

본 스크립트는 KERIS에서 운영하는 영어스크립트 제작봉사단(OES)의 영어재능기부를 통해 제작되었습니다.

* 번역자 : 신동규(한국외대), 김현주(연세대), 김선우(한국외대), 박지희(이화여대)

SDF2014

* 연사: 김상배 / KIM Sangbae

* 소속/직함: 매사추세츠 공과 대학 교수
Professor at Massachusetts Institute of Technology

* 연설: “자연에서 배우라”
“Learn from Nature”

00:27:47

MC: 네, 2014 서울디지털포럼 함께 하고 있습니다.

You are now participating in 2014 Seoul Digital Forum.

계속해서 네번째 세션 ‘깨닫다’ 이어가도록 하겠습니다.

자, 치타, 도마뱀, 지렁이. 이거의 공통점이 있습니다.

바로 현재 연구되고 있는 미래형 로봇들이 따라 하고자 하는 롤모델입니다.

We will continue on with the fourth session, “Enlighten”.

Cheetahs, lizards, worms. These have something in common.

They are role models for robots of the future on which researches are currently ongoing.

미국 매사추세츠 공대 김상배교수는 자연과 동물의 세계에서 얻은 지혜로 우리 모두를 위한 로봇을 만들고 있습니다.

미래형 로봇을 위한 혁신적인 패러다임, 김상배교수와 함께 나눠보도록 하겠습니다.

박수로 맞아주시죠.

Professor KIM Sangbae from Massachusetts Institute of Technology is making robots for humanity through wisdom gained from nature and animals.

We will be joining Professor Kim as he talks about innovative paradigms for robots of the future.

Let’s give him a big hand.

00:28:31

안녕하십니까, 김상배입니다.

우선 이렇게 굉장히 좋은 자리에 저를 초대해 주셔서 정말 감사합니다.

아주 재미있게 보고 있어요.

Good evening, I’m KIM Sangbae.

First of all, thank you for inviting me to such a great occasion.

I’m having a great time.

여러분도 재미있게 보고 계신가요?

마지막이라 조금 지칠지 모르겠는데 제가 재미있게 얘기하도록 굉장히 노력을 하겠습니다.
제가 할 얘기는 동물의 얘기인데요, 동물 좋아하시는 분들 손들어 보세요, 동물.

Are you all having a great time?

You might be a bit tired now since this is the last session, but I'll try and make it as interesting as possible.

I will be talking about animals. Who likes animals? Please raise your hands.

아 많으시네요~

로봇 좋아하시는 분들?

아 조금 적어요.

Well, that's a lot.

How many of you like robots?

Well, a bit fewer.

로봇이랑 동물 얘기를 할 건데요, 저는 동물을 굉장히 좋아라 합니다.

특히, 여기 지금 사진에 나와 있는 치타를 제일 좋아해요.

I'm going to talk about robots and animal, and I like animals very much.

This cheetah in the image here is especially my favorite.

제가 제일 좋아하는 동물인데, 지금 문제는 저는 연구 주제가 바뀔 때 마다 좋아하는 동물이 바뀌어요.

지금 치타 로봇을 하고 있기 때문에 지금 치타 로봇이 가장 좋은 거예요.

The thing is, my favorite animal changes every time along with the research topic.

The cheetah robot is my favorite because that's what I'm working on right now.

자 그런데, 저는 공학자입니다.

공학자이고 교육자예요.

그리고 무엇보다도 저는 디자이너예요.

Well, but the thing is that I'm an engineer.

I'm an engineer and educator.

Most of all, I'm a designer.

실은 저는 어렸을 때부터 물건 디자인 하는 것을 좋아했구요,

그리고 지금도 로봇을 디자인 하고 있어요.

Ever since I was a little kid, I liked designing objects.

Even now I'm designing robots.

00:29:28

저는 공학자이지만 저를 좀 더 디자이너라고 생각합니다.

저 같은 디자이너한테 이런 자연의 산물은 경외의 대상이에요.

정말 어마어마한 디자인이에요, 제가 볼 때는.

I'm an engineer, but I consider myself to be more of a designer.

To a designer like me, these products of nature are objects of awe.

To me, these designs are truly magnificent.

다 알지도 못 하지만 하나하나 알아낼 때마다 그 오묘한 이치는 절 놀랍게 해요.
이렇게 놀라고 정말 완벽하다고 생각되는 자연의 디자인도 실은 저에게 정답을 줄 수가 없어요.
제 모토가 ‘정답은 없고, 방향은 있다’인데요, 그 방향을 찾는 것이 혁신적 지혜를 찾아내는,
저에게 지혜를 줘서 혁신을 이루는 것이 아닐까 생각합니다.

I can't even figure out every detail, but every time I figure one out, its profound principles amaze me.

Even such amazing and seemingly perfect designs of nature cannot provide me with answers.

My motto is, "There is no answers but direction." I think finding that direction is finding the innovative wisdom and giving myself the wisdom to innovate.

그래서, 저는 오늘 어떻게 하면 자연에서 배울 수 있을까, 어떻게 하면 자연에서 배우는 방법에 대해서 얘기하겠습니다.

사람들은... 지혜, 오늘의 주제가 지혜인데요, 지혜를 얻는 방법은 여러 가지가 있는데요, 사람들은 경험이나 지식에서 지혜를 얻는다고 해요.

So, I want to talk about ways to learn from nature today.

People... Today's topic is wisdom, and there are many ways to acquire wisdom, and people say they gain wisdom from experience and knowledge.

그래서 살면서 경험을 많이 쌓으려고 하죠.

그런데 그래도 한계가 있으니까 간접 경험을 통해서 지혜를 좀 더 얻으려고 하죠.

그래서 책을 읽고, 영화도 보죠, 사람들이랑 얘기도 하고.

That's why we want to experience different things.

However, there's a limit to that, so people aim to gain more wisdom through indirect experiences.

That's why they read books, watch movies, and talk with others.

자, 그래서 우리의 역사를 공부하는 것이 가장 의미가 있죠.

그래서 굉장히 긴 역사, 사람이 인류의 역사가 한 만 년 되나요?

어떻게 재느냐에 따라 다르지만.

Well, that also makes studying history most meaningful.

Humanity's history dates back to what, about 10,000 years?

I guess it may vary according to how you measure it.

00:30:42

그래서 우리가 만약에 몇 천 년의 인간의 역사를 보고, 배워서, 간접 경험을 통해서 지혜를 얻을 수 있다면,

과연 우리가 수십억 년에 걸쳐서, 진화를 걸쳐서 만들어 낸 이 자연을 보고 과연 얼마나 많은 지혜를 얻을 수 있을까요?

So, if we can look at the thousands of years of human history to learn and gain indirect experiences from it,

how much wisdom can we possibly gain from nature, which is the result of billions of years worth of evolution?

정말 많이 얻을 수 있겠죠.

그래서 여러 가지 예를 보여 드렸는데요, 저는 로봇을 하는 사람이니까, 로봇에 관심이 있어요. 로봇이라는 말 자체도 실은 자연을 따라 하려고 했던 것이죠.

We can learn so much.

So I showed you many examples, and since I work with robots, I'm interested in them.

Even the word "robot" is an attempt to imitate nature.

사람 같은 기계, 체코슬로바키아에서 연극에 쓰려고 이런 기계를 만들었다고 그러죠.

사람 같은 기계를 만들어 놓고, 이것을 로봇이라고 처음 불렀다고 해요.

굉장히 많은 사람들이 사람 같은 로봇, 이렇게 저처럼 걸어 다니고, 말도 하고.

이런 로봇을 꿈꾸죠.

The idea of a humanlike machine was conceived and used in a Czech play.

They created the humanlike machine and gave it the name of "robot".

When people think of robots, they think of ones that walk and talk like me now.

That's the robots we dream of.

지금 여러분 사이에, 여러분 삶에 있는 로봇이 뭘까요 과연?

아이언 맨? 생각하시는 것 많죠, 또 뭐가 있을까요, 트랜스포머?

What robots are among us in our lives now?

Iron Man? There are a lot. What else, Transformers?

생각나시는 것 있으세요?

(관객 대답)

청소기, 아 로봇 청소기. 이게 아주 개념을 바꾼 거죠 이제.

Does anything come into your mind?

(Audience member answers)

The vacuum cleaner, the robot cleaner. That changed the concept nowadays,

미국에서는 '로봇' 그러면 터미네이터를 생각해요.

굉장히 무서워하는데, 이 청소기 로봇이 로봇의 개념을 바꿨죠.

In US, Terminator comes into mind first when robots are brought up.

It's a scary idea, but that robot cleaner changed the concept of robots.

00:31:43

제가 생각할 때 우리 삶에서 가장 중요한 역할을 하고 있는 로봇은 이거예요.

의외라고 생각할지 모르지만 그게 사실이에요.

여러분들이 들고 있는 핸드폰, 여러분들이 갖고 있는 모든 제품들이 이 로봇을 이용해서 싸게 빨리빨리 만들 수 있게 된 거죠.

In my opinion, this is the most important robot in our lives.

You might not have expected it, but it's true.

All the products you use including cell phones are manufactured faster and cheaper with these robots.

그래서 좀 더 많은 사람들이, 부자가 아닌 사람들도, 많은 자동차를 싸게 만들어서 많은 사람들이 쓸 수 있게 하죠.

로봇 하는 사람의 입장에서는 굉장히 고무적인 일이에요.

그렇지만, 저희는 좀 더 원합니다.

So they produce more automobiles with less cost so that not only the rich but more of the other people can drive them as well.

It is very encouraging to robot researchers.

However, we want more.

로봇이 다른 일도 해줬으면 좋겠어요.

자, DARPA 에서, 미국고등기술연구소에서, 이런 로봇 챌린지를 이뤘어요.

후쿠시마에서 사고가 난 이후에, 사람을 보낼 수가 없는 곳에 로봇을 보내자.

We want them to do other things as well.

Defense Advanced Research Projects Agency, an American high-tech research institute, decided to make this challenge.

Let's send robots to places where people cannot go, such as post-disaster Fukushima.

이런 아이디어로 지금도 대회를 진행 중 이에요.

자, 근데 여러분들이 딱 보시면은, 무슨 공상과학 영화에 나오는 것 같지만, 공장용 로봇, 여태까지 봤던 공장용 로봇에서 움직일 수 있는 로봇, 재난에 보낼 수 있는 로봇으로 가는 데 고난이 많아요.

디자인이 굉장히 달라져야 해요.

People are still holding conventions around these ideas.

Well, if you take a look at

There must be great changes in design.

00:32:43

첫 번째, 공장용 로봇은 굉장히 딱딱하고, 바닥에 붙어 있고, 정밀한 제어 밖에 못해요, 정밀한 반복 동작 밖에 못해요.

저런 재난에서 쓸 로봇들은 우선적으로 flexible 해야 하고요, 넘어져도 일어날 수 있어야 되고, 그 다음에 예상치 못한 어떤 상황에 대처를 잘 할 수 있어야 되요.

First of all, factory-purpose robots are very rigid, stuck on the floor, and only available for precise controls of repeated movement.

Robots for use in disasters must first of all be flexible, able to get back up on their own, and able to cope well with unexpected situations.

그래서, 그것을... 우선 로봇을 움직일 수 있게 해야 되겠죠.

그래서 가장 중요한 것이 제가 제시하는 방안이 자연에서 배우라는 겁니다.

‘자연에서 배워라’.

So, the robots must first be able to move around.

That's why the most important method I propose is learning from nature.

"Learning from nature."

왜냐하면, 자연의 동물들은 움직이는 것이 가장 중요해요.

움직이지 못하면 살아남지 못해요.

그래서 이동능력, 영어로는 locomotion 이라고도 하는데요, 그것이 자연이, 동물이 살아남는 데 가장 중요한 필수요소죠.

That's because the most important thing for the animals in nature is movement.

They cannot survive unless they can move.

The ability to move, or "locomotion" in other words, is the most essential element of animals' survival.

그래서 거기서 배워야 될게 많다는 거예요.

그래서 굉장히 많은 사람들이 노력을 하고 있는데요, 이렇게 배우는 게 간단하지만은 않아요. 자연이 우리가 만든 로봇과 다른 점이 굉장히 많기 때문이죠.

That's why it offers a lot to learn.

Many people put it so much effort, but it's not easy to learn.

There are many differences between nature and our robots.

그래서 하나씩 놓고 보시면은, 우선 자연의 동물들은 진화를 하죠.

진화를 하는데, 자연에서 살아남으려고 진화를 해요.

저희는 로봇을 재난구조용으로 쓰거나, 사람들이, 다리가 불편하신 분들을 도와주려고 하죠.

목적이 달라요 우선.

If we take a look at them one by one, animals evolve first of all.

They evolve to survive in nature.

We use robots for disaster rescue or aiding people with impairment in legs.

The purpose is different first of all.

두 번째, 목적이 같아 하더라도, 동물은 근육을 쓰고 우리는 전기모터를 쓰죠.

아까 뇌 얘기도 많이 들으셨겠지만, 우리는 아직 사람의 뇌랑 동물의 뇌가 어떻게 작동하는지 잘 몰라요.

Second, even if the purpose was the same, animals use muscle, and we use electric motors.

As you heard about brains earlier on, we do not know how human and animal brains work as of yet.

00:34:05

그런데 우리의 컴퓨터는 아직도 한계가 많아요.

그래서 이것을 그대로 베끼는 것은 굉장히 어려운 일이에요.

However, our computers are still very limited.

So it is really difficult to copy those as they are.

그래서 저희는 조금 더 복잡한 과정을 거쳐야 되요.

So we have to go through a much more complicated process.

그래서, 저희는 원리를 파악해야 된다,

이 차이점을 극복하기 위해서는

아주 우리가 원하는 기능에 대한 그 원리만을 파악해서

우리 로봇에 적용해야 된다는 거죠.

So, we need to understand the principle to overcome this difference.

We have to understand exactly the principle of the function we want and apply it to our robots.

한 가지 예를 들어 볼게요,

Let me give you an example.

제가 연구한 로봇 중에 가장 재미있는 기회인데요,

이것은 게코입니다. 우리나라엔 게코가 없는데,

This is the most interesting opportunity that I worked out.

This is a gecko. There are no geckos in Korea.

이 게코 도마뱀은 모든 면에 붙어요.

그게 빨판이 붙어있냐, 끈적끈적하냐 그런 것이 아니고요,

This gecko can stick to any surface.

It does not have a sucker or anything sticky.

손가락 우리 손톱이나 우리 머리카락처럼

그냥 피부가 아주 잘게 쪼개져서 아주 미세한 털이 돼서 그것이 아무데나 붙기도 하고,

더러워 지지도 않고, 방향성이 있어요.

The skin splits, just like any human finger, nail, or hair, finely into strands of fine hair that can stick to any surface, keep itself clean, and have unidirectional adhesion.

얼마나 작냐,

여기 맨 마지막 사진에 보면 백 나노의 털이 있는데,

How small is it?

If you look at the last picture here, you see a strand of 100-nanometer-wide hair.

감이 잘 안 오실 테니까

제가 머리카락 하나를 뽑아서, 저 두 번째 사진에 던질게요.

그러면 저렇게 돼요.

**You might not get the idea,
so I will pull out a strand of hair and throw it into the second picture.
That's what you'll see.**

저 사이즈, 저게 머리카락이에요.
근데 저 안에 더 작은 털들이 있는 거죠.

**That is the width of human hair.
Then there are thinner strands of hair in the picture as well.**

이런 미세한 털들 때문에 굉장히 신기한 특징을 나타내요.
Such fine strands of hair have quite marvelous characteristics.

그래서 더러워 지지도 않고, 특히 방향성이 있어요.
한쪽으로만 붙어요.

**That's why they can keep themselves clean and have unidirectional adhesion.
They have only one direction of adhesion.**

그래서 그것에 착안해서 저희가 로봇을 만들었어요.
이것이 그래서 세계 최초로 인공으로 만든 방향성 접착제입니다.

**So we made a robot based on the concept.
This is the world's first artificial unidirectional glue.**

게코가 이렇게 한번 쪽으로 붙고요,
이것을 인공으로 만든 건 저희가 처음이에요.

**Geckos can adhere unidirectionally like this,
and we are the first to make an artificial version of this.**

2006년에 만든 건데요, 발을 떨어질 때 아무 문제없이 떨어지죠.
We made it in 2006, and the foot is detached without any problem.

게코처럼 발을 거꾸로 떼요.
이게 바로 손이 거꾸로 뒤집혀져요.

**It detaches its foot the opposite way like a gecko.
Its hands can flip over.**

저게 눈처럼 보이지만 눈이 아니에요.
저건 전기모터고요,

**That may look like an eye but it is not.
That's the electric motor.**

거의 모든 smooth한 surface를 올라갈 때 매끈매끈한 면은 다 올라갈 수 있어요.

게코는 더 많이 올라가죠.

**It can climb up almost any smooth surface.
Geckos can climb up much higher.**

00:35:50

자, 이 데모를 보여드릴게요.

방향성 접착이 무슨 말이나,

**Now, I will show you this demo.
What is the meaning of unidirectional adhesion?**

우선 누르지 않고도 붙어요.

그건 굉장히 중요해요, 벽을 올라가는데.

**First, it means sticking without pressing.
It is very important when it comes to climbing walls.**

그 다음에 그 무게를 제거하면 떨어져요.

마술 쇼가 아니에요 이거는, 과학이에요 과학.

**Then it means detaching when the weight is removed.
This is not magic but science. Science.**

무게를 제거하면 떨어지고요.

아 이건 양면테이프로 할 수 있는 게 아니냐,

양면테이프로는 문지르기 전에는 안 붙어요.

그 다음에, 한 번 붙으면 떼기가 굉장히 어렵죠.

**Removing the weight detaches it.
You may think this can be done with the double-sided tape,
but the double-sided tape doesn't stick unless rubbed onto a surface,
and once it is attached, it is difficult to remove.**

이런 기능을 가지고는 벽을 빨리 올라갈 수가 없어요.

You can't climb walls quickly with these characteristics.

그리고 제가 만든 이 테이프는 한쪽으로 밖에 안 붙기 때문에 반대쪽으로 붙지 않아요.

Then this tape that I invented adheres on one direction and not on the other.

제가 만든 것은 아직 혼자 깨끗해 지지는 않는데요.

조금 더 무거운 것을 달아 봤어요, 7kg.

**It doesn't keep itself clean, though.
I hung something heavier at 7kg.**

세계 누를 필요는 없는데
이게 쇠 덩어리라 불안해서 좀 눌러 봤어요.

**I didn't need to press strongly,
but I did so since I wasn't sure.**

근데 떨어질 때 잘 보세요.

분명히 7kg짜리 쇠 덩어리를 유리에 달았는데 그냥 툭 떨어지죠.

**Look closely when it falls off.
I clearly stuck a 7-kilogram metal weight onto glass, and it just fell off.**

이게 방향성이 있기 때문이에요.
무게만 제거하면 툭 떨어져요.

**It is because it is unidirectional.
It falls right off when the weight is removed.**

그래서 그런 기능을 이용해서 벽을 올라가죠.
These characteristics are used to climb up walls.

같이 공부한 생물학자 교수님이
'저를 매달아주세요'

**A fellow researcher who was a biologist professor asked me,
'Please put me on the robot and attach me to the wall'.**

(라고 해서 저는) '너무 무겁습니다 당신은'
(이라고 대답했고, 그러자) '제 딸을요'(라고 해서) 딸을 벽에 매달았어요.
**(So I said,) 'You are too heavy to be done it',
(and he said) 'How about my daughter then?'**, so I did.

근데 이것도 마찬가지로 저 25kg짜리 따님을 땔 때에도 떼내면 툭 떨어져요.
왜냐하면 방향성이 있기 때문에.

**His 25-kilogram daughter falls right off when detached as well.
That's because of the unidirectional property.**

00:37:03

자 아주 재미있는 예가 많아요.
Well, I have a lot of interesting examples.

지금은 치타로봇을 연구해서,
치타에서 우리가 얼마나 재미있는걸 배울 수 있는지 얘기해 드릴게요.
**Since we are doing researches on cheetah robots,
I'll tell you what interesting things we can learn from cheetahs.**

이건 BBC 의 <Meat Eaters>라는 다큐멘터리인데요,
영양이 무슨 배경처럼 지나가죠.

**This is a BBC documentary by the title of *Meat Eaters*,
and you can see antelopes passing by like backgrounds,**

치타는 무지하게 빨라요.

Cheetahs are really fast

시속 100km 까지 달린다고 해요.

They can run as fast as up to 100km/h.

이 비디오는 전 세계에 하나밖에 없는 비디오예요.

This video clip is the only one of its kind in the whole world.

그리고 생물학자들이 이걸 연구하려고

노력을 굉장히 많이 했는데,

데이터가 이거 하나밖에 없어요.

**Biologists are putting in much effort to study this,
and this is the only data they have.**

꼬리를 잘 보세요.

Take a good look at the tail.

우리가 꼬리가 있었으면 하는 생각이 막 들 정도로 아주 다이다믹하고,

영양이 먼저 방향을 트는데도 잘 쫓아가죠.

**It is so dynamic that it makes us we want one for ourselves,
and it helps the cheetah chase antelopes well even though they turn the direction first.**

왜냐하면 꼬리를 이용해서 더 빨리 턴을 하는 거예요.

That's because it uses the tail to turn faster.

자전거처럼 한쪽으로 기울이지 않고는 턴을 할 수가 없어요.

You can't turn unless you lean over to one side like a bicycle.

자 또 재미있는 동물을 보여드릴게요.

Here is another interesting animal.

이것은 스프링복(Springbok)이라는 동물인데요,

아무 이유 없이 점프를 해요.

**This animals is a springbok,
and it jumps seemingly for no reason.**

왜 그런지 몰라요 우리가.

We don't know why.

사람들이 연구는 하는데,

2m 까지 점프를 하고요, 실은 굉장히 빨라요.

**People are doing researches on springboks,
and they can jump up to 2 m and are really fast.**

이 동물도 굉장히 빨라요.

They too are quite fast.

이 동물은 말이에요.

제가 이 동영상을 보기 전까지는 말 발목이 저렇게까지 휘어져 있는지는 몰랐어요.

**This animal here is a horse
Before I watched this video, I know its ankles were that curved.**

여러분은 이걸 보면 어떤 느낌이 드세요.

What do you feel when you see this?

저는 기계공학과이기 때문에 이걸 보면은 막 부서질 것 같아요.

To me, a mechanical engineering major, it seems that they might break.

제가 로봇을 저렇게 디자인하면 부서질 것 같아요.

If I designed a robot that way, it would break.

그래서 너무 궁금해요.

That's why I am so curious

어떻게, 타이타늄(티타늄)으로 만든 것도 아니고, 특별한 재질로 만든 것도 아니고,

제 손목이랑 제 뼈랑 똑 같은 재질이에요.

**They are made of not any special material like titanium but the same material as my
own wrists and bones.**

그런데 어떻게 이렇게 큰 힘을 버티느냐.

Then how can they how could they endure such a great load?

말 같은 경우예요, 자기 몸무게의 3 배를 한 다리가 견딘다고 해요, 저렇게 뒹 때.

**In a horse's case, each one of its legs can endure three times as much as the horse's body
weight when it runs like that.**

00:38:33

그래서 한 번 봤어요.

So I took a look.

제가 만약에 로봇 발을 만든다면, 저렇게 하나의 발을 만들고, 앞꿈치로 뛰면,

굉장히 큰 힘이 휘어지는 방향에 걸려서 부러지겠죠.

**If I made a robot foot, I would make a foot like that and have it broken
when it gets under a great load on the direction it bends.**

그래서 두껍게 만들어야 해요.

That's why it should be made thick.

그런데 동물은 그렇지 않아요.

However, that's not the case with animals.

실은 이것보다 훨씬 복잡한데, 보면은 위의 뼈가 한 조각도 아니고요, 굉장히 많은 조각으로 나누어져 있고, 밑에 인대가 있어요.

Actually, it is more complex than this because the upper bones made up of not one but many pieces of bones and have a ligament below.

그래서 굉장히 힘이 강해지면

뼈들은 휘어지는 힘을 안 받고 압축력만 받고,

인대들이 이것을 받아주는 거예요.

So when it goes under a great force, the bones only take the compressive force, and the ligaments take the bending force.

여러분 보시면 저기 카메라가 있죠, 카메라.

Look at the camera over there.

저기 카메라 받침대를 보시면은

분명히 굉장히 강한 철 빔이 있는데도 위에 철사가 받쳐주고 있죠?

When you look at the camera platform, you can see that wire above is reinforced to support the sturdy steel beam, right?

똑같은 원리에요.

It's the same principle there.

다리 교량을 보세요, 똑같은 원리에요.

Take a look at a bridge for the same principle.

자연이 이런 공학들을 다 알고 있었다는 거죠.

Nature already knows about this engineering principle.

그래서 실험을 해봤어요.

So I performed an experiment.

인대가 있는 거랑 없는 거랑, stress 라고 하죠,

이 표면에 걸린 stress 가 5 배로 줄었어요.

Compared to structures without ligaments, structures with ligaments received only one fifth of the stress on the surface.

그럼 이게 정당한 비교가 아니지 않느냐, 여기엔 인대가 있지 않느냐,

저 인대는 20g 도 안돼요.

You might think it's not a fair comparison because there are ligaments, but the ligament weighs not even 20 grams.

다리의 전체 무게는 1kg 도 안되고요.

The leg on the whole weighs less than a kilogram.

그렇게 이런 자연에서 얻은 아이디어를 로봇에 실험도 했고요,

이렇게 하면 강하고도 훨씬 더 가벼운 다리를 만들 수 있죠.

We applied such ideas gained from nature on the robots and can build stronger and lighter legs from them.

그러면 로봇이 더 빨리 뛸 수 있겠죠.

Then the robots can run faster.

저희가 모터, 전기모터 얘기를 잠깐 할건데요,

모터 연구를 많이 했는데요,

어떻게 하면 근육 같은 로봇을 모터로 만들까.

We talk briefly about electric motors, on which we've done a lot of research, and we wondered how we could build muscle-like robots from motors.

발에 센서가 없어요.

The foot has no sensor.

어떻게 발에 센서가 없는데 발이 땅에 닿는지 아느냐?

How can we know that the foot touched the ground when it has no sensor?

실은 근육에서 느끼는 거예요, 모터가 느끼는 거예요.

In fact, the muscle, the motor, feels it.

그거를 proprioceptive sensing 이라고도 하는데,

우리가 ‘어 우리 발바닥에 센서가 있지 않냐, 땅에 닿으면 우리 피부가 느끼지 않냐’

그거는 사실이지만 실은 우리의 모든 근육에 힘을 느낄 수 있는 센서들이 다 붙어 있어요.

That's called proprioceptive sensing, and we might think, "Won't the skin on the sole feel the ground when it touches it?" That's true, but sensors to feel the force are actually attached to all of our muscles.

그래서 땅에 떨어지고 운동을 할 때 실은 근육에 있는 골지텐돈라는 센서를 더 많이 써요.

한 번 생각해 보세요.

오늘 테니스를 치는데, 어제보다 끈을 좀 더 세게 묶었어요.

So when the foot touches the ground and exercise, it actually uses a sensor called Golgi tendon organ.

Think about it.

You play tennis one day, and you tie the shoestrings tighter than you did the day before.

그럼 발에 느낌이 다르죠?

그렇다고 오늘 다시 calibration 을 해야 되나요?

운동을 다시 해야 되나요?

그건 아니죠. 왜냐하면 여기 근육이 느끼기 때문에 그게 훨씬 정확해요.

It feels different on your feel, right?

Do you have to recalibrate on that day, though?

Do you have to exercise again?

Not really. Because the muscle feels it, it is more accurate.

00:40:38

저것도 마찬가지로요

발에다 센서를 달면 실은 한 시간도 안가요, 다 부서져요.

Same goes with that robot.

If sensors are attached on the feet, they won't last an hour before they break.

다른 로봇처럼 굉장히 약한 힘을 가하는 게 아니라

이 로봇은 뛰어야 하기 때문에 센서를 발에다 달면 다 부서지죠.

Unlike other robots, on which smaller forces are applied, this robot has to run, so any sensor on the foot will be all broken.

그래서 위에서 재는 것이 훨씬 정확하고,

그것이 자연에서 배운 어떻게 보면 지혜이기도 하고요.

그래서 작년에 드디어 로봇을 뛰게 한번 해봤어요.

So it is more accurate to measure it from above, and we can say it is wisdom gained from nature as well.

Last year, we finally made the robot run

아직까지는 러닝 머신, 사람이 뛰는 러닝 머신에서 뛰고 있고요,

잡고 있어요 양쪽에서 그래서 넘어지지 않게, 좌우로 넘어지진 않게.

대신 위아래로 움직이고 어깨의 회전을 해요.

As of yet, they are still running on treadmills built for people, and we are holding it from its sides so that it won't fall sideways.

Instead, it moves up and down and rotates its shoulders.

trot이라는 구보 방법을 이용해서 18km, 22km/h까지 갔어요.

저게 최고 속도는 아니고요 maximum speed, 왜냐하면

사람이 뛰는 러닝 머신이 저거 이상 안 나와요.

By trotting, it hit the speed of 18km/h and 22km/h.

That's not the maximum speed, though,

because that's the fastest we can get with those treadmills.

그래서 저희가 러닝 머신을 새로 샀어요.

그래서 얼마나 뛰나 봐야죠.

너무 빨라서 못 보셨을 텐데,

이게 천천히 가는 동영상이고요,

So, we bought a new treadmill.

**So we'll see how fast it can run.
You might not have gotten a good look since it's so fast.
This is the video in slower motion.**

저희들이 이제 안되겠다, 도대체 잡고는 안 된다, 밖에 나가야 된다
이제는 3차원이예요.
도와주지 않고 균형을 잡죠.

**We thought that we can't hold its sides forever and we need to take it outside,
and now it's movements are in three dimensions
It can balance itself without any help.**

좌우로도 균형을 잡고, 앞뒤로도 균형을 잡고,
머리가 없어서 좀 이상해 보이긴 하지만,
이 로봇은 치타2예요.

**It balances itself from left to right and from back to front
although it looks a bit weird without a head.
This one is called Cheetah 2.**

그래서 실은 모터도 훨씬 파워풀한 걸 들고 있고요,
균형을 더 잡는 기술을 터득했어요.
자 점프를 그냥 한 번 해봤어요.

**It has a more powerful motor,
and it has learned to balance itself even better.
Look, we're making it jump.**

더 높게도 점프 할 수 있는데, 균형,
떨어질 때 균형을 못 잡을 것 같아서
더 테스트를 안 해 봤어요.

**It can jump even higher,
but we thought it might not balance itself well as it lands,
so there were no further test.**

주목할 만한 점은, 저희는 전기 모터를 쓴다는 거죠.
미국의 Tesla Motors가 엔진으로 되어있는 차를
다 전기모터로 바꾸려고 하고 있죠,

**Another noteworthy thing is that we use electric motors.
An American company called Tesla Motors is trying to replace
automobile engines with electric motors.**

왜냐하면 효율이 좋고, 환경에도 좋기 때문이죠.
로봇도 그 쪽으로 가야 해요.

**That's because they are both efficient and eco-friendly.
Robotics should head that way as well.**

자, 아주 중요한 얘기를 할게요.

로봇의 기술을, 제가 만든 다리로 가는 로봇의 기술을, 우리를 위한, 사람을 위한 로봇에 적용을 하려고 해요.

Now, let me tell you something important.

We are going to apply the robotics of locomotion through the legs we built on robots for us, the human beings.

우리가 쓰는 자동차를 대체를 할 수도 있고요,

다리가 불편한 분들을 도와 줄 수도 있는 기계가 될 수 있기도 해요.

그러려면은 효율이 굉장히 중요하죠.

They can replace our automobiles.

They can aid people with impaired legs.

Then efficiency is an important issue.

그래서 효율을 사람에 대비를 해서 한번 비교를 해 볼게요.

이 cost of transport라는 것은, 어느 거리를 이동하는 데 얼마만큼은 에너지가 드냐의 단위예요.

So, let me show you how efficient they are compared to the human body.

This “cost of transport” means the amount of energy consumed per distance moved.

그래서 낮을수록 좋은 거죠. 사람이 실은 굉장히 효율이 좋아요.

치타는 그보다 살짝 안 좋아요,

다른 동물들은 이것보다 살짝 높아요.

So, the lower the better. The human body is actually very efficient.

A cheetah has slightly higher COT than a human,

and other animals' COT's slightly higher than that of a cheetah.

자 그럼 로봇들은 어떨까요?

아시모, 굉장히 유명하고 굉장히 잘 만들어진 로봇인데,

효율이 한 네 배 정도 안 좋죠? 동물보다?

Then what about robots?

Asimo here is a very famous, well-made robot.

However, it is as four times as inefficient as animals.

Boston Dynamics라는 회사를 아시나요?

그 콘트롤, 다리 달린 로봇으로는 세계 최고예요.

그런데 엔진을 쓰고, 유압을 쓰기 때문이

효율이 동물의 한 30배 정도 안 좋아요.

Have you heard of a company called Boston Dynamics?

It is the best when it comes to controls and robots with legs.

However, its robots use engines and hydraulics,

so their COT is about as 30 times as big as that of animals.

같은 거리를 가는 데 30배의 에너지가 드는 거예요, 동물보다.

저희가 만든 MIT Cheetah 어디 있을까요?

동물이랑 같은 수준이에요 지금.

They use 30 times as much energy to move the same amount of distance as animals.

Where on the chart is our MIT Cheetah?

On the same level as animals now.

치타가 동물보다 살짝 안 좋고요, 살짝 더 좋고요,

저희가 만든 로봇은 동물과 같은 효율을 갖고 있어요.

**A cheetah is slightly more efficient than an average animal,
and our robot is as efficient as an average animal.**

2100년이 되면은 전세계 인구가

지금 72억에서 110억이 된다고 해요.

그 중의 대부분이 고령자 분이세요.

**It is estimated that by 2100,
the world population will reach 11 billion from current 7.2 billion.
Most of the people will be the elderly.**

자 이런 분들을 좀 더 소통을 가능하게,

교통을 가능하게 하려면 휠체어나 자동차가 갈 수 없는 곳을

가게 만들어야 되겠죠?

**To offer them better mobility,
we should enable them to travel through places
no wheelchair or automobiles can, right?**

그래서 next generation, 다음 세대에 교통이 되는 거예요.

다음세대의 이동수단이 될 수 있는 거죠.

**So these will be part of the transportation of the next generation.
They can be the next generation's vehicles.**

자, 자연에서, 제가 아까 말씀 드렸듯이

수억 년의 진화를 거친 자연에서 배울 것이 굉장히 많죠?

**Like I said before, we have lots of things to learn from the nature,
which has gone through hundreds of millions of years of evolution, right?**

그런데 차이가 너무 많기 때문에,

우리의 혁신을 이루기 위해서는 조금 다른 변화를 일으켜야 해요.

**However, since there are many differences,
We have to make changes that are a little bit different in order to achieve innovation.**

형이상학적인, 추상적인 개념으로 옮겨서 그 다음에 옮겨야,

적용을 시켜야, 재구성을 해야

우리가 혁신을 일으킬 수 있는 거죠.

**We can only bring about innovation
when we transfer, apply and reconstruct things
after first moving them into metaphysical, abstract concepts.**

제가 타고 온 비행기도 새를 보고 배웠어요.

새를 보고 ‘아 저렇게 하면 되겠구나’

그래서 원리를 써서 만든 비행기인데,

실은 라이트 형제는 비행기를 만들 때 그 원리를 다 알지 못했죠.

The plane I took here is also a product of study on birds.

People looked at birds and said, “Oh, that’s how we should do it.”

Airplanes are products of applying those principles,

but not even the Wright Brothers knew about all of the principles when they built them.

그냥 비행하는 새를 보고 ‘아, 나는 걸 만들어보자’

원리도 중요하지만, 자연은 저희에게 상상치 못한 세계를 보여줍니다.

한번 이 세상에 새도 없고 곤충도 없고 나는 동물도 없다고 생각해 보세요.

They just watched the flying birds and thought, “Let’s build something that can fly.”

Principles are important of course, but nature shows us a world beyond imagination.

Let’s imagine a world without flying animals such as birds or insects.

인류가 과연 ‘난다’라는 생각을 했을까요?

‘난다’라는 단어가 사전에 없었을 거예요.

‘fly’라는 단어가 영어사전에 없었을 것이고요.

Would people be able to think of “flying”?

The word “fly” would not exist in the dictionary.

There would be no word such as “fly” in the English dictionary.

게코라는 동물을 제가 만약 몰랐다면,

어떻게 하면 머리카락 같은 얇은 재질을 가지고 어떻게 하면 벽에 붙일 생각을 아마 못 했을 거예요.

깨끗해지는 제품이 안 나왔을 거예요,

If I have not known about an animal called gecko,

we would never have thought about sticking object on the wall using hair-thin material.

There would be no self-cleaning products.

그 가치가 오히려 더 중요하다고 생각합니다.

그래서 자연을 보고, 그 원리를 터득하면 아주 혁신을 이룰 수 있다고 생각합니다.

네 감사합니다.

I think that is a more important value.

I think we can bring achieve great innovations by observing nature and learning its principles,

Thank you.