

카오스공학의 산업응용 동향



김 동 춘

전 금성사 가전연구소 주임연구원

◆ 머리말

과학자들은 20세기 과학의 3대 발견으로서 상대성이론 양자역학 및 카오스(혼돈)이론을 들고 있다. 이러한 평가가 올바른 것인지는 기다려보아야 하겠지만 혼돈이론이 중요한 이론임에는 틀림없다.

혼돈현상은 양자레벨에서부터 우주레벨에 이르기까지 시간적 또는 공간적으로 나타나는 중요한 현상으로서 예를 들어 한 줄기의 담배연기가 공중으로 올라가다가 搖動하면서 흐트러진다는 가 깃발(Flag)이 바람에 앞뒤로 펄럭이는 것도 일종의 혼돈현상이다.

또한 수도꼭지에서 일정한 패턴으로 물이 똑똑 떨어지다가 갑자기 제멋대로 떨어지는 현상, 항공기의 비행, 고속도로에서 무리를 지어 있는 자동차의 행렬, 지하송유관을 흐르는 석유의 흐름 그리고 생체 시스템에서의 혼돈현상 등 우리들은 수많은 혼돈현상 속에서 질서를 지키면서 살고 있다.

질서와 무질서, 조화와 혼돈의 싸움으로 자연과 우주에 대한 인간의 호기심은 끝없는 창조신화를 낳게 하였으며 고대 창조론에 의하면 만물의 근

원은 혼돈이었고 이로부터 존재와 사물이 생겨났다고 한다.

그런데 인간에게는 혼돈스럽게 보이는 자연계에 감춰진 어떤 규칙성 또는 복잡성 뒤에 숨겨진 법칙을 찾으려고 하거나 혼돈속에 있는 질서를 밝히고자 하는 탐구심이 내재해 있는 것이다.

원시시대에서조차 계절을 예측하기 위한 달력이 만들어졌으며 日蝕, 月蝕을 미리 알 수 있는 천문학적인 규칙을 만들어냈다.

19세기까지는 혼돈과 질서는 아무런 관계가 없는 것으로 생각하였으나 프랑스의 Henri Poincare가 외부로부터의 영향으로서만이 해답을 얻을 수 있는 고전물리학에 異意를 제기함으로써 혼돈과학에 대한 관심은 더욱 높아지게 되었다.

혼돈이란 천체의 궤도처럼 궤도의 離心率이나 궤도기울기와 같은 변수의 미소한 차이에 의해서 결과를 예측하기 어려운 정도로 급격히 변하는 것을 의미하며 어떤 시스템이 이와 같은 혼돈양상을 보이는 것은 이 시스템을 나타낼 수 있는 각각의 요소나 변수들이 상호 관련되어 있기 때문이라고 한다.

지금까지 우리가 일상생활에서 경험하고 있는

현실세계는 주로 불규칙과 혼돈의 양상을 많이 보이고 있지만 일부 과학자들은 이러한 면을 인정하면서도 이것을 예외적인 법칙으로서 소음에 불과한 것이며 혼돈은 취급하기 어려운 것이라고 하며 논의대상에서 제외시켰던 것이다.

그러나 1960년대에 이르러 프랑스 Henri Poincare의 이론이 빛을 보게 되었고 여기에 비선형성, 피드백 및 非平衡에 대한 새로운 연구가 합쳐지면서 자연의 전체성을 관찰할 수 있는 새로운 인식이 확산되기 시작하였다.

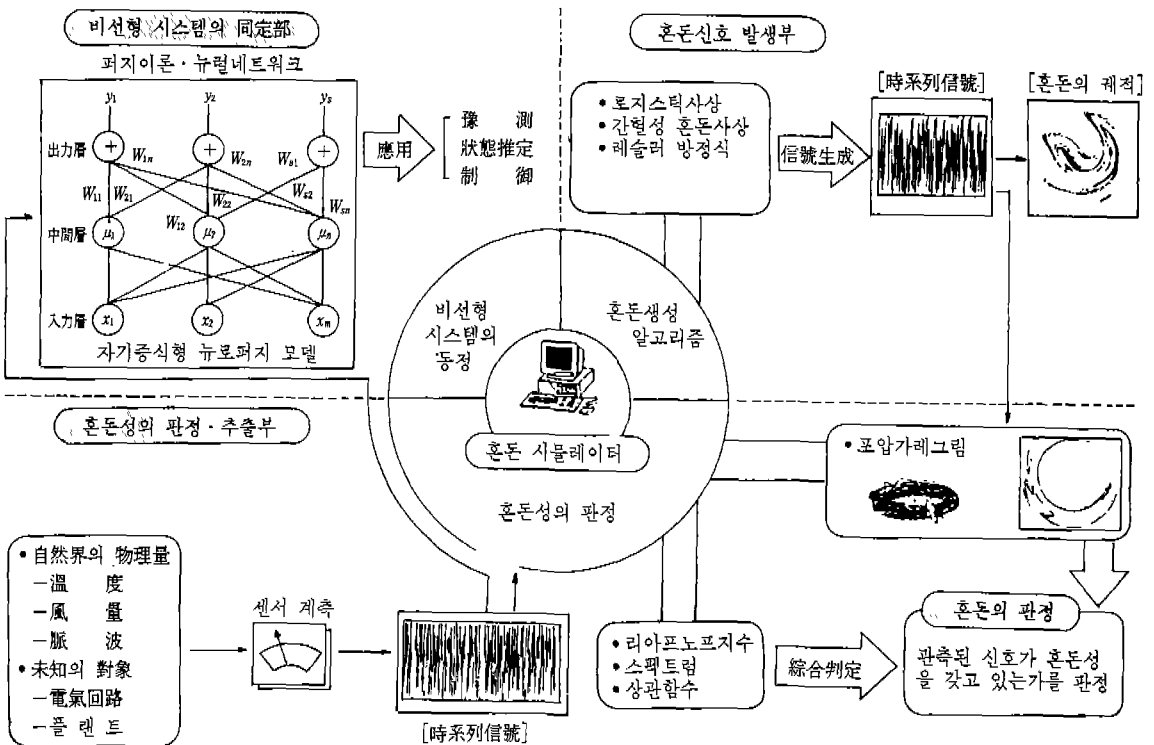
이에 따라서 혼돈학을 연구하는 학자들간에는 인간의 심장의 고동이나 뇌 신경세포의 연결과 같이 변동이 심한 대상들을 이해하는데는 비선형적인 혼돈 자체에 대한 일반적인 법칙을 발견해

야 한다는 견해가 지배적이 되었으며 미국의 물리학자인 Pagels씨는 혼돈과학에서 앞선 국가들이 장차 강대국이 될 것이라고 예언하였다.

하여간 혼돈이론의 응용은 천문학자들이 태양계를 관찰하는 방식이나 군사이론가들이 군사적 충돌로 이어지는 긴장상태에 대하여 토의하는 방식에서 변하기 시작하였으며 최고 경영자의 의사결정 방식에도 영향을 주고 있다.

더욱이 혼돈이론은系の 전체적인 본성에 관한 과학이기 때문에 서로 떨어져 있던 분야의 전문가들을 함께 묶어가고 있는 경향이다.

최근 미국과 일본을 비롯한 선진국에서는 카오스 전자제품에 사용될 혼돈 칩 연구에 몰두하고 있으며 응용분야로는 랜덤 벡터 발생기, 암호 시



<그림 1> 혼돈 시뮬레이터의 구성

스텝, 다치 논리 시스템, 지진과 기상에 관한 예측 시스템, 혼돈 선풍기와 세탁기, 대형광고판의 디스플레이 및 로봇의 제어 시스템 등을 들 수 있다.

본고에서는 혼돈이론을 적용하여 실제로 개발되어 있거나 개발될 국내의 제품들을 간단히 소개하고자 한다.

<표 1> 혼돈의 특징과 판정기준

특 징	내 용	판정지표	판 정 기 준
궤도불안정성	적어도 초기치가 변해도 혼돈 역학계의 해답궤도는 전혀 다르다.	리아프노프 스펙트럼 (리아프노 지 수)	리아프노프 지수는 적어도 하나는 플러스 값이다.
장기예측불능성	혼돈 역학계에서는 장기적인 예측은 불가능하다.	자기상관함 수	자기상관 함수는 지연시간의 증대와 더불어 제로에 수렴한다.

1. 日本 산요電機의 혼돈 석유 팬히터

이번에 개발된 석유 팬히터는 실내온도를 변동시키는 것이 특징으로서 혼돈 시뮬레이터의 혼돈 신호 발생부에서 생성된 間歇性 혼돈의 時系列 데이터를 온도搖動 데이터로서 實裝한 것이다.

석유 팬히터는 氣化器에서 증발된 등유를 고압 방전으로 着火燃焼하여 발열량을 조절함으로써 실내온도를 제어하는 것이다. 제어방식은 초기에는 ON/OFF 제어, PID(Proportional Integral Derivative: 비례적분 제어)제어, 퍼지제어 및 뉴럴네트워크에 의한 제어로 발전해 왔다.

여기서 산요電機가 혼돈이론의 공학적 목적으로 워크 스테이션상에서 구축한 혼돈 시뮬레이터를 살펴보기로 한다.

이것은 社内 이용자를 대상으로 개발한 것으로서 혼돈신호 발생부, 혼돈성의 판정, 抽出部 및 비선형 시스템의 同定部로 구성된 것이다(그림 1 참조).

혼돈신호 발생부는 로지스틱寫像이나 간헐성 혼돈사상 등 간단한 원리(수식)에 의하여 혼돈성을 갖는 時系列信號를 생성한다.

그리고 혼돈성의 판정 및 추출부에서는 관측된 시계열 신호가 혼돈성을 갖추고 있는가를 판정하는데 혼돈의 특징으로는 解의 非周期性, 軌道不安定性, 長期豫測 可能性을 들 수 있다(표 1 참조).

한편 비선형 시스템의 同定部에서는 혼돈성을

갖는 시스템이나 이것을 포함한 비선형 動的 시스템을 인식함으로써 시스템의 상태를 예측, 추정하거나 제어한다.

시스템의 同定에는 독자적인 自己增殖形 뉴로 퍼지 모델을 사용함으로써 종래 모델 구축에 필요한 試行錯誤의인 시뮬레이션 실험이 필요없게 되었고 최적의 모델 구축에 필요로 하는 시간도 크게 단축할 수 있게 되었다.

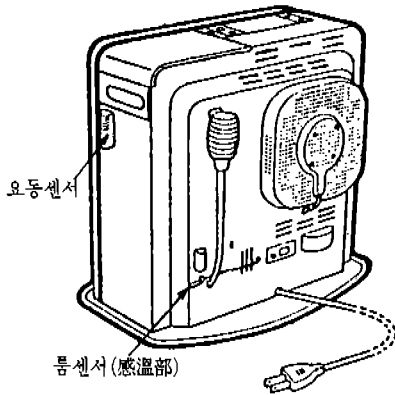
이 모델은 혼돈시계열 데이터의 단기예측에도 효과적이며 최적의 모델구조 결정에 필요로 하는 시간은 일반적인 학습방법인 백프로파게이션에 의해서 뉴로 모델을 결정하는 경우 약 1/100~1/500을 단축할 수 있다고 한다.

한편 난방기는 실내를 따뜻하게 하는 기능 뿐만 아니라 적당한 氣流나 온도변화에 따라서 쾌적한 난방을 하는 것이 목적이다.

종래의 팬히터는 항상 일정한 온도가 되도록 제어하였으나 이 경우 따뜻한 공기가 실내의 윗쪽에 머물거나 상하의 온도변화 그리고 마루나 벽 사이로 찬바람이 들어와 손발에 차가움을 주어 쾌적감을 잃어버릴 때가 있었다.

실제로 실내의 위 아래쪽 온도변화는 2~3℃ 정도로서 실내 전체를 고려할 경우 인체에 쾌적한 만족감을 줄 수는 없는 것이다.

금번 日本산요電機에서는 對流팬으로서 風量을



<그림 2> 온도를 검출하는 2개의 센서

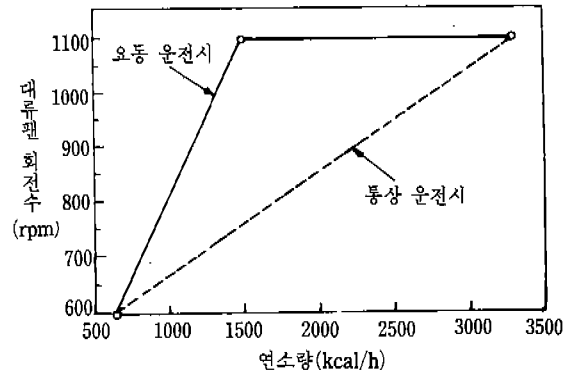
올렸으며 아울러 실내온도를 크게 개선하였다. 바람의 변동에 비하여 자연계의 온도변동은 매우 긴 시간에 걸쳐서 생성되며 인체의 온도변화를 體感하는 것은 매우 적고 시간의 경과에 따라서 온도의 자극이라든가 사람의 쾌적감에 큰 영향을 미친다.

실내온도가 목표온도에 가까워지면(목표온도 $\pm 2.0^{\circ}\text{C}$) 팬히터는 搖動運轉을 하게 되는데 이때 팬히터 측면에 부착되어 있는 뒷쪽방향의 요동 센서에 의한 센싱값과 뒷면 롬 센서의 센싱값의 加重平均으로서 검출된다(그림 2 참조)

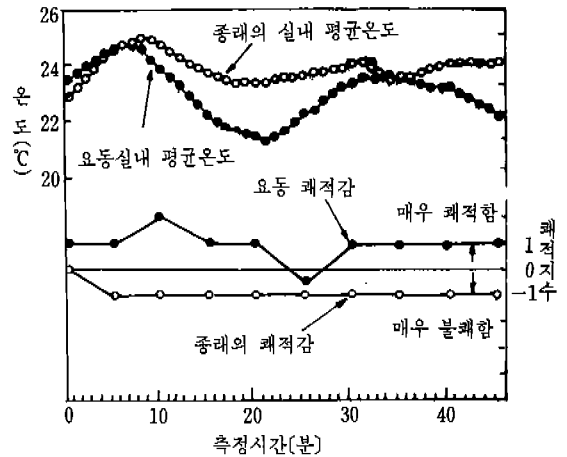
요동 운전시에 對流팬의 회전수를 올려서 風量을 많게 하는데 이때 발생하는 氣流의 변화는 사람이 느낄 수 없을 정도이고 쾌적감을 손상시키지 않으면서 온도변동을 개선할 수 있다(그림 3 참조).

그리고 사람의 쾌적감은 개인의 嗜好에 따라 영향을 받으나 공학적 견지에서 PMV(Predicted Mean Vote) 指標라는 定量化 手法이 제안되어 있다.

또한 산오電機에서는 팬히터의 혼동에 의한 온도변화가 인체에 쾌적감을 주는가 주지 않는가를



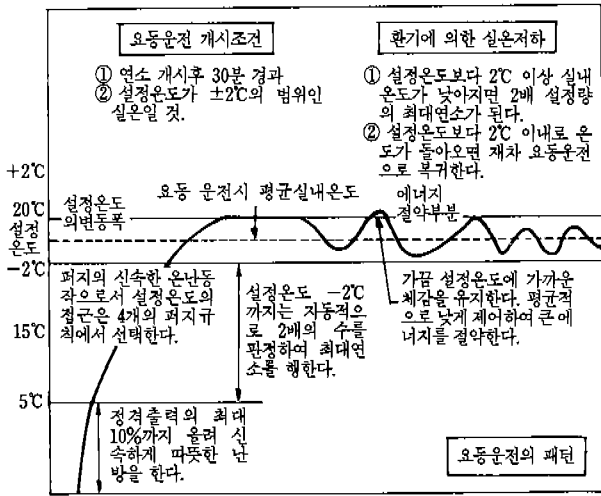
<그림 3> 석유 팬히터의 온도제어



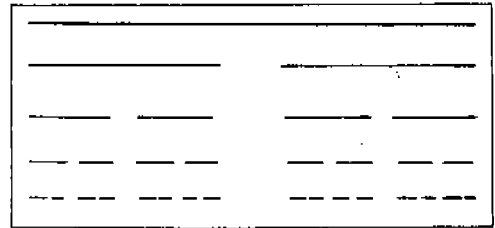
<그림 4> 실내온도와 쾌적감의 관계

검증해 보았다. 환경시험실에서 5분마다 체크해 본 결과 실내온도가 내려갈 때는 쾌적감이 저하하고 반대로 실내온도가 상승할 때는 쾌적감이 개선되었음을 입증하였다(그림 4 참조).

이때 고르지 못한 실내온도는 對流팬에 의해서 발생하는 氣流변화와 온도변화에 의한 대류로서 약 3~4°C 개선되었고 하루에 8시간 운전한 바 연료소비가 최대 10%로 절약되었다(그림 5 참조).



<그림 5> 석유 팬히터의 요동운전 패턴 예



<그림 6> 칸토르 집합

2. 日本 도시바의 畫像壓縮 시스템

일본의 도시바 통신 시스템 연구소에서는 프랙탈(Fractal) 이론을 이용하여 단순한 수식을 갖고 복잡한 도형을 만드는, 즉 현실적인 화상에 대하여 단순한 수식을 가지고 복잡한 도형을 만들 수 있는 力學系를 도입함으로써 화상압축 시스템을 개발하였다.

이 시스템은 복잡한 현상을 간단한 수식으로 표현하여 만들 수 있음을 보여줌으로써 혼돈과 상호관계가 있음을 알려주고 있다.

원래 프랙탈(Fractal)은 Benoit Mandelbrot가 1950년대에서 '70년에 걸쳐 자연계의 불규칙성을 기술하고 이를 해석할 수 있는 새로운 형태의 수학을 고안하여 발전시킨 것으로 이중에 포함되어 있는 새로운 기하학적인 형태를 만들어내는 말로서 프랙탈이라는 이름이 붙여진 것이다.

Mandelbrot는 구름은 둥글지 않고 산은 원추형이 아니며 부딪기는 배꼽러운 곡선이 아니다,

또 해안선은 원형이 아니고 번개가 지나가는 길은 직선이 아니다 라는 기하학적인 직관을 갖고 자연계와 기하학적 도형에 관계되는 일을 연구하게 되었다.

1970년대는 혼돈과 프랙탈 모두가 발전의 요람기에 있었기 때문에 서로 관련성이 없는 것처럼 보였으나 사실은 수학적으로 친숙한 관계에 있었으며 어느 것이나 불규칙성을 갖는 구조를 규명하는데 몰두하게 된 것이다.

혼돈에 있어서 기하학은 역학에 추종하는 것이지만 프랙탈에서는 기하학이 우위를 차지하게 되었고 혼돈의 형상을 기술하기 위한 새로운 언어를 프랙탈이 제공해 주었다.

프랙탈의 한 가지 예가 1890년경 Georg Cantor가 고안한 3진집합인 칸토르 집합(Cantor Set)이다(그림 6 참조).

그림 6은 바로 전 세그먼트(Segment)에서 중간 1/3을 제거하는 과정을 반복함으로써 얻어지는 칸토르 집합을 나타내는데 반복수행의 수가

증가함에 따라 개별선(조각)의 수는 무한대로 증가하고 각각의 길이는 0에 접근한다.

더욱이 이러한 집합을 高倍率로 확대하여 관찰한다면 구조는 원래 모양과 구별되지 않는데 이러한 성질을 自己類似性(Self Similarity)이라고 하며 프랙탈의 중요한 성질의 하나가 된다.

이러한 성질을 이용한 것이 프랙탈 화상압축기술로서 화상중에서 자기유사성을 찾는 일부터 시작한다. 즉 화상을 $m \times n$ 화소(畫素) 단위의 블록으로 분할하고 각각 분할된 블록에 대해서 화상중에 비슷한 영역을 찾아 축소하거나 90° 단위로 회전 또는 좌우로 반전시켜 블록과 완전히 일치하는 영역을 찾는 것이다.

이와 동시에 각 화소의 휘도 즉 밝기 정보에 대해서도 유사성을 조사하고 이것을 반복 실행한 후 가장 밝은 영역이 발견되면 전체 블록에 걸쳐서 위치와 크기, 회전각, 밝기비율 그리고 어떤 변환을 할 것인가 하는 등의 저장 정보작업을 한다.

이와 같은 카오스이론을 이용한 화상압축은 각 블록에 따라 맞추어 자기유사성을 찾아야 하므로 시간이 많이 걸린다는 문제점이 있으나 복원할 때는 현재 사용하는 이미지 압축기술인 JPEG (Joint Photographics Expert Group) 방법보다 한층 속도가 빠르다는 장점이 있다.

이러한 이유로 압축한 화상을 CD-ROM 등의 형

태로 사용자에게 공급하는 화상 데이터베이스와 멀티미디어 패키지 활용에 큰 기대를 걸고 있다.

앞으로 다가오는 멀티미디어 시대에는 대용량의 화상데이터를 압축하여 송신해야 하는 문제점이 발생하게 되는데 이때 혼돈을 이용한 화상압축과 복원 기술은 가장 중요한 기술이 될 것이다.

3. 日本 컴비니언스사의 건강진단 시스템

일본의 컴퓨터 정보처리회사인 컴비니언스사에서는 혼돈이론을 이용하여 인체의 심신상태의 유지와 건강관리의 지원도구로서 CAP(Chaos Attractogram Processor)라는 生體혼돈解析裝置를 개발하였다.

CAP란 생체에서 혼돈을 추출하여 재편성하고 여기서 얻어진 혼돈의 구조를 카오스 어트랙터(Chaotic Attractor)에 의하여 視角的으로 圖示함과 함께 혼돈이 갖는 기능을 해석하여 표시하는 시스템으로서 센서, 앰프, A/D 컨버터, 데이터처리용 컴퓨터, 모니터 및 프린터로 구성되어 있다(표 2 및 그림 7 참조).

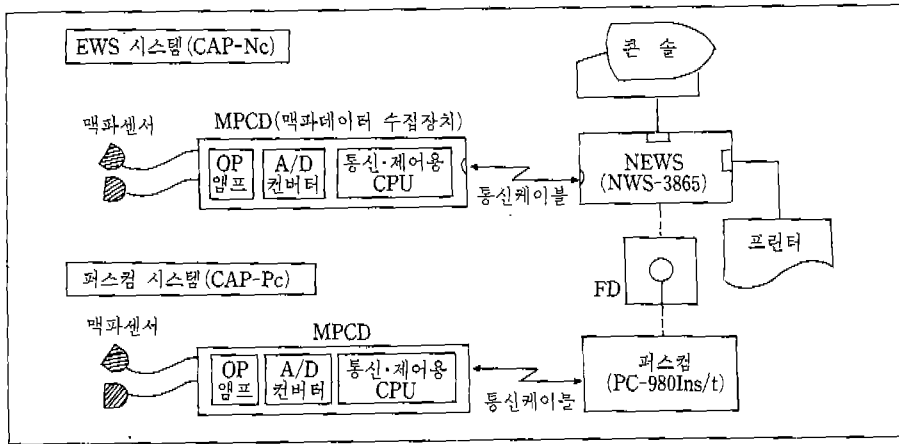
또한 CAP는 時系列電氣信號를 처리하여 혼돈을 끄집어내고 이로부터 구조와 기능을 해석함으로써 각종 측정기기로부터 혼돈상태를 측정, 추출할 수 있다.

일반적으로 혼돈운동의 일차원적 時系列 데이터는 埋沒(Embedding)방법을 사용하면 본래의 혼돈공간에 있어서 운동궤도를 추적할 수 있는데 이것을 카오스 어트랙터(Chaotic Attractor)라고 부른다. 어트랙터란 系의 변동을 적당한 변수좌표로서 나타낸 도형을 말한다.

이것은 특유의 토폴로지를 구성하고 있으며 외부로부터 정보를 추적, 가공함과 동시에 카오스 어트랙터간에 정보 전달을 행하는 등의 정보론적

<표 2> CAP의 구성

하 드 웨 어	소 프 트 웨 어
① 맥파센서	① 맥파 데이터 수신 소프트웨어
② 맥파 데이터 수집장치(MPCD)	② 카오스 어트랙터 계산 및 표시 소프트웨어
③ 컴퓨터 및 주변장치 (단 ①, ② 대신 기타 측정기를 ③에 접속하면 신호에 대응하는 혼돈을 추출하여 해석할 수 있다.)	③ 리아프노프 지수계산 소프트웨어 ④ 상호 정보량 계산 소프트웨어 ⑤ 프리에 해석 소프트웨어 ⑥ 프랙탈 차원계산 소프트웨어



<그림 7> CAP의 하드웨어 시스템 구성

능력을 갖고 있다.

CAP에서는 먼저 얻어진 신호가 1차원의 시계열 데이터로서 재편성된 후 多次元의 力學系 位相空間에 매몰된다.

예를 들면 시계열 데이터 $\{X(t_i)\}$ 가 주어질 때 시간간격 τ (매몰시간)로 떨어진 데이터값 $X(t_i + n\tau)$ 을 사용하여 $X(t_i)$ 사이에서 리사주 도형(Lissajous Figure)를 그리는데 여기서 n 차원의 어트랙터를 얻을 수 있다.

이와 같이 매몰(Embedding)로서 재구성된 어트랙터를 3차원으로 투영하거나 또는 2차원으로 투영하여 어트랙터의 전체구조나 국소구조 및 어트랙터가 갖는 정보를 관측할 수 있다.

그림 7은 손가락 끝의 맥파를 측정하는 CAP의 한 예로서 여기서 맥파센서는 손가락의 細動脈이 갖고 있는 容積變動을 검출하고 아울러 光電容積脈波를 구축한다.

맥파센서는 한 쌍의 발광다이오드와 포토트랜지스터로서 구성되어 있으며 발광다이오드에서 나오는 940nm 적외선 파장이 손가락 끝부분의 모세혈관에 도착한다. 이것은 혈관의 용적변동에 따르는 산화헤모글로빈량에 따라서 반사광 포토트

랜지스터로 受光된다.

포토트랜지스터는 수광한 것을 전압으로 변환한 후 맥파데이터 수집장치(MPCD)로 출력하는데 이것은 컴퓨터로부터의 샘플링 주파수, 수집 샘플수, 데이터 포맷, 변환의 개시 및 中止를 지시 받아 맥파센서를 제어한다.

또한 맥파센서에서 보내온 데이터를 증폭한 후 디지털양으로 변환하여 컴퓨터로 보내는데 OP(演算)회로의 도중에 맥파파형을 평활하게 하는 필터는 엄격한 규격을 갖는 제품이다.

현재까지 맥파에 대하여 진행되어온 연구에 의하면 CR로 결합된 맥파센서의 신호는 S/N비를 높일 수 있는 반면에 신호의 저주파수 성분을 잃어버리게 되어 맥파가 갖는 생리적 심리적인 본래의 의미를 잃어버리게 된다고 한다.

한편 CR이 아닌 직접 결합을 하면 증폭상의 문제점이 다르나 전체의 주파수 성분인 직류까지 얻을 수 있어 생리적 심리적 스트레스로 인한 베이스라인의 변동도 발견할 수 있다.

CAP는 직접결합 증폭기술을 이용한 것으로서 베이스라인의 변동과 직류에 이르는 전체 주파수 성분의 변화도 검출대상이 되고 있다. 시스템은 2

개의 호스트컴퓨터로 되어 있는데 NEWS-3865 시스템(CAP-NC)은 X_{11} 상에서 작동하면서 혼돈의 指標 계산과 표시를 행하고 PC-9801ns/t 시스템(CAP-PC)은 맥파데이터의 수신, 카오스 어트랙터의 계산 및 표시를 하면서 데이터를 디스크에 저장한다.

즉 카오스 어트랙터의 궤도 불안정성을 나타내는 Lyapunov 지수, 어트랙터의 정보론적 기능을 나타내는 상호정보량 및 어트랙터가 프랙탈 구조를 갖게 함으로써 프랙탈 차원의 계산을 하게 되며 표시는 대용량 메모리와 처리속도면을 고려하여 EWS(Engineering Work Station)가 필요하다.

생체현상에 있어서도 맥파, 심전계로부터의 심장전위, 뇌파, 안구의 조절운동 등과는 다른 리듬을 갖고 있어 샘플 주파수, 매물시간, 매물차원, 고차원 공간으로부터 저차원 공간으로의 투영이나 寫影을 할 때의 파라미터는 데이터마다 고유의 특성을 갖고 있다.

따라서 최적의 카오스 어트랙터를 재차 구축할 경우에는 최적의 파라미터를 신중하게 결정하는 것이 매우 중요하다.

끝으로 CAP에 의한 해석으로서 인체의 건강상태와 혼돈의 관계를 살펴보기로 한다. 첫째, 건강한 생체의 생리기능 패턴은 혼돈적인 거동을 나타내며 종래의 의학상식으로는 건강한 생체는 규칙적이며 질서있는 系라고 생각하였으나 실제로는 정상적이 아니더라도 주기적인 아닌 일정한 규칙을 갖고 있어 혼돈적인 力學 과정에 따르는 系라고 생각되고 있다.

즉 생체변동에 대처하고 外界로부터 변화를 회피할 뿐만 아니라 脫周期的 혼돈적인 변화를 갖고 있어 생리적으로도 심리적으로도 적응성이나 유연성이 발생된다고 하여 이것을 Homeochaos에 의한 Dynamic Regulation이라고 제창하고 있다.

하여간 건강이란 Homeochaos에 의한 Dynamic Regulation을 실현하는 상태로서 不健康이나 스트레스 과잉이 되면 적절한 혼돈적인 거동이 사라지고 흔들림이 과소가 되든가 아니면 과잉상태가 된다고 한다.

둘째, 손가락 끝 맥파의 카오스 어트랙터 기능과 구조는 휴식, 집중, 즐거움, 불쾌함, 피로 등의 情動이나 정신질환상태와 치료과정 등을 잘 반영한다.

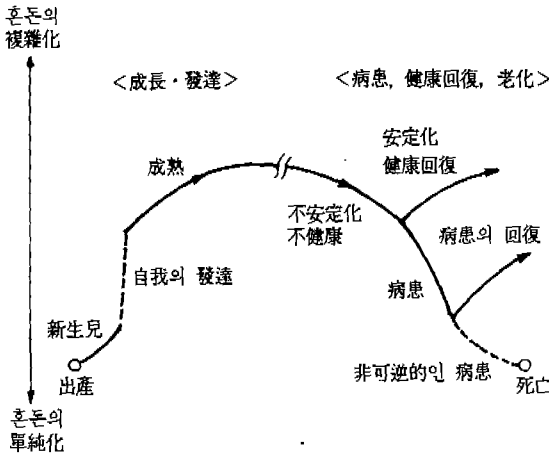
이것은 자율신경계의 움직임을 나타내는 것으로서 건강한 상태와 집중된 상태의 어트랙터는 매우 복잡하다. 또한 다이나믹한 생체의 전체구조를 변형시키고 보다 복잡한 혼돈상태로 유도하는데 혼돈 자신이 갖고 있는 정보처리능력은 한층 빠르게 된다.

그리고 신체의 어느 부분이 아프다거나 정신적, 심리적, 생리적 상태가 불안정하게 되면 어트랙터의 구조는 단순화, 無構造化되며 리듬은 기계적으로 단순한 주기적 현상을 나타낸다. 또한 혼돈적인 성분이 적어져 보다 단순한 혼돈상태가 되는데 혼돈 자신의 정보처리 프로세스도 지연되는 경향을 나타내었다.

셋째, 신생아는 맥파의 어트랙터 구조가 단순한 무구조에 가까우나 어떤 시기에 구조화가 일어나게 되는데 그림 8은 맥파의 카오스 어트랙터와 발달, 노화 그리고 건강과 불건강의 상호관계를 나타낸다.

또한 안구조절계의 최대 리아프노프 지수는 시각조절 능력의 정도와 안구피로 특성을 정량적으로 표시할 수 있다. 생체는 본질적으로 혼돈이며 예측 가능한 질서로서의 Cosmos와 예측 불능의 무질서 즉 혼돈이라는 의미의 카오스 양쪽을 다 이나믹하게 컨트롤하고 있다(표 3 참조).

CAP는 단순히 신체의 장기만을 진단하는 것이 아니라 개인이 갖고 있는 심신상태를 調和診斷하



<그림 8> 맥파의 어트랙터와 발달·노화 그리고 건강·불건강과의 관계

<표 3> 생체내의 혼돈

자율혼돈 (외력이 발생하는 혼돈)	뇌파, 심박수, 백혈구수, 호르몬 분비, 맥파
강제혼돈 (진동 외력을 인가하면 나타나는 혼돈)	신경세포, 심근세포

여 개개인의 특유한 건강을 스스로 관리하는 Self Control의 지원도구로 성장될 것이며 앞으로 이용가능성이 클 것으로 전망하고 있다.

4. 日本 소니사의 6軸 로봇 제어 시스템

多脚步行 로봇의 운동은 地面適應운동과 동체 추진운동으로 나누며 바퀴달린 운송기구는 평지에서는 매우 효율적이나 습지 사막 및 장애물 지역에서는 매우 불합리하다.

이를 극복하기 위하여 최근 20년전부터 곤충, 동물이나 사람의 다리 구조를 모방한 다각보행 로봇을 연구하여 왔다.

그런데 일본 소니사의 정보통신연구소에서는 카오스 이론을 제어 시스템에 이용한 6軸 로봇 시스템을 개발하였다.

이 로봇은 전방에 장애물이 있으면 이를 피하면서 정확하게 목표에 도달할 수 있다.

즉 목표물에 로봇의 팔이 접촉할 때 에너지값의 상태에 따라 움직임을 제어하면서 목표에 도달하는 것이다.

그러나 복수의 장애물을 배치하는 경우에는 극부적인 최소치의 위치에 로봇의 팔이 들어가야 하는데 이 값은 에너지공간에서 공이 언덕을 굴러갈 때 언덕의 요철에 의하여 속도가 서서히 감소하기 시작하고 약간의 흠이 파진 곳에 도달하면 공은 정지하게 되는 상태를 말한다.

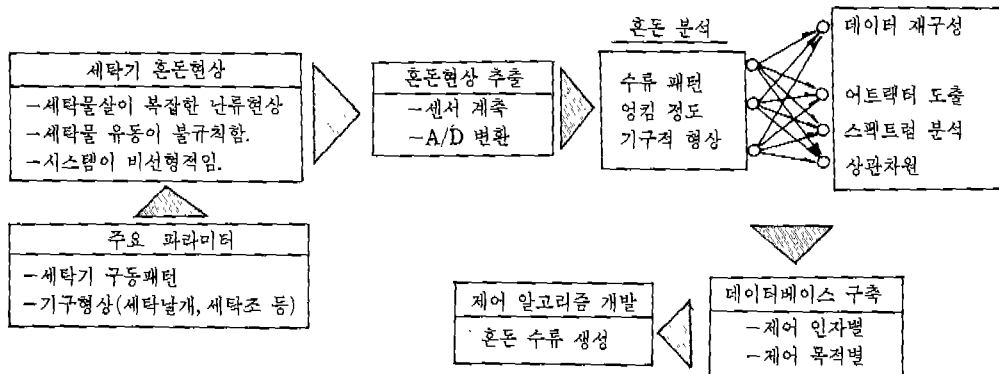
정지하였을 때 에너지값이 클 경우에는 로봇이 찾아가고자 하는 목표의 장소가 아니므로 혼돈의 진동현상을 이용하여 이 곳을 벗어나며 다시 진행하여 에너지값이 가장 적은 위치인 극부 최소치를 반복하면서 목표치에 도달하는 방법을 사용한다.

로봇이 어느 방향으로 이동을 하든 에너지가 증가하면 저항치는 로봇의 진행속도를 저하시키는데 이것은 가장 최소치 위치로 이동하기 전에 일단 정지한 후 끝내는 동작으로 들어가게 된다.

일반적으로 극소치를 피하는 특별한 규칙을 만들기 위해서는 미리 장애물에 대한 정보와 목표에 대한 정보를 갖는 것이 필요한데 소니에서는 비선형 저항을 이용하여 문제점을 해결하였다.

보통 최소에너지 방식에 의한 제어는 속도에 비례하여 저항값이 큰 선형식을 설정한다. 이렇게 설정한 값을 비선형으로 바꾸고 또한 주기적으로 변하는 저항값으로 변화하여 로봇 팔의 이동에 혼돈이론이 적용되는 것이다.

하여간 혼돈적인 동작을 로봇에 도입하면 융통성을 높여 자율성이 높은 제어가 가능할 것이다.



<그림 9> 카오스 세탁기의 적용 원리도

5. 금성사의 카오스 세탁기

금성사에서는 혼돈이론을 적용하여 세탁물의 패턴을 해석함으로써 세탁물의 엉킴을 방지하는 카오스 세탁기를 개발하였다.

이 세탁기의 원리는 세탁물이 복잡한 난류현상을 일으키므로 세탁물의 유동이 불규칙하며 또한 시스템 자체가 비선형 특성을 갖고 있다. 세탁기에는 혼돈현상을 일으키는 주요한 파라미터로서 구동패턴과 기구적 현상이 대부분이므로 세탁기로부터 혼돈 추출장치를 통하여 혼돈을 분석한다.

혼돈 시뮬레이터는 수류패턴별, 세탁물 엉킴 정도 및 기구적 형상별로 데이터를 재구성한 후 어트랙터 추출, 스펙트럼 분석 및 상관차원을 분석한다.

혼돈 시뮬레이터는 세탁물이 엉켰을 때와 풀렸을 때의 어트랙터의 형상이 명확하여 정량화할 수 있다. 그림 9는 카오스 세탁기의 적용원리와 실험장치를 나타낸다.

6. 국내외 카오스 공학의 연구동향

국내에서는 대학, 연구소, 산업체를 중심으로

연구가 진행되고 있으며 일본도 마찬가지다.

최근에는 뇌 활동의 상태를 이해하기 위한 실험으로서 뇌파, 뇌자계, 막전위 등의 추정이 가능하게 되어 뇌에 관한 구조적 연구와 정보처리 능력이 차츰 밝혀지게 되었다.

실제로 뇌신경 계통에 어떻게 혼돈현상이 일어나는가의 현상을 공학적으로 규명하는 연구가 진행되고 있으며 특히 혼돈공학과 신경회로망을 결합시키려는 연구가 진행되고 있다.

연구결과 뇌 신경계의 비선형성, 아날로그성, 병렬 분산적 처리 다입력에 의한 하나의 출력 및 학습과 연상기억능력 등이 중요한 역할을 한다는 것이 증명되고 있다.

한편 비선형 동적 시스템은 예측이 불가능하여 컴퓨터로서 축차계산을 해야 할 것이다. 이 경우 시스템이 복잡하게 되면 될수록 계산이 길어지고 또한 출력하는데도 상당한 시간이 걸릴 것이다.

그래서 가법계 카오스를 체험하는데는 실시간으로 계산하고 그 반복속도를 외부에서 자유롭게 조절할 수 있는 하드웨어가 있으면 편리할 것이다.

또한 앞으로는 다양한 혼돈 칩이 개발되어 카오스 전자제품에 폭넓게 응용될 것으로 기대된다.