

# 관개율과 관개 소요수량

## Irrigation Ratio and Water Requirement

박 상 현\*  
Park, Sang-hyun

### 1. 머리말

수원공에서 방류되는 용수량중 작물의 필요수량보다 많은 잉여수량은 지하로 스며든 뒤 하류에서 다시 지표수로 환원되어 재이용될 수 있다. 이들 수자원의 대부분은 또다시 용출되어 농업용수와 환경보전, 생공업용수 및 리크리에이션 용수로 다시 이용된다. 이러한 순환적인 물 수지관계는 농업용수로 개발된 수자원이 우선적으로 관개용수로 잘 활용되어야 다른 목적에도 효율적으로 활용될 수 있기 때문에 용수가 부족한 경우에 중요한 과제이다.

임의의 관개구역에서 필요한 관개수심을  $V_i$ 라 할 때, 수로를 통하여 흐르는 유량은 작물소비수량에서 유효수량을 뺀 순 소비수량( $ET_p - P_e$ )에 적절한 관개비율(Irrigation water use ratio)을 곱하여 산정하여야 한다. 이러한 관개 비율은 소요시기별 필요한 공간에 공급되는 유량을 정량적으로 결정하는 지표이다. '95년 제46차 ICID집행위원회에서 관개배수실행분과위원회는 관개소요수량 결정에 있어서 포장급수의 적용효율(Field application ratio :  $R_a$ ), 분배효율(Distribution ratio :  $R_d$ ) 그리고 운송효율(Conveyance ratio)등을 중요한 지표로 정하여 이들 인자를 다음과 같이 정의하고 분석하였다.

### 2. 물수지율(Water Balance Ratios)

#### 가. 포장급수의 적용효율(Field application ratio : $R_a$ )

수로로부터 포장의 입구로 방류되는 유량은 작물의 소비수량과 유효수량( $ET_p - P_e$ )의 관계 뿐만 아니라 포장급수의 적용효율( $R_a$ )에 의하여 결정된다. ICID가 설정하는 관개율은 다음 식과 같다.

$$R_a = V_m / V_f \quad (1)$$

여기서,  $V_m$ 은 작물의 생육에 지장이 없도록 급수되는 수량이며,  $V_f$ 는 임의의 생육단계 중 포장급수량이다.  $V_m$ 을 실시간 단위로 결정하는데에는 여러가지 인자들이 복합적으로 작용하므로 용이하지 않다. 그러나,  $V_m$ 은 관개에 있어서 매우 중요한 것이기 때문에 정량적인 값을 정하지 않을 수 없지만 실제로는 작물의 소비수량에서 유효수량을 뺀 값( $ET_p - P_e$ )을 이용한다. 따라서 포장 입구에서의 물 소요량은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$V_f = (ET_p - P_e) / (R_a) \quad (2)$$

여기서 급수의 적용효율의 목적 지표인  $R_a$ 는 적용기술의 수준, 기상 조건, 작물별 재배특성에 따

\* 농어촌진흥공사 농어촌연구원

라서 결정된다. 여기서 작물별 재배 특성은 습윤도 양에서의 재배 작물인 밭 작물과 논에서 재배되는 벼품종으로 구분하여 다음과 같이 검토할 수 있다.

**나. 밭작물의 관개**

일반적인 밭작물은 습윤상태의 뿌리근역을 유지하며 재배된다. 포장 내에서 관개 용수의 균등한 분배는 관개 기술에 있어서 중요하다. 특히, 관개 용수량의 결정에 매우 중요하다. <그림-1>은 작물의 생육에 필요한 수량인  $V_m$ 이 평균 100mm가 필요하다고 할때 포장의 각 지점별 적용의 심도를 나타내고 있다. 이에 따라서 포장에 적용해야 할 용수량은 각 지점별 용수량( $V_{ai}$ )들을 합한 값으로 다음과 같이 산정된다.

$$V_f = \sum V_{ai} \quad (3)$$

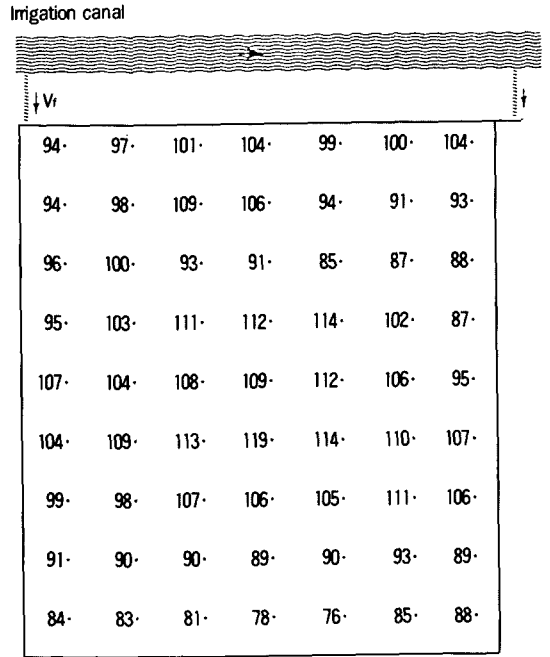
만일 식(1)에서  $V_m$ 과  $V_f$ 가 같다면, 포장의 적용효율은 100%이지만 어느 지점에서 50%이상의 물이 공급된다면 다른 곳에서는 50%가 모자라게 된다. 건조지대에서 이와 같은 관개용수의 수지관리상 문제가 발생하여 관개량이 부족하면 토양내에 염분이 축적된다. 그러나, 생육 기간 전후에라도 강우량이 충분하다면 염분은 토양밖으로 용탈된다. 따라서, 작물의 소요수량( $V_m = E T_p - P_e$ )보다 어느 정도 적은 관개수량을 공급하여야 하는 결정사항은 허용 한발율의 지표인  $F$ 값으로 평가되어 검토될 수 있으며 이는 기상조건에 지배된다.

또한, Till과 Bos(1985)는 식(3)에 있어서 포장 내  $i$ 지점에서 관개심도인  $V_{ai}$ 를 정규분포한다고 가정하여 다음과 같이 포장의 목표 적용수량을 정하였다.

$$V_{ft} = (\sum V_{ait}) = (1 + S T_p) \times \sum V_{mi} \quad (4)$$

여기서,  $S$ 는  $i$ 구역에서의 적용효율( $V_{ai} / V_f$ )의 표준편차이며,  $V_{mi}$ 는 의도된 실행 급수량이다.

또한, 적용심도의 균등도는 실행된 각 지점별 적



<그림-1> 포장내에서 적용심도의 분포 예

용수량에 지배된다. 이의 관련된 예는 <그림-1>에 나타나 있으며 여기서 관개심도의 표준편차  $s$ 는 11이다.  $T_p$ 는 표준편차가 1이고, 평균이 0으로서 정규분포하는 임의변수가 초과하는 통계적인 값이다.  $T_p$ 와  $F$ 는 일반적인 통계 책자에 잘 설명되어 있으며 <표-1>은 이 중 일부를 발췌한 것이다. 또한, 관개 목표량  $V_f$ 는 표준편차  $s$ 와 적용심도 및 허용 한발율( $F : \%$ )에 영향을 받는다. 표준편차는 관개 기술과 적용심도의 균등도 그리고 영농 관리 기술에 영향을 받는다. 위에서 언급한 바와 같

<표-1>  $T_p$ 와  $F$  값

F (%)	$T_p$ (무차원)	비 고
50	0	강우 지역
25	0.67	
10	1.28	
5	1.64	
2.5	1.96	건조 지역
1.0	2.33	

이 한발 허용 면적의 비율은 기상에 영향을 받는다. Till과 Bos(1985)는 강우에 의하여 토양 염분의 용탈이 가능한 경우,  $T_p$ 를 0.67로 하며, 건조지역의 경우는  $T_p$ 를 2.0( $F=2.5\%$ )으로 할 것을 추천하였다.

따라서, 벼를 제외한 작물의 적용효율의 목표치를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Rat = V_m / (1 + S T_p) \times V_m \quad (5)$$

〈그림-1〉의 경우, 강우량이 충분하여 토양의 염분 용탈이 가능하면  $F$ 는 25%로 하여 식(5)에 의하여 다음과 같이 적용효율의 목표치를 산정할 수 있다.

$$Rat = 100 / (1 + 0.11 \times 0.67) \times 100 = 0.93$$

한편, 건조지대인 경우,  $F$ 값은 0.25% 이하이므로 다음과 같이 산정된다.

$$Rat = 100 / (1 + 0.11 \times 2.0) \times 100 = 0.82$$

이를 식(2)에 대입하면 소요 관개량인  $V_f$ 는  $0.93 / 0.82 = 1.13$ 으로서 건조지역이 다우지역에 비하여 1.13배 많아야 한다. 이 때문에 건조지대에서는 좀더 과학적인 용수절약을 위한 관개 기법이 요구된다.

### 다. 논의 용수량

벼의 적용효율에 관하여 ICID는 Senga와 Mistry(1989)가 포장내 삼투량을 고려하여 연구한 결과에 의하여 식(5)를 다음과 같이 변형토록 추천하고 있다.

$$Rat = V_m / ((1 + S T_p) \times V_m + V_f) \quad (6)$$

여기서,  $V_f$ 는 포장내 삼투량이다. 논의 지형이 췌레질이 잘 되고 평편한 경우  $T_p$ 는 0이다. 따라서 식(6)은 포장내 삼투량이 증가할수록 목표값이 감소하는 것을 나타낸다. 그러나, 삼투량이 큰 경우는 급수효율의 하한선을 설정하여 관리하고, 삼

투량이 과다한 경우는 대책을 세워야 한다.

### 3. 용수 분배율(Distribution Ratio : Rd)

수리학적 기준에서 볼때, 가장 단순하면서도 중요한 관개실행 척도는 운송 분배율이며 이는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$WDP = ADV / IVD \quad (7)$$

여기서, WDP는 용수 운송율, ADV는 실제 운

〈표-2〉 수로의 용수 운송량

No.	관개면적 (ha)	실제 운송 수량		목표 운송 수량		용수운송율 (WDP)
		1회관개량 m <sup>3</sup>	mm/ha	1회관개량 m <sup>3</sup>	mm/ha	
수로 답수량		(4838)				
1	4.00	3030	76	2640	66	1.15
2	4.08	3047	75	2652	65	1.15
3	10.06	7188	71	6338	63	1.13
4	2.68	1768	67	1581	59	1.13
5	1.09	2396	220	2104	193	1.14
6	12.61	7808	61	7314	58	1.05
7	9.32	2297	25	5033	54	0.46
8	3.95	3286	83	3160	80	1.04
9	3.26	2123	65	2119	65	1.00
10	0.96	1034	108	1018	106	1.02
11	11.68	6064	52	8526	73	0.71
12	5.04	3453	69	3730	74	0.93
13	5.55	2880	52	3219	58	0.89
14	7.26	2759	38	3194	44	0.86
15	3.77	906	24	1056	28	0.86
16	8.00	6364	80	7440	93	0.86
17	11.48	7014	61	7921	69	0.89
18	2.25	2909	129	3195	142	0.91
총 계	107.04	66325 +		72240		
		(4838)				
평균			75.2		77.2	0.95
표준편차			43		36.9	0.17

반된 관개수량, IVD는 의도적으로 운송한 관개수량이다. 장기적인 생육단계에서 볼때, 즉 월별 또는 그 이상의 기간에 있어서, WDP가 1에 가깝다면 물관리는 매우 효율적으로 운용된다고 할 수 있다. 이와 관련된 지표들은 농민의 물부족을 야기하지 않고 원만한 수준을 유지하는데 필요하다. 용수의 운송 효율과 균등도는 관개 수로별 WDP의 표준편차에 따라 산정된다. 또한, 농지 구획별 용수의 분배율은 다음 사항에 영향을 받는다.

가. 표준편차(s)

나. 당초 의도된 용수운송계획, 즉, 모든 관개소요량 중 허용한발율(F%)을 적용한 구역에 대한 면적 규모에 대한 평가

다. 용수 지거의 수로 시스템에서 삼투 손실(Vds)

작물의 생육기간 중 총 관개심도의 목표량은 식(4)와 식(6)에 의하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Vdt=(1+S T_p) \times \sum V_{fi}+V_{ds} \quad (8)$$

여기서, 관개심도의 목표량(Vdt)이며, 이에 관한 사례는 <표-2>에서와 같이 설명될 수 있다. 실제 관개량은 임의의 구역에서 관개수량인 Vf의 평균값으로서 유량은 측정용 수로(Long throat flume)등을 설치하여 측정할 수 있다. 이와 같은 용수지거 수로의 적용수량 분포는 수로의 물 수지를 평가하는데 중요한 지표이다. <표-2>의 결과에 의하여 수로의 적용효율은 다음과 같이 산정된다.

$$R_{ds}=\sum V_{fi} / V_d \quad (9)$$

이의 산정 과정에서, 수로의 담수량은 하류의 농민이 급수할 때 까지의 수로 저수량 4838m<sup>3</sup>이며, 수로의 삼투량은 3316m<sup>3</sup>이다. 따라서,

$$R_{ds}=66326 / (66326+4838+3316)=0.89$$

또한, <표-2>에서 WDP값은 0.95로서, 수로의 수문 조작효율도 양호하다고 할 수 있다. 수로 운

송율은 용수지거별 WDP의 표준편차에 의하여 정량적으로 평가될 수 있다. 여기서 표준편차가 0.17로 나타난 것으로 볼때, 수로에서 포장 입구로 유입되는 시간은 정확한 편이라고 할 수 있다. 수문의 개폐는 두 세사람의 관리인에 의하여 관리되며 농민 스스로 관리할 때는 물을 받으려는 농민과 급수를 끝내는 농민이 함께 조작하게 된다.

임의의 관개구역에 공급되는 용수량은 표준편차(s), 허용한발율(F%)을 적용한 면적규모, 용수지거의 수로 시스템에서 삼투 손실(Vds)등에 영향을 받으며, 삼투손실은 담수량과 수로손실을 합한 값으로 산정한 값으로서 8154(=4838+3316)이다. 또한, 작물의 생육기간 중 총 관개 목표량은 식(4)와 식(6)에 의하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Vdt=(1+S T_p) \times \sum V_{fi}+V_{ds} \quad (10)$$

위에서 표준편차는 0.17이며, 포장 입구에서 총 관개목표량은 72240m<sup>3</sup>이다. 또한, <표-1>에서 강우지역의 조건인 F=25%, Tp=0.67로 가정하면, 수로에서 1회 관개되는 총 유량은 다음과 같다.

$$Vdt=(1+0.17 \times 0.67) \times 72,240+8,154 \\ =88,468 \text{ m}^3$$

그러나, <표-2>에서 급수되는 포장구역 중 WDP가 1이하인 경우가 전체의 50%가 넘기 때문에 <표-1>에 의하여 Tp는 0으로 놓을 수 있다. 따라서,

$$Vdt=(1+0) \times 72,240+8,154=80,394 \text{ m}^3$$

이와 같이 포장에서 F값을 정하는 것은 관개용수량의 결정에 중요하며 관개 시기별로 다른 값을 나타낼 수 있다.

#### 4. 작물의 물 소비율(Overall Consumed Ratio : Rp)

포장에 공급되는 전체 관개량 중 작물이 소비하는 유량의 비를 물소비율(Overall consumed ratio : Rp)로 정하여 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$Rp = (ETp - Pe) / (Vc - Vi) \quad (11)$$

여기서, Vc는 양수장과 저수지등 주수원공에서 공급되는 유량이며, Vi는 기타 수원공에서 수로에 유입되는 유량이다. 보통 물소비율은 월별 또는 순별로 정할 수 있다. 이에 따른 목표 수량은 식(8)에 의하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$(Vc + Vi) = (1 + S Tp) \times Vdi + Vcs \quad (12)$$

여기서 목표 용수량도 역시 표준편차(s), 허용한발율(F%)을 적용한 면적규모, 용수 지저 시스템에서 삼투 손실(Vds)등에 영향을 받기 때문에 이에 관한 조사시험이 필요하다.

## 5. 맺음말

관개율(Irrigation ratios)은 수원공에서 포장까지 이르는 동안의 물 소모량과 포장내에서의 급수심도의 균능도를 파악하여 이를 작물의 최적 생육에 필요한 물 소비량과 대비함으로써 용수량의 손실을 최소화하기 위하여 ICID의 관개배수실행분과위원회를 중심으로 검토되고 있는 사항이다. 그러나, 관개율의 개념은 관개효율(Irrigation efficiency)의 개념과 혼동될 우려가 있으며 건조지

대의 발작물을 위주로 분석된 것으로 평가된다. 따라서 우리나라와 같이 강우량이 많고 논 관개가 중요한 지역에서 활용하는데 있어서 구체적인 연구가 필요하다. 특히, 이의 궁극적인 목표는 관개용수량 중 작물이 이용하지 않는 물을 하류에서 다른 용도로 재이용하는 순환적 관계를 규명하기 위하여는 좀 더 세부적인 연구 노력이 필요하다.

### 참고문헌

- Irrigation water requirements, 1995. ICID Working group on Irrigation and Drainage performance.
- Till, M.R and M.G. Bos, 1985. The Influence of Uniformity and Leaching on the Field Application efficiency, ICID Bulletin, New Delhi, Vol.34(1) pp. 32~36

### 약 력

#### 박 상 현



1974. 서울대학교 농과대학 농공학과 졸업  
 1982. 건국대학교 대학원 농학석사  
 1982. 농어업토목 기술사  
 현재 농어촌진흥공사 농어촌연구원 수리 시험 수석연구원  
 KCID 관개배수실행분과 위원장 / 편집  
 집·학술분과위원  
 ICID 관개배수실행분과 위원