

토양 유실량 및 유출수량 측정을 위한 회전분할집수기의 평가

장용선* · 박찬원 · 이계준¹ · 이정태¹ · 진용익¹ · 황선웅¹

농촌진흥청 국립농업과학원, ¹국립식량과학원

Design and Evaluation of a Flow Rotate Divider for Sampling Runoff Plots.

Yong-Seon Zhang,* Chan-Won Park, Gye-Jun Lee¹, Jeong-Tae Lee¹,
Yong-Ik Jin¹, and Seon-Woong Hwang¹

National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Republic of Korea

¹National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-707, Republic of Korea

For the standard method of collecting the run-off, it is consumed the high cost and much effort to install and to manage this instrument. Because the all the soil and water from reservoir tank must be eliminate after their measurement of amount of soil loss and run-off and installed the reservoir tank at regular size in the experimental field. Therefore, objective of this study was to compare its efficacy between the standard method and a flow rotate divider for continuously collecting and measuring the soil loss and run-off in order to conveniently conduct the field experiment of the lysimeters. For collecting the sampling of soil loss and run-off from agricultural land with invariable ratio, a flow rotate divider was consisted with a 8 blades of round plate sloped in order to collect the invariable ratio of soil and water at lowest part from round plate by the law of gravity. For comparing its accuracy in the batch scale experiment, it shown that there was significantly a positive linear corelation ($r=0.997^{***}$) between flowing and sampling amounts with adjusting the range from 1 to 10 L min⁻¹ with flowing rate. In collecting ratio in the field experiment, it observed that the more its accuracy had, the more soil loss and run-off.

Key words: Soil conservation, Run-off, Flow rotate divider

서 언

고랭지 밭처럼 경사가 심한 경작지는 강우나 융설에 의한 토양의 유실이 크다. 토양의 유실은 작토층의 침식을 초래하여 경작환경을 악화시킬 뿐 아니라 유실된 토양에 포함된 비료나 농약 성분 등에 의해 하천의 오염을 야기할 수 있다. 따라서 농경지에서 발생하는 유출수 및 토양 유실량의 측정은 토양과 수원을 보존하기 위하여 지역별이나 수계별 특성화의 필요성 때문에 주요한 연구대상이 되어왔다. 시험구나 수계의 유출수 및 토양 유실량 측정을 위하여 그 동안 전량 집수조, 분할 집수기, 시간대별 채취기 등이 일반적으로 사용되고 있다 (PAP/RAC, 1997; Toy et al., 2002).

전량 집수조는 규모가 작은 시험구에서의 침식측정을 위해 고안 될 수 있으며, 1 2일 안에 유출되는 물과 토양을 수용할 수 있도록 충분히 커야하며, 물과 토양등의 혼합 침전물 용량을 측정하고 실험실내 분

석을 위하여 토양 및 식물 유체 등의 고체 물질은 분리하여 그 양과 무게가 측정되어야 한다. 그러나 전량 측정조는 유출수와 토양 유실량이 집수조의 허용량을 넘는 경우 토양 유실 연구에 부적합하므로 시험 포장 은 집수조의 집수량을 고려하여 작게 설계되며, 이렇게 작은 시험구는 연구지역의 실질적인 농경지 조건을 대표하기 어렵다.

또 다른 대표적인 측정기구는 수위 감지기와 자료이력 기록계 (datalogger)를 갖춘 장치를 이용하여 인공수로로부터 연속적으로 유출량을 측정하고 기록하는 기술이다. 자동 양배수 채취기가 물흐름을 유도하는 인공유도수로부터 시료를 채취하여 유출수가 흐르는 양과 강도를 계산한다. 이런 장치는 시간에 따라 변화하는 농도에 대한 연구에 유용하지만 단순히 전량만을 대상으로 하는 측정에는 수위 감지기, 자료이력 기록계, 연속적인 자동 채취기 등의 상당한 장치가 수반되어 전력공급이 필요하여 많은 비용이 소요된다. 또한 이런 장치는 특정 시간에 시료를 채취하므로 시료의 대표성을 높이기 위하여 지나치게 자주 시료를 채취하게 되며 실험실내에서 많은 분석이 이루어져야

접 수 : 2008. 10. 20 수 리 : 2008. 11. 15

*연락처 : Phone: +82312900340,

E-mail: zhang@rda.go.kr

한다 (Hamlett et al., 1984).

분할 집수기는 전량 집수기나 인공수로를 통한 시료 채취의 대안으로 작은 시험구 및 수계에서 대규모 수계까지 넓은 범위내에서 적은 비용이 측정이 가능하다(PAP/RAC, 1997). 분할 집수기는 물과 토양 등의 혼합 침전물 중에서 일정한 비율만을 채취하는 것으로 Geib (1933)에 의해서 유출수를 배출하는 부분에서 1/6만 채취하도록 최초로 고안되어 널리 활용되고 있다. 그러나 이 집수방식은 항상 일정한 수평을 유지하여야 하므로 지하부와 견고하게 고정되어 기구의 이동과 운반이 어렵고, 유출물 중에 포함된 식물체 등이 유출수를 배출하는 부분에 막히는 경우 일정 비율로 시료를 채취할 수 없으며 시험규모에 따라 집수조의 용량을 조절하여야 한다.

본 연구에서는 작은 시험구에서 대규모 수계까지 넓은 범위내에서 전력공급이 필요 없이 이동과 운반이 용이하여 다양한 장소와 위치에 적용이 가능하며, 유속이 약하거나 소량의 물에 의해서도 기구 자체의 무게 중심의 이동에 의해서 채취기가 회전할 수 있도록 하는 방법으로 장치를 고안하여 전량 집수하는 방법과 정밀도를 비교하였다.

재료 및 방법

회전분할집수기의 제작 회전분할집수기는 농경지 단위의 시험포에서 실험시설의 설치 및 운영을 고려하여 집수기의 채취비율을 전체 유거수 중 약 1/64 (1.56%)을 채취하도록 하였다. Figure 1은 회전분할집수기를 농경지의 배수로 하부에 설치한 상태를 나타낸 것이다. 회전분할집수기는 농경지 등의 배수로 하부에 고정되는 지지장치 (A)와, 지지장치에 의해 회전하도록 복수의 날개 (Blade, F)와 취수구 (Eave

trough, I)를 갖춘 물받이(Gutter, E), 그리고 취수구를 통해 취수된 유출수를 집수탱크 (Reservoir tank, N)로 안내하는 취수안내관 (Pipe of reservoir water, L)로 구성하였다.

회전분할집수기의 크기는 가로 350 mm×세로 350 mm×높이 437 mm, 원뿔형 물받이 (E)의 각도 30°, 직경은 330 mm이며, 원뿔형 물받이 위에 위치하는 날개 (F)는 8개로 길이는 178 mm이다. 원뿔형 물받이 상부의 안내부재 (Trough frame, J)는 취수구 (I)를 통하여 물이나 토양이 유입되는 곳으로 각도 45°, 직경은 171 mm이다. 회전축부 (Rotary axis, K)는 원뿔형 물받이가 회전하도록 내경 35 mm의 베어링 회전축을 장착하였으며, 취수구는 안내부재의 꼭지점의 중간에서 바닥면까지 89 mm로 두께는 상부 6 mm, 하부 13 mm로 전체 회전체 (360°)의 5.6°에 해당하도록 하였으나 포장조건에 따라서는 취수구의 각도 (넓이)를 조절할 수 있다.

회전분할집수기의 정밀도 측정 회전분할집수기의 정밀도 측정은 실내에서 유출수 검정과 야외시험포장에서 유실토양과 유출수를 함께 측정하는 시험으로 나누어 실시하였다. 실내실험은 유량조절기 (1~300 psig)를 이용하여 유량을 분당 1~10 L의 비율로 조절된 조건에서 채취비율이 1/64인 회전분할 집수기로 30분간 3회 채취하여 물량을 비교하였으며, 회전분할 집수기의 정밀도는 다음 식(1)에 의하여 측정오차 (%)로 표현하였다.

$$\text{측정오차(\%)} = \frac{(\text{회전분할집수기 채취량} \div \text{채취비율})}{\text{유입량}} \times 100 \quad \text{식(1)}$$

야외 시험포장시험은 2007년 8월부터 10월까지 해발

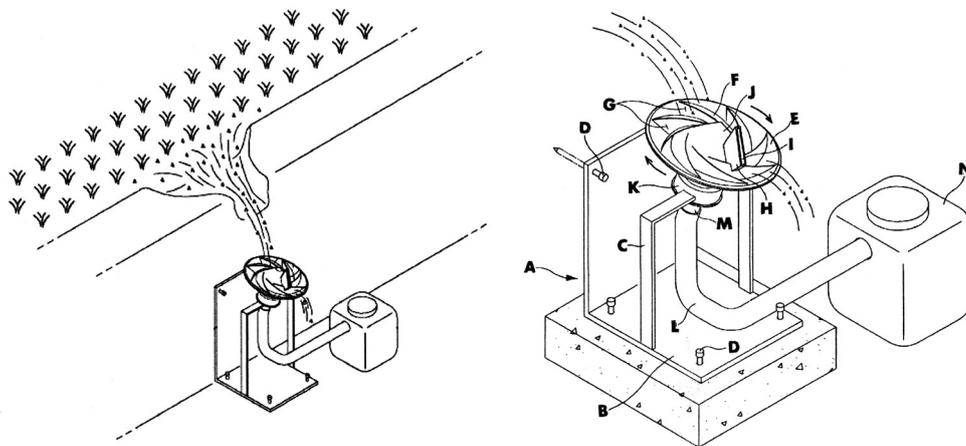


Fig. 1. Example installed in the field with a flow rotate divider with run-off(left) and a detailed sectioned drawing(right).

* An abbreviation : (A) Holder frame, (B) Base frame, (C) Vertical holder, (D) Screw, (E) Gutter, (F) Blade, (G) Pocket of reservoir water, (H) Holder of eave trough, (I) Eave trough, (J) Trough frame, (K) Rotary axis, (L) Pipe of reservoir water, (M) Funnel, (N) Reservoir tank.

Table 1. Physical and chemical properties of soil before experiment.

soil series	Particle size distribution(wt,%)			Soil texture (USDA)	pH (H ₂ O, 1:1)	O.M. g kg ⁻¹	Av. P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹	Ex. cations		
	Sand	Silt	Clay					K	Ca	Mg
Ungyo	8.4	62.2	29.4	SiCL	6.6	48	228	0.30	5.70	1.62

800m의 고령지농업연구소 (강원도 평창군 도암면 횡계리, 128° 44' E 37° 41' N)의 경사 13%인 미사질양토의 Lysimeter (20×2.5 m)에서 수행하였다. 시험구에 목초 (*Festuca arundinacea*), 배추 (*Brassica campestris* L.), 감자 (*Solanum tuberosum* L.)를 식재하고 회전분할집수기의 채취비율이 각각 1/46, 1/49, 1/52인 시제품을 설치하였으며, 강우기간 중 유실되는 토양과 유거수량을 기존의 집수조 측정방식과 비교하였다.

시험 전 토양의 이화학적 특성은 Table 1과 같이 토성은 미사질식양토로 배수등급은 양호한 토양으로 일반 밭토양과 비교하여 유기물 함량은 높았다.

연구결과

회전분할집수기의 작동 회전분할집수기 채취장치는 Fig. 1과 같이 물받이 상부로 유출수가 낙하하면, 날개에 의해 형성된 저수포켓 (G)으로 유출수가 유입되어 물받이 양측에 무게편차가 생기게 되므로 물받이가 회전한다. 즉 물받이의 한쪽 저수포켓들은 개구가 상부를 향하고, 그 반대편 저수포켓들은 개구가 하부를 향하므로 물받이가 원활히 회전한다.

특히 낙하하는 유출수는 물받이 중심부에 설치된 안내부재 (J)에 의해 각 날개의 저수포켓으로 유도되므로 유출수가 소량 낙하하는 경우에도 물받이가 원활히 회전한다. 저수포켓으로 유입된 유출수는 물받이의 회전에 의해 하측으로 흘러내린다. 또 저수포켓 내부에 쌓이는 토양은 안내부재의 안내에 의해 반경 방향으로 유동하는 유출수가 저수포켓 내에서 와류를 발생시키므로 원활히 씻겨 내린다.

물받이가 회전하면 취수구도 회전을 하고, 낙하하는 유출수의 일부가 취수구로 유입되면서 유출수의 채취가 이루어진다. 이때는 취수구의 크기가 작기 때문에 낙하하는 유출수 중 일부만이 취수구를 통하여 채취된다. 또 취수구가 회전을 하기 때문에 낙하하는 물줄기와 취수구의 방향이 대략 일치하는 동안 취수가 이루어지고, 낙하하는 물줄기와 취수구의 방향이 어긋나면 취수가 거의 이루어지지 않는다. 이러한 동작은 물받이가 1회전할 때마다 반복되므로 낙하하는 전체 유출수 중 소량의 유출수만이 일정한 비율로 채취된다. 낙하하는 유출수가 많을 경우에는 물받이의 회전

이 빨라지면서 유출수의 채취 횟수도 그만큼 늘고, 낙하하는 유출수가 적을 경우에는 물받이의 회전이 느려지면서 유출수의 채취 횟수도 그만큼 줄게 된다.

따라서 회전분할집수기는 낙하하는 유출수의 양과 무관하게 항상 일정한 비율로 유출수를 채취할 수 있으며 채취된 유출수는 취수안내관 (L)을 따라 흘러 집수탱크 (N)에 모인다.

회전분할집수기의 정밀도 검증 실내에서 유량조절기 (1~300 psig)로 유량을 1 10 L min⁻¹의 비율로 조절하여 30분간 유출된 수량과 회전분할집수기로 채취한 수량을 비교한 결과는 Fig. 2와 같다. 회전분할집수기의 평균 채취비율은 1/68.6으로 제작된 시제품의 1/64보다 높았으며 평균오차는 7.23%이었다. 측정오차 (error)가 양 (+)의 값을 보이는데, 이는 전체 물량 중 일정비율 (1/64)만 채취하도록 제작된 회전분할 집수기에서 채취한 물량이 1/64이상으로 예상하였던 채취량보다 적게 집수되어 농경지에 적용시 실제량보다 과다하게 토양이 유실되거나 물이 유출된 것으로 산정할 수 있음을 의미한다.

이러한 측정오차는 물유입량에 따라 2단계로 구분할 수 있는데, 유속이 4 L min⁻¹이상으로 유속을 증가시키면 채취비율은 1/64.9, 측정오차는 1.47로 측정오차 ±3% 이내이었다. 유속 1.0 min⁻¹에서 채취비율은 1/91.0, 오차는 42.7%로 예상했던 비율보다 작게 채취되었는데, Pinson 등 (2004)에 의하면 똑똑 떨어지는 물방울 수준으로 유속이 약한 조건에서는 시험포장 하부에 물의 흐름을 막아 그 위를 넘어 흘러가게 하는 구조물 (Weir)을 설치하여 채취기로 유도하는데 구조물 하부의 표면장력 현상이 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

한편, 유속이 4 L min⁻¹ 이상으로 증가함에 따라 전반적인 측정오차는 매우 낮게 나타나 유속이 증가함에 따라 회전분할집수기의 오차는 3% 이내로 매우 낮았으며, 물유출과 채취율 간에도 Fig. 2와 같이 고도의 직선적인 정의상관 ($r=0.997^{***}$)을 보였다. 따라서 강우에 의해 물유출이 시작되는 초기 조건을 제외하고 유속이 4 L min⁻¹ 이상으로 회전속도가 증가하는 조건에서는 회전분할집수기의 정밀도는 증가할 것으로 사려된다.

야외 시험포장에서 활용도 측정하기 위하여 채취비

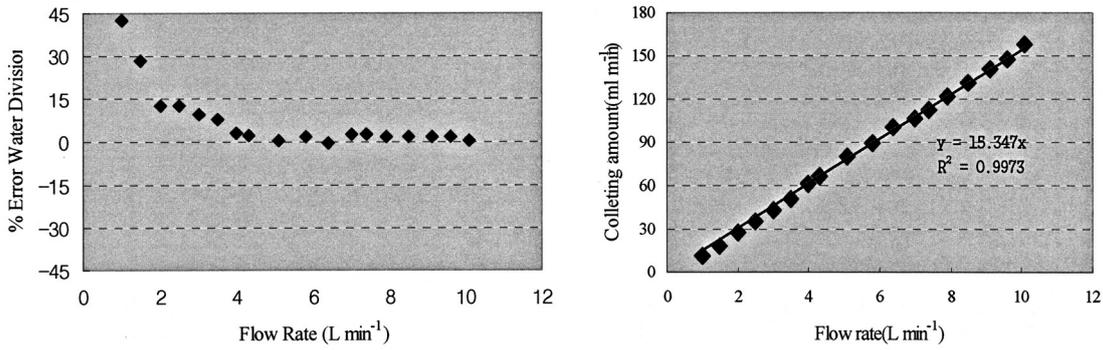


Fig. 2. Accuracy of a flow rotator divider with 1/64 of sampling ratio at 1 to 10 L min⁻¹ flex with run-off in laboratory experiment.

Table 2. Measurement of run-off by using a flow rotator divider in the lysimeter.

Treatments	Sampling ratio of the flow rotator divider (%)	Raining date (precipitation amount)	Collecting amount of run-off (Mt ha ⁻¹)	
			Standard method (Reservoir tank)	Flow rotator divider with run-off (Sampling ratio,%)
Grassland	2.2	'07.08.26~30 (69.5 mm)	30	0.5 (1.7%)
		'07.09.01~04 (126 mm)	173	3.79 (2.1%)
Cabbage field	1.9	'07.08.26~30 (69.5 mm)	114	2.0 (1.8%)
		'07.09.01~04 (126 mm)	235	4.5 (1.9%)
Potato field	2.0	'07.08.26~30 (69.5 mm)	320	6.5 (2.0%)
		'07.09.01~04 (126 mm)	2,617	54.0 (2.1%)

율이 각각 1/46 (2.2%), 1/49 (2.0%), 1/52 (1.9%)인 회전분할집수기 시제품을 목초, 배추, 감자 처리구에 설치하여 강우기간 중 유실된 토양과 유출수량을 기존의 집수조 방식을 전량 (100%)으로 하여 일부분만 채취된 비율을 비교한 결과는 Table 2와 같다.

시험기간 중 물유출량은 목초 재배구 203 Mt ha⁻¹, 배추구에서 349 Mt ha⁻¹에 비하여 감자구에서 2,937 Mt ha⁻¹로 유출수량이 많은 것은 봄감자 재배에 따라 토양 피복율이 다른 처리구에 비하여 현저히 낮기 때문이었다.

회전분할집수기의 정밀도는 강우량이 적은 2007년 8월 26일 30일 (69.5 mm) 중에 오차 (± %)는 유출수량을 기준으로 목초재배구에서 24.0%, 배추에서 7.6%, 감자에서 1.6 %로 처리별로는 유출수량이 적은 목초재배구에서 크게 나타났다. 강우량이 많은 시기인 2007년 9월 1일 4일 (126 mm)중에는 목초 재배구에서 0.4%, 배추에서 0.7%, 감자에서 0.1%로 시험포장에서의 회전분할집수기의 물채취량은 실험실에서 측정된 정밀도와 유사한 경향을 보였다.

Fig. 3과 같이 작물재배구별로 전량을 집수하는 표준방법과 비교하면, 감자처리구를 제외하고 목초와 배추재배구에서는 실제량보다 적게 집수되었으며, 실험실내에서 분석된 결과와는 상반된 경향을 보였으나 전반적인 오차는 2.1%로 실험실내의 평균오차는

7.23%보다 적게 나타났다. 이와같이 회전분할집수기의 오차(%)비교에서 포장실험 결과가 실내검정에서보다 높은 것은 포장에서는 물유출량이 적더라도 파상적으로 집중되어 유속이 증가하고 강우시 일반적으로 동반되는 바람이 회전분할집수기의 회전을 가속화시켜 오차를 감소시킨 것으로 사려된다.

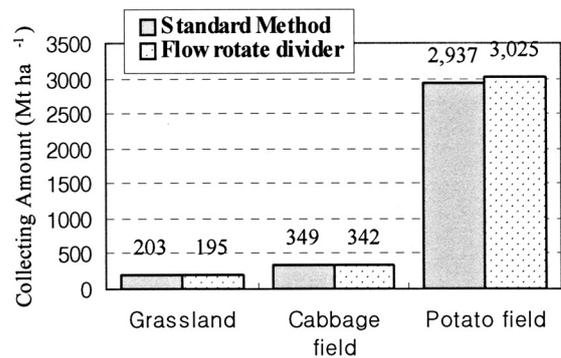


Fig. 3. Comparable accuracy of between reservoir tank as a standard method and a flow rotator divider with 1/64 in the lysimeter.

한편, 유출수 중 일부만 채취하는 장치는 Geib (1933)에 의해 처음 소개되었다. 4면체에 한 면에 원주형태로 6개의 배출구를 내고, 이중 1개의 배출구만

채취하여 전체적인 유입량은 원래의 1/6에 해당하도록 설계한 유출수 측정장치(Flow divider)이었다. Flow divider에서의 유출수의 측정오차는 0~16%이었으며, 이후 시험포장의 규모에 따라 부분 수정되어 사용되고 있다 (Willis et al., 1969; Reyes et al., 1994).

이상으로 실내 물유출시험에서 유속이 4 L min⁻¹ 이상으로 증가함에 따라 회전분할집수기의 오차는 3% 이내로 매우 낮고 물유출과 채취율 간에 고도의 직선적인 정의상관 ($r=0.997^{***}$)을 보이고, 강우량이 많은 시기인 2007년 9월 1일~4일 (126 mm)중에 배추, 감자 처리구의 회전분할집수기를 통하여 채취한 유출수량이 실험실에서의 측정 결과와 유사한 정밀도를 보였다. 이런 점을 고려할 때, 회전분할집수기는 기존에 전량을 집수하는 방법을 대체할 수 있으며, 소하천에서 유수량 측정 등 소하천 모니터링 및 수질관리에도 응용이 가능한 것으로 판단되었다. 또한 기존의 전량 집수법에 비하여 대상지 선정과 설치가 용이하고, 시료 채취 작업이 단순하고 관리가 용이할 것이다.

적 요

기존의 전량집수법은 유실된 토양과 물을 전부 채취하기 위하여 시험대상지 하부에 낙차를 두어 일정 규모의 집수조를 설치하여야 하고, 유실 토양과 유출수를 측정할 후에는 집수조 내부의 토양과 물을 전부 제거해야 하므로 집수조의 설치 및 관리에 많은 노력과 비용이 소요된다. 이러한 집수구 설치 및 관리상의 문제점을 개선하기 위하여 토양보전시험연구를 위하여 장소선정이 용이하고, 시험포장에서 배출되는 토양유실 및 유출수의 측정과 시료채취 작업이 간편한 회전분할집수기를 제작하여 기존의 표준방법과 비교하였다.

농경지에서 유실되는 토양과 물을 일정 비율로 채취하기 위하여 집수기의 원형판을 8부분으로 분할하여 각 날개에 일정량의 물이나 토양이 채워지면 무게 중심이 아래로 이동하는 방법으로 소량의 물이나 토양에 의해 자체 회전하면서 시료 중 일부만 채취하도록 하였고, 집수기 자체의 각도를 기울여 각각의 날개에 채워진 유출수와 유실토양은 원형판이 가장 낮은 곳에서 회전할 때 비워지도록 하였다.

회전분할집수기의 정밀도를 비교하기 위하여 실내

실험으로 유수량을 1~10 L min⁻¹로 조절하여 유출수량과 회전분할집수기의 채취량을 비교한 결과 고도의 직선적인 정의상관 ($r=0.997^{***}$)을 보였으며, 야외 시험포장에서 회전분할집수기 시제품을 설치하여 측정된 결과 집수비율은 토양 유실량 및 물 유출량이 많을수록 정밀도가 높았다.

인용문헌

- Brackensiek, D. L., H. B. Osborn, and W. J. Rawls. 1979. Field manual for research in agricultural hydrology. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 224. Washington, D.C.
- Franklin, D. H., M. L. Cabrera, J. L. Steiner, D. M. Endale, and W. P. Miller. 2001. Evaluation of percent flow captured by a small in-field runoff collector. *Trans. ASAE* 44:551-554.
- Geib, H. V. 1933. A new type of installation for measuring soil and water losses from control plats. *American Society of Agronomy* 25:429-440.
- Grant, D. M. 1981. ISCO Open Channel Flow Measurement Handbook, Second Edition. Lincoln, Nebr. ISCO, INC.
- Hamlett, J. M., J. L. Baker, S. C. Kimes, and H. P. Johnson. 1984. Runoff and sediment transport within and from small agricultural watersheds. *Trans. ASAE* 27:1355-1363.
- PAP/RAC. 1997. Guidelines for mapping and measurement of rainfall-induced erosion processes in the Mediterranean Coastal Areas. PAP-8/PP/GL.1. Split, Priority Actions Programme Regional Activity Centre (MAP/UNEP), with the cooperation of FAO, Rome.
- Parsons, D.A. 1954. Coshoton-type runoff samplers, laboratory investigations. SCS-TP-124. Washington, D.C. 16 pp.
- Pinson, W. T., D. C. Yoder, J. R. Buchanan, . C. Wright, J. B. Wilkerson. 2004. Design and evaluation of an improved flow divider for sampling runoff plots. *Applied Eng. in Agri.* 20:433-437.
- Reyes, M. R., G. A. Gayle, and C. W. Raczkowski. 1994. Testing of a multislot divisor fabricated from plastic. ASAE Paper No. 942054. St. Joseph, Mich.: ASAE.
- Sheridan, J. M., R. R. Lowrance, and H.H. Henry. 1996. Surface flow sampler for riparian studies. *Appl. Eng. Agric.* 12:183-188.
- Toy, T.J., G. R. Foster, and K. G. Renard. 2002. Soil erosion: Processes, prediction, measurement, and control. John Wiley & sons, New York.
- Willis, G. H., J. M. Lafren, and C. E. Carter. 1969. A system for measuring and sampling runoff containing sediment and agricultural chemicals from nearly level lands. *Transactions of the ASAE* 12:584-587.