

카오스

새로운 과학의 출현

CHAOS

Making
a new
science

제임스 글릭 James Gleick 지음

이지석·정지윤 발제

제 1 부 내용 요약 정리

나비효과 | 혁명 | 생명체의 번성과 감소 | 자연의 기하학 | 이상한 끌개 | 보편성 | 실험물리학자 | 카오스의 형상들
동역학계 집단 | 내적리듬 | 카오스와 그 너머

제 2 부 카오스 사례 분석

현실 속 카오스 | 카오스 공학 | 그 외

제 3 부 카오스 구현 실습

로렌츠 끌개 | R-J모델

제 4 부 질문과 마무리

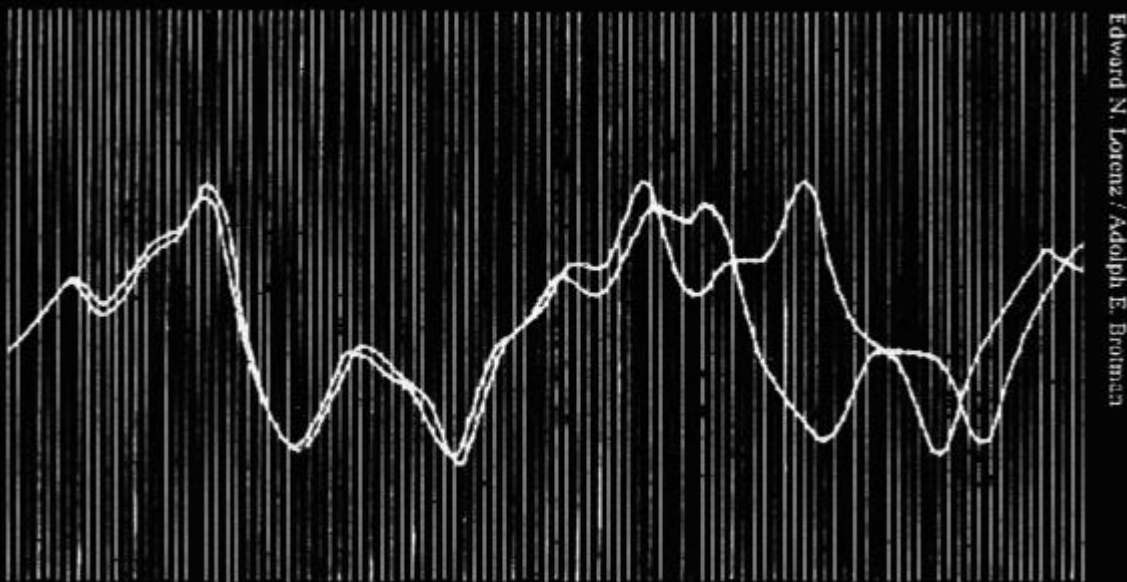
CHAOS

카오스
새로운 과학의 출현

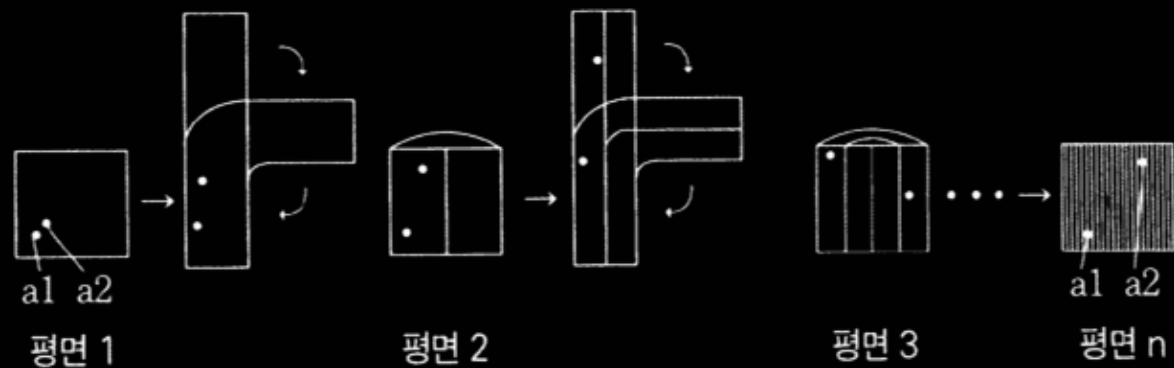
제 1 부

내용 요약 정리

나비효과 | 혁명 | 생명체의 번성과 감소 | 자연의 기하학 | 이상한 끌개 | 보편성 | 실험물리학자 | 카오스의 형상들
동역학계 집단 | 내적리듬 | 카오스와 그 너머

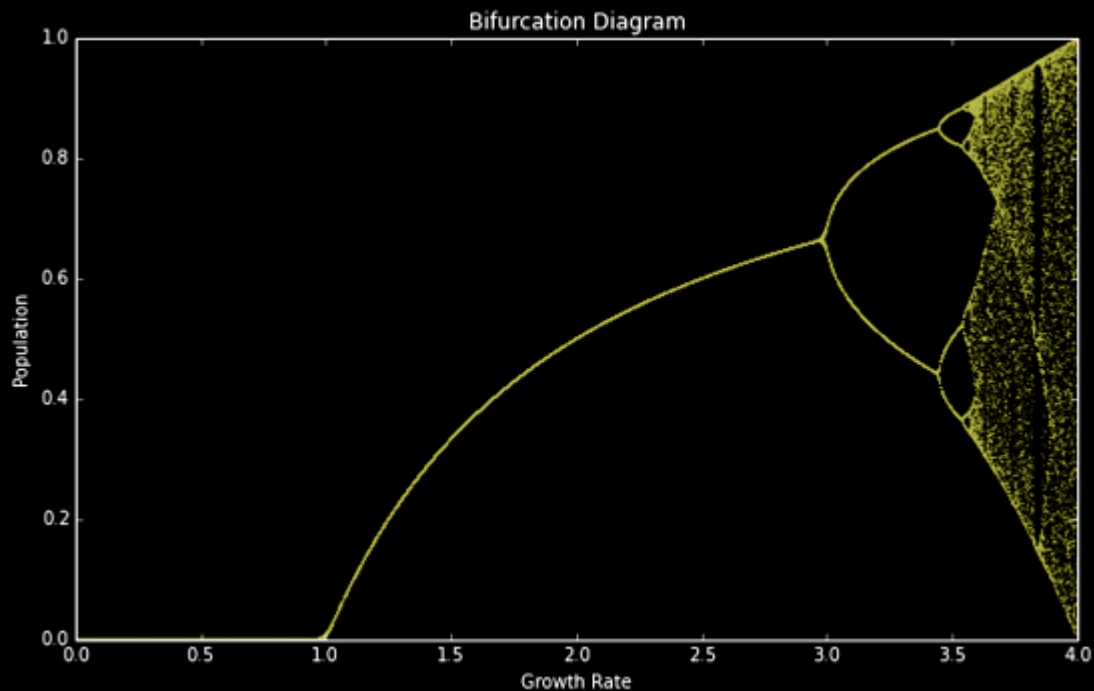


에드워드 로렌츠는 날씨 예측 모델을 연구하던 중 매우 작은 초기 조건의 차이가 결과에 큰 영향을 미친다는 것을 발견한다. 나비효과로도 알려진 이 현상은 날씨와 같은 자연 현상이 초기 조건에 매우 민감하기 때문에 장기적 예측이 불가능하다는 것을 보여준다

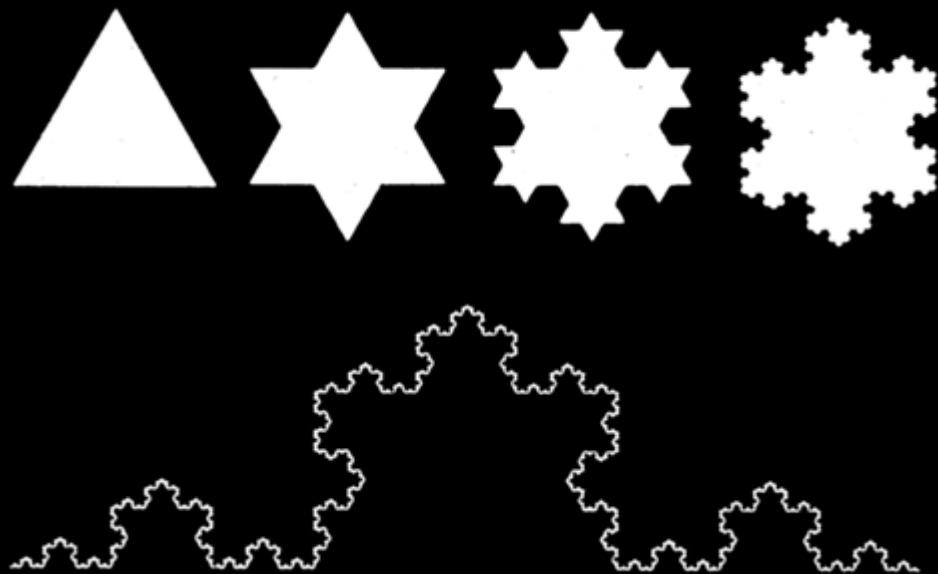


초기 조건의 민감성은 예측가능성을 믿어왔던 과학계에 큰 충격을 주게 된다. 스메일의 편자는 이러한 초기 조건의 민감성을 시각적으로 구현한 예이다.

스메일은 늘어나고 접히는 편자의 형상을 통해 인접한 두 점은 결국 멀리 떨어진다는, 카오스의 시스템을 시각적으로 구현했다. 이를 통해 단순해 보이는 자연현상도 복잡한 내부 패턴을 따른다는 사실이 밝혀졌다.

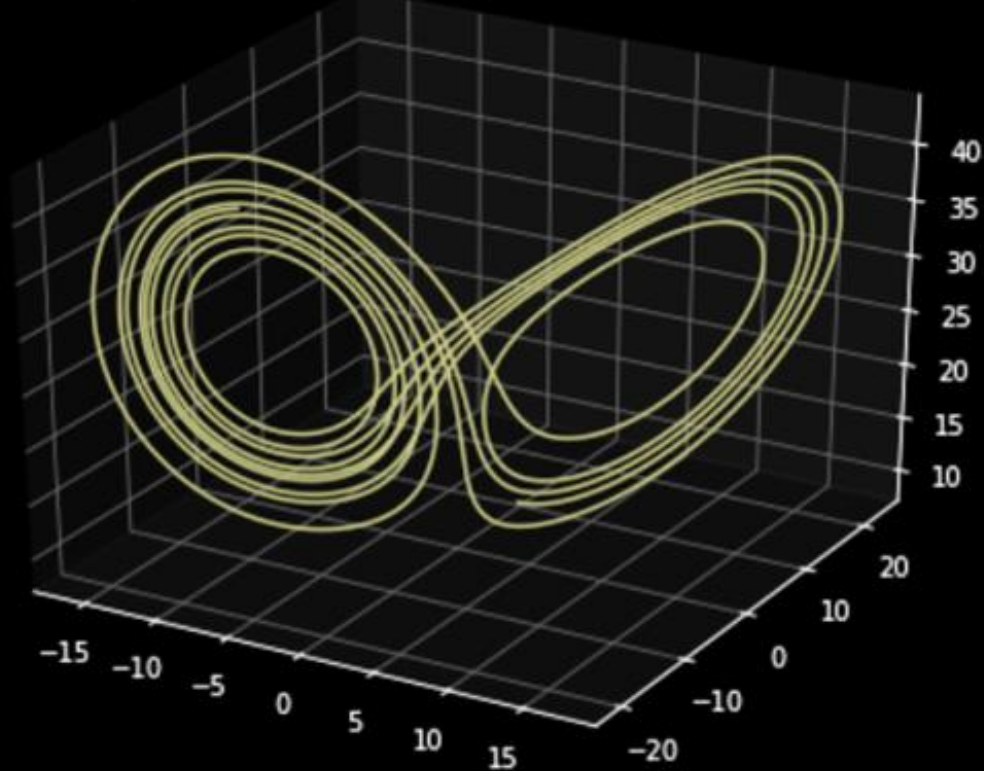


3장에서는 카오스가 생물에 적용되는 방식을 서술한다. 한 종의 개체수가 출생률이나 먹이 양과 같은 작은 변화에 의해 좌지우지 된다는 사실을 발견했으며, 이는 동물 개체 수가 예측 불가능한 주기를 따를 수 있다는 것을 시사한다. 결국 생태계 또한 비선형적이고 카오스적이란 것을 다시 한번 확인하였다. 이후 카오스 이론은 점차 전세계적인 연구 주제로 자리잡았으며, 과학 전반에 영향을 미치게 된다.



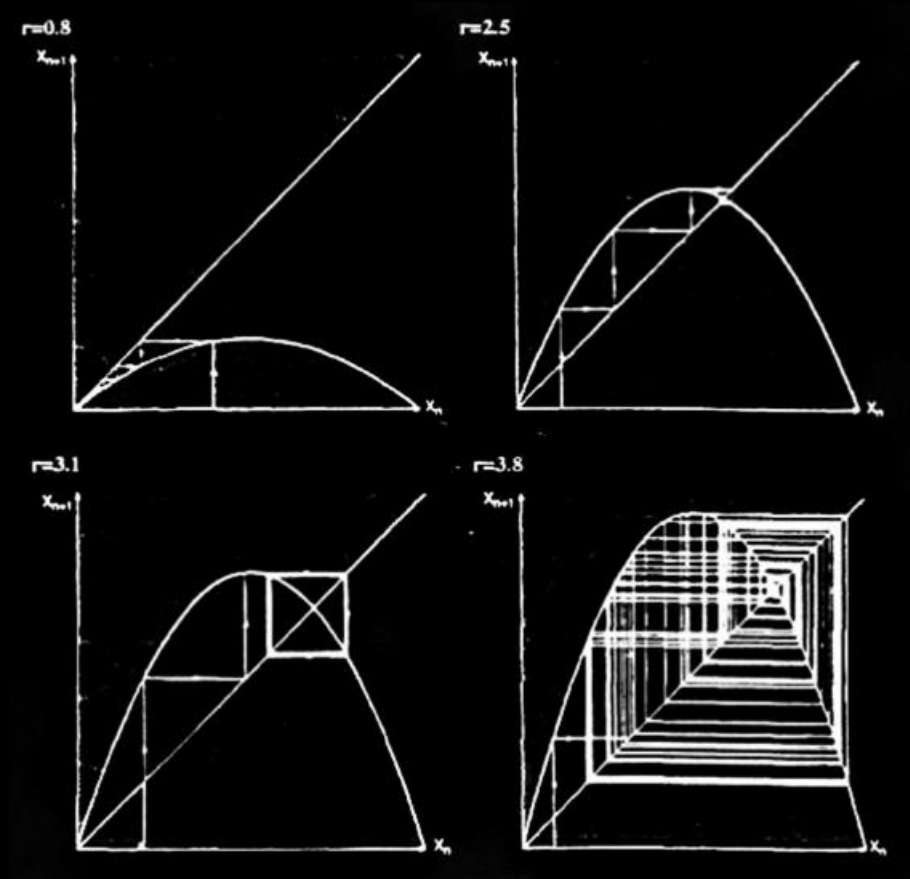
벤과 망델브로는 프랙탈을 발견한다. 이들은 면화의 가격 변동, 해안선, 데이터 전송과 같은 여러 자연적, 인위적 시스템 안에서 프랙탈을 발견한다. 프랙탈은 자기유사성을 가진 구조를 지칭하며, 전체 패턴이 작은 부분 안에서 비슷하게 반복되고 있다는 특징을 가지고 있다. 프랙탈은 산, 구름, 강줄기, 나뭇가지 등에서 발견할 수 있으며, 더 나아가 지구의 표면 또한 일정부분 프랙탈을 가지고 있다.

$x_0=2, y_0=5, z_0=10, \sigma=10, \rho=28, \beta=8/3$



물리학자들은 유체의 흐름을 연구하는 과정에서 카오스가 무작위적으로 보이지만, 일정한 패턴을 따라 움직인다는 사실을 발견한다. 데이비드 위엘은 규칙적으로 움직이던 난류가 카오스로 진입하는 분기점을 이상한 끌개 개념을 통해 설명한다.

로렌츠 끌개: 서로 교차하지 않으며 한정된 공간에 프랙탈 구조를 보이며 그려지는 궤도



파이겐바움은 다양한 카오스가 유사한 수학 법칙을 따른다는 사실을 발견했다. 그는 카오스로 진입할 때 나타나는 공통적인 현상을 보편성이라는 개념으로 정리해 설명한다. 그의 논문은 초기에 의심을 받았으나, 시간이 지나며 인정받게 된다.

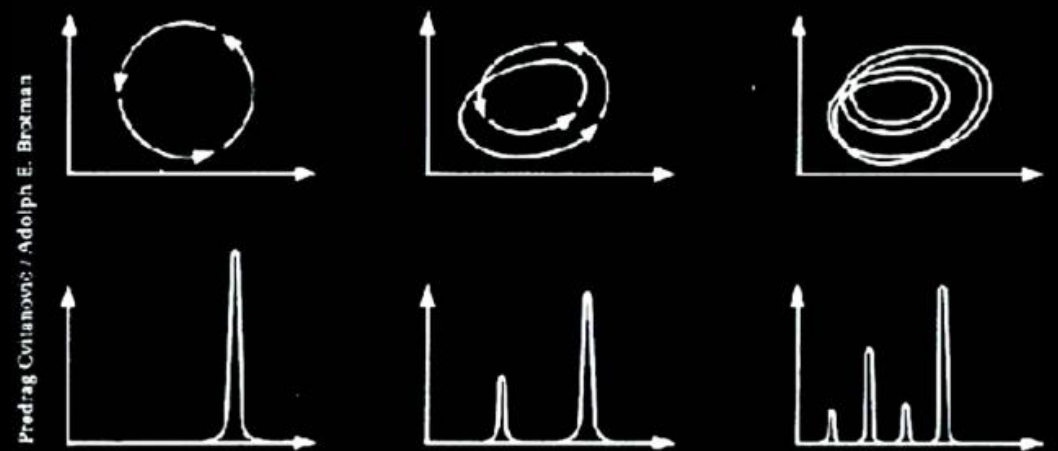
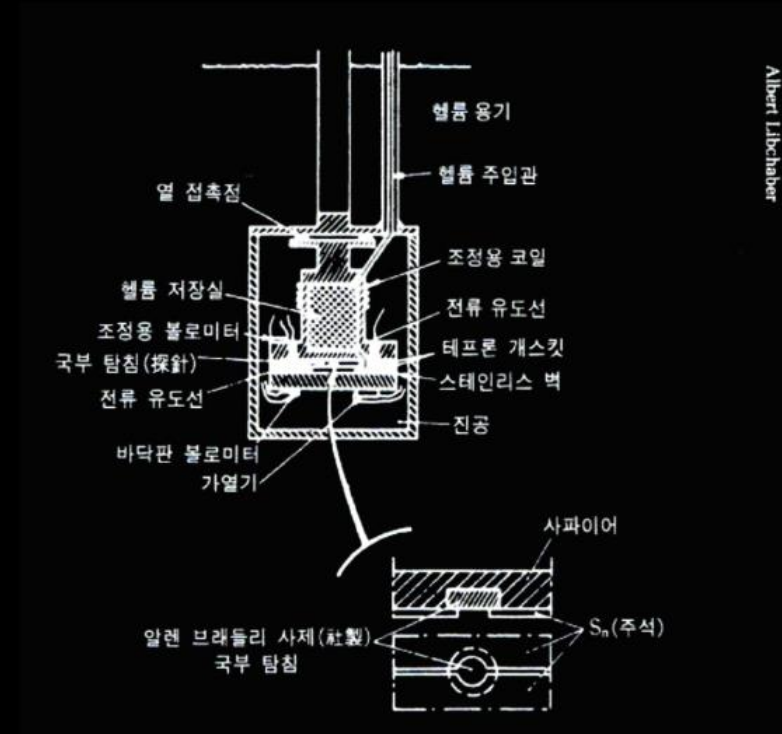
리브샤베르는 카오스 이론을 검증하기 위해 헬륨을 이용한 실험을 진행한다. 그들은 유체의 흐름이 규칙적이다가 특정 지점에서 카오스로 전환하는 것을 목격한다. 리브샤베르는 카오스 이론이 단순한 수학적 이론이 아니라 자연 세계의 복잡한 현상을 설명하는 데 매우 유용함을 보여준다. 카오스 이론은 실험을 통해 그 타당성을 인정받게 된다.

리브샤베르의 난류 발생 실험(작은 상자 속 헬륨)

리브샤베르는 운동과 형상 사이에 모종의 관계가 있다고 생각하고 액체 헬륨을 이용해 대류를 만드는 실험을 진행한다.

액체 헬륨은 점성이 낮아 살짝만 흔들어도 큰 움직임이 생기며 열에도 민감하게 반응한다.

그는 아주 작은 상자에 헬륨을 넣고 가열하면서, 유체 윗부분에 온도 측정기를 이용해 변화를 관찰한다.



"카오스의 형상들"은 카오스의 시각화가 가져온 영향을 보여준다. 카오스 이론의 추상적인 수학과 구체적인 이미지를 연결하면서 단순한 규칙이 어떻게 무한한 복잡성으로 이어질 수 있는지 설명한다. 또, 이러한 이미지들이 카오스 속에 숨겨진 예상치 못한 아름다움을 드러낸 점을 강조한다.

카오스의 가장 두드러지는 형상은 프랙탈이다. 프랙탈은 자기 유사성을 가진 구조로, 서로 다른 스케일에서도 반복되는 패턴을 가지고 있다. 나뭇가지나 해안선의 모양처럼 자연 속에서 흔히 발견된다. 망델브로는 프랙탈 연구의 선구자였으며, 1979년에 쥘리아 집합들 하나로 이끄는 형상을 복소평면에 만들 수 있다는 것을 발견한다.

또, 컴퓨터기술의 발전은 카오스를 시각화하는 데 중요한 역할을 했다. 컴퓨터가 생성한 이미지들은 단지 과학적으로 중요한 것 뿐만 아니라 미학적으로도 매력적이다. 복잡하고 종종 놀랍도록 아름다운 혼돈 시스템의 시각적 이미지는 과학자와 예술가 모두를 사로잡았으며, 과학과 예술의 경계를 허물었다.

이러한 카오스의 시각화는 과학자들이 날씨부터 생태계를 바라보는 방식을 바꿨다. 자연이 부드럽고 선형적이고 예측 가능한 방식으로 작동하는 것이 아니라 복잡하고 비선형적인 상호작용을 통해 작동한다고 설명한다. 시각적 도구들은 이러한 시스템들을 잘 이해하고 모델링할 수 있도록 도왔다.

동역학계 그룹, 일명 카오스 그룹이라고 불리던 산타크루스 학생들의 카오스 연구가 성과를 본 일련의 과정을 소개한다. 로버트 쇼, 도인 파머, 노먼 패커드, 제임스 크러치필드는 자신들의 전공을 내버려두고 카오스 이론에 관심을 갖기 시작한다. 이들은 끝개의 모양, 위상학적 구조, 동역학계를 다루는 물리학에 대해 기하학은 어떤 역할을 하는가에 궁금증을 품고 연구한다. 이들은 동역학계 안에서 질서와 카오스가 경쟁하는 영상을 만들기도 했으며 정보이론 부분에서 성과를 거둔다.

정보이론: 온오프 스위치를 비트라고 할 때, 잡음이 비트의 흐름을 어떻게 방해하는지에 대해 연구

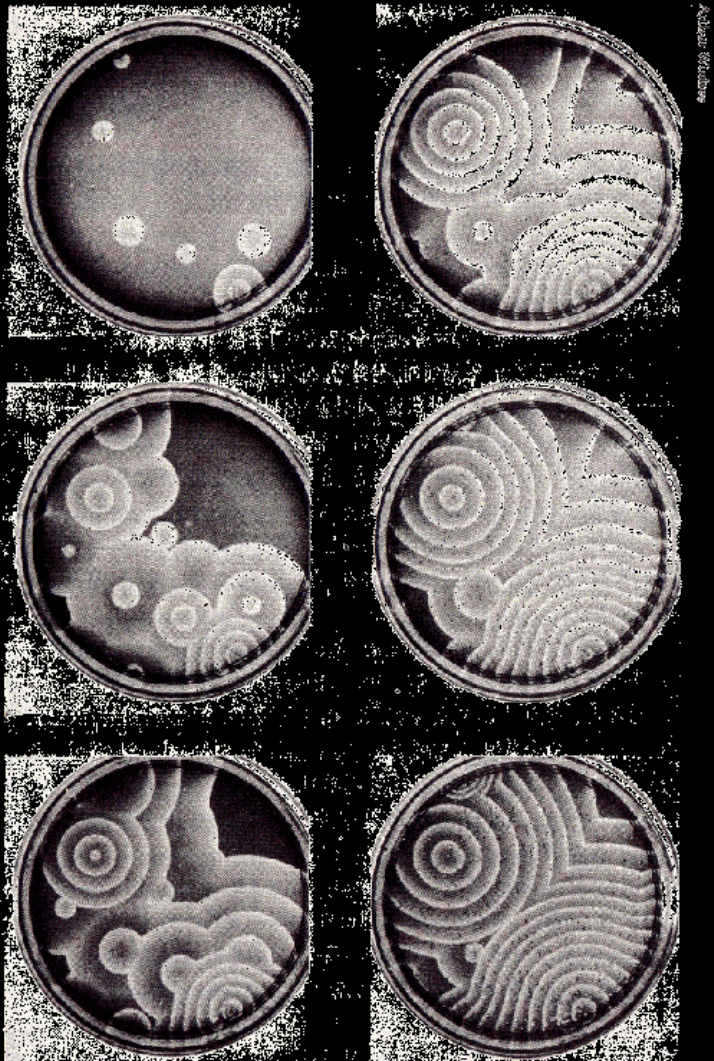
→ 정보 이동에 필요한 용량을 예상 가능해짐

쇼는 정보가 작은 규모에서 큰 규모로 이동함을 밝히며, 정보를 위쪽으로 이동하게 하는 것이 이상한 끝개라고 설명한다.

Ex) 나비효과와 같은 작은 불확실성이 거대 규모의 날씨 패턴으로 확대되는 것

이후 이들은 자코 공모전에서 장려상을 거둔 것을 시작으로 사람들에게 인정을 받기 시작한다.

그러나 후에 결국 그룹은 해체되고 만다.



카오스는 생리학에 새로운 바람을 불어넣었다. 연구자들은 신체를 운동과 진동이 일어나는 장소로 가정하고 문제를 해결해 나가기 시작했다. 이들은 심장에 나타나는 카오스에 주목했다.

연구자들은 부정맥을 해결하기 위해 우선 심장을 동역학적인 것으로 보았다.

부정맥의 원인

1. 심장 근육 안 어떠한 이차적인 보조신호가 주신호와 충돌하여 불안정한 주기의 파동이 발생 > '왜'인지는 밝히지 못함
2. 특정 부분에서 박동이 너무 일찍 생겨 카오스를 생성, : 정상적으로 진동하던 계가 변화> 이로 인해 진동하지 않았어야 할 계가 진동

이것이 혈떡거림, 한숨, 체인스토크 호흡 등으로 나타나는 것

카오스 이론은 기존의 흐름에 큰 변화를 가져왔다. 열역학 제2법칙과 마찬가지로, 카오스 이론은 자연계의 질서와 무질서가 어떻게 복잡하게 얽혀 있는지 설명해주었다. 카오스 이론이 등장한 초기에는 몰이해, 저항, 반감 등 여러 부정적 반응이 있었다. 그러나 카오스 이론은 비선형문제를 해결할 수 있는 방법으로 여겨지며 점차 각광받게 된다. 현재 카오스 이론은 기존과 다른 새로운 시각을 제공하며 다방면으로 활용되고 있다.

CHAOS

카오스
새로운 과학의 출현

제 2 부

카오스 구현 실습
로렌츠 끌개 코딩 실습

CHAOS

카오스
새로운 과학의 출현

제 3 부

카오스 사례 분석

현실 속 카오스 | 카오스 공학 | 그 외

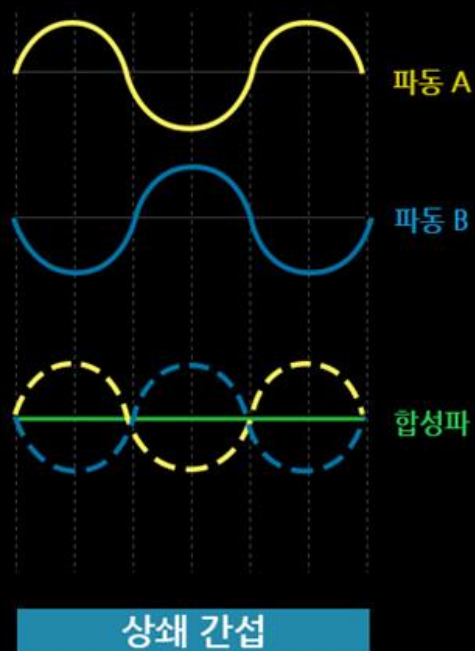
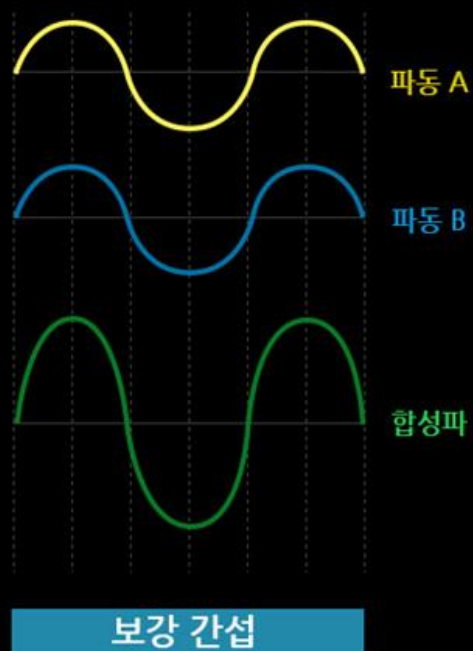
인간관계: 인간은 불확실성으로 가득한 존재이다. 때문에 다양한 관계를 맺는 상황에서 작은 행동이나 오해가 큰 감정적 변화를 야기하며, 이는 관계의 방향을 바꿀 수 있다.

교통시스템: 출근시간에 발생한 작은 교통사고가 이후 차량 흐름에 큰 혼잡을 야기할 수 있다. 뿐 만 아니라, 차선변경, 신호대기 등 또한 사소한 변화들이 이후 교통에 큰 영향을 미친다.

+

MBTI: 복잡계인 사람의 성격요소를 16가지로 단순화한 선형적 단순화의 예시

자기 유사성: 시간이 지나도 비슷한 행동을 하는 자기 자신, 부모의 행동을 닮아가는 자녀_ 자기유사성으로 볼 수 있을까?



카오스 공학은 인위적으로 카오스를 발생시켜 시스템의 안정성을 평가하거나, 약점을 파악하고 개선하는 방법론이다.

노이즈 캔슬링: 카오스 공학을 이용하여 외부에서 발생하는 복잡한 소음을 분석한다. 소리의 다양한 주파수와 소음 패턴을 분석해 이에 맞는 역(위)소음을 생성하여 소음을 제거하는 방식으로 작동한다.



카오스 공학은 인위적으로 카오스를 발생시켜 시스템의 안정성을 평가하거나, 약점을 파악하고 개선하는 방법론이다.

Singhose Crane: 크레인에서 발생하는 불규칙적 흔들림을 최소화하기 위해 고안된 방법이다. 크레인을 이용해 물체를 옮길 때 발생하는 흔들림을 미리 예측하고, 이에 역방향으로 흔들림을 생성하여 안정적으로 물체를 옮길 수 있게 한다.

카오스

새로운 과학의 출현

제3부
카오스
공학



그러나 기존의 목표, 즉 무의식적인 것은 의식화되어야 한다는 목표는 그러한 방법에 의해서 완전히 달성될 수 없다는 것이 더욱 분명해졌다. 환자는 자신 속에 억압되어 있는 것의 전부를 기억해 낼 수 없다. 그리고 기억해 낼 수 없는 것이 바로 억압의 본질적인 부분일 수 있다. 그는 억압된 자료를 의사들이 말하듯이 과거에 속한 것으로 <기억하는> 대신, 그의 동시대적 경험으로서 그것을 <반복하지> 않을 수 없게 된다.²¹ 그처럼 바라지 않는 정확성을 가지고 드러나는 이 재생품들은 항상 그 제재로서 일정량의 유아기적 성생활, 즉 오이디푸스 콤플렉스 *Ödipuskomplex*와 그것에서 파생된 내용을 담고 있다. 그리고 이것들은 항상 전이의 영역 속에서, 환자와 의사의 관계 속에서 활성화된다. 사태가 이 단계에 이르게 되면 이전의 신경증은 이제 새로운 <전이 신경증 *Übertragungsneurose*>에 의해 대체되었다고 말할 수 있을 것이다. 이 전이 신경증을 최소의 범위 속에 잡아 두는 것, 즉 가능하면 많이 기억의 통로 속으로 유도하고 가능하면 적게 반복으로 드러나게 하는 것 — 이것이 의사가 할 일이 되었다. 기억되는 것과 재생되는 것 사이의 비율은 경우에 따라 다르다. 의사가 환자에게 이 단계의 치료를 하지 않고 넘어가서는 안 된다는 것이 하나의 법칙이다. 그는 환자로 하여금 잊혀진 삶의 일부를 재경험하도록 해줘야 한다. 반면에 그는 환자가 어느 정도의 초연함을 유지하도록 돌봐 주어야 한다. 왜냐하면 이렇게 해야 환자로 하여금 모든 것에도 불구하고 사실처럼 보이는 것이, 실은 잊혀진 과거의 반영에 불과하다는 것을 깨닫게 해줄 수 있기 때문이다. 이런 일이 성공적으로 성취되면 환자의 확신감을, 이것에 의존하고 있는 치료적 성공과 더불어 얻게 되는 것이다.

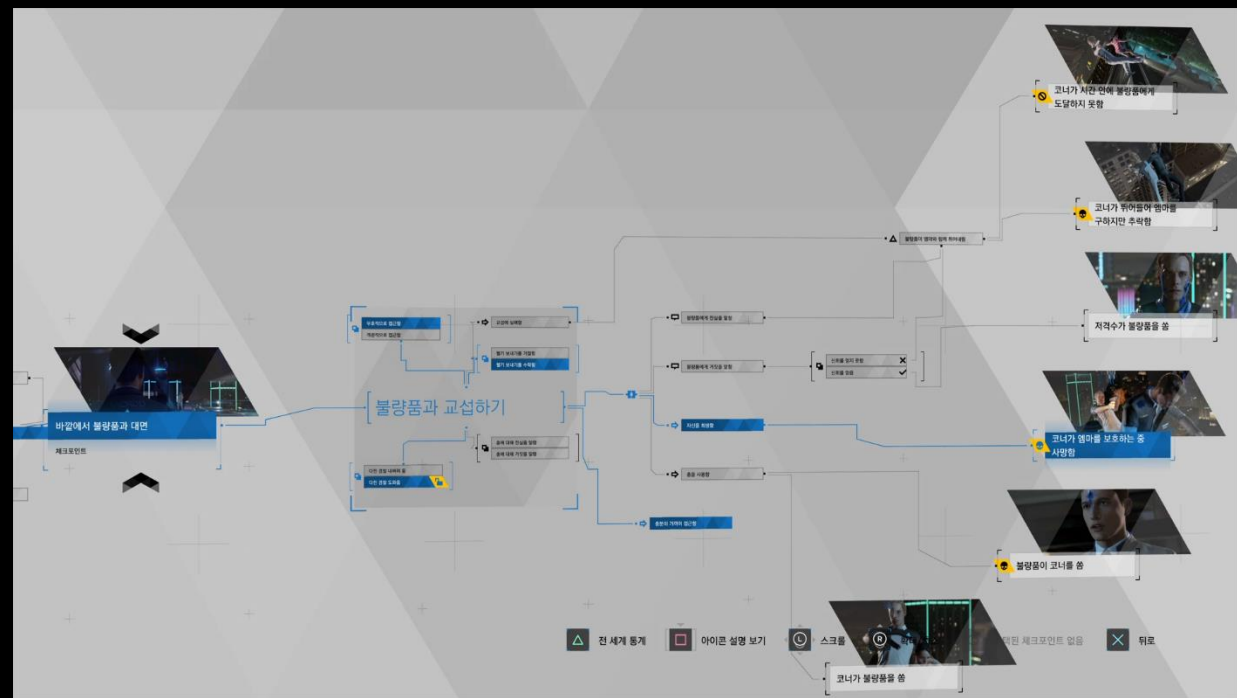
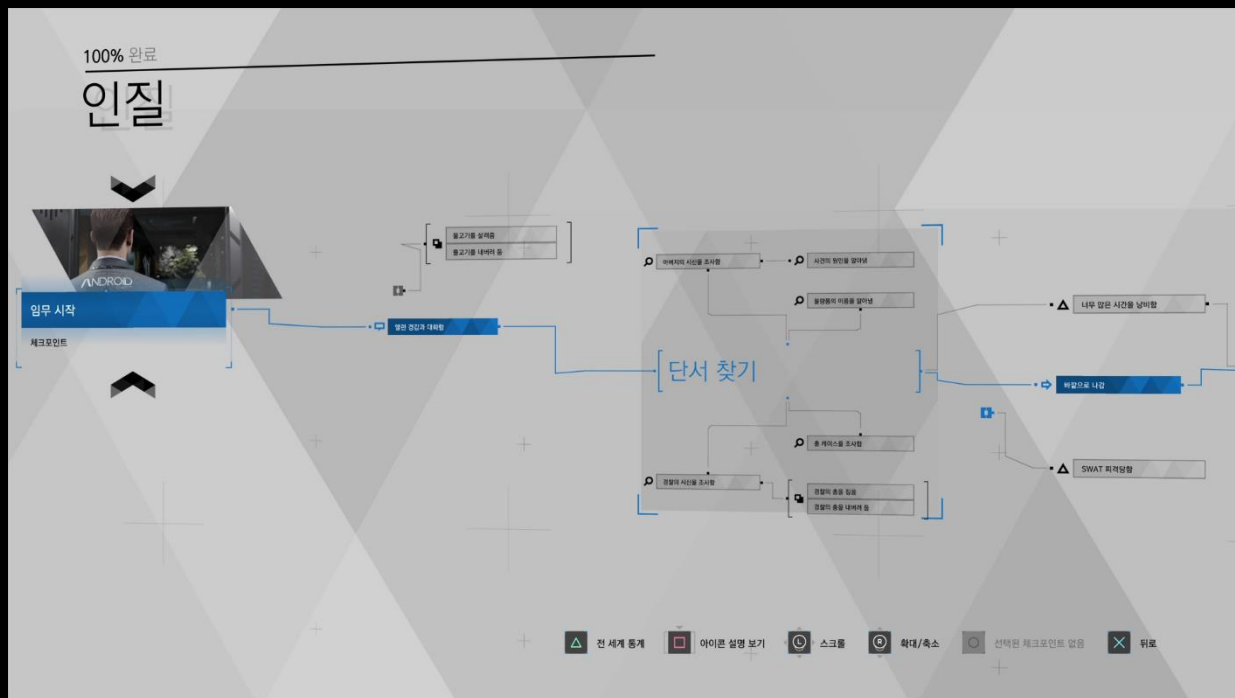
심리학에서 트라우마 치료
프로이트 『쾌락원칙을 넘어서』(1920)

:프로이트는 환자의 무의식에서 나타나는 반복된 트라우마 상황을 관찰함으로써 트라우마를 치료할 실마리를 얻을 수 있게 된다고 설명한다.

+트라우마를 반복적으로 떠올리는 것은 불쾌를 유발한다. 이는 쾌락원칙에 위배되는 것이다. 때문에 프로이트는 쾌락원칙의 상위에 있는 죽음본능을 이용해 반복 강박을 설명한다. 죽음은 불쾌를 유발하는 요소처럼 느껴지지만 한편으로는 안정상태로의 진입으로도 해석할 수 있다. 아쉬운 점은 프로이트가 죽음본능과 쾌락원칙의 관계를 명확하게 완결 짓기보다 후속 연구로의 가능성을 열어두고 마무리했다는 점이다.

쾌락원칙: 긴장을 유발시킨 후 이것이 방출될 때
쾌락을 느끼게 함

죽음본능: 평형상태



DETROIT : BE COME HUMAN

플레이어의 선택지에 따라 엔딩이 변함. 대략 1000가지의 엔딩이 있다고 한다.

CHAOS

카오스

새로운 과학의 출현

제 4 부

질문과 마무리

질의응답

- 앞서 나온 예시 이외에도 찾아 볼 수 있는 카오스의 사례는 무엇이 있을까?
 당연하다고 생각한 것들이 미래에 달라질 수 있는 변화의 흐름 - AI, 기후문제
- 카오스 안에 이해하지 못한 질서가 있듯이 블랙박스인 알고리즘(AI) 안에 규칙성이 있는가?
- 우리 삶 속에 선형적으로 생각했던 것들을 비선형적으로 생각해보기
 반복적 업무가 주어지는 환경 (선형적 환경, 통제된 공간) vs 비선형적 환경
 선형적 사고, 비선형적 사고의 긍정적/부정적인 요소들에 대한 이야기
- Romeo-Juliet Model
 자녀가 생기면서 일어나는 변화
 바람
 성격과 방정식 계수의 연관성
 카오스 속 결혼 생활
 부모의 연애 그래프와 자녀의 그래프의 유사성