

Creep 시험법

Web site: www.randb.co.kr

E-mail: webmaster@randb.co.kr

주)알앤비

Creep 시험법

개요

고온 사용설비의 잔여수명을 짧은 시간 내에 평가하기 위해서는 가속 조건 하에서 Creep 실험을 행한다. 이렇게 가속 조건 하에서 행한 시험에서 사용조건에서의 결과를 정확하게 유추하기 위해서는 다음의 몇 가지 사항에 유의하여야 한다.

시험재의 채취

시험재의 채취는 고온설비의 운전조건이나 환경 및 위치 등을 충분히 고려하여 가장 가혹한 조건 하에서 사용되는 부위에서 행해져야 한다. 두꺼운 배관 등 대형부재의 경우에는 대규모의 파괴시험이 곤란하기 때문에 용접 보수를 필요로 하지 않을 정도의 크기(30 mm x 50 mm 정도)로 채취하는 것이 좋다.

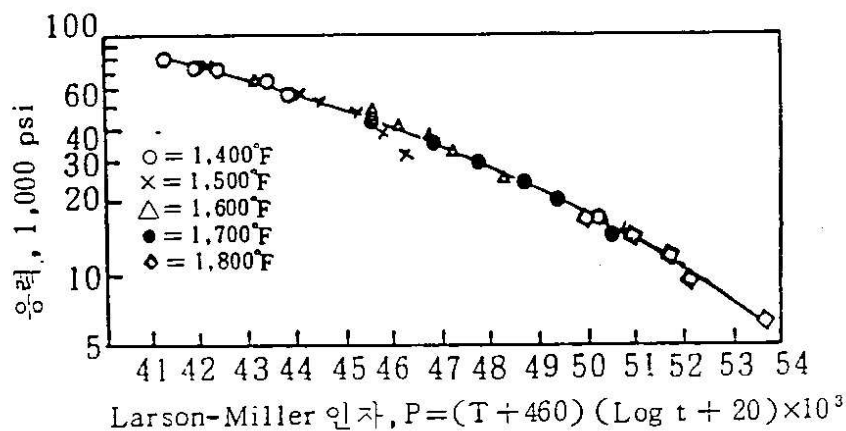


Fig. 1 아스트로로이 합금에 대한 Larson-Miller 인자곡선

일반적으로 손상량을 계측하고자 하는 부재에서, 파괴시험에 통상 사용되는 크기의 시편을 잘라내는 것이 곤란한 경우가 있다. 이점을 해결하기 위해, 가능한 한 작은 치수의 소형 시편을 실시하고자 하는 시험도 행해지고 있다. 소형 Creep 시험편의 형상의 한 예를 Fig. 2에 나타내었다. 그림의 시편에는 시편 표점부 직경은 겨우 2 mm 밖에 안되며 또, 시편 전체길이도 26 mm로 극히 작다. 이 정도 크기의 시험편이라면, 손상을 계측하고자 하는 부재에서 잘라낼 수 있는 경우가 많다고 생각된다. 시편 표점부의 직경이 작은 시편으로는 고온에 있어서의 시편 산화가 시험결과에 주는 영향이 크나 소형 Creep 시험편용의 장치에서는 불활성가스 환경하에서 시험이 가능하도록 되어 있고, 이 때문에 통상 크기의 시편을 사용한 경우와 거의 파단 시간에 차이는 없다.

Creep 파단 수명에 미치는 산화의 영향에 대해서는, 예를 들면 1/2Cr-MO-V 강의 675℃, 7.1 kgf/mm²에 있어서의 대기중의 직경 50 mm의 대형시험편의 Creep 파단수명(446 h)은 진공중의 직경 10 mm의 시험편의 수명(496 h)과 대략 일치하나, 직경 2.5 mm의 소형시험편의 대기 중에서의 수명(160 h)은 대형시험편이 대기 중에서의 수명의 약 1/3이 된다.

시편의 형상

일정하중시험을 위한 시편을 재료의 특성과 사용목적에 따라 여러 가지 다양한 형태로 사용 될 수 있다. 인장하에서의 Creep 와 Creep 파단 시험에 쓰이는 시편은 인장시험에 사용하는 시편과 비슷하다. 단면이 둥근 시편은 시험온도가 매우 높거나 기계에 걸기가 어렵거나 노치(notch)에 민감한 것들을 제외하고는 끝 부분이 나사로 되어 있다. 아주 고온(특히 진공에서)에서 행하여지는 시험에는 끝 부분을 편평하게 만든 버튼헤드(button head) 시편을 사용한다.

고온에서의 경우 나사를 낸 시편은 확산으로 인하여 시험 후 연결 부로부터 제거하기가 어려운 경향이 있다. 버튼헤드 시편은 연결 부에 물릴 때 자체적으로 연결 부와 일직선이 잘 맞으므로 일반적으로 취성이 있는 재료에 좋다. 가속 Creep 시편은 JIS 에서 직경 6 mm 의 원형단면을 표준으로 하지만 경우에 따라서는 4,8,10,12 mm 의 원형단면 시편을 사용해도 크게 문제되진 않는다.

그림 3 은 BS 3500 에서 정한 원형단면을 가진 시험편의 형상이며, 그 크기는 table1 에 나타내었다.

또 위에서 기술한 크기의 원형시편을 채취하는 것이 불가능할 경우 판상시편을 사용해도 무방하다. 사각형단면을 갖는 시편과 튜브에서 채취할 수 있는 시험편의 형상을 각각 Fig. 4 와 Fig. 5 에 나타내었으며, 그 크기는 table 2 에 나타내었다. 원형 시험편의 직경이나 판상 시험편의 폭은 경우에 따라 변할 수 있으나 항상 표점 간 거리의 1/4 이 되어야 한다. 띠판 시험편의 경우도 표점 간 거리가 50.8 mm 로 권장되지만 여의치 않을 경우 폭 대 길이의 비를 1/4 로 유지하면 문제되지 않는다. 시편 단면 감소부 끝 부분의 직경(폭)이 중앙에서의 직경(폭)보다 작아서는 안 되며 그 차이가 0.5 %를 초과해서는 안 된다.

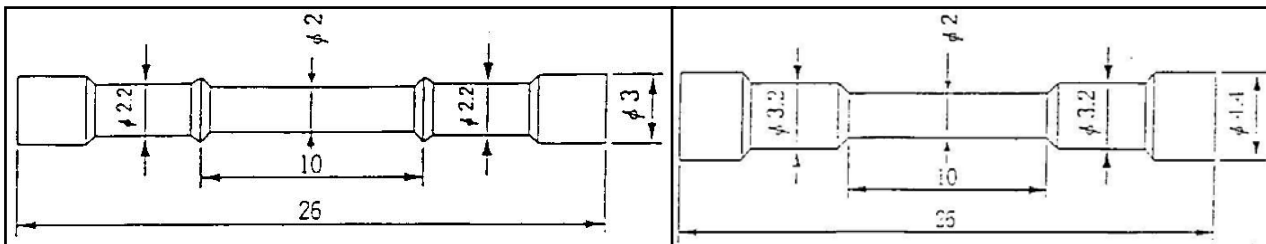


Fig. 2: 소형 Creep 파단 시편

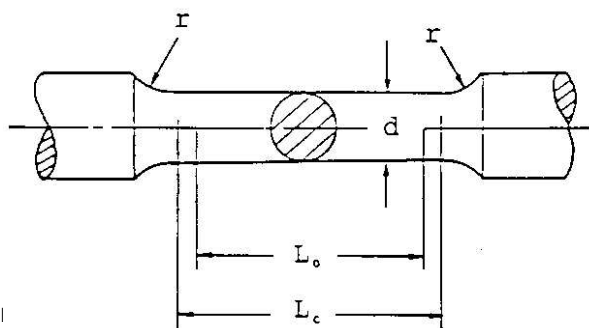


Fig.3 Test piece of circular

Table1 Dimensions of Test pieces of circular cross-section

Cross-sectional Area S_0	Diameter d	Minimum Gauge Length L_0	Minimum Parallel Length $L_0 \sim 5.5 d$	Minimum transition radius	
				Wrought Metals and cast steel	Other cast metals
mm^2	mm	mm	mm	mm	mm
100	11.28	56	62	10	20
50	7.98	40	44	8	16
25	5.64	28	31	5	10
12.5	3.99	20	22	4	8

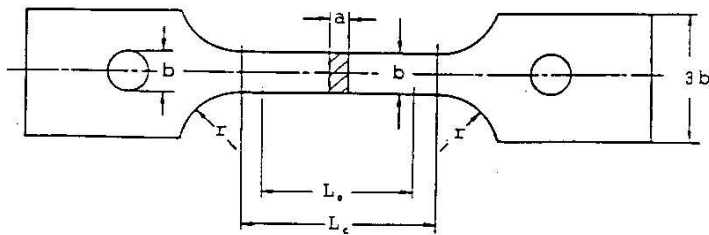


Fig.4 Test piece of rectangular cross section.

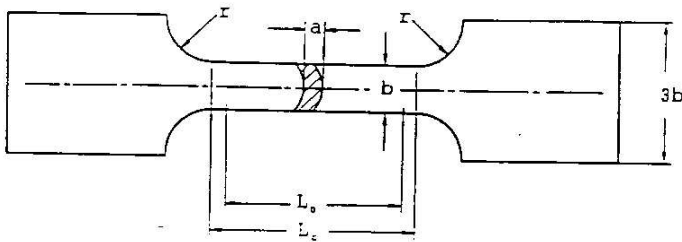


Fig.5 Strip test piece cut from tube.

Table2 Dimensions of rectangular section test pieces

Width B	Minimum Gauge Length L_0	Minimum Parallel Length $L_0 \approx L_0 + b$	Minimum Transition Radius r
mm	mm	mm	mm
12.5	50	63	25
6	24	30	12
3	12	15	6

판재 모양의 시편은 하중을 걸어줄 때 시험편의 **shoulder** 끝에 있는 구멍 속에 핀(pin)을 넣어 사용한다.

시험편이 충분히 큰 경우 **shoulder** 끝이 길쭉하게 노 밖으로 연장되게 된다. 가끔 연장부위를 시편 **shoulder** 에 용접이나 **brazing** 으로 연결하여 노 밖으로 빼어낸다. 또한 게이지 부분의 끝에 있는 부분에 맞도록 만든 그립(grip)을 사용하여 하중을 거는 경우도 있다.

시험편의 게이지 부분은 일정하여야 한다. 시험편의 주어진 부분의 직경이 중심부보다 작아져서는 안 된다. 그러나 때로는 줄어든 부분의 직경이 중심부보다 약간 작은 것이 바람직할 때도 있다. 그 차이는 **2.54 mm** 직경 시편에 대하여 **0.5 %** 에서 **12.8 mm** 직경의 시편에 대해서 **0.2 %**까지의 범위 안에 있어야 한다. 시험편은 표면이 매끄럽고 흠이 없어야 하고 냉간 가공이나 표면이 뒤틀리는 것이 최소로 되도록 기계가공 되어야 한다.

정렬이 잘못되면 국부적으로 응력이 집중되어 시험편이 초기에 파괴된다. 나사로 되어 있는 시험편을 사용할 경우 시험편을 고정시키는 나사어댑터(adaptor)를 자주 검사하여 적당하게 정렬이 되어 있는지 확인하여야 한다. 이러한 장치들은 시험도중에 조금씩 **Creep** 가 일어나 몇 차례 시험을 하면 정렬이 상당히 어긋나게 된다. 버튼헤드 시험편이나 **adapter** 는 자체적으로 정렬을 하므로 정렬이 어긋날 문제가 별로 없다. 판재 시험편의 경우 연장부를 용접이나 **brazing** 할 경우 먼저 정렬하여 고정시켜야 한다. 하중을 걸기 위하여 핀을 사용하는 경우의 판재 시험편에 대하여는 탭(tab)에 핀 구멍의 중심을 맞추는 것이 아니고 줄어든 부분의 중심을 통한 선에 중심을 맞추어야 한다. 취성 재료가 연성재료보다 정렬문제가 더 심각하다.

시험편 표면은 굽힌 자국이나 잘린 자국 등이 없이 매끈해야 한다. 시험편 양끝에서 실린더 형 핀으로 하중을 전달하는 경우 핀 구멍의 중심은 시험편 측정부의 중앙선의 연장과 정확하게 일치되어야 한다. 이런 형태의 하중 부하방법이 **axiality** 가 좋다고 알려져 있다. 시험편 제작 시 다음의 몇 가지 사항에 유의해야 한다.

두께가 얇고 또 실제로 장시간 사용된 재료에서 시험편을 제작하는 경우 침탄이나 질화 등의 변질층을 고려하여야 하므로 사전에 조직을 충분히 관찰 한 후 시험편의 형상, 크기 등을 결정해야 한다.

시험편의 단면적이 작으면 시험 중에 표면산화에 따른 단면적 변화를 무시할 수 없기 때문에 시험편 직경이 작은 환봉시험편이나 판상시험편 혹은 소형 시험편을 사용하는 경우에는 무산화 분위기에서 시험해야 한다.

Creep 강도는 재료의 미세조직 구조에 매우 민감하고 특히 노치(notch)영향을 많이 받는 재료의 경우에는 동일한 재료라도 시험편의 형상이나 크기에 따라 강도가 달라지기 때문에 시험편의 제작 시 표점 간의 각부가 일정한 응력분포를 가지도록 고려해야 한다.

시험편 장착

시험편이 작거나 깨어지기 쉬울 때는 시험편을 **adapter** 나 하중 트레인에 올려놓을 때 시험편에 변형을 주지 않도록 특별히 주의하여야 한다. 시험편이 제대로 놓여진 그림이나 **adapter** 등은 주위 깊게 살펴서 하중을 중 때 시험편이 휘어지지 않도록 정렬여부를 조사하여야 한다. 위에 있는 하중 트레인은 지렛대의 팔에 걸쳐 있어야 하고 무게 보상 추는 지렛대의 팔이 균형이 잡히도록 조절되어야 한다. 변형률을 측정하는 클램프와 변형률 측정기 또는 백금 띠들은 시험편에 붙이고 시험편은 하중 트레인의 중심에 놓아 노에 집어 넣는다. 시험편을 장착하기 전에 시험온도를 안정화시켜야 한다. 또한 변형률 측정장치도 영점조절을 하여야 한다. 하중 팬에 과도한 충격 없이 무리 없게 무게를 싣는다. 시험편에 하중이 단계적으로 걸릴 때는 매번 하중이 부가될 때마다 변형률을 기록한다. 이와 같이 얻어진 하중곡선은 하중을 가하는 것으로부터 탄성계수와 소성변형을 결정하는데 사용된다. 단계적으로 하중을 가하지 않을 경우 하중을 부드럽게 가하여야 하는데 이러한 경우 하중을 걸 때 하중팬 아래에 재(Jack)과 같이 지지대를 설치하여야 한다. 모든 하중이 제자리에 놓이면 지지하는 잭을 하중

팬으로부터 천천히 내린다.

온도 조절

시험편이 시험온도에 이르는 동안 과열되어서는 안 된다. 보통은 1 시간에서 4 시간 동안 시험 온도보다 약 10 °C 낮도록 가열한 후 장시간에 걸쳐 시편을 시험온도에 접근시킨다. 시험편이 시험온도 이상에서 일정시간 유지되게 되면 시험을 포기하여야 한다. 과열의 규정된 한계는 980 °C 까지는 $\pm 1.7^{\circ}\text{C}$ 이고 980 °C 이상에서 $\pm 2.8^{\circ}\text{C}$ 이다. 1100 °C 보다 현저하게 높은 온도에서는 한계가 더 넓어진다. 동일 시편 내에서 시험 온도로부터의 온도편차는 이러한 범위를 초과하여서는 안 된다. 이러한 한계는 온도기록계에 지시되는 온도변화에 의거하여 확인한다. 지시된 온도는 열전대 오차나 기계적인 오차를 방지하기 위하여 가능한 한 실제 온도와 같아야 한다. K type 열전대는 장시간 사용하거나 오염이 되었을 경우 교정상태가 자주 변하게 된다. 오차를 야기하는 다른 원인으로는 부적당한 보상선을 사용하거나 보상선이 잘못 연결되거나 열전대 끝 부분에서의 직접적인 복사 등이 있다.

고온에서 베이스(base) 금속 열전대를 재사용 하려면 먼저 고온에 노출된 선을 제거하고 재 용접 시킨 후 사용하여야 한다. 귀금속 열전대는 대개 더 안정하지만 이것 역시 오염으로 인한 오차를 발생시키며, 백열광을 내도록 여러 가지 변압기를 연결하여 충분한 전류를 통과 시켜 주어 정기적으로 소둔해야 한다.

열전대를 시편에 부착시킬 때 접속부위는 시편과 가깝게 접속되어야 한다. 접속부의 용접부위는 가능한 한 작아야 하며 단락을 야기하는 열전대의 꼬임이 없어야 한다. 두 열전대선을 가로질러 어떠한 도체와도 접촉이 있으면 단락이 되어 온도 지시 값이 달라지게 된다. 방사되는 열로부터 열전대 접속부를 차단하는 것이 좋다. 온도 측정, 조절, 기록하는 기구는 정기적으로 표준기기로 교정을 받아야 한다. 이것은 정확한 potentiometer 를 기구의 열전대 접속부에 연결하고 몇 개의 온도에서 열전대의 출력에 해당하는 전위를 줌으로써 해 낼 수 있다. 대부분의 Creep 와 Creep 파단 시험기에는 시험편이 파단이 일어나면 자동적으로 타이머가 꺼지는 스위치가 부착되어 있다. Creep 시험에서 하중은 보통 파단이 일어나지 않을 정도로 낮다. 타이머를 차단하는 마이크로 스위치가 노의 온도를 낮추거나 차단시키는데 사용되기도 한다. 어떤 경우는 매번 시험마다 노를 끌 경우 가열원의 수명이 짧아지므로 노의 온도를 어느 정도 서서히 낮춘 다음 전원을 꺼야 한다.

Creep-Fracture Map 을 이용한 시험조건 결정

다른 대부분의 fracture 와 마찬가지로 Creep 파괴도 균열의 생성, 안정성장, 불안정성장에 이어 종국에는 fracture 의 과정을 따른다. Creep 파괴의 특징은 균열의 생성과 안정성장이 시간 종속적이고 일정 응력에서 발생할 수 있다는 것이다. 고 응력에서는 Tran granular cracking 이 발생하고, 중간이나 저 응력에서는 intergranular cracking 이 발생한다. Intergranular cracking 은 두 가지로 분류된다. : (1) cavitation (2) wedge cracking 응력이 감소하면 (파단 시간이 증가하면) 파단 연성도 감소한다는 것을 앞의 내용에서 알 수 있다. 연성의 변화는 fracture mode 의 변화를 수반한다. 고 응력 단시간 rupture 는 Tran granular 로 된다. Fracture mode 천이의 시간-온도 의존성은 연성천이의 시간-온도 의존성과 평행한 거동을 나타낸다. 이것을 기초로 하여 deformation map 과 유사한 fracture map 이 제안되었다. 시험조건을 사요 조건에서 와 fracture mode 가 같은 범위 내에서 정해야 올바른 결과를 얻을 수 있다.

실험결과에 영향을 미치는 요인

하중의 방향

대부분의 금속재료 Creep 파단 시험은 일축 인장 하에 행하여 진다. 원래 이 방법은 연성재료에 적합하고 압축시험은 취성이 있고 결함에 민감한 재료에 더 적합하다. 압축에서는 가한 응력에 수직인 균열이 인장 하에서와 같이 전파되지 않는다. 따라서 압축시험을 하면 재료의 고유한 소성변형을 측정할 수 있다. 일반적으로 하중의 방향은 여러 가지 Creep 성질에 별로 영향을 주지 않는다. 예를 들면 연성재료의 일정유지 Creep 속도가 있다. 그러나 이러한 재료에서도 3 단계 Creep 와 파단의 시작이 인장과 비교하여 압축에서는 대체로 지연된다. 이러한 지연은 미세 구조적인 결함의 효과가 최소화되기 때문이다. 취성 재료에서는 인장과 압축 사이의 양상의 차이가 결함의 효과 때문에 매우 클 수가 있다. 따라서 취성 재료의 인장특성을 압축 Creep 시험을 하여 평가하고자 할 때는 세심한 주의를 하여야 한다.

시험편의 형상과 크기

일축인장 Creep 파단 시험용 시험편은 인장시험에 사용되는 시험편과 같다. 나사나 테이퍼를 낸 그립(grip)의 봉 시험편이나 핀과 크레비스 그립(crevice grip)이 달린 판재시험편이 전형적이다. 그러나 많은 다른 형태나 크기의 시험편들도 큰 문제없이 사용되고 있다.

일축압축시험의 경우 시험편의 모양은 직경이 작은 실린더 형이거나 평형 육면체인데 길이 대 직경의 비가 약 2에서 4 까지 이다. 비가 이보다 더 커지면 탄성 버클링(buckling)이 생기기 쉽고 이보다 더 작으면 시험편 하중을 전달하는 장치 사이에 마찰효과가 나타난다. 이러한 시험편의 형상은 작은 양의 재료만 사용 가능하거나 가공이 어려울 때에 적합하다.

환경의 영향

Creep 파단 시험에 이상적인 조건은 시험편이 가하여진 응력과 온도에만 영향을 받는 상황이다. 이러한 경우는 실제 거의 일어나지 않고 특히 고온에서는 더욱 일어나지 않는다. 또한 이러한 조건은 크리프 조건하에서 사용되는 실제 재료에 대해서도 거의 일어나지 않는 상황이다. 예를 들어 터빈 블레이드(blade)는 계속적으로 고온의 반응성이 있는 기체에 노출되어 부식과 산화가 일어난다.

시험환경과 재료 사이의 반응은 눈으로 감지할 수 없는 작은 효과로부터 큰 규모의 효과에 이르기까지 매우 다양하다. 예를 들어 알루미늄, 철-크롬-알루미늄, 니켈-크롬과 니켈을 주로 한 초합금은 고온의 공기 중에서도 별로 문제가 되지 않는다. 이것은 이러한 재료가 얇은 안정된 보호 산화막을 생성하기 때문이다. 한편 이러한 상황과 판이하게 다른 것이 몰리브덴, 니오비움, 니오비움, 탄탈륨과 텅스텐과 같은 내화금속과 그들의 합금인데 이들은 산소와 반응하여 다공질이며 어떤 경우는 휘발성이 있는 산화물을 형성하기 때문이다. 산화나 부식과 같은 환경요인은 실제 하중을 받는 단면적을 감소시키고 또한 균열의 생성과 성장을 촉진할 수 있다. 진공과 같은 반응이 없는 환경이나 환원 분위기에서도 반응이 일어날 수 있다. 진공에서의 고온 시험은 합금 원소 중 휘발성이 있는 원소의 손실을 초래하여 강도가 낮아진다. 환원 분위기에 노출되면 침입형 고용체 원자(탄소, 수소, 질소)가 흡수되어 강도는 증가 할 망정 취성이 증가한다.

모든 Creep 시험에 대하여 완전한 환경조건은 존재하지 않는다. 재료나 사용 목적 등을 고려하여 환경효과를 최소화할 수 있도록 적절히 선택하여야 한다. 만일 Creep 기구를 규명하고자 한다면 분위기는 될 수 있는 대로

반응이 없는 것이어야 하고 어떤 재료가 반응이 있는 분위기에 실제로 사용된다고 하면 Creep 파단시험에서 그러한 분위기 효과를 반영하여야 할 것이다.

반응이 없는 분위기에서 얻은 Creep 파단시험의 데이터는 산화가 심한 조건에 노출이 되는 재료를 디자인하는데 사용할 수 없다. 그러나 산화방지 혹은 부식 방지 코팅과 같은 환경 보호방법이 사용 가능하다면 반응을 하지 않는 가스에서의 시험 데이터는 디자인에 사용할 수 있다.

시험환경과 시편 사이에 반응이 일어난다면 이러한 경우의 Creep 파단 데이터는 재료의 참된 Creep 성질을 나타내지 않을 것이다. 환경효과가 중요한 경우에 있어서는 측정데이터가 Creep 와 환경효과 사이의 복잡한 상호작용을 나타낸다.