

Research Article

한우 거세우 탄소발자국의 지역별 현황 및 추세 분석

김도현¹, 유지석², 이학교^{1,2*}, 오재돈^{1*}

¹전북대학교 동물생명공학과 ²전북대학교 농축산식품융합학과

A study on the status and trends of the carbon footprint of Hanwoo steers by region.

Do Hyun Kim¹, Ji Suk Yu², Hak Kyo Lee^{1,2*}, Jae Don Oh^{1*}

¹Dept of Animal Biotechnology, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

²Dept. Of Agriculture & Livestock Food convergence, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

***Corresponding author:** **Jae Don Oh**, Dept of Animal Biotechnology, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Korea, E-mail : oh5ow@naver.com, **Hak Kyo Lee**, Dept of Animal Biotechnology, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Korea, E-mail : breedlee@empas.com

ABSTRACT

The issue of carbon neutrality has become more serious around the world. In particular, the livestock industry has been an industry with very high carbon emissions. The government provided support and subsidies to livestock farms and businesses to help them reduce carbon emissions. This assistance aimed to encourage the adoption of environmentally friendly practices and technologies, ultimately promoting carbon-efficient production. The livestock industry has also been researching technology development to reduce carbon emissions through improved productivity. The purpose of this study was to more accurately identify the carbon emissions status of the Hanwoo industry. We analyzed the carbon footprint status and trends of the Hanwoo by region. For this purpose, traceability information and slaughter information of Hanwoo slaughtered from 2015 to 2022 were collected and analyzed. We determined the impact of average carcass weight and slaughter age trends on carbon emissions. Through ANOVA analysis, it was confirmed that there was a significant change in the carbon footprint of each region ($p < 0.01$).

Key words: carbon emissions, carbon footprint, carbon neutral, Hanwoo.

INTRODUCTION

탄소 중립에 대한 문제는 전 세계적으로 심각하게 대두되고 있으며, 이에 따라 각 산업 분야에서도 탄소 배출에 대한 대응이 시급한 과제로 부각되고 있다. 특히 축산업은 탄소 배출량이 매우 높아, 지속 가능한 환경을 위한 대응책 마련이 절실한 분야로 대두되고 있다. 탄소중립은 총 탄소 배출량과 탄소 흡수량이 균형을 이루어, 순 탄소 배출이 없는 상태를 말한다. 탄소중립을 달성하기 위해서는 탄소 배출을 최소화하고, 남은 배출량을 탄소 흡수 프로젝트 등을 통해 상쇄하여, 탄소 배출을 제로 수준으로 줄이는 것을 목표로 한다. 정부는 2021년 9월, 탄소중립 사회로의 이행을 위해 ‘기후 위기 대응을 위한 탄소중립 녹색성장 기본법’을 제정하였다. 또한 ‘2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안’을 수립함으로써, 2018년 대비 전체 온실가스 40%를 감축하는 목표가 확정되었다. 농축수산분야의 경우 2030년 18백만톤 CO₂eq를 배출하여 18년 대비 27.1%를 감축해야 한다. 2020년 국가 온실가스 총배출량은 656.2백만톤 CO₂eq이며 농업 분야에서는 총 배출량의 3.2%를 차지하는 21.1백만톤 CO₂eq으로 측정되고 있다. 그 중 축산 분야의 배출량은 장내발효 4.7백만톤

Received September 07, 2023

Revised September 19, 2023

Accepted September 22, 2023

Copyright © 2023 Journal of Animal Breeding and Genomics.

 This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

CO₂eq, 가축분뇨처리 5.0백만톤 CO₂eq으로 농업분야의 약 46%를 차지하고 있다.

최근 축산분야에서는 저탄소 축산물 인증제 기준안을 마련하여 탄소배출량 저감을 위한 노력을 진행중에 있다. 이를 위해 계량화가 가능한 저탄소 농업기술 적용에 따른 배출량을 산정하고 기준배출량을 기준으로 농가별 탄소발자국의 평가와 인증을 위한 시범사업을 추진중에 있다. 대상 농장의 도체중 1kg당 온실가스(장내발효, 분뇨처리, 에너지) 배출량을 산정하며, 평균배출량(13.01kg/CO₂eq)의 27.1% 감축 수준인 기준 배출량(9.48kg/CO₂eq)을 만점으로 평가대상 농장의 실적을 평가하여 저탄소 한우 농장을 인증하고 있다. 탄소발자국이란 개인, 기업, 산업, 제품, 서비스 또는 활동 등이 일정 기간 동안 발생시킨 총 탄소 배출량을 의미한다. 일반적으로 CO₂ 단위로 측정되며, 탄소발자국은 해당 개체 또는 활동이 지구 온난화에 기여하는 정도를 나타낸다. 예를 들어, 개인의 탄소발자국은 일상적인 생활에서 자동차 운행, 전력 소비, 음식 섭취 등으로 인해 발생하는 탄소 배출량을 계산할 수 있다. 우리나라 한우산업의 탄소발자국을 세계의 주요 국가들과 비교한 결과 세계 최고 수준의 경쟁력을 갖고 있는 네덜란드와 미국 보다 다소 높은 것으로 확인되어 탄소중립 관점에서 매우 높은 수준의 경쟁력을 가지고 있는 것으로 확인되었다(Heo et al., 2022). 하지만 관련된 연구는 아직 미흡한 수준에 있어 보다 다양하고 활발한 연구가 요구되고 있다.

한우산업의 탄소배출량 저감을 위해 생산효율성을 강화하고 생산 기간을 단축하는 기술 개발을 추진 중에 있다. 사육환경 개선 및 관련 사양기술의 개발과 함께 개체별 효율적인 개량 기술의 개발이 핵심축으로 대두되고 있다. 탄소중립 문제는 한우산업의 지속가능한 발전을 위해 매우 중요한 문제이기 때문에 체계적이고 세부적인 대응 전략이 필요한 시점이다. 따라서 본 연구에서 전국에서 출하된 한우의 도축성적과 이력정보를 이용해 개체별 탄소발자국을 계산하고, 연도별 탄소발자국 추세변화 및 지역별 탄소발자국의 차이와 특징 등에 대한 비교분석을 통해 한우산업의 체계적이고 세부적인 탄소중립 대응을 위한 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

MATERIALS AND METHODS

1. 공시자료

본 연구의 공시자료는 2015~2022년까지 도축된 한우 거세우들 중에서 21~39개월령 사이에 출하된 3,247,508두의 이력정보와 도축성적을 축산물품질평가원에서 운영중인 축산물이력제 데이터랩(<https://datalab.mtrace.go.kr>)을 통해 확보하였다.

2. 탄소배출량 산정 방법

도체중 1 kg당 온실가스 배출량을 계산하였다. 2023년 저탄소 인증 시범사업을 위해 마련된 배출량 산정 관련 기준치를 기반으로 하였다(축산물품질평가원, 2023). 30개월령 기준으로 장내발효로 인한 배출원 CH₄는 개월당 배출량 107.7(CO₂eq/두, 기준값), 분뇨처리로 인한 배출원 CH₄와 N₂O의 개월당 배출량 33.4(CO₂eq/두, 기준값) 그리고 에너지로 인한 배출원 전력과 유류의 개월당 배출량 40.5(CO₂eq/두, 기준값), 16.6(CO₂eq/두, 기준값)로 합계 198.2(CO₂eq/두, 기준값)로 산정하여 계산하였다.

3. 통계분석

공시자료로 이용된 한우 거세우의 이력정보와 도축정보를 .csv파일로 수집 후 R program version 4.2.3을 활용하여 연도별 도체중, 도축개월령, 탄소발자국 등을 정리 또는 계산하였고, 이후 지역과 도축연도를 기준으로 정리하여 현황과 추세 분석에 활용하였다. 지역간 탄소발자국의 차이에 대한 유의성을 검증하기 위해 Python version 3.8.6을 활용하여 ANOVA 분석을 수행하였고, 유의성이 확인된 데이터의 사후검증(Scheffe test)을 수행하였다.

RESULTS AND DISCUSSION

국내에서 도축된 한우의 탄소발자국 현황을 파악하기 위해 축산물이력제 데이터랩(축산물품질평가원)을 통해 2015년부터 2022

년까지 한우 거세우의 도축두수, 도체중 평균, 도축개월령 평균 그리고 각 개체별 계산된 탄소발자국의 평균을 연도별로 정리하여 table 1에 제시하였다. 도축된 한우 거세우의 두수는 2016년에 359,009두로 전년대비 다소 감소하였으나, 이후 지속적으로 증가하여 2022년 447,635두로 확인되었다(축산물품질평가원). 단 2020년에는 400,578두로 전년대비 소폭 감소하는 현상이 있었으나, 이는 코로나19의 발병이후 대응하는 과정에서 일시적인 감소가 있었던 것으로 확인되며, 이후 한우 소비량이 증가하면서 다시 도축두수의 상승추세가 이어진 것으로 판단된다. 한우 거세우의 도체중 평균은 2015년 430 kg이었으며 꾸준히 증가하여 2022년에는 459.3 kg까지 증가하였다. 도축개월령은 2015년 31.4 개월에서 2020년까지 30.3 개월까지 감소하는 추세를 유지하였으나, 2021년에는 30.4개월로 소폭 증가하였고, 2022년에는 30.7개월로 증가한 것으로 확인되었다. 이는 한우의 가격이 2021년 중반까지 상승추세가 이어졌고 이후 가격하락이 진행되었으며, 2022년도에는 가파른 가격 하락이 진행되었는데, 한우 가격의 하락은 사육농가들이 육질등급을 더 잘 받아야만 수익을 유지할 수 있어 사육기간이 증가 추세로 전환되었을 것으로 추정된다. 탄소발자국의 평균은 2015년 14.5에서 꾸준히 감소하여 2022년에는 13.2까지 감소하였다. 2015년부터 도체중은 지속적으로 증가하는 추세가 확인되었고, 도축개월령 역시 2021년과 2022년에 살짝 증가하였으나 2015년부터 지속적으로 감소하는 추세가 확인되었다. 1 kg의 고기를 생산하는데 발생하는 탄소의 양을 계산하는 탄소발자국의 감소 추세에 영향을 미친 것으로 추정이 가능하다. 또한 2021년부터 도축개월령이 소폭 증가하였으나 탄소발자국은 꾸준히 감소추세를 유지할 수 있었던 것은 지속적으로 증가해오던 도체중의 증가폭이 2021년과 2022년도에 크게 상승하여 영향을 미친 것으로 추정된다.

Table 1. Number of slaughterer and average carcass weight, average slaughter months and average carbon footprints by year.

	Number of Slaughter	Carcass Weight	Slaughter Month	Carbon Footprint
2015	436,920	430.0±29.2	31.4±2.7	14.5±1.5
2016	359,009	437.0±30.6	31.1±2.5	14.2±1.4
2017	380,023	440.1±30.2	31.0±2.5	14.0±1.4
2018	389,408	444.1±30.6	30.6±2.4	13.7±1.4
2019	409,998	446.3±30.4	30.5±2.4	13.6±1.3
2020	400,578	447.8±30.9	30.3±2.4	13.4±1.3
2021	423,937	454.7±31.8	30.4±2.3	13.3±1.3
2022	447,635	459.3±32.3	30.7±2.3	13.2±1.3

또한 지역별 도축된 한우 거세우 집단의 특성과 차이점 및 탄소발자국 등의 비교를 위해 table 2에서는 9개 지역(강원도, 경기도, 충청북도, 충청남도, 전라북도, 전라남도, 경상북도, 경상남도 그리고 제주도)별 도축된 한우 거세우 두수와 도축개월령을 연도별로

Table 2 Number of slaughter and average slaughter month age by region and year

Region*	2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022	
	NO ¹	ASM ²	NO	ASM	NO	ASM	NO	ASM	NO	ASM	NO	ASM	NO	ASM	NO	ASM
GW	31,869	31±2.4	27,711	31±2.2	28,707	31±2.2	29,602	31±2.2	31,715	31±2.1	31,287	31±2.1	32,985	31±2.1	34,573	31±2.2
GG	53,388	31±2.5	44,090	31±2.4	47,732	31±2.4	47,290	30±2.3	49,598	30±2.3	48,235	30±2.4	51,229	30±2.3	51,962	31±2.3
GB	122,261	31±2.6	103,305	31±2.4	110,549	31±2.4	113,753	31±2.4	117,984	30±2.4	116,691	30±2.3	120,952	30±2.3	128,215	31±2.2
GN	42,749	32±2.7	35,498	32±2.5	36,028	32±2.5	38,459	31±2.5	39,044	31±2.4	37,493	31±2.4	38,592	31±2.4	40,261	31±2.4
JB	50,379	32±2.7	42,474	31±2.5	45,266	31±2.5	47,708	31±2.4	50,996	31±2.5	50,587	30±2.4	53,187	30±2.5	57,930	31±2.5
JN	59,975	32±2.7	44,756	31±2.7	48,213	31±2.6	45,406	31±2.6	52,281	31±2.5	46,497	30±2.5	52,492	31±2.5	55,590	31±2.5
CB	24,622	31±2.6	20,433	30±2.4	20,202	30±2.5	20,731	30±2.4	20,847	30±2.2	20,953	30±2.3	24,802	30±2.2	25,392	30±2.2
CN	47,101	31±2.8	36,954	31±2.6	39,381	31±2.6	42,438	31±2.5	42,781	30±2.4	44,793	30±2.4	45,456	30±2.3	49,343	31±2.4
JJ	4,576	33±2.8	3,788	33±2.9	3,945	33±2.8	4,021	32±2.7	4,752	32±2.8	4,042	31±2.6	4,242	31±2.5	4,369	31±2.7

Region*: GW; Gangwondo, GG; Gyeonggi-do, GB; Gyeongsangbuk-do, GN; Gyeongsangnam-do, JB; Jeollabuk-do, JN; Jeollanam-do, CB; Chungcheongbuk-do, CN; Chungcheongnam-do, JJ; Jeju-do.

¹NO: Number of Slaughter

²ASM: Average Slaughter Month.

정리하여 제시하였다. 지역별 도축두수를 확인할 결과 경상북도에서 생산된 거세우가 가장 많은 것으로 확인되었다. 2022년을 기준으로 국내에서 도축된 한우 거세우의 생산지역 비율은 경상북도가 28.6%, 전라북도가 12.9%, 전라남도가 12.4%, 경기도가 11.6%, 충청남도가 11% 경상남도가 9%, 강원도가 7.7%, 충청북도가 5.7% 마지막으로 제주도가 1% 순으로 확인되었다. 지역별 한우 거세우의 도축개월령은 충청북도가 가장 빠른 것을 확인할 수 있었다. 충청북도의 도축개월령은 2015년에 30.7로 확인되었으며 최근에는 30개월 초반대를 유지하고 있는 것으로 확인되었다. 대부분 지역에서 감소하고 있던 도축개월령의 추세가 2021년 이후 눈에 띄게 증가한 것이 확인되었으나, 충청북도의 경우는 매우 소폭 증가한 것으로 확인되었으며, 2021년의 도축개월령은 30.2, 2022년은 30.3으로 확인되었다. 가장 긴 도축개월령이 확인된 지역은 2022년에 31.3개월이 확인된 제주도가었으며, 내륙에서는 경상남도와 전라남도가 30.9개월로 가장 길었고, 다음은 강원도와 경상북도가 30.7개월로 확인되었다.

도축개월령과 도체중은 탄소발국의 증감에 크게 영향을 미치는 것으로 확인된다. 1개월 단위로 27개월령에서 34개월령사이 도축된 거세우들의 도체중을 연도별로 정리하여 table 3에 제시하였다. 2015년부터 2022년까지 모든 도축개월령에서 평균 도체중은 꾸준히 증가하는 추세가 확인된다. 2022년의 도축개월령별 평균 도체중을 살펴보면 26개월령에서 1개월 더 사육한 27개월령의 평균 도체중이 13.2 증가한 것으로 확인되었다. 28개월령은 27개월령 대비 9.1 증가하였고, 29개월령은 8.3, 30개월령은 6.2, 31개월령은 4.2, 32개월령은 3.1, 33개월령은 1.6 그리고 34개월령은 -0.2가 증가한 것으로 확인되었다. 27개월령 이후로 평균 도체중의 증가폭은 감소하기 시작하며, 개월령이 길어질수록 평균 도체중 증가폭의 감소는 더욱 둔화되는 것이 확인되었다. 32개월령 이후에는 도체중의 증가폭이 매우 적으며, 특히 2018년부터 2022년의 34개월령 평균 도체중은 33개월령 평균 도체중에 비해 거의 동일하거나 오히려 약간 줄어든 경우도 확인되었다.

Table 3. Average of carcass weight by year according to slaughter month age

Slaughter Month		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
26 month	12.3±1.8	402.7±42.0	406.0±43.5	413.5±39.8	417.3±39.6	418.2±37.3	423.6±40.8	426.2±44.5
27 month	12.3±1.5	413.0±35.8	418.1±34.9	426.2±32.3	428.5±32.2	430.0±30.3	436.0±33.7	439.4±36.6
28 month	12.4±1.1	421.7±29.2	426.2±28.0	433.9±26.8	437.2±26.5	439.0±26.1	445.2±27.9	448.5±29.7
29 month	12.6±0.9	430.2±24.5	433.4±23.0	440.1±24.1	443.3±23.4	445.8±23.0	452.4±24.4	456.8±25.5
30 month	12.9±0.8	436.4±21.6	438.9±21.2	445.8±22.1	447.5±21.9	450.2±22.3	457.0±22.6	463.0±23.4
31 month	13.2±0.8	441.4±21.7	443.6±21.4	449.4±22.6	451.6±22.1	454.7±23.0	460.8±22.7	467.2±22.8
32 month	13.5±0.9	444.4±22.3	446.7±22.5	452.2±23.7	454.6±24.2	457.6±25.2	464.0±25.1	470.3±24.7
33 month	13.9±1.0	445.7±25.1	449.0±25.2	454.2±26.5	456.6±27.7	458.6±29.0	464.7±29.3	471.9±27.7
34 month	14.4±1.2	446.3±28.6	451.8±29.7	454.1±31.0	455.9±33.4	458.1±34.6	461.9±35.5	471.7±32.9

사육환경과 목적에 따라 사육기간의 차이가 발생할 수 있으며, 이러한 사육기간이 길어질수록 생애주기 탄소배출량은 높아지게 된다(Gerber et al., 2013). 따라서 도축개월령별 탄소발자국의 추세를 확인하기 위하여 도축개월령과 도축연도별 한우 거세우 개체를 분류하여 탄소발자국 평균을 table 4에 제시하였다. 도축개월령이 증가할수록 탄소발자국도 함께 증가하였으며, 도축개월령이 증가할수록 탄소발자국의 증가폭이 더 커지는 것을 확인하였다. 또한 2015년 대비 2022년의 탄소발자국은 평균 1이 감소하였으며,

Table 4. Calculated average of carbon footprint by year according to slaughter month age.

Slaughter Month	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
26 month	12.3±1.8	13.0±1.8	12.9±1.8	12.6±1.6	12.5±1.6	12.4±1.5	12.3±1.6	12.3±1.8
27 month	12.3±1.5	13.1±1.5	12.9±1.5	12.6±1.3	12.6±1.2	12.5±1.2	12.4±1.3	12.3±1.5
28 month	12.4±1.1	13.2±1.2	13.1±1.1	12.8±1.0	12.7±1.0	12.7±1.0	12.5±1.0	12.4±1.1
29 month	12.6±0.9	13.4±1.0	13.3±0.9	13.1±0.9	13.0±0.8	12.9±0.8	12.7±0.8	12.6±0.9
30 month	12.9±0.8	13.7±0.8	13.6±0.8	13.4±0.8	13.3±0.8	13.2±0.8	13.0±0.7	12.9±0.8
31 month	13.2±0.8	14.0±0.8	13.9±0.8	13.7±0.8	13.6±0.8	13.6±0.8	13.4±0.8	13.2±0.8
32 month	13.5±0.9	14.3±0.8	14.2±0.8	14.1±0.9	14.0±0.9	13.9±0.9	13.7±0.9	13.5±0.9
33 month	13.9±1.0	14.7±1.0	14.6±0.9	14.5±1.0	14.4±1.0	14.3±1.1	14.1±1.0	13.9±1.0
34 month	14.4±1.2	15.2±1.2	15.0±1.2	14.9±1.3	14.9±1.4	14.8±1.4	14.7±1.5	14.4±1.2

26~34개월령의 모든 도축개월령에서도 동일한 감소 추세가 확인되었다. 26개월령과 27개월령의 탄소발자국은 모든 년도에서 비슷한 수준에서 확인되었고, 28개월 이후부터는 탄소발자국의 증가폭이 점점 커지는 것으로 확인되었다. 이는 table 3에서 제시한 바와 같이 도축개월령에 따른 평균 도체중의 증가폭은 사육기간이 길어질수록 점점 줄어드는 반면, table 4에 제시된 도축개월령에 따른 탄소발자국의 증가폭은 사육기간이 길어질수록 점진적으로 증가한 것이 확인되었다.

다음은 도축된 한우 거세우의 지역별 탄소발자국간의 차이를 분석하기 위하여 Table 5에는 각 지역에서 출하된 한우 거세우의 도체중 평균을 년도별로 분류하여 제시하였다. Table 5의 마지막열에는 2015년 대비 2022년의 도체중의 증가량(ICW: increased total carcass weight)을 계산하여 제시하였다. 2015년 평균 도체중이 가장 큰지역은 강원도(437.8 kg)로 확인되었고, 다음으로 경상남도(435.5 kg)와 경상북도(434.2 kg)인 것으로 확인되었다. 반면 2022년에는 경상남도(472.5 kg)의 평균 도체중이 가장 큰 것으로 확인되었다. 경상남도는 2015년 대비 2022년의 평균 도체중이 37 kg이 증가 하였으나, 강원도의 경우 19.8 kg이 증가한 것으로 확인되었다. 평균 도체중이 가장 작은 지역은 2015~2022년 모두에서 제주도인 것으로 확인되었지만, 제주도의 경우 2015년 대비 2022년의 평균 도체중의 증가폭이 46.3 kg으로 가장 높은 것으로 확인되었다.

Table 5. Average and standard deviation of carcass weight by region and year.

Region*	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	ICW**
GW	437.8±32.3	440.2±31.1	440.4±31.1	444.3±31.7	444.7±31.5	446.1±31.8	451.9±31.7	457.6±33.0	19.8
GG	426.3±30.5	434.4±31.6	437.0±30.9	440.4±31.5	441.4±31.5	444.6±32.6	447.9±31.0	452.2±32.4	25.9
GB	434.2±25.1	440.7±27.0	444.9±26.5	448.5±26.8	449.5±27.0	451.9±26.8	460.0±28.2	468.5±28.2	34.3
GN	435.5±32.1	446.4±33.4	450.2±33.6	453.0±33.3	455.3±33.2	457.9±34.4	466.2±35.2	472.5±35.3	37.0
JB	424.9±27.5	432.1±28.5	435.9±28.2	440.6±28.3	444.6±27.7	443.6±28.3	448.6±30.2	457.1±29.1	32.2
JN	428.3±28.7	435.6±30.9	439.6±30.1	443.1±31.2	446.8±31.1	447.3±31.7	455.2±31.6	463.4±32.8	35.1
CB	426.1±31.3	433.7±31.5	433.8±32.5	439.9±34.4	442.7±33.3	443.9±34.4	453.6±35.1	458.5±34.2	32.4
CN	424.9±30.3	430.0±32.0	431.5±31.1	436.3±32.0	440.9±31.6	441.6±32.2	449.6±33.4	453.8±34.7	28.9
JJ	403.4±26.7	409.3±29.8	424.5±31.2	433.5±29.3	429.6±32.9	432.6±30.1	439.9±30.8	449.7±33.0	46.3
Mean	426.8±29.4	433.6±30.6	437.5±30.6	442.2±31	443.9±31.1	445.5±31.3	452.5±31.9	459.3±32.5	32.5

Region*: GW; Gangwondo, GG; Gyeonggi-do, GB; Gyeongsangbuk-do, GN; Gyeongsangnam-do, JB; Jeollabuk-do, JN; Jeollanam-do, CB; Chungcheongbuk-do, CN; Chungcheongnam-do, JJ; Jeju-do.

ICW**: increased carcass weight(2022-2015)

도축된 한우 거세우의 탄소발자국의 변화 추세와 출하된 지역간의 차이를 확인하기 위해 출하지역과 도축연도별로 정리하였으며, ANOVA 분석을 통해 지역간의 탄소발자국 차이를 검증한 결과 분석된 모든 년도에서(2015~2022년) 유의적인 F값($p < 0.01$)이 확인되었으며, 사후검증(Scheffe test)을 통해 각 지역간의 유의적인 관계를 분석하여 table 6에 제시하였다. 2022년을 기준으로 탄소발자국이 가장 높은 지역은 제주도(13.9)인 것으로 확인되었다. 제주도는 섬이라는 지리적 특성으로 유전자원의 교류가 활발하지 못

Table 6. Calculated average of Carbon Footprint by region and year.

Region*	2015**	2016**	2017**	2018**	2019**	2020**	2021**	2022**	RCF***
GW	14.3±1.4 ^a	14.1±1.3 ^{acd}	14.0±1.3 ^a	13.8±1.4 ^{ae}	13.8±1.4 ^a	13.6±1.3 ^a	13.4±1.3 ^{afh}	13.4±1.3 ^a	0.89
GG	14.3±1.5 ^b	14.0±1.5 ^b	13.9±1.4 ^{bdg}	13.6±1.4 ^{bg}	13.6±1.4 ^{bg}	13.5±1.3 ^{bg}	13.4±1.4 ^b	13.4±1.4 ^{bh}	0.90
GB	14.4±1.3 ^c	14.1±1.3 ^{acd}	13.9±1.3 ^c	13.6±1.2 ^c	13.5±1.2 ^c	13.3±1.2 ^c	13.1±1.2 ^{cd}	13.0±1.1 ^{cd}	1.36
GN	14.5±1.6 ^d	14.1±1.6 ^{acd}	13.9±1.5 ^{bdg}	13.7±1.5 ^d	13.5±1.4 ^d	13.4±1.4 ^d	13.1±1.4 ^{cd}	13.0±1.4 ^{cd}	1.53
JB	14.8±1.4 ^e	14.4±1.4 ^e	14.2±1.3 ^e	13.8±1.3 ^{ae}	13.7±1.3 ^{ef}	13.4±1.2 ^{eg}	13.4±1.3 ^e	13.3±1.3 ^e	1.46
JN	14.7±1.5 ^f	14.3±1.4 ^f	14.1±1.4 ^f	13.8±1.4 ^f	13.7±1.4 ^{ef}	13.5±1.4 ^{fh}	13.4±1.4 ^{af}	13.3±1.3 ^f	1.44
CB	14.4±1.5 ^g	14.0±1.4 ^g	13.9±1.5 ^{bdg}	13.6±1.6 ^{bg}	13.6±1.5 ^{bg}	13.4±1.5 ^{beg}	13.3±1.4 ^g	13.1±1.3 ^g	1.21
CN	14.7±1.5 ^h	14.3±1.6 ^h	14.2±1.4 ^h	13.9±1.5 ^h	13.7±1.4 ^h	13.6±1.4 ^h	13.4±1.3 ^{ah}	13.4±1.4 ^{bh}	1.26
JJ	16.1±1.5 ⁱ	15.9±1.7 ⁱ	15.3±1.6 ⁱ	14.8±1.4 ⁱ	14.7±1.5 ⁱ	14.4±1.5 ⁱ	14.2±1.4 ⁱ	13.9±1.5 ⁱ	2.20

Region*: GW; Gangwondo, GG; Gyeonggi-do, GB; Gyeongsangbuk-do, GN; Gyeongsangnam-do, JB; Jeollabuk-do, JN; Jeollanam-do, CB; Chungcheongbuk-do, CN; Chungcheongnam-do, JJ; Jeju-do.

** : The means with different superscripts in the same row are different significantly by the Scheffe test($p < 0.01$).

RCF*** : reduced carbon footprint(2015-2022)

한 부분과 다소 긴 도축개월령(table 2)으로 인해 타지역에 비해 탄소발자국이 높은 것으로 확인되고 있다. 하지만 최근 평균 도체중이 빠르게 증가하면서 탄소발자국의 감소폭이 가장 큰 지역으로 확인되었다. 제주도의 탄소발자국은 16.1(2015년)에서 13.9(2022년)로 2.2가량이 감소하였다. 제주도를 제외한 내륙지역에서 강원도, 경기도 그리고 충청남도가 13.4의 가장 높은 탄소발자국이 확인되었고, 가장 낮은 지역은 경상북도와 경상남도가 13.0인 것으로 확인되었다. 또한 내륙에서 감소폭이 큰 지역은 경상남도로 14.5(2015년)에서 13.0(2022년)으로 1.5가량의 탄소발자국이 감소하였다. 반면 강원도와 경기도는 탄소발자국의 감소폭이 가장 적은 것으로 확인되었으며, 2015년에 14.2(강원도), 14.3(경기도)에서 2022년에 13.3(강원도)과 13.4(경기도)로 0.89의 탄소발자국이 감소한 것으로 확인되었다. 각 지역의 탄소발자국 감소추세(Table 6)와 평균 도체중의 증가추세(Table 5)가 음의 상관관계를 나타내는 경향을 확인할 수 있다. 제주도의 평균 도체중 증가폭은 46.3 kg으로 가장 큰 것으로 확인되었고, 탄소발자국 역시 2.2로 가장 큰 감소폭이 확인되었다. 강원도와 경기도의 평균 도체중 증가폭은 19.8 kg(강원도)과 25.9 kg(경기도)로 가장 낮았으며, 탄소발자국의 감소폭 역시 강원도(0.89)와 경기도(0.90) 순으로 가장 낮은 것이 확인되었다. 또한 제주도를 제외한 내륙에서는 경상남도의 평균 도체중 증가폭(37 kg)이 가장 컸으며, 탄소발자국 감소폭(1.53) 역시 높게 확인되었다. 2015년부터 2022년까지 년도별 평균 도체중은 꾸준히 증가하는 추세가 유지되었다. 도축개월령은 2020년까지 감소하는 추세를 보였으나, 2021년부터 증가하는 추세로 전환되었다. 이는 한우가격이 하락하면서 사육기간을 늘려서라도 육질등급을 더 높게 받아 수익을 보존하려는 농가가 많아졌기 때문인 것으로 추정된다. 탄소발자국의 경우 평균 도체중의 증가와 함께 지속적인 감소추세를 유지하였는데, 이는 도축개월령이 소폭 증가해 미치는 영향력 보다는 도체중이 꾸준히 증가한 것이 더 큰 영향을 미친 것으로 추정된다. 또한 table 3과 4에서 제시한 결과에 따르면, 사육기간이 길어질수록 도축개월령별 평균 도체중의 증가폭은 줄어들었고, 반면 도축개월령에 따른 탄소발자국의 증가폭은 사육기간이 길어질수록 점진적으로 증가하였다. 각 지역별 거세우의 평균 도체중의 변화 추세가 서로 차이가 있음이 확인되었고, 탄소발자국의 차이도 유의적인 수준($P<0.01$)에서 확인되었다. 모든 지역에서 매년 탄소발자국이 감소하는 추세가 확인되었으며, 지역별 평균 도체중의 증가추세와 탄소발자국의 감소추세가 음의 상관에서 경향치가 확인되었다. 또한 fig. 1에서는 지역별 도축두수와 탄소발자국의 변화 추세를 그래프로 제시하였다. 도축두수는 구제역과 코로나19 등과 같은 질병의 발병과 소비자들의 소비여력에 따라 매년 변동성이 확인되고 있으나, 탄소발자국은 전국적으로 감소하는 추세가 유지되고 있는것을 확인하였다.

본 연구를 통해 한우 거세우의 년도별 탄소발자국의 감소 추세를 확인하였으며, 도축개월령과 도체중이 미치는 영향과 지역별 탄소발자국의 차이와 변화 추세 등을 확인하였다. 지역별 탄소발자국의 차이가 유의적인 것으로 확인되었으며, 이는 같은 품종의 한우 집단에서도 지역별 사육환경의 특성과 개량 현황 등이 많은 영향을 미치고 있음을 시사한다. 또한 현재 저탄소 한우 관련 제도들은 고기의 생산량과 연관된 요소 중심으로 집중되어 있으나(축산물품질평가원, 2023), 한우 품종에 특화된 품질(근내지방도) 등에 대한 고려가 필요하며, 다차원적인 개량목표 설정을 통해 유전적 다양성을 확보하면서 탄소중립 취지에 부합하는 효율성 높은 개량 기법과 최신 기술을 활용하는 세부적이고 체계적인 전략 마련이 시급한 것으로 판단된다(Quinton et al., 2018; Barwick et al., 2019; Samsonstuen et al., 2020). 현재 저탄소 축산물 인증제도에서는 저메탄사료 또는 저단백 사료 급여에 대한 부분을 계량화가 불가능한 농업기술로 인정하여 급여여부에 대한 가산점을 부여하는 방식을 채택하고 있으나, 향후 비계량화 저탄소 기술의 적용에 대한 논의가 활발하게 진행중에 있다. 한우산업이 탄소배출량을 감소시키고 지속가능한 산업으로 유지하기 위해서는 단편적인 문제의 해결과 노력으로는 한계가 있으며, 산업전반에서 지속적이고 체계적인 개량 및 사육시스템의 향상을 지원하고 이를 통해 감축된 배출량은 탄소배출권 등으로 전환되어 재투자가 가능한 시스템의 구축이 필요하다(Caro et al., 2014; Sirohi, 2015). 본 연구는 한우산업 전반의 데이터 분석을 통해 탄소발자국의 변화 추세와 영향 요소에 대한 기초자료를 제공하고 향후 탄소중립을 위한 한우산업 세부전략 수립을 위한 유용한 자료가 될 것으로 기대한다.

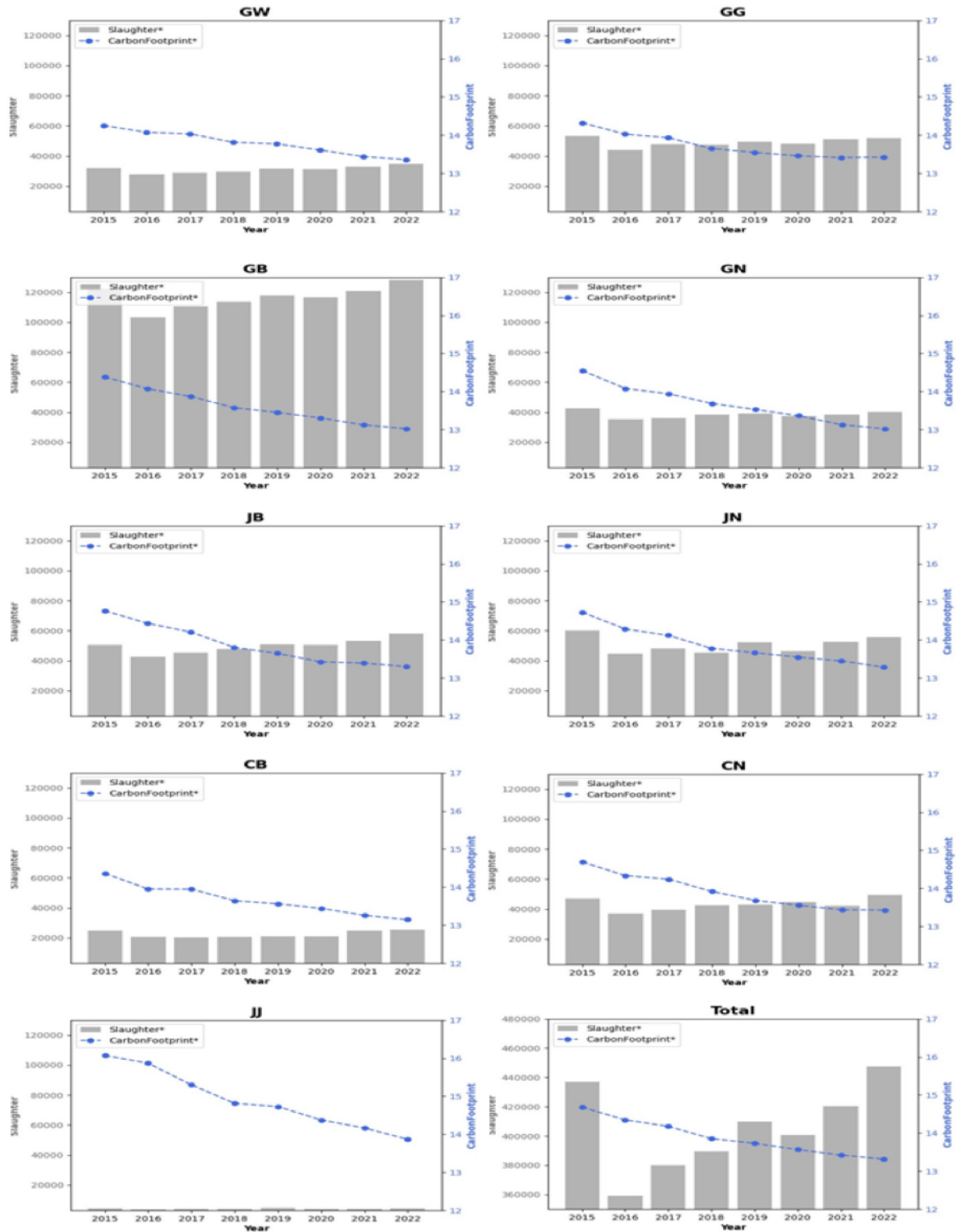


Fig. 1. Trends in carbon footprint values and number of slaughter by region. GW; Gangwondo, GG; Gyeonggido, GB; Gyeongsangbukdo, GN; Gyeongsangnamdo, JB; Jeollabukdo, JN; Jeollanamdo, CB; Chungcheongbukdo, CN; Chungcheongnamdo, JJ; Jeju.

*Slaughter: Average number of slaughtered animals per year

*CarbonFootprint: CarbonFootprint by year

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 농촌진흥청(PJ01621803) 및 과학기술정보통신부 연구개발특구진흥재단의 지역의 미래를 여는 과학기술 프로젝트 (2022-DD-UP-0333) 지원에 의해 이루어 졌으며, 한우 거세우의 이력정보와 도축정보를 축산물이력제 데이터랩을 통해 제공해주신 축산물품질평가원 관계자들에게 감사드립니다.

REFERENCES

- Barwick SA, Henzell AL, Herd RM, Walmsley BJ, Arthur PF. 2019. Methods and consequences of including reduction in greenhouse gas emission in beef cattle multiple-trait selection. *Genetics Selection Evolution*, 51(1): 1-13.
- Caro D, Davis SJ, Bastianoni S, Caldeira K. 2014. Global and regional trends in greenhouse gas emissions from livestock. *Climatic change*, 126(1): 203-216
- Gerber PJ, Steinfeld H, Henderson B, Mottet A, Opio C, Dijkman J. FAO; Rome: 2013. Tackling climate change through livestock: A global assessment of emissions and mitigation opportunities.
- Heo JY, Back SW, Lee HK. 2022. Impact of Beef Self-Sufficiency Improvement in Korea on Global Greenhouse Gas Emission Reduction. *Journal of Animal Breeding and Genomics*, 6(1):1-9.
- Quinton C, Hely F, Amer P, Byrne T, Cromie A. 2018. Prediction of effects of beef selection indexes on greenhouse gas emissions. *Animal*, 12(5): 889-897.
- Samsonstuen S, Åby BA, Crosson P, Beauchemin KA, Aass L. 2020. Mitigation of greenhouse gas emissions from beef cattle production systems. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A—Animal Science*, 69(4): 220-232.
- Sirohi S. 2015. Opportunities and challenges for carbon trading from livestock sector, *Climate change impact on livestock: adaptation and mitigation*: 239-252: Springer
- 축산물품질평가원. 2023. 저탄소 축산물 인증제 인증기준
- 축산물품질평가원. 축산물이력제 데이터랩. <https://datalab.mtrace.go.kr>