

# 태풍 “예니”에 의한 낙동강 덕남제 홍수피해의 정량적 분석

고영찬 (초당대학교 토목공학과 전임강사)

오남선 (목포해양대학교 해양 및 조선공학부 조교수)

## 1. 서론

자연재해는 인간의 정상적인 활동에 심각한 피해를 초래하기 때문에 중앙정부는 물론 광역 및 기초자치단체에서도 자연재해로 인한 피해를 최소화하기 위한 노력을 지속적으로 수행하고 있다. 그러나 이와 같은 노력에도 불구하고 작년인 98년에도 중부지방의 게릴라성 집중호우와 9월 말에 발생한 태풍 “예니”에 동반된 집중호우 등으로 많은 인명 및 재산 피해를 입었다.

본 연구의 대상인 덕남제 지역은 낙동강의 하류부인 함안군에 위치하고 있으며 덕남제 더뎛기 및 배수암거 공사를 시행하는 과정에서 홍수피해가 발생하였다. 덕남제 공사는 기존 제방을 더뎛기하고 배수용량이 부족한 기존 배수암거를 폐쇄하여 새로운 배수암거를 설치하는 공사이다. 이와 같은 공사의 일환으로 배수암거를 설치하기 위하여 하천유수 유입방지를 위한 가물막이 제방을 축조하고, 기존 제방을 절개하는 작업을 시행하는 도중에 98년 9월 30일 태풍 ‘예니’에 동반된 집중호우로 인하여 제내지에 외수침입으로 인한 침수피해가 발생하였다. 이번 수해발생의 직접적인 원인인 태풍 “예니”는 남해안에 상륙하면서 소멸하는 특이한 형태를 보였는데, 그렇지만 태풍 “예니”가 정체하면서 만들어낸 저기압은 영남지방으로 이동하면서 동해상의 차고 습한 공기를 쓸새없이 끌어들여 강한 비구름대를 만들어 냈다. 이로 인하여 실제 태풍이 닥치지도 않은 포항 등 경북 동해안 지방에 600mm가 넘는 폭우가 쏟아졌으며, 낙동강의 중하류 지방에서도 300mm 이상의 집중호우가 발생하여 하천 연변의 많은 지역에

침수피해가 발생하였다.

본 연구의 목적은 태풍 “예니”에 동반된 집중호우로 이러한 침수피해를 입게된 덕남제 지역의 침수원인을 정량적으로 분석하는데 있다. 이를 위하여 침수피해를 입은 지역의 지번별 표고를 수준측량으로 구하고, 최대침수위 흔적조사를 통하여 덕남제 지역의 낙동강의 최대수위를 추정한 후 각 지번별 침수기간을 산정하게 된다. 또한 외수침입이 없었을 경우 즉, 덕남제가 유실되지 않았을 경우를 가정하여 당시에 기록된 시우량 자료와 덕남 양배수장의 용량 등을 고려하여 강우-유출 관계를 이용, 지번별 내수침수의 발생여부와 발생기간을 산정하여 인위적인 재해(인재) 부분과 자연적인 재해(천재) 부분을 정량화하는 것이 본 연구의 내용이 된다.

## 2. 수해상황의 정리

### 2.1 덕남제의 수해발생 상황

덕남제 공사는 기존 제방을 약 2.8m 더뎛기하고 배수암거(2.0m×2.0m×2연)를 설치하는 공사이다. 이와 같은 공사의 일환으로 배수암거를 설치하기 위하여 하천유수 유입방지를 위한 가물막이 제방(공사차량 진입도로로 겸용)을 축조하고, 기존 제방을 절개하여 배수암거 46m중 구체일부(11.0m)와 나머지 바닥 콘크리트를 시공한 상태에서 '98년 9월 30일 태풍 ‘예니’에 동반된 집중호우로 인하여 제내지에 침수피해가 발생하였는데, 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

앞에서 설명한 바와 같이 '98년 9월 30일 태풍 ‘예

니"에 동반된 집중호우로 인하여 이날 오전 1시 30분 경부터 농경지 침수가 발생하기 시작하였다. 이러한 상황이 발생하자 당시 낙동강 외수위가 내수위보다 많이 낮으므로 우선 내수배제를 위해 가물막이 제방을 절개하고 낙동강 외수위가 상승하면 그때 가물막이 제방을 다시 막겠다는 계획하에 '98년 9월 30일 5시 30분경 가물막이 제방을 절개하였다. 그런데 낙동강 수계에 계속된 집중호우로 낙동강 외수위는 예상하던 것 이상으로 급격히 상승하였으며, 제방 절개부 단면의 유속이 매우 빠른 관계로 가물막이 제방 절개부의 차단작업은 성공하지 못하였다. 그 결과 '98년 9월 30일 19시 30분경 낙동강물이 역류하여 그로 인해 덕남제 주변의 덕남리와 이령리에 수해가 발생하게 되었다.

이로 인하여 농경지가 84ha가 침수피해를 입었으며, 시설물로는 가옥침수 5가구, 양어장 1개소, 저온저장창고 등의 피해가 발생하였다. 또한 태풍 "예니"에 의한 영향으로 낙동강 주변의 함안군과 창녕군은 각각 1,433ha, 1,138ha의 농경지 침수피해가 발생하였다.

### 2.2 수해 발생시의 기상 및 수문 상황

이번 수해 발생의 직접적인 원인은 태풍 "예니"에 동반된 집중호우이다. 9월 말에 발생한 태풍 "예니"는 기존의 태풍과는 생성과 소멸부터 특이한 형태를 지닌 태풍으로 볼 수 있다. 발생 위치면에서 볼 때 보통 태풍은 북위 15도 미만의 저위도 지역에서 발생하지만 "예니"의 경우는 9월 28일 대만 동쪽의 북위 20도에서 발생하여 한반도로 진출하였다. 또한 일반적으로 남부 지방에 상륙하는 태풍이 내륙을 관통하여 동해상으로 빠져나가는데 비하여 "예니"는 전남 장흥 지방에 상륙한 후 이동속도가 상륙전의 43km/h에서 4km/h으로 뚝 떨어지더니 전남 장흥과 인접한 전남 보성지방에서는 태풍이 소멸되는 특이성을 보였다. 일반적으로 태풍이 보통 육지에서는 높은 산 등 지형지물을 만나 속도가 떨어지기는 하지만 이처럼 한자리에 머물다 소멸하는 것은 극히 이례적인 경우에 해당한다.

태풍 "예니"가 이동을 멈추고 소멸한 이유는 가을로 접어들면서 한반도 부근까지 남하한 대륙성 고기압에 막힌 부분과 가을 태풍인 관계로 여름 태풍과는 달리 이동중 해상에서 에너지를 공급받지 못한 것이 그 원인인 것으로 분석되고 있다. 그렇지만 태풍 "예니"가 정체하면서 만들어낸 저기압은 영남지방으로 이동하면서 동해상의 차고 습한 공기를 실새없이 끌어들여 강한 비구름대를 만들어 냈다. 이로 인하여 실제 태풍이 닥치지도 않은 포항 등 경북 동해안 지방에 600mm가 넘는 폭우가 쏟아졌으며, 낙동강의 중하류 지방에서도 300mm 이상의 집중호우가 발생하여 하천 연변의 많은 지역에 침수피해가 발생하였다.

태풍 "예니"의 영향으로 영호남과 제주지역에서 30명이 숨지고 28명이 실종되는 인명피해가 발생하였으며, 전국의 논 1백5만4천ha 가운데 22.4%에 해당하는 23만6천여ha 논이 벼가 쓰러지거나 1.5%에 해당하는 1만6천여ha의 논이 침수되는 등 23.9%에 해당하는 논이 태풍으로 인한 피해를 입었다.

태풍 "예니"가 덕남제 지역에 어떠한 영향을 미쳤는지 알아보기 위하여 덕남제와 인접한 기상청 관할의 마산기상대와 밀양관측소의 '98년 9월 29일부터 10월 1일까지의 일강수량과 풍속을 살펴보았는데 그 내용은 다음에 있는 표 1.과 같다.

## 3. 수문 조사

### 3.1 강수량

덕남제 침수지역이 속해있는 함안군은 1개 읍(가야읍)과 9개 면(군북면, 법수면, 대산면, 칠서면, 칠북면,

표 1. 태풍 "예니" 상륙시의 기상청 관측 자료

구분	일자	일강수량(mm)	최대풍속(%)	평균풍속(%)	비고
마산기상대	98. 9. 29	42.7	5.3	3.8	
	98. 9. 30	227.1	6.8	4.0	
	98. 10. 1	6.5	5.3	3.3	
	합계	376.3			
밀양관측소	98. 9. 29	30.5	4.1	2.2	
	98. 9. 30	195.0	5.4	2.2	
	98. 10. 1	4.0	3.1	1.2	
	합계	229.5			

칠원면, 산인면, 여항면, 함안면)의 10개 읍면으로 구성되어 있으며, 덕남제 침수지역은 칠북면에 속해 있다. 읍면에서는 호우피해 감소를 위한 자료 수집의 일환으로 강우량을 측정하고 있는데, 태풍 “예니”에 의한 호우 발생시의 각각 읍면에서 관측된 시우량 자료는 함안군 재해대책본부에 보고된 사항을 이용하였으며, 이 시우량 자료를 강우-유출 분석에 사용하였다.

이 자료를 보면 태풍 “예니”에 의해 발생한 '98년 9월 29일부터 10월 1일까지의 3일간 누가우량이 가야읍 353mm, 군북면 282mm, 범수면 343mm, 대산면 305mm, 칠서면 346mm, 칠북면 342mm, 칠원면 385mm, 산인면 394mm, 여항면 332mm, 함안면 335mm로 군북면을 제외한 나머지 9개 읍면의 강우량이 300mm 이상을 보이고 있다. 같은 군에 있으면서도 산인면은 394mm로 최대강우량을 보이고 있으며, 반면에 군북면은 282mm로 최소강우량을 보이며 그 차이도 100mm 이상 되는 등 지역적인 편차를 보이고 있다. 침수피해가 발생한 칠북면의 누가우량은 342mm로 산술평균한 값(341.7mm)과 동일한 값을 보이고 있다.

### 3.2 수위

덕남제 인근에 위치하면서 시간별 수위관측을 시행하는 곳은 진동 수위관측소와 삼랑진 수위관측소이다. 그런데 진동 수위관측소는 덕남제 침수지역의 상류부 약 7km 지점에 위치하고 있고, 삼랑진 수위관측소는 덕남제 침수지역의 하류부 약 32km 지점에 위치하고 있어 거리상으로 진동 수위관측소가 삼랑진 수위관측소에 비하여 매우 가깝다. 또한 진동 수위관측소에서 덕남제 침수지역 사이의 낙동강 본류로 유입되는 하천은 낙동강 본류 수위에 영향을 미칠만한 규모가 있는 하천은 없고 소규모 지류만 있는 반면에, 덕남제 침수지역과 삼랑진 수위관측소 사이의 낙동강 본류로는 밀양강이라는 큰 하천이 유입되기 때문에 낙동강 본류 수위에 영향을 미칠 수 밖에 없다. 이와 같은 수문지형확적인 특성으로 인하여 덕남제 지역의 시간별 낙동강 외수위는 진동 수위관측소의 시수위와 밀접한 연관을 가질 수

밖에 없으므로, 이 자료를 이용하여 덕남제 지역의 시간별 낙동강 외수위를 산정하는 방법을 택하였다.

진동 수위관측소의 시수위 자료를 보면 10월 1일 18시의 수위가 12.04(E.L.m)로 최고수위를 기록하고 있다. 그런데 침수지역 측량 결과에 의하면 침수흔적으로 측정된 침수시의 최고수위가 11.86(E.L.m)임이 밝혀졌는데, 이는 덕남제의 낙동강 외수위의 최고수위가 11.86(E.L.m)가 됨을 의미한다. 즉, 진동 수위관측소의 최대수위 보다 덕남제 낙동강 외수위의 최대수위가 0.18m 작음을 알 수 있다. 그리고 홍수시의 평균 유속이 대략 10km/h 전후로 추정하기 때문에 덕남제의 낙동강 외수위는 진동 수위관측소의 수위가 1시간 지체되어 나타난다고 생각할 수 있다. 이와 같은 수문학적 분석 결과를 토대로 덕남제 지역의 낙동강 외수위를 진동 수위관측소의 시수위보다 0.18m 작고, 또한 나타나는 시간은 1시간 지체되어 나타나는 것으로 계산한 결과, 덕남제 지역의 낙동강 외수위는 진동 수위관측소에서 최대수위를 기록한 시간보다 1시간 늦은 10월 1일 19시에 11.86 (E.L.m)라는 최대수위를 기록하고 있음을 알 수 있다.

## 4. 침수지역 측량

침수지역의 지번별 표고를 측정하기 위한 수준측량은 측량전문업체에 의뢰하여 실시하였다. 측량방법은 국립지리원의 기본 수준점 성과를 이용하여 지형측량 및 침수위 측량을 하기 위한 모든 기준점에 대하여 왕복 측량을 실시하였고, 각 기준점의 표고는 왕복수준측량 성과의 평균치를 사용하였다.

오차는 공공측량 허용오차인  $1.5\sqrt{L}(km)$  mm 이내로 하였는데, 국립지리원에 의해 지정된 덕남제 인근의 기본 수준점 성과는 다음의 표 2.와 같다.

이와 같은 기본 수준점 성과를 이용하여 덕남제 침수지역에 대한 지번별 수준측량을 실시하여 표고를 측

표 2. 기본 수준점 성과

하천명	수준점번호 (BM NO.)	표고 (E.L.m)	위 치	비 고
덕남제	28 - 17	373.7975	경남 함안군 칠북면 방림 4리	1등 수준점

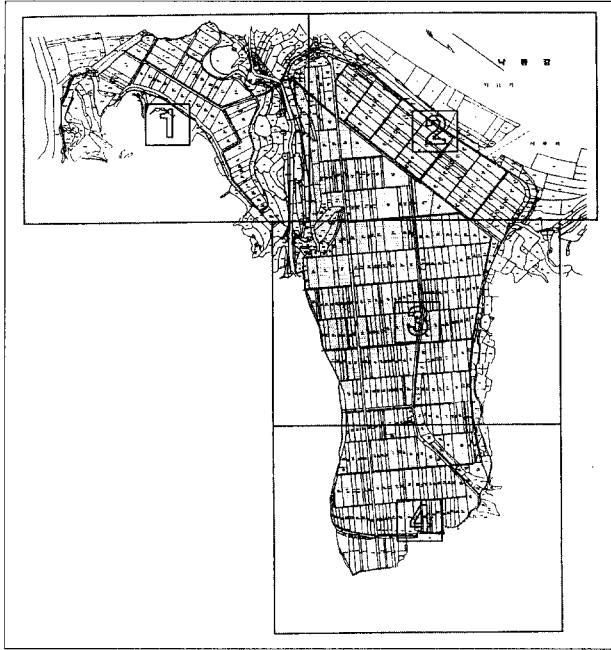


그림 1. 침수지역 구역도

정하였는데, 다음에 있는 그림 1은 수준측량을 실시한 침수지역 전체에 대한 구역도이다.

## 5. 피해기간 분석

### 5.1 낙동강 외수 침입으로 인한 침수기간 산정

낙동강 외수 침입으로 인하여 침수피해를 입은 지면별 침수기간은 덕남제 지역의 낙동강 외수위 자료로부터 시간별 수위를 구한후 수해발생 지역의 지면별 표고를 이용하여 계산하였다. 다음에 있는 표 3.은 수해발생 지역의 지면별 침수기간의 산정 예를 나타낸 것

표 3. 수해발생 지역의 지면별 침수기간 산정 예

구분	지면	지목	면적(m <sup>2</sup> )	표고(E.L.m)	침수기간(시간)	비고
경남 함안군	10-1	구	2,155	7.00	88	
칠북면 덕남리	10-2	답	1,773	7.55	81	
	16-2	구	282	7.00	88	
	17-1	답	710	9.50	55	
	17-2	전	724	8.95	63	
	17-3	전	192	8.95	63	

이다.

### 5.2 기존 제방시 침수기간 산정

태풍 "예니"에 동반된 집중호우로 인해 발생한 덕남제 지역의 침수피해는 낙동강 외수의 침입으로 인해 발생한 것이었지만, 덕남제 지역에 기존 제방이 그대로 있었을 경우에도 침수피해가 발생할 것인가를 살펴보고, 만일 침수피해가 발생하면 지면별로 얼마만큼의 침수기간이 될 것인가를 산정하여 보았다. 이를 산정하기 위해서는 세 단계가 필요한데, 첫째는 덕남제 지역의 강우량을 계산하는 것이고, 둘째는 강우량에서 손실량을 제외한 유효강우량을 계산하는 것이고, 셋째는 유효강우량과 기존 배수암거의 용량 및 덕남양배수장의 펌프용량을 고려하여 내수가 배제되는 여부를 계산하여야 한다.

#### 5.2.1 강우량 계산

덕남제 지역에 내린 시간별 강우량은 인근에서 측정된 시간별 강우량으로 추정할 수 있다. 통상적으로 강우량 자료의 신뢰성은 낙동강 홍수통제소에서 관리하는 것이 높고, 읍면에서 측정된 것은 전자보다 신뢰성이 약간 떨어지나 그 경향성 분석을 통하여 자료의 타당성을 검토하여 볼 수 있다. 그런데 침수피해가 발생한 덕남제 지역은 거리상으로 보아 홍수통제소에서 관리하는 진동 우량관측소, 임해진 우량관측소의 2개소와 칠북면 사무소와 비슷한 거리를 갖고 있으며, 총강우량 및 강우의 시간별 분포가 홍수통제소에서 관리하는 2개소의 우량관측소에서 측정된 값과 비슷한 경향을 보이고 있다. 따라서 이들 세 개 지점(진동 우량관측소, 임해진 우량관측소, 칠북면 사무소)에서 관측된 시간별 강우량의 평균값을 덕남제 침수지역의 강우량으로 계산하였는데, 총강우량은 326.02mm이고 시간별 강우량으로는 9월 30일 16시에 52.67mm로 최대값을 보이고 있다.

### 5.2.2 유효강우량의 계산

본 연구에서는 유효강우량을 정량화하기가 가장 간편하면서도, 유역의 특성을 모두 고려할 수 있는 기법으로 미국 토양보존국(U.S. Soil Conservation Service)에서 제안한 바 있는 SCS의 유효강우량 산정법을 사용하였다. 그런데 여기에서는 SCS 산정법에서 쓰이는 유출곡선지수인 CN을 토양, 피복형별 분포면적을 이용하여 구한 것이 아니라 당시의 호우상황을 재현시키면서 관측된 침수발생시기와 일치하는 CN을 찾는 방법을 사용하였다. 즉, 검증할 유출량 자료가 있기 때문에 강우-유출 관계를 이용하여 CN을 변화시켜 가면서 유출량을 계산한 후 이 값이 관측된 유출량 자료와 맞는 CN을 산정하였다. 이와 같은 방법으로 산정된 CN이 수문학적으로 유의성이 있는 값에 해당되면 이 값이 수문학적으로 그 호우사상에 가장 적합한 CN이 되는 것이기 때문이다.

CN을 산정하기 위해 침수가 발생한 덕남제 지역의 전체 유역면적과 침수지역내의 표고별 용적을 계산하였는데, 다음에 있는 그림 2는 덕남제 침수지역의 유역면적을 나타낸 것이다. 유역면적은 1/25,000 지형도상에서 분수계를 따라 유역경계를 표시한후 구적기를 이용하여 5회 반복측정(2.97km<sup>2</sup>, 2.95km<sup>2</sup>, 2.96km<sup>2</sup>, 2.97km<sup>2</sup>, 2.96km<sup>2</sup>으로 각각 측정됨)한 값을 평균하여 구하였는데, 그 결과 유역면적은 2.96km<sup>2</sup>으로 계산되었다.

CN을 산정하는데 기준이 된 내용은 '98년 9월 30일 오전 1시 30분부터 침수가 시작되었다는 사실이다. 그런데 모든 자료가 시간별로 있기 때문에 본 연구에서는 9월 30일 오전 1시부터 침수가 나타나는 것으로 보고, CN을 수문학적으로 유의성이 있는 숫자인 60에서 80까지 변화시켜가면서 전산프로그램을 작성하여 계산한 결과, CN=64임을 추정할 수 있었다. 이와 같이 구한 CN=64를 이용하여 덕남제 침수지역내의 유효강우량을 산정하였다.

### 5.2.3 강우-유출 관계를 이용한 침수기간 산정

CN을 이용하여 구한 유효강우량과 기존 배수암거

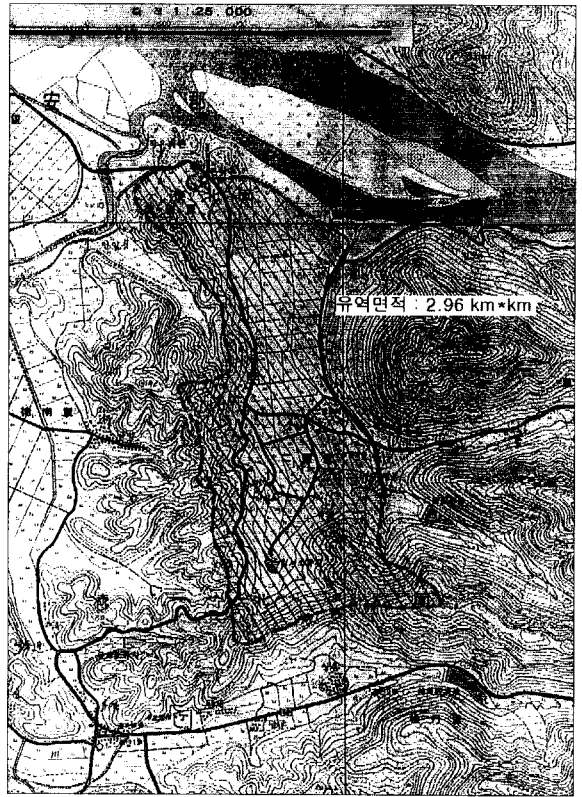


그림 2. 덕남제 침수지역의 유역면적

의 용량 및 덕남양배수장의 펌프용량을 고려하여 내수가 배제되지를 강우-유출 관계를 이용하여 계산하였다. 계산에 사용된 기존 배수암거 용량, 덕남양배수장의 용량, 가동시기 등은 다음과 같이 산정하였다.

① 기존 배수암거는 단면적이 2.0m×2.0m, 바닥의 표고가 5.2(E.L.m)이고 배제유속은 “낙동강수계 덕남제 및 수산제 하천개수공사 실시설계 보고서(1997. 8.)”에서 제시된 값인 2.0m/s로 정하여 배수용량을 산정하였다. 즉, 침수위가 7.2(E.L.m)보다 작을 경우에는 (침수위-5.2)m×2.0m×2.0m/s×3,600sec로 시간별 배수용량이 계산되고, 침수위가 7.2(E.L.m)보다 클 경우에는 2.0m×2.0m×2.0m/s×3,600sec로 시간별 배수용량이 계산되는 것이다.

② 덕남양 배수장은 디젤 205마력×750mm×2대, 전동기 100마력×300mm×1대, 75마력×300mm×

1대의 총 4대의 펌프를 갖추고 있다. 펌프용량은 디젤 펌프 2대가 133.9m<sup>3</sup>/min, 전동기 펌프 2대가 21.8m<sup>3</sup>/min로 총용량은 155.7m<sup>3</sup>/min인데 총용량을 시간당 배수용량으로 계산하면 9,342m<sup>3</sup>(=155.7m<sup>3</sup>/min×60min)가 된다.

③ 덕남양 배수장은 배수암거가 닫혀 있거나 열려 있는 상황에서도 배수암거의 배수용량 부족으로 인해 침수가 발생하면 전량 가동하고, 낙동강 외수위가 배수암거의 내수부분 표고인 5.2(E.L.m)에 근접하여 급격히 상승하는 경우에는 배수문을 닫는 것(본 연구에서는 9월 30일 14시가 여기에 해당됨)으로 실제와 가장 유사한 상황으로 가정하였다.

이와 같은 방법을 이용하여 덕남제 기존제방이 있을 경우에 대한 침수지역의 지번별 침수기간을 계산하였는데 그 산정 예는 다음에 있는 표 4.와 같다. 계산 결과에 의하면 덕남제 기존제방이 있었을 경우에도 표고가 8.08(E.L.m) 이하인 지역은 침수피해가 발생하는 것으로 나타났다.

앞에 있는 표 3.과 표 4.에서 알 수 있는 바와 같이

표 4 기존제방시 수해발생 지역의 지번별 침수기간

구분	지번	지목	면적(m <sup>2</sup> )	표고(E.L.m)	침수기간(시간)	비고
경남 함안군 칠북면 덕남리	10-1	구	2,155	7.00	42	
	10-2	답	1,773	7.55	27	
	16-2	구	282	7.00	42	
	17-1	답	710	9.50	0	
	17-2	전	724	8.95	0	
	17-3	전	192	8.95	0	

표 5. 상황에 따른 수해발생 지역의 지번별 침수기간 비교

구분	지번	면적(m <sup>2</sup> )	표고(E.L.m)	침수기간(1시간)	침수기간(2시간)	침수기간(3시간)
경남 함안군 칠북면 덕남리	10-1	2,155	7.00	88	42	46
	10-2	1,773	7.55	81	27	54
	16-2	282	7.00	88	42	46
	17-1	710	9.50	55	0	55
	17-2	724	8.95	63	0	63
	17-3	192	8.95	63	0	63

- 주) 1. "침수기간 1"은 낙동강 외수 침입으로 인한 침수기간임.  
 2. "침수기간 2"는 덕남제 기존제방시에 대한 침수기간임(자연재해 부분).  
 3. "침수기간 3"은 앞의 두 기간의 차이값임(인위재해 부분).

이번 침수피해를 입은 지역중 표고가 8.08(E.L.m) 이하인 지번은 침수피해가 발생함을 알 수 있다. 이는 덕남제 기존제방이 있을 경우에도 태풍 "예니"에 동반된 집중강우가 매우 강했기 때문에 침수피해가 발생할 수밖에 없고, 이부분은 자연재해(천재)로 인한 침수피해로 볼 수 있다. 이와 같은 내용을 정리하여 살펴보면 다음에 있는 표 5.와 같다. 이 표에서 "침수기간 1"은 낙동강 외수의 침입으로 인한 침수기간이고, "침수기간 2"는 덕남제 기존제방시에 대한 침수기간이며, "침수기간 3"은 앞의 두 기간의 차이값이다. 즉, 공학적으로 보아서 "침수기간 2"는 자연재해(천재)로 볼 수 있으며, "침수기간 3"이 낙동강 외수 침입으로 추가적으로 발생한 인위재해(인재)로 볼 수 있다.

## 6. 결론

본 연구에서는 태풍 "예니"에 동반된 집중호우로 침수피해를 입게된 덕남제 지역의 침수원인을 정량적으로 분석하였다. 분석은 침수피해를 입은 지역의 지번별 표고를 수준측량으로 구하고, 최대침수위 흔적조사를 통하여 덕남제 지역의 낙동강 최대수위를 추정한 후 각 지번별 침수기간을 산정하는 방법으로 수행되었다. 또한 외수침입이 없다고 가정할 경우 즉, 덕남제가 유실되지 않았을 경우를 가정하여 당시에 기록된 시수량 자료와 배수암거 및 덕남양배수장의 용량을 고려하여, 강우-유출 관계

로부터 지번별 내수 침수의 발생여부와 발생기간을 산정함으로써 인위적인 재해(인재) 부분과 자연적인 재해(천재) 부분을 정량화하는 방법으로 수행되었다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수

있었다.

① 최대침수위 흔적조사를 통해 얻은 덕남제 지역의 낙동강 외수 침입으로 발생한 최대침수위는 11.86 (E.L.m)이고, 이를 통하여 지번별 침수기간을 산정하였다.

② 강우-유출 관계를 이용하여 덕남제 기존제방이 있을 경우에 대한 이번 침수지역의 지번별 침수기간을 계산하였는데, 그 결과에 의하면 덕남제 기존제방이 있었을 경우에도 표고가 8.08(E.L.m) 이하인 지역은 침수피해가 발생하는 것으로 나타났다. 이는 덕남제 기존제방이 있을 경우에도 태풍 “예니”에 동반된 집중강우가 매우 강했기 때문에 침수피해가 발생할 수 밖에 없고, 이부분은 자연재해(천재)로 인한 침수피해로 볼 수 있다.

③ 이와 같은 앞의 두 경우에 대한 분석을 종합한 결과(표 5 참조), 이 표에서 “침수기간 1”은 낙동강 외수

의 침입으로 인한 침수기간이고, “침수기간 2”는 덕남제 기존제방시에 대한 침수기간이며, “침수기간 3”은 앞의 두 기간의 차이값이기 때문에 공학적으로 보아서 “침수기간 2”는 앞에서 설명한 바와 같이 자연재해(천재)로 볼 수 있으며, “침수기간 3”이 낙동강 외수 침입으로 추가적으로 발생한 인위재해(인재)로 볼 수 있다.

④ 이번 덕남제의 홍수피해를 정량적으로 분석하는 과정속에서, 앞으로 덕남제의 더뚱기 및 배수암거 확장(기존 배수암거보다 단면적의 2배 확장)공사가 완료된다 하여도, 낙동강 외수위가 배수암거보다 높은 상황에서는 내수를 전량 덕남양 배수장의 펌프를 이용하여 강제배수하여야 하는데, 덕남양 배수장의 배수용량이 시간당 9,342m<sup>3</sup>에 불과하기 때문에 침수피해가 발생할 소지가 있다. 따라서 이와 같은 내수로 인한 침수피해를 방지하기 위해서는 덕남양 배수장의 배수용량을 확장시키는 것이 필요하다고 판단한다. ●

### 〈참고문헌〉

1. 건설교통부 부산지방국토관리청(1997), 낙동강 수계 덕남제 및 수산제 하천개수공사 실시설계 보고서.
2. 건설교통부 부산지방국토관리청(1999), 낙동강 덕남제 수해피해 원인 분석.
3. 기상청(1998), 기상월보(9월호).
4. 선우중호(1985), 수문학, 동명사.
5. 예산군(1997), 무한천 방재종합대책 수립.
6. 윤용남(1992), 공업수문학, 청문각.
7. Chow, V. T.(1964), Handbook of Applied Hydrology, McGraw-Hill.