

## 이동형 국소 분무장치용 전자 밸브와 노즐 조합 작동특성

서상룡 김항오 김영태 최영수 유수남

### Operating Performance of Solenoid Valve and Nozzle Sets for Target Selectable Sprayers

S. R. Suh H. O. Kim Y. T. Kim Y. S. Choi S. N. Yoo

#### Abstract

Fundamental informations on performance of sets of solenoid valve and nozzle were necessary to develop a target selectable spraying system. The experiments were performed for the sets of solenoid valves and flat spraying nozzles at 3 levels of the operating pressures, and the obtained results are as follows; Rise time of the system pressure to reach up to 90% of the operating pressure after the valve turned was affected by nozzle size and operating pressure. Maximum overshoot of the system pressure was about 170% not affected by the sets of valve and nozzle and operating pressure. The system pressure after its settle down within 5% of the set pressure showed good uniformity in any condition of the experiment as less as 2.3% of its coefficient of variation. Time requirement to lower the system pressure down to 50% after the valve power turned off was affected by valve and nozzle set and operating pressure.

**Keywords :** Solenoid valve and nozzle, Selective spraying, Timing of valve operation

### 1. 서론

작물 재배 시 제초작업이나 병충해 방제를 위한 약액 살포 작업은 현재 대부분이 포장 전면을 대상으로 하여 일정하게 수행하고 있다. 실제로 약액을 필요로 하는 면적은 전체 면적의 일부임에도 불구하고 이러한 약액의 전면 살포방법이 적용되고 있는 이유는 약액을 필요로 하는 위치를 기계적인 방법으로 포착하는 것이 쉽지 않을 뿐만 아니라 현재 보급되고 있는 약액 살포용 기계가 포장 전면 살포용 대용량 기계이거나 국부 살포가 가능한 기계는 대부분이 보행용 소형 기계로서 많은 인력을 필요로 하여 그 사용을 기피하기 때문이다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 최근 논의되고 있는 방안이 정밀농업(precision agriculture)인데, 이는 최적의 농작업 수행을 위해 포장의 각 위치별 특성을 파악하고 그 특성에 맞게 처리(site-specific)함으로써 농업의 경제성을 향상시킬 뿐만 아니라 환경오염을 최소화하는 효과를 얻고자 함이 궁

극적인 목표이다. 정밀농업을 기계적인 방법으로 수행하기 위해서는 변량형(variable rate) 농기계가 요구되는데, 변량형 농기계는 토양의 비옥도, 잡초의 유무, 병충의 발생정도 등에 따라서 각각 적절한 양의 비료, 제초제, 농약 등을 살포하는 기술로서 실시간 제어를 필요로 하는 특성(Han 등, 2001)이 있다.

제초작업의 경우 논이나 밭농사 모두 이를 변량형 농기계에 의한 정밀농업 방법으로 수행하기 위해서는 주로 액체 상태 제초제의 국소 살포방법을 적용할 것으로 예상된다. 이를 위해서는 이동하며 필요한 장소에 국소적으로 농약을 살포할 수 있는 기계(이동형 국소 약액 살포장치)가 요구되는데, 이는 기본적으로 차량에 탑재한 분무용 펌프와 공기실 그리고 전자 밸브(solenoid valve)와 노즐과 같은 살포 및 제어 장치로 구성(Gopala Pillai 등, 1999; Tian, 2002)한다.

농경지에서 이동하며 약액을 살포할 경우, 차량 주행속도는 보통 3-4 km/hr로 예상되며 이 경우 1초당 주행거리는 약

1 m이므로 국소 분무를 위한 분무 제어 시 제어 시간의 오차가 0.1 초인 경우에도 그에 따른 거리상 오차는 약 10 cm로서 미소한 살포 시간 제어 오차에 따른 살포 위치의 거리상 오차가 커 결과적으로 살포 시간 제어 오차의 크기는 살포 작업의 성패를 좌우하게 된다. 따라서 전자 밸브와 노즐을 조합한 국소 분무장치를 이용하여 약액을 살포할 경우 사용하는 전자밸브와 노즐 조합의 작동 특성은 성공적인 분무작업의 매우 중요(Baio and Balastreire, 2002)한 인자이다.

전자 밸브는 기본적으로 밸브와 전자석 그리고 전자석 작동 전기 에너지 공급 및 제어를 위한 전자기회로의 3부분으로 구성되어 있는데 특수 목적에 적합한 전자 밸브를 구하기 위해서는 Kajima와 Kawamura(1995)와 같이 밸브의 질량과 행정길이, 공급 전압, 전자석의 코일과 철심에 관하여 실험한 결과를 기초로 설계 제작하거나 시판 중인 기존의 전자 밸브 중 적당한 것을 선택하는 방법이다. 현재 시판되고 있는 전자 밸브의 종류는 비교적 다양하여 특수 목적의 살포 장치에 적합한 전자 밸브는 시판 중인 밸브의 작동 특성에 맞춰 선택하고 선택한 밸브의 사용방법을 결정할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 필요한 밸브의 작동 특성에 관한 정보는 거의 제공되지 않고 더군다나 이러한 밸브를 노즐과 조합한 경우의 작동 특성에 관한 정보는 전무한 상태이다.

이에 따라 본 연구는 이동형 국소 분무장치를 개발하기 위해 먼저 전자 밸브와 노즐을 선택한 다음 이를 이용한 분무장치를 구성하여 그 작동 특성을 실험적인 방법으로 파악하고, 이러한 밸브와 노즐을 이동형 국소 분무장치에 구현할 경우 적합한 적용 방법을 제시하는 목적을 갖고 수행하였다.

## 2. 장치 및 방법

### 가. 재료와 장치

전자 밸브와 노즐 조합의 작동특성으로서 본 연구에서는 밸브 개방과 폐쇄시기에 있어 작동 특성과 압력 상승 후 압력의 균일성 정도를 조사하고자 하였다. 이러한 밸브의 여러 가지 작동 특성은 실제 장치에서 전자 밸브와 노즐 사이 공간의 압력(이후 ‘배압’으로 약칭)을 관찰함으로써 파악할 수 있으며 이를 위하여 구성한 실험장치는 그림 1과 같다.

실험장치에서 전자 밸브의 제어는 그림과 같이 컴퓨터와 연계한 자료 수집 및 제어장치(data controller and module)로 수행하였는데, 이는 배압 자료 수집을 위한 아날로그 입력 모듈과 밸브 제어를 위한 디지털 출력 모듈을 장착한 National Instruments(U.S.A.)의 CompactRIO(model cR10-9002/9004)를 사용하였다. 배압의 측정은 Omega Engineering Inc. (U.S.A.)

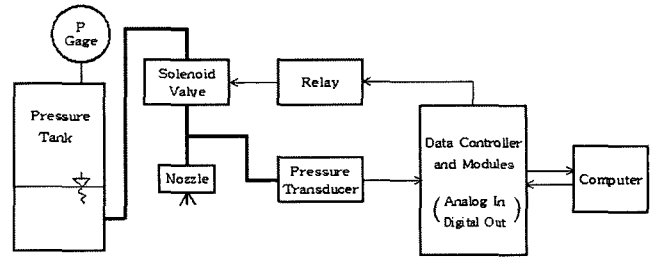


Fig. 1 Schematic of the experimental setup.

가 제공하는 측정범위가 2 MPa, 반응시간이 5 ms인 압력변환기(model PX603-300G)를 사용하여 수행하였다.

실험에 사용한 노즐은 통상적인 농업용 약액의 살포율(제초나 병충해 방제작업의 경우 1000 L/ha)과 승용 작업기의 일반적인 작업속도(3-4 km/hr) 및 작물 재식 간격(보통 20-30 cm)을 고려하여 노즐의 평균 약액 분사율을 1.5 L/min로 결정하였고, 분사압 200-600 kPa 범위에서 이러한 약액 분사율을 얻을 수 있는 노즐을 선택하였다. 선택한 노즐은 농업용으로서 주행 차량에 부착하여 미소 입자 분무 시 적합한 Spraying System Co.(2005)의 납작 분사(flat spray)형이고 분사각이 80°인 제품의 모델 TP 8002, TP 8003, TP 8004로서 본 연구에서는 이 3종의 노즐을 공시재료로 사용하였다. 이 노즐의 오리피스는 비원형이나 각 오리피스의 상당 직경(equivalent diameter)은 각각 0.91, 1.1, 1.3 mm으로서 분무 유량은 분무압력에 따라 증가하나 400 kPa 압력 시 각각 0.91, 1.4, 1.8 L/min의 크기를 갖는 노즐이다.

전자 밸브와 노즐을 조합할 경우 전자 밸브의 오리피스 직경은 당연히 노즐 오리피스 직경보다 커야 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 전자 밸브의 내부 오리피스 직경을 3 mm로 결정하고, 분무 제어장치의 차량 탑재를 고려하여 직류 전원(DC 12 또는 24 V)을 사용하는 밸브 중 부착 전자석의 세기가 다른 2종의 직동식(direct acting) 밸브를 선택하였는데, 이는 (주)삼인의 모델 AV21과 AV41이었다. 이 중 모델 AV21은 전자석의 세기가 약한 낮은 압력용(물의 경우 사용 최고 압력이 200 kPa)이고, 모델 AV41은 전자석의 세기가 강한 중간 압력용(물의 경우 사용 최고 압력이 900 kPa)의 것이다. 모델 AV21과 모델 AV41의 주요 사양을 비교하면, 그 외형 크기(가로×세로×높이)가 각각 40×40×61.5 mm와 54×38×83.5 mm, 오리피스 유효단면적은 각각 5.5와 6.2 mm<sup>2</sup>, 소비 전력은 각각 7과 11 W(직류 전원 사용 기준)이다.

### 나. 실험방법

밸브와 노즐 조합의 작동 특성 조사 시 사용한 전자 밸브와

노즐은 전술한 2종의 전자 밸브와 3종의 노즐이었고, 실험 시 작용 압력은 200 kPa, 밸브 작동 시간은 0.3초로 하였다. 작용 압력에 따른 작동 특성 조사에 있어 사용한 전자 밸브는 모델 AV41, 노즐은 전술한 3종의 노즐 조합, 실험 시 작용 압력은 200, 400, 600 kPa의 3종 압력, 밸브 작동 전원 공급 시간은 위와 마찬가지로 0.3초로 하였다. 이상의 모든 실험에 있어 작동 유체는 물로 하고, 밸브의 배압은 10 ms 간격으로 측정하였으며, 실험은 모두 4반복으로 수행하였다.

밸브와 노즐 조합의 작동 특성조사를 위한 실험자료 분석 시 조사항목은 자동제어 분야에서 일반적으로 분석하는 항목으로서, 밸브 작동 전원 공급 직후에 있어서는 최대 오버슈트(maximum overshoot), 상승시간(rise time: 설정 압력의 90%에 도달 소요 시간으로서 정상적인 분무가 시작되는 시점) 그리고 밸브 작동 전원 차단 이후에 있어서는 감압 소요시간으로서 감압 수준 5%와 50%를 기준으로 조사하였다. 밸브 배압의 균일성 정도는 밸브 배압 정착시점(설정 압력의 5% 이내 유지 시작점)부터 밸브 작동 전원 차단 직전까지 배압의 변이계수(coefficient of variation)를 구하여 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 밸브와 노즐 조합의 작동 특성

전자석의 세기가 다른 2종의 전자밸브에 의해 유체의 유동을 제어한 경우 노즐별 배압 변화를 나타낸 것은 그림 2와 같다. 실험 시 밸브에 작동 전원을 공급한 기간은 0.3초로서, 그림에서 밸브 작동 전원 공급 시작과 차단 시점은 각각 0.1과 0.4초이다. 그림과 같이 전자밸브 배압의 변화는 전자밸브와 노즐의 종류에 따라 약간씩 차이가 있는데 조사 항목별로 그 작동 특성의 평균을 구한 결과는 표 1과 같다.

#### 1) 최대 오버슈트

밸브 작동 전원 공급 직후 배압의 오버슈트 현상은 그림과 같이 모든 실험에서 공통적으로 나타난 현상이다. 이는 표 1과 같이 밸브와 노즐 조합별로 약간씩 차이가 있었으며 이에 대하여 밸브와 노즐 조합별 유의차(5%의 유의 수준)를 분산 분석에 의해 확인한 결과 밸브 간 유의차는 없고 노즐 간 유의차는 0.9% 이하의 유의수준에서 인정되었다. 그러나 최대 오버슈트의 노즐 별 차이는 그 평균값이 표와 같이 최대 23% 정도로서 이 정도의 차이가 분무 특성에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 판단되므로 이러한 노즐별 차이는 개발하는 국소 분무장치의 분무 특성의 주요 인자로 고려할 필요는 없는 것으로 판단하였다.

최대 오버슈트는 개발하고자 하는 분무장치의 안전성과 분무의 균일성과 관련된다. 최대 오버슈트의 전체 평균은 170%이고 표준편차는 11.1%로서 이에 따른 분무의 불균일 정도는 상당할 것이나 이는 그림과 같이 순간적인 현상이므로 분무 전반에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 판단되었다. 다만 관련 장치를 설계할 경우 분무장치의 안전을 고려하여 설정 압력의 약 2배 정도의 압력을 설계 압력으로 하여야 할 것으로 판단되었다.

#### 2) 상승시간

상승시간은 밸브 작동 전원 공급 직후 정상 분무 시점까지 소요 시간으로서 일종의 분무 지연시간이다. 배압이 설정 압력의 90%인 180 kPa까지 상승하는데 소요로 하는 시간은 표와 같이 처리별로 약간씩 차이가 있어 위와 같은 방법으로 밸브와 노즐별 유의성을 분석한 결과 노즐 간 유의차(유의수준은 2.3%)만 인정되었다. 실험한 노즐에 있어 노즐간 최대 차이는 표와 같이 20 ms(노즐의 구경이 클수록 상승시간은 단

**Table 1** Performance of the combination sets of the solenoid valves with the nozzles at a pressure of 200 kPa

Solenoid Valve	Nozzle	Rise of system pressure <sup>*1</sup>		CV of system pressure (%) <sup>*2</sup>	Time to lower down system pressure (ms) <sup>*3</sup>	
		Max. Overshoot (%)	Rise Time (ms)		5%	50%
AV21	TP 8002	169	60	2.3	35	94
	TP 8003	168	44	1.8	36	61
	TP 8004	162	40	1.6	45	58
AV41	TP 8002	186	47	1.5	119	163
	TP 8003	173	47	1.8	119	148
	TP 8004	163	35	1.9	118	129
Mean		170	45	1.8	79	109

\*1 : Rise of the system pressure after the valve power turned on

\*2 : Coefficient of variation of the system pressure after the system stabilized

\*3 : Time requirement to lower the system pressure down to 5 and 50% after the valve power turned off

축됨)이고, 전체 평균은 45 ms로 분석되었다. 따라서 이동형 국소 분무장치를 개발하는 경우 적정 위치에 약제를 살포하기 위해서는 상승시간동안 차량의 이동 거리를 고려하여 사용하는 노즐에 따라 밸브 작동 전원의 공급 시작 시점을 약간씩 조정하여야 할 것임을 알 수 있다.

### 3) 밸브 배압의 균일성

배압 정착시점(설정 압력의 5% 이내 유지 시작점)부터 밸브 작동 전원 차단 직전까지 배압의 균일 정도는 밸브 배압의 변이계수로 관찰하였으며 그 결과를 분산분석에 의해 밸브와 노즐별 유의성을 판단한 결과 모두 유의차가 없는 것으로 나타났다. 따라서 배압의 균일 정도는 밸브나 노즐 종류의 영향 없이 일정한 것으로 판단되었고, 실험한 모든 밸브와 노즐에 있어 배압 변이계수의 전체 평균을 구한 결과 1.8%로서 실험한 모든 밸브와 노즐 조합에 있어 정상 분무 시 배압은 매우 일정하게 유지되어 동 기간동안 분무 상태는 매우 안정적인 것으로 예상되었다.

### 4) 5%와 50% 감압 소요시간

실험한 모든 밸브와 노즐 조합에 있어 밸브 작동 전원 차단

후 배압이 감소하기 시작하는 시점을 그림 2에서 관찰하면 이는 설정한 밸브 작동 전원 차단 시점(그림에서 0.4초)보다 지연됨을 알 수 있는데, 이는 전자석의 히스테리시스(hysteresis) 현상 결과로 판단되었다. 본 연구에서는 밸브 작동 전원 차단 후 배압이 감소하기 시작하는 이 시점을 설정 압력의 5% 수준까지 감압하는 시점으로 정하고 밸브 작동 전원 차단 후 그 시점까지의 소요시간을 조사하였으며 그 결과는 표 2와 같다. 밸브와 노즐별로 그 유의성을 분산분석에 의해 조사한 결과 노즐 간 유의성은 없는 것으로 나타났으나 밸브 간에는 0.01% 미만의 높은 수준에서 유의차가 인정되었다.

5% 감압 소요시간을 밸브별로 구한 결과, 밸브 AV21은 39 ms, 밸브 AV41은 119 ms로서 전자석 세기가 큰 AV41 밸브의 경우 그 소요시간이 밸브 AV21보다 약 3배로 나타났다. 이러한 결과는 전자석의 세기가 큰 전자 밸브의 경우 전자석의 히스테리시스 현상도 크게 되어 밸브의 복원 시작 시점이 전자석의 세기가 작은 전자 밸브보다 늦춰진 것으로 판단된다. 그리고 이러한 5% 감압 소요시간은 전자 밸브 복원의 지연 시간으로서 이동형 국부 분무장치를 사용할 경우 불필요한 약액 낭비를 줄이기 위해서는 사용하는 전자 밸브의 폐쇄 지연특성을 충분히 파악하여 적용하여야 할 것으로 판단되었다.

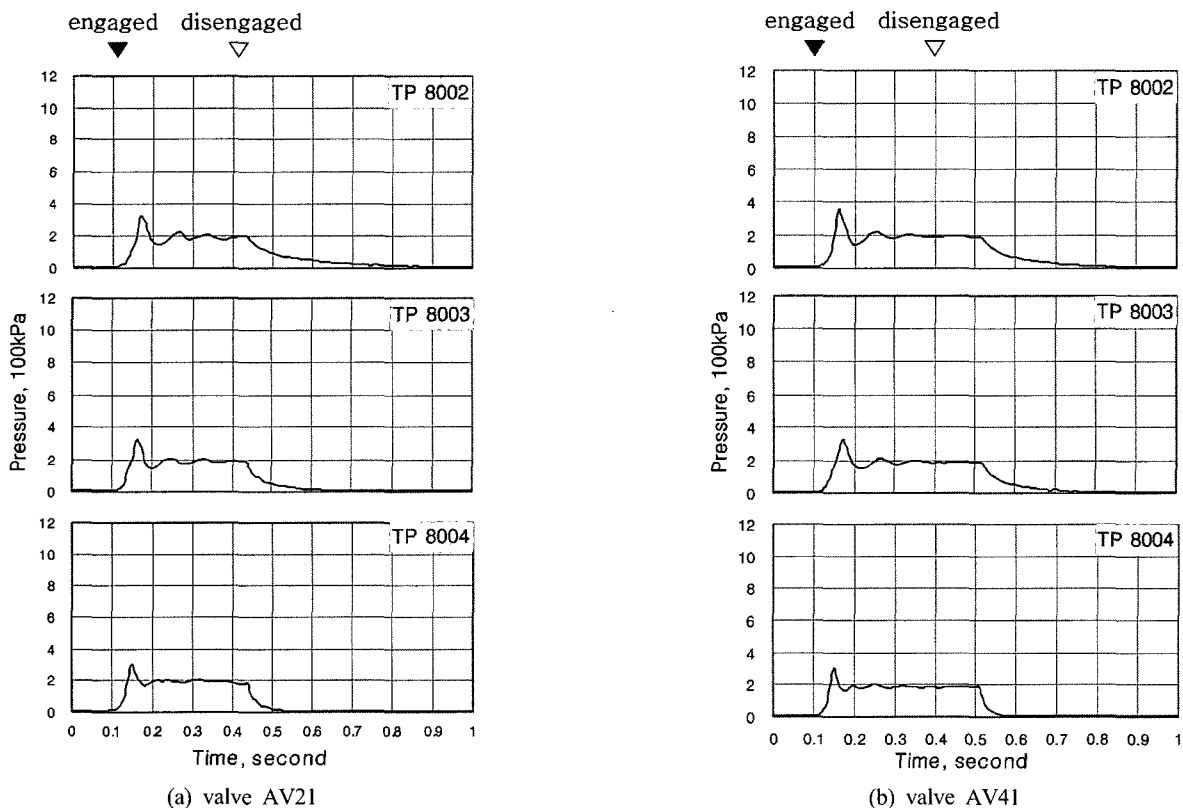


Fig. 2 System pressure variation of the solenoid valves of AV21 and AV41 combined with the nozzles of TP 8002, 8003 and 8004 pressurized at 200 kPa.

전술한 5% 감압 소요시간에 이어 50% 감압 소요시간도 조사한 결과 표와 같이 58-163 ms 범위의 값으로 밸브와 노즐별로 상당한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 조사한 50% 감압 소요시간에 대하여 밸브와 노즐별로 유의성을 분석한 결과, 노즐과 밸브 간에는 각각 0.1% 미만과 0.01% 미만의 유의수준에서 유의차가 인정되었다.

이러한 50% 감압 시점은 정상적 분무의 대체적인 마지막 시점으로 간주할 수 있고 50% 감압 소요시간은 전자 밸브 폐쇄 지연에 따른 분무의 실질적인 연장 시간으로 볼 수 있다. 이동형 국부 분무장치를 사용할 경우 정확한 위치의 분무를 위해서는 사용하는 전자 밸브 폐쇄의 지연특성을 파악하여 밸브 전원 차단시점을 결정하는 것이 매우 중요한 것으로 판단되었다.

**나. 작용 압력에 따른 작동 특성**

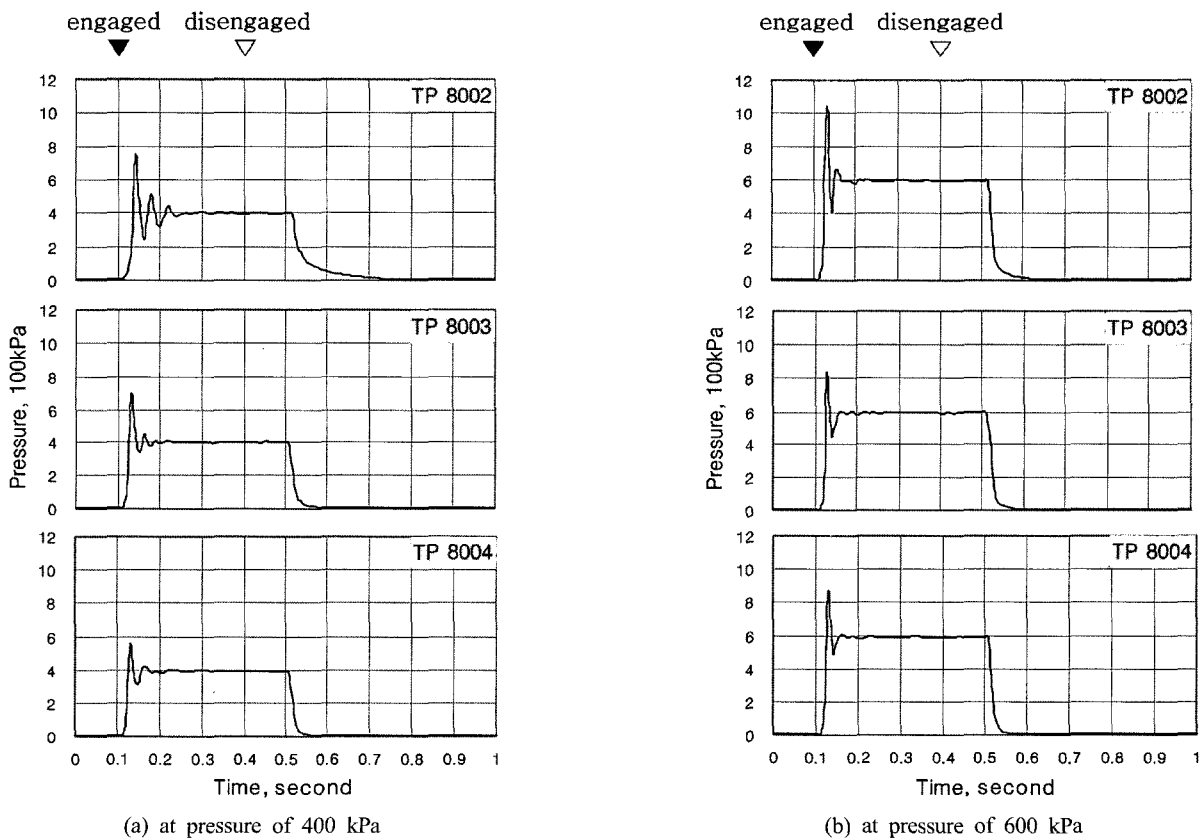
작용 압력별 전자밸브와 노즐 조합별 배압 변화를 나타낸 것으로서 그림 2의 (b)는 200 kPa 압력에 대한 나타낸 것이고, 그림 3의 (a)와 (b)은 각각 400 kPa과 600 kPa의 압력에 대한 것이다. 실험 시 밸브에 개방 목적으로 전원을 공급한

기간은 앞의 실험과 마찬가지로 0.3초로서 그림에서 밸브 작동 전원 공급 시작과 차단 시점은 각각 0.1과 0.4초이다. 전자밸브 배압의 변화는 작용 압력과 노즐의 종류에 따라 약간씩 차이가 있는데 그 작동 특성의 평균을 조사 항목별로 구한 결과는 표 2와 같다.

**1) 최대 오버슈트**

밸브 배압의 오버슈트 현상은 앞의 실험과 같이 모든 실험에서 공통적으로 나타난 현상으로서 이에 대하여 작용 압력과 노즐 조합별 유의차(5%의 유의 수준)를 확인한 결과 작용 압력 간 유의차는 없고 노즐 간 유의차는 0.9% 이하의 유의수준에서 인정되었다. 노즐 간 평균값으로 본 최대 오버슈트의 차이는 최대 37% 정도로서 이에 따른 분무 특성에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 판단되었다.

본 실험에 있어 최대 오버슈트의 전체 평균은 171%로서, 이는 전술한 바와 같이 순간적인 현상이므로 분무 전반에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 판단되었고, 다만 이를 고려하여 관련 장치를 설계할 경우 분무장치의 안전을 위하여 적어도 사용 압력의 약 1.7배 정도의 압력을 설계 압력으로 하여



**Fig. 3** System pressure variations of the solenoid valve AV41 combined with the nozzles of TP 8002, 8003 and 8004 pressurized at 400 and 600 kPa.

**Table 2** Performance of the combination sets of a solenoid valve AV41 with the nozzles at pressures of 400 and 600 kPa

Pressure (kPa)	Nozzle	Rise of system pressure* <sup>1</sup>		CV of system pressure (%) <sup>*2</sup>	Time to lower down system pressure (ms) <sup>*3</sup>	
		Max. Overshoot (%)	Rise Time (ms)		5%	50%
400	TP 8002	192	31	1.7	111	126
	TP 8003	184	24	1.0	113	121
	TP 8004	155	25	1.4	109	116
600	TP 8002	174	25	1.1	117	125
	TP 8003	160	25	0.7	104	111
	TP 8004	149	25	0.9	104	112
Mean		169	26	1.1	110	118

\*1 : Rise of the system pressure after the valve power turned on

\*2 : Coefficient of variation of the system pressure after the system stabilized

\*3 : Time requirement to lower the system pressure down to 5 and 50% after the valve power turned off

야 할 것으로 판단되었다.

### 2) 상승시간

배압이 작용 압력의 90%인 180, 360, 540 kPa까지 상승하는데 소요로 하는 시간의 유의성을 분산분석에 의해 조사한 결과 작용 압력과 노즐 간 유의차가 각각의 유의 수준 0.01% 이하와 1.2% 이하 수준에서 인정되었다. 200, 400, 600 kPa의 작용 압력에서 상승시간 범위를 보면 각각 평균 43, 27, 25 ms로서 작용 압력이 높을수록 짧았다. 따라서 이동형 국소 분무장치를 개발하는 경우 앞의 실험과 마찬가지로 적정 위치에 약제를 살포하기 위해서는 상승시간동안 차량의 이동 거리를 고려하여 사용하는 노즐에 따라 밸브 작동 전원의 공급 시작 시점을 약간씩 조정하여야 할 것임을 알 수 있었다.

### 3) 밸브 배압의 균일성

정상 분무 시 변이계수로 관찰한 밸브 배압의 균일 정도는 작용 압력과 노즐별 유의성 분석 결과 각각 0.09%와 0.8% 수준에서 유의차가 있는 것으로 나타났다. 그러나 각 실험 처리별 평균값은 0.7-1.9% 범위내의 값으로서 배압의 균일 정도는 작용 압력이나 노즐 종류에 영향은 있으나 그 크기 차는 별로 크지 않은 것으로 판단되어 정상 분무 시 실험한 작용 압력과 노즐에 있어 배압은 매우 일정하게 유지됨을 알 수 있었다.

### 4) 5%와 50% 감압 소요시간

본 실험 결과에 대해서도 밸브 전원 차단 후 5% 감압 소요 시간을 조사하고 그 결과를 작용 압력과 노즐별로 유의성을 분산분석에 의해 조사한 결과 노즐 간 유의성은 없는 것으로 나타났으나 작용 압력 간에는 0.06% 수준의 유의수준에서 유의차가 인정되었다. 5% 감압 소요시간을 작용 압력별로 그

평균을 보면, 작용 압력 200, 400, 600 kPa의 경우 각각 119, 111, 108 ms로서 작용 압력 증가에 따라 매우 약간씩 감소하는 추세이나 이러한 작용 압력 간 차이는 이동형 국소 분무장치의 경우 무시할 수 있는 수준으로 판단되었다.

밸브 전원 차단 후 50% 감압 소요시간에 대해서도 작용 압력과 노즐별로 유의성을 분석한 결과, 작용 압력과 밸브 간에는 각각 0.01% 미만과 5% 미만의 유의수준에서 유의차가 인정되었다. 이러한 50% 감압 소요시간의 평균값을 비교하면 표 1과 2와 같이 작용 압력 간 그리고 노즐 간 최대 차이는 각각 38 ms와 34 ms로서 전자 밸브 전원 차단 시점을 결정할 경우 위의 5% 감압 소요시간과 달리 이들은 장치의 주요 인자임을 알 수 있고 따라서 국소 분무장치를 설계할 경우 이를 주요 변수로 고려하여 전자 밸브 전원 차단시점을 결정하여야 할 것으로 판단되었다.

## 4. 요약 및 결론

농업용 이동형 국소 분무장치를 개발하기 위한 기초실험으로서 전자 밸브와 노즐을 선택하고 이를 이용하여 분무장치를 구성한 후 그 작동 특성을 실험적인 방법으로 파악한 다음 그 결과를 종합하여 이동형 국소 분무장치를 설계할 경우 전자 밸브와 노즐 조합의 사용 방법을 찾은 결과는 다음과 같다.

- (1) 밸브 전원 공급 시점의 결정 : 밸브 작동 전원 공급 직후부터 정상 분무 시점까지 소요 시간(작용 압력의 90% 상승시간)은 사용하는 노즐과 작용 압력에 따라 상당한 차이가 있으므로 밸브 작동 전원의 공급 시작 시점은 이러한 상승시간을 고려하여 결정하여야 한다.
- (2) 배압 오버슈트의 영향 : 전자 밸브 작동 전원 공급 직후에 나타나는 최대 오버슈트는 실험한 전자 밸브와 노즐

조합 그리고 작용 압력에 따라 약간씩 차이는 있으나 그 차이는 크지 않은 평균 170% 정도였으며, 이 현상이 각 밸브와 노즐 조합의 분무 특성에 미치는 영향은 미미할 것으로 사료되었다. 다만 관련 장치를 설계할 경우 분무 장치의 안전을 위하여 최소한 실제 사용 압력의 1.7 배 정도의 압력을 작용 압력으로 하여 설계하여야 한다.

- (3) 배압의 균일 정도 : 밸브 개방 후 밸브 배압 정착시점(설정 압력의 5% 이내 유지 시작점)부터 밸브 작동 전원 차단 직전까지 배압의 균일 정도는 사용하는 전자 밸브나 노즐 종류 그리고 작용 압력에 따른 큰 영향 없이 그 변이계수가 2.3% 이하 수준으로 매우 일정하게 유지되어 이 기간동안 분무 상태는 매우 안정적인 것으로 예상된다.
- (4) 밸브 전원 차단 시점의 결정 : 밸브 전원 차단 후 감압 소요시간은 사용하는 밸브와 노즐 그리고 작용 압력 간에는 상당한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 따라서 이동형 국부 분무장치를 구성할 경우 사용하는 분무장치의 감압 소요특성을 파악하여 밸브 전원 차단시점을 결정하여야 한다.

### 참고 문헌

1. Baio, F. H. R. and L. A. Balastreire. 2002. Evaluation of a site specific chemical application system based on the spatial variability of weeds. Proceedings of the World Congress of Computers in Agriculture and Natural Resources, pp. 225-231.
2. GopalaPillai, S., L. Tian and J. Zheng. 1999. Evaluation of a flow control system for site-specific herbicide applications. Trans. of the ASAE 42(4):863-870.
3. Han, S, L. L. Hendrickson, B. Ni and Q. Zhang. 2001. Modification and testing of a commercial sprayer with PWM solenoids for precision spraying. Applied Engineering in Agriculture, ASAE 17(5):591-594.
4. Kajima, Takashi and Yoshihisa Kawamura. 1995. Development of a high-speed solenoid valve: investigation of solenoid. IEEE Trans. on Industrial Electronics 42(1):1-8.
5. Spraying System Co. 2005. Data from internet web site: <http://www.spray.com>.
6. Tian, L. 2002. Hitting the mark. Resource, ASAE April:11-12.