토지이용 분류기준에 따른 홍수량 변동특성

Variational Characteristics of Flood Discharge According to Classification Criteria of Land Use

송영석* · 송양호** · 이정호*** · 박무중****

Song, Youngseok*, Song, Yangho**, Lee, Jungho***, and Park, Moojong****

Abstract

Design Standard in South Korea are revised about every decade and the revision generates the difference of estimate calculations or classification criteria between the past and the present. Quantitative variations of analysis results according to the revision of design criteria are difficult to be applied in case of establishing alternatives for reducing disaster risks. This study reviewed the curve number and variational characteristics of flood discharge in accordance with the revision of land use classification by setting neighboring innovative cities located in Jung-gu Ulsan Metropolitan city as target basins. It defined Case 1 before 2012 and Case 2 after the revision based on "Methods of Estimating Design Flood Amounts The Ministry of Land, Infrastructure, and Transport" amended in 2012. For 46 degrees of land use among target basins, Case 1 classified them into six basins and Case 2 classified them into 22 basins. It found that Case 2 showed a rise nearly 10% in curve number and 7% in flood discharge amounts than Case 1. Results from this study suggest that establishing disaster precaution is assumed to be needed by considering increased amounts in accordance with the revision of design standard on findings from an analysis of disaster impacts conducted before 2012.

Key words : Curve Number, Land Use, Flood Discharge, Design Standard, Variational Characteristics

요 지

우리나라의 설계기준은 약 10년을 기준으로 개정이 진행되고 있으며 이러한 설계기준의 개정은 과거와 신규의 산정절차나 분류기준의 차이가 발생한다. 이러한 설계기준 개정에 따른 분석결과와 정량적 변동은 재해저감을 위한 대책 수립시 반영하기에는 어려움이 있다. 본 연구에서는 울산광역시 중구에 위치한 혁신도시 인근을 대상유역으로 토지이용 분류기준 개정에 따른 유출곡선지수와 홍수량 변동특성을 검토하였다. 2012년에 개정된 ‘설계홍수량 산정요령(국토교통부, 2012)’을 기준으로 2012년 이전을 Case 1, 개정 이후를 Case 2로 정의하였다. 대상유역의 토지이용도 46개에 대하여 Case 1은 6개, Case 2는 22개로 토지이용도를 분류하였으며, Case 2가 Case 1보다 유출곡선지수는 약 10 %, 홍수량은 7 %가 증가하는 것으로 분석되었다. 본 연구결과를 통해 2012년 이전에 수행된 재해영향분석 결과에 대해서는 설계기준 개정에 따른 증가량을 고려한 재해대책수립이 필요할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 유출곡선지수, 토지이용도, 홍수량, 설계기준, 변동특성

*정회원, 한서대학교 토목공학과 박사후연구원(E-mail: kind711@hanmail.net)
Member, Ph.D Candidate, Department of Civil Engineering, Hanseo University

**정회원, 한밭대학교 건설환경공학과 박사과정
Member, Ph.D Candidate, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Hanbat National University

***정회원, 한밭대학교 건설환경공학과 부교수
Member, Professor, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Hanbat National University

****교신저자, 정회원, 한서대학교 토목공학과 교수(Tel: +82-70-8238-5646, Fax: +82-41-660-1119, E-mail: mjpark@hanseo.ac.kr)
Corresponding Author, Member, Professor, Department of Civil Engineering, Hanseo University

1. 서 론

유역에서 발생하는 홍수량을 산정하는 수문해석은 다양한 매개변수의 특성을 고려하여 설계빈도에 따라 산정된다. 우리나라에서도 홍수량 산정을 위한 설계기준 및 산정요령 등이 제시되어 있으며 짧게는 5년에서 10년마다 개정이 이루어지고 있다. 2012년을 기준으로 ‘설계홍수량 산정요령(MoLIT, 2012)’이 개정되면서 통일성 있는 설계홍수량 산정이 진행되고 있는 반면 2012년 이전에는 각 지형특성이나 강우특성에 따른 설계홍수량의 산정방법이 다양하게 적용되었다.

설계홍수량은 강우특성의 강우강도, 설계빈도, 확률강우강도식 등과 지형특성의 유역면적, 경사, 유로연장, 유출곡선지수 등에 다양한 매개변수의 특성이 고려되어 산정된다. 그 중 강우특성과 지형특성인 유역면적, 경사, 유로연장의 경우 관측되거나 수치지형도 등에서 제공되는 자료로서 변경의 폭이 크지는 않다. 유출곡선지수의 경우 ‘하천설계기준·해설(KWRA, 2009)’에서 선행토양함수조건에 대하여 미국 토양보존국(United States Soil Conservation Service)에서 조사 분석한 결과의 유출곡선지수(Curve Number, CN)를 제공하였지만 우리나라의 지형특성과는 적용성이 높지 않아 토지이용 분류기준의 모호함이 있었다. 이를 보완하고자 2012년에 우리나라에 유출곡선지수 산정의 적합한 ‘설계홍수량 산정요령(MoLIT, 2012)’이 제시되었다.

국내외의 유출곡선지수의 연구내용으로 미계측 유역의 토양특성과 식생피복상태, 그리고 선행강수조건 등을 미국 자연 자원보호청(US. National Resources Conservation Service, NRCS)에서 토지이용특성의 분석을 통해 강우에 따른 유효우량을 추정하는 유출곡선지수(Curve Number, CN)를 제안하였다. Hawkins(1978)은 홍수량 산정시 유출곡선지수의 변동은 홍수량 크기에 큰 영향을 미친다고 분석하였으며 Nicklow and Muleta(2001)은 농경지 유역에서는 다양한 토양의 침식을 방지하기 위한 적절한 토지이용방법을 통해 분석을 진행하였다. Sharifi and Kalin(2010)은 수치지형도의 세가지 조사방법으로 제작된 토지이용도에 대하여 각각의 유출곡선지수에 영향성을 분석한 결과 유출량이 다르게 산정된다고 제시하였다. 국외에서 선행된 유출곡선지수 연구는 토지이용 분류기준에 따라 각각의 홍수량 산정 결과가 다르며 홍수량 산정 매개변수에서 큰 영향이 있다는 것을 제시하였을 뿐 설계기준 개정이나 분류기준의 개정에 따른 홍수량 증감량을 정량적으로 제시되지 않았다.

Cho et al.(2001)의 유출곡선지수는 토지이용도와 토양도를 고려한 매개변수로서 현재의 기준이 실제 국내 지형에 고려되어야 할 부분이 반영되지 않은 한계성이 있다고 제시하였다. Yoon(1991)은 유출곡선지수의 미계측 유역에서의 선행토양함수조건을 AMC-II와 AMC-III를 3:7의 비로 사

용하는 방법을 제시하였으며 Park et al.(2005a, 2005b)은 선행토양함수에 대한 강우조건에 따른 총 강우량과 선행강수의 민감도를 분석하였다. Yoo et al.(2005)는 강우발생빈도에 대한 AMC 조건별 적정성을 분석하여 선행강수량 기준에 따른 분류기준을 제시하였다. 국내의 유출곡선지수의 선행토양함수조건 연구는 AMC 조건별 다양한 강우조건을 분석하였을 뿐 유출곡선지수 조건에 따른 홍수량 변동은 분석되지 않았다. Lee et al.(2008)은 토지이용 변화에 따른 유출특성이 미래의 기후변화 적용에 따른 변화를 예측하는 연구를 수행하였으며 Han and Kim(2009)은 제주도 외도를 대상으로 도시화에 따른 토지이용변화의 유출특성을 비교하였다. Lee et al.(2010)은 현재 적용되는 중분류 기준의 토지이용도는 2002년에 작성되어 홍수량 산정시 현실적인 유출특성을 반영하기에는 어려움이 있다고 제시하였다. 국내의 유출곡선지수에 대한 연구는 과거의 토지이용 분류기준에 대한 우리나라 적용성의 어려움과 현실적인 유출특성을 반영하기 어렵다고 제시하였을 뿐 우리나라의 적합한 토지이용 분류기준에 따른 홍수량 산정을 통한 비교연구는 수행되지 않았다.

따라서, 본 연구에서는 울산광역시 중구 혁신도시 인근 지역을 대상유역으로 토지이용도 분류기준 개정에 따른 유출곡선지수와 홍수량의 변동특성을 분석하고자 한다. 토지이용도 분류기준은 2012년 이전에 ‘하천설계기준·해설(KWRA, 2009)’에서 제시한 미국 토양보존국의 분류기준을 Case 1, ‘설계홍수량 산정요령(MoLIT, 2012)’ 개정에 따른 우리나라에 적합한 유출곡선지수 산정방법을 Case 2로 구분하여 적용하였다. 대상유역의 토지이용도에 대하여 설계기준 개정 전과 개정 후의 토지이용 분류기준을 수립하고 유출곡선지수와 홍수량의 변동특성을 정량적으로 제시하고자 한다.

2. 토지이용분류기준

2.1 하천설계기준·해설(2009년)

토지이용에 따라 유출의 영향을 크게 미치는 선행토양함수조건에 대하여 미국 토양보존국(United States Soil Conservation Service)에서는 유역의 식생피복형 및 처리상태, 처리상태별 침투조건 및 토양형 등에 따라 장기간의 조사분석 결과를 이용하여 유출곡선지수(CN, Curve Number)를 산정하였다. ‘하천설계기준·해설(KWRA, 2009)’에서는 미국 토양보존국에서 산정 결과를 토대로 유역의 선행토양함수조건 중 AMC-II조건에 대하여 토양형과 식생피복별 조건에 대하여 유출곡선지수를 제시하였다. 토지이용상태는 크게 재배농경지, 기타농경지, 도시지역으로 구분하고 있으며, 식생피복의 처리상태에 따라 경사 경작지(straight row), 등고선 경작지(contoured), 테라스식 경작지(terraced)로 구분되어 있다. 수문학적 조건으로는 수직배수가 불량하여 유출률

이 높은 불량(poor), 수직배수가 보통이어서 유출률이 중간인 보통(fair), 수직배수가 양호하여 유출률이 낮은 양호(good)로 구분하고 있다. 농경지역 및 산림지역과 도시지역에서의 식생피복 및 토지이용 상태에 따른 토양형별 유출곡선 지수는 Tables 1과 2와 같다.

2.2 설계홍수량 산정요령(2012년)

우리나라의 토지이용상태는 국토지리정보원의 토지이용도와 환경부의 토지피복도를 활용하여 토지이용상태를 고려한 유출곡선지수를 산정할 수 있다. 그러나, ‘하천설계 기준 · 해설(KWRA, 2009)’에서 제시한 유출곡선지수는 미

국 토양보존국의 분류방법이 우리나라의 수치지도와 정확히 일치하지 않아 유사기준을 적용하거나 수문학적 조건 및 엔지니어의 판단에 따라 설계안전 차원에서 유출률이 높은 조건을 주로 채택하여 적용하고 있다. 그러나 우리나라의 경우 담수재배하는 논에 대한 기준, 산림에 대한 기준, 토지이용상태와 피복처리상태의 조합을 선택할 수 있는 기준 등이 미흡하여 개선이 필요한 실정이다. 우리나라에서 수문학적 토양군에 대한 ‘투수속도 측정에 기반한 수문학적 토양유형의 분류(NIAS, 2007)’의 분류 방법, 논·밭의 유출곡선 번호 추정(Im and Park, 1997) 등의 연구를 토대로 우리나라의 적합한 토지이용 형태에 따른 유출곡선지수 선정방법을

Table 1. Runoff Curve Numbers for Other Agricultural Lands

Cover type	Treatment	Hydrologic condition	Curve Numbers for Hydrologic Soil Group ¹⁾			
			A	B	C	D
Fallow		-	77	86	91	94
Row crops	Straight row	Poor	72	81	88	91
	Straight row	Good	67	78	85	89
	Contoured	Poor	70	79	84	88
	Contoured	Good	65	75	82	86
	Contoured&terraced	Poor	66	74	80	82
	Contoured&terraced	Good	62	71	78	81
Small grain	Straight row	Poor	65	76	84	88
	Straight row	Good	63	75	83	87
	Contoured	Poor	63	74	82	85
	Contoured	Good	61	73	81	84
	Contoured&terraced	Poor	61	72	79	82
	Contoured&terraced	Good	59	70	78	81
Close-seeded or broadcast legumes or rotation meadow	Straight row	Poor	66	77	85	89
	Straight row	Good	58	72	81	85
	Contoured	Poor	64	75	83	85
	Contoured	Good	55	69	78	83
	Contoured&terraced	Poor	63	73	80	83
	Contoured&terraced	Good	51	67	76	80
Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing		Poor	68	79	86	89
		Fair	49	69	79	84
		Good	39	61	74	80
	Contoured	Poor	47	67	81	88
	Contoured	Fair	25	59	75	83
	Contoured	Good	6	35	70	79
Meadow		Good	30	58	71	78
Woods		Poor	45	66	77	83
		Fair	36	60	73	79
		Good	25	55	70	77
Forests		-	56	75	86	91
Farmsteads		-	59	74	82	86

¹⁾ Condition of AMC-II

Table 2. Runoff Curve Numbers for Urban Areas

Cover description	Average percent impervious area (%)	Curve Numbers for Hydrologic Soil Group ¹⁾			
		A	B	C	D
<Fully developed urban areas>					
(vegetation established)					
Open space (lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.):					
Poor condition (grass cover < 50%)	-	68	79	86	89
Fair condition (grass cover 50% to 75%)	-	49	69	79	84
Good condition (grass cover > 75%)	-	39	61	74	80
Impervious areas:					
Paved parking lots, roofs, driveways, etc. (excluding right-of-way)	-	98	98	98	98
Streets and roads:					
Paved; curbs and storm sewers (excluding right-of-way)	-	98	98	98	98
Paved; open ditches (including right-of-way)	-	83	89	92	93
Gravel (including right-of-way)	-	76	85	89	91
Dirt (including right-of-way)	-	72	82	87	89
Urban districts:					
Commercial and business Industrial	85	89	92	94	95
Residential districts by average lot size:	72	81	88	91	93
town houses					
150 Pyeong or less	65	77	85	90	92
300 Pyeong	38	61	75	83	87
400 Pyeong	30	57	72	81	86
600 Pyeong	25	54	70	80	85
1,220 Pyeong	20	51	68	79	84
1,440 Pyeong	12	46	65	77	82
<Developing urban areas>		77	86	91	94

¹⁾ Condition of AMC-II

제안하였다. ‘설계홍수량 산정요령(MoLIT, 2012)’에서는 우리나라에서 유출곡선지수 산정에 적용할 수 있는 국토지리정보원의 토지이용도와 환경부의 토지피복도 그리고 미국 토양보존국의 토지이용 분류기준을 고려하여 우리나라 토지이용 분류기준에 따른 유출곡선지수 기준을 Table 3과 같이 제시하였다.

3. 대상유역

3.1 지형특성

본 연구의 대상유역은 ‘울산우정 혁신도시(택지) 개발사업 사업계획변경에 따른 재해영향 저감방안(LH, 2010)’의 울산광역시 중구 인근 우정동 일원에 위치한 울산혁신도시 개발 후 지역으로 상류지역은 산지 및 농경지가, 하류지역에는 울산혁신도시가 위치하고 있어 자연유역뿐만 아니라

도시유역이 공존하고 있는 지역이다. 대상유역 내에 위치한 하천은 약사천과 유곡천의 지방하천이 2개, 장현천, 평산천, 사곡천의 소하천이 3개 그리고 울산혁신도시 개발사업으로 폐지된 소하천 우교천, 복산천이 2개 위치하고 있다. 대상유역 내의 지방하천과 소하천은 태화강과 동천으로 합류하여 서낙동강으로 유입된다.

대상유역의 전체 면적은 12.84 km²이며 A0 ~ J1'까지 총 18개의 소유역으로 구성하였다. 대상유역의 상류부분에는 입화산과 황방산이 위치하고 있으며 하류부분은 도시지역이 위치하고 있어 표고의 높이는 El. 10m ~ El. 200m까지 다양하게 분포하고 있다. 경사는 0° ~ 50°으로 분포하고 있으며 산지인근 및 하천인근 지역에서는 급경사가 도시지역 인근에서는 완경사가 위치하고 있다. 토양형은 A, B, C, D로 구분되며 전체면적의 50% 이상이 토양형 C로 구성되어 있다. 대상유역의 지형특성은 Fig. 1과 같다.

Table 3. Standards of Curve Number According to Land Use Classification Standards in South Korea

Land Use		Land Cover		Curve Numbers for Hydrologic Soil Group ¹⁾				Note (SCS classification criteria etc.)
Subdivision	Code Number	Mid-division	Code Number	A	B	C	D	
Cultivated land readjustment	1110	Paddy field	210	79	79	79	79	Additional criteria(paddy field)
Uncultivated land readjustment	1120			79	79	79	79	
Normal, specialty crops	1210	Field	220	63	74	82	85	Dense cultivated land, contour plowing, poor
Orchard and others	1220	Orchard	240	70	79	84	88	Furrow cultivated land, contour plowing, poor
Natural grassland	2110	Natural grassland	410	30	58	71	78	Grassland, contour plowing, good
Artificial grassland	2120	Other grassland	430	49	69	79	84	Natural meadow, ranch, normal
Coniferous forest	2210	Coniferous forest	320	48	69	79	85	Forest, HC=2
Broad-leaved forest	2220	Broad-leaved forest	310	48	69	79	85	
mixed deciduous forest	2230	Mixed forest	330	48	69	79	85	
Golf course	2310	Golf course	420	49	69	79	84	Open terrain, Normal
Cemetery park	2320	Other grassland	430	49	69	79	84	
Amusement park	2330	Recreational facility region	140	49	69	79	84	
Rocks and stony mountain	2340	Bare ground	620	77	86	91	94	Areas under development
General residential area	3110	Residential area	110	77	85	90	92	Residential area, less than 500m ² of blocks
High-rise building area	3120			77	85	90	92	
Commercial business area	3130	Commercial area	130	89	92	94	95	Urban area, commercial and office areas
Bare ground and artificial grassland	3140	Other bare ground	620	77	86	91	94	Areas under development
Road	3210	Traffic area	150	83	89	92	93	Road, paved roads(including road site)
Railroad and neighboring area	3220			83	89	92	93	
Airport	3230			83	89	92	93	
Port	3240			83	89	92	93	
Industrial facility	3310	Industrial area	120	81	88	91	93	Urban district, Industrial area
Industrial bare ground, others	3320	Other bare ground	620	77	86	91	94	Areas under development
Power plant facility	3410	Public facility area	160	61	75	83	87	Residential area, 500-1,000m ² of blocks
Disposal facility	3420			61	75	83	87	
Educational and military facility	3430			61	75	83	87	
Land for public use	3440			61	75	83	87	
Fish farm, aquafarm	3510			100	100	100	100	Additional criteria(surface)
Mineral springs	3520	Mineral springs	610	68	79	86	89	Open terrain, poor
Landfill	3530	Public facility area	160	61	75	83	87	Residential area, 500-1,000m ² of blocks
Mineral springs	3540	Mineral springs	610	68	79	86	89	Open terrain, poor
Livestock breeding facility	3550	Other cultivated lands	250	68	79	86	89	Natural meadow, ranch, poor
Mud flat	4110	Coastal wetland	520	100	100	100	100	Additional criteria(surface)
Salt field	4120			100	100	100	100	
Stream	4210	Inland water	710	100	100	100	100	
Lake, swamp	4310			100	100	100	100	
Dam	4320	Public facility area	160	61	75	83	87	Residential area, 500-1,000m ² of blocks
Sandy beach	4410	Other bare ground	620	77	86	91	94	Areas under development
-	-	House cultivated land	230	76	85	89	91	Road, pavement, open conduit
-	-	Inland wetland	510	100	100	100	100	Additional criteria(surface)
-	-	Marine water	720	100	100	100	100	

¹⁾ Condition of AMC-II

Fig. 1. Geomorphic Characteristics of Study Area

본 연구에서는 대상유역의 토지이용도에 대하여 2장에서 제시한 ‘하천설계기준·해설(KWRA, 2009)’과 ‘설계홍수량 산정요령(MoLIT, 2012)’의 분류기준을 적용하였다. 대상유역의 토지이용분류는 총 46개의 토지이용도로 구분되어 있으며 토지이용도의 세부내용은 Table 4와 같다. 대상유역은 울산혁신도시 개발 후 지역으로 기존의 토지이용도 뿐만 아니라 개발에 따른 토지이용도 변경이 계획된 지역이다. 따라서, 대상유역의 기존 수치지형도 상의 토지이용도는 No. 1 ~ No. 20번까지이며, 개발에 따라 계획된 토지이용도는 No. 21 ~ No. 46으로 분류되어 있다.

3.2 하천설계기준을 적용한 토지이용특성

‘울산우정 혁신도시(택지) 개발사업 사업계획변경에 따른 재해영향 저감방안(LH, 2010)’은 ‘설계홍수량 산정요령(MoLIT, 2012)’이 공시되기 이전에 진행된 사업으로 ‘하천설계기준·해설(KWRA, 2009)’을 기반으로 하는 토지이용분류가 진행되었다. ‘2010년에 수행된 재해영향 저감방안’에서는 대상유역의 토지이용분류를 Woods, Fallow or Row Crops, Small Grain, Residential Districts, Developing Urban Areas, Water로 총 6개로 분류하였다. 토지이용분류는 피복상태 및 토지이용상태에 따라 2.1절의 ‘하천설계기준·해설(KWRA, 2009)’의 기

준을 적용하여 토양형별 유출곡선지수를 Table 5와 같이 선정하였다. 또한, 각 토지이용분류에 포함되는 대상유역의 46개 토지이용도를 Table 4의 No.로 Table 5에 제시하였다.

대상유역의 ‘하천설계기준·해설(KWRA, 2009)’에 토지이용 분류기준을 적용한 토지이용도는 Woods 6개, Fallow or Row Crops 2개, Small Grain 2개, Residential Districts 32개, Developing Urban Areas 1개, Water 3개로 Fig. 2와 같다.

3.3 설계홍수량 산정요령을 적용한 토지이용특성

‘설계홍수량 산정요령(MoLIT, 2012)’에서는 기존의 ‘미국 토양보존국(United States Soil Conservation Service)’의 우리나라 토지이용형태의 적용기준의 불일치성을 보완하여 우리나라의 토지이용형태를 고려한 정밀한 토지이용 분류기준을 제시하였다. 본 연구에서는 대상유역 46개의 토지이용도에 대하여 2.2절 Table 3의 기준을 적용하였으며 기존 수치지형도의 토지이용도인 No. 1 ~ No. 20은 코드번호와 동일한 토양형별 유출곡선지수를, 개발 후의 토지이용도인 No. 21 ~ No. 46은 Table 3에서 유사한 토지이용도를 Table 6과 같이 선정하였다.

Table 4. Land Use Classification of Study Area

No.	Land Use	Code Number	No.	Land Use	Code Number
1	Cultivated land readjustment	1110	24	One family detached house(block-type)	-
2	Uncultivated land readjustment	1120	25	Apartment building	-
3	Normal, specialty crops	1210	26	Commerce	-
4	Orchard, others	1220	27	Gas station	-
5	Natural grassland	2110	28	Buffer green	-
6	Coniferous forest	2210	29	Park	-
7	Broad-leaved forest	2220	30	Road	-
8	Mixed deciduous forest	2230	31	Pedestrian road	-
9	General residential area	3110	32	Parking lots	-
10	High-rise building area	3120	33	Electrical power facility	-
11	Commercial, office area	3130	34	Sewerage facility	-
12	Bare ground and artificial grassland	3140	35	Cultural welfare and educational research facility	-
13	Road	3210	36	School	-
14	Industrial facility	3310	37	Public land	-
15	Power plant facility	3410	38	Public facility	-
16	Disposal facility	3420	39	Square	-
17	Land for public use	3440	40	Neighborhood living facility	-
18	Livestock breeding facility	3550	41	City gas static pressure	-
19	Stream	4210	42	Water supply site	-
20	Lake, swamp	4310	43	Religious facility	-
21	Green area	-	44	Innovation	-
22	Apartment building	-	45	Innovation cluster	-
23	Single family detached house	-	46	Water system	-

Table 5. Land Use Classification of Commentary of Rivers Design Standard

Cover Type and Description	Curve Numbers for Hydrologic Soil Group ¹⁾				Land Use (No.) ²⁾							
	A	B	C	D								
Woods	36	60	73	79	6	7	8	21	28	29		
Fallow or Row Crops	66	75	82	86	1	2						
Straight Row, Contoured, Terraced												
Small Grain	61	72	80	84	3	4						
Straight Row, Contoured, Terraced												
Residential Districts by average lot size(town houses: 150 Pyeong or less, 300 Pyeong, 400 Pyeong, 600 Pyeong, 1,220 Pyeong, 1,440 Pyeong)	68	78	80	88	9	10	11	12	13	14	15	
					16	17	18	22	23	24	25	
					26	27	30	31	32	33	34	
					35	36	37	38	39	40	41	
					42	43	44	45				
Developing Urban Areas	77	86	91	94	5							
Water	100	100	100	100	19	20	46					

¹⁾ Condition of AMC-II²⁾ Land Use Classification of Study Area by Table 4 of No.

Fig. 2. Land Use of Commentary of Rivers Design Standard

Table 6. Land Use Classification of Design Flood Analysis Guide Line

Land Use			Curve Numbers for Hydrologic Soil Group ¹⁾				Land Use			Curve Numbers for Hydrologic Soil Group ¹⁾			
No. ²⁾	Sub Classification	Code Number	A	B	C	D	No. ²⁾	Sub Classification	Code Number	A	B	C	D
1	Cultivated land readjustment	1110	79	79	79	79	24	One family detached house(block-type)	3110	77	85	90	92
2	Uncultivated land readjustment	1120	79	79	79	79	25	Apartment building	3120	77	85	90	92
3	Normal, specialty crops	1210	63	74	82	85	26	Commerce	3130	89	92	94	95
4	Orchard, others	1220	70	79	84	88	27	Gas station	3130	89	92	94	95
5	Natural grassland	2110	30	58	71	78	28	Buffer green	3140	77	86	91	94
6	Coniferous forest	2210	48	69	79	85	29	Park	2320	49	69	79	84
7	Broad-leaved forest	2220	48	69	79	85	30	Road	3210	83	89	92	93
8	Mixed deciduous forest	2230	48	69	79	85	31	Pedestrian road	3210	83	89	92	93
9	General residential area	3110	77	85	90	92	32	Parking lots	3210	83	89	92	93
10	High-rise building area	3120	77	85	90	92	33	Electrical power facility	3410	61	75	83	87
11	Commercial, office area	3130	89	92	94	95	34	Sewerage facility	3420	61	75	83	87
12	Bare ground and artificial grassland	3140	77	86	91	94	35	Cultural welfare and educational research facility	3430	61	75	83	87
13	Road	3210	83	89	92	93	36	School	3430	61	75	83	87
14	Industrial facility	3310	81	88	91	93	37	Public land	3440	61	75	83	87
15	Power plant facility	3410	61	75	83	87	38	Public facility	3440	61	75	83	87
16	Disposal facility	3420	61	75	83	87	39	Square	3440	61	75	83	87
17	Land for public use	3440	61	75	83	87	40	Neighborhood living facility	3440	61	75	83	87
18	Livestock breeding facility	3550	68	79	86	89	41	City gas static pressure	3440	61	75	83	87
19	Stream	4210	100	100	100	100	42	Water supply site	3440	61	75	83	87
20	Lake, swamp	4310	100	100	100	100	43	Religious facility	3440	61	75	83	87
21	Green area	3140	77	86	91	94	45	Innovation	3440	61	75	83	87
22	Apartment building	3110	77	85	90	92	44	Innovation cluster	3440	61	75	83	87
23	Single family detached house	3110	77	85	90	92	46	Water system	4210	100	100	100	100

¹⁾ Condition of AMC-II

²⁾ Land Use Classification of Study Area by Table 4 of No.

대상유역의 토지이용도 46개에 대하여 각각의 토양형별 Code Number에 대한 유출곡선지수를 적용하였으며 ‘설계홍수량 산정요령(MoLIT, 2012)’에 대한 대상유역의 토지이용도는 Fig. 3과 같다.

4. 홍수량 변동특성

4.1 매개변수 산정

대상유역의 홍수량 산정을 위해서는 확률강우량 분석과 유출에 영향을 미치는 지형특성을 구축해야한다. 그러나, 본 연구의 목적은 토지이용도 분류기준 개정에 따른 홍수량 변동특성을 검토하는 연구로서 홍수량 산정에 따른 매개변

수는 ‘울산우정 혁신도시(택지) 개발사업 사업계획변경에 따른 재해영향 저감방안 (LH, 2010)’과 동일하게 적용하고자 한다. 홍수량 산정을 위한 확률강우량 분석은 대상유역인 근 기상청 관할 울산관측소의 39년간(1971~ 2009)의 지속시간별 연최대치강우자료를 FARD를 통한 빈도해석을 분석하였다. 최적확률분포형은 적합도 검정을 통해 Gumbel분포를 적용하여 산정한 확률강우량은 Table 7과 같다.

확률강우량 산정은 ‘울산우정 혁신도시(택지) 개발사업 사업계획변경에 따른 재해영향 저감방안 (LH, 2010)’과 동일한 50년 빈도의 확률강우강도식의 Sherman형을 적용하였으며 장단기에 대한 확률강우강도식은 Table 8과 같다.

홍수량 산정방법으로는 SCS 방법, Clark 방법, Nakayasu

Fig. 3. Land Use of Design Flood Analysis Guide Line

Table 7. Duration of Probability Rainfall

Frequency(yr)	Duration of Probability Rainfall(mm)									
	10min	60min	120min	180min	240min	300min	360min	720min	1080min	1440min
10	18.2	56.3	84.3	101.7	118.3	133.1	145.0	194.1	221.0	238.2
20	20.3	64.5	96.9	116.8	136.2	153.3	167.0	224.5	255.8	275.4
30	21.6	69.2	104.2	125.5	146.5	164.9	179.6	242.0	275.8	296.8
50	23.2	75.1	113.2	136.4	159.3	179.4	195.4	263.9	300.8	323.5
80	24.6	80.4	121.5	146.3	171.1	192.6	209.9	284.0	323.7	348.0
100	25.3	83.0	125.5	151.0	176.6	198.9	216.8	293.5	334.5	359.6

Table 8. Probable Rainfall Intensity Formula of 50year Frequency

Sherman	a	b	c	r
Short term	3.89E+02	3.96E-01	3.35E+00	1
Long term	1.66E+03	6.55E-01	5.40E+01	0.99

방법이 주로 사용되고 있으며, 본 연구에서는 ‘울산우정 혁신도시(택지) 개발사업 사업계획변경에 따른 재해영향 저감방안 (LH, 2010)’에서 활용한 SCS 방법을 적용하였다. SCS 방법을 적용한 홍수량 산정은 유역면적, 유로연장, 평균 경사, 지체시간 등의 매개변수가 적용된다. 대상유역은 A0 ~ J1'까지 총 18개의 소유역으로 구분되어 있으며 홍수량 산정 매개변수의 특성으로 유역면적은 0.05 km² ~ 1.32 km²의 범위로 평균 0.71 km², 유로연장은 0.12 km ~ 2.83 km의 범위로 평균 1.30 km, 평균경사는 0.010 ~ 0.183의 범위로 평균 0.071, 지체시간이 0.243 hr ~ 0.399 hr의 범위로 평균 0.311 hr로 Table 9와 같다.

4.2 유출곡선지수 산정

본 연구에서는 대상유역의 토지이용도 설계기준 변경에 따른 유출곡선지수의 산정을 ‘하천설계기준·해설(KWRA, 2009)’의 Case 1과 ‘설계홍수량 산정요령(MoLIT, 2012)’의 Case 2에 대하여 분석하였다. 홍수량 산정을 위한 유출곡선지수의 선행토양수분조건은

AMC-III 조건으로 변경하여 적용하였다. 울산혁신도시 개발 후 토지이용도 46개 중 Case 1에서는 6개의 분류로 Case 2에서는 중복되는 Code Number를 제외한 22개로 토지이용분류가 분류되었다. 대상유역의 토지이용도 46개 중에 중복분류 것을 제외하며 Case 1은 총 6개로, Case 2는 총 22개의 토지이용분류가 구분되었다. Case 1과 Case 2에 대한 소유역별 토지이용분류에 따라 산정된 유출곡선지수는 Fig. 4와 같다.

대상유역의 설계기준 변경에 따른 토지이용 분류기준을 Case 1과 Case 2로 구분하여 분석하였다. Case 1의 소유역별 유출곡선지수 범위는 59.15 ~ 78.15, 평균 70.27이며 Case 2의 소유역별 유출곡선지수 범위는 66.04 ~ 85.75, 평균 77.18이 산정되었다. Case 2에 대한 Case 1의 유출곡선지수 차이는 최소 -0.12에서 최대 10.56, 평균 6.91이며, 비율은 최소 -0.16 %에서 최대 15.85 %, 평균 9.91 %로 Table 10과 같다. 따라서, 토지이용 분류기준 개정에 따른 유출곡선지수는 Case 1보다 Case 2가 약 10 %가 증가하는 것으로 분석되었다.

Table 9. Parameter of Flood Estimation

Basin	Area(km ²)	Stream Length(km)	Average Slope	Lag time(hr)	Basin	Area(km ²)	Stream Length(km)	Average Slope	Lag time(hr)
A0	1.18	1.70	0.075	0.325	F1	0.40	0.50	0.180	0.276
A0'	0.56	1.25	0.044	0.302	G0	0.61	1.05	0.074	0.282
B0	0.42	1.01	0.021	0.302	H0	1.19	1.51	0.053	0.327
C0	1.02	1.30	0.058	0.315	I0	0.11	0.33	0.018	0.252
C1	0.73	1.76	0.060	0.334	I1	1.17	2.58	0.050	0.376
C1'	0.46	1.09	0.078	0.297	I2	0.46	1.25	0.050	0.304
D0	0.77	1.60	0.050	0.319	J0	0.05	0.12	0.164	0.243
D1	0.22	0.57	0.183	0.267	J1	1.32	2.02	0.059	0.373
F0	0.92	0.95	0.010	0.304	J1'	1.25	2.83	0.050	0.399
Average						0.71	1.30	0.071	0.311
Max						1.32	2.83	0.183	0.399
Min						0.05	0.12	0.010	0.243

(a) Case 1

(b) Case 2

Fig. 4. Curve Number

Table 10. Curve Number According to Standard of Land Use Classification

Basin	Curve Number ¹⁾		Coefficient	Ration(%)	Basin	Curve Number ¹⁾		Coefficient	Ration(%)
	Case 1 ²⁾	Case 2 ³⁾				Case 1 ²⁾	Case 2 ³⁾		
A0	59.15	66.04	6.89	11.6	F1	67.14	77.50	10.36	15.4
A0'	70.07	76.68	6.61	9.4	G0	74.51	80.85	6.34	8.5
B0	77.38	84.95	7.57	9.8	H0	69.29	77.53	8.24	11.9
C0	72.28	77.73	5.44	7.5	I0	78.15	85.75	7.60	9.7
C1	68.35	73.49	5.13	7.5	I1	68.78	74.57	5.79	8.4
C1'	74.20	83.43	9.23	12.4	I2	66.96	73.48	6.53	9.7
D0	68.98	75.74	6.75	9.8	J0	66.64	77.20	10.56	15.8
D1	72.20	81.26	9.05	12.5	J1	62.42	69.14	6.72	10.8
F0	74.73	80.32	5.60	7.5	J1'	73.71	73.59	-0.12	-0.2
Average						70.27	77.18	6.91	9.91
Min						59.15	66.04	-0.12	-0.16
Max						78.15	85.75	10.56	15.85

¹⁾ Condition of AMC-III

²⁾ Commentary of rivers design standard (Korea Water Resources Association, 2009)

³⁾ Design Flood Analysis Guide Line (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2012)

4.3 토지이용분류에 따른 홍수량 변동 분석

대상유역의 홍수량 변동특성은 ‘울산우정 혁신도시(택지) 개발사업 사업계획변경에 따른 재해영향 저감방안(LH, 2010)’에서의 유역면적, 도달시간, 확률강우량, 설계빈도는 동일하게 적용하였으며 토지이용 분류기준 개정에 따른 Case 1과 Case 2를 분석하였다. 소유역별 홍수량 분석 결과는 Fig. 5와 같으며 18개의 소유역 중 J0를 제외한 나머지 17개의 소유역에서 홍수량이 모두 증가하였다.

Case 1의 소유역별 홍수량 범위는 1.24 m³/s ~ 28.76 m³/s, 평균 16.61 m³/s이며 Case 2의 소유역별 홍수량 범위는 1.39 m³/s ~ 30.21 m³/s, 평균 17.74 m³/s이 산정되었다. Case

2에 대한 Case 1의 홍수량 차이는 최소 -0.03 m³/s에서 최대 2.48 m³/s, 평균 1.13 m³/s이며, 비율은 최소 -0.10 %에서 최대 12.10 %, 평균 6.88 %로 Table 11과 같다. 따라서, 토지이용 분류기준 개정에 따른 홍수량 변동특성은 Case 1보다 Case 2가 약 7 % 증가하는 것으로 분석되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 울산광역시 중구 혁신도시 인근지역을 대상으로 토지이용 분류기준 개정에 따른 유출곡선지수와 홍수량의 변동특성을 분석하였다. 토지이용 분류기준은 ‘하

Fig. 5. Characteristics of Flood Discharge

Table 11. Result of Flood Discharge According to Standard of Land Use Classification

Basin	Discharge(m ³ /s)		Coefficient 2) - 1)	Ration(%) 3)/1)	Basin	Discharge(m ³ /s)		Coefficient 2) - 1)	Ration(%) 3)/1)
	Case 1 ¹⁾	Case 2 ²⁾				Case 1 ¹⁾	Case 2 ²⁾		
A0	24.24	26.59	2.35	9.69	F1	9.60	10.71	1.11	11.56
A0'	13.29	14.46	1.17	8.80	G0	15.76	16.67	0.91	5.77
B0	10.92	11.62	0.70	6.41	H0	27.73	30.21	2.48	8.94
C0	24.88	26.29	1.41	5.67	I0	3.05	3.24	0.19	6.23
C1	16.77	17.76	0.99	5.90	I1	26.13	27.74	1.61	6.16
C1'	11.65	12.66	1.01	8.67	I2	10.70	11.48	0.78	7.29
D0	18.05	19.41	1.36	7.53	J0	1.24	1.39	0.15	12.10
D1	5.65	6.14	0.49	8.67	J1	27.29	29.67	2.38	8.72
F0	23.25	24.52	1.27	5.46	J1'	28.76	28.73	-0.03	-0.10
Average						16.61	17.74	1.13	6.88
Min						1.24	1.39	-0.03	-0.10
Max						28.76	30.21	2.48	12.10

¹⁾ Commentary of rivers design standard (Korea Water Resources Association, 2009)

²⁾ Design Flood Analysis Guide Line (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2012)

천설계기준·해설(KWRA, 2009)'에서 제시한 미국 토양보존국(U.S SCS)의 기준의 Case 1과 '설계홍수량 산정요령(MoLIT, 2012)'에서 우리나라의 적합한 토지이용 형태에 따른 유출곡선지수 선정방법 기준을 Case 2로 분류하였다. 홍수량 분석을 위한 매개변수는 SCS 방법을 적용하여 유역면적, 지체시간, 강우량은 50년 빈도의 확률강우량을 Case 1과 Case 2에 동일하게 적용하였다.

토지이용 분류기준 개정에 따른 대상유역의 토지이용도는 총 46개로 구분되었으며 Case 1에서는 6개의 분류기준으로 Case 2에서는 22개의 기준으로 분류하여 유출곡선지수를 산정하였다. 유출곡선지수의 선행함수조건은 AMC-III 조건을 적용하였으며 소유역별 유출곡선지수의 평균은 Case 1이 70.27, Case 2가 77.18로 분석되었다. 토지이용 분류기준 개정에 따른 유출곡선지수는 Case 2가 Case 1보다 6.91이 비율로는 Case 1보다 약 10 %가 증가하는 것으로 분석되었다. 홍수량 변동에 대한 소유역별 평균은 Case 1이 16.61 m³/s, Case 2가 17.74 m³/s로 1.13 m³/s가 증가하였으며 Case 1 대비 Case 2가 약 7 % 증가하는 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 토지이용 분류기준 개정에 따른 유출곡선지수와 홍수량의 변동특성을 분석하였다. 이 연구결과를 통해 2012년 이전에 수행된 재해영향분석결과에 대해서는 유출곡선지수는 약 10 %, 홍수량은 약 7 %를 증가한 재해대책수립이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 정부(행정안전부)의 재원으로 재난안전기술개발사업단의 지원을 받아 수행된 연구임 [MOIS-재난-2015-03].

References

- Cho, H.J., Kim, G.S., and Lee, C.H. (2001) A Study of Runoff Curve Number Estimation Using Landsat Image. *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 34, No. 6, pp. 735-743.
- Han, W.K., and Yang, S.K. (2009) A Runoff Simulation Using SWAT Model Depending on Changes to Land Use in Jeju Island. *Journal of Environmental Science International*, KENSS, Vol. 18, No. 9, pp. 1057-1063.
- Hawkins, R.H. (1978) Runoff Curve Number Relationships with Varying Site Moisture. *Journal of Irrigation and Drainage Division*, ASCE, Vol. 104, pp. 389-398.
- Im, S.J. and Park, S.W. (1997) Estimating Runoff Curve Numbers for Paddy Fields. *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 30, No. 4, pp. 379-387.
- Korea Water Resources Association (KWRA) (2009) *Commentary of Rivers Design Standard*.
- Korea Land & Housing Corporation (LH) (2010) *Disaster mitigation Methods according to Ulsan U-jeong Innovation City (residential land) Development Business Plan Change*.
- Lee, H.J., Ru, J.H., and Yu, Y.G. (2010) Extracting High Quality Themantic Information by Using High-Resoulution Saterlite Imagery. *Journal of the Korean Society for GeoSpatial Information System*, KOGSIS,

- Vol. 18, No. 1, pp. 73-81.
- Lee, Y.J., An, S.R., Kang, B.S., and Kim, S.J. (2008) Assessment of Future Climate and Land Use Change Impact on Hydrology and Stream Water Quality of Anseongcheon Watershed Using SWAT Model(Ⅱ). *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 28, No. 6B, pp. 665-673.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MoLIT) (2012) *Design Flood Analysis Guide Line*.
- National Institute of Agricultural Sciences (2007) *Classification of Hydrologic Soil Types based on Percolation Rate Measurement*.
- Nicklow, J.W., and Muleta, M.S. (2001) Watershed Management Technique to Control Sediment Yield in Agriculturally Dominated Areas. *Water International*, Vol. 26, No. 3, pp. 435-443.
- Park, C.H., Yoo, C.S., and Kim, J.H. (2005a) Revised AMC for the Application of SCS Method: 1. Review of SCS Method and Problems in Its Application. *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 38, No. 11, pp. 955-962.
- Park, C.H., Yoo, C.S., and Kim, J.H. (2005b) Sensitivity Analysis of Runoff Curve Number to the Rainfall Conditions. *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 25, No. 6B, pp. 501-508.
- Sharifi, A., and Kalin, L. (2010) Effect of Land Use Uncertainty on Watershed Modeling. *World Environmental and Water Resources Congress*, Vol. 6, pp. 4730-4739.
- Soil Conservation Service (1972) *National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology*.
- Yoo, C.S., Park, C.H., and Kim, J.H. (2005) Revised AMC for the Application of SCS Method: 2- Revised AMC. *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 38, No. 11, pp. 963-972.
- Yoon, T.H. (1991) Validity of Runoff Curve Number Method for Estimating of Effective Rainfall. *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 24, No. 2, pp. 97-108.

Received	December 8, 2017
Revised	December 29, 2017
Accepted	January 2, 2018