

製鐵産業에서의 廢플라스틱 再活用 技術

김 경 태

포항산업과학연구원

Recycling Technology of Waste Plastics in Iron and Steel Industry

Kyong-Tae Kim

Research Institute of Industrial Science & Technology (RIST)

요 약

폐플라스틱의 고로내 투입기술은 독일의 Stahlwerke Bremen사에서 포장용 폐플라스틱을 대상으로 1995년에 개발 하였으며, 현재 230 t/d 용량의 투입 설비를 운전중에 있다. 또한 일본의 NKK(일본강관)는 게이힌 제철소에서 폐플라스틱을 자체 분별, 파쇄, 조립 및 고로 투입을 위한 연간 3만톤 처리규모의 일괄 리사이클링 시스템을 개발하여 1996년 10월초에 가동을 시작하였다. 포항제철(주)에서도 국내 발생 폐플라스틱을 환경친화적으로 처리하는 동시에 고로의 연료로 재활용 하기 위한 연구가 착수되고 있다.

ABSTRACT

Stahlwerke Bremen in Germany developed a process to inject granulated waste plastics into blast furnace in 1995. After the successful operation with a pilot plant, a new plastic injection system with a capacity of 230 t/d has been operated. NKK in Japan has developed an integrated waste plastics recycling system which includes both plastic preparation and injection system, and has started to operate the system with a capacity of 30,000 t/y at Keihin works in October 1996. POSCO in Korea is currently developing a waste plastics injection system to make use of domestic waste plastics in an environmentally friendly manner as well as to recycle the waste plastics as a blast furnace fuel

1. 서 론

우리 생활에서 흔히 접할 수 있는 플라스틱은 현대산업의 가장 팔목할 만한 성장 분야의 하나로, 우리의 일상용품 중에서 많은 부분을 차지하게 되었다. 산업의 발달과 더불어 플라스틱의 사용량이 급증하게 되었으며, 최근에는 철강재를 대신하는 고강도의 플라스틱까지 생산하기에 이르렀다. 플라스틱류는 석유화학공업의 발전으로 수요 및 공급이 매년 상당한 비율로 늘어나고 있으며, 향후에도 지속적인 증가가 예상된다. 특히 천연재료와 비교할 때 투명성, 강도, 제조 및 용이성, 미생물 저항성, 안정성 등에서 우수할 뿐만 아니라 가볍기 때문에 각종 분야에서 널리 이용되고 있다.

그러나 이러한 장점이 있는 반면 최근 지구상의 환경 문

제에 대한 관심이 고조됨에 따라 사용후 자연에 폐기되었을 때 생태계를 파괴하지 않는 환경친화적인 고분자 제품의 사용이 강력히 요구되고 있어 활용에 제한을 받고 있는 실정이다. 따라서, 고분자의 반영구적인 특성을 없애는 분해성 고분자에 대한 연구개발과 사용후 폐기되었을 때 환경오염을 극소화시킬 수 있는 처리방법에 대한 연구 또한 활발히 진행되고 있다.

현재 발생하는 폐플라스틱의 대부분은 매립, 소각되고 있으나 여러가지 문제점이 따르고 있다. 폐플라스틱은 무게에 비하여 부피가 크고 매립하여도 썩지 않고 특히 PVC 등과 같이 염소를 포함하거나 착색제가 함유된 폐플라스틱을 소각할 경우 유해중금속이나 다이옥신과 같은 유해물질이 배출되게 되고, 열을 회수할 목적으로 폐열 보일러를 설치할 경우에도 설비의 부식문제가 발생하게 된다.

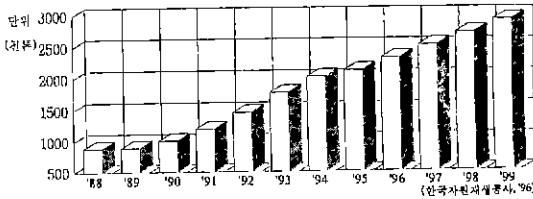


Fig. 1. 한국의 페플라스틱 발생량 및 전망

따라서, 환경오염을 극소화 하면서 일상생활에서 발생하는 페플라스틱을 효과적으로 재활용 하기 위한 기술개발이 전 세계적으로 활발하게 진행되고 있으며, 국내에서도 시급한 과제 중의 하나로 인식되고 있다.

1.1. 페플라스틱의 발생 및 재활용 현황

가. 한국

국내에서 발생하는 페플라스틱(6대 범용수지 즉 LDPE, HDPE, PVC, PP, ABS, PS)의 발생량 및 전망은(Fig. 1)에 나타냈다. 플라스틱의 수요증가에 따라 페플라스틱의 발생량도 급증하여 1995년의 경우 약 211만톤으로 1988년의 89만톤에 비해 약 2.3배 증가한 것으로 나타났으며, 1999년에는 약 290만톤에 달할 것으로 전망된다.

또한 6대 범용수지의 발생량 대비 재활용량의 함은 1990년에 176,064톤이었던 것이 1993년에는 207,491톤(발생량대비 재활용율: 11.76%)으로 늘어났고, 1994년에는 278,327톤(발생량대비 재활용율: 13.8%)으로 최근 급격히 증가하는 추세이며, 이러한 페플라스틱의 발생량 및 재활용 추이는 계속해서 증가할 전망이다

보통 페플라스틱의 재생경로는 한국자원재생공사를 통한 농촌 폐비닐 수집 매각과 자체 펠렛생산, 도시지역의 페플라스틱 수집 매각과 한국재생플라스틱 조합을 통한 재생 그리고 지방자치단체 및 기타를 통한 방법으로 대별되며, 국내 페플라스틱의 유통체계는(Fig 2)와 같다

페플라스틱의 발생량 증가로 인하여 각종 환경문제를 야기시키고 있으며, 특히 최근 관련 재생업체의 영세성 및 채산성 악화로 인하여 재활용에 어려움을 겪고 있는 실정이다

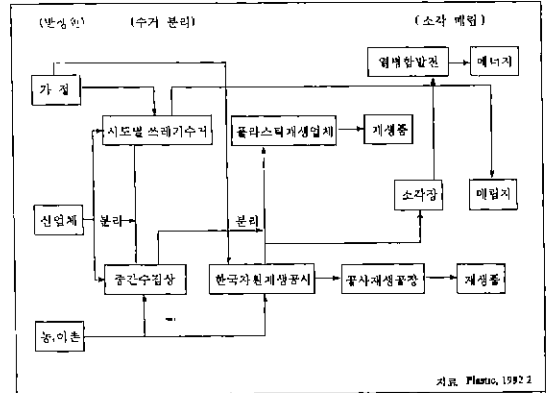


Fig. 2. 국내 플라스틱의 유통체계

다. 페플라스틱의 재활용율이 1990년의 경우 12%수준으로 낮을 때 이는 플라스틱 재생업체의 영세성과 신재료와 재생원료와의 가격차이가 축소되어 경제성을 잃은 결과이다. 또한 최근 강화되기 시작한 공해방지비용의 증가 등으로 업체의 경영여건이 급격히 악화되었기 때문에 사료된다. 그러나 최근 정부의 재활용 증가정책 등으로 인하여 회수율은 증가추세이나 회수된 페플라스틱을 재활용하지 못하고 소각장에서 소각시키는 모습까지 드러나고 있는 실정이다. 따라서, 정부 주도의 재생 업체에 세제혜택이나 투자비 보조 등과 같은 정책이 뒷받침 된다면 이들 재생처리업체의 재활용율은 증가할 것으로 전망된다.

국내의 경우 '93년 전체 플라스틱 생산량은 약 631.7만톤에 달하고 있으며 국내 총 소비량에 있어서도 연간 1인당 약 80 kg에 이르는 것으로 추정되고 있다. 따라서 우리나라에서 발생하는 일반계 및 산업계 폐기물을 합하여 연간 200만톤에 달하고 있으며, 최근 10년간의 통계로 볼때 년 12%이상 증가하고 있는 추세이다 이러한 플라스틱 산업의 비약적인 발전과 함께 폐기되는 페플라스틱은 현재 대부분 매립 또는 일부 소각에 의해 처리되고 있다. 그러나 플라스틱은 매립시 썩지 않으며, 매립지의 부추, 토양오염 또는 침출수 등으로 환경오염의 원인이 되며, 소각처리의 경우 배

Table 1. 플라스틱 재활용 추이

(단위 : 천톤, %)

구 분	'88	'90	'92	'94	'96	'98
플라스틱 실수요량/예측	1,562	1,984	2,361	2,928	3,320	3,776
페플라스틱 발생량	890	1,012	1,458	2,018	2,313	2,711
발생량대비 재활용율	--	12.0	--	13.8		

(한국자원재생공사, '96)

Table 2. 플라스틱 제품에 대한 규제 규정

관련법규	규제내용	세부내용
1. 법률시행령 제19조	• 부담금 : 합성수지 판매액의 0.7%	• 플라스틱제품 원료인 합성수지 폐기물부담금 0.7%
2. 법류시행령 제18조	• 예치금 : PET 용기에 예치금 부과	• PET 재활용을 위한 비용 -500 ml 이하: 개당 3원 -500 ml 이상: 개당 5원 -1500 ml 이상: 개당 7원
3. 지정사업자의 재활용 지침 (환경부고시 제1993-107호)	• 플라스틱용기를 생산하는 자는 의무적으로 재생원료 사용	• 연간 1000톤 이상 생산자는 의무적으로 재생원료를 10%이상 사용(96)
4. 동지침 제2종 지정사업자의 의무	• 플라스틱 용기를 생산하는 자의 용기 제질표시 의무화	• 200 cc이상 플라스틱 용기를 생산하는 자는 용기에 PE, PP, PVC 등 표시

출되는 유해 가스에 의해 2차 대기오염을 유발하는 등 심각한 사회문제화 되고 있다.

환경오염을 최소화하고 페플라스틱의 효율적 관리를 위해 국내에서도 페플라스틱 관련법을 16년전부터 제정, 운영하기 시작했다. 페플라스틱 문제는 국민, 생산자, 지방자치단체, 정부 등이 연계하여 범국가적 차원에서 해결해야 함을 인식하고 1979년 12월 "합성수지 폐기물 처리 사업법"을 제정 시행하였으며, 원인자 부담원칙에 의하여 부담금제도가 처음으로 시행되었다. "합성수지 폐기물 처리 사업법"은 1993년 "자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률"로 흡수 폐지 되었으며, 법률의 주요내용을(Table 2)에 요약하였다

나. 외국의 페플라스틱 발생량 및 처리현황

미국의 페플라스틱 처리방법을 살펴보면 90년대에도 주로 매립(80%)에 의존하고 있으며, 소각 17%, 그리고 재활용은 3%에 불과한 실정이다. 일본은 좁은 국토문제 때문에 소각 기술이 발달하게 되었고 페플라스틱의 경우에는 매립 40%, 소각 35%. 그리고 재활용율이 25%순이다. 이중 재활용 25%에는 쓰레기소각발전, 재생가공품, 재생원료가 포함된 수치 이므로 쓰레기 소각발전을 포함할 경우 소각으로 처리되는 페플라스틱은 약 50%에 이른다 또한 일본에서는 1970년대 초반부터 페플라스틱의 처리와 재활용에 대한 연

Table 3. 각국의 페플라스틱 처리현황

구 분	매 립(%)	재활용/재사용(%)	소 각(%)
미국	80	3	17
유럽	63	8	29
일본	40	25	35
한국	86.2	11.4	2.4

구를 시작하였으며, 최근에는 일반용 페플라스틱 및 공업용 페플라스틱의 분류 및 선별에 의한 재료로서의 재활용, 연소를 통한 열회수에 의한 재활용, 고체 연료로서의 재활용, 열분해에 의한 합성유 또는 합성 가스로의 재활용, 폐기물의 부피를 줄여 압축 고형화하는 기술 등 여러분야로 다양한 연구가 진행되고 있다. 유럽은 매립이 63%, 소각 29%, 그리고 재활용율이 8%의 순이다(Table 3).

• 일본

1993년 현재 일본의 페플라스틱에 대한 생산량은 1,225만톤이고, 국내 소비량은 906만톤이다. 폐기대수량은 756만톤으로 이중 40%를 매립처분하고 있으며, 35%는 단순소각, 그리고 16%는 쓰레기 소각발전으로 이용하고 있으며 7%는 제품생산을 위한 재생원료로 사용하고 있으며 재생가공품으로 2%가 소비되고 있다(Fig. 3).

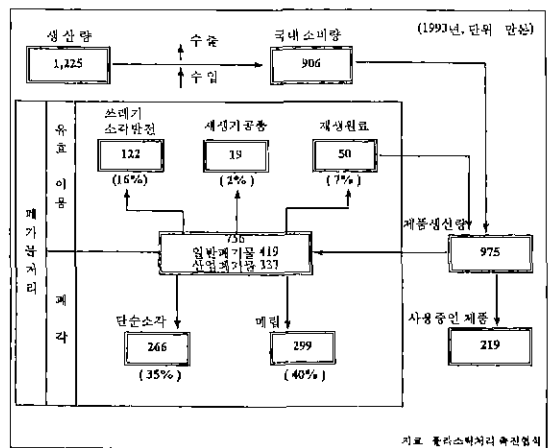


Fig. 3. 일본의 페플라스틱 이용 현황

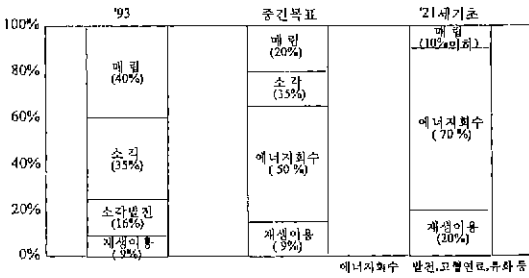


Fig. 4. 일본의 페플라스틱 처리계획

향후 페플라스틱과 관련하여 일본의 처리 계획은(Fig. 4)에 나타난 바와 같이 현재의 매립 40%, 소각 35%, 쓰레기 소각발전 6%, 재생이용 9%에서 21세기초에는 매립의 비율을 10%이하로 줄이고, 에너지 회수의 비율을 대폭 증가시켜 70%로 높이고, 재생이용의 비율을 20%로 높이려는 중장기 계획을 수립하였다.

• 독일

1991년 이후 독일에서는 포장폐기물에서 발생하는 페플라스틱을 원료물질(Raw Material)로 재활용하기 위하여 수집하기 시작했다. 포장폐기물을 수집, 분리, 재활용하는 목적으로 설립된 Duales System Deutschland(DSD)는 1996년에 독일내에서 발생하는 페플라스틱을 53만톤으로 추정했다(Fig. 5). 이러한 페플라스틱을 재활용하기 위해서는 고효율이면서 낮은 CO₂발생을 만족하는 Process를 찾기 시작했다. 최초의 시도는 이러한 페플라스틱으로부터 새로운 플라스틱 물질을 생산하는 것이었으나, 이것은 수집된 플라스틱의 질이 분류가 되었다고 하더라도 질이 좋지 않기 때문에 원료물질로 재활용하는데에는 문제가 많은 것으로 나타났다. (Fig. 6)은 페플라스틱의 종류별 발생량을 나타냈는데 혼합페플라스틱의 비율이 전체의 60%를 차지하고 있으며, 병종류와 필름 등 재활용하여 새로운 플라스틱 생산품을 만들기에 적당한 페플라스틱은 40%미만임을 알 수 있다 따라서, 원료물질로의 재활용은 Al, Cl 또는 Ash 등으로 오염된 혼합 페플라스틱을 재활용 하기 위한 방향으로 추진되고 있는 실정이다.

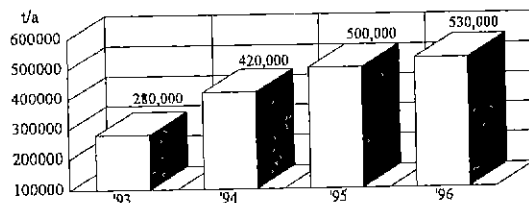


Fig. 5. DSD에 의해 수집된 페플라스틱의 Volume

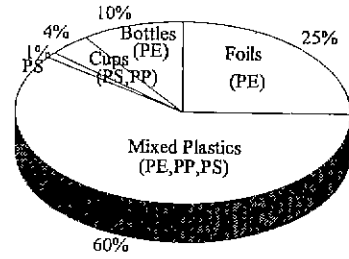


Fig. 6. DSD에 의해 수집된 페플라스틱의 종류별 발생량

1.2. 페플라스틱의 물리적 성질

일반적으로 범용플라스틱은 열가소성수지(Thermoplastic Resins)와 열경화성수지(Thermosetting Resins)로 분류하고 있으나, 사용량을 기준으로 하면 열가소성 수지가 대부분을 차지하고 있다. 다음(Table 4)에는 분리수거된 열가소성 플라스틱 중 4종류의 플라스틱에 대한 물성을 비교하였다

1.3. 페플라스틱의 재활용 방법

플라스틱의 재활용은 크게 ①재료 재활용(Material Recycle) ②화학적 재활용(Chemical Recycle) ③열적 재활용(Thermal Recycle)

페플라스틱을 처리하여 다른 플라스틱 재료로 이용하는 재료 재활용(Material Recycling)방법이 가장 바람직한 방법이지만 여러 종류가 혼합된 페플라스틱의 경우 상분리로 인하여 물성이 원래 플라스틱 자체의 물성보다 떨어지기 때문에 분리의 목적에 따라 사용하지 못하는 실정이다.

1) 원료로의 재활용(Material Recycle)

- 플라스틱을 재질별로 분류, 분쇄 용융하여 원료로 재활용
- 혼합 페플라스틱을 재질별로 분류하지 않고 재생처리하여 중간원료 생산

2) 에너지 회수 및 유화처리로의 재활용(Chemical & Thermal Recycle)

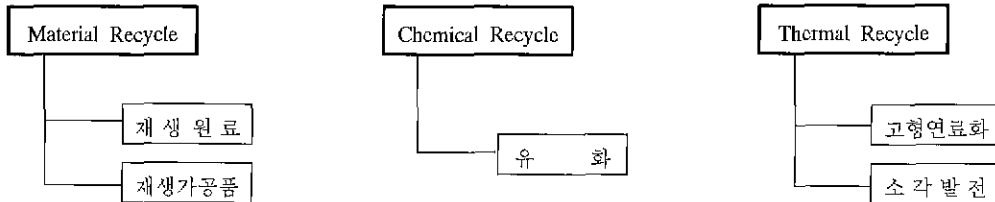
- 오일회수 . 생활 페플라스틱 등을 유화처리
- 에너지 회수 : 소각로에서 젖은 쓰레기를 태우는 보조 연료로 활용하거나 발전, 난방 및 온수로 이용
- 고히연료화 . 제철소, 화력발전소, 시멘트공장에서 사용

3) 기타

- 고히분해하여 간척지 매립, 도로용 연약지반 성토공사 등에 이용
- 페플라스틱 만들 응용. 압축하여 매립장내 별도장소에 매립

Table 4. 페플라스틱의 물리적 성질

플라스틱의 종류	포리에틸렌(PE)	폴리프로필렌(PP)	폴리스티렌(PS)	폴리염화비닐(PVC)
분자구조	$[-CH_2-CH_2-]_n$	$[-CH_2-CH-]_n$ CH ₃	$[-CH_2-CH-]_n$ ⊙	$[-CH_2-C-]_n$ Cl
monomer 분자량(n)	28 (4,300~12,000)	42 (2,000~3,500)	104 (1,500~3,500)	62.5 (400~1 600)
비중	0.91~0.965	0.902~0.906	1.04~1.10	1.3~1.4
제품용도	Film, 식품기, 각종 용기, 완구, 일용 잡화, 전선피복	Film, Pipe, Rope, 용기, 전기기구, 일용품잡화	수용성형품, 잡화, 완구, 문구, TV부품, 스포지, 용기	Film, Sheet, Pipe, 스포 지판, 잡화, 완구, 전선 피복
내열온도(°C)	90~120	121~160	50~70	60~70
내산성	0	0	0	0
내알칼리성	0	0	0	0
열분해온도(°C)	290~360	220~250	330~400	190~300
열분해 생성물	CO, H ₂ O, 지방산, 저탄화수소, Monomer	저탄화수소, Monomer	벤젠, 톨루엔, 저탄화 수소, Monomer	HCl, 에탄, 프로판, 부탄, 에치렌, 저탄화 수소
착화온도	350	389	495	454
발열량(kcal/kg)	11,040	11,040	9,680	4,230
연소성	쉽게연소, 용융, 낙하 하면서 흑연을 냄.	쉽게 연소, 용융, 낙하	쉽게연소, 연화하여 흑연을 냄	난연, 연화후 흑화, HCl성 격한 냄새



2. 페플라스틱의 고로내 재활용 기술

독일과 일본의 제철사들은 최근에 와서 경제성을 높이는 한 방법으로 고로에 페플라스틱을 투입하여 기존 연원료를 대체하는 방법을 개발하고 있으며 조만간 대규모 상업화 시설 가동을 계획하고 있다.

페플라스틱을 고로내에 투입하여 연료화 하는 방법의 잇점으로는 첫째 대량 처리가 가능하다는 점이다 대형고로 1기로 연간 약 60만톤의 페플라스틱의 처리가 가능하다고 보고 있으며, 이는 현재 소각로에서 소각하고 있는 페플라스틱량이 줄어든 것으로 기대된다. 둘째로는 다른 재활용

방법과 비교해서 성자원, 성에너지 측면에서 유리하다는 점이다. 즉, 에너지 효율 측면에서 80%의 효율을 기대할 수 있으며 이는 원료 리사이클(환원제대체) 60%와 연료 리사이클(연료대체) 20%로 보고 있다. 셋째로는 최근 문제가 되고 있는 지구온난화에도 기여할 수 있다는 점이다. 페플라스틱은 코크스와 비교해서 CO₂발생량이 약 30%정도 적기 때문에 제선공정에서 발생하는 CO₂의 발생량을 저감할 수 있다.

페플라스틱은 제선 Process에서 미분석탄과 오일의 일부를 대체하여 고로에 투입되는데, 이는 고로에 필요한 열원으로 사용한다는 측면과 화학적으로 즉 환원 매질로 사용하는 측면이 있다.페플라스틱을 고로에 투입하여 처리할때

Table 5. 각종 폐플라스틱 처리기술의 과제

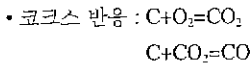
재활용 기술	과 제	그의 과제
재생이용 (Material Recycle)	(1) 플라스틱의 종별 선별기술 (특정 플라스틱의 분리기술 포함) (2) 플라스틱과 이물질 분리기술 (3) 재생품의 품질기준 (4) 재생품의 용도개발 (5) 재생제품의 강성향상 (6) 고효율 재생기, 성형기 개발	(1) 기술의 경제성 (2) 재생품의 용도
소각-열회수	(1) Dioxin 대책 (2) 고효율 열회수(보일러 제질) (3) 발전효율의 향상 (4) 배가스 대책(밸브 등의 재질)	(1) 소각발전에는 100톤/일 폐플라스틱 필요 (회수시스템) (2) 소형소각로에서의 대응
열 분해	(1) PVC를 함유한 혼합 폐플라스틱 (2) 열효율 향상, 분해시간의 단축 (3) 분해 촉매 (4) 회수유의 제품정선	(1) 기술의 경제성 (2) 회수유의 이용(연료이외)
연료화(고형, 분체)	(1) 칼로리의 향상 및 안전성 (2) 염소분해의 대응	(1) 폐플라스틱의 회수와 연료로서의 안정정 공급

그 재활용성은 고로공급용 폐플라틱 원료의 시장성 및 폐플라틱 품질, 고로운용상의 기술적인 적응성에 달려 있다고 볼 수 있다.

본장에서는 현재 일본과 독일의 제철사에서 연구개발되고 있는 폐플라틱의 고로내 재활용기술과 포항제철의 개발 계획에 대해 서술하고자 한다.

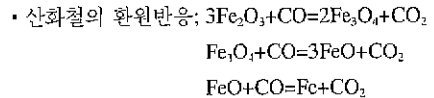
2.1. 고로

고로설비는(Fig 7)에 나타내는 바와같이 제철소의 상류공정에 위치하고 있으며, 고로 분체, 원료장입설비, 주상설비, 열풍로 설비, 가스청정설비, 송풍설비 및 기타 부속설비로 구성되어 있다. (Fig. 8)에서는 로내 개념도(수직 단면도)를 나타낸 것으로, 고로의 상부에서 철광석과 코크스가 각각 1층씩 장입되며 고로의 하부에 위치한 풍구에서 1,000 °C 이상의 공기 열풍이 공급된다. 상부에서 장입된 철광석과 코크스는 하부로 내려오면서 가스와 반응하여 환원, 용융, 연소된다. 풍구를 통하여 로내로 들어온 공기는 연소영역에서 코크스와 반응하여 CO₂가 발생되며 이때 연소열로 철을 용융시키며 이 CO₂는 코크스와 반응하여 환원용 가스인 CO가 발생된다



이 CO는 상부로 올라가면서 철광석의 산화철을 철로 환원

시킨다.



환원 용융된 철은 고로의 최하부인 hearth에 쌓인 후 출선구를 통하여 외부로 배출된다. 고로상부에서 외부로 배

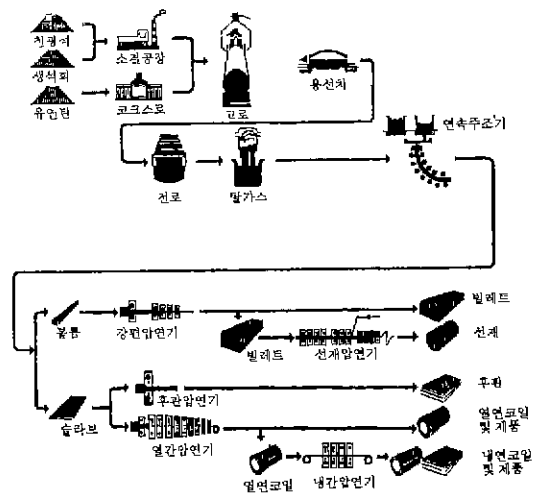


Fig. 7. 제철 공정

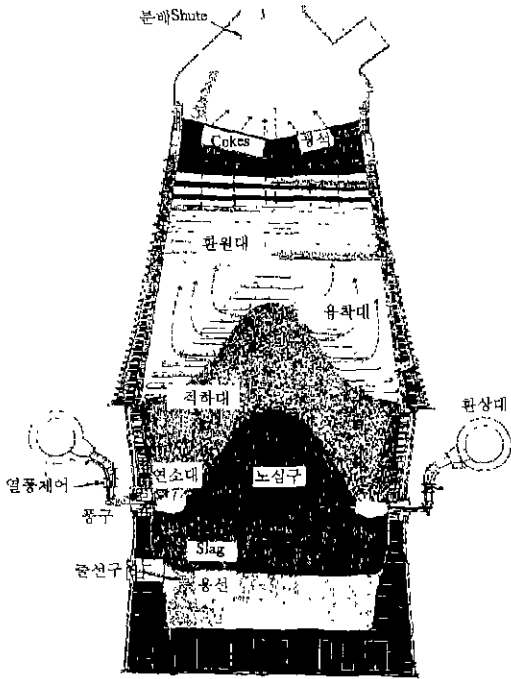


Fig. 8. 고로 노내 개념도

출되는 고로가스의 CO함량은 20~25%이고 발열량은 700 kcal/Nm³로 열풍로와 발전소에서 재사용된다. 고로에서 코크스의 사용량을 줄이기 위하여 풍구를 통하여 연료를 취

Table 6. 대형고로의 주요 치수 및 사양

Dimension		Specification	
내용적	3,800 m ³	출선량	ave. 7,780 T/D
로구경	9,600 mm	연료비	495 kg/T-P
Belly 경	14,400 mm	-coke비	380 kg/T-P
로상경	13,200 mm	-미분탄비	115 kg/T-P
로높이	32,900 mm	원료비	1.67-T/T-P
		송풍량	max 7,350 Nm ³ /min
		송풍압	max 5.1 kg/cm ²
		중온	max. 1,250°C
		고로가스발생량	1,600 Nm ³ /T-P

입하는데, 과거에는 주로 증유, 근래에는 미분탄을 취입하는 것이 일반화 되어 있으며, 최근에는 부분적으로 페플라 스틱을 취입하고 있는 상황이다. 연간 300만톤의 선철을 생산하는 대형고로의 주요 치수 및 사양은(Table 6)에 나타나 있다

선철 1톤을 생산하기 위하여 원료로 철광석 1.67톤, 연료로 코크스 380 kg과 미분탄 115 kg이 공급되며 고로가스 발생량은 약 1,600 Nm³이다.

2.2. 일본(NKK사)

2.2.1. 페플라 스틱 고로내 취입기술

일본강관(이하NKK)은 폐기물중 페플라 스틱을 분별, 파

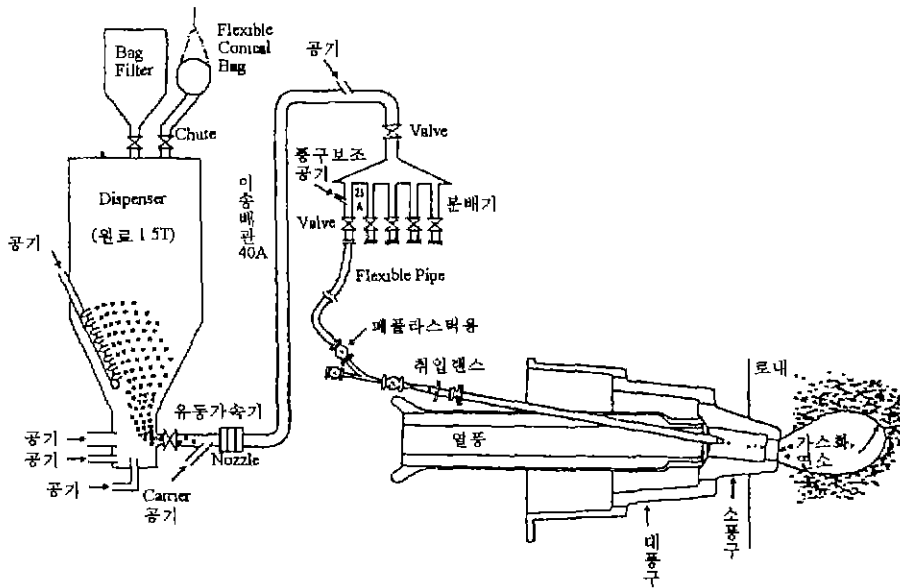


Fig. 9. NKK고로내 취입설비

쇄, 조립하여 게이힌 제철소 제1고로(용적 4907 m³, 1989년 11월 점화)에서 취입함으로써 고로 원료의 일관 리사이클 시스템을 개발하였다. 이 기술은 1993년 개시된 고로기술을 응용한 차세대형 고성능스클립프 용해로기술의 요소기술로서 개발되었고 게이힌 제1고로에서 실기 시험후, 실용화 하였다. 게이힌 제1고로는 하루에 약 4,000톤의 코크스와 1,000톤의 미분탄 16,000톤의 철광석을 사용하고 10,000톤의 선철을 생산하고 있다.

페플라스틱의 고로내 취입 기술은 독일 브레멘사에서 실용화 되었지만, NKK 방식의 파쇄, 조립, 고로원료화 설비 및 고로 취입설비를 통합한 일관 리사이클시스템은 세계에서 최초이다. 개발된 시스템은 1996년 10월 가동을 예정하고 있고 연간 3만톤의 페플라스틱 리사이클(폴리염화비닐(PVC) 제외)을 목표로 하고 있다.

1) 기술 내용

고로시험은 (Fig. 9)에 나타난 시험장치를 이용하여 풍구 40개중 1개에 현재까지 연속하여 600톤의 원료화 플라스틱을 취입하여 테스트를 수행하고 있다. 이 시험에서는 파쇄, 조립된 페플라스틱을 서비스 탱크에서 받고 그후에 배관내를 공기를 이용하여 이송하여 풍구에 주입한다. 이 기본기술은 확립된 고로내의 미분탄 취입기술을 응용하여 사용한다. (Table 7)는 취입설비를 이용한 페플라스틱 취입 전후의 고로조업 결과를 나타낸 것이다 조업자료를 살펴보면 취입 전과 후에 큰 차이를 보이지 않고 있으며, 따라서 페플라스틱을 취입하여도 조업에는 문제점이 없는 것으로 밝혀졌다. 그러나, 페플라스틱 취입시 약간의 발생가스량 및 칼로리 증가가 나타났다.

2) 개발된 요소기술

• 페플라스틱 파쇄, 조립기술

고형상 페플라스틱의 조립화는 종래의 파쇄기에서 십분대용 가능한 것이라고 알려져 왔지만 필름상 페플라스틱은 절단, 파쇄하여 공기를 이용하여 수송할 때에는 배관 폐쇄가 발생하게 된다. 이 문제를 해결하기 위해 다양한 실험을 수행한 결과 절단시의 마찰열에 의한 용융—냉각(물 injection)에 의한 감용화 조립이 최적임이 밝혀졌다.

• 원료화 플라스틱 수송기술

페플라스틱과 같은 고체를 공기와 같은 기체로 수송하는 경우 그 비율(고기비=고체/기체 중량비)의 최적화가 중요하다. 고기비가 높으면 배관내 폐쇄가 발생하여 수송상의 문제가 발생할 가능성이 높다. 반대로 고기비가 낮으면 배관 폐쇄와 같은 문제는 줄어 들지만 역으로 설비 cost, 운전 cost가 증가하게 된다. 또한, 페플라스틱 입경을 작게 하면 수송 및 풍구에서의 가스화는 용이해지지만 파쇄 설비, 운전 cost가 증가하게 된다. 원료화 플라스틱의 수송기술에는 배관경, 기체압력 등의 다수의 인자가 존재하며 이들은 상호의존하는 관계에 있으므로 조업설계조건을 최적화 하는데 있어 매우 중요하다. NKK는 이러한 원료화 플라스틱을 수송할 수 있는 최적화 기술을 확립하였다

• 풍구 선단에서의 원료화 플라스틱의 가스화

각종 조건하에서 풍구 선단에서의 원료화 플라스틱의 가스화 상황을 살펴본 결과 최대 취입량은 풍구 1개당 페플라스틱 2.4 t/hr(200 kg/t-용선상당)까지 행하였지만 풍구선단의 상황 등은 문제가 없는 것으로 보여진다. 풍구선 관찰결과 원료화 플라스틱은 그 형태를 유지하며 로내노 유입되고 있지만 2,400°C전후의 고온상태의 로내에 유입되는 순간 가스화가 되는 것으로 알려졌다 풍구선은 매초 250 m의 열풍이 들어오기 때문에 코크스가 선회되는 중에서 페플라스틱은 가스화 되고 있다 또 원료화 플라스틱은 미분탄에 비해 입경이 수십배 크지만 가스화 속도가 빠른 것으로 밝혀졌다

다. 페플라스틱 고로원료화 리사이클 시스템

위의 시험결과로부터, 페플라스틱을 고로에 취입하였을 경우 고로에서의 적용이 가능하다는 결론을 얻었으므로 페플라스틱의 수집, 파쇄, 조립, 고로취입의 일관 리사이클 시스템을 실용화 하였다. 페플라스틱을 형태적으로 필름과 고형의 2가지로 분류하고 각각 파쇄, 조립하고 저장 싸일로에 저장한후, 취입탱크로 이송한다. 탱크에서 공기와 함께 수송되어 40개의 풍구중 4개에서 풍구까지 1,200°C전후의 열풍 중으로 injection한다 로내로 취입된 원료화 플라스틱은 로내에서 화학반응하여 순간적으로 환원가스(CO, H₂)가 되고 로내를 상승해가는 과정에서 철광석(산화철)을 환원하는

Table 7. 페플라스틱 취입시의 고로제원 비교

구 분	페플라스틱 취입전	페플라스틱 취입후
페플라스틱 비(kg/t)	0	3
코크스 비(kg/t)	72	73
미분탄 비(kg/t)	473	463
연료비(kg/t)	545	544
출선량(t/d)	10,600	10,638
용선온도(°C)	1,520	1,518
B가스중 CO(%)	26.3	26.5
CO2(%)	21.5	21.3
H2(%)	3.4	3.7
B가스칼로리(Kcal/Nm ³)	892	898
B가스 발생량(Nm ³ /t)	1,758	1,778

동시에 가열, 용해한다. 풍구끝에서의 반응은 코크스, 미분탄이 풍구에서의 연소에 의한 환원가스 발생기능이 동등하기 때문에 코크스(또는 미분탄)의 대체가 가능하다. 로내에서 상승하면서 환원, 가열에 이용된 가스는 로의 꼭대기로 배출된 후 청정설비를 거쳐 고로 밖으로 배출되는데(고로 가스로 일컬어짐) CO, H₂가 아직 남아서(칼로리가 800~900 kcal/Nm³) 연료로서 제철소내의 가열로 및 발전소에 사용되게 된다. 이 프로세스에서 얻어진 폐플라스틱으로 부터 발생된 환원가스의 이용비율 및 에너지 이용효율은 환원이용이 60%이상을 차지하게 됨으로써 원료화 플라스틱은 material recycling이 된다고 말할 수 있다. 리사이클 양은 당분간 연간 3만톤(고로원료화 설비능력)으로 하고 있는데, 고로전체의 처리능력은 연간 60만톤이 가능하다. 또 고로는 풍구에서의 가스온도 2,400°C부터 고로꼭대기에서의 가스온도 150°C까지 장입물과의 열교환에 의해 강하함으로써 고로의 열효율이 90%이상으로 대단히 높다. 원료화 플라스틱의 제철소 계 전체에서 차지하는 에너지 이용율은 80%이상이고 다른 프로세스에서는 볼 수 없는 고효율 프로세스가 된다. 그 결과 다른 리사이클 프로세스에 비해 성자원, 성에너지면에서 유리하게 된다. 성에너지 측면에서는 CO₂ 감소가 나타나는 동시에 석탄계의 코크스를 탄화수계의 원료화 플라스틱으로 대체함으로써 제철 프로세스에서의 CO₂ 발생량을 억제할 수 있게 된다.

라. 향후 과제

• 폴리 열화비닐(PVC) 대책

개발된 시스템에서 PVC를 처리하면 PVC 중에 함유된 염소로 인하여 설비의 산부식이 발생할 수 있다. 따라서 NKK에서는 PVC를 제거한 폐플라스틱의 리사이클을 계획하고 있으며, NKK 통합 엔지니어링 사업부 및 동 연구소에서는 PVC와 기타 플라스틱의 분리기술(비중분리방식)을 개발중에 있다. 본 방식으로는 PVC 분리를 98%전후까지 가능성이 실증되었다.

• 일반폐기물 중의 폐플라스틱

1995년 12월 포장용기 리사이클 시스템법의 법령이 공포되었지만, NKK 방식이 고로원료로서의 material recycling으로 확립되게 되면 장래 그 법령에 충분히 활용되리라 생각된다.

• 폐플라스틱수집 시스템

일본에서는 독일 등 선진국에 비해 수집 기반시설이 부족하다. NKK는 현행 수집시스템을 보완할 예정으로 있으며 향후 광역적인 수집 시스템의 기반설비를 생각하고 있다.

일본에서는 증가하는 폐플라스틱을 유용화 시키지 않고 대부분 소각처리 하고 있다. 이러한 종래에 소각되는 폐플

라스틱을 파쇄, 조립하여 원료로서 고로에서 일관 리사이클 하면 다음의 6가지가 실현 가능하다.

- (1) 플라스틱 폐기물의 발생량을 감소 시킬수 있다.
- (2) 플라스틱 폐기물의 최종 처분장소가 필요 없게 된다.
- (3) 코크스의 사용 양이 감소되고 해외에 의존하는 석탄을 성자원화 할 수 있다.
- (4) 이산화탄소의 발생량을 감소시킴으로써 지구온난화의 대책에 유용하다.
- (5) 유해한 부생가스를 발생하지 않음으로써 부생가스는 기존 발전소 등에 이용할 수 있다.
- (6) 본 프로세스의 총합 에너지 효율은 80%이상으로 높은 레벨이기 때문에 다른 리사이클 프로세스에 비해 성자원, 성에너지화 면에서 유용하다

2.2.2. 미분탄과 폐플라스틱을 이용한 고철용융 Process (PRISM)

Scrap과 적당한 양의 Coke를 로상부에 장입하고 미분탄, 폐플라스틱 또는 다른연료를 순산소와 함께 풍구를 통해 노하부의 Cake Bed로 불어 넣어 용융시켜 철을 생산하는 Process로 "PRISM"이라 불리운다. 로상부에서 배출되는 고칼로리의 가스는 발전 등에 이용하기도 한다. PRISM의 개념도는(Fig. 10)에 나타내었다

Raceway와 노상부온도에서의 화염온도를 기준고로와 같은 조건으로 계산한 결과는(Table 8)과 같으며 여기서 알 수 있는 것은 플라스틱을 투입하였을 경우 Slag의 발생량이 적고 로상부온도는 기준고로에 비해 고칼로리인 2,800 Kcal/Nm³으로 나타났다는 점이다 시험은 약 50여일 동안 계속했으며, 주요 실험내용은 다음과 같다.

- 1) 미분탄과 폐플라스틱 취입량에 대한 상한치
 - 2) 여러 종류의 플라스틱을 취입했을 경우의 영향
 - 3) Injection시 입자크기에 대한 영향
 - 4) 생산을 최대치
 - 5) Injection시 Scrap shape에 대한 영향
- 실험결과에 의하면 연소효율 측면에서는 플라스틱이 미

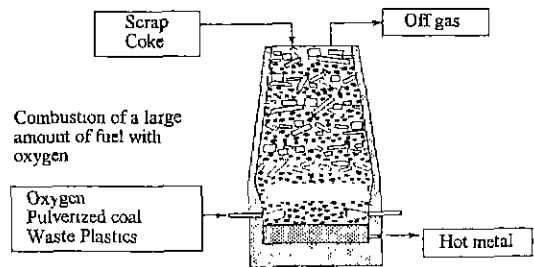


Fig. 10. PRISM의 개념도

Table 8. PRISM의 조업조건

		PRISM	
Fuel	Coke	255	140
	PC (kg/t)	200	55
	Plastics (kg/t)	-	120
Flux	Lime stone (kg/t)	95	40
	Silica stone (kg/t)	25	15
	Serpentine (kg/t)	15	5
Blast	Air (Nm ³ /t)	16	28
	Oxygen (Nm ³ /t)	235	190
	Steam (kg/t)	70	-
Slag		125	55
Top Gas	Temp (°C)	150	150
	CO	7.5	62.6
	H ₂	2.6	32.9
	N ₂	2.1	3.7
	Calorie (kcal/Nm ³)	2780	2720

분탄에 비하여 높으며, 2~4 mm 입자크기의 PE를 대상으로 조업시 문제가 없는 것으로 나타났으며, Bulk Density나 Scrap shape에 대한 영향은 없으며 생산량의 상한치는 28 T/D로 밝혀졌다

위의 실험결과로부터 NKK는 PRISM Process의 적용 가능성에 대한 연구를 계속하고 있으며, 개념도는(Fig. 11)에 나타냈다. 고철을 용해시킬 뿐만 아니라 발전소에서 사용하기에 적당한 가스를 생산하기 위한 Process이다.

2.3. 독일(Stahlwerke Bremen사)

플라스틱은 다량의 Hydrocarbons을 함유하고 있기 때문에 고로에서 석탄이나 오일의 일부를 대체하여 사용할 수 있다. 고로에 투입하기 위해서는 일정한 입자크기가 요구되며, 이를 위해 전처리 과정이 필수적으로 필요하게 되고 이를 위한 전처리 비용이 들게 된다. Stahlwerke Bremen사는

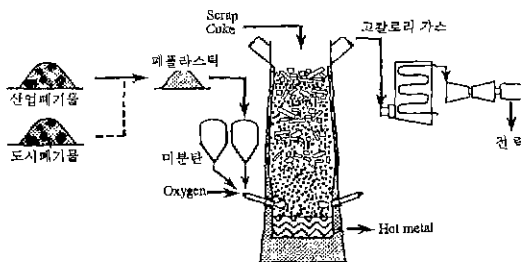


Fig. 11. PRISM의 상업적인 프로세스

Table 9. 미분탄, Oil, 페플라스틱의 화학 분석 비교

Reducing Agent	Pulverized Coal	Fuel Oil	Waste Plastics
C	79.60	85.90	77.81
H	4.32	10.50	11.91
S	0.97	2.23	0.90
Ash	9.03	0.05	4.90
Cl	0.20	0.04	1.40
K	0.2656	0.0010	0.0480
Na	0.0816	0.0010	0.0920

Pilot Plant규모의 고로내 페플라스틱 투입설비를 이용하여 시험을 실시 하였으며, 현재 이 프로세스에 대한 연구가 진행 중에 있다. 1998년말까지 최적 변수 결정을 위한 실험을 계획하고 있다

가. 고로에서의 플라스틱 사용

고로에서 플라스틱을 용구에 투입하는 과정은 석탄이나 연료유를 투입하는 방법과 유사하다. (Table 9)는 미분탄, 오일, 페플라스틱에 대한 Stahlwerke Bremen사의 성분분석 자료를 나타내었다. 여기서 알 수 있는 것은 각각의 것은 장점과 단점을 동시에 가지고 있다는 점이다. 석탄은 ash와 alkaline이 높은 반면 H₂성분은 적고, 연료유에는 Sulfur가 많은 반면 ash는 극히 낮은 값을 나타낸다. 페플라스틱은 Sulfur와 Alkaline에서 낮은 값을 나타내지만 반면 PVC함유로 인한 Cl 값이 높게 나타남을 알 수 있다. 페플라스틱에서 상대적으로 높은 값으로 나타나는 Cl성분에 대해 살펴보면 다음과 같다. Cl성분은 Dioxin과 Furan의 형성과 관련이 있으므로, 상부가스(Topgas)의 최대 다이옥신양을 2, 3, 7, 8-tetra-PCDD에 대하여 이론적으로 계산한 결과 7×10⁻⁷ ng/m³(S.P.T)로 계산되었으며, 이는 높은 값은 아니며, 고로에서 저감을 위한 특별한 조건은 불필요하다는 것이 밝혀졌다. Cl의 대부분은 HCl의 형태로 되어 Washer로 용해되어 간다. 이것은 파이프와 벽의 부식을 유발하는 요인이 된다. 따라서, 본 실험에서는 PCI조업으로부터 알려진 Cl-Freight값으로 제한했다. 즉, 1.1%의 평균 Cl값에서 최대 35 kg/t HM의 Injection Rate로 시험을 수행하였다. 다음으로 투입율에 대한 제한 요소로서 Flame Temperature에 대한 투입플라스틱의 영향에 대하여 살펴본 결과는(Fig 12)에 나타내었다. 플라스틱은 석탄에 비하여 화염온도에 더 큰 영향을 미치며, 첫번째 시험에서 사용된 PS는 석탄과 오일사이에 위치해 있음을 알 수 있다

나 시험 가동(Test Operation)

(Fig. 13)은 Stahlwerke Bremen사의 #2고로(직경 12 m로)

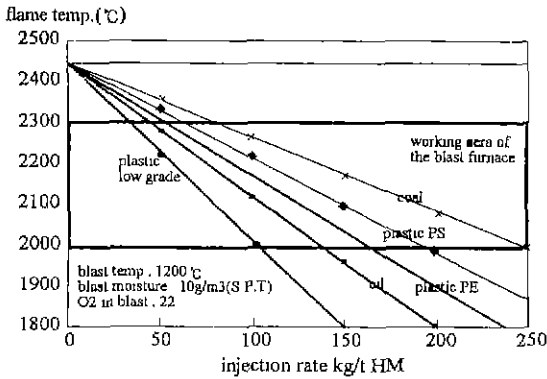


Fig. 12. Flame Temp.에 대한 각종 폐플라스틱의 영향

에서 처음 수행한 Pilot Injection System을 보여 주고 있다.

이 시스템에는 수송매체로 사용되는 공기를 공급하기 위하여 자체 Compressor Station가 설치되어 있다. 그리고 Silo 또는 Big Bags으로 부터 플라스틱이 Sieve machine의 상부에 채워지게 되고 여기서 +5 mm는 걸러진다. Sieve를 통과한 작은 입자들은 Injection Pressure가 약 5기압인 Injection Vessel로 보내진다. 이 시스템에는 Vessel이 하나밖에 없기 때문에 가동이 연속적으로 이루어지지 못했으며, 폐플라스틱의 공급과 정량 작업은 기계적 보조없이 공기수송에 의하여 이루어진다. 공기노즐이 저장조의 하부에 설치되었는데 이는 수송을 원활히 하고자 한 것이다. 이러한 주입시스템을 사용할 경우 섬유입자들이 서로 뭉쳐 파이프를 막는 경우가 종종 발생하게 되므로 섬유입자를 취입할 경우 여러 문제점이 발생하게 된다. 취입 저장조(Injection Vessel)로부터 Tuerce까지 파이프의 길이는 50 m이다. 파이프의 끝에는 파이프와 직경이 같은 injection Lance가 달려 있다. 풍구 Stock는 플라스틱이나 오일을 취입할 수 있도록

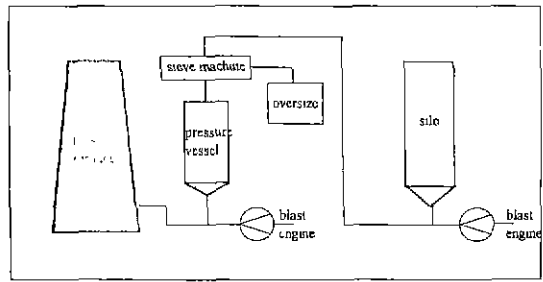


Fig. 13. Pilot Injection Plant

수정하였다. 이 시스템으로 여러 종류의 플라스틱 취입 시험을 수행하였다. 폐플라스틱을 주입한 경우와 주입하지 않은 경우에 고로에서 생성되는 Dioxin배출치는 두 경우 모두 1 pg TE/m³(S.P.T)으로 폐기물 소각로 기준보다 100배 작은 값을 나타내었다. 따라서, 가스, 폐수 및 Dust 분석결과로부터 폐플라스틱을 취입하여도 고로배가스에 대하여 부정적인 영향이 나타나지 않는 것으로 밝혀졌다.

· 대형 취입시스템

Pilot Plant를 통해 얻은 결과로부터 Stahlwerke Bremen 사는 같은 고로에 230 t/d용량의 새로운 Plastic Injection System을 설치하기로 했다. (Fig. 14)는 이 시스템의 개략적인 것을 보여준다. 체적이 700 m³ Silo 4개로 구성된 Silo Station의 총 저장량은 1,000톤이다. 프라스틱 연료는 로타리밸브를 통하여 두개의 sieve로 보내진다. 취입설비는 Silo Station과 분리되어 고로 근처에 위치해 있으며 연속 취입을 위해 3개의 용기로 구성되어 있다. 플라스틱 연료는 Silo Station으로 부터 Receiving vessel로 저압공기에 의해 수송된다. 본 설비의 가장 어려운 문제점으로는 여러개의 파이프에 균일하게 분배하는 것이다. Coal의 경우 최적 정

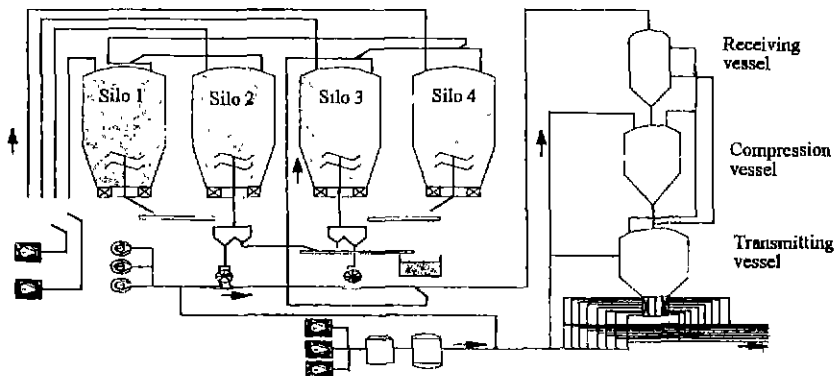


Fig. 14. 대형 폐플라스틱 취입 설비

Table 10. 물질재활용 프로세스에 대한 페플라스틱 사양

구 분	사 양
Grain Size	<1.0 cm ability of trickling undersize<250 μ <1%
Moisture	<1.0 weight-%
Bulk Weight	>0.3 kg/l
Cl-concentration	<2.0 weight-%
Ignition residue	<4.5 weight-%
-metal content	<1.0 weight-%
Content of plastics	>90 weight-%
-content of polyolefine	>70 weight-% <4.0 weight-%

량시스템은 공기수송에 의한 것이라는 것이 알려져 있으나, 플라스틱 입자들은 미분탄에 비해 입자가 크기 때문에 로타리밸브가 유용하다. 본 실험에서는 Multi-Chamber Valve가 사용됐다. Pilot Plant에서와 같이 수송매체로 압축공기를 사용했다. 취입을 위해서 파이프의 직경과 같은 28 mm 렌스를 사용했다. 1996년 1월에서 4월까지 약 1,000톤 이상의 페플라스틱이 이 실험장비를 이용하여 취입하였다. 대부분의 문제점들은 플라스틱의 질에 관련된 것으로 DSD의 생산사양을 만족하지 못한다는 점이다. 물질 재활용을 위한 플라스틱의 사양은(Table 10)과 같으나, 배달된 플라스틱중 10%만이 모든 조건을 만족하고 나머지 90%는 하나 이상의 조건에 위배된다는 점이다.

2.4. POSCO

페플라스틱 등 고형폐기물의 고로내 취입 및 재활용 기술의 기술적, 경제적 검토 및 취입기술의 자체확보를 목적으로 POSCO에서는 페플라스틱의 고로내 시험취입 계획을 수립하고 현재 포항의 주물선 고로 풍구 1본을 대상으로 Pilot Plant 규모의 실 설비를 설계 제작 중에 있다. 취입시기는 1996년 12월말로 예정하고 있으며, 취입량은 최대 1톤/시간으로 계획하고 있다. 고로내 페플라스틱 취입시험 설비는(Fig. 15)에 타나낸 바와 같다

1단계 연구는 안정적인 페플라스틱 취입장치의 개발 및 경제성 평가로 그 내용은 다음과 같다.

- (1) 취입설비의 안정성 및 신뢰성 확인
- (2) 4~6 mm 크기의 용융조립된 포장용 PE Pellet의 취입에 따른 수송성 및 연소성 조사
- (3) 단기 취입에 의한 고로 조업영향 조사
- (4) 한국내에서의 페플라스틱 연료조달 방법 및 가격에

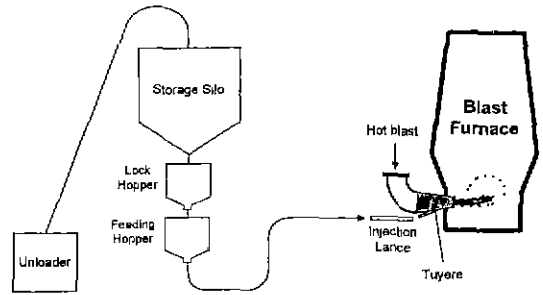


Fig. 15. Test facility to inject waste plastics into blast furnace at POSCO Pohang Works.

다른 경제성 검토

2단계 연구는 장기 안정적 취입 방법의 개발로 주요시험 내용은 다음과 같다.

- (1) 페플라스틱의 입자화 및 취입
 - 페플라스틱의 자동분류
 - 플라스틱의 종류, 입자화 방법, 입자크기, 밀도 및 입자형상에 따른 수송성 및 연소성
 - 취입랜스에서 열화에 의한 막힘방지를 위한 최적 취입랜스 설계
 - PVC 사용을 위한 탈 염소기술
- (2) 연소대 영향
 - 풍구선단 온도 저하에 따른 대책으로 산소부하
 - 페플라스틱 취입시 코크스 샘플링에 의한 연소대 경제면에서 통기성 변화 등 거동조사
- (3) 배가스 처리
 - 풍구선단 온도 저하에 따른 고로가스의 성분변화 분석
 - 혼합 페플라스틱 사용을 위한 CI에 의한 고로가스 청정설비의 부식해결

이에 따라 가용 페플라스틱을 확대하고 최적입도 선정에 따른 장기연속 취입 및 최대 취입량 증가 대책을 수립하고자 한다.

3. 결 론

국민생활수준의 향상으로 페플라스틱의 발생량은 지속적으로 증가하는 추세이나 이들 페플라스틱은 제철별 선별이 어렵고 부피가 커 재활용에 따른 경제성이 낮으며다 재생 처리 시설 또한 부족하여 재활용율이 저조한 형편이다. 우리나라의 경우 최근들이 페플라스틱 재활용에 대한 관심이 고조되고 있으나 경험 미숙적 및 연구실적 저조로 기술수준은 아직 초보적인 단계이다

페플라스틱의 재활용 방법중 재생원료로 재활용하는 Material Recycle이 바람직한 방법이다 그러나 현재 우리나라에서 수집되는 페플라스틱은 여러 종류가 혼합된 상태로 배출되기 때문에 이를 분리하기 위한 과정이 필요하게 된다. 이는 선별을 위한 추가적인 설비가 필요하게 되고 결국 재생품의 가격상승 요인으로 작용하게 된다. 따라서 수집된 페플라스틱을 제철별로 선별함이 없이 열처리를 통해 중간 생성물을 만든 다음 이를 에너지원으로 재활용 하는 Termal Recycle 방법이 보다 현실적이라 할 수 있다. 특히 페플라스틱은 연소시 발열량이 높기 때문에 화력발전소, 시멘트 공장 그리고 제철소의 고로에 투입하여 열원으로 사용할 경우 많은 잇점을 가지고 있다.

포항제철(주)에서도 국내외의 환경에 대한 인식고조와 고로에 사용되는 코크스의 대체효과를 목적으로 페플라스틱을 고로에 투입하여 열원으로 재활용하려는 연구를 수행 중에 있다. 실제 공정에서 본 연구 성과가 성공적으로 적용되기 위해서는 페플라스틱 원료의 지속적인 공급을 위한

기반시설의 확충과 페플라스틱의 분리수거에 대한 인식 전환이 필수적이다.

참고문헌

1. 나근배, 1995, 페플라스틱 재활용 관련법규 모순에 대한 제언, 월간폐기물
2. 손성근, 1992, 혼합페플라스틱 재활용을 위한 부유 침강 분리 공정에 관한 연구, 월간폐기물
3. 한국자원재생공사, 1996. 8, 페플라스틱 발생실태, 월간폐기물, p 50-57
4. T. Ariyama et al, 1996, Development of a new scrap Melting Process Based on Massive Coal and Plastic Injection, 3rd International Cokemaking Congress, p. 314-321
5. J. Janz and W. Weiss, 1996, Injection of Waste Plastics into the Blast Furnace of Stahlwerke Bremen, 3rd International Ironmaking Congress, p. 114-119
6. Plastics (J), Vol. 47, No. 7, p 49-53

學會誌 投稿 案内

種 類	內 容
論 說	提案, 意見, 批判, 時評
展望, 解説	現況과 將來의 견해, 研究 技術의 綜合解説, Review
技術報告	實際的인 試驗, 調査의 報告
技術, 行政情報	價値있는 技術, 行政情報를 간결히 解説하고, comment를 붙인다.
見 聞 記	國際會議의 報告, 國內外의 研究 機關의 見學記 등
書 評	
談 話 室	會員相互의 情報交換, 會員 自由스러운 말, 隨筆等
Group 紹介	企業, 研究機關, 大學 등의 紹介
研究論文	Original 研究論文으로 本 學會의 會誌에 掲載하는 것이 適當하다고 보여지는 것

수시로 원고를 접수하오니 많은 투고를 바랍니다.