

## 산업시설 배관 노후도 평가를 위한 배관 섹션화 방안 연구

### A Study of the Sectionalizing for Pipe Deterioration Evaluation in Industrial Facilities

민혁기(Hyuk-Ki Min)<sup>1†</sup>, 김상범(Sang-Bum Kim)<sup>2</sup>, 김병우(Byung-Woo Kim)<sup>2</sup>,  
김형기(Hyoung-Ki Kim)<sup>2</sup>, 박 룰(Yool Park)<sup>3</sup>

<sup>1</sup>인천국제공항공사, <sup>2</sup>효성에바라엔지니어링(주), <sup>3</sup>동의대학교 건축설비공학과

<sup>1</sup>Plant Maintenance of Airport Facilities Group, Incheon International Airport, Incheon, 400-700, Korea

<sup>2</sup>Plant Maintenance of Incheon International Airopport Incinerator, Hyosung Ebara Engineering, Incheon, 400-340, Korea

<sup>3</sup>Department of Building Systems Engineering, Dongeui University, Busan 614-714, Korea

(Received July 28, 2014; revision received September 24, 2014; Accepted: October 8, 2014)

**Abstract** In general, no particularly well-established standards have been in place so far, for the method of evaluating the deteriorated level of pipes and ducts of industrial facilities. For that reason, the evaluation depends upon various studies which are based on the analysis of the residual life, thickness thinning, closure rate, and scale thickness that measure a few specific positions of pipes. It also depends upon the expertise in business operation and the specific techniques conducted by the inspection companies and institutions. This research introduces the concept of measuring units per section and the selection method of measurement points per section. Furthermore, specific methodologies were developed to plan and analyze deterioration level of industrial pipes and ducts by engineers and managers using a section map. Consequently, applying the outcomes from this study to the plant equipment of the incineration facility resulted in saving 42% of the repairing and remodeling cost.

**Key words** Pipe sectionalizing(배관 섹션화), Pipe deterioration(배관 노후도), Residual thickness(잔존 두께), Residual life(잔존 수명)

† Corresponding author, E-mail: hkkmin1234@daum.net

## 1. 서 론

국내 산업규모가 대규모로 확대되어 가고 있는 과정에서 건설되어진 많은 산업시설은 설비의 내구년한 경과에 따른 노후화에 의해 기계설비의 갱신요구와 사례가 크게 증가하고 있다.<sup>(1)</sup> 건축물의 내구연수가 30년을 전후로 반영구적인 반면에 배관의 내용연수는 15~20년을 전후로 비교적 짧아 보수 및 교체가 많이 이루어지고 있다. 배관의 노후화는 주로 부식이 원인이 되며, 이외에도 재질, 매체, 주변환경 등 다양한 인자에 의하여 열화가 진행된다.

배관의 노후도 평가연구에 대하여 분야별로 나누어 보면, 송·배수관, 즉, 상하수도관에 대해서는 국책 연구로서 주요한 자료 축적이 진행되고 있으며, 반면에 건축물의 옥내 급수관의 경우는 최근들어 활발히 진행되고 있다. 또 다른 분야로서 산업시설 배관은 설비별로 개별적인 노후도 진단기술이 연구되어져 오고 있다. 이는 산업시설 배관의 종류가 다양하고, 재질, 매

체, 운전조건별 특성에 따라 노후도 평가 모델을 달리 하고 있기 때문이다.

특히 산업시설 용수 배관이나 원형 공기 덕트에 대한 노후도 평가기준에 대해서는 특별히 확립되어 있지 않고 일반적으로 배관의 노후도 측정에 사용되는 두께 감육, 폐쇄율, 스케일 두께에 따른 잔존수명분석 등의 여러 가지 기존 연구결과를 활용하거나 개별 사업장의 운영 노하우 또는 진단업체의 자체 기술에 의존하고 있는 상황이다. 이로 인해 현장에서는 체계적인 진단을 하기 보다는 누수나 부식이 심한 부위가 발생하였을 때 해당 부위를 부분적으로 보수하는 경우가 많으며, 배관의 건전성 진단을 수행하더라도 노후화된 배관 몇 개소의 측정결과에 따라 전체 배관을 교체하는 경제적 부담을 안는 등 배관의 건전성 진단도 체계적이지 못한 실정이다.

이에 본 연구에서는 기존의 국부적 배관 노후도 진단기법의 단점을 보완하고, 현장기술자들이 배관진단을 효율적이고 체계적으로 수행할 수 있는 방안을 제

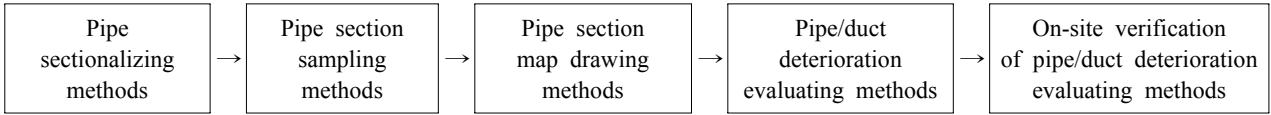


Fig. 1 Developing process of sectionalizing for pipe deterioration evaluation in industrial facilities.

시하기 위해 산업시설 배관에 대한 계통 단위의 섹션화 개념을 적용한 진단기법을 개발하고자 한다.

## 2. 배관 섹션화 방안 제시

### 2.1 기술개발 개요

산업시설 배관의 노후도 평가기술의 개발 개념은 전체 배관을 연속적으로 섹션화하고, 섹션별로 초음파 검사 또는 샘플채취에 의한 검사를 통한 측정결과치의 분석으로 수립된 노후도 평가 모델에 의하여 전 배관 시스템의 노후도를 정량적으로 평가하는 것이다.

Fig. 1은 평가기술의 완성에 필요한 단계별 요소기법 개발과 현장 적용 실험까지의 연구개발 절차를 나타내고 있다. 본 연구에서는 배관 섹션화 기법, 섹션 샘플링 검사기법, 배관 섹션맵 개발 및 이의 현장 적용사례를 대상으로 하였다.

### 2.2 배관 섹션화 기법 개발

#### 2.2.1 개요

배관 설비의 진단 시 계통 단위의 진단을 수행하고 있으며, 일반적으로 계통의 시점, 중점, 종점 기준을 원칙으로 측정점을 선정하여 배관의 노후도를 진단 분석하고 계통에 대한 노후도를 판정하고 있다. 이러한 계통 단위의 진단 방식은 한국건설기술연구원(2001)의 “기계설비 성능진단 및 리노베이션 방안 연구”에서 그 방법을 제시하고 있으며, 아파트 등의 옥내 급수관의 노후도 평가에서도 적용되고 있다.

Fig. 2는 계통 단위 진단과 섹션단위 진단의 개념을 비교한 것이다. 섹션단위 진단은 진단단위를 보다 작은 그룹으로 나눈다면 측정점은 증가되나 대신에 측정의 신뢰성 향상과 세밀한 측정·분석으로부터 정확한 보수범위를 도출하면 경제성이 향상될 것이라는 기본 개념에 두고 있다. 그렇다면, Fig. 2에서와 같이 계통을 n개의 분할 방식, 즉 섹션을 어떻게 나누어야 하는지 그

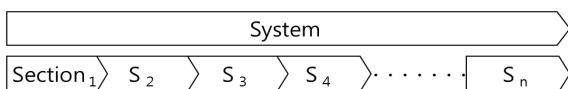


Fig. 2 Comparing with section unit concept and system unit diagnostic.

기준이 수립되어야만 할 것이다.

본 연구에서는 기존의 설비적 관점의 계통단위 진단에 추가적으로 측정의 정밀성 및 경제성 개념을 적용하여 진단 단위를 계통에서 섹션 개념으로 개량하고자 한다.

#### 2.2.2 배관 섹션화 설정 기준

계통을 섹션단위로 나누는 기본 전제 조건은 운전 및 주변환경 여건에 따라 계통 전체의 부식 마모 등의 노후화는 구역 또는 섹션별로 차이를 두고 진행된다는 가정에서 출발한다. 산업시설 배관의 계통 내에는 주배관이 있고 관경이 다른 가지배관이 존재하고 또한 높이가 다르며 압력과 유속이 각기 다를 것이다. 또한 정체되어 있는 부근도 있고 유속이 빠른 곳도 있으며 배관 외측의 환경에 따라 외면부식을 촉진시키는 환경이 있을 수도 있는 등 여러 가지 상이한 제반 운전조건 변화는 계통 내에 각 구역별로 부식의 진행속도, 형태 등이 서로 다르게 나타나는 원인이 된다.

섹션단위 진단은 Fig. 3과 같이 기존 계통단위 진단 측정시스템에 공급차별 섹션화, 층별·실별 섹션화, 독립구간 섹션화의 세 단계의 추가 측정시스템 설정 작업을 통하여 계통을 섹션으로 분할한다.

첫 번째 단계인 계통 구분은 일반적으로 사용되는 방법으로서 배관 및 덕트의 계통을 파악하고, 계통 중 일부구간의 가감여부를 결정짓는 단계가 된다. 예를 들면 건물내의 급수계통, 배수계통, 위생설비 계통, 급탕배관 계통, 냉온수 배관 계통 등으로 나누는 작업이다.

두 번째 단계인 공급차별 섹션화는 배관 및 덕트의 공급차별로 배관 라인을 구분하는 방법이다. 용수 배관 계통은 주배관에서 각 소요처별로 가지 배관이 분기되어 말단의 설비로 용수 공급이 이루어진다. 해당 소요처는 각각 독립적인 기능을 구현하도록 별도의 설비가 설치되어 있으며, 필요한 용수를 공급받음으로써 기능이 작동되는데 이렇게 단위 공급차별로 섹션화하는 방법이다.

세 번째 층별·실별 섹션화는 건축물의 규모가 다층이거나, 여러 개의 실별로 나뉘어 있을 경우 계통을 층별, 실별로 나누는 방법을 말한다. 산업시설의 건축물 내 공간적 구분을 부여할 수 있는 환경으로서 층별 또는 실별 구분을 적용하여 계통을 소그룹으로 나눈다.

마지막 네 번째인 독립구간 섹션화는 계통 중간에 펌프 및 차단 밸브 등으로 계통이 분기 또는 분할되거나, 또는 계통이 건물 벽면 등에 부착되어 있는 입상관으로

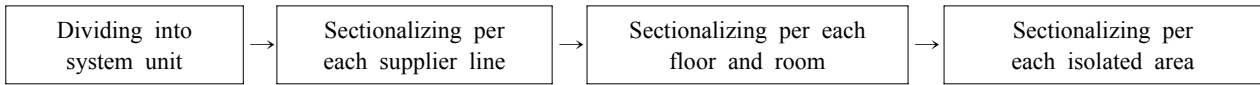


Fig. 3 Criteria of pipe sectionalizing.

접근성이 어려운 경우 이런 구간은 별도의 구간으로 분할하여 색선화를 추가한다.

다음으로는 위에서 기술된 색선 설정 기준으로 색선화의 방법을 기술해 보면, 첫 번째는 배관 계통을 먼저 파악하고, 이 후 공급처별 배관 라인을 파악하는 일이다. 시설자료, 설비 계통도, 배관 ISO 도면 등의 기초문헌자료를 확보하여 계통과 공급처별 라인 파악을 서류검토와 현장 간이조사를 병행하여 수행한다. 이 과정을 통해 기본적으로 계통과 공급처별 라인의 명칭, 시작과 끝의 설치위치 정보, 압력, 유량 등을 파악하며 더불어 계통과 색선의 길이, 밸브류, 피팅류 등의 부속설비 정보 등을 알 수 있으면 좋다. 이는 나중에 보수나 교체를 할 경우 결국 필요한 정보가 된다.

그리고 확보된 기본문헌 자료가 충분하다면 층별·실별 색선화 및 독립구간 색선화를 수행하거나 기본안을 만든다. 자료가 불충분 또는 불분명하다면 현장조사를 수행해야 한다.

보통 현장의 배관 설치 여건을 서류로써 모두 알기에는 한계가 있으므로 현장조사를 통해 색선화의 적정성을 확인하고, 이때 측정작업의 작업성, 시공성, 경제성을 고려하여야 한다.

색선의 길이를 너무 작게 나누어도 비용과 시간이 많이 소요가 되며 각 색선별 측정결과와 판단 구분이 모호해지는 경우가 발생하며, 반대로 색선의 길이가 너무 길면 국부적 결함 발생 측정에 대하여 전체 색선의 길이를 대표해 버리는 측정의 대표성 신뢰도가 떨어지게 된다.

2.2.3 유효성 검증

색선 진단이 계통 진단보다 경제성과 정밀성이 향상된 결과를 도출하는지의 유효성 여부가 검증되어야 하며, 아울러 계통 내 노후화의 진행 정도는 일정 단위의 구획, 즉 색선별로 다르게 진행된다는 가정이 유효한지가 파악되어야 한다.

이에 본 연구에서는 총 연장길이가 1,085 m인 인천공항 소각시설의 공정 용수 배관을 대상으로 이의 유효성을 검토하였다.

이를 위해 전술한 색선 설정 기준을 적용하여 1개의 공정 용수배관 계통을 총 21개의 색선으로 분할하여 Table 1과 같이 기존방식과 색선화 방식에 의한 배관 노후도를 각각 평가하였다.

Table 1의 기존 계통 단위 진단방법에 의한 노후도 판정등급은 시점, 중점, 종점의 결과를 취하여 예측할 때

IV(교체) 등급이 나왔으며, 본 연구가 진행되기 이전에 소각시설 전문진단기관에 의뢰하여 진단한 결과도 역시 전면 교체가 필요한 것으로 조사되었다. 계통단위 진단 방법의 결과는 SN.1~SN.7까지를 시점으로 취하여 가장 하위 등급의 노후도인 IV(교체)로 채택하고, SN.8

Table 1 Comparing the result of pipe deterioration by section unit method and system unit method

No. Section	Supplier line name	L (m)	Deterioration level	
			Section unit method	System unit method
SN.1	Lift pump of plant water	68	IV	
SN.2	Refuge drainage storage tank	131	IV	
SN.3	Ammonia washing tower	52	III	
SN.4	Lime slurry solution tank	21	III	
SN.5		43	III	
SN.6	Incineration room (#1)	44	III	
SN.7		35	II	
SN.9		14	III	
SN.10		20	I	
SN.8	Liquid deodorizer	81	III	
SN.11	Reception hall	222	II	
SN.12	Refuse drainage area	39	IV	
SN.13		39	IV	
SN.14	Incineration room (#2)	37	III	
SN.15		36	III	
SN.16		37	III	
SN.17		35	III	IV
SN.18	W.W treatment	28	III	
SN.19	Living water line	24	IV	
SN.20	Lime slurry	37	III	
SN.21	flushing line	42	I	

\* I : Continued, II : Regenerate, III : Regenerate or replacement, IV : Replacement.

~SN.14까지를 중점, SN.15~SN.21까지를 중점으로 취하였다.

반면에 섹션단위 진단 방법에 의한 노후도 판정등급은 총 21개의 섹션 측정결과로 세분화되어 측정결과의 정밀성과 신뢰성이 향상되었고, 교체는 465 m(43%), 갱생은 558 m(51%), 계속사용은 62 m(6%)로 나타나 제 2.2.2절에서 가정한 “계통 내 구간별 노후화는 서로 다르게 진행된다”는 가정과 일치함을 알 수 있다.

### 2.3 섹션 샘플링 검사기법 개발

#### 2.3.1 개요

기존의 측정점 선정 방법은 일반적으로 계통의 시점, 중점, 종점을 측정점으로 선택하여 비파괴검사를 수행하고 이후 정확한 측정을 위하여 파괴검사를 취하는 방식이었다. 기존 문헌 조사 결과 검사의 측정점 선정기준을 다음과 같이 제시하고 있다.

- ① 한국건설기술연구원(2001)
  - 각 계통의 시점, 중점, 종점부분을 원칙
  - 샘플의 길이는 30 mm정도가 적당하며 이음부위를 포함한 장소 선택
- ② 환경부(2008)
  - 비파괴진단시 배관 분류지점 또는 이음부
  - 시료채취시 대표성을 확보할 수 있도록 채취하고 가능하면 연결나사부도 채취
    - 계량기 주변에서는 최상단 우측(좌측)과 최하단의 좌측(우측) 2개소
    - 수직관은 1~2개소
    - 고가수조 출구부근의 급수관 1개소(일반적으로 이 부분의 부식이 가장 심함)
    - 1개의 고가수조로부터 2개동 이상으로 급수하는 경우 지중매설관을 1~2개소
    - 거실 하부에 1~2개소

만약 한국건설기술연구원의 기본 기준을 섹션 단위의 측정방법에 적용할 경우, 측정점의 수는 계통을 섹션으로 나눈 횟수 만큼 배가 될 것이고, 섹션 분할에 따른 측정점 수 증가에 따라 진단업무의 시간 비용이 증가될 것이다.

상기 문헌조사 사례는 옥내 급수관 계통에 적합한 사례로서 서론에서 기술했듯이 본 연구의 대상시설인 산업시설의 배관과는 설치와 운영 특성이 달라 일률적으

로 적용하기는 곤란하다. 산업시설 배관 및 덕트의 운영 특성을 반영하고 시설관리자 또는 현장기술자가 적용하기에 용이한 측정점 선정기준을 제시하고 개량함으로써 본 평가기술의 현장 적용성을 높여줄 것이다.

#### 2.3.2 검사위치 선정 기준

섹션의 측정점 선정기준으로 측정업무의 용이성, 경제성을 제고하기 위하여 Fig. 4와 같이 기준을 마련하였다.

첫 번째 구경별 할당은 산업시설에는 다양한 구경의 배관이 존재하고, 구경별로 허용잔존두께를 달리하고 있다는 한국건설기술연구원의 연구결과에 기초를 하고 있다. 한국건설기술연구원(2002)의 “에너지절약 건물 내 노후급수관의 상태진단 및 평가를 위한 안전진단기술 개발”에서 수행한 연구 결과에 따르면 배관의 구경에 따라 허용잔존두께를 달리하고 있는데, 허용잔존두께를 최대침식율이 40%가 발생하였을 때의 두께로 정의하고 있다. 따라서 배관의 사용개시에 따라 침식율이 동일 또는 유사하게 진행된다고 볼 경우 각 구경별 허용잔존두께에 도달하는 시기는 구경별로 다르게 나타날 것이다.

이러한 산업 시설내 배관의 특성과 기존 한국건설기술연구원에서 수행한 연구결과를 바탕으로 해당 섹션에 설치된 각 구경별 배관에 최소 1개소 이상의 측정점을 할당한다.

두 번째는 구경별 할당시 배관의 취약부위로 선정한다. 육안점검 불량개소, 보수실적, 위험도 분석과 육안점검 확인이 불가하나 현장기술자들의 노하우를 활용하여 배관의 마모와 부식에 취약한 부위를 선정하도록 한다. 주요한 취약부위의 선정기준은 아래와 같다.

- ① 입상관
- ② 고가수조 출구부근
- ③ 압력조절밸브 등과 같이 유체흐름이 급격히 변화하는 부위 또는 압력변화가 심한 부위
- ④ 간헐운전 배관부위 또는 정상운전 시 유체흐름이 없이 정체되는 부위
- ⑤ 유속이 빠른 부위나 노즐 부위

세 번째는 한국건설기술연구원에서 제시한 방법으로써, 앞서 미리 선정한 구경별, 취약부위별 개소를 포함하여 섹션의 관점에서 추가로 시점, 중점, 종점에 검사개소를 할당한다.

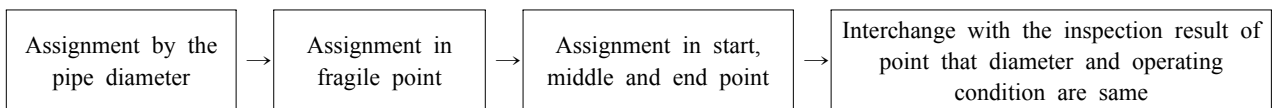


Fig. 4 Criteria of inspection point assignment in pipe section.

마지막 네 번째는 측정점의 수량을 감하여 조정이 필요할 경우 구경과 운전조건의 동일 또는 유사성에 따라 타 색선의 측정결과로 대체 가능성을 검토한다. 예를 들어 산업설비에는 호기별로 설비가 설치되어 있는 경우가 있는데, 이 경우 색선이 다른 독립된 두 개의 라인이 설정되지만, 동일한 기능 설비와 구경 및 운전조건이 같아 동일하게 노후화가 진행되는 것으로 간주하여 상호 결과를 공유할 수 있는지를 검토한다.

이와 같이 측정점을 일률적으로 시점, 중점, 종점으로 할당하는 대신, Fig. 4의 설정 기준에 따라 설정하게 되면 계통단위 진단시보다 측정점의 수량이 증가하게 되나 샘플채취에 의한 검사보다 초음파검사 수량을 주로 할당함으로써 측정작업의 경제성과 신속성을 높일 수 있다. 또한, 측정수량이 많고 적음에 따라 측정비용이 차이가 날 수 있으나 이는 노후도 판정결과에 따른 배관의 교체 비용과 비교할 때 측정 비용은 매우 적은 부분이 된다. 그리고 색선의 길이에 따라 측정점 수량의 조정을 하여, 적게는 1~2개 정도, 많게는 3~6개 정도의 측정점을 할당하도록 한다.

### 2.3.3 검사방법의 선정방안

#### 1) 초음파진단과 샘플진단의 동시 적용

상하수도관이나 옥내 급수관의 노후도 평가시 초음파탐상시험을 우선 시행하고 이후 샘플채취진단을 통해 정밀진단을 하는 절차로 진행되어 왔다. 이러한 공공시설에서의 샘플 채취 진단은 경제적, 사회적 비용이 크기 때문에 최종 단계에서 제한적으로 수행하게 된다. 반면에, 산업시설은 연중 상시가동을 원칙으로 하되 연중 1~2회의 대보수작업을 위하여 교번으로 정지기간을 갖는 특성을 갖는다. 예를 들어, 석유화학플랜트, 발전소, 소각시설 분야를 포함한 산업시설들은 대형 사고를 예방하고 설비들을 안전하게 유지하고 사용수명을 연장하기 위하여 연간 1~2회의 연차보수기간을 통해 주기적인 보전 검사를 수행한다.

실례로 본 기술을 적용시험 한 소각시설은 년중 2회

의 정기대보수 기간이 정해져 있어 1년에 약 30일 정도를 정지하고 대 정비를 실시하게 된다. 때문에 이러한 정기보수 기간 동안은 공정 용수 계통이 정지되어 있어 필요하면 샘플 채취 진단을 하여도 운영에 영향을 미치지 않는다.

또한 상수도관은 대부분 지반에 매설되어 있고 옥내 급수관은 대부분 건물내 벽속에 위치하고 있는 반면에 산업시설 용수 배관은 대부분 옥내에 노출되어 있어 접근이 용이한 장점이 있다.

따라서, 산업시설 배관에 대해서는 운영의 특성과 접근의 용이성을 고려하여 초음파진단과 샘플진단을 동시에 수행하는 방법으로 개량하여 효율적인 진단업무를 수행토록 할 수 있다. 그러나 초음파탐상시험과 샘플채취 진단을 동시에 각기 단독적으로 적용할 경우 정밀한 측정결과를 획득할 수 있는 샘플 채취 진단 없이 단독적으로 초음파탐상시험에 의한 판정결과로 교체 및 갱생에 대한 의사결정을 내려할 경우 측정의 신뢰성 확보가 관건이 된다.

초음파탐상시험은 계측기의 정밀도에 따른 기술적 변동과 측정자의 동일 측정기에 대한 측정결과의 재현성 등의 운영자 변동성에 1차적으로 영향을 받는다. 때문에 이러한 오차 정도를 줄이기 위하여 계측기 탐촉자에 대한 영점조정을 절차화하고 반복측정에 의한 평균치와 최대치 등을 측정하도록 시행하고 있으며 측정자는 일정 수준의 국가자격증을 취득한 인력으로 측정을 시행하고 있다. 또한 초음파탐상시험에 의한 노후도 판정결과에 영향을 주는 2차적 인자는 배관 노후도 판정 모델과 연관이 있다. 지금까지는 초음파진단이 사전정밀진단의 개념으로 이용되어져 오고 최종적인 의사결정은 샘플진단으로 결정하는 모델방식을 취하여 왔다. 그러나 향후 별도의 논문에서 기술될 산업시설 배관에 대한 노후도 판정 모델은 초음파진단과 샘플진단을 각기 독립적으로 또는 동시에 적용할 수 있는 모델을 수립하여 초음파진단과 샘플진단의 각 측정결과가 동일한 결과를 나타낼 수 있도록 모델을 개발함으

Table 2 Comparison of the result of sampling inspection and ultrasonic inspection

No. Section	Result of sampling inspection				Result of ultrasonic inspection			Final Section Determination Rating
	Closure rate	Max. rate of erosion	Estimated residual life	Final Determination Rating	Average rate of erosion	Estimated residual life	Final Determination Rating	
SN.1	II	IV	IV	IV	IV	II	IV	IV
SN.2	IV	IV	IV	IV	IV	III	IV	IV
SN.8	I	II	I	II	II	I	II	II
SN.11	I	II	II	II	I	I	I	II
SN.12	III	IV	IV	IV	IV	I	IV	IV

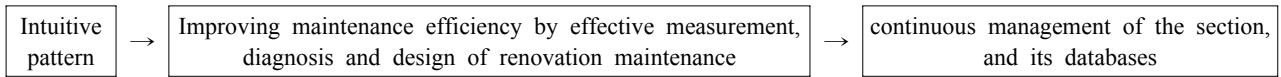


Fig 5 Concept of the developing of section map.

로써, 초음파진단과 샘플진단의 동시 적용의 이점을 살릴 것이다.

2) 유효성 검증

향후 논문에서 기술될 노후도 판정 모델을 사용하여 동일 섹션에 초음파진단과 샘플진단을 동시에 적용하여 노후도 판정결과를 비교 분석하였다. 실험의 목적은 노후도 판정 모델이 초음파진단과 샘플진단 방법간의 노후도 판정결과에 유의한 차이가 없이 각기 독립적인 판정결과를 제공하여 최종적인 의사결정을 내릴 수 있는지를 알아보기 위함이다. 노후도 평가 모델에 대한 평가항목 및 산정식, 그리고 평가기준 수립 결과는 향후 논문에서 기술될 예정이다.

Table 2는 샘플채취진단과 초음파진단이 동시 적용하는 조건에서 측정된 결과이다. 표에서와 같이 샘플 검사에 의한 최종판정 등급과 초음파검사에 의한 최종판정 등급은 SN.11을 제외하고 모두 일치하고 있다. 실험배치 회수가 5개로 한정되어 통계적으로 유의한 결과로 하기는 어려우나 본 실험 결과만으로는 80%의 노후도 판정이 일치하고 있는 것으로 나타났다.

결론적으로, 산업시설 배관 및 덕트에 대해서 산업 시설 설치운영 특성을 고려하여 초음파탐상시험과 샘플 채취 진단을 단계별로 구분하지 않고 동시에 독립적으로 사용함으로써 시간 비용이 경제적이고 효율적인 진단업무 수행이 가능함을 보여주고 있다.

2.4 배관 섹션 맵 개발

2.4.1 개요

산업시설 배관의 경우 노출 배관이 주를 이루며 비교적 특정 지역에 밀집되어 있음에도 불구하고 장거리로 복잡하게 분포되어 있기 때문에 이를 관리하기란 쉽지 않다. 배관을 전체적으로 관리 파악하는 것은 짧은 시간의 노력으로 이루어지는 것이 아니라 장기간에 걸쳐 꾸준히 노력하였을 경우에 전체적인 배관망과 이력 관리, 유지관리의 전문성을 확보할 수 있다.

따라서 현장관리자가 산업시설 배관을 전체 조망하고 섹션화된 배관을 직관적으로 파악 분석하여 측정 및 진단업무를 수행할 수 있는 체계적인 배관망도인 섹션맵 개발이 필요하다.

2.4.2 배관 섹션맵 개발

현장관리자가 섹션화된 계통을 직관적으로 시각화된

패턴으로 확인하고 진단업무를 수립할 수 있도록 Fig. 5의 개발 개념으로 배관 섹션맵을 개발하였다.

작성 방법은 계통도, ISO 도면 등의 설계자료를 활용할 수도 있으나 현장의 설치상태를 충분히 알기가 곤란하여 본 검증실험에서 사용한 방법으로는 배관 섹션화 작업시 현장에서 섹션의 시작과 끝을 최종 확인할 때 배관의 설치상태를 스케치 작업을 하였고, 직관적 패턴으로 기본적인 설치 루트를 담고자 하였다. 섹션맵에는 배관 설치도, 배관 길이, 섹션 분할점 정보, 초음파진단 및 샘플진단의 측정 포인트를 표시를 하였고 향후에는 배관의 부속류까지 자세한 설치수량의 업데이트가 필요하며, 주기적인 검사에서 이뤄지는 두께 측정과 부식의 진전, 노후도 측정결과를 표시하여 과년도의 시험결과와 최근의 시험결과가 쉽게 비교될 수 있도록 할 필요가 있다. Fig. 6은 배관 섹션 맵의 작성 예시가 된다.

3. 연구결과 적용 사례

3.1 대상시설

본 배관 섹션화 방법을 적용한 시설은 인천광역시 중구 운서동에 위치한 인천국제공항 자원회수시설로서 2001년 4월에 준공되어 현재 13년째 가동 중에 있는 폐기물 일 처리용량 70톤/일×2기 규모의 소각시설이다. 건축물로는 소각로 등의 플랜트시설이 집합되어 있는 공장동과 사무공간인 관리동, 정비동, 기타 건물로 구성되어 있다. 본 기법을 적용한 시설은 공정 용수 배관이 설치된 공장동으로 연면적 9,621 m<sup>2</sup>의 지하 2층,

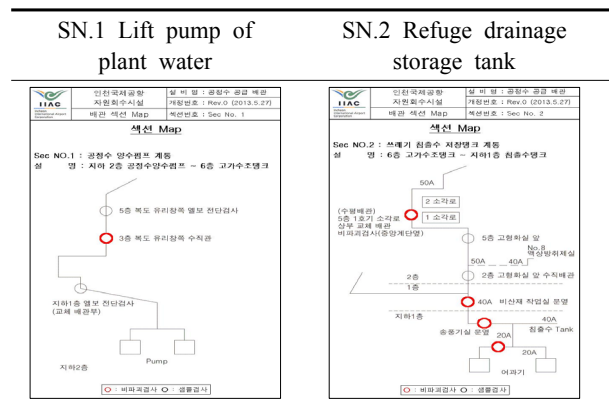


Fig. 6 Example of the pipe section map.

지상 6층 규모의 건물이다. 총연장 길이 1,085 m, 급수 용량 2.93톤/hr, 4 kg/cm<sup>2</sup>의 공정 용수 배관으로 6층의 고가수조탱크에서 자연유하방식으로 각 수요처에 공급해주고 있는데, 다수의 국부적 부식마모로 교체 내지 보수가 필요한 상황이다.

### 3.2 배관 노후도 평가기술 적용

#### 3.2.1 현장검증 목표 및 개요

인천국제공항 자원회수시설의 공정 용수 배관에 배관 색선화 방법의 적용시험을 하고, 향후 논문에는 노후도 평가 모델을 적용하여 색선별 측정 결과 분석에 의해 정량적인 노후도 평가 결과를 도출하고 적절한 보수방안을 제시하고자 한다.

#### 3.2.2 배관 색선 설정

배관 노후도 진단업무의 첫 번째 수행작업은 배관의

Table 3 Architectural characteristics of evaluation facility

Construction date	2001. 4	Building-to-land ratio	16.67%
Architectural area	9,621 m <sup>2</sup>	Ratio of floor area to site	28.21%
Building area	4,921 m <sup>2</sup>	Administration building	1,297 m <sup>2</sup>
Plottage	29,518 m <sup>2</sup>	Other building	1777 m <sup>2</sup>
Factory building		7,126 m <sup>2</sup> (Underground : 2nd floor /ground : 6 floor, height 26.6 m)	

Table 4 Result of sectionalizing by each supplier line

No.	Supplier line name
1	Lift pump of plant water
2	Refuge drainage storage tank
3	Ammonia washing tower
4	Lime slurry solution tank
5	Incineration room(#1)
6	Liquid deodorizer
7	Reception hall
8	Refuse drainage area
9	Incineration room(#2)
10	W.W treatment
11	Living water line
12	Lime slurry flushing line

측정시스템을 정의하는 것이고, 이를 위하여 배관 색선화 기법을 이용하였고, Fig. 3의 색선화 설정 기준에 따라 1개의 단일계통으로 구성된 공정 용수 공급계통을 공급처별 라인으로 정리하여 Table 4에 나타냈다.

Table 5에는 층별·실별 색선화의 결과를 나타낸 것이다. 색선화 기법의 네 번째인 독립구간 색선화는 색선 길이가 50~200 m정도의 소그룹으로 나뉘에 따라 본 검증시험에서는 추가로 적용 분할하지 않았다.

#### 3.2.3 배관 색선맵 작성

배관 색선 설정을 하면서 색선맵 작성 작업을 동시에 진행하였다. 배관 색선 설정 시 현장기술자는 각 색선의 시작과 끝에 스프레이 페인트로 마킹을 표시하여 육안확인으로 색선의 시점과 종점을 확인이 가능토록 하였다. Fig. 6은 공정 용수 배관 색선맵 작성 예시를 보여주고 있다.

#### 3.2.4 검사개소 할당

색선맵을 작성할 때 색선 설정 및 검사개소 위치 표시를 동시에 하였고, 육안검사 시 부식부위나 용접, 엘보 부위 등의 취약부위는 색선 맵에 검사개소로 표시를 해두었고 또한 현장에서 맵을 작성하면서 접근이 어려워 측정 작업성이 저하되거나 불가능한 곳은 검사개소에서 제외시켰다.

Table 5 Result of sectionalizing by each floor and room

No.	Supplier line name	Floor /Room	Sectionalizing	
			By floor	By room
1	Lift p.p. of plant wt.	B2~F6	Unapplied	-
2	Refuge drainage TK.	B1~F6	Unapplied	-
3	Am. wash. tower	-	-	-
4	L.S. solution tank	-	-	-
5	Incineration room(#1)	F1~F5	5 Fl. divided	-
6	Liquid deodorizer	-	-	-
7	Reception hall	-	-	-
8	Refuse drainage	B1~F6	Unapplied	-
9	Incineration room(#2)	F1~F5	5 Fl. divided	-
10	W.W. treatment	-	-	-
11	Living water line	-	-	-
12	L.S. flushing line	B1~F6/ 1Rm.	Unapplied	2 Rm. divided

Table 6 Final result of the sectionalizing for pipe deterioration evaluation in experimental facilities

Pipe sectionalizing methods				Pipe section sampling measuring methods			
No.	By supplier line	By floor	By room	By isolated	Dia.	Inspection point	Inspection method
SN.1	Lift pump of plant water	-	-	-	65 A	F5 Corridor side windows	sample
					65 A	F3 Corridor side windows	ultrasonic
SN.5	Incineration room(#1)	F5	-	-	25 A	F5 Incinerator side(#1)	ultrasonic
SN.6		F4	-	-	25 A	F4 Diving vertical line side	ultrasonic
SN.7	.	.	.	.	.	.	.
SN.19	.	.	.	.	.	.	.
SN..20	Lime slurry	-	Rm. 1	-	40 A	F2 SDR side	ultrasonic
SN..21	flushing line	-	Rm. 2	-	15 A	F6 L.S. flushing line(#1)	ultrasonic

Table 7 Example of the economic effect of the pipe section sectionalizing method

	Existing diagnostic technique	Pipe Sectionalizing method	Cost-cutting effect
Outline	System unit method	Section unit method	
Character	Overall replacement	Selective replacement by exact quantitative determination	Repair parts : 1.5 → 0.5 km
Repair cost	375 million won	219 million won	156 million won (42% reduction)

\* Performance based on the method applied to real IIA Incinerator.

Table 6은 배관 섹션화 방법을 적용한 최종 결과로 단일계통을 총 21개의 섹션으로 분할하고, 검사위치 및 방법을 설정하였다. Table 6을 이용 측정함으로써 배관 전체 섹션의 노후도를 판정할 수 있다.

Table 7은 기존 계통단위 진단방법과 연구개발된 섹션단위 진단방법간 산업시설 배관 및 덕트에 대한 절감효과를 사례로서 비교 표시하였다. 실제 인천국제공항 소각시설에 기술 적용에 따른 실적으로 전체 배관 및 덕트에 대한 정량적 노후도 판단으로 배관 교체수량을 1/3로 줄이고 비용절감을 한 사례이다.

#### 4. 결 론

본 연구에서 기존의 국부적 배관 노후도 진단기법의 단점을 보완하고, 산업시설 현장기술자들이 배관진단을 효율적으로 수행할 수 있는 방안을 제시하고자 수행한 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 산업시설 배관의 설치 및 운전 특성을 고려하여 일반적으로 사용되는 옥내 급수관 등에 적용되는 계통단위 측정시스템에 섹션단위 개념을 도입하여 배관 섹션화, 배관 샘플링 검사, 섹션 맵 기법을 정립하고, 각각의 적용방법을 제시하였다.
- (2) 인천공항 자원회수시설에 적용한 결과, 기존 계통

단위 진단 시에는 배관을 전체 교체해야 함에 따라 375백만 원의 보수비용이 소요되었지만, 섹션화 방법을 적용할 경우 교체 수량이 약 33% 감소되고, 비용은 219백만 원으로 기존방식에 비해 42% 절감 되는 것으로 나타났다.

지금까지 산업시설 배관에 적용할 수 있는 진단 단위에 있어서 기존의 계통단위 진단방법 대비 측정의 정밀성과 경제성이 향상된 섹션단위 측정시스템의 설정방법을 알아보았고, 향후 산업시설 배관 및 덕트 분야에 대한 노후도 진단 시 적용할 수 있는 노후도 평가모델 개발과 현장 적용내용을 추가하여 본 연구결과가 산업시설 배관에 대한 평가기준 확립에 기초자료로 활용될 수 있기를 기대한다.

#### 후 기

이 논문은 인천국제공항공사 사내연구비에 의해 연구되었음.

#### References

1. Cho, C. S. and Kim, T. H., 2001, A study on the di-



- agnosis and renovation of the mechanical facilities system, Korea Institute of Construction Technology.
2. Park, Y., 2011, A study of the evaluation for pipe deterioration in apartment, Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea, Vol. 13, No. 1, pp. 197-204.
  3. Cho, C. S., Shin, H. J., and Kim, C. Y., 2001, A study on the diagnosis and renovation of the mechanical facilities system, Proceedings of the SAREK 2001 Winter Conference, pp. 519-524.
  4. KICT, 2002, Development of the integrated nondestructive diagnosis technique for the state diagnosis and evaluation of deteriorated service pipe in the building, Korea Institute of Construction Technology.
  5. Korea Occupational Safety and Health Agency, 2008, Pipe thickness calculation and evaluation technical guidance technology.
  6. Ministry of Environment, 2008, Water supply diagnostic manual, Regeneration specifications standard of estimate.
  7. Ministry of Environment, 2008, Final report of demonstration project applied the technology of pipe water line diagnostics apply cleaning and regeneration, Advanced water treatment corporation.