



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0005946
(43) 공개일자 2009년01월14일

(51) Int. Cl.

G01B 5/08 (2006.01) G01M 19/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-0007936

(22) 출원일자 2008년01월25일

심사청구일자 2008년01월25일

(30) 우선권주장

1020070069306 2007년07월10일 대한민국(KR)

(71) 출원인

경희대학교 산학협력단

경기도 용인시 기흥구 서천동 1 경희대학교 국제 캠퍼스내

(72) 발명자

김상녕

경기도 군포시 금정동871번지 7호 소월아파트 371-1204

임상규

경기도 용인시 기흥구 서천동 1 경희대학교 원자력공학과공과대학 실험동 B1-4호 열유체실험실

(74) 대리인

김윤배

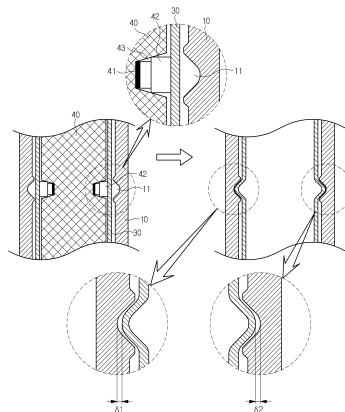
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 열전달 완충판의 폭발확관 합격여부 판단 방법

(57) 요약

본 발명은 열전달 완충판의 폭발확관 합격여부 판단 방법에 관한 것으로서, (a) 안전주입수가 주입되는 안전주입노즐에 형성된 그루브 홈의 실제 중심내경(G_A)를 측정하는 단계; (b) 폭발확관 시키기전 열전달 완충판(30)의 실제두께(T_A)를 측정한 후 상기 열전달 완충판을 상기 안전주입노즐에 삽입시키는 단계; (c) 외주면을 따라 음각의 홈이 형성되어 있으며, 해당 홈에 화약과 탄성 물질의 완충재가 내재된 스폴을 상기 열전달 완충판에 삽입시키는 단계; (d) 상기 화약을 폭발시킴으로써 발생하는 상기 완충재의 외력에 의해 상기 열전달 완충판이 상기 그루브 홈의 내벽에 부착되도록 폭발확관시키는 단계; (e) 상기 폭발확관 후 상기 열전달 완충판의 실제내경(D_A)을 측정하는 단계; 및 (h) 상기 안전주입노즐(10)의 내벽과 상기 그루브 홈의 외벽과의 좌·우측 이격거리 δ_1 과 δ_2 의 합인 " $\delta_1 + \delta_2$ "의 값이 상기 그루브 홈의 평균 중심내경(G_N)의 '-0.0020' 배수보다 작거나 같으면 상기 폭발확관을 합격시키는 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도3



특허청구의 범위

청구항 1

- (a) 안전주입수가 주입되는 안전주입노즐(10)에 형성된 그루브 홈(11)의 실제 중심내경(G_A)를 측정하는 단계;
- (b) 폭발확관 시키기전 열전달 완충판(30)의 실제두께(T_A)를 측정한 후 상기 열전달 완충판(30)을 상기 안전주입노즐(10)에 삽입시키는 단계;
- (c) 외주면을 따라 음각의 홈(43)이 형성되어 있으며, 해당 홈(43)에 화약(41)과 탄성 물질의 완충재(42)가 내재된 스폴(40)을 상기 열전달 완충판(30)에 삽입시키는 단계;
- (d) 상기 화약(41)을 폭발시킴으로써 발생하는 상기 완충재(42)의 외력에 의해 상기 열전달 완충판(30)이 상기 그루브 홈(11)의 내벽에 부착되도록 폭발확관시키는 단계;
- (e) 상기 폭발확관 후 상기 열전달 완충판(30)의 실제내경(D_A)을 측정하는 단계; 및
- (h) 상기 안전주입노즐(10)의 내벽과 상기 그루브 홈(11)의 외벽과의 좌·우측 이격거리 δ_1 과 δ_2 의 합인 " $\delta_1 + \delta_2$ "의 값이 상기 그루브 홈(11)의 평균 중심내경(G_N)의 '-0.0020' 배수보다 작거나 같으면 상기 폭발확관을 합격시키는 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 하는 열전달 완충판의 폭발확관 합격여부 판단 방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 (e)단계 이후에

- (f) 상기 (a), (b), (c), (d) 및 (e)단계를 적어도 한번 이상 반복 수행하여, 측정한 상기 그루브 홈(11)의 실제 중심내경(G_A)들, 상기 열전달 완충판(10)의 실제 중심내경(G_A)들 및 상기 열전달 완충판(10)의 실제두께(T_A)들 각각의 평균값인 상기 그루브 홈(11)의 평균 중심내경(G_N), 상기 열전달 완충판(10)의 평균내경(D_N) 및 상기 열전달 완충판(10)의 평균두께(T_N)를 산출하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 열전달 완충판의 폭발확관 합격여부 판단 방법.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 (h)단계 이전에

- (g) 상기 그루브 홈(11)의 평균 중심내경(G_N), 상기 열전달 완충판(10)의 평균내경(D_N) 및 상기 열전달 완충판(10)의 평균두께(T_N)에 대한 각각의 표준편차 σ_{S1} , σ_{S2} 및 σ_{S3} 값을 산출하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 열전달 완충판의 폭발확관 합격여부 판단 방법.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 (h)단계는

- (h-1) 상기 그루브 홈(11)의 실제 중심내경(G_A), 폭발확관 후 상기 열전달 완충판(30)의 실제내경(D_A) 및 상기 열전달 완충판(30)의 실제두께(T_A)를 각각 평균값과 표준편차 값의 합·차 연산으로 표현된 $G_N \pm N \sigma_{S1}$, $D_N \pm N \sigma_{S2}$ 및 $T_N \pm N \sigma_{S3}$ 로 치환하는 단계;
- (h-2) 폭발확관 후 상기 열전달 완충판(30)의 두께 감소량(S)을 상기 (g-1)단계에서 치환된 $T_N \pm N \sigma_{S3}$ 로부터 빼는 단계; 및
- (h-3) 상기 (g-1)단계에서 G_N 의 표준편차를 $-N \sigma_{S1}$ 으로 선택하고, D_N 의 표준편차를 $+N \sigma_{S2}$ 으로 선택하며, T_N 의

표준편차를 $+N\sigma_{93}$ 으로 선택하여 상기 " $\delta_1 + \delta_2$ "값을 산출하는 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 하는 열전달 완충관의 폭발확관 합격여부 판단 방법.

청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 (h)단계는

상기 " $\delta_1 + \delta_2$ "의 값이 상기 그루브 홈(11)의 평균 중심내경(G_N)의 "-0.0020"배수보다 크면 불합격처리 하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 열전달 완충관의 폭발확관 합격여부 판단 방법.

청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 안전주입노즐(10)의 내벽과 상기 그루브 홈(11)의 외벽과의 좌·우측 이격거리 δ_1 과 δ_2 의 합인 " $\delta_1 + \delta_2$ "는

상기 그루브 홈(11)의 실제 중심내경(G_A)으로부터, 상기 폭발확관 전 열전달 완충관(30)의 실제두께(T_A)를 2배수한 값과, 폭발확관 후 측정된 상기 열전달 완충관(30)의 실제내경(D_A)을 플러스한 값을 마이너스 함으로써 산출된 값 즉, $G_A - (D_A + 2T_A)$ 의 값과 동일한 것을 특징으로 하는 열전달 완충관의 폭발확관 합격여부 판단 방법.

명세서

발명의 상세한 설명

기술분야

- <1> 본 발명은 열전달 완충관의 폭발확관 합격여부 판단 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 원자력 발전소와 같은 산업현장에서 열전달 완충관(Thermal Sleeve)이나 증기 발생기 세관 등의 설치시 용접하지 않고 폭발확관 후 밀착시켜 부착시킨 다음 밀착되어 부착된 상태에서 배관의 내경(Diameter)을 측정하여 견고하게 밀착되어 부착되었는지 판단하여 합격 여부를 판정해 낼 수 있도록 하는 열전달 완충관의 폭발확관 합격여부 판단 방법에 관한 것이다.

배경기술

- <2> 일반적으로, 1000MW급 한국형 표준원전(OPR-1000)의 안전주입노즐에는 열전달 완충관(Thermal Sleeve; T/S)이 설치되어 있다.
- <3> 상기 한국형 표준원전은 비상시 안전주입노즐(Safety Injection Nozzle)을 통해 안전 주입수(Safety Injection Water)가 원자로심으로 주입되도록 도 1에 도시된 바와 같이 설계되어 있으며, 원자로 1기당 4개의 안전주입노즐(10)로 구성되어 있다.
- <4> 안전주입수의 온도는 최소 4℃ 최대 20℃이며, 계통배관(20)(Primary coolant system)의 냉각수 온도는 약 280~300℃, 압력은 150기압 상태이다.
- <5> 따라서, 안전주입수가 주입될 시 안전주입노즐(10) 및 안전주입노즐과 연결된 계통배관(Cold Leg)(20)은 두 유체의 온도차에 의한 열 충격(Thermal shock) 및 열 피로(Thermal Stress)를 받게 되므로 배관의 건전성에 영향을 끼치게 된다.
- <6> 따라서, 안전주입노즐(10) 및 계통배관(20)의 열 충격, 열 피로를 완화시키기 위해 안전주입노즐 배관 내벽에 열전달 완충관이 설치되어 있다. 4개의 열전달 완충관은 각각 1A, 1B, 2A, 2B로 불려지게 된다.
- <7> 현재, 국내에서 가동중인 20기의 원자로 중 한국형 표준원전(OPR-1000)에 속하는 원자로는 영광 3,4,5,6호기 및 울진 3,4,5,6호기이다. 상술한 8기의 원자로 중 열전달 완충관(30)은 폭발확관이라는 동일한 제작방식으로 제작되었다.

<8> 그러나, 다른 점이 있다면 영광 및 울진 3,4호기의 열전달 완충판은 인코넬600으로 제작되었고, 그 후에 건설된 영광 및 울진 5,6호기의 열전달 완충판은 인코넬 690으로 제작되었다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

<9> 상술한 바와 같이 폭발확관 방식으로 제작된 열전달 완충판은 2002년을 시작으로 인코넬 690으로 제작하기 시작한 후 영광 5,6호기 및 울진 5,6호기에 설치된 열전달 완충판(30)이 잘못된 합격기준으로 이탈되거나, 이탈이 의심되어 강제로 제거되는 문제점이 있다.

<10> 상술한 열전달 완충판(30)이 이탈되거나 강제로 제거되는 문제가 발생하는 상황을 알아볼 수 있도록 [표1]에 도시되어 있다.

표 1

발전소	열전달 완충판 번호	상태
영광 # 3, 4	1A, 1B, 2A, 2B	문제없음
영광 # 5	1A,	제거됨
	2A	이탈
	2B	"
	1A	"
영광 # 6	1A	"
	2B	"
	2A	"
	2B	"
울진 # 3, 4	1A, 1B, 2A, 2B	문제없음
울진 # 5	1A	이탈
	1B	"
	2A	"
	2B	"
울진 # 6	1A	이탈
	2B	"
	2A	"
	2B	"

<12> 한편, 상술한 열전달판(30)이 느슨해져 이탈되거나 제거되는 문제점을 해결하기 위해 제작사에서 열전달 완충판(30)의 재질을 인코넬600에서 인코넬690으로 변경하여, 재질의 기계적 물성치를 달리하였지만, 상기 인코넬 690의 기계적 강도가 600 보다 강함에도 불구하고 기존의 폭발확관 방식 중 확관에 중요한 변수인 화약(41)을 동일하게 이용하였다.

<13> 하지만, 영광 및 울진 5,6호기의 열전달 완충판(30)은 3,4호기의 경우와 비교했을 때 충분한 확관이 이루어지지 못하였고, 이로 인해 느슨하게 부착된 상기 열전달 완충판은 원자로의 정상운전시 발생하는 냉각재 유도에 의해 최종적으로 재이탈하게 되는 문제점이 있다..

<14> 또한, 폭발확관 후 합격여부를 판단하는 기준 역시 엄격하지 못하여 느슨하게 확관된 영광 및 울진 5,6호기의 열전달 완충판(30)은 엄격하지 못한 합격기준으로 인해 합격처리되어 결국 실재운전중에 이탈되는 사고가 발생하는 문제점이 있다.

과제 해결수단

<15> 상술한 문제점을 해결하기 위하여 (a) 안전주입수가 주입되는 안전주입노즐에 형성된 그루브 홈의 실제 중심내경(G_A)를 측정하는 단계; (b) 폭발확관 시키기전 열전달 완충판(30)의 실제두께(T_A)를 측정한 후 상기 열전달 완충판을 상기 안전주입노즐에 삽입시키는 단계; (c) 외주면을 따라 음각의 홈이 형성되어 있으며, 해당 홈에 화약과 탄성 물질의 완충재가 내제된 스톱을 상기 열전달 완충판에 삽입시키는 단계; (d) 상기 화약을 폭발시킴으

로써 발생하는 상기 완충재의 외력에 의해 상기 열전달 완충판이 상기 그루브 홈의 내벽에 부착되도록 폭발확관 시키는 단계; (e) 상기 폭발확관 후 상기 열전달 완충판의 실제내경(D_A)을 측정하는 단계; 및 (h) 상기 안전주입노즐의 내벽과 상기 그루브 홈)의 외벽과의 좌·우측 이격거리 δ_1 과 δ_2 의 합인 " $\delta_1 + \delta_2$ "의 값이 상기 그루브 홈의 평균 중심내경(G_N)의 '-0.0020' 배수보다 작거나 같으면 상기 폭발확관을 합격시키는 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 하는 열전달 완충판의 폭발확관 합격여부 판단 방법을 제공하는 것이다.

<16> 바람직하게는, 상기 (e)단계 이후에 (f) 상기 (a), (b), (c), (d) 및 (e)단계를 적어도 한번 이상 반복 수행하여, 측정한 상기 그루브 홈(11)의 실제 중심내경(G_A)들, 상기 열전달 완충판의 실제 중심내경(G_A)들 및 상기 열전달 완충판(10)의 실제두께(T_A)들 각각의 평균값인 상기 그루브 홈의 평균 중심내경(G_N), 상기 열전달 완충판의 평균내경(D_N) 및 상기 열전달 완충판의 평균두께(T_N)를 산출하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 열전달 완충판의 폭발확관 합격여부 판단 방법을 제공하는 것이다.

<17> 더욱 바람직하게는, 상기 (h)단계 이전에 (g) 상기 그루브 홈의 평균 중심내경(G_N), 상기 열전달 완충판의 평균내경(D_N) 및 상기 열전달 완충판의 평균두께(T_N)에 대한 각각의 표준편차 σ_{S1} , σ_{S2} 및 σ_{S3} 값을 산출하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 열전달 완충판의 폭발확관 합격여부 판단 방법을 제공하는 것이다.

<18> 더욱 바람직하게는, 상기 (h)단계는 (h-1) 상기 그루브 홈의 실제 중심내경(G_A), 폭발확관 후 상기 열전달 완충판(30)의 실제내경(D_A) 및 상기 열전달 완충판(30)의 실제두께(T_A)를 각각 평균값과 표준편차 값의 합·차 연산으로 표현된 $G_N \pm N\sigma_{S1}$, $D_N \pm N\sigma_{S2}$ 및 $T_N \pm N\sigma_{S3}$ 로 치환하는 단계; (h-2) 폭발확관 후 상기 열전달 완충판의 두께 감소량(S)을 상기 (g-1)단계에서 치환된 $T_N \pm N\sigma_{S3}$ 로부터 빼는 단계; 및 (h-3) 상기 (g-1)단계에서 G_N 의 표준편차를 $-N\sigma_{S1}$ 으로 선택하고, D_N 의 표준편차를 $+N\sigma_{S2}$ 으로 선택하며, T_N 의 표준편차를 $+N\sigma_{S3}$ 으로 선택하여 상기 " $\delta_1 + \delta_2$ "값을 산출하는 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 하는 열전달 완충판의 폭발확관 합격여부 판단 방법을 제공하는 것이다.

<19> 더욱 바람직하게는, 상기 (h)단계 이후 (i) 상기 " $\delta_1 + \delta_2$ "의 값이 상기 그루브 홈의 평균 중심내경(G_N)의 "-0.0020"배수보다 작거나 같으면 폭발확관을 합격처리하고, 상기 그루브 홈의 평균 중심내경(G_N)의 "-0.0020"배수보다 크면 불합격처리 하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 열전달 완충판의 폭발확관 합격여부 판단 방법을 제공하는 것이다.

<20> 더욱 바람직하게는, 상기 안전주입노즐의 내벽과 상기 그루브 홈의 외벽과의 좌·우측 이격거리 δ_1 과 δ_2 의 합인 " $\delta_1 + \delta_2$ "는 상기 그루브 홈의 실제 중심내경(G_A)으로부터, 상기 폭발확관 전 열전달 완충판의 실제두께(T_A)를 2배수 한 값과, 폭발확관 후 측정된 상기 열전달 완충판의 실제내경(D_A)을 플러스한 값을 마이너스 함으로써 산출된 값 즉, $G_A - (D_A + 2T_A)$ 의 값과 동일한 것을 특징으로 하는 열전달 완충판의 폭발확관 합격여부 판단 방법을 제공하는 것이다.

효과

<21> 본 발명에 따른 열전달 완충판의 폭발확관 합격여부 판단 방법은 정확하고 엄격한 합격기준 설정으로 인해, 실제 원자로의 운전 중에 열전달 완충판이 이탈되는 사고의 발생 확률을 현저히 낮출 수 있는 효과가 있다.

<22> 또한, 상기 열전달 완충판의 이탈되는 사고가 현저히 낮아져 열전달 완충판의 재확관에 따른 엄청난 예산, 시간 및 인력의 낭비를 방지할 수 있는 효과가 있으며, 원자로 운전을 중지함에 따른 막대한 손실을 방지할 수 있는 효과가 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

<23> 상술한 효과를 달성하기 위해, 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 열전달 완충판의 폭발확관 합격기준에 대하여 상세히 설명한다.

<24> 한편, 열전달 완충판(30)은 “폭발확관”이라는 방식으로 안전주입노즐(10) 내벽에 고착시키는데, “폭발확관”이라는 방식으로 안전주입노즐 내벽에 고착시키는 주요 작업절차는 도 2에 도시된 폭발확관 순서도를 참조하여 더

욱 상세하게 설명된다.

- <25> 먼저, 내벽에 그루브 홈(11)이 형성된 안전주입노즐(10)과 상하면이 천공된 원통형의 열전달 완충판(30)을 제작한 후 외벽을 따라 음각의 홈(41)이 형성된 스푼(40)(Spool)이라는 거치대를 제작하고, 상기 안전주입노즐(10) 내부에 열전달 완충판(30)을 끼운 뒤, 다시 상기 열전달 완충판(30) 내부에 스푼(40)을 끼운다.
- <26> 이렇게 되면, 지름이 가장 큰 최 외각의 상기 안전주입노즐(10), 반지름이 가장 작은 최 내각의 스푼(40) 및 상기 안전주입노즐(10)과 상기 스푼(40)사이에 위치하는 열전달 완충판(30)이 3개의 층을 이루는 구조가 된다.
- <27> 상기 스푼(40)이 열전달 완충판(30)에 삽입됨에 따라 상기 스푼(40)과 열전달 완충판(30) 사이에는 상기 스푼(40)의 외벽을 따라 형성된 음각의 홈(43)에 의해 공간이 만들어진다.
- <28> 상기 스푼(40)이 상기 열전달 완충판(30)에 삽입되기 전 상기 스푼(40)을 따라 형성된 음각의 홈(43)에는 화약(41)과 탄성고무인 완충재(42)가 삽입되도록 한다.
- <29> 상기 스푼(40)의 홈(43)에 삽입된 화약(41)이 폭발함에 따라 탄성의 불연성 완충재(42)가 외측으로 밀려나게 되고, 상기 열전달 완충판(30)은 상기 외측으로 밀리는 완충재(42)의 외력에 의해 상기 안전주입노즐(10)으로 확장되어 해당 안전주입노즐(10)에 형성된 그루브 홈(11)에 고착되는 것이다.
- <30> 이때, 화약(41)이 폭발되어 작업이 완료되면, 검사자는 열전달 완충판(30) 및 안전주입노즐(10)의 주요 합격기준이 되는 수치 G, D 및 T를 측정하여 합격 여부를 판단하게 된다.
- <31> 이하에서는, 도 3 및 도 4를 참조하여 폭발확관 후 상기 열전달 완충판(30)의 합격을 어떻게 판정하는지, 그리고 그 과정에서 발생하는 불확실성 및 메커니즘에 대하여 설명한다.
- <32> 즉, 상기 합격기준이 되는 주요 판단수치를 이용해 열전달 완충판의 합격 여부를 판단하는 기준인 합격기준 (ACCEPTANCE CRITERIA)을 통계적으로 재설정하고, 합격 여부 판단시 개입될 수 있는 불확실성 및 공학적 메커니즘에 대해 설명한다.
- <33> 상술한 합격기준이 되는 수치 G는 도 3에 도시된 바와 같이 그루브 홈(11)이 형성된 부분의 안전주입노즐(10) 중심내경이고, 상기 D는 폭발확관 후 검사자에 의해 측정되는 열전달 완충판(30)의 중심내경이며, 상기 T는 폭발확관 전 측정된 완충판(30)의 두께이다.
- <34> 실제 확관에 있어서, 상기 G, D 및 T의 가장 이상적인 관계식은 아래와 같으며, 아래의 식이 의미하는 것은 식의 우변이 '0'가 되었을 때 상기 열전달 완충판(30)이 상기 안전주입노즐(10)에 완벽하게 부착됨을 의미한다.

<35>
$$G-(D+2T)=0$$

- <36> 하지만, 상술한 바와 같이 상기의 식은 말 그대로 이상적인 관계식 일뿐, 실제로 안전주입노즐(10)의 그루브 홈(11)과 열전달 완충판(30) 사이에는 도 3에 도시된 바와 같이 좌·우측으로 틈 δ_1 및 δ_2 가 생기기 때문에 상기 식의 우변은 '0'이 될 수 없다.
- <37> 또한, 상기 폭발확관된 후 상기 안전주입노즐(10)의 그루브 홈(11)에 고착되는 열전달 완충판(30)의 두께가 폭발확관 전의 두께보다 감소하기 때문에 상기의 식은 물리적으로도 그 우변이 '0'이 될 수 없다.
- <38> 상술한 상기 열전달 완충판(30)의 두께가 감소하게 되는 상황에 대하여, 도 4를 참고하여 상세히 설명한다.
- <39> 도 4에 도시된 바와 같이 R-Z 단면으로 보았을 때, 상기 안전주입노즐(10)의 그루브 홈(11)의 곡면길이는 36.8mm이고, 확관 전의 상기 열전달 완충판(30)의 길이 즉, 실제 확관이 이루어지는 부분의 길이는 36mm 이므로 완벽하게 늘어난다면 상기 열전달 완충판의 두께는 아래의 계산 결과와 같이 0.1mm만큼 감소하게 된다.

<40>
$$4.5mm - \frac{36mm}{36.8mm} * 4.5mm = 0.1mm$$

- <41> 또한, 상기 안전주입노즐(10)의 그루브 홈(11)을 θ 방향을 기준으로 보면, 폭발확관 상기 열전달 완충판(30)의 둘레 길이는 933.2mm이고, 상기 안전주입노즐(10)의 그루브 홈(11)의 지름이 303.8mm(297.2mm+3.2*2mm)이므로, 상기 안전주입노즐(10)의 둘레 길이는 953.9mm 이다.
- <42> 따라서, 폭발확관시 완벽하게 그루브 홈(11) 둘레만큼 늘어난다면, 상기 열전달 완충판(30)의 두께는 아래의 계

산 결과와 같이 0.1mm만큼 감소하게 된다.

$$4.5mm - \frac{\pi(297.2mm)}{\pi(397.2+6.6mm)} * 4.5mm = 0.1mm$$

<43>

<44>

즉, 폭발확관 후 상기 열전달 완충판(30)의 두께는 폭발확관 전보다 상기의 계산결과 값을 합한 0.2mm의 두께 감소현상이 발생하는 것이다.

<45>

그럼에도 불구하고, 실제 합격여부를 판단할 때 사용되는 상기 열전달 완충판(30)의 두께는 폭발확관되어 감소하는 수치의 두께를 고려하지 않고, 확관 전에 측정된 4.5mm를 그대로 사용하기 때문에 틈이 작게 평가되는 것이다.

<46>

따라서, 상기 열전달 완충판(30)의 폭발확관시 합격기준은 두께감소 효과를 고려해야 한다.

<47>

합격 기준에 맞춰 상기 열전달 완충판(30)의 그루브 홈(11) 부분의 상기 안전주입노즐(10) 배관 내경(G)과 열전달 완충판(30)의 두께(T), 상기 열전달 완충판(30)이 폭발확관으로 설치된 후 내경(D) 등을 측정할 때 검사자의 측정에는 불확실성을 내포하고 있다.

<48>

만약, 폭발확관 전 상기 열전달 완충판(30)이 진원(Perfect Circle)이고, 폭발확관력도 방향에 따라 모두 동일하다면 측정에 의한 불확실성은 거의 없다고 봐도 된다.

<49>

그러나 상기 열전달 완충판(30)은 진원이 아니고(진원에 가까움) 상기 화약(41)의 폭발 역시 방향에 따라 똑같은 힘이 작용한다고 볼 수 없으므로 폭발확관 후 측정하는 열전달 완충판의 Groove 부분의 내경(D)도 측정하는 부분에 따라 값이 달라질 수 있다.

<50>

또한, 폭발확관 전 측정하는 상기 안전주입노즐(10)의 그루브 홈 내경(G) 및 상기 열전달 완충판(10)의 두께(T) 역시 측정 방향에 따라 다르다.

<51>

그러므로, 상기 열전달 완충판(10)의 합격검사 시 검사자의 의도와는 다르게 불확실성이 내재되어 있고 이는 곧 합격 기준(Acceptance Criteria)에 영향을 미치게 되므로 잘못된 판정을 내리게 될 수 있다.

<52>

따라서, 폭발확관 전에 측정위치를 표시하여, 폭발확관 후에도 동일한 곳을 측정하면 오차가 훨씬 줄어들 수 있다.

<53>

앞서 언급한 바와 같이, 엄격한 품질보증 활동(Quality Control)이 이루어진다면 측정오차 및 불확실성이 낮아지게 될 것이다.

<54>

따라서, 먼저 실험을 통해 폭발확관시 발생하는 오차(Standard Deviation 등)를 분석한 후 통계적인 폭발확관의 확률분포를 습득한 뒤, 폭발 확관 전, 후 측정위치를 표시하여, 동일한 곳을 측정하여 그 결과를 판단한다면 오차나 불확실성이 훨씬 줄어들 수 있다.

<55>

하지만, 이를 위해서는 먼저 같은 재질의 상기 열전달 완충판(30)을 이용해 여러번의 실험을 수행하여 신뢰성 있는 수치와 표준편차에 대한 데이터를 습득하여야 하는 어려움이 있다.

<56>

실제 동일한 재질과 크기로 폭발확관을 수행하는 데는 엄청난 예산, 시간 및 인력이 소모되므로 불가능하다.

<57>

따라서, 다음과 같은 방법을 이용하여 통계적으로 합격기준을 재설정해보도록 한다.

<58>

한국형 표준원전(OPR-1000)에 원자로의 영광 및 울진 3,4,5,6호기 즉 총 8기의 원자로의 상기 열전달 완충판(30)이 폭발확관 방식으로 제작되었다.

<59>

각 1기의 원자로에 4개의 상기 열전달 완충판(30)을 가지고 있으므로, 총 32번의 폭발확관이 이루어졌다.

<60>

따라서, 실험이나 다름없는 총 32번의 폭발확관 시 측정된 자료(아래 표2 참조)를 바탕으로 통계적인 합격기준을 도출해 보도록 한다.

표 2

<61>

NPP		G	D	T
영광#3	1A	311.67	303.48	4.50
	1B	311.76	303.21	4.50
	2A	311.68	303.30	4.25
	2B	311.66	302.95	4.25
영광#4	1A	312.10	303.55	4.22
	1B	312.13	303.50	4.15
	2A	312.18	303.50	4.31
	2B	311.82	303.97	4.14
울진#3	1A	311.80	303.26	4.30
	1B	311.80	303.50	4.29
	2A	311.84	303.45	4.23
	2B	311.83	303.50	4.30
울진#4	1A	311.69	303.00	4.31
	1B	311.74	303.05	4.29
	2A	311.75	303.05	4.24
	2B	311.66	303.30	4.20
영광#5	1A	311.68	303.10	4.39
	1B	311.74	302.41	4.37
	2A	311.76	302.40	4.44
	2B	311.76	302.56	4.43
영광#6	1A	311.66	302.72	4.44
	1B	311.70	302.67	4.38
	2A	311.66	302.71	4.44
	2B	311.64	303.04	4.47
울진#5	1A	311.77	303.38	4.30
	1B	311.75	302.59	4.35
	2A	311.72	303.07	4.30
	2B	311.74	302.68	4.35
울진#6	1A	311.73	303.18	4.35
	1B	311.74	303.16	4.21
	2A	311.73	303.13	4.29
	2B	311.61	303.20	4.32

<62>

<한국형 표준원전의 열전달 완충판 측정 제원>

<63>

통상 장치산업(원자력 발전)분야에서 사용하는 확률과 신뢰도는 95% 확률에 95% 신뢰도를 갖는 것이다. 만약 분포가 정상적이면 개체가 많지않은 Student T-분포에 의해 원하는 확률과 신뢰도를 갖는 실제 값은 다음과 같이 표현된다.

수학식 1

<64>

Actual Value(실제 값)=Nominal Value(공칭 값 혹은 평균 값) $\pm N \sigma s$

<65>

여기서, 95% 확률에 95%신뢰도를 갖는 N값은 1.67이다.

<66>

이하에서는, 다시 도 3을 참조하여 합격기준을 유도한다.

<67>

도 3에서 도시된 바와 같이, 열전달 완충판(30)의 부착여부를 판정하는 기준은 상기 열전달 완충판(30)의 그루브 홈(11)부분에서의 안전주입노즐(10) 내벽과 상기 열전달 완충판(30) 외벽 사이의 틈인 δ_1 과 δ_2 의 값을 통해 유도된다.

<68> 이때, 이론적으로 견고하고 이상적인 부착이라면, 상기 안전주입노즐(10) 내벽과 상기 열전달 완충판(30) 외벽 사이의 틈인 δ_1 과 δ_2 사이에는 $\delta_1 + \delta_2 \approx 0$ 이라는 관계식이 성립할 것이다.

<69> 또한, 상기 $\delta_1 + \delta_2$ 는 상기 열전달 완충판(30) 그루브 홈(11)의 실제 중심내경(G_A)로부터 폭발확관 후 검사자에 의해 측정되는 열전달 완충판(30)의 실제내경(D_A)과 폭발확관 전 측정된 열전달 완충판(30)의 실제두께(T_A)를 2배수 한 $2T_A$ 를합하여 뺀 값 $G_A - (D_A + 2T_A)$ 과 같기 때문에 아래의 수학적 2를 만족시킨다.

수학적 2

<70>
$$\delta_1 + \delta_2 = G_A - (D_A + 2T_A)$$

<71> 참고로, 상기 수식에서 아래 첨자 'A'는 실제 값(Actual Value)이라는 의미를 부여한 것이다.

<72> 한편, 상기 열전달 완충판(30) 그루브 홈(11)의 실제 중심내경(G_A), 폭발확관 후 측정된 열전달 완충판(30)의 실제내경(D_A) 및 폭발확관 전 측정된 열전달 완충판(30)의 실제두께(T_A)는 각각 상기 수학적 1에 의해 아래의 수학적 3과 같이 표현된다.

수학적 3

<73>
$$G_A = G_N \pm N \sigma_{S1} \quad D_A = D_N \pm N \sigma_{S2} \quad T_A = T_N \pm N \sigma_{S3}$$

<74> 상기 수학적 3에서 아래 첨자 N은 평균값을 의미하고, 아래 첨자가 아닌 N은 이미 상술한 바와 같이 95% 확률에 95%신뢰도를 갖는 값으로서 그 값이 1.67이다.

<75> 또한, 상술한 바와 같이 폭발확관 후 열전달 완충판(30)은 두께감소가 발생한다. 따라서, δ δ 상기 T_A 는 폭발확관 전의 두께이므로 폭발확관 후의 두께를 T_A' 라하고 두께의 감소량을 S라 하면 아래의 수학적 4가 성립하게 된다.

수학적 4

<76>
$$T_A' = T_A - S = T_N \pm N \sigma_{S3} - S$$

<77> 상기의 수학적1, 2, 3 및 4를 종합하면 아래의 수학적 5를 만족한다.

수학적 5

<78>
$$\delta_1 + \delta_2 = (G_N \pm N \sigma_{S1}) - (D_N \pm N \sigma_{S2}) - 2(T_N \pm N \sigma_{S3} - S)$$

<79> 이때, 상기 $\delta_1 + \delta_2$ 의 값을 보수적으로 평가하기 위해 G_N 의 표준편차 $\pm N \sigma_{S1}$ 의 값은 작은 값을 $\pm N \sigma_{S2}$ 와 $\pm N \sigma_{S3}$ 는 큰 값을 사용한다.

<80> 다시, 상기 수학적 5를 정리하면,

<81>
$$\delta_1 + \delta_2 = (G_N - N \sigma_{S1}) - (D_N + N \sigma_{S2}) - 2(T_N' + N \sigma_{S3} - S)$$

<82>
$$= G_N - N \sigma_{S1} - D_N - N \sigma_{S2} - 2T_N' - 2N \sigma_{S3} + 2S$$

<83>
$$= G_N - D_N - 2T_N' - (N \sigma_{S1} - N \sigma_{S2} - 2N \sigma_{S3}) + 2S$$
 이고, 이를 다시 G_N 에 관하여 정리하면 아래의 수학적 6과 같다.

수학적 6

<84>
$$((\delta_1 + \delta_2) / G_N) \leq 1 - D_N / G_N - 2T_N' / G_N - (N \sigma_{S1} + N \sigma_{S2} + 2N \sigma_{S3}) / G_N + 2S / G_N$$

<85> 이후, 상기 수학적 6의 우변에 모든 변수 값들은 32번의 폭발확관 결과 값이 기재된 상기 표2를 통계처리 하여 산출할 수 있는데, 상기 표2를 통계처리한 결과값이 아래의 표 3에 기재되어 있다.

표 3

<86>

분류		G_N	D_N	T_N
OPR#	평균값	311.7656	303.1116	4.3222
	표준편차	0.1341	0.3723	0.0955

<87>

상기 표3의 계산결과를 상기 수학적 식 6에 대입하여 계산하면, 새로운 합격기준으로 적용할 수 있는 아래의 수학적 식 7이 산출되게 된다.

수학적 식 7

<88>

$$(\delta_1 + \delta_2)/G_N \leq -0.0020 \Leftrightarrow (\delta_1 + \delta_2)/G_N \leq -0.0020$$

<89>

상기 열전달 완충판(30) 그루브 홈(11)의 중심내경(G), 폭발확관 후 측정된 열전달 완충판(30)의 내경(D) 및 폭발확관 전 측정된 열전달 완충판(30)의 두께(T)와 관련된 자료인 표2를 상기 수학적 식 7에 적용하여 합격여부를 판단한 결과가 아래의 표 4에 나타나 있다.

표 4

<90>

NPPs		이론적인 틈(Theoretical Gap) [G-(D+2T)]	합격기준(Application of Acceptance Criteria)의 적용	
			총래합격기준=0.00 5G≒1.56mm	본발명에 따른 새로운 합격기준=-0.22G ≒-0.627mm
영광#3	1A	-0.81	P	P
	1B	-0.45	P	F
	2A	-0.12	P	F
	2B	-0.21	P	F
영광#4	1A	-0.11	P	F
	1B	-0.33	P	F
	2A	-0.06	P	F
	2B	-0.43	P	F
울진#3	1A	-0.06	P	F
	1B	-0.28	P	F
	2A	-0.07	P	F
	2B	0.27	P	F
울진#4	1A	-0.07	P	F
	1B	0.11	P	F
	2A	0.22	P	F
	2B	-0.04	P	F
영광#5	1A	-0.20	P	F
	1B	0.59	P	F
	2A	0.48	P	F
	2B	0.34	P	F
영광#6	1A	0.06	P	F
	1B	0.27	P	F
	2A	0.07	P	F
	2B	-0.34	P	P
울진#5	1A	-0.21	P	F
	1B	0.46	P	F
	2A	0.05	P	F
	2B	0.36	P	F

울진#6	1A	-0.15	P	F
	1B	0.16	P	F
	2A	0.02	P	F
	2B	-0.23	P	F
	P(PASS): 합격 F(FAIL): 불합격			

<91> <본 발명에 따른 합격기준을 적용한 결과표>

<92> 상기 열전달 완충판(30)이 상기 안전주입노즐(10)에 폭발확관되어 고착정도의 합격을 판단함에 있어서, 표4를 통해 알 수 있는 바와 같이 종래의 합격기준이 적용되었을 때는 100% 합격 되었지만, 본 발명에 따른 새로운 합격기준이 적용되었을 때는 영광 3호기의 원자로 1A와 영광 5호기의 원자로 2B를 제외하고 모두 불합격 되었음을 알 수 있다.

<93> 이러한 결과는 종래의 엄격하지 못한 합격기준으로 인해 합격처리되어 결국 실제 운전 중에 이탈되는 사고가 발생할 수 있는 확률이 높은 반면, 본 발명에 따른 엄격한 새로운 합격기준이 적용됨에 따라 실제 운전 중에 이탈되는 사고가 발생할 수 있는 확률이 현저히 낮아질 수 있음을 의미한다.

<94> 이상에서 설명한 본 발명은, 본 발명에 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 있어 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경이 가능하므로 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 한정되는 것이 아니다.

도면의 간단한 설명

<95> 도 1은 한국형 표준원전의 핵증기 공급계통을 도시한 도면.

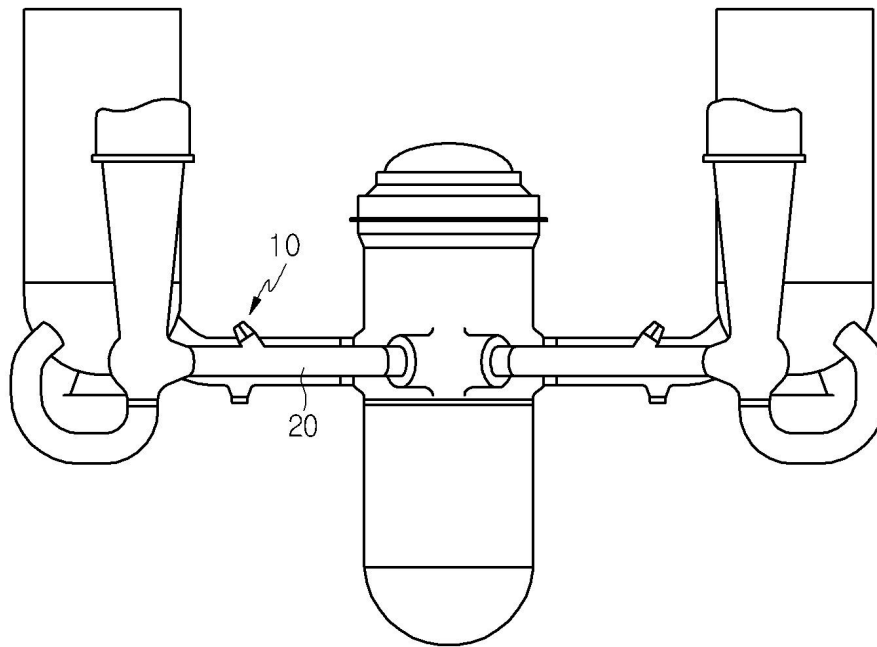
<96> 도 2는 본 발명에 따른 열전달 완충판의 폭발확관 합격여부 판단 방법에 따른 폭발확관 순서도를 도시한 도면.

<97> 도 3은 본 발명에 따른 열전달 완충판의 폭발확관 합격여부 판단 방법에 따른 폭발확관 전과 후의 열전달 완충판의 구조를 도시한 도면.

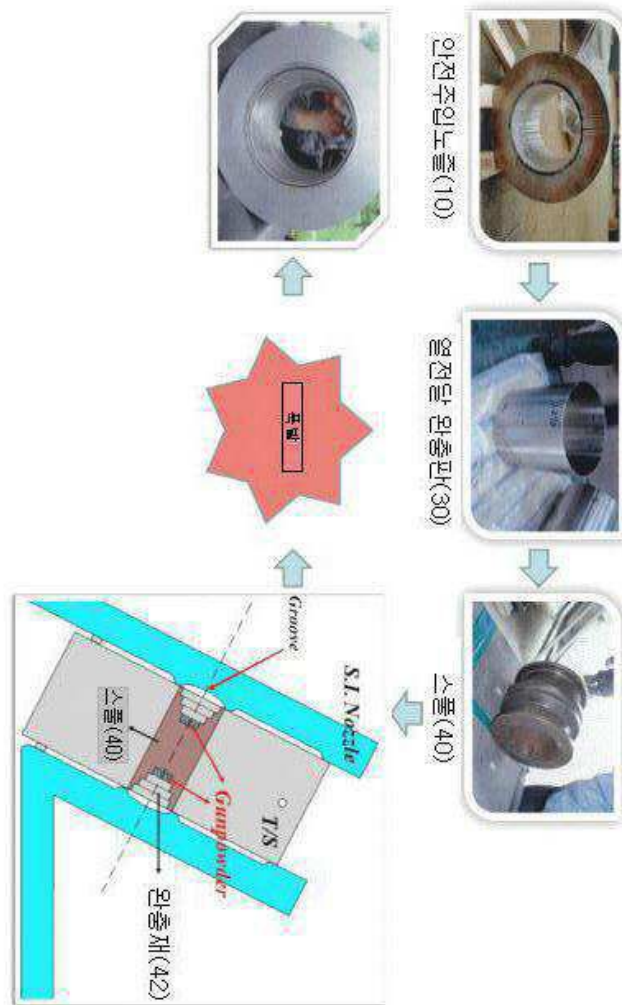
<98> 도 4는 본 발명에 따른 열전달 완충판의 폭발확관 합격여부 판단 방법에 따른 폭발확관 후 줄어드는 열전달 완충판의 두께를 계산하는데 필요한 계원이 표시되어 도시된 도면.

도면

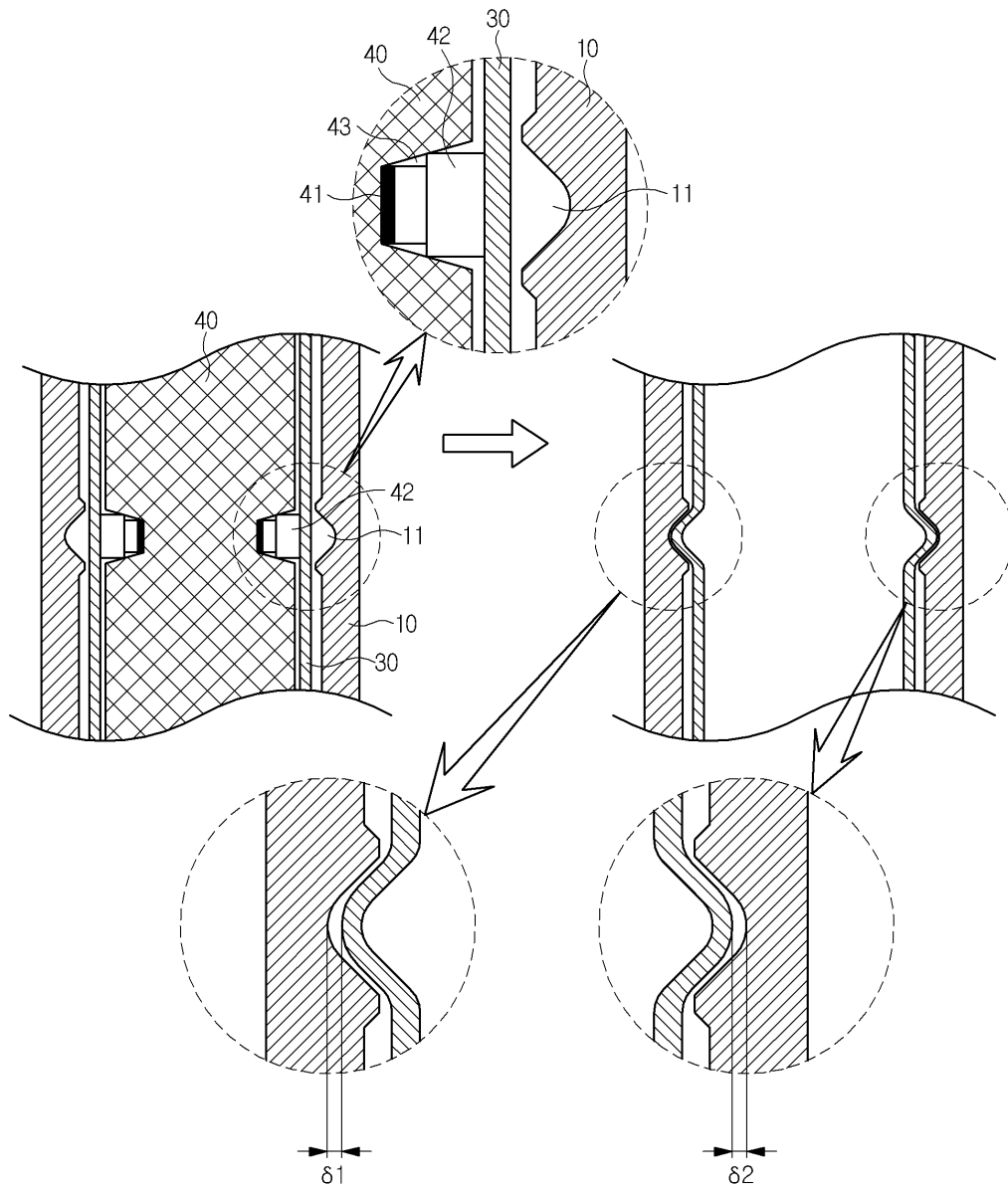
도면1



도면2



도면3



도면4

