

On Line 시스템에 의한 실시간 입도측정 및 분쇄의 자동제어

Mariola López Vargas · Francisco Ayuso Hernández · Francisco Martínez Vilchez <Holcim(Jerez)>

David Pugh · Alain Blasco <Malvern Instruments>

ABSTRACT

온라인 분쇄입도 조절 콘트롤(Insittec) 시스템은 시멘트의 생산공정상에 시멘트입도를 직접 측정하고 측정된 데이터를 이용하여 공정을 제어할수 있는 새로운 방법으로서, 세계적으로 50여개의 시멘트 생산 현장에 이러한 시스템이 설치되어 있다. 시멘트의 생산공정은 일반적인 분쇄공정과는 차별되는 나름대로의 특성이 있으므로 이를 개발한 Malvern Instrument사(영국)에서는 시멘트 공장의 특성에 적합한 시스템을 개발해왔다. 우선 가장 이상적인 Instec 시스템의 설치를 위해서는 다음과 같이 3단계의 절차가 필요하다. 첫 단계로서 공정상의 변수로 적용되어야 될 변화를 찾아 모니터링하고 연관시키는 것이다. 그 다음 단계에서, 시멘트 생산공정을 24시간 동안 모니터링하여 설정 값과 측정 값과의 차이점과 원인을 찾아내어 요인을 결정하게 되고, 마지막 단계에서는 현장에 장비를 설치, 상기의 반복과정을 마무리하고 공정을 제어할 수 있게 하는 것이다. 시멘트 생산공정에서 분쇄기, 분급기 및 송풍기 등의 회전수 증가와 감소, 시멘트조성의 변화와 같은 중요한 공정상의 변화가 있을 경우, 이로 인해 생기는 입도의 영향은 Insittec 시스템의 입도관리에 기록되게 된다. 본 논문에서는 스페인의 Jerez에 있는 Holcim 플랜트에 설치된 Insittech를 이용하여 운전상의 변수 등을 측정하고 제어하여 시멘트 공정에 활용하는 방안에 대한 연구를 소개한 것이다.

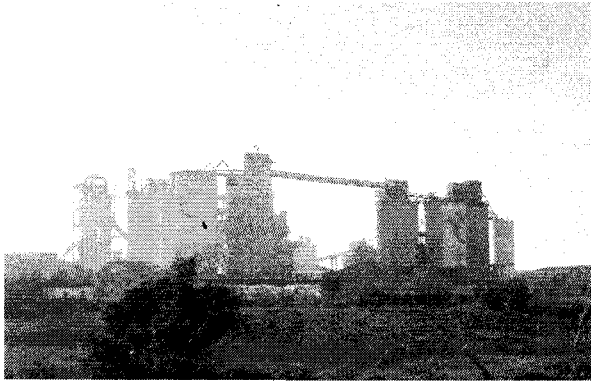
1. 서 론

입도분포는 시멘트 생산에서 가장 중요한 인자중의 하나이다. 입도분포를 통해 시멘트 제품의 압축강도를 예측할 수 있음으로서, 품질관리를 하게되며, 또한, 분쇄 및 제반 공정상의 효율성을 나타냄으로서 최적의 공정과 생산비용의 절감, 생산량의 증가등 등 생산의 효율성을 나타내는 것이다.

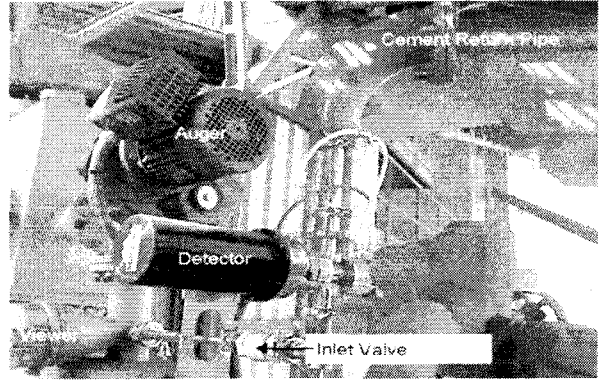
Insittec 시스템은 분쇄공정에서 제품의 품질관리를 자동화하여 연속공정에서의 측정결과를 이용하여 실시간으로 공정최적화를 할 수 있는 새로운 방법이다. 또한 Insittech을 생산 공정에 적용함으로써, 공장 운전애 필요한 여러 가지 조절 변수 중에 제품의 품질에 절대적인 영향을 미치는 변수를 찾아내어 이를 조절 또는 중점관리하여 공장의 생산 효율 또는 생산성 증대에 활용할 수 있도록 하는 것도 또한 이 시스템의 주요 목표이기도 하다.

본 논문에서는 2002년 10월에 스페인의 Jerez에 소재한 Holcim 시멘트공장(그림 1)에 Insittec을 적용한 내용과 결과를 설명하고자 한다. 이 공장에선 1기의 110 ton/h 규모의 시멘트 밀(볼 밀)이 설치되어 있으며, UNE en 197:1 기준에 의하여 세 종류의 시멘트가 생산되고 있다. 일반적인 시멘트 조성은 다음의 <표 1>과 같고 $R_{63\mu}$ 는 63 μ m의 체에 걸린 시료의 무게(230mesh 잔사)를 말한다.

본 연구에서는 OPC의 강도발현에 필요한 변수로서 Blaine값으로 하지않고, $R_{63\mu}$ 값을 주요 변수로 간주하였다. Blaine값과 45 μ m 이상



<그림 1> Holcim plant, Jerez, Spain



<그림 2> Insitech installation

의 분율은 크기 설정 점을 변화시킬 때 마다 4 회 반복하여 측정하였다.

최종적으로 온라인 시스템인 Insitech 설치 목적은 생산되는 세 종류의 시멘트 제품의 품질 향상을 입도분포의 측정과 조절을 통해 가능하게 하는 것이다.

2. 실험방법

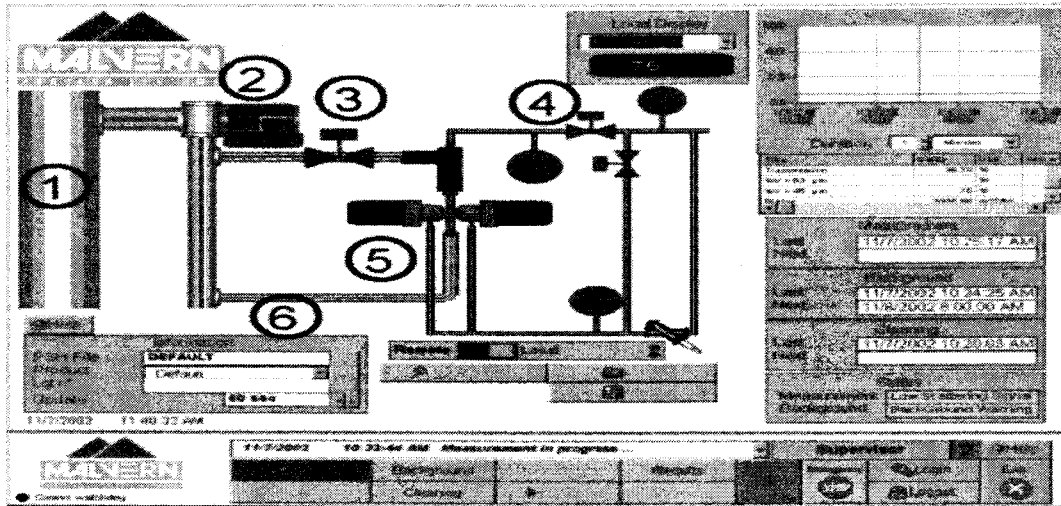
Holcim 시멘트사의 공장에 설치한 Insitech 장치는 시료채취 및 분산장치, 전자조절 장치, Flow cell 및 laser measurement detection system의 세부부분으로 구성되어있다. 본 연구에 사용된 Insitech의 설치 상태는 <그림 2>와 같다.

입도분석을 위한 시료채취는 시멘트 air slide 에서 가변형 ITECA를 이용하였다. 여기에서 시료채취 속도 조절은 시험에 적합한 시료양이 되도록 하였으며 2차 샘플링 시스템으로 공급되도

록 하였다. 샘플링 위치는 시멘트 생산되어 이송되는 슈트이며 20kg/hr이상의 시멘트를 채취하였다. 시료 채취를 하는 부분의 재질은 마모 등을 방지하기 위하여 세라믹 재질을 사용하였고 형태는 플루트 형태이다. 채취된 시료는 flow cell로 강제 이송되고 여기에서 되는 laser diffraction 방법으로 시멘트의 입도분석이 이루어진다. 시료는 laser beam 부분을 통과하게 되고 이때 원래의 laser는 산란된다. 이 산란된 laser를 receiver lens를 이용하여 수집하고 log scale 의 annular ring detector으로 측정한다. annular ring detector 는 고속으로 탐색하고 얻어진 결과를 기록하며 또한 디지털로 변환하여 연속 실시간 분석이 가능하게 한다. 측정 과정을 거친 시료는 다시 세라믹 관을 통하여 생산라인으로 보내진다. 따라서 시료의 손실 및 공장 오염 등을 방지할 수 있다. <그림 3>은 현장에 적용한 Instech의 운전상태 및 주요 부분을 소프트웨어 상에 나타낸 것이다.

<표 1> Cement composition

| Cement Type | CEM I 42.5 R | CEM II/A-V 42.5 | CEM V/A (S-V) 32.5N |
|-------------|--------------|--------------------|---------------------|
| | Clinker | Clinker | Clinker |
| | Gypsum | Gypsum | Gypsum |
| Components | - | Fly Ash | Fly Ash |
| | Slags | - | Slags |
| | - | Minority component | Minority Component |
| % R>63 | 1 ~ 1.5 | 3 ~ 3.5 | 4 ~ 4.5 |



<그림 3> Process mimic

- 1. Main cement from air slide 2. Sampling system auger 3. Inlet valve
- 4. Venturi valve 5. Laser, detector and flow cell 6. Cement return pipe

3. 결과 및 고찰

(공정의 모니터링 테스트)

Insitec 온라인 시스템의 주요 장점은 공정에서 생산되는 제품의 입도 및 분포를 측정 및 분

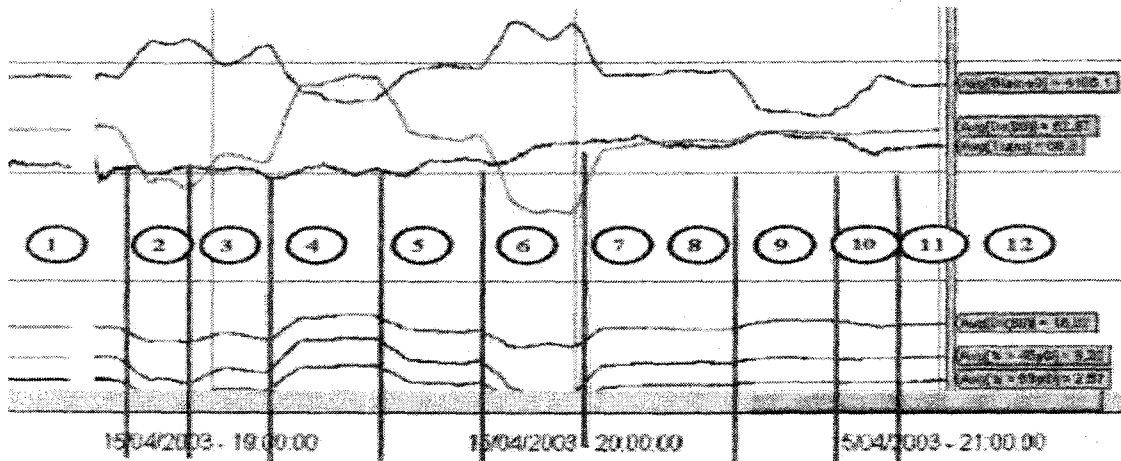
석하여 중요 제어변수를 계산하여 공정을 제어하는 것이다. 측정은 20초 간격으로 이루어 지나 측정된 입도분포 등이 공정중의 분리기 등으로 feedback 되어 제어된 후 얻어지는 결과는 통상적으로 1~2분이 소요된다. 여기에서 Mill의 운전 변수 및 시멘트 조성을 변화시켜 실험을 하였다. 조작변수의 변화 시점은 기억되어지고, Insitec으로 측정된 입도분포결과와 상관관계가 이루어지게 된다.

<표 2> Test parameters

| Event | Fan speed (rpm) | Separator speed (rpm) |
|-------|---|-----------------------|
| 0 | 795 | 791 |
| 1 | 645 | 791 |
| 2 | 645 | 670 |
| 3 | 795 | 670 |
| 4 | 795 | 791 |
| 5 | 795 | 1000 |
| 6 | 795 | 791 |
| 7 | Change cement composition (remove 3% dust filter) | |
| 8 | Change cement composition (add 3% dust filter) | |
| 9 | 795 | 761 |

실험에서 얻어진 % R>63µm 수치는 mill 변수 조절에 매우 민감하였다. <표 2>에 실험에 적용한 mill의 변수와 시멘트 조성을 정리하였다. 이것을 세부적으로 살펴보면 다음과 같은 과정으로 실험 하였다.

- 1) 안정한 운전상태; fan 795rpm 및separator를 791 rpm
- 2) 조건변화: fan 645로 설정 및 separator를 691로 고정
- 3) 조건변화: fan 645로 고정 및separator를 670로 설정
- 4) 조건변화: separator 670으로 고정 및 fan을 795로 설정
- 5) 조건변화: fan 795로 고정 및 separator를 791로 설정



<그림 4> Real time display showing tracking of key parameters

- | | |
|---|---|
| 1. Stable phase separator 791, fan 795 | 2. Change fab to 6455, separator stays at 691 |
| 3. Change separator to 670, fan stays at 645 | 4. Change fan to 795, separator stays at 670 |
| 5. Change separator to 791, fan stays at 795 | 6. Change separator to 1000, fan stays at 795 |
| 7. Reset separator to 791, fan 795 | 8. Stable phase |
| 9. Remove dust 3% | 10. Reset adding dust 3% |
| 11. Fine adjust separator to 761, end of test | 12. Stable phase |

- 6) 조건변화: fan 795로 고정 및 separator 를 1,000으로 설정
- 7) 운전조건 초기화: separator 및 fan을 각각 791 및 795로 설정
- 8) 안정한 운전 상태
- 9) 미분 3% 양을 제거한 경우
- 10) 미분 3% 첨가하는 경우로 최기화 한 경우
- 11) separator를 761로 미세 조정후 측정 완료
- 12) 안정한 운전조건

하였을 때 상관되는 Blaine 값은 59%증가 하였으며 이는 separator 속도를 동일한 조건으로 높인 것 보다 높은 수치였다.

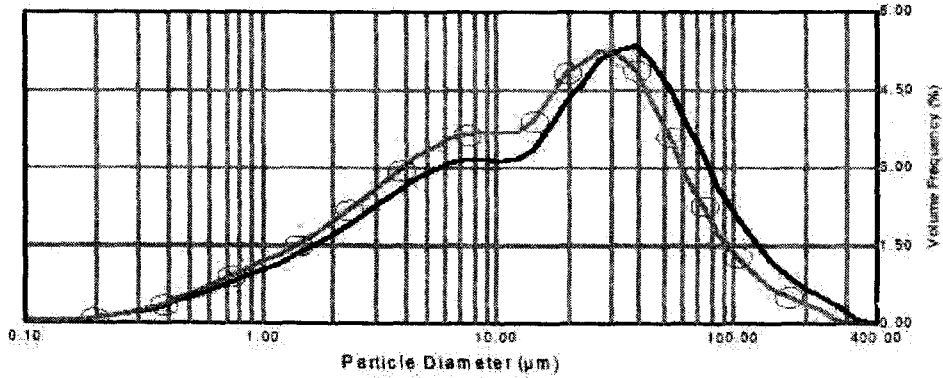
Fan speed를 감소시켰을 때, 측정되는 입도분포는 낮은 % R>63 μ m를 보이는 것으로 보아 민감하게 반응하였고 또한 separator의 속도를 감소시킬 때 보다 높은 % R>63 μ m 를 보이는 것으로 보아 낮은 민감도를 보였다.

<그림 4>에서는 x축에 대해 Dv 50, Dv 90, % R>63 μ m, Blaine 수 및 시간에 따른 %R>45 μ m 를 동시에 볼 수 있다. <그림 4>에 나타나는 약간의 불안정한 구간은 mill 시험운전조건에 따른 변화에 따른 이다.(표 2)

<그림 5>는 separator 의 속도를 670 rpm으로 고정하고 fan의 회전수를 645에서 795rpm으로 변경할 때 측정된 입도분포도이다. 여기에서 검정색 분포도는 795에서 670으로 변경할 때, 붉은 색 분포도는 645에서 670으로 변할 때 나타나는 결과이다.

모든 운전 조건 설정 및 변경에 따라 생산되는 제품의 입도분포 변화는 separator 및 fan 의 속도 변화에 비례하였다. Fan 속도를 고정하고 separator를 변화시킬 때 운전조건에 따라 Insitec에서 측정된 결과와 상관되는 Blaine 값은 비례관계를 보였다. Fan 속도가 645에서 795로

<그림 6>은 fan의 회전수를 795rpm으로 고정하고 separator의 속도를 1,000에서 791, 670으로 순차적으로 감속할 때 변경할 때의 입도분포를 보였다. 여기에서 검정색 분포는 795에서 670, 주황색 분포는 795에서 791 그리고 청색 분포는



| File | Date-Time | Material | Lot | % |
|--------------|--------------------|----------|-----|---|
| Fan795sep870 | 4/15/2003-19 08:54 | | | |
| Fan645sep870 | 4/15/2003-19 56:15 | | | |

<그림 5> The effect, on the fineness distribution graph, of increasing the fan speed from 645-795rpm, whilst maintaining the separator speed at 670rpm

795에서 100으로 감소시켰을 때 측정 및 제어된 입도 분포도이다.

로 운전하는 경우이며 검정색은 3%의 미분을 첨가하지 않는 경우이다.

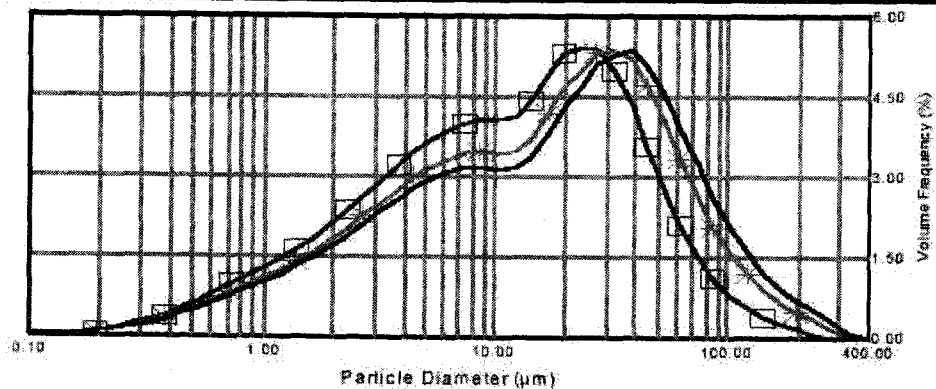
<그림 7>은 separator 속도를 791, separator 속도를 795로 유지하고, 이때 필터에 걸려진 미분을 3% 첨가 유무에 따른 입도분포도를 살펴본 것이다. 여기에서 파란색 분포도는 정상적으

(시멘트 조성과 측정)

시멘트 공장의 사일로에는 각기 다른 여러 품질의 시멘트 생산품들이 섞여있다고 볼 수 있다.

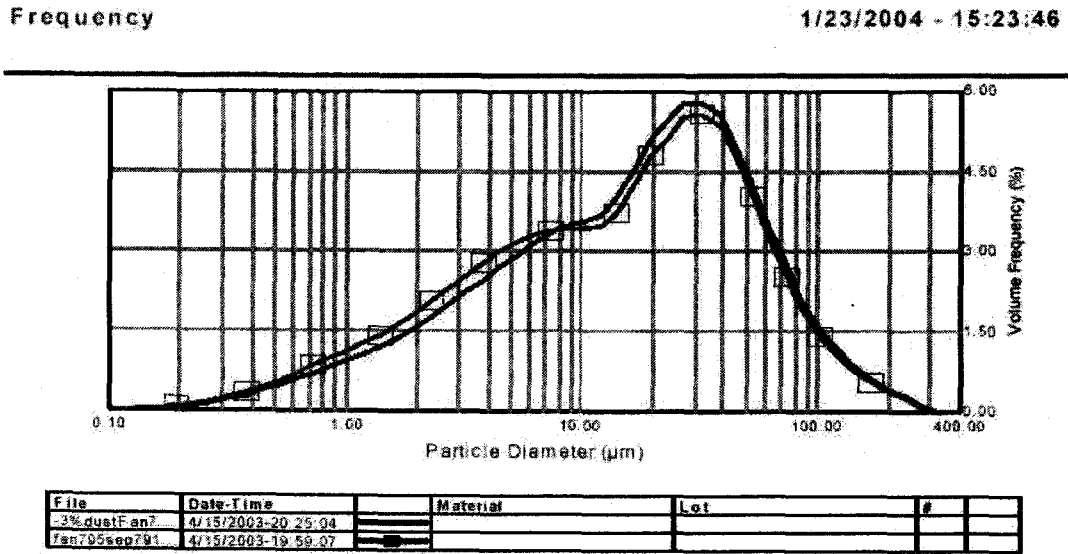
Frequency

1/23/2004 - 15:38:21

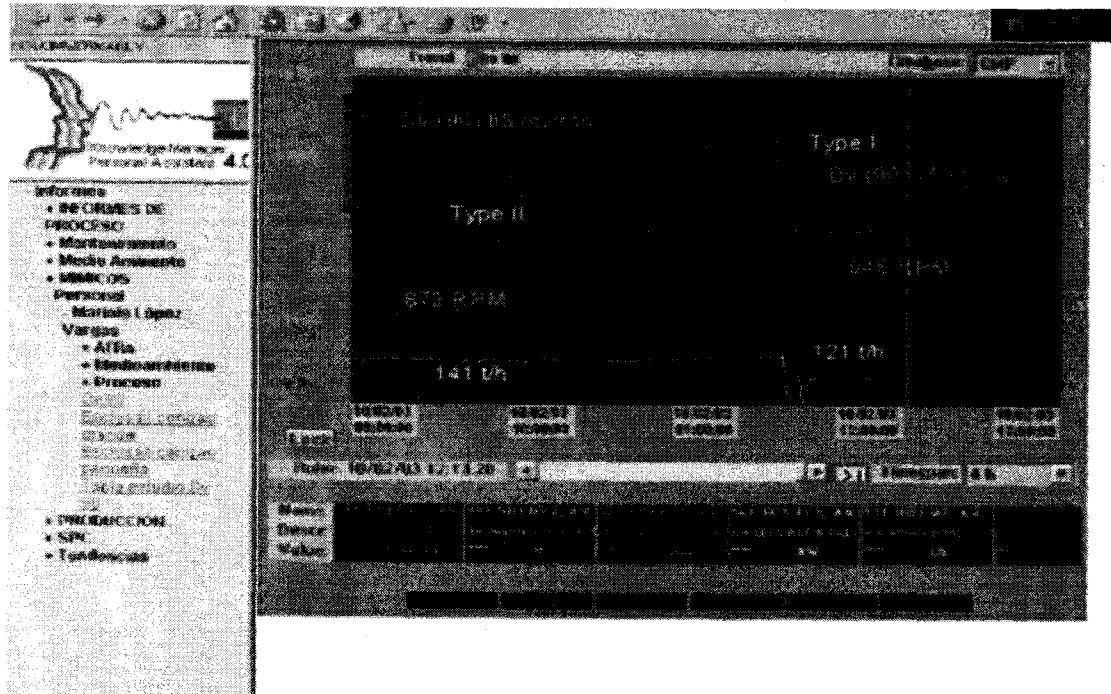


| File | Date-Time | Material | Lot | % |
|---------------|--------------------|----------|-----|---|
| fan795sep1000 | 4/15/2003-19 43:47 | | | |
| fan795sep791 | 4/15/2003-19 28:53 | | | |
| fan795sep670 | 4/15/2003-19 08:34 | | | |

<그림 6> The effect, on the fineness distribution graph, of decreasing the separator speed from 1000 to 791 to 670rpm, whilst maintaining the fan speed at 795rpm



<그림 7> The effect, on the fineness distribution graph, of removing the 3% filter dust, whilst maintaining separator speed at 791rpm and fan speed at 795rpm



<그림 8> ATIS on-line tracking. Room control signal. Separator speed, Fineness DV 90, mill feed and % retained on 63 microns.

이러한 현상은 시멘트 품질스펙을 높이거나 낮추고자할 때 야기된다. 스펙을 낮출 경우, 적정 스펙이 될 때까지는 필요이상의 고품질 스펙

을 계속 낮추면서 시멘트를 생산하여 스펙을 맞추게 된다. 반대로 품질스펙을 높게 하고자 할 경우에는 적정 스펙으로 높이기 위해서 여러 중

간단계를 거쳐서 품질을 맞춤으로서 다양한 스펙의 시멘트 제품들이 사일로에 섞이게 된다. 소비자의 입장에서 본다면, 이러한 일정하지 않은 품질은 오히려 나쁠수도 있다. 콘크리트 제조에는 초기강도가 높고 안정적인 시멘트를 선호되는데, 이것은 콘크리트의 배합설계를 정확하게 하기위해서이다. 따라서 비록 시멘트의 품질이 지정스펙보다 높다하더라도 불안정한 시멘트 제품은 좋지 않게 인식된다.

<그림 8>은 시멘트 품질 변화에 따른 온라인 입도결과이다. 설정된 입도로 맞추는데 5분이 채 걸리지 않음을 볼수있다. 따라서, 추가의 시멘트 분석은 필요없고, 사일로 내에서의 시멘트 품질의 불균일은 없게된다.

4. 결 론

온라인 시스템을 시멘트 분쇄기에 적용한 결과 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 온라인 상태에서의 입도관리는 요구 입도의 편차를 최소화 할 수 있었다.
- 2) 22회의 일일 입도분석실험의 횟수가 감소됨으로서, free lime, coal, 원료 등의 관리를 위한 실험실 업무가 원활하게 됨으로써, 생산공정 업무가 개선되었다.
- 3) 시멘트 생산제품의 입도분석은 설정값을 확인하는 목적으로 일일 1회로 행하게 되었다.
- 4) 품질스펙을 변경할 경우 사일로에 적재되는 입도의 편차를 최소화할수 있었다.
- 5) 시멘트 입도의 편차를 낮춤으로써, 초기와 장기강도측면에서 더욱 안정된 특성을 보일 수 있는 시멘트 제품을 생산할 수 있었다.
- 6) 본 분석장치는 세라믹 프루트를 제거하고 샘플을 수동으로 공급함으로써, 다른 입도분석 목적의 물질을 적용할수 있었다.
- 7) 광학 분석장치로서, 최소의 window fouling과 보정이 필요하며, 일단 시스템이 고정된 상태에서 지속적으로 사용된 결과, 유지관리가 양호하였다.