598 大韓機械學會論文集 第16卷 第3號, pp. 598~607, 1992.

〈技術論文〉

電氣化學的 方法에 의한 耐熱鋼의 劣化度 測定

(第1報 : 測定 메카니즘 및 現場 應用性에 對해서)

鄭熙敦* · 權寧珏*

(1991년 7월 13일 접수)

Degradation Degree Evaluation of Heat Resisting Steel by Electrochemical Technique

(Part I : Mechanism and Its Possibility of Field Application)

H.D. Jeong and Y. K. Kweon

Key Words: Material Degradation(재질열화), 2·1/4Cr-1Mo Steel, Mo-Carbide(몰리브덴 탄화물), Non-destructive Method(비파괴적 방법), Electrochemical Potentiokinetic Reactivation(전기화학 재활성화법), Electrochemical Cell for the Field Measurement(현장측정용 전기화학셀)

Abstract

The environment degradation of structural steel under high temperature is one of the key phenomena governing the availability and life of plant. This degradation resulted from the microstructural changes due to the long exposure at high temperature affect the mechanical properties such as creep strength and toughness. For instance, boiler tube materials usually tend to degrade, after long term operation, by precipitates, spherodizing, coarsening, and change in chemical composition of carbides. In this study, the material degradation under high temperature exposure was investigated by evaluating the carbide precipitation. The electrochemical polarization method was facilitated to investigate the preciptiation and coarsening of carbides. It was shown by the modified electrochemical potentiokinetic reactivation (EPR) tests that the passivation of Mo-rich carbides did not occur even in the passive region of steel in 0.001mol/l sodium molybdate solution and the anodic peak current (Ip) which indicates the precipitation of Mo_6C was also observed. And it was assured that special electrolytic cell assembled in this research can be used for the detection of Mo_6C precipitation in the field.

1. 서 론

최근 火力 發電設備, 化學工場등과 같은 高溫 設備 部材의 老朽化와 運轉 蓄積 時間의 增加에 의해 殘存 壽命이 減少 함에 따라 해당 설비의 現狀態 珍斷 및 殘存 壽命評價에 관한 硏究의 必要性이 증가 하고 있다[1][2][3]. 특히, 잔존수명의 豫測을 위해서는, 高溫中에서 가장 核心的인 破損 原因으로 되고 있는 크리이프(creep) 强度의 評價와 高溫中 長

*正會員, 産業科學技術硏究所 熔接硏究센터

時間 使用에 의해 생기는 經年的인 變化의 定量的인 평가가 必順的이다.

여기서, 경년적인 變化는 크게 機械的 要因과 治金學的 要因으로 分類되며, 이들 要因들은 서로 相互 關係를 유지하면서, 部材의 全體的 성질 變化를 支配하게 된다[4].

이 中에서도 治金學的 要因의 핵심은 炭化物의 生成 및 粗大化를 들 수 있다. 炭化物의 生成은 材質의 軟化를 초래하거나 微視破壞의 起點으로 作用하며, 크리이프 强度를 위시한 全般的인 기계적 性質의 弱化에 상승 作用을 하게 된다. 이 때문에 高溫 部材의 현상태 진단 및 잔존 수명 예측에 있어서는 部材 중에 生成된 炭化物의 特徵化 내지는 分析이 重要한 位置를 차지하게 된다.

한편 設備의 壽命을 評價하기 위해 必要한 技術的인 實驗 方法으로서는 크게 破壞 實驗과 非破壞試驗(non-destructive test ; NDT)으로 나누어 지지만, 老朽 設備의 壽命 延長이 作今의 추세인 점을 감안하면 비파괴적 方法에 의한 야금학적 變化의 測定은 매우 큰 意味를 부여 받게 된다. 現在 이러한 目的下에 超音波法, 레프리카法등[5][6][7] 수많은 技法들이 硏究되고 있으나, 測定上의 어려움, 再現性 여부 등 應用에 있어서 각기 나름대로의 限界를 內包하고 있기 때문에 앞으로 많은 測定 方法들이 改善 내지는 開發 되어야 할 것이다.

本 硏究는 이와 같은 觀點下에서 高溫中 長時間 使用中에 일어나는 야금학적 성질의 變化의 主原因인 特定 炭化物을 非破壞的으로 檢出하기 위해, 最近에 연구 되고 있는 電氣化學的 方法[8~9]을 應用하기 위한 基礎硏究이다. 한편으로는 비파괴적 方法의 實驗室的 연구를 現場에 應用시키기 위한 시도를 行하고, 本 硏究 結果를 이용한 向後 設備 珍斷 시스템의 槪要를 考察해 보인다.

2. 試驗材 및 實驗方法

本 硏究에 使用된 試驗材는 Table 1와 같은 化學 成分을 갖는 火力發電所의 熱交換器用으로 사용되는 2·1/4Cr-1Mo鋼(STPA 24)이다. 시험재는 未使用材, 人工熱處理材 그리고 實機 使用材로 大別된다. 여기서, 人工熱處理材는 짧은 시간 동안에 炭化物을 人爲的으로 생성시키기 위해서 未使用材를 690℃에서 所定의 時間 동안 加速熱處理를 行한 재료이다. 그리고 實機 使用材는 화력발전소에서 사용된 部材 (設計溫度 600℃에서 약 75,000 시간 사용)를 意味한다.

Table 1 Chemical composition of STPA 24 steel studied in present work

C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo
0.168	0.33	0.51	0.027	0.004	0.024	2.12	0.91

크리이프强度, 衝擊置를 위시한 機械的 性質 低下에 直接的인 影響을 미치는 Mo_6C炭化物의 非破壞的 檢出을 위해서 0.001mol/ℓ의 소디엄 몰리브데이트(sodium molybdate) 溶液中에서, 양극 分極 試驗 및 EPR(electrochemical potentiokinetic reactivation : EPR)[10] 試驗을 行했다. (여기서 EPR시험이라 함은 通常의 EPR시험과는 實驗 方法上 약간의 차이는 있으나, 以下에선 편의상 그대로 EPR試驗으로 表記함). 여기서 전해 용액으로 소디엄 몰리브데이트를 사용한 이유는 이 용액하에서는 Mo_6C의 탄화물이 부동태화하지 않는 성질을 이용하기 위한 것이다. 그리고 전해 cell은 문헌(10)에 명시되어 있는 ASTM의 표준 전해셀(standard electrochemical cell)을 利用하였다.

EPR試驗은 먼저 1μm의 다이어몬드 페스트(diamond paste)로 最終 마무리 연마된 試料에 不動態를 形成시키기 위해서 300mV(vs Ag/AgCl)의 전위에서 5분간 維持 시킨 후 0.5mV/sec의 速度로 自然電位 부근(ecorr)까지 分極시켰다. 이러한 시험의 과정에서 전위의 변화에 따라 시료 표면에

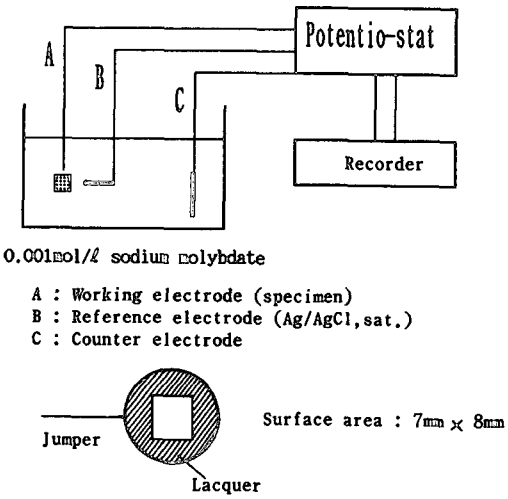

Fig. 1 Schematic diagram of electrochemical test system and preparation of specimen

형성되어 있는 부동태 피막의 거동을 전류치의 변화로부터 이해하기 위해 電位와 전류밀도의 변화를 連續的으로 記錄하였다. 電位-電流 曲線을 얻기 위한 測定 시스템 및 시료의 詳細圖를 Fig. 1에 나타낸다. 電解 溶液은 恒溫槽를 이용하여 25℃로 장시간 維持 시킨후 시험에 臨했으며, 용액의 pH는 약간의 버퍼(buffer)액의 添加 또는 탄산가스를 이용하여 용액내에 기포를 생성시켜 pH=5.4~5.49의 範圍가 되도록 했다.

한편, 高溫中 熱處理에 의해 生成된 炭化物을 分析하기 위해서 試料부터 炭化物 抽出을 行하고 X-ray Diffraction(이하 XRD로 표기) 試驗에 임했다. 炭化物의 추출은 8% HCl+92% Ethanol 용액하에서, 試料에 플러스 電源을 對極에 마이너스 전원을 연결한 후 20mA/cm²의 電流를 通電시킴에 의해 실시되었다. 추출된 탄화물은 眞空 펌프를 이용하여 용액과 分離 시키고 알콜 세척 및 건조후 탄화물의 種類를 定義하기 위해서 XRD試驗으로 移行 되었다.

3. 實驗 結果 및 考察

3.1 炭化物 分析 結果

未使用材와 實機 使用材 그리고 690℃에서 여러 種類의 熱處理 履歷을 갖는 試料의 組織 觀察 結果가 Fig. 2이며, 열처리의 程度가 增加함에 따라 組織內의 Pearlite 조직이 消滅되어 가고 粒界와 粒內에 炭化物의 形成이 관찰되었다.

XRD에 의한 炭化物의 分析結果, 미사용재의 경우 Fig. 3과 같이 炭化物의 種類는 Cr-rich 炭化物이 (Cr_7C_3, $Cr_{23}C_6$) 主流를 이루고 있고, 약간의 Mo_2C의 炭化物이 관찰되고 있다.

一般的으로 本 試料와 同種의 鋼에 있어서의 炭化物은 열처리가 進行되어 감에 따라 다음의 순서

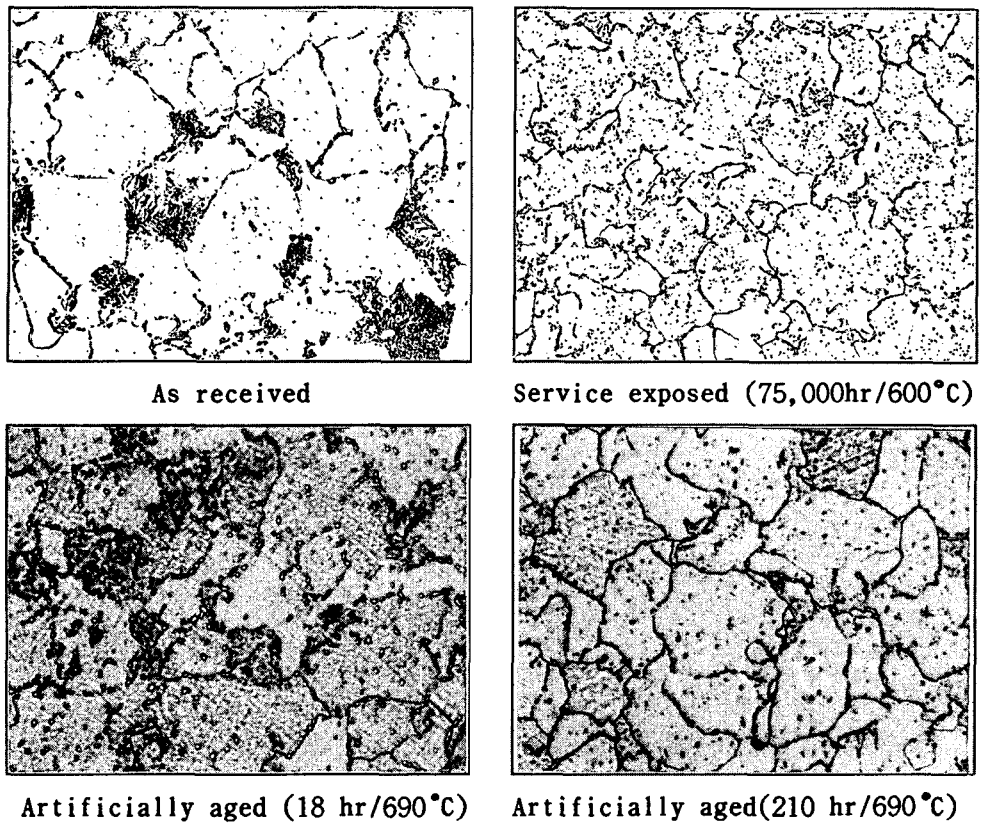

Fig. 2 Microstructure of as received, service exposed and artificially aged STPA 24 steel

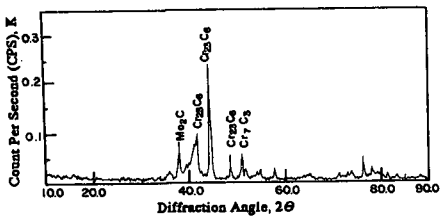

Fig. 3 X-ray diffraction(XRD) result of as received STPA 24 steel

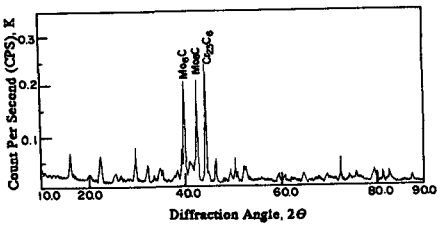

Fig. 4 X-ray diffraction(XRD) result of the service exposed STPA 24 steel

로 變化하는 것으로 알려져 있다[3][11]. 즉,

모 재(페라이트+퍼라이트)
(미사용재) (열처리)
Mo_2C, $Cr_{23}C_6$, Mo_7C_3 ⟶ Mo_6C

용 접 부(마르텐사이트)

$$\varepsilon\text{-탄화물} \rightarrow \text{세멘타이트} \rightarrow \text{세멘타이트} \begin{cases} \uparrow Cr_7C_3 \\ \downarrow Mo_2C \end{cases} \begin{cases} \uparrow Mo_6C \\ \uparrow Cr_{23}C_6 \end{cases}$$

이러한 變化 過程에서 顯著하게 租大化 하는 炭化物은 Mo_6C이다. 이 Mo_6C 炭化物은 Mo-rich 炭化物이기 때문에 조대화 과정에서 固溶 强化 元素인 Mo을 吸收하게 되며, Mo_6C의 증가는 轉位 移動의 障壁 역활을 하는 微細 分散 炭化物 Mo_2C의 減少를 초래하게 된다. 한편, 租大化된 Mo_6C는 壁開 破壞를 發生시키는 起點으로 作用하여 部材의 脆性 破壞를 誘發시키는 主 原因이 되기도 한다.

그러나 600℃에서 약 75,000 시간의 使用經歷을 갖는 실기 사용재의 경우 Fig. 4와 같이 Mo-rich 탄화물인 Mo_6C의 炭化物이 顯著하게 증가되었음을 알 수 있었다.

한편, 690℃에서 여러 종류의 열처리 經歷을 갖는 재료에서도 열처리 시간이 증가되어감에 따라 Mo_6C의 生成量이 증가되고 있음을 알 수 있다. 또한 Cr-rich 炭化物인 $Cr_{23}C_6$ 炭化物의 경우, 어

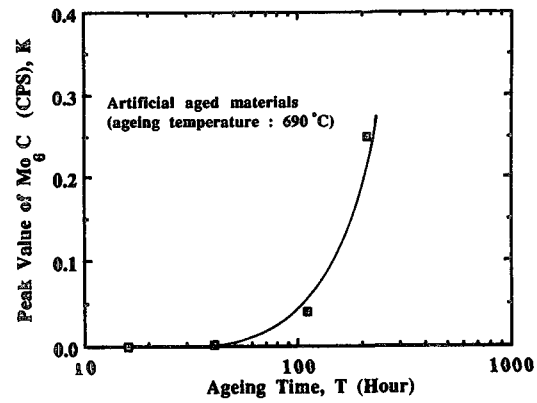

Fig. 5 Relation between peak of Mo_6C and ageing time

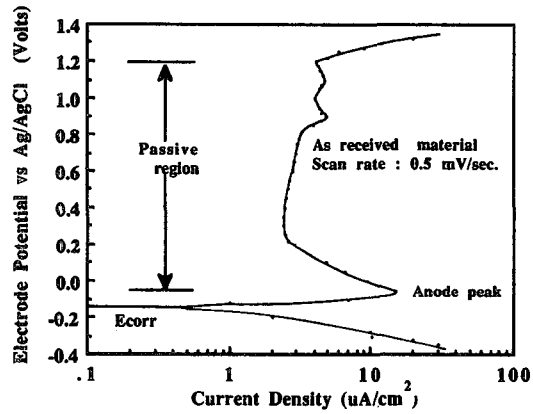

Fig. 6 Polarization curve obtained from the as received STPA 24 steel in 0.01mol/sodium molybdate solution with scan rate of 0.5mV/sec

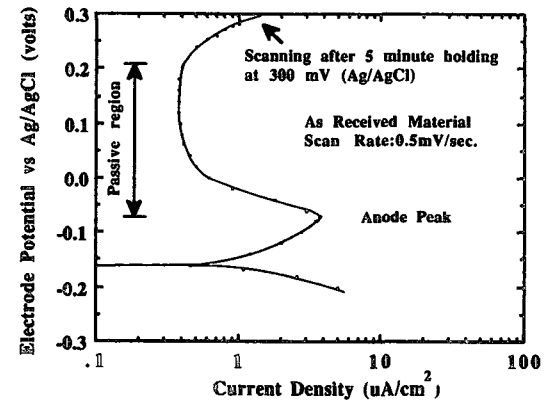

Fig. 7 Polarization curve obtained by EPR test from the as received STPA 24 steel in 0.01mol/sodium molybdate solution

느 程度의 열처리 過程까지는 증가의 추세를 보이다가, Mo_6C의 炭化物이 증가됨에 따라 比例的으로 감소하고 있음을 알 수 있었다. Fig. 5는 690℃에서의 熱處理 時間과 Mo_6C의 Peak 値의 關係를 나타낸 것이다.

以下에서는 前節에서 言及한 바와 같이 部材의 크리이프(creep)및 충격치등 機械的 性質에 가장 큰 影響을 미치는 Mo_6C 炭化物만에 注目하여 그것의 비파괴적 검출에 대해 알아보려 한다.

3.2 分極曲線 測定 結果

未使用材의 양극(Anode) 分極 擧動을 살펴 보기 위해, 自然電位(ecorr) 부근에서 양극쪽으로 0.5 mV/sec의 速度로 분극시켜 얻어진 通常의 電位-電流密度 曲線을 Fig. 6에 나타낸다. 그림을 보면 약 -130mV(vs Ag/AgCl)에서 自然電位가 존재함을 알 수 있고, −50mV에서 높은 전류(이하 anode peak라 함)를 보이며 그 以上의 전위에서 不動態의 擧動을 나타내고 잇다.

Fig. 7은 미사용재에 대해서 얻어진 EPR試驗 結果로서 測定 開始와 同時에 瞬間的으로 부동태 거동을 나타내는 300mV의 양극 電位로 變化시켜, 充分한 부동태 皮膜을 형성시키기 위해 5분간 維持시킨 다음, 형성된 부동태가 어느 정도 완벽하게 형성되었는가를 조사하기 위해 0.5mV/sec의 속도로 自然電位 쪽으로 分極시킨 結果이다. 전위가 自然電位 쪽으로 移動함에 따라 전류의 감소, 즉 Fig. 6과 같이 부동태의 現狀이 유지된 후 自然電位에 가까워짐에 따라 anode peak를 보이고 있다.

이 같은 결과는 시료 전면에 걸쳐 부동태가 충분히 형성되어 전류의 흐름이 억제되었음을 말해 주고 있다.

Fig. 8은 앞의 Fig. 7의 미사용재와 同一한 試驗條件으로 實機 사용재에 對해서 얻어진 결과를 나타낸 것이다. 그림을 보면 처음엔 미사용재와 비슷한 거동으로 電流値가 減少하지만 약 150mV(Ag/AgCl) 부근에서 높은 電流値를 보이다가 다시 감소하고 있음을 알 수 있고, 또한 전위가 自然電位에 가까워짐에 따라 Fig. 6, 7과 같이 다시 높은 전류치(anode peak)를 나타내고 있음을 알 수 있다. 여기서, Fig. 6, 7 그리고 Fig. 8에 있어서 anode peak치를 살펴보면 약간의 차가 존재함을 알 수 있다. 이것은 自然電位에서 양극쪽으로 분극 시켰을 때와 양극전위에서 自然電位쪽으로 분극시켰을

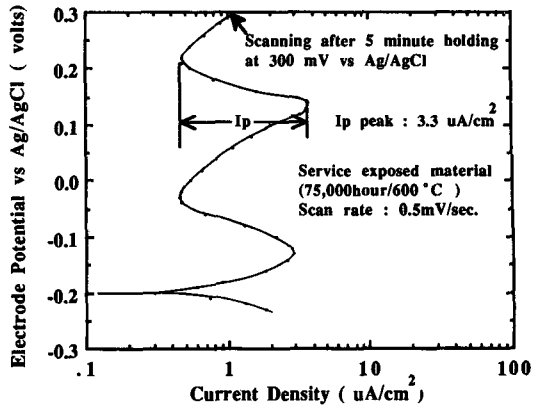

Fig. 8 Polarization curve obtained by EPR test from the service exposed STPA 24 steel in 0.01mol/ sodium molybdate solution

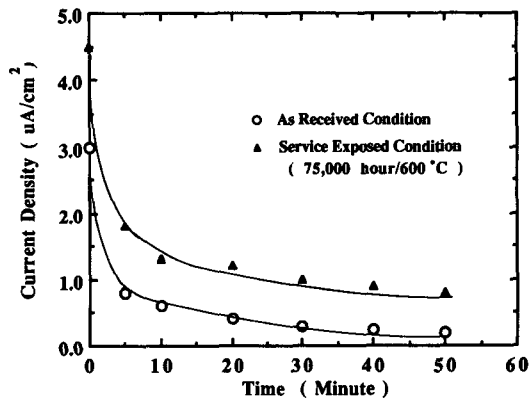

Fig. 9 Current variation as a function of time at applied potential of 150mV(Ag/AgCl)

때의 차이 즉, andoe peak에 상당하는 전위에 도달 했을 때 시료표면에 부동태의 존재 여부에 따라 전류 값이 달라지기 때문이다. 또한, 먼저 부동태가 형성 되었다 하더라도 부동태의 형성 형태에 따라서도 anode peak치는 달라 질 수 있다.

Fig. 6의 電位-電流密度 曲線에서도 알 수 있었듯이 부동태 영역범위인 300mV(vs Ag/AgCl)에서의 5분간의 維持는 材料表面에 부동태를 形成시켰으리라 생각되며 전위치가 anode Peak에 도달하기까지는 부동태 상태가 持續되리라 본다.

그러나 실기 사용재에서 나타난 150mV 부근에서의 높은 전류는, 시료표면에 부동태화 되지 않는 部位들이 存在하고 있었고, 이러한 부위들을 通하여 전류가 흐르고 있었음을 示唆하고 있다. 이러한 現狀의 差異를 理解하기 위하여 미사용재와 실기

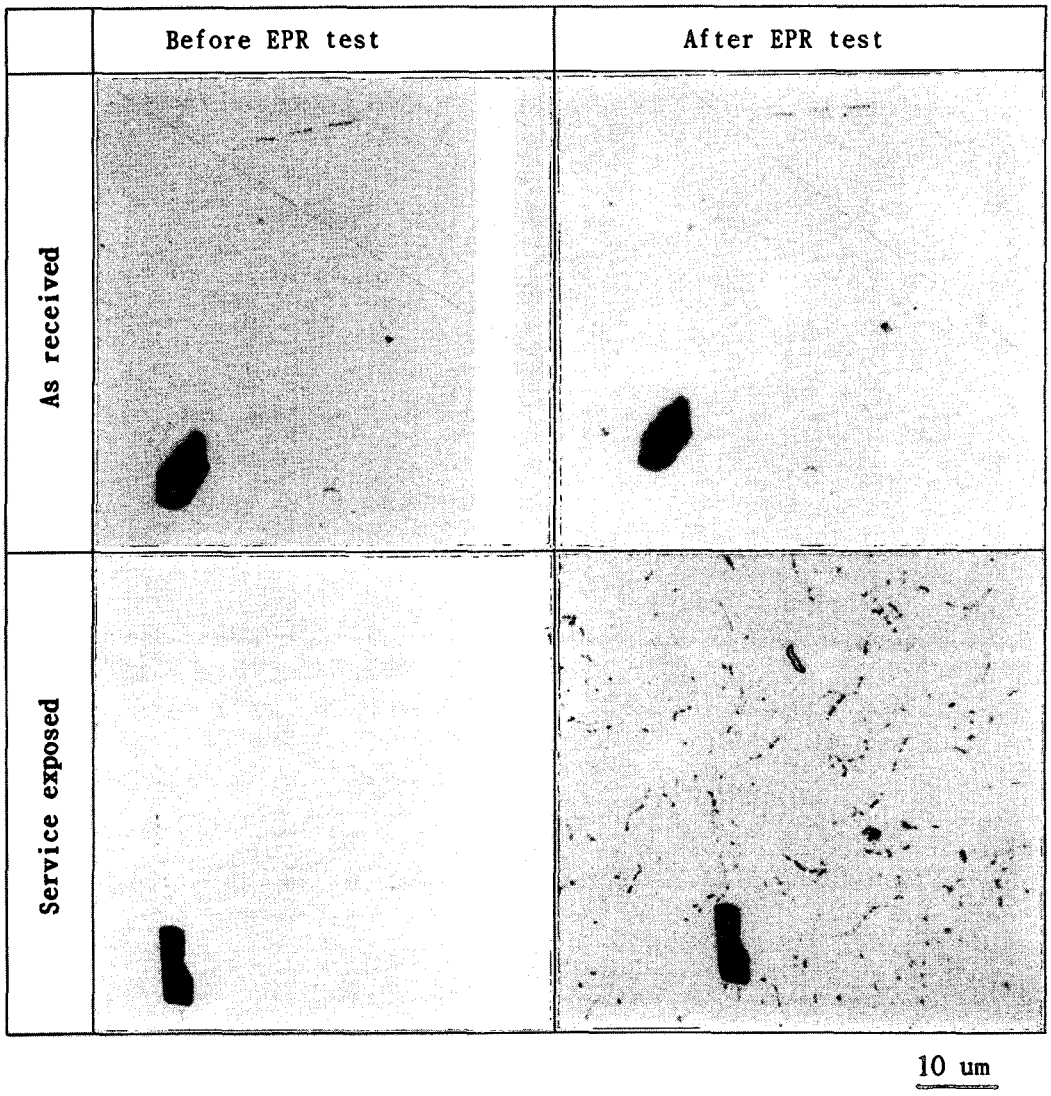

Fig. 10 Appearance of surface before and after EPR tests

사용재에 대해서 150mV 부근에서 장시간 유지 시키고 時間 變化에 따른 電流密度의 변화를 관찰하였다. 그 결과를 Fig. 9에 나타낸다. 이러한 전류밀도의 변화는 測定 開始 순간에 急激한 변화를 보이기 때문에 두 재료의 전류치를 定量的으로 比較檢討하기에는 問題가 있으나, 그림에서 알 수 있듯이 실기 사용재쪽이 2倍 以上의 전류치를 보이고 있는 것으로 부터, 실기 사용재의 쪽이 不安定한 부동태를 형성하고 있음을 알 수 있다. 이러한 측정 電流値의 差異가 시료표면에 어떠한 樣狀과 對應하는가를 알기 위해, 두 試料의 전류 밀도 변화 試驗 前後의 시료表面 사진을 Fig. 10에 나타낸다. 미사용재의 경우엔 시험 전후에 特記할 만한 변화는 관찰되지 않았으나, 실기 사용재의 시험후 표면에는 Fig. 2와 같은 組織 사진의 炭化物 分布와 같은 部位가 特徵的으로 관찰되고 있음을 알 수 있다.

이 부위는 고온에서 장시간 사용에 의해 生成된 炭化物의 흔적으로 여겨지며 이 부분에 대한 詳細를 알기 위해서 電子顯微鏡 관찰을 行하였다. Fig. 11이 그 결과로서 조직 사진에서 관찰되었던 炭化物이 溶解되어 빠져나간 흔적이 보이고 있으며, 部

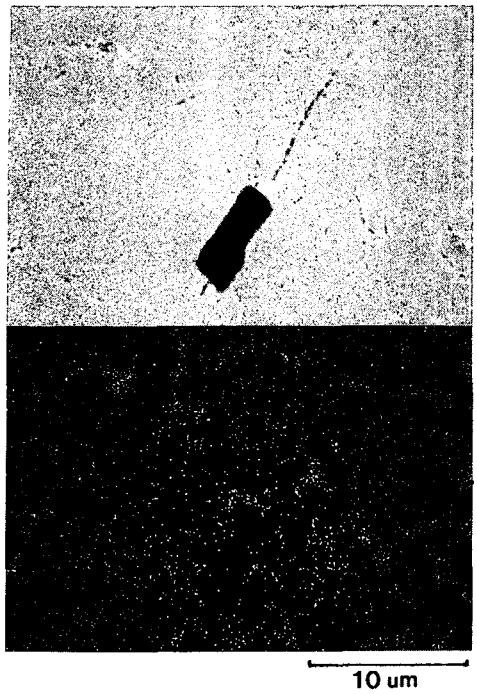

Fig. 11 SEM results and Mo distributions of the service exposed STPA 24 steel after EPR test

分的으로 미쳐 용해되지 못한 炭化物이 周圍에 存在하고 있고 EPMA (electron probe microanalysis) 分析 結果로부터 Mo-rich 炭化物인 것을 알 수 있었다.

이상의 結果와 前述의 炭化物 분석 결과로부터 0.001mol/*l*의 soidum molybdate 용액하에서 Mo-rich 炭化物인 Mo_6C의 表面만은 不動態化 하지 않고 150mV 부근에서 용해현상이 일어나며, 그 결과로서, Fig. 7과 같은 부동태 領域에서 높은 電流値(이하에서는 이값을 Ip라 칭함)가 관찰된 것임을 알 수 있다.

또한 X-ray Diffraction(XRD) 결과에서 얻어진 690℃에서 各鍾의 時間 단계로 인공 열처리된 재료에서의 Mo_6C 炭化物의 最大 Peak값과 Ip와의 關係를 Fig. 12에 나타낸다.

여기서 인공 열처리의 온도가 실기 사용재의 그것보다 훨씬 높기 때문에 炭化物의 生成過程에 큰 差異가 있을 것으로 여겨진다. 이 때문에 실기 사용재와 인공 열처리재를 定量的으로 檢討한다는 것은 무리가 있으나, 同一 溫度의 熱履歷을 갖는 인공 열처리재만을 고려하여 볼때 Fig. 12와 같이 Mo_6C

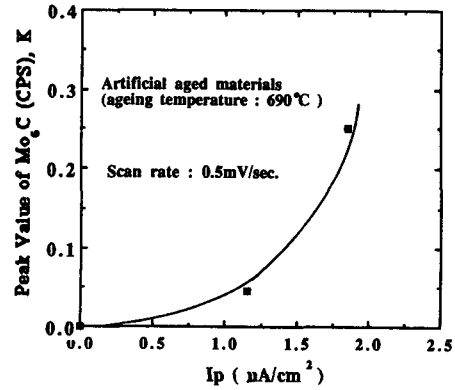

Fig. 12 Relations between peak values of Mo_6C carbide and Ip values

炭化物의 증가와 Ip값은 좋은 關係가 있음을 보여주고 있다.

以上의 結果를 綜合하여 보면 Mo_6C 炭化物의 增加量은 Ip값이 잘 代辯하고 있고, 앞으로 破壞實驗에 의해 각종 열처리재의 기계적 성질을 정량적으로 평가하고 그 값들과 Ip값과의 關係를 수립해 나아간다면, 장래 Ip값의 檢出이 高溫 部材의 劣化度를 評價하는 非破壞的 手法으로서 有用할 것으로 여겨진다.

3.3 電氣化學的 特性値에 미치는 주사 速度 (Scan Rate)의 影響

前節의 EPR試驗에 있어서는 炭化物 검출의 機構를 學術的으로 解明하기 위해서 0.5mV/sec 라는 느린 速度로 電位를 變化시켰었다.

그러나, 0.5mV/sec라는 電位주사 速度하에서 Ip를 구하기 위한 하나의 측정곡선을 그리기 위해서는 약 30分의 時間이 所要된다. 장래 이러한 測定 方法을 장시간에 걸쳐 實機의 劣惡한 設備 環境下에서 適用한다는 것은 많은 問題點을 나타낼 것으로 생각된다. 이 때문에 측정치에 미치는 Scan Rate의 영향을 明確히 하여 最短時間 측정에 의한 同等의 결과를 얻기 위한 노력이 必要하게 된다. 이와 같은 理由에서 실기 사용재에 대해서 주사속도를 각각 0.5, 1, 2 그리고 5mV/sec로 變化 시켰을 때, Ip값이 어떠한 變化를 나타내는가를 알아보기 위한 시험 결과가 Fig. 13이다. 그림을 살펴보면, 0.5mV/sec에서 2mV/sec까지의 範圍 안에서는 Ip값에 큰 변화가 없음을 알 수 있고 5mV/sec 이상에서는 거의 Ip값이 나타나지 않고 있음을

알 수 있다.

Fig. 14는 5mV/sec와 2mV/sec의 分極 速度下에서 얻어진 분극후의 시료의 표면 사진을 나타낸 것이다. 5mV/sec의 경우 시료표면에는 아무런 변화가 보이지 않고 2mV/sec의 速度下에서는 탄화물의 용해가 관찰되고 있어, Fig. 13의 결과의 타당성을 잘 立證하여 주고 있다.

여기서 5mV/sec 이상에서 Ip 값이 관찰되지 않는 것은 反應 速度論的인 考察이 必要하게 되며, 試料表面이 電解液과의 充分한 反應을 하기 위한 時間的 여유가 없었음이 根本的인 原因이 되고 있다고 여겨진다.

이 같은 結果에서 알 수 있듯이 現場에서 Ip 값을 測定 할 때에는 2mV/sec 以下의 分極 速度를 취해야 할 것으로 여겨진다.

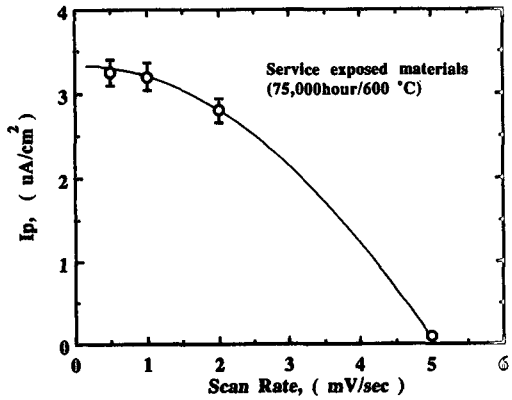

Fig. 13 Effect of scan rate on Ip value

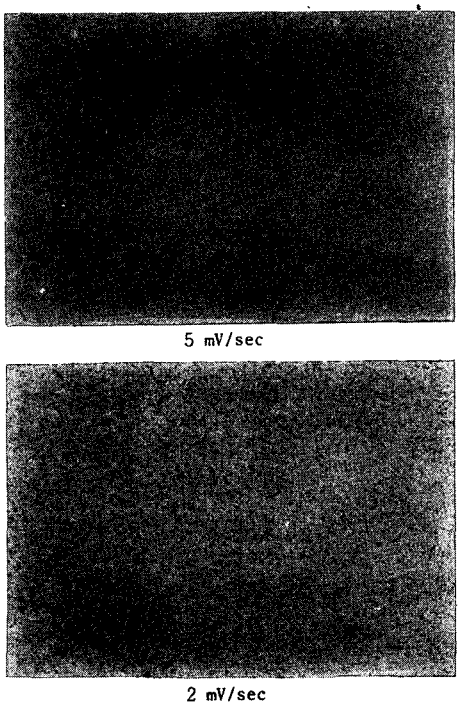

Fig. 14 Surface appearance after EPR test with scan rate of 5mV/sec and 2mV/sec

3.4 EPR法의 現場應用과 向後 硏究에 對해서

前節의 試驗에 있어서는 檢出機構의 검토에 重點을 두고 一般 電氣化學 시험에 사용되는 표준 전해셀을 利用하였다. 以下에선 前節의 方法을 應用하여 非破壞的 方法(電氣化學的)에 의한 炭化物의

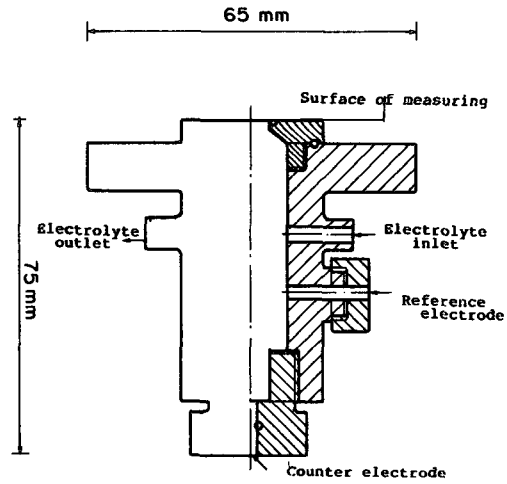

Fig. 15 Schematic diagram of electrochemical cell manufactured for field application

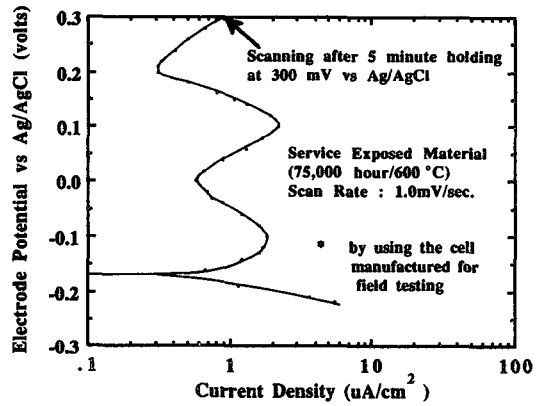

Fig. 16 Example of polarization curve obtained by using the electrochemical cell for the engineering fields

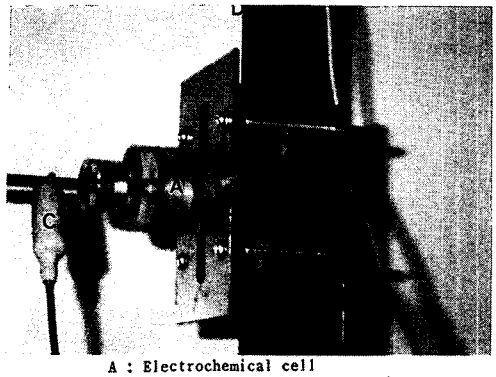

Fig. 17 The electrochemical testing device for the measurement of material degradation degree in the engineering fields

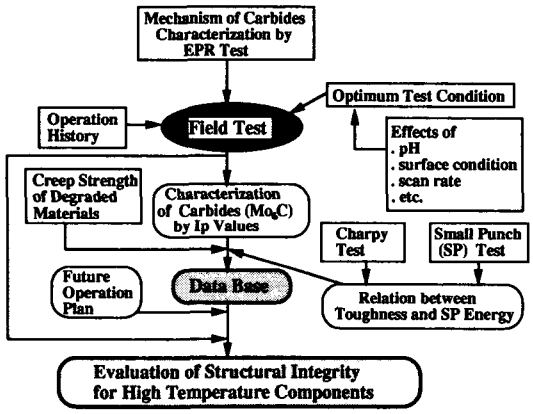

Fig. 18 Basic concept of evaluation system for high temperature structural components by using the electrochemical testing

검출이 現場에서 測定可能한가를 살펴보기 위해, 아크릴 材料를 이용하여 Fig. 15와 같은 現場 測定用 EPR 電解 cell을 製作하였다. 電解液과 測定方法은 前節의 것과 同一하며, 다만 cell의 형상關係로 電解液量이 크게 다를 뿐이다. 즉, 前節의 표준전해셀의 전해액은 1*l*인 反面, 現場用 cell은 20m*l*이다.

現場 測定用 cell을 이용하여, 實機 使用材에 대해서 1mV/sec의 分極速度下에서 얻은 結果를 Fig. 16에 나타낸다. 前節의 표준 전해셀을 이용한 EPR試驗에서는 炭化物 검출의 機構를 이해하는 데에 重點을 두었기 때문에 0.5mV/sec의 느린 速度를 취했으나, 現場 測定用 셀에 對해서는 向後 현장적 適用을 고려하여 1mV/sec의 速度하에서 實驗을 實施해 보았다. 그림을 보면 표준 전해셀을 이용한 경우와 비슷한 結果가 얻어지고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 미사용재의 부동태 영역에서 Ip 값 ($Ip=1.5\ \mu A/cm^2$)이 앞서 설명한 바와 같이 Mo_6C의 존재를 잘 대변하고 있어서, 現場 適用性은 매우 양호하다고 判斷된다. 물론, 동일한 시료를 사용한 Fig. 8과 비교하여 볼 때 Ip값은 낮은 값을 보이고 있으나 이것은 측정 환경의 차이로 볼 수 있으며, 앞으로 현장용 cell을 이용한 데이터의 축적이 중요한 위치를 차지함을 알 수 있다.

이러한 cell을 이용하여 向後 火力發電所 보일러 튜브의 劣化度를 평가하기 위한 현장 적용의 모양을 Fig. 17에 나타낸다.

여기서, 治金學的 變化가 設備 壽命에 깊은 影響을 미치는 高溫 設備의 現狀態 珍斷 및 殘存 수명 評價 시스템의 基本的인 槪念을 Fig. 18에 나타내었다. 개념은 本 硏究에서 言及한 EPR測定의 역활과 앞으로 解決해야 할 宿題들을 나타내고 있으며, 또한 크리이프(creep) 强度를 위시한 機械的 性質 變化와의 相關關係에 注目한 것이다. 그리고 大部分의 熱交換器 部材가 形狀의 制約上 일반적인 기계적 성질을 評價하기 위한 適定의 試料를 採取하기 곤란한 경우가 많다. 이에 對處하기 위해서는 小形의 시편에 의한 실험이 要求되는데, 本 槪念에서는 10×10×0.5mm의 소형 試驗片으로 材料의 衝擊 에너지 變化를 豫測할 수 있는 소형펀치(Small Punch : SP) 시험[12~13]을 採擇 했다.

4. 결 론

高溫 部材의 劣化度를 非破壞的으로 評價하기 위한 一環으로서, 電氣化學的 實驗을 通하여 다음과 같은 結論을 얻었다. 즉, Sodium Molybdate 溶液中에서 실시한 EPR 分極曲線에서 나타나는 Ip 電流値에 의해 시료중에 存在하는 Mo_6C의 비파괴적 檢出이 可能했다. 또한 Ip測定에 있어서는 본 연구의 측정 범위만을 고려하여 볼때 2mV/sec의 分極溫度가 許容 最大 속도임을 알았다.

한편, 自家 製作한 現場 測定用 전기화학 cell을 이용하여 현장에서도 同一한 측정이 充分하다는 것을 알았고, 이러한 측정 방법을 基盤으로 하여 고온 設備의 現狀態 진단을 위한 基本 槪念을 提案했다.

後 記

마지막으로 本 硏究에 도움 말씀을 주신 全北大學校 鄭世喜 敎授, 그리고 日本 東北大學 工學部 庄子哲雄 敎授께 감사드린다.

參考文獻

(1) 김건영, 1990, "보일러 破損 事故의 분류", 大韓鎔接學會, '91春季學術大會 개요집, pp. 5～34

(2) 鄭熙敦, 1991, "高溫部材의 輕年劣化와 그 測定法", 大韓機械學誌 第31卷 第3號, pp. 241～260

(3) 日本鐵鋼協會, 1985, "構造材料の壽命および予壽命豫測のための計測手法確立に關する調査研究報告書", 日本鐵鋼協會 材料計測委員會

(4) 高橋秀明, 庄子哲雄, 1986, "火力發電部材の經年劣化と非破壞珍斷技術", 火力原子力發電, 第37卷 第8號, pp. 67～71

(5) Viswanathan R., et al., 1989, "Etching Technique for Assessing Toughness Degradation of in Service Component," Int. Conf. Life Extention and Assessment, Haag, the Netherland, paper 2. 5.1

(6) 後藤外, 1987, "Cr-Mo-V鋼部材のCavity 觀察によるCreep予壽命評價", 材料, 第36卷 第408號, pp.85～90

(7) 日本鐵鋼協會, 1984, "鐵鋼材料の高溫損傷とその對策", 102, 103西山 記念講演.

(8) Shoji, T., 1991, "Evaluation of Materials Degradation and Plant Life Extension Technology," Journal of JSME, Vol. 94, No. 866, pp. 52～60

(9) 渡邊農, 庄子哲雄, 鐵と鋼(印刷中)

(10) ASTM Standard G5－78, 1978, "Standard Reference Method for Making Potentiosttic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurement."

(11) Cheruvu N.S., 1987, "Degradation of Mechanical Properties of Cr-Mo-V and 2. 25Cr-1Mo Steel Components after Long-term Service at Elevated Temperatures," Metallurgical Transaction, 20A, pp. 87～95

(12) Chung S.H., 1989, "The Evaluation for the Serice Material Degradation of Superheater Tubes of Fossil Boiler," Pro. KSME/JSME Joint Conf. Seoul, pp. 334～338.

(13) 鄭世喜, 鄭熙敦, 1988, "SP試驗法에 의한 材料의 破壞强度 評價". 大韓機械學會誌, 第28卷, 第4號, pp.387～396