

우유 용기의 환경성 평가

도 감 수 원장

(사)한국자원재생재활용협회 부설연구원

우유 용기의 환경성 평가

도 갑 수 원장

(사)한국자원재생활용협회 부설연구원

I. 총 론

우유의 포장용기 선택은 여러 가지 측면에서 고려되어 왔다. 먼저 우유는 다른 어떤 식품보다 영양성분을 고르게 함유하고 있는 반면 변질되기 쉬운 특성을 가지고 있어 용기의 각별한 위생성이 요구되며, 매일 주식과 같이 섭취하므로 사용상의 편의도 고려되어야 한다. 여기에 생산효율의 극대화 와 물류비용의 절감이라는 경제성이 크게 부상되었다.

우리나라에서 우유용기로 유리병을 처음 사용한 것이 1930년대 후반 무렵이다. 그 후 1972년에 폴리필름과 우유팩이 등장하였고, 1980년대 후반에는 플라스틱 병이 등장하였다. 유리병에 우유를 담아 판매된 것은 1989년을 마지막으로 그 후에는 완전히 자취를 감추었다. 현재 국내에서는 95% 이상 종이팩을 쓰고 있으며 외국의 경우에는 각 나라마다 차이는 있지만 대체적으로 종이팩과 환경친화성 플라스틱이 우위를 점하고 있다.

그러나 폴리필름과 종이팩은 1회용으로 사용후 무단폐기하면 걸보기밀도가 작아 매립지 용량을 많이 차지하고, 플라스틱이 전부 또한 일부 포함되어 있으므로 분해하는 데 시간이 오래 걸려 안정화에도 악영향을 미치는 등 환경상 문제가 있는 것으로 평가되기도 한다.

특히 최근 국내에서는 일부 민간 환경단체를 중심으로 환경성을 강조한 나머지 학교, 군부대 등 집단 지역에 대하여는 유리병을 우유용기로 사용할 것을 강력히 주장할 뿐만 아니라 환경부에 강력히 건의하였으며[1] 10만인 서명운동도 벌리고 있다[2]. 이에 환경부에서도 한국폐기물학회에 용역을 주었고 그 용역 결과 유리병이 오히려 종이팩에 비하여 환경적으로 친화성이 있다고 판단, 한국유가공협회 등 관련 기관에 유리병 사용을 권고하는 공문을 발송한 바 있다[3]. 한국유가공협회 등 우유 제조업체와 종이팩 제조업체는 그 보고서 내용에 상당한 이견을 제시하였다. 이와 같은 논란은 소비자에게 혼란을 가중시키고 유가공산업에 미치는 영향이 클 것으로 본다. 특히 환경부에서는 예치금의 반환효율이 종이팩의 경우 부과액 16억 4400만원 중 8.4%에 불과하다는 자료[1997년, 4]를 근거로 종이팩의 재활용이 잘 되지 않는 것으로 판단, 재사용이 가능한 유리병을 권장하고 있다.

종이팩에는 PE와 펄프로 되어있는 살균팩인 Gable top형 (카톤팩, Carton Pak)과 PE, aluminium foil 및 펄프로 되어 있는 멸균팩인 Brick형 (테트라팩, Tetra Pak)이 있다. 이들의 재활용에는 상

당한 차이가 있어 그 재활용율이 다를 것으로 판단된다.

필자는 현 국내 상황에서 우유용기로 살균팩과 유리병을 사용할 때 이들 용기의 전 과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)를 통하여 환경부하를 평가하고, 종이팩 폐기물의 종류별 발생량과 처리량을 조사하여 이들 관리상 문제점을 분석하여 그 대책을 제시하였다.

국내외 자료를 토대로 정확한 평가를 실시하여 우유용기로 종이팩과 유리병의 환경성을 계량화하고 그 결과 얻어진 정확한 자료를 제시하므로 소비자와 생산자 모두를 보호하고 동시에 국가경제에도 기여하고자 한다.

II. 국내 우유용기 폐기물의 발생·특성 및 처리현황

1. 우유용기 폐기물의 발생

우유용기는 사용후 버려지면 폐기물이 된다. 대부분의 액상 유제품은 유통기간이 짧아 종이팩 사용량과 우유제품 생산량, 우유제품 소비량이 거의 같은 값으로 취급할 수 있으므로 종이팩 사용량이 곧 종이팩 폐기물 발생량이 된다. 소비자의 성격에 따라 다를 수도 있으나 간혹 우유를 모두 마시지 않고 버리는 경우도 있고, 담뱃재 등 이물질들을 투입한 채로 버리는 경우도 있다. 어느 경우나 폐기물의 효율적인 관리를 위하여 바른 소비 자세는 아니다.

우유용기 중 종이팩에는 살균팩과 멸균팩이 있는데, 살균팩은 100% 살균우유 용기로 사용되거나 멸균팩의 경우는 멸균우유 이외의 우유용기로는 사용되지 않고 기타 음료용으로 이용된다. 살균팩과 멸균팩은 그 구조가 다르기 때문에 이들 폐기물의 관리에는 상당한 차이가 있으므로 별도로 취급하여야 한다.

1997년도와 1998년도의 경우, 종이팩 생산량 분포로 대략적인 종이팩 폐기물 발생량을 추산하면 표 1과 같다. 자료 조사원에 따라 약간의 차이가 있어 1997년의 경우는 보고된 자료[5]를 이용 재정리하였고 1998년의 자료는 한국유가공협회의 자료를 사용하여 재편집하였다.

두 자료를 비교하면 종이팩의 사용량이 1998년 한해 사이 10% 이상 감소한 것을 알 수 있다. 이는 IMF경제위기 여파로 우유 소비량이 감소한 데 기인된다고 평가된다.

전체 종이팩을 볼 때 살균팩이 약 80%로 멸균팩에 비하여 많은 비중을 차지하고 있다. 그러나 우유용기로는 1997년 94.6%에서 1998년 93.6%로 살균팩의 비중이 적은 값이긴 하나 감소하고 있다. 이는 우유 제조회사의 소량 다품종 고급제품의 개발에 기인된다고 판단된다.

용기 규모별은 뚜렷한 변화는 발견하기 곤란하나 전체적으로는 용량이 커지는 경향을 보여 주고 있다. 우유용기의 경우 살균팩과 멸균팩을 모두 고려하면 200ml가 개수로 71.1%이었고 1,000ml가 14.5%, 500ml 13.7%순이었다. 종이팩 용기 전체로는 200ml가 72.5%, 1,000ml가 13.0%, 500ml가 12.2% 차지하였다.

무게로는 1997년의 경우 6만 5400톤으로 이는 1997년의 전체 종이 소비량 797만 2천톤의 0.82%에 해당하였고 1998년의 경우 6만 1100톤으로 이는 전체 종이 소비량 664만 5천톤의 0.92%에 해당하는 량이다.

우유용기용 종이팩(멸균팩 포함) 폐기물 1일 발생량 162톤(1998년 151톤)은 전체 생활폐기물 1일 발생량 47,895톤(1998년 44,600톤)의 0.34%에 해당하는 아주 적은 부분이다.

표 1. 종이팩 폐기물 발생량 추산

(1) 1997년[5]

종 류	규 격 (ml)	우 유 용		기 타 음 료 용		총 계	
살 균 팩	200	27.2천톤	2,714*	-	-	27.2천톤	2,714*
	500	11.7천	638	-	-	11.7천	638
	1000	18.5천	613	-	-	18.5천	623
	소계	57.4천톤	3,965(94.6)	-	-	57.4천톤	3,965(79.2)
멸 균 팩	200	1.5천톤	208*	5.2천톤	758	6.7천톤	966*
	250	0.1천	10	0.3천	32	0.4천	42
	1000	0.2천	6	0.7천	27	0.9천	33
	소계	1.8천	224(5.4)	6.2천	817	8.0천	1,041(20.8)
합 계	200	28.7천톤	2,922(69.8)	5.2천톤	758	33.9천톤	3,680(73.5)
	250	0.1천	10(0.2)	0.3천	32	0.4천	42(0.9)
	500	11.7천	638(15.2)	-	-	11.7천	638(12.7)
	1000	18.7천	619(14.8)	0.7천	27	19.4천	646(12.9)
총 계	계	59.2천	4,189(100)	6.2천	817	65.4천	5,006(100)

* 백만개

(2) 1998년

종 류	규 격 (ml)	우 유 용		기 타 음 료 용		총 계	
살 균 팩	200	25.7천톤	2,489*	-	-	25.7천톤	2,489*
	500	9.9천	517	-	-	9.9천	517
	1000	17.4천	535	-	-	17.4천	535
	소계	53.0천	3,541(93.6)	-	-	53.0천	3,541(79.7)
멸 균 팩	200	1.52천톤	203*	3.98천톤	533*	5.50천톤	736*
	250	0.27천	27	0.75천	74	1.02천	101
	500	0.03천	2	0.41천	23	0.44천	25
	1000	0.35천	12	0.84천	29	1.19천	41
소계	2.17천	244(6.4)	5.98천	659	8.15천	903(20.3)	
합 계	200	27.2천톤	2,692(71.1)	4.0천	533*	31.2천톤	3,225(72.5)
	250	0.3천	27(0.7)	0.7천	74	1.0천	101(2.3)
	500	9.9천	519(13.7)	0.4천	23	10.3천	542(12.2)
	1000	17.8천	547(14.5)	0.8천	29	18.6천	576(13.0)
총 계	계	55.2천	3,785(100)	5.9천	659	61.1천	4,444(100)

* 백만개 ()내의 수치는 개수 %를 나타냄.

- (사)한국유가공협회의 자료 (1999년)를 필자가 재편집하였음.

필자는 아무리 양이 적다고 하여도 이에 따른 문제가 있을 경우 이들 문제를 해결하기 위한 방안은 강구되어야 한다는 신념으로 본 연구에 접근하고자 한다.

2. 우유용기 폐기물의 특성

각종 우유용기 (종이팩, PE용기, 유리병) 폐기물의 겉보기밀도를 측정하고 시성분석 및 발열량 측정을 실시하여 얻은 결과를 표 2에 나타내었다. 각 결과는 국내 유업체의 시료와 분리배출한 우유용기 폐기물을 무작위로 3개의 시료를 채취하여 측정한 평균값이다. 우유병의 경우 현재 사용되는 것이 없어 국내 유업체에서 제공한 360 ml 유리병과 국내 유리제조사가 제공한 200ml 유리병, 900 ml 유리병을 대상으로 하였다.

표 2에 의하면 겉보기밀도는 살균팩의 경우 40~49 kg/m²이었으며, 멸균팩의 경우 28~48 kg/m²이었다. 이들 값은 아주 작기 때문에 수거·수송시스템 설계시 적재용량이나 차량용량이 원 상태로는 상당한 용적을 차지하게됨을 알 수 있다. 우유팩의 용량별로는 용량이 클수록 작은 값을 나타내었다. 그러나 종이용기는 약간의 외압에 의하여 쉽게 변형되고 압축이 일어나므로 실제로는 이보다 훨씬 큰 값을 나타내 타 용기보다는 오히려 더 유리할 수 있다. 손으로 간이 압축후 측정 한 겉보기밀도는 400~600 kg/m² 사이의 다양한 값을 얻었는데 압축전보다 10배 이상의 큰 값을 나타내었다. 수거, 수송, 보관, 처리조작에서 압축조작을 거치고 재팽창을 막기 위하여 결속 (baling)을 하는 것이 좋다.

플라스틱 용기는 일부 가공유를 제외하고 무균유용으로는 1L 용량이 대부분이다. 외국에서는 이 플라스틱 용기는 재사용 용기로 수거·회수되고 있으나 우리 나라에서는 그 차지하는 비율이 낮아 일부는 재활용되고 대부분은 폐기하고 있다. 이들의 겉보기밀도는 20~70 kg/m²으로 종이보다 더 작은 값을 보여 줄 뿐만 아니라 압착도 잘 되지 않아 종이류보다 더 고압장치가 필요하고

표 2. 우유용기 폐기물의 물성조사 결과

구	분	용량 (ml)	겉보기밀도 (kg/m ²)	삼 성분 분석 (무계%)			HHV (kcal/kg)
				수 분	가 연 분	회 분	
종 이 팩	살균팩	200	49(600)*	2.1	97.1	0.8	5,625
		500	35(480)	2.0	97.3	0.7	5,656
		1000	27(440)	1.9	97.4	0.7	5,696
	멸균팩	200	48(570)	2.3	89.6	8.1	5,514
		250	38(468)	3.0	89.0	8.0	5,476
		1000	28(433)	2.7	88.9	8.4	5,408
플라 스틱	병	235	70	0.8	99.1	0.1	10,120
		900	50	0.9	99.0	0.1	10,010
		1500	37	0.6	99.3	0.1	10,650
		1800	32	0.8	99.1	0.1	10,200
		200**	20(150)*	1.2	98.7	0.1	9,950
유 리	유 리 병	200	833	0.2	-	99.8	-
		360	707	0.1	-	99.9	-
		900	487	0.1	-	99.9	-

* 간이 압착한 후 겉보기밀도

** PE pouch (지로팩이라 부름)

결속은 필수적이다. 유리용기는 부피에 비하여 무게가 무거워 겉보기밀도는 용기 용량에 따라 487~833 kg/m²으로 그 차이가 상당히 컸다.

삼성분 분석치의 평균값을 살펴보면 살균팩의 경우 가연분 (VS)이 97.3%로 가장 높고, 수분이 2.0%이었으며, 회분 (FS)은 0.7%로 아주 낮은 값을 나타내었다. 그러나 이와는 달리 멸균팩의 경우는 가연분이 89.1%로 상대적으로 낮았고, 그 대신 회분이 8.2%로 상당히 높았으며 수분의 함량도 2.7%이었다. 이와 같이 멸균팩이 살균팩에 비하여 비가연성인 회분의 함량이 높은 것은 표 3의 구성성분에서 보여주는 바와 같이 Aluminium foil이 멸균팩에는 포함하고 있기 때문이다. 용기류 속에 포함된 수분이 적게 나타났는데 이는 시료가 씻어 말린 상태였기 때문이다. 실제로 소비자가 내용물을 섭취한 후 남겨둔 잔여 우유가 있을 경우 훨씬 높다. 이 경우 압축시 폐액이 발생하고 재활용공장에서 세정용 용수를 많이 소비할 뿐만 아니라 폐수의 수질도 악화시킨다. 분리배출 요령에서는 깨끗이 마시고 물로 간단히 씻어 말린 후 배출토록 되어 있으나 최소한 깨끗이 마시고 이물질을 넣지는 말아야 하겠다.

열량분석 (고위발열량)의 결과 살균팩의 경우 평균 5,659 kcal/kg, 멸균팩의 경우 5,466 kcal/kg이었으며, 어느 경우나 종이의 평균 발열량 4,500 kcal/kg 보다 약 1,000 kcal/kg 더 높은 열량을 나타내었는데 이는 상당량의 PE를 함유하고 있기 때문이며, 살균팩이 멸균팩보다 높은 것은 Aluminium foil 때문이다. 따라서 살균팩의 경우 소각·열회수 시스템의 운영에 아주 적합한 열량을 보유하고 있는 셈이다.

표 3. 국내 음료용기의 구성

(단위 : g/용기 (%))

구 분	용 량 (ml)	본 체				기 타		총 계
		필 프	PE	Al (유리)	소 계	뚜 경	라 벨	
살균팩	200	8.5(86)	1.4(14)	-	9.9	-	-	9.9
	500	15.5(87)	2.3(13)	-	17.8	-	-	17.8
	1000	26.0(88)	3.4(12)	-	29.4	-	-	29.4
종이팩	200	5.6(75)	1.5(20)	0.4(5)	7.5	-	-	7.5
	250	7.7(75)	2.0(20)	0.5(5)	10.2	-	-	10.2
	500	13.0(75)	3.5(20)	0.9(5)	17.4	-	-	17.4
	1000	21.9(75)	5.8(20)	1.5(5)	29.2	-	-	29.2
플라스틱 용기	235	-	18(82)	-	18	3(PE)	1(종이)	22
	900	-	55(92)	-	55	3(PE)	2(종이)	60
	1500	-	61(90)	-	61	5(PE)	2(종이)	68
	1800	-	62(90)	-	62	5(PE)	2(종이)	69
	200*	-	4(100)	-	-	-	-	4
유 리 용 기	200	-	-	250(100)	250	1	-	251
	360	-	-	355(100)	355	1	-	356
	900	-	-	552(100)	552	1	-	553

3. 우유용기 폐기물의 처리현황

우유용기 폐기물의 처리는 타 폐기물과 마찬가지로 재활용, 소각·열회수, 매립을 고려할 수 있다. 우리 나라의 폐기물 처리현황 (1998년)이 재활용 34.9%, 소각·열회수 8.9%, 매립 56.2%를 고려할 때 우유용기도 이에 맞게 고려되어야 한다.

환경부는 폐기물의 발생억제와 재활용을 촉진하기 위하여 1992년부터 폐기물회수·처리비용 예치금제도를 도입하였다. 최근 몇 년 동안 예치금 부과·납부 및 반환실적[7]을 기초로 하여 음료용기에 대한 예치금 납부 및 반환실적을 음료용기별로 나타내면 표 4와 같다.

표에서 나타낸 바와 같이 전반적으로 음료용기의 회수·처리율이 1995년을 기준으로 하더라도 상당히 증가한 것을 알 수 있다. 특히 금속캔과 PET병의 증가율이 두드러짐을 알 수 있다. 캔과 PET병은 다른 용기와 섞여 있어도 분리가 쉽고 재활용에 따른 부가가치가 높기 때문에 판단된다 (PET병의 경우 단순 파쇄한 채로 외국에 수출하고 있어 국내 재활용공장에 원료공급이 잘 이루어지지 않고 있다).

유리병의 경우는 공병보증금 (예치금) 대상 이외는 대부분 회수·처리 예치금 대상이므로 별도로 분리할 필요가 없으므로 예치금을 환급받기가 쉽다.

그러나 종이팩의 경우 예치금을 반환 받기가 상당히 어렵다. 일반 소비자들은 분리수거 요령에 의하여 잘 처리하였다하여도 이것을 별도로 모아 종이팩만 내어놓는 경우는 극히 드물고 대부분 분리수거함에 다른 종기와 함께 내어놓게 된다.

서울, 부산, 대구, 경기지역의 일부 수거된 폐지 중에 포함된 종이팩의 양을 직접 조사하여 표 5와 같은 결과를 얻었다.

표에 의하면 일반 폐지 속에 약 1.3%의 종이팩 폐기물이 포함된 셈이다. 1998년도 종이팩 폐기물 발생량과 폐지 재활용량과를 비교할 때 종이팩이 차지하는 비율이 1.6%인 점을 고려하면 일반 폐지와 함께 약 81%의 종이팩 폐기물이 재활용되는 셈이다. 예치금 반환분과 일반 폐지와 함께 재활용된 종이팩 폐기물을 합치면 발생 종이팩 (살균팩) 폐기물 중 약 90%가 재활용된다. 따라서 예치금 반환율이 낮다고 하여 재활용율이 낮다는 것은 잘못된 판단이다. 실제 종이팩 폐기물 재활용 공장인 화장지 제조 공장에서는 국내에서 수거된 종이팩 폐기물의 양이 부족하여 상당한 양의 종이팩 폐기물 (scraps)을 외국에서 수입하고 있는 실정이다.

필자는 종이팩 폐기물 재활용에 관한 문제점을 다음과 같이 제시하였다. 구체적인 내용은 지면

표 4. 음료용기별 예치금 납부 및 반환 실적 (단위 : 백만개 (반환율%))

구 분	1995년		1996년		1997년		1998년	
	발생량	회수량	발생량	회수량	발생량	회수량	발생량	회수량
종이팩	5,674	631(11.1)	5,307	771(14.5)	5,030	542(10.8)	4,924	448(9.1)
금속캔	4,820	668(13.9)	5,353	2261(42.2)	3,215	1,954(60.8)	3,000	2,475(82.5)
유리병	2,372	91(3.8)	2,334	433(18.5)	2,618	695(26.5)	2,297	930(40.5)
PET병	1,756	45(2.6)	1,721	511(29.7)	1,497	624(41.7)	2,411	1,608(66.7)

- 환경부 자료[7]를 종합 필자가 재편집하였음 (반환율은 수량으로 얻은 값임).

표 5. 일반 폐지중에 포함되어 들어 있는 종이팩의 양 측정 결과

구	분	시	료	고지표분추출량 (kg)	우유팩추출량 (kg)	우유팩/고지 (%)	
서	울	임광아파트		173	2.4	1.39	
		경남아파트		127	2.1	1.65	
		미도아파트		107	1.7	1.59	
		현대아파트		110	1.3	1.18	
		합	계	517	7.5	1.45	
부	산	동일파크맨션		70	1.03	1.47	
		동부현대아파트		153	2.21	1.44	
		우성아파트		116	1.51	1.30	
		한신아파트		68	0.8	1.18	
		합	계	407	5.55	1.35	
대	구	금강맨션		200	3.2	1.60	
		대백맨션		150	1.8	1.20	
		범물보성아파트		200	2.8	1.40	
		감삼청구아파트		150	1.3	0.87	
		합	계	700	9.1	1.30	
경	기	도	라이프아파트		195	2.8	1.43
			현대아파트 (용인)		135	1.7	1.26
			분당아파트단지		165	2.5	1.52
			한성아파트 (용인)		190	1.6	0.84
			합	계	685	8.6	1.26

* 1998년 국내 폐지재활용량 : 3,869천톤[50] 종이팩 폐기물 발생량 : 61,100톤

관계로 생략하므로 연구보고서[8]를 참조하기 바란다.

1) 제도상의 문제점

(1) 폐기물 회수·처리비용 예치금제도

- ① 예치금 반환대상이 제한적이다.
- ② 생산자 예치금제 (폐기물 회수·처리비용 예치금제)에는 한계가 있다.
- ③ 종량제와 예치금제와의 연계인식이 부족하다.

(2) 폐기물 관리시스템의 복잡성

현행 폐기물 처리비용 회수·처리 예치금제도는 사업장별 관리체제가 되어 재활용 활성화에는 많은 문제점을 안고 있다. 최근 많이 개선되어 업종별 관리체제로 전향되고 있으나 아직 미흡하다. 향후 통합 재활용시스템으로 전향되지 않으면 재활용율을 크게 향상되기를 기대하기 어렵다. 또한 재활용가능 폐기물의 흐름도 대단히 복잡하다.

2) 기술상의 문제점

- ① 재생화장지 제조 기술
- ② 재활용 펄프 제조
- ③ 성형물 제조
- ④ 퇴비화
- ⑤ RDF제조/고효율 발전 시스템

Ⅲ. 국내 살균팩과 유리병 우유용기에 대한 전 과정 평가

1. 목적 및 범위

본 국내 살균팩과 유리병 우유용기에 대한 전과정평가 (LCA)를 실시하는 목적은 아래에 두고 있으며 목록작성 (LCI) 및 분석에 초점을 맞추었다. 평가 방법은 가능한 국제표준인 ISO 14040에 준하고자 노력하였다.

- ① 개별 우유용기에 대한 환경부하를 국내 상황에 맞게 산정
- ② 개별 우유용기에 대한 국내 실정에 맞는 환경영향 평가
- ③ 현행 우유용기에 대한 평가
- ④ 현행 우유용기에 대한 환경부하 저감방안 모색

이와 같은 목적을 위하여 평가 대상 범위를 다음과 같이 설정한다.

- ① 용기의 종류 및 기준 크기 : 살균팩, 우유병 각 200ml 기준
- ② 평가 대상 범위 : 원료 채굴에서 폐기물 처리까지 (요람에서 무덤까지)

2. 목록분석

1) 시스템 경계 및 변수

(1) 우유용기 시스템 (표 6)

(2) 기본변수

- ① 수송거리 : 왕복 200km
- ② 유리병의 회전수 (trippage rate) : 10 (회수율 : 90%) (가정)
- ③ 살균팩의 재활용율 : 30%
- ④ 잔여 폐기물의 처리 : 살균팩 : 소각 10%, 매립 90%
유리병 : 재활용 50%, 매립 50%

⑤ 감도분석

- ㉠ 수송거리 : 왕복 100km, 왕복 400km
- ㉡ 유리병의 회전수 : 20 (회수율 : 95%)

표 6. 전 과정 평가에 사용된 용기의 규격

구 분	우유용기 (200ml 용량) 비교	
	유리병 (가정)	종이팩 (현재)
용기의 형태	중량 : 본체 244g 용량 : 200ml 회수율 : 90%	중량 : 원지 - 10g (LDPE : 1.4g 포함) 용량 : 200ml
부 속 품	캡 LDPE : 1.0g	
포 장 재	공박스 LDPE : 611g(40병 용량) 100회 사용으로 가정	공박스 LDPE : 160g(50개 용량) 100회 사용으로 가정

㉔ 살균팩 재활용율 : 80%

㉕ 잔여 폐기물의 처리 : 살균팩 : 소각 10%, 매립 90%
유리병 : 재활용 50%, 매립 50%

㉖ 대상 프로세스 : [그림 1]

2) 목록분석 (LCI)

(1) 기초자료

㉑ 에너지 소비량 : 에너지 소비량의 화석자원 소비량에의 환산계수

㉒ 운송차량 연비

㉓ 살균팩 수송 (편도) 5톤 차량 : 4km/L, 11톤 차량 : 2km/L

㉔ 우유제품 수송 (왕복) 2.5톤차량 (2,700kg) : 5km/L (0.2L/km)

5톤차량 (4,500kg) : 4.2km/L (0.24L/km)

8톤차량 (7,500kg) : 3.5km/L (0.29L/km)

㉕ 발전시 사용 연료량 (열효율 36.5%, 송배전 손실율 5.5%[139]고려 1kWh의 에너지량
= 1kWh* 3,600 ÷ 4.184 ÷ 0.31 = 2,776 kcal/kWh (일본 : 2,617 kcal/kWh)

㉖ 에너지 소비에 기인하는 대기오염물질 배출량

㉗ 자동차에 의한 대기오염물질 배출량

㉘ 전기에 의한 대기오염오염물질 배출량 (표 7)

우리 나라의 1998년도기준 연료원별 발전 비율과 연료원별 CO₂의 발생량을 표 8에 나타내었다[10].

우리 나라의 전기는 1998년 기준 215,300GWh이었으며 그중 96.1%인 206,811GWh를 한전이 발전하고 있다. 한전의 경우 연료원별 발전비율을 비교하면 원자력이 43.4%로 가장 많고, 석탄 37.4% (국내탄 3.1% 포함), 가스 12.0%, 유류 5.4%, 수력 1.8%순이었다.

연료의 종류별 CO₂의 배출 원단위가 다르고, 그 평균값이 0.113kg-C/kWh이었다. 표에서도 나타낸 바와 같이 IMF 때문에 발전량은 3.8%가 감소하였으나 탄산가스 배출량은 14.1%나 감소하였다. 이는 최근 발전효율이 높아진데 기인한 것으로 본다.

표 7. 전기 생산 연료에 따른 대기오염물질 배출량 원단위[9]

연료 형식	대기오염물질 배출량 원단위 (mg/kWh)					
	NO _x	SO _x	CO	ROG	PM10	CO ₂ *
천연가스	150~908	2.72	34.5~173	4.54	132	540 (0.147)
잔여오일	136~1,362	1,208	3.18~150	15.9~22.7	1,317	781 (0.213)
석 탄	272~2,633	109~350	9.08~109	9.08~12.7	7.26~45.4	899~1,017
폐기물소각	409~1,180	100	1,180	13.6	132	749 (0.204)
상업시설	722	22.7	195	27.2	2.72	1,035 (0.282)

(1) CEC, August 1989 Generic Power Plant Emission Factor (USEPA AP42), lb/MMBTU를 lb/MWh로 환산한 것을 다시 mg/kWh로 환산하였음. 주어진 범위는 여러 가지 선정된 기술에 기초하였음.

(2) 습식, 건식 처리기술

(3) 백필터 기술

* gCO₂/kWh 단위임. kg-C/kWh로 환산하기 위하여는 2.727×10³을 곱한다 (()안의 수치는 kg-C/kWh임).

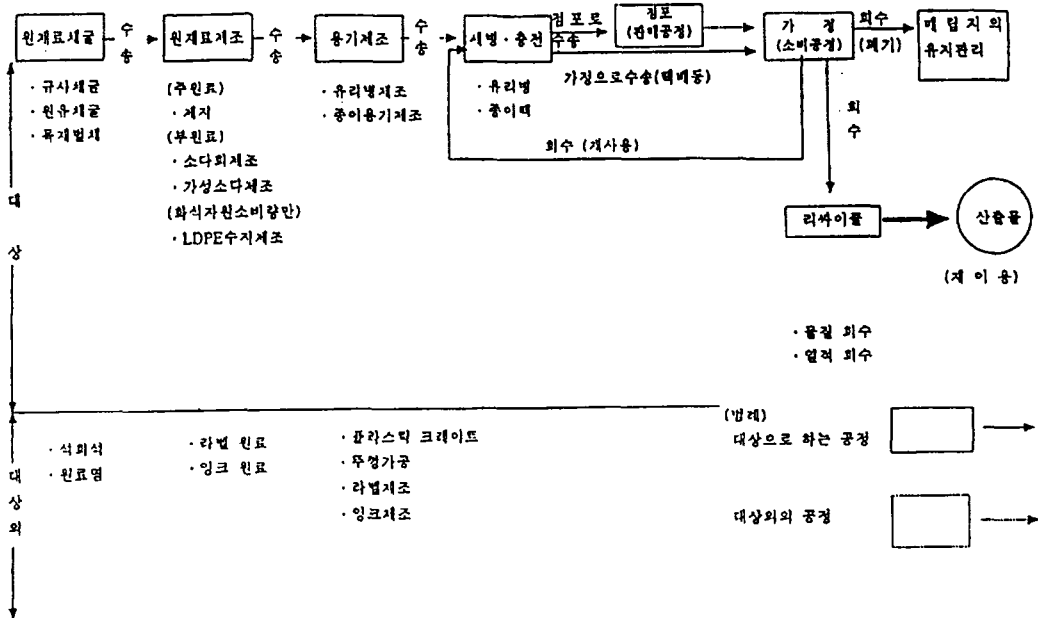


그림 1. 살균팩과 유리병의 전 과정 평가 연구 대상 프로세스

우리 나라의 발전에 의한 CO₂ 배출원단위가 0.113 kg-C/kWh로 미국 0.155 kg-C/kWh, 독일 0.162 kg-C/kWh보다 낮고 일본 0.095 kg-C/kWh, 캐나다 0.049 kg-C/kWh보다는 훨씬 높다. 이는 발전 연료의 구성의 차이에 기인한 것으로 본다.

표 7과 표 8을 종합하여 우리 나라 발전에 의한 대기오염물질 배출 원단위를 계산하면 NO_x 127~1,167 mg/kWh, SO_x 106~196 mg/kWh, ROG 4.8~6.5 mg/kWh, CO₂ 0.113 kg-C/kWh 로 광범 위하다. 현재 국내 발전설비는 배출기준을 엄격히 관리하고 있으므로 일본의 NO_x 270 mg/kWh,

표 8. 전력부문 CO₂배출량 분석 결과[10]

구 분	1998년 실적			전년대비발전량 (증감%)	
	발전량 (GWh)	CO ₂ 발생량 (만TC)	kg-C/kWh		
연 료 원 별	역청탄	71,175(34.3)*	1,652	0.232	+11.7
	국내탄	6,510(3.1)	170	0.261	+ 7.6
	유 류	11,109(5.4)	205	0.184	△64.4
	가 스	24,726(12.0)	323	0.131	△25.5
	원자력	89,689(43.4)	-	-	-
	수 력	3,625(1.8)	-	-	-
한전 총계	206,811(100)	2,346	0.113	△3.8(△14.1)**	
전 국	215,300(100)				

* 한전의 연료원별 발전비율 (%)

** CO₂ 배출량 감소율 (%)

SO_x 225 mg/kWh와 유사하리라 판단된다.

(2) 평가 대상 주요 과정

평가대상은 과정은 그림 1을 기준으로 국내와 국외를 통합하여 평가를 하고 필요시 분리 고찰한다. 주요 과정을 요약하여 표 9에 나타내었다.

표 9. 전 과정 평가 대상 주요 과정

구 분	살 균 팩	유 리 병
(1)원료 채굴	(1-1) 목재 간벌 (외국) (1-2) 석유 채굴 (외국)	(1-1) 규사 채굴 (1-2) 부원료 (소다회)제조
(2)용기 제조	(2-1) 카톤원지 제조 (외국) (2-2) LDPE제조 (2-3) 카톤팩 제조	(2-1) 유리병 제조 (2-2) 캡 (LDPE) 제조
(3)우유제조/충전	우유제조 (용기종류 무관 생략) (3) 충전/보급	우유제조 (용기종류 무관 생략) (3) 세병/건조/충전/보급
(4)수 송	(4-1) 카톤팩 수송 (4-2) 우유제품 수송 (4-3) 팩 폐기물 회수 (4-4) 재활용공장으로 수송 (4-5) 최종처리장으로 수송	(4-1) 유리용기 수송 (4-2) 우유제품 수송 (4-3) 공병 회수 (4-4) 재활용 (카레트)공장 수송 (4-5) 최종처리장으로 수송
(5) 폐기물처리	(5-1) 재활용 (화장지 제조) (5-2) 소각/매립	(5-1) 재활용 (카레트 제조) (5-2) 소각/매립
(6) 기 타	(6) 상자/팔레트 제조	(6) 상자/팔레트 제조

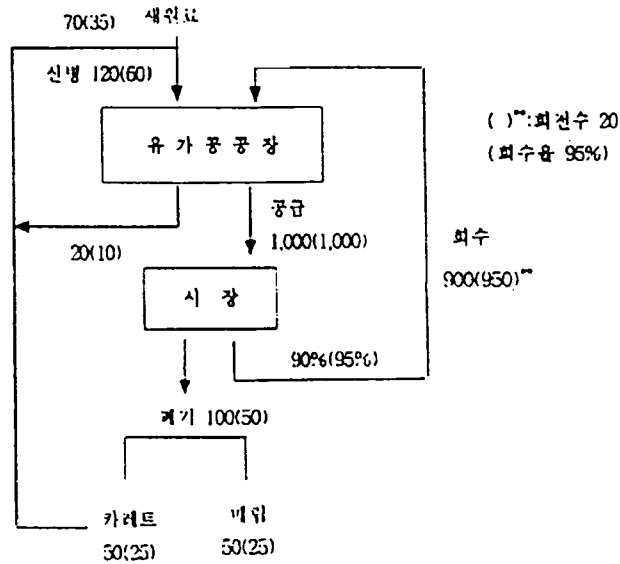


그림 2. 유리병의 전 과정 평가를 위한 공급·회수 모델

용기 종류별 과정별로 ISO 14040에서 제시된 10개 항목에 대하여 환경부하를 계산하면 다음과 같다. 절대값의 크기를 조정 오차를 줄이기 위하여 200ml용량 우유 1,000개 (총 200리터)를 기준으로 하였다.

살균팩 (용기) : $8,600g \text{ BPB} + 1,400g \text{ LDPE} = 10,000g = 10kg$

유리병 (용기) : $244,000g \text{ 유리} + 1,000g \text{ LDPE} = 245,000g = 245kg$

유리병의 경우, 국내에서 현재 사용하고 있지 않으므로 일본의 연구자료[5, 11]를 참고하여 우리 실정과 접목시켰다. 우유병의 공급모델로 카레트와 출하분을 나누어 고려하는 모델[5, 11]을 선택하였으며 본 시스템의 유리병의 흐름은 [그림 2]와 같다.

(3) 용기별 LCI 요약

위의 계산 자료를 토대로 각 과정별 환경오염 항목별 부하를 정리하여 표 10~표 13에 나타내었다.

폐기물 재활용을 30%일 경우 살균팩에 대한 LCI인 표 10에 의하면 에너지 소비는 카톤원지 제조가 63.9%로 가장 많았고, 우유 충전 (11.9%), 우유제품 수송 (9.0%), 재활용 (9.0%)순이었고, 지구온난화가스 배출량은 카톤원지 제조가 57.0%로 가장 많았고, 우유 충전 (15.8%), 재활용 (8.7%), LDPE 제조 (7.1%), 우유제품 수송 (6.1%)순이었으며, NO_x의 경우 카톤원지 제조가 66.3%로 가장 많았고, 우유제품 수송 (18.7%), LDPE제조 (5.1%), 우유충전 (3.5%)순이었으며, SO_x의 경우도 카톤원지 제조가 85.0%로 가장 많았고, LDPE 제조 (7.3%), 우유제품 수송 (3.8%), 재활용 (1.2%)순이었다. 이는 값의 크기는 차이가 있으나 원지제조가 큰 비중을 차지하는 점은

표 10. 살균팩의 LCI 요약 (200ml용량 1,000개 기준) (재활용율 : 30%, 폐기물 : 10%소각 90%매립)

성분	에너지소비량	물소비량	지구온난화가스		산성가스		수질오염물질		폐기물
					NO _x	SO _x	BOD	COD	
단위	kcal (%)	L	g-bioC	g-C(%)	g(%)	g(%)	g	g	g
(1-1)	2,223(0.9)		18270	190(1.9)	4.00(2.4)	0.98(0.6)			
(1-2)	638(0.3)			60.4(0.6)	2.50(1.5)	0.82(0.5)			
(2-1)	160,133(63.9)	1,300	7,616	5,980(57.0)	110(66.3)	130(85.0)	2.9	30	4,300
(2-2)	7,400(3.0)			742(7.1)	8.40(5.1)	11.2(7.3)			22.0
(2-3)	3,807(1.5)			174(1.7)	0.582(0.3)	1.50(1.0)			
(3)	29,740(11.9)			1,663(15.8)	5.73(3.5)	0.284(0.2)			
(4-1)									
50km	275			7.5	0.365	0.069			
100	550(0.2)			15.1(0.1)	0.730(0.4)	0.138(0.1)			
200	1,099			30.1	1.46	0.275			
(4-2)									
100	11,250			321	15.6	2.93			
200	22,500(9.0)			641(6.1)	31.1(18.7)	5.87(3.8)			
400	45,000			1,282	62.2	11.7			
(4-4)									
50	194(0.0)			5.63(0.0)	0.096(0.0)	0.019(0.0)			
100	276			6.75	0.181	0.030			
(4-5)									
50	193			2.63	0.200	0.024			
100	385(0.2)			5.25(0.0)	0.399(0.2)	0.048(0.0)			
(5-1)	22,485(9.0)	19**		915(8.7)	2.19(1.3)	1.82(1.2)	1.9	1.9	450
(5-2)	179(0.1)		280	81.4(0.8)	0.313(0.2)	0.013(0.0)			6,349
(6)	202(0.1)			20.2(0.2)	0.229(0.1)	0.305(0.3)			0.600
총계	250,436(100)	1,319	-10,374*	10,493(100)	166(100)	153(100)	4.8	31.9	11,122

* -는 이산화탄소의 흡수를 의미함. (1-1)의 과정에서 bio-C는 -18,270g-bioC임

** NaOH 19g이 소요됨 - 부산물 : 전기 0.336kWh, 재생화장지 2.1kg

- (4-1)과 (4-2)는 5톤 트럭기준이고 (4-4)와 (4-5)는 11톤 트럭기준임

- (4-1)에서 11톤 트럭 기준은 다음과 같다.

거리 (km)	에너지소비량 (kcal)	지구온난화가스 (g-C)	NO _x (g)	SO _x (g)
50	275	3.75	0.285	0.034
100	550	7.50	0.570	0.069
200	1,099	15.0	1.14	0.138

- (4-2)에서 8톤 트럭 기준은 다음과 같다.

거리 (km)	에너지소비량 (kcal)	지구온난화가스 (g-C)	NO _x (g)	SO _x (g)
100	8,496	200	11.1	1.83
200	16,992	400	22.2	3.66
400	33,984	801	44.4	7.33

표 11. 살균팩의 LCI 요약 (200ml용량 1,000개 기준) (재활용율: 80%, 폐기물: 10%소각 90%매립)

성분	에너지소비량	물소비량	지구온난화가스			산성가스		수질오염물질		폐기물
						NO _x	SO _x	BOD	COD	
단위	kcal (%)	L	g-bioC	g-C(%)	g(%)	g(%)	g	g	g	
(1-1)	2,223(0.8)		18270	190(1.6)	4.00(2.4)	0.98(0.6)				
(1-2)	638(0.2)			60.4(0.5)	2.50(1.5)	0.82(0.5)				
(2-1)	160,133(55.7)	1,300	7,616	5,980(50.0)	110(64.7)	130(83.3)	2.9	30	4,300	
(2-2)	7,400(2.6)			742(6.2)	8.40(5.0)	11.2(7.2)			22.0	
(2-3)	3,807(1.3)			174(1.5)	0.582(0.3)	1.50(1.0)				
(3)	29,740(10.3)			1,663(13.9)	5.73(3.4)	0.284(0.2)				
(4-1)										
50km	275			7.5	0.365	0.069				
100	550(0.2)			15.1(0.1)	0.730(0.5)	0.138(0.1)				
200	1,099			30.1	1.46	0.275				
(4-2)										
과 100	11,250			321	15.6	2.93				
정 200	22,500(7.8)			641(5.3)	31.1(18.3)	5.87(3.8)				
400	45,000			1,282	62.2	11.7				
(4-4)										
50	516(0.2)			15.0(0.1)	0.257(0.1)	0.050(0.0)				
100	736			18.0	0.485	0.078				
(4-5)										
50	55			0.750	0.057	0.007				
100	110(0.0)			1.50(0.0)	0.114(0.1)	0.014(0.0)				
(5-1)	59,960(20.8)	50**		2,440(20.4)	5.84(3.5)	4.85(3.1)	5.1	5.1	1,200	
(5-2)	51.1(0.0)		80	23.3(0.2)	0.089(0.1)	0.004(0.0)			1,814	
(6)	202(0.1)			20.2(0.2)	0.229(0.1)	0.305(0.2)			0.600	
총계	287,830(100)	1,350	-10,574*	11,965(100)	170(100)	156(100)	8.0	35.1	7,337	

* -는 이산화탄소의 흡수를 의미함. (1-1)의 과정에서도 bio-C는 -18,270g-bioC임.

** NaOH가 50g 소요됨. - 부산물 : 전기 0.096kWh, 재생화장지 5.6kg

- (4-1)과 (4-2)는 5톤 트럭기준이고 (4-4)와 (4-5)는 11톤 트럭기준임.

- (4-1)에서 11톤 트럭 기준은 다음과 같다.

거리 (km)	에너지소비량 (kcal)	지구온난화가스 (g-C)	NO _x (g)	SO _x (g)
50	275	3.75	0.285	0.034
100	550	7.50	0.570	0.069
200	1,099	15.0	1.14	0.138

- (4-2)에서 8톤 트럭 기준은 다음과 같다.

거리 (km)	에너지소비량 (kcal)	지구온난화가스 (g-C)	NO _x (g)	SO _x (g)
100	8,496	200	11.1	1.83
200	16,992	400	22.2	3.66
400	33,984	801	44.4	7.33

표 12. 유리병의 LCI 요약 (200ml용량 1,000개 기준, 가정치) (회전수 : 10회 (회수율 : 90%))

성분	에너지소비량	물소비량	무기자원	지구온난화 가스	산성가스		수질오염물질		폐기물
					NO _x	SO _x	BOD	COD	
단위	kcal (%)	L	g	g-C(%)	g(%)	g(%)	g	g	g
(1-1)	543(0.2)		14620	32.7(0.2)	0.181(0.2)	0.226(0.1)			
(1-2)	2,787(0.9)			219(1.2)	1.89(1.3)	2.70(1.4)			
(2-1)	63,865(20.5)			5,440(29.2)	31.7(21.3)	137(68.9)			205
(2-2)	5,850(1.9)			584(3.1)	7.64(5.1)	8.59(4.3)			16.7
(3)	188,408(60.5)	900	(50)*	10,827(58.2)	38.9(26.2)	35.6(17.9)	19	19	0.709
(4-1)									
50km	791			21.6	1.05	0.198			
100	1,582(0.5)			43.3(0.2)	2.10(1.4)	0.396(0.2)			
200	3,164			86.5	4.20	0.790			
(4-2)									
100	22,601			644	31.3	5.89			
200	45,202(14.5)			1,288(6.9)	62.5(42.0)	11.9(6.0)			
400	90,403			2,576	125	23.6			
(4-4)									
50	461(0.1)			6.30(0.0)	0.481(0.3)	0.058(0.0)			
100	923			12.6	0.963	0.116			
(4-5)									
50	330			4.50	0.344	0.0413			
100	659(0.3)			9.02(0.0)	0.688(0.5)	0.083(0.1)			
(5-1)	768(0.2)			55.7(0.3)	0.622(0.4)	0.497(0.3)			
(5-2)	294(0.1)			24.9(0.2)	0.891(0.6)	0.024(0.0)			12,200
(6)	964(0.3)			96.4(0.5)	1.09(0.7)	1.46(0.8)			2.86
총계	311,383(100)	900	14,620	18,626(100)	149(100)	199(100)	19	19	12,425

* 세정시 사용하는 가성소다 (NaOH)의 양임.

- (4-1)과 (4-2)는 5톤 트럭기준임.
- (4-4)와 (4-5)는 11톤 트럭기준임.
- (4-1)에서 11톤 트럭 기준은 다음과 같다.

거리 (km)	에너지소비량 (kcal)	지구온난화가스 (g-C)	NO _x (g)	SO _x (g)
50	791	10.8	0.826	0.099
100	1,582	21.6	1.66	0.198
200	3,164	43.2	3.30	0.396

- (4-2)에서 8톤 트럭 기준은 다음과 같다.

거리 (km)	에너지소비량 (kcal)	지구온난화가스 (g-C)	NO _x (g)	SO _x (g)
100	17,379	410	22.7	3.75
200	34,757	820	45.5	7.50
400	69,514	1,640	91.0	15.0

표 13. 유리병의 LCI 요약 (200ml용량 1,000개 기준, 가정치) (회전수 : 20회 (회수율 : 95%))

성분	에너지소비량	물소비량	무기자원	지구온난화 가스	산성가스		수질오염물질		폐기물
					NO _x	SO _x	BOD	COD	
단위	kcal (%)	L	g	g-C(%)	g(%)	g(%)	g	g	g
(1-1)	271(0.1)		7,310	16.4(0.1)	0.091(0.1)	0.113(0.1)			
(1-2)	1,394(0.5)			110(0.7)	0.945(0.7)	1.35(1.0)			
(2-1)	31,933(11.3)			2,720(16.9)	15.9(12.2)	68.5(53.1)			103
(2-2)	5,850(2.1)			584(3.6)	7.64(5.9)	8.59(6.6)			16.7
(3)	195,283(69.1)	950	(53)*	11,222(69.7)	40.4(30.8)	36.9(28.6)	20	20	0.75
(4-1)									
50km	396			10.8	0.530	0.099			
100	791(0.3)			21.7(0.1)	1.05(0.8)	0.198(0.2)			
200	1,582			43.3	2.10	0.395			
(4-2)									
100	22,601			644	31.3	5.89			
200	45,202(16.0)			1,288(8.0)	62.5(47.7)	11.8(9.1)			
400	90,403			2,576	125	23.6			
(4-4)									
50	231(0.1)			3.15(0.0)	0.241(0.2)	0.029(0.0)			
100	462			6.30	0.482	0.058			
(4-5)									
50	165			2.25	0.172	0.021			
100	330(0.1)			4.51(0.0)	0.344(0.2)	0.042(0.0)			
(5-1)	384(0.1)			27.9(0.2)	0.311(0.2)	0.249(0.2)			
(5-2)	147(0.0)			12.5(0.1)	0.446(0.3)	0.012(0.0)			6,100
(6)	964(0.3)			96.4(0.6)	1.09(0.9)	1.46(1.1)			2.86
총계	282,780(100)	950	7,310	16,107(100)	131(100)	129(100)	20	20	6,223

* 세정시 사용하는 가성소다 (NaOH) 의 양임.

- (4-1)과 (4-2)는 5톤 트럭기준임.
- (4-4)와 (4-5)는 11톤 트럭기준임.
- (4-1)에서 11톤 트럭 기준은 다음과 같다.

거리 (km)	에너지소비량 (kcal)	지구온난화가스 (g-C)	NO _x (g)	SO _x (g)
50	396	5.40	0.413	0.050
100	791	10.8	0.830	0.099
200	1,582	21.6	1.65	0.198

- (4-2)에서 8톤 트럭 기준은 다음과 같다.

거리 (km)	에너지소비량 (kcal)	지구온난화가스 (g-C)	NO _x (g)	SO _x (g)
100	17,379	410	22.7	3.75
200	34,757	820	45.5	7.50
400	69,514	1,640	91.0	15.0

일본 자료와 동일하고, 우리의 경우 재활용 비중과 수송비중이 다소 높는데 비하여 일본의 경우는 충전 비중이 높았다. 이는 우리는 장거리 수송(현실적)에 바탕을 두었고 일본은 한 지역에 근거하였기 때문이다. 충전 과정에서 차이가 나는 것은 사용하는 열원이 어떤 종류인가에 크게 달려 있다.

폐기물 재활용을 80%일 경우 살균팩에 대한 LCI인 표 11에 의하면 에너지 소비는 카톤원지 제조가 55.7%로 가장 많았고, 재활용(20.8%), 우유 충전(10.3%), 우유제품 수송(7.8%)순이었고, 지구온난화가스 배출량은 카톤원지 제조가 50.0%로 가장 많았고, 재활용(20.4%), 우유 충전(13.9%), LDPE 제조(6.2%), 우유제품 수송(5.3%)순이었으며, NO_x의 경우 카톤원지 제조가 64.7%로 가장 많았고, 우유제품 수송(18.3%), LDPE제조(5.0%), 재활용(3.5%)순이었으며, SO_x의 경우도 카톤원지 제조가 83.3%로 가장 많았고, LDPE 제조(7.2%), 우유제품 수송(3.8%), 재활용(3.1%)순이었다. 재활용을 증가에 따른 변화는 재활용에 따른 각종 환경부하의 비율이 상승하고 상대적으로 원지 제조에 의한 영향은 감소하였다.

지구온난화가스에 관하여는 육림 과정과 Bio-C와 연계 평가하여야 한다. 표 10와 표 11에서도 나타낸 바와 같이 전 과정에서 탄소 수지는 거의 상쇄되는 것을 알 수 있다. 이에 대한 보다 구체적인 내용은 뒷 장에서 설명하겠다.

국내는 유리병을 우유용기로 사용하지 않기 때문에 유리병의 경우 일본자료[5, 11]를 참고로 우리 상황과 접목시켜 분석하였다.

현재 우리 나라의 공병보증금 대상 유리병의 회수율이 약 90%인 점을 감안, 회전수 10회에 대하여 분석한 LCI자료 표 12에 의하면 에너지 소요량의 경우 세병충전이 60.5%로 가장 많았고, 신병 제조(20.5%), 우유 수송(14.5%), 캡 제조(1.9%)순이었고, 지구온난화가스의 경우 세병충전이 58.2%로 가장 많았고, 신병 제조(29.2%), 우유 수송(6.9%), 캡 제조(3.1%)순이었으며, NO_x의 경우 우유 수송이 42.0%로 가장 많았고, 세병충전(26.2%), 신병제조(21.3%), 캡 제조(5.1%)순이었으며, SO_x의 경우 신병 제조가 68.9%로 가장 많았고, 세병 충전(17.9%), 우유 수송(6.0%), 캡 제조(4.3%)순이었다.

향후 회수율을 95%까지 높힐 때 회전수는 20회가 되기 때문에 이에 대하여 분석한 LCI자료 표 13에 의하면 에너지 소요량의 경우 세병충전이 69.1%로 가장 많았고, 우유 수송(16.0%), 신병 제조(11.3%), 캡 제조(2.1%) 순이었으며, 지구온난화가스의 경우 세병충전이 69.7%로 가장 많았고, 신병 제조(16.9%), 우유 수송(8.0%), 캡 제조(3.6%) 순이었으며, NO_x의 경우 우유 수송이 47.7%로 가장 많았고, 세병충전(30.8%), 신병 제조(12.2%), 캡 제조(5.9%)순이었으며, SO_x의 경우 신병 제조가 53.1%로 가장 많았고, 세병충전(28.6%), 우유 수송(9.1%), 캡 제조(6.6%)순이었다. 일본의 자료와 비교하면 일본의 경우는 모든 항목이 세병충전, 점포수송(SO_x의 경우 신병제조)순인데 비하여 본 연구의 경우 세병충전, 우유 수송, 신병 제조가 항목에 따라 최대의 점유율을 보여주었다. 그 이유는 일본의 경우 한 지역단위를 선택한데 비하여 본 연구에서는 왕복 200km로 택하였으며, 회전수도 본 연구에서는 10회(90%), 20회(95%)를 택한데 비하여 일본 자료에서는 60회(98.4%)를 택한데 기인된다고 본다. 또한 기준용기로 일본자료는 900ml(265g)를 택한데 비하여 본 연구에서는 200ml(244g)를 택한 것도 한 이유가 될 수 있다.

3. 영향평가 및 개선대책

앞에서도 제시한 바와 같이 전 과정 평가의 목적이 비교 우열을 가리자는 것은 결코 아니다. 그러나 현재 우리가 처해진 상황은 그러하지 못하므로 앞에서 분석한 LCI자료를 이용하여 우유 용기 1L 용량에 해당하는 항목별 총 부하량을 살균팩과 유리병에 대하여 표 14에 정리하였다. 아울러 본 연구에서 제시한 외국의 자료도 동시에 나타내었다.

전반적으로 본 연구의 환경부하가 수질을 제외하고는 외국자료에 비하여 큰 값을 나타내었다. 이는 본 연구에서는 200ml용량을 기준하였고 외국의 경우 1000ml 또는 900ml용량을 기준으로 하였기 때문이다. 소용량일수록 단위 L당 환경부하는 커지기 마련이다. 수질관계는 본 연구의 경우 자료 부족으로 다소 미흡하다고 본다.

표에서 알 수 있는 바와 같이 에너지 소비, 지구온난화가스, SO_x, BOD는 살균팩이 다소 적고, NO_x, COD와 폐기물은 살균팩이 다소 큰 값을 나타내었는데 그 차이는 크지 않았다. 그리고 그 값은 조건에 따라서 달라질 수 있으므로 단정적으로 우열을 판단하기는 더욱 어렵다.

환경적 부하만을 고려한다면 카톤팩의 경우 모든 항목의 50% 이상이 카톤원지(BPB) 제조 과정에서 발생되므로 원지를 전량 외국에서 수입하는 우리로는 환경부하의 크기로 유리병과 환경성을 비교한다는 자체가 무의미하다(살균팩의 경우가 전 항목에 대하여 아주 적다). 그렇다고 카톤원지 제조공장을 국내에 건설할 것을 고집하는 사람은 결코 없으리라 믿는다.

더욱 중요한 것은 환경부하만을 고려한다면 재활용율을 올리는 것만이 유리하지 않다는 점이다. 표 14에서 보여주는 바와 같이 폐기물 발생량을 크게 줄이는 이외의 다른 환경부하의 크기는 근소하나 조금씩 크다. 그러나 폐기물에 의한 매립지 부족을 고려한다면 재활용과 소각/열회수를 반드시 선택하여야 한다. 또한 재활용의 경우 재생화장지가 얻어지고, 소각시에는 전기가 부산물로 얻어지는 점도 직시하여야 한다.

살균팩의 경우 환경부하를 줄일 수 있는 방법을 제시하면 다음과 같다.

- ① 용기를 경량화 시키는 일인데 1998년 이미 상당한 양으로 경량화가 된 상태이므로 추가적인 경량화에는 충전기술이 같이 개발되어야 할 것이다.
- ② 재활용기술 개발로 오염을 적게 발생시키면서 분리효율을 높여야 하겠다.
- ③ 속에 이물질이 넣지 말고 간단히 씻어 다른 폐지와 별도로 분리 배출시켜 주기를 바란다(함께 배출할 경우 별도로 분리시키거나 일반 폐지로 가치가 떨어짐).
- ④ RDF/발전시스템을 통하여 환경친화적인 소각과 고효율 발전을 기한다.

국내 우유용 유리병은 자취를 감춘 상태이므로 더 이상 논하기는 어렵다. 그러나 최근 유리병 부활을 주장하는 상황이라 본 연구에서는 과거 사용한 자료나 최근 국내 도입한 유리병을 대상으로 평가를 하였다. 표 12와 표 13에서 보여준 바와 같이 유리병에 큰 영향을 미치는 것은 세정/충전 과정과 우유수송 과정, 세병 제조 과정, 캡 제조 과정이다. 이들 과정에서 환경부하와 직접 관계가 있는 것이 병의 무게와 회전수이다. 회전수의 영향은 회전수가 많을수록 환경부하가 적었다. 그러나 그 값은 폐기물량을 제외하고는 크지 않았고, 물의 소비는 오히려 더 많았다. 병의 무게 다음으로 큰 영향을 미치는 것은 수송거리이다.

병을 사용하면 회전수에 따라 다소 차이가 있으나 상당한 양의 재생 불가능한 무기자원(10회째

표 14. 우유 1L당 살균팩과 유리병 LCI

항 목	카톤팩(C)		유리병(D)		(C/D)	
	조 건	수 치	조 건	수 치		
에너지 소비(kcal)	(1)30% 재활용	1,252	(A)10회 회전	1,557	0.804	
	(2)80% 재활용	1,439	(B)20회 회전	1,414	1.02	
	(3)Norway자료[12]	263	(3)Norway자료[12]	406	0.648	
	(4)일본자료[5, 11]	534	(4)일본자료[5, 11]	838	0.637	
물 소비(L)	(1)30% 재활용	6.60	(A)10회 회전	4.50	1.47	
	(2)80% 재활용	6.75	(B)20회 회전	4.75	1.42	
지구온난화가스 (g-C)	(1)30% 재활용	52.5	(A)10회 회전	93.1	0.563	
	(2)80% 재활용	59.8	(B)20회 회전	80.5	0.743	
	(3)Norway자료	33.2	(3)Norway자료	72.9	0.455	
	(4)일본자료	60.27	(4)일본자료	55.0	1.09	
산성 가스	NO _x (g)	(1)30% 재활용	0.830	(A)10회 회전	0.745	1.11
		(2)80% 재활용	0.850	(B)20회 회전	0.655	1.30
		(3)Norway자료	0.294	(3)Norway자료	0.927	0.317
		(4)일본자료	0.500	(4)일본자료	0.266	1.88
	SO _x (g)	(1)30% 재활용	0.765	(A)10회 회전	0.995	0.769
		(2)80% 재활용	0.780	(B)20회 회전	0.645	1.21
		(3)Norway자료	0.286	(3)Norway자료	1.077	0.266
		(4)일본자료	0.340	(4)일본자료	0.244	1.39
수질 오염	BOD(g)	(1)30% 재활용	0.024	(A)10회 회전	0.095	0.253
		(2)80% 재활용	0.040	(B)20회 회전	0.100	0.400
		(3)Norway자료	0.414	(3)Norway자료	1.038	0.400
		(4)일본자료	-	(4)일본자료	-	-
	COD(g)	(1)30% 재활용	0.160	(A)10회 회전	0.095	1.68
		(2)80% 재활용	0.176	(B)20회 회전	0.100	1.76
		(3)Norway자료	1.334	(3)Norway자료	1.513	0.888
		(4)일본자료	-	(4)일본자료	-	-
폐기물(g)	(1)30% 재활용	55.6	(A)10회 회전	62.1	0.895	
	(2)80% 재활용	36.7	(B)20회 회전	31.1	1.18	
	(3)Norway자료	27.3	(3)Norway자료	15.6	1.75	
	(4)일본자료	1.73	(4)일본자료	3.61	0.479	
무기자원(g)	(1)30% 재활용	-(0.095)*	(A)10회 회전	73.1(0.25)* (0.38)		
	(2)80% 재활용	-(0.25)*	(B)20회 회전	36.6(0.26)* (0.961)		
부산물	전기	(1)30% 재활용	0.002	(A)10회 회전	-	
	(kWh)	(2)80% 재활용	0.000	(B)20회 회전	-	
	재생지	(1)30% 재활용	10.5	(A)10회 회전	-	
	(g)	(2)80% 재활용	28.0	(B)20회 회전	-	

* NaOH 소요량, ** 원목 소요량 : 133g

73.1g/L, 20회때 36.6g/L)이 소모되므로 자원 개발에 따라 국토를 황폐시킬 수 있다. 물론 살균팩을 사용할 때에는 133g/L의 원목이 소요되나 이는 재생 가능한 자원으로 뒷 장에서 설명할 환경친화적인 유럽에서 얻어진 원목이 이용된다.

살균팩의 재활용과정에서 NaOH가 첨가되므로 환경오염을 크게 야기할 것으로 생각하고 있는데 우유병 세정과정에도 직·간접적으로 NaOH가 소모되고 그 양은 오히려 더 많다는 사실도 인식하여야 한다.

물의 사용량도 마찬가지이다. 살균팩의 경우 원지 제조과정에서 많은 양의 물이 사용되나 종이팩 폐기물의 재활용과정에서 사용되는 물의 양은 우유병 세정과정에서 사용되는 물의 양보다 훨씬 적게 소비된다 (200ml용량 1개당 살균팩 62.5ml, 유리병 1,000ml 정도).

유리병의 경우 환경부하를 줄일 수 있는 방법을 제시하면 다음과 같다.

(가) 용기를 경량화와 동시에 깨어지지 않게 만들어야 한다. 일본은 200ml용량 180~195g (현 244g), 900ml용량 260~280g (현 540g) 수준으로 경량화가 되고 있다.

(나) 회수율을 높여 회전수를 증가시키고 새병제조에 따른 환경부하 감소와 동시에 무기자원 낭비를 억제한다. 10회와 20회 사이의 무기자원 소요량은 73.1g과 36.6g으로 배나 차이가 난다.

(다) 병에 이물질을 넣지 말고 깨끗이 씻어 주므로 세병과정의 물의 양을 절약한다.

우유용기의 LCA결과에 대한 논란은 독일에서 가장 많이 일고 있다. 그 이유는 이를 통하여 독일은 재사용 용기의 할당율을 높힐 계획을 하였기 때문이다. 독일의 우유용기 환경성 연구의 주된 변천 과정을 요약하면 표 15와 같다.

1995년 보고서[5, 14]를 근거로 독일에서는 재사용 병 할당율 (reuse quota)을 올리기를 시도하였다. 그러나 보고서 결과에 대한 반론과 사용된 LCA 평가방법이 ISO기준에 부합되지 못하다는 비판을 받았다. 1996년에는 폭넓은 매개변수를 고려한 내용의 새로운 보고서가 발표되었다[15].

이 새 보고서에서 제시한 매개변수와의 차이를 나타내면 표 16과 같다. 이에 의하면 사용회수 (trippage)가 12, 15, 18 및 25회로 다양하고, 수송거리도 200km까지 장거리를 추가하였으며, 재활용율도 60%로 상향 조정하였다.

그 결과를 항목별로 분석하여 표 17과 같이 평가하였는데 사용회수 (trippage)와 수송거리에 크

표 15. 독일의 우유용기 환경성 연구의 주된 변천 과정[13]

연 도	주 요 내 용	관련기관, 단체, 연구소 등
- 1990.	- 우유용기 LCA 계획 발표	- UBA
- 1993. 6.	- LCA (Inventory) 완료	- Franunhofer ILV의 2개
- 1993. 9.	- 공 표	- 환경장관
- 1994. 9.	- 관련업계에 LCA 결과 제출	- UBA
- 1994. ~ 1995.	- 이의 제기 (초기 Inventory에 대한 Alternative Evaluation 요청)	- Germany Packaing Council - Franunhofer ILV
- 1995. 7.	- 최종보고서 제출[5, 14]	- 환경장관, UBA의장
- 1996. 5.	- Up date[15]	- Franunhofer ILV
- 1999. 3.	- Up date[16]	- Franunhofer ILV

표 16. UBA가 사용한 parameter와 개선된 parameter와의 차이[15]

Parameter	Central scenario UBA 1993	Updated calculation 1996
Number of trips made by returnable containers	25	12, 15, 18 and 25
Transport distance	100 km	200 km
Recycling rate	17 %	60 %
Technical regulation on municipal waste	-	thermically treated in residual waste < 5% combustion loss

표 17. 새 parameter 사용에 따른 우유용기 전과정평가 비교[15]

환경 요소	유리병	종이팩
자원사용 - 에너지자원	유 리 (사용회수 의존)	불 리 (15~40% 많음)
- 물질자원	불 리 (재생 불가능)	유 리 (재생 가능)
- 물	유 리 (80% 지하수)	불 리 (2배):90%지표수
폐기물 - 생활폐기물	불 리 (20~120% 많음)	유 리
- 유해폐기물	동 등	동 등
환경배출물 관련 - 온실효과	불 리	유 리 (30%)
- 부영양화	불 리	유 리 (3~4)
- 산성화	불 리	유 리 (10~30%)
- 오존층파괴	무 관	무 관
- 독성물질	동 등	동 등

게 달라지는데 일부 항목은 유리병이 불리하고, 일부 항목은 종이팩이 불리하여 일방적으로 결론을 내리기는 어려우나 종이팩이 유리병보다 불리하지는 않다는 결론을 내렸다.

이와 같은 주장을 받아들여 독일 의회는 포장폐기물 회피에 관한 시행령 (Packaging Ordinance)을 개정 (1998. 5. 29.)하였다. 이에 의하면[17] 과거의 재사용 용기 할당율은 더 이상 의미가 없고 다만 새로운 것은 이원화제도 (Dual System)에 참가한 생산자와 유통업자에게는 일회용 용기에 대한 예치금 의무를 면제시켜 준다는 점이다.

IV. 환경친화적인 육림과 카톤팩의 탄소 수치

1. 환경친화적인 육림

흔히 종이 사용은 그 원료가 되는 펄프를 생산하기 위하여 산림을 무분별하게 난벌하므로 토양을 황폐화시키고 나무의 탄산동화작용에 의한 이산화탄소의 소모를 격감시켜 지구온난화를 촉진시키는 것으로 잘못 이해하고 있는 경우가 많다. 따라서 필자는 펄프 제조용 원목 관리가 어떻게 이루어지고 있는가를 직접 확인하기 위하여 소나무와 참나무 생산으로 유명한 미국 중남부에 위치한 Arkansas주 Litter Rock를 직접 찾았다.

미국은 유엔환경개발회의 (UNCED, 1992. 6.) 이후 육림정책에도 큰 목표변화를 가져왔다. 단 순히 키워서 베어 이용하는 것이 아니라 환경적으로 건전하고 지속 가능한 개발 (ESSD) 정신과 접목시켜 지금까지도 해왔지만 보다 구체적으로 지속 가능한 육림사업 (Sustainable Forest)을 추진해 왔다[18]. 이의 주체는 미국의 산업림의 약 90% 이상을 소유하는 지주의 집단인 American Forest & Paper Association (AF&PA)가 되고 있으며, 우리가 지금 이용하고 있는 것보다 더 풍부한 산림을 확실하게 미래 세대에 물려줄 것을 목표로 하고 있다.

AF&PA는 이 목표를 수행하기 위하여 1995년 1월 1일까지 Principle (for Sustainable Forest)에 동의하고, 1996년 1월 1일까지 Implementation Guideline (실행지침서)를 이행토록 회원사를 독려 하였다[18].

과학적인 육림관리로 펄프, 목재, 베니어, 화학 부산물의 지속적 생산이 가능할 뿐만 아니라 야생동물의 안식처를 공급하고, 생물종 다양성 보존, 깨끗한 공기와 물의 공급, 미적 쾌락과 휴양처를 제공한다[19, 20]. 지속 가능한 육림사업은 토양, 공기, 수질, 야생동물, 어류의 보존과 함께 유용한 제품을 위한 나무의 재육림 (reforestation), 관리, 성장, 양육 (nurturing), 수확 등을 통합하는 관리 처방의 실행으로 달성될 수 있다. 이 운동은 Sustainable Forestry InitiativeSM (SFI)로 정착되고 있다.

미국의 총 수림 면적 490 million acres (1,982,932km²) 가운데 59%를 천만명이 넘는 개인이 소유하고 있으며 14%를 목재 산업이, 나머지 27%를 미국 Forest Service와 다른 정부기관이 소유하고 있다[20]. 그러나 실제 미국에서 나무를 심는 사람은 수림지 소유 현황과는 달리 41.8%를 목재 산업에서, 42.7%가 개인이, 7.2%가 정부 육림 기관이었다[20].

육림과정은 크게 식종 (seeding), 이식 (planting), 양육 (nurturing), 간벌 (weeding), 수확 (cutting)순으로 나눌 수 있다. 수종에 따라 차이가 있으나 보통 이식 이후 수확때까지의 주기를 25~30년으로 두고 있으며 이식 후 15년에 1차 간벌, 22년에 2차 간벌을 수행하는 것이 이상적으로 보고 있다[21], 이 과정을 그림 3에 잘 나타내었다.

전문가의 말에 의하면 Pine의 경우 1 acre (1,224평, 4,047m²)당 이식시 480그루가 15년후 (1차 간벌) 200그루, 22년후 100그루가 가장 적합한 육림 밀도라 하였다[21].

우리는 1톤의 종이 (펄프)를 얻는데 거목 17그루가 소요되는 것으로 알고 있다. 좀 더 정확하게 산출하면 펄프 1톤을 생산하는데 약 4톤의 나무가 필요하고, 1톤의 나무는 30년생은 약 3그루, 15년생은 약 8그루에 상당하므로 30년생은 약 12그루, 15년생은 약 32그루가 소요되는 셈이다.

2. 펄프 및 종이 전 과정에서 탄소 수지

최근 IP사의 연구팀은 펄프나 종이의 제조 및 이용 전 과정에서 탄소의 흡수 (sequestration)와 배출 (emission)을 정량적으로 조사하여 보고하였다[22]. IP사는 1차 연구로 제품 혼합도, 제조 공정, 재활용율, 지리적 배치 등을 고려하여 세 개의 펄프사를 선정하여 탄소의 수지를 조사하였다.

미국 에너지성 (USDOE)은 biofuel 배출량을 온실가스로 계산하기를 요구하지 않는다. 이를 고려하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- ① 현지 biofuel 배출량을 고려하지 않으면 총 흡수비는 1.95가 될 것이다.
- ② biofuel을 계산하지 않으면 제조기준으로 흡수된 진 탄소량은 1.10 MTC/BDTP가 된다.

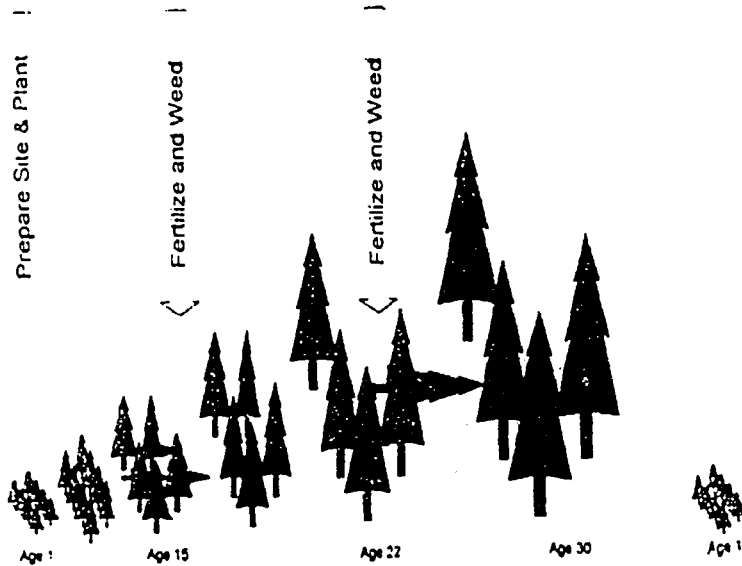


그림 3. 육림의 한 사이클[15]

- ③ 평균잡아 이들 세 공장의 총 시설 탄소 배출량 (구입 전기에 의한 탄소 포함)의 70%가 biomass fuel (bark 또는 목재잔재물)로부터 야기된다. 이는 우리의 비재생화석연료 (non-renewable fossil fuel)의 소비를 크게 감소시킨다.
- ④ 산림의 가지나 뿌리로부터 야기된 배출량은 총탄소 배출량의 평균 32%를 나타낸다.
- ⑤ 총 탄소 배출량의 다음으로 큰 요소는 흑액 (black liquor)의 연소로 야기되며 그 율은 총탄소 배출량의 평균 25%이다.
- ⑥ 종이 생산은 많은 양의 에너지를 소비할지라도 이들 시설들에 대한 직접 연료에 의한 배출량의 비는 10~23%의 범위에 있으며 평균 15%이다.
- ⑦ 산림 조성 및 관리에 사용된 에너지로부터 야기된 배출량은 총 탄소 배출량의 평균 2.3%에 불과하다.
- ⑧ 산림을 수확하여 수송하는데 사용된 에너지로부터 야기된 배출량은 총 탄소 배출량의 평균

표 18. IP사의 3개 공장에 대한 탄소 흡수/배출 수치 결과

- 진 성장 (net growth) : 3,905천 MTC	* 계산에 포함되지 않은 부분
- 배출량 (emissions)	- 소비후 재활용 : 407천 MTC
부패 (decay) : 1,212천 MTC	- 매립지에 잔여량 : 192천 MTC
생물연료/제품 배출량 : 1,189천 MTC	- Silvichemicals : 67천 MTC
화석연료/동력 : 632천 MTC	총 계 : 666천 MTC
총 계 : 3,033천 MTC	
- 진 흡수 (net sequestration) : 872천 MTC	
- 흡수비 (sequestration ratio) : 1.3 (= 3,907천/3,033천)	

1.7%에 불과하다.

㉑ 구입 전기를 발전하는데 소요된 에너지에 의하여 야기된 배출량은 총 탄소 배출량의 평균 2.0%에 불과하였다.

3개 선정 공장에 대하여 탄소 흡수 및 배출 수지를 종합적으로 정리하면 표 18과 같다.

국내 살균팩에 대하여 산출한 LCI의 자료인 표 10과 표 11로부터 흡수비와 흡수된 진 탄소량을 계산해 보면 다음과 같다.

30% 재활용 : $18,270g - \text{bio C}/10,493g - C = 1.74$

$$(18,270 - 10,493)g - C/8,600 * 1/0.908 = 0.996 \text{ MTC/BDTP}$$

80% 재활용 : $18,270g - \text{bio C}/11,965g - C = 1.53$

$$(18,270 - 11,965)g - C/8,600 * 1/0.908 = 0.807 \text{ MTC/BDTP}$$

따라서 미국의 자료보다는 낮은 값을 얻었다. 본 연구에서는 소용량인 200ml용기를 기준으로 평가한데 그 원인이 있다고 본다.

V. 결 론

우유 포장용기의 환경성 비교를 위하여 국·내외 우유용기의 사용량과 우유용기 폐기물의 발생량, 우유용기 폐기물의 처리·재활용 현황을 조사 분석하였다. 기존 우유용기 폐기물에 대하여 물성조사와 정성적인 평가를 추진하였다. 또한 전 과정 평가 기법에 대하여 소개하고 종이팩과 유리병에 대하여 전 과정 평가의 예를 들어 고찰하였다. 종이팩의 경우 전 과정 평가를 위한 Inventory (LCI)를 작성하기 위하여 현장을 직접 방문하였다. 모든 자료를 수집하고 이들 자료를 이용하여 살균팩에 대한 LCI를 얻었다. 유리병의 경우 현재 사용되지 않기 때문에 현장조사는 할 수 없어 과거와 외국의 자료를 참고로하여 현실과 접목시켜 LCI를 얻었다. 특히 지구온난화 문제 차원에서 카톤팩에 대한 전 과정에서의 탄소 수지를 소개하였다. 이들 사항들을 요약하여 아래와 같은 결론을 내리고자 한다.

1. 우리 나라는 1960년부터 우유병을 최초의 우유용기로 사용하였고, 그 후 폴리팩 등장 (1972년), 테트라팩 등장 (1972년), 카톤팩 등장 (1977년)으로 여러 가지 용기를 혼용하다가 1989년부터는 우유병 시유생산이 전면 중지되었다. 현재는 용량기준으로 약 96%의 종이팩과 약 4%의 PE용기 및 폴리팩을 우유용기로 사용하고 있다.
2. 우유제품의 유통 점유율은 1998년의 경우 총생산량의 17.7%를 학교, 군부대, 병원이었고, 36.0%가 가정과 직장에 주문 배달이었으며 나머지 (46.3%)는 상점의 자유거래이었다. 따라서 유통거리는 수십km에서 일천km의 광범위한 영역을 점하고 있어 수송거리가 평균 100 km 이상이다.
3. 1998년의 우유용 종이팩 사용량은 55,200톤 (약 38억개)로 이 모든 양이 종이팩 폐기물로 발생하였다고 판단된다. 개수로 살균팩이 93.6%, 멸균팩이 6.4%이었고, 200ml가 71.1%, 1000ml가 14.5%, 500ml가 13.7%이었다. 종이팩 총 사용량 (우유 + 기타 음료)은 61,100톤

으로 전체 종이 소비량의 0.92%에 해당되는 적은 양이다.

4. 1998년의 우유용기용 종이팩 폐기물의 1일 발생량은 151톤이고 이는 1일 생활폐기물 발생량 44,600톤의 0.34%에 해당한다. 1995년 자료로 비교하면 종이팩 폐기물 발생량은 지류 포장폐기물 발생량의 1.8%, 전체 포장폐기물의 1.1%이었다.
5. 폐기물 회수·처리 비용 예치금 제도 (1992년 도입)에 의한 예치금 반환율이 종이팩의 경우 9.1%로 금속캔 82.5%, 유리병 40.5%, PET병 66.7%에 비하여 낮은 편이다. 이는 종이팩의 재활용이 잘 되지 않았기 때문이 아니라 종이팩의 분별의 곤란, 반환조건 및 반환절차의 까다로움 등 폐기물 회수·처리 예치금제도 자체의 결함에 기인된다고 판단한다. 본 연구에서 조사한 바에 의하면 종이팩만 분리 배출되는 외 일반 종이 폐기물 속에 함께 혼합 배출되는 것이 약 80%가 되어 전체 약 90%가 재활용된다고 판단된다.
6. 우유용기 폐기물의 재활용에는 물질회수와 열회수가 있다. 물질회수에는 재생화장지 제조, 일반종이 제조, 성형물 제조, 퇴비화 등을 고려할 수 있으나 현재 국내에서는 재생화장지나 일반종이 원료로 주로 이용되므로 다변화를 위한 기술 개발을 추진하여야 할 것이다. 회수에도 재래식 소각/열회수에서 RDF제조/고효율 발전 시스템으로 한 차원 높여야 한다. 이것이 종이팩 용기를 유리병으로의 전환에 앞서 추진하여야 할 과제이다.
7. 우유용기 폐기물의 물성은 다음과 같다.
 - ① 겉보기 밀도의 평균치는 카톤팩 35 kg/m³, 테트라팩 38 kg/m³, PE병 47 kg/m³, 유리병 676 kg/m³이었고, 종이팩의 경우 쉽게 압착이 되어 겉보기 밀도가 크게 증가하였다.
 - ② 삼성분 분석치는 카톤팩의 경우 가연분 97%, 수분 및 회분 3%, 테트라팩의 경우 가연분 89%, 회분 8%, 수분 3%, 플라스틱 용기의 경우 가연분 99%이상, 유리병의 경우 회분 거의 100%이었다.
 - ③ 평균 발열량은 카톤팩 5,560 kcal/kg, 테트라팩 5,470 kcal/kg으로 종이에 비하여 약 1,000 kcal/kg 정도 높고, 플라스틱 용기는 10,190 kcal/kg의 높은 값을 나타내었다. 따라서 이들 우유 용기는 소각/열회수 시스템의 운영에 큰 도움이 될 수 있다고 평가된다.
8. 국내 우유용기의 구성 성분별 조성은 카톤팩의 경우 용량에 따라 약간의 차이가 있고, 200ml기준 펄프 86%, PE 14%이다. 테트라팩의 경우 펄프 75%, PE 20%, 알루미늄 5%로 되어 있고, HDPE병의 경우 HDPE 92%, LDPE 5%, 종이 3%로 되어 있다. 유리병은 과거 200ml기준 약 250g을 나타내나, 선진국의 경우 경량화를 크게 달성하였다. 카톤팩의 경우 1998년부터 경량화를 시도하였으며, 200ml 용기 3.9%, 500ml 용기 6.8%, 1000ml 용기 9.5% 경량화 시켰다.
9. 전 과정 평가는 목적 및 범위의 설정, 목록분석, 영향평가, 개선평가로 구성되어 있으며 이 가운데 목록분석과 영향평가가 가장 핵심이다. 목록분석은 객관적이어야 하며 공정(과정)별 시스템 경계를 정한 후 공정별 에너지·물질자원 소비량, 환경(수질, 대기, 지구환경 등)에의 영향, 고형폐기물 발생량을 정량화한다. 이 내용이 ISO 14040 (1997년)으로 체계화되었다.
10. 미국은 1995년부터 지속가능한 육림 (Sustainable Forest)을 추진하고 있고, 이는 식종, 이식, 양육, 간벌, 수확순으로 계획재배가 이루어지며, 그 주기를 25년으로 하여 이식 후 15

년에 1차 간벌, 22년에 2차 간벌하며 이들 간벌된 목재도 유효하게 이용된다. 간벌을 해주므로 수림밀도를 조절하여 남은 나무의 성장을 촉진한다.

11. 전 세계적으로 종이 (paperboard) 제조에 사용된 나무는 목재 생산량의 약 15%를 차지하고 이 가운데 카톤팩에 사용되는 종이는 약 2%이다. 즉, 카톤팩 제조에 사용된 목재는 총 목재 생산량의 0.3%인 셈이다. 또한 종이 제조용 목재의 66%는 직접 목재로, 나머지 34%는 목재 가공산업의 잔여물로 공급하고 있으므로 카톤팩에 사용된 목재는 원목 소비량의 0.2%인 셈이다.
 12. 우리 나라의 1998년도 종이팩원지 수입액은 6235만 8천 달러로 국내 총 수입액 933억 달러의 약 0.067%에 해당하는 적은 액수로 이의 수입을 문제삼는 것은 국제무역상 무리이다. 더욱이 이는 펄프 수입액 3억 6186만 3천 달러의 약 17%에 해당하며 고지 수입액 1억 890만 4천 달러보다도 훨씬 적은 액이다. 따라서 국내 종이팩 수요량인 약 60,000톤을 위하여 원목을 수입하여 카톤원지를 제조하기 보다는 원지를 수입하여 사용하는 것이 환경적으로나 경제적으로 유리하다고 판단된다.
 13. 살균팩과 유리병 우유용기에 대하여 전 과정 평가를 실시하였다. 살균팩의 경우 200ml용량 (무게 10g, 현재), 유리병의 경우 200ml용량 (245g, 과거자료) 각각 1,000개를 평가 대상으로 하였다. 그 주요변수와 LCI분석 결과는 다음과 같다.
 - 살균팩 : ① 30% 재활용, 나머지 폐기물 10% 소각, 90% 매립
② 80% 재활용, 나머지 폐기물 10% 소각, 90% 매립
 - 유리병 : ① 회전수 10회 (90% 회수율)
② 회전수 20회 (95% 회수율)
 - 수송거리 : 왕복 100km, 200km, 400km
- 1) 구체적인 LCI자료를 나타내었다.
 - ① 살균팩의 경우 모든 환경항목이 원지 제조가 가장 높은 비중을 차지하였다.
 - ② 재활용율이 증가할수록 에너지 소비량과 지구온난화가스 배출량이 증가하였다.
 - ③ 유리병의 경우 환경항목에 따라 큰 차이를 보여 에너지 소비량과 지구온난화 가스 배출량은 세병/충전 과정이, NO_x의 경우 제품 수송 과정이, SO_x의 경우 신병 제조 과정이 가장 큰 비중을 차지하였다.
 - 2) 총 환경부하를 우유 1L를 기준으로 환산하여 나타내었다.
 - ① 전과정평가 자체의 목적은 제품 비교 우위를 가리는 것이 아니라는 전제하에서 비교하면 두 제품 모두 모든 항목이 조건에 따라서 상당한 범위 내에서 달라질 수 있다는 것을 분명히 한다. 살균팩이 재사용 유리병보다 덜 환경친화적이라는 생각은 잘못이다.
 - ② 유리병의 경우 재생불가능한 무기 자원이 73.1g/L (10회 사용)이 소요되고, 살균팩의 경우 재생 가능한 원목이 133g/L 소요된다.
 - ③ 물 소비량은 살균팩의 경우가 유리병보다 약 40% 더 소요되나 살균팩의 경우 일반 지표수의 사용이 90%이나 유리병의 경우 깨끗한 지하수가 80%를 차지한다. 살균팩의 경우 물 사용의 대부분을 원지 제조 공정이 차지한다. 재생지 제조 과정에 사용되는 물과 유리병 세정과정에서의 물의 양을 비교하면 200ml용량 기준 62.5ml : 1,000ml이

다.

- ④ 가성소다 소요량은 재생지 제조 과정이 세병 과정보다 오히려 적게 사용된다.
- ⑤ 우유용기 사용후 유리병의 경우 재사용병과 유리원료인 카레트가 얻어지고, 살균팩의 경우 재생화장지와 전기가 얻어진다. 따라서 조건에 따라 차이가 있으나 최종 처리하여야 할 폐기물의 양은 적다.
- 3) 환경부하에 가장 큰 영향을 미치는 것이 제품의 무게와 수송거리이다. 수송거리는 변경이 곤란하나 환경친화적 자동차 개발로 감소시킬 수 있다고 본다. 제품의 무게는 지속적인 연구 개발로 이를 수 있다.
- 4) 어느 용기나 소비자들이 사용후 이물질을 넣지 않고 깨끗이 분리 배출시켜 주는 것이 환경부하를 줄이는데 크게 기여한다. 이는 교육과 의식운동을 통하여 이를 수 있다.
- 5) 살균팩의 경우 에너지 회수를 포함한 재활용의 다변화를 기하고 재활용 기술 개발로 환경부하가 줄이고 분리효율을 높여야 한다.
- 14. LCI자료를 근거로 흡수비 (g-bioC/g-C)와 흡수된 진탄소량을 계산한 결과 30% 재활용할 경우 1.74, 0.996MTC/BDTP, 80% 재활용할 경우 1.53, 0.807MTC/BDTP를 각각 얻었다. 이는 미국에서 얻어진 값보다는 다소 낮았는데 이는 200ml용량 (소용량)을 기준으로 한데 있다고 생각된다.
- 15. 우유용기의 향후 동향을 정확히 예측하기는 어려우나 지금까지의 상황으로 평가하면 대부분의 국가가 종이팩과 유리병의 확대 사용은 자제하고 대용량과 재사용이 가능한 플라스틱 용기의 비율이 높아질 전망이다. 유리병의 감소폭은 더욱 두드러질 것이다. 우리나라의 경우도 국제적인 흐름과 같이 플라스틱의 용기 사용 비율이 약간 높아질 것으로 예상되나 현재 국내에서 재활용율이 가장 낮은 점과 환경호르몬 대상물질 용출 등으로 급속한 신장은 자제할 필요가 있다고 판단된다.

VI. 참고문헌

- 1. 음료포장용기재사용화 확대를 위한 공청회, 1998. 9. 10.
- 2. 대한매일, 우유병사용 서명운동, 1999. 8. 25.
- 3. 환경부, 유리병사용 권고 공문, 1999. 7.
- 4. 심재곤, 폐기물 재활용 정책방향, 폐기물재활용제도의 문제점과 개선대책에 관한 정책토론회, P.11, 1999. 5. 20.
- 5. 한국자원재생공사, 우유용기별 환경성, 경제성, 위생성, 안전성 비교연구, 1999. 6.
- 6. 환경부, 국가폐기물관리종합계획. (1996).
- 7. 환경부, 환경백서, 1996., 1997., 1998., 1999.
- 8. 한국식품개발연구원, 한국자원재생재활용협회, 우유포장용기의 환경성, 품질안전성, 위생성 및 경제성 비교, 2000. 2.
- 9. Chung, M. S. and Eppich, J. : Solid Waste Management Alternatives and Quality Problem, Korea - Germany Joint Seminar on Waste Recycling Technologies, Q-1, April (1994).

10. 김영창, 전력부분의 이산화탄소 저감대책 및 대체에너지 개발 계획, International Symposium on Climate Change and Alternative Energy Development for Korea, P.289, June (1999).
11. 日本生活協同組合, 醬油, 牛乳, 麥耐容器的 Life Cycle 分析, 1998. 3.
12. Norske Meierier, Life Cycle Analysis of Various Packing System for Consumer Milk Products (1994).
13. 정태학, 정관섭. : 종이팩과 유리병 우유용기의 경제성, 환경성 비교, Korea Dairy Techn., 17 (2), 131 (1999).
14. Stefan Schmidt, Oekobilanz fuer Getrenkeverpackungen, FachgebietIII, Umweltbundesamt, Berlin(1995).
15. Bez, J. and Heyde, M. : Life cycle analysis for 1-litre fresh milk sales packaging: returnable glass bottles and single-use beverage cartons, May (1996).
16. Bez, J. and Goldhan, G. : Life cycle assessments for the packaging systems: cartons (gable-form), cartons (block-form) and refillable glass bottles, each with 1 litre volumes, for the packaging and distribution of fresh milk, March (1999).
17. DSD aktuell, Bundesrat Passes Amendment of German Packaging Ordinance - The Keyoints, June 2, (1998).
18. American Forest & Paper Association (AF&PA), Sustainable Forest - Principles and Implementation Guideline, December (1995).
19. AF&PA, Sustainable Forest - Best Management Practices to Protect Water Quality(1996).
20. AF&PA, Sustainable Forest - Reforestation : Growing Tomorrow' s Forests Today (1998).
21. M. Metcalf, Forest Management of IP (1999).
22. Young, R. J., Tonelli, J. P., Cote, W. A. and Row, C. : A Study of Carbon Sequestration at Integrated Pulp and Paper Mills, April(1999).
23. 한국은행 통계자료 (1999).
24. Korea International Trade Association, Korea's foreign trade-annual report (1999).
25. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, On-Farm Composting Handbook. June (1992).
26. King, L. W. : A Technical Study of MSW Composting and The Effect of Disposable Paper Diapers, P & G (Cincinnati), September (1991).
27. Golden NRG, LLC, d-RDF 제조/소각 발전 시스템 자료 (1999).
28. ISO/TC207/SC5/WG1, LCA General Framework (1994).
29. Ecoblance Inc., Bleached Paperboard Products LCI, October (1995).
30. International Paper and The Sustainable Forestry InitiativeSM Program, Sustaining Our Forest, Sustaining Our Future (1999).
31. IP, 1998-1999 Environment, Health & Safety Annual Report (1999).
32. IP, the ECF vs. TCF debate (1999).
33. Fahrbach, G. : Recycling of Plastic Packagings, Korea - Germany Seminar on Environmental

- Technology, November 30 (1999).
34. DSD AG, Info-Grafik, Recycling instead of incineration, May (1999).
 35. ibid, Green Dot licence fees, April (1999).
 36. DSD AG, SORTechnology 3.0, November (1999).
 37. DSD AG, Info-Grafik, Packaging recycling worldwide, August (1998).
 38. 환경부, 일본의 밀레니엄 프로젝트의 추진 내역, 국제환경동향, 제 20 호, P.12, (1999). 12.
 39. Fachverband Kartonverpackungen fuer fluessige Nahrungsmittel e.V. (FKN), Questi and answers on life cycle assessments, May (1999).
 40. Robertson, G. L. : Chiptec Most Viable Recycling Option for Asia, First Light, P.1, October (1999).