creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000264706
조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

2015년 2월 석사학위 논문

2015년 2월

석사학위 논문

비젼시스템을 활용한 송유관 도유 건전성 검사

조선대학교
산업기술융합대학원
IT융합공학과
강 동 식

비젼시스템을 활용한 송유관 도유 건전성 검사
강 동 식

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

비젼시스템을 활용한 송유관 도유 건전성 검사

Oil pipeline integrity inspection using Vision System

2015年 2月 25日

조선대학교
산업기술융합대학원
IT융합공학과
강 동 식

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

비젼시스템을 활용한 송유관 도유 건전성 검사

지도교수 박 종 안

이 논문을 공학석사학위 신청논문으로 제출함.

2014年 10月

조선대학교
산업기술융합대학원

IT융합공학과

강 동 식

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

강동식의 석사학위논문을 인정함

심사위원장 조선대학교 교수 박 광 채 印

심사위원 조선대학교 교수 박 종 안 印

심사위원 조선대학교 교수 이 윤 배 印

2014年 11月

조선대학교
산업기술융합대학원

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

차례

ABSTRACT
1. 서론 1

2. 송유관 국내 운영현황 3
2.1 송유관의 정의 3
2.2 국내 송유관의 역사 4
2.3 석유수송에서 송유관의 필요성 6
2.4 송유관의 운영 사고예방 고찰 7

3. 송유관 건전성 검사 10
3.1 전파 (Radio Detection) 탐측 이용 기술 10
3.1.1 지하매설 탐지기 (RD-8000) 10
3.1.2 레이다 탐지 (Radar Detection) 검사 11
3.2 초음파 (Ultrasonic Wave) 검사 12
3.2.1 초음파 탐측원리 12
3.2.2 전자기 초음파 탐촉자 방식 (EMAT, Electromagnetic Acoustic Tranduser) 13
3.2.3 인텔리전트 PIG (Pipeline Inspection Gauge) 검사 14

4. 비전시스템 기반 건전성 검사 알고리즘 설계 17
4.1 배관검사에 고려할 내용 17
4.2 시스템 설계 주요 구성 요소 20

5. 비전시스템 설계 시뮬레이션 23

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

5.1 도유 구멍 시뮬레이션 23
5.2 Otsu 방법을 이용한 전처리 24
5.3 히스토그램 분석 및 영역 분할 26
5.4 레이블링에 의한 영역 분석 27
5.5 검출 저장 및 출력 30
5.6 영상 시뮬레이션 30

6. 결론 35

참고문헌

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 차례

표.1 국내 송유관 건설 현황 ····· 5
표.2 온실가스 성분 구성비 ····· 7
표.3 경질유 제품의 인화점 및 자연 발화점 ····· 8
표.4 배관검사 손익 계산 ····· 17
표.5 송유관 설계기준표 ····· 18

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림 차례

그림.1 송유관 건설 모습 ····· 3
그림.2 전국 송유관 매설 현황도 ····· 5
그림.3 도유시설 ····· 8
그림.4 송유관 파손 모습 ····· 9
그림.5 RD-8000 탐측 ····· 10
그림.6 GPR 탐상도 ····· 11
그림.7 GPR 탐상 데이터 ····· 11
그림.8 초음파 영역도 ····· 12
그림.9 로렌쯔의 원리 그림 ····· 14
그림.10 EMAT 센서 ····· 14
그림.11 자기장 검사 원리 ····· 15
그림.12 청소용 피그 장착 모습 ····· 16
그림.13 배관 크리닝 PIG 종류 ····· 16
그림.14 2중 코팅 송유관 구조 ····· 19
그림.15 비젼 카메라 모듈 장착 시뮬레이션 ····· 19
그림.16 Encole사의 카메라 ····· 21
그림.17 도유검사 비전 시스템 순서도 ····· 23
그림.18 촬영된 송유관 내부 영상의 그레이 레벨 분포도 ····· 26
그림.19 송유관 홀 제거 전과 제거 후 비교영상 ····· 27
그림.20 픽셀 p의 이웃성분들 ····· 28
그림.21 검출 레이블링의 중심점 ····· 30
그림.22 시뮬레이션 영상 1 ····· 31
그림.23 시뮬레이션 영상 2 ····· 31
그림.24 시뮬레이션 영상 3 ····· 32
그림.25 시뮬레이션 영상 4 ····· 32

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림.26 시뮬레이션 영상 5 ····· 33
그림.27 시뮬레이션 영상 6 ····· 33
그림.28 오프닝, 클로징 처리 영상 ····· 34

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

Oil pipeline integrity inspection using Vision System

Kang, Dong-Shik
Adviser : Prof. Park, Jong-an, Ph D.
Department of IT convergence ENG.
Graduate school of Chosun University

Domestic oil pipeline is built exceeded the operation came back 20 years. Reliable and efficient means of transport in the oil transport place enough importance to be difficult to replace the pipeline was increased was positioned as a central infrastructure for industrial development. When the oil is transported in the pipeline is leaking due to some personal injury accident in long-distance pipelines unspecified period, depending on the scale accidents can bring up the material damage, economic instability, such as a disaster. Because petroleum products resulting from the performance of fire, explosion, causing soil pollution. You can check to prevent accidents long as ten years using technology was an important point. In particular oil thieves accidents resulting in artificial and spills is an indiscriminate crime is more dangerous. So this paper, we propose a vision system to see how to check for IT technology based pipeline accidents. Vision System Applications pipe inspection method is simpler than the existing pipe innovative technology more affordable health inspection techniques, can be used in a short time the test is the internationally accepted validated by conventional inspection intelligent PIG intellectuals agents and can be used immediately.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1. 서론

석유는 천연적으로 발굴하며 불에 타기 쉬운 액유로서 이를 정제하여 만들어진 제품을 모두 일컬어 석유(Petroleum)라고 한다. 이것을 화학적 구조로 보면, 탄소와 수소를 중심으로 하여 여러 가지 모양으로 조합된 무수한 화합물의 혼합체이다. 이 석유를 천연적으로 산출된 것과 이를 정제한 것으로 구별하는 경우, 전자를 원유(Crude Oil)라 하고, 후자를 석유제품(Petroleum Products)이라 한다. 석유 제품은 용도에 따라 LPG(액화석유가스), 납사, 휘발유, 등유, 경유, 중유, 윤활유, 아스팔트 등으로 분류된다. 우리나라는 석유 수입량이 전 세계 5위 국가로서 경제 발전을 통한 삶의 질 향상을 위해서는 석유 에너지 사용은 경제 활동에서 필수 요소로 자리잡고 있다.

원유상태에서 수입되어 제품으로 사용하기 위해서는 정유공장에서 생산, 소비 과정 까지 석유 완제품을 소비지 까지 공급하기 위해 여러 운송수단을 이용한다. 유조선, 유조차, 유조화차 등 운송 수단이 있지만, 경제적이며 안정적인 이송 수단으로 현재 운영 하고 있는 송유관이 경제적으로 사용되어지고 있다. 이런 점 때문에 경질유 (휘발유, 경유, 등유, 항공유) 운송 비중의 절반에 가까운 점유율로 국내 석유 수송을 담당하고 있다.

반면 지하에 매설되어 운영되는 장거리 송유관은 사업자가 지하배관 상태 확인이 쉽지 않아 다양한 사고에 노출되어 있으며 중대한 사고로 인한 피해가 언제든지 발생할 수 있는 실정이다. 송유관에 도유, 타공사 등과 연관 된 사고 발생으로 인적, 물적 손실이 발생하며 발생 사고 횟수, 규모가 해를 갈수록 점차 증가 하는 추세에 있다.

이런 문제를 보완하여 안정적 설비로 관리하기 위해 육안으로 보이지 않는 지하배관 비파괴 탐측 기술을 개발, 시스템화 하여 상용화 해야 한다. 비용이 적게 들고 효율적인 아이템에서 고려해 보면 IT 분야에서 비젼시스템 (VisionSystem)을 활용한 배관 검사 기술을 고찰하여 점검 방법을 획기적으로 실시할 수 있도록 한다.

또한 송유관이 관통하는 지역은 대부분은 도로, 하천, 도시를 따라서 사람들이 밀집하여 생활하고 있는 공간을 통과하고 그러한 환경 속에서는 송유관의 불특정 사고 발생시 사고 규모가 단순 화재, 누유 사고에서 머무르는 것이 아니라 상상을 초월하는 인명피해, 대재앙을 부르는 사고로 이어질 수 있는 것이 사실이다. 송유

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

관 사고 예방 관리는 송유관을 관리하는 회사 차원의 문제가 아니라 사회적 문제 나아가 국가적 위기 관리 시스템의 문제이기도 하다.

그럼 이런 사고 예측이나 예방을 하기 위해서는 사고 관리 시스템에 대한 판단과 예측이 중요하다. 산업 고도화 사회에서 대부분의 사고 예방을 위한 사고발생 예측 판단 기법으로 Heinrich-law을 많이 사용하여 분석 한다. Heinrich는 보험사에서 근무하면서 보험사고 통계를 분석 하는 과정에서 모든 유형의 사고는 1:29:300 확률의 법칙 즉, 치명적인 대형사고 1건이 발생하기 위해서는 중규모 사고가 29번, 경미한 사고가 300번 정도 발생 한다는 것을 발견 하였다.

대형 사고는 우연히 또는 어느 순간 갑작스럽게 발생하는 것이 아니라 그 이전에 반드시 경미한 사고들이 반복되는 과정 속에서 발전하여 발생 한다는 것을 실증적으로 밝힌 것으로, 큰 사고가 일어나기 전 일정 기간 동안 여러 번의 경고성 징후와 전조들이 발생한다는 사실을 입증하였다. 큰 재해는 항상 사소한 것들을 예방하지 않을 때 발생한다는 것이다.

송유관과 관련된 사고는 도유, 타공사, 관리부실 등의 사유로 경미한 사고가 반복해서 일어나고 있다. 그러한 사고는 초기에 조치가 잘 되었거나 단순 사고로 정리 되는 경우가 많다. 결국 이러한 사고는 큰 사고로 연결될 수 있는 위험성을 하인리히 법칙으로 항상 내재하고 있는 것이다. 송유관 운영 시스템은 24시간 관리자에 의해 연속 가동 되어 지므로 장거리 송유관을 상시 감시 체계를 발전시키지 않으면 진화하는 사고 위험성을 대처하기 어렵다.

지하에 매설된 송유관을 효과적으로 감시하기 위한 진단 방법으로, 배관 내부에 주기적으로 이상유무를 확인할 수 있는 비전시스템을 활용한 관리기법을 상용화 할 수 있는 기술개발을 수행 할 수 있도록 한다. 그러면 개발 Module을 송유 시작과 동시에 시스템 모듈을 발사하여 송유관 내부 상태를 파악하면 도유 구멍, 부식 상태, 누유 여부 등을 종합적으로 확인할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법을 찾기 위해 송유관의 운영, 사고방지 시스템을 효과적으로 개선할 수 있는 방안을 찾아본다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 송유관 국내 운영현황

국제적으론 1868년 미국의 펜실베이니아에서 목관으로 약 10km를 부설한 데에서 비롯 되었다고 화자 되었다. 현재는 대 구경 강관의 제작이 기술적으로 가능하게 되어 그 부설작업도 비교적 수월하게 되었다. 우리나라에서도 1970년 미군송유관을 시작으로 서울 올림픽 이후 급속한 경제 발전과 더블어 송유관이 사용되기 시작하였다.

2.1 송유관의 정의

- 송유관 안전관리법 제2조, 동법시행령 제2조
- 도시. 군계획시설의 결정 구조 및 설치기준에 관한 규칙 제85조

석유를 수송하는 배관, 시설물로서 송유관은 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 의한 기반시설 중 유통, 공급시설의 하나이며, 반드시 도시, 군 관리계획으로 결정하여 설치하여야 하는 시설로서 도시, 군 계획시설로는 유류저장 및 송유시설에 해당한다.

그 외 도시지역 및 지구 단위 계획 구역 외의 지역에 설치하는 경우에는 도시, 군 관리계획으로 결정하지 않고도 설치할 수 있다. 도시, 군 관리 계획으로 결정하여 설치하는 송유관은 전용공업지역, 일반공업지역, 준공지역, 보전녹지지역, 자연 녹지지역 및 계획 관리지역에 한하여 설치할 것. 다만, 송유관 중 배관은 다른 지역에도 설치할 수 있다.

그림.1 송유관 건설 모습

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

• 송유관 시설로 볼 수 없는 예외 사항

항만구역 안에 설치된 석유 수송시설, 공항 안에 설치된 항공기 급유시설, 어항구역 안의 해상 및 육지에 설치된 어선 급유시설, 철도용지 안에 설치된 석유하역시설 및 해당시설과 연결하여 설치된 철도차량 급유시설, 산업단지 안에 설치된 산업용 원료인 석유를 공급하기 위한 급유시설, 저유소, 석유비축기지, 공장 등의 사업장 안에 설치된 급유시설, 정유공장 및 저유소에서 인근지역의 석유비축기지, 저유소, 발전소 및 공장 등에 연결되는 석유수송시설 또는 급유시설로서 그 길이가 15km 미만인 시설이다

그러나 석유수송시설 또는 급유시설이 구역, 용지, 단지 또는 사업장에서 그 외부지역으로 연결되어 있는 경우로서 그 길이가 15km 이상인 것은 송유관으로 본다.

2.2 국내 송유관의 역사

우리 나라에 최초로 도입된 송유관은 1970년대 주한 미군의 군사용 목적으로 휴전선 전방까지 유류를 공급하기 위해 포항에서 의정부 구간에 건설되어 운영되어 왔으나 장기 사용으로 인한 안정성 저해로 최근 대부분 폐쇄 되었다. 국내 소비 목적으로 경제가 급속 성장하면서 대부분의 산업분야에서 석유의 소비가 급증하였다. 정유사도 대한석유공사 1개에서 대기업 민간 자본으로 여러 개가 추가 운영되고 있으며, 각 정유사의 공장에서 소비지까지 기존에 유류를 운반해 온 수단인 유조 차량, 유조선, 유조 화차를 이용한 물류 공급 수단의 한계로 정부 주도로 새로운 친환경 운송수단인 송유관을 건설하게 되었다. 국내 최초의 송유관은 충남 대산의 정유공장에서 충남 천안 도시 소비지로 공급하기 위한 송유관이 1986년에 착공 1988년에 완공되어 운영되기 시작하였다. 정유사의 생산공장에서 대규모 소비지로 직접 공급하기 위한 장거리 송유관이 각 지역 생산공장과 소비지를 연계하여 현재까지 상업화 되어 운영되고 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림.2 전국 송유관 매설 현황도

표.1 국내 송유관 건설 현황

구간	연장 (km)	경 유 지	설치년도
남북송유관	442 468	온산-울산-대구-대전-성남 여수-곡성-전주-대전-성남	1996 1996
경인송유관	31 24 23	인천-고양(일반유) 인천-김포공항(항공유) 인천-인천국제공항(항공유)	1992 1992 2000
호서송유관	93	서산-천안	1988
SK송유관	101	울산-대구	1989
TKP(미군송유관)	452	포항-의정부	1972

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.3 석유수송에서 송유관의 필요성

원유가 해외 유전에서 전량 유조선에 실려 해로를 통하여 수입되는 단일 통로로 반입되는데 비해 국내 석유 완제품의 수송은 다양한 수송 경로를 통해 이송 되어지고 있다. 국내 수송 수단으로는 선박, 유조화차 (RTC), 유조차(T/T), 송유관 등이 이용되고 있는데, 과거에는 선박에 의한 해상 수송이 가장 큰 비중을 차지하고 있었다. 이는 삼면이 바다에 둘러 싸여 있고, 정유공장이 모두 해안 지역에 위치하고 있어 대량의 물량을 원거리 수송시 선박을 통한 수송비가 가장 저렴한 구조이기 때문이다. 그러나 선박, 유조화차, 유조차를 이용한 운송은 항만, 도로, 철도 등 사회 간접 시설의 과밀화 현상을 부추키고 있을 뿐만 아니라 유조차, 선박 등의 수송 수단은 운송 과정에서 사고가 발생하면 해양오염을 비롯한 치명적 환경오염을 일으킨다. 이에 반해 송유관 수송은 자동제어 시스템 운영방식에 의해 운영되므로 비, 눈 날씨에 영향 없이 전천후 대량 수송이 가능하며, 수송비가 저렴하고 안정적으로 공급할 수 있다는 장점을 가지고 있어 유류 수송에서 역할이 증대되었다.

선박, 유조차 화석연료 사용 수단은 지구 온실가스 발생의 주요 요인으로 향후 온실가스로 인해 2100년까지는 지구 전체의 평균 기온이 현재에 비해 약 0.8~3.5℃ 상승이 예측 되고 기후변화, 생태계의 교란, 해수면의 상승, 토양침식 증가 등의 결과가 예측되어 지구환경이 위협 받고 있다. 이러한 지구 온난화 현상에 대한 국제적인 대응으로 1997년 12월 일본의 교토에서 기후변화 협약 제3차 당사국 총회가 개최 되었으며 교토 의정서가 채택됨으로서 국제적인 환경 보호 대응이 더욱 활발해 졌다. 감축 대상 가스로 이산화탄소(CO2), 메탄(CH4), 아산화질소(N2O), HFC, PFC, SF6 등 6개 항목을 설정하였으며, 감축사업 및 온실가스 거래 프로그램도 도입하였다. 또한 선진국이 후진국에 온실가스 저감 기술을 전수하고 저감된 온실가스의 실적을 기술 투자국의 감축 분으로 인정 되어지는 청정 기술 개발 체제(Clean Development Mechanism: CDM)에 대한 내용도 합의하였다. 이에 따라 2008년부터 2012년까지 국가 전체의 배출 총량을 1990년 수준보다 평균 5.2%로 감축하는 목표를 정하였다. 이러한 추세에 따라 온실가스의 여러 가지 발생원인에 대한 방출 및 흡수에 대한 활발한 연구가 진행되고 있다. 송유관을 통한 석유 운송은 장거리 배관의 시점, 중간 지점 곳곳에

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

송유관의 유체 이송을 위한 에너지가 필요한데, 이를 송유펌프로 가압을 하여 고압력의 에너지로 유체가 이송 되고 있는 시스템이다. 주요 동력인 송유펌프의 가동 에너지는 고용량 전기 모터에 필요한 전력 에너지를 사용 하므로 유조차, 유조선 등과 같은 화석 연료를 사용하는 수송 수단 보다 CO2 발생 배기가스 배출이 직접적으론 거의 없다. 송유관을 통해 경질유를 생산공장에서 소비지 까지 이송하는 에너지는 송유펌프에 주어지는 전기에너지를 사용하여 타 운송 수단 보다 탄소 배출이 월등히 적어 친환경 운송수단이라고 할 수 있다. 전기에너지에도 화력발전소에서 발전을 위한 화석에너지를 사용하지만 전력의 이산화탄소 배출계수 0.4517tCO2/MWh, 경유의 이산화탄소 배출계수 0.837Tco2/TOE이다.

표.2 온실가스 성분 구성비

온실가스 주요 성분	온실가스 기여도(%)
이산화탄소(CO2)	88.6
메탄(CH4)	4.8
아산화질소(N2O)	2.8
수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF6)	3.8

2.4 송유관의 운영 사고예방 고찰

송유관은 원형의 탄소 강관 재질 배관에 고압의 유체를 흘려 보내는 방식으로 운영 되고 있다. 송유관에서 발생하는 도유 및 타공사 사고, 자연부식 등 외적인 원인에 의해 배관에 손상이 발생될 경우 유류가 외부로 유출되면 치명적인 인명 피해, 환경오염 등 경제적 손실을 수반하게 된다.

송유관에서 수송 제품인 휘발유 (Unlead Gasoline)와 같이 경질유 제품은 인화점이 낮아 누유가 발생되어 외부로 대기 중에 노출되면 유증기가 발생한다. 이로 인해 밀폐된 공간에서, 환기가 부족해 사람에게 질식을 불러 일으키고 공기 중에서 불꽃, 정전기 등과 반응하여 결합 시에는 화재, 폭발 등의 사고로 이어진다.

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

표.3 경질유 제품의 인화점 및 자연 발화점

경질유 구분	인화점[1] (℃)	자연발화점[2] (℃)
경 유	42 ~ 65	300~400
휘 발 유	40 이 하	500~550
등 유	38 ~ 45	400~500

송유관에서 유류가 누출되는 사고 원인으로는 도유 시설물 파손, 지하 굴착이 필요한 공공기관, 민간 기업의 타공사 굴착 등에서 배관 손상 파손 등이 주로 발생한다. 또한 국제 유가 상승 및 국내 석유 유류세 강세 등으로 인해 석유의 고부가치성으로 장거리에 매설된 송유관은 도유범들에 의한 범죄 발생이 늘고 있는 실정이다. 송유관 내부에는 경유(Disel), 휘발유(Gasoline), 등유(Kerosene), 항공유(Jet Fuel) 등 완제품이 수요자의 요구에 따라 상시 송유관을 통해 운송되어 진다. 이런 여건을 파악한 도유범은 도유에 필요한 시설을 만드는 과정에 가시설 제작, 도유과정, 도유 절취 유류를 운반하여 매매하는 조직 등이 필요하다. 도유 과정에서 송유관이 손상 되거나 운반 과정에서 누출되어 사고로 이어지면 인명 피해, 환경오염, 경제적 손실이 복합적으로 발생한다. 이런 결과는 결국 토양, 하천 오염이 발생함은 물론 오염된 환경을 복원 하기 위해서는 환경을 치환해야 하는 복구 비용이 천문학적으로 소요된다. 지하 땅굴 갱도 작업으로 배관에서 유증기가 발생되어 도유범이 질식되어 사망하거나, 화상을 입어 중상을 입는 경우도 비일비재하게 발생하고 있다.

도유밸브

도유호스 연결

그림.3 도유시설

1) 인화점 : 연료에서 발생되는 유증기에 점화원이 접촉되었을 때 불이 붙는 최저 주위 온도
2) 자연발화점 : 점화원이 없어도 연료가 불이 붙는 최저 온도

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

실제 도유 사례를 보면, 천안시 서북구 성거읍 경부고속도로 인근에 매설된 송유관에 구멍을 뚫고 300여 회에 걸쳐 5억원 상당의 유류 27만 리터를 훔친 사건도 있다.

이들은 유류를 빼낼 경우 송유관 압력이 떨어지면 송유관에서 유류 유출을 의심할 수 있어 송유관의 압력이 송유시 항시 강한 천안 가압소에서 후방으로 1.3 킬로미터 떨어진 송유관에 구멍을 뚫고 휘발유와 경유를 빼돌렸다. 당시 이들은 송유관에 구멍을 뚫고 기름을 훔치는 과정에서 창고에서 화재가 발생해 경찰에 덜미를 잡혔다. 천안 지역에서는 2011년 3월에도 송유관에서 휘발유 4만여 리터를 훔친 전문 절도단이 경찰에 붙잡히기도 했다. 송유관 절도범들은 모두 경찰에 검거됐지만 해마다 천안지역에서 송유관 절도가 끊이지 않고 있는 셈이다.

송유관이 생산지에서 소비지를 관통하는 노선은 시설 관리 효율 및 시공 방법에 따라 주로 도로, 하천을 따라 소비지 까지 최단 거리로 포설되어 있다. 국도 확장, 가스관 신설, 전력망 확장 등 사회 인프라 발전으로 송유관 주변에 지하 굴착 공사가 증가하고 있는 실정이다.

타공사로 인해 지하 매설된 송유관이 타공사 굴착 장비로 인한 손상 사고가 발생하고 이로 인한 유류 누출사고가 종종 발생하고 있는 실정이다.

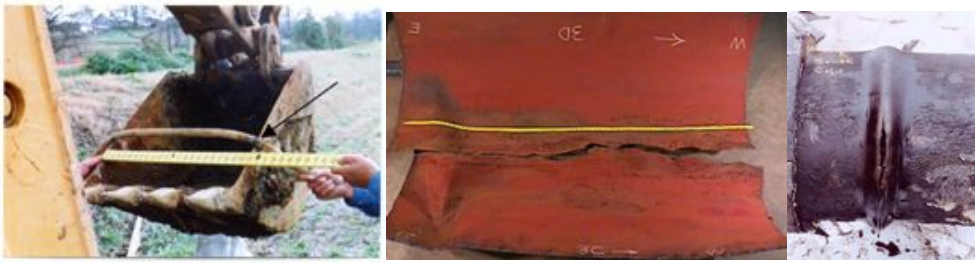


그림.4 송유관 파손 모습

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3. 송유관 건전성 검사

배관 건전성 검사 방법은 비파괴 검사 기법을 사용하며 해외에서 검증되고 상용화 된 검사기술이 국내에 유입되어 정밀도 높은 검사를 하고 있다.

3.1 전파 (Radio Detection) 탐측 이용 기술

3.1.1 지하매설 탐지기 (RD-8000)

영국 Radiodetection 사의 최신 제품으로 탐측 하고져 하는 지하 매설물에 송신기를 부착하고 사람이 수신기를 휴대하며 실시간으로 매설물 설치 방향, 매설 깊이, 송신전류 세기 등이 체크되어 정밀한 탐사가 가능하다.

그림.5 RD-8000 탐측

RD-8000 장비로 송유관을 비롯 가스관, 상수도, 고압 스팀관과 같이 지하 매설된 배관 탐측에 유용하게 사용되고 있다. 반면 지하에 수분 함유율이 높은 습지 지역, 타배관과 인접해서 탐측 할 경우전기적 절연이 수분에 의해 방해되어 배관을 탐측하기 어렵고 탐측 하고져 하는 배관이 인근 타 배관에 발신 전류가 유도되어타 배관이 탐측되는 등의 문제점이 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.1.2 레이다 탐지 (Radar Detection) 검사

GPR(Ground Penetration Radar)은 25~1200MHz의 전자파를 지상의 송신기에 의해 지하로 방사시켜 서로 전기적 물성이 다른 지하 매질의 경계 면에서 반사되는 전자파를 수신기로 수집하여 기록한 뒤, 컴퓨터에 의한 자료 처리와 해석 과정을 거쳐 지하의 구조와 상태를 영상화하는 첨단 비파괴 지반 탐사법이다.

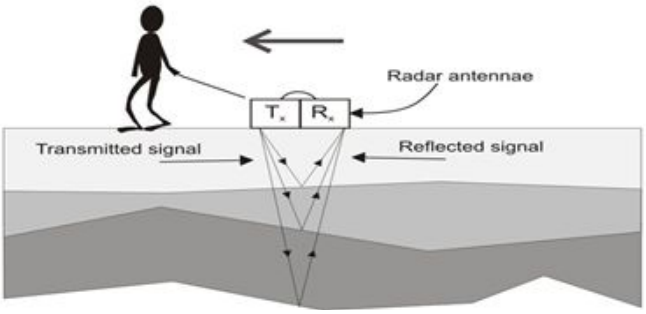


그림.6 GPR 탐상도

레이다 파의 반사 현상은 전기적 성질이 서로 다른 물질의 경계면에서 발생하며, 반사된 레이다 파의 세기는 두 매질의 전기적 물성으로 규정되는 반사계수에 비례한다. 경계 면의 심도를 계산하기 위한 가장 기본적인 변수인 속도 또한 레이다파가 통과한 매질의 전기적인 특성에 의해 결정된다.

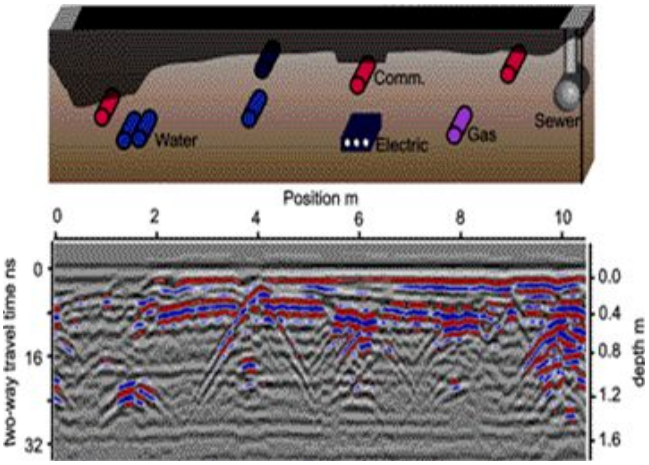


그림.7 GPR 탐상 데이터

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

각종 지하 지장물 전력선, 가스관, 송유관, 상.하수도 배관 등의 조사에 활용되며 지하에 매설된 구조물의 위치, 깊이를 알 수 있다. 대지에 수분이 많이 포함된 토양에서는 전기적 특성이 다른 물질의 경계 면에서 구분이 모호해져 검사 오류가 발생 정확한 지형 분석이 어려워 진다.

3.2 초음파 (Ultrasonic Wave) 검사

3.2.1 초음파 탐측원리

마치 배관을 망치로 때려 그 소음을 측정하는 원리와 같은 것으로 철로를 검사하는 방법과 유사하다. 배관에 결함이 없을 때에는 청명한 소리가 들리지만 배관 결함이 있어 금이 간 경우 등에는 둔탁한 소리가 들릴 것이다. 이와 같은 현상을 배관 검사에 응용하여 실제 사람이 들을 수 없는 음파 영역 이상의 초음파를 만들어 배관에 방사하고 반사파를 수거하여 데이터를 분석하는 기법이다 사람이 귀로 들을 수 있는 음파의 주파 영역은 일반적으로 16Hz~20kHz의 범위이며 20kHz를 넘는 음파를 초음파라고 한다. 초음파를 배관 내부에 투과시켜 반사되는 신호를 컴퓨터로 증폭, 변환하여 주파수 형태로 분석하는 방식이다

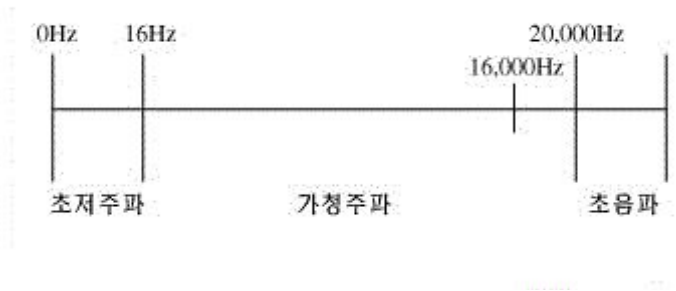


그림.8 초음파 영역도

초음파 형태는 진동 형태에 따라 펄스파 (Puls wave)와 연속파(continuous wave)로 나뉜다. 1970년대 후반 디지털 컴퓨터가 적용 되면서 부터 많은 산업, 의학 분야에서 활용되고 있다. 1880년 Pierre Curie와 Jacques Curie 형제는 석영 결정에 압력을 가하면 전위가 발생하는 압전 효과[3] (piezoelectric effect)를

3) 압전효과 : 압전성을 가지는 물질에 전압을 가하면 물질이 수축하거나 확장하여 용적의 변화를 유발하는 현상

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

처음으로 발견하였으며, 이러한 특성을 가지는 물질을 압전자(piezoelectric element)라고 한다. 이 원리를 이용하여 압전자에 초음파 주파수인 1~30 MHz의 전압을 가하면 압전자가 진동을 일으켜 1~30MHz의 물리적 초음파가 발생된다. 초음파를 발생시켜 송신하고 반사파를 수신하는 센서를 탐촉자(probe or transducer)라고 한다. 소재의 내부결함을 검출하거나 두께 측정, 탐촉자에서 발생한 초음파의 경로상에 결함이 존재할 경우 초음파는 반사되고, 이 신호를 이용하여 측정물의 결함의 깊이와 크기를 평가한다. 활용 분야는 표면 및 내부결함(균열) 검출, 부재의 두께측정, 탄성 계수 등 물성치 측정, 재료열화 및 잔류응력 측정 등에 다양하게 사용하고 있다.

3.2.2 전자기 초음파 탐촉자 방식 (EMAT, Electromagnetic Acoustic Tranduser)

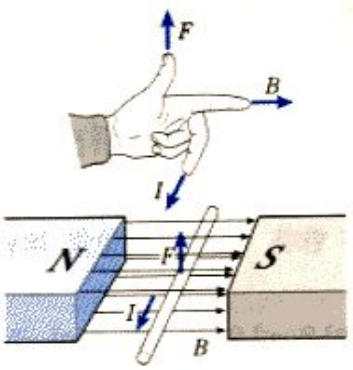
자기장 속에서 전하가 받는 힘 즉 Lorentz의 힘의 원리를 이용한 것으로 초음파를 만드는 과정이 압전 소자와 다른데 탐촉자에 코일을 감고 주파수를 발진한다. 이렇게 되면 배관 표면에는 맴돌이 전류가 형성된다. 같은 위치에 탐촉자에 강한 자석을 붙이면 배관 내부에는 자기장도 형성된다. 이렇게 영구자석의 자력과 전기 코일의 교류전류가 발생되면 로렌쯔 힘이 발생한다. 마치 전동기가 움직이는 동작 원리와 유사하다. 로렌쯔 힘이란 전류는 전하의 흐름으로서 자기장 속에서 전류가 전자기력을 받는 것과 마찬가지로 자기장 속에서 운동하는 전하도 힘을 받는데, 이렇게 전하가 자기장 속에서 받는 힘을 말한다. 전류가 흐를 때 (-)전하는 전류와 반대방향으로, (+)전하는 전류가 흐르는 방향으로 운동한다. 이때 자기장의 방향으로 오른손의 네 손가락을, 엄지의 방향을 전류의 방향과 일치시키면 손바닥이 보이는 방향이 로렌츠힘 (전자기력)의 방향이 된다.

자기장과 전류가 수직으로 작용할 때 전류가 자기장에 받는 힘의 크기는 F=BIL 이며, 전류가 자기장의 방향과의 e각을 이루는 경우 힘의 크기는 F=BIL*SinE이다.

즉 로렌쯔의 힘으로 발생된 응력을 초음파 주파수와 일치시켜 배관 내부를 점검하는 원리이다. 로렌쯔 힘과 맞먹는 초음파의 주사는 배관에 힘으로 작용하고 초음파를 발사하는 탐촉자는 배관에 접촉시키지 않더라도 초음파가 배관에 여자되고 추가적으로 자기장과 맴돌이 전류를 변화시켜 다양한 주파수의 초음파를 동시에 발생시킨다.

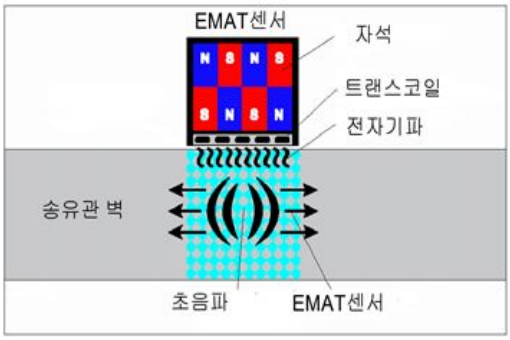
Collection @ chosun

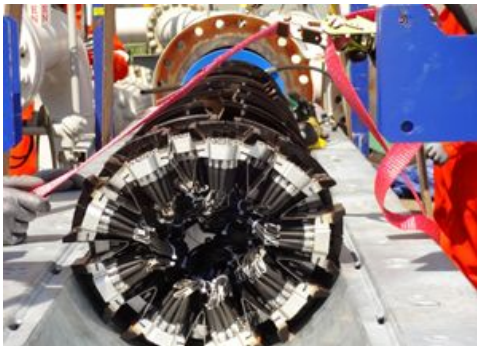
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



F= 로렌쯔힘, B=자기장 세기, I=전류

그림.9 로렌쯔의 원리 그림





EMAT 센서 측정원리 EMAT 센서 실제모습

그림.10 EMAT 센서

3.2.3 인텔리전트 PIG (Pipeline Inspection Gauge) 검사

고압 송유관 내부 상태를 비파괴 검사로 가장 효과적으로 검사할 수 있는 장비이다. 고압의 송유관, 가스관 대상으로 범용화 되어 많은 국가에서 배관 검사 방법으로 사용하고 있다. PIG는 배관 내부에 장착되어 내부를 흐르는 매질 압력에 의하여 추진되는 검사 장치로써 배관 내부에서 이동 하면서 초음파 또는 자기장 등을 배관에 방사하여 배관의 부식, 구멍 등 이상유무를 발견하는 비파괴 검사 장비이다. 배관 내부에 피그를 장착하고 피그 전단에 일정 압력이 발생되면 전, 후단의 압력 차로 피그가 이동하기 시작한다. 피그 가배관 안을 이동하면서 자기장 또는 초음파를 방사하

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

면서 배관 의 결함을 확인한다. 배관에 결함이 없다면 자기장이나 초음파 신호는 일정하게 회수 되어 수신기에 수신되나 부식, 크랙(Crack), 구멍 구간에서는 신호 파장이 급격하게 변하면서 왜곡 된다.

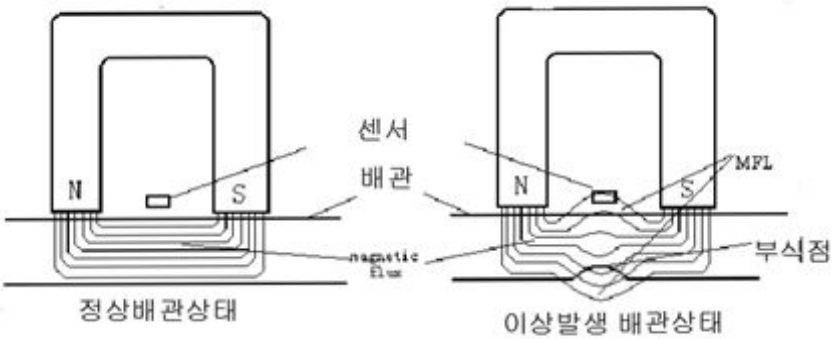


그림.11 자기장 검사 원리

송유관 운영 과정은 단 방향 배관이 설치되어 고 압력으로 많은 량의 유류를 송유 한다. 배관 비파괴 검사기법으로 인테리전트피그 검사법을 상용화하여 사용하고 있다. 각 정유 공장에서 소비지까지 배관이 단 방향 배관으로 포설되어 검사기간 동안 대체 송유관이 없어 소비용 유류 공급 중단이 발생 되고 이로 인한 수급 불균형으로 경제 악순환이 발생, 정유사의 막대한 경영 손실이 발생 한다. 또한 인테리전트피그 검사 대상 송유관 내부 관 벽을 크리닝(cleaning) 하는 공정이 필수적이어서 이물질을 철저히 크리닝 하지 않으면 인테리전트 피그 검사의 정확한 데이터를 얻기 어렵다. 크리닝 과정에서 배관 벽의 이물질이 흐르고 있는 유류로 떨어져 나와 혼합되어 오염된 유류는 오염되어 폐기하거나 정유 공장으로 이송하여 재처리 과정을 거쳐야 한다.

배관 크리닝 과정은 송유 시작시 배관 내부에 크리닝 피그를 삽입하여 인테리전트피그 발사 원리와 같이 크리닝 피그 전, 후단의 유류 압력 차로 송유 유체 흐름과 동시에 이동하면서 배관 내부를 청소하게 된다.

크리닝 피그에는 용도에 따라 여러 종류가 있으며 순차적으로 이물질 입자 제거에 맞게 발사하고 검사 구간 끝 단에서 수거한다. 크리닝 초기에는 배관 내부에 용접비드 (Weld bead) 및 거친 입자를 제거하는 거친 입자 제거 청소용

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

피그를 발사하고 다음에 중간 거친 입자 제거 청소용 피그, 마지막으로 고운 입자 제거 청소용 피그를 발사하여 배관 벽의 이물질을 제거 하게 된다. 인테리전트 피그 검사 전 구간 내부 크리닝 과정은 시간이 많이 소요되고 배관내부에 채워져 있는 매질 유류를 오염시켜 검사 경제성에 비해 많은 크리닝 비용이 소요된다.

그림.12 청소용 피그 장착 모습

고운 입자 제거 피그

중간입자 제거 피그

거친 입자 제거 피그

그림.13 배관 크리닝 PIG 종류

배관 건정성 검사를 위해 경영상 자금 문제를 감수하고 하기에는 천문학적 비용이 소요되어 인테리전트 피그 검사 방법이 전 세계적으로 사용되는 장거리 배관 검사 기법 임에도 불구하고 국내 장거리 송유관 검사에는 경제성이 없어 적용하기 어려운 현실이다. 그러므로 새로운 경제적인 송유관 검사 방법을 고찰하여 현실적으로 실시간 검사가 가능한 시스템 개선이 필요하다.

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

표.4 배관검사 손익 계산

'13년 송유관공사 매출액	인테리전트피그 검사 비용	매출 차액
약 100,000 백만원	40,000백만원 (울산 ~ 서울, 여수 ~ 서울 전국송유관 대상)	60,000백만원 (매출금액 -검사비용)

4. 비전시스템 기반 건전성 검사 알고리즘 설계

송유관 건전성 검사 기술은 송유 중에도 유류를 오염 시키지 않으며 짧은 시간 동안 정유공장에서 소비지 까지 이송하면서 배관의 비파괴 검사가 가능한 검사 방법을 IT 분야의 알고리즘 연구를 통한 배관 검사 방법을 고찰하여 최소한의 신뢰성을 갖고 낮은 비용으로 배관 검사가 가능하도록 하는 저가 모듈(Module)을 개발을 위한 알고리즘을 제시하고 시뮬레이션을 하여 그 성능을 검증 한다.

4.1 배관검사에 고려할 내용

송유관 운영시 배관 내부는 빛이 없는 암흑의 상태로 전자파, 초음파 센서 기술로 배관 부식 정도, 결함 등을 찾아낼 수 있었다. 그러나 이 두가지 센서 기술을 이용한 비파괴 검사 방법은 경제성 문제로 쉽게 접근하여 사용하기에는 단점이 너무 많다. 그래서 단점을 극복하여 착안한 것이 비젼시스템이다. 이 분야를 활용한 배관검사기술을 적용하게 되면 저비용 구현으로 경제성, 검사시간 단축 등 장점이 많다. 이 시스템을 안정성과 적용방법을 보완하여 배관검사 방법으로 구현하면 일상적인 배관 점검 분야에서 검사 기술의 한 부분이 될 것이다.

배관 내부에서 자유롭게 이동하면서 촬영하기 위해서는 비젼 카메라를 탑재한 휴대형 방폭 케이스(case)에 적재하여 제작된 장비가 필요하다. 이런 방법은 사람이 직접 배관내부에 들어가 육안으로 보는 것 같은 수준의 검사 결과를 얻는 방법이다. 인테리전트 피그 시스템 보다 건전성 검사에서 정밀도가 많이 떨어지지만 가장 큰 리스크인 도유 시설을 찾아내는데 유용하다. 도유 시설은

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

배관이 기계적 결함이나 타공사 사고로 인한 손상 보다 90% 이상 많이 발생한다. 또한 송유관의 주 재질이 탄소 강관으로 이루어져 자연 부식이 발생 가능하지만 이런 부식을 방지 하기 위한 설계가 반영되어 운영되고 있다. 이러한 구조는 부식을 고려함은 물론 지진 발생, 토압, 타공사로 인한 손상에서 일정시간 안정적으로 파괴 되지 않고 구조적으로도 안정성을 유지 한다.

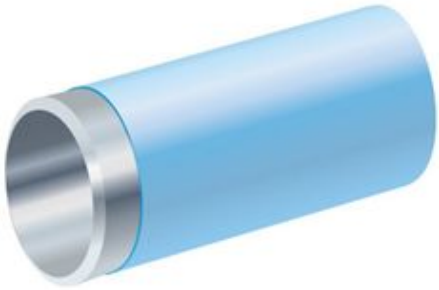
표.5 송유관 설계기준표

구분		구간	관경 (Inch)	규격	설계압력 (Kg/Cm²)	배관두께 (mm)	연장 (Km)
남북송유관	영남	온산~울산	20	API 5L A53 Gr.B	29	7.9	10
		울산~대구	24	API 5L X56	98	14.3	96
		대구~추풍령	22	API 5L X56	104	14.3	112
		추풍령~대전	20	API 5L X56	98	11.9	84
		대전~천안	18	API 5L X52	100	11.9	65
		천안~판교	20	API 5L X56	87	11.1	73
	호남	여수~곡성	20	API 5L X56	104	12.7	81
		곡성~전주	20	API 5L X56	90	11.1	118
		전주~대전	18	API 5L X56	104	11.9	87
		대전~천안	16	API 5L X56	93	9.5	65
		천안~판교	18	API 5L X56	92	11.1	73
	지선	대구, 왜관, 광주, 전주	-	API 5L X46	92	9.7	65
경인송유관		인천~고양	14	API 5L X46	56.7	8.7	31
		인천~김포공항	12	API 5L X46	35	7.9	24
		인천~인천공항	20	API 5L X65	85	14.3	23
호서송유관		대산~당진~천안	12	API 5L X46	68.5	6.4	97
합계							1,104

아래 그림.14와 같이 탄소 강관 송유관 외면에 폴리에스테르 코팅을 점착하여 부식 환경으로 부터 2중으로 보호하게 된다. 이 외에도 전기방식에 의한 부식 보호 기능도 병행 실시하여 송유관의 자연 파손 사고는 거의 발생하지 않고 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



2중 코팅강관 구조　　코팅된강관 모습

그림.14 2중 코팅 송유관 구조

그러므로 송유관 시스템에서 가장 빈번하게 발생하는 사고 주 원인을 살펴보면 재질의 문제 보다 인위적 도유 시설에 의한 손상으로 인한 파손사고가 다발이고, 도유 시설을 조기에 발견하는 것이 송유관 관리 위험성을 줄이기 위한 최대 관건이라고 볼 수 있다. 배관 검사 분야에서 적용하는 비젼시스템은 배관의 미세한 결함을 찾는 것이 주요 기술이 아니라 배관 내부를 통과하면서 도유 시설을 탐색하는데 주된 기능을 해야 한다.

외경 사진　　배관 장착대 발사 전 전경

그림.15 비젼 카메라 모듈 장착 시뮬레이션

송유관 운영의 특성상 비젼시스템 탑재장비는 배관 내부에서 관 벽과 최소로 접촉되어 부식 녹 타르(타르) 등 이물질이 떨어져 나오는 것을 방지하는 것이 관건이다. 배관 벽의 이물질은 석유화학 정제 공장에서 제조 과정에서 자연스럽게

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

발생되어 액체 유류 속에 극소량으로 녹아 있는 타르와 탄소 강관의 부식 된 녹으로 분류할 수 있다. 이물질은 검사장비와 물리적 접촉으로 떨어져 나와 유류와 혼합되면 매질 제품 오염이 발생된다. 오염은 배관 전 구간에 확산되어 이송 중인 유류를 폐기해야 하는 문제점이 발생한다. 한국 가스공사에서 운영하는 가스관 검사 방법과 비교하여 볼때, 가스관은 고압의 기체를 저온에서 액화하여 가스관 배관 내부 벽에는 부식 성분외 아무런 이물질이 점착되지 않는다. 그러므로 가스관의 완제품은 폐기해야 할 이유가 없다. 송유관 타르 성분이 배관에 점착되는 과정을 보면, 정유공장에서 원유를 정제하면 끈적거리고 검은 색의 점성을 가진 액체나 반고체 상태로 남아있는 아스팔트 석유 화합물에서 기인한다. 타르가 배관과 점착되는 과정은 배관 내 유체의 흐름이 난류로서 무질서 하게 이동하면서 이송 과정에서 배관 벽 내부 전체에 미세하게 얇은 막을 형성하여 고착되어 만들어 진다.

기준이 미달된 매질 유류는 검사 구간 말단 저유소로 이송되어 별도의 잡유 탱크에 보관하고 정유공장으로 재 이송하여 처리 과정을 거쳐 제품으로 다시 만들어진다. 폐석유 제품의 이러한 재처리 과정은 공장으로 회송과정, 정제과정을 거치면서 완제품 생산 공급 과정보다 더 많은 비용이 소요되는 비경제적인 비용이 발생하는 문제를 발생한다.

4.2 시스템 설계 주요 구성 요소

우선 배관 내부를 디지털 영상화 하는 장비로 디지털 카메라가 있다. 배관 내부를 영상화하여 디지털 저장 장치에 촬영 프레임을 저장하는 단계이다. 카메라는 배관 검사에서 디지털 영상 처리의 핵심 장비로 고압의 송유관 내부 환경에서 사용할 수 있는 적합한 구조로 설계해야 한다. 그러기 위해서는 송유관 내부 환경을 고려한 구조로 카메라가 배관 내부에서 탑재가 가능해야 하고 배관 내부를 이동하면서 카메라가 손상되지 않도록 합성 강철 구조로 내구성이 있어야 한다. 그림.16 사진은 스마트 볼 검사 및 그 외관 모습으로 송유관 내부 환경에서 파손 되지 않는 합금 텅스텐 구조로 제작되었다. 또한 움직이면서 배관 내부 면의

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림.16 Encole사의 카메라

충격을 완화하기 위해 고발포성 폼으로 카메라를 감싸고 있다. ENCOLE사의 시관측 카메라의 모습으로 1/4 inch CMOS 센서를 탑재한 형식이다. 초당 프레임은 30프레임을 처리할 수 있으며, 내압 최대 압력은 3,000PSI (Pound per square inch)까지 견디도록 설계되어 있다. 송유관 내부의 설계압력이 최대 600PSI인 것에 비하면 무려 5배를 견디는 구조로 되어 있다. 또한 3개의 LED (Light Emitting Diode)조명을 탑재하여 어두운 환경에서도 촬영이 가능하다.

외관 유리는 사파이어 유리(Saphire glass)로 투명 유리 성분 중에 가장 강도가 세고 오일 환경에서 영상처리에 굴곡이 없도록 유리 면을 평면 가공 처리하여 영상 왜곡을 없앴다. 스틸 케이스는 탄소 강관으로 카메라 뿐 아니라 추가로 녹화 장치 탑재가 가능 하도록 나사산 연결 구조로 되어 있다.

화재, 폭발 가능성 있는 장소에 설치하는 카메라는 산업안전보건법 이하 산업안전기준에 관한 규칙에 따라 특별한 규정을 두어 전기장치 제품 사용에 대한 규제 및 설계지침을 두고 있다. 그러므로 검사용 카메라는 방폭 내압 설비적용을 받고 본질 안전 방폭 구조를 가져야 한다. 유류 체류가 24시간 존재하는 환경의 배관 장소에서는 전기회로(전기 기기의 내부 회로 및 외부배선의 회로)에서 정상시 및 사고 시에 발생하는 전기불꽃 또는 열이 폭발성가스에 점화되지 않는 것이 점화시험 등에 의해 확인된 구조로 설계되어야 한다. 폭발성가스에 점화 방지는 전기회로의 전압, 전류, 리액턴스(reactance)의 저하 등에 의한 불꽃 에너지의 억제가 중심이 되어있지만, 점화원이 될 수 있는 회로로부터의 기계적인 분리도 중요한 조건이다. 그러므로 기계적인 case 제작 설계에 필요한 환경 즉 송유관 내부 유류가 존재하는 곳에서 카메라가 이상 없이 안전하게 동작하기 위한 필수 조건이어야 한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

송유관 내부를 이동하면서 영상수집을 하기 위한 Module 가장 핵심 장비로 기본적으로 카메라, 영상녹화장치, Oil 배관 내부 환경에서 장비를 보호할 수 있는 방폭 케이스(case) 제작이다. 송유관 관경 보다 30 % 크기의 공 모양 타입으로 케이스를 제작하고 외부에 고발포 원형 폼 스펀지로 커버하여 배관 안에서 유체 이송 에너지로 구동하여 이동하면서 촬영한다. 이동 속도는 송유관유체 이동 속도와 같은 평균 2.5m/sec 이다. 구형 구조는 배관 내면과 최소 접촉 상태로 공처럼 구르면서 이동하여 배관 벽과의 마찰이 적으며 탄성이 있어 배관을 자극하는 것도 미미하다. 이런 구조 이동 방법은 배관 관벽의 녹, 타르 등 이물질 발생을 극소화 하고 인테리전트피그 검사 방법에 필요한 이물질 제거 과정이 필요 없다. 이물질 발생을 최소화 하면 이송하고 있는 오일의 오염 발생이 없어 저유소에 입고 후에 시료 검사를 거쳐 완제품으로 출하 할 수 있다. 카메라 모듈 외에 저장장치, 배터리, LED조명을 추가적으로 탑재한다. 저장장치 및 배터리 용량은 최소 15시간 이상 영상이 저장 가능하도록 설계해야 한다. 카메라 모듈을 발사하고 회수하는 중간 가압소 간 거리는 최장 50km 이므로 이동속도, 가압소 간 거리를 고려하여 저장장치, 배터리 용량을 산정한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

5. 비전시스템 설계 시뮬레이션

5.1 도유 구멍 시뮬레이션

본 논문에서 사용한 송유관 도유홀 추출 기법은 크게 세 단계로 구성된다. 첫 번째로 영상을 그레이 이미지로 변환하고 Otsu 방법을 사용하여 추출할 홀과 배경을 구분하는 전처리 과정, 두 번째로 영상 내의 중심점을 기준으로 70 X 70의 사각형 내에는 홀이 없다고 판단하고 제외하고 남은 부분을 레이블링하여 임계 값 이하의 수를 가지는 레이블링 중 최대값을 홀이라고 판단하는 과정, 마지막으로 홀이라고 가정한 레이블링의 중심모멘트를 구하고 그 것을 기준으로 45 X 45의 빨간색 사각형을 원본영상에 투영하여 최종 검출된 영상을 얻는 과정이다. 그림.17은 제안한 기법의 전체적인 과정을 보여주는 알고리즘 순서도이다.

그림.17 도유검사 비전 시스템 순서도

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

입력 영상은 송유관 도유 부분과 부식된 부분을 찍은 사진들로 구성되며 영상의 해상도는 256 X 192 픽셀이고 과거 발견된 송유관 도유, 부식 사진들을 입력 영상으로 사용하였다.

5.2 Otsu 방법을 이용한 전처리

송유관의 도유부분을 검출하기 위해 먼저 배경과 전경부분을 나누어 배경부분을 배제해주는 설정을 해주어야 한다. 이는 송유관의 상태로 인해 목적으로 하는 도유 검출 영역에 맞지 않는 영역이 존재하며, 이 영역 내부는 레벨 값들이 균일하게 분포되어 있지 않다. 또한 영상마다 그레이 레벨의 차이가 존재하고 영상에서 도유 부분을 제외한 배경부분이 많은 영역을 차지하여 전체적인 레벨의 평균값을 낮추는 역할을 하기 때문이다.

영상의 그레이 레벨은 송유관 촬영기기의 빛 투사량에 따라 영상마다 달라질 수 있으므로 고정된 임계값을 사용하는 것보다는 도유 영상 데이터에 따른 최적의 임계 값을 계산하는 것이 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 Otsu 방법을 사용한다. Otsu의 방법은 주어진 영상의 히스토그램을 작성하고, 이를 이용하여 유사 밝기 값을 갖는 객체들을 분리, 추출하는 방법이다. 즉 Otsu의 방법는 영상 밝기에 대하여, 분할되는 두 클래스의 분리를 클래스 사이의 분산을 최대화 시키는 임계 값을 찾는 방법이다. 주어진 영상이 개 그레이 레벨의 화소로 되어 있다고 하면, 밝기 값이 인 화소의 수를 , 영상의 총 화소 수를 이라고 할 때이고, 화소가 밝기 값을 갖을 확률은

$$p_i = f_i / N \tag{1}$$

이 된다. 그리고

$$\sum_{i=1}^{L} P_i = 1, P_i \geq 0 \tag{2}$$

이다. 입력 영상이 배경과 객체 두 개로 나누어 졌다면, 화소들은그레이레벨에 속하는 클래스 과 그레이 레벨에 속하는 클래스로 나눌 수 있다. 따라서 두 클래스에 대한 그레이 레벨 확률분포는 , …, 와 , …, 이 된다. 여기서

$$w_1(t) = \sum_{i=1}^{t} P_i \tag{3}$$

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

$$w_2(t) = \sum_{i=t+1}^{L} P_i \tag{4}$$

이고, 클래스 과 의 평균은 각각

$$\mu_1 = \sum_{i=1}^{t} iP_i / w_1(t) \tag{5}$$

$$\mu_2(t) = \sum_{i=t+1}^{L} iP_i / w_2(t) \tag{6}$$

이다. 또한 전체 영상의 평균을 라고 하면

$$w_1\mu_1 + w_2\mu_2 = \mu_T \tag{7}$$

$$w_1 + w_2 = 1 \tag{8}$$

이다. 클래스 과 에 대하여 클래스내의 분산(within-class variance)을 , 클래스 사이의 분산(between-class variance)을 , 그리고 전체 구간에서의 분산(tatal variance)을 라고 하면, 최적의 임계값은 다음의 판별기준식들 가운데서 하나를 최대화하는 로 선택할 수 있다.

$$\lambda = v_B^2 / v_w^2 \tag{9}$$

$$\lambda = v_T^2 / v_w^2 \tag{10}$$

$$\eta = v_B^2 / v_T^2 \tag{11}$$

여기서

$$v_w^2 = w_1\sigma_1^2 + w_2\sigma_2^2 \tag{12}$$

$$v_B^2 = w_1(\mu_1 - \mu_T)^2 + w_2(\mu_2 - \mu_T) \tag{13}$$

$$v_T^2 = \sum_{i=1}^{L} (i - \mu_T)^2 p(i) \tag{14}$$

이다. 여기서 과 은 클래스 과 의 분산이다. 판별기준 식 (9)-(11)에서 는 의 선택과 무관하므로 의 계산이 가장 간단하다. 따라서

$$v_B^2(t^*) = \arg\max_{1 \le t \le L} v_B^2(t) \tag{15}$$

를 만족하는 를 최적의 임계값으로 결정할 수 있다. Otsu 방법은 임계값을 자동으로 설정하는 방법으로 가장 널리 쓰이며 자연스러운 임계값(T)을 설정해

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

주며 동시에 빠른 속도를 지닌다. 임계값을 바탕으로 임계 값보다 낮은 부분을 배경 영상으로, 임계 값보다 높은 부분을 전경 영상으로 구분하여 배경 영상이 전체적인 레벨의 평균값을 낮추는 역할을 하므로 이를 제거한다.

5.3 히스토그램 분석 및 영역 분할

배경을 배제한 전경 영상을 바탕으로 검출하고자 하는 도유 및 부식 지점을 설정하기 위해서 히스토그램을 분석하여 이상이 없다고 판단되는 부분을 제거하는 작업을 거친다. 그림.19는 촬영한 송유관 영상을 바탕으로 기본적인 히스토그램 분포를 대략적인 그래프로 나타낸 것이다. 배경부분이 많은 영역을 차지하여 전체적인 레벨의 평균값을 낮추는 역할을 하기 때문에 Otsu 방법을 통해 임계값T를 구해 제거를 시키며 이를 제외한 나머지 2부분으로 크게 구분할 수 있다.

히스토그램 분석 후 도유 및 부식 부분 만을 검출해 내기 위해서는 Otsu 방법을 이용해 제거한 배경 뿐만 아니라 송유관 홀 부분을 제거해 주어야 한다. 이를 위해 도유 및 부식 부분은 근거리에서 촬영된다는 점과 촬영된 영상의 송유관 홀이 중앙에 위치 한다는 점을 이용해 영상의 중심점을 기준으로 상하좌우 총 70 X 70 픽셀크기의 영상 내에는 검출할 부분이 없다고

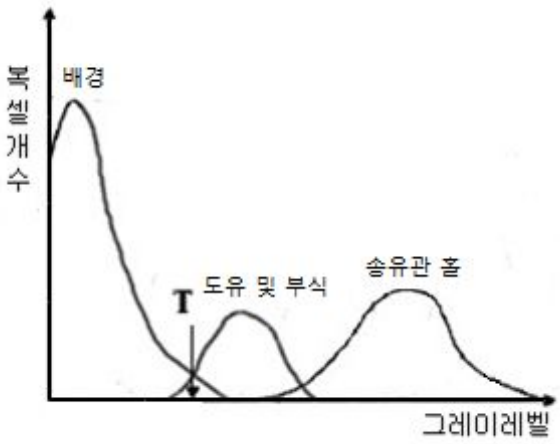


그림.18 촬영된 송유관 내부 영상의 그레이 레벨 분포도

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

판단하여 배경처럼 인식하게 하였다. 그림.19 (a)은 도유 검사를 위한 비젼시스템에서 캡쳐 된 도유 홀을 갖는 영상이며 그림19 (b)은 도유 홀 이외 나머지 홀을 제거한 영상으로 도유 홀만을 확인할 수 있는 2진 영상이다.

(a)송유관 홀 제거 전 영상 (b) 송유관 홀 제거 후영상

그림.19 송유관 홀 제거 전과 제거 후 비교영상

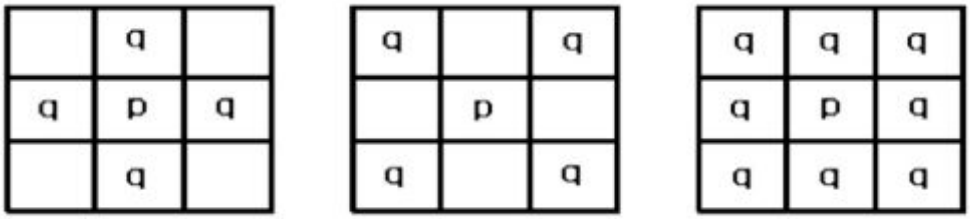
5.4 레이블링에 의한 영역 분석

배경 부분과 송유관 홀 부분을 제거한 영상을 토대로 도유 및 부식 부분을 검출하기 위해서 레이블링을 한다. 영상에 포함된 개체들의 수를 계수하기 위하여 영상의 전체 영역을 스캔하여 발견된 각 연결된 영역에 속하는 픽셀들에 순차적으로 일련번호를 붙여 각각의 개체를 구분하는 처리를 레이블링 (Labeling)이라 한다. 레이블링 처리에서는 개체의 수뿐만 아니라 개체들 각각의 중심점의 좌표, 면적, 개체의 둘레 등과 같은 정보를 얻을 수 있다. 레이블링 처리에서 다른 개체와 독립된 개체의 픽셀을 발견하면 해당 픽셀에 연결되어 있는 픽셀들에 대하여 연결성을 고려하여 정수 값으로 레이블을 붙인다.

두 개의 픽셀이 서로 연결되어 있는지의 여부를 결정하는 데에는 그것이 서로 이웃하는지 혹은 특정한 유사성 범주에 들어 있는지를 파악해야 한다. 픽셀들 사이의 연결성을 파악하는 데에는 4-연결성, 8-연결성 그리고 혼합 연결성의 3가지 유형의 연결성을 고려해 볼 수 있다. 그림.20은 임의의 픽셀 p의 이웃을 나타내며 픽셀 p에 대해 상하좌우 4개의 픽셀을 N4(p), 대각방향의 이웃을 ND(p), N4(p)와 ND(p)를 모두 합쳐 N8(p)라 한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) N4(p)(4-연결성) (b) ND(p)(대각 성분) (c) N8(p)(8-연결성)

그림.20 픽셀 p의 이웃성분들

배경 부분과 송유관 홀 부분을 제거한 이진영상에 4-연결성이나 8-연결성 배열을 적용하여 배경과 개체를 구분하며 개체로 판단된 픽셀을 기준으로 서로 연결된 픽셀들에 대하여 레이블 번호를 부여한다. 이 과정에서는 동일한 연결성을 갖는 픽셀들 중에서 개체의 외곽 부분에 위치하는 픽셀은 다른 레이블 번호가 지정될 수 있다. 즉, 동일한 개체이면서 다른 레이블 번호를 갖게 될 수 있다. 이러한 다른 레이블 번호를 최소화 하기 위해 다음 과정으로서 반대 방향으로 연결성 배열을 다시 적용하여 서로 연결된 픽셀에 대하여 동일한 개체에 붙여진 다른 레이블 번호를 찾아 수정한다.

이런 과정을 거쳐 생성된 각각의 레이블링의 개수로서 그 레이블링의 크기를 판단할 수 있다. 도유 및 부식 부분의 크기는 작게는 300에서 크게는 1,500의 픽셀들로 이루어져 있다. 이 부분만 검출하기 위해서 레이블링 개수가 200개 이하이거나 1,700개 이상인 경우의 레이블링 들은 검출할 부분이 아닌 걸로 판단하여 제거 하였다.

영상인식을 위해서 레이블링으로 검출한 지점에 그 부분의 중심점을 구하기 위해 불변모멘트의 중심점 구하는 방법을 사용하였다. 불변모멘트는 Hu에 의해 제안된 것으로 회전의 변화에 대한 문제가 가장 중요하다고 생각하고 이에 대하여 두가지 방법을 제안 하였다. 첫 번째는 “주축법(principal axis method”이라고 하며 객체를 포함하는 타원의 주축과 보조축을 이차까지의 모멘트를 이용하여 계산하는 방법이다. 두 번째로는 모멘트가 회전변화에 불변성을 갖도록 정규화를 시키는 방법이 있다. 우선 2차원 영상에서 각 픽셀의 그레이 스케일 함수에 대한 2차원 모멘트는 다음과 같다.

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

$$m_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} (x)^p (y)^q f(x,y)\,dx\,d_{\underline{y}} \tag{16}$$

유일성의 정리에 의하면 만약 가 부분적으로 연속이고 xy평면의 유한한 부분 내에서만 0이 아닌 값을 가지면 모든 차수의 모멘트가 존재하고 그 모멘트 는 함수 에 의해서 유일하게 결정되어진다는 것이다. 이와는 반대로 는 유일하게 를 결정한다. (a,b)만큼 이동변화가 있는 의 모멘트는 다음과 같이 정의된다.

$$m'_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} (x+a)^p (y+b)^q f(x,y)\,dx\,d_{\underline{y}} \tag{17}$$

위의 식은 디지털 이미지에서 다음과 같다.

$$m'_{pq} = \sum_{x}\sum_{y} (x+a)^p (y+b)^q f(x,y) \tag{18}$$

위의 식은 의 다음과 같은 모멘트의 형태로 다시 표현이 가능하다.

$$m'_{pq} = \sum_{r=0}^{p}\sum_{s=0}^{q} \binom{p}{r}\binom{q}{s} a^{p-r} b^{q-s} m_{rs} \tag{19}$$

위의 식에서 무게 중심으로의 이동 변화를 수행 함으로써 이동변화에 대한 정규화를 정의할 수 있다. 이러한 모멘트를 무게 중심 모멘트라 한다. 무게 중심을 다음과 같이 모멘트에 의해 정의될 수 있다.

$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}} \tag{20}$$

검출한 레이블링의 중심점은 그림.21에 나타나 있다.

검출된 중심점에서 상하좌우 45 X 45 픽셀크기의 사각형을 생성하여 원본영상에 적용하여 도유 및 부식의 의심 부분을 생성하였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림.21 검출 레이블링의 중심점

5.5 검출 저장 및 출력

비젼 디지털 카메라로 영상을 촬영하여 이동 모듈 저장장치에 2진 데이터로 저장하는 방법과 이동 모듈에 알고리즘을 탑재하여 촬영 영상을 프로그램 처리하는 2가지 방식중 현장 여건에 따라 적용 모델을 적용하여 시행할 수 있다. 배관내부에서 이동모듈을 슬림화 해서 배터리 소모량을 줄일 수 있으므로 배관 내부에서 원시 영상을 기록하고 모듈을 외부로 꺼내어 별도 프로그래밍 기법이 합리적이다. 이런 방법은 인테리전트피그 검사기법에서도 데이터 수집은 이동 모듈에서 하고 수집 데이터 분석은 별도로 실시하는 방법과 같다.

5.6 영상 시뮬레이션

무결점 상태의 송유관 내부는 거의 변화가 없는 알고리즘 영상을 분석할 수 있었다. 육안으로 연속해서 감지할 수 없는 도유 시설을 확인할 수 있고 데이터로 저장하여 배관의 건전성검사에 확인할 수 있다. 비젼시스템을 적용한 배관 건전성 검사는 인테리전트 피그 검사 방법에 비해 송유관 검사기법에 장점을 갖고 있다

다음은 S.H Oh과 J.A.Park이 제안한 영역분할 방식을 이용한 송유관 건전성 검사를 위한 시뮬레이션 결과이다. 시뮬레이션은 송유관 도유 상태가 비전 시스템에 의해 캡처 된 경우를 가정한 경우이며 비전 시스템 활용을 위한

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

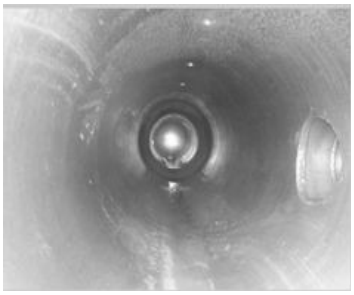
시험이다. 일반적으로 캡처 된 도유 영상은 상단에 홀이 발생하게 되지만 비전 이동체의 회전 및 하단으로 부터의 도굴 상태를 고려하여 시험 영상을 가정하였다.

그림.22, 그림.23, 그림.24은 송유관 건전성 검사에서 비전 시스템에 검출된 도유에 의한 홀이 발생한 경우를 시뮬레이션 한 결과이며, 그림.25, 그림.26, 그림.27는 배관에 부식이 발생한 경우를 시뮬레이션 한 결과이다.

(a) 중심점 설정 영상

(b) 검출된 원본영상

그림.22 시뮬레이션 영상 1



(a) 그레이스케일 이미지

(b) 이진화 영상

(c) 중심점 설정 영상

(d) 검출된 원본영상

그림.23 시뮬레이션 영상 2

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(a) 그레이스케일 이미지

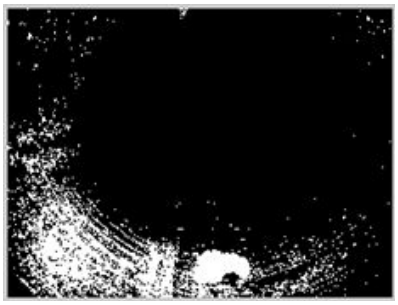
(b) 이진화 영상

(c) 중심점 설정 영상

(d) 검출된 원본영상

그림.24 시뮬레이션 영상 3

(a) 그레이스케일 이미지



(b) 이진화 영상

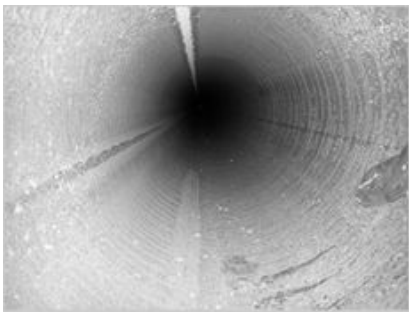
(c) 중심점 설정영상

(d) 검출된 원본영상

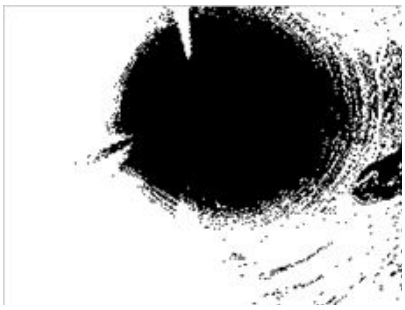
그림.25 시뮬레이션 영상 4

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) 그레이스케일 이미지

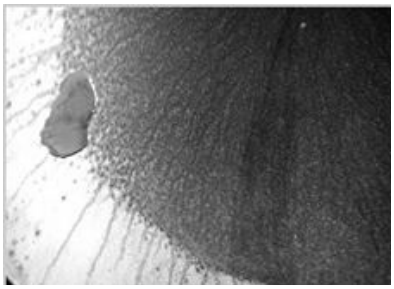


(b) 이진화 영상

(c) 중심점 설정 영상

(d) 검출된 원본영상

그림.26 시뮬레이션 영상 5



(a) 그레이스케일 이미지

(b) 이진화 영상

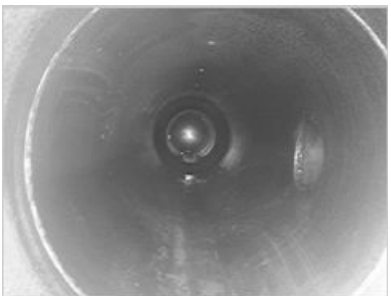
(c) 중심점 설정 영상

(d) 검출된 원본영상

그림.27 시뮬레이션 영상 6

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a)원본 캡쳐 영상

1. 오프닝,클로징 단순화 영상

그림.28 오프닝, 클로징 처리 영상

시뮬레이션 결과를 통해 도유 및 부식 부분의 검출이 정확하게 이루어지는 것을 볼 수 있다. 도유 부분과 배관부식부분은 영상 복잡도 평가를 통해 구분할 수 있다. 영상 복잡도란 블록 영상내의 밝기 변화의 정도를 나타내는 척도이다. 큰 영상 복잡도를 갖는 것은 부분 블록 영상 내 큰 밝기 변화를 갖는 것을 의미한다. 영상 복잡도를 구하는 방법에는 여러 가지가 있는데 영상 복잡도를 이용한 고속 움직임 추정 알고리즘에서는 그 방법에 따라서 영상의 화질과 계산량이 달라지기 때문에 이들 알고리즘에서 영상 복잡도의 생성 방법을 선택하는 것이 중요하다. 또한 도유 시스템에서 실제 도유 홀이 복잡도가 낮으므로 비젼시스템에서 캡쳐된 영상은 오프닝(opening)과 클로징(closing)에 의해 단순화 될 수 있다. 그림.28은 오프닝과 클로징에 의해 단순화 된 영상이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

6. 결론

본 논문에서는 송유관의 사고 예방 점검으로서 송유관 건전성 검사 기술에 대한 분석적 고찰을 하였다. 또한 경제성과 검사 속도 면에서 그 특성이 우수한 비젼시스템 기반 송유관 건전성 검사 시스템에 대한 알고리즘을 제안 하였고 오프라인 상에서 캡쳐 된 도유 영상에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 확인 하였다.

첫째, 송유관 건전성 검사 기술에 대한 분석적 고찰은 다음과 같다.

국,내외 상용화된 비파괴 검사 기법은 인테리전트 피그 검사 방법으로서 배관 이상유무를 정밀하게 측정하고 신뢰성 있는 장비이다. 국내에서는 단거리 100Km이하 송유관, 장거리 가스관에서 접목하여 사용되고 있지만 장거리 송유관에서는 경제성 부분에서 여러 제약으로 적용하지 못하고 있다. 검사에 따른 많은 비용, 시간 소요, 유류 수급 불균형 발생 등 여러 문제가 복합적으로 얽매여 송유관 관리자에게는 검사로 인한 파생 문제만 더 발생하여 실효성이 없으며 가장 큰 저해요인은 천문학적인 검사 비용이다.

둘째, 비젼시스템 기반 송유관 건전성 검사 알고리즘 및 분석 결과는 다음과 같다.

비젼시스템 응용한 검사 기법은 미세한 결함 확인 정밀성은 떨어지지만 송유관 관리의 최고 관심사인 도유 시설을 정확히 검사하여 확인할 수 있다. 검사 비용, 시간이 단축되고 일반 송유시에 탑재하여 이동중인 매질 유류를 오염시키지 않고 석유 공급에도 지장이 없어 국내 장거리 송유관 검사기법으로 적용한다면 상당한 고 효율적 검사 방법이 될 것이다. 검사 비용 면에서 인테리전트 피그 검사보다 많게는 수 백배 적게 비용을 들일 수 있다. 예를 들어 50킬로미터 송유관 구간에 인테리전트피그 검사법은 약 40억원 검사 비용이 소모되나 비젼시스템 검사는 4천만원 비용으로도 검사가 가능하다. 물론 객관적으로 검사 정밀도를 생각하면 인테리전트 피그 방법을 수행하는 것이 옳다고 볼 수 있으나 장거리 송유관 운영 제반 여건을 고려하면 비젼시스템 검사 방법이야 말로 국내 현실에 맞는 송유관 검사 방법으로 타당성과 경제성이 높음을 검증하였다. 결론적으로는, 현실적으로 송유관 관리의 가장 리스크가 큰 요인인 도유 시설을 발견하여 각 종 사고를 예방하는 것이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

참고문헌

[1] 신현철, 강행봉 “지능형 차량안전을 위한 영상 및 비젼시스템” 홍릉과학사, 2012

[2] NTSB(National Transportation Safety Board_미국연방교통안전위원회) Accident Report

[3] 조재수 외 3, “멀티미디어 신호처리”성진미디어, 2011년

[4] 장동혁 "디지털 영상처리의 구현", PC 어드밴스 1999년

[5] 하영호외3, “디지털 영상처리”, 그린

[6] 이성민 “소재의 부식 및 방식” 한국가스공사, 2010년

[7] 윤춘한, “거리영상처리를 위한 컴퓨터 비젼시스템 구성”, 울산대, 1993

[8] 심영석, “ 3차원 정보를 얻기 위한 스테레오 비젼시스템에 관한 연구”, 한양대, 1989

[9] 차용문, “패턴인식을 이용한 로보트비젼시스템에 관한 연구”, 홍익대, 1992

[10] 최상복 “산업안전대사전 “ 골드, 2004

[11] 조인성외 2 “사용자 중심의 유연한 실시간 머신비전 검사시스템 개발” 대전전자공학회 2008.5

[12] 조영창외 2 “컴퓨터비젼을 이용한 백라이트 표면결함 검사시스템 개발” 한국산업정보학회 2007.9

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

감사의 글

사회 생활을 통해서 얻는 경험과 지식도 중요하지만 어느 순간에 머리 속에 새로운 지식을 배우고져 하는 열망이 마음 속 깊이 용 솟음 치고 기회를 주신 교수님 이하 교직원 모든 분들께 감사 드립니다. 학창 시절의 낭만과 설레임은 아니더라도 새로운 환경에서 교수님과 선배, 동기생들 새로운 만남은평생을 잊지 못할 소중한 추억으로 간직할 것이다. 일상은 곡성에서 주말은 광주로 다니던 것이 어제 일 같이 선한데, 학문을 익히고 캠퍼스 생활한 지 벌써 2년여가 흘러가 버렸다. 직장과 학교생활의 연속은 버겁기도 하였으나, 후회 없는 생활을 하고져 노력하였다. 학업과 사회생활의 부담은 항상 시간에 쫓겼었던 것 같다. 그래서 좀더 많은 시간을 학교 생활에 매진 하지 못한 것이 아쉬움으로 남는다. 좋은 기억들만 남는 캠퍼스 생활이었으며 인생의 살아갈 많은 지식, 열정에 대한 마음의 동력을 캠퍼스에서 채웠고, 그러한 지식을 바탕으로 모든 분야에서 적극적으로 활동할 수 있을 것이다.

Collection @ chosun