

페플라스틱의 吹入에 따른 高爐 爐況解析

*許南煥 · 白贊英 · 任昌熙

浦項製鐵 技術研究所

Analysis of Furnace Conditions with Waste Plastics Injection into Blast Furnace

Nam-Hwan Heo, Chan-Yeong Baek and Chang-Hee Yim

Technical Research Labs., POSCO

요 약

현재 용도 폐기된 플라스틱의 대부분은 소각 또는 매립 처리되고 있기 때문에 사회적 문제가 되고 있다. 페플라스틱을 효과적으로 재활용하기 위한 방법론의 하나로써, 고로공정에서의 연료화 기술이 개발되어 유럽 및 일본의 선진 제철소에서는 실용화 단계에 이르고 있다. 본 연구에서는 포항제철 주물선고로 풍구 4분을 대상으로 2종류의 페플라스틱 130 ton을 연속적으로 시험취입조업을 하였다. 취입비 13.8 kg/thm까지의 코크스 치환율은 0.98 kg-coke/kg-plastic으로 평가되었으며, 페플라스틱의 종류에 따른 영향은 나타나지 않았다. 페플라스틱의 취입량이 증가할수록 송풍압은 증가하였으며, 고로내 통기성도 악화되어 노체 하부의 열부하가 증대하는 경향을 나타냈다. 또한 페플라스틱 취입량이 증대될수록 노정가스 이용율과 shaft 효율이 감소하는 것으로 해석할 수 있었다.

주제어: 페플라스틱, 치환율, 통기성, shaft 효율, 고로

ABSTRACT

Since most of the waste plastics are incinerated and landfilled for the plastic treatment, the environmental friendly processes must be introduced. The plastic utilization of plastic to the blast furnace as a substitutional fuel was developed as a useful recycling method of waste plastics, and commercialized in several ironmaking company in Europe and Japan. Present study was carried out to understand the effect of plastic injection on blast furnace process continuously by using the foundry blast furnace in POSCO. The coke replacement ratio turned out to be 0.98 with the waste plastic injection up to 13.8 kg/thm of injection rate, and there were no significant effect of the kinds of injection plastics on the replacement ratio in this test operation. The permeability in the furnace became worse and the heat load in the lower part of blast furnace was increased with increasing the injection rate of waste plastics. As the rate of plastic injection were increased, the top gas utilization and shaft efficiency were also decreased from the Rist diagram analysis.

Key words: Waste plastic, replacement ratio, permeability, shaft efficiency, blast furnace

1. 서 론

철강산업에서는 지구온난화 억제를 목표로 다양한 기술개발 노력이 수행되었다. 일본의 경우, 주요 활동목표

로서 1990년 대비 2010년에 철강 생산공정 에너지 소비량의 10%까지 절감으로 설정하고, 이산화탄소의 배출감소를 기술개념으로 하고있다. 이러한 목표를 달성하기 위한 방법론의 하나로써 고로 각사는 2010년까지 페플라스틱을 환원제로서 연간 100만톤 수준을 사용하여 이산화탄소 발생량의 1.5% 감소를 목표로 하고있다.

* 2000년 2월 21일 접수, 2000년 9월 8일 수리

* E-mail: naman@posco.co.kr

이와 같은 폐플라스틱의 활용은 2000년 4월에 시행될 “용기포장 리사이클법”의 제정을 통하여 폐플라스틱의 고로에서의 이용확대를 촉진하고 있는 실정이다. 이와 같이 정책적 방향은 폐플라스틱 집하시스템의 정비를 통해 안정적인 폐플라스틱 공급을 가능케 할 것으로 예상된다.

이러한 사회적 배경을 바탕으로, 日本鋼管 京浜 1고로의 경우 기존의 산업용 폐플라스틱외에도 일반계 폐플라스틱을 사용할 계획으로 제조 및 취입설비를 증설하고 있으며, 福山 3고로에도 연간 30,000톤 규모의 취입설비를 신설하고 있다. 그외의 神戶製鋼과 川崎製鐵에서도 폐플라스틱을 고로에 사용하기 위한 설비투자를 진행중에 있다. 新日本製鐵의 경우에는 다른 고로사와는 달리 폐플라스틱을 코크스爐에 장입하여 재활용할 수 있는 기술개발에 역점을 두고있다.

포항제철에서도 1997년 폐플라스틱의 고로취입 기반 기술을 확보하기 위해 풍구 1본을 대상으로 단속취입을 실시하여 플라스틱의 고로에서의 이용 가능성을 확인한

바 있다.¹⁾ 본 연구에서는 연속 취입시험을 통하여 취입 효과를 정량적으로 파악함과 동시에, 상용화를 목표로 포항제철 주물선고로 풍구 4본을 대상으로 폐플라스틱의 연속취입 시험조업을 실시하였다.

2. 시험취입조업의 개요

포항제철 주물선고로에 설치된 원주반향의 20본의 풍구중, 폐플라스틱이 균일하게 취입되도록 각각 90°의 각도를 이루는 4개의 풍구를 선택하였다. 풍구 4본을 대상으로 7일간의 연속취입 시험조업을 실시하였으며, Table 1 에는 폐플라스틱의 연속취입 실적을 나타내었다. 시험조업에 사용된 플라스틱의 주요성상은 기존 연구인 단속취입결과¹⁾와 동일하였으며, 사용후 폐기된 PBT(Polybutylene Terephthalate)와 PE(Polyethylene)재생품 등 2종류를 대상으로 총 130톤을 취입하였다.

Table 2 에는 폐플라스틱 취입조업 실적과 주요 고로

Table 1. Operating results for continuous test injection

	1st day	2nd day	3rd day	4th day	5th day	6th day	7th day
Amount of injectant (t/d)	6.1	20.4	13.0	10.1	19.6	32.8	28.8
Cumulative amount of injectant (t)	6.1	26.5	39.5	49.6	69.2	102.0	130.8
Injection rate (kg/thm)	2.5	8.6	5.4	4.2	8.3	13.8	12.1
Kind of injected plastics	PBT	PBT	PBT	PBT	PBT	PE	PE

Table 2. Operating results of blast furnace during test injection

	Base	1st day	2nd day	3rd day	4th day	5th day	6th day	7th day
Plastic injection rate (t/d)	0	6.1	20.4	13.0	10.1	19.6	32.8	28.8
Plastic injection ratio (kg/thm)	0	2.5	8.6	5.4	4.2	8.3	13.8	12.2
Production (thm/d)	2386	2413	2364	2399	2411	2367	2371	2356
Coke rate (kg/thm)	512.9	510.1	511.1	505.7	500.8	503.2	499.3	509.2
Blast volume (Nm ³ /min)	1853	1856	1857	1858	1856	1856	1856	1856
O ₂ enrichment amount (Nm ³ /hr)	2000	2037	2040	2039	1973	2000	2030	2000
Moisture in blast (g/Nm ³)	34	42	41	44	40	36	41	45
Blast pressure (kg/cm ²)	2.26	2.35	2.36	2.35	2.30	2.30	2.31	2.33
Permeability index (-)	9.59	10.28	10.47	10.46	9.78	9.91	9.93	9.95
[Si] in hot metal (wt.%)	0.41	0.49	0.48	0.43	0.41	0.43	0.43	0.40
Hot metal temperature (°C)	1499	1508	1499	1500	1501	1506	1502	1499
H ₂ in top gas (%)	3.1	3.6	3.5	3.7	3.4	3.3	4.1	4.5
Top gas utilization (%)	48.60	48.62	47.59	47.74	48.50	47.97	48.27	47.18
Blast temperature (°C)	1059	1060	1060	1059	1059	1060	1060	1060
Slag ratio (kg/thm)	299	295	301	304	306	304	304	306
Ash in charging coke (%)	11.5	11.5	11.5	11.6	11.3	11.4	11.5	11.2
Corrected coke ratio (kg/thm)	512.9	497.2	497.7	491.5	494.3	494.8	489.1	496.5

조업인자를 정리한 것으로, 6.1~32.8 t-plastic/d의 투입량으로 시험조업하였다. 시험취입 기간중 주물선고로의 용선 생산량은 2356~2413 thm/d 였으며, 송풍량은 1856 Nm³/min, 산소부화량은 약 2000 Nm³/hr 그리고 송풍온도는 1060°C로 유지시켜 조업하였다. 페플라스틱 시험취입조업전 3일동안의 평균조업실적을 기준조업으로 하였다.

3. 시험취입시 고로조업영향

Table 2 에서 보는 바와 같이, 페플라스틱이 투입됨에 따라 겔보기 코크스비는 최대 13.6 kg/thm까지 감소하였다. 각종 조업인자가 코크스비에 미치는 정량적인 효과를 고려하여 보정 코크스비를 평가하였으며, 보정 코크스비에 영향을 미치는 인자로는 열풍온도, 조습량, 용선중 [Si], 슬래그 비, 코크스 회분, 노정가스 이용율 및 용선온도등 모두 7가지를 선택하였다. 이러한 열보상 기준에 의거하여 계산된 보정 코크스 및 열보상 관련 조업인자를 Table 2 에 함께 정리하였다. Fig. 1 에는 페플라스틱 투입비에 따른 보정 코크스비를 나타낸 것으로, 투입비 13.8 kg/thm까지 선형적인 상관관계로 나타냈으며, 기율기로부터 코크스 치환율은 0.980 kg-coke/kg-plastic 정도임을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 단속 시험취입 조업결과¹⁾인 1.376 kg-coke/kg-plastic과 비교하면 상당히 낮은 결과를 보이고 있다. 이것은 총 7일간의 취입기간중 5일간 사용된 PBT의 발열량이 상대적으로 적기 때문이라고 사료된다. PBT의 발열량이 코크스 보다 낮은 5675 kcal/kg 정도로서, 발열량만을 기준으로 한 치환율은 약 0.8 정도가 되어야 하지만 약 1.0에 근접한 결과를 나타낸 것은 투입비가

낮은 범위에서 조업하였기 때문으로 판단된다.¹⁾ 그러나 발열량이 상대적으로 높은 PE를 투입한 경우, 투입비 12.2 kg/thm, 13.8 kg/thm의 경우에서도 뚜렷한 보정코크스비의 변화는 나타나지 않았다.

고로내 통기성을 평가하는 대표적인 조업인자는 아래와 같이 정의되는 통기저항 지수이다.

$$K = \frac{(PB+1033)^2 - (PT+1033)^2}{VBG^{1.7}} \quad (1)$$

여기서 PB와 PT는 송풍압(g/cm²)과 노정압(g/cm²)이며, VBG는 bosh가스 발생량(Nm³/min)이다. 통기저항지수의 정의에 의해 송풍압과 노정압의 차이가 클수록 노내 통기성은 악화된다. 다양한 고로조업 인자에 의해 통기성은 영향을 받으며, 페플라스틱의 투입에 따라서 연소대 조건 및 발생 가스의 변화등에 의해 통기성 변화를 예상할 수 있다. 고로조업 인자가운데, 노내 통기성에 영향을 미칠 수 있는 인자는 장입 코크스의 품질로써 이를 보정할 목적으로 시험취입기간에 사용된 코크스의 품질을 고려하였다. Fig. 2 에는 시험기간중 사용된 장입 코크스의 품질을 기준으로 2구간으로 분류하여 페플라스틱의 투입에 따른 노내 통기저항지수의 변화를 나타냈다. 시험조업 초기인 시작 1~3일 사이에 통기저항지수가 크게 증가된 것은 기간중 코크스 품질의 악화에 기인하는 것으로 사료된다. 이때 사용된 코크스는 고온분화지수인 CSR(Coke Strength after Reaction)이 시험취입 조업 초기에는 취입전 조업보다 3~4% 낮은 품질이었다. 시험조업 시작 4일 이후에는 다시 최대 10% 이상의 높은 품질의 코크스가 장입되었으며, 이로인해 이 기간동안은 앞서의 기간에 비하여 낮은 통기저항 지수를 나타내고 있음을 알 수 있다. 그러나 유사한 품질

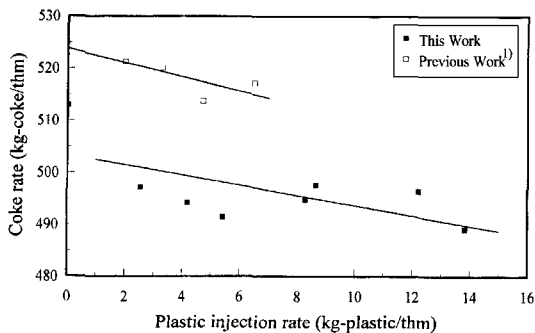


Fig. 1. Relationship between plastic injection rate and corrected coke rate.

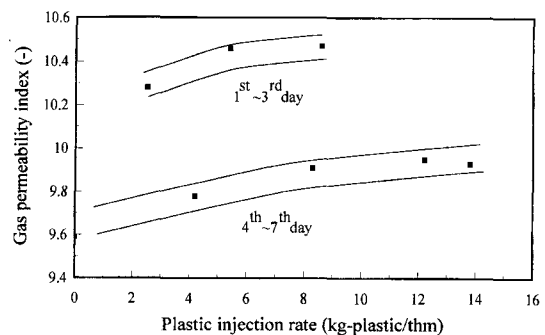


Fig. 2. Changes of gas permeability index with plastic injection rate.

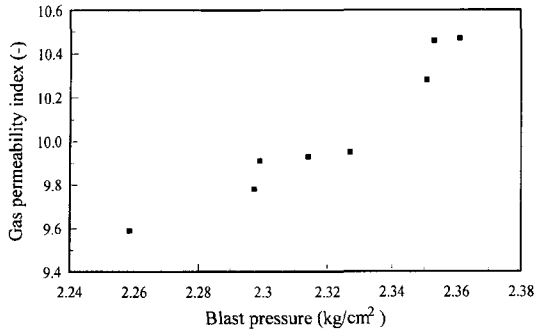


Fig. 3. Effect of blast pressure on gas permeability.

의 코크스가 장입된 기간동안을 비교하면 플라스틱의 취입비가 증가함에 따라 노내 통기저항 지수는 정성적으로 증가하는 것을 알 수 있다.

시험취입조업중 노정압은 1.28 kg/cm²의 일정한 수준에서 유지되었으나, Table 2에서 보는 바와 같이 송풍압은 폐플라스틱의 취입에 따라 변화하였다. 노내 통기성이 변화한 주요요인은 송풍압의 변화로써, Fig. 3의 결과로부터 알 수 있다. 전술한 바와 같이, 시험취입기간중 노내 통기성지수의 상대적인 크기는 코크스 품질 차이에 의한 송풍압의 변화에 기인된 것이며, 또한 유사수준 품질의 코크스가 장입된 기간중에도 플라스틱의 취입량이 증대됨에 따라 송풍압이 증가하고 이로 인해 노내 통기성이 악화되는 것을 정성적으로 추정할 수 있었다. 이와같은 현상은 미분탄 취입조업과 유사한 현상으로 알려져있다. 미분탄 취입량이 증대됨에 따라 연소대의 깊이가 축소되며, 이로 인해 동일 bosh가스 발생량에 대한 저항이 증대되어 송풍압의 상승을 초래하는 것으로 해석되고 있다. 폐플라스틱의 경우 그 입자의 크기가 미분탄 대비 100배 이상 크고, 연소속도의 저하로 인하여^{2,3)} 연소대내 체류시간이 증가될 것으로 예상된다. 이와같은 체류시간의 증가는 연소대내 공극율이 감소하고 동일량의 취입비를 기준할 때에도 미분탄 취입시보다 통기저항 증가의 요인이 되는 것으로 해석할 수 있다. 폐플라스틱 취입은 이와 같이 연소대 형상의 변화외에도, 플라스틱의 연소에 따라 blowpipe 및 연소대내 가스의 체적 증가효과를 야기시킴으로써 송풍압을 증가시키는 또다른 요인으로 추정할 수 있다.

폐플라스틱의 취입에 따른 연소대 형상의 변화는 단속취입 시험조업¹⁾ 뿐아니라 본 시험취입기간에서도 관찰되었다. Fig. 4에는 취입전, 취입중 및 취입이후의 노

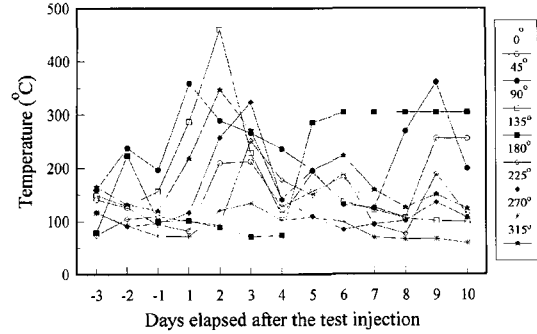


Fig. 4. Variation of belly brick temperatures during test injection of plastics.

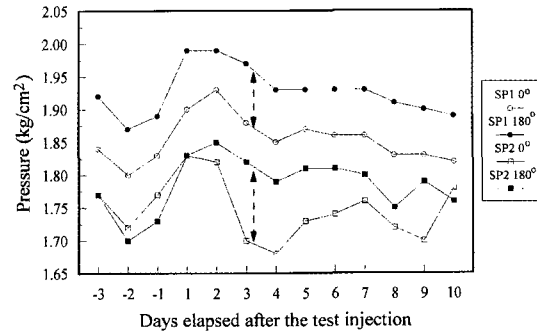


Fig. 5. Changes of bosh and belly pressures during test injection of plastics.

체 2단의 원주방향에 대한 온도변화를 나타낸 것이다. 취입공구 근방인 45°, 135°, 225° 및 315°의 온도가 다른 위치의 노체온도와 비교하여 변화가 크다는 것을 알 수 있다. Fig. 5에는 노체 1, 2단의 압력변화 추이를 나타냈다. Bosh부인 SP1에서는 0°와 180°에서의 압력은 일정한 차이를 유지하며 변화하였다. 그러나 belly부인 SP2에서는 0°와 180°에서의 압력이 플라스틱 시험취입전후에는 서로 유사한 수준에서 유지된 반면, 플라스틱 취입기간에는 그 차이가 발생하였다. 이것은 폐플라스틱의 취입에 의해 노내 원주방향으로 불균일하게 가스흐름이 형성된 때문으로 해석할 수 있다. 그밖의 고로 상부영역의 노체압력은 원주방향으로 일정한 차이를 유지하면서 변화하는 것으로 분석되었다.

폐플라스틱의 취입비가 증가함에 따라 고로에 장입되는 광석/코크스의 비가 증가하며, 이로 인해 고로상부 고체/기체의 열용량의 비인 열류비가 감소할 것으로 예상할 수 있다.

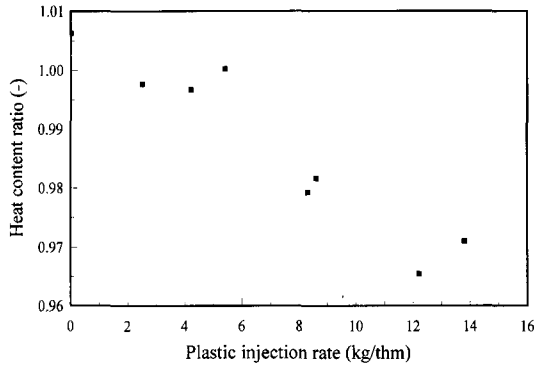


Fig. 6. Relationship between plastic injection rate and heat content ratio.

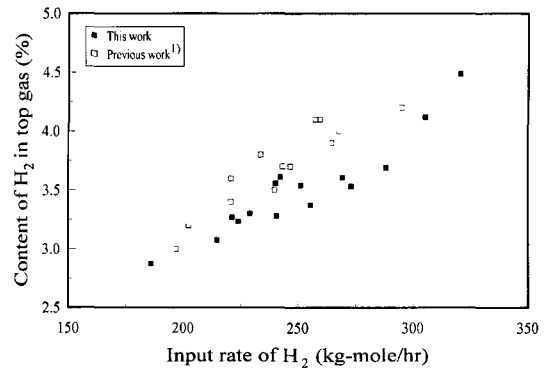


Fig. 8. Relationship between H₂ input and H₂ content in top gas.

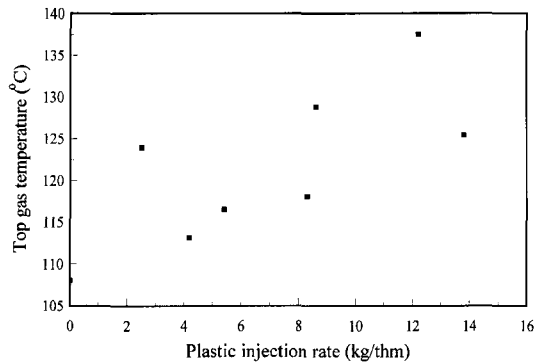


Fig. 7. Relationship between plastic injection rate and top gas temperature.

$$HCR = \frac{0.31 CR + 0.22 OR}{(C_{p,H_2} H_2 + C_{p,CO} CO + C_{p,CO_2} CO_2 + C_{p,N_2} N_2) V_{top}} \quad (2)$$

여기서 HCR은 열류비(-), CR 및 OR은 각각 코크 스킵(kg/thm) 및 광석비(kg/thm)를 나타내고 C_p는 하첨자 기체에 대한 열용량을 나타내며 H₂, CO, CO₂ 및 N₂는 노정가스중 함량(%)을 나타낸다. 그리고 V_{top}은 노정가스 발생량(Nm³/min)를 뜻한다. 본 시험취입 기간중에도 Fig. 6에서 보는 바와 같이, 페플라스틱의 취입비가 증가함에 따라 열류비는 감소하는 경향을 나타냈다. 이로 인하여 노정가스의 온도는 Fig. 7에서와 같이 플라스틱 취입비에 따라 증가하는 경향을 나타냈다.

노내에 유입된 수소源은 조습조업에 의한 H₂O와 페플라스틱과 같은 풍구 취입제에 의한 H이다. 이론적으로는 풍구를 통해 노내로 유입된 수소는 연소대에서 모두 H₂로 가스화하여 고로 상부로 이동하게 된다. 이러

한 이동과정에서 수소가스는 산화철의 환원에 참여하여 다시 H₂O 가스로 전환되며, 이 H₂O 가스는 코크스중 탄소와의 수성가스반응에 의해 H₂가스로 변환하는 과정을 반복하게된다. 최종적으로 노정으로 배출되는 기체중에는 이러한 과정에서 생성된 H₂O 및 H₂가 포함되어 있다. 현재 고로 노정가스는 이중 H₂O를 제외한 성분만을 분석하기 때문에 정확한 수소에 대한 물질수지를 설정하기는 어렵다. 量論적으로는 시험취입된 페플라스틱 236 kg의 PBT에는 6 kg-mole의 수소가 포함되어 있으며, 28 kg의 PE에는 1 kg-mole의 수소가 포함되어 있다. 즉 송풍량 1850 Nm³/min인 조업조건에서 조습 1 g중 포함된 수소와 동일한 량의 수소가 취입되는 조건은 PBT와 PE의 경우 각각 0.243 t/hr, 0.173 t/hr이다. Fig. 8에는 플라스틱 시험취입기간 및 취입전후 조업시 수소유입량과 노정가스중 수소의 함량과의 관계를 보인 것으로, 노내에 유입되는 수소의 함량이 증가할 수록 노정으로 배출되는 가스중 수소의 함량이 크다는 것을 잘 나타내고 있다. 이것은 풍구1본을 대상으로한 단속 시험취입결과¹⁾ 및 기존의 연구결과⁴⁾와도 일치하고 있다. 이러한 결과로부터 플라스틱의 취입은 코크스 사용량 저감의 효과외에도 수소 함량의 증가로 노정가스의 발열량이 증가하는 부수적인 효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 조업선도에 의한 조업분석

조업선도(RIST diagram)⁵⁻⁷⁾는 정상상태의 고로조업을 이론적으로 해석하기 위한 유용한 수단이다. 고로의 정상조업을 해석하기 위해서는 노내의 각 부분에서

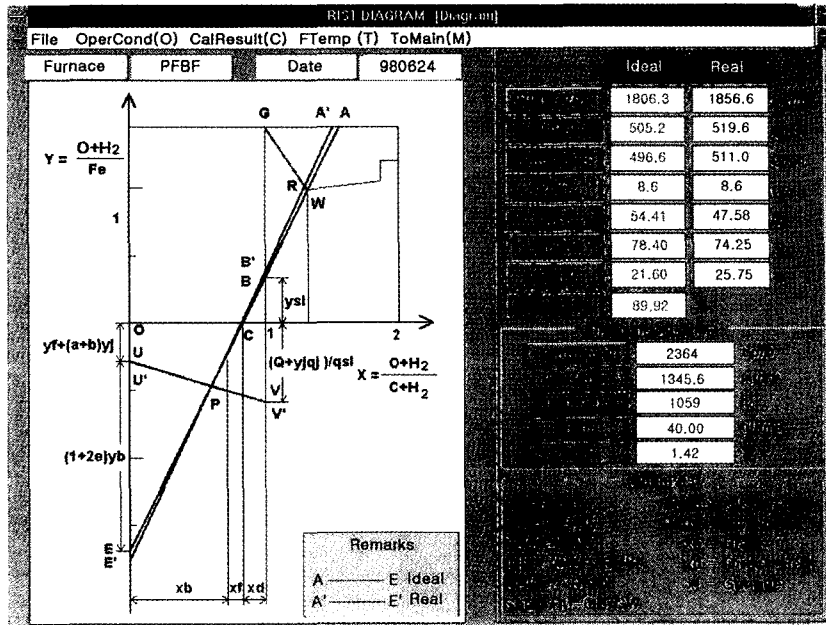


Fig. 9. RIST diagram displayed for foundry blast furnace during test injection of waste plastics.

의 물질 및 열수지 조건을 만족하는 것이 필요하므로, 노내반응의 열역학적 데이터를 이용하여 조업상황을 2차원의 좌표상에서 조업선(Operating line)이라고 불리는 직선으로 나타낼 수 있다. 이 조업선의 기울기 및 여러 교점은 노내 상황 및 조업효율을 대표적으로 나타내며, 이를 기준으로 조업상황을 평가할 수 있는 특징이 있다.

Fig. 9에는 폐플라스틱 시험취입 제2일 조업을 조업선도 해석모델⁸⁾을 이용하여 분석한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 주물선 고로의 실제 조업은 이상적인 조업과는 50 Nm³/min의 송풍량, 14 kg/thm의 코크스비의 차이가 있으며, 이로인해 가스이용율, 각종 환원율 및 shaft효율의 차이가 발생하였다. 이와 같이 폐플라스틱을 취입할 경우 조업선도에 의해 계산된 이상적인 조업에서의 연료비는 실제 조업에서의 연료비보다 항상 낮은 경향을 나타내고 있었으며, 이것은 통상의 고로조업에서도 나타내는 일반적인 현상이다.

Fig. 9에서 이상적 조업의 경우, wustite와 Fe가 평형을 이루고 있는 W점을 지나는 조업선을 기준으로 (shaft효율 100%), 그것과 벗어난 정도를 shaft 효율로 정의할 수 있다. 즉 선분 GR/GW의 비가 shaft 효율이 된다. Fig. 10에는 폐플라스틱의 취입에 따른 shaft 효율의 변화를 나타냈다. 플라스틱의 취입량이 증대될수

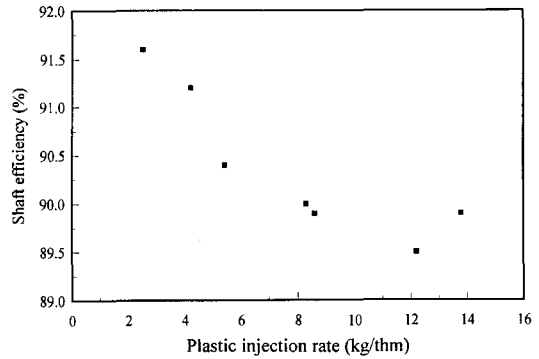


Fig. 10. Relationship between plastic injection rate and shaft efficiency.

록 shaft 효율은 저하하였다. 즉 노내 환원가스의 이용이 이상적이지 못하였다는 것을 뜻하며, Fig. 11에서 보는 바와 같이 폐플라스틱 취입량이 증가함에 따라 노정가스 이용율은 낮아지는 경향이 나타나고 있다. 이렇게 폐플라스틱을 고로에 취입함에 따라 노내 가스이용율이 악화되며, shaft효율이 저하되기 때문에 연료비는 증가하게 된다. Fig. 12에는 폐플라스틱 시험취입기간 및 그 전후의 all coke 조업기간의 조업실적을 조업선도 해석모델을 이용하여 계산된 shaft 효율과 연료비의

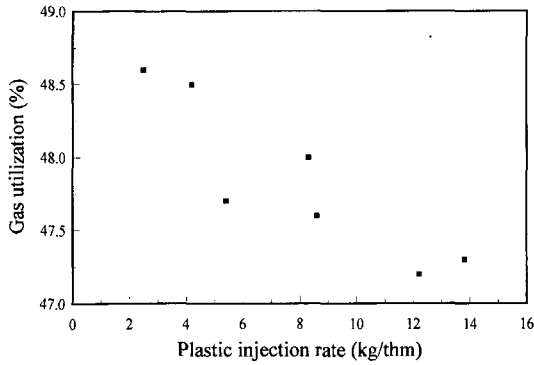


Fig. 11. Relationship between plastic injection rate and top gas utilization.

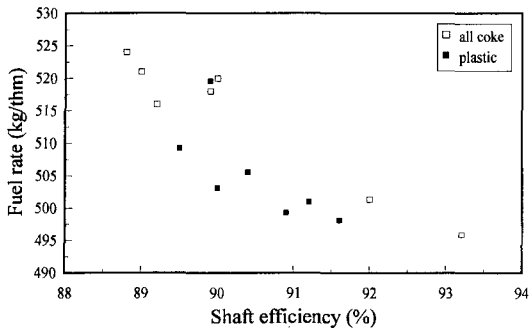


Fig. 12. Relationship between shaft efficiency and fuel rate for plastic injection and all coke operation.

관계를 나타낸 것이다.

이상의 시험취입조업의 결과를 통해 페플라스틱의 고로 취입시 예상되는 문제점을 Fig. 13에 정리하였다. 우선 풍구를 통한 페플라스틱의 취입량이 증가됨에 따라 노정으로 장입되는 광석/코크스 비가 증가하며 이로 인해 가스류의 이상이 발생하여 열손실이 증가하고, 노벽 마모가 조장되며, 장입물의 이상강하가 예상된다. 그리고 이론연소온도의 저하³⁾로 인해 노심의 불활성화가 예상되며, 이를 해결하기 위해서는 장입 코크스의 품질을 강화하고 또한 산소부화등 송풍조건의 개선을 통해 일정수준의 연소온도를 확보하는 조업이 필요하다. 또한 시험조업에서도 나타난 바와 같이 열류비가 감소하여 노정 가스온도가 증가하고 이로 인한 고로 효율이 저하될 우려가 있다. 또한 풍압의 상승으로 인해 노내 통기성이 악화되는 점 또한 실조업을 고려할 때 사전에 충분한 검토가 이루어져

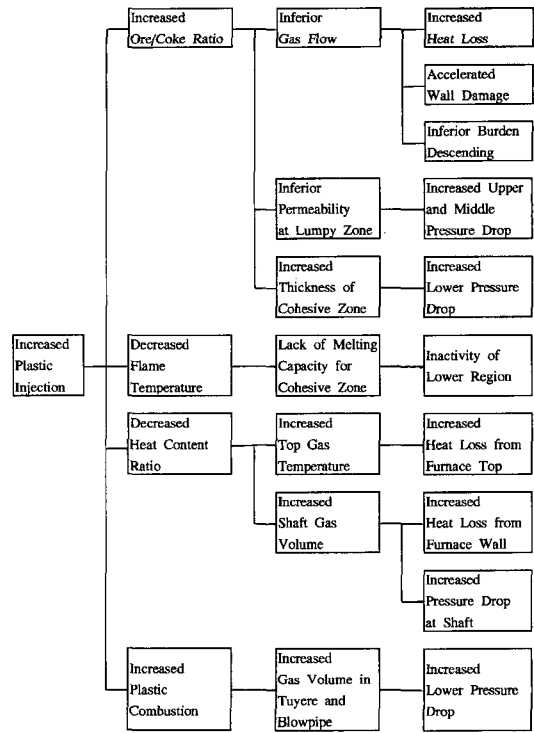


Fig. 13. Expected technical problems on plastic injection into blast furnace.

야 할 것이다.

5. 결 론

고로 풍구 4본을 대상으로 페플라스틱 PBT 및 PE를 7일간 연속취입조업을 실시하였으며, 다음의 결론을 얻었다.

1. 실 조업고로 시험취입결과 취입비 13.8 kg/thm까지의 치환율은 0.98 kg-coke/kg-plastic 이었으며, 페플라스틱 종류에 대한 영향은 발견되지 않았다.
2. 페플라스틱이 고로에 취입됨에 따라, 송풍압이 증가하며 이로 인해 노내 통기성이 악화되었으며 노체 하부의 열부하가 증대되는 것으로 나타났다.
3. 페플라스틱의 취입량이 증가할수록 노정가스 이용율이 감소하고 이에따라 shaft 효율이 감소하는 것으로 해석할 수 있었다.

참고문헌

1. 許南煥, 任昌熙 : “플라스틱의 風口 1本 試驗吹入에 따른 高爐操業影響”, 資源리사이클링 학회지, 7(2), 16-22 (1998).
2. 淺沼 稔, 有山 達郎, 佐藤 道貴, 村井 亮太, 淺川 幸彦 : “レスウェイ内における プラスチックの燃焼ガス化舉動”, CAMP-ISIJ, 9, 754 (1996).
3. 許南煥, 白贊英, 任昌熙 : “플라스틱의 熱分解 및 燃焼舉動”, 資源리사이클링 학회지, 投稿中 (2000).
4. 脇元 一政, 藤井 益弘, 山田 裕 : “高爐原料化リサイクルシステム”, 플라스틱, 47(7), 49-53 (1996).
5. A. Rist and N. Meysson : “A dual graphic representation of the blast-furnace mass and heat balances”, J. of Metals, 50-59 (Apr., 1967).
6. 小野 陽一 : “RIST 操業線圖”, 鐵と鋼, 79(9), N618-N624

(1993).

7. J.G. Peacey and W.G. Davenport : The Iron Blast Furnace -Theory and Practice, Pergamon Press (1979).
8. 백찬영, 허남환, 이정호 : “조업선도 이용한 고로 조업해 석모델 개발”, POSCO 研究論文, 2(1), 15-25 (1997).

許南煥



- 1980 부산대학교 화학기계공학과 학사
- 1983 부산대학교 화학공학과 석사
- 1998 부산대학교 화학공학과 박사
- 현재 포항종합제철 기술연구소 책임 연구원

白贊英



- 1990 고려대학교 금속공학과 학사
- 1994 고려대학교 금속공학과 석사
- 현재 포항종합제철 기술연구소 책임 연구원

任昌熙



- 1980 서울대학교 금속공학과 학사
- 1982 서울대학교 금속공학과 석사
- 1986 서울대학교 금속공학과 박사
- 현재 포항종합제철 기술연구소 선강 연구그룹장