



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위 청구논문  
지도교수 전 의 찬

전과정평가기법을 활용한 미네랄페이퍼의  
탄소발자국 연구

세종대학교 대학원

기후변화협동과정

김 병 직

석사학위 청구논문  
지도교수 전 의 찬

전과정평가기법을 활용한 미네랄페이퍼의  
탄소발자국 연구

Carbon Footprint analysis of Mineral Paper using LCA  
method

세종대학교 대학원  
기후변화협동과정  
김 병 직

석사학위 청구논문  
지도교수 전 의 찬

# 전과정평가기법을 활용한 미네랄페이퍼의 탄소발자국 연구

Carbon Footprint analysis of Mineral Paper using LCA  
method

이 논문을 석사학위청구논문으로 제출합니다.

2012.12

세종대학교 대학원  
기후변화협동과정  
김 병 직

이 논문을 김병직의  
석사학위 논문으로 인준함.

2012.12

심사위원장	(인)
_____	_____
심사위원	(인)
_____	_____
심사위원 (지도교수)	(인)
_____	_____

# 목 차

제 1 장 서 론 .....	1
제1절 연구의 배경 및 필요성 .....	1
제2절 연구의 목적 및 구성 .....	4
제 2 장 이론적 고찰 .....	5
제1절 전과정평가에 의한 탄소발자국 분석 .....	5
1-1 전과정평가 개요 .....	5
1-2 전과정평가 방법 .....	6
1-3 탄소발자국 분석 개요 .....	7
1-4 탄소발자국 분석 방법 .....	8
제2절 목재 펄프 인쇄용지 연구 .....	12
2-1 인쇄용지 개요 .....	12
2-2 인쇄용지 제조과정 .....	13
2-3 인쇄용지 환경영향 .....	16
제3절 미네랄페이퍼 연구 .....	16
3-1 미네랄페이퍼 개요 .....	16
3-2 미네랄페이퍼 제조과정 .....	17

3-3	미네랄페이퍼 종류 및 특성 .....	18
3-4	미네랄페이퍼 환경영향 .....	20
제4절	인쇄 소재 별 특성 비교 연구 .....	21
<b>제 3 장 연구 방법 .....</b>		<b>23</b>
제1절	기능단위 및 시스템 경계 설정 .....	23
제2절	미네랄페이퍼의 탄소발자국 데이터 수집 및 검증 .....	24
2-1	미네랄페이퍼 제조과정 및 물질수지 .....	24
2-2	투입 및 산출물 데이터 수집 .....	26
2-3	데이터 검증 및 누적질량기여도 분석 .....	27
2-4	배출계수 분석 .....	28
제3절	미네랄페이퍼의 탄소발자국 산정 .....	29
제4절	기능단위별 탄소발자국 비교 분석 .....	32
4-1	인쇄 소재 두께에 따른 탄소발자국 비교 분석 .....	32
4-2	인쇄 소재 판매단위에 따른 탄소발자국 비교 분석 .....	33
4-3	포스터 제작에 따른 탄소발자국 비교 분석 .....	33
4-4	쇼핑백 제작에 따른 인쇄 소재 탄소발자국 비교 분석 .....	36

제 4 장 연구의 결과 및 고찰 .....	39
제1절 미네랄페이퍼 탄소발자국 산정 결과 분석 .....	39
1-1 미네랄페이퍼 탄소발자국 산정 결과 .....	39
1-2 중량 단위에 따른 인쇄 소재 간 탄소발자국 비교 결과 .....	40
1-3 유통거점까지의 수송에 따른 탄소발자국 산정결과 .....	41
제2절 인쇄소재간 탄소발자국 비교 결과 분석 .....	42
2-1 인쇄소재 두께에 따른 탄소발자국 비교 결과 분석 .....	42
2-2 인쇄용지 판매단위에 따른 탄소발자국 비교 결과 분석 .....	43
2-3 포스터 제품 제작에 따른 탄소발자국 비교 결과 분석 .....	44
2-4 쇼핑백 제작에 따른 탄소발자국 비교 결과 분석 .....	45
제 5 장 결 론 .....	46
참고문헌 .....	49
ABSTRACT .....	52



## 표 목 차

표 2-1	전과정평가 구성요소	7
표 2-2	탄소발자국 분석 구성요소	11
표 2-3	미네랄페이퍼의 제품별 특성	19
표 2-4	미네랄페이퍼의 환경영향(인쇄용지 대비)	20
표 2-5	인쇄 소재 간 물성 및 성능 비교	22
표 3-1	비교 관점 별 기능단위	23
표 3-2	투입 및 산출물 통합 목록표	27
표 3-3	누적질량기여도 분석 결과	28
표 3-4	적용 배출계수	29
표 4-1	투입 및 산출물 별 온실가스 배출량 및 총합	39
표 4-2	단계별 온실가스 배출량	40
표 4-3	인쇄소재간 배출계수 비교	41
표 4-4	유통거점까지의 수송에 의한 배출량	41
표 4-5	인쇄용지 종류별 평량에 따른 두께 측정치	42
표 4-6	두께단위에 따른 온실가스 배출량 비교	43

표 4-7	국전·46전, 1연당 온실가스 배출량 비교 .....	44
표 4-8	포스터 제작 시 소재 별 온실가스 배출량 비교 .....	45
표 4-9	쇼핑백 제작에 따른 소재별 온실가스 배출량 비교 .....	45

## 그림 목 차

그림 2-1	제품의 성격에 따른 시스템 경계 .....	9
그림 2-2	LCI 데이터 수집 .....	10
그림 2-3	화학펄프 제조공정 .....	14
그림 2-4	화학펄프 인쇄용지 제조과정 .....	15
그림 2-5	미네랄페이퍼 제조과정 .....	18
그림 3-1	미네랄페이퍼 공정도 및 물질흐름 .....	25
그림 3-2	인쇄용지 쇼핑백 제작공정 .....	37

## 논문요약

# 전과정평가기법을 활용한 미네랄페이퍼의 탄소발자국 연구

인간 활동에 의한 온실가스 배출은 지구온난화에 주요한 원인이다. 제품의 생산, 사용, 폐기에 의한 총 온실가스 배출을 일컫는 『탄소발자국(Carbon Footprint)』에 대한 사회적 관심과 이를 줄이려는 노력이 증대하고 있다. 이에 본 연구에서는 탄산칼슘을 주원료로 하는 인쇄소재인 미네랄페이퍼의 탄소발자국을 『전과정평가기법(LCA: Life Cycle Assessment)』을 활용하여 분석하였고 미네랄페이퍼의 탄소발자국을 기존의 인쇄 소재인 목재 펄프 인쇄용지, 플라스틱 필름과 중량단위, 두께단위, 판매단위, 완제품단위의 기준에 따라 비교 분석 하였다. LCA를 활용한 분석은 한국 탄소발자국 인증 지침에 따랐으며 사용과 폐기 단계를 제외한 제조전단계와 제조단계를 연구 범위로 하였다. 연구 데이터는 현장 데이터를 우선으로 하였으며 현장 데이터가 없을 시에는 계산과 공인데이터인 대한민국 『전과정평가목록(LCI: Life Cycle Inventory)』 데이터 등을 사용하였다.

연구 결과, 미네랄페이퍼의 온실가스 배출계수는  $0.81\text{kgCO}_2\text{eq/kg}$ 이었다. 전체 온실가스 배출에서 전기 사용에 의한 배출이 45.85%로  $0.371\text{kgCO}_2\text{eq/kg}$ 이었으며 원료물질인 고밀도폴리에틸렌(HDPE)에 의한 배출이 42.87%로  $0.347\text{kgCO}_2\text{eq/kg}$ 이

였다. 중량단위에 따른 온실가스 배출량을 비교한 결과 미네랄페이퍼, 인쇄용지, 폴리비닐클로라이드(PVC), 폴리프로필렌(PP), 고밀도폴리에틸렌(HDPE) 순으로 배출량이 낮았다. 두께단위에 의한 비교 결과, 미네랄페이퍼와 백상지가 비슷한 수준으로 가장 낮은 수준이었으며 스노우지, PP, 아트지, PVC, HDPE 순으로 배출량이 낮았다. 미네랄페이퍼와 인쇄용지를 비교한 판매단위에 따른 비교 연구 결과, 미네랄페이퍼가 인쇄용지에 비해 낮은 온실가스 배출량을 보였으며 완제품인 포스터, 쇼핑백 제작에 따른 온실가스 배출량 비교 결과, 포스터 제작 시 미네랄페이퍼가 인쇄용지에 비해 온실가스 배출이 낮았고 쇼핑백 제작 시에는 미네랄페이퍼, 인쇄용지, HDPE 모두 비슷한 배출량 수준이었으나 라미네이팅(Laminating) 가공 시에는 인쇄용지가 가장 높은 배출량을 보였다,

이러한 결과를 종합해 보았을 때, 미네랄페이퍼는 중량단위, 두께단위, 판매단위, 완제품 단위의 탄소발자국 비교 결과 대체적으로 인쇄용지, 플라스틱 필름에 비해 낮은 수준의 온실가스 배출을 하였다. 미네랄페이퍼의 탄소발자국 저감을 위해서는 제품 완성 수율을 높이고 친환경 에너지 사용을 통해 에너지 사용에 의한 환경부하를 줄이고 원료물질인 HDPE를 대체 할 수 있는 좀 더 환경 친화적인 소재에 대한 검토가 필요하다.

**주제어 : 미네랄페이퍼(Mineral Paper), 탄소성적표지, 환경영향평가, 전과정평가(LCA:Life Cycle Assessment), 탄소발자국(Carbon Foot Print)**

# 제 1 장 서 론

## 제1절 연구의 배경 및 필요성

인간 활동에 의한 온실가스 배출은 증가 하고 있으며 이로 인한 지구 온난화는 가속화되고 있다. 기후 변화에 관한 정부 간 패널(IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change) 보고에 따르면 2005년 이전 50년간의 지구 평균 기온의 상승은 이전 100년간에 비해 2 배에 달할 정도로 빠르게 진행 되고 있다. 이러한 지구 온난화로 인한 지구 온도의 변화는 해수 온도 및 해수면의 상승, 해빙의 감소, 열파의 증가 등을 일으키고 있으며 이로 인해 자연생태계는 물론 인간 활동 전반에 걸쳐 광범위하게 영향을 주고 있고, 추가적인 기온 상승으로 인해 그 영향은 증가할 것으로 예상되고 있다.

지구온난화를 막기 위한 국제 사회의 노력은 1972년 스웨덴 스톡홀름에서 개최된 『인간 환경에 관한 유엔 총회(United Nations Conference on the Human Environment)』 에서 논의가 시작되어, 1992년 유엔 기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC)과 1997년 교토 의정서가 채택되면서 일차적으로 완성되었다. 그 후 2007년 발리 행동 계획과 2010년 칸쿤 합의를 거치면서 2012년 이후 기후체제에 관한 협상이 진행 중이다(박홍경, 2012).

이러한 국제사회의 온난화를 막기 위한 노력은 우리나라도 예외가 아니다. 2009년 녹색성장위원회가 발표한 『녹색성장(산업) 주요 추진전략』 에 의하면, 우리나라

는 2007년 에너지 부문 이산화탄소 배출량 기준으로 경제협력개발기구(OECD: Organization for Economic Cooperation and Development) 국가 중 세계 9 위의 온실가스 배출 국가이며 제조업 중심으로 경제성장을 지속하여 왔기 때문에 온실가스 배출량이 급격히 증가하여 1990 ~ 2005년간 온실가스 증가율이 경제협력개발기구 국가 중 가장 높은 것으로 나타났다. 이러한 상황을 인식하고 능동적으로 대처하고자 우리나라는 2020년까지 2005년 대비 온실가스를 4% 감축하겠다는 국가 목표를 설정하였다. 이에 따라 『저탄소녹색성장기본법』이 2010년 발효되었으며, 동법 시행령에 따라 일정량 이상의 온실가스 배출 기업이나 개별 사업장에 온실가스 배출 감축의무가 부과되는 온실가스의무 감축제가 도입 되는 등 다양한 노력을 하고 있다. (이창석, 2011)

온실가스감축을 위한 노력은 이 밖에도 제품의 온실가스 배출량 정보를 공개함으로써 저탄소 제품의 생산 및 소비를 유도하는 방안도 시행되고 있다. 이에 대한 일환으로 우리나라에서는 1992년부터 동일 용도의 제품 가운데 생애 주기 전 과정에 걸쳐 에너지 및 자원의 소비를 줄이고 오염물질의 발생을 최소화 할 수 있는 친환경제품을 선별해 정해진 형태의 로고와 간단한 설명을 제품에 표시토록 하는 환경표지 제도와 제품 생애 주기 전 과정에 걸쳐 발생하는 온실가스 배출량을 정량적으로 산정하여 공개하는 탄소배출량 인증제도가 2009년부터 시행되고 있고 2011년부터는 탄소배출량 인증을 받은 제품 중 저탄소제품 인증기준을 충족하는 경우 인증을 부여하는 저탄소제품 인증 제도가 시행되고 있다.

이러한 추세에 따라 인쇄 산업에서도 친환경 제품 사용에 대한 요구가 증가하고 있다. 특히, 대표적인 인쇄 소재인 목재 펄프 종이는 벌목으로 인한 삼림파괴와 제조 과정에서의 대량의 에너지 사용, 표백제 사용에 의한 환경피해 등으로 인해 환경에 유해한 산업으로 인식되고 있고 플라스틱 필름은 폐기 시 분해기간이 오래 걸리고 일부 제품에서는 인체에 유해한 환경호르몬을 유발하는 것으로 추정되고 있는 상황에서 인쇄 소재의 환경 친화성 개선은 시급히 해결해야 할 과제이다.

친환경 인쇄 소재를 표방하는 제품들로는 산림관리협의회(FSC: Forest Stewardship Council) 인증, 탄소성적표시, 그린라벨 등의 인증제품과 재생지 및 재생 펄프를 일부 사용하여 제작된 아트지 제품 등이 출시되고 있다. 최근에는 기존의 펄프 종이에 비해 환경 친화적이라고 주장되는 탄산칼슘, 코끼리 똥, 우뭇가사리 등을 주요 소재로 하는 특수지 그리고 플라스틱 필름에 비해 환경 친화적이라고 주장되는 옥수수, 사탕수수 전분을 원료로 하여 미생물에 의해 분해가 촉진되는 생분해성 플라스틱(Biodegradable Plastic) 필름이 개발되어 사용되고 있다.

그러나, 친환경 제품을 표방하는 이러한 인쇄 소재들에 대한 정량적이고 포괄적인 환경영향평가는 많이 미흡한 실정이다. 탄소성적 등 인증을 취득한 인쇄 소재의 수가 제한적이고 환경 영향에 대한 서로 다른 평가기준을 사용하고 있으며 제품 특성 일부분의 환경 우수성만을 강조하는 자의적 주장도 비일비재한 실정이다. 이러한 상황은 소비자의 친환경제품 선택과 생산자의 친환경 제품 개발 및 제품의 환경 부하 개선 노력 등에 혼선을 주고 있다. 이에 본 연구는 전과정평가기법을 통해 미세탈폐이퍼의 탄소발자국을 포괄적이고 정량적으로 연구하고자 한다.

## 제2절 연구의 목적 및 구성

본 연구의 목적은 미네랄페이퍼의 탄소발자국을 포괄적이고 정량적이며 비교 가능한 평가 방법인 전과정평가(LCA: Life Cycle Assessment) 기법을 통하여 분석하고 이를 기존 인쇄 소재인 목재 펄프 인쇄용지, 플라스틱 필름과 중량, 두께, 판매, 완제품 단위의 다양한 기준에 따라 비교 평가하는 것이다.

본 연구에서는 환경영향 평가 방법으로 전과정평가(LCA) 기법이 사용되었다. 환경 영향 평가는 자원고갈, 오존층고갈, 광화학산화물 생성, 산성화, 부영양화, 생태독성, 인간독성 등 여러 형태로 평가되어야 하겠지만 본 연구에서는 인쇄 소재 간 비교 목적을 감안하여 1차적으로 탄소배출량 분석을 중심으로 전과정평가기법을 기반으로 하는 우리나라의 탄소발자국 분석 기준인 탄소성적표지 인증 기준에 따라 분석 하였다. 비교 대상 인쇄 소재는 미네랄페이퍼와의 대체 사용 가능성이 높고 많이 사용되고 있는 목재 펄프 인쇄용지와 플라스틱 필름으로 하였다.

본 연구를 위해서 전과정평가기법과 탄소성적표지 인증 기준에 대한 연구가 이루어 졌고 분석 대상인 미네랄페이퍼와 목재 펄프 인쇄용지의 물성, 성능, 환경성에 대한 연구가 선행 되었다. 그리고 탄소발자국 분석 방법에 따라 미네랄페이퍼의 탄소발자국 분석이 이루어 졌으며 이 분석을 기반으로 기존의 목재 펄프 인쇄용지와 플라스틱 필름의 탄소발자국 분석 결과를 비교 분석하였다. 비교 분석은 비교 대상 소재가 서로 다른 원료 물질을 사용하는 것을 감안하여 중량 단위에 의한 비교뿐만 아니라 두께, 판매, 완제품 단위의 비교 단위에 의하여 분석하였다.



## 제 2 장 이론적 고찰

### 제 1 절 전과정평가에 의한 탄소발자국 분석

#### 1-1 전과정평가 개요

전과정평가란, 제품이 생산되어 폐기되기까지의 전 생애 주기(Cradle to Grave) 동안에 투입되는 자원 및 에너지와 배출되는 오염물질을 정량적으로 목록화 하고 이들이 환경에 미치는 잠재적 악영향을 체계적으로 평가하는 도구이다.

전과정평가는 1970년대 국제환경독성학회(SETAC: The Society of Environmental Toxicology and Chemistry)에 의해 그 기초가 설립되었고 1993년 국제표준화기구(ISO: International Organization for Standardization)에 의해 전과정평가에 대한 국제적 규격화가 이루어졌다. 현재는 ISO규격 14040, 14044, 14047, 14048, 14049 가 전과정평가 관련 규격으로 사용되고 있다.

전과정평가는 환경성적표지, 탄소성적표지 등의 환경성적 산출, 친환경 제품 개발, 지속 가능성 지표결과 산출 및 관리, 환경 정책 수립, 온실가스 배출량 산정 등 다양한 분야에서 환경 영향 평가 방법으로 사용되고 있으며 이를 수행하는 다양한 소프트웨어(GaBi, KCL-ECO, Simapro, TEAM 등) 가 개발되어 작업을 용이하게 하고 있다. 우리나라에서는 전과정평가 소프트웨어로 『토탈(Total)』 프로그램이 보급되어 있고 국가 전과정평가목록(LCI: Life Cycle Inventory) 정보망을 통해 각종 물질의 LCI 데이터 가 공개되고 있으며 환경성적표지와 탄소성적표지 등의 환경성적 산출 방법으로 전과정평가기법이 사용되고 있다.

## 1-2 전과정평가 방법

전과정평가는 목적 및 범위설정(Goal and scope definition), 목록분석(Life cycle inventory analysis), 영향평가(Life cycle impact assessment), 결과해석(Life cycle interpretation)의 과정에 따라 수행된다. 목적 및 범위 설정은 연구의 실시 이유, 보고대상자, 결과의 응용에 따른 연구의 목적과 범위를 설정하고 이에 따라 기능 단위와 시스템 경계를 설정하는 단계이다. 목록 분석은 제품 생산에 따른 원료 물질, 에너지 등의 투입물과 대기, 수계, 토양 등으로의 배출물(emission) 간의 흐름을 분석하고 관련 데이터를 수집하고 검증하는 단계이다. 영향평가는 인류가 보호해야 할 범주인 자원, 인간, 생태계에 끼칠 잠재적 환경영향을 평가하는 단계인데 분류화(Classification), 특성화(Characterization), 정규화(Normalization), 가중화(Weighting) 단계로 구성된다. 분류화는 목록분석의 결과를 환경영향범주(Impact Category)인 광물 및 에너지 자원 고갈, 지구온난화, 오존층파괴, 산성화, 인체독성, 부영양화, 광화학스모그, 생태독성, 사막화, 삼림파괴 등의 특성화된 범주로 분류하는 것이고 이를 토대로 각 범주별 잠재적 환경영향을 산정하는 것이 특성화이다. 정규화는 영향범주 지표결과에 대한 상대적 중요도를 규명하는 단계이며 가중화는 사회적 중요도를 감안하여 영향범주간의 중요도를 결정하는 단계 인데 정규화는 정규화 기준에 따라 결과해석의 의미가 달라지고 가중화는 가중화 인자에 따라 결과해석이 달라진다. ISO 기준에 따르면 영향평가의 절차 중 분류화와 특성화는 반드시 실행해야 하고 정규화와 가중화는 선택적으로 실행할 수 있다. 결과해석은 영향평가 결과에 대한 해석을 통해 환경개선 방안을 제시하는 것이다.

표 2-1 전과정평가 구성요소

구 성 요 소	내 용
목적 및 범위설정	-실시이유, 보고대상자, 결과의 응용 -목적 정의, 범위, 기능단위, 시스템경계 설정
목록분석	-대상에 대한 투입과 산출 정의 -투입물 및 산출물 목록 작성, 할당, 데이터 검증
영향평가	-목록분석 결과를 이용하여 환경영향 분석 및 평가 -분류화, 특성화, 정규화, 가중화.
결과해석	-목록분석, 영향평가의 결과 해석 -결과해석을 통한 환경개선

### 1-3 탄소발자국 분석 개요

본 연구에서의 탄소발자국(Carbon Footprint) 분석은 우리나라의 탄소성적표지 제 인증지침에 근거하여 실행하였다. 탄소성적표지제는 전과정평가를 기반으로 하는데 제품의 생산, 수송, 사용, 폐기에 이르는 모든 과정에서 발생한 온실가스 배출량을 정량화하여 표시하는 것이다. 국제표준화기구(ISO) 규정 상 의 전과정평가와 의 가장 큰 차이는 온실가스만을 그 대상으로 하기 때문에 영향평가에서 실행하는 분류화, 특성화, 정규화, 가중화 수행이 없다는 것이다.

탄소발자국 분석은 국제표준화기구 ISO CD 14067에 의해서 산정 기준이 규정 되어 있으며 우리나라의 탄소성적표지 인증 지침(Korea PCF), 영국의 PAS 2050, 일본의 Japan PCF 등과 같이 국가별 산정 기준도 있다.

탄소성적표지제 인증지침은 고려대상 온실가스를 이산화탄소, 메탄, 아산화질소, 수소불화탄소, 과불화탄소, 육불화황의 6대 온실가스를 포함한 교토의정서의 24개 온실가스로 하고 있으며 모든 온실가스 발생량을 이산화탄소 발생량으로 환산한 이

산화탄소 환산량(CO<sub>2</sub>eq)을 사용하고 지구온난화지수(GWP: Global Warming Potential)의 시간경계는 100년으로 한다.

#### 1-4 탄소발자국 분석 방법

탄소발자국 분석은 제품의 기능단위 및 시스템 경계 설정, 데이터수집, 데이터 품질 검증, 데이터 계산, 할당의 과정에 따라 구성된다(표2-2 참조). 각 과정을 살펴보면 기능단위는 탄소발자국 산정 기준 단위를 말하는데 제품의 성능을 기준으로 하며 시장에서 출시되는 제품의 단위가 명확한 경우에는 제품 판매 단위로 하나 그렇지 않은 경우에는 1kg 또는 1 ton 의 중량 기준을 사용할 수 있고 서비스와 같이 제품의 유형이 명확하지 않은 경우에는 1일 또는 1회 서비스 단위 등을 사용할 수 있다. 기능단위 설정은 탄소배출량 산정의 목적을 고려하여 설정하여야 한다.

시스템 경계는 제품제조전, 제품제조, 사용, 폐기의 제품 전 과정 중에서 분석의 범위를 말한다. 시스템 경계는 연구의 목적과 제품의 성격, 데이터 수집 가능여부 등에 따라 달라 질 수 있다. 인증 지침에 따르면 일반제품의 경우 원료 물질 채취 및 제조 공정과 1차 협력업체 생산제품 제조 공정을 포함하도록 하고 있으며 생산재, 에너지 비사용 내구재, 비 내구재, 서비스, 에너지 사용 내구재의 제품 성격에 따라 사용, 폐기 단계의 온실가스 발생 여부와 데이터 수집 가능 여부를 고려하여 사용, 폐기 단계의 시스템경계 포함여부를 결정 하도록 하고 있다. 제품의 성격에 따른 시스템 경계는 그림 2-1과 같다.

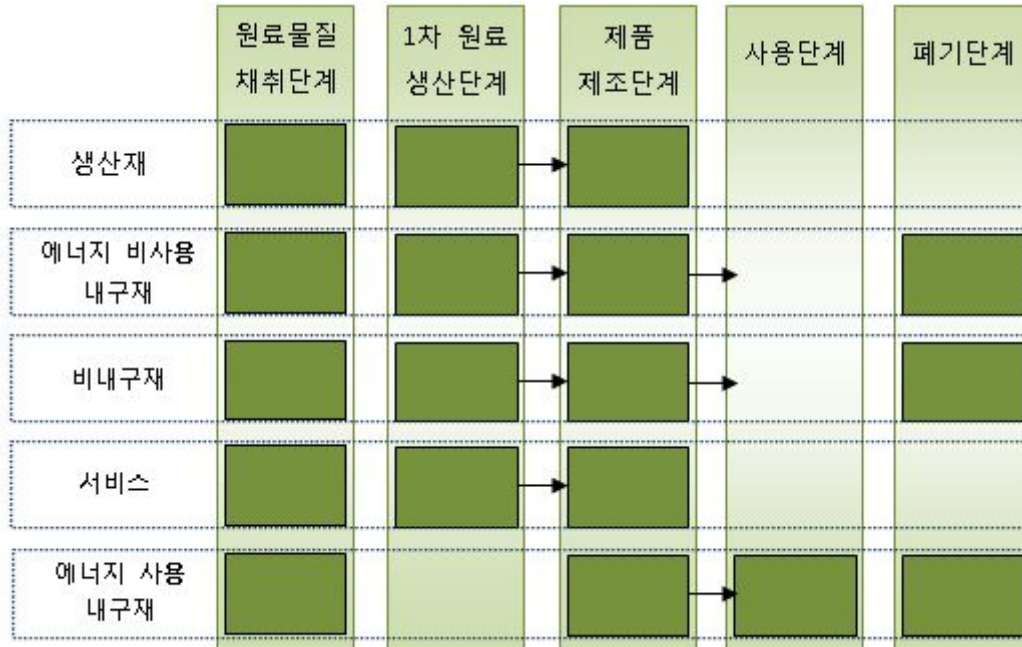


그림 2-1 제품의 성격에 따른 시스템 경계

데이터 수집은 시스템 경계내의 원료물질, 에너지, 수송 에너지의 투입물과 제품을 포함한 대기, 수계, 토양으로의 배출물(emission)의 산출물 데이터를 포함한다(그림2-2 참조). 생산 단계에서는 누적질량 기여도 95% 범위 내의 원료물질, 에너지 및 유틸리티 데이터와 화학반응이 일어나는 경우에는 화학반응 관련 데이터, 제품 출하 포장 데이터 등을 수집한다. 수송 데이터의 경우에는 1차 협력업체까지의 원료 수송, 사업장 내부 수송, 폐기 처리 수송 등을 제외한 사용 단계의 유통 거점까지의 데이터를 수집 한다. 이 밖에 자본재 설비 및 건물, 제품 생산과 직접 연관이 없는 소모품과 유틸리티 등은 수집대상에서 제외된다. 수집되는 데이터는 투입물과 산출물에 대하여 생산현장 또는 계산을 통하여 직접 관리되는 3년 이내의 1년 누적 평균데이터로 수집함을 원칙으로 한다. 데이터 수집은 현장데이터를 우선 적용하나

현장데이터가 없는 경우에는 해당 국가 공인 LCI 데이터, 해당 업계 평균 데이터, 유사 데이터 등의 순으로 우선 적용한다. 데이터가 복수일 경우 지역 및 시간적 유사성을 고려하여 데이터를 선정한다.

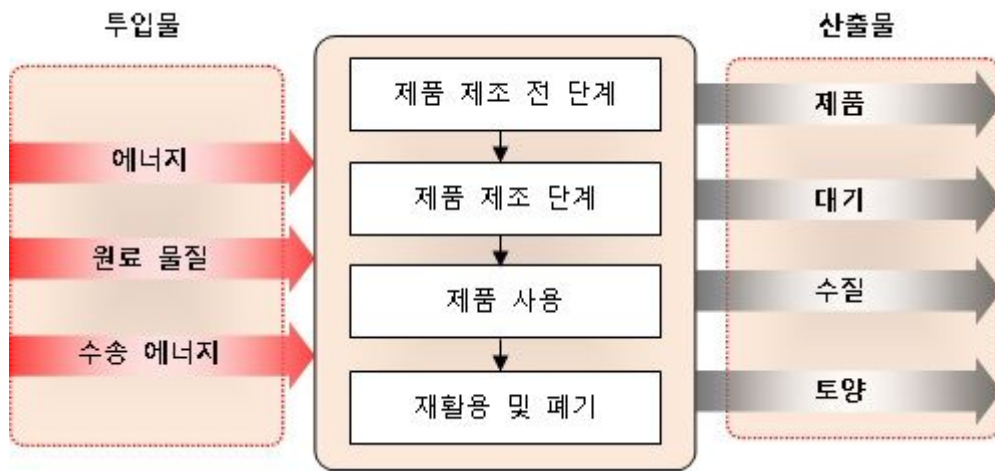


그림 2-2 LCI 데이터 수집

데이터 계산은 사업장 내부에서의 온실가스 배출원인 공정 중 반응에 의한 온실가스 직접배출, 연료 사용에 따른 온실가스 직접배출, 전기 사용에 따른 온실가스 간접배출 별로 계산되며 상·하위흐름 상의 온실가스 배출량은 원료물질 생산에 따른 온실가스 간접배출, 에너지원 생산에 따른 온실가스 간접배출, 수송과정에서의 온실가스 간접배출과 폐기과정에서의 온실가스 간접배출 별로 계산한다. 제품과 부산물 간의 환경부하량 분배는 무게비율을 기준으로 하나 무게비율 사용이 부적합한 경우 가격비율 등 적합한 기준을 선택하여 사용하도록 하고 있다.

표 2-2 탄소발자국 분석 구성요소

구 성 요 소	내 용
기능단위	<ul style="list-style-type: none"> <li>-탄소발자국 산정 단위.</li> <li>-시장 판매 단위, 중량 단위, 1일 또는 1회 단위.</li> <li>-분석 목적, 성능을 고려.</li> </ul>
시스템경계	<ul style="list-style-type: none"> <li>-분석 범위.</li> <li>-제품제조전, 제품제조, 사용, 폐기 단계.</li> <li>-온실가스 발생 여부, 데이터 수집 가능성에 따라 사용, 폐기 단계 포함여부 결정.</li> <li>-제품의 성격에 따라 시스템 경계 설정.</li> </ul>
데이터수집 및 품질	<ul style="list-style-type: none"> <li>-시스템 경계내의 투입물 및 산출물 데이터 수집.</li> <li>-현장데이터 최우선.</li> <li>-현장 데이터가 없을 경우 시간 및 지역적 유사성 고려, 공인데이터&gt;해당 업계 평균 데이터&gt;유사데이터.</li> </ul>
데이터계산 및 할당	<ul style="list-style-type: none"> <li>-배출원별 배출계수 및 사용량을 곱하여 계산.</li> <li>-수송 수단 및 거리 고려.</li> <li>-제품과 부산물간의 환경부하 분배.</li> <li>-무게비율, 가격비율 등에 따른 할당.</li> </ul>

## 제2절 목재 펄프 인쇄용지 연구

### 2-1 인쇄용지 개요

인쇄 소재는 인쇄를 하는 피 인쇄체라고 할 수 있으며 종이, 플라스틱, 금속, 유리, 나무, 면포 등 이 있다. 이 중 종이와 플라스틱은 가장 많이 사용되는 인쇄 소재이다. 종이는 인쇄용지, 신문용지, 특수지, 위생용지, 포장용지 등으로 분류 될 수 있는데 이 중 인쇄용지는 잉크의 흡수성, 평활도, 백색도, 불투명도, 표면강도, 내절도, 두께, 탄력성 등 인쇄에 적합한 인쇄적성을 갖춘 종이이다. 인쇄용지는 도공지, 비도공지, 미도공지, 박엽지, 정보지 등으로 분류 될 수 있으며 상업적 목적의 대량 인쇄에는 주로 도공지인 아트지와 비도공지인 백상지가 사용된다.

현대 제지술은 1904년 독일의 켈러가 나무를 이용한 쇠목 펄프를 발명하면서 나무를 이용한 종이의 대량생산의 기틀을 마련하였는데 이전 시대 인류는 파피루스, 닝마, 마섬유, 닥나무 껍질 등 다양한 원료를 통해 종이를 제작하였다. 종이의 대량생산은 종이의 대중화, 인쇄기술의 발전 등을 통해 여러 방면에서 인류문화 발전에 크게 기여하였다. 하지만, 목재 종이의 대량생산과 소비는 원료조달을 위한 대량의 벌목에 의한 산림파괴와 제조과정에서의 환경오염 문제를 유발하였다.

전 세계적으로 엄청난 양의 종이를 생산하고 소비하고 있는데 한국제지공업연합회의 자료에 따르면 2010년 전 세계적으로 약 393,900,000톤의 종이가 생산되었으며 이 중 인쇄용지는 약 110,216,000톤이 생산되어 138,507,000톤이 생산된 골판지 원지 다음으로 많이 생산되었다. 국가별로는 중국이 91,655,000톤으로 가장 많은 양의 종이를 소비하였고 다음으로 미국이 75,246,000톤을 소비하였으며 한국은 9,149,000톤의 종이를 소비하였다. 1인당 종이 소비량은 2010년 한 해 벨기에가 가장 많은 약 330.3kg을 소비하였으며, 이어 핀란드가 280.6kg을 소비하였고 한국인은 1인당



187.2kg의 종이를 2010년 한해 소비하였다. 우리나라는 종이의 주요 소비국이자 생산국인데 인쇄용지의 경우 2011년 한국은 3,278,415톤을 생산하고 2,203,297톤을 소비하였다.

## 2-2 인쇄용지 제조 과정

인쇄용지의 제조과정은 크게 펄프의 생산과 종이의 생산으로 나눌 수 있다. 펄프란 목재 또는 비목재의 섬유 원료로부터 추출해 낸 섬유의 집합체를 말하는데 대부분의 종이 제조용 펄프는 목재로부터 얻어진다. 펄프는 생산방식에 따라 기계, 화학, 반화학 펄프로 구분되는데 인쇄용지의 경우에는 목재 구성성분의 약 40 ~ 50%를 차지하는 셀룰로오스(Cellulose)만을 사용하는 화학펄프를 주로 사용한다.

화학펄프의 제조는 벌목된 나무를 작게 분쇄하여 칩의 형태로 만드는 펄프칩 제조, 펄프칩을 고온과 고압 속에서 황산염과 찌서 섬유성분을 분리해내는 섬유분리 공정, 분리된 섬유성분을 세정하여 펄프 이외의 수지성분, 약품, 나무껍질 등 불순물을 제거하는 세정 및 정선 공정, 갈색의 펄프를 백색으로 만드는 표백공정에 따라 이루어진다. 완성된 펄프는 고해 공정을 거치는데 고해 과정에서는 섬유를 두들기거나 잘게 부셔지도록 하여 표면의 섬유질이 깃털과 같은 상태가 되도록 하고 종이의 백색도와 불투명성을 높이고, 표면을 평활하게 할 목적으로 백토, 탈크, 사이즈제 등 각종의 약품을 혼합한다. 화학 펄프의 제조과정은 그림 2-3과 같다.

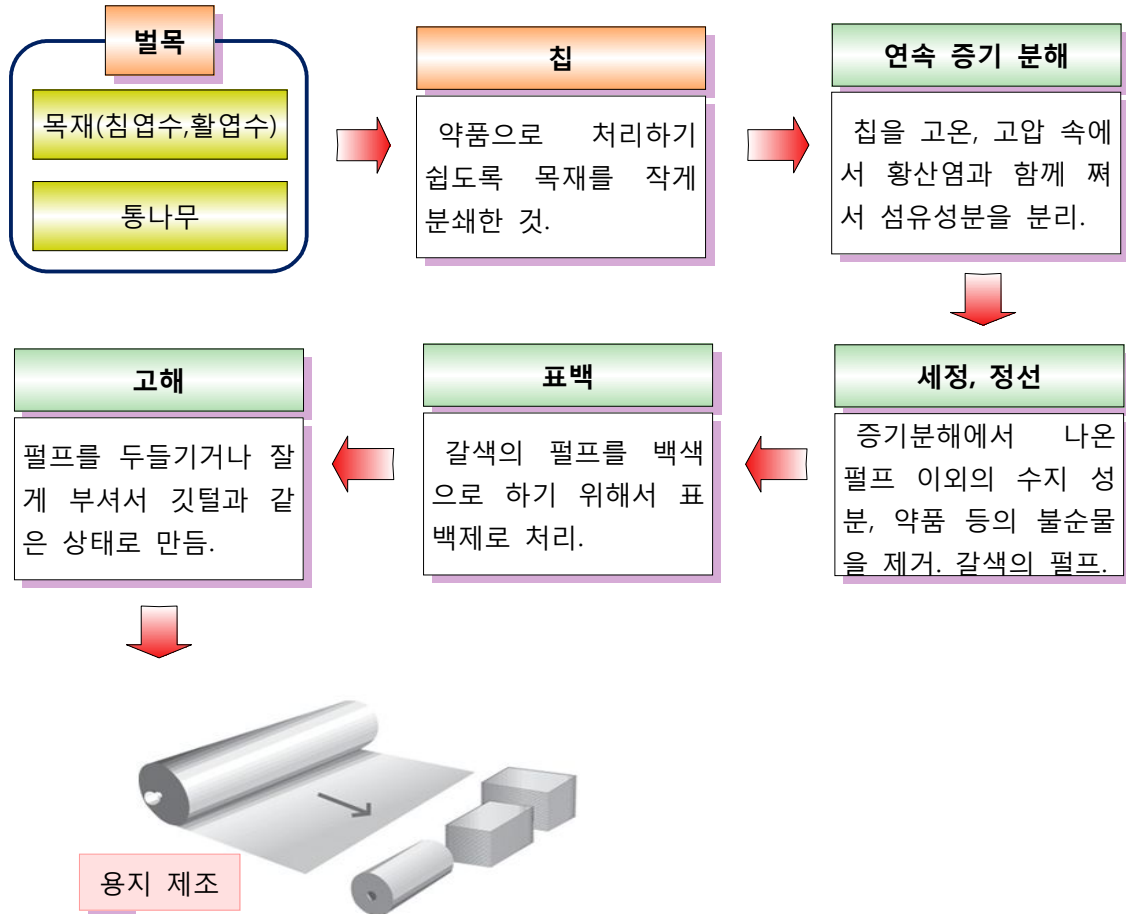


그림 2-3 화학펄프 제조과정

이렇게 만들어진 펄프는 물에 풀어져 액체 형태가 되고 이 액상의 섬유를 분산하여 조직을 형성하고 탈수, 건조 공정을 거친 후 종이 표면의 강도를 증가시키기 위해서 각종의 약제(사이즈제)를 종이 표면에 도포하여 종이가 만들어진다. 아트지와 같은 도공지의 경우에는 도공 공정이 추가된다. (오세웅, 신익재, 정호균, 2005)

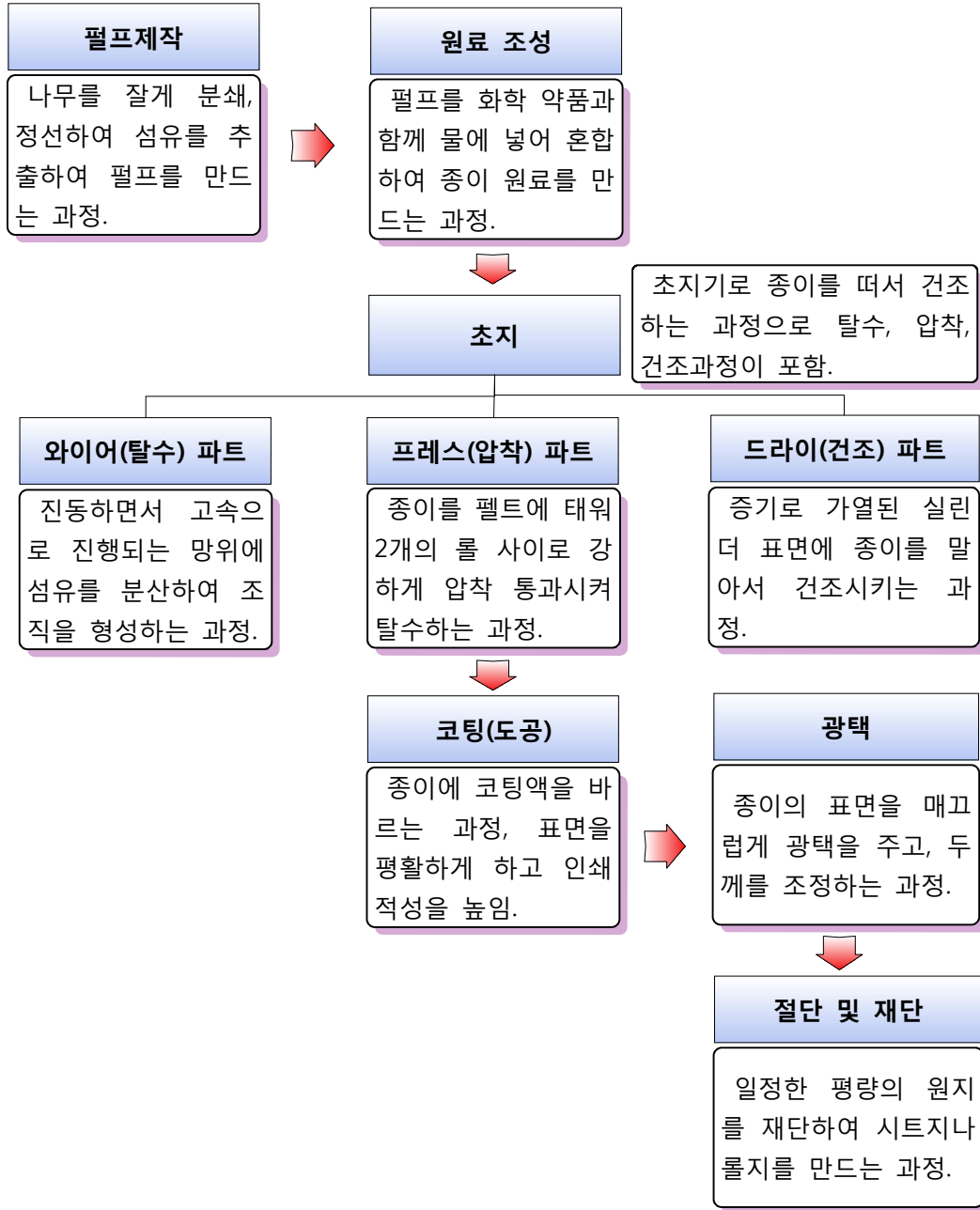


그림 2-4 화학펄프 인쇄용지 제조과정

### 2-3 인쇄용지 환경영향

목재 펄프 인쇄용지(이하 인쇄용지)에 의한 환경영향은 원료획득을 위한 벌목에 의한 삼림파괴와 제조과정에서 발생하는데, 일반적으로 종이 1톤을 제조하는데 필요한 목재량은 화학펄프의 경우 평균 4m<sup>3</sup>, 기계펄프의 경우 3m<sup>3</sup>라고 추정된다. 이를 2010년 한해 동안 전 세계에서 인쇄용지 제조에 사용된 목재량으로 환산하면 약 330,648,000 ~ 440,864,000m<sup>3</sup>에 달할 것으로 추정된다. 세계자연보호기금에 따르면 제지산업은 매년 산업용으로 벌목되는 나무의 42%를 소비하고 이에 의해 훼손되는 숲의 면적은 30,000km<sup>2</sup>에 달한다고 한다.(맨디 하기스, 2009) 이는 우리나라 경상도 면적 정도의 숲이 매년 훼손되고 있다는 것이다. 또한, 펄프와 종이 제조는 대량의 에너지를 사용함으로써 다량의 온실가스 배출을 수반하며 다량의 물을 사용하고 표백 등의 공정에서 각종 환경 유해 물질을 사용하고 배출한다.

우리나라의 경우에는 소비되는 펄프의 약 80%를 수입하고 있는데 2010년 연간 8,860,000톤의 종이를 재활용함으로써, 약 92.7%의 폐지 회수율로 세계 최고 수준의 회수율을 갖고 있고 인쇄용지 제조에서 재활용 펄프 함유를 높임으로써 환경유해 문제에 대응하고 있다.

## 제3절 미네랄페이퍼 연구

### 3-1 미네랄페이퍼 개요

미네랄페이퍼(Mineral Paper)는 가루 형태의 탄산칼슘(CaCO<sub>3</sub>)과 액상의 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)을 혼합하여 만든 시트에 인쇄 막을 입힌 백색 불투명의 인쇄용지이다. 미네랄페이퍼는 인쇄용지가 갖는 외관(백색, 불투명성 등), 인쇄가공적성,

필기성, 탄력성 등을 갖고 있으면서도 플라스틱 필름의 특성인 방수성, 강인성, 열 가공성 등을 갖고 있다.

미네랄페이퍼와 유사한 물성의 인쇄소재로는 인쇄용지 같은 플라스틱 필름이라 할 수 있는 합성지(Synthetic paper)가 있는데 미네랄페이퍼와 기존 합성지의 가장 큰 차이점은 기존 합성지의 주요 소재가 PP(polypropylene), PET(polyethylene terephthalate), PVC(polyvinyl chloride), PS(polystyrene) 수지 인데 비해 미네랄페이퍼는 탄산칼슘을 주요 소재로 하고 있다는 것이다.

미네랄페이퍼는 1997년 타이완 룡명텍(Taiwan Lung Meng Tech)에 의해 처음 시제품이 개발되었다. 환경 친화적이고 방수 성질의 『돌로 만든 종이(paper made from stone)』의 출시는 많은 관심을 받았으나 초기 제품은 품질 상의 문제 등으로 인해 그 사용이 제한적이었다. 이후 품질이 개선되어 현재는 상업인쇄, 출판, 포장 등의 분야에서 인쇄 소재로 사용 되고 있다. 주요 사용 지역은 미국, 유럽, 일본, 중국, 대만 등지이며 우리나라에서도 판매가 되고 있다. 주요 사용 제품은 포스터, 라벨, 쇼핑백, 지도, 수첩 등 이다.

### 3-2 미네랄페이퍼 제조과정

미네랄페이퍼는 탄산칼슘 가루와 고밀도폴리에틸렌 액체를 혼합하여 펠릿으로 만들고 이를 초지 형태로 만드는 초지 공정, 초지 위에 탄산칼슘을 주원료로 하는 인쇄 막을 도포하는 도공 공정, 그리고 이를 재단하여 시트로 만드는 시트 공정에 따라 제조 된다. 미네랄페이퍼의 백색의 외관은 고유의 탄산칼슘의 색이기 때문에 표백작업을 필요로 하지 않고 도공 공정에서만 소량의 물을 사용 할 뿐 거의 물을 사용하지 않는다. 또한, 고온, 고압에서 섬유를 분리해내고 건조하는 과정 등이 없다.

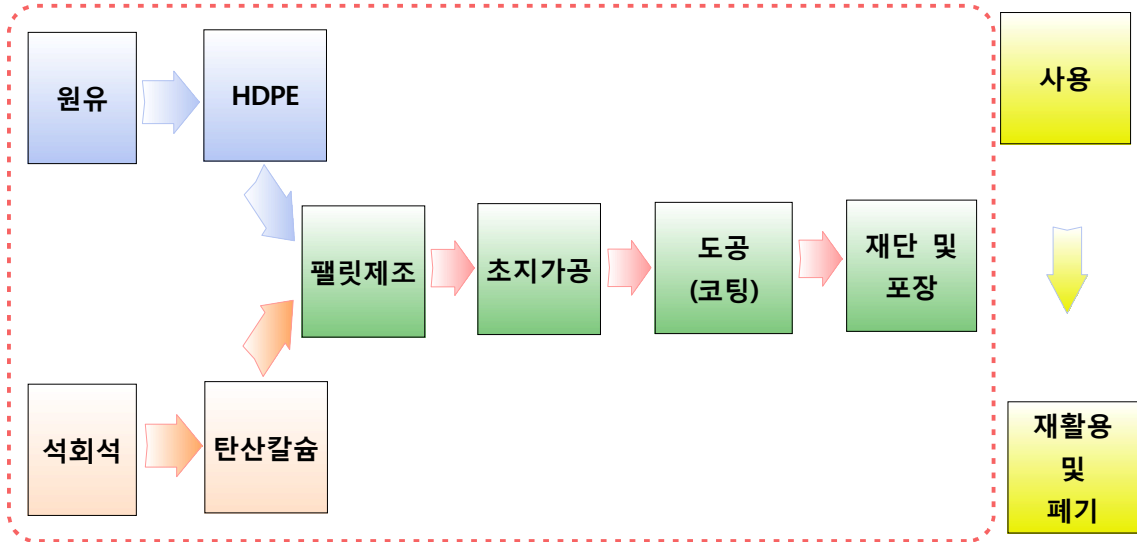


그림 2-5 미네랄페이퍼 제조과정

### 3-3 미네랄페이퍼 종류 및 특성

미네랄페이퍼는 물성에 따라 RP(Rich Mineral Paper), SP(Synthetic Paper), RB(Rich Mineral Board) 의 세 가지 종류가 있다. 각 제품은 탄산칼슘과 고밀도폴리에틸렌의 혼합비율, 생산 두께와 평량이 다르며 제조 공법에서도 차이가 있다. 각 제품의 특성을 살펴보면, RP는 주로 포스터, 수첩 내지, 브로마이드, 쇼핑백, 라벨, 지도 등 상업 인쇄, 포장, 출판 분야의 인쇄용지, 합성지, 플라스틱 필름의 대체 용도로 사용되며 RB는 태그, 명함, 박스 등 두께가 두껍고 강도가 강한 플라스틱 시트와 종이 보드의 대체 용도로 사용된다. 마지막으로 SP는 열접착(heat sealing), 식품 포장 등의 플라스틱 필름 대체 용도로 주로 사용된다.

각 제품 종류에 따라 탄산칼슘과 고밀도 폴리에틸렌의 혼합 비율이 다른데 RP의 혼합비율이 8:2 로 탄산칼슘 비중이 가장 높으며 SP가 7:3, RB 가 6:4로 탄산칼

습 비중이 가장 낮다. 두께는 RP가 100 ~ 200 $\mu\text{m}$ 까지 생산되며 평량( $\text{g}/\text{m}^2$ ) 으로는 120 ~ 240  $\text{g}/\text{m}^2$  이고 RB가 200 ~ 400 $\mu\text{m}$  으로 평량으로는 280 ~ 560 $\text{g}/\text{m}^2$  이다. SP는 80 ~ 100 $\mu\text{m}$  로 평량은 동일하게 80 ~ 100 $\text{g}/\text{m}^2$  이다. 두께 와 중량단위인 평량의 차이는 탄산칼슘과 고밀도 폴리에틸렌의 배합비율과 제조 공법에 따른 밀도 차이에 기인한다.

미네랄페이퍼는 잉크젯, 레이저젯 등의 인쇄 방식을 제외한 오프셋, 그라비아, 로타리, 후렉소 등 대부분의 상업 인쇄 방식을 통해서 인쇄 할 수 있으나 제품군별로 최적의 인쇄 방식에는 차이가 있다. RP는 상기의 모든 인쇄 방식으로 인쇄가 가능하나 RB는 오프셋 과 UV 인쇄 방식에서 최적의 인쇄 적성을 갖고 있고 SP는 오프셋을 제외한 그라비아, 로타리, 후렉소 방식에서 최적의 인쇄 적성을 갖고 있다.

표 2-3 미네랄페이퍼의 제품별 특성

제품종류	원료혼합비율 (탄산칼슘:HDPE)	밀도 ( $\text{g}/\text{m}^3$ )	두께 ( $\mu\text{m}$ )	평량 ( $\text{g}/\text{m}^2$ )	적정 인쇄 방식
RP	8 : 2	1.2	100~200	120~240	오프셋, 그라비아, 로타리, 후렉소
RB	6 : 4	1.4	200~400	280~560	UV, 오프셋
SP	7 : 3	1.0	80~100	80~100	그라비아, 로타리, 후렉소

### 3-4 미네랄페이퍼의 환경영향

미네랄페이퍼는 인쇄용지, 합성지, 플라스틱 필름에 비해 환경 친화적 소재로 주장되고 있는데 그 이유는 합성지와 필름에 비해서는 적은 양의 플라스틱을 사용한다는 것이며 펄프 종이에 비해서는 나무를 사용하지 않기 때문에 삼림파괴를 유발하지 않고 제조 과정에서 표백을 하지 않기 때문에 표백제 사용에 의한 환경오염이 없다는 것과 상대적으로 적은 양의 물과 에너지를 사용하고 재활용이 용이하다는 주장이다.

표 2-4 미네랄페이퍼의 환경 영향(인쇄용지 대비)

단 계	미네랄페이퍼	인쇄용지
원료 채취	탄산칼슘 채취	나무 벌목에 의한 산림 파괴
제조 과정	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 도공 공정에서만 상대적으로 적은 양의 물 사용.</li> <li>- 상대적으로 적은 양의 에너지 사용.</li> <li>- 표백 공정 없음.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 많은 양의 물과 에너지 사용.</li> <li>- 형광 표백 등 표백 공정 및 유해 첨가제 사용.</li> </ul>
폐기 및 재활용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 플라스틱계열로 재활용 용이.</li> <li>- 매립 시 붕괴.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 종이 계열로 재활용 용이.</li> </ul>



## 제4절 인쇄 소재 별 특성 비교 연구

인쇄용지 와 플라스틱 필름은 상업 인쇄, 포장, 출판, 문구 등의 분야에서 인쇄 소재로 가장 많이 사용되고 있는 소재 이다. 각 소재는 만들고자 하는 용도의 요구 성능과 가격 등의 요인에 따라 선택적으로 사용된다.

인쇄용지의 장점은 광범위한 인쇄 및 가공 적성을 갖고 있다는 것과 상대적으로 가격이 저렴하다는 것이다. 인쇄용지는 현존하는 대부분의 인쇄 방식으로 인쇄가 가능하며 인쇄 후 이루어지는 접지, 접착, 재단, 형압 등 가공이 용이하다. 이는 인쇄와 가공 기계가 가장 오랜 동안 많이 사용 되고 있는 인쇄 소재인 인쇄용지를 중심으로 개발되었기 때문이다. 즉, 인쇄물의 개발이 인쇄용지를 사용하는 것을 기반으로 이루어졌기 때문이다. 이에 비해, 플라스틱 필름은 인쇄용지에 비해 내수성, 내구성이 강하고 열 성형성 이 있는 장점을 갖고 있으나 가격이 상대적으로 비싸고 인쇄 및 가공 적성이 제한적이다. 플라스틱 필름의 경우에는 가장 많이 사용되고 있는 오프셋 방식에 의한 인쇄가 대부분 불가능하며 인쇄 후 가공도 종이에 비해 용이하지 못 하다. 플라스틱 필름은 주로 높은 내수성과 내구성을 필요로 하는 제품 포장, 광고 소재 등의 용도로 사용된다.

합성지는 종이와 같이 백색, 불투명의 외관을 갖고 있으면서 필름의 장점인 높은 내수성과 내구성을 갖고 있으나 플라스틱을 주원료로 하는 합성지는 가격이 비싸고 인쇄 후 건조 시간이 많이 걸리며 정전기가 많이 발생하는 단점과 인쇄용지에 최적화된 인쇄기계와 가공 기계에서 사용하기에 제한이 있기 때문에 여러 장점에도 불구하고 인쇄용지나 플라스틱 필름에 비해 그 사용량이 적고 라벨, 광고 소재 등 제한된 분야에서 사용되고 있다.

미네랄페이퍼는 가장 많이 사용되는 오프셋 인쇄 방식에 의해 인쇄가 가능하고

높은 내수성과 내구성을 갖고 있으면서도 주원료를 플라스틱 이 아닌 탄산칼슘을 사용함으로써 합성지나 플라스틱 필름에 비해 경제성을 높인 제품이다. 하지만, 일반 상업 인쇄물에 가장 많이 사용되는 아트지, 백상지 등에 비해 여전히 가격이 비싸고 인쇄 및 가공 적성이 제한적이며 플라스틱 필름에 비해서는 가격은 저렴하지만 인장 및 충격 강도 등이 낮다. 또한, 전체적으로 뻣뻣함(Stiffness) 이 약하고 정전기가 많이 일어나며 품질의 균일(Stability)함이 인쇄용지, 플라스틱 필름에 비해 좋지 못하다. 표 2-5 는 인쇄용지, 미네랄페이퍼, 플라스틱 필름의 물성 및 성능에 대한 비교표이다.

표 2-5 인쇄 소재 간 물성 및 성능 비교

항 목	인쇄용지	미네랄페이퍼	플라스틱 필름
인쇄적성	좋음	보통	보통
내수성	나쁨	좋음	좋음
내구성(강도)	나쁨	보통	좋음
경제성	좋음	보통	나쁨
필기성	좋음	좋음	나쁨
접힘성	좋음	보통	나쁨
접착제적성	좋음	보통	나쁨
뻣뻣함	좋음	나쁨	좋음
잉크젯,레이저젯 인쇄	가능	불가능	불가능
오프셋 인쇄	가능	가능	불가능
로타리 인쇄	가능	가능	가능
그라비아 인쇄	가능	가능	가능

- 출처 : 플라스틱 패키징의 기초와 응용, 김청,2003.

- 미네랄페이퍼에 대한 평가는 자체 평가 임.

## 제3장 연구방법

### 제1절 기능단위 및 시스템 경계 설정

본 연구에서는 비교 대상 인쇄 소재인 인쇄용지와 플라스틱 필름의 탄소발자국 산정 기능단위가 중량(kg)임을 감안하여 중량 단위를 기반으로 각 비교 관점에 따라 기능단위를 적용하였다. 비교 관점에 따른 기능단위는 표 3-1 과 같다.

표 3-1 비교 관점 별 기능단위

비 고	기 능 단 위
중 량	kg
두 께	100 $\mu$ m, 150 $\mu$ m, 180 $\mu$ m, 넓이 1m <sup>2</sup>
관 매 단 위	국전·46전, 1연(500장)
포 스텐	469/636mm, 포스터 1장 및 1000장, 라미네이팅 가공
쇼 핑 백	280/100/350mm, 쇼핑백 1개, 라미네이팅 가공

각 비교 관점에 따른 기능단위를 살펴보면 두께는 인쇄소재의 주요 물리적 특성이며 플라스틱 필름의 경우에는 동일 종류의 필름 간에는 두께에 따라 종류가 구분된다. 인쇄용지는 중량 단위인 평량에 따라 종류가 구분되나 평량에 따라 일정한 두께를 예측할 수 있다. 인쇄소재의 중량과 두께의 비율이 동일하다면 두께에 따른 비교분석은 무의미 하겠지만 미네랄페이퍼, 인쇄용지, 플라스틱 필름 간에는 중량에

따라 두께가 상이하고 같은 인쇄용지, 플라스틱 필름이라도 종류별로 중량 대비 두께가 상이하기 때문에 두께에 따른 비교분석을 하였다.

판매단위에 따른 분석은 인쇄용지의 주요 판매 단위가 국전과 46전 크기의 전지 500장을 한 묶음으로 판매되는 것을 고려하였는데 필름의 경우에는 전지 형태가 아닌 롤 형태로 주로 판매되기 때문에 본 연구에서는 미네랄페이퍼와 인쇄용지만을 비교 하였다.

완제품인 포스터와 쇼핑백 제작에 따른 소재 간 비교 분석은 특정 크기의 제품과 라미네이팅(Laminating) 가공 소재의 온실가스 배출량을 감안하여 기능단위를 설정하였다.

미네랄페이퍼의 탄소발자국분석의 시스템 경계는 사용단계와 폐기단계를 제외한 제조전단계와 제조단계로 설정하였는데 이는 사용 단계에서 탄소 발생이 없고 제품의 성격 상 판매 이후 2차 가공이 이루어지기 때문에 현실적으로 폐기 단계 현황을 파악하기가 어려운 점과 비교 대상 인쇄 소재의 탄소발자국 분석의 시스템 경계가 제조전단계와 제조단계만을 시스템 경계로 하고 있는 것을 감안하였기 때문이다. 그러나 비교 연구에서는 사용하지 않았지만 미네랄페이퍼는 유통거점까지의 수송에 의한 온실가스 배출량을 포함하여 분석하였다.

## 제2절 미네랄페이퍼의 탄소발자국 데이터 수집 및 검증

### 2-1 미네랄페이퍼 제조 과정 및 물질수지

미네랄페이퍼의 제조 과정은 탄산칼슘과 고밀도 폴리에틸렌을 혼합하여 펠릿으로 만드는 펠릿제조 공정과 이를 종이의 형태로 만드는 초지 제조 공정, 인쇄 막을

입히는 인쇄 코팅 공정 그리고 마지막으로 롤 또는 시트 형태로 재단하는 재단공정으로 분류된다. 각 공정에서의 잔여 또는 하자 제품은 파쇄 등의 처리를 거쳐 펠릿 제조 공정으로 보내져서 펠릿 제조의 원료로 재활용 된다. 생산에 사용되는 원료는 전기만을 사용하며 인쇄 코팅 공정에 사용되는 공정수는 코팅과정에서 수증기로 기화된다. 생산 원료 중 첨가제는 아연과 마그네슘이며 결합제는 고밀도폴리에틸렌이고 코팅 소재는 탄산칼슘이다. 미네랄페이퍼의 제조공정의 투입 및 산출물 흐름은 아래의 그림 3-1 과 같다.

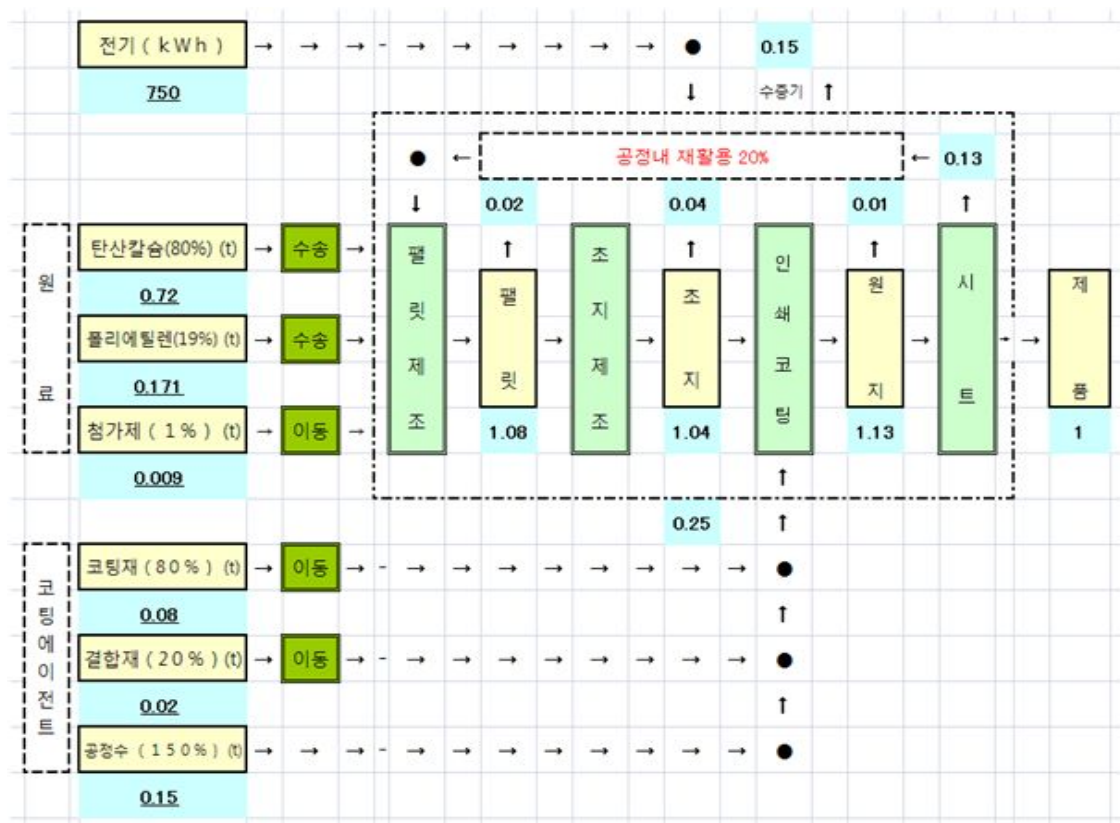


그림 3-1 미네랄페이퍼 공정도 및 물질흐름

## 2-2 투입 및 산출물 데이터 수집

본 연구에 사용된 제품제조사업장의 투입 및 산출물 데이터는 2011년 1월 1일부터 12월 31일까지의 연간 생산현장 데이터이며 제품 생산과 직접 연관이 없는 소모품, 공장 내부 수송에 의한 에너지 사용, 화학 반응에 의한 산출물이 없기 때문에 화학 반응 관련 데이터는 인증 지침에 따라 수집 대상에서 제외 하였다. 원료 수송은 탄산칼슘과 고밀도폴리에틸렌의 제품 제조 사업장으로부터 미네랄페이퍼 제품 제조 사업장까지의 트럭을 통한 최단 편도거리 수송을 기준으로 산정되었다.

포장재의 경우에는 인증지침에 따라 원료 제품의 포장을 제외한 제품 출하 포장만을 포함하였다. 미네랄페이퍼 제품 포장의 경우 제품의 형태, 크기, 두께에 따라 포장 방식과 포장재 사용 양이 다르고 출하방식에 따라 포장재로 사용되는 재활용 나무 박스, 재활용 미네랄페이퍼, 비닐 포장, 팔레트 등 다양한 포장재가 사용되어 데이터를 수집하는데 어려움이 있어 대표적 포장 방법의 하나인 재활용 미네랄페이퍼를 사용한 시트 묶음 포장방식을 기준으로 추정치를 산출하였다.

추정치는 가장 많이 생산 되는 미네랄페이퍼 168g/m<sup>2</sup>의 속 포장 단위인 250장을 기준으로 하였으며 포장재로 사용되는 미네랄페이퍼 평량 240g/m<sup>2</sup> 제품을 사용한 것으로 가정하였다. 포장재 중량 계산은 계산식(1)과 같다.

$$G_i = \frac{N_i \times A_i \times W_i}{250} \quad (1)$$

$G_i$  :  $i$  제품 1톤을 포장하기 위한 포장재의 총 중량(g)

$N_i$  :  $i$  제품의 톤 당 장수(장)

$A_i$  :  $i$  제품 250장을 포장하기 위한 포장재 넓이(m<sup>2</sup>)

$W_i$  :  $i$  제품 포장재의 중량(g/m<sup>2</sup>), 240

본 연구에서는 인쇄 소재간의 비교 목적을 감안하여 공통되게 시스템 경계를 제조 단계 까지만 으로 한정 하였고 이에 따라 비교 연구를 하였으나 추가로 미네랄 페이퍼 자체의 환경영향 분석 연구를 위해 유통 거점까지를 시스템 경계로 하는 탄소발자국을 분석 하였다. 미네랄페이퍼의 유통거점까지의 수송은 생산 공장이 위치한 대만의 타이난(Tainan) 시 에서 주요 수출 항구인 가오슝 (Kaohsiung) 시까지의 육로 수송과 가오슝 항 에서 대한민국의 부산항까지의 해상 수송 그리고 부산항에서 주요 유통 거점이 소재한 서울 권역까지의 육로 수송으로 하였다.

### 2-3 데이터 검증 및 누적질량기여도 분석

투입 및 산출물 데이터는 공정 별로 수집하여 물질수지 계산을 통해 검증 과정을 거쳤으며 각 공정의 투입 및 산출물별 총량을 제품 1000kg 생산 기준으로 전환하였다 결과는 표 3-2와 같다.

표 3-2 투입 및 산출물 통합 목록표(제품 1000kg 생산 기준)

투 입 물			산 출 물		
물질명	양	단위	물질명	양	단위
탄산칼슘	720	kg	제품	1000	kg
HDPE	171	kg	수증기	150	kg
첨가제	9	kg	원료수송	(208)	km·ton
공정수	150	kg			
코팅소재	80	kg			
전기	(750)	kwh			
결합제	20	kg			
총 합	1150	kg		1150	kg

\* ( ) 물질수지 검증에 포함 되지 않음.

인증지침에 따라 현장데이터 수집대상에 대해 누적질량기여도 95% 범위 내의 원료물질 데이터를 수집 고려 대상으로 했다. 포장과 공정수, 에너지원, 수송을 제외한 원료물질의 누적질량기여도 분석 결과 연구 대상 범위는 탄산칼슘, 고밀도폴리에틸렌, 코팅 소재까지를 포함한 누적질량 97.1%을 그 범위로 하였다.

표 3-3 누적질량기여도 분석 결과(제품 1000kg 생산 기준)

물질명	사용량(kg)	질량기여도(%)	누적질량기여도(%)
탄산칼슘	720	72.0	72.0
고밀도폴리에틸렌	171	17.1	89.1
코팅소재	80	8.0	97.1
결합재	20	2.0	99.1
첨가재	9	0.9	100
총합	1000	100	

#### 2-4 배출계수 분석

투입 및 산출물질에 대한 개별 온실가스 배출계수는 인증지침에 따라 현장데이터를 우선으로 하며 현장데이터가 없는 경우 해당 국가의 공인 LCI 데이터, 해당 업계 평균 데이터, 유사 데이터 순으로 우선적으로 적용하도록 하였다. 본 연구에서는 미네랄페이퍼의 제조 사업장이 대만(Taiwan)이지만 해당 국가의 공인 데이터 수집에 제한이 있기 때문에 연구의 비교가능성, 일관성을 높이기 위해 현장데이터가 없는 경우 대한민국 국가 LCI 데이터상의 해당 온실가스 배출계수를 우선적으로 사용하였다. 연구에 사용된 배출계수는 온실가스의 복사강제력을 이산화탄소의 복사강제력으로 환산한 단위인 이산화탄소 상당가(CO<sub>2</sub>eq)를 사용하였다.



표 3-4 적용 배출계수

물 질 명	배출계수	단 위	출 처	비 고
탄 산 칼 습	0.0425	kgCO <sub>2</sub> eq/kg	대한민국 LCI DB	탄산칼습 5micorn
고밀도폴리에틸렌	2.03	kgCO <sub>2</sub> eq/kg	대한민국 LCI DB	
전 기	0.495	kgCO <sub>2</sub> eq/kwh	대한민국 LCI DB	
공 정 수	0.000102	kgCO <sub>2</sub> eq/kg	대한민국 LCI DB	
수 송	0.249	kgCO <sub>2</sub> eq/ton	대한민국 LCI DB	육상수송, 트럭
포 장	0.84	kgCO <sub>2</sub> eq/kg	계산치	

### 제3절 미네랄페이퍼의 탄소발자국 산정

배출량의 계산은 오염원 별 투입 및 산출물의 사용량에 각각의 배출계수를 곱하여 배출량을 계산하고 각 오염원 별 배출량 값의 총합을 통해 계산되며 이를 kg 당 이산화탄소 상당가로 배출계수를 표시한다.

원료물질로 인한 배출량 계산식은 식 (2)와 같다.

$$G_{j-material} = \sum_i M_{ij} \times E_i \quad (2)$$

$G_{j-material}$  : j 제품 1톤 생산 시 원료물질로 인한 배출량(kgCO<sub>2</sub>eq/ton)

$M_{ij}$  : j 제품 1톤 생산 시 i 원료 물질의 투입량(kg/ton)

$E_i$  : i 원료 물질의 배출계수(kgCO<sub>2</sub>eq/kg)

에너지 사용에 따른 배출량 계산식은 식(3)과 같다.

$$G_{j-energy} = \sum_i M_{ij} \times E_i \quad (3)$$

$G_{j-energy}$  : j 제품 1톤 생산 시 연료 사용에 의한 배출량(kgCO<sub>2</sub>eq/ton)

$M_{ij}$  : j 제품 1톤 생산 시 i 연료의 투입량(kg/ton)

$E_i$  : i 연료의 배출계수(kgCO<sub>2</sub>eq/kg)

원료물질 수송에 의한 배출량 계산식은 식(4)과 같다.

$$G_{j-transportation} = \sum_k \sum_t (T_{jkt} \times E_k) \quad (4)$$

$G_{j-transportation}$  : j 제품 1톤 생산을 위한 원료물질 수송 배출량 (kgCO<sub>2</sub>eq/ton)

$T_{jkt}$  : j 제품 원료물질의 t구간 동안 k 수송 모드에 의한 수송량(ton·km)

$E_k$  : k 수송 모드 별 ton·km 당 배출계수(kgCO<sub>2</sub>eq/ton·km)

총배출량 계산식은 식 (5)과 같다.

$$G_{j-total} = G_{j-material} + G_{j-energy} + G_{j-transportation} \quad (5)$$

$G_{j-total}$  : j 제품의 1톤 생산 시 총 배출량

$G_{j-material}$  : j 제품 1톤 생산 시 원료물질로 인한 배출량(kgCO<sub>2</sub>eq/ton)

$G_{j-energy}$  : j 제품 1톤 생산 시 연료 사용에 의한 배출량(kgCO<sub>2</sub>eq/ton)

$G_{j-transportation}$  : j 제품 1톤 생산을 위한 원료물질 수송 배출량(kgCO<sub>2</sub>eq/ton)

유통 거점까지의 수송에 의한 배출량 계산식은 식 (6)과 같다.

$$D_{j-transportation} = \sum_k \sum_t (T_{jkt} \times E_k) \quad (6)$$

$D_{j-transportation}$  : j 제품 1톤의 유통거점까지의 수송으로 인한 배출량(kgCO<sub>2</sub>eq/ton)

$T_{jkt}$  : j 제품 원료물질의 t구간 동안 k 수송 모드에 의한 수송량(ton·km)

$E_k$  : k 수송 모드 별 ton·km 당 배출계수(kgCO<sub>2</sub>eq/ton·km)

## 제4절 기능단위별 탄소발자국 비교 분석

### 4-1 인쇄 소재 두께에 따른 탄소발자국 비교 분석

국내에서 인쇄용지의 규격은 중량 단위인 평량( $\text{g}/\text{m}^2$ )이다. 평량은 인쇄용지  $1\text{m}^2$  당 무게를 나타내며 평량을 통해 용지의 두께, 강도, 불투명도 등의 특성을 나타낸다. 이에 비해 플라스틱 필름은 주로 두께 단위인 밀리미터( $\text{mm}$ )를 판매규격으로 하고 있다.

두께에 따른 소재간의 탄소발자국 비교 분석을 위해 일반적으로 많이 사용되고 있는 평량에 따른 인쇄용지의 종류별 두께와 미네랄페이퍼의 두께를 실측하였다. 플라스틱 필름은 필름 종류별 밀도( $\text{g}/\text{cm}^3$ )에 따라 두께별 중량을 계산하였다. 비교 두께는  $100, 150, 180\mu\text{m}$ 으로 하였으며 온실가스 배출량은 중량 단위의 배출계수와 소재의 밀도 또는 실측에 의한 비중 값을 사용하여 계산되었다. 계산 방법은 아래의 식 (7)과 같다.

$$G_j = \frac{D_j \times E_j \times T_j}{1000} \quad (7)$$

$G_j$  : j 제품  $1\text{m}^2$  생산 시 탄소 배출량( $\text{kgCO}_2\text{eq}/\text{kg}$ )

$D_j$  : j 제품의 비중

$E_j$  : j 제품의 배출계수( $\text{kgCO}_2\text{eq}/\text{kg}$ )

$T_j$  : 비교 기준 두께( $\mu\text{m}$ )

#### 4-2 인쇄용지 판매 단위에 따른 탄소발자국 비교 분석

국내의 인쇄용지의 판매 규격은 국전(가로: 636mm, 세로: 940mm)과 46전(가로: 787mm, 세로: 1092mm) 크기의 종이 500장을 기준으로 하는 단위인 1연(ream)이다. 필름은 인쇄용지와 판매규격이 다르며 주로 롤 단위로 판매가 이루어지기 때문에 본 연구에서는 연구 대상에서 제외하였다. 각 제품별 주요 판매 평량을 기준으로 배출량을 산정하였다. 산정 방식은 아래의 계산식 (8)과 같다.

$$G_{j-sales\ unit} = \frac{W_j \times E_j \times A_j \times 500}{1000} \quad (8)$$

$G_j$  : j 제품의 판매 단위에 따른 배출량(kgCO<sub>2</sub>eq/kg)

$W_j$  : j 제품의 평량(g/m<sup>2</sup>)

$A_j$  : j 제품의 면적(m<sup>2</sup>)

$E_j$  : j 제품의 배출계수(kgCO<sub>2</sub>eq/kg)

500 : 1연의 장수

#### 4-3 포스터 제작에 따른 탄소발자국 비교 분석

포스터 제작 공정은 비교적 간단히 인쇄와 재단으로 이루어진다. 인쇄는 오프셋 인쇄 방식과 디지털 프린팅 방식으로 제작되는데 인쇄판을 필요로 하는 오프셋 방식은 대량 인쇄에 유리하며 디지털 프린팅 방식은 소량 인쇄에 적합하다. 포스터 소재로써 요구되는 주요 성능은 일정 수준의 인쇄 적성, 차폐성과 백색도, 뾰뾰함이다. 인쇄 적성은 인쇄과정의 용이함과 색의 발현 등의 품질을 말하며 차폐성과

백색도는 포스터를 벽이나 게시판에 붙였을 때 붙인 면의 색깔이 비치는 것을 막을 수 있을 정도의 성능이다. 뽀뽀함은 포스터를 붙이거나 발송을 위해 말았을 때 구겨짐이 잘 생기지 않을 정도이어야 한다.

오프셋과 디지털 인쇄 방식 공히 주로 인쇄용지의 일종인 아트지와 스노우지가 포스터 용지로 사용되고 있으며 필름은 특수한 용도를 제외하고는 거의 사용되지 않는다. 가장 일반적으로 포스터에 사용되는 아트지와 스노우지의 평량은  $150\text{g}/\text{m}^2$  이다. 이 보다 낮은 평량의 인쇄용지의 경우에는 두께가 얇고 종이의 뽀뽀함이 약해 잘 구겨지고 차폐성과 백색도가 부족하여 비침 현상이 일어나기 때문에 특수한 경우를 제외하고는 거의 사용되고 있지 않다.

아트지는 스노우지에 비해 같은 평량에서 두께는 얇으나 요구 성능인 차폐성, 백색도, 뽀뽀함이 적절하고 광택 효과가 있어 스노우지와 동일 평량이 주로 사용된다. 미네랄페이퍼의 경우에는 차폐성과 백색도가 일반 종이에 비해 높은 편이나 뽀뽀함이 약해 포스터 용도로는 주로  $168\text{g}/\text{m}^2$ 이 사용된다.

본 연구에서는 포스터 사이즈 가로 469mm, 세로 636mm 의 포스터 1장과 현실을 감안하여 제작 주문 시 최소 제작 수량인 포스터 1000장의 온실가스 배출량을 산정하였으며 아트지와 스노우지가 동일 중량을 사용하기 때문에 두 제품을 구별 없이 인쇄용지로 산정하였다. 또한, 인쇄용지로 제작되는 포스터가 실외에 게시되는 경우에 생활 방수를 위한 라미네이팅 가공이 이루어지는 경우가 있기 때문에 라미네이팅 가공 시 폴리프로필렌 필름  $30\mu\text{m}$ 을 사용하는 것을 가정하여 방수 가공 시의 배출량을 산정하였다. 완전 방수를 위해 인쇄용지에 양면 라미네이팅이 이루어지는 경우가 있으나 실제 포스터 제작 시에는 생활 방수를 위한 단면 라미네이팅이 주로 이루어지기 때문에 양면 가공은 포함하지 않았다. 완제품 제작에 따른 온실가스 배출량 산정을 위해서는 소재에 의한 온실가스 배출량 뿐 아니라 인쇄 및 재단에 의한 배출량도 감안하여야 하겠으나 본 연구에서는 제한적으로 소재에 의한 배출량 부분만을 감안하였다. 미네랄페이퍼의 경우에는 소재 자체가 방수 제품이기 때문에

방수를 위한 추가적인 라미네이팅 가공을 필요로 하지 않는다. 산정방식은 계산식 (9)와 같다.

$$G_{j-poster} = \frac{W_j \times E_j \times A_j}{1000} \quad (9)$$

$G_{j-poster}$  : j 소재 제작 포스터 1장의 배출량(kgCO<sub>2</sub>eq/장)

$W_j$  : j 소재의 평량(g/m<sup>2</sup>)

$A_j$  : j 소재의 면적(m<sup>2</sup>)

$E_j$  : j 소재의 배출계수(kgCO<sub>2</sub>eq/kg)

라미네이팅 가공 시 배출량 계산식은 계산식(10)과 같다.

$$L_{j-poster} = G_j + \left( \frac{30 \times D_i \times E_i \times A_i}{1000} \right) \quad (10)$$

$L_{j-poster}$  : j 소재 제작 포스터 1장의 방수 가공 시 배출량(kgCO<sub>2</sub>eq/장)

$G_j$  : j 소재 제작 포스터 1 장의 배출량(kgCO<sub>2</sub>eq/장)

$D_i$  : 레미네이트 소재 i 의 비중(g/cm<sup>3</sup>)

$A_i$  : 레미네이트 소재 I 의 면적(m<sup>2</sup>)

$E_i$  : 레미네이트 소재 i 의 배출계수(kgCO<sub>2</sub>eq/kg)

30 : 레미네이트 소재의 두께(μm)

#### 4-4 쇼핑백 제작에 따른 인쇄 소재 탄소발자국 비교 분석

쇼핑백은 천, 부직포, 인쇄용지, 플라스틱 필름 과 복합소재 등 다양한 소재로 제작되는데 이중 주로 인쇄용지와 플라스틱 필름이 사용된다. 플라스틱 쇼핑백은 원유 채취, 플라스틱 제조, 플라스틱 필름 제조, 인쇄, 재단, 접합, 손잡이 가공을 통해 제작되며 인쇄용지 쇼핑백은 벌목, 펄프제조, 인쇄용지 제조, 인쇄, 라미네이팅, 재단, 접합, 접지, 손잡이 가공을 통해 제작된다. 플라스틱 쇼핑백은 주로 고밀도폴리에틸렌(HDPE), 저밀도폴리에틸렌(LDPE), 선형 저밀도폴리에틸렌(LLDPE)을 사용해서 제작하는데 오프셋 인쇄에 사용이 부적합하여 그라비아, 플렉소그라피 등의 인쇄 방식에 따라 인쇄 된다. 이러한 인쇄 방식은 경제적으로 인쇄판 제작의 비용이 높기 때문에 소량제작 보다는 대량제작에 주로 사용된다. 플라스틱 쇼핑백은 소위 비닐봉지라고 불리는 편의점에서 주로 사용하는 두께 30 $\mu$ m 정도의 투명하고 단순한 로고 인쇄가 되어 있는 제품부터 공항 면세점에서 주로 사용되는 두께가 100 $\mu$ m 정도로 두께감과 백색도, 차폐도가 높으며 상대적으로 화려한 디자인 인쇄가 된 제품까지 다양한 종류가 있다. 종이 쇼핑백은 주로 아트지, 백상지, 크라프트지가 사용이 되는데 크라프트지는 강도가 높아 저 평량 소재로도 쇼핑백 제작이 가능함에도 불구하고 외관상 백색도가 낮고 인쇄 적성이 좋지 않아 주로 쇼핑센터, 패스트푸드점 등에서만 사용되다가 최근에 환경 친화적 제품 사용 요구가 늘어나면서 그 사용이 늘고 있다. 쇼핑백 제작에 있어 백상지와 아트지는 공히 평량 140 ~ 200g/m<sup>2</sup>의 제품이 주로 사용되며 인쇄용지로 제작되는 쇼핑백의 경우에는 인쇄면이 긁히는 것을 방지하고 인장 강도를 강화하고 생활 방수 기능 부가를 위해 플라스틱 필름을 종이 표면에 붙이는 라미네이팅 가공이 대부분 이루어진다. 미네랄페이퍼 쇼핑백은 오프셋 인쇄가 가능하고 인쇄용지 쇼핑백 제작방식에 따라 제작될 수 있으며 방수 소재이기 때문에 방수를 위한 라미네이팅 가공이 필요치 않으나 인쇄 표면 보호와 강도를 높이기 위한 라미네이팅 가공이 이루어지는 경우도 있다. 미네랄페이퍼는 주로 216g/m<sup>2</sup>에서 240g/m<sup>2</sup>의 제품이 쇼핑백 제작에 사용된다.



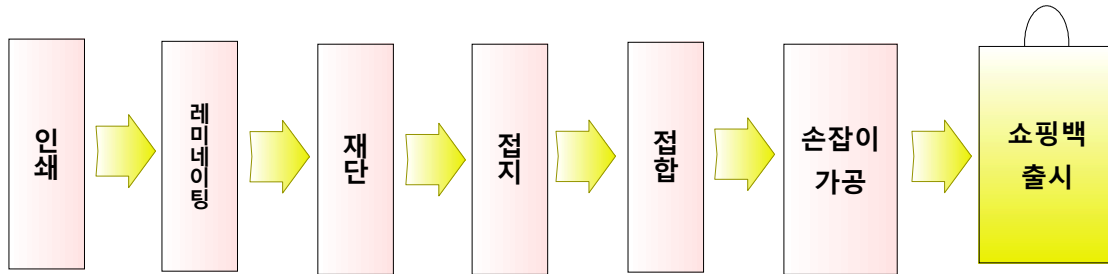


그림 3-2 인쇄용지 쇼핑백 제작공정

쇼핑백의 용도를 “제품 따위를 담는 것”이라고 규정 한다면 연구의 기능단위는 특정 부피, 무게의 제품을 담고 일정 기간 파손 없이 유지될 수 있는 크기의 쇼핑백을 제작할 수 있는 소재의 적정 두께 또는 평량이 될 것이다. 하지만, 쇼핑백의 기능이 “제품 따위를 담는 것” 이외에 홍보물로써의 기능이 있기 때문에 사용자는 기본적인 기능 이외에 인쇄 적성, 소재의 촉감, 두께감 등 여러 요인에 따라 소재와 적정 평량 또는 두께를 선택한다. 또한, 특정 제품을 담기 위한 소재의 최적 평량이 이에 맞추어 생산, 판매 되는 것이 아니며 반대로 시장에 판매되고 있는 소재의 몇 가지 규격 중에 소비자가 본인의 제품을 포장하기에 가장 근접한 규격을 선택하는 것이 일반적이고 현실에서는 제작하고자 하는 쇼핑백의 크기에 따라 소재별로 보편적으로 사용되는 두께와 평량이 존재하는 점을 감안하여 본 연구에서는 기능단위를 투명하지 않고 4도 인쇄를 충족 할 수 있는 일정 크기의 쇼핑백을 제작하는데 보편적으로 사용되는 소재 별 평량을 기준으로 소재 간 탄소발자국을 비교 분석 하였다. 연구에 사용된 보편적으로 사용되는 소재의 평량과 두께는 크기에 따라 기성제품에 사용되는 소재의 평량과 두께를 기준으로 하였다.

본 연구에서는 쇼핑백 크기 가로 280mm, 세로 100mm, 높이 350mm를 기준으로 각 소재 별로 많이 사용되는 평량을 비교하였는데 인쇄용지 쇼핑백의 경우에는 평량 180g/m<sup>2</sup>을 기준으로 하였으며 고밀도폴리에틸렌 쇼핑백은 95 $\mu$ m, 미네랄페이퍼 쇼핑백은 240g/m<sup>2</sup>을 사용하였다. 라미네이팅 가공 소재는 폴리프로필렌 30 $\mu$ m을 가 정하였다. 배출량 산정방식은 아래의 식(11)과 같다.

$$G_{j-shopping\ bag} = \frac{W_j \times E_j \times A_j}{1000} \quad (11)$$

$G_{j-shopping\ bag}$  : 쇼핑백 제작 소재의 배출량(kgCO<sub>2</sub>eq/개)

$W_j$  : j 소재의 평량(g/m<sup>2</sup>)

$A_j$  : j 소재의 면적(m<sup>2</sup>), 0.294m<sup>2</sup>

$E_j$  : j 소재의 배출계수(kgCO<sub>2</sub>eq/kg)

## 제4장 연구의 결과 및 고찰

### 제1절 미네랄페이퍼 탄소발자국 산정 결과 분석

#### 1-1 미네랄페이퍼 탄소발자국 산정 결과

미네랄페이퍼의 탄소발자국 산정 결과, 1000kg의 미네랄페이퍼를 제조하는 데에 발생하는 이산화탄소의 양은 약 810kg 이며 이를 kg 당 배출계수로 전환할 경우 미네랄페이퍼의 배출계수는 0.810kgCO<sub>2</sub>eq/kg이다.

표 4-1 투입 및 산출물 별 온실가스 배출량 및 총합(제품 1000kg 생산 기준)

물 질 명	양	단위	배출계수 (kgCO <sub>2</sub> eq/kg)	배출량 (kgCO <sub>2</sub> eq/Ton)	배출비(%)
탄산칼슘	800	kg	0.0425	34.00	4.20
HDPE	171	kg	2.03	347.13	42.87
전 기	750	kwh	0.495	371.25	45.85
공 정 수	150	kg	0.000102	0.02	-
수 송	208	km	0.249	51.69	6.38
포 장	7	kg	0.84	5.70	0.70
총 합		kgCO <sub>2</sub> eq/Ton		809.79	100

\*HDPE: 고밀도폴리에틸렌

미네랄페이퍼의 온실가스발생 비중은 제조 전 단계와 제조 단계가 각각 47.1%와 45.8%로 비슷한 수준으로 나타났다. 전체적으로는 중량기준으로 원료물질의 80% 정도를 차지하는 탄산칼슘에 의한 온실가스 배출 비중은 4.2%인데 반해 원료물질의 17% 정도를 차지하는 고밀도폴리에틸렌에 의한 온실가스 배출 비중이 42.87%로 높게 나타났다. 전기 사용에 의한 발생이 전체의 45.85% 로 가장 높고 다음으로 고밀도폴리에틸렌의 사용에 의한 비중이 42.87% 로 높게 나타났다. 두 항목의 배출합계가 전체 배출량의 88% 이상을 차지하였다.

표 4-2 단계별 온실가스 배출량

온실가스 배출총량	단위	제조전단계	제조단계	수송 및 포장
0.810	(kgCO <sub>2</sub> eq/kg)	0.381	0.371	0.057
100	백분율(%)	47.1	45.8	7.1

#### 1-2 중량 단위에 따른 인쇄 소재 간 탄소발자국 비교 결과

미네랄페이퍼의 배출량과 비교 대상 인쇄 소재 간 중량 단위에 의한 배출 계수를 비교해 보면 미네랄페이퍼가 가장 낮았고 그 다음으로 인쇄용지(신재), 인쇄용지(폐지포함), 폴리비닐클로라이드(PVC), 폴리프로필렌(PP), 고밀도폴리에틸렌(HDPE) 순으로 배출이 적었다. 미네랄페이퍼는 인쇄용지(신재)에 비해서는 72%, 인쇄용지(폐지포함)에 비해서는 55% 의 탄소발자국 수준을 보였고 가장 높은 고밀도폴리에틸렌에 비해서는 40% 의 수준을 보였다. 재활용 펄프를 일부 사용하여 제조된 인쇄용지(폐지포함)가 인쇄용지(신재)에 비해 더 높은 배출계수 값을 가진 것은 원료채취 단계에서 산림벌목에 의한 토지이용 변화 부분을 시스템 경계에 포함하지 않았기 때문으로 추정된다.

표 4-3 인쇄소재간 배출계수 비교

소재물질	미네랄페이퍼	인쇄용지 (신재)	인쇄용지 (폐지포함)	HDPE	PP	PVC
배출계수 (kgCO <sub>2</sub> eq/kg)	0.81	1.12	1.45	2.03	1.47	1.34

\* HDPE - 고밀도 폴리에틸렌, PP-폴리프로필렌, PVC-폴리비닐클로라이드

\* 폐지포함 인쇄용지의 폐지포함 비율은 50% 이상 임.

### 1-3 유통 거점까지의 수송에 따른 탄소발자국 산정결과

미네랄페이퍼의 유통거점까지의 탄소발자국 산정 결과, 유통 거점인 서울권역까지의 제품 1톤을 수송하는데 발생하는 온실가스 배출량은 132.16 kgCO<sub>2</sub>eq/ton이며 이를 kg 단위로 환산 하면 0.132 kgCO<sub>2</sub>eq/kg이다. 이 결과를 미네랄페이퍼의 배출계수 산정에 포함할 경우 유통 거점까지의 미네랄페이퍼의 배출계수는 0.94 kgCO<sub>2</sub>eq/kg이다. 이는 온실가스 배출량이 약 16% 증가된 것이다.

표 4-4 유통거점까지의 수송에 의한 온실가스 배출량

수송단계	수송수단	수송거리 (km)	배출계수 (kgCO <sub>2</sub> eq/ton·km)	배출량 (kgCO <sub>2</sub> eq/ton)
제조지 - 수출항	트럭	74	0.249	18.43
수출항 - 수입항	해운(컨테이너)	1704	0.00902	15.37
수입항 - 유통거점	트럭	395	0.249	98.36
총 합				132.16

## 제2절 인쇄 소재 간 탄소발자국 비교 결과 분석

### 2-1 인쇄 소재 두께에 따른 탄소발자국 비교 분석 결과

인쇄용지의 주요 평량별 두께를 측정한 결과 동일 평량 이라도 용지의 두께는 상이하였다. 일반적으로 도공지인 아트지는 평량에 비해 두께가 얇고 비도공지인 백상지는 평량에 비해 두께가 두꺼웠다.

표 4-5 인쇄용지 종류별 평량에 따른 두께 측정치

(단위:  $\mu\text{m}$ )

종류/평량( $\text{g}/\text{m}^2$ )	100	120	150	180
스노우	90	108	140	173
백상지	115	135	165	197
아트지	80	96	125	152
미네랄페이퍼	83	100	125	150

\*측정 대상 인쇄용지는 제조사, 브랜드에 따라 평량별 두께에 차이가 있을 수 있음

두께에 따른 온실가스 배출량 비교 결과 미네랄페이퍼와 백상지가 유사하게 가장 낮은 배출 수준을 보였으며 그 다음으로 스노우지, 폴리프로필렌, 아트지, 연질 폴리염화비닐 순으로 배출량이 적었고 고밀도폴리에틸렌이 가장 높은 배출 수준을 보였다. 이 결과를 중량에 따른 온실가스 배출량 분석 결과와 비교 해 보면 아트지와 연질폴리염화비닐 보다 많은 양의 배출 수준을 보이던 폴리프로필렌이 두께 단위 비교에서는 더 적은양의 배출 수준을 보였는데 특히 아트지와 비교 시에는  $0.35\text{kgCO}_2\text{eq}/\text{kg}$  더 높은 배출 수준을 보이다가 거의 동일한 배출 수준을 보였다. 미네랄페이퍼와 백상지의 경우에도 인쇄용지와 비교 시

0.31kgCO<sub>2</sub>eq/kg의 차이로 약 38% 배출량에 차이를 보였으나 두께에 의한 비교 시에는 거의 동일한 배출 수준을 보였다. 이러한 결과는 미네랄페이퍼의 무게가 동일 두께의 백상지에 비해 높기 때문이며 마찬가지로 폴리프로필렌이 아트지 나 연질폴리염화비닐에 비해 동일 두께 대비 중량이 가볍기 때문이다.

표 4-6 두께단위에 따른 온실가스 배출량 비교 (단위 : kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>)

구 분	100 $\mu$ m	150 $\mu$ m	180 $\mu$ m
미네랄페이퍼	0.10	0.15	0.17
백상지	0.10	0.15	0.18
스노우지	0.12	0.18	0.21
아트지	0.14	0.20	0.24
폴리프로필렌(PP)	0.13	0.20	0.24
연질폴리염화비닐(SPVC)	0.17	0.25	0.30
고밀도폴리에틸렌(HDPE)	0.19	0.29	0.35

## 2-2 인쇄용지 판매단위에 따른 탄소발자국 비교 결과 분석

120g/m<sup>2</sup> , 국전, 1연의 온실가스 배출량 비교 시 미네랄페이퍼는 29.06kgCO<sub>2</sub>eq의 배출을 하였으며 인쇄용지는 40.17kgCO<sub>2</sub>eq의 배출이 발생하여 미네랄페이퍼 보다 11.11kgCO<sub>2</sub>eq많은 배출을 하였다. 46전, 1연의 경우에는 미네랄페이퍼가 41.78kgCO<sub>2</sub>eq의 배출을 한데 비해 인쇄용지는 57.77kgCO<sub>2</sub>eq의 배출을 하여 미네랄페이퍼보다 15.99kgCO<sub>2</sub>eq많은 양의 온실가스를 배출하였다. 이는 인쇄용지가 미네랄페이퍼에 대비 공히 38% 많은 양의 온실가스를 배출한 것이다. 동일한 평량은 아니지만 유사한 평량 제품인 미네랄페이퍼 240g/m<sup>2</sup>제품과 인쇄용지 250g/m<sup>2</sup>제품을

비교해 보면 미네랄페이퍼가 국전은 연 당 58.11kgCO<sub>2</sub>eq의 온실가스를 배출하였는데 비해 인쇄용지는 25.59kgCO<sub>2</sub>eq 많은 83.70kgCO<sub>2</sub>eq 배출이 발생하여 미네랄페이퍼 대비 44% 많은 배출 수준을 보였다.

표 4-7 국전·46전, 1연당 온실가스 배출량 비교 (단위:kgCO<sub>2</sub>eq/연)

평량(g/m <sup>2</sup> )	미네랄페이퍼		평량(g/m <sup>2</sup> )	인쇄용지	
	국전배출량	46전배출량		국전배출량	46전배출량
120	29.06	41.78	120	40.17	57.77
144	34.87	50.14	150	50.22	72.22
168	40.68	58.49	180	60.26	86.66
216	52.30	75.21	200	66.96	96.29
240	58.11	83.56	250	83.70	120.36

### 2-3 포스터 제품 제작에 따른 온실가스 배출량 비교 결과 분석

포스터 한 장 제작 시 인쇄소재에 의한 배출량은 미네랄페이퍼가 1장당 0.04kgCO<sub>2</sub>eq, 인쇄용지가 0.05 kgCO<sub>2</sub>eq의 배출량을 보였으며 부분 방수를 위한 라미네이팅 가공 시에는 인쇄용지의 경우 0.06 kgCO<sub>2</sub>eq의 배출량을 보여 방수를 위한 추가 가공 시 0.01kgCO<sub>2</sub>eq만큼의 추가 배출이 있음을 알 수 있다. 방수 성능의 요구 유무에 따라 소재 간 배출량 격차가 있음을 알 수 있는데 방수 성능이 요구되지 않는 포스터의 경우 미네랄페이퍼가 인쇄용지에 비해 1장당 0.01kgCO<sub>2</sub>eq, 25% 저감 효과가 있는데 비해 방수 성능이 요구되는 경우 1장당 0.02kgCO<sub>2</sub>eq, 53%의 저감 효과가 있었다.



표 4-8 포스터 제작에 따른 소재별 온실가스 배출량 비교 (단위: kgCO<sub>2</sub>eq)

	일반 포스터 제작		방수 포스터 제작	
	1장 배출량	1000장 배출량	1장 배출량	1000장 배출량
미네랄페이퍼	0.04	40.59	0.04	40.59
인쇄용지	0.05	50.11	0.06	61.86

#### 2-4 쇼핑백 제작에 따른 탄소발자국 비교 결과 분석

라미네이팅 가공을 하지 않은 쇼핑백 소재간의 온실가스 배출량은 미네랄페이퍼 쇼핑백과 HDPE 쇼핑백이 0.057kgCO<sub>2</sub>eq/개로 동일했으며 인쇄용지가 0.059kgCO<sub>2</sub>eq/개의 비슷한 수준을 보여 주었다. 라미네이팅 가공 시 0.012kgCO<sub>2</sub>eq/개의 추가적인 온실가스가 발생하게 되는데 이를 감안할 시 방수 가공이 필요한 인쇄용지 쇼핑백은 미네랄페이퍼와 HDPE 쇼핑백에 비해 쇼핑백 한 개당 0.014kgCO<sub>2</sub>eq, 25% 높은 수준의 온실가스 발생을 보였다.

표 4-9 쇼핑백 제작에 따른 소재별 온실가스 배출량 비교

	평량 (g/m <sup>2</sup> )	배출계수 (kgCO <sub>2</sub> eq/kg)	배출량 (kgCO <sub>2</sub> eq/개)	라미네이팅 (kgCO <sub>2</sub> eq/A)	배출량 (kgCO <sub>2</sub> eq/개)
미네랄페이퍼	240	0.81	0.057	0.012	0.069
인쇄용지	180	1.12	0.059	0.012	0.071
HDPE	95	2.03	0.057		

※HDPE: 고밀도폴리에틸렌, A: 라미네이팅 면적

## 제5장 결 론

본 연구에서는 전과정평가기법을 통해 미네랄페이퍼의 탄소발자국을 산정하고 산정결과를 인쇄용지, 플라스틱 필름과 비교하여 미네랄페이퍼의 환경영향을 평가하였다.

연구결과, 미네랄페이퍼의 배출계수는  $0.81\text{kgCO}_2\text{eq/kg}$  이었다. 부문별로는 제조 전단계에서  $0.381\text{kgCO}_2\text{eq/kg}$ , 제조단계에서  $0.371\text{kgCO}_2\text{eq/kg}$ , 수송 및 포장 단계에서  $0.057\text{kgCO}_2\text{eq/kg}$  의 온실가스가 발생하였다. 투입물별 온실가스 발생량을 보면 중량기준으로 원료물질의 80%를 차지하는 탄산칼슘이 전체 온실가스 배출의 약 4.2%를 차지하는 반면 원료물질의 17% 정도를 차지하는 HDPE가 전체 온실가스 배출의 약 42.87%를 차지하였다. 전체적으로는 전기에 의한 온실가스 배출이  $0.371\text{kgCO}_2\text{eq/kg}$ , 전체 배출비중의 약 45.85%로 가장 높았다.

미네랄페이퍼, 인쇄용지, HDPE, PP, PVC 의 중량 기준에 의한 배출계수를 비교한 결과 미네랄페이퍼가  $0.81\text{kgCO}_2\text{eq/kg}$  로 가장 낮았는데 이는 인쇄용지에 비해서는  $0.31\text{kgCO}_2\text{eq/kg}$ , 폴리비닐클로라이드(PVC)  $0.53\text{kgCO}_2\text{eq/kg}$ , 폴리프로필렌(PP)  $0.66\text{kgCO}_2\text{eq/kg}$  고밀도폴리에틸렌(HDPE)에 비해서는  $1.22\text{kgCO}_2\text{eq/kg}$  적은 양이다. 두께 기준에 의한 온실가스 발생량을 비교한 결과 비교 기준 두께인  $100\mu\text{m}$ ,  $150\mu\text{m}$ ,  $180\mu\text{m}$  모두에서 미네랄페이퍼가 가장 낮은 온실가스 배출 수준을 보였고 HDPE 가 가장 높은 배출수준을 보였다. 중량에 따른 온실가스 배출량 비교 결과와 두께에 의한 온실가스 배출량 비교 결과를 비교하였을 때 두께에 비해 중량이 가벼운 PP와 백상지가 중량 비교에 비해 낮은 배출 수준을 보인 반면 두께 대비 중량이 무거운 미네랄페이퍼와 아트지는 상대적으로 높은 배출 수준을 보였는데 중량

기준으로 미네랄페이퍼는 PP 대비 55% 수준의 온실가스 배출을 한 반면 두께 기준으로는 71% ~ 77% 수준의 상대적으로 높은 온실가스 배출 비율을 보였다. 이는 각 소재의 중량 대비 두께의 비율이 다르기 때문이다.

판매단위에 따른 미네랄페이퍼와 인쇄용지의 온실가스 배출량 비교 결과 미네랄페이퍼는 120g/m<sup>2</sup>의 제품 1연당 국전 29.06kgCO<sub>2</sub>eq, 46전 41.78kgCO<sub>2</sub>eq의 배출량을 보인데 비해 인쇄용지는 국전 40.17kgCO<sub>2</sub>eq, 46전 57.77kgCO<sub>2</sub>eq의 배출량을 보여 미네랄페이퍼가 인쇄용지에 비해 38% 정도 온실가스 배출량이 낮은 것으로 나타났다. 고 평량 제품인 미네랄페이퍼 240g/m<sup>2</sup> 과 인쇄용지 250g/m<sub>2</sub> 을 비교했을 때는 미네랄페이퍼가 인쇄용지 대비 44% 정도 온실가스 배출량이 낮았다.

포스터 제작 시 미네랄페이퍼와 인쇄용지의 온실가스 배출량 비교 결과, 1000장의 포스터 제작 시 미네랄페이퍼가 40.59kgCO<sub>2</sub>eq, 인쇄용지가 61.86kgCO<sub>2</sub>eq로 미네랄페이퍼가 인쇄용지 대비 25% 낮았으며 인쇄용지에 추가적인 방수 가공 시에는 방수를 위한 추가가공이 필요 없는 미네랄페이퍼에 비해 온실가스 발생량이 52% 높았다. 쇼핑백 제작 시 미네랄페이퍼, 인쇄용지, HDPE의 배출량 비교 결과, 쇼핑백 1개 당 온실가스 배출량은 미네랄페이퍼가 0.057kgCO<sub>2</sub>eq, HDPE 0,057kgCO<sub>2</sub>eq, 인쇄용지 0.059kgCO<sub>2</sub>eq로 거의 동일 하였다. 반면에 방수를 위한 추가 가공 시에는 인쇄용지쇼핑백이 0.071kgCO<sub>2</sub>eq로 미네랄페이퍼, HDPE 쇼핑백에 비해 25% 높은 배출 수준을 보였다.

연구결과를 종합해 보면 첫째, 미네랄페이퍼의 생산에 따른 온실가스 발생을 줄이기 위해서는 온실가스 배출의 약 45%를 차지하는 전기 사용에 의한 온실가스 배출과 약 42%를 차지하는 HDPE 사용 부분에서 환경부하 개선을 위한 노력이 필요하다. HDPE를 대체 할 수 있는 좀 더 환경 친화적인 소재에 대한 검토가 필요하며 제조과정에서 제품 완성 수율을 높여 전기 사용 효율을 높이고 재생 에너지와 같이 환경부하가 상대적으로 적은 에너지 사용을 통해 환경부하를 줄이는 노력이 필요하다.

둘째, 미네랄페이퍼의 환경영향 비교 평가 결과, 중량 단위, 두께 단위, 판매 단위, 포스터 제작 단위, 쇼핑백 제작 단위 모두에서 미네랄페이퍼가 인쇄용지, 플라스틱 필름에 비해 상대적으로 낮은 탄소발자국 수준을 보였다.

셋째, 비교 연구 결과, 비교 기준에 따라 온실가스 발생 정도의 순서에는 큰 차이가 없었으나 발생 정도에는 기준 별로 차이가 있었다. 미네랄페이퍼와 인쇄용지 비교 시 중량 단위에서는 인쇄용지가 미네랄페이퍼 대비 38% 많은 배출량을 보였으나 쇼핑백 제작에 따른 소재 간 비교 관점에서는 거의 차이가 없었다. 또한, 방수 기능의 추가 가공 여부에 따라 많은 차이를 보였다.

어떠한 제품의 환경영향을 제품의 생애주기 전체에 걸쳐 평가하는 것은 제품에 사용되는 원료물질, 에너지 등과 생산에 수반되는 배출물질의 환경영향을 평가해야 함으로 여럿의 연구결과를 필요로 하는 것이다. 연구에 사용된 제품의 환경영향 평가방법, 투입 및 산출물의 배출계수 등에 대한 연구 결과가 없었다면 본 연구는 수행이 불가능했을 것이다. 앞의 연구자들에게 깊은 감사를 표하며 본 연구가 제품의 환경영향 연구에 조금이나마 도움이 되기를 그리고 미네랄페이퍼의 환경 개선에 도움이 되기를 기대한다.

## 참 고 문 헌

- 한국환경산업기술원, 2009, 탄소성적표지 작성 지침
- 박광호, 황용우, 조병목, 김형진, 2003, 제지 및 지류포장제품의 환경영향 평가
- 조현정, 황용우, 박광호, 조병목, 김형진, 2005, 골판지 포장재의 생산공정에 대한 LCA 수행 및 친환경 공정개선
- 황성진(역), 2003, LCA 실무입문
- 김청, 2003, 플라스틱 패키징의 기초와 응용
- 김청, 1998, 종이·판지 이야기
- 오세웅, 신익재, 정호균, 2005, Digital Graphic Arts, 165-175
- 전의찬 외, 2012, 기후변화: 25인의 전문가가 답하다, 96-115
- 이창석, 2011, 효율적인 일차배출권 투자 방안 연구, 세종대학교 석사 학위 논문
- 연성모, 노재성, 이건모, 1998, 전과정평가(LCA) 소프트웨어 특성

박찬혁, 정재훈, 최석순, 김성환, 2005, LCA 기법을 이용한 PET의 환경성평가에 관한 연구

맨디 하기스, 2009, 종이로 사라지는 숲이야기

가브리엘 워커, 데이비드 킹, 2008, 핫토픽 - 기후변화, 생존과 대응전략

한국제지공업연합회, [www.paper.or.kr](http://www.paper.or.kr), 산업현황

Subramanian Senthilkannan Muthu, Y. Li, J.Y. Hu, P.Y. Mok, 2010, Carbon footprint of shopping(grocery) bags in China, Hong Kong and India

Sunramanian Senthilkannan Muthu, Yi Li, Jun-Yan Hu, Pik-Yin Mok, 2009, An Exploratory Comparative Study on Eco-Impact of Paper and Plastic Bags

Ana Claudia Dias, Luis Arroja, Isabel Capela, 2007, Life Cycle Assessment of Printing and Writing Paper Produced in Portugal, Int J LCA 12 (7) 521-528

IPCC, 2007, Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability

ISO, 2006, ISO14044: Environmental management-Life Cycle Assessment-Requirements and guidelines

Axel Springer Verlag AG, STORA, CANFOR, 1998, A Life Cycle Assessment of the production of a daily newspaper and a weekly magazine

Environmental Paper Network, 2007, The State of the Paper Industry:  
Monitoring the Indicators of Environmental Performance

K.Plassmann, A Norton, N Attarzadeh, MP.Jensen, P. Brenton, 2010,  
Methodological Complexities of product carbon footprinting : a sensitivity  
analysis of key variables in a developing country context

Scott O'connell, Markus Stutz, 2010, Product Carbon Footprint(PCF)  
Assessnebt if Dell Laptop - Results and Recommendations

## ABSTRACT

# Carbon Footprint analysis of Mineral Paper using LCA method

Kim Byung-Jik  
Dept. of Cooperate Course for  
Climate Change  
The Graduate School  
Sejong University

The human carbon footprint, the total set of greenhouse gas emissions caused by human activities, is main reason of accelerated global warming. Effort of individuals in minimizing the carbon footprint is vital to save our planet. This article reports a study of the carbon footprint of Mineral Paper, paper made from mainly  $\text{CaCO}_3$ , using life cycle assessment(LCA) technique in two stages.

In the first stage carbon footprint of Mineral Paper is assessed. The LCA was conducted following Korea Product Carbon Footprint(KPCF) standard. The product life cycle stage considered was to manufacturing stage(cradle to gate stage) without usage and disposal stage. Whenever possible and feasible Life cycle inventory(LCI) data were collected from manufacturer of Mineral Paper and remaining data were obtained by calculation and from the specialized



databases such as Korea Life Cycle Inventory(KLCI) database and others.

In the second stage result of carbon footprint of Mineral Paper was compared with wood pulp based printing paper and plastic film in a comparison standard of weight, thickness, sales unit, poster product, and shopping bag product. Carbon footprint data of compared materials were from KLCI database.

The result show that carbon footprint of Mineral Paper was 0.81kgCO<sub>2</sub>eq/kg. Carbon footprint caused from electricity was 0.371kgCO<sub>2</sub>eq/kg account for 45.85% of its total carbon footprint. Carbon footprint on Mineral Paper's HDPE content was 0.347kgCO<sub>2</sub>eq/kg account for 42.87%. These two factors in total accounted for 88.72% of Mineral Paper's total carbon footprint.

In comparison by weight, carbon footprint of Mineral Paper was the lowest followed by printing paper, PVC, PP and HDPE. In comparison by thickness, Mineral Paper and wood-free paper were the lowest followed by PP, Art paper, PVC and HDPE. In comparison by sales unit and poster producing, Mineral Paper was lower in carbon footprint than printing paper. In comparison by producing shopping bag, Mineral Paper, printing paper and HDPE shopping bag had shown similar carbon footprint but when water resistant converting for shopping bag was considered, printing paper shopping bag showed the highest carbon footprint, higher by 25% than Mineral Paper and HDPE shopping bag.

In conclusion, carbon footprint of Mineral Paper is the lowest compare to that of printing paper and plastic film in standard of comparison by weight, thickness, sales unit, poster products, and shopping bag products. However, value of carbon footprint would differ depending on comparison unit used. To reduce carbon footprint of Mineral Paper, study shows potential in electricity usage and in raw material, HDPE. Reducing defect rate, 20%, in manufacturing

stage can increase efficiency of electricity usage resulting carbon footprint decrease. Also, using renewable energy can be an option. Replacing Mineral Paper's HDPE to biodegradable plastic or lower carbon footprint material that can be used as binding agent of the product can be considered.