

DIP 및 BTMP 혼합비율에 따른 인쇄용지의 LCCO₂ 분석

서진호 · 김형진[†] · 정성현¹ · 박광호²

접수일(2013년 4월 5일), 수정일(2013년 4월 18일), 채택일(2013년 4월 19일)

LCCO₂ analysis of wood-containing printing paper by mixed ratio of de-inked pulp and BTMP

Jin Ho Seo, Hyoung Jin Kim[†], Sung Hyun Chung¹ and Kwang Ho Park²

Received April 5, 2013, Received April 18, 2013, Accepted April 19, 2013

ABSTRACT

Recently, there are growing interests on carbon emissions related in climate change which is worldwide emerging important issue. Some research works are now carrying out in order to reduce the carbon emission in pulp and paper industries by the synthesis of precipitated calcium carbonate using the exhaust carbon dioxide from combustion furnace or incinerator. However, for solving the original problems on carbon emission, we need to consider the analysis of basic methodology on CO₂ through the process efficiencies. There are two general tools for carbon emissions; one is the greenhouse gas inventory and the other is LCCO₂ method which is applied to particular items of raw materials and utilities in unit process.

In this study, the carbon emissions in wood-containing printing paper production line were calculated by using LCCO₂ method. The general materials and utilities for paper production, such as fibrous materials, chemical additives, electric power, steam, and industrial water were analyzed. As the results, Na₂SiO₃ showed the highest loads in carbon emissions, and the total amount of carbon emissions was the highest in electricity. In the production line of printing paper using de-inked pulp and BTMP, as the mixing ratio of DIP was higher, the carbon emissions were decreased because of high use of electric power in TMP process.

Keywords; Newspaper process, BTMP, DIP, LCCO₂, greenhouse gas

• 국민대학교 임산생명공학과 (Dept. of Forest Products & Biotechnology, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea)

1. 전주페이퍼 (KCCL Building 45 Namdaemunro 4ga, Chung-gu, Seoul 100-743, Korea)

2. (주)에스오알지 (Ahasanro 634, 307-ho, Gwangjin-gu, Seoul 143-802, Korea)

[†] 교신저자 (Corresponding Author) : E-mail : hyjikim@kookmin.ac.kr

1. 서론

최근 들어 지구온난화 문제는 전 세계적으로 중요한 환경 이슈로 대두되고 있으며, 우리나라에서도 산업화 및 도시집중화에 따른 온실가스의 발생량이 지속적으로 증가하고 있다. 지구온난화 문제에 대한 가장 근원적인 해결방법은 온실가스의 배출량을 감축하는 것으로서 신재생 에너지 개발, 폐기물 재활용, 에너지 절약 등이 고려되고 있다. 이를 위해 각 국에서는 지구온난화에 가장 큰 영향을 미치는 이산화탄소 저감 및 산업 공정별 기후변화에 대응하기 위한 다양한 연구와 분석을 진행하고 있다. 더불어 대중의식의 향상으로 인해 환경문제에 대한 관심도 한층 고조되었으며, 환경 관련 정부조직 및 산하 연구기관, 비정부조직, 단체 등의 감시 활동도 활발해 지고 있다.

우리나라는 대기, 수질, 폐기물, 소음진동 등 환경에 대한 관련 법규들이 체계적으로 잘 정비되어 있다. 수질 관련의 경우 수질환경보전법을 기반으로 오염물질의 배출허용 기준이 설정되어 있으며, 산업분야에 따라 수처리 공정을 통해 규제에 대응하고 있다. 대기 관련의 경우 암모니아, 일산화탄소, SO_x, NO_x 등과 같은 규정된 오염물질이 존재하지만, 최근 주요 관심사가 되고 있는 온실가스의 주요 원인물질인 이산화탄소와 관련된 규제범위는 체계화 되지 못한 측면이 존재한다.^{1,2)} EU의 주요국들은 온실가스 배출권거래제를 도입하고 있으며 일본, 캐나다, 캘리포니아, EPA 등은 배출량 등록 프로그램을 운영하고 있다. 우리나라의 경우 2010년 470개 사업장을 목표관리 대상 사업장으로 지정하여 온실가스 배출량 관리를 시행하였으며 점차적으로 그 대상범위를 넓히고 있다.³⁾

현재 제지산업의 경우 이산화탄소 배출량 규제의 직접적 영향권에는 속하지 않으나 추후 지속적인 규제 강화에 발맞춰 이산화탄소 배출량 저감을 위한 노력이 절대적으로 요구되고 있다. 최근에는 각종 산업공정에서 배출되는 이산화탄소를 이용하여 경질탄산칼슘 합성 공정에 적용함으로써, 이산화탄소의 재이용을 통한 배출량 감축 연구가 여러 연구자에 의해 진행되고 있다. 그러나 단위공정별 이산화탄소 배출량 조사방법이나 공정 내 조건 개선에 따른 이산화탄소 배출량 저감 효과를 위한 연구는 여전히 부족한 실정이다.

일반적인 탄소배출량 분석방법은 크게 두 가지로 대별된다. 하나는 온실가스 인벤토리 개념을 적용한 방법으로서 사업장이나 기업의 시스템을 대상으로 6대 온실가스 즉, CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, SF₆ 등의 배출에 대한 인벤토리 구축이다.^{3,4)} 이 방법은 기업이 운영 중인 조직 내에 직·간접적인 온실가스 배출원을 규명하고, 배출원으로 인한 온실가스 배출량을 산출 및 목록화 하여 온실가스의 배출량을 파악하는 작업을 포함한다.³⁾ 다른 하나는 LCA 기반의 LCCO₂의 개념을 도입한 방법으로 특정 제품을 대상으로 탄소배출량을 산정하는 방법이다. 탄소라벨링 취득, 탄소발자국 산정 등에 이용하는 방법으로 제품 및 공정에 대해 원료의 취득에서부터 제조, 사용 및 처리에 이르기까지 전 과정에 관련된 환경영향 중 탄소배출량 측면을 산정한다.⁵⁻⁷⁾ 두 방법 모두 6대 온실가스에 대한 영향만을 고려한다는 점에서 동일한 특성을 지니고 있으나 온실가스 인벤토리 가이드라인을 이용한 방법은 일반적으로 배출전망치(BAU, Business As Usual)를 산정하기 위해 활용되며⁴⁾ LCCO₂ 배출량 산정은 제품 및 공정의 전 과정을 고려하기 때문에 제품 단위로 배출총량을 산정하기 위해 활용된다는 차이점이 존재한다.⁵⁾

본 연구에서는 천연펄프를 원료로 하는 인쇄용지 제조공정이 아니라 DIP와 BTMP를 원료로 하여 백색도 76% 이상의 인쇄용지를 생산하고자 하는 공정을 대상으로 탄소 배출량을 분석하였다. 인쇄용지 제조 시 DIP 및 BTMP 혼합비율에 따른 이산화탄소 배출량을 산정하여 비교하였으며, 각 혼합 조건에 따른 배출총량 산정에 적합한 LCCO₂ 기법을 응용하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 탄소배출량 분석대상

탄소배출량 분석은 국내 J사의 제조공정 중 DIP 및 BTMP를 이용하여 백색도 76%, 반점 8개 이하/m²의 인쇄용지 제조를 목표로 하는 공정을 분석 대상으로 실시하였다. DIP 및 BTMP를 이용한 인쇄용지 제조 시 DIP 첨가 비율에 따른 탄소배출량 저감 효과를 알아보고자 DIP 및 BTMP 생산공정의 단위공정별 투입원료와 유틸리티에 대한 기초조사를 실시하고, 이를 탄소배출량 산출에 이용하였다. J사의 DIP 공정 및 BTMP

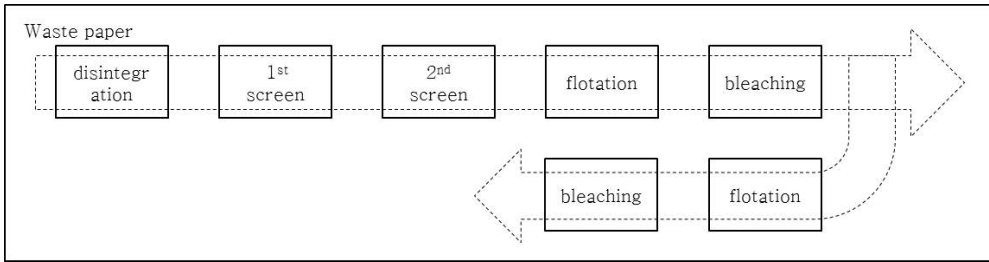


Fig. 1. De-inked pulp manufacturing process.

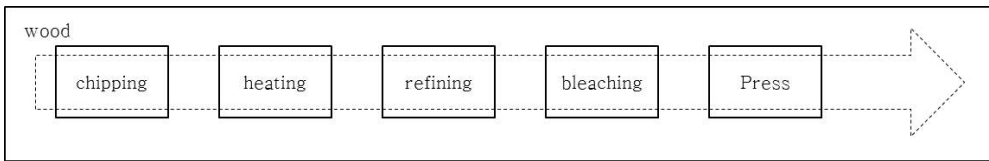


Fig. 2. Bleached TMP(thermomechanical pulp) manufacturing process.

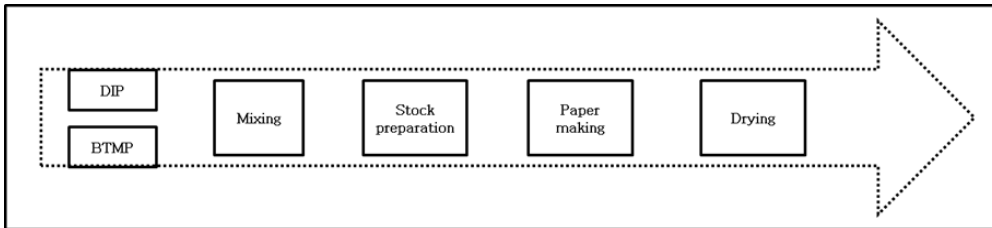


Fig. 3. Wood-containing printing paper process.

공정 모식도를 Fig. 1 및 2에 나타냈으며, DIP와 BTMP를 이용한 인쇄용지 공정을 Fig. 3에 나타냈다.

2.2 실험방법

2.2.1 원·부자재 및 유틸리티 투입량 분석

인쇄용지 생산 시 원료로서 사용되는 DIP 및 BTMP를 대상으로 조사를 실시하였다. 각 단위공정별로 투입되는 원료와 유틸리티의 종류를 조사한 후 각각의 항목을 최종 제품인 DIP, BTMP에 대해 총괄적으로 표기하였다. 또한 원·부자재 및 유틸리티의 투입량은 펄프

생산에 사용되는 실제 투입량을 기준으로 하였으며, DIP 및 BTMP 1 ton 생산 시 원·부자재 및 유틸리티 투입량을 Table 1에 나타냈다.

2.2.2 투입원료 및 유틸리티별 탄소배출량 분석

DIP 및 BTMP 생산 시 투입되는 원·부자재 및 유틸리티는 총 8 종류로 분류하였으며, 각 투입 물질별 탄소배출량을 산정하기 위하여 사용된 DB를 Table 2에 나타냈다. DB로부터 조사된 각 투입물질의 6대 온실가스 배출량을 국내 탄소성적표지 인증제도의 지구온난

Table 1. Dosage of raw materials and utilities.

	Waste paper, ton	Wood, ton	H ₂ O ₂ , kg	NaOH, kg	Na ₂ SiO ₃ , kg	Electric power, kWh	Steam, ton	Industrial water, ton
1 st DIP	1.63	-	40.50	32.40	33.75	254.48	0.09	0.20
2 nd DIP	-	-	130.0	30.00	35.00	281.26	0.14	-
BTMP	-	1.04	188.0	81.50	72.50	3,788.0	0.30	-

$$\begin{aligned}
 \text{Carbon emissions, kg CO}_2 \text{ eq./t} = & (\text{CO}_2 \text{ emissions of raw material} \times \text{GWP of CO}_2) \\
 & + (\text{CH}_4 \text{ emissions of raw material} \times \text{GWP of CH}_4) \\
 & + (\text{N}_2\text{O emissions of raw material} \times \text{GWP of N}_2\text{O}) \\
 & + (\text{HFCs emissions of raw material} \times \text{GWP of HFCs}) \\
 & + (\text{PFCs emissions of raw material} \times \text{GWP of PFCs}) \\
 & + (\text{SF}_6 \text{ emissions of raw material} \times \text{GWP of SF}_6)
 \end{aligned}$$

Equation 1. Calculation of Carbon emissions.**Table 2. The database of raw materials and utilities.**^{1,5-6)}

Classification		Data base	Source
Fibrous materials	Waste paper	Waste paper, mixed, from public collection, for further treatment	Ecoinvent
	Wood	Round wood, Scandinavian softwood, under bark, u=70% at forest road	
Chemical additives	H ₂ O ₂	Hydrogen peroxide, 50% in H ₂ O, at plant	Korea LCI DB
	NaOH	Caustic soda, NaOH	
	Na ₂ SiO ₃	Sodium Silicate, Na ₂ SiO ₃	
Utilities	Electric power	Electricity	Korea LCI DB
	Steam	Steam	
	Industrial water	Industrial water_Jeonbuk	

Table 3. Global Warming Potential.⁴⁾

Designation	Chemical formula	GWP(Global Warming Potential)
Carbon dioxide(CO ₂)	CO ₂	1
Methane	CH ₄	21
Nitrous oxide(N ₂ O)	N ₂ O	310
HFC-23	CHF ₃	11,700
HFC-32	CH ₂ F ₂	650
HFC-41	CH ₃ F	150
HFC-43-10mee	C ₅ H ₂ F ₁₀	1,300
HFC-125	C ₂ HF ₅	2,800
HFC-134	C ₂ H ₂ F ₄	1,000
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	1,300
HFC-152a	C ₂ H ₄ F ₂	140
HFC-143	C ₂ H ₃ F ₃	300
HFC-143a	C ₂ H ₃ F ₃	3,800
HFC-227ea	C ₃ HF ₇	2,900
HFC-236fa	C ₃ H ₂ F ₆	6,300
HFC-245ca	C ₃ H ₃ F ₅	560
Sulphur hexafluoride(SF ₆)	SF ₆	23,900
Perfluoromethane(CF ₄)	CF ₄	6,500
Perfluoroethane(C ₂ F ₆)	C ₂ F ₆	9,200
Perfluoropropane(C ₃ F ₈)	C ₃ F ₈	7,000
Perfluorobutane(C ₄ F ₁₀)	C ₄ F ₁₀	7,000
Perfluorocyclobutane(c-C ₄ F ₈)	c-C ₄ F ₈	8,700
Perfluoropentane(C ₅ F ₁₂)	C ₅ F ₁₂	7,500
Perfluorohexane(C ₆ F ₁₄)	C ₆ F ₁₄	7,400

Table 4. Dosage of raw materials and utilities by mixed ratio of DIP and TMP.

Mixed ratio		Classification							
DIP	TMP	Waste paper	Wood	H ₂ O ₂	NaOH	Na ₂ SiO ₃	Electric power	Steam	Industrial water
0	10	0.00	1.04	188.00	81.50	72.50	3788.00	0.30	0.00
1	9	0.16	0.94	186.25	79.59	72.13	3462.77	0.29	0.02
2	8	0.33	0.83	184.50	77.68	71.75	3137.55	0.29	0.04
3	7	0.49	0.73	182.75	75.77	71.38	2812.32	0.28	0.06
4	6	0.65	0.62	181.00	73.86	71.00	2487.10	0.27	0.08
5	5	0.82	0.52	179.25	71.95	70.63	2161.87	0.27	0.10
6	4	0.98	0.42	177.50	70.04	70.25	1836.64	0.26	0.12
7	3	1.14	0.31	175.75	68.13	69.88	1511.42	0.25	0.14
8	2	1.30	0.21	174.00	66.22	69.50	1186.19	0.24	0.16
9	1	1.47	0.10	172.25	64.31	69.13	860.97	0.24	0.18
10	0	1.63	0.00	170.50	62.40	68.75	535.74	0.23	0.20

화 지수를 이용하여 CO₂ 당량으로 산정하였으며 산정된 값의 합계를 통해 각 투입물질의 탄소배출량을 분석하였다. 분석 시 사용된 지구온난화 지수는 1996년에 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 보고 지침의 지구온난화 지수⁴⁾를 준용한 것으로 Table 3에 나타냈다. 탄소배출량 산출은 다음 식 1에 따라 계산되었다.

2.2.3 DIP 투입비율 조건에 따른 탄소배출량 분석

DIP 및 BTMP의 투입 물질별 탄소배출량 분석 결과를 토대로 각 펄프 1 ton을 생산할 경우 발생하는 탄소배출량 분석을 실시하였으며, 또한 DIP와 BTMP의 혼합비율에 따라 생산되는 인쇄용지의 탄소배출량 변화를 분석하였다. DIP와 BTMP의 투입비율에 따른 원·부자재 및 유틸리티 투입량 변화를 Table 4에 나타냈

다. DIP 생산 시 사용되는 약품 및 유틸리티의 투입량이 BTMP 생산 시 사용되는 양에 비해 미미한 수준이며 따라서 실질적인 약품 및 유틸리티의 투입량은 DIP 투입량이 증가함에도 불구하고 BTMP 투입량 감소에 의한 영향으로 감소하는 경향을 나타냈다.

3. 결과 및 고찰

3.1 투입원료 및 유틸리티 별 탄소배출량 분석

3.1.1 섬유상 원료의 탄소배출량 분석

DIP와 BTMP의 원료로서 사용되는 폐지와 목재에 대한 탄소배출량을 분석하였으며, 국내 DB의 경우 관련항목이 존재하지 않으므로 해외 DB인 ecoinvent의 DB를 분석에 사용하였다. 국내에서 사용되는 폐지의 경

Table 5. Carbon emissions of waste paper.^{4,6)}

Greenhouse gas	DB value(ton)	GWP(Global Warning Potential)	Carbon emissions, kgCO ₂ eq./ton
CO ₂	6.50.E-02	1.00.E+00	6.50.E-02
CH ₄	8.24.E-05	2.10.E+01	1.73.E-03
N ₂ O	2.48.E-06	3.10.E+02	7.68.E-04
C ₂ F ₆	6.80.E-10	9.20.E+03	6.26.E-06
SF ₆	4.44.E-10	2.39.E+04	1.06.E-05
C ₂ H ₂ F ₄	6.22.E-08	1.00.E+03	6.22.E-05
C ₂ H ₄ F ₂	3.23.E-12	1.40.E+02	4.52.E-10
CF ₄	5.76.E-09	6.50.E+03	3.75.E-05
CHF ₃	1.22.E-12	1.17.E+04	1.43.E-08
Total			6.76.E-02

Table 6. Carbon emissions of round wood.^{4,6)}

Greenhouse gas	DB value(ton)	GWP(Global Warning Potential)	Carbon emissions, kgCO ₂ eq./ton
CO ₂	1.59.E+01	1.00.E+00	1.59.E+01
CH ₄	7.01.E-04	3.10.E+02	2.17.E-01
N ₂ O	2.21.E-07	9.20.E+03	2.04.E-03
C ₂ F ₆	3.79.E-07	2.39.E+04	9.05.E-03
SF ₆	1.65.E-05	1.00.E+03	1.65.E-02
C ₂ H ₂ F ₄	2.01.E-02	2.10.E+01	4.22.E-01
C ₂ H ₄ F ₂	1.85.E-06	6.50.E+03	1.20.E-02
CF ₄	4.82.E-10	1.17.E+04	5.64.E-06
CHF ₃	2.23.E-09	1.40.E+02	3.12.E-07
Total			1.66.E+01

우 잡지, 신문지, 책지 등의 혼합비율이 일정하지 않아 각 폐지별로 구분이 어려우므로 ecoinvent DB 내에 유사항목인 'waste paper, mixed, from public collection, for further treatment' 항목을 사용하였다.⁵⁻⁶⁾

BTMP의 원료로 사용되는 목재의 경우 국내산 간벌재가 다수를 이루고 있으며, 이는 ecoinvent의 round wood 항목 중 합수율 70%의 원목을 표시한 항목에 가장 적합하다고 판단되어 'round wood, Scandinavian softwood, under bark, u=70% at forest road' 항목을 탄소배출량 분석에 사용하였다.⁵⁻⁶⁾ 폐지와 목재 모두 6대 온실가스 중 9종의 온실가스가 DB 내에 포함되어 있었으며, 탄소배출량 산출 결과를 Table 5 및 6에 나타냈다.

CO₂ 당량으로 산정 결과, 폐지 1kg 생산 시 탄소배출량은 6.76E-02 kgCO₂eq.로 나타났으며, 목재원료 1m³ 생산 시 탄소배출량은 1.66E+01 kgCO₂eq.로 산출

되었다. 전체적으로 목재를 원료로 사용할 경우 폐지보다 높은 탄소배출량을 나타냈으며 6대 온실가스 중 특히 CO₂ 부분에서 큰 차이를 나타냈다.

3.1.2 첨가 약품의 탄소배출량 분석

DIP와 BTMP 생산 시 첨가되는 약품의 탄소배출량을 산출하고자 하였으며, 과산화수소, 수산화나트륨, 규산소다 등에 대한 분석을 실시하였다. 과산화수소의 경우 ecoinvent의 'hydrogen peroxide paper' DB⁵⁾를 이용하였다. 과산화수소는 6대 온실가스 중 9종의 온실가스가 DB 내 포함되어 있었으며 탄소배출량 분석 결과를 Table 7에 나타냈다. 과산화수소 1kg 생산 시 탄소배출량은 1.19E+00 kgCO₂eq.로 산출되었다.

수산화나트륨 및 규산소다는 환경부에서 관리하고 있는 국내 LCIDB의 '가성소다(NaOH)', '규산나트륨(Na₂SiO₃)' 관련 DB를 이용하였으며 6대 온실가스 중

Table 7. Carbon emissions of hydrogen peroxide.^{4,5,7)}

Greenhouse gas	DB value(kg)	GWP(Global Warning Potential)	Carbon emissions, kgCO ₂ eq./kg
CO ₂	1.12.E+00	1.00.E+00	1.12E+00
CH ₄	1.86.E-05	3.10.E+02	5.76E-03
N ₂ O	1.62.E-08	9.20.E+03	1.49E-04
C ₂ F ₆	5.14.E-08	2.39.E+04	1.23E-03
SF ₆	1.16.E-08	1.00.E+03	1.16E-05
C ₂ H ₂ F ₄	2.98.E-03	2.10.E+01	6.25E-02
C ₂ H ₄ F ₂	1.28.E-07	6.50.E+03	8.29E-04
CF ₄	6.13.E-11	1.17.E+04	7.17E-07
CHF ₃	2.97.E-10	1.40.E+02	4.16E-08
Total			1.19.E+00

Table 8. Carbon emissions of sodium hydroxide.^{1,4)}

Greenhouse gas	DB value(ton)	GWP(Global Warning Potential)	Carbon emissions, kgCO ₂ eq./ton
CO ₂	6.16.E+02	1.00.E+00	6.16E+02
CH ₄	5.79.E-01	2.10.E+01	1.22E+01
N ₂ O	2.28.E-03	3.10.E+02	7.07E-01
Total			6.29.E+02

Table 9. Carbon emissions of sodium silicate.^{1,4)}

Greenhouse gas	DB value(ton)	GWP(Global Warning Potential)	Carbon emissions, kgCO ₂ eq./ton
CO ₂	1.32.E+03	1.00.E+00	1.32E+03
CH ₄	8.73.E+00	2.10.E+01	1.83E+02
N ₂ O	5.50.E-03	3.10.E+02	1.70E+00
Total			1.51.E+03

3종의 온실가스가 DB에 포함되어 있다.¹⁾ 수산화나트륨 및 규산소다의 DB 값과 온난화지수를 이용하여 CO₂ 당량으로 산정한 결과를 Table 8 및 9에 나타냈으며 수산화나트륨 1 ton 생산 시 탄소배출량은 6.29E+02 kgCO₂eq., 규산소다 1 ton 생산 시 탄소배출량은 1.51E+03 kgCO₂eq.로 나타났다. 수산화나트륨의 경우 전체 원·부자재 및 유틸리티에 있어 가장 높은 탄소배출량을 나타냈으나 실질적인 사용량을 고려할 때 탄소배출총량에 대한 영향력은 전력에 의한 영향보다 낮은 것으로 분석되었다. 또한 간 약품의 사용량을 절감할 경우 탄소배출량 저감 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

3.1.3 펄프 생산 시 소비되는 유틸리티의 탄소배출량 분석

펄프를 생산하기 위해서는 다양한 단위공정이 요구되며 각 공정의 운영에는 전력, 용수, 스팀 등이 소모된다. 전력의 경우 국가전력거래소 배출계수와 산업통상

자원부에서 관리하고 있는 전력생산 국가 LCI DB가 있으며, 이 중 산업통상자원부에서 관리하고 있는 전력생산 국가 LCI DB를 이용하였으며 6대 온실가스 중 3종의 온실가스가 DB 내 포함되어 있다.¹⁾ CO₂ 당량으로 산정 결과, 전력 1 kWh 생산 시 탄소배출량은 4.95E-01 kgCO₂eq.로 나타났으며, 그 결과를 Table 10에 나타냈다.

국내 용수 DB는 탄소성적표지용 배출계수인 공업용수 DB와 상수 DB가 존재하며, 국가 LCI DB에는 지역별 공업용수와 상수 DB가 있다. 본 연구에서는 J사가 위치한 전북권의 공업용수 DB(환경부)를 이용하였으며, 6대 온실가스 중 3종의 온실가스가 DB 내에 포함되어 있다.¹⁾ CO₂ 당량으로 산정 결과, 용수 1 ton 생산 시 탄소배출량은 1.23E-01 kgCO₂eq.로 분석되었으며 각 온실가스의 탄소배출량 결과를 Table 11에 나타냈다.

스팀의 배출계수는 스팀 생산 시 투입물질, 유틸리티 소비에 따른 배출량을 통해 산정해야 한다. 본 연구

Table 10. Carbon emissions of electric power.^{1,4)}

Greenhouse gas	DB value, kWh	GWP(Global Warning Potential)	Carbon emissions, kgCO ₂ eq./kWh
CO ₂	4.87.E-01	1.00.E+00	4.87E-01
CH ₄	3.53.E-04	2.10.E+01	7.41E-03
N ₂ O	1.53.E-06	3.10.E+02	4.74E-04
Total			4.95E-01

Table 11. Carbon emissions of industrial water.^{1,4)}

Greenhouse gas	DB value(ton)	GWP(Global Warning Potential)	Carbon emissions, kgCO ₂ eq./ton
CO ₂	1.21.E-01	1.00.E+00	1.21E-01
CH ₄	8.40.E-05	2.10.E+01	1.76E-03
N ₂ O	3.64.E-07	3.10.E+02	1.13E-04
Total			1.23.E-01

Table 12. Carbon emissions of steam.^{1,4)}

Greenhouse gas	DB value(ton)	GWP(Global Warning Potential)	Carbon emissions, kgCO ₂ eq./ton
CO ₂	4.10.E-02	1.00.E+00	4.10E-02
CH ₄	1.92.E-05	2.10.E+01	4.03E-04
N ₂ O	2.28.E-06	3.10.E+02	7.08E-04
Total			4.21.E-02

에서 사용한 스팀 DB는 산업통상자원부에서 관리하고 있는 steam 국가 LCIDB이며, 6 대 온실가스 중 3 종의 온실가스가 DB 내 포함되어 있다.¹⁾ CO₂ 당량으로 산정 결과, 스팀 1 MJ 생산 시 탄소배출량은 4.21E-01 kgCO₂eq.로 나타났다.

3.2 DIP 및 BTMP 1 ton 생산 시 탄소배출량 분석

DIP 및 BTMP의 혼합비율에 따라 생산된 인쇄용지의 탄소배출량을 산출하고자 각각의 펄프 1 ton 생산 시 탄소배출량과 원·부자재가 차지하는 비율을 분석하였다. DIP 1 ton 생산 시 탄소배출량 및 원·부자재의 비율은 Fig. 3 및 4에 나타났다.

DIP 1 ton 생산 시 탄소배출량은 6.11E+02 tCO₂eq.로 나타났으며 전력에 의한 탄소배출량이 2.65E+02

tCO₂eq.로 전체 탄소배출량 중 43.38%를 차지하여 가장 높게 나타났다. 또한 과산화수소에 의한 탄소배출량은 2.03E+02 tCO₂eq.로 전체 배출량 중 약 33%의 높은 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 주재료인 폐지에 의한 탄소배출량은 1.10E-01 tCO₂eq.로 전체 탄소배출량 중 약 0.02%를 차지했으며 스팀과 용수를 제외하고 원·부자재 중 가장 낮은 비율을 지닌 것으로 분석되었다.

BTMP 1 ton 생산 시 원·부자재에 따른 탄소배출량 산출 결과를 Fig. 5에 나타냈으며 각 원료가 전체 배출량에 대해 차지하는 비율을 분석하여 Fig. 6에 나타냈다.

BTMP 1 ton 생산 시 탄소배출량은 2.28E+03 tCO₂eq.로 나타났으며, 전력에 의한 탄소배출량이 1.88E+03 tCO₂eq.로 전체 탄소배출량 중 82.4%를 차

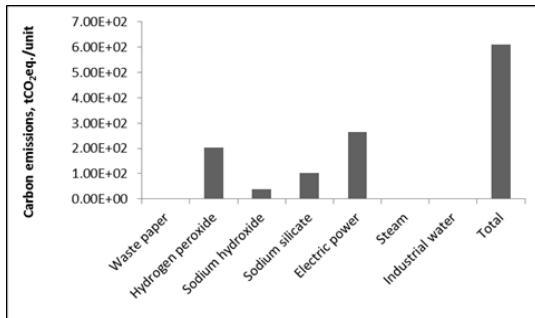


Fig. 4. Carbon emissions of de-inked pulp(1ton).

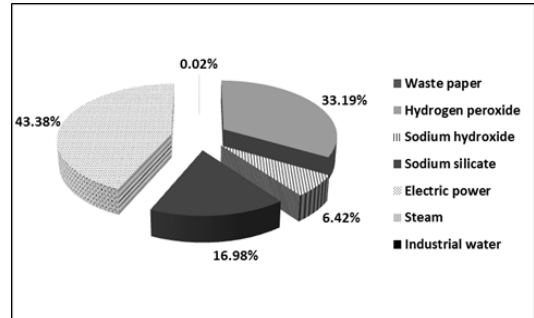


Fig. 5. Proportion of carbon emissions of raw materials and utilities in DIP.

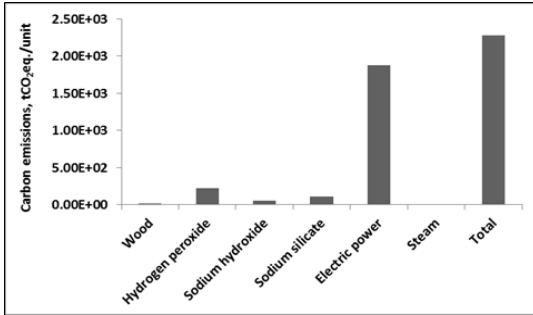


Fig. 6. Carbon emissions of thermomechanical pulp(1ton).

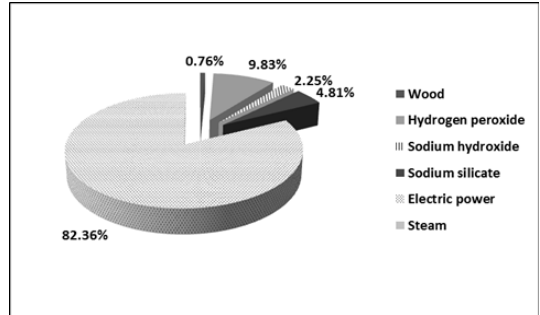


Fig. 7. Proportion of carbon emissions of raw materials and utilities in TMP.

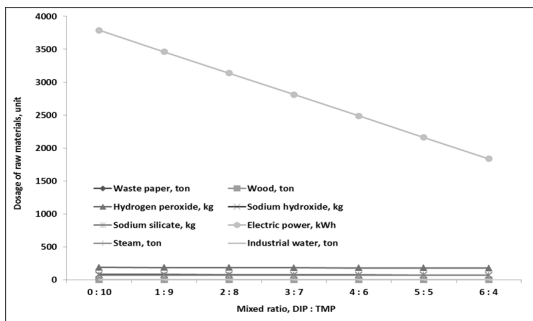


Fig. 8. Dosage of raw materials and utilities by mixed ratio(DIP:TMP).

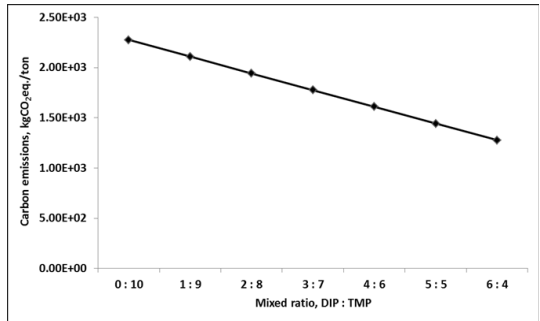


Fig. 9. Carbon emissions of printing paper by mixed ratio(DIP:TMP).

지하여 가장 높게 나타났다. 주재료인 목재원료에 의한 탄소배출량은 1.73E+01 tCO₂eq.로 전체 탄소배출량 중 약 0.8%를 차지했으며, 화학약품 중에서는 과산화수소의 탄소배출량이 2.24E+02 tCO₂eq.로 전체 중 9.8%, 규산소다가 1.09E+01 tCO₂eq., 수산화나트륨이 5.13E+01 tCO₂eq.순으로 높은 비율을 차지하였다.

3.3 DIP 및 BTMP 투입비율에 따른 탄소배출량 분석

DIP 및 BTMP의 투입비율 조건을 조절하여 인쇄용지 1 ton을 제조할 경우 각 비율에 따른 원·부자재 및 유틸리티 소비량과 전체 탄소배출량을 분석하고자 하였으며, 그 결과를 Fig. 7 및 8에 나타냈다.

각 투입비율에 따른 인쇄용지 1 ton 생산 시 탄소배출량은 BTMP의 투입비율이 감소할수록 감소하는 경향을 보였으며, 이는 BTMP 생산 시 사용되는 전력 사용량의 감소와 정확히 일치하는 경향을 나타냈다. DIP

대 BTMP 투입비율 0:10 조건에 따른 탄소배출량은 2.28E+03 tCO₂eq.로 나타났으며 DIP의 투입량을 60%로 증가시킬 경우 탄소배출량은 1.28E+03 tCO₂eq.로 50% 이상의 탄소배출량을 저감하는 것으로 분석되었다. BTMP 투입비율 10%저하와 DIP 투입비율 10% 증가 당 약 7.32%의 탄소배출량 저감 효과가 있는 것으로 나타났으며, BTMP의 탄소배출량 중 82.4%가 전력에 의한 부분임을 감안한다면 DIP 투입 외에도 BTMP 생산 시 전력 저감은 탄소배출량 저감에 효율적일 것으로 판단된다. DIP의 투입비율을 증가시킬수록 탄소배출량 저감 효과는 증대되나 실제 생산된 용지의 물리적 강도, 인쇄적성 등을 고려할 때 적절한 투입비율을 유지하거나 추가적인 강도보강 처리가 요구될 것으로 보인다.

4. 결론

전세계적으로 강화되고 있는 탄소배출량 규제에 대

응하고자 DIP 및 BTMP 생산 시 투입되는 원료와 유틸리티의 탄소배출량을 측정하였으며, 인쇄용지 생산 시 각 펄프의 투입비율 조절을 통해 탄소배출량 저감의 가능성을 확인하였다.

1. 목재를 펄프 원료로 사용할 경우 탄소배출량은 $1.66E+01 \text{ kgCO}_2\text{eq.}$ 였으며, 폐지의 경우 $6.76E-02 \text{ kgCO}_2\text{eq.}$ 로 목재의 0.4% 수준이었다.
2. DIP 및 BTMP 생산 시 가장 높은 탄소배출량을 나타낸 약품은 규산소다로서 $1.5E+03 \text{ kgCO}_2\text{eq.}$ 였으며, 과산화수소는 $1.19E+03 \text{ kgCO}_2\text{eq.}$, 수산화나트륨은 $6.29E+02 \text{ kgCO}_2\text{eq.}$ 로 분석되었다.
3. 투입원료 외에 생산에 사용되는 유틸리티 및 용수의 경우 전력, 스팀, 공업용수 등이 존재하였으며 이 중 전력이 $4.95E-01 \text{ kgCO}_2\text{eq.}$ 로 가장 높은 탄소배출량을 나타냈다.
4. 전체 투입되는 원·부자재 중 규산소다는 $1.50E+03 \text{ kgCO}_2\text{eq.}$ 로 가장 높은 탄소배출량을 나타냈다. 전력의 경우 $4.95E-01 \text{ kgCO}_2\text{eq.}$ 로 원·부자재 및 유틸리티 중 비교적 낮았으나 실제 생산 시 사용량 대비 탄소배출량은 전체 탄소배출량 중 가장 높은 비중을 차지하였다.
5. DIP와 BTMP 생산 시 전력 부분이 가장 높은 탄소배출량을 나타냈으며, 스팀은 탄소배출량이 가장 낮았다.
6. DIP와 BTMP 투입비율을 조정하여 인쇄용지를 제조할 경우 비교적 전력량이 많이 소모되는 BTMP의 첨가비율을 낮출수록 탄소배출량을 감소할 수 있었다.

따라서 DIP의 사용량 증대는 탄소배출량 저감에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되나 용도에 따른 강도적 특성, 인쇄적성 등을 고려하여 효율적인 혼합비를 조절하여야 할 것으로 보인다. 또한 전력 사용량에 따른 탄소배출량이 높은 비중을 차지함에 따라 생산공정 내 전력절감을 위한 공정효율화를 수반하여야만 탄소배출

량 저감 효과를 극대화 할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 산업통상자원부 글로벌전문기술개발사업에서 지원한 ‘고백색 무반점 친환경 탈묵 인쇄용지 개발’(과제번호: 10042023)과제의 지원으로 수행되었습니다.

인용문헌

1. Korea LCI Database Information Network, Korea Environmental Industry & Technology Institute, Retrieved September 10, 2012 from http://www.edp.or.kr/lcidb/lcidb/lcidb_intro.asp.
2. 한국환경산업기술원, 탄소성적표지 인증안내서 (2012).
3. WRI/WBCSD, The Greenhouse Gas Protocol, Revised edition(2004).
4. Eggleston H.S, Buendia L., Miwa K., Ngara T. dan Tanabe K.(eds), 2006 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES, Japan.
5. Althaus H.-J., Chudacoff M., Hischer R., Jungbluth N., Osses M., Primas A, Life Cycle Inventories of Chemicals Final report ecoinvent data v2.0, Swiss Centre for LCI(2007).
6. Hischer R, Life Cycle Inventories of Packaging and Graphical Paper Final report ecoinvent data v2.0, Swiss Centre for LCI(2007).
7. Althaus H.-J., Chudacoff M., Hischer R., Jungbluth N., Osses M., Primas A., Life Cycle Inventories of Chemicals Final report ecoinvent data v2.0, Swiss Centre for LCI(2007).