

工學碩士學位論文

特殊構造用 SI鋼의 Creep壽命에
관한 研究

指導教授 朴卿東

이 論文을 學位論文으로 提出함



2004년 8月

釜慶大學校 産業大學院

機械設計學科

文海元

이 論文을 柳燦旭의 工學碩士
學位論文으로 認准함

2004年 8月

主 審 教授 河 萬 景



委 員 教授 金 南 植



委 員 教授 朴 卿 東



목 차

제 1 장 서 론	1
제 2 장 탄소강의 기본개요	3
2.1. 탄소강의 성질	3
2.2. 탄소강의 용도	7
제 3 장 시험재료	9
3.1. 시험재료의 특징 및 선정요인	9
3.2. 시험편	12
제 4 장 크리프 파단시험	15
4.1. 크리프 시험의 개요	15
4.1.1 크리프시험의 중요성	15
4.1.2 크리프의 개요	17
4.1.3 단기 가속 크리프 시험	20
4.2. 400℃에서의 크리프 변형률과 시간관계	23
4.2.1 크리프응력 350MPa의 관계	23
4.2.2 크리프응력 370MPa의 관계	24
4.2.3 크리프응력 400MPa의 관계	25
4.2.4 400℃에서의 각 응력에서 크리프변형과 시간관계	26

4.2.5 400℃에서의 크리프응력과 수명과의 관계	27
4.3. 500℃에서의 크리프 변형률과 시간관계	28
4.3.1 크리프응력 150MPa의 관계	28
4.3.2 크리프응력 200MPa의 관계	29
4.3.3 크리프응력 240MPa의 관계	30
4.3.4 크리프응력 260MPa의 관계	31
4.3.5 500℃에서의 각 응력에서 크리프변형과 시간관계	32
4.3.6 500℃에서의 크리프응력과 수명과의 관계	33
4.4. 600℃에서의 크리프 변형률과 시간관계	34
4.4.1 크리프응력 60MPa의 관계	34
4.4.2 크리프응력 70MPa의 관계	35
4.4.3 크리프응력 90MPa의 관계	36
4.4.4 600℃에서의 각 응력에서 크리프변형과 시간관계	37
4.4.5 600℃에서의 크리프응력과 수명과의 관계	38
4.5. 400℃, 500℃, 600℃의 크리프 응력과 수명의 비교	39
4.6. 크리프 시험 파단면 고찰	42
 제 5 장 결 론	 44
 참고문헌	 46
 Abstract	 47

제 1 장 서 론

기계부품소재로서 금속재료는 그 쓰이는 용도에 따라 적절한 선정이 그 기계의 성능을 좌우하는 첫걸음이라 할 수 있다. 아무리 기계설계를 잘 하였더라도 일차적으로 재료설계를 잘못하면 기계의 성능을 설계대로 발휘할 수 없고, 적절한 재료를 설계하였다하더라도 열처리 등의 처리가 적절치 못하면 그 역시 설계성능을 발휘할 수 없다. 이처럼 설계과정 중 적절한 재료를 선정하는 것은 재료를 선정하는 설계의 성공과 관련하여 매우 중요한 결정과정이다.

이 선정과정이 매우 중요하고 어려운 일이라고 생각되는 이유는 현재 사용되고 있는 금속재료의 수가 약 40,000종에 달하고 또한 금속재료가 아닌 다른 재료의 종류도 역시 그와 비슷한 수치에 가까운 현실을 감안하면 쉽게 이해될 수 있다. 재료를 잘못 선정한 경우 부품 또는 장치의 파손의 위험뿐만 아니라 제품가격의 상승을 초래할 수 있다. 최적의 재료를 선정한다는 것은 사용상의 성능을 보장할 수 있다는 것 외에 제품 생산을 위한 올바른 생산공정과 관련된 여러 이득을 생각할 수 있다. 고로 잘못된 재료선정은 생산공정의 비용을 증가시켜서 제품의 단가를 상승시키는 요인이 되며 제품이 제 기능을 발휘할 수 없게 할 수 있다. 이와 같은 이유 때문에 재료선정의 기준은 제품의 성능과 관련된 재료의 특성과 생산공정에 관련된 가공성을 동시에 고려하여 결정하여야 한다.⁽¹⁾

금속재료설계의 기본은 경제적인 면과 기술적인 면을 고려하여 선정한 후보재료의 경험에 따른 신뢰도, 수급상황 등등의 여러 측면의 면밀한 검토에 의해 최적재료를 선정하는 것이다. 하지만 대부분의 경우에 있어서 재료선정이 과거의 경험에 의하여 이루어지는 경우가 있으나, 과거의 경험이 완전한 해답이 될 수 없는 경우가 많이 있다. 왜냐하면 과거의 재료선정은 성공적인 설계를 위하여 그렇게 중요하게 고려되지 않았으며 과거에는 재료의 종류가 그렇게 많지도 않았고 특성도 다양하

지 않았기 때문에 단지 재료편람의 제한된 자료를 이용하여 선정하는 것이 상례인 경우가 있었기 때문이다. 그러나 현대에는 아주 간단하고 분명한 설계이외에는 이러한 재료선정방법이 용납되지 못하는 것이 보통이다.

최첨단 우주 항공 산업 또는 에너지 관련 산업의 경우 올바른 재료선택이 그 부품 또는 장치의 능력 상한선을 결정짓고 있기 때문이다. 또한 날로 치열해지는 작금의 세계적 정치, 경제환경을 극복하기 위해서는 수출 대상국의 관련규격을 올바르게 파악하는 것이 무엇보다도 중요하다 하겠다. 왜냐하면 각국의 규격제도가 무역상 기술장벽을 교묘히 활용되고 있기 때문이다. 하지만 제품의 성능이 그렇게 중요하지 않은 제품의 경우 가격이 싼 재료를 이용하여도 같은 성능이 얻어지는 경우 제품의 가격을 절감하기 위해 저렴한 재료를 선정할 필요가 있다.

실무경험이 많은 기술자가 재료설계에 있어서 이와같은 여러 가지면에서의 경험에 비추어 바람직한 설계를 하지만 경험이 부족한 초심자라도 재료에 대한 올바른 이해와 지식을 가지면 큰 착오없이 적정재료의 설계가 가능하다.

본 논문에서 실험재료로 사용된 강재는 최고 600℃의 고온에서 Pb(용융점 327.4℃)와 Zn(용융점 419.5℃)을 용융 상태로 유지하는 용융로로 사용되는 재료이다. 때문에 고온 사용환경을 감안하여 충분한 인성과 연성을 확보하기 위해 강도가 저하됨에도 불구하고 탄소와 규소의 함유량을 극소로 낮춘 재질로서 저렴한 생산가격으로 고온에서의 사용목적과 외부에서 가해지는 열원을 손실 없이 전달할 수 있는 성능을 만족시키는 것에 목적을 두었다.

본 논문에서는 기초적인 재료시험과 크리프실험을 통해 이 강재의 기계적 특성 및 고온 크리프 특성을 알아보고 또한 데이터의 외삽을 통한 크리프 수명예측을 통해 설계 및 보수관리에 도움이 되고자 하였다. 이러한 연구결과가 현장에서의 생산비의 절감과 더불어 보수주기의 장기화를 통해 국내시장에서의 경쟁력을 갖추고자 한다.

제 2 장 탄소강의 기본개요

2.1. 탄소강의 성질

금속은 크게 철과 비철로 나누어지고, 철은 함유된 탄소량에 따라 세분화된다. 철과 탄소의 합금 중 탄소량이 0.04~2.1(wt%) 정도인 것을 강이라 부르고, 그 이하는 ‘철’ 그 이상은 ‘주철’이라 한다.

탄소강은 철과 탄소를 주성분으로 하는 강이며, 탄소강의 성질은 기본적으로 탄소조성에 의해서 결정되며, 탄소량이 일정해도 가공상태나 열처리조건에 따라서 그 성질은 현저하게 변화된다.

3.1.1. 물리적 성질과 화학적 성질

강은 페라이트와 시멘타이트(Fe_3C)로서 이루어진 혼합조직을 갖고 있고, 이 조직의 혼합비율은 탄소량에 의해서 결정되기 때문에 탄소강의 물리적 성질은 탄소량에 따라 직선적으로 변화된다. 탄소강의 비중, 열팽창계수 및 열전도도는 탄소량이 증가함에 따라서 감소되지만, 비열, 전기저항 및 항자력은 증가된다. 한편 탄소강의 내식성은 탄소량이 증가될수록 감소하고, 소량의 Cu가 첨가되면 내식성이 향상된다.

3.1.2. 기계적 성질

탄소강의 기계적 성질은 탄소함량에 따라 변한다. 그 원인은 페라이트, 시멘타이트 및 펄라이트의 기계적 성질과 관련되어 있다. 즉 페라이트는 극히 연성이 크고 인장강도는 비교적 작다. 그리고 시멘타이트는 매우 경도가 높고 취약하여 인성은 거의 없으며, 펄라이트는 페라이트에 비해서 인장강도가 크고 경도가 높다. 따라서 아공석강에서 탄소량에 따라서 인장강도 및 경도가 증가되는 것은 펄라이트량의 증가에 기인한다는 것을 표로부터 짐작할 수 있고, 또한 과공석강에서 연신율이 감소하는 것은 연신율이 거의 0 인 시멘타이트 때문이라는 사실을 알 수 있다. 경도, 인장강도, 항복점 등은 탄소함량과 더불어 증가하여 공석강(0.8% C)에서 최대가 되고, 연신율, 단면수축율 및 충격값 등은 탄소함량의 증가에 따라 감소한다. 따라서 저탄소강일수록 가공성이 우수하다.

탄소강의 인장강도와 경도는 온도가 올라가면 약 100℃ 부근에서 상온 때보다 약간 낮아지고, 200~300℃에서 가장 높으며, 그 이상의 온도에서는 급격히 떨어진다. 또, 연신율은 200~300℃에서 최소값을 나타내고, 온도가 상승함에 따라 그 값은 증가한다. 충격값은 400~500℃ 부근에서 가장 낮다. 탄소강은 200~300℃ 부근에서 단면 수축율과 연신율이 상온보다 낮아지고, 인장강도와 경도가 커져서 깨지기 쉽게 되는데, 이 온도는 연마한 철강의 표면이 청색으로 변하는 온도에 해당하므로 이때의 메짐을 청열취성(blue shortness)이라 한다. 일반적으로 이러한 원인은 질소의 영향으로 알려져 있다. 철강이 함유되어 있는 S의 양이 많을 때 또는 Mn 함량이 적을 때, 황은 철과 결합하여 FeS를 생성하여 약 950℃ 전후의 고온에서 적열취성(red shortness)을 일으킨다. 또, 상온에서 충격값이 매우 낮고 취성이 있는 성질을 상온취성(cold shortness)이라고 하는데, 이는 철강에 P가 함유된 경우에 나타난다.

3.1.3. 탄소강의 성질에 미치는 원소의 영향

강중에는 제강(製鋼)과정에서 강의 제성질을 향상시키기 위해 고의로 첨가한 합금원소도 있지만, 이 이외에 선철(銑鐵), scrap 등의 원료로부터 혼입되는 미량의 잔류원소도 존재하는데, 이러한 잔류원소들이 강의 성질에 미치는 영향도 무시할 수 없다. 이러한 잔류원소들 중에서 Cu, Ni, Co, Sb, As, W, Mo, Sn 등은 제강시에 거의 제거할 수 없는 원소로서 강에 치환형으로 고용해있고, 강의 성질을 변화시키기 위해서는 비교적 다량첨가가 필요하다. 또한 C, H, N 등의 원소들은 제강시 일부 제거할 수 있는 원소들로서, 강에 침입형으로 고용해서 미량존재로도 강의 성질에 큰 영향을 미친다. 이러한 불순물들은 대개 미량 함유되어 있으나 탄소강의 성질에 영향을 주는 경우가 있는데 여기서는 시험편에 포함되어 있는 성분을 중심으로 각 원소별의 영향을 보면 다음과 같다.⁽²⁾

i) 규소(Si)

Si는 선철 및 탈산제로부터 함유되기 쉬운 것으로 보통강에 0.3% 정도 까지 함유되어 있다. Si는 보통 페라이트 중에 전부 들어가 고용체를

만들게 되므로 큰 영향은 없으나 강의 인장강도, 탄성한계, 경도를 증가시키나 탄화물과 석출물의 응집 조대화를 촉진시켜 재료의 인성을 저하시키고 연신율과 충격값이 감소되어 강을 취약하게 만든다. ⁽³⁾

또한 이것은 결정립자를 조대화 시키고 단조결합성을 감소시킨다. 그러나 규소가 1%이하로 함유될 경우 강도는 증가하나 연신율은 거의 변하지 않아 탄소강의 성질에 큰 영향을 주지 않으나 강판, 박판, 세선 등을 제조할 경우 냉간 가공하게 되므로 Si가 함유되어 있으면 가공경화가 일어나 그만큼 가공하기 힘들고 로울, 다이스 등의 소모도 빠르다.

따라서 상기의 것들을 제조하는데 사용되는 Si를 탈산제로 사용하지 않는 것이 좋다.

ii) 망간(Mn)

Mn은 선철중에 존재할 수 있고 또한 탈산제로부터 함유되기 쉬운 것으로 보통강에 0.2%로부터 최고 1%까지 함유할 수 있다. Mn의 일부 분은 α -Fe중에 고용되고 나머지는 S와 결합하여 MnS를 형성하는데 이것은 결정입내에 산재하게 된다.

또한 Mn은 강의 변태점을 낮추는데 0.4~0.6% 정도 Mn이 함유될 경우 A_1 점은 720°C(순Fe-C 726°C)로 낮아져 퀴칭성을 좋게 하여 경화능이 좋아진다. 고온에서 결정의 성질 즉 결정이 조대해지는 것을 감소시키고 어느 정도까지 강의 연신율을 감소시키지 않으며 경도와 강도를 증가시킨다.

또한 강의 점성을 증가시켜 열간가공이 용이하나 냉간가공에는 나쁜 영향을 주고 공구강에서는 퀴칭균열이 생기기 쉬우므로 공구강을 제조하는데 사용되는 강은 Mn의 함유량을 0.2~0.4%정도로 조정할 필요가 있다. 그러나 유냉으로 퀴칭할 경우에는 Mn의 함유량을 약간 높게 하여도 무방하다.

iii) 인(P)

P은 유해한 원소로서 광석, 연료 등을 통하여 강중에 함유될 수 있는 것으로 제강작업시 탈인작업을 철저히 한다고 하나 보통 0.02%~0.08% 정도 함유될 수 있다.

강중의 P은 Fe의 일부분과 결합하여 인화철(Fe_3P)이라는 화합물을 만드는데 이것은 입계편석하여 재료를 취약하게 만든다. 또한 이 인화철은 확산속도가 대단히 늦어서 어닐링 처리하여도 없어지지 않고 띠모양의 조직으로 남게 된다. 이와 같은 띠모양의 조직은 P이 편석을 이루고 이 편석을 이룬 강은 소성가공할 경우 가공방향으로 페라이트가 층상을 이루며 배열하는 조직으로 충격치를 감소시켜 파괴의 중심이 된다.

P의 성분이 증가할수록 강도 및 경도는 증가하나 연신율은 감소하며 특히 충격값은 현저히 감소한다. 또한 이 충격값은 상온에서 급격히 감소하여 강을 취약하게 만드는데 이것을 상온취성(cold brittleness)이라고 한다. 그러나 온도가 높게되면 인성을 갖게 되어 취성을 염려할 필요가 없으므로 고온도에서의 단조, 압연 등의 가공을 할 경우 아무런 지장이 없다. 이것은 취성에 있어서 S과 다른 것이다.

P의 영향은 C의 함유량과도 밀접한 관계가 있는데 C의 함유량이 많을수록 P의 영향은 커진다.

상기의 Fe_3P 은 MnS 또는 MnO 등과 같이 모일 수가 있는데 이것은 소성가공시 긴 띠모양으로 나타나 고스트라인이라는 파괴의 원인이 되는 결합을 만들게 된다.

iv) 황(S)

선철제조시 연료로 코크스 등이 사용되기 때문에 S이 함유될 수 있다. 그러나 강과 제조시 Fe-Mn으로 탈산시켜 주는 관계로 Mn이 함유되고 Mn이 있으면 S은 MnS이 되는데 이것은 가볍기 때문에 대부분 용강의 표면으로 떠올라 슬래그로 제거된다.

그러나 만약 강중의 Mn이 충분하지 못하여 S이 남게되면 이것은 FeS이 되어 Fe과 공정을 만들어 입계에 층상으로 분포되기 쉽다.

이러한 상태로 분포된 황은 0.02% 정도 이상만 되어도 인장강도, 연신율, 충격값 등을 감소시킨다.

특히 FeS는 용점이 낮기 때문에 열간 가공시 파괴의 원인이 되는데 이것을 적열취성(red brittleness)이라고 한다. 따라서 실용되고 있는 강재의 S 함유량은 보통강은 0.05% 이하로 고급강에서는 0.02% 이하로 제

한하고 있다. 그러나 Mn이 충분히 첨가되어 S이 MnS로 되면 이것은 용접이 높고 점성이 좋기 때문에 적열취성이 방지된다.

2.2. 탄소강의 용도

구조용 강재중 압연 강재는 기계 구조물 이외에 건축, 교량, 차량 등의 일반 구조물용으로 사용된다. 압연강에는 용접성, 연성 등을 고려하여 저탄소강이 사용된다.

2.2.1. 일반 구조용 압연강재

일반구조용 압연강재(KS D3503 - 98)는 구조용 강에서 그 사용량이 가장 많은 열간 압연 강재로 SS재(Steel Structure)라 불린다. 주로 림드강(rimmed steel)을 열간 압연으로 강판, 강대, 평강, 형강, 봉강 등으로 가공한 것이다.

SS재는 언제나 압연상태의 것을 기계가공해서 열처리 없이 사용된다. SS재의 단점은 단조성이 나쁘고 전이온도가 높으므로 단조할 때에는 주의하여야 하며 저온용 재료로는 적당하지 않다. 또 용접성도 보장할 수 없으므로 두꺼운 판의 용접을 피하는 것이 좋다. SS재의 인장강도, 항복점(내력) 등의 기계적 성질은 정해져 있으나 P, S 이외의 화학조성은 SS554 이외에는 규정되어 있지 않다.

SS재의 탄소량은 강종에 따라 다르나 0.30% 이하로 한다. SS540은 고장력강 중에 포함되어 사용되는 경우가 많다. SS330는 용접성과 가공성은 우수하나 강도가 떨어져 많이 사용되지 않는다. 그러나 SS400은 SS재 중에서 가장 많이 사용된다. 즉 교량, 건축물, 선박, 차량 등의 구조용 재료 외에도 비교적 강도가 요구되는 볼트, 너트, 핀, 작은 축 등의 기계요소 재료로 사용된다. 또, SS490과 540은 탄소량이 비교적 많아서 용접성이 떨어지므로 리벳이나 볼트 결합철골 구조물용으로 사용된다.

2.2.2. 용접구조용 압연강재

용접구조용 압연강재의 형상, 용도는 일반구조용강과 거의 동일하나 특히 용접성을 고려한 열간 압연강재이다. 용접부의 취성과 저온취성이

문제될 수 있는 건축, 교량, 선박, 차량, 석유저장 탱크 등의 용접 조립용 일반구조용재로 널리 사용된다. 용접구조용재로 사용하기 위해서 C량의 상한을 제한하여 용접성을 높이고, 그 대신 필요한 강도를 얻기 위해 Si, Mn을 탄소강 이상으로 첨가한다.

화학적분배에 대한 일반적인 경향은 0.2% C이하, 1.5% Mn이하, 0.55% Si이하로 조정하여 강도를 확보하고 있다. Mn은 용접할 때 침입하는 산소와 결합하여 탈산작용을 함과 동시에 결정립을 미세화하고 페라이트를 강화하는 작용을 한다. 최근 기계구조물의 용접화가 진전되면서 용접성이 우수한 강재의 중요성이 요구되고 있다. 따라서 용접구조용 강재는 고장력강에 포함되거나 그 기초가 된다고 볼 수 있다.

제 3 장 시험재료

3.1. 시험재료의 특징 및 선정요인

재료선택을 확실하게 잘 하는 방법은 어느 것이라고 분명히 말하기가 어렵다. 왜냐 하면, 수없이 많은 재료들을 비교하는 것이 어렵고 또 그 나름대로 장단점을 갖고 있기 때문에 어느 하나의 용도에 절대적으로 우수한 재료 하나를 선정하는 것은 극히 어려운 일이다. 또 어느 재료의 경우에는 모든 성질을 알 수 있는 충분한 시험 결과가 보고되지 않아서 비교가 근본적으로 불가능하기 때문이다. 따라서 혁신적으로 새로운 재료를 선정하여 사용하려는 경향보다는 기왕에 나와 있는 유사 제품에 사용된 재료들이 어떤 것이면 그들이 사용 시 어떠한 실적을 나타내었는지를 검토한 후 그 결과에 준하여 재료를 선택하는 것이 일반적이다. 보다 더 일반성 있고 분석적인 재료선택을 위해서는 다음과 같은 지수를 고려한 다음에 선정해야한다.

1. 가격대비 성능지수, 경량화 특성지수,
2. 가치분석 및 결함 분석, 장점대비 가격 분석

설계의 성능을 결정하는 것이 재료의 주요 성질에 달려 있고 또 이 우수 성질은 재료의 가격과 밀접한 관계가 있기 때문에 가격이 매우 중요한 것이다. 또한 그 재료로 제작된 부품 또는 제품이 사용 중 어떠한 이유로 파손되는지를 알아 본 후 이 조건에서 파손되지 않을 재료를 선정하는 것도 중요하다. 아무리 재료의 특성을 잘 알고 또 요구되는 성능과 사용 조건을 잘 안다고 하여도 재료가 감당하여야 할 능력에는 어느 정도의 불확실성이 상상 존재하기 때문이다. 복잡한 설계와 제조 공정 상에서 직면하게 되는 위험 요인들은 프로그램 일정, 가격, 생산성, 성능, 유지능력, 수리능력 그리고 생존능력 등이다. 파손이 되면 후유증이 대단히 심한 고성능의 시스템의 경우 결함분석에 근거를 둔 재료선택이 매우 중요한 사항이 될 수 있다.

이 논문에 취급되는 재료도 강도를 높이자면 Ni, Cr 같은 고가의 합금 원소를 첨가하거나 Quenching, Tempering 같은 열처리를 통하여야 한다. 그러나 합금의 가격은 합금을 구성하는 첨가요소들의 구성비에 따

른 각각의 원소의 가격에 의하여 결정되는 것이 아니라 오히려 어느 특
정의 불순물의 함량을 어느 수준까지 낮게 유지하도록 하는가에 달려
있을 때가 흔히 있다. 고온용 기계, 구조물에서는 온도상승에 따른 열팽
창이 일어나면 열응력이 생겨 부재에 균열이 발생해서 파괴되는 일이
있다. 이와 같은 현상은 취성 재료에서는 열충격파괴, 연성 재료에서는
열피로파괴로 나타난다. 열전도도가 작으면 같은 부재내에서 온도와 불
균일이 생기기 쉽고 열팽창계수가 큰 재료에서는 열응력이 일어나기 쉽
다.⁽⁴⁾

열팽창계수는 온도상승에 따라 점차 크게 된다. 탄소강에 합금원소를
첨가하면 감소하나 Austenite stainless 강에서는 탄소강보다 크게 된
다.

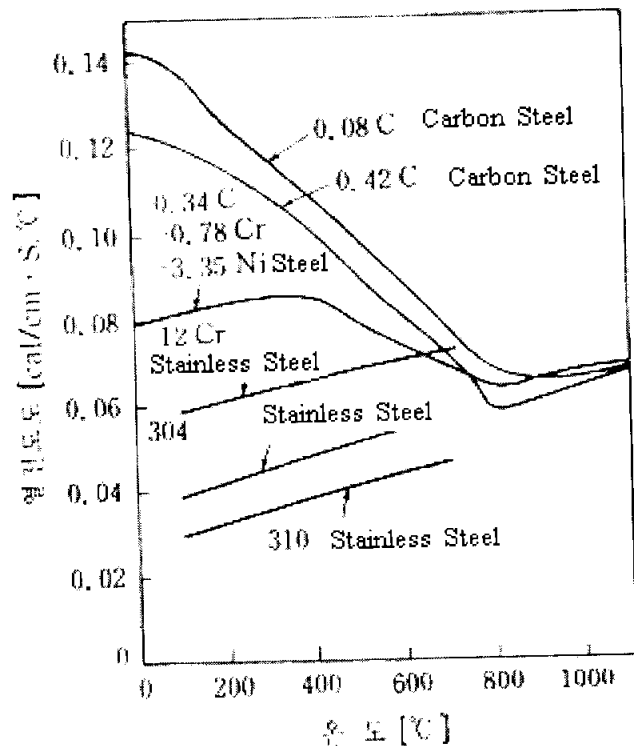


Fig. 1 Correlation between heat conductivity and high temperature

열전도도는 Fig. 1에서 보듯이 합금원소가 첨가되면 낮아지고 상온에서는 강종에 따라 차이가 크나 고온이 되면 그 차이는 적어진다. 탄소강에서는 변태점까지는 온도상승에 따라 열전도도는 낮아지나 Austenite stainless 강에서는 반대로 증가한다. 이와 같이 Austenite stainless 강은 탄소강에 비하여 열전도도가 작고 또 열팽창계수가 크므로 고온에서 사용할 때는 열응력의 발생에 대한 대책을 강구하여야 한다. ⁽⁵⁾

따라서 저렴한 생산가격과 고온 사용환경에서의 충분한 연성확보, 열원의 손실 감소, 열팽창의 영향 감소 등의 복합적인 이유로 이 아연도금로제작용강을 재료로 선택하여 사용하게 되었다.

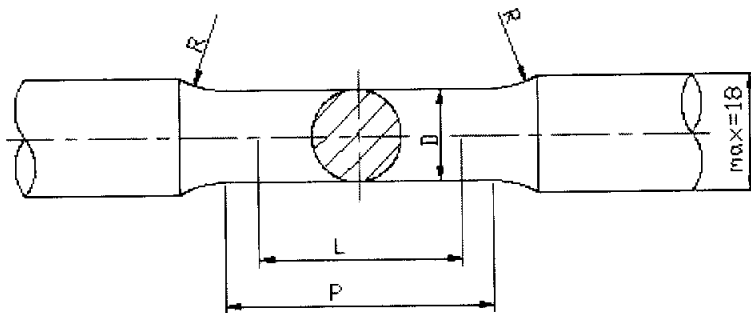
3.2. 시험편

본 연구에 사용된 시험편은 국내 중소기업에서 아연 도금로(Zinc Pot) 제작용으로 탄소와 규소의 함유량을 극소로 낮추어 주문제작한 강이며 이 재료의 화학적 성분은 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical composition of specimen (wt., %)

C	Si	Mn	P	S
0.0421	0.024	0.28	0.008	0.003

Fig. 2는 인장강도를 측정하기 위한 시험편으로 한국공업규격 금속 재료 인장 시험편(KS B 0801 제 4호)의 기준에 따라 가공하였다. 아연 도금로의 제작을 용이하게 하기 위해 bending을 실시한 방향인 T-S 방향으로 채취하였다. 그리고 시험편의 평행부내에서 파단을 유도하기 위해 시험편의 정 중앙부에 0.2mm의 노치를 주어 실제 시험편의 직경은 13.6mm로 하여 시험하였다.^(6,7)



L=50mm

Diameter D=14mm

Total length ≥ 250 mm

Parallel part P $\approx$ 60mm

Rounded Diameter R=15mm,

Fig. 2 Demension of specimen

Fig. 3은 크리프 시험을 위한 시험편의 실제사진 및 규격을 나타낸 것이다.

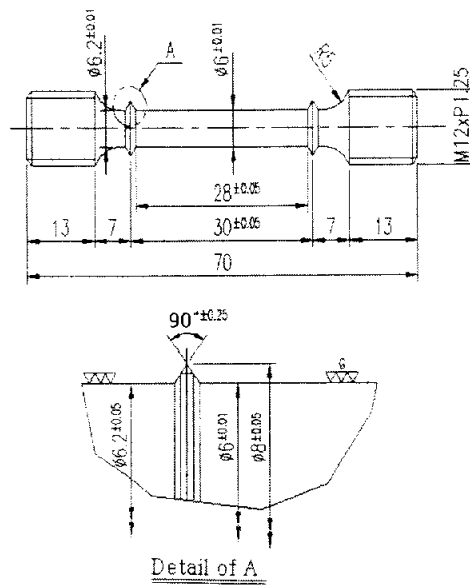
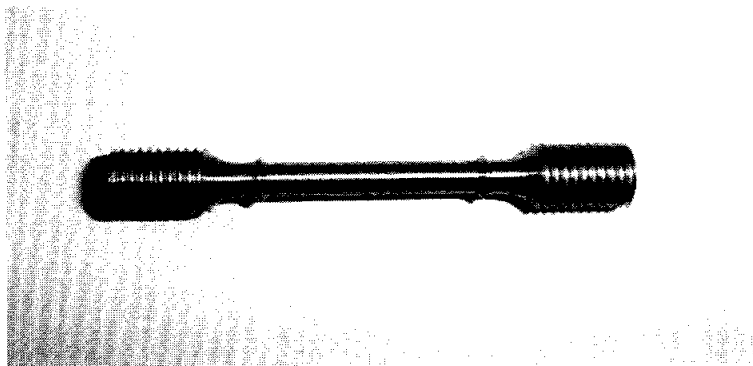


Fig. 3 Picture and dimension of creep specimen

인장시험은 만능재료시험기인 UH-F100A(100 ton, Shimadzu Co.)를 사용하여 하중속도 2mm/min로 실온에서 position제어방식으로 길이방향 인장 시험하였다. 게이지 간격 50mm의 연신률 측정장치 extensometer ST50-50-25(Shimadzu Co.)를 시험편의 평행부에 부착하여 변형량을 측정하였다. 실험 후 얻은 응력-변형률 그래프와 기계적 성질의 결과를 Fig. 4과 Table 2에 각각 나타내었다.

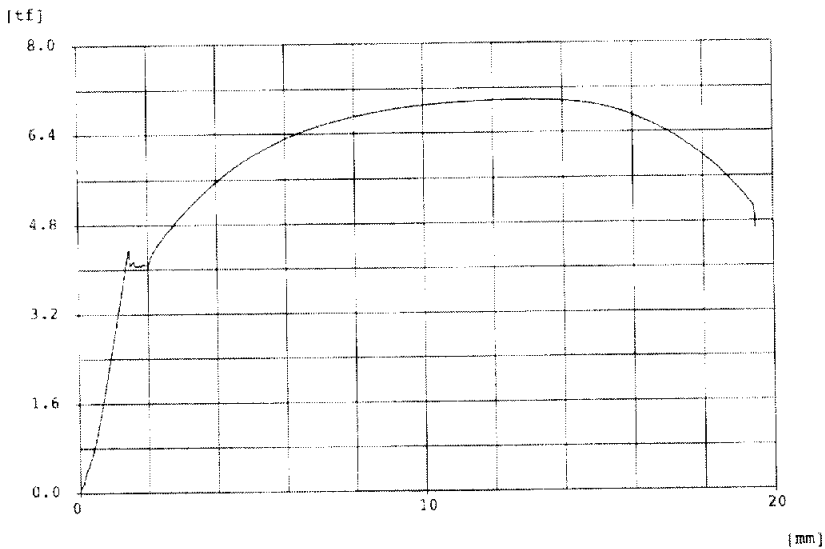


Fig. 4 Stress-strain curve the specimen

Table 2. Mechanical properties of specimen

tensile Stress (MPa)	yield Stress (MPa)	elongation (%)
471.61	293.86	31.35

제 4 장 크리프 파단시험

4.1. 크리프 시험의 개요

4.1.1 크리프 시험의 중요성

금속, 요업재료 그리고 고분자재료에 있어서 온도가 절대온도로 그 재료의 용점의 40 % 이상이 되면 시간이 경과함에 따라 소성변형이 일어난다. 이때 재료가 주어진 하중 하에서 계속 유지되면 그 응력이 항복강도 보다 크거나 작거나에 관계없이 재료는 일정 기간에 걸쳐 소성변형이 일어난다. 이러한 상황에서의 소성변형을 크리프라고 하며 이러한 크리프 값이 고온에서 사용되는 재료의 선택에서 가장 중요한 인자가 되고 있다.

고온에서는 조직이 시시각각 변화하는 것이 보통이기 때문에, 비록 단 시간 측정하여 얻어진 크리프율은 작을지라도 장시간 동안 측정하면 크리프율이 커지는 경우가 있다. 따라서 고온에서 부하되는 재료의 변형저항은 크리프 실험에 의해 구해야 한다. 용융점이 낮은 금속, 예를 들면 Pb, Cu 등의 순금속 및 연한 경합금 등은 상온에서도 크리프현상이 나타난다. 그러나 철강 및 강력한 경합금 등은 250℃ 이상의 온도가 아니면 현저한 크리프 현상이 나타나지 않는다. 최근에 발달된 제트기관, 로켓, 증기터빈, 가스터빈 등은 450℃ 이상의 고온상태에서 재료가 사용되고, 또한 화학공업에서도 대단히 높은 고온 및 고압에서 사용되는 일이 많다.

예를 들면, 제트 엔진에 사용되는 터어빈 블레이드에 크리프변형이 일어나면 회전하는 블레이드의 길이가 늘어나서 터어빈의 벽을 치게 되어 블레이드가 휘게 되거나 파손이 된다. 또한 핵 연료 봉합 재료에 크리프 변형이 조금만 일어나도 봉합이 파손되어 핵 연료를 둘러싸고 있는 냉각시스템에 방사능이 채워지게 된다. 또 다른 예로 고압 증기관에 대

규모 크리프가 일어나면 관에 균열이 생겨 결국 증기의 공급이 중단되게 된다. 따라서 대부분의 고온에서 사용되는 구조재료의 설계는 그 재료의 크리프 성질에 의하여 지배된다. 고온 구조재료의 설계의 기준은 크리프 변형의 허용되는 양 만큼 변형이 일어나는데 소요되는 기간이 그 재료의 수명보다 짧아야 된다는 것이다. 재료의 수명은 로켓 노즐의 경우 몇 분밖에 되지 않고 제트 엔진의 터빈 블레이드의 경우 수천 시간이고 고압 증기관의 경우는 수십만 시간이다.

그러므로 크리프 현상은 중요한 공학의 문제로 등장하고 있다. 또한 크리프 시험은 고온에서 재료의 변형기구를 해명하는 방법으로서도 널리 행해지고 있다. ⁽⁸⁾

4.1.2. 크리프의 개요

재료에 어떠한 일정한 하중을 가하고 어떤 온도에서 긴 시간동안 유지하면 시간이 경과함에 따라 변형이 증가된다. 이 현상을 크리프라고 하며, 그 결과로서 일어나는 파괴를 크리프파단(rupture)이라고 한다. 크리프 변형을 ϵ 이라 하고, 시간을 t 로 하였을 때, $d\epsilon/dt$ 를 크리프율 (또는 크리프속도)이라고 한다.

크리프 변형은 일반적으로 응력이나 온도가 증가함에 따라 크리프 변형률이 증가하면서 Fig. 5 과 같은 거동을 보인다.

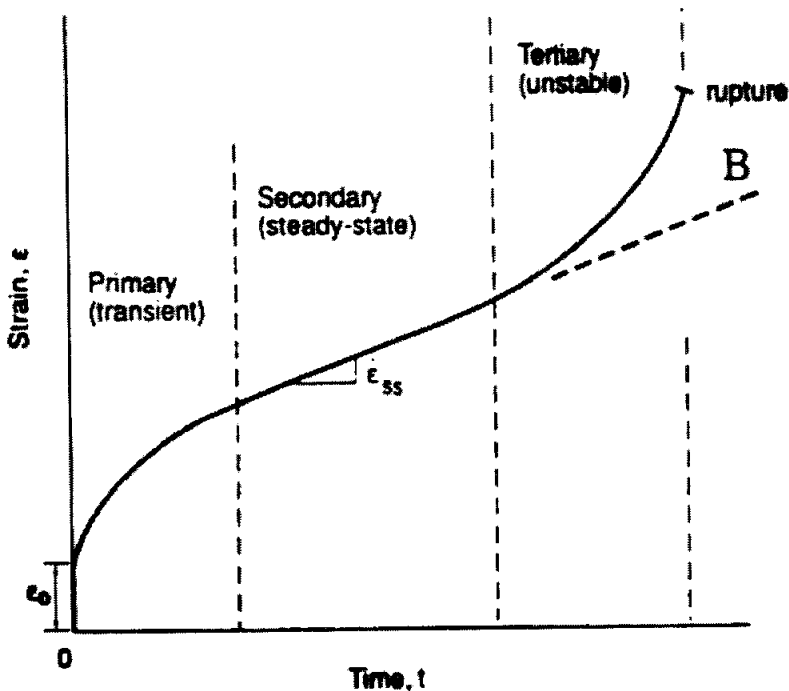


Fig. 5 Typical creep curve showing the three steps of creep

이것은 변형률 속도의 변화에 따라 1차, 2차, 3차 크리프 구간으로 나눌 수 있는데, 1차 크리프(Primary creep)은 과도 상태 크리프(transient creep)이라고도 하며 하중을 가한 후 변형률이 증가함에 따라 변형률의 속도가 감소하는 구간을 나타낸다.

변형률의 증가와 관계없이 일정한 변형률 속도를 가지는 구간을 2차 크리프(Secondary creep) 또는 정상 상태 크리프(steady state creep)라고 한다. 변형률이 계속 증가함에 따라 변형률 속도가 다시 증가하여 파괴가 발생하는 구간을 3차 크리프(tertiary creep)이라고 하며 각 구간은 서로 다른 크리프 발생 기구를 가지고 있다.

이 중에서 2차 크리프는 파괴가 발생하기까지 광범위한 변형률 구간에 걸쳐서 관찰되므로 구조용 부품의 설계와 같은 공학적 응용의 관점에서 많은 관심을 불러일으키고 있다.

이러한 2차 정상 상태 크리프를 정의하는 중요한 인자가 크리프 변형률 속도이며, 크리프 속도에 미치는 주요 인자는 응력과 온도이다.

응력 변화에 따른 정상 크리프 속도는 전위에 의한 크리프와 확산에 의한 크리프로 분류 할 수 있는데 확산 크리프는 낮은 응력하에서 발생하는 것으로 알려져 있다. 이러한 크리프를 나타내는 대표적인 식으로 Norton의 식이 있다.

$$\dot{\epsilon} = A \sigma^n \dots\dots\dots (1)$$

여기서 A와 n은 응력에 무관한 상수이나, 응력이 매우 높은 상태에서 의 크리프 변형률 속도는 Norton식보다 높게 나타난다. 이러한 크리프의 특성을 고려하여 Garofalo가 제안한 식을 사용하기도 한다.

$$\dot{\epsilon} = A (\sinh a\sigma)^n \dots\dots\dots (2)$$

크리프는 온도의 영향이 크며 이를 고려하여 Arrhenius 계수를 이용한다. Arrhenius 계수를 고려한 식을 나타내면 다음과 같은 식이 된다.

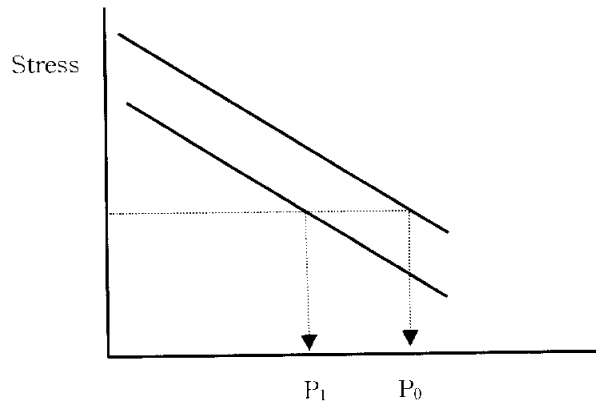
$$\dot{\epsilon} = A \sigma^n \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \dots\dots\dots (3)$$

위의 식이 응력과 온도에 따른 크리프 변형률의 관계식이다.^(9~11) 여기서 Q는 활성화 에너지, R는 기체상수, T는 절대온도로 나타낸 시험온도이다. 크리프율은 절대온도의 상승과 함께 지수함수적으로 증가하기 때문에 온도에는 세심한 주의가 필요하다. JIS에서는 300~600℃에서 ±4℃, 800~1000℃에서 ±6℃ 이내의 정도가 요구된다. 따라서 시험편의 직경과 온도제어에는 세심한 주의가 필요하다. 표점거리 50mm의 시험편에서 ±2°의 온도변동은 ±2μ의 신장이 되기 때문에 온도의 변화를 극히 작게 한다. 그러나 실제로 금속에서는 $T_M/2$ (T_M : 용점, K) 이상의 온도가 되면 실용적으로 크게 문제가 된다. 저온에서는 변형에 따라 가공경화가 일어나지만, 고온에서는 가공경화에 수반하여 회복연화가 진행하기 때문에 크리프가 현저해진다.

4.1.3. 단기 가속 크리프 시험

Creep시험은 다른 시험과 달리 수 만 시간의 장시간의 시험시간이 요구되지만 실제로 한정된 시간 내에서 재료의 우열을 비교시키는 부득이한 경우가 많으므로 단기 가속시험 및 Creep Parameter를 사용하여 잔존수명을 예측한다.

흔히 사용되고 있는 “Larson-Miller Parameter”법은 미사용재와 수명 예측의 대상인 사용재의 각각에 대하여 Creep 파단시험을 통하여, 사용재/미사용재에 대한 응력-LMP Curve 두 곡선을 동일 Graph 상에 나타내고, 잔여수명을 구하고자 하는 응력에서 P_0 와 P_1 을 구한후 Computer를 이용하여 반복계산으로 (1), (2) 두 식에서 T_{eq} (Equivalent Temperature, 등가온도) 및 t_1 를 구한다.



$$\ast \text{ LMP} = T (C + \log t)$$

$$P_0 = T_{eq} (C + \log t_0) = T_{eq} (C + \log(t_1 + t)) \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$P_1 = T_{eq} (C + \log t_1) \quad \dots\dots\dots (5)$$

이 방법을 실제로 적용할 경우, Larson Miller곡선을 현실적으로 가능한 한 짧은 시간내에 구할 필요가 있다. Creep 파단시험의 시험응력을 높게하면 작용응력에서 LMP 곡선이 너무 길게 외삽되는 부분으로 되

어 정도(精度)가 떨어지기 때문이다. 크리프 또는 응력파단 데이터를 데이터가 없는 지역까지 외삽 시키는 것은 중요한 일이다. 크리프와 응력 파단 곡선을 장시간까지 신뢰할 수 있도록 외삽시키기 위해서는 구역에서 조직변화에 따른 곡선 기울기의 변화가 없음을 확인해야만 한다. 시험에서 기울기의 변화는 입내 파괴에서 입계 파괴로의 변화, 산화, 재결정과 결정 성장 등과 같은 조직 변화나 또는 구상화, 흑연화, 시그마(σ)상의 형성 등과 같은 조직 변화에 기인한다. 이렇게 기울기가 변할 수도 있다는 것을 알아두는 것은 매우 중요하다. 왜냐하면 이러한 기울기 변화를 검출해 내지 못했음에도 불구하고 데이터를 보다 긴 시간까지 연장할 경우에는 심각한 오류를 범할 수 있기 때문이다.⁽¹²⁾

실제로는 추정되는 사용온도 근처에서 허용되는 범위내에서 장시간 시험으로 잔여수명을 추정하고, 조직관찰, 기계적 특성변화, 기존의 크리프-파단 자료 등과 비교함과 함께 각종 비파괴검사를 병행하면서 열화정도를 평가하여 교체시기를 결정하게 된다.

실험에 사용한 크리프 시험기는 용량 5ton의 SATEC Model DLF-10 servomaster creep / stress relaxation machine 이다. 시험편 가열을 위한 전기로는 개폐식을 사용하고 제어 장치에 부착된 노의 온도를 제어하는 자동온도 조절장치는 1200℃까지 전 범위의 $\pm 1.5^\circ\text{C}$, 노 전체의 구간은 Top, Middle, Bottom zone의 3영역으로 온도구배는 2°C 정도이다. 온도 측정은 K type 열전대를 사용한다. 시험편의 가열공정은 시험편에 부하를 주지 않은 무부하 상태에서 약 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ 으로 원하는 온도까지 가열하고 부하를 작용시키기 전에 시험편의 온도부화가 균일하게 유지되도록 30~40분 정도 균열시킨 후 하중을 작용시켜 시험을 수행한다. 크리프 시험중 발생하는 연신을 측정하기 위하여 시험편의 중앙부, 표점거리 30mm되는 양단에 flange를 기준으로 하여 연신은 extensometer와 LVDT(Linear Voltage Differential Transformer)로 측정하여 제어장치에 부착된 기록계로 기록하여 이들로부터 크리프 곡선을 작성하였다. Fig. 6는 실험에 사용된 장치이다.

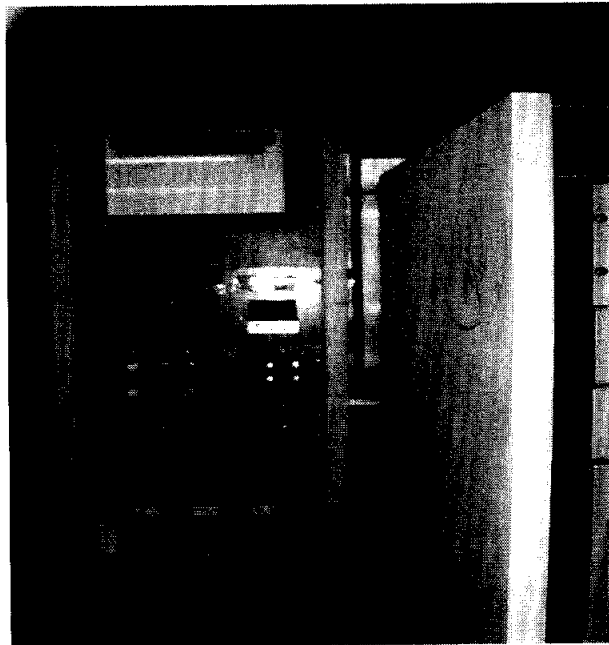


Fig. 6 Apparatus of Creep test machine (SATEC Model DLF-10)

4.2. 400℃에서의 크리프 변형률과 시간관계

4.2.1 크리프응력 350MPa의 관계

Fig. 7은 이 실험재료를 사용환경 온도 400℃, 응력을 350MPa,로 크리프 시험을 실시한 결과들이다.

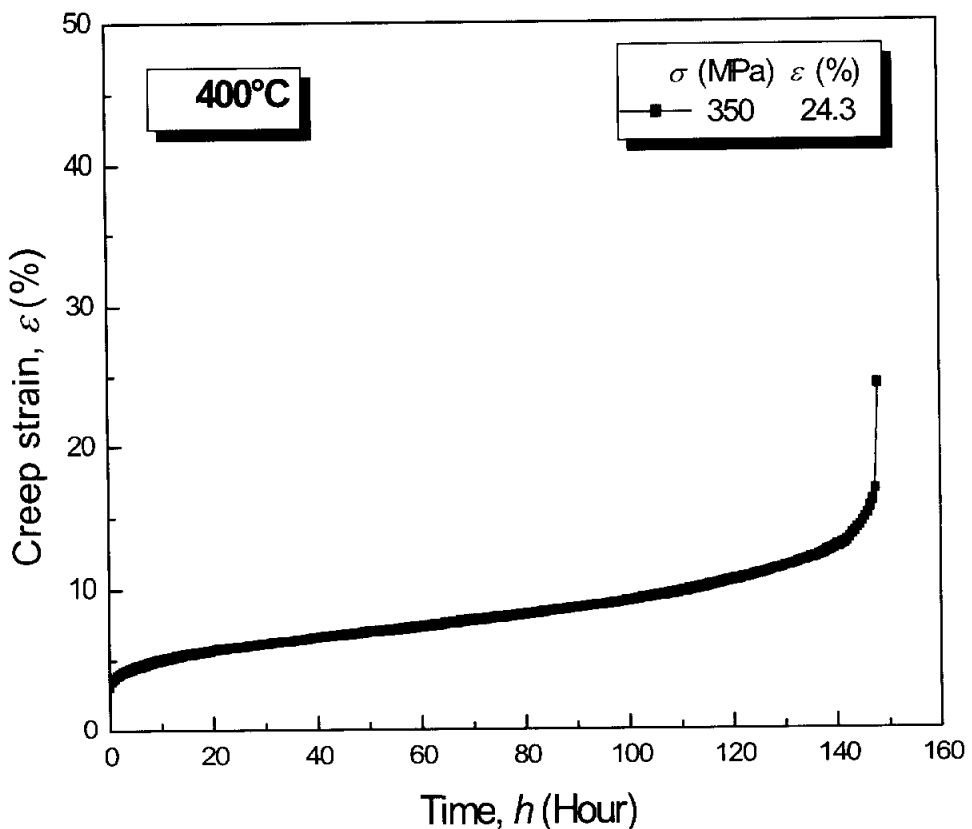


Fig. 7 Creep curve for POS-AG steel at 400℃,350MPa

350MPa의 응력을 가하여 연신량이 7.3mm가 늘어나 총연신율이 24.3%의 수치를 나타내었다.

4.2.2 크리프응력 370MPa의 관계

Fig. 8는 이 실험재료를 사용환경 온도 400℃, 응력을 370MPa,로 크리프 시험을 실시한 결과들이다.

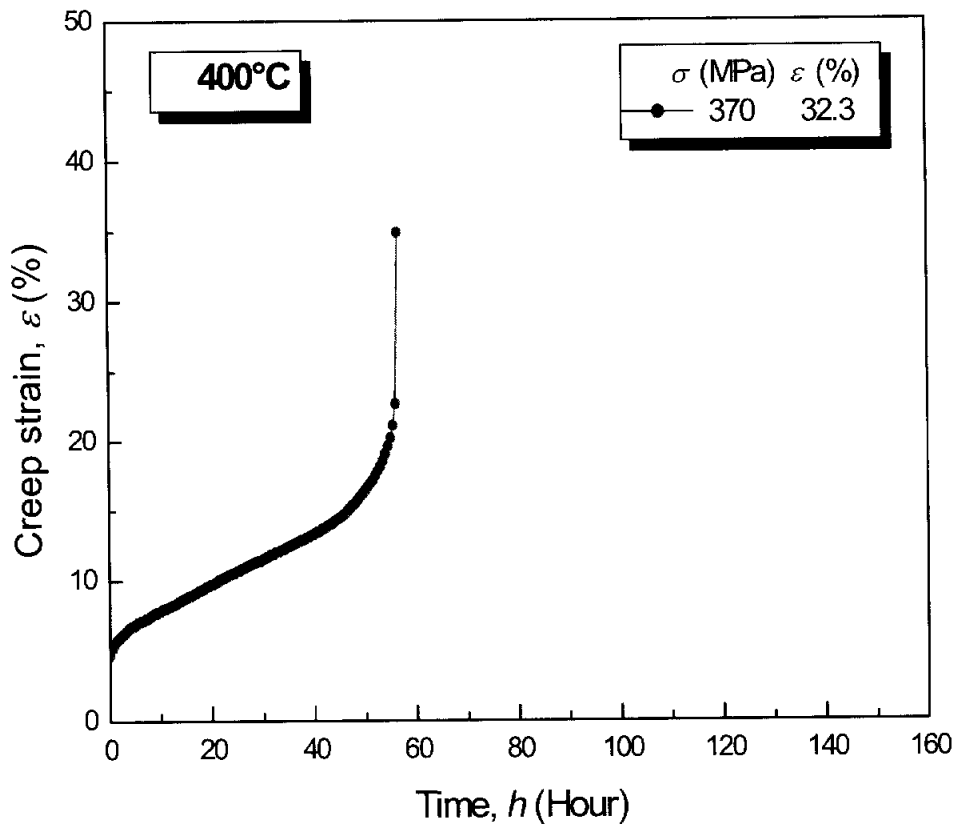


Fig. 8 Creep curve of for POS-AG steel at 400℃,370MPa

370MPa의 응력을 가하여 연신량이 9.7mm가 늘어나 총연신율이 32.3%의 수치를 나타내었다.

4.2.3 크리프응력 400MPa의 관계

Fig. 9은 이 실험재료를 사용환경 온도 400℃, 응력을 400MPa,로 크리프 시험을 실시한 결과들이다.

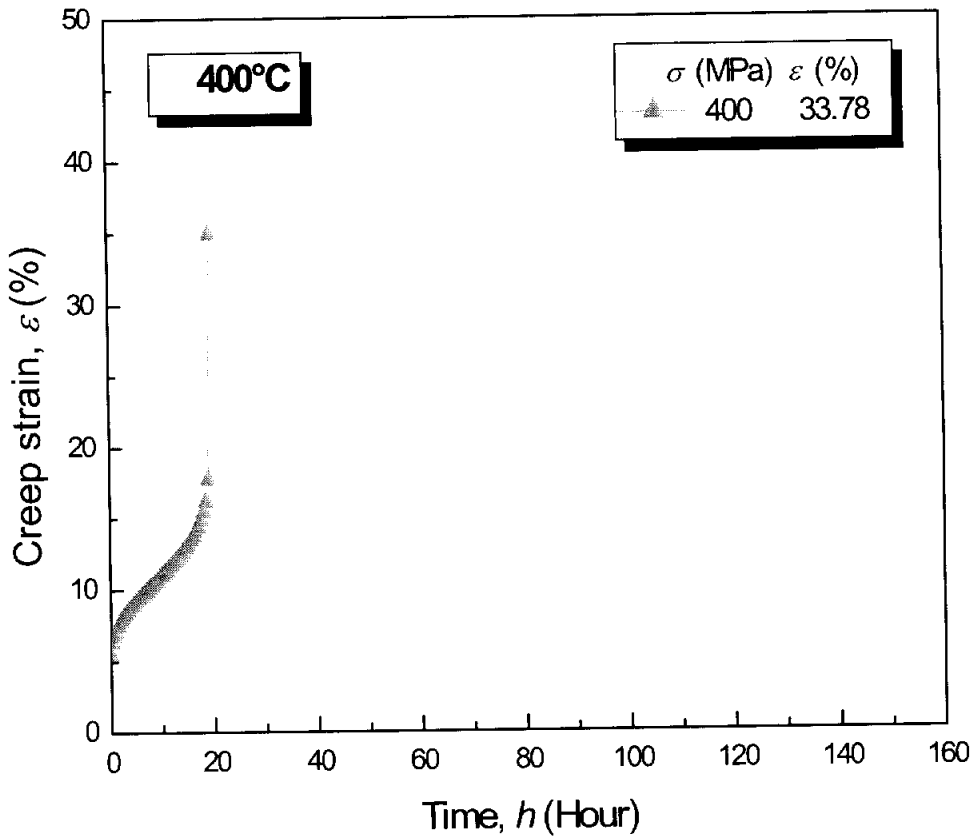


Fig. 9 Creep curve for POS-AG steel at 400℃,400MPa

400MPa의 응력을 가하여 연신량이 10.13mm가 늘어나 총연신율이 33.78%의 수치를 나타내었다.

4.2.4 400℃에서의 각 응력에서 크리프변형과 시간관계

Fig. 10은 온도 400℃에서 응력 350MPa, 370MPa, 400MPa으로 응력별로 도시한 그림이다.

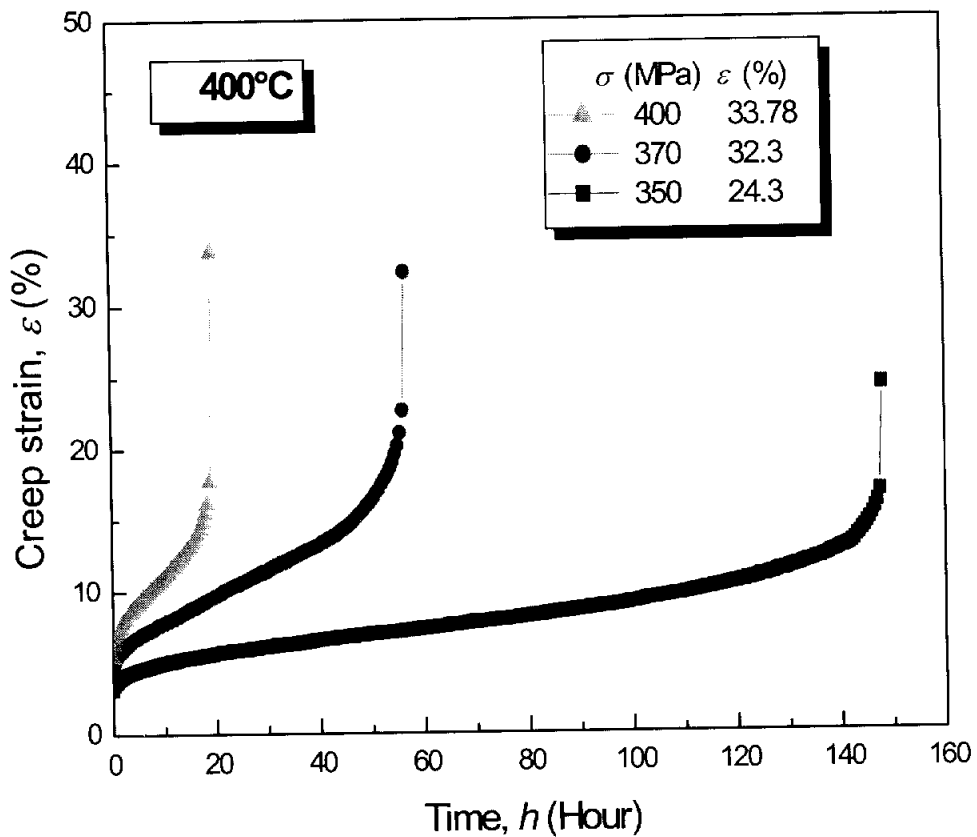


Fig. 10 Creep curve for POS-AG steel at 400℃

각 응력별로 표시한 것으로 400MPa일때 총연신율이 33.78%로 높은 수치를 나타내었다.

4.2.5 400℃에서의 크리프응력과 수명과의 관계

Fig. 11는 앞선 실험 결과를 토대로 하여 크리프 수명과 크리프 응력을 log-log 좌표로 나타낸 것이다. 강은 600℃까지는 상의 변화가 없기 때문에 선형적으로 이 그래프에 외삽을 실시하면 400℃에서 요구수명인 1년(8760 hour)을 사용할 수 있는 크리프 최대 응력은 약 250 MPa로 나타난다.

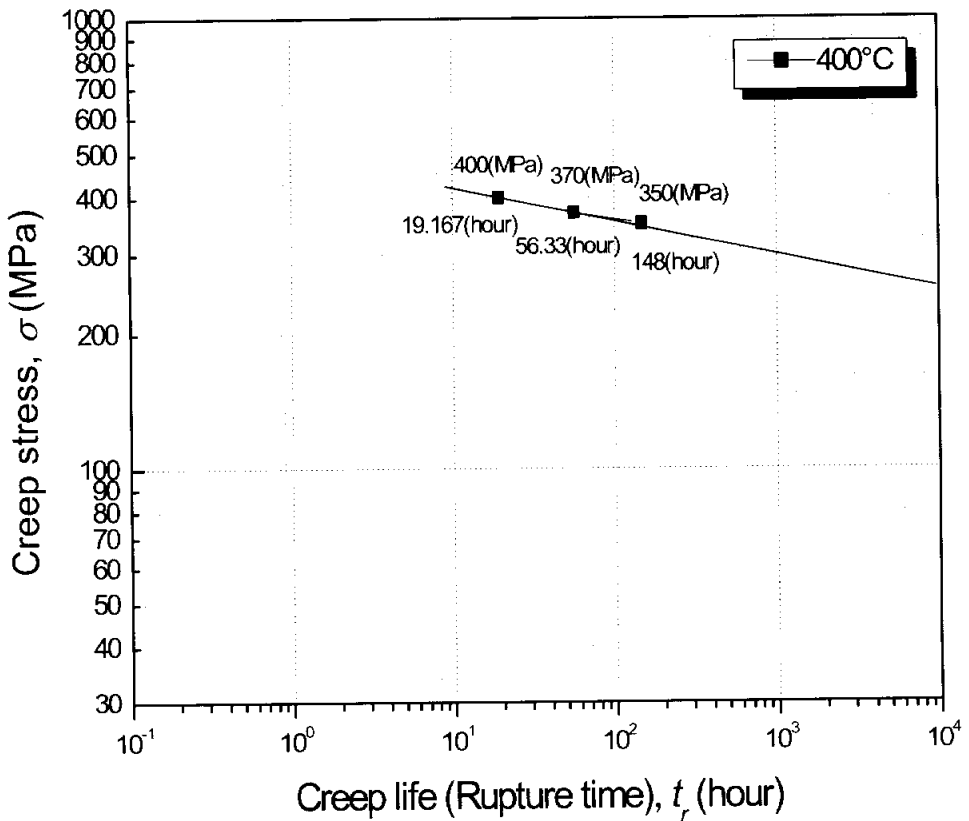


Fig. 11 Diagram of creep stress-strain curve for POS-AG steel at 400℃

4.3. 500℃에서의 크리프 변형률과 시간관계

4.3.1 크리프응력 150MPa의 관계

Fig. 12은 이 실험재료를 사용환경 온도 500℃, 응력을 150MPa,로 크리프 시험을 실시한 결과들이다.

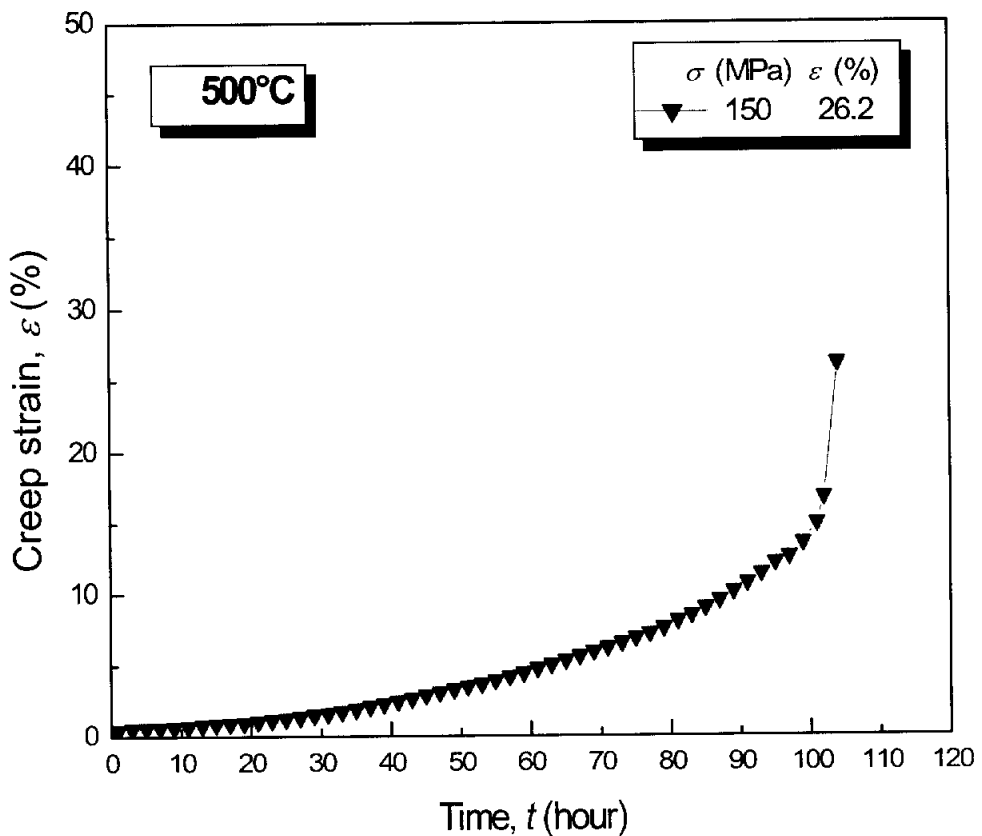


Fig. 12 Creep curve for POS-AG steel at 500℃,150MPa

150MPa의 응력을 가하여 연신량이 7.86mm가 늘어나 총연신율이 26.2%의 수치를 나타내었다.

4.3.2 크리프응력 200MPa의 관계

Fig. 13는 이 실험재료를 사용환경 온도 500℃, 응력을 200MPa,로 크리프 시험을 실시한 결과들이다.

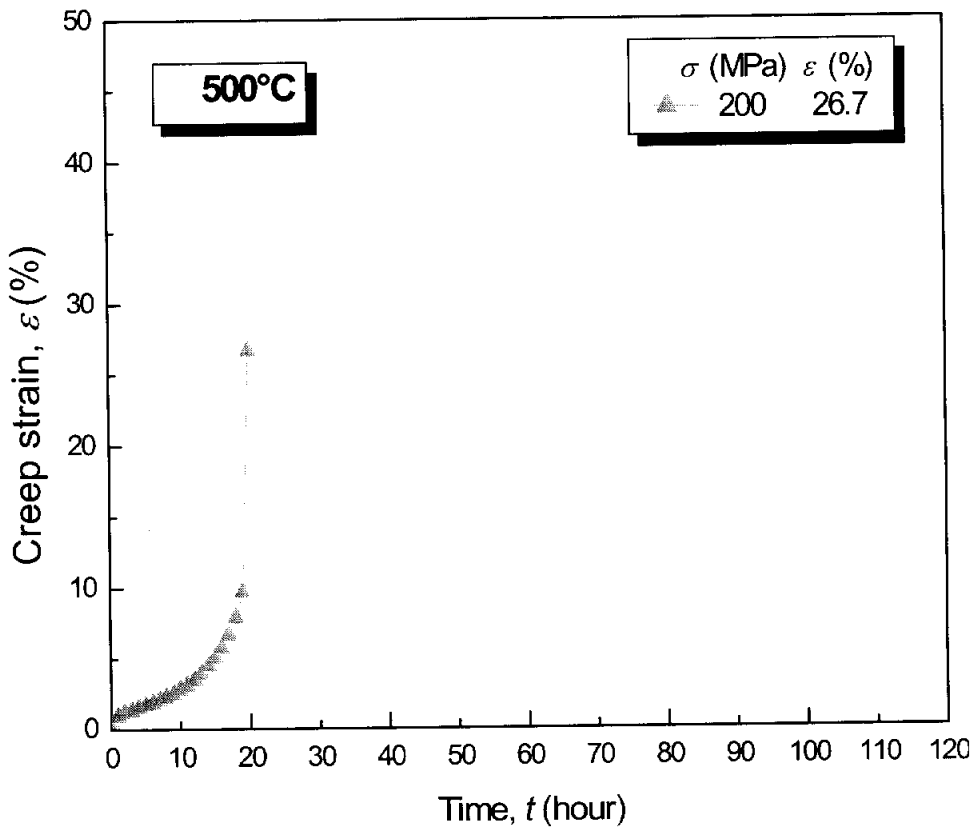


Fig. 13 Creep curve for POS-AG steel at 500℃,200MPa

200MPa의 응력을 가하여 연신량이 8.01mm가 늘어나 총연신율이 26.7%의 수치를 나타내었다.

4.3.3 크리프응력 240MPa의 관계

Fig. 14는 이 실험재료를 사용환경 온도 500℃, 응력을 240MPa로 크리프 시험을 실시한 결과들이다.

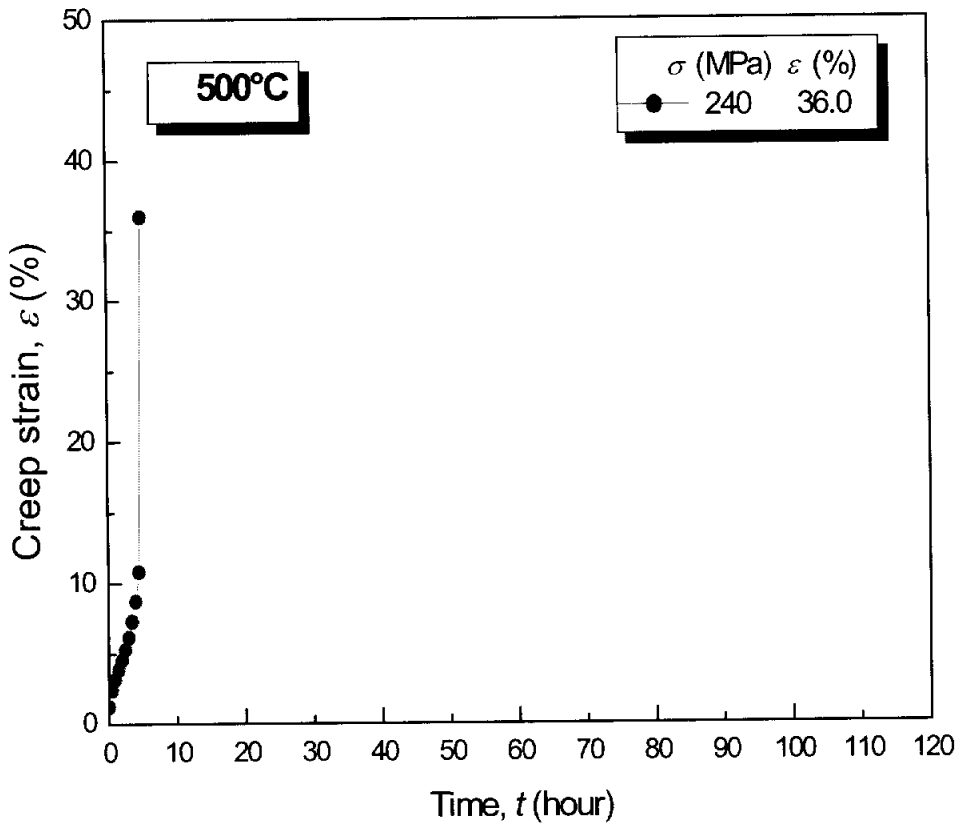


Fig. 14 Creep curve for POS-AG steel at 500℃,240MPa

240MPa의 응력을 가하여 연신량이 10.8mm가 늘어나 총연신율이 36.0%의 수치를 나타내었다.

4.3.4 크리프응력 260MPa의 관계

Fig. 15은 이 실험재료를 사용환경 온도 500℃, 응력을 260MPa,로 크리프 시험을 실시한 결과들이다.

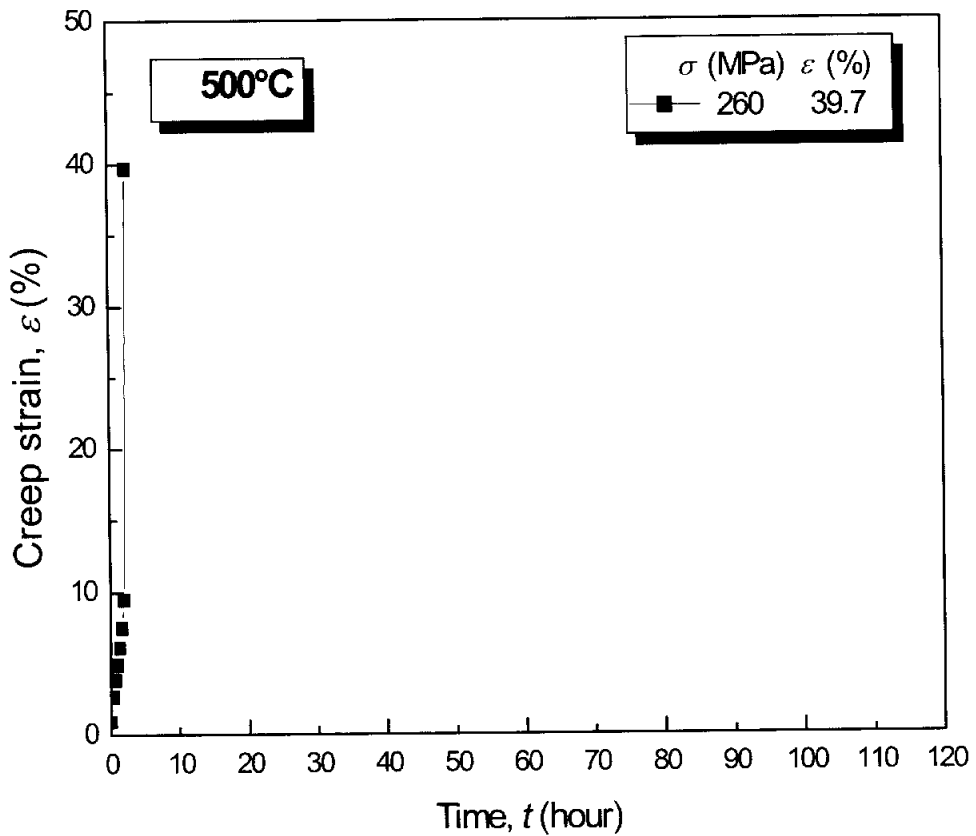


Fig. 15 Creep curve for POS-AG steel at 500℃,260MPa

260MPa의 응력을 가하여 연신량이 11.91mm가 늘어나 총연신율이 39.7%의 수치를 나타내었다.

4.3.5 500℃에서의 각 응력에서 크리프변형과 시간관계

Fig. 16 은 온도 500℃에서 응력 150MPa, 200MPa, 240MPa, 260MPa
으로 응력별로 도시한 그림이다.

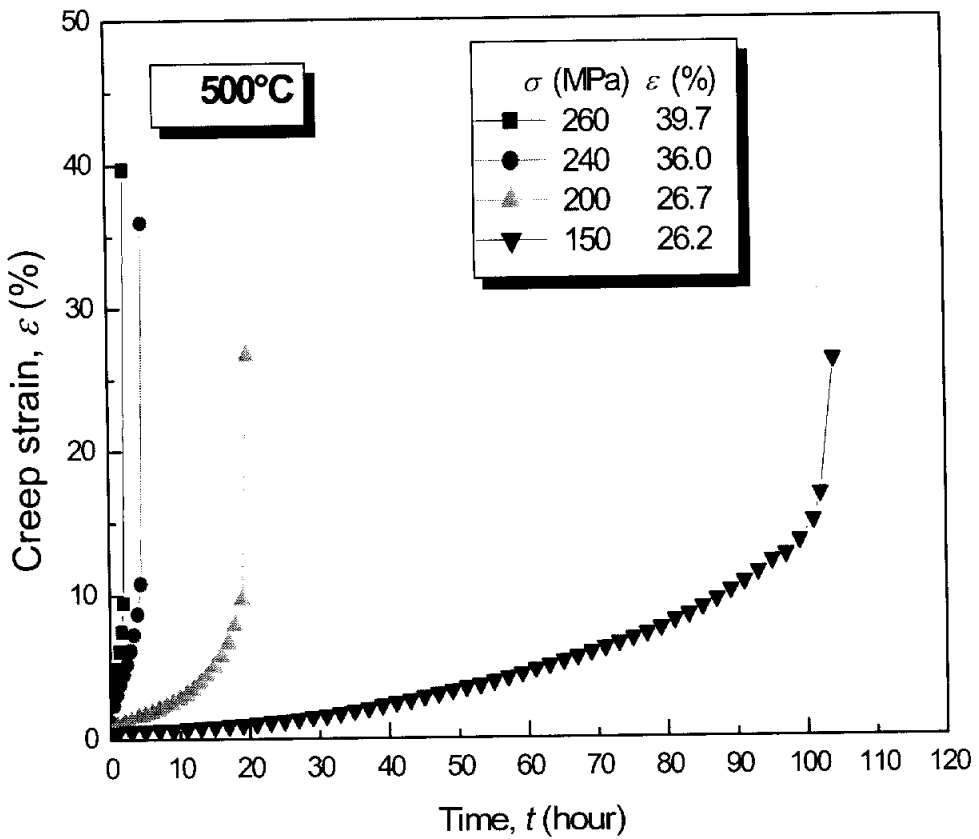


Fig. 16 Creep curve for POS-AG steel at 500℃

각 응력별로 표시한 것으로 260MPa일때 총연신율이 39.7%로 높은 수
치를 나타내었다.

4.3.6 500℃에서의 크리프응력과 수명과의 관계

Fig. 17도 앞선 실험 결과를 토대로 하여 크리프 수명과 크리프 응력을 log-log 좌표로 나타낸 것이다. 앞에서 했듯이 선형적으로 이 그래프에 외삽을 실시하면 500℃에서 요구수명인 1년(8760 hour)을 사용할 수 있는 크리프 최대 응력은 약 78 MPa로 나타난다.

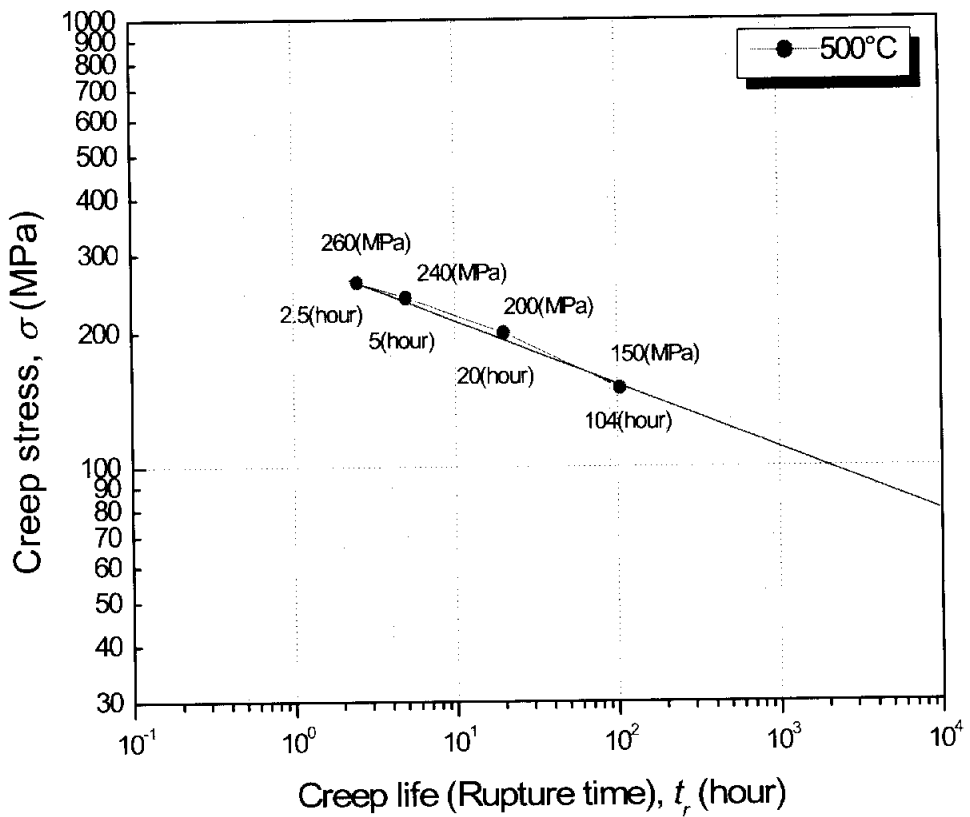


Fig. 17 Diagram of creep stress-strain curve for POS-AG steel at 500℃

4.4. 600℃에서의 크리프 변형률과 시간관계

4.4.1 크리프응력 60MPa의 관계

Fig. 18은 이 실험재료를 사용환경 온도 600℃, 응력을 60MPa,로 크리프 시험을 실시한 결과들이다.

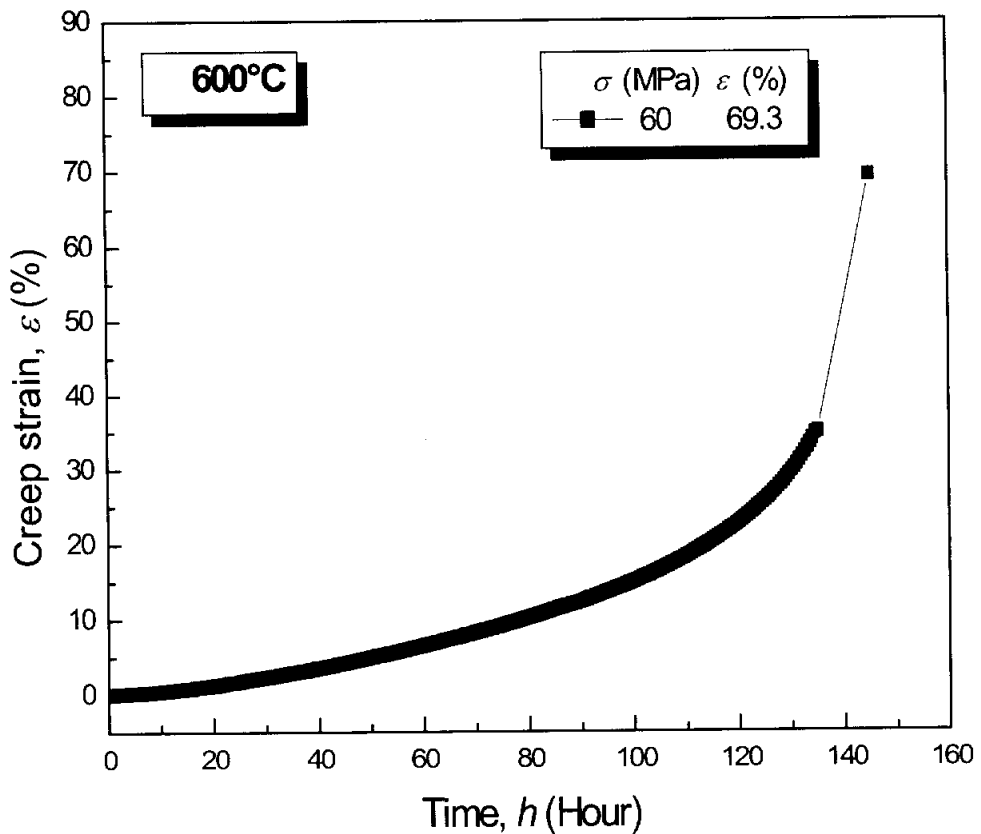


Fig. 18 Creep curve for POS-AG steel at 600℃,60MPa

60MPa의 응력을 가하여 연신량이 20.79mm가 늘어나 총연신율이 69.3%의 수치를 나타내었다.

4.4.2 크리프응력 70MPa의 관계

Fig. 19는 이 실험재료를 사용환경 온도 600℃, 응력을 70MPa,로 크리프 시험을 실시한 결과들이다.

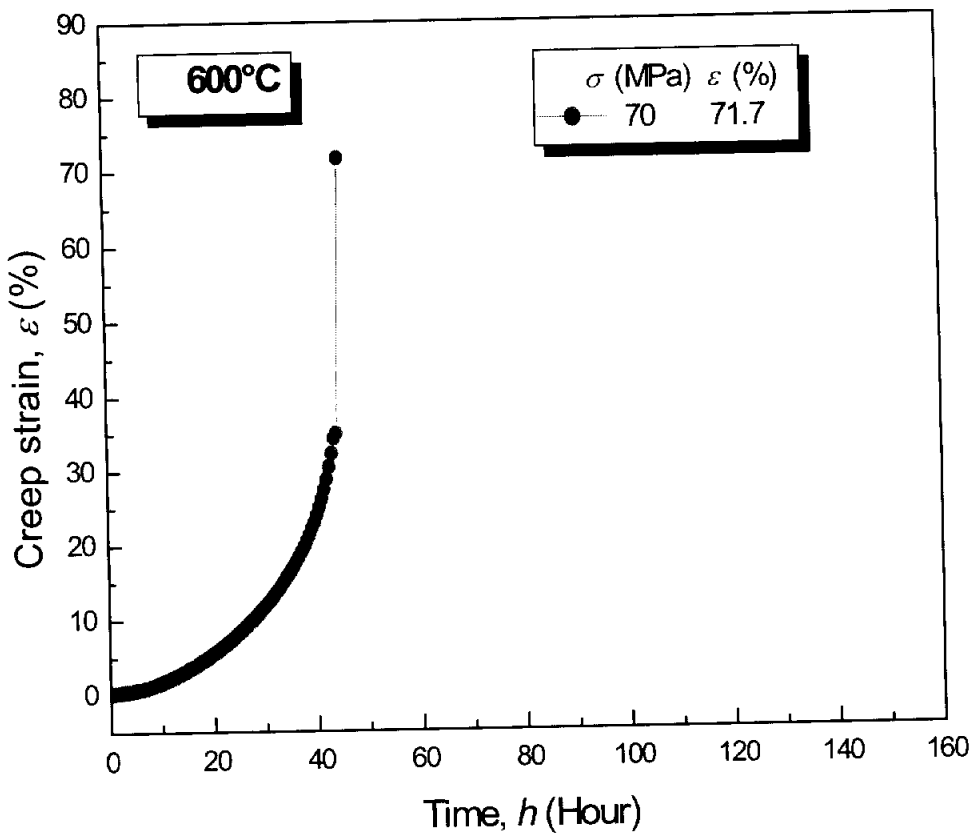


Fig. 19 Creep curve for POS-AG steel at 600℃,70MPa

70MPa의 응력을 가하여 연신량이 21.51mm가 늘어나 총연신율이 71.7%의 수치를 나타내었다.

4.4.3 크리프응력 90MPa의 관계

Fig. 20는 이 실험재료를 사용환경 온도 600℃, 응력을 90MPa로 크리프 시험을 실시한 결과들이다.

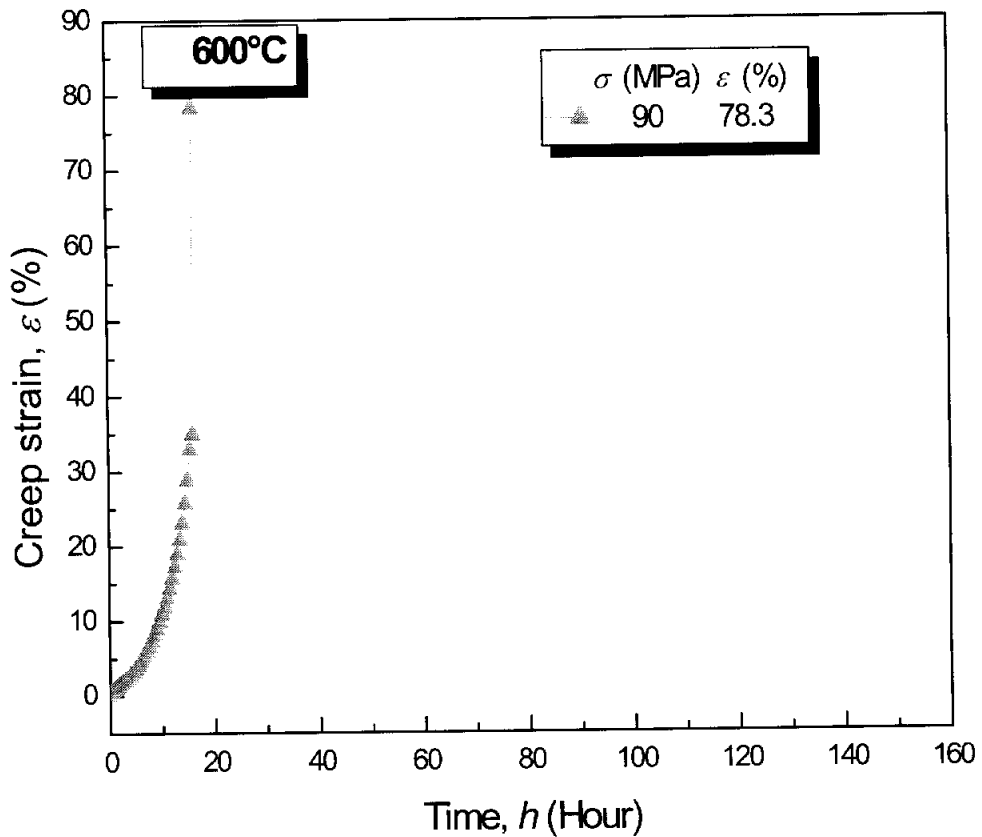


Fig. 20 Creep curve for POS-AG steel at 600℃, 90MPa

90MPa의 응력을 가하여 연신량이 23.49mm가 늘어나 총연신율이 78.3%의 수치를 나타내었다.

4.4.4 600℃에서의 각 응력에서 크리프변형과 시간관계

Fig. 21 은 온도 600℃에서 응력 60MPa, 70MPa, 90MPa으로 응력별로 도시한 그림이다.

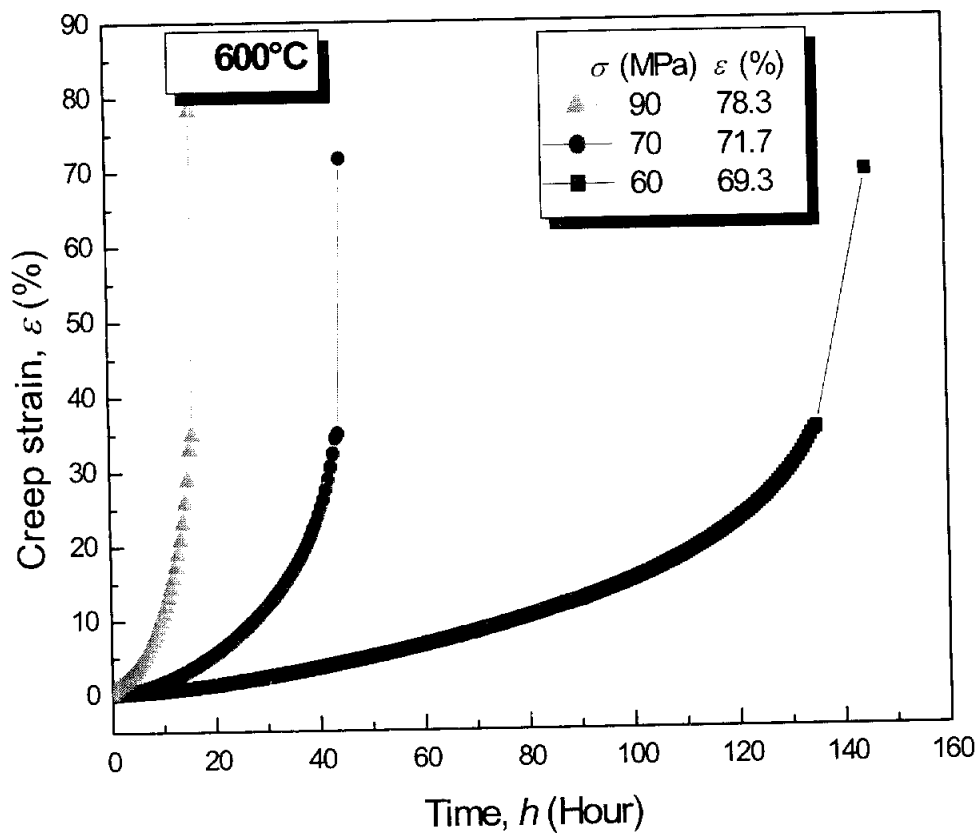


Fig. 21 Creep curve for POS AG steel at 600℃

각 응력별로 표시한 것으로 90MPa일때 총연신율이 78.3%로 높은 수치를 나타내었다.

4.4.5 600℃에서의 크리프응력과 수명과의 관계

Fig. 22도 앞선 실험 결과를 토대로 하여 크리프 수명과 크리프 응력을 log-log 좌표로 나타낸 것이다. 앞에서 했듯이 선형적으로 이 그래프에 외삽을 실시하면 500℃에서 요구수명인 1년(8760 hour)을 사용할 수 있는 크리프 최대 응력은 약 25 MPa로 나타난다.

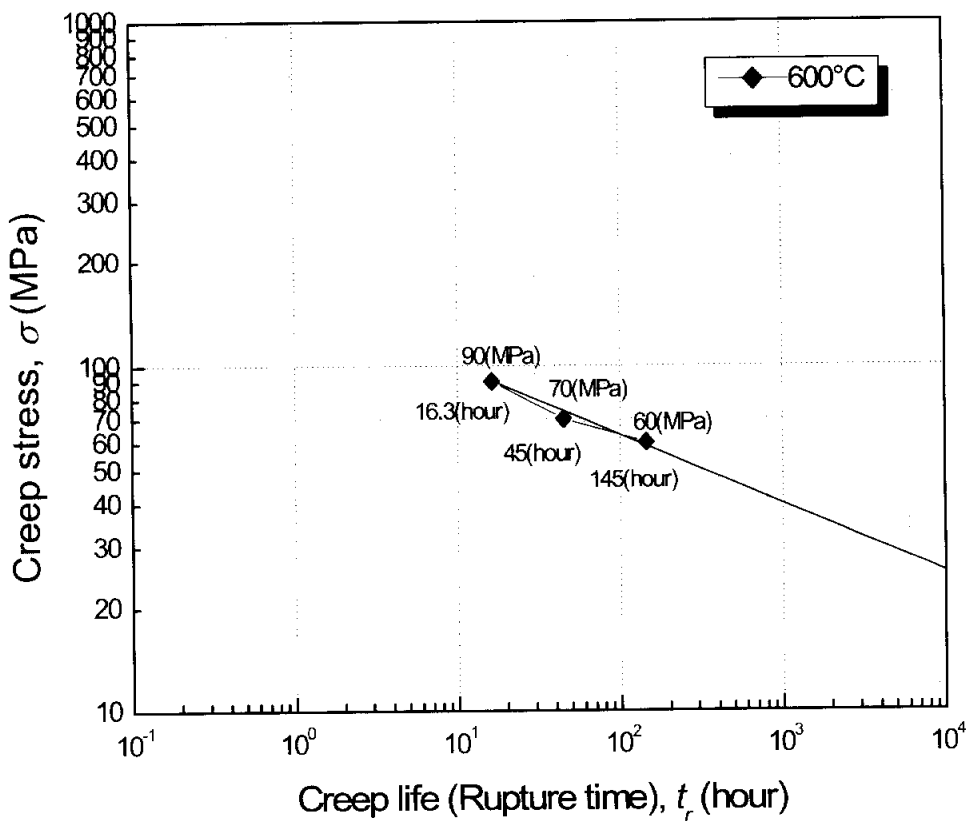


Fig. 22 Diagram of creep stress-strain curve for POS-AG steel at 600℃

4.5. 400℃, 500℃, 600℃의 크리프 응력과 수명의 비교

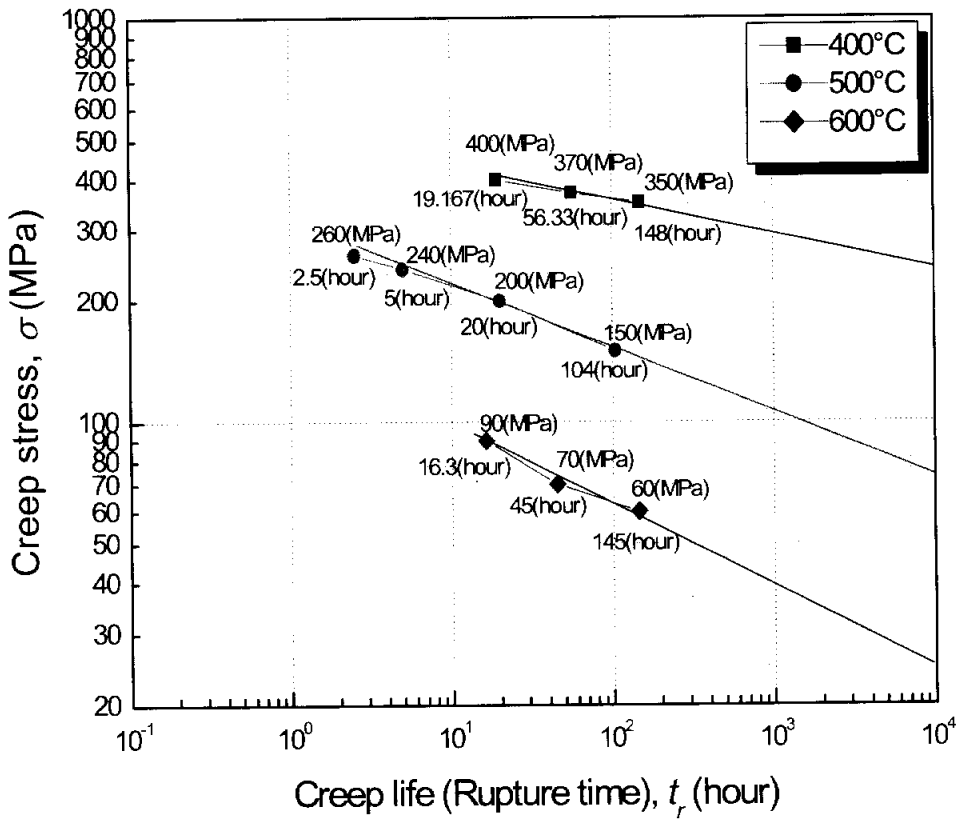
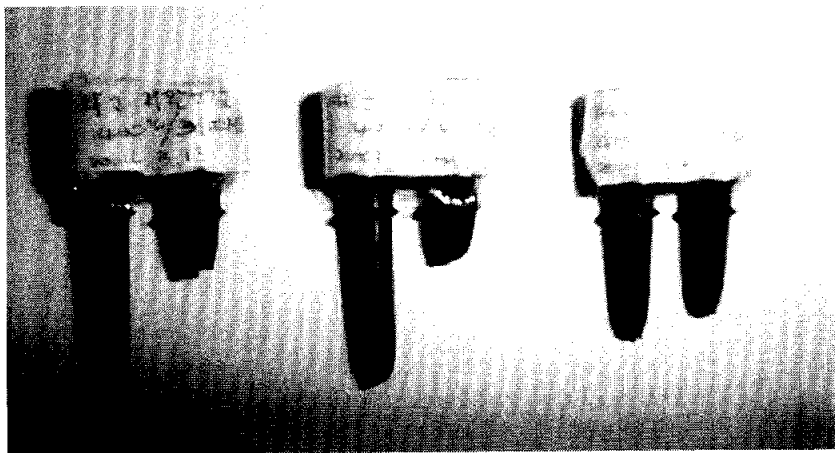


Fig. 23 Diagram of creep stress strain curve for POS-AG steel at 400℃, 500℃, 600℃

각각 400℃, 500℃, 600℃에서 요구수명 1년을 충족할 크리프하중 최대 값이 250MPa, 78MPa, 25MPa이다.

설계구상에 따른 다르지만 일반적으로 인장강도의 1/3 혹은 항복점의 1/2라는 수치가 허용응력으로 자주 사용되고 있다. 이 구조물에 작용하는 열적·구조적으로 이 구조물에 작용하는 응력은 대략 50MPa 정도로 400℃의 경우는 큰 값으로 고온환경에서 사용이 가능하나 500℃의 경우 이 수치보다 약간 높은 값으로 장기간 사용 시 무리가 따를 것으로 생각된다. 그리고 마지막 600℃에서는 사용이 불가능한 것으로 보여진다. Fig. 24는 각 온도별로 크리프 시험후 파단된 시험편의 모습을 나타낸 그림이다.



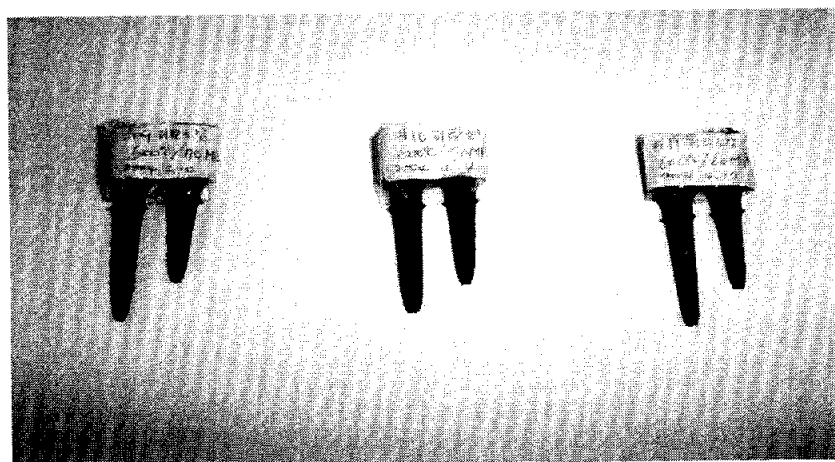
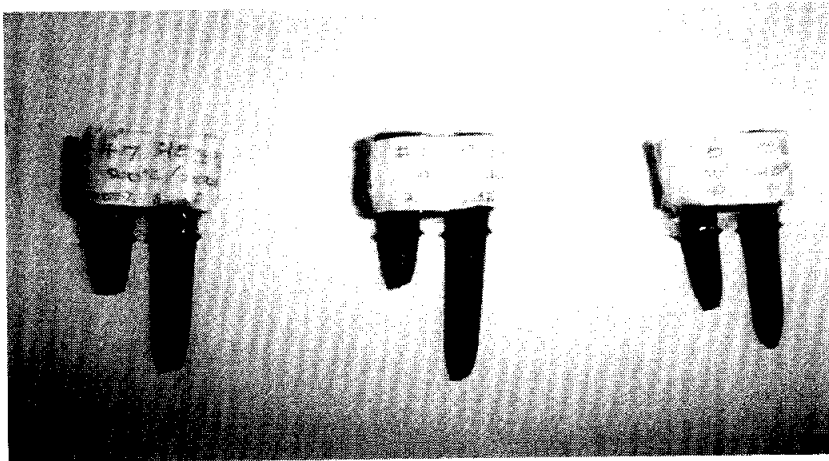
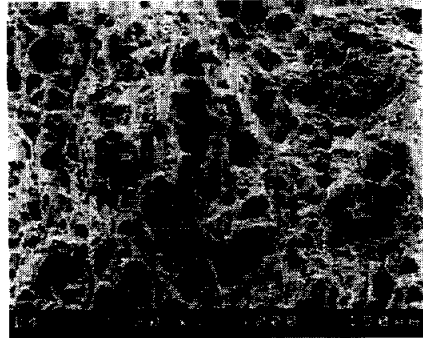
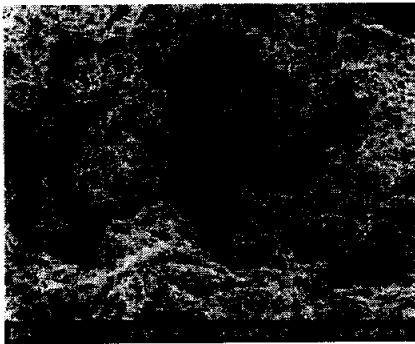


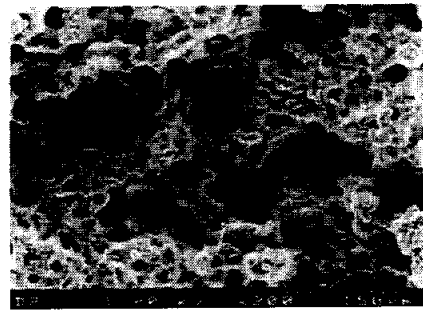
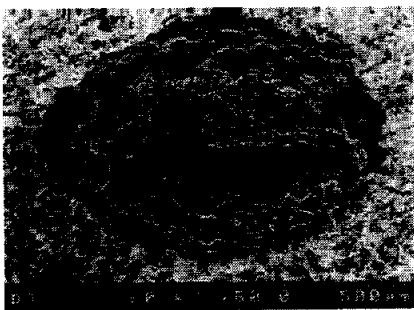
Fig. 24 Photograph of creep specimen tested at 400°C,500°C,600°C

4.6. 크리프 시험 파단면의 특성

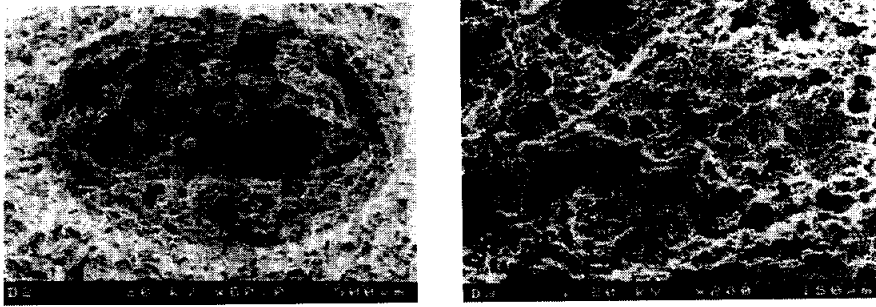
크리프 손상은 파괴가 발생하기 전에 현미경조직 내에서나 또는 파괴 발생 후 파괴표면 근처에 기공이 존재하는 것이 특징이다. 공극이 최대 인장응력 방향에 수직방향으로 진행하는 입계, 특히 석출물에 집중되어 형성된다. Fig. 25에 크리프 시험 후 부하된 압력별로 각 파면의 실물 사진을 나타내었다. 덩풀과 유사한 공동형 기공들이 뚜렷하게 관찰되었다.⁽¹³⁾ 이들 크리프 손상 기공의 상호성장으로 인해 크리프균열이 초래되는 것이다.



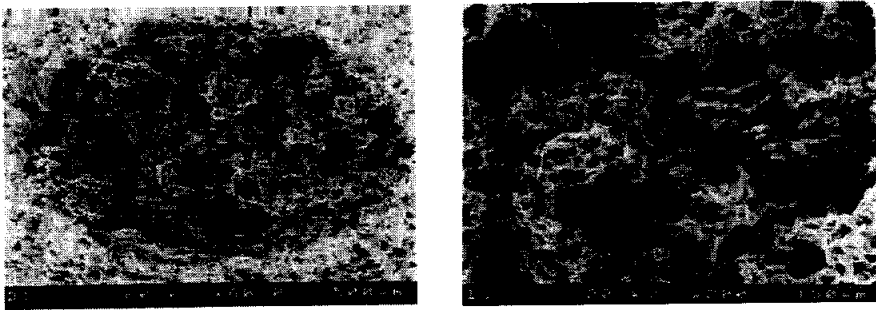
(a) tensile test at room tem. ($\times 60$, $\times 200$)



(b) creep test at 500°C, 200Mpa ($\times 60$, $\times 200$)



(c) creep test at 500°C, 240Mpa ($\times 60$, $\times 200$)



(d) creep test at 500°C, 260Mpa ($\times 60$, $\times 200$)

Fig. 25 Fracture surface of specimen

제 5 장 결 론

특수구조용 SI강의 고온환경에서의 크리프시험 결과 500℃ 근처의 온도에서는 장시간 사용시 요구수명에는 다소 무리가 있을 것을 사료되었고, 600℃ 이상에서는 조직의 변화로 인해서 데이터 외삽을 통해 구한 크리프 허용응력은 신뢰성에 있어서 오류가 있을 것으로 판단되었다. 이에 대한 자세한 연구결과는 다음과 같다.

(1) 400℃, 500℃, 600℃에서 크리프시험의 결과 응력이 높을수록 파단되는 시간이 짧았다. 총연신율은 응력이 높을수록 높은 수치를 나타내었고, 초기연신율도 또한 응력이 높을수록 높은 값을 나타내었다.

(2) 특수구조용 SI강의 요구수명인 1년을 사용하는데 있어 400℃, 500℃, 600℃에서 각각 최대한의 크리프 허용응력은 250MPa, 78MPa, 25MPa 이다. 이는 이 재료에 작용하는 응력보다 큰 값이기는 하나 안전율을 고려해 볼 때 고온에서 장시간 사용시 상당한 무리가 따를 것으로 사료된다.

(3) 크리프의 영향으로 인한 수명단축 외에도 용접부의 열영향, 화실내부의 불균일한 온도 관리, 특수구조용 SI강의 길이방향 하부에 집중되는 응력을 분산시키기 위한 설계변경 등 다양한 변경요소들이 존재한다. 이 모든 것에 대한 영향분석을 수행하여 이 소재의 정확한 물성치를 정립할 수 있도록 해야 하겠다.

이상의 결과로부터 특수구조용 SI강은 충분한 정적강도를 가지고 있는 것으로 판단되나, 고온의 환경에서의 사용을 고려한 설계시 구조설계와 재료의 크리프 강도에 대한 보다 충분한 검토가 요구된다.

더 정확한 해석 및 설계를 위해서 고온환경에서의 특수구조용 SI강에

대한 장기적인 기계적 실험 및 검토가 필요하다고 사료된다.

※ 참고문헌

- (1) 오정남, 배차현, 조정웅, 노무근, 원창출판사, 최신철강재료, pp.18~20 (1997)
- (2) 양형렬, 김형철, 박인선, 강보안, 송광호, 보문당, 기계금속재료, pp.115~117 (2003)
- (3) 김정태, 과학기술원, 고온재료의 Creep 강화기구 규명 및 물성예측 DB구축, pp.34~38 (2002)
- (4) 양훈영, 문운당, 신 금속재료학, pp.242~246 (1992)
- (5) 김인곤 외 9명, 피어슨 에듀케이션 코리아, 공업재료과학, pp.541~543 (2001)
- (6) 박래윤, 박일부, 대광서림, 비파괴검사공학, pp. 489~496 (2001)
- (7) 박정민, 김태곤, 이규식, 도서출판 효성, 비파괴공학, pp. 228~233, (2002)
- (8) 윤한기, 오환섭, 박원조, 최병기, 원창출판사, 재료시험법 입문, pp.260~262 (1994)
- (9) Benci, J. E., Pope D.P., and Bassani, J.L.,1994, "a Combined Experimental and Analytical Investigation of Creep Damage Development in pper," Acta Metall. Vol.42, No. 1, pp225~238.
- (10) Larson, F. R. and Miller, J., 1952., "A Time Temperature Relationship for Rupture and Creep Stresses," Transaction of the ASME, pp765~775.
- (11) J. Weertman, 1957, "Steady State Creep Through Dislocation Climb", J. of App. Phy., Vol. 28 pp362~364
- (12) 최종술, 권숙인, 김송희, 회중당, 금속강도학, pp.195~199 (1990)
- (13) 김정근, 박해웅, 도서출판 골드, 금속재료의 균열과 파괴, pp.57~61 (2003)

A Study on Creep Life for the Special structural SI Steel

Hae-won Moon

**Dept. of Mechanical Engineering,
Graduate School of Pukyong National University**

Abstract

Special Structural SI Steel has used to a smelting furnace must keep Pb and Zn melting conditions for the maximum high temperature of 500°C.

To achieve objects used for the high temperature in the lowest cost, it was reduced the composition of carbon and silicon to get enough toughness and ductility however the strength was weaken.

So that, this thesis study through basically material tests and creep test, we try to know that mechanical characteristics and high temperature creep characteristics of special structural SI steel, and at the same time, we try to expect creep life of steel by inducing data.

The important results of the experimental study on creep life for the special structural SI steel are as follows:

- 1) The more highly the stress, the less fractural time. the total elongation appear to high value as to the stress is higher.
- 2) Creep allowed stress is 250MPa, 78MPa, 25MPa for the required

life 1 year of special structure SI steel at the 400°C,500°C,600°C.

It is supposed to overdo for the high temperature and long of time ,considering safety factor, although it is high value than stress operated at the material.

Key words : Special Structural SI Steel(특수구조용 SI강), Short-period Acceleration Creep Test (단기 가속 크리프실험), Creep Rupture Life(크리프 파단수명), Creep Life Prediction(크리프 수명예측)