

Newsletter

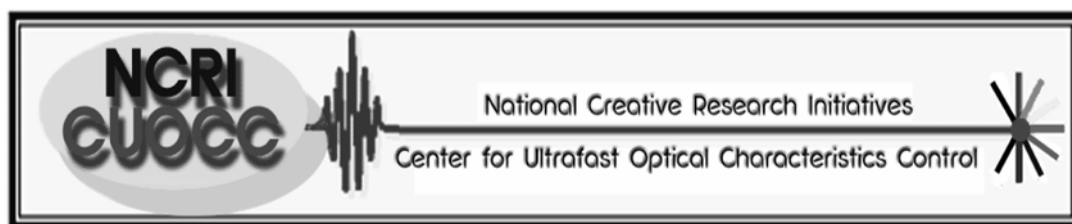
초고속광물성제어연구단

제 7 호

2004년 8월

연세대학교 부설 연구소 초고속광물성제어연구단 서울특별시 서대문구 신촌동 134번지 Tel. (02) 2123-2436, Fax. (02) 2123-2434

<과학기술부 창의적 연구 진흥 사업단>

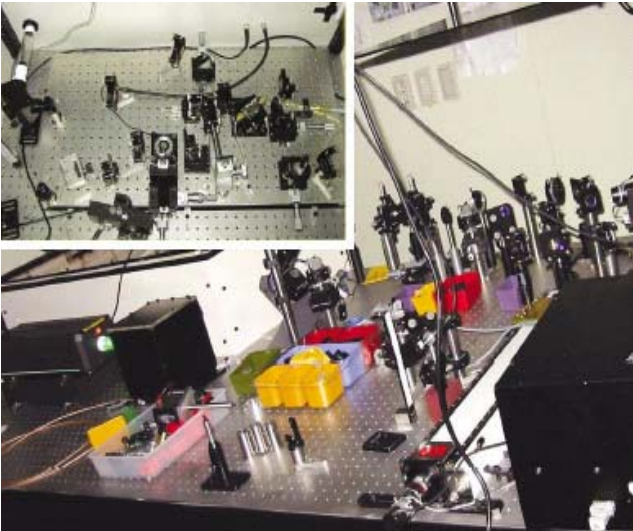


<http://chem.yonsei.ac.kr/~CUOCC>



연구단 개요

초고속 광물성 제어 연구단



연구목표 및 내용

본 연구단은 물질의 광학 특성을 연구하는데 사용되는 광 펄스의 특성을 임의로 조절하고 변화시키는 기술을 확보하고자 한다. 이를 토대로 새로운 분광학적 연구 방법을 개발함으로써 기존의 연구방법으로 관찰할 수 없었던 현상을 관찰하여 자연계 물질의 변화과정을 연구하는데 매우 중요한 새로운 단서를 제공 하고, 나아가 능동적으로 변조된 광펄스를 이용한 광여기를 통해 분자 반응계 또는 신소재 물질의 광학적 특성 발현에 적극적으로 관여함으로써, 관찰이 아닌 조절의 단계에서 물질의 변화양상을 연구한다. 특히 매우 짧은 시간에만 지속되는 극초단 펄스의 특성을 제어하는 기술과 이를 이용한 광물성 측정기법 개발을 통하여 이제까지 보지 못하였던 물질의 광반응현상을 측정하고 제어할 수 있는 방법을 발견하는 것이 핵심적인 연구계획이다.

- (1) 응축상 분자계의 초고속 시간분해 분광학 및 동역학 연구
- (2) 분자전자소자의 에너지 및 전자 이동에 관한 광물리적 현상 연구
- (3) 나노크기의 분자계에 대한 시공간 분해된 분광학 연구

연구성과

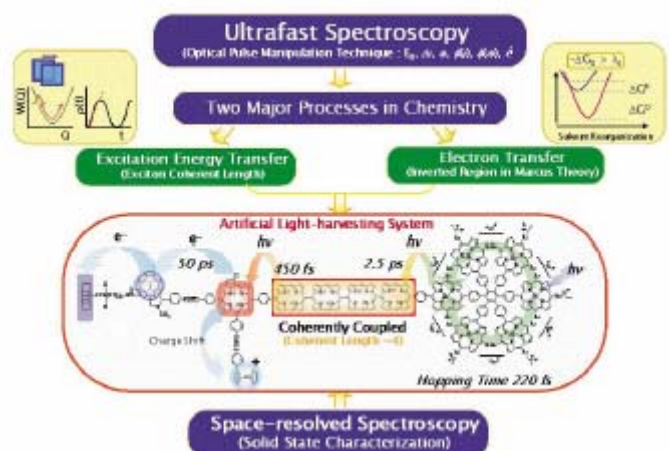
- (1) 20 펨토초 시분해능의 공진기덤핑된 타이타늄 사파이어 레이저 제작 기술 개발
- (2) 고출력 레이저의 자외선, 가시광선, 적외선 영역의 파장 가변 광매개증폭기술 개발
- (3) 순간흡수 분광법 및 시간분해 형광분광법 기술 개발
- (4) 공초점 현미경을 이용한 시간 및 공간 분해 분광기술 개발

연구성과 파급효과

광학 펄스의 인위적 재단을 이용한 초고속 분광법의 응용은 분자 시스템의 광물리적 특성을 밝히는데 이바지하고 광전자 소자와 광학 조절 기술, 특히 특수한 분자 광전자 소자를 개발하는 기술에 큰 진보를 가져올 것이고 동시에 과학기술의 인프라 구축에 도움을 줄 수 있을 것으로 예상된다

연구성과 활용계획

지금까지 축적된 여러 대상계의 광물리적 연구결과를 바탕으로 인공적인 광합성 모방 시스템을 분자수준에서 구현해내고 거기서 일어나는 에너지 및 전자 전달 현상을 시간-공간 분해 분광법을 이용해서 동역학적인 정보를 도출한다.

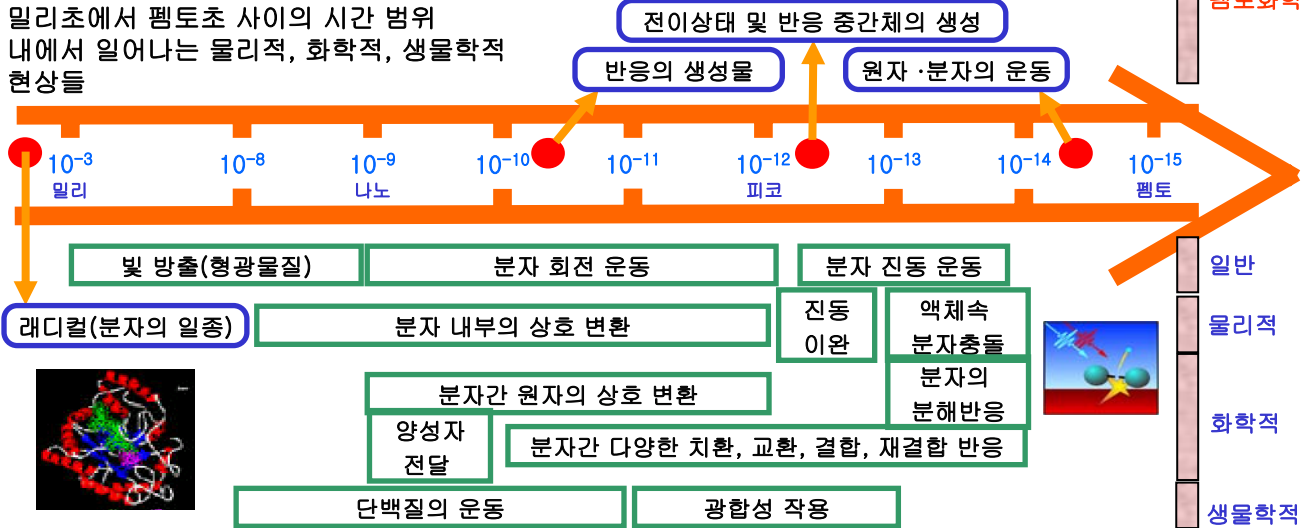


연구 배경

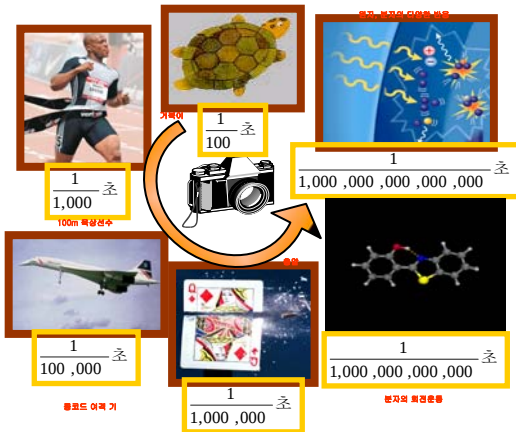
펨토 과학이란?

밀리초에서 펨토초 사이의 시간 범위 내에서 일어나는 물리적, 화학적, 생물학적 현상들

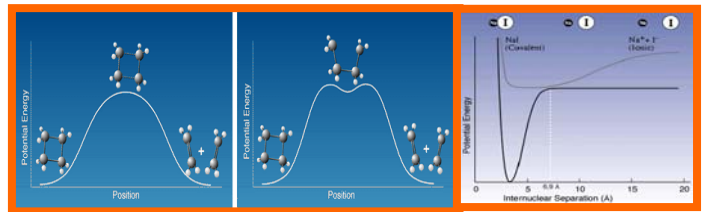
1 펨토초 = 0.000000000000001초
1000조분의 1초의 순간포착



여러 현상을 보기 위한 카메라 셔터의 속도



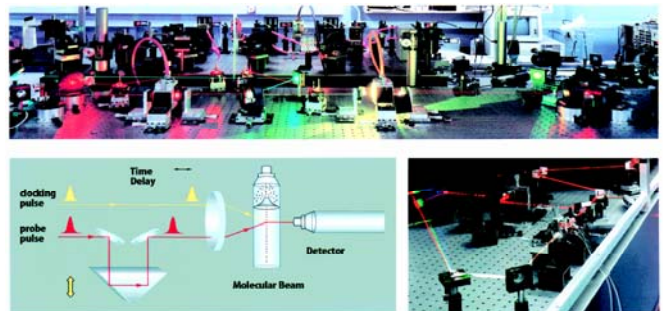
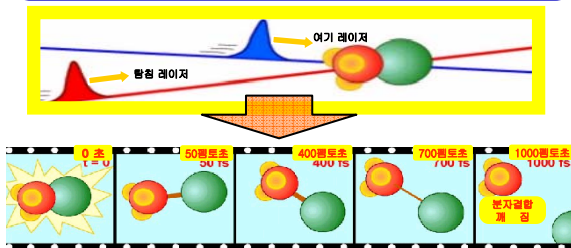
펨토화학 연구로 노벨상 수상(1999년)



1999년도 노벨 화학상은 화학결합이 끊어지고 새로운 결합이 생성될 때 일어나는 모습을 실시간으로 볼 수 있도록 '린 동작'으로 화학반응을 연구하는 기술을 개발한 캘리포니아 공대 교수인 아흐메드 조웨일이 수상하였다.

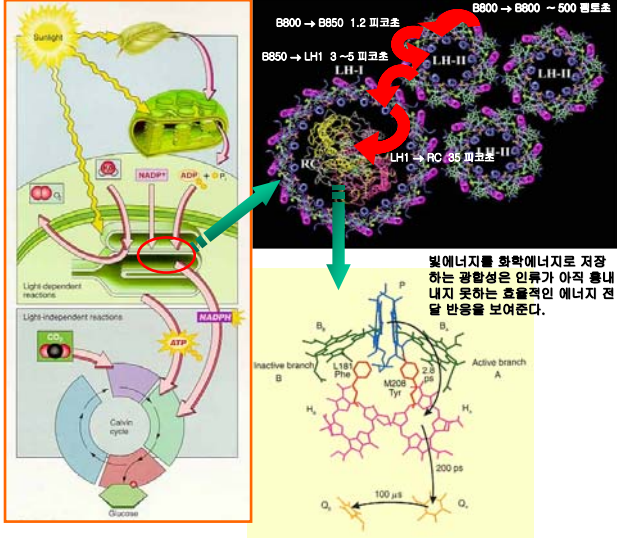


빠른 현상을 보기 위한 방법

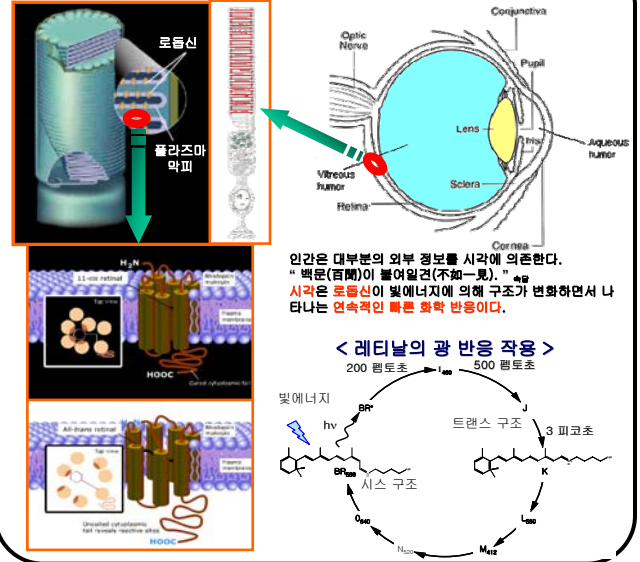


연구 배경 및 전략

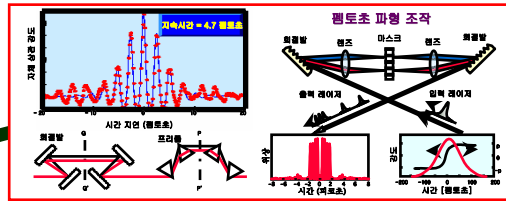
빛에너지의 저장 : 광합성



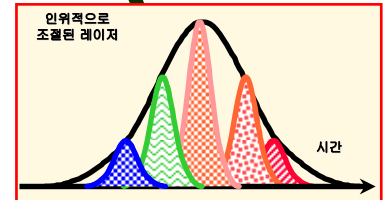
로돕신의 광반응 : 시각



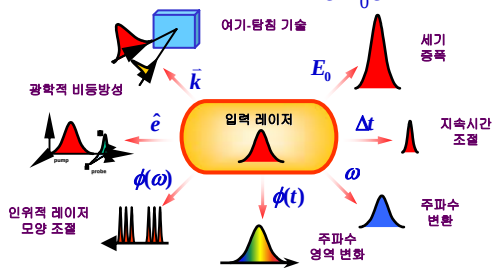
실험 계획 & 피드백



실험 설계

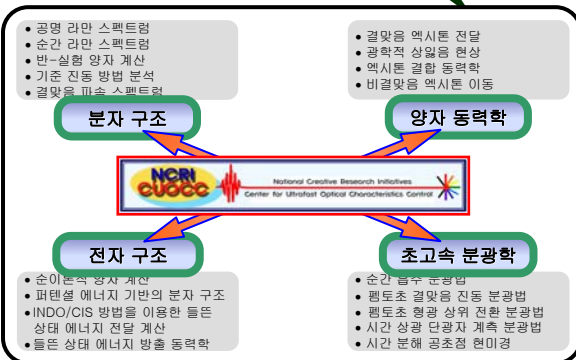


레이저 (전자기장) : $\vec{E} = \hat{e}E_0e^{i(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r} + \phi)}$



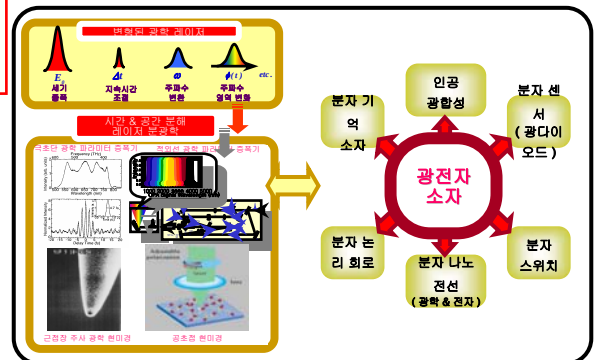
자료 분석

연구 전략



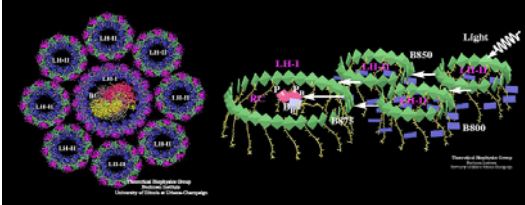
분자 시스템에 대한 적용

연구 방향



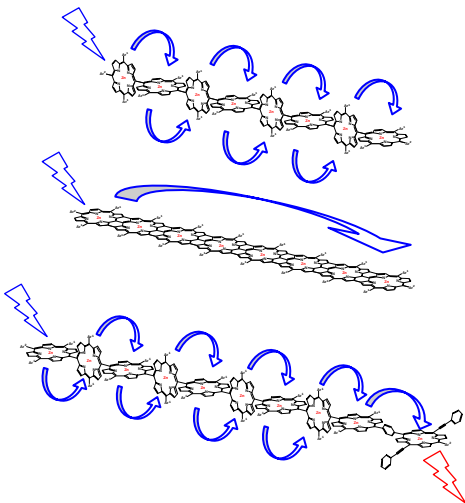
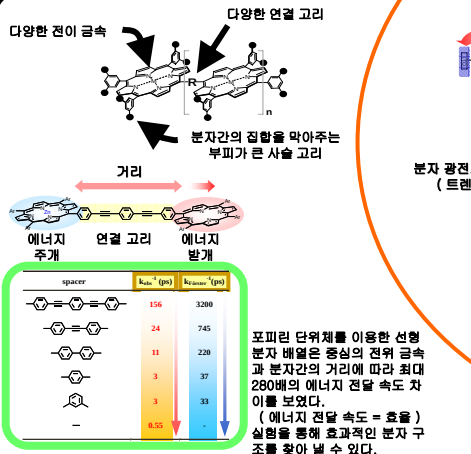
연구 내용 및 성과

현존하는 살아있는 세포가 필요로 하는 거의 대부분의 유기물들은 대기 중의 빛에너지를 이용하여 이산화탄소를 유기물로 전환시키는 광합성 작용에 의해 생성된다. 식물과 조류, 광합성 박테리아 등에 의해 물로부터 유래된 전자와 햇빛으로부터 얻은 에너지를 이용하여 대기 중의 이산화탄소를 유기물로 전환시킨다. 식물의 열매체라 불리는 특수한 세포소기관에서 일어나며, 에너지 효율이 100%에 가까운 매우 효과적인 에너지 전달 과정을 보인다.



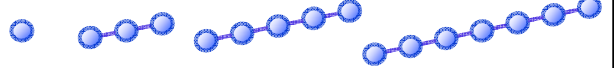
식물 내에 흡수된 빛에너지가 어떻게 효율적으로 움직일까?
우리가 효율적인 광합성 작용을 실험할 수 있을까?

선형 구조 (1-차원)



포피린 단위체를 직선으로 연속적으로 붙여나간 선형 배열 구조는 빛에너지를 단일 방향으로 전달할 수 있어 인공 광합성 집광체나 분자 나노 전선으로 사용될 수 있다.

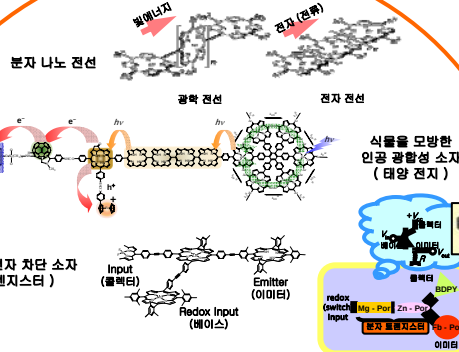
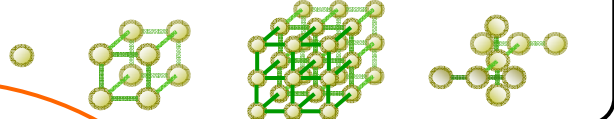
1-차원



2-차원

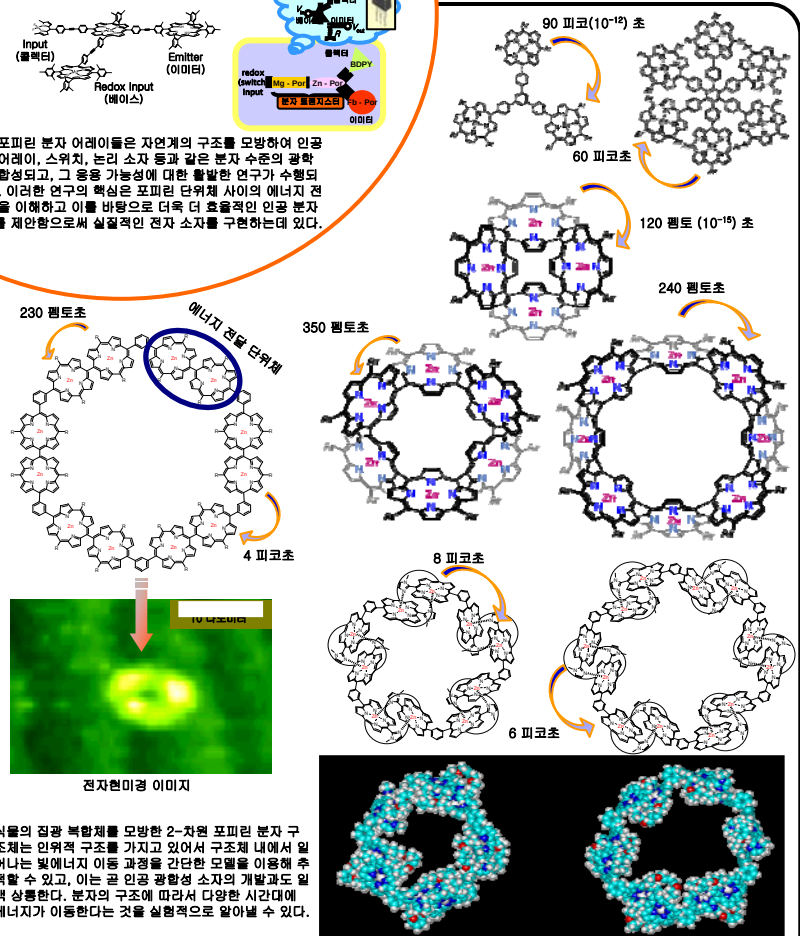


3-차원



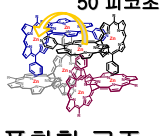
다양한 포피린 분자 어레이들은 자연계의 구조를 모방하여 인공 광합성 어레이, 스위치, 논리 소자 등과 같은 분자 수준의 광학 소자가 합성되고, 그 응용 가능성에 대한 활발한 연구가 수행되고 있다. 이러한 연구의 핵심은 포피린 단위체 사이의 에너지 전달 과정을 이해하고 이를 바탕으로 더욱 더 효율적인 인공 분자 구조체를 제안함으로써 실질적인 전자 소자를 구현하는데 있다.

원형 구조 (2-차원)

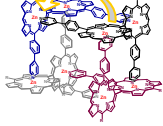


연구 내용 및 성과 입체 구조 (3-차원)

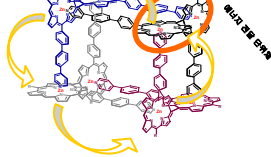
상자형 구조



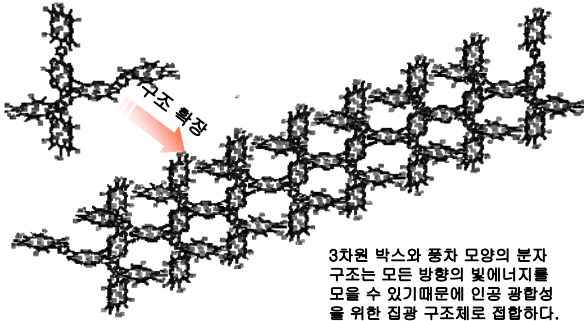
100 피코초



360 피코(10⁻¹²) 초

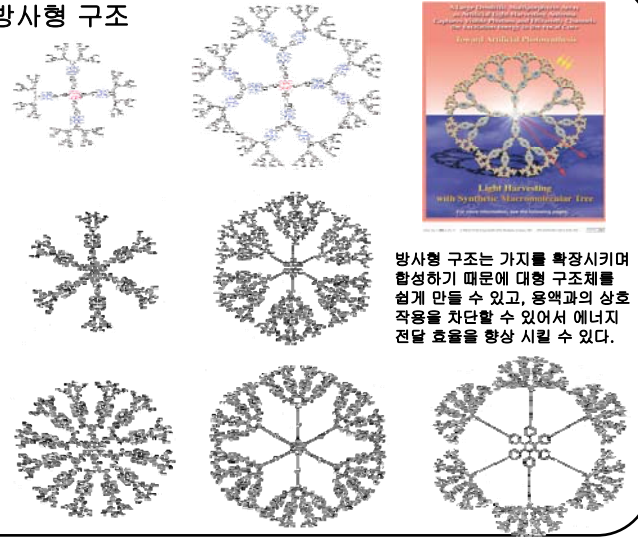


풍차형 구조



3차원 박스와 풍차 모양의 분자 구조는 모든 방향의 빛에너지를 모을 수 있기 때문에 인공 광합성을 위한 집광 구조체로 적합하다.

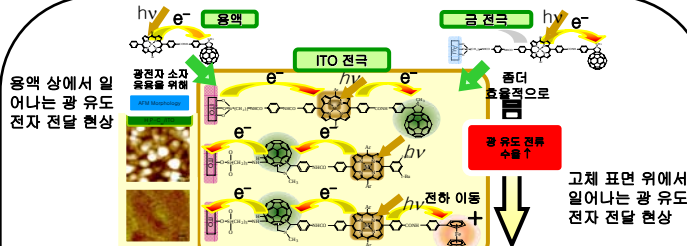
방사형 구조



방사형 구조는 가지를 확장시키며 합성하기 때문에 대형 구조체를 쉽게 만들 수 있고, 용액과의 상호작용을 차단할 수 있어서 에너지 전달 효율을 향상시킬 수 있다.

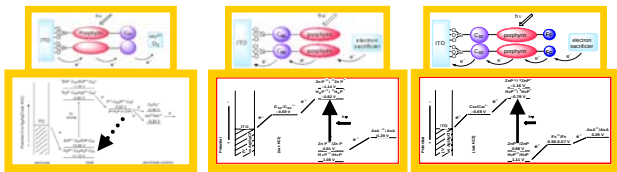
평면 광 유도 전지

입체 광 유도 전지

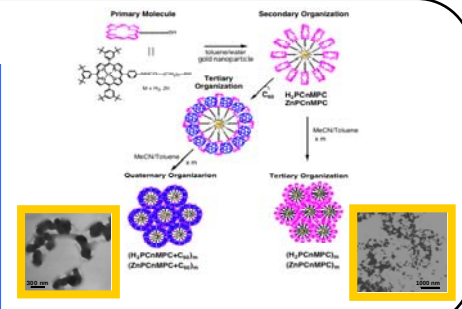
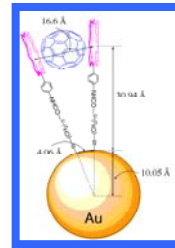


분자의 구조를 변화 시키면서 광 유도 전류의 효율을 향상시킬 수 있었다. ITO 표면에 자기 조립된 단층막을 형성시켜 빛 에너지를 전기에너지로 전환하였다.

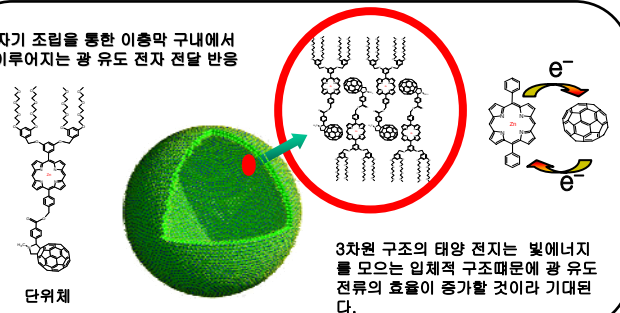
< 광 유도 전류에 대한 퍼텐셜 에너지 모식도 >



금 나노 입자에 자기 조립된 광 유도 전지



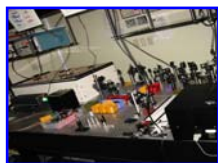
자기 조립을 통한 이중막 구조에서 이루어지는 광 유도 전지 전달 반응



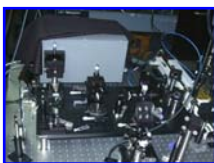
실험실 장비들



100 펨토초 분해능의 고출력 시간분해 순간출수 분광장치



20 펨토초 분해능의 시간분해 순간출수 분광장치



70 펨토초 분해능의 시간분해 형광분광장치



200 나노미터 공간분해능 50 피코초 시간분해능의 시간분해 공초점 현미경



50 피코초 시간분해능의 시간분해 형광분광장치

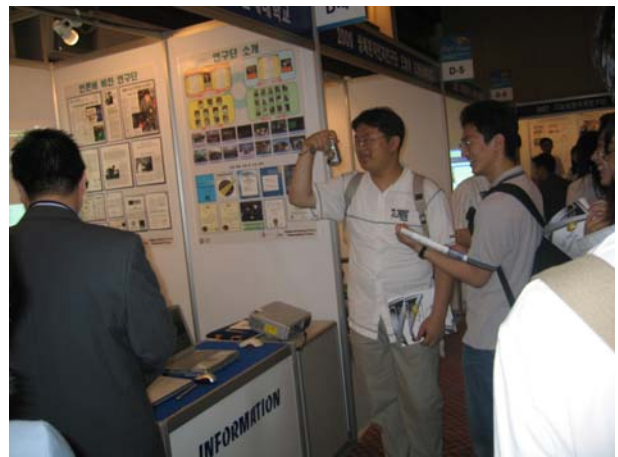


공명 라만 및 시간분해 라만분석장치

창의연구단 연구성과 발표회 (2004년 6월 15일 COEX 그랜드볼룸)

본 연구단은 2004년 6월 15일 COEX 그랜드볼룸에서 열린 ‘창의적연구진흥사업’ 성과전시회 및 연구원 채용박람회에 참가하였다. 과학재단과 창의연구단장 협의회가 주관하고 과기부가 주최한 이번 성과전시회는 1997년부터 7년간 추진하여 도출된 연구성과들을 홍보하여 국가 과학기술에 대한 국민 이해도를 높이고 학술교류의 장을 마련하기 위한 것이었다. 이번 전시회에는 현재 과학재단이 지원중인 55개 창의연구단이 모두 참여하였고 창의연구단 소속기관을 비롯한 국내 관련분야 대학, 연구기관, 과학고 학생 등 과학기술계 인사들이 참여하였다.

‘창의적연구진흥사업’은 창의적 아이디어 및 지식을 지닌 차세대 연구자를 발굴하여 세계적인 과학자로 집중 육성함으로써 기초연구 역량을 강화하고, 핵심·원천기술 및 미래 신산업 창출의 토대를 마련하기 위해 1997년 시작되어 그동안 76개의 연구단이 지정되었으며, 현재는 55개 연구단이 활발히 연구활동을 벌이고 있다. 이 사업은 과학기술 혁신에 대한 정부의 의지를 바탕으로 선택과 집중의 효율적인 연구지원을 통해 연구경쟁력을 강화시키고 연구성과의 질을 한 차원 높이는 데 견인차 역할을 하고 있으며, 우리나라의 대표적인 국가연구개발사업으로 자리매김하고 있다.



오전 11시 30분, 본 연구단 단장인 김동호 교수의 사회로 관계자들과 과학기술계 인사들이 모인 가운데 공식 개막행사가 열렸다. 참석한 내외빈은 연구단 관계자들에게 축하 인사를 건네고 전시장을 둘러보며 그간의 노고를 격려했다. 이 자리에서는 전시회와 함께 개장한 창의연구단 공식 홈페이지(creative.re.kr)도 공개됐다. 또한 창의연구의 내용을 누구나 이해하기 쉽게 소개하는 이메일 뉴스레터도 매주 발간하게 된다. 뉴스레터는 이메일 주소만 있으면 홈페이지에서 신청할 수 있다.



또 COEX 그랜드볼룸101호에서 진행된 과학강연에는 서울과 경기 지역에서 선발된 과학고 학생들이 참석하였다. 최신의 과학계 동향을 그 연구에 몰두하고 있는 과학자로부터 직접 듣는 기회는 흔치 않기 때문에 학생들은 강연에 열중하였다.



이번 전시회는 각 연구단의 연구의욕 고취는 물론, 분야가 서로 다른 연구단간의 연구정보 공유를 통해 상호 보완과 협력의 기틀을 마련하고 새로운 도약을 모색하는 뜻 깊은 계기가 되었다.



연구단 구성

▶ 연구단장



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

▶ 연구원



Post Doc. Dr. In-Wook Hwang
hwangiw@yonsei.ac.kr



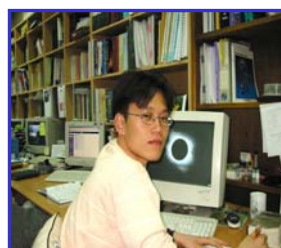
Ph.D. Student Tae Kyu Ahn
tkahn@alchemy.yonsei.ac.kr



Ph.D. Student Jong Kuk Lim
jeykeylim@alchemy.yonsei.ac.kr



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



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



Grad. Student Zin Seok Yoon
zsyoon@yonsei.ac.kr



Grad. Student Dah Mee Ko
dmko@yonsei.ac.kr



Grad. Student Jung Ho Kwon
jh790808@yonsei.ac.kr



Grad. Student Kil Suk Kim
911kks@yonsei.ac.kr



Grad. Student Deok Yun Kim
yuncool78@yonsei.ac.kr



Grad. Student Jin Hee Park
jinee10@yonsei.ac.kr



Secretary Eun Jung Kim
eunjung@alchemy.yonsei.ac.kr

▶ 연구지원인력

연구원 동정

2003년 11월 28일 연구단장 김동호 교수가 창의연구단장 협의회 총무로 선출되었다.

연구단장인 김동호 교수가 The Marquis Who's Who Publication Board의 인명사전인 Who's Who in the World(21st ed, 2004)에 새로이 등재되었다.

2004년 5월 6-8일 제주대학교 연수원에서 열린 2004 양자전자 워크샵에서 박사과정 박미라가 우수 논문상을 받았다.

박사과정 임종국은 일본 분자과학 연구소(Okazaki 소재) H. Okamoto 교수 실험실에서 near-field optical microscopy와 관련된 공동연구를 수행하고 있다(2004년 4월 15일 - 2004년 10월 15일).

석사과정으로 본 연구단에 참여하였던 조성은 2004년 2월 석사학위 취득 후 박사학위 과정으로 진학하였다.

김길석과 김덕윤이 2004년 3월부터 석사과정으로 본 연구단에 참여하여 활동하고 있다.

신현중은 석사학위 취득 후 8월부터 삼성 corning에서 근무하고 있다.

박사과정 박미라는 한국표준과학연구원 공동연구를 종료하고 2004년 9월부터 창의사업단에서 근무할 예정이다.

박진희는 2004년 9월부터 석사과정으로 본 연구단에 참여할 계획이다.

연구단 활동

1.3단계 사업의 1차년도 연구 결과

Molecular-based electronics에 응용하기 위한 분자 시스템의 광물리적 성질을 조사하기 위해서는 초고속 분광학 기술의 적용이 필수적이다. 이러한 기술은 레이저 펄스의 진동수, 펄스 폭, 편광, 웨이브 벡터, 위상, chirping과 같은 광학 변수들의 정교한 제어를 필요로 한다. 여러 분자 시스템의 성질을 밝혀내기 위해서 초단파 레이저 펄스의 변수를 조절하는 초고속 coherent 비선형 분광법을 이용하였다.

초단파 레이저 펄스의 chirping을 제어하는 펄토초 coherent 분광법으로 바닥 전자상태와 들뜬 전자상

태 사이의 population 이동을 알 수 있고 또한 이러한 상태들의 진동운동에 대한 정보를 알 수 있다. 시분해 피코초와 나노초 transient 라만 스펙트라 뿐만 아니라 바닥상태 라만 스펙트라와의 비교분석을 통해서 초고속 시간 영역에서 일어나는 분자의 구조적인 변화를 밝혀낼 수 있다. 들뜬 전자상태에서 일어나며 dipole orientation의 변화가 수반되는 들뜬 에너지 전달과정은 펄토초 anisotropy 형광과 transient absorption decay 측정을 이용해서 밝힐 수 있다. 엑시톤 상호작용의 동역학을 조사하기 위해서 식물의 집광 복합체를 모방한 2,3-차원 포피린 분자 구조체를 대상으로 연구를 진행하였다. 집광 복합체를 모방한 분자 구조체는 인위적 구조를 가지고 있어서 구조체 내에서 일어나는 빛 에너지 이동 과정을 간단한 모델을 이용해 추적할 수 있고, 이는 인공 광합성 소자의 개발과도 연관되어 있다. 분자의 구조에 따라서 다양한 시간대에 에너지가 이동한다는 것을 실험적으로 알아낼 수 있었다. 또한 에너지와 전자 전달의 높은 양자 효율을 위해 potential gradient와 에너지의 방향성을 가진 분자 어셈블리를 연구하였다. 에너지 전달과 전자 전달 과정의 기본적인 이해를 바탕으로 한 분자 수준에 대한 전자 상태의 이해를 중합체, 자기조립된 monolayer, Langmuir-Blodgett film, 분자 aggregate, 초분자 dendrimer와 같은 여러 시스템으로 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. Directly linked Zn(II) 포피린 어레이는 이웃한 포피린 단위체들이 orthogonality를 유지할 수 있기 때문에 매우 효율적인 분자 나노 전선으로 사용될 수 있다. 선형 포피린 어레이의 말단기에 에너지 받개를 연결하여 에너지 전달 현상뿐만 아니라 들뜬 에너지 이완 동역학을 연구하였고 conformational heterogeneity와 solvation dynamics가 에너지 이완 과정에 큰 영향을 끼친다는 것을 밝혔다. NIR 영역의 펄토초 레이저 펄스를 이용한 Z-scan method로 포피린 oligomer의 third-order optical nonlinearity를 연구하였다. 또한 차세대 테라비트급 하드드라이브 등에 응용될 수 있는 F₂O₃ 나노입자의 광물리적 특성을 연구하였다.

따라서 창의 사업 3단계의 1차년도의 연구는 2,3-차원 분자 어레이의 엑시톤 상호작용에 관한 이해를 통하여 여러 가지 다른 분자 시스템의 에너지 및 전자의 이동에 관한 이해를 넓히는데 많은 연구성과가 있었다. 아울러 이러한 연구를 근간으로 하여 실제 응용 가능한 분자 전자소재에 관한 성질을 밝히는데 주력할 예정이다.

2. 국내외 연구논문 발표 (2003.9-2004.8)

◆ Full Paper

1. N. Aratani, H. S. Cho, T. K. Ahn, S. Cho, D. Kim, H. Sumi, A. Osuka, "Efficient Excitation Energy Transfer in Long Meso-Meso Linked Zn(II) Porphyrin Arrays Bearing a 5,15-Bisphenylethynylated Zn(II) Porphyrin Acceptor", *Journal of the American Chemical Society* **125**(32), 9668-9681 (2003).
2. J.-H. Ha, H. S. Cho, D. Kim, J.-C. Lee, T.-Y. Kim, and Y. K. Shim, "Time-resolved Spectroscopic Study on Photoinduced Electron-Transfer Processes in Zn(II)porphyrin-Zn(II)chlorin-Fullerene Triad", *European Journal of Chemical Physics and Physical Chemistry* **4**(9), 951-958 (2003).
3. D. H. Jeong, S. M. Jang, I.-W. Hwang, D. Kim, Y. Matsuzaki, K. Tanaka, A. Tsuda, T. Nakamura, A. Osuka, "Resonance Raman spectroscopic study of fused multiporphyrin linear arrays", *Journal of Chemical Physics* **119** (10), 5237-5252 (2003).
4. I.-W. Hwang, H. S. Cho, D. H. Jeong, D. Kim, A. Tsuda, T. Nakamura, A. Osuka, "Photophysical Properties of a Three-Dimensional Zinc(II) Porphyrin Box", *Journal of Physical Chemistry B* **107**(37), 9977-9988 (2003).
5. D. H. Yoon, S. B. Lee, K. H. Yoo, J. Kim, J. K. Lim, N. Aratani, A. Tsuda, A. Osuka, D. Kim, "Electrical conduction through linear porphyrin arrays", *Journal of the American Chemical Society* **125**(36), 11062-11064 (2003).
6. H. Yamada, H. Imahori, Y. Nishimura, I. Yamazaki, T. K. Ahn, S. K. Kim, D. Kim, S. Fukuzumi, "Photovoltaic Properties of Self-Assembled Monolayers of Porphyrins and Porphyrin-Fullerene Dyads on ITO and Gold Surfaces", *Journal of the American Chemical Society* **125**(30), 9129-9139 (2003).
7. X. Peng, Y. Nakamura, N. Aratani, D. Kim, A. Osuka, "1,4-Phenylene-bridged meso-meso linked diporphyrin array", *Tetrahedron Letters* **45**(25), 4981-4984 (2004).
8. X. Peng, N. Aratani, A. Takagi, T. Matsumoto, T. Kawai, I.-W. Hwang, T. K. Ahn, D. Kim, A. Osuka, "A Dodecameric Porphyrin Wheel", *Journal of the American Chemical Society* **126**(14), 4468-4469(2004).
9. H. Imahori, K. Hosomizu, Y. Mori, T. Sato, T. K. Ahn, S. K. Kim, D. Kim, Y. Nishimura, I. Yamazaki, H. Ishii, H. Hotta, Y. Matano, "Substituent Effects of Porphyrin Monolayers on the Structure and Photoelectrochemical Properties of Self-Assembled Monolayers of Porphyrin on Indium-Tin Oxide Electrode", *Journal of Physical Chemistry B* **108**(16), 5018-5025 (2004).
10. J.-H. Ha, H. S. Cho, J. K. Song, D. Kim, N. Aratani, A. Osuka, "Excitonic coupling strength and coherence length in the singlet and triplet excited states of meso - meso directly linked Zn(II)porphyrin arrays", *European Journal of Chemical Physics and Physical Chemistry* **5**(1), 57-67 (2004).
11. A. K. Viswanath, J. I. Lee, S. T. Kim, D. Kim, "Growth of good quality InGaN multiple quantum wells by MOCVD", *Journal of Crystal Growth* **260**(3-4), 322-326 (2004).
12. T. Hasobe, H. Imahori, P. V. Kamat, T. K. Ahn, S. K. Kim, D. Kim, A. Fujimoto, T. Hirakawa and S. Fukuzumi, "Photovoltaic Cells using Composite Nanoclusters of Porphyrins and Fullerenes with Gold Nanoparticles" *Journal of the American Chemical Society* in press (2004).
13. H. Imahori, M. Kimura, K. Hosomizu, T. Sato, T. K. Ahn, S. K. Kim, D. Kim, Y. Nishimura, I. Yamazaki, Y. Araki, O. Ito and S. Fukuzumi, "Vectorial Electron Relay at ITO Electrodes Modified with Self-Assembled Monolayers of Ferrocene-Porphyrin-Fullerene Triads and Porphyrin-Fullerene Dyads for Molecular Photovoltaic Devices", *Chemistry European Journal* in press (2004).
14. H. J. Kim, K.-M. Park, T. K. Ahn, S. K. Kim, K. S. Kim, D. Kim and H.-J. Kim, "Novel fullerene-porphyrin-fullerene triad linked by metal axial coordination: Synthesis, X-ray crystal structure, and spectroscopic characterizations of trans-bis([60]fullerenoacetato)tin(IV) porphyrin complex", *Chemical Communication* in press (2004).
15. I.-W. Hwang, T. K. Ahn, D. M. Ko, D. Kim, T. Kamada, T. Nakamura, A. Tsuda and A. Osuka, "Porphyrin Boxes Constructed by Homochiral Self-Sorting Assembly: Optical Separation, Exciton Coupling, and Efficient Excitation Energy Migration", *Journal of the American Chemical Society* in press (2004).

16. Y.-J. Cho, T. K. Ahn, H. Song, W. S. Seo, C. Y. Lee, K. S. Kim, S. K. Kim, J. T. Park and D. Kim, "Unusually High Performance Photovoltaic Cell based on Porphyrin-Fullerene Dyad SAM on ITO electrode", *Journal of the American Chemical Society* submitted (2004).

17. N. Aratani, A. Takagi, Y. Yanagawa, T. Matsumoto, T. Kawai, D. Kim and A. Osuka, "Giant meso-meso Linked Porphyrin Arrays of Micrometer Molecular Length", *Journal of the American Chemical Society* submitted (2004).

18. Y. Nakamura, I.-W. Hwang, N. Aratani, T. K. Ahn, D. M. Ko, D. Kim and A. Osuka, "Directly meso-meso Linked Porphyrin Rings: Synthesis, Characterization, and Efficient Excitation Energy Hopping", *Journal of the American Chemical Society* submitted (2004).

19. T. Hasobe, P. V. Kamat, V. Troiani, N. Solladié, T. K. Ahn, S. K. Kim, D. Kim, A. Kongkanand, S. Kuwabata and S. Fukuzumi, "Organic Photovoltaic Cells Using Molecular Composite Clusters of Porphyrin-Peptide Oligomers and Fullerene", *Angewante Chemie International Edition* submitted (2004).

◆ Invited Paper

M.-C. Yoon, J. K. Song, S. Cho, D. Kim, "Femtosecond coherent spectroscopic study of Zn(II)porphyrin using chirped ultrashort pulses", *Bulletin of the Korean Chemical Society* **24**(8), 1075-1080 (2003).

◆ Invited Review Article

1. D. Kim, A. Osuka, "Photophysical Properties of Directly Linked Linear Porphyrin Arrays", *Journal of Physical Chemistry A* **107**(42), 8791-8816 (2003).

2. D. Kim, A. Osuka, "Directly Linked Porphyrin Arrays with Tunable Excitonic Interactions", *Accounts of Chemical Research* ASAP (2004).

3. 전문가 초청 및 세미나 개최

전문가 초청

◆ 2003. 8. 19

양 민오 교수 (충북대학교)

"Energy Transfer in Photosynthetic Light Harvesting Complexes and Nonlinear Spectroscopy"란 제목으로 세미나를 개최하였다.

◆ 2003. 9. 19

양 민오 교수 (충북대학교)

"Energy Transfer in Photosynthetic Light Harvesting Complexes"란 제목으로 두 번째 세미나를 개최하였다.

◆ 2003. 12. 5

고 재중 교수 (고려대학교)

"Development of a Novel Oxidative Addition of Diyne and Triyne π -Electron Bridges: A Versatile Application to Fluorescent Dyes and Emitting Materials"란 제목으로 개최하여 연구 단원들 뿐만 아니라 많은 화학과 학생들이 참석한 가운데 세미나가 열렸다.

◆ 2003. 12. 13

이 영종 박사 (Univ. of Texas at Austin)

"Conduction Band Spectrum of the Hydrated Electron"란 제목으로 세미나를 열었다.

◆ 2004. 1. 19

김 희준 교수 (금오공대)

"Synthesis & Characterization of Porphyrin-Fullerene Dyads"란 제목으로 세미나를 가졌다.

◆ 2004. 1. 27-30

Prof. Naoki Aratani (Kyoto University)

당 연구단을 3일간 방문하여 "The Measurement of Conducting Property of Porphyrin Arrays"에 대한 실험 및 발표를 하였다.

◆ 2004. 3. 26

현 택환 교수 (서울대학교)

"Synthesis, Characterization and Applications of Monodisperse Nanodisperse Nanoparticles and New Nanostructured Carbon Materials"란 제목으로 세미나를 가졌으며 화학과 학생들도 참석하였다.

◆ 2004. 4. 9

이 호성 박사(한국표준과학연구원)

"Atomic Frequency Standards"라는 제목으로 세미나를 가졌다.

세미나 개최

1. "창의적 연구진흥사업 중간평가 기획 연구" 제1회 창의 연구단장 협의회, 연세대학교, November 28, 2003.

2. "2004 Advanced Lasers and Their Applications" 한국광학회 양자전자분과워크샵개최, 제주대학교 연수원, May 6-8, 2003.

3. "2004 창의적연구진흥사업 성과전시회" 한국과학재단, 창의연구단장협의회, COEX 1층 그랜드 볼룸, June 15, 2004.

4. 국내.외 학술회의 발표

국제 학술회의 초청 발표

1. **Dongho Kim**, "Ultrafast excitation energy and electron migration processes in various porphyrin arrays", *Vietnam-Korea Symposium on Chemistry and Nanostructure Materials*, Halong, Vietnam, October 18-19, 2003.
2. **Dongho Kim**, "Ultrafast Spectroscopic Characterization of Various Molecular Photonic Devices Based on Porphyrin Arrays", *2003-Korea Conference on Innovative Science and Technology*, Oriental Hotel, Jeju, November 2-5, 2003.
3. **Dongho Kim**, "Excitation Energy Migration Processes and Electrical Conductivities of Various Porphyrin Arrays", *International Symposium on Scientific and Industrial Nanotechnology 2003*, Osaka University, Japan, December 8-12, 2003.
4. **Dongho Kim**, "Ultrafast excitation energy and Electron Transport Phenomena in Various Porphyrin Arrays" *2nd ICPOP International Conference*, Paradise Hotel, Busan, February 17-19, 2004.
5. **Dongho Kim**, "Ultrafast Excitation Energy and Electron Migration Processes in Various Porphyrin Arrays", *8th East Asian Workshop on Chemical Reactions*, Okazaki Conference Center, Okazaki, Japan, March 8-10, 2004.
6. **Dongho Kim**, "Ultrafast Relaxation Dynamics of Directly Linked Porphyrin Arrays", *Third Asian Conference on Ultrafast Phenomena*, Peking University, Beijing, China, March 18-19, 2004.
7. **Dongho Kim**, "Ultrafast Excitation Energy Transport Phenomena in Various Porphyrin Arrays", *ICPP-3*, New Orleans, U.S.A., July 19-24, 2004.

국제 학술회의 발표

1. **In-Wook Hwang**, "Excitation Energy Migration Processes in Two- or Three-Dimensional Zn(II) Porphyrin Arrays", *2003-Korea Conference on Innovative Science and Technology*, Oriental Hotel, Jeju, November 2-5, 2003.
2. **Zin Seok Yoon**, "Conformational Heterogeneity of Long Meso-Meso Linked Zinc(II) Porphyrin Arrays Investigated by Spectroscopic Methods", *2003-Korea Conference on Innovative Science and Technology*, Oriental Hotel, Jeju, November 2-5, 2003.

3. **Sung Cho**, "Intramolecular Energy Transfer between 1,4- Phenyl- / 1,6- Biphenyl-linked Porphyrin Dimers", *2003-Korea Conference on Innovative Science and Technology*, Oriental Hotel, Jeju, November 2-5, 2003.

4. **Zin Seok Yoon**, "Excitation Energy Migration Processes within three-Dimensional Zinc(II) Porphyrin Boxes Probed by Exciton Annihilation and Transient Absorption Anisotropy", *Third International Conference on Porphyrin and Phthalocyanines*, Sheraton Hotel, New Orleans, U.S.A., July 11-16, 2004.

5. **Zin Seok Yoon**, "Conformational Heterogeneity and Excitation Energy Transfer Efficiency in Meso-Meso Directly Linked Zinc(II) Porphyrin Arrays", *Third International Conference on Porphyrin and Phthalocyanines*, Sheraton Hotel, New Orleans, U.S.A., July 11-16, 2004.

6. **Dongho Kim**, "Ultrafast Excitation Energy Migration Processes in Various Porphyrin Arrays", *2004 14th International Conference on Ultrafast Phenomena Conference*, Toki Messe, Niigata, Japan, July 25-30, 2004.

7. **Sung Cho**, "Femtosecond coherent spectroscopic study of Zn(II)porphyrin by chirping-controlled ultrashort pulses", *2004 14th International Conference on Ultrafast Phenomena Conference*, Niigata, Japan, July 25-30, 2004.

국내 학술회의 발표

1. 2003년 10월 16-17일 부산의 BEXCO에서 열린 제 92회 대한화학회에서 3 건의 포스터를 발표하였다.

<발표내용>

Tae Kyu Ahn, "Conformational Heterogeneity of Long meso-meso Linked Zn(II) Porphyrin Arrays Bearing a 5, 15-Bisphenylethynylated Zn(II) Porphyrin Acceptor"

Tae Kyu Ahn, "Photophysical Properties of Porphyrin-Fullerene Dyad and Triad Self-Assembled Monolayers on ITO Electrode"

Jong Kuk Lim, "Spatial and Spectral Heterogeneity from Langmuir-Blodgett Monolayer of Flavin"

2. 2004년 2월 12-13일 광주 전남대학교 연수원에서 열린 2004-한국 광학회에서 구두발표를 하였다.

<발표내용>

Mira Park, "ITO 박막의 미세 패터닝 방법 연구"

3. 2004년 4월 22-23일 서울 전국경제인연합회(전경련) 회관에서 열린 제 93회 대한화학회에서 7건의 포스터를 발표하였다.

<발표내용>

In-Wook Hwang, "Excitation Energy Migration Processes within Three-Dimensional Zinc(II) Porphyrin Boxes Probed by Exciton Annihilation and Transient Absorption Anisotropy"

Mira Park, "A μ -Patterning Technology of ITO coated Glass substrates"

Zin Seok Yoon, "Effect of Conformational Heterogeneity on Excitation Energy Transfer Efficiency in Directly meso-meso Linked Zn(II) Porphyrin Arrays"

Kil Suk Kim, "Electron Transfer Of Tin Porphyrin – Bifullerene Triad"

Jung Ho Kwon, "Photophysical properties of meso-hexakis(pentafluorophenyl)hexaphyrin"

Deok Yun Kim, "Investigation of the third-order nonlinear optical properties of directly-linked porphyrin arrays"

Dah Mee Ko, "Excitation energy migration in self-assembled porphyrin macrocycles"

4. 2004년 5월 6-8일 제주 제주대학교 연수원에서 열린 2004-양자전자 워크샵에서 2건의 구두발표와 2건의 포스터 발표를 하였다.

<발표내용>

구두발표

In-Wook Hwang, "Time Correlated Single Photon Counting Method and Its Applications"

Sung Cho, "Application of Noncolinear Optical Parametric Amplifier for Time-resolved Spectroscopy"

포스터 발표

Mira Park, "A μ -Patterning Technology of ITO coated Glass substrates and Its Application"

Mira Park, "Cultivation of Neuron Cells on Various Substrates Patterned by fs-laser"

5. 국내.외 초청강연

국외 초청강연

1. **Dongho Kim**, "Functionalities of Various Molecular Photonic Devices Based on Porphyrin Arrays", *Molecular Photonic and Electronic Devices Colloquium*, Advanced Institute of Science and Technology, Tsukuba, Japan, February 27-28, 2004.

2. **Dongho Kim**, "Ultrafast Excitation Energy Transport Phenomena in Various Porphyrin Arrays", *The Seminar at Department of Chemistry of University of Texas at Austin, U.S.A.*, July 8-11, 2004.

3. **Dongho Kim**, "Photophysical Properties of Long Molecular Wires Based on Zinc(II)porphyrins Investigated by Time-resolved Laser Spectroscopic Methods", *Institute for Molecular Science*, August 23-26, 2004.

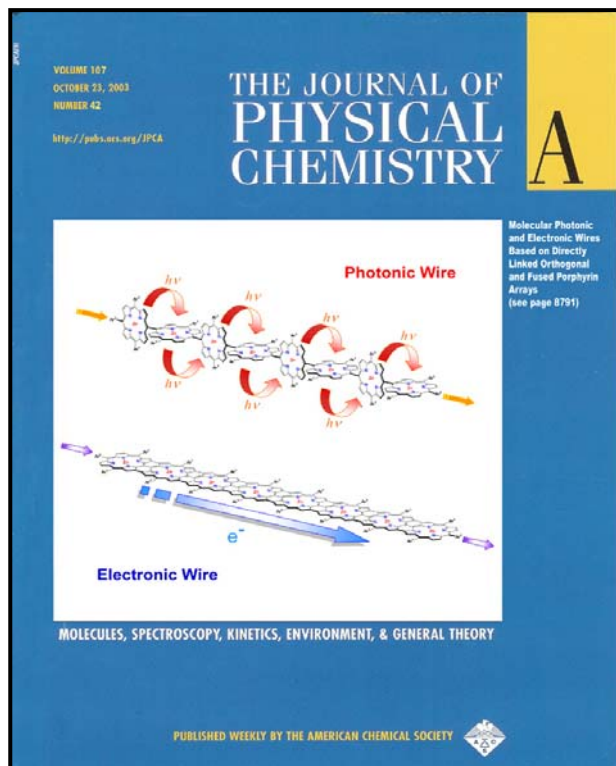
국내 초청강연

1. **Dongho Kim**, "Ultrafast Excitation Energy Migration Processes in Various Porphyrin Arrays", *물리/화학분과회 하계 심포지움*, 연세대학교 원주캠퍼스, August 20-22, 2003.

2. **Dongho Kim**, "Femtosecond Transient Absorption Spectroscopy", *한국광학회 양자전자분과워크샵*, 제주 연수원, May 6-8, 2004.

3. **Dongho Kim**, "Functionalities of Various Molecular Photonic Devices Based on Porphyrin Arrays", *The Seminar at KAIST*, KAIST, May 19, 2004.

4. **Dongho Kim**, "Ultrafast Spectroscopic Characterization of Various Molecular Photonic Devices Based on Porphyrin Arrays", *The Seminar at Yonsei University at Wonju Campus*, May 24-25, 2004.



An Invited Feature Article in
J. Phys. Chem. A
Selected as a Cover Figure!

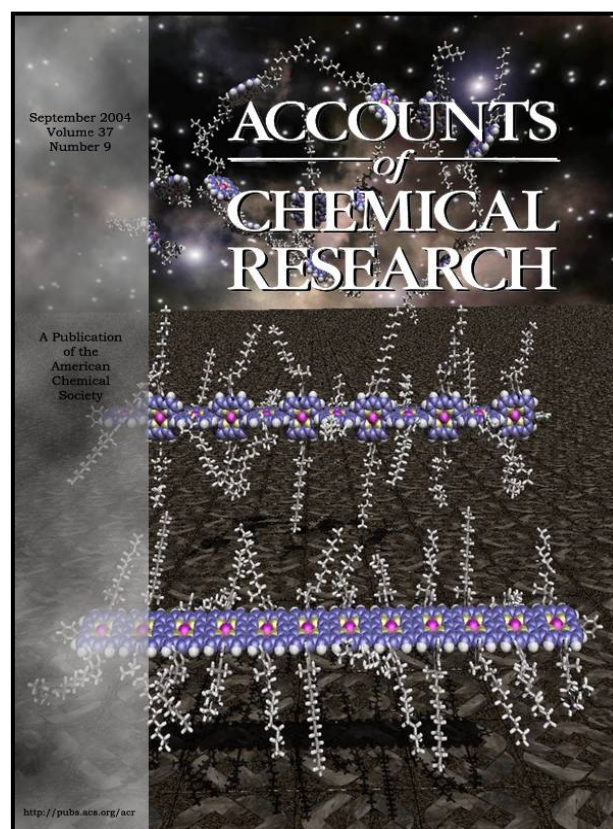
Cover Details: **“Molecular Photonic and Electronic Wires Based on Directly Linked Orthogonal and Fused Porphyrin Arrays”**

D. Kim, A. Osuka, “Photophysical Properties of Directly Linked Linear Porphyrin Arrays”, *Journal of Physical Chemistry A* **107**(42), 8791-8816 (2003).

An Invited Review Article in
Acc. Chem. Res.
Selected as a Cover Figure!

Cover Details: **“The Molecular Structures of Directly meso-meso Linked Orthogonal Porphyrin Array and Directly meso-meso, β - β , β - β Triply Linked Fused Porphyrin Array”**

D. Kim, A. Osuka, “Directly Linked Porphyrin Arrays with Tunable Excitonic Interactions”, *Accounts of Chemical Research* ASAP (2004).





이번에 “광학과 기술”에 “펄스 레이저의 화학적 응용”에 대해서 특집을 발간하게 되어 본인은 매우 기쁘게 생각하며 아울러 이러한 특집 원고를 바쁘신 가운데도 불구하고 흔쾌히 써 주신 분들께 이 자리를 빌어 다시금 감사를 드립니다.

이 특집은 국내의 화학계에서 실제로 아주 활발하게 연구를 진행하는 여러 그룹이 참여하게 되어 가능하게 되었으며 그 분야도 condensed phase에서의 다양한 시간분해 분광학 기술들(시분해 형광, 순간 흡수, 시분해 라만, 순간 자극 라만, 적외선 흡수)과 gas phase에서의 시분해 광전자 및 이광자 광전자 분광법 등과 시분해 전자빔 및 X-ray 분광법 등 다양한 분야에서 여러 전문가들의 해설 논문으로 구성되어 있습니다. 이러한 특집의 배경은 지난 5월 초에 한국광학회와 양자전자분과 주관으로 제주도에서 개최

또한 아주 많습니다. 따라서 펄스 레이저 발달의 역사와 함께 화학에서의 시분해 레이저 분광법도 많은 진전이 있게 되었습니다. 이러한 다양한 시분해 레이저 분광 기술은 이제는 물리학이나 생물학에서도 그 응용 영역이 점점 더 넓어지게 되어 이제는 분야를 구분 짓는 일이 사실상 무의미하게 되었습니다.

앞으로는 짧은 펄스를 사용하여 단순히 시간 분해능을 높이는 일보다는 레이저 펄스의 능동적 제어를 통한 광화학 반응 및 현상의 제어, 이차원 분광학을 이용한 분자들의 상호 작용의 이해, 펄스형태의 X-ray 및 전자빔을 이용한 화학 반응 및 생화학에서 여러 단백질의 반응의 실시간 구조의 추적, THz 분광법을 이용한 저주파수 영역의 진동 모드의 관찰, 아주 짧은 펄스를 이용한 분자의 다양한 coherent 현상의 측정 등등의 분야에서 많은 발

특집 ■ Femtochemistry I

‘펄스 레이저의 화학적 응용 특집을 발간하며’

김동호*

된 “첨단 레이저 및 레이저 응용” 워크샵에서 화학을 전공하는 많은 분들이 참가하여 “펄스 레이저의 화학적 응용”이라는 세션을 통해 여러 응용 분야에 대해서 비교적 쉽게 발표를 하도록 하여 물리학이나 광학을 전공하시는 분들에게 아주 좋은 호응을 얻었습니다. 이러한 학문적 교류가 이 특집 기사를 만드는 데 결정적인 역할을 하였으며 앞으로는 서로간의 활발한 학술적 교류를 통하여 공동 연구를 활성화하는 계기가 되기를 진심으로 바랍니다.

펄스 레이저가 개발된 이후로 화학자들은 광화학 반응의 기작, 동역학, 중간체 규명 등을 위하여 여러 가지 분광법을 개발하여 수 많은 연구를 수행하여 커다란 연구 성과를 이루었습니다. 특히 여러 가지 펄스 레이저의 비선형 현상을 이용하는 분광법에서는 그 역사도 깊고 연구 성과

전이 있을 것으로 기대됩니다. 끝으로 이러한 특집 기사를 쓸 수 있는 기회를 마련해주신 한국광학회의 광학과 기술 편집위원회 여러분과 특히 한국원자력연구소의 정영옥 박사님께 감사를 드리고 이 모든 원고를 제 날짜에 제출해 주신 모든 분들께 다시 한번 감사를 드립니다.

약 력



김동호

2000년 - 현재 : 연세대학교 이과대 화학과, 교수
1997년 - 현재 : 창의사업(초고속광물성제어연구단), 단장
1997년 : Washington University, 방문교수
1996년 - 2000년 : 한국표준과학연구원 분광연구그룹, 그룹리더
1984-1985년 : Princeton University Postdoctoral Fellow
1984년 : Washington University, 이학박사
1980년 : 서울대 자연대 화학과, 이학사

* 연세대학교 화학과



고추는 왜 맵지?



매운 원인 찾아내면
신개념 진통제 연결

고추가 매운 것은 누구나 아는 사실. 하지만 왜 매운지 꼬치꼬치 물어보면 '별 상거은 질문 다하네' 라고 말하기 쉽다. 굳이 이유를 알아야 할 만큼 중요하지 않아 보이 기 때문이다. 그런데 '통증'의 매 커니즘을 연구하고 있는 서울대 약대 오우택 교수는 달랐다. 잘게 썬 고추가 먹을 때는 물론 피부에 닿기라도 하면 맵고 아프게 느껴 진다. 그 원인을 찾으면 오랫동안 인류를 괴롭혀온 각종 통증을 없앨 수 있지 않을까.



눈 깜짝할 사이?



시신경 반응 밝히면
고속 메모리칩 단서

연세대 화학과 김동호 교수는 '찰나'의 세계에 관심이 많다. 식물이 빛을 받아 광합성을 할 때 순간 반응 시간은 불과 1000조분의 1초(펨토초) 수준. 사람이 한곳을 응시하다 다른 곳으로 눈을 돌릴 때 시신경 내의 분자구조가 바뀌는 것도 비슷한 시간대에 이뤄진 다. 이 찰나의 세계를 이용하면 분자 하나가 '읽고 쓰고 지우는' 기능을 수행하는 머리카락 1000분의 1 크기의 '나노 메모리칩'을 만들 수 있지 않을까.



가장 빠른 어류?



돋새치 비밀 캐내면
초고속 잠수함 개발

물속에서 가장 빨리 헤엄치는 동물은? 시속 40~50km로 움직이는 돋새치나 상어라고 생각하기 쉽지만 사실 해밍웨이의 소설 '노인과 바다'에 나오는 길이가 3.4m의 돋새치가 최고기록 보유자다. 자그마치 시속 110km에 달한다. 서울대 기계항공공학부 최해천 교수가 매달리고 있는 연구대상이 바로 돋새치의 피부다. 그 구조의 비밀을 알아내면 물속에서 자동차 만큼 빨리 달리는 잠수함을 만들 수 있지 않을까.

생활속 호기심이 기초과학 키운다

55개 연구단 '창의적 연구' 성과 내일 전시

더 물을 필요 없는 당연한 사실이 나 접근이 불가능한 난제에 도전하는 '창의적 발상'. 이 세 가지 시제가 갖는 공통점이다. 15일 서울 코엑스 1층 전시장에서 열리는 '창의적 연구 진흥사업 성과전시회'에 소개될 내용의 일부다. 1987년 과학기술부 주도로 시작됐으며 단일 과제당 5억~8억원이라는 국내 최고의 연구비가 최대 9년까지 지원된다. 이날에는 7년간 선발돼 온 55개 연구단의 성과가 일반인에게 처음 공개된다. 아울러 공식 홈페이지(creative.re.kr) '창의적 발상'이 오픈된다.

'창의적 연구'의 판단기준이 무엇 이냐는 질문에 창의연구단장협의회장을 맡고 있는 서울대 공대 재 료공학부의 김도연 교수는 "외국의

앞선 연구를 좇는 것이 아니라 새로운 분야를 창조해내는 연구"라며 "다소 황당해 보이지만 신선한 발상으로 기초과학을 파고들어야 세계를 주도할 수 있다"고 말했다.

기초과학이다 보니 '당장 돈 되는' 일파는 거리가 있지만 잠재적 부가가치는 크다. 서울대 오우택 교수가 대표 사례. 태평양사와 공동으로 부작용이 적은 획기적인 소염진통물질을 개발해 2월 19일 독일의 슈바르츠사와 공동개발 협약을 맺었다. 미국 식품의약국(FDA)에서 신약으로 인정받으면 무려 1650여억원의 기술이전료를 제공한다는 파격적인 조건이었다.

김흥기 동아사이언스기자

wolkim@donga.com

'1000조분의 1초'를 잡아라

펨토과학 국내서도 뜬다

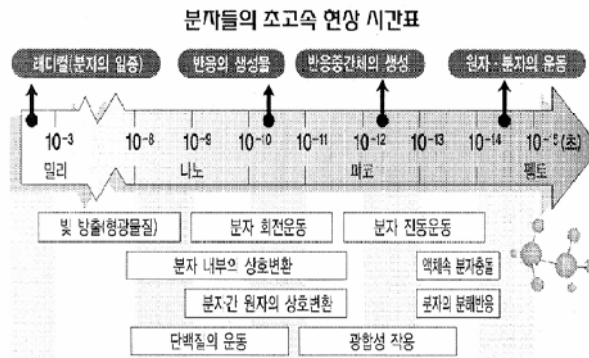
'1000조분의 1초'의 순간 포착에 도전하는 '펨토과학'이 국내에서도 움트고 있다.

펨토과학이란 1000조분의 1초(펨토 초=fs)라는 그야말로 '찰나'에 일어나는 원자의 분자의 물리·화학 현상을 관측하는 새로운 연구분야로, 공간의 미시세계를 관측하려는 나노기술과 더불어 1990년대 말부터 새롭게 주목받고 있다. 원자는 초당 1km의 엄청난 속도로 운동하며, 분자의 충돌은 1천억분의 1초에 일어나 이들의 운동을 보려면 첨단 관측기술이 필요하다.

"빛이 내달릴 때 네 다리가 각각 어떻게 움직이는지는 오랫동안 궁금증으로 남아 있었습다. 달리는 말의 네 다리를 선명하게 볼 수 있었던 건 짧은 순간의 빛 신호를 포착한 사진기술 덕분이었습니다." 김동호 연세대 교수(화학)는 "펨토과학은 이렇게 너무도 짧은 순간에 일어나 볼 수 없던 원자·분자의 운동을 이해하려는 새로운 과학의 도구로 등장하고 있다"고 했다. "초에 100장의 정지화면을 잡아냈을 때엔 2장의 정지화면에선 볼 수 없는 광경을 목격할 수 있듯이, 원자·분자의 자세한 반응 과정을 이해할 수 있다는 것이다.

사실 순간을 포착하려는 과학기술은 그동안 꾸준히 발전해왔다.

사진기 셔터는 그 하나다. 셔터의 속도를 높여 매우 짧게 빛 신호를 끊어버림으로써 단거리 경주의 결승점에서 0.001초



레이저 빛 이용...짧은 '찰나'의 순간 포착

펨토·아토초의 원자·분자 움직임도 관측

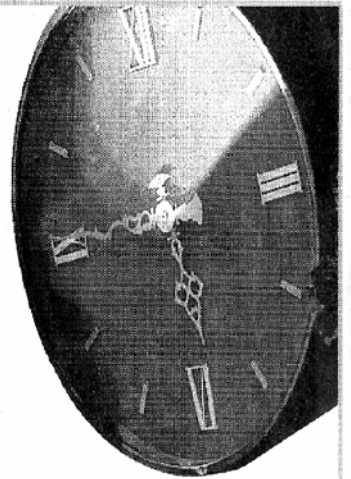
차이를 선명하게 잡아내어 우승자를 가리는 카메라가 등장했으며, 초고속 카메라는 날아가는 총알이 검은 것처럼 보이는 100만분의 1초 순간까지 잡아내고 있다.

그러나 원자·분자의 운동을 포착하는 데엔 새로운 원리가 적용된다. 아주 짧은 찰나의 순간에 레이저의 섬광을 일으켜 레이저 빛이 물체에 부딪힌 뒤 튀어나오는 신호를 이용해 순간을 포착하는 것이 펨토 초 관측의 원리다. 이때에 레이저의 출력력을 높여 파장을 더욱 짧게, 주파수를 더욱 높일수록 더 짧은 순간의 포착이 가능해진다. 김 교수는 "원자·분자의 운동을 볼 수 있다는 것은 결국 원자·분자의 운동을 이해하고 조절할 수 있는 기반을 마련해줄 것"이라며 "여러대 광합성작용

에서 일어나는 실제 분자의 운동을 관측해 광합성작용을 모방하려는 연구도 이어지고 있다"고 말했다.

펨토과학의 등장으로 자연세계에 담긴 시간의 관념도 새롭게 조명되고 있다.

고도경 광주과학기술원 교수는 "사진은 '정지된 순간'으로 비쳐지지만 사실은 1000분의 1초, 또는 100단분의 1초라는 시간의 흐름을 한 화면에 담은 것"이라며 "도심 야경에 서너시간 노출한 카메라가 촬영한 자동차 불빛 행렬의 장면엔 서너시간의 시간이 담긴 셈"이라고 말했다. 사진은 정지가 아니라 사실상 연속으로 흐르는 시간의 한 조각을 담은 것이며, 순간 포착 기술은 결국 이런 시간의 조각을 더욱 잘게 쪼개는 것이다.

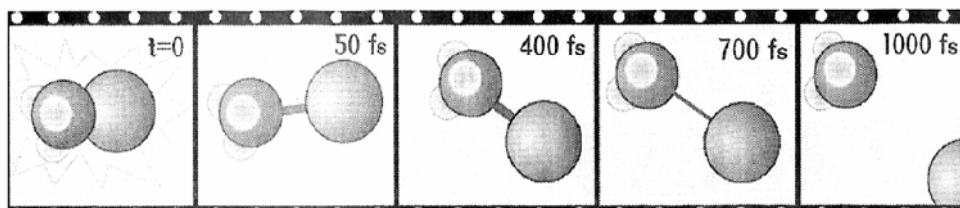


김대식 서울대 교수(물리학)는 "그동안 과학은 뉴턴방정식이나 맥스웰방정식이 그러하듯이 대부분 에너지를 통해 시간을 바라봤을 뿐 시간을 직접 볼 순 없었다"고 "시간을 무한히 쪼개어 찰나까지 인간이 볼 수 있게 되면서 찰나의 순간까지 인간이 개입할 수 있는 길이 열릴 것"이라고 말했다.

찰나의 순간 포착은 미국·일본·영국·독일 등에서 점차 독자적 과학분야로 활발해지고 있다. 최근엔 펨토초보다 1만분의 1이나 더 작은 아토초·네토의 순간 측정이 오스트리아 연구팀에 의해 실현되기도 했다. 영국 <비비시 방송>은 "레이저를 이용해 100아토초라는 지금까지 기록된 가장 짧은 시간 간격을 측정하는 데 성공했다"며 "원자시계보다 더 정확한 시계를 만들 수 있는 가능성을 열었다"고 전했다.

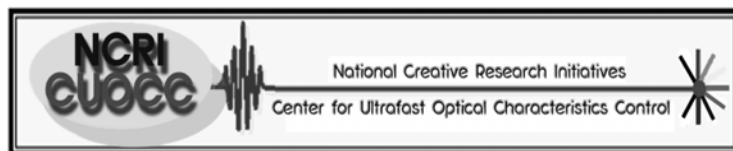
국내에선 최근 일부 대학에 수십 펨토초를 포착할 수 있는 고성능 레이저 장비들이 들어서고 있는 가운데, 30~50펨토초까지 관측할 수 있는 페타(100조)와트급의 '펨토초 레이저'를 광주과학기술원에 설치하는 사업도 한창 추진돼, 이르면 올해 8월경부터 국내 연구자들에게 공개된다. 앞으로 2009년까지 성능을 높이고 아토초까지도 관측할 수 있는 기술을 개발할 예정이다. 펨토초 레이저는 원자·분자의 찰나 포착 외에도 짧은 파장의 고출력 레이저를 이용해 매우 정밀하게 반도체 등 물질을 미세가공하는 등의 쓰임새에도 활용될 전망이다.

오철우 기자 cheolwoo@hani.co.kr



1조분의 1초의 찰나에 한 분자가 다른 2개의 분자로 분리되는 모습을 시간 순서대로 나타낸 그림.

출처 'chemphys.ku.se'



서울특별시 서대문구 신촌동 134번지

연세대학교 부설 연구소 초고속광물성제어연구단

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