



# 음료수용기 전과정 평가

이건모 / 아주대학교 환경공학과 교수

## 1. 서론

지난 94년 이후 ISO14000 표준화작업을 계기로 선진각국은 물론 국내에서도 제품의 환경친화도에 관한 관심이 고조되고 있다.

선진외국의 주요 기업 담당자들에 의하면 환경친화적인 제품이 아니면 가까운 장래에 기업의 존립 자체가 위협받는다고 예측하고 있다.

실례로 1992년 미국국회에서는 제품설계시부터 녹색제품(GreenProduct)을 만들어야 한다는 보고서를 발간했다(US Congress).

미국의 AT&T의 Allenby는 환경을 위한 설계(Design for Environment)를 한 기업이 제품설계 및 제조공정에 환경적인 측면과 제반구제요건을 접목시키는 것으로 정의하고 있다(AEA, 1992). Allenby는 기업이 사회적인 책임 측면에서 DfE를 수행하는 것이 아니라고 강조하고 있다. 환경친화적인 방법으로 제품을 생산할 수 없는 기업은 환경이 주요 이슈가 되는 가까운 미래에 존재할 수 없기 때문이다. 녹색제품 설계나 모두 전과정 평가를 주요도로 간주하고 있다.

따라서 LCA는 ISO 14000에서 다루어지기 때문만이 아니라 환경친화적인 제품을 설계하고 평가하는 도구로 사용되기 때문에 그 중요성이 매우 높다.

본 고에서는 LCA를 어떻게 수행하는가에 관한 실사례를 미국 북가주에 위치한 유리제조공장에서 음료수용 유리병 제조시 Life Cycle Inventory 분석을 어떻게 수행하고, Inventory 자료를 기초로 어떤 방식으로 Impact Assessment를 하여 어떤 결론에 도달하는지를 제시하기로 한다.

## 2. 본론

### 2-1. 목적

북가주에 위치한 유리공장의 음료수용 유리병 제조와 관련된 inventory analysis 및 부하량평가를 수행하여 부하량 증감에 영향을 미치는 주요인자들을 규명, 대안을 제시한다.

### 2-2. 방법

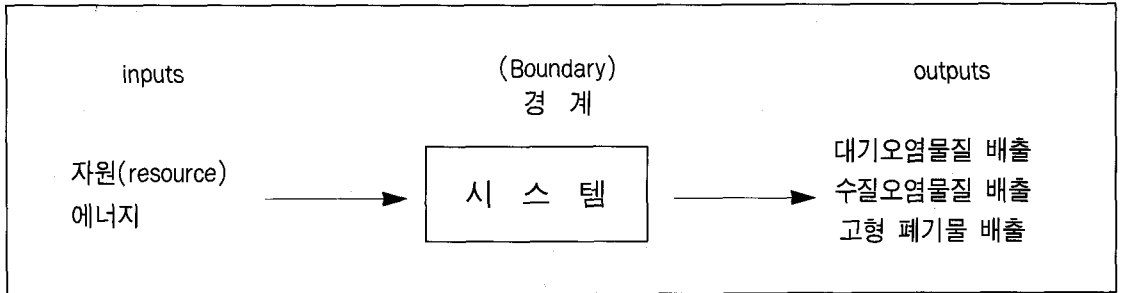
#### 2-1-1. 시스템 및 시스템 범위

시스템과 시스템 경계는 [그림 1]에 도시된 바와 같다.

시스템에 포함되는 것은 다음과 같다.

- 1) 유리제조에 관련된 전과정, 원재료 및 에너지자원 취득, 제조, 운반, 사용, 처분, 재활용병 수집, 재사용
- 2) Sub 시스템 공정 및 포장공정에 사용되는

(그림 1) 시스템 및 시스템 경계



모든 주요 부수재료 및 포장재

3) 전력에너지 및 운송용 연료의 공급과 연관된 연료생산 공정

▲유리병 제조공정맥주병, 콜라병, 포도주병, 물병, 주스병 등 다양한 종류의 식품 및 음료수용 유리병을 제조하고 있다. 주요원료는 Silica, Sodaash, Limestone, Trace minerals 등이 쓰이며 상표부착 및 포장재용으로 플라스틱, 종이 등이 사용된다

▲음료수 유리병의 재활용시스템은 음료수 판매업자가 주정부에 예치하는 예치금으로 운영된다. 소비자가 빈 병을 재활용센터로 가져오면 빈 병값을 받게 된다.

### 2-1-2. 시스템 Input

1) 자원(Resources)시스템 내의 각 단위공정에 투입되는 자원에는 원료 및 중간재료가 포함된다. 사용된 모든 자원은 최종제품 또는 포장재에의 잔류여부에 무관하게 Inventory 산출시 계산했다. 재활용 유리병은 원료로 간주했다.

2) 에너지 모든 시스템에서 사용된 에너지, 공정, 운반, 전력을 모두 계산한다. 에너지자료 수집시 우선 사용된 각 종류의 연료량을 기록하고 이 양을 에너지 unit로 전환시킨다. 연료생산 및 운반시의 Inventory 분석

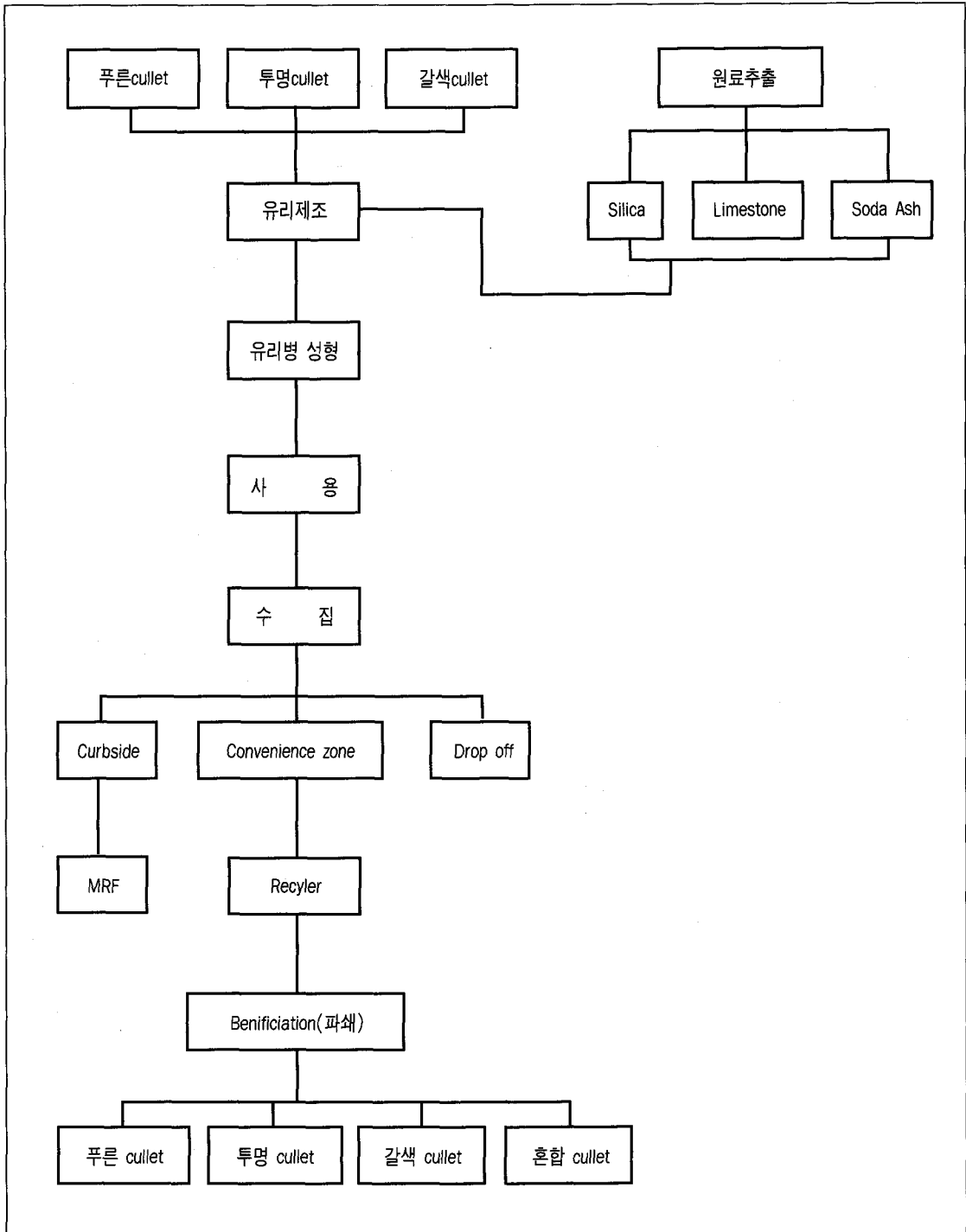
은 제조공정에 적용했던 것과 같은 방법을 적용한다. 연료는 고준위 발열량으로 계산하고, 연소시 발생하는 모든 오염부하량을 포함시킨다. 전력에너지 계산에서는 전력을 생산하여 소비자에게 전달시키는데 소요되는 에너지, 전력생산에 필요한 연료를 채취하고 이를 가공, 발전소까지 운반하는데 소요된 모든 에너지를 고려한다. 사용연료에는 석유, 천연가스, 수력 및 원자력이 포함된다. 그러나 전력이 공장 내에서 생산되지 않는 한 전력이 어느 연료로부터 생산된 것인지를 알 수 없다. 따라서 전국평균을 사용해야 한다.

### 2-1-3. 시스템 Output

Output System 내에서 발생하는 모든 오염물질에 대하여 원칙적으로 모든 배출량은 무게 단위로 기록하고 유독성 물질로 분류되는 오염물은 별도로 기록한다.

모든 sub시스템 공정에서 배기가스처리장치를 통과한 후 배출되는 대기오염물질량을 기록한다. 대기오염물질은 유리공장 공정 자체 뿐 아니라 전력용 연료생산, 전력용 연료 연소 및 운송용 연료연소시 발생하는 모든 배출량을 포함한다. 수질오염물질의 경우도 모든 sub시스템 공정에서 배출되어 폐수처리시스템을 통과한 후

(그림 2) 음료수 유리병 재활용 시스템(미국 북가주)



방류수역으로 배출되는 양을 기록한다.

물론 전력생산, 전력용 연료연소 및 운송 등에서 발생하는 모든 배출량을 포함한다.

고형폐기물 역시 마찬가지다. 단 폐기물은 전량 매립되는 것으로 간주하여 매립시의 최종부피로 기록한다.

### 2-1-4. 기타 가정하는 사항들

건물건축, 자동차 및 장비생산 등과 연관된 input, output은 무시한다. 직원들의 일상생활에 연계된 자원, 에너지 input 및 대기오염물, 폐수, 폐기물 배출은 무시한다. 또한 직원들이 출퇴근, 공기정화 등에 관계된 output도 무시한다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3-1. 유리병

1kg의 유리병을 제조, 사용, 재활용하는데 투입된 자원과 에너지 및 배출된 대기, 수질 및 폐기물 자료를 Inventory한 결과를 loading assessment하기 위해 [표 1]과 같이 정의했다. [표 1]에 의하면 북가주 내에 위치한 두개의 유리공장의 유리종류별 부하량이 대동소이함을 알 수 있다. 원료 내의 재활용 유리병 함유 비율에 따라 부하량에 차이가 난다. 아래에 loading assessment 결과를 요약했다.

#### 3-1-1. 자원 및 에너지 공정

▲ 물 : 유리제조공정은 다량의 물을 사용하지 않으며 대부분은 포장재 제조시 사용된다.

▲ 목재 : 포장재, 충격완충용 간지 등으로 쓰인다.

▲ 석탄, 오일, 천연가스(비연료) : 접착제나 플라스틱, 필름 등 부수물질 재료로 쓰일 뿐 유리 제조에는 사용되지 않는다.

▲ 광물 : Bauxite, Fe-Mn, Fe-Cr, 납, 주

석, 아연, 구리 등이 포함된다.

▲ 기타 : 모래, 석회석, 소금물 등이 다량 소요

▲ 에너지 사용 : 유리를 녹이는 용광로에는 천연가스가, 공정의 동력으로는 전력이 사용된다. 전체 에너지 사용비율은 천연가스, 전력, 오일 순으로 55, 31 및 14%이다.

#### 3-1-2. 오염물 배출

▲ CO<sub>2</sub> : 가스 및 전력사용과 연관되어 50% 이상이 배출되고, 기타는 운송 및 부수물질에서 유래된다.

▲ CO : 운송시 주로 발생된다. 따라서 재활용비율이 증가될수록 CO값은 증가한다.

▲ SO<sub>x</sub> 입자상물질 : 후판지 및 포장재 제조와 전력생산시 발생된다.

▲ 유해성 대기오염물질 : 중금속, mercaptan, methyl chloride, methyl chloroform 등이 유리제조공정에서 대부분 배출된다. HF는 전력생산과, 일부 mercaptan은 종이생산과 연관된다.

▲ 기타 대기오염물질 : HCl과 암모니아가 주종을 이룬다. HCl은 연료사용 및 전력생산시 발생되며, 암모니아는 공정에서 발생된다.

▲ 총 고형물질 : 광물채취 및 가공시 발생하는 SS에 주로 기인한다.

▲ BOD : 종이포장재 생산시 발생된다.

▲ 유해성 수질오염물질 : 원료채취시 부수되는 중금속에 주로 기인한다.

▲ 기타 수질오염물질 : 산, 염, 염소 등 에너지 생성 및 원료채취시 발생된다.

▲ 제품 및 포장재 폐기물 : 포장재 형태와 연계되어 있다. 유리병 폐기물 발생률은 29%이다.

▲ 유해 폐기물 : 주로 제조 공정에서 배출된다.

▲ 기타 폐기물 : 주로 모래 및 석회석 가공공정에서 발생된다.



[표 1] 유리병 loading 자료

	A FLINT 78% virgin	A GREEN 38% virgin	A AMBER 30% virgin	B FLINT 60% virgin	B GREEN 30% virgin
<b>RESOURCE</b>					
Water(gal)	3.1	2.9	2.7	2.9	2.8
Wood(g)	311	311	311	306	308
Non-Fuel Coal, Oil, Natural Gas(g)	6.5	8.4	6.6	8.1	8.3
Metal Ores(g)	0.63	1.7	0.620	0.63	1.7
Other Mineral(g)	972	545	398	805	454
<b>ENERGY</b>					
Coal Energy(MJ)	4.0	3.5	3.5	3.7	3.4
Natural Gas(MJ)	9.9	8.2	7.8	8.9	7.6
Nuclear Energy(MJ)	1.4	1.2	1.2	1.3	1.2
Hydro Energy(MJ)	0.20	0.17	0.17	0.18	0.16
Oil(MJ)	2.3	2.9	3.3	2.6	2.7
TOTAL ENERGY USE	18	16	16	17	15
<b>AIR EMISSIONS</b>					
Carbon Dioxide(g)	1001	928	923	953	867
Carbon Monoxide(g)	1.1	1.5	1.7	1.2	1.3
Sulfur Oxides(g)	6.9	6.6	6.5	6.7	6.4
Nitrogen Oxides(g)	9.6	8.8	8.7	9.0	8.0
Hydrocarbons(g)	13	11	11	12	10
Particulates(g)	3.5	2.7	3.2	3.3	3.1
Hazardous Pollutants(g)	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057
Unclassified emissions(g)	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25
<b>WATER EMISSIONS</b>					
Total Solids(g)	0.53	0.62	0.52	0.47	0.47
Oxygen Depleting Chemicals(g)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Toxic Pollutants(g)	0.031	0.032	0.033	0.032	0.033
Unclassified Emissions(g)	0.34	0.29	0.27	0.30	0.24
<b>SOLID WASTES</b>					
Product & Packaging Waste(cu ft)	0.0062	0.0062	0.0062	0.0062	0.0062
Hazardous Waste(g)	2.6	2.7	2.7	4.6	4.6
Unclassified Waste(g)	157	155	148	150	154

#### 4. 음료수용 유리병과 PET병 비교

450ml용량의 용기를 선정했고, 각 용기는 음료를 소비자에게 전달시키는데 있어서 동일한 기능을 하는 것으로 가정했다. 또한 1천번

filling하는 것으로 했다.

Inventory analysis는 제품관련 제조에너지, 이차 및 삼차포장, 제품 distribution, 소매, 소비자에 의한 재활용센터로의 운반 및 폐기처분까지 전 과정을 포함해 수행됐다.

#### 4-1-1. 비교근거 및 제한조건

PET병은 26g 및 30g의 두종류를 선정했다. 각 PET병에는 종이와 플라스틱으로 된 상표가 부착되며, 28mm 크기의 플라스틱 뚜껑이 있다. 병 6개를 한 묶음으로 한 것은 2차 포장으로, 6개짜리 묶음 4개를 3차 포장으로 했다. 2차 포장재는 HDPE이며 3차 포장재는 골판지 종이 상자이다.

유리병은 원재료 사용비가 30, 60, 78%의 세 경우로 했으며 유리병은 폴리스티렌폼으로 둘러싸고 28mm 크기의 플라스틱 뚜껑이 있다.

2차 및 3차 포장방식 및 재질은 PET병 경우와 같다. 음료수에 대한 부하량에는 음료수제조 공정에서 투입 또는 배출된 에너지, 물 및 탄산화시 공급된 CO<sub>2</sub>량에 관련된 inventory 항목이 포함된다.

그러나 유리병 및 PET병 모두 동일한 음료물 대상으로 하기 때문에 음료수에 의한 부하량은 비교결과에 동일한 영향을 미친다. 음료수 유리병은 재활용시 유리병 원료로 사용된다(재활용률71%). 그러나 PET병은 재활용시 Polyester fiber 등으로 제조되므로 PET병 원료로 사용되지 않는다. 따라서 PET병의 재활용률은 0%이다.

#### 4-1-2. 결과

[표 2]에 나타낸 바와 같이 18개 비교항목 중에서 유리병이 PET병보다 14개 항목에서 부하량이 적게 나타났다. 유리병은 총에너지 사용량, NO<sub>x</sub> 및 탄화수소를 제외한 대기오염물 배출량, 수질오염 및 폐기물 배출량, 금속광물과 기타광물을 제외한 자원부분에서 PET병보다 부하량이 적었다. 특히 재활용률이 증가될수록 포장재 등 폐기물 발생량이 감소됐다.

## 5. 음료수 유리병과 알루미늄 캔 비교

비교방식은 근본적으로 음료수 유리병과 PET병 간의 비교경우와 유사하다.

단, 알루미늄 캔의 용량은 대부분이 330ml이므로 유리병도 330ml로 했고, 1천번 filling하는 것으로 했다.

#### 5-1. 비교 근거 및 제한조건

알루미늄 캔은 원재료가 40% 및 50% 포함된 경우를 선정했다.

6개의 캔을 플라스틱링에 묶고, 6개짜리 묶음 4개(총 24개)는 종이 트레이에 포장하는 것으로 했으며(각각 2차 및 3차 포장) 유리병은 종이라벨을 부착하고, 28mm 크기의 철 뚜껑이 있다.

6개병을 종이운반상자에 넣고, 이 상자 4개는 종이트레이에 포장하는 것으로 했다.

음료수에 의한 부하량 고려는 PET병의 경우와 동일하다. 재활용의 경우 유리병과 알루미늄 캔 모두 전재료로 사용(closed loop recycling)된다. 재활용률은 유리병과 캔이 각각 71%와 60%이다.

#### 5-2. 결과

[표 3]에 나타낸 바와 같이 유리병과 알루미늄캔은 18개 비교항목 중 9개씩 서로 부하량이 적게 나타났다.

따라서 유리병과 알루미늄캔은 상호경쟁관계에 있다고 볼 수 있다.

유리병의 부하량은 이차 및 삼차 포장재 사용과 연관되어 있다.

이차 및 삼차포장을 제외하고 유리병과 알루미늄 캔을 비교하면 18개 항목 중 13개 항목에



**(표 2) 유리병 대 PET 병 loading 자료**

RESOURCE	16 oz P-Shield Glass 30% virgin	16 oz P-Shield Glass 60% virgin	16 oz P-Shield Glass 78% virgin	16 oz PET 26 gram	16 oz PET 30gram
Water(gal)	757	804	817	1320	1408
Wood(g)	47726	47726	47726	56506	56506
Metal Ores(g)	208	209	208	119	119
Non-Fuel Cal, Oil, Natural Gas(g)	13281	13929	13118	34545	38024
Other Mineral(g)	82854	167771	202474	940	940
<b>ENERGY</b>					
TOTAL ENERGY USE(MJ)	10108	10271	10462	10597	11057
<b>AIR EMISSIONS</b>					
Carbon Dioxide(g)	685698	692330	700132	774762	808987
Carbon Monoxide(g)	1736	1640	1606	1730	1768
Sulfur Oxides(g)	6626	6678	6691	8976	9418
Nitrogen Oxides(g)	4840	4890	4989	4458	4629
Hydrocarbons(g)	3253	3511	3746	1708	1802
Particulates(g)	1938	1971	2007	2113	2190
Hazardous Pollutants/ Unclassified emissions(g)	96	98	98	116	120
<b>WATER EMISSIONS</b>					
Total Solids(g)	151	152	153	213	216
Oxygen Depleting Chemicals(g)	22	22	22	28	28
Toxic Pollutants(g)	282	291	299	359	375
Unclassified Emissions(g)					
<b>SOLID WASTES</b>					
Product & Packaging Waste(cu ft)	2.9	2.9	2.9	4.2	4.6
Unclassified / Hazardous Waste(g)	51	52	52	81	82

서 유리병의 부하량이 낮음을 알 수 있다.

특히 총에너지 사용량, CO<sub>2</sub> 배출량, 유해물질 및 기타수질 오염물질배출량 및 제품·포장재 폐기물 발생량이 크게 영향을 받는다.

따라서 상기결과는 이차 및 삼차포장재의 재활용률을 증가시키고, 포장용기 자체를 재설계하여 포장재료 요구량을 줄일 경우 유리병이 알루미늄캔에 비해 부하량이 크게 감소될 수 있다는 것을 시사하고 있다.

또한 유리병 뿐 아니라 알루미늄캔 역시 재활용률이 증가되면 역시 부하량이 감소된다.

## 6. 요약 및 결론

음료수용 유리병의 부하량을 LCA 방법 중 Inventory analysis 및 loading assessment 방법을 이용하여 추산했다.

또한 PET병 및 알루미늄캔과의 비교를 통해 부하량을 줄일 수 있는 부분을 확인했다.

주요 결론은 다음과 같다.

▲ 효율적인 closed loop recycling은 환경에 긍정적인 효과가 있다.

▲ 부하량에 큰 영향을 미치는 인자에는 천연

[표 3] 유리병 대 알루미늄캔 loading 자료

RESOURCE	12oz Glass 30% virgin	12oz Glass 60% virgin	12oz Glass 78% virgin	12oz A1 Can 40% virgin	12oz A1 Can 50% virgin
Water(gal)	472	515	529	739	766
Wood(g)	81158	81158	81158	19553	19553
Metal Ores(g)	2917	2918	2917	41119	49578
Non-Fuel Coal, Oil, Natural Gas(g)	5595	6204	5442	14973	16512
Other Mineral(g)	83391	163196	195809	8512	9846
<b>ENERGY</b>					
TOTAL ENERGY USE(MJ)	7203	7339	7580	6831	7189
<b>AIR EMISSIONS</b>					
Carbon Dioxide(g)	450503	456735	464068	429613	450154
Carbon Monoxide(g)	2038	1947	1916	6953	8068
Sulfur Oxides(g)	3491	3541	3553	3795	4014
Nitrogen Oxides(g)	4256	4313	4406	3312	3413
Hydrocarbons(g)	3114	3356	3577	2075	2149
Particulates(g)	928	959	993	3563	3542
Hazardous Pollutants(g)	41	42	43	131	146
Unclassified emissions(g)					
<b>WATER EMISSIONS</b>					
Total Solids(g)	718	719	720	4093	4917
Oxygen Depleting Chemicals(g)	47	47	47	8.3	8.4
Toxic Pollutants(g)	118	127	135	113	121
Unclassified Emissions(g)					
<b>SOLID WASTES</b>					
Product & Packaging Waste(cu ft)	2.6	2.6	2.6	1.8	2.2
Unclassified Waste(g)	24	25	25	87	101

가스 및 전력으로 대표되는 공정에서의 에너지 사용과 종이상자 등으로 대표되는 종이포장재 사용 등이다.

▲ 부하량을 감소시킬 수 있는분야로는 종이상자 제조시 에너지 사용감소, 재활용률 증가, 제품다량수송, 포장재 필요성을 감소시킬 수 있는 유리병의 설계 등이 있다. 또한 제품의 생산성을 제고시키는 것이 중요하다.

▲ 유리병이 PET병보다 대체적으로 부하량이 낮다.

주요원인은 유리병이 원료(자원)고갈 측면에서 PET병보다 양호하기 때문이다.

▲ 유리병과 알루미늄캔은 부하량이 유사해

상호경쟁적이다.

▲ 이 연구결과를 식품용 유리병 경우에 적용시킬 수 없다. 그 이유는 다른 유리병의 경우 재활용률이 음료수보다 낮기 때문이다.

또한 원료 취득 등 지역특성 때문에 이 연구결과를 일반적인 음료수 유리병 경우로 원용할 수 없다. ☐

광고 · 정기구독 문의  
「월간포장계」 편집실  
02-835-9041