

강우특성별 최적 우수관망에서의 유출 변화 분석

이정호^{1*}

¹국립한밭대학교 토목공학과

Analysis of flow change in optimal sewer networks for rainfall characteristics

Jung Ho Lee^{1*}

¹Department of Civil Engineering, Hanbat National University

요 약 본 연구에서는 도시구역 우수관거 시스템의 근본적인 목적인 내수침수 방제 효과를 최대화하기 위하여 침투 유출량 최소화를 목적으로 하여 개발된 우수관망 최적설계 모형(이정호, 2010)[1]을 이용하여 실제 도시구역에 대하여 다양한 인공적인 강우 사상들을 적용하여 실제 강우 발생 시 침투유출량 저감의 효과가 발생할 수 있을 것인가에 대하여 분석하였다. 분석에 적용된 강우사상은 첫째, 설계빈도에 해당하는 강우사상에 대하여 강우의 침투치가 일정한 시간 간격을 두고 연속되어 발생하는 강우사상들에 대하여 모의하였다. 둘째, 일정한 강도의 강우가 연속적으로 발생하는 연속강우사상에 대하여 모의하였다. 분석 결과 강우의 침투치가 연속되는 경우 또는 일정한 강도의 연속강우에 대해서도 최적 우수관망에서 침투유출량이 저감되는 것으로 분석되었으며, 이것은 최적화된 우수관망이 시스템 내의 지체 현상에 따른 침투유출량 감소가 아닌 관망 전체에서의 유입량의 적정 분배에 따른 것임을 나타낸다.

Abstract In this study, the optimal sewer layout model(Lee, J.H., 2010)[1] was applied to verify the reduction effect of urban inundation in the optimal sewer networks, which designed by this optimal model, for various artificial rainfall events in urban areas. Then the optimal model was developed by Lee, J.H. to minimize the peak outflow at outlet in sewer network. The applied rainfall events are two types. One is the rainfall event which the double peak occurs between specific time distance continuously. The other is the continuous rainfall event with specific rainfall intensity. As the result, in two applied rainfall types, the peak outflows at outlet were reduced in the optimal sewer networks which designed the optimal sewer layout model of Lee, J.H.. Therefore, the peak outflow is reduced because the inflows at each manhole are distributed in the whole sewer networks, it's not delay of inflows by this optimal model.

Key Words : Storm Sewer Network, Optimal Layout, Continuous Rainfall

1. 서론

도시구역의 우수관거 설계는 최단거리의 관거 노선 설정에 따라 최소비용의 공사비를 산출할 수 있도록 설계되고 있다. 또한 우수관망의 설계에 관한 기존의 연구들 또한 관망의 노선 및 관거 제원의 결정에 있어서 최소비용의 설계에 국한되어 왔다. 우수관망의 최적 설계에 관한 근래의 연구들 중 Tekeli et al.(1986)[2]은 standard

shortest path algorithm을 이용하여 우수관망을 설계하기 위한 LGA 모형을 개발하였으며, Weng and Liaw(2003)[3]은 'network layout'의 최적화 문제와 'hydraulic design'의 최적화 문제를 동시에 고려할 수 있는 SSOM/LH 모형을 개발하였다. 또한 Weng et al.(2004)[4]은 우수관망의 최적 설계 문제와 수리학적 설계를 동시에 고려하기 위하여 유전자 알고리즘을 이용한 최적 설계 모형을 개발하였으며, Jang et al.(2006)[5]은

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대 홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

*교신저자 : 이정호(leejh@hanbat.ac.kr)

접수일 11년 02월 17일

수정일 11년 03월 31일

게재확정일 11년 04월 07일

위험도를 고려한 최적 우수관망 설계 모형을 개발하였다. 이 모형에서는 위험도를 평가하기 위하여 First Order Second Moment(FOSM) 방법에 의한 불확실성 분석이 이용되었다. 그러나 이러한 기존의 연구들에서 관망의 설계는 최소비용을 목적함수로 국한시켰으며, 이때 관거 내 흐름이란 관거 설계를 위한 조건일 뿐 관거 설계에 따른 결과로서 고려되지는 않았다. 즉, 우수관망의 설계에 있어서 관망 노선의 변경에 따라서 달라지는 관내 흐름의 변화로 인한 영향에 대한 고려는 이루어지지 않았다.

그러나 김중훈 등(2009)[6]은 관거의 노선 변경에 따른 관망 내 흐름의 변화에 관한 연구 결과를 제시한 바 있다. 이 연구에서는 현재의 도시구역 관망 노선을 임의적으로 변경시켜 그에 따른 유출구에서의 첨두유출량이 저감될 수 있음을 나타내었다. 그러나 관망 노선이 임의적으로 결정되었으며, 첨두유출량을 최소화할 수 있는 관망 노선의 결정에 관한 모형의 개발은 이루어지지 않았다. 반면 이정호(2010)[1]는 유전자 알고리즘을 이용하여 우수관망에서의 유출구 첨두유출량을 최소화하는 것을 목적함수로 하는 최적 노선 결정 모형을 개발하였으며, 첨두유출량을 최소화한 관망 설계가 설계빈도를 초과하는 강우 사상에 대하여 침수 저감 효과를 가져오는 분석 결과를 나타내었다. 그러나 해당 연구에서는 다양한 형태의 강우 사상에 대한 적용을 통하여 실제 도시구역에서의 호우 발생시 최적화된 우수관망에서 첨두유출량 저감 효과에 대한 검증이 이루어지지 않았다.

본 연구에서는 이러한 이정호(2010)[1]의 우수관망 최적 설계 모형의 적용성을 검증하기 위하여 각기 다른 인공적인 강우를 적용하여 최적화된 우수관망에서의 유출구 첨두유출량의 저감 양상을 분석하였다. 분석에 적용된 강우사상은 설계빈도에 해당하는 강우사상에 대하여 강우의 침투치가 일정한 시간 간격을 두고 연속되어 발생하는 강우사상들에 대하여 모의하였다.

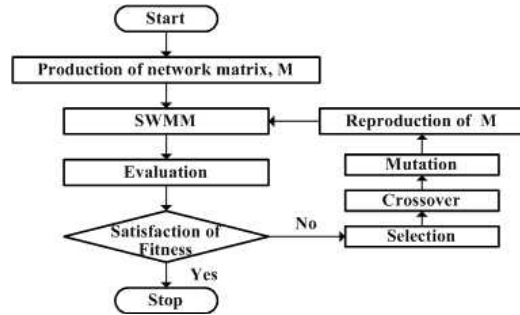
2. 우수관망 최적 설계

이정호(2010)[1]의 우수관망 최적 설계 모형은 관망의 노선 결정에 있어서 우수관망의 유출구 첨두유출량을 최소화하는 것을 목적함수로 하여 관망을 구성한다. 여기서 유출구의 첨두유출량을 관망 내 흐름의 적정 분배에 기인하는 것으로 전체 관망에서의 흐름의 분배가 이루어진다면 설계유량을 초과하는 강우 발생 시 관내 월류 발생이 저감될 수 있다는 점을 고려한 것이다.

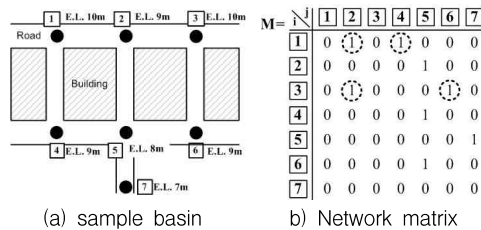
이정호(2010)[1]의 최적 설계 모형은 관망의 노선 결정에 관한 최적화 문제를 해결하기 위하여 유전자 알고

리즘(Genetic Algorithm, GA)을 이용하였으며, 다음의 그림 1은 모형의 흐름도를 나타낸다.

여기서, M(network matrix)은 맨홀간 관거의 연결 방향을 나타내는 결정변수로서 맨홀간 관거의 연결은 지표고가 높은 곳으로부터 낮은 곳으로 연결되도록 한다. 다음의 그림 2(a)는 가상구역의 맨홀별 지표고를 나타내며, 그림 2(b)는 이를 바탕으로 작성된 network matrix를 나타낸다. 이때 matrix에서의 1은 맨홀간 관거의 연결이 가능함을 나타낸다(이정호, 2010)[1].



[그림 1] 관망 노선 최적 모형(이정호, 2010)[1]



[그림 2] 도시구역 network matrix(이정호, 2010)[1]

3. 최적 우수관망

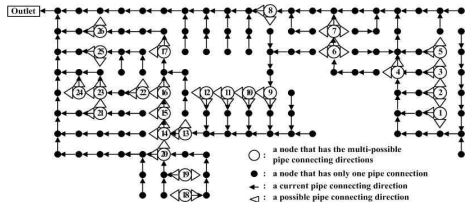
본 연구에서는 이정호(2010)[1]의 우수관망 최적 설계 모형을 통하여 실제 구역에서의 적용을 통한 최적화된 우수관망을 대상으로 다양한 강우사상의 적용 모의하였다.

적용 구역은 서울시 송파구에 위치한 가락 배수분구로서 본 연구에서는 그 일부에 해당하는 36ha의 독립적인 우수관망을 대상으로 하였다. 적용 구역에서의 맨홀 지점(node)의 개수는 총 140개이며, 현재의 우수관망에서의 관거 총 연장은 5,917m이다. 반면, 해당 지점들을 이용하여 최단거리 관망을 구성한 결과 관거의 총 연장은 현재의 우수관망에서보다 짧은 5,497m인 것으로 나타났다.

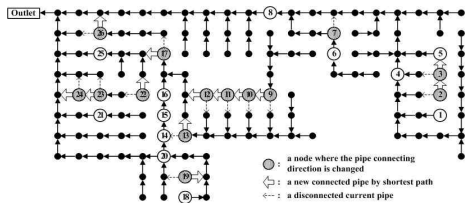
해당 구역에서의 우수관거에 대한 설계빈도는 현재 10년으로 책정되어있으며, 적용 구역에 대한 현황을 표 1에 나타내었다.

[표 1] 구역 현황

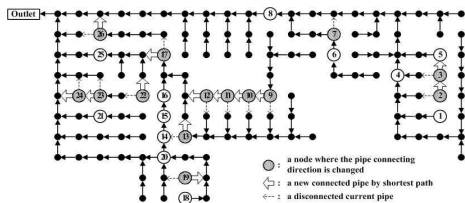
구역면적	맨홀개수	관거연장	지표경사	설계빈도
36 ha	140	5,917 m	0.006	10년



(a) 현재 우수관망 개략도



(b) 최단거리 우수관망 개략도



(c) 최적 우수관망 개략도

[그림 3] 적용구역 우수관망 개략도

그림 3은 해당 구역에서의 현재 우수관망, 최단거리 우수관망 및 최적화된 우수관망의 개략도를 각기 나타내고 있다.

여기서, 화살표는 각 지점별 관거 연결 방향을 나타내며, 숫자가 기입된 원형의 지점들은 복수의 연결 가능한 방향성을 갖는 맨홀 지점들을 나타낸다. 또한 해당 맨홀 지점들에 접해있는 삼각형 형상은 연결 가능한 방향을 나타내고 있다. 또한 음영으로 표시된 맨홀 지점들은 해당 관거의 연결 방향의 현재와는 다른 형태로 구성되었음을 나타낸다. 본 연구에서는 이렇게 구성된 최단거리 관망 및 최적 관망과 현재의 관망간의 유출구 침투유출량의 변화 양상을 분석하였다.

4. 연속강우사상 적용

본 연구에서 이정호(2010)[1]의 최적 우수관망 노선 결정 모형에 의한 최적 우수관망에서의 침투 유출량 감소 효과를 여러 가지 인공적인 강우 사상들에 대하여 검증해보았다.

적용된 강우사상들은 첫째, 설계빈도에 해당하는 강우 사상에 대하여 강우의 침투치가 일정한 시간 간격을 두고 연속 발생하는 인공적인 강우사상들이며 둘째, 일정한 강도의 강우가 연속적으로 발생하는 강우사상들이다. 우수관거의 설계빈도 10년에 해당하는 강우강도 값을 산정하기 위하여 본 연구에서는 최근 27년간(1983년~2009년)에 대한 서울지역 기상청 시강우자료를 이용하여 확률강우량 분석을 수행한 결과 Sherman형 강우강도식[7]이 적합하며, 산정된 재현기간 10년에 대한 강우강도 공식은 다음과 같다.

$$I = \frac{389.6633}{t^{0.40180}} \quad (mm/hr)$$

우선 강우의 침투치가 일정한 시간 간격을 두고 발생하는 경우에 대한 모의를 위하여 Huff 2분위 강우사상을 기본으로 강우의 침투치 발생 간격을 5분에서 30분까지 모의하여 표 2에 나타내었다.

강우의 시간분포에 적용된 Huff 방법은 누가우량곡선을 이용하고 지속시간을 4개 구간으로 나누었을 때, 각 구간 중 최대누가우량 부분을 선별하고, 선별된 구간에서의 호우를 이용하여 초과확률을 적절히 혼합함으로써 확률별 우량추상도를 제시함[8]으로 확률강우량에 대한 강우의 시간 분포시키는 일반적 방법에 해당한다. 본 연구에서는 건설교통부(2000)[8]에서 발간된 ‘지역적 설계 강우의 시간적 분포’에서 제시된 서울지역 Huff 방법에 의한 강우 시간분포를 이용하였다.

[표 2] Double peak 강우사상

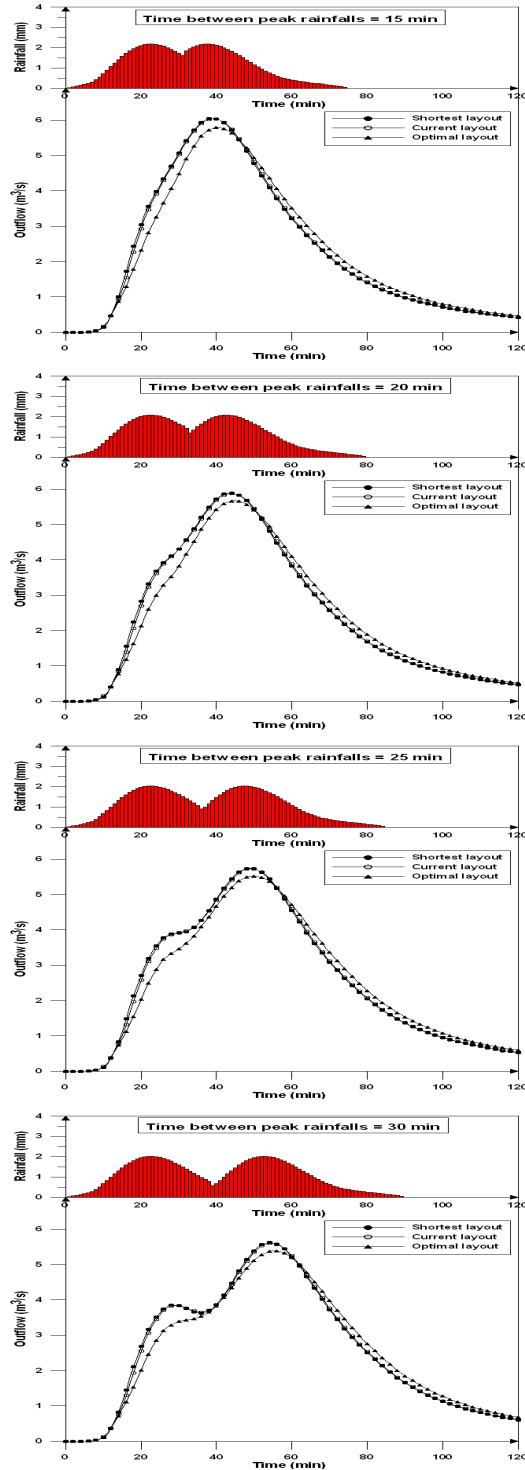
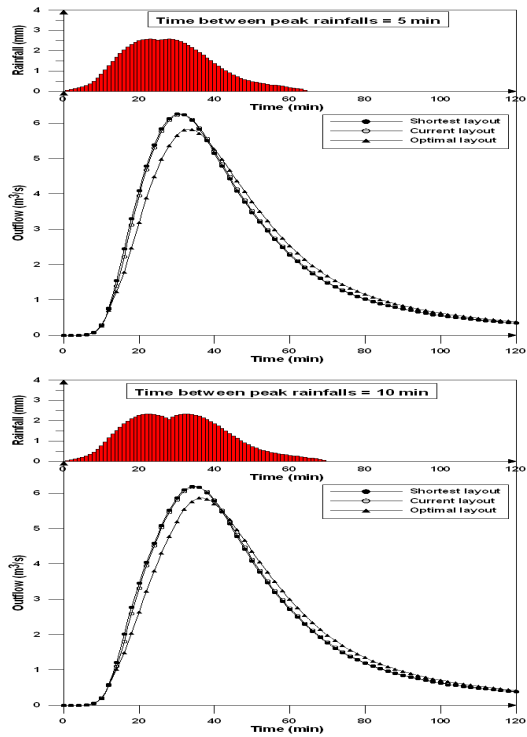
침투치간 시간간격	강우 지속시간	총강우량 (mm)	강우침투치 (mm)
5분	65분	78.89	2.57
10분	70분	82.47	2.34
15분	75분	85.94	2.18
20분	80분	89.32	2.08
25분	85분	92.62	2.03
30분	90분	95.84	2.02

이상의 강우사상들에 대하여 적용 유역에 대한 최단거리관망, 현재의 관망 및 최적화된 관망에 대하여 각각 유출구에서의 유출 수문곡선을 모의한 결과는 다음의 그림 4 및 표 3과 같다.

[표 3] Double peak 강우사상에 대한 첨두유출량

첨두치간 시간간격	유출구 첨두유출량(m ³ /s)				
	현재의 관망 (①)	최단거리 관망 (②)	최적 관망 (③)	②-①	③-①
5분	6.27	6.27	5.83	+0.00	-0.44
10분	6.18	6.19	5.86	+0.01	-0.32
15분	6.04	6.05	5.79	+0.01	-0.25
20분	5.88	5.89	5.67	+0.01	-0.21
25분	5.73	5.74	5.52	+0.01	-0.21
30분	5.60	5.62	5.38	+0.02	-0.22

우수관망에서의 강우-유출 관계는 각 맨홀로 유입된 유입수문곡선이 서로 중첩하는 정도에 따라서 첨두유출량은 변화한다. 즉, 유입유량의 중첩 영향이 클수록 유출 수문곡선에서의 첨두치인 첨두유출량은 커지며, 따라서 본 연구에서의 각 우수관망에 대한 첨두유출량은 해당 우수관망에서의 유입유량들에 대한 분산 정도를 나타내게 된다.



[그림 4] Double peak 강우사상에 대한 첨두유출량

이상의 결과에서 나타나듯이 강우의 침투치가 연속되는 경우에도 최적화된 관망에서의 침투 유출량은 최단거리관망 및 현재의 관망에 비하여 감소치가 두드러지게 나타남을 알 수 있다.

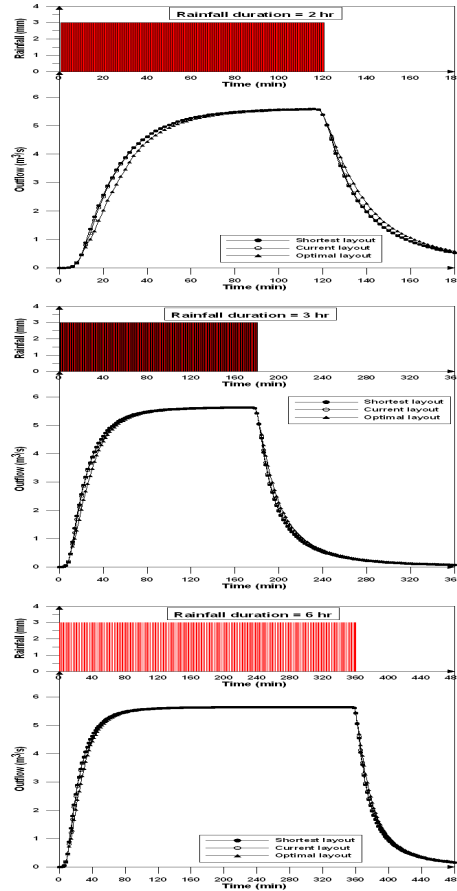
다음으로 일정한 강도의 강우가 연속적으로 발생하는 강우사상들에 대한 적용을 위하여 3mm/min의 강우가 지속기간 30분부터 6시간까지 연속되는 5개의 강우사상에 대하여 유출구에서의 유출수문곡선을 모의하였다. 적용된 연속강우사상은 다음의 표 4와 같으며, 각 연속강우사상에 대하여 해당 유역에서의 각 관망별 모의한 결과는 다음의 그림 5 및 표 5와 같다.

[표 4] 연속 강우사상

강우지속기간	0.5hr	1hr	2hr	3hr	6hr
총강우량(mm)	90	180	360	540	1,080
강우침투치(mm)	3	3	3	3	3

[표 5] 연속 강우사상에 대한 침투유출량

	유출구 침투유출량(m ³ /s)				
	0.5hr	1hr	2hr	3hr	6hr
강우지속기간	0.5hr	1hr	2hr	3hr	6hr
현재관망 (①)	3.73	5.21	5.63	5.63	5.63
최단거리관망 (②)	3.69	5.21	5.63	5.63	5.63
최적관망 (③)	3.33	5.15	5.63	5.63	5.63
② - ①	-0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
③ - ①	-0.40	-0.06	0.00	0.00	0.00



[그림 5] 연속 강우사상에 대한 침투유출량

이상의 결과에서 나타나듯이 최적화된 우수관망이 연속된 강우사상에 대해서도 최단거리관망 및 현재의 관망에 비하여 침투유출량 감소 효과를 나타내고 있음을 알 수 있다.

또한 강우의 침투유출량 발생 시각은 각 우수관망별로 1분 및 2분 정도의 차이를 나타내고 있다. 따라서 유출구 침투유출량 최소화를 목적으로 하는 최적 우수관망이 시스템 내의 지체 현상에 따른 침투유출량 감소를 유발하는 것이 아닌 관망 전체에서의 유입량의 적정 분배에 의한 유량부하 감소에 기인하고 있음을 나타낸다.

5. 결론

본 연구에서는 이정호(2010)[1]에 의해 개발된 최적 우수관망 노선 결정 모형을 실제 도시유역에 적용하여 다양한 강우사상의 발생에 대한 모형의 효용성에 대하여

검증하였다. 강우의 다른 특성 요소로서 본 연구에서는 강우의 침투치가 연속으로 발생하는 경우에 대하여 모의하였으며, 모의 분석 결과 모든 강우사상에 대하여 최적의 우수관망에서 침투유출량 감소 효과가 나타나고 있음을 확인하였다. 따라서 최적 우수관망 결정 모형에 의한 도시유역에서의 관망 최적화를 통하여 실제 어떠한 형태의 강우가 발생하더라도 침투유출량의 감소 및 내수침수 저감 효과를 나타낼 수 있을 것으로 검토되었다. 다만 본 연구에서의 강우 유출 해석에 있어서 실강우사상에 대한 해당 유역에서의 관측 유량과의 비교 검토가 이루어지는 것이 바람직하나 실제 도시유역에서 우수관거를 통한 유출량의 관측은 현실적으로 거의 이루어질 않고 있으므로, 향후 이에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

[1] 이정호, “우수관망 노선 결정에 따른 침투유출량 변화 분석”, 한국산학기술학회논문지, 제11권, 제12호, pp.5151-5156, 2010.

[2] Tekeli, S. and Belkaya, H., “Computerized layout generation for sanitary sewers”, Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, Vol. 112, No. 4, pp. 500-515, 1986.

[3] Weng, H.T. and Liaw, S.L., "Studying a Sewer System Layout Optimization Model with Applied Enumeration Algorithm(SSOM/LH)", Proc. 16th Environ. Planning & Management Conf., Taiwan CIEEnvE, pp.28-29, 2003.

[4] Weng, H.T., Liaw, S.L. and Huang, W.C., "Establishing an optimization model for sewer system layout with applied genetic algorithm", Environmental Informatics Archives, Vol. 5, No. 1, pp. 26-35, 2004.

[5] Jang, S., Roesner, L.A. and Park, D., "Development of Urban Storm Sewer Optimal Layout Design Model Considering Risk", Proceedings of the World Environmental and Water Resources Congress 2006, May, omaha, Nebraska, USA., 2006.

[6] 김종훈, 주진걸, 전환돈, 이정호, “우수관거 흐름 제어를 위한 관망 설계에 관한 연구”, 한국방재학회논문집, 한국방재학회, 제9권, 제1호, pp.1-7, 2009.

[7] 윤용남, “기초수문학”, 청문각, pp.99-100, 2008.

[8] 건설교통부, “지역적 설계 강우의 시간적 분포”, 2000.

이정호(Jung Ho Lee)

[정회원]



- 2003년 2월 : 고려대학교 공과대학원 토목환경공학과 (수공학석사)
- 2008년 8월 : 고려대학교 공과대학원 토목환경공학과 (수공학박사)
- 2008년 9월 ~ 2009년 8월 : 고려대학교 부설 방재과학기술연구원 연구교수
- 2009년 9월 ~ 현재 : 국립한밭대학교 토목공학과 전임강사

<관심분야>

상하수도공학, 수공학