

GIS를 이용한 도시지역 돌발홍수 침수예상지도 작성 및 대피강우기준 개발*

신상영^{1*} · 여창건² · 백창현³ · 김윤종⁴

Mapping Inundation Areas by Flash Flood and Developing Rainfall Standards for Evacuation in Urban Settings*

Sang-Young SHIN^{1*} · Chang-Geon YEO² · Chang-Hyun BAEK³
Yoon-Jong KIM⁴

요 약

본 연구는 XP-SWMM 모형과 GIS 기법을 이용하여 도시지역인 사당동 지역의 국지성 돌발홍수를 사례로 강우단계에 따른 내수침수상황을 모의하여 침수예상지역을 분석하고 그에 따른 대피강우기준을 개발하였다. 사당천의 배수영향을 크게 받는 지역적 특성을 고려하여 배수관망해석시 사당천 좌안 기점수위를 지정, 경계, 위험 홍수위 및 만수위로 입력한 후 각 수위에 대하여 강우를 단계별로 적용하여 침수예상지역을 분석하였고, 이를 바탕으로 침수예상지도를 작성하였다. 분석된 결과를 통하여 사당동지역의 경우 대피강우기준을 2단계인 준비 및 경계강우(40mm/hr), 대피강우(65mm/hr)로 설정하였다. 본 연구에서 제시된 침수예상지도 작성 및 대피강우기준 개발 방법론을 응용함으로써 도시지역 침수피해에 대비한 합리적인 방재대책 및 침수피해 최소화를 위한 효과적인 대응체계를 구축하는데 크게 기여할 것으로 사료된다.

주요어 : 국지성 돌발홍수, XP-SWMM, 침수예상지도, 대피, 강우기준

ABSTRACT

As local flash flood exceeding planned capacity occurs frequently, localized preparedness and response to flood inundation are increasingly important. Using XP-SWMM model and GIS techniques, this study analyzes inundation areas by local flash flood and develops rainfall standards for evacuation

2005년 10월 4일 접수 Recieved on October 4, 2005 / 2005년 11월 3일 심사완료 Accepted on November 3, 2005

* 이 논문은 서울특별시 동작구청 지원 연구의 일환으로 파생되어 이루어진 것임.

1 서울시정개발연구원 부연구위원 Seoul Development Institute

2 서울시정개발연구원 연구원 Seoul Development Institute

3 건설교통부 한강홍수통제소 토목연구소 Han River Flood Control Office, Ministry of Construction & Transportation

4 서울시정개발연구원 선임연구위원 Seoul Development Institute

※ 연락처 E-mail: syshin@sdi.re.kr

with the case of Sadang-Cheon area, a local stream and its nearby highly populated watershed in the southern part of metropolitan Seoul. Flood inundation areas overflowed from drainage systems are analyzed and mapped by amount of rainfall that is derived from reference levels of stream flow. Rainfall standards for evacuation are comprised of 'watch'(40mm/hr) in preparing for near-future inundation and 'evacuation'(65mm/hr) in responding to realized inundation. The methods suggested by this case study may be applied to other urban areas for sound flood prevention policy measures and thus risk minimization.

KEYWORDS : *Local Flash Flood, XP-SWMM, Flood Inundation Area Map Evacuation, Rainfall Standards*

서론

최근 들어 지구온난화, 엘니뇨 등의 기상이변에 의하여 단시간 동안 특정지역에 집중되는 국지성 극한강우가 빈번히 발생하고 있으며, 이에 따른 재산피해 및 인명피해가 늘어나고 있다. 우리나라는 1995년 중부지방 대홍수, 1996년 및 1999년 임진강유역 대홍수, 2002년 태풍 루사, 2003년 태풍 매미 등 90년대 중반 이후 국지성 극한강우에 의한 홍수피해 발생빈도가 급격히 증가하는 추세이다. 특히 지난 2001년 7월 14일부터 15일 새벽사이에 서울을 중심으로 인천·경기지역의 침수피해는 최고 310mm의 강우에 의해 발생했으며, 관악구의 경우에는 시간당 156mm로 1998년 7월 31일 순천에서의 우리나라 최고시우량(21:50~22:50)인 145mm를 상회하는 양의 큰비가 내려 인명과 재산피해를 발생시켰다. 이와 같이 돌발적이고 집중적인 강우로 인한 홍수에 대비하기 위해서는 일반적인 기상특보, 홍수에·경보체계 외에 지역적 특수성을 반영한 개별적인 강우기준을 설정하여 이를 바탕으로 주민대피체계를 수립하는 것이 필요하다.

한편, 서울시를 비롯하여 우리나라 대도시지역에서의 침수피해는 하천범람에 의한 외수침수보다는 내수배제가 제대로 이루어지지 못해 발생하는 내수침수가 주된 원인이다. 내수침수피해는 하수관거, 배수시설 등의 용량부족으로 발생하지만, 수방시설에 대한 적극적인 투자를 통

해 충분한 처리용량을 갖추었다고 하더라도, 앞서의 국지성 돌발강우는 빈번히 설계용량을 초과하기 때문에 하수역류 등 침수피해를 방지하는데 어려움이 있는 실정이다. 따라서 이러한 설계강우를 초과하는 국지성 돌발강우에 대비한 단기적인 대책의 하나는 국지성 돌발강우에 대한 수리·수문학적 분석을 통해 침수지역을 예측하여 지역적 특수성을 반영한 강우기준을 설정하고, 이를 기초로 하여 주민대피체계를 수립하는 것이 필요하다.

지금까지 도시지역 내수침수에 대한 연구로 살펴보면, 최계운 등(2004)이 XP-SWMM 모형을 활용하여 매립된 인천교 주변 하수관거의 통수능을 수치해석을 통하여 분석하고 배수체계 및 주변의 내수배제의 문제점을 파악하여 침수 개선방안을 제시하였고, 한건연 등(2002)은 도시유출 배수시설 용량 부족으로 인해 발생하는 월류 유량을 2차원 범람 홍수 해석 모형을 개발하여 지표면 2차원 범람양상에 대한 범람수심과 유속분포 등을 계산하였다.

한편, 침수지역 예상에 대한 연구로는 김계현·김준철(2001)이 인천 서구지역을 대상으로 하수도 관망해석시스템을 이용하여 통수능 부족지역을 예측하여 이를 기반으로 침수지역을 예측하였으며, 김철 등(2001)이 경기도 문산지역에 대하여 GIS를 이용하여 수치표고모형, 토지이용도 및 빈도별 홍수위를 이용하여 침수예상지역을 설정한 바 있다. 또한 김운태 등(2002)은 돌발홍수예경보 시스템의 기본개념을 이용하

여 평창강 유역내 미소유역별 제방일류량을 산정하여 미소유역규모의 한계유출량 산정 시스템을 개발하였다.

지금까지의 연구들을 볼 때, 도시지역의 침수예상분석과 GIS를 이용한 침수지역분석, 그리고 돌발홍수예경보에 대한 연구들은 있었지만, GIS기법을 적극적으로 활용하여 도시지역 침수에 대한 대피강우기준을 연구한 사례는 상대적으로 미미하다고 판단된다.

이에 본 연구는 도시지역의 내수침수를 중심으로 국지성 돌발홍수에 따른 침수예상지역을 분석하고 침수피해에 대비한 대피강우기준을 설정하는 것을 목적으로 한다. 사례분석지역으로 서울시 사당천 좌안유역인 사당동 지역을 선정하였다. 하수관거 통수능 분석과 범람유량계산하기 위하여 수문모형인 XP-SWMM모형을, 침수예상지역 분석 및 지도화를 위하여 GIS를 이용하였다. 즉, 강우규모에 따른 하수관거 통수능력과 침수예상지역을 모의하고, 침수상황에 따른 합리적이고 체계적인 주민대피 강우기준을 설정하였다.

참고로, 본 연구에서 실제 침수지역은 「재해구호법」 등에 따라 침수피해세대들에 지급되는 복구자금 또는 위로금이 지급내역을 기록한 「침수피해주택 관리대장」을 기초로 식별된 것이다. 그러나 자료의 한계로 침수여부는 확인할 수 있지만, 침수심, 피해정도, 비주거지역에 대한 침수 등 보다 상세한 실측정보를 파악하는데에는 제약이 있었음을 밝혀둔다.

사례분석지역

본 연구의 사례분석 대상유역은 홍수기에 상습적으로 침수되는 사당천 좌안유역인 사당동 지역으로서, 특히 가장 최근인 2001년도에는 설계강우를 초과한 집중호우에 의해 광범위한 지역에 걸쳐 저지대 침수가 발생한 바 있다. 그림 1은 대상지역의 위치 및 과거(1998년, 2001년, 2003년) 침수흔적을 보여주고 있다. 참고로, 사당천 유역면적은 13.7km², 유로연장은 7.5km이다.

사당동 지역의 하수관거는 사당천으로 연결되어 우기시에 직접 사당천으로 배수되기 때문에 사당천의 수위에 따라 많은 영향을 받고 있으며, 특히 사당천이 복개하천이기 때문에 만수위가 되면 하수관거의 배수불량으로 인하여 일대지역의 침수피해가 빈번하게 발생되고 있다 (표 1 참조).

사당동 지역은 사당, 이목, 이수 of 3개 배수분구로 구성되어 있으며, 배수분구에 대한 하수관거는 총 685개의 링크와 542개의 노드로 구성되어 있다. 각 배수분구에 대한 소유역의 분할 및 하수관거의 분포현황은 그림 2와 같다. 본 연구에서는 하수도 GIS자료에서 관경 600mm 이상 관을 추출하여 XP-SWMM의 GIS 모듈을 사용하여 입력자료로 구성하였다. 토지이용에 따른 불투수포장을 분포현황은 그림 3와 같으며, 사당천에 인접한 지역의 대부분이 90% 이상의 불투수 지역으로 이루어져 있다.

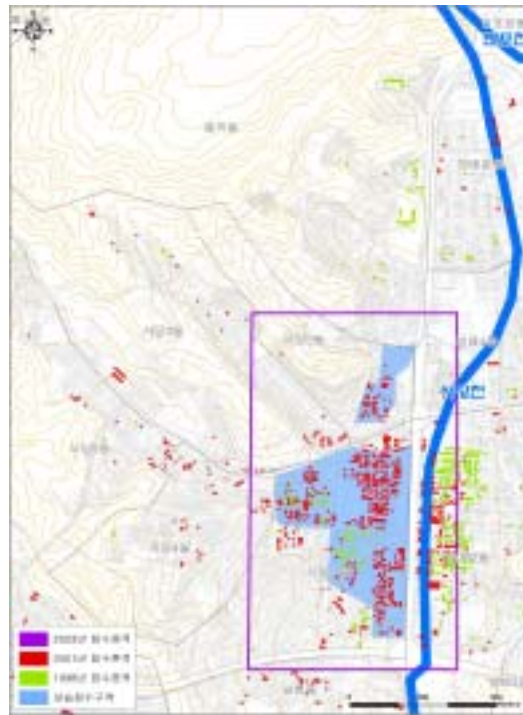


FIGURE 1. 대상지역의 위치 및 과거 침수흔적

TABLE 1. 최근 사당천 좌안지역 침수세대 현황 및 침수원인

구분	1998	2001	2003	계	침수원인
동작구	288	2,240	26	2,554	
사당동	179	1,064	0	1,243	· 집중호우에 의한 저지대 침수 · 노면배수불량으로 우수 유입

자료: 서울특별시, 2001; 동작구, 2004

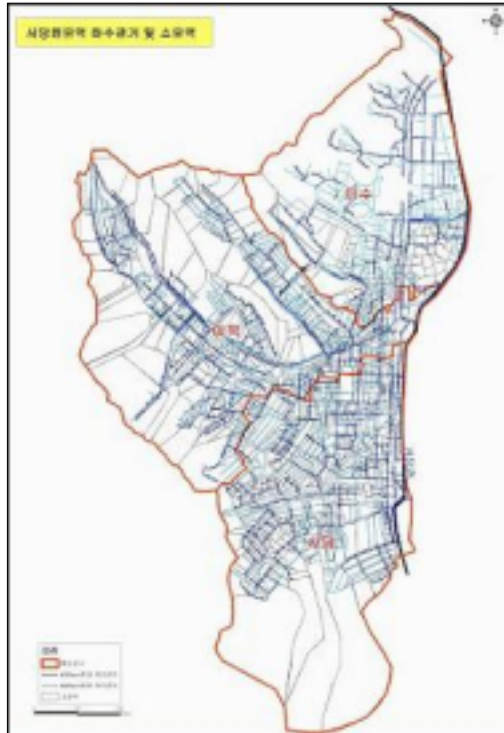


FIGURE 2. 배수분구 소유역 및 하수관거 현황

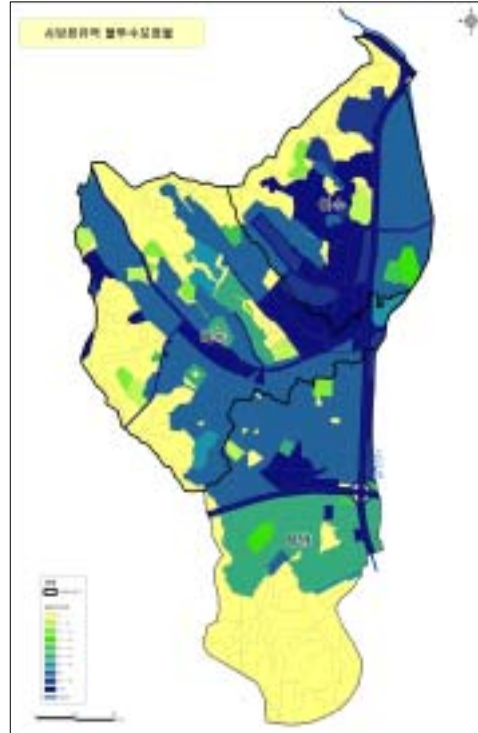


FIGURE 3. 불투수포장 현황

모형의 설정 및 검증

1. 모형설정

사당동 지역은 사당천 좌안유역에 위치하여 강우시 이들 지역의 하수관거 배수능력은 사당천의 수위에 따라 상당히 좌우되므로 사당천의 수위와 관련된 강우기준을 개발하는 것이 중요하다. 그러나 일반적으로 강우예측이 어려운데다가 강우가 유역에 내린 후에도 유역특성인자의 영향으로 불확실성이 많이 내포되어 있으며

로 정확한 기준을 제시한다는 것은 어려우며, 선진 외국의 경우에도 하천 수위에 따른 홍수에·경보기준을 제시하고 있는 실정이다.

또한 사당천은 복개하천이고 아직 수위계 설치되어 있지 않아 강우시 정확한 사당천 수위를 확인하는 것은 불가능하므로 사당천 수위에 대한 강우량의 관계를 고려한 대피강우기준 개발이 절실히 요구된다. 따라서 본 연구에서는 주민대피를 위한 강우기준을 설정하기 위하여 사당천의 각 수위들에 대해 강우를 단계별로 적

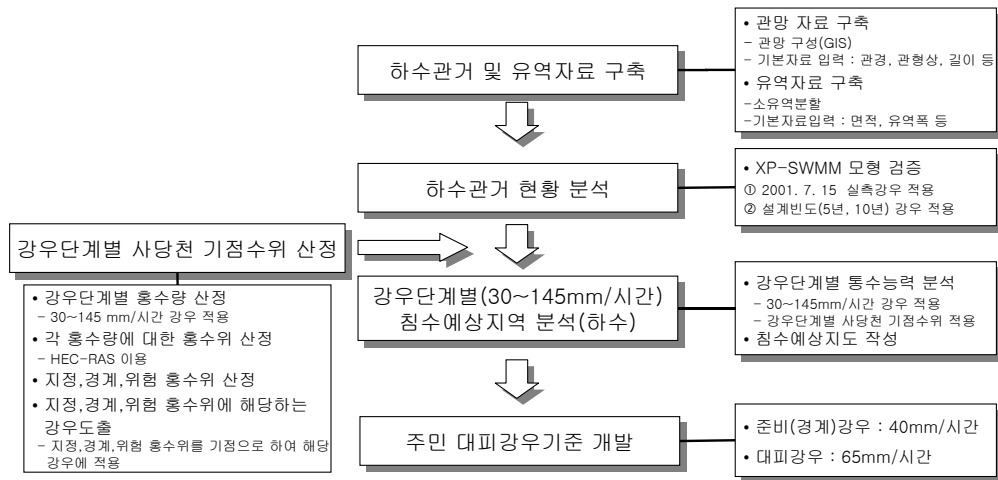


FIGURE 4. 대피강우기준 개발 절차

용하였으며, 이를 바탕으로 침수예상지역을 분석하였다.

대피강우기준 개발절차는 그림 4와 같으며, 하수관거 및 유역자료 구축, 하수관거 현황분석, 강우단계별 침수예상지역 분석, 대피강우기준 개발의 과정으로 이루어진다. 우선, 기존 하수관거의 현황분석을 위하여 실측강우를 적용하여 통수능력 평가 및 검증용 실시하였으며, 설계빈도 강우를 기준으로 하수관거의 소통용량을 검토하였다. 다음으로 상당천의 수위에 대한 강우단계별 하수관거 통수능력을 분석하여 침수예상 지도를 작성하였으며, 마지막으로 강우기준별 침수예상지도를 이용하여 침수심 및 침수범위를 고려한 대피강우기준을 개발하였다.

2. 모형검증

사당동 지역에 대한 통수능력 분석과 범람유량을 계산하기 위하여 수문모형인 XP-SWMM 모형을 이용하였으며, 모형의 적용성을 검토하기 위하여 2001년 7월 15일의 실측강우에 대해서 검증을 실시하였다. 홍수피해 당시 침수심에 대한 실측자료의 부족으로 인해 침수흔적도와 모형분석결과를 비교하여 적용성을 검토하였다. 2001년 7월 15일 강우에 의한 하수관거의 통수

능력 분석은 동작구 기상관측소의 강우자료를 이용하였으며, 시간별 우량자료는 그림 6과 같다. 이때 시간당 최대 102mm의 호우가 15일 2~3시간 동안 지속되었으며, 이 날의 일강우량은 291mm를 기록하였다.

그림 7은 2001년 실측강우에 대한 모의결과와 실제 발생된 침수흔적도를 비교하여 모형을 검증한 결과이다. 모의를 통한 범람 발생지점과 침수흔적도에서의 실제 침수피해지역이 일부지역을 제외하고는 상당부분 일치하여 본 연구에서 이용되는 모형이 침수예상분석을 수행하기 위해 적절한 것으로 판단되었다.



FIGURE 5. XP-SWMM 모형을 이용한 하수관망 구성 현황

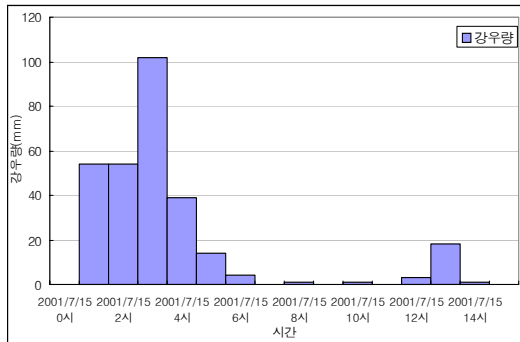


FIGURE 6. 2004년 7월 15일 시간별 강우량



FIGURE 7. 실측강우에 대한 모의결과와 과거 침수흔적도에 의한 침수지역 비교

강우단계별 침수예상지역 분석 및 대피강우기준 개발

1. 사당천 기점수위 산정

사당천으로 직접 배수되는 하수관거는 모두 6 곳으로 사당에서 3곳, 이목에서 2곳, 이수에서 1 곳으로 구성되어 있다. 본 연구에서는 하수관거가 합류되는 사당천의 기점수위를 지정홍수위, 경계홍수위, 위험홍수위 및 만수위로 구분하였고, 각 홍수위는 HEC-RAS 모형에 계획홍수위를 적용하여 산정하였으며, 결과는 표 2와 같다.

2. 강우단계별 통수능력 및 침수예상지역 분석

강우단계별 하수관거의 통수능력을 분석하기 위하여 강우를 20mm/hr부터 145mm/hr까지 1 시간 지속기간에 대해 적용하였으며, 65mm/hr까지는 5mm/hr 간격으로 구분하였고 65mm/hr 이상은 빈도별로 강우를 적용하여 분석을 실시하였다. 분석결과, 40mm/hr의 강우부터 맨홀월류를 통한 범람이 발생하였으며, 65mm/hr의 강우부터는 0.5m이상의 침수심을 갖는 지역이 발생하기 시작하였다. 표 3은 사당천의 각 기점수위들에 대한 강우단계별 하수관거 통수능력을 분석한 결과이며, 그림 8은 강우단계별로 범람 지점에서 발생하는 범람유량과 체적을 산정하여 수치지형도에 침수범위와 침수심을 표시하여 나타낸 침수예상지도 작성결과이다.

3. 대피강우기준 개발

앞서 분석한 강우단계별 침수예상지역 분석을 기준으로 하여 침수심 및 침수범위를 고려한

TABLE 2. 배수지점에 대한 홍수위 결과

구분	사당		이목		이수	
	No. 46	No. 42	No. 40	No. 36+17	No. 34	No. 19
위험홍수위	14.84	14.56	14.49	14.27	14.21	14.17
경계홍수위	13.67	13.31	13.22	12.98	12.92	12.63
지정홍수위	12.46	11.66	11.41	11.1	11.08	11.02

주: 위험홍수위, 경계홍수위, 지정홍수위는 각각 계획홍수량의 70%, 50%, 20%에 해당하는 유량이 흐를 때 수위를 말함

TABLE 3. 강우단계별 하수관거 통수능력 분석결과

강우단계 강우량 (mm/hr)		기준홍수위			범람 지점 개소								
		지정홍수위			경계홍수위			위험홍수위			만수위		
강우량 (mm/hr)	빈도 (년)	사당	이목	이수	사당	이목	이수	사당	이목	이수	사당	이목	이수
		20		-	-	-							
25		-	-	-									
30		-	-	-									
35		-	-	-									
40		3	4	-									
45		5	6	-									
50					11	10	-						
55					13	16	1						
60					18	18	1						
65	5				19	23	2						
75	10							41	34	6			
85	20										48	37	6
95	40										52	49	9
100	60										54	52	10
110	100										58	55	10
120	200										64	59	10
145	1000										74	67	11

주: 지점별 수치는 통수능력 부족으로 인한 범람지점(맨홀)의 수를 나타냄.



FIGURE 8. 강우단계별 침수예상지도 예시

대피강우범위를 설정하였다. 이때 강우단계별 침수예상지도에서 침수범위가 급변하거나 대피자들의 도보이동에 영향을 미칠 수 있는 침수심에 도달할 때를 기준으로 하여 대피강우범위를 3가지로 설정하였으며, 각 대피강우범위에 해당되는 침수예상지역을 블록별로 구분하여 침수지역도를 작성하였다. 표 4는 대피강우 범위를 나타내며, 그림 9는 강우범위에 따른 침수지역도를 나타낸다.

침수지역도를 바탕으로 사당천 지역 돌발홍수의 특수성을 반영할 수 있는 대피강우기준으로서 대피준비 및 경계강우와 대피강우 2단계로 구분하여 선정하였으며, 대피강우기준 선정결과는 표 5와 같다. 대피준비 및 경계단계에서는 주민들이 강우상황을 보며 대피준비를 하고 침

수가능성에 대한 경계를 해야 하며, 지속적으로 강우가 증가하여 대피강우단계에 도달하면 주변의 안전한 대피장소로 실제적인 이동이 이루어져야 된다.

결론

도시지역에서 국지성 돌발강우가 점차 증가하고 있으며, 설계용량을 초과하는 경우도 빈번히 발생하고 있다. 이에 대비하기 위해서는 하수관거, 저류시설 등의 확충과 같은 구조적인 대책으로는 한계가 있고, 지역적 특수성을 반영한 강우상황기준을 개발하고 대피체계를 시행하는 비구조적인 대책을 병행할 필요가 있다. 이에 본 연구는 XP-SWMM 모형과 GIS 기법을

TABLE 4. 대피강우의 범위 설정

구분	상 황 기 준	강우기준	침수심	비고 (사당천 수위)
강우시작 ~ 40mm/hr	침수피해 없음	-	-	· 45mm/hr이하 - 지정홍수위
40~65mm/hr	범람유량이 일부지점에서 발생하나 그 양이 적어서 침수범위는 크지 않지만 노면침수가 발생하고 반지하주택과 같은 지하시설에 노면수가 유입되어 일부 침수피해가 예상된다.	대피준비 및 경계 강우 (40mm/hr)	0.5m 이하	· 45~65mm/hr - 경계홍수위 · 65~75mm/hr - 위험홍수위
65mm/hr이상	과대한 범람유량으로 저지대 대부분 구역이 침수되며 지하시설 뿐만 아니라 노면, 지상건물 등 침수피해가 상당히 많은 지역으로 확산됨.	대피 강우 (65mm/hr)	0.5m 이상	· 75mm/hr이상 - 만수위

TABLE 5. 대피강우기준 설정

단계구분	기준강우량 (mm/hr)	예상 침수심(m)	상황	피해예상규모
대피준비 및 경계단계	40	0.5 이하	시간당 40mm의 강우가 내리며, 계속 강우 예상시	· 침수발생, 침수범위 작음 · 노면침수발생 · 지하시설 침수피해 예상
대피단계	65	0.5 이상	시간당 65mm의 강우를 초과하며, 계속 강우 예상시	· 과대한 범람으로 저지대 침수 · 노면, 지하시설, 지상건물 침수 · 침수피해지역 확산

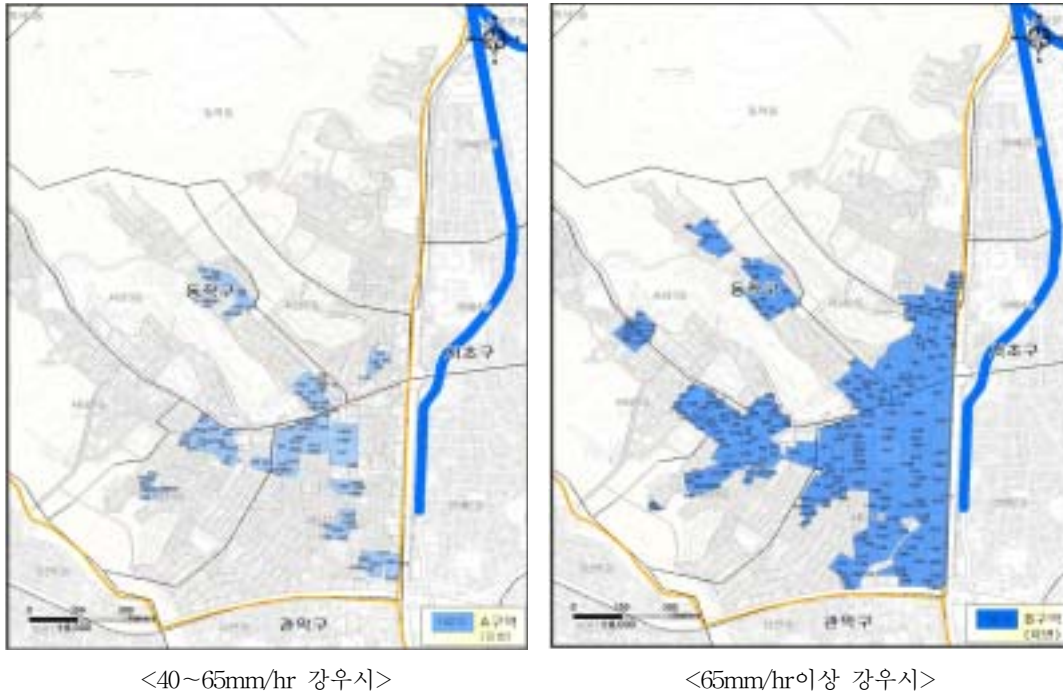


FIGURE 9. 강우범위에 따른 침수예상지역도

이용하여 도시지역인 사당동 지역의 국지성 돌발홍수를 사례로 강우단계에 따른 내수침수상황을 모의하여 침수예상지역을 분석하고 그에 따른 대피강우기준을 개발하였다. 사당동의 배수영향을 크게 받는 지역적 특성을 고려하여 배수관망해석시 사당천 기점수위를 지정, 경계, 위험홍수위 및 만수위로 입력한 후 각 수위에 대하여 강우를 단계별로 적용하여 침수예상지역을 분석하였고, 이를 바탕으로 침수예상지도를 작성하였다. 분석된 결과를 통하여 사당동지역의 경우 대피강우기준을 2단계인 준비 및 경계강우(40mm/hr), 대피강우(65mm/hr)로 설정하였다.

향후 본 연구의 결과를 토대로 대상지역의 대피인원 및 침수예상지역을 고려한 대피소 및 대피경로를 선정하여 대피지도를 추가 작성하게 되면, 도시지역 침수피해에 대비한 합리적인 방재대책 및 침수피해 최소화를 위한 효과적인 대응체계를 구축하는데 크게 기여할 것으로 사료된다. **키워드**

참고문헌

김계현, 김준철. 2001. GIS 기반의 하수도 관망 해석을 통한 침수피해지역 예측에 관한 연구. 한국GIS학회지. 9(3): 493-507쪽.

김운태, 배덕효, 조천호. 2002. 돌발홍수예보를 위한 미소유역의 한계유출량 산정. 한국수자원학회 논문집. 35(5): 553-561쪽.

김철, 김석규, 김계호. 2001. GIS를 이용한 침수지역 분석. 한국수자원학회 학술발표회 논문집(II). 1026-1031쪽.

동작구. 2004. 재난대비 주민대피 체계도.

동작구. 2004. 지역방재계획.

서울특별시. 2001. 수해백서. 한국수자원학회.

서울특별시. 2002. 반포천 등 5개 하천정비 기본계획(반포천, 고덕천, 개화천, 세곡천, 여의천) 보고서.

- 서울특별시. 2004. 대동천 등 7개 하천정비기본 계획.
- 송재우. 2001. 관악구 수해원인조사 및 복구대책 연구보고서. 한국수자원학회.
- 심순보, 김주훈, 임광섭, 오덕근. 2003. GIS를 이용한 홍수범람 분석. 한국지리정보학회지. 6(1): 132-142쪽.
- 최계운, 김기형, 조준범, 한현준. 2004. XP-SWMM모형을 활용한 인천교 매립지 침수 피해 경감에 관한 연구. 한국수자원학회 학술발표회 논문집. 116-121쪽.
- 최성열, 이재영, 조원철, 이재호, 최철관. 2003. GIS를 이용한 도시유역 홍수침수 분석시스템 구축. 한국GIS학회지. 11(2): 155-170쪽.
- XP Software. 2000. XP-SWMM Manual. 