



## 시멘트 공장 킬른의 상태와 성능을 모니터링하는 FLIR 열화상 카메라

시멘트가 없는 건축 및 건설산업은 상상조차 할 수 없습니다. 시멘트는 모르타르와 콘크리트의 핵심 재료로, 전세계 광물제품 중에서 가장 중요한 위치를 차지하고 있습니다. 시멘트 공장은 매우 복잡한 생산공정으로 구성되어 있으며, 그 중에서 가장 핵심적인 공정은 시멘트의 주성분인 석회석을 대형 회전가열로 속에서 다른 성분과 혼합하는 공정입니다. 이 회전로는 흔히 킬른이라 부르며 내부의 시멘트 원료를 보통 1,500° C 정도의 온도로 가열합니다. 자칫 제어가 잘못되어 이 온도를 초과하면 킬른이 심하게 손상되는 사고가 발생합니다. 이 가열공정을 제어하여 킬른이 손상되는 것을 방지하기 위해 시멘트 공정에서는 FLIR의 열화상 카메라를 사용하여 연중무휴로 모니터링하고 있습니다.

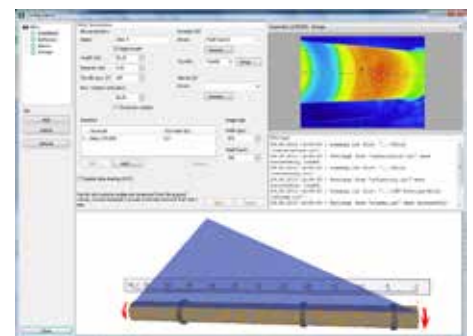
최근 두 기업이 공동으로 시멘트 공장에서 여러 대의 킬른을 동시에 모니터링하고 제어하며, 데이터를 수집할 수 있는 첨단 컴퓨터 시스템인 IRT KilnMonitor®를 개발했습니다. 그 중 한 업체인 인프로텍(INPROTEC IRT)사는 플리어시스템의 이탈리아 총판 회사입니다. 이탈리아 밀라노에 본사가 있는 인프로텍사는 각종 산업안전용 첨단 장비의 판매와 공급 전문업체입니다. 두 번째 기업인 그레이에스(Grayess)사는 다양한 분야에 사용되는 적외선 열화상 솔루션과 소프트웨어를 설계, 개발 및

판매하고 있는 기술 전문기업입니다. 그레이에스사는 미국 플로리다주 브레든턴시에 본사를 두고 있습니다.

이 두 회사가 개발한 IRT KilnMonitor® 시스템은 FLIR A-시리즈 열화상 카메라를 사용하여 시멘트 킬른의 온도를 실시간으로 모니터링할 수 있습니다. 또한 이 시스템에는 킬른 가시화 모듈(2D 및 3D)과 킬른의 방사열을 분석하는 서모그래픽 분석 모듈도 포함되어 있습니다. 인프로텍사의 판매이사인 로베르토 리카씨는 FLIR 열화상 카메라의 성능에 크게 만족하고



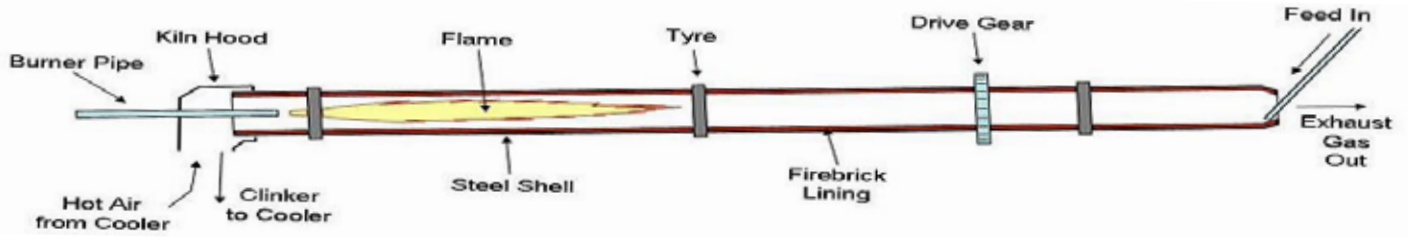
FLIR A-시리즈 열화상 카메라는 과열된 부분을 확실하게 보여줍니다.



IRT KilnMonitor® 프로그램 설정 화면

있습니다. 그는 “우리가 개발한 킬른 모니터링 시스템은 FLIR A315나 A615 열화상 카메라를 사용하도록 설계되어 있는 것입니다. 이 열화상 카메라는 이런 용도의 온도 측정에





로터리 킬른의 개념도

최고의 성능을 발휘합니다.” 라고 말합니다.

### 시멘트 생산과정

시멘트 생산과정에서 로터리 킬른과 열화상 카메라 사용의 중요성을 이해하기 위해 우선 시멘트 제조과정을 간단하게 살펴보겠습니다.

시멘트 공장은 대부분 그 수요가 많은 지역이나 원료인 석회석이 풍부한 지역에 설치되어 있습니다. 시멘트의 주 원료인 석회석과 점토는 공장에 가까운 곳에 있는 채석장에서 생산됩니다. 시멘트 생산은 기본적으로 두 단계로 이루어집니다. 첫째 단계는 원료에서 클링커를 만드는 공정이며, 둘째 단계는 클링커에서 완제품

시멘트를 제조하는 공정입니다.

벌크 상태로 공급되는 석회석과 점토 원료는 분쇄 및 혼합되어 로터리 킬른으로 투입됩니다. 로터리 킬른은 그 길이가 60~90m이고 직경이 5m 정도인 초대형 회전 파이프처럼 생긴 설비입니다. 이렇게 큰 킬른을 내부 온도가 1,500° C가 되도록 가열하는 것입니다. 킬른은 원료 출구 방향으로 약간 기울어져 있어서 킬른이 회전하면 원료가 출구쪽으로 진행하며, 출구에서는 원료의 온도가 100~200° C 정도로 급냉됩니다. 시멘트를 구성하고 있는 주성분은 네 종류의 산화물로, 산화칼슘(65%), 산화규소(20%), 산화알루미늄(10%) 그리고 산화철(5%) 등입니다. 이 주성분들을 균질하게 혼합하여 1,450° C 이상의 고온으로 가열하면서 서로 결합하게 되며, 이렇게 결합한 상태를 클링커라 부릅니다. 클링커는 작은 덩어리 모양이며, 대형 사일로에 저장됩니다.

둘째 단계는 클링커를 시멘트로 분쇄하는 공정으로, 클링커 제조 플랜트와는 다른 장소에 설치할 수도 있습니다. 클링커를 분쇄할 때 석고(황하칼슘)와 시멘트질 원료 또는 불활성 물질(석회석) 등을 추가합니다. 이 원료들을 미세한 분말로 분쇄하면 시멘트가 됩니다.

### 로터리 킬른(rotary kiln)

로터리 킬른의 내부 벽면은 내화재 라이닝이 설치되어 킬른의 강철 벽체가 고온으로 손상되거나 시멘트 원료에 의해서 부식되지 않도록 보호합니다. 이 라이닝은 내화벽돌 또는 내화 콘크리트로 구성되어 있으며 마모나 손상에 대처하기 위해 주기적으로 교체하고 있습니다. 이

내화 라이닝의 표면에 가공된 시멘트 재료가 코팅되어 킬른의 수명을 연장할 수 있게 됩니다. 내화 라이닝의 두께는 보통 80~300mm 정도이며, 열을 직접 받는 표면과 그 반대 표면 사이의 온도차이는 약 1,000° C 정도가 됩니다. 또한 킬른의 강철 벽체는 온도를 350° C 정도로 유지해야 강철이 열에 의해 손상되지 않습니다. 이 목적을 위해서 열화상 카메라가 사용되는 것입니다. 열화상 카메라로 로터리 킬른의 원통형 벽체, 즉 셸(shell)을 지속적으로 모니터링하여 내화재가 부분적으로 손상될 때 나타나는 비정상적인 과열 부분을 검출할 수 있습니다.

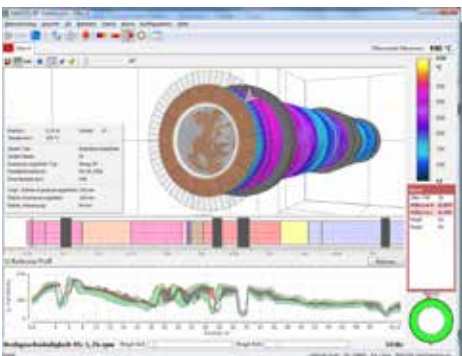
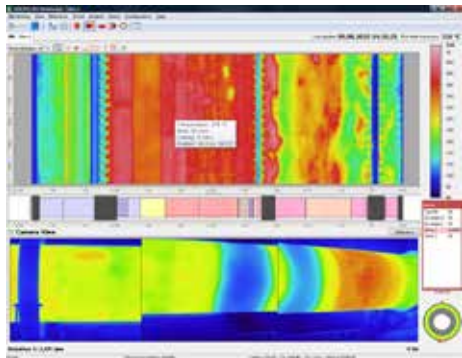
### 킬른 셸의 보호

셸(원통 벽)은 킬른의 운전성능에 가장 큰 영향을 미치는 부분입니다. 이 원통형 셸을 열화상 카메라로 모니터링하면 두 가지의 중요한 문제를 감시할 수 있게 됩니다.

### 킬른 모니터링 시스템

인프로텍사와 그레이에스사가 공동개발한 IRT KilnMonitor® 프로그램은 3대의 A315 열화상 카메라를 사용하여 60m 길이의 전체 킬른을 각각 20m씩 모니터링합니다. 열화상 카메라가 보내주는 동영상 스트림은 중앙관리실의 모니터로 볼 수 있으며 킬른의 운전 상태와 성능을 하루 24 시간 실시간으로 알려줍니다. 킬른이 일회전하는 시간은 약 30 초이며 IRT KilnMonitor® 프로그램은 이 회전시간에 동기화 되어 있어서 킬른 둘레 전체의 열화상을 만들 수 있습니다.

킬른 셸이 비정상적인 온도로 과열되면 프로그램이 경고를 발신하여 운전자가 즉시 필요한 조치를 취할



IRT KilnMonitor® 프로그램은 킬른의 운전 상태와 성능을 하루 24 시간 실시간으로 알려줍니다.

수 있도록 합니다. 예를 들어 킬른의 열화상에 과열된 부분이 나타나면 그 부분의 내화벽돌이 손상되거나 탈락되었다는 것을 알 수 있습니다. 이런 경우 운전자는 킬른 내부의 버너를 조절하거나 심하면 킬른을 정지시켜서 큰 고장이 발생하지 않도록 해야 합니다.

### 정확한 열화상 제공

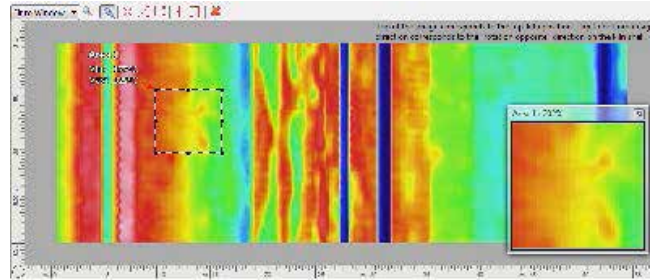
IRT KilnMonitor® 프로그램은 중앙제어실에 있는 운전자에게 킬른의 운전 상태를 최대한 정확하고 상세하게 보여주기 위해 FLIR 열화상 카메라가 전송하는 정보를 처리하여 여러 종류의 보기 모드를 제공합니다.

### 열화상 스캐너와 열화상 카메라의 비교

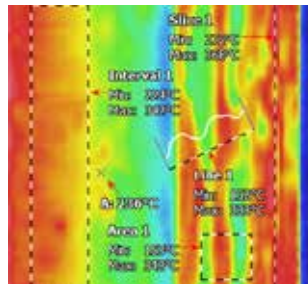
인프로텍사의 로베르토 리카씨가 만족스럽게 생각하고 있는 것은 FLIR의 A315 열화상 카메라뿐만이 아닙니다. 지금까지 시멘트 공장에서는 킬른 모니터링에 널리 사용되고 있는 열화상 스캐너와 비교하면 열화상 카메라가 훨씬 더 경제적이라는 것을 쉽게 알 수 있습니다.

로베르토 리카씨의 설명에 의하면, 열화상 스캐너를 사용할 경우 이론적으로 한 대의 스캐너로 60m 길이의 킬른 전체를 모니터링할 수 있습니다. 그러나 열화상 스캐너를 사용하려면 스캐너를 적당한 거리에 설치하고 킬른 전체가 시야에 완전히 들어오도록 해야 합니다. 하지만 현장의 여건 상 이런 조건을 모두 만족시키는 것은 쉽지 않습니다. 열화상 스캐너는 그 부피가 매우 크고 설치가 쉽지 않습니다. 대부분의 시멘트 공장에서는 로터리 킬른은 전용 건물 안에 설치되어 있습니다. 열화상 스캐너의 최대 시야각이 120° 라는 것을 고려하면 건물 내부에서 장애물 없이 로터리 킬른 전체를 시야에 넣을 수 있는 거리에 설치하는 것이 불가능한 경우가 많습니다. 예를 들어 대부분의 로터리 킬른에는 내부에서 발생하는 고온의 공기를 회수하여 에너지를 재생하는 이차 공기 덕트들이 설치되어 있습니다. 이런 덕트가 킬른과 열화상 스캐너 사이에서 시야를 가리게 되는 것입니다.

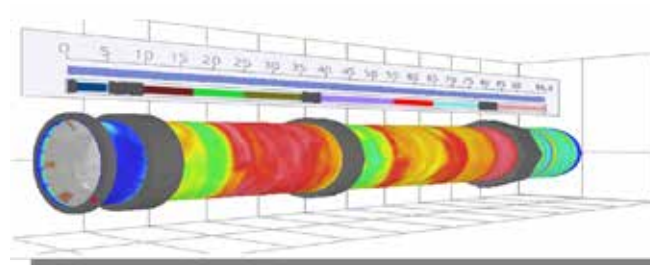
### 2D 열화상 (2차원 온도 맵)



IRT KilnMonitor® 프로그램은 사용자가 색상 팔레트와 온도 범위를 선택할 수 있습니다. 사용자는 특정한 부분의 온도, 각 부분의 위치, 내화벽돌의 두께, 시멘트 코팅 두께 등의 정보를 볼 수 있으며 다른 윈도우를 통해서 특정한 부분을 확대해서 볼 수도 있습니다.

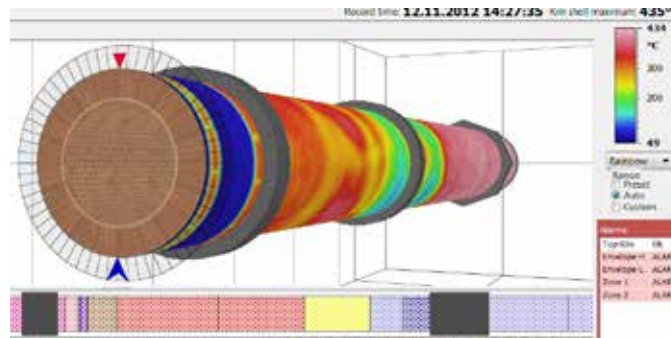


### 킬른 전체의 3D 입체 형상(가상 3D 킬른)



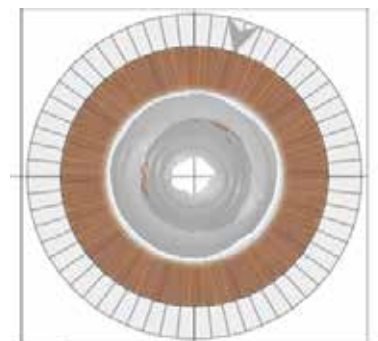
킬른 전체의 외부 셀 표면 온도를 보여주는 열화상입니다. 이 열화상 속의 킬른은 실제와 동일한 속도로 회전합니다.

### 킬른 내부의 3D 입체 형상(킬른 단면의 3D 영상)

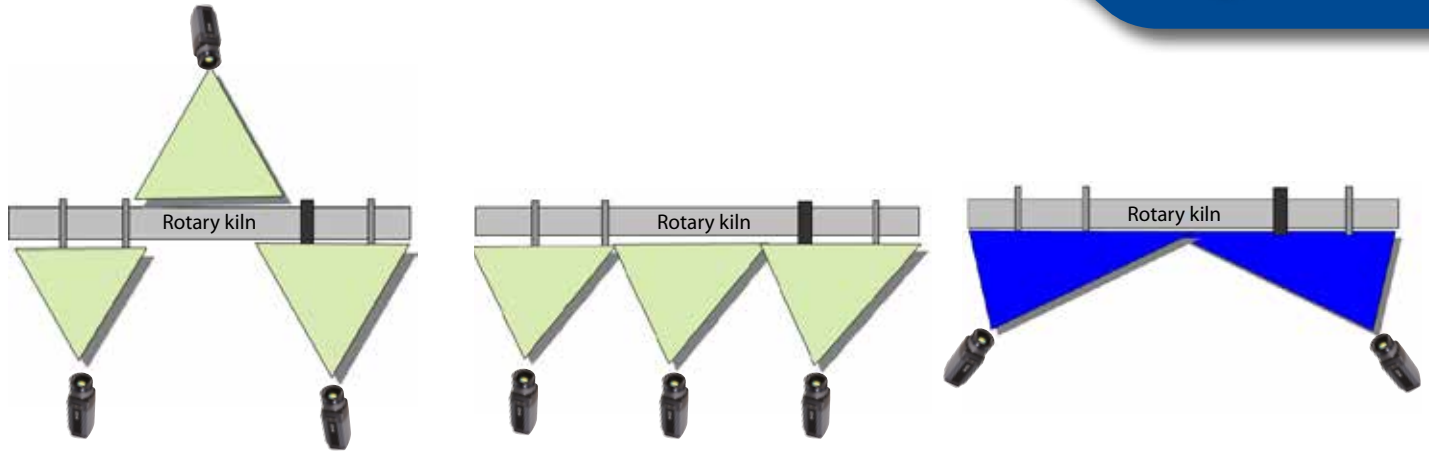


이 단면 보기 모드에서는 킬른의 단면을 임의로 선택하여 내부를 자세하게 볼 수 있습니다(내화벽돌과 시멘트 코팅 상태 등)

### 킬른 끝에서 보는 영상(킬른 끝에서 보는 방향)



이 영상은 킬른 단면의 3D 보기 영상 중에서 특수한 위치, 즉 맨 끝에서 안쪽으로 보는 영상입니다.



가능한 카메라 설치 위치

이와 달리, 열화상 카메라는 크기가 훨씬 더 작고 무게가 가벼우며, 설치도 매우 간편한 장점이 있습니다.

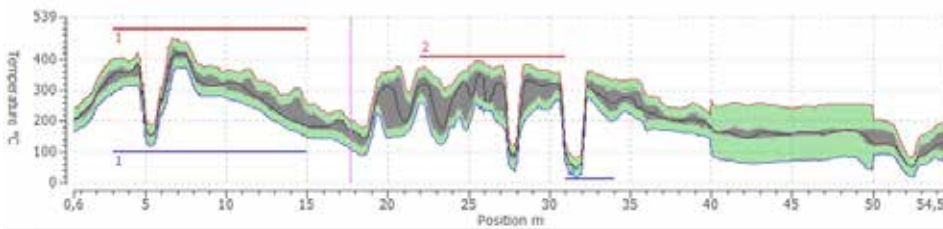
실제로 설치 공간에 제약이 따르는 환경에 매우 적합한 것입니다. 현재 이 회사에서는 FLIR A315 열화상 카메라에 90도 렌즈를 사용하고 있습니다. 90도 렌즈를 사용하면 총 길이가 60m인 킬른을 불과 세 대의

열화상 카메라로 커버할 수 있으며, 이것은 한 대의 열화상 스캐너보다 훨씬 더 경제적인 것입니다.

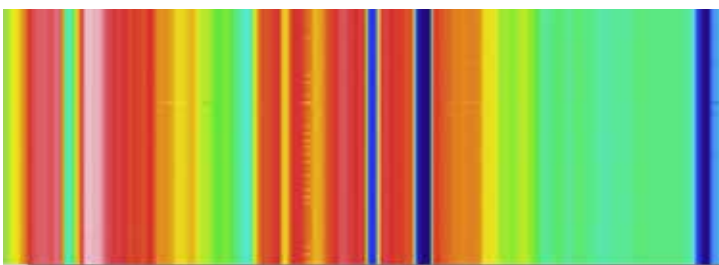
높은 분해능 FLIR A315와 A615는 저렴한 가격대의 소형 열화상 카메라로서 PC를 통해 완전하게 제어할 수 있습니다. 온도 분해능이 50 mK 이하로 극히 높아서 선명한 열화상과 함께 미세한

온도 차이도 정확하게 측정할 수 있습니다. 시멘트 킬른의 온도를 모니터링하기 위해서는 열화상의 분해능이 매우 높을 필요가 있는 것입니다. 또한 90도 광각 렌즈를 사용하여 길이 60m의 킬른을 2-3대의 열화상 카메라로 모니터링할 수 있습니다. 독일의 한 업체에서는 FLIR A315 카메라와 90도 렌즈를 사용하여 선명한 열화상을 얻고 있습니다.

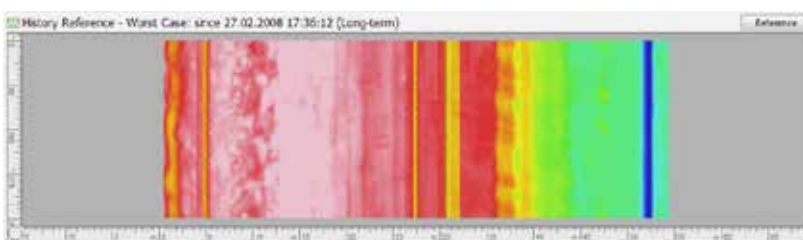
**IRT Kilnmonitor® 시스템은 여러 종류의 요약 보고서를 제공하며 또한 킬른의 가동이력을 기록 제공하여 그 성능을 평가할 수 있도록 해줍니다.**



최고 허용 온도 범위와 킬른 각 부분별로 허용되는 온도 프로파일을 보여줍니다.



이 이미지는 킬른의 가동 이력을 보여주는 것입니다. 각각의 줄이 이력에서 하나의 기록을 나타냅니다.



이 열화상은 "최악의 경우"를 나타내는 것으로 킬른의 이력 중에서 발체하여 합성한 것입니다. 각각의 점은 킬른의 가동 이력 중에서 그 점에서 가장 높았던 온도를 나타냅니다.

이 회사에서는 향후 IRT Kilnmonitor 시스템에 분해능이 더 높은 FLIR A615 열화상 카메라의 사용을 계획하고 있습니다. FLIR A615의 분해능은 640x480 픽셀로, 더 정확한 정보를 제공하며 더 먼 거리에서도 정확한 측정이 가능합니다. 실제로 킬른의 길이가 60m나 된다는 점을 고려하면 이 열화상 카메라의 각 픽셀은 킬른 표면의 10cm에 해당하는 것입니다.

For more information about thermal imaging cameras or about this application, please contact:

**FLIR Commercial Systems**  
 Luxembourgstraat 2  
 2321 Meer  
 Belgium  
 Tel. : +32 (0) 3665 5100  
 Fax : +32 (0) 3303 5624  
 E-mail : flir@flir.com

The images displayed may not be representative of the actual resolution of the camera shown. Images for illustrative purposes only.