

# 간척지에서의 적절한 유출모형의 적용과 우수지의 규모 결정

○양현모\*, 최윤석\*, 심명필\*\*

## 1. 서 론

본 연구에서는 간척지에서의 원활한 내수배제를 통하여 유역내 침수피해를 최소화 하기위한 적절한 유출모형의 적용과 그 결과를 이용한 우수지의 규모결정에 관하여 고찰하고자 한다.

## 2. 방조제내 수리시설

방조제내의 수리시설은 통상 우수로 인한 제방내 지역의 침수, 침식, 유사문제 및 비점원 오염과 같은 수리 및 환경적 피해를 방지하거나 조절하기 위해 설치되는 시설을 말하여 대개 자연배수, 강제배수, 자연배수와 강제배수의 조합적 방법으로 분류되는 내수배제계획에 따라 달라지게 된다. 간척지는 상대적으로 외수면보다 낮으므로, 배수기능의 능력이 간척사업 전반의 성공여부를 좌우하게 된다. 간척지에서의 배수로는 유역의 강우를 효과적이고 안정적으로 유역 밖의 해역으로 방출하기 위해 강우를 집수하여 우수지 혹은 펌프장이나 배수갑문까지 이송하는 수로의 역할을 하게된다. 우수지는 홍수량을 일시 저류하여 유출량을 경감시키는 천연 또는 인공의 저지대를 말하며, 자연배출구 또는 배수펌프장까지 유하하는 유출량을 잠정적으로 저류하는 소규모 저수지의 기능을 갖는다. 따라서, 우수지 설치는 간척지 조성면적이 줄어드는 단점은 있으나, 자연배출구 또는 배수펌프장의 시설규모와 비용을 감소시킬 뿐만 아니라 우수지의 효율적 이용으로 홍수유출시 위험수위 도달전에 펌프장과 수문을 가동할 수 있는 시간적인 여유를 갖기 때문에 재해의 위험도가 낮아진다.

자연배수구는 내수유역으로부터 유출한 유량을 펌프의 도움없이 중력에 의해 하천 또는 해역으로 방류할 수 있는 암거, 배수관 및 제방을 횡단하는 기타시설을 포함한다. 압력관거는 그 유입부의 표고가 펌프의 의한 강제배수가 없을 때 자연배수구로 생각할 수 있다. 자연배수구의 유출부에 위치하는 우수지의 배수기능면에서 보면 일반적으로 우수지와 자연배수구는 분리하여 설치할 수 없으므로 각각의 설계용량은 종합적으로 결정되어야 한다. 배수갑문은 강우시 해당유역으로부터 유입되는 우수지, 저류지 또는 담수호 내부의 물을 배수시켜 침수로부터 피해를 방지하는 역할을 담당한다. 배수갑문은 지구안의 배수를 담당하기 위해 설치하는 경우와 복식간척에서와 같이 지구 밖의 큰 홍수량 배제까지도 담당하기 위해 설치하는 경우가 있는데, 순전히 자연배수의 기능을 담당하는 시설이다(강예목 외, 1993). 배수펌프장은 호우 또는 제방으로 보호된 저지대로 유입된 내수를 표고가 높은 지점 즉 하천 또는 해역으로 배제하도록 하는 기능을 갖는다. 배수펌프장

\* 인하대학교 토목공학과 대학원 석사과정

\*\* 인하대학교 토목공학과 교수

은 각 빈도별 호우 또는 홍수에 의해 유출된 내수의 침수를 방지할 수 있어야 하며, 침수된 내수를 빠른 시간내에 배제하여 침수지속시간을 단축할 수 있도록 계획 및 설계되어야 한다.

### 3. 표본지역의 적용

본 연구에서는 고매립으로 기설계되어 유수지 없이 자연유하방식으로 개발중인 인천광역시 강화군 공유수면 매립지인 강화내리지구를 표본지역으로 선정하여 저매립으로 설계하였을 경우의 유수지 및 배수펌프장 계획을 수립하여 보았다.

강화내리지구는 증가하는 마니산권역 주변의 관광객을 유치하기 위한 상업시설 및 주차장 부지를 조성하기 위하여 개발중인 지역으로, 토지이용계획도를 기준으로 볼 때 지표면 불투수율이 60~70%로 전형적인 도시유출형상을 나타낼 것으로 예상되어 대표적인 도시유출모형인 ILLUDAS 및 SWMM을 사용하여 유출모의를 하였다.

수문분석과 조위분석을 위한 기초자료로는 기존의 '강화내리지구 공유수면 매립공사 실시설계용역보고서'(강화군, 1996)에 자료가 있어서 이를 사용하였다. 표 1은 내리지구의 월별 및 연평균 강수량이고 표 2는 수로국에서 기고시된 자료와 판측한 조위를 조화분해한 내리지구와 인근 외포항의 조위를 보여준다.

표 1 월별 및 연평균 강수량 (기상년보, 강화관측소)

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	년평균
강수량(mm)	15.2	19.0	39.9	64.7	110.0	136.8	341.1	263.7	174.5	62.9	65.7	22.2	1315.7

표 2 강화내리지구 조위비교표

(단위 : m)

구 분	내 리	외 포 리	외포공유수면 매립공사
약 최고 만조위 (APP.H.H.W.)	8.94	9.14	9.380
대조 평균 만조위 (H.W.O.S.T.)	8.30	8.40	8.673
평균 만조위 (H.W.O.M.T.)	7.30	7.40	7.601
소조 평균 만조위 (H.W.O.N.T.)	6.30	6.40	6.529
평균 해면 (M.S.L.)	4.47	4.57	4.690
소조 평균 만조위 (L.W.O.N.T.)	2.64	2.74	2.851
평균 간조위 (L.W.O.M.T.)	1.64	1.74	1.779
대조 평균 간조위 (L.W.O.S.T.)	0.64	0.74	0.707
약 최저 간조위 (APP.L.L.W.)	0.00	0.00	0.000

#### 3-1. 도시유출모형의 표본지역에의 적용

ILLUDAS와 SWMM 모형의 강우입력 자료로서 설계강우를 사용하였으며, 내리지구와 동유역권인 인천지역의 확률강우강도식(이원환, 1980)을 이용하여 재현기간별 지속기간에 대한 강우를 구한후 중앙집중분포법으로 각 구간별로 강우의 시간적 분포를 고려하였다. 설계강우의 재현기간은 30년, 50년 100년 빈도의 강우에 대하여 고려하여 보았다.

기설계된 강화내리지구의 원매립고는 기본수준면(dead level, DL)에서 10.0~10.5m로 최고만조위 DL 8.94m보다 높게 계획되어 자연유하방식으로 내수가 배제되게 되어있으나, 이 매립고를 약

4m를 낮추어 DL 5.9~6.5m로 저매립하는 경우를 검토하여 보았다. 그림 1에서는 변경 매립계획 단면도를 개략적으로 표현하였다.

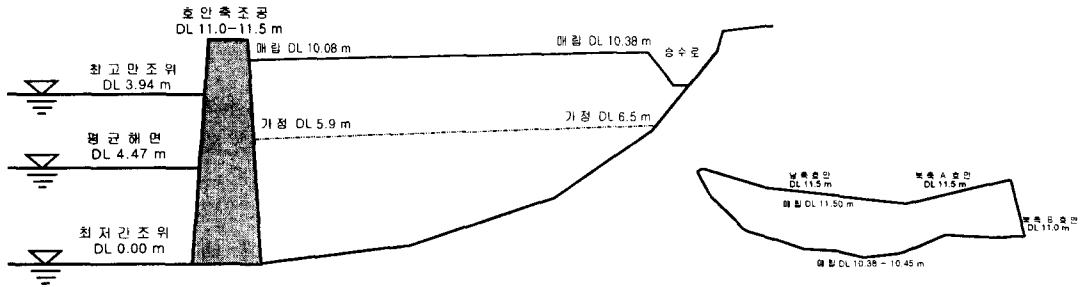


그림 1 강화내리지구 변경 매립계획 단면도

유출모형을 이용한 유출해석시 기설계되어있는 설계보고서상의 관거의 매설위치는 변경하지 않고 이용하여 소유역을 분할하였으며 변경된 매립고를 기준으로 관거의 경사를 산정한 후 ILLUDAS의 New design mode 실행을 통하여 유역내의 어느 지역에서도 지체가 생기지 않도록 관경을 설계하여 SWMM 실행시 사용하였다. 유출모의 결과 표 3에 나타난 바와 같이 총유출량은 ILLUDAS가 크게 나타났고 침투홍수량은 SWMM이 크게 나타났다.

표 3 침투홍수량 및 총유출량의 비교 (강화내리지구)

지속기간	재현기간	SWMM		ILLUDAS	
		침투홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	총유출량 (m <sup>3</sup> )	침투홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	총유출량 (m <sup>3</sup> )
1 시간	30 년	15.946	29,300	14.008	38,621
	50 년	18.945	32,700	14.854	42,279
	100 년	22.243	37,100	14.812	46,997
2 시간	30 년	17.845	40,700	14.139	51,903
	50 년	20.357	45,000	14.868	56,421
	100 년	23.295	50,500	14.883	62,049
6 시간	30 년	14.172	53,400	10.531	66,822
	50 년	15.636	58,500	11.503	72,010
	100 년	17.460	65,000	12.728	78,651
12 시간	30 년	14.277	57,300	10.550	71,718
	50 년	15.723	62,600	11.518	77,112
	100 년	17.538	69,400	12.739	84,023

표 3에 나타난 약간의 상이한 결과분석을 위해 유출율을 계산하여 보았다. 조성면적(약 498,782 m<sup>2</sup>)과 지속기간별 평균면적우량을 이용하여 총강우량을 계산하고 표 3의 총유출량의 비율을 고려한 결과, 표 4와 같이 계산되었다 표 4의 결과 역시 ILLUDAS가 94~96%의 높은 유출율을 보여주고 있다. 이는 ILLUDAS의 계산시 입력자료로서 사용되는 직접연결 포장비율과 간접연결 포장비율이 SWMM의 입력자료의 가정조건과의 차이에서 생기는 것으로 판단되며, 내리지구 토지이용 계획상의 불투수율인 60~70%와 비교하여 볼 때 너무 과도한 유출율을 보이지 않는

SWMM의 결과가 양호하다고 보고 이를 활용하여 우수지 및 배수펌프장의 설계기본자료로 사용하였다.

표 4 유출율 (강화내리지구)

재현 기간	지속기간	누가우량 (mm)	총강우량 (m <sup>3</sup> )	SWMM		ILLUDAS	
				총유출량 (m <sup>3</sup> )	유출율 (%)	총유출량 (m <sup>3</sup> )	유출율 (%)
30 년	1 시간	81.88	40,789	29,300	71.83	38,621	94.69
	2 시간	109.18	54,388	40,700	74.83	51,903	95.43
	6 시간	140.37	69,925	53,400	76.37	66,822	95.56
	12 시간	151.17	75,305	57,300	76.09	71,718	95.24
50 년	1 시간	89.02	44,345	32,700	73.74	42,279	95.34
	2 시간	118.02	58,792	45,000	76.54	56,421	95.97
	6 시간	150.78	75,111	58,500	77.88	72,010	95.87
	12 시간	162.02	80,710	62,600	77.56	77,112	95.54
100 년	1 시간	98.03	48,834	37,100	75.97	46,997	96.24
	2 시간	129.22	64,371	50,500	78.45	62,049	96.39
	6 시간	164.00	81,697	65,000	79.56	78,651	96.27
	12 시간	175.84	87,595	69,400	79.23	84,023	95.92

### 3-2. 우수지 저류량과 펌프용량의 관계

펌프의 용량을 결정하는 방법으로는 펌프의 용량과 우수지의 저류량 사이의 관계를 고려할 때 첫째, 우수지로의 유입량과 우수지의 저류능력을 평가한 후 저류능력을 초과하는 유입량을 산정하여 배수갑문 및 펌프의 용량을 결정하는 방법과 둘째, 우수지로의 유입량을 산정한 후에 펌프용량과 배수갑문의 배수능력별 우수지 규모의 관계로부터 가장 적합한 펌프장의 규모를 결정하는 방법 두가지로 나누어 질 수 있다. 본 연구에서는 두 번째 경우를 고려하였다. 가정된 우수지 규모와 펌프의 침투배수량과의 관계는 미국 Dodson & Associates사에서 개발한 우수지 설계모형 프로그램인 HYDROCALC Hydrology의 삼각형 수문곡선법을 이용하였다. 그림 2는 표3에서 가장 큰 침투홍수량을 보여주었던 재현기간 100년의 SWMM 유출모의 결과를 바탕으로 배수펌프의 효율을 고려하지 않은 각각의 침투배수량에 대한 우수지에서의 관계를 HYDROCALC를 사용하여 구한 결과를 바탕으로 나타낸 것이다.

그림 2에서 알 수 있듯이 펌프의 배출량이 적은 경우에는 강우지속기간이 길수록 상대적으로 큰 우수지 용량을 필요로 하며, 펌프의 용량이 클수록 반대경향을 보여준다. 국내의 내수배제 시설은 대부분 20년 이하의 빈도의 강우로 설계되는 것이 일반적이지만 간척지에서의 설계는 기존의 강우자료가 없는점, 외조위의 가변성, 매립고의 불확실성 및 근래의 간척지는 택지·상업지구·공업단지 등으로도 개발되므로 침수시 피해규모가 크다는 점을 고려할 때 50년 빈도 이상의 강우를 설계강우로 채택하는 것이 바람직할 수 있다. 표 5는 재현기간 100년, 지속기간 2시간의 강우에 대한 HYDROCALC의 우수지 규모결정 결과이다. SWMM의 결과에서 내리지구 총 유역면적은 49.815ha, 침투유입량과 총유입량은 각각 23.3m<sup>3</sup>/s, 50,500m<sup>3</sup> 이었으며, 그때의 우수지규모는 허용저류깊이 2.5m, 여유고 1.0m, 관리수위 0.5m를 채택하여 우수지의 총 높이는 4.0m가 된다.

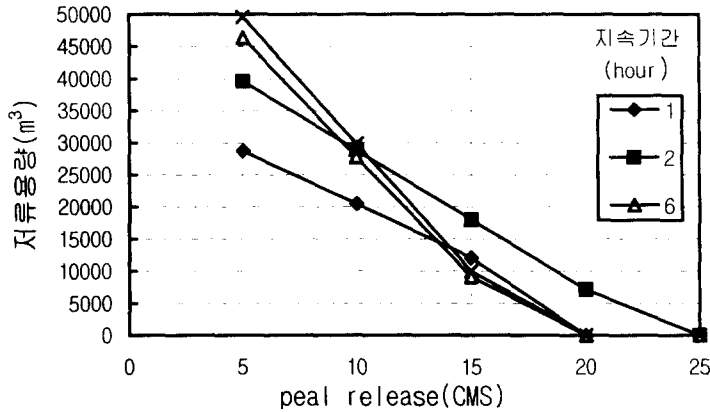


그림 2 재현기간 100년 경우에 대한 펌프의 침투배수량과 저류용량

표 5 HYDROCALC를 이용한 유수지의 규모 결정

Program Input Data			
Detention Basin Drainage Area(acres)	123.1 (49.82ha)		
Peak Inflow Rate into Basin(ft <sup>3</sup> /sec)	822.8 (23.30CMS)		
Peak Release Rate from Basin (ft <sup>3</sup> /sec)	530.0 (15.00CMS)		
Total Inflow Volume into Basin (acre-feet)	40.90 (50,500m <sup>3</sup> )		
Available Storage Depth of Basin (feet)	8.20 (2.50m)		
Required Freeboard in Basin(feet)	4.9 (1.50m)		
Side Slope of Basin(horizontal/vertical)	3.00		
Width of Maintenance Berm around Basin(feet)	30.00 (9.14m)		
Program Results	MINIMUM	NORMAL	MAXIMUM
Required Detention Volume (acre-feet)	5.2	9.9	14.6
Detention Volume Per Acre (ac-ft per ac)	0.04	0.08	0.12
Basin Surface Area w/o Maint. Berm (ac)	1.05	1.76	2.44
Basin Surface Area w/ Maint. Berm (ac)	1.64	2.50	3.30
Basin Excavation Volume (cubic yards)	16,153	29,055	41,779

4. 결 론

일반적으로 간척사업은 여러가지 효과와 손실을 파생시키게 되며, 이들 효과와 손실에 대한 종합적인 경제성 평가에 의하여 투자여부를 결정하게 되는데 본 연구에서는 저대립 간척지에서의 적절한 유출모형의 적용 및 유수지의 규모결정을 통한 매립비 절감이라는 측면에 대하여 고찰하였다. 표본지역으로 채택한 강화내리지구에 대하여 기분석된 기초 수문자료를 바탕으로 ILLUDAS 및 SWMM을 이용하여 유수지 설계를 위한 유출수문곡선을 재현기간 30, 50, 100년에 대하여 각각 모의하였고, 침투홍수량을 산정하였다. 침투홍수량 산정결과는 ILLUDAS에 비하여 SWMM이 양호하였으며, 그 결과를 사용하여 유수지의 규모결정을 위한 HYDROCALC Hydrology의 입력자료

로 사용하였고 우수지 설계시 적절한 재현기간에 대한 저류용량과 펌프의 침투배수량의 관계를 제시하였다.

유역내 유출에 영향을 끼치는 유역면적·경사, 토지이용상태, 관거의 제원 등의 유출모형의 기본변수의 적용에 있어서 간척지는 기개발된 하천유역과는 다른 사항들을 고려하여야 한다. 매립토의 토질, 간척지의 면적·경사·매립고, 외해의 조위, 간척지구의 우수유입 여부에 따라 적용모형이나 모의결과가 달라지게 되며 또는 모의결과에 따라 간척지의 면적·경사·매립고 등이 변경될 수도 있다. 모형의 적용시 대부분 동일한 매립토로 매립이 되기 때문에 토양형이 균일하다는 점과 계획적인 설계로 배수계통의 파악이 용이하다는 등의 잇점도 있으나, 기개발된 지역이 아니므로 강우자료나 토지이용상태의 파악이 어렵다는 점과 간척지의 대부분이 간사지이기 때문에 해안의 조위를 고려해야 한다는 등의 어려운 점도 있다.

우수지의 규모결정에 크게 영향을 미치는 인자로는 우수지로의 침투유입량, 침투배수량 및 대상 유역의 토지이용도 등을 들 수 있다. 그러나, 결국 우수지의 규모는 토지이용의 극대화과 배수지역의 안정성 확보라는 문제를 두고 경제적으로 최적의 값을 선택하는 것이므로 해당 유역을 포함하는 주변지역의 상황에 따라 같은 수문학적 조건을 가진다고 하여도 서로 다른 결정이 내려질 수 있다. 우수지의 저류량은 특정 설계강우에서 우수지로 유입되는 유역의 침투유출량과 우수지에서 침투배수량에 의해 결정된다. 우수지와 펌프의 용량결정을 위해서는 적절한 유출모형을 통해 얻어진 우수지로의 누가유입곡선을 이용한다. 그 결과를 바탕으로 설계펌프용량에 의한 방류수문곡선에 기초를 둔 시산결과로부터 주어진 펌프용량 또는 우수지 저류용량에 최적인 우수지 및 펌프의 용량을 결정하게 된다.

본 연구에서 살펴본 우수지 및 배수펌프장의 적절한 규모결정을 통한 내수배계계획을 수립한다면 효율적인 배수계획을 수립할 수 있을 것이라고 판단된다. 특히 저매립 간척지의 경우, 자연 및 강제배수를 통한 배수계획의 수리·수문학적 안정성 검토를 거쳐 계획된 간척지는 매립비 절감효과를 기대할 수 있으며, 매립비 감소를 통한 경제적인 간척지 조성이 가능하리라고 본다.

## 참 고 문 헌

1. 강예목·구자용·권순국·조병진·조성정·황 은(1993). 간척공학, 경문사.
2. 강화군(1996). 내리지구 공유수면 매립공사 실시설계 용역보고서.
3. 이원환(1980). “도시하천 및 하수도 개수계획상의 계획강우량 설정에 관한 추계학적 연구”, 대한토목학회지 28(4), pp 81~94.
4. Yen, B.C.(1978). Storm Sewer System Design, Department of Civil Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign.
5. Dodson & Associates, Inc.(1989). HYDROCALC Hydrolory User's Manual and Program Reference.
6. Terstriep, M.L. and Stall, J.B.(1974). The Illinois Urban Drainage Area Simulation, Illinois State Water Survey.
7. Dewberry, S.O. and Matusik, J.S.(1996). Land Development Handbook Planning, Engineering and Surveying, McGraw-Hill, Inc.