공학적 응용에서 바라본 카오스 응용

The Chaos Application of a Point of View Engineering Application

배 영 철*
Young-Chul Bae

= 초 록 =

최근 카오스에 대한 관심이 높아지고 있으며 이를 공학에 적용하고자 하는 노력들이 결실을 보고 있다. 카오스는 수학, 물리학에서뿐만 아니라 전기, 전자, 통신, 기계, 화학 등에서 널리 응용 분야가 확대되고 있으며, 신경망을 중심으로 한 정보처리, 패턴인식 등에도 응용되고 있다. 이에 본고에서는 카오스의 공학적 응용을 중심으로 그 가능성을 알아보았다.

= 키워드 =

카오스 응용, 정보 처리, 신경망, 퍼지, 카오스 역사

- ABSTRACT -

In recent year, much progress has been made in understanding the application of the chaos in the engineering. In the electrical engineering, electronics, communication, mechanical, chemistry as well as mathematics, physics, there are extended to the application of chaos. In this review, I explained chaos engineering application and future application possibility.

- KEYWORDS -

Chaos application, Information processing, Neural network, Fuzzy, Chaos

* 여수대학교 전자 및 반도체공학과 교수.
(Yosu Nat'l. University, Dept. Electrical & Semiconductor Engineering, Professor)

1. 카오스의 정의

카오스란 말은 사전을 찾아보면 천지창조 이전의 혼돈, 무질서, 대혼란이란 뜻으로 전하고 있으며 코스모스(Cosmos)와는 상대적인 단어로 표현된다. 카오스란 단어의 근원은 그리스어에서 기원하며, 그 뜻은 세상의 여러 가지 무질서한 상태, 즉 우주가 생성되는 과정중 최초의 단계로 천지의 구별과 질서가 없는 엉망진창의 세계를 말한다, 그러나 이 단어의 내면에는 고대 사람들이 생각했던 것과 마찬가지로 '창조의 근원'이라는 뜻이 포함되어 있다.

우리는 물리학 또는 공학에서의 카오스를 다루는 입장에서 그 정의를 알아볼 필요가 있을 것 같다.

1986년 영국 학술원이 주최하는 국제 학술회의에서 카오스에 대한 정의가 기존의 의미에 추가하여 제안되었다. 이곳에 참석한 사람들의 다양한 의견을 수렴하여 카오스에 대한 정의가 하나 더 추가되었는데, 이는 '결정론적 시스템에서 일어난 혼란스러운 운동'이라고 규정하였다. 물론 이곳에 참석한 모든 학자들이 찬성한 것은 아니지만 현재는 카오스의 일반적이고 보편적인 정의로 '결정론적 카오스(Determinstic chaos)'라는 용어로 대부분 사용하고 있다.

결정론이란 예를 들면 "물체의 질량에 가속도를 곱하면 그 물체에 작용하는 힘이 된다."라는 뉴턴의 운동 법칙을 미분방정식으로 표현하고 그것에 초기치를 넣어 계산한 결과는 아무리 계산해 보아도 그 값은 변하지 않는다. 이러한 상식대로의 해답이 구해지는 이를테면 우연이나 운이 작용할 수 없는 것이 결정론이다. 이와 상대적인 의미는 확률론으로 보면 된다.

2. 카오스 이론의 기원

과학자 중 카오스 공학에 제일 먼저 접근한 사람은 앙리 포엥카레(1854~1912)였다. 그는 1854년 4월 29일 프랑스 북동부 지방 낭시 태생의 수학자, 물리학자, 철학자로서 위상 수학을 창안해 낸 유명한 수리철학자라고 할 수 있다. 그는 뉴턴 물리학에서 하나의 문제점을 발견해 내고 이를 실험으로 증명하였다. 포엥카레에 의해 제기된 문제점은 닫혀진 시스템에서는 완전히 규칙적이며, 모든 것을 예측할 수 있다고 뉴턴은 주장한다. 단진자를 예로 든다면 마찰이나 저항이 없는 진공 속에 있는 단진자는 에너지 보존 법칙에 의하여 영원히 운동을 할 수 있다.

이 진자의 에너지는 엔트로피에 의한 소멸과는 무관한 운동을 하는 것이다. 이 당시 고전 과학자들은 단진자나 태양계 행성들의 운동을 섭동시키는 어떠한 불규칙성과 혼돈을 외부로부터 우연하게 들어오는 현상으로 보았다. 그래서 그들은 진자와 행성들의 운동에서 외부의 영향이 차단된다면 규칙적인 운동이 진자와 행성에서 영원히 계속되리라고 믿고 있었다.

이러한 사실은 이체(two-body) 문제 즉 지구와 달, 태양과 지구와 같은 2개의 물체에서는 뉴턴의 공식에 의하여 정확하게 모든 문제를 풀어 지구주위를 도는 달의 궤도를 정확하게 결정할 수 있다. 그러나 포엥카레가 지적한 문제는 이체 문제가 아닌 삼체(three-body) 문제일 경우 그 이야기가 사뭇 달라진다는 것이다. 예를 들어 보면 지구와 달 궤도에 태양의 중력 효과를 더하는 것과 같은 것으로 이러한 현상은 뉴턴의 공식에 의해 문제가 풀리지 않는다는 사실을 발견하였다. 그에 의하면 이 문제를 해결하기 위해서는 일련의 근사화를 취해야만 한다는 것이었다. 그러나 이 근사방법은 처음 몇 번째까지는 근사값이 잘 맞아가는데 그 뒤에 발생하는 무한개의 항들이 어떻게 될 것인가를 생각하게 되었다. 이 작은 무한개들이 이 시스템에 미치는 영향은 얼마인지를 생각해 보고, 이 영향으로 인해서 아주 오랜 시간이 지난 태양계의 모습은 어떤 것인지를 생각하게 되었으며, 이 문제를 풀기 위한 새로운 방정식을 고려하게 되었다.

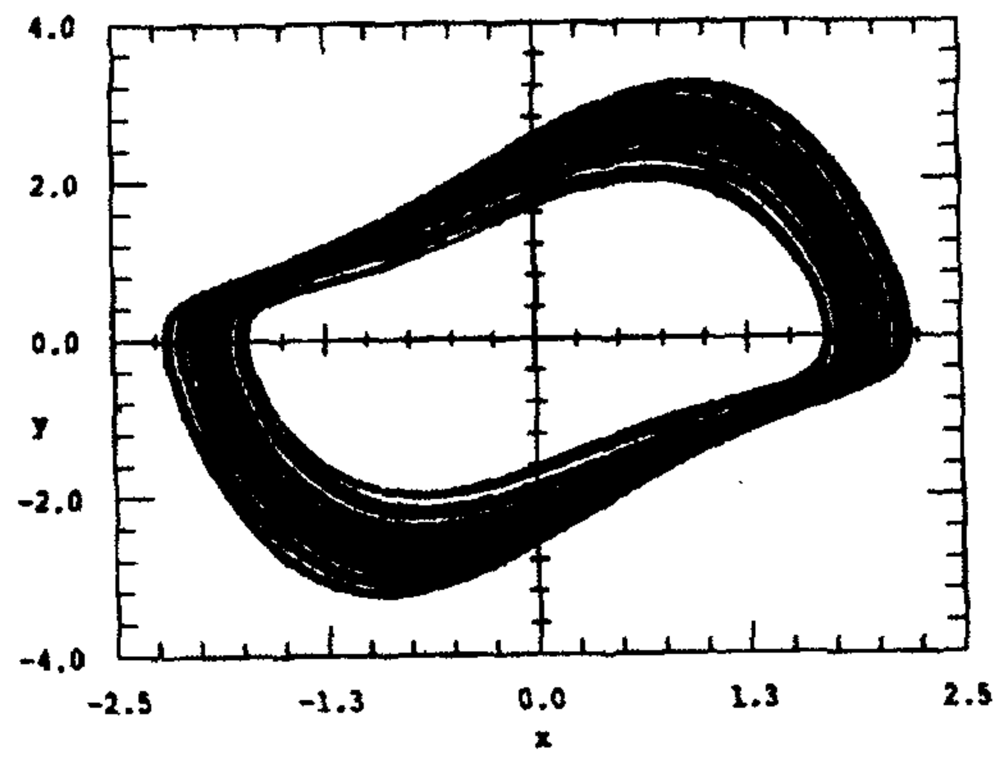
2.1 포엥카레의 카오스 실험

포엥카레는 이러한 문제를 실험을 통해서 다음과 같은 사실을 발견하게 되었다. 어떤 궤도들은 작은 섭동을 가해 주기만 해도 무질서하게 운동을 하고 심지어는 카오스 현상으로 변화한다는 것이다. 포엥카레의 계산에 의하면 행성에 있어서 제3의 물체가 주는 아주 미미한 중력 효과는 행성이 궤도상에서 흔들거리게 만들며, 경우에 따라서는 태양계를 이탈하게 만들지도 모른다는 결론을 얻었다. 이것은 혼돈 혹은 혼돈의 잠재성이 비선형 시스템의 한 요소이며, 공전하는 행성계와 같이 완전하게 예정된 시스템이라 할지라도 결정지어질 수 없는 결과를 가질 수 있다는 사실이다. 포엥카레는 이러한 사실에 기초하여 카오스 공학의 가장 큰 확인 호모클리닉 포인트, 포엥카레 맵, 연속 방정식, 고정점 이론, 쌍 이론 등과 같은 카오스 현상을 이해하기 위한 기본적인 상황을 고려한 다양하고 중요한 개념들을 발견하였다. 특별히 그는 동적 시스템의 시작점 이론을 가진 비선형 시스템의 정성(Qualitative) 연구를 제안하였다.

포엥카레의 연구는 버크호프(G.D Birkhoff: 1884-1944)에 의해 계속 이어져 발전하였고, 버크호프는 동적 시스템에 카오스 이론을 적용하여 큰 공헌을 이룩한 학자였다.

한편 카오스 이론을 듣는 것으로부터 보는 형태로 전환을 시도한 사람은 반 데어 폴(Van Der Pol)이다. 반 데어 폴은 진공관을 포함한 전기 회로를 연구하였고, 이러한 연구를 통하여 주기 배증(Periodic doubling)과 여러 가지 토러스(torus)들의 표면에 감겨 나타나는 다양한 준주기계(quasi-periodic)들을 연구하여 상당한 성과를 거두었으며 이를 이용하여 스피커의 일종인 전기 회로의 출력속에서 카오스 현상이 있음을 증명해 보였다. 또한 반

〈그림 1〉 반 데어 폴의 위상 공간



데어 폴이 발견한 현상들은 진자와 스프링을 연결하거나 악기, 그리고 전기회로의 진동을 측정할 때 발생된다.

〈그림 1〉은 반 데어 폴의 회로의 위상 공간을 나타내었으며 준주기 특성을 가짐을 알 수 있다.

〈그림 2〉에 주기 배증을 표시하는 분기도(Bifurcation; 갈래치기라고도 함)의 한 예를 나타내었다. 분기도는 카오스 현상이 나타나기 전에 일반적으로 1주기 현상이 나타나며, 다음에 2주기, 다음에 4주기, 8주기, 16주기 현상이 나타난 후 그림에서와 같이 검게 나타나는 점처럼 카오스 현상이 나타남을 알 수 있다. 1주기는 1선, 2주기는 2선, 4주기는 4선으로 나타난다.

2.2 수학적 세계의 카오스

반 데어 폴 이후의 카오스에 관심을 가지고 수학적으로 기초를 이룬 사람은 카트라이트(M.L. Cartwright)와 리틀우드(J.E. Littlewood)로서 이들은 1945년 한 논문을 통하여 강제항을 가진 2차계 비선형 미분방정식의 해에서 복잡한 거동이 있음을 발견하였다.

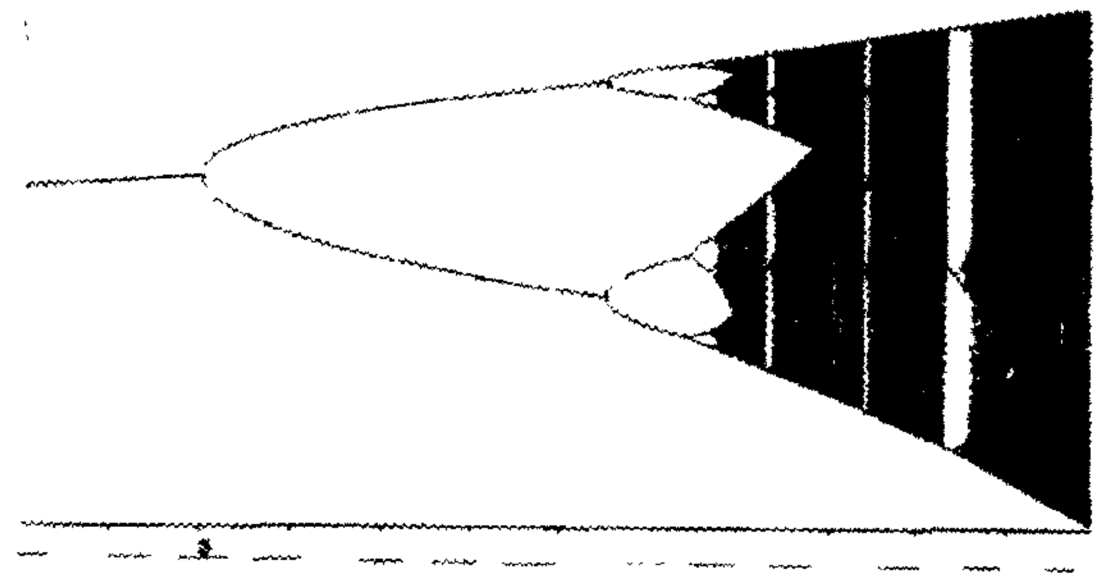
물론 이 복잡한 거동이 단적으로 카오스적인 특성이나 거동이 있다라고 말할 수는 없다.

그러나 카오스에 근접한 어느 정도의 성질을 가졌다고 말할 수 있으며, 1945년 당시에는 단지 복잡한 현상, 또는 복잡한 해를 찾았다라는 정도를 언급하였다.

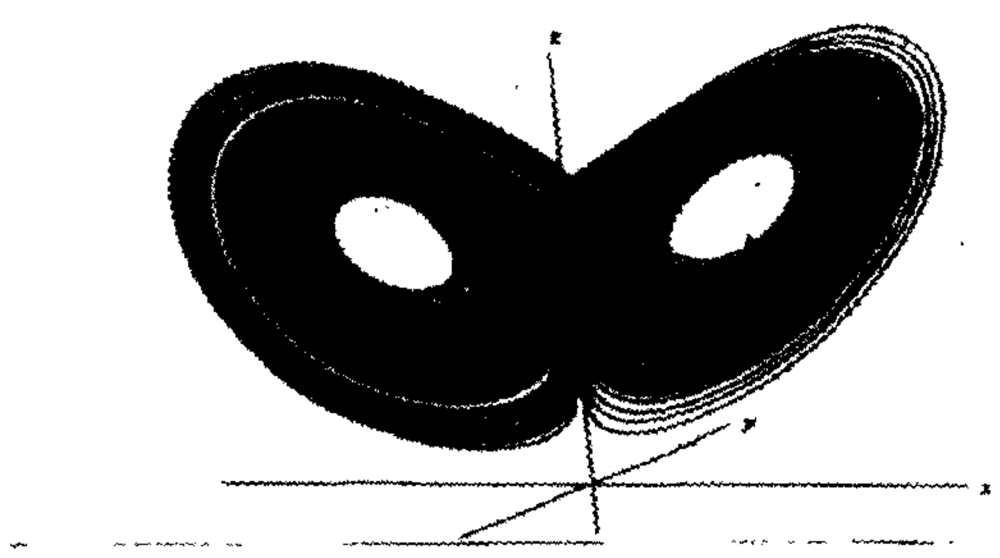
2.3 방정식에서의 카오스

이들에 이어 학문의 체계를 세운 사람은 레빈슨(L. Levinson)으로 카트라이트와 리틀우드가 제시한 2차계 비선형 방정식에서 복잡한 해가 나오는 방정식을 구분 선형 모델을 통하여 단순화하고, 이를 임의의 베르노이 변이(Bernoulli shift)를 매립(embeding)하여 증명하였다. 그리고 그는 모델 방정식의 해를 해석적으로 처리하고 이를 "결정론적 2차계 구분 선형 상미분 방정식"이라 불렀다. 예를 들어 베르

〈그림 2〉 카오스 현상을 나타내는 분기도



〈그림 3〉 로렌츠 어트랙터



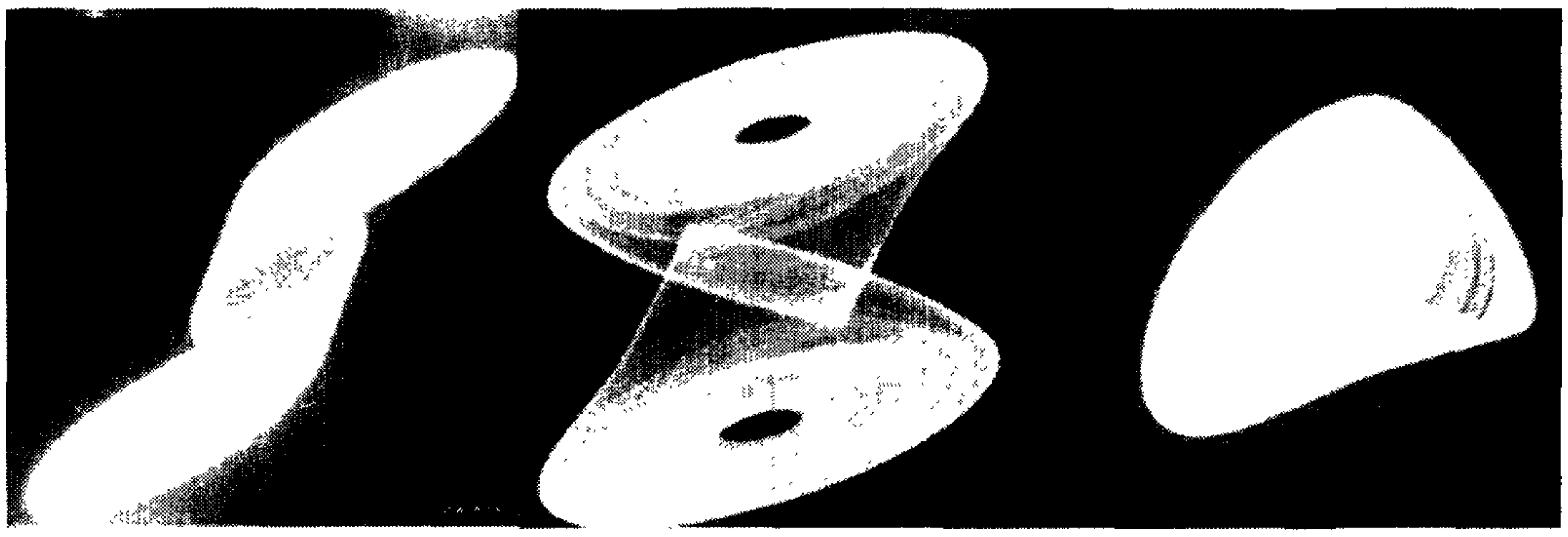
노이 변이 B(0.5,0.5)는 동전을 던져서 그 결과를 알 수 있다. 이러한 관점에서 레빈슨은 "결정론적 시스템의 해"를 정의하고 임의의 확률성도 관측할 수 있었다. 이것을 과학적 카오스(Scientific chaos)라 불렀다.

1956년 레빈슨의 논문에 이어 선형제어 시스템의 연구로 유명한 칼만(Kalman)은 비선형 문제에 관심을 가지고 연구하던 중 *Proc. of Symposium on Non-linear Analysis*의 학술발표 심포지엄에서 "Nonliner Aspects of Sampled-Data Control System"란 논문을 발표하기에 이르렀다. 이 논문에서 칼만은 2차원 릴레이 샘플링에 대하여 불변 폐곡선이 존재한다는 사실을 수치 실험으로 나타내었고 여기서 나온 해를 마코프(Markov)과정으로 매립하여 1차원 샘플링 값에 카오스 현상이 있다는 사실을 증명하였다. 특별히 칼만은 비선형 차분 방정식에서 카오스 운동이 있다는 사실을 증명한 것이다. 칼만의 연구로부터 공학에서의 카오스 접목 또는 카오스에 대한 관심이 서서히 일어나기 시작하였다.

2.4 난류에 대한 로렌츠의 연구

1963년에 로렌츠(E.N. Lorenz)는 일기예보를 예측하다가 카오스 현상이 있음을 발견하였다. 그는 기상학자로서 MIT대학의 교수였고 컴퓨터를 이용한 열대류 현상을 연구하던 중 방정

〈그림 4〉 여러 가지 어트렉터



식의 처음 초기 조건이 약간만 달라도 나중 결과가 크게 변하는 현상이 있음을 발견하므로써 카오스 현상에 대한 이해를 크게 증진시켰다. 특히 로렌츠는 네비어-스토크스(Navier-Stokes) 방정식을 근사화함으로서 비선형 자율 미분방정식에서 복잡한 현상, 즉 카오스 현상이 있음을 발견하고 이를 일기 예보에 적용하고자 하였으며, 카오스 현상 중의 하나인 "초기조건에 대한 예민한 민감성(The sensitive dependence on initial condition)"과 로렌츠 어트렉터로 표시되는 기이한 어트렉터(Strange attractor)를 구성하고, 일기 예보에서 장기예측의 불가능성 등에 대하여 설명하는 등 카오스 이론에 혁혁한 공을 세운 학자이다. 로렌츠에 의하여 나비효과(Butterfly effect)라는 단어를 만들어 낸 장본인이기도 하다. 〈그림3〉은 기이한 어트렉터로 대표되는 로렌츠 어트렉터를 나타내었다.

1971년 루엘(Ruell)과 타켄스(Takens)는 새로운 난류(turbulence)에 대한 시나리오를 제안하였다. 그들은 두개의 호프 분기(hope bifurcations)에 이어 난류가 발생할 가능성이 있다는 사실을 지적하였다. 보다 정확하게 그들은 리미트 사이클(limit cycle)도 아니고 고정점(fixed point)도 아닌 기이한 어트렉터를 소개하였다.

〈그림 4〉는 여러 가지 기인한 어트렉터를 나타내었다. 왼쪽부터 처음 두 개는 Chua 어트렉터이며 하나는 뢰슬러형 어트렉터이다.

1975년 리(Li)와 요크(Yorke)는 "Period three implies chaos"라는 논문을 통해서 카오스를 "결정론적 비선형 동적 시스템에서의 복잡한 현상"이다라고 정의하였다.

2.5 생물학에서의 카오스

1976년 로버트 메이(R. May)는 생물의 개체수 변동을 수학적으로 처리하는데 성공하여 자연과학이나 공학에도 카오스 이론을 적용할 수 있음을 보였다. 메이는 Nature지를 통해 논문을 발표하면서 매우 복잡한 동적 시스템을 간단한 수학적 모델로 제안하였고, 이 간단하고 단순한 방정식에서 나온 결과가 카오스적인 결과, 즉 카

오스 운동을 한다고 주장했다.

로버트 메이가 발표한 내용은 일반 공학자들에게는 대단한 충격을 전해 주는 내용이었다. 왜냐하면 일반적인 사고 방식을 가진 사람들 사이에서는 복잡한 현상을 나타내는 장치라는 것은 매우 복잡한 회로와 복잡한 장치로 되어 있다고 믿고 있었기 때문에 카오스 이론을 적용하여 매우 복잡한 현상을 간단한 수식으로 표현할 수 있다는 사실은 가히 충격적인 일이 아닐 수 없었다. 로버트 메이와 요크의 논문이 발표된 1975년도를 중심으로 서서히 카오스라는 용어가 과학기술 용어로 사용하기 시작하였으며, 많은 사람이 관심을 갖게 되는 하나의 출발점이 아닌가 생각된다.

2.6 공학에서의 카오스

로버트 메이 이후 카오스 현상이 공학적인 방법으로 생성할 수 있다는 사실 때문에 최근에 카오스는 그 어느 분야보다도 공학 분야에서 폭넓게 연구되고 있다. 예를 들어 위상동기회로(Phase Locked Loop: PLL)와 플라스마 장치와 같은 많은 비선형 소산 시스템(Nonlinear dissipation system)과 같은 비선형 회로의 안정도 문제들은 공학 응용을 위한 카오스 연구에 있어서 피할 수 없는 내용이다. 공학 문제는 과학 문제와 분명히 다르다. 때문에 공학에서의 카오스는 공학 응용에 초점이 맞추어져 발전하여 왔다.

3. 일상에서의 카오스 현상

우리 주위에서 찾아볼 수 있고 발생하는 일상적인 카오스 현상을 살펴보는 일은 매우 의미 있는 일이 된다. 왜냐하면 우리 주위에서 일어나는 현상들을 가지고 응용에 이용할 분야를 찾을 수 있기 때문이다.

지금까지 알려진 우리 주위에서 일어나는 카오스 현상이라고 말할 수 있는 것은 한 줄기 담배 연기가 공중으로 올라가다 거칠게 소용돌이치며 흐트러지는 것, 깃발이 바람 속에서 앞뒤로 펄럭이는 것, 마루에 똑똑 떨어지는 수도꼭지에서 처음에는 물방울이 일정한 패턴으로 떨어지다 갑자기 제멋대로 떨어지게 되는 것, 항공기의 비행, 고속도로에 무리를 지어 몰려있는 차들의 행렬, 지하 송유관을 흐르는 석유의 흐름, 날씨, 대기의 흐름이나, 일기 예보, 바다에서의 밀물과 썰물의 흐름, 심장의 고동과 사람의 생각들, 하늘에 떠돌아다니는 구름들, 폭풍의 이동 상황, 은하계의 구조, 시인이나 소설가들의 시의 착상이나 소설의 작품 구상, 매미 나방 애벌레 수의 증가와 감소, 산불이 발생했을 때 산불이 퍼져 나가는 경로, 해안선의 굽이침, 좀 더 넓게 보아 생명 그 자체의 기원과 진화, 주식값의 변동, 선거의 진행 상황, 병든 환자수와 매년 늘어가는 마약 중독자 수의 변동, 기타 사회 현상 등 이루 헤아릴 수 없는 많은 부분들이 카오스 현상을 나타내는 하나의 모습이 아닌가 생각된다.

일기 예보의 경우 현재의 일기를 관측하지만 상황을 완전하게 관측할 수 없기 때문에 관측 오차가 커지고 장기 예측을 할 수 없게 되는 결과를 가져온다. 또 물방울이 떨어지는 현상을 통하여 카오스 현상이 있음을 정의 할 수 있다. 수도꼭지를 틀었다 잠그면 물이 뚝뚝 떨어며 이것을 적당히 조정하면 그 리듬이 불규칙하게 되는데 이러한 불규칙한 현상이 바로 카오스의 단면을 나타내는 현상이다.

4. 카오스 현상에 대한 연구

카오스 현상에 대한 연구는 우선적으로 정확한 숫자 모델이 만들어져야 하며 이를 위해 많은 연구가 이루어지고 있다. 최근에는 경제 데이터에 이를 이용하고자 하는 노력이 계속되고 있다. 이 경제 데이터에 속하는 카오스 현상에는 주식의 변동같은 여러 가지 경제 흐름 또는 리듬이 포함된다. 이를 위해서는 카오스 현상 자체에 대한 수치화가 이루어져야 하며 어떤 형태로든 상태 변동을 수치화 할 수 없는 것에 대해서는 현재까지 연구된 카오스 이론을 적용하는 것은 현실적으로 불가능하다라고 말 할 수 있다. 상태 변동의 값을 수치화 할 수 있다면 해석이 가능하며 이 해석을 통해서 카오스 현상을 이용할 수 있으나 단기적인 현상의 분석은 가능하나 장기적인 현상 분석은 불가능하다. 그 이유는 카오스 현상 가운데 두드러진 특성이 초기값에 예민한 의존성으로 인하여 초기값이 조금만 변해도 최종에 가서는 전혀 엉뚱한 결과가 나오기 때문이다. 초기 조건에 대한 예민한 민감성에 대해서는 다시 언급할 예정이다. 전세계적으로 카오스 현상에 대한 연구가 계속되고 있고 공학을 포함한 여러 분야에서 멀지 않은 시간에 좋은 결과가 나오리라고 기대해 본다.

현재 가장 활발하게 연구하고 있는 분야로는 카오스 암호 통신, 카오스 제어, 뇌파에서의 카오스 해석, 심장 맥동에서의 카오스 해석 및 주가 예측 등을 들 수 있다.

5. 퍼지와 카오스

불과 얼마 전부터 퍼지이론(fuzzy theory)이 세인의 관심을 끌었던 시절이 있었다. 퍼지는 어원에서 보듯이 일반적으로 애매모호함, 알듯말듯함이란 뜻이 있다. 예를 들어 인간의 맥박과 호흡에서도 카오스와 진동이 존재하며 실제로 이러한 현상들은 생물세계와 자연세계에서도 존재한다. 지금까지는 카오스나 진동이 없는 형태로 여러 가지 제품이 만들어지고 상용화되었는데 이 벽을 넘어 좀더 인간에 가까운 제품을 만들려는 노력의 하나로 결실을 본 것이 퍼지 이론으로 우리에게 주목을 받았었다. 지금도 퍼지 이론은 많은 응용 분야가 연구되고 있으며 특히 제어 분야에서의 성과는 놀랄만하다.

퍼지이론은 지금까지의 과학의 방향과는 상당한 차이가 있다. 컴퓨터의

경우를 보면 0과 1의 조합으로 참이냐 거짓이냐를 판단하는 것이다. 퍼지는 모든 사물에 대해 주관적인 결정을 하는데 비해 카오스 이론은 퍼지에서의 주관적 결정을 바꾸어서 학문적 체계로 만들어 주는 것으로 이해하면 된다. 또한 카오스의 출발점이 수학에서 시작되었기 때문에 자연히 수학적 기술이 중요한 역할을 하므로 공학을 다룰 때에도 역시 수학으로 이해해야 한다는 입장에서 연구가 진행되고 있다.

퍼지는 애매모호함 그 자체로 풀 수 없는 것이기 때문에 여기에 어떤 실마리가 있지만 카오스는 이것과는 달리 풀 수 있는 해답을 가지고 있다. 수학 세계에서 카오스는 미분방정식으로 풀이하는데 미분방정식이 풀렸다고 해서 그 해답 자체를 카오스라고는 하지 않는다. 다시 말하면 카오스라는 종래의 해석학에서는 풀리지 않는, 즉 방정식이면서 풀리지 않는 세계를 말한다. 혹자는 방정식으로 풀이 된다는 것은 답이 나온다고 생각할 수 있으나 수학적으로 볼 때 방정식으로 쓸 수 있는 것과 답을 구한다는 것은 별개의 문제가 되며, 카오스는 방정식으로 사용할 수 있어도 답이 나오지 않을 수도 있다는 의미다. 어떤 상태를 결정하여 관찰하여 보면 그 상태에서 일정한 법칙이 정해져 있음을 알 수 있다. 하지만 그 법칙이 무엇인지는 알 수 없다. 이것이 바로 카오스인 것이다.

카오스 이론과 퍼지이론, 신경망 이론을 함께 연구하여 제어 이론이나 제품에 적용시킨다면 카오스 이론의 진동과 비선형 시스템을 함께 다루게 되어 과학의 중심 역할을 할 것으로 보고 있으며 학계에서 최근에 이러한 움직임 있어 이를 다행스럽게 생각하고 있다. 퍼지 카오스, 퍼지 신경망 카오스, 신경망 카오스 시대가 온다고 말할 수 있을 것 같다.

6. 창조성과 카오스

만약 카오스 이론을 어떤 실제적인 모습을 가진 기계 속에 적용시킨다면 지금까지의 시스템 즉 퍼지 이론을 적용한 상태까지의 시스템과는 달리 복잡한 설계 자체가 불필요하게 된다. 그 이유는 카오스 이론을 적용하면 시스템에서 시스템 자체에 어느 정도의 자율성을 보장해 주기 때문에 복잡한 이유가 없어진다는 말이다.

컴퓨터를 예를 든다면 컴퓨터 자체는 인간을 모델로 해서 만들었지만 지금까지 개발된 컴퓨터는 입력된 자료를 정리, 조합하여 계산을 실행하는 것까지만 수행한 것이다. 카오스이론을 적용한 컴퓨터는 궁극적으로 인간과 같이 생각하고 판단할 수 있는 인간의 뇌에 가까운, 스스로 생각하고 창조하는 컴퓨터를 말한다. 카오스라는 것 자체는 진동하는 것이므로 장기적 예측이 불가능하다고 할 수 있다. 이러한 단점을 컴퓨터가 가진 기억소자를 이용하여 보완할 수 있다. 카오스 이론을 적용한 컴퓨터는 뉴로 컴퓨터와 닮은 점이 있다. 따라서 뉴로 컴

퓨터를 제 5세대 컴퓨터라고 하며 카오스 이론을 적용한 컴퓨터를 제 6세대 컴퓨터라고 한다.

컴퓨터 분야에서 적용한 카오스 이론을 이해한다면 보다 인간적인 해석이 가능할 것이고, 그렇다면 창조할 수 있다고 가정할 수 있다. 그 이유로는 카오스 이론의 아주 중요한 성질의 하나로 예측 불능성이라는 개념이 있다. 이 예측 불능성이라는 개념이 어느 정도 창조성에 가까운 개념이라고 볼 수 있다.

결국 카오스는 우리에게 예측할 수 없는 답을 내놓거나 그와 유사한 행동을 하는 것이다. 예측 불능성이 마구 아무렇게나 이루어지는 것이라면 쓸모가 없는 것이겠지만 카오스는 그 가운데서 어떠한 규칙에 따라 예측이 불가능한 답을 내놓는 능력을 기본적으로 갖고 있기 때문에 잠재능력 속에 창조성에 가까운 것이 있다고 생각할 수 있다. 예측 불능이 창조와 연결된다는 의미는 역으로 생각해 볼 때, 예측이 가능한 것을 내놓는 컴퓨터란 한마디로 프로그램화된 내용으로서 창조성이 없다고 말할 수 있다.

유아기에 있는 어린아이나 초등학교에 다니는 어린이들을 살펴보아도 그들에게 필요한 일을 가르치지만 아이들은 그 가르침을 이해 한 후 나아가 어른들이 전혀 생각하지 못했던 새로운 발상을 해낸다. 이런데서 우리는 창조성을 느끼며 카오스 이론이 바로 이러한 능력이 있다고 말할 수 있다.

7. 카오스의 공학적 응용 가능성이 있는 분야

1) 카오스 컴퓨팅

카오스 신경 회로망, 일반화 소프트 매핑(mapping), 최적화 문제(optimal problem), 학습 자기 조직화(learning self-organization), 차세대 아날로그 컴퓨터

2) 결정론적 비선형 예측

기후, 지구 환경, 생물 자원 등의 변동 예측, 경제 예측, 지진 예측, 전염병의 유행 예측

3) 카오스 식별(identification)이나 모델링

복잡한 공학 플랜트(원자로, 전력 계통 등)의 모델링이나 이상 검출, 음성 합성, 필터링

4) 바이오 카오스

뇌파(EEG), 뇌자계(MEG), 심전도, 뇌파 등의 해석 진단, 감성 공학, 스트레스 공학, 수면 상태 모니터링

5) 카오스 메모리

대용량 메모리, 동적 연상 메모리(dynamic association memory) 고속 메모리 검색, 동적 시소러스

6) 카오스 부호화

반복 함수계의 어트렉터(attractor)에 의한 화상 압축, 카오스 암호, 카오스 신호 통신

7) 카오스 패턴 인식

프랙탈 화상 압축, 특징 추출, 미세한 차이의 고감도 식별, 센서, 음성 인식

8) 카오스 예술

카오스 컴퓨터 그래픽, 프랙탈 그래픽, 카오스 음악

9) 카오스의 생활에의 응용

카오스 가전 제품(에어컨디셔너, 세탁기, 세척기, 온풍기, 선풍기), 음성 합성

10) 카오스 실장

11) 비선형 시스템에서의 카오스 발생과 그 제어

카오스 진동의 제거(탄성체나 회전체 등의 기계계, 발전기나 전동기 등의 전기계 등), 난류나 연소의 제어, 핵융합로의 플라스마에 관한 문제, 호메오(항상성) 다이나믹 제어, 카오스 공진, 카오스 혼합(화학 플랜트, 열교환기, 연소 등), 로봇 제어

8. 카오스 실용분야의 구체적 사례

1989년 일본에서 설치된 '바이오 정보응용 시스템 조사위원회'는 생체 정보 처리계와 차세대 아날로그 컴퓨팅 기술에 대하여 조사 연구를 추진하였다. 이 조사 기간 중 특히, 1990년에는 그 주제를 카오스로 정하였고, 카오스 현황 장래성에 대하여 조사를 하였다.

이 조사 연구 보고서에 의하면 카오스의 공학적 응용 가능성에 대하여 다음과 같은 분류로 표시하였다.

8.1 카오스 컴퓨팅

카오스 역학계를 기본 요소로서 구성한 비선형 네트워크(카오스 네트워크)를 사용한 정보처리 방식을 '좁은 의미의 카오스 컴퓨팅'이라 한다.

이와 같이 출현한 카오스 역학계(복합 카오스)는 그 단독으로서 튜닝 기계와 같은 계산 만능성을 가진다. 그러나 카오스 역학계로 상호 결합한 카오스 네크워크는 비선형 상호작용에 의하여 기본구성 요소가 튜닝 기계로서의 능력을 초월하는 슈퍼 튜닝 기계로서의 퍼텐셜을 가진 병렬 처리 기계이다. 보다 많은 여러 가지 형태의 카오스 이론을 이용한 정보처리 방법을 '광의의 카오스 컴퓨팅'이라 한다.

8.2 결정론적 비선형 예측

지금까지 확률적인 불규칙 변동으로서 설명되거나, 그렇지 않으면 막연한 노이즈로 설명되어진 많은 현상의 배경에는 결정론적 법칙이 존재한다는 것이 명백하다.

만약 불규칙 변동 현상을 카오스라 한다면, 카오스 이론을 이용한 결정론적 비선형 예측 기술에 의해서 카오스는 단기 예측이 가능하다. 또한, 비선형 필터에도 응용이 가능할 것으로 보인다.

8.3 비선형 시스템의 식별이나 모델링

카오스 이론은 비선형 시스템에 대하여 풍부하고 단순한 모델을 제공한다.

이것은 내부 모델 원리(제어 명령 입력이나 외란 입력에 대한 정상 편차를 0으로 한다면 제어기 내부에 입력 발생기의 모델을 갖지 않는다)와 관련하여 제어의 입장에서도 중요성을 가진다.

8.4 메모리의 성분과 검색

카오스 이론을 이용하여 동적 메모리를 실현할 수 있고, 기억 내용을 효율적으로 검색할 수 있다. 또한 카오스는 무한개의 불안정한 주기해를 가지며, 이 불안정한 주기해는 파라미터의 선형 제어로 안정화할 수 있다. 그러므로 카오스 역학계를 이용한 대용량의 메모리를 구성할 수 있다.

8.5 정보압축과 부호화

카오스 이론의 역문제를 해결함으로써 복잡한 패턴을 단순한 카오스 역학계의 어트렉터로서 재현할 수 있다. 이러한 카오스를 화상 압축에 적용한 예가 있으며 프랙탈을 이용한 화상압축을 가장 많이 응용하고 활용하고 있다.

8.6 패턴인식

카오스 역학계로 구성된 파라미터 인식계는 그 '초기치에 대한 예민한 의존성'에 의해 패턴의 미소한 차를 확대하여 분별이 가능하다.

다만, 자연계의 화상 패턴 정보를 프랙탈 차원에서 특성 시험을 해야한다.

8.7 예술분야 응용

카오스가 생성하는 풍부한 시공간 다이내믹스(spatio-tempary dynamics)와 예측 불가능성은 컴퓨터 그래픽, 컴퓨터 음악 등 여러 가지의 디자인 등에 대하여 창조적 기능을 공학적으로 실현하는 방법이 있다.

8.8 진동 생성

카오스를 공학적으로 응용하면 난수나 1/f 진동 등을 생성할 수 있다.

8.9 카오스의 실장기술

카오스는 현재의 전자회로 기술이나 광 기술을 이용하여 쉽게 실용할 수 있다. 현재까지는 이를 이용하여 카오스 네트워크의 집적화가 가능하다. 앞으로는 인공막에 의한 카오스 진동이 연구될 것이다.

8.10 비선형공학 시스템에서의 네거티브(negative)한 응용

여러 가지의 비선형 시스템은 보다 쉽게 카오스 해를 가질 수 있다. 그러나 그 고장은 카오스나 프랙탈 경계에 기인하는 기능성이 있다. 이러한 시스템의 예상보전이나 안전 설계에는 카오스 이론이 필요하다. 지금 카오스 시스템을 예를들면, 2 자유도 제어계 등을 이용한 안정화할 수 있는 연구가

진행되었고 더 큰 자유도에 대한 연구가 진행될 예정이다.

8.11 비선형공학 시스템에서의 포지티브(positive)한 응용

생체제어정보 시스템에 있어 가장 중요한 기능은 항상성 유지기능(home-mostasiss)으로서 그 생체의 항상성은 종래에 고려하던 정적인 구조 대신에 카오스를 가진 동적 구조를 적극적으로 유지하기 위한 가능성이 지적되었다. 이 의미는 생체의 호메이턴스에 착안하여 발달한 생체정보 시스템 이론이나 사이버네틱스는 카오스 이론의 관점에서 현대적 의미로 재고할 필요성이 있다. 비정상의 가혹한 환경하에서 생존을 유지하는 생체제어정보 시스템의 큰 특징은 '안정성과 유연성의 공존'은 Homemo-dynamical로서 카오스가 담당할 가능성이 높아졌다.

9. 카오스 공학의 가능성

카오스 이론이 유망한 가장 큰 이유 중의 하나는 그 실장이 용이하다는 점이다. 이미 분야에서 즉, 전기전자 회로, 공학 시스템, 인공막 등 카오스 이론이 실제적으로 적용할 수 있음을 보였고, 지금 소수 자유도를 가진 단순한 비선형 역학계를 카오스적 거동으로 표시하고, 이것을 '단순한 디바이스에 의해 복잡한 기능을 실현하는 가능성'을 실현하고 있다.

실제로 스위칭 회로 기술을 이용하여 카오스 집적회로를 설계하는 것이 어렵지 않다는 것이 여러 논문에서 증명되었다.

또한, 카오스 데이터의 시계열 해석에 관하여는 현재의 디지털 시스템으로 충분하다. 그러나 카오스 응용의 기본원리를 명확하게 하기 위해서는 그 실장에 관한 기술이나 현재 개발중인 기술에 충분하게 대응할 수 있는 생각을 가져야 한다.

카오스 공학은 종래의 공학에서 기초과학의 원리나, 알고 있는 것을 응용하는 전통적인 형식과 크게 다를 바가 없으며, 기초과학으로서 카오스 자체의 연구는 앞으로 발전할 가능성이 많다. 이것을 역으로 표현한다면 카오스 공학에 있어서 카오스 응용을 지향하기 위한 기초적 이론 연구가 특히 중요하다고 말할 수 있다.

최근에는 암호 통신과 정보 처리, 데이터베이스에의 응용에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있어 이에 대한 연구 결과가 주목되고 있다.

앞으로 카오스 개념은 기초공학에 있어서 뿐만 아니라 실용분야에서 기존 이론체계에 크게 영향을 미칠 것으로 보이며 복잡계 이론(Complex theory)과 융합하여 더욱 발전할 가능성이 높다고 할 것이다.

참고문헌

- 마이클 클라이튼. 쥬라기 공원, 김영사
- 배영철. "카오스란 무엇인가," 전자저널 38호 pp.104-107, 1993.
- 배영철. "카오스의 공학적 응용," 93춘

계 계측제어연구회학술강좌, 1993.
- 이안 스튜어트. 하나님은 주사위 놀이를 하는가, 범양사
- 제임스 글레리크. 카오스, 동문사.
- 존브리그스. 혼돈의 과학, 범양사
- Birkhoff, G. D. "nonvelles recherches sur les system dynamiques," Mem. Point Acad. Sci, Novi, Lyncaei, 1, p 85, 1935.
- Cartwright, M.L. and Littlewood, "On nonlinear differential equations of the second order" The equation $\dddot{y} - k(1-y^2)\dot{y} + y = bk\cos(t+d)$, *k large*, J. London Math. Soc., 20, pp. 180-189, 1945.
- Francis, C. Moon. Chaotic and fractal dynamics. Join wiley & Sons, Inc.
- Levinson, M. "A second order differential equation with singular solution," Ann. Math., 50, pp. 127-153, 1949.
- Li, T.Y. and Yorke, J.A. "Period three implies chaos," Ann. Math. Monthly, 82, pp. 985, 1975.
- May, R. "Simple mathematical models with very complicated dynamics," Nature. vol. 261. pp. 459-467, 1976.
- Parker, T.S. and Chua, L.O. Practical Numerical Algorithms for Chaotic Systems. Springer-verlag.
- Peitgen, Jurgens, saupe. Chaos and Fractals. Springer-verlag.
- Pol, Van der, "Frequency Demultiplication," Nature, 10, pp. 363-364, 1927.
- Ruellel, D. and Takens, F. "On the nature of turbulence," Comm. Math. Phys., 20, pp. 167, 1967.