

# 강의(Steel)의 지연파괴에 대한 수소집적기구

## A Study on the Mechanism of Hydrogen Concentration for Delayed Failure of Steel

이진우\*, 고준빈\*, 배명일\*, 이규천\*\*, 이영호\*\*\*

\*충남대학교 대학원, 기계공학과

\*\*두원공과대학 동력 기계과

\*\*\*충남대학교, 기계공학과

### 1. 서론

강의 수소취화 현상은 강 중에 수소가 용해한 경우 그 기계적 성질을 저하시킨다. 특히, 고장력강(High Tensile Strength steel)을 이용한 용접구조물의 보급에 따라 수소취화 문제가 크게 대두되고 있으며 그 기구에 대한 해명을 위한 많은 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 소정의 시편에 대하여 고온침가법 및 Ar처리와 정전류 음극전해에 의한 수소의 첨가등을 실시하여 강의 지연 파괴(Delayed failure)에 있어서 수소의 집적에 미치는 응력 및 소성변형의 영향에 대하여 검토하였다.

### 2. 실험재료 및 실험방법

#### 2.1 실험재료

실험에 사용된 강재는 Table.1에 나타난 바와 같은 시판 80kg/mm<sup>2</sup> 고장력강(이하 HT-8이라고 표기)재이며 그 화학조성은 Table.1과 같다.

Table.1 Chemical compositions of the steel(W.1%)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
0.12	0.37	1.06	0.018	0.011	1.11	0.39	0.36	0.26

#### 2.2 시험편 형상

본 실험에 사용된 시험편의 형상은 Fig.1에 나타난다. Type.1은 지연 파괴 시험에 사용된 시편으로서 Notch시편을 사용한 것은 소성변형량의 구배 및 응력집중에 의해 수소의 집적이 어떠한 영향을 받는가를 알아내기 위함이다. Type.2의 시편은 강재의 응력-변형선도를 조사하기 위한 시편이다.

또 이들 시편은 수소첨가를 실시하여 열처리를 실시하였다.

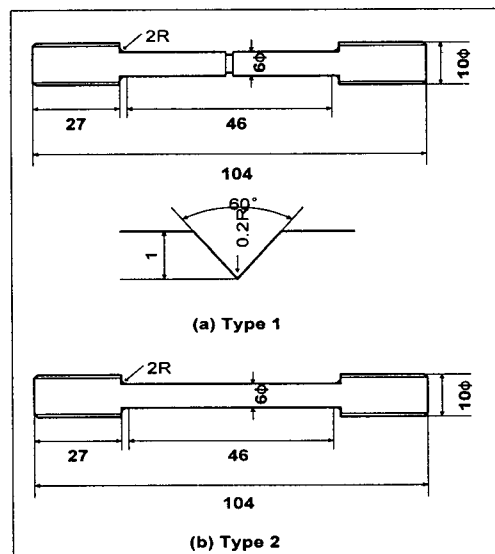


Fig.1 Test specimens

### 2.3 고온 수소첨가 및 Ar처리법

고온첨가장치를 Fig.2 에 나타낸다. A부는 수소를 950°C에서 첨가하기 위한 로(furnace)이며 B부는 수소 및 Argon 정화 건조 계통이다. 수소첨가 방법은 시편 표면을 아세톤으로 청정 건조시킨 후 A부 소정 위치에 시험편을 매어달고 노종의 공기를 완전히 수소로 치환한 후 온도를 950°C로 상승시켜 120분간 유지한 후 급냉(water quenching)시켰다. 급냉시는 알루미늄박에 의해 밀폐된 부분을 찢고 모리부덴 선을 절단하여 급냉하였다.

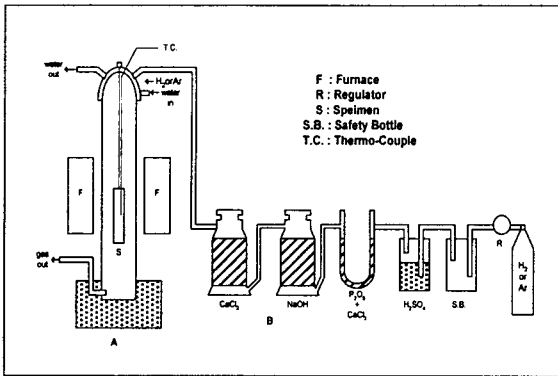


Fig.2 Diagram of apparatus for high-temperature hydrogenating treatment and heat treatment in Ar

### 2.4 정전류 음극 전해에 의한 수소첨가 및 Cd 도금

음극 전해에 의한 수소첨가는 보통의 전해와 같은 방법이며 수소를 첨가하는 시편의 음극 백금선을 양극으로 하여 시편 표면의 전류밀도를 정전류 장치에 의하여 일정하게 유지 수소첨가를 행하는 방법이다.

또한 수소를 첨가한 시편에 대하여는 수소의 탈출을 방지하기 위하여 카드뮴도금을 실시하였다.

### 2.5 환봉 시험편에 대한 인장시험

고온첨가에 의한 강의 기계적 성질의 변화를 조사하기 위하여 고온첨가와 같은 열 cycle을 받는 Argon처리를 실시한 Fig.1의 Type.2의 환봉시험편에 변형의 20%까지 측정가능한 Strain-gage를 부착 Instron형 인장시험기 및 변형계를 사용하여 인장시험을 실시하여 Stress-Strain diagram을 구하였다. 또 이 실험

에서는 정적인 응력과 변형의 관계에 가까운 관계를 구하기 위하여 Cross Head Speed 는 1 mm/min로서 실시 하였다.

또, 인장시험은 1) 수소를 첨가한 후 예변형을 가한 시편의 지연파괴 2) 수소를 첨가한 후, 예변형을 가하고 변형시효 시킨 시편의 지연 파괴 시험 3) 수소를 첨가한 후, 예변형을 가한 후 24시간동안 다시 음극 전해한 시편의 지연파괴 실험을 행한 각각의 경우에 대한 결과를 얻기 위하여 Fig.3의 Block diagram에 나타난 방법에 대하여 실험을 실시하였다.

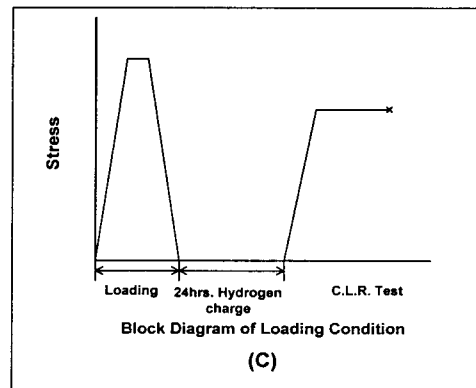
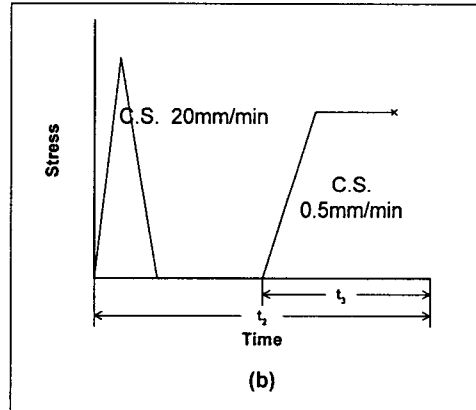
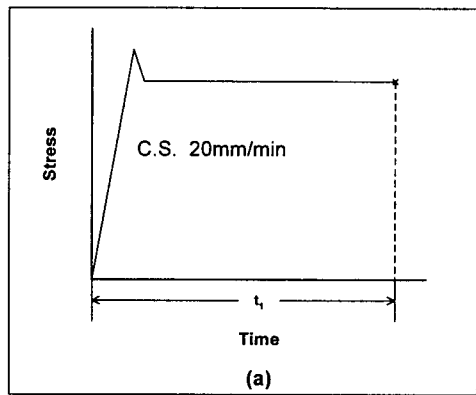


Fig.3 Block diagram of experimental process

### 3. 실험결과 및 고찰

3.1 수소를 첨가한후, 예변형을 준 시편과 변형시효 시킨 시편에 대한 지연파괴시험 결과

Fig.4~6에 그 결과를 나타낸다. Fig.4는 예하중이 120kg/mm<sup>2</sup>인 경우이며 Fig.5는 예하중이 110kg/mm<sup>2</sup>, Fig.6은 예하중을 100kg/mm<sup>2</sup> 부가한 경우이다. 어느 경우나 종축은 부하응력, 횡축은 파단에 이를 때 까지의 시간을 나타낸다.

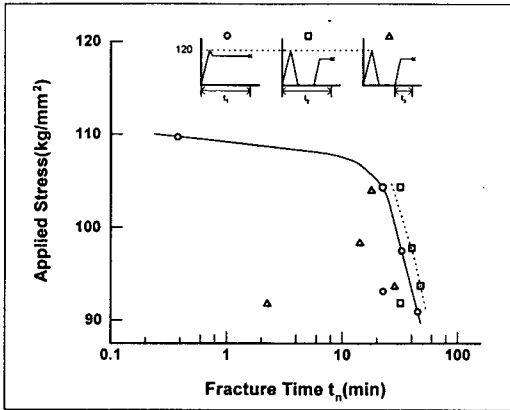


Fig.4 Effects of stress and plastic strain on delayed failure curve  
Pre-stress 120kg/mm<sup>2</sup>

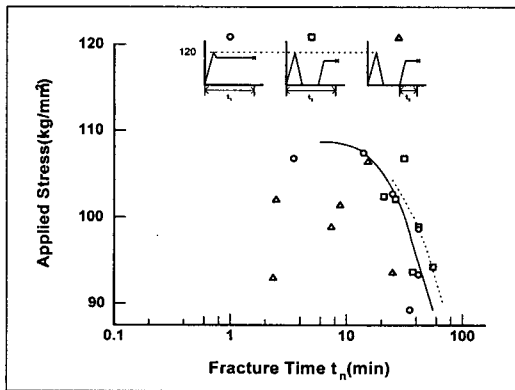


Fig.5 Effects of stress and plastic strain on delayed failure curve  
Pre-stress 110kg/mm<sup>2</sup>

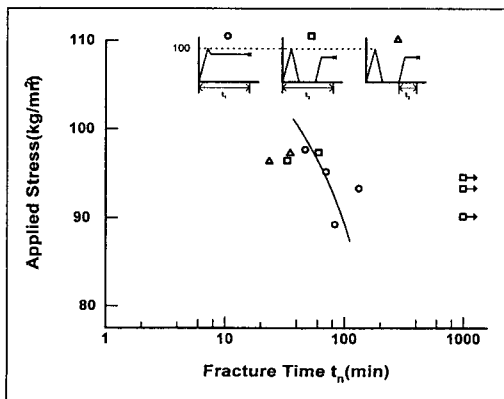


Fig.6 Effects of stress and plastic strain on delayed failure curve  
Pre-stress 100kg/mm<sup>2</sup>

Fig.4~6에서 실선은 Fig.3의 (a)인 경우의  $t_1$  을 파선은 (b)인 경우의  $t_2$  를 부하응력에 대하여 도식한 것이다.  $\Delta$ 표는 (b)인 경우의 변형시효 후 재부하하여 파단에 이를 때까지의 시간  $t_3$  를 부하응력에 대하여 도식한 것이다.

Fig.6에 있어서 변형과 응력에 의한 시효를 가한 경우(그림 중 실선)가 변형시효만의 경우보다 파단시간은 단시간 쪽에 기울고 있다. 또 재부하로부터 파단까지의 시간  $t_3$  와 부하응력의 사이에는 그 관련성이 크게 나타나고 있지 않다. Fig.5인 경우에는 Fig.6과 동일한 경향을 나타내었다. Fig.6에 있어서는 부하응력이 저응력인 경우 Fig.3의 (a)방법으로 응력시효 시킨 경우에는 지연파괴를 일으키는 응력이라도 (b)의 방법으로 변형시효시켜 그 응력에 재부하한 경우에는 지연 파괴는 발생하지 않고 있다.

### 3.2 수소의 집적에 대한 응력의 영향에 대한 고찰

고온첨가에 의해 수소를 첨가한 시편을 사용하여 전위등에 의하여 수소가 수송되지 않는 변형속도에서 예변형을 주고 변형시효 혹은 응력시효를 행함에 의해 수소의 집적에 관한 소성변형과 외부응력의 영향을 보았다. 그 결과는 앞서 설명한 바와 같이 예하중 후 응력시효 시편 쪽이 변형시효만의 경우보다 약 10분 정도 빨리 파괴에 이른다. 또 응력을 부하하고 있는 시간과 파단까지의 시간 사이에는 상관관계는 별로 나타나고 있지 않다. 소성변형이 같음에도 불구하고 응력시효한 쪽이 빨리 파괴를 일으킨다고 하는 것은 외부응력에 의해 수소가 집적되었거나 집적이 촉진되는 현상으로 생각된다.

그러나 파괴시간의 차이가 짧은 점으로 미루어 이 외부응력의 작용은 그렇게 크지는 않다고 사료된다.

Fig.6에 의하면 저응력 부하인 경우에는 응력시효(예하중에 의한 소성변형+외부응력)시킨 경우에는 파괴한 응력이라도 변형시효(예하중에 의한 소성변형)시킨 경우에는 파괴되지 않았다. 이러한 결과의 원인으로서는 다음 2가지 가능성을 들 수 있다.

① 응력시효 시킨 경우 외부응력에 의한 수소집적에 의해 파괴하나 변형시효시켜 재 부하한 경

우에는 변형시효 중의 수소탈출에 의해 재부하하여도 외부응력에 의한 수소의 집적에 의해 임계수소농도에 도달하기 전에 회복과정에 들어간다.

②외부응력의 부하에 의해 수소의 탈출이 억제되거나 전해에 의한 수소첨가에 의해 결함으로의 수소집적이 완료한대로 생각되는 시편에 있어서도 지연파괴를 일으키고 있다.

이는 소성변형에 의한 수소의 집적이 완료되고 더욱이 예하중을 걸어둔 상태이기 때문에 그 이하의 응력에서는 전위의 운동이나 그에 수반하는 수소의 수송집적은 무시할 수 있다고 생각되면 소성변형이나 전위등과 같은 운동이외의 외부응력의 영향에 의해 수소가 집적되었다고 생각된다.

그러나 지연파괴한 것은 모두 5분이내라고 하는 결과를 고려하면 외부응력에 의한 수소의 집적은 대단히 짧은 거리에서 발생된다고 생각된다. 이상과 같은 결과로 미루어 수소의 집적현상에 미치는 외부응력의 역할을 추론하면 다음과 같은 결과로 요약된다.

1.외부응력의 집중에 의해 수소집적이 이루어진다고 하는 직접적인 역할

2.외부응력의 부하에 의해 격자간의 거리가 넓어지므로서 수소의 탈출을 억제하는 간접적인 역할

3.외부응력을 부하함에 따라 결함위치와 격자간 위치와 수소의 화학적 포텐셜에너지 차가 커져 그에 수반하는 수소의 재분포

결국, 외부응력의 영향이 상기와 같은 원인 및 결과에 의한 실험에서도 그렇게 명확하게 나타나지 않았으나 외부응력의 영향이 나타나는 것은 예하중이 낮고 부하응력이 낮다고 하는 한정된 경우에만 나타났다.

금후, 이러한 수소의 집적현상을 더욱 규명하기 위해서는 수소 집적에 미치는 소성변형의 영향, 소성변형량의 차이에 의한 용해수소량의 변화, 수소의 미시적 결함으로의 집적등에 관한 연구검토가 계속 되어야 할것으로 사료된다.

#### 4. 결론

강의 지연파괴에 의한 수소의 집적현상을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 변형과 응력에 의한 시효를 가한 경우가 변

형시효만의 경우보다 파단시간이 단시간쪽에 기울고 있다.

2. 재부하로부터 파단까지의 시간과 부하응력사이에는 그 관련성이 크게 나타나지 않았다.

3. 부하응력이 저 응력인 경우, 응력 시효시킨 경우에는 지연파괴를 나타내었지만, 변형시효시켜 저응력으로 재부하한 경우에는 지연 파괴는 발생하지 않았다.

#### 참고문헌

1) B.A. Graille: British Welding J. June. 1967.

2) Y. Minamino: Mastuthesis, Kyoto Univ. 1975.