

무인헬기용 Macrogranule(GG) 제초제의 안정성 및 살포방법 연구

윤철수¹, 배창휴², 이성춘², 김경현¹, 이계환¹, 조태경³, 황인천^{1*}

Studies on Application Method and Safety of Macrogranule(GG) Herbicide for Remote-controlled Aerial Application

Cheol-Su Yoon¹, Chang-Hyu Bae², Sheong-Chun Lee², Kyung-Hyun Kim¹
Kye-Hwan Lee¹, Tae-Kyoung Cho³ and In-Cheon Hwang^{1*}

ABSTRACT This experiment carried out to confirm characteristics of macrogranule (GG) for herbicidal efficacy by using remote-controlled aerial application (RCAA) to control annual and perennial weeds in rice paddy field, application methods, and application times of formulation types. Particle of 500 g GG having average diameter of 2.5~3 mm was over 85 percent, the bulk density of the particle was 0.2~0.4 g mL⁻¹ and the particle was water floating granule. Active ingredients and external form of halosulfuron-methyl+mefenacet GG remained stable under condition of storage stability test. The disintegration time of the GG was faster as the water temperature was increased. But disintegration time was not affected by pH on the water conditions. By using hand, spoon and power applicator, drift distances of GG were 4~5 m, 7 m and 10~12 m, respectively. GG showed good herbicidal efficacy and plant safety in all of the application methods such as, using hand, spoon, power applicator and RCAA. Application times of GG, GR, SC and TB by hand in 4,000 m² were 38 min. 4 sec, 42 min. 20 sec, 38 min. 10 sec and 21 min. 4 sec, respectively, but application time of GG by using RCAA was 1 min 32 sec. According to appearance and characteristics of formulation types, suspension concentrate (SC) and GG were possible formulation

¹ (주)경농 중앙연구소, 780-110 경북 경주시 구황동 226번지(Central Research Institute, Kyungnong Co., Ltd., Gyungju 780-110, Korea).

² 순천대학교 웰빙자원학과, 540-742 전남 순천시 중앙로 413(Department of Well-being Resource, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea).

³ 동국대학교 정보통계학과, 780-714 경북 경주시 석장동 707 (Department of Statistic & Information Science, Dongguk University, Gyungju 780-714, Korea).

* 연락처(Corresponding author) : Phone) +82-54-779-1007, Fax) +82-54-776-0139, E-mail) ichwang@knco.co.kr

(Received August 29, 2011: Revised September 8, 2011: Accepted September 15, 2011)

types for RCAA.

Key words: herbicide; macrogranule; remote-controlled aerial application; storage stability; weed.

서 언

항공방제는 농약중독 우려 등으로 농업인들이 가장 기피하는 농작물의 병해충 및 잡초 방제작업을 편리하게 할 수 있기 때문에 선진국에서 오래전부터 시행하고 있다. 미국이나 호주 등 광활한 농경지에서는 경비행기를, 발작물 위주의 농지규모가 큰 유럽에서는 사람이 탑승하여 조종하는 유인헬기가 많이 이용되고 있지만, 경지면적이 작고 산악지가 많은 우리나라에서는 경비행기나 유인헬기의 추락사고 위험과 약효·약해 등의 문제로 방제작업이 매우 제한적인 지역에서만 시행되고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 사람이 탑승하지 않고 무선으로 조종하는 무인헬기의 이용에 관심이 고조되고 있다. 농용 무인헬기는 시간당 10ha를 방제할 수 있는데 작물 위 3~4m의 저고도 살포로 비산이 거의 없고 작물별, 농지별 국지살포와 정량살포로 농약 사용량을 감축할 수 있다. 일본에서는 YAMAHA 발동기에서 1983년부터 농림수산항공협회로부터 위탁을 받아 농약살포용 무인 헬리콥터의 개발에 착수하여 1987년 R-50을 개발하여 1991년 농가에 보급하였으며, 2008년 기준 약 2,300여대로 일본 전체 논의 1/4에 해당하는 87만ha 논에 방제작업에 활용되고 있다(이 2009). 한편 우리나라 농용 무인헬기는 '04년 6대 1,730ha, '08년 45대(농협 32대, 영농법인 등 13대)가 보급되어 11,600ha의 면적을 방제하고 있는데, 농기계 은행임대사업 활성화를 통해 '09년 100대, '12년 400대, '13년까지 500대를 공급할 계획이다(김 2009).

우리나라에서 항공방제는 벼 주요 병해충 방제를 위해 6월 하순에서 8월 하순에 걸쳐 1~2회 행해지고 있다. 하지만, 방제용 헬리콥터 및 전문인력 등 기반시설 부족과 항공방제용 약제개발 등 기초연구 부족으로 인해, 항공방제 면적은 1996년 40,197ha에 비해 늘어난 것지만 2000년 이후 매년 약 100,000ha 수준에 머물러 있는 실정이다. 더구나 항공방제가 생태계 파괴와 환경방제오염의 주범으로 인식되고 있는 현실에서 방제면적을 늘리는 것도 어려운 실정이다(Jin 등

2008a, b). 실제 국내에 항공방제용(ULV/무인헬기용)으로 등록된 농약은 2011년 현재 살균제 36품목, 살충제 31품목, 제초제 6품목이 등록되어있다(KCPA 2011). 일본의 경우 최근 재등록 과정에서 다소 줄어든 것지만 100여 품목이 등록되어 있는데 비해 상대적으로 우리나라는 등록 품목수가 적으며, 특히 제초제의 항공방제에 대한 연구가 매우 미흡한 실정이다(농림수산항공협회 2003; Jin 등 2008a, b).

제초제 사용 이전의 잡초방제는 눈에 직접 들어가는 손으로 잡초를 제거해야 하는 가혹한 노동으로 일본에서는 1949년에 10a당 50.6시간의 노동시간을 필요로 하였으나 제초제의 본격 사용으로 1965년에는 17.4시간, 1975년에는 8.4시간, 1990년대 중반에는 1.6시간으로 대폭 개선되었다(Morita 1999). Kim 등(2005a, b)은 발포성 정제의 4,000m²에 대한 살포소요시간은 15분으로, 입제의 30~33분 또는 37~42분에 비하여 1/2정도의 시간이면 처리를 완료할 수 있어 생력화가 가능하다고 하였다.

제초제는 어떠한 형태로 만드느냐가 매우 중요한데 近内(1991)는 “제초활성이 우수한 물질을 포장에서 최대의 효과를 발휘하게 하는 것”을 제형으로 정의하였고 사용목적에 따라 제형은 결정된다고 하였다.

수도용 제초제 중 일발처리형태의 토양처리제만을 고려할 때 10a당 직접처리형 입제(3kg→1kg→500g→250g), 액상수화제(500mL), 희석식 직접처리제인 입상수화제(100~45g), 생력적 직접처리제인 점보제(500g) 순으로 발전되어 지금에 이르고 있다(Kazuaki 등 1994; Namae 1994; 一前 등 1995; 倉持와 米山 1995; 渡部 1997; 竹内 1999). 제배양식의 변화와 함께 제초제 주제 및 제형의 변천은 시대적인 요구, 즉 편리성, 간편성, 경제성 및 환경 친화성을 반영하고 있음에는 틀림없지만 결국 이의 실현을 위해서는 제형기술의 진보가 반드시 뒤따라야 한다.

농업종사자의 고령화와 노동력부족에 의한 친환경적 생산기술에 기반한 약제개발은 사회적 요구 등으로 인하여 80년대 후반부터는 눈에 직접 처리할 수 있는 액상수화제(flowable)에 대한 다양한 연구가 시작되어

(Nobumasa 등 1990; Namae 등 1994) 이 제형에 대한 처리방법 즉 직접처리, 논둑처리 및 물꼬처리 등에 대한 실용화 연구가 본격화되었다(一前 등 1995). 1990년부터는 논둑에서 논안으로 던지는 형태로 잡초방제가 가능한 초생력형 발포성 정제의 연구가 본격화되어 수도용 제초제 연구의 새로운 전기를 맞이하게 되었다(近内 1991; 川瑞 등 1993; 小川 등 1993; Kongttsu 등 1994; Hirase 등 1995; 鴨居 1995; 高橋 1998; Nagato 등 1998; 농림부 2001; Kim 등 2005b). 이와 같이 제제의 기술이 급변하고 있으나 최근 제초제를 포함하여 농약 전체의 시용기술은 ①농약의 유효성분이 최대의 효과를 내게 하는 기술 ②보다 안전하며 환경오염이 적은 제제·시용법 ③간편하게 사용하는 방법 ④저독성·저투여 약량화 ⑤여러 성분의 혼합제제화 ⑥사용용기의 폐기 용이화 등의 요구를 충족시키는 새로운 연구 분야로 중요성이 강조되고 있다(渡部 1997).

부상형 제형으로 점보제는 논에 들어가지 않고 논둑에서 300평당 25~50g 수준의 대형 정제를 20~40 개 정도 일정한 간격으로 던져 넣는 것만으로 처리가 완료되는 초생력형 처리형태로 tablet 형태의 수중 발포성 정제(TB)와 수용성 비닐백에 입제가 들어 있는 pack제의 2종류가 있다(小川 등 1993; Kongttsu 등 1994; Seigo 등 1994a, b; Hirase 등 1995). Pack제는 비닐백이 용해되면서 내용물 입제가 수면위로 부상하여 빠르게 확산되는 부유 확산형과 투척 후 일단 수몰된 입제가 점차 부상하여 수면을 확산하는 부상 확산형으로 구분할 수 있다(高橋 1998). 그러나 수중 발포성 정제는 제제과정에서 물과 접촉시 CO₂ 가스가 발생되도록 하여 그 힘에 의하여 유효성분이 수면 또는 수중으로 붕괴되어 빠르게 확산되는 형태로 타정압력, 건조, 투하 후 수온, 담수심, 정제의 형태, 수중 또는 수면 부유물 등에 의하여 영향을 받는다(Hirase 등 1995). 이들 두 가지 형태의 점보제 모두 장단점이 있으나 기계살포 및 무인헬기 살포는 제형 형태 및 특성상 곤란하여 본 실험에서는 수면부상형으로 살포 방법이 다양하고 무인헬기 살포가 가능한 수면부상형 대립제(GG)로 한정하였다.

한편 국내에서는 수면부상성 제형으로 capropamid의 벼 도열병 방제를 위한 연구가 이루어졌으며(장 1996), 제초제는 1998년에 일본의 기술을 도입한 부유성 pack제를 개발, 등록(Choi 등 1998)하였고, Kim 등

(2006)에 의해 flucetosulfuron 수면 부상형 입제 최적화연구가 이루어졌다. 최근 국내에서 생력화 제형으로 액상수화제 31약종, 투척제 4약종, pack제 5약종, 250g 대립제 9약종이 개발되어 있다(KCPA 2011). 그러나 기존 수면부상형 입제는 가비중이 가벼워 바람 및 부유물의 영향 등으로 사용에 문제점을 안고 있다.

우리나라의 무인헬기살포가 가능한 수면부상형 대립제(GG)에 대한 연구는 시작 단계이고, 무인헬기 제초제살포에 대한 연구사례도 거의 없다. 또한 농업환경의 변화 및 지속가능한 생력화·기계화 농업의 기로에서 농용 무인헬기에 의한 논 잡초방제용 제초제 개발 및 연구는 매우 절실하지만 이에 대한 체계적인 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 논에 발생하는 일년생 및 다년생잡초를 무인 항공살포로 방제가 가능한 제초제 제형을 개발하기 위하여 halosulfuron-methyl+mefenacet GG, bromobutide+halosulfuron-methyl+pyriminobac-methyl GG를 제조하여 일련의 연구를 수행한 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

Macrogranule(GG)의 제제화

제초제 및 제형선발

실내시험은 sulfonylurea 계통의 halosulfuron-methyl과 acetanilide 계통의 mefenacet을 Nissan(일본)과 Bayer(독일)사로부터 technical standard로 분양받아 사용하였다. 또한 이들 화합물은 (주)경농중앙연구소 제제연구팀에서 halosulfuron-methyl와 mefenacet(54+1,050g a.i

Table 1. Herbicides used in this experiment.

| Herbicide ¹⁾ | Content (%) | Dosage (ha ⁻¹) | Application time |
|-------------------------|-------------|----------------------------|----------------------|
| BHP GG ²⁾ | 18+1.08+0.6 | 5kg | 15 DAT ³⁾ |
| HM GG | 1.08+21 | 5kg | 15 DAT |
| PP GR | 0.07+0.1 | 30kg | 15 DAT |

¹⁾BHP, Bromobutide+Halosulfuron-methyl+Pyriminobac-methyl GG; HM, Halosulfuron-methyl+Mefenacet GG; PP, Pyrazosulfuron-ethyl+Pyriminobac-methyl GR.

²⁾GG, Macrogranule; GR, Granule.

³⁾DAT, Days after transplanting.

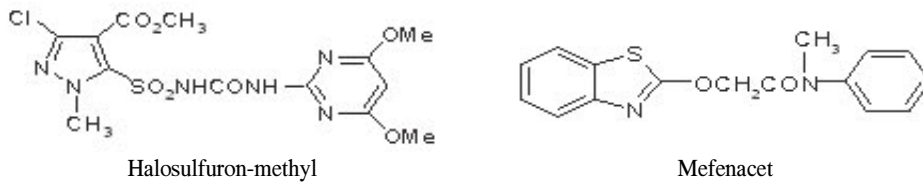


Fig. 1. Chemical structure of halosulfuron-methyl and mefenacet.

ha⁻¹)를 입제(GR)와 GG로 제제화하여 사용하였다.

포장시험은 최근 저항성 올챙이고랭이, 물달개비에 높은 활성을 보이는 아마이드계통의 bromobutide을 스미토모(일본)사로 technical standard로 분양 받아 (주)경농중앙연구소 제제연구팀에서 GG를 제제화하여 GR과 비교하였다(표 1).

제제화

Halosulfuron-methyl+mefenacet GG의 수면부유성 물질을 함유한 고휘제제의 조성물 제조시험은 ①농약 활성성분과 증량제를 혼합하여 분쇄하는 단계, ②분쇄 물질과 부유성 담체 및 나머지 조성물을 혼합하는 단계, ③혼합물질에 물을 첨가하여 반죽하는 단계, ④입제제조기로 제조하는 단계, ⑤건조 및 선별하는 단계로 약제를 제조하였다. 분말과 액상액을 고속 교반기 중에서 균일하게 혼합한 후 2.5mm 구멍이 뚫린 망을 이용하여 압출 조립을 행하면서 5mm 길이로 절단했다. 얻어진 조립물을 수분 1.0% 이하로 될 때까지 건조하여 수면 부유성을 가지는 입상제제를 얻었다. 이 입상제제의 입도분포는 평균 입경 2.5mm 이상의 입자가 85% 이상이었다. 수면부유담체는 가비중 0.2~0.6g mL⁻¹ 범위로서 부유성 입제로 제제된 경우, 가비중이 0.2~0.4g mL⁻¹에서 수면에 부유성을 갖고 확산되는 입제이다.

Macrogranule(GG)의 수중 붕괴성

분상시료를 용량 300mL의 비이커에 3도 경수 200mL 넣고 시료 약 0.2g을 수중에 투하하고부터 시료의 대부분이 분상으로 붕괴될 때까지의 시간을 측정하였다.

수중 온도는 항온수조를 이용하여 각각 10, 20, 30, 40℃의 온도조건에서 pH는 4, 7, 9, 10의 조건에서 각각 측정하였다.

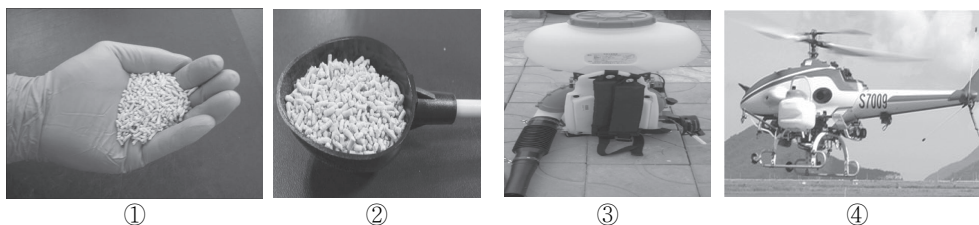
Macrogranule(GG)의 안정성

대상약제(그림 1)를 은박코팅 알루미늄 포장용기에 넣고 54±2℃ 오븐에서 8주 동안 저장하면서 2주 간격으로 8주 동안 분해율을 조사하였다.

경시변화 분해율은 halosulfuron-methyl은 고성능액체크로마토그래프(HPLC)로 mefenacet는 기체크로마토그래프(GC)로 분석하였으며, 시험약제를 54±2℃ 오븐에 보관하면서 유효성분이 경시적으로 어느 정도 분해하는지를 측정하였다.

분해율 계산식은 다음과 같다.

$$\text{분해율(\%)} = \frac{(\text{초기 분석치} - \text{보관시료 분석치}) \times 100}{\text{초기 분석치}}$$



① Using-Hand, ② Using-Spoon, ③ Using-Power, ④ Remote-Controlled Aerial Application (Ucon).

Fig. 2. Four types of application method for GG.

Macrogranule(GG)의 살포방법 별 효과

Halosulfuron-methyl+mefenacet(HM) GG(54+1,050g a.i. ha⁻¹), bromobutide+halosulfuron-methyl+pyriminobac-methyl(BHP) GG(900+54+30g a.i. ha⁻¹)를 제제하여 다양한 살포방법을 비교하고자 그림 2와 같이 손살포, 도구를 이용한 살포, 기계살포, 무인항공 살포를 실시하였다(그림 2).

손살포

GG는 널리 사용되고 있는 GR처럼 처리시 손 느낌이 유사하고, 수면부유 확산성으로 인하여 넓은 면적을 처리할 수 있다. 최종 선정된 입경의 약제에 관한 기본 특성을 조사하기 위하여 입경, 개당 무게, 성인 한줌의 무게와 개수, 10a를 처리하기 위한 처리회수를 조사하였다.

GG를 처리할 수 있는 여러 가지 방법 중 실제포장에서 처리방법에 따른 확산정도와 약효 및 약해를 비교하기 위하여 2009년 경북 경주 기계이앙재배 논에서 실시하였다. 5월 10일에 파종한 신명흑찰벼를 6월 2일에 이앙하였으며, 이앙 15일 후인 6월 17일에 약제를 처리하였다. 약제처리는 GG제형인 HM, BHP와 GR제형인 공시대조약제 pyrazosulfuron-ethyl+pyriminobac-methyl(PP)를 각각 GG는 ha 당 5kg, GR은 30kg을 처리하였다. GG처리는 포장면적 1,000m² (10×100m)로 논둑 위에서 30cm 보폭으로 3보 이동 후 1회 처리를 기본조건으로 하였다. 1회 처리 되는 양은 처리자의 조건에 따라 다를 수 있지만 본 시험에 동원된 영농인은 보통 8~10g을 처리하였다(그림 3). 처리

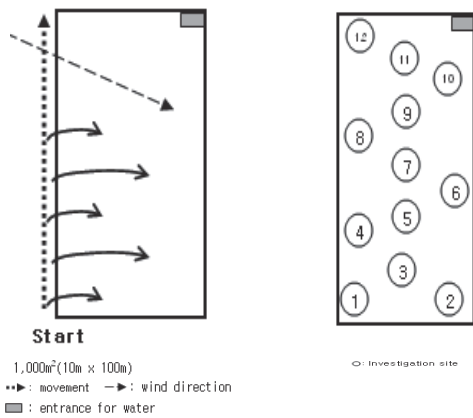


Fig. 3. Application condition and investigation site for GG applied by hand in 1,000m² (10×100m) field size.

당시 좌로부터 초속 0.8~2.1m s⁻¹ (AR 846, SMART SENSOR) 부는 바람이 있어 논둑에서 1m지점과 5~6m지점에 번갈아가며 처리를 하였으며, 총 60회를 손으로 처리하였다. 공시대조약제 PP GR은 논에 직접 들어가 30kg ha⁻¹를 처리하였다.

약제처리 30일 후에 포장내 12개 지점에서 조사하여 50×50cm quadrat으로 잡초 발취 후 초종별 본수 및 건물중을 조사하여 1m²로 환산하였다. 약해조사는 약해정도(0-9)를 조사하였다.

도구이용 살포

살포에 사용된 도구는 낚시용 도구로 50cm 길이의 오목하게 패인 주걱모양의 도구로 1회 처리약량은 15.2~18.3g이다. 1,500m²(15×100m)크기의 포장의 해당하는 처리약량은 750g이며, 총 80회가 처리되었다(그림 4). 논둑을 따라 걸으면서 50cm 보폭으로 5보에 1회씩 논둑으로부터 2~3m지점, 5~7m지점에 번갈아가면서 처리를 하였다. 그 외 경중개요, 처리약제, 약효 및 약해조사는 손살포 포장시험과 동일한 방법으로 수행하였다.

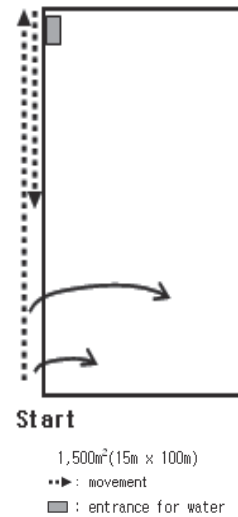


Fig. 4. Application condition for GG applied by spoon in 1,500m² (15×100m) field size.

기계살포

HM, BHP의 GG를 ha당 5kg 처리하는데 사용된 기계는 비료 및 입제 제조제를 살포할 수 있는 동력 살포기(MD 6070, MARUYAMA)로써(그림 5) 기본

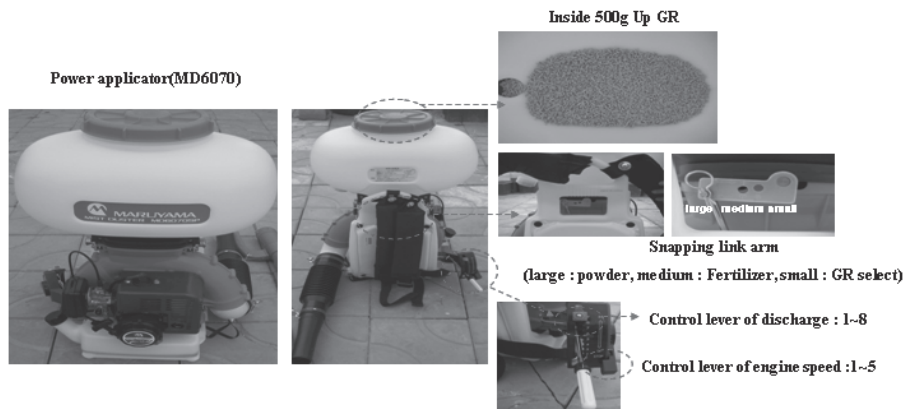


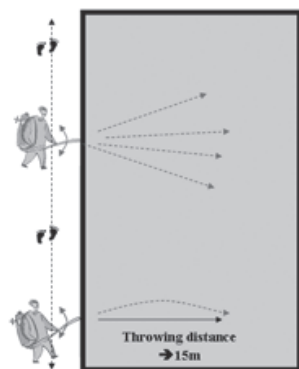
Fig. 5. Control levels of power applicator (MD6070).

적인 토출양상, 토출시간, 엔진속도, 유효비산거리 등을 조사하고, 그 결과를 바탕으로 포장시험을 진행하였다. 2009년 경북 경주에 농가포장을 임대하여 동력살포기의 토출량 level 4, 엔진속도 2에 맞추고 초당 0.7m의 속도로 이동하였다. 기계에서 토출되어 포장수면에 떨어진 유효거리는 9~10m이며 포장의 긴쪽 2면에서 처리하였는데 처리하는데 4분 30초가 소요되었다(그림 6). 그 외 경증개요, 처리약제, 약효 및 약해조사는 손살포 포장시험과 동일한 방법으로 수행하였다.

무인헬기 살포

약제처리당시 비행속도 15~20km h⁻¹, 고도는 3.5~4m, 풍속은 2.0m s⁻¹ 및 풍향은 서남서풍(WSW)이었다. 시험에 사용된 풍속계는 Flow Anemometer (AR846)/SMART SENSOR[®]이었다. 시험면적은 2,000m² (20×100m)로 약제살포 폭은 5m로 그림 7과 같이 4회 왕복 살포하였다(그림 7). 약제처리 30일 후에 포장내 12개 지점에서 조사하여 50×50cm quadrat으로 잡초 발취 후 초종별 분수 및 건물중을 조사하여 1m²로 환산하였다. 약해조사는 약해정도(0-9)를 조사하였다.

Control 4/2 (discharge/engine) and moving application with 0.3m step/sec
Area : 10m×100m



Actually moving distance : 50m
Application on oneside is possible to throwing in 1000m², because throwing distance increase 1-2m after to link coupling device.

Control 3/2 (discharge/engine) and moving application with 0.3m step/sec
Area : 40m×50m

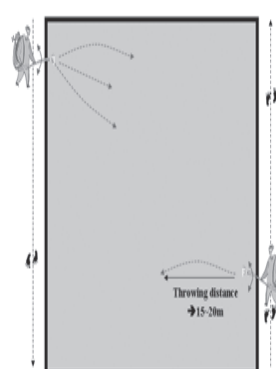
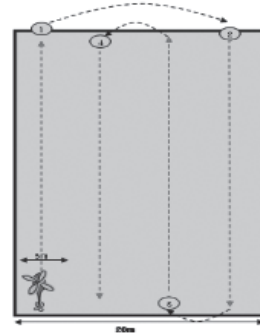


Fig. 6. Application methods for GG by power applicator (MD6070) in 1,000 and 2,000m².



GG by remote-controlled aerial applicator



Application condition

Fig. 7. Application condition for GG by remote-controlled aerial applicator in 2,000m² (20×100m) field size.

제형별 살포소요 경제성 비교

제형은 GR, GG, SC, TB를 사용하여 4,000m² 기준 손살포, 도구를 이용한 살포, 기계살포, 무인항공 살포를 실시하였다(그림 2). 각각의 살포방법은 살포 방법별 효과시험 방법에 준하여 살포소요시간을 산출하였다.

결과 및 고찰

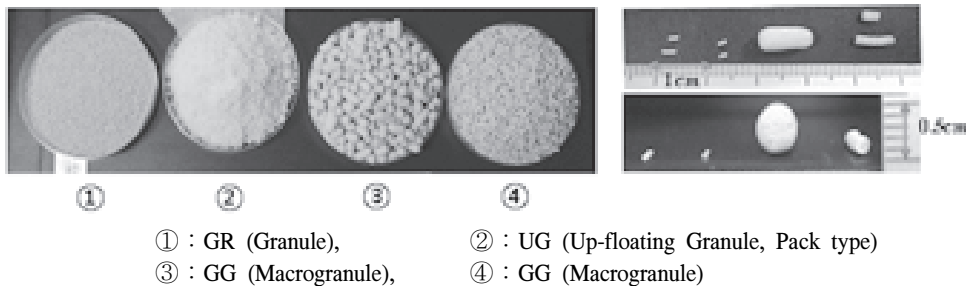
Macrogranule(GG) 제제화

수도 제조용으로 사용하는 고상형 제형들 중에 가장 보편적으로 사용되어지는 제형이 입제(Granule, GR)이며, 길이는 0.2~0.3cm, 직경은 0.1cm 이내, 색깔은 백색, 회백색 등이다(그림 8). 이는 제조회사 또는 약제 특성에 따라 달라질 수 있다. 수용성 pack제에 포장된 UG(Up-floating granule)는 그 크기가 GR보다 작고 짧으며, 희고 반투명하다. 일단, 수용성 pack에 유효성

분을 담은 담체가 담겨있기 때문에 기존의 GR과 비교하여 감촉, 사용방법, 처리층 형성 등 약효를 발현하는 조건들이 다르다. 이와 다르게 pack제가 아닌 GG는 크기와 길이 면에서 많은 차이를 보이며, 동일면적에 살포되는 중량, 개체수가 다르지만 수면에 부상, 확산 후 처리층을 형성하여 살초작용을 나타내는 특징을 가지고 있다. 사용량별 특성을 보면 ha당 2.5kg용 GG는 크기에 비해 가벼워 약제살포시 투척 후 수면에서 바람의 영향을 많이 받아 한 쪽으로 몰릴 수 있는 가능성이 큰 반면, ha당 5kg용 GG는 크기와 부피는 작으나 경도와 밀도가 커서 투척시에는 바람의 영향을 받지 않고, 수면에서의 영향을 다소 적은 특징을 가지고 있다. 기존 ha당 30kg 제품은 사용량이 많다. 따라서 여러 특성상 GG type이 무인 항공기용 제형으로 적합한 것으로 사료된다.

Macrogranule(GG)의 수중 붕괴성

GG의 수온에 따른 수중 붕괴성은 수온 10, 20, 30,



① : GR (Granule), ② : UG (Up-floating Granule, Pack type)
 ③ : GG (Macrogranule), ④ : GG (Macrogranule)

Fig. 8. Four types of granule in herbicides for the paddy field.

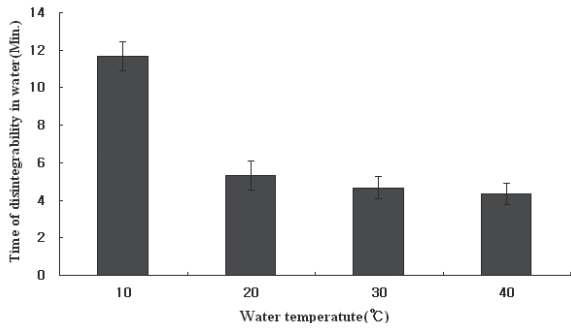


Fig. 9. Effect of water temperature on disintegrability of GG in water.

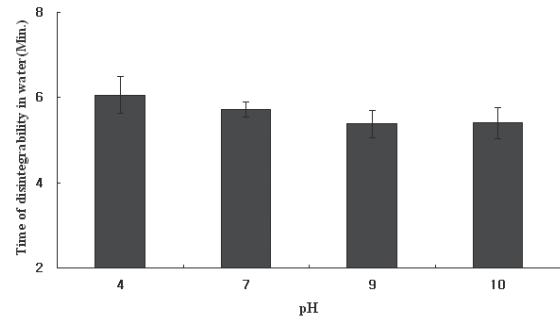


Fig. 10. Effect of pH on disintegrability of GG in water at 25°C.

40°C에서 각각 11분 20초, 6분 20초, 5분, 4분 30초로 온도가 상승할수록 수중 붕괴성이 증가하는 경향을 보였다(그림 9). 그리고 GG의 수중 pH 4, 7, 9, 10에서 각각 5분 50초, 5분 40초, 5분 30초, 5분 35초로 수중 pH에 따른 영향은 없었다(그림 10).

Macrogranule(GG)의 안정성

1.1% halosulfuron-methyl GG를 54±2°C 오븐에 2, 4, 6, 8주간 저장 후 HPLC에 의해 주성분 변화를 분석한 결과, 각각 1.19, 1.17, 1.165, 1.15%로 초기 분석치 1.20%와 비교할 때 0.92, 2.42, 3.43, 4.01%의 분해율을

Table 2. Decomposition rates of halosulfuron-methyl and mefenacet GG during storage period, at 54±2°C.

| Herbicide | Week | Active ingredient (%) | | | | decomposition rate (%) |
|------------------------|------|-----------------------|-------|-------|----------------------|------------------------|
| | | I | II | III | Mean | |
| Halosulfuron-methyl GG | 0 | 1.198 | 1.194 | 1.196 | 1.196a ¹⁾ | - |
| | 2 | 1.188 | 1.183 | 1.185 | 1.185a | 0.92 |
| | 4 | 1.172 | 1.163 | 1.165 | 1.167a | 2.42 |
| | 6 | 1.158 | 1.152 | 1.155 | 1.155a | 3.43 |
| | 8 | 1.150 | 1.146 | 1.148 | 1.148a | 4.01 |
| Mefenacet GG | 0 | 22.04 | 21.98 | 22.05 | 22.02a | - |
| | 2 | 21.85 | 21.82 | 21.87 | 21.85a | 0.77 |
| | 4 | 21.62 | 21.59 | 21.65 | 21.62a | 1.82 |
| | 6 | 21.46 | 21.41 | 21.48 | 21.45a | 2.59 |
| | 8 | 21.35 | 21.33 | 21.37 | 21.35a | 3.04 |

¹⁾In a column, means with the same letter are not significantly different according to the Duncan's multiple range test (P=0.05).

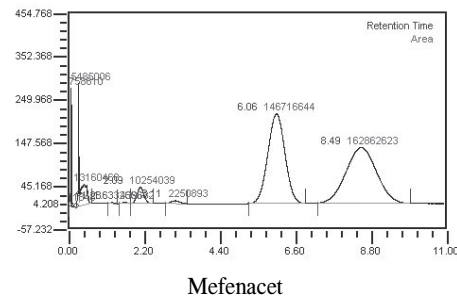
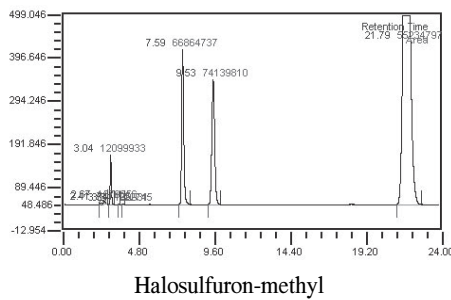


Fig. 11. Analysis chromatograms of halosulfuron-methyl and mefenacet in GG by HPLC and GC, respectively.

Table 3. Character of halosulfuron-methyl+mefenacet GG treated by hand.

| Diameter (mm) | Weight (g individual ¹⁾) | Treated weight ¹⁾ | Number of individual ²⁾ | Application times ³⁾ (0.1ha) |
|---------------|--------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------|
| 2.5~3 | 0.021±0.002 | 7.92±0.6 | 384.5 | 58~65 |

¹⁾Weight against handful of granule as adults.

²⁾Number of individual against handful of granule as adults.

³⁾Application times of 500g great granule with hand.

보였다(그림 11, 그림 2). 한편 21% mefenacet GG는 54±2℃ 오븐에 2, 4, 6, 8주간 저장 후 GC에 의해 주 성분 변화를 분석한 결과, 각각 21.85, 21.62, 21.45, 21.35%로 초기 분석치 22.02%와 비교할 때 0.77, 1.82, 2.59, 3.04%의 분해율을 보였다(그림 11, 표 2). 참고로 농약관리법에서는 약효보증기간 1, 2, 3, 4년 설정을 위해서는 54±2℃에 2, 4, 6, 8주 보관한 시료에 대한 성적을 요구하고 있다(한국작물보호협회 2010). 그러므로 제형화된 GG는 약효보증기간이 4년 이상 가능한 것으로 판정되어 상업화에 적합한 것으로 판단되었다.

Macrogranule(GG)의 살포방법 약제특성 손살포 약제특성

대립제(GG)는 입경 2.5~3mm, 1입자의 무게는 0.021±0.002g, 성인 한줌처리 무게는 7.92±0.6g이었고(표 3), 경도와 밀도가 커서 비교적 딱딱하다. 또한 바람의 영향을 덜 받는 특징을 가지고 있다. 수면에 부유하는 성질을 가지며 또한 30분 이내에 수면에서 붕괴함을 특징으로 하는 균일 확산성 입상 농약제형이다.

담수된 논외의 논두렁으로부터 1m 이상의 거리를 두고 전체 무논면적의 5~50%의 면적에 살포하는 균일한 확산성 농약제형의 살포방법이다.

도구이용 살포

GG를 손이나 도구를 이용하여 살포할 때의 표준처리 방법은 면적 10m×100m 포장의 경우 양쪽 논둑에서 약제를 30cm 보폭으로 7걸음 이동하여 한줌(약 8g)씩 논안에 투척하면 된다. 이때 투척거리는 4~6m로 수면에 떨어진 입자들이 수면과 수중에서 확산되어 면적에 고루 퍼지게 된다. 또한, 도구를 이용할 때는 손으로 처리할 때 보다 투척거리가 늘어나 비교적 넓은 면적도 처리가 가능하며 여기에서는 30×100m를 처리 예로 방법을 제시하면 한 스푼(약 16.7g)을 0.3m 보폭으로 10걸음을 이동하여 1회씩 논둑을 이동하며 7m 정도 논안으로 투척하면 고루 살포되어진다(그림 12).

기계살포

생력적이고 고른 약제살포를 위해 동력살포기

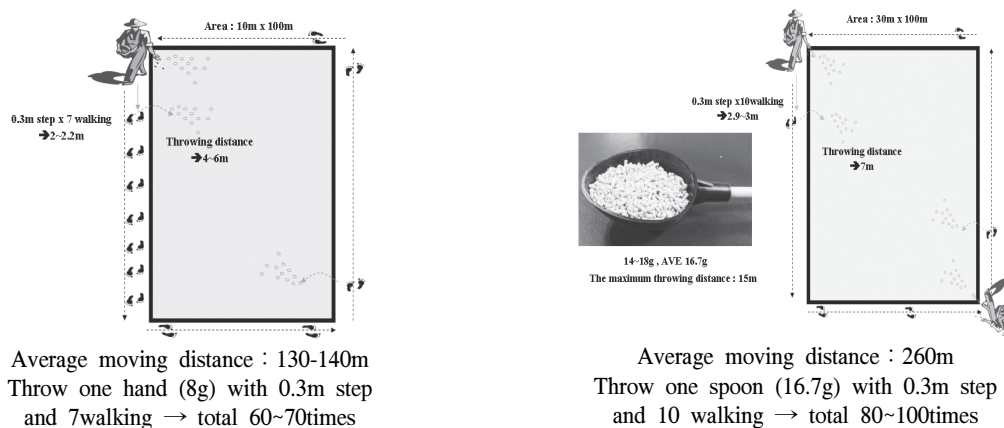


Fig. 12. Comparison of the application methods for GG by hand and spoon in 1,000 and 3,500m², respectively.

Table 4. Effect of discharge level on amount and time of discharge by power applicator (MD6070) at engine speed 2.

| Discharge level (0~6) | Amount of discharge (g min ⁻¹) | Time of discharge (500g) | Drift distance (min~max, m) |
|--------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 2 | - | - | - |
| 3 | 110.6 | 4min 52sec | 12~15 |
| 4 | 216.8 | 2min 31sec | 12~15 |
| 5 | 633.8 | 47sec | 12~15 |
| 6 | 1135.8 | 27sec | 12~15 |

Table 5. Recommended application conditions by power applicator (MD6070) in each field area.

| Area ¹⁾ | Distance ²⁾ (m) | Dosage ³⁾ (g) | Level ⁴⁾ | Speed ⁵⁾ (m sec ⁻¹) | Drift (m) |
|--------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------------------------------|--------------|
| 10a | 132 | 500 | 3~4/2 | 0.5~0.9 | 12~15 |
| 20a | 206 | 1,000 | 3/2 | 0.7 | 12~15 |
| 30a | 250 | 1,500 | 3/2 | 0.9 | 12~15 |
| 40a | 291 | 2,000 | 3/2 | 1 | 12~15 |

¹⁾Field area.

²⁾Average moving distance around bank of paddy field.

³⁾Recommended dosage of field area, respectively.

⁴⁾Level of discharge and engine speed.

⁵⁾Walking speed on the bank of paddy.

(Maruyama, MD 6070)를 이용한 기본적인 살포조건을 제시하기 위하여 엔진속도, 토출량을 조사하였다. 시험에 사용된 기종은 입제, 분제, 비료를 살포할 수 있는 것으로 500g GG를 살포하기 위해서는 입제 또는 입상조건에서 살포하여야 하며, 분제 또는 비료에 놓았을 경우 약제적재함의 입구가 너무 작거나 커서 살포가 되지 않거나, 과다하게 토출이 된다. 엔진속도(1~5), 토출량조절 수준(1~8)으로 조절이 가능하며, 엔진속도를 최소 토출 수준인 2와 최대수준인 5에서도 약제가 비산되는 거리가 차이가 나지 않으며, 2를 초과하였을 경우 토출량이 많아 유효하게 살포할 수 있는 시간의 감소, 사용자의 소음에 의한 불쾌감 등을 고려하여 2수준으로 고정하고 토출레버만을 조절하여 토출량과 토출시간에 대한 결과를 얻었다. 토출레버를 3, 4, 5, 6수준에 위치하였을때 분당 토출량은 110.6g, 216.8g, 633.8g, 1135.8g으로 이는 500g GG 1봉(0.1ha 사용량)을 4분 52초, 2분 31초, 47초, 27초에 처리하여야 한다(표 4). 논둑에서의 이동조건을 가정하였을 경우 0.1ha

수준에서는 3~4 수준의 토출량, 엔진속도 2에 위치하여 4분 31~52초에 처리를 하면 된다. 0.2~0.4ha 면적에서는 3수준의 토출량, 2수준의 엔진속도를 위치하고 이동속도를 조정하면 처리가 가능하다. 논 넓이가 30m인 경우 동력살포기에서 살포할 수 있는 거리가 12~15m이므로 양쪽면을 따고 살포하면 균일하게 살포가 가능하다.

포장면적이 같아도 논둑의 길이는 모두 상의하다. 예를 들어 0.1ha의 20×50m, 10×100m는 면적은 같지만 논둑의 길이는 70m, 110m로 이동거리가 다르므로 동일기계조건으로 처리를 하면 다른 결과가 나올 것이다. 일본에서는 면적별 포장종류를 조사하여 보급자료로 활용하였다(Kumiai 2001). 이에 GG를 적용하기 위한 기본조건으로써 포장별 면적을 조사하여 평균이동거리를 조사하였는데 0.1, 0.2, 0.3, 0.4ha의 평균이동거리는 132, 206, 250, 291m였다. 동력살포기 토출조건 엔진속도 2수준, 토출량 3수준으로 한 후 해당면적에 약량을 논둑을 따라 0.7~1m sec⁻¹의 속도로 이동하면 골고루 살포가 된다(표 5).

Macrogranule(GG)의 살포방법 별 효과

Halosulfuron-methyl+mefenacet GG(HM)와, bromobutide+halosulfuron-methyl+pyriminobac-methyl GG(BHP)를 관행손살포로 처리할 때의 제초효과 및 약해를 조사하기 위해 대조약제 pyrazosulfuron-ethyl+pyriminobac-

methyl GR(PP)을 30kg ha⁻¹ 수준으로 처리한 구와 비교 시험 결과(표 6, 7, 8, 9) 손살포, 도구이용살포, 기계살포, 무인헬기 살포가 모두 가능하였다.

HM와 BHP GG는 일년생잡초 피, 물달개비, 가막사리, 알방동사니 모두 90% 이상의 방제효과를 보였다.

Table 6. Herbicidal efficacy of macrogranule (GG) applied by hand against weeds in paddy rice at 40 days after treatment.

| Herbicide ¹⁾ | Formulation Type | Dry weight of weed (g m ⁻²) | | | | | | Phytotoxicity (0~9) |
|--------------------------|------------------|-----------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|
| | | ECHOR ²⁾ | MONVP | LUDPR | BIDFR | SCIJU | ELEKU | |
| ----- % of control ----- | | | | | | | | |
| HM | GG | 95.7 | 90.3 | 90.4 | 100 | 88.0 | 88.0 | 0 |
| BHP | GG | 96.7 | 100 | 93.5 | 100 | 100 | 87.5 | 0 |
| PP | GR | 95.7 | 87.5 | 100 | 93.5 | 87.9 | 83.3 | 0 |
| Untreatment | - | 42.1 | 18.6 | 15.2 | 18.2 | 15.4 | 16.3 | - |

¹⁾Abbreviations of herbicide was explained in Table 1.

²⁾ECHOR, *Echinochloa crus-galli* var. *oryzoides*; MONVP, *Monochoria vaginalis* var. *plantaginea*; LUDPR, *Ludwigia prostrata*; BIDFR, *Bidens tripartita* L.; SCIJU, *Scirpus juncooides*; ELEKU, *Eleocharis kuroguwai*.

Table 7. Herbicidal efficacy of macrogranule (GG) applied by spoon against weeds in paddy rice at 40 days after treatment.

| Herbicide ¹⁾ | Formulation Type | Dry weight of weed (g m ⁻²) | | | | | | Phytotoxicity (0~9) |
|--------------------------|------------------|-----------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|
| | | ECHOR ²⁾ | MONVP | LUDPR | BIDFR | SCIJU | ELEKU | |
| ----- % of control ----- | | | | | | | | |
| HM | GG | 92.7 | 100 | 100 | 94.5 | 87.5 | 82.3 | 0 |
| BHP | GG | 95.3 | 100 | 100 | 100 | 95.7 | 83.7 | 0 |
| PP | GR | 95.0 | 87.5 | 100 | 93.5 | 87.9 | 83.3 | 0 |
| Untreatment | - | 42.1 | 18.6 | 15.2 | 18.2 | 15.4 | 16.3 | - |

¹⁾Abbreviations of herbicide was explained in Table 1.

²⁾ECHOR, *Echinochloa crus-galli* var. *oryzoides*; MONVP, *Monochoria vaginalis* var. *plantaginea*; LUDPR, *Ludwigia prostrata*; BIDFR, *Bidens tripartita* L.; SCIJU, *Scirpus juncooides*; ELEKU, *Eleocharis kuroguwai*.

Table 8. Herbicide efficacy of macrogranule (GG) applied by power applicator (MD6070) against weeds in paddy rice at 40 days after treatment.

| Herbicide ¹⁾ | Formulation Type | Dry weight of weed (g m ⁻²) | | | | | | Phytotoxicity (0~9) |
|--------------------------|------------------|-----------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|
| | | ECHOR ²⁾ | MONVP | LUDPR | BIDFR | SCIJU | ELEKU | |
| ----- % of control ----- | | | | | | | | |
| HM | GG | 98.6 | 100 | 100 | 100 | 89.0 | 87.0 | 0 |
| BHP | GG | 97.3 | 100 | 100 | 95.7 | 100 | 87.3 | 0 |
| PP | GR | 95.7 | 87.5 | 100 | 93.5 | 87.9 | 83.3 | 0 |
| Untreatment | - | 42.1 | 18.6 | 15.2 | 18.2 | 15.4 | 16.3 | - |

¹⁾Abbreviations of herbicide was explained in Table 1.

²⁾ECHOR, *Echinochloa crus-galli* var. *oryzoides*; MONVP, *Monochoria vaginalis* var. *plantaginea*; LUDPR, *Ludwigia prostrata*; BIDFR, *Bidens tripartita* L.; SCIJU, *Scirpus juncooides*; ELEKU, *Eleocharis kuroguwai*.

Table 9. Herbicide efficacies of macrogranule (GG) applied by remote-controlled aerial application against weeds in paddy rice at 40 days after treatment.

| Herbicide ¹⁾ | Formulation Type | Dry weight of weed (g m ⁻²) | | | | | | Phytotoxicity (0~9) |
|--------------------------|------------------|-----------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|
| | | ECHOR ²⁾ | MONVP | LUDPR | BIDFR | SCIJU | ELEKU | |
| ----- % of control ----- | | | | | | | | |
| HM | GG | 90.7 | 97.5 | 100 | 100 | 88.2 | 85.0 | 0 |
| BHP | GG | 93.7 | 95.7 | 100 | 95.7 | 95.0 | 82.3 | 0 |
| PP | GR | 95.7 | 87.5 | 100 | 93.5 | 80.3 | 83.3 | 0 |
| Untreatment | - | - | 18.6 | 15.2 | 18.2 | 15.4 | 16.3 | - |

¹⁾Abbreviations of herbicide was explained in Table 1.

²⁾ECHOR, *Echinochloa crus-galli* var. *oryzoides*; MONVP, *Monochoria vaginalis* var. *plantaginea*; LUDPR, *Ludwigia prostrata*; BIDFR, *Bidens tripartita* L.; SCIJU, *Scirpus juncooides*; ELEKU, *Eleocharis kuroguwai*.

특히 저항성잡초 물달개비, 올챙이고랭이에 대하여 BHP GG는 모든 처리방법에서 95.7~100%의 방제효과를 보인 반면 대조약제 PP GR 83.3~87.9%의 방제효과를 보였다. 이는 저항성잡초에 효과를 보이는 bromobutide의 혼합성분에 의한 것으로 사료된다는 (Park 등 2007a; Park 2008b)의 연구결과와 비슷한 경향이였다. HM와 BHP GG는 손살포, 도구이용살포, 동력기계살포, 무인헬기 살포에서 모두 벼에 대한 약해증상이 보이지 않았다. 이는 GG제형이 수면부상형으로, 수면에서 처리된 약제가 수중으로 확산되어 논 전면에 고르게 분포하여 약효 및 약해에 안전한 것으로 사료된다. 특히, 저항성잡초에 대한 약효도 우수하여, 향후 약제조합 선정 시 기초자료로 활용이 가능할 것으로 사료된다.

제형별 살포소요시간 경제성 분석

손살포방법에 따른 제형간 살포소요시간은 4,000m² 기준 GG 38분 04초, GR 42분 20초, SC 38분 10초, TB 21분 4초(표 10)로 논 밖에서 투척처리가 가능한 생력형 TB제는 GR에 비해 노동력을 절반 이상 절감할 수 있었으나, 제형특성상 Tablet type으로 기계살포 및 무인헬기살포에 적용이 어려운 문제점이 있다. 그러나 GG제는 기계 및 도구를 이용하였을 때 각각 20분 12초, 20분 39초로 TB제와 살포소요시간이 비슷하였다. GR은 기계살포시 25분 4초 소요되었으나 사용량이 4,000m² 기준 12kg로 GG 2kg에 비해 사용량이 많아 노령화되어가는 농업인력을 고려할 때 문제점이 있다. 무인헬기 살포시 GG 및 SC는 4,000m² 기준 살포 소요시간이 1분 32초로 손, 도구이용, 기계살포보

Table 10. Maximum loading capacity of remote-controlled aerial application and application weight, time against formulation, respectively, and that compare with economic of formulation type.

| Treatment | Maximum loading capacity (kg / number of packet) | | | | Required times (4,000m ⁻²) | | | |
|------------------------------|--------------------------------------------------|----------|------------|-----------|----------------------------------------|-----------|---------|----------|
| | GG ¹⁾ (500g) | GR (3kg) | SC (500ml) | TB (500g) | GG (2kg) | GR (12kg) | SC (2L) | TB (2kg) |
| Unmanned helicopter (Remo-H) | 20 / 40 | 21 / 7 | 20 / 40 | - | 1'32" | - | 1'32" | - |
| | ----- 4000m ² ----- | | | | | | | |
| Hand | 2 / 4 | 12 / 4 | 2 / 4 | 2 / 4 | 38'04" | 42'20" | 38'10" | 21'04" |
| Spoon | 2 / 4 | 12 / 4 | - | - | 20'39" | - | - | - |
| Power applicator | 2 / 4 | 12 / 4 | - | - | 20'12" | 25'04" | - | - |

¹⁾GG, Macrogranule; GR, Granule; SC : Suspension concentrate; TB, Tablet.

다 작업 효율이 매우 우수하였다. GG제형은 GR, SC, TB제형과 비교하였을 때 손, 도구이용, 기계살포, 무인헬기 등을 이용하여 살포가 가능하고 특히, 무인헬기 제조제 처리시 가장 문제가 되는 것은 적은 적재량이다(최대 적재량이 20kg). 그러나 GG는 ha당 5kg 살포로 1회 운행 방제 가능면적이 4ha로 작업효율성이 매우 높아 무인헬기 방제에 가장 적합한 제형으로 사료된다.

요 약

무인헬기 살포로 눈에 발생하는 잡초를 방제할 목적으로 macrogranule(GG) 제조제를 개발하였다. 약제 제조와 제조약제의 안정성, 살포방법에 따른 적용방법을 조사하였고, 제형별 살포소요시간 경제성을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다. 제조 GG의 입경(粒徑)은 2.5~3mm 범위내에 85%이상을 차지하였고, 가비중은 0.2~0.4g mL⁻¹로 수면에서 부유성을 갖고 확산되는 입체고형물이었다. GG의 저장안정성은 54±2℃ 항온기에서 2, 4, 6, 8주간 저장 후 halosulfuron-methyl을 HPLC로, mefenacet는 GC로 분석한 결과 유효성분 및 외형 변화가 없이 안정되어 있었다. GG의 수중붕괴성은 온도가 상승할수록 증가하였다. 또 담수 중 pH별 수중붕괴성은 담수 pH의 영향은 없었다. GG의 살포거리의 손살포, 도구살포 및 기계살포 등에서 각각 4~5m, 7m, 10~12m로 살포방법에 따라 달랐다. GG의 약효 및 작물안전성은 손살포, 도구살포, 기계살포 및 무인헬기살포에서 모두 우수하였다. 제형간 4,000m² 기준 손살포 소요시간은 GG, GR, SC, TB가 각각 38분 4초, 42분 20초, 38분 10초, 21분 4초였으나, 무인헬기 살포시 1분 32초를 나타냈다. 제형의 형태 및 특성상 무인헬기살포가 가능한 제형은 SC, GG였다.

사 사

이 논문은 윤철수의 박사학위논문 일부입니다.

인 용 문 헌

- Choi, S. Y., B. J. Chung and J. C. Chae. 1998. Research Reports : Effect of molinate, simetryn and imazosulfuron U-granule application on bioefficacy and phytotoxicity in rice paddy. Korean J. Weed Sci. 18(4):341-347.
- Hirase, K., S. Shimono and T. Asano. 1995. Effects of floating carrier on diffusion and herbicidal efficacy in throw-in type formulation of naproanilide. Weed Research, Japan. 40(2):80-86.
- Jin, Y. D., H. D. Lee, H. S. Sim, S. G. Lee and O. K. Kwon. 2008a. Selection and bioactivity of tank mix combinations of pesticides for aerial application. Korean J. of Pesticide Sci. 12(4):403-413.
- Jin, Y. D., H. D. Lee, Y. K. Park, J. B. Kim and O. K. Kwon. 2008b. Drift and distribution properties of pesticide spray solution applied aerially by manned-helicopter. Korean J. of Pesticide Sci. 12(4):351-356.
- Kazuaki T., M. Murakami, H. Morinakay, K. Tsuzuki, N. Ichizen, M. Konnai and T. Takematsu. 1994. Factors influencing the herbicidal activity and phytotoxicity of pyributicarb flowable and granules. Weed Research, Japan. 39(1):19-26.
- Kim, D. S., T. Y. Kim, J. N. Lee, K. H. Hwang and Y. S. Lee. 2006. Optimization of self-dispersible floating granule (UG) of flucetosulfuron and its herbicidal performance. Korean J. of Pesticide Sci. 10(1):28-35.
- Kim, M. H., B. S. Se, I. C. Hwang, C. S. Yoon, J. Y. Pyon and Y. M. You. 2005a. Herbicidal activities of bubbling tablet herbicide formulations mixed with halosulfuron-methyl and pyriminobac-methyl for paddy rice. Korean J. Weed Sci. 25(4): 284-294.
- Kim, M. H., K. R. Ryang, C. H. Lee, J. W. Shim, K. H. Kim, C. S. Yoon, Y. M. You and J. Y. Pyon. 2005b. Effects of diffusibility of bubbling tablet herbicide formulations for paddy rice. Korean J. of Pesticide Sci. 9(4):401-410.

- Kongttsu A., S. Koda, S. Shimono, M. Nishida and T. Asano. 1994. Diffusion of chlornitrofen in water from the bubbling tablets and herbicidal efficacy. *Weed Research, Japan.* 39(2):120-124.
- Nagato Y., K. Ozawa, K. Noritake, T. Takeshita and M. Kamoi. 1998. Development and evaluation of rice-herbicide application technology by throw-in type (Jumbo) formulation. *Weed Research, Japan.* 43:181-185.
- Namae Y. 1994. Advancement of paddy herbicide formulation and extension of 1-kg granule. *Weed Research, Japan.* 39(4):275-288.
- Nobumasa I., K. Yoneyama, T. Kinoshita, M. Konnai and T. Takenatsu. 1990. Difference in efficacy among flowable, wettable powder and granule formulation of several herbicides against *Echinochloa oryzicola*. *Weed Research, Japan.* 35(3):268-272.
- Park, T. S., I. Y. Lee, T. E. Park and S. M. Oh. 2007a. Differential herbicide response of sulfonylurea-resistant *Monochoria vaginalis* sccessions to sulfonylurea herbicides. *Korean J. of Pesticide Sci.* 11(4):269-275.
- Park, T. S. 2008b. Statuses and perspectives of herbicides development against herbicide-resistant weeds in paddy field of Korea. *Korean J. of Pesticide Sci.* 12(1):1-8.
- Seigo K., C. Ogasawara, S. Ueda, Y. Takahashi, Y. Seki, M. Kamoi, T. Tanka, K. Noritake and T. Kataoka. 1994a. Effect of quinoclamine (ACN) giant foaming tablets on the control of surface soil separation and green algae. *Weed Research, Japan.* 39(2):96-101.
- Seigo K., C. Ogasawara, S. Ueda, H. Kondo, E. Tanigachi, M. Kamoi, T. Tanaka, K. Noritaka and T. Kataoka. 1994b. Diffusion form of quinoclamine (ACN) giant foaming tablets in paddy water. *Weed Research, Japan.* 39(2):91-95.
- 김응본. 2009. 농업용 무인헬기 개발과 이용 동향 심포지엄 : 무인헬기 임대사업 지원 정책 방향. 농촌진흥청. pp. 15-26.
- 농림수산항공협회. 2003. 항공방제용농약요람. p. 76.
- 이채식. 2009. 농업용 무인헬기 개발과 이용 동향 심포지엄-무인헬기 및 방제기술 개발 동향. 농촌진흥청. pp. 37-48.
- 장성식. 1996. 수면부상성 제형으로 개발한 capropamid의 벼도열병 방제효과 논에서의 주성분 이동. 경상대학교 대학원 박사학위논문.
- 한국작물보호협회. 2010. 농약관리법령 및 고시. 훈령집(개정 증보판).
- 한국작물보호협회. 2011. 농약사용지침서.
- 高橋宏和. 1998. ジャンボ剤試験面積に関する検討. *植調* 32(9):297-302.
- 近内誠登. 1991. 除草剤の劑型. *植調* 21(4):2-10.
- 渡部忠一. 1997. 除草剤の製劑技術と動向. *植物の化學調節*. 32(2):207-217.
- クマイ化学工業(株)化學研究所. 2001. 豆つぶの散布諸元(動力散布機による連續散布).
- 小川雅男, 川端郁子, 田上學, 大坪敏朗, 吉田虎, 大臨裕陸, 辻孝三. 1993. 水稻用除草剤の省力施用をめざした水中發泡性製劑に関する研究, 第3報. *日本農藥學會 第18回大會講演 要旨集*. p. 139.
- 鴨居道明. 1995. 水稻用除草剤の新しい劑型と處理方法について(特にジャンボ剤を中心とした新しい劑型と撒布方法について). 第15回農藥製劑試用法研究會 講演要旨. pp. 1-7.
- Morita H. 1999. 水田雜草の發生과 雜草體系の動向. *日本農業研究. 水田雜草研刊*.
- 一前宣正, 倉持仁志, 近内誠登, 印男春記, 大淵悟. 1995. どらいフロアブル劑, 高濃度乳劑, サスポエマルジョン劑および錠劑の水口處理による水田除草法. *雜草研究*. 40(1):47-49.
- 竹内安智. 1999. 環境保全型雜草制御技術の構築と關東地方における雜草科學の發展方向. *關東雜草研究會報* 10:1-4.
- 倉持仁志, 米山弘一. 1995. 除草剤開發の経緯と展望. *植物の化學調節* 30(2):175-184.
- 川端郁子, 小川雅男, 吉田虎, 大坪敏朗, 辻孝三, 大臨裕陸. 1993. 水稻用除草剤の省力施用をめざした水中發泡性製劑に関する研究, 第4報. *日本農藥學會 第18回大會講演 要旨集*. p. 140.