

# CUOCC

제9호  
2006년 6월

## 초고속광물성제어연구단

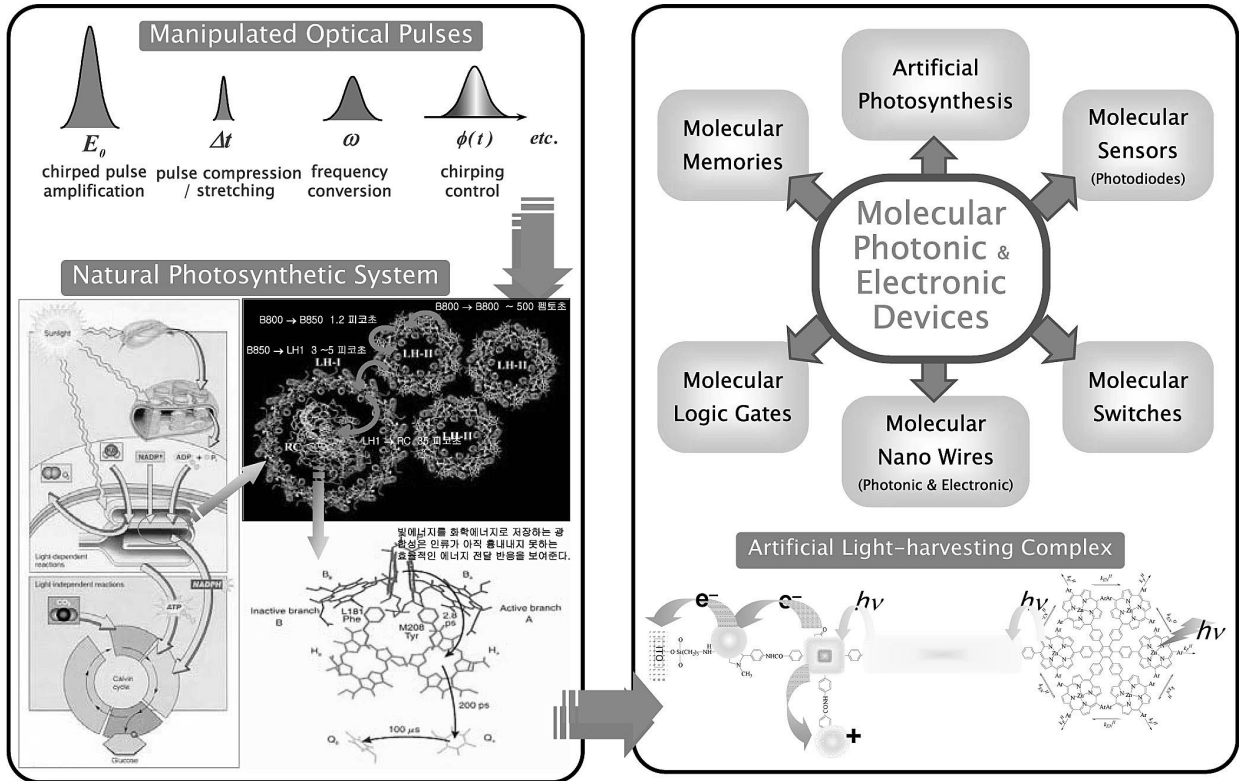
Center for Ultrafast Optical Characteristics Control

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



초고속광물성제어연구단 / Center for Ultrafast Optical Characteristics Control

# Main Strategy for Investigation of Molecular Devices



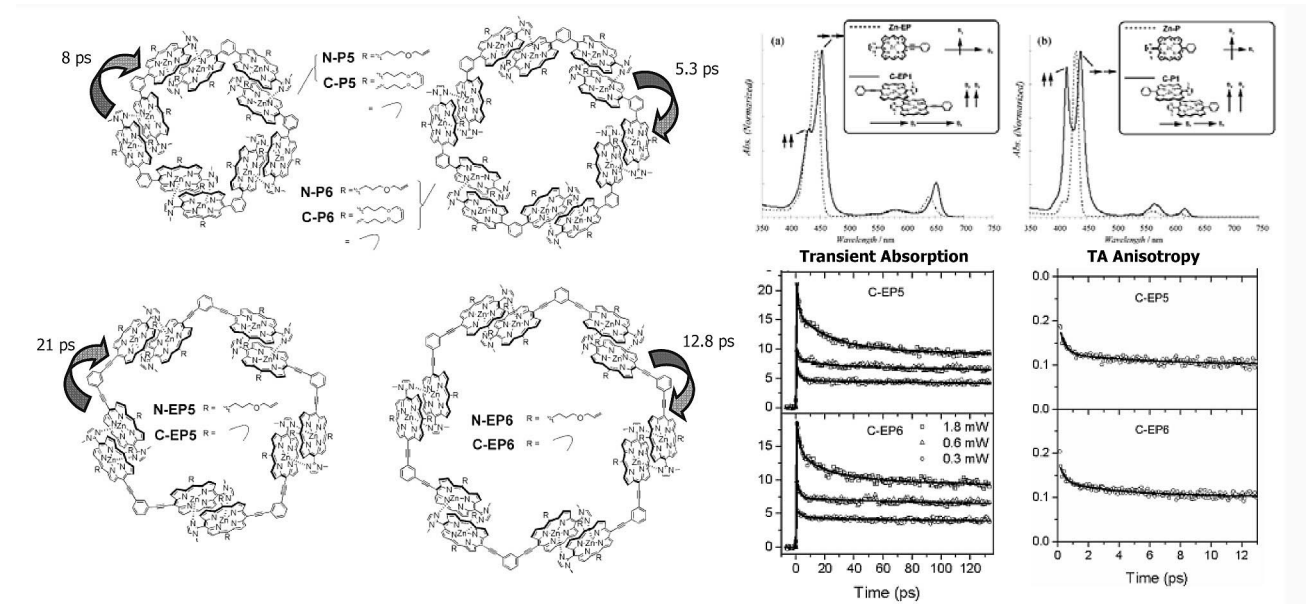
분자 광학 소자를 제작하는데 있어 사용되는 주요 전략은 집광, 에너지 전달, 광유도 전자 전달 과정과 같은 단일방향의 연속적인 반응으로 구성된 고효율의 광합성 과정을 모방하는 것이다. 분자 소자가 갖고 있는 전자 상태 특성에 따라 들뜬 상태 동역학, 들뜬 에너지 및 광유도 전자 전달 과정과 양자 수율이 결정되기 때문에 들뜬 전자상태에 있는 분자 어레이의 엑시톤의 상호작용을 이해하는 것은 분자 소자 개발을 위한 시금석이 된다. 이를 위해 관심 있는 초고속 광학 현상을 관찰하고 능동적으로 제어하기 위해서는 에너지, 파장, 파동 벡터, 편광, 펄스 폭, 위상과 같은 변수를 인위적으로 조절할 수 있어야 한다. 이를 통해 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 dipole orientation의 변화를 펄드초 비등방성 형광과 순간흡수감쇠 측정을 이용해서 에너지 전달 메커니즘을 밝혔다. 엑시톤 상호작용의 동역학을 조사하기 위해서 구성 단위체 간의 연결 길이와 이면각을 변화시킨 여러 homo-/hetero-dimer에 대한 연구를 수행했고, 분자간 상호작용으로 인해 변형되는 전자상태에서 빠른 에너지 이완과 전달과정이 관찰되었다. 이를 통해 분자간 엑시톤 상호작용을 이해하는데 있어서 1차원, 2차원, 3차원(선형, 원형, 상자 등)의 분자 어레이 단위체의 기초적 연구가 수행되면서 좀더 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 밝혀 내고 있다. 끝으로 단분자 분광 연구를 통해 원형 포피린 어레이에 비해 선형 포피린 어레이에서 더욱 많은 구조적 이성질체를 가지고 있고, 이는 비발광을 유도해 형광수명을 단축시키는 효과를 나타낸다는 것을 밝혀 용액실험에서는 밝히지 못했던 선형 분자의 특이성을 밝혀냈다.

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.

# Excitation Energy Migration Dynamics on Expanded Hexagonal Porphyrin Arrays

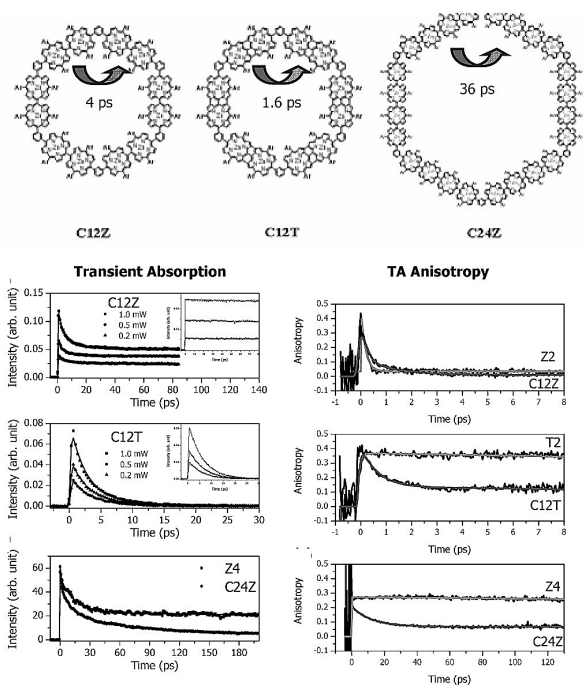
자연계의 광합성 광포집 (light-harvesting) 안테나 분자 시스템은 매우 효율적이고 빠른 에너지 전달현상을 나타내고 있으며 이를 모방하여 인공광합성 분자를 고안하는 연구는 분자전자소자의 개발에 있어 매우 중요한 역할을 한다. 이런 인공 광합성 분자 시스템은 공유결합성 연결과 비공유결합성 연결을 이용한 두 가지 방법으로 합성되었고, 해당 시스템에서 일어나는 에너지이동의 속도와 구조 및 엑시톤 상호작용과의 관계에 대해 연구하였다.



배위결합을 이용한 원형 포피린 분자배열 C-P5, C-P6의 에너지 이동시간이 각각 8, 5.3 ps로 얻어졌으며 그 원인은 linker인 페닐의 1,3 결합 때문에 5mer보다 6mer의 안정해진 hexagonal 구조에 기인한 것으로 밝혀졌다. Linker의 길이가 보다 길어진 C-EP5, C-EP6의 경우 늘어난 단량체간 거리 때문에 에너지 이동시간이 각각 21, 12.8 ps로 느려짐을 알 수 있다. 이것은 Förster의 through-space 에너지 전달 이론에 크게 의존하고 있음을 말해준다.

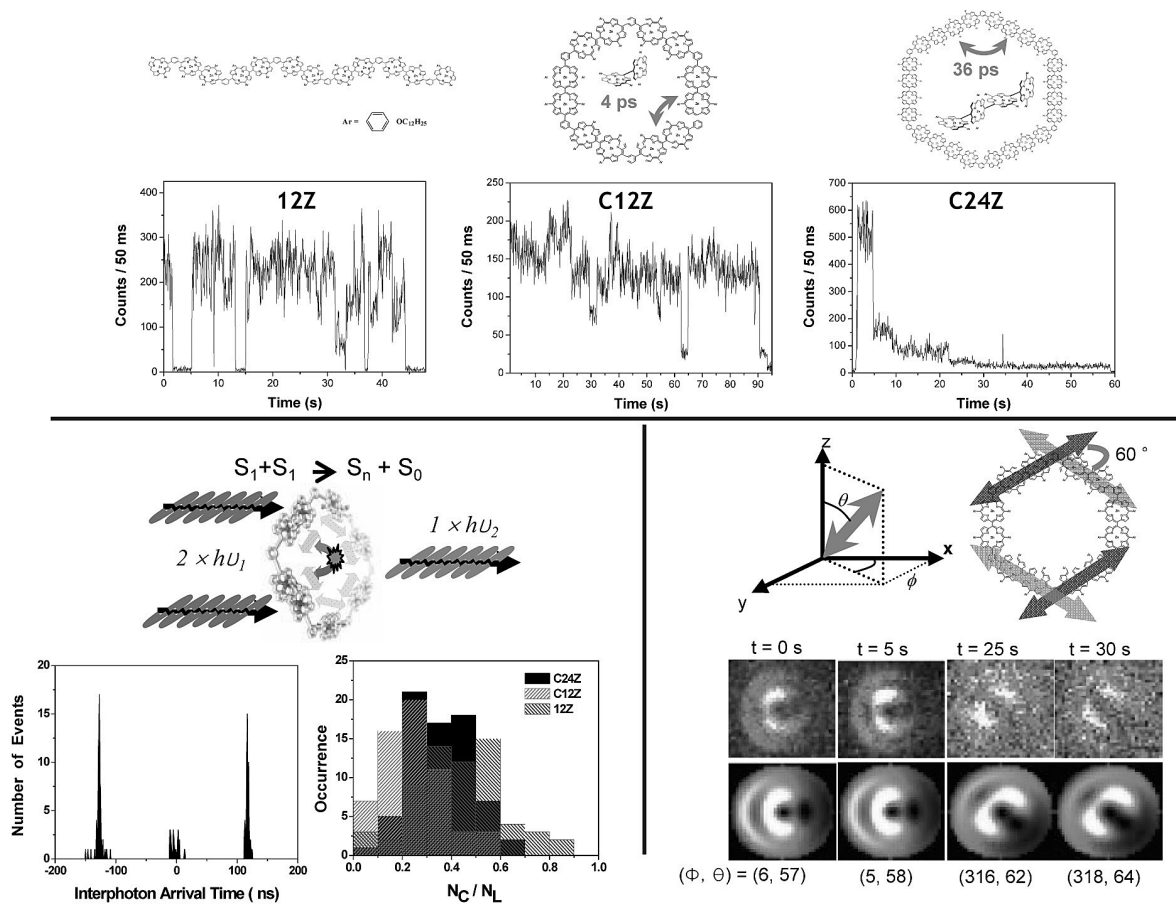
한편 공유결합을 통한 원형 포피린 배열로 단량체간 거리 뿐만 아니라 단량체의 종류를 바꿈으로써 exciton-coupling strength를 조절한 분자시스템에 대한 연구를 수행하였다. NOPA를 이용한 펄스초 순간흡수 및 비등방성 실험을 통한 시간분해 데이터를 분석한 결과 단량체가 각각 직교연결 포피린 이합체, 사합체, 삼중연결 포피린 이합체인 C12Z, C24Z, C12T에서의 에너지 이동시간은 4, 36, 1.6 ps이었다. C12Z에서 C24Z로의 느려진 에너지 이동시간은 늘어난 단량체간 거리에 기인한 Förster의 through-space 에너지 전달 이론에 크게 의존하고 있음을 알 수 있다. 반면 단량체간 거리가 C12Z와 비슷한 C12T에서의 나타나는 빠른 이동시간은 포피린-linker간 Dexter-type의 through-bond 에너지 전달효과가 커짐에 기인된 결과로 해석되어진다.

이와 같이 2차원 포피린 분자 배열의 구조를 적절히 선택함으로써 단량체간 엑시톤 상호작용과 에너지전달 속도를 조절할 수 있다는 것이 주된 결과이며, 이것을 응용하여 고효율의 에너지 전달 및 광포집 분자 시스템의 합성전략에 많은 도움을 줄 것이다.



# Single Molecule Spectroscopic Study on Energy Migration Processes of Cyclic Porphyrin Arrays

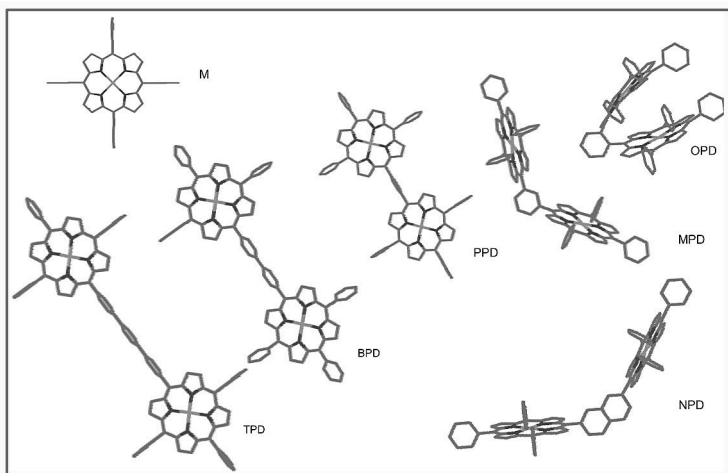
자연계 광합성 시스템 LH1와 LH2 복합체 내에서 나타나는 매우 빠른 에너지 이동 현상을 결정하는 중요한 요소가 dimer를 단위체로 하는 원형 구조일 것이라는 생각을 바탕으로 하여 이를 확인하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 에너지 수집 효율을 높이기 위해 잘 정의되고 단단한 구조를 가지는 인공 광합성 시스템을 만들기 위해 여러 가지 합성 방법들이 개발되어 오고 있으며 다양한 합성 방법들 중에서 포피린 단위체를 공유 결합시켜 원형 어레이를 만들면 분자 구조를 정확하게 조절할 수 있을 뿐만 아니라 구조적 단단함도 유지할 수 있다. 이러한 관점에서, 우리는 단분자 분광학을 이용해 원형 포피린 어레이 내의 들뜬 에너지 이동을 비교 연구하였다.



특히 fluorescence intensity trajectory, coincidence measurement, wide-field defocused imaging 실험을 이용하여 분자를 구성하는 포피린 단위체 사이의 결합 세기가 에너지 이동 효율에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 위 그림은 형광 세기의 추이로 원형 어레이보다 선형 어레이에서 더 많은 off-times를 확인 할 수 있으며 이는 구조적 이질성으로 인한 nonradiative channel의 형성의 결과로 해석될 수 있다. 또한 C24Z는 C12Z보다 짧은 순간에 형광의 세기가 감소한다 이는 빛에 의해 쉽게 손상되기 쉬운 불안정한 구조를 가지고 있다고 설명할 수 있다. 왼쪽 아래의 coincidence measurement를 이용해 C12Z의 원형 포피린 어레이는 C24Z보다 singlet-singlet annihilation이 더 잘 일어나며 따라서 에너지 전달의 큰 효율성을 가짐을 알 수 있었다. 더 나아가 에너지 전달의 가장 효율적인 C12Z의 구성 단위체들의 emission dipole orientation을 wide-field defocused imaging 방법을 이용해 관찰하였다. 굴절율이 다른 매질 사이에서 emission은 서로 다른 빛의 경로 차로 인해 간섭 무늬를 만든다. 이렇게 만들어진 간섭 무늬는 시간의 함수로 분자의 삼차원적인 위치 정보를 포함한다. 아래 오른쪽 그림에서 볼 수 있듯이 고분자층 내에서 C12Z의 emission dipole들이 약  $60^\circ$ 의 단단한 구조를 유지하고 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구의 결과 단위체간의 짧은 거리는 결합 세기뿐만 아니라 구조적 이질성 최소화를 시킴으로 작은 어레이가 더 효율적인 에너지 전달체로 관찰이 되었다.

# Ultrafast Energy Relaxation Dynamics in Phenylene-Bridged Zn<sup>II</sup> Porphyrin Dimers

기능성 분자 소자 연구를 위한 기초 연구로서 이합체내에서 분자간 상호작용으로 변화되는 전자 궤도 함수와 이로 인해 나타나는 초고속 에너지 이완 현상의 상관관계를 밝히고, 분자간 거리와 배향에 따른 광물리적 특성 변화를 예측하는 분자 모델을 개발했다.



정류상태 흡수 스펙트럼 (Figure 1.)을 살펴보면  $S_2$  상태가 구조에 따라 두 개의 밴드로 갈라지는 것을 확인할 수 있다. 이러한  $S_2$  상태의 변화는 여기자 모델을 이용해 설명 가능하고, 이론적 분자 구조 계산 결과를 바탕으로 계산되는 밴드 이동 결과와 실제 흡수 스펙트럼이 잘 일치하고 있다. 따라서 이합체는 샌드위치형, 둔각형, 그리고 선형 이렇게 총 3가지 종류의 분자간 상호작용으로 구분할 수 있다.

아연 포피린 단위체를 기반으로 다양한 벤젠 고리와 나프탈렌 브리지로 연결된 이합체를 대상으로 연구를 수행했다. 브리지가 짧고 단단하기 때문에 그 구조에 따라 다양한 분자간 거리와 배향을 갖는 이합체가 가능하고, 이러한 구조적 변수에 따라 분자간 상호작용이 영향을 받는다.

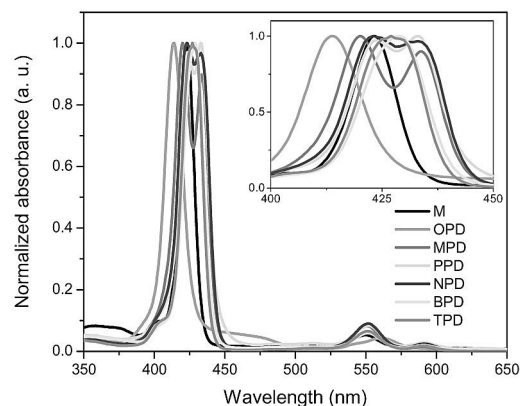


Figure 1. Steady-state Absorption Spectra of Zn<sup>II</sup> Porphyrin Dimers in Toluene.

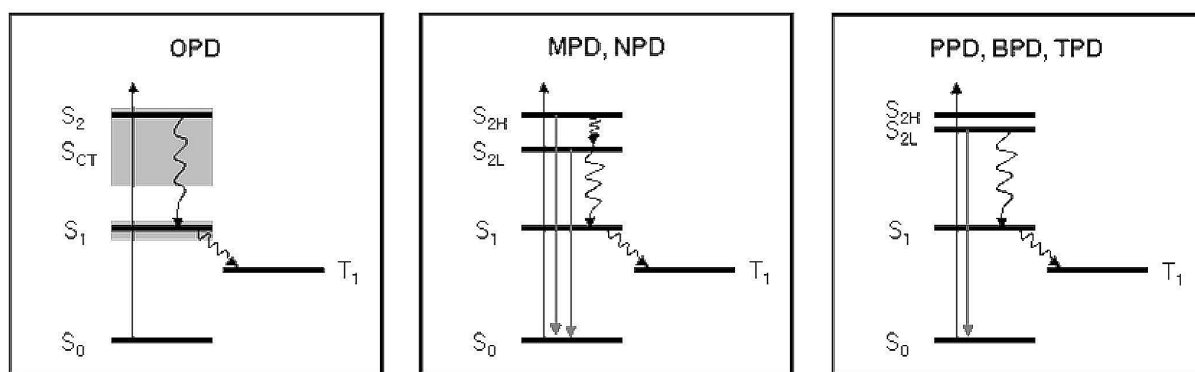
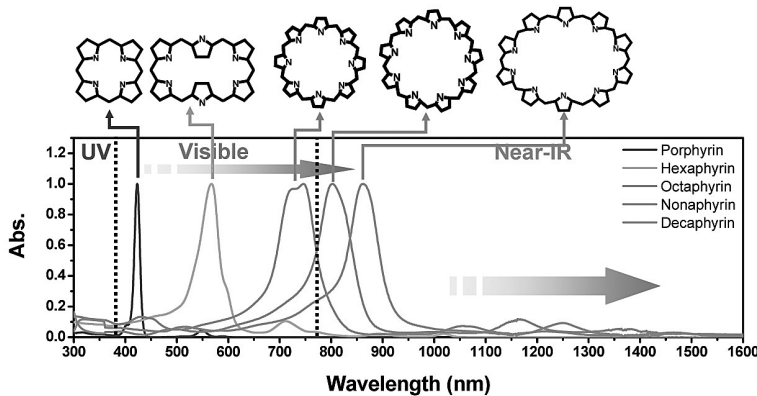


Figure 2. Schematic Energy Relaxation Diagrams of Zn<sup>II</sup> Porphyrin Dimers.

분자가 상호작용으로 인해 변화하는 전자 상태 변화를 관찰하기 위해서 시간에 따라 감소하는  $S_2$  상태 형광과 증가하는  $S_1$  상태 형광을 펄스 레이저를 이용하여 실시간을 측정했다. 단위체는  $S_2$  상태 형광 감소 시간과  $S_1$  상태 형광 증가 시간이 똑같은 시간에 일어나고 있기 때문에  $S_2$  상태에서  $S_1$  상태 사이에서 일어나는 내부 전환이 주된 에너지 이완 현상이라는 것을 알 수 있고, 전자 상태가 두 개의 상태로 설명될 수 있다. 그러나, 이합체는  $S_2$  상태 형광이 단위체에 비해 빠르게 감소하고, 그에 따라  $S_1$  상태 형광도 빠르게 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 내부전환 속도가 단위체와 비교해 가속되었다는 것을 의미하고, 그 원인은 분자 상호작용으로 변화된 전자 상태에 의한 것을 예측할 수 있다. 특히, 둔각형 이합체는  $S_2$ 와  $S_1$  상태 형광의 세기 변화가 정확히 일치하지 않는다. 이것은 둔각형 이합체에서 일어나는 에너지 이완에는 단위체에는 없는 새로운 전자 상태가 관여하고 있다는 것을 나타낸다. 결과적으로 분자 상호 작용으로 인해 형성되는 새로운 전자 상태에 의해 에너지 이완 과정은 크게 영향을 받고 (Figure 2), 이는 분자 소자 설계에 반영되어야 한다.

# Photophysics of Expanded Porphyrin Series

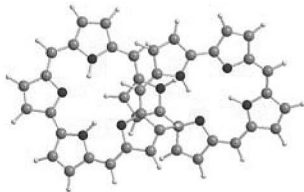
수정된 Rothemund-Lindsey 반응을 이용해서 4개 이상의 피롤 고리로 이루어진 확장된 포피린 (Expanded porphyrin [Pentaphyrin to dodecaphyrin])을 높은 수율로 합성하였으며, 그 구조적 성질은 포피린과 매우 다른 양상을 보인다. 확장된 포피린은 피롤 고리의 개수를 증가시킴으로써 거대 고리 분자의 크기를 조절하거나 피롤 고리의 질소에 수소를 첨가함으로써  $\pi$ -공액(conjugation)에 참여하는  $\pi$ -전자의 개수를 변화시킴으로써 HOMO-LUMO 에너지 간격이나 방향성의 정도를 조절할 수 있는 특징을 갖는다. 그럼으로써 확장된 포피린의 구조나 물성 등을 조절할 수 있음이 알려져 있다.



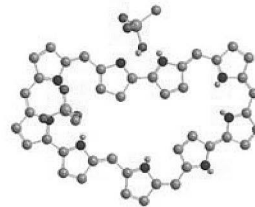
확장된 포피린은 일반적으로 거대 고리 분자 내부의 피롤 고리의 개수가 증가할수록  $\pi$ -공액 길이가 길어지기 때문에 흡수와 형광 스펙트럼이 포피린에서와는 다르게 자외선/가시광선 영역에서 가시광선/근적외선 영역으로 장파장 이동하게 된다. 하지만 일곱 개 이상의 피롤 고리로 이루어진 확장된 포피린의 경우 피롤 고리의 개수가 늘어나고 거대고리가 확장되면서 분자의 유연성(flexibility)이 증가함으로써 구조가 뒤틀리는 현상을 나타내게 되어 숫자 8의 모양을 갖게 된다.

구조의 뒤틀림으로 인해 분자의 유연성이 증가하게 되고, 그로 인해서 진동 이완과정 (vibrational relaxation process) 등의 비방사과정(non-radiative process)이 증가함으로써 분자 고유의 물성을 파악하는데 어려움을 겪게 된다. 실제로 이러한 뒤틀린 분자에 대해서는  $\pi$ -공액 길이의 증가가 이루어지지 않기 때문에, 예상과는 다르게 흡수, 형광 스펙트럼이 근적외선 영역까지 확장되지 않게 되고 비방사과정에 의해서  $S_1$  상태와  $T_1$  상태의 소멸 시간이 실제 분자에서 보다 매우 빠르게 관찰된다.

## Figure-of-eight structure



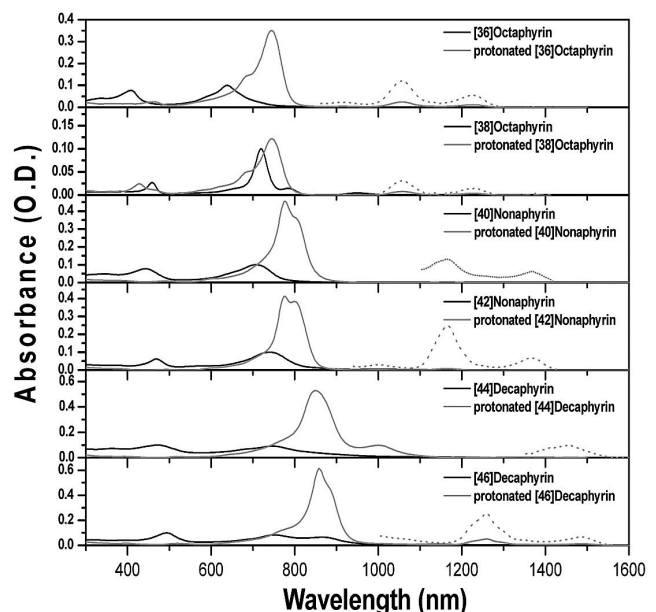
## Planar structure



Deprotonation

Protonation

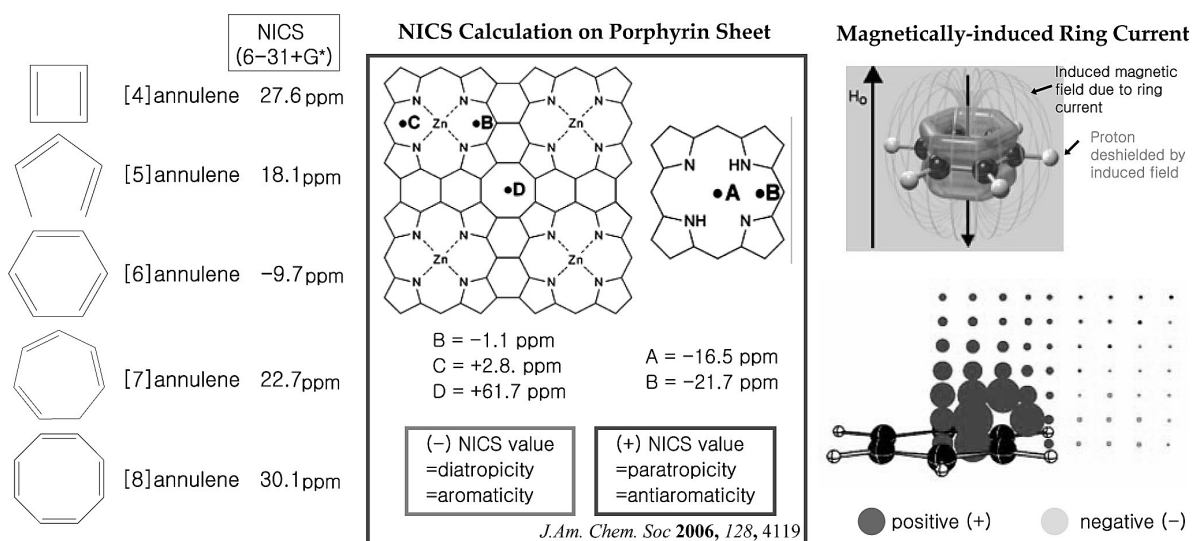
이러한 구조적인 뒤틀림과 유연성을 줄이기 위해서 양성자 추가와 음이온 결합이라는 두 가지 방법을 사용하게 된다. MSAL나 TFA등을 분자에 첨가시키면 양성자가 피롤 고리의 질소에 치환이 된다. 이렇게 치환된 양성자는 거대고리 내부의 입체 장애를 일으키고 결과적으로 뒤틀려있던 분자를 펴는 기능을 하게 된다. 또한 거대 고리와 첨가된 음이온이 결합하게 되면서 뒤틀린 거대고리 분자의 내부에 입체장애를 일으켜 뒤틀려있던 분자를 펴지게 되고, 음이온이 분자를 단단하게 잡아주는 역할을 하게 된다. 이러한 양성자와 음이온의 영향으로 8자 모양을 하고 있던 분자가 평평하게 펴짐으로써  $\pi$ -공액 길이가 증가하게 되고 오른쪽 그림과 같이 정류상태 흡수와 형광 스펙트럼이 장파장 이동하는 것을 볼 수 있었다. 또한, 거대고리 분자의 크기가 커질수록 흡수와 형광 밴드가 장파장 이동하는 것을 볼 수 있다. 이러한 정보를 기본으로 거대 고리 크기의 증가가 분자의 들뜬 상태의 동역학과 이광자 흡수에 어떠한 영향을 미치는지 연구 중이다.





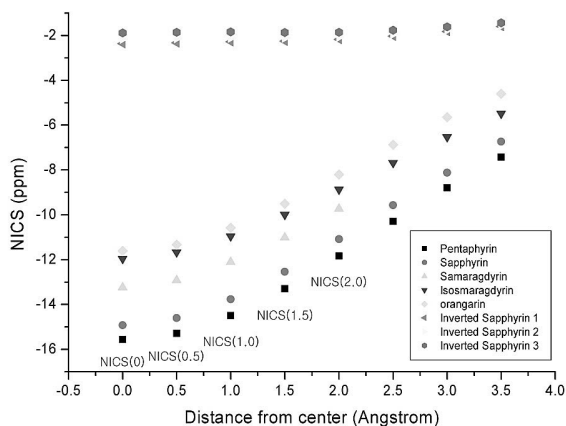
# NICS (Nucleus-Independent Chemical Shifts) for Quantitative Aromaticity

확장 포피린을 포함한 닫힌 체계 (Closed Shell System)의 파이 공액 분자의 연구에 있어, 방향성 (Aromaticity)의 연구는 분자의 물리, 화학적 특성을 설명할 수 있는 개념으로 그 중요성이 점차 높아지고 있다. 이에 발맞추어 1996년 P.v.R. Schleyer 교수가 창안한 NICS 개념은 외부 자기장에 의해 유도된 고리 형태 파이 공액 분자 내에서 형성되는 고리 전류 (ring current)에 의해 다시 유발된 자기장에 의한 가상 원자의 가리움/비가리움의 정도를 계산함으로써 방향성을 정량화하려는 시도 중의 하나이다. 이후 NICS 개념은 많은 이론적 계산과 실험을 통해 방향성의 정량화에 가장 적당한 방법 중에 하나로 여러 국제 학회에 소개되었는데, 5 개나 6개 등 적은 수의 원자로 이루어진 고리 화합물의 경우는 그 타당성이 검증된 바 있지만 확장 포피린에 관한 연구는 현재 유래를 찾아 보기 어렵다. 이에 본 연구실에서는 일본의 Atsuhiko Osuka 교수와 미국의 Jonathan L. Sessler 교수와의 공동 연구를 통해, 세계 최초로 5개의 피롤기 및 6개의 피롤기를 포함하는 확장 포피린 헤테로아놀렌 체계의 NICS 값을 계산해 내었고 이를 통해 방향성을 정량화 할 수 있었다.



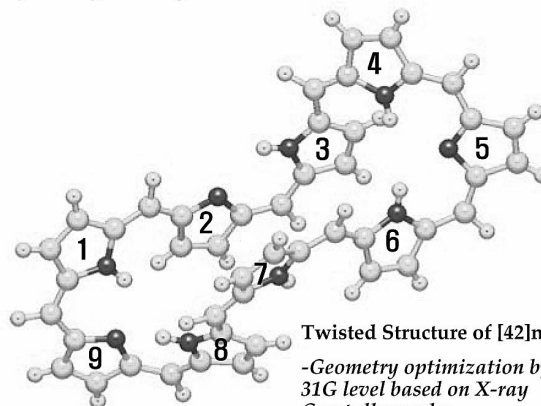
NICS 계산을 통해 정량화된 분자의 방향성은 편광 (polarizability) 특성을 매개로 하여, 비선형 광학 특성을 예상하는 척도가 될 것으로 생각된다. 나아가 거리 의존 (Distance-Dependent) NICS Scan 방법을 통해, 유도된 자기장에 따른 in-phase 혹은 out-of-phase 방향성을 정량화할 수 있는 있을 것으로 예상된다. 이와 같이, 최적화된 분자구조를 기반으로 하는 aromaticity의 정량화는 영국의 이론 화학자 Henry S. Rzepa 교수에 의해 취어진 (twisted or doubly-twisted) 거대 고리 화합물의 Möbius aromaticity를 밝히는 중요한 매개 변수로 이용될 수 있음이 알려져, 현재 8, 9, 10 개 및 그 이상의 피롤 고리를 포함하는 확장 포피린 및 금속 (Zn, Au, Pd 등) 치환된 포피린의 분광학적 성질과 방향성에 관한 비교 연구가 진행 중에 있다.

## Distance-Dependent NICS Scan Method for Various Pentapyrrolic Ring Systems



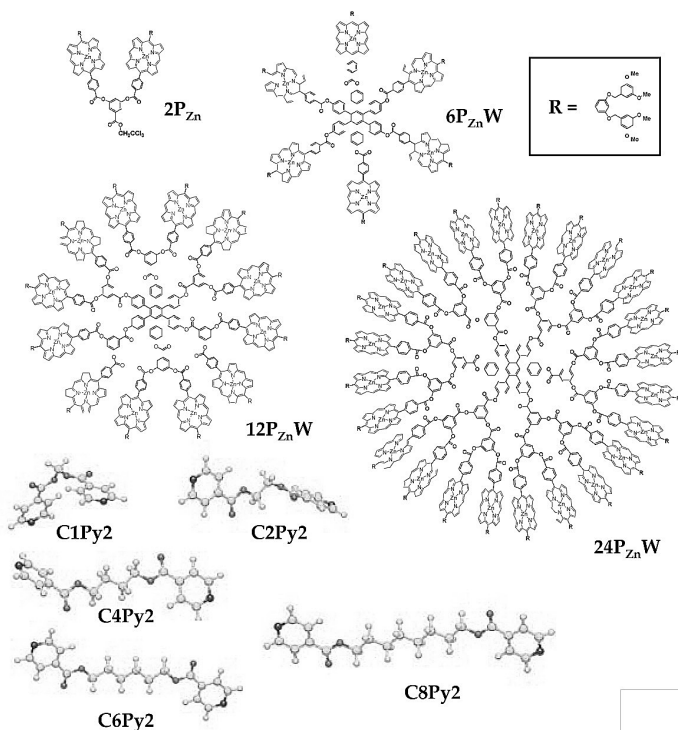
## A Measure of Rubber Band Model and Möbius aromaticity

"As the number of pyrrole rings in a heteroannulene system increases, so does the flexibility, resulting in a twisted structure."





# Control of Photophysical Properties of Zinc(II)-porphyrin Dendrimers using Various Bipyridine Guest Molecules



나그네 분자는 아연과 배위 결합을 할 수 있는 피리딘 분자가 두 개 치환되어 있기 때문에, 5배위 결합이 가능한 아연은 하나의 피리딘 분자와 결합이 가능하다. 따라서 나그네 분자는 두 개의 포피린 사이에 위치하면서 분자간 거리를 일정하게 유지시켜준다. Figure 1.에서 결합 상수 분포를 살펴보면, 나그네 분자 내에 있는 피리딘 분자 사이에 거리에 따라 결합 상수 변화가 나타나고 있다는 것을 알 수 있다. 특히, 포피린 덴드리머에 대한 결합 상수는  $10^5$  차수를 갖고 있고, 이는 나그네가 가지고 있는 두 개의 결합 위치에서 모두 결합을 하고 있다는 것을 나타낸다.

포피린 덴드리머는 3차원적 구조와 합성의 용이성으로 인해 광포집 구조체 혹은 고집적 분자체를 합성하는데 매우 효과적이다. 특히 덴드리머 구조는 코어와 가지 부분에 사용되는 반복 단위의 특성에 따라 그 특성이 조절될 수 있다. 그러나, 기본적으로 유연성을 갖는 가지 부분을 가지고 있기 때문에 덴드리머 구조는 주변 환경에 많은 영향을 받고, 그로 인해 광물리적 특성이 달라지게 된다. 이러한 문제는 분자 소자를 구현하는데 있어 큰 장애요소가 되고, 이를 극복하려는 다양한 방법이 모색되고 있다. 본 연구실에서는 적절한 길이의 나그네 분자를 포피린 사이에 배위 결합 시켜 분자간 거리와 배향을 고정하려는 실험을 수행 중이고, 이는 광합성 시스템에서 클로로필 분자가 단백질 구조 내에서 특정 거리와 배향을 가지며 높은 효율로 에너지를 전달하는 광포집 복합체를 가장 잘 모방한 구조체라 할 수 있다.

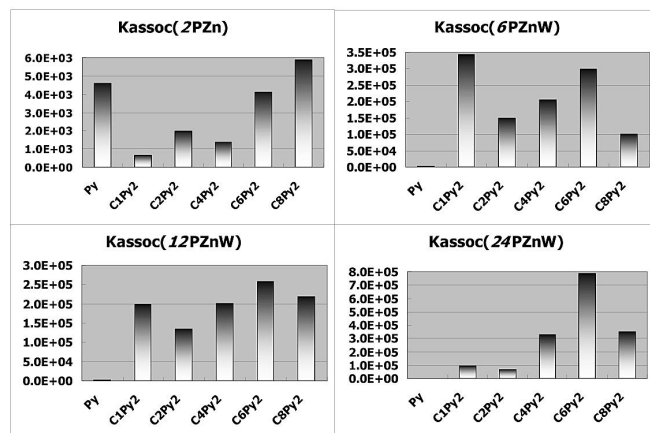


Figure 1. Association constants of zinc(II) porphyrin dendrimers and C<sub>n</sub>Py<sub>2</sub>.

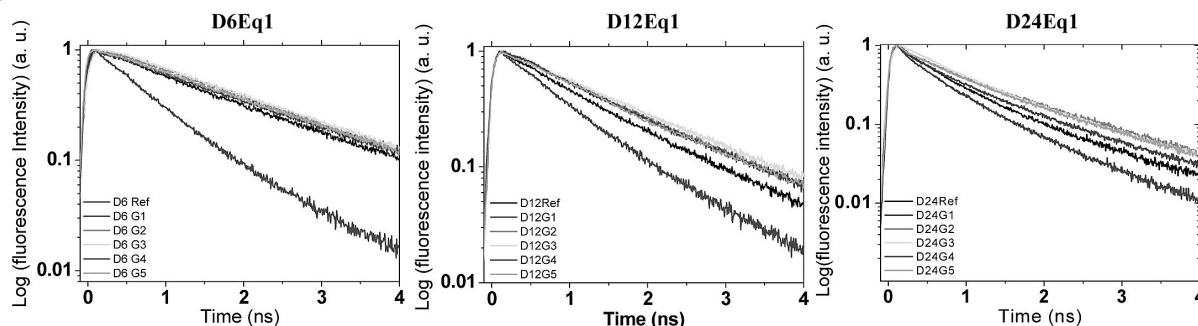
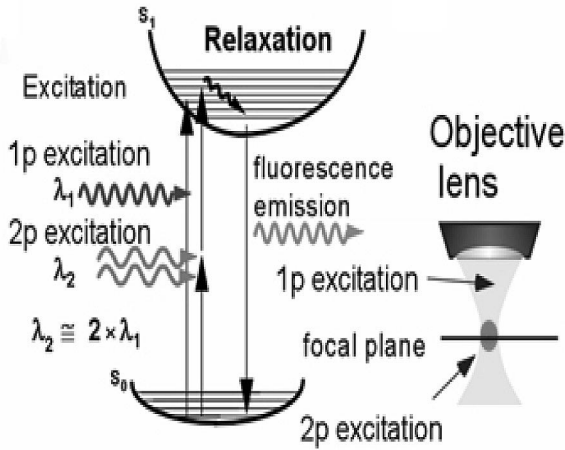


Figure 2. Fluorescence decay profiles of zinc(II) porphyrin dendrimers and C<sub>n</sub>Py<sub>2</sub> in CHCl<sub>3</sub>.

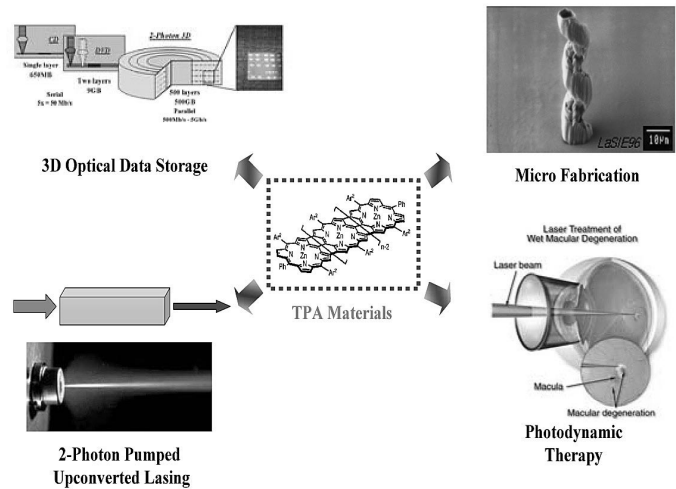
포피린 덴드리머는 나그네 분자와의 결합을 통해 형광 수명이 최대 40% 향상되었고 (Figure 2), 반대로 가장 짧은 나그네 분자 (C<sub>1</sub>Py<sub>2</sub>) 는 수명 시간을 급격히 감소시킨다. 이를 통해 나그네 분자를 통한 포피린 덴드리머의 광학적 특성 변화가 조절될 수 있고, 이는 덴드리머 소자 개발에 중요한 요소가 될 것이다.

# Nonlinear Optical Property Measurement of Various Porphyrins Arrays using Z-Scan method



최근 이 광자 흡수 활성을 보이는 물질들은 광 역학 치료, 3차원 정보저장, 광 세기제한, 3차원 나노미세물 제작, 공 초점 현미경 등 많은 응용분야에 대한 가능성이 밝혀지면서 큰 관심이 모아지고 있다. 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 . 현재 포피린을 이용한 광 역학적 치료에는 강한 에너지의 단일 광자를

사용하기 때문에 피부 조직에 손상을 입힐 수 있다는 한계가 있었지만 근적외선 영역의 에너지를 이용하는 이광자 흡수현상을 이용하면 피부의 손상 없이 조직이나 세포 표면을 더 쉽게 통과할 수 있고 정확하고 원하는 위치의 암세포를 제거할 수 있다는 장점이 있다. 또한 빛을 이용한 저장장치에 이 광자흡수 현상을 이용하면 정보의 저장면적이 기존의 2차원에서 3차원으로 확장 되면서 1 cm<sup>3</sup>의 큐빅에 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 크리스탈을 이용한 5kHz 반복율과



130 fs pulse 를 갖는 800 nm의 광원을 사용하며(Spectra Physics, Hurricane) TOPAS (Travelling-wave Optical Parametric Amplifier of Superfluorescence)를 통하여 다양한 파장(600 ~ 2400 nm)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 분자까지도 알맞은 파장으로 비선형 광학적 특성을 밝히는데 아주 유용하다.

$$1. P = \chi^{(1)}E + \chi^{(2)}EE + \chi^{(3)}EEE + \dots$$

$$2. \text{Third Order Nonlinear Susceptibility} : \chi^{(3)} = \chi_R^{(3)} + i\chi_I^{(3)}$$

3. Nonlinear Absorption Coefficient (Imaginary Part)

$$\alpha(I) = \alpha + \beta I \rightarrow \text{Nonlinear Absorption}$$

↙  
Linear Absorption

Require high peak power for the measurement nonlinear properties

$\chi^{(2)}$  = 2nd Order, Pockel Effect, etc.

$\chi^{(3)}$  = Optical Kerr Effect (Refractive Index Change), Two Photon Absorption, etc.

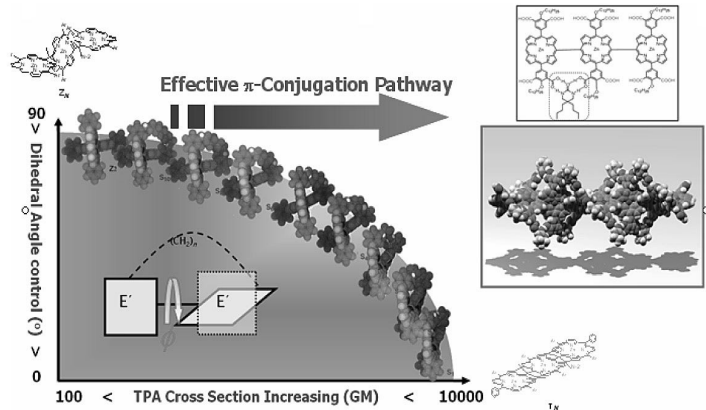
$$\text{Real part } \chi_R^{(3)} = 2n_0^2 \epsilon_0 c \gamma$$

related to the nonlinear refractive index

$$\text{Imaginary part } \chi_I^{(3)} = \frac{n_0^2 \epsilon_0 c^2}{\omega} \beta$$

related to the two photon absorption

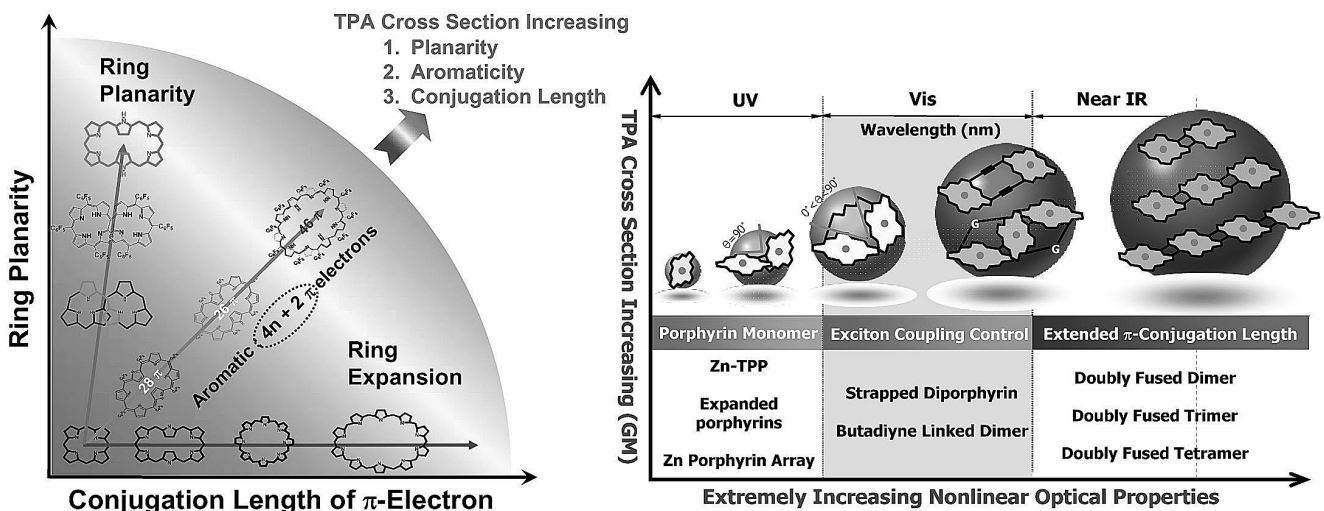
이번 연구에서는 두 포피린간에 체계적인 이면각 조절을 통해 두 포피린간에 발생하는 전자적 상호작용을 제한하고 여기자 상호작용(exciton coupling)을 조절함으로써 두 개의 포피린에서 이루어지는 pi-공액경로 영향이 결국 이 광자 흡수활성과 상관관계가 있음을 밝히기 위해 *meso* position strapped chain length( $S_6 \sim S_1$ )를 조절해 TPA value를 측정 한 결과(3470 ~ 7500 GM)로 chain length가 짧아짐에 따라 TPA value도 증가하는 것을 볼 수 있었다. 이광자 흡수 활성도는 Hückel 법칙에 의한 방향성(aromaticity)이나 반방향성(Anti-aromaticity) 뿐 아니라  $\pi$ -공액에 의한 효과를 고려할 때 보다 정확한 값을 체계적으로 얻을 수 있다는 결론을 내렸다.



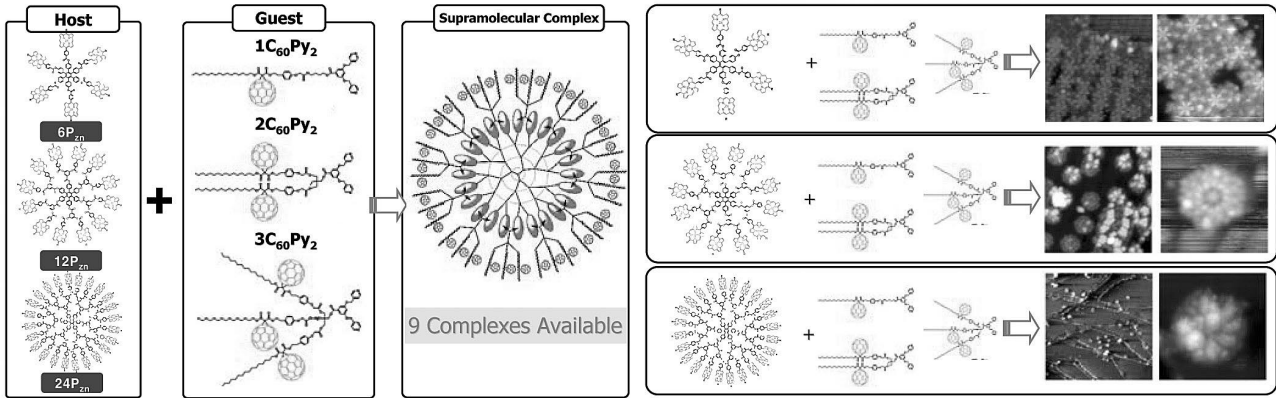
또한 지난 연구에서 큰 관심을 모았던 triple linked fused porphyrin arrays는 큰 TPA value를 얻었지만 linear absorption의 영향으로 그 value는 effective 값으로만 발표된바 있다. 그러나 새로 연구가 시작된 doubly fused porphyrin arrays는 분자간의 평면성을 유지하며  $\pi$ -공액 길이를 증가시킴으로 일정하게 장파장으로 이동하는 triple linked fused array 와 비슷한 성질을 갖고 있고 보다 우수한 점은 실험하는 파장영역에서 linear absorption의 영향을 전혀 받지 않는다는 장점이 있다. 이렇게 실험한 결과 doubly fused dimer에서는 약 8000 GM 이란 TPA value를 얻을 수 있었고 pentamer에서는 약 40000 GM이란 높은 값을 얻을 수 있었다. 이로써 분자간의 평면성이나  $\pi$ -공액길이의 확장은 TPA value 증가에 큰 영향을 미친다는 것을 다시 한번 확인할 수 있었다

Sample	$\sigma^{(2)}$ (GM)	Dihedral Angle (°)		Con. (mM)	Solvent
		MM2	X-ray		
S1dimer	7500	36	-	0.25	Toluene
S2dimer	6330	41	50	0.25	Toluene
S3dimer	6120	47	-	0.25	Toluene
S4dimer	4830	70	61	0.25	Toluene
S5dimer	3920	75	-	0.25	Toluene
S6dimer	3470	79	-	0.25	Toluene
S4trimer	6550	-	-	0.15	Toluene
S5trimer	4650	-	-	0.15	Toluene

현재 본 연구단은 [26],[28]hexaphyrins 이후에 다양한 expanded porphyrins (cyclo[n], core modified hexaphyrins, protonated expanded porphyrins, 등)과 비선형 광학적 성질을 보다 체계적으로 연결하기 위해 연구 진행 중이며 더 나아가서는 실생활에 응용이 가능한 비선형광학소자를 개발하기 위해 다양한 방법으로 접근하고 있다.



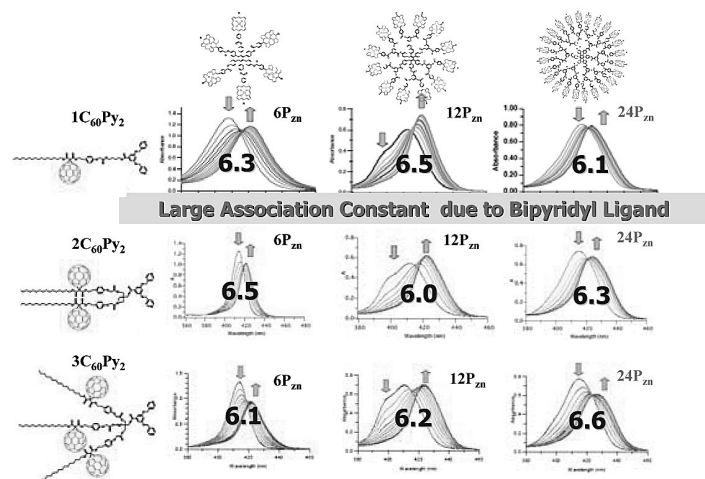
# Charge Separation between Porphyrin Dendrimers and Multi-Fullerene Ligands



**Figure 1. Supramolecular Complexes composed of Porphyrin Dendrimers and Multi-Fullerene Ligands (Left) and their STM Images (Right)**

빛에 의해 여기 된 후 전자 분리가 효율적으로 일어나고 또한 전자 재결합이 느리게 나타나는 분자 구조체를 만드는 일은 인공 광합성 시스템을 구현하는데 있어 굉장히 중요한 한 부분으로 인식되어 왔다. 그 중 전자 주계로서 포피린 분자를 이용하고 전자 받게로서 풀러렌분자를 이용한 수많은 분자 시스템들이 오랜 기간 동안 꾸준히 과학적 관심의 대상이 되어왔다. 이러한 시스템들은 공유 결합 혹은 배위 결합에 의해 전자 주계와 받게 사이에 거리, 위치, 구조 등의 다양한 변수를 두어가며 그들의 광 에너지 변환 효율에 대한 차이 및 전자 전달 메커니즘에 대한 연구가 진행 되어 왔다. 현재 이러한 시스템들은 ITO 전극 혹은 순금 전극을 이용하여 일종의 실질적인 태양전지를 구성하는 단계에까지 이르고 있다. 본 연구에서는 포피린 덴드리머와 풀러렌 리간드를 사용하여 3차원 공간 상에서의 배위 결합을 통한 복합체를 형성(Figure 1)하고 이들 복합체에서 일어나는 전자 이동 현상에 대한 효율 및 메커니즘을 규명하였다.

리간드의 양을 점차적으로 늘려가며 적정을 계속함에 따라 포피린 덴드리머에서 나타나는 B 밴드에서의 흡광도가 변화해 가는 것을 관찰 할 수 있었다. 6Pzn, 12Pzn 그리고 24Pzn에서 포피린의 B 밴드 보다 더 낮은 에너지 준위에서 배위 결합에 의한 복합체의 흡수가 증가하는 현상을 확인 할 수 있다. 또한 이와 반대로 원래의 덴드리머의 흡광도는 감소하는 현상을 확인 할 수 있었다. 그리고 둘간의 배위 결합으로 인하여 밴드가 좁아지는 현상을 확인 할 수 있었으며 이는 리간드가 결합됨에 따라 덴드리머의 구조 또한 전체적으로 안정화 되는 경향을 반영하는 것이라 말할 수 있다. 이는 STM 사진(Figure 2)을 통해서도 명확히 확인되어 진다. 복합체의 해리상수(Log Kassoc)는 6.2~6.6의 큰 값을 가지는 것을 확인 할 수 있었으며 이는 배위 결합으로 형성 된 포피린-풀러렌 분자 구조체에서는 이제껏 보고 되지 않았던 큰 값으로 복합체의 형성이 굉장히 효율적으로 이루어지고 있음을 설명해 주는 직접적인 증거이다. 이러한 큰 해리상수는 각각의 다중 풀러렌 리간드들은 2개의 피리달기를 가지고 있으며, 따라서 리간드 하나에 결합할 수 있는 질소의 수가 2개가 되며 포피린 덴드리머와의 결합력을 크게 향상 시킬 수 있는 구조라고 생각되어진다. 또한 포피린 덴드리머의 경우 복합체가 형성됨에 있어서 결합할 수 있는 Zn이 일반적인 단량체 혹은 이량체 포피린에 비해서 상대적으로 많이 존재하므로 큰 해리 상수를 가지는데 크게 일조를 하고 있다고 사료된다.



**Figure 2. Uv-Vis Titration Data and Association Constant about Supramolecular Complexes**

## More Efficient Charge Separation

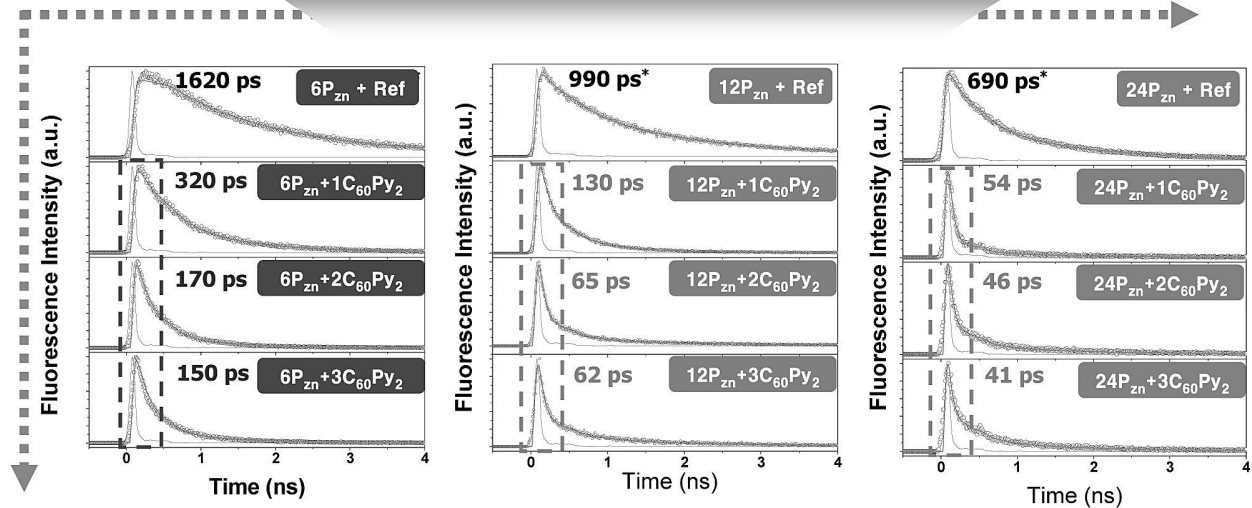


Figure 3. Fluorescence Decay Profiles of Dendrimers and Supramolecular Complexes in  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$

포피린 덴드리머와 풀러렌 리간드 사이에 복합체가 형성된 후에는 그들의 형광은 급격히 감소하게 된다. 이는 복합체가 형성됨에 따라 원래의 덴드리머에서의 형광 과정을 감소시키는 다른 과정이 생겨났다는 것을 보여 준다. 형광을 감소시킬 수 있는 인자는 여러 가지가 존재 하지만 당 연구의 포피린-풀러렌 복합체 내에서 발견 될 가능성이 가장 높다고 판단 되는 인자는 포피린에서 풀러렌으로의 전자 이동에 의한 현상이라고 생각 할 수 있다. 따라서 형광 수명의 감소를 통해 포피린-풀러렌 복합체 내에서 일어나는 전하 분리 현상에 대한 다양한 정보를 얻어 낼 수 있었다. 우선 Figure 3.을 보면 각각의 덴드리머의 형광 수명에 비해 풀러렌 리간드가 증가함에 따라 점차적으로 형광 수명이 급격히 감소하는 현상을 확인 할 수 있다. 표1에 정리되어 있는 내용을 보면 나노초 수준의 형광 수명이 피코초 수준으로 급격히 감소하는 현상을 확인 할 수 있다. 또한 흥미롭게도 리간드 당 풀러렌의 숫자가 증가할수록 그리고 덴드리머의 크기가 증가함에 따라 좀 더 빠른 형광 수명 시간을 가짐을 확인 할 수 있었다. 이를 통해 전자 이동 현상의 두 중요한 과정 중 하나인 전하 분리의 과정은 덴드리머의 크기가 클수록 그리고 리간드의 풀러렌의 개수가 많을수록 효율적으로 일어난다는 것을 알 수 있었다.

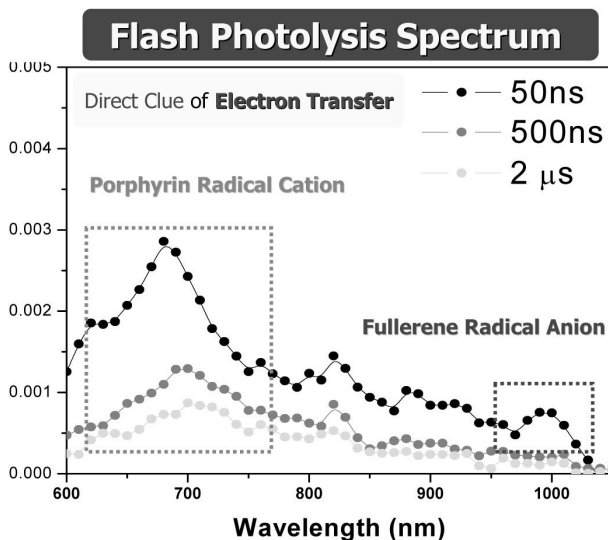


Figure 4. Flashphotolysis Spectrum of  $6\text{P}_{\text{zn}}3\text{C}$  in  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$

포피린 덴드리머와 풀러렌 리간드 사이에 형성된 복합체 내에서의 전자 이동 현상에 대하여 가장 확실하고 직접적인 증거를 얻을 수 있는 방법은 빛에 의해 여기된 이후에 포피린의 양이온 라디칼 혹은 풀러렌의 음이온 라디칼에 대한 증거를 찾는 것이다. 전이 상태의 풀러렌 음이온은 1000 nm 근방에서 스펙트럼을 보이는 것으로 알려져 있고 또한 포피린 양이온 라디칼의 경우는 680 nm 근방의 스펙트럼을 보이는 것으로 알려져 있다. 포피린 덴드리머-풀러렌 리간드 복합체에서도 이러한 실험을 통해 실질적으로 전자의 이동이 일어났는지를 파악하고자 하였다. 스펙트럼(Figure 4)에서 확인 할 수 있듯이 680 nm의 봉우리를 가지는 포피린 양이온 라디칼과 1000 nm 근방에 봉우리를 가지는 풀러렌 음이온 라디칼의 증거를 확인 할 수 있었으며 이를 통해 직접적으로 전자 이동과정이 복합체 내에서 효율적으로 일어났음을 확인하였다. 또한 9개의 복합체에 대해 1000 nm에서의 풀러렌 음이온 라디칼의 소멸 시간을 측정하였다. 그 결과 150 ns ~ 220 ns 비슷한 수준의 소멸시간을 보이는 것을 확인 할 수 있었다. 이를 통해 다중 포피린 구조체와 다중 풀러렌 리간드들간의 배위 결합으로 형성된 초분자 복합체에서의 전자 이동 현상에 대한 전체적인 동역학을 얻어 낼 수 있었다.

# 연구단 구성

## 연구단장



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

## 연구원



Ph.D. Student Mira Park  
mummy78@yonsei.ac.kr



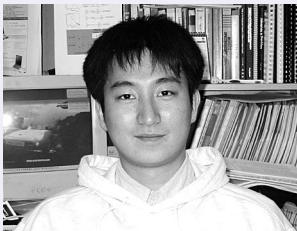
Ph.D. Student Min-Chul Yoon  
femtochem@yonsei.ac.kr



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



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



Ph. D. Student Jung Ho Kwon  
jh790808@yonsei.ac.kr



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



Master Student Jae sung Yang  
ip8315@yonsei.ac.kr



Master Candidate Jin Hee Park  
jinee10@yonsei.ac.kr



Master Candidate Mi Kyung Ko  
gomi0816@yonsei.ac.kr



Master 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



Secretary Eun Jung Kim  
cuocc@yonsei.ac.kr

### ▶ 연구지원인력

## 연구원 동정

당 연구단의 단장인 김동호 교수는 그 동안의 연구 업적을 인정받아 제 10회 한국과학상을 수상 하였다. 이 상은 과학기술부에서 2년마다 대한민국 최고 과학자에게만 수여하는 대단히 명예로운 상이다. 또한 대한화학회와 Sigma-Aldrich에서 주관하는 제3회 Sigma-Aldrich 상을 수상한 바 있다.

지난 2001년부터 연구원으로 근무했던 안태규 연구원은 2006년 3월에 박사학위를 취득하여 UC Berkeley Biophysical Chemistry, Graham R. Fleming 교수 그룹에서 Post Doc.과정으로 연구 활동을 하고 있다. 안태규 연구원은 2005년 10월 대한화학회에서 주관하는 우수논문상을 수상한 바 있다.

당 연구단에 참여해 많은 연구 활동을 했던 송재규 연구원이 2006년 3월 경희대학교 화학과 교수로 부임하였다.

김길석과 김덕윤 연구원은 2006년 2월에 석사학위를 취득하였다. 김길석 연구원은 당 연구단에서 박사학위 과정으로 진학하였고, 김덕윤 연구원은 (주)동양제철 화학에 취업하였다.

2004년 10월 1일자로 우리 연구단에서 연구원으로 활동 중이던 윤민철 연구원은 2006년 3월부터 박사과정으로 진학하였고, 박재홍 연구원은 지난 2005년 8월부터 2006년 5월까지 당 연구단에서 활동하였으며 6월부터는 미국 Pennsylvania Univ.에서 학위취득 과정으로 진학하였다.

박미라 연구원은 06.3.11-4.2까지 벨기에 Katholieke Universiteit Leuven 에서 Frans C. De Schryver 교수 연구실에서 단분자 분광학에 관한 실험을 수행하였고, 오는 7월에 3차 방문하여 단분자 분광학에 관한 실험을 수행하기로 하였다. 또한 박미라 연구원은 "Single Molecule Spectroscopic Investigation on Conformational Heterogeneity of Directly Linked Zinc(II) Porphyrin Arrays" 논문으로 Carl Zeiss에서 공모하는 2006 Fluores Science Award 우수 논문상을 수상하였다.

조 성 연구원은 05.8.1-8. 27 까지 일본 RIKEN 연구소에서 Tahei Tahara 교수 연구실에서 광 파라메트릭 증폭기를 이용한 초고속 결맞음 현상에 관한 연구를 수행하였다.

권정호 연구원은 05.7.1-7.31 까지 일본 Tohoku University에서 Osamu Ito 교수 연구실에서 나노초 섬광 측정 실험과 삼중항 상태 에너지 이완 현상에 관한 연구를 수행하였다.

박종강과 장소영 연구원은 2006년 3월부터 석사과정으로 입학하여 각각 포피린-C<sub>60</sub> 전자 이동 현상과 포피린 유도체의 이광자 흡수 비선형 현상에 대해 연구를 수행 중이다.

## 연구단 활동

2006년 4월14일에는 창의적 연구진흥사업 활성화 방안 워크숍을 개최하여 올해 종료되는 창의단은 그동안의 연구실적을 전시하였고, 새롭게 진입한 창의단은 앞으로의 나아갈 연구방향에 대하여 진행 중인 연구결과를 전시하여 서로 교류할 수 있는 장이 되었다.

아울러 김우식 부총리와 연세대학교 정창영 총장이 참석하여 자리를 더욱 빛내주었다.

총 9년간 수행했던 창의적 진흥사업이 2006년 5월을 기점으로 종결되었습니다. 9년간의 집중적인 투자를 통해 초고속 광물성 제어 연구단은 최첨단의 분광학 기술 및 장비를 보유하게 되었고, 우수한 인재를 많이 육성했다. 이를 통해 국내 분광학 수준을 한 단계 진보시켰고, 활발한 기술 및 인적 교류와 범세계적인 공동 연구를 통해 우수한 연구 업적을 쌓았다. 이러한 연구 수행은 앞으로도 계속 이루어 질 것이고, 기술 이전을 통해 국내 분광 분야 발전과 분광 장비의 국산화에 크게 기여했다. 지난 9년간 노력해 주신 모든 구성원 여러분들과 물심양면으로 지원해 주신 많은 분들께 감사드립니다.

한국학술진흥재단에서 우수학자를 지원하는 Star-Faculty 지원 사업에 선정되어 최장 10년간 총 20 억 원을 지원받게 되었으며, 이를 통해 향후 지속적 연구 활동과 응용 기술 개발이 탄력을 받을 것으로 기대된다.

김동호 교수는 BK21사업에서는 사업단장으로 업무를 수행하고 있고, 연세대학교 화학과는 올 6월부터 BK21사업 지원을 받게 되었다.

과학동아 2005년 10월호에서는 특집으로 결정적 순간이란 주제로 본 연구단의 연구내용을 담았다.

제주 연수원에서 5월 11-13일에 걸쳐 열린 2006첨단 레이저 및 레이저 응용 워크숍에 참석하여 강연과

포스터 발표에 참여하고 다른 학교의 연구원들과 연구 교류를 했다. 학회를 마치고 한라산 등반을 통해 구성원의 단합과 사기 충전을 하고 왔다.

### 국내 · 외 연구논문발표 (2005. 9-2006. 6)

- Ahn, Tae Kyu; Kwon, Jung Ho; Kim, Deok Yun; Cho, Dae Won; Jeong, Dae Hong; Kim, Seong Keun; Suzuki, Masaaki; Shimizu, Soji; Osuka, Atsuhiko; Kim, Dongho "Comparative Photophysics of [26]- and [28]Hexaphyrins(1.1.1.1.1.1): Large Two-Photon Absorption Cross Section of Aromatic [26]Hexaphyrins (1.1.1.1.1.1)" *Journal of the American Chemical Society* **127**(37), 12856-12861 (2005).
- Park, Mira; Kim, Hyong-Ha; Kim, Dongho; Song, Nam Woong "Counting the number of fluorophores labeled in biomolecules by observing the fluorescence-intensity transient of a single molecule" *Bulletin of the Chemical Society of Japan* **78**(9), 1612-1618 (2005).
- Ko, Damee; Kim, Heeyoung; Park, Jin Hee; Kim, Dongho; Sim, Eunji "Excitation energy transfer rate constants in meso-meso linked Zn(II) porphyrin arrays with energy accepting 5,15-bisphenylethynylated Zn(II) porphyrin" *Bulletin of the Korean Chemical Society* **26**(10), 1505-1511 (2005).
- Park, Mira; Cho, Sung; Yoon, Zin Seok; Aratani, Naoki; Osuka, Atsuhiko; Kim, Dongho "Single Molecule Spectroscopic Investigation on Conformational Heterogeneity of Directly Linked Zinc(II) Porphyrin Arrays" *Journal of the American Chemical Society* **127**(43), 15201-15206 (2005).
- Yoon, Zin Seok; Yoon, Min-Chul; Kim, Dongho "Excitonic coupling in covalently linked multiporphyrin systems by matrix diagonalization" *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* **6**(4), 249-263 (2005).
- Aratani, Naoki; Yoon, Zin Seok; Kim, Dongho; Osuka, Atsuhiko "Correlation of fluorescence anisotropy decay with molecular size and shape of covalently and noncovalently bound large porphyrin arrays" *Journal of the Chinese Chemical Society* **53**(1), 41-46 (2006).
- Hajjaj, Fatin; Yoon, Zin Seok; Yoon, Min-Chul; Park, Jaehong; Satake, Akiharu; Kim, Dongho; Kobuke, Yoshiaki "Assemblies of Supramolecular Porphyrin Dimers in Pentagonal and Hexagonal Arrays Exhibiting Light-Harvesting Antenna Function" *Journal of American Chemical Society* **128**(14), 4612-4623 (2006).
- Na, Chan Woong; Han, Doo Suk; Kim, Dae Sung; Kang, Young Joo; Lee, Jin Young; Park, Jeunghee; Oh, Dong Keun; Kim, Kil Suk; Kim, Dongho "Photoluminescence of Cd<sub>1-x</sub>MnxS (x<=0.3) Nanowires" *Journal of Physical Chemistry B* **110**(13), 6699-6704 (2006).
- Nakamura, Yasuyuki; Aratani, Naoki; Shinokubo, Hiroshi; Takagi, Akihiko; Kawai, Tomoji; Matsumoto, Takuya; Yoon, Zin Seok; Kim, Deok Yun; Ahn, Tae Kyu; Kim, Dongho; Muranaka, Atsuya; Kobayashi, Nagao; Osuka, Atsuhiko "A Directly Fused Tetrameric Porphyrin Sheet and Its Anomalous Electronic Properties That Arise from the Planar Cyclooctatetraene Core" *Journal of American Chemical Society* **128**(12), 4119-4127 (2006).
- Yu, Jae-Woong; Kim, Jai Kyeong; Kim, Dong Young; Kim, Chulhee; Song, Nam Woong; Kim, Dongho "Prediction of efficient energy transfer in emissive polymer blends based on Forster radius and the excited state lifetime of acceptors" *Current Applied Physics* **6**(1), 59-65 (2006).
- Park, Mira Park; Chon, Byong Hyok; Kim, Hyun Sun; Jeoung, Sae Chae; Kim, Dongho; Lee, Jeoung-Ik; Chu, Hye Yong; Kim, Hyeong Rae "Ultrafast laser ablation of indium tin oxide thin films for organic light-emitting diode application" *Optics and Lasers in Engineering* **44**(2), 138-146 (2006).
- Ahn, Tae Kyu; Kim, Kil Suk; Kim, Deok Yun; Noh, Su Bum; Aratani, Naoki; Ikeda, Chusaku; Osuka, Atsuhiko; Kim, Dongho "Relationship between Two-Photon Absorption and the pi-Conjugation Pathway in Porphyrin Arrays through Dihedral Angle Control" *Journal of American Chemical Society* **128**(5), 1700-1704 (2006).
- Hwang, In-Wook; Yoon, Zin Seok; Kim, Jiwon Kim; Kamada, Taisuke; Ahn, Tae Kyu; Aratani, Naoki;



- Osuka, Atsuhiko; Kim, Dongho "Excitation energy migration in a dodecameric porphyrin box" *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* **178**(2-3), 130-139 (2006).
14. Hori, Takaaki; Aratani, Naoki; Takagi, Akihiko; Takagi, Matsumoto, Takuya; Kawai, Tomoji; Yoon, Min-Chul; Yoon, Zin Seok; Cho, Sung; Kim, Dongho; Osuka, Atsuhiko "Giant Porphyrin Wheels with Large Electronic Coupling as Models of Light-Harvesting Photosynthetic Antenna" *Chemistry A European Journal* **12**(5), 1319-1327 (2006).
  15. Suzuki, Masaaki; Yoon, Min-Chul; Kim, Deok Yun; Kim, Kwon, Jung Ho; Kwon, Furuta, Hiroyuki; Kim, Dongho; Osuka, Atsuhiko "A New Entry to Doubly N-Confused [26]Hexaphyrins(1.1.1.1.1.1) from Normal [26]Hexaphyrins(1.1.1.1.1.1) through an Unprecedented Double Pyrrolic Rearrangement" *Chemistry A European Journal* **12**(6), 1754-1759 (2006).
  16. Inokuma, Yasuhide; Kwon, Jung Ho; Ahn, Tae Kyu; Yoon, Min-Chul; Kim, Dongho; Osuka, Atsuhiko "Tribenzosubporphines: Synthesis and Characterization" *Angewandte Chemie, International Edition* **45**(6), 961-964 (2006).
  17. Kwon, Jung Ho; Ahn, Tae Kyu; Yoon, Min-Chul; Kim, Deok Yun; Koh, Mi Kyoung; Kim, Dongho; Furuta, Hiroyuki; Suzuki, Masaaki; Osuka, Atsuhiko "Comparative Photophysical Properties of Free-Base, Bis-Zn(II), Bis-Cu(II), and Bis-Co(II) Doubly N-Confused Hexaphyrins(1.1.1.1.1.1)" *Journal of Physical Chemistry B* **110**(24), 11683-11690 (2006).
  18. Kang, Bong Keun; Aratani, Naoki; Lim, Jong Kuk; Kim, Dongho; Osuka, Atsuhiko; Yoo, Kyung-Hwa "Electrical transport properties and their reproducibility for linear porphyrin arrays" *Materials Science & Engineering, C: Biomimetic and Supramolecular Systems* **26**(5-7), 1023-1027 (2006).
  19. Kurotobi, Kei; Kim, Kil Suk; Noh, Su Bum; Kim, Dongho; Osuka, Atsuhiko "A Quadruply Azulene-Fused Porphyrin with Intense Near-IR Absorption and a Large Two-Photon Absorption Cross Section" *Angewandte Chemie, International Edition* **45**, 3944-3947 (2006).
  20. Kamada, Taisuke; Aratani, Naoki; Ikeda, Chusaku; Shibata, N.; Higuchi, Y.; Wakamiya, A.; Yamaguchi, S.; Kim, Kil Suk; Yoon, Zin Seok; Kim Dongho; Osuka, Atsuhiko "High Fidelity Self-Sorting Assembling of meso-Cinchomeronimide Appended meso-meso Linked Zn(II) Diporphyrins" *Journal of American Chemical Society* **128**(23), 7670-7678 (2006).
  21. Wei-Shi Li, Kil Suk Kim, Dong-Lin Jiang, Hiroyuki Tanaka, Tomoji Kawai, Jung Ho Kwon, Dongho Kim, Takuzo Aida "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*, ASAP (2006).
  22. Sung Cho, Wei-Shi Li, Min-Chul Yoon, Tae Kyu Ahn, Dong-Lin Jiang, Jiwon Kim, Takuzo Aida and Dongho Kim "Relationship between Incoherent Excitation Energy Migration Processes and Molecular Structures in Zinc(II) Porphyrin Dendrimers" *Chemistry-A European Journal* ASAP (2006)
  23. Sessler, Jonathan L.; Cho, Dong-Gyu; St?pie?, Marcin; Lynch, Vincent; Waluk, Jacek; Yoon, Zin Seok; Kim, Dongho "Inverted Sapphyrin: a New Family of Expanded Porphyrins" *Journal of American Chemical Society*, submitted (2006).
  24. Yoon, Zin Seok; Kwon, Jung Ho; Yoon, Min-Chul; Koh, Mi Kyoung; Noh, Su Bum; Sessler, Jonathan L.; Lee, Jeong Tae; Seidel, Daniel; Aguilar, Apolonio; Shimizu, Soji; Suzuki, Masaaki; Osuka, Atsuhiko; Kim, Dongho "Nonlinear Optical Properties and Excited-State Dynamics of Highly Symmetric Expanded Porphyrins" *Journal of American Chemical Society*, submitted (2006).
  25. Takaaki Hori, Min-Chul Yoon, Akihiko Takagi, Zin Seok Yoon, Xiaobin Peng, Sung Cho, Naoki Aratani, Takuya Matsumoto, Tomoji Kawai, Dongho Kim, Atsuhiko Osuka " A Hexagonal Prismatic Porphyrin Array: Synthesis, STM Detection, and Efficient Eenergy Hopping in Near Infrared Region" *Journal of American Chemical Society*, submitted (2006).

## 세미나 개최

전문가 초청으로는 국내 연사가 5 건, 국외 연사가 8 건으로 총 13 건의 세미나를 개최하였다.

**2005.9.7**

이영종 교수 (Univ. of Texas Austin)  
"Single Molecule Spectroscopy of Conjugated Polymers: Watching a Molecule, Feeling Bulk"

**2005.10.28**

김석규 교수 (영남대학교)  
"Binding modes of porphyrins to DNA studied by polarized spectroscopy"

**2005.11.11**

이창희 교수 (강원대학교)  
"Fine tuning of anion recognition property of calix(4)pyrroles"

**2005.12.30**

황인욱 박사 (Univ. of California Santa Barbara)  
"Low Band Gap Polymers for Photovoltaic Application"

**2006.4.17**

윤상운 교수 (단국대학교)  
"Faster, Better, and Stronger: Femtosecond Stimulated Raman Spectroscopy"

**2005.8.24-26**

Prof. Nagao Kobayashi (Tohoku University)  
"Definitive Assignments of the Visible-near-IR Bands of Porphyrin-Naphthalocyanine Rare-Earth Sandwich Compounds and Directly Fused Planar Porphyrins by Magnetic Circular Dichroism (MCD) Spectroscopy"

**2005.8.24-26**

Prof. Chou Pi-Tai Peter (Department of Chemistry, National Taiwan University)  
"Probing Excited State Electron/Proton Transfer Coupled Reactions"

**2005.8.24-26**

Prof. Tahei Tahara (Molecular Spectroscopy Laboratory, RIKEN, Japan)

"New methods to explore ultrafast dynamics in inhomogeneous systems"

**2005.8.29**

Prof. Nagao Kobayashi (Tohoku University)  
"Definitive Assignments of the Visible-near-IR Bands of Porphyrin-Naphthalocyanine Rare-Earth Sandwich Compounds and Directly Fused Planar Porphyrins by Magnetic Circular Dichroism (MCD) Spectroscopy"

**2005.10.11**

Prof. Naoki Aratani (Kyoto University)  
"Linear and Cyclic Architectures of Electronic Interacting Porphyrin Arrays", "Synthesis and Photophysical Properties of Giant Porphyrin Wheels"

**2005.11.3-13**

Prof. Weishi Li (University of Tokyo)  
"Cooperativity in Chiroptical Sensing with Dendritic Zinc Porphyrins" 세미나를 발표하고 "Synthesis of Multi porphyrin dendrimers and Multi fullerene ligands" 실험하였다.

**2005.4.17-21**

Prof. Jonathan L. Sessler (Department of Chemistry University of Texas at Austin)  
"Synthetic Expanded Porphyrin Chemistry"

**2006.4.29**

Prof. Masahiro Irie (Kyushu University)  
"Photochromism - Fundamentals and Applications"

## 국내 · 외 학술회의 발표

### 국제 학술회의 초청 발표

**Kim Dongho** "Session IV Chairman", *11<sup>th</sup> Asian Chemical Congress*, May 24-26 2005, 고려대학교.

**Kim Dongho** "Molecular Photonics Based on Porphyrin Arrays", *6<sup>th</sup> International Conference on Tetrapyrrole Photoreceptors in Photosynthetic Organisms* September 11-16 2005, Swiss-Zurich.

**Kim Dongho** “Molecular Photonics Based on Porphyrin Arrays”, *ETH Seminar*, September 30 2005, Swiss-Zurich.

**Kim Dongho** “Ultrafast Excitation Energy Migration Processes in Various Multiporphyrin Arrays”, *2005 Korea-Japan Symposium on Frontier Photoscience*, October 7-11 2005, Busan, Korea.

**Kim Dongho** “Ultrafast Excitation Energy Migration Processes in Various Porphyrin Arrays”, *PACIFICHEM 2005*, December 15-20 2005, Hawaii.

**Kim Dongho** “Ultrafast excitation energy migration processes in various porphyrin arrays”, *The 4<sup>th</sup> Asian Conference on Ultrafast Phenomena*, January 8-11 2006, Hong Kong.

**Kim Dongho** “Relationship Between Two-Photon Absorption and  $\pi$ -Conjugation Pathway in Porphyrin Arrays Based on Dihedral Angle Control”, *3<sup>rd</sup> International Conference on Photoresponsive Organics and Polymers organised jointly with 2<sup>nd</sup> France-Korea Bilateral Symposium on Photonic Materials and Devices*, January 15-20 2006, France.

**Kim Dongho** “Ultrafast Excitation Energy Migration Processes in Various Multiporphyrin Arrays”, *XXI<sup>st</sup> IUPAC Symposium on Photochemistry*, April 2-7 2006, Japan.

**Kim Dongho** “Functionalities of Various Molecular Photonic Devices Based on Porphyrin Arrays”, *The 17<sup>th</sup> Molecular Electronics & Devices Symposium*, June 22-23 2006, Korea.

**Kim Dongho** “Ultrafast Excitation Energy and Electron Migration Processes in Various Porphyrin Arrays and Dendrimers”, *ICPP-4*, July 1-7 2006, Italy.

### 국내초청발표

**Kim Dongho** “Time-resolved Laser Spectroscopic Studies in Polymers”, *2005년도 한국고분자학회 연구논문 발표회 및 추계총회*, October 13-14 2005, 제주 국제컨벤션 센터.

**Kim Dongho** “Functionalities of Various Molecular Photonic Devices Based on Porphyrin Arrays”, *대한화학회 제 96회 총회 및 학술발표회*, October 21-22 2005, 연

세대학교 원주캠퍼스.

**Kim Dongho** “Ultrafast Excitation Energy and Electron Migration Processes in Various Porphyrin Arrays and Dendrimers”, *Seminar*, February 16-17 2006, 대전 표준과학연구원.

**Kim Dongho** “Ultrafast Excitation Energy and Electron Migration Processes in Various Porphyrin Arrays and Dendrimers”, *대한화학회 제97회 총회 및 학술발표회*, April 20-21 2006, 한국국제전시장 서울.

**Kim Dongho** “펄초 레이저 화학적 응용 좌장”, *2006첨단 레이저 및 레이저 응용 워크샵*, May 11-13 2006, 제주대학교 연수원.

### 국제학술회의 발표

1. 2005년 10월 7일부터 9일까지 부산 한화리조트에서 열린 2005 Korea-Japan Symposium on Frontier Photoscience에서 4건의 포스터를 발표하였다.

**Kwon Jung Ho** “Photophysical Properties of Free-base, bis-Zn(II), bis-Cu(II) and bis-Co(II) Doubly N-Confused Hexaphyrins (1.1.1.1.1.1)”

**Noh Su Bum** “Investigation of Nonlinear Optical Properties by Various Porphyrin Derivatives”

**Cho Sung** “Incoherent Energy Hopping Processes in Dendritic Zinc Porphyrin Wheels”

**Yoon Zin Seok** “Investigation on Excitation Energy Migration Processes in Covalently and Noncovalently Linked Pentagonal and Hexagonal Zinc(II) Porphyrin Arrays”

2. 2006년 4월 2일에서 7일까지 일본 교토에서 열린 IUPAC학회에 참석하여 6건의 포스터를 발표하였다.

**Kim Kil Suk** “Electron Transfer Supramolecular Complex Composed of Multi-Porphyrin Dendrimers and Multi-Fullerene Ligands”

**Kwon Jung Ho** “Photophysical Properties of Free-base, bis-Zn(II), bis-Cu(II) and bis-Co(II) Doubly N-Confused Hexaphyrins (1.1.1.1.1.1)”

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

**Yoon Zin Seok** “Photophysical Properties of Highly Symmetric Expanded Porphyrins Containing Six Pyrrole Rings :Relationship between Structural Planarity and Excited-State Dynamics”

**Yoon Min-Chul** “Exciton Coupling Dynamics and Excitation Energy Migration Processes in Cyclic Zn(II)porphyrin Arrays”

**Cho Sung** “Incoherent Excitation Energy Migration Processes in Zinc(II) Porphyrin Dendrimers Probed by Time-resolved Anisotropy Decay”

3. 2006년 7월 1일부터 7일까지 이태리 로마에서 열리는 ICPP-4학회에 참석하여 4건의 포스터를 발표하였다.

**Kim Kil Suk** “Relationship between Two-photon Absorption and P-conjugation Pathway in Porphyrin Arrays Based on Dihedral Angle Control”

**Kim Kil Suk** “Electron Transfer Phenomena between Multi-porphyrin Dendrimers and Multi-fullerene Ligands”

**Cho Sung** “Photophysical Properties of Free-base, Bis-Zn(II), Bis-Cu(II) and Bis-Co(II) Doubly N-confused Hexaphyrins (1.1.1.1.1.1)”

**Cho Sung** “Incoherent Excitation Energy Migration Processes in Zinc(II) Porphyrin Dendrimers”

### 국내학술회의 발표

1. 2005년 10월 21일에서 22일까지 연세대학교 원주캠퍼스에서 열린 제 96회 대한화학회에서 3건의 포스터를 발표하였다.

**Kim Kil Suk** “Photophysical Properties of CdS and Cd(<sub>x</sub>)Mn<sub>1-x</sub>S (x=0.05, 0.1, and 0.3)Nanowire”

**Park Jin Hee** “Energy Transfer Rate Simulation in Various-Linked Diporphyrins”

**Ahn Tae Kyu** “Comparative Photophysics of Various Hexaphyrins: A New Near IR Building Block”

2. 2006년 4월 20에서 21일까지 한국국제전시장에서 열린 제 97회 대한화학회에서 6건의 포스터를 발표하였다.

**Ko Mee Kyoung** “Study on Singlet and Triplet Excited State Dynamics and Aromaticity in Highly Symmetric Expanded Porphyrins”

**Kwon Jung Ho** “Photophysical Properties of Free-base, bis-Zn(II), bis-Cu(II) and bis-Co(II) Doubly N-Confused Hexaphyrins (1.1.1.1.1.1)”

**Noh Su Bum** “Relationship Between Planarity and Two-photon Absorption Cross-section in Butadiyne Linked Porphyrin Dimers”

**Park Mira** “Single Molecule Spectroscopic Investigation on Excited Energy Migration Processes of Cyclic Porphyrin Arrays”

**Yoon Zin Seok** “Zn(II) Porphyrin Helical Arrays Using Host-Guest Chemistry :Strategy to Overcome Conformational Heterogeneity”

**Cho Sung** “Incoherent Excitation Energy Migration Processes in Zinc(II) Porphyrin Dendrimers”

3. 2006년 5월 11일에서 5월 13일까지 열린 2006 첨단 레이저 및 레이저 응용 워크샵에서 4건의 포스터를 발표하였다.

**Noh Su Bum** “Relationship Between Planarity and Two-photon Absorption Cross-section in Butadiyne Linked Porphyrin Dimers”

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

**Yoon Min-Chul** “Exciton Coupling Dynamics and Excitation Energy Migration Processes in Cyclic Zn(II)porphyrin Arrays”

**Cho Sung** “Energy Relaxation Dynamics in Various Phenylene Bridged Zinc(II) Porphyrin Dimers”

## 제10회 한국 과학상 수상(화학분야)



강석진 교수



이성익 교수



김동호 교수



남홍길 교수

### 한국과학상 4명 선정 수학-강석진 물리-이성익 화학-김동호 생명-남홍길

과학기술부는 제10회 한국과학상 수상자로 강석진(姜錫眞·44) 서울대 수리과학부 교수, 이성익(李星翊·53) 포항공대 물리학과 교수, 김동호(金東晔·49) 연세대 화학과 교수, 남홍길(南洪吉·49) 포항공대 생

명학과 교수 선정됐다고 5일 밝혔다. 이날 서울 강남구 역삼동 한국과학기술회관에서 열린 시상식에서 수상자들은 각각 대통령 상장과 5000만 원의 포상금을 받았다. 이충환 동아사이언스 기자 cosmos@donga.com

### 한국과학상·젊은과학자상 선정

7명의 과학자가 '제10회 한국과학상' 및 제9회 '젊은과학자상' 수상자로 선정돼 5일 오후 3시30분 서울 강남구 과학기술회관에서 개최된 '2006년 과학기술인 신년인사회'에서 노무현(盧武鉉) 대통령으로부터 상을 받았다.

올해 한국과학상 수상자가 선정됐다. 수학분야에 서울대 수리과학부 강석진(44) 교수, 물리학 분야에 포항공대 물리학과 이성익(53) 교수, 화학 분야에 연세대 화학과 김동호(49) 교수, 생명과학 분야에 포항공대 생명과학과 남홍길(49) 교수 등 4명이 수상의 영예를 안았다.

과학기술부와 과학재단은 5일 서울 역삼동 한국과학기술회관 국제회의장에서 열린 '2006년 과학기술인 신년인사회'에서 이들에 대한 시상식을 하고, 대통령상장과 포상금 5000만원씩을 전달했다.

한국과학상은 1987년부터 한국과학상과 격년제로 시행돼 온 제도로, 지금까지 수학(6명)·물리(9명)·화학(10명)·생명과학(8명) 분야에서 총 33명의 수상자를 배출했다.

이날 신년 인사회에서는 올해 젊은과학자상 수상자에 대한 시상식도 함께 했다. 수상자는 1군(전기·컴퓨터 등)의 서울대 전기·컴퓨터공학부 권영우(40) 부교수, 2군(기계·금속 등)의 서울대 기계항공공학부 이정훈(39) 조교수, 4군(에너지·환경 등)의 포항공대 환경공학부 최원용(40) 부교수 등 3명이다. 화공·생명공학 등 3군에서는 선정기준을 통과한 후보가 없었다고 과기부는 설명했다. 한국과학상과 젊은과학자상 수상자의 주요 업적은 과기부(www.most.go.kr)와 과학재단(www.kosef.re.kr) 홈페이지에서 알 수 있다.



강석진 교수



이성익 교수



김동호 교수



남홍길 교수



권영우 부교수



이정훈 조교수



최원용 부교수

심재우 기자 jwshim@joongang.co.kr



국가석학 (Star Faculty)

# 한국일보

수도권 2/8℃	충북 1/7℃	충남 3/9℃	영남 3/10℃
영동 1/6℃	영서-3/6℃	제주 6/8℃	

정정당당한 신문 [www.hankook.com](http://www.hankook.com) 제1801호 [Hankook.com](http://Hankook.com) ☎(02)724-2114 구독 080-023-0999 41판 2006년 1월 14일 토요일

황우석은 스러졌지만...

우/ 리/ 에/ 겐/ 이/ 들/ 이/ 있/ 다



김진희(서울대 50)  
소재학 전공  
서울대 공과대학  
SCJ를 논문 피인용횟수 4,877



장기주(서울대 52)  
소재학 전공  
한국과학기술원 에너지  
SCJ를 논문 피인용횟수 4,824



이명희(서울대 50)  
소재학 전공  
성균관대 나노구조  
SCJ를 논문 피인용횟수 4,159



이수종(서울대 46)  
소재학 전공  
서울대 공과대학  
SCJ를 논문 피인용횟수 2,999



김대식(서울대 42)  
소재학 전공  
서울대 공과대학  
SCJ를 논문 피인용횟수 1,590



백명희(서울대 57)  
소재학 전공  
서울대 공과대학  
SCJ를 논문 피인용횟수 1,580



김성근(서울대 48)  
소재학 전공  
서울대 공과대학  
SCJ를 논문 피인용횟수 1,547



김동호(서울대 48)  
소재학 전공  
연세대 공과대학  
SCJ를 논문 피인용횟수 1,547



권병세(서울대 58)  
소재학 전공  
서울대 공과대학  
SCJ를 논문 피인용횟수 1,547



장진희(서울대 53)  
소재학 전공  
서울대 공과대학  
SCJ를 논문 피인용횟수 1,547



고명선(서울대 49)  
소재학 전공  
서울대 공과대학  
SCJ를 논문 피인용횟수 1,547



고명선(서울대 49)  
소재학 전공  
서울대 공과대학  
SCJ를 논문 피인용횟수 1,547

## 첫 '국가석학' 뽑힌 11명

STAR FACULTY

"노벨상을 기대하세요"

●정부, 최장 10년간 20억씩 지원●

『시』의 특별한 시기에 석학들이 뽑혔습니다. 황우석 교수 사태로 전 국가가 공황 상태지만 우리 과학계에도 특별한 과학자들이 있다는 사실이 알려지는 계기가 됐으니 합니다.

13일 낮 12시에 서울 새문на로 정부중앙청사 2층 국무위원 식당 김진희 교육부총리가 자리를 함께 한 교수들을 향해 발언을 열었다. 오찬의 주인공은 11명의 '국가 석학'이었다. 교육인적자원부와 한국학술진흥재단이 '2005 국가과학자 지원사업' 타이틀을 걸고 엄격한 심사를 거쳐 '스타 फैulty(Star Faculty)' 이름으로 선발한, 명실상부한 최고 과학

자들이다. 국가석학 지원사업은 올해 5개 분야에 걸쳐 처음 시행됐다. 물리학 분야에 김진희-이수종-김대식의 서울대 교수, 장기주-한국과학기술원 교수-이명희-성균관대 교수, 장동호-연세대 교수, 생명학 분야 정진하-서울대교수, 권병세-고대 영 출신대 교수 등이 선정됐다. 배 교수는 중일간의 이었다. 선정 자격은 SCI(과학기술논문지)인 피인용 횟수 합계 1,000회 이상으로 제한했다. 3대 1의 경쟁률에 5단계의 심사를 놓고 선발된 이들의 공통점은 뛰어난 연구 실적이다.

김진희 교수의 경우 SCI급 피인용횟수가 4,937회에 달한다. 교육부 관계자는 "노벨상 수상자들이 보통 5,000회 정도의 SCI 피인용횟수를 보이는 점을 감안할 때, 횡수만을 놓고 보면 수상에 매우 근접한 상태"라고 말했다. 이들에게는 개인 연구비로 앞으로 5년간 매년 2억원이 지원된다. 필요할 경우 5년 연장이 가능하며 최장 10년간 20억원이 지원되는 셈이다. 교육부는 내년에는 수학-지구과학으로 분야를 넓혀 2010년까지 총 50명의 국가석학을 육성할 계획이다.

그러나 학계에서는 우수 연구자 지원 확대를 통해 노벨상 수상을 목표로 하고 있는 사립대 교수의 지원 규모가 너무 적은 지적도 나오고 있다. 서울대 관계자는 "연구비 규모와 연구 성과가 반드시 비례하는 것은 아니더라도, '국가 석학' 위치 등을 고려하면 매년 5억원 정도의 지원은 이뤄져야 한다"고 말했다. 하지만 정부 당국자들은 "연구비 규모에 연연하지 않겠다"는 입장을 김 부총리에게 전했다. 한 교수는 "연구비가 10억원이 넘어가면 연구비 편의 때문에 연구에 몰두할 수 없다고 말했다."

김진희기자 kimgj@kookil.com

## 朝鮮日報

제 1023호 2006년 1월 14일 19:14 1월 14일 토요일 CHOSUN.com



이명희



김동호



장진희



김대식



고명선



국가석학으로 선정된 11명의 과학자에서 최대 한국 과학의 희망을 엿본다. 13일 국가석학으로 선정된 양의 과학자들이 사진 촬영을 했다. 앞줄 왼쪽부터 김진희, 권병세, 장동호, 김동호, 김대식, 장기주, 이명희 교수. 김대식 교수는 서울대 교수를 겸임하고 있다. 2005. 1. 14. kimgj@kookil.com

연구 외길 11명 과학자들 첫 '국가석학' 선정

## 각 분야에서 세계 1인자들

### 과기원 장기주 교수

장기주(KAIST 52) 한국과학기술원(KAIST) 교수는 반도체 물질의 전자구조 연구 분야의 대가이다. 이 부문에서만 190여편의 SCI급 논문을 발표했고, 각국의 교과서에도 등재하고 있다. 특히 그는 초(超)전도체 내에서 전자와 포논 간에 서로 작용하는 인력과 전자 사이의 반발력을 계산하는 방법을 최초로 발표했다. 포논이란 고체가 만든 열에너지가 음파(音波)와 같은 형태로 움직이는 것을 말한다. 그는 고등과학원(KIAS) 설립 운영에도 참여했다. 1996, 1999년 KAIST 학술상을 수상했고, 2000년 한국과학상(윤리부문)을 수상했다.

### 성균관대 이명희 교수

이명희(李永熙·50) 성균관대 물리학과 교수는 '탄소나노튜브' 분야의 세계적인 권위자이다. '탄소나노튜브'는 탄소원자가 원자구조를 이룬 뒤 서로 연결된 다발 형태의 구조로, 지름이 머리카락의 10만분의 1 정도다. 이는 열전도율이 구리나 은보다 1000배 이상 높고 전기전도도와 강도가 강철만 도체 소자(素子)에 이용하면 소자의 집적도를 향상시킬 수 있다. 이 교수가 지난해 삼성종합기술원과 함께 세계 최초로 대량으로 분리 추출한 '만도성 탄소나노튜브'는 탄소나노튜브를 차세대 소자로 활용하게 될 임박이라고 학계에서는 평가하고 있다.

### 연세대 김동호 교수

김동호(金東浩·48) 연세대 화학과 교수는 '알나의 시간'과 싸우는 세계적인 전도체이다. 그는 불모지나 다름없던 국내 초고속(超高速) 원상 측정 기술 수준을 일약 세계적인 수준으로 발전시켰다는 평가를 받고 있다. 김 교수가 개발한 피로초(피로초본의), 원도초(1000조본의) 레이저 광학 측정 기술은 분자 내 초고속 원상의 미세한 반응경로를 규명할 수 있는 길을 열었다. 국제SCI논문은 150여편 발표했고 논문들의 피인용 횟수가 3133회에 이른다. 최근 5년간 국제학술회의에서 9회의 기조강연과 40회 이상의 초청 강연을 했다.

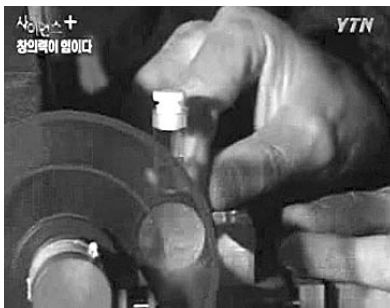
## "과학 한국, 우리들이 있습니다"



## 인공 광합성 모델의 개발로 ACR 표지 논문으로 선정



## YTN 사이언스 Plus 소개 내용



## 과학동아

**인공 광합성의 원리**  
자연 광합성의 원리를 모방하여 인공적으로 광합성을 하는 것이다. 인공 광합성은 인공적으로 광합성을 하는 것이다. 인공 광합성은 인공적으로 광합성을 하는 것이다.

**인공 광합성의 원리**  
자연 광합성의 원리를 모방하여 인공적으로 광합성을 하는 것이다. 인공 광합성은 인공적으로 광합성을 하는 것이다. 인공 광합성은 인공적으로 광합성을 하는 것이다.

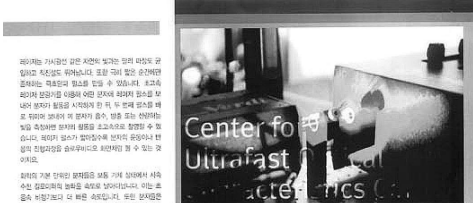
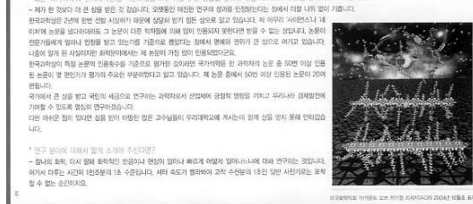
**백만분의 1초! 순간의 화학반응을 측정하는超人**  
연세대 화학과 김동호 교수

백만분의 1초! 순간의 화학반응을 측정하는超人. 연세대 화학과 김동호 교수. 백만분의 1초! 순간의 화학반응을 측정하는超人. 연세대 화학과 김동호 교수.

## 연세소식



**김동호 교수(화학)** 최근 국제 과학상을 두 개나 함께 수상한 최고의 과학자 중 한 사람이다. 김 교수는 노벨상과 함께 한국의 노벨상인 한국과학상 수상자로 선정되어 '한국의 노벨상'을 수상했다. 김 교수는 2005년 국가과학상 수상자로 선정되어 '한국의 노벨상'을 수상했다. 김 교수는 2005년 국가과학상 수상자로 선정되어 '한국의 노벨상'을 수상했다.



**찰나를 넘어 새로운 시간의 지평을 열다**  
국가과학상 수상자 김동호 교수

찰나를 넘어 새로운 시간의 지평을 열다. 국가과학상 수상자 김동호 교수. 찰나를 넘어 새로운 시간의 지평을 열다. 국가과학상 수상자 김동호 교수.

## 과학과 기술



**백만분의 1초! 순간의 화학반응을 측정하는超人**  
연세대 화학과 김동호 교수

백만분의 1초! 순간의 화학반응을 측정하는超人. 연세대 화학과 김동호 교수. 백만분의 1초! 순간의 화학반응을 측정하는超人. 연세대 화학과 김동호 교수.

## 연세춘추



**찰나를 넘어 새로운 시간의 지평을 열다**  
국가과학상 수상자 김동호 교수

찰나를 넘어 새로운 시간의 지평을 열다. 국가과학상 수상자 김동호 교수. 찰나를 넘어 새로운 시간의 지평을 열다. 국가과학상 수상자 김동호 교수.

**CUOCC**

**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>