

## 環境親和的 除草劑 및 製型 開發

吳 秉 烈\*

# Development of Environmentally Sound Herbicides and Their Formulations

Byung-Youl Oh\*

### ABSTRACT

A relatively wide range of weed technology concerning sound herbicide development, its formulation exploitation, and application techniques was extensively reviewed in accordance with least inputted sustainable agriculture. Herbicide plays an integral part of farmers' cultural practices in Korean agriculture like rest of world over. Weeds are more obstacle to the adaptation of more sustainable agriculture system. Because weeds dictate most of the crop production practices, weed scientists must become the leaders of collaborative integrated approaches to agriculture systems research. Feasible ways to minimize herbicide input involve the positive introduction of low-rate selective chemistries, innovative formulations, biological herbicides and newly developed application technology. Since herbicide will remain to be a core position in weed management for the foreseeable future, research is needed to optimize herbicide application technology and to minimize their impact on the environment. Public concerns and regulatory pressures on agricultural chemicals are likely to strengthen throughout this decade and coming. Researchers, pesticide manufacturing industries and regulatory authorities have to work together more closely, leading to understand each other better, as well as the needs of our customers and those of society. To be taken extensively, weed control management practices in the future have to be accepted such a way the respective demands of environment, society and economics are entirely matched.

### I . 머리말

근대농업에 있어 農藥은 생산성 저해의 주요한 요인인 病害蟲·雜草를 효과적이고 효율적으로 방제하기 위하여 그 사용이 필요 불가결한 요인으로 작용하게 되었다. 특히 有機合

成 農藥의 도입으로, 早期 栽培, 多肥密植 栽培의 새로운 영농기술을 정착시킬 수 있었고, 집약적인 영농기술의 보급이 가능하게 된 것이다. 農藥의 필요성과 그 효과가 인정됨에 따라 새로운 農藥의 開發普及이 촉진되어 왔고, 그 사용량도 증가하는 추세에 있으며, 금후에도 農業生産性的의 提高, 生産性的의 安定化, 農業

\* 農村振興廳 農業科學技術院 National Institute of Agricultural Science and Technology RDA, Suweon 441-707, Korea

生産費의 節減, 그리고 農産物의 品質向上에 대한 요구는 더욱 가중될 것이므로 이들 제반 요구조건을 만족시키기 위해서는 農藥에 대한 의존도 역시 가일층 확대될 전망이다.

그러나 먹거리의 풍요로움과 소득수준의 향상에 따라 보다 安全하고 新鮮한 식품에 대한 요구도가 팽배해지고, 農藥 등 農産資材의 安全性에 대한 관심이 가일층 고조되고 있는 실정이다. 특히 1992년 6월 브라질 Rio de Janeiro에서 개최된 國際聯合 環境開發會議의 議題 21 『21C를 향한 행동계획』 중 第14章 “가능한 農業·農村開發의 促進”이 제안됨에 따라 모든 農業開發 研究는 環境을 최우선적으로 고려해야 하는 시대를 맞고 있다.

따라서 선진 각국에서는 環境保全型 農業을 실현하기 위하여 다양한 施策을 마련하고 있으며, 우리나라에서도 農林部, 環境部를 주축으로 環境政策을 立案하여 추진 중에 있다. 農林部の 環境保全型 農業에 대한 定義<sup>1)</sup>는 『農業과 環境을 調和시켜 農業의 生産을 持續 可能하게 하는 農業形態로서, 農業生産의 經濟的 確保, 環境保全 및 農産物의 安全性 등을 동시에 추구하는 農業』으로 규정하고 있다. 日本에서는<sup>2)</sup> 『적절한 農業생산 활동을 통하여 國土·環境保全의 관점에서 農業이 지니는 物質循環 기능을 維持하면서 環境에의 부담이 적은 生産性 向上의 持續的 農業』을 環境保全型 農業이라 정의하고 있다.

農業政策에 대한 이와 같은 세계적 흐름에 맞추어 農藥은 開發 또는 登錄段階에서 부터 對象病害蟲·雜草에 대한 약효뿐만 아니라, 대상작물에 대한 藥害發生 有無, 急慢性 毒性 정도 및 環境에 대한 影響, 環境中 分解, 代謝 등 일련의 수많은 시험결과를 토대로 안전한 화학물에 대하여 登錄, 生産, 販賣 되어 왔다. 그러나 이와 같이 안전성이 확보된 農藥이라 할지라도 病害蟲·雜草를 방제하는데 사용하고 있으므로 정도의 차이는 있으나 어느 정도 毒性을 지니고 있어 誤用이나 濫用하게 되면 농작물에 대한 藥害는 물론 人畜에 대한 中毒, 農産物에의 殘留 및 環境을 오염시킬 우려가

있다. 農藥에 대한 安全性 확보는 藥劑의 主成分은 물론 製劑에 사용하는 副資材에 대하여도 관심의 대상으로 부각될 전망이므로, 앞으로의 農藥開發은 더욱 그 규제가 강화될 전망이다.

특히 雜草防除을 위한 除草劑의 사용은 環境農業의 도입과 무관하게 불가결한 자재이고, 최근 재배 작물과 재배양식이 다양화함에 따라 이에 적합한 安全除草劑의 開發은 더욱 중요도가 증대될 것이다. 이에 보다 안전하고 環境과 親和할 수 있는 除草劑의 開發方向을 劑型과 관련하여 제시하고자 한다.

## II. 環境親和型 除草劑 開發方向

일반적으로 除草劑로 사용되는 農藥의 毒性 및 環境에 미치는 영향은 殺菌, 殺蟲劑와는 달리 paraquat를 제외하면 低毒性(표 1)으로서 인체에 미치는 영향은 비교적 적다. 특히 環境影響의 指標인 魚毒性和 1日 攝取許容量은 殺菌劑나 殺蟲劑에 비하여 매우 안전함을 알 수 있다.

그러나 일부 선진국에서는 農産物의 過剩生産에 따라 먹거리에 대한 安全性을 보다 강조한 나머지 農業에 관여하는 研究, 指導, 生産者로 하여금 環境에 부담이 없는 農藥의 開發을 강하게 요구하고 있다. 美國의 경우 農業인구는 130만명에 불과하나 環境에 관심이 있는 group은 1,100만명을 상회하고 있어<sup>3)</sup> 농업생산과 관련되어 있는 분야에 대한 規制와 關心은 더욱 고조되고 있는 실정이다.

현대농업이 직면하고 있는 3가지 주요한 문제점으로는 첫째, 農家 數와 농업에 직접관여하고 있는 농민의 감소이다. 즉, 除草劑의 消費者가 감소하는 추세이다. 둘째, 먹거리가 슈퍼마켓이나 공장에서 생산되는 것으로 오해하는 소비자의 계층이 많아지고, 우리의 식품이 어디에서, 어떻게 생산되는지 모른다는 점이다. 환원하면 食品生産에 기울이는 노력과 農藥이 農業 生産過程에서 담당하는 역할을 이해하지 못하는 점이다. 셋째, 現代分析技術의

**Table 1.** Acute toxicity comparison<sup>3)</sup> of top five major pesticides<sup>4)</sup> used in Korea

Pesticide	Acute toxicity (LD <sub>50</sub> , mg/kg)		Fish toxicity (LC <sub>50</sub> , ppm)	ADI* (mg/kg)
	Oral	Dermal		
<b>Fungicide</b>				
Benomyl	>10,000	>10,000	0.1	0.02
Mancozeb	> 5,000	>10,000	2.12	0.03
Chlorothalonil	>10,000	>10,000	49	0.03
Propineb	> 5,000	> 5,000	1.9	0.007
Tricyclazole	314	> 2,000	7.3	-
<b>Insecticide</b>				
Imidacloprid	450	> 5,000	21	0.057
Carbofuran	14.4	> 3,000	22~29	0.01
Cartap	325	> 1,000	1.6	0.1
Methidathion	25~54	200	0.01	0.004
Pyridaben	1,350	> 2,000	1.1~3.1	-
<b>Herbicide</b>				
Paraquat	157	236~500	32	0.004
Pyrazosulfuron-ethyl	> 5,000	> 2,000	>180	-
Glyphosate	5,600	> 5,000	86	0.3
Bentazone	> 1,000	> 2,500	>100	0.1
Butachlor	2,000	> 1,500	0.52	-

\* ADI designates acceptable daily intake for human being.

**Table 2.** Ways to reduce herbicide consumption.<sup>a</sup>

	Source					
	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	Ciba
New (low-rate) herbicide chemistries		●	●	●		●
Reduction of use-rates		●				●
Optimal application timing			●			●
<hr/>						
Restriction/elimination of "risky" uses						●
Improved formulations			●	●		●
Improved application methods		●	●	●		●
<hr/>						
Biological weed control <sup>b</sup>	●	●		●	●	●
Physical weed control	●	●		●	●	-
Cultural weed control <sup>c</sup>	●	●	●		●	-
Cover crops residue/mulch use	●	●	●		●	●
<hr/>						
Genetic engineering, resistant crops	●			●	?	?
Crop modeling, computerization		●		●		-
<hr/>						
Conservation tillage systems		●	●		●	●
Integrated weed control/management		●	●	●	●	●
Best management practices			●	●		●
<hr/>						
Improved analytical methods		●				(●)
Economics of weed control		●				(●)

<sup>a</sup> ● favored, (●) indirectly involved, ? questionable, - not involved.

<sup>b</sup>Including : allelochemicals, microbial/mycoherbicides, herbivore management, etc.

<sup>c</sup>Including : crop/cultivar selection, rotation/fallow, planting date, plant spacing, soil preparation, fertilizer and water management, etc.

항상은 ppb 수준이나  $\mu\text{g/l}$  까지도 檢出할 수 있다는 점이다. 예를 들면, atrazine의 경우 美國에서 飲用水中에 3ppb를 人體에 무해한 수준으로 설정하고 있으나, 유럽에서는 化學分析에서의 檢出限界로 되어 있는 0.1ppb를 기준으로 설정하므로써 美國의 1/30 수준으로 규정하고 있는 실정이다.<sup>6)</sup>

또한 우리가 당면하고 있는 農藥과 관련된 乖離(gap)는 3가지로 요약할 수 있다. 즉, 信賴性的 乖離(Credibility gap), 情報의 乖離(Information gap), 政治的 乖離(Political gap)가 그것이다. 大衆에 대한 弘報活動의 소홀, 大衆媒體 관련자의 과학적인 추구자세 결여, 대부분 정치인들의 학문에 대한 식견부족 등이 이러한 乖離를 발생시키는 주요한 원인으로 지적<sup>7)</sup>하고 있다.

除草劑 사용량을 절감시킬 수 있는 방안에 대하여 研究分野別로 몇 가지 대표적인 文獻<sup>8)</sup>을 토대로 정리한 결과는 표 2와 같다.

除草劑 使用量 節減方案으로서 유망시 되는 研究分野中에서 4개 이상의 文獻이 지적하고 있는 분야는 低投入 新除草劑, 撒布技術의 改善, 生物的 防除, 物理的 防除, 耕種的 防除, 被服作物의 利用, 土地耕耘體系, 雜草綜合管理 등 8개 분야로 집약되고 있다. 이 중 雜草防除의 직접적인 수단이라 할 수 있는 低投入 新

除草劑, 生物學的인 防除에 대하여 기술하고, 撒布技術의 改善은 II. 除草劑 新製型 開發에서 언급하기로 한다.

### 1. 低投入 高活性 除草劑

高活性의 選擇性 化合物 개발에 의한 農藥 使用量의 절감노력은 sulfonylurea나 imidazolone系列의 物質이 개발보급 되므로써, 除草劑 分野에서 괄목할만한 성과를 거두고 있다. 有機合成 農藥의 시대가 시작된 세계 제2차대전 이후 30년간 除草劑의 單位面積當 主成分 使用量은 Fig. 1.에서와 같다.

1950년대 중반에 등장한 pentachlorophenol은 피 방제에 탁월한 효과가 인정되어 광범위하게 사용되었으나, 사용량은 有效成分으로서 750g/10a이었고, 粒劑製造時 限界濃度에 가까운 25%로 공급되었다. 그러나 pentachlorophenol은 魚毒性이 강하여 低毒性의 除草劑 개발연구가 활발하게 되었으며, 代替 藥劑로 benthocarb나 chlornitrofen 등이 보급되게 되었다. 이들 除草劑는 200g/10a의 藥量으로의 pentachlorophenol의 1/3이하로 사용량을 감소시킬 수 있었다. 그러나 이들 除草劑는 피 방제를 위하여 개발되었으므로 廣葉雜草, 暖防除 雜草, 多年生雜草 등에 대한 防除藥劑의 개발이 요구되었고, 동시에 農藥에 의한 環境汚染이나 毒性면에서

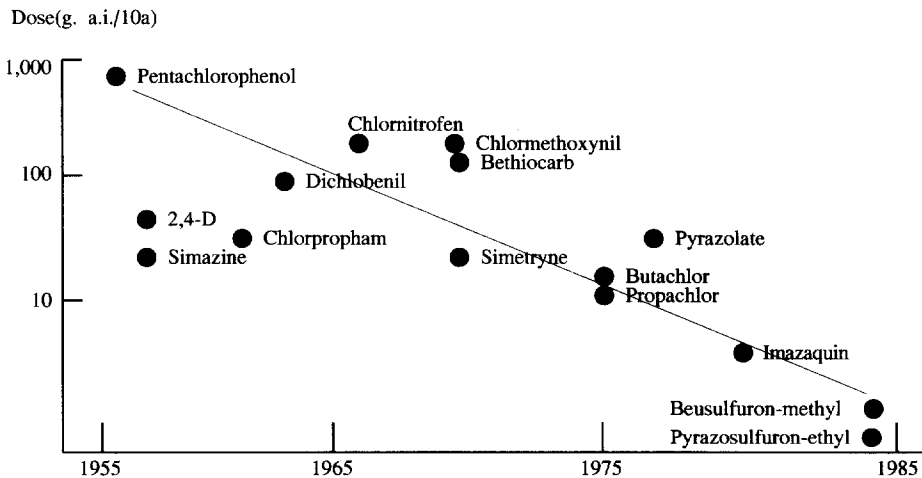


Fig. 1. Trends of active ingredient input of herbicides per unit area since 1955.

관심이 높아짐에 따라 低藥量, 低毒性 除草劑의 개발 요구가 팽배하게 되었다.

1980년대 후반들어 경이적인 殺草活性을 지니는 sulfonylurea 系列의 除草劑가 Dupont 연구진에 의하여 개발되었고, 그 대표적 약제인 bensulfuron-methyl은 3~5g/10a 수준에서도 一年 및 多年生 廣葉雜草를 사멸시키고, 벼에는 안전성이 높아, 전세계적으로 이 系列의 藥劑開發이 활발적으로 추진되어 왔다. 또한 低藥量에서도 효과가 탁월한 imidazolinone계(imazaquin, imazapyr 등) 除草劑도 주요한 개발의 과제로 부상하게 되었다. 이들 系列의 除草劑는 植物의 acetolactic acid 合成酵素(acetolactic acid synthases, ALS)를 저해하고, 側鎖型의 아미노산(branched amino acids, valine, iso-leucine 등)의 合成을 定止시키므로써 殺草效果를 나타낸다. 除草劑는 植物體內的 여러 가지 酵素를 阻害하므로써 殺草作用을 나타내나, ALS 阻害劑만이 극히 낮은 농도에서 殺草效果를 나타내는 현상은 매우 흥미로운 것이다.

美國의 경우에도 1990년 豆類栽培에 사용된 除草劑의 系列別 撒布面積<sup>14)</sup>은 표 3에서와 같이 acetanilide 系列은 사용량이 11,172톤에 이르고 있으나, 撒布面積은 23%에 지나지 않는 반면, imidazolinone 系列과 sulfonylurea 系列은 사용량이 각각 638톤, 139톤임에도 불구하고 撒布面積은 27%와 24%를 점유하고 있다.

따라서 美國의 除草劑 사용량은 1982년까지 200,000톤(主成分 基準) 수준으로 증가하다가 1990년에는 170,000톤 수준으로 감소하는 추세를 보이고 있다(그림 2). 우리나라의 除草劑 生

產出荷량은 1991년까지 5,631톤으로 증가추세를 이루다가, 1992년 5,369톤, 1993년 5,270톤으로 감소하는 경향을 보였으나, 1994년과 1995년에는 각각 5,506톤, 5,817톤으로 다시 증가하는 추세에 있다. 이와 같은 경향은 農藥製造生産業體의 과다경쟁에 의한 過剩生産에서 비롯된 결과로 보이며, 실제 使用量은 1996년을 고비로 감소하고 있는 것으로 추정된다.

앞으로도 除草劑의 使用量은 殺菌劑나 殺蟲劑의 경우와 마찬가지로 환경에 부담이 적은 藥劑의 요구가 더욱 강해질 것이므로 보다 活性이 높고 選擇性이 우수한 化合物의 도입이 확대될 전망으로 있어 감소추세는 지속될 것이다.

## 2. 生物的인 防除

有機合成農藥에 의한 病害蟲·雜草防除에 수반되는 副作用을 해결하기 위한 수단으로서 生物的 防除(biological control) 방법이 오래 전부터 시도되어 왔으나, 雜草防除의 경우 주로 微生物의 生菌을 이용하거나, 微生物이 분비하는 物質의 合成 이용기술이 일부 實用化되어 있는 실정이다. 微生物을 이용한 雜草防除에 대하여는 『生物農藥開發의 現況과 展望』에서 자세히 기술될 것이므로, 여기에서는 生物農藥開發의 現안사항과 開發段階에서 지적되고 있

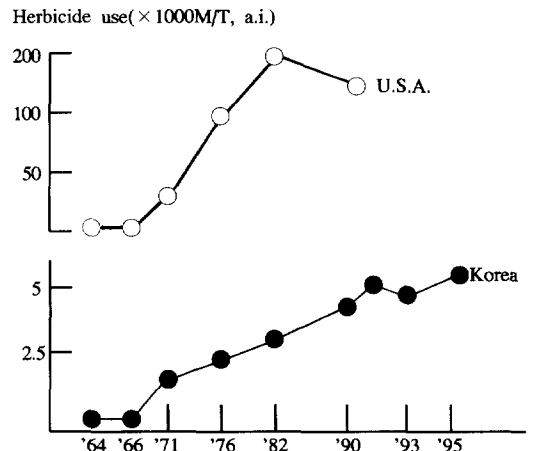
**Table 3.** The quantity of three different herbicide classes required to treat given area of soybeans in the United States in 1990<sup>8)</sup>.

Herbicide class	Hectares treated	Total applied
	%	M/T(a.i.)
Acetanilides <sup>a</sup>	23	11,172
Imidazolinones <sup>b</sup>	27	638
Sulfonylureas <sup>c</sup>	24	139

<sup>a</sup>Alachlor, metolachlor

<sup>b</sup>Imazaquin, imazethapyr

<sup>c</sup>Chlorimuron, thifensulfuron



**Fig. 2.** Trends of total herbicide use in Korea and U.S.A

**Table 4.** Weed science publications abstracted through *Weed Abstracts* by CAB.

Category	Pre-1970		1970's		1980's		1990's*	
	No.	% <sup>a</sup>	No.	% <sup>a</sup>	No.	% <sup>a</sup>	No.	% <sup>a</sup>
Biology/Ecology	176	14.3	3177	15.1	5516	20.8	1638	23.5
Environmental Fate/Transport	76	6.1	3475	16.5	3247	12.2	1035	14.8
Herbicide Metabolism/Mode of Action /Physiology/Biochemistry	70	5.1	1966	9.3	2473	9.3	616	8.8
Application Technology	10	0.8	45	0.2	333	1.3	134	1.9
Herbicide Activity/Selectivity/Efficacy	703	56.9	8799	41.8	10103	38.2	2021	29.0
Herbicide resistance	48	3.9	1935	9.2	1865	7.0	575	8.2
Economics	119	9.6	1027	4.9	1337	5.6	409	5.9
Biocontrol	33	2.7	650	3.1	1606	6.0	546	7.8
Total	1235	100	21074	100	26470	100	6974	100

\* Figures are taken from 1990~1992.

<sup>a</sup> Publications expressed as a percentage of total publication numbers per respective decade.

는 문제점들에 대하여 언급하고자 한다.

病害蟲管理分野는 물론 雜草管理分野에서도 生物的防除技術의 연구개발은 최근 作物保護分野에서 그 비중이 높아지고 있는 추세이다. CAB社가 발행하는 *Weed Abstracts*의 收錄文獻을 연구분야별로 시대적으로 集計한 결과<sup>15)</sup>는 표 4와 같다. 環境中 殘留·移動, 代謝·作用機作·生理·生化學, 抵抗性, 經濟性에 관한 연구는 1970년 이후 연구대상으로서의 占有率에 큰 변화가 없는 반면, 除草劑 活性·選擇性·藥效는 비록 연구과제로서의 비중이 높게 채택되고 있으나, 1970년대 이전의 56.9%에서 1990년대는 29%로 점차 상대적으로 占有率이 낮아지고 있다. 그러나 雜草의 生理/生態研究는 1970년대 이전에는 全體 收錄論文이 1,235편으로 14.3%이었으나, 1990년대에는 23.5%로 지속적으로 비중이 증가하고 있다. 이와 같은 경향은 撒布技術分野에서도 비록 차지하는 研究項目數는 적으나 占有率은 1970년대 0.2%에서 1990년대 1.9%로 9배 이상의 증가를 보이고 있다. 특히 生物的防除分野는 1970년대 이전의 占有率이 2.7%에서 1990년대에는 7.8%로 꾸준한 성장추세를 나타내었다. 현재의 生物學的手段을 이용한 病害蟲·雜草의 방제중에서 雜草防除에의 이용이 미미한 상태에 있으나<sup>16)</sup>, 이와 같은 研究開發에의 集中化 현상을 감안하면 生物的防除에 의한 雜草管理도 중요한 일익은 담당할 것으로 기대된다.

**Table 5.** Number of species : Estimated and described figures.

Category	No. of Species(×10 <sup>3</sup> )		
	Estimated	Described	Cultur collection
Plants	300~ 500	25	-
Fungi	1,000~ 1,500	70	11.5
Bacteria	400~ 3,000	4	2.3
Viruses	50~ 500	5	2.2
Vertebrates	50	45	-
Crustacean	150	1	-
Arachnids	750~ 1,000	75	-
Insects	8,000~ 100,000	950	-
Total	106,250	11,150	16,000

生物的防除手段을 開發하기 위하여는 우선 天然物(植物, 動物, 昆蟲, 微生物 등)을 대상으로 자원을 조사하고 大量增殖·培養, 抽出, 分離(合成), 製劑化의 工程을 거쳐야 한다. 현재 지구상에는 植物 50萬種, 곰팡이 150萬種, 細菌 300萬種, 바이러스 5萬種, 脊椎動物 5萬種, 甲殼類 15萬種, 거미 100萬種, 昆蟲 1億種 등 1億 625萬種의 生命體가 존재하고 있는 것으로 추정하고 있다<sup>17)</sup>(표 5). 이 중 種의 分類와 特性이 구명된 것은 植物 25,000種, 곰팡이 70,000種, 細菌 4,000種, 바이러스 5,000種, 脊椎動物 45,000種, 甲殼類 1,000種, 거미 75,000種, 昆蟲 950,000種에 불과하다. 특히 곰팡이의 경우는 分類 同定된 70,000種중에서 17,000種은 1983년 이후에 밝혀진 것이므로, 앞으로도

天然物로 부터 새로운 技能性 物質이나 生理的인 活性을 지니는 化合物의 개발 잠재력도 엄청난 것으로 보인다. 곰팡이의 경우 2次 代謝產物이 연구된 것은 5,000종으로서 分類·同定된 菌의 7%에 불과하므로 연구대상의 潛在 資源은 막대하다고 볼 수 있다.

微生物 除草劑 개발시 지적되는 문제점은 生物學的 要因, 環境的 要因, 技術的 要因, 產業的 要因 등 4가지로 분류할 수 있다<sup>18)</sup>.

生物的 要因으로는 방제대상이 되는 草種中에는 遺傳的인 生理型이 존재할 가능성이 있으므로, 개발하려는 微生物의 菌株도 生理型的 범위를 구명하고 이들을 혼합하여 사용하므로서 生理型的 雜草도 방제가 가능하도록 하여야 한다. 防除對象 이외의 식물에 대한 感染性的 여부도 신중히 고려하여야 하며, 微生物 除草劑 菌株와 작물체를 공격하는 微生物 菌株間의 遺傳子 轉換 可能性도 최근 보고되고 있다<sup>19)</sup>. 방제대상의 草種에 대하여 感染을 일으키는 무수한 障礙要因들도 고려해야 한다. 物理的 障礙要因인 葉毛, 큐티클, 生物的 障礙要因인 拮抗性 葉上菌類, 化學的 障礙要因인 phytoalexin 등이 그것이다<sup>20,21)</sup>.

環境的 要因은 活性菌의 初期感染, 病徵進展, 2次 感染速度에 밀접한 영향을 미친다. 다수의 微生物 除草劑는 살포후 12시간 이상의 이슬맺힘기간(dew period)이 필요하므로<sup>22,23)</sup> 撒布時期가 매우 중요하다. 土壤環境條件으로는 土壤水分과 營養狀態가 방제 대상잡초의 생리에 영향을 미치므로 土壤에 직접 살포하는 菌株의 경우 매우 중요하다. 이러한 면에서 發芽前 處理劑로의 개발은 葉面處理劑나 土壤 表面處理劑 보다 환경장애를 극복하는데 유리하다.

技術的 要因으로는 대량생산 체계의 확립이다. 특히 대부분의 微生物 除草劑는 孢子狀態로 製品化되므로, 경제적으로 유리한 液體培養에서의 孢子生産技術의 개발이 필수적이다. 製劑技術로는 1~2년간의 藥效를 保證(shelf-life) 할 수 있도록 제조하는 것이다. 이를 위하여는 逆相乳濁劑(water in oil)로 製劑하므로서 수분

의 존재 없이도 감염이 가능하고 接種量을 경감시킬 수도 있다. 최근에는 gel<sup>24)</sup>, 필름形成 重合體(film-forming polymers)<sup>25)</sup> 또는 混合劑<sup>26)</sup>로 製劑함으로써 살포후 孢子的 건조를 방지하고 感染성을 향상시키고 있다. 有機性 高分子에 의한 matrix로의 캡슐화<sup>27,28,29)</sup>, wheat-gluten으로의 캡슐화<sup>30)</sup> 등도 產業化 가능성을 보이고 있다.

產業的 要因으로는 市場占有率이 낮아 企業에서의 개발의욕이 낮은 점이지만, 開發登錄費用이 合成除草劑에 비하여 매우 낮다는 장점이 있다. 예를 들면 Collego의 경우 1970년대말~1980년대초 研究開發 비용이 2百萬\$이 소요된 데 반하여, 同時期에 合成除草劑의 研究開發費用은 1,500~2,000萬\$이 소요되었다<sup>31)</sup>. 登錄管理面에서는 美國의 경우 段階別 試驗成績 提出要件(Tier system)을 채택하므로서<sup>32)</sup> 微生物 除草劑의 경우 開發期間 및 費用을 단축시키고 있다.

### Ⅲ. 除草劑 新製型 開發

農藥 主成分의 製劑化는 사용하기 편리한 형태로의 변환이 최대의 목적이지만, 製劑하는 형태에 따라 有效成分의 활력이 상이하게 나타나고, 有效成分의 단점인 藥害, 毒性, 刺戟性, 環境影響 등을 경감시켜 副作用을 최소화하는데도 큰 의미가 있다. 특히 최근에 개발되는 藥劑는 活性이 매우 높아 單位面積當 사용량이 極微量이므로 균일한 살포를 위하여는 더욱 정밀한 製品의 製型이 필요하게 되었다. 또한 최근의 農藥開發 方向은 人畜과 環境에의 安全性을 고려하여 半減期가 짧은 약제위주로 개발되고 있어 藥效持續期間이 협소해지는 경향이지만, 사용자의 입장에서 보면 一定期間 效果를 발휘할 수 있는 藥劑를 요구하고 있다. 이와 같은 상반된 요구조건을 보완할 수 있는 것이 製劑化라 할 수 있다. 이와 같이 農藥製型開發의 중요성은 점차 증대되고 있으며, 매 4년마다 개최하는 世界農藥學會(International Congress of Pesticide Chemistry)에 발표되는 논

문을 분류한 바는 표 6과 같다. 1982년 第 5회에서는 劑型 및 撒布方法에 관한 論文이 50편으로 全體 發表論文의 7.1%이었으나, 1994년 제 8회에서는 107편이 발표되어 전체의 12.5%로 신장됨을 알 수 있었다.

**1. 農藥製型 開發時 考慮하는 事項**

새로운 農藥 素材物質이 創出되면 製劑에 앞서 主成分의 제반 특성을 조사하게 된다. 製劑를 설계함에 있어 主成分의 理化學的, 生物學的 性質은 물론 撒布技術에 이르기까지 검토하여야 한다(표 7). 이들 정보는 製劑에 의한 效果增進, 藥效持續性 附與, 副作用 輕減 등을 보완하는데 유익한 자료로 활용된다.

또한 農藥製劑에 사용되는 副資材(inerts)도 主成分의 效果발현에 중요한 역할을 미치게

되므로 廉價로 구입하기 용이한 양질의 자재를 파악해야 됨은 물론이다. 그러나 1987년 美國 環境保護廳(US/EPA)은 화학물질에 의한 副作用을 최소화하기 위하여 農藥製造用으로 사용하는 모든 副資材의 安全性 評價戰略(Inert strategy)을 수립하고 農藥製造用 副資材 1,219種에 대하여 毒性學的 考慮도를 감안, 4개의 群으로 분류한 바 있다<sup>33)</sup>(표 8).

List 1의 副資材는 毒性學的으로 發癌, 發育 毒性, 再生影響, 기타 生態毒性的 잠재력이 있는 물질들로서 이들을 함유한 농약의 등록시에는 主成分의 毒性試驗에 준하는 副資材의 成績을 함께 제출하게 된다. 여기에는 aniline, dioxane, isophorone 등 40종의 부자재가 포함된다. List 2는 潛在毒성을 지니고 있어 시험이 우선적으로 고려되어야 하는 副資材로서 毒物

**Table 6.** Trend of papers related to formulations and delivery system in the International Congress of Pesticide Chemistry.

Year	Venue	Total no of papers(A)	No. of papers related to formulation (B)	B/A
1982 (5th)	Tokyo, Japan	744	50	7.1
1986 (6th)	Otawa, Canada	753	69	9.2
1990 (7th)	Hamburg, Gemany	1,002	120	12.0
1994 (8th)	Washington, DC (U.S.A)	853	107	12.5

**Table 7.** Some parameters required for pesticide formulation design

Characteristic	Parameter
Physico-chemical	Color, Odor, Melting point, Boiling point, Specific gravity, Viscosity, Solubility(water, solvents), Partition coefficient, pH, pKa, Vapor pressure, Hydrolysis(acid, alkaline), Heat stability, Photostability
Biological	Target organisms, Target crops, Effective concentration & Dose, Phytotoxicity, Informations on mode of action
Safety	Acute toxicity, Fish toxicity, Skin & Eye irritation, Toxicity of prospected metabolites
Application	Methods, Equipments, Dilution factor, Dilution methods, Tank-mixing adaptability

**Table 8.** Classification of pesticide inert materials due to toxicological concerns in U.S./EPA

Group	No. of inert	Toxicological concern	Typical inert
List 1	40	Carcinogenic Reproductive Chronic effect	Aniline, Dioxane, Isophorone, Phenol, Rhodamine B
List 2	64	High priority for testing	Xylene, DOP, DBP, Toluene, Acetonitrile
List 3	800	Rest	-
List 4(A, B)	315	Minimal risk	A : Natural    B : Minimal



管理法(Toxic Substances Control Act)에 준하여 시험을 수행해야 한다. List 3은 독성이 불분명한 것으로서 1, 2, 4군에 포함되지 않는 것이 이에 해당된다. List 4는 毒性學的으로 안전하다고 판명된 부자재이다. 除草劑의 解毒劑(safener)는 통상 主成分과 구조가 비슷하므로 副資材로 분류하여 모든 試驗成績과 함께 殘留許容量도 제출해야 한다.

유럽國家聯合(EU)<sup>34)</sup>에서도 副資材에 대한 登錄規制指針을 마련 중에 있으며, 農藥 副資材에 대한 管理指針(European Directives on Regulation of Interts and Adjuvants)이 완성될 때까지('96. 12월말) 각 국가의 管理指針에 따라 관리하고 있다.

## 2. 農藥의 製型別 長短點 比較

農藥의 製劑形態는 有效成分의 理化學的 性質, 生物效果, 使用目的 등에 따라 여러 가지 다양한 형태로 製劑되고 있으며, 특히 環境에 대한 부작용을 최소화하기 위하여 副資材의 규제가 강화됨에 따라 새로운 製型의 출현이 1980년대 후반부터 증가하고 있는 추세이다. 현재 실용화 되어있는 주요한 農藥의 製型에 대하여 그 구성과 장단점을 비교하면 표 9에서와 같다. 除草劑로서 적용이 적합하지 않는 製型으로서는 粉劑(DP), 種子粉依劑(ST), 微量撒布劑(ULV) 등이다.

최근 世界農藥市場의 製型別 요구도는 국가별 營農體系와 政治·經濟的 環境에 따라 상

**Table 9.** Comparison of advantages and disadvantages in the main pesticide formulation in alphabetical order.

Formulation		Main ingredient	Advantage	Disadvantage
Common name	Abbr.			
Capsule suspensions	CS	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Active ingredient</li> <li>· Solvent</li> <li>· Emulsifier</li> <li>· Dispersant</li> <li>· Thickener</li> <li>· Anti-foaming agent</li> <li>· Preservative</li> <li>· Wall-forming agent</li> </ul>	Low dusting ; easy to handle ; low solvent ; low toxicity ; less prone to leaching ; long residual activity	Need expensive production equipment ; sensitive to freezing ; may thicken at high temps ; expensive to package
Dustable powders	DP	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Active ingredient</li> <li>· Carrier</li> </ul>	Easy & cheap to produce ; may be applied by unskilled labour, low concentration so relatively safe to handle ; usually needs no dilution	High risk of user contamination ; bulky to store & transport ; flowability affected by damp
Emulsifiable concentrates	EC	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Active ingredient</li> <li>· Solvent</li> <li>· Emulsifier</li> <li>· Activator</li> </ul>	Easy to produce;easy to handle & mix ; useful for water-insoluble, low melting point ais ; high efficacy	Expensive to pack & transport ; sensitive to freezing ; risk of thickening ; can cause phytotoxicity ; may be corrosive to metal & plastic ; often toxic & volatile ; May be sensitive to water hardness
Emulsion concentrates	EW	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Active ingredient</li> <li>· Antifreezer</li> <li>· Emulsifier</li> <li>· Stabiliser</li> <li>· Organic solvent</li> <li>· Water</li> </ul>	Low solvent ; low drift ; low toxicity ; high efficacy ; high stability	Can be expensive to produce ; not suitable for all ais ; may be temperature sensitive
Granules	GA	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Active ingredient</li> <li>· Binder</li> <li>· Carrier</li> </ul>	Easy to handle & pack ; no solvent ; low drift ; long residual activity ; low phytotoxicity	May be consumed by non-target organisms(esp. birds) ; may be expensive ; need special application equipment

Table 9. Continue

Formulation		Main ingredient	Advantage	Disadvantage
Common name	Abbr.			
Seed treatments	ST	Various depending on type of treatment	Allows highly targeted delivery of ais ; may make seed easier to plant ; may give long residual activity	Only suitable for early-season problems ; may be expensive to preventative not curative ; can cause dusting
Soluble concentrates	SL	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Active ingredient</li> <li>· Wetter</li> <li>· Surfactant</li> <li>· Water(or water-miscible solvent)</li> </ul>	Cheap & easy to produce ; no solvent ; low volatility ; low phytotoxicity ; easy to mix	Expensive to pack & transport ; frost sensitive ; may corrode metal ; cannot contain high ai concentrations ; poor rainfastness ; poor wetting & spreading
Suspension concentrates	SC	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Active ingredient</li> <li>· Absorbant/diluent</li> <li>· Wetting agent</li> <li>· Dispersant</li> <li>· Thickener</li> <li>· Anti-freezing agent</li> <li>· Anti-foaming agent</li> <li>· Preservative</li> <li>· Water</li> </ul>	No solvent ; can contain high concentrations of ai ; easy to mix and store ; compatible with aqueous concentrates	Difficult to produce successfully ; can settle out in storage ; sensitive to freezing ; can cause phytotoxicity ; sensitive to ai purity & form
Suspo-emulsions	SE	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Solid active ingredient</li> <li>· Liquid active ingredient</li> <li>· Antifreeze</li> <li>· Antisettling agent</li> <li>· Dispersing agent</li> <li>· Emulsifier</li> <li>· Water</li> </ul>	Low solvent ; allows mixing of incompatible ais ; low toxicity	Can be unstable ; difficult to produce successfully ; can settle out in storage ; sensitive to freezing ; can cause phytotoxicity ; sensitive to ai purity & form
Tablets	TB	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Active ingredient</li> <li>· Lubricant</li> <li>· Binder</li> <li>· Disintegrant</li> </ul>	Easy to use ; less risk of incorrect dosage ; minimal packaging	Oly suitable for highly active ais
Ultra-low volume	ULV	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Active ingredient</li> <li>· Oil</li> <li>· Viscosity modifier</li> </ul>	Applied in very small quantities ; uses less ai ; quick to apply ; needs little or no water	Hight toxicity ; risk of drift ; needs specialised application equipment ; expensive to pack ; sensitive to freezing ; risk of thickening ; may be corrosive to metal & plastic
Water-dispersible granules	WG	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Active ingredient</li> <li>· Absorbant/carrier</li> <li>· Wetting agent</li> <li>· Dispersant</li> </ul>	Low dusting ; cheap to pack ; easy to handle & measure ; tolerant to freezing ; no solvent	Needs expensive production equipment ; dispersion is affected by low temperatures
Wettable powders	WP	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Active ingredient</li> <li>· Absorbant/diluent</li> <li>· Wetting agent</li> <li>· Dispersant</li> </ul>	Cheap to produce & pack ; easy to handle ; tolerant to low temps ; no solvent	Produces dust ; difficult to measure & mix ; poor efficacy & rainfastness ; may block lines & nozzles ; some ais degraded by certain fillers

이하다. 공통적으로 요구도가 강한 것은 運送 · 貯藏 · 使用時 危害性的 最少化, 取扱時 危險性的 減少, 廢棄 問題 · 環境影響의 最少化, 有效成分의 效果 極大化 그리고 貯藏性 問題의 減少 등에 집약되고 있다. 1994년도 世界 農藥

賣出額의 劑型別 분포를 보면<sup>35)</sup> 乳劑 42%, 水和劑 17%, 液狀水和劑 10%, 粒劑 10%, 液劑 8%, 顆粒水和劑 4% 및 其他 9%로 되어 있다. 1989년~1994년 동안 EU의 製型 및 賣出額은 液狀水和劑, 液劑, 기타 劑型은 상승세를 보여

1994년도에 각각 20.8%, 12.9%, 9.7%를 점유한 반면, 水和劑, 乳劑·粉劑, 粒劑는 감소하는 경향으로, 각각 25.8%, 22.8%, 5.0%, 3.0%를 점유하고 있다. 日本의 경우에도 지난 1983~1994년 사이 10년동안 粉劑, 乳劑, 粒劑의 생산물량은 각각 82.8%, 13.5%, 4.5%가 감소한 반면, 液狀水和劑, 燻煙劑, 液劑, 水和劑는 각각 494.3%, 54.8%, 28.3%, 9.8%가 오히려 증가하였다.

우리나라의 경우는 1996년 현재 고시되어 있는 657품목중 水和劑 34.7%, 乳劑 22.4%, 粒劑 17.0%로 전체의 74%를 점유하고 있다<sup>4)</sup>. 선진국에서 사용량이 증가하고 있는 液狀水和劑, 乳濁劑, 顆粒水和劑는 殺菌劑나 殺蟲劑에 국한되어 있다. 除草劑분야에서는 기존의 제형인 粒劑, 乳劑, 水和劑, 液劑에 占有率이 편중(94.9%)되어 있어 각각 47.1%, 27.9%, 12.5%, 7.4%이다. 특히 液狀水和劑는 3品目に 불과하고 1993~1995년까지의 보급량도 1品目に 15톤에 지나지 않아, 아직도 撒布技術의 개선이나 新劑型으로의 개발이 부진한 분야가 除草劑인 것으로 보인다.

### 3. 새로이 導入된 製型의 特性

가. 캡슐 懸濁劑(Capsule suspension, CS)

캡슐 懸濁劑는 외관상 乳濁劑(EW)와 유사하나 油相의 主成分 粒子가 重合體의 얇은 막으로 被服되어 있어 主成分의 放出을 調節할 수 있으므로 毒性·藥害輕減, 效果增大, 混用性擴大, 溶脫減少 등 유익한 점이 많다. 제조방법으로는 물에 不溶性인 原劑를 대상으로 하는 液相分離法(Aqueous-phase separation), 水溶性原劑를 대상으로 하는 有機相 分離法(Organic-phase separation), 界面 重合法(Interfacial polymerization), 內在重合法(In-situ polymerization), 流動相 被服法(Fluidized-bed coating), Jet 分散相 被服法(Jet-dispersed phase coating) 등이 있다. 캡슐화에 사용하는 重合體는 ethyl cellulose, gum Arabic, polystyrene, poly(methyl methacrylate), nitrocellulose 등이 있다. 除草劑中에서는 alachlor가 美國에서 『Micro-Tech』로 商品화된 바 있다.

나. 乳濁劑(Emulsion concentrates, EW), 微濁劑(Microemulsion), Gel劑

乳濁劑는 乳劑에 사용하는 引火性的 溶劑를 대체할 수 있는 방안으로 개발된 製型으로서 소량의 疏水性 溶媒에 主成分을 용해하고 물에 이를 乳化시켜 제조한다. 乳化劑의 선택이 안정한 乳濁劑 제조에 매우 중요하다. 液體狀態의 主成分은 溶媒를 전혀 사용하지 않아도 된다.

微濁劑는 乳濁劑의 특수한 형태로서, 微濁劑는 외관상 투명하고 分散粒子의 크기가 微細하고 表面張力이 매우 낮아 乳劑나 乳濁劑보다 효과가 우수하다. 그러나 微濁劑는 최소한 2가지 이상의 界面活性劑(陰이온성과 非이온성)를 사용해야 하므로 製造經費가 소요된다.

Gel劑는 다량의 물을 함유하는 乳濁劑나 微濁劑의 경우 소형의 水溶性 필름으로 포장이 곤란하므로, gel 상태로 제조하여 包裝하게 된다. Bromoxynil과 2,4-D가 gel劑로 美國에서 등록되어 있다.

다. 液狀水和劑(Suspension concentrate, SC)

1980년대 초반 개발 보급된 製型으로서 水和劑의 粉塵에 의한 中毒危險性, 精確한 약량의 坪量이 곤란하여 개발되었다. 日本에서는 벼농사에 물에 희석하지 않고 製品原液을 직접 살포하여 湛水中에서 균일하게 확산시키는 형태로 多數의 除草劑가 混合劑(보통 3종의 主成分 함유)로 개발 이용되고 있다. 製劑條件으로는 主成分의 물에 대한 溶解度가 낮아야 하고, 微細한 農藥原劑가 물 중에 分散되어 있어야 하며 저장중 沈澱을 방지하기 위하여 增粘劑, 分散劑, 濕展劑, 粘度調整劑, 凍結 防止劑, 거품防止劑 등 많은 副資材를 첨가하여야 한다.

液狀水和劑는 農藥主成分의 입자크기가 0.1~10 $\mu$ m의 범위이므로 單位重量當 입자수가 많고 表面的이 확대되어 통상 乳劑나 水和劑보다 藥效가 우수하다. 또한 溶媒를 사용하지 않으므로 環境 保護側面에서 유리한 점이 있고, 包裝容器로서 일반의 合成樹脂를 사용할 수 있는 장점도 있다. 그러나 粘度가 높기 때문에

包裝容器로 부터 製品을 완전히 제거하기가 곤란하며, 融點이 낮거나 水溶性이 높은 主成分은 제조가 곤란하다.

라. 乳懸濁劑(Suspo-emulsions, SE)

1990년대 들어서면서 개발된 製型으로 理化學의 特性이 相異한 農藥主成分들을 液相으로 製劑한 것이다. 製劑시 고려되는 사항은 膠質粒子的 安定化(colloid stabilization), 密度補正(density matching), 粘度矯正(viscosity modification) 등이다. 乳懸濁劑는 여러 藥劑를 동시에 液相으로 제조할 수 있으므로 防除對象의 病害蟲·雜草의 spectrum을 확대시킬 수 있고, 混用에 의하여 발생하는 문제점들을 해결할 수 있으므로 앞으로 기대되는 劑型이다.

마. 顆粒水和劑(Water-dispersible granule, WG)

水和劑와 液狀水和劑의 단점을 보완한 製型으로서 여러 가지 장점이 있으며(표 9참조), 단점으로 지적되고 있는 製造單價는 高濃度 製劑가 가능하므로 小包裝化로 극복할 수 있으나, 施設投資費의 보상을 위하여는 연간 1,000톤 이상의 소비시장이 있어야 한다. 原劑의 구비조건으로서는 물에 不溶性, 粒度 0.1mm 이하, 融點 80℃ 이상, 低毒性이어야 한다. 최근에는 顆粒水和劑의 종류가 다양해짐에 따라 水溶性 包裝紙에 小包裝하여 생산하기도 한다. 液相과 低融點의 原劑는 高吸着性的의 增量劑에 吸着시킨 후 粉碎하여 사용한다. 製造方法으로서는 여러 가지가 있으나 製品의 物理性, 製造經費 면에서 板粒狀法(pan granulation)과 乾燥壓搾法

(dry compaction)이 가장 유리하다. 제조경비는 유럽에서 isoprofuron 5% 液狀水和劑는 原劑 1kg 製劑時 1.8\$인데 반하여 83% 顆粒水和劑는 1.5\$이 소요되어 경제성이 우수한 製型이다. 製造技術의 발달과 함께 이미 歐美에서는 imazaquin, imazethapyr, prosulfuron, glyphosate 등이 顆粒水和劑의 형태로 商品化되어 있고, 특히 水稻作에서는 湛水條件이므로 水溶性 材料에 의한 包裝으로 쉽게 사용할 수 있는 장점이 있어, 除草劑 뿐만 아니라, 殺菌劑·殺蟲劑 시장에서도 그 占有率이 증가하고 있다.

4. 放出調節劑(Controlled-release formulation)

農藥主成分의 효과를 극대화하고 副作用을 최소화시키기 위하여 도입된 放出調節劑 개념은 캡슐 懸濁劑와 같은 장점과 제조방법으로 생산된다. 農藥主成分을 貯藏媒體에 보존하면서 消失速度, 분해된 만큼의 主成分을 貯藏體로 부터 放出시키므로서 藥效의 持續, 副作用의 輕減에 유리하게 된다(그림 3).

최근에는 合成農藥은 물론 微生物農藥 開發에 있어서도 放出調節劑가 널리 이용되고 있다. 이러한 개념은 원래 醫藥品에서 도입되어 식품이나 다른 산업에서도 그 응용범위가 광범위하므로 市場性이 밝은 製劑技術이라 할 수 있다. 표 10에서와 같이 放出調節劑의 응용 분야 및 제조방법별 市場性을 보면 農業에의 占有率은 적으나, 1986~1991년까지 5개년간의 年平均 成長率은 10%에 이르고 있어 오히려 식품이나 기타 산업에서 보다 높게 유지되고 있다.

한편 우리나라에서의 所得作目(고추, 참깨, 땅콩 등) 재배는 地溫의 上昇, 土壤保濕, 收量 增大 등으로 비닐멀칭재배가 일반화되어 있다. 이들 作目은 이랑에 除草劑를 살포하고 비닐을 被服한 후 幼苗를 定植하는 재배방법이 채택되고 있어 農作業이 번잡하다. 이를 개선하기 위하여 비닐製造時 除草劑를 混合하여 사출하는 『除草劑含有 비닐멀칭劑』의 제조방법이 개발되었다<sup>36)</sup>. 비닐멀칭劑는 物理的 性質,

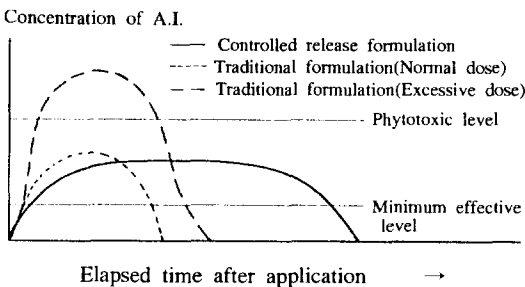


Fig. 3. Typical release pattern of pesticide a.i. from formulation for crop protection

**Table 10.** Market share and annual increase of controlled-release formulation in different sector and technology from 1986 to 1991.

Category	Market share(Millon US\$)		Average annual increase (%)
	1986	1991	
<b>Market sector</b>			
Health care	1,099	2,427	17
Agriculture	102	161	10
Foods	90	104	3
Other business	780	1,112	5
<b>Technology</b>			
Coating	548	687	5
Microencapsulation	1,312	2,064	10
Polymer/membrane	301	1,053	28
Total	2,161	3,804	12

**Table 11.** Comparison of physical parameters between one and three kg for paddy herbicides<sup>38)</sup>

Formulation	Physical parameter			
	Diameter (mm)	Bulk density	No. of particles per gram	No. of particles in 100cm <sup>2</sup>
1kg granule	1.2	0.8~1.2	300~ 500	4
3kg granule	0.8~0.9	1.0~1.2	600~1,400	30

藥效·藥害, 殘留性 등 品目告示 試驗을 거쳐 1996년에 新規品目으로 告示한바 있다.

放出調節劑는 금후에도 有效成分의 高活性化, 病害蟲·雜草 綜合管理劑(페로몬, 호르몬 등)의 실용화 등으로 인하여 農業에의 활용도가 더욱 증대될 전망이다.

### 5. 水稻用 除草劑 『1kg粒劑』

粒劑農藥의 10a당 사용량은 보통 製品으로 3kg으로 되어 있어, 살포노력이 가중할 뿐만 아니라 運搬費, 倉庫保管費 등 流通에 소요되는 경비지출이 과다하게 된다. 또한 製劑에 필요한 增量劑 또한 자연계에의 埋藏量에 한계가 있으므로 이러한 문제를 해결하기 위하여 日本에서 撒布省力化를 목적으로 『1kg粒劑』가 실용화되고 있다<sup>37)</sup>.

『1kg粒劑』는 3kg 粒劑에 비하여 總 粒子數가 적으므로 均일한 살포가 이루어지도록 撒粒機를 사용하여야 하고, 主成分의 濃度가 3kg 粒劑보다 높기 때문에 토양에 落下한후 主成分의 擴散性이 우수하도록 제조하여야 한다. 『1kg粒劑』의 주요한 物理性은 粒徑 1.2mm, 粒子길이

1.8~2.02mm, 假比重 0.83~1.25, 1g당 粒子數 250~800粒의 범위로서, 기존의 3kg 粒劑보다 粒徑은 크고, 假比重은 가벼우며, 1g當 粒子數는 1/1.35~1/5 이다(표 11).

『1kg粒劑』에 대한 소비농민의 여론조사 결과(1994)는 전체적인 만족도가 93.8%이고, 撒布便易性은 82.1%, 藥效는 同等~優秀가 96.2%, 藥害는 없음이 95.6%로 나타나고 있다<sup>39)</sup>. 日本 農藥製造企業에서는 1996년까지 모든 水稻用 除草劑(粒劑)를 『1kg粒劑』로 대체한다는 계획 하에 전국규모의 委託試驗이 실시 중에 있고, 1995년도 委託試驗 藥劑의 92%(84약종)를 『1kg粒劑』가 차지하고 있는 실정이다. 市販中에 있는 『1kg粒劑』는 初期處理劑 2種, 初期 1發處理劑 7種, 初中期 1發處理劑 13種 등 總 23 品目에 이르고 있다.

### 6. 微生物農藥의 製劑化

生物農藥을 이용한 病害蟲·雜草 방제기술 개발은 선진국의 農藥使用量 減縮政策(유럽國家聯合, 특히 北유럽國家)과 美國의 Clinton 정 부출범이후 모든 방제수단의 綜合防除體系로

**Table 12.** Registered species and products of biopesticides in the U.S.A.<sup>41)</sup>

Year	Registered species	Registered product	Target
'49 ~ '60	1	2	Insect
'61 ~ '70	1	133 (B.t.)	Insect
'71 ~ '80	1	7	Fungi, Insect
'81 ~ '90	14	52	Fungi, Insect, Weed
'91 ~ Present	18	43	Fungi, Insect, Weed
Total	38	237	-

LOW RISK ↑ ENVIRONMENT ↓ HIGH RISK	OPERATOR		HIGH RISK
	←	→	
Selective application Optimum spray quality	Low pressure nozzles, Controlled droplet application, Electrostatics, Granules, Recirculate sprayer, Anti-drift additives		
	Standard nozzle, Boom sprayers, Cross-flow, Air-assisted	Hand-held sprayers, Cableless vehicle, Seed treatment, Dusters	
	Low volume sprays, Ultra low volume, Drift sprays, Aerosols	Air-assisted orchard spray, Fogging	

**Fig. 4.** Severity of risk to operator and environment due to various pesticide application techniques.

의 轉換政策<sup>40)</sup>에 부응하여 1990년대부터 開發 研究가 더욱 촉진되게 되었다.

美國의 경우 \*年代別 生物農藥의 登錄趨勢를 보면(표 12) 1970년대 이전까지는 B.t.劑에 국한되어 있었으나, 1970년대 이후 生物農藥으로 등록되는 品目數가 급격히 증가하고 있고, 適用對象도 病害·害蟲管理, 雜草防除 등 다변화하고 있음을 알 수가 있다.

微生物의 生菌을 이용한 製型開發에는 製品の 安定性 保證期間(Shelf-life) 동안 微生物의 生存性を 보존시키기 위한 기술이 항상 문제 시되고 있다. 대부분의 微生物農藥은 온도, 자외선, 건조의 한계치에서 매우 민감하므로 紫外線 遮斷劑, 粘着劑, 抗酸化劑, 濕潤維持劑 등의 副資材를 사용해야 한다.

微生物 生菌을 이용한 除草劑로 美國에서 처음으로 商品化된 것은 1981년 DeVine과 1982년의 Collego가 최초이다. 그후 캐나다에서 BioMal이, 中國에서 Lubao가 實用化되어 雜草

防除用 生物農藥은 4種에 이르고 있다. Collego의 流通期間은 常溫에서 1년, 냉장고에서 3년간 보관이 가능하나, DeVine은 냉장고에서 6주간이 한계이므로, 앞으로도 微生物을 이용한 生物農藥의 開發에는 製品の 安定化, 撒布技術의 開發, 效果發現의 再現性 등 보다 많은 연구개발 노력이 집중되어야 할 것이다.

#### IV. 農藥의 撒布技術開發

우수한 農藥製型이 개발되었다 하더라도 방제대상 지점에 藥劑가 도달되지 않으면 防除利用 效率의 저하는 물론 자원의 낭비를 초래하게 된다. 따라서 최근에는 農藥製品이 생산지로부터 出荷되어 최종 사용자에 의하여 사용될 때까지의 流通保管, 사용할 때 製品の 取扱管理, 사용후 廢包裝容器나 재료의 처리방법에 이르기까지 農藥의 全 life-cycle을 통하여 준수해야 할 지침이 세부적으로 설정되어 있

다. 農藥撒布時 야기될 수 있는 撒布方法別 撒布者 및 環境에 미치는 危害性 정도를 圖式化한 것은 그림 4와 같다.

### 1. 粒子調節 撒布裝置(Controlled droplet application, CDA)

回轉式 atomizer를 이용하여 撒布粒子的 크기를 一定範圍內로 均일하게 調節하므로써 微細粒子的 對象 地域이외로의 飛散을 방지하기 위하여 개발된 撒布方法이다. CDA를 이용하여 살포할 경우에는 農藥製品을 희석하지 않고 직접 原液을 살포하며, ha당 통상 1l의 製品을 살포하므로 稀釋液 제조시 물을 사용해야 하는 번거로움을 배제할 수 있다. CDA用 農藥은 통상 직접살포가 가능한 상태의 容器(ready-to-use container)로 공급되고, 航空防除時 사용하는 경우가 많다. 粒子的 크기를 조절할 수 있어 飛散을 최소화할 수 있는 장점이 있다. CDA는 그후 발전하여 撒布液의 粒子에 荷電을 부여하여 電磁氣의 半撥力을 나타내는 Electrodyne (靜電撒布機)로 개발되었다. Electrodyne은 특수 製劑된 製型을 사용해야 하나, 통상의 乳劑에 稀釋時 적당한 기름(oil)을 첨가하면 살포가 가능한 Totastat도 개발되어 있다. 農藥의 製型別 CDA 적합성을 요약하면 표 13과 같다.

CDA로 가장 적합한 製型은 液狀水和劑이고,

가장 널리 사용되고 있는 製型은 乳劑와 水和劑이다. 소규모 營農下에서는 CDA가 소량으로 大面積을 살포할 수 있어 경제성의 높은 살포 기술이다. 특히 均일한 撒布粒子는 作物體 內部에까지 도달을 가능하게 하고, 內降雨性이 우수하며 殘效性도 높은 경향이다.

### 2. 産業用 無人헬기利用 防除

벼농사의 生産費 節減을 위하여 도입된 有人 헬기는 航空防除 대상지역의 개발, 논 주변에 설치되는 전기, 통신용 cable 등으로 인하여 日本에서의 有人헬기를 이용한 防除面積은 1988년 174만 ha를 최고로 점차 감소하여 1996년(계획)에는 125만 ha에 이르고 있다. 따라서 有人헬기를 도입할 수 없는 벼농사 지역을 대상으로 總重量 100kg 미만의 産業用 無人헬기가 1990년에 실험적으로 실용화되었다. 産業用 無人헬기는 2種(Yamaha R50, Kobe KG 135)이 實用化되고 있으나, 搭載可能量은 10kg 내외에 불과하다. R50의 경우 boom nozzle을 부착하여 藥劑를 살포하고 있으나, 撒布作業은 operator 자격을 취득해야 하고, 자격증은 매 5년마다 갱신하는 체계로 되어 있다. 1995년말 현재 産業用 無人헬기의 總 普及 臺數는 627대이고, 無人헬기를 이용한 農藥 撒布面積은 1990년부터 年平均 8배 이상의 증가를 보여, 1995년에

Talbe 13. The suitability of different formulation types to controlled droplet application(CDA).

Formulation	Advantage	Suitability for CDA
Emulsifiable concentrate	Low cost ; readily available	Have been widely used ; Handling the concentrate can be hazardous
Microcapsules	Low toxicity ; slow release	May need dilution to reduce viscosity
Soluble liquids, Powders & Granules	Low cost ; completely soluble in water	Suitable, providing that products are not hazardous in concentrate mixes
Suspension concentrates	Solvent-free(usually) ; small particle size	Used without problems
Ultra low volume	No mixing or dilution ; less risk of user contamination	Recommended
Water-dispersible granules	Low user toxicity ; non-liquid ; cheap to pack	Suitable providing particle size is below 50 microns
Wettable powder	Low cost ; readily available ; non liquid	Have been widely used; deposits can accumulate on disks & agglomerates can block nozzles

**Table 14.** Changes in unmanned helicopters, sprayed paddy area and number of operators in Japan from 1990 to 1995

Category	'90	'91	'92	'93	'94	'95
Number of Unmanned helicopter	106	123	167	307	413	627
Paddy area sprayed by the helicopter	2,603	6,159	18,468	39,954	71,253	110,574
Number of operator	469	670	1,071	1,650	2,401	3,301

는 110,574ha에 이르고 있다(표 14).

産業用 無人헬기를 이용한 農藥의 開發은 기존의 地上撒布用 製型을 5~8배로 회석하여, 8l/ha 살포시의 藥效·藥害, 落下分散性 등을 시험한 후 登錄을 허가하고 있다. 1996. 3월 현재 無人헬기 撒布용으로 登錄되어 있는 藥劑는 총 52종이며, 이 중 液狀水和劑가 29종으로 50%를 점유하고 있다. 除草劑의 경우에도 移秧畝의 1年生 雜草防除를 위하여 液狀水和劑 5종이 登錄되어 있다. 그러나 無人헬기의 價格이 高價(대당 665만 $\text{¥}$ )이므로, 이용가능한 農作業의 擴大, 適用作物의 多樣化 등 개발 연구가 추진되고 있는 실정이다.

### 3. 移秧·除草劑 同時撒布

水稻幼苗 移秧機의 뒷부분에 부착하여 幼苗 移秧과 동시에 農藥을 滴下하여 살포하는 장치가 개발되어 1996년부터 시판되고 있다. 撒布機의 藥劑輸送은 peristaltic pump를 이용하여 移秧速度에 맞추어 農藥製品의 原液이 500~1,000ml/10a씩 滴下되도록 조정할 수 있다. 撒布機의 重量은 4.5kg으로서 임의로 부착이 가능하도록 설계되어 있다. 사용하는 除草劑는 모두 液狀水和劑로서 移秧과 동시에 살포하므로 土壤條件에 따른 藥害程度를 면밀히 시험하여 사용가능 지역을 명시하고 있으며, 1996년 3월 현재 총 8藥劑가 登錄되어 있다.

## V. 맺음말

작물의 安定的 生産과 高品質의 농산물을 공급하기 위하여 사용하는 作物保護 분야중 雜草防除는 環境親和型 農業技術이 개발되고, 有機農業技術이 발전된다하더라도 피할 수 없는 작업임에는 의문의 여지가 없다. 그러나 현

재의 雜草防除 手段이 주로 有機合成農藥에 의존하므로, 環境오염의 주범으로 인식되어 온 農藥의 범주를 벗어나지 못하기 때문에, 농작업의 필수요건인 雜草防除도 사회의 여론이 집중되고 있는 실정이다. 최근 새로운 高活性의 選擇的인 藥劑가 속속 개발되어 국내에서도 특히 除草劑 分野에 이들 藥劑가 적극적으로 도입되므로, 使用量은 점차 감소될 것으로 전망된다. 앞으로도 이와 같이 生物的 防除手段과 함께 環境에 부담이 적은 藥劑의 도입으로 농업행위가 環境에 미치는 영향을 극소화할 수 있는 방향으로의 연구전환이 요망된다. 특히 새로운 除草劑 製型開發에 있어서는 農作業을 일관화할 수 있도록 방제기술을 고려한 協力研究體制로의 추진이 바람직할 것이다. 持續 가능한 農業, 有機農業 등 環境親和型 農業에 대한 사회의 요구가 고조되고 있는 현실에서는 除草劑의 일변도의 雜草防除體系를 탈피할 수 있는 雜草綜合管理技術의 開發이 또한 시급히 요청되는 시점이다.

## VI. 引用文獻

1. 농림수산부·농촌진흥청·산림청·수산청. 1966. 21세기를 향한 농림수산환경정책(안)
2. 林田健二. 1992. 環境保全農業と植物防疫政策. 植物防疫 46(12) : 1-4.
3. Clive, T. ed. 1994. The Pesticide Manual. Incorporating the Agrochemicals Handbook. Tenth Edition. Crop Protection Publication.
4. 農藥年報. 1996. 社團法人 農藥工業協會
5. Abernathy, J.R. 1992. Winds of change. Weed Technology 6 : 760-764.
6. Leistra, M. and J.J.I.I. Boesten. 1989. Pesticide contamination of ground-water in western



- Europe. Agric. Ecosys. Environ. 26 : 760-764.
7. Lehr, J.H. 1989. Factual, fictional, and ethical impacts on ground-water contamination in the United States. *Ground Water* 27 : 2-10.
  8. Andreas, Z. 1994. Towards reduced herbicide rates and adopted weed management. *Weed Technology* 8 : 376-387.
  9. Barrett, M. and W.W. Witt. 1987. Alternative pest management practices. In Z.R. Hessel. Ed. *Energy in plant nutrition and pest control*. *Energy World Agric.* 2 : 197-234.
  10. McWorther, C.G. and W.L. Barrentine. 1988. Research priorities in weed science. *Weed Technology* 2 : 2-11.
  11. Ritter, W.F. 1990. Pesticide contamination of ground-water in the United States - A Review. *J. Environ. Sci. Health B25* : 1-29.
  12. Schweizer, E.E. 1988. New technological development to reduce ground-water contamination by herbicide. *Weed Technology* 2 : 223-227.
  13. Watson, A.K. 1992. Biological and other alternative control measures. *Proc. 1st Int. Weed Control Cong. Melbourne, Australia* 1 : 64-73.
  14. Agricultural chemical usage : Field crop summary. 1991. *Econ. Res. Serv. U.S. Dept. Agric.*, Washington, DC. P.1-14.
  15. Abernathy, J.R. and D.C. Bridge. 1994. Research priority changes in weed science. *Weed Technology* 8 : 396-399.
  16. Shieh, J.R. 1994. Biopesticide formulation and their application. *Conference Proc. Ser. 8th International Congress of Pesticide Chemistry*.
  17. Groombridge, B. 1992. In *global diversity*. Status of the earths living sources. Ed. B. Groombridge. *Chapman & Hall*, London.
  18. Bruce, A.A. and M. Morin. 1995. Constraints in the developments of bioherbicides. *Weed Technology* 9 : 638-652.
  19. TeBeest, D.O., X.B. Yang and C.R. Cisar. 1992. The status of biological control of weeds with fungal pathogens. *Ann. Rev. Phytopathol.* 30 : 637-657.
  20. Misaghi, I.J. 1982. *Physiology and Biochemistry of Plant-Pathogen Interaction*. Plenum Press, New York. P.287.
  21. Deverall, B.J. 1977. *Defense Mechanism of Plant*. Cambridge University Press, Cambridge. P.110.
  22. Makowski, R.M.D. 1993. Effect of inoculum concentration, temperature, dew period, and plant growth stage on disease of round-leaved mallow and velvetleaf by *Collectotrichum gloeosporioides f. sp. malvae*. *Phytopathology* 83 : 1229-1234.
  23. Mcrae, C.F. and B.A. Auld. 1988. The influence of environmental factors on anthracnose of *Xanthium spinosum*. *Phytopathology* 78 : 1182-1186.
  24. Clifford, D.R., R.P. Gendle and M.E. Holgate. 1987. Gel formulations for the treatment of pruning wounds. I. Carbendazim and triadimefon in sodium alginate. *Ann. Appl. Biol.* 110 : 489-500.
  25. Elad, Y.N., A.O. Ziv and J. Katan. 1990. Control of gray mold(*Botrytis cineria*) with film forming polymers. *Plant Pathol.* 39 : 249-254.
  26. Pennisi, E. 1992. Sealed in edible film. *Science News* 141 : 12-13.
  27. Daigle, D.J. and P.J. Cotty. 1992. Production of conidia of *Alternaria cassiae* with alginate pellets. *Biol. Control* 2 : 278-281.
  28. Walker, H.L. 1981. Granular formulation of *Alternaria macrospora* for control of spurred anoda *Anoda cristata*). *Weed Sci.* 29 : 342-345.
  29. Walker, H.L. and W.J. Connick, Jr. 1983. Sodium alginate for production and formulation of mycoherbicides. *Weed Sci.* 31 : 333-

- 338.
30. Connick, Jr. W.J., C.D. Boyette and J.R. McAlpine. 1991. Formulation of mycoherbicides using a pasta-like process. *Biol. Control* 1 : 281-287.
  31. Templeton, G.E. 1986. Mycoherbicide research at the University of Arkansas - past, present and future. *Weed Sci.* 34(Suppl.) : 35-37.
  32. Primmer, J.R. 1993. Regulatory problems associated with natural products and biopesticides. *Pesticide Sci.* 39 : 103-108.
  33. Levine, T.E. 1996. The regulation of inert ingredients in the United States. Ed. Chester L. Foy and David W. Pritchard. *Pesticide Formulation and Adjuvant Technology*. CRC Press.
  34. Johnson, E.L. 1996. European directives on inert ingredients and adjuvants. Ed. Chester L. Foy and David W. Pritchard. *Pesticide Formulation and Adjuvant Technology*. CRC Press.
  35. Smith, A. 1995. Future trends in pesticide formulations. PJB Publication Ltd.
  36. Oh, B.Y. and J.H. Kim. 1993. Polyethylene film formulation incorporated with herbicide metolachlor for controlled-release. Proc. of a seminar organized by the Joint FAO/IAEA.
  37. 竹下孝史. 1994. 水田除草剤1kg粒剤の開発と實用性. *植物防疫* 48(5) : 15-18.
  38. 井貝敬太郎. 1994. 水田除草剤1kg粒剤について. *農薬施用技術に関する研究会*.
  39. 日本農薬工業協会. 1996. 水稻除草剤1キロ粒剤. 適正使用 Q & A.
  40. United States Congress. Food, Agriculture, Conservation and Trade Act of 1990. U.S. House of Representative Conf. Rep. S-2830. No. 101-916.
  41. Ann. 1995. EPA registered microbial, non-viable microbial, and biochemical pesticides. US/EPA.