

## 탄소강배관 다중 UT 측정두께를 활용한 감육여부 판별법 개발

황 경 모<sup>†</sup> · 윤 훈 · 이 찬 규

한국전력기술(주), 경기도 용인시 기흥구 용구대로 2354  
(2012년 4월 26일 접수, 2012년 10월 14일 수정, 2012년 10월 16일 채택)

### Development of Wall Thinning Distinction Method using the Multi-inspecting UT Data of Carbon Steel Piping

Kyeong Mo Hwang<sup>†</sup>, Hun Yun, and Chan Kyo Lee

KEPCO E&C, 2354 Yonggu daero, Giheung-gu, Yongin, South Korea, 446-713  
(Received April 26, 2012; Revised October 14, 2012; Accepted October 16, 2012)

To manage the wall thinning of carbon steel piping in nuclear power plants, the utility of Korea has performed thickness inspection for some quantity of pipe components during refueling outages and determined whether repair or replacement after evaluating UT (Ultrasonic Test) data. When the existing UT data evaluation methods, such as Band, Blanket, PTP (Point to Point) Methods, are applied to a certain pipe component, unnecessary re-inspecting situations may be generated even though the component does not thinned. In those cases, economical loss caused by repeated inspection and problems of maintaining the pipe integrity followed by decreasing of newly inspected components may be generated. EPRI (Electric Power Research Institute) in USA has suggested several statistical methods, TPM (Total Point Method), LSS (Least Square Slope) Method, etc. to distinguish whether multiple inspecting components have thinned or not. This paper presents the analysis results for multiple inspecting components over three times based on both NAM (Near Area of Minimum) Method developed by KEPCO-E&C and the other methods suggested by EPRI.

**Keywords** : pipe wall thinning, multiple inspection, ANOVA-1 method, TPM, NAM method

## 1. 서 론

원자력발전소에서는 탄소강배관의 감육관리를 위하여 매 주기 일정량의 배관 컴포넌트를 대상으로 UT 검사를 통하여 두께를 측정하고, 그 데이터를 평가하여 계속사용 또는 교체 여부를 결정하고 있다. 기존의 UT 데이터 평가 방식으로 적용하고 있는 Band Method, Blanket Method, Point to Point Method는 감육이 진행되고 있지 않은 배관 컴포넌트임에도 불구하고 잘못된 결과의 도출로 인하여 반복적으로 검사해야 하는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 경우 반복 검사에 따른 경제적 손실과 검사물량 증대로 인하여 제한된 검사기간에 신규로 검사할 수 있는 부위가 축소되어 배관 건전성 확보에 문제가 발생할 수도 있다. 이에 따라 미국 EPRI에서는 다중 반복적으로 검사하고 있는 배관 컴포넌트에 대하여 감육이 진행되고 있는지의 여부를 판별할 수 있는 여러 가지 통계처리 방식과 TPM (Total Point Method), LSS (Least Square Slope) Method 등을 제시하고 있다. 본 논문에서는 기존 발전소에서 3회 이상 반복하여 검사하

고 있는 일정량의 배관 컴포넌트를 대상으로 EPRI에서 제시하고 있는 방식과 한전기술(주)에서 신규로 개발한 NAM (Near Area of Minimum) Method를 적용하여 분석한 결과를 기술한다.

## 2. 배관감육 관리를 위한 UT 데이터 평가 방식

원자력발전소에서는 탄소강배관 감육관리를 위하여 Full Grid 방식으로 UT 검사를 수행한다. Fig. 1은 Full Grid 형식으로 두께를 측정하기 위한 포인트를 예로서 제시한 것이고, Fig. 2는 두께측정 데이터를 예로서 제시한 것이다.

UT 검사를 1회 수행하였을 경우에는 Band Method나 Blanket를 적용하여 평가를 수행하고 2회 이상 검사를 수행하였을 경우에는 최초 측정두께와 마지막 측정두께를 이용하여 PTP(Point to Point) 평가를 수행한다.<sup>1)</sup> PTP 평가는 Fig. 2에서 볼 수 있는 각 포인트의 최초 측정두께와 마지막 측정두께의 차 중 가장 큰 값을 운전년수로 나누어 감육률과 차기 검사시기를 결정하기 때문에 매 주기 반복 측정해야 하는 경우가 발생할 수도 있다. 따라서 다중 반복 측정하는 배관 컴포넌트의 경우, 감육이 지속적으로 발생하고 있는지

<sup>†</sup> Corresponding author: hkm@kepc-enc.com



Fig. 1. Full grid inspection points.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	0.402	0.407	0.405	0.402	0.404	0.401	0.397	0.399	0.401	0.406	0.409
2	0.394	0.396	0.403	0.401	0.4	0.401	0.395	0.402	0.394	0.409	0.4
3	0.395	0.398	0.404	0.405	0.402	0.403	0.405	0.412	0.409	0.412	0.41
4	0.396	0.386	0.395	0.409	0.372	0.413	0.429	0.41	0.411	0.378	0.39
5	0.39	0.382	0.392	0.407	0.385	0.412	0.426	0.42	0.408	0.388	0.392
6	0.396	0.39	0.398	0.41	0.392	0.417	0.429	0.424	0.401	0.39	0.39
7	0.397	0.384	0.397	0.407	0.384	0.417	0.426	0.421	0.41	0.389	0.397
8	0.397	0.388	0.403	0.407	0.392	0.416	0.423	0.421	0.415	0.39	0.403
9	0.4	0.388	0.404	0.404	0.394	0.411	0.42	0.416	0.405	0.4	0.405
10	0.401	0.395	0.411	0.404	0.396	0.411	0.412	0.412	0.421	0.405	0.402
11	0.405	0.389	0.414	0.414	0.401	0.411	0.413	0.402	0.408	0.404	0.404
12	0.397	0.392	0.411	0.413	0.403	0.414	0.407	0.411	0.405	0.403	0.406
13	0.403	0.389	0.407	0.412	0.395	0.418	0.4	0.396	0.397	0.392	0.399
14	0.407	0.391	0.41	0.407	0.387	0.409	0.397	0.394	0.39	0.389	0.392
15	0.403	0.39	0.407	0.406	0.385	0.402	0.388	0.4	0.388	0.382	0.398
16	0.404	0.387	0.403	0.406	0.385	0.404	0.392	0.394	0.388	0.376	0.402
17	0.397	0.384	0.407	0.407	0.387	0.412	0.394	0.396	0.386	0.371	0.401
18	0.397	0.384	0.407	0.408	0.392	0.415	0.395	0.393	0.389	0.376	0.406
19	0.399	0.383	0.418	0.407	0.389	0.41	0.387	0.383	0.374	0.368	0.398

Fig. 2. Example of UT data.

를 판별하여 계속 검사여부를 결정하는 것이 매우 중요하다.

### 3. 감육여부 판별법

미국 EPRI에서는 배관 컴포넌트를 다중 반복적으로 측정 시 실제로 감육이 발생하는지 여부를 결정할 수 있는 여러 가지 방안을 제시하고 있다. 감육여부 판별을 위하여 적용해 볼 수 있는 확률론적 방법으로는 FRIEDMAN Test Method, ANOVA-1, ANOVA-2, Monte Carlo Method<sup>2)</sup>가 있으며, 이외에 TPM<sup>3)</sup>과 LSS Method<sup>4)</sup>가 있다. 이들을 검토해 본 결과, 확률론적 방법인 ANOVA-1과 TPM를 제외한 나머지 방식은 현장에서 생산되는 다중 반복 UT 데이터 분석에 적용하기에는 다소 문제가 있는 것으로 나타났다. 이에 따라 본 단락에서는 ANOVA-1 및 TPM과 신규로 개발한 NAM Method를 소개하고 4.항에서는 실제 현장의 다중 반복 UT 데이터를 이용하여 적합성을 분석한 결과를 제시한다.

#### 3.1 TPM

TPM을 적용하기 위해서는 동일 컴포넌트에 대하여 최소 2회 이상의 UT 데이터가 존재하여야 하며, UT 데이터는 행과 열이 동일한 Matrix 형태이어야 한다.<sup>3)</sup> 평가 방식은 동일 위치의 데이터 전체에 대하여 두께변화 기울기를 구하

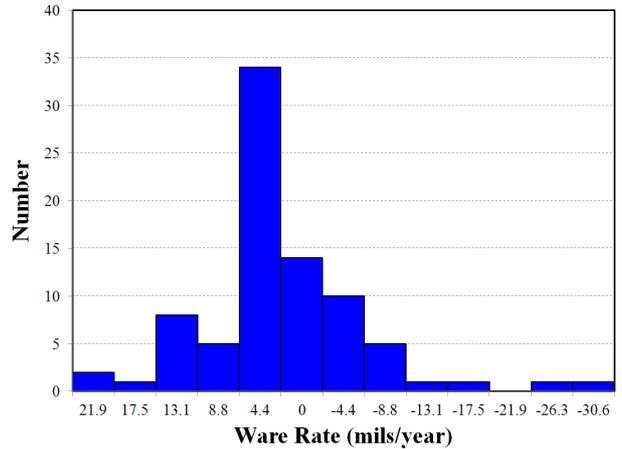


Fig. 3. Example of wear rate histogram.

Table 1. UT data by refueling outage

Refueling Outage Inspection Points	R-15	R-16	R-17	R-18
a01	0.512	0.513	0.514	0.513
a02	0.508	0.507	0.508	0.510
a03	0.512	0.513	0.513	0.515
a04	0.513	0.513	0.514	0.515
a05	0.515	0.516	0.515	0.516
a06	0.514	0.514	0.514	0.516
a07	0.507	0.506	0.507	0.507
a08	0.506	0.507	0.508	0.508
a09	0.508	0.508	0.509	0.511
a10	0.510	0.511	0.511	0.512
a11	0.506	0.508	0.505	0.507
a12	0.502	0.503	0.503	0.504
a13	0.494	0.496	0.495	0.497
a14	0.501	0.500	0.502	0.504
a15	0.504	0.505	0.505	0.506
a16	0.508	0.508	0.509	0.509
a17	0.508	0.508	0.509	0.509
a18	0.506	0.506	0.506	0.506
a19	0.506	0.507	0.507	0.507
b01	0.505	0.506	0.507	0.508
b02	0.509	0.508	0.508	0.510
b03	0.507	0.506	0.507	0.507
b04	0.500	0.499	0.500	0.501
b05	0.502	0.502	0.503	0.505
b06	0.503	0.502	0.503	0.505
b07	0.401	0.401	0.401	0.400
b08	0.398	0.385	0.398	0.397
b09	0.475	0.473	0.475	0.475
b10	0.501	0.502	0.501	0.502
b11	0.506	0.503	0.504	0.502
b12	0.502	0.501	0.502	0.504
b13	0.497	0.497	0.497	0.498
b14	0.503	0.502	0.503	0.503
b15	0.502	0.504	0.502	0.502
b16	0.508	0.507	0.508	0.510
b17	0.508	0.508	0.508	0.510
b18	0.503	0.501	0.504	0.503
b19	0.504	0.505	0.504	0.505
Total	18.974	18.961	18.989	19.019
Average	0.499	0.499	0.500	0.501
SD	0.02476	0.02633	0.02488	0.02533
Variance	0.00061	0.00069	0.00062	0.00064

**Table 2. Variance analysis of UT data.**

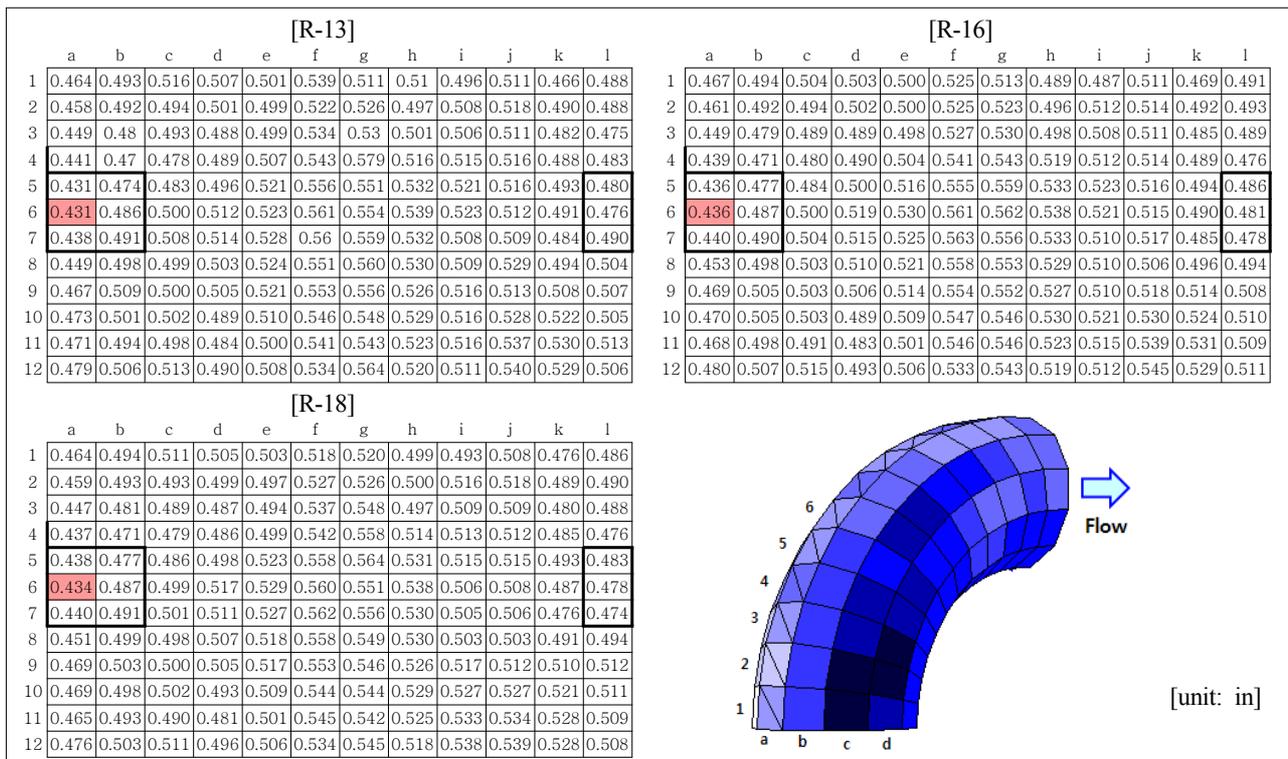
Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	P-Value	F Crit
Between Groups	3	4.9125E-05	1.6375E-05	0.02552	0.99447	2.66573
Within Groups	148	0.09498	0.000641747			
Total	151	0.095027625	-			

고 감육량 구간별로 히스토그램을 작성한다. Fig. 3은 감육률 히스토그램을 예로서 나타낸 것이다. 감육 진행여부의 판별은 대부분 포인트의 감육률이 양수일 경우에는 감육이 진행되고 있음을 나타내고, 음수일 경우에는 감육이 진행되고 있지 않음을 나타낸다. 참고로 Fig. 3에서 나타내고 있는 배관 컴포넌트는 대부분의 감육률이 4.4 mils/year로서 양수이므로 해당 컴포넌트는 감육이 진행되고 있음을 나타낸다.

**3.2 ANOVA-1 Method**

일원분산분석이라 불리는 ANOVA-1 Method는 통계 데이터 처리 기법을 이용하여 배관 컴포넌트의 감육진행 여부를 판별해 보고자하는 방식이다.<sup>2)</sup> 이는 독립변수와 종속변수 사이의 관계를 통하여 감육진행 여부를 결정하는 방식으로서, 각 검사차수와 UT 측정 데이터 평균값 사이에 어떤

연관성이 있는지의 판별을 통하여 감육이 진행되고 있는지를 판단한다. 여기서는 ANOVA-1 Method를 이용하여 감육여부를 판별한 예를 제시한다. Table 1은 검사 차수별 각 포인트의 두께 데이터를 보여준다. Table 2는 Table 1의 UT 데이터를 이용하여 분산분석을 수행한 결과를 나타낸 것이다. 감육 진행여부 판별을 위한 귀무가설(Null Hypothesis)은 검사 포인트별 UT 데이터가 검사차수와 무관하다는 것이다. 즉, UT 데이터의 평균값이 차수별로 동일하다는 것이다. Table 2에서 볼 수 있듯이 분산분석에서 검정 통계량 값인 F Ratio 0.02552는 기준값(F Crit, 2.66573)보다 작기 때문에 귀무가설을 채택한다. 또한 유의확률을 나타내는 P-Value 0.99447은 유의구간 0.05 보다 크기 때문에 역시 귀무가설을 채택한다. 즉 감육이 진행되고 있지 않음을 나타낸다.



**Fig. 4. UT data by refueling outage.**

3.3 NAM Method

NAM Method는 배관감육의 진행 여부를 보다 정확하게 판별해 낼 수 있도록 한전기술(주)에서 자체 개발한 방법이다. 본 방법은 검사 마지막 차수의 전체 두께 데이터 중 가장 얇게 측정된 UT 데이터 부근의 데이터를 이용하여 각 차수별 기울기를 평균하고 평균값이 음수이면 감육이 진행되고 있는 것으로 결정하는 방식이다. 여기에는 유체 유동특성상 배관 내부의 한 포인트에서만 감육이 발생하는 것이 아니라 일정 부위가 동시에 얇아진다는 다년간의 경험에 따른 것이다. 다음은 NAM Method를 이용하여 감육여부를 판별한 예를 제시한다. Fig. 4는 90° 엘보우에 대하여 각 차수별로 측정된 배관 두께 데이터를 제시한 것이다.

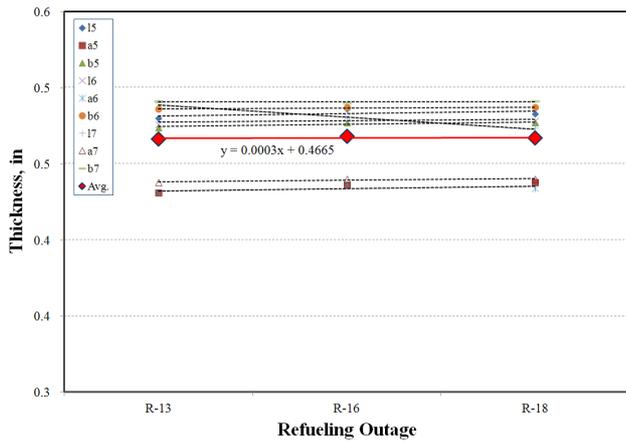


Fig. 5. Graph applying NAM Method.

Fig. 4에서 마지막 차수인 R-18 데이터 중 가장 얇게 측정된 UT 데이터는 (a,6) 포인트의 0.434이며, (a,6)을 포함하여 주변 9개 포인트에 대하여 두께분포 기울기를 분석한 결과는 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5에서 평균 기울기는 0.0003으로서 양수이므로 감육이 진행되고 있지 않음을 나타낸다.

4. 감육여부 판별법 적용 및 토의

다중 반복검사에 따른 감육 진행여부 판별에 적합한 것으로 선정된 ANOVA-1 Method 및 Total Point Method와 한전기술에서 개발한 NAM Method의 적용 타당성을 분석하였다. 분석 방법은 3회 이상 반복검사를 수행한 41개의 배관 컴포넌트에 대하여 위의 세 가지 방식을 적용하고 UT 데이터를 육안으로 확인하여 실제 감육이 진행되고 있는지의 여부를 판별하였다. Table 3과 Table 4는 다중 반복검사 컴포넌트의 감육여부 판별을 위한 검사차수별 UT 데이터와 육안으로 판별한 결과를 예로서 제시한 것이다. Table 3의 TE017AXA (Expander)에 대하여 ANOVA-1 Method는 "No Wear", Total Point Method는 "Wear", NAM Method는 "No Wear"로 평가되었다. 이를 육안으로 판별한 결과는 감육이 진행되고 있지 않으며, ANOVA-1 Method와 NAM Method가 적절하게 판정하고 있는 것으로 나타났다. 그리고 Table 4의 TF124AXA (Expander)에 대해서는 ANOVA-1 Method는 "No Wear", Total Point Method는 "No Wear", NAM Method는 "Wear"로 평가되었다. 이를 육안으로 판별한 결과는 감육이 진행되고 있으며, NAM Method만이 적절하게 판정하고 있는 것으로 나타났다.

Table 3. UT data of Expander (TE017AXA) by refueling outage

RFO	UT data																	Review Results (in)	
R-15	1.003	1.006	1.002	1.003	0.998	0.986	0.998	0.996	0.981	0.989	0.993	1.003	0.991	0.966	0.98	0.987	0.974	0.989	- Total Average : 1.462 - Tmin : 0.966 - Box Average : 1.060
	1.143	1.18	1.14	1.146	1.169	1.187	1.112	1.121	1.128	1.114	1.119	1.147	1.133	1.157	1.134	1.136	1.121	1.133	
	1.351	1.355	1.338	1.369	1.396	1.379	1.324	1.302	1.321	1.358	1.372	1.361	1.373	1.38	1.351	1.349	1.347	1.35	
	1.538	1.597	1.593	1.578	1.549	1.604	1.57	1.605	1.691	1.714	1.714	1.682	1.696	1.611	1.605	1.543	1.523	1.526	
	1.986	2.054	2.081	2.098	2.045	2.078	2.025	1.956	1.932	1.919	1.916	1.917	1.927	1.946	1.961	1.963	1.971	1.997	
	1.725	1.695	1.733	1.743	1.708	1.773	1.611	1.664	1.643	1.601	1.679	1.667	1.656	1.691	1.681	1.724	1.691	1.719	
R-17	1.001	1.007	1.01	1.004	0.994	0.996	0.998	0.993	0.987	0.992	0.989	0.971	0.988	0.979	0.98	0.988	0.985	0.988	- Total Average : 0.449 - Tmin : 0.971 - Box Average : 1.047
	1.182	1.131	1.131	1.098	1.109	1.189	1.098	1.105	1.087	1.113	1.114	1.079	1.127	1.131	1.074	1.127	1.129	1.131	
	1.336	1.344	1.328	1.358	1.389	1.377	1.324	1.301	1.321	1.364	1.363	1.36	1.365	1.372	1.35	1.342	1.335	1.332	
	1.524	1.538	1.502	1.589	1.515	1.585	1.548	1.611	1.696	1.739	1.619	1.643	1.678	1.585	1.56	1.542	1.518	1.518	
	1.987	2.037	1.988	2.069	1.985	2.073	2.023	1.957	1.931	1.916	1.911	1.904	1.923	1.944	1.96	1.965	1.97	1.993	
	1.686	1.654	1.672	1.747	1.713	1.78	1.612	1.638	1.591	1.683	1.666	1.687	1.645	1.676	1.691	1.706	1.655	1.678	
R-19	1.015	1.011	1.005	0.989	0.998	0.989	1.002	1.001	0.984	0.998	0.993	1.008	0.982	0.973	0.993	0.98	0.976	0.984	- Total Average : 1.455 - Tmin : 0.973 - Box Average : 1.060 ► Distinction Result : No Wear
	1.157	1.165	1.134	1.099	1.121	1.252	1.087	1.08	1.136	1.041	1.076	1.141	1.134	1.156	1.122	1.074	1.093	1.091	
	1.352	1.351	1.341	1.352	1.401	1.383	1.323	1.303	1.324	1.357	1.375	1.355	1.373	1.379	1.356	1.347	1.344	1.339	
	1.558	1.591	1.563	1.556	1.563	1.615	1.571	1.611	1.694	1.696	1.705	1.668	1.702	1.592	1.561	1.526	1.514	1.529	
	1.99	1.962	2.02	2.037	2.059	2.073	2.034	1.962	1.934	1.928	1.919	1.926	1.93	1.956	1.964	1.97	1.976	1.999	
	1.731	1.665	1.692	1.72	1.681	1.757	1.686	1.639	1.608	1.636	1.644	1.667	1.631	1.672	1.749	1.725	1.681	1.665	

**Table 4. UT data of Expander (TF124AXA) by refueling outage**

RFO	UT data	Review Results (in)
R-14	0.347 0.345 0.347 0.349 0.346 0.346 0.346 0.346 0.346 0.346 0.346 0.345	- Total Average : 0.506 - Tmin : 0.231 - Box Average : 0.350
	0.76 0.764 0.765 0.762 0.764 0.767 0.764 0.766 0.765 0.765 0.766 0.767	
	0.769 0.768 0.767 0.766 0.767 0.77 0.77 0.769 0.769 0.768 0.77 0.769	
	0.762 0.761 0.76 0.764 0.757 0.757 0.76 0.77 0.761 0.761 0.761 0.758	
	0.536 0.534 0.534 0.535 0.535 0.533 0.537 0.533 0.535 0.555 0.494 0.492	
	0.239 0.231 0.278 0.302 0.299 0.323 0.319 0.372 0.322 0.28 0.282 0.265	
	0.281 0.262 0.258 0.29 0.286 0.322 0.327 0.337 0.322 0.292 0.273 0.283	
	0.293 0.274 0.274 0.278 0.271 0.306 0.296 0.313 0.298 0.281 0.286 0.293	
R-15	0.346 0.345 0.344 0.341 0.344 0.345 0.348 0.343 0.344 0.345 0.344 0.345	- Total Average : 0.498 - Tmin : 0.217 - Box Average : 0.336
	0.758 0.762 0.764 0.764 0.766 0.763 0.764 0.767 0.765 0.768 0.742 0.762	
	0.767 0.768 0.767 0.767 0.766 0.768 0.765 0.769 0.77 0.768 0.77 0.766	
	0.758 0.759 0.76 0.757 0.754 0.756 0.754 0.759 0.758 0.761 0.759 0.745	
	0.509 0.53 0.51 0.495 0.534 0.531 0.53 0.495 0.551 0.481 0.465 0.508	
	0.226 0.217 0.259 0.295 0.286 0.31 0.309 0.321 0.319 0.271 0.278 0.261	
	0.271 0.252 0.246 0.277 0.273 0.31 0.314 0.333 0.319 0.279 0.263 0.263	
	0.281 0.269 0.264 0.272 0.264 0.295 0.286 0.292 0.281 0.272 0.27 0.283	
R-17	0.347 0.344 0.344 0.347 0.343 0.346 0.351 0.346 0.345 0.346 0.346 0.346	- Total Average : 0.503 - Tmin : 0.190 - Box Average : 0.331 ▶ Distinction Result : Wear
	0.787 0.787 0.762 0.789 0.791 0.786 0.786 0.789 0.79 0.764 0.765 0.767	
	0.769 0.791 0.794 0.795 0.788 0.792 0.794 0.792 0.792 0.768 0.796 0.797	
	0.795 0.792 0.792 0.787 0.787 0.764 0.763 0.794 0.789 0.794 0.769 0.79	
	0.535 0.561 0.534 0.531 0.534 0.538 0.536 0.536 0.533 0.535 0.512 0.534	
	0.211 0.19 0.256 0.283 0.274 0.303 0.299 0.317 0.312 0.268 0.274 0.255	
	0.247 0.221 0.226 0.25 0.253 0.289 0.298 0.328 0.323 0.257 0.249 0.251	
	0.255 0.242 0.234 0.238 0.235 0.259 0.258 0.266 0.258 0.237 0.249 0.264	

**Table 5. Wear distinction for multiple inspecting components**

No.	Component Name	TPM	ANOVA-1	NAM	Visual Identification	No.	Comp Name	TPM	ANOVA-1	NAM	Visual Identification
1	TD005AEC	Wear	No Wear	Wear	△	22	TF190AXB	No Wear	No Wear	No Wear	×
2	TD011AEC	Wear	No Wear	No Wear	×	23	TF214AXA	Wear	No Wear	Wear	○
3	TE003AEA	Wear	No Wear	No Wear	×	24	TF455ATB	Wear	No Wear	Wear	○
4	TE020FEE	No Wear	No Wear	No Wear	×	25	TF470ATA	Wear	No Wear	Wear	○
5	TE018AEA	No Wear	No Wear	Wear	△	26	TF079BTA	Wear	No Wear	Wear	○
6	TE018AEC	No Wear	No Wear	No Wear	×	27	TF091CTA	Wear	No Wear	Wear	○
7	TE017AXA	Wear	No Wear	No Wear	×	28	TF530AEJ	Wear	No Wear	Wear	○
8	TE016AXA	No Wear	No Wear	No Wear	×	29	TF530AEI	Wear	No Wear	Wear	○
9	TE020DEA	No Wear	No Wear	Wear	△	30	TF531BEK	Wear	No Wear	Wear	○
10	TE027AEG	No Wear	No Wear	No Wear	×	31	TF610ATB	Wear	No Wear	Wear	○
11	TE054AEA	Wear	No Wear	Wear	○	32	TF522AEJ	Wear	Wear	Wear	○
12	TE037CEA	No Wear	Wear	Wear	○	33	TF540AXA	Wear	Wear	Wear	○
13	TE019APH	Wear	No Wear	Wear	○	34	TF604CTC	Wear	No Wear	Wear	△
14	TE023AED	Wear	No Wear	Wear	○	35	TF559AED	Wear	No Wear	No Wear	×
15	TE024APH	Wear	Wear	Wear	○	36	TF597AXA	No Wear	No Wear	No Wear	×
16	TE037ERA	Wear	No Wear	Wear	○	37	TF098AXA	Wear	No Wear	Wear	○
17	TE037FRA	Wear	No Wear	Wear	○	38	TF167AXA	Wear	No Wear	Wear	○
18	TE024BXA	Wear	No Wear	Wear	○	39	TF163AEC	No Wear	No Wear	No Wear	×
19	PL025APO	No Wear	No Wear	No Wear	×	40	TF124AXA	No Wear	No Wear	Wear	○
20	TF176AEI	Wear	No Wear	Wear	△	41	TF122AXA	Wear	No Wear	Wear	○
21	TF435AEA	Wear	No Wear	Wear	△	-	-	-	-	-	-

Table 5는 상기에서 예시한 바와 같은 방식으로 41개의 다중 반복검사 컴포넌트에 대한 감육여부 판별 결과를 제시한 것이다. 표에서 컴포넌트 명은 배관감육 관리를 위하여 설정한 개별 명칭이다. 육안판별 중 ○는 감육이 진행되고 있는 것을 의미하고, ×는 감육이 아닌 것 그리고 △는 감육여부가 애매한 것을 의미한다. 41개 컴포넌트에 대한 감육여부 판별 결과, 육안판별을 기준으로 할 때 ANOVA-1 Method, TPM 및 NAM Method의 정확도는 각각 39%, 71%, 85%인 것으로 나타났으며, 감육여부가 애매한 것(△)을 감육이 진행되고 있는 것으로 고려할 경우의 정확도는 39%, 80%, 100%인 것으로 나타났다. 결과적으로 한전기술(주)에서 개발한 NAM Method가 가장 정확하게 감육여부를 판별하고 있음을 확인하였다.

## 5. 결 론

원자력발전소에서는 탄소강배관의 감육관리를 위하여 매 주기 일정량의 배관 컴포넌트를 대상으로 UT 검사를 통하여 두께를 측정하고, 그 데이터를 평가하여 계속사용 또는 교체 여부를 결정하고 있다. 그러나 기존의 UT 데이터 평가 방식에서는 감육이 진행되고 있지 않는 배관 컴포넌트임에도 불구하고 반복적으로 검사해야 하는 오류가 발생할 수도 있다. 이러한 경우 반복검사에 따른 경제적 손실과 검사물량

의 증대에 따라 제한된 검사시간에 신규로 검사할 수 있는 부위가 축소되어 배관 건전성 확보에 문제가 나타날 수도 있다. 미국 EPRI에서는 여러 가지의 통계처리 방식과 TPM, LSS Method 등을 제시하고 있으나 이들 역시 정확도에 다소 문제가 있는 것으로 나타났다. 따라서 한전기술(주)에서는 3회 이상 다중 반복검사 되어 온 컴포넌트를 대상으로 감육이 진행되고 있는지의 여부를 판별할 수 있는 신규 NAM Method를 개발하였다. 41개의 다중 반복검사된 컴포넌트를 대상으로 기존의 방식과 NAM Method에 대하여 평가 신뢰성을 비교, 분석한 결과 NAM Method의 정확도가 가장 높은 것으로 확인됨에 따라 한전기술(주)에서는 조만간 NAM Method를 현장 배관감육 관리에 적용할 예정이다.

## 참 고 문 헌

1. D. Munson, and J. Horowitz, Recommendations for an Effective Flow-Accelerated Corrosion Program (NSAC-202L-R3), 1011838, EPRI, Palo Alto, pp. 4-18~4-22 (2006).
2. H. Crockett, Statistical Methods for the Analysis of Multiple-Inspection Flow-Accelerated Corrosion Data, 1019175, EPRI, Palo Alto, pp. 3-1~7-2 (2009).
3. D. Smith, Implementation Test Project on the Total Points Method, 1022575, EPRI, Palo Alto, pp. 3-1~3-3 (2011).
4. H. Crockett, Least Squares Methods for Evaluation Inspection Data, 1018456, EPRI, Palo Alto, pp. 3-1~3-5 (2008).