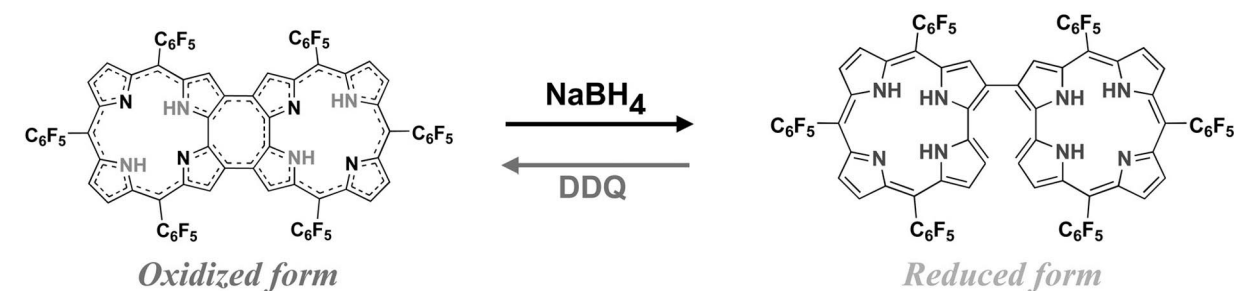


Figure 1. Titration spectra of doubly-linked corrole dimer with DDQ.

Oxidized form과 reduced form은 각각 환원제와 산화제를 이용해 변환이 가능하다. Reduced form은 B-like 그리고 Q-like band를 갖는 corrole monomer와 유사한 특성을 보이지만, oxidized form은 Q-like band가 사라지면서 800~1400 nm 부근에 넓은 흡수 밴드를 보이고 있다. 이러한 흡수 스펙트럼의 변화는 oxidation form에서 biradical이 형성되면서 나타나는 변화로서 COT에 의해 차단되던 π -전자 공유가 radical에 의해 가능해 지면서 나타나는 변화로 볼 수 있다.

양자계산을 통해 두 개의 전자 중에서 down spin을 나타내는 β -전자는 corrole 오비탈의 특성을 잃어버리고 COT를 중심으로 길게 확장된 π -전자 배치를 확인할 수 있다. 이러한 radical은 paired 전자에 비해 높은 전자 이동성을 갖고 쉽게 들뜨는 특성을 가지고 있기 때문에 전자 분극율(polarizability)을 증가시켜 분자의 비선형 광학 특성을 크게 해준다. 따라서 radical를 갖는 oxidized form과 일반적인 reduced form을 비교해 radical이 분자의 비선형 특성에 미치는 영향에 대한 정량화된 연구와 radical이 분자의 들뜬 상태에서 어떤 역할을 하는 지에 대한 시간 분해 분광학적 연구가 수행되고 있다.

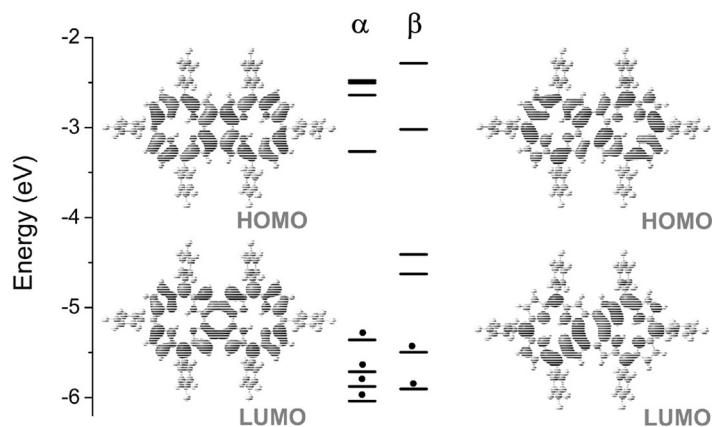
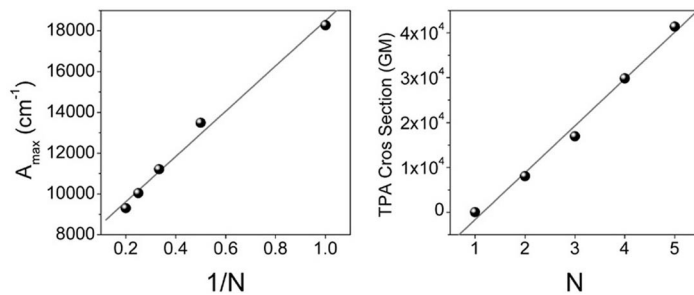
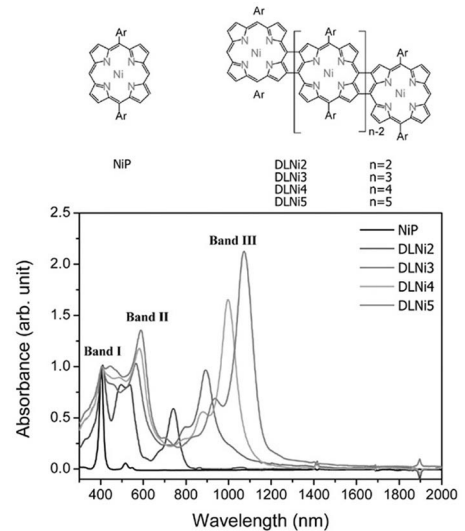


Figure 2. MO structures and energy levels of HOMO and LUMO of oxidized corrole dimer.

Oxidized form은 corrole 내부에 수소 두 개가 있어 수소간 상호 반발에 의한 상호 반발력이 없어 planarity가 좋고, 특히 COT를 통한 전자 공유로 인해 8개의 pyrrole이 한 평면상에 배열되어 있다. Reduced form은 강한 S_1 형광을 보이지만, oxidized form은 전혀 형광을 보이지 않아 S_1 lifetime이 매우 짧고 이는 radical에 의한 활성화된 charge transfer (CT) 밴드를 통해 바닥상태로 빠르게 에너지를 잃는다는 것을 알 수 있다. 양자 계산을 통해 1200 nm 부근에 관찰되는 넓은 흡수밴드는 β -전자의 전이가 주된 흡수의 원인이라는 것이 밝혀졌고, 이는 four-orbital model로 설명되는 corrole의 전이와는 차별화된 전자 전이 상태가 biradical에 의해 형성되는 것을 보여준다.

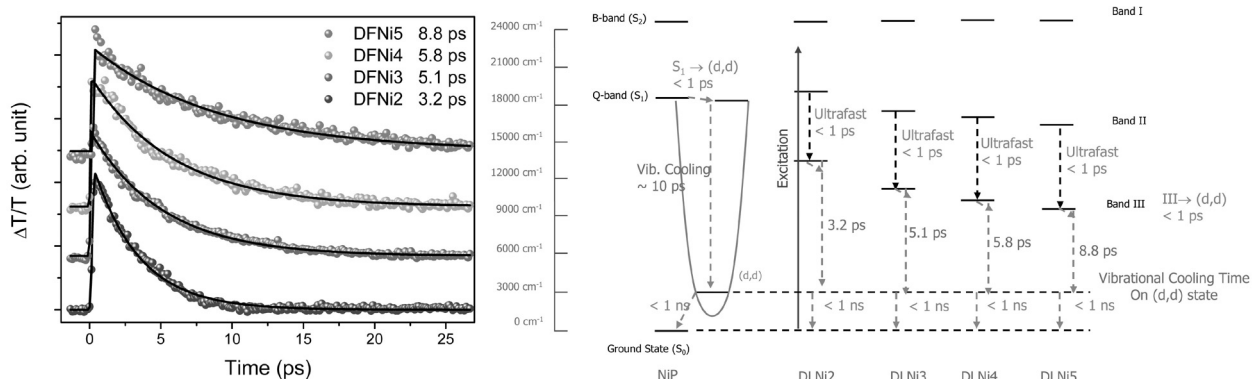
Photophysics of Meso-beta Doubly Linked Ni(II) Porphyrin Arrays

자연계의 광합성 빛-모으개 (light-harvesting) 안테나 분자 시스템은 매우 효율적이고 빠른 에너지 전달현상을 나타내고 있으며 이를 모방하여 인공광합성 분자를 고안하는 연구는 분자전자소자의 개발에 있어 매우 중요한 역할을 한다. 이런 인공 광합성 분자 시스템의 또다른 응용영역으로 이광자 흡수 현상이 있는데, 포피린을 기본으로 하는 분자시스템을 이용하면 매우 큰 이광자 흡수계수를 얻을 수 있다. 본 연구단에서는 **meso-meso, beta-beta** 상중으로 결합된 포피린 분자배열에서 10^5 이상의 매우 큰 값을 얻었지만, 단일광자 흡수에 의한 효과가 어느 정도 포함된 값이었다. 이러한 효과를 배제하기 위한 새로운 분자 시스템인 **meso-beta** 이중결합된 포피린 분자배열 (DLNi*n*, *n* = 2 ~ 5)에 대해 이광자 흡수현상 및 에너지 소멸 동역학에 대한 연구를 시도하였다. DLNi*n*은 분자가 길어짐에 따라 Q-밴드 (band III)의 흡수영역이 근적외선 영역으로 이동하는데 이것은 효과적인 π -전자의 비편재화의 증가에 기인 한 것으로, 배위된 금속 이온의 종류와 무관하며, Q-밴드의 위치가 $1/N$ (*N*은 포피린 단량체의 개수)에 비례하는 **particle-in-a-box** 모델에 의해 잘 설명되어진다.



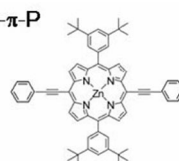
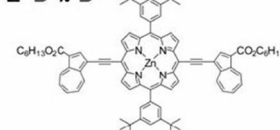
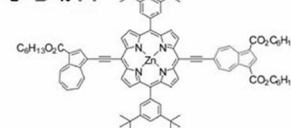
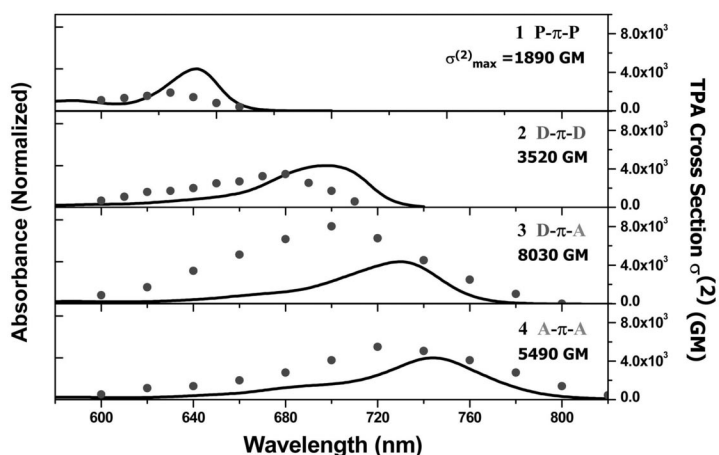
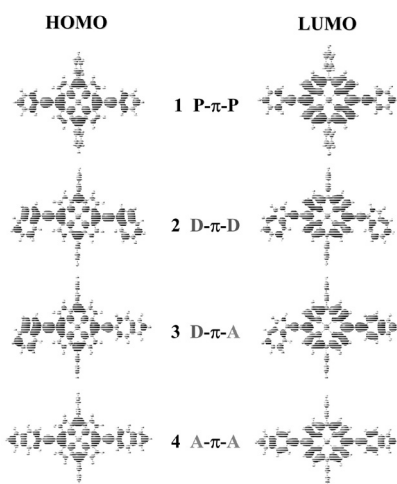
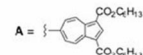
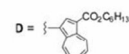
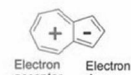
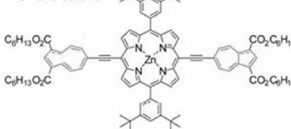
Open-aperture 펄스초 Z-scan 방법을 이용하여 얻은 이광자 흡수계수 (Q-밴드 이광자 광여기)는 분자길이가 늘어남에 따라 증가한다. 특히, 오합체의 경우 41000 GM의 값을 나타내며, 단량체 하나당 값으로 환산하면 약 8000 GM으로 지금까지 보고된 π -공액된 분자시스템 중 가장 큰 값을 나타내준다. 이는 비선형소자로 응용하기에 아주 적당한 분자 시스템이라 할 수 있다.

이광자 흡수현상과 에너지 소멸현상과의 관계를 밝히기 위해 순간흡수 분광법을 이용한 결과, 분자의 크기가 커짐에 따라 에너지소멸시간이 3.2에서 9 피코초로 느려지는 것을 확인하였다. 이것은 광여기에 의해 생성된 가장 낮은 단일항 준위의 소멸시간이 아니라 중심에 배워된 니켈이온에 의한 (d,d) 준위에서 일어나는 진동에너지 쿨링(cooling)에 의한 동역학에 해당한다. 니켈 포피린의 경우 (d,d) 준위의 진동에너지 쿨링이 수 피코초 동안 일어난 후 다른 전하이동 (charge transfer) 준위를 거쳐 삼중항 (π,π^*) 준위에서 수백 피코초 내에 바닥상태로 에너지가 소멸되기 때문이다. 이론적 계산결과를 토대로 에너지 소멸 메커니즘을 아래그림과 같이 나타낼 수 있으며, 다양한 (d,d), 전하이동, 삼중항 (π,π^*) 준위는 에너지 소멸 현상에서 중간 상태로 작용은 할 수 있지만, DLNi*n*에서의 증가된 이광자 흡수현상에는 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있었다. 따라서 증가된 이광자 흡수현상은 오직 포피린 분자배열의 π -공액길이에 의한 효과라 할 수 있고 중심 금속 이온은 별로 영향을 끼치지 않음을 알 수 있었다.



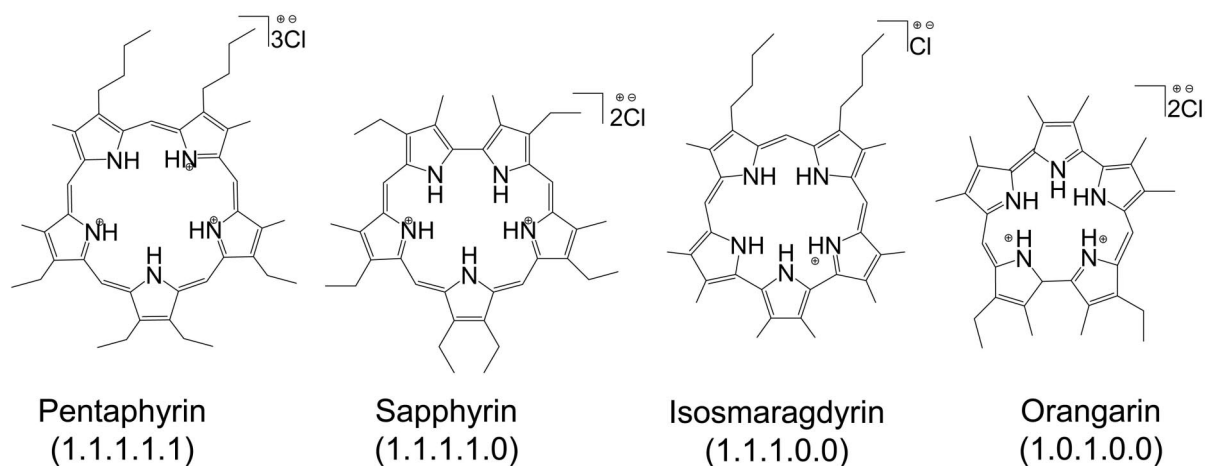
Charge Transfer Induced Enhancement of near IR Two-photon Absorption of 5,15-bis(azulenylethynyl) zinc(II) porphyrins

이광자 흡수 현상은 3차원 정보저장, 광세기 제한, 3차원 나노 미세물 제작 등 많은 응용 분야로 인해 현재 큰 관심이 모아지고 있는 연구 분야이다. 알려져 있는 포피린 단량체에서 나타나는 이광자 흡수 현상에 대한 횡단 면적 (cross section) 값은 100 GM 정도의 작은 값을 가진다. 하지만 이러한 포피린 분자 구조에 π 전자의 conjugation을 증가 시키거나 혹은 전자 구조의 변형을 가하는 등의 일정한 변화를 통해 포피린 분자 유도체들은 높은 이광자 흡수 현상을 보이고 있다. 따라서 현재 과학계에서는 이러한 현상에 대한 활발한 논의와 연구가 진행 중이다. 이번 연구에서는 이러한 연구의 일환으로 포피린의 양단에 전자 주개(electron donor)와 전자 받개(electron acceptor)를 다양하게 배열시키고 원래 분자가 가지고 있는 전자적 성질에 변화를 주었을 때 나타나는 이광자 흡수 현상의 변화를 관찰하고자 하였다. 보다 자세히 말해 아줄렌 (Azulene) 분자를 포피린 메조 위치에 연결한 분자 시스템을 합성하였고 이에 대한 영향을 확인할 수 있었다. 아줄렌 분자의 경우 오각형과 칠각형의 탄소 구조의 결합으로 형성된 구조인데 5각형 링의 경우는 전자가 풍부하여 전자 주개로서의 성질을 가지며 7각형의 경우 전자가 부족하여 전자 받개로서의 성질을 가지게 되는 것으로 알려져 있다.

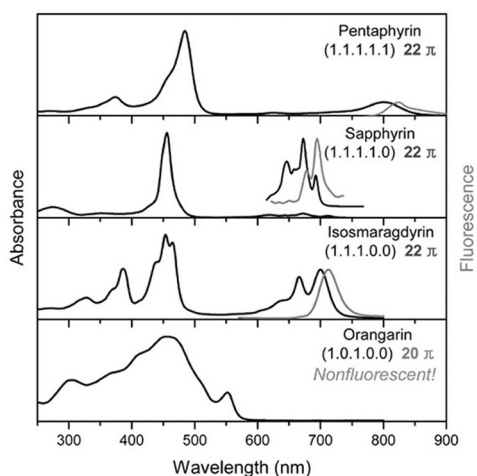
1 P- π -P2 D- π -D3 D- π -A4 A- π -A

따라서 아줄렌 분자의 접합 위치를 조절하면 포피린 분자를 π 전자 중심체 (π electron center)로 이용한 Donor- π -Donor, Donor- π -Acceptor, Acceptor- π -Acceptor 분자를 구성 할 수 있다. 이러한 분자 구조체들은 위의 그래프에서 확인 할 수 있듯이 1번에서 4번으로 갈수록 체계적인 π -conjugation의 확장을 보여주며 이로 인한 이광자 흡수 현상의 증가를 확인 할 수 있다. 하지만 3번 분자의 경우 π -conjugation의 확장 순서와 다르게 가장 큰 이광자 흡수 현상(9800GM)을 보인다. 이는 Frontier Orbital의 모양에서 알 수 있듯이 분자가 가지고 있는 강한 CT character가 중요한 역할을 담당한다. 즉, 3번 분자의 경우는 π -conjugation의 확장 뿐만이 아니라 CT transition의 상보적 역할로 인하여 가장 강한 이광자 흡수 현상을 보이는 것으로 생각할 수 있다. 이 연구를 통해 CT character와 이광자 흡수 현상간의 상관 관계를 효과적으로 파악 할 수 있었으며, 이러한 결과들은 이광자 흡수 현상을 연구하는데 중요한 지표가 될 것으로 생각된다.

Aromaticity in Pentapyrrolic Expanded Porphyrins



확장 포피린 중 가장 작은 펜타피롤 유도체 (Pentapyrrolic Macrocycle or heteroannulene)는 음이온 결합, 광센서 및 비선형 광학 물질로의 응용적 측면 뿐만 아니라 파이 전자의 개수에 따른 물성 변화 등의 순수 과학적 측면에서도 폭넓은 관심을 받아왔다. 그러나 펜타피롤 상호간의 체계적인 비교 연구는 거의 예를 찾아 보기 힘들다. 이에 본 연구단에서는 대표적 펜타피롤 체계인 Pentaphyrin (1), Sapphyrin (2), Isosmaragdyrin (3) 및 Orangarin (4) 유도체를 통하여 분광학적 물성과 방향성에 대해 탐구하였다. 위의 네 분자는 모두 단일 용매 (dichloromethane)에 녹일 수 있고, 한 분자 내의 모든 피롤 고리가 공명 구조를 취하여 같은 화학적 환경에 놓여 있어 상호 비교가 용이한 장점이 있다. 또한 1, 2, 3 분자가 파이 공액 경로에 22 개의 파이 전자를 포함하는 반면, 4 분자의 경우 20 개의 파이 전자를 포함하고 있어 Hückel의 $[4n+2]$ 규칙에 따라 방향성 혹은 반방향성을 띠게 되므로 정량적 방향성 연구에 용이하다.



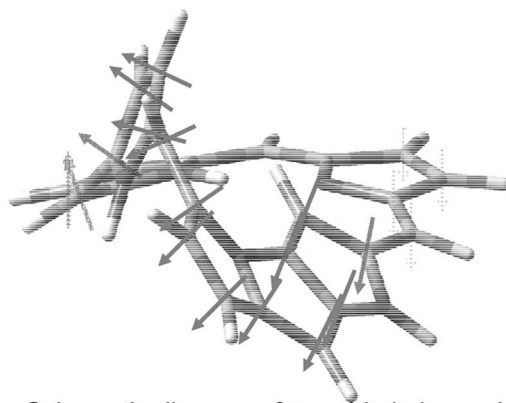
왼쪽 그림은 1-4 분자를 dichloromethane에 용해 시켜 측정한 정류 상태 흡수 스펙트라이다. 22 개의 파이 전자를 포함하는 1-3 분자의 경우 파이 공액 길이에 따라 흡수 최대 파장이 달라지는 것을 확인할 수 있고 거울상의 형광을 관찰할 수 있다. 그러나 20 개의 파이 전자를 포함하는 4 분자의 경우 상대적으로 큰 HOMO-LUMO 에너지 간격을 보이며 흡수띠가 넓고 형광이 관찰되지 않는다. 이는 방향성(1-3)과 반방향성(4)의 흡수 스펙트럼을 보여주는 예로 볼 수 있다. 기존에 알려진 Koopmans' theorem에 따르면 방향성 분자 3에서 1으로 갈 수록 HOMO-LUMO 에너지 간격이 작아지면 분자는 더 무르게 되고 (molecular softness) 결국 더 polarizable 하다고 볼 수 있다. 흥미롭게도 이 경향성을 따라 이광자 흡수 계수 (two-photon absorption (TPA) coefficient)는 더욱 크게 측정되었다 (표). 또한 방향성의 척도인 NICS(0) 값도 이 경향성을 따랐는데, 이는 방향성과 TPA 값이 양의 상관 관계에 있다는 것을 뒷받침한다.

Molecule	πe^-	λ_{abs} (nm)	λ_{emi} (nm)	ΔE (cm ⁻¹)	τ_s (ns)	τ_s (μ s)	NICS (ppm)	$\sigma^{(2)}$ (GM)
Pentaphyrin (1.1.1.1.1)	22	801	830	436	>2.0	6.6	-16.2	3300
Sapphyrin (1.1.1.1.0)	22	712	716	78	2.43	14.9	-15.5	2900
Isosmaragdyrin (1.1.1.0.0)	22	700	713	260	2.40	6.8	-14.1	2700
Orangarin (1.0.1.0.0)	20	552	-	-	0.0087	-	+42.9	1200

왼쪽의 표에 네 개의 펜타피롤 유도체의 정류상태와 시간분해 흡수와 형광 시간 상수 특성 및 정량적으로 계산된 방향성을 정리하였다. NICS(0) 값은 파이 전자의 개수에 따른 방향성과 그 정도를 보여 주며 TPA 값도 이 경향성을 그대로 따르는 것을 알 수 있다.

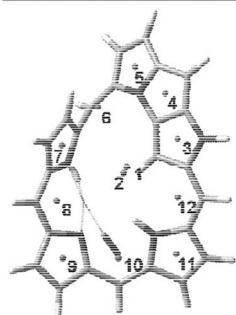
The Möbius Aromaticity and Measurement of Aromaticity with TPA

달린 고리 시스템에서의 분자의 방향성을 정량화 하는 방법에 대한 연구는 그 분자의 물리적 화학적 특성을 규명하기 위한 척도로써 다양한 방법이 시도되어 왔었다. 본 연구실에서 이미 distance dependence NICS 계산을 통하여 확장된 포피린 시스템에서의 방향성을 정량화하여 주목받은바 있으며 더욱 다양한 시스템으로 연구를 수행하여 분자의 방향성과 비선형 광학적 특성과의 연관성을 찾고자 시도하였다. 그 연구의 일환으로 최근 22개과 24개의 파이 공액전자로 이루어진 N-fused pentaphyrin의 방향성을 연구하던 중 치환기의 변화로 이루어지는 분자의 뒤틀림 현상에 주목한 결과 안정한 상태로 존재하는 가장 작은 분자에서의 외비우스 방향성을 최초로 발견하였다. 이 분자의 방향성은 NICS 계산결과를 비롯하여 조화 진동자 모델을 기반으로한 HOMA 계산 결과 및 파이전자의 비편재화 정도를 나타내는 척도인 Bond Length Alternation 등을 통하여 검증되었으며, 이광자 흡수 현상 또한 이 결과들과 잘 일치함을 확인하였다.



Schematic diagram of 2p-orbital phase shift in F[24]N-fused pentaphyrin

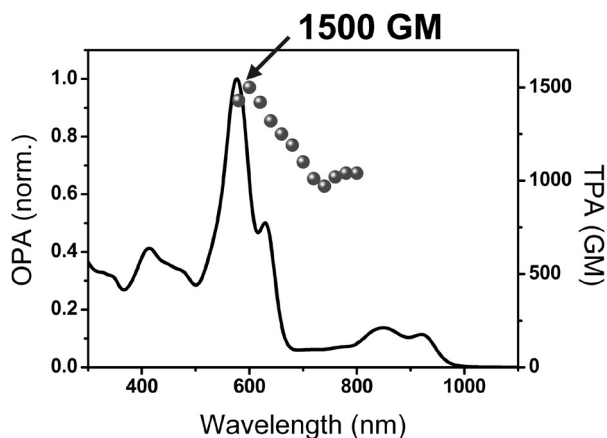
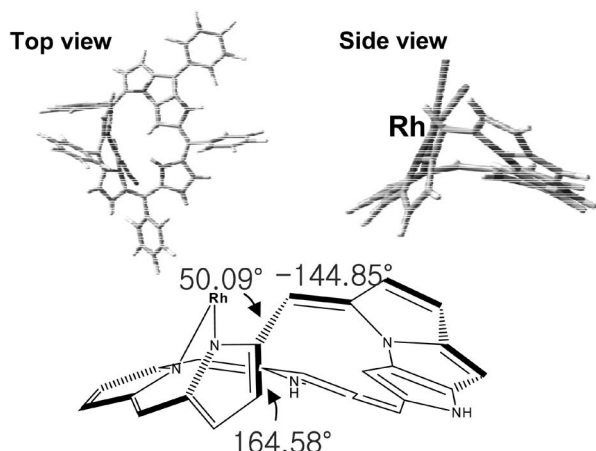
NICS (Nuclear Independent Chemical Shift)



Bq	NICS	Bq	NICS
1	-16.14	7	-5.30
2	-13.01	8	-10.21
3	-10.08	9	-9.04
4	-17.46	10	-15.48
5	-11.31	11	-11.44
6	-8.94	12	-15.48

pentaphyrin 으로부터 만들어질 수 있는 N-fused pentaphyrin 은 피롤 고리 2개가 합쳐지면 구조적으로 고정될 수 있는 부분이 형성되며 나머지 부분들은 자체적 에너지를 줄이며 반 방향성을 벗어나기 위하여 휘어지게 된다. 이 결과 분자는 한 면이 반복되는 외비우스 띠 구조의 형태를 띠게 되며 Rh 금속결합을 통하여 외비우스 방향성이 완성되게 된다. 외비우스 방향성은 핵자기공명 스펙트럼에서 확연히 드러나며 분자를 자기적 특성이 양자계산을 통하여 얻어진 NICS 결과에서도 분자의 중심과 국지적인 방향성에서도 큰 음수 값을 보임으로써 그 특성이 확인되었다.

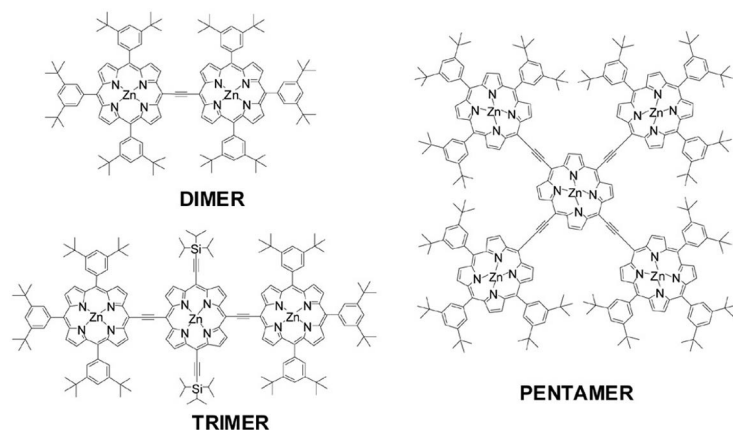
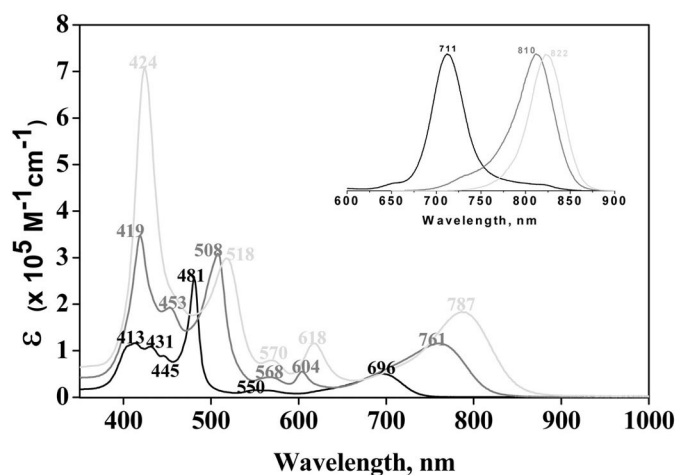
이광자 흡수 값을 측정한 결과 반방향성을 나타내는 Cl[24]NFP에서는 750 GM이 얻어진 것에 반해 Rh[24]NFP에서는 Hückel 방향성을 나타내는 Rh[22]NFP과 비슷한 값이 1500 GM 이 얻어져 이광자 흡수 현상이 분자의 방향성을 측정할 수 있는 또 하나의 척도가 될 수 있음을 확인하였으며 이론적으로 뒷받침할 수 있는 연구가 활발히 진행 중이다.



Two-photon Absorbing Conjugated Multiporphyrin Ladders and Prisms

이광자 흡수 효율이 높은 물질은 광역학 치료, 3차원 정보저장, 광세기 제한, 3차원 나노미세물 제작, 공초점 현미경 등 많은 응용분야에 대한 가능성이 밝혀졌다. 이에 대한 응용 가능성을 위해 이광자 흡수체인 포피린에 대한 연구를 수행하고 있으며 TPA의 최대 효율성을 달성하기 위하여 서로 다른 치환체를 연결하고 π -공액길이를 확장시키는 연구를 수행하고 있다. 이번 연구는 Taiwan의 National Chung Hsing University의 Chen-Yu Yeh 교수와의 공동연구를 통해 ethyne 연결로 π -공액길이가 크게 확장된 multiporphyrins를 합성하였다.

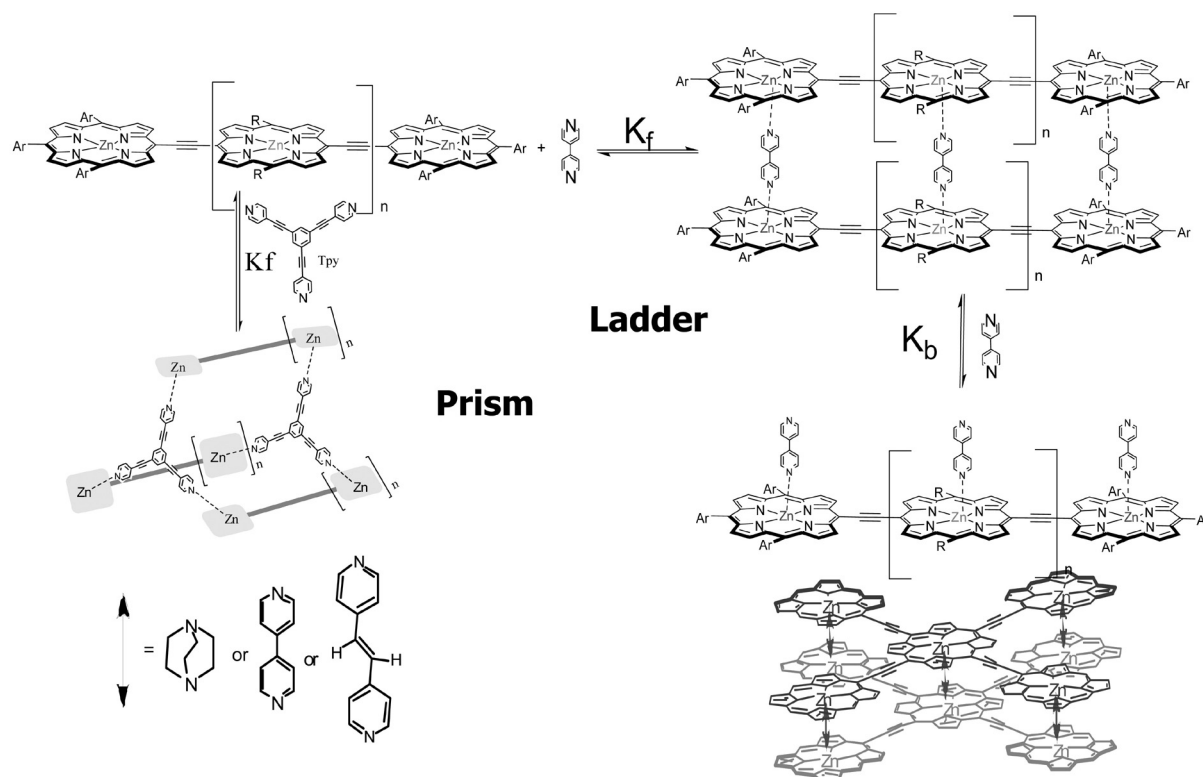
포피린 단량체 사이의 딱딱한 acetylene 연결고리는 포피린 단량체 사이의 확장된 전자적 상호작용과 엑시톤적 상호작용에 영향을 미친다. 이에 따라 Q-band의 정류상태 최대 흡수 와 형광 밴드가 장파장 이동하는 것을 확인하였고 HOMO-LUMO 사이의 에너지 차이가 감소했음을 알 수 있다. 비선형 광학 성질에서 π -공액길이에 의한 효과를 알아보기 위해서 fs Open Aperture Z-scan 방법을 사용하여 분자의 TPA value를 측정하였다. 그 결과, monomer에서 pentamer로 갈수록 π -공액길이가 세기가 증가함에 따라 TPA



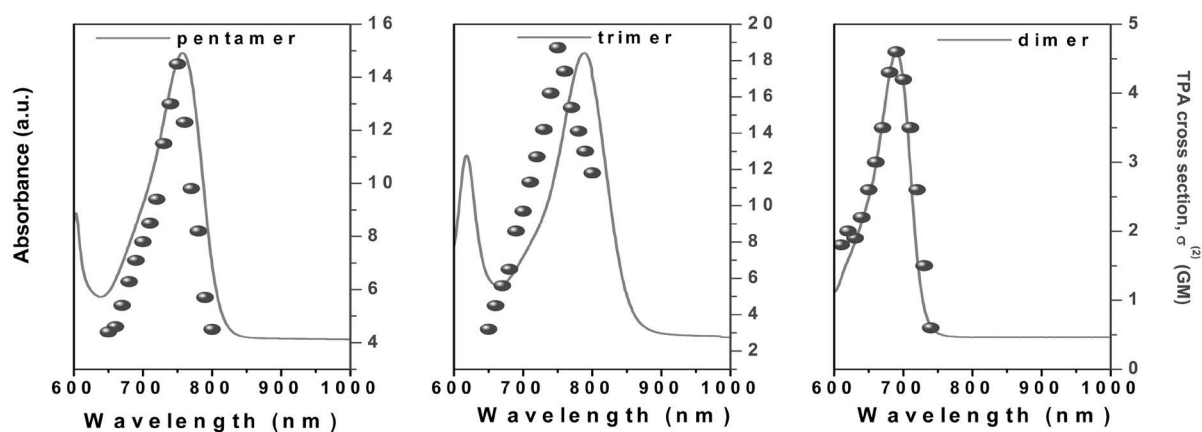
value가 $\sim 100\text{GM}$ 에서 $\sim 18000\text{GM}$ ($1\text{GM} = 10^{-50}\text{cm}^4\text{s}^{-1}\text{photon}^{-1}$) 까지 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 pentamer의 경우 서로 근접한 곳에 위치한 β -수소원자와 phenyl groups에 치환된 meso-t-butyl groups 사이의 입체적 상호작용이 multiporphyrins의 뒤틀린 구조에 영향을 미치기 때문에 TPA 효율을 감소시키게 된다. 따라서 이러한 뒤틀림을 감소시키는 방법으로 사다리 구조 (ladder or duplex structure)를 형성하기 위하여 분자 길이가 다른 4,4'-bipyridyl과 1,4-diazabicyclo[2.2.2] octane 과 같은 ditopic 전자주개 리간드를 사용하여 리간드 중합에 의한 초분자 자기조립을

수행하였다. 또한 Y 형태의 triethynylpyridylbenzene 분자를 사용하여 초분자 프리즘(prism)을 형성하게 되었다. 이를 통해 초분자 구조와 리간드에 의해 유도된 multiporphyrins의 평면성이 비선형 광학 성질에 미치는 영향을 연구하게 되었다. Multiporphyrin solution에 리간드를 첨가하여 초분자 구조를 형성할 수 있었으며, 초분자의 높은 결합상수를 통해 안정된 구조를 가짐을 확인하였다. pentamer에서 meso-치환체 사이의 입체적 상호작용의 이점을 고려하여, 리간드 길이의 다양화를 통해 포피린 macrocycle에 대한 평면성을 효율적으로 조절할 수 있었으며, 또 pentamer를 평면 구조로 만들기 위한 이상적인 분자길이는 bipyridine임을 알아내었다. 상대적으로 분자길이가 짧은 DABCO는 inter-strand π - π 상호작용으로 3:10 복합체를 형성하였다. Trimer의 TPA value 증가는 향상된 π -공액길이에 근거함을 알 수 있다. 그러나 pentamer의 경우 초분자 구조형성으로 평면성이 향상되었지만 TPA value 감소는 감소하였다. 서로 수직인 두 축을 따라 π -전자의 비편재화가 경쟁적으로 일어나기 때문이다. 다차원적으로 π -전자의 비편재화 효율을 증가시키는 것보다 분자의 필수적인 기능성과 π -전자의 비편재화 방향성의 조절이 더 중요함을 알았다. 또한 프리즘 형태의 multiporphyrin 사이의 inter-strand multiporphyrin 상호작용은 분자의 TPA 성질에 큰 영향을 미치지 못함을 알 수 있다.

Schematic figure of Supramolecular Self-Assembly using porphyrin macrocycles and various ligands

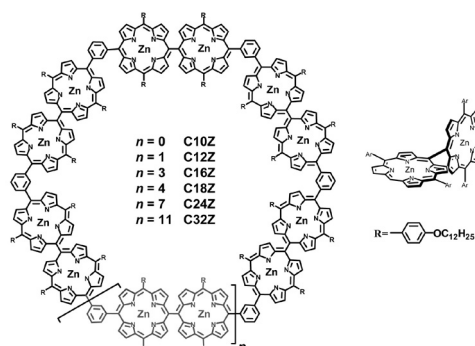


결론적으로 이번 연구를 통해 포피린 단량체의 수가 증가함에 따라 최대 TPA value가 장파장 이동하는 것을 보았고, 분자의 π -공액길이의 확장이 TPA 성질에 영향을 주는 것을 알았다. 그리고 정류상태 흡수 밴드 (Q-band)에서 이광자 전이과정은 단일광자 전이과정과 같은 에너지를 가지고 일어남을 확인하였다. 예외적으로 pentamer의 최대 TPA value는 정류상태 흡수 밴드(Q-band)에 대해 단파장 이동하여 trimer의 최대 TPA value와 같은 파장에서 나타났다. 이것은 trimer의 이광자 전이 에너지와 일치한다고 해석할 수 있으며 pentamer의 TPA 성질은 전체 분자로의 π -전자 비편재화보다 기본적인 trimer unit에 기원함을 알 수 있다. 즉, TPA 성질에 π -공액길이의 확장이 더불어 방향성이 중요함을 알 수 있었다.



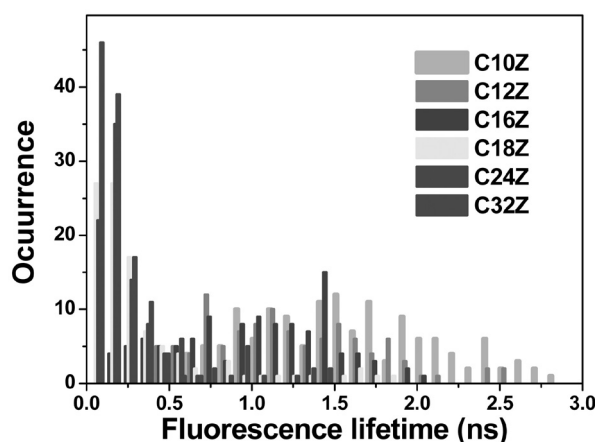
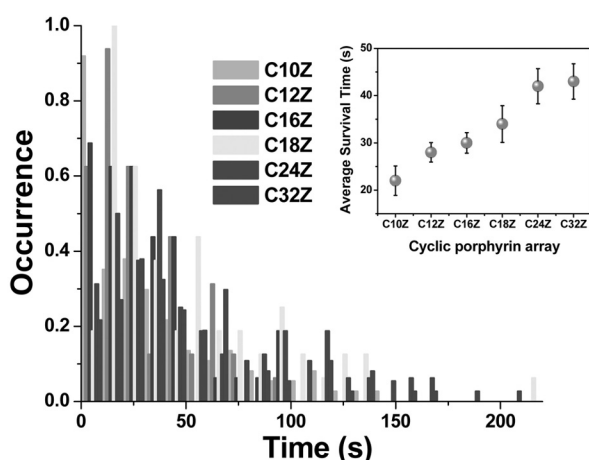
이와 함께 비선형 광학적 성질을 보다 체계적으로 연결하기 위한 연구를 진행 중이며 더 나아가서는 실생활에 응용이 가능한 비선형광학소자를 개발하기 위해 다양한 방법으로 접근하고 있다.

Excitation Energy Migration Processes in Cyclic Porphyrin Arrays by Single Molecule Spectroscopy



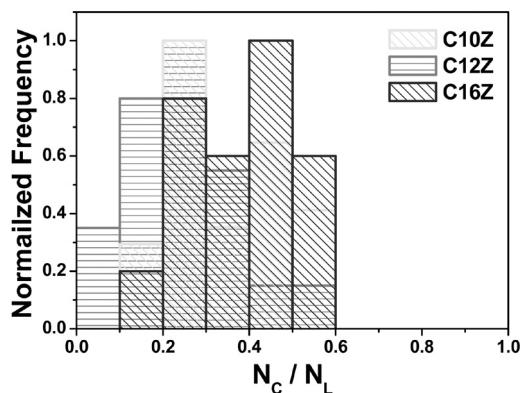
매우 빠르고 효율적인 여기 에너지 이동 현상이 일어나는 자연계 광합성 시스템 LH2 복합체가 클로로필 이분자체를 단위체로 하여 원형 구조를 이루고 있는 것에 착안하여 포피린 이분자체의 수가 단계적으로 증가하는 원형 포피린 어레이 시리즈(C10Z, C12Z, C16Z, C18Z, C24Z, C32Z)가 개발되었다. 이러한 분자 시스템이 실제적인 분자 소자로 응용되기 위해서는 고체 상태에서 단분자의 특성을 파악하는 것이 필수적이므로, 우리는 레이저 조사 공초점 현미경법을 이용하여 원형 포피린 어레이 시리즈에 대한 단분자 분광학 연구를 수행하였다.

여러 개의 형광체를 가지는 단분자 시스템의 시간에 따른 형광 세기의 추이(Fluorescence Intensity Trajectory)에서 형광 소멸 시간(Survival Time)은 형광을 방출할 수 있는 형광체의 수에 비례한다. 원형 포피린 어레이의 형광 소멸 시간 분포에서 어레이가 길어지면서 형광 소멸 시간이 증가하지만 점차적으로 포화되는 경향을 나타낸다. 이는 원형 포피린 어레이가 길어질수록 구조적인 유연성이 증가하여 비방사 과정(Nonradiative Process)이 증가하기 때문이다.



원형 포피린 어레이의 여기 상태 동역학을 관찰하기 위하여 시간상관 단일광자 계수법(Time-correlated Single Photon Counting)을 이용하여 형광 수명 시간(Fluorescence Lifetime)을 측정하였다. 어레이가 길어지면서 형광 수명 시간이 점차적으로 짧아지며 특히 C18Z, C24Z, C32Z는 형광 수명 시간 분포가 수백 피코초의 상당히 짧은 영역에서 나타난다. 이와 더불어 형광 양자 수율도 C12Z에서 가장 큰 값을 나타내고 어레이가 길어질수록 점차적으로 그 값이 감소한다. 이로부터 긴 원형 포피린 어레이들이 비방사 과정 경로를 상당히 많이 가지고 있음을 알 수 있다.

여기 공초점 동시성 측정법(Coincidence Measurement) 실험을 수행하여 원형 포피린 어레이의 여기 에너지 전달 효율을 비교하였다. 상대적으로 센 펄스 레이저 광원을 이용하여 여러 개의 형광체를 가지는 단분자 시스템을 여기시켰을 때 Singlet-Singlet Annihilation 과정이 효율 적으로 일어나면 N_c/N_L 값이 0에 가까워진다. C12Z는 가장 작은 N_c/N_L 값을 가지므로 Singlet-Singlet Annihilation 과정이 잘 일어나고 따라서 여기 에너지가 효율적으로 이동되는 것을 알 수 있다. 이는 원형 포피린 어레이에서 연결 다리로 사용된 1,3-phenylene이 포피린 이분자체를 120°로 연결하고 있어서 정육각형의 형태를 가지는 C12Z가 잘 정의된 단단한 구조를 가지기 때문이다.



연구단 구성

연구단장



Director Prof. Dongho Kim
dongho@yonsei.ac.kr

연구원



Post Doctor
Shanmugam Easwaramoorthi
moorthi@yonsei.ac.kr



Ph.D. Candidate Min-Chul Yoon
femtochem@yonsei.ac.kr



Ph. D Candidate Sung Cho
supersaint@yonsei.ac.kr



Ph. D. Candidate Zin Seok Yoon
zsyoon@yonsei.ac.kr



Ph. D. Candidate Jae sung Yang
ip8315@yonsei.ac.kr



Ph. D. Candidate Kil Suk Kim
911kks@yonsei.ac.kr



Ph.D Candidate Su Bum Noh
sbnoh@yonsei.ac.kr



Master Candidate Jong Kang Park
blueyann@yonsei.ac.kr



Master Candidate So Young
Jang jjangso@yonsei.ac.kr



Ph.D Candidate Jong Min Lim
austerritch@yonsei.ac.kr



Ph.D Candidate Hae Jin Yoo
yoohaejin@yonsei.ac.kr



Master Candidate Jae Yoon Shin
jyooni23@yonsei.ac.kr



Master Candidate Hye Ryun Lee
sptmxm3@yonsei.ac.kr

연구원 동정

본 연구실을 이끌고 있는 김동호 교수는 2006년 6월부터 Global 5-5-10 사업단장으로서의 취임하였다. 또한 2007년 8월 연세대학교에서 신설한 언더우드 교수에 선정되어 향후 3년간 석좌교수급 대우를 받게 되었다.

박미라 박사는 2006년 6월 27일 본 연구단에서 4년 6개월간의 박사과정을 마치고 약 8개월간의 박사 후 연구 과정을 수행한 후 2007년 3월 1일자로 (주)삼성전자 반도체 총괄 메모리 사업부에 취업 하였다.

Shanmugam Easwaramoorthi 박사는 2006년 9월 4일 본 연구단에 합류하여 현재까지 자기 조립 포피린 분자 집합체의 이광자 흡수 현상에 대한 연구를 수행 중이다.

박사 과정 연구원인 조성과 윤진석은 각각 2006년 12월 28일부터 2007년 1월 25일까지 그리고 2007년 5월 14일부터 6월 17일까지 국방의 의무를 위하여 논산 육군 훈련소에서 4주간의 기초 군사 훈련을 수행하였다.

박사 과정 연구원인 권정호는 2007년 3월 6일 부터 병역특례 업체인 (주)신코로 소속을 옮겨 3년간의 의무 복무를 수행중이다.

박사 과정 연구원인 권정호와 김길석은 2007년 2월 19일부터 2월 27일까지 교육인적자원부의 BK21 프로그램 및 Star-faculty program의 지원을 받아 일본 Tohoku 대학의 Osamu Ito 교수를 방문하여 flash photolysis 기술 및 분자의 삼중항 상태 측정에 대한 연구를 수행하였다.

박사 과정 연구원인 윤민철은 2007년 2월 19일부터 2월 26일 까지 교육인적자원부의 BK21 프로그램 및 Star-faculty program의 지원을 받아 일본 RIKEN (이화 학연구소)에서 Tahei Tahara 교수 연구실에 학생훈련생 (student trainee)의 자격으로 연수를 다녀왔다. 10 펨토 초 이하의 극초단 광파라메트릭 증폭기의 제작에 관한 교육을 받았다.

석사 과정 연구원인 박진희와 고미경은 2007년 2월에 석사 학위를 취득하여 각각 (주)하이닉스 CNC 제조 기술부와 (주)삼성전기 LCR 사업부에 취업하였다.

석사 과정 연구원인 노수범은 2007년 06월 26일에 "Various Strategies for Highly-Efficient Two Photon Absorption in Porphyrin Arrays" 라는 제목으로 석사 졸업시험을 통과하였다.

석사 과정 연구원인 박종강은 2006년 8월 24일부터

9월 3일 까지 일본 Tokyo University H. Imahori 연구실에서 포피린 분자를 이용한 인공 광합성 소자 제작에 관한 연구를 수행하였다.

임종민, 유혜진은 2007년 3월부터 석박사 통합과정으로 진학하여 임종민 연구원은 subporphyrin 유도체에 서의 전자 이동, 양성자 첨가에 의한 확장된 porphyrin series의 비선형 광학특성 및 방향성의 조절, porphyrin 이합체의 자기 조립에 대한 연구를 유혜진 연구원은 단일 PDI 분자의 광물성에 대한 연구를 하고 있다.

신재윤은 2007년 3월부터 석사과정으로 입학하여 산 첨가에 따른 7개의 피롤 고리로 이루어진 확장된 포피린의 광물성 변화 연구를 수행 중이다

이혜련은 2007년 7월부터 석사과정으로 본 연구실에 합류하여 포피린 유도체를 이용한 인공 광합성 소자의 광물성을 연구하고 있다.

연구단 활동

한국표준과학연구원은 연구소를 빛낸 자랑스러운 동문 상의 2006년 수상자로 김동호 연세대 교수를 선정했다고 밝혔다. 이 상은 표준과학연구소에 근무하다 퇴직한 동문 중 학계와 산업계 등에서 괄목할 만한 성과를 거둔 연구자에게 수여되며, 김동호 교수는 연구소 근무 시 세계 최고 수준의 초고속 현상 레이저 측정 기술을 개발한 공로로 본 상을 수상하게 되었다.

2006 화학의 해 기념 '화학을 빛낸 과학자 초청강연(부제 : 나의 화학 이야기)'이 대한화학회 주최로 2006년 12월 19일 한양대학교 한양 종합 기술 연구동 (HIT)에서 개최되었다. 이번 강연회에서는 본 연구실의 수장인 김동호 교수는 '찰나의 순간을 찾아 헤맨 20년' 이란 주제로 불모지와 같았던 국내 분광학 분야를 세계적인 수준으로 끌어 올린 과정을 발표하여 많은 청중들로부터 호응을 얻었다.

2007년 2월 본 연구실은 용평 리조트에서 연구실 MT를 실시하였다. 전 연구원이 참석한 본 행사를 통해 선후배들간의 우애를 돈독히 할 수 있는 기회로 삼을 수 있었으며 또한 서로간의 토의를 통해 애로사항 및 개선점에 대한 허심탄회한 대화가 이루어 지는 기회로 삼을 수 있었다.

김동호 교수는 2007년 6월 국내 유력 주간일간지인 주간조선에 "화학과 Global 5-5-10 선정"이란 제목으로 표지를 장식하게 되었다. 연세대측은 세계적 수준에 근접해 있는 특정 연구분야 등에 대하여 학교차원의 선택과 집중의 전략을 선언한 것이 한국 대학으로서는 처음 있는 일이라고 밝히면서, 이들 세계 최고수준의 연구 성과들은 한국 학계의 글로벌 경쟁력을 높이는 견인차의

역할을 하게 될 것으로 전망했다. 특히 이 프로젝트의 경우 본 연구실의 김동호 교수가 연세대 화학과를 대표하는 인물로 소개되었으며 연세대 화학과 김동호 교수는 연세대가 “노벨상에 가장 근접한 한국인 과학자”라며 간판 과학자로 내세우는 학자 중의 한 명이라고 공표했다.

본 연구실은 2007년 6월 16일 교수님과 졸업생, 재학생이 한자리에 모여 ‘제1회 초고속광물성제어 연구단 홈커밍데이’를 개최하였다. 이 행사에는 본 연구실의 수장인 김동호 교수님, 조선대학교 조대원 교수님, 서울대학교 정대홍 교수님, 경희대학교 양성익 교수님, 경희대학교 송재규 교수님, 기초 과학연구소 하정현 박사님, 삼성 코닝 신현중 선배님, 동양 제철 김덕윤 선배님, 주식회사 신코 권정호 선배님, 김천민 선배님, 삼성전자 박미라 선배님, 하이닉스 박진희 선배님, 삼성전기 고미경 선배님 등 본 연구실을 거쳐간 많은 선배들과 현재 연구실의 멤버들이 동참하여 행사의 취지를 빛내 주었다. 이 행사를 기점으로 하여 앞으로 일 년에 한번씩 정기적인 모임을 개최하여 사제지간의 정과 선후배간의 우정을 돈독히 쌓을 수 있는 좋은 기념일이 될 것으로 생각한다.

2007년 6월 29일 “특허청구범위의 해석과 특허제도”라는 주제로 특허 관련 교육을 실시 하였다. 본 교육을 통해 연구를 통해 얻어지는 특허 제도의 중요성을 파악하게 되는 좋은 기회가 된 것으로 사료된다.

2007년 8월 본 연구실은 백령도에서 연구실 MT를 실시하였다. 각자의 생각을 나눔으로서 우애와 화합을 다질 수 있는 기회였으며, 자연을 벗삼은 환경속에서의 토의를 통하여 앞으로의 연구 계획과 방향에 대해서도 다시 한 번 다잡을 수 있는 기회가 되었다.

국내 · 외 연구논문발표 (2006. 6-2007.)

1. Li Wei-Shi, Kil Suk Kim, Jiang Dong-Lin, Tanaka Hiroyuki, Kawai Tomoji, Jung Ho Kwon, Dongho Kim, Aida Takuzo “Construction of Segregated Arrays of Multiple Donor and Acceptor Units Using a Dendritic Scaffold: Remarkable Dendrimer Effects on Photoinduced Charge Separation” *Journal of American Chemical Society* **128**, 10527-15532 (2006)
2. Toshiaki Ikeda, Juha M. Lintuluoto, Naoki Aratani, Zin Seok Yoon, Dongho Kim, Atsuhiko Osuka “Synthesis of Doubly Strapped meso-meso-Linked Porphyrin Arrays and Triply Linked Conjugated Porphyrin Tapes” *European Journal of Organic Chemistry* **14**, 3193-3204 (2006)
3. Akhila K. Sahoo, Yasuyuki Nakamura, Naoki Aratani, Kil Suk Kim, Su Bum Noh, Hiroshi Shinokubo, Dongho Kim, Atsuhiko Osuka “Synthesis of Brominated Directly Fused Diporphyrins through Gold(III)-Mediated Oxidation” *Organic Letters* **8**, 4141-4144 (2006)
4. Hanju Rhee, Taiha Joo, Naoki Aratani, Atsuhiko Osuka, Sung Cho, Dongho Kim, . “Intramolecular and intermolecular energy transfers in donor-acceptor linear porphyrin arrays” *Journal of Chemical Physics* **125**, 074902/1-074902/8 (2006)
5. Sung Cho, Wei-Shi Li, Min-Chul Yoon, Tae Kyu Ahn, Dong-Lin Jiang, Jiwon Kim, Takuzo Aida, Dongho Kim “Relationship between Incoherent Excitation Energy Migration Processes and Molecular Structures in Zinc(II) Porphyrin Dendrimers” *Chemistry-A European Journal* **12**, 7576-7584 (2006)
6. Jonathan L. Sessler, Dong-Gyu Cho, Marcin Stpie, Vincent Lynch, Jacek Waluk, Zin Seok Yoon, Dongho Kim “Inverted Sapphyrin: A New Family of Doubly N-Confused Expanded Porphyrins” *Journal of the American Chemical Society* **128**, 12640-12641 (2006)
7. Takaaki Hori, Naoki Aratani, Akihiko Takagi, Takuya Matsumoto, Tomoji Kawai, Min-Chul Yoon, Zin Seok Yoon, Sung Cho, Dongho Kim, Atsuhiko Osuka “Giant Porphyrin Wheels with Large Electronic Coupling as Models of Light-Harvesting Photosynthetic Antenna” *Chemistry - A European Journal* **12**, 1319-1327 (2006)
8. Zin Seok Yoon, Jung Ho Kwon, Min-Chul Yoon, Mi Kyoung Koh, Su Bum Noh, Jonathan L. Sessler, Jeong Tae Lee, Daniel Seidel, Apolonio Aguilar, Soji Shimizu, Masaaki Suzuki, Atsuhiko Osuka, Dongho Kim “Nonlinear optical properties and excited-state dynamics of highly symmetric expanded porphyrins.” *Journal of the American Chemical Society* **128**, 14128-14134 (2006).
9. Mira Park, Min-Chul Yoon, Zin Seok Yoon, Takaaki Hori, Xiaobin Peng, Naoki Aratani, Jun-Ichi Hotta, Hiroshi Uji-I, Michel Sliwa, Johan Hofkens, Atsuhiko Osuka, Dongho Kim, “Single-Molecule Spectroscopic Investigation of Energy Migration Processes in Cyclic Porphyrin Arrays.” *Journal of the American Chemical Society* **129**(12), 3539-3544 (2007).
10. Ichiro Hisaki, Satoru Hiroto, Kil Suk Kim, Su Bum Noh, Dongho Kim, Hiroshi Shinokubo, Atsuhiko Osuka “Synthesis of Doubly β -to- β 1,3-Butadiyne-Bridged Diporphyrins: Enforced Planar Structures and Large Two-photon Absorption Cross Sections” *Angewandte Chemie International Edition* **46**, 5125-

5128 (2007).

11. Zin Seok Yoon, Su Bum Noh, Dong-Gyu Cho, Jonathan L. Sessler, Dongho Kim "Evaluation of planarity and aromaticity in sapphyrin and inverted sapphyrin using a bidirectional NICS (Nucleus-Independent Chemical Shift) scan method" Chemical Communications 2378-2380 (2007)
12. Kil Suk Kim, Su Bum Noh, Takayuki Katsuda, Shuji Ito, Atsuhiko Osuka, Dongho Kim, "Charge transfer induced enhancement of near-IR two-photon absorption of 5,15-bis(azulenylethynyl) zinc(II) porphyrins" Chemical Communications 2479-2481 (2007)
13. Shohei Saito, Kil Suk Kim, Zin Seok Yoon, Dongho Kim, Atsuhiko Osuka "Subporphyrin Extrusion from meso-Heptakis(pentafluorophenyl) [32]Heptaphyrin upon Cooperative Cu(II) and B(III) Metallation" Angewandte Chemie International Edition **46**, 5591-5593, (2007)
14. Min-Chul Yoon, Su Bum Noh, Akihiko Tsuda, Yasuyuki Nakamura, Atsuhiko Osuka, Dongho Kim "Photophysics of Meso-beta Doubly Linked Ni(II) Porphyrin Arrays: Large Two-photon Absorption Cross Section and Fast Energy Relaxation Dynamics" Journal of the American Chemical Society **129**, 10080-10081 (2007)
15. Sung Cho, Min-Chul Yoon, Chul Hoon Kim, Naoki Aratani, Goro Mori, Taiha Joo, Atsuhiko Osuka and Dongho Kim "Perturbation of Electronic States and Energy Relaxation Dynamics in a Series of Phenylene Bridged ZnIIPorphyrin Dimers" Journal of Physical Chemistry C in press (2007)
16. Min-Chul Yoon, Zin Seok Yoon, Sung Cho, Dongho Kim, Akihiko Takagi, Takuya Matsumoto, Tomoji Kawai, Takaaki Hori, Xiaobin Peng, Naoki Aratani, Atsuhiko Osuka "A Hexagonal Prismatic Porphyrin Array: Synthesis, STM Detection, and Efficient Energy Hopping in Near Infrared Region." Journal of Physical Chemistry A in press, (2007)
17. Shigeki Mori, Kil Suk Kim, Zin Seok Yoon, Su Bum Noh, Dongho Kim, Atsuhiko Osuka "Peripheral Fabrications of a Bis-Gold(III) Complex of [26]Hexaphyrin(1.1.1.1.1.1) and Aromatic versus Antiaromatic Effect on Two-Photon Absorption Cross Sections" Journal of the American Chemical Society in press (2007)
18. Min-Chul Yoon, Rajneesh Misra, Zin Seok Yoon, Mi Kyung Ko, Jung Ho Kwon, Su Bum Noh, Tavarekere K. Chandrashekar, Dongho Kim "Photophysical Study of Core-modified Expanded Porphyrins: Nature of Aromaticity and Enhancement of Ring-planarity", Chemical Communications submitted (2007)
19. Jaesung Yang, Sung Cho, Jaehong Park, Wei-Shi Li, Takuzo Aida, Dongho Kim "Control of Molecular Structures and Photophysical Properties of Zinc(II) Porphyrin Dendrimers using Bidentate Guests; Utilization of Flexible Structures of Dendrimer as a Controllable Mold" submitted (2007)
20. Mira Park, Jaesung Yang, Zin Seok Yoon, Takaaki Hori, Xiaobin Peng, Naoki Aratani, Jun-ichi Hotta, Hiroshi Uji-i, Michel Sliwa, Johan Hofkens, Atsuhiko Osuka and Dongho Kim "Single Molecule Study on Energy Migration Processes of Cyclic Porphyrin Arrays" submitted (2007)
21. Takaaki Hori, Naoki Aratani, Akihiko Takagi, Takuya Matsumoto, Tomoji Kawai, Zin Seok Yoon, Min-Chul Yoon, Jaesung Yang, Dongho Kim, Atsuhiko Osuka "Synthesis and Efficient Excitation Energy Transfer of a Series of Nanometer-scale Porphyrin Wheels" submitted
22. Yasuo Tanaka, Shohei Saito, Shigeki Mori, Naoki Aratani, Hiroshi Shinokubo, Naoki Shibata, Yoshiki Higuchi, Dongho Kim, Atsuhiko Osuka "Spontaneous Molecular Twist to Möbius Aromaticity Upon Metallation of Expanded Porphyrins" submitted

세미나 개최

전문가 초청으로는 국내 연사가 5건, 해외 연사가 3건으로 총 8건의 세미나를 개최하였다.

2006. 6. 2

김성근 교수 (서울대학교)

"Chemistry through the Eyes of a Photon"

2006. 6. 9

남원우 교수 (이화여자대학교)

"High-Valent Iron-Oxo Complexes of Heme and Nonheme Ligands"

2006. 8. 5

Atsuhiko Osuka (Kyoto Univ.)

"Expanded Porphyrin 의 합성 및 특성 분석"

2006. 9. 22

조민행 교수 (고려대학교)

“Coherent Two Dimensional Optical Spectroscopy”

2006. 11. 4

Atsuhiko Osuka (Kyoto University)

“Functionalities of Various Molecular Photonic Devices Based on Porphyrin Arrays”

2007. 3. 31

김동우 박사 (포항공과대학교)

“Polymer Nanocapsules decorated by Tetra Phenyl Porphyrin”

2007. 4. 7

김진영 박사 (서울대학교)

“Synthesis and Characterization of CdSe-TiO₂ Nanocrystal”

2007. 6. 5

김영삼 박사 (University of Pennsylvania)

“Observation of Kinetic Networks of Hydrogen-bond Exchange using 2D IR Echo Spectroscopy”

2007. 8. 2

Raman Workshop

주재범 교수 (한양대 응용화학과)

“Application of Confocal SERS Microscopy to Highly Sensitive Biological Detection”

양인상 교수 (이화여대 물리학과)

“물리학 분야에서 비탄성 광산란 연구 - 초전도체 전자구조의 예”

정대홍 교수 (서울대 화학 교육과)

“Two-Photon Emission Characteristic of silver Nanowires”

Photonic Devices Based on Porphyrin Arrays”, The 2006 Asian Conference on Nanoscience and Nanotechnology, November 1-4 2006, Busan, Korea

Kim Dongho “Relationship between Aromaticity and Two-photon Absorption Phenomena and π -Conjugation Pathway in Porphyrin Arrays and Expanded Porphyrins”, 2006 Korea-Japan Symposium on Frontier Photoscience, November 3-6 2006, Sogang University, Seoul, Korea

Kim Dongho “Aromaticity”, Joint Symposium in Chemistry Chulalongkorn University-Yonsei University, January 15-16 2007, Thailand

Kim Dongho “Relationship between Aromaticity and Two-photon Absorption Phenomena in Expanded Porphyrins”, First Asian Spectroscopy & Asian Biospectroscopy, January 29-February 2 2007, India

Kim Dongho “Relationship between Two-Photon Absorption Phenomena and π -Conjugation Pathway in Porphyrin Arrays and Expanded Porphyrins”, March 15 2007, Kyoto University, Japan

Kim Dongho “Photophysical Properties of Directly Linked Zinc(II)porphyrin Linear Arrays Investigated by Time-resolved Laser Spectroscopic Methods”, March 17 2007, Kyoto University, Japan

Kim Dongho “Relationship between Aromaticity and Two-Photon Absorption Phenomena in Various Expanded Porphyrins”, 12th International Symposium on Novel Aromatic Compounds (ISNA-12), July 22-27 2007, Awaji Island, Japan

Kim Dongho “Relationship between Aromaticity and Two-Photon Absorption Phenomena in Various Expanded Porphyrins”, 12th Korea-Japan Joint Symposium on Frontiers of Molecular Science, July 5-7 2007, Jeju Island, Korea

Kim Dongho “Metallation of Expanded Porphyrins : A Chemical Trigger Used to Produce Molecular Twisting and Möbius Aromaticity”, Yonsei University - University of Tokyo Joint Symposium, August 7-9 2007, Yonsei University, Seoul, Korea

국내초청발표

Kim Dongho “Functionalities of Various Molecular Photonic Devices Based on Porphyrin Arrays”, 삼성종합기술 세미나, October 25 2006, 삼성종합기술원

Kim Dongho “Ultrafast Excitation Energy Migration

국내 · 외 학술회의 발표

국제 학술회의 초청 발표

Kim Dongho “Relationship between Two-Photon Absorption and π -Conjugation Pathway in Porphyrin Arrays Based On Dihedral Angle Control”, 20th International Conference on Raman Spectroscopy, August 20-25 2006, Pacifico Yokohama, Japan

Kim Dongho “Ultrafast Energy and Electron Transfer Processes in Various Porphyrin Assemblies”, 1st Yonsei International Symposium of Nano-Bio Molecular Assemblies, October 21-23 2006, Korea

Kim Dongho “Functionalities of Various Molecular

Processes in Various Multiporphyrin Arrays”, 조선대 화학과 세미나, November 8 2006, 조선대학교

Kim Dongho “Aromaticity”, 이화여대 화학과 세미나, November 10 2006, 이화여자대학교

Kim Dongho “찰라의 순간을 찾아 헤맨 20년”, 2006 화학의해 화학을 빛낸 과학자 초청 강연 “나의 화학이야기”, December 16 2006, 한양대학교

Kim Dongho “Single Molecule Spectroscopic Investigation on Energy Migration Processes of Cyclic Porphyrin Arrays”, Ultrafast Science Workshop 2007, January 22-23 2007, 포항가속기연구소

Kim Dongho “Relationship between Aromaticity and Two-Photon Absorption Phenomena in Various Expanded Porphyrins”, July 1 2007, 광운대학교

Kim Dongho “Scientific Writing and Presentation” 아주대학교 분자과학기술사업단 초청 세미나, July 13 2007, 아주대학교

국제 학술회의 발표

1. 2006년 8월 20일부터 25일까지 일본 요코하마에서 열린 International Conference on Raman Spectroscopy에서 2건의 포스터를 발표하였다.

Kwon Jung Ho “Resonance Raman Spectroscopic Investigation of Directly Linked Zinc(II) Porphyrin Linear Arrays”

Park Jong Kang “Resonance Raman spectroscopic study of fused multiporphyrin linear array”

2. 2006년 9월 5일부터 7일까지 일본 도쿄에서 열린 Tokyo Workshop on Solar Light Energy Conversion에 참석하여 1건의 포스터를 발표하였다.

Park Jong Kang “Construction of Segregated Arrays of Multiple Donor and Acceptor Units Using a Dendritic Scaffold”

3. 2006년 11월 3일에서 6일까지 서강대학교에서 열린 2006 Korea-Japan Symposium on Frontier Photoscience에서 7건의 포스터를 발표하였다.

Koh Mi Kyoung “Photophysical Properties on Core-Modified Heavy Metal Expanded Porphyrins”

Kwon Jung Ho “Photophysics of Meso-Aryl-Substituted Expanded Porphyrins : A comparison between Nonaromatic Flexible Molecules and Aromatic Rigid

Molecules”

Noh Su Bum “Effect of Electron-acceptor and Donor Substituents on the Two Photon Absorption Cross Section of Azulenylethynyl-linked Porphyrins”

Park Mira “Single Molecule Spectroscopic Investigation of Energy Migration Processes in Cyclic Porphyrin Arrays”

Yoon Zin Seok “Solvatochromic TICT (Twisted Intramolecular Charge Transfer) in Meso-Substituted Tripyrrolic Boronsubporphyrins”

Jang So Young “Novel Octupolar Porphyrin Oligomers: Synthesis, Supramolecular Assembly, and Two-Photon Absorption”

Cho Sung “Control of Molecular Structure and Photophysical Properties of Zn(II) porphyrin Dendrimers using Bidentate Bipyridyl Guests”

4. 2007년 1월 15일부터 16일까지 태국에서 열린 Joint symposium Chulalongkorn University - Yonsei University에 1건의 포스터를 발표하였다.

Yang Jae Sung “Probing the Photophysical Processes in Zn(II) Porphyrin Dendrimers Rigidified by Bidentate Guests Using Single Molecule Spectroscopy”

5. 2007년 1월 29일부터 2월2일까지 인도 방갈로르에서 열린 First Asian Spectroscopy Conference & Asian Biospectroscopy Conference에서 2건의 포스터를 발표하였다.

Yoon Min-Chul “Exciton Coupling Dynamics and Excitation Energy Migration Processes in Hexameric Cyclic Porphyrin Arrays”

Yoon Zin Seok “Solvent-dependent Intramolecular Charge Transfer in Meso-Substituted Tripyrrolic Boronsubporphyrin”

6. 2007년 7월 5일부터 7일까지 제주도 라마다 플라자 호텔에서 열린 12th Korea-Japan Joint Symposium on Frontiers of Molecular Science 및 대한화학회 물리화학분과 하계 심포지엄에서 4건의 포스터를 발표하였다.

Shanmugam Easwaramoorthi “Two-Photon absorption properties of self-assembled ethyne linked multiporphyrin ladder and prism”

Kim Kil Suk Charge transfer induced enhancement of near IR two-photon absorption of 5,15-bis(azulenylethynyl) zinc(II) porphyrins”

Yang Jae Sung “Single molecule study on excitation energy migration processes of cyclic porphyrin arrays”

Yoon Zin Seok “Evaluation of Planarity and Aromaticity in Sapphyrin and Inverted Sapphyrin Using a Bidirectional NICS (Nucleus-Independent Chemical Shift) Scan Method”

7. 2007년 7월 22일부터 27일까지 일본 아와지섬에서 열린 12th International Symposium on Novel Aromatic Compounds (ISNA-12)에서 2건의 포스터를 발표하였다.

Yoon Zin Seok “Evaluation of Planarity and Aromaticity in Sapphyrin and Inverted Sapphyrin Using a Bidirectional NICS (Nucleus-Independent Chemical Shift) Scan Method”

Yoon Zin Seok “Protonation-induced Conformational Control and Aromaticity Retrieval of [38]Nonaphyrin (1.1.0.1.1.0.1.1.0)”

8. 2007년 8월 7일부터 9일까지 서울 연세대학교에서 열린 Yonsei University - University of Tokyo Joint Symposium에서 6건의 포스터를 발표하였다.

Shanmugam Easwaramoorthi “Two-Photon absorption properties of self-assembled ethyne linked multiporphyrin ladder and prism”

Jong Kang Park “The smallest Möbius Strip Aromatic Molecule and The Relationship Between Aromaticity and TPA”

Kil Suk Kim “Charge transfer induced enhancement of near IR two-photon absorption of 5,15-bis(azulenylethynyl) Zinc(II) porphyrins”

Sung Cho “Perturbation of electronic States and Energy Relaxation Dynamics Induced by Phenylene Bridges in Zn(II) Porphyrin Dimers”

Zin Seok Yoon “Evaluation of Planarity and Aromaticity in Sapphyrin and Inverted Sapphyrin Using a Bidirectional NICS (Nucleus-Independent Chemical Shift) Scan Method”

Min-Chul Yoon “Photophysics of meso- β Doubly Linked Ni(II) Porphyrin Arrays : Large Two-photon Absorption Cross Section and Fast Energy Relaxation Dynamics”

국내학술회의 발표

1. 2007년 4월 19–20일 한국국제전시장에서 열린 제 99회 대한화학회에서 8건의 포스터를 발표하였다.

Kim Kil Suk “Charge Transfer Induced Enhancement of Near IR Two-photon absorption of 5,15-bis(azulenylethynyl) zinc(II) porphyrins”

Noh Su Bum “Two Photon Absorption Properties of 1,4-Phenylene bridged [44],[46]Decaphyrins by Planarity Control upon Protonation”

Park Jong Kang “Organic solar cell based on porphyrin derivatives for broad light harvesting”

Yang Jae Sung “Probing the Photophysical Processes in Zn(II) Porphyrin Dendrimers Rigidified by Bidentate Guests Using Single Molecule Spectroscopy”

Yoon Min-Chul “Ultrafast Photophysical Study of meso-beta, beta-meso Doubly-linked Ni(II)porphyrin Tapes”

Yoon Zin Seok “Excitation-state dynamics and Quantitative Aromaticity in orthogonally linked [22]Smaragdrin Monomer and Dimer”

Jang So Young “Octupolar Triporphyrin Conjugates Exhibiting Strong Two-Photon Absorption”

Cho Sung “Perturbation of Electronic States and Energy Relaxation Dynamics in a Series of Phenylene Bridged Zn(II) Porphyrin Dimers”

2. 2007년 5월 3일부터 5월 5일까지 열린 2007 첨단 레이저 및 레이저 응용 워크샵에서 4건의 포스터를 발표하였다.

Shin Jae Yoon “Two Photon Absorption Properties of 1,4-Phenylene bridged [44],[46]Decaphyrins by Planarity Control upon Protonation”

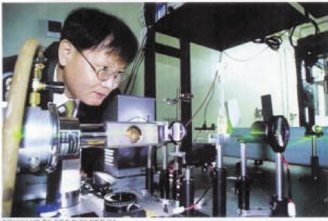
Yoo Hae Jin “Excitation Energy Migration Processes in Cyclic Porphyrin Arrays Probed by Single Molecule Spectroscopy”

Lim Jong Min “Excited-state Dynamics and Quantitative Aromaticity in Orthogonal Core-modified [22]Smaragdyrin Dimer”

Jang So Young “Octupolar Triporphyrin Conjugates Exhibiting Strong Two-Photon Absorption”

연세대 석학들의 도전 (주간 조선, 잡지표지)

레이저 분광학 분야의 세계적 권위자... 국제 SCI 논문이 200여편에 달해



박정환 기자 ycpark@chosun.com

연세대 화학과 김동호 교수는 연세대에 “노벨상에 가장 근접한 한국인 과학자”라든가 “한국 과학자로서 내세우는 학자 중의 한 명이다. 그만큼 학교 학과에 그에 걸맞은 대가”가 크다.

그는 레이저 분광학 분야의 세계적 석학(碩學)이다. 그가 개발한 펄스초(1조분의 1초) 및 펄스초(1000조분의 1초) 레이저 분광학 측정 기술은 분자 내 초고속 현상의 자세한 반응정보를 구할 수 있는 길을 열었다는 평가를 받고 있다. 그는 국내에서 불모지나 다름없던 이 분야를 세계적 연구 수준으로 끌어올렸다는 평가를 받는다.

그는 국제 SCI 과학기술논문인용색인 지수가 200여편에 달하며 이 분야의 최연령 학자가 3500여에 이른다.

2005년에서 말라했기 때문이다. 자전적 에피소드를 담은 연세대 화학과는 비상이 걸렸고 우수 교수진 초빙에 발탁되고 나섰다. 이때 가장 먼저 스카우트된 인물이 김동호 교수다.

김 교수는 2000년 9월 한국표준과학연구원(원자력연구원)에서 연세대로 자리를 옮겼다. 김 교수는 연세대로 옮겨온 과정은 쉽지는 않았다. 그는 1997년 제1회 해외 우수인재추진사업에 선정돼 “초고속 광물성 제어 연구단”을 유치했는데 그가 연세대로 옮겨오면서 해외연구단도 같이 옮겨오기 때문이다. 해외연구단들은 과학기술부가 자체로 연구단인 육성과 원형기술 개발을 통한 신산업 창출을 목표로 1997년 시작한 사업이다.

연세대 화학과는 김 교수 외에도 석학들을 모으고자 위해 모교 출신을 우선하던 관행도 버렸다. 김 교수는 “2000년부터 지를 보면, 7명이 연세대 화학과 교수로 채용됐는데 이 중 5명이 타고 출신이며 출신 대학도 서울대, 경북대, 사립대, 카이스트 등 다양하다”고 말했다. 연세대 화학과는 한국과학기술원(한양대)의 김 교수 4명을 보유하고 있다. 이 같은 노력에 힘입어 연세대 화학과는 지난해 2단계 BK21사업에 선정되는 성과를 거뒀다. 김 교수는 지난해부터 화학 분야의 BK21사업인 “노스미오모토 종합제약사업단”의 단장을 맡고 있다.

한편 연세대 화학과는 교수 1인당 논문 수, 논문 영향력 지수 등에서 국내 최상위권을 달리고 있다. 또 오는 2020년까지 논문 수상자 배출을 목표로 세웠다. 이 중심에 김 교수가 서 있다.

연세대 석학들의 도전
“5년 내 5개 분야에서 세계 10위 안에 든다”

표준연 ‘자랑스런 동문상’

사이언스 브리핑

한국표준과학연구원(원자력연구원)은 이 연구소를 빛낸 자랑스러운 동문상에 김동호 연세대 교수를 선정했다고 9일 밝혔다. 이 상은 표준연에 근무하다 퇴직한 동문 중 학계와 산업계 등에서 괄목할 만한 성과를 거둔 연구자에게 수여한다. 김 교수는 연구소 근무 시 세계 최고 수준의 초고속 현상 레이저 측정 기술을 개발했다.

표준연, ‘자랑스런 동문상’ 김동호 교수

인공광합성 소자 및 나노 광전소자 개발 연구 공로

2006-11-08 11:21:45

[특인특기]



한국표준과학연구원(원자력연구원)은 표준연을 빛낸 자랑스러운 동문상에 연세대 김동호 교수(사진)를 선정했다고 8일 밝혔다.

이 상은 표준연에서 근무하다 퇴직한 동문 중 학계·산업계 등에서 괄목할 만한 성과를 거둔 일 직위 동에게 수여하는 상이다.

김 교수는 그동안 불모지나 여지없는 시간 분해 분광학의 연구를 세계적인 수준으로 끌어올렸다. 펄스초(1조분의 1)초, 펄스초(1천조분의 1)초의 시간분해 실험을 레이저 광학 측정기술을 토대로 빛 에너지 및 전자 이동 현상을 규명해 인공광합성 소자와 분자 나노 광전소자 개발에 중요한 역할을 했다는 평가를 받고 있다.

한편, 김 교수는 1997년부터 현재까지 과학기술부에서 주관하고 있는 창의적 연구진흥사업단(초고속 광물성 제어 연구단) 단장으로 연구를 수행하고 있다.

송병문 기자 moon@etn.co.kr [EBS과학정보]

이 기사에 대한 소문 및 저작권은 (주)이데아뉴스에 있으며 무단 전재, 변형, 무단 배포를 금합니다. 이를 어길 경우 법적 조치를 받을 수 있음을 알려드립니다.

국가 석학 동기(김동호, 김성근 교수)

화학적으로 결합된 우리는 친구

국가 석학으로 뽑힌 서울대 76학번 김동호 김성근교수

울주 교육인적자원부가 발표한 “국가석학 지원사업 대상자”에는 노벨상 수상 가능성이 높은 과학자 11명 가운데 서울대 화학과 76학번 동기 2명이 나란히 이름을 올려 화제를 모았다. 김동호 연세대 교수(사진 오른쪽)와 김성근 서울대 교수다.

김동호 교수는 레이저 분광학 분야의 세계적인 석학으로 꼽힌다. 그가 개발한 펄스초(1조분의 1) 및 펄스초(1000조분의 1) 레이저 광학 측정 기술은 분자 내 초고속 현상의 자세한 반응정보를 구할 수 있는 길을 열었다는 평가를 받고 있다.

김성근 교수는 생화학의 분자들의 원초적 특성을 밝혀낸 공로를 인정받아 박사학위에 선정됐다. 두 사람은 대학 때부터 절친한 친구 사이다. 김동호 교수는 “화학과 76학번 동기 가운데 김성근 교수와 제일 친하다”며 “둘 다 대학을 졸업한 후 곧바로 미국으로 유학했는데 떠날 당시 같은 비행기를 타고 갔을 정도”라고 말했다. 김동호 교수는 미국 워싱턴대에서, 김성근 교수는 하버드에서 각각 박사학위를 받았다.

두 사람은 한국에 돌아온 뒤 공동 연구도 진행했다. 김동호 교수는 1988년 귀국해 한국표준과학연구원(원자력연구원)으로 들어갔고, 김성근 교수는 1988년 서울대 조교수로 부임했는데 당시 서울대의 실험장비가 낙후돼 김성근 교수가 1990년부터 화학과 대학원생들을 데리고 표준과학연구원(원자력연구원)에 실험한 것이 계기가 됐다.

두 사람은 당시 학계의 관심이 집중되고 있던 ‘플로팅’이라는 탄소화합물의 특성을 밝혀내고 이를 함께 연구를 해 미국 화학학회지 등 국제저널에 등의 이름을



으로 10여편의 논문을 발표했다. 김성근 교수는 “둘 다 모험심이 강해 세계 최초가 아니면 연구를 진행하지 않았다”며 “실패도 많이 했지만 공동연구로 주목할 만한 연구성과들을 낼 수 있었다”고 말했다.

김동호 교수는 현재 빛에너지 전이에너지 효율적으로 바꾸는 ‘인공 광합성 소자’를 연구하고 있다. 기존 태양광 발전기에 비해 전력생산을 획기적으로 늘리는 기술이다. 그는 이 소자가 상용화되면 에너지 문제 해결에 큰 도움이 될 것으로 내다보고 있다. 김성근 교수는 빛 에너지를 받아들이는 분자가 어떻게 활용하는지를 밝히는 연구를 진행 중이다. 또 단백질이나 DNA 분자가 어떻게 움직이는지 3차원으로 정보를 얻을 수 있는 단일분자분광학 연구도 수행하고 있다. 김성근 교수는 “앞으로 기회가 되면 김동호 교수와의 공동연구를 또 한번 진행하고 싶다”고 말했다.

출처 = posco

표준연 (표준연)

연세대 ‘언더우드 교수’ 4명 임명

연세대는 국내외에서 연구업적이 탁월한 화학과 김동호(50), 수학과 김정환(45), 물리학과 이수형(45), 의료 및 내과와 이현철(58) 교수 등 4명을 석좌교수인 ‘언더우드 교수’에 임명했다고 9일 밝혔다.

이들은 2010년까지 3년 동안 석좌교수급의 대우를 받으며 대학으로부터 연구비 등으로 연간 3000만 원씩을 지원받게 된다.

높은 온도나 밀도에서 물질은 강한 상호작용으로 성질이 변한다는 주제의 연구로 주목을 받고 있는 이수형 교수는 지난해 학술진흥재단과 교육부로부터 국가 석학으로 지정받았다. 김동호 교수도 지난해 제1회 국가

석학으로 선정됐고 현재 한국과학기술원(한국과학기술원)에 있다.

김정환 교수는 1997년 조합원과 전산 수학 분야에서 최고 권위를 갖는 풀커슨 상을 받았다.

이현철 교수는 2000년 세계 최초로 안출된 유전자 치료기술을 이용해 동물의 당뇨병을 완치시키는 기술을 개발해 네이처에 발표했다.

연세대는 “교수들의 연구 활동을 독려하기 위해 젊은 석좌교수인 언더우드 교수들 앞으로도 계속 선정할 계획”이라며 “3년 뒤에는 이번 선정된 언더우드 교수들에 대한 연구 업적 평가도 할 것”이라고 밝혔다. 이유희 기자 pen@donga.com



김동호 교수



김정환 교수



이수형 교수



이현철 교수



초고속광물성제어연구단

Center for Ultrafast Optical Characteristics Control

연세대학교 부설연구소 초고속광물성제어연구단

서울특별시 서대문구 신촌동 134번지

Tel.(02)2123-2436, 7620 | Fax.(02)2123-2434 | <http://chem.yonsei.ac.kr/~CUOCC>