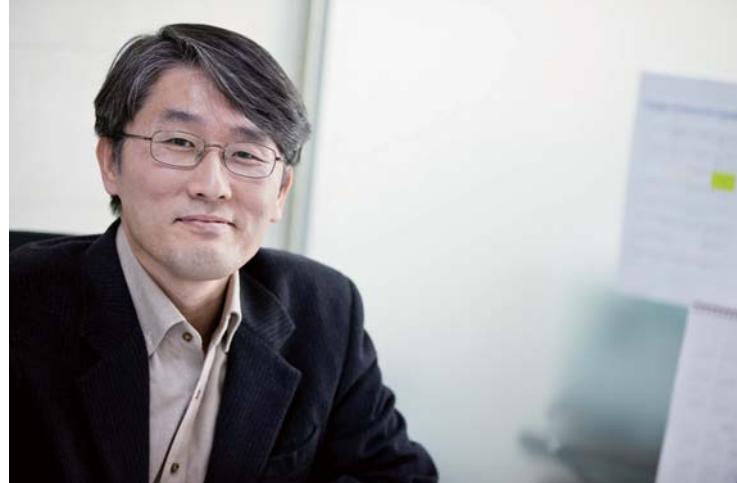


**THINK
ABOUT
YOUR
FUTURE
IN CSE**

[목차]

- 2 학과장님 격려사
- 3 편집장의 글
- 4 계산과학공학과에서 꿈을 키워나가는 박사과정 박현욱 학생을 인터뷰하다
- 6 CSE-URP (연세대 계산과학공학과 학부 인턴프로그램에 대하여)
- 9 수학으로 돈을 벌 수 있을까?
- 12 전력 저장 배터리와 CFD
- 14 토목분야에서의 'CSE'
- 16 Mathematical modelling of disease
- 20 CSE포스터 발표회 (Zhang Tingting, 유병수, 노경민)
- 34 반도체 산업의 성장과 계산공학
- 38 CSE연구실 소개

[학과장님 격려사]



어

느덧 계산과학공학 뉴스레터 4호의 발간을 맞게 되어 매우 기쁘게 생각합니다. 이를 위해서 열정을 가지고 준비 중인 편집진들에게 심심한 감사의 뜻을 전합니다. 우리 계산과학공학과는 2008년 후반부에 설립되어 이제 6년을 채우게 되었습니다. 그동안 학과의 설립 그리고 현재의 학과의 모양새를 갖추기 위해서 노력해온 많은 해외학자들을 포함해서 학과의 구성원인 교수진, 연구원, 직원 그리고 대학원생들에게 찬사를 보냅니다. 새로운 학과가 설립되고 제대로 발전하는 것은 그리 흔하지도 않고 쉽지도 않은 일입니다. 이제는 졸업생들이 다수 배출되기 시작하였고 사회에서 요구하는 핵심적인 인재로서 여러 분야에서 제 몫을 다하고 있습니다. 이는 초창기부터 소수 정예로 높은 기준을 만족시키도록 교육과정을 적용해왔으며 이를 위해서 불철주야로 연구지도 및 연구를 수행한 교수진과 대학원생들의 노력에 의해서 가능했던 것으로 믿어 의심치 않습니다.

여전히 계산과학공학 (computational science and engineering)이란 용어가 생소하게 느끼는 학생들이 많은 것 같습니다. 혹자는 전산학 (computer science and engineering)

과 혼동하는 경우도 있는 것 같습니다. 전산학은 컴퓨터를 사용하기 위한 소프트웨어나 하드웨어의 설계에 관련된 학문이고 계산과학공학은 컴퓨터와 소프트웨어를 이용하여 실제의 물리적이거나 공학적인 문제의 해석을 추구하는 학문으로 명확히 구분되어야 할 것입니다. 이런 측면에서 계산과학공학은 분야 자체가 새로운 것은 아니고 기존의 여러 수학, 공학 분야에서 부분적으로 추구되어온 학문분야입니다. 별도의 분야로서 계산과학공학이 필요한 이유는 학문의 융합적인 성격으로 인해 기존의 학문분야 틀에서는 제대로 학문에 대한 깊은 추구나 교육이 효과적으로 이루어지기 어려워서 별도의 특화된 교육과정이나 융합연구의 장이 필요하기 때문입니다. 아직 국내에서는 매우 드문 분야지만 실제 산업현장에서 필수적으로 요구되는 분야로서 장래성이 매우 밝다고 볼 수 있습니다. 한편으로는 수학이나 공학의 기초적인 지식만 갖추어도 쉽게 진입할 수 있다고도 볼 수 있습니다. 이러한 점들이 널리 알려져서 더욱 많은 학생들이 관심 갖고 참여하기 기대해 봅니다.

이 창 훈
계산과학공학과 학과장

[편집장의 글]



처음 아무것도 모르고 들어왔었던 작년 이맘때 CSE에 인턴을 시작하게 되었고, 많은 대학원생분들과 인턴들을 만나고 보내고 하는 동안 어느덧 3학기 째 하고 있고 편집장을 맡게 되었습니다. 거자필반 회자정리(去者必返 會者定離)라고 만남이 있으면 헤어짐도 있다고 하는 말처럼 3학기를 보내는 동안 많은 사람을 새롭게 만나기도 하였고, 만났던 사람들과 헤어지기도 하였습니다. 그렇게 많은 사람들을 보내고 만나고 2번의 포스터 발표와 2번의 뉴스레터를 만드는 동안 많은 것들을 보고 알게 되었습니다. CSE라는 곳을 들어가면서, 이미 모든 것이 0과 1의 디지털 세상으로 변화하고 있는 이 시점에서 세상을 바라보는 관점이 예전과는 다르게 확장된 것을 느낄 수가 있었습니다. 디지털화된 세상 가운데에서 일상 가득히 수치들로 차여져 있다는 것을 예전과는 다르게 볼 수 있게 되었습니다.

아이폰의 발표와 함께 터진 스마트폰 혁명으로 인해서 더욱더 가속화되고 있는 디지털화된 세계에서 예전에는 상상도 하지 못했었던 것들이 우리 삶으로 다가오고 있고, CSE라는 곳은 그 러한 변화 속에서 점점 더 그 중요성이 높아져 가고 있습니다.

일년이 다르게 향상되어가는 컴퓨터의 계산 능력과 함께 빅데이터와 같은 대량의 데이터처리가 가능해지고, 예전에는 하지

못했었던 고해상도의 유체의 계산 등도? 가능해지게 되었습니다.

컴퓨터는 예전에는 하지 못했었던 수많은 계산들을 하게 하고 그러한 계산을 통해 알지 못했던 것들을 알게 하는 데우스 엑스 마키나가 되어 인류의 삶 가운데에서 없어서 안될 것이 되어 인류의 발전에 혁혁한 공을 세우고 있습니다. 우리의 삶 가운데에 컴퓨터의 계산이 들어가지 않는 분야라는 곳은 이제 거의 보이지가 않습니다. 또한 이러한 IT가 발전된 현대사회에서 CSE의 중요성은 점점 더 커져만 갑니다.

과거에는 상상도 못했었던 것들이 점차 우리 현실 속으로 다가오고, 그러한 것들은 어느새 우리의 삶 가운데 녹아들어 이것이 없었던 때가 기억이 나지 않게 되어가고 있습니다. 세상을 수치적으로 바라보고 자신이 원하는 것을 그러한 수치적인 알고리즘과 컴퓨터의 계산능력이 더해졌을 때에는 과거에는 없었던 새로운 기술을 만들어내어 인류 지식의 지평선을 조금 더 넓게 해줄 수 있게 될 것이고, 그 중심에는 CSE가 있을 것입니다.

노경민
CSE-URP 편집장

[인터뷰]

계산과학공학과에서 꿈을 키워나가는 박사과정 박현욱 학생을 인터뷰하다

Graduate Student



CSE 대학원생의 삶이란?

작년 봄 계산과학공학과 포스터 발표 최우수상을 받았던 박현욱 학생을 만나보았습니다.

자기소개 부탁드립니다.

계산과학공학과 CFD 연구실 석박사 통합과정 8학기차인 박현욱이라고 합니다.

CSE에 들어오게 된 계기가 있나요?

학부 과정에서도 유체역학에 가장 관심이 많았어요. 이미 같이 학교를 다니던 친한 형이 CSE에 들어와 있었기도 했고, 교수님을 찾아뵈었더니 적극적으로 여기를 추천 해주셨어요.

연구실 소개 간단히 해주세요.

우리 연구실은 CFD의 다양한 분야 중에서도 주로 난류 유동을 연구하고 있어요. 자연 현상의 대부분은 실제로는 난류인 만큼 난류 해석은 굉장히 폭넓고 중요한 연구분야예요. 그런데 사람들이 난류에 대해 너무 어렵게 생각하는 인식이 있는 거 같은데, 실제로 꼭 그렇지는 않거든요. 좀 더 쉽게 다가올 수 있으면 좋겠어요.

연구실 자랑을 한마디 해주신다면?

다른 연구실에 비해 프로젝트가 많은 편이 아니라 자기 연구를 위한 공부에 투자할 수 있는 시간이 많아요 그만큼 공부에 대한 욕심이 있으면 좋은 성과를 낼 수 있는 곳이라고 생각해요.

자신이 원하는 만큼 가져갈 수 있는 곳이라는 말씀이시죠?

그 말이 딱 맞겠죠.

지금 어떤 연구를 하고 계시죠?

유체 역학의 수치해석 기법 중 가상경계기법이라는 알고리즘 개발하고 있습니다. 유체의 흐름을 모델링할 때 사물의 형상에 맞춰 격자를 그려준 뒤 해석을 하는 경우가 일반적인데, 자동차 주변의 유동처럼 복잡한 형상을 해석할 때에는 시간과 노력이 많이 필요합니다. 그러나 가상경계기법을 통해서는 아무리 물체 형상이 복잡하거나 물체가 움직이는 경우에도 고정된 격자를 통해 간단히 해석을 할 수 있다는 장점이 있습니다. 가상경계기법 중에서도 여러가지 방법들이 있는데, 저는 Direct Forcing이라고 불리는 저(낮은) 레이놀즈 수에서도 정확한 값을 얻어낼 수 있는 방법을 연구하고 있죠.

연구하시면서 가장 힘드셨던 것은 무엇인가요?

저는 연구 주제를 정하는 것이 제일 어려웠어요. 처음부터 이 연구를 할 생각은 아니었거든요. 무얼 연구해야하나 고민이 많던 중, Edison이라는 프로젝트를 맡게 되었어요. 낮은 레이놀즈 수에 대해 적용 가능한 교육용 유체역학 소프트웨어를 만들어야 했는데, 기존에 사용하던 기법을 아무 생각 없이 써보니 결과가 너무 안 맞는 거에요. 그래서 왜 안 들어맞을까 생각하다보니 연구 주제도 결국 이 쪽으로 정하게 되었어요. 원래부터 목적을 가졌던 것이 아니라 주어진 일을 하다보니 우연히 주제를 결정하게 된 셈이죠.

그럼 연구하면서 가장 보람찰 때는 언제였나요? 작년에는 포스트 전시회 발표 최우수상도 받으셨던데요.

상은 그냥 부수적인 것 같아요. (웃음) 머릿속으로 생각했던 것이 실제 수치해석 알고리즘으로 구현되어가는 과정이 제일 뿐듯해요. 제 연구에서도 손으로 수식을 풀어보며 레이놀즈 수가 있는 항 때문에 이러한 문제가 생길 것이라는 가정을 세웠었는데, 그게 정말 맞아떨어지는 것을 확인했을 때 기분이 좋더라고요.

앞으로 어떤 연구를 해나가고 싶으신가요?

지금은 수치해석 알고리즘에 대한 연구를 하고 있지만, 앞으로 연구를 계속 해나가면서 물리적인 현상들을 시뮬레이션을 통해 많이 밝혀내고 싶습니다. 또 수치해석 기법을 통해 유체 현상들을 높은 정확도로 예측해낼 수 있다는 것을 많은 사람들에게 보여주는 것도 제 목표 중 하나죠.

본인이 생각하기에 CFD가 얼마나 비전이 있다고 보시나요?

사실 나비에 스톡스 방정식(Navier–Stokes Equation) 자체는 유체 현상을 충분히 표현할 수 있다고 생각합니다. 지금까지 유체 현상을 정확히 예측할 수 없었던 것은 한계가 있는 격자 개수를 사용하기 때문인데, 앞으로 컴퓨터 성능이 점차 개선 될수록 더 실제 현상에 가까운 결과를 얻을 수 있지 않을까 생각해요. 물론 좀 더 정확하고 빠른 알고리즘도 함께 개발이 되어야겠지요.

기업에서도 CFD에 대한 수요가 많은가요?

전에 계산과학공학과 세미나에 삼성에서 반도체 연구를 하시는 분(김호준 수석)이 오셨는데, 열·유체 시뮬레이션을 통해 현장에서의 능률을 올리는 데에 성공했다고 하더라구요. 컴퓨터 성능이 점차 좋아지고 정확도도 더 높아지면서 기업에서도 많이 CFD에 관심을 가지는 추세인 거 같아요.

마지막으로 CSE에 지원하는 학생들에게 해주고 싶은 조언이

있나요?

사실 대학원에 와서 새로 배워나가는 부분들이 많기 때문에 기본적인 수업 과정만 따라왔다며 CSE에 오기 위해 특별히 무얼 더 준비해야 할 필요는 없을 거예요. 지원하려는 분야에 대해 관심을 가지고 입학 후 열심히 해나가는 게 가장 중요하죠. CSE는 수치해석 연구실, 의료영상 연구실과 CFD 연구실로 나뉘어져 있지만, 같이 듣는 수업도 있고 서로 연관되는 면이 많아요. 자신의 연구실 뿐만 아니라 CSE의 다른 연구실 사람들과도 함께 공부해나가거나 서로 필요할 땐 도와줄 수 있다면 좋을 거 같아요.

바쁜 시간 내여주셔서 감사합니다.

네. 감사합니다.

—
글 홍진영 (CSE URP / 기계공학과 4학년)

[소개]

'CSE URP'

연세대 계산과학공학과 학부 인턴프로그램에 대하여



CSE URP 단체 모임

연세대학교 계산과학공학과 (이하 CSE)에서는 학부 인턴프로그램 (Undergraduate Research Program, 이하 URP)을 운영하여 CSE에 관심 있는 학부생들이 CSE 활동에 참여하도록 하고 있으며 매학기 10명 안팎의 인턴들이 CSE에서 생활하고 있다. Computational Science는 다양한 분야에서 사용되기 때문에 이과대학과 공과대학 그리고 경영대학 등 다양한 학과의 학부생들이 이 프로그램에 참여하고 있다. 지금부터 URP는 어떻게 선발하며, 무엇을 배우고, 무엇을 얻는지에 관한 모든 것을 말하고자 한다.

URP 선발 과정

CSE는 매 학기 기말고사 전에 다음 방학부터 URP로 활동할 인턴을 선발한다. 지원 기간에 지원서와 성적 증명서를 제출하면 인턴장과 부인턴장의 면접을 1차적으로 본 후에 교수님과 최종 면접을 통해 선발한다. CSE와 관련된 공부를 하고 싶다는 열정만 있으면 누구나 지원 가능하다는 사실!

URP에서 하는 일

Winter (or Summer) School

URP로 선발되었다! 가장 먼저 참여하게 되는 공식적인 프

로그램은 CSE에서 배우게 될 내용의 맛을 보는 Winter (or Summer) School이다. 방학 초 2주간 진행되는 이 프로그램에서는 CFD, Medical Imaging, Numerical Analysis 각 분야의 교수님들께서 2~3일간 강의를 해주신다. CFD에서는 유체 시뮬레이션이 어디서 활용되는지에서부터 유체를 해석하는데 가장 지배적인 식인 Navier-Stokes equation이 어떻게 유도되고 어떤 성분들로 구성되는지 까지 배울 수 있다. Medical Imaging 파트에서는 Vector Calculus를, Numerical Analysis에서는 수치적인 방법론을 배워 이들이 각 분야에 어떻게 활용되는지 조교 수업을 통해 실습해 볼 수 있다. 특히 Numerical Analysis 실습시간에는 MATLAB을 사용하기 때문에 MATLAB을 처음 접해보는 사람들도 실용적인 툴을 배울 수 있다는 장점이 있다. 2주간의 수업이 끝나면지도 교수님과의 개별 면담을 통해 공부를 진행함과 동시에 공통적인 연구 분야를 가진 인턴들끼리 스터디를 하며 나머지 방학을 보낸다.

Intern Workshop

2주간의 수업이 끝나면 회의 및 친목도모를 목적으로 워크샵을 떠난다. 회의 중에는 인턴 내규에 대해 소개하고 앞으로 스터디를 어떻게 진행해 나갈 것인지에 대해 계획을 세운다. 워



CSE-URP Open Lecture & 포스터발표회



크샵에서 가장 좋은 점은 딱딱하고 학술적인 분위기가 아니라 여행 및 레저를 즐길 수 있다는 것이다. 겨울에는 스키장, 여름에는 해수욕장과 같이 인턴들이 함께 여가를 즐기면서 친목을 다질 수 있는 장소에서 진행된다.

Poster Exhibition

CSE에서는 매 학기 초에 포스터 발표회를 개최하여 학업적 성과를 확인하며 우수한 학생에게는 시상을 한다. 인턴이 되고 한 학기를 지낸 URP학생(인턴)은 이 포스터 발표회에 참여할 수 있는 기회를 갖는데 그 동안 인턴 스터디나 교수님과의 면담을 해오면서 진행해온 성과를 발표한다. 포스터 발표를 위한 준비 과정은 학업적 동기를 부여해 주어 실력향상에 큰 도움이 될 뿐 아니라 학부의 일반 교과 과정에서는 얻을 수 없는 소중한 경험을 할 수 있다.

URP의 혜택

첨단관 615호는 인턴들이 생활하는 인턴방이다. URP가 되면 인턴방에 개인 사물함 및 자리가 배정되어 도서관에서 자리를 뽑는 수고를 덜 수 있으며 1년 365일 24시간 언제든 사용할 수 있다. 또한 쾌적한 공부 환경을 위해 고급 공기청정기와 정수기, 프린터까지 구비되어 있다. 간단한 명부 작성만 하면 노트북도 대여할 수 있어 학교 내에서 컴퓨터가 있는 곳을 찾아다닐 필요도 없다. 마지막으로 URP에게는 소정의 연구비가 지원된다. 공부할 장소와 장비도 제공받고, 교수님과 대학원 선배의 지도도 받는데 연구비까지 지원해 준다니 공부하는데 이보다 좋은 환경이 있을까 싶다.

URP의 분위기

인턴들은 방학에 진행되는 특별 강의와 그룹스터디 그리고 워크샵을 통하여 자연스럽게 친해진다. 대학원생들과 같은 연구

실에서 생활하며 선배들의 눈치(?)를 보는 다른 연구실들의 인턴과는 달리 CSE URP는 단독으로 마련된 연구실을 사용하며 자유로운 분위기에서 생활하고 있다. 월간 회의, 공식모임, 회식 등을 갖아 각자의 연구에 대한 정보를 공유하기도 한다.

여기까지 URP의 모든 것을 파헤쳐 보았다. 공학이나 수학 또는 위 소개한 내용 중에 관심이 있다면 망설이지 말고 계산과학 공학과의 학부인턴프로그램에 지원할 것을 권장한다.

글 박도현 (CSE URP / 기계공학과 4학년)

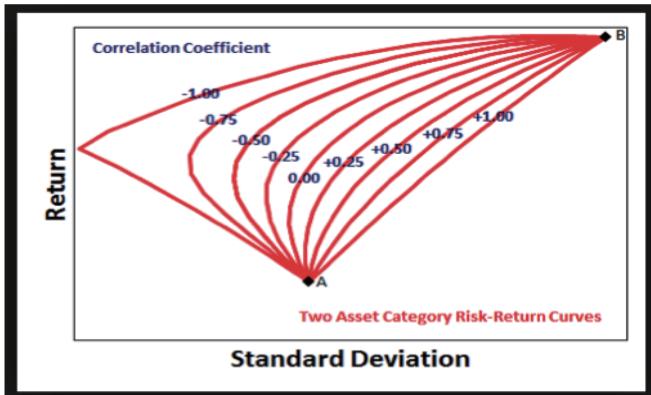


yonseicseurp.weebly.com

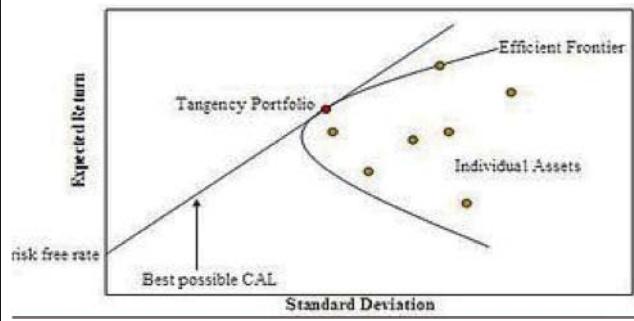
[연구]

수학으로 돈을 벌 수 있을까?

Relationship between computational science and money



■ 상관계수 ρ 에 따른 Efficient Frontier의 모양



■ 무위험자산(risk-free asset)이 있을 때 최적의 자산 분배 곡선(Capital Allocation Line)

1 수학으로 돈을 벌 수 있을까?

많은 사람들이 수학을 알면 돈을 벌 수 있다고 할 때 흔히 드는 생각은 소위 사모 해지 펀드(Private Hedge Fund)일 것이다. 퀸트라고도 불리는 그들은, 복잡한 수학 공식을 사용해서 시장의 움직임을 미리 예측하고 그에 배팅함으로서 엄청난 돈을 번다. 최근 서울에서 열린 2014년 세계수학자대회(International Congress of Mathematics)에서도 대중 강연사로 나온 James Harris Simons 의 경우가 대표적이다. 그는 뉴욕 대학교 스토니브룩 캠퍼스의 수학 교수로 있으면서, 동시에 가장 유명한 계산 재무를 이용한 펀드인 Renaissance Technologies의 창립자이기도 하다. 이 회사는 1988년부터 1999년까지 총 수익률이 2478.6%를 기록하기도 했다. 이렇게 놀라운 수익은 이들이 자산 시장에서 패턴 인식을 성공적으로 했기에 가능하다고 한다. 이 지면을 통해서, 자산 시장에서의 기본적인 수학적 기초를 알아보고, 시장 참여자들에게 잘 알려진 기법 몇 가지를 소개해보자 한다. (참고로, 아직 Renaissance Technologies가 사용하는 재무신호처리(Financial Signal Processing)기법이 구체적으로 어떤 것인지는 공개되지 않았다.)

2 자산 시장의 기본 방정식 : 자본 자산 가격 결정 모델

(Capital Asset Pricing Model)

먼저 1960년대부터 시작해서 자산시장을 수학적으로 설명하려는 모델부터 알아보도록 하자. 보통 학부 투자론에서 가르치는 내용은 크게 현대 포트폴리오 이론(Modern Portfolio Theory)과 자본 자산 가격 결정 모델(Capital Asset Pricing Model)로 나눌 수 있다.

현대 포트폴리오 이론(Modern Portfolio Theory)은 기본적으로 포트폴리오(자산구성) 최적화 문제를 다루고 있다. 단순한 모형화를 위해 i 번째 자산의 수익 R_i 를 정규분포를 따르는 확률변수라고 가정하자. 이 경우 자산의 기대수익률을 $E(R_i)$ 로, 위험을 $std(R_i)$ 로 나타낼 수 있다. 이때 개별 자산들의 상관관계에 따라 두 자산을 가중평균하면 자산간의 상관관계에 따라 위 그림과 같은 수익과 위험간의 관계 곡선을 구할 수 있다. 결국 최적의 포트폴리오는 자산들을 조합했을 때 위험이 고정된 상태에서 얻을 수 있는 가장 높은 수익률로 이루어지게 되고, 그런 자산 구성점을 모아놓은 것이 바로 효율적 자산구성선(Efficient Frontier)이다. 이때 무위험자산이 있다면 오른쪽 그림의 접선(Tangential Line)이, 무위험 자산이 없다면 Hyperbola 곡선의 형태를 띤다. (여기서 문제! 개별 자산은 각각 위험을 가져도 접선(Tangential Line)이 효율적 자산구성선(Efficient Frontier)가 되는 경우는 어떤 경우인가?) 이 자산 구성점은 라그랑지 승수법(Lagrange Multiplier)을 사용해서 쉽게 구할 수 있다.

그러나 이것만으로는 부족하다. 우리는 이제 미래 $t+1$ 시점에서의 보상(Payoff)이 제일 높은 포트폴리오만을 알았을 뿐이다. 만약 현재 시점에서 최적 자산 구성의 가격이 미래시점의 받을 보상에 비해 비싸다면, 설령 최적 자산 구성을 알아도 사지 말아야 할 것이다. 반대로 판매자 입장에서는 현재시점에서 최적 자산구성의 가격이 미래시점에 받을 보상에 비해 싸다면, 팔지 않는게 이익일 것이다. 소비자와 판매자 간의 거래가 이뤄질 수 있는 균형 가격은 무엇인가? 이미 사람들은 최적 자산구성이 무엇인지 알고 있기에, 어떤 개별 자산을 거래하든 최적 자산구성이 주는 수익-위험 비율과 같은 정도의 수익-위험 비율을 가지는 가격에 한해서만 거래하려 할 것이다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{E(R_i) - R_f}{\beta_i} = E(R_m) - R_f$$

이때 R_f 는 무위험자산의 수익률, R_m 은 최적 자산구성, β_i 는 최적 자산구성의 위험에 대한 자산 i 의 민감도를 나타내는 것으로 $Cov(R_i, R_m)/Var(R_m)$ 으로 나타낸다. 이 조건을 Security Market Line이라고 하며, Time t 에서의 자산의 수익률을 $E(R_i) = (E(R_{i,t+1}) - PR_i)/PR_i$ 로 나타낸 뒤 위 식에 대입하면, 자산의 현재 균형가격을 알 수 있다. 즉, 계산된 균형가격이하로 사면 구매자가 이득을 얻고 이상으로 사면 판매자가 이득을 보게 되는 것이다.

3 비판과 개별 자산시장 접근– Black Scholes Equation

사실 이런 접근은 너무 강한 가정때문에 비판받곤 한다. 자본자산가격결정모델(CAPM)은 언제나 실증되지 못했는데, 모든 자산의 가격을 안다는 가정이 너무 강했기 때문이다. 주식, 채권 같은 이미 알려진 자산들은 잘 반영되지만, 부동산이나, 혹은 권리금, 심지어 인적자원까지 자산으로 볼 수 있는데, 이런 자산 가격까지 넣어서 가격 산정을 사람들이 할 수 있는가?라는 질문이 제기된 것이다. 게다가 CAPM은 동태적 접근모형을 생략하고 있기 때문에, 설령 가격이 균형으로 조정된다 하더라도 어떤식으로 조정되는지에 관해서는 말을 아끼고 있다. 이를 해결하기 위해 두가지 정도의 접근이 나왔다. 하나는 자산시장 전체가 아닌, 일부 자산시장의 균형을 구하고자 하는 시도이고, 또 다른 하나는 시장 균형 대신 변화하는 시장 가격의 패턴을 구해서, 이를 최적화하고자 하는 시도이다. 첫번째 시도의 대표적인 것이 노벨경제학상을 수상한 블랙숄즈머튼모델(Black-Scholes-Merton Pricing

Model)이고, 두번째 부분의 가장 대표적인 것이 재무신호처리(Financial Signal Process) 혹은 통계적차익모델(Statistical Arbitrage Model)이다. Black-Scholes-Merton 모델은 옵션 시장의 균형가격을 구하고자 하는 모형이다. 기초 자산의 변동이 이토과정(Ito Process)을 따른다면, 다음의 식으로 설명할 수 있다.

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{2}\sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} + rS \frac{\partial V}{\partial S} - rV = 0$$

where V is the price of the option as a function of stock price S and time t , r is the risk-free interest rate, and σ is the volatility of the stock.

여기에서 $V(S)$ 는 기초자산 가격 S 에 대한 옵션 가격을 나타내는 함수이고, t 는 시간, r 은 무위험이자율, σ 는 변동성을 나타낸다. 먼저 브라운 운동을 설명해 보자. 꽃가루가 물속에서 확산되는 과정은, 각 꽃가루가 다음 위치에 대해 선택할 확률이 Random Walk라고 가정하는데, 이 운동과정을 나타낸 것이 브라운 운동, 혹은 위너 프로세스이다. 이때 위너 프로세스는 Drift Rate, 즉 단위시간 동안 평균적으로 움직일 수 있는 양과, Variance Rate, 즉 변동성의 폭에 따라 결정된다. 만약 이 두 비율이 상수가 아니라 변수로 취급할 때, 우리는 전체 운동을 하나의 확률과정으로 볼 수 있고, 이것이 바로 이토과정(Ito Process)이다. 옵션 역시 이런 꽃가루처럼 임의보행(Random Walk)을 따르되, 그 변동성이 기초자산 가격에 비례한다고 가정한다면, 이토정리(Ito's Lemma)에 의해 위와 같은 식을 얻을 수 있다. (자세한 과정은 참고자료 5번을 참조하기 바란다.) 방정식이 복잡해 보이지만, 약간의 변수 치환을 통해 위 방정식은 열방정식(Heat Equation)과 동일함을 보일 수 있다. 바로 여기에서 유한차분법(Finite Difference Model) 등을 통해 그 해를 추정할 수 있는 것이다. 방정식 자체는 컨설팅 회사인 Arthur D. Little에 근무하던 Fischer Black이 아이디어를 제시하고 Scholes와 함께 개발하였는데, 이 외에도 Black-Derman Toy model과 같이 학계가 아닌 회사에서 먼저 만들어서 쓰는 모델들이 많고, 대부분 편미분방정식(Partial Differential Equation)의 형태로 표현된다. 금융회사에 있어서는 정확한 해를 구하는 것보다, 조금 부정확해도 남들보다 빠르게 근사해를 구해야 하기 때문에, 수치해석(Numerical Analysis)을 통해 해를 빠르게 구하는 것이 요구된다.

통계적차익거래(Statistical Arbitrage Model) 및 재무신호처리(Financial Signal Process)는 모델을 세우는 것에서 나아

가서, 먼저 주어진 데이터를 통해서 신호를 추출하고 잡음을 제거해서, 다음번 가격을 예측하는데에 중점을 둔다. 전자는 이제까지의 샘플링을 통해 모수추정(Parametric Inference) 혹은 비모수 베이지언 추정(Nonparametric Bayesian Inference)으로 다음 기의 가격을 추정하고, 이에 따라 거래를 하는 것을 말한다. 후자의 경우는 가격에 있어서 반복되는 패턴을 추출하고, 그 패턴에 따라 거래를 하는 것을 의미한다. 두 경우 모두 미시적 순간으로 갈수록 예측이 쉬워진다는 가정을 두고 있는데, 단기간에 많은 거래를 하게 되므로 종종 고빈도거래(High-Frequency Trading)으로 불리기도 한다. 일반적으로 자산시장의 경우 모델 자체가 사람들의 행동에 영향을 주기 때문에 대부분의 금융사들은 자사의 모델을 공개하지 않는다. 이 역시 CSE의 의료영상(Medical Image Lab.) 방과 같이 패턴 인식 및 데이터 처리에 중점을 두고 있는데, 다종다양한 Computational Science의 기법들이 쓰이고 있다.

4 마치면서

여기에 소개된 내용은 매우 기본적이고 단편적으로 소개한 내용이다. 현재의 분위기는 위 모델들과는 또 다르다. 개인적으로 알고 있는 시카고에 근무하는 현직 트레이더는 이미 통계적차익거래(Statistical Arbitrage Model)의 수익률이 5년 전에는 거래당 2달러 선이었지만, 현재는 0.5달러 미만으로 떨어졌기 때문에 좋은 트레이더들은 투기펀드(Speculation Fund), 즉 차익을 추구에서 위험을 지더라도 수익을 내는 펀드로 옮겨간다고 전해주었다. 또한 최근 있었던 서브프라임 모기지(Subprime Mortgage) 사건은 균형 가격에 대한 모델 없는 차익거래모델이 어떻게 돈을 잊을수 있는지를 잘 보여주었다. 게다가 New York University Polytechnic School of Engineering의 교수이자 펀드매니저인 Nassim Taleb은 이를 용하기 쉬운 정규분포를 가정한 Statistical Arbitrage Model은 실제로는 팻테일 분포(Fat-tail distribution)를 따르는 자산시장으로 인해 고통을 겪을 것이라고 말하기도 하였다. 따라서 Black-Scholes와 같이 응용하기 쉬운 균형모델을 만드는 것 뿐 아니라, 뉴스 혹은 SNS의 정보 등 활용할 수 있는 시장 바깥의 정보까지 이용해서 시장 가격과 동일하게 움직이는 신호를 추출하는 것, 그리고 자산시장의 가격분포를 가장 잘 설명해주는 확률분포를 찾는것이 현대 투자자들의 과제가 되었다. 그러나 어떤 방향성을 가지고 움직이건, 편미분 방정식이 모델링의 기본이 되는 이상, 그리고 데이터를 통해 패턴을 추출하는 것이 기본 바탕이 되어야 하기에, 계산과학(Computational Science)은 언제나 그 밑바탕이었고, 또 이를 빼놓고는 계산 금융에 접근할 수 없을 것이다.

[참고자료]

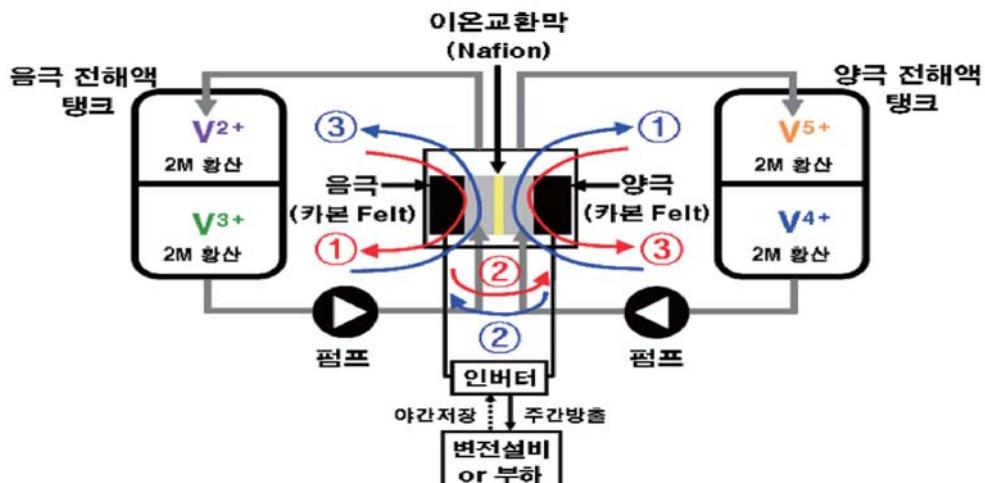
1. Ahmet Goncu, "Statistical Arbitrage in the Black-Scholes Framework," 2014, <http://arxiv.org/pdf/1406.5646v4.pdf>
2. G. Pennachi, "Theory of Asset Pricing," 2007, Prentice Hall
3. N. Taleb, "Black Swan," 2010, Random House Trade
4. Wikipedia, "Renaissance Technologies," http://en.wikipedia.org/wiki/Renaissance_Technologies
5. H. Song, "Derivation of Black-Scholes Equation," http://infonet.gist.ac.kr/wp-content/uploads/members/Derivation_of_Black_Scholes_equation.pdf

글 유병수 (CSE URP / 경영학과 4학년)

[연구]

전력 저장 배터리와 CFD

Redox Flow Battery 에서의 CFD이용



Vanadium flow battery 의 구조

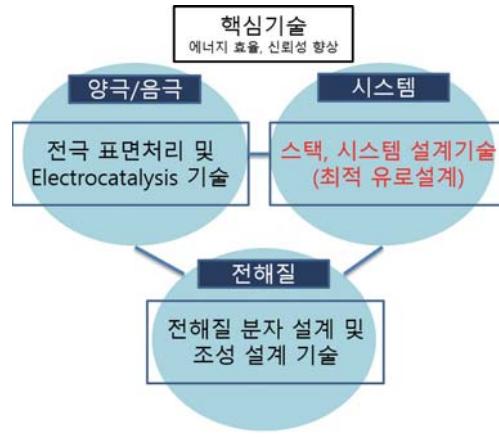
1 Redox Flow Battery 란?

전력 저장은 발전소로부터 생산된 전력 에너지를 저장 매체를 이용하여 저장하고, 필요할 때 사용함으로 에너지 이용효율을 향상하고 신재생 에너지 활용에도 도움이 되는 기술이다. 2011년 9월 15일 대규모 블랙아웃 이후, 전력 저장에 더욱 관심이 높아지고 있다. 기존에 존재하는 전력저장 시스템은, 남는 전력으로 물의 위치에너지를 증가시켜, 필요할 때 전기에너지로 변환하는 양수 발전 시스템과, 잉여 전력으로 공기를 동굴이나 지하에 넣고 압축하여 그 공기를 가열해 터빈을 돌리는 압축공기 시스템이 있다. 하지만 이 방법들은 경제성이 매우 떨어진다.

그래서 최근 이차전지(산화 환원 반응을 통해 에너지를 저장하는 전지)가 주목을 받고 있는데, 우리 주위에서 쉽게 볼 수 있는 이차전지는, 핸드폰에 사용하는 리튬 이차전지이다. 하지만 용량과 안전성에서 문제가 있다. 그래서 Redox flow battery 가 주목 받고 있다. 전해액 내의 이온들의 산화.환원 전위차를 이용해서 전기에너지를 충전, 방전하는 전지인데, 기존 전지의 고출력 특성과 충전의 편리성, 대용량성, 안정도 모두를 만족한다.

2 Redox Flow Battery 배터리 상용화를 위한 효율 향상 방법

다만 아직 효율에서 부족한 점이 있어 최적 설계가 필요한데, 이때 CFD가 사용된다. Redox flow battery도 많은 종류가 있으나, 최근 주목 받는 Vanadium Redox flow battery를 중심으로 설명한다면, 세가지 목적이 있다. 첫 번째는 균일한 velocity profile을 가지는 것이다. 그렇지 않다면 전해질이 반응하는 극 부분에서 각 부분의 농도차가 생겨, 효율이 감소하게 될 것이다. 두번째는 압력 강하를 줄이는 것이다. 압력 감소가 줄어들지 않는다면, 유체를 내보내기 위한 펌프에서 사



Redox Flow Battery의 핵심기술 3요소

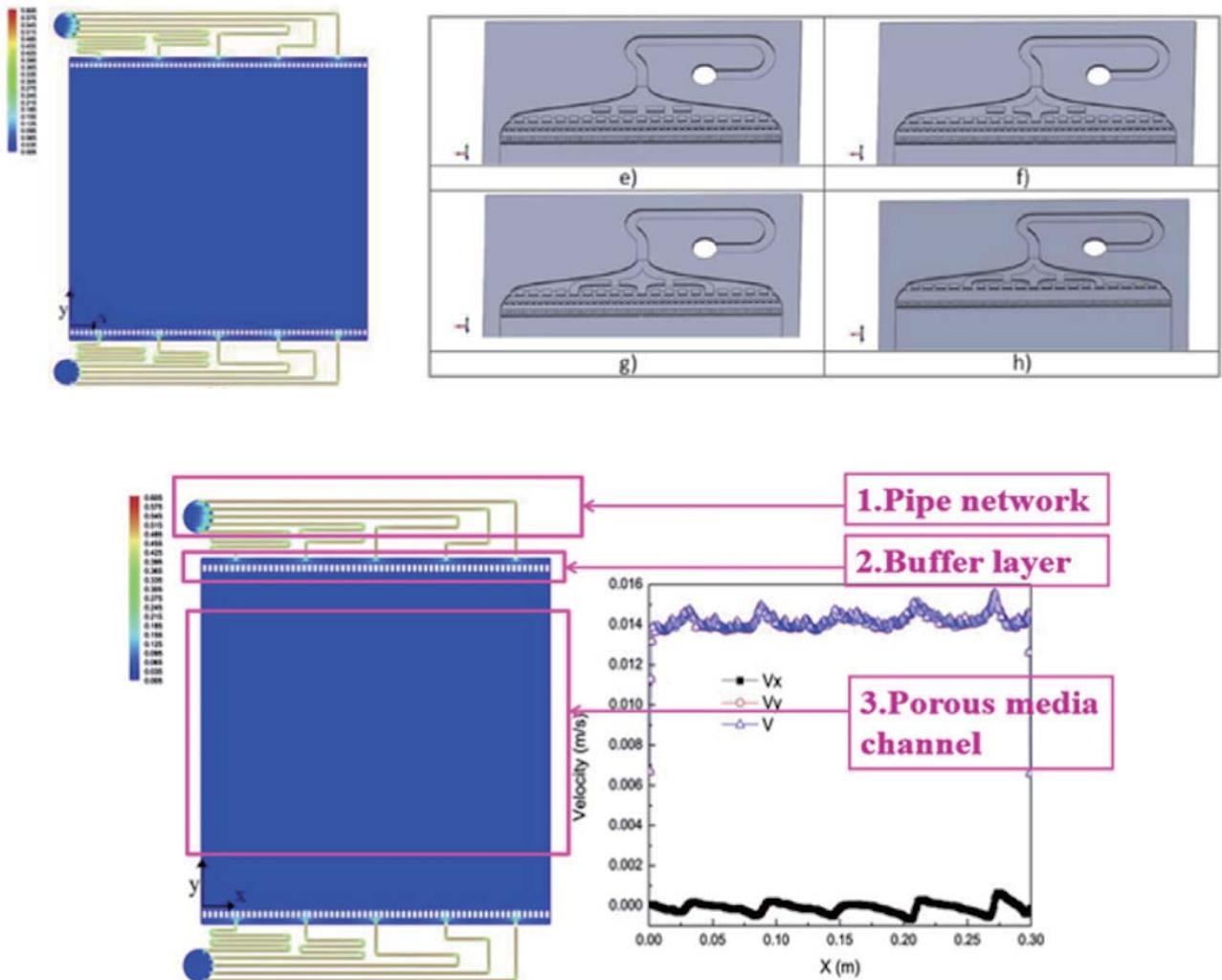


Figure 3. CFD를 통한 유로설계

용하는 에너지가 증가할 것이고, 그렇다면 에너지를 생산하는데 비용이 많이 들게 된다. 세번째로는 최소한의 압력 강하를 가지는 것이다. 압력을 계속 감소시키기만 한다면 유체가 흘면서 역류하거나, Shunt current에서의 효율성이 떨어질 수 있어 무작정 낮출 수 만은 없다. 이 때문에 Figure 3 와 같은 다양한 형태의 시스템의 설계되고 있고 이때 유체를 공급하는 유로, 속도분포를 일정하게 만들어주는 영역 그리고 반응영역에서 최적 설계가 필요하다. 예시로든 Figure 3의 첫번째 그림을 분석하기 위해서 Figure 4의 지배방정식이 사용되었고 이를 통해 최적 압력 강하를 구할 수 있어 실제 배터리를 설계하는데 많은 도움이 된다.

<CFD model - Governing equations>

-Continuity equation

$$\rho \nabla \cdot u(x, t) = S(x, t)$$

-Momentum equations

1. Manifold and channel regions

$$\rho \left(\frac{\partial u(x, t)}{\partial t} + u(x, t) \cdot \nabla u(x, t) \right) = -\nabla p(x, t) + \mu \Delta u(x, t) + \nabla S(x, t)$$

2. Porous medium region

$$-\frac{\mu}{k} v = \nabla p$$

-Mass source/sink function

$$S(x, t) = \sum_{j=1}^m Q^+ \delta^2(x - s_j^+) + \sum_{j=1}^m Q^- \delta^2(x - s_j^-)$$

Figure4. Governing equations

[연구]

토목분야에서의 'CSE'

Application at Civil Engineering



Grand Coulee Dam is a gravity dam on the Columbia River in the U.S. state of Washington built to produce hydroelectric power and provide irrigation.

It was constructed between 1933 and 1942, originally with two power plants

토목이란 교량, 항만, 도로 등 인간이 살아가는데 필요한 사회 기반 시설을 설계, 건설, 관리하는 학문으로 크게 구조, 측량, 환경, 유체, 지반, 건설관리 여섯 가지 분야가 있다. 일반적으로 보기기에 토목의 이미지는 노가다, 현장, 공구리 등 투박한 느낌이 강하여 컴퓨터를 이용한 분석과 예측이 이 분야에 어떻게 적용이 되는지 상상하기는 쉽지 않다. 하지만 생각보다 많은 부분에서 CSE가 여러 방법으로 쓰이며, 또한 필수적이다.

구조분야에서의 적용

구조의 가장 대표적인 예로 교량이 있다. 교량의 형태는 매우 여러 가지이다. 가장 대표적으로는 현수교, 사장교 등이 있고 이를 구조적, 미적, 경제적, 사용적 측면에서 목적에 부합하도록 다양한 방법으로 재료와 형식에 변화를 주어 디자인한다. 아주 작은 변화로도 힘의 분포는 달라지고 이에 따라 가장 신경을 써야 할 교량의 취약부분이 결정된다.

이전에는 여러 가정을 통해 구조물을 단순화 시켜 다양한 방법으로 힘의 분포를 손으로 계산하였지만, 지금은 마이너스 등 상용화 된 프로그램으로 보다 쉽고 빠른 예측이 가능하다. 특히 동적 분석을 통하여 구조물이 지어진 후에 발생할 지진이나 태풍 등 외부 충격이 가해졌을 때의 거동을 예측하는 일은 PDE를 푸는 것으로 손으로 이 해를 구한다는 것은 거의 불가능에 가까운 일인데, 컴퓨터의 발달로 가능하게 되었다.

유체, 환경분야에서의 적용

물은 인간이 살아가는데 있어 반드시 필요한 물질이다. 우리나라의 경우 여름에 강수량이 유난히 많아 홍수가 나는 일이 잦고 다른 계절에는 가뭄 편이라, 물이 넘쳐서 피해가 가지 않으면서도 필요한 만큼 유지하기 위하여 하천에 수문, 댐, 보 등을 설치하여 유량을 관리한다. 효율적인 디자인과 예측을 위해서는 하천의 바닥면을 모델링하여 계산하여야 하는데 이는 매우 복잡하므로 컴퓨터를 통해서만 가능한 일일 것이다. 그러므로 CSE의 적용이 꼭 필요한 분야라 할 수 있다. 또한 환경 분야에서도 생물, 화학적인 방법을 회귀분석 하는 것이 아닌 모델링을 함으로서 보다 근본적이고 정확한 예측이 가능하다.

지반 분야에서의 적용

구조물을 짓기 전에는 필수적으로 지반조사가 이루어진다. 지반이 어떤 암석과 흙으로 구성되어 있는지 그 성분들이 차지하는 비중은 어떻게 되는지를 면밀히 조사한 후, 결과에 따라 구조물의 하중만큼의 힘이 가해졌을 때 땅이 내려가지 않도록 다지는 작업등을 미리 거친다. 이 다지는 정도 등을 예측

하는데 필요한 것이 CSE이다. 같은 지반이라도 1m차이로 공기, 물, 흙, 돌이 다른 비중으로 섞여 있을 것이므로 작은 부분으로 나누어 그 부분의 압축되는 정도를 계산하고 이를 합쳐주는 과정이 필요하다. 이를 잘못 예측하였을 때 싱크홀 (sinkhole) 같은 급작스러운 지반침하가 발생할 수 있다.

측량 분야에서의 적용

전통적인 토목에서의 측량은, 지도와 자를 가지고 이루어진다. 하지만 기술의 발달로 인하여 측량기기는 다양화되었고 지금은 인공위성으로 GIS, 사진 측량 등을 통해 다양한 정보를 추려낼 수 있고 이를 토대로 건설장소의 분석과 선정이 이루어진다.

예를 들어 태양광 발전에 가장 적합한 강남 건물 10개를 선정한다고 할 때, 강남 건물의 위치와 높이, 태양광 고도, 기상과 대기 정보, 태양광 발전 설비의 효율 등만 있으면 이 정보를 적절히 처리하고 비교함으로서 최적위치의 선정이 가능하다. 또한 측량은 건물의 유지 관리에도 사용이 되는데, 사진을 찍어 시간에 따른 변화를 비교함으로써 건물의 기울어짐이나 균열 등을 찾아내는 것도 가능하다.

이렇듯 토목의 다양한 분야에서 CSE가 쓰이게 된 것은 기술이 발전함에 따라 점점 더 많은 데이터를 얻을 수 있고 컴퓨터를 통한 빠른 계산이 가능하게 되었기 때문일 것이다. 사실 이러한 추세는 다른 분야에서도 비슷한 것이지만 특히 토목 분야에서 중요한 이유는 인간이 살아가는 사회기반 시스템을 다루기 때문이다. 이는 잘못 예측하면 많은 사람이 다칠 수 있음을 의미한다. 하지만 이런 중요성에 비하여 전통적 기법을 중시하고 들이는 노력에 비하여 수익이 나지 않는다는 특성으로 인해 토목분야의 CSE는 다른 분야에 비하여 고도로 발전하지 못하였다. 앞으로 생길 보다 많은 예측하여야만 하는 상황에 대비하여 토목분야에서 CSE의 더 많은 적용과 발전이 이루어지기를 바란다.

글 천수민 (CSE URP / 토목환경공학과 4학년)

[연구]

Mathematical modelling of disease

Perspective of History



The outbreak and spread of disease has been questioned and studied for many years. The ability to make predictions about diseases could enable scientists to evaluate inoculation or isolation plans and may have a significant effect on the mortality rate of a particular epidemic. The modeling of infectious diseases is a tool which has been used to study the mechanisms by which diseases spread, to predict the future course of an outbreak and to evaluate strategies to control an epidemic.

The term epidemiology is derived from the Greek words epi, which means “on or upon,” demos, which means “the common people;” and logy, which means “study.” Putting these pieces together yields the following definition of epidemiology: “the study of that which falls upon the common people.” Over the last century, many definitions of epidemiology have been set forth. A more modern definition of epidemiology is the science that studies the patterns, causes, and effects of health and disease conditions in defined populations.

This article highlights several historic figures and studies that made significant contributions to the evolution of epidemiologic thinking. These include Hippocrates, who became known as the father of medicine and is often regarded as the first epidemiologist; John Graunt, who summarized the pattern of mortality in 17th-century London; James Lind, who used an experimental study to discover the cause and prevention of scurvy; John Snow, who showed that cholera was transmitted by fecal contamination of drinking water.

Hippocrates attempted to explain disease occurrence from a rational rather than a supernatural viewpoint. Hippocrates suggested that environmental and host factors such as behaviors might influence the development of disease. For example, he noticed that fat people die earlier than those who are slender and different diseases occurred in different locations. This led to the idea of predicting

disease risks based on observations.



In the mid-1700s, James Lind(1716-1794) conducted one of earliest experimental studies on the treatment of scurvy, a common disease and cause of death at the time. His astute observations led him to dismiss the popular ideas that scurvy was a hereditary or infectious disease and to propose that “the principal and main predisposing cause” was moist air and that its “occasional cause” was diet. He evaluated his hypothesis about diet by dividing twelve men with scurvy into six groups and daily given one of cider, sulfuric acid, vinegar, sea water, two oranges and one lemon, and spicy paste and barley water. He concluded that oranges and lemons were the most effectual remedies for this distemper at sea. In 1975, he



used the results of this experiment to suggest a method for preventing scurvy at sea by proposing that lemon and

orange juice extract be carried on board because fresh fruits were likely to spoil and was difficult to obtain in certain ports and seasons.



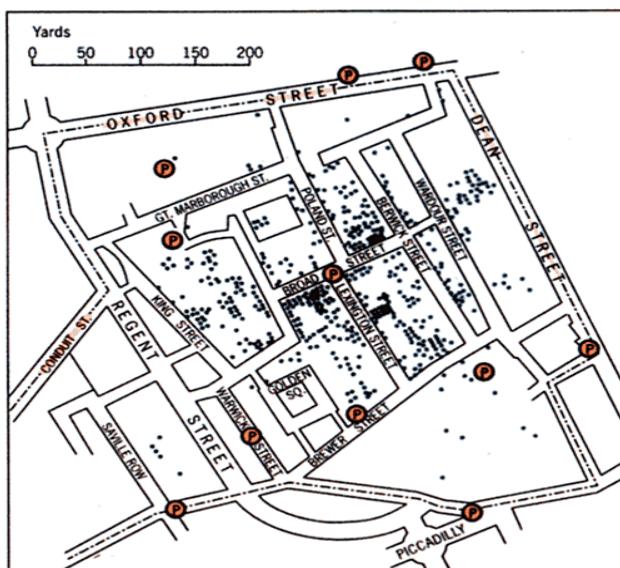
Edward Jenner (1749-1823) noticed that dairymaids who had had cowpox did not get smallpox. At the time, mild doses of smallpox were used as inoculations, sometimes fatally. In 1769, Jenner deliberately attempted to infect an 8-year old boy with smallpox after he had been inoculated with cowpox. The boy did not get smallpox and "vaccination" became compulsory in Britain in 1853.

The miasma theory held that diseases such as cholera, chlamydia or the Black Death were caused by a miasma, a noxious form of "bad air", also known as "night air".

The theory held that the origin of epidemics was due to a miasma, emanating from rotting organic matter. The miasma theory prevailed for thousands of years but the theory was eventually displaced in the 19th century by the discovery the germ theory of disease, which shows that micro-organisms exist and they causes diseases.

John Snow (1813-1858), was interested in the cause and spread of cholera supporting an innovative hypothesis that cholera was an infectious disease spread by fecal contamination of drinking water. Snow was a sceptic of the dominant miasma theory and since the germ theory of disease had not yet been developed, he did not understand the mechanism by which the disease was transmitted.

By talking to local residents, he identified the source of the outbreak as the public water pump on Broad Street.



Although Snow's examination did not conclusively prove its danger, his studies of the pattern of the disease were convincing enough to persuade the local council to disable the well pump by removing its handle. This action has been commonly credited as ending the outbreak. Snow later used a dot map to illustrate the cluster of cholera cases around the pump. He also used statistics to illustrate the connection between the quality of the water source and cholera cases. He showed that the Southwark and Vauxhall Waterworks Company was taking water from sewage-polluted sections of the Thames and delivering the water to homes, leading to an increased incidence of cholera.

Mathematical models can project how infectious diseases progress to show the likely outcome of an epidemic. To find parameters for various infectious diseases and use those parameters to calculate the effects of possible interventions, we need a thorough understanding of mathematical knowledge and skilled computational ability. Through this process, we can predict the future course of an outbreak and to evaluate strategies to control an epidemic.

Reference

- [1] Mathematical Biology by Fred Brauer (publisher: Springer)
- [2] Essentials of Epidemiology in Public Health by Ann Schengrau and George R. Seage iii (publisher: jones and bartlett)
- [3] Wikipedia: Epidemiology, Epidemiologic Methods, Epidemic Model

CSE포스터 발표회

CSE Open Lab & Poster Exhibition
매 학기 초에 열리는 우리들의 행사를 소개 합니다!



C S E O P E N L A B



세간엔 이런 말이 있다. CSE의 포스터 발표회에 한 번도 안 온 사람은 있어도 한 번만 온 사람은 없다. 과연 어떤 점이 CSE 포스터 발표회를 특별하게 만드는 것일까? 풍성하고 고급스러운 다과. 당첨 확률이 무척 높은 경품 행사. 북적거리는 인파 속에 감도는 화기애애함. 이렇게 포스터 발표회를 표현할 수 있는 말은 굉장히 많다. 그리고 무엇보다 CSE 학생들의 수준 높은 포스터를 볼 수 있는 기회라는 것이 학부생들에게 가장 큰 유인 요소가 되지 않을까! 포스터 발표회를 와 본 후 흥미와 관심이 생겨서 CSE의 대학원생이 되거나 인턴 연구원이 되었다는 동화와 같은 사례가 적지 않음을 보면 과장된 말은 아니라는 것을 알 수 있다.

2014년 9월 12일, CSE 학생들의 연구 성과를 공개하는 포스터 발표회가 첨단관 6층에서 열렸다. 2011년 3월부터 매 학기마다 개최하여 이번이 벌써 여덟 번째 포스터 발표회로, 대학원생들뿐 아니라 학부 인턴 연구원들도 참여하여 포스터 발표회를 풍성하게 해주었다. 인턴 연구원들은 지난 방학 동안 CSE 구성원들과의 팀 세미나에 참석하며 배운 내용을 바탕으로 자신의 관심 분야에 적용하여 얻어낸 자신의 성과를 발표하였다.

CSE는 세부적으로 Numerical Analysis, Computational Fluid Dynamics, Medical Imaging, 이렇게 세 분과로 나눠져 있다. 각 분야에 대한 포스터들이 6층 복도에 가지런히 걸려있었고 출산의 고통을 겪으며 나온 자신의 포스터를 딸내미 보듯이 뿌듯한 표정을 지으며 발표를 위해 기다리고 있는

CSE 학생들을 볼 수 있었다. 이번 포스터 발표회의 평가단으로서 Numerical Analysis team의 이은정 교수님, Medical Imaging team의 정윤모 교수님, CFD team의 최정일 교수님 그리고 해외석학이신 UCLA의 John Kim 교수님 이렇게 네 분께서 학생들의 모든 발표를 들으며 평가해주셨다. 또한 발표한 내용이 얼마나 정확한지, 내용을 얼마나 효과적으로 전달하였는지, 포스터의 구성이 적절한지, 등의 사항들을 점검해주셨다.

모든 발표가 우열을 가리기 힘들었지만, 평가위원 교수님들의 평가와 포스터 발표회에 참여한 모든 사람들의 투표를 통해서 우수작들을 선정하였다. Medical Imaging team의 Tingting Zhang 학생의 포스터가 최우수작으로 선정되었고, Numerical Analysis team의 신재민 학생과 CFD team의 Xiaomin Pan 학생의 포스터가 우수작으로 선정되었다. 또한 인턴 연구원의 유병수 (경영학과) 학생의 포스터가 인턴 우수작으로 선정되었다. 이번 뉴스레터에서는 최우수작인 Tingting Zhang 학생의 포스터와 인턴 우수작인 유병수 학생의 포스터, 그리고 그 외 인턴 연구원들의 포스터와 그들의 설명을 들어보겠다.

혹시 아직도 포스터 전시회를 와보지 못했다면, 이번 경품이 무엇이었는지 알아두어라. 3등으로는 16GB USB 메모리 2명, 2등으로는 Mechanic LED keyboard 2명, 1등 경품은 Boss AE2 Headset이었다. 충분히 높은 확률로 다음 2015년 3월의 경품 당첨자는 당신이 될 수 있다!

TER EXHIBITION



& POSTER EXHIBITION





Electrical impedance spectroscopy-based nondestructive testing for imaging defects in concrete structures

Tingting Zhang

As a number of concrete structures currently in service reach the end of their expected serviceable life, nondestructive testing (NDT) methods to evaluate their durability, and thus to ensure their structural integrity, have received gradually increasing attention. Concrete often degrades by the corrosion of the embedded reinforcing bars, which can lead to internal stress and thus to structurally disruptive cracks. Various NDT techniques are currently used to monitor the reliability and condition of reinforced concrete structures without causing damage. They include impact-echo, half-cell potential, electrical resistivity testing, ground penetrating radar, ultrasonic testing, infrared thermographic techniques, and related tomographic imaging techniques. Electric methods such as electrical resistivity tomography (ERT) and electrical capacitance tomography (ECT) have been used to image cracks and steel reinforcing bars, which show clear electrical contrast from the background concrete. These electric methods can be used to complement acoustic methods by assessing different characteristics. They operate at low cost over long time periods. ERT and ECT employ multiple current sources to inject currents, and boundary voltages are then measured using voltmeters connected to multiple surface electrodes on the boundary of the imaging subject. These methods use the relationship between the applied current and the measured boundary voltage to invert the image of cracks and reinforcing bars. These methods suffer from a low defect location accuracy due to the ill-posedness of the corresponding inverse problem. In fact, the boundary current-voltage measurement alone may not be sufficient for robust

identification of defects. Most of research outcomes had cooperated with some form of a prior information to deal with ill-posedness. Most of the previous methods can detect cracks and reinforcing bars when either only the crack or the bar exists in the concrete samples. The main purpose of this work is to show that multi-frequency impedance measurements can be used to visualize both cracks and bars in concrete structures. For simplicity, cracks are idealized as linear segments. The numerical simulations use a conventional 16-channel EIT system, with the electrical current applied between two adjacent electrodes at different frequencies. The boundary voltage data are then measured between two adjacent electrodes attached on the surface. Frequency-difference EIT reconstruction allows the detection of both the cracks and the reinforcing bars within the concrete structures. A variety of numerical experiments is presented here to illustrate the main findings.

The reinforcing bars are highly conductive and concrete cracks are insulating because inside of concrete crack is filled with air. When a sinusoidal current is applied to the boundary of concrete structures, the frequency-dependent behavior of thin insulating cracks is like this: low-frequency electrical currents are blocked by insulating cracks, whereas high-frequency currents can pass through the conducting bars without being blocked by thin cracks. The goal of this work is to image the concrete cracks and reinforcing bars by using electrical impedance spectroscopy-based nondestructive testing (NDT) method. Note that since crack is highly insulating with very thin thickness, there is a noticeable potential jump along two

sidewalls of concrete cracks and the jump changes with frequency. By direct computation, the potential jump along crack can be expressed as below. (Figure 1)

expansion, we derived a formula for identifications of cracks and reinforcing bars. The formula could exactly give the endpoints of cracks and center of reinforcing bars

$$\begin{aligned}[u^\omega]_k(x) &\approx \delta_k \frac{2}{\lambda_c(\omega)} \frac{\partial u^\omega}{\partial \nu}(x - \delta_k \nu_x)|_+ \\ \left[\frac{\partial u^\omega}{\partial \nu} \right]_k(x) &\approx 0\end{aligned}$$

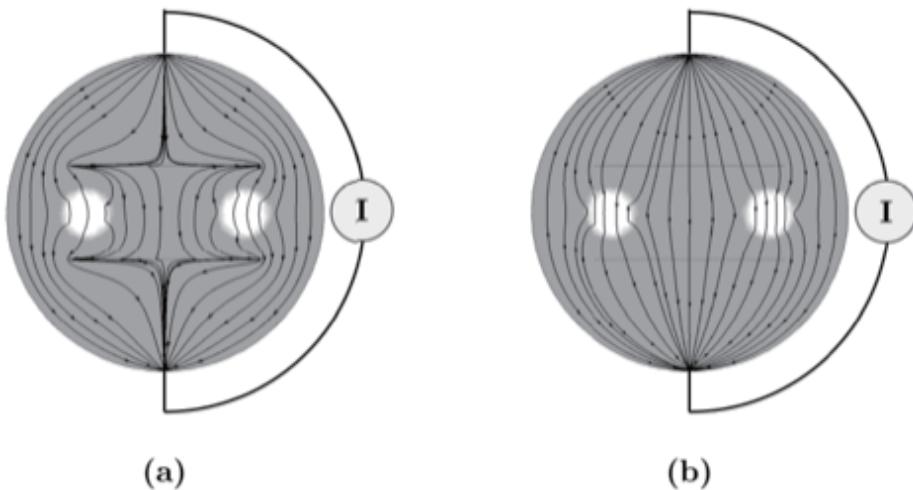


Figure1. Electrical current flux for a concrete model with reinforcing bars (white) and cracks: (a) at low frequencies; (b) at high frequencies.

The jump of the potential across the cracks depends on angular frequency as well as the thickness. At low frequencies, It is very close to zero and the potential jump is very high for a fixed thickness. While at high frequencies, δ_k is a parameter which is away from zero and as thickness goes to zero the current flux will behave like that there is no concrete crack inside. Based on this, the original problem can be separated as two cases: high frequency and low frequency. We developed corresponding asymptotic expansion formulas for mathematically analyzing the relation between boundary measured voltage data and cracks and reinforcing bars. Asymptotic expansion at high frequencies shows that the measured boundary data are influenced by cracks and reinforcing bars since the first term on right-side of formula is only related with concrete cracks while the second term is only related with reinforcing bars. Depending on the magnitude of frequency and size of reinforcing bar , the dominative term on right-side of formula may be alternative. Based on the asymptotic

based on the assumption that cracks are all segments and reinforcing bars are all disks.

Speaking of the low current frequency, since there is a high potential jump along cracks the potential on the boundary is highly influenced by the insulating concrete cracks and that is why at low frequency range only concrete cracks are visible in the reconstructed images of three numerical simulation models. As frequency goes up, the concrete cracks are gradually penetrated by current flux and reinforcing bars become visible in the reconstructed images. Consider the highest frequency 800kHz in the numerical simulations, the concrete cracks become invisible because high frequency currents could pass the concrete cracks without blocking. Multiple frequencies help handle the spectroscopy behavior of the current-voltage data with respect to cracks and reinforcing bars.

팅팅 포스터



Total Variational Denoising Method

유 병 수

CSE-URP / 경영학과 4학년

How denoise our image?

우리는 사진을 보면서 수많은 노이즈에 직면하곤 한다. 렌즈에 먼지가 끼면 먼지 부분이 까맣게 나올수도 있고, 혹은 불량화소가 있다면 언제나 그부분만 까맣게 나올수도 있다. 이때 어떻게 하면 노이즈를 제거할 수 있을까?

컴퓨터가 없는 상태에서 노이즈를 제거해보자. 단순한 방법은 물감을 가져와서 칠하는 것이다. 그럼 어떤 색깔을 칠해야 할까? 노이즈의 정의를 생각하면 단순한데, 노이즈라 함은 말그대로 주변에 비해 안어울리는, 튀는 요소인 것이다. 따라서 주변의 색깔과 같은 색깔로 칠한다면, 그 노이즈는 없어질 것이다.

여기서 상상을 좀 확장 시켜서 사진이 아니라 만약 물감으로 그런 그림이라고 가정해보자. 만약 물감이 다 마르지 않았다면, 물기가 남아있기 때문에 붓을 사용하여 노이즈를 쉽게 없앨 수 있을 것이다. Total Variational Denoising의 아이디어는 바로 노이즈에 대한 정의와 문질러서 주변과 비슷한 색깔로 바꾸는 것에서 출발했다.

Total Variational Denoising

아까 위에서 우리는 노이즈가 주변에 비해 안어울리는 요소라고 생각했다. 안어울린다는 것은, 곧 주변에 비해서 색깔 차이가 심하게 난다는 이야기이다. 색깔은 숫자로 나타내어질 수 있으므로, 그리고 컴퓨터 화면은 2차원 공간이므로, 각 (x,y) 의 색깔이 주변과 얼마나 차이나는지를 Gradient를 통해 나타낼 수 있다.

이 색깔의 주변과의 차이가 어느정도인지를 파악하기 위해서, 우리는 Norm을 만들어서 각 Gradient의 크기를 구할 수 있다. 이때 L1 Norm과 L2 Norm 및 다양한 Norm을 쓸 수 있다. 다만 L1 Norm의 경우 Singular Distribution을 낳을 여지

가 있기에, 피하게 된다. L2 Norm으로 파악한 Gradient의 크기를 전부 더하면 다음과 같은 Total Variation의 식이 나오게 된다. 이때 우리가 원하는 노이즈를 제거한 그림을 u 라고 하고, 이미 가지고 있는 노이즈 있는 그림을 u_0 라고 하자. 그렇다면, Denoise의 목적은 아래의 Total Variation을 가장 줄이는 u 를 찾는데에 있다.

$$TV = \int_{\Omega} \sqrt{u_x^2 + u_y^2} dx dy$$

우리의 관심사는 이 TV를 최대한 줄이는 데에 있다. 그러나 이때 생각할 조건들이 있다. 먼저 노이즈가 정규분포를 따르다고 가정하자. 만약 정규분포를 따르지 않는다면, 특정 부분은 노이즈가 없고 특정부분의 노이즈는 심해서 더이상 노이즈로 부를수 있다기 보단 패턴으로 볼 수밖에 없을 것이다. 이 경우 원래의 이미지와 노이즈를 가진 지금 가지고 있는 이미지는 그 색깔의 평균값이 같을 것이다.

$$\int_{\Omega} u dx dy = \int_{\Omega} u_0 dx dy$$

위 식이 바로 이 조건을 나타낸다. 또한, 원래 이미지와 노이즈가 낀 이미지 간의 차이의 분산도 일정하다고 가정하자.

$$\int_{\Omega} \frac{1}{2} (u - u_0)^2 dx dy = \sigma^2$$

위 식이 바로 그 조건을 나타낸다.

$$0 = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{u_x}{\sqrt{u_x^2 + u_y^2}} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{u_y}{\sqrt{u_x^2 + u_y^2}} \right) - \lambda_1 - \lambda_2 (u - u_0)$$

이때, 이 최적화 문제는 Euler-Lagrange Equation을 통해 풀 수 있다. Euler-Lagrange Equation 을 만족시키는 u 가 다음과 같을 때,

$$= \frac{u_{xx}u_y^2 + u_{yy}u_x^2 - 2u_xu_yu_{xy}}{\left(\sqrt{u_x^2 + u_y^2}\right)^2} - \lambda_1 - \lambda_2(u - u_0)$$

TV가 위 조건들을 만족하면서 최소화되는 것이다. 이 때 Rudin, Osher, Fatemi는 우변이 흔히 보는 Parabolic Equation과 유사하다는 것을 알아채고 위 식에 인공적으로 시간에 따른 미분 항을 적용시켰다. 즉, 위 식의 Lambda로 ut 치환하면,

$$u_t = \frac{u^{n+1} - u^n}{\Delta t} = \frac{u_{xx}^n(u_y^n)^2 + u_{yy}^n(u_x^n)^2 - 2u_x^n u_y^n u_{xy}^n}{\left(\sqrt{(u_x^n)^2 + (u_y^n)^2}\right)^3} - \lambda(u^n - u_0)$$

를 얻는다. 이때 이 편미분방정식은 Parabolic Equation의 형태를 띠기에, t 를 무한대로 보낼수록 좌변의 ut 는 0으로 수렴 한다. 그렇기 때문에 Finite difference method를 통해서 u 를 업데이트하면서 TV가 최소화되는 u 로 수렴하게 만들 수 있게 된다. 주의할 점은 수렴 속도에 항을 어떻게 결정하는지에 따라 영향을 받게 된다.

그러나 이 아이디어는 한가지 문제점을 가지게된다. 특정한 점들, 이를테면 주변색이 같은 점들의 경우에는, 위 방정식의 우변 첫항의 분모가 0이 되어버린다. 이 경우를 방지하기위해서, 저 윗 항의 분모부분에 beta 라는 매우 작은 값을 주어서 0이 되는 것을 방지한다. 이를 Penalized Scheme이라 하는데, 이 경우의 minimization에 대한 분석은 Vogel 과 Oman 의 연구에 잘 나와있다. 역시 beta의 값 역시 수렴에 영향을 주게 된다.

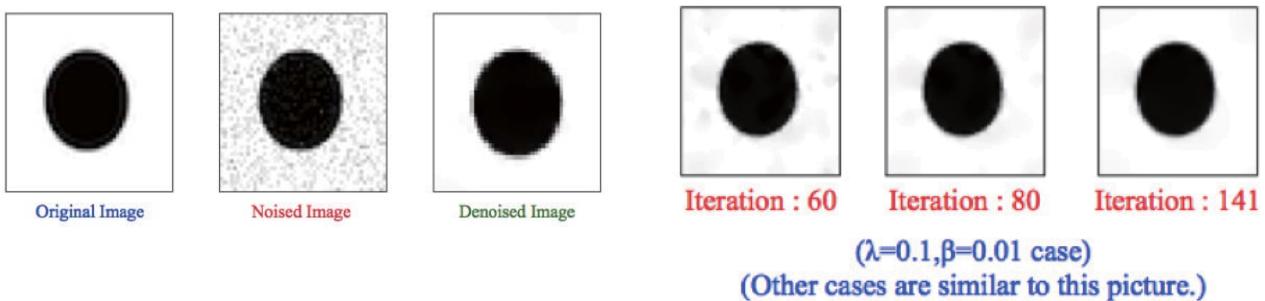
이번 연구는 위에 언급된 연구 결과를 재현(Replication)하면서, 현실적으로 Numerical Scheme에서 중요한 Lambda값과 Beta 값의 설정이 어떻게 수렴속도에 영향을 미치는지 알아보기 위해 Toy Problem으로서 검은색 원에 흰색 바탕을 잡고 정규분포를 따르는 노이즈를 준 결과에 대해 Total Variational Denoising을 적용한 실험한 결과를 수록한 것이다. 위와 같은 Denoised Image가 Original Image와의 차이를 L2 Norm으로 나타냈을때 그 차이가 최소화되는 지점까지 걸리는 Iteration Number를 비교해 봄으로서, 계수 설정에 있어서의 차이가 수렴 속도에 어떤 차이를 가져오는지를 비교해보았다.

밑 결과표를 보면 알수 있듯, 의 변화는 0.1 이하에서는 Iteration Number와 L2 Norm으로 비교한 예러에 영향을 주지 않았다. 그러나 beta의 경우 로그스케일로 줄어들면서 Iteration Time은 선형보다 빠르게 증가하는 대신에, L2 Norm으로 비교한 예러는 선형보다 느리게 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

● Relation between iteration time and coefficients

Iteration number	$\beta=1$	$\beta=0.1$	$\beta=0.01$	L ² norm Error	$\beta=1$	$\beta=0.1$	$\beta=0.01$
$\lambda=10$	28	105	299	$\lambda=10$	0.0215	0.0157	0.0131
$\lambda=0.1$	13	48	142	$\lambda=0.1$	0.0174	0.0135	0.0123
$\lambda=0.01$	13	48	142	$\lambda=0.01$	0.0174	0.0135	0.0123
$\lambda=0$	13	48	141	$\lambda=0$	0.0174	0.0135	0.0123

또 하나 확인할 수 있었던 것은, 실제로는 L2 Norm에러가 가장 작아지기 이전에도 이미 육안으로 식별하기 힘들정도로 노이즈가 제거되었다는 점이다. 밑의 그림 예시를 보면, 141번이 최적이지만 이미 그 절반 정도인 80번만의 Iteration으로도 충분하게 Noise가 제거되어서 Original Image와 별 차이 없어보이는 것을 알 수 있다. 따라서 만약 그림의 경계선을 보존하는 것이 중요한 경우라면, L2 Norm의 최소화 시점보다 더 적은 시점에서 Iteration을 멈춰도 충분히 좋은 질의 Denoised Image를 얻어낼 수 있다는 것을 알 수 있었다.





Original image

Noised image
(Gaussian noise with
standard deviation 20)Denoised image
($\lambda=0.1, \beta=0.01$ case)

사실 효과 검증은 흑백 모델을 통해서 하였지만, 컬러 모드에 대해서도 그 구성색인 빨강, 파랑, 초록에 대해 각각 Total Variational Denoising을 적용한다면 밑의 예시와 같이 노이즈를 제거 할 수 있다. 연구를 통해서 간단한 아이디어가 적절하게 수학적으로 모델링 되어서, Finite Difference Method와 같은 기초적인 Numerical Solution으로도 실용적인 결과를 낼 수 있다는 데에 놀랐다. 이번 연구에 있어서 부족한 점이 많았음에도 끝까지 귀한 시간을 조개서 지도해주신 정윤모 선생님께 다시 한번 감사를 드리며, 연구 소개를 마치고자 한다.

[참고문헌]

1. L. I. RUDIN, S. OSHER, AND E. FATEMI, Nonlinear total variation based noise removal algorithms, Phys. D, 60 (1992), pp. 259–268.
2. C. R. VOGEL AND M. E. OMAN, Iterative methods for total variation denoising, SIAM J. Sci. Comput., 17 (1996), pp. 227–238.

유명수포스터

대기 경계층에 대하여

노경민

CSE-URP / 대기과학과 4학년

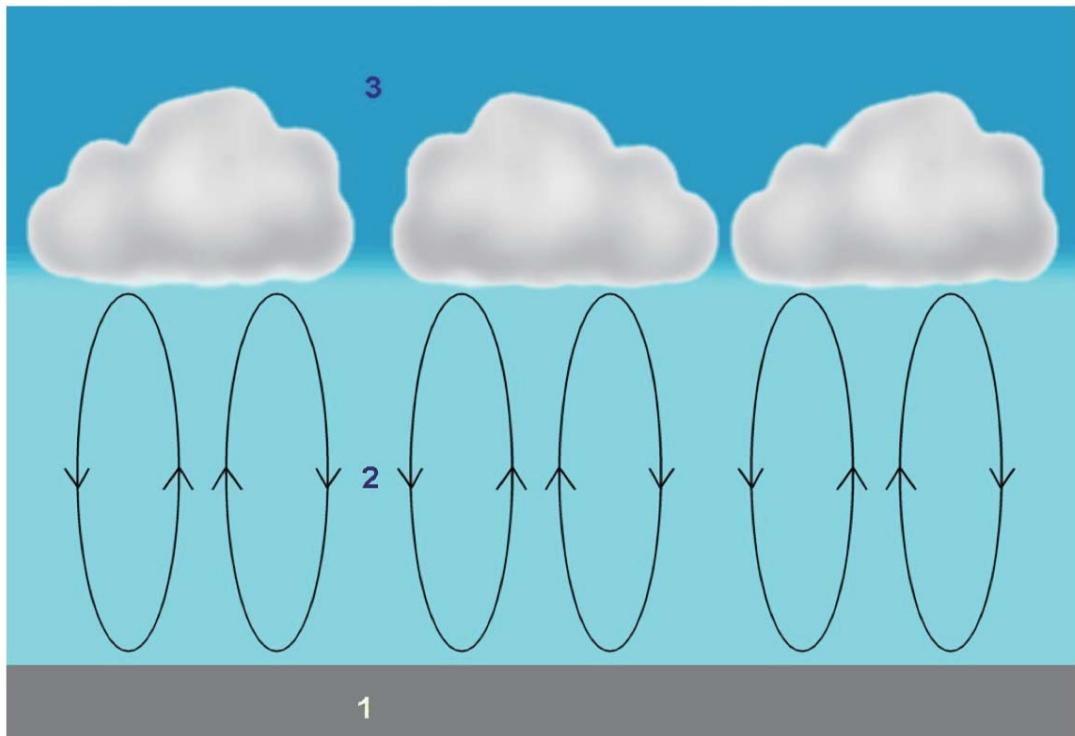


Figure1. 대기의 구조

지구의 날씨를 예측하기 위해서 우리는 주로 운동량, 에너지 그리고 연속방정식을 수치적인 모델을 만들어서 날씨를 예측하는데 수치예보(Numerical Prediction)라는 방법을 만들게 되었다. 이때의 날씨를 예측하는 것은 3-D의 CFD모델을 돌리는 것과 어폐한 면에서는 비슷한 면도 있지만, 전 세계를 단위로 돌려야 하는 모델이라는 한계점 때문에 많은 컴퓨터 계산량을 필요로 하기 때문에 CFD 모델처럼 있는 그대로를 돌리는 것이 아니라, 몇 가지는 가정을 하게 되고 어떠한 부분들은 단순하게 모수화를 통하여 수치모델에 집어 넣어 계산량을 줄이게 된다.

계산량을 줄이게 하는 많은 모수화를 해야 하는 부분들 가운데 가장 중요한 부분중 하나는 대기 경계층에 대한 모수화이다. 대기를 크게 나누어 보았을 때 위에 나오는 [Figure 1]에서 보는 것처럼 크게 3가지로 구분할 수가 있다. 가장 밑의 층은 Surface Layer라고 불리며 표층에 성질을 그대로 나타내는 층

이 있고, 가장 위에는 자유대기(Free Atmosphere)이라고 불리는 표면으로부터 자유로운 층이 있고 그 사이에 표면의 영향을 받는 그 사이에 있는 층을 대기경계층(Planet Boundary Layer)이라고 부른다.

대기경계층의 경우 Scale의 차이가 있을 뿐 그 기본적인 성질은 CFD에서 난류경계층(Turbulent BoundaryLayer)와 다르지 않다. 대기경계층 내부에 강한 Mixing이 존재하기 때문에 여러가지 성질들의 값이 주로 일정한 것을 우리는 확인할 수가 있다. 강한 난류의 섞임을 통해서 운동량, 온도, 습도 같은 변수들이 높이에 따라서 크게 다르지 않은 것을 확인할 수 있는데 이것을 통해서 우리는 대기경계층의 높이를 확인할 수 있다.

대기경계층의 두께의 경우 대기가 안정되 작을 경우는 수센치 미터에서 두꺼울 경우에는 수 킬로미터까지 그 두께의 변화의

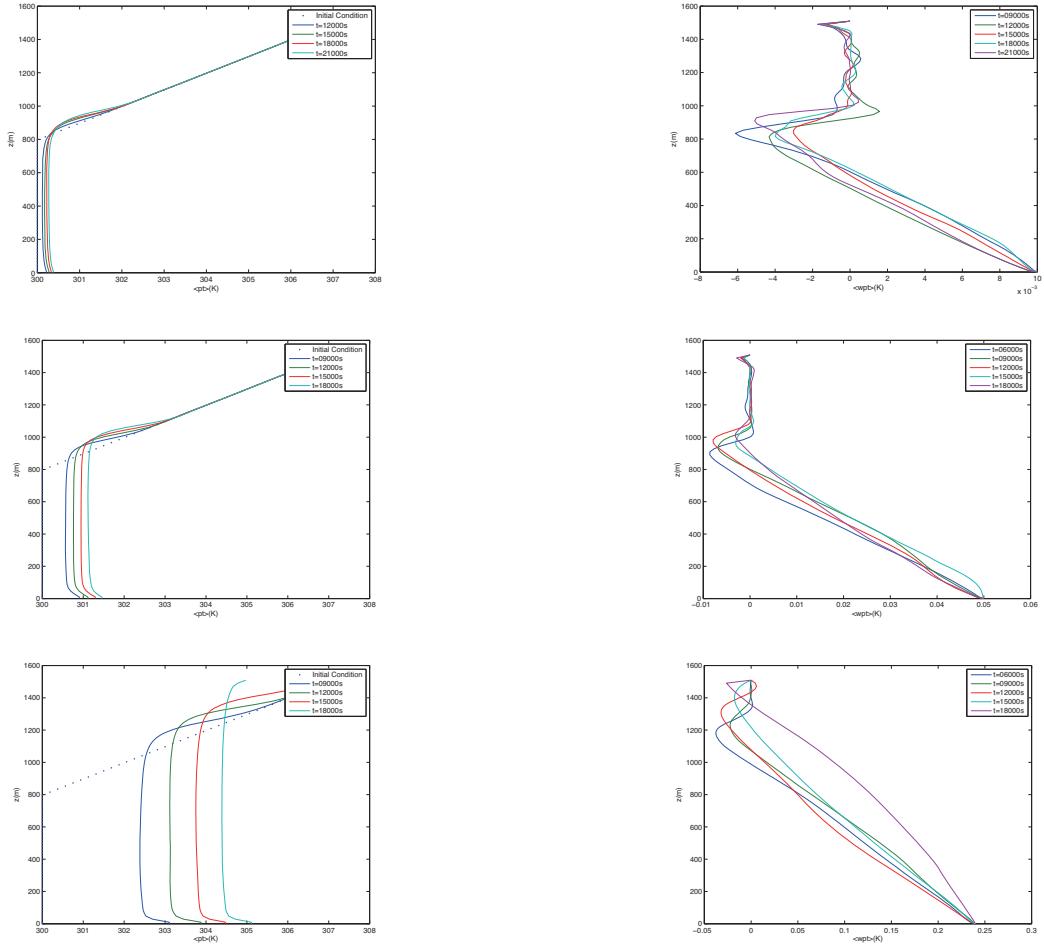


Figure 2. 표면 열속과 응력의 변화에 따른 온도와 열속의 연직 변화

폭이 크다. 대기경계층이 이렇게 변화하는데 이것이 중요한 이유는 대기경계층의 경우 먼저 가장 우리와 밀접한 곳에 있는 대기층이기에 여기서 일어나는 현상들이 우리의 삶에 직접적으로 영향을 끼치게 된다. 예를 들어 대기경계층이 약화된다면 전반적으로 대기의 안정도가 올라가서 표층에서 발생된 오염물질들이 대기경계층 안에 머물게 되고 그 위의 자유대기로 확산되어 가지 못하고 갇히게 된다.

크게 보면 이 대기경계층은 두 가지에 의해서 결정된다. 첫 번째는 표면의 열속(Thermal Heat Flux)로서 표면에서의 열속이 나옴으로 인해서 표층이 가열되어 대기가 불안정해져서 대류(Convection)을 발생시켜 대기경계층의 두께를 두껍게 만든다. 대류가 발생함으로 인해서 그 층 안에서 섞임이 더 잘 일어나기 때문에 열속의 강도가 대기경계의 두께를 결정하는 것임을 알 수가 있다.

또한 대기경계층의 경우 표면에서의 강한 응력(Sheer Stress)

에 의해서 강해지는 것을 알 수 있다. 대기경계층과 자유대기 사이의 경계에서 부는 바람의 세기에 의해서 순압 불안정이 발생하여 대기가 더 불안정하게 되고 섞임이 더 잘 일어나게 되어서 그것을 통해서 대기경계층의 두께가 두꺼워지는 것을 확인 할 수 있다.

이 2가지의 변수, 열속과 응력,에 의해서 어떻게 대기경계층이 변하는지 이론적으로 알고는 있으나 그 크기가 어떻게 변화하는지 어떤 방식으로 흐오리(Eddy)가 발생되어 전파되어 가는지 등을 확인하기 위해서 LES 모델을 바탕으로 시뮬레이션을 하게 되었다. LES 모델이란 Large Eddy Simulation이란 말의 줄임말로서 난류를 시뮬레이션하는 방법 중 하나이다. 이 연구에서는 PALM(Parallelized Large Eddy Simulation Model)이라는 하노버 대학에서 개발된 오픈소스 LES 모델을 바탕으로 시뮬레이션을 하게 되었다. 이 모델의 경우 하노버 대학의 대기과학과에서 개발된 소스로서 주로 대기에 대해서 시뮬레이션 하는데 사용되곤 한다.

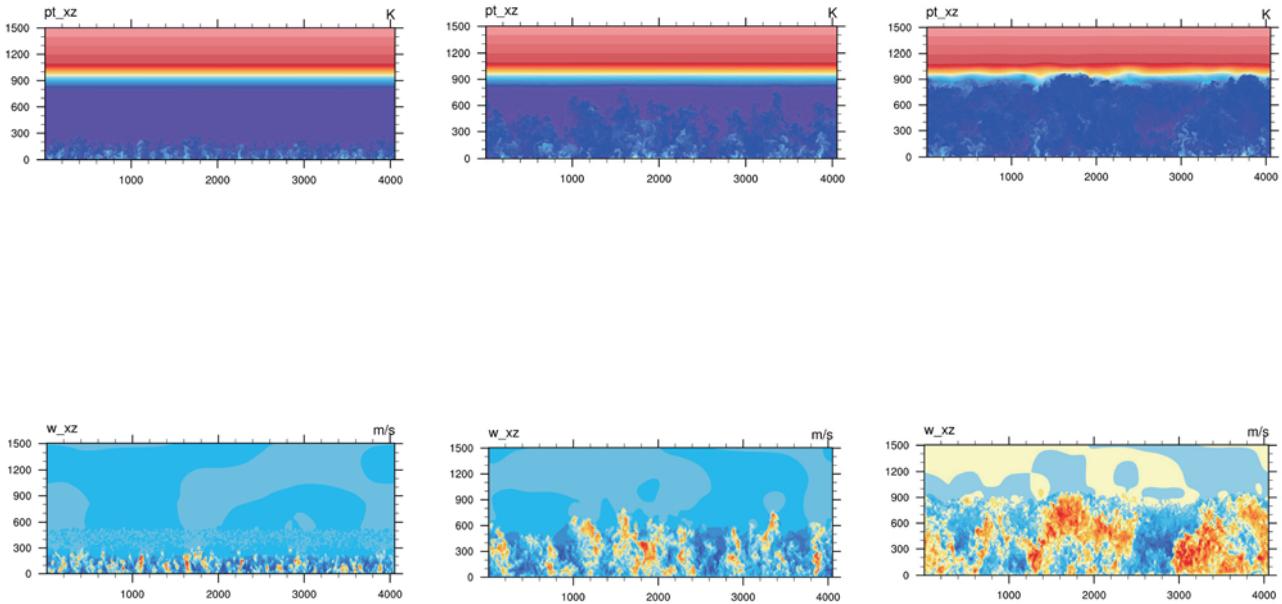


Figure3. 시간에 따른 온도와 연직속도의 변화

시뮬레이션에서는 2가지 변수를 실험하기 위해서 3가지 실험을 하게 되었다. 열속을 $0.01, 0.05, 0.24 \text{ K m s}^{-1}$ 로 그리고 지균풍은 $0, 10, 15 \text{ m s}^{-1}$ 로 변화시켜가면서, 각각의 경우에 따라서 시간과 높이에 따라서 어떻게 열속과 대기의 온도가 변화하는지를 관찰해 보았다. 연직 프로필로서 각각을 Figure2에 나타내었고, 각각의 연직 프로필의 경우 수평적으로 평균을 내어서 나온 값이다.

난류의 강도가 강해질수록 대기경계층의 두께가 두꺼워지는 것을 우리는 이론적으로 알 수 있으므로, 난류의 강도를 표현하는 방법에 있어서 수평적으로는 friction velocity로서 그리고 수직적으로는 convective velocity scale로서 표현을 하여 그 세기를 측정하였고, 대기 경계층의 높이의 경우 열속의 기울기가 바뀌는 곳을 대기 경계층의 정상으로 가정하여서 그 높이를 계산하였다. 그리고 각각의 경우에 대해서 계산한 결과는 밑의 표와 같다.

Figure3의 경우 Case B에서의 시간에 따른 연직 속도와 온도의 컨투어를 그려 보았는데, 그림에서 확인할 수 있는 것처럼 온도와 수직 속도와 비슷한 형태를 같게 된다. 이것이 의미하는 바는 난류에 의해서 생성된 eddy들에 의해서 온도가 같이 수송된다는 것을 의미한다. 온도, 즉 열에너지들이 난류에 의해서 잘 수송된다는 것을 볼 수 있고 이것은 난류에 의한 섞임이 강하다는 것을 보여주는 것이다. 이러한 강한 난류의 섞임을 통해서 대기경계층에서의 온도는 일정하게 되어지는 것을 우리는 연직 프로필을 통해 확인할 수 있다.

이러한 PALM을 통한 시뮬레이션 결과를 통해서 대기경계층의 대한 이해를 더 높일 수가 있었다. 실험 결과와 논문의 결과값과 비교해가면서 실험을 통해 만들어진 결과값들이 신뢰성이 있다는 것을 확인하였고, 앞으로 이것을 바탕으로 대기경계층을 향한 모수화들을 이해하는데 있어서 더 도움이 될 수 있을 것 같다.

참고 논문

- [1] Improvement of the K-Profile model for the planetary boundary layer based on Large eddy simulation data, Y. Noh, W. G. Cheon, S. Y. Hong and S. Raasch (2003)

	$w'\theta_0^f$ (K m s^{-1})	U_g (m s^{-1})	w_* (m s^{-1})	u_* (m s^{-1})	h (m)
Case A	0.01	15.0	0.65	0.56	853
Case B	0.05	10.0	1.15	0.48	928
Case C	0.24	0.0	2.12	0.20	1228

노경민포스터



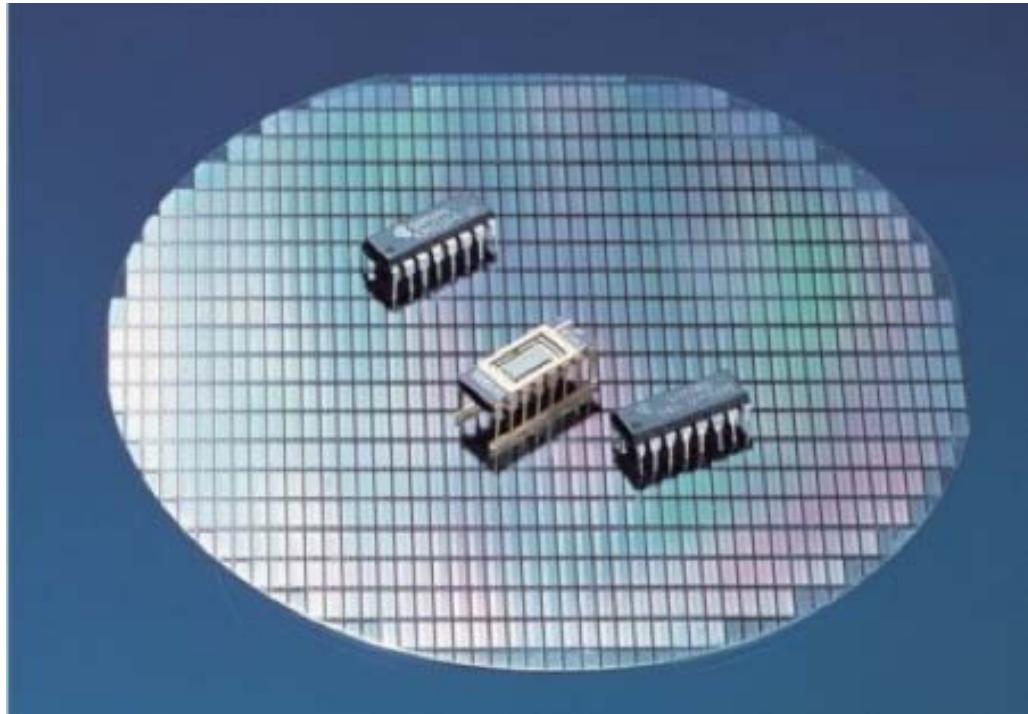
[SPECIAL SESSION]

[SPECIAL SESSION]

반도체 산업의 성장과 계산공학

How can the computational engineering promote a growth of the semiconductor business?

삼성전자 메모리사업부 김호준 수석



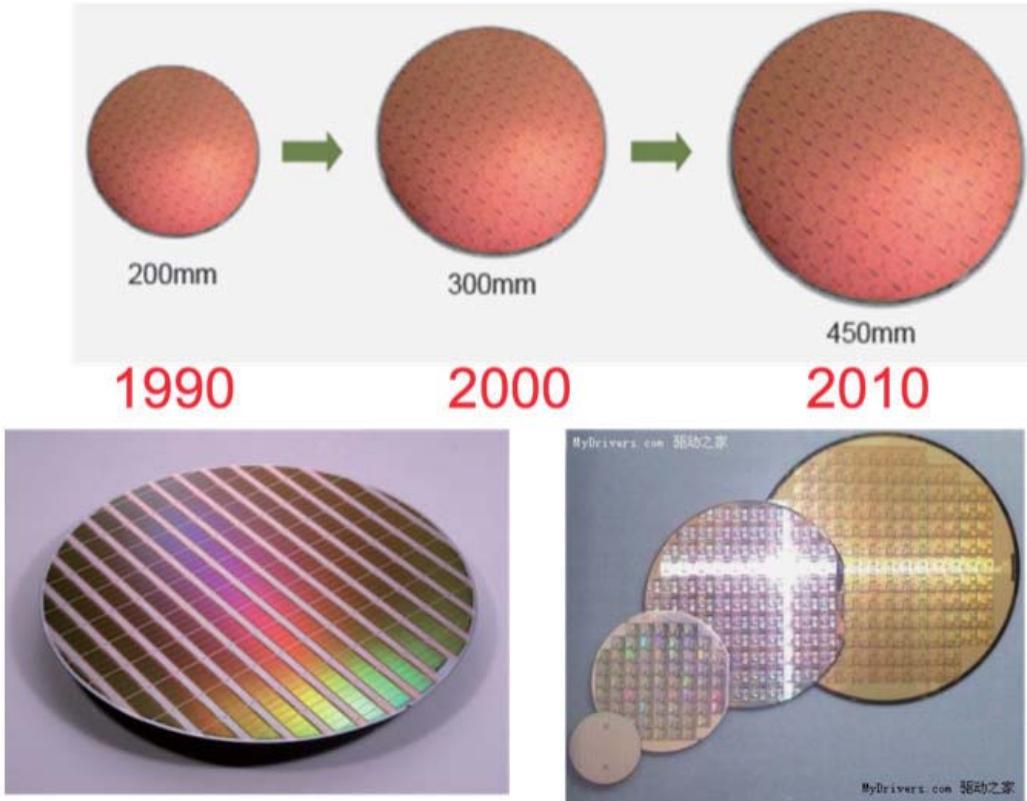
삼성전자의 64K DRAM과 그 모재인 실리콘 단결정 웨이퍼

반도체는 한국의 경제 성장을 이끈 주력 수출 상품의 하나로 손꼽힌다. 2014년, 한국은 일본을 제치고 사상 처음으로 세계 반도체 시장 점유율 2위로 올라섰다. 지난 1983년, 삼성전자 가 64K DRAM 개발에 성공하며 본격적으로 반도체 산업에 뛰어든 지 30년 만의 일이다. 국내에서 반도체 산업이 시작된 것은 약 반세기 전이다. 1960년대부터 시작된 경제개발 5개년 계획의 일환으로 외국 자본의 적극적 유치가 시작됐고, 반도체 산업도 외국기업들의 진출에서 비롯됐다. 1965년 미국의 코미 그룹이 처음으로 국내에 고미반도체를 설립해 국내 반도체 산업의 막을 연 아래, 페어차일드·모토로라 등 미국계 반도체업체들이 속속 한국 땅에 공장을 세웠다.

반도체 산업은 대표적인 기술집약적·자본집약적 산업이지만, 단순 하도급 조립에 불과했던 당시의 국내 반도체 산업은 노동집약적 산업의 특성도 갖고 있었다. 23일 산업통상자원부와

관련업계 등에 따르면 올해 반도체 수출이 역대 최대인 600억 달러를 돌파할 전망이다. 9월 현재 반도체 누적 수출량은 451 억7000만 달러로, 지난해 같은 기간보다 8.5% 증가했다. 석유제품을 비롯해 전통적인 효자 수출품목인 스마트폰, 자동차 등이 고전하고 있는 상황에서 반도체산업은 한국 경제의 든든한 베풀목이 되고 있는 셈이다.

반도체 산업의 성장은 공정초미세화의 구현가능여부에 의해 결정된다고 볼 수 있다. 반도체 생산의 모재로 사용되고 있는 원형태의 실리콘 단결정 웨이퍼 위에 1000~3000개의 칩이 만들어지며, 이 칩의 내부에는 이진화된 정보를 담을 수 있는 크기가 10~30nm 정도인 초미세 구조물들이 가공된다. 이 초미세 구조물들이 웨이퍼 전체에 균등하게 만들어지도록 하는 것이 공정미세화의 목적이다. 웨이퍼를 가공하기 위해 다양한 물리 및 화학적 처리가 들어가며, 이 처리들을 구현할 수 있는



반도체 산업의 성장과 wafer 크기의 변화

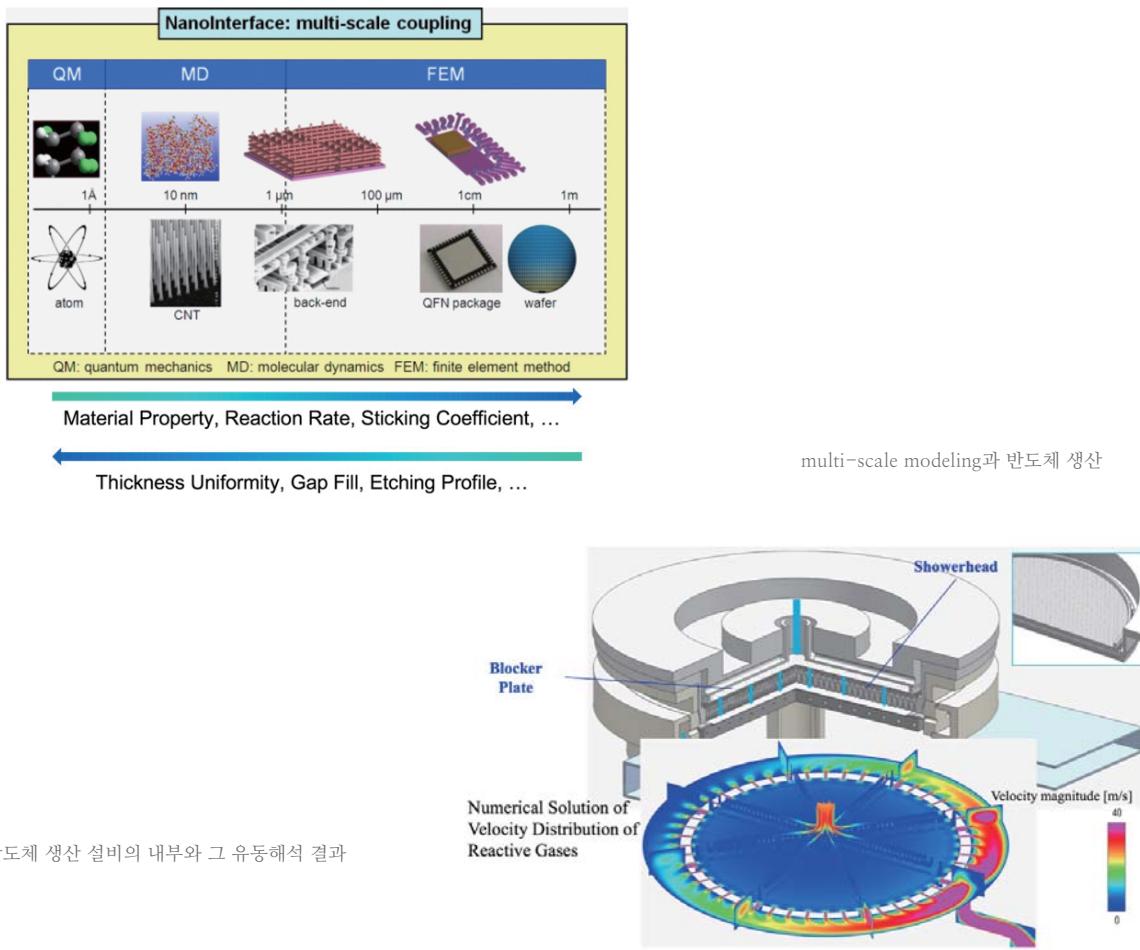
반도체 생산 설비의 기술개발에 계산공학의 중요성이 높아지고 있다.

반도체는 생산원가의 절감과 데이터 처리 속도의 향상이라는 두 가지 목적을 위해 공정미세화를 진행한다. 동시에 단위시간당의 생산효율을 개선시키기 위해 위에서 언급된 실리콘 웨이퍼의 크기를 늘리고 있다. 따라서 반도체 산업의 성장은 점밀히 가공되어야 하는 모재의 크기는 증가되어가나 그 모재의 안에 가공되어지는 구조물의 크기는 점점 작아져야 하는 기술적인 난제들을 해결하는 과정의 결과물이라고 볼 수 있다.

반도체 생산 설비의 설계는 수행되는 공정의 종류에 따라 복잡한 내부기류의 난류특성과 그 안의 기계구조물의 상관관계를 파악해야 하는 FSI(fluid-structure interaction)부터 초저압 환경에서 이루어지는 기체방전(gas discharge)과 플라즈마(plasma)발생 등의 다양한 현상들의 이해를 요구한다. 기술의 난이도가 높고 그 진입장벽으로 인해 핵심기술들은 수십년간 선진업체들에 의해 독점되어 왔다. 반도체 생산설비 내부의 현상은 그 자체로 multi scale phenomena로 볼 수 있다. meter scale에 속하는 설비의 부품의 변화에 따라 nano-

meter scale의 구조물의 형성이 영향을 받으며, 동시에 nanometer scale에서 이루어지는 미세화학반응에 의해 meter scale로 계측되는 측정치의 변화가 가시적으로 확인되는 긴밀한 상관관계가 이루어지고 있기 때문이다.

반도체 산업은 독특하게도 제품생산의 기술적 난이도가 그 구현수준보다 항상 높은 상태에서 성장해왔다. 예를 들어 40 nm 공정에서 이루어지는 현상들의 이해가 완성되기 전에 기술적 난이도가 상대적으로 높은 30 nm의 제품들을 생산해야 하는 기이한 구조를 유지한 상태로 성장해온 것이다. 이는 디지털 미디어의 폭발적인 수요와 소비에 의함도 있으나 치킨게임이라고 불리는 치열한 경쟁 속에서 생존하기 위한 자구책 마련의 결과물이라고 볼 수도 있다. 현상에 대한 이해가 없이 제품생산을 해야 했기 때문에 끊임없는 실험적 trial-error 방식으로 해결책을 찾아왔다. 그렇기 때문에 비록 당면한 문제점들이 해결이 되어도 유사한 문제가 다른 형태로 나오는 경우, 근본적인 방안을 찾아내지 못했다. 이러한 무리한 시도들이 결국 10 nm 공정이 필요한 시기가 옴에 따라 기술적인 벽에 부딪히게 된 것이다. 김기남 한국반도체산업협회장(삼성전자 반도체총괄 사장)은 “반도체 기술의 난이도가 점점 높아져



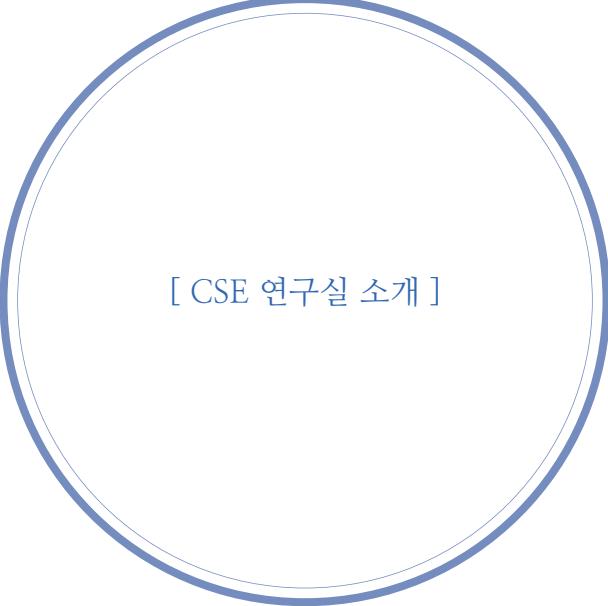
10나노급 기술 개발에 많은 시간이 소요되고 있고, 투자 규모도 거대화되고 있어 반도체 기술 발전이 주춤하고 있다”라고 현재의 상황에 대해 평했다.

반도체 산업은 이제 새로운 시각으로의 접근을 요구하고 있으며, 그 해결책으로 꼽히는 것은 계산공학에 의한 정밀한 현상의 분석이다. 반도체 설비 내부는 그 안의 현상을 정밀히 계측할 수 있는 장치의 설치를 허용하지 않는다. 만약 계측장치가 있다면 가공공정 상의 외란 등으로 작용할 수 있기 때문에 가능한 완벽하게 폐쇄된 환경을 구현시킨다. 결국 이는 실험적 분석의 정밀도와 정확도가 부족할 수 밖에 없게 하는 원인이다. 이에 계산공학적 분석에 대한 요구가 높아진 것이다.

추가적인 난제를 항상 안고 가야 했다. 다행히 GPU 계산 등의 병렬계산의 발전과 ab initio 계산이나 분자동역학적 계산(molecular dynamics simulation)의 정확성이 상승됨에 따라 원했던 화학반응 data의 확보도 한층 수월해졌다.

현재 필자는 삼성전자 메모리사업부 최초로 공정 simulation 전문팀을 조직했고, 국내 반도체 설비업체와의 공동연구를 수행하고 있다. computer simulation을 통하여 plasma discharge의 분석부터 화학반응 mechanism의 정립 등의 기초 단위의 연구를 수행하여 설비설계 기술을 진일보 시키고 있다. 또한 이 연구활동은 최신의 메모리 반도체 제품의 양산에도 일조하고 있다.

반도체 공정은 위에서 언급한 대로 다양한 물리적 화학적 현상에 대한 이해를 요구하고 있고, 이러한 상황에서 가장 시급했던 것은 화학반응 자료이다. material property, reaction path 등 화학반응을 계산하기 위해 필요한 기초정보들을 구하기 어렵기 때문에 공정 simulation은 그 계산의 복잡성 외에도



[CSE 연구실 소개]

[연구]

CSE 연구실 소개

Numerical Analysis, Computational Fluid Dynamics, Medical Imaging



Three Laboratory in CSE

Numerical Analysis and Scientific Computing

Computational & Theoretical Fluid Dynamics

Medical Imaging

수치해석(Numerical Analysis) 연구실

수치해석(Numerical Analysis) 연구실은 유체의 흐름, 열이나 오염 물질 등의 확산, 전염성이 있는 질병의 전파 등에 대한 현상을 관찰하고 이해하여, 수학적 모델을 도입하고 상미분 방정식(Ordinary Differential Equation, ODE) 또는 편미분 방정식(Partial Differential Equation, PDE)을 이용하여 연구를 진행하고 있습니다. 이러한 방정식들의 정확한 해는 알 수 없는 경우가 많기 때문에 컴퓨터를 이용하여 근사해(approximate solution)을 얻기 위한 여러 가지 수치적인 방법들을 이용하거나 개발하고 있습니다.

김정은 수학적 모델링과 최적화 이론을 통해 전염병의 확산을 통제할 수 있는 전략을 만드는 것을 연구하고 있습니다. 결정론적 집단 모델을 사용하여 전염병에 의한 환자 수의 예측, 전파양산 관찰을 할 수 있고, 전염병의 확산을 막는 여러 통제 전략들의 비용을 계산 비교할 수 있고, 최선의 전략을 수립하는데 도움을 줄 수 있습니다.

김현중 제가 하고 있는 연구는 질병의 수학 모델(Mathematical Epidemic Model)의 매개변수추정(Parameter Estimation)을 칼만필터(Kalman Filter)라는 방법을 통해 구하는 것입니다. 현재 진행하는 연구에서 초기상태의 추측(Initial Guess)은 중요한 요소입니다. 이를 좀 더 과학적으로 하기 위해 정보이론(Information Theory)을 팀원과 함께 공부하고 있습니다. 또한 PDE의 수학적 이해와 수치적 해석뿐만 아니라 생물행동(Biological Behavior)을 유체방정식을 통해 이해하려고 시도하고 있습니다.

신동우 Hybridized (Finite Difference, Finite Element, Discontinuous Galerkin) methods를 여러 가지 편미분 방정식에 적용하고, 그 방법의 안정성(stability) 증명과 오차 분석(error analysis)을 연구하고 있습니다. 또한 효과적인 계산을 위해 적응유한요소법(Adaptive FEM)을 도입하고 이를 위한 경험적 오차해석(a Posteriori Error Analysis)도 연구하고 있습니다.

신재민 여러 가지 PDE 중에서 시간에 따라 물리량이 보존되는 Convection Equation에 관심을 가지고 이것을 풀기 위한 수치적 방법을 개발하고 응용하는 것이 주된 연구입니다. 그 중에서 DG method를 주로 공부하고 있고, 최근에는 기상문제를 푸는데 응용하기 위해 지구 위에서 임의의 물체가 이동

하는 간단한 모델을 시뮬레이션 해 보았습니다.

윤령경 저는 유한요소법(FEM)을 이용하여 singularity가 있는 탄성방정식의 근사해를 구하는 연구를 하고 있습니다. 그리고 비선형 편미분 방정식과 Least-square LL*-method에도 관심을 가지고 연구하고 있습니다.

이슬잎 규모가 큰 다리의 교량이나 내진 설계에서의 기둥은 거대 변형 탄성 보 모델로 설명할 수 있는데, 이 편미분 방정식에는 수치적으로 접근하기 어려운 두 가지의 항이 존재합니다. 그것은 고차미분(high order derivative) 항과 비선형(nonlinear) 항인데 이것을 DG methods의 한 종류인 C0 Interior Penalty method를 이용하여 수치적 해를 구하는 연구를 하고 있습니다.

이윤정 Maximum Entropy, Maximum Likelihood를 이용한 모델 비교 및 분석을 하고 있습니다. 조류 독감, HIV 바이러스 등 전염병에 걸리는 감염자 수가 변화하는 패턴과, 주어진 자료를 가지고 어떤 생명 현상에 대해 설명한 모델들 중 어떤 모델이 가장 적합한지에 대한 연구에도 관심이 있습니다.

장준영 수학적 모델링을 통하여 질병에 관한, 그리고 환자를 위한 최적화된 방법으로 Guideline을 제시할 수 있는데, 그 중에서 수학적 모델링을 통한 B형 간염(HDV) 치료 전략방법에 대한 연구를 진행하고 있습니다. 또한 최근에 많은 이슈가 되고 있는, 조류독감의 감염 전파와 사람들 간의 감염관계에 있어서 지속적인 연구를 하고 있습니다.

정성희 3차원 domain에서 corner와 singularity가 존재하는 Poisson equation을 풀기 위한 Weighted Least-squares

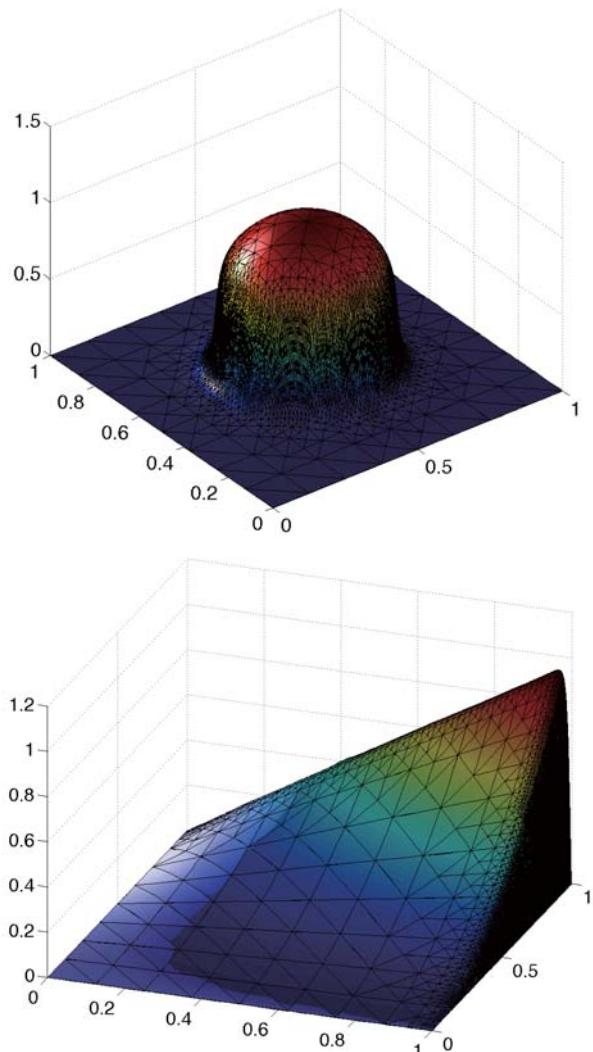
FE method를 연구하고 있습니다. 또한 관심분야는 PDEs, Least-squares, FEM, Regularities, Singularities in domain, Weighted norm입니다.

정슬기 저는 질병모델 중 spatial model을 공부하고 있으며 질병 전염을 여러 가지 방법을 통해 예측, 비교하여 적절한 시기나 대상에 맞게 컨트롤하여 전염을 최소화 하는 방안에 대해 연구하고 있습니다.

최원준 수치편미분방정식(Numerical Partial Differential Equation) 분야에서 유체의 흐름을 나타낸 Burger's equation을 H-(div) conforming least-square finite element method로 풀어내는 것에 관심을 가지고 공부하고 있습니다.

Lina Zhao My research topic is "a Posteriori error estimates for Staggered discontinuous Galerkin method" and I'm interested in FEM, staggered DG method, a posteriori error estimates, PDEs.

Shjie Dong I'm interested in finite element method and analysis.



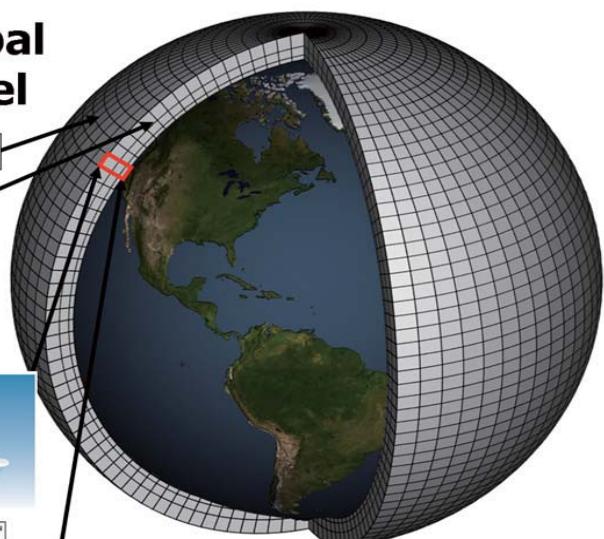
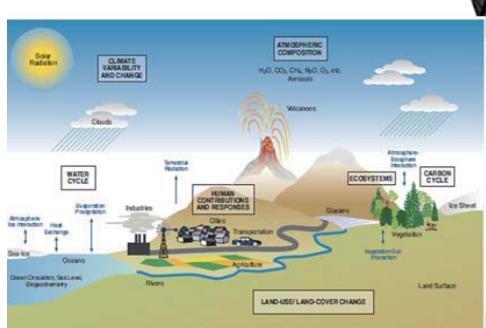
interior layer 문제의 approximate solution
numerical solution

우리가 살고있는 생태계를 지구, 즉 구 형태의 domain에 수직, 수평 방향으로 격자점을 만들어 기상문제를 수치계산

Schematic for Global Atmospheric Model

Horizontal Grid (Latitude-Longitude)

Vertical Grid (Height or Pressure)



전산난류(Computational Fluid Dynamics) 연구실

학기 중 과제를 수행하기 위해, 혹은 성적을 확인하기 위해서 해당 교수님의 연구실 홈페이지를 방문하는 일이 매우 많다. 연구실을 방문할 때마다 메인 페이지에 나오는 각 연구실의 이름들은 매우 생소하기도 하고 쉽게 이해하기 어렵다. 우리 연구실도 “Turbulence & Environmental Flow Physics Lab”이라는 길고 난해한 이름을 가지고 있다. 한마디로 설명하자면 “전산 난류 연구실”이지만, 연구실에서 진행되는 연구들의 내용은 “Turbulence & Environmental Flow Physics Lab”이라는 긴 서술만큼 복잡하다. 우리 연구실에서 진행되는 연구는 주로 두 가지 분야로 나뉜다.

첫 번째는

난류 속에서 나타나는 물리적 현상들을 직접 수치 모사법 (Direct numerical simulation)을 통해서 분석하는 방법이다. 직접 수치 모사법이란 Navier-Stokes equation을 난류 모델링 기법을 이용하지 않고 계산하는 방식을 말한다. 난류는 자체 방정식으로 완전히 예측하기가 불가능하며, 그 내부에 넓은 범위의 스케일을 가지는 구조들이 나타나기 때문에, 난류 모델링 기법을 사용해서 계산에 필요한 시간과 비용을 단축하는 방식들이 존재한다. 하지만 직접 수치 모사법은 이러한 모델링 기법을 사용하지 않기 때문에, 시간과 비용이 크게 필요한 반면 난류 내부에서 나타나는 모든 범위의 시간적, 공간적 스케일을 계산할 수 있다. 즉 정확한 물리적 현상을 분석하기 위해서 직접 수치 모사법을 사용한다. 현재 연구 진행중인 주제로 등방성, 이방성 난류, 온도 경계 조건에 의해 발생하는 난류, 난류 속에서의 입자 거동 등이 있다.

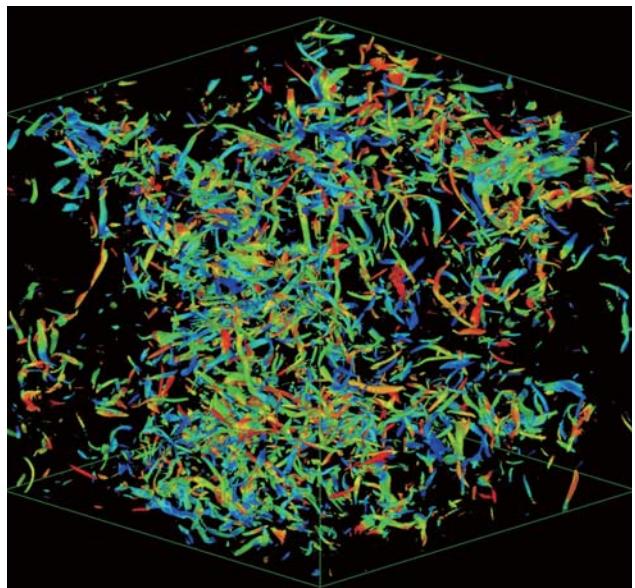
오른쪽 그림은 직접 수치 모사법을 이용하여 등방성 유동 내부에서 나타나는 다양한 스케일의 Vortex 구조들을 구한 것과 Channel 유동에서 입자를 띠웠을 때 입자의 거동을 구한 것이다. 이와 같은 결과들을 실험을 통해 구한 다른 연구들의 결과들과 비교함으로써 수치 해석의 정확성을 입증하고, 새로운 물리적 특성을 찾아내는 일을 하게 된다.

연구실에서 수행하는 두 번째 파트는

열, 유체 유동 해석을 위한 수치 해석 기법의 개발이다. 여기에는 앞서 설명한 난류 모델링이 포함되며, 추가적으로 유동 내부에 구조물이 있거나 복잡한 경계 조건을 가진 유동을 보다 빠르고 정확하게 해석할 수 있는 기법의 개발을 목표로 하고 있다. 현재 수행하고 있는 난류 모델링에 대한 연

구에서는 복잡한 표면 구조를 가지는 경계층 유동에 대해 LES(Large eddy simulation), RANS(Reynolds-averaged Navier-Stokes equation) 기법들을 적용한다. 이것은 도심에서의 유해 물질 확산이나 열섬현상 등에 대해 적용할 수 있다. 복잡한 구조물 해석에 대한 수치해석은 기존의 방식들에 비해 더 넓은 범위의 레이놀 수에 적용이 가능하고, 효율적인 IBM(Immersed boundary method)의 개발을 목표로 연구가 진행 중이다.

위에서 설명한 바와 같이 우리 연구실은 난류 유동에서 나타나는 물리적인 현상의 분석과 수치 해석 기법 개발을 목표로 하고 있다. 이를 위해 입자, 복잡한 구조물, 열 전달 등과 같이 유동에 영향을 주는 요인들을 포함하여 연구를 진행 중이다.



의료영상 (Medical Imaging) 연구실

의료영상 (medical imaging)은 체내의 조직이나 기관 등의 의료적으로 활용 가능한 정보를 시각화하는 것을 뜻한다. 특히, 비파괴적인 (non-invasive) 방법으로 환자의 몸 속을 들여다 볼 수 있기 때문에 정확한 진료에 있어서 유용하다. 의료영상의 종류로는 물질의 전기적 특성을 이용하는 EIT (electrical impedance tomography), 물질의 자기적 특성을 이용하는 MRI (magnetic resonance imaging), x 선을 이용하는 CT (computed tomography), 그리고 초음파를 이용하는 초음파 영상 등이 있다. 우리 연구실에서는 이와 같은 여러 의료영상분야에서 발생하는 역문제 (inverse problem)를 수학적으로 분석하고, 더 정확한 복원 영상을 만들거나 진료에 유용한 영상을 만드는 데 초점을 맞춰 연구하고 있다.

Electrical Impedance Tomography (EIT)

시각화하고자 하는 생체 혹은 물체의 표면에 전극을 부착하여 전류를 가하고 전극 간의 전압차를 측정하여 내부의 전도율의 분포를 복원하는 영상기법이다. 비침습적 방법으로 영상을 얻을 수 있으며, 장비를 휴대가 가능한 수준으로 소형화 할 수 있는 장점이 있다. 다른 영상기법에 비해 간편하며 안전하다는 장점이 있다.

이런 장점으로 EIT는 의료분야에 활용하기 좋다. 특히 뇌졸중의 경우 증상이 최초 발생한 이후 3시간 이내에 조치를 취해야만 하는데, CT, MRI촬영으로 뇌졸중을 진단하게 된다면 검사를 수행하는 시간만큼 환자에 대한 조치가 늦춰진다. Frequency difference EIT (fdEIT) 기법을 사용하여 보다 빠르게 뇌졸중을 진단하고, 그 증상에 따른 적절한 조치를 기준 보다 더 빠르게 진행할 수 있고, 소형화가 가능하기에 앰뷸런스 내에서도 빠른 진단이 가능하다. fdEIT는 신체의 각 부위가 주파수 대역에 따른 임피던스 변화가 다르다는 사실을 이용하여 측정데이터의 difference 데이터로부터 각 부분에 대한 정보를 추출할 수 있다. (Figure 2)

이런 의료영상분야뿐 아니라 산업적인 분야에도 적용이 가능하다. 기둥들은 내부에서 균열이 생길 수 있는데, 기둥들을 파괴하지 않고 기둥의 내부의 임피던스를 복원함으로써 찾아내고자 한다. 이런 구조물들은 내부에는 높은 전도율을 가진 철근이 있기 때문에 이런 철근을 균열과 구별할 수 있는 알고리즘을 설계해야한다. 이를 위해 주파수 영역이 다른 EIT 영상을 이용하여 균열과 철근부분을 구별할 수 있다. Figure 3에서와 같이 낮은 주파수에서는 균열부분을, 높은 주파수에서는 높은 전도율을 가지는 부분을 강조하는 영상을 얻을 수 있다.

MREIT

Magnetic Resonance Electrical Impedance Tomography (MREIT, 자기공명 임피던스 단층촬영법)은 인체조직의 전기적 임피던스를 영상화하는 새로운 방법이다. MREIT는 주입된 전류에 의해 유기된 인체내부의 자속밀도를 자기공명영상 시스템으로 측정하여 이를 이용해 전도율을 복원하여 시각화 한다. (Figure 4)

특히 본 연구팀에서는 자속밀도의 한 성분 B_z 의 측정데이터만을 가지고 전도율의 공간적인 변화를 완벽하게 표현해 낼 수 있음을 증명하였다. 이를 토대로 새로운 방식의 무회전 MREIT 방식이 개발되었고, 공간해상도가 가장 뛰어난 방식으로 인정받고 있다.

CT (Computed Tomography, 컴퓨터 단층촬영)

CT는 여러 방향으로 X-ray를 투과시키면서 인체단면에 대한 흡수치 (attenuation coefficient)를 계산하여 신체의 각 부분이나 장기의 3차원 영상을 얻는 방법이다. X-ray 영상에서는 발견하기 힘든 정보들을 발견할 수 있고, 비침습적으로 각 부분의 해부학적, 병리학적 정보를 분석할 수 있다.

하지만 환자의 체내에 임플란트, 인공관절등의 금속물체가 존재할 때, 금속물체 상에서 X-ray의 투과성이 현저히 떨어지면서 금속물체에 가려진 부분의 흡수치에 대한 정보의 세기가 약해져 복원된 단층 영상에서 불필요한 artifact들이 생기게 된다. 이런 artifact들이 신체의 각 부위를 관찰하는 데 있어 많은 어려움을 만든다. (Figure 6)

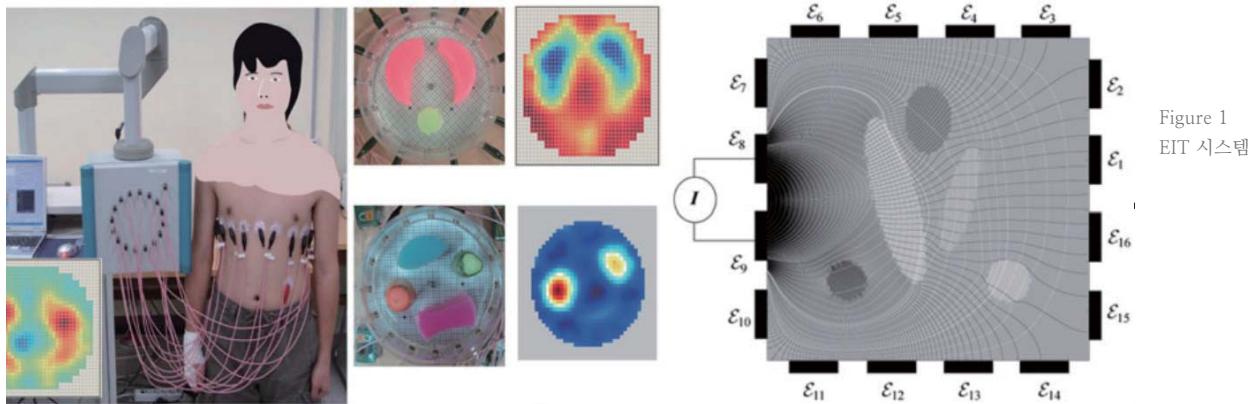


Figure 2
뇌졸중이 일어난 뇌, 두피, 두개
골의 전도율 분포 (왼쪽), 각 단
계의 difference 레이터로부터 얻
어진 복원 이미지 (오른쪽, (a)-
(d))

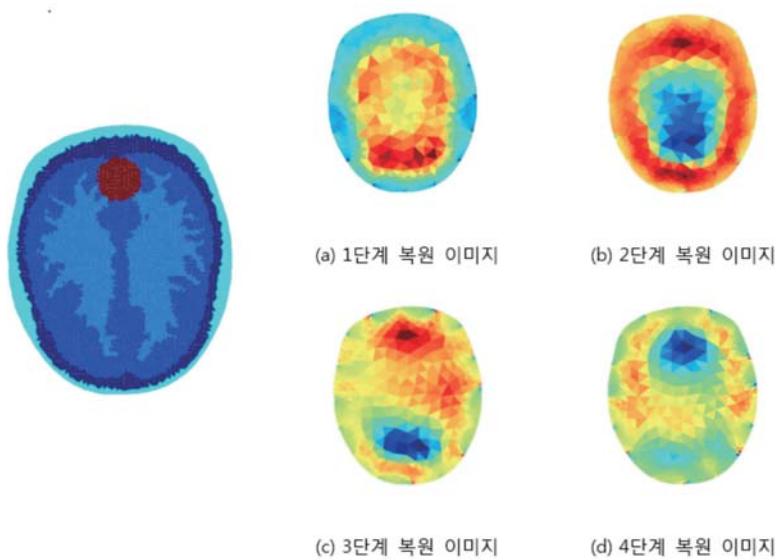


Figure 3
구조물 내의 균열이 시
뮬레이션 된 모습 (위),
여러 주파수 영역에서
얻어진 임피던스 이미
지 (아래)

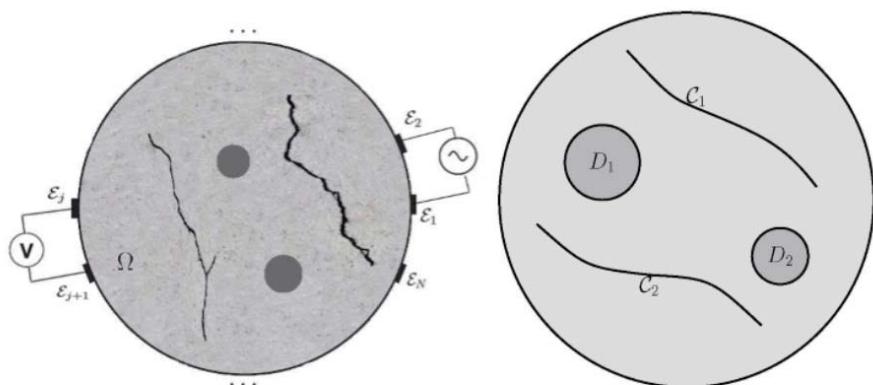


Figure 1 consists of six circular plots arranged horizontally, representing spatial patterns of a variable. The patterns transition from predominantly blue (low values) on the left to predominantly red (high values) on the right. Below the first circle is the label "Low" and below the last circle is the label "High".

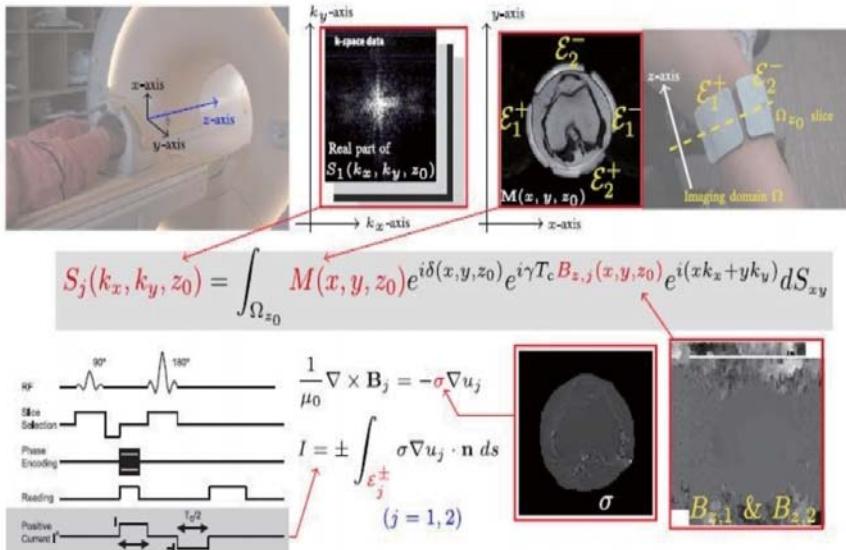
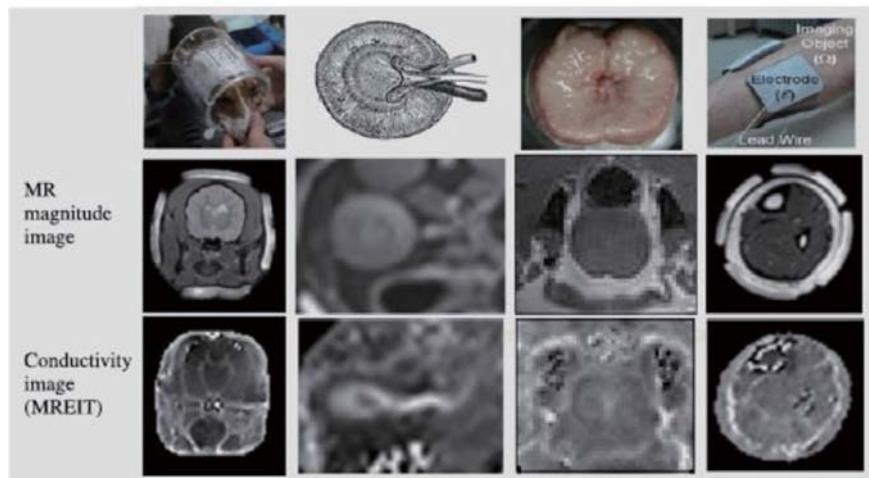


Figure 4
MREIT 시스템과 수학적 구조

Figure 5
자기공명영상과 MREIT영상의 비교



본 연구팀에서는 이렇게 유실된 금속물체 상의 정보를 복원하는 PDE 모델을 제시하였다. 이 PDE 모델을 이용하여 복원된 정보를 이용하여 금속부분을 제외한 background의 흡수치를 복원하고, 남은 금속부분을 복원하는 방법으로 artifact를 제거한다. (Figure 7)

Ultrasound for LV

좌심실은 좌심방에서 들어오는 혈액을 대동맥을 통해 온몸으로 보내는 역할을 한다. 좌심실이 이러한 기능을 잘 수행하는지 검사하기 위해 Stroke volume, Ejection fraction등의 지표가 사용된다. 최근, 좌심실 내의 혈액은 특정한 소용돌이 패턴을 이루며 대동맥으로 향하게 되는데, 이러한 소용돌이 패턴을 분석하는 것이 새로운 좌심실 기능 점검 방법으로 주목 받고 있다.

의료영상장비를 통해 이러한 혈류분석을 시행하게 되는데 그 중에서도 초음파 장비는 값싸고 안전하게 그리고 빠른 시간에 실시간 영상을 얻을 수 있어 검사에 쉽게 사용된다. 특히, 음파의 위상변화를 이용해서 초음파 probe에 대해 움직이는 물체가 가까워지는지 멀어지는지를 간편하게 판별할 수 있다. 이런 영상기법을 color 도플러 영상이라 부른다. (Figure 8)

도플러 영상으로부터 얻은 1차원적인 속도 정보를 2차원 네비어-스톡스 방정식과 결합하여 혈류 속도장을 복원하는 계산 모델을 제시하였다. 이 모델의 특이점은 (u, v) 벡터장의 2D divergence를 고려하여 유체의 3차원적인 움직임을 고려한 것이다. (Equation 1) 이런 복원모델을 통하여 우리는 주어진 혈류로부터 얻어진 도플러 정보 (Figure 8의 아래)를 이용하여 속도장을 복원할 수 있다. (Figure 9)

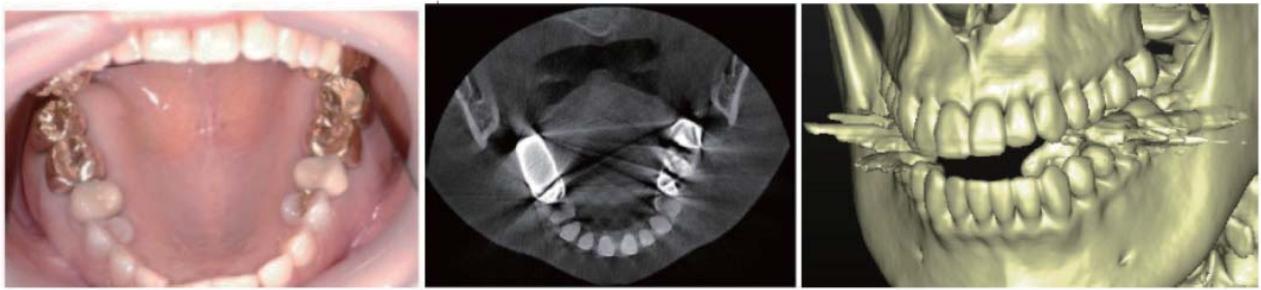
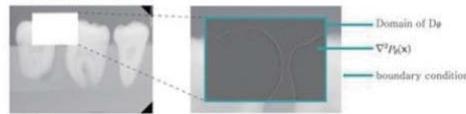


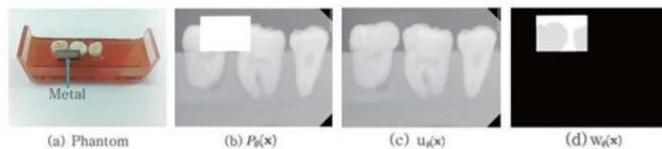
Figure 6
금속에 의한 CT image 상의 artifact

Metal image can be extracted via the following formula:

$$\begin{cases} \nabla^2 u_\theta^{int} = \eta(\nabla^2 P_\theta^{int}) & \text{in } D_\theta \\ u_\theta^{int} = P_\theta^{ext} & \text{on } \partial D_\theta, \end{cases}$$



where η is an operator suitably chosen to keep the boundary information of teeth in metal region D while eliminating the influence of metal.



<Phantom experiment: Decomposition of X-ray data (b) $P_\theta(x)$ into (c) $u_\theta(x)$ and (d) $w_\theta(x)$, generated at 70 keV and 15mA, shown with a display window [0 4000].>

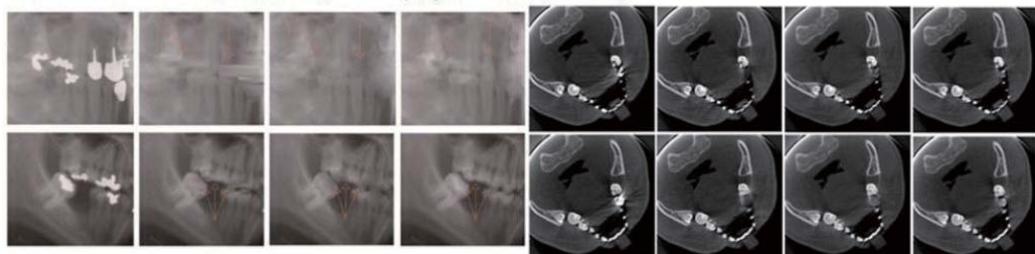


Figure 7
금속의 영향을 제거하는 PDE 모델

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 u + \frac{\mu}{3\rho^2} \frac{\partial s}{\partial x}, \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 v + \frac{\mu}{3\rho^2} \frac{\partial s}{\partial y}, \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{s}{\rho}, \\ a_1 u + a_2 v = c. \end{cases}$$

Equation 1
도플러 정보와 네비어-스톡스 방정식을 결합한 복원모델

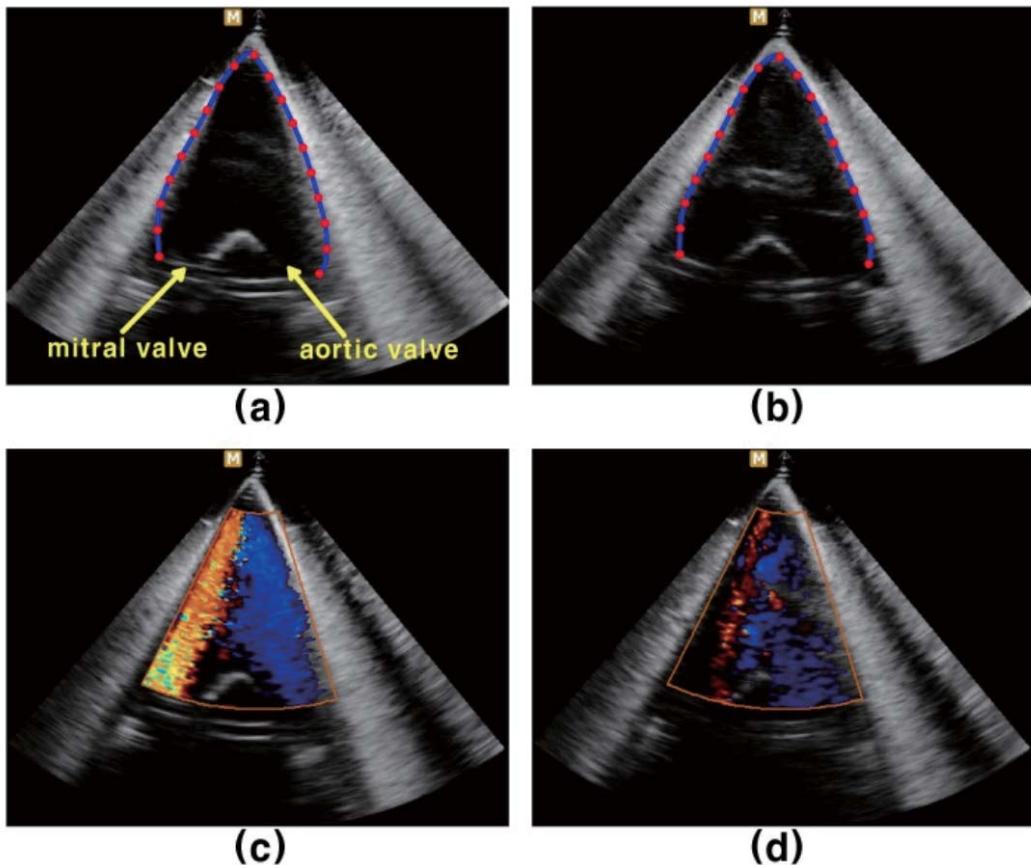


Figure 8

(a), (c) : 수축기의 초음파 영상과 도플러 영상
 (b), (d) : 이완기의 초음파 영상과 도플러 영상

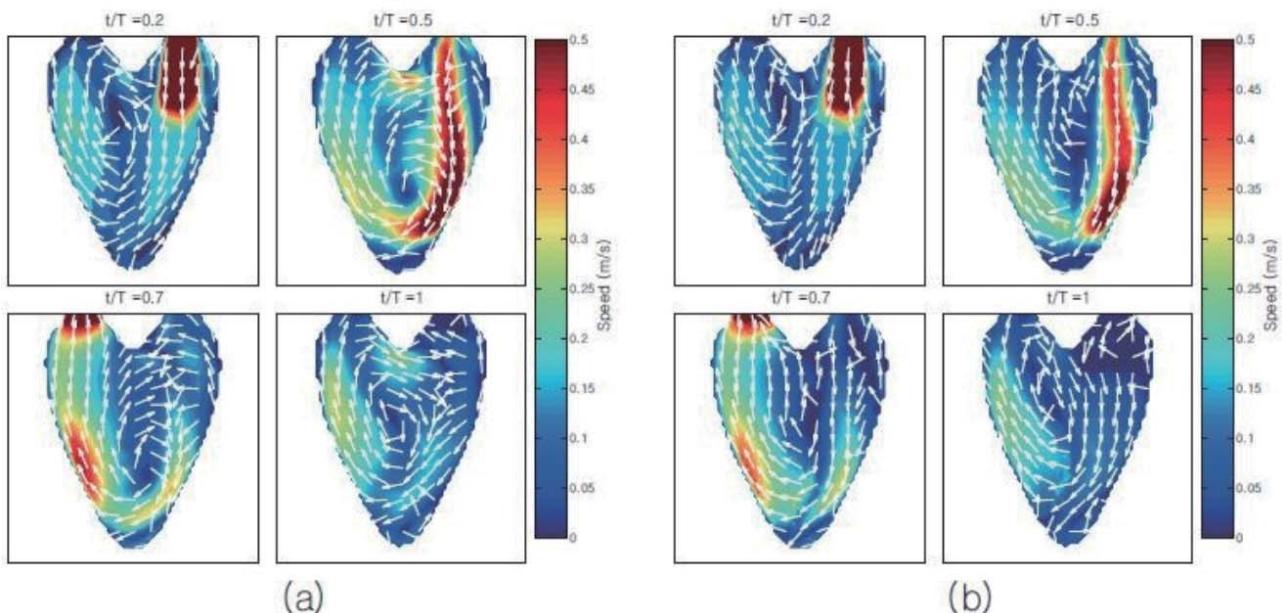
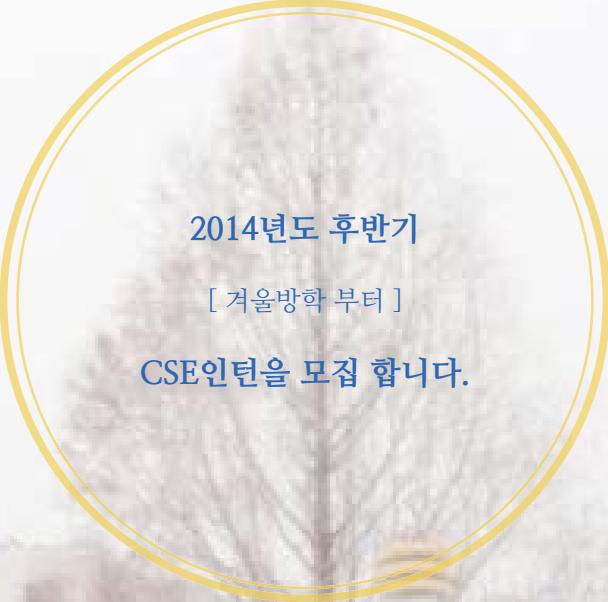


Figure 9

(a) : 가상의 혈류, (b) : 제시된 모델을 이용한 복원결과



2014년도 후반기

[겨울방학 부터]

CSE인턴을 모집 합니다.

뒷 면의 인턴지원서를 작성하시어

본인의 성적표와 함께 제출바랍니다.

[제출기간]

11월 28일 금요일 오후3시까지

[제출장소]

첨단과학기술연구관 609호 계산과학공학과 사무실

12월 1~5일이 인턴장 및 교수님 면접 기간이며 정확한 시간은

서류를 통과하신 분들께 개별 통보해 드립니다.

CSE URP Open Lecture [2014년 11월 20일 7시 첨단과학기술연구관 615호]

2014년도 하반기 학부생 인턴들의 연구결과를 open lecture에서 발표합니다. 간단한 다과도 준비되어 있으니 관심 있으신 분들의 많은 참여 부탁드립니다. Open Lecture에 참가하시는 분들께는 인턴 선발 시 가산점 부여! :)

편집장 노경민 (대기과학)

편집진 박도현 (기계공학)

유병수 (경영학)

이지영 (수학)

천수민 (토목환경공학)

최윤영 (대기과학)

홍진영 (기계공학 4학년)

디자인 한해은

cseddept@yonsei.ac.kr
cse.yonsei.ac.kr

**THINK
ABOUT
YOUR
FUTURE
IN CSE**



연세대학교 계산과학공학과
첨단과학기술연구관 609호
cse.yonsei.ac.kr