

정전기 제거장치인 ECOFOR Device에 의한 분쇄기 성능 향상

김정환 · 이형우 · 정종익* Nikolai F. Gloukharev
 〈한일시멘트 단양공장〉 〈ECOFOR CO.〉

1. 서 론

대기중으로 배출되는 온실가스(CO₂) 절감을 통한 지구온난화 방지는 지구환경보호를 위한 우리 모두의 공통 목표이며, 특히 온실가스의 주생성원인 다량의 화석연료를 사용하는 시멘트 산업의 특성에 비추어 시멘트 업계의 역할에 대한 중요성은 아무리 강조하여도 지나치지 않을 것이다. 시멘트 산업에서는 제조비용의 약 30% 이상을 화석연료 및 전기 등의 에너지 구입에 사용하고 있다. 따라서 당사는 온실가스 감소를 통한 지구온난화 방지에 적극적이고 능동적인 참여를 위하여 1998년 12월 한국정부와 자발적 협약을 체결하였으며, 당사의 지속 가능한 발전을 위한 원가절감 노력의 일환으로 에너지 절감을 회사의 최우선 정책으로 설정하여 강력한 에너지 절감 노력을 기울이고 있다.

당사는 지속적인 공정개선 및 신기술 도입에 대한 노력을 통하여 설비별로 차이는 있지만 열원단위 710~730kcal/kg-clinker, 전력원단위 97kW/kg-cement의 우수한 설비운영 상태를 유지하고 있다. 아울러, 당사는 지속적인 에너지 절감 노력의 일환으로 분쇄공정 중에서 발생하는 정전기를 제거함으로써 생산량 증대를 통한 에너지 절감을 가져오는 장치인 ECOFOR Devices를 2000년 하반기에 도입하여 사용해본 결과 설비별 특성에 따라 약 3.4~20.0%의 생산성향상 효과를 얻게 되었다.

2. 피분쇄 물질에 작용하는 정전기의 영향

일반적으로 석회석 및 클링커 등 비전도성 재료의 분쇄시, Mill내에는 분쇄매체(강구와 Liner)

간 또는 분쇄매체와 피분쇄물(석회석 또는 클링커 등) 간의 충격 및 마찰에 의해 상당한 양의 자유전하를 발생시킨다.

이와 같은 자유전하는 피분쇄물의 표면에 주로 존재하게 되어, 분쇄매체의 표면에 두터운 코팅을 형성시켜 스폰지 현상에 의해 분쇄매체의 충격 및 마찰력 저하로 분쇄능력을 저하시키고, 피분쇄물은 1차적으로 분쇄가 되더라도 정전기적 인력에 의해 고온입자가 굽은입자 표면에 달라붙는 2차응집의 발생으로 분급능력을 저하시키게 된다. 따라서, 결론적으로, 분쇄시 발생하는 자유전하는 분쇄설비의 효율하락을 야기시키게 된다. 이에 Cement Mill의 경우, 분쇄조제를 Mill Inlet로 약 0.023% 정도 투입하여 분쇄시 발생하는 자유전하를 제거하여 분쇄능 및 분급효율을 향상시켜 약 10%의 성능 향상을 꾀하고 있다.

하지만, 분쇄조제가 고가이므로 사용량에 제한이 있고, Mill 특성상 Inlet로의 투입이 불가피하여 Mill내에서 고온 및 Air 흐름에 의한 증발을 막을 수 없으므로, Mill 2실에서의 분쇄조제 투입 효과가 상당히 상쇄되어, 2실내의 분쇄매체 코팅 및 Sep'로 이송되는 분말의 2차응집은 피할 수 없게 되어 성능 향상에 한계가 발생하게 된다. 결국, 분쇄조제 투입만으로는 분쇄기의 성능을 최대화 할 수 없다는 결론에 이르게 된다.

따라서, 당사에서는 C/M 뿐만 아니라 분쇄조제를 사용하지 않는 Raw Mill, Slag Mill, Ω 2000 Mill 등의 성능 향상으로 에너지 절감에 기여코자, 러시아 ECOFOR사에서 개발한 분쇄기내 자유전하 제거장치인 ECOFOR Device를 도입하여 Mill내 정전기적 인력을 최소화하였으며 Mill의 성능 극대화를 시도하였다. 그리고 ECO

FOR Device를 타사의 Mill에 가동실험하여 성능 향상을 확인하였다.

3. ECOFOR Device란

3-1 ECOFOR Device 원리

ECOFOR Device는 러시아의 ECOFOR사에서 개발 제작한 장치로서, 분쇄기내로 수 mA의 전류를 통하게 하여 분쇄시 발생하는 자유전하를 제거하므로써 분쇄조제 투입과 동일한 효과를 나타내는 장치로서, 분쇄매체의 코팅제거에 의한 분쇄성 향상과 2차응집 방지에 의한 분급효율 상승으로 Mill로의 누분량을 감소시켜 성능을 향상

시킨다. 즉, 각 분쇄설비의 효율 최적화를 이루게 하는 장치이다. (<표 1>, <그림 1>)

3-2 ECOFOR Device 적용 가능 설비 및 방법

ECOFOR Device는 Mill Type이나 Sep' 유무와 관계없이 Dry 상태의 비전도성 재료를 분쇄하는 모든 분쇄설비에 적용이 가능한 장치로서, 전원이 연결된 ECOFOR Device와 분쇄기를 전선으로 연결함으로써 설치가 완료된다. (<그림 2>)

ECOFOR Device의 적용 대수는 Mill Type에 의존하지 않고 Mill 성능(처리 원료량)에 의존하며 Mill 성능 50t/h를 기준으로 1대 또는 2대가 필요하다.

<표 1> ECOFOR Device의 제원

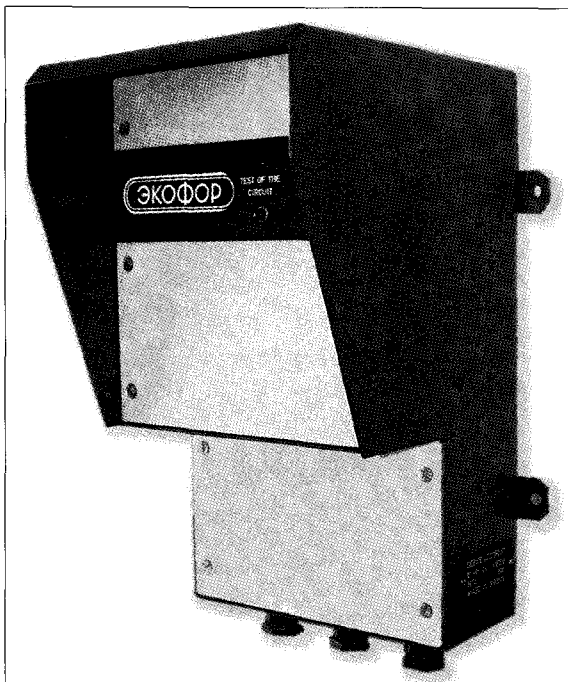
Constitution	Contents	Remarks.
Maker	ECOFOR Co.	russia
International Patent No.	PCT/RU98/00226	
Size	176×300×214mm	
Electric Supply	220~240V, 50~60Hz, 100W	
Electric Cable	Copper wire, 1.5mm ² , φ9mm	
Set Position	Near the Mill	

4. 실험 방법

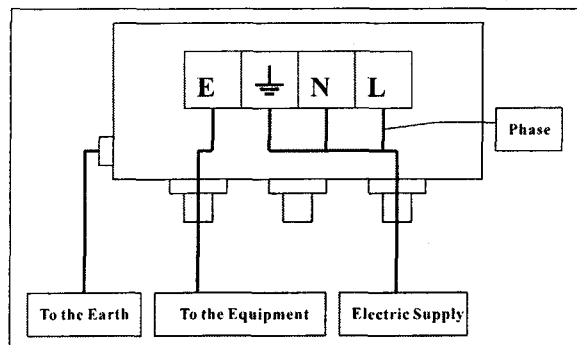
<표 2>에 나타낸 바와 같이 ECOFOR Device는 당사 Ball Mill(#4C/M), Pre-grinding Ball Mill(#8C/M) 그리고 Vertical Roller Mill(#9C/M)에 각각 약 5일, 3개월, 1.5개월간 적용하였으며, ECOFOR Device 적용 효과는 가동 전후의 성능 및 품질 변동으로 확인하였다.

ECOFOR Device 연결은 #4C/M의 경우, 1개의 Device로 Mill Outlet와 Sep'에 병렬로 연결하고, #8C/M의 경우, 1차분쇄가 이루어지는 Roll Press와 분쇄조제 효과가 상쇄되는 Mill Outlet에 각각 Device 1개씩 연결하였으며, #9C/M은 분쇄가 직접 이루어지는 Grinding Table에 Device 1개만 연결하였다. (<그림 3>)

그리고 <표 3>에 나타낸 바와 같이, 석회석, Slag, Ω2000, Clinker 등을 분쇄하는 Vertical Roller Mill, Pregrinding Ball Mill, Ball Mill



<그림 1> ECOFOR Device의 사진



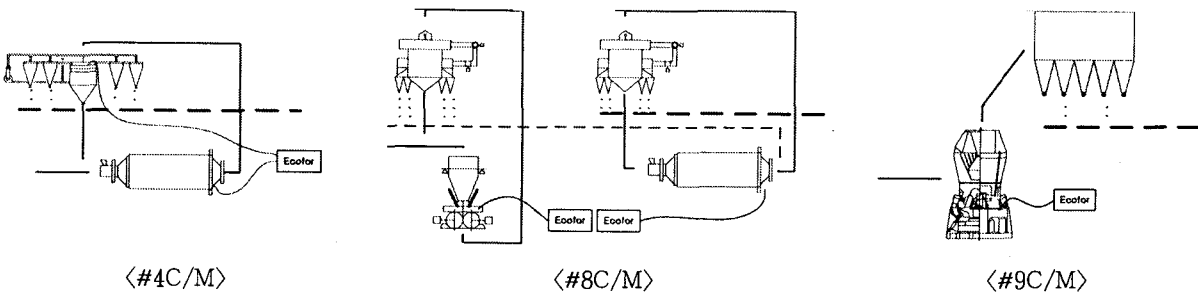
<그림 2> ECOFOR Device의 연결 회로도

〈표 2〉 ECOFOR Device 적용 한일 C/M의 특성 및 Device 적용 기준

Constitution		Hanil #4C/M	Hanil #8C/M	Hanil #9C/M	
Specification of the Mill	Type	Ball Mill (Closed)	Pre-grinding Ball Mill (Closed)	Vertical Roller Mill (Closed)	
	Maker	Polysius (Rebuild, Germany, 1985)	Polysius (Germany, 1993)	KOBE Steel (Japan, 1997)	
	Guarantee	Capacity	44 t/h	200 t/h	130 t/h
		Blaine	About 3,150 ± 50 cm ² /g	3,150 ± 50 cm ² /g	3,500 ± 50 cm ² /g
	44 μmR	About 15% under	10% under	7.76 ~ 8.24%	
Matreial	Clinker, Gypsum, Limestone, Slag	Clinker, Gypsum, Limestone, Slag	Clinker, Gypsum, Limestone, Slag		
Applying Standard	No. of Device	1 ea.	2 ea.	1 ea.	
	Equipment	Mill + Sep'	Roll press, Mill	Mill	
	Period	5 days	3 months	1.5 months	

〈표 3〉 ECOFOR Device 적용 기타 Mill의 특성 및 Device 적용 기준

Constitution		Hanil #5R/M	Hanil Slag Mill	Hanil Ω2000 Mill	A Co. C/M	B Co. C/M	B Co. R/M
Mill Type		Vertical Roller Mill (Closed)	Pregrinding Ball Mill (Closed)	Ball Mill (Closed)	Pregrinding Ball Mill (Closed)	Pregrinding Ball Mill (Closed)	Vertical Roller Mill (Closed)
Material		Limestone	Slag	Etc	Clinker	Clinker	Limestone
Applying Standard	No. of Device	1 EA	1 EA	1 EA	2 EA	2 EA	2 EA
	Equipment	Mill	Mill + Sep'	Mill + Sep'	Roll Press Mill	Mill Sep'	Mill Sep'
	Period	3 Days	3 Days	2 Days	3 Days	2 Days	2 Days



〈그림 3〉 ECOFOR Device를 적용한 각 Mill의 모식도

등 여러 Type의 Mill에서 당사(#5R/M, Slag Mill, Ω2000 Mill)와 타사(A사 C/M, B사 C/M, B사 R/M)에 ECOFOR Device 1대 또는 2대를 Mill과 Sep' 또는 Roll Press에 연결하여 2~3일간 확인하였다. (〈표 3〉)

5. 실험 결과

5-1 #4C/M (Tube Mill, Nominal Cap' : 44t/h)
 ECOFOR Device 가동 직후 Sep' 누분량의

감소로 각 Mill 1, 2실의 원료량이 감소하고, Mill내 유속을 낮추어 원료 체류시간을 증가시킴에 따라 점차적으로 클링커 투입량을 증가시킬 수 있었다.

전체적으로 ECOFOR 가동 후 품질 변동없이 성능이 약 4.7t/h 향상(10.7%) 되었으며, 장기간 실험시, 클링커 물성 변동에 따라 다소의 성능 변동은 예상된다. (<표 4>)

5-2 #8C/M(Tube Mill with Pregrinding, Nominal Cap' : 200t/h)

분쇄조제 사용량을 동일하게 할 경우, ECOFOR Device 가동 직후 Pregrinding Mill과 Ball Mill 모두 Sep' 누분량의 감소로 각 Mill내 원료량이 감소하여 점차적으로 클링커 투입량을 증가시켰다.

전체적으로 ECOFOR Device 가동 후 품질 변동없이 성능이 약 8.1t/h 향상(4.1%) 되었다. (<표 4>)

ECOFOR Device를 적용한 상태에서 분쇄조제 사용량을 감소할 경우, 분쇄능 저하로 Mill내 원료량이 점차 증가되므로 성능을 점차적으로 감소시켰으나, 분쇄조제를 전혀 사용하지 않더라도, 다소의 품질하락(44 μ m 잔사 증가)과 함께 ECOFOR Device 가동 전의 성능 유지가 가능하였다. 따라서, 분쇄조제를 기존 사용량의 약 50% 감소 사용할 경우에도 품질 변동없이 성능 약 3.5t/h(약 1.8%) 향상이 예상된다.

5-3 #9C/M(Vertical Roller Mill, Nominal Cap' : 130t/h)

분쇄조제 사용량을 동일하게 하여 ECOFOR Device 가동 직후 Mill 차압이 하락하여, 원료 투입량을 증가시킬 수 있었고, Mill차압 상승없이 지속적인 분쇄가 가능하였으며, 품질 변동없이 성능 약 4.8t/h 향상(3.4%) 되었다. (<표 4>)

#9C/M은 성능 130t/h의 대형 Mill이므로 ECOFOR Device를 2개로 설치할 경우, 보다

<표 4> ECOFOR 적용 한일 C/M의 가동 전후의 성능 및 품질 비교

Constitution			Grinding Aids (%) *	Capacity (t/h)	Quality		
					Blaine (cm/g)	44 μ mR (%)	Flowability (mm)
#4C/M	Auto. Operating	Without ECOFOR	100	44.0	3,206	7.9	-
	Manual Operating	With ECOFOR	100	47.4	3,178	9.0	-
	Auto. Operating			48.7	3,167	7.0	-
#8C/M	1st Experiment	Without ECOFOR	100	194.7	3,138	9.8	132
		With ECOFOR	100	203.2	3,129	8.5	151
			80	199.7	3,174	9.2	173
			30	195.2	3,052	11.0	137
	2nd Experiment	0	195.1	3,024	12.2	147	
		Without ECOFOR	100	190.7	3,168	7.1	157
#9C/M	-	With ECOFOR	100	198.7	3,167	8.1	151
		Without ECOFOR	100	140.4	3,189	6.1	-
		With ECOFOR	100	145.2	3,191	6.3	-

* : The feeding rate of Grinding aids : 0.023%×Cement

〈표 5〉 ECOFOR 적용 기타 Mill의 가동 전후의 성능 및 품질 비교

Constitution		Hanil #5R/M	Hanil Slag Mill	Hanil Ω 2000 Mill	A Co. C/M	B Co. C/M	B Co. R/M
Capacity (t/h)	without ECOFOR	336.9	22.4	2.5	203.0	102.0	394
	with ECOFOR	347.1	25.8	3.0	213.0	110.3	415
Blaine (cm/g)	without ECOFOR	-	3,650	7,900	3,508	3,350	-
	with ECOFOR	-	3,700	7,823	3,481	3,265	-
44 μ m R (%)	without ECOFOR	14.7	-	-	9.2	6.5	18.9
	with ECOFOR	14.6	-	-	9.9	7.5	20.6

높은 성능 향상이 예상된다.

5-4 기타 Mill

위의 같은 방법으로 ECOFOR Device를 가동하여, 당사와 타사의 여러 Type의 Mill에서 원료 투입량을 증가시킬 수 있었다. 당사에서는 #5R/M은 10.2t/h (3.0%), Slag Mill은 3.4t/h (15.2%), Ω 2000 Mill은 0.5t/h (20.0%) 성능을 향상시킬 수 있었다. 그리고, A사 C/M은 10.0t/h (4.9%), B사 C/M은 Blaine이 85cm/g 하락하고 44 μ m 잔사는 1.0% 상승한 상태에서 8.3t/h (8.1%), B사 R/M은 88 μ m 잔사가 1.7% 상승한 상태에서 21.0t/h (5.3%)의 성능이 향상되었다. (〈표 5〉)

5-5 성능 향상 배경

각 C/M의 성능 향상은 ECOFOR Device에 의해 Mill내 자유전하가 제거되고, 정전기적 인력이 상쇄됨에 따라, Mill내 분쇄매체의 코팅현상 감소로 인해 분쇄능이 향상되었고, Mill 2실에서 분쇄된 분말의 2차응집(누분에 정분이 붙어있는 상태) 감소와 2차응집 분말체에 대한 Sep' 분급 효율이 향상되었기 때문이다. 또한, 보다 높은 성능 향상을 위해 Mill내 적정 원료량을 맞추기 위해 원료 투입량과 Sep' 속도를 적절하게 조절하였기 때문이다.

6. 결 론

분쇄시 충격 및 마찰에 의해 발생하는 정전기를 제거하여 분쇄기 성능 향상으로 에너지 절감에 기여하는 ECOFOR Device를 각기 다른 Type의 Mill에 적용해 본 결과,

- 1) 품질 변동 및 설비 이상없이 #4C/M은 약 10.7%, #8C/M은 약 4.1%, #9C/M은 약 3.4%의 성능 향상되었다.
- 2) #8C/M은 분쇄조제를 전혀 사용하지 않을 경우에도 44 μ m 잔사는 증가하였지만, 분쇄조제를 사용했을 때와 동일한 성능 유지가 가능하였다.
- 3) 당사의 #5R/M, Slag Mill, Ω 2000 Mill에서는 10.2t/h (3.0%), 3.4t/h (15.2%), 0.5t/h (20.0%) 정도 성능이 향상되었다.
- 4) 타사의 C/M, R/M에서는 다소의 품질하락이 있기는 했으나, 4.9%~8.1% 정도의 성능 향상이 가능하였다.
- 5) 성능 향상은 ECOFOR Device에 의한 Mill 분쇄성능 및 Sep' 분급 효율 향상 때문이며, 구형의 저효율 Sep' 일수록 피분쇄물이 Slag와 같은 난분쇄성의 재료일수록 성능 향상이 증가되는 것으로 판단된다.
- 6) 동일한 유형의 분쇄공정 일지라도 설비별 특성에 따라 성능 향상의 효과는 차이가 있으며, 동장치에 대한 한일시멘트의 적용 결과에 비추어 비록 작은 양의 개선일지라도 범국가적 에너지절감 노력에 다소나마 도움이 되었으면 하는 바람으로 당사의 경험을 소개하는 바임.