

美國 農工學會 設計基準(IV)

—灌溉方法—

權 純 國*

1. 灌溉用 알미늄管

본기준은 灌溉用 알미늄管의 設計, 제작, 시험에 대한 최소한의 요구사항을 기술한 것으로서 管利用 者에게 적절한 耐用期間을 보증하고 一定한 品質을 가지도록 하는데 그 目的이 있다. 본 기준에서 알미늄管이라 함은 水溫 36°C 이하의 灌溉水를 수송하 는데 쓰이는 관이고 가스, 공기, 기타 유체의 이송 에 사용되는 管은 제외된다. 또한 본 기준에서 취급 하는 알미늄管은 移動式管이며 물의 壓力이 1034KPa (150psi)를 초과하지 않는 경우에 대한 것이므로 매 설관의 기준으로 적용할 수는 없다.

最大運轉壓力 1034KPa를 기준으로 할 때 모든 알 미늄管은 3103KPa(450psi)의 靜水壓에서 2分間 漏水없이 견딜 수 있어야 한다.

管壁의 두께는 管의 降伏強度와 깊은 關係가 있 으며 표 1에서 제시하는 알미늄의 許容強度를 알면 식 1과 표 2로부터 管壁의 두께를 결정할 수 있다. 즉 식 1로부터 계산된, 管의 찌그러짐을 나타내는 DENTING係數가 표 2의 값을 초과하도록 管壁의 두께를 정한다.

$$DENTING계수 = Y_s(t)^2 \dots\dots\dots(1)$$

여기서

Y_s = 材料의 降伏強度(표 1, psi)

t = 管壁의 두께(in)

알미늄管은 壓力이 주어지지 않는 상태에서 물로 채우고 單純보로서 30ft(9.1m)에 걸쳐놓았을 때 永 久的인 휨 또는 국지적인 뒤틀림이 생기지 않아야 한다. 또한 알미늄管의 휨應力은 다음의 두가지 방 법으로 구해진 값 중 작은 것을 초과해서는 안된다

$$f = \text{주어진 降伏強度의 90\%} \\ f = 1.57Y_s - [1.7(Y_s)^2 / 10,000,000] \left(\frac{D}{t} \right) \dots\dots(2)$$

여기서

f = 알미늄管의 휨應力

Y_s = 주어진 降伏強度(표 1)

D = 管外徑(in)

알미늄管의 토크저항은 식 3에 의한다.

$$\text{토크저항} = 11,500,000 K \sqrt{D} (t)^{5/2} \dots\dots\dots(3)$$

여기서

K = 剛性係數

또한 알미늄管의 이론적인 破裂壓은 식 4에서 구한 壓力을 고려하여 정한다.

$$P = 2S(t/D) \dots\dots\dots(4)$$

P = 破裂壓(psi)

S = 표 1에서 주어진 管 許容應力

2. Trickle 灌溉시스템의 設計 및 施工

Trickle灌溉는 用水 공급관에 연하여 부착되어 있는 Emitter라고 불리는 물 點滴장치를 통하여 지표면 아래로 직접 小量의 灌溉水를 자주 공급하 는 관계방식이다. 물을 주는 방법과 물을 주는 장소 (위치)에 따라 Trickle, Drip, 地下, Bubbler, Spray 灌溉 등으로 細分할 수 있으나 이들을 總稱하여 Trickle灌溉라 한다.

本 基準의 目的은 Trickle灌溉에 필요한 最少限 의 권장 사항을 명시하고 제시하므로써 건전한 Trickle灌溉시스템을 設計, 運營하도록 하는 데 있 다. Trickle灌溉의 構成成分 중 重要한 事項은 관 개 均等程度, 濾過장치, 물處理, 肥料 및 化學藥品 살포에 關한 것이다.

가. 시스템 容量

Trickle灌溉시스템은 定해진 灌溉期間동안 각종 물 損失量을 포함하는 設計用水量을 관계할 수 있 는 容量을 가지도록 하되 灌溉地區內의 재배작물 最 大用水量을 고려하여 정한다. 즉 Trickle灌溉시스 템의 最少設計容量은 하루의 운전시간을 22시간 이 하로 기준할 때 이용가능시간의 90% 기간중 日 最

표-1. Allowable Working Stresses for Aluminum Alloys

Aluminum Alloys and Tempers ASTM No.	Minimum Yield(Y _s)		Maximum Allowable Working Stress (S Value)			
			Welded tubing† tensile		Seamless tubing tensile	
	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa
3003-H14	17,000**	117	14,000	97	20,000**	138
3003-H16	21,000**	145	14,000	97	24,000**	165
3003-H18	24,000**	165	14,000	97	27,000**	186
3004-H32	21,000**	145	23,000	159	28,000*	193
3004-H34	25,000*	172	23,000	159	32,000**	221
5050-H34	20,000**	138	18,000	124	25,000**	172
5050-H36	22,000**	152	18,000	124	27,000**	186
5050-H38	24,000**	165	18,000	124	29,000**	200
5052-H32	23,000**	159	25,000	172	31,000**	214
5052-H34	26,000**	179	25,000	172	34,000**	234
5052-H36	29,000**	200	25,000	172	37,000*	255
5052-H38	31,000**	214	25,000	172	39,000**	269
5086-H32	28,000**	193	35,000	241	40,000**	276
5036-H34	34,000**	234	35,000	241	44,000**	303
5086-H36	38,000**	262	35,000	241	47,000**	324
5154-H32	26,000*	179	30,000	207	36,000*	248
5154-H34	29,000**	200	30,000	207	39,000**	269
5154-H36	32,000*	221	30,000	207	42,000*	290
5154-H38	34,000**	234	30,000	207	45,000**	310
6061-T6	35,000**	241	24,000+(a)	165	38,000+(c)	262
6063-T6	25,000+(b)	172	17,000+(a)	117	30,000+(d)	207
6063-T31	28,000**	193	—	—	30,000	207

- *ASTM B313, Spec. for Aluminum-Alloy Round Welded Tubes
- **ASTM B210, Spec. for Aluminum-Alloy Drawn Seamless Tubes
- +ASTM B241, Spec. for Aluminum-Alloy Seamless Pipe and Seamless Extruded Tube
- †ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX, Par. QN-6(c)
- (a) ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Div. 1, Table UNF 23.1
- (b) ASTM B210 allows 28,000 psi (193 MPa) for drawn tubing
- (c) ASTM B210 allows 42,000 psi (290 MPa) for drawn tubing
- (d) ASTM B210 allows 33,000 psi (228 MPa) for drawn tubing

표-2. 灌溉用 알미늄관의 Denting 계수

외 in	徑 mm	Denting係數
2	51	62
3	76	62
4	102	62
5	127	67
6	152	84
7	178	105
8	203	133
9	229	168
10	254	206

大灌溉水量을 보내기에 充分한 것이면 된다. 그러나 기후조건에 따라 이러한 容量은 조정되어야 한다. 乾燥한 地方에서는 尖頭用水量이 容量결정에 가장 重要한 要因이나 濕潤地方에서는 시스템의 容量

은 最大用水量보다 더 작은 容量으로 設計되어야 한다. 容量決定에 고려해야 할 다른 조건들은 最大用水量의 變化幅이 큰 作物을 재배하는 곳, 灌溉效率을 증가시키기 위해서 Emitter의 수를 증가시키는 곳, 시스템의 洗滌水量이 用水量보다 더 큰 곳 등이며 이러한 경우에는 앞에서 고려하였던 設計容量보다 더 큰 容量을 가지도록 設計되어야 한다.

나. 灌溉必要水量(用水量)

1회 灌溉時의 必要水量은 作物의 蒸發散量, 灌溉의 간격, 灌溉 均等度에 지배된다. 이 이외에도 根群域에 염분이 집적되는 土壤에서는 鹽分溶解에 필요한 물의 量도 灌溉 必要水量에 포함시킨다.

다. Emitter 流量

Emitter流量은 土壤의 侵入率을 고려하여 정하며

流去가 생기지 않도록 한다. 土壤侵入率이 여러 가지인 포장에서는 보통, 가장 낮은 侵入率을 기준으로 Emitter流量을 결정한다. 流去가 생기는 곳에서는 직경 200mm 以下の 조그만 웅덩이(水盤)를 만들고 이곳에 물을 저장하여 流去가 생기는 것을 방지할 수 있다.

라. Emitter의 數와 간격

Emitter의 수와 간격을 결정하는데 가장 重要한 要因은 Emitter流量, 시스템容量, 土壤保水能, 灌溉作物的 根群域깊이, 灌溉均等度 등이다. 이와 같은 情報는 農事試驗場으로부터 얻을 수 있거나 과거의 經驗을 기초로 정해진다. 그러나 새로운 地區에서는 圃場試驗을 통하여 이러한 知識을 얻는 것이 必要하다.

Emitter의 수와 간격을 결정하는 指標로서 灌溉均等度を 이용할 수 있는데 이러한 경우 기후조건에 따라 채택되는 灌溉均等도가 달라진다. 즉 乾燥地方에서는 最少根作物 根群域의 33%는 적시도록 해야 하고 安全多收穫을 위해서는 근근역의 75%까지 적시는 것이 바람직하다. 그러나 濕潤地方에서는 근근역의 25~50%만 적시도록 계획한다.

마. 灌溉均等度

Trickle灌溉의 灌溉均等도에 영향을 미치는 要因은 시스템의 運轉壓力, Emitter간격, 土地傾斜, 管路의 規格(크기), Emitter流量, Emitter流量의 變異程度 등이다. Emitter流量의 變異가 생기는 原因은 시스템의 壓力 및 溫度變化, Emitter 제작자의 不均一, 노후 등 때문이다. Emitter의 製作 不均一程度를 나타내는 指標로서 Emitter變異係數가 사용되는데 一般의 分類法은 표 3에서 보는 바와 같다. 또, Emitter의 製造 變異係數와 Emitter 壓力變化를 이용하여 設計 Emission均等度を 推定하기 위한 공식은 식 5이다.

$$EU = 100 \left(1.0 - \frac{1.27}{n} C_v \right) \frac{q_m}{q_a} \dots\dots\dots (5)$$

여기서

$$EU = \text{設計 Emission均等度}(\%)$$

n = 作物種類와 Emitter의 모양에 따라 變化되는 1포기 植物當 또는 어떤 支線 단위길이 당 Emitter수

C_v = Emitter製造 變異係數

q_m = 시스템의 最少壓力時 最少 Emitter流量 (l/hr)

q_a = 1-均 設計 Emitter流量 (l/hr)

표-3. Emitter製造 變異係數

Emitter의 種類	C_v 範圍	分 類
Point Source	<0.05	良好
	0.05~0.10	보통
	0.10~0.15	최저한계
	>0.15	부적당
Line Source	0.10~0.20	보통
	>0.20	부적당

표 4는 乾燥地方에서의 Emitter모양과 地形조건에 따른 設計 Emission均等度の 채택범위를 나타내 주고 있으며 濕潤地方에서는 표 4에서 提示된 값보다 10%까지 낮출 수 있다.

Trickle灌溉에서 灌溉均等度を 증가시키기 위해서는 식 5에서 나타난 바와 같이 植物 한포기 당 Emitter數를 증가시키거나, Emitter 간격을 감소시키면 된다. Trickle灌溉시스템의 許容壓力 變異는 Emitter의 特性에 따라 달라지나 損失壓力을 줄이고 따라서 주어진 容量의 조건하에서 管의 크기를 最少化하기 위해서는 원하는 設計Emission均等度範圍內에서 灌溉均等도를 얻을 수 있도록 함과 同時에 Emitter壓力變異가 크지 않도록 設計해야 한다. 一般的으로 支線은 直徑 10~20mm, 길이 300m 以下이며 支線의 路線은 포장의 모양, 傾斜度에 따라 달라지나 급경사지에서는 대개 登高선방향으로 支線을배치시킨다.

Trickle시스템의 主管(幹線)에서 과도한 壓力變異는 支線의 壓力을 크게 變化시키고 따라서 Emitter에서의 과도한 壓力變異를 일으킨다. 때로는 이러한 壓力變異가 主管의 크기를 조정하므로써 없앨

표-4. 設計Emission均等度(EU)의 권장範圍

Emitter 형태	地 形	건조지방에 대한 EU範圍
永年生作物, Point Source*	均 一 [†]	90~95%
	경사지 [‡]	85~90
永年生作物 또는 半永年生作物에 대한 Point Source ⁺	均 一	85~90
	傾斜地	80~90
一年生作物에 대한 Line Source	均 一	80~90
	傾斜地	70~85

*Emitter간격 >4m

†Emitter 간격 <2m

‡경사 <2%

§경사 >2%

습윤지방에 대해서는 이 값에서 10%까지 낮출 수 있다.

수도 있으나 그렇지 않은 경우에는 여러가지 종류의 조절밸브를 사용하여 支線에서의 壓力를 적절히 조절할 수 있다. 이러한 경우에 式 5에서 얻은 EU 값은 수정되어야 한다.

$$EU' = (1 - 1.27 \cdot C_v') EU \dots\dots\dots (6)$$

여기서

EU' = 壓力조정을 채택할 경우의 設計Emission 均等度(%)

C_v' = Emission製造 變異係數(壓力조정 後 平均 Emitter流量의 標準편차를 平均Emitter 流量의 값으로 나눈 것)

EU = 設計Emission 均等度(%)

幹線의 管크기는 가격, 動力費用을 고려하고 Surge 防止를 위한 流速, 적절한 設計Emission 均等도를 얻을 수 있는 範圍內的 壓力變異 등을 고려하여 정한다.

바. 濾過시스템

Trickle灌溉시스템에서 濾過시스템은 Emitter가 灌溉水中에 포함된 流砂 또는 기타 異物質로 막히는 것을 防止하기 위하여 이러한 것을 제거하는 역할을 하므로 반드시 필요한 要素중의 하나이다. 대부분의 경우 여과장치는 이러한 목적달성을 위하여 1차, 2차 필터가 사용되는데 1차 필터는 물속의 여러가지 크기의 입자를 동시에 제거하도록 펌프와 化學藥品 注入點 以後에 위치시키고 2차 필터는 1차 필터를 통과한 입자를 제거하기 위한 것으로서 1차 필터의 아랫쪽에 설치된다. 또한 Trickle시스템의 Control Station은 각종 밸브, 壓力調節장치 등을 포함하는, 흐름을 조절하는 곳인데 1차, 2차 필터 이후에 位置된다.

필터의 Opening은 必要없는 粒子가 支線으로 가지 않도록 작아야 한다. 그러나 흐름의 Opening이 불필요하게 작으면 필터가 막히거나 과도한 水頭損失이 생기게 된다. 濾過시스템의 Opening 크기는 Emitter製造者의 추천에 따르면 되나 이러한 것이 없을 때에는 Emitter Opening의 직경, 濾過되어야 할 粒子의 모양과 크기를 고려하여 정한다.

필터의 容量은 시스템의 洗滌流量을 고려하여 充分히 커야하며 필터의 許容最大水頭損失은 필터층 소 직전에 70KPa 이하이면 된다.

Trickle灌溉시스템의 필터는 Screen, Media, 遠心 필터 등의 壓力필터와 沈砂池를 이용하는 重力필터로 구분되나 대부분의 경우 壓力필터가 사용된다. 스크린 필터는 특정한 流速에 금속, 플라스틱, 인

조천 등을 끼어넣어 만든 Screen으로 이루어진 것인데 물속의 앨지(藻類)가 스크린을 폐쇄하여 濾過容量을 감소시키는 단점이 있다. 대부분 필터스크린의 크기는 150~75micron(100~200mesh)의 範圍內이나 600micron(30mesh)까지는 사용된다. Media필터는 여러가지의 미세한 자갈과 모래를 탱크에 넣은 것으로서 앨지로 인하여 잘 막히지 않으며 비교적 많은 양의 浮遊固型物을 제거할 수 있는 장점이 있다. 현재 널리 사용되고 있는 Media필터는 대개 25~100micron의 입자를 걸르는 것이며 필터流量은 濾過 單位表面積當(m^2) 14l/sec를 초과하지 않도록 하고 Media두께는 최소 500mm 이상 되어야 한다. Media필터는 어느 기간동안 물속의 입자를 걸러낸 후 이를 역류시켜 필터에 끼인 물질을 빼내야 되는데 이 과정을 Backwashing이라 한다. 따라서 Backwashing과 여과를 교대로 하면서 여과작용이 수행된다.

遠心필터는 물보다 비중이 크고, 75micron 이상의 浮遊粒子 제거에 이용된다. 一般的으로 有機固型物 제거에는 부적당하고 모래 以上の 粒子제거에 좋은 성능을 가지므로 펌프다모방지용 Pre-Filter로서 펌프吸入부에 설치된다.

사. 洗滌시스템

Trickle灌溉시스템내의 관망조직에 퇴적된 流砂등을 청소해내기 위하여 정기적으로 管路를 세척하도록 계획되어야 한다. 洗滌은 自動 또는 手動의 어느 것으로도 할 수 있는데 보통 간선의 말단에 있는 밸브를 통하여 세척한다. 따라서 管의 모든 연결부와 관 부속품의 규격과 크기는 管洗滌에 充分한 直徑이어야 한다.

대개 적절한 청소 및 濾過를 위해서 設計容量에 약 20%의 추가容量이 必要하며 最少流速은 0.3m/sec이다. 세척은 전시스템이 한꺼번에 실시되는 것이 아니고 몇개의 세척區域으로 分割되어 실시되는 것이 一般的이다.

아. 化學藥品에 의한 물處理

Trickle시스템에서 Emitter막힘을 방지하기 위하여 처리되는 두가지 化學藥品은 酸과 殺菌劑이다. 그러므로 이러한 處理의 필요성은 Trickle시스템의 형태와 물의 성분에 따라 달라진다. 酸은 관개수중에 포함된 Ca, Mg, 탄산철, 중탄산 등을 침전시킨다. 관개수중으로 酸을 투입할 때 한가지 주의할 사항은 酸을 넣으므로써 물의 pH가 낮아지면 특히 산

성토壤의 경우 작물에 해로운 영향을 미친다는 것이다.

效果的인 살균제는 次亞鹽素酸칼륨, 차아염소산 나트륨, 염소개스, 기타 살균제 등이며 박테리아가 Emitter를 폐쇄하는 것을 방지하고자 Control Station에서 이러한 물질이 첨가된다. 차아염소산기는 보통 pH가 높은 물에서는 살균력이 적어지므로 산을 투입하여 pH를 중성으로 조절한다. 용융철이 0.4mg/l 이상 포함된 관개수는 염소가 철의 침전물을 만드므로 보통 이의 사용이 권장되지 않는다.

鹽素의 投入量은 물의 염소요구량, 박테리아에 의한 Emitter 폐쇄 가능성에 따라 달라지지만 처리 후 지선말단에서 유리염소 농도가 0.1mg/l가 되도록 하는 것이 보통이다.

자. 施肥시스템

Trickle灌溉시스템은 관개수 공급뿐 아니라 작물에 영양분을 공급하는데 이용될 수 있다. 황산암모늄, 질산암모늄, 요소 등 질소질 비료는 관개조작을 손상시키지 않으나 무수암모니아, 암모니아수 등은 pH가 높은 물에서 Emitter를 폐쇄하는 침전물을 생기게 하므로 사용에 주의를 요한다. 또한 인산은 침전문제 때문에 Trickle시스템을 이용하지 않고 分離 施肥하는 것이 좋고 가리는 별 문제가 없는 것으로 알려져 있다. 微量元素도 化學反應, Emitter에서의 침전가능성을 고려하여야 한다.

차. 肥料 및 化學藥品 注入시스템

Trickle관개시스템을 통하여 필요한 양의 肥料 또는 化學藥品을 보내기 위해서는 먼저 시스템내로 이들 물질을 注入할 필요가 있다. 注入方法은 差等 壓시스템과 펌프시스템의 두가지 방식이 채택된다. 一般的으로 Trickle관개시스템에서 관개수중으로 注入되는 化學藥品의 濃度는 肥料의 경우 4~100mg/l, 살균제는 0.5~10mg/l 정도로 낮다. 注入後 간선 또는 지선에서 그 濃度를 검사해야 한다. 化學藥品은 管子나 管附屬品과의 化學反應을 고려하여 그 使用이 正해져야 한다.

3. 用水 再利用시스템의 設計 및 施工

본 設計基準은 地表灌溉에서 생기는 Tailwater (退水)를 다시 관개수로 이용하므로써 관개효율을 높이는 동시에 물질약을 기할 수 있는 用水의 再利

用시스템의 설계 및 시공에 관한 기술을 규정한 것이다.

가. 再利用시스템의 構成要素

Tailwater를 재이용하기 위해서는 먼저 Tailwater를 捕捉하는 차단수로가 필요한데, 排水路가 이러한 目的으로 이용된다. 포축된 Tailwater는 再利用되거전 貯溜施設에 저장되었다가 揚水를 하여 포장으로 재공급된다. 따라서 用水 再利用 시스템의 構成要素는 차단배수로, 저수시설, 양수장 등이다. Tailwater중에 포함된 汚物이나 浮遊固形物, 流砂 등이 포장으로 되돌아가는 것을 방지하기 위하여 수로 또는 저수시설에 침사지가 필요한 경우가 있다.

揚水場은 汚物제거장치, 펌프, 동력, 시스템운전장치 등으로 구성되어 있다. 오물제거장치로서 가장 많이 사용되는 것이 버켈스크린이며 펌프 吸入部에 설치된다. 스크린의 표면면적이 파이프 口徑面積의 약 14배 정도 되게 하여야 하며 充分한 수심을 주어 펌프내로 공기가 유입되지 않도록 한다. 再利用시스템에 사용되는 펌프는 터빈, 프로펠라, 수평원심, 수중원심펌프 등이 있다. 펌프에 대한 동력원은 펌프에 따라 다르나 터빈펌프와 프로펠라 펌프는 電動機, 수평원심펌프는 내연기관 또는 전동기, 수중원심펌프는 전동기가 동력으로 쓰인다.

나. 시스템 분석

用水 再利用시스템에서 Tailwater는 그것이 생긴 포장으로 되돌려 보내는 방식과 그 다음 포장으로 보내는 방식의 두가지가 있다. Tailwater를 재순환시키는 것은 포장의 流去率을 증가시키므로 포장에 물을 임시로 저장하는 효과가 있다. 따라서 貯溜池를 이용하지 않고 發生된 Tailwater를 바로 재순환시킨다면 流去率이 재순환 유량이 될 것이나, 대개는 貯溜池를 이용하므로 이 경우의 재순환율은 貯溜池의 평균집수율과 같아진다.

고랑관개에서 초기에 큰 관개수량을 관개하고 시간이 지남에 따라 관개량을 줄이는데 이러한 발관개방법을 Cutback관개라고 한다. 따라서 Cutback관개에서는 초기에 많은 물을 필요로 한다. 이러한 경우 초기의 큰 관개수량은 再利用되는 用水를 이용하여 얻을 수 있다. 貯溜池를 이용한다면 Cutback관개에 Tailwater를 이용하지 않고 중간크기의 관개 수량을 일정하게 계속 순환시킬 수도 있다. 물론 Cutback 관개를 채용치 않는다면 流去가 증가할 것이지만 이것을 貯溜施設에 저장할 수 있으므로 별

문제가 되지 않을 것이다.

다. Tailwater 流去量의 결정

地表灌溉의 退水 再利用시스템의 설계에서 가장 중요한 것은 Tailwater流去의 체적과 流去率을 결정하는 것이며 이러한 것은 펌프의 용량과 저수지의 크기를 결정하는데 기준이 된다. Tailwater流去量은 직접 측정하는 방법과 토양 및 기타 자료로부터 추정하는 2가지 방법이 있다.

1) 直接測定法

流去 遮斷 排水路에서 각종 流量測定裝置를 이용하여 Tailwater 流去量을 측정한다. 시계가 부착되어 있는 水位記錄計를 이용하여 流去水文曲線을 얻고 平均流去率에 시간간격을 곱하면 流去體積을 얻을 수 있다. 그러나 實際 포장에서는 流入水量과 浸透量의 變異 때문에 每回의 관개시마다 流去體積의 값이 變化된다. 그러나 각각의 관개시의 관개량과 유거체적 사이의 比는 log-확률관계를 가지는 것으로 알려져 있으므로 전체 포장에 대한 각각의 관개에 대하여 流去의 퍼센트 대 비초과확율을 log-확률지상에 Plot할 수 있다. 이러한 그림표가 준비되면 원하는 수준의 확률에서 적절한 流去體積을 구할 수 있다. 즉 높은 기대 수준의 流去를 채택한다면 저수용량과 펌프용량이 그만큼 더 커지게 되어 보수적인 설계가 될 것이다.

2) 土壤의 종류 및 물管理를 기초로 한 推定

一般的으로 終期浸透能 0.2~2cm/hr의 투수도가 약간 느린~중간 정도의 土壤에 대해서 流去가 發生하는 시간은 純灌溉量이 10~15cm의 경우 灌溉期間의 1/2을 초과하지 않으며 流去率도 초기관개율의 2/3를 초과하지 않는 것으로 알려져 있다.

流去率은 時間에 따라 증가되나 관개종료시간에 접근함에 따라 일정하게 되는 경향이 있고 最大 流去率이 初期 灌溉率의 2/3이고 유거지속기간이 관개지속기간의 1/2인 경우 流去體積은 대개 灌溉體積의 20~35% 정도가 된다. 그러나 終期侵入率이 2cm/hr를 초과하는 透水性土壤에서는 浸漏를 최소화하기 위해서 고풍에서 물의 전진속도를 빠르게 하므로써 관개지속기간이 짧아지고 또, 짧은 流路를 가지도록 한다. 따라서 透水性土壤에서는 流去지속기간이 관개시간의 75% 정도이고 실제 流去體積은 10~15cm의 純灌溉量의 경우 관개체적의 약 35%가 된다.

그러나 土壤侵入에는 많은 變數가 작용하고 灌溉

率은 정밀하게 조절되지 않으므로 물管理정도에 따라 流去體積은 달라질 수 있다. 이상에서 보는 바와 같이 결론적으로 10~15cm의 순관개량인 경우 透水度가 느린~중간 정도의 土壤에 대해서는 設計 流去體積은 灌溉體積의 50%를 초과하지 않아야 하고 透水性土壤은 60%를 초과하지 않도록 한다.

純灌溉量이 줄어들면 灌溉效率이 증가된다. 따라서 5~7.5cm 純灌溉量에 대해서는 流去體積은 10~15cm인 경우의 약 1/2이 된다. 대체적으로 물管理效率이 커질수록 流去지속기간과 流去體積이 작아진다.

라. 貯溜施設의 規模

再利用시스템의 貯溜施設은 Tailwater를 그 포장으로 再양수이용하는 것과 다른 포장으로 보내는 경우의 두가지로 대별되며 양수방법에 따라 주기-Sump시스템과 연속-Sump시스템으로 區分된다. 주기-Sump시스템은 貯水용량의 수위가 어느 정도 내려가면 펌프가 정지되고 수위상승에 따라 다시 펌프가 작동되어 양수하며 이것이 반복되는 것이며 연속-Sump시스템은 계속하여 양수하는 것이다. 따라서 주기-Sump시스템의 貯水總量이 연속-Sump시스템의 그것보다 훨씬 더 작다.

一般的으로 주기-Sump시스템에서는 적당한 揚水效率을 유지시키기 위하여 시간당 15번 이상 양수가 중단되어서는 안된다. 즉 시간당 15번 交代될 때가 最大Cycle이며 이때의 貯溜池의 크기가 最少가 된다. 이러한 경우 貯溜池의 크기는

$$S = 0.06P = 0.06I_d \dots\dots\dots(7)$$

여기서

S=貯溜池 貯水容量(m³)

P=揚水率(l/sec)

I_d=貯溜池로의 設計流入量(l/sec)

만약 모든 Tailwater가 전부 재이용된다면

$$I_d = I_{dmax} \dots\dots\dots(8)$$

여기서

I_{dmax}=最大流去率(l/sec)

이렇게 하여 구한 貯溜池 크기는 표 5에서 주어진 範圍內에 있어야 한다.

連續-Sump시스템의 경우는 하나 또는 두개의 관개구역(1회관개지역, Set)으로부터의 流去를 전부 집수시키는데 充分한 크기의 용덩이가 필요하다. 貯溜池 크기 S는

$$S = V_d \left(1 - \frac{I_d}{P}\right) \dots\dots\dots(9)$$

표-5. Tailwater 再利用시스템에서의貯溜池 제원

Tailwater 流入量 (l/sec)	원형貯溜池의 內徑(m)			
	펌프시동과 꺼짐 0.6	사이의 1.2	저수심 1.8	2.4
3.1	0.64	0.46	0.38	0.33
6.3	0.89	0.64	0.53	0.46
9.5	1.09	0.79	0.64	0.56
12.6	1.27	0.89	0.74	0.64
15.8	1.42	1.02	0.81	0.71
18.9	1.55	1.09	0.89	0.79
22.0	1.68	1.19	0.97	0.84
25.2	1.78	1.27	1.04	0.89
28.4	1.91	1.35	1.09	0.97
31.5	2.01	1.42	1.17	1.02
34.7	2.11	1.47	1.22	1.07
37.9	2.18	1.55	1.27	1.09

여기서

$$V_d = \text{設計流去 體積(m}^3\text{)}$$

$$\bar{I}_d = \text{平均流去流入率(l/sec)}$$

$$P = \text{揚水率(l/sec)}$$

만약 모든 유거가 다 再利用된다면 V_d 는 총유거량이 될 것이나 대개는 V_d 가 총유거량보다 작다. 평균流去流入率은

$$\bar{I}_d = \frac{V_d}{0.06T_t} \dots\dots\dots(10)$$

여기서 $T_t = \text{流去지속시간(分)}$

따라서 揚水時間은

$$T_p = \frac{\bar{I}_d T_t}{P} \dots\dots\dots(11)$$

Tailwater가 그것이 생긴 포장으로 재순환되는 경우에 저수용량결정은 공급灌溉水와 用水 再利用水를 조화시켜 이용할 수 있도록 한다.

공급관개수로 관개되는 관개Set의 수는

$$n = \frac{T}{t} \dots\dots\dots(12)$$

여기서

T : 포장전체의 관개지속시간(分)

t : 관개 Set의 관개지속시간(分)

공급관개수로 관개되는 고랑의 수는 f_s 는

$$f_s = \frac{Q_s}{q} \dots\dots\dots(13)$$

여기서

Q_s : 공급관개수의 流入流量(l/sec)

q : 각 고랑의 流入率(l/sec)

Tailwater의 再利用水로 관개되는 고랑의 수 f_p 는

$$f_p = \frac{P}{q} \dots\dots\dots(14)$$

따라서 관개되는 고랑의 總數 F 는

$$F = n(f_s + f_p) \dots\dots\dots(15)$$

주어진 관개 Set의 마지막에서 貯溜池에 저장할 저수체적 V_i 은

$$V_i = 0.06tR_f[Q_s i + P(i-1)] - 0.06tP(i-1) \dots\dots\dots(16)$$

여기서

$V_i = \text{Set } i \text{의 끝에서의 流去體積(m}^3\text{)}$

$R_f = \text{관개체적 대 총유거체적의 比}$

貯溜池의 크기는 Set 1에서 Set n 까지 계산된 流去體積 중에서 가장 큰 것을 貯水할 수 있는 크기로 하던 된다.

한편 Tailwater가 생긴 포장으로 재순환하지 않고 다른 포장으로 관개하는 경우에는 며칠간의 관개로 생긴 Tailwater를 전부 저수할 수 있는 貯水容量을 가진 貯溜池가 필요하다. 이 방법은 큰 貯溜池의 규모가 크게되는 단점이 있는 동시에 펌프의 크기를 임의로 취사선택할 수 있는 장점이 있다. 이러한 경우의 貯水容量은 식 (17)로 구한다.

$$S = 0.06\bar{I}_d T_t \dots\dots\dots(17)$$

4. 맺는 말

본 강좌는 4회에 걸쳐 주로 農地造成, 灌溉, 排水分野의 美農工學會(ASAE) 設計基準를 소개한 것이다. 紙面關係로 ASAE의 모든 基準를 총망라하여 소개하지 못하고 그 일부만 소개한 것을 아쉽게 생각하나 다음 기회로 미루기로 한다.

본 강좌에서 소개한 설계기준은 농업의 구조가 다르고 기후조건이 다른 미국의 경우에 대한 것이고 또, 우리나라에 아직까지 소개되지 않은 새로운 것들이었으므로 이해하기 어려운 부분도 많았다. 그러나 앞으로 우리나라에도 이러한 기술이 도입, 이용될 경우에 참고가 될 것으로 확신하며 또한 本講座가 이러한 새로운 기술의 도입 촉진에 기여하는 계기가 되기를 바라는 마음 간절하다.

끝으로 이렇게 귀중한 학회의 지면을 활애해 주신 농공학회 관계자 여러분께 감사드립니다.