

(論 文)

小型펀치試驗法에 의한發電用蒸氣管의 經年材質劣化 評價에 관한 研究

김정기* · 이종기** · 윤기봉*** · 정세희****

(1991년 6월 3일 접수)

Study on Evaluation by Small Punch Test for Material Degradation of Steam Tubes of Fossile Electric Power Plant

J.K. Kim, J.K. Lee, K.B. Yoon and S.H. Chung

Key Words : Small Punch Test(소형펀치시험), Material Degradation(재질열화), Temper Embrittlement(뜨임취화), DBTT(ductile-brittle transition temperature ; 연취성 천이 온도), FATT(fracture appearance transition temperature ; 파면천이온도)

Abstract

Since Cr-Mo steels are used extensively for steam pipes of power plants, the material degradation such as temper embrittlement occurs during service in practical engineering fields. Material degradation is usually detected by an upward shift of the ductile-brittle transition temperature in a notched bar test such as the Charpy V-notch impact test. Since it is not possible to take large size specimens from an operating plant to evaluate the material degradation, nondestructive or semi-nondestructive techniques involving removal of small size are needed. It was suggested that the small punch test with miniature specimen was originally developed to study irradiation damage effect of nuclear reactor also had an applicability to material degradation detecting technology. It was shown that the SP test would be a useful tool to assess the material degradation in power plants.

1. 서 론

最近 火力發電 設備 등에서 볼 수 있는것 같이 高溫·高壓 下에서 長時間의 運轉履歷을 갖는 設備가 增加하고 있고, 大部分의 國家에서는 火力發電이 供給電力의 過半數 以上을 차지하고 있다. 그러나, 이들 高溫·高壓設備의 部材는 375~575℃의

高溫域에서 長時間 使用된 結果 破壞靱성이 顯著하게 低下하는 材質劣化 現象이 問題로 되고 있어,⁽¹⁾ 이들 裝置의 安全性에는 極히 危險한 狀況을 招來할 수도 있음이 알려지고 있다.

따라서, 長時間 使用되고 있는 高溫 設備에 대한 性能과 信賴性的의 維持 및 向上的 觀點에서 殘餘壽命 豫測과 關聯된 適當한 設備診斷 技術의 確立은 重要한 課題^(2,3)로 되고 있다. 이를 위하여 從來 非破壞的인 方法^(4,5)이 摸索되어지고는 있으나, 最終的인 判斷은 아직도 Charpy V-notch(CVN) 衝擊試驗과 같은 破壞靱性 試驗에 依存하지 않으면 안 되는 狀態에 있다⁽⁶⁾. 그러나 現場實機에서 採取되

* 정회원, 전주공업전문대학 기계공학과
** 정회원, 전북산업대학 기계공학과
*** 정회원, 한국표준연구소 역학물성연구소실
**** 정회원, 전북대학교 공과대학 정밀기계공학과

는 試驗片의 크기와 數量은 制限되고 있어서, 可能한 한 少量의 試驗片으로 破壞靱性を 評價할 수 있는 試驗方法의 開發이 要求되어 왔다. 最近 美國과 日本에서 原子爐 壓力容器的 粒子線(中性子等)照射損傷 評價 및 爐壁材料 開發을 위해 整備되고 있는 小型펀치(Small Punch : SP)試驗法⁽⁷⁾은 現場의 實機로부터 部材의 強度에 影響을 주지 않을 정도로 작은 領域에서 試驗片 採取가 可能한 長點을 갖고 있기 때문에, 이러한 長點을 應用하여 發電設備나 石油化學設備에 對한 經年材質劣化 評價에 SP 試驗法의 適用 可能性이 檢討되고 있는 段階이다^(8,9).

本 研究는 運轉履歷이 다른 보일러 過熱器 및 再熱器에서 採取한 Cr-Mo鋼, 蒸氣管을 對象으로 이 SP 試驗法을 導入하여 SP試驗에 의한 材質劣化의 評價 可能性을 研究 檢討하였다.

2. 試驗片 및 實驗方法

2.1 試驗片

本 研究에 使用된 材料는 運轉履歷이 각기 다른 火力發電 設備에서 採取한 Cr-Mo鋼 蒸氣管들로 그 化學成分과 常溫에서의 機械的 性質 및 使用條件은 Table 1, 2, 3과 같다.

材質劣化 程度를 評價하기 위한 從來의 破壞靱性 評價法에 의한 CVN 衝擊試驗片과 SP試驗片을 Fig. 1과 같은 方法으로 蒸氣管의 外表面에 注目하여 採取하였다.

CVN 衝擊試驗片은 蒸氣管의 制限된 寸수의 사정상 5×5×55mm 크기로 加工하였고, 노치는 開先角 45° 半徑 0.2mm, 길이 1mm로 하였다. SP試驗片은 □10×0.5mm 크기의 平板形으로 하였으며, 特히 試驗片의 兩面중 지그의 下部다이(die)와 接하는 面 즉, 蒸氣管의 外表面은 樹脂研磨紙(#1200까지)로 研磨한 後 粒徑 0.3μm의 alumina 研

磨材로 buff 研磨하여 鏡面 狀態를 維持시켰다.

한편, 이들 材料는 新材가 保存되어 있지 않기 때문에, 從來의 方法에 따라 劣化材를 650℃에서 3.5時間 동안 維持시킨 後 空冷시키는 脫脆化熱處理⁽¹⁰⁾를 行하여 新材로 代置하였다.

2.2 實驗方法

準備된 試驗片은 材質劣化度 評價를 위해 CVN 衝擊試驗 및 SP試驗에 提供되었다. CVN衝擊試驗은 容量 30kg-m의 自動 記錄型 衝擊試驗機(instrumental impact testing machine)를 使用하였다. 試驗 溫度範圍는 -150~+50℃였고, 試驗은 ASTM E 27-72의 規定에 따라 實施되었다.

SP試驗法은 Fig. 2에서와 같이 微小 試驗片⁽⁷⁾(□10×0.25mm, □10×0.5mm의 平板形과 TEM (transmission electron microscope) 디스크라 불리는 φ3×0.25mm의 圓板形)을 多軸 拘束하는 方法을 採用하여 지그內 펀치 先端에 HRC 62-67의 硬度를 갖는 φ2.4mm의 鋼球를 通하여 試驗片에 荷重을 加하는 소위 深絞縮(bulging)試驗으로, 주로 金屬材料의 破壞靱性에 關聯하는 工學量을 決定하는데 目的을 둔 것이다.

SP試驗時 負荷速度는 0.1~1.0mm/min를 基準으로 하고 있으며, 荷重과 變位는 自動 記錄된다. 本 研究에서는 負荷速度 0.2mm/min, 試驗溫度範圍 -196~-50℃로 하였다.

Fig. 3은 SP 試驗에서 얻어지는 典型的인 荷重·變位曲線 즉, 材料의 變形特性 및 破壞舉動을 나타낸 것이다.

이 荷重·變位曲線에서 材料의 變形特性은 試驗片의 變形 段階에 따라 定性的으로 I: 彈性굽힘領域(elastic bending region), II: 塑性굽힘領域(plastic bending region), III: 塑性膜伸張領域(plastic membrane stretching region), IV: 塑性不安定領域(plastic instability region)의 4段階로

Table 1 Chemical composition.(wt %)

Material	Symbol	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
11/4Cr-1/2Mo	1PK1	0.15	0.70	0.55	0.030	0.030	1.25	0.45
	2PK1	0.15	0.55	0.45	0.028	0.030	2.30	1.07
	2PK2	0.15	0.50	0.55	0.032	0.032	2.10	0.98
21/4Cr-1Mo	2PK3	0.14	0.45	0.50	0.027	0.025	2.15	1.01
	2PK4	0.15	0.49	0.48	0.028	0.020	2.18	1.03

Table 2 Mechanical properties.(R.T)

Symbol	Tensile strength(MPa)	Yield strength(MPa)
1PK1	588	294
2PK1	420	205
2PK2	430	220
2PK3	424	212
2PK4	422	209

Table 3 Serviced condition.

Symbol	Service year[Y]	Temperature[°C]	Location of specimen
1PK1	14	510	Secondary S/H
2PK2	5	566	Pendent S/H
2PK2	6.6	566	Secondary S/H
2PK3	3.3	538	Secondary S/H
2PK4	5.6	538	Secondary S/H

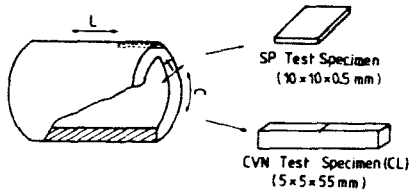


Fig. 1 Extraction procedure of specimen

區分되고, 破壞舉動 또한 定性的으로 I 과 II 領域에서 脆性破壞(brittle fracture), III 領域에서 延·脆性遷移破壞(ductile-brittle transition fracture), IV 領域에서 延性破壞(ductile fracture)의 3段階로 區分되어진다.

이러한 荷重-變位曲線으로 부터는 破壞靱성에 關係되는 두 種類의 工學量을 評價 할 수 있다. 그 하나는 荷重-變位曲線 아래의 面積 즉, 變形 및 破壞에 消費되는 에너지(以下 SP에너지라 부른다)를 求하여 이들의 溫度依存曲線을 作成하고, 이로 부터 SP延·脆性遷移溫度(ductile-brittle transition temperature : DBTT)_{sp}를 測定하는 것이고, 다른 하나는 最大變位(δ*)로 부터 破壞等價 變形率(ε_{qt})를 算出하고 이로 부터 彈塑性破壞靱性值(J_{IC})_{sp}를 測定하는 것이다.

本 研究에서는 前者인 SP 에너지의 溫度依存曲線으로 부터 SP 延·脆性 遷移溫度(DBTT)_{sp}를 求하여, 從來의 靱性評價 方法인 Charpy 衝擊試驗

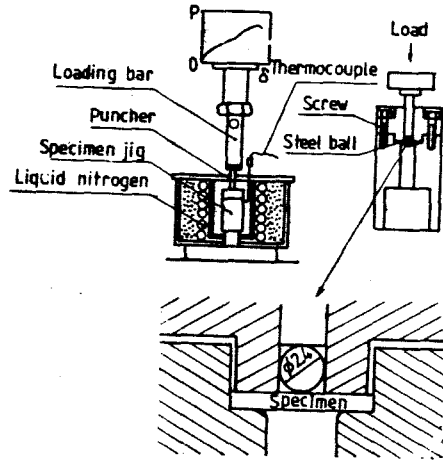
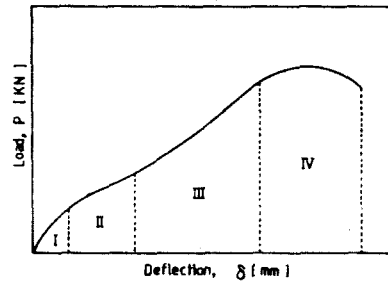


Fig. 2 Schematic illustration of small punch test apparatus, jigs and loading system



Deformation Characteristics	Fracture Behavior
I Elastic	Brittle
II Plastic	Brittle
III Plastic Membrane Stretching	Ductile-Brittle Transition
IV Plastic Instability	Ductile

Fig. 3 Schematic illustration of the deformation characteristics and fracture behavior in load versus deflection curves obtained from SP tests

으로 부터 얻어진 遷移溫度(FATT)_{CVN}과의 關係를 觀察, 그 相關關係를 究明한다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1 管 表面部位의 劣化度 評價

Fig. 4는 한 例로서 試驗材料중의 하나인 2PK1에 對한 SP 試驗線圖로, -196~75°C 範圍의 試驗溫度에서 얻어진 荷重-變位曲線의 舉動을 나타낸 것이다. 이 그림에서 低溫에서는 荷重, 變位가 작은 狀態 즉, 低 에너지에서 破壞되나, 溫度가 上昇

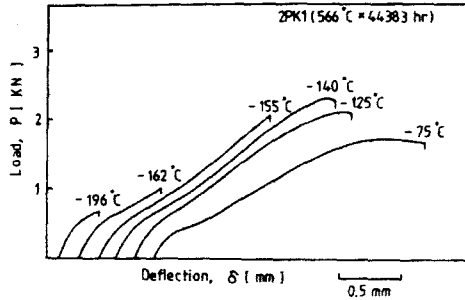


Fig. 4 Load versus deflection curves obtained from SP tests for 2PK1 at various test temperatures

함에 따라破壊에要求되는 에너지가增加되고 있음을 알 수 있다. 이러한現象은試驗溫도의上昇에 따른降伏強도의減少로, 材料의流動特性이變化하는 것에起因된다고 생각된다⁽¹¹⁾.

또한, -140°C 이상의比較的 높은試驗溫度에서의荷重-變位曲線の舉動은 Fig. 3에서區分한 4領域을 모두包含한材料流動特性을 나타내고 있어서, 最大荷重에到達한後微小크랙이發生하여成長해감에 따라荷重이漸次로減少하다塑性不安定領域에서破壊가 일어나는延性破壞舉動을 보이고 있음을 알 수 있다. 그러나, 試驗溫度가 -162°C 및 -196°C 의低溫側에서는 Fig. 3의塑性屈服領域 또는彈性屈服領域에該當하는變形舉動을 보이고 있으며, 作用荷重은最大荷重에서急減하고 있어微小크랙이成長되는即時試驗片 두께를貫通하는脆性破壞舉動을 보이고 있음을 알 수 있다. 이러한試驗溫度에 따른荷重-變位曲線の舉動變化는 이들曲線の最大荷重까지의面積으로定義되는 SP에너지의溫度依存性, 즉溫度變化에 따른破壞舉動의變化를期待할 수 있다.

Fig. 5는 위의 2PK1에對한 이들 SP에너지와試驗溫度와의關係를整理한 것으로 SP에너지는試驗溫도의變化에 따라顯著的溫度依存性을 갖고 있음을確認할 수 있어, CVN吸收에너지와 같은破壞特性值의意味를 갖는다고 생각할 수 있다.

또한, Fig. 5에서 SP試驗溫度變化에 따른材料流動特性의變化와破壞舉動을觀察하기 위하여各試驗溫度에서微視的破面과巨視的破面樣相을 함께圖示하고考察하였다.

Fig. 5의巨視的破壞樣相에서, -196°C 의低溫에서는크랙이試驗片的半球頂點에서發生하여半徑方向으로傳播하는脆性的破壞를 하고 있음

에 대하여, -155°C 및 -140°C 의試驗溫度에서는試驗溫度가增加함에 따라크랙은半球頂點에서멀리 떨어진塑性流動部, 즉試驗片 두께가顯著的減少를 보이고 있는位置에서發生하여圓周方向으로成長하는延性的破壞를 보이고 있음을 알 수 있다. 또한, 이들破面을 좀더 소상하게觀察하기 위해서同一試驗片에 대하여走査電子顯微鏡(SEM)에 의한微視破面觀察를行하였다. 이를보면 SP에너지의溫度依存曲線의下棚域(lower shelf value)에該當하는 -196°C 의低溫側에서의破面은典型的인劈開破面을 보이고 있으며, 上棚域(upper shelf value)에該當하는 -140°C 의高溫側에서의破面은延性破面을 보이고 있다. 또, 그中間인 -155°C 의微視破面을 보면延性破面和劈開破面이混在하고 있어서, 破面の延·脆性遷移舉動은材料의變形舉動이塑性膜伸張領域에該當하는 -162°C ~ -150°C 의溫度範圍에서 나타날 것이推定된다.

따라서, 이러한 SEM觀察를 통해서延·脆性遷移溫度 $(DBTT)_{SP}$ 는 SP에너지의溫度依存曲線에서 SP에너지의上棚域과下棚域의平均에너지에該當하는溫度로定義하는試驗法⁽⁷⁾의妥當性을確認하였다.

그러므로 SP試驗에서도 CVN試驗에서와 마찬가지로延·脆性遷移溫度 $(DBTT)_{SP}$ 의高溫側으로의移動量 $(\Delta DBTT)_{SP}$ 로劣化度를評價할 수 있음을 알았다.

한편, 劣化度測定에서 SP試驗法の有效性을檢討하기 위하여從來劣化度評價에利用되어 왔던 CVN衝擊試驗을行하고 이들의破壞韌性을評價한後 두試驗方法에 의한破壞特性值 사이의相關關係를比較檢討하였다.

CVN衝擊試驗에서의材質劣化程度는, 從來의方式에 따라破面の50%가延性破面을 보이는破面遷移溫度(fracture appearance transition temperature: FATT)의高溫側으로의移動量 $(\Delta FATT)$ 을求하고評價하였다.

Fig. 6, 7은各材料에對한 CVN衝擊吸收에너지의溫度依存曲線(各 그림의右側)과, SP에너지의溫度依存曲線(各 그림의左側)을整理한例이다. 그림에서白點은劣化材, 黑點은脫脆化材를 나타낸다. 여기에서劣化材의 CVN 및 SP에너지의溫度依存曲線은脫脆化材에比해高溫側에位置하고 있고使用時間的增加에 따라移動量의幅이

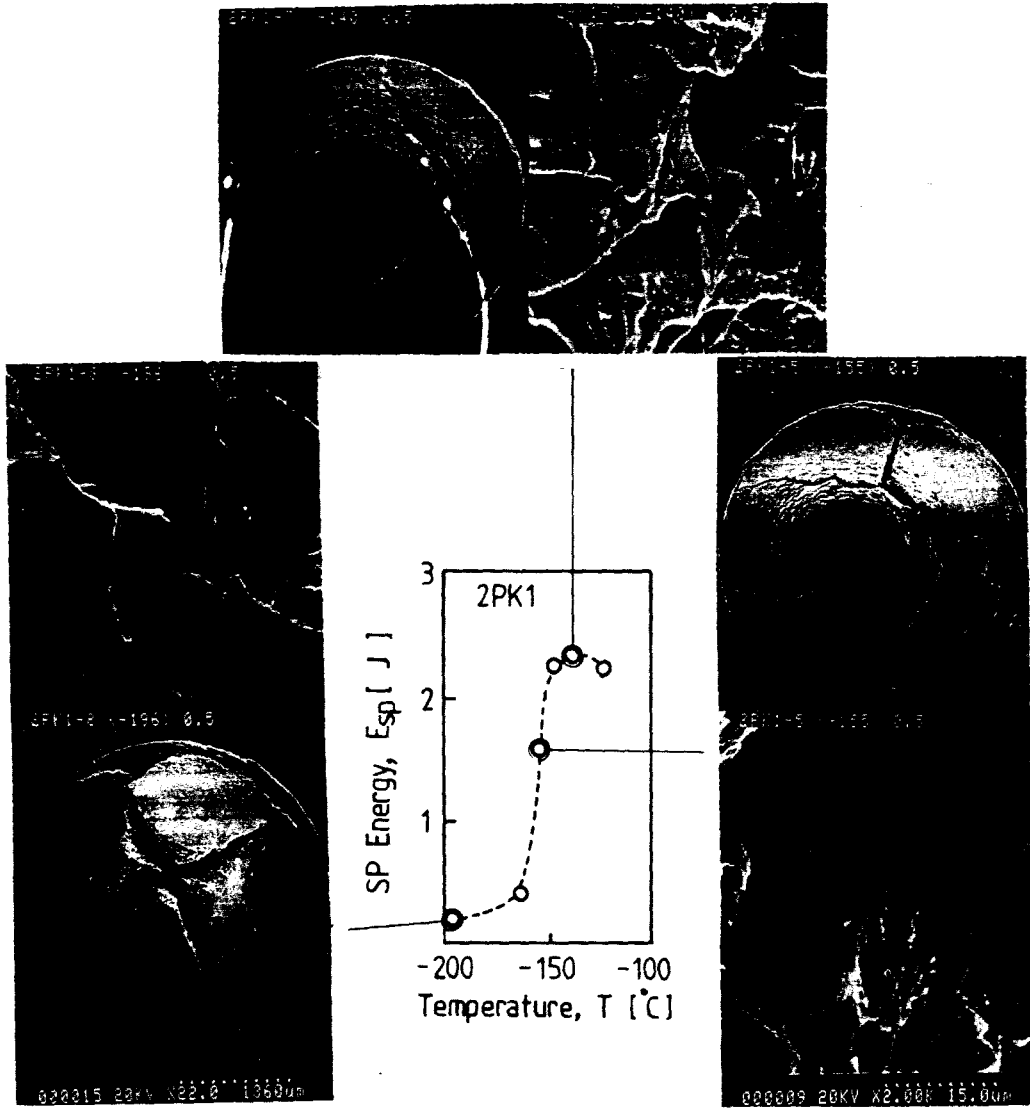


Fig. 5 Transition behavior of SP energy and fracture appearance as a function of test temperatures for 2PK1

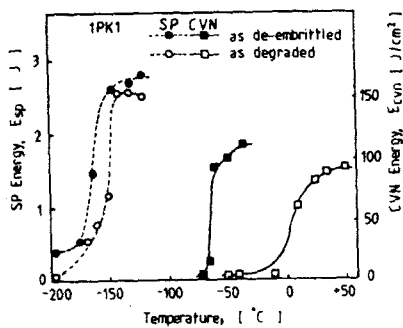


Fig. 6 SP, CVN energy at various temperatures for 1PK1 (at 510°C for 121,973 hrs)

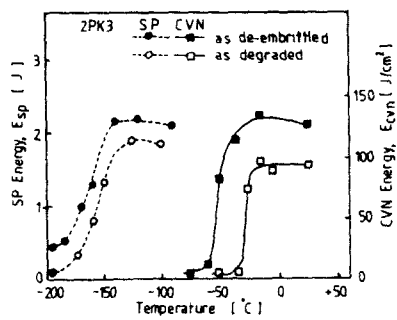


Fig. 7 SP, CVN energy at various temperatures for 2PK3 (at 538°C for 31,538 hrs)

Table 4 Results of CVN and SP test

Symbol	CVN Test			SP Test		$\Delta DBTT$ [°C]
	FATT [°C]		$\Delta FATT$ [°C]	DBTT [°C]		
	as degraded	as de-embrittled		as degraded	as de-embrittled	
1PK1	10	-58	68	-149	-164	15
2PK1	-20	-50	30	-158	-164	6
2PK2	-10	-50	40	-154	-162	8
2PK3	-28	-53	25	-155	-160	5
2PK4	-50	-84	34	-155	-162	7

커지고 있음을 알 수 있다. 따라서 材質劣化는 使用時間에 크게 依存하고 있음을 알 수 있다.

이들 曲線에서 앞에서 記述한 方法으로 各 材料의 破壞特性值인 破面遷移溫度(FATT)_{CVN} 및 延·脆性遷移溫度(DBTT)_{SP}를 구하여 Table 4에 整理하였다.

Fig. 8은 各 材料에서 求한 新材와 使用材의 遷移溫도의 差, ($\Delta FATT$)_{CVN}과 ($\Delta DBTT$)_{SP}의 關係를 整理하여 본 것이다. 두 試驗方法에 의하여 얻어진 延·脆性遷移溫度差의 關係는 ($\Delta FATT$)_{CVN}이 增加하면 ($\Delta DBTT$)_{SP}의 값도 增加하여 하나의 直線으로 表示되고 있으며, 이를 數式化 하면 다음 式으로 表現할 수 있다.

$$(\Delta FATT)_{CVN} = 4.3(\Delta DBTT)_{SP} + 3.5 [^{\circ}C]$$

以上の 試驗 結果에서 Cr-Mo鋼에 對한 SP 試驗과 CVN 衝擊試驗에 있어서 그들 두 破壞特性值 사이의 定量的 關係가 얻어짐으로써 SP 試驗에서의 延·脆性遷移溫도의 高溫側으로의 移動量($\Delta DBTT$)_{SP}으로 부터 $\Delta FATT$ 를 推定할 수 있음을 알 수 있다. 여기서, CVN 衝擊試驗과 SP 試驗에 의하여 얻어진 延·脆性遷移溫도의 關係에서 기울기가 1이 아닌 理由는 SP 試驗에서 破壞의 遷移가

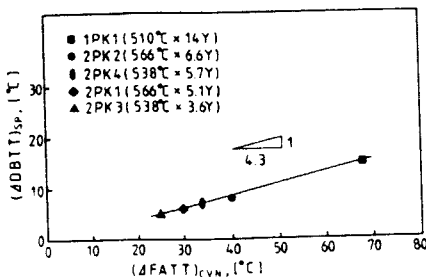


Fig. 8 Correlation between the ($\Delta DBTT$)_{SP} and ($\Delta FATT$)_{CVN}

材料의 流動特性중 塑性膜伸張領域에서 發生하기 때문이다. 이 SP 試驗 特有의 塑性膜伸張영역(領域)에서는 膜伸張의 增加에 따라 鋼球과 試驗片과의 接觸面積이 急增하므로 膜應力을 一定值 以上으로 維持하기 위해서는 他領域에 比하여 急激한 荷重의 增加가 要求되기 때문이다. (Fig. 3 參照)

그러나 Fig. 6, 7에서 보는 것과 같이 CVN 衝擊試驗에 比하여 SP 試驗은 좁은 溫度範圍에서 延·脆性遷移舉動이 일어남을 알 수 있어서, SP 試驗法은 좁은 溫度範圍에서 正確하게 遷移溫도를 決定할 수 있는 長點을 갖고 있다고 볼 수 있다.

3.2 管 두께 方向의 劣化度 評價

以上の 觀察에서 이 SP 試驗法으로 材質의 經年劣化 程度를 測定 評價할 수 있음이 밝혀졌으므로, 이 SP 試驗法을 實機에 使用된 蒸氣管에 適用, 管 表面으로 부터 두께 方向으로의 材質劣化程度의 變

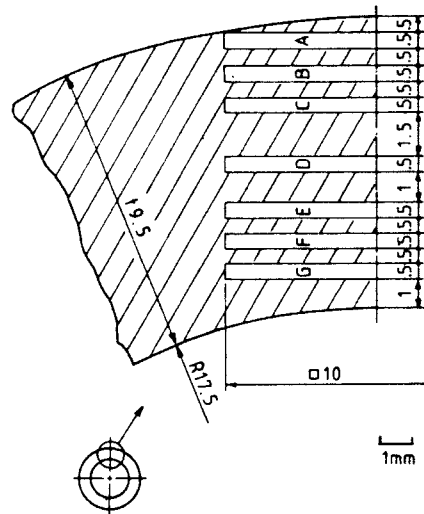


Fig. 9 Extraction of SP specimens from 2PK1

화를 살펴 보았다.

Fig. 9는 SP 시험片的 採取 位置를 表示하고 있다.

이때, 試驗溫度는 Table 4에서 알 수 있듯이 脫脆化材의 (DBTT)_{SP}가 모두 -160~165°C 範圍에 있기 때문에, 新材의 遷移溫度를 -165°C로 推定하고 이 溫度에서 SP 試驗을 行하였다. 그 結果 SP 에너지의 크기는 試驗片 採取 部位 즉, 管 斷面의 位置에 따라 다르게 나타남을 알았다. 한 例로 2PK1에 對한 荷重-變位曲線의 變化를 나타내면 Fig. 10과 같다. 그림에서 破壞荷重과 變位 즉, SP 에너지는 內·外側 表面部에서 작고 中央部에서 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

이러한 SP에너지의 變化變動을 試驗片 採取 位置를 管 두께에 對한 比로 無次元化하여 그 位置에서의 SP 에너지의 變化를 整理한 것이 Fig. 11이다. 여기에서 劣化材(그림의 黑點)는 두께비(t_i/t_o) 0.3까지는 SP에너지의 값이 增加하고 0.3~0.75 範圍에서는 一定한 값을 維持하며, 0.75 以上에서 다시 減少하고 있어서, 管 內側과 管 外側이 管의 中央部位에 比하여 더 劣化되어 있음을 알 수 있다. 그러나, 脫脆化材(그림의 白點)는 全 두께에 걸쳐 SP에너지가 均一함을 알 수 있으며, 脆化材의 中央部位의 SP에너지와 거의 一致함을 알 수 있다. 따라서 管 두께部位에 따라 劣化進行 程度에 差異가 있음을 알 수 있었다. 또한 劣化材의 微視 破面 觀察에서 볼 수 있는 것과 같이 同一試驗 溫度에서 劈開破面의 量이 內·外側이 中央 部位보다 많음을 알 수 있을 뿐만 아니라 粒內 및 粒界의 炭化物 및 介在物의 析出 變動도 內·外側이 顯著함을 알 수 있다. 이러한 原因은 파이프 外側은 內側에 比하여 相對的으로 溫度가 높고 燃燒가스에 의한 高溫腐蝕과 灰分의 附着·脫落 등에 의한 局部的인 熱疲勞 現象 등에 의해, 內側은 礮石 등의 吸着에 의한 局部的인 熱疲勞 및 過熱 등에 의해 管 斷面 位置에 따라 劣化 進行程度에 差異가 생기는 것으로 추정된다^(12,13).

Fig. 12는 이들 各 試驗材에 對한 試驗 結果를 整理한 것으로, 脫脆化材는 모두 SP에너지가 全 두께에 걸쳐 均一하나 ($E_{SP}=1.9\sim 2.2$), 劣化材는 管 두께 部位에 따른 全體의인 SP에너지의 變化變動은 前述한 Fig. 11과 거의 類似하나 若干의 差異를 보이고 있다. 그림에서 管 外側으로부터 中央部位的 均一한 SP에너지에 到達하는 두께비(t_i/t_o)는

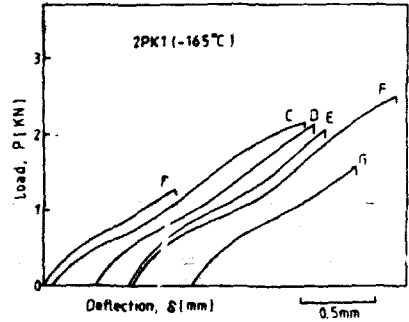


Fig. 10 Load versus deflection curves obtained from SP tests for steam tubes at different locations across thickness(test temperature -165°C)

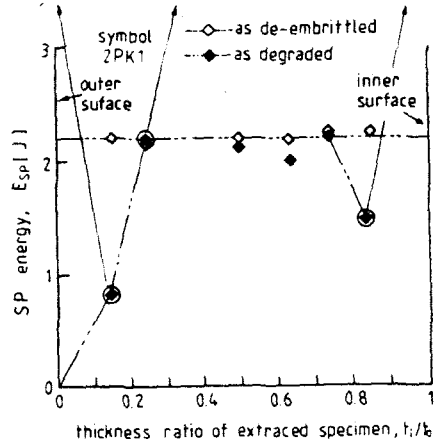


Fig. 11 Variation of SP energy and fracture appearance according to the thickness ratio of the location of the extracted specimen at -165°C

1KP1, 2PK2, 2PK4, 2PK3, 2PK1의 順序로 減少하고 있으며, 이 部分에서 SP에너지의 增加率도 1PK1, 2PK2, 2PK4, 2PK3, 2PK1의 順序로 增加하고 있어 使用時間의 減少와 함께 SP에너지의 增加率이 增加하고 있음을 알 수 있다. 또한 中央部位的 均一한 SP에너지의 크기는 2PK1, 2PK3, 1PK1, 2PK2, 2PK4의 順序로 減少하고 있어 管의

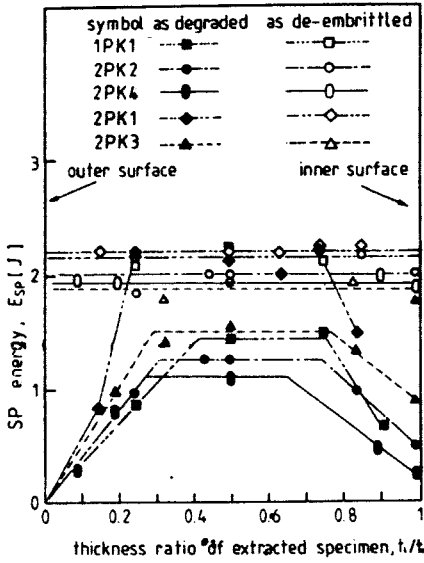


Fig. 12 Variation of SP energy according to the thickness ratio of the extracted specimen at -165°C

材質劣化는 使用時間 뿐만 아니라 管의 두께에도 影響을 받아 管두께가 얇을 수록 全體的인 劣化程度가 큰을 알 수 있다.

한편 高温設備의 經年劣化 評價技術의 開發은 非破壞的인 方法이 摸索되고 있으며, 一般的으로 設備의 外表面을 測定 對象으로 하고 있다. 本 研究에서도 延·脆性遷移溫度(DBTT)_{sp}를 구하기 위한 試驗片의 採取領域이 外表面에서 0.5~1mm 程度 이어서, 여기서 測定된 劣化의 程度로 管 全體의 健全性을 評價하는 것이 얼마나 正確한 것인가 하는 것은 問題로 남겨져 있다.

이들의 結果를 綜合적으로 考慮할 때, SP試驗法은 局部的으로 材質의 變化⁽⁴⁾가 나타나는 高温 構造 部材의 經年劣化 評價法으로서 그 有用性을 뚜렷이 確認할 수 있었다. 또 使用時間의 增加와 함께 進行되는 材質劣化 程度에 따라 管 內·外側의 健全한 部位의 減少가 高温部材의 一般的인 크립 破斷壽命 및 破壞靱性의 減少에 얼마나 寄與할 것인지는 明確하지 않으나, 이러한 劣化度의 分布를 알 수 있다는 것은 管의 殘餘壽命 評價時의 基準 設定에 큰 도움이 될 것으로 期待된다.

4. 結 論

運轉履歷이 다른 發電用 보일러 過熱器 및 再熱

器에서 채취한 Cr-Mo鋼 蒸氣管의 材質劣化 評價에 對한 SP試驗의 適用 可能性을 檢討한 研究에서 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) CVN 衝擊試驗 結果와 SP 試驗 結果 사이에 좋은 相關關係가 있어 SP 試驗으로 材質劣化度 ($\Delta FATT$)_{CVN}의 評價가 可能하다.

(2) 管두께 方向의 材質劣化 程度는 管의 內·外側이 中央 部位 보다 더 劣化되고 있으며 管의 두께에도 影響을 받는다.

(3) 局部的인 領域에서의 劣化度 評價에 있어서 SP 試驗法은 特히 큰 應用性을 갖고 있다.

後記

本 論文은 韓國科學財團의 研究費(891-0907-032-1) 支援과 韓國準備研究所의 協助에 의해서 이루어진 研究結果의 一部로 研究를 隨行할 수 있도록 支援하여 주신 財團과 研究所의 諸位에 感謝를 드리며, 또 物心兩面으로 助言과 協助를 아끼지 않으신 日本의 東北大學 工學部 高橋秀明 教授와 姫路工大의 野方文雄 教授에게 또한 感謝를 드리는 바이다.

參考文獻

- (1) 橋內食雄, 1981, "破壞力學의 實際問題への應用", 日本機械學會第516會講習會教材, 日本機械學會, p.81.
- (2) 大南正瑛, 遠藤忠良, 吉川州彦, 北川正樹, 新田明人, 1978, "火力發電プラント의 餘壽命推定技術의 世界的動向," 日本機械學會誌, 第90卷, 第822號, pp.38~43.
- (3) 新谷紀雄, 1987, "高温構造材料의 餘壽命豫測記術開發," 鐵と鋼, 第73卷, 第9號, pp.13~19.
- (4) 齊藤喜久, 1988, 過熱器ステンレス鋼管의 分極法による 經年劣化診斷と檢出機構, 日本機械學會齊954回材料力學講演概要集, No.880-7, pp.1~2.
- (5) Viswanathan, R. and Brummer, S.M., 1985, "In-Service Degradation of Toughness Steam Turbine Rotor," Trans of the ASTM, Vol.107, pp.316~314.
- (6) Metal Handbook, 1975, 9th Edition, Vol. 11, "Failure Analysis and Prevention," ASM. Metals Park. Ohio, p.99.

- (7) JAERI-M. 88-172, 1988, "Recommended Practice for Small Punch (SP) Testing of Metallic Materials," (Draft) JAERI.
- (8) Baik, J.M., Kameda, J. and Buck, O., 1986, "Development of Small Punch Tests for Ductile-Brittle Transition Temperature Measurement of Temper Embrittled Ni-Cr Steels," ASTM STP 888, pp.92~111.
- (9) 盧友紹, 莊子哲雄, 高橋秀明, 1986, "クロム・モリブデン・バナジウム耐熱鋼(タピンロータ)の新經年劣化診斷技術," 日本機械學會論文講演抜刷論文 No. 86-1075 A.
- (10) 野方文雄 外, 1987, "粒界腐蝕法によるプラント用高温部材の經年劣化評價法について," 非破壊検査, 第36卷, 第8號, pp.535~539.
- (11) Hertzberg, R. W., 1976, "Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials," New York, John Wiley & Sons, p.243.
- (12) 伊藤伍郎, 1982, "腐蝕と防蝕," 機械工學全書, Vol. 6, 東京部, コロナ社, pp.321~327.
- (13) Nogata, F., Takahashi, H. and Chung S.H. et al., "Evaluation of Toughness Degradation for In-Service High Temperature Structural components by a Chemical Etching Test," NDE-Vol. 5, ASME, pp.243~248.
- (14) 柳埜永, 1990, "小型펀치 시험법에 의한 鋼熔接部の 破壊靱性 評價에 관한 研究", 全北大學院 博士學位論文.