

## 2020년 이후 농업부문 온실가스 배출량 전망과 감축잠재량 분석

정현철<sup>\*\*</sup> · 이종식<sup>\*</sup> · 최은정<sup>\*</sup> · 김건엽<sup>\*</sup> · 서상욱<sup>\*</sup> · 정학균<sup>\*\*</sup> · 김창길<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>국립농업과학원 농업환경부 기후변화생태과, <sup>\*\*</sup>한국농촌경제연구원 자원환경연구부

### Post-2020 Emission Projection and Potential Reduction Analysis in Agricultural Sector

Jeong, Hyun Cheol<sup>\*†</sup>, Lee, Jong Sik<sup>\*</sup>, Choi, Eun Jung<sup>\*</sup>, Kim, Gun Yeob<sup>\*</sup>, Seo, Sang Uk<sup>\*</sup>,  
Jeong, Hak Kyun<sup>\*\*</sup> and Kim, Chang Gil<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Division of Climate Change & Agroecology, Department of Agricultural Environment,  
National Academy of Agricultural Science, Wanju 55365, Korea

<sup>\*\*</sup>Dept. of Resource & Environment Research, Korea Rural Economic Institute, Naju 58217, Korea

#### ABSTRACT

In 2014, the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) agreed to submit the Intended Nationality Determined Contributions (INDCs) at the conference of parties held in Lima, Peru. Then, the South Korean government submitted the INDCs including GHGs reduction target and reduction potential on July, 2015. The goal of this study is to predict GHGs emission and to analyze reduction potential in agricultural sector of Korea. Activity data to estimate GHGs emission was forecast by Korea Agricultural Simulation Model (KASMO) of Korea Rural Economic Institute and estimate methodology was taken by the IPCC and guideline for MRV (Measurement, Reporting and Verification) of national greenhouse gases statistics of Korea. The predicted GHGs emission of agricultural sectors from 2021 to 2030 tended to decrease due to decline in crop production and its gap was less after 2025. Increasing livestock numbers such as sheep, horses, swine, and ducks did not show significant impact the total GHGs emission. On a analysis of the reduction potential, GHGs emission was expected to reduce 253 Gg CO<sub>2-eq.</sub> by 2030 with increase of mid-season water drainage area up to 95% of total rice cultivation area. The GHGs reduction potential with intermittent drainage technology applied to 10% of the total paddy field area, mid-drainage and no organic matter would be 92 Gg CO<sub>2-eq.</sub> by 2030.

Key Words: INDCs, GHG, Agricultural Sector, Projection, Methane, Nitrous Oxide

#### 1. 서 론

2014년 페루 리마에서 개최된 제20차 기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) 당사국총회(Conference of the Parties, COP)에서는 각국이 정하는 자발적 기여 방안(Intended Nationality Determined Contributions, INDCs)을 2015년까지 제출하기로 합의하였으며, 사무국은 같은 해 10월까지 제출된 INDCs의 종합적 효과에 대한 종합보고서를 11월까지 준비하기로 합의하였다(KCRC, 2014). INDCs에는 온실가스 감축목표와 관련된 기준년도, 기간, 범위,

방법론 등과 자국의 기여에 대한 정보를 담도록 하였고, 각국이 현재 수준보다 강화된 '후퇴(Backsliding)없는' 수준에서 온실가스 감축목표를 제출하도록 합의하였다(KIEP, 2015; UNFCCC, 2014). 이미 우리나라는 2009년 온실가스 감축목표를 2020년 배출전망치(Business As Usual, BAU) 대비 30%로 결정하고 국제사회에 약속한 바 있으며, 국내적으로는 저탄소 녹색성장기본법에 온실가스 감축목표에 대해 명시하고 있다. 우리나라는 온실가스 감축목표 달성을 위해 7개 산업부문별로 감축량을 할당하였고, 농림어업부문도 5.2%(1,484 천톤 CO<sub>2-eq.</sub>)의 온실가스 의무감축을 할당받았다(환경부, 2014). 농업부문

<sup>†</sup> Corresponding author : [taiji152@korea.kr](mailto:taiji152@korea.kr)

Received August 31, 2015 / Revised September 11, 2015 / Accepted September 21, 2015

에서는 논 간단관개 면적 확대, 화학비료 사용 절감, 가축분뇨 처리시설 확대 및 양질 조사료 보급 확대, 에너지 이용 효율화 등을 통해 2020년까지 온실가스 감축목표를 달성할 계획이다 (Lee *et al.*, 2014).

우리나라 농업부문에서 발생하는 온실가스 배출량은 국가 전체 배출량의 약 3.2%로 타 산업에 비해 온실가스 배출에 미치는 영향은 작다(환경부 온실가스종합정보센터, 2014). 그러나 농업은 기후에 직접적으로 노출되어 있고, 식량안보와 같은 국민의 생존과 직결되어 있기 때문에 온실가스 감축과 적응에 있어 신중한 접근이 필요하다(Myeong, 2014). 또한 우리나라를 포함한 유럽 등 주요 선진국들은 이미 농업부문에서 온실가스 감축을 해왔기 때문에 감축잠재량은 개도국에 비해 적다(Myeong, 2014). 우리나라는 지난 7월 UNFCCC에 INDCs를 제출한 바 있고, 온실가스 감축목표 달성을 위해 향후 감축 기술 선정, 감축 이행계획 수립 등 많은 노력을 기울여야 한다.

본 연구는 2021년부터 2030년까지 농경지분야 온실가스 배출량을 전망하고, 국가 온실가스 감축목표에 기여하기 위한 감축잠재량을 평가하였다. 감축잠재량 전망을 위해 현재까지 개발된 벼는 간단관개, 논물얹게대기, 무경운, 유기물 관리, 토양개량제 사용 등의 감축기술들 중 우리나라 농업 여건과 수리시설현황, 농업생산성, 식량안보, 통계 구축현황 등을 고려하여 감축기술을 선정하고, 기술 보급에 따른 감축량을 산정하였다(Ju *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2013a; Shin *et al.*, 2003; Yagi and Minami, 1990).

2.1 활동자료 전망

농업부문 온실가스 배출량 전망을 위해서는 작물 재배면적 및 생산량, 화학비료 생산량, 가축사육 두수 등의 활동자료가 필요하다. 이를 위해 2023년까지의 활동자료는 한국농촌경제연구원(Korea Rural Economic Institute, KREI)에서 개발한 장기전망 활동자료 모형인 KASMO(Korea Agricultural Simulation Model)를 활용하였고, 2023년부터 2030년까지는 로그함수를 이용하여 추정하였다. 활동자료 전망을 위한 전제조건으로는 인구, GDP, 소비자물가, 생산자물가, 환율, 국제원유가 등의 거시경제변수를 적용하였고, 농산물 시장개방과 관련하여 한·EU FTA, 한·미 FTA, 한·호주 FTA 등의 결과가 반영되었다. KASMO 모형은 거시경제부문, 투입제가격부문, 재배업부문, 축산부문, 농가인구부문, 농업총량부문의 6개 부문으로 상호 연계되어 있다. Fig. 1은 KASMO 모형의 구조를 나타낸다(Kim *et al.*, 2013c).

KASMO 모형에 의해 전망된 활동자료는 Table 1, 2, 3과 같다. 벼, 보리, 밀 재배면적은 2021년 이후 2030년까지 지속적으로 감소할 것으로 전망되었다(Table 1). 작물 생산량의 경우, 벼, 보리, 옥수수의 생산량은 지속적으로 감소하는 추세를 보이는 반면, 밀의 생산량은 증가할 것으로 전망되었다. 두류 생산량은 2030년까지 다소 감소할 것으로 전망되었고, 양과 생산량은 증가할 것으로 전망되었다(Table 2). 화학비료(질소) 투입량은 2015년 291천 톤에서 2030년에는 253천 톤으로 감소할 것으로 전망되었다. 가축 사육두수의 경우, 한·육우는 2025년까지 증가하다 2030년까지는 감소할 것으로 전망되었고, 젖소는 2030년까지 지속적으로 감소할 것으로 전망되었다. 돼지,

2. 자료 및 방법

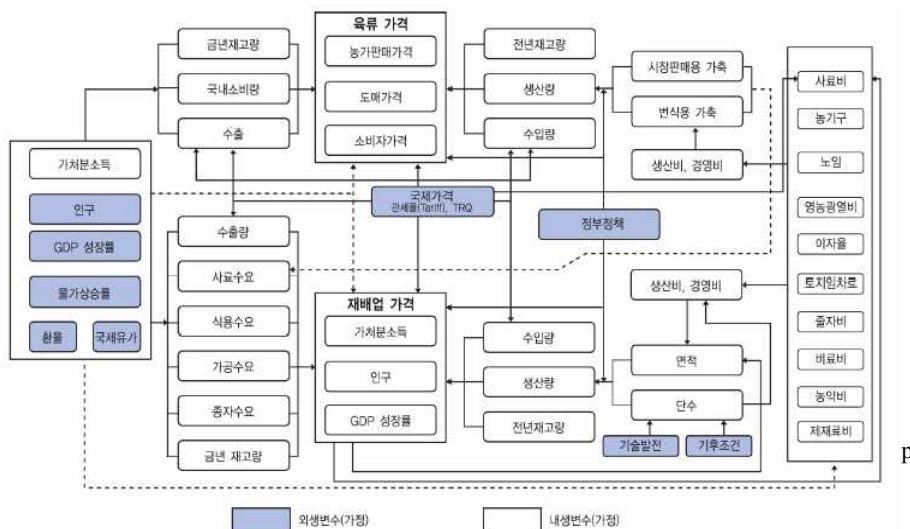


Fig. 1. Structure of KASMO (Korea Agricultural Simulation Model) (Source : Kim *et al.*, 2013c).

Table 1. Projection of cultivation area for GHGs emission estimation in agricultural sector from 2021 to 2030

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
	ha									
Rice	759,527	754,665	749,913	737,554	736,254	734,954	733,654	732,354	731,054	728,825
Barely + wheat	21,870	21,820	21,796	21,783	21,723	21,663	21,727	21,739	21,459	21,350

Table 2. Projection of crops production for GHGs emission estimation in agricultural sector from 2021 to 2030

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
	ton									
Rice	3,809,948	3,785,597	3,761,791	3,699,886	3,695,345	3,675,248	3,656,132	3,637,905	3,620,489	3,603,814
Barely	36,674	36,117	35,638	35,180	34,830	34,535	33,698	32,918	32,189	31,504
Wheat	31,834	32,792	33,744	34,706	34,611	34,904	35,671	36,438	37,204	37,971
Potato	550,465	547,551	544,463	541,285	539,090	535,511	532,198	529,113	526,228	523,517
Sweet potato	351,346	355,072	359,004	362,977	366,551	367,933	369,204	370,381	371,477	372,501
Corn	68,330	66,981	65,546	63,994	61,465	60,978	60,526	60,106	59,713	59,343
Red pepper	276,013	274,588	273,055	271,502	267,946	266,410	264,949	263,556	262,224	260,949
Galic	316,547	316,075	315,659	315,293	312,608	311,835	311,099	310,395	309,721	309,075
Sesame	11,541	11,602	11,663	11,724	11,779	11,831	11,879	11,924	11,967	12,008
Onions	1,487,589	1,503,589	1,521,899	1,542,286	1,542,903	1,546,741	1,550,331	1,553,703	1,556,883	1,559,890
Soybean	121,646	119,928	117,926	115,774	113,814	112,253	110,808	109,462	108,204	107,022

닭, 말의 경우는 지속적으로 증가하고, 산양, 사슴 등은 크게 감소할 것으로 전망되었다(Table 3).

### 2.2 온실가스 배출량 전망 방법론

온실가스 배출량은 IPCC 가이드라인(IPCC, 1996, 2000, 2003, 2006)과 2014 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(환경부 온실가스종합정보센터, 2014)에 따라 벼 재배에 의한 CH<sub>4</sub> 배출, 농경지 토양에서의 N<sub>2</sub>O 배출 및 작물 잔사를 소각하는 과정에서의 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 배출로 구분하여 전망하였다.

벼 재배에 의한 CH<sub>4</sub> 배출량은 상시담수, 유기물 무시용 조건의 기본배출계수(EF<sub>C</sub>)에 물관리 방법별 보정계수(SF<sub>w</sub>), 유기물 사용량별 보정계수(SF<sub>O</sub>)를 곱하고, 일 배출계수(EF<sub>i</sub>)를 산출하며, 재배일수(t) 138일과 벼 재배면적(A) 전망 자료를 곱하여 산정하였다. 벼 재배에 의한 CH<sub>4</sub> 배출량 산정 방법은 식 (1)과 같다.

CH<sub>4</sub> Emission

$$CH_4 = \sum(EF_i \times t \times A \times 10^{-6})$$

$$EF_i = EF_C \times SF_w \times SF_O \text{ (kg CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ day}^{-1}) \quad (1)$$

- EF<sub>i</sub> : A daily emission factor(kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>)
- EF<sub>C</sub> : Baseline emission factor for continuously flooded fields without organic amendments
- SF<sub>w</sub> : Scaling factor to account for the differences in water regime during the cultivation period
- SF<sub>O</sub> : Scaling factor should vary for both types and amount of organic amendment applied
- A : Cultivation area(ha yr<sup>-1</sup>)
- t : Cultivation days

농경지 토양에서의 질소투입에 따른 N<sub>2</sub>O 배출량 전망은 식 (2)와 같다. 농경지 토양에서의 N<sub>2</sub>O 배출은 질소 투입원(화학비료, 가축분뇨, 두과작물에 의한 질소 고정, 잔물잔사 환원)에 따라 구분하고, 배출량은 직접배출(N<sub>2</sub>O DIRECT emission)과

Table 3. Projection of livestock heads for GHGs emission in agricultural sector from 2021 to 2030

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
	head									
Dairy cattle	401,901	396,798	391,521	386,055	377,002	375,192	373,539	372,019	370,612	369,302
Non-dairy cattle	2,658,528	2,687,241	2,716,277	2,745,500	2,735,500	2,725,500	2,715,500	2,705,500	2,695,500	2,685,500
Sheep	4,857	4,927	4,993	5,055	5,115	5,171	5,225	5,276	5,325	5,372
Goats	223,388	219,301	215,362	211,562	207,890	204,339	200,901	197,568	194,335	191,196
Horses	33,453	33,878	34,286	34,677	35,053	35,415	35,763	36,099	36,424	36,738
Swine	10,127,983	10,171,707	10,219,477	10,270,997	10,274,573	10,284,121	10,292,838	10,300,857	10,308,281	10,315,192
Chicken	165,140,975	165,613,349	166,188,967	166,861,923	166,970,219	167,572,397	168,148,365	168,941,969	169,700,289	170,426,331
Ducks	18,118,865	18,687,707	19,224,070	19,742,877	19,768,627	19,794,377	19,820,127	19,845,451	20,100,427	20,337,804
Deer	37,782	37,282	36,782	36,282	35,782	35,282	34,782	34,282	33,782	33,282

간접배출( $N_2O$  INDIRECT emission)로 구분하여 산정하였다.

$N_2O$  Emission

$$N_2O_{DIRECT} = (F_{SN} \times F_{AW} \times F_{BN} \times F_{CR}) \times EF_1 \times 44/28 \quad (2)$$

$F_{SN}$  : Annual amount of synthetic fertilizer nitrogen applied to soils adjusted to account for the amount that volatilises as  $NH_3$  and  $NOx$  ( $kg\ N\ yr^{-1}$ )

$F_{AW}$  : Manure nitrogen used as fertilizer in country, corrected for  $NH_3$  and  $NOx$  emission ( $kg\ N\ yr^{-1}$ )

$F_{BN}$  : N fixed by N-fixing crops in country ( $kg\ N\ yr^{-1}$ )

$F_{CR}$  : N in crop residues returned to soils in country ( $kg\ N\ yr^{-1}$ )

$EF_1$  : Emission factor for emission from N inputs ( $kg\ N_2O-N\ kg^{-1}\ N\ input$ )

44/28 : Conversion factor to convert  $N_2O-N$  into  $N_2O$

$$N_2O_{INDIRECT} = N_2O_{(G)} \times N_2O_{(L)}$$

$$N_2O_{(G)} = (N_{FERT} \times \text{Frac}_{GASF} + N_{EX} \times \text{Frac}_{GASM}) \times EF_4 \times 44/28$$

$$N_2O_{(L)} = [(N_{FERT} + N_{EX}) \times \text{Frac}_{LEACH}] \times EF_5 \times 44/28$$

$N_{FERT}$  : Fertilizer nitrogen use in country ( $kg\ N\ yr^{-1}$ )

$N_{EX}$  : Livestock nitrogen excretion in country ( $kg\ N\ yr^{-1}$ )

$\text{Frac}_{GASF}$  : Fraction of synthetic fertilizer nitrogen applied to soils that volatilises as  $NH_3$  and  $NOx$  emission

$\text{Frac}_{GASM}$  : Fraction of livestock nitrogen excretion that

volatilises as  $NH_3$  and  $NOx$  emission

$\text{Frac}_{LEACH}$  : Fraction of nitrogen input to soils that is lost through leaching and runoff ( $kg\ N_2O-N\ kg^{-1}\ N$ )

$EF_4$  (N deposition) = Emission factor for atmospheric deposition ( $kg\ N_2O-N\ kg^{-1}\ N$ )

$EF_5$  (leaching/runoff) =

Emission factor for leaching/runoff ( $kg\ N_2O-N\ kg^{-1}\ N$ )

작물잔사 소각에 의한  $CH_4$  및  $N_2O$  배출량 산정은 작물별 생산량 전망에 잔사/곡실 비율, 건물물, 소각률, 산화율, 질소 및 탄소 함량, 가스배출률을 곱하여 산정하였다.

### 2.3 배출계수 및 보정계수

Table 4는 배출량 전망 시 적용한 배출계수와 보정계수를 나타낸다. 배출계수와 보정계수는 국내에서 개발한 국가 고유 배출/보정계수와 IPCC 가이드라인의 기본계수를 혼용하여 Tier 1~2 수준으로 하였다. 벼 재배에 의한  $CH_4$  배출량 산정 시 기본 배출계수( $EF_c$ )는 국가 고유 배출계수  $2.32\ kg\ ha^{-1}\ day^{-1}$ 를 적용하였고(Kim *et al.*, 2013), 유기물 보정계수( $EF_o$ )는 2.5, 물 관리 보정계수( $EF_w$ )는 0.66을 적용하였다. 농경지 토양에서 화학비료 사용량에 따른  $N_2O$  직접배출계수는 밭의 경우 국가 고유 배출계수인  $0.00596\ kg\ N_2O-N\ kg^{-1}\ N$ 을 적용하였고, 논 의 경우 2006 IPCC 가이드라인의 기본 배출계수  $0.003\ kg\ N_2O-N\ kg^{-1}\ N$ 을 적용하였다. 가축분뇨 사용량에 따른  $N_2O$  직접 배출계수는 1996 IPCC 가이드라인의 기본배출 계수인  $0.0125\ kg\ N_2O-N\ kg^{-1}\ N$ 을 적용하였다. 농경지 토양에서의  $N_2O$  간

Table 4. Emission factors and scaling factors for estimation of GHGs emission

Emission sources	Emission/ scaling factors	Unit	Developed
Rice cultivation (CH <sub>4</sub> )	EF <sub>C</sub>	kg <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> day <sup>-1</sup>	2.32
	SF <sub>W</sub>	-	2.50
	SF <sub>O</sub>	-	0.66
Agricultural soils (N <sub>2</sub> O)	EF <sub>1</sub> (Country specific)	kg N <sub>2</sub> O-N kg <sup>-1</sup> N	0.00596
	EF <sub>1</sub> (Default)	kg N <sub>2</sub> O-N kg <sup>-1</sup> N	0.0125
	EF <sub>1FR</sub>	kg N <sub>2</sub> O-N kg <sup>-1</sup> N	0.003
	EF <sub>4</sub>	kg N <sub>2</sub> O-N kg <sup>-1</sup> N	0.01
	EF <sub>5</sub>	kg N <sub>2</sub> O-N kg <sup>-1</sup> N	0.025

접배출계수는 대기 휘산의 경우 0.01 kg N<sub>2</sub>O-N kg<sup>-1</sup> N을 적용하였고, 수계유출의 경우 0.025 kg N<sub>2</sub>O-N kg<sup>-1</sup> N을 적용하였다(Table 3).

### 2.4 감축기술 적용

온실가스 감축 잠재량 전망을 위해 두 가지 온실가스 감축 기술을 적용하였다. 첫 번째 감축기술은 벼 재배 논에서 작기 중 중간 물떼기를 통한 온실가스 감축이다. 이 방법은 벼재배 논에서 CH<sub>4</sub> 배출을 줄일 수 있는 가장 효과적인 방법으로 상시담수 대비 약 34%의 온실가스 감축 효과가 있다. 중간 물떼기는 2011년 우리나라 전체 논 면적의 85.6%를 차지하고 있고, 2020년까지 90%의 면적까지 확대할 계획이다. INDCs 온실가스 목표 달성을 위해 2030년까지 적용면적을 92.5%, 95%, 97.5%로 하여 감축잠재량을 분석했다. 두 번째 감축기술은 벼 재배 논에서 이앙 후 초기 담수와 논물얕게대기를 통한 온실가스 감축기술이다. 이 기술은 상시담수 대비 약 55%, 간단관개 대비 약 40%의 온실가스를 감축할 수 있다(Kim, 2013b). 가장 최근에 개발된 기술로 유기물을 무시용한 간단관개 논 면적의 10%를 2030년까지 적용할 경우의 감축 잠재량을 분석했다.

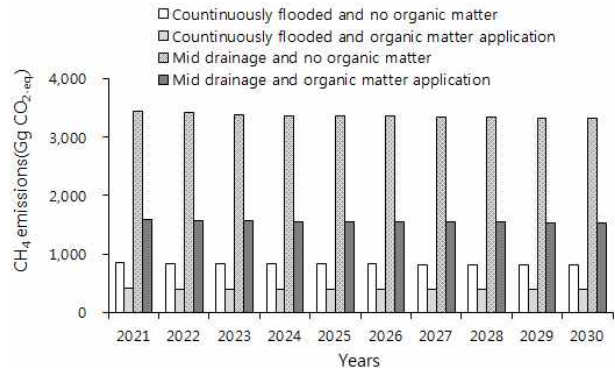
## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 농경지 부문 온실가스 배출량 전망

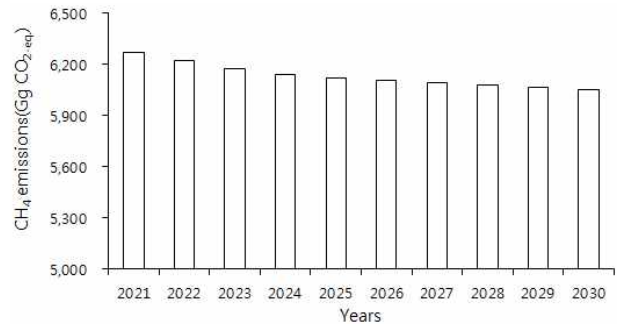
2021년부터 2030년까지 벼 재배에 의한 CH<sub>4</sub> 배출량 전망 결과는 Fig. 2와 같다. 배출량에 영향을 미치는 작기 중 물 관

리 방법과 유기물 사용에 따른 CH<sub>4</sub> 배출량으로 구분하여 전망한 결과, 작기 중 상시 담수를 하고 유기물을 사용한 처리에서 가장 높았고, 중간 낙수를 하고 유기물을 사용하지 않은 처리에서 가장 낮았다. 이번 배출량 전망에서는 물 관리 비율이나 유기물 사용 비율은 2021년부터 2030년까지 동일하게 적용하여 전체 배출량 변화에는 영향을 미치지 않았다(Fig. 2a). 벼 재배에 의한 CH<sub>4</sub> 총배출량은 2021년 6,271천 톤 CO<sub>2</sub>-eq.에서 2025년 6,122천 톤 CO<sub>2</sub>-eq., 2030년 6,051천 톤 CO<sub>2</sub>-eq.으로 감소할 것으로 전망되었다. 이는 2021년 대비 3.5%, 2025년 대비 1.2% 감소한 양으로 감소폭은 2030년으로 갈수록 다소 작아질 것으로 전망되었다(Fig. 2b). 이러한 배출량 감소의 직접적인 원인은 벼 재배면적의 지속적인 감소 때문이며, 향후 물 관리 방법이나 유기물 사용 면적 비율의 전망이 가능하면 좀 더 정확한 전망이 가능할 것으로 생각된다.

Fig. 3은 2021년부터 2030년까지 농경지 토양에서의 N<sub>2</sub>O 배출량을 직접배출과 간접배출로 구분하여 전망한 결과이다. N<sub>2</sub>O 직접배출량을 질소 투입원별로 전망한 결과, 가축분뇨에

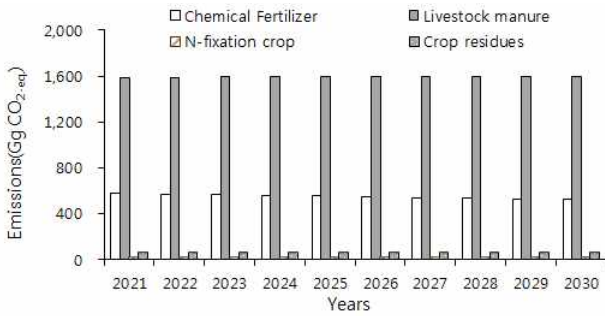


(a) The projection of CH<sub>4</sub> emission according to mid-season water management and organic matter treatment

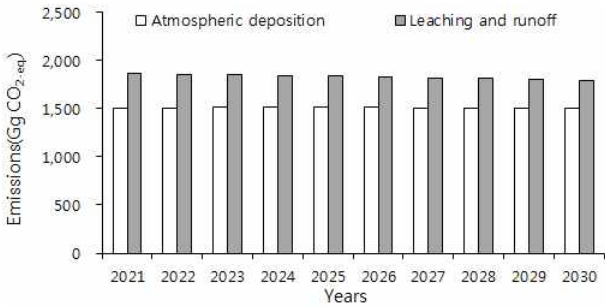


(b) The projection of total CH<sub>4</sub> emission

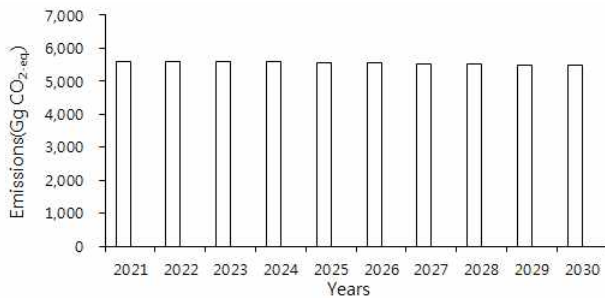
Fig. 2. The projected CH<sub>4</sub> emission in paddy fields from 2021 to 2030.



(a) The projected N<sub>2</sub>O direct emissions



(b) The projected N<sub>2</sub>O indirect emissions



(c) The projected N<sub>2</sub>O total emission

Fig. 3. The N<sub>2</sub>O emission projection by N-input in agricultural soils from 2021 to 2030.

의한 배출량이 가장 많았고, 질소 고정작물에 의한 배출량이 가장 적었다. 가축 분뇨에 의한 N<sub>2</sub>O 배출량은 2025년까지 다소 증가하다가 이후로는 감소할 것으로 전망되었는데, 이는 일부 가축을 제외한 양, 말, 돼지, 닭, 오리 등의 사육두수가 증가했기 때문인 것으로 분석되었다. 화학비료에 의한 N<sub>2</sub>O 배출량은 작물 재배면적 감소와 그에 따른 화학비료 생산량 감소로 배출량 또한 지속적으로 감소할 것으로 전망되었다. 질소 고정작물에 의한 N<sub>2</sub>O 배출량과 작물잔사 환원에 의한 N<sub>2</sub>O 배출량은 총 배출량에 3% 이하로 전체 배출량에는 큰 영향을 미치지 않을 것으로 전망되었다(Fig. 3a). 대기 휘산과 수계 유출에 의한 N<sub>2</sub>O 간접배출량 또한 2021년 이후 2030년까지 지

속적으로 감소할 것으로 전망되었고, 감소폭은 대기 휘산보다 수계 유출에 의한 배출이 좀 더 큰 것으로 분석됐다. 이는 질소 투입량의 30%가 수계로 유출되기 때문이며, 대기 휘산의 경우 화학비료는 투입량의 10%, 가축분뇨는 투입량의 20%가 대기로 휘산되기 때문인 것으로 분석되었다(Fig. 3b). 직접배출과 간접배출을 합한 농경지 N<sub>2</sub>O 총배출량은 2021년 이후 2030년까지 지속적으로 감소하는 것으로 전망되었고, 가축분뇨에 의한 직접배출이 증가하는 2025년까지는 감소폭이 다소 적을 것으로 전망되었다(Fig. 3c).

작물을 수확하고 난후 남은 잔사를 농경지에서 소각할 때 발생하는 CH<sub>4</sub> 및 N<sub>2</sub>O 배출량 전망은 Fig. 4와 같다. 농업부문 온실가스 배출량 중 작물잔사 소각에 의한 온실가스 배출량이 차지하는 비중은 1% 내외로, 전체 배출량에는 큰 영향을 미치지 않는다. 2030년까지 작물잔사 소각에 의한 온실가스 배출량은 조금씩 감소하는 것으로 전망되었는데, 이는 농경지에서 소각하는 작물인 옥수수, 고추, 양파, 참깨와 같은 작물의 재배면적 및 생산량이 감소했기 때문인 것으로 분석됐다. 작물 생산량이 증가한 고구마 등의 작물은 잔사를 소각하지 않기 때문에 생산량 증가가 잔사 소각 시 발생하는 온실가스 배출량에 영향을 미치지 않는다고 (Fig. 4). 작물 잔사의 소각 비율은 2030년까지 2014년 조사자료를 일괄 적용했기 때문에 향후 작물별 잔사 소각률 전망이 가능하다면 좀 더 정확한 배출량 전망이 가능할 것으로 생각된다.

Fig. 5는 2021년부터 2030년까지 경종분야 온실가스 총배출량 전망을 나타낸다. 벼 재배, 농경지토양 및 작물잔사 소각 과정에서의 온실가스 총 배출량은 2021년 이후 작물 재배면적 및 생산량, 화학비료 생산량, 가축 사육두수 감소에 따라 지속적으로 감소할 것으로 전망되었다. 일부 가축 사육두수 증가에 따른 가축분뇨 투입량 증가는 N<sub>2</sub>O 배출량 증가에 약간의 영향을 미쳤으나, 총 배출량 변화에는 큰 영향을 미치지 않을 것

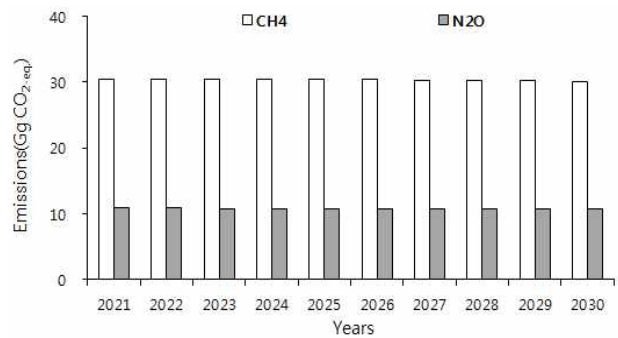


Fig. 4. The projection of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions by field burning of crop residues.



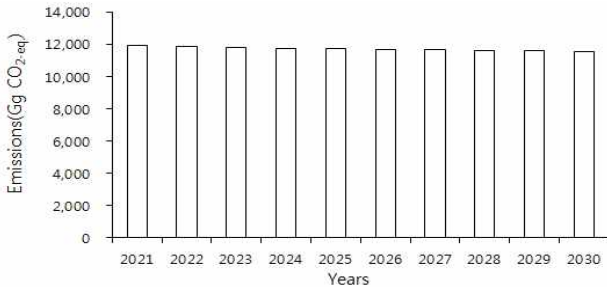


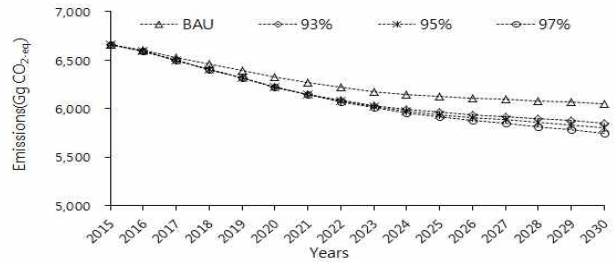
Fig. 5. The projeion of total GHGs emission in the agricultural sector from 2021 to 2030.

으로 분석됐다(Fig. 5).

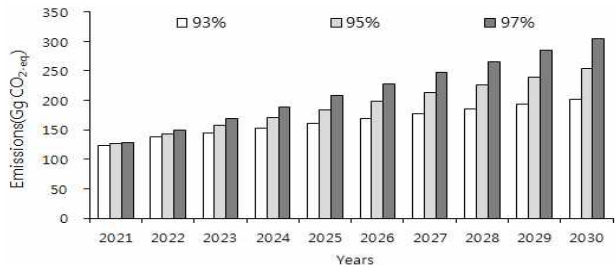
### 3.2 경종부문 온실가스 감축잠재량 전망

이번 연구에서 온실가스 감축잠재량을 분석하기 위해 적용한 기술은 벼 재배 과정에서 중간 물떼기 방법을 통한 온실가스 감축 기술이다. 작기 중 중간 물떼기 CH<sub>4</sub> 감축 기술은 가장 널리 적용되는 방법으로 2011년 통계조사 결과, 우리나라는 이미 85.6%의 면적에서 중간 낙수를 시행하고 있고, 2015년부터 2020년 온실가스 감축 목표 달성을 위해 90%까지 확대하기로 결정한 바 있다. 이러한 기술을 2030년까지 확대 적용하여 확대 비율을 93%, 95%, 97%로 설정하여 BAU 대비 감축잠재량을 분석하였다(Fig. 6a). 감축잠재량 분석 결과, 중간 물떼기 비율을 93%까지 확대할 경우 BAU 대비 3.3%(202천 톤 CO<sub>2</sub>-eq.), 95%까지 확대할 경우 4.2%(253천 톤 CO<sub>2</sub>-eq.), 97%까지 확대할 경우 5.0%(305천 톤 CO<sub>2</sub>-eq.)까지 온실가스 감축이 가능할 것으로 전망되었다(Fig. 6b). 우리나라 벼 재배 논에서의 관개 시설과 농업여건을 고려할 때 95%까지는 확대가 가능할 것으로 기대된다. 두 번째 적용한 온실가스 감축기술은 벼 재배 논에서 논물얹게대기 방법이다. Fig. 7은 논물얹게대기 방법을 2021년 1% 확대를 시작으로 2030년까지 상시답수, 유기물 무시용 논 면적에 10%까지 적용했을 때의 온실가스 배출량 및 감축잠재량 변화를 나타낸다(Fig. 7a). 논물얹게대기 감축기술은 상시답수와 유기물 사용하지 않은 논에서의 연구결과로 우리나라 논 면적 중 여기에 해당하는 면적은 2021년은 309천 ha, 2030년은 298천 ha가 될 것으로 전망됐다. 논물얹게대기 감축기술을 2021년부터 적용 가능 면적에 1%씩 확대 적용하여 2030년에는 10%까지 적용할 경우, 온실가스 감축잠재량은 2030년까지 약 92천 톤 CO<sub>2</sub>-eq.의 온실가스를 감축할 수 있을 것으로 전망되었다(Fig. 7b).

## 4. 결 론

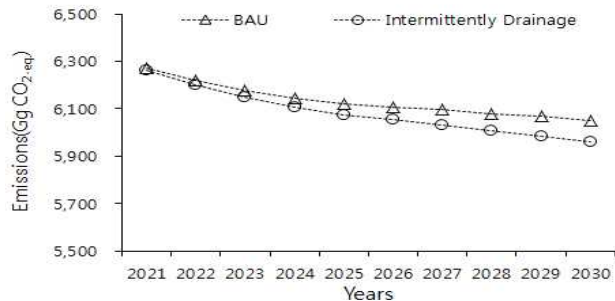


(a) Comparison of GHGs emission between BAU and mid-season drainage

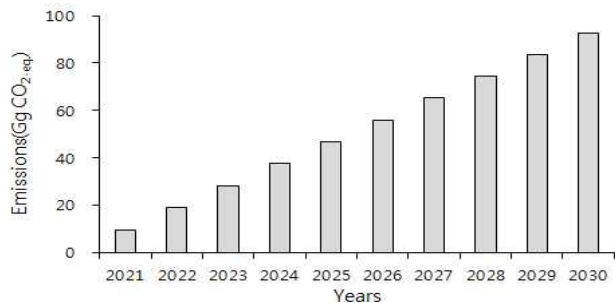


(b) The GHGs mitigation potential according to mid-drainage extension rate during rice cultivation

Fig. 6. The GHGs emission projection and mitigation potential apply to mid-drainage in paddy fields from 2021 to 2030.



(a) Comparison of GHGs emission projection between BAU and intermittently drainage



(b) The GHGs mitigation potential by intermittently drainage

Fig. 7. The GHGs emission projection apply to intermittently drainage in paddy fields from 2021 to 2030.

감축목표 달성을 위한 감축잠재량 분석을 위해 2021년부터 2030년까지 우리나라 농경지부문 온실가스 배출량을 전망하고, 농업여건을 고려한 적용 가능 감축기술을 선정하여 감축잠재량을 분석했다. 이번 배출량 전망과 감축잠재량 평가는 작물 재배면적 및 생산량, 화학비료 생산량, 가축 사육두수의 전망 자료를 근거로 평가하였다.

경중부문에서의 온실가스 배출량은 2021년부터 2030년까지 지속적으로 감소할 것으로 전망되었고, 감소폭은 다소 작아질 것으로 전망되었다. 배출량 감소의 직접적인 원인은 주요 작물의 재배면적과 생산량 감소, 그에 따른 화학비료 생산량 감소 때문인 것으로 분석되었다. 일부 작물의 재배면적과 가축 사육두수 증가에 따른 농경지 N<sub>2</sub>O 배출량은 다소 증가하나, 경중부문 총 배출량에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

벼 재배 논에서 작기 중 물 관리 방법과 논물알계대기 방법을 통한 온실가스 감축잠재량을 분석한 결과, 2030년에 중간 낙수 면적을 95%까지 확대할 경우 약 253천 톤 CO<sub>2-eq</sub>의 온실가스 감축이 가능할 것으로 전망되었고, 논물알계대기 방법을 상시답수 유기물 무시용 논 면적의 10%까지 보급할 경우 약 92천 톤 CO<sub>2-eq</sub>의 온실가스 감축이 가능할 것으로 전망되었다. 이번 배출량 전망은 활동자료와 국가 고유 배출계수를 일부 적용한 Tier 1~2 수준의 평가로 향후 기후변화 영향 등을 반영해 불확도를 줄이고, 신뢰도 높은 전망을 위해서는 Tier 3 수준의 배출량 평가가 필요할 것으로 판단된다.

농업부문의 경우, 기후변화에 가장 큰 영향을 받으면서도 국민의 식량안보와 직결되는 만큼 온실가스 감축기술 선정과 보급에 있어 신중한 결정이 필요하며, 생산성은 유지하면서 온실가스 감축을 위한 전략 수립이 무엇보다도 중요하다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(PJ01003004)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## REFERENCES

- IPCC. 1996. Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories.
- IPCC. 2000. Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories. Penman J, Kruger D, Galbally I, Hiraishi T, Nyenzi B, Emmanuel S, Buendia L, Hoppaus R, Martinsen T, Meijer J, Miwa K, Tanabe K. (Eds). IPCC/OECD/IEA/IGES. Hayama, Japan.
- IPCC. 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Penman J, Gytarsky M, Hiraishi T, Krug T, Kruger D, Pipatti R, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K, Wagner F. (Eds). IPCC/IGES, Hayama, Japan.
- IPCC. 2006. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories.
- Ju OJ, Won TJ, Cho KR, Choi BR, Seo JS, Park IT, Kim GY. 2013. New estimates of CH<sub>4</sub> emission scaling factors by amount of rice straw applied from Korea paddy fields. *Kor J of Environmental Agriculture* 32(3):179-184.
- Kim GY, Lee JS, Jeong HC, Choi EJ, Sonn YK, Kim PJ. 2013a. Effects of water management methods on CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emission from rice paddy field. *Kor J Soil Sci Fert* 46(6):590-605.
- Kim GY, Jeong HC, Ju OJ, Kim HK, Park JH, Gwon HS, Kim PJ. 2013b. Establishment of baseline emission factor of methane in Korean rice paddy soil. *Kor J of Environmental Agriculture* 32(4):359-365.
- Kim MH, Han SH, Jo JS, Kim TW, Lee CS. 2013c. Prospection model for agricultural sector. *KREI* 1-77.
- Korea Carbon Capture & Sequestration R&D Center(KCRC). 2014. Analysis and its implications about 20<sup>th</sup> UNFCCC COP 20 Negotiation.
- Korea Institute for International Economic Policy(KIEP). 2015. Analysis and its implications about LIMA UNFCCC COP. *World Economy Update* 15(2):1-10.
- Lee DB, Jung SC, So KH, Kim GY, Jeong HC. 2014. A study on carbon footprint and mitigation for low carbon apple production using life cycle assessment. *Journal of Climate Change Research* 5(3):189-197.
- Ministry of Environment. Greenhouse Gas Inventory and Research Center(GIR). 2014. 2014 national greenhouse gas inventory report of Korea.
- Ministry of Environment. Greenhouse Gas Inventory and Research Center(GIR). 2014. Guideline for MRV(Measurement, Reporting and Verification) of national greenhouse gases statistics.
- Ministry of Environment. 2014. A study for evaluation management for post-2020 and GHGs mitigation goals.
- Myeong SJ. 2014. Agriculture under UNFCCC and its policy implications. *Journal of Climate Change Research* 5(4):313-



- 321.
- Shin YK, Kim GY, Ahn JW, Koh MH, Eom KC. 2003. Effect of rice vegetation and water management on turnover of incorporated organic materials to methane in Korean paddy. *Soil Kor J Soil Sci Fert* 36(1):50-56.
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 2014. Lima call for climate action, Decision-/CP.20. Advance unedited version. [http://unfccc.int/focus/indc\\_portal/items/8766.php](http://unfccc.int/focus/indc_portal/items/8766.php)
- Yagi K, Minami K. 1990. Effect of organic matter application on methane emission from some Japanese paddy fields. *Soil Sci Plant Nutr* 36:599-610.