

지중케이블 보호를 위한 광통신 분산형 음향계측(DAS) 시스템 적용에 대한 연구 (DAS 시스템 실증시험기반)

The Verification Test Research of DAS System for Cable Monitoring and Detecting

민병찬[†], 김준영*, 송석용**

Byong-Chan Min[†], Jun-Young Kim*, Suk-Yong Song**

Abstract The method of DC Traction Power Supply through Electrical Power System purposes the safety of Power Supply network for the massive electricity transfer, the connecting of between the heterogeneous, and the supply of long distance electricity. Electric Power Supply through HVDC system which is located underground is content to improving the urban environment and resident convenience. It is necessary for detecting for the buried cable events on the ground when it happens damaged, disconnected, and security problem. In this research, it can be monitored using Fiber Optic Cables which are buried underground. Also, DAS(Distributed Acoustic Sensing) can detect the time and the location of event points, and it will be applied to Instrument and Control System.

Keywords : Cable Protection, DAS, Distributed Acoustic Sensing, Optical fiber cable

초 록 최근 직류급전 방식은 직류 전기철도 급전시스템 외에, 국가의 전력 계통 네트워크를 연결하여 대용량 전력전송, 이중 전력계통의 연계, 원거리 전력공급을 위한 HVDC(High Voltage Direct Current) 시스템으로 적용되어 전력계통의 안정화 목적을 달성하고 있다. 교류 및 직류 전송방식을 이용하여 전력을 공급할 경우 도심구간은 민원해결을 위하여 지중 매설방식을 채택하여 건설하고 있다. 케이블의 지중 매설인 경우 주로 도로 하부에 매설되는 케이블은 건설용 산업 기계 등의 작업에 노출되어 있어 지중 케이블의 손상 및 파괴 등으로 인한 보안상 문제에 대하여 사전 감시시스템의 적용이 필요하다. 케이블의 보호는 지중에 설치되는 광통신 케이블을 이용하여 지중선로 전체를 감시할 수 있도록 하며, 광통신 케이블의 분산형 계측(Distributed Sensing)을 이용하여 외부 충격에 대하여 검출하는 계측 제어 시스템을 적용하고자 한다.

주요어 : 케이블보호, DAS(Distributed Acoustic Sensing), 분산형 음향계측, 광케이블

1. 서 론

최근 전력수송을 위한 전력계통의 구축은 전력수요에 대한 전력공급뿐만이 아니라 양질의 전력을 안정적으로 공급 하는 것과, 급속도로 변화하는 산업의 변화에 따라 전력계통 전압 체계가 154kV에서 765kV 및 HVDC 500kV 이상의 전압까지 확장되어 전력공급을 하고 있다.

† 민병찬 : GS건설 전기철도기술사 500kV HVDC 지중송전선로건설공사

* 김준영 : GS건설 500kV HVDC 지중송전선로건설공사

** 송석용 : AP Technologies 대표이사

또한 해상에서 생산된 전력의 HVDC방식을 이용한 송전, 국가간 대용량 장거리 송전 등 활용분야가 넓은 HVDC사업도 활발히 진행되고 있다. 이러한 전력공급은 가공송전방식을 채택하고 있으나, 수도권에서는 도시의 미관 및 민원 등을 고려하여 지중 송전선로 건설방식으로 도로 하부의 공간에 매설하는 방식을 적용하여 전력케이블을 설치한다. 지하에 매설된 케이블은 전력케이블을 보호하기 위하여 땅속에 파형관등의 관을 설치하거나, 구조물을 설치하여 케이블을 보호하고 있다. 또한 전력케이블과 통신케이블을 병행하여 설치하는 것이 일반적인 시스템 구축방법이다. 이 논문에서는 광통신 케이블을 센서로 이용하여 케이블 설치 전체 길이에서 외부에서 발생 가능한 기계적 손상을 사전 감시하여 케이블 고장을 진단하는 방식을 적용하고자 한다.

2. 본 론

2.1 케이블 고장의 개요

케이블 시스템은 전력공급을 위하여 전력을 생산하는 발전소에서 가공 또는 지중 케이블을 통하여 산업분야의 공장, 일반생활을 위한 빌딩, 가정까지 매우 복잡하게 연결되어 있다. 케이블 시스템은 전력공급을 위하여 전기적, 화학적, 기계적 특성에 대한 보호를 필요로 한다. 케이블 결함의 주요 원인과 고장 진단기술은 많은 투자가 이루어져 있으며, 다양한 계측방식 및 시험장비 등이 적용되고 있다.

일반적인 케이블 고장 진단방법은 절연저항측정, 음향검출, 부분방전측정 등을 적용하여 케이블 고장을 진단하고 있다. 그러나 지중 케이블 고장을 유형별로 분류하면 수 트리(Water Tree), 열화, 외상손상, 제조사의 제조결함 등으로 나타나고 있으며, 외상손상은 지중에 매설된 케이블에 대하여 굴착 등의 건설공사에 의하여 고장이 발생되고 있다.

2.2 케이블 시스템 설치 현황

지중 송전용 케이블은 지중 직매식, 지중 관로식, 전력구식으로 케이블을 설치하며 광통신 케이블을 병행 설치한다. 통신케이블의 설치 목적은 전력 공급 및 변전소간 통신을 위하여 Fig.1과 같이 적용하고 있다.

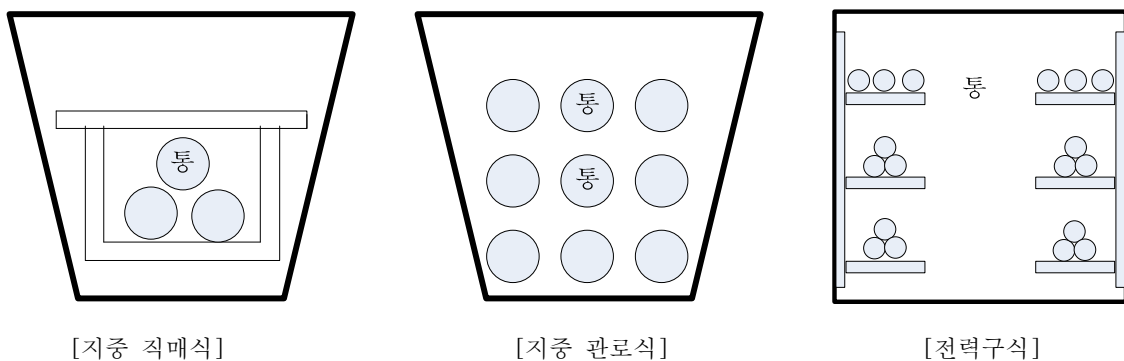


Fig. 1 지중 케이블(전력 및 광통신) 설치 방법

광통신 케이블은 케이블의 고장을 사전 감시하기 위하여 분산음향 감시 시스템 (DAS: Distributed Acoustic Sensing)의 센서로 사용하므로 지표면과 가장 가까운 위치에 광통신 케이블을 설치한다. 또한 광통신 케이블은 지중구간에 설치하기 위하여 공압포설용 광케이블(ABC: Air Blown Cable)을 사용하며 광섬유 심선은 석영계 유리를 주재료로 하는 장파장용 단일모드(SMF: Single Mode Fiber)를 사용하며 상세사양은 Table 1과 같다.

Table 1 광통신 케이블 상세 사양

형식	포설 방법	광코어 수	규격	중량	인장하중
ABC-S-24	공기압	24	60.5 이하	30kg/km	30kgf

2.3 광통신 케이블을 이용한 분산 음향 감지시스템 DAS의 적용

2.3.1 분산 음향 감지시스템 DAS 원리

광케이블을 이용한 방식은 일반 센서 방식에 비교하여 전자기적 노이즈에 강하며, 센서를 이용한 부분 감지시스템에 비하여 케이블 전체 길이를 감시할 수 있으므로 새로운 시스템으로 적용 가능하다. 광 케이블은 다양한 물리적 계측 감지가 가능한데 측정 위치에 따라 개별적으로 측정하는 포인트형 FBG센서(FBG: Fiber Bragg Grating)와 광 섬유 구간에서 광섬유산란의 측정 응용하는 분산형 센서로 크게 구분된다.

포인트형 FBG센서는 변형율과 온도에 의해 회전 격자와 굴절률의 변화에 Bragg 파장이 변동하므로 센서로서 이용할 수 있다. 반면 분산형 센서는 광섬유의 다양한 산란(Scattering)이 발생되고 산란특성을 이용하기 위하여 역방향 산란인 후방산란(backscattering)으로 Raman, Brillouin, Rayleigh 3종류의 산란 광을 사용한다.

Raman 산란은 빛의 후방 산란광 중에서 입사광의 주파수와 차이를 두고 안티스토크(Anti-stoke)광과 스토크(stoke)광이 존재하게 된다. 이 산란광은 Rayleigh 또는 Brillouin 산란광 보다 작은 세기를 갖는데, 광섬유에 가해지는 온도 변화 따라서 안티스토크광과 스토크광이 Fig.2(a)와 같이 존재하며 이것은 온도 변화에 유용하기 때문에 DTS(Distributed Temperature Sensing)에 사용된다.

Brillouin 산란의 안티스토크 및 스토크 신호는 중심 파장인 Rayleigh 파장과 아주 근접되어 분리 하기 어려운 단점을 갖고 있으나, 케이블의 변형율 또는 온도변화와 비례하여 변화하므로 센서로 사용이 가능하다.

Rayleigh 산란은 케이블의 밀도 변화와 연관되어 파장의 변위가 없으며 대표적인 산란 광이며, 입사광과 같은 파장대를 갖는 Rayleigh 산란과 중 가장 큰 세기를 갖고 있으며 기존에는 위치를 파악하는데 이용되었다.

본 시스템 DAS에서 사용된 케이블은 Rayleigh 산란을 이용한 광통신 케이블을 센서로 사용한다. 또한 센서 케이블에서 일어나는 음향 간섭은 미세한 늘림이나 늘림으로 나타난다. Rayleigh 산란을 이용하는 DAS 시스템은 간섭 레이저 펄스를 광케이블에 보내며, 광섬유 내의

반사광을 검출하여 반사광에 포함되어 있는 각 간섭 지점에 대한 정보를 얻게 되는데 레이저 광의 되돌아오는 시간을 거리로 계산하여 산란위치를 정확히 찾아 낼 수 있다.

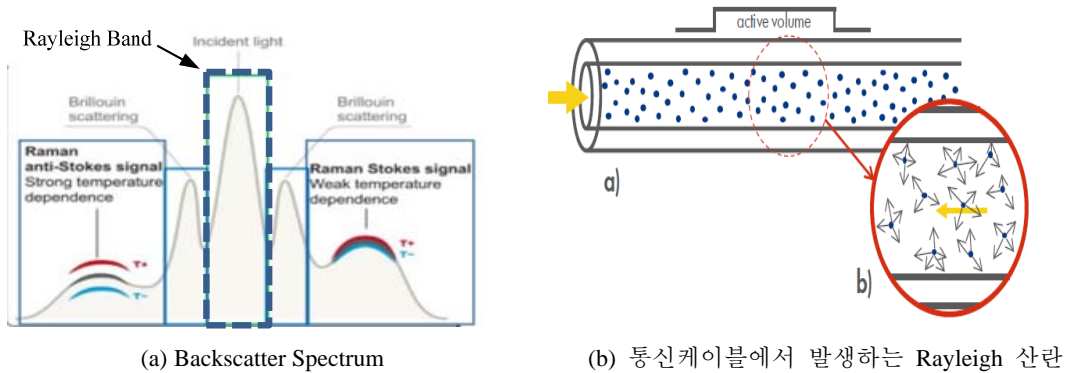


Fig. 2 광통신 backscatter 특성

Rayleigh 산란은 케이블의 밀도 변화와 연관되어 파장의 변위가 없다. 입사광과 같은 주파수를 갖는 Rayleigh 산란파는 위치를 파악하는데 이용된다. 본 시스템에 사용된 DAS는 Rayleigh 산란을 이용하여 입사 레이저의 선폭을 아주 좁게 만들어 외부진동을 감지할 수 있는 구조로 설계되며 외부 음파의 진동에도 가능하도록 설계된다. DAS의 특징은 광센서 케이블의 외부 손상 및 파괴, 침입등에 대하여 위치를 감지할 수 있는 특징을 가지고 있으며 일반적인 가청주파수범위(20Hz~20kHz)의 주파수대역을 가지고 있어 가청주파수 범위 음향을 감지하는데 이용된다. Fig.2(b)와 같이 부분적 스트레인(strain)이 산란되는 전체적인 진폭 및 위상의 변화를 감지하여 외부 손상 및 파괴, 침입 등의 위치를 알 수 있다. Fig.2(b)의 a)케이블 전체에 나타나는 지역적 불규칙, b) 입사광의 레일리 산란(Rayleigh Backscatter)을 의미한다[13].

2.3.2 분산 음향 감시 시스템 DAS의 사양

지중에 설치되는 케이블의 외부 기계적 특성의 보호를 감시하기 위하여 분산음향 감시시스템은 주 장치와 관련 통신 장치로 구성한다. 주장치 DAS System은 N5000A (AP Sensing)을 적용하였으며, 센서 케이블은 9/125 μ m Single Mode, Air browser Duct Type을 적용하였다. 측정가능 거리는 최대 40km, 사용 파장은 1550nm, 최소 감지구간은 10m이내에서 감지한다.

2.4 분포 음향 감시시스템의 현장적용 시험

2.4.1 건설공사의 분석

지하에 매설되어 있는 케이블이 외부적 충격을 받을 수 있는 건설공사 장비는 브레이커(Breaker), 절단기, 굴삭기, 천공기, 향타기등이 있으며 일반적으로 도로 표면은 컷팅기를 이용하여 절단(Cutting), 아스팔트 콘크리트 도로 표면의 깨기(Breaking), 깨진 폐기물의 모으기(Gathering), 도로의 굴착 작업등으로 분류된다. 도로의 건설공사에 사용되는 건설기계류는 일반적으로 82-90dB(A) 정도이며, 해체공사용 브레이커는 평균 98dB(A)의 높은 소음이 발생하고 있다. 전체적으로 건설기계류 중에서 향타기, 브레이커 및 착암기가 높은 소음을

배출하고 있다. 이러한 건설 기계는 고유의 소음을 가지고 있는데 이를 음향파워라고 명명하며 소음기준[단위: dB(A)]은 Fig 3와 같다.

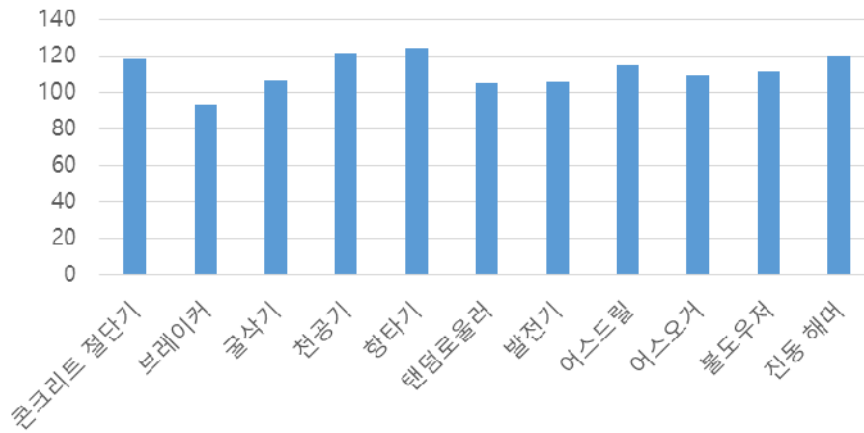


Fig. 3 건설공사 기계 종류별 소음기준

2.4.2 분포음향 감시 시스템 DAS의 현장시험 방법 및 조건

지중 케이블의 외력에 의한 보호를 위하여 DAS 시스템 현장시험을 위하여 지중 케이블의 매설 깊이는 도로 표면에서 1.0~2.5m 및 3.0~3.5m 설치조건에서 테스트 하였으며, 콘크리트 아스팔트와 아스콘 콘크리트 도로에 설치되어 있는 광케이블이 센서로 동작하는지에 대하여 Fig. 4와 같이 시험하였다.

각 개소 별 건설공사의 적용은 절단, 깨기, 도로표면의 폐기물 모으기 등의 순서로 진행하며 각 작업에 대한 위치 및 시간의 검출을 테스트 하였다.

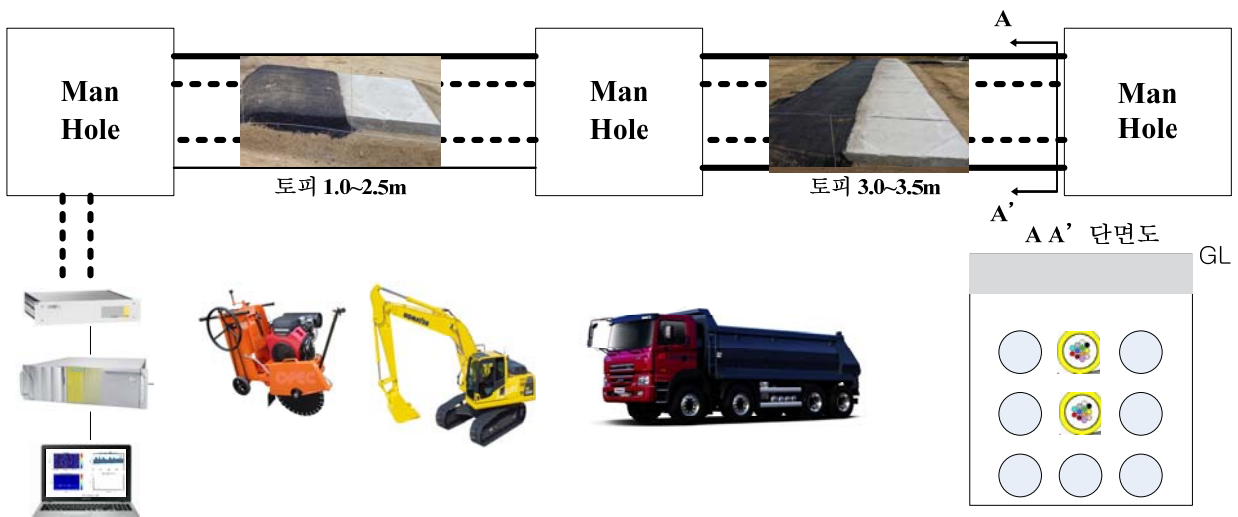


Fig. 4 DAS 시스템 현장시험 구성도

2.4.3 DAS 시스템의 현장시험 결과

감지위치에 대한 측정의 경우 두 조건의 위치에 대하여 각 시험 위치에서 좌우 10m 이내의 위치를 감지 하였으며, 감지시간은 도로 표면에서 지중 매설 깊이 1.0~2.5m와 3.0~3.5m의 조건으로 테스트한 결과 매설 깊이와 관계없이 건설공사 장비의 동작 후 1~2분 이내 Fig. 5와 같이 실시간 검출되었다.

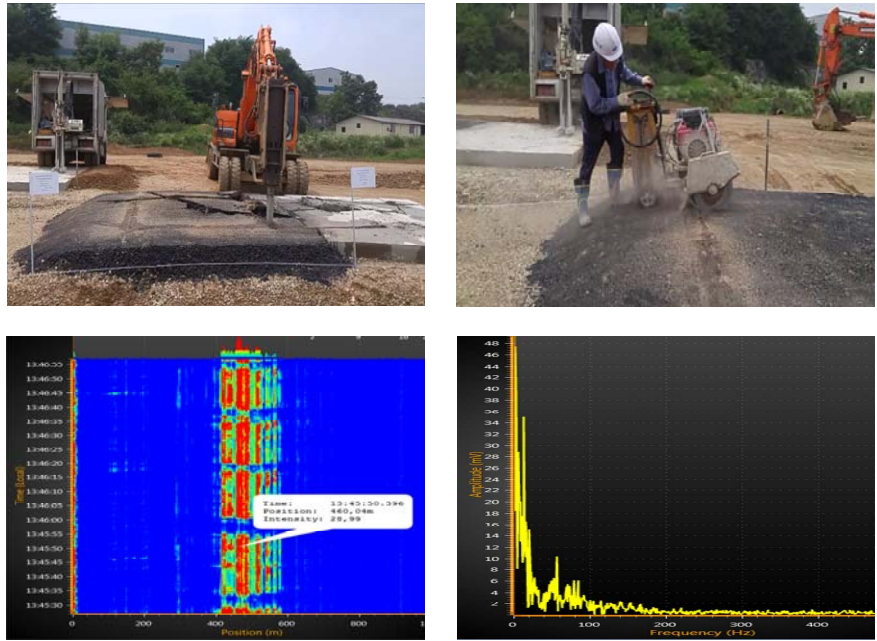


Fig. 5 DAS 시스템 현장시험 결과

3. 결론

지중 케이블은 전력을 공급하는 중요 시설물로 도로상에서 발생하는 건설공사의 외부 기계적 요인 등으로 인하여 발생하는 많은 위험 요소로부터 보호하기 위하여, 이러한 사고 발생의 이상징후를 사전에 감지하여 유지보수 운영자에게 사전 사고 예방을 위한 시스템 구축이 필요하다. 건설공사에서 사용되는 콘크리트 절단기, 브레이커, 굴삭기를 이용하여 외부에서 기계적 충격 이벤트를 발생시켰을 때, 1~2분 내에 바로 감지가 가능하며 발생 위치에 대하여 10m 이내 위치를 검출함을 확인 하였다.

분산형 음향계측 DAS 시스템은 온도 측정 및 음향 측정 기술을 응용하여 케이블의 외부 충격에 의한 손상등 사고의 사전감시 이외에 고, 저압 가스관의 리키지(Leakage), 트래킹(Tracking) 검출 및 펜스등 경계선의 보안(침입, 절단등)에 적용가능하며 또한 철도시스템의 궤도 크랙, 차량 탈선, 철도 선로내 보안(침입, 낙석, 절단등), 지진감시 등 다양하게 적용 가능할 것으로 판단된다.

후 기

케이블 보호를 위한 DAS 시스템의 현장시험은 국내 신설되는 500kV HVDC 지중송전선로의 지중 케이블에 대하여 외력에 의한 기계적 고장 검출을 위한 실증시험 결과를 인용하였다.

참고문헌

- [1] 용태순, 우주성, 정의철 (2009) 광섬유 분산형 온도 측정 시스템 소개 (Fiber Optic Distributed Temperature Sensing System), 제26권1호, pp. 163-172.
- [2] Chan-Ki Kim, Vijay K. Sood, Gil-SOO Jang, Seong-Joo Lim, Seok-Jin Lee (2009) HVDC TRANSMISSION Power Conversion Applications in Power Systems, Wiley-IEEE Press pp.1~13.
- [3] 유재근, 전정채, 김택희 (2014) 케이블 고장 종류 및 위치 추정기술, 전력전자학술대회논문집, pp. 1-2.
- [4] 조종은, 이강세, 진승환 (2015) 배전용 지중케이블 고장분석 및 진단사례 고찰, 대한전기학회 학술대회 논문집, pp. 101-102.
- [5] 권현호, 김태혁, 장항석, 김중열, 김유성 (2008) 광섬유센서 케이블을 이용한 분포개념의 온도 및 변형률 측정기법의 활용, 광해방지기술 기술동향, Vol2(No1), pp. 28-40.
- [6] 송영덕, 박영환, 이연수, 김정태 (2011) 건설장비 및 기계류의 소음·진동도 조사 연구 사업 결과보고서, 중앙환경분쟁조정위원회 pp. 224,225,226,227.
- [7] 조창근, 김하근(1997), 건설공사장 소음, 진동 국내현황 및 문제점, 한국소음진동공학회지, 제7권 제4호
- [8] 채광석, 이상필, 이창호, 한성재(2011), 분포형 광섬유센서의 응용 및 개발 동향, 터널과 지하공간, 한국암반 공학회지, 제 21권 제 1호, 2011년 2월, pp. 1-10.
- [9] A.Daniel Hill, Ding Zhu, Yuefeng Sun(2013) History and analysis of distributed acoustic sensing(DAS) for oilfield applications, Graduate Studies of Texas A&M University, pp. 3,4,12,15
- [10] Meng Li, Hua Wang, Guo Tao (2015) Current and Future Applications of Distributed Acoustic Sensing as a New Reservoir Geophysics Tool, The Open Petroleum Engineering Journal, pp.274~276
- [11] Sukyong Song, Jooyong Kim, Advanced Monitoring Technology for District Heating Pipeline Using Fiber Optic Cable(2016), The 15th International Symposium on District Heating and Cooling
- [12] Chris Conway, Michael Mondanos (2015) An introduction to fibre optic Intelligent Distributed Acoustic Sensing(IDAS) technology for power industry applications, 9th International Conference on Insulated Power Cables pp.2~4
- [13] Distributed Acoustic Sensing(DAS) User Guide, AP Sensing
- [14] Paul Gerald Edmond Lumens(2014), Fiber-Optic Sensing for application in oil and gas wells, Ph.D. Thesis in Eindhoven University of Technology