

## 벼 모판 파종동시처리 완효성비료 시용효과

원태진<sup>1,†</sup> · 최병열<sup>2</sup> · 조광래<sup>2</sup> · 임갑준<sup>2</sup> · 지정현<sup>2</sup> · 우선희<sup>3</sup>

### Application Effect of the Controlled Release Fertilizer Applied on Seedling Tray at Seeding Time in Rice

Tae-Jin Won<sup>1,†</sup>, Byoung-Rourl Choi<sup>2</sup>, Kwang-Rae Cho<sup>2</sup>, Gab-June Lim<sup>2</sup>, Jeong-Hyun Chi<sup>2</sup>, and Sun-Hee Woo<sup>3</sup>

**ABSTRACT** The optimal application rate of a controlled release fertilizer (CRF) on the growth, yield, and seeding time of rice grown on seedling trays was investigated. The experimental field was located at 37°22'10"N latitude and 127°03'85"E longitude in Hwaseong, Gyeonggi-do, Republic of Korea. The soil in the paddy field was a clay loam. The CRF used in the experiment contained 300 g kg<sup>-1</sup> of nitrogen, 60 g kg<sup>-1</sup> of phosphate, and 60 g kg<sup>-1</sup> of potassium, respectively. The CRF was applied at the rate of 0, 200, 300, 400, 500, and 600 grams on rice seedling tray compared with the field application based on soil testing (control), respectively. The CRF can be applied as single application(which can replace basal fertilizer application and two top dressing application) directly to the seedling tray, and showed the minimum release at the seedling period. Considering the plant growth, nitrogen use efficiency and yield of rice, the optimal application rate of developed CRF was 500 g per seedling tray and the yield of rice at this application rate was 4.92~5.04 Mg ha<sup>-1</sup>. The regression formula between the rice yield and application rates of CRF was as follows ; 『Y=0.0002χ<sup>2</sup>+0.0963χ+411.6(R<sup>2</sup>: 0.9922) in 2010 and Y=8E-6χ<sup>2</sup>+0.2723χ+344.04(R<sup>2</sup>:0.9864) in 2011, Y : Rice yield (Mg ha<sup>-1</sup>), χ : Application rate (grams) of controlled release fertilizer』. The optimum application rates of CRF per rice seedling tray by regression formula was 498 grams in 2010 and 513 grams in 2011.

**Keywords** : controlled release fertilizer, nitrogen use efficiency, rice seedling tray

**우리주곡인** 쌀은 수입개방에 따라 국제 경쟁력을 가질 수 있도록 생산비를 절감하여 고품질 국산쌀을 지키는 노력이 필요하다. 아울러 농촌노동력이 급격히 고령화 되면서 생력화 재배기술에 대한 관심이 증가하고 있다. 시비노동력과 관련해서도 분시 횟수를 줄이고, 수량이 감소되지 않으며, 수질오염을 감소시킬 수 있는 완효성비료의 활용성이 높아지고 있는 실정이다. 논에 사용된 질소의 손실과정은 크게 나누어 암모니아화에 의한 휘산과 용탈이다. 암모니아 휘산 인자는 토양, pH, 토성, 토양수분, 비중 등이며, 특히 온도에 의한 영향이 크다고 보고되고 있다(Fenn & Hossner, 1985). 현재 사용중인 비료의 대부분은 속효성 비료로서 토

양에 시용을 하면 작물은 약 10~40% 정도의 비료를 흡수하고 논에서 벼의 시비질소 이용율은 표준시비 27.4%, CRF70% 시용구는 51.2%, CRF100% 시용구는 49%로 보고되고 있다(Lee *et al.*, 2005). 우리나라의 완효성비료 연구는 1970년대 미국에서 SCU (Sulfur Coated Urea)를 도입하여 1979년까지 시험에 성공 하였으나 공급되지는 않았다(Kurihara, 1970). 그 후 1980년 일본에서 개발된 Meister, 1984년 한국과학기술원에서 개발한 LCU (Latex Coated Urea), 1989년 농업기술연구소에서 개발한 ACU (Acrlic Coated Urea)등이 있다. 일본에서는 주로 화학적인 방법, 미국과 유럽의 경우는 Resin, Sulfur, Oil, 고분자 합성수지 등으로 피복하

<sup>1</sup>경기도농업기술원 농업연구사 (Agriculture Researcher, Gyeonggi-do Agricultural Research and Extension Services, Hwaseong, 18388, Republic of Korea)

<sup>2</sup>경기도농업기술원 농업연구관 (Agriculture Senior Researcher, Gyeonggi-do Agricultural Research and Extension Services, Hwaseong, 18388, Republic of Korea)

<sup>3</sup>충북대학교 식물자원학과 교수 (Professor, Department of Crop Science, Chungbuk National University, Cheongju, 28644, Republic of Korea)

<sup>†</sup>Corresponding author: Tae-Jin Won; (Phone) +82-31-229-6122; (E-mail) wonboy@gg.go.kr

<Received 30 July, 2019; Revised 18 September, 2019; Accepted 19 September, 2019>

는 물리적 방법에 의해 주로 제조되고 있다(Lee *et al.*, 1996). 우리나라에서는 주로 물리적 방법에 의해 피복하는 완효성 비료개발에 주력하고 있다. 주로 사용되고 있는 완효성비료는 측조시비기를 이앙기에 부착하여 사용하는 측조시비용 비료이다. 그러나 평균 시비량이 10a당 60 kg 3포로 비료운반, 이앙기 탑재, 비료투입 등 사용 편리성 등의 문제로 고령화에 따른 노동력이 많이 필요하다. 따라서 작물의 생산성을 안정적으로 유지시키면서 손쉽게 사용할 수 있는 완효성비료의 개발이 시급한 실정이다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 경기도농업기술원에서는 (주)팜한농과 공동으로 비료의 손실을 최소화하여 시비 효율을 극대화시키면서, 시비노동력을 획기적으로 줄일 수 있는 벼 모판 파종동시처리 완효성비료를 개발하였다. 파종상비료는 벼 육묘시 파종전에 1회만 사용하고 육묘 후 이앙하여 벼를 재배할 수 있는 일종의 완효성인 복합비료로서, 본답에서 기비, 추비(분얼비, 수비)의 사용이 필요 없는 특징이 있다. 이에 벼 재배시 파종상비료 적정 사용방법과 사용효과를 구명코자 연구를 수행하였다.

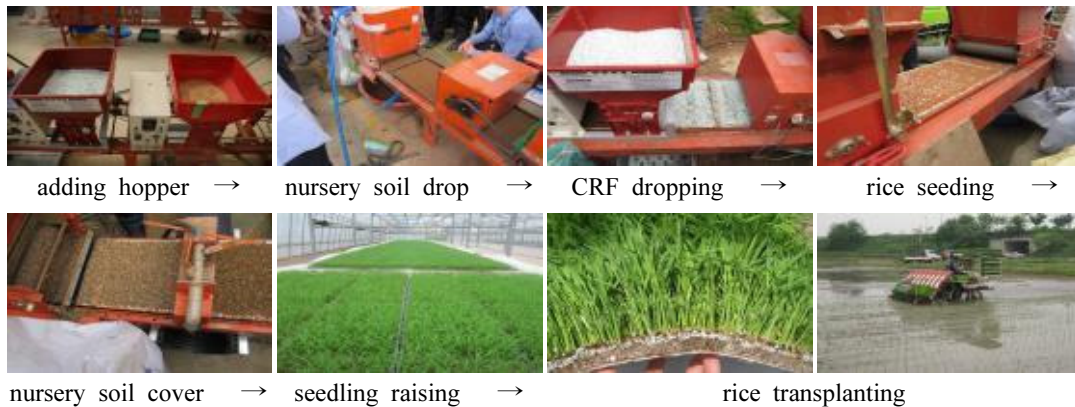
**재료 및 방법**

본 연구는 2010년도부터 2011년까지 경기도농업기술원

논포장에서 수행하였다. 시험토양은 지산통으로서 경기도의 논토양 화학적 특성(NIAST, 2011)에 비해 산도와 치환성칼슘은 높고 유효인산함량이 다소 낮은 토양이었다(Table 1).

시험품종은 추청벼로 2010년에는 4월 24일 상자당 120 g 파종하여 논에서 보온절충방식으로 육묘한 묘를 5월 20일에 30×14 cm 재식거리로 기계이앙하였으며, 2011년에는 5월 2일 상자당 120 g 파종하여 비가림하우스내에서 주야간온도 20~35°C로 육묘한 묘를 5월 24일에 2010년과 같은 방법으로 이앙하였다. 시험에 사용한 파종상비료는 경기도농업기술원과 (주)팜한농이 공동개발한 제품으로 제형별 용출특성 등을 조사하여 최종적으로 파종상비료용 제형을 선발하여 팜한농에서 제공하였으며 성분함량은 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=30-6-6%이었다. 처리내용은 토양검정시비구를 대조로 하여 산파용 육묘상자 당 파종상비료를 2010년에는 0, 200, 300, 400, 500 g 사용 등 6처리, 2011년에는 0, 300, 400, 500, 600 g 사용 등 6처리를 두었으며 육묘상자에는 동일한 량의 수도용상토를 사용하였고 3반복으로 재배하였다. 일반관행(대조)과 파종상비료 처리구의 10a당 이앙된 육묘상자는 30상자이었고 벼 모판 파종상 동시 비료 살포 및 육묘와 이앙과정은 Fig. 1과 같다.

비료 시비방법으로 육묘상자에 파종상비료를 처리한 구는 본답에서 기비, 분얼비, 수비를 주지 않았으며, 토양검정



**Fig. 1.** Process of fertilizing, seedling and transplanting of rice.

**Table 1.** Chemical properties of paddy soil used in the experiment.

Years	pH (1:5)	OM (g kg <sup>-1</sup> )	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Ex.Cations (cmol kg <sup>-1</sup> )				Av.SiO <sub>2</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	CEC (cmol kg <sup>-1</sup> )
				K	Ca	Mg	Na		
2010	6.2	16	65	0.29	5.4	1.3	0.30	108	12.3
2011	6.6	24	47	0.39	8.1	1.9	0.56	242	11.1
average <sup>†</sup>	5.8	21	86	0.31	4.5	1.3	0.29	108	7.7

†: Average chemical properties of paddy soil in Gyeonggi-do (NIAST, 2011)

시비구의 시비량은 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O로 2010년은 96-35-37 kg ha<sup>-1</sup>, 2011년은 114-53-30 kg ha<sup>-1</sup>이었으며 질소(N)는 요소로 기비 50%, 분얼비 30%, 수비 20%로 분시하였고, 인산(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)은 용과린으로 전량 기비로 주었으며, 칼리(K<sub>2</sub>O)는 염화칼리로 기비 70%, 수비 30% 나누어 분시하였다.

토양과 벼 식물체 분석은 토양 및 식물체 분석법(NIAST, 2000)에 준하였다. 토양분석용 시료는 오가를 이용 토양을 채취한 후 음건하여 2 mm체를 통과시킨 것을 사용하였다. 토양의 pH는 초자전극법에 의거 pH meter (ATI orion 370)로 측정하였으며, OM은 Tyurin법, Av.P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>은 Lancaster법으로 분석하였다. 토양의 양이온은 1N-NH<sub>4</sub>OAC (pH 7.0) 완충용액으로 침출하여 유도결합플라즈마 발광광도계(GBC, Integra XMP)로 정량하였으며, NH<sub>4</sub>-N는 습토 10 g을 2M KCl 용액으로 침출하여 Kjeldahl법으로 분석하였다. 식물체의 총질소, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O 성분은 건시료 5 g을 습식분해(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:HClO<sub>4</sub>:증류수=1:9:4, v/v/v)하여 총질소는 Kjeldahl법, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>은 Vanadate법으로 분석하고, K<sub>2</sub>O는 유도결합플라즈마 발광광도계(GBC, Integra XMP)로 정량하였다. 논 표면수의 양분함량은 수질오염공정시험법(ME, 2010), 벼의 생육 및 수량조사는 농사시험연구 조사기준(RDA, 2003)에 준하여 조사하였다.

## 결과 및 고찰

### 벼 육묘기간 묘 질소함량 및 초장 변화

벼 육묘기간 묘 중의 질소함량과 초장 변화를 조사한 결과는 Table 2와 같다. 파종상비료를 처리한 묘의 총질소 함량은 파종상비료를 주지 않은 대조구에 비해 높았으며, 파종상비료량이 증가할수록 묘 중 총질소 함량은 증가하였고 동일 파종상비료 처리수준에서 파종후 25일까지는 감소하다가 30일째에는 총질소 함량이 증가하였고, 초장은 파종

후 15일까지는 대조구에서 높았으나 파종후 25일째부터 파종상비료 처리구와 대등하였고 파종후 30일째는 파종상비료 처리구에서 초장이 길었다. 이상의 결과로 볼 때 벼 육묘기간 파종후 25일째까지는 소량의 비료가 용출되었으나 비료해가 발생하지 않았고 육묘기간이 연장되어 파종후 30일째에서 초장과 식물체중 질소함량이 증가하여 비료해 발생이 우려되므로 적정육묘기간(파종후 25일까지)을 준수하여야 할 것으로 판단되었다.

### 벼 생육기간중 식물체 양분흡수량 변화

벼 이앙 후 시기별로 식물체중의 양분흡수량을 조사한 결과는 Table 3과 같다. 10a 당총질소 흡수량은 파종상비료의 사용량이 증가할수록 많아지는 패턴이었으며, 2010년에는 파종상비료 300 g이상 사용구가 모든 조사시기에서 관행시비인 대조구와 유의한 차가 없이 대등하였고 2011년에는 상자당 500 g 이상 사용구에서 대조구와 유의한 차가 없이 대등한 수준으로 나타났다. 이는 2011년 벼 생육초기(6월 1일~6월11일)에 기온이 2010년에 비해 낮아 파종상비료의 질소용출이 더디어 벼 생육에 영향을 준 것으로 생각되었다. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>과 K<sub>2</sub>O 흡수량도 총질소 흡수량과 유사한 경향으로 파종상비료의 사용량이 증가할수록 많아지는 경향이었으며(테이터 생략), 대조구와 흡수량이 비슷한 수준인 파종상비료 사용량은 상자당 500 g이상으로 판단되었다.

특히 양분을 흡수한 총량과 관계가 깊은 벼 수확기에 식물체 중의 양분함량을 조사한 결과는 Table 4와 같다. 벼묘중의 총질소 흡수량은 2010년과 2011년 모두 파종상비료 상자당 500 g 사용구가 벼묘중과 정조 모두에서 대조구와 유의한 차이가 없었다. 또한 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>과 K<sub>2</sub>O함량도 파종상비료 상자당 500 g 사용구가 대조구와 대등한 수준이었다. 따라서 벼 수확기 식물체중의 흡수량을 고려할 때 관행 시비와 대등한 파종상비료의 사용량은 육묘상자당 500 g으로 판단

**Table 2.** The change of total nitrogen contents and plant height during seedlings growth.

Treatments	T-N				Plant height			
	15DAS <sup>b</sup>	20	25	30	15DAS	20	25	30
	----- g kg <sup>-1</sup> -----				----- cm -----			
0 g/tray (control)	27.1 b <sup>1</sup>	22.8 b	20.2 c	18.3 c	16.2 a	16.1 ab	18.0 a	18.1 b
300 g/tray	37.6 a	35.7 a	30.1 b	29.0 b	11.7 c	13.7 b	17.9 a	19.9 ab
400 g/tray	38.5 a	36.1 a	34.7 a	35.6 ab	13.2 bc	17.0 a	18.9 a	19.6 ab
500 g/tray	41.6 a	40.7 a	36.5 a	42.1 a	15.2 b	17.0 a	18.9 a	20.3 a
600 g/tray	42.6 a	39.8 a	37.1 a	42.8 a	15.3 b	17.2 a	18.4 a	20.9 a

<sup>1</sup>Different lower case letters in the same column indicate significant differences (Duncan's Multiple Range Test, P<0.05)

<sup>b</sup>DAS : Days after seeding

**Table 3.** Total nitrogen uptake contents of rice plant under application rates of CRF (Unit : kg 10a<sup>-1</sup>).

Treatments (N level kg ha <sup>-1</sup> )	2010 year				2011 year			
	15DAT <sup>Ⓜ</sup>	30DAT	45DAT	60DAT	15DAT	30DAT	45DAT	60DAT
CRF 0 g (0)	0.07 c	0.54 c	1.36 c	2.87 d	0.12 c	0.63 c	1.48 d	2.57 d
CRF 200 g (18)	0.12 bc	0.70 bc	1.70 c	3.66 cd	-	-	-	-
CRF 300 g (27)	0.14 ab	0.87 ab	1.96 bc	4.32 bc	0.20 bc	0.82 bc	2.02 c	3.49 c
CRF 400 g (36)	0.17 ab	1.06 a	2.37 ab	5.01 ab	0.21 bc	1.12 ab	2.54 b	4.40 b
CRF 500 g (45)	0.20 a	1.10 a	2.66 a	5.48 a	0.29 ab	1.35 a	3.35 a	5.52 a
CRF 600 g (54)	-	-	-	-	0.30 ab	1.36 a	3.43 a	5.72 a
Control (90)	0.17 ab <sup>Ⓜ</sup>	1.06 a	2.38 ab	4.91 ab	0.35 a	1.54 a	3.25 a	5.29 a

<sup>Ⓜ</sup>Different lower case letters in the same column indicate significant differences (Duncan's Multiple Range Test, P<0.05)

<sup>Ⓜ</sup>DAT : Days after transplanting

**Table 4.** Nutrient contents of rice straw at harvesting stage under application rates of CRF.

Treatments (N+P+K level kg ha <sup>-1</sup> )	2010 year			2011 year		
	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
	----- kg 10a <sup>-1</sup> -----			----- kg 10a <sup>-1</sup> -----		
CRF 0 g (0)	2.3 d	1.1 d	12.6 e	2.3 c	0.8 b	9.9 c
CRF 200 g (25.2)	2.6 cd	1.2 cd	14.0 d	-	-	-
CRF 300 g (37.8)	2.7 bc	1.3 bcd	15.3 c	2.9 b	1.1 b	11.9 bc
CRF 400 g (50.4)	3.0 ab	1.5 ab	16.6 b	3.1 b	1.1 b	12.6 b
CRF 500 g (63.0)	3.3 a	1.6 a	17.2 ab	3.9 a	1.6 a	15.1 a
CRF 600 g (75.6)	-	-	-	4.1 a	1.8 a	16.0 a
Control (150.0)	3.3 a <sup>Ⓜ</sup>	1.5 ab	18.0 a	3.9 a <sup>Ⓜ</sup>	1.6 a	15.0 a

<sup>Ⓜ</sup>Different lower case letters in the same column indicate significant differences (Duncan's Multiple Range Test, P<0.05)

되었다.

**벼 식물체 질소 흡수이용율 변화**

2010년도의 질소 흡수이용율은 이앙 후 30일에는 대조구와 파종상비료처리간에 차이가 없었지만, 이앙후 60일부터 수확기(이앙후 150일)까지 파종상비료 시용구에서 식물체 질소 흡수이용율이 대조구보다 모두 높았으며 파종상비료 시용량이 증가할수록 질소 흡수이용율이 높아지는 경향을 보였다. 2011년 조사에도 유사한 경향을 보였으며 2010년에 비해 전체적으로 질소 흡수이용율이 높아진 경향을 보였다. 수확기에 질소 흡수이용율이 대조구에 비해 가장 높았던 파종상비료 시용량은 육묘상자 500 g 시용구로 2010년은 56%, 2011년은 76%의 질소 흡수이용율을 보였다(Table 5). 이상의 결과는 파종상비료의 경우 이앙과 동시에 시용되고 근권부 근처에만 시비되어 탈질이 적고 흡수이용율이 높은 것으로 판단되었다. Kaneta & Murai (1994)은 피복비

료 시비방법별 질소 이용율은 표면시용하면 60.5% 인데 비해 측조시비하면 78.9%로 질소 이용율이 높았다는 보고와 유사한 경향이며, Kim *et al.* (2002)은 관행 3회 분시하는 경우 질소 흡수이용율은 35%로 보고하였으나 본 연구에서의 대조구의 흡수이용율이 2010년과 2011년 각각 24, 31%로 다소 낮았고 연차변이가 있는 것으로 나타났다.

**토양과 표면수 중의 양분함량 변화**

토양중의 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 함량을 조사한 결과는 Table 6과 같다. 연차간 관계없이 이앙 후 시기가 경과될 수록 감소하는 경향이었으며, 대조구가 파종상비료 시용구에 비해 약간 높았다. 그러나 이는 토양시료채취의 방법이 비료양분을 흡수하는 식물체의 근권부위가 아닌 벼가 심겨진 위치에 관계없이 토양시료를 채취하여 분석하여 벼 주간과 조간에 관계없이 사용하는 대조구와 시용된 위치가 근권주위에 위치하는 파종상비료를 직접 비교하는데 약간 무리가 있을 것

**Table 5.** Nitrogen use efficiency under different application rates of CRF.

Treatments (N level kg ha <sup>-1</sup> )	2010 year			2011 year		
	30DAT <sup>b</sup>	60DAT	harvesting stage (150DAT)	30DAT	60DAT	harvesting stage (150DAT)
CRF 200 g (18)	9 a	44 a	37 ab	-	-	-
CRF 300 g (27)	12 a	53 a	39 ab	7 a	34 b	54 a
CRF 400 g (36)	15 a	60 a	53 a	14 a	51 ab	57 a
CRF 500 g (45)	12 a	58 a	56 a	16 a	66 a	76 a
CRF 600 g (54)	-	-	-	13 a	58 a	72 a
Control (90)	7 ab	27 ab	24 b	10 a	31 b	31 b

<sup>1</sup> Different lower case letters in the same column indicate significant differences (Duncan's Multiple Range Test, P<0.05)

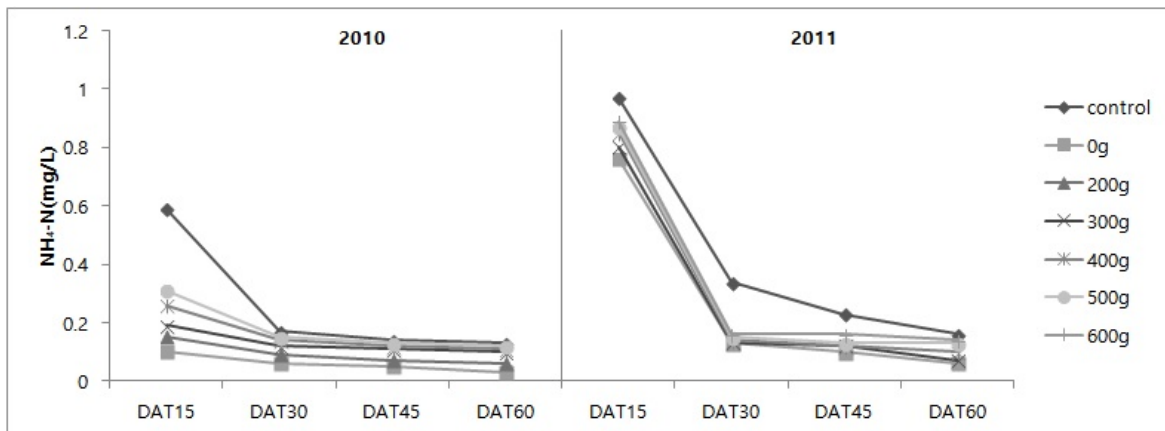
<sup>2</sup> DAT : Days after transplanting

**Table 6.** Change of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N contents in paddy soil under application rates of CRF (Unit : mg kg<sup>-1</sup>).

Treatments (N level kg ha <sup>-1</sup> )	2010 year				2011 year			
	15DAT <sup>b</sup>	30DAT	45DAT	60DAT	15DAT	30DAT	45DAT	60DAT
CRF 0 g (0)	6.7 a	5.2 a	4.1 a	0.9 b	9.3 c	7.8 a	6.4 b	3.4 a
CRF 200 g (18)	9.3 a	5.8 a	4.5 a	1.2 b	-	-	-	-
CRF 300 g (27)	9.6 a	6.0 a	4.7 a	1.7 ab	10.4 bc	8.1 a	7.5 b	3.5 a
CRF 400 g (36)	10.5 a	6.1 a	5.1 a	1.8 ab	10.6 bc	8.4 a	7.6 b	3.9 a
CRF 500 g (45)	10.9 a	7.2 a	5.5 a	2.3 a	11.7 bc	9.8 a	7.7 b	4.0 a
CRF 600 g (54)	-	-	-	-	14.0 ab	11.7 a	8.1 b	4.2 a
Control (90)	23.0 a <sup>1</sup>	10.6 a	6.5 a	2.3 a	17.0 a	12.6 a	11.3 a	4.6 a

<sup>1</sup> Different lower case letters in the same column indicate significant differences (Duncan's Multiple Range Test, P<0.05)

<sup>2</sup> DAT : Days after transplanting



**Fig. 2.** Changes of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N concentration in paddy water during rice cultivation under different application rates of CRF.

으로 판단되며 추후 근권부위의 토양만을 채취하는 방법 등 분석방법의 개선이 필요할 것으로 생각된다. 한편 유효인산 함량과 Ex-K 함량은 파종상비료 처리시 대조구에 비하여 조사 연도와 시기에 관계없이 대조구와 통계적으로는

유의한 차이를 보이지 않았고(데이터 생략), 인산과 칼리는 시용 후 바로 흡수되지 않아 전 생육기간 함량의 큰 변화가 적고 시비된 비료외에 토양중에 잔류하는 양이 비교적 많아 처리간 차이가 적었던 것으로 판단되었다.

시비 후 표면수(논물)내 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N농도를 조사한 결과 Fig. 2와 같이 연도와 양분종류에 관계없이 시비 직후인 이양후 15일에 높고 이후 시간이 지날수록 낮아지는 경향을 보였다. 이는 비료가 논 토양에 사용된 후 시간이 지남에 따라 용탈, 휘산과 식물체에 의한 흡수량이 증대됨에 따라 낮아지는 것으로 판단된다. 한편 연도와 양분 종류에 관계없이 파종상비료 사용구가 관행인 대조구에 비하여 모든 조사시기에서 낮게 나타났으며 파종상비료 처리내에서는 사용량이 많을수록 증가하였는데 이는 파종상비료가 대조인 관행 시비보다 시비량이 적고 용출이 늦은 특성 때문이며 파종상비료 사용량이 많을수록 용출되는 비료량이 많기 때문으로 판단된다. 따라서 파종상비료로 벼 재배시 논 주변의 수

질환경에 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>P 등 양분함량 개선효과가 있을 것으로 판단되며 이에 대한 면밀한 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

**벼 생육상황 및 건물중 변화**

비료종류와 사용량에 따른 벼의 이양후 30일과 60일에 초장과 주당분얼수를 조사한 결과 Table 7과 같다. 연도와 조사시기에 관계없이 파종상비료 사용량이 많을수록 증가하여 대조구와 모든 조사형질에서 대등한 생육을 보인 파종상비료 사용량은 상자당 500 g 이상으로 나타났다. 다만 2011년도 파종상비료 사용구에서의 벼의 초장은 이양 후 30일에서는 2010년도에 비해 다소 부진하였으나 이양 후

**Table 7.** Plant height and number of tillers per hill under application rates of CRF.

Year	Treatments (N+P+K level kg ha <sup>-1</sup> )	plant height (cm)		no. of tillers per hill	
		30DAT <sup>Ⓝ</sup>	60DAT	30DAT	60DAT
2010	CRF 0 g/tray (0)	33.6 b	61.5 d	9.5 a	13.9 d
	CRF 200 g/tray (25.2)	34.7 ab	65.6 c	11.2 a	16.2 c
	CRF 300 g/tray (37.8)	36.2 a	65.8 c	12.5 a	16.9 bc
	CRF 400 g/tray (50.4)	36.4 a	67.3 b	13.3 a	17.6 ab
	CRF 500 g/tray (63.0)	36.7 a	69.2 a	13.6 a	18.8 a
	Control (150.0)	36.4 a <sup>Ⓝ</sup>	67.7 b	12.9 a	17.5 abc
2011	CRF 0 g/tray (0)	30.5 c	66.0 c	9.2 d	10.6 c
	CRF 300 g/tray (37.8)	31.1 c	68.1 bc	9.8 cd	11.3 c
	CRF 400 g/tray (50.4)	32.6 bc	70.9 b	13.1 bc	15.2 b
	CRF 500 g/tray (63.0)	33.4 b	75.8 a	14.2 b	17.4 a
	CRF 600 g/tray (75.6)	36.2 a	78.0 a	15.7 b	17.5 a
	Control (150.0)	37.1 a	75.7 a	17.7 a	17.2 a

<sup>Ⓝ</sup> Different lower case letters in the same column indicate significant differences (Duncan's Multiple Range Test, P<0.05)

<sup>Ⓝ</sup> DAT : Days after transplanting

**Table 8.** Dry weight of rice plant under different application rates of CRF.

Treatments (N level kg ha <sup>-1</sup> )	2010 year			2011 year		
	15DAT <sup>Ⓝ</sup>	30DAT	60DAT	15DAT	30DAT	60DAT
CRF 0 g (0)	5.6 b	32 c	315 c	6.1 b	31 a	250 c
CRF 200 g (18)	7.8 ab	40 bc	361 c	-	-	-
CRF 300 g (27)	8.6 ab	45 ab	415 b	10.3 a	40 a	320 b
CRF 400 g (36)	10.5 a	53 a	469 ab	10.7 a	50 a	368 b
CRF 500 g (45)	10.9 a	55 a	485 a	11.3 a	55 a	438 a
CRF 600 g (54)	-	-	-	11.4 a	56 a	441 a
Control (90)	10.4 a <sup>Ⓝ</sup>	52 a	453 ab	11.5 a <sup>Ⓝ</sup>	57 a	438 a

<sup>Ⓝ</sup> Different lower case letters in the same column indicate significant differences (Duncan's Multiple Range Test, P<0.05)

<sup>Ⓝ</sup> DAT : Days after transplanting

**Table 9.** Yield and yield components of rice under different application rates of CRF.

Year	Treatments (N+P+K level kg ha <sup>-1</sup> )	no. of panicles per hill	no. of grains per panicle	ripened grain rate (%)	1,000 grain weight (g)	milled rice yield (kg 10a <sup>-1</sup> )
2010	CRF 0 g (0)	10.0 b <sup>↓</sup>	66.7 a	93.6 a	21.4 a	412 e
	CRF 200 g (25.2)	15.0 a	73.3 a	93.0 a	21.0 a	438 d
	CRF 300 g (37.8)	15.3 a	74.8 a	92.6 a	20.8 a	454 c
	CRF 400 g (50.4)	15.7 a	76.0 a	92.3 a	21.0 a	485 b
	CRF 500 g (63.0)	15.7 a	76.9 a	92.2 a	20.8 a	504 a
	Control (150.0)	15.7 a	76.6 a	92.8 a	20.9 a	509 a <sup>↓</sup>
2011	CRF 0 g (0)	9.7 c	70.9 c	95.3 a	21.5 a	344 c
	CRF 300 g (37.8)	10.8 b	74.1 b	94.6 a	21.3 a	430 b
	CRF 400 g (50.4)	12.4 b	75.8 a	94.8 a	21.6 a	444 b
	CRF 500 g (63.0)	15.3 a	76.0 a	94.5 a	21.4 a	492 a
	CRF 600 g (75.6)	15.4 a	76.5 a	94.8 a	20.9 a	507 a
	Control (150.0)	15.4 a <sup>↓</sup>	76.4 a	94.1 a	21.2 a	505 a

<sup>↓</sup> Different lower case letters in the same column indicate significant differences (Duncan's Multiple Range Test, P<0.05)

**Table 10.** Quality of rice under different application rates of CRF.

Treatments (N+P+K level kg ha <sup>-1</sup> )	2010 year			2011 year		
	crude protein (%)	perfect grain (%)	toyo-taste value	crude protein (%)	perfect grain (%)	toyo-taste value
CRF 0 g (0)	6.1	95.3	76.8	6.1	94.7	78.1
CRF 200 g (25.2)	6.1	95.5	74.5	-	-	-
CRF 300 g (37.8)	6.1	94.4	75.2	6.2	93.1	75.3
CRF 400 g (50.4)	6.4	94.8	73.0	6.3	93.9	76.3
CRF 500 g (63.0)	6.4	93.4	69.3	6.4	96.4	74.9
CRF 600 g (75.6)	-	-	-	6.6	95.5	73.3
Control (150.0)	6.4	91.8	74.6	6.4	93.3	75.0

60일에서는 다소 회복되는 경향이었으며, 분얼수의 경우도 유사한 경향이였다(Table 7).

벼 식물체의 건물중 변화를 시기별로 조사한 결과는 Table 8에서와 같이 파종상비료의 사용량 증가로 건물중이 많아져 초장과 주당분얼수와 유사한 경향이였다. 따라서 모든 연도에서 파종상비료 사용량이 많아질수록 증가하여 이앙 후 모든 조사시기별로 대조구의 건물중과 대등한 파종상비료의 사용수준은 상자당 500 g 이상이였다.

**벼 수량구성요소, 수량 및 미질**

벼 수량구성요소와 백미수량을 조사한 결과는 Table 9와 같다. 먼저 수량구성요소를 보면 비종과 사용량에 따라 2010년에는 주당수수가 적았던 무시용구를 제외하고는 유의한

차가 나타나지 않았으나 2011년에는 파종상비료의 사용량이 증가함에 따라 등숙률과 천립중은 차이가 인정되지 않았으나 주당수수와 수당립수가 증가하는 경향으로 나타나 대조구와 대등한 수준은 상자당 500 g 이상이였다. 이에 따라 백미수량도 연도에 관계없이 파종상비료 사용량이 많아질수록 증가하여 대조구와 대등한 수량을 보인 파종상비료의 사용량은 상자당 500 g이상이였다(Table 9). 또 백미의 조단백질 함량, 완전미율과 식미치를 조사한 결과 조단백함량은 파종상비료처리구가 대조구에 비해 낮거나 같고, 완전미율은 다소 낮았던 2011년 상자당 300 g 사용시를 제외하고는 증가하였으며, 식미치는 일정한 경향을 보이지 않았다(Table 10).

### 벼 재배 파종상비료 적정 시용량

벼 재배시 파종상비료의 육묘상자 당 적정 시용량을 산출코자, 파종상비료의 육묘상자 당 시용량(g)을 독립변수(X)로, 쌀 수량(kg 10a<sup>-1</sup>)을 종속변수(Y)로 하여 2차 회귀식을 구한 결과 2010년은  $Y = 0.0002\chi^2 + 0.0963\chi + 411.6$  ( $R^2:0.9922$ ), 2011년은  $Y = 8E-6\chi^2 + 0.2723\chi + 344.04$  ( $R^2:0.9864$ )이었으며 이를 통하여 대조구 쌀수량(2010년 509 kg 10a<sup>-1</sup>, 2011년 505 kg 10a<sup>-1</sup>)에 달하는 파종상비료의 상자당 시용량을 구한 결과 2010년과 2011년 각각 498 g, 513 g으로 나타나 2개년 평균으로 본 적정 시용량은 505.5 g  $\approx$  500 g으로 산출한 바와 같이 벼의 양분흡수량, 생육 및 수량과 완전미율이나 조단백질 함량 등의 미질을 조사한 결과에서도 적정 시용량으로 조사되어 파종상비료 이용시 적정시비량은 육묘상자당 500 g이 적정할 것으로 판단되었다. 상자당 500 g은 10a당 30상자가 이양되므로 15 kg의 파종상비료가 10a당 사용되고 파종상비료의 질소, 인산, 칼리는 각각 30%, 6%, 6%이므로 10a당 성분량으로는 질소 4.5 kg, 인산 0.9 kg, 칼리 0.9 kg가 사용된다. 대조구의 질소시비량('10년 9.6 kg, '11년 11.4 kg/10a)와 비교하여 파종상비료 500 g/상자 처리구의 질소시비량은 4.5 kg/10a으로 질소시비량의 53%~60%를 절감하면서 벼 생육 및 쌀 수량이 대조와 대등한 결과를 보였다. 그리고 시비노동력은 표준시비의 경우 9.4 hr/ha (기비 1.4 hr, 분얼비 4, 수비 4)이고 파종상비료의 경우 0.4 hr/ha (파종노동시간)으로 파종상비료에 의해 시비노동력 96%를 절감할 수 있으며, 측조시비의 경우 0.8 hr/ha으로 50%의 시비노동력을 파종상비료 사용시 절감할 수 있다(MAFRA, 2017). 또한 파종상비료 노동시간 0.4 hr/ha는 전체 파종의 일부 약 20%에 해당하므로 시비노동력절감은 더 많을 것으로 판단된다. 한편 일본에서 개발된 완효성 비료인 Meister는 벼 shoot 아래 또는 벼 파종할 때 사용될 수 있도록 개발되어 이양시 비료가 벼 뿌리부분에 놓여짐에 따라 벼의 질소흡수이용률은 80%로 매우 높아 추천 질소시용량의 50%를 감소할 수 있고 질소추비를 할 필요가 없어 노동력과 생산비를 절감할 수 있다고 한 결과와 유사하였다(Kaneta & Murai, 1994a, 1994b).

### 적 요

본 연구는 비료의 손실을 줄이면서 시비효율을 극대화 할 수 있는 벼 모판 파종동시처리 완효성비료를 개발하여 육묘상자 당 적정시용량을 설정코자, 추청벼에 대해 2010년부터 2011년까지 시험한 결과는 다음과 같다.

1. 파종상비료를 처리한 20일 육묘 후 묘의 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O 함량은 무처리에 비해 육묘기간중에 소량이 용출되었으나 비료해는 발생하지 않았다.
2. 벼 생육기간중 식물체 총질소 흡수량은 파종상비료 시용량이 많아질수록 증가하는 패턴이었으며 2011년에는 상자당 500 g 파종상비료시용구에서 대조구와 대등한 수준으로 나타났으며 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O 흡수량도 총질소 흡수량과 유사한 경향을 보였다.
3. 벼 수확기에 벼짚중의 총질소 함량은 대조구와 파종상비료 400~600 g 시용구간에 차이가 없었다.
4. 벼 수확기 파종상비료 시용구의 질소흡수이용율은 대조구('11년 31%)에 비해 54~72%로 파종상비료 시용량이 증가할수록 높았다.
5. 2011년 파종상비료 시용구의 초기생육은 2010년에 비해 약간 떨어지는 경향이었고 이양후 60일 이후의 생육은 대등하였다.
6. 파종상비료의 벼 육묘상자 당 적정 시용량을 독립변수(X)로, 쌀 수량을 종속변수(Y)로 하여 2차회귀식을 구한 결과에 대조구의 쌀 수량에 달하는 파종상비료의 상자당 시용량을 구한 결과 2010과 2011년 각각 498 g, 513 g으로 나타나 2개년 평균으로 본 적정시용량은 500 g으로 산출되었다.

### 사 사

본 논문은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농생명산업기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(514003-3).

### 인용문헌(REFERENCES)

- Fenn, L. B. and L. R. Hossner. 1985. Ammonia volatilization from ammonium forming nitrogen fertilizer. *Adv. Soil Sci.* 1 : 123-169
- Kaneta, Y., H. Awasaki, and Y. Murai. 1994a. The non-tillage rice culture by single application of fertilizer in a nursery box with controlled release fertilizer(in Japanese). *Japan. J. Soil Sci. Plant Nutr.* 65 : 385-391.
- Kaneta, Y., H. Awasaki, and Y. Murai. 1994b. "Single application of controlled release fertilizer in a nursery boxed: 1. Shoot placement of controlled release fertilizer (in Japanese)". *Tohoku Agr. Res.* 47 : 115-116.
- Kim, S. S., N. H. Back, H. G. Park, and M. G. Choi. 2002. Practical application of the side-spot placement of fertilizers simultaneously with rice transplanting. 2002 Honam Agri-



- cultural Experiment Station. Annual Research Report. pp. 88-92.
- Kurihara, K. 1970. Coated fertilizer for the controlled release of nutrient. *Japan Agricultural Research Quarterly*. 5 : 21-25.
- Lee, K. S. 1996. Effect of coated urea on the yield of rice and the behavior of nitrogen under different methods of planting in paddy soils. Ph D thesis. Gyeongsang National University.
- Lee, K. B., C. W. Park, K. L. Park, J. G. Kim, D. B. Lee, and J. D. Kim. 2005. Nitrogen Balance in Paddy Soil of Control-Release Fertilizer Application. *J. Kor. Soc. Soil Sci. Fert.* 38(3) : 157-163
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2017. Development of Fertilizer and Labor-saving Model in Rice. p. 20, p. 67.
- ME (Ministry of Environment). 2010. Korean standard methods for water quality. Gwacheon, Korea. pp. 181-185.
- NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. Analytical methods of soil and plant. NIAST, RDA, Suwon, Korea.
- NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2011. Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality in 2011. NIAST, RDA, Suwon, Korea.
- RDA (Rural Development administration). 2003. Standard of Research and Analysis for Agriculture Science and Techology. pp. 271-290.