

시멘트 공정 최적화를 위한 온라인 입도분석 시스템의 활용

황인선 · 채우형*

<한요케미칼>

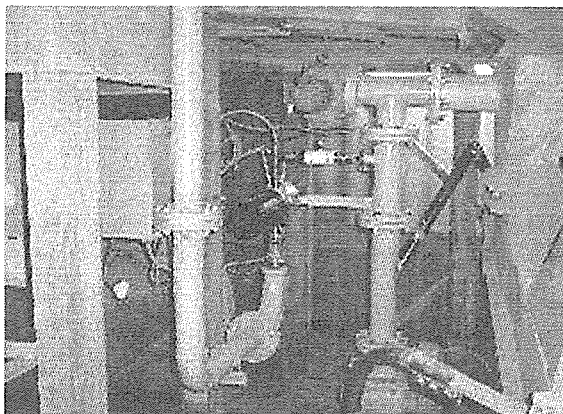
1. 서 론

건설자재로서 주축을 이루어 온 국내 시멘트 산업은 최근 유례없는 어려움을 겪고 있으며 이를 타개하기 위해 여러 가지 변화를 시도하고 있다. 이러한 변화의 이면에는 많은 기술적인 진보가 뒷받침된 것이 사실이다. 보다 효과적인 시멘트 제조공정의 관리를 위해 여러 가지 개선책이 시행되어 발전을 거듭하고 있다. 이와 같은 시멘트산업에서의 변화는 고객의 까다로운 요구에 대해 신속히 대처한 노력의 결과이기도 하다.

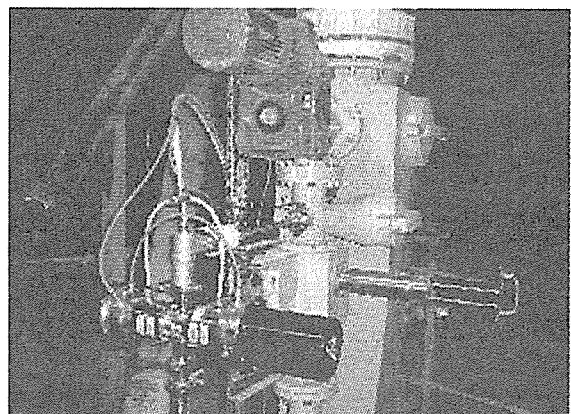
시멘트 제조업체들은 한층 더해가는 고객의 요구와 함께 회사운명을 위한 원가절감에 많은 노력을 기울이고 있는 것이 현실이다. 하지만 모든 업체들이 노력에 대해 만족할 만한 결과를 얻는 것은 아니다. 그것은 노력이라는 것이 단순한 시간적인 투자를 의미하는 것이 아니라 현실적이고 효율적인 방법의 적용을 포함하고 있기 때문이다.

시멘트 산업에 있어서 큰 비중을 차지하는 입도관리 방법이 그 예가 될 것이다. 전통적으로 시멘트 산업에서는 비표면적을 측정하는 Blaine측정법을 이용해 왔으며, 그와 함께 여러 가지 입도측정 장비들이 개발되어 공급되었으나 거의 대부분이 '오프라인 측정법', 즉 수동으로 현장에서 시료를 샘플링하여 시험실에서 그 결과를 분석하고 다시 현장으로 피드백하는 시스템을 벗어나지 못했다. 오랜 기간동안 이용되어온 오프라인 측정법은 여러 가지 한계점을 드러내면서 입도관리에 있어서 새로운 변화를 요구하게 되었다.

이러한 기대에 부응하기 위해 등장한 것이 '온라인 입도분석 시스템'이다. 온라인 입도분석은 오프라인 측정법의 긴 사이클을 일순간으로 압축시킨 실시간 측정방법이며 이를 바탕으로 자동공정제어도 가능하게 되어 시멘트 제조업체들의 종합적인 해결방안으로 선택이 증가하고 있는 추세이다.



<사진 1> 온라인 입도분석 시스템-L社(철레)



<사진 2> 온라인 입도분석 시스템 - Castle

2. 시멘트 산업에서의 온라인 입도분석

2.1 온라인 입도분석 시스템의 도입 배경

시멘트 제조공장에 적용되고 있는 온라인 입도분석은 측정 장비를 현장 라인의 필요한 위치에 설치하여 공정상에서 연속적이고 실시간의 입도 측정 자료를 받을 수 있도록 한 방식이다. 이와 같이 온라인 입도분석 시스템이 채택되고 있는 것은 기존의 오프라인 입도측정이 여러 가지 한계점에 도달하게 되었기 때문이다. <표 1>에서 오프라인과 온라인 입도분석의 장단점을 정리해 보았다.

<그림 1>은 현재 적용되고 있는 온라인 입도분석장비의 운용 사례를 공정도상에서 보여주고 있다(우측상단의 사진은 실제 공정에 설치된 온라인 입도측정 장비임).

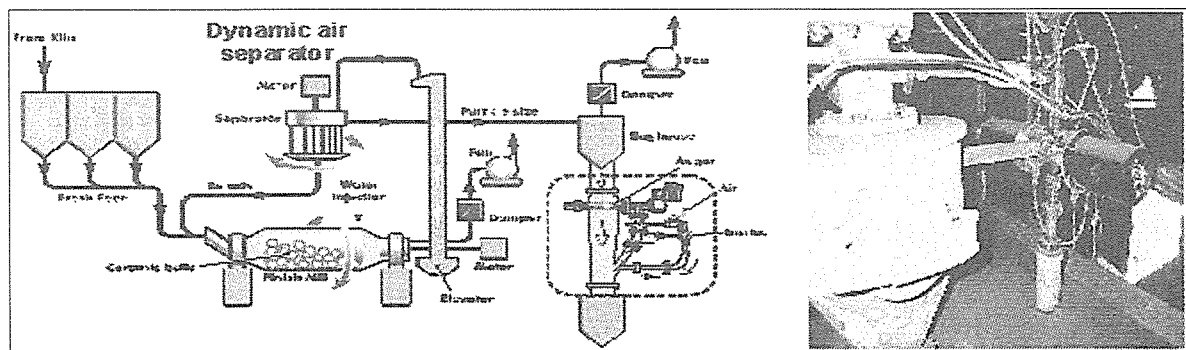
온라인 입도측정은 좁은 관점에서 볼 때 수동으로 시험원이 시료를 채취하여 시험실로 가져가 입도시험을 하기까지의 시간과 인력을 절감시켜준 것이지만 좀더 넓게 본다면 오프라인적인 입도분석은 소량의 샘플로 모집단의 입도를 추정하는 것에 불과했지만 온라인의 경우, 연속적인 데이터들이 실시간으로 하루 24시간 제공될 수 있기 때문에 신뢰도 높은 입도자료를 얻을 수 있게 되었다는 것이다.

2.2 온라인 입도분석장비의 보급현황

현재 온라인 입도분석 시스템의 채택은 해외에서 더욱 활발하게 이루어지고 있으며 국내에서도 도입이 임박한 상황에 있다. <표 2>는 특정 온라인 입도분석 시스템이 시멘트 공장에 보급된 현황을 보여준다.

<표 1> 오프라인과 온라인 입도분석법의 장단점 비교

| | 오프라인 | 온라인 |
|----|--|--|
| 장점 | 1. 선택된 샘플로 여러 가지 시험을 수행 (Blaine값 측정 가능) | 1. 연속적이고 방대한 입도자료 제공으로 입도의 신뢰도 높음. 2. 시료의 오염 및 손실 없음 3. 분쇄 자동화 : 측정 데이터를 근거로 분쇄공정을 바로 컨트롤 가능 |
| 단점 | 1. 2~4Hr주기의 소량 샘플링으로 입도의 대표성 낮아짐 2. 시료의 오염 및 손실 가능 3. 측정 소요시간이 길 4. 수동측정이므로 고정인력 필요 | 1. 시험장비의 에러 발생시 대체 방안 필요 2. 다른 시험을 위해 별도의 샘플링 필요 |



<그림 1> 공정상에 설치된 '온라인 입도분석 장비' (M社 제공)

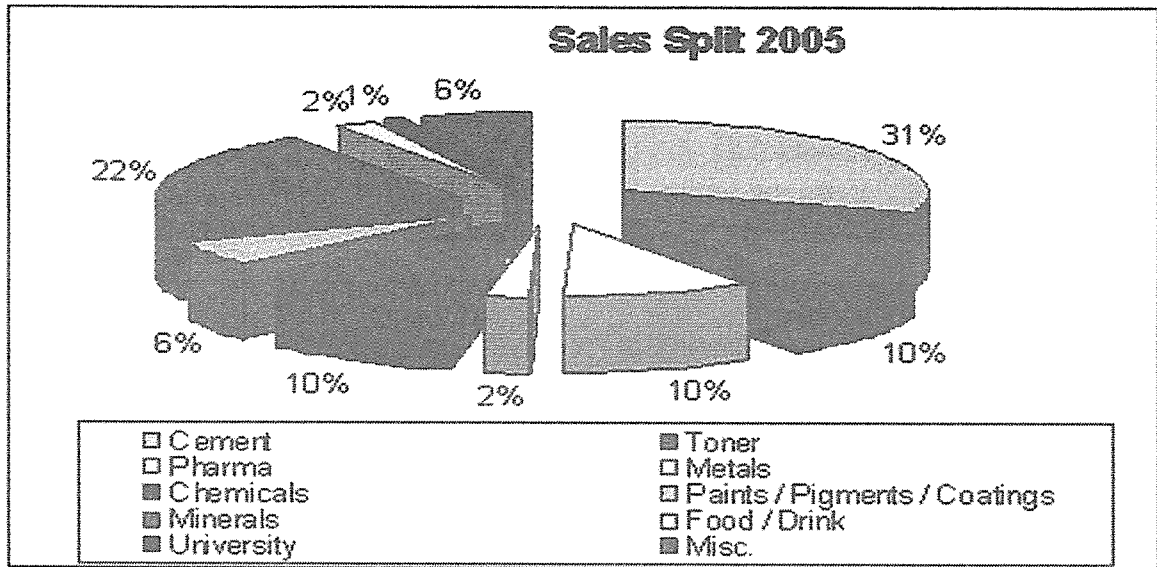
<표 2>에서와 같이 지금까지는 유럽, 미주, 아프리카 쪽으로의 보급이 두드러졌지만, 최근 들어 아시아/태평양지역(호주, 뉴질랜드, 동남아, 중국, 한국 등)의 시멘트 산업으로의 보급이 급물살을 타고 있다.

이러한 온라인 입도분석 시스템의 보급은 시멘트산업이 큰 비중을 차지하고 있으나(31%), 광물(22%), 토너(10%), 제약(10%), 화학(10%) 등의 분야에서도 꾸준히 도입이 진행되고 있다 (<표 3>, M社 2005년 판매실적 기준).

<표 2> 온라인 입도분석장비 보급현황 (M社제공)

| Country | Company | Location | Install |
|--------------|----------------------------|----------------|-----------|
| Belgium | Italcementi (COB) | Tourmai | 1996/2001 |
| Canada | Lafarge | St. Constant | 1996 |
| Canada | Lafarge | Richmond | 2001 |
| Canada | Votorantim | St. Mary's | 2003 |
| China | Lafarge | La Calera | 2002 |
| China | Shanghai Allied Cement | Shanghai | 2002 |
| France | Italcementi (Calcia) | Rombas | 1996 |
| France | Lafarge | Fos sur Mer | 1998 |
| France | Vicat | Montalieu | 1999 |
| France | Vicat | Grave de Peil | 1999 |
| Greece | Lafarge | Milaki | 2002 |
| Germany | Zementwerk Berlin | Berlin | 2001 |
| Germany | Spenner | Ruhrgebiet | 2001 |
| Germany | Holcim | Rohrbach | 2001 |
| India | Gracim | Bathinda | 2002 |
| Mexico | Cemex | Tepeaca | 2004 |
| Portugal | Cimpor | Souselas | 2003 |
| South Africa | Holcim (Alpha Cement) | Rodeport | 2003 |
| South Africa | Holcim (Alpha Cement) | Dudfield | 1999 |
| Spain | Holcim | Jerez | 2002 |
| Taiwan | China Hi-Ment | Kaohsiung | 2000/2003 |
| UK | Heidelberg (Castle Cement) | Mold | 2002 |
| USA | Ashgrove | Clancy | 2000 |
| USA | Ashgrove | Louisville | 2000 |
| USA | Ashgrove | Chanute | 2000/2001 |
| USA | Ashgrove | Seattle | 1998 |
| USA | Ashgrove | Leamington | 1998 |
| USA | Ashgrove | Durkee | 1999 |
| USA | Lafarge | Sparrows Point | 1998/2000 |
| USA | Holcim | Devil's Slice | 1999 |
| USA | Holcim (St. Lawrence) | Camden | 2001 |
| USA | Lafarge | Whitehall | 2000 |
| USA | Lafarge | Roberta | 2000/2004 |
| USA | Lafarge | Harleyville | 2001/2002 |
| USA | Heidelberg (Lehigh) | Tenechapi | 2003 |
| USA | Rinker | Brooksville | 2002 |
| USA | Signal Mountain / Buzzi | Chattanooga | 2003 |

<표 3> 2005년 산업분야별 입도분석 시스템 도입 비율

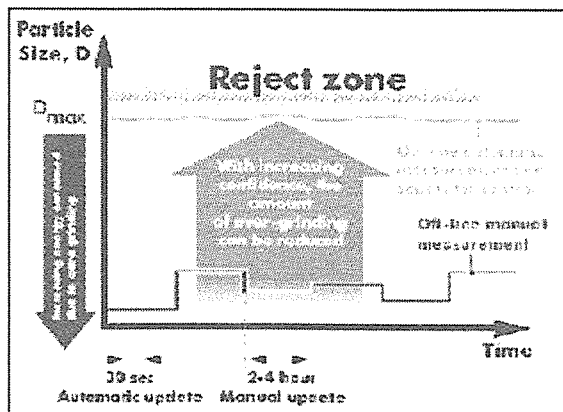


2.3 온라인 입도분석의 효과

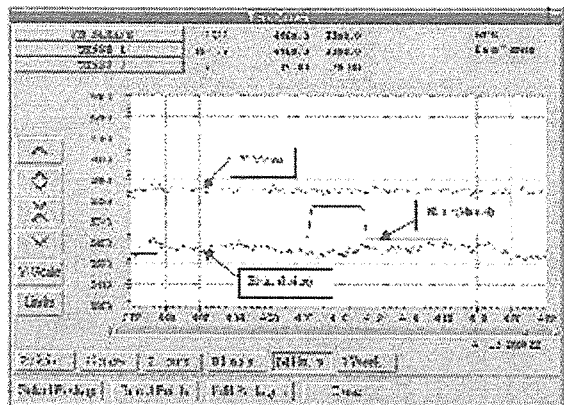
2.2단락에서 언급된바와 같이 세계적으로 시멘트를 비롯한 분말 제조업체에서의 온라인 입도분석 시스템 도입이 꾸준히 이어지는 것은 온라인 시스템 도입후의 효과에 대한 긍정적인 인식이 크게 작용하고 있다고 볼 수 있겠다. 그럼 이러한 온라인 입도분석 시스템의 효과적인 측면을 둘러보게 되면 크게 세 가지로 나누어 볼 수 있을 것이다. 그것은 원가절감, 최적의 품질 관리 그리고 생산성 향상이다. 이러한 효과들은 시스템이 도입되는 해당 사업장의 설비, 제품의

특성 및 작업방법 등에 따라 달라질 수 있을 것이다. 현실적으로 원가절감, 품질 및 생산성은 직접, 간접적으로 상호 연관되어 있기 때문에 명확히 구분 짓기란 쉽지 않으나 시스템 도입에 따른 효과를 쉽게 이해하기 위해 부분적으로 살펴보는 것이 나올 것이다.

첫 번째로 ‘원가절감’의 측면부터 살펴보자. 시멘트 제조 산업은 에너지 집약적인 장치산업으로 제조비용의 1/3 정도가 에너지 부문이며, 그중의 상당부분이 분쇄에 사용되지만 공급되는 전력에너지의 1%만이 실제 분쇄에 이용되고 나머지는 진동 및 열에너지로 발산되어 버린다.



<그림 2> 온라인을 이용한 과잉분쇄 감소



<그림 3> Blaine값의 편차 변화

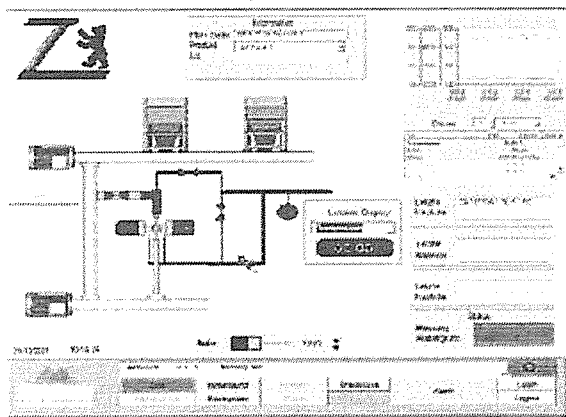
그렇기 때문에 불필요한 분쇄(과잉분쇄)를 줄이게 되면 에너지 손실을 크게 줄일 수 있다.

구체적으로 살펴보면, 미국의 Ashgrove社는 자사의 거의 모든 Finish Mill에 온라인 입도분석 시스템을 도입(13유닛)하였는데 그중에서도 Utah州의 Leamington 공장의 경우, 온라인 시스템의 도입으로 분말도의 표준편차가 현저히 안정되어 불필요한 분쇄(과잉분쇄)를 줄일 수 있게 되었다. <그림 2>와 <그림 3>에서 입도의 편차가 얼마나 감소했는지 확인할 수 있다(M社 제공).

온라인 시스템을 도입한 다음해에 기준 품질에 부합하면서도 제품의 Blaine값이 3870 cm^2/g 에서 3770 cm^2/g 으로 감소되었다. 이 100 cm^2/g 의 감소는 약 2~3%의 분쇄비용 절감(에너지 절감)을 가져왔다.

두 번째로 '최적의 품질관리'가 가능해졌다. 기존의 오프라인 시스템에서는 2~4시간 주기의 단편적인 입도자료에 근거한 품질관리를 해왔으므로 그 편차가 비교적 큰 편이었다. 그러나 온라인 시스템의 경우 매초마다 수회의 측정을 통해 제공되는 실시간의 입도자료를 원하는 주기로 Update함으로써 입도자료의 편차가 크게 감소되었다.

2001년 독일의 Zementwerke Berlin社는 온라인 입도분석 장비를 이용해 Blaine입도의 표준편차를 50%이상 감소시켰다. <그림 4>와 <그림 5>는 각각 Zementwerke Berlin社의 통제실용 화면과 컴퓨터 모니터에 나타나는 화면을 보여주고 있다(M社 제공).



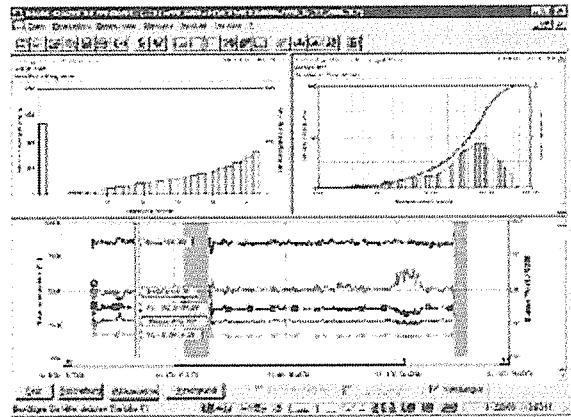
<그림 4> 온라인 시스템의 통제실용 화면

2002년 인도의 Grasim社도 입도의 표준편차가 15.16%에서 8.8%로 감소(58%)하였다. 공통적으로 Blaine입도의 표준편차가 50%이상 감소됨으로써 균일한 품질의 제품을 안정적으로 생산할 수 있게 되었다. 이러한 균제도의 향상은 직접적인 품질향상의 효과와 함께 생산성 향상과 원가절감의 기초가 되는 부분이기도 하다.

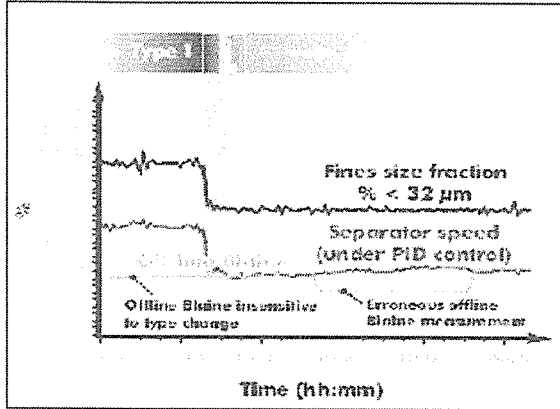
마지막으로 '생산성 향상'을 이야기할 수 있을 것이다.

<그림 6>은 Ashgrove社의 다품종 생산라인에서 온라인 입도분석 시스템이 제공하는 실시간 입도자료를 이용하여 품종변경 시간을 현저히 감소시킨 사례를 설명해주고 있다(M社 제공). 온라인 입도분석 시스템이 제공한 방대한 입도자료를 바탕으로 품종별로 최적의 작업조건을 적용시켜, 실시간 입도를 확인하면서 신속히 품종변경을 진행시킬 수 있게 되었다. 그렇게 함으로써 다품종 생산라인을 갖추고 있는 Ashgrove社로서는 획기적인 생산성 향상 및 원가절감의 도구로서 온라인 입도분석 시스템을 활용한 것이다.

Zementwerk Berlin社 역시 다품종 생산체제를 구축하고 있는데 온라인 입도분석 시스템을 도입한 이후 품종변경 시간이 기존의 1시간에서 6분으로 단축되면서 커다란 생산성 향상의 효과를 얻을 수 있었다. 이러한 다품종 생산회사의 경우 보통 2~5%수준의 생산성 향상을 이룰 수가 있었다.



<그림 3> 온라인 시스템의 컴퓨터 모니터



<그림 6> 온라인과 오프라인의 품종변경 소요시간 비교

| | % improvement over manual control | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | with only CemPac | with CemPac and Malvern/Ltixa PSA |
| Throughput Increase | 5% | 8% |
| Reduction in SPC (Energy Reduction) | 6% | 9% |

<표 4> 온라인 시스템 적용에 따른 생산성 향상 및 에너지 절감 비율

<표 4>는 인도의 Grasim社의 온라인 시스템 도입에 따른 결과를 보여준다(M社 제공). 여기에서 기존의 수동제어 대비 자동제어 시스템(CemPac)의 도입 및 M社의 온라인 시스템을 추가한 결과에 대한 효과분석 내용이다.

국내의 시멘트 사업장의 경우 대부분이 단일 품종을 생산하고 있기 때문에 그 직접적인 관련성은 적지만 향후 발전적인 개선을 위한 밑받침이 될 것이다.

<표 5> 온라인 시스템 적용에 따른 생산성 향상

| Application/ application | Mill type & make | Leistung output [t/h] | Reduzierung der Spezifischen Energie/ SPC reduction [%] | Einsparung/ savings [tWh/a] | Jährliche Einsparungen/ annual savings [US\$ 000] |
|--------------------------|--------------------------------|-----------------------|---|-----------------------------|---|
| Zementmühle/zement mill | Rollmühlentabe mill Polysar AG | 113 | 6 | 2.0 | 75.5 |
| Zementmühle/zement mill | Rollmühlentabe mill Polysar AG | 122 | 7 | 2.3 | 95.1 |
| Rollmühlentabelle mill | Rollmühlentabe mill FL Smidth | 250 | 6.8 | 1.8 | 115.7 |
| Rollmühlentabelle mill | Rollmühlentabe mill FL Smidth | 255 | 7.1 | 1.9 | 122.9 |
| Zementmühle/zement mill | Rollmühlentabe mill Fuller | 127 | 4 | 1.5 | 96.5 |
| Zementmühle/zement mill | Rollmühlentabe mill Polysar AG | 139 | 4 | 1.5 | 87.2 |
| Zementmühle/zement mill | Rollmühlentabe mill FL Smidth | 150 | 5.5 | 1.5 | 62.1 |
| Zementmühle/zement mill | Rollmühlentabe mill FL Smidth | 113 | 3 | 1.2 | 31.1 |
| Zementmühle/zement mill | Rollmühlentabe mill Fuller | 150 | 3 | 1.0 | 128.3 |
| Rollmühlentabelle mill | Walzmühlentoler mill Loesch | 345 | 3 | 0.5 | 89.4 |

이 외에도 직접적인 효과는 아니지만 공정의 변수에 대응하는 전문지식을 향상시킬 수 있다는 점이다. 각종 조건 변화 시 실시간으로 입도를 즉시 확인함으로써 생산 공정의 노하우(Know-how)를 쌓아갈 수 있게 되었다. 이러한 노하우를 바탕으로 필요로 하는 공정개선의 효과 여부를 쉽게 확인할 수 있게 된 것이다.

<표 5>는 온라인 입도분석 시스템을 도입함으로써 얻게 된 절감내역을 종합적으로 보여주는 하나의 자료이다(M社 제공).

3. 결 론

이처럼 시멘트 산업을 포함한 다양한 산업 분야에 걸쳐 온라인 입도분석 시스템이 보급되어 가는 것은 단순히 입도분석의 자동화가 주는 혜택 때문만이 아니라 이를 자동제어와 연계하여 폐루프(Closed loop) 공정제어를 실행함으로써 공정의 최적화 및 자동화의 효과를 극대화시킬 수 있다는 이점이 있기 때문이다.

앞에서 확인한 온라인 입도분석 시스템을 성공적으로 적용하고 있는 해외의 시멘트 회사들에 관심을 가져볼만 하다. 그들이 온라인 입도분석 시스템을 도입한 이후 얻게 된 것은 품질관리적 이점뿐만 아니라 원가절감 및 생산성 향상의 혜택까지 누리고 있다는 점이다. 그들은 갈수록 까다로워지는 고객들의 요구와 지속적인 원가절감 및 생산성 향상의 압박 속에서 여러 가지 노력을 기울여 왔으며, 그러한 노력의 한 부분으로 온라인 입도분석 시스템을 도입시킨 것이다.

인도의 Grasim사와 같이 자동제어와 연계시키는 등 복합적인 시도가 많이 이루어지고 있다. 국내의 시멘트 제조업체에서도 이러한 사례에 많은 관심을 보이고 있으며 몇몇 업체에서는 도입을 위한 행보를 서두르고 있다. 온라인 입도분석 시스템은 자체가 커다란 이윤을 안겨줄 수도 있지만 그 시스템이 제공하는 방대하고 신뢰도 있는 자료를 바탕으로 수많은 개선이 다각적으로 이루어질 수 있다는 잠재성이 큰 장점이 될 것이다.