

ASR의 시멘트 열원 활용을 위한 킬른내 염소제어기술 개발

권 우택¹⁾, 김 수룡²⁾, 김 영희³⁾, 심 종우⁴⁾, 유 태욱⁵⁾, 오 세천⁶⁾

Control of chloride in cement kiln for application of Automobile Shredder Residues as cement kiln

Woo-Teck Kwon, Soo-Ryong Kim, Young-Hee Kim, Tae-Wook Yoo, Jong-Woo Shim

Key words : Automobile shredder Residue(폐차잔재물), Cement(시멘트), Kiln(소성로), Chlorine(염소)

Abstract : 폐 자동차에서 발생하는 폐차잔재물(Automobile shredder Residue)의 시멘트 열원 활용을 위하여 시멘트 킬른에서의 염소제어기술을 확립하고자 하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 ASR 발생공정에서 발생량이 가장 많은 light fluff 시료를 채취하였으며, 채취한 시료의 염소함량 분석 및 이를 토대로 하여 시멘트 킬른에서의 염소함량 순환거동을 예측하였다. 아울러 킬른내 염소제어설비의 안정적 가동을 위하여 기존 염소제어 시스템인 태평양 시멘트회사 시스템과 우베 시멘트회사 시스템의 장단점을 비교분석하여, 시멘트 킬른 내부에 함유되어있는 다량의 염소성분을 제어할 수 있는 기술개발 방향을 제시하고자 하였다.

1. 서 론

환경보존 및 자원활용 뿐 만 아니라, 유럽 등 선진국의 기술장벽을 통한 시장진입의 억제 등으로 인하여 폐자동차 처리시 발생하는 폐차잔재물(Automobile shredder Residue)의 재자원화 필요성이 증가하고 있다.

시멘트 제조공정은 화염온도가 2000℃에 이르고, 1200℃이상에서의 체류시간도 3초 이상이며, 킬른을 통과하는 물질의 체류시간도 30분이상으로 거의 대부분의 폐기물을 안정적으로 자원화 할 수 있다.¹⁾ 특히 별도의 대규모 설비투자 없이, 플라스틱이나 고무류의 가연성 물질이 가지고 있는 높은 발열량을 산업체 연료로 이용할 수 있어, 유럽, 일본 등 외국 시멘트회사 에서는 10~20년 전부터 폐플라스틱을 시멘트 연료로 활용하는 연구가 시작되어 본격적으로 시멘트공장 연료로 활용되고 있다. 하지만 폐차잔재물(Automobile shredder Residue)의 경우, 폐플라스틱, 스폰지, 등 다양한 종류의 가연성분이 혼합되어 있고, 킬른 공정에 악영향을 주는 염소성분이 다량 함유되어 있어서 폐차잔재물(Automobile shredder Residue)을 시멘트 열원으로 활용하기

위해서는 이에 대한 적절한 기술개발이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 ASR을 시멘트 열원으로

활용하기위한 사전연구로서 폐차처리공정에서 가장 많이 발생하는 light fluff 시료를 채취하였으며, 채취한 시료의 성분분석, 발열량 및 염소함량 등의 특성 분석을 토대로 하여 시멘트 킬른 내부에서의 염소함량 순환거동을 예측하였다. 아울러 킬른내 염소제어 설비의 안정적 가동을 위하여 기존 염소제어 시스템인 태평양 시멘트회사 시스템과 우베 시멘트회사 시스템의 장단점을 비교분석하여, 시멘트 킬른 내부에 함유되어있는 다량의 염소성분을 제어할 수 있는 기술개발방향을 제시하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 ASR 특성분석

2.1.1 ASR 시료채취 및 분석

폐차처리과정에서 ASR의 발생현황을 살펴보기 위하여 수도권에 있는 A 폐차처리업체에서의 ASR 발생 공정을 조사하였으며, ASR 발생량이 가장 많은 light

fluff 시료를 대상으로 1.5 톤의 대표시료를 채취하였다. 대표시료의 물리적 조성을 조사하기 위하여 ASR을 스폰지류, 형겅류, 전선류, 비닐류, 금속류, 종이류, 시트류, 더스트류, 흰 플라스틱류, 검정 플라스틱류, 고무류, 얇은 플라스틱류의 12종으로 분류하였으며, 분류된 ASR의 분석을 위하여 Retsch사 MM301 및 SM2000 분쇄기를 이용하여 평균입径 1mm이하로 분쇄하고, 분쇄된 시료의 대표시료를 채취하였다. 채취한 대표시료의 특성평가를 위하여 Leco사 AC-300 단열 발열량 분석기를 이용하였으며, 염소함량은 Mettler-Toledo사 DL70 을 이용하여 분석하였다.

2.1.2 ASR 특성분석 결과

폐차처리과정에서 발생하는 ASR의 mass balance 측정결과, light fluff 발생량은 26.64% 이었다. ASR중 시멘트 열원 적용 대상인 light fluff의 특성을 분석하기 위해서 물리적 성상분석, 발열량 및 염소함량을 분석하였으며, 분석결과를 표. 1에 나타내었다.

표. 1 ASR 특성분석 결과

구분	물리적 조성비율 (%)	발열량 (kcal/kg)	염소함량 (ppm)
스폰지류	18.6	4,981	1,700
형겅류	30.6	6,714	6,100
전선류	2.7	2,824	170,500
비닐류	1.1	9,254	4,800
금속류	1.6	-	-
종이·목재류	1.6	4,654	300,260
시트류	8.0	3,256	6,300
더스트류	1.9	5,226	5,100
흰플라스틱류	2.7	10,853	285
검정 플라스틱류	18.8	8,023	186
얇은 플라스틱류	2.1	6,672	160,260
고무류	10.3	5,771	730
합계	100	-	-

ASR의 물리적 조성별 발열량 분석결과, 형겅류, 비닐류 및 플라스틱류에서 발열량이 6,500kcal/kg 이상으로 높게 나타났으며, 시멘트 제조과정 및 품질에 악영향을 주는 염소함량은 전선류, 종이·목재류 및 얇은 플라스틱류에서 100,000 ppm 이상 다량 검출되어 시멘트 열원으로 적용하기 위해서는 염소함량이 많은 ASR의 사전 선별분리 및 시멘트 킬른내에서 염소제어 등의 조치가 필요한 것으로 예상되었다.

2.2 ASR의 시멘트킬른 적용영향 예측

2.2.1 시멘트 킬른내 염소거동 예측

시멘트 킬른 시스템에서 염소성분의 순환거동 특성은 킬른 내부의 소성분위기와 킬른 형태 등 설비특성에 대한 영향과 시멘트 원료로 사용하는 조합원료와 같이 킬른시스템에 투입되는 물질의 휘발특성에 의해서 좌우된다. 따라서 ASR을 시멘트 소성용 열원으로 이용함에 있어서 킬른 공정에 민감한 영향을 미치는 염소성분의 거동을 예측하기 위하여 클링커 생산용량이 연간 5,500톤인 킬른시스템에서의 순환물질 거동특성을 분석하였다. 순환물질 거동을 예측하기 위한 도구로서 Weber model을 이용하였으며, Weber model을 이용한 순환현상의 도식도를 그림.1에 나타내었다.

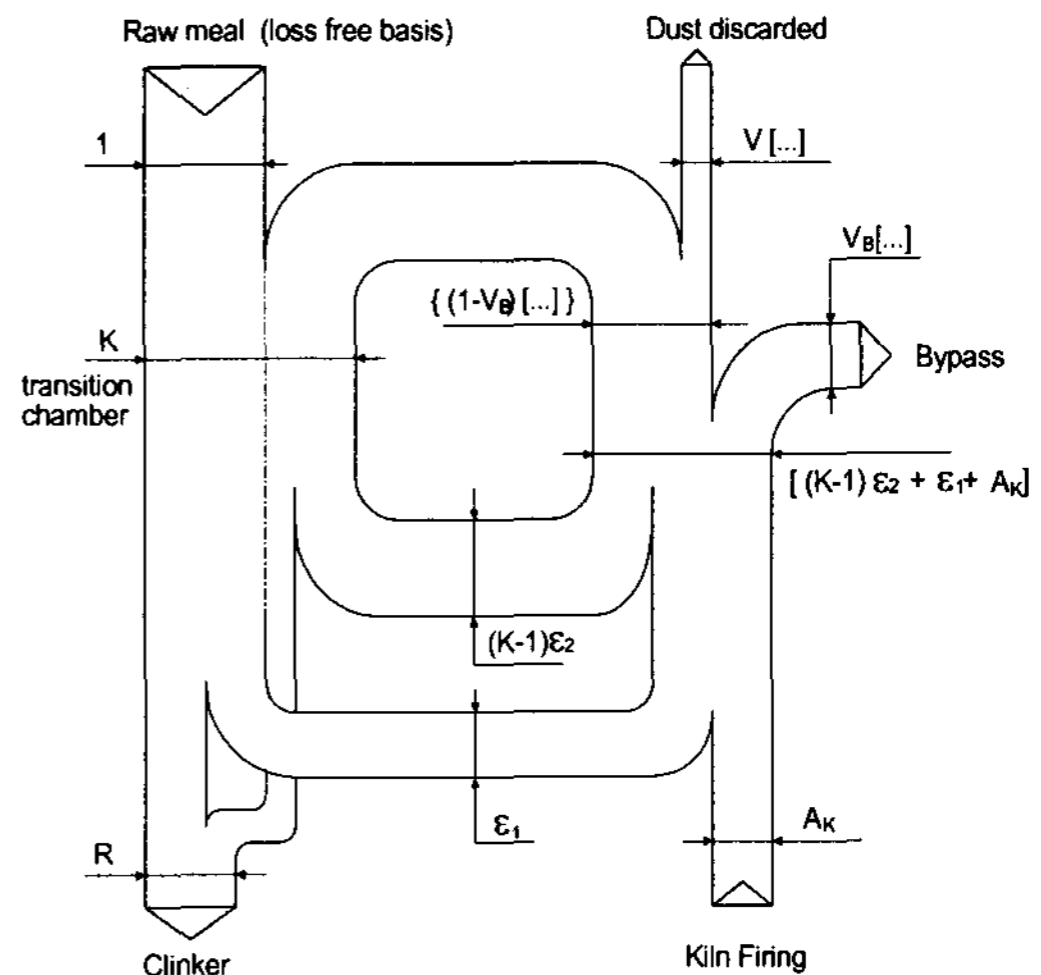


그림 1. 순환물질 거동 Weber model

상기 순환물질 거동모델에 관한 식은 다음과 같다.

$$K = \frac{\epsilon_1 + A_K}{1 - (V_B + V - V \cdot V_B) - \epsilon_2}$$

$$V_B = 1 - \frac{K - 1}{[\epsilon_1 + A_K + \epsilon_2(K - 1)] \cdot (1 - V)}$$

$$R = 1 - \epsilon_1 + (K - 1) \cdot (1 - \epsilon_2)$$

K : 순환인자 (Circulation factor)

ε₁ : 일차 휘발도

ε₂ : 이차 휘발도

V_B : 킬른 배가스 중 by-pass 비율
 A_k : 원료 내 휘발성 요소에 대한 연료 중 휘발성 요소의 비율
 R : 클링커 내 순환물질의 잔여 비율

2.2.2 킬른내 염소거동 예측결과

ASR의 시멘트 킬른 적용에 따른 시멘트 킬른 시스템에서의 염소성분의 순환거동 특성을 살펴보기 위하여 ASR 적용대상 킬른에 대해서 염소거동을 15일간에 걸쳐서 측정하였으며, 킬른 inlet부위에서 채취한 원료(hot meal)에서의 염소함량 측정결과를 표. 2에 나타내었다. 염소거동 측정기간 중에 킬른에 투입되는 조합원료에서의 염소함량은 413ppm 이었으며, 본 실험기간중 hot meal에서의 염소함량은 23,267ppm 으로 일반적으로 알려진 킬른 적분발생 위험수위를 초과하였다.

표. 2 킬른시스템에서의 염소함량 (ppm)

일자	Hot meal	Kiln feed	유연탄
1	21,900	-	292
2	25,300	-	155
3	30,650	-	171
4	31,800	-	447
5	24,350	-	268
6	23,100	-	283
7	23,550	-	187
8	18,500	-	161
9	16,350	-	213
10	21,400	-	204
11	23,650	-	171
12	18,650	-	155
평균	23,267	413	226
표준 편차	4574	-	93

킬른시스템에서의 순환물질 거동결과를 기준으로 Weber 방법을 이용하여 ASR을 적용했을 경우와 염소 by-pass 설비를 설치했을 경우에 by-pass율 변화에 따른 hot meal 에서의 염소함량 거동변화를 예측하였으며, 염소함량 예측결과를 표.3에 나타내었다. By-pass에 따른 킬른시스템에서의 염소성분 거동 예측결과, ASR의 투입량이 시멘트 연료 사용량의 5% 수준이고, 염소함량이 20,000ppm 이라고 가정했을 경우에 킬른 inlet에서 현재수준의 염소농도를 유지하기위한 이론적인 염소 by-pass율은 1~2% 수준일 것으로 예상된다. 하지만 염소 by-pass설비를 가동할 때 다량의 dust가 발생되며, 실제적으로 킬른공정에서 by-pass설비를 가동할 경우에는 dust 발생량 감소를 위해서 dust중에 염소함량이 적은 조대한 입자는 킬른으로 재투입하므로 이론적인 by-pass율은

이론적인 by-pass율 보다는 증가되어야 할 것으로 판단되었다.

표. 3 Hot meal에서의 염소함량 예측결과

구분	추가로 투입되는 ASR에서의 염소함량 (ppm)				
	0	5,000	10,000	20,000	
By-pass 율 (%)	0 (현조건)	23,267	25,365	27,577	32,999
	1	13,241	14,426	15,677	18,177
	2	9,226	10,078	10,946	12,681
	3	7,116	7,743	8,405	9,729
	4	5,780	6,286	6,820	7,887
	5	4,867	5,290	5,736	6,627

2.3 염소제어시스템 비교 및 개발방안 도출

2.3.1 장단점 비교

현재 국내에서 가동 중인 염소 by-pass 설비는 일본 태평양사와 우베사의 기술을 도입하여 설치한 것으로서, 현재 국내에 적용 중인 대표적인 염소 by-pass 시스템의 장단점을 비교하고 개선안을 도출하고자 하였다. 태평양 시스템과 우베 시스템의 주요 장, 단점을 비교하여 [표 4]에 정리하였다.

표. 4 염소제어시스템 장단점 비교

장점	태평양	우베
단점	태평양	우베
	<ul style="list-style-type: none"> - 설치비 많이 소요(구조복잡, 특허권) - Probe에 clogging 자주 발생 - Probe 선단부 손상. - 설치공간 많이 소요. - 압손 차이가 커서 전력소비량 많음. 	<ul style="list-style-type: none"> - Probe에 clogging 자주 발생. - By-pass dust 배출량 많음. - 냉각실 선회류로 내벽 마모 심함. - Dust의 염소농도가 낮다.

2.4 염소제어시스템 개발방안

2.4.1 주요 검토인자

- 설비 안정성 : Probe 부위에 코팅생성이 적고, 장기간 trouble 없이 운전가능 여부
- 설비 효율성 : Hot gas의 냉각효율이 우수할 것
- Dust 발생량 : Dust 발생량이 적을 것
- 설치비용 : 설치비용이 적을 것
- 설치공간 및 실험 용이성 : 설치공간이 적고 다양한 실험이 용이할 것
- 운전비용 : 운전비용이 적을 것
- 특히 저촉성 : 국내 설치시 특히에 저촉되지 않을 것

2.4.2 염소제어 설비 기본안

기존 태평양 시스템과 우베 시스템의 장단점을 상기 검토인자를 토대로 하여 검토하였으며, 이러한 검토결과를 토대로 하여 개발할 By-pass 시스템에 대한 기본 개발방향을 설정하여 표.5에 나타내었다.

표. 5 염소제어시스템 개발안

구분	태평양 시스템	우베 시스템	설비 개발안
설비 안정성	△	△	- 냉풍공기의 2단 공급 (냉각실내 선회류 공급량 감소로 내벽마찰 감소) - Probe부위 고온 내마모 castan
설비 효율성	△	△	- CFD 검토후 최적방안 도출
Dust 문제	○	△	- 추가 선단부 유속감소(면적증가)로 조대입자 유입 억제
설치 비용	△	○	-설비구성 최소화
공간 및 실험 용이성	△	○	- 기본적으로 선회류 냉각 시스템으로 하되 이중관 실험도 할수 있도록 설계
특히 저촉성	△	○	- 특히 문제 보완 검토
종합	-	기본안 채택	-

3. 결 론

ASR의 특성분석 및 시멘트 킬른의 열원활용에 따른 시멘트 킬른 내부에서의 염소함량 거동 변화를 예

측하였으며, 기존 염소제어설비의 장단점 비교분석을 통하여 다음의 결과를 얻을 수 있었다.

1. ASR 발생과정 중 light fluff의 특성분석결과, 형질류, 비닐류 및 플라스틱류에서 발열량이 6,500kcal/kg 이상으로 높게 나타나 대체연료로의 활용 가능성을 확인하였다. 하지만 시멘트 제조과정 및 품질에 악영향을 주는 염소함량이 다량 함유되어 있어서 시멘트 열원으로 적용하기 위해서는 염소함량이 많은 ASR의 사전 선별분리 및 시멘트 킬른내에서 염소제어 등의 조치가 필요한 것으로 예상되었다.
2. ASR 적용에 따른 킬른 시스템에서의 염소함량 거동 예측결과, ASR의 시멘트 킬른 적용에 따라서 킬른 inlet hot meal에서의 염소함량이 급격히 증가되어 킬른 공정의 불안정이 증가될 것으로 판단된다.
3. ASR의 연료대체 사용량이 5% 수준이라고 가정할 경우에 염소 by-pass 율 변화에 따른 킬른에서의 염소거동 예측결과, 킬른내 hot meal에서 현재수준의 염소함량을 유지하기 위한 by-pass율은 1~2% 수준일 것으로 예상된다. 하지만 실제적으로 킬른공정에서 by-pass설비를 가동할 경우에는 추출되는 dust중에 염소함량이 적은 조대한 입자는 킬른으로 재투입되는 것을 고려할 때 실제적인 염소 by-pass율은 이론적인 by-pass율 보다 증가되어야 할 것으로 예측되었다.
4. 기존 염소제어시스템인 태평양시스템과 우베시스템의 장단점을 비교, 분석하였으며, 이러한 검토결과를 토대로 염소제어시스템 개발방향을 수립하였다.

References

- [1] 권우택, 김수룡, 김영희, 고대영, 심중우, 배성렬, "폐차잔재물의 특성분석 및 시멘트 킬른 적용에 따른 영향 예측" 2006, 5. 폐기물학회 춘계발표
- [2] 권우택, 한기석, 이봉한 "폐기물 재활용과 시멘트 산업", 월간 세라믹 제 6권 2001.
- [3] Toshio Imai, Atsushi Inoue, Naoki Ueno (2000) Investigations the gasification of shredder fluff from abandoned vehicle. The cement manufacturing technology symposium No. 57.
- [4] 서용철, 김기현, 정현태, 남훈, 홍준희, 유태욱, "폐자동차에서 발생하는 Shredder Dust의 최적처리방안 연구", 폐기물학회추계학술 발표, pp. 150-153, 2002.