

파괴역학 小考

이역섭

인하대학교 기계공학부

“파괴는 건설이다.”라는 말을 들은 일이 있다. 오래되고 더러운 건물들, 더러운 환경들을 과감히 부수어 버리고 새롭고 깨끗한 건축물, 환경을 건설해야 한다는 당위성 있는 농담섞인 얘기를 흘러듣곤 했다. 필자가 전공하고 있는 학문의 이름이 파괴역학이어서 가끔은 친구 교수들에게 농담 섞인 핀잔의 소리도 가끔은 듣는다. 특히 Y대의 김교수는 “왜 하필이면 미국까지 가서 공부하고 온 학문이 파괴역학이나, 지금 당장 이름을 바꿀 수 없느냐”고 질책을 받은 일이 있다. 김교수의 전공이 마침 국어학이라 “그럼 적당한 이름 하나 지어 달라”고 했더니 잠깐 생각지도 않고 즉석에서 “건설역학”이 어떠냐고 했다. 이름만으로 보면 “파괴역학” 보다 “건설역학”이 훨씬 긍정적인 느낌을 주니까 괜찮은 작명이라 생각할 수도 있겠으나 무엇을 다루는가의 구체적인 학문의 영역을 잘 모르고 단지 그 자체로의 의미로 언뜻 제한한 것이라고 금방 알아차린 나는 고소를 금할 수 없었다. 그 이상의 논쟁은 그 당시 없었지만 요사이도 가끔 김교수를 만나면 “건설역학”의 개명을 심심찮게 주장하기도 하는 것이다.

파괴역학을 영어로는 **Fracture Mechanics**, 한문으로는 破壞力學으로 쓴다. 그런데 **Fracture**를 우리나라 말로 번역할 때에 특히 약간의 문제가 있었을 가능성이 있다. 영어를 국역할 때에 특히 공학적인 용어를 번역할 때에는 많은 문제가 따른다. 따라서 많은 공학적인 용어가 일본어로 번역된 것을 참고하게 되는 경우가 많은 것이다. **Fracture Mechanic**도 예외는 아니었을 가능성이 많다.

그런데 한영사전에서 파괴를 영역한 것을 보면 **destruction : demolition; breakdown; wrecking;** 으로 되어 있어 **fracture**라는 단어는 찾아볼 수가 없다. 그러면 **fracture**는 어떻게 한영되었는가를 보자. 한영사전(시사영어사)을 보면 ‘부수다, 부숨, 좌절’로 되

어 있어 여기서는 또 ‘파괴’라는 단어를 찾아볼 수가 없다. 그러니 ‘**fracture mechanics**’를 파괴역학으로 한 역함에는 합당치 않은 점이 많다 하겠다. 이 글을 읽는 사람 가운데서 좋은 의견이 있으신 분은 필자에게 연락을 주면 좋겠다.

여하튼 파괴역학에 관한 연구는 이제 우리나라에도 상당한 수준에 도달한 것 같이 생각되고 대한기계학회의 여러 부문 위원회 가운데서도 “재료 및 파괴부문 위원회”가 가장 활기 있게 운영되고 있는 실정에 있으며, 산업안전학회 논문집에도 이것을 응용하여 산업안전을 도모하는 여러 가지 논문이 발표되고 있고, 기업체에서도 이제 이 분야의 연구결과에 눈을 돌리기 시작하였다. 나는 강단에서 이런 이야기를 한 적이 있다. 파괴역학의 발달은 보험업의 발달과 병행한다. 즉, 인명의 손상으로 말미암아 지불되어야 할 보험금이 외국 선진국의 수준으로 되는 과정에서 파괴역학을 이용한 여러 기계구조물의 안전설계의 필요성이 더욱 고조 될 것이므로 우리나라에서의 파괴역학이 발전 및 응용이 더욱 범위가 확대되어갈 전망을 한다는 것이다. 최근의 여러 가지 대형사고 (비행기사고, 교량사고, 기계구조물의 파손사고) 등의 주된 원인이 상세하게 밝혀지지 않은 상태에 있지만 이들 기계구조물의 설계를 파괴역학의 개념을 응용하여 안전하게 해야 할 필요성은 아무리 강조하여도 지나치지 않을 것이다.

앞으로 지면이 허락하는 대로 파괴역학의 기원이라든지 여러 가지 일반적인 사항 및 에피소드 등을 기계공학을 공부하지 않은 일반 독자들에게도 흥미 있고 이해하기 쉽게 아주 쉽게 서술해 보기로 한다.

1. 파괴역학의 기원

파괴역학의 기원은 아주 오래된 것으로 생각된다. 비록 역학적으로 정리는 하지 않았지만 우리의 조상

들도 파괴역학을 응용한 흔적을 찾아볼 수 있다. 우리나라의 중세 문명에서는 종(Bell)의 역할이 상당히 중요한 몫을 차지한다는 것은 모두가 잘 알고 있는 사실이다. 그런데 만들어진 종을 오랫동안 사용하다 보면, 즉 반복되는 하중을 오랫동안 받으면 응력(stress)이 집중된 부분에서 작은 균열이 발생하여 점점 큰 균열로 성장되는 것이다. 요사이 같으면 이러한 현상을 파괴역학의 이론을 응용하여 종의 수명이 라든지 종을 칠 때의 적당한 하중의 크기 등을 계산하여 종을 오랫동안 사용할 수 있는 방안을 강구할 수 있을 것이다. 그런데 우리의 조상들은 역시 현명했다. 즉, 파괴역학의 기본이론인 균열선단에서의 응력의 무한대성(infinity)을 육감으로 간파했던 것이다. 그래서 균열선단의 성장을 저지하기 위해서는 균열선단에서 무한대로 되는 응력을 이완시켜야겠다는 아이디어를 창출하게 되었던 것이다(실제로는 무한대의 응력은 존재치 않고 사용재료의 극한 응력이 될 것이다). 그래서 균열선단에 중심을 둔 작은 구멍을 뚫고 그 구멍을 같은 재료로 메꾸어서 사용하여 종의 수명을 연장시켰었다. 구멍을 뚫으면 응력의 크기가 상당히 이완된다.

대체적으로 이야기해서 균열선단 주위에서의 응력의 집중계수를 무한대라 할 때 구멍주위의 응력의 집중계수는 약 3으로 되니 이 얼마나 놀라운 효과인가!

$$(\text{응력집중계수} = \frac{\text{응력이 집중된 부분의 응력}}{\text{평균응력}})$$

그러나 이러한 실제적인 응용 아이디어가 물리적인 현상으로 집약되어 역학적인 이론체계 확립의 과정을 거쳐서 하나의 학문적인 기본으로 정립되지 못했던 것이 못내 아쉽기만 하다.

약 400년 전에 이탈리아에서 활약한 레오나르도 다빈치를 모르는 사람은 없으리라 생각된다. 그런데 다빈치를 위대한 미술가의 한 사람으로 밖에 알고 있지 못한 사람들도 많이 있을 터이고 조금 이해의 폭이 넓은 사람은 다빈치가 인체의 해부학에 상당한 관심을 가지고 영향을 끼쳤다는 사실도 알고 있으리라 생각된다. 그러나 다빈치가 파괴역학의 근간이 되는 재미있는 실험을 하였다는 사실을 아는 사람은 그리 많지 않으리라 생각된다. 다빈치는 아주 일반적인 사실에서 아주 재미있는 특수한 이론의 기본이 되는 사실을 추출해 낸 것이다. 즉, 같은 재료로 같은 모양의 물건을 만들었을 때 부피가 큰 것이 파손될 확률이 크다는 것이다. 이유는 아주 간단하다. 부

피가 클수록 그 부피 속에 많은 결함(defect)들이 존재하니 따라서 쉽게 파손될 확률이 크다는 것이다. 이러한 전제를 실험적으로 입증하기 위하여 다음과 같은 재미있는 실험을 하였다. 즉, 그림 1과 같은 장치를 만들어서 철사의 길이에 따라 철사가 지지(support) 할 수 있는 하중을 측정하였다.

다음은 레오나르도 다빈치의 노트에서 발견한 원고의 본 실험에 관련된 부분이다.

The object of this test is to find the load an iron wire can carry. Attach an iron wire 2 braccia [about 1.3m] long to something that will firmly support it, then attach a basket or any similar container to the wire and feed into the basket some fine sand through a small hole placed at the end of a hopper. A spring is fixed so that it will close the hole as soon as the wire breaks. The basket is not upset while falling, since it falls through a very short distance. The weight of sand and the location of the fracture of the wire are to be recorded. The test is repeated several times to check the results. Then a wire of one half the previous length is tested and the additional weight it carries is recorded; then a wire of one fourth, noting each time the ultimate strength and the location of the fracture.

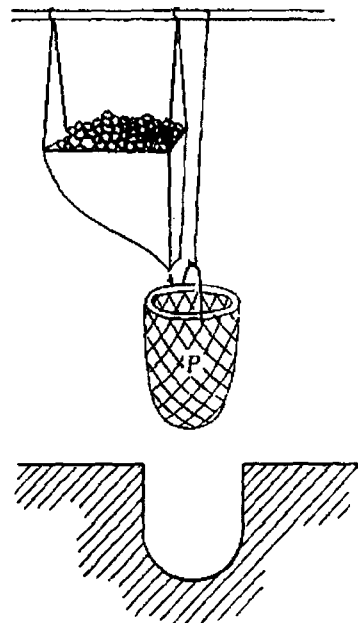


그림 1. 레오나르도 다빈치의 철사파손 실험 개략도

다빈치는 위와 같은 실험을 몇 번이나 행하여 통계적인 실험결과를 발표하고 있다. 즉, 체적 효과(size effect)에 영향을 입어 부피가 큰 것이 통계적으로 결함이 많이 포함하고 있어서 부피가 작은 것보다 쉽게 파손된다는 사실이다. 이러한 사실은 근간에 신소재로 알려져 있는 섬유 강화 복합재료에 사용되고 있는 섬유를 보면 알 수 있다. 이들 복합재료에 사용하는 섬유의 재료는 graphite, carbon 등 여러 종류가 있겠으나 다같이 이들 섬유는 아주 체적이 작게 만들어진, 즉 아주 가느다란 bar 형식으로 되어 있는게 보통이다. 즉 체적을 작게 하여 결함을 작게 분포시킴으로서 이들 섬유들의 이론결합강도(theoretical bonding strength)를 회복하도록 한다는 사실이다.

다빈치의 예리한 관찰력이 더욱 돋보인다. 현대 파괴역학의 체계를 도출한 사람은 영국의 A.Griffith로 알려져 있다. 이것은 Griffith가 1920년대에 발표한 논문에서 균열의 길이와 작용응력에 대한 관계를 실험적으로 연구하여 이론적으로 체계적으로 정리하였기 때문이다. 물론 Griffith 이전에도 여러 사람(예를 들면 영국의 Inglis)들이 여러 가지의 모양의 결함, 특히 타원 모양의 결함이 재료의 내부에 존재할 때 결함주위의 응력집중의 대한 연구를 하였으나 이들이 취급한 결함은 균열이 아니었다(여기서 균열(crack)의 이론적인 정의를 간단히 말한다면 “균열은 선단반경의 크기가 영(zero)인 결함”을 말한다). Griffith는 인공(artificial)균열이 존재하는 유리판재에 하중을 가하여서 유리판재가 파손될 때의 하중에 의해서 발생하는 응력과 인공균열의 크기는 재료의 파괴성질을 특정지어 어떤 물리량과 관련 있음을 실험을 통하여 증명하였다. 즉, 유리판재가 파손될 때의 응력을 S_f 라 하고 이때의 균열의 길이를 a_f 라 하면 아래 식과 같은 중요한 결과를 얻을 수 있었다.

$$S_f \sqrt{a_f} = \text{일정} \quad (1)$$

이 결과는 현대 파괴역학의 근간(root)이 되는 중요한 것이다. Griffith 논문의 또 하나의 중요한 결과는 에너지평형 개념이다. 하중을 받는 유리판재를 다시 생각해 보자. 균열이 있는 유리판재에 하중을 주면 판재는 하중과 변위에 해당하는 변형을 함으로써 변형에너지를 축적(store)하게 된다. 계속 하중을 주면 축적되는 변형에너지가 점점 증가하게 된다. 어떠한 재료라도 파손하지 않고 축적 가능한 변형에너지에는 한계가 있다.

무한정의 에너지를 축적하지는 못한다. 따라서 어느 한계 이상의 에너지 레벨에서는 재료가 그대로 견디지 못하고 에너지를 발산해야 한다. 주어진 유리판재의 경우에는 균열선단에서 발생하는 소성변형(plastic deformation)의 크기가 작아 무시할 수 있다고 가정하면 에너지 발산이 되는 유일한 기구(mechanism)는 균열이 성장하여 발생하는 표면에너지이다. 따라서 균열이 성장하게 된다. 어떤 재료의 표면에너지 S_s 와 파손이 발생할 때의 균열의 크기 a_f , 이때의 외력에 의한 응력을 S_f 라 하면 아래와 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$2S_s \propto S_f^2 a_f \quad (2)$$

이 결과도 현대 파괴역학의 에너지 접근법의 근간(root)이 되는 중요한 것이다. 그런데 이상한 것은 Griffith가 1920년대에 위에서 서술한 것과 작은 중요한 결과를 발표한 후 후속적인 연구가 계속 이루어지지 않았다는 사실이다. 왜 그렇게 되었는지의 상세한 이유는 밝혀지지 않고 있다.

그런데 1941년에 미국의 유조선 S.S Schenectady호가 항해 도중 두 동강나는 사고가 발생하였다. 그림 2에 두 동강으로 파손된 유조선 Schenectady호를 보였다. 이러한 파손 사고가 발생할 때에 균열이 전파하는 속도는, 즉 두 동강나는 속도는 그 재료의 음속(횡파의 경우)의 40~50%이다. 따라서 눈 깜짝 사이에 베는 두 동강으로 파손되니 대피할 여유도 없어 인명, 재산의 피해가 극심해지는 것이다.

이러한 사고가 자주 발생하자 이러한 사고에 대한 원인을 학문적으로 밝혀서 그 대책이 요구되기 시작하였다.(공학은 요구에 의해서 발전 되는가?)

미국 해군연구소의 G. Irwin박사와 그의 연구팀이



그림 2. 항해도중 두 동강으로 파손된 유조선 Schenectady호

본격적으로 연구하여 앞의 Griffith의 에너지 접근법을 활용하고 균열선단(crack tip)주위의 응력을 해석하여 파괴역학의 중요한 파라메타인 응력확대계수(stress intensity factor), K를 정의 하였다. Irwin 박사를 파괴역학의 학문적인 정립과 공학적인 응용면에서 큰 공로를 세운 분이라 할 수 있겠다. 지금은 고인이 되셨으나 최근까지 미국 Maryland대학에서 강의 하시면서 후학들을 격려하고 학문적인 가이드를 해 주었다. 필자는 1983년 미국Ohio대학에서 열린 ASTM conference에서 Irwin박사를 만날 기회가 있었으며, 그때 필자가 발표한 논문인 “수정된 Dugdale Model을 동적균열전파에의 응용”에 대하여 좋은 평을 하여 준 것이 아직도 기억이 새롭다. 1985년 미국 Las Vegas 에서 열린 미국 실험역학회(The society for Experimental Mechanics)에서 다시 Irwin박사를 만날 기회가 있었다.

2. 파괴역학 발달사의 뒷이야기

Irwin박사가 제안한 응력확대계수 개념과 에너지 해방(energy release)의 개념들을 여러가지 모양의 균열, 여러가지 재료, 여러가지 하중조건들에 대해서 적용하는데 대한 연구가 그 후 계속되어 지금에까지 이르고 있다. Griffith가 실험할 때에 사용한 유리 재료는 취성(brittle)인 재료이므로 균열선단에 발생하는 소성영역의 크기가 작을 때 비해 공학적인 구조물의 재료로 많이 쓰이는 철강재료의 균열선단에는 제법 큰 소성영역이 생겨난다. 따라서 소성영역 발생에 소모되는 에너지가 재료의 표면에너지보다 상당히 크므로 소성에너지를 표면에너지로 대체시키는 수정이론도 발표되고 있다.

소성영역이 매우 커서 Irwin박사의 응력확대계수 이론, 즉 취성재료에 대한 이론이 잘 맞지 않을 경우에 사용되는 탄-소성의 파라메타인 J-적분이론이 1968년 J.Rice 교수에 의해서 발표되어 지금까지도 탄-소성재료의 파괴역학의 주요한 파라메타로 사용되고 있다.

필자가 미국에서 J-적분이론에 대한 재미있는 episode를 들은 적이 있어 여기에 소개한다. J-적분은 영어로는 J-integral로 쓰는데 이 J는 Rice교수의 first name 인 James의 첫 글자를 따 것이다. Rice가 미국의 모 대학에서 박사과정을 공부하고 있을 때에 지금의 J-적분의 기본적인 이론을 정립하여 (Eshelby 교수의 논문을 이해하고 응용하여) 지도교수인 S 교

수에게 보였더니 S 교수는 ‘이게 도대체 무슨 되 먹지 못한 이론인가’ 하고 거들떠 보지도 않았다고 한다. 아직도 S 교수는 이 J-적분에 대해서는 그 이론 자체를 반대하는 편이고 S교수는 이 J-적분에 대항(?)하는 그의 독자적인 이론을 개발하여 세계 방방곡곡을 뛰어다니며 학회다 강연회를 열어서 그의 이론의 타당성을 입증하려는 노력을 아끼지 않고 있다.

균열의 전파하는 방향을 미리 예측할 수 있다면 공학적으로 크게 기여 할 수 있을 것이다. 즉, 균열의 성장을 방지할 수 있는 아레스터(arrestor)의 설치 장소를 선택할 수 있고 균열의 성장경로(path of crack growth)를 효과적으로 조정할 수 있는 방법론을 창출할 수가 있는 것이다. Greece의 Theocaris라는 교수는 T-criterion이라는 이론을 발표하여 물의(?)를 일으킨 일도 있다. Theocaris 교수는 S교수의 이론을 응용하여 균열선단의 성장경로를 예측하는 연구를 하다가 나중에는 (1983~4년경) 독자적으로 자기의 이름 첫 글자를 따서 T-criterion을 발표하기에 이르렀다. S교수는 이에 발끈하여 반박논문을 발표하고 Theocaris 교수는 이에 반박하는 논문을 발표하고....

한동안 미국의 파괴역학연구 사회에 심심찮은 화제가 되기도 했다. 그러나 아직도 그 논쟁은 완전히 그쳐진 것 같지는 않으나 Theocaris교수는 타계하였고 S교수는 연구에 손을 떼고 있는 형편이다. Theocaris교수는 1970년대 말 필자가 Washington대학에 유학하고 있을 때 Washington대학에 와서 특별 Seminar를 한 적이 있다. Theocaris교수와 필자의 지도교수인 Kobayashi교수와는 잘 알고 있는 터이어서 필자는 Theocaris교수와 한 시간 가량 필자의 연구테마에 대한 의견교환을 한 적이 있다. 필자의 마지막 질문(comment) 은 “Theocaris교수님은 어떻게 논문을 그렇게 많이 발표할 수 있느냐”이었다. 그 당시에는 Theocaris교수만큼 많은 논문을 국제학회지에 발표하고 있는 교수도 드물었다. 그래서 필자는 어느 정도의 장난끼 어린 질문을 하였다 하겠다.

Theocaris교수의 대답은 의외이었다. ‘열심히 연구하기 때문일 뿐’ 이라는 간단한 대답이었다. 열정적으로 연구를 하시면서 후학을 독려하던 Theocaris 교수도 이제 타계하였다. 이 글을 다듬는 동안 변함 없는 진리는 누구나가 타계한다는 사실임을 다시 깨닫게 된다. 또 하나의 재미있는 에피소드는 Theocaris와 그의 제자인 Greece의 G교수와 학문적인 의견대립이었다. 아주 침예하게 대립하여 서로의 반박이 국제학회지에 게재되었던 일도 있었으니 그 내

용이야 어쨌던 제자와 교수 사이의 학문적인 대립이 공개적으로 가능한 Greece의 학계는 위계질서라는 것이 전혀 없는 사회인가? 민주주의가 태동한 나라라서 이런 일들이 그저 아무렇지도 않게 일어날 수 있는 것일까? 그런데 지금은 사회주의 체제의 정부가 들어서 있는 것으로 알고 있는데 어떻게 된 것인지 이해가 안 된다.

동적인 파괴역학도 상당히 발달되었다. 음속에 비교할 만큼의 속도로 균열이 빠르게 전진할 때의 균열전파 속도와 균열선단에서의 응력확대계수와와의 관계도 실험적으로 또한 이론적으로 어느 정도 규명되어 있는 듯하나 아직 논란의 여지도 많이 남아 있다. 균열의 분지(branching)의 기구(mechanism)도 연구대상이 되고 있다. 그러나 워낙 복잡한 현상이라 뚜렷한 이론적인 발전은 되지 않고 있으나 실험적인 연구결과가 발표되어 효율적으로 폭발(explosion)작업에의 응용이 기대되고 있다. 우리의 생활주변에서 흔히 볼 수 있는 것은 깨어진 유리창이다. 균열이 전파되어 산산조각이 난 유리창도 있다. 하나의 균열이 커브를 그리며 전파되어 있는 유리창도 있고 처음에는 하나로 시작된 균열선단이 전파하면서 몇 개의 가지(branch)로 나누어지면서 계속 전파된 것도 있다. 이런 것들을 어떻게 이론적으로 해석할 수 있을까? 어디까지 이론적으로 해석이 가능할까? 하는 질문은 동적 파괴역학을 연구하는 사람이면 누구나 다 한번씩 가져 보는 의문이라. 균열이 진전하다가 정지되는 현상의 연구도 매우 중요한 공학적이 측면을 가지고 있다. 유리창 가운데 균열이 정지되어 있는 경우를 많은 독자들은 본 경험이 있을 것이다. 균열이 빠르게 성장하다가 어떤 조건이 만족되면 정지될까? 이러한 정지조건은 재료의 특수한 성질인가? 어떻게 이러한 성질을 정확하고 간단하게 측정할 방안은 없을까? 이들은 실제 구조물의 설계에 어떻게 응용할까? 하는 등등의 질문들도 쉽게 대

답되어질 성질의 질문들이 아닌 것 같다.

그림 3에 충격하중을 받아 빠르게 전파하고 있는 균열선단에 발생한 응력장에 의한 등색선(isochromatics)의 사진을 보인다. 1초에 100만장을 찍을 수 있는 고속사진기로 촬영한 것으로 (인하대 파괴역학 연구실 보유) 동적 균열선단에서 발생하는 물리적인 현상을 구체적으로 연구한다든지 모델링하는 연구에 사용되고 있다.

새로운 구두를 신어 본 사람은 그 새로운 구두가 일년도 채 못되어서 낡아서 못 신게 되는 경우가 대부분인 것을 안다. 어떠한 새로운 재료도 어느 한도 크기 이상의 변형이나 하중을 반복해서 받으면 결국 파손되어 못쓰게 되는 것이다. 특히 재료가 금속재료나 혹은 여러 가지의 고체재료인 경우에는 이러한 현상이 두드러지게 나타난다. 이것이 피로(fatigue) 현상이다. 사람들도 피로를 풀지 않으면 그것이 쌓이고 쌓여 큰 병을 얻게 되는 경우가 많은데 같은 기구(mechanism)로 생각할 수는 없겠으나 동일한 현상논리로는 설명할 수 있을 것 같다.

이러한 피로현상을 이론적으로 규명한다는 것은 상당히 어려운 문제인 것 같다. 왜냐하면 재료의 피로파괴현상을 순수하게 이론적으로 정립한 논문은 아직 보지 못했기 때문이다. 부피를 갖고 있는 재료는 완전무결한 것이 없다. 즉, 어떤 종류의 결함이라도 존재하며 결함 주위에서 발생하는 응력집중현상에 힘입어 날카로운 균열이 발생하기가 용이하게 된다.

따라서 결국 균열이 내재하는 기계구조물이 반복 하중이나 반복변형을 받을 때 내재하는 균열의 전파 거동이 문제가 되며 균열전파거동을 명확히 규명함으로써 그 기계구조물의 수명을 예측할 수가 있으니 기계구조물의 안전성 설계나 안전성 평가에 크게 이용되고 있다. 이 경우는 즉, 균열이 내재하고 있는 경우의 반복하중의 범위, 즉(최고하중-최저하중)은 곧 (최고응력확대계수-최저응력확대계수)=응력확

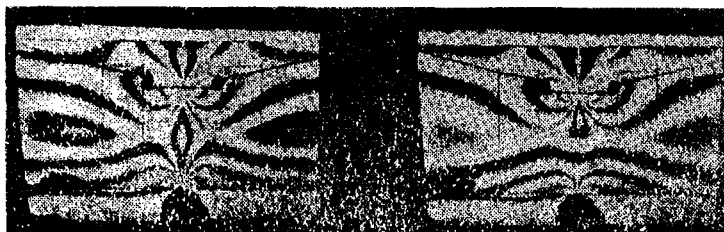


그림 3. 폴리카보네이트 시편내를 빠르게 관통하는 균열선단(crack tip)에서의 등색선 (균열선단 성장방향, 촬영속도 50만 frame per second)

대계수의 범위와 직접적으로 연관되며, 이 응력확대 계수의 범위(ΔK)와 반복하중의 반복수(dN), 균열 성장길이(da)는 다음과 같은 관계식으로 나타난다.

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m \quad (3)$$

위의 식 (3)은 실험값을 정리하여 얻은 경험식 (empirical formula)이다.

위의 식 (3)이 창출되는 과정에서 있는 재미있는 에피소드를 잠깐 소개해 보기로 한다. 피로파괴시험편을 만들어서 피로파괴시험을 행하여 얻은 실험데이터를 정리하던 중 위의 식(3)과 같은 경험식을 얻은 Washington대학 토목과 교수였던 Paris는 이것을 정리하여 학회지(academic journal)에 실고자 투고하였는데 논문 심사자들이 되지도 않는 터무니 없는 논문이라 하여 거부 (rejection) 당하였다. 이에 Paris는 Washington대학의 교내지인 'Trend'에 기고하여 발표되기는 하였으나 공식적으로 'published'된 논문으로 인정받지 못한 셈이 되고 말았다. 지금은 위의 식 (3)이 'Paris law'라고 까지 불리우는 피로파괴역학의 근간(root)이 되었으며, 이것에서 수정된 여러 가지의 피로파괴역학의 모델이 개발되고 있는 실정이다. 이렇게 유명하게 법칙으로까지 불리우게 된 위의 식 (3)이 실린 논문이 처음에는 출판거부 당하는 수모를 겪었다니.....

3. 파괴역학의 앞날

파괴역학의 기원, 파괴역학의 발달사의 뒷이야기를 쓰면서 파괴역학의 기본적인 개념을 비교적 쉽게 정리하고 응용면에도 관심을 두어야 할 점들을 나열하여 파괴역학을 이해하도록 노력하였다.

파괴역학이 체계적으로 발전된지 약 50년이 지난 것 같다. 미국의 Kanninen같은 사람은 파괴역학은 응용역학(Applied Mechanism)이 공학적인 차원에서 차지하는 비중과 동일한 비중을 갖고 있다고 강변하기도 한다. 이러한 강변을 고려치 않더라도 파괴역학이 체계적으로 발전한 지난 50년 동안에도 수 없는 대-소 파괴사고가 발생하고 있으며, 앞으로도 발생할 것이기 때문에 파괴역학의 중요성은 아무리 강조해도 지나치지 않을 것이다. 따라서 이러한 파괴사고를 예방하여 인명의 손실, 재산의 손실 등을 방지할 수 있는 방법론이 더욱 체계적으로 연구되고

보완되어야 할 것이다.

특히 우리나라의 경우에는 아직 파괴역학의 이론들을, 또한 실험결과들을 실제로 여러 가지 구조물의 안전설계에 잘(적당히) 응용하지 못하고 있는 것 같은데 대부분의 대학의 기계공학과와 교과과정에 파괴역학의 기본이론이 포함되고 있지 않은 것이 주된 원인의 하나라고 생각된다. 어떠한 파괴사고가 발생하였을 때 대개가 공개하기를 꺼린다. 왜냐하면 자기들의 설계 미숙이나 관리의 잘못된 점이 세상에 공표되어 자기 회사제품의 판매전략에 차질이 있을까 염려되기 때문으로 생각된다. 우리나라에서는 이런 속담이 있다. '자기의 병은 자랑해야 한다' 자기가 중병이 들었을 때 이 사실을 여러 사람들에게 이야기해서 용한(잘 낫게 하는) 의원을 찾을 수 있다는 뜻일게다. 그러니 파괴사고도 쉬쉬하지 말고 이 분야의 전문가들을 찾아 상담하고 분석하여 파괴에 대한 안전설계에 만전을 기하는 풍토가 조성되어야 할 것이다. 현재는 외국의 설계기술들을 도입하여 도입된 설계기술에다 도입된 원자재를 상용하여 도입된 공작기계로 제작하여 제품을 생산하는 경우가 많은 것으로 알고 있다. 이 경우에는 도입된 설계기술에 혹은 설계과정에 파괴역학의 이론을 응용할 필요가 없다. 그러나 우리나라의 자체 기술로 구조물을 설계할 경우에는 파괴역학적인 설계개념을 반드시 응용하여야 할 것이다. 파괴역학의 파라메타인 파괴인성치(plane strain fracture toughness) 같은 재료의 특성을 나타내는 물리량(physical material quantity)은 KS규격으로 정하여 기계 공학적인 측면에서도 선진 대열에 들어갈 준비를 서둘러야 되리라 생각된다.

이 글을 1989년 그 무더운 여름에 연구실에 앉아서 쓴 것을 산업안전기술지에 실기 위하여 다시 다듬은 것이다. 너무 더워 이 글을 쓰는 동안에 fracture 되지 않을까 걱정했으나 다행히 아직 무사하다. 공학을 연구해도(여기에는 첨단산업(첨단이 무슨 의미로 쓰여지는지는 정확히 몰라도) 생명공학이나 이런 연구가 아니고 오래된 학문이라는 뜻이 포함되어 있다) 현상을 정확히 규명하기에는 역부족인 것들이 너무나 많이 있는 것 같다. 인간은 한계가 있다는 사실을 요즈음 절감하고 있다는 고백으로 이 글을 끝맺으면 이 글의 제목과는 잘 맞지 않은 것 같이 보일지 모른다. 그러나 모든 글의 끝은 이상의 것과 같이 끝맺을 수 있다는 얼토당토않은 듯하지만 지극히 합당하다는 생각을 하면서 이 글을 마감한다.