



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0091871
 (43) 공개일자 2011년08월16일

(51) Int. Cl.
G01N 3/42 (2006.01) *G01N 33/44* (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2011-7013487
 (22) 출원일자(국제출원일자) 2009년11월16일
 심사청구일자 없음
 (85) 번역문제출일자 2011년06월13일
 (86) 국제출원번호 PCT/CA2009/001654
 (87) 국제공개번호 WO 2010/054486
 국제공개일자 2010년05월20일
 (30) 우선권주장
 61/114,889 2008년11월14일 미국(US)

(71) 출원인
아토믹 에너지 오브 캐나다 리미티드
 캐나다 케이0제이 1제이0 온타리오 초크 리버 스테이션 78 초크 리버 레보러토리
 (72) 발명자
규라우트 파브리스
 캐나다 케이0제이 1피0 온타리오주 딥 리버 피.오. 박스 575, 파인 포인트 로드 27
시세 라드지
 캐나다 케이0제이 1피0 온타리오주 딥 리버 코크 로프트 크레센트 28
부어 리차드
 캐나다 케이0제이 1피0 온타리오주 딥 리버 알콘 킨 스트리트 107
 (74) 대리인
양영준, 안국찬

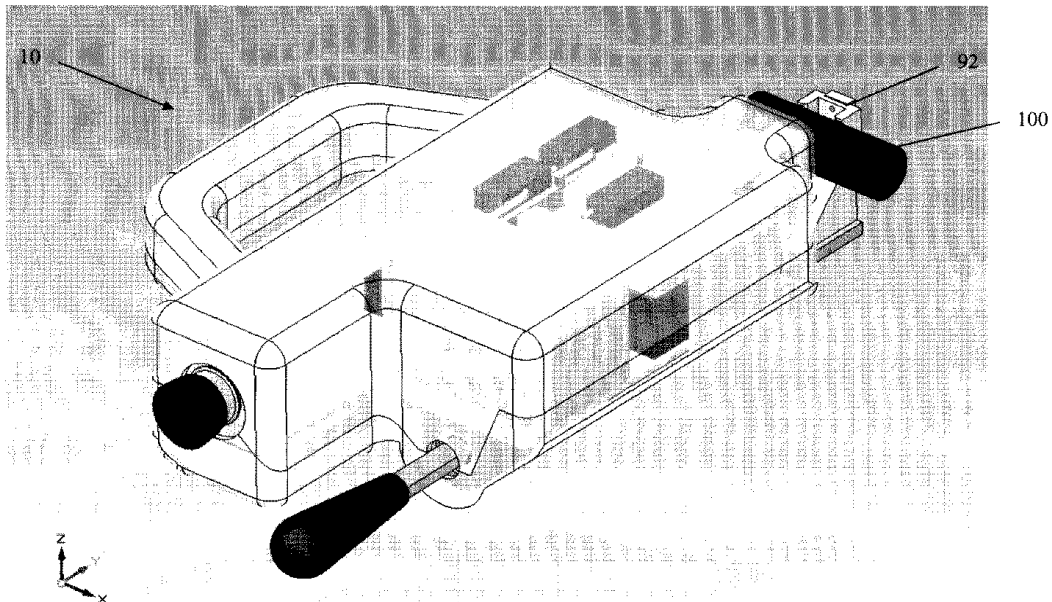
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 휴대용 폴리머 테스터

(57) 요약

본 발명은 폴리머 재료가 초기 변형의 설정된 부분을 회복하는데 걸리는 시간을 측정하고 이 기간을 재료 열화 지표로서 사용하는 것을 포함하는 폴리머 압입 방법 및 테스터를 제공한다. 회복 시간은 압입 국면 중에 측정되는 특정 압축 강성(또는 압입율)보다 케이블 열화에 대해 더 민감한 것으로 밝혀졌으며, 이 고감도는 열적으로 노화된 샘플과 방사선 조사된 폴리머 샘플 양자에 대해서 달성된다.

대표도



특허청구의 범위

청구항 1

폴리머 또는 탄성중합 재료의 물리적 특징을 측정하기 위한 테스트 장치이며, 상기 장치는

- (a) 압입기 탐침;
- (b) 상기 탐침의 운동을 제어하기 위한 구동 시스템으로서, 탐침과 작동적으로 연관되는 동력화된 선형 슬라이드 및 스테이지를 포함하는 구동 시스템; 및
- (c) 상기 폴리머 또는 탄성중합 재료와의 접촉 중에 상기 탐침의 선단에서의 힘을 측정하기 위한 수단과 탐침의 변위를 측정하기 위한 수단을 구비하는 힘/변위 측정 시스템을 포함하는 테스트 장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 테스트 중에 재료의 전부 또는 일부를 부동화시키기 위한 샘플 유지 조립체를 더 포함하는 테스트 장치.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 샘플 유지 조립체는 제1 가동 클램핑 조오 및 상기 제1 조오와 대향하여 위치하는 제2 정지 클램핑 조오를 구비하는 테스트 장치.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 구동 시스템은 나노스테이지 및 세라믹 서보 모터를 포함하는 테스트 장치.

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 힘 측정 수단은 로드 셀을 포함하는 테스트 장치.

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 변위 측정 수단은 광학 선형 인코더를 포함하는 테스트 장치.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 온도 센서를 더 포함하는 테스트 장치.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 구동 시스템은 사인파형 여기를 발생시키도록 상기 탐침의 변위를 제어하는 테스트 장치.

청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 구동 시스템은,

- (a) 적어도 5mm의 스테이지 이동;
- (b) 약 0.010 μ m 내지 약 0.1 μ m의 스텝 해상도;
- (c) 약 0.010 μ m 내지 약 0.1 μ m의 측정 해상도;
- (d) 약 30N 내지 약 34N의 모터 동적 실속력;
- (e) 약 26N 내지 약 30N의 모터 정적 유지력;
- (f) -10 내지 50 $^{\circ}$ C의 모터 작동 온도 범위를 제공하는 테스트 장치.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 구동 시스템은,

- (a) 대략 40mm의 스테이지 이동;
- (b) 약 10nm까지의 스텝 해상도;
- (c) 측정 해상도: 약 10nm;
- (d) 모터 동적 실속력: 약 32N;
- (e) 모터 정적 유지력: 약 28N; 및
- (f) 모터 작동 온도 범위: 약 0 내지 약 50°C를 제공하는 테스트 장치.

청구항 11

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서, PPT용 작동 파라미터는:

- (a) 약 0 내지 약 20N의 힘 측정 범위;
- (b) 약 5mm/s의 최대 위치설정 속도;
- (c) 약 0.1 μ m의 최소 위치설정 해상도;
- (d) 약 1 내지 약 100 μ m의 진동 진폭;
- (e) 약 0.1 내지 약 100Hz의 진동 주파수; 및
- (f) 약 15°C 내지 약 50°C의 작동 온도인 테스트 장치.

청구항 12

폴리머 재료 노화를 테스트하기 위한 방법이며,

- (a) 탐침을 사용하여 폴리머 재료의 일부를 변형시키는 단계;
- (b) 변형 중의 상기 탐침의 선단에서 탐침의 측정된 변위와 측정된 힘으로부터 폴리머 재료의 특정 압축 강성을 계산하는 단계;
- (c) 힘 완화를 허용하기 위해 상기 탐침을 소정 압입 깊이로 유지하는 단계; 및
- (d) 상기 탐침을 소정의 중간 위치로 후퇴시키고, 변형 회복 시간을 측정하는 단계를 포함하고, 특정 압축 강성과 변형 회복 시간은 폴리머 노화 정도를 나타내는 노화 테스트 방법.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 단계(a) 이전에 폴리머 재료를 부동화시키는 단계를 더 포함하는 노화 테스트 방법.

청구항 14

제12항 또는 제13항에 있어서, 상기 폴리머 재료를 상기 탐침 선단과 접촉시키는 단계를 더 포함하는 노화 테스트 방법.

청구항 15

재료의 점탄성 특성(압입 탐침의 사인파형 변위와 탐침 선단 상의 사인파형 반력 사이의 위상각의 측정에 기초 되는 절대 동적 강성, 동적 강성의 실수 및 허수 성분, 및 점탄성 파라미터)을 나타내는 파라미터를 획득하기 위해 진동 모드의 구동 스테이지를 사용하는 제1항에 따른 도구의 사용.

명세서

기술분야

- [0001] (관련 출원에 대한 상호-참조)
- [0002] 본 출원은, 2008년 11월 14일자로 출원되고 그 전체가 본 명세서에 인용되는 미국 가특허 출원 제61/114,889호에 대해 이익 및 우선권을 주장한다.
- [0003] 본 발명은 폴리머 재료 테스트 분야에 관한 것이며, 보다 구체적으로는 폴리머-기반 부품의 현장 모니터링을 위한 휴대용 폴리머 테스터 분야에 관한 것이다.

배경 기술

- [0004] 폴리머의 노화는 이러한 폴리머의 예기치않은 고장이 사람의 안전, 플랜트 작동, 및 유지비와 정지시간에 상당한 악영향을 미칠 수 있다는 점에서 특히 공업용 발전소 및 발전소 오퍼레이터에게 매우 중요하다. 폴리머는 공업용 발전소 및 발전소의 안전하고 확실한 작동에 관한 주요 부품에 사용된다. 구체적으로, 폴리머는 비제한적인 예로서 케이블, 펌프, 밸브 및 시일에서 발견된다.
- [0005] 파워, 제어, 계측 및 데이터 전송과 같은 전기 및 광 케이블은 그 고도의 신뢰성 및 구조 간단성으로 인해 예방 보수 또는 상태 감시 측면에서 가치가 거의 없는 긴 수명의 부품으로 간주되어 왔다. 그러나 다른 모든 부품들 처럼, 이러한 케이블은 작동적 및 환경적 스트레스 요인의 결과로 노화된다. 케이블 노화로 인한 열화의 통상적인 형태는 크랙, 절연 강도 손실 및 누전 증가를 초래하는 취화(embrittlement)이다. 노화-관련 열화를 초래하는 주된 스트레스 요인은 이온화 방사선 및 고온에 기인하는 열적 노화이다. 케이블의 다른 열화 스트레스 요인에는 기계적 응력, 습도, 탄화수소 유체, 및 오존이 포함된다.
- [0006] 노화 효과는 공간적으로 일반화(즉, 균일한 온도의 단일 룸 내에 완전히 위치하는 케이블의 경우에서와 같이 주어진 케이블의 대부분 또는 전체 부분에 동등하게 영향을 미침)되거나 또는 국소화(즉, 고도로 국소화된 열원 근처에 경로 설치된 케이블의 경우에서와 같이 케이블의 매우 제한된 부분에만 영향을 미침)될 수 있다. 이들 노화 효과의 심각성은 스트레스 요인의 심각성, 케이블의 구성 재료와 설계, 및 케이블을 둘러싸는 주위 환경을 포함하는 여러 인자에 종속된다. 전기 케이블 노화의 상세한 논의는 Kim, J-S., "열화에 기초한 플랜트 작동 조건에서의 케이블 노화 평가(Evaluation of Cable Aging in Degradation Based Plant Operating Condition)" (2005) *J. Nucl. Sci. Technol.* 42(8) 745-753 및 Sandia National Laboratories/U.S. Department of Energy 에 의해 1996년 9월에 작성된 SAND96-0344 "상업적 원자력 발전소--전기 케이블 및 단말용 노화 관리 가이드라인(Aging Management Guideline for Commercial Nuclear Power Plants--Electrical Cable and Terminations)"을 포함하는 다수의 간행물에서 찾을 수 있다. 광 케이블 노화에 관한 논의는 특히 EPRI(Electric Power Research Institute) 간행물 및 통신 산업 문헌에서 찾을 수 있다. 하기 논의는 전기 케이블로 한정될 것이지만, 본 명세서에 기재되는 노화 및 분석의 원리는 광 케이블에도 대체로 적용될 수 있음을 알 수 있다.
- [0007] 통상적인 계측 제어(instrumentation and control: I&C) 케이블은 전체 실드 및 외부 재킷과 함께 내화 재료로 절연된 멀티-컨덕터 조립체로 구성된다. 또한, 원자로 스테이션과 같은 플랜트에 사용되는 케이블은 전기적 특성, 기계적 특성 또는 내화 특성을 향상시키는 테이프 랩(tape wrap)을 포함할 수도 있다.
- [0008] I&C 케이블 용으로 사용되는 절연 및 재킷 재료는 노화 방지, 전기적 특성, 기계적 특성 및 내화 특성을 향상시키기 위해 첨가제와 충전제를 함유하는 폴리머이다. 구형 CANDU® 플랜트에서 가장 널리 사용되는 재킷 및 절연 재료는 폴리염화비닐(PVC)이다. 신형 플랜트에서 이들 재료는, 재킷 용도의 Hypalon™으로도 알려져 있는 클로로설포네이트드 폴리에틸렌(CSPE)과, 가교결합된 폴리에틸렌/폴리올레핀(XLPE/XLPO), 및 절연 용도의 에틸렌-프로필렌 기초 탄성중합체(EPR, EPDM)이다.
- [0009] 노화에 기인하는 절연 및 재킷 재료의 열화 레벨은 사용되는 폴리머 화합물(적절한 첨가물 등의 존재), 사용전(저장) 및 사용 환경 조건(온도, 방사선, 기계적 응력, 습도), 및 경과된 서비스 수명(시간 요인)에 종속된다. 폴리머의 주요 화학적 노화 메커니즘은 분자 레벨에서의 절단, 가교결합 및 산화 반응에 기인한다. 알록실 또는 과산화물 라디칼의 절단은 대개 하나의 고분자 사슬을 절단하여 두 개의 새로운 사슬로 만든다. 가교결합은 인접하는 고분자 사이의 공유 결합 형성 및 사슬의 조밀한 네트워크의 형성을 지칭한다. (온도 및/또는 방사선의 효과 하의 공유 결합의 초기 파괴로 인한) 자유 라디칼의 형성에서 시작되는 산화 반응은 사슬 절단 또는 가교결합 중 어느 하나를 초래할 수 있다. 유기 물질은 보통 열 및 방사선에 대한 노출로 인해 유연성 손실 및 경화와 같은 물리적 변화를 겪는다. 열적 노화로 인한 물리적 노화 메커니즘의 다른 형태는 PVC 재료 내의 가소제의 증발 및 발생할 수 있는 이동이다.

- [0010] 재료의 열화 레벨은 재료 특성의 변화를 추적함으로써 평가될 수 있다. 사용되는 일부 표준 기술에는 시각적 및 촉각적 검사, 인장 테스트, 압입 테스트, 시차 주사 열량계, 푸리에 변환 적외선 반사(FTIR) 분광분석, 팽윤 비 측정, 질량 손실, 가스제 함량, 유전율 측정 또는 밀도 변화가 포함된다.
- [0011] 열화를 평가하기 위해 가장 보편적으로 사용되는 실험 기술 중 하나는 인장 테스트이며, 이는 비노화 및 노화 샘플에 대해 파단 연신율(elongation at break: EAB) 또는 인장 강도를 비교하는 것으로 구성된다. EAB는 케이블의 잔여 수명을 평가하기 위한 허용된 파라미터 및 입증된 열화 지표이다. 이 파라미터에 기초한 수명-말기 기준은 잘 정립되어 있다. 50%의 최종 EAB가 보통 종점 기준[국제 원자력 기구(International Atomic Energy Agency: IAEA), 2000, "안전에 중요한 주요 원자력 발전소 부품의 노화 평가 및 관리: 격납용기내 계측 및 제어 케이블((Assessment and Management of Ageing of Major Nuclear Power Plant Components Important to Safety: In-Containment Instrumentation and Control Cables)", Volume 1, IAEA-TECDOC-1188, December.)]으로 사용된다. 주요 단점은 큰 샘플 사이즈가 요구되는 것과 기술 태양이 파괴적이라는 것이다.
- [0012] 현장 모니터링에 이용될 수 있는 기술의 개수는 비파괴 및 비관입 기술 사용에 대한 스테이션 직원의 강력한 요구로 인해 제한된다. 다른 어려움은, 실험실 환경에 통상 사용되는 계기의 일부가 현장에서 쉽게 휴대할 수 없다는 점이다.
- [0013] 지난 수년간, 기존 데이터와 현재 조건 모니터링 기술의 개발 상태를 검토하기 위해 국제 전문가의 다양한 패널이 형성되었다[IAEA-TECDOC-1188, 2000(상기) 및 원자력 기구(Nuclear Energy Agency: NEA), 원자력시설 안전 위원회(Committee on the Safety of Nuclear Installations), 2004, "NEA 회원국에서의 와이어 시스템 노화에 관한 연구 노력(Research Efforts Related to Wire Systems Aging in NEA Member Countries)", Report NEA/CSNI/R, (2004)12, August 11]. 이들 패널은 케이블 노화 문제를 해결하기 위한 연구 개발(R&D) 프로그램의 오리엔테이션에 대한 가이드라인 및 추천을 제공하였다. 이 문제를 해결하기 위한 미래 연구 개발 노력에 대한 추천은 다음과 같았다[Report NEA/CSNI/R, 2004(상기)]:
- [0014] - 와이어 시스템의 현재 조건을 판정하고 그 내용 수명을 예상하기 위해 사용될 수 있는 설치된 와이어 시스템을 위한 새로운, 효과적인, 현장 조건 모니터링 기술의 개발을 지속한다. 이에 관하여, 원자력 발전소 적용을 위한 초음파 및 항공우주 기술이 평가 및 개발되어야 한다; 및
 - [0015] - 노화된 절연 재료에 대한 기계적 특성의 한계 도달의 중요성을 잘 이해하기 위해 기계적 와이어 시스템 특성을 전기적 특성에 상관시킨다.
- [0016] 절연 재료의 인장 강도 또는 파단 연신율의 측정과 같은, 케이블 폴리머 노화를 분석하기 위해 사용되는 물리적 기술의 일부는 본질적으로 파괴적이며, 테스트를 위해서는 노화된 케이블의 견본을 필요로 한다. 그러나, (특히 저전압 케이블에 대해) 케이블 노화와 측정된 파라미터 사이의 상관관계를 나타내고 작동 조건 중에 적용하기에 실용적일 수 있는, 압축율, 비틀림율, 또는 굽힘 강성의 측정을 포함하는 비파괴성 물리적 기술도 존재한다. 예를 들어, 압입 폴리머 노화 모니터(Indenter Polymer Aging Monitor)와 같은 계기에 의한 압축율의 측정은 케이블 폴리머 노화의 측정에 유용할 수 있다. 예를 들어, 외부 재킷과 전도체 물리적 측정 사이의 상관관계의 논의를 위해 전력 연구소(Electric Power Research Institute)에 의해 1996년 1월에 작성된 EPRI TR-104075, "플랜트내 및 실험실 노후 견본의 압입 테스트를 통한 케이블 폴리머 노화의 평가(Evaluation of Cable Polymer Aging Through Indenter Testing of In-Plant and Laboratory Aged Specimens)"를 참조한다.
- [0017] 오늘날 사용되는 휴대용 압입기는 일반적으로 재료 강성 또는 경도의 단독 측정에 한정된다. 그러나, 일부 폴리머-계열 재료에 있어서는, 파단 연신율과 같은 기본 재료 특성은 이 스트레스 요인에 기인하는 연속적인 열화를 분명히 나타내지만, 강성/경도는 방사선 조사(irradiation) 레벨이 증가해도 변하지 않는다. 마찬가지로, 폴리머 부품이 열적 노화를 겪을 때는, 추가 열화가 계속 발생하는 것으로 알려져 있지만, 강성은 때로 초기에 증가하지만 신속하게 포화치에 도달한다. 따라서, 오늘날 이용 가능한 압입기는 케이블 노화의 모니터링에 이상적으로 적합하지는 않다.
- [0018] 전력 연구소(EPRI)에 의해 만들어진 압입기에서, 압입 깊이의 한계는 측정되는 힘의 값에 기초하여 제어된다. 따라서 압입 깊이는 노화되지 않은 탄성중합체와 노화된 탄성중합체 사이에서 달라진다. 이는 고정된 기준 압입 깊이에 대한 탄성중합체의 회복 연구를 저해한다. EPRI 압입기는, 최대 힘에 도달하고 이 힘이 완화 및 쇠퇴를 시작한 후에 힘 신호의 일부를 모니터링하기 위해 사용될 수 있다. 탐침은 분석되고 있는 비교적 짧은 완화 기간 중에 제 자리에 유지될 수 있다. 그러나, 힘 완화 특징은 재료의 노화가 진행됨에 따라 크게 변하지 않는다.

- [0019] EPRI 압입기에 의하면, 완화 정보가 취득되면, 탐침은 원 위치로 천천히 복귀 구동되며 추가 검사는 일어나지 않는다. 구동 시스템의 속성으로 인해, 탐침은 주어진 참조 위치로부터 순간적으로 또는 신속히 후퇴될 수 없다. 따라서, EPRI 압입기를 사용할 때 힘 완화 국면에 이어지는 변형 회복의 평가를 가능하게 하는 조건을 생성할 수 없다.
- [0020] 또한, 오늘날의 휴대용 압입기는 여기 신호의 형태를 변화시키는 유연성을 제공하지 않을 뿐 아니라, 압입기 탐침에 대해 다양한 사건 시퀀스를 프로그래밍하지 않는다. 이는 폴리머 열화에 대한 그 감도의 측면에서 최적 입력 파라미터, 셋업 및 출력 파라미터의 체계적인 확인에 있어 불리하다.
- [0021] 이상을 감안할 때, 폴리머 케이블의 노화를 모니터링하고 평가하기 위한 방법 및 장치로서, 휴대 가능하고, 비 파괴적이며, 폴리머 강성뿐 아니라 특징의 최적화 및 측정을 가능하게 하는 방법 및 장치가 요구된다.
- [0022] 이 배경 정보는 출원인에 의해 본 발명과 관련있을 것으로 믿어지는 공지된 정보를 만들기 위해 제공된다. 어떤 허용도 필수적으로 의도되지는 않으며, 선행 정보의 어느 것도 본 발명에 대한 종래 기술을 구성하는 것으로 간주되지 않아야 한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0023] 본 발명의 목적은 휴대용 폴리머 테스터를 제공하는 것이다. 본 발명의 일 태양에 따르면, 테스트되는 폴리머 재료의 점탄성 특성을 특징짓는 압입 및 압입후 파라미터를 발생하기 위해 케이블 절연체 또는 케이블 재킷 재료와 같은 폴리머 재료를 압입하기 위한 방법 및 장치가 제공된다. 점탄성 특성은 폴리머 노화 및 열화의 지표로서 사용된다. 본 발명의 방법 및 장치는 폴리머 재료의 강성을 측정(힘과 변위의 측정)할 뿐 아니라, 폴리머 재료가 초기 변형의 정해진 부분을 회복하는데 걸리는 시간을 측정한다. 이 기간은 폴리머 재료 열화의 지표로 사용될 수 있다.

과제의 해결 수단

- [0024] 본 발명의 일 태양에 따르면, 케이블의 폴리머 재킷과 같은 폴리머 재료의 물리적 특징을 측정하기 위한 폴리머 테스터가 제공되며, 상기 폴리머 테스터는 케이블 또는 편평한 탄성중합체 샘플과 같은 샘플을 테스트 중에 유지하기 위한 조오(jaw) 조립체; 교체가능한 가동 탐침; 케이블의 폴리머 재킷과 접촉하여 이를 변형시키도록 탐침을 전진시키기 위한 구동 시스템으로서, 모터와 선형 슬라이드 및 스테이지(예를 들면, 세라믹 서보 모터 및 나노스테이지)를 포함하는 구동 시스템; 및 상기 폴리머 재킷과의 접촉 중에 상기 탐침의 선단에서의 힘을 측정하기 위한 수단과 탐침의 변위를 측정하기 위한 수단을 구비하는 힘/변위 측정 시스템을 포함한다.
- [0025] 본 발명의 다른 태양에 따르면, 케이블 폴리머 노화와 같은 폴리머 노화를 테스트하기 위한 방법으로서, 폴리머 재료(테스트 케이블 노화의 경우에는 폴리머 재킷과 같은)를 부동화(immobilize)시키는 단계; 탐침을 사용하여 폴리머의 일부를 변형시키는 단계; 변형 중의 상기 탐침의 선단에서의 힘과 탐침의 측정된 변위로부터 폴리머의 강성을 계산하는 단계; 상기 탐침을 소정 위치로 후퇴시키고 변형 회복 시간을 측정하는 단계를 포함하며, 상기 강성과 변형 회복 시간은 폴리머 노화 정도의 지표인, 폴리머 노화 테스트 방법이 제공된다.

도면의 간단한 설명

- [0026] 도 1은 본 발명의 장치의 종래 기술인 Elasto-Dynamic Spot Tester의 사진이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 휴대용 폴리머 테스터의 사시도이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 압입기 테스트 사이클의 그래프이다.
- 도 4는 도 2의 휴대용 폴리머 테스터의 부품의 도시도로서, 도 4a는 구동 조립체의 측면도이고, 도 4b는 구동 조립체의 평면도이며, 도 4c는 케이블을 유지하는 조오 조립체 및 조오 조립체의 고정된 조오의 구멍 안에 배치된 탐침을 도시하는 테스터의 일부의 측단면도이고, 도 4d는 전기 신호를 수신하고, 모션 컨트롤러로부터 명령을 제어하며, 스케일링되어 컴퓨터에 전송되는 프로세스 데이터를 수집하기 위해 휴대용 폴리머 테스터가 연결되는 컨트롤 새시의 도시도이다.
- 도 5는 테스트 사이클의 사전부하(preload) 및 초기 압입 국면의 그래프이다.

도 6은 테스트 사이클의 힘 완화 국면의 그래프이다.

도 7은 테스트 사이클의 회복 국면의 그래프이다.

도 8은 진동 모드에서 본 발명에 따른 휴대용 폴리머 테스터를 사용하여 얻어지는 하나의 진동 기간 중의 압입기 탐침 변위 및 반력을 도시하는 그래프이다.

도 9는 열적으로 노화된 PVC 케이블 재킷의 압입기 테스트로부터의 강성 결과를 도시하는 그래프이다.

도 10은 열적으로 노화된 PVC 케이블 재킷의 압입기 테스트로부터의 변형 회복 데이터를 도시하는 그래프이다.

도 11은 방사선 조사된 PVC 케이블에 대한 과단 연신율 데이터를 도시하는 그래프이다.

도 12는 방사선 조사된 PVC 케이블 재킷의 압입기 테스트로부터의 강성 결과를 도시하는 그래프이다.

도 13은 방사선 조사된 PVC 케이블 재킷의 압입기 테스트로부터의 변형 회복 데이터를 도시하는 그래프이다.

도 14는 도 13으로부터의 과단 연신율 데이터와 도 13으로부터의 변형 회복 데이터 사이의 상관관계를 도시하는 그래프이다.

도 15는 장착 및 배선을 도시하는 콘트롤 새시의 백 패널의 도시도이다(도 16a는 정면도이고 도 16b는 사시도임).

도 16은 장착 및 배선을 도시하는 콘트롤 새시의 사이드 패널의 도시도이다(도 17a는 정면도이고 도 17b는 사시도임).

도 17은 장착 및 배선을 도시하는 콘트롤 새시의 내부 부품의 도시도이다(도 18a는 내측 사시도이고 도 18b는 상측 사시도임).

도 18은 하우징이 개방되어 있는, 본 발명의 일 실시예에 따른 휴대용 폴리머 테스터의 도시도이다(도 19a는 평면 사시도이고 도 19b는 저면 사시도임).

도 19는 본 발명의 일 실시예에 따른 압입기 테스트 사이클을 도시하는 그래프이며, 테스트 사이클의 사전부하, 압입, 힘 완화, 및 변형 회복 국면 중의 압입기 탐침의 위치를 도시한다.

도 20은 실리콘 도어 시일 재료에 대한 힘과 변위 사이의 국면 시프트를 도시하는 그래프[리사주(Lissajous) 도형]이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0027] 달리 한정되지 않는 한, 본 명세서에 사용되는 모든 기술적 및 과학적 용어는 당업계에서 당업자가 보편적으로 이해하는 것과 같은 의미를 갖는다.
- [0028] 달리 명시하지 않는 한, 본 명세서에서 사용되는 복수 형태의 용어는 단수 형태를 포함하는 것으로 간주되어야 하며 그 역도 성립한다.
- [0029] 본 명세서에서 사용되는 "포함한다"는 용어는, 열거하는 항목들이 배타적이지 않으며 다른 적절한 추가 항목, 예를 들면 하나 이상의 추가 특징, 부품 및/또는 부분을 적절히 포함하거나 포함하지 않을 수 있음을 의미하는 것으로 이해될 것이다.
- [0030] 본 발명의 휴대용 폴리머 테스터(portable polymer tester: PPT)는 다양한 입력 파라미터를 프로그래밍하고 제어하는 옵션, 탐침 변위에 대한 사건의 다양한 시퀀스, 및 다양한 출력 파라미터에 대한 액세스를 포함하는 압입 기술을 이용하도록 개발되었다. 본 발명의 PPT는, 폴리머-계열 부품의 열화를 추적하는 경향이 가장 강한 파라미터를 측정하도록 구성될 수 있고 이들 파라미터를 현장에서 측정할 수 있도록 충분히 휴대성을 갖는 제어 가능한 도구(현재 사용 중인 도구에 비해)이다.
- [0031] 본 발명의 PPT는 압입기 탐침을 (탐침이 샘플 표면 상에 약간 사전부하되면) 재료 내로 선형 추진시키는 것을 통해서 재료 강성(또는 계수)을 고전적으로 측정하는 수단을 포함한다. 강성 파라미터는 압입 국면 도중의 탐침 반력과 탐침 변위의 동시 취득으로부터 얻어진다. 상기 PPT는 또한, 힘 완화 및 변형 회복과 같은 압입후 파라미터의 측정 수단을 포함한다.
- [0032] 폴리머 또는 탄성중합체 재료 열화를 모니터링하기 위한 압입 기술은, 폴리머 또는 탄성중합체 재료, 예를 들면

케이블 재킷 또는 케이블 절연재[IAEA-TECDOC-1188, 2000(상기)]의 표면 상으로 탐침 선단을 추진시키는 것을 기본적으로 포함하는 정량적인 비파괴 모니터링 기술이다. 이 기술은 이하의 장점 중 하나 이상을 제공한다:

- [0033] - 휴대용 계기가 개발될 수 있고,
- [0034] - 측정이 신속하며,
- [0035] - 데이터 분석이 용이하다.
- [0036] 압입 국면 중에, 힘과 탐침 변위는 "압입율"로도 지칭되는 특정 압축 강성 파라미터를 도출하기 위해 측정된다. 이 파라미터는 예를 들어 원자력 발전소에서 사용되는 대부분의 케이블 재료에 대한 폴리머 또는 탄성중합체 열화와 얼마간의 상관성을 나타내지만, 이 기술의 감도는 제한될 수 있다. 두 가지의 주목할만한 예외는 압입율 값이 일정한 경향이 있는 재료(예를 들면, 방사선 조사 PVC) 또는 심하게 열화된 재료(예를 들면, 열적 노화된 XLPE)에 대해서만 변하는 재료이다.
- [0037] EDST(Elasto-Dynamic Spot Tester)로 지칭되는 현장 실험 압입기가 미리 개발되어 있다. 먼저, EDST는 압입 중에 탄성중합체 스폿 강성을 도출하고 또한 소정 시간 이후 완화되는 힘의 퍼센트 및 초기 변형의 소정 퍼센트를 회복하기 위한 시간과 같은 다양한 압입후 점탄성 특성을 연구하기 위해 사용되었다. 현장에서 케이블 노화 평가를 위해 사용되는 EDST의 사진이 도 1에 도시되어 있다.
- [0038] EDST의 특정한 특징은 본 발명의 PPT에 포함되어 있다. 본 발명의 휴대용 폴리머 테스터는 콤팩트하고, 임의의 배향으로 사용될 능력을 가지며, 구동, 제어, 피드백, 및 힘/변위 측정 시스템을 포함한다. 본 발명의 일 실시예에 따르면, PPT는 특정한 동적 강성 및 힘과 변위 신호 사이에서 측정되는 지연(lag)(또는 위상) 정도와 같은 새로운 파라미터에 접근하기 위해 진동 모드에서 압입 탐침을 사용하는 수단을 더 포함한다.
- [0039] 본 발명의 특정 실시예에 따른 PPT의 개요가 도 2 및 도 18에 제공되어 있다. PPT는 압입기 탐침 변위 프로파일을 프로그래밍하고 압입후 파라미터를 도출하기 위해 탐침 위치를 제어하기 위한 시스템을 구비한다. 압입 파라미터는 EDST를 사용하여 평가되는 것과 유사하다. 이들 파라미터에는 힘 완화(재료가 압입된 후), 및 초기 변형의 설정된 퍼센트를 회복하기 위한 시간(완화 국면 이후 압입기가 신속하게 예정된 위치로 후퇴한 후)이 포함된다. 통상적인 PPT 시퀀스가 도 3 및 도 19에 개략 설명되어 있으며, 이하에서 보다 상세히 설명된다. 본 발명에 따른 PPT의 사용으로부터 얻어진 결과는, PPT가 양호한 반복성을 가지며 테스트 결과가 EDST를 사용하여 얻어진 결과와 일치함을 나타낸다.
- [0040] PPT의 구조는 원자력 시설에서와 같은 극심한 조건 하에서 사용될 때 주위 온도 환경 이상에서 도구가 오염에 노출될 가능성을 고려하여 이루어진다. 예를 들어, 본 발명의 특정 실시예에 따르면, 휴대용 폴리머 테스터는 구동, 제어, 피드백, 및 힘/변위 측정 시스템을 수용하는 하우징을 구비하며, 상기 하우징은 테스트 조건을 감당하고 내부 부품을 테스트 조건으로부터 보호하기에 적합한 재료로 구성된다.
- [0041] 휴대용 폴리머 테스터 부품:
- [0042] 전술했듯이, 본 발명의 PPT는 구동, 제어, 피드백, 및 힘/변위 측정 시스템을 포함한다. 또한, PPT는 이들 부품을 둘러싸는 하우징, 케이블과 같은 샘플을 테스트 중에 제 자리에 유지하기 위한 조오 조립체, 및 탐침을 구비한다. 탐침은 상이한 특징을 갖는 폴리머 재료를 테스트하기에 적합한 다양한 선단 크기의 탐침으로 교체될 수 있다. 일 예에서, 탐침은 상이한 직경과 폴리머 재킷을 갖는 폴리머 함유-케이블의 테스트를 수용하도록 교체될 수 있다. PPT는 외부 전원(예를 들면, AC 파워 플러그)에 대한 부착 수단 또는 내부 전원(예를 들면, 배터리)을 더 구비한다.
- [0043] 본 발명의 PPT의 부품은 도면을 참조하여 이하에서 보다 상세히 설명된다.
- [0044] (구동 시스템)
- [0045] 본 발명의 PPT에 포함되는 구동 시스템은 변형 회복 시간을 측정할 수 있도록 탐침을 즉시 또는 신속히 후퇴시키는 수단을 구비한다.
- [0046] 구동 시스템은 모터, 선형 슬라이드, 고해상도 광학 인코더 시스템, 모션 컨트롤러 및 모터 드라이버/증폭기를 구비한다. 이들 부품의 배치는 펌프프 제어 시스템을 형성한다. 보다 구체적으로, 모터는 선형 슬라이드에 고정되는 제작자 특정 표면에 대해 사전부하된다. 이 사전부하 힘은 모터가 임의의 배향으로 슬라이드의 비슬립 운동을 제공할 수 있게 해준다. 더욱이, 선형 슬라이드는 위치 측정을 가능하게 하기 위한 스케일을 구비한다. 광학 선형 인코더 시스템은, 스케일을 "판독"하고 위치설정 정확도를 증가시키기 위해 판독값을 보간기에 보내

는 판독헤드 센서를 포함한다. 이 위치 정보는 이후 전기 수단에 의해 모션 콘트롤러에 송신된다. 모션 콘트롤러는 PPT의 용도에 따라 위치 오차가 사실상 제로가 되거나 허용 오차 이내가 될 때까지 모터 드라이버/증폭기에 의해 모터에 명령을 내리는 알고리즘을 채택하고 있다.

- [0047] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 구동 시스템은 하기 사양에 따라 제조된다:
- [0048] - 적어도 5mm의 스테이지 이동
- [0049] - 약 0.010 μ m 내지 약 0.1 μ m의 스텝 해상도
- [0050] - 약 0.010 μ m 내지 약 0.1 μ m의 측정 해상도
- [0051] - 약 30N 내지 약 34N의 모터 동적 실속력(stall force)
- [0052] - 약 26N 내지 약 30N의 모터 정적 유지력
- [0053] - -10 내지 50 $^{\circ}$ C의 모터 작동 온도 범위
- [0054] 다른 실시예에 따르면, 구동 시스템은 하기 사양에 따라 제조된다:
- [0055] - 대략 40mm의 스테이지 이동
- [0056] - 약 10nm까지의 스텝 해상도
- [0057] - 측정 해상도: 약 10nm
- [0058] - 모터 동적 실속력: 약 32N
- [0059] - 모터 정적 유지력: 약 28N
- [0060] - 모터 작동 온도 범위: 약 0 내지 약 50 $^{\circ}$ C
- [0061] 드라이브용 부분의 선택에 있어서는, PPT의 휴대 부분의 전체 크기와 중량이 고려되어야 하는 바, 부품이 PPT의 크기와 중량에 영향을 미칠 것이기 때문이다. 적합한 모터 형태는 보이시 코일 모터, 선형 샤프트 모터 및 세라믹 서보 모터를 포함하지만 이것에 한정되지는 않는다.
- [0062] 도 4를 참조하면, 본 발명의 PPT(10)의 구동 시스템(20)의 특정 예는 나노스테이지(40)에 세라믹 서보 모터(30)를 통합시키며, 이는 PPT(10)의 사용 중에 탐침(50)의 즉각적/신속한 후퇴를 용이하게 한다. 나노스테이지(40)는 스테이지 테이블(42) 및 스테이지 베이스(44)를 구비한다. 패키지형 구동 시스템은 다수의 부품의 제조 또는 조립 필요성을 제거한다. 스테이지 구조는 크로스 롤러 베어링과 선형 광학 인코더(도시되지 않음)를 갖는 선형 슬라이드(60)를 사용한다. 나노스테이지(40)는 완전히 조립된 상태로 제공된다. 이상적으로, 사용되는 세라믹 서보 모터(70)는 고해상도 및 고 동적 성능이 가능한 최신 장치이다.
- [0063] (힘/변위 측정 시스템)
- [0064] 도 4a 및 도 4b에 도시하듯이, 힘/변위 측정 시스템은 슬라이드의 전방에 장착되는 소형 로드셀(load cell)(110) 및 테스트 중에 탐침 선단에서의 힘을 측정하기 위해 사용되는 로드셀 신호 조절기(도시되지 않음)를 구비한다. 구동 시스템 내의 선형 인코더는 탐침 위치 측정을 제공한다.
- [0065] (제어 시스템)
- [0066] 제어 시스템은 힘/변위 측정 시스템을 위한 제어 및 피드백을 제공하기 위해 사용되는 제어 소프트웨어 프로그램 및 모션 콘트롤러를 구비한다. 작동 파라미터는 테스트될 샘플 형태[예를 들면, 테스트될 케이블 형태(예를 들면, 크기, 폴리머 등)]와 테스트 장소 또는 환경을 고려하여 선택된다. 본 발명의 특정 실시예에 따르면, PPT용 작동 파라미터는 다음과 같다:
- [0067] - 약 0 내지 약 20N의 힘 측정 범위.
- [0068] - 약 5mm/s의 최대 위치설정 속도.
- [0069] - 약 0.1 μ m의 최소 위치설정 해상도.
- [0070] - 약 1 내지 약 100 μ m의 진동 진폭.
- [0071] - 약 0.1 내지 약 100Hz의 진동 주파수.

- [0072] - 약 15 내지 약 50℃의 작동 온도.
- [0073] 콘트롤 새시는 콘트롤러, 모터 증폭기, 인코더, 전원 및 열전쌍 송신기를 장착하기 위해 사용된다.
- [0074] 휴대용 폴리머 테스터의 모터, 선형 스테이지, 및 새시의 예가 도 4a 내지 도 4d, 도 15, 도 16, 도 17 및 도 18에 개략 도시되어 있다.
- [0075] 테스트 시퀀스 파라미터 및 데이터 수집은 적절한 운영 체제, 예를 들어 윈도우 XP™가 장착된 컴퓨터를 사용하여 제어된다. 본 예에서, 윈도우 프로그래밍 환경은 National Instruments Inc.에 기초한 LabVIEW®이다.
- [0076] (압입기 탐침)
- [0077] 다양한 선단 크기를 갖는 교체가능한 탐침은 테스트될 폴리머 또는 탄성중합체 샘플(예를 들면, 케이블)의 형태에 기초하여 사용될 수 있다. 선단의 동작을 구동하기 위한 프로그래밍 옵션은 매우 넓으며, 쉽게 조절된다. 제어 및 변화될 수 있는 입력 파라미터에는 사전부하, 압입 깊이, 압입 속도, 구동 입력 신호의 형태(선형, 사인파형 등), 힘 완화 파라미터, 변형 회복 파라미터가 포함된다. 통상적인 신호 프로파일은 폴리머 열화에 대한 감도를 향상시키기 위해 새로운 테스트 조건을 연구할 목적으로 신속히 개발될 수 있다.
- [0078] (온도 센서)
- [0079] 본 발명의 PPT는 경우에 따라 온도 센서를 구비한다.
- [0080] 테스트된 폴리머 재료를 특징짓는 것을 보조하는 PPT 출력 파라미터는 온도에 의해, 심지어 15 내지 30℃ 온도 범위에서도 크게 영향받을 수 있다. 따라서 샘플의 테스트 영역에서의 온도는 정확히 모니터링되어야 한다. 사용되는 온도 탐침은 대부분의 경우에, 압입을 수행하기 직전에 테스트될 재료의 표면을 측정하도록 배치되는 적외선 초소형 열전쌍과 같은 비접촉 센서이다. 온도 정보는 나중에 동일 영역에 대한 후속 측정을 수행할 때 온도 변동을 보상하기 위해 압입 데이터에 수정 인자를 적용하는 수단을 제공하도록 경과기록(log)된다. 이는 또한 일정한 참조 온도에서 압입 측정이 이루어질 수 있도록 가열 또는 냉각 장치를 제어하기 위한 수단을 제공할 수 있다. 온도 센서의 통합은 PPT 압입 출력 데이터의 확실한 측정을 향상시킬 수 있다.
- [0081] 스테이지에 장착된 온도 센서는 주위 공기 온도를 측정한다. 모터 위치에서의 온도를 모니터링하기 위해 다른 열전쌍이 사용된다. 도구에 장착되는 두 개의 소형 열전쌍 송신기는 증폭된 신호를 콘트롤러에 제공한다. 이는 도구와 제어 새시 사이에 열전쌍 연장선에 대한 필요가 없게 만든다. 콘트롤 새시에 장착되는 추가 온도 센서 및 소형 열전쌍 송신기는 계기 과열이 발생하지 않도록 보장한다.
- [0082] (샘플 유지 조립체)
- [0083] 본 발명의 PPT를 이용한 테스트 중에, 샘플을 제 자리에 유지할 필요가 종종 있다. 따라서, 본 발명의 PPT는 경우에 따라 샘플 유지 조립체를 포함한다. 샘플 유지 조립체의 구조와 부품은 PPT의 용도 및 테스트될 샘플의 형태에 따라 달라질 것이다.
- [0084] 도 4를 다시 참조하면, 본 발명의 일 실시예는 테스트 중에 케이블 등을 유지하기에 적합한 샘플 유지 조립체를 제공한다. 도 4c에 도시하듯이, 이러한 샘플 유지 조립체는 가동 클램핑 조오(92)와 정지 클램핑 조오(94)를 구비하는 조오 조립체(90)일 수 있다. 조오 조립체는 테스트 중에 케이블(100)을 두 개의 클램핑 조오(92, 94) 사이에 클램핑시키기 위해 가동 클램핑 조오의 위치를 조절하는 수단을 더 구비한다. 도 4c에 도시하듯이, 정지 클램핑 조오(94)는 관통 구멍(96)을 구비하며, 탐침(50)은 상기 관통 구멍을 통해서 전진하여 케이블(100)의 폴리머 재킷과 접촉하고 이를 압입한다.
- [0085] 휴대용 폴리머 테스터를 이용한 압입 테스트
- [0086] 본 발명은 추가로, 폴리머 노화를 테스트 또는 모니터링하기 위한 방법으로서,
- [0087] (a) 압입기 탐침 선단을 폴리머, 예를 들면 케이블의 폴리머 재킷과 접촉시키는 단계("사전부하 국면");
- [0088] (b) 압입기 탐침을 전진시켜 폴리머를 변형시키면서 탐침 선단에서의 힘과 탐침의 변위를 측정하는 단계("압입 국면");
- [0089] (c) 소정 위치에 도달할 때 탐침의 이동을 정지시키는 단계;

- [0090] (d) 최대 압입 시에 탐침 선단에 가해지는 힘을 측정하여 강성 또는 압입을 파라미터를 도출하는 단계;
- [0091] (e) 소정 시간, 예를 들어 약 60초 동안 폴리머 힘을 완화시킬 수 있도록 탐침을 소정 최대 압입 위치에 유지시키는 단계;
- [0092] (f) 탐침을 소정 중간 위치로 신속히(대략 50 내지 100mm/s의 속도로) 후퇴시키고 탐침과의 접촉이 재발생할 때까지 회복 시간을 모니터링하는 단계("회복 국면"); 및
- [0093] (g) 탐침을 폴리머 재킷과의 접촉에서 벗어난 위치로 후퇴시키고 케이블을 제거하는 단계를 포함하는, 폴리머 노화 테스트 또는 모니터링 방법을 제공한다.
- [0094] 단계(a) 내지 (f)는 도 19에 개략 도시되어 있다.
- [0095] 너무 부드럽지 않은 폴리머 재료에 있어서, 압입 중의 힘 변화는 기본적으로 변위 변화에 비례한다. 이 경우에, 폴리머의 결과적인 특정 압축 강성은 힘 및 변위 데이터를 사용하여 직접 계산되며, 여기에서 힘 변화는 변위 변화에 의해 나누어진다.
- [0096] 전술했듯이, 압입 국면에 앞서, 압입기 선단을 폴리머 표면과 접촉시키는 짧은 사전부하 국면이 수행된다. 이 스테이지 중에 발생하는 힘 및 변위 변화의 그래프가 도 5에 도시된다.
- [0097] 본 발명의 PPT는 전술한 폴리머 테스트 방법을 수행하기 위해 개발되었다. PPT는 압입기 탐침 변위 프로파일을 프로그래밍하고 탐침 위치를 제어하여 힘 완화(재료가 압입된 후) 및 초기 변형의 설정된 퍼센트를 회복하기 위한 시간(완화 국면 이후 압입기가 신속히 후퇴한 후)과 같은 다른 압입후 파라미터를 도출하는 옵션을 제공한다. 힘 완화 레벨(및 힘 완화 곡선의 전체 형상)은 비노화 및 노화 샘플 특징을 비교할 때 크게 변화하지 않는다. 그러나, 이 힘 완화 국면은 회복 국면 중에 비노화 샘플과 노화 샘플 사이에 큰 차이가 나타나도록 재료를 사전-조절(pre-condition)할 것이다.
- [0098] 힘 완화 국면 중에 발생하는 힘 및 변위 변화의 그래프가 도 6에 나타나 있다.
- [0099] 회복 국면 중에 발생하는 힘 및 변위 변화의 그래프가 도 7에 나타나 있다. 회복 국면 중에, 선단은 콘트롤러를 사용하여 소정 위치로 후퇴되며, 이 위치에서 폴리머 표면이 접촉을 재개하기를 기다린다. 이 후퇴는 탐침 선단이 폴리머와의 접촉에서 간단히 벗어나서 변형 회복이 시작되도록 신속하게 이루어진다. 측정을 위해 설정된 회복의 참조 퍼센트는 재료 열화에 대한 기술의 감도에 기초한다. 이 국면 중에, 관심 대상 파라미터는 회복 시간, 또는 초기의 탐침 선단 후퇴에서부터 재료 표면이 후퇴된 탐침 선단과 접촉하기까지 걸리는 시간이다. 일반적으로, 열적 노화 및/또는 방사선 조사의 결과로서, 회복 시간은 현저히 증가하는 경향이 있다. 따라서, 이 파라미터는 이 형태의 스트레스 요인에 기인하는 폴리머 열화에 매우 민감하다.
- [0100] 이제 회복 시간은, 특히 대략 35 내지 50%의 회복 퍼센트에서, 증가하는 방사선 조사 레벨과 증가하는 열적 노화에 기인하는 PVC 열화와 매우 양호하게 상관있는 것으로 나타났다. 회복 시간의 변화는 방사선 조사 효과에 기인하는 재료의 인장 특성의 변화와 유사하다.
- [0101] (동적 진동 모드):
- [0102] 본 발명의 PPT는 또한, 입력 탐침 변위가 사인파형 여기를 발생하도록 제어되는 동적 진동 모드를 사용하여 폴리머 특성을 분석하는데 사용될 수 있다. 부드러운 재료에 있어서, 탐침은 전체 진동 기간에 걸쳐서 접촉을 유지한다. 하나의 진동 기간에 걸쳐서 압입기 탐침에 대한 변위와 재료 반력을 동시 취득하게 되면, 추가 분석이 가능해지고, 특정한 동적 강성, 및 재료의 점탄성 특성을 특징짓는 파라미터[이 파라미터는 점탄성 재료에서 힘과 변위 신호 사이에 존재하는 지연(또는 국면)의 측정으로부터 도출됨]와 같은 다른 파라미터에 접근할 수 있다.
- [0103] PPT를 사용하여 비교적 부드러운 폴리머 재료에 사인파형 변위(d)가 적용될 때, 압입기 탐침 선단에서의 재료 반력(F)은 하기 식으로 표현되는 변위를 지나서 지연될 것이다:
- [0104]
$$d = d_0 \sin \omega t \quad (1)$$
- [0105]
$$F = F_0 \sin(\omega t + \delta) \quad (2)$$
- [0106] 여기에서 t는 시간이고, F₀과 d₀은 각각 하나의 사인파형 사이클 중에 도달되는 최대 반력 및 최대 압입 깊이를 나타내며, ω는 사인파형 진동의 각속도이고, δ는 위상각(힘이 변위를 지나서 지연되는 양)이다. 통상적인 힘

및 변위 시간 이력 곡선이 도 8에 도시되어 있다.

[0107] 부드러운 폴리머 재료에 있어서, 진동 모드에서의 PPT의 사용을 통해서 동적 강성 파라미터가 도출될 수 있다. 이들 파라미터는 테스트될 재료의 열화에 상관될 수 있다. 식(3)으로 표현되는, 점탄성 재료에 대한 복합 동적 강성(k^*)은 실수 성분(k')(이는 부과된 사인파형 변위 d 와 동일 위상에 있음)과 허수 성분(k'')(이는 부과된 변위 d 와 위상이 90° 어긋나 있음)으로 구성된다.

[0108] $k^* = k' + ik''$ (3)

[0109] 동적 강성 파라미터는 다음과 같이 도출될 수 있다:

$$|k^*| = \frac{F_0}{d_0}$$

[0110] 절대 동적 강성: (4)

[0111] 동적 강성의 실수 성분: $k' = |k^*| \cos \delta$ (5)

[0112] 동적 강성의 허수 성분: $k'' = |k^*| \sin \delta$ (6)

[0113] 열적 노화 및/또는 방사선 조사에 기인하는 재료 열화의 평가로부터, 무차원 파라미터 D 는 다음과 같이 정의된다:

$$D = \frac{k'}{k''} = \frac{1}{\tan \delta}$$

[0114] (7)

[0115] 여기에서 D 는 테스트되는 재료의 점탄성 특성을 특징짓는 파라미터이다. 열적 노화 및/또는 방사선 조사로 인한 이들 특성의 변화는 보통 이 점탄성 파라미터의 증가를 초래한다. 따라서, 이 파라미터와 특정 동적 강성은 부드러운 폴리머 재료의 열화를 평가하기 위해 사용될 수 있다.

[0116] 폴리머 테스트의 적용

[0117] 본 발명의 PPT 및 방법은 폴리머 또는 탄성중합체의 노화 또는 열화의 대책으로서, 폴리머 또는 탄성중합체를 테스트 및/또는 모니터링하는데 있어서 유용하다. 이하는 본 발명의 PPT 및 방법을 사용하여 분석될 수 있는 성분을 함유하는 폴리머 또는 탄성중합체의 비제한적 리스트이다:

[0118] - 케이블 절연체

[0119] - 케이블 재킷

[0120] - O-링

[0121] - 구동 벨트

[0122] - 격벽

[0123] - 글러브

[0124] - 시일

[0125] - 개스킷

[0126] - 호스

[0127] - 적격화(qualification) 작업을 위한 재료의 편평한 참조 슬래브

[0128] 상기에서 자세히 설명했듯이, PPT의 샘플 유지 조립체는 상이한 샘플 형태의 분석을 촉진하기 위해 제거되거나 적합화될 수 있다. 예를 들어, 샘플 유지 조립체는 편평한 샘플 보다는 튜브형 샘플에 대해 상이한 구조를 가

질 것이다.

- [0129] 또한, 부드러운 탄성중합 재료(시일, O-링, 일부 개스킷 재료 등)에 대해서, 진동 모드는 고전적인 압입기 테스트에 비해서 양호하게 재료 열화를 평가한다. 진동 모드에서는, 동적 파라미터와 열화 인자가 사용된다. 이 경우에 고전적인 압입 테스트가 사용되면, 압입 중에 다양한 참조 시간에서 측정되는 힘과 변위 데이터 사이에 선형 관계가 없을 것이므로 강성을 도출할 수 없을 것이다. 또한, 부드러운 탄성중합 재료는 노화시에도 매우 탄력적이며, 따라서 회복 시간이 매우 짧아서 회복 시간을 측정하기가 매우 어려울 것이고, 비노화 샘플과 노화된 샘플을 회복 시간 차이로 구별하기는 것은 더 어려울 것이다.
- [0130] 단단한 탄성중합 재료 및 폴리머 재료(케이블 절연체, 케이블 재킷, 호스, 일부 개스킷 재료, 일부 시일 재료 등)에 대해, 고전적인 압입 테스트가 회복 시간 측정 내에서의 힘과 변위의 동시 측정에 기초한 강성 측정과 함께 사용될 것이다. 진동 모드는 이 경우에 사용될 수 없는 바, 강제 진동 운동을 발생시킬 때 재료가 일반적으로 압입기 탐침을 재료와 항상 접촉 유지시키기에 충분히 "탄력적"이지 못하기 때문이다.
- [0131] 본 발명의 PPT 및 방법은 광범위하게 적용되는 바, 예를 들면, 재료 적격화(Material Qualification)(제조), 수명 연장 및 모니터링 프로그램(Life Extension & Monitoring Programs), 실습 재료 연구(Laboratory Materials Research), 예방 보수(Preventative Maintenance) 등에 적용된다. 그 결과, PPT 및 방법은 에너지, 항공우주, 재료 과학, 자동차, 군사, 화학 공정과 같은 각종 분야 및 산업에 활용될 수 있으며, 이들 분야와 산업은 모두 폴리머 및 탄성중합 재료를 사용한다.
- [0132] 본 명세서에 기재된 발명을 보다 잘 이해하기 위해서, 이하의 예가 제시된다. 이들 예는 단지 예시적인 목적의 것임을 알아야 한다. 따라서, 이들은 어떤 식으로든 본 발명을 한정하지 않아야 한다.
- [0133] 예
- [0134] 예 1: 열적으로만 노화된 PVC 케이블 재킷의 압입기 테스트
- [0135] 일련의 PVC 케이블 재킷 샘플을 200일에 이르는 기간 동안 통풍 오븐에서 110℃에서 열적으로 노화시켰다. 노화된 샘플은 이후 본 발명의 일 실시예에 따른 PPT를 사용하여 테스트되었다.
- [0136] 특정 압축 강성 결과가 도 9에 도시되어 있다. 강성은 비노화 샘플에 대한 11.9 N/mm에서부터 110℃에서 200일 동안 열적 노화된 샘플에 대한 21.7 N/mm까지 열적 노화 일수 함수로서 점진적으로 변화한다. 초기 변형의 35%를 회복하기 위한 시간이 도 10에 도시되어 있다. 회복 시간은 증가된 열적 노화 기간의 효과에 매우 민감한 것을 알 수 있으며, 50일 이후 약 +75%, 75일후 +167%, 100일후 +392%, 및 200일후 +788%의 변화를 갖는다.
- [0137] 예 2: 방사선 조사된 이루어진 PVC 케이블 재킷의 압입기 테스트
- [0138] 일련의 PVC 케이블 재킷 샘플을 감마 셀 내에서 2 내지 60 Mrad 범위의 선량(dose)으로 조사하였다. 이후 본 발명의 일 실시예에 따른 PPT를 사용하여 또한 표준 파단연신법을 사용하여 샘플을 테스트하였다. 덤벨-형상의 PVC 케이블 재킷 건본을 Lloyd LR5K 인장 테스트기의 공압식 그립에 배치하고 끊어질 때까지 당겼다. EAB 파라미터는 파단 시의 연신 증가 퍼센트로서 정의된다.
- [0139] 이들 방사선 조사된 PVC 케이블에 대한 참조 파단연신율 데이터는 도 11에 방사선 조사 선량 함수로서 도시되어 있다. 이 그래프는 60 MRad에서 파단연신율이 50%로 절대 감소됨을 도시하며, 열화 레벨은 케이블에 대한 통상 허용되는 수명말기 시점[IAEA-TECDOC-1188, 2000(상기)]에 대응한다.
- [0140] 방사선 조사된 PVC 케이블 재킷 샘플에 대한 특정 압축 강성 결과가 도 12에 도시되어 있다. 강성 파라미터는 방사선 조사에 기인하는 열화에 민감하지 않다. 이는 문헌[IAEA-TECDOC-1188, 2000(상기)]에 보고된 이전 연구에서 발견된 것을 확인시켜준다.
- [0141] 동일한 방사선 조사된 샘플에 대한 변형 데이터의 회복이 도 13에 도시되어 있다. 초기 변형의 35%를 회복하기 위한 시간은 방사선 조사 선량의 함수로서 거의 선형으로 증가한다. 비노화 조건으로부터, 평균 회복 시간 증가는 10 MRad에서 33%, 20 MRad에서 86%, 30 MRad에서 165%, 및 60 MRad에서 320%이다. 따라서, 회복 시간을 이용하는 이 새로운 접근법은 우선, 압입법을 이용하여 방사선 조사된 PVC의 열화를 평가하는 수단을 제공한다. 더욱이, 변형 회복 시간은 다양한 방사선 조사 레벨에 대해 측정된 EAB 수치와 매우 양호하게 상관되며, 양 파라미터는 재료 열화에 대해 극히 민감하다. 파단 연신율과 초기 변형의 35%를 회복하는 시간 사이의 양호한 상관관계가 도 14에 도시되어 있다.
- [0142] 예 3: 노화되지 않고 방사선 조사된 실리콘 샘플에 대한 진동 모드에서의 PPT를 이용한 동적 파라미터의 도출

[0143] 동적 강성 파라미터 및 점탄성 파라미터(D)가, 원자력 발전소에 사용되는 실리콘 도어 시일 재료의 노화되지 않은 60 Mrad 조사된 샘플에 대해 표 1에 비교되어 있다. 방사선 조사의 결과로서, 동적 강성의 실수 성분(k')은 4.88에서 7.81 N/mm로 증가한다. 허수 성분(k'')은 0.89에서 0.45 N/mm로 감소한다. 점탄성 파라미터(D)는 5.48에서 17.3으로 증가한다. 힘은 노화되지 않은 방사선 조사된 샘플에 대해 도 20에서 변위 함수로서 도시되어 있다.

[0144] 노화되지 않고 방사선 조사된 실리콘 샘플에 대해 PPT 진동 모드를 사용하여 도출된 동적 파라미터의 비교

표 1

5 Hz 사인파형 운동에 대해 도출된 동적 파라미터	비노화 실리콘 샘플	70 Mrad 조사된 실리콘 샘플
동적 강성의 실수 성분: k'(N/mm)	4.88	7.81
동적 강성의 허수 성분: k''(N/mm)	0.89	0.45
절대 동적 강성 k*(N/mm)	4.96	7.82
점탄성 파라미터 D = k'/k''	5.48	17.3

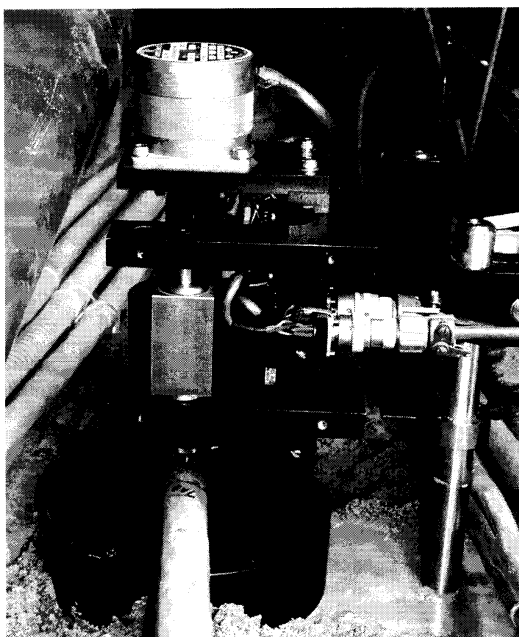
[0146] 본 명세서에서 언급된 모든 공보, 특허 및 특허 출원은 당업계에서 당업자의 숙련도를 나타내며, 각각의 개별 공보, 특허 또는 특허출원이 구체적으로 및 개별적으로 인용되는 것과 같은 정도로 본 명세서에 인용된다.

[0147] 진술한 본 발명에 의하면, 이것이 여러가지 방법으로 변형될 수 있음은 자명할 것이다. 이러한 변형에는 본 발명의 취지와 범위를 벗어나는 것으로 간주되지 않아야 하며, 당업자에게 자명할 이러한 모든 수정에는 하기 청구범위에 포함되도록 의도된다.

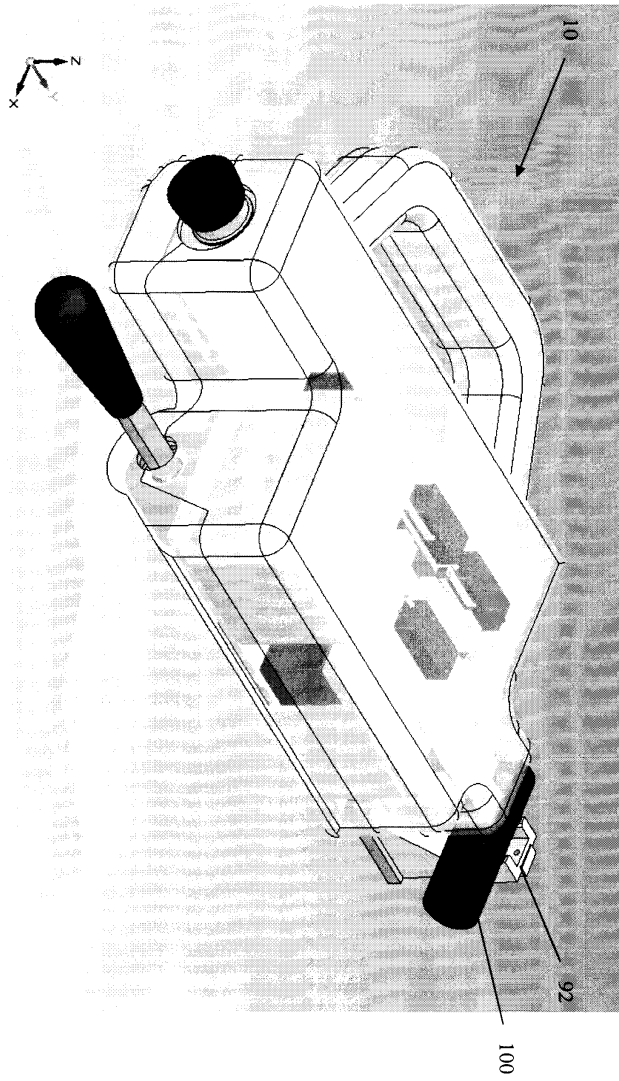
도면

도면1

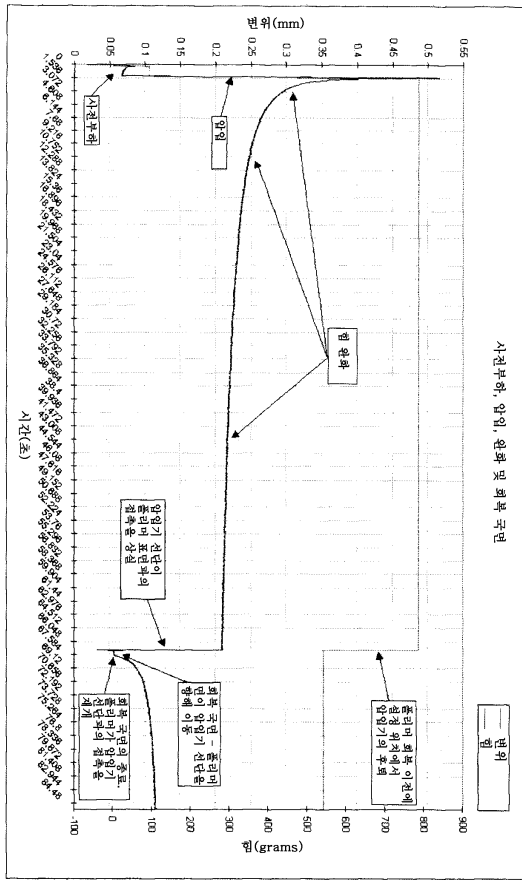
(종래 기술)



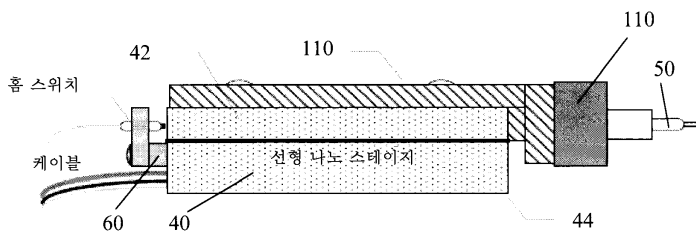
도면2



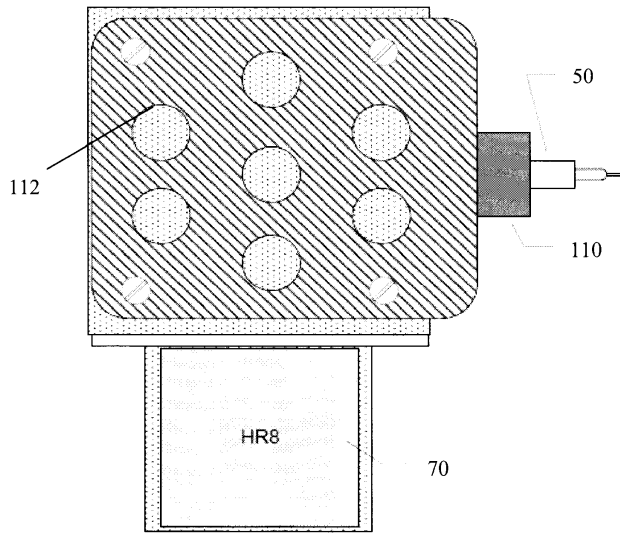
도면3



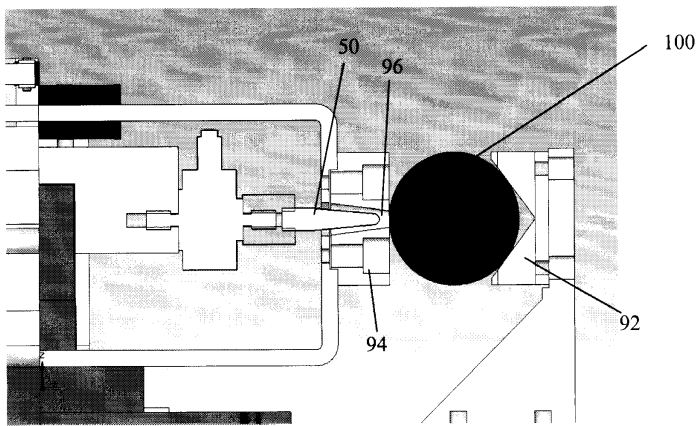
도면4a



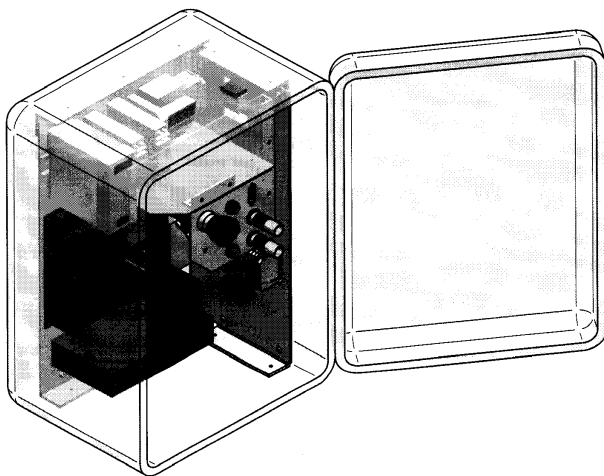
도면4b



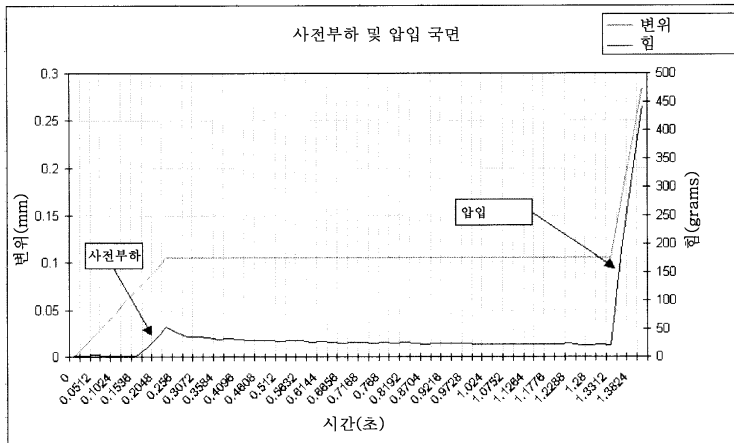
도면4c



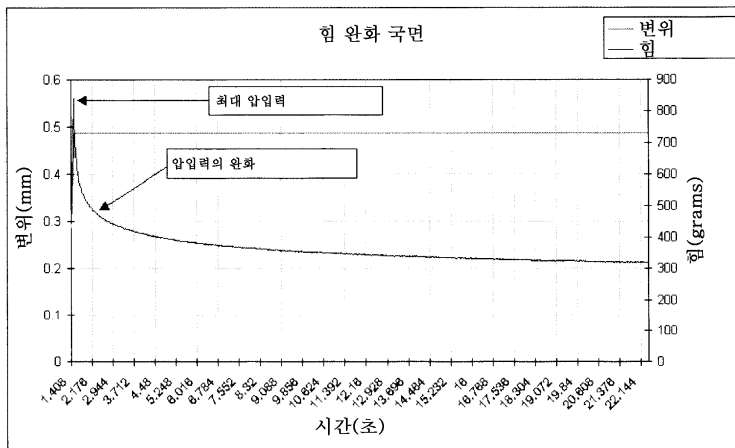
도면4d



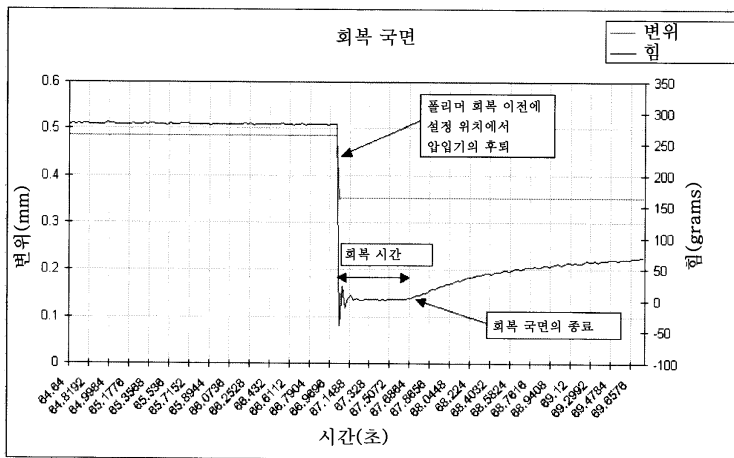
도면5



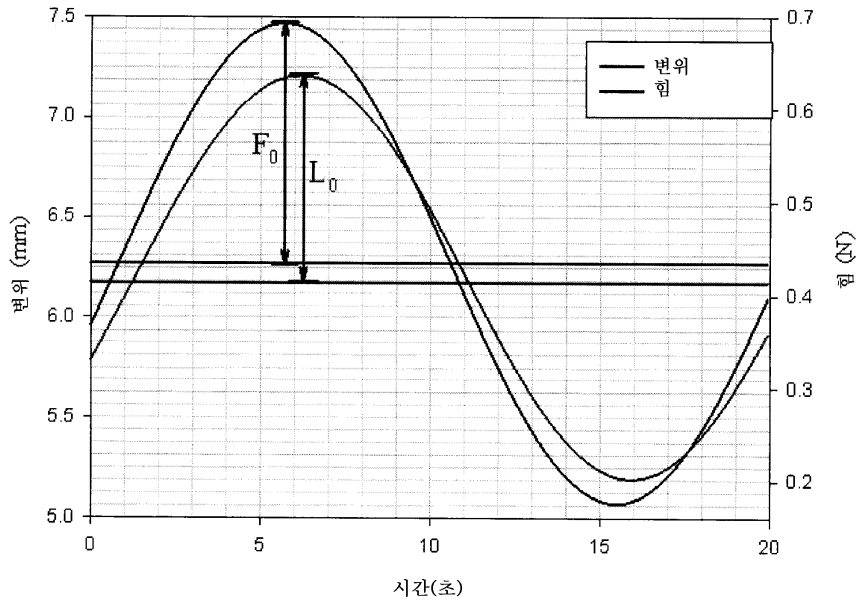
도면6



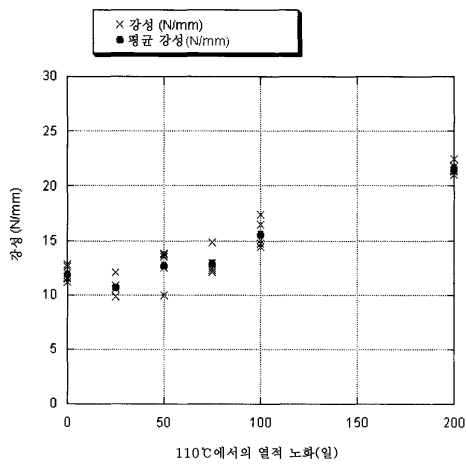
도면7



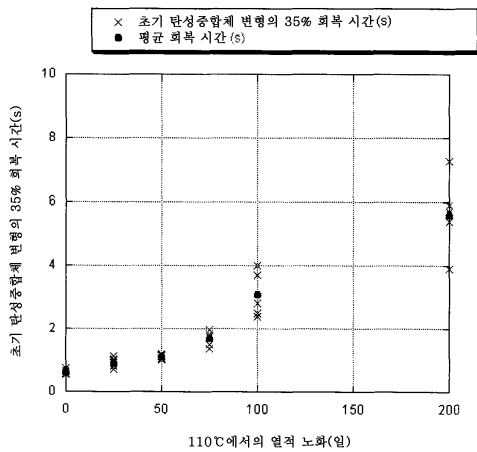
도면8



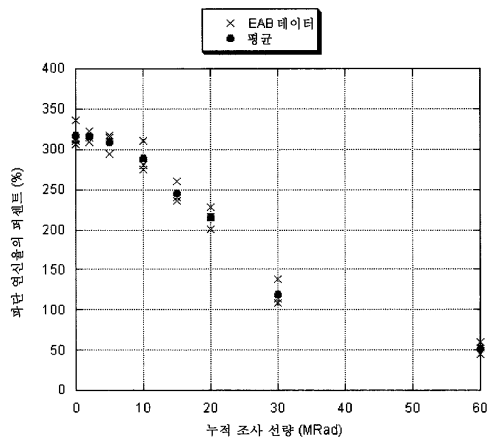
도면9



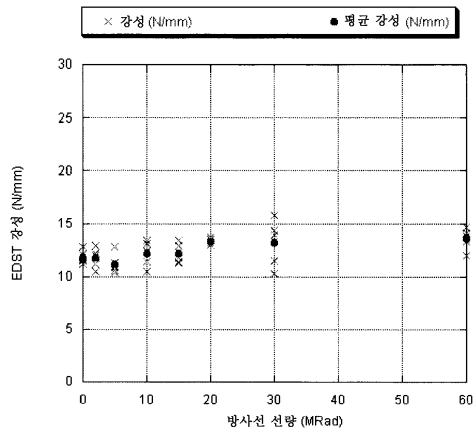
도면10



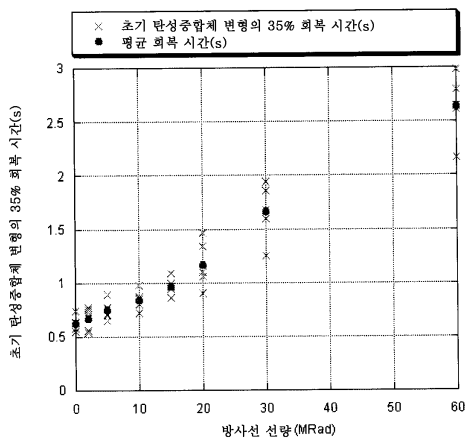
도면11



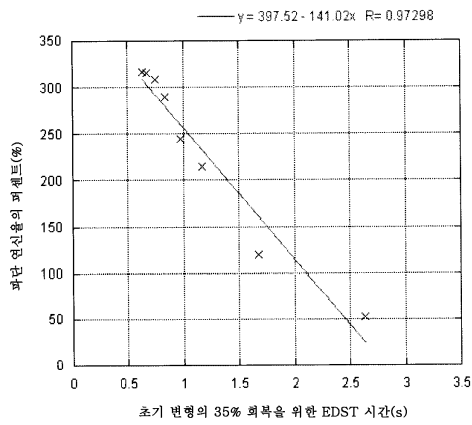
도면12



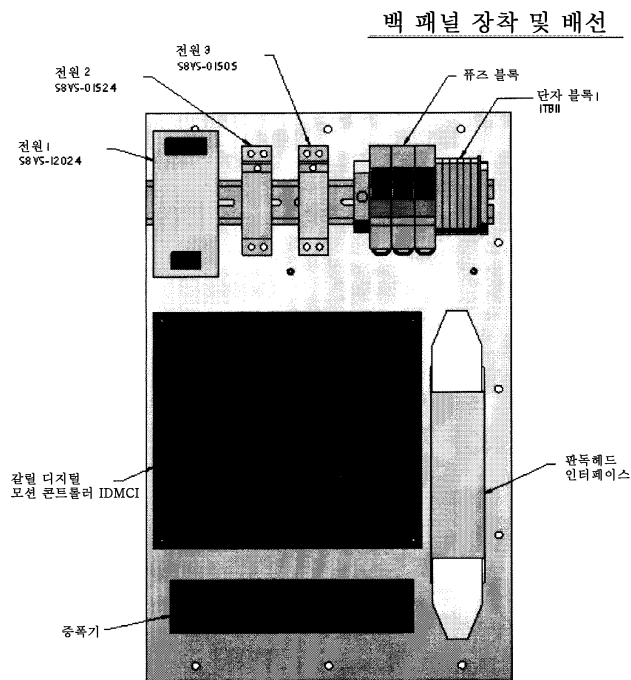
도면13



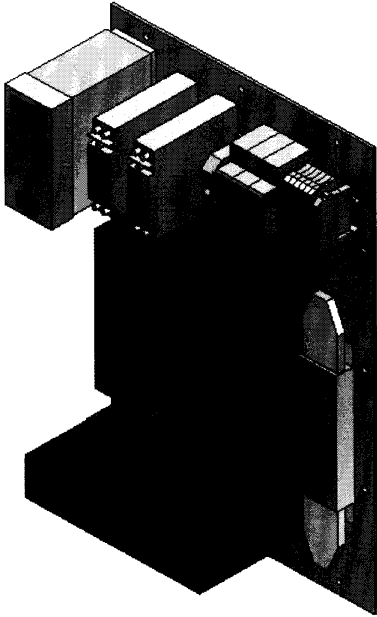
도면14



도면15a

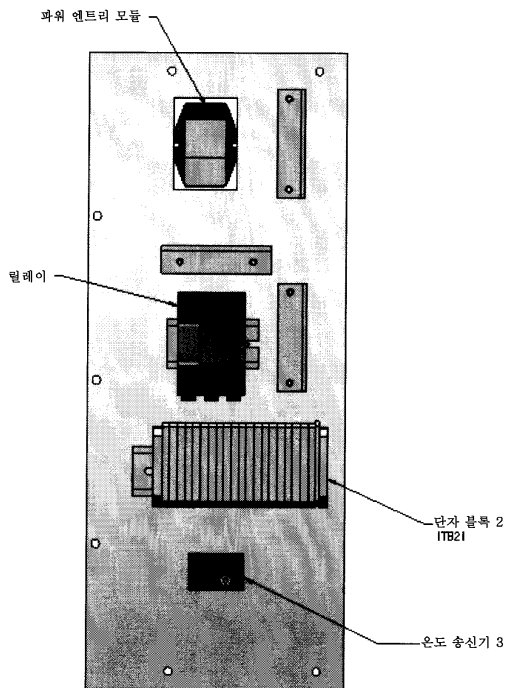


도면15b

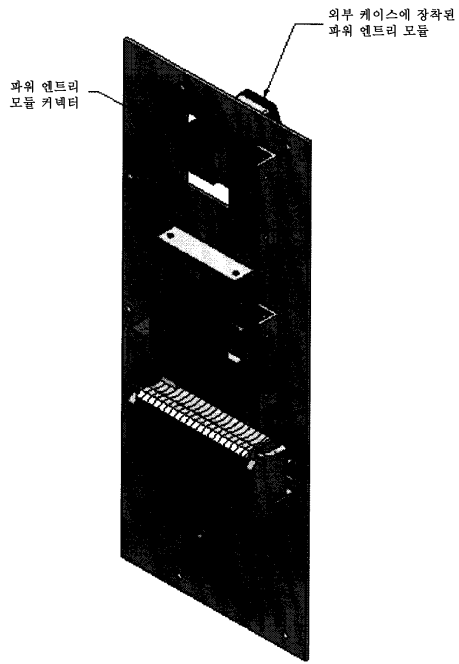


도면16a

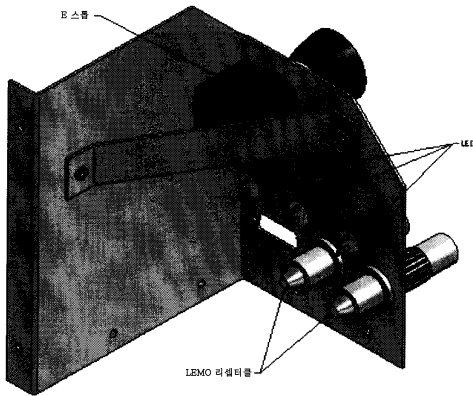
사이드 패널 장착 및 배선



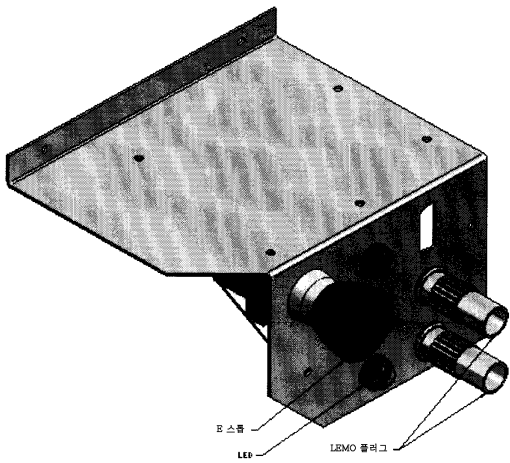
도면16b



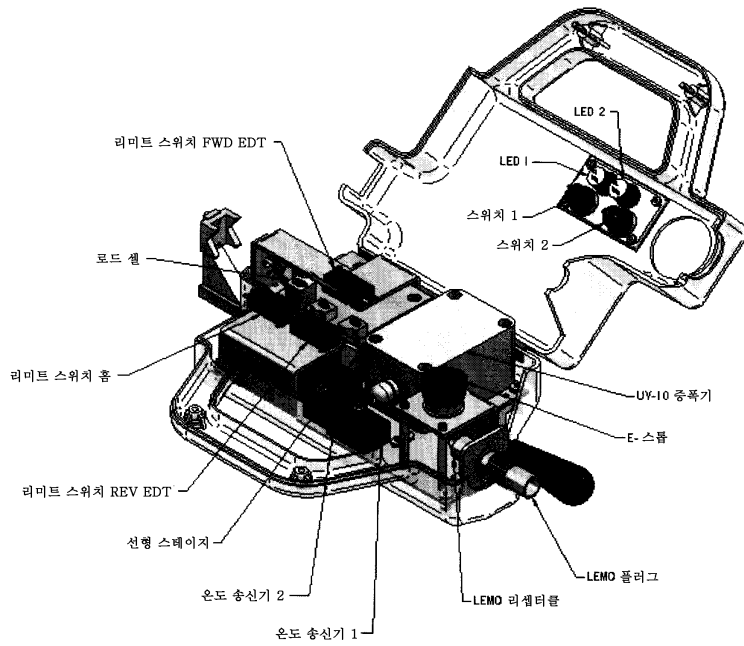
도면17a



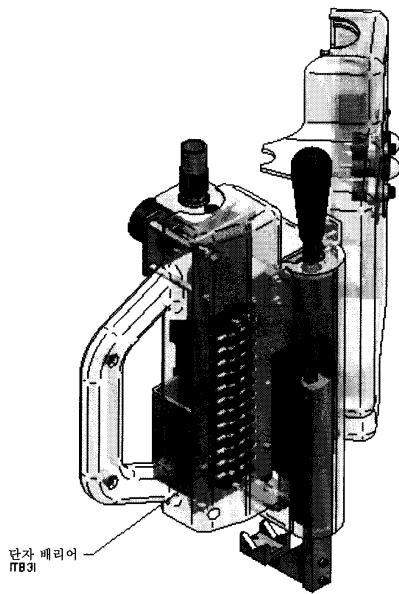
도면17b



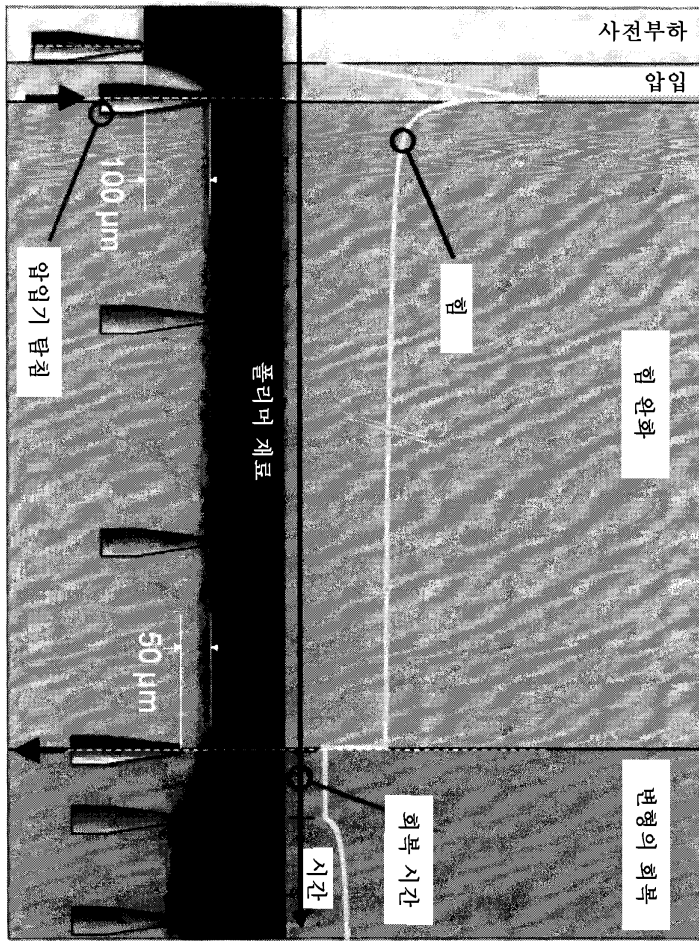
도면18a



도면18b



도면19



도면20

