

상관계수가중치법을 적용한 실시간 강우량 추정에 따른 도로 침수위험지수 개발 방법에 대한 연구

김은미[†], 이경현^{**}, 김창수^{***}

Study on the Method of Development of Road Flood Risk Index by Estimation of Real-time Rainfall Using the Coefficient of Correlation Weighting Method

Eunmi Kim[†], Kyung Hyun Rhee^{**}, Chang Soo Kim^{***}

ABSTRACT

Recently, flood damage by frequent localized downpours in cities are on the increase on account of abnormal climate phenomena and growth of impermeable area by urbanization. In this study, we are focused on flooding on roads which is the basis of all means of transportation. To calculate real-time accumulated rainfall on a road link, we use the Coefficient of Correlation Weighting method (CCW) which is one of the revised methods of missing rainfall as we consider a road link as a unobserved rainfall site. CCW and real-time accumulated rainfall entered through the Internet are used to estimate the real-time rainfall on a road link. Together with the real-time accumulated rainfall, flooding history, rainfall range causing flooding of a road link and frequency probability precipitation for road design are used as factors to determine the Flood Risk Index on roads. We simulated two cases in the past, July, 7th, 2009 and July, 15th, 2012 in Busan. As a result, all of road links included in the actual flooded roads at that time got the high level of flood risk index.

Key words: Flood Risk Index, Missing Rainfall Data, Road Flooding, Real-time Rainfall, Coefficient of Correlation Weighting method, CCW

1. 서 론

전 세계적으로 기후 현상의 변화로 인해 정확한 기상 예보를 위한 관련 기술의 발달에도 불구하고 예측이 힘든 게릴라성 집중 호우로 인한 침수 피해는 줄어들지 않고 있는 실정이다. 대표적인 예로 2011년 7월 26일에서 27일 사이 서울 전역에 내린 기습적인

폭우로 인해 62명의 인명 피해가 발생하였으며, 980명의 이재민, 19,215건의 주택 침수가 발생한 것으로 조사되었다[1]. 특히, 산사태가 발생하여 큰 피해를 입었던 서초구의 경우 오전 6시 50분부터 8시 50분까지 2시간동안 최대 강우량은 164mm로 이는 2시간 최대강우량의 100년 강우 빈도인 156.1mm를 초과한 기록이었다[2]. 이러한 집중 호우로 인한 침수 피해

* Corresponding Author: Chang Soo Kim, Address: (608-737) 45 Yongso-Ro, Nam-Gu, Busan, Korea, TEL: +82-51-629-6245, FAX: +82-51-629-6230, E-mail: cskim@pknu.ac.kr

Receipt date: Mar. 3, 2014, Revision date: X

Approval date: Mar. 12, 2014

[†] Interdisciplinary Program of Information Systems, Pukyong National University (E-mail: kimem001@daum.net)

^{**} Department of IT Convergence and Application Engineering, Pukyong National University (E-mail: khrhee@pknu.ac.kr)

^{***} Department of IT Convergence and Application Engineering, Pukyong National University

* This research was supported by the National Research Foundation of Korea through Natural Hazard Mitigation Research Group funded by National Emergency Management Agency of Korea (NEMA-NH-C-D-2012-0243)

를 저감하고 적절한 대책을 세우기 위한 다양한 연구가 활발히 진행되고 있다.

자연 재해에 대해 지역이 갖고 있는 위험 요인을 파악하여 지역의 안전도를 평가하기 위한 연구가 수행되었다. 주진걸 등(2012)은 풍수해로 인한 위험성을 분석하기 위해 재해발생지수, 재해취약성지수, 재해피해분석지수를 개발하여 위험환경을 평가할 수 있는 방법을 제시하고, 개발된 방법을 전국 230개 지자체에 적용하여 각 지자체의 풍수해 위험환경을 평가하였다[3]. 여창진 등(2011)은 홍수 위험에 미치는 3가지 요인과 저감성에 영향을 미치는 2가지 요인을 선정하고, 이들을 대표할 수 있는 홍수피해액, 인구밀도, 내수 방어 능력 등의 12개 인자를 선정한 후 GIS를 이용하여 지역안전도평가 모형을 제안하였다[4]. 박태선 등(2010)은 홍수 피해에 영향을 미치는 요인을 자연적 요인, 사회적 요인, 정책적 요인, 시설적 요인의 4가지로 구분하고 이들을 대표하는 기후, 지형 등 11개의 주요 인자를 선정하여 지역별 홍수 피해의 잠재적 위험성을 쉽게 파악할 수 있는 홍수피해지표(Flood Damage Index : FDI)를 제안하였다[5].

수자원 현황의 진단 및 홍수 피해 문제를 확인하고 해결하기 위한 우선순위를 부여하는 척도로 사용할 수 있는 홍수위험지수[6]에 대한 연구도 활발하다. 임광섭 등(2010)은 치수 특성을 평가할 수 있는 세부 지표를 P-S-R 구성 체계를 이용하여 각 치수 특성평가 지수인 압력, 현상, 대책 지수를 개발 및 통합하여 유역의 치수 현황을 종합적으로 파악하는 홍수위험지수를 개발하였다[7]. 김웅석 등(2010)은 국지성 돌발 홍수가 빈번히 발생함에 따라 돌발 홍수의 심각성 정도를 정량적으로 분석하기 위해 대상 유역의 확률강우량으로부터 돌발홍수지수(Flash Flood Index : FFI)를 산정하였다[8]. 조덕준 등(2013)은 소규모 유역에서 발생하는 홍수 사상의 심각성 정도를 정량화할 수 있는 새로운 홍수 지수(New Flood Index : NFI)를 개발하고, 새로운 홍수 지수와 강우 특성과의 회귀 분석을 통하여 국지 돌발홍수 예측에 적용하여 3시간 최대강우가 NFI와 가장 높은 상관관계가 있음을 제시하였다[9].

선행 연구를 살펴보면, 지자체 단위와 같이 대우역의 홍수 피해를 대비한 지역안전도 평가나 홍수위험지수 개발이 대부분으로, 최근 빈번하게 발생하고

있는 소유역의 국지적 돌발성 홍수에 관한 연구는 미비한 실정이다[9].

이에 본 연구의 목적은 국지적 돌발 홍수 연구의 일환으로 도로 침수라는 소유역의 집약적 형태의 침수위험지수 개발 방법을 제안하고자 한다. 도로 침수 위험지수의 결정적 인자가 되는 도로 링크별 실시간 누적강우량은 각 도로 링크를 관측되지 않은 결측우량 지점으로 간주하여 웹(Web)을 통해 실시간으로 입력되는 기상청의 관측지점별 실시간 누적강우량과 결측우량 보정 기법의 하나인 상관계수가중치법을 활용하여 추정한다. 이외에 도로별 침수 이력을 비롯하여 관측지점에 대한 과거 강우량 정보를 활용한 도로별 침수위험강우량, 도로 종류별 설계 기준 빈도강우량 등을 지수를 결정하는 인자로 선정하여 최종적으로 정량적인 도로 링크별 실시간 침수위험지수를 산정하게 된다.

2. 실시간 도로 침수위험지수 산정 모델 개발

2.1 전체 개요도

본 연구에서 제안하는 도로 침수위험지수 개발 모델은 도로별 침수 이력, 침수위험강우량, 침수위험도로, 실시간 강우량을 지수 산정을 위한 인자로 선정하였다. Fig. 1은 실시간 도로 침수위험지수를 산정하기 위한 전체 개요도이다.

2.2 도로별 침수 이력

2.2.1 침수흔적도 활용

본 연구 대상 지역인 부산시의 침수흔적도에서 재해 타입이 “침수”인 영역에 포함되어 있는 도로를 추출하였다. Fig. 2는 침수흔적도를 이용하여 침수 이력 도로 링크를 추출하는 과정을 나타내고 있다. 이 작업은 ArcGIS Desktop에서 제공하는 System Tool(Select, Clip)을 사용하여 처리되었으며, 총 69,408개의 부산시 도로 링크 중 2,398개의 링크가 침수 이력 도로로 추출되었다.

2.2.2 소방방재청 일일재난종합상황 및 침수 관련 기사 활용

최근 5년간(2007년~2011년)의 소방방재청 일일 재난종합상황 보고서와 침수 관련 기사를 수집하여

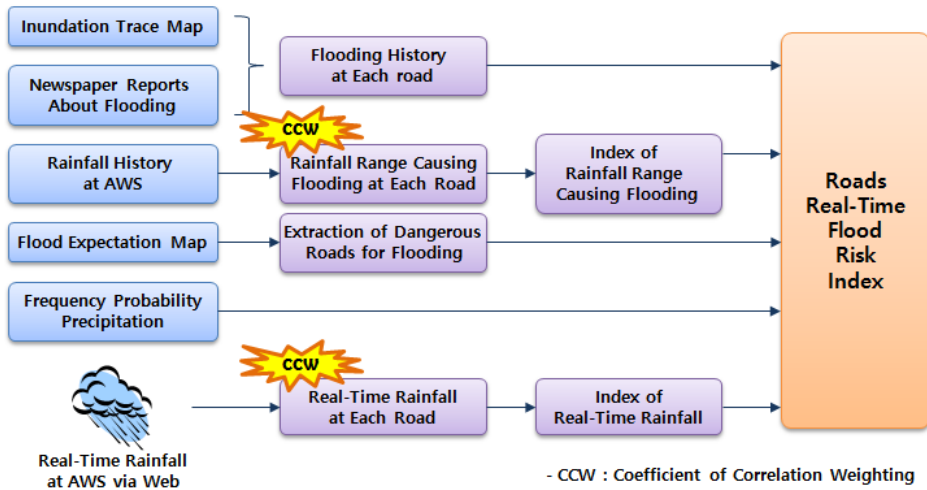


Fig. 1. Flowchart for the development of roads' real-time flood risk index.

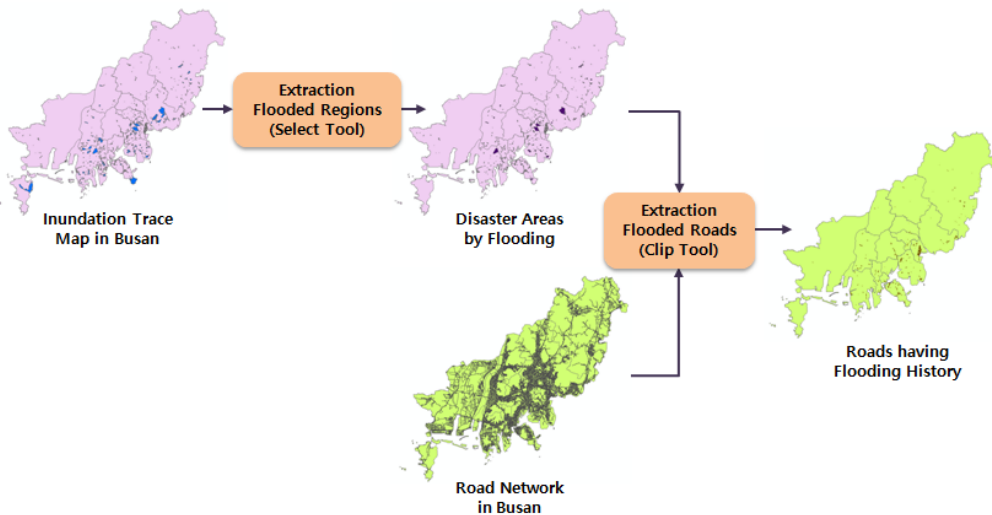


Fig. 2. Process of extraction of roads having flooding history using the inundation trace map in Busan.

침수로 인해 통제되었던 도로를 추출하였다. 부산시를 대상으로 총 51건의 침수 도로 영역이 수집되었으며, Table 4는 일부를 나타내고 있다. 수집된 침수 도로 영역과 실사 지도를 매핑하여 총 543개의 도로 링크가 추출되었다. 이로서 총 2,941개(2,398 + 543)가 침수 이력이 있는 도로 링크로 추출되었다.

2.3 도로별 침수위험강우량 지수

2.3.1 지상 관측지점별 침수위험강우량

과거 5년간(2007년~2011년) 소방방재청 재해연

보에 공시된 침수 재해 기간 동안의 부산시 관측지점별 15분누적강우량과 1시간누적강우량의 최대값과 최소값을 추출하였다. 이 값을 각 관측지점에 대한 침수위험강우량, 즉 침수가 발생 가능한 누적강우량의 기준 값으로 처리하였다. Table 1은 부산시의 지상 관측 지점별 침수위험 15분 누적강우량의 최대값/최소값 및 침수위험 1시간 누적강우량의 최대값/최소값을 나타내고 있다.

2.3.2 도로별 침수위험강우량

도로 링크 자체는 관측된 강우량 정보를 가지고

Table 1. Rainfall range causing flooding at AWS in Busan (mm)

AWS Code	Maximum of 15 minutes rainfall	Minimum of 15 minutes rainfall	Maximum of 1 hour rainfall	Minimum of 1 hour rainfall
159	33.5	12	83.5	24.5
910	17.5	4.5	60	8.5
921	20	10.5	43.5	16.5
923	26	8.5	52	13
937	27.5	7	77.5	8.5
938	34.5	11	62	25.5
939	25	9.5	48.5	15
940	23	11.5	70	13.5
941	24.5	8.5	51	15
942	29	5.5	81.5	11
950	23	7	68	8.5

있지 않기 때문에 주변의 관측 값을 이용하여 강우량을 추정해야 한다. 이에 각 도로 링크를 결측 우량 지점으로 간주함으로써 기상청 관측지점의 실 관측 강우량 값과 결측치 강우량 보정 기법을 활용하여 도로 링크에 대한 강우량을 추정할 수 있다.

1) 결측우량 보정 기법

결측 지점의 강우량을 보정하는 방법으로 여러 가지가 제시되고 있지만, 사전 분석 작업이 필요 없거나 지형적인 자료 및 간단한 수문학적 자료 분석으로도 처리할 수 있는 산술평균법, 역거리가중치법, 상관계수가중치법의 경우 전산 시스템 적용이 매우 용이하다[10]. 본 연구에서는 언급된 3가지 기법 중 정량적으로 신뢰성 있는 결과를 보여주는 상관계수가중치법[10,11]을 활용하여 각 도로 링크에 대한 추정 강우량을 결정하였다.

상관계수가중치법(CCW, Coefficient of Correlation Weighting method)은 각 관측소 강우 자료의

시간적 상관성을 이용하는 것으로 우선 가까운 관측소를 이용하여 두 관측소의 상관분석을 수행한 후 계산된 상관계수를 가중치로 활용하여 결측 지점의 강우량을 보정하는 방법[10]으로 대표적인 산정 수식은 아래의 식(1)~식(3)과 같으며, Fig. 3는 데이터 베이스로 저장된 각 관측지점별에 대한 상관계수 값을 나타내고 있다.

$$Z(s_o) = \sum_{i=1}^n Z(s_i) / r_i \sum_{i=1}^n r_i \tag{1}$$

$Z(s_o)$: The revised rainfall (mm) at s_o
 $Z(s_i)$: The observed rainfall (mm) at s_i
 n : The number of observing sites
 r_i : The correlation coefficient between a revising and a observing site

$$r_{xy} = C(x, y) \sigma_x / \sigma_y \quad (0 \leq |r_{xy}| \leq 1) \tag{2}$$

r_{xy} : The correlation coefficient between x and y
 σ_x / σ_y : Standard deviation of x / y
 $C(x, y)$: The covariance between x and y

	AWSCODE	C159	C910	C938	C940	C942	C941	C937	C950	C939	C921	C923
1	938	0.889901	0.679608	1	0.857664	0.774004	0.863708	0.733742	0.810535	0.886055	0.556568	0.735794
2	159	1	0.802262	0.889901	0.695568	0.943703	0.724038	0.905465	0.941844	0.731791	0.547229	0.758298
3	910	0.802262	1	0.679608	0.555413	0.822766	0.510446	0.821726	0.834505	0.577332	0.560818	0.669701
4	940	0.695568	0.555413	0.857664	1	0.624433	0.872705	0.620901	0.630434	0.940378	0.502199	0.793078
5	942	0.943703	0.822766	0.774004	0.624433	1	0.626775	0.975285	0.95493	0.635557	0.441979	0.79978
6	941	0.724038	0.510446	0.863708	0.872705	0.626775	1	0.622319	0.643959	0.936561	0.513575	0.73635
7	937	0.905465	0.821726	0.733742	0.620901	0.975285	0.622319	1	0.942161	0.646603	0.400587	0.823021
8	950	0.941844	0.834505	0.810535	0.630434	0.95493	0.643959	0.942161	1	0.670616	0.500964	0.764294
9	939	0.731791	0.577332	0.886055	0.940378	0.635557	0.936561	0.646603	0.670616	1	0.508347	0.770302
10	921	0.547229	0.560818	0.556568	0.502199	0.441979	0.513575	0.400587	0.500964	0.508347	1	0.338984
11	923	0.758298	0.669701	0.735794	0.793078	0.79978	0.73635	0.823021	0.764294	0.770302	0.338984	1

Fig. 3. The correlation coefficient among AWS sites in Busan.

$$C(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y}) \quad (3)$$

n: The number of variables

\bar{x}, \bar{y} : The average of *x* and *y*

2) 도로 링크별 침수위험강우량 계산

도로 링크에 대한 추정 강우량을 계산하기 위해서는 먼저 도로 링크와 각 관측지점에 대한 상관계수를 알아야 한다. 따라서 각 도로 링크와 가장 가까운 관측 지점을 찾아내어 이 지점의 강우량 자료를 해당 도로 링크의 추정 강우량 자료로 가정하여 도로 링크와 각 관측 지점과의 상관계수를 계산하였다.

예를 들어, 어떤 도로 링크의 가장 가까운 관측 지점이 159라면, 이 도로 링크의 침수위험 15분누적강우량의 최대값을 구하기 위해서는 Fig. 3에서 AWS Code 159에 대응하는 각 관측 지점의 상관계수를 가중치로, 즉 식(1)의 r_i 으로 사용하게 되고, Table 1의 각 AWS Code에 대한 '15분 누적강우량 최대값' 부분을 식(1)의 $Z(s_i)$ 에 대입하여 사용하게 된다. 따라서 이 도로 링크의 침수위험 15분누적강우량의 최대값 $Z(s_o)$ 은 식(4)와 같이 구해진다.

$$Z(s_o) = \frac{33.5 \times 1 + 17.5 \times 0.802262 + 34.5 \times 0.889001 + 23 \times 0.695568 + \dots + 26 \times 0.758298}{1 + 0.802262 + 0.889001 + 0.695568 + \dots + 0.758298} \quad (4)$$

이러한 방식으로 각 도로 링크에 대한 침수위험 15분누적강우량의 최소값을 비롯하여 침수위험 1시간누적강우량의 최대값과 최소값을 구하게 된다. 부산시의 총 69,408개의 도로 링크의 4가지 침수위험강우량은 프로시저로 처리되어 데이터베이스로 저장하였다.

3) 도로 링크별 침수위험강우량 지수 결정

각 도로 링크별로 침수위험 15분누적강우량의 최대값/최소값과 침수위험 1시간누적강우량의 최대값/최소값이 결정되면, 향후 실시간 누적강우량과 비교하여 실제 침수위험지수를 결정하기 위해 사용할 각 도로 링크의 침수위험강우량 지수를 계산한다.

15분누적강우량과 1시간누적강우량을 동일한 조건으로 반영하기 위해 식(5)와 같이 각각의 단위 분(1분)당 누적강우량을 구하고, 동일한 가중치 0.5를 할당하여 침수위험 1분누적강우량의 최대값과 최소값을 구하여 이를 해당 도로 링크의 침수위험강우량 최대지수와 최소지수로 사용하였다.

$$\begin{aligned} his_max_idx &= (15min_max/15) \times 0.5 + (1hr_max/60) \times 0.5 \\ his_min_idx &= (15min_min/15) \times 0.5 + (1hr_min/60) \times 0.5 \end{aligned} \quad (5)$$

his_max_idx/his_min_idx : maximum/minimum index of rainfall range causing flooding

15min_max/1hr_max : maximum of 15minutes/1hour rainfall range causing flooding

15min_min/1hr_min : minimum of 15minutes/1hour rainfall range causing flooding

가중치는 각 세부 지표에 대한 상대적인 중요도를 파악하기 위해 주로 전문가와 사용자의 설문 조사를 통해 결정하는 방법이 시도되고 있다. 그러나 이러한 방법을 이용한 결과와 가중치를 적용하지 않은 경우의 평가 결과에 있어서 차이가 거의 없는 것으로 보고되고 있으며, 부적절한 가중치의 적용은 오히려 평가 결과의 왜곡을 초래할 수 있으므로[7] 본 연구에서는 15분누적강우량과 1시간누적강우량의 가중치를 0.5로 동일하게 부여하였다.

2.4 실시간 누적강우량 지수

기상청 웹페이지에서 매분마다 업데이트되는 관측지점별 15분누적강우량과 1시간누적강우량을 XML 처리를 통해 입력받아 이러한 실제 관측된 관측지점의 강우량과 상관계수가중치법을 이용하여 각 도로 링크별 실시간 15분누적강우량과 실시간 1시간누적강우량을 계산한다. 각 도로 링크에 대한 이 2가지 강우량 값을 식(6)에 적용하여 실시간 누적강우량 지수를 계산하게 된다.

$$cur_rain_idx = (cur_15min/15) \times 0.5 + (cur_1hr/60) \times 0.5 \quad (6)$$

cur_rain_idx : index of real-time accumulated rainfall

cur_15min : real-time 15 minutes accumulated rainfall

cur_1hr : real-time 1 hour accumulated rainfall

Fig. 4는 도로 링크별로 실시간 누적강우량 지수를 계산하는 과정을 보여주고 있다.

2.5 침수위험도로

부산시의 침수예상도를 이용하여 침수가 발생 가능한 침수위험도로를 추출하였다. 이는 침수흔적도를 이용하여 침수 이력 도로를 추출한 방법과 동일하게 ArcGIS Desktop의 System Tool을 사용하여 처

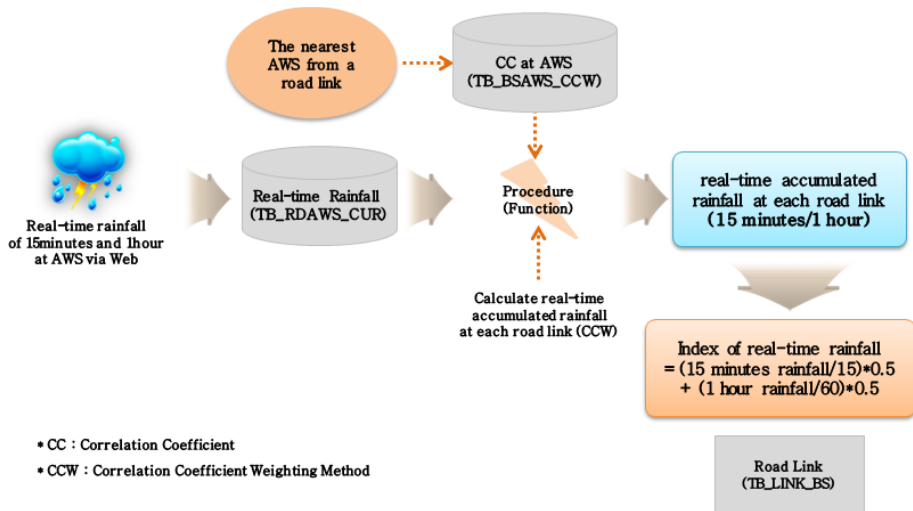


Fig. 4. Calculation of index of real-time rainfall at road link.

리하였다. Fig. 5은 침수예상도에서 추출한 침수위험 도로의 결과를 지도로 보여주며, 부산시의 총 69,408 개의 도로 링크 중 2,340개가 추출되었다.

2.6 도로별 설계 확률 빈도 강우량

침수 이력이 있는 도로의 경우는 침수위험강우량 강우지수를 기준으로 침수위험단계를 결정하게 된다. 침수 이력이 없는 경우는 국토 설계 기준에 의거한 도로 종류별 배수 시설 설계 기준 확률 강우량을 침수위험단계를 결정하는 기준으로 사용한다. Table

2는 연구 대상 지역인 부산시의 강우 빈도별 확률강우량 값을 보여주고 있다.

2.7 실시간 도로 침수위험지수 산정

2.7.1 침수위험 단계 설정

도로별 실시간 침수위험지수의 단계를 비상대처 계획(EAP, Emergency Action Plan) 5단계를 이용하여 Fig. 6과 같이 일반, 관심, 주의, 경계, 심각한 5단계로 구분하였다. EAP는 자연재해대책법 제37조에 따라 수립된 제도로서 시설물 관리 주체가 시설물

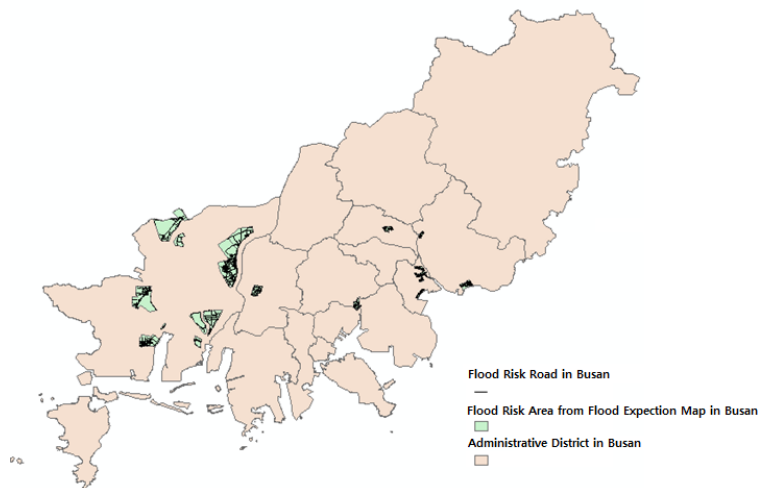


Fig. 5. Flood risk road extracted from flood expectation map in Busan.

Table 2. Probability frequency precipitation in Busan (Unit:mm)

	10 Years	20 Years	30 Years	50 Years	80 Years	100 Years
10 min.	24.0	27.1	28.8	31.0	33.1	34.0
60 min.	79.0	91.1	98.1	106.9	114.9	118.7
120 min.	111.0	128.3	138.2	150.6	161.9	167.3
180 min.	133.1	153.6	165.4	180.2	193.7	200.1
240 min.	154.2	177.9	191.5	208.5	224.1	231.5
360 min.	178.8	205.7	221.2	240.6	258.3	266.7
540 min.	207.1	238.4	256.5	279.0	299.7	309.4
720 min.	226.9	261.3	281.0	305.7	328.3	339.0

* min. means minutes.261.3

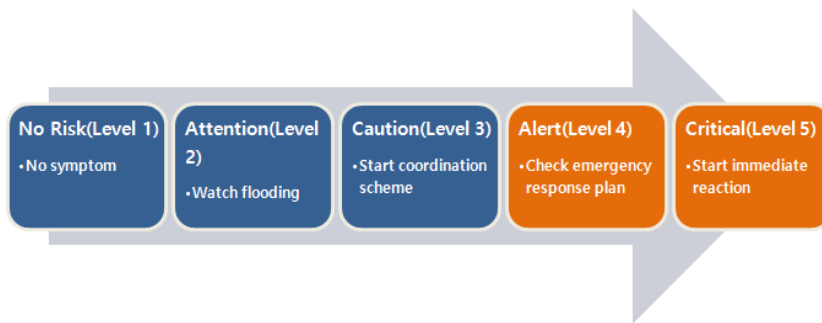


Fig. 6. Steps of real-time flood risk index of roads using EAP.

붕괴 혹은 위험 발생시 효과적인 대응과 주변 해당 지역 피해저감 최소화를 위하여 수립되는 계획이다.

2.7.2 실시간 도로 침수위험지수 결정 알고리즘

실시간 도로 침수위험지수를 산정하기 위해 크게 도로 링크에 대해 침수 이력이 있는 경우와 없는 경우로 나누어 처리하였다.

침수 이력이 있는 경우, 과거 강우 정보로부터 계산된 침수위험강우량 지수와 실시간 1분당 누적강우량, 즉 실시간 강우량 지수와와의 비율에 따라 침수위험지수가 결정된다. 침수 이력이 없는 경우는 침수위험도로의 포함 여부에 따라 다시 구분되며, 실시간 강우량과 빈도별 확률강우량과의 비교에 의해서 침수위험지수가 결정된다. 본 연구에서 제안하는 도로별 실시간 침수위험지수를 산정하는 처리 알고리즘은 Fig. 7에서 나타내고 있다.

3. 시뮬레이션

본 연구에서 제안한 도로 침수위험지수 결정 알고리즘의 검증에 위해 최근 6년간(2007년~2012년) 부

산시에 큰 침수 피해를 남겼던 2009년 7월 7일과 2012년 7월 15일의 침수 자료를 활용하였다. 검증에 사용한 당시의 관측지점별 누적강우량의 정보는 Table 3과 같다.

첫 번째 검증 자료로 사용된 2009년 7월 7일의 경우, 당시 부산에는 일 강우량이 310mm를 기록하면서 18년만의 최대 강우량을 기록하였다. 특히, 부산시 남구 대연동에는 368mm의 강우로 인해 엄청난 피해가 발생하였다. 소방방재청 오늘의 재난종합상황 보고서에 따르면 Table 4와 같이 총 11개 도로영역이 침수된 것으로 보고되었으며, 이 자료를 실시도와 비교하여 총 93개의 도로 링크를 추출하였다.

두 번째 자료인 2012년 7월 15일 당시, 부산에는 시간당 최대 80mm, 일 강우량 231mm의 폭우가 내려 많은 침수 피해가 발생하였다. 특히, 상습 침수지역인 부산시 해운대구 벡스코 주변 도로의 침수 피해가 컸다. 소방방재청 일일재난종합상황 보고서와 관련 기사를 토대로 수집된 침수 도로 영역은 Table 4와 같이 16개이며, 추출된 도로 링크의 수는 총 179개이다.

Table 3의 2012년 강우량 정보 중 910번 관측 지점

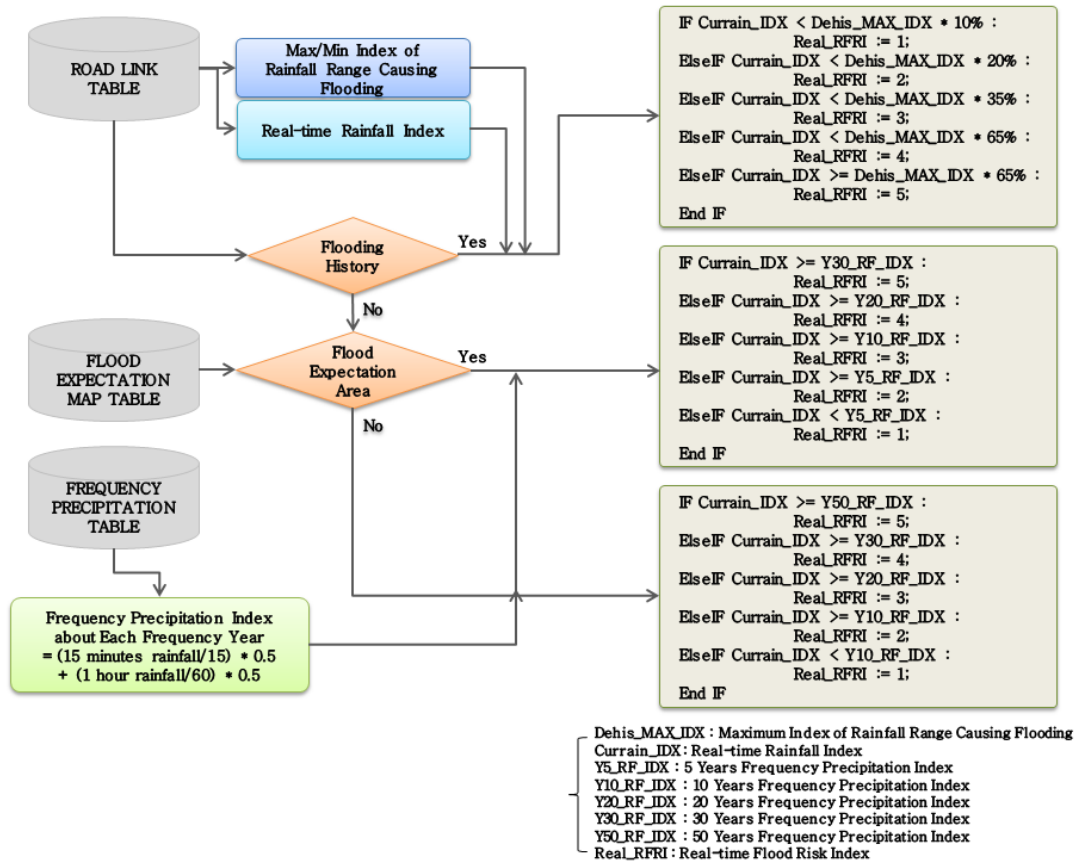


Fig. 7. Real-time flood risk of roads decision algorithm.

Table 3. 15 minutes/1 hour accumulated rainfall for the simulation (mm)

AWS 지점		2009/07/07 07:20		2012/07/15 12:30	
Code	Name	15min Rainfall	1hour Rainfall	15min Rainfall	1hour Rainfall
159	Busan	15.5	72.0	17.5	65.0
910	Youngdo	13.5	50.5	-1	-1
938	Busanjin	9.5	50.5	14.5	64.0
940	Dongrae	4.5	36.5	15.5	48.5
942	Daeyeon	18.5	81.5	14.0	54.5
941	Bookgu	2.0	28.0	0.5	21.5
950	Saha	16.0	68.0	17.0	71.0
937	Haeundae	22.5	71.5	13.0	35.5
939	Gumjung	4.0	31.0	3.5	34.0
921	Gaduck	0.5	23.5	20.0	66.0
923	Gijang	12.5	46.5	10.5	22.5

의 경우, 15분/1시간 누적강우량 값이 -1로 나타나 있다. 이는 당시 이 관측지점의 강우량이 결측되었음을 의미하며, 상관계수가중치법을 이용하여 이 지점의 강우량 값은 추정된다.

Fig. 8과 Fig. 9는 2개의 시뮬레이션 결과를 지도로 보여주고 있다. 결과에 의하면 2009년 7월 7일 침수된 도로 링크 93개 중 침수위험지수 4 레벨 62개, 5 레벨 31개로 나타났으며, 2012년 7월 15일의 경우

Table 4. Flooded roads in Busan on July, 7th, 2009 and July, 15th, 2012

No	Date	Admin. District	Road Name	Detailed Region
1	2009/07/07	Youngdo-Gu	Taejong-ro	In front of Hanjin Corp.
2	2009/07/07	Dongrae-Gu	Oncheon Gongwon-gil	Sebyoung bridge riverbed road
3	2009/07/07	Dongrae-Gu	Oncheon Gongwon-gil	Yeonan bridge riverbed road
4	2009/07/07	Nam-Gu	Gwangan Beach-gil	Gwanganri beach road
5	2009/07/07	Nam-Gu	Hwangnyeong-ro	Daenam underground road
6	2009/07/07	Seo-Gu	Chungmu-ro	In front of Songdo post office
7	2009/07/07	Dong-Gu	Jungang-ro	Chorang 1-underground road
8	2009/07/07	Busanjin-Gu	Jinsijang-ro	Bumil underground road
9	2009/07/07	Busanjin-Gu	Jungang-ro	Back of Samsung Life Insurance
10	2009/07/07	Haeundae-Gu	Jangsin-ro	Jadong underground road
11	2009/07/07	Haeundae-Gu	Hasinbunyoung-ro	In front of back door of Garak Town Apt.
1	2012/07/15	Dongrae-Gu	Oncheon Gongwon-Gil	Sebyoung bridge riverbed road
2	2012/07/15	Dongrae-Gu	Oncheon Gongwon-Gil	Yeonan bridge riverbed road
3	2012/07/15	Book-Gu	Nakdong-ro	Roads around Deokcheon drainage center
4	2012/07/15	Book-Gu	Gangbeon-ro	Inner roads of Hwameong ecological park
5	2012/07/15	Book-Gu	Nakdong-ro	Underground road in front of Daerimssangyong apt.
6	2012/07/15	Book-Gu	Baekyang-ro	In front of Bohoon hospital
7	2012/07/15	Dong-Gu	Jungang-ro	In front of Gungangdream pharmacy
8	2012/07/15	Dong-Gu	Jinsung-ro	Front road of Soojung Elementary School
9	2012/07/15	Dong-Gu	Jungang-ro	Chorang 1-underground road
10	2012/07/15	Busanjin-Gu	Gaya-ro	Gaya railroad bridge
11	2012/07/15	Busanjin-Gu	Jinsijang-ro	Bumil underground road
12	2012/07/15	Haeundae-Gu	Centumnam-ro	In front of Shinsegae department store
13	2012/07/15	Haeundae-Gu	APEC-ro	in front of the second exhibition center of BEXCO
14	2012/07/15	Sooyoung-Gu	Sooyoung-ro	Sooyoung rotary
15	2012/07/15	Saha-Gu	Nakdongnam-ro	Hadan Ogeori
16	2012/07/15	Saha-Gu	Hasinbunyoung-ro	In front of back door of Garak Town Apt.

는 침수 도로 링크 179개의 경우 2 레벨 17개, 4레벨 149개, 5레벨 13개로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 시·군·구 단위나 하천 유역의 넓은 범위로 산정되는 침수위험지수와는 차별적으로 최근 이상 기후 현상으로 빈번히 발생하는 국지성 돌발 홍수를 대비하기 위한 연구로 도로에 초점을 둔 집약적 형태의 실시간 침수위험지수를 개발하였다.

침수위험지수를 산정하기 위한 기초 자료로서는 침수흔적도, 소방방재청 일일재난종합상황보고서와 관련 기사를 수집하여 분석된 도로별 침수 이력을 비롯하여 과거 침수가 발생하였을 당시의 누적강우량 분석을 통해 얻어진 도로별 침수가 발생할 수 있는 침수위험강우량 지수, 침수 이력이 없는 도로의 침수위험지수 결정을 위해 침수예상도와 도로 설계

를 위한 확률 빈도 강우량을 사용하였다. 또한 침수 위험지수 산정의 결정적 인자가 되는 도로별 실시간 누적강우량을 추정하기 위해 각 도로 링크를 실제 관측이 되지 않은 하나의 결측우량 지점으로 간주하고 결측우량 보정 기법 중 컴퓨터 처리 시스템에 효율적인 상관계수가중치법을 사용하였다. 상관계수가중치법과 함께 사용되는 관측 지점의 실제 관측된 누적강우량은 기상청 웹 페이지를 통해 실시간으로 입력되어 처리된다.

본 연구에서 제안한 실시간 도로 침수위험지수 산정 알고리즘을 검증하기 위해 부산시를 대상으로 실제 큰 피해를 주었던 2009년 7월 7일과 2012년 7월 15일의 당시 누적강우량 정보와 침수 도로 정보를 이용하여 시뮬레이션 하였다. 그 결과, 2009년 7월 7일의 경우, 총 93개의 도로 링크 중 4레벨 62개, 5레벨 31개로 4레벨 이상인 경우가 100% 일치하였으며, 2012년 7월 15일의 경우는 침수 도로 링크 총 179개

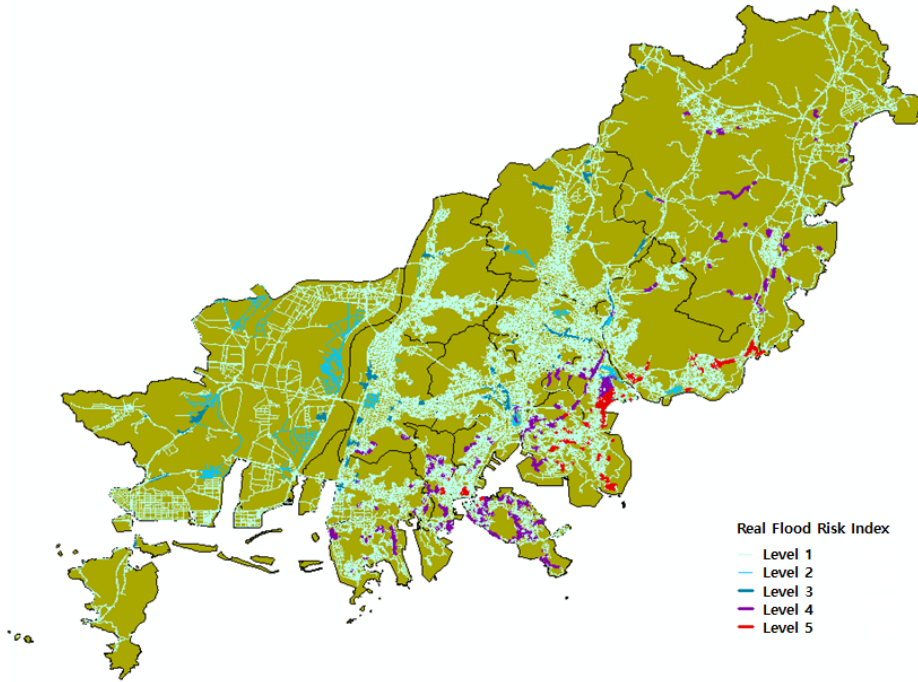


Fig. 8. The result of simulation on July, 7th, 2009.

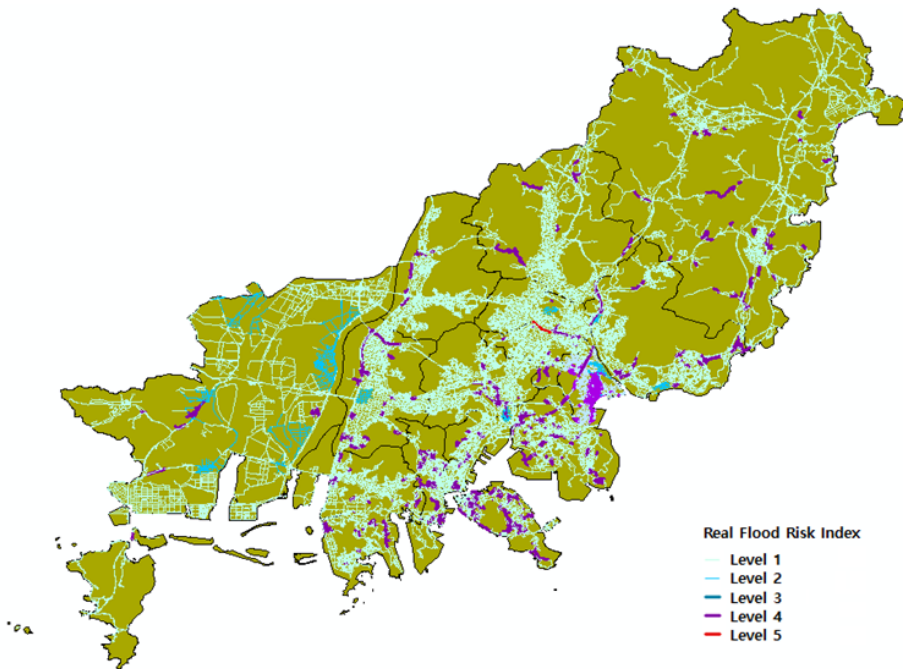


Fig. 9. The result of simulation on July, 15th, 2012.

2레벨 17개, 4레벨 149개, 5레벨 13개로 4레벨 이상인 경우가 약 91% 일치하였다. 본 연구팀에서 역거리가

중치법을 이용하여 실시간 도로 침수위험지수를 산정하였던 기존 연구[13]의 79%보다 높은 일치율을

나타내고 있다.

실시간으로 처리되는 제안된 도로 침수위험지수 산정 알고리즘을 활용할 경우, 기존 연구 방법에 비해 최근 많은 피해를 일으키는 돌발 홍수를 대비하기에 적합할 것으로 판단된다. 또한 ITS(Intelligent Transportation Service) 시스템이나 네비게이션 시스템과의 연계를 통해서 시민들에게 침수 위험 도로에 대한 정보와 안전 경로를 사전에 제공한다면 도로 침수로 인해 발생할 수 있는 교통 혼잡 및 고립 등의 피해를 줄일 수 있을 것이다[12,13].

REFERENCE

- [1] S.J. Choi, S.K. Kang, S.J. Han, and D.R. Lee, "Flood Damage Investigation in Cities by Localized Rainfall-in the Whole Gangnam in Seoul-," *Korea Water Resources Association*, Vol. 44, Issue 10, pp. 25-29, 2011.
- [2] G.S. Ban, *Big Tragedy by Localized Rainfall in 2011: Landslide of Mt. Umyeon and Flood in Gangnam, Column of Navercast*, 2013.
- [3] J.G. Joo, J.H. Lee, and M.J. Park, "Development of Flood Risk Assessment Model," *Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 12, Issue 5, pp. 75-81, 2012.
- [4] C.G. Yeo, G.S. Seo, and J.W. Song, "Regional Safety Assessment due to Urban Flood using GIS", *The Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 14, Issue 3, pp. 68-77, 2011.
- [5] T.S. Park, C.G. Yeo, M.H. Choi, and S.O. Lee, "Flood Damage Index regarding Regional Flood Damage Characteristics", *Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 30, Issue 4B, pp. 361-366, 2010.
- [6] D.R. Lee, K.S. Lim, and S.J. Choi, "Establishment of Flood Risk Index for Flood Management", *Proceeding of The Korea Water Resources Association*, pp. 342-346, 2009.
- [7] K.S. Lim, S.J. Choi, D.R. Lee, and J.W. Moon, "Development of Flood Risk Index using Causal Relationships of Flood Indicators," *Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 30, Issue 1, pp. 61-70, 2010.
- [8] E.S. Kim, H.I. Choi, and H.K. Jee, "Estimation of the Flash Flood Index by the Probable Rainfall Data for Ungauged Catchments," *Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 10, Issue 4, pp. 81-88, 2010.
- [9] D.J. Jo, I.O. Son, and H.I. Choi, "Development of a New Flood Index for Local Flood Severity Predictions," *Korea Water Resources Association*, Vol. 46, Issue 1, pp. 47-58, 2013.
- [10] M.S. Han, C.S. Kim, H.S. Kim, and H.R. Kim, "A study on the Revised Methods of Missing Rainfall Data for Real-time Forecasting Systems," *Korea Water Resources Association*, Vol. 42, Issue 2, pp. 131-139, 2009.
- [11] B.S. Kim, H.S. Noh, and H.S. Kim, "The Comparison of Estimation Methods for the Missing Rainfall Data with Spatio-temporal Variability", *Korean Wetlands Society*, Vol. 13, Issue 2, pp. 189-197, 2011.
- [12] E.M. Kim, H.S. Hwang, and C.S. Kim, "A Study on the Flood Risk Index Considering Real-time Information," *Proceeding of The Second International Conference on Computers, Networks, Systems, and Industrial Applications*, pp. 501-505, 2012
- [13] E.M. Kim, H.S. Hwang, and C.S. Kim, "A Study on the Development of the Flood Risk Index for Roads Considering Real-time Rainfall," *Journal of Korean Multimedia Society*, Vol. 16, Issue 5, pp. 610-618, 2013.



김 은 미

1994년 2월 부산수산대학교 전자계산학과 학사
 1999년 8월 부경대학교 교육대학원 전산교육전공 석사
 2011년 9월~현재 부경대학교 정보시스템협동과정 박사과정

관심분야 : IT방재, GIS 시스템, 대피 경로 등



김 창 수

1991년 중앙대학교 컴퓨터공학과 박사
 2002년~2003년 미국 UMKC 방문교수
 2006년~현재 유비쿼터스 부산도 시험회 방재분과위원장
 2013년~현재 미국 콜로라도대학교 방문교수

2013년~현재 한국멀티미디어학회 이사
 2013년~현재 한국인터넷정보학회 이사
 2011년~현재 한국멀티미디어학회 정책자문위원
 1992년~현재 부경대학교 IT융합응용공학과 교수
 관심분야 : 방재IT, UIS/GIS, 운영체제, 재난관리, 공간검색, 도시방재 등



이 경 현

1985년 KAIST 응용수학과 이학석사
 1992년 KAIST 수학과 이학박사
 1995년~1996년 호주 에들레이드 대학 방문연구원
 2001년~2002년 미국 UC Irvine 방문교수

2002년~2003년 필리핀 CPSC 교학부장
 2011년~2012년 일본 큐슈대학교 방문연구원,
 1994년~현재 부경대학교 IT융합응용공학과 교수
 관심분야 : 자동차 보안(VANET V2X 시큐리티), 멀티미디어 포렌식(이미지 위조 검출), I클라우드 컴퓨팅 보안, 데이터 마이닝 응용, IoT 기반의 사회안전망 시스템 설계 및 구현