

# 프랙탈技術의 應用과 展望

國立서울産業大敎授 金 龍 洙

## 머리말

1975년 IBM의 Mandelbrot씨는 프랙탈(Fractal: 쪼갬다는 의미) 및 프랙탈次元이라는 혁명적인 새로운 개념을 발표하여 자연계의 많은 無秩序現象이 본질적으로 프랙탈적인 性狀을 갖고 있다는 것을 지적하였다.

그후 프랙탈은 자연과학뿐만 아니라 사회과학이나 인문과학, 예술 등의 분야에까지 큰 영향을 주었으며 그 利用熱은 각 분야에 급속히 확산되고 있다.

본고에서는 프랙탈에 대한 개요와 응용기술 및 전망에 대하여 간단히 기술하고자 한다.

## 1. 프랙탈 기술의 기초

우리들은 과학적인 데이터의 취급 즉 측정된 데이터를 해석할 때 對數그래프상에 데이터를 플로트하는데 이 경우에 直線狀의 函數關係를 얻는다는 것은 경험적으로 알고 있는 사실이다.

특히 兩對數表示에서의 分布데이터가 오른쪽 아래로 직선상을 나타내는 것으로서 地震데이터를 들 수 있는데 이외에도 다른 여러분야에서도 각종 형태로 관측되고 있다.

이와 같이 兩對數그래프상에서 負의 기울기를 갖는 직선분포형 스펙트럼形狀이 프랙탈인데 이것이 엄밀한 의미에서 정의가 되지 않는다.

그러나 Mandelbrot씨의 기하학적인 圖形에 대한 정의에 의하면 도형의 일부를 확대하면 본래의 도형과 같아지는 自己相以性을 갖는다는 것이다.

이것은 예를 들면 兩對數表示에서 오른쪽 아래로 처

지는 직선분포 즉  $f(x)=Cx^{-m}$ 의 함수형 冪乘分布인 경우에 橫軸의 값이 변하여도 스펙트럼모양은 간단히 평행이동함으로써 自己相以性이 성립된다. 이와 같은 分布形狀을 프랙탈이라고 하며 冪乘則分布의 指數  $m$ 가 프랙탈次元인 것이다.

프랙탈은 물체가 파괴되어 흩어지는 것과 같은 상태를 나타내는 라틴어의 형용사 fractus를 語源으로 하고 있다. 프랙탈命名의 由來는 프랙탈次元이 일반적으로 整數에는 존재하지 않는다는 것이다.

프랙탈次元은 실제 位相空間의 경우에는 1차원, 2차원, 3차원과 정수차원이 되는데 대하여 일반적으로 非整數의 小數次元이 된다. 이와 같이 小數領域에까지 확장된 프랙탈차원을 도입함으로써 프랙탈성을 타나내는 自然界의 각종 現象에 대하여 직선적이든, 평면적이든, 입체적인 것이든 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 定量的인 분류와 해석이 가능하게 되었다.

## 2. 프랙탈의 實例

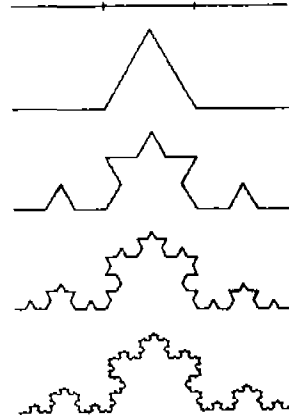
點集合으로서의 프랙탈, 예를 들면  $f(x)=Cx^{-m}$ 의 函數形 冪乘則分布가 있다. 여기서  $m$ 의 값이 프랙탈次元인 것이다. 이와 같이 프랙탈의 분포는 樹木, 河川, 月噴火口 등의 形狀分布나 放電, 破壞, 凝集의 動的過程에서 발생하는데 확률론적으로는 랜덤한 성장 패턴분포를 타나낸다.

표 1은 각종 프랙탈 현상과 프랙탈차원을 타나내며, 대표적인 구체예를 들면 다음과 같다.

### 2·1 幾何學圖形

〈표 1〉 각종 프랙탈 현상과 프랙탈 차원

프랙탈 次元	例
1.0	점프의 법칙
1.0~1.3	해안선의 길이
1.02	어린이의 소뇌세포(12W)
1.2	銀河星의 공간분포
1.2	하크의 법칙
1.26	3분할형 곡선
1.28~1.79	나무 가지의 분지구조
1.3	목화
1.34	소뇌의 세포(28W)
1.35	구름 사진의 모양(주위길이-면적)
1.4	나일강의 모양(本流-支流)
1.4	지진 진원의 공간분포
1.5	철의 미립자 응집체에 대한 전자현미경사진
1.58	3각형 모양의 실빈스키-가스킷
1.64	$\alpha$ 헤모글로빈 고분자 탄소고리의 길이
1.66	램덤한 씨의 구조
1.7	리히텐 벨그림(방전패턴)
1.78	소뇌세포(출생시)
1.78~1.84	소뇌세포(성인)
1.85	아마존 강의 형상(분류+지류)
1.9	박막중 금속클러스터(浸透相轉移)
2	프랙탈 곤충의 몸지
2	1/f 노이즈
2	브라운 운동
2	화성, 금성 분화구의 직경분포
2.0	달표면 분화구 직경분포
2.1	小惑星 크기의 분포
2.17	인간의 폐
2.3	100kg 이상의 大隕石 크기의 분포
2.5	3차원 공간중에서 성장한 금속조각
2.73~2.79	인간의 뇌
3	실리카겔 건조제의 표면凹凸분포
3	활성탄 탈취제의 표면凹凸분포



〈그림 1〉 3분할형 곡선



〈그림 2〉 삼각형 실빈스키, 가스킷



〈그림 3〉 프랙탈한 곤충의 집

自己相以의 프랙탈 기하학적 도형의 대표예로서 그림 1과 같은 3分割形 曲線(프랙탈 차원 1.26)이 있다. 이 곡선은 이등변 삼각형의 底邊上에 3等分點에 의하여 작성한 도형으로서 당초 3步分을 4步의 迂回形으로 한 것이다.

도형으로 판단하건데 部分과 全體는 구조적으로 相以하며 平面 또는 立體로서 自己相以形을 나타내는 圖形의 例를 그림 2와 그림 3에 표시하였다. 그림 2는 삼각형 모양의 실빈스키, 가스킷이라고 하는 圖形(프랙탈次元 1.58)이며 정삼각형에서 중앙의 정삼각형 부분을 순서적으로 除去하여 작성한 것이다. 그림 3은 프랙탈한 곤충집이라고 부르는 도형(프랙탈次元 2)으로

서 정사면체에서 중앙의 정팔면체 부분을 순차적으로 除去하여 작성한 것이다.

자연계에서 각종 기하학적인 도형을 타나낸 것은 거의 프랙탈로서 표 1과 같이 해안선이나 하천의 형상, 구름의 형태 및 形狀의 複雜에 따라서 프랙탈 차원을 갖는 프랙탈로 되어 있다.

또한 역으로 프랙탈의 自己相以性의 개념을 이용하여 지구상의 자연 지형 등에 유사한 형상을 인공적으로 만들 수가 있으며 이와 같은 프랙탈地形은 버추얼·리얼리티(Virtual Reality)를 필요로 하는 각종 畫像의 응용분야에도 이용되고 있다.

## 2.2 物理·化學的 現象

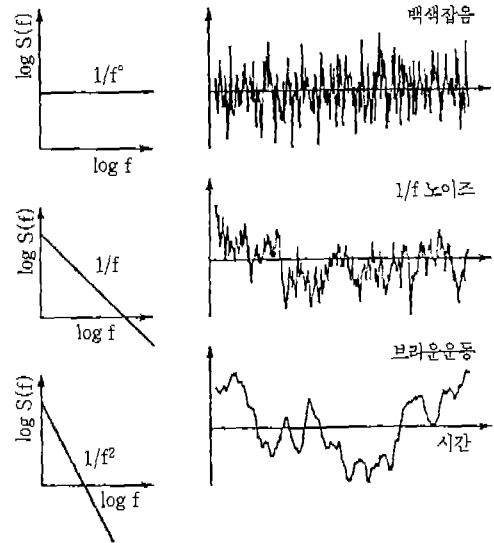
많은 고체의 표면은 프랙탈로 되어 있으나 그 프랙탈次元은 물질에 따라서 여러가지 값을 나타낸다. 프랙탈次元이 크면 固體表面의 凹凸이 현저하게 되어 작은 체적으로 큰 표면적을 얻을 수 있으므로 化學反應의 효율이 커진다.

脫臭制의 活性炭이나 乾燥制의 실리카겔에는 어떠한 표면도 프랙탈차원은 거의 3에 가까운 값으로 되어 있다.

한편 방전이나 응집 동動的過程에서 생긴 활물론적인 랜덤한 성장패턴도 프랙탈이 된다. 리히텐벨크그림이라고 부르는 평면상의 沿面放電패턴은 프랙탈차원이 1.7 정도의 프랙탈이며 또한 확산지배의 응집(DLA : Diffusion Limited Aggregation)도 프랙탈차원이 된다. 표 1의 亞鉛金屬조각을 보면 프랙탈차원이 약 1.7이 되며 DLA에서 입자는 랜덤·워크 즉 브라운 운동을 하면서 凝集하며 附着確率의 相違에 의하여 樹脂狀이나 糝狀의 形狀으로 성장하게 된다.

이외에 매연이나 綿埃 등과 같은 클러스터응집(KCA : Kinetic Cluster Aggregation)도 프랙탈이 되며 프랙탈 차원  $m$ 은 공간차원만으로 의존하게 되어 일반적으로 DLA보다 적어진다.

이것은 클러스터族의 附着이나 合體가 變形을 따르지 않고 한 個所에 點接觸으로 되어 있기 때문에 擴散



〈그림 4〉 1/f 형 노이즈 : 時系列 데이터의 랜덤변화

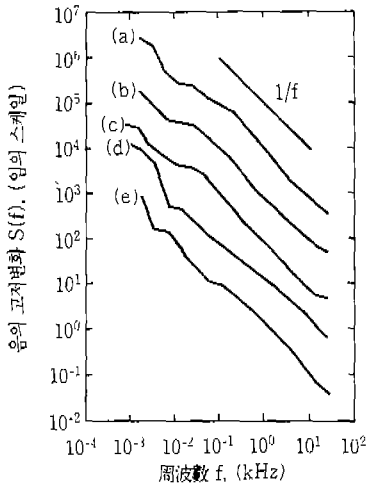
支配의 凝集에서는 브라운운동 대신 방향이 랜덤한 直線運動으로서 성장하고 이 과정에서 클러스터의 크기가 비교적 잘 정돈되어 單分散에 가깝게 되기 때문인 것이다.

브라운운동과 같이 시간  $t$ 에 관한 時系列的인 랜덤변화  $v(t)$ 는 주파수  $f$ 에 관한 스펙트럼밀도  $s(f)$ 로 변환하면 그림 4와 같이  $f$ 와  $s(f)$ 의 兩對數表示로서 負의 기울기인 직선관계 즉 프랙탈성을 나타낸다. 여기서 스펙트럼밀도  $s(f)$ 는 주파수  $f$ 를 갖는 시간변동의 2乘平均의 評價置로서  $1/f$ 의 시간스케일 변동을 나타낸다.

그림 4에서 가장 랜덤한 白色雜音은 전체의 주파수 성분이 同一한 量만을 포함하며 스펙트럼밀도는 주파수에 의존하지 않고  $1/f^0$ 에 비례하게 된다.

한편 브라운운동은 高周波變動보다도 低周波變動이 비교적 많아  $1/f^2$ 으로 변화한다. 또한  $1/f$ 노이즈는 플리커잡음이나 핑크잡음이라고 하는 것으로서 자연계에서 종종 나타나는 형태의 잡음이다.

진공관이나 반도체를 포함한 거의 모든 전자부품, 고속도로상에서의 자동차의 흐름, 기온의 계절변동 등에서 볼 수 있는데 이외에도 음악에서  $1/f$ 특성이 성립한다. 그런데  $1/f$ 노이즈와 브라운운동의 프랙탈次元은



(a) 1300년 까지의 중세음악 (d) 일본의 전통음악  
(b) 베토벤의 교향곡 제3번 (e) 미국의 부르스

〈그림 5〉 각종 음악에 있어서 스펙트럼 특성

어느것이나 2가 된다(그림 5 참조).

### 2·3 宇宙·地學

海岸線이나 河川의 形狀은 대부분 프랙탈로 되어 있으며, 또한 山과 계곡 등의 地表 凹凸도 프랙탈로서 人工現實感畫像의 기초응용이 되고 있다.

河川地形學 分野에서 本流의 길이  $X$ 와 그 流域面積  $S$ 와의 사이에  $X=1.89S^{0.6}$  이라는 經驗則이 존재한다고 한다. 이 식으로부터 프랙탈의 次元은 1.2가 된다.

한편 地震의 크기  $M$ 와 발생빈도  $N(N)$ 간에는  $\log N(M) = -bM$ 이라는 쿠텐벨그·리히타의 經驗則이 성립하는데 이것도 역시 멱승칙의 프랙탈을 나타낸다. 또한 지진의 震源 空間分布도 프랙탈적이며 프랙탈 次元은 약 1.4가 된다.

그리고 달에 있는 분화구 즉  $10^5 \text{km}^2$  당의 분화구數  $N(r)$ 과 직경  $r$ 과의 관계는  $N(r) \propto r^{-m}$ ,  $m \approx 2.0$  멱승칙 분포로 되어있는데 약 2.0 프랙탈차원의 값은 火星이나 金星의 분화구에 대해서도 인정되었다.

또한 質量이 100kg 이상 정도의 隕石 分布도 프랙탈 次元이 약 2.3의 멱승칙분포로 되어 있으며 小惑星의 크기에 대한 분포도 프랙탈차원이 약 2.1의 멱승칙 분

포로 되어 있다.

이외에 우주에서 星의 공간분포도 멱승칙에 따른다는 것이 관측으로 확인되었으며 프랙탈차원은 약 1.2로 見積되었다.

### 2·4 醫學 및 生物

표 1과 같이 사람의 폐나 뇌의 조직 형상은 프랙탈次元이 2~3차원의 프랙탈 구조를 나타내며 또한 사람이나 동물의 혈관 분포형상도 프랙탈로 되어 있다.

또한 박쥐날개의 혈관 直徑分布는 프랙탈차원이 약 2.3의 멱승칙분포로 되어 있으며 식물도 대부분의 나무나 풀의 分岐構造가 프랙탈로서 1.3~1.8차원이 프랙탈 구조로 되어 있다.

그림 6은 사람이 잉태하여 성인이 될 때까지의 小腦의 細胞에 대한 平面的인 樹狀突起의 展開度로서 이 뇌 세포의 形狀은 受胎後 12주째의 線分狀인데 프랙탈차원은 1.02이다.

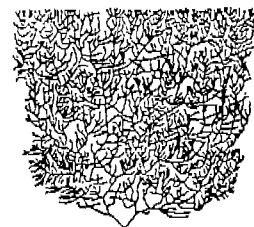
그후 28주째에는 프랙탈차원이 1.34이 樹狀突起로 성장해서 出生時에는 프랙탈차원이 1.78의 복잡한 형상까지 발달하게 된다.

그러나 出生後 成人이 될 때까지 크기는 인접해 있는 樹狀突起와 접촉하기 때문에 평면적으로 성장하며 프랙탈차원은 1.78~1.84가 된다.

한편 사람이 출생할 때까지의 프랙탈차원의 값은 여러 下等動物로부터 高等動物에 이르기까지 똑같은 프



28w 1.34 出生時  $m=1.78$



成體:  $m=1.78-1.84$

〈그림 6〉 小腦細胞

랙탈값에 대응하고 있다.

## 2.5 經濟 및 社會

경제면에서는 株價의 변동에 대한 통계적인 프랙탈性으로서 만델프로라고 하는 법칙이 있는데 이것은 주가의 변동, 시간과 금액의 좌표축 공간중의 프랙탈구조를 가지며 멱승칙 분포를 형성한다는 것이다. 즉 만델프로의 법칙을 보면 첫째로 단위시간  $t$ 당 주가변동  $x$ 의 분포밀도  $p(x)$ 는  $\int_x p(x) dx = x^{-1.7}$ 의 관계가 성립하며, 둘째로 단위시간의 大小를 취하는 방법에 따라서 분포가 적당한 尺度를 변화시킴으로써 동일한 분포가 된다.

이상과 같은 데이터 상황을 해석함으로써 大恐慌이 일어날 것같은 株價變動을 미리 예측할 수 있다.

## 2.6 3차원 영상 표면 분석

陰影形成技法이란 표면이 매끄러운 물체의 2차원 영상에 나타나는 그림자 음영정보로부터 물체의 3차원 구조를 찾아내는 기법이다.

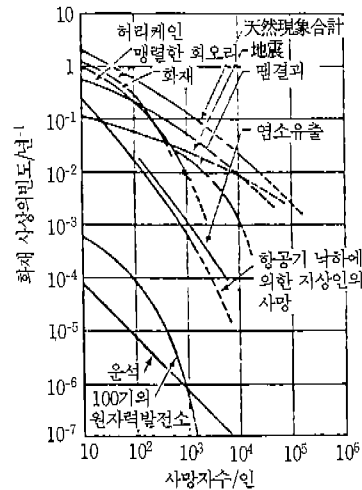
이와 반대로 텍스처形成기법이란 표면이 매우 거칠은 표면을 가진 물체의 2차원 영상에 나타나는 이그러진 무늬정보로부터 3차원 구조를 찾아내는 기법이다.

그러나 상기한 어느 한가지 방법에 의해서는 자연영상으로부터 3차원 정보를 찾아낼 수 없어 이 두가지 방법을 혼합한 강인한 모델 기법을 이용하고 있다. 한편 프랙탈 계수의 값이 작은 표면은 거칠기가 적은 매끈한 표면이라는 것을 의미하며 프랙탈계수의 값이 커질수록 거칠은 표면을 가졌다는 말이 된다. 그러므로 프랙탈 계수를 가진 모델에 의해서 통합적인 모델설계가 가능하다.

이외에 영상합성, 윤곽선추출, 무늬영상분류 및 영상 데이터압축 등에 프랙탈계수를 응용하고 있다.

## 3. 프랙탈技術의 應用

각종 圖形이나 現象에 대하여 프랙탈性이나 프랙탈次元을 조사할 때 度數分布로부터 멱승칙으로 되어 있는가를 관찰하는 것이 프랙탈기술의 기본이다.



〈그림 7〉 각종 災害리스크에 의한 사망자수와 발생빈도

예를 들면 전기신호의 진폭분포나 발생시간 분포 등을 조사할 때 통상 아날로그信號를 디지털信號化하거나 또는 펄스解析器를 사용하여 度數分布를 구하는 것이 일반적이다. 다음에는 프랙탈 기술의 응용으로서 度數分布와 豫測值, 材料評價法, 프랙탈과 음향방출, 제조물의 책임과 건전성 진단 등을 기술하고자 한다.

### 3.1 度數分布와 豫測值

각종 재해의 발생빈도는 여러가지 尺度로서 측정된다. 그림 7과 같이 원자로의 사고 발생확률을 논한 美國의 리스크評價報告(WASH-1400)에는 사망자수에 대한 각종 災害事象이 몇년에 한번씩 일어나는가를 비교하였다. 더욱이 度數分布曲線이 얻어지면 재해의 규모를 예측할 수 있으며 여러 종류의 소스데이터가 각종 형식의 수치 데이터로 되어 있어 빈도데이터群을 정리하면서 재해규모의 豫測式을 구할 수 있다.

그림 7에 표시한 바와 같이 각종 재해의 대부분은 兩對數表示에서 負의 기울기를 갖는 직선상의 冪乘則分布로 되어있음을 알 수 있다. 그렇지 않을 경우 原데이터를 소급하여 조사하면 적어도 부분적으로는 멱승칙 분포로 나타난다는 것을 추측할 수 있다.

이상에서 설명한 것처럼 不規則 騷動에 따르는 통상

의 자연재해 데이터는 역승척분포가 되는 것이 일반적이라는 것을 알 수 있다.

최근 재해사고예로서 日本의 경우 프랙탈성의 역승척분포가 성립되어 있는가를 조사하고 성립되어 있는 경우 度數分布에서 재해규모를 예측하는 리스크곡선을 간단히 소개한다.

표 2와 3은 최근 3년동안 消防白書에서 발췌한 建物火災의 損傷額과 燒損面積에 대한 段階別 出火件數를 정리한 것이다. 각 표에서 3년분의 데이터는 어느 것이나 동일한 값으로 되어있으므로 각표에서 3년분의 데이터를 가산한 것을 原데이터로서 해석한 결과 표 4와 표 5이며 度數分布를 圖示한 것이 그림 8이다. 여기서 계산과정은 생략하기로 한다.

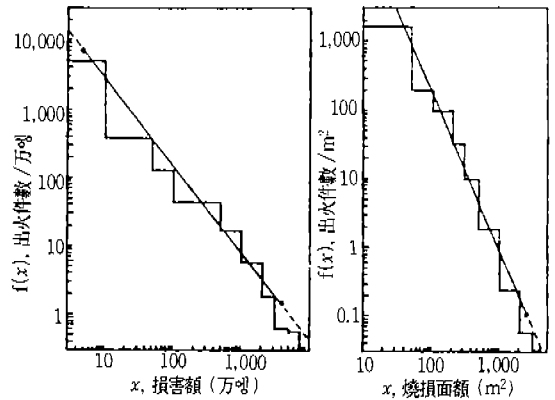
### 3·2 材料評價法

〈표 2〉 건물재해의 손해액에 대한 단계별 出火건수

손해액 (만엔)	출화건수		
	S63	H1	H2
10 미만	17,024	16,093	15,652
10~ 50 미만	5,294	5,086	5,087
50~ 100 미만	2,235	2,142	2,070
100~ 500 미만	6,306	6,098	5,862
500~1,000 미만	2,968	2,662	2,660
1,000~2,000 미만	1,948	1,820	1,949
2,000~3,000 미만	617	533	649
3,000~5,000 미만	392	400	419
~5,000 이상	358	352	420
합 계	37,090	35,186	34,768

〈표 3〉 건물재해의 소손면적에 대한 단계별 出火건수

소손면적 (m <sup>2</sup> )	출화건수		
	S63	H1	H2
50 미만	27,851	26,747	26,481
50~ 100 미만	3,471	3,182	3,178
100~ 200 미만	3,521	3,175	3,053
200~ 300 미만	1,153	1,044	1,018
300~ 500 미만	659	625	660
500~1,000 미만	311	307	280
1,000~2,000 미만	92	71	77
2,000~3,000 미만	23	20	14
~3,000 이상	9	15	7
합 계	37,090	35,186	34,768



(a) 損傷額の段階別 出火件數 (b) 燒損面積の段階別 出火件數

〈그림 8〉 건물화재의 리스크곡선

프랙탈기술이 재료의 損傷狀況 評價나 破壞研究에 有력한 도구가 된다는 것을 金屬破面の 프랙탈성에 대하여 먼저 크롬과 몰리브덴의 脆性破면에 응용한다.

그림 9는 原子像까지 관측가능한 走査形터널 현미경 (STM)을 이용하여 실온에서 脆性破壞함으로써 얻은 크롬破面の 관측예이다. 그림 9의 STM像은 취성과 피를 특징으로 하는 壁開段階의 비교적 평탄한 부분을 확대한 그림이다.

크롬의 경우 클리페이스 스텝 (Cleavage Step)을 형성할 때 균열면이 合體되는 형태와 龜裂前線이 螺線轉位와 교차하는 형이 있는데 兩者가 같이 관측되었다고 한다.

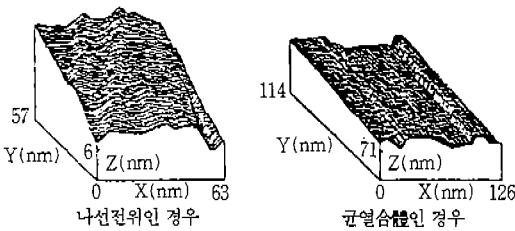
이들의 STM像에서 프랙탈次元을 구하는 방법에는 格子法이 적용되었으며 y방향에 등간격으로 떨어진 8

〈표 4〉 건물재해의 손해액에 대한 단계별 出火건수의 해석

x (만엔)	$dF(x)$ (S63+H1+H2)	dx	f(x)
5	48.769	10	4.877
30	15.467	40	387
75	6.447	50	129
300	18.266	400	45.7
750	8.296	500	16.6
1,500	5.717	1,000	5.7
2,500	1.799	1,000	1.80
4,000	1.211	2,000	0.61
(6,000)	1.130	(2,000)	0.57
합 계	107.044		

〈표 5〉 건물화재의 소손면적에 대한 단계별 出火건수의 해석

$x(m^2)$	$dF(x)$ S63+H1+H2	$dx$	$f(x)$
25	81.079	50	1.622
75	9.831	50	197
150	9.749	100	97
250	3.215	100	32
400	1.944	200	9.7
750	898	500	1.80
1,500	240	1,000	0.24
2,500	57	1,000	0.057
(3,500)	31	(1,000)	0.031
합 계	107,044		



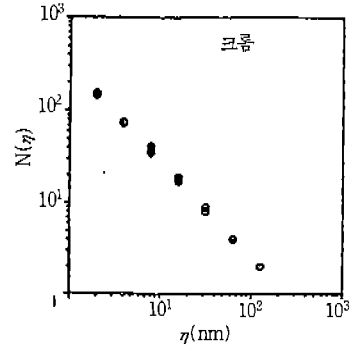
〈그림 9〉 크롬의 脆性破面에 대한 STM像

본의 破面프로필을 선정한 후 격자간격  $x$ 와 격자수  $N(x)$ 을 구한 결과가 그림 10이다.

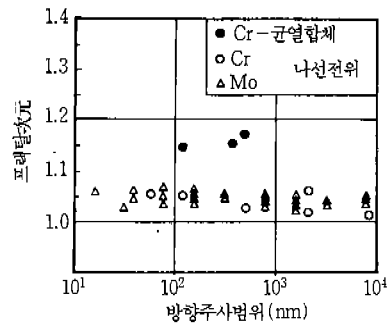
그림 10에서 이들의 破面은 멱승칙이 성립하는 프랙탈이 될 것이며 또한 兩對數表示에서 직선기울기로부터 프랙탈차원은 螺線戰位인 경우 1.05라는 것이 판명되었다. 그림 11은 크롬과 몰리브덴의 脆性破面の STM像에서 똑같이 구한 프랙탈次元을 정리한 것으로서 原子레벨의 극히 미세한 영역까지 프랙탈의 自己相以性이 維持되었음이 판정되었다.

이와 같이 프랙탈 해설방법은 재료의 破面관찰에 대한 마이크로적인 응용뿐만 아니라 매크로적인 大地의 破面に 상당하는 斷層에 대해서도 이용되고 있다.

斷層은 주위의 물이 모이며 부서지기 쉽기 때문에 出水나 崩壞의 우려가 있게 된다. 따라서 정확히 단층의 위치를 결정하고 또한 균열의 크기를 될 수 있는 한 신속히 탐지하는 것은 공사방법의 변경, 공사기간 및 비용 등에 영향이 크게 미치므로 매우 중요한 요소가 된다.



〈그림 10〉 크롬 脆性破面에 있어서 格子法에 의한 해석에



〈그림 11〉 脆性破面の 프랙탈次元

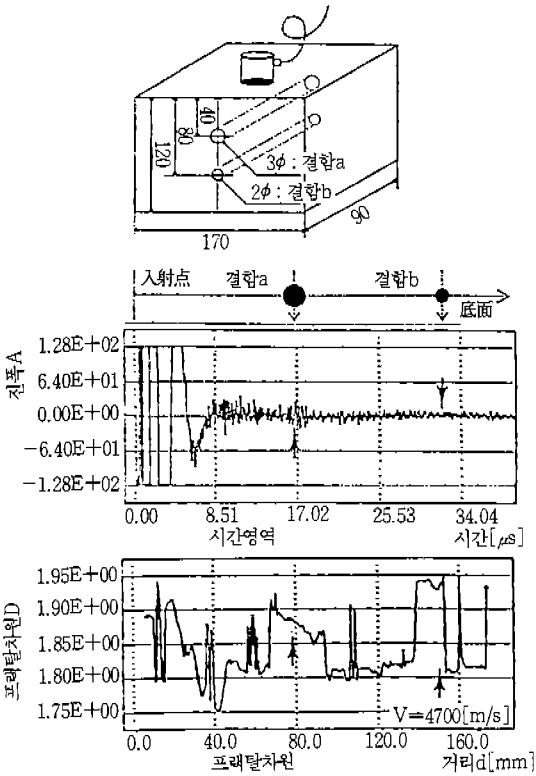
프랙탈기술은 非破壞檢査 분야에도 적용이 가능하다. 특히 超音波探傷 등과 같이 波形에 관한 畫像處理를 포함한 기술에서는 종래의 振幅情報뿐만 아니라 時間變化波形이나 주파수의 정보를 해석하는 방향으로 나갈 것으로 예상되고 있다.

超音波探傷法에는 복잡한 林狀 에코패턴을 포함한 散亂波中에서 缺陷信號를 良好한 効率로서 抽出하는데는 振幅值의 정보만으로는 한계가 있으므로 이를 위하여 산란파의 파형으로부터 短時間幅에 대한 주파수파워 스펙트럼을 구하고  $1/f$ 해석에 의해 프랙탈次元의 시간 변화를 해석하고자 試圖하고 있다.

그림 12은 초음파탐상에 있어서 프랙탈 해석에 대한 이용예를 나타낸 것으로서 試料로서는 銅인고트를 사용하였다. 결과는 A모드파형과 프랙탈次元의 해석을

〈표 6〉 AE법에 유용한 프랙탈특성

프랙탈 특성	AE법에 있어서 이용법
冪乘則分布	노이즈로부터 AE신호의 선별 대전폭과 소진폭 AE의 발생비
自己相以性	거리에 의한 분포형상의 불변성 AE계측제 감도의 무영향 메이터의 정량적인 상호비교가능
重合不變域	평면 균열분포에 있어서 AE源의 불변성 노이즈하에서 데이터 채취 가능성
프랙탈차원	변형성과 파괴성 AE의 판별 m값과 절편 C
自己再生可能性	AE활용도 데이터의 정량적 평가 데이터 베이스의 구축



〈그림 12〉 2缺陷을 갖는 鋼인고트 試料에 대한  
초음파탐상에 있어서 프랙탈 해석에

하게 되었으며 결함의 존재와 크기의 크기를 명확히 알 수 있게 되었다. 그러나 시간영역의 파형 진폭치로부터는 결함이 존재는 분명하지 못하였다.

### 3·3 프랙탈과 音響方出

음향방출(Acoustic Emission : AE)의 진폭분포는 발생된 AE신호의 크기가 특별한 度數分布를 갖고 있으며 프랙탈로서 멱승칙 분포를 나타낸다. AE법에 유용한 프랙탈 특성을 정리하면 표 6과 같이 된다.

AE진폭분포가 冪乘則分布가 된다는 것은 正規分布形의 전기, 기계, 유체노이즈인 경우와 대조적이다. 따라서 스펙트럼 形狀의 상위로부터 노이즈를 선별할 수 있고 AE진폭분포의 이용에 큰 장점을 갖게 된다. 또한 노이즈에서 데이터의 일부가 소실되어도 나머지 일부는 전체의 구조에 관한 정보를 포함하게 된다는 自己再

生 가능한 프랙탈특성에 의해서 노이즈 환경에서도 AE 活動度가 定量的으로 평가된다.

한편 AE진폭분포가 멱승칙 분포를 나타내는 것은 AE源의 標定이 가능한 大振幅의 AE신호 發生數 이상으로 標定不可能한 小振幅의 AE신호가 발생한다는 것을 의미한다. 다시 말하면 小振幅의 AE신호가 대량으로 발생하기 시작하면서 大振幅의 標定可能한 AE신호가 발생하게 되므로 AE源의 위치표정을 할 때 주의해야 할 사항이다.

이와 똑같이 프랙탈次元의 m값 2개 이상을 중합시켜도 스펙트럼 형상은 변하지 않는다고 하는 프랙탈 특성은 서로 다른 위치에 여러 개의 AE發生源이 존재하는데 어느 특정한 AE센서로 진폭분포를 측정하는 경우 각 AE源의 진폭분포가 똑같은 m값을 갖는다면 관측점에서 傳播減衰된 진폭분포도 똑같은 m값의 멱승칙분포가 된다.

이와 같이 중합된 m값의 불변성은 평면상에 균일한 복합AE源이 존재하는 경우에도 성립한다.

AE진폭분포의 指數 m 즉 프랙탈차원은 變形性인가 破壞性인가의 AE원인 파악과 活動度의 평가에 유용하다.

AE振幅分布에 대한 각종 측정에서 본 바와 같이 지수 m은 變形性 起因의 AE에서는 2 이상 破壞性 起



困의 AE에서는 2 이하의 값을 채택하고 있다.

여기서 변형은 負荷應力에 대한 일종의 抵抗力으로서 프랙탈차원이 2 이상이 되어 3차원적으로 변형할 수 있다는 것은 外力에 대해서 저항할 수 있는 능력이 아직 잔존해 있다는 것을 의미한다.

이와 같이 프랙탈의 自己相似性으로서 AE진폭분포는 진폭값의 변화에 대해서 프랙탈차원으로서의 對數直線 分布의 負기울기  $m$ 은 변함이 없다.

또한  $m=1$ 의 1차원 경우에는 진폭변화에 대해서 진폭분포의 形狀은 변화가 없으며  $m$ 과 함께 切片  $C$ 도 변함이 없다. 센서감도, 주파수영역, 진폭 등의 AE계측 조건의 相違나 AE源과 센서간의 거리에 의한 신호감쇠는 AE진폭분포에서는 진폭값이 변한다는 것을 의미한다.

따라서 이들 진폭변화에 대하여  $m$ 값이 변하지 않는다는 것은  $m$ 값이 AE계측조건이나 신호전파 감쇠에 영향을 주지 않으며 또한 AE活動度の 評價上 중요한 1차원에 가까운  $m$ 값의 경우 切片  $C$ 도 진폭변화에 의 의존도가 낮은 有用한 결과를 얻었다.

이상과 같은 예로서 철강, 알루미늄합금, 黑色片岩, 私粒入 硬石膏, 木材 등 각종 소형 재료시험편에 대하여 압축 또는 引張試驗을 행할 때 얻은 AE진폭분포의 측정결과 측정시 잡음환경이나 信號增幅度的 相違 때문에 데이터가 달랐으나 참고용 데이터로서 이용할 수 있었다.

### 3·4 製造物 責任과 健全性 診斷

製造物 責任 PL(Product Liability)은 각종 제조물이 고장이나 사고를 일으킬 때나 결함제품에 의해서 이용자가 피해를 입었을 때 제조물을 만든 메이커는 책임의 유무를 불문하고 과실의 賠償責任을 지게끔 되어 있다.

제조물 책임문제는 단순히 소송문제나 보험대책뿐만 아니라 제조물의 설계, 제작, 운용, 사고 및 고장에 관련된 많은 기술적인 문제를 포함하고 있다.

특히 제조물 책임 문제에 있어서 가장 중요한 사고

및 고장은 제조물을 구성하고 있는 여러가지 재료의 성능 조사나 손상기구의 해명, 사고 및 고장의 경과재현, 원인규명, 개선권고 등 광범위한 기술적인 잠재력이 필요할 것이다.

이를 위하여 제조물의 품질보증이나 안전에 관한 여러가지 기술 특히 非破壞檢査技法, 材料評價技法, 損傷機構調查技法, 事故豫防, 豫知技法 및 컴퓨터畫像技法 등이 중요시 될 것으로 予想되고 있다.

구조적인 사고나 고장을 평가하기 위하여 일반적으로 사용되고 있는 시험은 損傷部材 또는 模型의 파괴시험과 각종 비파괴시험이 있는데 비파괴시험에서는 초음파 탐상시험 그리고 파괴시험에서는 미크로적인 금속조직 시험에 프랙탈기법이 이용되기 시작하였다.

또한 원자력 분야의 비파괴시험으로서 핵연료의 래디오그래피 등도 동일한 프랙탈 기법을 적용하여 좋은 결과를 얻고 있다.

비파괴시험으로서의 AE法에는 프랙탈기술이 중요한 기반기술이 되었으며 探傷뿐만 아니라 사고, 고장의 감시 및 진단, 예지의 높은 잠재력을 갖게 되었다.

한편 AE법에 의한 감시와 진단에는 試驗體로 계측된 AE데이터를 기존의 AE참조 데이터와 對比하여 행하고 각종 劣化와 破損課程에서 기본적인 AE특성에 관한 데이터베이스를 정비해둘 필요가 있다.

이때 AE법에서 얻은 측정데이터는 여러 종류의 평가파라미터가 있기 때문에 방대해지기 쉽고 AE시험 목적에 합치하는 데이터 해석에 많은 노력이 들 것이다.

이상과 같이 프랙탈이용 기술에 대하여 기초와 응용 예를 들었으나 이 중에서 定量化의 기본적인 量인 프랙탈次元에 대하여 구체적인 해석법이나 이용방법 등을 例示하지 못한 점을 아쉽게 생각한다.

본고에서 프랙탈계수의 중요하고 유익한 성질을 개략적으로 살펴보았으나 프랙탈 계수가 갖고 있는 많은 성질을 이용하기 위하여는 상황에 적합한 수학적 모델의 확립과 이로부터 정확한 프랙탈 계수의 추정이 가능하여야 할 것이다.