



2019 Winter

공대상상 예비 서울공대생을 위한 서울대 공대 이야기

Vol. 30

CONTENTS

- | | | |
|----|-------------------|--|
| 02 | 기획 | 일반상대성이론 검증 100주년, 이론과 검증의 공생 |
| 04 | 컴퓨터 사양 바로 알기 | 공대생과 컴퓨터를 맞춰보자 |
| 08 | 자라나라 요리요리 | 구운 요리 속의 비밀, 마이야르 반응 |
| 10 | 소형화의 역사 | 모터 소형화의 역사 |
| 12 | 공학, 심리학과 만나다 | 여러분의 심리를 공학적으로 분석하여 |
| 14 | 공대생의 눈으로 영화보기 | 개미만 해진 '나'를 상상하며 |
| 16 | 기획 연재 | 재료공학부
재료공학부를 소개합니다
STEP 01 재료공학부가 궁금해요!
STEP 02 연구실 인터뷰_ 유전박막 연구실 황철성 교수
STEP 03 연구실 동향 |
| 26 | 전공 수업 소개 | <재료바이옴입문> |
| 28 | 일상 속 공학 찾기 | 겨울철 방한 의류 속 공학 |
| 30 | 동아리 소개 | 함께 나눠 먹는 즐거움, 쿡앤 |
| 32 | 선배 공학인과의 만남 | 편안하고 안전한 이동을 책임지는 모빌리티 서비스 |
| 34 | 서울대학교 학생들의 문화생활 | 서울대 축제의 감성적인 밤, 어쿠스틱 캠프 |
| 36 | 서울대학교 공대생들의 해외 수학 | 3년간의 학업으로 녹초가 되어버린 공대생의 힐링 타임 |
| 39 | 공학으로 논문읽기 | 보이되 보이지 않는 것, 구조를 결정하는 엑스선 결정학 |
| 42 | 공학으로 세상 따라잡기 | 반도체 공정, 그래서 그게 왜 필요해요 |
| 44 | 문화부특집 | 항공인들의 축제, 항공전! |
| 46 | 책 읽어주는 공대생 | 『인간은 필요 없다』 『부분과 전체』 |
| 48 | 공대 뉴스 | |
| 51 | 십자말풀이 편집후기 | |

일반상대성이론 검증 100주년, 이론과 검증의 공생

글
이지훈, 기계항공공학부 1

편집
손성현, 원자핵공학과 3

우리는 과학을 합리적이며 객관적인 학문으로 생각합니다. 그렇다면, 과학은 어떻게 이토록 확고한 지위를 얻게 된 것일까요? 아마도 과학은 검증의 과정을 반드시 거치기 때문일 것입니다. 검증되지 않은 과학 이론은 하나의 가설에 불과합니다. 가설이 옳음을 증명해내는 근거가 이론에 덧붙여짐으로써 비로소 이론이 정당화되는 것이지요. 이처럼 과학에서 이론과 검증은 떼려야 뗄 수 없는 관계입니다. 올해는 일반상대성이론이 검증된 후 정확히 100년이 지난 해인데요, 그렇기에 아인슈타인의 일반상대성이론과 에딩턴의 검증이라는 역사적 사실을 살펴보며 이론과 검증의 공생을 알아보려고 합니다.

1919년 11월 22일, 런던신문에 기재된 기사 하나가 세상을 놀라게 합니다. 바로 아인슈타인의 일반상대성이론이 검증되었다는 내용을 담고 있었기 때문이죠. 런던신문에 기재된 기사를 살펴보면 1919년 5월 28일과 29일 태양의 개기일식이 관측된 지역, 태양, 그리고 지구로부터 93조 마일(약 150조 km) 떨어진 별의 실제 위치와 시위치* 등의 정보가 그림으로 그려져 있습니다. 이들 정보 사이에는 어떤 관계가 있으며 또 이들 정보가 어떻게 아인슈타인의 일반상대성이론이 옳았음을 말해주는 것일까요? 이 질문에 대한 답을 얻기 위해서 먼저 아인슈타인의 일반상대성이론이 무엇인지를 알아보도록 하겠습니다.

일반상대성이론은 관성계와 중력을 구별할 수 없다는 논의인 등가원리에서부터 출발합니다. 중력이 미치는 공간의 중력 가속도의 크기와 가속하는 공간의 가속도가 같을 때 공간 내부의 관찰자는 두 공간을 구분할 수 없고, 따라서 관성계와 중력계는 같다는 것이 등가원리를 설명하는 방법입니다. 위로 가속하는 공간을 빛이 지나갈 때, 내부의 관찰자는 빛이 아래로 휘어짐을 관찰할 수 있습니다. 이때 관성계와 중력계는 구별할 수 없기 때문에 중력이 미치는 공간에서도 빛이 휘어지는 현상을 관찰할 수 있다는 것이죠. 빛은 직진하기 때문에, 이러한 휘어짐 현상은 중력에 의해 공간이 휘어져 발생한 결과라는 것이 일반상대성이론의 설명입니다. 그렇다면 일반상대성이론은 어떻게 검증할 수 있을까요? 일반상대성이론이 옳다면 중력에 의해 빛이 휘어질 것이고 이것이 일반상대성이론 검증의 핵심이 될 것입니다.

다시 1919년 11월 22일자 런던신문을 살펴보면 태양 주위에서 별빛이 휘는 현상이 그려져 있습니다. 이를 확인한 인물이 바로 영국의 천문학자 에딩턴입니다. 에딩턴은 일반상대성이론을 검증하기 위하여 별의 무리인 히아

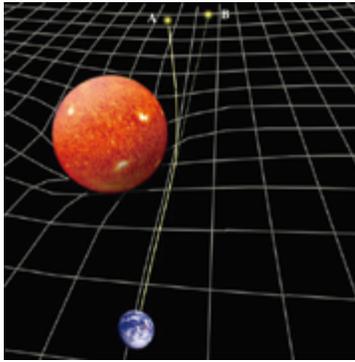
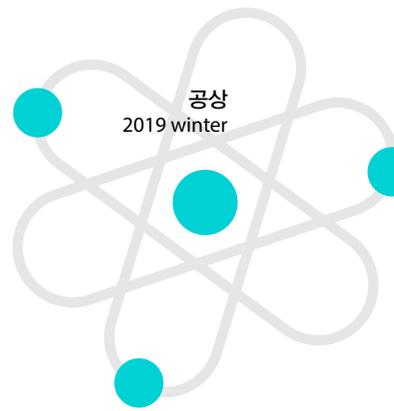


▲ 일반상대성이론이 검증됨을 기재한 런던신문 기사(1919.11.22)

참고 문헌

1. 김봉국, 「17세기 과학혁명의 지적, 사회적 의미」, ZoLAist's WikiNote, 2017
2. Pedro G. Ferreira, 『완벽한 이론: 일반상대성이론 100년사』, 까치, 2014.
3. 이상하, 『과학 철학, 과학의 역사 의존성』, 철학과 현실사, 2004.

* 지구에서 볼 때 천구 안에 놓이는 천체들의 겉보기 위치. 지구와 천체를 잇는 직선이 천구와 만나는 점으로 나타낸다.



◀◀ 중력에 의한 별의 휘어짐
 ◀ 아인슈타인과 에딩턴의 대화

데스 성단을 택하고, 망원경을 이용하여 이 성단에 속한 별들의 위치를 정확히 측정해내었습니다. 그리고 1919년 5월 29일 개기일식이 발생했을 때, 히아데스 성단이 태양의 바로 뒤에 놓일 때 성단에 속하는 별들의 위치를 측정했습니다. 만약 일반상대성이론이 옳다면 별빛이 태양의 중력에 의해 휘게 되고 서로 다른 두 측정에 따른 별의 시위치가 다를 것이었죠. 실제로 관측했을 때, 별빛이 지나가는 경로에 태양이 존재하느냐에 따라 별의 시위치가 달라졌고 이는 아인슈타인의 일반상대성이론을 정확히 만족하는 결과였습니다. 에딩턴의 검증으로 아인슈타인의 이론이 인류 역사에 남는 성취가 된 것입니다.

아인슈타인의 일반상대성이론과 에딩턴의 별 휘어짐 관측 사이의 관계는 이론과 검증의 공생에 대해 생각하게 합니다. 에딩턴이 별의 휘어짐을 관측하여 일반상대성이론이 옳음을 보이기 전까지, 아인슈타인의 이론은 하나의 가설에 불과했습니다. 더욱이 이 가설은 오랫동안 정설로 여겨진 뉴턴 역학을 부정하는 아주 '위험한' 생각이었기에 대부분의 과학자들은 일반상대성이론을 믿지 않았습니다. 하지만 에딩턴이 관측을 통해 상대성이론을 검증해내자 비로소 상대성이론이 과학적 사실로 받아들여지게 되었습니다. 이처럼 가설이 이론이 되기 위해서는 반드시 검증의 과정이 필요합니다. 그러나 아이러니하게도 과학이 검증 과정을 포함하기 시작한 역사는 불과 5세기 전으로, 그리 오래되지 않았습니다.

16세기에서 17세기경 과학은 큰 변화를 겪는데 우리는 이 시기를 아울러 과학혁명의 시기라고 합니다. 과학혁명을 거치면서 과학자들은 자연을 이해하는 방식에

변화를 추구하였는데 대표적인 변화 중 하나가 바로 '실험을 통한 이론의 검증'입니다. 과학혁명 이전의 과학자들은 자연은 글자 그대로 '자연스러운 상태'에 놓여 있어 야만 본질이 드러난다고 생각했습니다. 그렇기에 실험을 한다는 것은 자연의 본질을 변화시키는 것으로 여겼고, 과학혁명 이전의 과학 이론들은 실험을 통한 검증의 과정을 거치지 못했습니다. 이 때문에 우리는 과학혁명 이전의 과학을 자연철학으로 부르기도 한답니다.

하지만 과학혁명을 거치면서 과학기구를 통해 자연의 흐름에 인위적으로 개입하는 행위가 과학적 연구의 과정으로 인정받기 시작합니다. 오히려 과학기구를 통해 실험적으로 자연을 탐구했을 때 더 정확한 지식을 습득함을 깨닫고 실험을 통한 과학의 검증이 각광받게 되었죠. 이처럼 과학혁명을 거치면서 우리는 망원경, 현미경과 같은 과학기구를 적극적으로 활용하여 과학 이론을 검증하기 시작했습니다. 에딩턴이 아인슈타인의 일반상대성이론을 검증하는 데 망원경을 사용하여 별의 위치를 정확히 측정해낸 것처럼 말이죠.

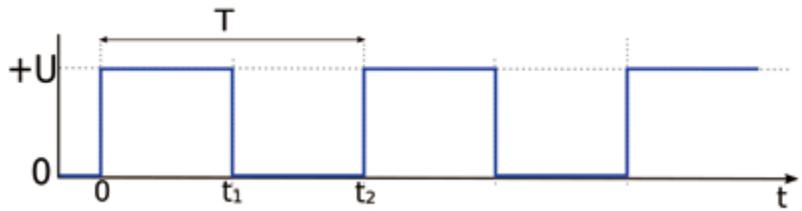
한걸음 더 나아가면 이론과 검증의 공생은 과학과 공학의 공생과도 같습니다. 이론을 검증하기 위해 과학기구를 사용함으로써 과학과 기술이 소통하게 된 것이죠. 과학적 지식에 기반을 둔 기술, 즉 공학이 새로운 과학 이론을 검증하는 데 사용되는 것입니다. 지금까지 일반상대성이론 검증의 역사를 통해 과학에서 이론과 검증의 공생 관계를 알아보았습니다. 이제 아인슈타인과 에딩턴의 대화 속에서, 이론과 검증 그리고 과학과 공학 사이의 무수한 연결고리들이 보이는 것 같지 않나요? 공상

공대생과 컴퓨터를 맞춰보자!

컴퓨터공학부 학생들이 가장 많이 듣는 말은 무엇일까요? 제 경험상으로는 “컴퓨터 견적 좀 내줘”일 것 같습니다. 사실 좋은 컴퓨터를 고르는 방법은 그리 어렵지 않습니다. 지금 당장 주변 전자상가에 가서 가장 비싼 컴퓨터를 구매하면 되거든요! 하지만 그러기에는 우리의 얇은 지갑이 걸림돌이죠. 한정된 예산에서 최선의 컴퓨터를 사기 위해서는 사양에 대해 잘 알아둘 필요가 있습니다. 그래야 포기할 건 포기하고 얻을 건 얻어서 각자의 사용목적에 최적화된 컴퓨터를 얻을 수 있기 때문이죠. 그래서 공상이 준비했습니다. 컴퓨터 사양 바로 알기! 꼭 꼼꼼하게 읽어 독자 여러분도 현명한 소비자가 되시길 바랍니다. 현대 과학기술의 집약체라고 불리는 컴퓨터는 정말 다양한 부품들로 구성됩니다. 그중에서도 성능에 가장 큰 영향을 미치는 부품들은 중앙처리장치, 주기억장치, 보조주기억장치, 그래픽카드인데요. 지금부터 하나씩 알아보도록 하겠습니다.

글
김도현, 컴퓨터공학부 3
편집
김성진, 건축학과 2

1. 중앙처리장치(Central Processing Unit)



[그림 1] 클럭 신호

CPU를 살펴보기에 앞서 먼저 **클럭(clock)**에 대해 이야기를 해야겠습니다. 컴퓨터의 구성요소는 기능에 따라 저장장치와 연산장치, 그리고 입출력장치로 구분할 수 있습니다. 이런 관점에서 컴퓨터의 동작이라는 것은 결국 입력장치로 저장장치에 정보를 넣은 후 적절한 연산을 통해 저장된 정보들을 가공하여 다시 저장하고 또 출력장치로 출력하는 과정이라고 할 수 있습니다. 현대의 컴퓨터들은 이 과정에서 내부의 다양한 저장장치들을 하나의 신호에 따라 관리하는데 이 신호를 클럭이라고 합니다. [그림 1]을 보면 클럭의 모습을 확인할 수 있는데 신호가 0에서 올라갈 때 혹은 0으로 내려갈 때 모든 저장장치의 정보가 연산 결과에 따라 변화합니다. 그렇기 때문에 클럭은 컴퓨터라는 오케스트라의 지휘자라고도 할 수 있죠. 지휘자가 빠르게 지휘할수록 곡이 빨리 끝나듯이 클럭의 주파수가 클수록 컴퓨터의 작업속도가 빨라집니다. [그림 2]에서 i7-1065G7 프로세서의 클럭 주파수는 기본 1.3GHz, 최대 3.9GHz인데 이는 정상시에는 1초에 13억 번, 더 높은 성능이 필요할 때는 1초에 39억 번의 연산과 상태변화가 일어난다는 뜻입니다. 이처럼 높은 클럭 주파수는 CPU의 성능에서 상당히 중요합니다.

클럭 못지않게 중요한 것이 있는데 바로 코어 수입니다. 코어 수가 4라는 것은 단순히 CPU 4개가 들어있다는 뜻입니다. ‘백지장도 맞들면 낫다’는 속담처럼 같은 작업이라도 여러 개의 CPU가 분업을 한다면 훨씬 빨리 끝낼 수 있겠죠? 또한, 캐시도 잘 살펴봐야 합니다. 주기억장치가 조금 떨어져 있는 책장, 보조주기억장치가 멀리 떨어진 도서관이라고 한다면 캐시는 등에 매고 있는 책가방이라고 할 수 있습니다. 작업에 필요한 정보들을 캐시에 넣어 둔다면 훨씬 빠르게 정보를 가져와서 계산할 수 있습니다. 따라서 캐시 메모리의 용량이 클수록 컴퓨터는 더 많은 정보를 빠르게 처리할 수 있겠죠.

2. 주기억장치(RAM, Random Access Memory)

위에서 조금 떨어진 책장이라고 비유한 RAM(주기억장치)은 캐시에 비할 수는 없지만 보조기억장치보다 압도적으로 빠르게 정보를 제공하고 캐시보다 큰 용량을 가집니다. 더불어 RAM은 보조기억장치와는 달리 전원이 꺼지면 데이터가 전부 소멸되는 휘발성 메모리입니다. 이런 이유로 우리가 쓰는 프로그램들은 모두 보조기억장치에 저장되어 있고 실행될 때만 주기억장치로 복사된 후 처리됩니다. 그런데 프로그램이 너무 크거나 많은 수의 프로그램을 한 번에 돌리다 보면 RAM의 용량보다 실행되는 프로그램의 용량이 더 커지는 경우가 생깁니다. 이럴 때는 어쩔 수 없이 느린 보조기억장치를 사용하여 프로그램을 실행시켜야 하기에 컴퓨터가 느려지게 됩니다. 아마 여러분도 한 번씩 경험해 봤을 거예요. 그렇기에 여러분이 용량이 큰 프로그램을 사용하거나 멀티태스킹을 해야 한다면 RAM의 용량도 주의 깊게 살펴봐야 하겠습니다. RAM은 제품에 따라서 데이터 전송 속도가 다르기에 [그림 3]에서 Frequency(주파수)라고 적힌 수치도 잘 봐야 합니다. CPU와 마찬가지로 RAM도 클럭 신호에 따라 동작하는데 [그림 3]에 따르면 클럭의 주파수는 3200MHz입니다. 제품마다 이 주파수 값은 다르고, 당연히 높을수록 전송 속도가 빠른 겁니다!

[그림 2] CPU(위)
[그림 3] RAM(아래)

10세대 인텔® 코어™ i7 프로세서

제품 이름	상태	출시일	코어 수	최대 터보 주파수	프로세서 기본 주파수	캐시	비교 모두 없음
인텔® 코어™ i7-1065G7 프로세서	Launched	Q3'19	4	3.90 GHz	1.30 GHz	8 MB Intel® Smart Cache	<input type="checkbox"/>
Intel® Core™ i7-1060G7 Processor	Announced	Q3'19	4	3.80 GHz	1.00 GHz	8 MB Intel® Smart Cache	<input type="checkbox"/>
Intel® Core™ i7-10710U Processor	Launched	Q3'19	6	4.70 GHz	1.10 GHz	12 MB Intel® Smart Cache	<input type="checkbox"/>
Intel® Core™ i7-10510U Processor	Launched	Q3'19	4	4.90 GHz	1.80 GHz	8 MB Intel® Smart Cache	<input type="checkbox"/>
Intel® Core™ i7-10510Y Processor	Launched	Q3'19	4	4.50 GHz	1.20 GHz	8 MB	<input type="checkbox"/>

SPECTRIX D60G DDR4 RGB Memory Module

Frequency	DDR4 3200 MHz
Module Size	16 GB (8 GB x 2)

3. 보조기억장치(Hard Disk Drive/Solid State Drive)



	HDD	SSD
기본원리	자기	전기
속도	느림	빠름
용량 대비 가격	저렴	비쌘

[그림 4] HDD 대 SSD

저장장치라고 하면 대부분의 사람들이 이 보조기억장치를 가장 먼저 떠올릴 것 같습니다. 보조기억장치는 캐시, RAM에 비해 데이터 전송속도가 느린 대신 압도적인 용량을 자랑합니다. 최근에는 HDD와 SSD가 주로 사용되는데, HDD는 자기적으로 데이터를 기록하고 SSD는 전기적으로 데이터를 기록합니다. HDD는 플래터와 헤드가 움직이며 데이터를 기록하기에 기계적인 접근이 필요 없는 SSD보다 속도가 느립니다. 그렇지만 HDD는 같은 가격에 더 큰 용량을 얻을 수 있다는 장점이 있습니다. 때문에 SSD가 매우 비싸던 초창기에는 작은 용량의 SSD와 큰 용량의 HDD를 한 컴퓨터에 모두 장착하여 SSD에는 운영체제를 넣어두고 HDD에는 동영상같이 큰 미디어파일을 넣어두는 방식으로 사용하기도 했습니다. 다만 요즘에는 갈수록 SSD의 가격 경쟁력이 높아지고 있어 큰 용량의 SSD 하나만 사용하는 컴퓨터들이 늘고 있습니다.

4. 그래픽카드(Graphics Card)



그래픽카드는 컴퓨터가 모니터에 화면을 출력하기 위해서 사용하는 부품이며 크게 GPU(Graphics Processing Unit)와 VRAM(Video RAM)으로 구성됩니다. 앞서 살펴본 CPU와 GPU는 어떤 차이가 있고, 또 왜 그래픽카드에서는 GPU를 사용하는 걸까요? 해답은 CPU가 주로 하는 작업들과 대조되는 그래픽 작업의 특성으로부터 찾을 수 있습니다. 컴퓨터가 3차원 그래픽을 표현할 때는 모든 사물을 다각형들의 조합으로 나타내게 되는데, 하나의 다각형을 계산하는 건 단순하지만 화면에 나타날 수많은 다각형을 계산하는 건 전혀 다른 차원의 문제죠. 게다가 갈수록 그래픽이 발전하며 하나의 화면을 표현하기 위해 사용해야 할 다각형의 개수가 기하급수적으로 늘어나고 있습니다. [그림 5]는 이러한 변화를 단적으로 보여줍니다. 좌측의 얼굴은 다각형이 우리 눈에 보일 정도이지만 우측은 더욱 작고 많은 다각형들을 사용해 거의 실물에 가까운 얼굴을 표현해냈습니다. 이런 기술적 배경에서 엔지니어들은 CPU의 코어 수를 늘리고 코어 하나하나의 성능은 낮추는 방법을 통해 그래픽 작업을 위한 프로세서, 즉 GPU를 탄생시켰습니다. 이러한 GPU의 특성이 그래픽 작업뿐만 아니라 머신 러닝, 블록 체인 기술에서도 효과적이기 때문에 최근 들어서는 더욱 다양한 목적으로 GPU가 사용되는 추세입니다.

GPU에서 눈여겨봐야 할 수치는 코어 수와 클럭 주파수입니다. [그림 6]에서 GEFORCE 1070을 살펴봅시다. 코어 수가 1,920개에 육박

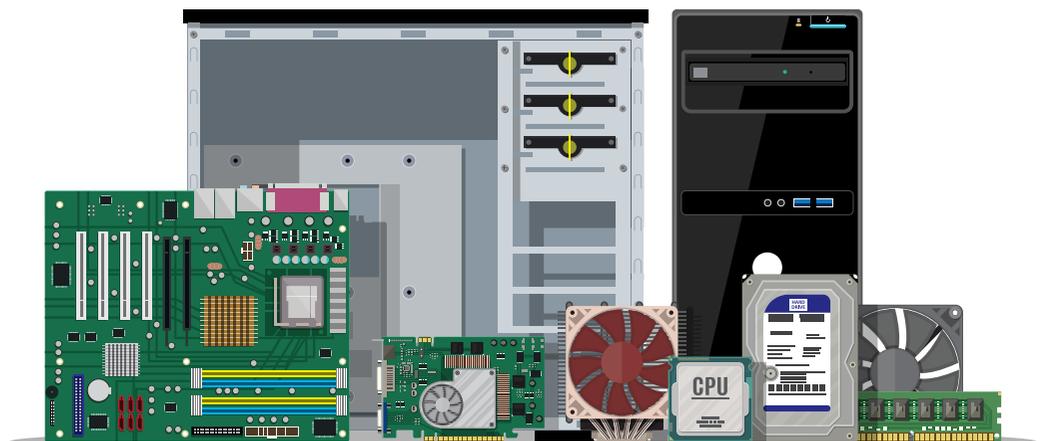
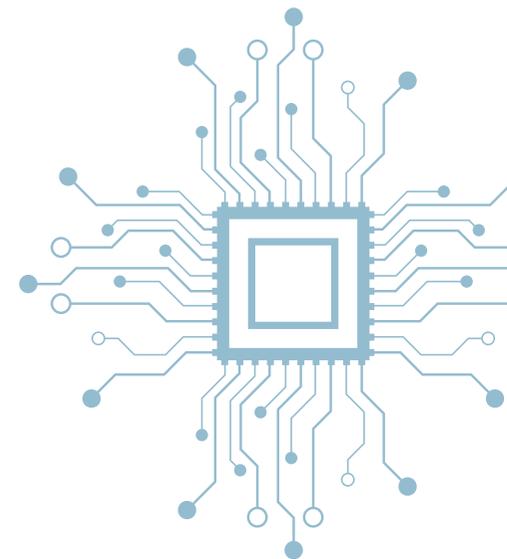


	GEFORCE GTX 1080 1080 Ti / 1080	GEFORCE GTX 1070	GEFORCE GTX 1060 6GB / 3GB	GEFORCE GTX 1050 1050 Ti / 1050
GPU 엔진 사양				
CUDA 코어	3584 / 2560	1920	1280 / 1152	768 / 640
베이스 클럭(MHz)	1480 / 1407	1506	1506	1290 / 1354
부스트 클럭(MHz)	1582 / 1733	1683	1708	1392 / 1455
메모리 사양				
메모리 속도	11 Gbps / 10 Gbps	8.0 Gbps	8.0 Gbps	7.0 Gbps
기본 메모리 구성	11 GB GDDR5X / 8 GB GDDR5X	8 GB GDDR5	6 GB GDDR5 / 3 GB GDDR5	4 GB GDDR5 / 2 GB GDDR5

[그림 5] 그래픽(graphic)의 발전(왼쪽)
[그림 6] GPU(오른쪽)

하며 클럭 주파수 같은 경우에는 평상시 1506MHz(약 1.5GHz), 최대 1683MHz(약 1.7GHz), 정도로 CPU와 구분되는 모습을 보여주고 있습니다. 당연히 두 수치 모두 클수록 좋겠죠? VRAM은 효율적인 작업을 위해 GPU가 사용하는 RAM입니다. 따라서 RAM과 마찬가지로 메모리 전송 속도와 용량이 클수록 좋습니다. 특히 고화질의 그래픽 작업에서는 VRAM의 용량이 성능을 좌우하는 중요한 요소이므로 그래픽카드를 볼 때 주의 깊게 살펴봐야 되겠습니다.

물론 위에서 살펴본 것이 컴퓨터 성능을 전부 좌우하는 것은 아닙니다. 클럭 주파수가 같아도 어떤 아키텍처(컴퓨터 시스템의 구성)를 사용하는가에 따라 같은 작업을 수행하는 데 요구되는 클럭 수가 바뀔 수 있고 CPU, GPU, RAM을 운영체제나 프로그램이 어떻게 최적화하여 활용하는가에 따라 성능이 크게 차이 날 수 있습니다. 그렇지만 컴퓨터를 살 때 이 모든 것을 신경 쓰기는 어렵겠죠. 사실 일반 사용자 수준에서는 오늘 함께 살펴본 수치들만 잘 살펴보다라도 최선의 선택을 할 수 있을 겁니다. 독자 여러분도 컴퓨터를 살 계획이 있다면 이 정보들을 바탕으로 꼭 현명한 소비자가 되시길 바랍니다! 공상



구운 요리 속의 비밀

마이야르 반응

Maillard reaction

글

노주현, 화학생물공학부 4

편집

신원준, 재료공학부 2

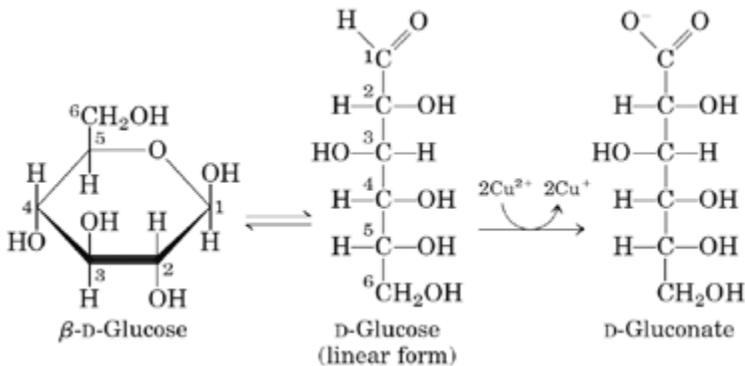


안녕하세요, 독자 여러분! ‘프라이어의 마법’, ‘수비드 조리법’에 이어서 새로운 주제로 여러분과 함께하게 된 ‘자라나라 요리요리’ 코너입니다! 이번 호에서는 어떤 음식과 조리법이 기다리고 있을지 기대되지 않으세요? 우리 일상에는 닭, 돼지, 오리, 소, 심지어 생선까지! 다양한 구이 요리가 존재하는데요, 이번 호에서 소개하는 ‘마이야르 반응(Maillard reaction)’은 수많은 구이 요리들의 맛의 비밀을 담고 있습니다. 지금부터 어떠한 맛의 비밀이 숨어 있는지 같이 살펴보기로 해요!

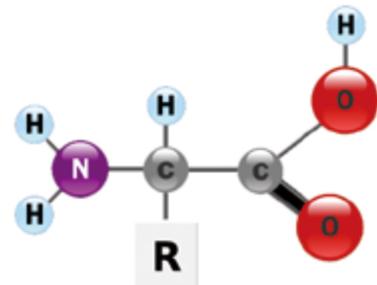
독자 여러분은 고기 요리를 좋아하시나요? 농림축산식품부의 통계자료에 따르면 대한민국 국민 1인당 연간 소, 돼지, 닭을 47.1kg이나 섭취하고 있다고 하네요. 그만큼 육류·고기는 우리나라, 더 나아가 전 세계적으로 사랑받는 음식이라고 할 수 있습니다. 특히 다른 나라들에 비해 우리나라에선 다양한 고기 부위를 구워먹는 걸 좋아하는데요. 왜 사람들은 고기를 구워 먹으면 더 맛있다고 느낄까요? 그 비밀은 바로 ‘마이야르 반응’에 숨어있습니다.

마이야르 반응은 1912년에 프랑스 화학자인 루이 카미유 마이야르(Louis Camille Maillard)가 발견한 반응으로, 단백질 합성 연구를 하다가 발견했다고 합니다. 이 반응은 환원당과 아미노산이 고온의 열에서 만났을 때 진행되는 반응입니다. 우리가 아는 포도당과 같은 탄수화물은 5, 6각형의 고리모양을 띠고 있는데, [그림 1]의 첫 번째 반응처럼 이 고리가 열리면 분자가 알데하이드기(COH), 카르복실기(COOH), 케톤(C=O) 작용기를 가지게 되고 이를 ‘환원당’으로 부릅니다. 앞선 작용기들이 [그림 2]에서의 두 번째 반응처럼 환원제로 이용될 수 있기 때문에 환원당이라는 이름이 붙여졌습니다.

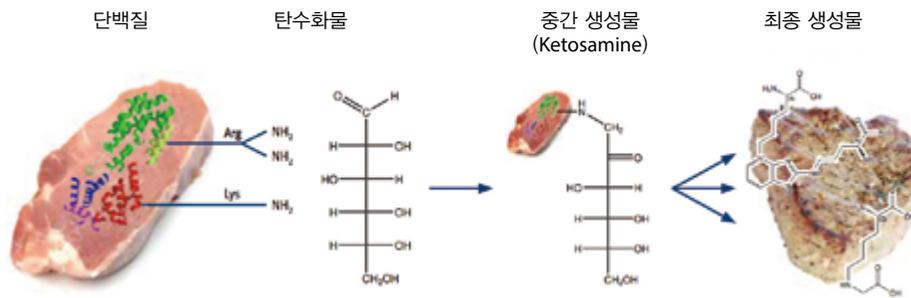
아미노산은 단백질의 기본 단위입니다. [그림 2]에 나와 있듯이, 아미노산은 중심 탄소 하나에 카르복실기(-COOH)와 아미노기(-NH₂)를 가지고 있으며, 곁사슬(R)이라고 하는 아미노산의 종류를 결정하는 사슬이 연결되어 있는 구조입니다. 마이야르 반응은 위에서 설명한 환원당의 알데하이드기(-COH), 카르복실기(-COOH)와 같은



[그림 1] 환원당인 글루코스와 이에 의한 Cu^{2+} 의 환원 반응



[그림 2] 아미노산의 기본 구조



[그림 3] 마이야르 반응의 개요도

작용기와 아미노산의 아미노기(-NH₂)가 만나 중간생성물인 ‘케토세아민’이라는 화합물이 만들어지고, 온도나 pH 등의 환경적 변수에 의해 다양한 최종생성물이 형성되는 반응입니다. 즉, 탄수화물과 단백질이 고온의 열에서 만났을 때 반응하여 새로운 생성물을 만들어내는 과정이라고 할 수 있습니다.

그렇다면, 왜 이러한 반응이 고기 구이 요리의 ‘맛’을 결정하게 될까요? 그 비밀은 바로 다양한 최종생성물에 있습니다. 우리가 음식에서 맛을 느낄 수 있는 이유는 아미노산, 환원당의 복잡한 마이야르 반응으로 특정한 맛을 나타내는 분자들이 생성되기 때문입니다. 또한 고온에서 일어나는 반응이다 보니, 당분자들이 산화되는 캐러멜화 반응이 추가적으로 일어나게 되어 고기의 맛을 풍부하게 하지요. 이뿐만 아니라, 고기에서 수분이 빠져나가 딱딱해지고 바삭한 질감을 가지게 되며, 마이야르 반응의 최종 산물인 ‘멜라노이딘’ 색소에 의해 고기가 갈색으로 변합니다. 그렇게 해서 구운 고기가 우리가 아는 것처럼 특유의 풍미와 식감을 가지게 되는 것이지요.

단순히 고온에서 고기를 굽는다고 고기의 맛과 질감을 극대화시킬 수 있는 것은 아닙니다. 마이야르 반응은 환경에 따라 다양한 생성물을 제공하는데, 200°C 이상의 고온에서 고기를 구우면 발암 가능성이 있는 아크릴 아마이드라는 화합물을 생성될 수도 있고, 단백질이 불완전 연소되어 유해 물질이 생성될 수 있다고 합니다. 특히, 고온에서 오랫동안 고기를 방치하면 단백질이 불완전 연소하면서 검은 탄소 덩어리인 숯을 만드는데, 흔히 이를 고기가 ‘타는’ 과정이라고 부릅니다. 고기가 타면 해로운 성분이 생길 뿐 아니라, 고기의 풍미를 저해하고, 수분이 많이 빠져나가 고기의 질감이 더 딱딱해져 우리가 원하는 고기의 맛과 식감을 느낄 수 없게 되죠. 반면, 상온과 같은 저온에선 마이야르 반응이 잘 일어나지 않아 특정 맛과 영양을 띠는 화합물이 생성되지 않으므로 구운 고기 특유의 맛을 느낄 수 없게 됩니다. 따라서, 140~160°C 사이에서 고기를 구우면 고기가 타지 않으면서 마이야르 반응이 활성화되어 가장 맛있게 고기를 먹을 수 있습니다.

마이야르 반응은 비단 고기를 구울 때만 일어나는 반응이 아

닙니다. 단백질과 탄수화물을 가진 식품이라면 고온에서 마이야르 반응이 발생할 수 있는데요. 예를 들어 커피 원두를 볶거나 빵을 구울 때 겉이 갈색으로 변하는 것, 심지어 간장, 된장 등의 발효 또한 마이야르 반응이 일어난 것입니다. 이렇듯, 같은 마이야르 반응 과정을 거치더라도 결과적으로 느낄 수 있는 맛은 천차만별입니다. 많은 종류의 탄수화물과 아미노산들이 반응물로 사용되고, 온도나 pH 등의 환경적인 요인으로 정말 다양한 생성물들이 만들어지기 때문이지요. 지금까지 발견된 마이야르 반응의 생성물 수만 해도 2,500개가 넘는다고 하니 마이야르 반응을 통해 정말 다양한 맛을 낼 수 있다는 사실, 예상할 수 있겠죠?

지금까지 구운 요리 속의 비밀, ‘마이야르 반응’에 대해 알아보았습니다. 마이야르 반응은 주어진 요리 재료로부터 최상의 맛을 내기 위해 필요할 뿐 아니라, 새로운 맛을 만들어내는 것에도 이용되고 있습니다. 과학자들은 음식에 원하는 향미를 첨가할 수 있도록 노력하고 있는데요. 마이야르 반응에서 온도, pH 등의 조건을 조절하여 의도한 생성물을 만들어내기 위한 연구를 진행하고 있습니다. 고기가 아닌 음식에서도 고기의 맛을 느낄 수 있고, 원하는 재료에 원하는 향미를 첨가할 수 있게 된다면 얼마나 행복할까요? 과학의 발전을 통해 식생활이 풍요로워질 미래를 생각하니 정말 설레고 기대가 되네요.

지금까지 구운 요리 속의 비밀, 마이야르 반응에 대해 알아보았습니다! 앞으로 여러분도 다양한 고기를 구워 드시게 된다면, 마이야르 반응을 떠올리며 불의 세기, 고기의 온도를 조절함으로써 맛있게 고기를 구워 보세요! 다음 호에 다시 만나요~! 공상

그림 출처

1. Nelson, David L. Michael M. Cox, Lehninger Principles of biochemistry, 7th ed, NY: W.H. Freeman, 245 (2017)
2. Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Amino_acid. Accessed 04 Nov 2019.
3. Iris Biotech GMBH, <https://www.iris-biotech.de/en/knowledge-base/custom-synthesis/maillard-reaction-products>. Accessed 04 Nov 2019.

모터 소형화의 역사

여러분은 세상에서 제일 작은 자동차의 크기가 얼마 정도인지 알고 계신가요? 바로 1nm³ 정도인데요, 1m³와 1nm³의 크기는 지구와 탁구공의 크기를 비교하는 것과 같습니다. 이렇듯 1nm³의 크기는 가능하기 힘들 정도로 작은 크기임에도 불구하고 움직이며 일을 수행할 수도 있습니다! 인간이 움직이는 행위를 위해 근육이 필요한 것처럼 기계도 일을 하기 위해서는 동력을 제공하는 모터가 필요합니다. 초기에는 기계의 크기가 거대했기 때문에 모터의 크기가 커도 상관없었지만, 기술이 점차 발전하면서 기계의 보급 및 섬세한 작업을 위해 계속 크기가 작아져야 했기에 모터의 크기도 줄어들어야 했습니다. 이번 기사에서는 저렇게 작은 기계가 등장하기까지 모터는 어떤 과정을 거쳐서 발전하였는지 알아보시다!

자동화 기계의 시작, 증기기관: 증기기관의 실용화 및 단점

증기기관은 물이 수증기로 변하면서 발생하는 팽창압력으로 기계를 작동시키는 기관입니다. 17세기 이전, 증기기관을 사용한 기계를 운영하기 위해서는 사람이 일하는 것보다 더 많은 비용이 들었기에 사용하지 않았습니다. 하지만 17세기에 들어와 많은 발전을 통해 효율이 증가했고, 상용화되었습니다. 아래 그림의 좌측 기관은 초기 증기기관, 우측 기관은 개량한 증기기관입니다. 좌측의 증기기관은 실린더의 온도가 변하기 때문에 열로 인한 손실이 많았습니다. 반면, 우측의 기관은 실린더와 응축기를 분리함으로써 실린더의 온도를 일정하게 만들어 열손실을 크게 줄였습니다.

증기기관을 사용한 기계는 사람보다 빠르고 많은 일을 할 수 있었기에 기존의 생산방식을 자동화로 바꾸어 놓으며 산업혁명을 이끌었습니다. 특히 철도와 선박 같은 거대한 기계에 큰 영향을 미쳤는데, 고압의 증기를 사용하는 회전력이 강하고 저속에서도 힘이 크기 때문입니다. 그러나 자동화 기계의 보급에서 증기기관의 한계점이 부각되었습니다. 그 한계점은 바로 증기기관에는 보일러, 보수기와 큰 피스톤이 필요하기 때문에 소형화가 어렵다는 것이었습니다. 공장에서 사용하는 기계는 크기가 커도 사용함에 큰 문제가 없는 반면, 자동화된 기계가 널리 보급되기 위해서는 기계의 크기가 집보다 작아야 하기에 모터를 어느 정도 소형화할 필요가 있습니다. 하지만, 크기가 작아지면 부피에 대한 면적비가 커지기 때문에 방출되는 열로 인한 열손실이 커지면서 열효율이 많이 줄어듭니다. 결국 증기기관의 크기를 줄일 때 열손실이라는 한계점이 발목을 잡았고 소형화를 위해 전기모터가 도입되었습니다.



▲ 뉴커먼의 증기기관과 와트의 증기기관

소형화에 유리한 전기모터: 전기모터의 실용화

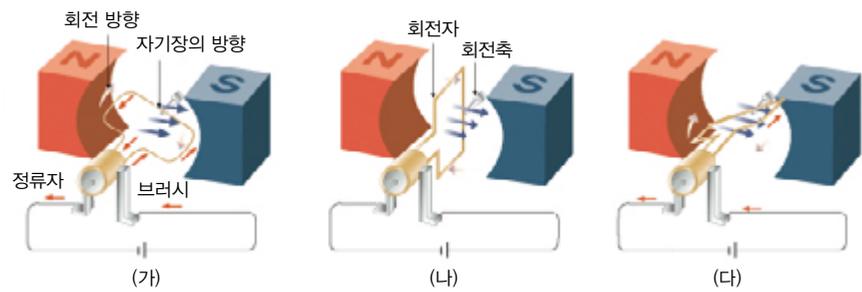
증기기관이 증기를 사용하여 동력을 얻는 기계였다면 전기모터는 전기를 바탕으로 동력을 얻는 장치입니다. 증기기관은 크기가 작아질 때 열손실이 커진다는 문제점이 있지만 전기모터는 자석과 도선의 크기에 따라 손실이 달라지지 않기 때문에 소형화에 더 유리하였습니다. 전기모터는 1834년 모리츠 야코비에 의해서 개발되었으며, 초기의 전기모터는 직류 전동기로 이를 단순화하면 [그림 3]과 같은 모습이 되는데요, 일정한 자기장 내에서 전류가 흐름으로써 회전력이 생겨 모터가 작동하게 됩니다. 다만 반 바퀴 돌 때마다 회전력이 반대로 작용하기 때문에 반 바퀴마다 전류의 방향이 바뀌줄 정류자가 필요합니다.

글
김태훈, 조선해양공학과1

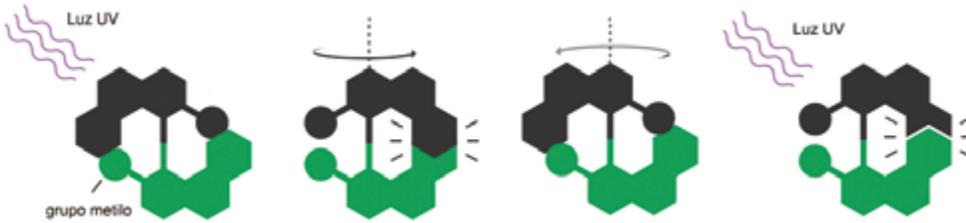
편집
김성진, 건축학과 2



▲ 야코비의 전기모터



▲ 전동기의 원리



◀ 분자모터의 작동과정

최초의 전기모터가 발명된 후 직류 전동기, 교류 전동기와 같은 다양한 전동기가 나왔지만, 처음에는 효율이 좋지 않아 증기기관을 사용하였습니다. 하지만 거듭된 발전으로 인해 증기기관을 대체하게 되었고, 자석과 도선의 크기를 줄임으로써 소형화가 이루어졌습니다. 전기모터의 에너지손실은 마찰과 저항으로 인한 손실이 대부분이기 때문에 크기에 따른 영향이 거의 없어 쉽게 소형화할 수 있었던 것이죠. 따라서 전기모터의 발명은 자동화의 보급을 이끌었습니다.

이렇게 많은 기계들을 일상생활에서 사용할 수 있게 기여한 전기모터지만, 화학적 공정 및 의료용 초소형 로봇과 같은 섬세한 작업을 위한 초소형 기계를 만들기에는 한계가 있습니다. 자석과 도선의 크기를 줄여서 모터의 크기를 줄이는 것도 분자 스케일에서는 제작의 한계 때문에 어려워집니다. 또한 그렇게 모터를 만들어도 나노 스케일에서는 전류가 잘 흐르지 않아 제대로 작동하지 않을 확률이 큼니다. 그렇기에 섬세한 작업을 위한 초소형 기계에 대입할 모터는 전기모터가 아닌 새로운 모터로 교체할 필요가 있었습니다.

눈에 보이지 않는 모터, 분자모터

일반적으로 분자가 움직이는 방향은 확률에 의해 결정됩니다. 그렇기 때문에 회전하는 물체는 왼쪽, 오른쪽으로 회전할 확률이 반반입니다. 하지만 네덜란드의 화학자 베르나르트 페링하는 한쪽 방향으로 회전하는 분자를 합성하는 데에 성공하였습니다. 이를 바탕으로 만든 분자모터는 나노 스케일에서도 제대로 작동할 수 있기 때문에 섬세한 작업을 위한 초소형 기계의 모터로

적합합니다.

분자모터는 양쪽의 날개와 날개가 화학적 결합(탄소 간의 이중결합)으로 이어져 있습니다. 각 날개에는 메틸기가 붙어있는데 이것이 날개의 구성요소로 마치 톱니가 맞물려 돌아가는 것처럼 움직임으로써 두 톱니가 한 방향으로 회전하도록 합니다. 분자모터에 자외선을 쬐면 한쪽 날개가 이중결합을 중심으로 180도 회전합니다. 그 결과 메틸기도 180도 회전하게 됩니다. 여기서 자외선을 한 번 더 쬐면 톱니가 180도 회전합니다. 이 과정을 반복하면 한 방향으로 계속 회전하는 모터가 됩니다.

위의 모터를 사용하여 페링하는 분자모터를 자동차바퀴로 사용하여 나노 스케일의 분자자동차를 만들기도 하였습니다. 처음에 만든 분자모터는 빠르지 않았지만 꾸준한 성능 개선으로 그 회전수를 초당 1,200만 번까지 늘릴 수 있었습니다. 여전히 분자모터는 섬세한 작업을 하기에는 성능이 부족하지만 언젠가는 분자모터를 사용한 눈에 보이지 않는 기계들이 큰 역할을 하는 날이 오지 않을까요? 공상

참고자료

1. 김민주, 50개의 키워드로 읽는 자본주의 이야기, 미래의 창.
2. “증기기관의 탄생”, 사이언스올(<https://www.scienceall.com>, 2019. 10. 21).
3. “증기기관”, 사이언스올(<https://www.scienceall.com>, 2019. 10. 22).
4. “Jacobi’s Motor”, Eti.Kit(<https://www.eti.kit.edu>, 2019.10.22).
5. “세상에서 가장 작은 기계, 분자기계”, 동아사이언스(<http://dongascience.donga.com>).

여러분의 심리를 공학적으로 분석하여...

“여러분의 관심사와 흥미를 빅데이터로 분석하여 가장 높은 조회수를 이끌어낼 만한 제목을 도출했습니다.” 인터넷 서핑을 하시던 독자 분들이라면, 흥미가 가는 제목을 클릭하여 게시글의 본문을 보려다가 이러한 문장만 남아있는 경우를 보셨을 것입니다. 사람들은 왜 이러한 장난을 하게 된 것일까요? 이는 기계학습과 같은 AI 기술의 발달로 인간의 심리를 공학적으로 분석할 수 있다는 생각이 최근에서야 널리 퍼졌기 때문이라고 할 수 있습니다. 이전까지는 인간의 심리는 물리적인 육체와 완전히 분리된 영혼이라는 것이 존재해서, 이 영혼이 모든 심리적인 상태를 관장한다는 시각이 주류였습니다. 이러한 ‘실체 이원론’에서 영혼, 즉 우리의 마음은 미지의, 신성한 존재였습니다. 어떠한 견해의 변화, 그리고 기술적인 발전이 있었기에 우리의 마음을 관찰 가능한 수준으로 끌어올리고 있을까요? 이번 기사를 통해 만나보시죠!

글
김재원, 전기정보공학부 3

편집
손성현, 원자핵공학과 3



앞서 언급한 실체 이원론에는 심각한 허점이 있었습니다. 신체적 상태와 심적 상태가 직관적으로 다르다고 볼 수는 있겠지만, 그렇다면 비물리적인 요소인 영혼과 물리적인 요소인 신체가 어떻게 상호작용하는 것인지를 설명하지 못했다는 것이지요. 이 이론을 반박하는 심리학자들은 중요한 것은 관찰할 수 있는 행동뿐이고, 마음이라는 것은 결국 행동의 일부라는 행동주의를 주장했습니다. 여러분이 잘 아시는 파블로프의 개 실험으로 대표되는 자극-반응 모델이 바로 행동주의적 관점입니다. 하지만, 자극에 둔감하거나 의도적으로 거짓 반응을 하는 사람이 있다면, 행동주의 모델로는 이 사람의 심적 상태를 정의할 수 없겠죠. 이처럼 행동 관찰만으로는 설명할 수 없는 현상들이 발견되었기에, 이를 보완하는 현대의 주류 학문, 인지심리학이 등장하게 됩니다. 앞선 행동주의의 자극-반응 모델과는 다르게, 인지심리학은 자극-알고리즘-반응 모델을 제시했고, 이 알고리즘이 무엇인가를 밝혀내는 것이 이 학문의 목표입니다. 그리고 이 분야야말로 공학이 가장 큰 도움을 줄 수 있는 부분입니다.

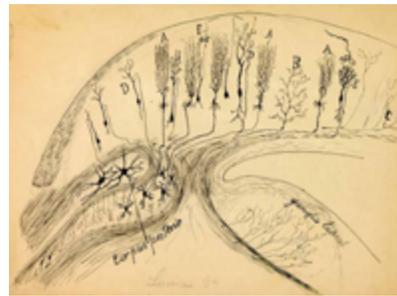
인지심리학이 공학을 포함한 다양한 학문과 섞여 나가면서 발전한 성과를 인지과학이라고 부르기도 하는데요, 인지과학의 자극-알고리즘-반응 모델을 추측함에서 공학은 두 가지의 큰 기여를 했습니다. 첫째로, 알고리즘의 구조에 대한 아이디어를 제공했습니다. 세계대전이 진행되면서, 컴퓨터공학은 비약적으로 발전했는데요. 이것을 계기로 자극과 반응 사이의 알고리즘을 고민하던 심리학자들은 ‘알고리즘이 바로 이 컴퓨터와 같은 모습이 아닐까’라고 생각하게 되었습니다. 이를 계산적 기능주의 모형이라고 합니다. 마음을 뇌라는 컴퓨터에 설치된 프로그램이라고 가정하고, 이를 수많은 결정론적인 코드로 표현할 수 있을 것으로 생각했습니다. 이렇게 데이터와 프로그램을 메모리에서 불러와서 산술 논리 장치로 연산하고 다시 메모리에 저장하는 폰 노이만 구조를 그대로 모방한 인공지능이 바로 IBM의 ‘딥 블루’입니다. 이 인공지능은 컴퓨터로서는 최초로 체스 챔피언을 이겼는데요, 생각해보면 체스 선수들은 딥 블루처럼 모든 기보를 외워서 경기를 이기지 않죠. 즉, 딥 블루의 결정론적인 모형은 특정한 일을 완벽히 수행해내는 전문가 시스템일 뿐, 인간의 마음을 구현해냈다고는 할 수 없었다는 것입니다. 그래도 이 계산주의 모형은 뒤에서 설명할 더 사실적인 모델인 연결주의 모형의 배경이 됩니다.

둘째로, 마음의 주체라고 짐작만 되어왔던 뇌의 내부에서 어떠한 일이

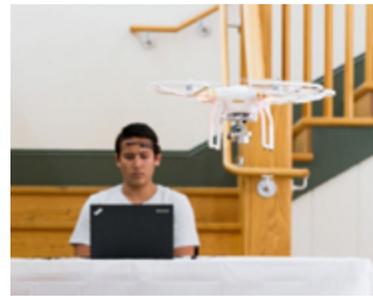
일어나는지를 직접 연구해볼 수 있게 되었습니다. 이런 중대한 발전의 바탕에는 신경과학, 계측공학, 유전공학, 화학공학, 통계학, 의학 등 다양한 학문이 있었는데, 모든 것의 시작은 뉴런의 발견이었습니다. 20세기 초, 스페인의 해부학자 라몬 카할은 뇌의 여러 부위에 존재하는 신경망을 염색하여 그림으로 나타내었습니다. 이를 바탕으로 카할은 뇌의 모든 부분이 뉴런을 기본 구성단위로 하고 있으며, 뉴런의 신경돌기가 서로 연결되어 있지 않은 채로 서로 교신하는 것임을 주장했습니다. 이 위대한 발견은 실증적인 뇌 연구의 시작이 되었습니다. 계측공학 분야를 응용하여 뇌전도를 분석하거나, 화학공학 분야를 응용하여 뉴런 사이의 신경전달물질을 연구하거나, 유전공학을 통해 뇌의 가소성을 연구하는 등 발전적인 융합연구의 결과가 계속해서 나오고 있습니다. 현재 뇌과학은 반세기 동안 10개가 넘는 노벨상을 배출하는 각광받는 연구분야가 되었습니다.

여러분은 혹시 신기술에 대한 내용을 기대하며 기사를 읽고 있는데, 어려운 심리철학적 내용만 나와서 당황하셨나요? 그런 독자 분들을 위해, 최근 인지과학과 공학에서는 어떤 발전이 있었는지를 알려드리겠습니다. 먼저, 계산적 기능주의의 배경과 뉴런의 발견으로 인지과학에서는 신경망의 뉴런들이 서로 개별로는 결정론적인 의미가 없는 신호를 병렬적으로 주고받지만, 이러한 행위를 통해 업데이트된 가중치가 곧 심적 상태가 된다는 연결주의 모델을 제시했습니다. 인공지능 분야에서는 이 모델을 본떠서 인공신경망이라는 알고리즘을 만들었고, 이 알고리즘은 다시 오랜 연구 끝에 지금과 같은 고성능 빅데이터 분석을 가능케 했습니다. 인공신경망 분야의 변천사와 실제 뉴런과의 차이점은 말하자면 길기 때문에 다른 기사를 통해 소개해드리는 것으로 하고, 여기서는 심리학과 공학의 상호발전을 이루었다는 내용만 강조하도록 하겠습니다. 인공신경망으로 만든 고성능의 모델이 소비자의 심리 등을 행동주의적으로 분석하는 데에 다시 도움이 되고 있다는 것이지요.

그렇다면 뇌과학 분야의 공학적인 발전은 어떻게 이루어지고 있을까요? 바로 꿈을 설명하는 연구가 활발히 진행되고 있다는 사례를 소개해드릴 수 있겠네요. 예로



▲ 라몬 카할의 두뇌 신경망 그림



▲▲ 생각만으로 드론을 조종해 승부를 가르는 '브레인 드론 레이스'

부터 꿈은 예언을 나타내거나 심리적인 의미를 상징한다고 생각되어왔는데, 과학자들이 말하는 꿈은 기억의 재구성을 도와주는 뇌의 한 기능일 뿐입니다. 지금은 꿈을 꾸는 상태의 뇌파와 안구 움직임을 분석하여, 꿈을 꾸는 시간을 측정하거나 꿈에서 보이는 것을 대략적으로 영상화하는 단계까지 이르렀다고 하네요. 이 외에도 뇌를 기계에 직접 연결하여 조작하는 시스템인 BCI 분야도 활발히 연구되고 있습니다. 생각만으로 드론을 조종하거나, 뇌파를 분석하여 자율운전을 경고하거나, 심지어 마음대로 움직이면서 촉각까지 뇌로 전달할 수 있는 의수를 제작하는 연구까지 진행되었습니다.

결론적으로, 이처럼 심리학과 공학은 신경과학을 연결고리로 서로 상호작용하면서 발전하고 있다고 할 수 있습니다. 최근에서야 활발히 이루어지고 있는 학문 간의 융합은 직관적으로 믿어지던 '영혼' 같은 개념들을 한번에 뒤집어 버리고는 합니다. 몇몇 사람들은 인간의 마음을 물리적으로 낚날이 파헤치는 것을 거부하기도 합니다. 종교적인 신념, 악용의 위험, 인간의 존엄성, 인공지능의 법적 지위 등을 이유로 들면서 말이지요. 하지만, 저는 이렇게 마음의 실체를 알아가는 연구를 피해서는 안 된다고 생각합니다. 나라는 존재가 그저 물리적인, 무가치한 존재가 아닐까라는 두려움을 떨치고 본인이 생각하는 원리를 파헤치는 과정에서 더 객관적이고 합리적인, 더 '인간적인' 결정을 할 수 있게 될 테니까요. 만약 인간의 모든 심리 상태가 완전히 분석되는 날이 온다고 해도, 독자 여러분은 그것이 결코 자신의 무가치함을 의미하지는 않는다는 것을 알아두시길 바라면서 기사를 마칩니다. 공상

개미만큼 작아진 '나'를 상상하며 미니어쳐 세계에서의 과학



글
전해성, 전기정보공학부 1

편집
이정윤, 건축학과 3

- ▼ 세포로 이루어지지 않은 머리카락 등의 신체 부위를 제거하는 <다운사이징> 기술 과정
- ▼ '핍 입자'를 바라보는 <앤트맨>의 주인공, 스콧

작아진 우리의 모습을 상상해보는 것은 전 세계 사람들의 공통된 호기심 중 하나인 것 같습니다. 소설 『결리버 여행기』, 『이상한 나라의 앨리스』부터 영화 <애들이 줄었어요>, <다운사이징>, 그리고 <앤트맨>까지, 엄지만큼 작아진 우리의 모습에 대한 상상력을 자극하는 책과 영화들은 셀 수 없이 많습니다. 그중에서도 시물레이션과 과학적 고증을 거쳐 제작된 SF 영화들을 볼 때면 '미래에는 인간을 단숨에 미니어쳐 사이즈로 축소시키는 기술이 실제로 개발되지 않을까?'라는 생각이 들기도 합니다. 과연 이러한 일이 가능할까요? 나만 작아진 세계에서는 어떠한 일이 일어날까요? 영화 속 장면들을 보며 함께 상상해봅시다!

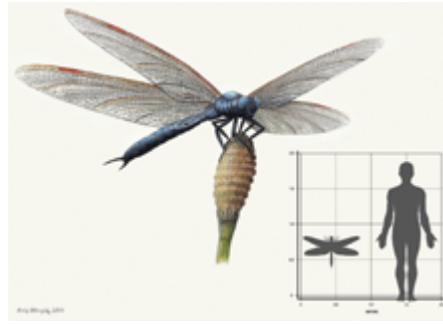
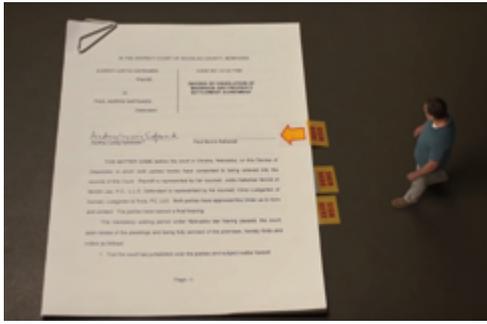
● 내 모습 그대로 작아지는 것은 가능할까?

영화 <다운사이징>에서는 사람들이 세포 하나하나의 크기가 작아지게 하는 주사를 맞고 부피와 무게가 기존의 0.036%로 줄어듭니다. 영화 <앤트맨>에서는 주인공이 원자를 구성하는 단위입자 간 거리를 줄어든게 하는 '핍 입자'의 효과가 적용된 앤트맨 슈트를 입자 말 그대로 개미만 한, 시리얼 조각보다 작은 크기로 단숨에 줄어듭니다. <다운사이징>에서는 생물체에만 적용될 수 있는 방법을 채택한 반면, <앤트맨>에서는 기본 입자의 구성을 바꾸는 상대적으로 보편적인 방법을 채택한 것입니다. 하지만 아쉽게도 두 방법 모두 실현 가능성은 매우 낮습니다.

그렇다면 왜 이러한 영화 속 축소 기술들은 현실에서 구현되기 어려울까요? 그 이유를 자세히 알아봅시다. 먼저 <다운사이징>의 방법처럼 각 세포들의 크기를 축소할 경우, 세포들의 부피 대비 단면적의 비율이 크게 늘어나고, 이에 비례하는 세포의 대사 속도가 지나치게 활발해집니다. 몸의 크기와 함께 위의 크기도 작아지면서 먹는 양에는 한계가 있는 반면, 신진 대사로 에너지가 빠르게 소모되며 생체 에너지의 심각한 불균형이 일어나 생명을 유지하기 어려워질 것입니다. 인간의 신체는 화학적 반응에 따라 생명 활동을 조절하는 세포들로 이루어져 있기 때문에, 단순히 반도체 소자를 축소시켜 집적 회로를 만들 듯 우리의 몸을 축소시킬 수는 없습니다.

다음으로, 현실에서 <앤트맨>으로 변신할 수 있다면 '핍 입자'는 엄청난 에너지를 방출하는 동시에 에너지를 흡수하여야 한다는 모순이 발생합니다. 먼저, 원자 내부의 빈 공간을 줄여 전체적인 물체의 크기를 축소시키기 위해서는 핍 입자가 원자핵과 전자 간의 반발을 이겨낼 수 있는 큰 에너지를 원자에 공급해주어야 합니다. 이후 몸의 크기가 줄어드는 찰나의 순간, 'E=mc²'으로 표현되는 자연의 기본 법칙인 '질량-에너지 보존 법칙'에 따라 질량의 변화량에 대응되는 엄청난 크기의 에너지가 방출될 것입니다. 이 폭발을 막기 위해서는 요술 입자인 핍 입자가 방출되는





◀◀ <다운사이징> 주인공의 크기를
실감할 수 있는 사진
◀ 그리핀 플라이와 인간의 크기 비교

에너지를 흡수하여야 할 것입니다. 과연 물리 법칙을 뛰어넘는 물질, 펴 입자를 찾을 수 있을까요?

● **미니어처 세계에서 일어나는 재미있는 현상들**

설령 위의 방법들이 불가능하다 하여도, 상상 속에서는 작아진 우리의 행동을 그려볼 수 있습니다. 우선 생물학적 관점에서, 신체의 열손실을 막기 위해 우리는 보온성이 뛰어난 단열재를 입고 다녀야 할 것입니다. 우리가 현재의 모습에 비례하여 키가 0.1배로 축소된다면, 질량은 0.001배가 되는 반면, 면적은 0.01배가 되므로 질량 대비 면적의 비율은 기존의 10배가 됩니다. 이때, 면적에 비례하는 피부를 통한 열손실률로 우리는 질량에 비해 큰 열량을 소모하게 될 것입니다. 즉, 같은 환경이라도 미니어처 세계에서 작아진 신체는 더 춥거나 더 덥게 느끼기 때문에 항상성을 유지하기 위해 더 균분투해야 할 것입니다.

이처럼 신체가 축소될 때 열손실은 피하기 어렵지만, 한 가지 다행인 점은 근육단면적은 걱정하지 않아도 된다는 점입니다. 질량 대비 피부 단면적이 넓어지는 만큼, 근육의 단면적도 넓어지기 때문에 작아진 우리는 질량에 비해 강한 힘을 쓸 수 있게 됩니다. 개미가 자기 몸무게의 5,000배에 달하는 물체를 들어 올릿듯, 우리가 차 하나쯤 거뜬히 들어올리는 것이 허무맹랑한 이야기가 아닌 과학적으로 일리 있는 이야기일 수 있습니다.

우리가 만약 개미만큼 작아진다면, 평소에 무시했던 표면 장력과 같은 전자기력의 효과를 확실히 체감하게 될 것입니다. 몸의 크기가 줄어드는 만큼 질량 대비 면적 비율이 커지므로, 발바닥을 통해 느껴지는 중력에 의한 압력은 작아지고, 물과 접촉할 때 느껴지는 부착력은 더욱 커질 것입니다. 목이 팔라서 따끈 물이 컵에 붙어 흐르지 않게 될 수 있으며, 빗방울에 개미가 갇혀 아등바등하는 것이 더 이상 남의 이야기가 아닐 수도 있습니다. 이처럼 접촉 면적에 비례하는 유체의 응집력과 부착력의 효과가 작은 스케일에서 돋보이는 현상을 이용하여 나노·마이크로 차원의 미세한 밸브와 펌프 등을 구현하는 학

문인 '미세유체공학'에 대한 연구가 더 활발해지지 않을까, 상상해봅니다.

● **이미 우리는 소형화된 세계에 살고 있다!**

현재의 자연은 이미 수억 년 전에 소형화를 거친 상태라는 것을 알고 계셨나요? 데본기나 페름기 말에 급격한 기후 냉각 등의 이유로 생물 대멸종이 일어난 후, 살아남은 대부분의 생물 종들은 이전보다 작은 크기를 갖게 되었습니다. '릴리퓏 효과'라고 일컫는 이 현상은, 대기 중 산소 농도가 낮아짐에 따라 대사 활동을 활발히 하기 위하여 몸의 크기를 줄여 체적 대비 표면적을 넓히는 방향으로 생물들이 진화한 결과입니다. 그 예시로, 산소 농도가 35%까지 급상승했던 석탄기 당시에 날개의 폭이 70cm에 이르렀던 곤충인 '그리핀 플라이'는 현재 손바닥만 한 잠자리의 조상이라고 합니다. 이처럼 우리의 몸이 단숨에 작아지는 것이 당장에는 일어나기 어려운 일이지만, 먼 미래에는 인류가 진화를 거쳐 '엔트맨'만 한 몸의 크기를 갖게 될 날이 올지도 모릅니다.

지금까지 살펴본 영화 <다운사이징>과 <엔트맨>은 공통적으로 작아진 인간에 대한 이야기를 다루고 있습니다. 두 영화의 또 다른 공통점은 주인공들이 사랑하는 이들을 지키기 위하여 음모를 꾸미는 배후 세력에 맞서 싸운다는 점인데요, 신체의 크기는 작아졌지만 더욱 강력한 사랑과 정의의 힘을 가진 주인공들을 응원하게 되는 영화들이었습니다. 그리고 나도 신체가 개미만큼 작아질 수 있다면 새로운 능력으로 어떠한 일을 할 수 있을지 상상해볼 수 있는 계기가 되었습니다. 작아질 수 있는 특별한 기회가 주어진다면, 독자 여러분은 무엇을 가장 먼저 하고 싶으신가요? 공상

● 데본기와 페름기: 지구의 역사 중 고생대에 해당하는 여섯 개의 기 중에서 각각 시간 순으로 네 번째와 여섯 번째에 해당하는 기이다. 데본기 말은 약 3억 6,000만 년 전, 페름기 말은 약 2억 5,000만 년 전의 시대이다.

재료공학부를 소개합니다

STEP 01

재료공학부가 궁금해요!

STEP 02

연구실 인터뷰

유전박막 연구실(황철성 교수님)

STEP 03

연구실 동향

신축성 인공 신경,
나트륨이온전지용 고효율 음극재,
이온 신호 증폭 매커니즘

글

곽정원, 에너지자원공학과 2

편집

심수정, 재료공학부 3

그림 출처

<https://youthassembly.or.kr>
<https://www.mdbonedocs.com>
<http://3.bp.blogspot.com>
<https://www.lg.com>

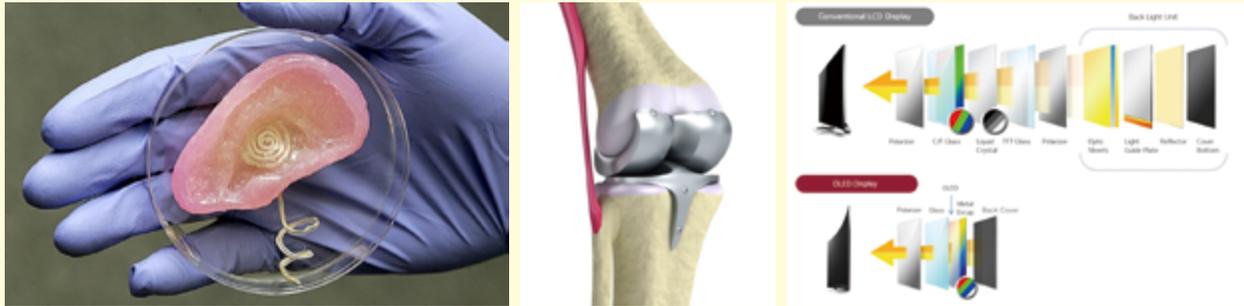


광섬유(전자재료의 예시)

우리는 인류의 선사 시대를 흔히 석기시대, 청동기시대, 철기시대로 구분하며, 현재는 플라스틱 시대에 살고 있다고 표현합니다. 이렇듯 하나의 시대에 이름을 붙일 때는 주로 사용된 재료를 붙이는데요, 이것은 도구의 재료를 통해 문명의 발달 정도를 가늠할 수 있기 때문입니다. 이처럼 재료는 문명과 큰 영향을 주고받으며 발달해 왔고, 재료공학은 오랜 시간 동안 인류가 다룰 수 있는 기술의 범위를 넓혀주며 아주 중요한 학문으로 자리잡아 왔습니다. 그렇다면 재료의 성질과 사용을 탐구하는 재료공학부에 대해 더 자세히 알아보을까요?

서울대학교 재료공학부는 서울대학교가 설립된 시기인 1946년부터 ‘섬유공학’이라는 이름으로 시작하여 최종적으로는 금속공학과와 무기재료공학과, 섬유고분자공학과가 합쳐져 2000년에 하나로 통합된, 아주 오랜 전통과 역사를 가진 학부입니다. 그만큼 규모도 크고 연구 범위도 굉장히 넓은 학부예요.

그럼 재료공학부에서 다루는 재료와 재료공학에 대해 간단히 설명해드리겠습니다. 재료란 물체를 구성하는 물질을 말합니다. 다시 말해, 세상의 모든 것들은 다양한 재료로 이루어져 있다고 말할 수 있죠. 인간은 자연에서 얻은 재료를 그대로 사용할 뿐 아니라, 물리적 힘이나 열을 가하는 등의 과정을 통해 재료의 성질을 바꾸어 사용하기도 합니다. 재료를 용도에 맞게 가공하고, 튼튼하고 오래가도록 하기 위해서는 재료의 내부 구조에 따른 여러 성질들을 이해하고 잘 조절하는 것이 매우 중요하죠. 재료공학부에서 공부하는 **재료공학**을 한 문장으로 정의해보면 공업의 원료로 사용되는 여러 재료들의 물리, 화학적 특성들을 알아내고, 그 특성들을 바탕으로 인간의 요구에 맞게 재료를 설계, 합성, 부품화하는 방법에 대해 연구하는 학문이라고 할 수 있습니다. 전통적으로 재료를 금속, 고분자, 세라믹으로 분류합니다. 먼저, 금속재료란 철이나 구리처럼 금속 원소로 구성된 재료를 말합니다. 금속재료는 단단하고 강하며, 연성* 또한 뛰어나 파괴가 잘 일어나지 않아 하중을 버티는 구조용 재료로 주로 사용되죠. 순수한 금속은 연하고 부식에 약해서 수 % 미만의 비금속 원소나 다른 금속 원소를 첨가한 합금으로 물성을 개선해서 사용하고 있습니다. 고분자 재료란 단량체 분자들이 화학반응을 통해 반복적으로 결합하여 긴 사슬을 이룬 재료를 말합니다. 플라스틱 시대를 살고 있는 우리 주위의 많은 물건들이 탄성이 좋은 고무, 가벼운 스티로폼, 강도가 큰 폴리에틸렌처럼 다양한 고분자 재료로 이루어져 있어요. 세라믹(ceramic) 재료는 무기재료라고도 불리며, 금속과 비금속 원소의 조합으로 이루어진 재료를 말하는데요, 전통적인 세라믹 재료인 점토, 시멘트, 유리와 더불어 현대에는 전자재료로 많이 사용됩니다. 금속만큼 딱딱하고 강하지만, 잘 늘어나지 않아서 깨지기 쉬우며 열이나 전기가 잘 전달되지 않는다는 특징도 있습니다.



▲ 왼쪽부터 인공장기(바이오 재료의 예시), 인공 관절(바이오 재료의 예시), LCD, OLED(전자재료의 예시)

이전에는 목적에 따라 전통적인 분류의 재료 중 적절한 것을 선택했다면, 현대의 공학자들은 재료의 사용 목적이 다양해짐에 따라 전통 재료를 결합한 하이브리드 재료를 개발했습니다. 간단한 예로, 고분자 모재에 금속 섬유를 첨가해서 가볍고 잘 늘어나면서 강도도 좋은 재료를 만들 수 있겠죠? 또, 재료 간 장벽이 허물어짐에 따라 재료를 목적에 따라 분류하기 시작했어요. 대표적으로 생물을 원료로 하거나 생물의 특성을 모방한 재료, 또는 의료 목적으로 사용되는 **바이오 재료**와 전기적 성질을 가져 전자제품에 사용되는 **전자재료**가 있어요.

현대 사회는 정밀기계, 전기전자, 우주항공, 에너지공학, 환경공학과 같은 첨단산업의 발달과 더불어 급격히 변화하고 있는데요, 이러한 발전의 근간이 되는 분야가 바로 재료공학입니다. 재료공학은 인류의 오랜 꿈이었던 우주 개발 분야에 우주왕복선의 단열재를, 도시 건설 과정에 필요한 무기재료를 제공하며 인류 문명의 발전에 기여했습니다. 또, 우리나라가 공업 선진국으로 발돋움하는 데 있어 자동차와 조선산업 등 기계공업 분야에 철강재료를 공급해 국가경쟁력 강화에 보탬이 되었죠. 세계 시장의 우위를 선점하고 있는 반도체공업의 발전 뒤에는 수많은 재료공학도의 공정 개발 노력이 있었으며, 웰빙 및 바이오 산업을 통해 열릴 새로운 세상을 위해서 신개념 플라스틱 재료의 개발을 위한 연구들이 진행되고 있습니다. 이렇듯 재료공학은 항상 과제 해결의 중심적인 역할을 해왔습니다.

어떠한 재료로부터 원하는 성능을 최대화하기 위해서는 그 재료에 대한 거시적(macroscopic)^{●●} 이해와 미시적(microscopic)^{●●●} 이해가 동시에 필요합니다. 재료공학에서는 원하는 거시적인 성질을 얻기 위해 공정과 미세 구조를 조절하게 되는데, 이들을 일컬어 재료의 미시적 이해라고

하며 구조-공정-성질 간의 깊은 연관관계에 의해 재료의 거시적 이해인 성능이 좌우됩니다. 그러므로 물리와 화학, 수학 등 기초학문에 대한 이해는 물론이고, 양자론적, 통계 역학적 이해 또한 필요합니다. 이처럼 재료공학은 자연 과학적인 지식을 기초로 삼아 공학으로 응용한다는 점에서 자연과학과 공학의 연결고리 역할을 합니다.

재료를 얻은 후에는 최대 성능이 발휘될 수 있도록 적합한 제품에 적합한 용도로 잘 사용해야 합니다. 예를 들어, 반도체 재료 및 공정을 공부하는 사람은 반도체가 무엇인지 알아야 하고, 자동차에 쓰이는 박판을 제작하는 사람은 자동차의 운행을 위해 박판이 갖춰야 하는 강도, 인성, 가공성 등의 기본적인 조건을 잘 알고 있어야 할 것입니다. 따라서 재료공학은 그 응용분야까지 폭넓은 공부가 진행되어야 하고, 이에 대한 다양한 접근을 위해 기초 학문과의 연계가 필요하다는 점에서 전 학문 분야를 아우르는 종합학문이라고 말할 수 있습니다.

이렇게 재료공학부를 소개해 드렸는데요, 이제 재료공학부가 무엇을 공부하는 학부인지 조금은 아시겠나요? 재료공학부에서는 워낙 광범위한 분야를 공부하다 보니 다양한 분야에서 새로운 지식을 배우는 것을 즐기고 미시세계와 거시세계를 연결해서 볼 수 있는 과학적 통찰력이 있는 학생들에게 적합할 것 같아요! 그럼 열심히 공부하셔서 꼭 재료공학부에 입학하시길 기원하면서 저는 서울대학교 공과대학에서 여러분을 다시 뵙길 기다리고 있겠습니다!

- 물질이 탄성 한계 이상의 힘을 받아도 부서지지 아니하고 가늘고 길게 늘어나는 성질.
- 사람의 감각으로 식별할 수 있을 정도의, 사물이나 현상을 전체적으로 분석, 파악하는.
- 사람의 감각으로 직접 식별할 수 없을 만큼 몹시 작은 현상에 관한, 사물이나 현상을 전체적인 면에서가 아니라 개별적으로 포착하여 분석하는.

STEP

01

재료공학부가 궁금해요!

글
이다원, 조선해양공학과 3

편집
심수정, 재료공학부 3

본 기사는 서울대학교 재료공학부 학우들의
도움을 받아 작성하였습니다.

- ▼ 교수님 초청 강연
- ▼ 포스터 발표



서울대학교 재료공학부만의 차별화된 점에는 어떤 것이 있나요?

서울대학교 재료공학부의 영문 명칭은 'Material Science and Engineering'으로, 컴퓨터공학부를 제외한 다른 서울대학교 공과대학 학과들과는 달리 이름에 'science'가 들어가는 학과입니다. 또한, 서울대학교 재료공학부는 금속공학과, 무기재료공학과, 섬유고분자공학과가 통합되어 탄생한 학과이기도 합니다. 이 두 가지 특징이 서울대학교 재료공학부만의 차별점이 될 수 있을 것 같아요. 먼저, 명칭의 'science'와 'engineering'에서 알 수 있듯 재료공학부에서는 재료과학과 재료공학에 해당하는 내용을 모두 다루고 있어요. 즉, 원하는 성질의 재료를 만들어내기 위한 재료공학뿐 아니라 자연과학의 측면에서 재료의 구조와 이로 인한 물리적, 화학적 성질 간의 관계도 공부한다는 것이 재료공학부의 차별화된 특징 중 하나입니다. 두 번째로, 여러 학과가 합쳐져서 탄생한 학과인 만큼 배우는 범위가 매우 넓습니다. 서울대학교 재료공학부의 '우주에서 나노까지'라는 슬로건에서 알 수 있듯이 우주재료, 구조재료, 에너지/환경, 디스플레이, 바이오재료, 반도체에 이르기까지 다양한 분야를 공부할 수 있다는 것 또한 재료공학부만의 차별점이라고 할 수 있을 것 같습니다.

재료공학부에서는 어떤 내용을 배우나요?

재료공학부의 기본적인 학문적 방향은 재료의 물성을 측정하고, 적절하게 사용하거나 개선할 방법에 대한 연구에 있어요. 재료공학부의 학부 과정에서 다루는 재료는 크게 금속, 세라믹, 고분자로 나누어 생각할 수 있습니다. 먼저, 구조재료로 쓰이는 금속의 경우에는 주로 합금에 대한 연구가 이루어집니다. 금속이 힘을 받을 때 어떤 변화가 일어나는지를 연구하고, 두 개 이상의 금속을 다양한 비율로 섞어 원하는 성질을 얻기 위한 여러 가지 가공 방법을 배워요. 두 번째로, 반도체로 많이 쓰이는 세라믹과 관련해서는 재료의 전자기적 성질이나 전기 회로의 구성 등을 배웁니다. 마지막으로 고분자 분야에서는 대부분 고전적인 고분자 합성, 즉 나일론 같은 섬유나 PP, PET와 같은 재료의 합성을 주로 다루어요. 공중합(copolymerization)처럼 폴리머를 합성하는 방법과 이러한 폴리머의 물성, 또 원하는 물성의 폴리머를 만들기 위해 공정을 어떻게 설계해야 하는지 등을 다룬답니다. 이뿐만 아니라 각 재료의 장점을 취하는 복합재료의 발달과 새로운 산업 분야의 요구로 최근 부상한 배터리와 생체재료 분야에 대해서도 배웁니다. 자세한 내용은 커리큘럼 표를 참고해주세요!

재료공학부의 졸업 후 진로가 궁금합니다!

앞서 살펴보았듯이, 재료공학부에서 다루는 학문의 범위는 매우 넓어요. 따라서 학생들이 선택할 수 있는 진로도 굉장히 다양합니다. 먼저, 약 3분

▼ 기업 채용 상담 부스



[표 1] 학사과정 전공과목 이수표준형태 (*는 전공필수과목)

	I	II
1		*재료공학원리
2	*재료물리화학1 재료역학개론 *유기재료화학	재료현대물리 *결정학개론 재료수치해석 *재료물리화학2
3	*재료열역학 *재료실험 1,2 *재료의 기계적 거동 물리아금학 재료기기분석 고분자재료화학 재료이동현상론 재료구조분석 재료바이오입문	*재료상변태 *재료의 전자기적 성질 *재료실험 1,2 고분자재료물리 세라믹스물리화학 재료공정통계분석 및 설계 재료세미나 제련공학 전기회로 재료반응공정 및 설계
4	*재료종합설계 *재료종합실험 금속재료학 반도체집적공정 유기재료공학 전자세라믹스 분자전자재료 전산재료학 생체의료용재료 재료결정결함	*재료종합설계 *재료종합실험 응용전기화학 세라믹스공정 박막소자 및 응용 스핀재료과학과 응용 에너지재료 및 소자 나노기술과 재료 디스플레이 재료 및 소자 최신 반도체 재료 및 소자

의 2 정도의 학생들은 학부 졸업 이후 대학원의 석사과정에 진학합니다. 재료공학부에서 다루는 분야가 넓기 때문에, 관심 분야에 대해 더욱 심화된 공부를 하고자 하는 학생들이 많기 때문이지요. 석사과정을 졸업한 이후에는 대부분이 박사과정에 진학하고, 이후에는 교수가 되거나 KIST(한국과학기술연구원), KIMS(재료연구소), 혹은 각종 기업의 연구직으로 진출합니다. 또 학사 혹은 석사 학위 취득 후에는 반도체를 다루는 삼성전자나 SK하이닉스, 포스코와 같은 철강 기업뿐 아니라 화학기업, 배터리, 차량 분야 등 다양한 기업에 취업하기도 합니다. 최근에는 변리사 혹은 기술고시에 도전하는 학생들도 늘고 있다고 해요.

재료공학부만의 특별한 행사가 있다고 들었는데요, 소개 부탁드립니다!

학부 과정에서 매우 광범위한 분야의 학문을 접하기 때문에 많은 기업체에서 재료공학부 학생을 선호하는 편입니다. 그래서 다양한 과 행사는 기업체로부터 많은 지

원을 받아요. 가장 대표적인 행사로는 매년 열리는 ‘재료한마당’이 있습니다. 재료한마당은 일종의 연구실 투어 및 기업 채용 박람회가 결합된 행사인데요, 삼성전자, SK하이닉스 등 십여 개의 기업체에서 채용 상담 부스를 운영할 뿐 아니라, 재료공학부 연구실마다 소개 부스를 운영하기도 해요. 또한 연구실, 기업체 인턴 우수학생들이 직접 소감과 조언을 발표해주는 자리도 마련되어 있어 앞으로의 진로 설계에 도움을 받을 수도 있습니다. 방학 중에는 연구실 인턴들의 포스터 발표도 같이 진행되기 때문에 하루 동안 학업 계획뿐 아니라 향후 진로 설정까지 근 10년치 미래를 설계할 수 있다고 해도 과언이 아닐 정도로 유익한 행사라고 자부할 수 있습니다. 또 격년마다 교외교육 명목으로 총MT를 가는데, 이 행사에서는 기업체를 직접 탐방해볼 수 있고 편안한 숙소에서 선후배 간의 만남이 이루어지기도 합니다. 이처럼 재료공학부에서는 학부생들의 진로 결정에 도움이 될 만한 여러 행사들을 운영하고 있답니다.

재료공학부, 어떤 학생들이 진학하면 좋을까요?

먼저, 물리와 화학 두 가지 과목을 다 좋아하고 잘하는 친구들에게 추천합니다. 보통 ‘재료공학부’ 하면 물리가 조금 부족하더라도 화학을 잘하면 잘 맞을 것이라고 오해하는 친구들이 많은데, 재료공학부에서는 재료의 기계적, 전자기적인 성질도 많이 다루기 때문에 물리도 굉장히 중요해요. 따라서, 물리와 화학 두 과목에 어느 정도 자신이 있고 흥미가 있는 친구들라면 재미있게 공부할 수 있을 거예요. 또, 자연과학에서 공학까지 다양한 분야를 다루는 학과인 만큼, 다방면으로 융합적인 소양을 쌓고 싶은 학생에게는 재료공학부가 안성맞춤일 것이라고 생각합니다. 관심이 있는 독자 여러분, 주저 말고 도전해 보세요! 공상

STEP

02

연구실 인터뷰

유전박막 연구실

황철성 교수

글

최승현, 재료공학부 1

편집

이기범, 화학생물공학부 2



안녕하세요. 공대상상 독자분들에게 간단한 자기소개 부탁드립니다.

안녕하세요? 저는 1998년부터 21년째 서울대학교 재료공학부 교수로 재직하고 있는 황철성이라고 합니다. 메모리 반도체 분야를 연구하고 있고 반도체 연구소 소장을 맡았던 경력이 있습니다. 학교에서 연구하고 논문을 쓰는데 논문은 600편 정도를 발표하였고, 피인용수로 보았을 때 전 세계 재료학자 중 90위 정도 됩니다(웃음).

전공 분야를 선택하신 이유와 연구자가 되신 계기가 궁금합니다.

제가 대학생이던 1983년, 삼성이 메모리 반도체 산업에 진출하면서 우리나라에서도 반도체 산업이 인기를 얻기 시작했습니다. 산업의 호황에 힘입어 자연스럽게 관심을 가지게 되었고, 당시 지도교수님께서도 잘 이끌어 주셔서 반도체 분야를 연구하게 되었습니다. 그 당시에는 반도체 분야에 대한 투자가 활발해서 우수한 인력이 반도체 분야를 연구하고 공부하는 경우가 많았습니다.

교수님의 주 연구 분야인 유전박막 연구에 대해 구체적으로 설명 부탁드립니다.

전기 회로에서 사용하는 축전기의 극판 사이에는 유전체가 있어 축전기에 전하를 저장할 수 있습니다. 이때 매우 작은 크기의 회로에서는 유전막을 사용하게 되는데, 제 연구는 이런 유전막을 연구해서 축전기에 전하를 많이 저장하는 것에 중점을 두고 있습니다. 특히 이 기술은 DRAM(Dynamic Random-Access Memory)에 주로 사용됩니다. DRAM에서 전압을 제거하면 전하가 빠져나와 정보가 손실되는데, 이때 강유전막을 사용한다면 전압을 제거하더라도 정보를 유지할 수 있습니다. 또한, 유전막을 이용해 전하의 손실을 조절한다면, RLC 회로에서 저항을 변화시켜 저항형 메모리를 만들 수도 있죠. 전력 손실이 적은 저항형 메모리는 AI 개발을 위한 빅데이터 분석에 적합한 뉴로모픽 컴퓨팅에 필수적입니다.

특히 기억에 남는 연구가 있다면 소개해주시기 바랍니다.

기억에 남는 연구는 크게 2가지가 있는데, 첫 번째는 약 10년 전에 저항 변화 메모리의 원리를 규명하는 논문을 작성한 것입니다. 이 논문은 지금까지 1,700번 피인용수를 기록할 만큼 여러 연구자들이 제 연구를 많이 인용했다는 점에서 기억에 남네요. 다음으로는 제가 아니라 제자가 진행한 축전기 연결에 관한 연구입니다. 음의 유전율을 가진 유전체와 양의 유전율을 가진 유전체를 직렬 연결하면 축전기의 전기 용량이 커집니다. 이를 버클리 대학의 교수님께서 발견하셨는데, 그 원리를 정확히 밝혀내는 데에는 어려움이 있었습니다. 그런데, 박사과정에 있는 제 학생이 기존의 이론을 응용해서 복잡한 수식을 해결하고 이를 증명해냈죠. 제가 가르친 학생

• DRAM(디램)이란 정보를 구성하는 신호를 축전기에 저장하는 기억 장치로, 정보 유지를 위해서는 전기 공급이 필요하기 때문에 휘발성 기억 장치에 속합니다.

이 훌륭한 연구를 했다는 것이 무척이나 보람찼습니다. 제가 좋은 논문을 내는 것도 좋지만, 이렇게 제가 지도한 학생이 좋은 연구를 했다는 것이 더 뜻깊은 것 같습니다.

현재 고등학생, 대학생이 반도체 분야에서 어떤 역할을 맡아야 하는지 궁금합니다.

삼성전자, SK 하이닉스와 같은 반도체 기업들이 아직 세계 최고 자리를 유지하고 있는 것은 맞습니다. 하지만 최근 다른 나라 기업들과의 격차가 줄고 있는데, 가장 큰 원인은 인력의 부족입니다. 예를 들어 DRAM같이 오래 전부터 존재해왔던 기술의 경우 사람들이 그 기술에 대해 더 연구하고 대책을 세우려 하지 않습니다. 최근에는 바이오 산업, 에너지 산업 등의 유망한 분야에 사람들이 집중하는 추세이죠. 이렇게 새로운 산업에 인력과 투자가 쏠리면 자연스럽게 기존의 산업이 약화되기 마련입니다. 현재 우리나라의 주력산업인 반도체 산업이 이러한 처지에 놓여있다고 볼 수 있어요. 다른 나라의 기업들처럼 인력을 늘리는 것이 유일한 해결책입니다. 특히, 이번 일본의 수출 제한 문제가 반도체 산업에 타격을 주었는데, 이 또한 인력을 늘려 자체적으로 극복해나가야 합니다. 결국 정부 차원에서의 많은 지원과 학생들의 반도체 분야에 대한 관심이 우리나라 산업의 주축을 담당하는 반도체 산업을 유지하는 데에 도움이 될 겁니다.

DRAM에 대한 말씀을 많이 해주셨는데, 그 분야의 전망이 궁금합니다.

18세기에 고펜츠(Gompertz)라는 사람이 고펜츠 곡선(Gompertz Curve)이라는 것을 제시하였습니다. 이 그래프는 시간에 따라 물건의 판매율이나 산업의 성장률을 표현하고 있는데, 초반에 더디게 증가하다가 점점 급격하게 증가하고, 후반에 어떤 값으로 서서히 수렴하는 형태입니다. 현재 DRAM 산업은 이 그래프의 어디쯤에 와있을까요? 전체를 100퍼센트라 두면 0.03퍼센트, 아직 시작도 안한 분야라고 할 수 있어요. 이렇게 아직 많은 가능성이 남은 만큼 더 많은 인력과 노력이 필요합니다.

연구를 할 때 학생들에게 가장 필요하다고 생각하시는 역량은 무엇인가요?

고등학생이나 대학생은 강의실에서 선생님이나 교수님이 말씀하시는 걸 잘 듣고 시험지에 옮겨 적는 방식으로 공부하게 됩니다. 반면, 대학원생이 되어 연구하는 것은 교과서에 없는 공부를 하는 것이라고 생각할 수 있습니다. 창의력과 남들이 피하는 문제에 도전하는 자세가 필요하기에 주어진 공부만 열심히 한 학생들이 오히려 어려워하죠. 반면, 공부를 하면서 스스로 탐구해보고, 깨우치는 희열을 느껴본 학생들은 연구를 꾸준히 진행하기가 유리하고요. 공부하면서 전구가 켜지듯 무언가 깨우친 경험이 있다면, 이러한 경험들이 연구함에서 어려움에 직면했을 때 연구를 계속하게 하는 원동력이 되고 포기하지 않게 합니다. 창의력을 바탕으로 희열을 느끼고 그 이후로도 연구를 질적으로, 양적으로 좋게 진행하는 것이 중요한 역량이라고 생각합니다.

마지막으로 공대상상 독자분들에게 한마디 부탁드립니다.

지금 연구하는 뉴로모픽 컴퓨팅 같은 AI 기술들은 '인간이 만들어낸' 컴퓨터라는 장치가 '신이 만들어낸' 인간의 뇌라는 장치를 모방하려는 것이죠. 결국 이러한 연구에 필요한 것은 인간이 왜 사고하고 의식하는지 그 본질에 대해 생각해보는 습관과 이 생각을 표현할 수 있는 수학이나 물리 지식들입니다. 어떻게 인간의 의식을 컴퓨터로 구현할 수 있을지 고민해보는 것이 중요합니다. 최근에 제가 읽은 책 중에 에릭 캔델(Eric Kandel)이라는 신경학자가 쓴 『기억을 찾아서』라는 책이 있습니다. 과거 정신과 의사로 일했던 작가는 인간의 정신을 이해하는 것이 너무 추상적이라고 생각하여 정신작용을 화학적 관점에서 설명합니다. 이 공로에 힘입어 결국 2000년에 노벨생리학상을 받게 되는데, 이 책을 읽어보면 기본적인 호기심을 유지하는 것이 연구하면서 얼마나 중요한 원동력이 되는지 알 수 있습니다. 좀 난이도가 있는 책이지만 자신이 무엇을 갖추어야 하는지 알고 싶다면 이 책을 추천해드리고 싶습니다. 공상

STEP

03

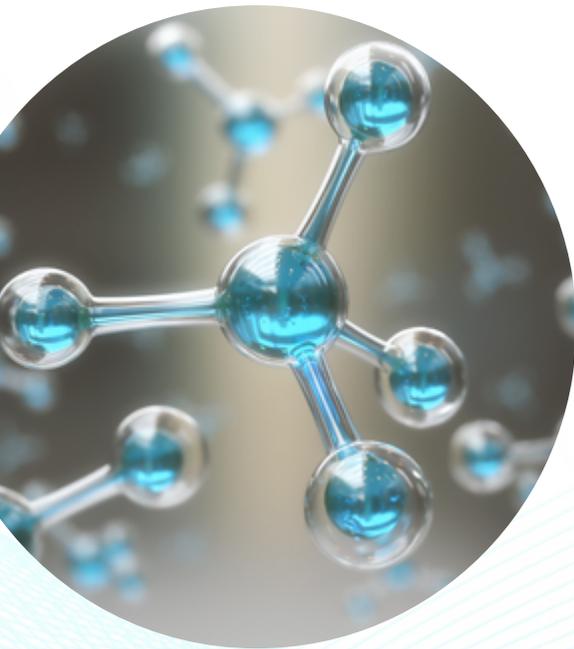
연구실 동향

전 세계가 주목하는 서울대학교 재료공학부의 최신 연구들

신축성 인공 신경,
나트륨이온전지용 고출력 음극재,
이온 신호 증폭 메커니즘

글
곽정원, 에너지자원공학과 2

편집
박보경, 전기정보공학부 3

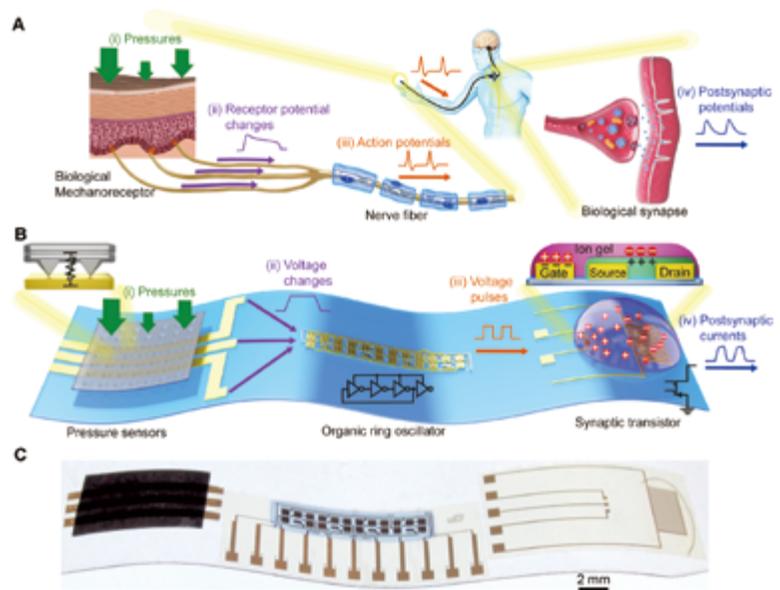


앞서 재료공학부에 대해 전반적으로 알아보았는데, 이번 코너에서는 서울대학교 재료공학부의 최신 연구들을 알아보려고 해요. 서울대학교 재료공학부 교수님들께서 진행하고 계신 수준 높은 연구들을 간략하고 쉽게 살펴보고, 전 세계적으로도 인정받고 있는 서울대학교 재료공학부의 연구 동향에 대해 알아보려고요!

이태우 교수 공동 연구팀, 생물의 감각·운동 신경을 모사하는 신축성 인공 신경 개발

서울대학교 재료공학부의 이태우 교수 연구팀과 스탠포드 대학교의 제난 바오 교수팀이 공동 연구로 개발한 '세계 최초 유기나노소재 기반 생체모방형 인공신경기술'이 과학기술정보통신부와 한국과학기술기획평가원이 선정한 「2019년 국가연구개발 우수성과 100선」의 기계·소재분야의 최우수 성과로 선정되었습니다.

생물학적 신경계는 기존 디지털 컴퓨터로 해결하기 어려운 시각 정보 처리, 음성 처리 등의 실생활 문제를 효율적으로 해결할 수 있다는 장점이



- ▲ 생물체의 촉각 신경과 인공 촉각 신경의 비교.
- (A) 생물체의 촉각 신경이 압력에 자극되는 과정
 - (B) 압력 센서, 유기 링 오실레이터, 유기 시냅스 트랜지스터를 이용한 인공 촉각 신경으로, 생물체의 촉각 신경이 신호를 처리하는 방식과 유사하게 설계되었다.
 - (C) 인공 촉각 신경의 실제 사진

있습니다. 최근 화제가 되고 있는 뉴로모픽 컴퓨터*, 생체 모사 센서, 로봇 제어, 보철기관 등의 분야가 이러한 생물학적 신경계를 구현하기 위해 필요한 연구입니다. 또한 각각의 인공 감각 기관에서 신호를 받아 전송하고 가공할 수 있는 인공 신경에 대한 연구 역시 필요합니다. 그중 이태우 교수 공동 연구팀은 플렉서블 유기 소자를 이용해 생물학적 촉각 신경의 동작 원리를 모사하는 인공 촉각 신경을 구현했습니다.

인공 촉각 신경은 생체 피부 촉각 수용체를 흉내내는 압력 센서, 생체 뉴런을 흉내내는 유기 링 오실레이터**와 생체 시냅스를 흉내내는 유기 시냅스 트랜지스터로 구성되어 있습니다. 인공 촉각 수용체로부터 받은 압력 정보는 인공 뉴런을 거치며 활동 전위로 바뀌게 되고, 여러 활동 전위들이 모여 인공 시냅스를 자극합니다. 인공 촉각 신경은 위의 과정을 통해 물체의 울퉁불퉁함, 물체 움직임 방향, 시각 장애인용 점자 정보를 처리할 수 있습니다. 나아가 움직이지 못하는 곤충(바퀴벌레)의 다리에 있는 생물학적 운동 신경과 인공 촉각 신경을 연결하여 움직임을 제어하는 데에도 성공하였습니다. 이러한 유기 소자는 화학적으로 특성을 조절하기 쉽고, 유연한 성질 덕분에 생물체처럼 만들 수 있다는 장점이 있습니다. 또, 생체 신경의 기능이나 신호처리 방식을 직접적으로 모사할 수 있는 유기 소자를 이용하면 생체 신경 모사 시스템의 설계를 간단하게 하거나 전력 소모를 줄일 수 있다고 합니다.

본 연구는 사람같이 행동하는 로봇, 신경 일부분에 장애가 있는 사람들을 위한 보철장치 개발 등에 새로운 패러다임으로 자리매김할 것으로 기대되며, 더 나아가 신경장애로 생기는 치매 등의 난치병 치료에도 쓰일 것으로 기대되고 있습니다. 그 결과를 인정받아 2018년에 세계 최고 권위의 국제 학술지인 *Science*와 *Science Advances*에 논문이 게재되기도 하였습니다.

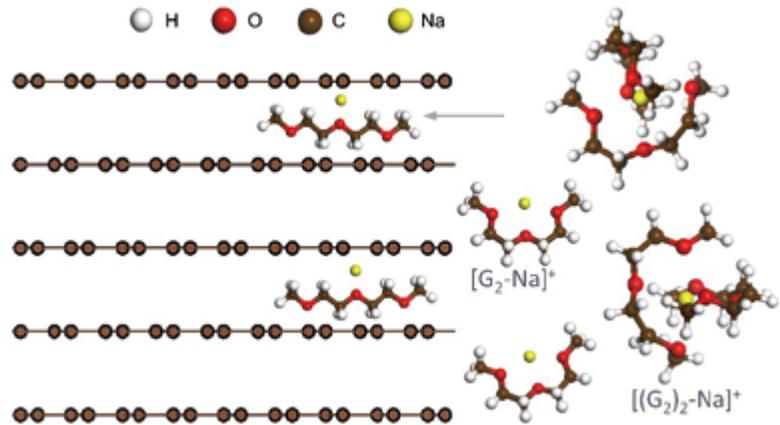
강기석 교수 연구팀, 차세대 나트륨이온전지용 고출력 흑연 음극재 개발

재료공학부 강기석 교수팀은 값싼 흑연을 이용해 차세대 나트륨이온전지용 고출력 음극재 개발에 성공했는데, 이번에 개발된 전지는 현재까지 보고된 나트륨전지 중 가장 높은 출력 밀도를 나타낸다고 합니다. 지구상에 풍부한 나트륨을 이용하는 나트륨이온전지는 리튬이온전지를 대체할 차세대 에너지 저장 기술로 각광받고 있습니다. 이에 연구팀은 값싼 흑연을 이용하면서도 빠른 충전과 방전 속도를 구현할 수 있는 흑연 음극재를 적용한 나트륨이온전지 기술을 제안하고 개발하는 데 성공하였습니다.

● neuromorphic computer. 뉴런의 형태를 모방한 회로로 만들어져 인간의 뇌와 같은 기능을 모사하는 컴퓨터.

●● organic ring oscillator. 유기 물질로 이루어진 링 오실레이터. 링 오실레이터란 홀수 개의 인버터를 사슬(chain)모양으로 구성하여 출력이 두 전압(하나는 true, 또 하나는 false) 사이를 왕복하도록 만든 장치를 말한다. 주로 집적회로의 클럭 발생기로 활용된다.





▶ 흑연 층간 이온-용매 공동삽입 메커니즘 모식도.

연구팀은 먼저 나트륨이온이 단독으로 흑연 층간에 삽입되는 반응이 열역학적으로 불안정하다는 기존의 한계를 극복했는데요, 나트륨이온이 이온-용매 공동 삽입 메커니즘을 통해 흑연 층간에 삽입될 수 있음을 입증하였습니다. 또한 공동 삽입 반응의 전압을 최대 0.38V까지 조절함으로써 흑연 기반 나트륨이온전지의 에너지밀도를 극대화하였고, 그 결과 연구팀이 개발한 신규 전지는 $3,863 \text{ W kg}^{-1}$ 라는 매우 높은 파워밀도*를 지녔으며, 1,000회 이상 반복된 충전/방전에도 사이클당 0.007%의 미미한 용량 감소만을 보여, 현재까지 보고된 나트륨이온전지 중 가장 좋은 성능을 나타냈다고 합니다.

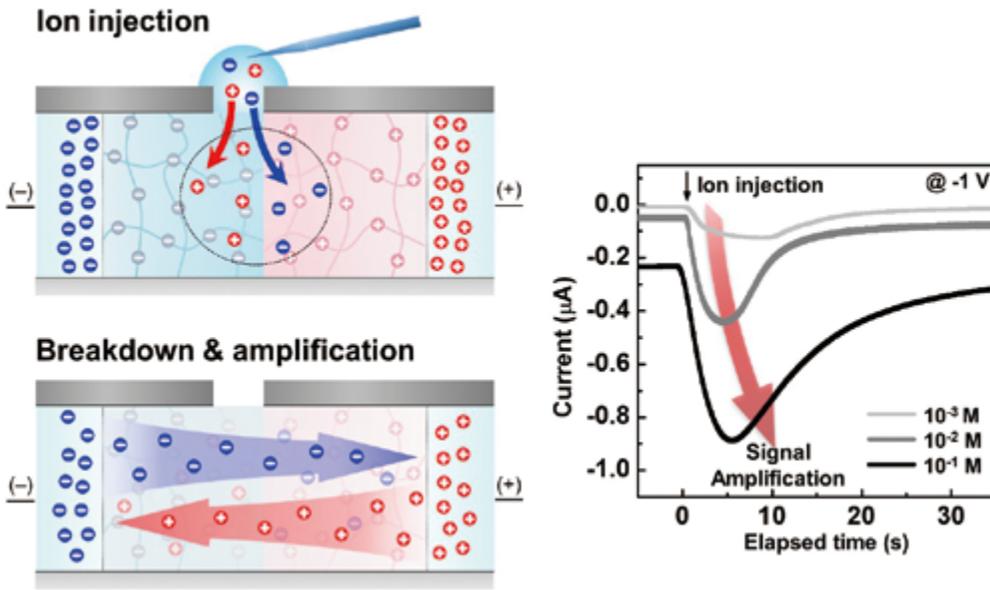
본 연구는 유기물 소재인 유기 용매가 탄소 내에 삽입된다는 중요한 현상을 발견하였다는 점에서 매우 의미 있으며, 이를 활용한 공동 삽입 메커니즘이 나트륨이온전지 개발의 새 방향을 제시할 것으로 기대되고 있습니다. 이러한 연구결과를 인정받아 세계적인 학술지인 네이처 커뮤니케이션즈(Nature Communications)에 게재되었으며, 저널의 하이라이트(Editors' Highlights) 페이지에 우수 연구 성과로 소개되기도 하였습니다.

선정운 교수 공동 연구팀, 이온 신호 체계에서 발생하는 증폭 메커니즘 최초 규명

재료공학부 선정운 교수, 주영창 교수, 화학부 정택동 교수의 공동 연구팀이 이온 신호 체계에서 발생하는 증폭 메커니즘을 최초로 규명했습니다. 최근 웨어러블 소자 제작 기술이 발전함에 따라 전자소자를 인체에 삽입시켜 생체 신호를 더욱 긴밀하게 얻기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있는

● 파워밀도란 전력 밀도라고도 부르며, 단위 부피당 생성되는 전력의 양(에너지 전달의 시간 비율)을 말한다.

● 전산모사란 컴퓨터를 이용하여 소자 및 재료의 특성, 현상을 분석하고, 새로운 소자의 설계와 개발에 직간접으로 이를 적용하는 연구 방법론의 하나이다.



◀ 이온 신호 체계 모식도와 실험 결과 그래프.

데요, 우리 몸은 전자가 아닌 이온의 흐름에 기반한 신호 전달체계를 갖고 있어 신호 전달 효율에 대한 근본적인 한계가 있습니다. 이에 공동 연구팀은 이온 전도성 물질인 하이드로젤을 기반으로 하여 외부 환경으로부터 발생하는 이온 신호를 직접적으로 받아들이는 소자 및 시스템을 구현해냈고, 이를 통해 생체 시스템에서 분출하는 이온의 양에 근접한 미세 이온 신호를 손실 없이 감지할 수 있게 되었습니다.

연구팀은 나아가 이온 신호 체계에서 발생하는 증폭 현상을 최초로 발견해 전기화학적, 광학적, 전산모사^{●●} 등의 분석을 통해 체계적인 메커니즘을 규명하는 데 성공했는데요, 특히 연구팀이 제안한 방법은 생체에서 나오는 이온 신호를 직접 감지하고 증폭해 최종적으로 이온 신호의 형태로 전달할 수 있기에 우리 몸에서 발생하는 다양한 신호와 직접적인 연동이 가능하다는 것이 장점입니다.

현재는 제작된 이온 소자 위에 다양한 세포를 결합해 실제 생체 신호를 직접적으로 교류하기 위한 연구를 추가적으로 수행 중이며 이를 통해 향후 생체 시스템과 인공 시스템 간 간극을 좁힐 수 있는 혁신적인 방법을 제시할 수 있을 것이라고 합니다. 본 연구는 그 성과를 인정받아 세계적인 학술지인 PNAS에 게재되었습니다. 공상

● 파워밀도란 전력 밀도라고도 부르며, 단위 부피당 생성되는 전력의 양(에너지 전달의 시간 비율)을 말한다.

●● 전산모사란 컴퓨터를 이용하여 소자 및 재료의 특성, 현상을 분석하고, 새로운 소자의 설계와 개발에 직간접으로 이를 적용하는 연구 방법론의 하나이다.

참고 사이트

<https://eng.snu.ac.kr>

<https://science.sciencemag.org>

<https://eng.snu.ac.kr>

<https://eng.snu.ac.kr>

재료바이오 입문

STUDY

재료공학자의 눈으로 바라본 생명



햇살을 담백 머금고 자라는 한 포기 풀, 병마와 싸워 이겨낸 사람의 기적적인 이야기, 또 사랑하는 부모님을 닮은 여러분의 모습. 생명이란 참 놀랍습니다. 모든 생명체들이 각자의 치밀하고 알뜰한 작전을 가지고 있죠. 그래서 인류는 다른 생명체의 멋진 계획들을 늘 흠모해 왔습니다. 그들을 그대로 따라하기도, 때로는 영감을 얻어 재창조하기도 하며 문명 발전의 소중한 양분으로 삼아 왔습니다. 저는 오늘 여러분께 재료바이오입문 수업을 소개해 드리려 합니다. 수업에서는 각종 자연 현상을 재료공학적인 접근법으로 다양하게 해석하는 시도를 해보았는데, 몇 가지 사례들을 살펴봄에 재료공학자가 대자연의 족적을 추적하는 방법을 여러분과 공유하려 합니다. 함께 보시죠!

독자 여러분은 ‘바이오 재료’ 하면 어떤 이미지가 가장 먼저 떠오르시나요? 아마 인공 뼈나 인공 치아를 떠올리는 분들이 많을 것 같아요. 사람의 뼈와 치아는 ‘하이드록시아파타이트’라는 물질과 콜라겐 섬유의 3차원적 나노 구조 배열로 이루어져 있습니다. 이 물질은 파손된 골조직의 수복을 크게 돕는 성질을 가져서 절단된 뼈에 덧대는 이식재는 물론 치약, 화장품 등의 다양한 제품에 활용되고 있습니다. 이러한 하이드록시아파타이트는 칼슘 인산염의 일종입니다. 인산이 삼가(三價)산에 해당되어 pH 조건에 따라 존재 가능한 형태와 비율이 PO_4^{3-} 부터 H_3PO_4 까지 굉장히 큰 폭으로 다양하게 변화하기 때문에, 칼슘과 인산을 섞고 pH를 조절하여 침전을 얻어냄으로써 적절한 조성을 가지는 하이드록시아파타이트를 제조할 수 있습니다. 이렇듯 pH를 조절하여 침전을 얻어내는 방법은 전통적인 세라믹 파우더 제조 공법

으로, 얻어낸 침전물을 어떻게 열처리할지, 혹은 어떻게 성형할지 결정하는 데에도 재료공학적인 접근이 필요하죠.

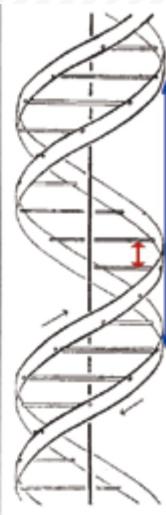
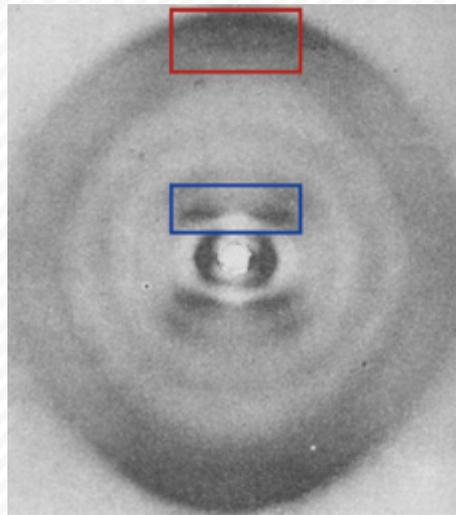
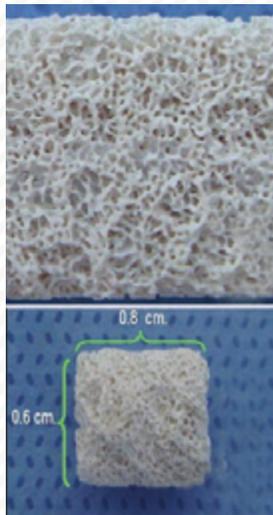
재료공학자들은 물질의 기계적인 성질에 관심이 많아요. 물질이 얼마나 단단한지, 얼마나 많은 에너지를 흡수할 수 있는지, 또 얼마나 잘 늘어나는지 등이 중요한 이슈라고 할 수 있습니다. 그런데 여러분, 세포막의 기계적인 성질을 알아보는 것만으로도 세포가 바이러스에 감염되었는지를 판단할 수 있다는 사실 아시나요? 바이러스는 숙주 세포에 달라붙어 자신의 유전정보를 담은 DNA 혹은 RNA를 세포막 내부로 방출합니다. 즉, 본격적인 감염 이전에 세포막에 바이러스가 부착되는 과정이 선행되어야 한다는 이야기죠. 이 때문에 바이러스는 막 융합 단백질을 인지질 이중층으로 구성된 세포막 사이로 쏙 집어넣습니다. 호물호물 마음껏 움직이던 인지질 분자들은 막 융합 단백질에 의해 움직임이 제한되고, 따라서 세포막은 더 딱딱하고 경직된 상태로 변화합니다. 금속의 기계적인 성질을 알아볼 때 뾰족한 물체로 금속 표면을 꼭 눌러 움푹 파이는 정도를 비교하곤 하는데, 재료공학자들은 금속과 마찬가지로 세포막을 쿡 찢어보고 양상을 관찰함으로써 세포막의 경직도, 그리고 그로부터 감염 여부까지 알아내는 방법을 개발해 낼 수 있었습니다.

과학시간에 ‘미토콘드리아’라는 이름을 들어 보셨죠? 잘 아시다시피 미토콘드리아는 유기물질을 생체 내에서 사용되는 에너지의 형태인 ATP로 전환시키는 역할을 하는 세포 소기관입니다. 이 과정이 별것 아닌 것 같아 보여도 굉장히 섬세한 프로세스랍니다. 먼저 보통의 전기화학적인 전극을 생각해 볼까요? 전극에 적절한 전압을 가하여 물 분자 한 개로부터 두 개의 수소 양이온을 얻어낼 때에는 반드시 두 개의 전자 이동이 동반됩니다. 전기적인 균형을 유지하기 위하여 수소 양이온과 전자는 반드시 일대일의 비율로 교환되지요. 하지만 미토콘드리아에서는 달라요. 두 개의 전자가 미토콘드리아 막 위에 있는 각종 단백질과 전자 전달 물질을 통과하며 세 개의 수소 양이온을 막 안쪽으로 이동시킨답니다. 막 단백질과 전자 전달 물질 사이에 특이적인 결합이 있어, 전기적인 위치 에너지 차이를 최대한 절약하면서 알뜰하게 전자의 에너지를 사용하는 거죠. 이러한 전자



글
한정현, 재료공학부 3

편집
심수정, 재료공학부 3



◀◀ 다공성 하이드록시아파타이트 세라믹 블록
◀ DNA의 X선 회절 사진

전달 물질을 모델링하여 높은 효율의 물질 채널이나 전지를 만드는 것 역시 재료공학자의 고민거리입니다.

독자 여러분, DNA의 구조가 이중나선이라는 사실을 밝힌 사람이 누구인지 아시죠? 바로 제임스 왓슨과 프랜시스 크릭입니다. 위 그림과 같은 X선 사진을 토대로 구조를 밝혀냈다고 하죠. 하지만 사진을 보고 DNA의 구조가 이중나선이라는 사실을 단번에 알아내기란 쉽지 않습니다. 사진에 나타난 것은 DNA 구조에 의하여 회절된 X선의 패턴이기 때문에 카메라로 DNA의 모습을 직접 담은 것과는 크게 다릅니다. 즉, 사진은 '역격자 공간'이라고 불리는 새로운 공간에서 DNA 구조의 각 부분을 표현한 것으로, 현실 공간에서 거리가 멀수록 역격자 사진에서는 거리가 가깝습니다. 따라서 사진 중앙에서부터 빨간 박스로 표시한 가장 바깥의 패턴까지의 거리는 염기 사이 간격에, 파란 박스로 표시한 가장 가까운 패턴까지의 거리는 이중나선의 한 바퀴 반복 단위에 대응된다고 할 수 있겠네요. X선의 회절 특성을 이용한 분석은 결정의 구조를 파악하는 가장 중요한 분석법입니다. 재료공학적인 이해가 역사적인 발견에 한 몫 했다는 사실, 꼭 기억해 주세요!

세상에는 무수히 많은 물질이 있습니다. 그래서 재료공학이라는 학문의 깊이와 넓이는 상상을 초월합니다. 재료바이오입문 강의는 생체 재료에 대한 단편적인 지식을 병렬식으로 배우기보다는, 자연 현상을 재료공학적으로 이해하는 통찰력을 기를 수 있도록 방향성을 제시해 주었습니다. 재료공학적 시각으로 함께 살펴본 생명 현상들이 여러분께 공학적 영감을 주었기를 바라며, 글을 맺습니다. 공상

참고 자료

1. Sever, C., Uygur, F., Kose, G. T., Urhan, M., Haholu, A., Kulahci, Y., ... & Omer, O. (2012). "Prefabrication of vascularized bone graft using an interconnected porous calcium hydroxyapatite ceramic in presence of vascular endothelial growth factor and bone marrow mesenchymal stem cells: experimental study in rats." *Indian journal of plastic surgery: official publication of the Association of Plastic Surgeons of India*, 45(3), 444.
2. Watson, James D., and Francis Crick. "A structure for deoxyribose nucleic acid." (1953): 737.

겨울철 방한 의류 속 공학



글
백지원, 조선해양공학과 1

편집
신원준, 재료공학부 2



아름답고도 짧았던 가을이 가고, 어느새 싸늘한 바람이 부는 겨울이 다가왔습니다. 공상 독자 여러분도 두툼한 패딩에서 기능성 내의에 이르기까지, 다양한 겨울용 방한 의류를 장만하셨을 텐데요. 영하의 혹독한 추위에서 방한 의류는 어떻게 우리의 체온을 유지시켜 줄까요? 우리 모두의 따뜻한 겨울을 책임지는 방한 의류, 그 속에 숨은 공학을 한번 파헤쳐 봅시다!

적은 열도 빠져나가게 둘 수 없다, 단열 기술!

추위를 막고 체온을 유지하는 데 가장 기본이 되는 것은 바로 몸에서 나는 열을 빼앗기지 않는 것입니다. 열은 전도와 대류, 복사의 세 가지 방식으로 전달되는데, 우리 몸에서 나는 열의 30%를 전도에 의해 외부로 빼앗긴다고 합니다.

이를 막기 위한 열쇠는 바로 '공기층'에 있는데요, 공기는 열에너지가 전달되는 정도, 즉 열전도율이 매우 낮은 물질입니다. 전도는 분자가 충돌하며 열에너지를 전달하는 방식인데, 기체인 공기는 분자 밀도가 액체나 고체 등의 물질보다 낮아 분자들 간의 충돌이 잘 이루어지지 않습니다. 실제로 다른 물질과 비교해 보면 공기의 열전도율은 0.02Kcal/m·h·°C 로, 매우 낮은 수준이지요. 따라서 옷 속을 오리털이나 솜으로 채우면 공기층이 만들어져서 열전도율이 매우 낮아집니다. 옷 속의 온기는 새어나가지 않게, 옷 밖의 냉기는 들어오지 못하게 함으로써 효과적으로 체온 손실을 막을 수 있는 것이지요.

혹시 아웃도어 의류 소재 중에 '에어로웜'이라는 말을 들어보셨나요? 파이프처럼 가운데 구멍이 뚫린 합성섬유를 중공 섬유라 하는데요. 에어로웜은 공기층을 직물 사이에 넣는 방식을 넘어 섬유 자체에 공기를 가두어 만든 중공섬유의 일종입니다. 중공섬유는 섬유 자체의 미세한 공기층 때문에 보온성이 뛰어나고 탄성이 좋으며 가벼운 것이 특징입니다. 이처럼 같은 공기층을 이용한 단열 기술이라도 최근에는 새로운 방식의 기술을 적용하여 방한 의류의 성능을 더욱 끌어올리고 있습니다.

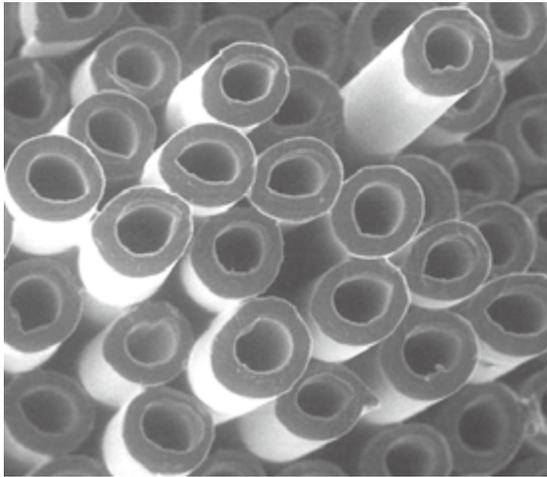
[표 1] 여러 가지 물질의 열전도율

물질	열전도율 (Kcal/m·h·°C)
그래핀(Graphene)	4800~5300
다이아몬드	900~2300
은	429
구리	400
금	318
알루미늄	237
철	80
납	35
콘크리트	1.7
유리	1.1
얼음	2.2
물	0.6
알코올	0.1~0.2
공기	0.025

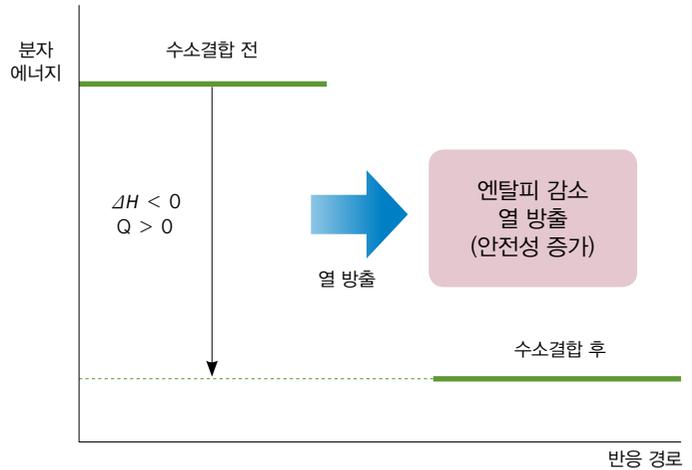
스스로 열을 내자, 발열 기술!

최근에는 체온의 손실을 막는 것을 넘어 스스로 열을 내는 기술이 적용된 옷도 등장하고 있습니다. 바로 발열 기술을 이용한 의류인데요, 발열 기술의 종류에는 대표적으로 흡습 발열 기술과 신체 열 반사 기술이 있습니다. 하나씩 알아볼까요?

먼저 흡습 발열은 사람의 몸에서 발생하는 땀과 수증기와 같은 수분이 섬유에 흡



▲ 중공섬유를 확대한 모습



▲ 수소결합에 따른 에너지 준위 변화

착했을 때 발생하는 흡착열을 이용한 기술입니다. 서로 다른 두 분자가 결합할 때에는 원자 간 '결합 에너지'의 차이만큼의 에너지가 밖으로 방출되거나 흡수된다는 점을 이용한 것이지요.

구성하는 분자들 중 아미노기(-NH₂), 카르복실기(-CO₂H), 하이드록시기(-OH)와 같은 친수성 작용기를 가진 분자들은 물, 즉 H₂O 분자와 강한 인력으로 수소 결합을 할 수 있습니다. 우리 피부에서 땀과 수증기가 발생하면 이러한 분자들과 수소 결합을 이루게 되는데, 이때 강한 인력으로 결합한 분자들이 안정화되는 만큼의 에너지가 열의 형태로 방출됩니다. 이 열이 바로 흡착열인데, 여기에 기체였던 수증기가 액체로 바뀌면서 발생하는 응축열이 더해지면 발열 효과는 더욱 커지게 됩니다. 이와 같은 이유로 친수성기를 많이 가진 아크릴레이트계 섬유를 활용하면, 스스로 열을 내는 옷을 만들 수 있습니다. 몇 년 전부터 등장한 '히트텍' 등의 발열 내의는 모두 이 원리를 이용해 만들어진 옷입니다.

두 번째로 신체 열 반사는 우리 몸에서 빠져나가는 열의 40%를 차지하는, 복사에 의한 열 이동을 막는 기술입니다. 슈테판-볼츠만(Stefan-Boltzmann) 법칙에 따르면, 모든 물체는 그 물체의 절대 온도(T)의 4제곱에 비례하는 에너지(E)를 단위 면적당 전자기파의 형태로 방출합니다.

$$E \propto T^4 \text{ (슈테판-볼츠만 법칙)}$$

물체에서 내놓는 적외선을 감지하여 물체의 온도를 측정하는 적외선 온도계가 바로 이 사실을 응용한 것이지요. 우리 몸 역시 매 순간 적외선을 방출하고 있는데, 직물 위에 은이나 알

루미늄 같은 금속을 아주 얇게 씌우면 이 금속층이 인체에서 방사된 적외선을 우리 몸 쪽으로 다시 반사하여 열의 손실을 막고 보온효과를 한층 높입니다. 보온병의 내부를 금속으로 가공하여 내용물의 열 손실을 막고 온도를 보존하는 것과 비슷한 기술이지요. 겨울용 의류의 안감이 금속박으로 뒤덮여 반짝거렸던 이유, 이제는 아시겠지요?

흡습 발열과 신체 열 반사 이외의 대표적인 발열 소재로는 원적외선 증폭 소재와 흡광 축열 소재가 있습니다. 원적외선 증폭 소재는 우리 몸에서 발생하는 원적외선을 가두어 증폭시킨 다음 방출할 수 있도록 표면을 특수한 구조로 가공한 소재이며, 흡광 축열 소재는 태양열을 흡수하여 열의 형태로 내부에 축적함으로써 보온 효과를 높인 소재이지요. 발열 기술의 종류가 무궁무진한 만큼, 앞으로도 발열 소재는 다양하게 발전할 것으로 보입니다.

찬바람을 막는 단열 기술에서부터 스스로 열을 내는 발열 기술까지! 방한 의류 속에 숨겨진 다양한 화학적, 물리적 원리들을 만나보았습니다. 다가오는 미래에는 단순한 온도 조절을 넘어 습도와 색을 자동으로 조절하는 것은 물론, 주변 환경과도 상호 작용하며 각자의 개성을 손쉽게 뽐낼 수 있는 스마트 의류가 등장할 거라고 하는데, 공상 독자 여러분은 어떤 옷이 가장 기대되시나요? 앞으로도 우리의 일상을 더욱더 포근하고 따뜻한 게 감싸줄 공학의 발전을 기대해 주세요! 공상

참고 자료

"혹한의 겨울을 이기는 섬유과학". 과학포털 사이언스올.(<http://scienceall.com>, 2012. 11. 22)

함께 만들어 먹는 즐거움

《쿡앤》

글
유윤아, 기계항공공학부 2

편집
이정윤, 건축학과 3



함께 요리를 하는 쿡앤 부원들



공대상상 독자분, 안녕하세요! 여러분, 혹시 요리하는 것을 좋아하시나요? 요리는 많은 사람들의 취미이기도 하죠. 유명한 음식점에 가서 맛있는 요리를 사먹는 것도 좋지만, 친구들과, 혹은 가족들과 함께 직접 요리를 해서 먹을 때의 기쁨은 남다른 것 같아요. 서울대학교에도 요리를 좋아하는 사람들끼리 모여 함께 음식을 만들어 먹는 동아리가 있다고 하는데요, 이번 공대상상 '동아리 소개' 코너에서는 서울대학교의 유일한 요리 동아리, '쿡앤'을 만나보겠습니다.

먼저 간단한 자기소개 부탁드립니다.

안녕하세요! 저는 식품영양학과 17학번 설차희입니다. 1학년 때부터 쿡앤 활동을 시작하여 3년째 활동을 이어가고 있습니다. 지난 학기에는 동아리의 부회장을 맡았고, 동아리에 애정이 많아 지금은 회장직을 맡고 있습니다.

'쿡앤'은 어떻게 만들어졌나요? 간단한 동아리 소개를 해주세요.

쿡앤은 2012년에 'Cook and Nutrition', 즉, 영양가 있는 음식을 직접 만들어보자는 취지로 만들어졌습니다. 저희 동아리는 토요일 12시에서 2시, 또는 4시에서 6시에 만나 함께 요리하는 것이 주된 활동인데요, 스태프들이 미리 메뉴를 정해서 신청 링크를 올리면 활동을 원하는 부원들이 신청하는 방식으로 진행

됩니다. 이후 식품영양학과 실습실에서 조별로 레시피에 따라 직접 요리를 한 뒤 함께 나눠먹습니다. 쿡앤에서는 맛집 탐방도 자주 가는데요, 지난 학기까지는 학교 주변의 맛집을 찾아갔으나, 이번 학기부터는 미술랭 가이드에 소개된 음식점 등 다양한 맛집을 탐방하고 있습니다. 이 외에도 엠티, 개강 파티 등 여러 활동을 하고 있어요.

요리에 관심은 많지만 잘하지 못하는 학생들도 쿡앤에 들어갈 수 있나요?

사실 쿡앤에서 활동하는 부원들 중에는 요리를 못하는 부원들이 많아요. 한 예로, 제가 소금을 조금만 넣으라고 하면 사람들이 와서 소금을 정확히 얼마나, 몇 그램 넣어야 하는지 물어봐요. 하지만 저희는 요리를 잘하는 것보다 같이 즐겁게 요리하고 나눠먹는 것에서 의미를 찾는 동아리이기 때문에 요리를 못해도 전혀 상관이 없답니다! 그리고 아무리 요리를 못하더라도 다 같이 요리하다 보면 맛있는 요리가 만들어지기 때문에 재미있게 활동할 수 있어요.

쿡앤에서는 주로 어떠한 요리를 만드나요?

웬만하면 다 특이한 요리들을 만드는 것 같아요. 저희가 일주일 전에 메뉴를 공지하는데, 메뉴가 특이할수록 많은 분들이 신청해 주시더라고요. 파스타, 디저트류, 푸딩 등 다양한 음식들을



① 밀피유 나베 ② 에그 인 헬 ③ 복숭아 티라미수

도전해보고 있어요. 이 외에도 티라미수, 빼에야, 차슈덮밥, 새우튀김덮밥, 탕동, 그리고 최근 유행하는 흑당 밀크티를 응용한 흑당 우유 푸딩까지, 혼자서는 시도해보기 어려운 음식들을 함께 만들어보고 있습니다.

쿡앤을 운영하면서 힘든 점이 있나요?

요리 동아리의 특성상 준비해야 할 것도 많고, 뒤처리도 어렵습니다. 또한, 조리기구가 있어 위험한 상황에서 여러 부원들을 컨트롤해야 한다는 점이 어려운 것 같아요. 하지만 동아리에서 좋은 사람들을 많이 만나고, 다양한 단과대의 사람들을 만나는 것이 좋아서 꾸준히 쿡앤에 애정을 갖고 열심히 활동하게 되는 것 같아요.

정기적인 활동 외에도 계획하고 계신 행사가 있나요?

항상 부원들끼리 요리를 만들어 먹고 헤어지는 단조로운 활동을 하기 때문에 새로운 프로그램들도 해보고 싶어요. 학교 축제 때 쿡앤 부스를 운영해서 맛있는 음식을 직접 만들어 파는 것도 좋을 것 같습니다. 이 외에도 다양한 아이디어들이 있는데, TV 프로그램 '냉장고를 부탁해'를 패러디한다든지, 요리 대회를 여는 등 다양한 이벤트를 생각해보고 있어요. 또, 기존에는 베이킹을 자주 하지 않았는데 베이킹을 원하는 부원들이 많아서 빵이나 과자도 만들어볼 계획입니다.

쿡앤을 하시면서 다양한 맛집들을 가보셨을 것 같은데, 본인만의 맛집을 찾는 특별한 비법이 있을까요?

저는 원래 음식점을 선택할 때 블로그나 인스타그램 등 SNS에 소개된 것을 중시하는 편이었어요. 그런데 요즘은 음식점 앞의 간판을 보는 편이에요. 다소 허름한 간판에 성의 없는 궁서체, 진정한 맛집은 꾸미지 않는다는 말이 있잖아요? (웃음) 이렇게 찾은 맛집 중 하나가 '필동면옥'이라는 평양냉면집이에요. 읍지로에 있는 다른 유명한 평양냉면 음식점인 '우래옥'은 맛이 진한 반면에, '필동면옥'의 평양냉면은 삼삼하고 감칠맛이 나서 제가 정말 좋아하는 최고의 맛집 중 하나랍니다. 제 원픽이라고 할 수 있겠네요.

마지막으로 고등학생 독자들에게 한마디 부탁드립니다.

저는 어렸을 때부터 요리하는 것을 좋아했는데, 대학교에 오면 저처럼 하고 싶은 활동들을 마음껏 할 수 있습니다. 독자 여러분께 '동아리를 많이 하라'고 꼭 말씀드리고 싶습니다. 저는 쿡앤에서 활동하면서 다양한 사람들을 만나고, 또 여러 의견을 나누면서 공부로는 배우지 못하는 값진 경험을 하고 있어요. 다양한 단과대의 사람들과 같이 밥 한 끼를 하는 것에는 큰 의미가 담긴 것 같아요. 고등학생 독자 여러분도 나중에 대학에 오면, 저희 쿡앤과 함께 밥 한 끼 해요! 공상

편안하고 안전한 이동을 책임지는 모빌리티 서비스

자동차의 개발은 인류의 이동범위를 매우 넓히게 되었고, 최근에는 전동 킥보드, 플라잉 카와 같은 새로운 이동수단들이 개발되며 '모빌리티'라는 산업 분야가 탄생했습니다. 전기 자전거, 전동 킥보드와 같은 퍼스널 모빌리티, 우버, 리프트 같은 글로벌 모빌리티 시장이 팽창하며 마이크로 모빌리티 전성시대가 머지않았다는 말도 있죠. 모빌리티 산업은 이처럼 선풍적인 인기를 끌며 급속도로 성장하고 있습니다. 그 대표적인 예로는 카 셰어링 서비스가 있죠. 여행에서 필요한 모빌리티 서비스를 제공하고 있는 관광벤처 기업 MOVV의 최민석 대표님과 인터뷰를 진행해 보았습니다.



MOVV 최민석 대표

글 배선열, 전기정보공학부 1
편집 이기범, 화학생물공학부 2

안녕하세요! 간단한 본인 소개 부탁드립니다.

안녕하세요. 현재 MOVV라는 기업의 CEO로 일하고 있는 최민석입니다. 저는 1995년 서울대학교 전기정보공학부에 입학하였고, 2002년에 학사 과정을 끝마치게 되었어요. 학부 졸업 이후 기회가 되어 창업을 하게 되었네요.

MOVV에서는 어떤 일을 하나요?

최근 동남아시아로 여행을 떠나는 사람들이 늘어나면서 베트남을 중심으로 한 모빌리티 사업이 빠른 속도로 확장되고 있습니다. MOVV는 이와 같은 흐름에 발맞추어 여행객을 위한 글로벌 모빌리티 플랫폼을 구축하고 'MOVV' 어플리케이션을 통해 스마트 쇼퍼(Chauffeur)* 서비스를 제공하고 있습니다. 간단히 설명하자면, 동남아 현지의 전용 기사와 차량을 제공하여 공항 픽업부터 숙소 체크인까지 관광객의 스케줄에 따라 하루 종일 이동을 책임지도록 하는 것이지요. 대부분의 여행은 많은 이동을 필요로 합니다. 그런데 동남아시아의 개발 도상국이나 후진국의 경우 대중교통이 열악하여 여행지 간 이동이 쉽지 않습니다. 그렇다고 해서 렌터카를 대여하여 직접 운전을 하기에는 교통망이 복잡할 뿐더러 치안이 좋지 않아 안전이 걱정되겠죠? MOVV에서 구축한 모빌리티 플랫폼은 이러한 여행의 불편함을 해소시켜줍니다. 저희 기업은 2019년 5월에 서비스를 출시한 뒤로 계속해서 개발을 이어가는 중이고, 아직까지는 베트남과 대만 두 국가만을 대상으로 서비스를 운영하고 있어요.

MOVV의 모빌리티 플랫폼에 대해 좀 더 자세히 알고 싶습니다!

• 현지 기사 고용과 소통

전용 기사 고용에 따른 이용 요금 상승은 인건비가 비교적 저렴한 동남아 현지의 기사들을 채택하여 해결할 수 있었어요. 최근 단체 여행이 줄면서 현지 렌터카 회사의 차량과 기사가 많이 남는 상황인데도, MOVV는 그런 렌터카 회사들과 파트너십을 맺어 우수한 기사님과 차량을 공급받을 수 있었습니다. 이런 파트너십은 저희 회사에 큰 이익이 되는 것은 물론 기사님들의 안정적인 수입을 보장하기 때문에 서로 윈윈하는 전략이라고 볼 수 있겠네요. 또한, 이용 요금을 낮춤과 동시에 편리성도 확보하기 위해서 현지 기사와 대화할 수 있게 해주는 모바일 소통 톨도 개발했습니다. 상황별로 정리된 축약어를 통해 관광객과 현지 기사 모두 자신의 모국어로 소통할 수 있는데요, 예를 들어 차량으로 이동하는 도중에 '화장실에 가고 싶어요'라는 메시지를 선택하여 보내면, 기사는 그 메시지를 번역된 상태로 확인하여 가까운 화장실을 찾아가는 식이죠. 소통 톨은 언어 문제만 해결해 주는 것이 아닙니다. 실시간으로 여행지를 추가하거나 바꾸는 것을 비롯하여 많은 요구 사항을 소통 톨을 통해서 기사에게 구체적으로 전달할 수 있다는 장점도 있죠. 이처럼 소통 톨이 서비스의 핵심적인 역할을 하기 때문에 그 개발에 많은 노력을 기울였습니다.

• 자체 프로그램 개발

추가적으로 여행객들의 여행 정보나 후기 등 빅데이터를 바탕으로 여행객의 니즈와 방문 목적에 맞추어 개인별 추천 프로모션을 함께 제공하는 특화 프로그램 개발



▲ MOVV 앱 소개, 출처: 네이버 블로그(<https://blog.naver.com/korea-diary/221640684653>)

에도 집중하고 있어요. 각 여행객에 맞는 여행지를 추천해 주는 것은 물론, 여행지들의 여러 가지 특징과 고유값을 가지고 계산한 최적의 경로를 추천하는 것이 목표인데요, 예를 들어 야경이 예쁜 여행지는 이동 시간이 길어지더라도 밤에 방문하는 것이 좋겠죠?

어떤 계기로 창업을 계획하게 되셨는지 궁금합니다!

저는 학부를 졸업하고 나서 삼성전자에 입사하여 꽤 긴 시간을 보냈는데요, 소프트웨어 엔지니어로 일하던 중에 스폰서십 프로그램의 지원을 받아 MIT에서 MBA(경영학 석사 과정)를 이수하게 되었습니다. 이후 삼성으로 돌아와 엔지니어를 그만두고 투자나 인수 합병, 서비스, 사업 기획 업무를 담당했는데, 그 과정에서 글로벌 벤처 기업들에게 투자하거나 함께 협력하면서 그들의 에너지, 성장, 성공 등을 직접 경험할 수 있었습니다. 저에게는 그 경험이 무척이나 좋았고, 이를 계기로 스타트업에 관심이 생겨서 결국 MOVV의 CEO가 되었죠. 여행을 떠나는 사람들에게 직접적인 도움을 줄 수 있을 것이라는 기대감도 창업을 하게 된 원인 중 하나라고 할 수 있겠네요.

삼성이라는 안정적인 직장을 뿌리치고 나와 새로운 도전을 한다는 것이 결코 쉬운 결정은 아니었습니다. 그러나 위험을 감수할 만큼 이 일이 매력적으로 느껴졌고, 제 적성에 맞다고 생각해서 도전을 결심하게 되었어요. 만약 실패에 대한 두려움 때문에 창업을 포기했다면 꽤 후회했을 것 같아요.

창업 과정에서 어려웠던 점은 무엇인가요?

아무래도 외국에서 사업이 진행되다 보니까 그들만의 문화를



MOVV에 대한
더 자세한 정보는
QR 코드를 통해 만나보세요!

이해, 수용하고 문화에 맞추어 회사를 운영하는 것이 쉽지 않았습니다. 특히 동남아의 경우 문화 인프라가 부족해서 여러 방면에서 어려움을 겪었어요. 외국어로 소통하다 보니 의견을 전달하는 것도 쉽지 않았고요. 그런 어려움을 극복하는 과정에서 직접 외국에서 다양한 경험을 해보고, 부딪치면서 언어나 문화를 빠르게 배우고 습득하는 것이 중요하다는 것을 느꼈습니다. 갈수록 글로벌 기업이 늘어나는 추세이다 보니 외국에서 일할 기회가 점차 많아질텐데, 독자 여러분도 적극적으로 도전해보세요!

앞으로의 계획은 어떻게 되시나요?

훌륭한 사람들이 함께 일할 수 있도록 회사를 성장시키고 싶어요. 회사 내부적으로는 좋은 문화를 형성하고, 외부적으로는 양적 확대와 질적 확대가 동시에 이루어지도록 할 계획입니다. 태국, 인도네시아, 캄보디아 등 더 많은 국가에서 서비스를 제공하고, 한국인뿐만 아니라 외국인도 서비스를 이용할 수 있도록 하는 것이 목표입니다.

마지막으로 공대상상 독자들에게 한마디 부탁드립니다!

돌이켜보면 서울대학교에서 저는 공부보다는 사람들과의 모임을 더 좋아했어요. 그러다 보니 자연스럽게 주변의 사람들에게 필요한 사람을 찾고, 연결해주며 일하기 좋은 환경을 만들어 주는 역량이 늘어났죠. 그런 능력이 리더에게 가장 중요한 덕목인 것 같아요. 저는 직업 선택에서 성향이 가장 중요하다고 생각합니다. 자신이 에너지를 갖고 있고, 적극적이며 개척을 좋아한다면 스타트업이 최고의 선택이라고 말하고 싶네요. CEO가 되고 싶다면 공부와 더불어 다양한 활동을 경험하고, 네트워크 형성 연습을 해보는 걸 추천합니다. 여러분도 사회의 일원으로서, 공학도로서 세상에 기여하는 즐거움을 느껴 보셨으면 하네요. 항상 끊임없이 도전하는 사람이 되기를 바라겠습니다! 공상

- 쇼퍼란 일반 운전기사가 해내지 못하는 전문 서비스를 제공하는 특수 운전기사를 말한다.

서울대 축제의 감성적인 밤

어쿠스틱 캠프



글
이재혁, 산업공학과 1

편집
이지현, 원자핵공학과 1

아마 이 글을 읽고 있는 학생들 모두가 이런 말을 한 번 정도는 들어 보셨을 것입니다. “서울대 3대 바보 중 하나는 서울대 축제에 가는 사람이다.” 하지만 그런 소문과는 달리 서울대 축제에는 충분히 매력적인 콘텐츠들이 많다는 것을 공상 독자 여러분께 알려드리고 싶습니다. 먼저, 밝은 낮에는 다양한 푸드트럭과 게임부스 등을 통해 친구들과 함께 캠퍼스 라이프를 즐길 수 있습니다. 또 한쪽에 마련된 포토존에서 귀여운 콘셉트 사진을 찍기도 하고, 잔디에 누워 드론 카메라로 우정 사진을 찍을 수도 있답니다. 그럼 어두운 밤이 되면 서울대 학생들은 어떤 콘텐츠를 즐길까요? 그것이 바로 이 기사에서 소개할 ‘어쿠스틱 캠프’입니다. 가을축제 어쿠스틱 캠프에 직접 참여하여 느꼈던 생생한 후기! 지금부터 들려드리겠습니다!

서울대 축제에는 두 가지 종류의 캠프가 있습니다. 3일간의 축제 중 첫날 밤에 참여할 수 있는 ‘어쿠스틱 캠프’와 두 번째 날 밤에 참여할 수 있는 ‘일렉트릭 캠프’가 바로 그 주인공입니다. 캠프는 서울대학교 안에 위치한 총장잔디*에서 진행됩니다. 선착순으로 캠프 참여자를 선발하는데, 참여기준이 선착순이다 보니 경쟁이 상당히 치열합니다. 저는 아쉽게도 봄축제 때 신청 순서가 늦어서 캠프에 참여하지 못했지만 가을축제 때는 더 집중해서 신청한 결과 캠프에 참여할 수 있었죠. 이렇게 참여하는 것 자체가 어려운 만큼 축제 캠프에 대한 인기가 엄청나답니다. 텐트는 캠프 당일 저녁 지급받으며, 지정된 위치에 직접 설치하면 됩니다.

저녁 9시가 되면 어쿠스틱 캠프의 메인 이벤트인 밴드 공연을 시작으로 본격적으로 캠프 일정이 진행됩니다. 160분 동안 서울대 학생들로 이루어진 밴드들의 공연이 이어지는데 다양한 동아리 및 개인 참가자들의 공연들을 보고 들을 수 있죠. 특히 개인 참가자들이 사람들 앞에서 무대를 꾸밀 수 있는 기회가 주어진다는 점에서 밴드를 하는 사람들에게는 어쿠스틱 캠프



텐트가 설치된 총장잔디



▲ 밴드 공연
◀ 캠프를 즐기고 있는 공상 16기

프가 큰 의미를 가질 수 있습니다. 캠프 참여자들은 텐트 안에서 친구들과 음악을 들으며 대화할 수도 있고 텐트 밖으로 나가서 공연을 지켜보는 사람들과 맥주 한 캔을 마시며 분위기를 즐기기도 합니다. 음악과 밤을 좋아하고 낭만을 즐기고 싶은 사람들에게는 이만한 행사가 없습니다. 자유롭게 배달 음식을 시켜 먹어도 되고 학생들이 운영하는 장터에서 음식을 사 올 수도 있습니다. 저는 텐트 안에서 친구들과 야식을 먹으며 노래를 들었는데 어쿠스틱 캠프만의 특유한 분위기가 너무 마음에 들었습니다. 새벽에 느낄 수 있는 학교의 잔잔하고 평화로운 분위기 속에서 학생들이 직접 들려주는 음악과 선선한 공기를 친구들과 함께 즐겼습니다. 이런 감성적인 순간들이 우리의 기분을 좋게 만들어주고 잊을 수 없는 추억을 선물해 주었죠. 밴드 공연이 끝난 이후에는 '샤로수길**'의 식당에서 사용할 수 있는 상품권 등을 받을 수 있는 립보 게임, 보물찾기 등도 준비되어 있었습니다. 처음부터 끝까지 학생들의 즐거움과 휴식을 위한 알찬 행사들로 가득했

습니다.

이렇게 서울대의 감성적인 밤을 책임지는 '어쿠스틱 캠프'에 대해 소개해 드렸는데요, 어쿠스틱 캠프가 가진 가장 큰 장점은 어디서도 만들 수 없는 추억을 만들어 준다는 것입니다. 낮에는 모두가 바쁜 시간을 보내던 학교에서 늦은 새벽, 넓은 잔디 위에 텐트를 펴고 좋은 사람들과 좋은 시간을 보낸다는 것, 그것만큼 낭만적인 경험을 어디서 또 할 수 있을까요? 과제와 시험에 치이며 힘든 일상을 사는 대학생들에게 어쿠스틱 캠프는 우리의 새벽 감성을 이끌어 주기에 충분했습니다. 여러분은 일상 속 어떤 휴식, 어떤 낭만을 즐기며 살고 계시나요? 공상 독자 여러분도 숨가쁜 생활 속에 지친 마음을 달래 줄 수 있는 시간을 가졌으면 좋겠습니다. 공상

● 서울대학교 행정관 앞에 위치한 넓은 잔디밭. '학생잔디'라고도 부름. 평소에는 비어 있지만 축제나 박람회 같은 행사가 진행될 때 부스들이 많이 설치됨.
● 서울대입구역 2번 출구 쪽에 위치한 상권 골목을 일컫는 말. 신사동에 있는 가로수길을 패러디한 단어로, '가로수길'과 서울대학교 정문의 '샤' 모양과 합쳐진 단어이다.

3년간의 학업으로 녹초가 되어버린 공대생의 힐링 타임

프랑스 생테티엔
국립광업학교
교환학생기



글
서지영, 조선해양공학과 1

편집
최강현, 전기정보공학부 4

안녕하세요, 자기소개 부탁드립니다!

안녕하세요, 서울대학교 공과대학 산업공학과 4학년에 재학 중인 16학번 정재욱입니다. 저는 데이터, 수학, 통계 등을 응용하는 산업공학에 흥미를 느껴서 해당 전공으로 입학하게 되었어요. 제 주전공은 산업공학이지만 컴퓨터 쪽에도 관심이 많아서 부전공으로 컴퓨터공학도 공부하고 있습니다. 저는 올해 2019년 1학기에 프랑스 중부 도시 생테티엔의 국립광업학교(École nationale supérieure des mines de Saint-Étienne)로 교환학생을 다녀왔습니다. 생테티엔 국립광업학교는 왕실 소유 광산의 책임자들을 양성하기 위한 교육 기관이었지만 점차 규모를 확대해 현재는 공과대학의 역할을 하고 있습니다!

교환학생 국가로 프랑스를 선택하신 이유는 무엇인가요?

몇 년 동안 학업에 매진하면서 몸과 마음이 많이 지쳐 있는 상태였어요. 그래서 한 학기 휴학을 하고 유럽 여행을 다녀올지 교환학생을 다녀올지 고민하다가 이것저것 많이 배울 수 있는 교환학생을 선택했습니다. 저는 서울대학교 공과대학에서 주관하는 GLP(Global Leadership Program)를 통해 교환학생을 지원했는데, 세계의 여러 대학 중에서도 낭만이 넘치는 프랑스에 있는 국립광업학교를 선택했습니다!

교환학생을 가기 위해서는 어떤 준비 과정이 필요한가요?

교환학생은 학점, 외국어 능력 등 다양한 요소를 종합적으로 고려하여 결정되는데, 그중에서 가장 중요한 것은 어학 점수입니다. 교환학생은 다른 나라 언어로 공부할 수 있어야 하기 때문에 의사소통에 어려움이 없을 정도로 외국어를 공부해야 합니다.



생테티엔 국립광업학교(출처: <https://www.mines-stetienne.fr/lecole/>)



리옹역

프랑스에서 어떤 수업을 들으셨나요?

저는 국제 재무학(International Finance), 국제 경영학(International Management), 대학 영어를 수강했습니다. 강의식 수업이 주를 이루는 한국과는 다르게 프랑스 수업에서는 교수님은 조력자 역할을 하고, 학생들이 팀을 이뤄 주체적으로 수업을 이끌어 나갑니다. 일례로 국제 경영학 수업에서는 팀별로 가상의 무역회사를 세워 수출국을 정하는 프로젝트가 있었는데, 제가 속했던 팀은 샴페인을 파는 회사를 맡았습니다. 수업 시간에 팀원들, 교수님과 활발한 토론을 통해 얻은 다양한 의견은 화폐의 위험성, 샴페인의 나라별 매출액 등 여러 가지 요소를 고려하여 합리적으로 거래국을 정할 수 있게 해주었습니다.

프랑스에서의 생활은 어떠했나요?

생테티엔은 대도시인 리옹에서 기차로 40분 떨어져 있는 곳이다 보니 주민들이 영어에 익숙지 않아서 지역 마트에서 장을 보거나 은행에서 일을 볼 때 불편함이 조금 있었습니다. 하지만 기숙사에서 주최하는 게임 대회, 파

티, 저녁식사 등 여러 가지 프로그램 덕분에 교환학생 기간을 재미있게 보낼 수 있었습니다.

여행기도 들려주세요!

교환학생 학기 중에는 프랑스와 가까운 스위스 제네바, 영국, 포르투갈을 여행했고, 교환학생 프로그램이 끝난 후에는 동유럽인 오스트리아, 헝가리, 체코, 슬로베니아, 독일, 네덜란드 순서대로 여행하고 한국으로 귀국했습니다. 여행 가기 전에 테마를 정하고 싶어서 풍경사진을 많이 찍어 블로그에 사진을 올려보자는 마음으로 여행을 했습니다. 대부분은 저 스스로 계획을 짜고 혼자 여행을 했지만, 종종 한인 민박에서 만난 사람들과 다니기도 했습니다.

가장 기억에 남는 여행지는 포르투갈의 포르투입니다. 포르투는 에펠의 제자가 만든 동루이스 다리가 보이는 야경이 유명한데요, 다리가 잠수교처럼 위아래로 나뉘어 있어서 흥미로웠습니다. 그뿐만 아니라 한인 민박에서 밤마다 사람들과 포르투 특산 와인인 포트 와인을 마시며 이야기를 나눴는데요, 그러한 자유로운 분위기가



블레드 호수, 뒤에 스위스의 산이 보인다.

정말 좋았습니다. 슬로베니아의 수도 류블랴나도 마음에 들었던 도시입니다. 일반적인 동유럽 여행 코스인 오스트리아, 헝가리 외에 다른 나라도 가보고 싶어서 선택한 곳이 슬로베니아였습니다. 류블랴나는 대도시는 아니지만 자연이 멋진 곳이었습니다. 버스를 타고 1시간 정도 시외로 나가면 블레드 호수, 보힌 호수가 보이고, 스위스의 산도 볼 수 있습니다!

교환학생을 다녀오면서 좋았던 점과 힘들었던 점은 어떤 것이 있었나요?

좋았던 점은 영어에 자신감이 생겼다는 점입니다. 프랑스 학교였지만 수업이 영어로 이루어졌기 때문에 영어 실력을 많이 기를 수 있었습니다. 또한 대학원을 염두에 두고 있는 지금, 한국에서 공부할지 해외에서 공부할지 고민 중인데 교환학생의 경험이 진로 결정에 큰 도움이 될 것 같아요.

한국에서의 자취생활과는 다르게 교환학생은 정말

혼자 사는 느낌이 들어서 조금 두렵고 힘들기도 했지만, 혼자 생각할 수 있는 시간이 많아서 자립심을 기를 수 있다는 면에서는 장점이었다고 생각합니다.

교환학생을 다녀온 경험을 한 문장으로 표현한다면?

3년간의 학업으로 녹초가 되어버린 공대생의 힐링 타임

마지막으로 공대상상 독자분들에게 한마디 부탁드립니다.

이공계를 꿈꾸는 많은 고등학생 여러분, 열심히 공부해서 원하는 학교, 학과로 진학해서 꾸준히 공부를 이어 나가셨으면 좋겠고, 교환학생을 갈 수 있는 기회가 온다면 꼭 다녀오세요! 그리고 공과대학의 마에스트로! 산업공학과와 여러 분야 중에 관심있는 분야가 있다면 꼭 지원해주세요. 공상

* 정재욱님이 교환학생 중 찍은 사진은 <https://blog.lockcept.kr>에서 확인하실 수 있습니다.

공대 상상 독자 여러분! 과학을 공부하며 공들을 층층이 쌓아 고체의 결정 구조를 표현한 그림을 많이 보았을 텐데요, 이러한 결정 구조들을 어떻게 밝혀냈을지 생각해본 적 있나요? 또 인터넷에서 쉽게 찾아볼 수 있는 단백질의 구조는 어떻게 밝혀졌을까요? 정답은 우리가 잘 알고 있는 엑스선(x-ray)에 숨어있습니다. 린트겐이 엑스선을 발견한 공로로 1901년 최초의 노벨 물리학상을 수상한 사실은 널리 알려져 있습니다. 그러나 엑스선을 이용해 고체의 결정 구조를 알아낼 수 있게 한 공로로 1914년과 1915년 총 3명의 과학자가 노벨 물리학상을 수상했다는 사실은 잘 알려져 있지 않습니다.* 이 과학자들의 연구 덕분에 오늘날 결정 구조를 갖는 고체들의 3차원 미시 구조를 쉽게 알아낼 수 있게 되었어요. 엑스선을 이용한 결정 구조의 분석 방법은, 주사 전자 현미경(Scanning Electron Microscope, SEM)이나 투과 전자 현미경(Transmission Electron Microscopy, TEM)을 이용한 방법처럼 대상 물질을 직접 보지 않더라도 그 물질의 3차원 미시 구조를 알아낼 수 있다는 강점이 있습니다. 그렇다면 윌리엄 브래그(William Bragg) 부자의 논문 *The Reflection of X-rays by Crystals*** (1913)를 함께 보면서, 엑스선을 이용해 결정 구조를 어떻게 결정할 수 있는지 알아봅시다!

여러분, 물리를 공부하면서 이 식을 한 번쯤 마주친 적이 있지 않나요?

$$2d \sin\theta = \lambda$$

아마 브래그 법칙(Bragg's law)이라는 이름으로 이 식을 접했을 거예요. 이 식은 단순히 빛의 파장과 결정 구조의 폭, 반사면과 광선이 이루는 각도 사이의 관계 이상의 의미를 담고 있어요. 바로 입자에 빛을 쬐어 주면 일어나는 현상인 산란(scattering)과, 고체의 결정 구조(crystal structure)를 직접적으로 연결해 준답니다.

입자는 그 입자의 크기와 비슷한 파장을 갖는 전자기파를 흡수할 경우, 그 전자기파를 다시 사방으로 방출할 수 있어요. 물리학에서는 이 현상을 산란이라고 부릅니다. 한편, 수많은 입자들이 3차원 공간상에서 규칙성을 갖고 배열되어 있으면 산란된 전자기파가 보강 간섭을 일으켜 특정 각도에서 매우 강해질 수 있는데요, 이는 독일의 물리학자 막스 폰 라우에가 특정 방향으로 엑스선을 고체 시료에 조사하여 얻어낸 회절*** 격자 무늬인 라우에 사진(Laue photograph)을 통해 이미 검증한 사실이기도 했습니다. 본 논문의 저자는, 라우에 사진이 결정 구조 내의 원자면에 의해 엑스선이 반사되어 만들어진 것으로도 해석될 수 있다고 말하고 있습니다. 실제로 결정면이 엑스선을 거울처럼 반사한다는 가정하에, 간단한 수식 전개를 통해 브래그 법칙을 얻을 수 있죠. 브래그는 자신의 수식과 해석을 실험적으로 입증하기 위해, 분광계를 그림 1과 같은 형태로 개조했습니다. 개조된 분광계는 어떤 각도 θ_1 으로 결정 시료에 입사되어 θ_2 의 각도로 회절된 엑스선이

보이되 보이지 않는 것, 구조를 결정하는 엑스선 결정학

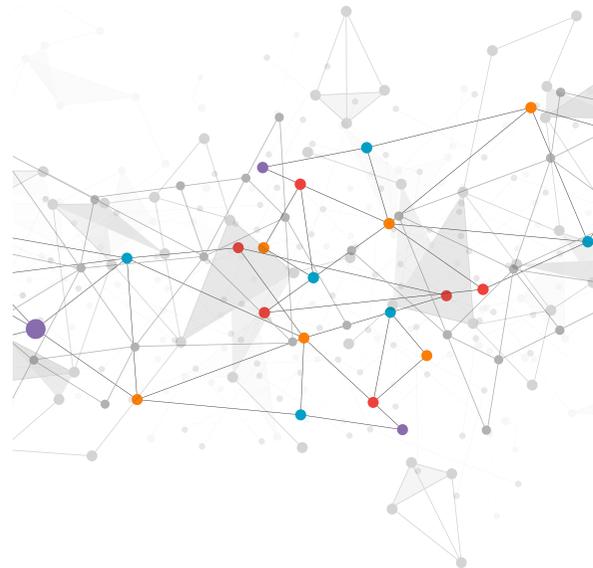
결정에 의한 엑스선의 반사

글

김호현, 재료공학부 3

편집

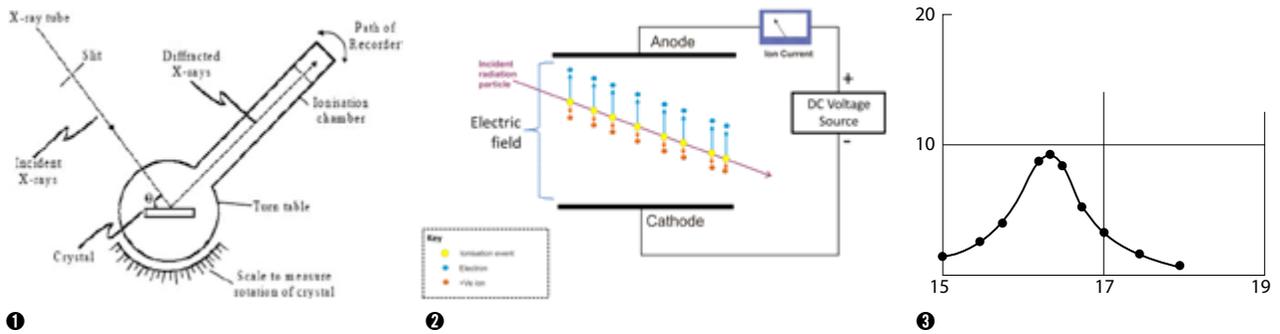
신원준, 재료공학부 2



* 1914년 막스 폰 라우에가 '결정에 의한 엑스선의 회절 현상 발견'으로, 1915년 윌리엄 브래그 부자가 '엑스선을 통한 결정 구조의 분석'으로 각각 노벨 물리학상을 수상했습니다.

** 결정에 의한 엑스선의 반사.

*** 규칙적인 격자 배열의 원자에 의해 산란된 엑스선이 만드는 패턴을 엑스선 회절 패턴(X-ray diffraction pattern)이라고 부릅니다.



① 엑스선 분석을 위해 개조된 분광계(Tutorsglobe. Bragg's spectrometer meth, 2015, www.tutorsglobe.com/homework-help/physical-chemistry/braggs-spectrometer-method-72611.aspx, Accessed 21 October 2019)
 ② 이온화 챔버의 도식화(Knoll, Glenn F(1999). Radiation detection and measurement(3rd ed.). New York: Wiley)
 ③ 암염의 반사 엑스선 세기(시편 고정)(Bragg, W. H., & Bragg, W. L.(1913). The reflection of X-rays by crystals. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character, 88(605), p. 429)

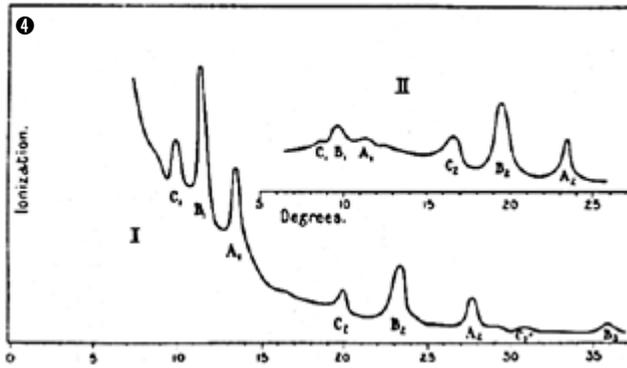
얼마만큼의 세기를 가지고 있는지 측정할 수 있도록 고안되었죠.

결정 시료에 입사된 뒤 시료 표면에서 반사된 엑스선은 이온화 챔버를 통과하게 되는데, 이온화 챔버는 기체로 가득 차 있어 엑스선을 흡수하여 이온화될 수 있습니다.* 이온화된 분자의 비율은 그림 2와 같은 방법을 이용하여 측정될 수 있습니다. 분자가 이온화되면 양전하를 띤 양이온과 음전하를 띤 전자로 분리되어 양이온은 양극(Cathode)에, 음이온은 음극(Anode)으로 이끌려 갑니다. 따라서 전류계에 이온성 전류(Ion current)가 흐르게 되고, 이 전류의 세기를 측정하면 이온화된 기체 분자의 비율을 정량적으로 분석할 수 있게 됩니다. 저자는 이온화 챔버를 이산화황(SO₂) 기체로 가득 채우고, 실험 조건에 따라 다르게 얻어지는 엑스선의 세기(Intensity)를 이온성 전류를 측정하여 계산했습니다.

분석대상 중 하나는 암염이었습니다. 그림 3은 입사된 엑스선과 결정 시편의 절단면**이 이루는 각도를 $\theta=8.3^\circ$ 로 고정시키고, 입사된 엑스선과 이온화 챔버 사이의 각도, 즉 입사각과 반사각의 합에 대해 반사된 엑스선의 세기를 나타냈습니다. 입사각과 반사각이 같아야 하기 때문에, 각도가 정확하게 $2\theta=16.6^\circ$ 일 때 최고점이 나타나야 합니다. 실제 실험 결과에서는 16.4° 정도에서 최고점이 나타났고, 개조된 분석 기기 자체의 성능으로 인한 오차를 고려했을 때 합당한 결과라고 할 수 있었습니다.

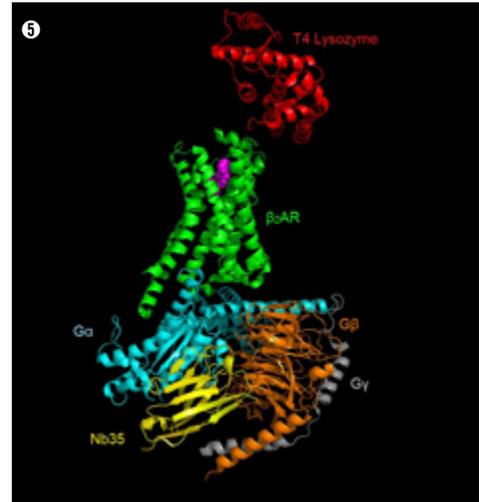
그림 3의 결과로부터 알 수 있듯이, 입사된 엑스선과 시편 절단면 사이의 각도를 θ 라고 한다면, 입사된 엑스선과 이온화 챔버 사이의 각도가 2θ 일 때 최고점이 나타나게 됩니다. 한편 그림 3에서의 실험 방법은 오직 한 가지 면에 대한 반사 엑스선의 세기만을 관찰하고 있습니다. 입사 엑스선에 대해 시편은 θ 만큼, 이온화 챔버는 2θ 만큼 회전시키게 되면 그림 4에서처럼 여러 면에 대한 반사 엑스선의 세기를 한 번에 관찰할 수 있습니다.

* 기체 분자가 이온화되기 위해서는 기체 분자에 있는 전자가 들떠서 떨어져 나와야 하는데, 엑스선은 그러는 데 충분한 에너지를 제공합니다.
 ** 엑스선이 균일하게 반사되도록 하기 위해, 시편의 절단면을 매끈하게 갈고 닦는 과정을 사전에 거쳤습니다.



④ 암염의 반사 엑스선 세기(시편과 이온화 챔버 함께 회전)
(Bragg, W.H., & Bragg, W.L.(1913), op. cit., p.431.)

⑤ β_2 아드레날린 수용체-G단백질 복합체의 결정 구조(Brian K. Kobilka et al.(2011), Crystal structure of the β_2 adrenergic receptor-G_i protein complex, Nature 477, pp 549-555)



곡선 I은 (100) 면을, 곡선 II는 (111) 면을 절단면으로 하여 입사광에 평행하게 놓고 θ 를 변화시키며 반사 엑스선의 세기를 측정한 것입니다.

그림 4에서는 특정 각도에서 반사 엑스선의 세기가 매우 크게 나타납니다. 저자는 이를 특정 결정면에 의해 일어나는 특수한 반사로 해석했습니다. 결정은 특별한 방향으로 배향된 결정면들을 갖게 되는데, 이 결정면들을 반사면으로 하여 엑스선이 반사될 경우, 파장과 결정면들 사이의 거리에 따라 매우 강한 보강 간섭이 일어날 수 있지요. 파장 λ 와 결정면들 사이의 거리 d , 그리고 각도 θ 의 관계는 위에서 언급했던 저자 브래그의 반사 법칙을 따릅니다.

입사한 엑스선의 파장 λ 를 알고 있을 경우, 특수한 반사 피크가 얻어진 각도 θ 의 $\sin\theta$ 값을 이용해 그 면이 어떠한 면인지 알아낼 수 있습니다. 그림 4의 곡선 I을 보면 B1, B2, B3에서 강한 세기의 반사 엑스선이 검출되었는데, 각각의 2θ 값은 23.1° , 47.3° , 그리고 73.3° 입니다. 따라서 $\sin\theta$ 값은 각각 0.200, 0.401, 0.597이 되고, 이는 1 대 2 대 3의 비율과 매우 흡사합니다! 브래그의 법칙에 따라 각각의 반사 엑스선은 거리가 d , 2분의 d , 3분의 d 만큼 떨어진 결정면의 집합으로부터 얻어졌다는 사실을 유추할 수 있겠죠? 이처럼 실험을 통해 얻어진 2θ 값으로 결정 시료에 어떤 결정면이 존재하는지, 그 결정면 사이의 거리는 얼마인지 모두 알아낼 수 있습니다.

막스 라우에, 브래그 부자 등 여러 과학자들의 기여로 엑스선 결정학은 20세기 초반에 매우 빠르게 발전하였습니다. 특히 도로시 호지킨*이 인슐린의 구조를 엑스선 결정학을 이용하여 밝혀낸 이후 금속, 세라믹은 물론 단백질, 유기 분자 등 고체 결정으로 만들 수 있는 모든 물질들의 구조를 엑스선 분광법을 이용해 밝혀내고 있습니다.

재료의 미시적 구조는 그 재료의 기계적 거동과 전자기적 성질에 지대한 영향을 끼칩니다. 따라서 재료의 물성을 측정하고 적절하게 이용하거나 개선하는 것을 목표로 하는 재료공학 분야에서 재료의 3차원 미시구조를 알아내는 것은 매우 중요한 문제입니다. 재료를 직접 보지 않고도 그 구조를 우리에게 알려주는 엑스선 결정학은 분명히, 재료공학의 발전에 크게 공헌하였답니다. 공상

참고문헌

- [1] Bragg, W. H., & Bragg, W. L. (1913). The reflection of X-rays by crystals. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 88(605), 428-438.
- [2] Cullity, B. D. & S. R. Stock (2001). *Elements of X-ray diffraction.*, 3rd edition, Pearson.
- [3] Sherwood, D. & J. Cooper (2011). *Crystals, X-rays and Proteins.*, 1st edition, Oxford university press.

* Dorothy Hodgkin, 그녀는 단백질 결정학에 대한 기여로 1964년 노벨 화학상을 수상합니다.

땅 파서 장사하기 힘드네!

반도체 공정, 그래서 그게 왜 필요해요?



지난 여름, 유난히 더웠던 날씨만큼 대한민국은 ‘반도체’와 ‘일본’이라는 키워드로 뜨거웠습니다. 7월 1일 일본 경제산업성이 반도체디스플레이 핵심소재인 ‘불화수소, 포토레지스트, 폴리이미드’에 대한 수출규제 조치를 공식 발표했기 때문인데요. 이 조치들에 대해 국가 차원의 대응이 필요했고, 경제에 미치는 큰 영향에 대해 학계와 산업계가 모여 대응 방향을 논의해야만 했던 이유는 무엇이었을까요? 반도체는 어떤 과정으로 만들어지는지, 반도체를 만드는 데 어떤 소재들이 어떻게 사용되는지 알아보고 그 이유를 찾아보도록 해요!

● 대한민국 정부, ‘아무도 흔들 수 없는 나라’ - 일본 수출규제 조치와 우리 정부의 대응, 190910 개정판

반도체의 제작과정은 흔히 8대 공정으로 불리며, 각각은 그림 1과 같습니다. 여기서 주의할 점은 8대 공정이라고 해서 8개의 단계로 반도체가 만들어지는 건 아니라는 점입니다. 각 공정을 여러 번 진행하여 하나의 반도체가 나온다고 해요.

먼저 반도체 공정은 웨이퍼 공정부에서 시작됩니다. 반도체는 모래의 주 구성성분인 규소(Si)에서 만들어지는데요, 이 규소를 정제하고, 정제한 규소를 용액으로 녹였다가 굳혀 잉곳(Ingot)이라는 실리콘 기둥을 만듭니다. 이를 얇게 자르면 우리가 흔히 알고 있는 둥근 원판 형태의 웨이퍼가 되는 것이지요. 그 후 바로 여러 공정에 웨이퍼를 투입하면 좋겠지만, 반도체는 매우 미세한 불순물로도 불량품이 될 수 있는 민감한 부품이기 때문에 규소로 만들어진 웨이퍼를 산화시켜 SiO₂ 막을 형성하고, 이를 이용해 공정 시 발생하는 오염물질이나 불순물로부터 웨이퍼 표면을 보호하는 산화 공정을 진행합니다.

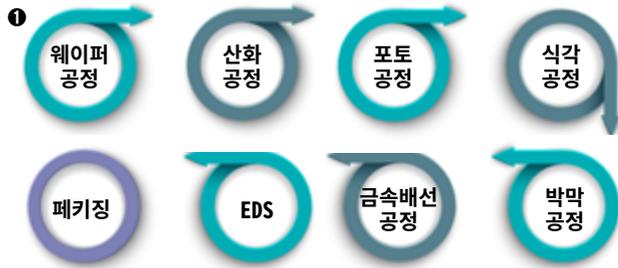
그럼 이제 웨이퍼 위에 원하는 전기 회로를 그려 넣을 차례입니다. 선과 선의 간격이 나노미터 단위이기 때문에 손으로 그리긴 쉽지 않겠죠? 그래서 마치 사진을 찍듯 회로가 그려진 마스크를 앞에 두고 빛을 웨이퍼에 투영시켜 그리는 방법을 사용합니다. 그래서 이 공정은 포토 공정으로 불려요.

여기서 빛에 노출되면 화학적 성질이 변하는 감광액(Photo Resist)이 사용됩니다. 웨이퍼에 감광액을 균일하게 도포하고 마스크를 거쳐 빛을 조사(Stepper Exposure, 노광)하게 되면 빛을 받은 부분과 받지 않은 부분의 화학적 성질이 달라질 거예요. 이제 현상액을 뿌려 빛을 받은 부분이 제거되거나(positive) 받지 않은 부분이 제거된(negative) 웨이퍼는 현미경과 육안으로 공정 상태를 꼼꼼히 점검한 후 다음 공정으로 넘기게 됩니다.

다음 공정은 얻어진 회로 패턴 외에 필요 없는 부분을 깎아내는 식각 공정입니다. 앞서 포토 공정을 통해 패턴이 그려진 웨이퍼를 얻었습니다. 그럼 웨이퍼 위에 뭐가 놓여있는지 다시 떠올려 볼까요? 그럼 2처럼 웨이퍼-산화막-감광액 순으로 놓여 있었군요. 그럼 우리는 감광액이 없는 부분만 지워낸다면, 웨이퍼 위에 회로 패턴만 남길 수 있을 것입니다. 이렇게 액체 혹은 기체 형태의 식각 용액으로 불필요한 부분을 제거하는 과정을 반복하면 회로 패턴만 남게 됩니다.

이후에도 이온 주입공정을 통해 반도체에 원하는 전기적 특성을 더해주는 박막공정, 반도체의 회로패턴을 알루미늄(Al), 티타늄(Ti), 텅스텐(W) 재질로 구성하는 금속 배선 공정, 웨이퍼 상태에서 불량품을 선별하는 EDS(Electric Die Sorting), 웨이퍼를 날개의 칩으로 분리하여 외부의 습기나 충격 등에서 칩을 보호해줄 수 있는 에폭시로 포장하는 패키징(Packaging) 공정까지 거쳐야 우리가 일상 생활에서 사용하는 반도체를 만날 수 있습니다.

이제껏 반도체의 생산 공정에 대해 알아보았는데, 이제 일본의 수출



① 반도체 8대 공정
② 포토 공정 이후 패턴이 그려진 웨이퍼



규제 품목인 포토레지스트와 불화수소는 반도체 공정에 어떠한 영향을 미치는지 알아보시다. 먼저 포토레지스트(감광액)는 포토공정에서 웨이퍼에 패턴을 그리기 위해 사용하며 빛에 노출될 경우 화학적 성분이 달라지는 물질이라고 설명했는데요, 사실 포토레지스트는 단순히 어떤 한 물질이 아니라, 비춰주는 빛의 파장, 원하는 회로의 정밀도, 심지어 각 반도체 제조회사 공정 노하우에 따라 서로 다른 조합의 화학물질로 구성됩니다. 이런 화학물질들은 반도체 제조사와 포토레지스트 제조사가 함께 제작합니다. 이렇게 각각의 공정마다 요구되는 조건에 맞추어 사용되던 포토레지스트의 수입이 막히게 된다면, 단시간 내에 대체하는 일이 쉽지 않겠죠?

다음으로 불화수소는 식각 공정에서 감광액이 없는 부분의 산화막을 제거하는 식각 용액으로 사용되는 기체입니다. 식각 공정은 식각 용액의 상태에 따라 건식 식각과 습식 식각으로 나누어지는데요, 건식 식각은 기체 용액을 사용하기 때문에 액체 용액을 사용하는 습식 식각에 비해 비용이 비싸고 방법이 까다롭지만, 미세한 패턴닝이 가능하고 수율이 높다는 장점이 있습니다. 따라서 반도체가 나노미터 단위로 집적화되고 있는 최근에는 건식 식각이 대세를 이루고 있어요. 이러한 건식 식각은 플라즈마가 만들어낸 반응성 원자를 이용해 웨이퍼 위의 막질 원자를 제거하는 방식으로 이루어지는데요, 진공으로 만들어진 공정 공간 안에 식각 기체를 넣고, 에너지를 공급해 이를 플라즈마 상태로 만들면 이 플라즈마 상태를 이루고 있는 기체의 반응성 원자가 감광액으로 보호되지 않은 부분을 제거하게 됩니다.

불화수소는 끓는점이 19.5℃로 기체 상태로 만들기 쉬워 식각 기체로 사용되는 경우가 많습니다. 이때 불

화수소의 순도가 매우 중요합니다. 이는 반도체 식각 공정에서 아주 미세한 불순물이라도 있을 경우 웨이퍼에 잔류하거나, 패턴형성과정에 반응해 문제가 일어날 확률이 높기 때문이에요. 현재 반도체 공정에는 99.99999%의 고순도 불화수소를 사용하는데요, 만약 99.99%로 순도가 감소한다면, 이는 단순히 순도 0.009%의 차이가 아니라 연간 수백에서 수천억 원의 큰 차이를 만들어낸다고 합니다. 또한, 이런 고순도 불화수소는 제조사마다 화학적 특성이 다르기 때문에 앞서 포토레지스트와 마찬가지로 급작스럽게 제품이 달라진다면 그 수율 측면에서도 큰 영향을 줄 수 있다고 하네요.

지금껏 반도체의 8대 공정과, 이와 관련한 일본의 수출 규제 품목의 영향을 알아보았는데요, 정말 어렵고 긴 과정이었죠. 모든 과정에서 높은 정밀도를 요구하기 때문에 첨단 산업기술의 꽃으로 불리는 것 같습니다. 앞서 말한 대로 같은 화학식을 가지고 있다고, 혹은 같은 장비를 가지고 있다고 해서 반도체 제조에서 같은 성능이나 수율을 낸다고 장담할 수 없어요. 대학과 회사의 연구원 분들이 오랜 기간 연구를 진행하고, 실제 공장의 노동자 분들이 체득한 경험과 데이터를 통해서 만들어지는 지식의 집합체인 것이죠. 일본의 수출 규제 이후 정부와 과학계 모두 반도체 산업의 발전을 위해 많은 노력을 기울이고 있는 만큼, 외교적 측면과 기술적 측면에서 모두 나아가는 반도체 산업을 기대해 봅니다. 땅 파서 장사하기 쉽지 않죠? 공학자가 되어 그 기적의 과정에 함께할 여러분을 기다리고 있을게요. 공상

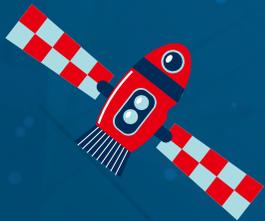
참고자료
<https://www.samsungsemiconstory.com/> 삼성 반도체 이야기 홈페이지

항공인들의 축제, 항공전!

지난 9월 20일과 21일, 서울대학교에서는 아주 특별한 행사가 있었습니다. 바로 기계항공공학부 우주항공전공(이하 항공과) 학생들의 축제인 항공전이었는데, 이번 코너에서는 다양한 체험과 활동이 가득했던 항공전에 대해 소개해드리겠습니다!

글 김건우, 원자핵공학과 3

편집 이지현, 원자핵공학과 1



항공전은 올해로 34회째를 맞이했습니다. 매년 항공과 동아리들이 합심하여 준비하는 축제인데, 올해는 특히 기존에 2개이던 동아리가 5개까지 확장되면서 축제 규모가 더 커지고 체험도 다양해졌습니다. 항공전은 항공과 학생들뿐만 아니라 다른 과 학생, 고등학생 등 항공에 관심있는 누구나가 참여할 수 있는 개방된 축제라고 합니다. 모든 참가자는 각 동아리에서 운영하는 부스에 가서 다양한 체험을 할 수 있는데, 그중 몇 가지 부스를 소개합니다!

불나비: DIY RC 비행기!

라이트 형제가 비행기를 발명한 지 100년이 더 지났는데도, 여전히 비행기는 최첨단 기술이 들어가는 만들기 어려운 기구입니다. 그렇지만 항공과 동아리 불나비에서는 그런 어려움을 뚫고 소형 RC 비행기를 제작했습니다!

아래 불나비 부스 사진에서 볼 수 있는 소형 RC 비행기는 굉장히 간단한 구조처럼 보이지만, 놀랍게도 이 작은 비행기 안에는 다양한 과학적 원리가 담겨 있다고 합니다. 단순히 유선형 모양의 날개로 양력을 얻는 것뿐만 아니라, 조금이라도 무게중심이 맞지 않으면 비행기가 떨어지기 때문에 완벽하게 힘 평형을 맞춰야 합니다. 또 외부의 바람이나 약간의 무게중심 변화에도 견딜 수 있도록 수평을 조절할 수 있는 장치 역시 본체 내부에 넣어야 한다고 합니다. 제트엔진으로 추진하는 일반적인 항공기와는 달리, RC 비행기는 프로펠러를 통해 추진력을 얻습니다. RC 비행기의 프로펠러는 한쪽으로 돌기 때문에, 각 운동량 보존 법칙에 의해서 비행기 동체가 회전 반대방향으로 토크를 받습니다. 따라서 RC 비행기는 이 토크를 상쇄시켜줄 장치 또한 내부에 설치해야 합니다.



▲ 불나비 부스
▶ 불나비 RC 비행기 시연

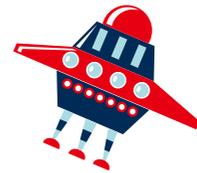
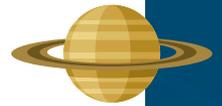
- 음속보다는 느리지만, 이에 준하는 빠른 속력



▲ 하나로 부스 및 Halo-1 로켓 모형



▲ 한국형발사체 모형



하나로: 하늘을 향해 날리는 나만의 로켓

항공과에서 로켓이 빠질 수는 없겠죠! 하나로는 로켓을 만드는 서울대의 유일무이한 동아리입니다. 위 그림의 로켓은 SA 컵에 출전했던 Halo-1 로켓입니다. SA 컵은 매년 미국에서 전 세계의 대학들이 모여 서로의 로켓을 경쟁하는 대회인데요, 전 세계에서 120개의 팀이 참가한 가운데 서울대학교를 대표해서 하나로가 이 로켓으로 출전했다고 합니다.

Halo-1 로켓의 길이는 약 2.8m이고, 무게는 약 30kg입니다. 발사 후 고도 400m 이상 비행할 수 있다고 합니다. 간단해 보이는 로켓의 외형과는 달리 내부에는 복잡한 장치가 내장되어 있습니다. 우선 로켓 하단부에는 연료를 통해 추진력을 얻는 모터가 장착되어 있습니다. 또한, 발사 이후 착륙을 위한 낙하산과 낙하산을 제어하는 라즈베리 파이 CPU, 센서 신호를 변환하는 아두이노 마이크로 등이 장착되어 있습니다. 또한 로켓의 가장 윗부분인 노즈콘 부분은 아음속 구간에서 공기 저항을 최소로 받는 형태로 제작되었습니다. 무게가 30kg이나 되는 로켓을 400m 높이로 쏘아 올리고, 낙하산을 이용해 착륙까지 이뤄낸 하나로 학생들, 정말 대단하지 않나요?

MATRIX: 컴퓨터로 모든 것을 계산한다!

항공과에서 가장 많이 활용되는 분야는 유체역학입니다. 유체역학은 결국 나비에-스토크스 방정식이라는 하나의 미분방정식을 해결해야만 하는데요, 안타깝게도 이 미분방정식은 아직까지 손으로 계산이 불가능합니다. 그렇다

면 어떻게 비행기를 띄우고, 로켓을 발사할 수 있을까요?

그것은 우리가 직접 손으로 나비에-스토크스 방정식을 풀 수는 없지만, 컴퓨터를 통해서 비슷한 해를 구할 수 있기 때문입니다. 이렇게 컴퓨터를 사용해서 유체역학을 연구하는 분야를 전산유체라고 합니다.

항공과 동아리 MATRIX는 서울대학교 유일한 전산유체 동아리입니다. 작년에 처음 생긴 신생 동아리인 MATRIX는 항공과 안의 조그만 컴퓨터공학부라고 할 수 있습니다. 이번 항공전에서는 MATRIX에서 직접 개발한 전산유체 시뮬레이션을 시연했다고 합니다. 컴퓨터로 흐르는 유체의 운동을 분석해낸 것이죠!

항공전에서는 앞서 소개한 동아리 부스뿐만 아니라, 한화 방산, 한화 에어로스페이스, VITZRO NEXTECH 등 여러 기업에서도 부스를 운영하며 취업 상담, 체험 등을 제공했다고 합니다. 특히 VITZRO NEXTECH는 나로호에 장착된 한국형 발사체를 제작한 회사로, 항공전에서도 이 모형을 전시했다고 합니다.

이상 항공인들의 축제 항공전에 대한 소개였습니다. 공학은 글로만 배울 수 없는 학문입니다. 우리가 직접 제작해보고, 실험해보는 과정에서 공학을 제대로 배울 수 있습니다. 항공과 학생들은 수업시간에 배우는 것만으로 만족하지 않고, 직접 모형을 만들거나, 코딩으로 구현해서 매년 항공전을 개최합니다. 진정한 공학도의 모범이라고 할 수 있겠네요! 독자 여러분도 항공전에 들르셔서 진정한 공학을 체험해 보시면 좋을 것 같습니다. 공상

내 일자리를 빼앗아갈 인공지능 『인간은 필요 없다』



제리 카플란 지음, 신동숙 옮김, 한스미디어, 2016

글
김택민, 기계항공공학부 2

편집
이정윤, 건축학과 3

여러분은 패스트푸드 음식점에서 키오스크로 음식을 주문해 보신 적이 있나요? 인터넷 서핑을 하는데 광고로써도 눈여겨보던 옷의 광고 배너를 보고 온라인으로 당일 배송 주문을 해보신 적이 있나요? 하나라도 해보신 적이 있다면, 축하합니다! 여러분은 최신 기술의 혜택을 받으며 살고 있습니다. 패스트푸드 점원이 계산해주는 것보다 키오스크가 더 빠르고, 옷 가게에서 직원이 옷을 추천해주는 것보다 인터넷 쇼핑몰의 자동 추천이 더 정확하다고 느끼셨을지도 모릅니다. 이처럼 인공지능과 신기술들을 이용하여 우리는 편리함을 누리며 살고 있습니다.

여러분이 나중에 패스트푸드 매장의 사장님이나 옷 가게의 사장님이 된다고 해도 직원을 고용하는 것보다 키오스크와 인터넷 쇼핑몰 프로그램을 운영하는 것이 더 좋은 선택일 것입니다. 이들은 실수도 안 하고 인건비도 안 받기 때문이죠. 그렇다면 원래 이 일을 도맡아 하던 패스트푸드 점원과 옷 가게 직원은 어떻게 될까요? 실제로 이들은 자동화 기계와 인공지능에게 일자리를 점점 빼앗기고 있습니다. 이처럼 기술의 발달에는 어두운 이면도 존재합니다.

이 책의 저자 제리 카플란은 이러한 점을 '인간은 필요 없다'라는 자극적인 제목을 사용해 가까운 미래에 닥쳐올 문제점으로 지적하고 있습니다. 사람들의 노동은 인공지능에 비해 효율성이 떨어지는 만큼 일자리를 잃는 사람이 생기거나, 기존과 동일한 일에 대한 소득이 줄어든 것이라는 전망을 내놓습니다. 자본주의 사회는 자본가가 노동자에게 노동에 대한 대가를 지불하여 부의 재분배가 이루어지는 사회입니다. 그러나 인공지능이 노동을 대신한다면 자본가는 점점 부자가 되고, 노동자는 점점 가난해져서 빈익빈 부익부 현상이 심해질 것입니다. 실제로 우리나라의 오프라인 대형마트 중 매출 1등인 E기업은 2018년 기준 1인당 매출액이 2억 8,183만 원인데 비해, 온라인 쇼핑몰 기업인 C기업은 2018년 기준 1인당 매출액이 6억 9,283만 원에 이릅니다. 온라인 쇼핑몰은 똑같은 매출을 올리기 위해 직원 수가 절반도 필요하지 않다는 계산을 할 수 있습니

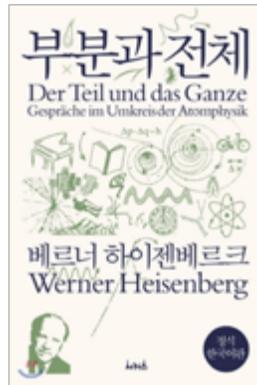
다. 온라인 상거래 규모가 점점 커지고 있으므로, 앞으로 전체 소매업 계열에 종사하는 직원의 수는 줄어드는 반면, 기업의 매출액은 늘어날 것이라고 예상할 수 있습니다. 사장님 입장에서서는 웃음꽃이 피어나지만 해고되는 직원들의 눈에서는 눈물이 흐를 것입니다. 저자는 부의 분배가 공정하게 이루어진 사회일수록 구성원의 행복도가 높다는 연구 결과들을 바탕으로 빈익빈 부익부 현상의 문제를 꼬집습니다.

여러분은 기술의 발달로 일어나는 우리 사회의 변화가 문제라는 것에 동의하시나요? 변화는 그 자체보다는 변화의 속도가 빨라서 문제가 되는 경우가 대부분입니다. 변화가 천천히 일어난다면 패스트푸드 점원과 옷 가게 직원은 새로운 기술을 배우고 새 일자리를 알아볼 시간이 충분할 것입니다. 그러나 지금의 변화는 여러분이 생각하는 것보다 빠르게 일어나고 있습니다. 평생 하던 일이 하루아침에 쓸모없어지는 상황이 올 수도 있습니다. 버스 기사나 택시 기사들은 자율주행차가 완전히 정착하면 평생 몸바쳐온 일을 영영 할 수 없게 되는 것처럼 말입니다. 그렇다면 변화에 맞추어 우리 사회도 바뀌어야 하지 않을까요? 여러분이 커서 일하고, 돈을 벌 때의 삶의 방식은 어떻게 바뀌어 있을까요?

미래의 주역인 여러분이 다가올 미래를 직접 바꿀 수 있습니다. 인공지능, 딥 러닝, 머신 러닝 등 최근 뜨거운 기술들은 우리 사회를 운택하게 해줄 수도, 비참하게 해줄 수도 있습니다. 기술의 밝은 면만 보고 이를 좇다 보면 나중에 부작용을 감당하지 못할 지경에 이를 수도 있습니다. 미래에 인공지능과 일자리를 두고 경쟁하고 싶어하는 사람은 없을 것입니다. 이 책에서는 미래를 바꿀 수 있는 기회는 지금밖에 없다는 점을 강조합니다. 앞으로 기술을 개발하고 미래를 이끌어 나갈 여러분은 어떻게 생각하시나요? 여러분이 미래에 가질 일자리는 안전할까요? 이 책이 기술의 어두운 이면과 기술이 우리 사회 구성원들에게 미칠 영향을 생각해보는 계기가 되었으면 좋겠습니다.

과학자들의 신대륙, 양자역학

『부분과 전체』



글

서지영, 조선해양공학과 1

편집

최강현, 전기정보공학부 4

베르너 하이젠베르크 지음, 유영미 옮김, 서커스출판사회, 2017

과학에서는 어떤 한 시대를 살고 있는 사람들이 공통적으로 가진 견해나 인식을 패러다임이라고 부릅니다. 과거부터 현재까지 인류는 새롭게 자연 현상 등이 발견되면, 가설을 세워 이를 설명하고자 했고, 논리적 오류가 없을 때 이 가설은 패러다임으로 굳어졌습니다. 또 만약 기존 패러다임에 어긋나는 새로운 현상이 발견되면, 사람들은 이를 대체할 수 있는 새로운 패러다임을 제시했습니다. 오랫동안 굳게 믿어왔던 패러다임을 순식간에 바꾸는 것은 어려운 일이지요, 인류는 시간이 지남에 따라 나타나는 많은 증거와 함께 새로운 사상을 받아들였습니다. 지금은 너무 당연하다고 여겨지는 양자역학도 같은 과정을 겪었습니다.

양자역학이 등장하기 전, 물리학이 가졌던 가장 명확한 특징은 바로 정확성이었습니다. 예를 들어, 어떤 사람이 초속 5m의 속도를 가지고 일직선으로 걸어가고 있다면, 우리는 그 사람이 500m를 걷는 데 100초가 소요될 것이라고 정확하게 예측할 수 있습니다. 19세기까지만 해도 물리학자들의 역할은 '정확성'에 의거하여 물체의 운동을 뉴턴역학의 법칙에 따라 추적하는 것이었습니다.

하지만 전자와 같은 작은 입자들로 이루어진 미시 세계의 물리량은 실험적으로 보일 수 없었습니다. 때문에 이론물리학자들은 사고 실험과 수식에 기반해 양자역학에 접근하기 시작했습니다. 그러나 이들이 만든 가설은 고전역학의 성질인 연속성에 반대되는 내용으로 구성되었다는 점과, 진위를 판별할 수 없다는 점에서 많은 물리학자들의 질타를 받았습다. 이때 하이젠베르크는 이렇게 생각합니다.

『과학의 신대륙 역시 결정적인 부분에서 기존의 과학이 토대로 하고 있던 기반을 떠나 아무것도 없는 곳으로 뛰어들 각오가 되었을 때라야 발견할 수 있는 것 같다.』

그의 말에, 학자들은 미시 세계라는 신대륙에서 나타난 현상들에 대해 새로운 시선으로 여러 가설들을 세우기 시작했습니다. 처음에는 원자의 분광 스펙트럼에서 볼 수 있는 흡수선이 떨어져 나타나는 현상을 양자론

을 통해 설명하였고, 러더퍼드의 알파 입자 산란 실험 등을 통해 전자가 원자핵을 일정한 궤도로 도는 행성계 모형도 고안했습니다. 이렇게 양자역학을 가리던 안개가 걷히는 듯 보였지만, 하이젠베르크는 양자역학과 수식이 서로 충돌하는 것을 보게 됩니다. 당시 슈뢰딩거의 파동 역학은 전자의 운동을 수식적으로 잘 묘사하여 양자역학에서 매우 복잡했던 많은 계산들을 간단하게 하였지만, 전자를 입자가 아닌 물질파로 생각했기 때문에 양자 도약을 설명할 수 없었습니다. 이에 대한 해결책은 아이러니하게도 생을 마감할 때까지 양자역학을 부인했던 아인슈타인이 한 말에 있었습니다.

“이론이 비로소 무엇을 관찰할 수 있을지를 결정한다.”

하이젠베르크는 안개 상자 속에서 관찰할 수 있는 것은 전자 궤도가 아닌, 전자가 놓여 있는 불확정적인 위치에 대한 결과뿐이라는 것을 깨닫고, 기존의 전자 운동에 대한 질문을 '전자가 어느 정도 부정확한 위치에 어느 정도 부정확한 속도를 가지는 상황을 어떻게 묘사할 수 있을까?'로 바꾸어 생각합니다. 이에 대한 답으로 그가 내놓은 것이 바로 '불확정성의 원리'입니다. 전자의 위치와 운동량의 곱은 플랑크의 작용양자보다 작을 수 없다는 내용의 이 원리를 통해 하이젠베르크는 양자역학을 수학으로 설명할 수 있는 실마리를 찾게 되었습니다.

한편 불확실했던 것은 미시 세계만이 아니었습니다. 20세기 독일은 또 다른 세계 대전을 준비하고 있었고, 반유대주의와 나치즘으로 인한 내부 분열로 혼란을 겪고 있었습니다. 매일이 불확실한 삶 속에서 많은 과학자들은 과학자의 윤리적 책임과 국민의 애국심과 같이 상충되는 가치관들 사이에서 무엇이 옳은 결정인지 끊임없이 갈등했습니다. 어쩌면 하이젠베르크는 자신의 삶과 같이 예측할 수 없는 미시 세계에 끌려든 것일지도 모릅니다. 여러분도 양자역학을 둘러싼 패러다임의 변화를 (부분과 전체)에서 만나보았으면 좋겠습니다.

서울대 기계항공공학부 고승환 교수 연구팀 종이 자르기 방법으로 투명 전자피부 센서 개발



고승환 교수

기계항공공학부 고승환 교수팀이 종이 자르기 방식인 키리가미(Kirigami) 기법으로 사람 피부에 부착해 생체정보를 인식하는 투명 전자피부를 개발했다. 이번 연구로 매우 손쉽게 전자피부를 다양한 피부 층에 맞춤 제작할 수 있게 됐다.

사람의 피부에 부착해 작동하는 전자 피부는 미관상 눈에 잘 보이지 않게 투명하고, 이질감이 없도록 피부와 같이 늘어나야 한다. 하지만 기존의 전자피부용 투명 전극은 물질적인 한계로 투명하지 않거나, 늘어나기 힘들고 기계적인 변형에 의해 전기적인 성능이 크게 변하는 한계점이 있었다.

이에 연구팀은 투명 전극을 다양한 패턴으로 자르는 혁신적인 방식을 고안했다. 투명 전극에 연구팀이 개발한 패턴링* 공정에 따라 일정한 패턴으로 오린 '키리가미' 구조체를 삽입하면, 원하는 피부 부위에 알맞게 안정적으로 늘어날 수 있다.

연구팀은 이렇게 개발한 키리가미 투명 전극을 이용해 굴곡이 다양한 피부 부위에 부착할 수 있는 히터와 생체신호 센서 형태의 투명 전자피부를 구현했다. 이 투명 전자피부는 사람의 눈에 보이지 않아서 부담 없이 착용할 수 있는 상처치료/건강 관

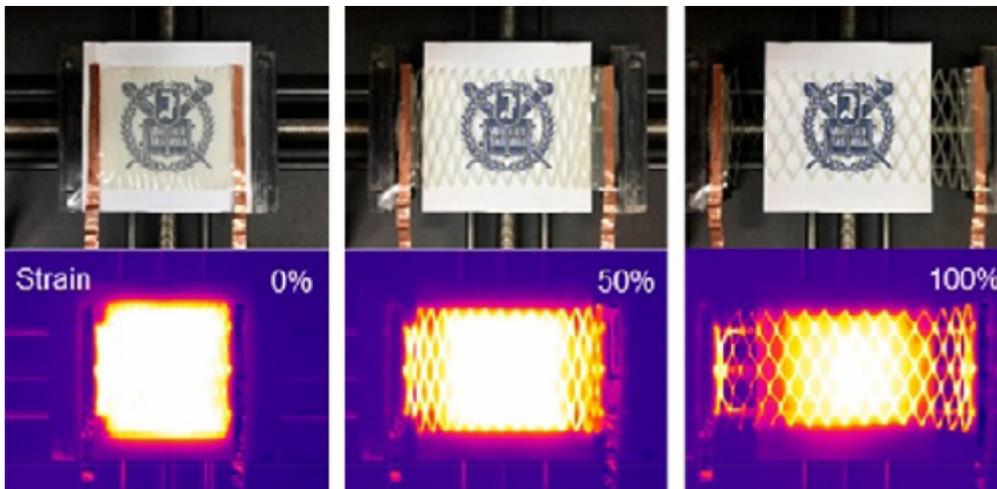
리용 기기로 적용 가능하다.

또한 생체신호를 이용한 IoT/ICT 분야에서도 투명 전자피부를 활용할 수 있다. 연구팀은 투명 전자피부를 이용해 사람의 팔 근육에서 측정된 근전도(EMG) 신호를 드론의 작동 신호로 변환해 사람의 팔로 드론을 조종하는 실험에 성공했다.

서울대 고승환 교수는 “이번 연구는 종이 자르기 기법을 응용해 손쉽게 전자피부용 투명 전극의 제작 공정을 고안했다는 점에서 의의가 있다”며, “의료 분야뿐 아니라 사람과 기계 사이를 연결하는 휴먼-머신 인터페이스(HMI, Human-Machine Interface)의 활용 가능성까지 입증한 것”이라고 설명했다.

연구 결과는 세계적으로도 주목받아 미국화학회(ACS, American Chemical Society)에서 발간하는 모든 학술지 논문 중 편집장들이 우수성을 인정하는 한 편의 논문인 'ACS Editor's Choice'에 선정됐다. 이와 함께 나노 분야의 국제 권위 학술지인 『나노 레터스(Nano Letters)』에 8월 14일자로 게재됐다.

* 반도체 칩 내의 집적 회로는 패턴으로 이루어지는데, 박막에 필요한 부분만을 남기고 나머지 물질을 반복적으로 제거하는 과정을 통해 생성됨.



길게 늘어도 열적, 기계적 안정성을 유지하는 투명 전자피부(출처: 나노 레터스)

서울대 항공우주비행체설계 연구실 학생팀 CRANE 미국 수직비행협회 디자인 경연대회 준우승

서울대 공대는 기계항공공학부 항공우주비행체설계 연구실의 CRANE팀이 제36회 학생 디자인 경연대회에서 대학원 부문 신인상과 준우승을 차지했다고 9월 30일 밝혔다. 아시아 단일팀으로 신인상과 준우승을 수상한 건 CRANE팀이 최초다.

CRANE팀은 하이브리드 엔진을 탑재한 독특한 형상의 헬리콥터(winged-helicopter)를 제시했다. 이 헬리콥터는 높은 고도에서도 효율성과 안전성이 뛰어난 점을 입증하며 준우승의 성과를 거두었다. 강세권 석사과정 외 10명으로 구성된 팀은 서울대 기계항공공학부 이관중 교수의 지도 아래 과제를 수행했다.

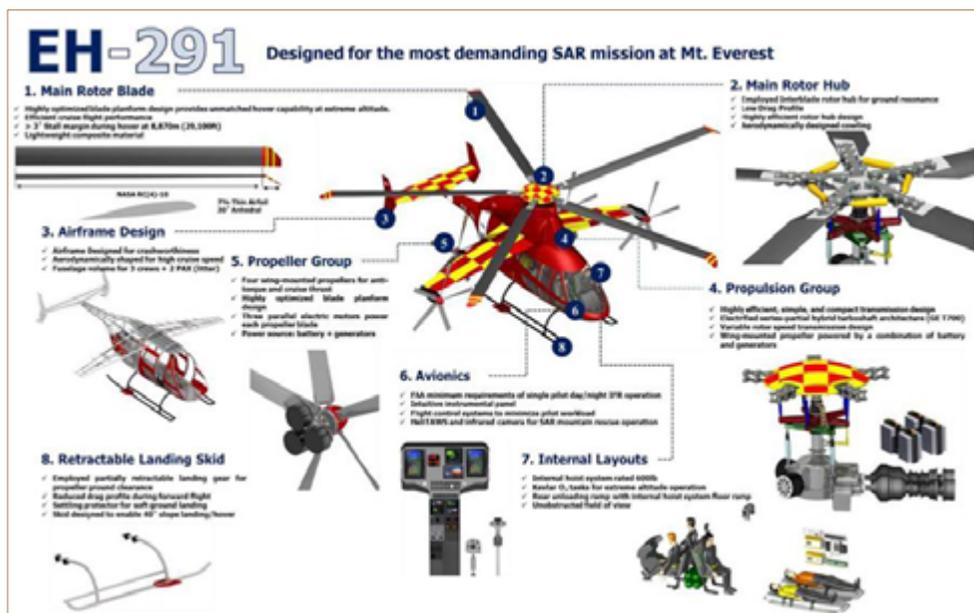
제36회 학생 디자인 경연대회(36th Annual Student Design Competition)는 헬리콥터 분야에서 최고 권위를 가진 미국 수직 비행 협회(VFS, Vertical Flight Society)가 주관하였으며, 세계 최대 규모의 항공회사인 에어버스(Airbus)사의 후원으로 진행됐다. 매년 1년간 진행된 과제 내용을 평가하는 이번 대회의 36번째 주제는 '초고도 산악 구출 운송 수단(Extreme Altitude Mountain Rescue Vehicle)'이었다. 서울대 이관중 교수는 "서울대의 독자적인 신개념 회전익기 설계 기술을 보여



서울대 항공우주비행체설계 연구실 CRANE팀 단체 사진

주는 계기가 됐다"라고 평가했다.

CRANE팀은 2018년 8월 15일부터 2019년 5월 31일까지 이관중 교수의 지도와 건국대학교 항공우주정보시스템공학과와 김창주 교수의 협력 아래 과제를 진행하여 최종 설계 결과를 발표했다. 본 대회의 최종 결과는 VFS 홈페이지에서 확인 가능하다.



CRANE팀의 설계 프로젝트 중 일부

서울대 공대 제6회 추석맞이 전통문화체험 행사 개최

서울대 공대는 오목형 옥상 빗물 텃밭에서 외국인 유학생을 위한 제6회 추석맞이 전통문화체험 행사를 지난 9월 21일 열었다. 이 행사는 서울대 공대 건설환경공학부(한무영 교수), 관악도시농업네트워크(여용옥 대표), 다경 꽃차 교육원의 주최 및 글로벌사회공헌단의 지원으로 진행됐다.

이날 서울대에 재학 중인 베트남, 폴란드, 인도네시아, 스리랑카 등 외국인 유학생 30명과 관악구 지역주민 20명 및 서울대 교직원 및 교수, 학생 20명 등이 모여 송편 빚기, 다과 나눔, 투호, 제기차기, 공기놀이 등 전통 놀이 체험으로 추억을 나누는 자리를 가졌다.

베트남에서 온 부이티투이(31 여, 박사과정)는 “가족과 함께 참여해 즐거운 시간을 보냈다”며, “한국 명절의 의미를 느끼고, 다양한 전통 놀이를 체험할 수 있어 즐거웠다”고 말했다.

특히 이번 행사가 열린 장소인 35동 옥상은 2013년 4월 개발된 오목형 빗물 텃밭이라 더욱 의미가 깊다. 서울대 건설환경공학부는 건물의 버려진 공간인 옥상을 오목형 빗물 텃밭으로 개발해 지역주민과 학생에게 개방한 바 있다. 농작물을 키우면서 대학과 지역의 유대를 강화해주는 ‘착한 공간’이라는 평가를 받



서울대 공대 추석맞이 전통문화체험 행사

았다.

빗물 텃밭 프로젝트를 주도한 서울대 한무영 교수는 “오목형 옥상 빗물 텃밭은 최상층의 전기료를 절감하고, 건물의 열섬 현상을 완화시키며, 빗물을 일시 저류해 홍수를 예방하는 효과가 있다”며, “앞으로 정부 소유의 건축물, 지방자치단체의 주민센터, 도서관, 학교 등의 옥상을 오목형 빗물 텃밭으로 개발한다면 농작물 재배뿐 아니라 지역사회와 커뮤니티를 활성화시키는 공간으로 활용도가 더욱 커질 것”이라고 설명했다.

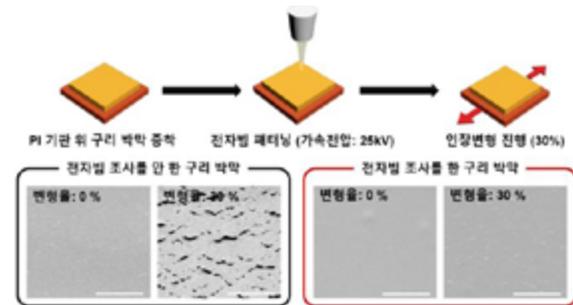
서울대 공대, 늘어나는 금속 전극 제작기술 개발 전자빔 조사 이용, 인장 변형 시 금속 박막의 균열 생성 억제하는 새로운 기술

서울대 공대 재료공학부 최인석 교수팀, 주영창 교수팀, 융합과 학기술타학원 김창순 교수팀으로 구성된 공동연구팀은 전자빔 조사를 이용해 인장 변형 시 금속 박막의 균열 생성을 억제하는 새로운 기술을 개발했다고 21일 밝혔다.

반도체와 디스플레이 등 전자 소자에 전극으로 사용되는 금속 박막은, 두께가 수백 나노미터로 얇아 수%만 잡아당겨도 미세한 균열이 쉽게 발생하여 사용이 불가능해진다. 이러한 균열을 제어하는 것은 최근 전자소재업계에서 화두가 되고 있는 유연 소자 및 늘어날 수 있는 전자 소자 개발에서 매우 중요하다.

서울대 공대 연구팀은 연성 기판 위에 증착된 100 나노미터 두께의 구리 박막에 전자빔을 조사한 후 기판을 잡아당겼을 때 구리 박막의 균열 생성이 억제됨을 보였다. 더욱이 이 기술을 통해 기존에는 생각할 수 없었던 변형 수치인 30%에서도 균열이 없는 박막을 구현했을 뿐만 아니라 전자빔을 특정영역에만 조사하여, 균열 생성이 억제되는 영역의 모양을 자유자재로 제어했다.

더불어 연구팀은 이 기술을 적용해, 소자를 당겼을 때 생기는 발광 영역의 패턴이 전자빔을 조사한 패턴과 일치하는 인장 감응형 OLED(유기발광다이오드)를 성공적으로 제작함으로써, 향



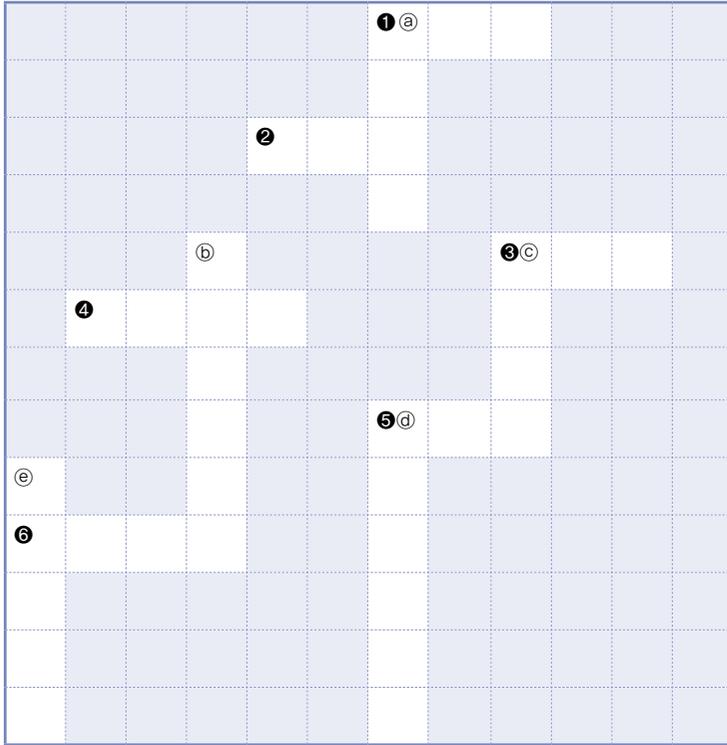
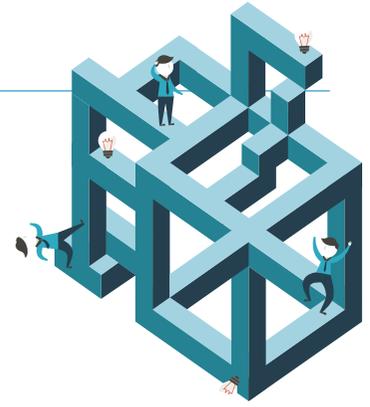
연구팀에서 개발한 전자빔 조사 기술의 모식도와 100 nm 두께의 구리 박막에서의 전자빔 효과

후 해당 기술이 다양한 유연 소자 제작에 큰 기여를 할 수 있음을 보였다.

한편 이 연구는 한국연구재단의 선도연구센터과제, 중견연구자 지원사업 및 서울대학교 창의선도신진연구자 과제의 지원을 받아 수행되었으며, 이소연 박사(서울대)가 제1저자로 참여한 연구 논문은 ‘네이처 커뮤니케이션즈(Nature Communications)’ 10월 1일자에 게재되었다.

십자말풀이

안녕하세요, 독자 여러분! 벌써 한 해가 다 지나갔네요. 다가오는 2020년도 <공대상상>과 함께 알차게 보내시길 바랍니다. 아래에 30호의 마지막을 장식할 십자말풀이를 준비했습니다. 이번 호를 재미있게 읽으셨다면 빠르고 정확하게 답을 맞히실 수 있을 거예요. 정답을 보내주시는 분들께 <공대상상>이 준비한 선물을 보내드리오니 많은 참여 부탁드립니다!



지난 호 정답

		클		유																
		홀	로	그	램	전	기	전	자											
		키				자														
		움				드														
						라														
①	피	던	스		신	디	사	이	저											
		튜				브														
		디																		
		지	오	메	트	릭														
						랜														
						지	발	뇌	관											
						스														
						터														

가로열쇠

- 'OOO'는 태양 주위에서 별빛이 휘는 현상을 확인한 영국의 천문학자입니다. 당시 하나의 가설이었던 아인슈타인의 일반상대성이론을 검증하여 그의 이론이 인류 역사에 남도록 한 이 천문학자는 누구일까요?
- 'OOO'는 로켓을 만드는 서울대학교의 유일무이한 동아리로, 매년 미국에서 전 세계의 대학생들이 모여 서로의 로켓을 경쟁하는 SA컵에 서울대학교를 대표하여 출전했는데, 기계항공공학부 우주항공전공 학생들의 축제인 항공전에서 부스를 운영한 이 동아리는 무엇일까요?
- 'OOO의 증기기관'은 초기의 증기기관으로, 실린더의 온도가 변하기 때문에 열로 인한 손실이 많은 단점을 가집니다. 후에 와트가 실린더와 응축기를 분리함으로써 열손실을 크게 줄였는데, 와트의 증기기관이 사용되기 전까지 널리 사용된 증기기관을 발명한 이 사람은 누구일까요?
- 서울대학교 축제에는 2가지 종류의 캠프가 있는데요, 그중 첫날 밤에 즐길 수 있는 'OOOO 캠프'는 160분 동안 서울대 학생들로 이루어진 밴드들의 공연을 감상하며, 텐트 안에서 친구들과 함께 음악과 낭만을 즐길 수 있습니다. 새벽만의 잔잔하고 평화로운 학교 분위기를 느낄 수 있는 이 캠프의 이름은 무엇일까요?
- 'OOO카드'는 컴퓨터가 모니터에 화면을 출력하기 위해서 사용하는 부품이며, 크게 GPU와 VRAM으로 구성됩니다. 컴퓨터 성능에 큰 영향을 미치는 4가지 부품 중 하나로, 컴퓨터에서 만들어진 이미지를 모니터에 필요한 전자 신호로 변환시켜주는 이 하드웨어는 무엇일까요?
- 'OOOO'는 지능, 인식에 대한 다학문적인 학제적 연구 분야입니다. 인지심리학이 공학을 포함한 다양한 학문과 섞여 나가면서 발전한 성과를 일컬으며 인간이 느끼고, 생각하고, 표현하는 것을 구체적인 공식이나 절차로 통해 표현하는 연구를 지향하는 이 분야는 무엇일까요?

세로열쇠

- 'OOOO'는 아웃도어 의류 소재 중 하나로, 단순히 공기층을 직물 사이에 넣는 방식을 넘어 섬유 자체의 내부에 공기를 가두어 만듭니다. 중공섬유의 일종이며 섬유 자체에 미세한 공기층이 만들어져 있어 보온성이 뛰어나고 가벼워 방한 의류에 사용되는 이 소재는 무엇일까요?
- 'OOO OOO'는 결정 구조를 갖는 고체들을 직접 보지 않고도 3차원 미시 구조를 알아낼 수 있게 해주어 재료공학의 발전에 크게 공헌한 분석 방법입니다. 막스 라우에, 브래그 부자 등 여러 과학자들의 기여로 20세기 초반 빠르게 발전한 이 방법은 무엇일까요?
- 'OOOO 컴퓨터'는 뉴런의 형태를 모방한 회로로 만들어져 인간의 뇌와 같은 기능을 모사하는 컴퓨터로, 인간이 만들어낸 컴퓨터라는 장치가 신이 만들어낸 인간의 뇌라는 장치를 모방하기 위한 것임을 일컫는 말은 무엇일까요?
- 생물은 대기 중 산소 농도가 낮아짐에 따라 대사 활동을 활발히 하기 위해 몸의 크기를 줄여 체적 대비 표면적을 넓히는 방향으로 진화합니다. 그 예시 중 하나인 'OOOOOO'는 산소 농도가 일시적으로 급상승했던 석탄기 당시 존재한 날개 폭이 70cm에 이르렀던 곤충으로 현재 손바닥만한 점자리의 조상인 이 곤충은 무엇일까요?
- 'OOOO'은 독일 태생의 미국 이론물리학자로, 1916년 일반상대성이론을 발표하였고, 현대물리학에 혁명적인 지대한 영향을 끼쳤는데, 1921년 광전효과 등 이론물리학 전반에 대한 기여로 노벨 물리학상을 수상한 이 물리학자는 누구일까요?

십자말풀이 정답은 제일 인상 깊었던 기사에 대한 짧은 감상평과 함께 다음 호 발간 전까지 서울대학교 서울대학교 공대상상 E-mail(snubng@snu.ac.kr)로 보내주세요. 정답을 맞으신 분 중 추첨을 통해 소정의 상품을 선물로 보내드립니다(주소, 학교, 학년, 이름을 꼭 함께 보내주세요!).

편집후기



이정윤 공대상상 그리고 공대상상 독자여러분 모두 사랑합니다♡
이지현 여러분 지금 당장 인터넷에 '포레스텔라'를 검색하세요!!!!
신원준 날씨가 춥네요 ㅠㅠ
곽정원 캠돌캠순이들아 항상 화이팅해랏!! 보고싶다 ㅠㅠ 나도 화이팅 하자!! ☺☺
배선열 2020년에도 좋은 일만 가득하길!

서지영 감기 조심하세요!
심수정 다들 수고하셨습니다 공상 화이팅 공상 독자 여러분 화이팅~
이진우 나도..차라리...기사가 쓰고싶다..
김소현 HIP해
김성진 안녕히계세요



백지원 성지순례왔습니다 애인 생기게 해주세요
김호현 Put on a HAPPY FACE
김택민 따뜻하고 배부른 겨울 보내세요!
박준혁 공..나이는 숫자에 불과하지만 보이지 않는 벽을 세우는구만요
정석우 가을이 없어졌어요 ㅠ ㅠ ㅠ ㅠ ㅠ
김예원 호떡의 계절이 돌아왔습니다 호호호

김영호 추워요 여러분 저랑 붕어빵 드실래요?
신혜정 공대상상 페이스북 팔로우하고 카드뉴스 많이 많이 봐주세요~
최강현 301동 11층은 오늘도 춥다.
이기범 환상의 나라 서울대 공대로~
이재혁 첫 기사라 많이 부족하지만 재밌게 읽어주세요 ㅎㅎ
정윤중 내가 바라는 나
최승현 여러분 반도체가 미래였습니다
한상현 여러분 대학 오면 꼭 휴학하세요! 최고입니다

김현수 요새 날씨가 추워요.. 따뜻하게 입고 다니세요^_^
이지훈 다들 한 해 잘 마무리해보아요!
손성현 하고싶은 일을 하세요~
전병진 여러분, 화이팅해라 이말이야
김재원 또회부 예비자너 ㅋㅋ루ㅋㅋ
윤영주 정말 졸업이 얼마 남지 않았네요. 마지막이 다가올수록 아쉬움만 가득합니다. 독자 여러분도 올해 잘 마무리하시고 다가오는 2020년 새해 다시 힘차게 시작하시길 바랍니다!
장원우 즐거웠어 공상
유윤아 여러분 날씨가 많이 추운데 감기 조심하세요~! ㅠ ㅠ
김윤진 ??혁 편집후기 3시까지 쓰라구여??(3시10분에 일어난 휴학생)
노주현 아무것도 하기 싫어요
한정현 디아블로 4 나올 때까지 숨 참는다 흠!!
김태훈 행복한 10대여..안녕 ㅠ ㅠ

