

해저 송유배관 유지관리를 위한 기준 보완 제시

강찬성, 문승재*[†]

한양대학교 공학대학원 플랜트엔지니어링 전공, *한양대학교 기계공학부

Supplementation of Regulation on the Offshore Oil Pipeline for Maintenance

Chan-Seong Kang, Seung-Jae Moon*[†]

Course of Plant Engineering, Graduate School of Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

*School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Received May 14, 2012; revision received June 19, 2012)

ABSTRACT : The study aims to supplement facility management plan and safety regulations & standard of oil pipeline by searching and reviewing related regulation & standard inside and outside of the country. Korean regulation & standard is reviewed based on harbor and fishery design standard of the ministry of maritime affairs and fisheries, general technology standard of oil pipeline safety regulation, gas excavation construction and safety maintenance indicator of Korea gas corporation. Global regulation & standard is reviewed based on U.S standard inspection for offshore pipeline and Europe/Mexico standard inspection for offshore pipeline.

The contents of offshore pipeline installation is inserted into pipeline sector for objected facilities of safety inspection regulation & standard and, the standard of safety inspection for offshore pipeline is newly presented into pipeline maintenance part of the planning facilities management with its inspection period and method.

Key words : offshore pipeline(해저배관), safety inspection criteria(안전검사기준), technical standards(기술기준)

1. 서론

해저관로는 위험성이 있는 오일을 운송하는 가장 안전한 수단으로, 미국이나 영국 등 선진국에서는 오래전부터 법규나 규정을 보완하고 명문화하여 안전한 운영을 유도하고 있다.

우리나라에서는 오일을 수송하기 위한 20인치에서 24인치의 대형사이즈의 해저관로가 건설되었고 육상으로 연결되고 있다. 그중에서도 인천 울도 ~ 영종도간 해저 송유관

로는 인천국제공항으로 항공유를 수송하는 20인치, 2.13 km 규모의 매우 중요한 시설로서 설계 압력 98 kgf/cm² 고압으로 운영되고 있으나 보다 정밀한 해저배관의 안전 검사는 수행되고 있지 않다. 송유관 안전관리법 시행규칙에도 해저배관의 안전검사기준이나 검사방법이 규정되어 있지 않기 때문이다.

해저관로는 사고가 나면 그 규모가 크고, 또한 환경오염, 어민피해, 환경파괴 등으로 이어질 뿐만 아니라 오일의 수송 중단에 따른 대체수송 수단 부족으로 공항의 정상운영에 지장을 주어 사회·경제적인 피해가 막대하기 때문에 보다 보완되거나 강화된 유지지침이 시급히 요구되고 있다. 따라서 국내 및 외국 해저배관의 관련기준을 조사하여 검토한 후 미국연방정부규정(Code of Federal

[†] Corresponding author
Tel. +82-2-2220-0450; Fax +82-2-2220-2299
E-mail address: smoon@hanyang.ac.kr

해저 송유배관 유지관리를 위한 기준 보완 제시

Regulations: CFR)을 비롯한 유럽, 멕시코의 기준을 바탕으로 국내 해저 송유배관의 유지관리 문제점을 도출하여 송유관 안전관리법 시행규칙의 해저배관 안전검사기준이나 검사방법을 보완 제시하고자 한다.

본 연구에서는 국내외 규정으로 해양수산부의 항만 및 어항 설계기준과 송유관 안전관리법의 송유관 설치공사의 일반 기술기준, 한국가스공사의 가스관 굴착공사 및 안전관리 지침을 검토하였고, 미국연방정부규정(CFR) 파트 195 “배관에 의한 위험한 액체의 수송(Transportation of Hazardous Liquids by Pipeline)”과 유럽, 멕시코의 해저배관 기준을 조사 검토하였다.

또한 국내의 해저 석유수송수단의 하나인 영종도 해저 송유배관의 현황과 유지관리의 문제점을 도출한 후 기술기준의 보완 필요성을 제기하였다. 아울러 최근 해저배관 안전검사 사례인 국립해양조사원의 안전검사 사례와 한국가스공사의 안전검사 사례를 살펴본 후 국내의 여건과 환경에 맞도록 송유관 안전관리법 시행규칙의 안전검사기준과 시설관리계획서의 내용 보완을 제시하였다.

2. 국내 해저배관 관련 규정

국내 해저배관의 관련기준 조사는 다음의 3가지에 대해 수행되었다.

- ① 해양수산부의 항만 및 어항설계기준 중 제15편 파이프라인,
- ② 송유관 설치공사의 일반 기술기준(제5조 관련),
- ③ 한국가스공사의 가스관 굴착공사 및 관로 관리지침 등이 그것이며 주로 해저배관과 관련된 점검 및 유지관리에 대한 부분을 발췌하였다.

2.1 항만 및 어항 설계기준

해양수산부의 항만 및 어항 설계기준 하권 제15편 파이프라인 편에서 해저배관 관련 보수 및 보완관리 기준은 다음의 4가지로 요약된다.

- ① 해저 파이프라인의 전기방식의 효과를 확인하기 위하여 말단부 부근에 측정점을 설치하고 전위의 측정을 행한다.
- ② 라이저(riser)부의 도관 두께관리를 행하고 설계 시에 설정된 두께가 내면부식 또는 마모가 진행되고 있음

을 인지한 경우에는 도관의 교체, 내압제한 등 필요한 조치를 강구한다.

- ③ 도관의 매설깊이를 조사하여 설계 시의 매설 깊이가 주요 또는 세굴 등에 의하여 변경되었다고 인정될 경우에는 속히 설계 시의 매설깊이로 복구하는 등의 조치를 강구한다.
- ④ 도관의 라이저(riser)부는 필요에 따라 정기적으로 침하의 측정과 동시에 지진 등의 강력한 외력을 받는 경우에 그때마다 침하상태를 조사하고 필요한 측정을 행한다.

2.2 송유관 설치공사의 일반 기술기준

송유관 안전관리법 시행규칙의 별표2의 송유관 설치공사의 일반 기술기준 중 해저구간 설치기준 요약은 다음의 5가지로 요약된다.

- ① 배관은 닻 내림 등에 의하여 손상을 받지 아니하도록 매설한다. 다만, 손상을 받을 우려가 없거나 부득이한 사정이 있는 경우에는 그러하지 아니한다.
- ② 배관은 해저면으로부터 2미터 이상의 거리를 유지하여야 한다.
- ③ 두 개 이상의 배관을 동시에 설치하는 경우에는 배관이 서로 접촉하지 아니하도록 필요한 조치를 취해야 한다.
- ④ 패일 우려가 있는 장소에 매설하는 배관에는 그 패일을 방지하기 위한 조치를 취해야 한다.
- ⑤ 배관이 부양 또는 이동할 우려가 있는 경우에는 이를 방지하기 위한 조치를 취해야 한다.

2.2.1 안전검사기준

송유관 안전관리법 시행규칙 제14조의 안전검사의 대상과 기준 및 기간은 다음 각 호와 같다.

- ① 안전검사의 대상이 되는 송유관시설은 배관 및 안전설비 그리고 저장탱크로 한다.
- ② 안전검사의 기준은 별표5에 정한다. Table 1은 안전검사기준이다.
- ③ 안전검사는 완성검사를 받은 해의 다음 해부터 2년에 1회 받아야 한다. 다만, 송유관시설에 사고가 발생한 때, 기타 지식경제부장관이 정하는 사유가 발생한 때에는 수시로 안전검사를 실시할 수 있다.

Table 1 Standard for pipeline safety inspection

| 대상시설 | 검사기준 |
|---|--|
| 송유관시설 가. 배관 | 별표2 제2호 마목, 바목(1), 사목(2), 아목, 카목, 파목(2)(나)(교량설치 배 관에 한함), 하목 및 거목 (노출배관에 한함) |
| 나. 안전설비 (1) 운전상태 감시장치 (2) 압력안전장치 (3) 누유검지 등 (4) 긴급차단밸브 (5) 안전제어장치 (6) 표지판 등 (7) 비상전력 (8) 안전용 접지절연 (9) 순회감시차 등 (10) 지진계측기기 | 별표2 제3호 가목 별표2 제3호 나목(1) 별표2 제3호 다목 별표2 제3호 라목(2) 내지(4) 별표2 제3호 마목 별표2 제3호 사목(1) 별표2 제3호 아목 별표2 제3호 자목 별표2 제3호 차목 별표2 제3호 카목 |

2.2.2 시설관리계획서의 내용

법 부칙 제2조 제1항의 규정에 의한 기존 송유관시설에 대한 안전검사는 송유관 설치자 등이 제출한 시설관리계획서에 따라 송유관시설이 안전하게 유지, 관리되고 있는지의 여부를 확인한다. 주로 배관과 안전설비에 대하여 검사를 행한다. 시설관리계획서의 주요 요약은 다음과 같다.

- ① 시설설치현황으로 송유관시설 현황, 송유관 설치장소, 차단밸브, 접합방법을 말한다.
- ② 시설관리현황으로 전기방식, 안전장치 설치현황, 안전설비를 말한다.
- ③ 순회감시현황으로 순회감시 차량과 기타 주변 모니터링의 운영 여부를 말한다.
- ④ 보수시설 전반에 대한 안전성 검토의견서 및 시설보완계획서를 말한다.
- ⑤ 유지관리계획으로 배관, 안전설비, 저장탱크 등을 말한다.

2.3 가스관 굴착공사 및 안전관리 지침

한국가스공사의 굴착공사 및 관로 관리지침의 해저배관의 점검은 점검주기에 따라 일반점검과는 구분하여 시행하고 다음 4가지로 요약된다.

- ① 방식전위 측정에 의한 해저배관의 방식상태를 점검하

Table 2 Subpart F – Operation and maintenance

| Sec | Description |
|----------|--|
| 195. 400 | Scope |
| 195. 401 | General requirements |
| 195. 402 | Procedural manual for operation |
| 195. 403 | Traning |
| 195. 404 | Maps and record |
| 195. 406 | Maximum operating pressure |
| 195. 408 | Communications |
| 195. 410 | Line markers |
| 195. 412 | Inspection of right-of-way and crossing under navigable waters |
| 195. 413 | Underwater inspection and reburial of pipelines in the Gulf of Mexico and its inlets |
| 195. 414 | Cathodic protection |
| 195. 416 | External corrosion control |
| 195. 418 | Internal corrosion control |
| 195. 422 | Pipeline repairs |
| 195. 424 | Pipe movement |
| 195. 428 | Overpressure safety devices and overfill protection systems |
| 195. 436 | Sucurity of facilities |
| 195. 442 | Damage prevention program |
| 195. 444 | CPM leak detection |

고 그 상태를 기록하여 관리한다.

- ② 육상에서의 해저배관 매설구간 감시로 매설지점의 선박의 정박과 비상 투묘, 어로활동을 매일 감시한다.
- ③ 인텔리전트 피그 및 특수 장비를 이용한 점검으로 특수 장비로는 매설구간의 해저면을 측정하고, 잠수부에 의한 수중촬영을 시행하여 배관의 상태를 감시한다.
- ④ 배관충격 감지시스템에 의한 배관상태를 감시하여 충격 시 통제실에서 원격으로 정보를 관리한다.

3. 외국 해저배관 관련 기준

3.1 미국 해저배관 검사기준

3.1.1 미국 해저배관의 기준조사

해저 송유배관 유지관리를 위한 기준 보완 제시

Table 2는 미국연방정부규정(CFR) 파트 195 “배관에 의한 위험한 액체 수송(Transportation of Hazardous Liquids by Pipeline)”의 서브파트 F절에서 운영과 유지 기준(operation & maintenance)을 명시하고 있다. 그 내용을 요약하면 훈련, 지도와 노선, 배관노선의 검사와 향해 가능한 물밀의 횡단, 수중조사와 관로재 매설, 음극의 보호장비, 외부 부식방지, 내부 부식방지, 관로 수리, 파이프의 움직임, 과압에 대한 안전도구와 보호시스템 등으로 구분된다.

이와 유사한 기준으로 미국연방정부규정(CFR) 파트 192(Transportation of Natural and Other Gas by Pipeline)의 서브파트 M절에서 관로에 의한 천연가스과 그 외 가스 수송의 운용법과 유지기준을 명시하고 있으며 그 내용도 수송관의 순회점검, 누유의 조사, 주관과 수송관에 대한 관 표시, 수리절차에 대한 일반적 요구사항, 압력변동에 대한 기록 및 추적관리로 구분된다.¹⁾

3.1.2 미국의 해저배관 관련기준의 법제화

환경과 안전의 중요성이 강조됨에 따라 미국은 인텔리전트 피깅을 통한 배관의 안전한 관리를 법제화하고 있다. 미국의 파이프라인 현황을 보면 오일 파이프라인이 170,000마일로 75%의 원유와 60%의 석유수송을 담당하고 있으며, 천연가스 파이프라인이 217,000마일의 각각의 주를 연결하는 배관(interstate transmission)과 20,000마일의 주 내부 연결배관(intrastate transmission)으로 구성되어 있다.

미국은 1968년에 천연가스 배관관리 법조항을 제정하고 1979년에 액체 배관관리 법조항을 제정한 이래 매년 배관 관리에 대한 법령이 통과되고 있다. 파이프라인 관련 사고를 보면 연평균 2.6명의 사망자가 발생하고 있으며 2000년에는 뉴멕시코 천연가스 파이프라인 폭발로 12명의 사망자가 발생하기도 하였다. 또한 2006년에는 알래스카에서 200,000갤런의 원유 누출로 인해 지역 환경이 파괴되었다. 따라서 배관관리 및 감독의 필요성이 대두되었다.

2002년 12월 12일에는 법령(Pipeline Safety Improvement Act)으로 석유가스, 수소 또는 파트 192의 규제를 받는 모든 수송배관에 적용하고자 주기적으로 배관망을 검사하여 해당 기관에 보고하도록 의무화하였다. 제정목적은 배관사고 예방을 위한 공공의 안전을 증진하고 배관에 대한 안전성을 평가하도록 그 기준을 강화하기

Table 3 Evaluation period according to pipeline test method.²⁾

| | ILI&PT> 50% SMYS | ILI&PT= 50% SMYS | DA |
|--------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| Baseline | 10 years ¹ | 10 years ¹ | 7 years |
| 50% Baseline | 5 years | 5 years | 4 years |
| Confirmation | 7 years | 7 years | 7 years |
| Reassessment | 10 years | 10 years | 5/10 years ² |

위한 것이다.

Table 3은 배관의 검사방법에 따른 평가 주기이다. 그 내용은 배관에 적용 가능한 기술로 내부 배관검사(Inline inspection)의 인텔리전트 피깅과 압력테스트(Pressure testing, PT), 그리고 육안직접검사(Direct assessment, DA)를 적용 가능한 기술로 명시하고 있다.

3.2 유럽 및 멕시코의 배관검사 관련 기준

유럽 및 멕시코도 배관의 건전성 관리 법제화를 실행했으며 향후 전 세계적으로 법제화가 확대될 것으로 예상되고 있다.

3.2.1. 유럽의 배관검사기준

유럽은 유럽국가계약법(European and National legislation)에 의한 필수법제 타입과 필수법제 이외의 2가지 타입으로 나누어 배관안정성을 법제화하고 있다. 1990년에 규정(CEN/TC 234)으로 가스 또는 액체 수송시스템의 운영 및 유지, 건설, 설계에 관한 기능적인 표준기준을 제시함과 동시에 해상 가스체인에 관한 기준을 제시하였다. 1996년에는 유럽배관 안전기준 표준(European Pipeline Safety Regulations & Standard)에서 배관의 유지관리 시스템(pipeline integrity management system)을 소개하였다.

2003년에는 필수요소로 각각의 수송배관 이송 및 공급 운전자는 최상의 경제적 조건을 유지하며 신뢰성 있고 효율적인 배관시스템을 만들어야 한다고 명시하고 있다.

3.2.2. 멕시코의 배관검사기준

멕시코는 1992년 4월22일 과달라하라 가솔린배관에서 심각한 가스누출 사고가 발생하여 8 제곱 킬로미터 이상의

지역이 파괴되고 252명이 사망, 500명 이상의 인명피해, 15,000명 이상의 노숙자가 발생하여 경제적 피해와 함께 인명피해로 인한 천문학적 손실을 가져오게 되었다.

그 후에도 지속적으로 배관사고가 발생하여 1999년 에너지 규제 위원회(Energy Regulating Commission: CRE)를 설립하고 2007년에는 탄화수소물과 수송배관의 유지관리기준(hydrocarbon collection & transportation pipeline integrity management)을 제정하고 이송배관 관련배관 유지에 대한 검사 필수기준을 제시하고 있다.^[3]

4. 영종도 해저 송유배관 유지관리 현황

4.1 영종도 해저 송유배관 현황

Fig. 1은 영종도 해저배관 설치도이다. 작약도 부근의 영종도 해저 송유관은 동측의 울도와 서측의 영종도 사이 해역에 분포한다. 1999년 착공하여 2001년 3월부터 운영을 개시하였으며 배관현황은 총 길이 23킬로미터이나 해저구간은 2.13킬로미터에 달하며, 배관의 규격은 20인치, 두께 14.3밀리미터이며 운전압력은 30 kgf/cm²로 운영되고 있다. 관로파손으로 인한 누출 시 영종도 해저구간 20인치 양측 밸브를 차단할 경우에도 약 624,000리터의 항공유 누출로 인해 해상오염이 발생하게 된다.

4.2 영종도 해저 송유배관 유지관리의 문제점

영종도 해저 송유배관의 유지관리 현황을 살펴보면 몇



Fig. 1 Setting drawing of offshore pipeline between Yuldo and Young-jongdo^[4]

가지 문제점을 발견할 수 있다. 해저 파이프라인의 전기방식의 효과를 확인하기 위하여 말단부 부근에 측정점을 설치하고 전위를 측정하여 매월 주기로 부식측정관리는 제대로 수행되고 있다. 또한 송유배관을 통제하는 주 운전실에서 해저구간의 전체 압력변동을 감시하고 있다. 그러나 보다 정밀한 해저배관의 안전검사는 수행되고 있지 않다. 이는 송유관 안전관리법에도 해저배관의 안전검사기준이나 검사방법이 규정되어 있지 않기 때문이다. 해저 송유배관의 유지관리의 문제점을 지적하면 다음과 같다.

- ① 수심측량이 없어 해저구간의 쇄굴 또는 지형변동 시 대처가 곤란하다.
- ② 별도 기준점 측량이 없어 배관의 좌우 위치변형 시 확인이 어렵다.
- ③ 관로 내부와 외부에 대한 주기적 검사를 실시하지 않아 외력에 의한 배관손상 또는 배관의 마모에 따른 두께 감소 등을 확인하기 어렵다.

따라서 만약에 관로파손으로 인한 누출 시에는 영종도 해저구간 20인치의 전단과 후단 밸브의 연장 3,398킬로미터, 624,000리터의 항공유가 차단되나 해저에서의 유류누출이 불가피하여 해상오염의 대형 재해와 더불어 영종도 국제공항 항공유 수급 차질에 막대한 손실이 예상된다.

5. 해저 송유배관 관련기준 보완 및 검사

5.1 해저 송유배관 기술기준 문제점 및 보완 필요성

항만 및 어항 설계기준 하권의 제15편 파이프라인에 의하면 “해저 파이프라인의 운용에 관계되는 자는 해저 파이프라인의 보수를 위하여 다음의 규정을 관리한다”라고 되어 있으며 그 내용은 해저배관의 전기방식측정과 매설깊이 측정의 2가지를 실시하도록 하고 있으나 그 외 구체적인 유지보수 주거나 유지관리 방법이 나타나 있지 않다.

송유관 안전관리법 시행규칙의 별표2항에 규정되어 있는 송유관 설치공사의 일반 기술기준에 따르면 해저배관 설치에 대한 안전검사의 기준이 명시되어 있지 않다. 따라서 해저 송유배관에 대한 해저면의 변동발생 시 해저배관의 수심변화나 위치변화 등을 알 수 없고 해저배관의 배관부식, 변형, 찌그러짐 등을 검사할 수 있는 검사기준의 보완이 시급한 실정이다.

해저 송유배관 유지관리를 위한 기준 보완 제시

외국의 해저배관 관련 기준을 조사한 바와 같이 미국은 주기적으로 배관망을 검사하여 해당 기관에 보고하도록 의무화하면서 인텔리전트 피킹과 압력테스트 그리고 육안 직접검사를 적용 가능한 기술로 명시하고 검사주기도 명시하고 있다. 유럽과 멕시코도 배관의 파손사고 시 인명사고와 환경파괴에 따른 천문학적인 손실을 경험하고 검사 기준의 법제화를 서두르고 있는 실정이다. 이제 국내의 해저 송유배관 유지관리도 송유관 안전관리법 시행규칙의 안전검사기준에 포함하고 그 검사주기와 방법도 시설관리 계획서의 내용에 명시함으로써 보다 안전한 배관을 운영하고 유지할 수 있을 것이다.

5.2 국내 해저 송유배관 검사 수행 사례

2005년 국립해양조사원은 영종도 해저 송유관을 조사하여 지형변위 및 수심을 측정하여 해저배관의 외부상태를 검사한 바 있다.^[5] 또한 한국가스공사도 2011년에 영종도 해저 가스배관의 내부에 인텔리전트 피킹을 실시함으로 배관의 내부를 정밀 검사한 바 있다. 지형변위 및 수심측량은 배관의 총 거리를 20미터로 나누어 배관의 상하수심의 변화와 좌우의 위치변화를 검사하는 방법이다. 인텔리전트 피킹은 배관내부의 검사정도가 실시간으로 전송되어 관두께 손상, 찌그러짐, 용접부 이상 상태 등을 파악할 수 있다. 이 2가지의 검사 사례는 본 연구에서 제시하는 해저 송유배관 유지관리를 위한 기준을 보완하여 시행할 시 그 결과로 나타날 좋은 모델이 될 것이라 판단되어 그 자료를

조사하였다.

5.2.1 국립해양조사원의 영종도 해저송유관 검사

Fig. 2는 해저 송유배관 지형변위 측정 멀티빔(multi beam) 해양조사를 수행하는 그림이다. 탐사선이 해저배관의 상부에 위치하여 배관의 전 길이에 걸쳐 수심측정과 지형변위를 측정하는 방법이다. 탐사선에서 멀티빔 자료를 획득할 때부터 측량원도를 작성하고 측정 자료를 데이터화하여 지속적으로 변위 값을 비교 확인하는 것으로, 측정 방식은 수심의 3 ~ 5배를 커버할 수 있는 멀티빔을 사용하여 전 해저면을 미측심 폭이 없이 측량하며, 해저의 형상 해저장애물(침선, 암초 등)을 정확히 탐사할 수 있는 최신의 측량방법이다. 멀티빔 측정의 특성은 과거 단일 빔 조사와 멀티 빔 조사와의 차이에서 기인하는 것으로 멀티 빔 조사를 통하여 보다 정밀한 수심을 광범위하게 관측할 수 있음을 확인 할 수 있었다.

Fig. 3은 해저 송유배관 음향측심기(echo-sounder) 조사 결과이다. 음향측심기는 음파를 이용해서 수심을 측정하는 장비이다. 극히 짧은 시간에 음파를 해저에 발사하면 음파는 수중을 어떤 속도로서 전달하여 해저에 이르고, 여기서 반사된 음파는 다시 동일한 경로로 발사점에 되돌아온다. 음향측심기는 음파를 송신하고 해저의 반사파를 수신한 그 사이의 소요시간을 측정한 후 수심을 구한다.

음향측심기 하나로는 한 점의 깊이만 알 수 있을 뿐이지만 음파발생기 여러 개를 한 줄로 놓고 동시에 음파를 쏘는 다중음향 측심기를 사용하면 상세한 해저지도를 만들 수

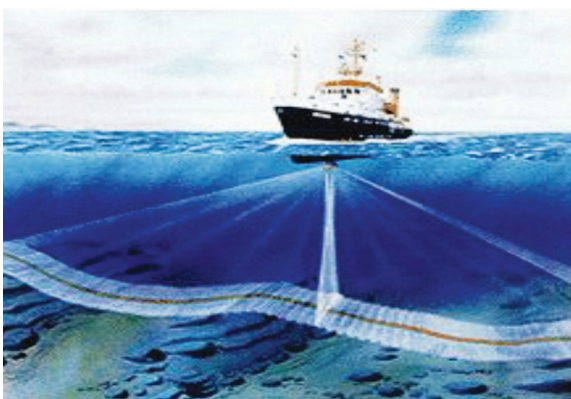


Fig. 2 Displacement measurement of offshore oil pipeline

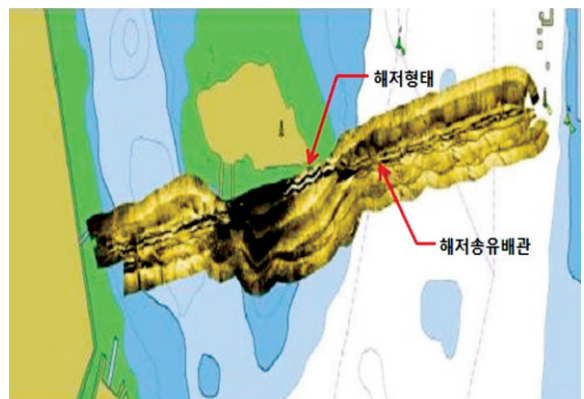


Fig. 3 Test result of the echo sounder around Jagyakdo.

있다. 음향측심기에서 획득한 이미지를 종합한 결과와 같이 해저의 형태가 표현되고 있으며 특히, 송유관이 매설된 지역의 흔적이 뚜렷하게 나타났다.

Fig. 4는 해저 송유배관 천부지층 조사 결과이다. 천부지층 탐사기(subbottom profiler)는 음파를 이용하여 지층을 탐사하는 장비로 지층의 직접적인 천공 없이도 지층의 파악이 가능하며, 전체적 지층구조의 파악이 가능한 장비이다. 주로 매설된 해저 파이프라인 및 해저 케이블 실태 조사, 해양 및 내수면 지층 조사에 많이 이용된다. 조사결과를 살펴보면 단면 a는 조사지역의 동측으로 해저면 하부에 매설된 것으로 나타난다. 그러나 단면 b, c 그리고 d는 해저배관이 해저면에 노출된 것으로 나타난다. 이러한 특성은 해저배관 설치 후 퇴적물로 매설하지 않아 나타나는 것으로 해석된다.

5.2.2 한국가스공사의 인천 ~ 경서 해저배관 조사
2011년 7월 인천가스기지 ~ 경서정압장 구간 해저 가스관을 인텔리전트 피그(intelligent pig)를 이용하여 점검하였다.⁶⁾ 피그 종류는 인텔리전트 피그를 사용하였다. 인텔리전트 피그란 배관내의 유체의 흐름을 이용하여 피그를 진행시켜 배관의 상태를 파악하는 장비로서 피그를 이용하여 배관 내부를 검사한 결과 데이터가 분석되어 배관의 두께 감소나 찌그러짐, 용접부 이음상태, 파이프의 이상상태 등을 표시해 준다. 기존 인텔리전트 피그 시 사용되는 피그는 외국산을 사용하였으나 최근에는 국산제품이 개발되어 시험을 끝내고 상용화 단계에 있다.

Fig. 5는 인텔리전트 피그의 데이터 분석 그래프이다. 그래프에서 나타나는 바와 같이 배관을 자화시켜 배관의 두

께 변화를 감지하고 배관단면의 형상을 그려낼 수 있다. 피그는 균열, 부식, 두께감소 특히 축 방향으로 발생하는 결함 검출을 위하여 피그가 매설방향으로 주행하면서 획득한 데이터를 분석하여 매설배관 내의 결함, 특히 축 방향 균열에 대해 정량적 평가를 수행할 수 있는 분석 프로그램을 통하여 데이터를 그래프에 나타낸다. 인텔리전트 피그의 원리는 배관의 손상부위에서 자속(flux line)이 변화하여 이러한 자속 변화를 센서를 이용하여 검출, 이를 전기적 신호로 바꾸어 주어 데이터 저장장치에 저장한 후 추후 컴퓨터를 통하여 분석하여 배관의 이상부위를 검출할 수 있도록 하는 것이다.

6. 송유관 안전관리법 시행규칙의 보완제시

미국의 배관검사기준은 2002년 12월 12일에 법령(Pipeline Safety Improvement Act)으로 배관관리 규정에 5년에 1회 수행하게 되어 있던 해저 송유관의 부식검사를 1년에 1회 수행하도록 법을 개정하였고 이후 부식 등의 중대한 사고는 현저히 감소하였다. 따라서 이를 국내기준에 적용할 때 송유관 안전관리법 시행규칙의 별표 “안전검사기준의 보완”과 “시설관리계획서의 내용 보완”의 2가지 기준 보완을 제시하였다.

6.1 안전검사기준의 보완제시

송유관 안전관리법 시행규칙 제14조 제2호와 관련한 별표5항 “안전검사의 기준” 제2호 배관의 타목 ‘해저설치 방식’을 포함하도록 보완할 것을 제시한다. 현행 안전검사기

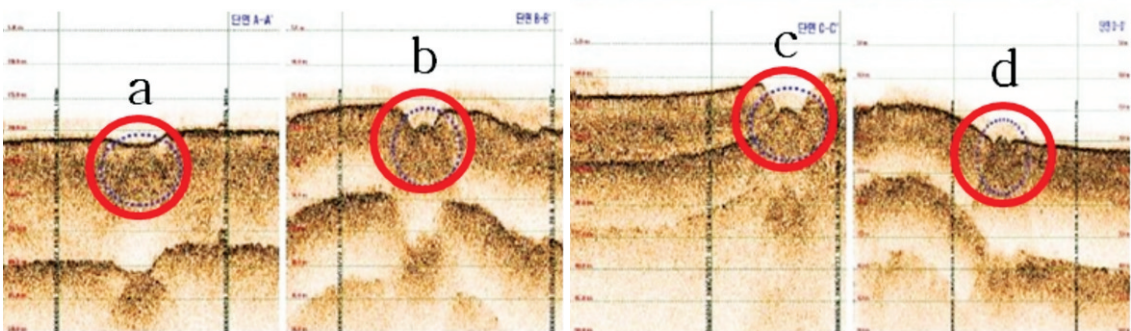


Fig. 4 Test result of the subbottom profiler of offshore oil pipeline around Jagyakdo

해저 송유배관 유지관리를 위한 기준 보완 제시

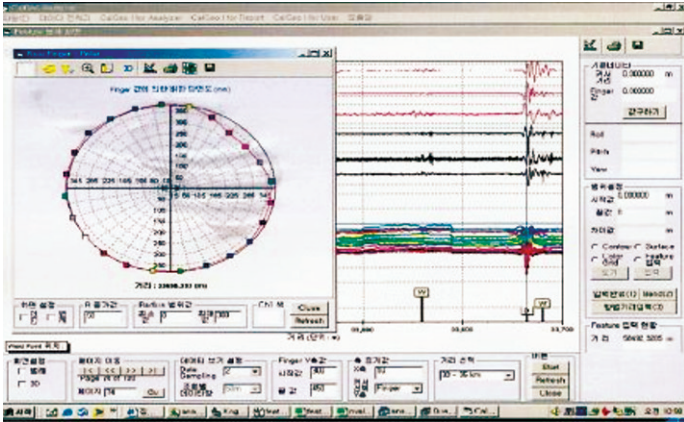


Fig. 5 Analysis of intelligent pig data graph

준은 마목 신축흡수장치, 바목1항 접합방식, 사목2항, 부식방지 조치, 아목 전기방식, 카목 지상설치 방식, 파목2항(나) 교량설치 배관, 하목 해면위의 설치방식, 거목 침하 등의 우려가 있는 지역의 설치방식에 작용하도록 명시되어 있다.

6.2 시설관리계획서의 내용 보완제시

송유관 안전관리법 시행규칙의 별표6항의 시설관리계획서의 내용 보완을 제시한다. 배관 유지관리계획에 ‘배관검사주기 및 검사방법’을 설정하였다.

배관검사주기를 2가지로 나누어 첫째, 배관의 외부상태 안전검사주기를 2년에서 1년으로 단축하고 그 방법은 해저 변위 측정을 통한 수심측량과 지형변위 측정을 통하여 해저배관의 배관의 상하수심의 변화와 좌우의 위치변화를 검사하고 지층상태를 검사한다. 둘째, 배관의 내부상태 안전검사주기를 5년으로 신설하여 인텔리전트 피깅을 통한 해저배관의 균열, 부식, 두께감소 특히 축 방향으로 발생하는 결함을 검사한다.

7. 결 론

영종도 해저 송유배관의 유지관리기준과 현황을 조사한

결과, 해저배관의 국내기준이 배관의 수송유체에 따라 제각기 다르게 규정되어 있으며 주로 설치공사 위주로 규정되어 있어 유지관리에 대한 기준이 아직은 미비함을 알게 되었다.

이러한 문제점을 해결하고 보다 안전한 해저배관의 유지관리를 위한 기준 보완을 제시하기 위하여 국내의 관련기준과 해외 관련기준을 조사하여 비교해본 바 외국에서는 유지관리 부분을 세부 규정으로 정하여 주기적인 수중조사와 재매설, 부식방지, 관로수리에 이르기까지 안전하게 해저 송유배관을 운영하고 유지하기 위한 구체적인 강화된 기준이 적용되고 있었다. 또한 최근에 영종도에서 송유관과 가스관을 보완 제시하려는 기준에 맞도록 검사를 시행한 바가 있다. 이와 같이 각종 법령과 기준, 절차서, 또한 사례를 비교, 분석하여 다음 2가지를 제시하였다.

- ① 송유관 안전관리법 시행규칙의 제14조 제2호와 관련한 안전검사의 기준에 ‘해저설치’를 포함하도록 제시하였다.
- ② 송유관 안전관리법 시행규칙의 부칙3항과 관련한 시설관리계획의 5항 배관 유지관리계획에 ‘해저 배관검사주기 및 검사방법’을 제시하였다.

참고문헌

1. 최한석, 2001, “해저관로의 설계 및 운영기준 절차개발”, 해양수산부, pp. 92-103.
2. KOGAS 내부자료, 2010, “CRS Report for Congress”, Report No 3-1.
3. KOGAS 내부자료, 2010, “Technical Association of the Natural Gas Industry, The Journal of Pipeline engineering”, Report No 3-2.
4. 대우엔지니어링, 2001, “수도권 광역 인천 해저 배관 설계보고서” 부록 2, p. 12.
5. 김준식 외 3인, 2009, “해저시설물 조사성과의 정황도 제고”, 한국GIS학회지 제17권 제1호, pp. 103-115.
6. KOGAS, 2011, “30인치 Gas pipeline Incheon LT to Kyeong Seo GS Run Survey” pp. 4-10.

부 록

부록 1. Harbor and fishery design standard

제11장 보수 및 보안관리

해저 파이프라인의 운용에 관계되는 자는 해저 파이프라인의 보수를 위하여 다음의 규정을 관리한다.

- (1) 해저 파이프라인의 전기방식의 효과를 확인하기 위하여 해저 파이프라인의 말단부 부근에 측정점을 설치하고 전위의 측정을 행한다.
- (2) 라이저부의 도관 두께를 계속하고 설계 시에 설정된 두께가 내면부식 또는 마모가 진행되고 있음을 인지한 경우에는 내부방식, 도관의 교체, 내압제한 등 필요한 조치를 강구한다.
- (3) 도관의 매설깊이를 조사하여 설계 시의 매설깊이가 주모 또는 세굴 등에 의하여 변경되었다고 인정된 경우에는 신속히 설계 시의 매설깊이로 복구하는 등의 조치를 강구한다.
- (4) 도관의 라이저부는 필요에 따라 정기적으로 침하의 측정과 동시에 지진 등의 강력한 외력을 받는 경우에 그때마다 침하상태를 조사하고 필요한 측정을 행한다. 또, 도관 및 방호공에 유해한 응력이 발생할 우려가 있다고 인정되는 경우에는 즉시 설치환 등의 조치를 강구한다.

부록 2. Abstract of technical standard for oil pipeline construction

제2호 배관

차. 매설방식

- (1) 지하에 매설하는 경우
 - (가) 배관은 그 외면으로부터 수평거리로 건축물(건축물의 지하부분을 제외한다)까지 1.5 m 이상의 거리를 유지하여야 한다.
 - (나) 배관의 외면은 다른 시설물과 0.3 m 이상의 거리를 유지하되, 특별고압지중선은 전기사업법 제67조의 규정에 의한 거리를 유지하여야 한다. 다만,

다른 시설물과의 거리를 유지하는 것이 곤란한 경우와 배관의 외경에 10 cm 이상의 폭으로 두께가 6 mm 이상인 부식방지철판(이하 “보호판”이라한다)을 설치한 경우에는 그러하지 아니하다.

- (다) 배관은 산 또는 들에서는 1 m 이상, 그 밖의 지역에서는 1.2 m 이상의 깊이로 매설하여야 한다. 다만, 배관을 방호구조물 안에 설치하는 경우에는 그 깊이 이하의 깊이로 매설할 수 있다.
- (라) 배관은 지반이 동결되는 경우에도 손상을 받지 아니하도록 적절한 깊이에 이를 매설하여야 한다.
- (마) 성토하였거나 절토한 경사면 부근에 배관을 매설하는 경우에는 사면붕괴 등으로 인한 피해가 발생하지 아니하도록 조치를 하여야 한다.
- (바) 지반이 급변하는 장소에 매설하는 배관에는 굽은관을 삽입하거나 지반을 개량하는 등의 필요한 조치를 하여야 한다.
- (사) 굴착 및 되메우기 작업은 매설된 배관의 안전에 지장이 없도록 하여야 한다.

(2) 도로 밑에 매설하는 경우
 배관을 도로 밑에 매설하는 경우에는 다음의 기준에 적합하여야 한다.

- (가) (1)의 (가)·(라) 내지 (사)의 기준에 적합하여야 한다.
- (나) 가능한 한 자동차하중의 영향이 적은 곳에 매설하여야 한다.
- (다) 시가지의 도로 밑에 매설하는 경우에는 그 도로를 파헤치는 공사에 의하여 손상을 받지 아니하도록 다음 중 하나의 조치를 취하여야 한다.

① 보호판을 배관의 정상부로부터 10 cm 이상 떨어진 직상부에 설치할 것

② 배관의 외면에 단단하고 내구력을 가진 방호구조물을 설치할 것. 다만, 당해 도로 및 배관의 구조에 지장을 주지 아니하는 것이어야 한다.

- (라) 배관(배관에 방호구조물을 설치하는 경우에는 그 방호구조물을 말한다. 이하 (라)에서 같다)은 그 외면으로부터 다른 시설물과 0.3 m 이상의 거리를 유지하여야 한다. 다만, 다른 시설물과의 거리를 유지하는 것이 곤란한 경우와 보호판을 설치한 경우에는 그러하지 아니하다.
- (마) 배관은 노면 및 지면 등과 다음표의 기준에 의한 거리를 유지하여야 한다.

해저 송유배관 유지관리를 위한 기준 보완 제시

카. 지상설치방식

배관을 지상에 설치하는 경우에는 다음 기준에 적합하여야 한다.

- (1) 지표면에 접하지 아니하도록 하여야 한다.
- (2) 배관(저유소 안에 설치되는 것을 제외한다)은 안전확보를 위하여 철도, 주택, 학교, 병원 기타 이와 유사한 시설 또는 건축물로부터 30 m 이상의 수평거리를 유지하여야 한다.
- (3) 배관의 양측에 각각 폭 15 m 이상의 공지가 확보되도록 하여야 한다. 다만, 안전상 필요한 조치를 한 경우에는 그러하지 아니하다.
- (4) 지진, 풍압, 지반침하, 온도변화에 의한 신축 등의 위험을 방지할 수 있는 지지물을 설치하고, 그 위에 배관을 설치하여야 한다. 이 경우 그 지지물은 화재로 인하여 당해 지지물이 변형될 우려가 없는 것으로 하거나, 철근 콘크리트 구조 또는 이와 동등 이상의 내화성을 가지는 것으로 하여야 한다.
- (5) 자동차 등의 충돌에 의하여 배관 또는 그 지지물이 손상당할 우려가 있는 경우에는 방호설비를 적정한 위치에 설치하여야 한다.
- (6) 배관은 다른 시설물(당해 배관의 지지물을 제외한다)로부터 0.3 m 이상의 거리를 유지하여야 한다.

타. 해저설치 방식

- (1) 배관은 닻내림 등에 의하여 손상을 받지 아니하도록 매설하여야 한다.
다만, 손상을 받을 우려가 없거나 부득이한 사정이 있는 경우에는 그러하지 아니하다.
- (2) 배관은 송수관, 가스관 등 다른 용도의 배관과 교차하지 아니하여야 한다. 다만, 방호조치를 한 경우에는 그러하지 아니하다.
- (3) 배관은 해저면으로부터 2 m 이상의 거리를 유지하여야 한다.
- (4) 두 개 이상의 배관을 동시에 설치하는 경우에는 배관이 서로 접촉하지 아니하도록 필요한 조치를 하여야 한다.
- (5) 배관의 입상부에는 방호시설물을 설치하여야 한다.
- (6) 배관을 매설하는 경우 배관의 외면으로부터 해저면과의 수직거리는 해저면의 토질에 대한 닻내림 시험의 결과와 되메우기하는 재료 및 선박의 운행상황 등을

감안하여 정하여야 한다. 이 경우 준설계획이 있는 경우에는 당해 계획에 의한 준설후의 해저면 밑의 0.6 m를 해저면으로 본다.

- (7) 패일 우려가 있는 장소에 매설하는 배관에는 그 패일을 방지하기 위한 조치를 하여야 한다.
- (8) 굴착 및 되메우기는 안전이 유지되도록 적절한 방법으로 하여야 한다.
- (9) 배관을 매설하지 아니하고 설치하는 경우에는 해저면을 고르게 하여 배관이 해저면에 닿도록 하여야 한다.
- (10) 배관이 부양 또는 이동할 우려가 있는 경우에는 이를 방지하기 위한 조치를 한다.

파. 횡단설치 방식

(1) 도로, 철도의 횡단설치

- (가) 도로를 횡단하여 배관을 설치하는 경우에는 2중 보호관 또는 방호 구조물 안에 설치하여야 하며, 그 밖에 차목(2)의 (다) 내지 (바)의 기준에 적합하게 설치하여야 한다.
- (나) 철도부지를 횡단하여 배관을 매설하는 경우에는 차목(3)의 (나) 및 기준에 적합하게 설치하여야 한다.

(2) 하천 등의 횡단설치

하천 또는 수로를 횡단하여 배관을 설치하는 경우에는 다음의 기준에 적합하여야 한다.

- (가) 차목(1)의 (가), (라) 내지 (사) 및 카목(교량에 설치하는 경우에는 (3)을 제외한다)의 기준에 적합하여야 한다.
- (나) 하천을 횡단하여 배관을 설치하는 경우에는 교량에 설치하여야 한다. 다만, 지형상 부득이하여 교량에 설치할 수 없는 경우에는 하천 밑을 횡단하여 매설할 수 있다.
- (다) 배관의 부양, 선박의 닻내림에 의한 손상 등을 방지하기 위하여 배관에 2중 보호관 또는 방호구조물을 설치하여야 한다.
- (마) 하천 또는 수로 밑을 횡단하여 배관을 매설하는 경우에는 다음의 깊이로 매설하여야 하며, 제방 그 밖의 하천관리시설(계획 중인 것을 포함한다)에 지장을 주지 아니하여야 하며, 하상의 변동과 닻내림 등의 영향을 받지 아니하는 깊이로 매설하여야 한다.

- ① 하천 밑을 횡단하는 경우에는 배관의 외면으로부터

터 계획하상높이(계획 하상높이보다 현행 하천의 하상높이가 낮은 때에는 현행 하천의 하상 높이로 한다)와의 거리를 4 m 이상으로 한다. 다만, 암반 지역 등 배관의 매설이 현저하게 곤란한 곳으로서 부양 및 패임 방지 등의 안전조치를 한 경우에는 그러하지 않다.

- ② 수로를 횡단하는 경우에는 배관의 외면으로부터 계획하상높이에 의거한다.
- ③ 좁은 수로(용수로, 개천 또는 이와 유사한 것을 제외한다)를 횡단하는 경우에는 배관의 외면으로부터 계획하상높이와의 거리를 1.2 m 이상으로 한다.

- (라) 철도부지(km)
- (마) 노출설치(km)
- (바) 공동구설치(km)
- (사) 기타(km)

다. 차단밸브

- (1) 설치개소 및 설치간격(km)
- (2) 차단기능(수동, 동력)
- (3) 차단밸브제어위치(자동밸브에 한함)

라. 접합방법

- (1) 용접(km)
- (2) 플랜지(km)
- (3) 기타(km)

부록 3. Facility management plan

1. 설치현황

가. 송유관시설 현황

- (1) 설치시기
- (2) 배관의 길이(km), 재질, 두께 및 관경(mm)
- (3) 피복사양(폴리에틸렌, 아스팔트 등)
- (4) 운용(송유)압력 및 설계압력(MPa)
- (5) 매설심도(m)
- (6) 송유관 설치도면
- (7) 가압장의 위치 및 용량

나. 송유관설치장소

- (1) 도심지역
 - (가) 시가지(km)
 - (나) 도로 밑 매설(km)
 - (다) 교량침가(km)
 - (라) 철도부지(km)
 - (마) 노출설치(km)
 - (바) 공동구설치(km)
 - (사) 기타(km)
- (2) 시외곽지역
 - (가) 도로 밑 매설(km)
 - (나) 하천구역(km)
 - (다) 교량침가(km)

2. 시설관리현황

가. 전기방식

- (1) 전기방식방법
 - (가) 희생양극법(km)
 - (나) 외부전원법(km)
 - (다) 배류법(km)
- (2) 전위측정용 터미널(T/B)설치개소 및 간격
- (3) 보수관리(측정 주기)
- (4) 전기방식기준

나. 안전장치설치현황

- (1) 운전상태 감시장치(압력, 유량변동 감시장치)
- (2) 압력안전장치(이상압력 시 자동 조정장치)
- (3) 누유검지장치(종류, 설치개소 및 성능)
- (4) 긴급차단밸브(하천, 호수횡단 배관의 전후)

다. 안전설비

- (1) 비상전력(용량, 작동방법, 기능 유지 가능시간 등)
- (2) 표시(경계표지, 송유관 매설위치 등)
- (3) 소화설비 및 경보설비
- (4) 안전용 절연 접지(접지대상, 접지방법 등)
- (5) 안전밸브 설치현황

해저 송유배관 유지관리를 위한 기준 보완 제시

3. 순회감시 현황

가. 순회감시

- (1) 순회감시차량
 - (가) 보유대수
 - (나) 순찰주기(배관)
 - (다) 감시방법
 - (라) 차량에 비치하는 장비

- (2) 기타(주변 모니터링의 운영여부)

4. 보유시설 전반에 대한 안전성 검토의견서 및 시설 보완계획서

5. 유지관리계획

- 가. 배관
- 나. 안전설비
- 다. 저장탱크 등